令　02 原 機 （ 再 ）020
令 和　2 年　5 月　29 日

原 子 力 規 制 委 員 会　殿

住　　所　茨城県那珂郡東海村大字舟石川 765 番地 1
申 請 者 名　国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
代表者の氏名　理　事　長　　児 玉　敏 雄

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　核燃料サイクル工学研究所
再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書の一部補正について

平成 30 年 6 月 13 日付け原規規発第 1806132 号をもって認可を受け，その後別表のとおり変更の認可を受け，令和元年 12 月 19 日付け令 01 原機（再）022 をもって変更認可を申請した核燃料サイクル工学研究所　再処理施設の廃止措置計画を別紙のとおり一部補正いたします。

別表

変更認可の経緯（１／２）

認可年月日	認可番号	備　考
平成 30 年 11 月 30 日	原規規発第 1811305 号	再処理施設に関する設計及び工事の方法の認可を受けている案件について廃止措置期間中に工事を行うことを明記，ガラス固化技術開発施設の工程制御装置等の更新
平成 31 年 2 月 18 日	原規規発第 19021811 号	ガラス固化技術開発施設の溶融炉制御盤の更新，ガラス固化技術開発施設の固化セルのインセルクーラの電動機ユニットの交換
平成 31 年 3 月 29 日	原規規発第 1903297 号	ガラス固化技術開発施設の溶融炉の間接加熱装置(予備品)の製作及び交換
令和元年 9 月 10 日	原規規発第 1909101 号	動力分電盤制御用電源回路の一部変更，管理区域境界に設置された窓ガラスの交換，分離精製工場プール水処理系第２系統のポンプの交換，クリプトン回収技術開発施設の浄水供給配管等の一部更新，分離精製工場，放出廃液油分除去施設等への浄水供給配管の一部更新，分離精製工場のアンバー系排風機の電動機交換

別表

変更認可の経緯（２／２）

認可年月日	認可番号	備　考
令和元年 9 月 10 日	原規規発第 1909102 号	ガラス固化技術開発施設における放射線管理設備の更新
令和元年 9 月 10 日	原規規発第 1909103 号	アスファルト固化処理施設の浄水配管及び蒸気凝縮水配管の一部更新，第二アスファルト固化体貯蔵施設の水噴霧消火設備の一部更新
令和 2 年 2 月 10 日	原規規発第 2002103 号	安全対策の検討に用いる基準地震動，基準津波，設計竜巻及び火山事象

別紙

核燃料サイクル工学研究所　再処理施設　廃止措置計画変更認可申請書

補正前後比較表

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
六．性能維持施設の位置，構造及び設備並びにその性能，その性能を維持すべき期間並びに再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則（平成二十五年原子力規制委員会規則第二十九号）第二章及び第三章に定めるところにより難い特別の事情がある場合はその内容	六．性能維持施設の位置，構造及び設備並びにその性能，その性能を維持すべき期間並びに再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則（平成二十五年原子力規制委員会規則第二十九号）第二章及び第三章に定めるところにより難い特別の事情がある場合はその内容	
1 性能維持施設の位置，構造 1.1 性能維持施設の位置，構造 (1)性能維持施設の位置 （省略）	1 性能維持施設の位置，構造 1.1 性能維持施設の位置，構造 (1)性能維持施設の位置 （補正なし）	「再処理維持基準規則」は，四．2.1(1)において定義されているため，改めて定義しないこととする。（四．2.1(1)に記載の規則名は，新検査制度に係る変更において見直し。）
(2)性能維持施設の一般構造	(2)性能維持施設の一般構造	
各施設の今後の使用計画を踏まえた上で，施設が保有する放射性物質によるリスクに応じて安全上の重要度を見直し，その安全上の重要度に応じて，「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」（以下「再処理維持基準規則」という。）を踏まえた必要な安全対策を行う。	各施設の今後の使用計画を踏まえた上で，施設が保有する放射性物質によるリスクに応じて再処理維持基準規則を踏まえた必要な安全対策を行う。	
安全対策については，廃止に向かう限られた期間の中で使用を継続する施設であることを踏まえ，恒設設備のみならず可搬型設備による代替策も視野に入れ，より実効性のある対策を選定する。	再処理施設の安全対策に係る基本方針を以下に示す。詳細については別添 6-1-1 に示す。	基本方針の具体化
各施設の安全上の重要度は，取り扱う放射性物質の種類や量を踏まえ，安全機能の喪失による周辺公衆の被ばく影響を考慮し見直しを行う。その際には，可搬型設備等の代替策も視野に入れ，安全機能の維持や回復を考慮する。	再処理施設においては，高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）とガラス固化技術開発施設（TVF）について最優先で安全対策を進める。	
安全上重要な施設は，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（以下「事業指定基準規則の解釈」という。）に従い，安全上重要な施設の例①～⑮に該当するものを選定した。同様に，耐震重要施設は，事業指定基準規則の解釈別記 2 第 2 項に従い，S クラスの例①～⑨に該当するものを選定した。その結果，耐震重要施設及び安全上重要な施設は，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟並びにそれら関連施設に限定された。耐震重要施設及び安全上重要な施設を，別添 6-1-1 及び別添 6-1-2 に示す。	廃止措置計画用設計津波（以下「設計津波」という。）及び廃止措置計画用設計地震動（以下「設計地震動」という。）に対して，両施設の健全性評価を実施するとともに必要な安全対策を実施する。	
事故選定においては，「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」で定められている 6 つの重大事故が起こり得るか評価を行った。その結果，「使用済燃料から分離されたものであって液体状のもの又は液体状の放射性廃棄物を冷却する機能が喪失した場合にセル内において発生する蒸発乾固」のみが該当し，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟が対象となった。想定事故の選定の詳細については，添付資料四に示す。	両施設に関連する施設として，両施設の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を維持するために，事故対処設備（電源車，可搬ポンプ等）を用いて必要な電力やユーティリティ（冷却に使用する水や動力源として用いる蒸気）を確保することとし，それらの有効性の確保に必要な対策（保管場所及びアクセスルートの信頼性確保，人員の確保等）を実施する。	
これらの結果を踏まえ，安全対策の実施範囲を，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟並びにそれら関連施設に限定した	竜巻，火山などの外部事象に対しても両施設の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）を維持するために必要な対策を実施する。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟及びそれらに関連する施設以外の施設については，令和２年７月までにリスクに応じた安全対策の実施内容及び工程を定め，その後，必要な安全対策を実施する。	

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
上で，東京電力福島第一原子力発電所の事故後，再処理維持基準規則によって強化された要求事項に対し，廃止措置段階に応じた最適な措置を講じることを基本とする。その他の施設については，既往の許認可に従った管理を継続する。 特定廃液の処理等を推進することにより重大事故の要因となるリスクを減少させることを最優先とし，その過程で残存するリスクの大きさ，期間に対して有効な安全対策を講じる。 再処理維持基準規則を踏まえた安全対策の実施に際しては，ガラス固化処理の取組が進むことでリスクが低減されることから，重大事故の対処設備に対して安全上重要な施設及び耐震重要施設の対象外となる時期や工事実施によりガラス固化処理計画を遅延させるなどの影響を与える時期等を評価し，有効な安全対策を行う。 その結果，重大事故に至るおそれが否定できないものについては，それに対する発生防止，拡大防止及び影響緩和のための事故対策を実施する。 再処理維持基準規則を踏まえた安全対策に関する工程については，「十．廃止措置の工程」に示す。	再処理維持基準規則を踏まえた安全対策に関する工程については，「十．廃止措置の工程」に示す。	
1)火災等による損傷の防止 再処理施設内において想定される火災又は爆発により，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟においては，火災又は爆発による安全機能の喪失に対し，高放射性廃液の崩壊熱除去機能を有する機器へ給電する安全系ケーブル及び制御室内の安全系ケーブルの系統分離を行う。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設については，内部火災による多重化された安全上重要な設備の同時損傷を考慮し，エンジン付きポンプ，組立水槽等の重大事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水により崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	1)火災等による損傷の防止 火災等による損傷の防止については，施設内に火災が発生した場合においても高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
2)地震による損傷の防止 ① 耐震重要施設について，隣接する原子力科学研究所の JRR-3 原子炉施設と同様に策定した基準地震動(以下「基準地震動 Ss」という。)による地震力での損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないことを基本とした対応を行う。 ② 安全機能を有する施設のうち，地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が大きいものを耐震重要施設に選定した。選定結果の詳細を別添 6-1-1 に示す。 耐震重要施設は，基準地震動 Ss による地震力に対して，その耐震安全性を確認	2)地震による損傷の防止 ① 再処理施設の地震による損傷の防止に係る基本方針を以下に示す。詳細については別添 6-1-2-1 に示す。 ・ 高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については，工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用することから，令和 20 年頃までの維持期間を想定し，設計地震動に対して重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないよう，以下の対策を講じる。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
した上で，廃止措置段階に応じた措置を行う。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家については，基準地震動 Ss に対し耐震性を維持している。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管については，耐震性を確保するため一部の冷却水配管について配管にサポートを追加する。 第二付属排気筒については，基準地震動 Ss に対し耐震性を確保するため，筒身へのコンクリート増し打ちによる耐震補強を行う。T21 トレンチについては，基準地震動 Ss に対し耐震性を確保するためトレンチ周辺の地盤補強を行う。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については，基準地震動 Ss により崩壊熱除去機能が喪失した場合でも，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 耐震重要施設である高放射性廃液貯蔵場(HAW)，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に隣接している主排気筒は，耐震重要施設には該当しないものの，地震発生時の波及的影響の観点から基準地震動 Ss 対して筒身への連続繊維及びコンクリートによる耐震補強を行う。 ③ 解放基盤表面で基準地震動 Ss を入力した際の高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家基礎下レベルでの地震動評価を別添 6-1-3 に，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟建家基礎下レベルでの地震動評価を別添 6-1-4 に示す。建家基礎下レベルでの地震動を踏まえ，施設の耐震設計を行う。 3)津波による損傷の防止 ① 隣接する原子力科学研究所の JRR-3 原子炉施設の津波に係る評価を踏まえて策定した基準津波（以下「基準津波」という。）により，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び当該建家内の安全上重要な施設は，基準津波に対し健全性を維持している。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)については，建家内に浸水する可能性があるものの，高放射性廃液貯槽及び高放射性廃液貯槽を設置しているセルは基準津波に対し健全性を維持している。 基準津波による浸水で多重化された安全上重要な設備の同時損傷を想定した場合でも，以下のとおり事故対処を行う。 基準津波により崩壊熱除去機能が喪失した場合は，エンジン付きポンプ，組立	発棟の建家並びにこれら建家に設置されている重要な安全機能を担う施設は，設計地震動に対して耐震性を確保する。耐震性を確保すべき対象施設については別添 6-1-2-2 に示す。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機，蒸気及び工業用水の供給施設）は，設計地震動に耐えるようにすることが困難であることから，代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備等が使用できるよう必要な対策を実施する。 ・ 設計津波への対策として設ける施設（漂流物防護柵等）についても，設計地震動に対して耐震性を確保するよう設計する。 ・ 上記以外の施設については，今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう，それぞれの耐震上のリスクに応じた対策を講じることとする。 ② 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の耐震設計の詳細を別添 6-1-2-3 に示す。事故対処設備の間接支持構造物である高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家については，設計地震動による地震力が作用した際に建家支持地盤の接地圧について余裕が少なくなるおそれがあることから，確実に建家の耐震性を確保するために建家周辺の地盤改良工事を行い，地震時の建家の振動を抑制する対策を実施する。また，地盤改良工事の範囲に高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟を接続する T21 トレンチを含めることにより，T21 トレンチの耐震性も確保する。 ③ ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については，耐震評価を継続し，必要な対策を整理して令和２年７月に変更申請を行う。 3)津波による損傷の防止 ① 再処理施設の津波による損傷の防止に係る基本方針を以下に示す。 ・ 高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場(HAW)とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については，工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用することから，令和 20 年頃までの維持期間を想定し，設計津波に対して対策を講じることとする。具体的には，設計津波の敷地への浸入が想定されるものの高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内へは浸入させない措置を講じるとともに，有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備等が使用できるよう必要な対策を実施する。 ・ 上記以外の施設については，今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう，リスクに応じた対策を講じることとする。	評価結果，安全対策の追記 安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 ② 基準津波による津波高さについては，高放射性廃液貯蔵場(HAW)で東京湾平均海面(以下「T.P.」という。)+14.2 m，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟で T.P.+12.8 m と評価している。	再処理施設の津波影響評価に関しての設計津波，入力津波の設定，余震荷重の評価，漂流物の選定等について別添 6-1-3-1 及び別添 6-1-3-2 に示す。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については津波対策の検討を継続し，必要な対策を整理して令和２年７月に変更申請を行う。	評価結果の追記 安全対策の検討の進め方の具体化
4)外部からの衝撃による損傷の防止 ① 安全上重要な施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）によりその安全性を損なうおそれがある場合において，廃止措置段階に応じた措置を行う。 国内外の文献等から自然現象による事象を抽出し，再処理施設の立地及び周辺環境を踏まえて，事業指定基準規則の解釈第 9 条に示される自然事象を含め再処理施設の安全性に影響を与える可能性のある事象は主に竜巻，森林火災及び火山であり対策は以下のとおりである。 (a) 竜巻 再処理施設の敷地で想定される基準竜巻・設計竜巻及びそれらから導かれる設計荷重に対して，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 設計荷重は設計竜巻による風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物が施設に衝突する際の衝撃荷重を設定する。 設定する設計飛来物は鋼製材（長さ 4.2 m×幅 0.3 m×高さ 0.2 m，質量 135 kg，飛来時の水平速度 51 m/s，飛来時の鉛直速度 34 m/s）とし，設計飛来物より運動エネルギー又は貫通力が大きなものに対し，施設からの離隔，固縛等を行う。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の外壁及び屋上スラブについては，設計竜巻及び設計飛来物に対し健全性を維持している。 また，窓，扉等の建家開口部は，貫通による重要設備が損傷するおそれがあることから，閉止措置等を実施する。 設計飛来物を上回る竜巻影響を与えるおそれのある飛来物候補については，離隔又は固縛により施設に影響を与える飛来物とならないよう対策を行う。車両については，原則，竜巻防護施設から離隔して駐車する。離隔，固縛対策は高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟周辺の設計飛来物（鋼製材）より影響が大きいものを対象に実施する。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設は，竜巻により多重化された安全上重要な設備の同時損傷を想定した場合でも，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技	4)外部からの衝撃による損傷の防止 ① 国内外の文献等から自然現象による事象を抽出し，再処理施設の立地及び周辺環境を踏まえて，事業指定基準規則の解釈第 9 条に示される自然事象を含め再処理施設の安全性に影響を与える可能性のある事象は主に竜巻，森林火災及び火山であり対策は以下のとおりである。 (a) 竜巻 竜巻による損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家の健全性評価（設計飛来物の設定を含む。）を実施し，重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて対策を検討し令和２年７月に変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。		
(b) 森林火災 再処理施設の敷地及び敷地周辺で想定される森林火災が発生した場合に対して，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟建家は，森林火災に対し健全性を維持している。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設は，森林火災により多重化された安全上重要な設備の同時損傷を想定した場合でも，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	(b) 森林火災 森林火災による損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家の健全性評価を実施し，重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて対策を検討し令和２年７月に変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
(c) 火　山 再処理施設の敷地及び敷地周辺で想定される火山の噴火による降下火砕物が発生した場合に対して，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 再処理施設への火山影響を評価するため，再処理施設に影響を及ぼし得る火山の抽出，設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価及び再処理施設の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の検討を行う。 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟建家は，降下火砕物に対し健全性を維持している。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟では，降下火砕物対策として外気取込及び循環換気用可搬型ブロワの配備，換気ライン及びフィルタの配備を行う。また，高放射性廃液貯蔵場(HAW)の制御室については，運転員は常駐しておらず，事故時では，他施設から作業員を派遣することで対応が可能である。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設は，降下火砕物により多重化された安全上重要な設備の同時損傷を想定した場合でも，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	(c) 火　山 火山による損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家の健全性評価を実施し，重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて対策を検討し令和２年７月に変更申請を行う。 再処理施設への火山影響を評価するため，再処理施設に影響を及ぼし得る火山の抽出，設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価及び再処理施設の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の検討を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
(d) 竜巻，森林火災及び火山の影響以外の自然現象 再処理施設の敷地及び敷地周辺で想定される竜巻，森林火災及び火山以外の事象により，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設の多重化された安全上重要な設備が同時損傷した場合を想定しても，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	(d) 竜巻，森林火災及び火山の影響以外の自然現象 竜巻，森林火災及び火山の影響以外の自然現象による損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
(e) 異種の自然現象の重畳及び自然現象と事故の組合せ 抽出された自然現象については，その特徴から組合せを考慮する。 事故については，設備や系統における内的な事象を起因とするものに対しては，外部からの衝撃である自然現象との因果関係が考えられないこと，及び自然現象の影響と時間的変化による事故への発展が考えられないことから，自然現象と事故の組合せは考慮しない。	(e) 異種の自然現象の重畳及び自然現象と事故の組合せ 抽出された自然現象については，その特徴から組合せを考慮する。 事故については，設備や系統における内的な事象を起因とするものに対しては，外部からの衝撃である自然現象との因果関係が考えられないこと，及び自然現象の影響と時間的変化による事故への発展が考えられないことから，自然現象と事故の組合せは考慮しない。	
② 安全機能を有する施設は，周辺監視区域に隣接する地域に事業所，鉄道，道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において，事業所における火災又は爆発事故，危険物を搭載した車両，船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により再処理施設の安全性が損なわれないよう，廃止措置段階に応じた措置を行う。 なお，人為事象の抽出は，国内外の文献等から再処理施設の立地及び周辺環境を踏まえて再処理施設の安全性に影響を与える可能性のある事象を選定する。 (a) 外部火災(森林火災を除く。) ここでの外部火災としては，近隣工場等の火災及び爆発並びに航空機墜落による火災を対象とする。また，これらの火災では，核燃料サイクル工学研究所内及びその周辺に存在する屋外の重油タンク等の施設を対象として，外部火災による影響及び外部火災源としての影響を考慮する。 再処理施設の敷地及び敷地周辺で想定される近隣工場等の火災及び爆発並びに航空機墜落による火災により，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設の多重化された安全上重要な設備が同時損傷した場合を想定しても，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	② 安全機能を有する施設は，周辺監視区域に隣接する地域に事業所，鉄道，道路その他の外部からの衝撃が発生するおそれがある要因がある場合において，事業所における火災又は爆発事故，危険物を搭載した車両，船舶又は航空機の事故その他の敷地及び敷地周辺の状況から想定される事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）により再処理施設の安全性が損なわれないよう，廃止措置段階に応じた措置を行う。 なお，人為事象の抽出は，国内外の文献等から再処理施設の立地及び周辺環境を踏まえて再処理施設の安全性に影響を与える可能性のある事象を選定する。 (a) 外部火災(森林火災を除く。) 外部火災(森林火災を除く。)による損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家の健全性評価を実施し，重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて対策を検討し令和２年７月に変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
(b) 航空機墜落，爆発，外部火災等の火災以外の人為による事象 再処理施設の敷地及び敷地周辺で想定される事象として選定された航空機墜落，爆発，近隣工場等の火災以外の事象により，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設の多重化された安全上重要な設備が同時損傷した場合を想定しても，エンジン付きポンプ,組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し,自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	(b) 航空機墜落，爆発，外部火災等の火災以外の人為による事象 航空機墜落，爆発，外部火災等の火災以外の人為による事象による損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
5)再処理施設への人の不法な侵入等の防止 ① 人の不法な侵入の防止 再処理施設のうち，核燃料物質等を取り扱う建家の外側に周辺防護区域及び立入制限区域を設定し，それぞれの区域境界に十分な高さを有した鋼製の人の不法な侵入が困難な構造のフェンスを設置し出入口を施錠する。 また，再処理施設への人の立入りは立入制限区域境界に設置した出入管理所の警備員が入域資格を確認した上で立入りさせる。なお，その他の出入口から立ち入りさせる場合は，警備員により出入管理所における措置と同等の確認を行った上で立ち入りさせる。 ② 不正な物件の持込みの防止 再処理施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え，又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれることがないように，立入制限区域境界の出入管理所に設置する持込検査装置又は警備員による荷物の外観点検及び開封点検により不正な物件の持込みを防止する。また，車両についても荷物の点検及び車両点検を行うことにより不正な物件の持込みを防止する。なお，その他の出入口から物件を持ち込む場合は，警備員による荷物の外観点検及び開封点検により不正な物件の持込みを防止する。 ③ 不正アクセスの防止 再処理施設の情報システムは，核燃料物質等を取り扱う建家のうち，安全上重要な施設の機器・構築物に接続されたシステム，施設外へのデータ伝送等に係るシステム及び核物質防護システムで構成し，これらのシステムに対する電気通信回線を通じた不正アクセス行為を防止する設計とする。 (a) 外部からの不正アクセスの防止 電気通信回線を通じた外部からの不正アクセス行為を受けることがないよう，外部と物理的に接続しない設計とする。 (b) 内部からの不正アクセスの防止 内部における不正アクセスを防止するため,対象とする情報システムに関するアクセス管理，調達管理及び電子媒体管理を行う。 アクセス管理については,当該システムを設置する制御盤の施錠により管理	5)再処理施設への人の不法な侵入等の防止 （補正なし）	

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
を行う。 電子媒体の管理は，電子媒体によるウイルス感染を防止するため，使用前にウイルスチェックを行う。 また，電子媒体によりプログラムの変更を実施する場合には，調達管理として調達プロセスにセキュリティ要件を入れる。 なお，上記の（a）及び（b）の対策は，不正アクセスが行われるおそれがある場合又は行われた場合に迅速に対応できるよう情報システムセキュリティに関する計画を定める。 ④ 核燃料物質等の不法な移動の防止 敷地内の人による核燃料物質等の移動については，所定の手続に基づき承認を得てから移動を行うことにより，核燃料物質等の不法な移動を防止する。 ⑤ 手順等 (a) 再処理施設のうち核燃料物質等を取り扱う建家に対する人の不法な侵入及び不正な物件の持込みを防止するため，周辺防護区域及び立入制限区域のフェンス設置，出入口の施錠管理，巡視及び出入管理所における人，荷物及び車両の点検を行うための手順を整備する。出入管理所における点検及び検査に係る業務については，手順を作成し，それに基づき実施する他，定期的に教育及び訓練を実施する。 (b) 再処理施設のうち，周辺防護区域，立入制限区域境界のフェンス，出入管理所及び出入管理所の持込検査装置は，保守及び修理により機能を維持する。 (c) 再処理施設のうち核燃料物質等を取り扱う建家の周辺に設置された立入制限区域の境界及び区域内を定期的に巡視する。 上記の対策については，核物質防護対策の一環として実施する。		
6)再処理施設内における溢水による損傷の防止 再処理施設内で想定される溢水（没水，被水及び蒸気漏えいによる影響）に対し，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の高放射性廃液の崩壊熱除去に係る機器への被水及び没水や屋内のアクセスルートが没水により機能が損なわれることを防止するため，該当する配管の耐震補強を行う。また，消火配管から安全上重要な施設に該当する動力分電盤への被水を防止するため，被水防止板の設置を行う。さらに，蒸気配管から高放射性廃液の崩壊熱除去に係る機器及び事故対処設備の配備区画への蒸気漏えいを防止するため，遮断弁やカバー等を設置する。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設は，溢水により多重化された安全上重要な設備の同時損傷を想定した場合でも，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放	6)再処理施設内における溢水による損傷の防止 再処理施設内における溢水による損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。		
7)再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止 再処理施設内で想定される化学薬品の漏えいに対し，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟は，化学薬品の漏えいにより，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設の多重化された安全上重要な設備が同時損傷した場合を想定しても，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	7)再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
8)安全機能を有する施設 安全機能を有する施設のうち，安全機能の重要度に応じて機能を確保する観点から，安全上重要な施設は，ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物による損傷に対し，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 飛散物により，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設の多重化された安全上重要な設備が同時損傷した場合を想定しても，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	8)安全機能を有する施設 安全機能を有する施設のポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物による損傷については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
9)安全上重要な施設 非常用電源設備は，再処理施設の安全性を確保する機能を維持するために必要がある場合で，動的機器の単一故障が発生した場合でも，安全上重要な施設の安全機能を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。 安全上重要な施設については，事業指定基準規則の解釈を踏まえて設定した。選定結果の詳細を別添 6-1-2 に示す。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の安全上重要な施設の多重化された安全上重要な設備が同時損傷した場合を想定しても，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。	9)安全上重要な施設 【削る】 安全上重要な施設に係る安全対策に関しては，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能(閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）に係る施設・設備の維持について代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
10)制御室等 ① 再処理施設に影響を及ぼす可能性のある自然現象等を把握できるよう分離精製工場(MP)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に再処理施設の外部の状況を把握するための装置を設けており，それぞれの建家の制御室にて監視できる。 ② 事故対策を行う制御室及びこれに連絡する通路並びに運転員その他の従事者が制御室に出入りするための区域には，事故が発生した場合に再処理施設の安全性を確保するための措置をとるため，従事者が支障なく制御室に入り，又は一定期間とどまり，かつ，当該措置をとるための操作を行うことができるよう，遮蔽その他の適切な放射線防護措置，気体状の放射性物質及び制御室外の火災又は爆発により発生する有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の当該従事者を適切に防護する。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟では，外気取込及び循環換気用可搬型ブロワの配備，換気ラインの整備を行うとともにフィルタの配備を行う。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の制御室については，運転員は常駐しておらず，事故時では，事象進展が緩慢なことから，他施設から作業員を派遣することで対応が可能である。 なお，分離精製工場(MP)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の制御室には，換気循環設備を設けている。	10)制御室等 制御室等については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
11)保安電源設備 事故時において事故対処設備がその機能を確保するために十分な容量を有する設計とする。 貯蔵中の高放射性廃液は発熱密度が低く，事故対処設備としてエンジン付きポンプ等の小型軽量設備の給水能力で対応可能であり，7 日間の燃料はドラム缶貯蔵等により対応が可能である。	11)保安電源設備 保安電源設備については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能(閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化
12)通信連絡設備 ① 工場等には，事故が発生した場合において工場等内の人に対し必要な指示ができるよう，警報装置及び多様性を確保した通信連絡設備を設けている。 ② 工場等には，事故が発生した場合において再処理施設外の通信連絡をする必要がある場所と通信連絡ができるよう，多様性を確保した専用通信回線を設ける。 自然災害等により，有線によるモニタリングポスト及びステーションの線量率データ伝送が停止した場合に備え，衛星回線によるデータ伝送手段を確保するための通信設備を設置する。また，緊急時対策支援システム（ERSS）へのデータ送信設備の整備を実施する。	12)通信連絡設備 通信連絡設備については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能(閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が維持できるよう代替策を含めて令和２年７月までに対策（要否を含む。）を検討する。検討の結果，必要な場合は安全対策の実施内容及び工程を定め，変更申請を行う。	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
13)重大事故等対処施設 ① 火災等による損傷の防止 事故対処施設は，火災又は爆発の影響を受けることにより重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故（以下「重大事故等」という。）に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないよう，火災等による影響を受けない場所へ分散配備する。 ② 地震による損傷の防止 (a)常設耐震重要事故対処設備が設置される事故対処施設は，基準地震動による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものとする。 (b)上記の事故対処施設は，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下「事業指定基準規則」という。）第七条第三項 の地震により生ずる斜面の崩壊によりその重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないよう，防護措置その他の適切な措置を講じる。 なお，上記に対しては，崩壊熱除去機能を維持できるようエンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を分散配備する。 ③ 津波による損傷の防止 基準津波による建家の浸水に対して，事故対処を適切に行う。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)では，建家シャッター開口部より浸水する可能性があるものの，事故対処設備は建家内の浸水のおそれのない場所に配備し，対処可能である。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟では，建家は基準津波に対して健全性を維持している。 基準津波の襲来により電源供給機能を維持できない場合でも崩壊熱除去機能を維持できるよう移動式発電機を T.P.+約 18 m の地点に配備し，電源ケーブルから電源盤への繋ぎ込みにより安全機能の回復を行う。さらに，移動式発電機からの給電ができない場合でも，可搬型発電機により崩壊熱除去機能の安全機能を維持できるようエンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を配備する。 ④ 事故対処設備	13)重大事故等対処施設 重大事故等対処施設については，事故対処施設・設備（代替設備を含む。）に係る有効性評価を実施し，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能)が維持できるよう代替策を含めて対策を検討し令和２年７月に変更申請を行う。 【削る】	安全対策の検討の進め方の具体化

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
選定した「使用済燃料から分離されたものであって液体状のもの又は液体状の放射性廃棄物を冷却する機能が喪失した場合にセル内で発生する蒸発乾固」に対する事故対処設備は，以下のとおりとする。 (a) 事故対処設備は，次に掲げる設計とする。 a) 想定される重大事故等の収束に必要な個数及び容量を有する設計とする。 b) 想定される重大事故等が発生した場合における温度，放射線，荷重その他の使用条件で，重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮する設計とする。 c) 想定される重大事故等が発生した場合において確実に操作できる設計とする。 d) 健全性及び能力を確認するため，再処理施設の運転中又は停止中に検査又は試験ができる設計とする。 e) 本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあっては，通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備える設計とする。 f) 工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさない設計とする。 g) 想定される重大事故等が発生した場合において事故対処設備の操作及び復旧作業を行うことができるよう，線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定，設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講じる。 (b) 常設事故対処設備は，上記(a)に掲げるもののほか，想定される事故の条件下においてその機能が損なわれるおそれがない設計とする。 (c) 可搬型事故対処設備に関しては，上記(a)によるほか，次に掲げるところによる。 a) 常設設備（再処理施設と接続されている設備又は短時間に再処理施設と接続することができる常設の設備をいう。以下同じ。）と接続するものにあっては，当該常設設備と容易かつ確実に接続することができ，かつ，二以上の系統が相互に使用することができるよう，接続部の規格の統一その他の適切な措置を講じる。 b) 常設設備と接続するものにあっては，共通要因によって接続することができなくなることを防止するため，可搬型事故対処設備（再処理施設の外から水又は電力を供給するものに限る。）の接続口をそれぞれ互いに異なる複数の場所に設ける。 c) 想定される重大事故等が発生した場合において可搬型事故対処設備を設置場所に据え付け，及び常設設備と接続することができるよう，線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定，設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講じる。 d) 地震，津波その他の自然現象又は故意による大型航空機の衝突その他のテロ		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
リズムによる影響，事故に対処するための設備及び事故対処設備の配置その他の条件を考慮した上で常設事故対処設備と異なる保管場所に保管する。 e) 想定される重大事故等が発生した場合において，可搬型事故対処設備を運搬し，又は他の設備の被害状況を把握するため，工場等内の道路及び通路が確保できるよう，不整地走行車両等の配備を含め適切な措置を講じる。 f) 共通要因によって，事故に対処するための設備の安全機能又は常設事故対処設備の重大事故等に対処するために必要な機能と同時に可搬型事故対処設備の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないよう，適切な措置を講じる。 ⑤ 材料及び構造 事故対処設備については以下を考慮する。 (a) 事故対処設備に属する容器及び管並びにこれらを支持する構造物のうち，再処理施設の安全性を確保する上で重要なものの材料及び構造は，設計上要求される強度及び耐食性を確保する。 (b) 事故対処設備に属する容器及び管のうち，再処理施設の安全性を確保する上で重要なものは，適切な耐圧試験又は漏えい試験を行ったとき，これに耐え，かつ，著しい漏えいがないものとする。 ⑥ 冷却機能の喪失による蒸発乾固に対処するための設備 選定した「使用済燃料から分離されたものであって液体状のもの又は液体状の放射性廃棄物を冷却する機能が喪失した場合にセル内で発生する蒸発乾固」に対し，発生防止策，拡大防止策及び影響緩和策を講じる。 崩壊熱除去機能が喪失した状態において，蒸発乾固の発生を未然に防止するために必要な設備(以下「発生防止設備」とする。)を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に保管する。崩壊熱除去機能が喪失した場合において，保管してあるホース等を用いて，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の冷却コイルに注水することにより，蒸発乾固の発生を防止する。 発生防止対策が機能せず，高放射性廃液を内蔵する貯槽が沸騰した場合又は，そのおそれがある場合に備え，放射性物質の放出を抑制し，及び蒸発乾固の進行を緩和するために必要な設備(以下「拡大防止設備」という。) を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に保管する。拡大防止設備は，発生防止設備が機能しなかった場合において，ホース等を用いて沸騰した機器の内部に直接注水することにより，蒸発乾固への進展を緩和し，放射性物質の放出を抑制する。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)では，重大事故等の発生防止対策及び拡大防止対策が		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
機能しなかった場合，影響緩和設備として，緊急放出系からの排気を行う。緊急放出系は，沸騰により放射性エアロゾルが発生した場合に，大量の蒸気発生により換気が不十分となった状態で，水封槽を通過した放射性物質が高性能粒子フィルタを経由して主排気筒へ放出させることで影響を緩和する。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟では，重大事故等の発生防止対策又は拡大防止対策が機能しなかった場合，高放射性廃液の沸騰に伴い放射性物質を含んだ蒸気を固化セル内の槽類換気系のインテーク弁を開放することにより，固化セル内に導出する。また，固化セル内に導出した蒸気は既設の圧力放出系から高性能粒子フィルタを経由して放出することで影響を緩和する。 ⑦ 工場等外への放射性物質等の放出を抑制するための設備 重大事故等が発生した場合において工場等外への放射性物質の放出を抑制するために必要な設備を設ける。 気体状の放射性物質が工場等外へ放出するおそれが発生した場合には，配備する送水ポンプ，放水銃等により工場等外への放出を抑制する。 液体状の放射性物質が工場等外へ放出するおそれが発生した場合には，配備するゼオライト土嚢により海洋への流出を抑制する。 ⑧ 重大事故等への対処に必要となる水の供給設備 重大事故等への対処に必要となる水の供給設備を設ける。 なお，核燃料サイクル工学研究所内には工業用水受水槽（5000 m^3）を設けており，さらに再処理施設内には再処理貯水槽(2400 m^3)を 2 基設けていることから，当該設備を活用する。当該設備が使用不可能な状態の場合には，新川等の自然水利を活用する。 ⑨ 電源設備 非常用電源設備からの電源供給機能を維持できない場合は，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 ⑩ 計装設備 計装設備は，重大事故に至るおそれがある場合，又は重大事故が発生した場合において事故対応のために必要なパラメータを計測する。 既設の制御盤の機能喪失により事故対処に必要なパラメータ（液位，温度等）が確認できなくなった場合には，事故対処設備である可搬型設備（パージセット，データロガー等）により当該機能を回復できるようにする。 ⑪ 制御室		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の制御室については，施設外からの有毒ガスの流入を防止する遮断弁，必要時に外気を取込み可能な系統の設置，可搬型空調設備等の配備を行うことにより制御室の居住性を確保する。また，高放射性廃液貯蔵場(HAW)の制御室については，運転員は常駐しておらず，事故時では，他施設から作業員を派遣することで対応が可能である。 なお，分離精製工場(MP)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の制御室には，事故時対応を行えるよう換気循環設備を設けており，さらに必要な防護具を配備している。 ⑫ 監視測定設備 (a) 再処理施設には，重大事故等が発生した場合に工場等及びその周辺（工場等の周辺海域を含む。）において，当該再処理施設から放出される放射性物質の濃度及び線量を監視し，測定し，並びにその結果を記録することができる設備を設ける。 既設の高放射性廃液貯蔵場(HAW)中間排気モニタ及び第二付属排気筒排気モニタの機能が喪失した場合に，高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟からの放出放射能を監視するための可搬型モニタリング設備を配備する。 また，重大事故時等における，環境放射線モニタリング（線量率測定）を行うための可搬型モニタリング設備を整備する。 (b) 再処理施設には，重大事故等が発生した場合に工場等において，風向，風速その他の気象条件を測定し，及びその結果を記録することができる設備を設けている。 また，これらの設備が重大事故時等に使用できない場合の備えとして，環境放射線モニタリング（気象観測）を行うための可搬型気象観測設備を整備する。 ⑬ 緊急時対策所 重大事故等が発生した場合において，当該重大事故等に対処するための適切な措置を講じる。 既設及び代替の緊急時対策所を使用するものとし，さらに可搬型設備として，衛星通信等の多様性のある通信手段を備えた情報通信車，非常用電源車，資機材運搬車等を配備している。 地震等により既設及び代替の緊急時対策所が使用不可となった状態で，重大事故等が発生した場合においても，情報通信車において多様化(携帯電話，衛星電話等)された通信設備を複数有しており，事故時の指揮を含め緊急時対策所としての機能を本車で確保できている。		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
⑭ 通信連絡を行うために必要な設備 再処理施設には，重大事故等が発生した場合において当該再処理施設の内外との通信連絡をする必要のある場所と通信連絡を行うために必要な設備として，衛星電話，MCA無線機等を配備する。		
2 性能維持施設の設備，その性能，その性能を維持すべき期間 （省略）	2 性能維持施設の設備，その性能，その性能を維持すべき期間 （補正なし）	
3 再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則第二章及び第三章に定めるところにより難い特別の事情 再処理維持基準規則を踏まえた安全対策の設計を施設の現況等に照らし進めてきた。再処理維持基準規則を踏まえた安全対策の実施範囲及び実施内容を整理し，その内容を踏まえて詳細設計を進め，安全対策の詳細内容を整理した。 特定廃液の処理等を推進することにより重大事故等の要因となるリスクを減少させることを最優先とし，その過程で残存するリスクの大きさ，期間に対して有効な安全対策を講じる。 再処理維持基準規則を踏まえた安全対策の実施に際しては，ガラス固化処理の取組が進むことでリスクが低減されることから，重大事故等の対処設備に対して安全上重要な施設の対象外となる時期や工事実施によるガラス固化処理計画を遅延などの影響を与える時期等を評価し，有効な安全対策を行う。 その際，再処理維持基準規則により難い場合については，可搬型設備を用いた代替機能維持による安全対策の実施も含め，安全機能の維持や回復の最適化を実施するとともに，その事情を明確にする。 再処理維持基準規則により難い特別な事情を以下に示す。 ・耐震重要施設のうち，高放射性廃液貯蔵場(HAW)については，基準地震動 Ss に対して建家の接地率が不足しているが，地盤改良することは工事に長期間を要し，リスクの残存期間を踏まえると有効ではない。このため，地震に対して崩壊熱除去機能が喪失した場合には，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 ・耐震重要施設のうち，高放射性廃液貯蔵場(HAW)に非常用電源より電力を供給する第二中間開閉所及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に非常用電源より電力を供給するガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術管理棟については，基準地震動 Ss に対して，基礎杭も含め発生応力は基準値を大幅に超え耐震性が不足する見込みであるが，既存建家及び設備直下の大規模な補強工事は困難な状況であり，また，新たな代替施設を建設することは，過去に建設した施設の実績から，設計・工事及び審査に約 8 年を要する見通しであり，リスクの残存期間を	3 再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則第二章及び第三章に定めるところにより難い特別の事情 基本方針に従い検討を進める安全対策の実施内容及び工程に基づき，必要に応じて変更申請を行う。	安全対策の記載と整合するよう修正

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
踏まえると有効ではない。このため，地震に対して機能を喪失した場合には，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 ・耐震重要施設のうち，水を供給する既存の設備については，耐震Ｃクラスで建設されており，その耐震性は一般産業施設又は公共施設と同等である。このため，基準地震動 Ss による地震力に対して耐震性が不足する見込みであるが，補強工事は困難な状況である。また，新たな代替施設を建設することは，過去に建設した施設の実績から，設計・工事及び審査に約８ 年を要する見通しであり，リスクの残存期間を踏まえると有効ではない。このため，地震に対して機能を喪失した場合には，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 ・津波防護施設の建設については，概念検討の結果から 4～5 年程度の工事期間が必要との見積りを得ており，設計・審査を含めれば建設完了までに約 8 年を要する見通しであり，リスクの残存期間を踏まえると有効ではない。また，高放射性廃液貯蔵場(HAW)に非常用電源より電力を供給する第二中間開閉所及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟に非常用電源より電力を供給するガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術管理棟については，T.P.+約 8～11 ｍまでの浸水防止対策を実施しているものの，基準津波が襲来した場合に電源供給機能を維持できない可能性がある。現状よりさらに高い位置まで浸水防止対策を実施するには，建家等の耐震補強が必要となるが，既存建家及び設備直下の大規模な補強工事は，困難な状況である。さらに，水を供給する既存の設備についても，基準地震動 Ss に対し耐震性が不足する見通しであることから，浸水防止対策を実施するには，建家等の耐震補強が必要となるが，既存建家及び設備直下の大規模な補強工事は，困難な状況である。このため，津波に対して機能を喪失した場合には，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 ・高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の屋上に設置している冷却設備については，設計飛来物により損傷する可能性があるが，竜巻防護対策(防護ネット等の設置)を施し飛来物からの損傷を防ぐ場合，大規模な防護対策を要し，リスクの残存期間を踏まえると有効ではない。このため，竜巻に対して機能を喪失した場合には，エンジン付きポンプ，組立水槽等の事故対処設備を高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内に配備し，自然水利からの取水による崩壊熱除去機能を維持できるよう対策を講じる。 ・事故対処設備の保管場所から可搬型設備を運搬する際のアクセスルートについて		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
は，全域を補強することは工事に長期間を要するため困難であり，リスクの残存期間を踏まえると有効ではない。このため，迅速かつ実効性のある可搬型設備等による代替策（道路補修資材の配備，不整地走行車両の配備）を用いることで最適化を図ることとする。 ・既設及び代替の緊急時対策所は，基準地震動に対しての建家及び設備直下の大規模な補強工事は，困難な状況である。大地震等により既設及び代替の緊急時対策所が使用不可となり，重大事故等が発生した場合においても，情報通信車において多様化された通信設備(携帯電話，衛星電話等)を複数有しており，事故時の指揮を含め緊急時対策所としての機能を本車で確保できている。その他，非常用電源車，事故対応に必要な資機材を収納している資機材運搬車等を活用した可搬型設備による事故対応を実施する。		
表 6-3　設計及び工事の方法の認可の申請において必要とされる事項と同様の事項に係る改造等	表 6-3-1　設計及び工事の方法の認可の申請において必要とされる事項と同様の事項に係る改造等	表 6-3-2 の追加に伴う表番号の変更

<table>
<tr><th>補　正　前
廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）</th><th>補　正　後</th><th>変更理由</th></tr>
<tr><td>（省略）

別添 6-1-1「再処理施設における耐震重要度分類について」のとおり
（省略）

別添 6-1-2「安全上重要な施設の選定について」のとおり
（省略）

別添 6-1-3「高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家基礎下レベルでの地震動評価について」のとおり
（省略）

別添 6-1-4「ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟建家基礎下レベルでの地震動評価について」のとおり
（省略）</td><td>（変更なし）

表 6-3-2　設計及び工事の計画の認可の申請において必要とされる事項に係る改造等
<table><tr><th>件　名</th><th>概　要</th><th>工事期間(予定)</th><th>設計及び工事の計画※1</th></tr><tr><td>HAW 及び配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良工事</td><td>廃止措置計画設計用地震動に対して HAW 及び T21 の健全性を維持するために必要となる耐力を確保するために HAW 周辺地盤改良を行う。</td><td>令和 2 年 7 月～令和 4 年 3 月（準備期間を含む。）
適宜工事
（別冊 1-12 参照）</td><td>設計及び工事の計画は，別冊 1-12 による。</td></tr></table>※　設計及び工事に係る品質管理は，「十一．廃止措置に係る品質マネジメントシステム」により行う。

別添 6-1-1「再処理施設の廃止措置に係る安全対策の進め方について」のとおり

（削る）

（削る）

（削る）

別添 6-1-2-1「再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方」のとおり

別添 6-1-2-2「廃止措置計画用設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備（高放射性廃液貯蔵場（HAW））」のとおり

別添 6-1-2-3「建物・構築物及び機器・配管系の構造(耐震性)に関する説明書（高放射性廃液貯蔵場(HAW)の地震応答解析(廃止措置計画用設計地震動)）」のとおり</td><td>別添の追加

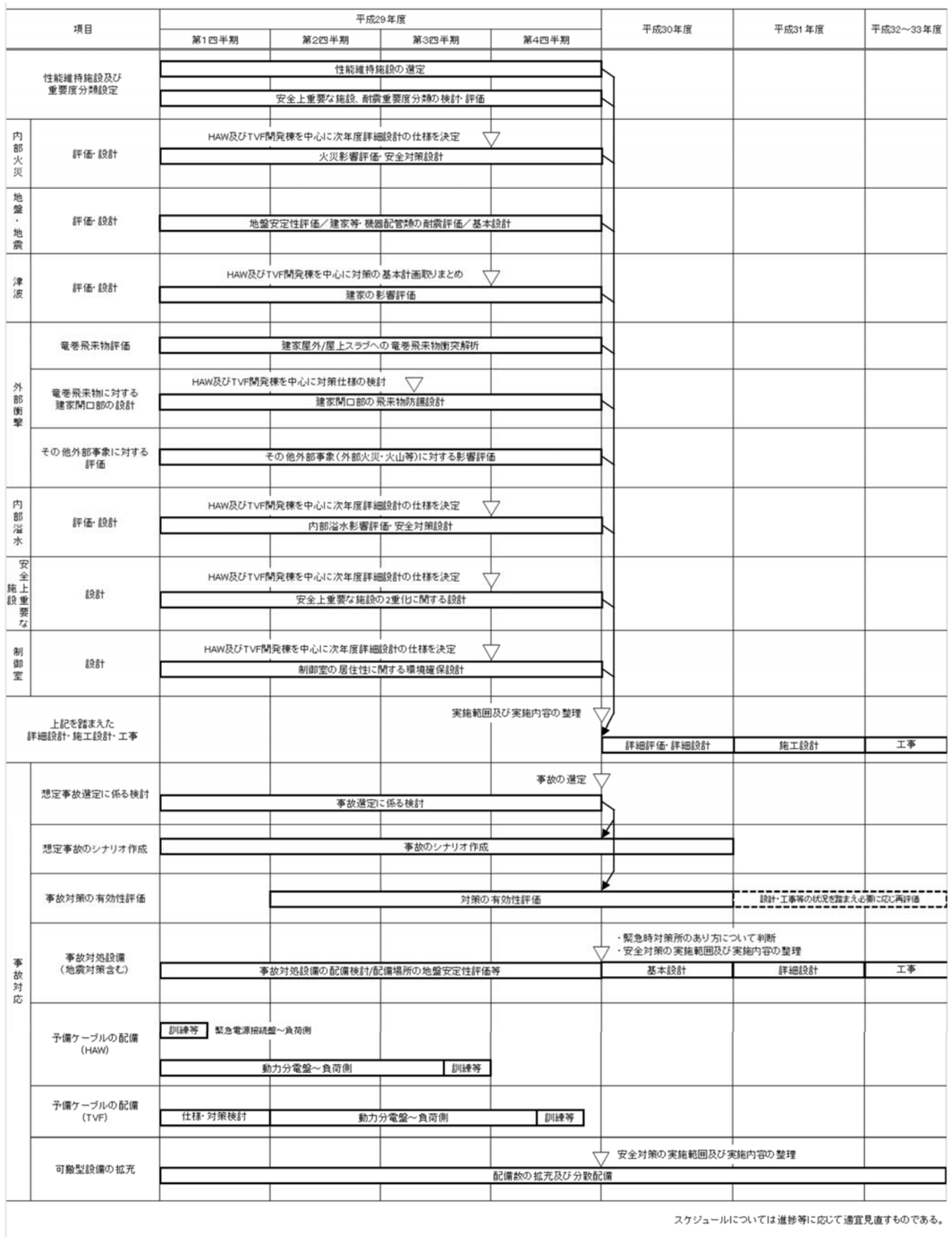
別添の追加

別添の追加</td></tr>
</table>

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
	別添 6-1-3-1「再処理施設の津波影響評価に関する説明書「再処理施設の津波影響評価」」のとおり	別添の追加
	別添 6-1-3-2「高放射性廃液貯蔵場（HAW）の廃止措置計画用設計津波に対する津波影響評価に関する説明書」のとおり	別添の追加

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
十．廃止措置の工程 1 廃止の工程の全体像 （省略） 2 当面の実施工程 （省略） 3 廃止措置の工程管理 （省略）	十．廃止措置の工程 1 廃止の工程の全体像 （補正なし） 2 当面の実施工程 （補正なし） 3 廃止措置の工程管理 （補正なし）	

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
表 10-3 再処理維持基準規則を踏まえた主な安全対策に関する工程	表 10-3 再処理技術基準規則を踏まえた主な安全対策に関する工程 （別図参照）	工程の見直し



補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
添付書類　四 廃止措置中の過失，機械又は装置の故障，浸水，地震，火災等があった場合に発生すると想定される事故の種類，程度，影響等に関する説明書 1．基本方針 （省略） 2．事故の選定 想定される事故(重大事故等，大規模損壊に至るものを含む。)は，廃止措置の段階によって異なることから，各段階で取り扱う放射性物質の核種，濃度，状態に応じて選定を行う。 今後使用を継続する工程については，再処理施設の事業指定申請書で定めた事故対策を継続するとともに，再処理維持基準規則を踏まえた事故対策の検討を進めることとし，想定される事故の選定を実施した。 想定される事故の選定については，再処理施設の事業指定申請書に記載している事故及び再処理規則において定義されている重大事故等から，発生し得る事故を抽出した。その際には，地震，津波等の想定事象に耐えられない設備の機能喪失を考慮した。 また，建家・構築物，機器が損壊に至る大規模損壊の発生要因としては，故意による大型航空機の衝突以外に大規模な自然災害が考えられることから，想定を超える自然災害が発生し得る自然事象の選定を行った。なお，大規模な損壊によりアクセス性及び作業環境が著しく低下することを考慮した。 なお，回収可能核燃料物質を再処理設備本体から取り出すための工程洗浄，系統除染及び機器解体の工程で想定する事故については，その方法を定めた時点で選定する。 2.1 基本方針 東海再処理施設では，「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」で定められている以下の重大事故から，今後の施設の利活用の状況を踏まえ事故選定を行う。 1)セル内において発生する臨界事故 2)使用済燃料から分離されたものであって液体状のもの又は液体状の放射性廃棄物を冷却する機能が喪失した場合にセル内において発生する蒸発乾固 3)放射線分解によって発生する水素が再処理設備の内部に滞留することを防止する機能が喪失した場合にセル内において発生する水素による爆発 4)セル内において発生する有機溶媒その他の物質による火災又は爆発 5)使用済燃料貯蔵プールの冷却等の機能喪失による使用済燃料の著しい損傷 6)放射性物質の漏えい 事故選定に当たっては，以下の起因事象を考慮する。 ①内的な起因事象	添付書類　四 廃止措置中の過失，機械又は装置の故障，浸水，地震，火災等があった場合に発生すると想定される事故の種類，程度，影響等に関する説明書 1．基本方針 （補正なし） 2．事故の種類，程度，影響等 事故の種類，程度，影響等については，重大事故等対処施設・設備（代替設備を含む。）に係る有効性評価の実施に合わせて検討を実施し，令和２年７月に変更申請を行う。	

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
・過失，動的機器の多重故障等 ・液体状の放射性物質を内蔵する配管の全周破断 ・長時間の全交流動力電源の喪失 ②外的な起因事象の整理 　設計基準として考えている規模の外部事象で発生する事象を想定事故として選定し，それを超える規模の外部事象で発生する事象は大規模損壊とする。ある自然災害の発生により想定される事態及び周辺環境への影響が，他の自然災害を包含できる場合には包含する。想定される自然災害は，以下のとおり。 ・地震 　基準地震動に耐えられない施設があることから，地震は検討対象事象の起因となり得る自然現象とする。 ・津波 　基準津波に耐えられない施設があることから，津波は検討対象事象の起因となり得る自然現象とする。 ・竜巻 　設計竜巻に耐えられない施設があることから，竜巻は検討対象事象の起因となり得る自然現象とする。 ・火山 　想定される火山事象が発生した場合においても安全機能を損なわないものとし，降下火砕物等による火山影響評価を踏まえて，廃止措置段階に応じた防護措置を行う。 　降灰濃度については，濃度が高いと短時間でフィルタが閉塞し，外気を直接取り込む安全上重要な施設の安全機能が喪失することが想定されることから，検討対象事象の起因となり得る自然現象とする。 ・森林火災 　最大火線強度が想定を超える森林火災が発生すると，火炎が防火帯を突破し，再処理施設に到達するおそれがある。しかし，火炎が防火帯内側に到達するおそれがある場合には，消火活動によって延焼を防止することが可能である。したがって，森林火災は検討対象事象の起因となり得る自然現象としない。 ・風(台風) 　風(台風)は検討対象事象の起因となり得る自然現象とするが，竜巻に包含される。 ・凍結 　極端な低温状態が継続することは考えられないことから，凍結は検討対象事象の起因となり得る自然現象としない。 ・積雪 　積雪により損傷する前に徐雪することが可能であることから，積雪は検討対象事象の起因となり得る自然現象としない。 ・落雷		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
大きな落雷が発生した場合，雷サージの影響により，安全機能を有する施設のうち，計測制御系統施設，電気設備等の機能喪失が考えられることから，落雷は検討対象事象の起因となり得る自然現象とする。 ・地滑り 安全上重要な施設は建家及びセルと同等の耐性を有する設計とする。また，安全上重要な施設は地滑りにより機能喪失に至らないこととするため，地滑りを検討対象事象の起因となり得る自然現象としない。 ・降雨 降雨は検討対象事象の起因となり得る自然現象とするが，津波に包含される。 ・洪水 洪水及び高潮は検討対象事象の起因となり得る自然現象とするが，津波に包含される。 ・生物学的事象 生物学的事象による安全機能を有する施設への影響として，フィルタ等に大量の昆虫類の付着が想定されるが，生物の除去を行うことが可能である。したがって，生物学的事象は検討対象事象の起因となり得る自然現象としない。 2.2 選定方法 1)臨界事故 廃止措置段階では，核燃料物質を取り扱う設備を対象に以下の方法で選定を行う。 形状寸法で臨界管理している設備については，内的要因にて臨界に至ることはないが，外的要因(地震，津波，竜巻等)を起因とする事象により核的制限値を超えて臨界に至るかどうかを評価する。 形状寸法以外の方法で臨界管理している設備については，外的要因(地震，津波，竜巻等)以外にも，内的要因である誤移送で臨界に至るか評価する。 せん断粉末等 200 kg は，蓋付きの収集トレイに入れ，セル内への水・試薬の供給ライン（除染ライン）を避けた高床の場所（床より 80 cm 高い）に保管し，同セルにはフロアドレンが設けられている。仮に同セル内に誤送水しても，せん断粉末等が水没したり，被水したりすることは無い。 なお，同セル内への水・試薬の供給ラインに対しては閉止措置を施している。 2)蒸発乾固 使用済燃料から分離されたものであって液体状のもの又は液体状の放射性廃棄物を取り扱う設備について，全交流電源喪失時における沸騰に至る時間を評価する。沸騰に至る時間が 1 年を超える場合は，事態を収束するための措置を期待できるものとし，当該事故に選定しない。沸騰に至る時間が 1 年以内である場合には，放出量評価を行い Cs-137 換算で 0.01 TBq 未満(100 TBq の 1/100 を目標とし，想定外の要素が加わった場合であってもこれを達成できるよう，さらに 1/100 にしたもの)であれば，事業指定基準規則等の有効性評価の判断基準である 100 TBq を踏まえ，		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
放出量が十分に低いものと判断し，当該事故に選定しない。 高放射性廃液貯蔵場（HAW）については，現状保有のインベントリで評価し，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)に最大濃度の高放射性廃液を保有している貯槽の濃度を基に評価する。 分離精製工場(MP)，ウラン脱硝施設(DN)，プルトニウム転換技術開発施設(PCDF)については，現実的なインベントリで評価する。 低放射性の廃液を取り扱う貯槽については，設計基準のインベントリで評価する。 3)水素爆発 使用済燃料から分離されたものであって液体状のもの又は液体状の放射性廃棄物を取り扱う設備について，全交流電源喪失時における水素濃度が爆発下限界の 4 %へ到達するまでの時間を評価する。4 %へ到達するまでの時間が 1 年を超える場合は，事態を収束するための措置を期待できるものとし，当該事故に選定しない。4 %へ到達するまでの時間が 1 年以内である場合には，放出量評価を行い Cs-137 換算で 0.01 TBq 未満であれば，事業指定基準規則等の有効性評価の判断基準である 100 TBq を踏まえ，放出量が十分に低いものと判断し，当該事故に選定しない。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)については，現状保有のインベントリで評価し，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)に最大濃度の高放射性廃液を保有している貯槽の濃度を基に評価する。 分離精製工場(MP)，ウラン脱硝施設(DN)，プルトニウム転換技術開発施設(PCDF)については，現実的なインベントリで評価する。 低放射性の廃液を取り扱う貯槽については，設計基準のインベントリで評価する。 4)有機溶媒等による火災 放射性物質を含む溶媒を取り扱う設備について，全量漏えい時における引火点到達時間を評価する。引火点到達時間が 1 年を超える場合は，事態を収束するための措置を期待できるものとし，当該事故に選定しない。引火点到達時間が 1 年以内である場合には，放出量評価を行い Cs-137 換算で 0.01 TBq 未満であれば，事業指定基準規則等の有効性評価の判断基準である 100 TBq を踏まえ，放出量が十分に低いものと判断し，当該事故に選定しない。 5)使用済燃料の著しい損傷 貯蔵プールにおけるプール水全喪失時でも，燃料損傷及び臨界に至ることはない。（添付書類四別紙「事故選定について」参照） 6)放射性物質の漏えい 放射性物質を含む液体を保有する貯槽について，耐震 S クラス施設は移送時に配管から 10 分間(漏えい発生後 10 分で対応できると想定)漏えいした場合の評価，そ		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
れ以外の施設については全量漏えいした場合の放出量評価を行い Cs-137 換算で 0.01 TBq 未満であれば,事業指定基準規則等の有効性評価の判断基準である 100 TBq を踏まえ，放出量が十分に低いものと判断し，当該事故に選定しない。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)については，現状保有のインベントリで評価し，ガラス固化技術開発施設(TVF)については，高放射性廃液貯蔵場(HAW)に最大濃度の高放射性廃液を保有している貯槽の濃度を基に評価する。また，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の濃縮器及びガラス溶融炉については，運転時に槽類換気系統が機能喪失することを考慮する。 分離精製工場(MP)，ウラン脱硝施設(DN)，プルトニウム転換技術開発施設(PCDF)については，現実的なインベントリで評価する。 低放射性の廃液を取り扱う貯槽については，設計基準のインベントリで評価する。廃棄物処理場(AAF)の低放射性廃液第一蒸発缶，第二低放射性廃液蒸発処理施設(E)の低放射性廃液第二蒸発缶，第三低放射性廃液蒸発処理施設(Z)の低放射性廃液第三蒸発缶については，運転時に槽類換気系統が機能喪失することを考慮する。 固体の放射性廃棄物及び製品が換気系統の喪失，外的要因(地震，竜巻等)により，損傷し漏えいに至る場合には放出量評価を行い，Cs-137 換算で 0.01 TBq 未満であれば，事業指定基準規則等の有効性評価の判断基準である 100 TBq を踏まえ，放出量が十分に低いものと判断し，当該事故に選定しない。 2.3 選定結果 上記方法により選定した結果を以下に示す。詳細は添付書類四別紙「事故選定について」参照 (1)臨界事故 廃止措置段階では，新たにせん断，分離・精製等の再処理運転は行うことはないことから，それらの工程における臨界は，事故として選定しない。 使用済燃料については，プール水の喪失を想定した場合においても臨界に至らないこと，三酸化ウラン容器を収納しているピットやバードケージ及びウラン・プルトニウム混合酸化物粉末の貯蔵施設は，地震を考慮しても健全性を維持でき，津波による浸水を考慮しても，臨界には至らない。また，これらの取扱いに際しては，既往の許認可で定めた形状寸法管理等の臨界安全管理を継続することから，誤操作等による臨界も想定されない。 以上より臨界については事故として選定しない。 (2)蒸発乾固 高放射性廃液貯蔵場(HAW)高放射性廃液貯槽(272V31～V35)，中間貯槽(272V37,V38)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟受入槽(G11V10)，回収液槽(G11V20)については，沸騰到達時間が 60～94 時間，事象が発生		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
した場合の放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq を超えることから，事故として選定する。 ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の濃縮器(G12E10)及び濃縮液槽(G12V12)については，事象が継続又は発生した場合の放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq より小さいため，事故として選定しない。 分離精製工場(MP)の高放射性廃液貯槽については,沸騰到達時間が最短で約 10 日であるが，事象が発生した場合の放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq より小さいため，事故として選定しない。 その他施設については，沸騰に到達するまでの時間に十分裕度がある又は，事象が発生した場合の放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq より小さいため，事故として選定しない。 (3)水素爆発 高放射性廃液を貯蔵する分離精製工場(MP)，高放射性廃液貯蔵場(HAW)，ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟は，高放射性廃液貯蔵場(HAW)における実機の試験結果より得られた G 値が 6×10-5 と小さく水素濃度が 4 %に至る時間は年単位であることから，事故として選定しない。 残存するプルトニウム溶液を取り扱う分離精製工場(MP)は，事象が発生した場合の放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq より小さいため，事故として選定しない。 その他施設については，「東海再処理施設の安全性確認に係る基本データの確認（JNCTN841099-002)」(以下「安全性確認」という。）で設定したインベントリで評価したところ，放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq より小さいため，事故として選定しない。 (4)有機溶媒等による火災又は爆発 今後，分離精製工場(MP)において溶媒を使用しないことから分離精製工場(MP)での有機溶媒等による火災又は爆発は想定しない。廃溶媒については，安全性確認で設定した放射能量で評価したところ，引火点到達時間が最短でも約 8 年と長く，事態を収束するための措置が期待できるため，事故として選定しない。 (5)使用済燃料の著しい損傷 「再処理施設の廃止に向けた計画」(平成 28 年 11 月)にて原子力規制委員会に報告しているとおり，プール水全喪失時において，燃料損傷及び臨界に至ることはないことから，事故として選定しない。 (6)放射性物質の漏えい 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟で高放射性廃液を取り扱う設備は，耐震 S クラスであるため全量漏えいは想定せ		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
ず，送液時の配管からの漏えいを想定し評価した場合の放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq より小さいため，事故として選定しない。 その他の放射性液体を取り扱う設備については，全量漏えいを想定し評価した場合の放出量(Cs-137 換算)が 0.01 TBq より小さいため，事故として選定しない。 固体の放射性廃棄物及び製品については，外的要因(地震，津波，竜巻等)を考慮しても損傷するおそれがないため，事故として選定しない。 上記評価結果等を踏まえると，想定事故は以下のとおり。 蒸発乾固 対象設備：高放射性廃液貯蔵場(HAW)高放射性廃液貯槽(272V31～V35)， 中間貯槽(272V37,V38) ガラス固化技術開発施設(TVF) 受入槽(G11V10)，回収液槽(G11V20) 3. 事故の程度，影響等 選定した「使用済燃料から分離されたものであって液体状のもの又は液体状の放射性廃棄物を冷却する機能が喪失した場合にセル内において発生する蒸発乾固」に対し，以下に示す発生防止策，拡大防止策及び影響緩和策を講じることで放出量を十分に低く抑えることが可能である。 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設（TVF）は，事故対処設備としてエンジン付きポンプ，組立水槽等を配備する。発生防止策として冷却系に接続口を設け給水ができるようにする。また，拡大防止策として，貯槽へ直接注水ができるよう接続口を追加する。さらに，影響緩和策として，高放射性廃液貯蔵場(HAW)は，排気を緊急放出系から高性能粒子フィルタを経由して放出することができる。ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟は，排気を圧力放出系から高性能粒子フィルタを経由して放出することができる。 (1) 事故シーケンス (a) 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の崩壊熱除去機能喪失 崩壊熱除去機能喪失後の事象進展(時間余裕)は，起因事象によらず同じである。時間余裕の観点からは，講じなければならない安全対策の数が多いほど厳しい。地震を原因とした起因事象による蒸発乾固では講じなければならない対策の数が多くなると考えられるうえ，事故検知の容易性の観点では，地震を原因とする起因事象の場合には，損傷等を検知する計装設備の同時損傷が考えられるため，内的事象を原因とする起因事象よりも損傷範囲や事故原因等の同定が困難となることが想定される。また，作業環境の観点からも，ユーティリティ設備の同時損傷が考えられ，内的事象を原因とする起因事象よりも作業環境が悪化することが想定される。 以上により，地震発生による全交流動力電源の喪失を伴う高放射性廃液貯蔵場の崩壊熱除去機能喪失事故を代表事故シーケンスとして選定する。		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
(b) ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の崩壊熱除去機能喪失 上記(1)と同様の理由により，地震発生による全交流動力電源の喪失を伴うガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の崩壊熱除去機能喪失事故を代表事故シーケンスとして選定する。 (2) 重大事故等の発生防止対策 崩壊熱除去機能の喪失に対して，高放射性廃液が沸騰に至ることなく冷却を可能とするため，冷却系の冷却コイルに，ホースを接続し，エンジン付きポンプにより自然水利（新川）から組立水槽を経由し，高放射性廃液が内蔵されている貯槽（以下「高放射性廃液貯槽」という。）の冷却コイルに供給する。この際，ポンプ車及び浄水貯槽の使用が可能な場合は，その設備を利用する。 a. 重大事故等への対処の移行判断 外部電源が喪失し，非常用発電機及び移動式発電機が起動しない場合は，全交流動力電源の喪失と判断し，重大事故等への対処として以下の b. に移行する。 また，二次冷却系の冷却塔，循環ポンプ若しくは一次冷却水を循環するためのポンプが起動できない場合又はこれらが起動できたとしても運転を継続できない場合は，重大事故等への対処として以下の b. に移行する。 b. 冷却コイルへの注水による冷却 高放射性廃液貯槽の冷却系の冷却コイルに，ホース等を接続し，エンジン付きポンプ等により自然水利から高放射性廃液貯槽の冷却コイルに注水する。 c. 冷却コイルへの注水による崩壊熱除去機能維持の判断 高放射性廃液貯槽の計測制御系が機能している場合は，高放射性廃液貯槽の温度及び液位監視により崩壊熱除去機能が維持されていることを判断する。 高放射性廃液貯槽の計測制御系が機能していない場合は，高放射性廃液貯槽の冷却コイルへの冷却水の給水及び排水の状態により，崩壊熱除去機能が維持されていることを判断する。また，その状態を可搬型温度測定装置により確認する。 (3) 重大事故等の拡大防止対策 重大事故等の発生防止対策が機能しなかった場合に，高放射性廃液貯槽に内蔵する高放射性廃液の蒸発の進行を緩和するため，ホースを接続し，エンジン付きポンプ及び組立水槽等により高放射性廃液貯槽へ直接注水を実施する。 a. 高放射性廃液貯槽への注水の準備の判断 上記「(2)重大事故等の発生防止対策」において，崩壊熱除去機能が回復できなかった場合において重大事故等への対処として以下の b. に移行する。 b. 高放射性廃液貯槽への注水の準備 ホースの布設及び接続により組立水槽から高放射性廃液貯槽に注水するための系統を構築する。		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
c. 高放射性廃液貯槽への直接注水の実施判断 高放射性廃液貯槽に内蔵する高放射性廃液が沸騰に至るおそれがある場合，高放射性廃液貯槽への直接注水の実施を判断する。 d. 注水量の決定 注水量の決定は，事象発生前に記録している高放射性廃液貯槽の発熱量から注水量を算出して決定する。 e. 高放射性廃液貯槽への直接注水の実施 エンジン付きポンプからの給水により，高放射性廃液貯槽に直接注水する。 f. 高放射性廃液貯槽への注水による蒸発乾固の進行緩和の判断 高放射性廃液貯槽の温度から蒸発乾固への進展が緩和されていることを判断する。計測制御系が機能していない場合は，可搬型温度測定装置により測定する。 (4) 高放射性廃液貯蔵場(HAW) の影響緩和対策 重大事故等の発生防止対策又は拡大防止対策が機能しなかった場合,高放射性廃液の沸騰に伴い放射性物質を含んだ蒸気が発生する。その蒸気は,緊急放出系から槽類換気設備の緊急放出系フィルタユニットの高性能粒子フィルタにより放射性エアロゾルを除去した後に主排気筒から大気中に放出する。 (5) ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の影響緩和対策 重大事故等の発生防止対策及び拡大防止対策が機能しなかった場合,高放射性廃液の沸騰に伴い放射性物質を含んだ蒸気が発生する。その蒸気は，固化セル内の槽類換気系のインテーク弁を開放することで，固化セル内に導出する。また，固化セル内に導出した蒸気は既設の高性能粒子フィルタにより放射性エアロゾルを除去した後に第二付属排気筒から大気中に放出する。 (6) 各対策に共通する重大事故等への対処 各対策に共通する重大事故等への対処として，水源の確保及び燃料補給を実施する。 a. 水源の確保 重大事故等への対処に水が必要な場合には，エンジン付きポンプにより敷地内水源である浄水貯槽から水を使用する重大事故等対処設備に水を移送し，さらにエンジン付きポンプにより敷地外水源である新川等から組立水槽に水を移送する。 (a) 水源の確保への移行判断 敷地内水源である浄水貯槽が健全な場合は，浄水貯槽の水を使用する。浄水貯槽が健全でない場合は，敷地外水源である新川からエンジン付きポンプにより汲み上げ，組立水槽に水を貯留し使用する。 また，二次冷却系の冷却塔，循環ポンプ若しくは一次冷却水を循環するためのポ		

補　正　前 廃止措置計画変更認可申請書（令和 元 年 12 月 19 日付け　令 01 原機（再）022）	補　正　後	変更理由
ンプが起動できない場合，又はこれらを起動できたとしても運転を継続できない場合は，水源の確保を開始する。 (b) 重大事故等対処設備への水の供給 エンジン付きポンプ，組立水槽の据付及びホースの布設を実施し，新川等から組立水槽に水を移送する。また，アクセスルートに対する津波の影響を考慮してもエンジン付きポンプ，組立水槽は，人力により運搬，設置が可能である。 b. 軽油を必要とする重大事故等対処設備への給油 軽油を必要とする重大事故等対処設備は，エンジン付きポンプである。必要な軽油は人力により運搬，設置が可能である。 (7) 有効性確認 重大事故対策の成立性を確保できる見込みであることを以下の観点から確認した。 ① 高放射性廃液貯槽の蒸発乾固事象は，緩慢であること。 ② 重大事故として高放射性廃液の蒸発乾固事象が想定される貯槽については，基準地震動，基準津波等の想定事象を考慮しても健全性が維持されること。 ③ 事故対処設備は，エンジン付きポンプ，組立水槽，ホース等で構成され，一般流通品で高放射性廃液を沸騰させないために必要な流量の冷却水を十分に供給できること。 ④ 冷却水は，最終的な手段として自然水利（新川）より取水し供給することとしており，エンジン付きポンプ等の機材は人力での運搬が可能であり，基準地震動，基準津波等の想定事象を考慮しても実施可能であること。 ⑤ 事故対処設備として配備する機材は，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家内に配備することにより，想定される内部事象及び外部事象に対しても健全性を維持することが可能であること。また，想定事故への対処においては，基準地震動及び基準津波に対しても操作が可能であること。 添四別紙 4-2-1「事故選定について」 （省略）	（削る）	

表10-3　再処理技術基準規則を踏まえた主な安全対策に関する工程

項目		令和元年度	令和2年度				令和	令和
		第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	3年度	4年度
安全対策方針等								
HAW,TVF	地震	HAW耐震評価（建家・設備） TVF耐震評価（建家・設備）						
	津波	代表漂流物の選定 HAW建家健全性評価（波力等） TVF建家健全性評価（波力等）	代表漂流物の妥当性評価					
	事故対処関連	HAW・TVF事故対処有効性評価						
	竜巻・火山・森林火災・外部火災	HAW・TVF建家健全性評価						
	その他事象	HAW・TVF安全機能への影響検討						
HAW,TVF以外の施設	津波・地震・その他事象	建家評価・影響評価						
安全対策設計、工事								
HAW,TVF	地震	HAW周辺地盤改良工事：準備／工事 主排気筒の耐震補強工事：設計／準備／工事 第二付属排気筒耐震補強工事：設計／準備／工事 TVF設備耐震補強工事：設計／準備／工事						
	津波	津波漂流物防護柵設置工事：設計／準備／工事 HAW一部外壁補強工事：設計／準備／工事 TVF一部外壁補強工事：設計／準備／工事						
	事故対処関連	HAW事故に係る対策：設計／準備／工事 TVF事故に係る対策：設計／準備／工事 事故対処設備配備場所地盤補強工事：保安林・PP設備対応／設計／準備／工事 TVF制御室の換気対策工事：設計／準備／工事						
	竜巻・火山・森林火災・外部火災	HAW竜巻対策工事：設計／準備／工事 TVF竜巻対策工事：設計／準備／工事 TVF内部火災対策工事：設計／準備／工事 TVF溢水対策工事：設計／準備／工事						
HAW,TVF以外の施設	津波・地震・その他事象				その他施設(約40施設の対策(必要に応じて実施)			

スケジュールについては進捗等に応じて適宜見直すものである。

再処理施設の廃止措置に係る安全対策の進め方について

廃止措置段階にある再処理施設においては，リスクが特定の施設に集中している。高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と，長期間ではないものの分離精製工場（MP）等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については，最優先で安全対策を進める必要がある。

このため，想定される津波及び地震から両施設を守ることが重要であり，廃止措置計画用設計津波（以下「設計津波」という。）及び廃止措置計画用設計地震動（以下「設計地震動」という。）を想定し，両施設の健全性評価を速やかに実施するとともに必要な安全対策を実施することが最優先の課題となる**（優先度Ⅰ）**。

また，両施設に関連する施設として，両施設の重要な安全機能（閉じ込め機能，崩壊熱除去機能）を維持するために必要な電力やユーティリティ（冷却に使用する水や動力源として用いる蒸気）の供給についても上記に準じて優先度が高い。しかしながら，これらを担う既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機，蒸気及び工業用水の供給施設）については，一般施設として建設されたものや，建設当時の設計で耐震重要施設とはなっていない（既認可上でＢ類，Ｃ類）ことから，設計津波や設計地震動から守ることが困難である。このため，事故対処設備（電源車，可搬ポンプ等）を用いて必要な安全機能の維持を図ることとし，それらの有効性の確保に必要な対策（保管場所及びアクセスルートの信頼性確保，人員の確保等）を実施する**（優先度Ⅱ）。**

さらに，津波や地震と比較し施設への影響は小さいと想定されるものの，竜巻，火山などの外部事象に対しても両施設の重要な安全機能を守るために必要な対策を実施する**（優先度Ⅲ）**。

高放射性廃液貯蔵場（HAW），ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及びそれらに関連する施設以外の施設については，津波，地震，その他外部事象等に対してリスクに応じた安全対策を実施することとし，順次，対策を進める**（優先度Ⅳ）**。

再処理施設の廃止措置を進めていく上での地震対策の基本的考え方

一般の再処理施設において安全機能を有する施設は，地震力に十分に耐えることができるものでなければならないとされている。

廃止措置段階にある再処理施設においては，リスクが特定の施設に集中している。高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と，長期間ではないものの分離精製工場（MP）等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については，安全対策を最優先で講じる必要がある。

このため，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については，廃止措置計画用設計地震動（以下「設計地震動」という。）に対して重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）が損なわれることのないよう，令和 20 年頃までの維持期間を想定し，以下の対策を講じる。

- 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家並びに各建家に設置されている重要な安全機能を担う施設は，設計地震動に対して耐震性を確保する。耐震性を確保すべき対象施設については別添 6-1-2-2 に示す。

- 高放射性廃液貯蔵場（HAW）とガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する既設の恒設設備（外部電源及び非常用発電機，蒸気及び工業用水の供給施設）は，設計地震動に耐えるようにすることが困難※1 であることから，代替策としての有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備等※2 が使用できるよう必要な対策を実施する。

設計津波への対策として設ける施設（漂流物防護柵等）についても，設計地震動に対して耐震性を確保するよう設計する。

上記以外の施設については，今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう，それぞれの耐震上のリスクに応じた対策を講じることとする。

※1 高放射性廃液貯蔵場（HAW）とガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティ（冷却に使用する水や動力源として用いる蒸気）を供給する設備は，通常の運転のみならず，安全確保の観点から維持していくことが必要と認識しているものの，当該設備の大規模改修や新規設置等を踏まえると，以下の観点から代替策で対応することが合理的と考えている。

・高放射性廃液貯蔵場（HAW）とガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に電力やユーティリティを供給する恒設設備（下表参照）は一般施設として建設されたものや，建設当時の設計で耐震重要施設とはなっていない（既認可上で B 類，C 類）ことから，当時よりさらに厳しくなった設計地震動に耐えるように耐震改修するには支持地盤の補強といった大規模改修が必要となる。また設計津波の遡上範囲に位置していることから，耐津波対策も考慮すると既存施設の改修・補強は困難である。

・また，これらを新規に建て替えるとした場合には，核燃料サイクル工学研究所敷地内において，津波が遡上しない高さで必要な広さを確保可能な高台（プルトニウム燃料開発センターや地層処分基盤研究施設等が立地している T.P.+27 m 程度の台地：南東地区）に建設することとなるが，その場合，岩盤で直接支持させるために 20 m 以上の地下掘削が必要であるとともに，新たな地下洞道の整備も伴うこととなる。

・上記工事や新規設置の期間は数年にわたることが想定され，ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の令和 20 年頃までの維持期間を踏まえると対策の完了に時間を要することから合理的ではない。

・地震・津波で電力やユーティリティが喪失した場合においても，重要な安全機能（閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能）の維持は，事故対処設備として配備する設備で対応可能である。

機能	関連する恒設施設	地上面の高さ	水密扉等の津波対策	耐震設計
非常用電源（発電機）	第二中間開閉所	約 T.P. +6 m	約 T.P. +10 m 位置までの浸水に対して対策済	B 類
非常用電源（発電機）	ガラス固化技術管理棟	約 T.P. +8 m	約 T.P. +11 m 位置までの浸水に対して対策済	B 類
工業用水の供給	資材庫	約 T.P. +6 m	無し	C 類
蒸気の供給	中央運転管理室	約 T.P. +14 m （重油タンク設置位置）	－ （遡上波は到達しない）	一般施設

※2 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の全交流電源喪失時に備えて高台のプルトニウム転換技術開発施設の管理棟駐車場（T.P. +18 m）及び南東地区（T.P. +27 m）に分散配置している緊急安全対策関連の設備等（恒設の電源を代替する移動式発電機及び移動式発電機から施設へ給電するための緊急用電源接続系統，恒設の給水設備を代替する専用ポンプ車及び補給水貯槽を含む緊急用給水系統，恒設の蒸気供給設備を代替する可搬型ボイラ及び緊急用蒸気接続系統，地震及び津波発生後のアクセスルート確保に必要となる重機，車両等への燃料供給設備等）を事故対処設備として位置づけ，これらを用いて必要な安全機能の維持を図る。また，これらの有効性の確保に必要な対策（主要な保管場所としてのプルトニウム転換技術開発施設の管理棟駐車場の地盤補強，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟へのアクセスルートの整備，訓練及び人員の確保）を行う。

廃止措置計画用設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備
（高放射性廃液貯蔵場（HAW））

高放射性廃液貯蔵場（HAW）では高放射性廃液を取り扱うことから，高放射性廃液の蒸発乾固を防止するための崩壊熱除去機能及び高放射性廃液の閉じ込め機能を担う別紙表 1～2 に示す設備及び系統について，廃止措置計画用設計地震動（以下「設計地震動」という。）に対する耐震性を確保する。なお，これらの設備及び系統には，その機能の維持に必要な電気・計装制御設備を含むものとする。また，設備の荷重を直接受ける直接支持構造物と直接支持構造物が取付く建家（間接支持構造物）についても耐震性確保の対象とする。

1. 高放射性廃液を閉じ込める機能を担う設備

1.1 高放射性廃液を内蔵する設備

高放射性廃液を内蔵する設備の概略系統図を別紙図 1 に示す。再処理施設の運転によって生じた高放射性廃液は分離精製工場（MP）の高放射性廃液貯槽から高放射性廃液貯蔵場（HAW）の中間貯槽（V37，V38）へ移送することができる。中間貯槽（V37，V38）に受け入れた高放射性廃液は分配器（D12，D13）を経由して 6 基の高放射性廃液貯槽（V31～V36，V36 は予備）の任意の貯槽に送液して貯蔵することができる。また，ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟からの高放射性廃液も分配器を経由して中間貯槽（V37，V38）に受け入れて，6 基の高放射性廃液貯槽（V31～V36）の任意の貯槽に送液して貯蔵することができる。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の 6 基の高放射性廃液貯槽（V31～V36）はそれぞれ独立したセルに設置され，貯蔵中の高放射性廃液は分配器を経由して別の高放射性廃液貯槽あるいは中間貯槽へ移送することができる。また，中間貯槽からは分離精製工場（MP）あるいはガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟へ高放射性廃液を払出すことができる。

これらの貯槽（V31～V36，V37，V38），分配器（D12，D13）及び高放射性廃液を移送する配管系統は高放射性廃液を直接扱う（内蔵する）設備であることから，設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備とする。

なお、高放射性廃液貯槽については、別紙 6-1-2-3-3-1「高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の耐震性についての計算書」に示す通り設計地震動に対する耐震性が確保されることは確認しているものの、リスクの高い高放射性廃液を貯蔵しているという観点から、さらなる耐震裕度を確保することとし、添付資料 6-1-2-2-1「高放射性廃液貯蔵場（HAW 施設） 高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の据付ボルトのせん断強度と安全裕度の向上に関する検討」に示した対策を、当面の間、行うこととする。

1.2 高放射性廃液の漏えいに対応するための設備

別紙図 1 に示すように，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の高放射性廃液貯槽，中間貯槽，分配器を設置するセルの床面及び壁面下部にはステンレス鋼製のドリップトレイ（U001～U006，U008，U201，U202）が設置されており，万一，貯槽等から高放射性廃液が漏えいしても，セル（R001～R006，R008，R201，R202）外へ漏出しないように受け止めるとともに，漏えい液回収用のスチームジェット（U001～U006 と U008 に設置）あるいはドレン（U201，U202 に設置）により水封槽（V206，V207）を経由して 2 基の中間貯槽のいずれかに回収することができる。

これらのドリップトレイ，セルは高放射性廃液を内蔵する貯槽等からの漏えい時に高放射性廃液の閉じ込めの機能を担うことから，設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備とする。

また，スチームジェット（J0011，J0013，J0021，J0023，J0031，J0033，J0041，J0043，J0051，J0053，J0061，J0063，J0081，J0083），水封槽（V206，V207）及び漏えいした高放射性廃液を移送する配管系統並びに漏えい検知装置（LA+001，LA+002，LA+003，LA+004，LA+005，LA+006，LA+008，FA+201，FA+202）は高放射性廃液の閉じ込め機能に対する多重防護となるものであることから，設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備とする。

1.3 放射性物質の放出経路の維持のための設備

放射性物質の放出経路の維持を行う設備の概略系統図を別紙図 2 に示す。高放射性廃液を内蔵する高放射性廃液貯槽，中間貯槽及び水封槽等のオフガスは洗浄塔（T44）で洗浄した後，除湿器（H46）でオフガス中の湿分を除去する。続いて 2 段のフィルタ（F4611，F4621，F4613，F4623（常用 2 基，予備 2 基））にてオフガス中の放射性物質をろ過し，よう素フィルタ（F465，F466（常用 1 基，予備 1 基））でよう素を除去する。その後，冷却器（H49）で冷却した後，排風機（K463，K464）で排気してセル換気系と合流し，セル換気系のフィルタユニット（F033～F040（常用 7 基，予備 1 基））を経由した後，セル換気系排風機（K103，K104）で排気して主排気筒から大気中へ放出する。

これらの槽類換気系統を構成する洗浄塔（T44），冷却器（H49），除湿器（H46），フィルタ（F4611，F4621，F4613，F4623），よう素フィルタ（F465，F466），電気加熱器（H481，H482），排風機（K463，K464）及びそれらの配管系統並びにセル換気系統を構成するセル換気フィルタユニット（F033～F040），セル換気系排風機（K103，K104）及びそれらの主要な流れを構成する配管系統は放射性物質の放出経路を維持する機能を担うことから，設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備とする。

2. 高放射性廃液の崩壊熱除去を行う設備

2.1 一次系冷却水系統

高放射性廃液貯槽及び中間貯槽に冷却水を供給する設備の概略系統を別紙図 3～9 に示す。6 基の高放射性廃液貯槽にはそれぞれに独立した 2 系統の一次系冷却水系統

が設けられており，熱交換器を通して二次系冷却水系統に高放射性廃液から除去した崩壊熱を伝達する。一次系冷却水系統の単一の系統には熱交換器，一次系冷却水の送水ポンプ，高放射性廃液貯槽から戻った冷却水中に高放射性廃液が漏えいしていないことを確認するためのガンマポット，系統の脈動抑制のためのサージポットが設けられている。これらは，系統に直接接続された高放射性廃液貯槽の冷却コイル及び冷却ジャケットに冷却水を供給するとともに，共通の 3 系統からなる一次系冷却水ヘッダ（循環系統）を通じて，中間貯槽，試料取出しポット（V391，V392）及び槽類換気系の冷却器へ冷却水を供給することができる。また，一次系冷却水ヘッダとは別に一次系冷却水予備ヘッダ（循環系統）が 2 系統備えられており，一次系冷却水系統の送水ポンプが使用できない場合には，予備循環ポンプ（P3061，P3062）により任意の高放射性廃液貯槽の一次系冷却水系統へ冷却水を供給できる。

これら一次系冷却水系統の各熱交換器（H314，H315，H324，H325，H334，H335，H344，H345，H354，H355，H364，H365），ガンマポット（V3191，V3192，V3291，V3292，V3391，V3392，V3491，V3492，V3591，V3592，V3691，V3692），サージポット（V3181，V3182，V3281，V3282，V3381，V3382，V3481，V3482，V3581，V3582，V3681，V3682），一次系冷却水の送水ポンプ（P3161，P3162，P3261，P3262，P3361，P3362，P3461，P3462，P3561，P3562，P3661，P3662），予備循環ポンプ（P3061，P3062）及びそれらの主要な流れを構成する配管系統は高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備であることから，設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備とする。

2.2 二次系冷却水系統

一次系冷却水系統の崩壊熱を最終ヒートシンクである冷却塔から大気へ放熱するために設けられている二次系冷却水系統の概略系統を別紙図 10 に示す。

二次系冷却水系統は独立した 3 系統のヘッダ（循環系統）で構成されている。高放射性廃液貯槽に個別に設けられた二系統の一次系冷却水系統は，3 系統のうちの任意の二次冷却水系のヘッダと接続することができる。二次系冷却水系統には 4 基の送水ポンプが設けられており，それぞれが 3 つのヘッダと任意に組み合わせて接続することができる。一次系冷却水系統を冷却した戻りの二次系冷却水は 3 基の冷却塔によって大気へ熱を放熱する。冷却塔では浄水ポンプにより供給される工業用水の散水により放熱の効率を高めている。

これら二次系冷却水系統のポンプ（P8160，P8161，P8162，P8163），冷却塔（H81，H82，H83），浄水ポンプ（P761，P762），浄水受槽（V76）及びそれらの主要な流れを構成する配管系統は高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備であることから，設計地震動に対して耐震性を確保すべき設備とする。

3.その他設備

3.1 津波及び漂流物に対する防護を担う設備

廃止措置計画用設計津波に対して，高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家内部が浸水しないように設けられる防護設備（漂流物防護柵等）についても，設計地震動に対して耐

震性を確保する。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）において津波に対する防護を担う設備は，建家外壁及び浸水想定高さに設けられた浸水防止扉が該当する。また，今後，津波に対する基本的考え方に基づいて新たに設計・整備するものを含めて具体化する。

3.2 事故対処設備

設計地震動，設計津波等によって外部電源やユーティリティの供給が喪失した場合においても，高放射性廃液貯蔵場（HAW）に貯蔵されている高放射性廃液の蒸発乾固を防止し，その影響を緩和するために設けられる常設の事故対処設備についても，設計地震動に対して耐震性を確保する。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）における事故対処設備としては，高放射性廃液の沸騰及び蒸発乾固等の緊急時において貯槽等の内圧が上昇した際に廃気系統が内圧により損傷しないように，主排気筒へ緊急放出する系統（別紙図 2）が該当する。また，一次系冷却水系統及び二次系冷却水系統に外部からポンプ車や可搬型エンジン付きポンプを用いて冷却水を供給するために設けられる接続ノズル，電源車を接続するための緊急用受電盤等が該当する。これらの事故対処設備は，緊急安全対策関連の設備等を事故対処設備として位置づけ，これらを用いて必要な安全機能を維持する方針であり，今後，それらの有効性の確保に必要な対策を行う際に具体化していく。

別紙表１　設計地震動に対して耐震性を確保する設備及び系統（高放射性廃液貯蔵場（HAW））[1/2]

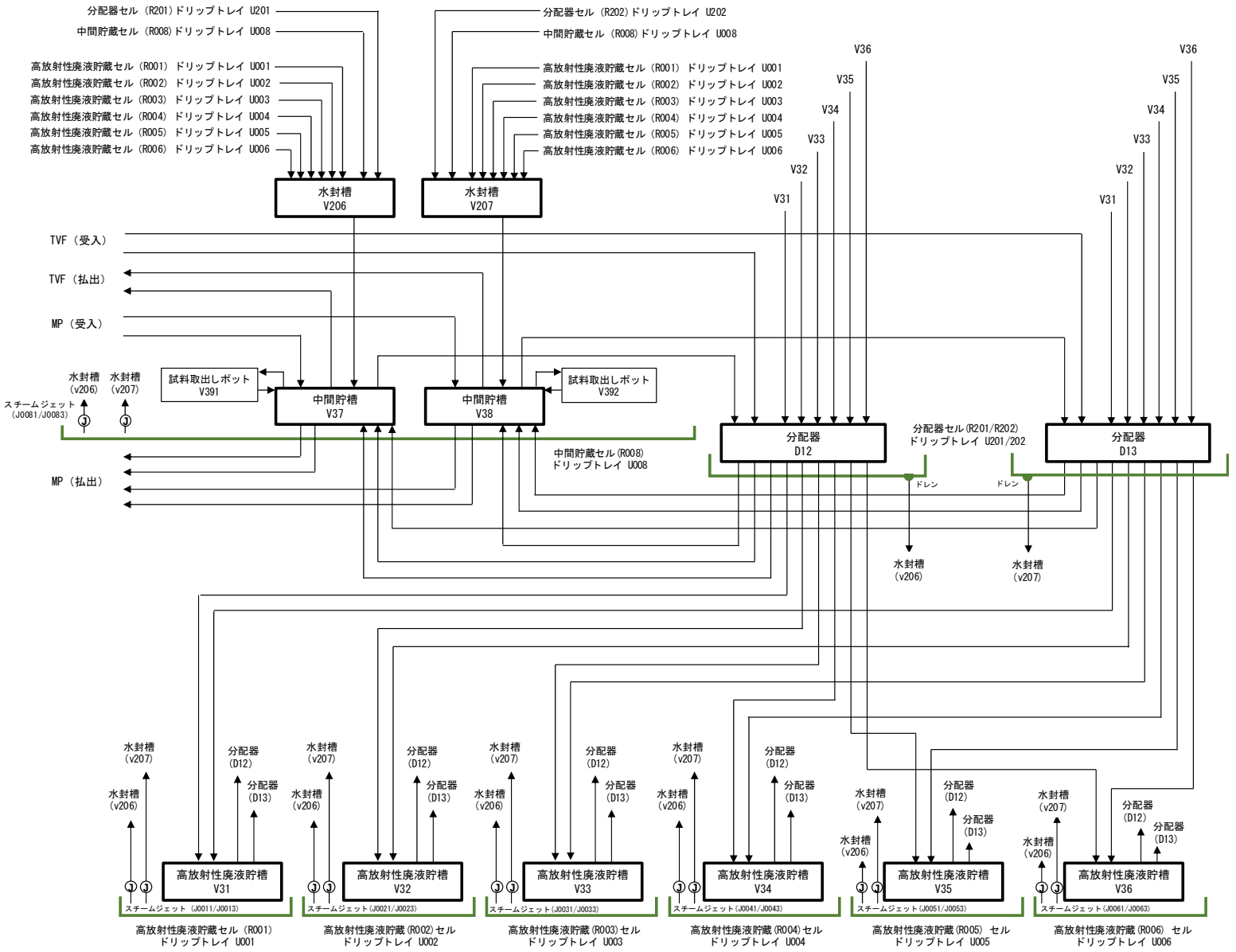
設備・系統		電気・計装制御等		支持構造物
高放射性廃液を閉じ込める機能				
高放射性廃液を内蔵する系統及び機器				
高放射性廃液貯槽	V31，V32，V33，V34，V35，V36	スチームジェット	J0011，J0013，J0021，J0023，J0031，J0033，J0041，	機器等の支持構造物
中間貯槽	V37，V38		J0043，J0051，J0053，J0061，J0063，J0081，J0083	高放射性廃液貯蔵場建家
分配器	D12，D13	漏えい検知装置	LA+001，LA+002，LA+003，LA+004，LA+005，LA+006，	
水封槽	V206，V207		LA+007，LA+008，FA+201，FA+202	
ドリップトレイ	U001，U002，U003，U004，U005，U006，	トランスミッターラック	LA+001～LA+008 圧力スイッチ	
	U008，U201，U202		FA+201，FA+202 圧力スイッチ	
高放射性廃液を内蔵する系統及び機器を設置するセル				
高放射性廃液貯蔵セル	R001，R002，R003，R004，R005，R006	主制御盤	主制御盤 No.1，No.2，No.3（漏えい検知装置）	
中間貯蔵セル	R008		主制御盤 No.5（換気設備）	
分配器セル	R201，R202	高圧受電盤（第６変電所）	DX	
槽類換気系統及び機器		低圧配電盤（第６変電所）	DY	
洗浄塔	T44	動力分電盤（第６変電所）	HM-1，HM-2	
除湿器	H46			
電気加熱器	H471，H472，H481，H482			
フィルタ	F4611，F4621，F4613，F4623			
よう素フィルタ	F465，F466			
冷却器	H49			
排風機	K463，K464			
セル換気系統及び機器				
セル換気系フィルタユニット	F033，F034，F035，F036，F037，F038，			
	F039，F040			
セル換気系排風機	K103，K104			

別紙表 2　設計地震動に対して耐震性を確保する設備及び系統（高放射性廃液貯蔵場（HAW））[2/2]

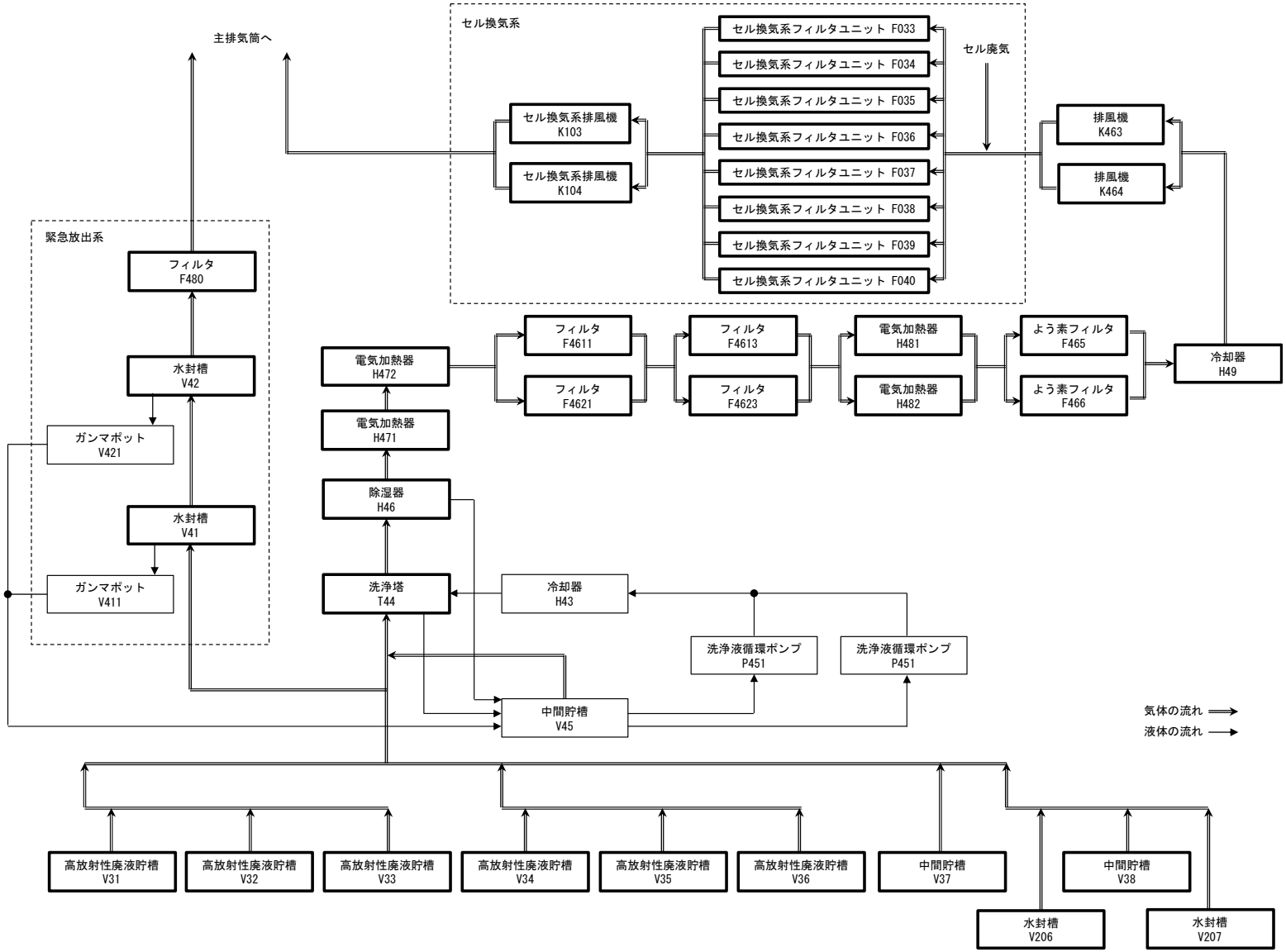
設備・系統		電気・計装制御等		支持構造物
崩壊熱除去機能				
一次系冷却水系統及び機器				機器等の支持構造物
熱交換器	H314，H315，H324，H325，H334，H335，H344，H345，H354，H355，H364，H365	主制御盤	主制御盤 No.4	高放射性廃液貯蔵場建家
		高圧受電盤（第 6 変電所）	DX	
一次系の送水ポンプ	P3161，P3162，P3261，P3262，P3361，P3362，P3461，P3462，P3561，P3562，P3661，P3662	低圧配電盤（第 6 変電所）	DY	
		動力分電盤（第 6 変電所）	HM-1，HM-2	
一次系の予備循環ポンプ	P3061，P3062			
ガンマポット	V3191，V3192，V3291，V3292，V3391，V3392，V3491，V3492，V3591，V3592，V3691，V3692			
二次系冷却水系統及び機器				
二次系の送水ポンプ	P8160，P8161，P8162，P8163			
冷却塔	H81，H82，H83			
浄水ポンプ	P761，P762			
浄水槽	V76			
津波に対する防護を担う設備※1				
漂流物防護柵				機器等の支持構造物
浸水防止扉	HAW-1，HAW-2，HAW-3，HAW-4，HAW-5			高放射性廃液貯蔵場建家
事故対処設備※1				
緊急放出系統				機器等の支持構造物
水封槽	V41，V42			高放射性廃液貯蔵場建家
緊急放出系フィルタユニット	F480			

※1　津波に対する防護を担う設備，事故対処設備については，今後の当該設備の具体化に応じて詳細化する。

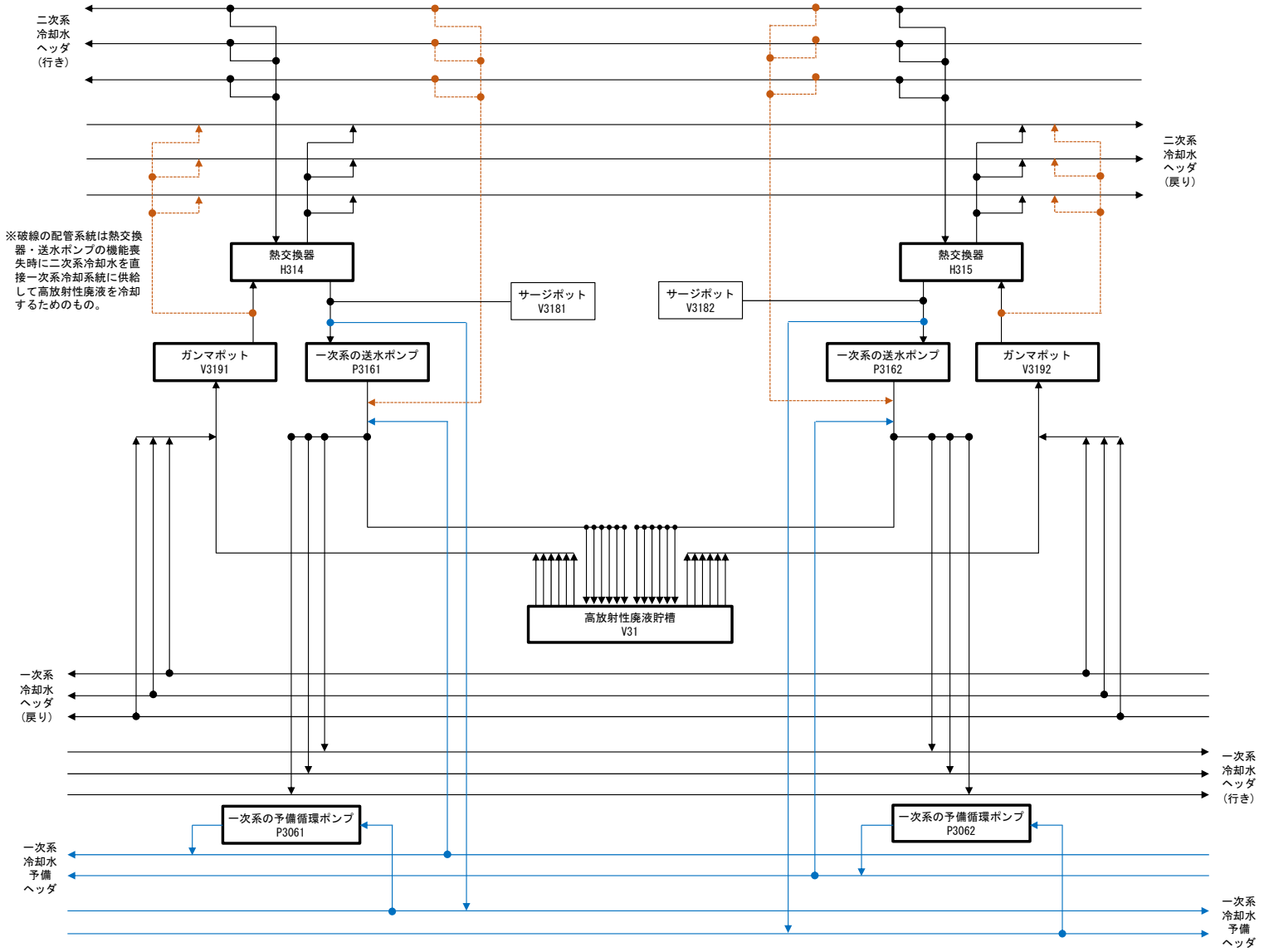
別紙図１　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の閉じ込めを担う設備の概略系統図（高放射性廃液を内蔵する設備）



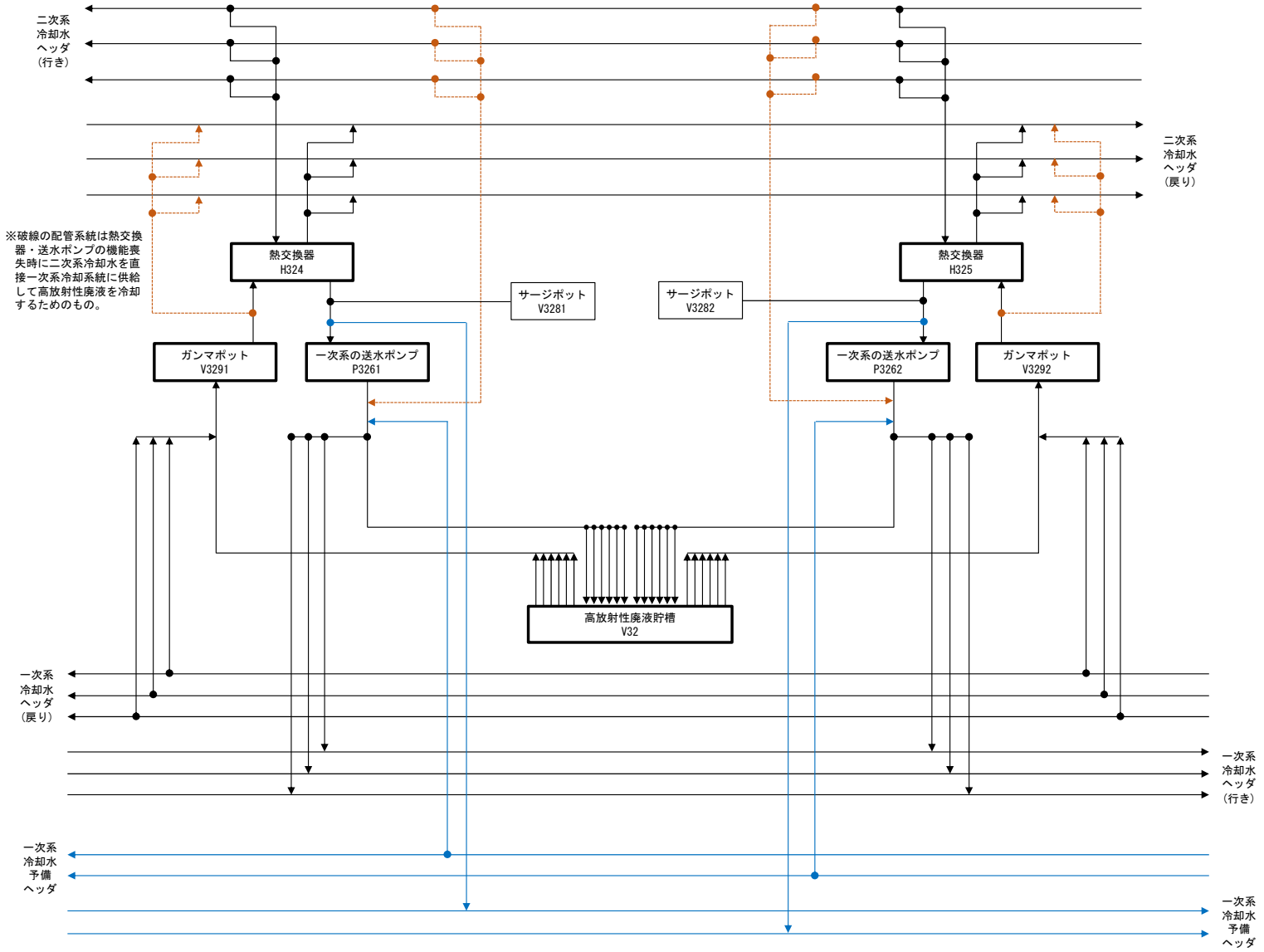
別紙図２　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の閉じ込めを担う設備の概略系統図（放射性物質の放出経路の維持のための設備）



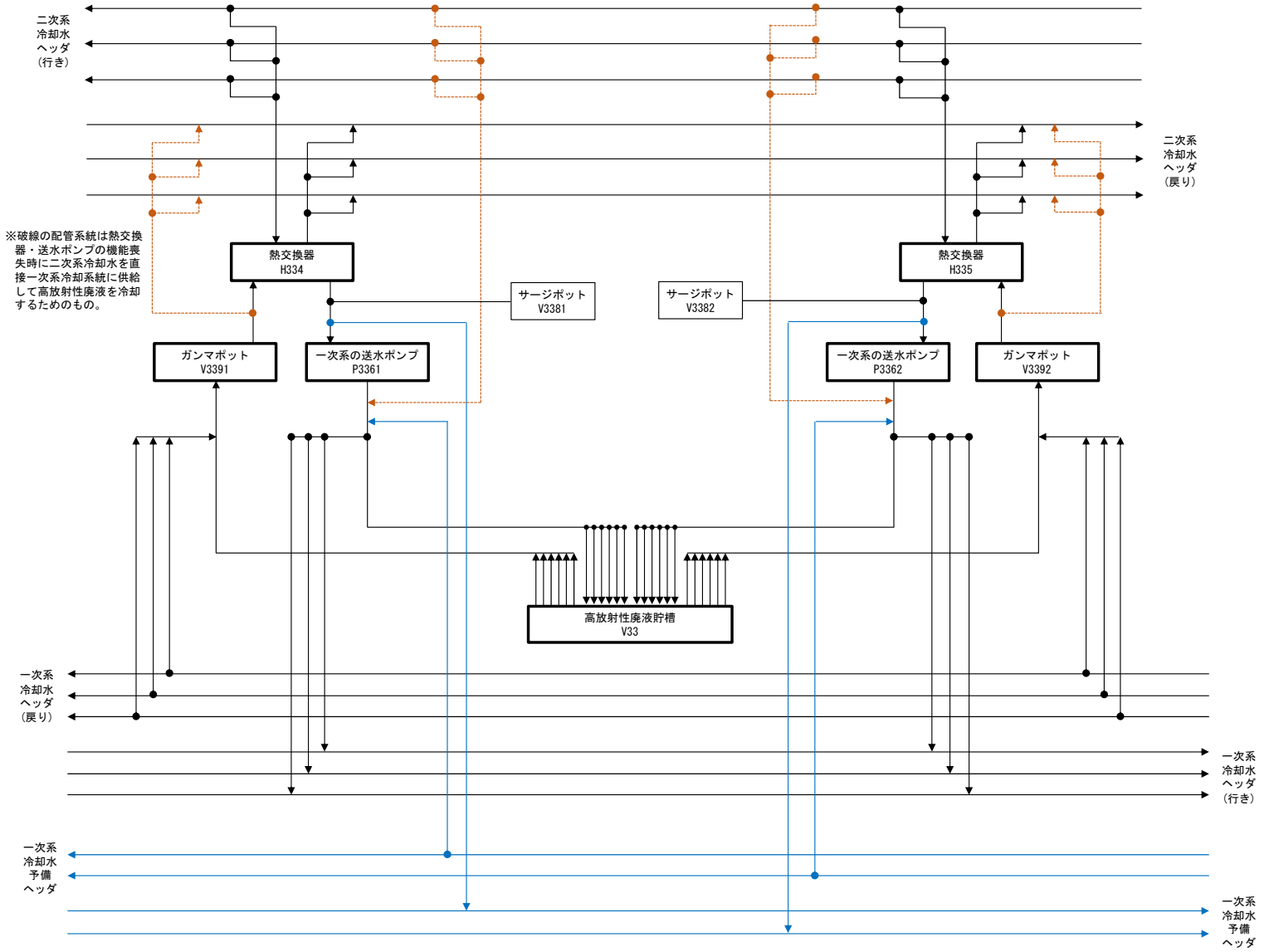
別紙図３　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（一次系冷却水系統）



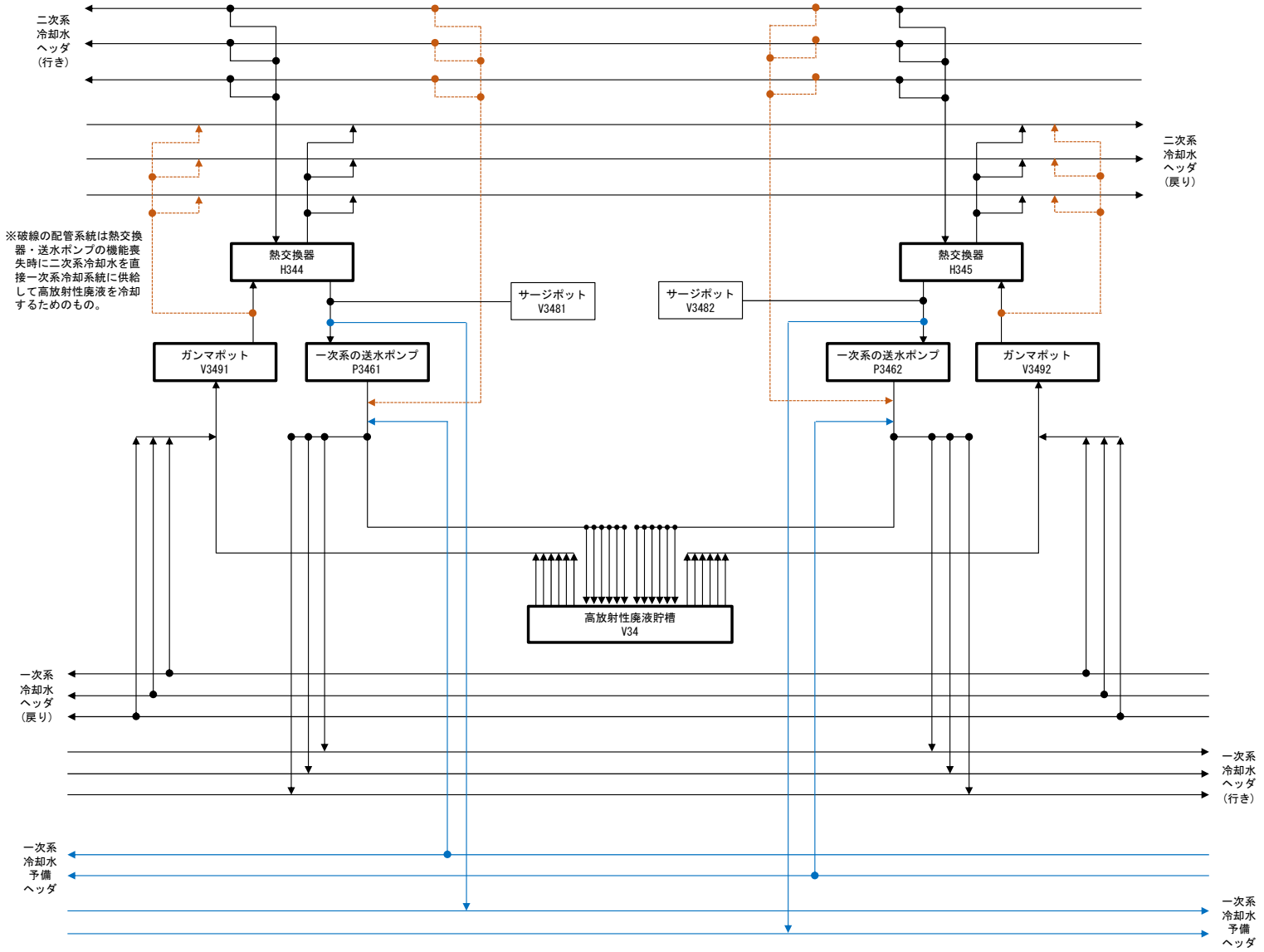
別紙図４　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（一次系冷却水系統）



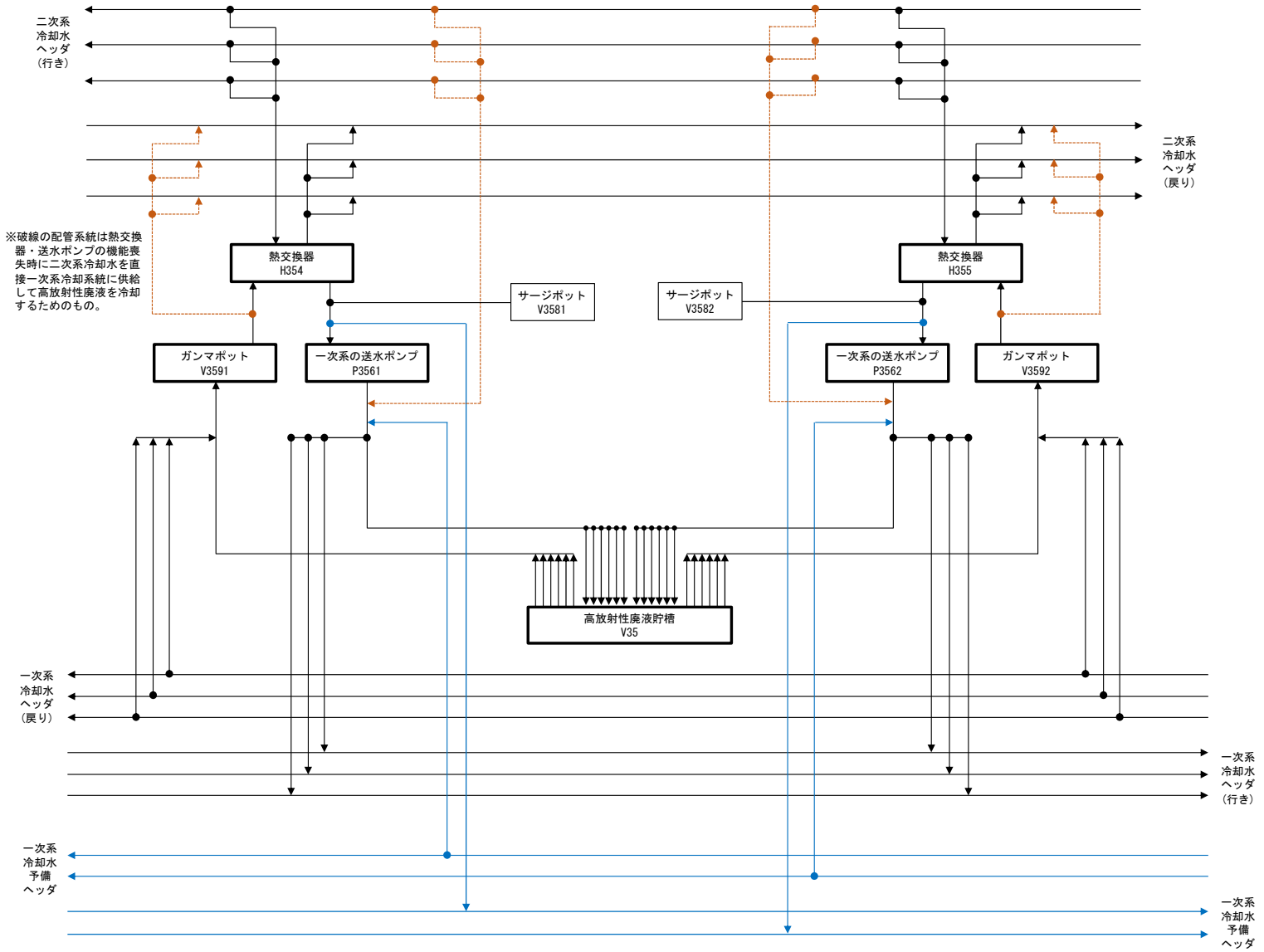
別紙図５　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（一次系冷却水系統）



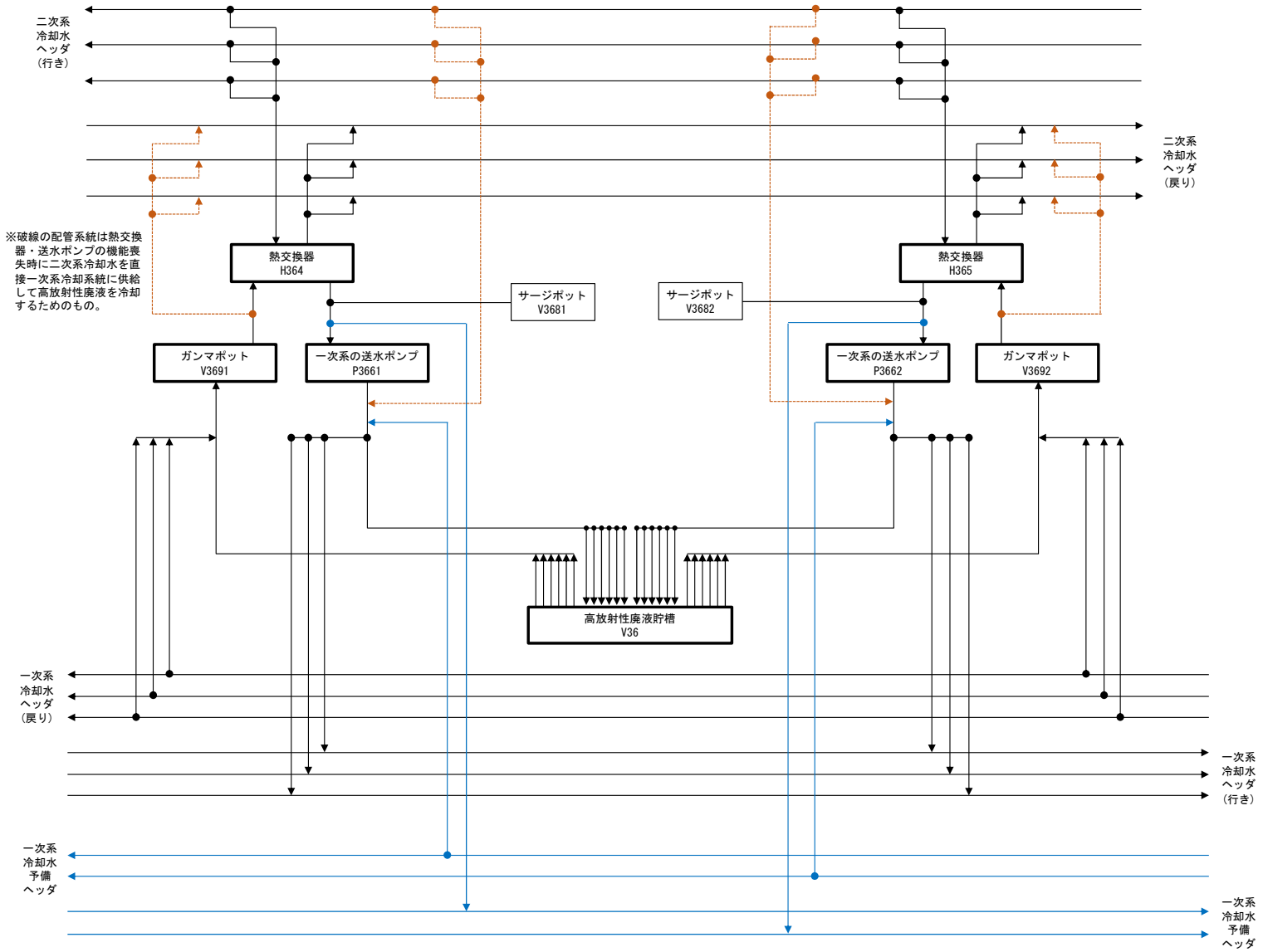
別紙図６　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（一次系冷却水系統）



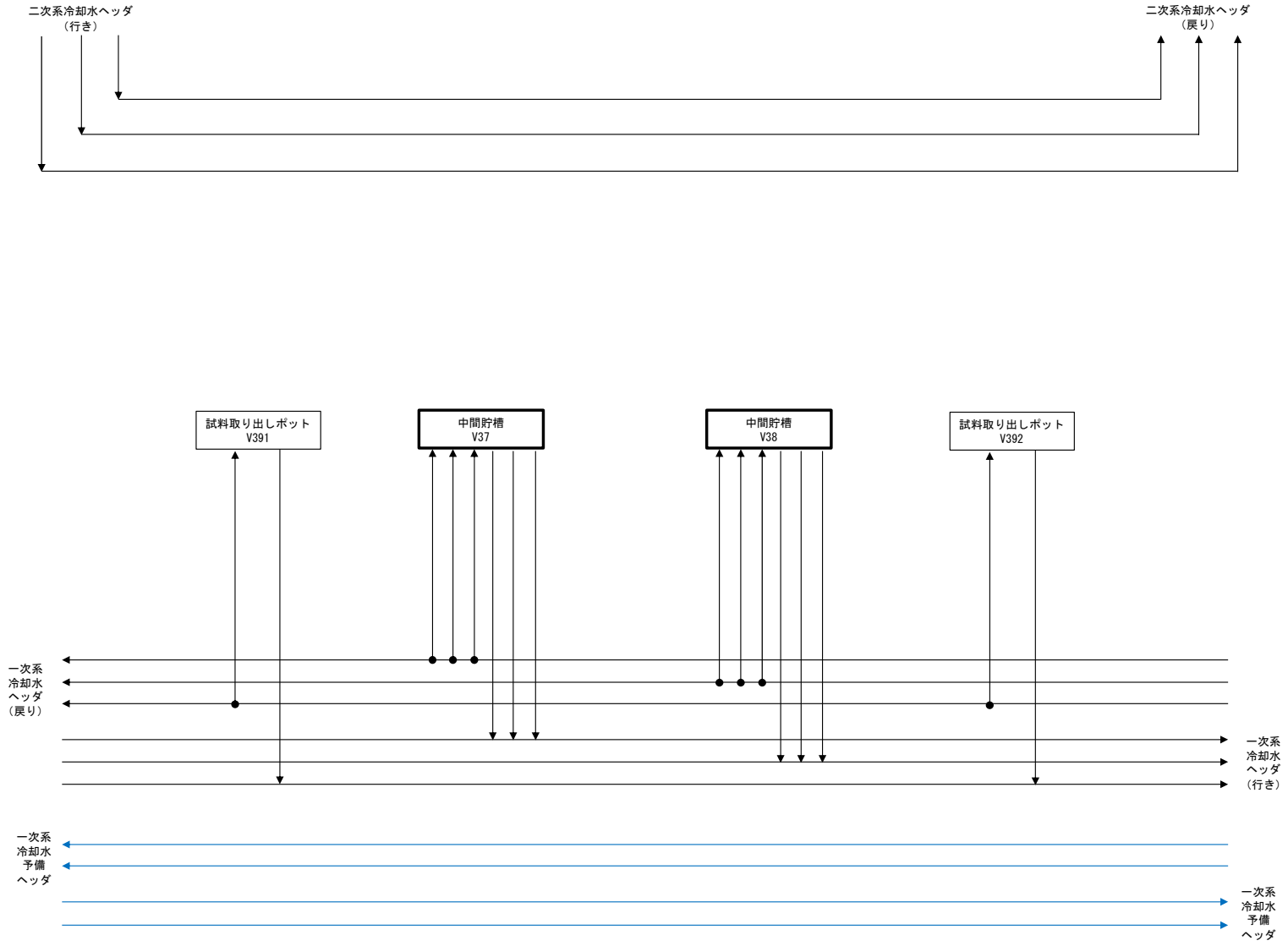
別紙図７　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（一次系冷却水系統）



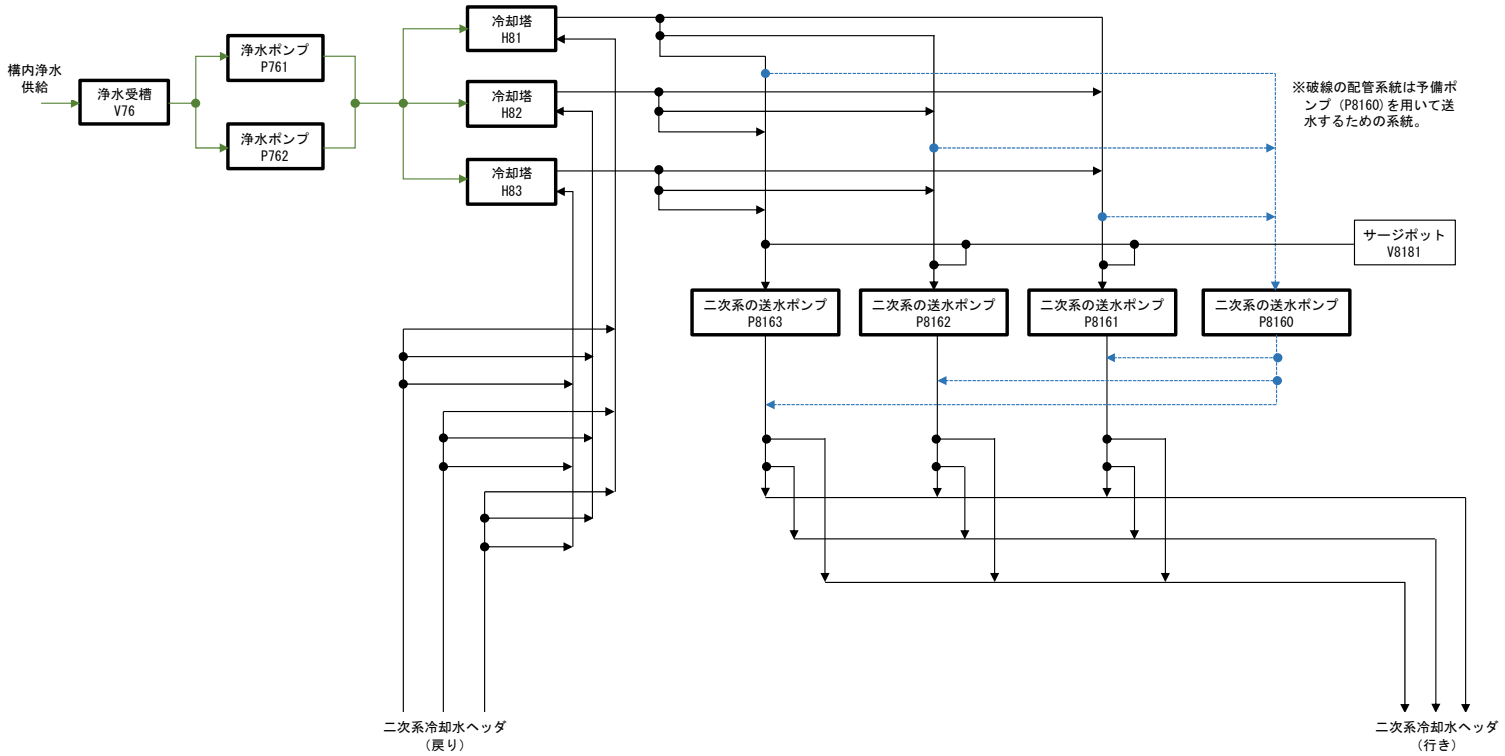
別紙図８　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（一次系冷却水系統）



別紙図９　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（一次系冷却水系統）



別紙図 10　高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液の崩壊熱除去機能を担う設備の概略系統図（二次系冷却水系統）



高放射性廃液貯蔵場（HAW）　高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の据付ボルトのせん断強度と安全裕度の向上に関する検討

高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の据付ボルトについて，廃止措置計画用設計地震動が作用した際のせん断荷重の評価結果（最大 281 kN/本（ボルト有効断面積に対するせん断応力は 191 MPa)，80 ℃条件）は，実機を模擬して実施した荷重試験の結果から算定された許容荷重（供用状態 Ds：420 kN/本，80 ℃条件）を満足する結果が得られている（表 1)。しかしながら荷重試験に基づく許容荷重は実機の実力値に近く，その裕度は大きくない。そこで，リスクの大きい高放射性廃液を取り扱うという観点から，さらなる耐震裕度を確保する方策として，高放射性廃液貯槽の液量を制限した場合に地震時に据付ボルトに作用する荷重がどの程度低減可能か評価を行った(図 1)。この評価結果より液量 100 m^3 以下において地震時の据付ボルトのせん断荷重は，材料規格の材料強度に基づき算定される保守的な許容荷重（支持構造物においては供用状態 Ds の許容応力は実降伏点以下）を満足する。なお，現状の貯蔵液量は 340 m^3／5 貯槽（その他予備 1 基)，最大 79.7 m^3 であり，上記の 100 m^3 を下回る状態である。

以上より，高放射性廃液を取り扱うという観点を重要視し，貯蔵液量管理（保守的に 90 m^3 程度に設定）による耐震裕度向上に向けた運用を当面の間行うことについて検討を進める。

表１　廃止措置計画用設計地震動に対する高放射性廃液貯槽据付ボルトの発生荷重と各許容荷重

設計地震動において据付ボルトに加わる最大せん断荷重（満水 120 ㎥ 時）	荷重試験に基づく許容せん断荷重（供用状態 Ds）	材料規格値に基づく許容せん断荷重（供用状態 Ds）
281 kN/本	420 kN/本	208 kN/本

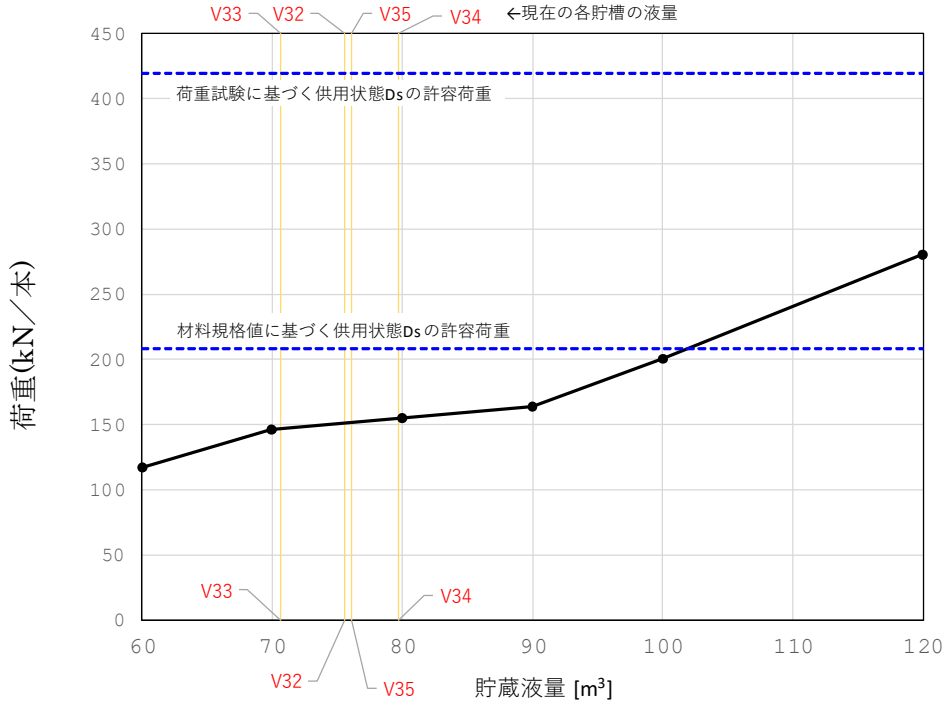


図１　高放射性廃液貯槽の貯蔵液量と地震時の据付ボルトに発生するせん断荷重の関係

高放射性廃液貯槽の貯蔵液量制限による耐震裕度確保について

1. ボルトの許容応力

1.1 規準

日本機械学会「発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）」（以下「材料規格」という。）[1]に基づいて支持構造物のボルトの許容応力を定める方法については,「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版） JSME S NC1-2012」（以下「設計・建設規格」という。）[2]の SSB-3130 に規定されている。以下に当該規格部分を抜粋する。

SSB-3000　クラス 1 支持構造物の設計

SSB-3110　許容応力

ボルト材以外の材料の応力は SSB-3120、ボルト材の応力は SSB-3130 のそれぞれの規定に定める許容応力に適合するものでなければならない。

SSB-3120　ボルト材以外の許容応力

ボルト材以外の許容応力は、SSB-3121 及び SSB-3122 の規定によるものである。

SSB-3121　一次応力に対する許容応力

一次応力については、以下の許容応力の規定によらなければならない。

SSB-3121.1　供用状態 A および B での許容応力

供用状態 A および供用状態 B において生じる一次応力は、(1)から(5)の値を超えず、かつ(6)を満足すること。

(1) 引張応力

一次引張応力については、次の計算式により計算した値

$$f_t = \frac{F}{1.5} \qquad \text{(SSB-1.1)}$$

f_t：許容引張応力（MPa）

F：次の a.または b.に定める値

a. 溶接部であって溶接規格 N-1100 の規定に準じてそれぞれ放射線透過試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験または浸透探傷試験を行った場合に合格する部分、または溶接部以外の部分については次の値

(a) 使用温度が 40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金については、次のうちいずれか小さい方の値

- $1.35S_y$
- $0.7S_u$
- $S_y(RT)$

S_y：材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に規定する材料の設計降伏点（MPa）

S_u：材料規格 Part3 第 1 章 表 7 に規定する材料の設計引張強さ（MPa）

$S_y(RT)$：材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に規定する材料の 40℃における設計降伏点（MPa）

(b) 上記の(a)以外のものについては、次のうち小さい方の値

・S_y

・$0.7S_u$

S_y, S_u：(a)に定めるところによる。

～（省略）～

(2) せん断応力

一次せん断応力については、次の計算式により計算した値

$$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \qquad \text{(SSB-1.2)}$$

f_s：許容せん断応力（MPa）

F：(1)に定めるところによる。

～（省略）～

SSB-3130　ボルト材の許容応力

供用状態 A および供用状態 B においてボルトネジ部の有効断面積に基づき算定される応力は、次の値を超えないこと。なお、ネジ部の有効断面積の代わりに軸部断面積の 75%を用いても良い。また、せん断面が必ず軸断面となることが明らかな場合は、せん断応力算定に用いる断面積として軸部断面積を用いても良い。

(1) 引張応力

引張応力については、次の計算式により計算した値

$$f_t = \frac{F}{1.5} \qquad \text{(SSB-1.25)}$$

f_t：許容引張応力（MPa）

F：SSB-3121.1(1)に定めるところによる。

(2) せん断応力

せん断応力については、次の計算式により計算した値

$$f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \qquad \text{(SSB-1.26)}$$

f_s：許容せん断応力（MPa）

F：SSB-3121.1(1)に定めるところによる。

(3) せん断応力と引張応力の組合せ応力

せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力は、次のいずれか小さい方の値。

a. $f_{ts} = 1.4f_{to} - 1.6\tau$

b. $f_{ts} = f_{to}$

f_{ts}：せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（MPa）

f_{to}：SSB-3131(1)に規定するボルトの許容引張応力（MPa）

τ：ボルトに作用するせん断応力（MPa）

SSB-3132　供用状態 C での許容応力

供用状態 C においてボルトネジ部の有効断面積に基づき算定される応力は、SSB-3131(1)および(2)に定める許容応力f_s、f_tの 1.5 倍の値を超えないこと。また、SSB-3131(3)に定めるf_{ts}の式において、f_{to}を 1.5 倍として求めた値を超えないこと。なお、ネジ部の有効断面積の代わりに軸部断面積の 75%を用いてもよい。また、せん断面が必ず軸断面となることが明らかな場合は、せん断応力算定に用いる断面積として軸部断面積を用いても良い。

SSB-3133　供用状態 D での許容応力

供用状態 D においてボルトネジ部の有効断面積に基づき算定される応力は、SSB-3131(1)および(2)に定める許容応力f_s、f_tの 1.5 倍の値を超えないこと。また、SSB-3131(3)に定めるf_{ts}の式において、f_{to}を 1.5 倍として求めた値を超えないこと。この場合において、SSB-3121.1(1)a.本文中S_yおよび$S_y(RT)$は、$1.2S_y$　および$1.2S_y(RT)$と読み替えるものとする。

なお、ネジ部の有効断面積の代わりに軸部断面積の 75%を用いてもよい。また、せん断面が必ず軸断面となることが明らかな場合は、せん断応力算定に用いる断面積として軸部断面積を用いても良い。

以上をまとめると表 1-1 の通りとなる。

表 1-1　支持構造物のボルト（オーステナイト系ステンレス鋼）の許容応力

供用状態	許容引張応力	許容せん断応力
A 及び B	$f_t = \dfrac{F}{1.5}$ $F = min\left\{1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)\right\}$	$f_s = \dfrac{F}{1.5\sqrt{3}}$ $F = min\left\{1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)\right\}$
C (Cs※)	$f_t^* = 1.5f_t = F$ $F = min\left\{1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)\right\}$	$f_s^* = 1.5f_s = \dfrac{F}{\sqrt{3}}$ $F = min\left\{1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)\right\}$
D (Ds※)	$f_t^* = 1.5f_t = F$ $F = min\left\{1.35S_y, 0.7S_u, 1.2S_y(RT)\right\}$	$f_s^* = 1.5f_s = \dfrac{F}{\sqrt{3}}$ $F = min\left\{1.35S_y, 0.7S_u, 1.2S_y(RT)\right\}$

※ 弾性設計用地震動（Sd）及び基準地震動（Ss）の組合せを考慮する供用状態はそれぞれ Cs、Ds（運転状態ではそれぞれⅢ$_A$S、Ⅳ$_A$S）と表されるが、許容応力については同等であると定められている[5] [6]ので本資料においては設計・建設規格の内容を引用している場合には C、D を、設計・建設規格に基づいて算定された許容応力・許容荷重を廃止措置計画用設計地震動時の評価に用いる場合には Cs、Ds と表記する。

1.2 短期と長期の許容応力の考え方（一次応力）

設計・建設規格において支持構造物の許容応力については，日本建築学会「鋼構造設計基準 －許容応力度設計法－ 2005 年版」（以下「鋼構造設計規準」という。）[3]の考え方を基本としている。すなわち，供用状態 A（運転状態Ⅰ）及び B（運転状態Ⅱ）は通常時の状態であるから鋼構造設計規準の長期許容応力，供用状態 C（運転状態Ⅲ）及び D（運転状態Ⅳ）は発生が稀である異常時の状態であるから鋼構造設計規準の短期許容応力とみなし，短期許容応力は長期許容応力の

1.5倍としている[1]。1.1節に記載したとおり，供用状態A及びBの許容応力はF値の1/1.5（= 2/3）であることから，その1.5倍である供用状態C及びDのF値は実質的に降伏点に等しい。

1.3 オーステナイト系ステンレス鋼の強度特性に基づく許容応力の考え方

「鋼構造設計規準」は炭素鋼材料を中心とした規準であることから，「設計・建設規格」で対象とするオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金に対しては，材料の強度特性に基づき割り増しが行われる。設計降伏点Syは炭素鋼やフェライト系ステンレス鋼の引張試験における降伏点に基づき定められるものであるが，オーステナイト系ステンレス鋼は引張試験において明確な降伏点を示さない材料であるため，0.2 %永久ひずみ耐力点をもって設計降伏点と見なしている。しかしながら，オーステナイト系ステンレス鋼はひずみ硬化性をもち，設計降伏点を超えても強度が期待できることから，許容応力を定める際にはこの特性を考慮して割り増しを行う。

SSB-3121.1(1)において，F値を定める項目の一つである使用温度が40 ℃を超える場合のSy値（SSB-3121.1(1)のa.(a)）に対して1.35倍の割り増しを行うのはこのためである。割増率1.35は，ASME SecⅢ での設計応力強さSmの以下の考え方に基づいている[1] [4]。

炭素鋼に対して： 2/3 Sy

オーステナイト系ステンレス鋼に対して：0.9 Sy

（オーステナイト系ステンレス鋼のSm）／（炭素鋼のSm） ＝ 0.9／(2/3) = 1.35

さらに，供用状態DではF値を定める際の一項目として考慮する室温のSy値に対しても1.2倍の割り増しを行うが（SSB-3133），これは，供用状態Dでは事故時の衝撃荷重が主でひずみ速度が大であること及び通常材料の実降伏点は設計値に対して余裕があることを考慮したものである（ASME SecⅢ Appendix F）[1] [4]。なお，使用温度が40 ℃を超える材料には本割増しを適用しない。

F値を定める際の一項目のSu値ベースの考え方（SSB-3121.1(1)のa.(a)）である 0.7Su については炭素鋼・オーステナイト系ステンレス鋼とも違いはない。この条件は，ひずみ硬化性の低い材料（Sy値とSu値が近接している材料）に対して引張強さに30 %の余裕を確保するという考え方（「鋼構造設計規準」と同じ）に基づくもので，クラス1容器の供用状態C及びDと同じである[4]。オーステナイト系ステンレス鋼ではSy値とSu値は十分離れているので，F値を算定する際に選択される許容応力はSy値ベースのものとなる。

以上より「設計・建設規格」の支持構造物のボルト（オーステナイト系ステンレス鋼）の許容応力は供用状態A～Dのいずれに対しても弾性範囲を意味するSyベースのものとなるので，これらに適合することは対象とするボルトに作用する

応力が実降伏点以下（弾性範囲）にとどまることを意味する。

1.4 高放射性廃液貯槽の据付ボルトの許容応力

高放射性廃液貯槽の据付ボルト(材質SUS316,呼び径M48,有効断面積1470 mm^2)の許容応力を「設計・建設規格」に基づき計算する。材料の設計降伏点 Sy，設計引張強さ Su は「材料規格」に基づき，使用温度を 60 ℃，80 ℃の場合について計算した（表 1-2)。

表 1-2 SUS316 材の材料特性

材料の規格			常温最小引張強さ (MPa)	常温最小降伏点 (MPa)	温度（℃）			
					-30～40	65	75	100
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒	SUS316	設計降伏点Sy値※1 (MPa)	520	205	205	189	－	176
		設計引張強さSu値※2 (MPa)	520	205	520	－	489	476

※1 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表6
※2 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7

材料の規格			温度（℃）	
			60	80
JIS G 4303(2005) ステンレス鋼棒	SUS316	設計降伏点Sy値※3 (MPa)	192	183
		設計引張強さSu値※4 (MPa)	502	486

※1 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表6 の近傍温度における値を元に線形補間によって求めた値。
※2 材料規格 JSME S NJ1-2012 Part3 第1章 表7 の近傍温度における値を元に線形補間によって求めた値。

「設計・建設規格」の SSB-3130 に基づき算定した供用状態 Ds の据付ボルトの許容応力を表 1-3 に示す。また，表には M48 ボルトの有効断面積に基づく 1 本当たりの許容せん断荷重についても示す。

表 1-3　材料規格に基づく据付ボルトの許容応力と許容せん断荷重

① 設計降伏点Sy値ベース			供用状態 Ds（運転状態 IV_AS）			M48ボルトの有効断面積 (mm^2)※	M48ボルトの許容せん断荷重 (kN/本)
温度 (℃)	Sy	1.35 Sy	F値 (MPa)	許容引張応力 ft* (MPa)	許容せん断応力 fs* (MPa)		
80	183	247	min{①, ②, ③}	1.5×F/1.5	1.5×F/(1.5√3)		
② 設計引張強さSuベース							
温度 (℃)	Su	0.7 Su					
80	486	340				1470	208
③ 室温の設計降伏点Syベース			246	246	142		
温度 (℃)	Sy	1.2 Sy(RT)					
40	205	246					

※ JIS B 0205(メートル並目ねじ)に基づく。

2. ボルトの許容荷重

2.1 規準

「設計・建設規格」ではSSB-3200の規定により，荷重試験（形式試験）を行うことにより SSB-3100 の規定に変えることができるとある。以下に当該規定部分を抜粋する。

SSB-3210　許容荷重

材料の許容荷重に関する次の SSB-3220 から SSB-3240 を満足する場合は、SSB-3100 の材料の許容応力の規定に代えることが出来る。SSB-3210 から SSB-3240 において、計算に用いる材料の設計降伏点は，当該支持構造物に使用する材料のうち最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値と試験温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値との比が最小となる材料の値としなければならない。

荷重試験における供試体の個数は、同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに 3 個とし、供試体によって得られた値のうち最小の値を用いて許容荷重を計算する。ただし、計算で求めた許容荷重の 0.9 倍の値を許容荷重とする場合は、同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに 1 個の供試体により得られた値を用いることができる。

SSB-3220　供用状態 A および B での許容荷重

供用状態 A および B における荷重については、次の計算式により計算した値を超えないこと。この場合において、当該支持構造物と同一の材質および形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができる。

$$A_L = \frac{1}{3} T_L \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \qquad \text{(SSB-2.1)}$$

A_L：許容荷重（N）

T_L：SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重（N）

S_{yd}：最高使用温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値（MPa）

S_{yt}：試験温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値（MPa）

SSB-3230　供用状態 C での許容荷重

供用状態 C における荷重については、次の計算式により計算した値を超えないこと。この場合において、当該支持構造物と同一の材質および形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値で使用することができる。

$$A_L = \frac{1}{2} T_L \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \qquad \text{(SSB-2.2)}$$

A_L：許容荷重（N）

$T_L,\ S_{yd},\ S_{yt}$：それぞれ SSB-3220 に定めるところによる。

SSB-3240　供用状態 D での許容荷重

供用状態 D における荷重については、次の計算式により計算した値を超えないこと。この場合において、当該支持構造物と同一の材質および形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができる。

$$A_L = 0.6 T_L \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \qquad \text{(SSB-2.3)}$$

A_L：許容荷重（N） T_L, S_{yd}, S_{yt}：それぞれ SSB-3220 に定めるところによる。

2.2 高放射性廃液貯槽の据付ボルトの許容荷重

高放射性廃液貯槽の据付ボルト（材質 SUS316，呼び径 M48）の許容荷重を「設計・建設規格」に基づき計算する。荷重試験については既報告のとおりである。算定結果を表 2-1 に示す。

表 2-1　荷重試験結果に基づく据付ボルトの許容荷重

せん断荷重試験 T_L値 (kN/本)	ボルトの最高使用温度 Ts（℃）	材料規格 Part3 第1章 表6に基づく温度補正項			供用状態Ds（運転状態IV_AS）での許容荷重 A_L（kN/本）= 0.6×T_L×(Syd/Syt)
		Syd値(Ts)	Syt値(RT)	Syd/Syt	
785	60	192	205	0.936	440
	80	183	205	0.892	420

2.3 荷重試験に基づく許容荷重の保守性について

SSB-3210 解説においては，SSB-3110 の許容応力と比較してその保守性を評価している。すなわち許容荷重の式において $T_L = S_u$ として，A_L/f_sを比較している。しかしながら，解説の評価は Su ベースのもののみであるため，Sy ベースの許容荷重についても比較を行った。このとき，Su と Sy の関係性について，$S_u = n \times S_y$ とおいて，許容荷重が許容応力より保守側となる材料特性 $n = S_u/S_y$ を求めた（表 2-2）。

これより Su ベースでは許容荷重の方が常に保守側となるが，Sy ベース及び Sy(RT)ベースでは対象とする材料の設計引張強さ Su と設計降伏点 Sy の比に依存する。

高放射性廃液貯槽の据付ボルトの材質は SUS316 であることから，表 1-2 に従い $n = S_u/S_y$ を求めると，

・Sy ベース（80 ℃）

$$n = \frac{S_u}{S_y} = \frac{486}{183} = 2.656$$

・Sy(RT)ベース

$$n = \frac{S_u}{S_y} = \frac{520}{205} = 2.537$$

となることから，許容応力（SSB-3110）の方が保守側となる。

表 2-2　許容応力（SSB-3110）に対する許容荷重（SSB-3210）の保守性の条件

【供用状態：A 及び B】

F値のベース	$1.35S_y$	$0.7S_u$	$S_y(RT)$
許容応力 f_s	$f_s = \frac{F}{1.5} = \frac{1.35}{1.5}S_y$	$f_s = \frac{F}{1.5} = \frac{0.7}{1.5}S_u$	$f_s = \frac{F}{1.5} = \frac{1}{1.5}S_y(RT)$
許容荷重 A_L	$A_L = \frac{1}{3}T_L = \frac{1}{3}S_u = \frac{1}{3}nS_y$		
A_L/f_s	$\frac{1}{3}\cdot\frac{1.5}{1.35}\cdot n = 0.370n$	$\frac{1}{3}\cdot\frac{1.5}{0.7} = 0.714$	$\frac{1}{3}\cdot\frac{1.5}{1}\cdot n = 0.5n$
保守性の条件	$n < 2.7$	常に保守側（$A_L/f_s<1$）	$n < 2.0$

【供用状態：C】

F値のベース	$1.35S_y$	$0.7S_u$	$S_y(RT)$
許容応力 f_s	$f_s = F = 1.35S_y$	$f_s = F = 0.7S_u$	$f_s = F = S_y(RT)$
許容荷重 A_L	$A_L = \frac{1}{2}T_L = \frac{1}{2}S_u = \frac{1}{2}nS_y$		
A_L/f_s	$\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{1.35}n = 0.370n$	$\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{0.7} = 0.714$	$\frac{1}{2}n = 0.5n$
保守性の条件	$n < 2.7$	常に保守側（$A_L/f_s<1$）	$n < 2.0$

【供用状態：D】

F値のベース	$1.35S_y$	$0.7S_u$	$1.2S_y(RT)$
許容応力 f_s	$f_s = F = 1.35S_y$	$f_s = F = 0.7S_u$	$f_s = F = 1.2S_y(RT)$
許容荷重 A_L	$A_L = 0.6T_L = 0.6S_u = 0.6nS_y$		
A_L/f_s	$0.6\cdot\frac{1}{1.35}n = 0.444n$	$0.6\cdot\frac{1}{0.7} = 0.857$	$0.6\cdot\frac{1}{1.2}n = 0.5n$
保守性の条件	$n < 2.25$	常に保守側（$A_L/f_s<1$）	$n < 2.0$

2.4 支持構造物の許容応力について

以下に示すように「設計・建設規格」の支持構造物の許容応力の考え方に基づけば，Sd 地震動を考慮する場合の供用状態 Cs だけでなく Ss 地震動を考慮する場合の供用状態 Ds においても発生応力を降伏点以下とする考え方に基づくことになる。なお引用文中の「材料規格 Part 3 第 1 章表 6」は材料の設計降伏点 Sy の数値表である。

（解説 SSB-3121.3）供用状態 D での許容応力

SSB-3121.3 は，供用状態 D における一次応力に対する許容応力について定めたものである。

SSB-3121.3 の規定は，クラス 1 容器およびクラス 1 配管の規定では設計条件の許容値の 2 倍の値としているが，AIJ の「鋼構造設計規準」の短期応力の許容値が長期応力の許容値の 1.5 倍なので，供用状態 A および供用状態 B の許容値の 1.5 倍の値としたものである。

SSB-3121.3 の供用状態 D における一次応力の許容値を材料規格 Part 3 第 1 章表 6 に定める値の 1.2 倍に読み替える理由は次のとおりである。

供用状態 C における引張応力の許容値は，F は Sy または 0.7Su のいずれか小さい方の値としている。これは鋼構造設計規準の短期の許容応力に対応するもので，支持構造物のように単軸応力が支配的な構造において，その最大値を降伏点以下に制限することを基本とし，ひずみ硬化性の少ない材料に対しては引張強さに対して 30%の余裕を確保しようとするものである。

一方，供用状態 D の荷重は，プラント寿命中起こり得ないような非常に頻度の低い荷重であることから，供用状態 D における一次応力の許容値としてクラス 1 容器と同様に 0.7Su のみを制限条件としてもよいが，単軸応力に着目した設計であることもあって基本的に降伏点以下とすることとする。

ただし，供用状態 D の荷重は，事故時の衝撃荷重が主でひずみ速度が大であることおよび通常材料の実降伏点は設計値に対し余裕があることを考慮して，1.2 Sy を制限条件とした。

なお，オーステナイト系ステンレス鋼および高ニッケル合金であって使用温度が 40℃を超える材料の規定値のうち，1.35 Sy（使用温度）に対しては本割増しを適用しない。

表 1-1 に示したとおり，許容応力を規定する式において供用状態 C と供用状態 D の違いは，室温に対する Sy の項のみで，供用状態 C の Sy が供用状態 D で割り増して 1.2Sy となっているのは上記のとおりである。これは明確な降伏点を示さないオーステナイト系ステンレス鋼の Sy 値が 0.2 %永久ひずみ耐力をもとに保守的に設定されていることに基づくもので，供用状態 D に対しては引用文中に記載された理由から，この保守性を定量化して扱うものとなっている（クラス 1 容器では 1.2 Sy の割り増しは供用状態 C における許容応力の設定で適用されている）。

3. 廃止措置計画用設計地震動に対する安全性の検討

3.1 廃止措置計画用設計地震動により据付ボルトに発生するせん断応力との比較

廃止措置計画用設計地震動が高放射性廃液貯槽に作用した際に，据付ボルトに生じるせん断応力については「別紙 6-1-2-3-3-1 高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の耐震性についての計算書」に示すとおり，191 MPa（解析結果として得られたボルトの最大反力 281 kN/本を M48 ボルトの有効断面積 1470 mm^2 で除して求めた値）であった。

表 3-1 より 80 ℃における許容荷重と比較すると，供用状態 Ds の許容荷重に対しては約 1.5 倍程度の裕度がある。

表 3-1 据付ボルトの発生応力と許容荷重の比較

最高使用温度	廃止措置計画用設計地震動における発生せん断応力（液量満杯を想定）	許容せん断荷重（荷重試験に基づく）
		供用状態 Ds（運転状態IV_AS）
80 ℃	281 kN/本	420 kN/本

以上より，廃止措置計画用設計地震動が作用した場合においても据付ボルトは荷重試験結果から算定した供用状態 Ds の許容荷重を満足する。しかしながら，これらの荷重試験に基づき求めた許容荷重は実機の実力値に近いもので，その裕度は大きくない。

3.2 廃止措置段階における現実的な運用の状態に基づく安全裕度の向上

廃止措置段階においては，新たな使用済燃料の再処理によって高放射性廃液が増えることはないことから，現時点で保管している高放射性廃液の量を大きく超過することはない。

そこで，高放射性廃液の液量と，廃止措置計画設計用地震動に対する据付ボルトのせん断応力の関係について評価を行った。評価モデル及び解析手法は「別紙 6-1-2-3-3-1 高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の耐震性についての計算書」に示したものと同じであり，液量に応じて荷重条件（液位位置までの高さの胴板に液重量分の荷重を付加。）を変更した。表 3-2 に高放射性廃液貯槽の貯蔵液量と地震時のせん断ボルトに発生するせん断荷重の関係を示す。また各貯槽の液量を表 3-3 に示し，それらを貯蔵液量と地震時の据付ボルトに発生する荷重との関係として図示したものを図 3-1 に示す。

表 3-2　高放射性廃液貯槽の貯蔵液量と地震時のせん断ボルトに発生するせん断荷重の関係

貯蔵液量　(m^3)	80	90	100	120
せん断荷重（kN/本）	155	165	201	281
せん断応力（MPa）※	106	112	137	191

※ せん断荷重を M48 ボルトの有効断面積 1470 mm^2 で除して求めたもの。

表 3-3　2017 年 11 月 30 日時点での各高放射性廃液貯槽の貯蔵液量

貯槽	272V31	272V32	272V33	272V34	272V35	272V36 予備貯槽	合計 (5 貯槽貯液率)
貯蔵液量 (m^3)	38.4	75.6	70.7	79.7	76.1	0	340.5 (56.8 %)

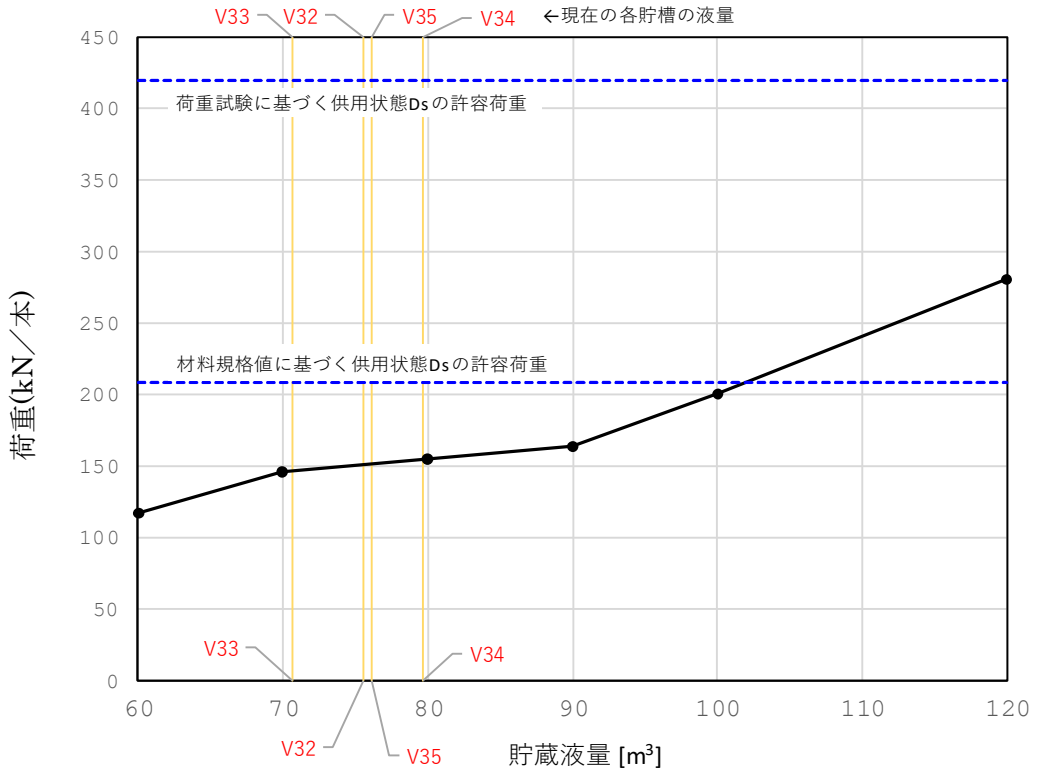
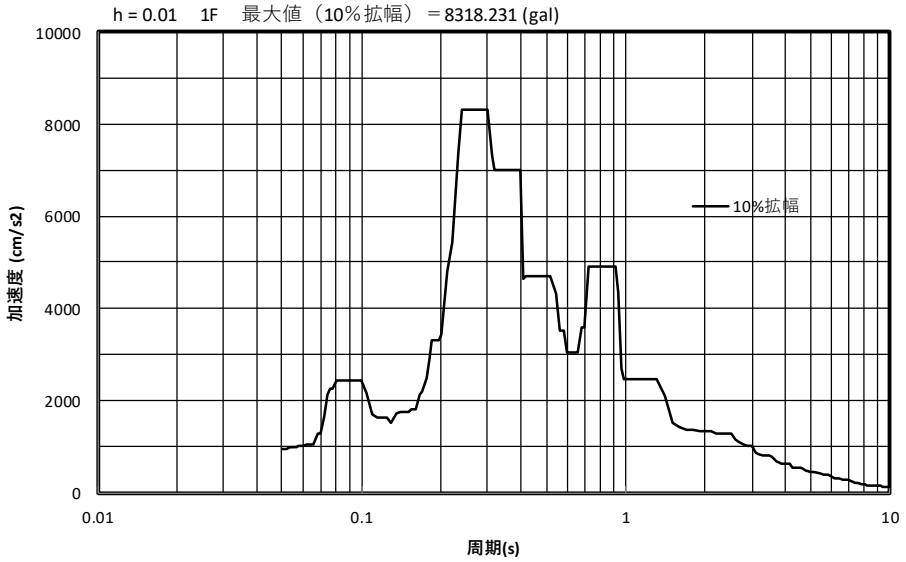


図 3-1　高放射性廃液貯槽の貯蔵液量と地震時のせん断ボルトに発生するせん断応力の関係

貯蔵液量の低下とともに総質量及び重心位置が低下し，それにより高放射性廃液貯槽の固有周期は低下する（剛側にシフトする）。地震動に対する応答は床応答スペクトルの形状に依存するため，固有周期が変化することにより液量の低下とせん断荷重の低下は単純な線形関係にはならず，固有周期が変化する領域の床応

答スペクトルの形状に影響を受けて図 3-1 のようなやや複雑な挙動を示すものと考えられる。高放射性廃液貯槽が満水時の固有周期は 0.071 sec であり，評価に用いた床応答スペクトル（図 3-2，Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）においては 0.071 sec 以下の範囲では応答加速度は低下し続ける方向となっているので，貯蔵液量の低下とともに据付ボルトに作用するせん断荷重も単調に低下していくものの，低下の程度は応答スペクトルの形状に依存する。

【床応答スペクトル全体】



【0.01～0.1 s の範囲の拡大】

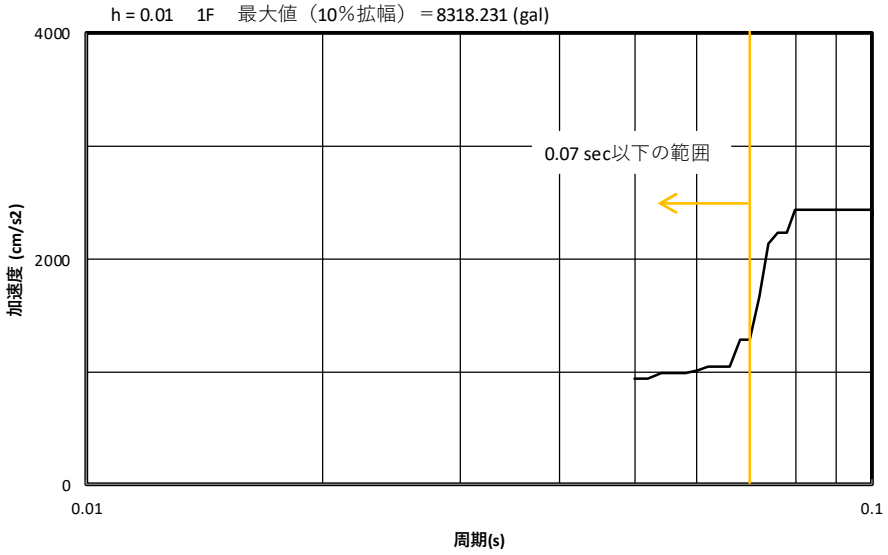


図 3-2　解析用の床応答スペクトル（水平方向，1 階，減衰定数 1.0 %）

前述したように液量が満水状態（120 m^3）においても，廃止措置計画用設計用地震動によって貯槽の据付ボルトに加わるせん断荷重は，荷重試験結果から算定される許容荷重を満足する。一方で，2.2 項で述べたように SUS316 に対する許容荷重は SSB-3110 に基づく許容応力に対して必ずしも保守的とは言えない。また，荷重試験に基づく許容荷重は実機の実力値に近いものであるから，その裕度は大きくない。そこで，リスクの大きい高放射性廃液を取り扱うという観点からさらに耐震裕度を確保するために，材料規格値から算定される保守的な許容応力に基づく荷重を参照し，貯槽の液量を制限することにより，地震時に発生する荷重を低減する方策が考えられる。そのような考え方に基づけば，材料規格値から算定される供用状態 Ds の許容荷重を満足するのは，図 3-1 より貯蔵液量 100 m^3 以下であると読み取れる。オーステナイト系ステンレス鋼である SUS316 に対して材料規格値から算定した供用状態 Ds の許容荷重は，2.3 項で述べたように実降伏点以下（弾性範囲）に留まることから，廃止措置計画用設計地震動に対して保守性を持った運用状態となる。

液量を低減した場合には地震時の液面揺動（スロッシング）が大きくなる恐れがあることから，液位管理を行った場合のスロッシングによる動荷重について評価した。満水時（120 m^3）の評価では別紙 6-1-2-3-3-1「高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の耐震性についての計算書」に示したとおり，溶液を固定荷重とみなした場合の方が地震時の荷重を保守的に評価することになる。貯蔵液量を 100 m^3，90 m^3 に低減した場合について同様の方法により，スロッシングによる動荷重を考慮した場合と，すべての溶液を固定荷重とみなした場合を評価した結果を表 3-4 に示す。貯蔵液量を減らした場合においても固定荷重とみなす方が地震時に容器に作用する水平力を大きく評価することになる。したがって，図 3-1 に示した結果はスロッシングの影響を考慮する場合より保守的である。

表 3-4　スロッシングによる動荷重の影響

貯蔵液量（m^3）	90	100	120
スロッシング（動荷重）を考慮した場合に容器に作用する水平力［kg］	135×10^3	146×10^3	170×10^3
溶液すべてを固定荷重とみなした場合に容器作用する水平力［kg］	153×10^3	165×10^3	188×10^3

以上より，高放射性廃液を取り扱うという観点を重要視し，貯蔵液量管理（保守的に 90m^3 程度に設定）による耐震裕度向上に向けた運用を当面の間行うことについて検討を進める。

参考文献

1. ″日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）″, JSME S NJ1-2012, 日本機械学会（2012）
2. ″日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版） 〈第Ⅰ編 軽水炉規格〉″, JSME S NC1-2012, 日本機械学会（2012）
3. ″鋼構造設計基準 －許容応力度設計法－ 2005 年版″, 日本建築学会（2005）
4. ″解説 原子力設備の技術基準 1994″, 通商産業省資源エネルギー庁 公益事業部 原子力発電安全管理課, 電力新報社（1995）
5. ″電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編″, JEAG4601・補-1984, 日本電気協会 電気技術基準調査委員会（1984）
6. ″電気技術規程 原子力編 原子力発電所耐震設計技術規程″, JEAC4601 -2008, 日本電気協会 原子力規格委員会（2008）

別添 6-1-2-3

建物・構築物及び機器・配管系の構造(耐震性)に関する説明書

(高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の地震応答解析

(廃止措置計画用設計地震動))

添付資料 6-1-2-3-1　耐震設計基本方針
添付資料 6-1-2-3-2　高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家の地震応答計算書
添付資料 6-1-2-3-3　高放射性廃液貯蔵場（HAW）の機器・配管系の耐震性計算書
添付資料 6-1-2-3-4　配管トレンチ(T21)の耐震応答計算書

耐震設計基本方針

1. 概要

本資料は，「再処理施設の技術基準に関する規則」（以下「再処理技術基準規則」という。）の第六条一項及び二項に照らして，廃止措置段階にある再処理施設 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の耐震設計について，地震による損傷の防止のために求められる性能を維持できることを説明するための方針を示すものである。

※ 原子力規制委員会から示された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　核燃料サイクル工学研究所(再処理施設)の廃止措置計画の認可の審査に関する考え方」（平成 29 年 4 月）においては「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」（以下「再処理維持基準規則」という。）に照らして審査するものとされているが，改正第 3 条の施行の日（令和 2 年 4 月 1 日）から廃止措置計画の認可は再処理技術基準規則に従うこととされているため，本資料では従来までの再処理維持基準規則を再処理技術基準規則で読み替える。

2. 耐震設計の基本方針

2.1 基本方針

廃止措置段階にある再処理施設においては,リスクが特定の施設に集中している。特に高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）については，廃止措置計画における安全対策の検討に用いるために策定された廃止措置計画用設計地震動による地震力に対して，その耐震安全性を確認し，建家及び機器・配管系の健全性を維持できるよう廃止措置段階に応じた措置を行う。

(1) 高放射性廃液貯蔵場（HAW）において高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備については，廃止措置計画用設計地震動による地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。その対象となる設備については別添 6-1-2-2 に示す。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家については，構造物全体として変形能力に対して十分な余裕を有するように設計する。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）とガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟間で高放射性廃液を移送するために設けられている構築物（T21 トレンチ）は，構造部材の曲げについては限界層間変形角，曲げ耐力及びせん断耐力に対して妥当な安全余裕を持たせる設計とする。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の機器・配管系については，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し，その施設の機能を保持できるように設計する。

(2) 高放射性廃液貯蔵場（HAW）において高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備に対して，その他の設備の地震による損傷等により波及的影響が生じないように設計する。

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

高放射性廃液貯蔵場（HAW）における高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる施設の耐震設計に用いる地震力（表 3-1）の算定は以下のとおりとする。

(1) 廃止措置計画用設計地震動による地震力は,水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定する。

(2) 廃止措置計画用設計地震動による地震力の算定に当たっては，地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮の上,適切な解析法を選定するとともに,十分な調査に基づく適切な解析条件を設定する。

(3) 地震力の算定過程において建物・構築物の設置位置等で評価される入力地震動については,解放基盤表面からの地震波の伝播特性を適切に考慮するとともに,必要に応じて地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。

表 3-1　高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる施設の設計に用いる地震力

項目	動的地震力	
	水平	鉛直
建物・構築物	K_h（Ss）(1)	K_v（Ss）(2)
機器・配管系	K_h（Ss）(1)	K_v（Ss）(2)

(1) Kh（Ss）は，水平方向の廃止措置計画用設計地震動に基づく水平地震力。

(2) K_v（Ss）は，鉛直方向の廃止措置計画用設計地震動に基づく鉛直地震力。

4. 機能維持の基本方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）における高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備の安全機能維持は，廃止措置計画用設計地震動に対して，施設の構造強度の確保を基本とする。

4.1 構造強度

廃止措置計画用設計地震動に伴う地震力による荷重と地震力以外の荷重の組合せを適切に考慮した上で,構造強度を確保する設計とする。また,変位及び変形に対し,設計上考慮する。

(1) 荷重の種類

a. 建物，構築物

(a) 建物，構築物のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重（自重や地下水による浮力等）

(b) 地震力

b. 機器・配管系

(a) 運転時の状態で設備に作用する荷重（自重や動的機器の通常の運転時に生じる反力等）

(b) 地震力

(c) 温度条件，圧力条件については，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601（以下「JEAG4601」という。）のクラス 3 機器の供用状態 Ds（$\mathrm{IV_AS}$）に準じて，設計最高温度・設計最高圧力を基本とする。

(2) 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは以下による。

a. 建物・構築物

常時作用している荷重と地震力を組み合わせる。

b. 機器・配管系

運転時の状態で施設に作用する荷重と地震力を組み合わせる。

c. 荷重の組合せ上の留意事項

(a) 地震力については，水平 2 方向と鉛直方向の地震力とを適切に組み合わせて影響検討を行うものとする。

(b) ある荷重の組合せ状態での評価が，その他の荷重の組合せ状態での評価より明らかに厳しいことが判明している場合には，その他の荷重の組合せ状態での評価は行わない。

(c) 高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能にかかわる設備を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を確認する場合においては，設計用地震力と，常時作用している荷重，運転時に施設に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組み合わせる。

(3) 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組み合わせた状態に対する許容限界は次のとおりとし，JEAG4601，発電用設備規格 JSME 等の安全上適切と認められる規格及び規準又は試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

a.　建物・構築物

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し，終局耐力に対して，妥当な安全余裕をもたせることとする。また，終局耐力は，建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき，その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし，既往の実験式に基づき適切に定めるものとする。

当該施設を支持する建物・構築物の支持機能が損なわれないことを確認する際の地震動は，支持される施設に適用される地震動とする。

b.　機器・配管系

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し，その施設に要求される機能に影響を及ぼさないような応力，荷重等とすること。

c.　基礎地盤の支持性能

(a) 廃止措置計画用設計地震動による地震力との組合せに対する許容限界

接地圧が，安全上適切と認められる規格及び基準による地盤の極限支持力度に対して妥当な余裕を有していること。

4.2 評価を個別に行わない設備について

別添 6-1-2-2 に示した設備のうち，以下のものについては個別の評価ではなく他の設備の付属物として評価を行う。

(1) スチームジェット，ポット等の小型の配管付属物

スチームジェット，小容量のポットについては小型で剛性が高いため，それらが取り付く配管の荷重として扱い，その配管の耐震性を確保することで当該機器の耐震性が確保されるとする。

(2) セル

セルは建家躯体の一部であることから，建家躯体がその許容限界を満たすことをもって，セルの耐震性が確保されるとする。

(3) ドリップトレイ

ドリップトレイは地震時には設置される建家躯体と一体となって振動する。またドリップトレイは金属材料で製作され，建家躯体のコンクリートよりも延性が高い材料であることから建家躯体がその許容限界を満たすことをもって，ドリップトレイの耐震性が確保されるとする。

5. 耐震計算の基本方針

前述の耐震設計方針に基づいて設計した施設について，耐震計算を行うに当たり，既設工認で実績があり，かつ，最新の知見に照らしても妥当な手法及び条件を用いることを基本とする。一方，最新の知見を適用する場合は，その妥当性と適用可能性を確認した上で適用する。

耐震計算における動的地震力の水平方向及び鉛直方向の組合せについては，水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せで実施した上で，その計算結果に基づき水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せが耐震性に及ぼす影響を評価する。

5. 1 建物・構築物

建物・構築物の評価は，「4. 機能維持の基本方針」で示す荷重条件に対して構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）が「4. 機能維持の基本方針」で示す許容限界内にあることを確認すること（解析による設計）により行う。

評価手法は建物・構築物に用いられる構造材（鉄筋コンクリート）の非線形特性を扱うことのできる時刻歴応答解析法を用いることとし，JEAG4601 に基づき実施することを基本とする。また，評価に当たっては材料物性の不確かさを適切に考慮する。

5. 2 機器・配管系

機器・配管系の評価は，「3. 設計用地震力」で示す設計用地震力による適切な応力解析に基づいた地震応力と，組み合わすべき他の荷重による応力との組合せ応力が「4. 機能維持の基本方針」で示す許容限界内にあることを確認すること（公式又は解析による設計）により行う。許容限界は廃止措置計画用設計地震動により荷重を受ける構造の一部が降伏し，塑性変形する場合においても，過大な変形，き裂，破損等が生じてその設備の機能に影響を及ぼすことがなく，かつ変形後に想定される繰り返し応力範囲に対して塑性変形が進展しないもの（シェイクダウン範囲）として設定する。

評価手法は，以下に示す解析法により JEAG4601 に基づき実施することを基本とし，その他の手法を用いる場合については適用性を確認した上で使用することとする。剛性の高い（剛な）機器・配管については規準等に示される定式化された評価式又は FEM モデルによる静的解析を基本とする。ここで剛性が高いとは，機器・配管の一次固有振動数が 20Hz 以上のものをいう。この時，剛性の高い機器・配管の静的解析に用いる震度は設置床面の最大応答加速度（ZPA）を 1.2 倍した値を用いる。

剛でない機器・配管については，地震動との共振といった振動特性を評価できる FEM モデルによる動的解析法（時刻歴応答解析法又は応答スペクトルモーダル解析法）を用いることとし，その場合には寸法や材料物性の不確かさを適切に考慮してモデル化を行う。水平地震動と鉛直地震動による荷重の組み合わせは，入力の段階で組み合わ

せる場合と，個別の評価で得られた応答結果を組み合わせる場合があるが，組み合わせの方法については適切な保守性を考慮する。

再処理施設の廃止措置計画における
耐震性評価での解析手法の選定と保守性の確保の考え方

1. 機器の耐震性評価での解析手法の選定の考え方

1.1 基本的考え方

一般に原子力施設における機器の耐震解析手法としては，大分類として地震時の瞬間的な最大加速度を静的な荷重とみなして対象機器に負荷してその応答を評価する「静的解析」と，地震波の振動的特徴を考慮した周波数毎の応答をスペクトルとし，それに対する機器の固有モード毎の応答を合成して評価するスペクトルモーダル法，あるいは時刻歴の地震加速度波を直接作用させて時々刻々の機器の応答を評価する時刻歴解析法といった「動的解析」に二分される。

さらに，静的解析は日本電気協会の「原子力発電所耐震設計技術指針」，日本機械学会の「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」や日本建築学会の「鋼構造設計基準」，あるいは一般的な材料力学・構造力学の公式集やハンドブック等に記載されているような質点・バネ・はり・板等の単純化された構造モデルを力学方程式で表し，その解（公式）によって応力を評価するものと，はり要素や有限要素によって機器をモデル化して数値解析により応力を求める方法がある。

静的解析か動的解析かは，地震動という振動現象に対して対象機器が共振するおそれがあるかに着目して判断する。すなわち，地震動の卓越振動数の範囲に機器の固有振動数が含まれる場合，共振現象によって地震動の最大加速度を単に静的に負荷したよりも大きな応答を生じるおそれがあることから，このような振動特性を扱える動的解析法を採用する必要がある。

再処理施設の廃止措置計画において，廃止措置計画用設計地震動（以下「設計地震動」という。）に対する耐震評価及び設計に用いる解析手法の選定の考え方の概略は図 1-1 に示すとおりである。

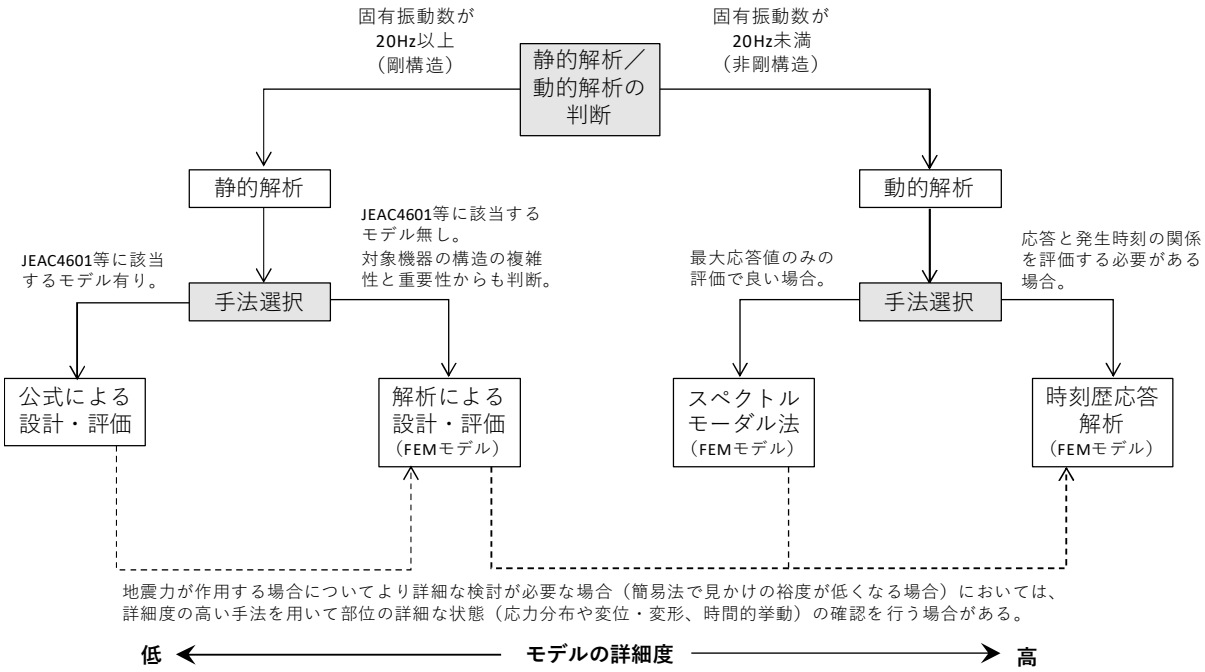


図 1-1　設計地震動に対する耐震評価及び設計に用いる解析手法の選定の考え方

1.2 廃止措置計画における耐震評価についての特記事項

廃止措置計画において設計地震動に対して耐震性を確保することとした高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については，上記の基本的考え方に基づき耐震性評価を行っている。

一方で，一部の機器については図 1 の破線に示したように，簡易評価では見かけの裕度が少なくなることから，詳細な地震時の応力発生挙動を確認し，本来の耐震強度を把握するために，より詳細な手法を用いている。

例えば，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の中間貯槽は固有振動数が約 30 Hz であることから基本的考え方に基づけば静的解析となるが，ラグ付近の曲げ変形などで応力が集中する箇所に対して地震動の高振動数成分による影響を確認し，機器本来の耐震強度を明示的にするために時刻歴解析を用いた。この際，動的解析でも簡易な方法であるスペクトルモーダル法を採用しなかったのは，振動数上限を 20 Hz として設備共通の床応答スペクトルを作成していたため，一次固有振動数が 30 Hz の中間貯槽に対して当該床応答スペクトルを適用することは応答スペクトルの範囲外となり，妥当でなかったためである。

また高放射性廃液貯槽は固有振動数が約 14 Hz の剛でない機器であることから，基本的考え方に基づき動的解析（スペクトルモーダル法）を用いた評価を行っている。

2. 保守性の確保の考え方

廃止措置計画における耐震性評価は前章で述べた考え方に沿って実施するが，評価の各局面においては既往の原子力施設の耐震解析において考慮されてきた保守性の確保の考え方を踏襲している。表 2-1 にその考え方をまとめる。

表 2-1　耐震性評価における保守性の確保

項目	静的解析		動的解析	
	公式による評価	FEM による評価	スペクトルモーダル法	時刻歴解析法
地震荷重	・一次固有振動数が 20 Hz 以上の機器のみ。 ・設置床の応答加速度の最大値の 1.2 倍（1.2ZPA） ・機器が床面より上に設置されている場合は，上階の床応答を使用。 ・設計地震動 3 波の中の最大値を使用。 ・公式による評価で用いる評価式は，電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針及び日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格にしたがう。		・設置床の水平方向の床応答スペクトルは、設計地震動 3 波及びそれぞれの NS/EW 方向をすべて包絡したもの。 ・設置床の鉛直方向の床応答スペクトルは，設計地震動 3 波をすべて包絡したもの。 ・包絡スペクトルを周期方向に±10 %拡幅。 ・機器が床面より上に設置されている場合は，上階の床応答を使用。 ・減衰定数は電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針に基づく。	・設置床の時刻歴応答波形を使用。 ・機器が床面より上に設置されている場合は，上階の床応答を使用。
その他荷重	・貯槽については，満水状態（設計容量）で評価。 ・設計上の最高使用温度、最高使用圧力で評価（供用状態 Ds）。			
評価結果の組合せ	・水平方向応答と鉛直方向応答は、それぞれの最大値を SRSS 法で組み合せ。（時刻歴解析においても同時性を考慮せず，それぞれの方位について解わ析時間内の最大値を SRSS 法で組み合わせている） ・地震以外の荷重（固定荷重，機械荷重，圧力荷重）による応力は地震による応力に絶対和法で組み合わせ。			
材料特性	・日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 材料規格の値を使用。			
許容応力	・電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針及び日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格の考え方にしたがう。			

（参考）解析手法の選定の基本的考え方の詳細

(1) 機器の固有振動数に基づく選定

前述したように，耐震評価の対象とする機器についての固有振動数に基づき，静的解析か，動的解析かを選択する。ここでは対象機器の一次固有振動数が 20 Hz 以上（一次固有周期で 0.05 sec 以下）の場合，地震動による共振の影響は低い（地震動に対して剛である）と考え，静的解析を行う。

(2) 公式による評価

静的解析を選択した機器について，評価対象部位の地震時最大応力を計算するためには日本電気協会の「原子力発電所耐震設計技術指針」，日本機械学会の「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」といった規格規準類に適用可能な公式が定められていなければならない。一般に，単純な形状で小型の槽類の胴及び支持構造，同様のポンプ・排風機・盤・ラック類の支持構造といったものが該当する。また，小口径・低温の配管系統についても定ピッチスパン法（振動数基準）を用いて剛となるよう設計・評価することができる。

公式による評価の場合，入力として与える地震動は，水平・鉛直方向の床応答の最大加速度(ZPA:Zero Period Acceleration)を 1.2 倍した加速度(1.2ZPA)とする。これは剛であるために低いとみなした共振の影響（高次固有振動数や実際に作用する地震波の振動特性に依存）に対しても，保守的に考慮するためのものと考えている。水平地震動は NS 方向，EW 方向のうちの大きい加速度を採用する。また，床面より上に設置されている機器に適用する床応答は上階のものとする。評価は水平・鉛直方法で独立に行うが，得られた結果については二乗和平方根法（SRSS 法：Square Root of Sum Squares）により組み合わせる。

本手法のメリットは、公式により見通しが効きやすく，また過去の経験により保守性が確認されていること，評価の負荷が小さいことである。デメリットとしては，機器の任意の場所や任意の時刻における発生応力の状態は評価できないことである。基本として，公式が適用できる条件であれば公式を活用し，考慮できない構造（例えば公式の標準化されたモデルでは考慮できない補強リブなどが装備されている構造である等。）については，実際の構造を単純化して公式を当てはめた場合の結果から得られる見かけ上の裕度を見た上で、本来の裕度を定量的に明らかにするためにより詳細な評価を行うかについて検討する。

(3) 静的解析（FEM）

剛な機器において，対応する適切な公式が無い場合や公式による評価では単純化しすぎると考えられる場合，公式で評価する以外の部位についても詳細に評価する必要がある場合には、対象機器の幾何形状をはり要素，シェル要素，

ソリッド要素を用いた有限要素法（FEM）によってモデル化し，そのモデルに公式による評価と同様の方法で地震荷重を作用させて発生応力を評価する。

入力として与える地震動は，水平・鉛直方向の床応答の最大加速度を 1.2 倍した加速度（1.2ZPA）とする。これは剛であるために低いとみなした共振の影響（高次固有振動数や実際に作用する地震波の振動特性に依存）に対しても，保守的に考慮するためのものと考えている。水平地震動は NS 方向，EW 方向のうちの大きい加速度を採用する。また，床面より上に設置されている機器に適用する床応答は上階のものとする。評価は水平・鉛直方法で独立に行うが，得られた結果については SRSS 法により組み合わせる。

本手法のメリットは，公式による評価に比べて機器の形状をより実機に合わせて正確に扱うことにより，より現実的な結果が得られること，機器全体の応力発生状況を把握することができることである。デメリットとしては，公式に比べて実機に基づく幾何形状のモデル化が必要となること，それを含む解析負荷が高いことである。なお，設計という観点では，機器の応力発生状況や構造の全体的なバランスを知ることができるため，具体的な耐震性向上方策の検討に資する情報を得ることができる。

(4) 動的解析

剛でない機器については，地震動の振動特性による応答の増幅を評価するために動的解析を行う。動的解析の基本的手法はスペクトルモーダル法である。スペクトルモーダル法では，有限要素等でモデル化された機器の高次固有振動数（モード）毎に最大応答を評価し，それらを SRSS 法で重ね合わせて発生応力を計算する。したがって，実際の時刻歴の地震動において各モード毎の最大発生時刻がいつになるかは考慮せず，最大値を合成したものとなる（同時にモードの最大値が重なることは考えにくいため，その影響については SRSS 法によって補正される。合成する各モードが離れている場合にはよい近似となる。）。

入力として与える地震動は，機器設置床の加速度応答スペクトルであるが，計算に用いる加速度応答スペクトルは，水平方向については NS・EW の 2 方向の応答スペクトルを包絡したものとする（設計地震動が 3 種類設定されていることから，これらすべての水平動を包絡したものを用いた。）。さらに水平・鉛直方向とも周期方向に±10 %の拡幅を行った加速度応答スペクトルを計算への入力としている。スペクトルモーダル法では減衰定数が重要なパラメータであるが，廃止措置計画における耐震評価においては「原子力発電所耐震設計技術指針」に示された値を用いている。

スペクトルモーダル法で得られる情報は FEM を用いる静的解析と同等であるが，刺激関数やモード毎の応答などの振動特性についての情報が得られるため，入力される地震動の振動数特性との関係性の分析が可能である。その反面，時間軸に基づく情報を得ることはできないことから，そのような扱いが必要な

場合には時刻歴解析を行う必要がある。

時刻歴解析によれば，最大発生応力がいつ生じるのかを明らかにすることができることから，特に発生応力の組合せにおいてスペクトルモーダル法の SRSS を用いた組合せ処理より正確な扱いができる。また，スペクトルモーダル法では，床応答スペクトルを作成する際にカットされる高周波領域の応答についても評価可能である。

時刻歴解析の特徴を踏まえれば，水平 2 方向・鉛直方向の同時入力による解析が可能である。あるいは，それぞれの方位毎に解析を行った後、同時刻の発生応力を SRSS 法で組み合わせて時刻歴の合成結果を算出することもできるが，廃止措置計画における耐震評価においては，水平 2 方向・鉛直方向はそれぞれ別々に解析を行い，それぞれで得られた最大応答値を同時性を無視して SRSS 法で組み合わせるという保守的な扱いをしている。したがって得られる結果はスペクトルモーダル法と大きく異ならないが，最大応答値の発生時刻が明らかになることから，各方向の最大応答値の組み合わせについて保守性を確認できる。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家の地震応答計算書

1. 概要

本資料は，廃止措置計画用設計地震動(Ss)に対して，高放射性廃液貯蔵場(HAW)が耐震余裕を有することを説明するものである。

廃止措置計画用設計地震動は，令和2年2月10日付け原規規発第2002103号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」において策定した敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動とする。策定した廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトルを図1-1から図1-3に，時刻歴波形を図1-4から図1-6に示す。解放基盤表面は，S波速度が0.7 km/s以上であるT.P.※-303 m(G.L.-309 m)とする。

※T.P.：東京湾平均海面

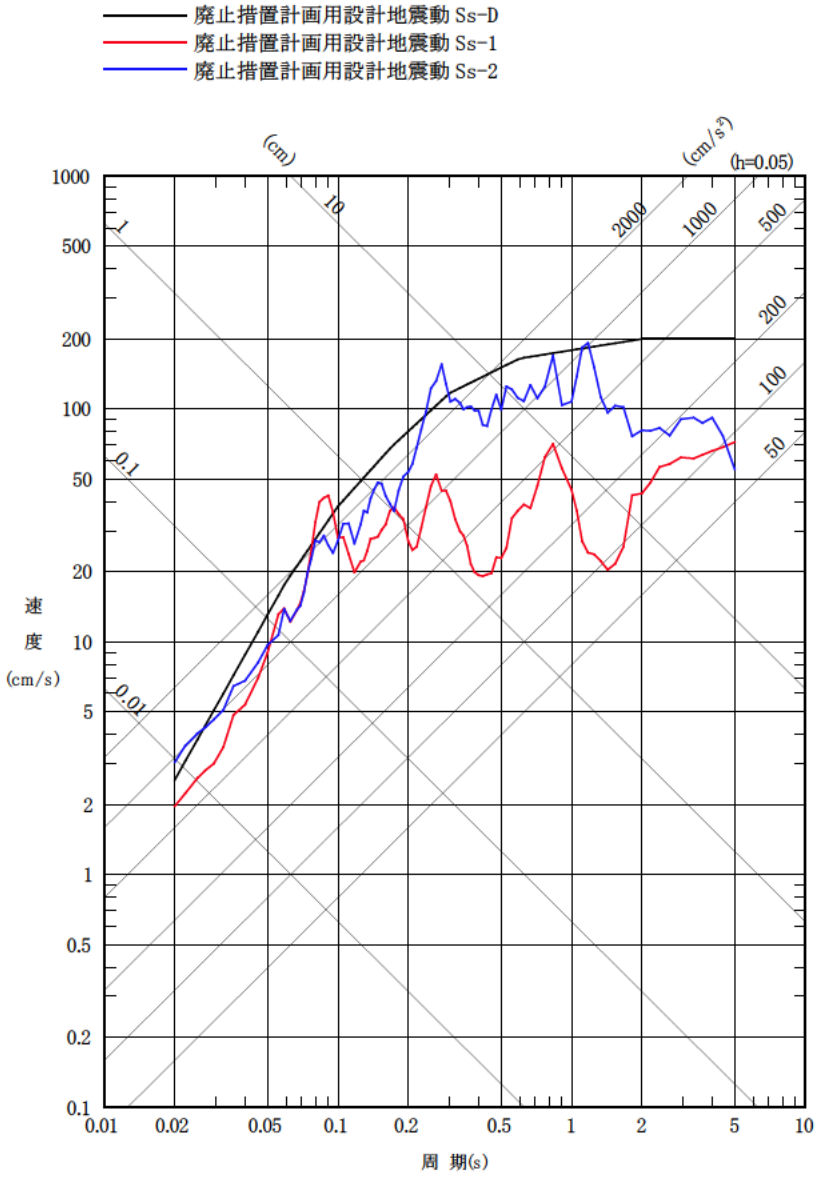


図 1-1　廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(NS 成分)

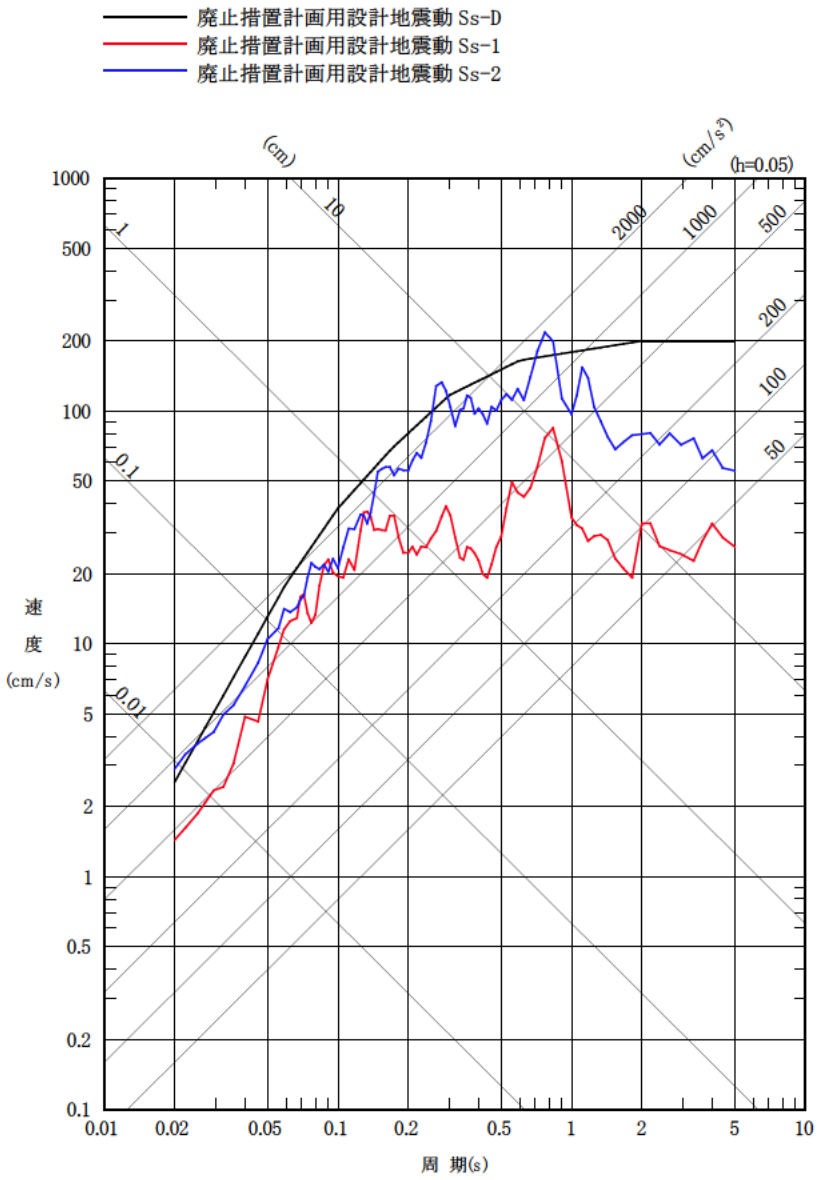


図 1-2　廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(EW 成分)

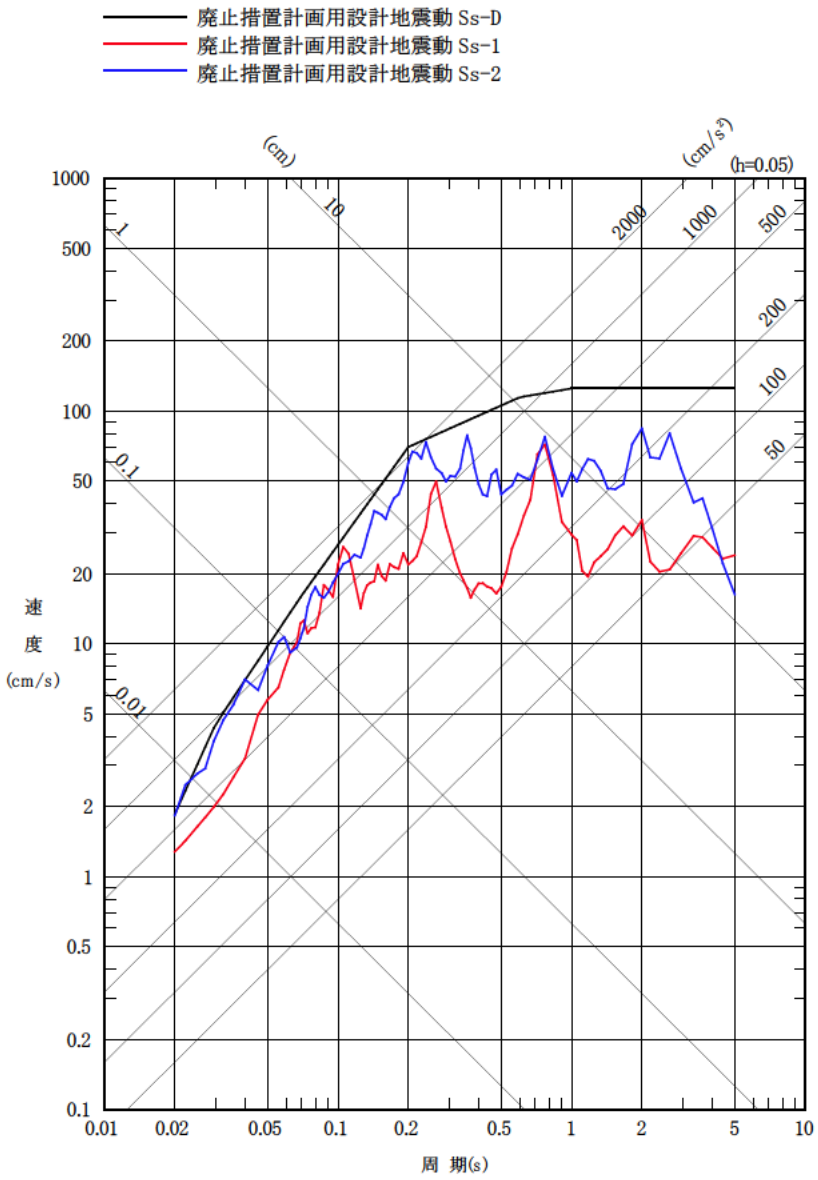
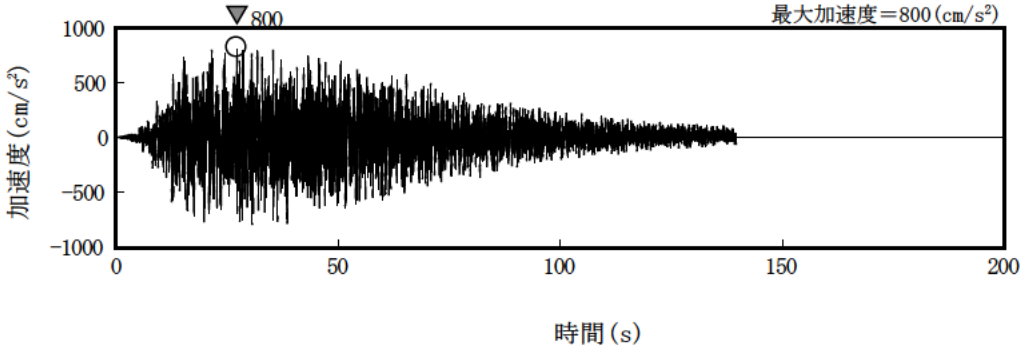
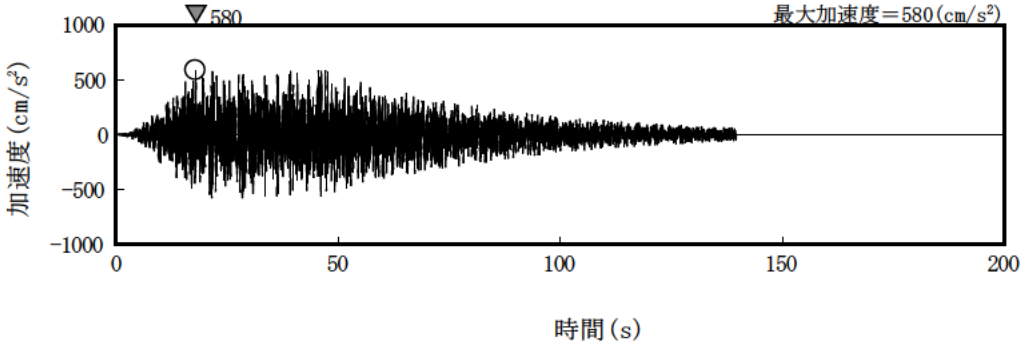


図 1-3　廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(UD 成分)

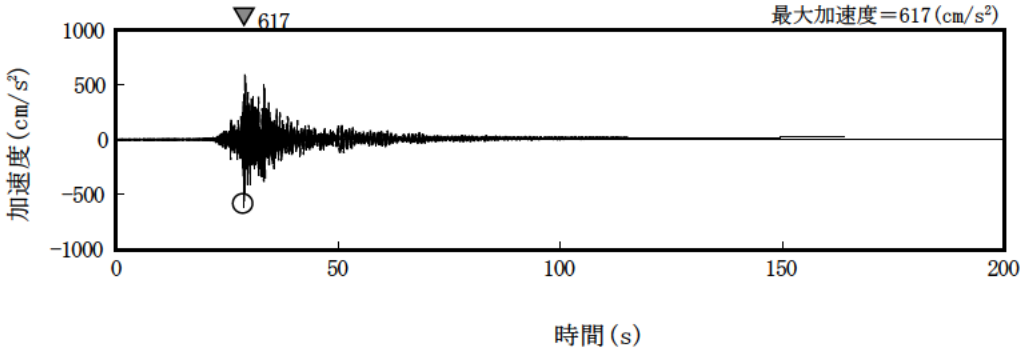


(水平成分)

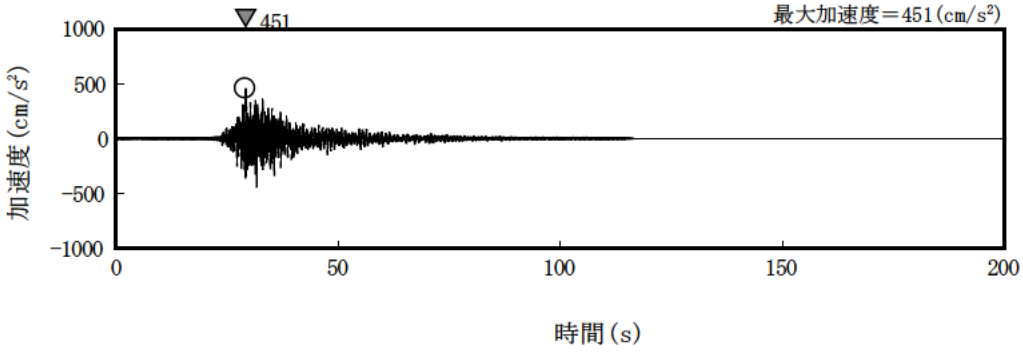


(鉛直成分)

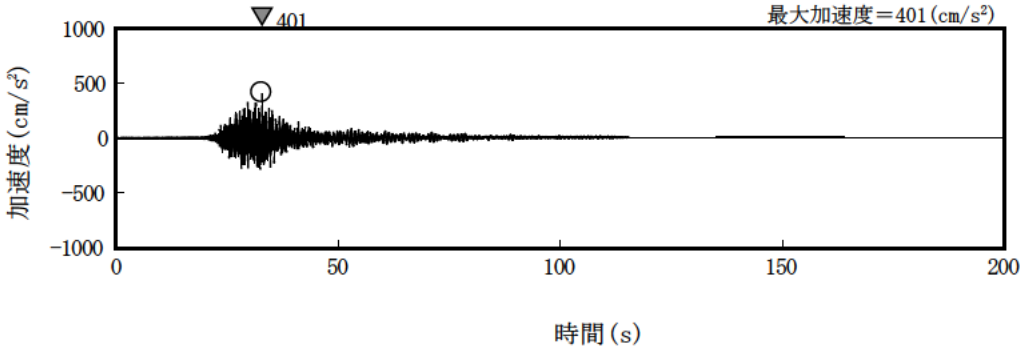
図 1-4　廃止措置計画用設計地震動(Ss-D)の時刻歴波形



(NS 成分)

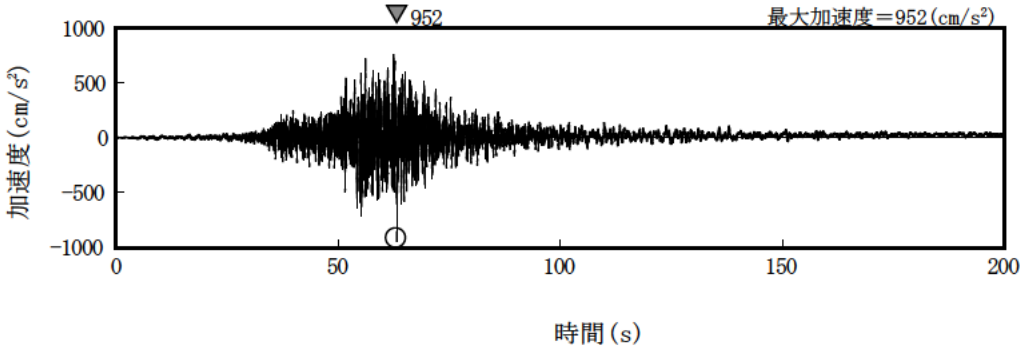


(EW 成分)

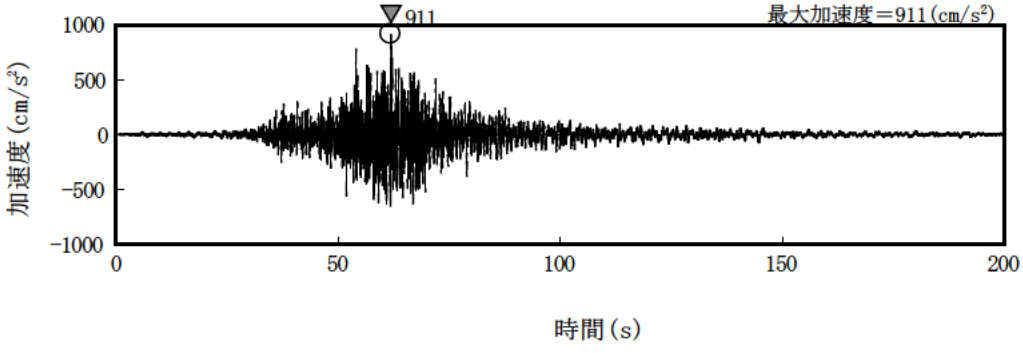


(UD 成分)

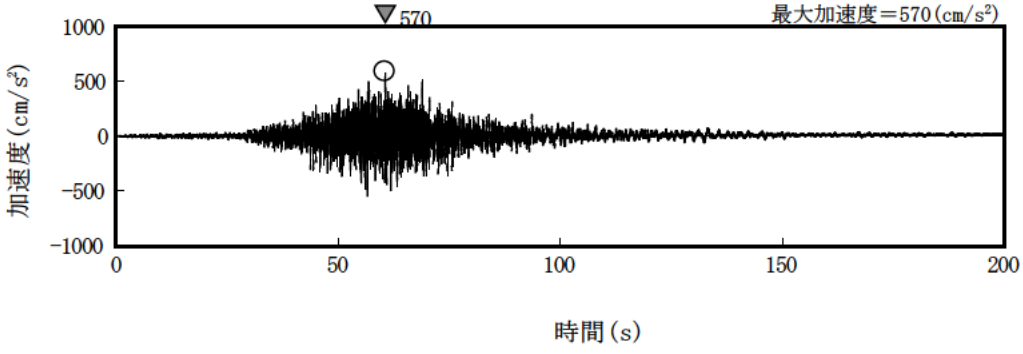
図 1-5　廃止措置計画用設計地震動(Ss-1)の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



(UD 成分)

図 1-6　廃止措置計画用設計地震動(Ss-2)の時刻歴波形

2. 一般事項

2.1 位置

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の位置を図 2-1 に示す。プラントノースと磁北方向の角度差は，35.7 ° である。

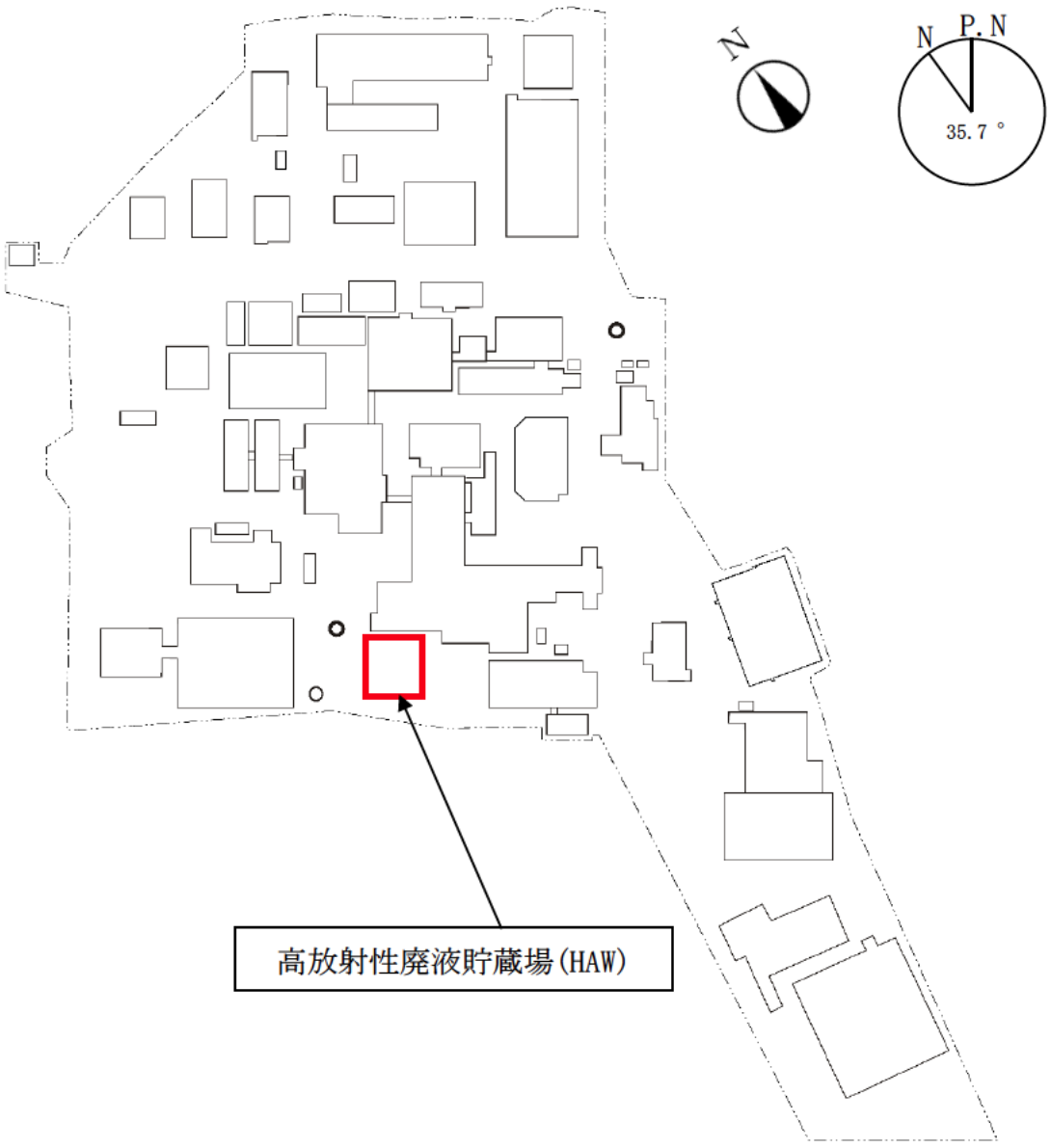


図 2-1　高放射性廃液貯蔵場(HAW)の位置

2.2 構造概要

高放射性廃液貯蔵場(HAW)は，平面形状が[redacted]のほぼ正方形を成しており，地上高さ[redacted]，地下深さ[redacted]の鉄筋コンクリート造の建家である。基礎は，べた基礎とし，基礎地盤である久米層(砂質泥岩)に設置されている。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)周辺において，地盤による拘束効果を高めるため，基礎地盤の深さまで地盤改良を実施する。

建家の代表的な平面図及び断面図を図 2-2 から図 2-5 に，基礎地盤(久米層)の等高線図及び断面図を図 2-6 及び図 2-7 に，高放射性廃液貯蔵場(HAW)周辺の地盤改良範囲を図 2-8 に示す。

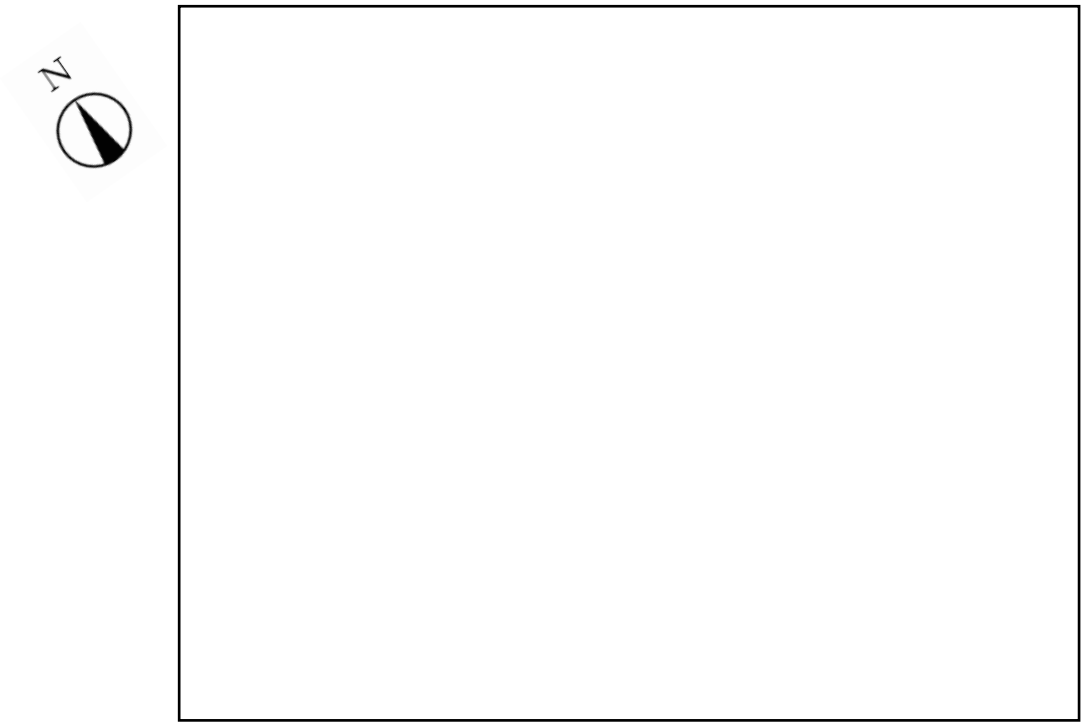


図 2-2　高放射性廃液貯蔵場(HAW)平面図(地下 1 階)

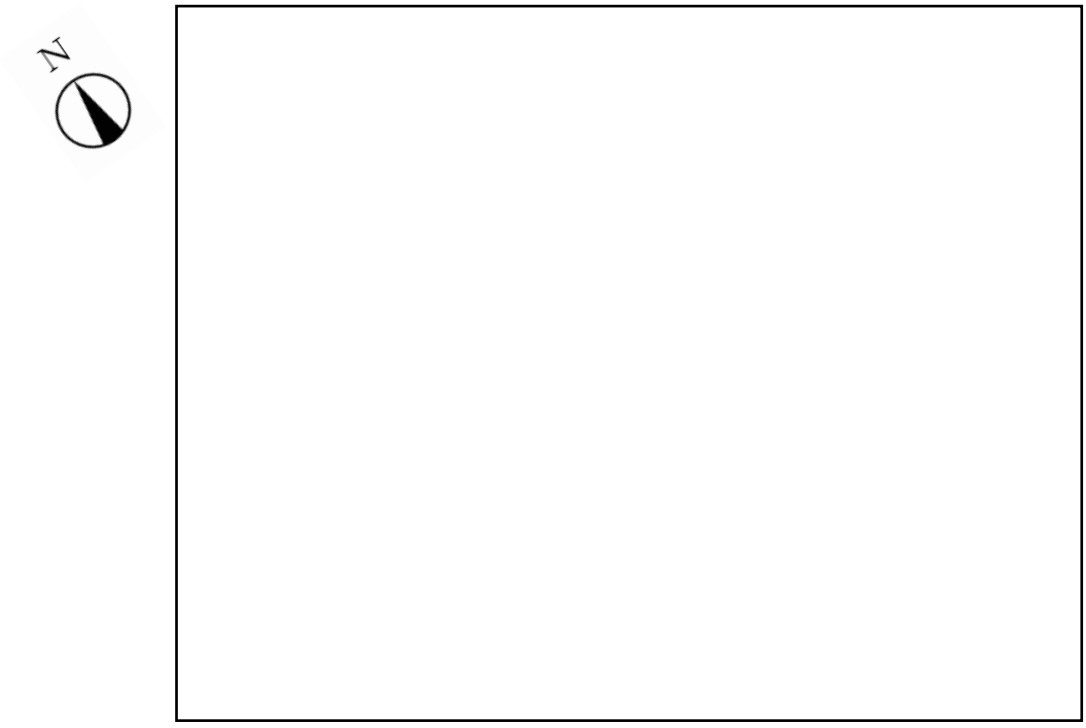


図 2-3　高放射性廃液貯蔵場(HAW)平面図(4 階)

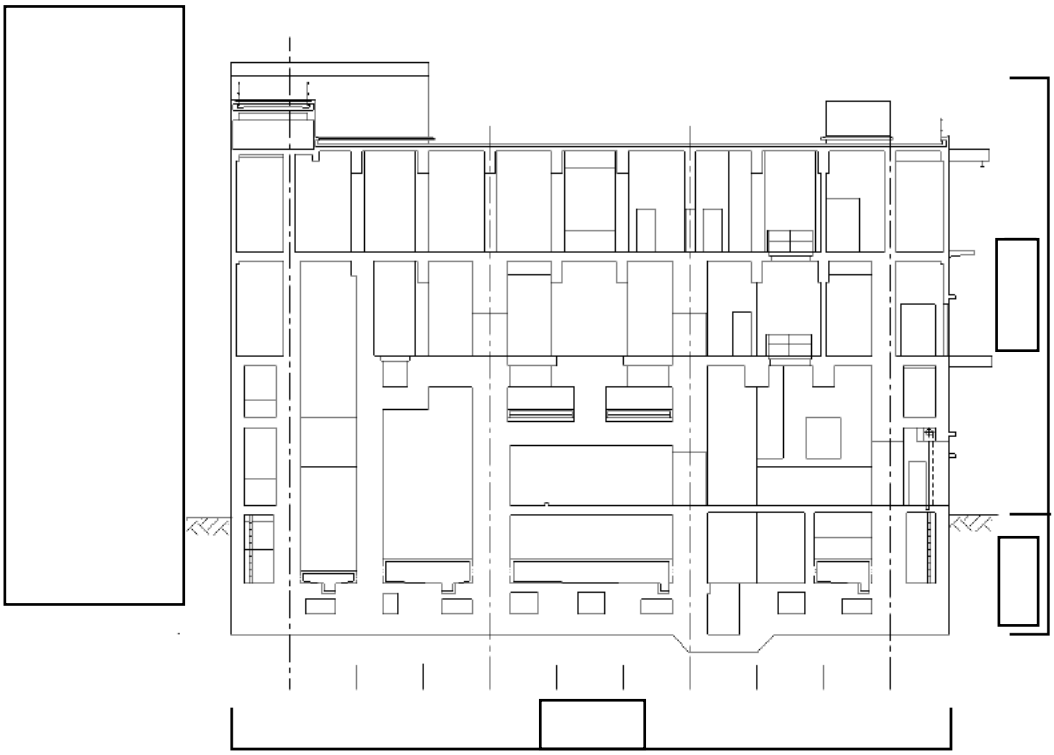


図 2-4　高放射性廃液貯蔵場(HAW)断面図(NS 断面)

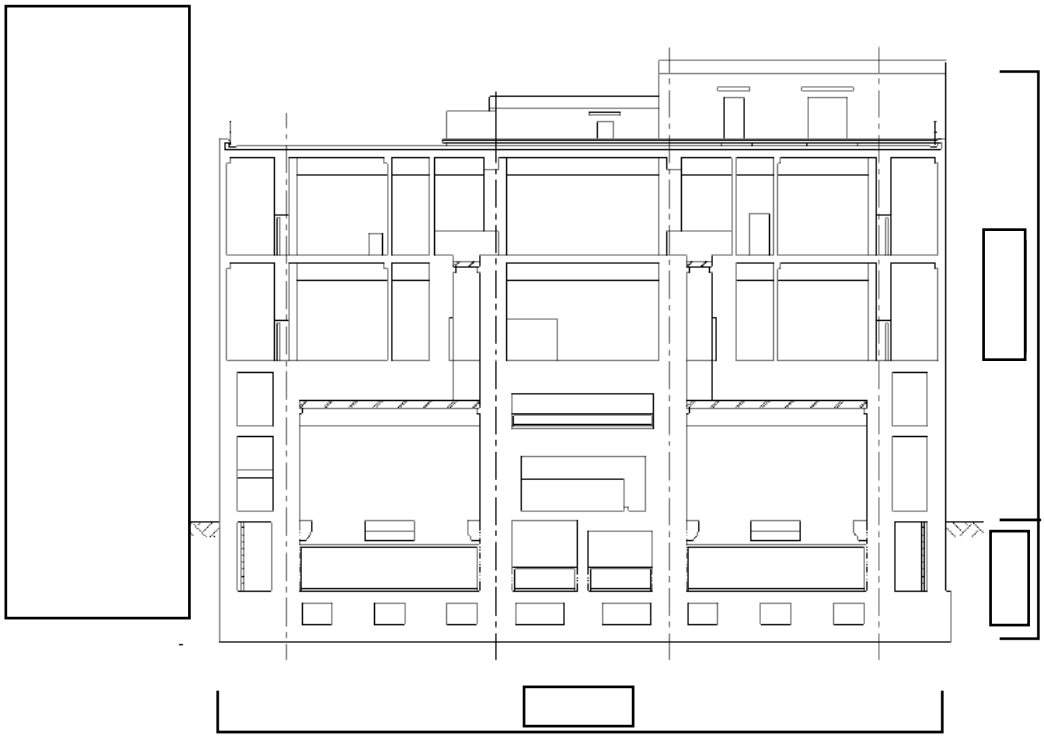


図 2-5　高放射性廃液貯蔵場(HAW)断面図(EW 断面)

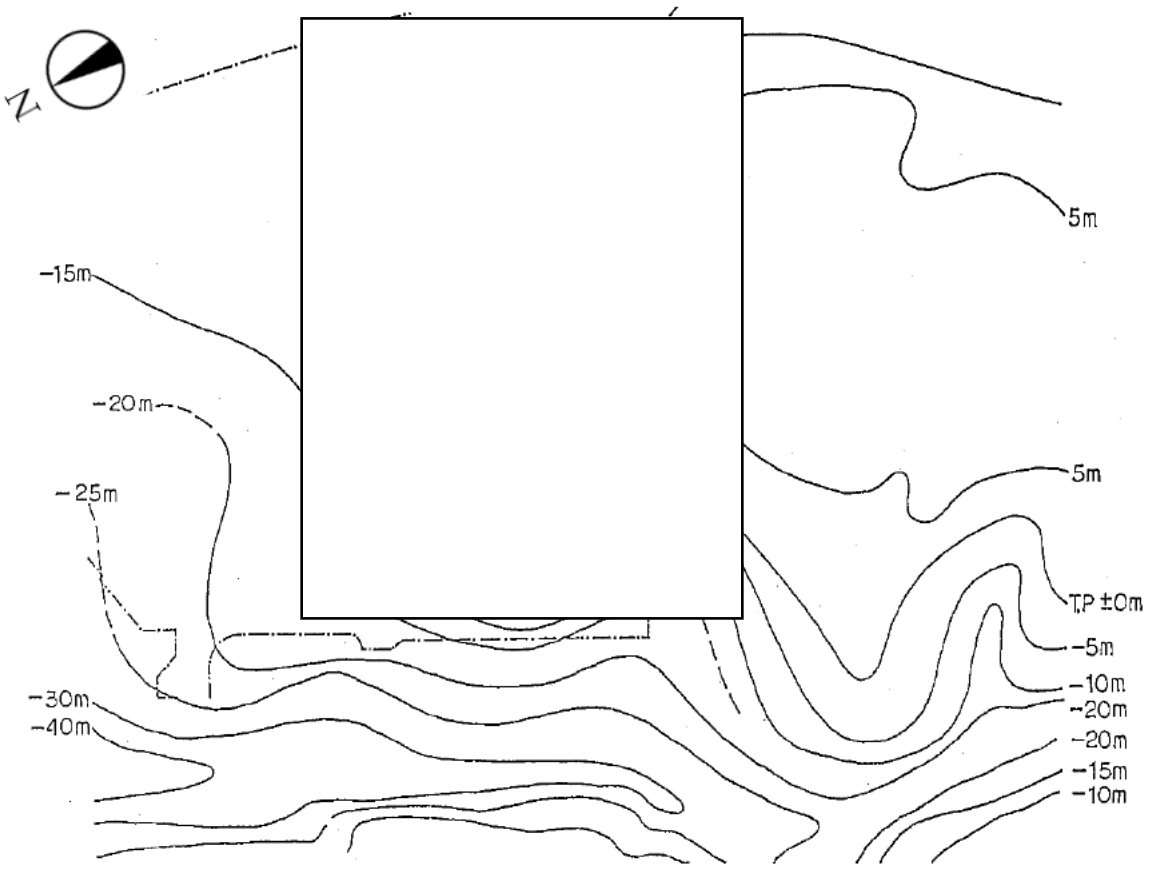


図 2-6　基礎地盤(久米層)の等高線図

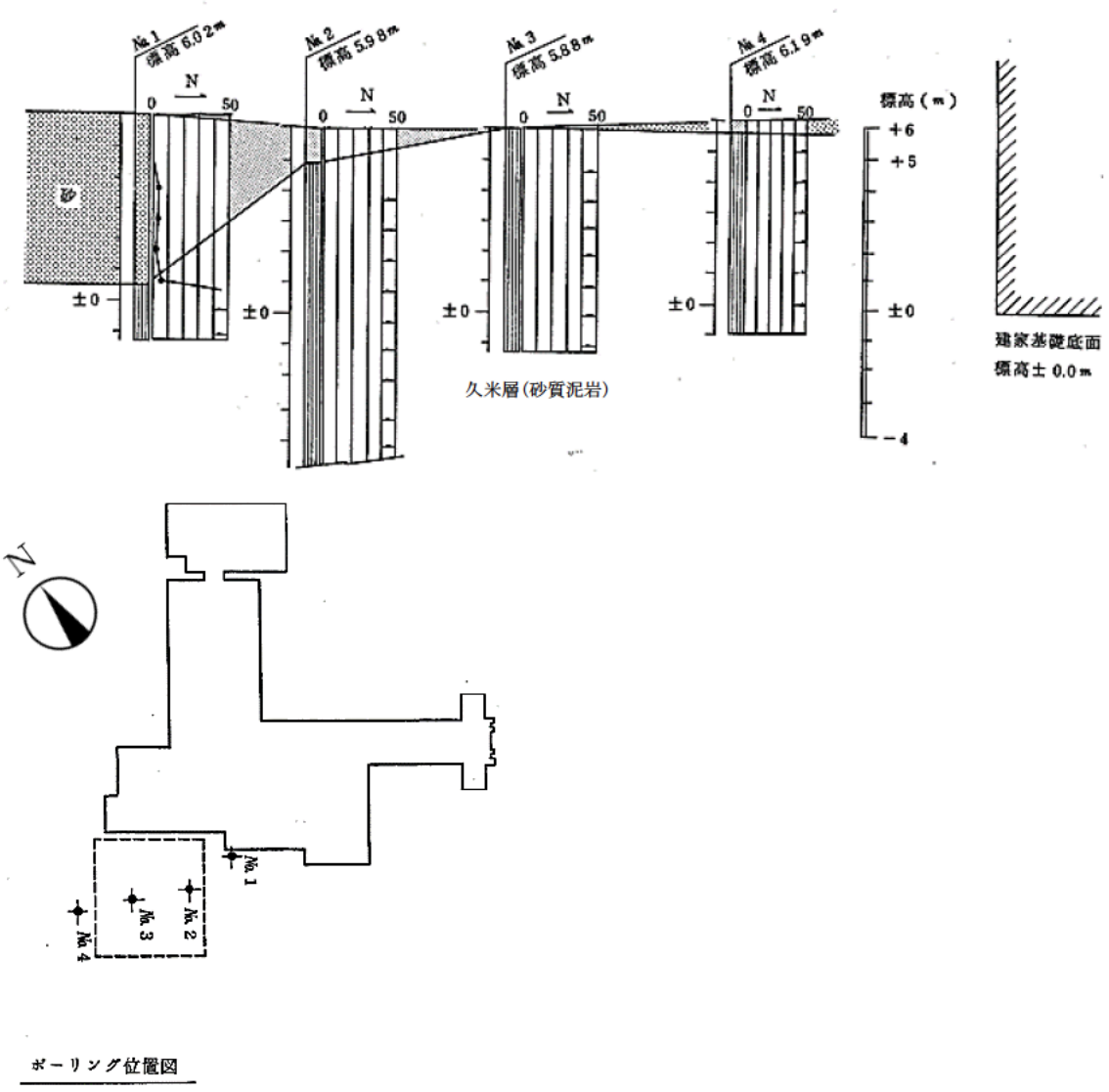


図 2-7　基礎地盤(久米層)の断面図

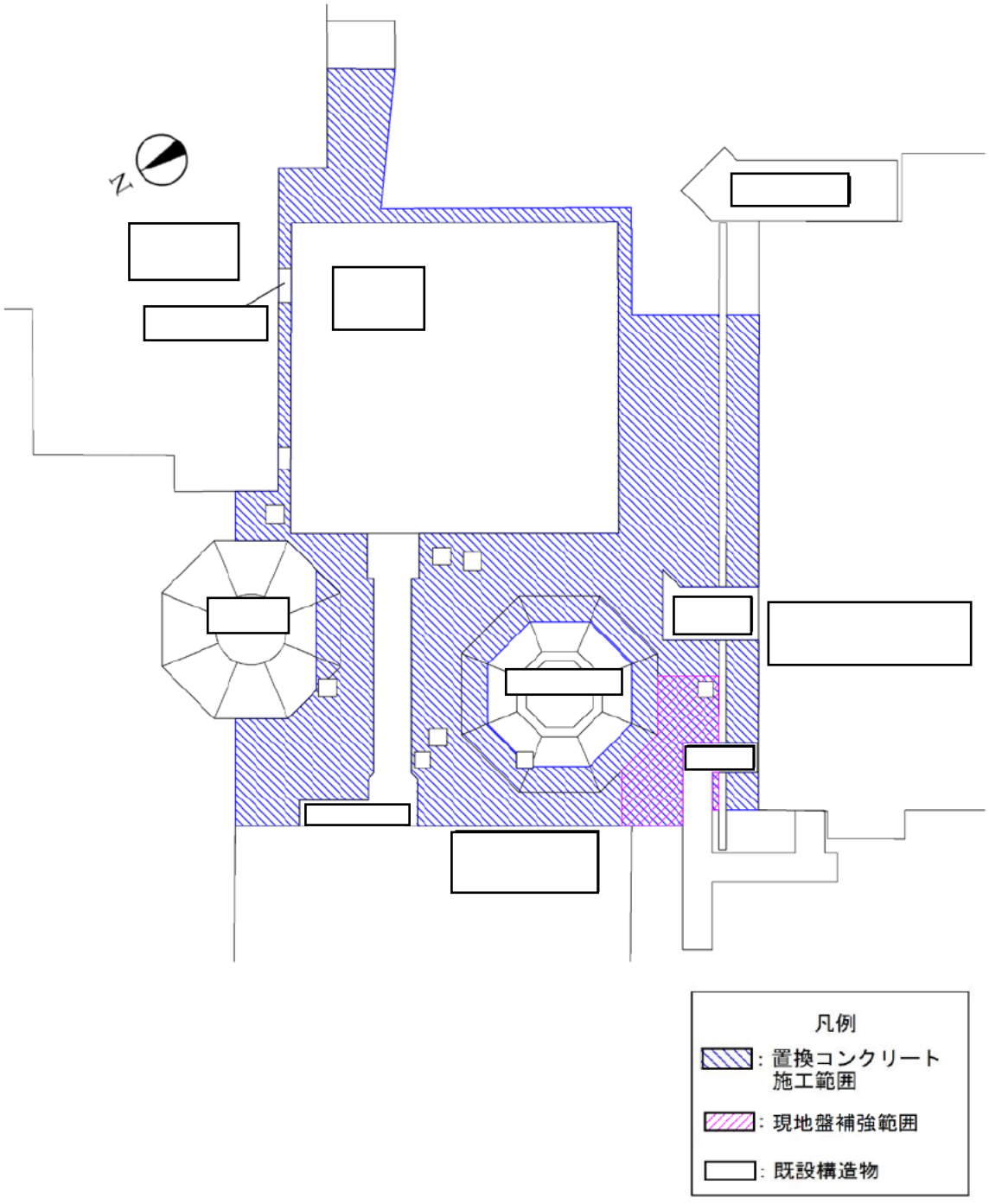


図 2-8　高放射性廃液貯蔵場(HAW)周辺の地盤改良範囲

2.3 評価方針

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の評価は，廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地震応答解析の結果に基づき実施する。

地震応答解析は，建物・構築物の形状，構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS，EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

評価は，耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧を算出し，評価基準値を超えないことを確認する。

なお，接地率を算出し，基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は，建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の評価フローを図 2-9 に示す。

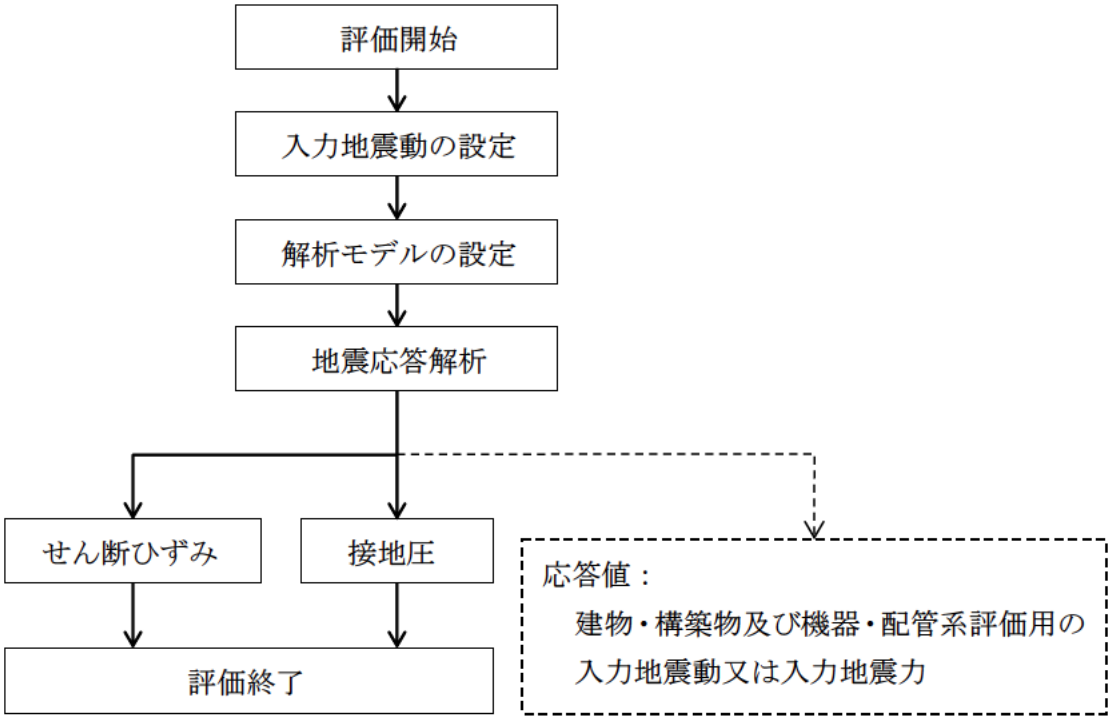


図 2-9　高放射性廃液貯蔵場(HAW)の評価フロー

2.4 準拠規格・基準

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の地震応答解析において，準拠する規格・基準等を以下に示す。

- 建築基準法・同施行令
- 原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601(日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601(日本電気協会)
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数は，既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その 25)」において定めている設計基準強度を用いて鉄筋コンクリート構造計算規準に基づき設定する。コンクリートの材料定数を表 2-1 に示す。

表 2-1　コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 Fc(N/mm^2)	ヤング係数 E(N/mm^2)	ポアソン比 ν
建家	20.6	2.15×10^4	0.2

3. 入力地震動

3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は，廃止措置計画用設計地震動(Ss)を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

廃止措置計画用設計地震動のうち，NS 及び EW 方向で個別の地震動が定義されている Ss-1 及び Ss-2 については，解放基盤表面への入力前に建家座標系に方位変換する。

算定に用いる地盤モデルは，当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし，等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を図 3-1 に，地盤の物性値を表 3-1 に，動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を図 3-2 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「DYNEQ※」である。

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地盤の地震応答解析結果を図 3-3 から図 3-7 に，建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-8 から図 3-10 に示す。

※吉田望(2008)：DYNEQ A computer program for DYNamic response analysis of level ground by EQuivalent linear method，東北学院大学工学部

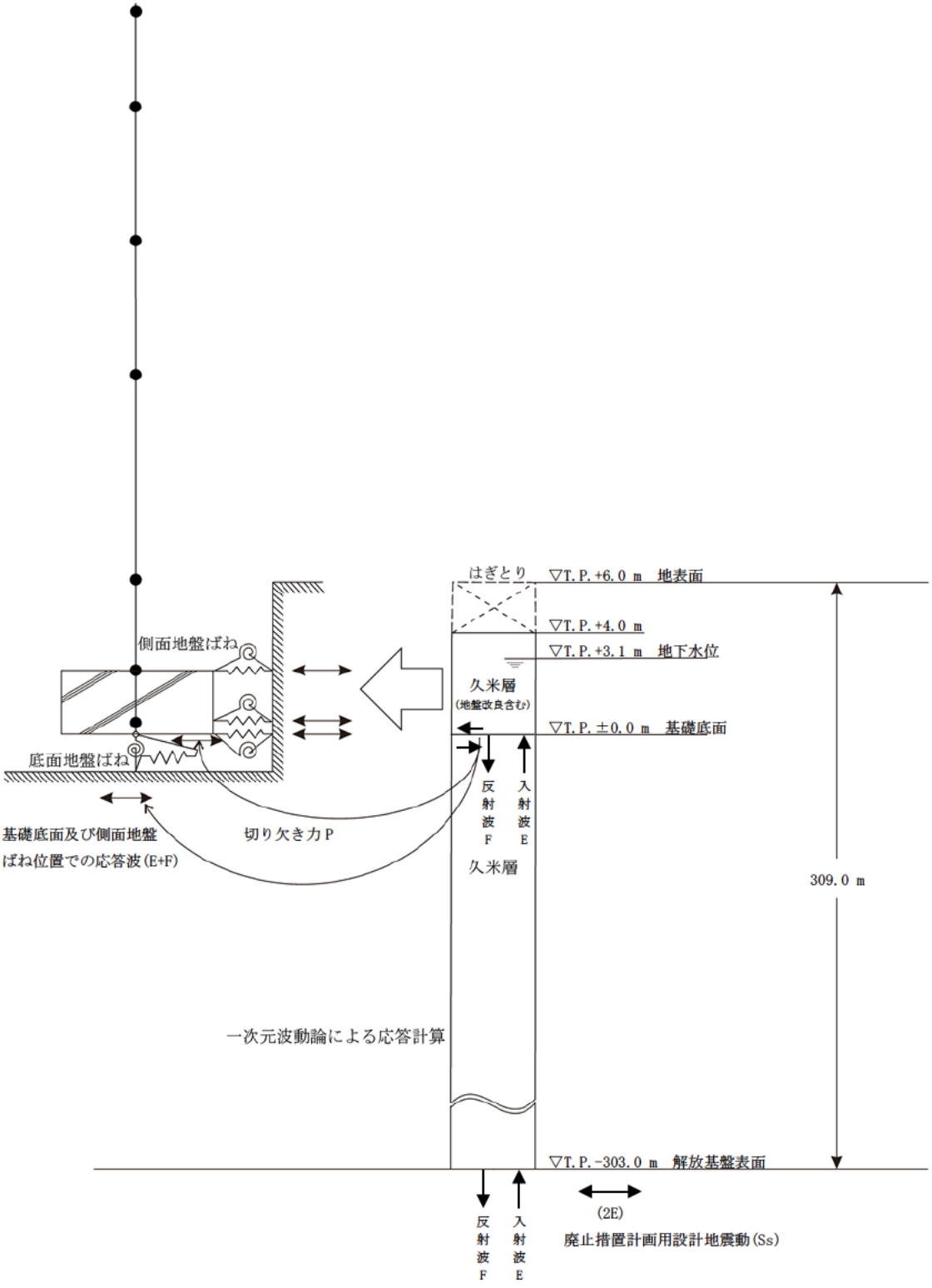
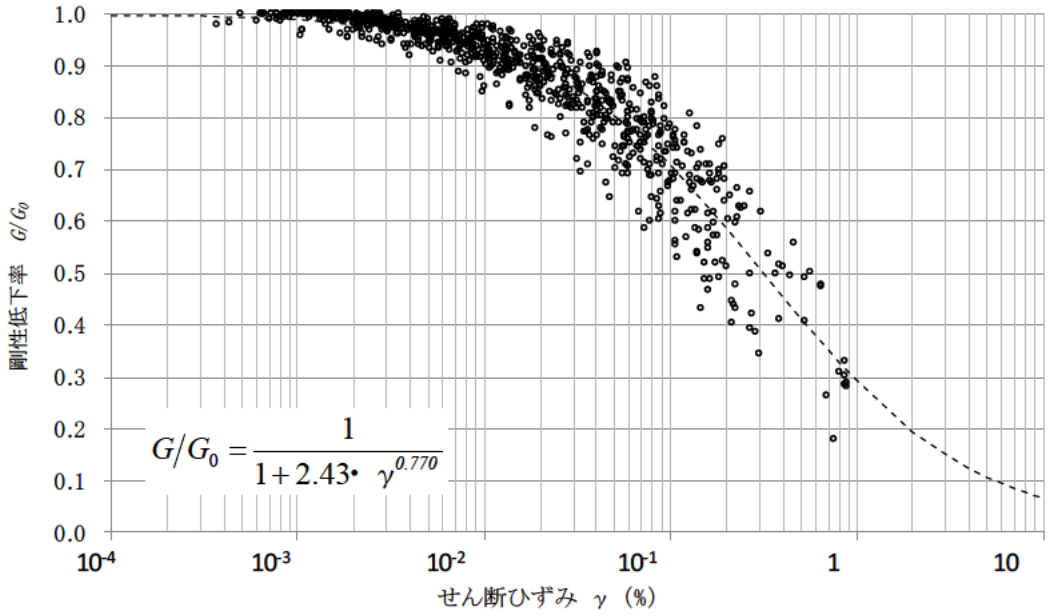


図 3-1　入力地震動算定の概要(水平方向)

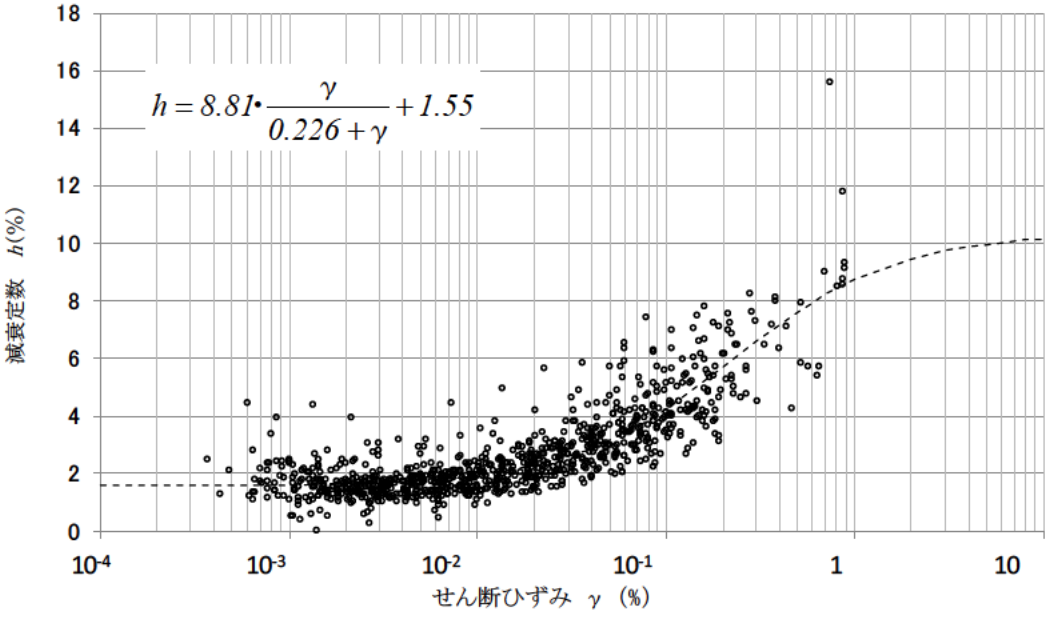
表 3-1　地盤の物性値

標高 T.P.(m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 G_0(MN/m^2)
4.0					
3.1	久米層	Km1※	1.77	0.455	426
0.0		Km1※	1.77	0.455	426
-10.0		Km1	1.77	0.455	426
-62.0		Km2	1.77	0.451	466
-92.0		Km3	1.77	0.447	515
-118.0		Km4	1.77	0.444	549
-169.0		Km5	1.77	0.440	596
-215.0		Km6	1.77	0.436	655
-261.0		Km7	1.77	0.431	711
-303.0	▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426	764
	解放基盤		1.77	0.417	867

※建家周辺の地盤(T.P.+4.0～±0.0 m)について，Km1 以上の動せん断弾性係数 G_0 を持つコンクリート(設計基準強度 18 N/mm^2)で地盤を改良するため，当該層を Km1 でモデル化している。



(a)動せん断弾性係数



(b)減衰定数

図 3-2　動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)

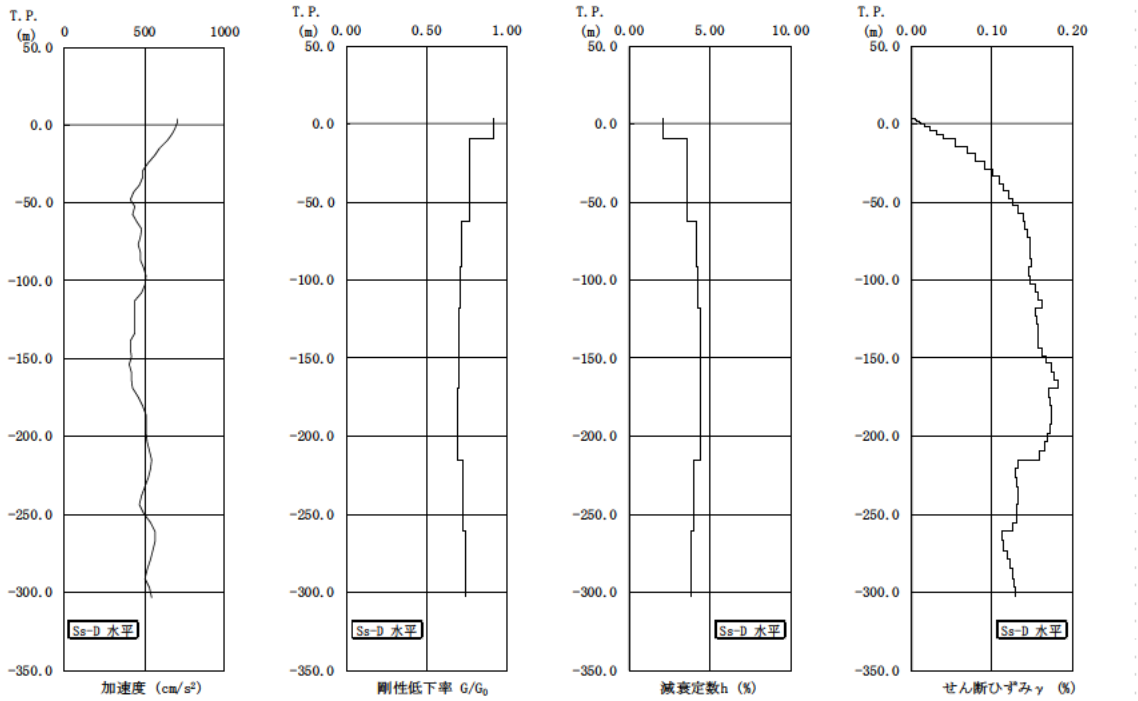


図 3-3　地盤の地震応答解析結果(水平方向，Ss-D)

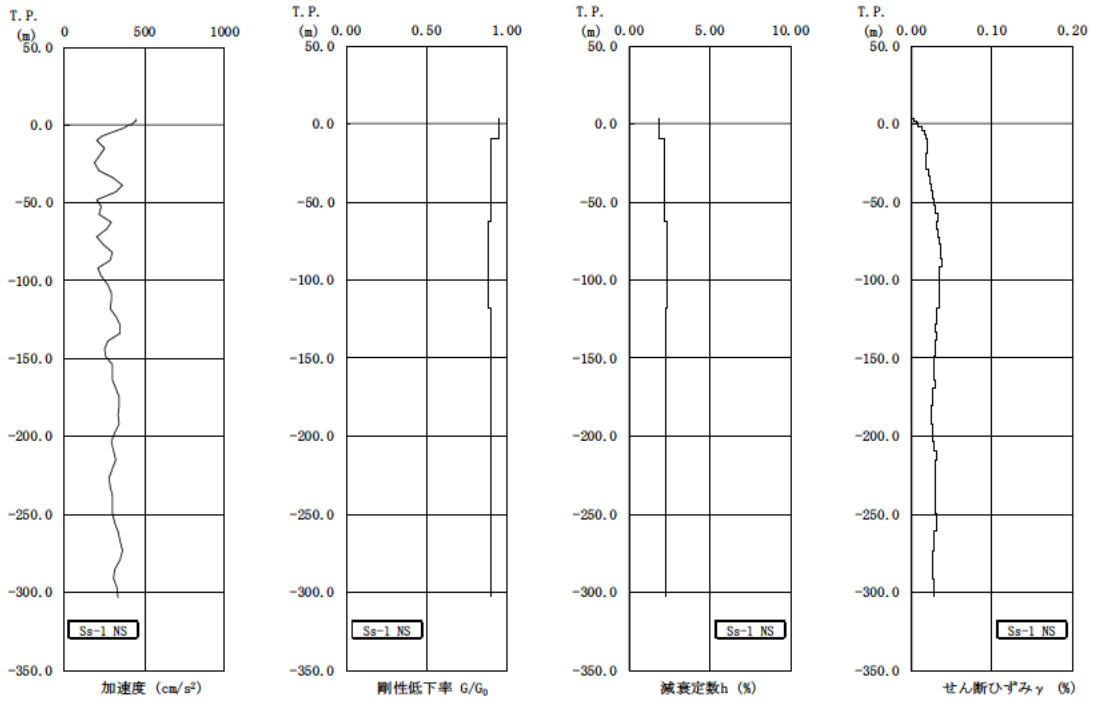


図 3-4　地盤の地震応答解析結果(NS 方向，Ss-1)

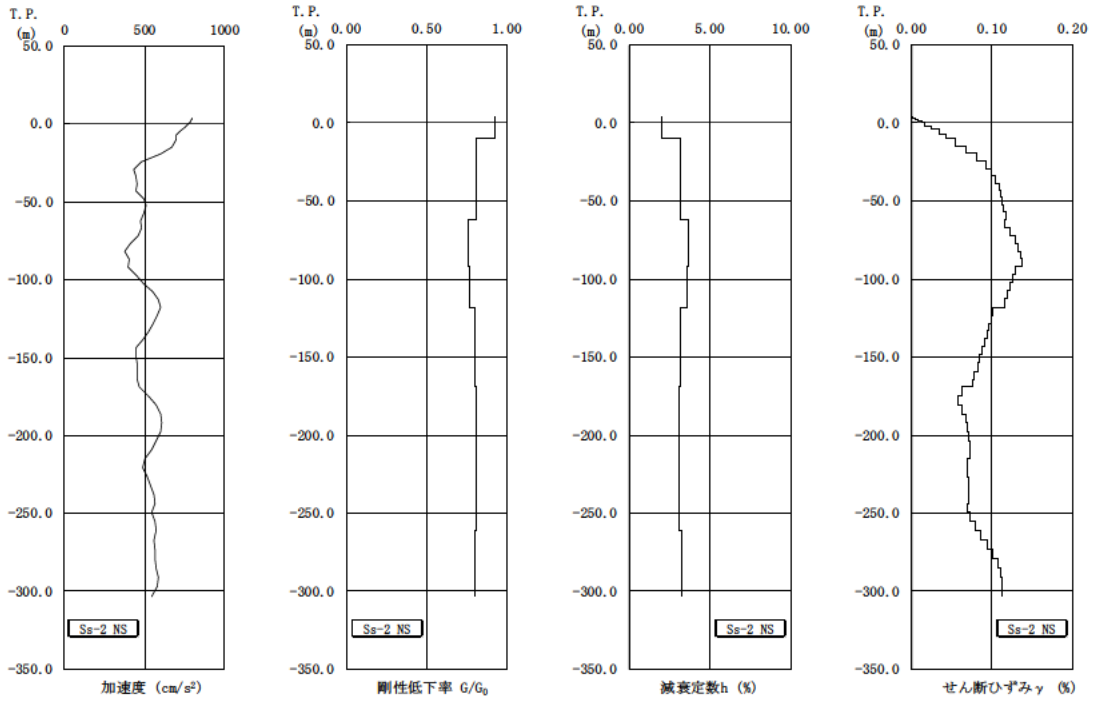


図 3-5　地盤の地震応答解析結果(NS 方向，Ss-2)

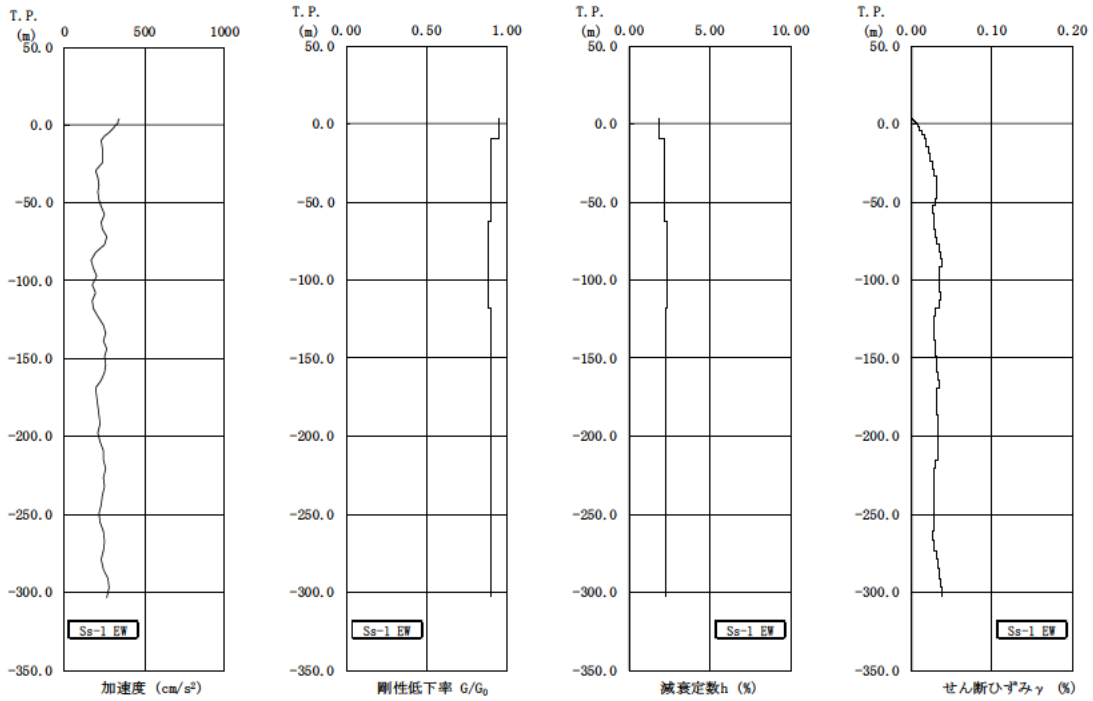


図 3-6　地盤の地震応答解析結果(EW 方向，Ss-1)

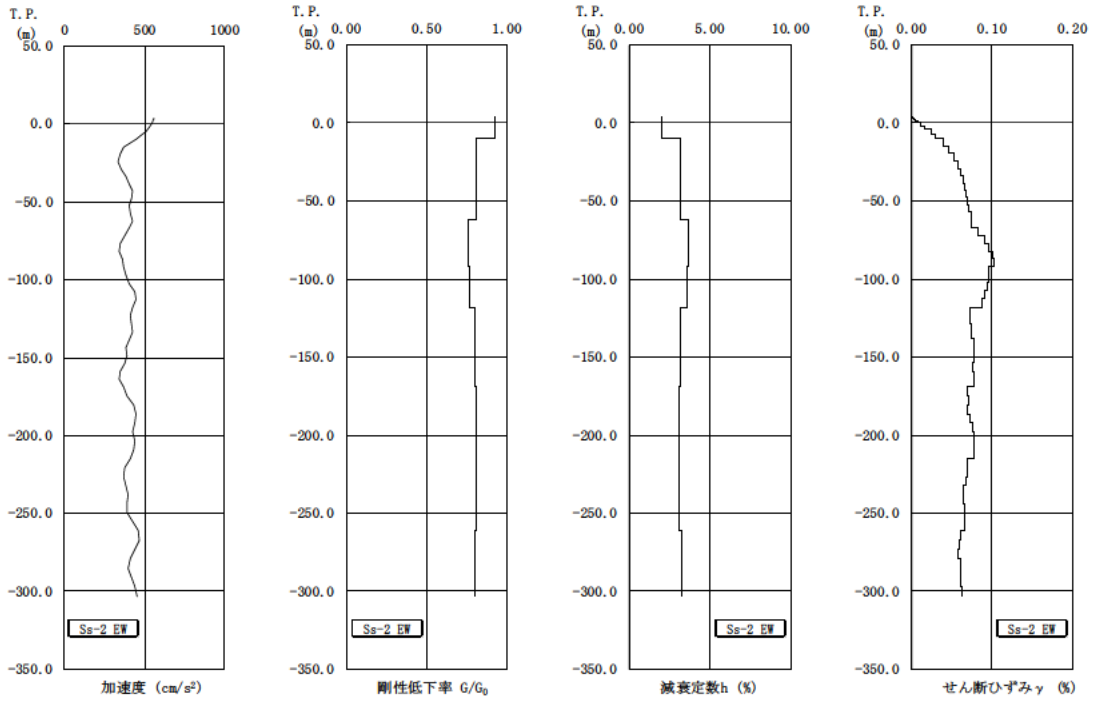
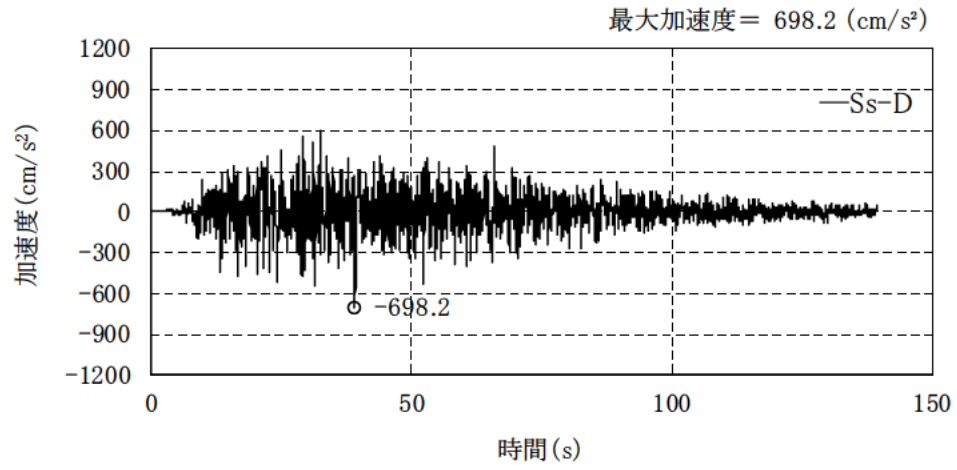
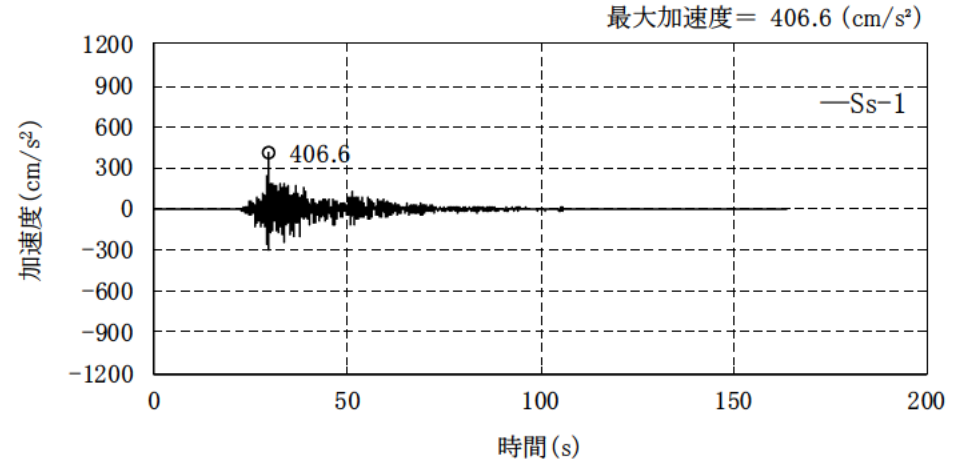


図 3-7　地盤の地震応答解析結果(EW 方向，Ss-2)





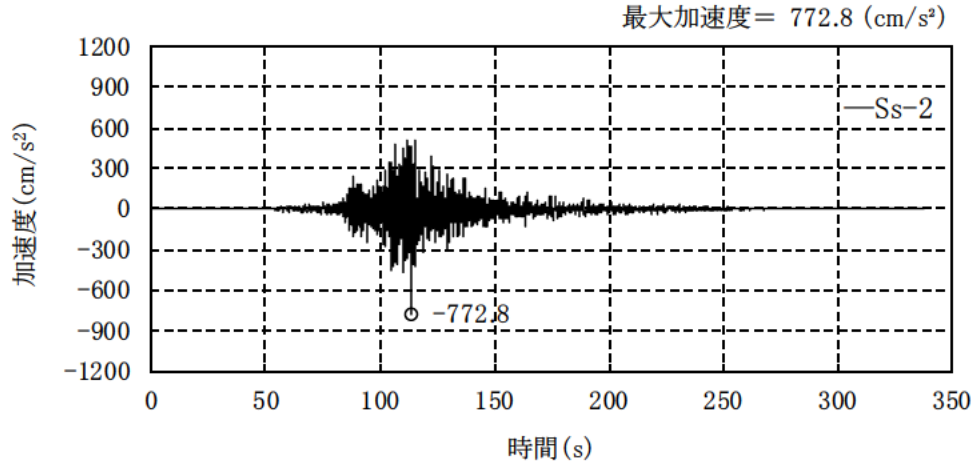
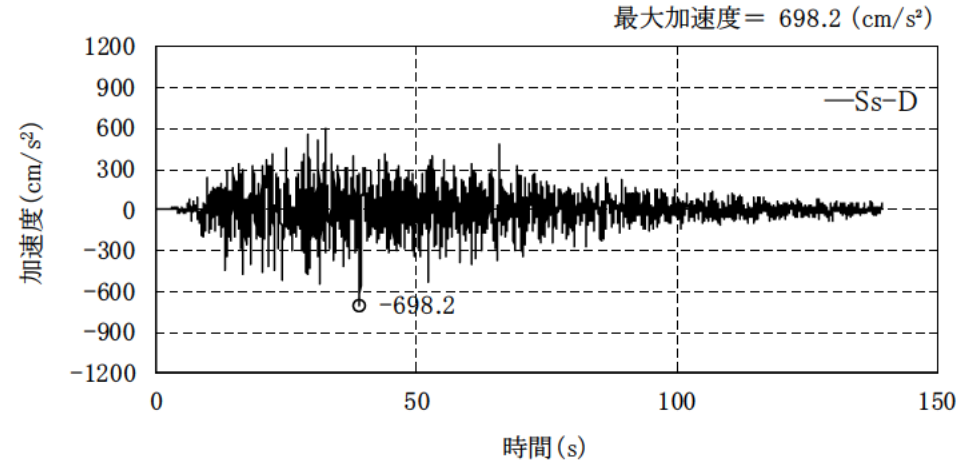
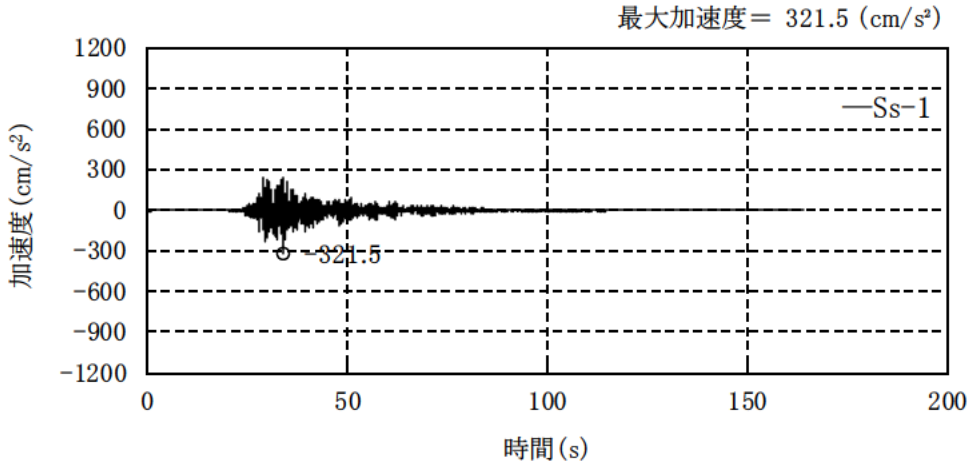


図 3-8　入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向，Ss，基礎底面位置)





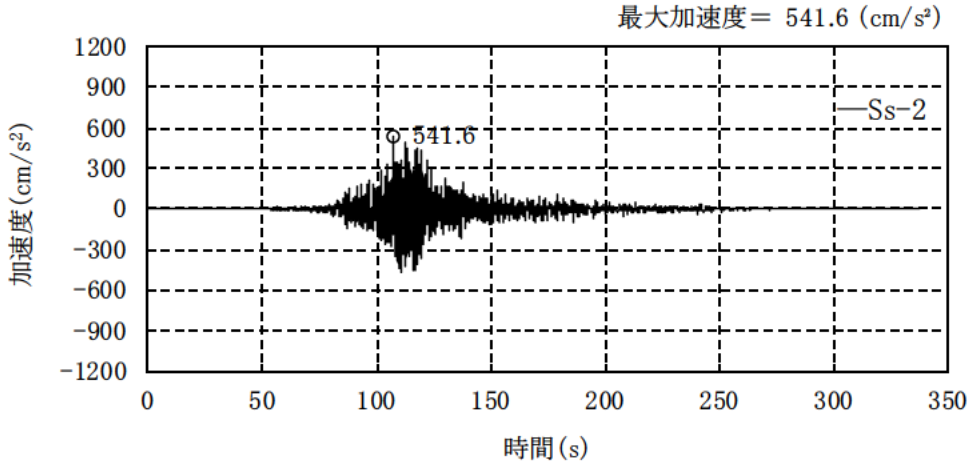
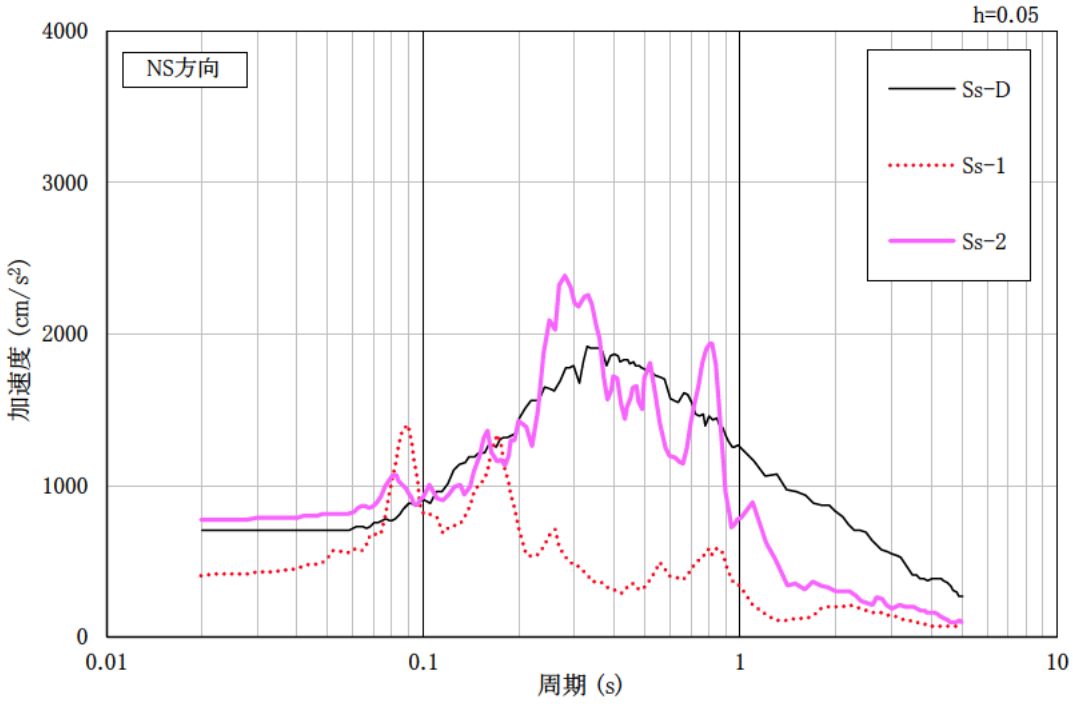
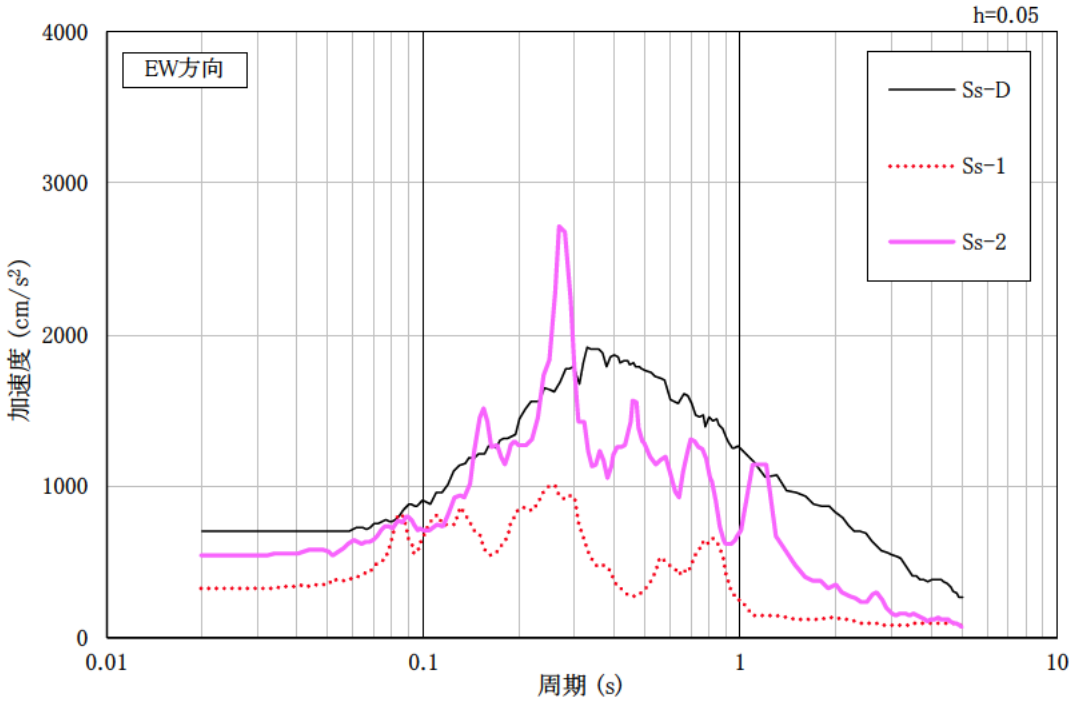


図 3-9　入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向，Ss，基礎底面位置)



(a)NS 方向



(b)EW 方向

図 3-10　入力地震動の加速度応答スペクトル(水平方向，Ss，基礎底面位置)

3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は，廃止措置計画用設計地震動(Ss)を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは，水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき，基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を図 3-11 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「DYNEQ※」である。

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地盤の地震応答解析結果を図 3-12 に，建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-13 及び図 3-14 に示す。

※吉田望(2008)：DYNEQ A computer program for DYNamic response analysis of level ground by EQuivalent linear method, 東北学院大学工学部

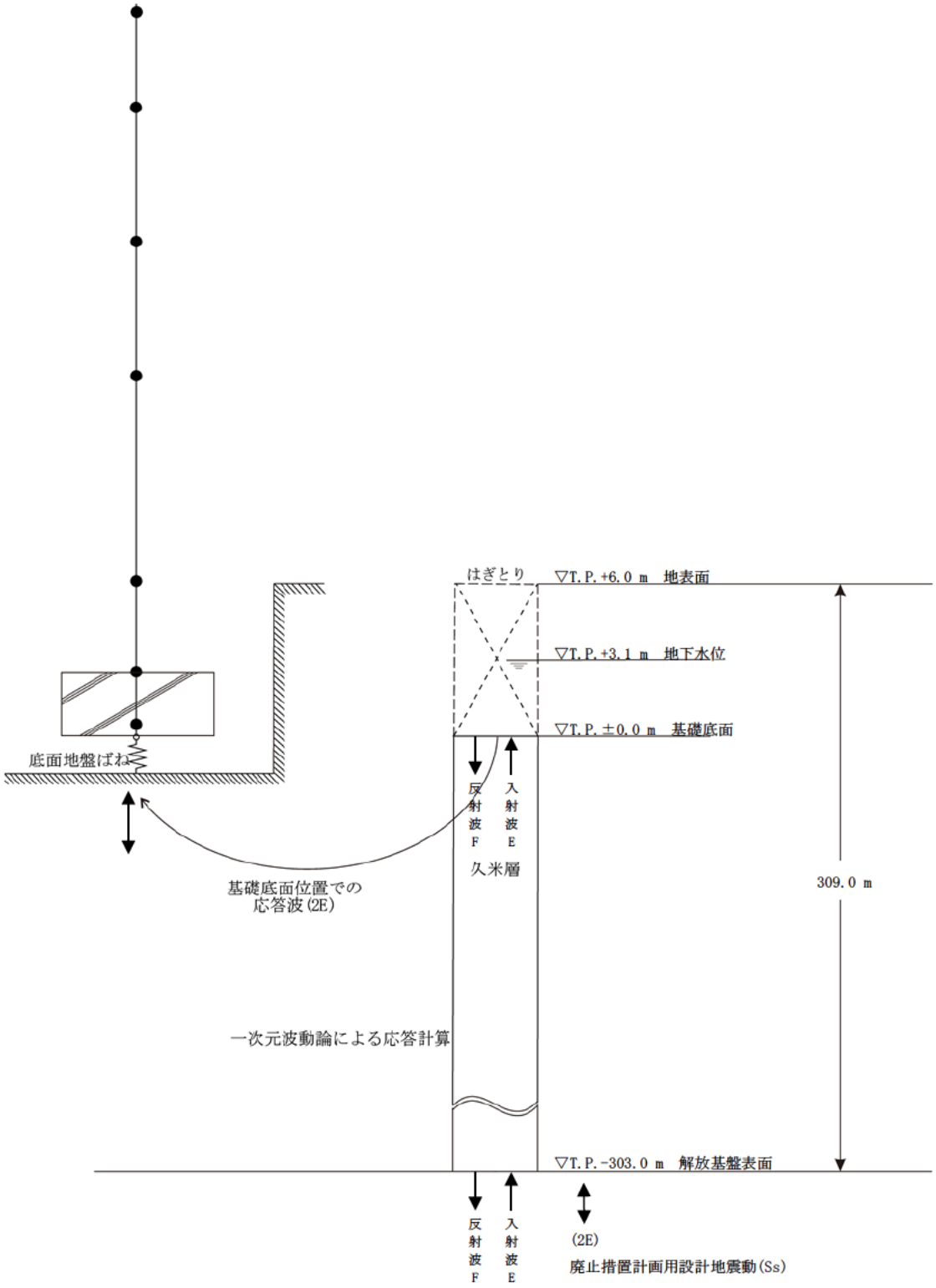
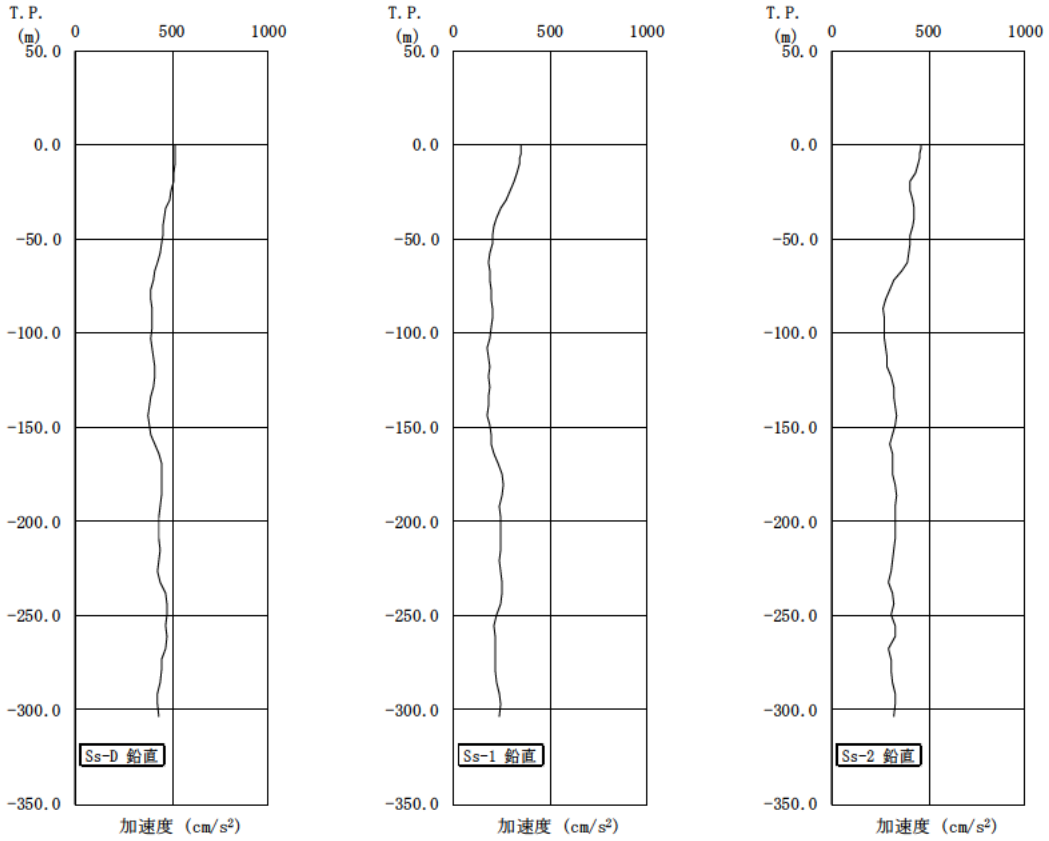
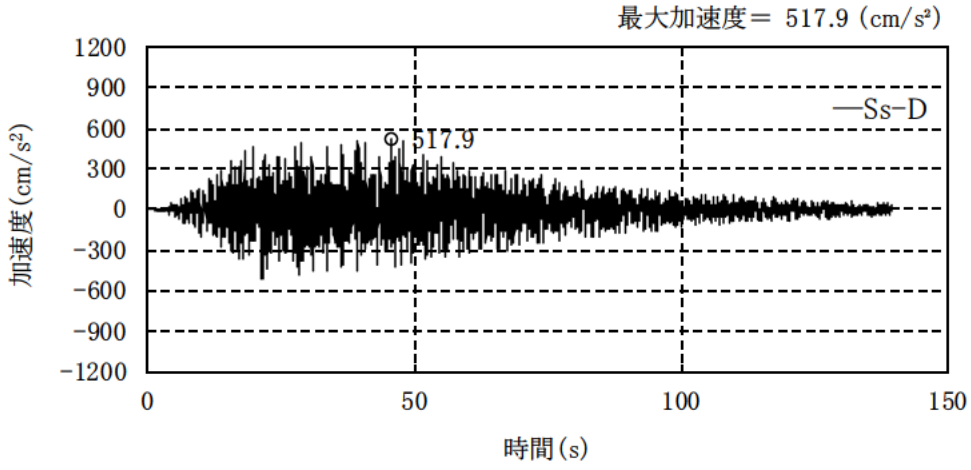


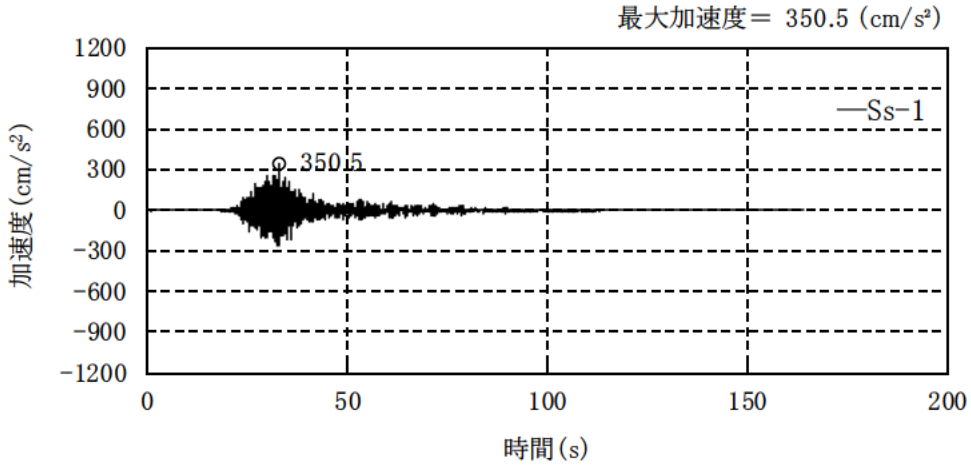
図 3-11　入力地震動算定の概要(鉛直方向)



(a) Ss-D　　(b) Ss-1　　(c) Ss-2

図 3-12　地盤の地震応答解析結果(鉛直方向，Ss)





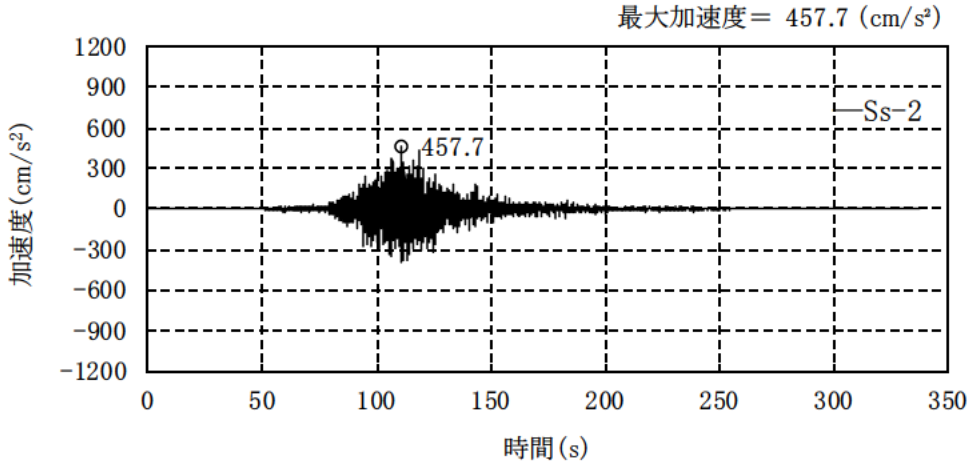


図 3-13　入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向，Ss，基礎底面位置)

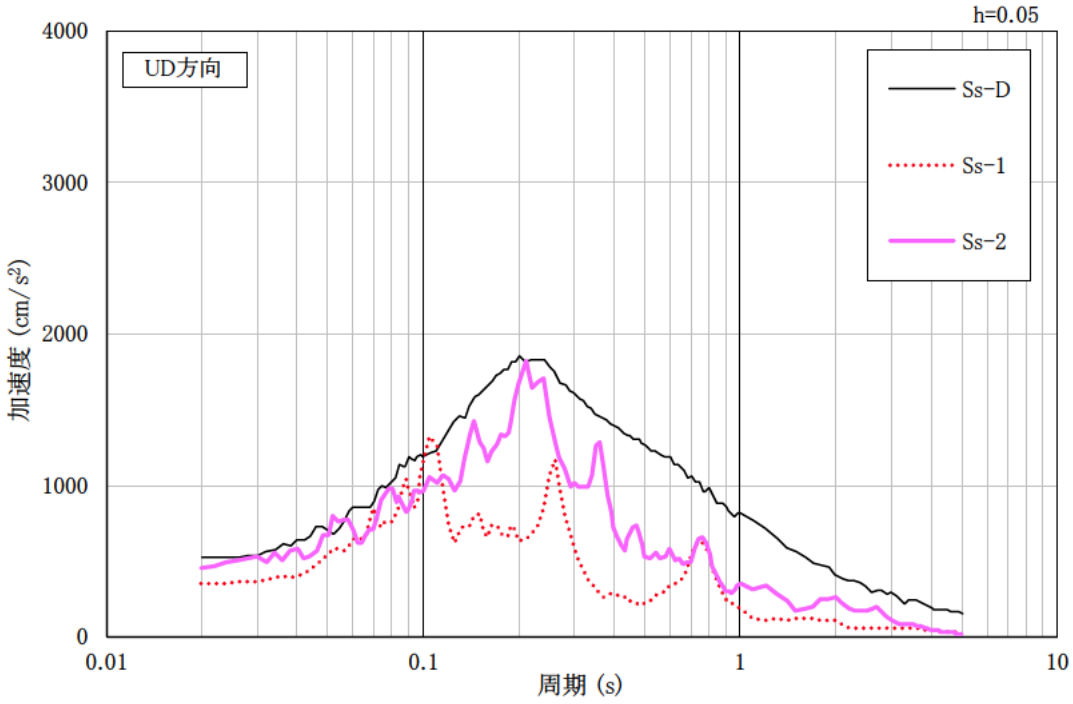


図 3-14　入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向，Ss，基礎底面位置)

4. 解析モデル

4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは，建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多質点系モデルとする。

水平方向の解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの諸元を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

解析モデルの諸元は，既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その 25)」の構造図に基づき設定する。

耐震壁のせん断の復元力特性は，図 4-2 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし，履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は，図 4-3 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし，履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。せん断及び曲げのスケルトンカーブを表 4-3 から表 4-6 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（以下「JEAG4601-1991 追補版」という。）に基づき，振動アドミッタンス理論により振動数依存の複素ばねを算定し，地盤ばね定数は 0 Hz での実部(静的ばね値)により，減衰係数は地盤-建家連成系 1 次固有円振動数での虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾きにより，それぞれ設定する。埋め込み部分の側面地盤ばねは，Novak の方法により振動数依存の複素ばねを算定し，地盤ばね定数は実部の極大値により，減衰係数は底面地盤ばねと同様に，それぞれ設定する。底面地盤回転ばねは，基礎の浮き上がりを考慮する非線形ばねとする。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「ADMITK(株式会社構造計画研究所)」，側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「K-NOVAK(株式会社構造計画研究所)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-7 及び表 4-8 に，地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要を図 4-4 に，底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)を図 4-5 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え，各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家の減衰定数は 3 %(鉄筋コンクリート部分)とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「RESP-F3T(株式会社構造計画研究所)」である。

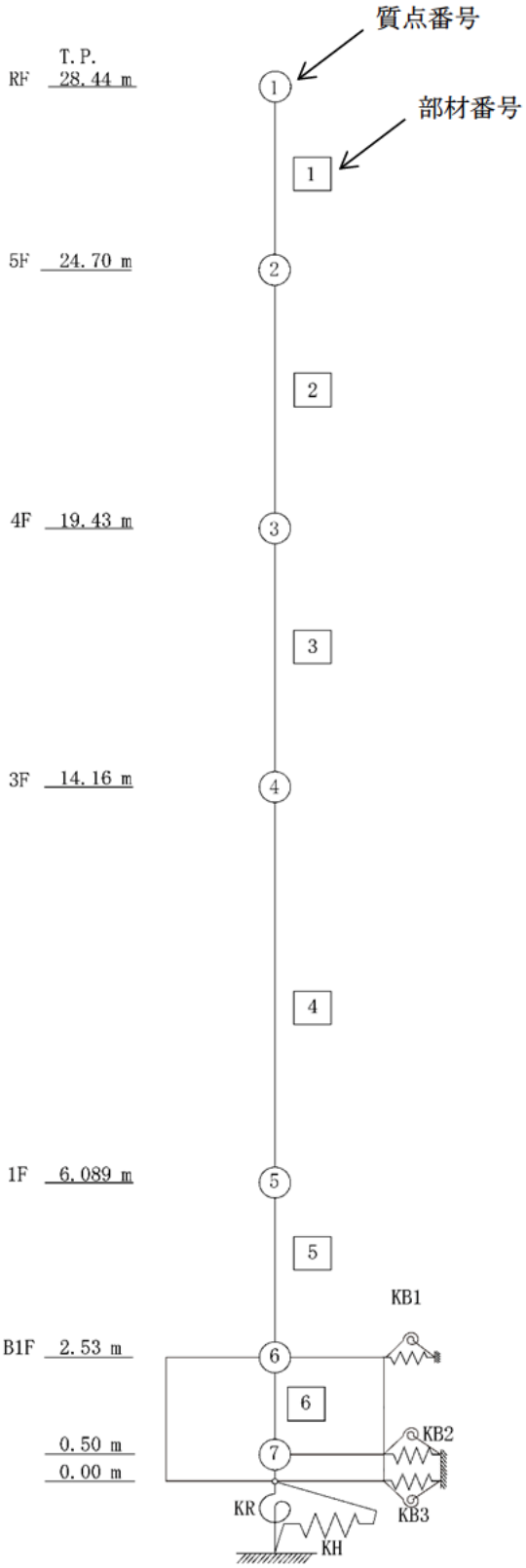


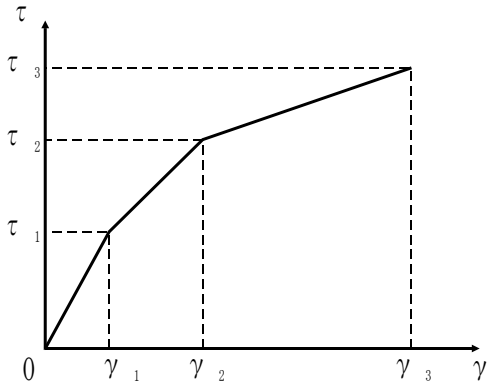
図 4-1　解析モデル(水平方向)

表 4-1　解析モデルの諸元(NS 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN･m^2)	部材 番号	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)
1	28.44	4154.6	4712	－		
				1	4.5	27
2	24.70	36046.5	40490			
				2	65.2	6290
3	19.43	51038.2	57700			
				3	87.1	8730
4	14.16	121100.8	137800			
				4	212.5	22330
5	6.089	79292.5	90780			
				5	212.5	20650
6	2.53	72321.2	81070			
				6	790.6	92910
7	0.50	31655.0	35390			
				－		

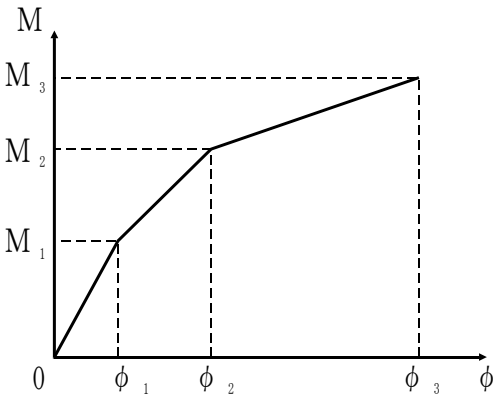
表 4-2　解析モデルの諸元(EW 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN･m^2)	部材 番号	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)
1	28.44	4154.6	4328	－		
				1	5.5	79
2	24.70	36046.5	36830			
				2	39.9	3850
3	19.43	51038.2	52510			
				3	93.2	6650
4	14.16	121100.8	125500			
				4	208.8	19550
5	6.089	79292.5	82800			
				5	229.8	18020
6	2.53	72321.2	73670			
				6	830.9	92670
7	0.50	31655.0	32220			
				－		



τ 1：第一折点のせん断応力度
τ 2：第二折点のせん断応力度
τ 3：終局点のせん断応力度
γ 1：第一折点のせん断ひずみ
γ 2：第二折点のせん断ひずみ
γ 3：終局点のせん断ひずみ

図 4-2　せん断のスケルトンカーブ（τ－γ関係）



M 1：第一折点の曲げモーメント
M 2：第二折点の 曲げモーメント
M 3：終局点の 曲げモーメント
ϕ 1：第一折点の曲率
ϕ 2：第二折点の曲率
ϕ 3：終局点の曲率

図 4-3　曲げのスケルトンカーブ(M－ϕ 関係)

表 4-3　せん断のスケルトンカーブ（$\tau-\gamma$ 関係，NS 方向）

部材番号	τ_1 (N/mm^2)	γ_1 ($\times10^{-3}$)	τ_2 (N/mm^2)	γ_2 ($\times10^{-3}$)	τ_3 (N/mm^2)	γ_3 ($\times10^{-3}$)
1	1.57	0.175	2.12	0.525	4.15	4.00
2	1.57	0.175	2.12	0.526	4.63	4.00
3	1.65	0.184	2.23	0.551	4.83	4.00
4	1.66	0.185	2.24	0.554	4.25	4.00
5	1.72	0.192	2.33	0.576	4.27	4.00

表 4-4　曲げのスケルトンカーブ（$M-\phi$ 関係，NS 方向）

部材番号	M_1 ($\times10^5$ kN･m)	ϕ_1 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_2 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_2 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_3 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_3 ($\times10^{-3}$ 1/m)
1	0.165	2.83	0.0401	26.3	0.0610	5.27
2	8.54	0.630	1.64	6.21	2.48	1.24
3	12.9	0.683	2.93	6.62	4.45	1.18
4	33.2	0.689	6.95	6.41	10.4	1.22
5	32.8	0.736	7.48	6.55	10.6	1.02

表 4-5　せん断のスケルトンカーブ（$\tau-\gamma$ 関係，EW 方向）

部材番号	τ_1 (N/mm^2)	γ_1 ($\times10^{-3}$)	τ_2 (N/mm^2)	γ_2 ($\times10^{-3}$)	τ_3 (N/mm^2)	γ_3 ($\times10^{-3}$)
1	1.57	0.175	2.12	0.525	4.55	4.00
2	1.57	0.175	2.12	0.526	4.70	4.00
3	1.65	0.184	2.23	0.551	5.01	4.00
4	1.66	0.185	2.24	0.554	4.27	4.00
5	1.72	0.192	2.33	0.576	4.24	4.00

表 4-6　曲げのスケルトンカーブ（$M-\phi$ 関係，EW 方向）

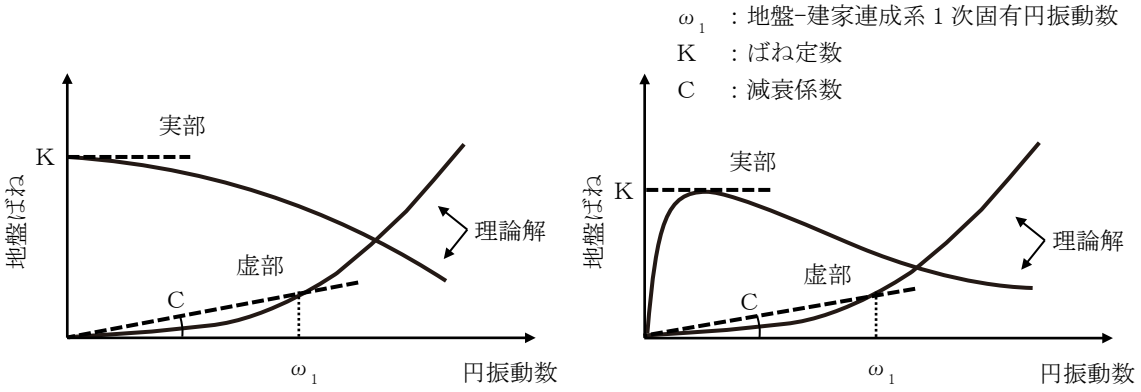
部材番号	M_1 ($\times10^5$ kN･m)	ϕ_1 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_2 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_2 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_3 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_3 ($\times10^{-3}$ 1/m)
1	0.321	1.89	0.0742	17.0	0.107	3.41
2	5.53	0.667	1.31	6.76	1.91	1.35
3	10.4	0.724	2.84	7.43	5.01	0.931
4	30.7	0.730	6.42	6.85	9.47	1.29
5	30.3	0.780	7.01	7.06	9.99	1.05

表 4-7　地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向，Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平：kN/m) (回転：kN･m/rad)	減衰係数 C (水平：kN･s/m) (回転：kN･m･s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	KB1	4.177×10^{6}	4.922×10^{5}
			KB2	2.126×10^{6}	2.506×10^{5}
			KB3	4.202×10^{5}	4.952×10^{4}
		回転	KB1	1.235×10^{9}	4.354×10^{7}
			KB2	6.286×10^{8}	2.216×10^{7}
			KB3	1.242×10^{8}	4.380×10^{6}
	底面	水平	KH	3.942×10^{7}	1.016×10^{6}
		回転	KR	1.620×10^{10}	1.134×10^{8}
Ss-1	側面	水平	KB1	4.327×10^{6}	5.013×10^{5}
			KB2	2.203×10^{6}	2.552×10^{5}
			KB3	4.353×10^{5}	5.043×10^{4}
		回転	KB1	1.279×10^{9}	4.468×10^{7}
			KB2	6.512×10^{8}	2.275×10^{7}
			KB3	1.287×10^{8}	4.495×10^{6}
	底面	水平	KH	4.427×10^{7}	1.076×10^{6}
		回転	KR	1.820×10^{10}	1.184×10^{8}
Ss-2	側面	水平	KB1	4.199×10^{6}	4.936×10^{5}
			KB2	2.137×10^{6}	2.513×10^{5}
			KB3	4.224×10^{5}	4.966×10^{4}
		回転	KB1	1.241×10^{9}	4.380×10^{7}
			KB2	6.318×10^{8}	2.230×10^{7}
			KB3	1.249×10^{8}	4.406×10^{6}
	底面	水平	KH	4.066×10^{7}	1.032×10^{6}
		回転	KR	1.671×10^{10}	1.148×10^{8}

表 4-8　地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向，Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平：kN/m) (回転：kN･m/rad)	減衰係数 C (水平：kN･s/m) (回転：kN･m･s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	KB1	4.177×10^{6}	4.923×10^{5}
			KB2	2.126×10^{6}	2.506×10^{5}
			KB3	4.202×10^{5}	4.952×10^{4}
		回転	KB1	1.235×10^{9}	4.341×10^{7}
			KB2	6.286×10^{8}	2.210×10^{7}
			KB3	1.242×10^{8}	4.368×10^{6}
	底面	水平	KH	3.960×10^{7}	1.025×10^{6}
		回転	KR	1.514×10^{10}	1.001×10^{8}
Ss-1	側面	水平	KB1	4.327×10^{6}	5.013×10^{5}
			KB2	2.203×10^{6}	2.552×10^{5}
			KB3	4.353×10^{5}	5.044×10^{4}
		回転	KB1	1.279×10^{9}	4.456×10^{7}
			KB2	6.512×10^{8}	2.268×10^{7}
			KB3	1.287×10^{8}	4.483×10^{6}
	底面	水平	KH	4.445×10^{7}	1.085×10^{6}
		回転	KR	1.700×10^{10}	1.045×10^{8}
Ss-2	側面	水平	KB1	4.199×10^{6}	4.937×10^{5}
			KB2	2.137×10^{6}	2.513×10^{5}
			KB3	4.224×10^{5}	4.967×10^{4}
		回転	KB1	1.241×10^{9}	4.364×10^{7}
			KB2	6.318×10^{8}	2.222×10^{7}
			KB3	1.249×10^{8}	4.391×10^{6}
	底面	水平	KH	4.084×10^{7}	1.041×10^{6}
		回転	KR	1.561×10^{10}	1.011×10^{8}



(a)底面地盤ばね　　(b)側面地盤ばね

図 4-4　地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要

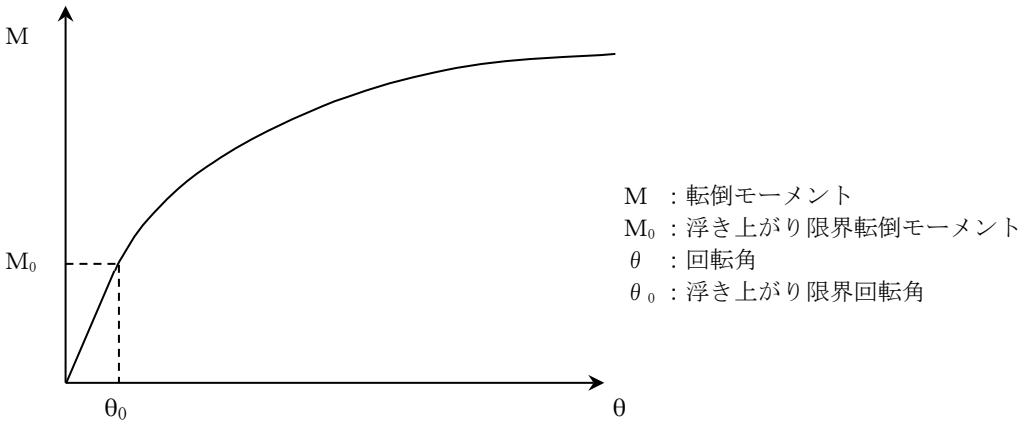


図 4-5　底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)

4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは，建家と地盤の相互作用を考慮した多質点系モデルとする。建家部分は質点を鉛直方向のばねで連結しモデル化する。なお，建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

鉛直方向の解析モデルを図 4-6 に，解析モデルの諸元を表 4-9 に示す。

解析モデルの諸元は，既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その 25)」の構造図に基づき設定する。

基礎下の底面地盤ばねは，JEAG4601-1991 追補版に基づき，振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「ADMITK(株式会社構造計画研究所)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-10 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え，各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算出する。建家の減衰定数は 3 %(鉄筋コンクリート部分)とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「RESP-F3T(株式会社構造計画研究所)」である。

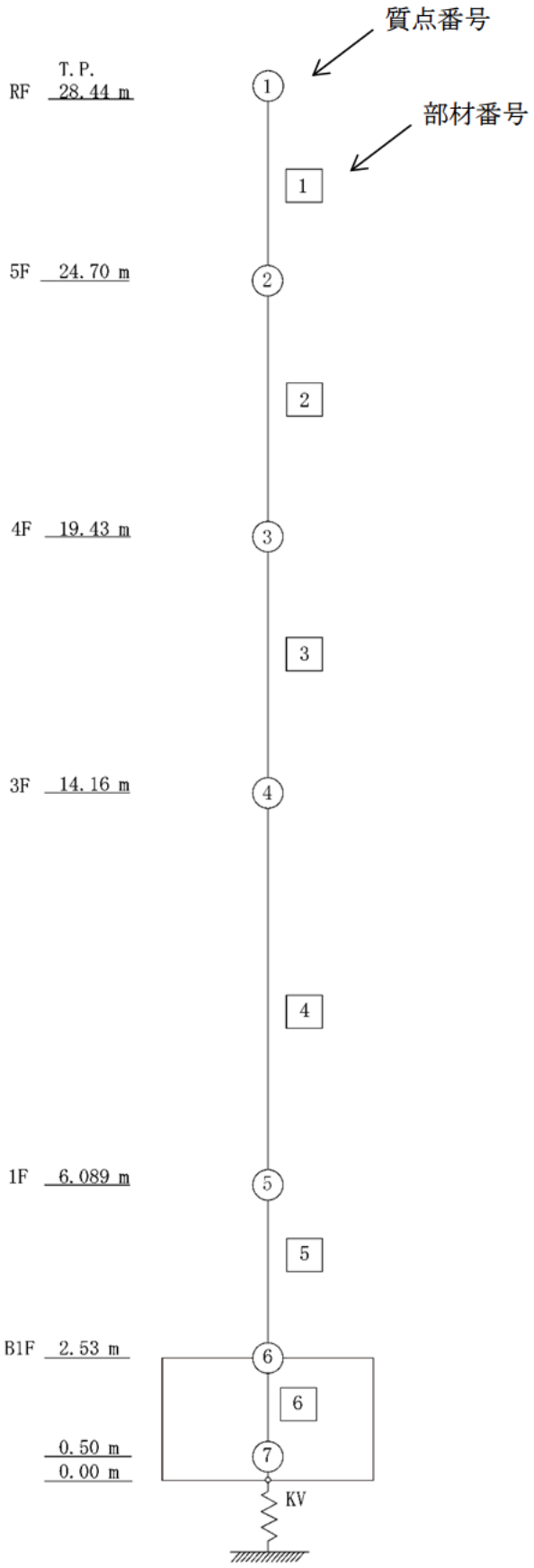


図 4-6　解析モデル(鉛直方向)

表 4-9　解析モデルの諸元(鉛直方向)

質点 番号	高さ T.P. (m)	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m^2)
1	28.44	4154.6	－	
			1	11.9
2	24.70	36046.5		
			2	114.2
3	19.43	51038.2		
			3	172.8
4	14.16	121100.8		
			4	387.8
5	6.089	79292.5		
			5	415.4
6	2.53	72321.2		
			6	1130.9
7	0.50	31655.0		
			－	

表 4-10　地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K	減衰係数 C
	位置	成分	記号	(kN/m)	(kN･s/m)
Ss-D	底面	鉛直	KV	5.819×10^7	2.234×10^6
Ss-1	底面	鉛直	KV	6.769×10^7	2.403×10^6
Ss-2	底面	鉛直	KV	6.089×10^7	2.283×10^6

5. 解析結果

5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を表 5-1 から表 5-3 に示す。刺激関数を Ss-D の結果を代表として，図 5-1 から図 5-6 に示す。

表 5-1　固有値解析結果(Ss-D)

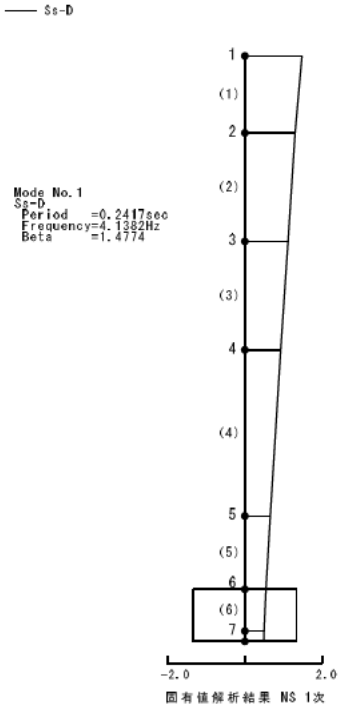
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.242	4.14	1.477	全体 1 次
	2	0.119	8.38	-0.625	
	3	0.106	9.40	0.202	
	4	0.049	20.37	-0.038	
	5	0.042	24.08	0.114	
	6	0.037	26.80	-0.054	
	7	0.030	33.77	0.012	
EW	1	0.244	4.10	1.485	全体 1 次
	2	0.114	8.76	-0.573	
	3	0.065	15.48	0.087	
	4	0.052	19.19	0.009	
	5	0.043	23.36	0.039	
	6	0.034	29.27	0.039	
	7	0.031	32.27	-0.048	
UD	1	0.169	5.93	1.053	全体 1 次
	2	0.028	36.32	-0.081	
	3	0.017	58.05	0.048	
	4	0.014	69.69	-0.022	
	5	0.011	91.54	0.002	
	6	0.008	126.58	-0.005	
	7	0.003	371.96	0.002	

表 5-2　固有値解析結果(Ss-1)

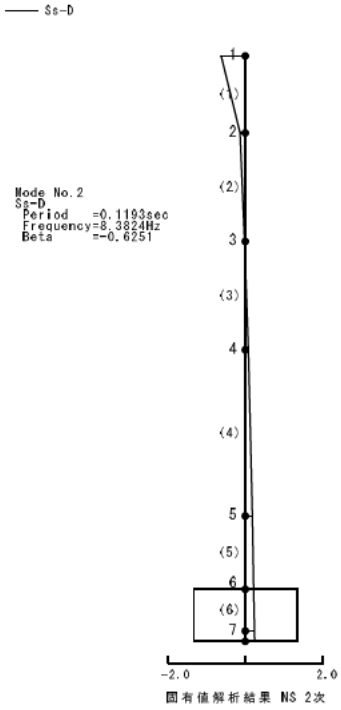
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.231	4.32	1.493	全体 1 次
	2	0.117	8.53	-0.551	
	3	0.104	9.64	0.282	
	4	0.049	20.49	-0.040	
	5	0.041	24.15	0.133	
	6	0.037	26.86	-0.065	
	7	0.030	33.89	0.013	
EW	1	0.234	4.28	1.499	全体 1 次
	2	0.110	9.12	-0.602	
	3	0.064	15.51	0.097	
	4	0.052	19.31	0.013	
	5	0.043	23.42	0.044	
	6	0.034	29.34	0.039	
	7	0.031	32.34	-0.051	
UD	1	0.157	6.37	1.061	全体 1 次
	2	0.027	36.40	-0.094	
	3	0.017	58.09	0.056	
	4	0.014	69.70	-0.025	
	5	0.011	91.54	0.003	
	6	0.008	126.62	-0.006	
	7	0.003	372.03	0.003	

表 5-3　固有値解析結果(Ss-2)

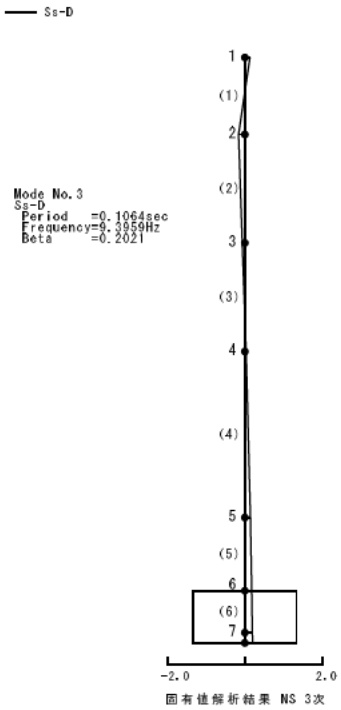
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.239	4.19	1.481	全体 1 次
	2	0.119	8.43	-0.610	
	3	0.106	9.45	0.224	
	4	0.049	20.40	-0.038	
	5	0.041	24.10	0.119	
	6	0.037	26.82	-0.057	
	7	0.030	33.80	0.013	
EW	1	0.241	4.14	1.488	全体 1 次
	2	0.113	8.85	-0.581	
	3	0.065	15.48	0.089	
	4	0.052	19.22	0.010	
	5	0.043	23.38	0.040	
	6	0.034	29.28	0.039	
	7	0.031	32.28	-0.049	
UD	1	0.165	6.06	1.055	全体 1 次
	2	0.028	36.34	-0.084	
	3	0.017	58.06	0.050	
	4	0.014	69.69	-0.023	
	5	0.011	91.54	0.002	
	6	0.008	126.59	-0.005	
	7	0.003	371.98	0.002	



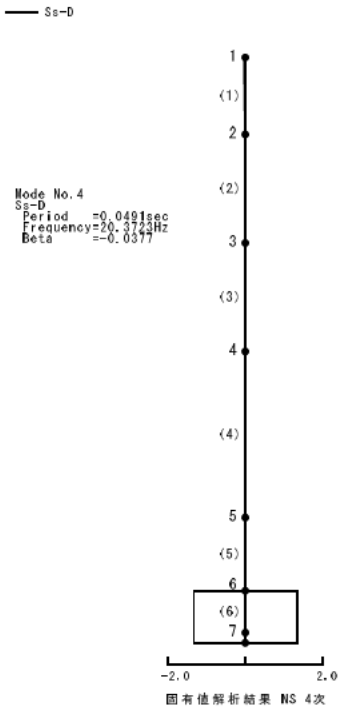
(1 次)



(2 次)

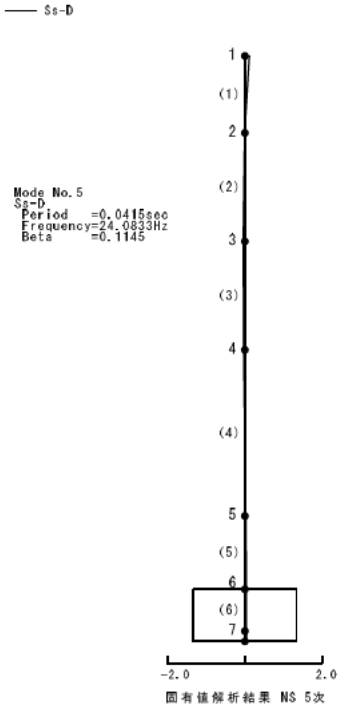


(3 次)

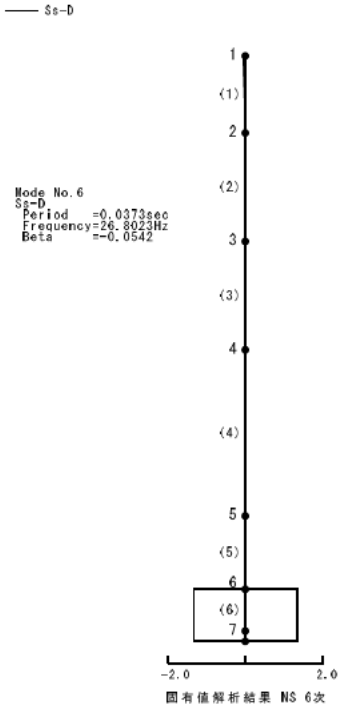


(4 次)

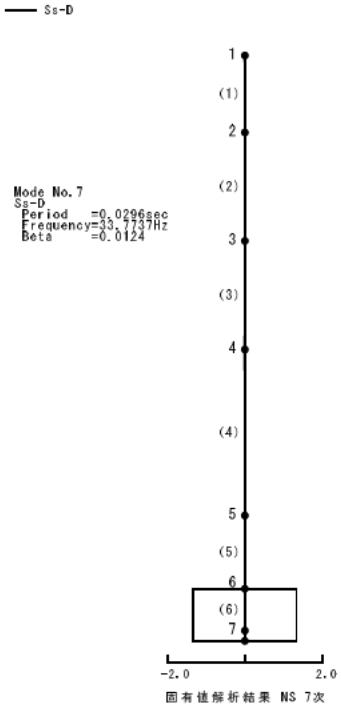
図 5-1　刺激関数(NS 方向，Ss-D，1～4 次)



(5 次)

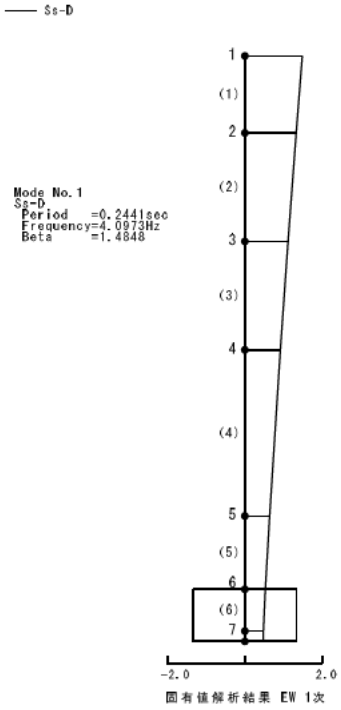


(6 次)

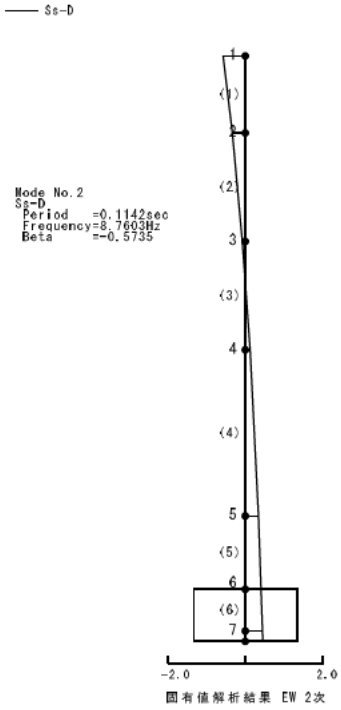


(7 次)

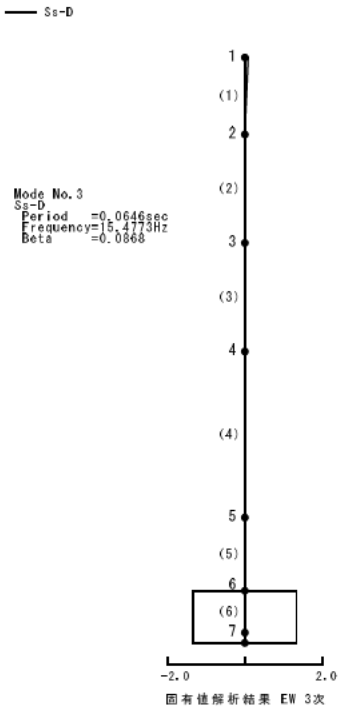
図 5-2　刺激関数(NS 方向，Ss-D，5～7 次)



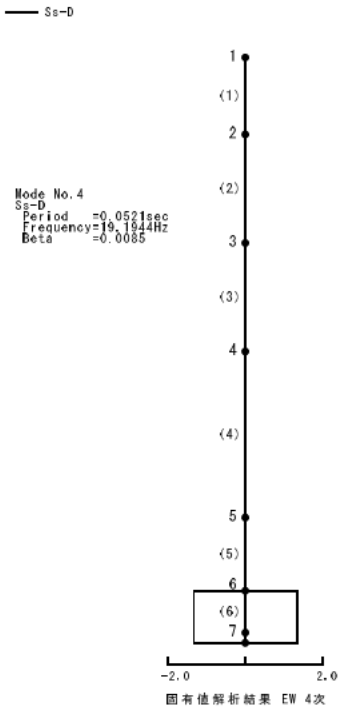
(1 次)



(2 次)

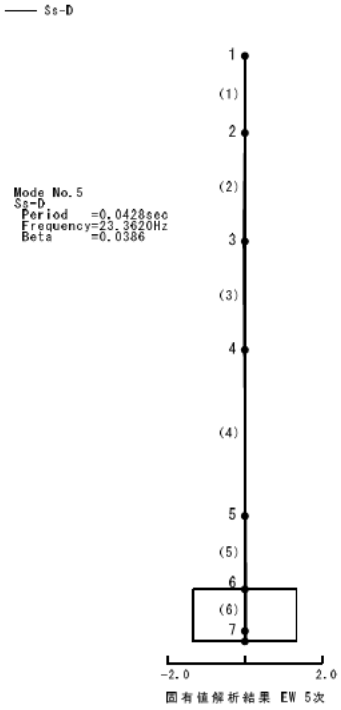


(3 次)

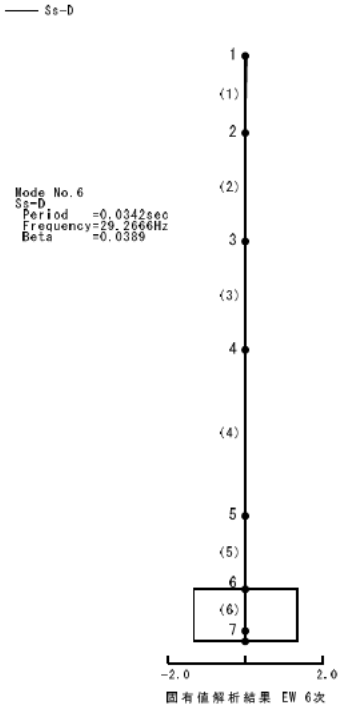


(4 次)

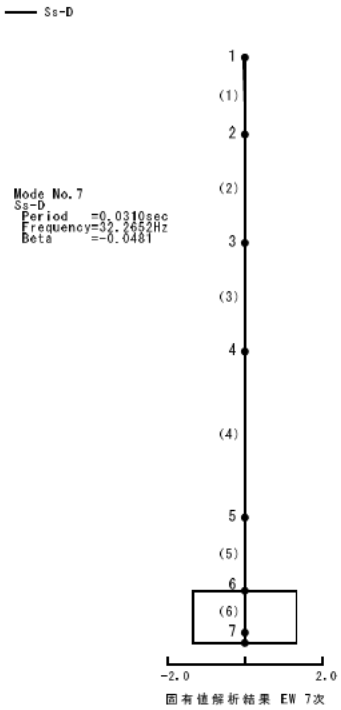
図 5-3　刺激関数(EW 方向，Ss-D，1～4 次)



(5 次)

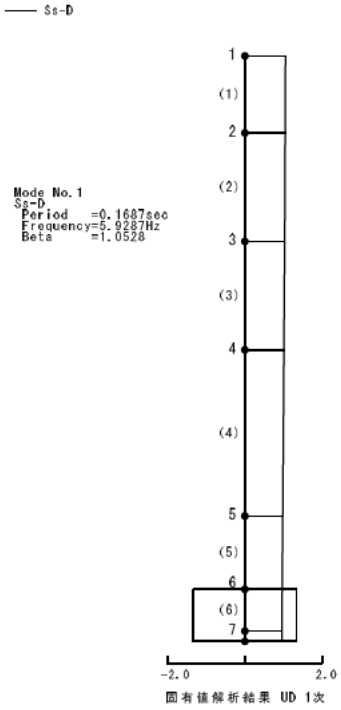


(6 次)

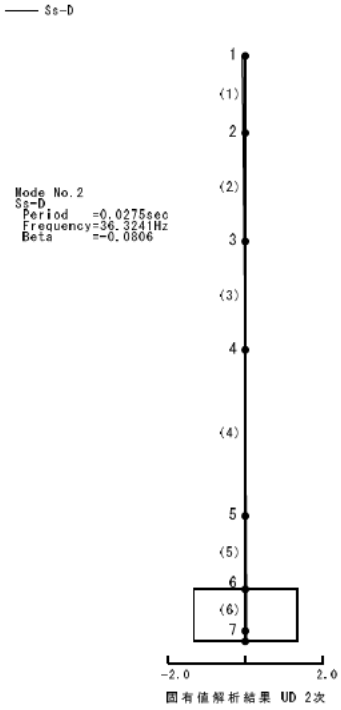


(7 次)

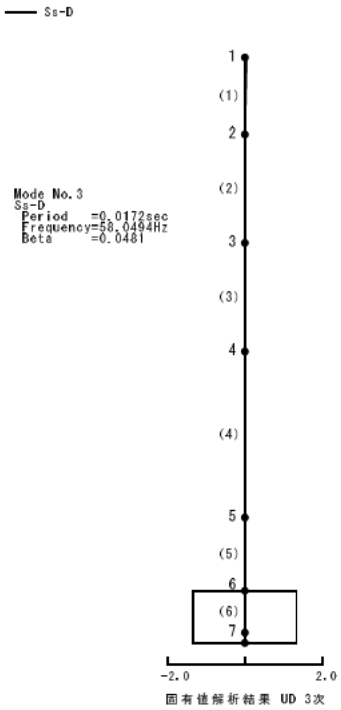
図 5-4　刺激関数(EW 方向，Ss-D，5～7 次)



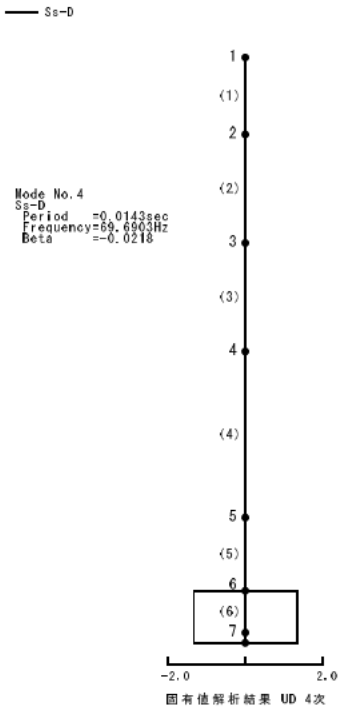
(1 次)



(2 次)

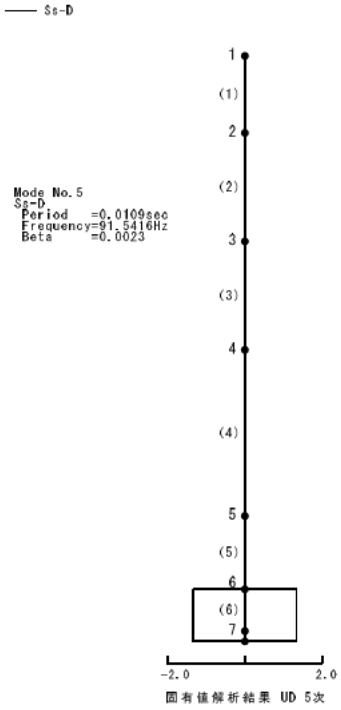


(3 次)

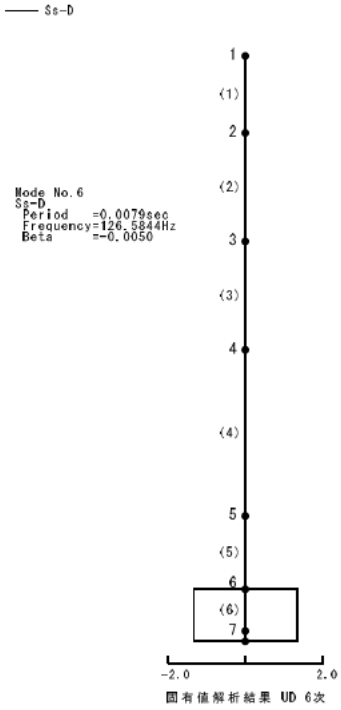


(4 次)

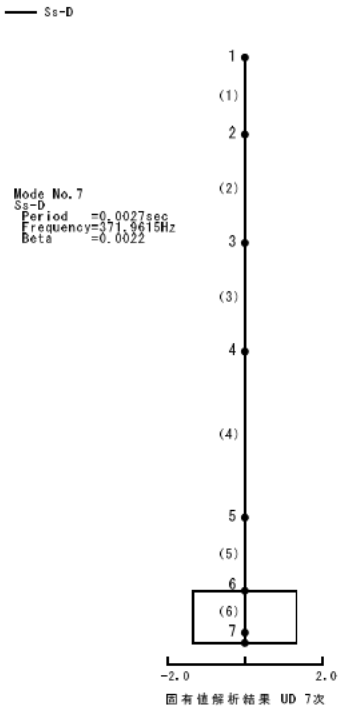
図 5-5　刺激関数(UD 方向，Ss-D，1～4 次)



(5 次)



(6 次)

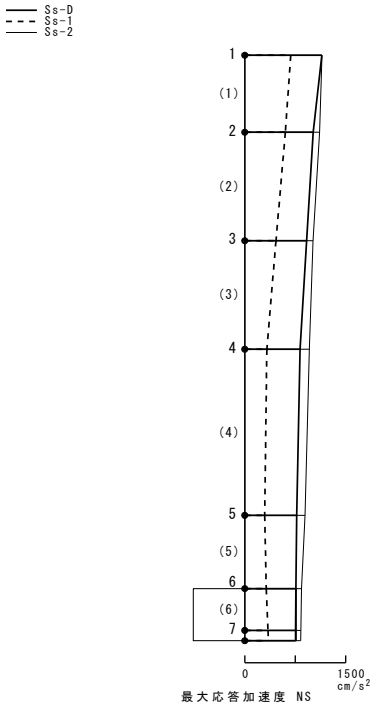


(7 次)

図 5-6　刺激関数(UD 方向，Ss-D，5～7 次)

5.2 地震応答解析結果

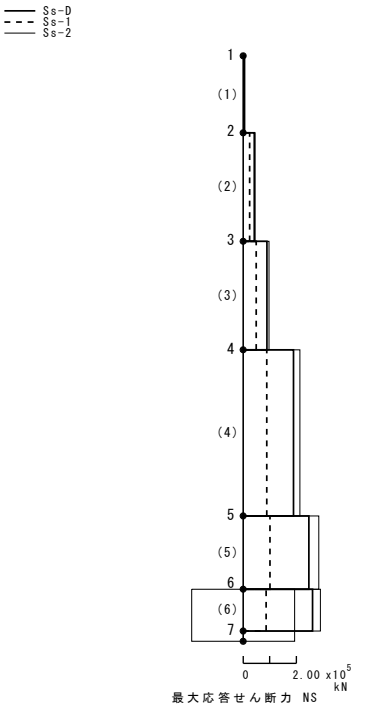
廃止措置計画用設計地震動(Ss)による水平方向の最大応答加速度，最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを図 5-7 から図 5-12 に，鉛直方向の最大応答加速度及び最大応答軸力を図 5-13 及び図 5-14 に示す。また，耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を図 5-15 及び図 5-16 に示す。せん断ひずみは最大で 0.15×10^{-3} であり，評価基準値(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



単位：cm/s^2

質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	1,146	684	1,147
2	1,017	604	1,112
3	919	464	1,014
4	822	328	959
5	772	296	895
6	760	319	843
7	756	345	833

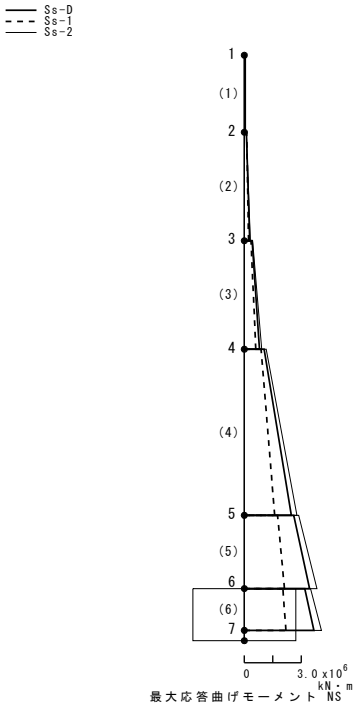
図 5-7　最大応答加速度（Ss，NS 方向）



単位：$\times 10^4$ kN

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	0.49	0.29	0.49
2	4.18	2.47	4.50
3	8.96	4.89	9.74
4	18.96	8.92	21.35
5	24.76	10.09	28.45
6	26.16	8.67	29.07

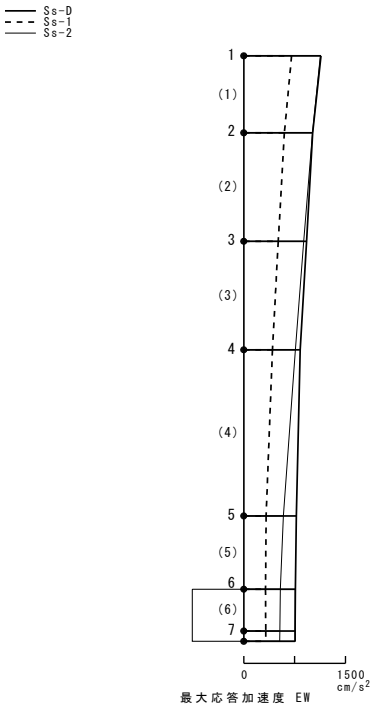
図 5-8　最大応答せん断力（Ss，NS 方向）



単位：$\times 10^4$ kN・m

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	4.8 4.6	3.6 3.7	4.4 4.2
2	11.1 28.3	12.6 22.4	10.4 32.1
3	41.3 79.8	35.1 60.8	43.6 92.4
4	104.3 248.5	88.5 160.4	115.3 277.9
5	260.3 344.5	175.7 211.6	286.8 383.2
6	319.0 366.8	203.4 219.6	349.6 407.0

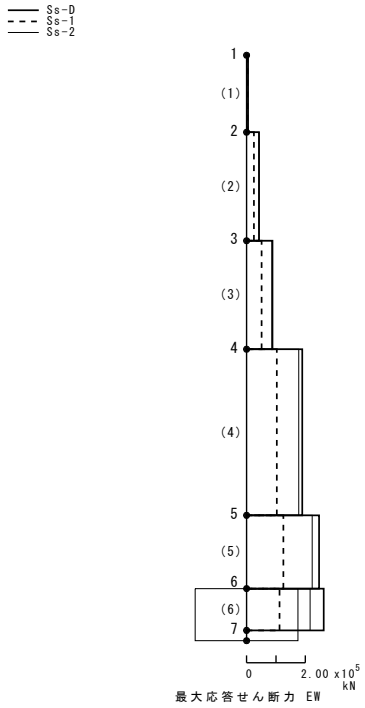
図 5-9　最大応答曲げモーメント（Ss，NS 方向）



単位：cm/s^2

質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	1,138	705	1,128
2	1,017	599	1,013
3	925	509	883
4	832	423	761
5	775	330	585
6	761	321	539
7	756	324	531

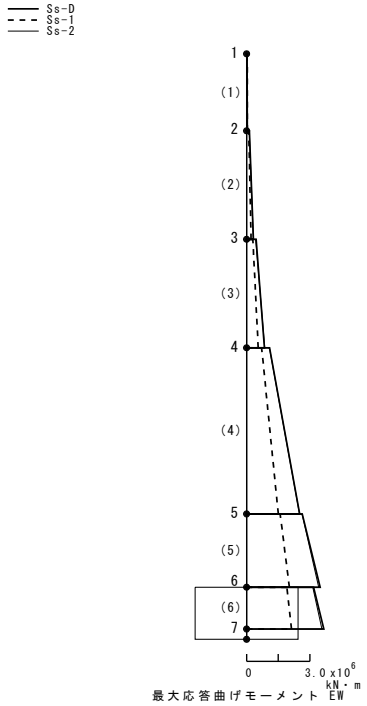
図 5-10　最大応答加速度（Ss，EW 方向）



単位：×10^4 kN

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	0.48	0.30	0.48
2	4.21	2.50	4.21
3	8.81	5.09	8.58
4	18.91	10.26	17.74
5	24.63	12.49	22.32
6	26.24	11.18	21.62

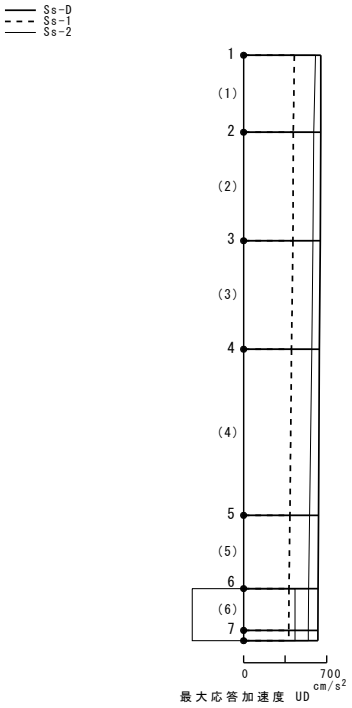
図 5-11　最大応答せん断力（Ss，EW 方向）



単位：×10^4 kN・m

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	2.1 3.3	2.9 3.3	1.9 3.4
2	13.3 32.0	10.1 21.1	12.1 32.4
3	44.6 84.9	29.4 55.1	42.8 86.1
4	108.6 251.4	71.3 150.2	107.8 251.0
5	264.0 349.2	159.1 202.8	263.0 342.2
6	318.3 366.2	190.6 213.3	313.8 357.6

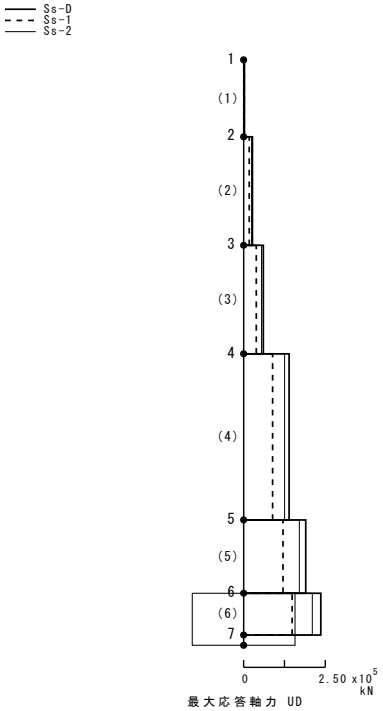
図 5-12　最大応答曲げモーメント（Ss，EW 方向）



単位:cm/s^2

質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	650	427	605
2	650	418	591
3	646	415	585
4	638	403	574
5	631	390	556
6	626	382	547
7	625	380	545

図 5-13　最大応答加速度（Ss，UD 方向）



単位:×10^2 kN

部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	27.61 27.61	18.19 18.19	25.74 25.74
2	267.24 267.24	172.63 172.63	243.66 243.66
3	604.08 604.08	389.48 389.48	548.74 548.74
4	1,393.33 1,393.33	888.36 888.36	1,256.31 1,256.31
5	1,902.34 1,902.34	1,202.80 1,202.80	1,702.50 1,702.50
6	2,361.95 2,361.95	1,482.17 1,482.17	2,101.32 2,101.32

図 5-14　最大応答軸力（Ss，UD 方向）

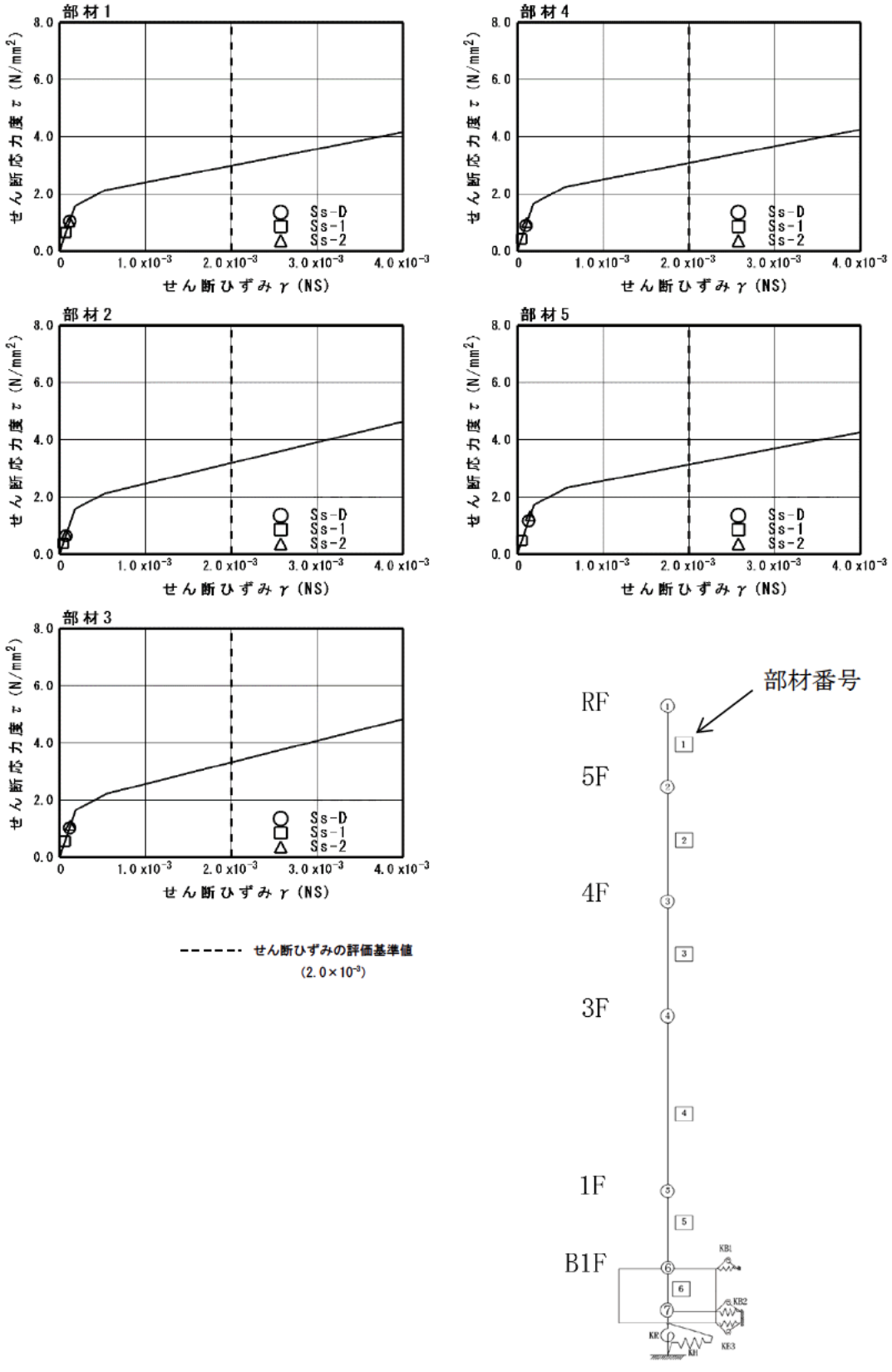


図 5-15　せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向，Ss)

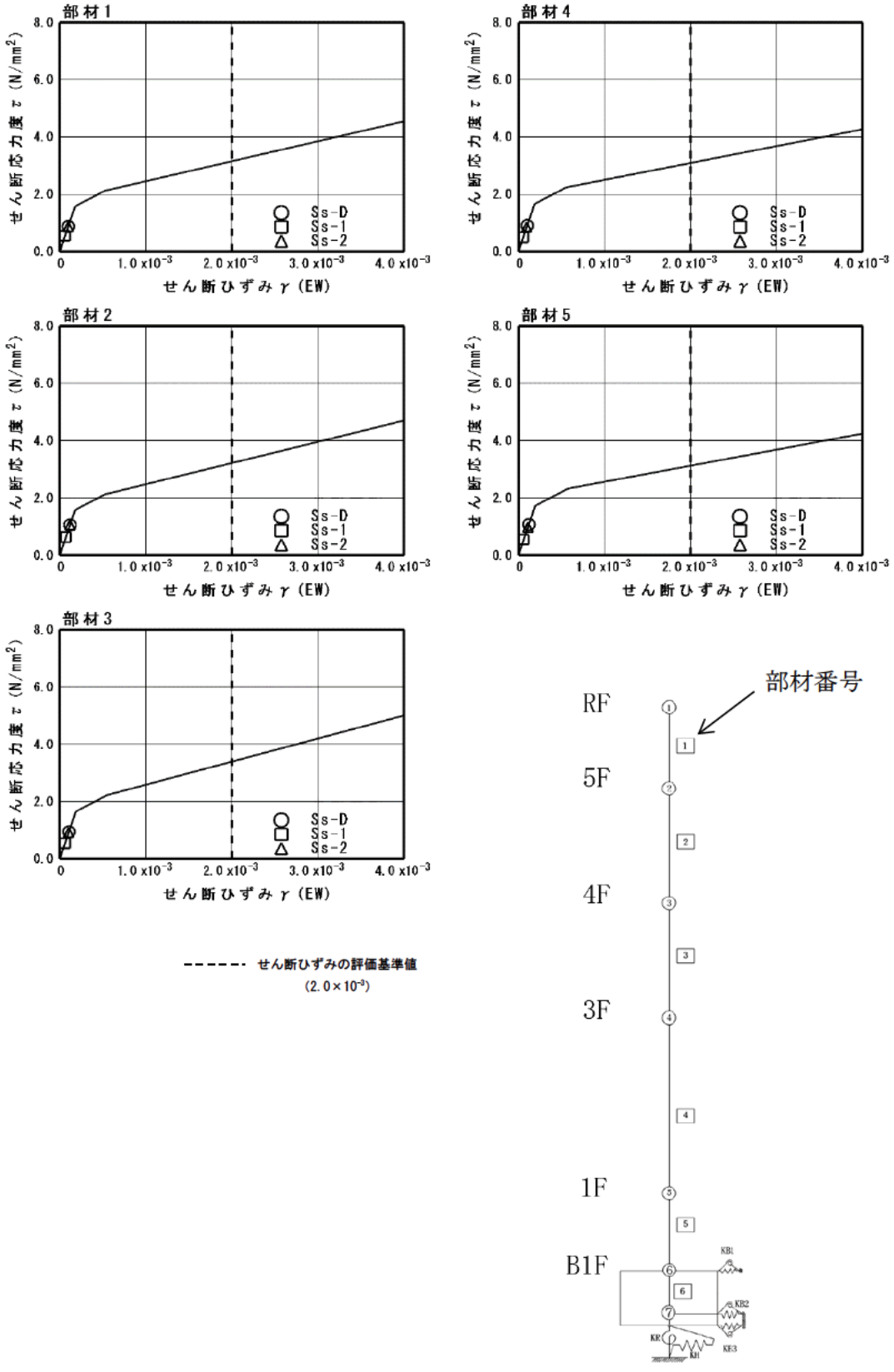


図 5-16　せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向，Ss)

6. 基礎浮き上がりの検討

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を表 6-1 に示す。地震時の最大接地圧は，地反力分布を三角形分布と仮定し，鉛直方向の地震力を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮して算定する。最大接地圧の一覧表を表 6-2 に示す。

接地率は，浮き上がり非線形ばねを用いた地震応答解析を適用できる基準値(65 %以上)を満足していることを確認した。

接地圧は，基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度 2350 kN/m^2 を超えないことを確認した。

表 6-1　最小接地率

(a)NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	2.77	3.60	78.0
Ss-1		2.11	100.0
Ss-2		4.00	67.3

(b)EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	2.64	3.57	74.1
Ss-1		2.08	100.0
Ss-2		3.48	76.6

表 6-2　最大接地圧

地震動	方向	最大接地圧 (kN/m^2)
Ss-D	NS	987
	EW	1092
Ss-1	NS	581
	EW	590
Ss-2	NS	1208
	EW	959

7. 評価結果

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の耐震性評価として廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地震応答解析を行い，接地率が浮き上がり非線形ばねを用いた地震応答解析を適用できる基準値を満足していること，耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。以上により，高放射性廃液貯蔵場(HAW)は廃止措置計画用設計地震動(Ss)に対して耐震余裕を有していることを確認した。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の機器・配管系の耐震性計算書

別紙 6-1-2-3-3-1　高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-2　中間貯槽(272V37,V38）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-3　分配器(272D12,D13）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-4　水封槽(272V206,V207）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-5　洗浄塔(272T44）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-6　除湿器(272H46）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-7　電気加熱器(272H471,H472）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-8　電気加熱器(272H481,H482）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-9　フィルタ(272F4611,F4621）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-10 フィルタ(272F4613,F4623）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-11 よう素フィルタ(272F465,F466）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-12 冷却器(272H49）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-13 排風機(272K463,K464）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-14 セル換気系フィルタユニット(272F033,F034,F035,F036,F037,F038,F039,F040）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-15 セル換気系排風機(272K103,K104）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-16 トランスミッタ―ラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ,272FA+201,FA+202 圧力スイッチ）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-17 主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置)）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-18 主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-19 高圧受電盤(DX）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-20 低圧受電盤(DY）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-21 動力分電盤(HM-1,HM-2）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-22 熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-23 一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-24 一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062）の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-25 二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163）の耐震性についての計算書

別紙 6-1-2-3-3-26 冷却塔(272H81,H82,H83) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-27 浄水ポンプ(272P761,P762) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-28 浄水受槽(272V76) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-29 水封槽(272V41,V42) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-30 緊急放出系フィルタユニット(272F480) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-31 配管の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-32 ホイスト・レールの耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-33 トリチウムモニタ(272T2RA+001) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-34 空調用ファンコイル(272AC112,AC113) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-35 動力分電盤(HM-3) の耐震性についての計算書
別紙 6-1-2-3-3-36 空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117) の耐震性についての計算書

別紙 6-1-2-3-3-1

高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を構成する高放射性廃液貯槽(272V31～V36)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の構造強度の評価は，有限要素法（FEM）解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

(5)地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察
JAEA-Technology 2011-006

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_L	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める許容荷重	N
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
S_{yd}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める最高使用温度における材料の設計降伏点	MPa
S_{yt}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める試験温度における材料の設計降伏点	MPa
T_L	JSME S NC1-2012 SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重	N

3. 評価部位

高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，ラグ及び据付ボルトとする。高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の概要図を図 3-1 に示す。

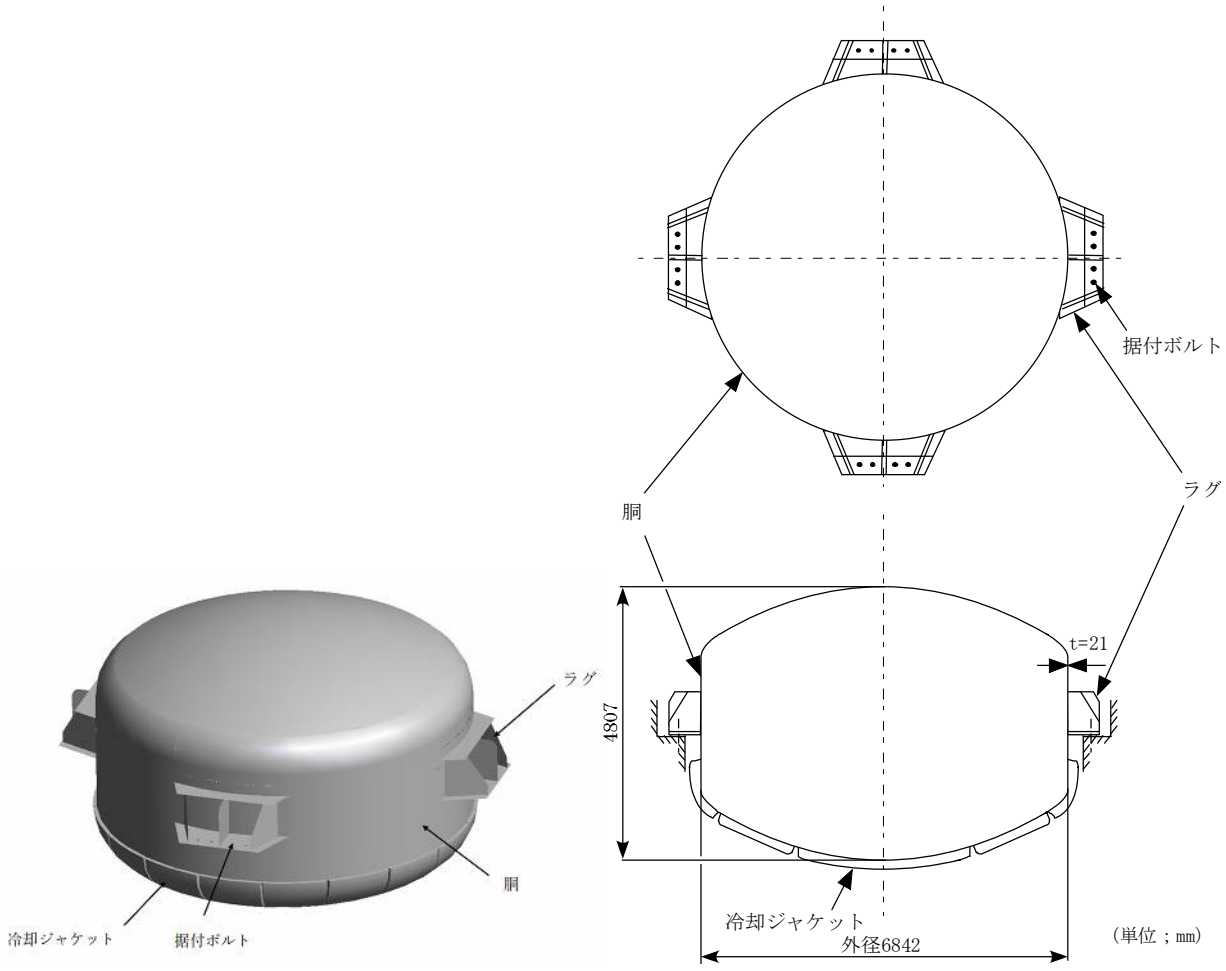


図 3-1　高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価に当たっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，自重については液量を満杯とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

据付ボルトのせん断応力の許容応力について，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012　SSB-3200」では，当該支持構造物と同一の材質及び形状を有する支持構造物がある場合は，その支持構造物で求めた値を使用することができるとしていることから，当該規格に基づき，せん断試験を実施し，その試験から得られた値を用いた（「地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察　JAEA-Technology 2011-006」の供試体ボルト B のせん断試験結果参照）。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	A_L (許容荷重)=0.6 T_L S_{yd}/S_{yt}

4.3　減衰定数

減衰定数は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	1.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）を作成し，これを評価に用いた。

高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（１階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3　使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	解析用の床応答スペクトル （１階，減衰定数 1.0 %）	解析用の床応答スペクトル （１階，減衰定数 1.0 %）

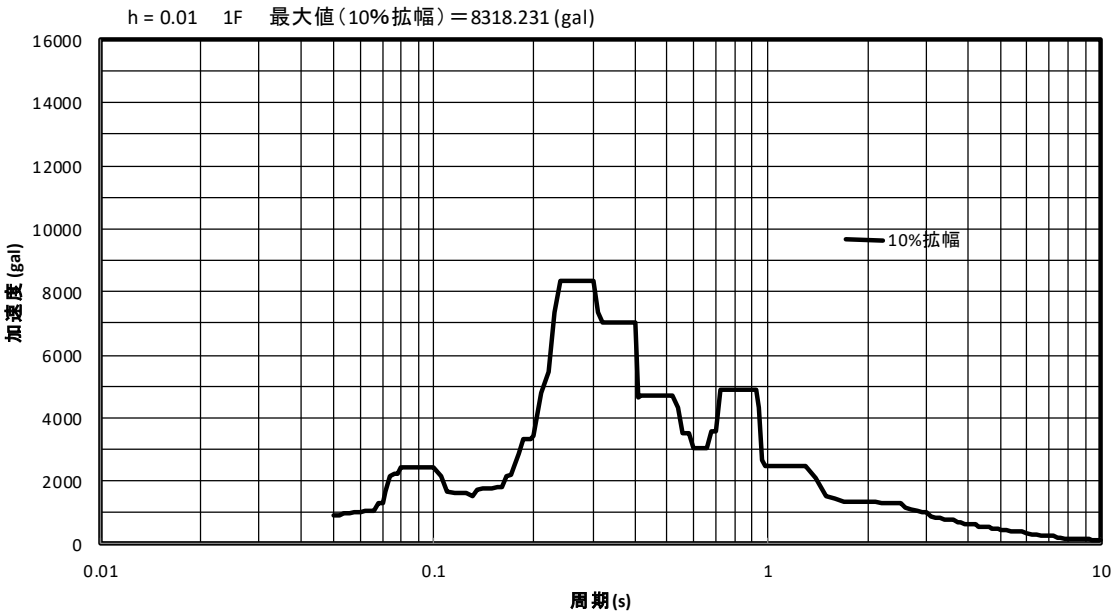


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，1 階，減衰定数 1.0 %）

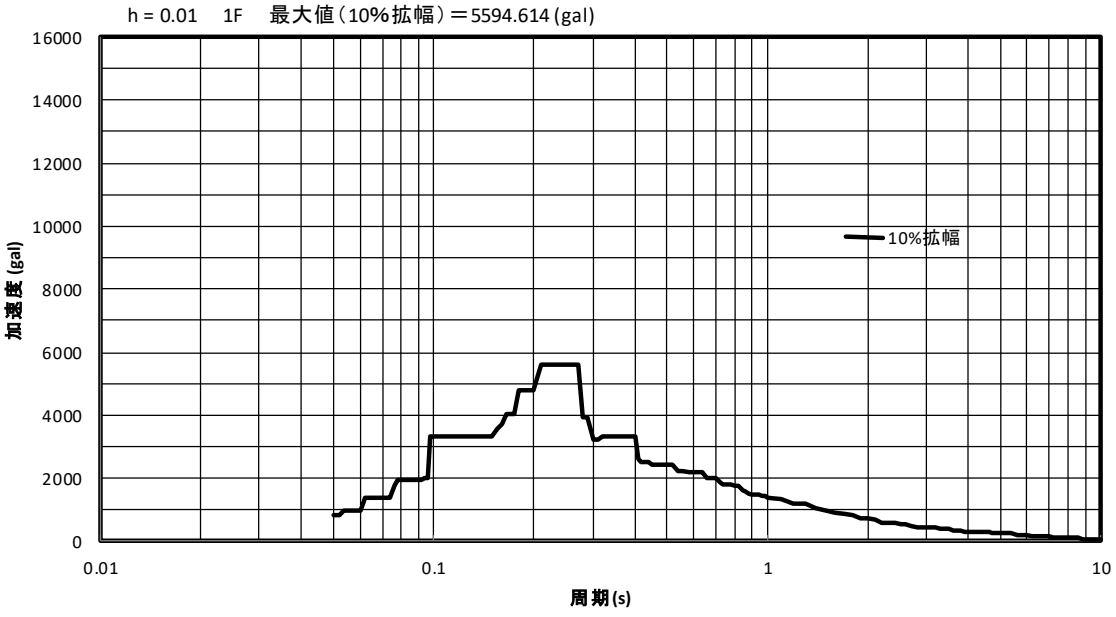


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，1 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の発生応力の計算方法はFEM解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

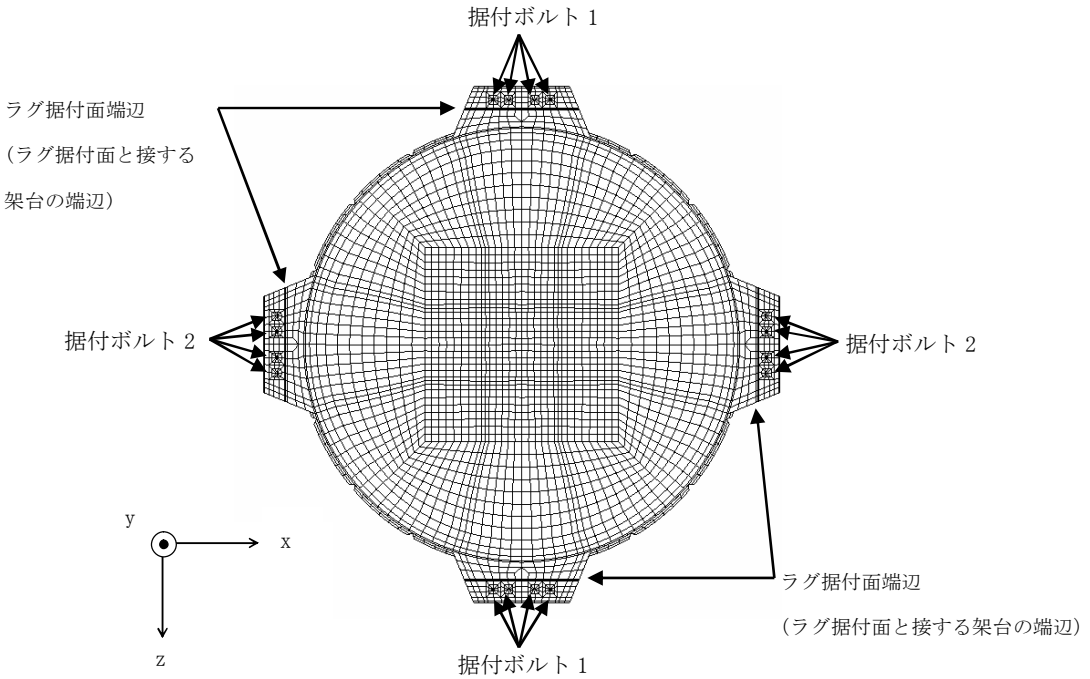
※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

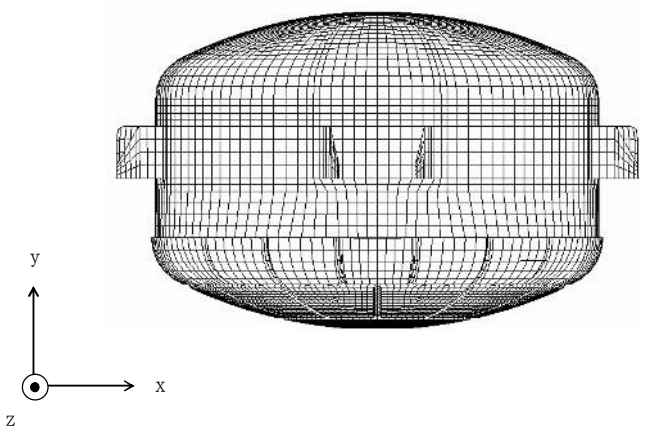
4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の解析モデルを図4-3に，据付ボルトの拘束条件を図4-4に示す。据付ボルトを挿入して締結するラグのボルト穴は貯槽側面に直交する方向にスリットが設けられていることから，水平方向の地震においてスリットの方向と地震力の作用方向が平行となる据付ボルトはその方向に拘束せず，地震力を負担しないものとした。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化にあたって，空質量には槽内構造物等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。また，高放射性廃液の質量については，接液部分の胴板に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約207ｔとなるように，液位より下部の胴板の密度に付加した。





拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	X	Y	Z	θx	θy	θz
据付ボルト 1	○	○	－	－	－	－
据付ボルト 2	－	○	○	－	－	－
ラグ据付面端辺	－	○	－	－	－	－

図 4-3　高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の解析モデル

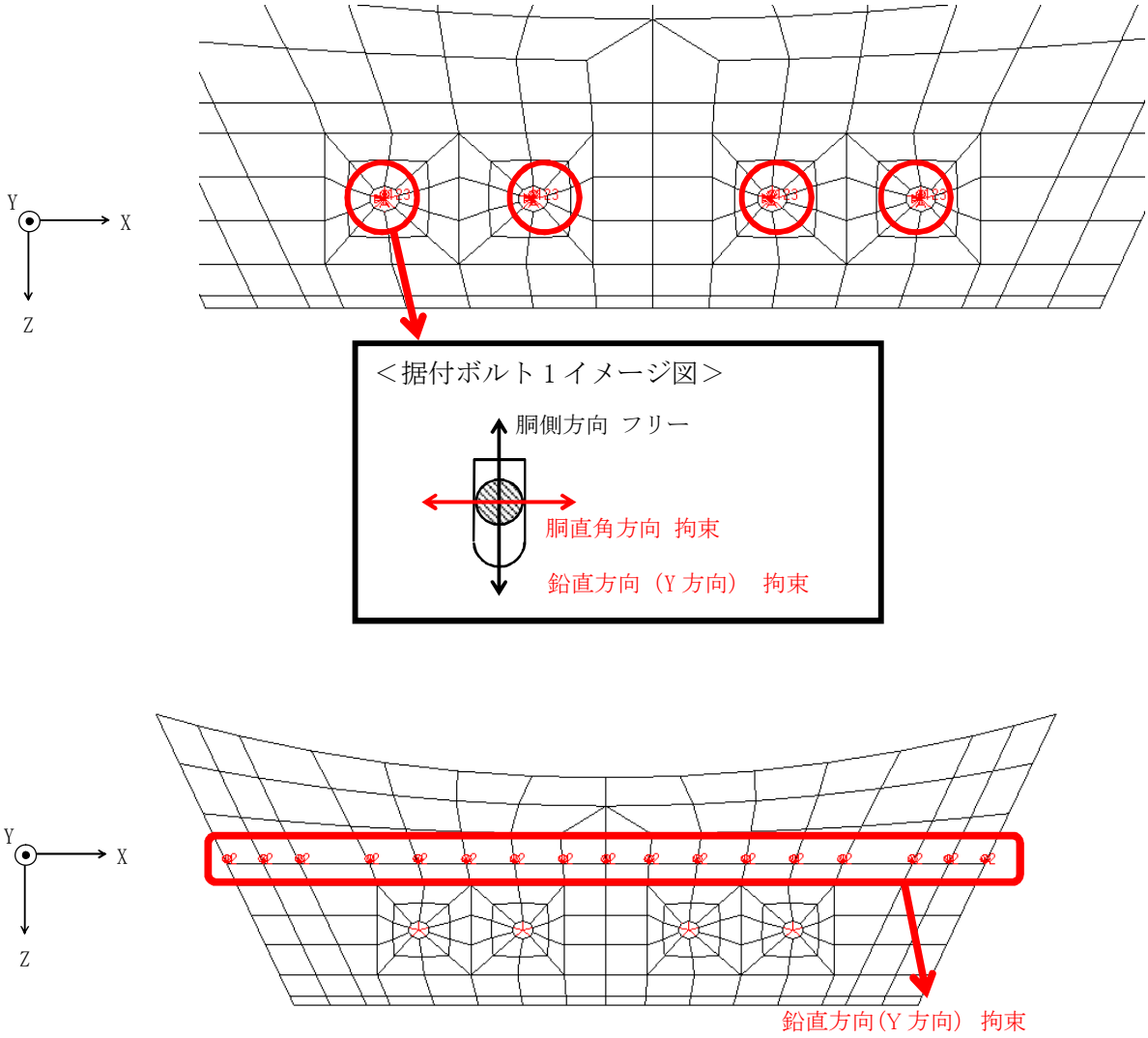


図 4-4　高放射性廃液貯槽（272V31～V36）解析モデルの拘束条件

4.6.2　諸元

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。空質量（設計質量）には，貯槽本体胴（ジャケット含む。），ラグ，内部配管及び内部配管の支持部材を含む。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	圧力（設計圧力）	0.049（MPa）
	胴外径	6842（mm）
	胴板厚さ	21（mm）
	胴高さ（外側）	4807（mm）
	胴材質	SUS316L
	胴温度（設計温度）	80（℃）
	据付ボルト呼び径	M48
	据付ボルト有効断面積※	1470（mm^2）
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	80（℃）
	液量（満杯）	120（m^3）
	液密度	1.28（g/cm^3）
	空質量（設計質量）	約 53（t）
	総質量（53 t + 1.28 g/cm^3×120 m^3）	約 207（t）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7　固有周期

高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の固有周期を表 4-5 に示す。

表 4-5　固有周期

評価対象設備	固有周期
高放射性廃液貯槽（272V31～V36）	0．071（秒）

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。胴部の最大応力発生点（応力強さ）を図 5-1，図 5-2 に，ラグ部の最大応力発生点を図 5-3 に，ボルトの最大せん断応力発生点を図 5-4 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

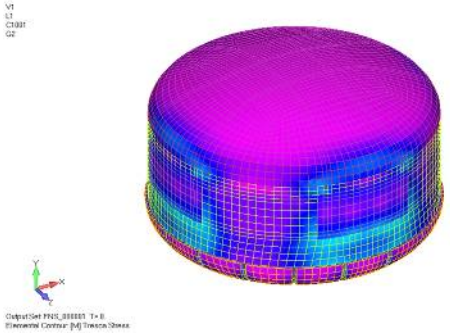
高放射性廃液貯蔵場(HAW)の高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の各評価部位の発生応力は，いずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

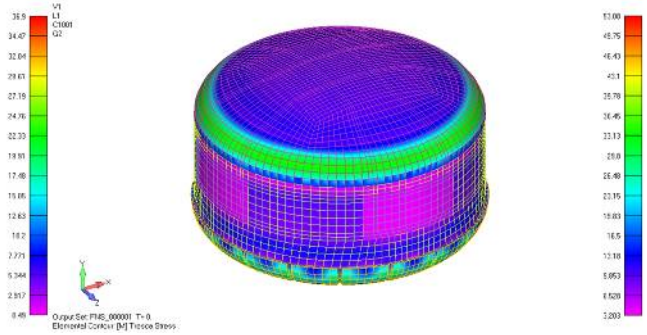
評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
高放射性廃液貯槽 (272V31～V36)	胴 (冷却ジャケットを含む。)	一次一般膜	144	269	0.54
		一次	268	404	0.67
	ラグ	一次	127	205	0.62
	据付ボルト	引張	35	246	0.15
		せん断	191	232※2	0.83

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

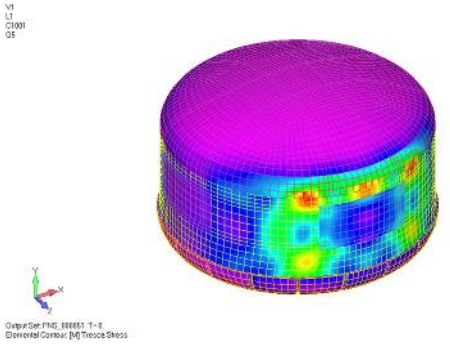
※2　JSME S NC1-2012 SSB-3200 に基づき実施したせん断試験から得られた A_L をボルトの断面積で除して算出した許容応力（地震時にせん断荷重を受ける機器据付ボルトの耐震裕度に関する一考察 JAEA-Technology 2011-006)。



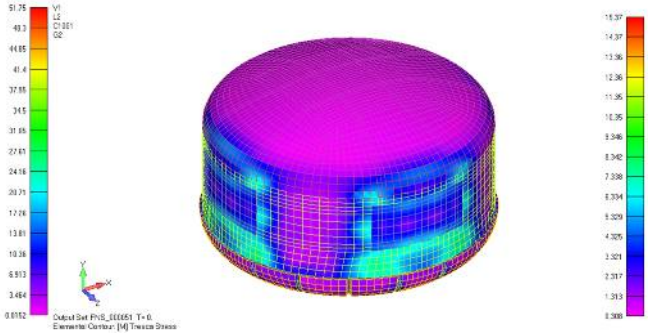
(1)自重による応力



(2)圧力による応力

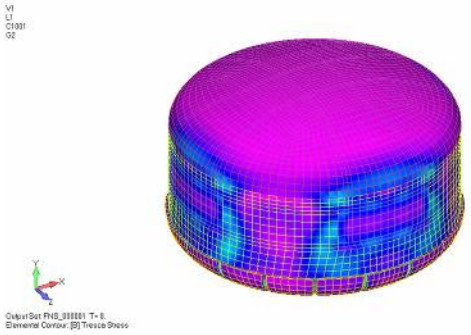


(3)水平 X 方向地震力による応力

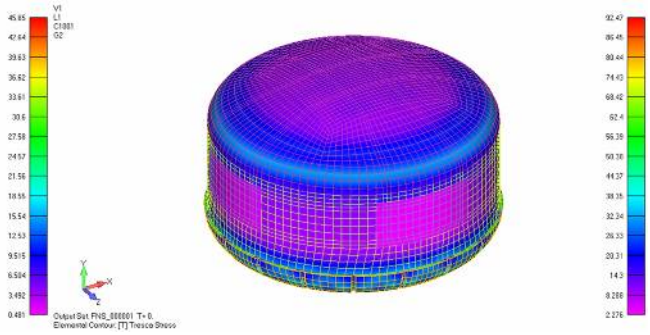


(4)鉛直方向地震力による応力

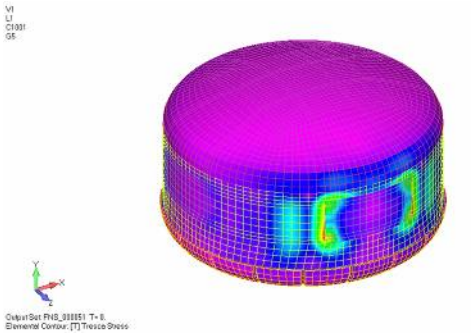
図 5-1　胴部の構造強度評価結果（一次一般膜応力）



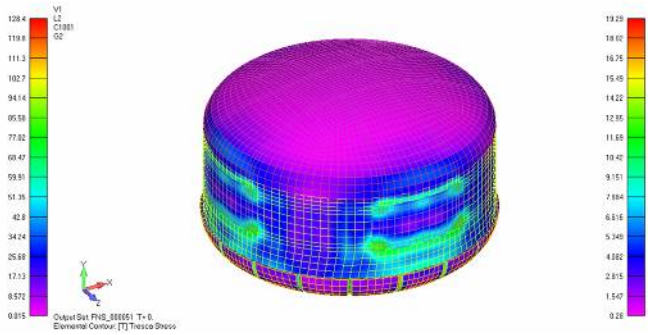
(1)自重による応力



(2)圧力による応力

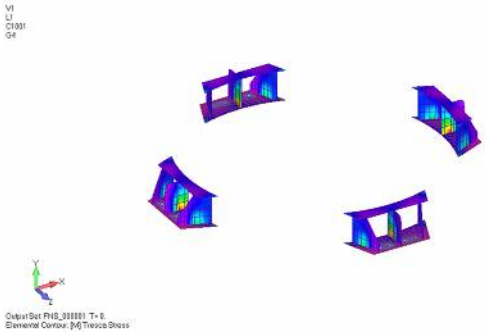


(3)水平 X 方向地震力による応力

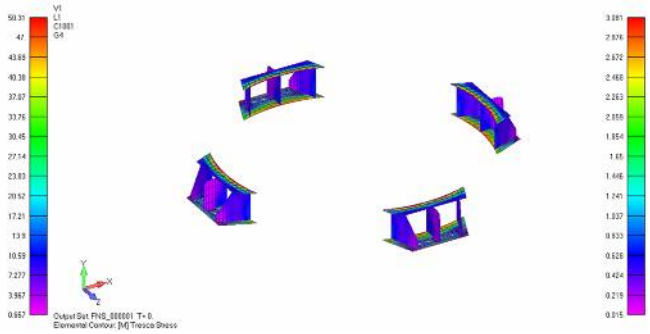


(4)鉛直方向地震力による応力

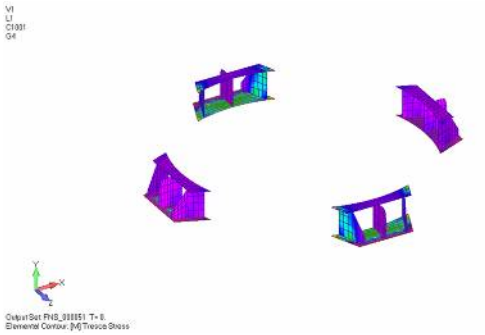
図 5-2　胴部の構造強度評価結果（一次応力）



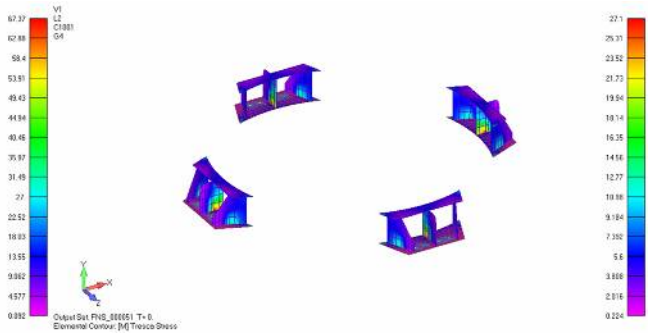
(1)自重による応力



(2)圧力による応力



(3)水平 X 方向地震力による応力



(4)鉛直方向地震力による応力

図 5-3　ラグ部の構造強度評価結果（一次応力）

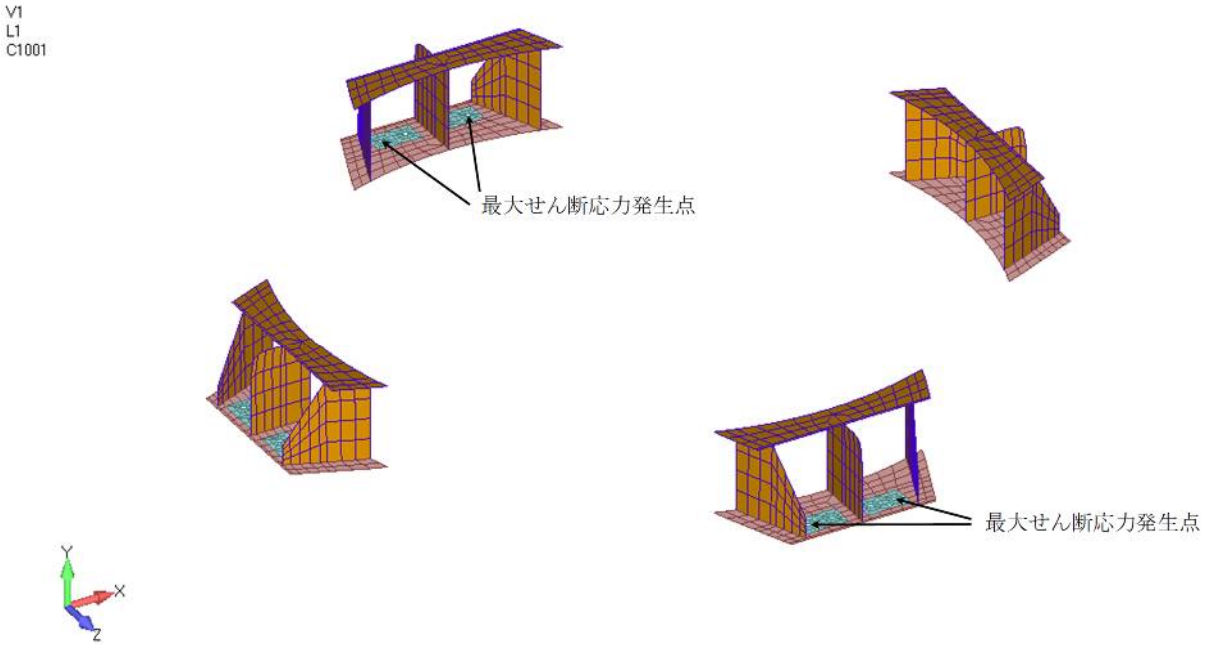


図 5-4　据付ボルトの最大せん断応力発生点（荷重条件：水平 X 方向地震力）

6. その他の考慮事項について

6.1 地震時の溶液のスロッシングの影響について

高放射性廃液貯槽は比較的多くの溶液（最大 120 ㎥）を内蔵する円筒槽であることから，地震時には内蔵している溶液の揺動（スロッシング）により貯槽側面に動水圧（衝撃荷重）を受ける。その影響を確認するため，Housner 理論（″Nuclear Reactors and Earthquakes″, USAEC, TID-7024）に基づきスロッシング時の水平荷重の評価を実施する。Housner 理論によるスロッシングの概念を図 6-1 に示す。

Housner 理論では，液面近くの自由界面の揺動によって動く溶液による荷重分（自由質量）と，容器底部の容器とともに運動する荷重分（固定質量）に分けて，それぞれを質点としてモデル化して容器に与える力を評価する。

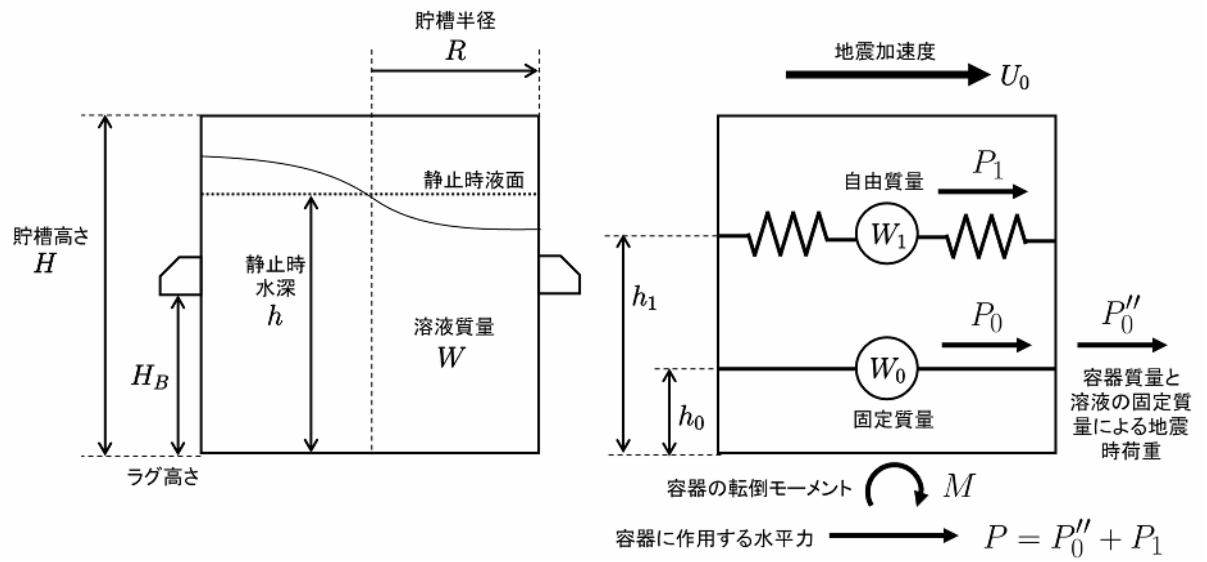


図 6-1 Housner 理論によるスロッシングの概念モデル

評価式は以下のとおりである。式中で使用した記号の意味を(5)に示す。

(1) 溶液の固定質量（固定マス）による水平荷重の評価

$$\frac{W_0}{W} = \frac{\tanh\left(\frac{\sqrt{3}R}{h}\right)}{\frac{\sqrt{3}R}{h}}$$

$$\frac{h_0}{h} = \frac{1}{8}\left[\frac{4}{\frac{\tanh\frac{\sqrt{3}R}{h}}{\frac{\sqrt{3}R}{h}}} - 1\right]$$

$$P_0 = \frac{U_0 W_0}{g}$$

(2) 自由質量（スロッシングマス）による水平荷重（振動荷重）の評価

$$\frac{W_1}{W} = 0.318\frac{R}{h}\tanh\left(1.84\frac{h}{R}\right)$$

$$\frac{h_1}{h} = 1 - \frac{\cosh\left(1.84\frac{h}{R}\right) - 2.01}{1.84\frac{h}{R}\sinh\left(1.84\frac{h}{R}\right)}$$

$$\omega^2 = \frac{1.84g}{R}\tanh\left(1.84\frac{h}{R}\right)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$A_1 = \frac{U_1}{\omega^2}$$

$$\theta_h = 1.534\frac{A_1}{R}\tanh 1.84\frac{h}{R}$$

$$P_1 = 1.2W_1\theta_h \sin\omega t$$ （※ ただし，最大となる $\sin\omega t = 1$ とする）

(3) 容器質量を固定質量に加算した衝撃荷重の算定

$$W_0'' = W_0 + W_3$$

$$P_0'' = \frac{U_0 W_0''}{g}$$

(4) 溶液のスロッシングと容器本体に作用する地震動による水平荷重と転倒モーメント

$$h_0'' = \frac{W_0 h_0 + W_3\frac{H}{2}}{W_0''}$$

$$P = P_0'' + P_1$$

$$M_1 = P_0'' h_0'' + P_1 h_1$$

$$M = |M_1 - PH_B|$$

また，スロッシングを考慮せず，溶液すべてを固定荷重とみなした場合に容器が受ける水平荷重と転倒モーメントは次式により計算される。

$$P_s = (W + W_3) \times \frac{U_0}{g}$$

$$M_s = P_s \times L_1$$

表 6-1 に示した評価条件に基づいて評価した，スロッシングを考慮した場合の容器が受ける水平荷重は表 6-2 のとおりである。評価で用いる地震力としては，高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家 1 階の最大加速度（3 波のうちで最大となる Ss-2 NS 方向の 893.727 cm/s^2）を用いた。表 6-2 には溶液をすべて固定質量とみなした場合（前章までに記載した FEM モデルと同じ扱い。）の水平荷重も示しており，これより設計地震動が作用するときの評価として，溶液のスロッシングを考慮する場合よりも，溶液を固定荷重とみなした場合の方が水平力が大きくなることから，スロッシングを考慮しない方が保守的な結果を与える。なお，Housner の理論式に基づけば液位が低下するほど溶液の自由質量の割合が増す（自由質量の割合は水深 h に反比例する。）ことから揺動による影響が増加するものの，一方で液量が減少することで全体としては貯槽本体の質量（固定質量）に起因する慣性力が支配的になり，その結果として高放射性廃液貯槽においては液量が減っても全水平荷重はスロッシングを考慮しない場合の方が保守的な結果となる。

表 6-1　スロッシング評価条件

記号	記号の説明	単位	計算条件
U_0	水平地震加速度	cm/s^2	980.665
ρ	溶液密度	kg/cm^3	1.28
V	液量（満水時）	m^3	120
R	貯槽半径（内半径）	cm	340
H	貯槽高さ	cm	477
H_B	貯槽ラグ高さ	cm	223
h	水深（満水・静止時）	cm	393
L_1	溶液を含む容器の重心高さ	cm	53

表 6-2　スロッシングの影響の比較

	容器が受ける水平荷重 (kg)	容器が受ける転倒モーメント (kg-cm)
溶液のスロッシングを考慮した場合	P = 170×10^3 (1670 kN) ※	M = 7863×10^3 (771 kN-m) ※
溶液すべてを固定荷重とみなした場合	P_s = 188×10^3 (1846 kN) ※	M_s = 9979×10^3 (979 kN-m) ※

※ Hausner の理論式では荷重を（等価質量）×（震度）で算出するため、重力加速度 9.80665 m/s^{2}により力の SI 単位に換算した値を併記した。

(5) 記号の説明

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度（980.665 cm/s^2）	cm/s^2
U_0	水平地震加速度	cm/s^2
W	溶液質量	kg
W_0	溶液の固定質量（容器とともに動く溶液を質点とみなした時の等価質量）	kg
W_1	溶液の自由質量（液面揺動により動く溶液を質点とみなした時の等価質量）	kg
W_3	貯槽質量	kg
R	容器半径	cm
H	貯槽高さ	cm
H_B	貯槽ラグ高さ	cm
h	水深（静止時）	cm
h_0	溶液の固定質量等価質点までの高さ（容器底基準）	cm
h_0''	溶液の固定質量と容器質量の和の等価質点までの高さ（容器底基準）	cm
h_1	容器の自由質量の等価質点までの高さ（容器底基準）	cm
ω	液面揺動の固有振動数	1/s
T	液面揺動の固有周期	s
θ_h	溶液表面の自由角振動	rad
A_1	溶液の自由質量の重心の水平方向最大変位	cm
P_0	溶液の固定質量に地震力が作用したことにより容器が受ける荷重	kg
P_0''	容器の固定質量と容器本体の質量に地震力が作用したことにより容器が受ける荷重	kg
P_1	液面揺動により容器が受ける振動荷重	kg
P	スロッシングを考慮した場合に容器の受ける全水平荷重（$=P_0''+P_1$）	kg
P_s	溶液をすべて固定荷重としたときに容器の受ける全水平荷重	kg
M	スロッシングを考慮した場合に容器の受ける転倒モーメント	kg-cm
M_s	溶液をすべて固定荷重としたときに容器の受ける転倒モーメント	kg-cm
L_1	溶液を含む容器の重心高さ	cm

6.2 高放射性廃液貯槽に連結している配管への影響について

高放射性廃液貯槽には多数の配管（高放射性廃液の移送用配管，一次冷却水の供給配管，計測用圧空配管，オフガス配管等）が接続されている。地震動が作用し高放射性廃液が変形することにより，これらの配管に強制変位による二次応力が発生するおそれがある。そのため，これらの連結配管への影響を確認するために，設計地震動を受けた場合の高放射性廃液貯槽の最大変位を求める。

計算条件（解析モデルと諸元）は 4.6 項に示したものと同じとした。解析は水平地震力及び鉛直地震力による最大変位とその発生時刻を求め，それらの最大変位を重ね合わせた場合の保守的な評価を行うために時刻歴解析を用いた。時刻歴解析に用いた地震動を図 6-2～図 6-3 に示す。なお，水平地震力は最大加速度の大きな NS 方向とした。

評価の結果，得られた高放射性廃液貯槽上部鏡板の変位量は表 6-4 のとおりとなった。これより，EW 方向変位も NS 方向最大値と同じ（0.824 mm）とし，鉛直最大変位（0.037 mm）も含めてすべての方位で最大変位が同時刻で発生したと仮定しても変位は約 1.2 mm（$=\sqrt{(0.824)^2+(0.824)^2+(0.037)^2}$）であり，固有振動数が 20 Hz 以上となるようにサポートで支持された連結配管に対して過度の二次応力を発生させるような変位には至らない。

また，配管自体は上記のとおり剛構造となるように支持間隔を設計しており廃止措置計画用設計地震動に対して耐震性を有する設計となっている（「別紙 6-1-2-3-3-31　配管の耐震性についての計算書」参照）。

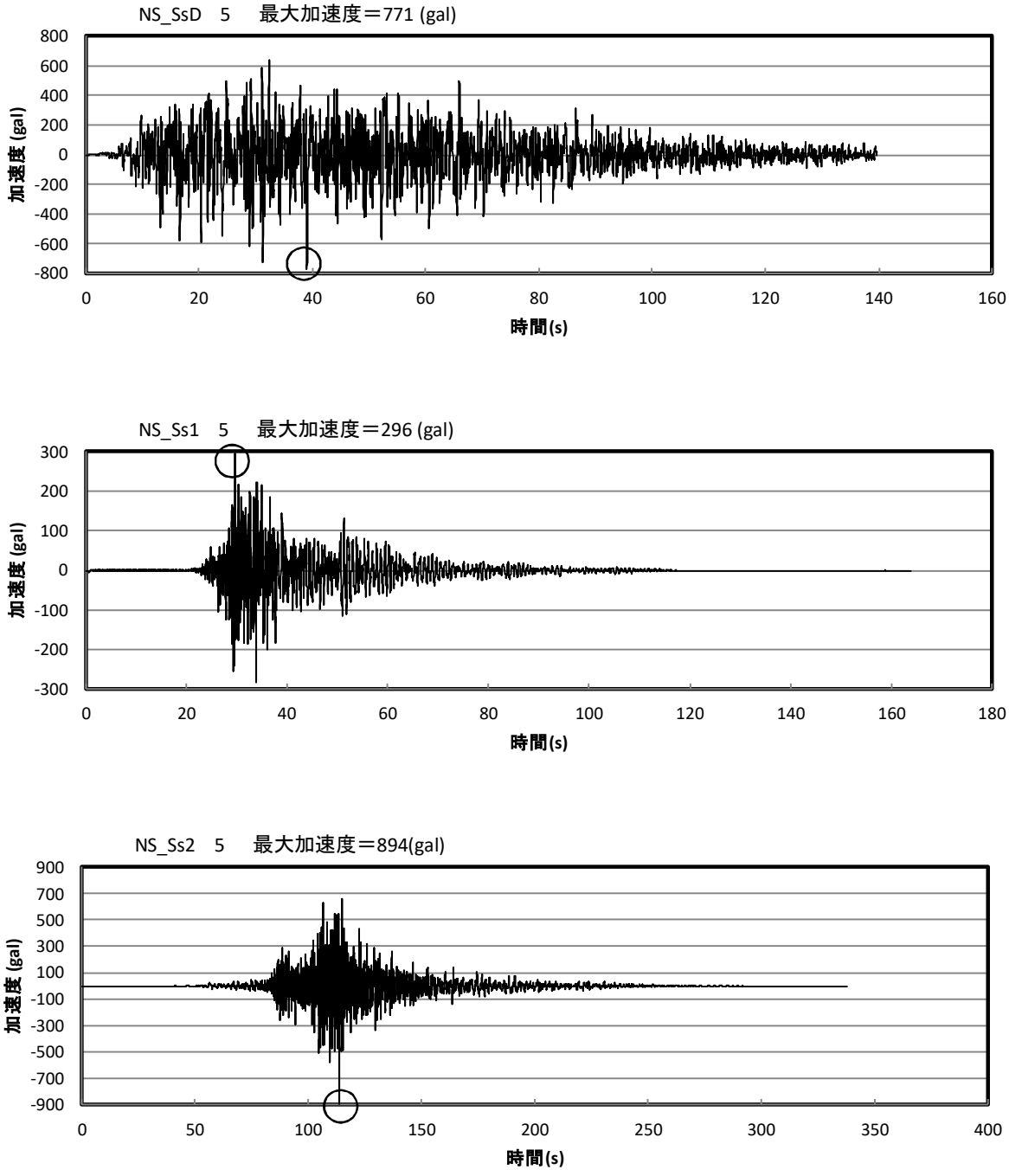
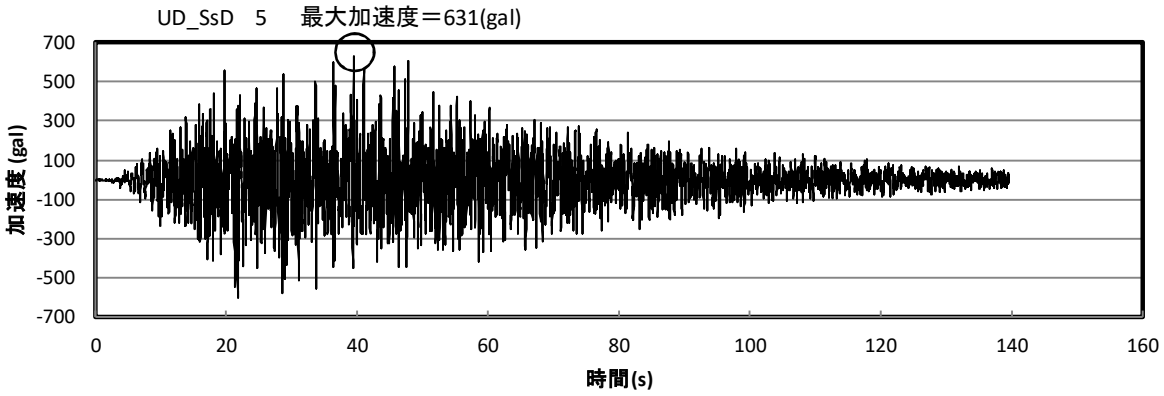
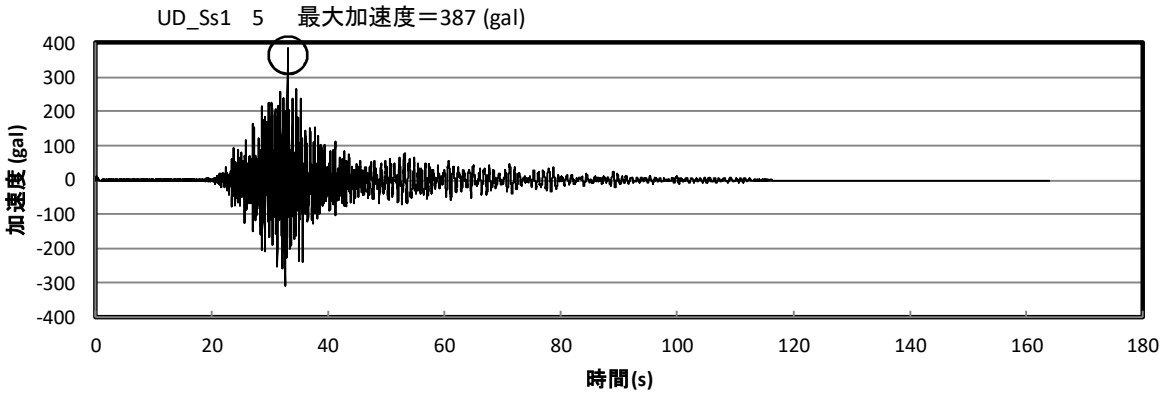


図 6-2　廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D，Ss-1，Ss-2)による床応答時刻歴波形
(1 階，水平 NS 方向)





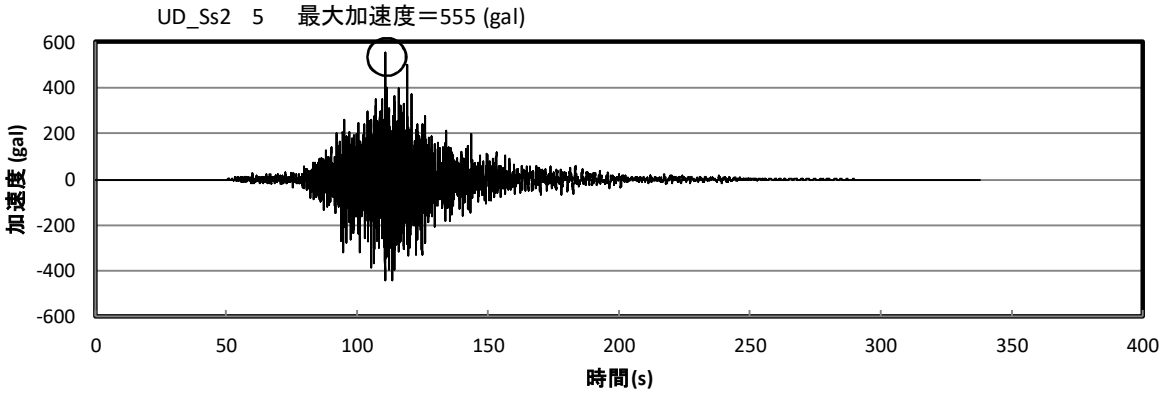


図 6-3　廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D，Ss-1，Ss-2)による床応答時刻歴波形
(1 階，鉛直方向)

表 6-4　設計地震動による高放射性廃液貯槽上部鏡板の最大変位

地震動		最大変位（mm）	発生時刻（sec）
水平地震動	Ss-D（NS）	0.686	39.1
	Ss-1（NS）	0.441	29.8
	Ss-2（NS）	0.824	113.8
鉛直地震動	Ss-D	0.037	39.5
	Ss-1	0.027	33.0
	Ss-2	0.035	110.8

高放射性廃液貯蔵場（HAW）
高放射性廃液貯槽（272V31～V36）の
据付ボルトのせん断強度試験について

1. 試験の概略

高放射性廃液を貯蔵する高放射性廃液貯蔵場(HAW)の高放射性廃液貯槽(272V31～272V36，最大貯液量 120 m^3/基）は貯槽の 4 方向側面に取り付けられたラグに建家鉄筋コンクリート躯体に鉛直方向に埋め込まれたアンカーボルトで固定し，支持する構造となっている。

地震力が作用する場合において，これらのボルトは主として高放射性廃液貯槽の水平方向の慣性力を受け止めて高放射性廃液貯槽を支持する役割を担う。その際，ボルトにはせん断応力が生じることとなる。したがって，地震時に高放射性廃液貯槽の支持構造の健全性を保つには，地震力によって生じるせん断応力に対してボルトの許容応力が十分余裕を持つことが必要である。

以上から，当該ボルトのせん断強度を現物に即して把握することは高放射性廃液貯槽の耐震性を判断する上で重要であるため，実物を模擬した荷重試験を実施しデータを取得した。

荷重試験は″日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2008 年版) 〈第Ⅰ編 軽水炉規格〉″（設計規格）[1]の″SSB-3000 クラス 1 支持構造物の設計″における″SSB-3210 許容荷重″に定める内容に準拠したものとした（表 1-1)。

表 1-1 荷重試験の条件と実機の荷重状態の同一性

SSB-3210 要求項目		実機の支持構造	荷重試験条件
同一の材質	同一規格材	JIS G 4303 ステンレス鋼棒材の SUS316	JIS G 4303 ステンレス鋼棒材の SUS316
	同一製造法	1050 ℃での固溶化処理	1080 ℃での固溶化処理
同一の品質管理基準		JIS に定める化学成分，機械的特性を材料検査証明書で確認。	JIS に定める化学成分，機械的特性を材料検査証明書で確認。
同一の形状		－	実機設計図に基づき製作し，実機の使用前検査と同じ検査項目を確認。当該支持構造物が地震時に受ける荷重状態（せん断）に合致するような形状で試験を実施。
供試体の個数（3 個）		－	3 個
許容荷重の計算に用いる値 (得られた値のうち最小の値)		－	得られた値のうち最小の値

荷重試験の結果と，その結果を用いて″SSB-3240 供用状態 D での許容荷重″に規定されている方法を用いて算出した許容荷重を表 1-2 に示す。″日本機械学会

規格 発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）″（材料規格）[2]に記載されている JIS G 4303 ステンレス鋼棒 SUS-316 の設計降伏点・設計引張強さから設計規格[1]の″SSB-3133 供用状態 D での許容応力″に規定されている方法を用いて算出した許容せん断応力は 142 MPa（80 ℃）であることから，実機の支持構造を模擬した荷重試験から得られた許容応力には十分な裕度があることが確認できた。

表 1-2　荷重試験から得た値に基づき計算した許容荷重及び許容応力

観測値 最小値 T_L	785 kN／本
試験温度	室温
最高使用温度	80 ℃
S_{yt} (JIS G 4303 SUS-316)	205 MPa（室温） ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の常温最小降伏点。
S_{yd} (JIS G 4303 SUS-316)	183.4 MPa（80 ℃） ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の 100℃の値（176 MPa）と 65℃の値（189 MPa）を線形補間して求めた 80℃の値。
許容荷重 $A_L = \frac{0.6 T_L S_{yd}}{S_{yt}}$	421.4 kN／本（80 ℃）
供試体断面積 C	1809 mm² ※ M48 ボルト呼び径（48mm）より$3.14 \times 24^2 \cong 1809$
許容応力 $f_s = \frac{A_L}{C}$	232.9 MPa（80 ℃）

2. 高放射性廃液貯槽の支持構造

高放射性廃液貯蔵場（HAW）には 6 基の高放射性廃液貯槽（272V31～V36）が設置されており，そのうちの 5 基に高放射性廃液が貯液されている（残り 1 基の 272V36 は予備。）。個々の貯槽は独立したセルに設置されている。

貯槽側面 4 方向 1 カ所ずつにラグが設けられており，建家躯体壁面張り出し部に鉛直方向に埋め込まれたアンカーボルト（呼び径 48 mm）をラグの底板のボルト穴に差し込み，それを二重ナットを用いて固定することで貯槽を支持している（図 2-1）。1 つのラグは 4 本のアンカーボルトで固定され，したがって，貯槽全体で 16 本のアンカーボルトを用いて固定されている。

地震力が作用した場合，これらのボルトには主として水平方向の加振力が働くことでせん断応力が生じる。まず，建家が地震力によって水平動を生じ，建家からの水平力はアンカーボルトを通して貯槽を水平方向に押す作用として働く。続いて，水平方向に加速された貯槽に対して建家が異なる方向に加速されると，貯槽の慣性力がアンカーボルトを通して建家躯体へ伝わる。したがってラグと建家躯体の境界にあるアンカーボルト断面にはこのような向きの異なる水平力を受けることによってせん断力が発生する。

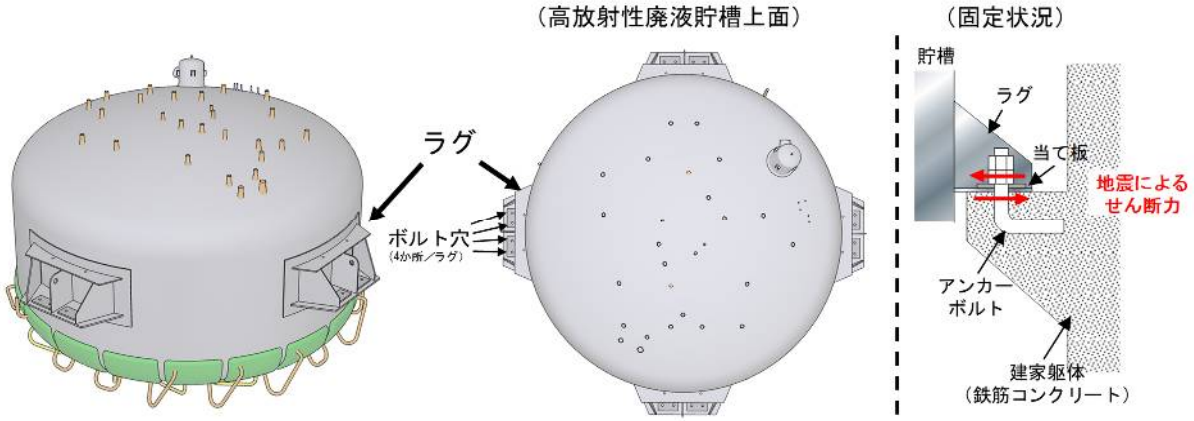


図 2-1　高放射性廃液貯槽の直接支持構造

図 2-2 にラグとアンカーボルトの固定状態についての詳細を示す。高放射性廃液貯槽のラグのアンカーボルトを通す穴は単純な円孔形状ではなく，貯槽側面に垂直方向のスリットが設けられており，当て板を挟んで二重ナットによりボルトとラグ（ラグの底板）を締め付けている。スリット板はラグの底板にはめ込まれて溶接により一体化されている。当て板は座金と同じようなものでラグの底板とナットの間で締め付けられているものの，固定はされておらず，地震時にははめ込まれているアンカーボルトに追従して動く。図 2-3 にはアンカーボルトの設計図を示す。

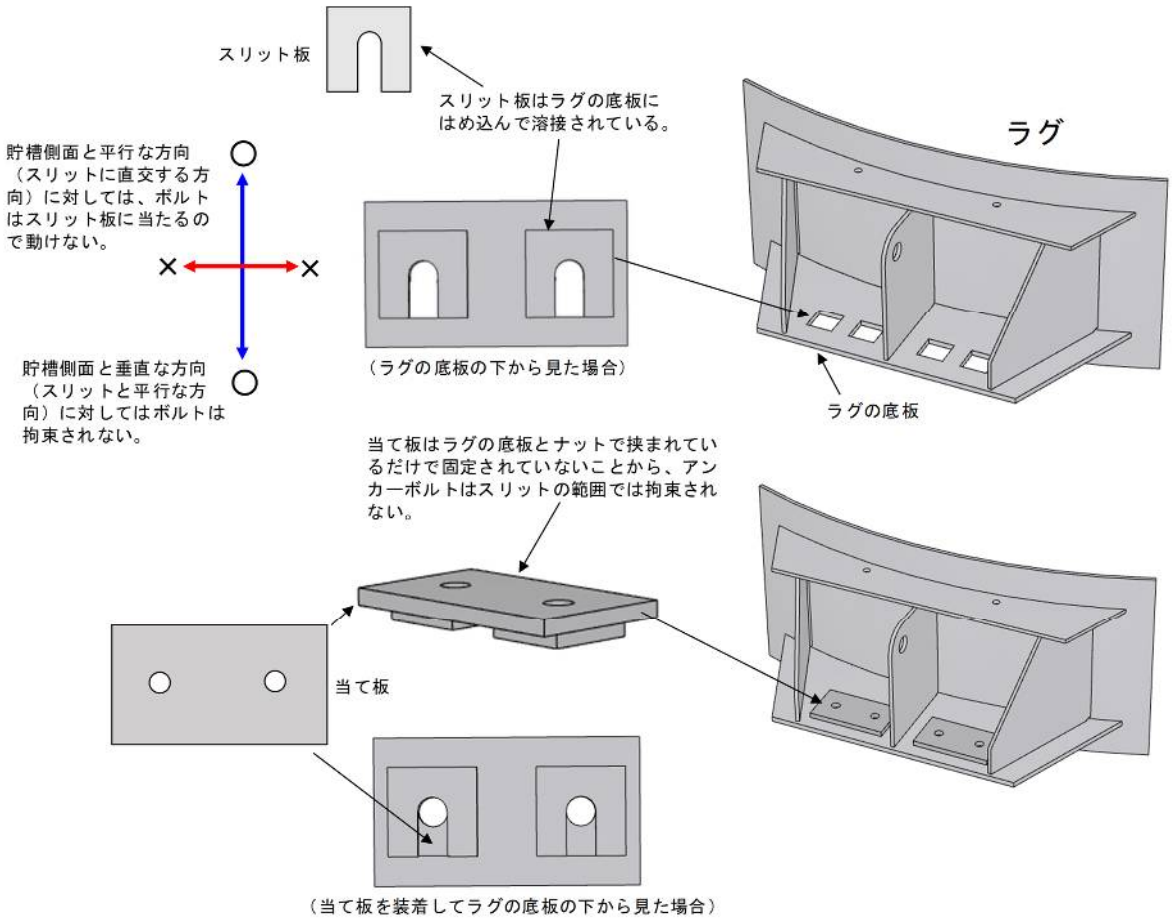
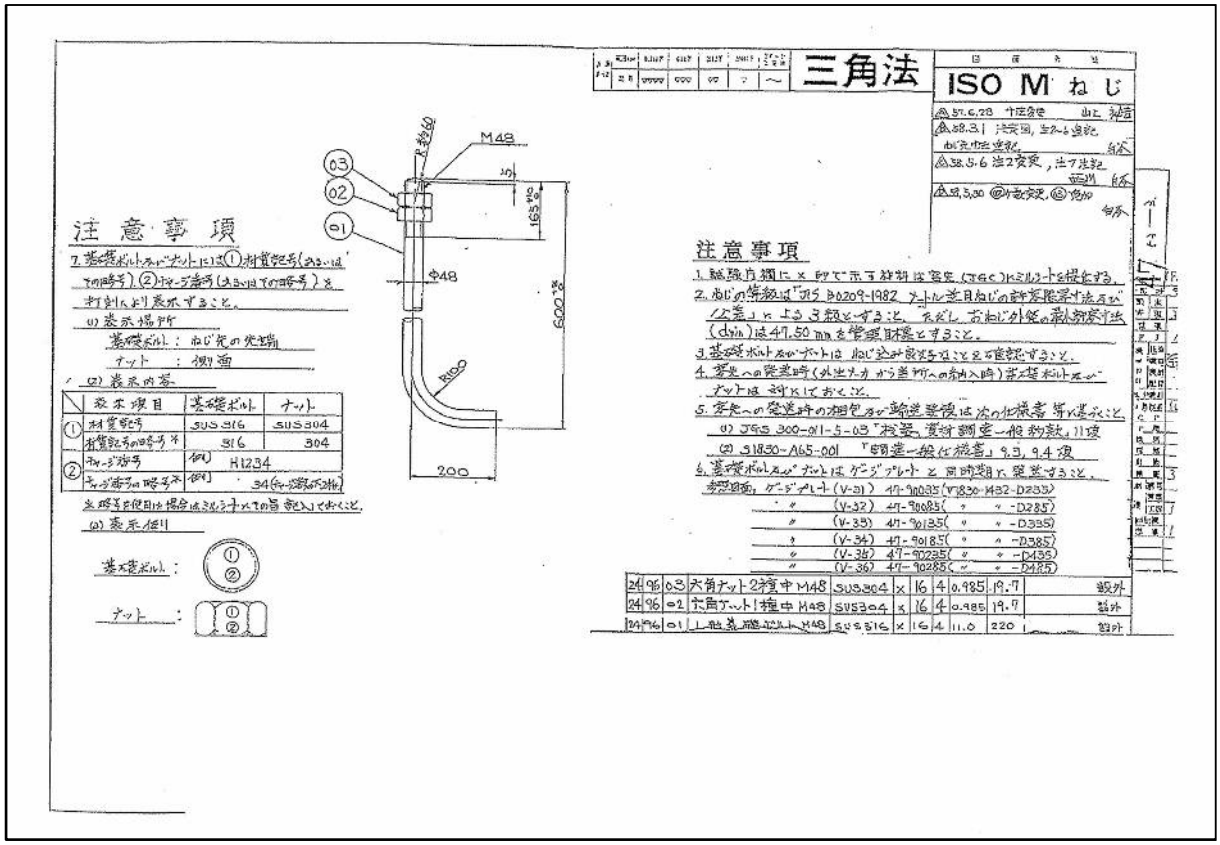


図 2-2　高放射性廃液貯槽ラグの固定状態



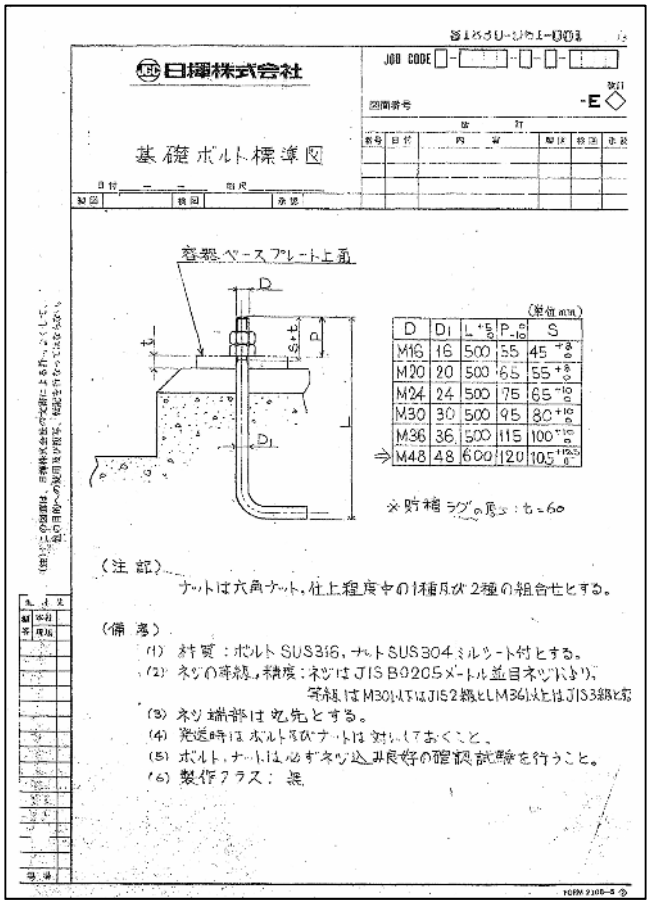


図 2-3　アンカーボルト設計図

3. せん断強度試験

3.1. 試験の対象

実機で使用された材料及び支持構造に基づき，高放射性廃液貯槽を支持しているアンカーボルトが実際の設置状態で耐えうる最大のせん断力（アンカーボルトが破断する恐れのある荷重。）を取得する。また，取得した荷重データから許容荷重及び許容応力を評価する。

3.2. 準拠する規格

前項の目的に適した試験を実施するために，設計規格[1]における"SSB-3210 許容荷重"に定める内容に準拠した荷重試験を実施する。その要件は以下のとおりである。

SSB-3210　許容荷重

材料の許容荷重に関する次の SSB-3220 から SSB-3240 を満足する場合は、SSB-3100 の材料の許容応力の規定に変えることができる。SSB-3210 から SSB-3240 において、計算に用いる材料の設計降伏点は、当該支持構造物に使用する材料のうち最高使用温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値と試験温度における材料規格 Part3 第 1 章 表 6 に定める値との比が最小となる材料の値としなければならない。

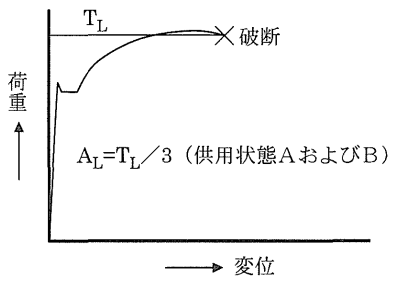
荷重試験における供試体の個数は、同一の材質および形状を有する支持構造物ごとに 3 個とし、供試体によって得られた値のうち最小の値を用いて許容荷重を計算する。ただし、計算で求めた許容荷重の 0.9 倍の値を許容荷重とする場合は、同一の材質及び形状を有する支持構造物ごとに 1 個の供試体により得られた値を用いることができる。

解説 SSB-3210　許容荷重

SSB-3200 は、荷重試験によって支持構造物の許容荷重をあらかじめ求めておき、実際の荷重がその許容荷重以内であることを確認することにより支持構造物の強度上の評価を行う場合について定めたものである。荷重試験の具体例を次に示す。

(1) 荷重試験の具体例

支持構造物の荷重試験は，それが使用される荷重状態（引張またはせん断等）に合致させた方法で行わなければならない。例えば，配管のハンガロッドに対して荷重試験によって許容荷重を求める場合は，引張試験を行えばよい。この時に得られるT_Lは解説図 SSB-3210-1 のようになる。



解説図 SSB-3210-1 荷重－変位曲線

したがって、供用状態 A および B における許容荷重 A_L は、最高使用温度が室温の場合において $A_L = \frac{T_L}{3}$

となる。

SSB-3210 で規定した許容荷重と SSB-3110 の許容応力との関係は、次に掲げるとおりである。

供用状態 A および B における許容荷重は、

$$A_L = \frac{1}{3} \times T_L \times \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \qquad \text{（解説 SSB-32）}$$

T_Lは、試験時に最も弱い部分がS_uに達した時の値と考えられるため、引張応力で考えれば、

$$\sigma_L = \frac{1}{3} \times S_u \times \frac{S_{yd}}{S_{yt}} \qquad \text{（解説 SSB-33）}$$

となる。

SSB-3121 の許容応力では、引張に対して、

$$f_t = MIN\left[\frac{0.7}{1.5}S_u, \frac{1}{1.5}S_y\right] \qquad \text{（解説 SSB-34）}$$

としており、$\frac{S_{yd}}{S_{yt}}$ は許容荷重の温度補正を表すため、最高使用温度におけるS_uベースで考えると、

$$\frac{A_L}{f_t} = \frac{\frac{1}{3}S_u}{\frac{0.7}{1.5}S_u} = \frac{2.14}{3} = 0.713 \qquad \text{（解説 SSB-35）}$$

S_yベースで考えると、通常材料では、$S_y \geq \frac{1}{2}S_u$であるため$S_y = \frac{1}{2}S_u$と仮定して計算すると、

$$\frac{A_L}{f_t} = \frac{\frac{2}{3}S_y}{\frac{1}{1.5}S_y} = 1 \qquad \text{（解説 SSB-36）}$$

となり、許容応力に対して等価または安全側となる。

またステンレス鋼材（SUS304 または SUS316）のように S_y が $\frac{1}{2}S_u$ を下回る材料においては，$f_t = \frac{1.35}{1.5}S_y$ としているため，上記の考え方を採っても $S_y \geq \frac{1}{2.7}S_u$ の範囲の材料までカバーされることとなる。

なお，供用状態 A および B に対する割増し係数は、許容応力におけるS_yベースの係数と等価である。

(2) 本規定の「同一の材質および形状を有する支持構造物」とは、同一寸法で同一規格材を使用し、同一の製造法で製造され、同一の品質管理規準に合格したものであること。供試体の個数が 1 個の場合、T_L の 90 %を用いることにしたのは、ASME B&PV Code Section Ⅲ NF-3281 (2001) による。3 個の場合、最低の T_L を用いるのは平均値より安全側であるためである。

3.3. 使用材料と規格への適合性

高放射性廃液貯槽に実際に使用されているアンカーボルトは JIS G 4303 で規格化された SUS316 材で製作された M48 ボルト（並目ねじ）である。JIS の規格値と実際に使用されているアンカーボルト，今回の荷重試験で用いた供試体の材料特性を表 3-1 に示す（なお，これらのエビデンスとなる材料試験成績書を添付-1 及び 2 に示す。）。成分においては Si と S で，機械的特性では 0.2 %耐力の数値でやや差違が目立つが，いずれも JIS 規格の定める範囲内のバラツキである。

これより，本試験で用いる供試体は SSB-3210 の要求するところの＜同一の材質＞，すなわち「同一規格材（＝JIS G 4303 に基づく SUS-316 ステンレス鋼

棒材。）を使用し，同一の製造法（＝同一熱処理温度で固溶化処理を実施。）で製造され，同一の品質管理規準（＝当該 JIS に定められた項目について材料検査証明による確認。）に合格したもの」に適合していると考える。

表 3-1　高放射性廃液貯槽アンカーボルトと供試体の材料特性

対象 (SUS316)	寸法 (mm)	化学成分							
		C (%×100)	Si (%×100)	Mn (%×100)	P (%×1000)	S (%×100)	Ni (%×100)	Cr (%×100)	Mo (%×100)
規格範囲※1	－	max 8	max 100	max 200	max 45	max 30	1000 ~ 1400	1600 ~1800	200 ~300
実物	48	6	75	122	34	4	1036	1633	207
供試体	48	5	29	129	33	27	1006	1708	202

対象 (SUS316)	機械的特性							熱処理温度 (℃)
	試験温度 (℃)	試験片	0.2%耐力 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸び (%)	絞り (%)	硬さ試験 (HBW)	
規格範囲※1	－	－	min 205	min 520	min 40	min 60	max 187	1010~1150 急冷
実物	20	10 号試験片※2	255 (26 kgf/mm²)	608 (62 kgf/mm²)	62	77	147	1050
供試体	RT	10 号試験片※2	282	595	60	74	156	1080

※1 JIS G 4303 SUS316

※2 JIS Z 2201 に定める径 12.5×焦点距離 50 mm の試験片サイズ。

3.4 試験方法と規格への適合性

荷重試験の方法は実物の支持構造を模擬できるように検討を行った。実機の支持構造は「2.　高放射性廃液貯槽の支持構造」で述べたとおり，ラグの底板に設けられたスリット状のボルト孔にアンカーボルトを差し込み，二重ナットで締結したものである。アンカーボルトはラグの底板とアンカーボルトが埋め込まれた建家躯体によって拘束されるため地震動による水平力によってせん断力を負担する。

このような実機の固定状態における地震時せん断力を模擬するために，試験治具として，次の 2 通りを製作した。

・スリットと直行する方向への荷重の作用を模擬するラグ模擬体 A（スリット直交）

・スリットと平行な方向への荷重の作用を模擬するラグ模擬体 B（スリット並行）

試験治具の概念を図 3-1 に示す。先に示した SUS316 の棒材を実機の設計図及び施工記録に基づきメートル並目ねじの規格（JIS B 0205）で加工した供試体（M48 ボルト相当，図 3-2）の一端を試験治具の固定架台にはめ込んで二重ナットで結合した。ラグ模擬体は実機ラグと同じ SUS304 で製作したものであり（図 3-3），供試体の反対側に図 3-4 に示すように実機の据付時寸法に合致するようにラグ模擬体とアンカーボルトのねじ切り位置を調整した後，二重ナッ

トで結合した。その際のナットの締め付けトルクは実機据付工事の時と同じ（1419 N-m）とした。試験治具の組み立て手順を図 3-5 に示す。

荷重試験はラグ模擬体を油圧式一軸試験装置（引張・圧縮能力 2000 kN，図 3-6）のクロスヘッドに固定し，固定架台を設置した油圧式一軸試験装置のテーブルを上方へ一定の荷重速度で移動させていくことで，ラグ模擬体と固定架台に押さえられたボルト供試体に発生するせん断力を漸増させていき，その時の荷重と変位を測定する。荷重の増加はボルトが破断するまで継続した。これらの試験は(財)茨城県建設技術管理センター（ISO17025 認証試験所）にて実施した。

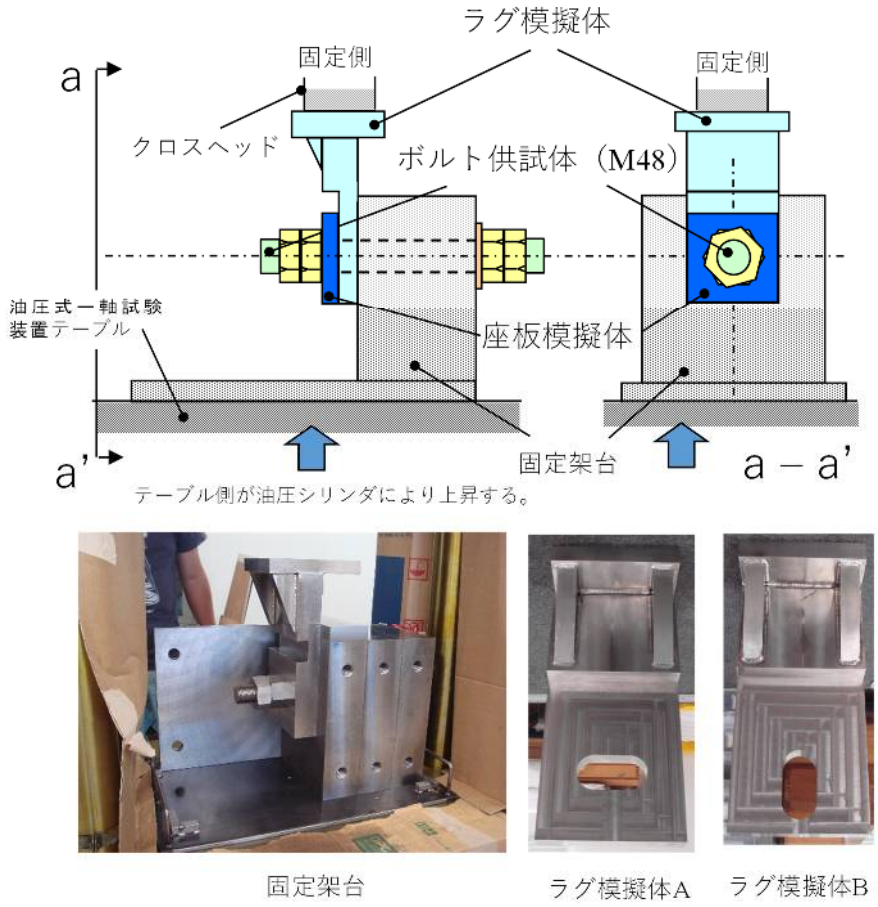
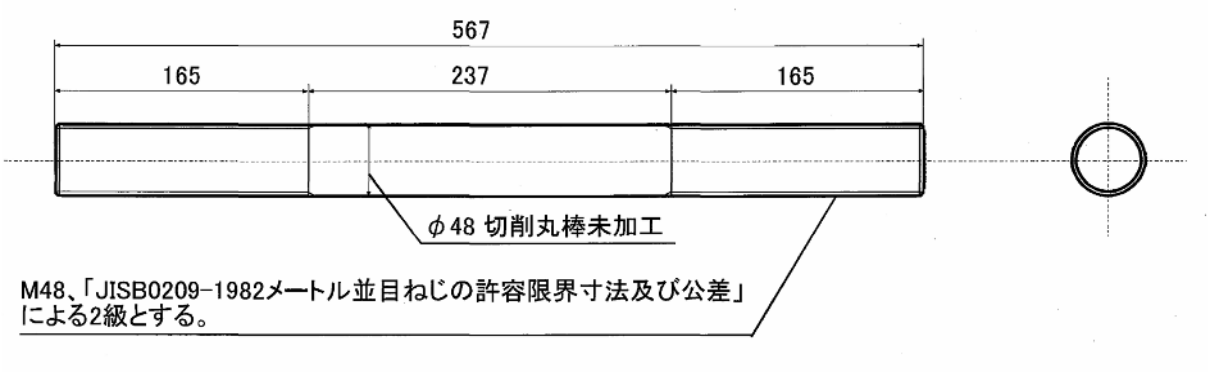


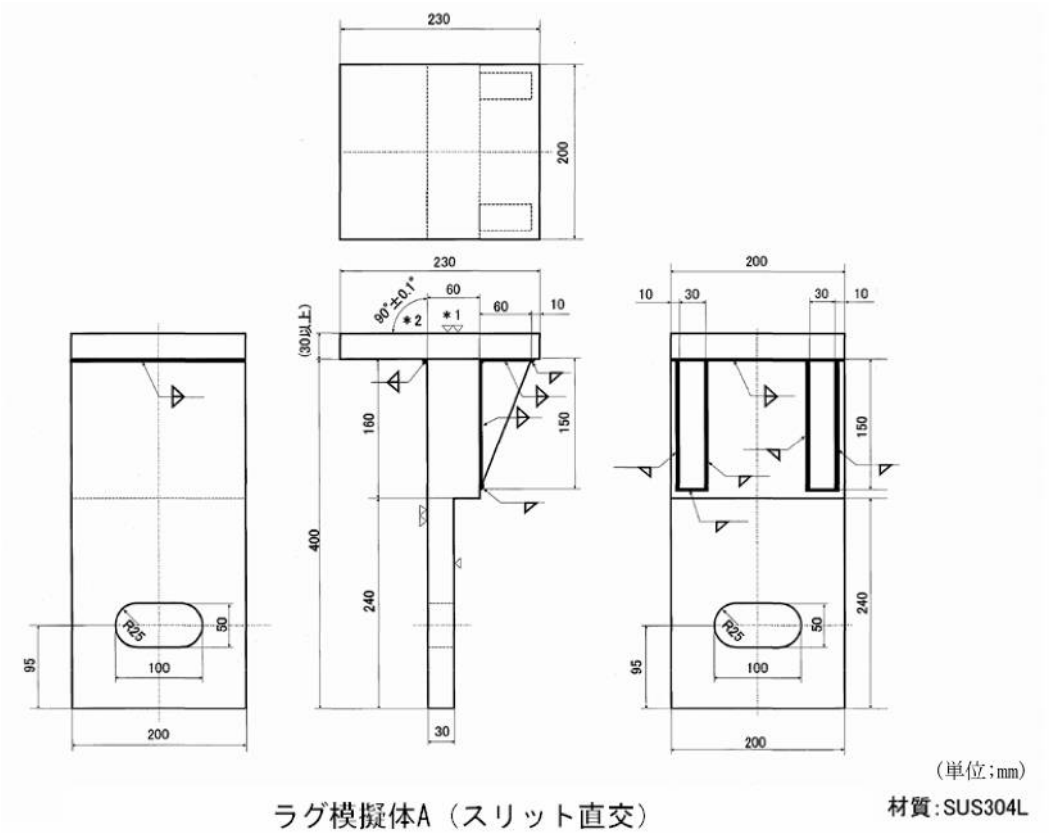
図 3-1　せん断荷重試験の試験治具



（単位；mm）

材質：SUS316

図 3-2　ボルト供試体


230
200
230
60
60
10
90°±0.1°
＊1
＊2
(30以上)
160
150
400
240
30
200
10
30
30
10
150
240
50
R25
100
95
200
（単位：mm）
ラグ模擬体A（スリット直交）
材質：SUS304L

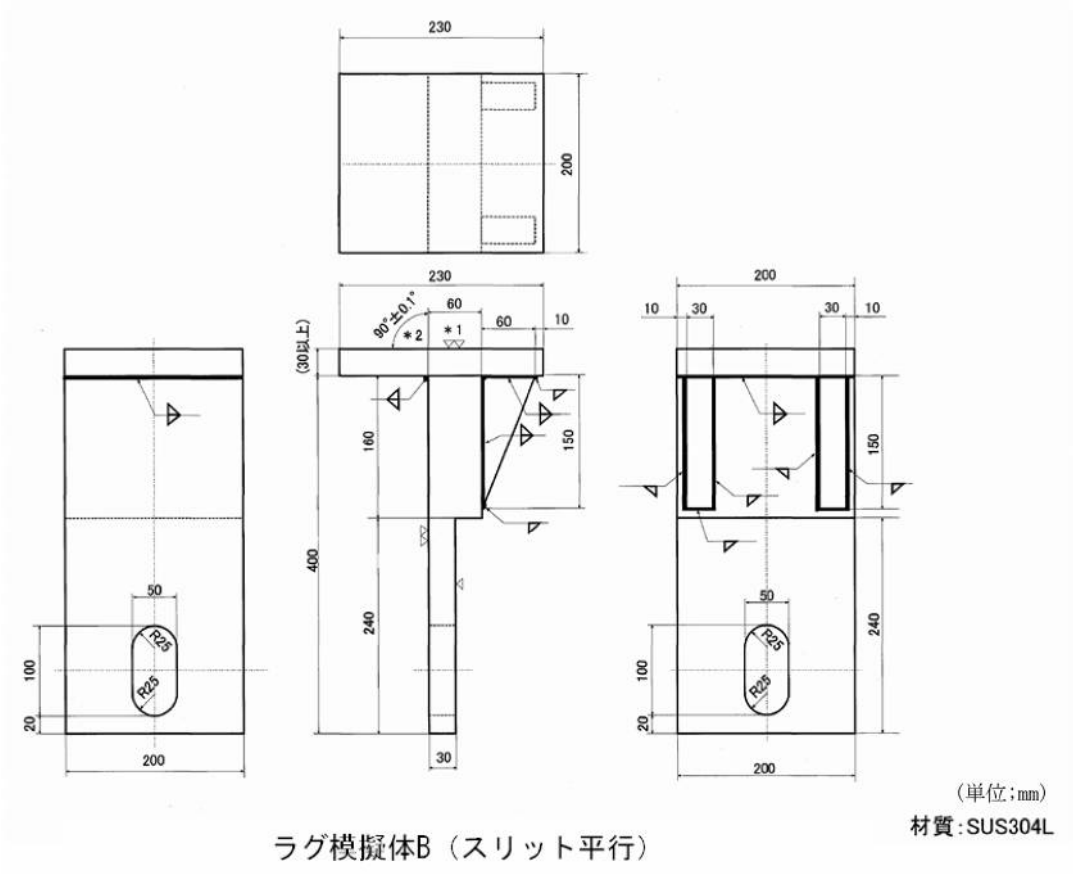
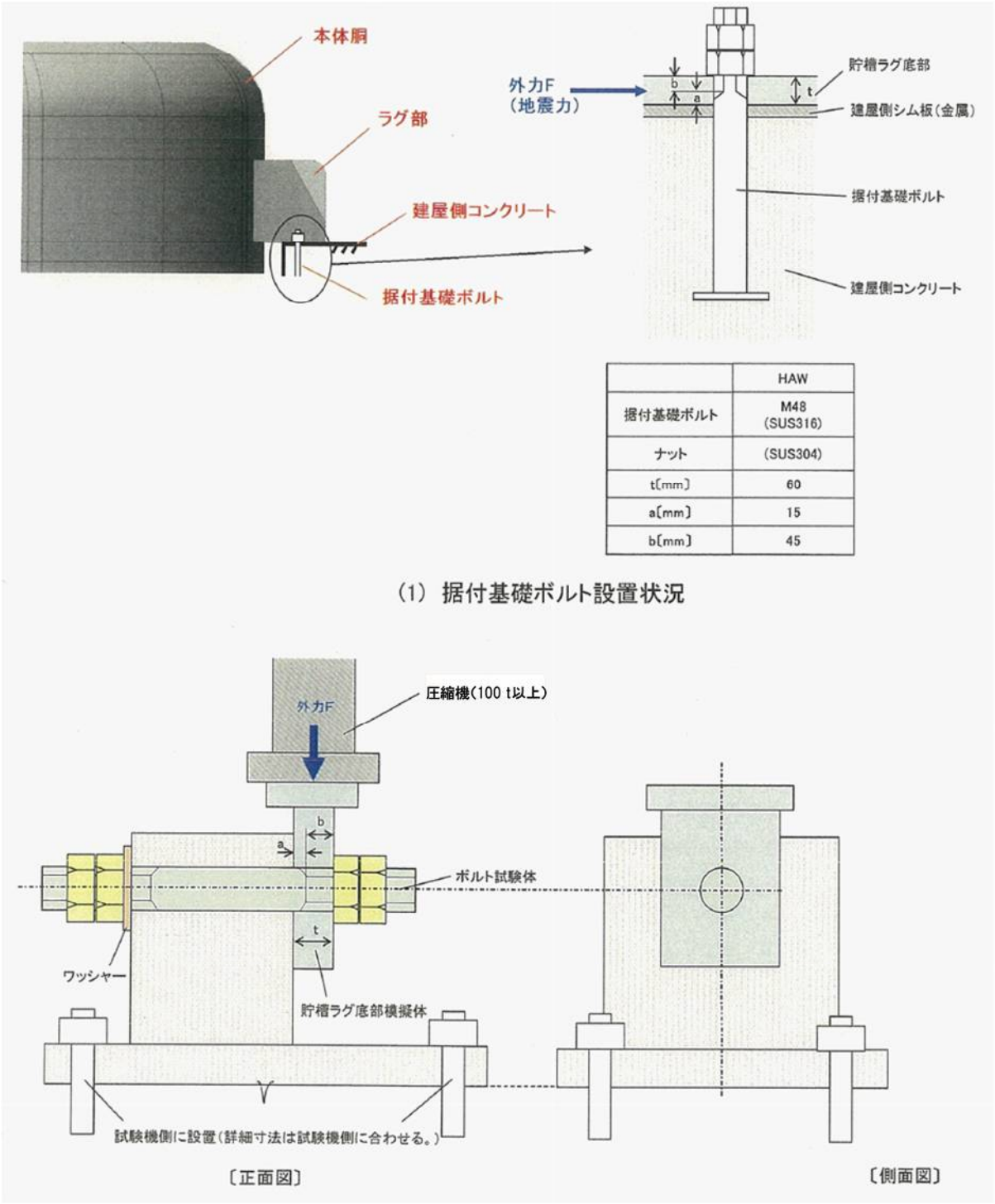

230
200
230
60
60
10
90°±0.1°
＊1
＊2
(30以上)
160
150
400
240
30
200
10
30
30
10
150
240
50
R25
100
95
200
（単位：mm）
ラグ模擬体B（スリット平行）
材質：SUS304L

図 3-3　ラグ模擬体



	HAW
据付基礎ボルト	M48 (SUS316)
ナット	(SUS304)
t〔mm〕	60
a〔mm〕	15
b〔mm〕	45

（1）据付基礎ボルト設置状況

図 3-4　実機の固定構造（アンカーボルトとラグの底板の位置関係）に基づく荷重試験治具の配置

（アンカーボルトねじ切り位置とラグの当たり具合を示すものであるため，ラグの上部に乗せる座金は表記上省略している）

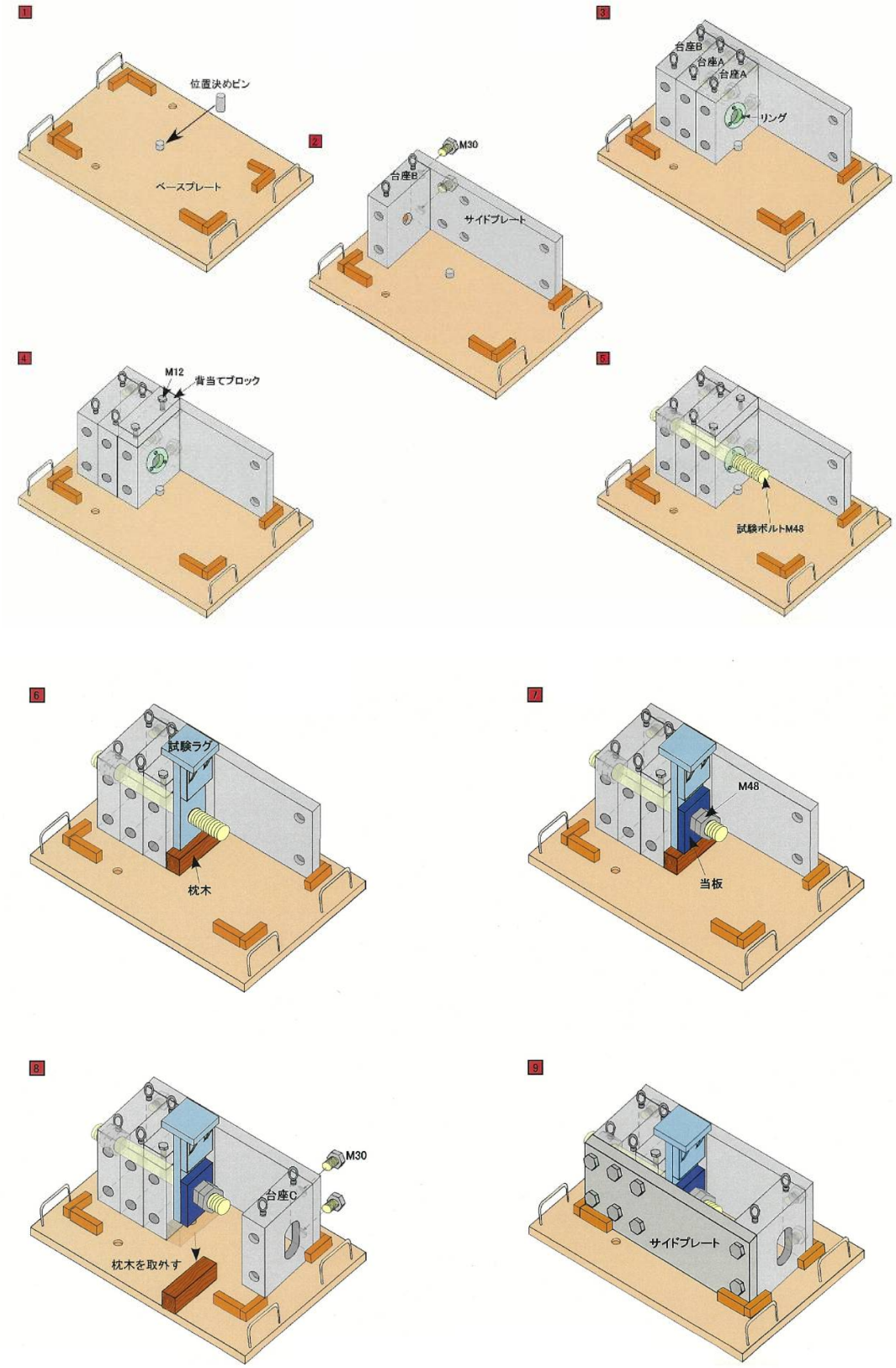


図 3-5　試験治具の組み立て

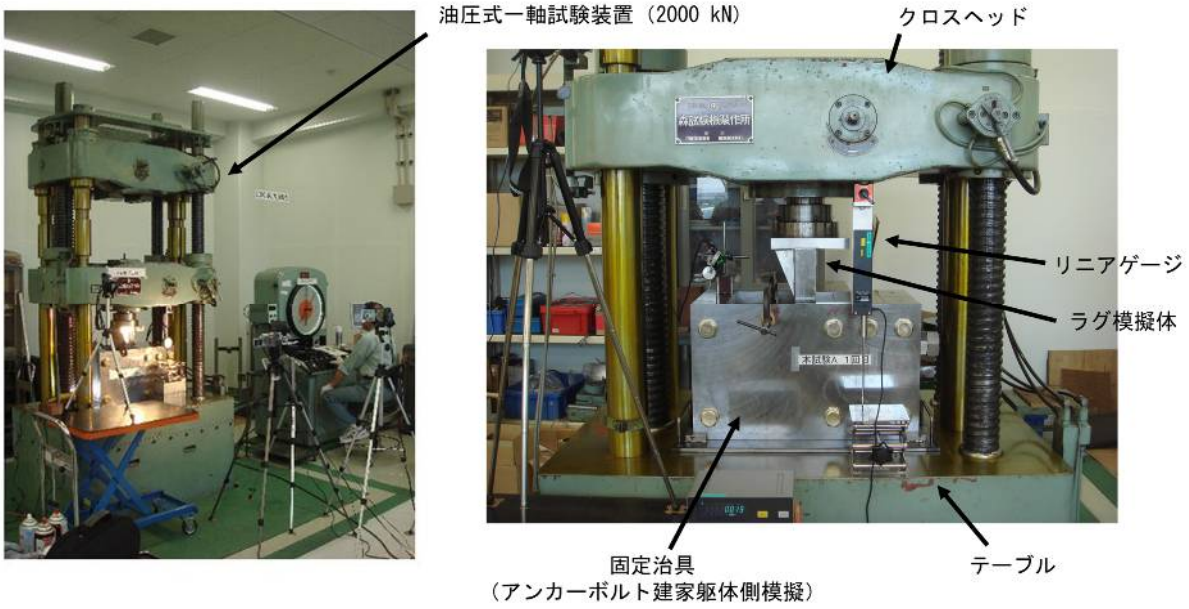


図 3-6　荷重試験装置外観

変位の測定はラグ模擬体を固定している油圧式一軸試験装置のクロスヘッドと上昇テーブルの間に取り付けたリニアゲージにより測定した。また，荷重は試験機に内蔵された荷重計により測定した。試験回数は SSB-3210 の規定に基づきラグ模擬体 A，ラグ模擬体 B それぞれ 3 回実施した。

以上より，本試験内容は SSB-3210 の要求するところの＜同一の材質及び形状を有する支持構造物ごとに 3 個＞に適合したものとなっている。

また，実機における使用前検査項目・自主検査項目である材料確認検査，ボルト締付力確認，ボルト据付位置確認を行うことにより，同一の品質管理基準を満足するものとした。

3.5 その他の試験条件

(1) 温度

試験温度は室温とした。実機は高放射性廃液貯槽からの熱が伝導するため，その強度評価時に考慮する温度は設計で定める最高使用温度とするが，SSB-3200 の規定に基づく許容荷重の計算式において室温に対して使用温度を考慮した補正を行うため，本試験における温度は室温で実施した。

(2) 荷重速度

JIS 規格には引張り試験における荷重速度は規定されているものの，せん断試験についての記載がないことから以下の考察により SUS316 材のひずみ増加率が 60 %/min になる荷重速度として 17.6 kN/sec とした。

(i) ひずみ増加率

ステンレス鋼材料の引張試験の引張速度は JIS G 4303 に規定があり，それによると，試験片平行部のひずみ増加率が 40～80 %/min（試験温度 23

±5 ℃）になるような引張速度を用いることとされている。本せん断荷重試験においても当該規定に従うこととし，その中央値である 60 %/min となるように荷重速度を設定した。

（ii）ひずみ増加率に基づく荷重速度

本せん断荷重試験の対象材料である SUS316 の引張り強さは，″SUS316 の高温強度試験（構造材料試験 77-3）″（PNC TJ 202 78-28，日立製作所実施）の室温における引張り試験結果で 58.3 kg/mm^2（571 MPa）であることから，上記で設定したひずみ増加率 60 %/min に基づき，供試体の断面積（φ48 mm）より求まる

（571 MPa × π ×（ 0.024 m）^{2} ）÷ 58.8 % × 60 %/min

= 17.6 kN/sec

を油圧式一軸試験装置で操作する荷重速度とした。

4. 試験結果

4.1 ラグ模擬体 A（スリット直交）

ラグ模擬体 A を用いた 3 回の荷重試験の結果得られた変位－荷重関係を図 4-1 に示す。試験時の最大荷重は 785.5～798 kN であった。最大荷重点までの曲線は 3 回とも概ね一致しており，最大荷重点以降から破断点まではばらつくものの破断点の荷重に大きな違いは見受けられなかった。

1回目		2回目		3回目	
変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]
0	0	0	0	0	0
1	23.5	1	18.5	1	14.5
2	147	2	125.5	2	112.5
3	274	3	254.5	3	241.5
4	362	4	343.5	4	335
5	417	5	400.5	5	395
6	458.5	6	441	6	438.5
7	495	7	479	7	477
8	528	8	513	8	511.5
9	560	9	546.5	9	545.5
10	589	10	577	10	575.5
11	618	11	606	11	605.5
12	645	12	633	12	633
13	668	13	660	13	659.5
14	692.5	14	683.5	14	683.5
15	715	15	706.5	15	706.5
16	735.5	16	728.5	16	729
17	753.5	17	747	17	749.5
18	770	18	763.5	18	766.5
19	781.5	19	775.5	19	783
20	789.5	20	783	20	792.5
21	791	20.6	785.5	21	797.5
22	783.5	21	785	21.3	798
23	756	22	777	22	796.5
24	710	23	754	23	781.5
24.7	658.5	24	710.5	24	751.5
		24.6	666	25	703.5
				25.8	663.5

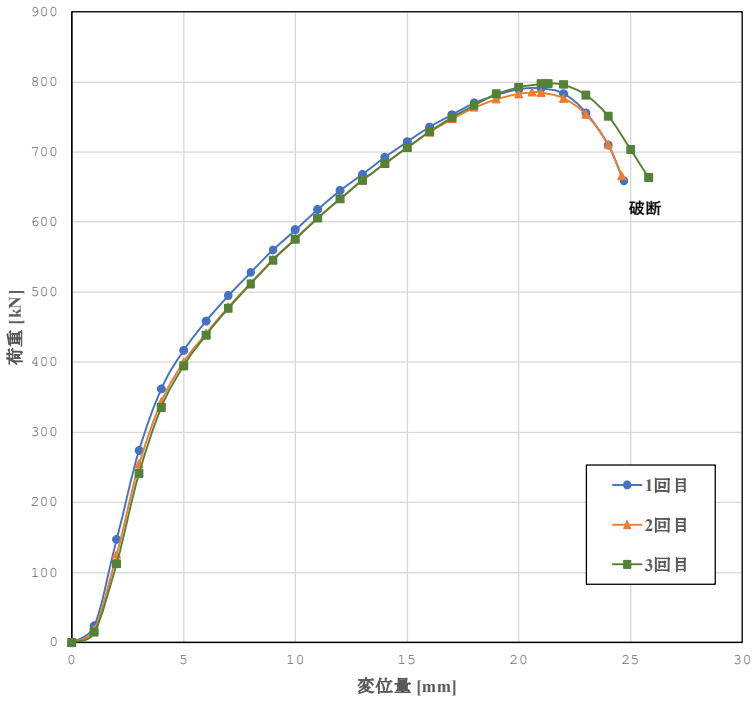


図 4-1　ラグ模擬体 A（スリット直交）の荷重試験結果：変位－荷重曲線

4.2 ラグ模擬体 B（スリット並行）

ラグ模擬体 B を用いた 3 回の荷重試験の結果得られた荷重－変位関係を図 4-2 に示す。試験時の最大荷重は 804～815 kN であった。最大荷重点までの曲線は 3 回とも概ね一致している。最大荷重点以降から破断点までは荷重が大きく低減したものの，破断点の荷重に大きな違いは見受けられなかった。

1回目		2回目		3回目	
変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]	変位量 [mm]	荷重 [kN]
0	0	0	0	0	0
1	23	1	19	1	20.5
2	119.5	2	131.5	2	147.5
3	352	3	355	3	353.5
4	442.5	4	445.5	4	437
5	495	5	497.5	5	489.5
6	538.5	6	541	6	533
7	577.5	7	580.5	7	573.5
8	612.5	8	616	8	606.5
9	644.5	9	647	9	639
10	673	10	676.5	10	667.5
11	698.5	11	702.5	11	694
12	724	12	727.5	12	718
13	746	13	750.5	13	740.5
14	766	14	771	14	760
15	782.5	15	788	15	778
16	794.5	16	800.5	16	793
17	803	17	809	17	805
17	803	17.9	812	18	813
17.6	805	18	812	18.7	815
18	804	19	805	19	815
19	792	20	777.5	20	802
20	760	21	659.5	21	764.5
21	580	22	583	22	568
22	530	23	432.5	23	508.5
23	412	24	358	24	416
23.7	348.5			24.1	406.5

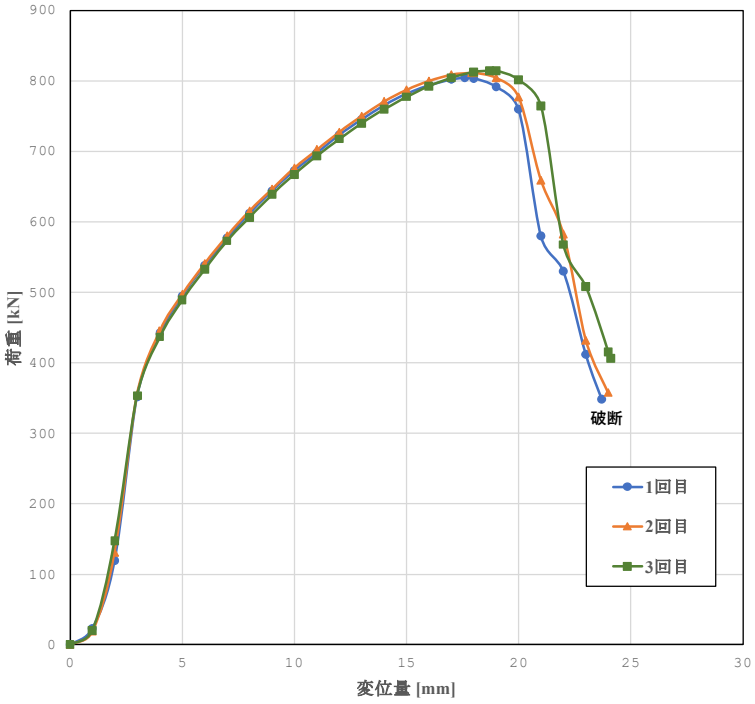


図 4-2　ラグ模擬体 B（スリット平行）の荷重試験結果：変位－荷重曲線

4.3 荷重方向の違いに関する考察

ラグ模擬体 A とラグ模擬体 B の試験結果から，それぞれ最も低い最高荷重値となった試験の変位－荷重曲線を図 4-3 に示す。またそれぞれの試験後の供試体の状況を図 4-4，図 4-5 に示す。

変位－荷重曲線の比較では，最大荷重値は大きくは異ならないものの，最大荷重値までの曲線及び最大荷重値から破断に至る変位関係には相違が見られた。この理由として，スリットに対するボルトの拘束関係が関係していると考えられる。

ラグとボルトの接触面については，ラグ模擬体 A ではスリットの直線部分とボルトの円周部分の 1 点が接触しているのに対し，ラグ模擬体 B ではスリットの円周部分とボルトの円周部分が面で接触しているという違いがある（図 4-6）。図 4-4 と図 4-5 から供試体（ボルト）のマクロ的視点での変形は両方で大きく異なる挙動を示していない。一方，ラグ模擬体のボルトとの接触面の変形では，ラグ模擬体 A ではボルト接触の圧痕だけでなく一部で塑性変形を示している。ラグ模擬体 B ではボルトのねじ山の圧痕程度の変形を示している程度で

ある。またラグ模擬体Aの変形では，ボルトの軸方向で塑性変形の程度が異なるため均一な荷重伝達ではなく，固定治具側（実機での建家躯体側）の方が大きな力を受けていることを示している。これは，ねじ山のない位置のボルト側面部分がラグの底板との接触を集中的に受けることになるためである。これらより，ラグ模擬体Aでは，加えられた荷重の幾分かはラグ側の降伏で負担していることがわかる。また，ねじ山の変形（つぶれ）も集中荷重を受けるラグ模擬体Aの方が大きくなっており，荷重のエネルギーの一部を吸収している。これらが同じ荷重でもラグ模擬体 B よりラグ模擬体 A の方が変位量が大きいことの理由と考えられる。最高荷重点通過後の破断までの変位－荷重曲線の違いも同じようにラグとの接触関係の違いから説明できると考えられる。すなわち，前述したようにラグ模擬体 A では固定治具側の方に大きな変形が認められる。供試体（ボルト）が破損し始めてからも荷重の増加に応じてラグの固定治具側接触面の変形が拡大することでより多くの荷重をラグ側で負担することになり，破断までの荷重の落ち込みが小さくなったものと考えられる。一方，ラグ模擬体Bは，せん断力のほとんどを供試体（ボルト）側で負担することで，破損の開始から破断までの荷重の落ち込みが大きくなったものと考えられる。

一般的にボルトでの固定は，単純な円孔にボルトを通して締結することから，ラグ模擬体 B の方が一般的なボルト締結による支持構造への適用性が高いと考えられる。すなわちラグ模擬体Aの方は今回模擬した高放射性廃液貯槽のアンカーボルト支持構造特有の特徴を示したものと考える。

なお，ここで示さなかった他の試験においても同様の破壊後の様相が認められた。

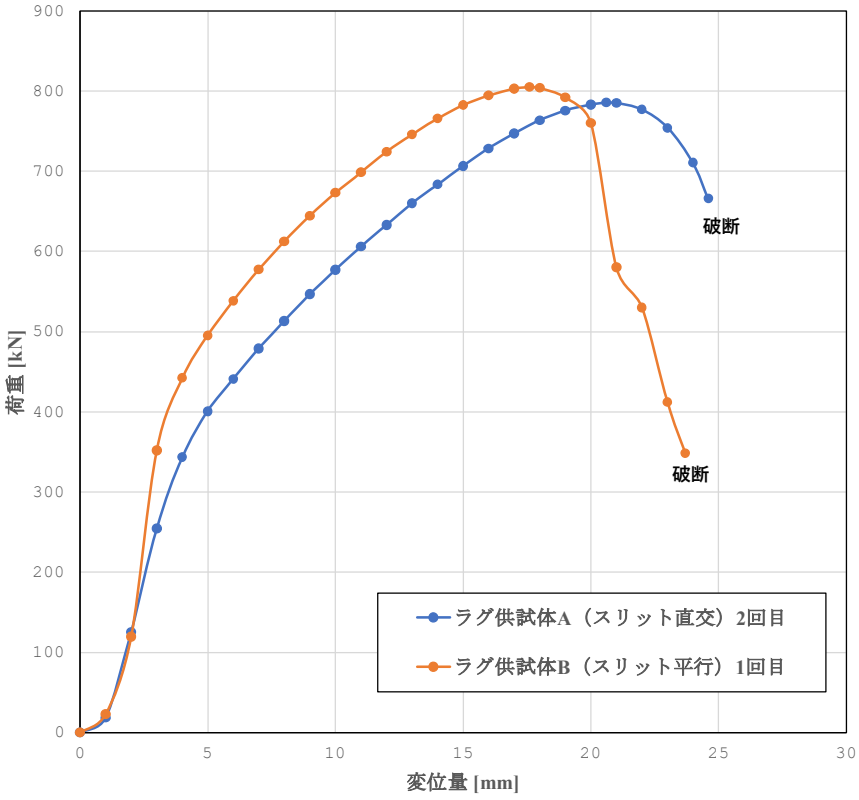


図 4-3　ラグ供試体 A（スリット直交）とラグ供試体 B（スリット平行）の
変位－荷重曲線の比較



図 4-4　模擬ラグ A（スリット直交）2 回目試験の試験後の供試体等の状況

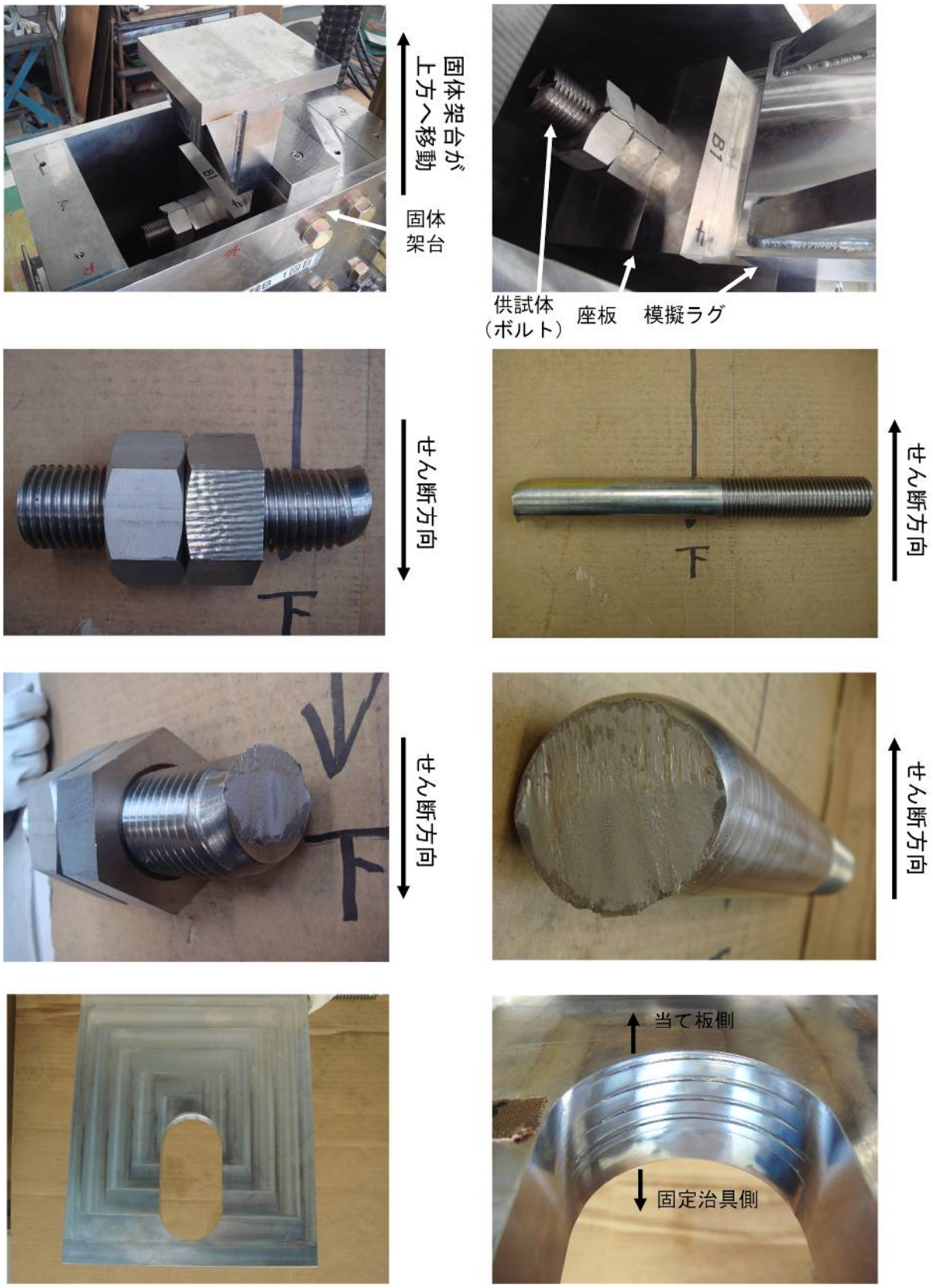


図 4-5　模擬ラグ B（スリット平行）1 回目試験の試験後の供試体等の状況

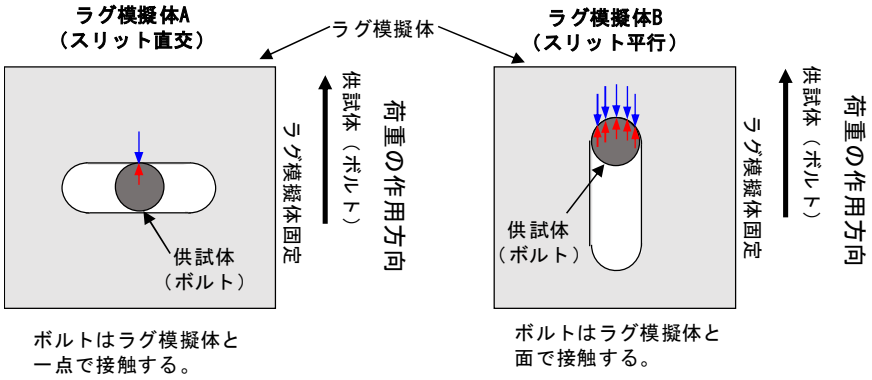


図 4-6　ラグ模擬体と供試体（ボルト）の接触の違い

5. 試験結果に基づく許容応力の評価

二つのラグ模擬体でそれぞれ 3 回の荷重試験を行った結果，それぞれの試験で最大の荷重は表 5-1 に示すとおりであった。

表 5-1　荷重試験における最大荷重値

試験	ラグ模擬体 A （スリット直交）	ラグ模擬体 B （スリット平行）
1 回目	791.0 kN	804.0 kN
2 回目	785.5 kN	812.0 kN
3 回目	798.0 kN	815.0 kN
観測値最小値	785.5 kN	804.0 kN

これより JSME S NC1-2008 の SSB-3240 に基づき許容荷重を計算する。その際に用いる荷重試験から得られた値としては，SSB-3210 に定められているように同一条件について 3 個の供試体から得られた値のうちの最小の値（kN 単位とし，小数点以下切り捨て。）を用いる。

SSB-3240　供用状態 D での許容荷重

供用状態 D における荷重については、次の計算式により計算した値を超えないこと。この場合において、当該支持構造物と同一の材質および形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができる。

$$A_L = \frac{0.6 T_L S_{yd}}{S_{yt}}$$

A_L：許容荷重（N）

T_L：SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重（N）

S_{yd}：最高使用温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値（MPa）

S_{yt}：試験温度における材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 に定める値（MPa）

上記に基づき計算した許容荷重及びアンカーボルト（φ48 mm）の断面積を考慮した場合の許容応力は表 5-2 のとおりとなる。このように算出した許容荷重は図 16 に示すように試験データの最大荷重（3 回試験中の最小値。）に対しても十分な裕度を持っている。

参考として図 5-1 には材料規格[2]に記載されている JIS G 4303 ステンレス鋼棒 SUS-316 の設計降伏点・設計引張強さから設計規格[1]の"SSB-3133 供用状態 D での許容応力"に規定されている方法を用いて算出した許容せん断応力（142 MPa）にボルトの有効断面積（1470 mm^2）をかけて許容荷重を求めた結果（208 kN）を併記している。荷重試験から得られた値をもとに算出した許容荷重を実力値とみなすと，実力値は規格値に対して約 2.0 倍の余裕があるとみなせる。

表 5-2　荷重試験から得た値に基づき計算した許容荷重及び許容応力

試験条件	ラグ模擬体 A （スリット直交）	ラグ模擬体 B （スリット平行）
観測値 最小値 T_L	785 kN／本	804 kN／本
試験温度	室温	
最高使用温度	80 ℃	
S_{yt} (JIS G 4303 SUS-316)	205 MPa（室温） ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の常温最小降伏点。	
S_{yd} (JIS G 4303 SUS-316)	183.4 MPa（80 ℃） ※ 材料規格 Part 3 第 1 章 表 6 の 100 ℃の値（176 MPa）と 65 ℃の値（189 MPa）を線形補間して求めた 80 ℃の値。	
許容荷重 A_L	421.4 kN／本（80 ℃）	431.6 kN／本（80 ℃）
供試体断面積	1809 mm^2 ※ 保守的に M48 ボルト呼び径（48mm）より $3.14 \times 24^2 \cong 1809$	
許容応力 f_s	232.9 MPa（80 ℃）	238.5 MPa（80 ℃）
	上記より低い側の値の小数点以下を切り捨てた 232 MPa を高放射性廃液貯槽の据付けボルトのせん断に対する許容応力とする。	

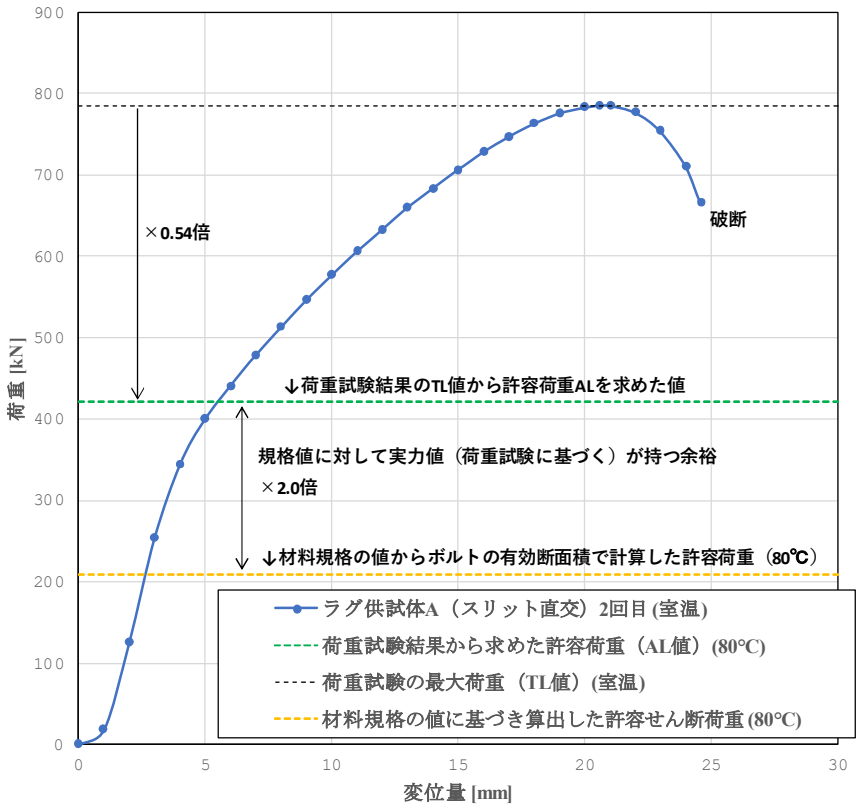


図 5-1　試験データと許容荷重A_Lの比較

6. まとめ

高放射性廃液貯蔵場（HAW）において高放射性廃液を貯蔵する大型の貯槽である高放射性廃液貯槽（272V31～V36）を直接支持しているアンカーボルトについて，地震時に作用する水平方向せん断力に対する強度を明らかにするために，実機の支持構造を模擬して荷重試験を実施した。荷重試験の方法は″日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008 年版） 〈第Ⅰ編 軽水炉規格〉″（JSME S NC1-2008）[1]の″SSB-3000 クラス 1 支持構造物の設計″における″SSB-3210 許容荷重″に基づくものとした。また，支持構造に基づき二種類のラグ模擬体を使用した。

試験の結果，ラグに対するせん断力の作用方向により変位－荷重曲線の挙動に違いが見られたものの，計測された最大許容値に大きな差違は見られなかった。測定された最大許容値のうちの最小値（785 kN／本）を用いて SSB-3240 に基づく許容荷重の評価を行い，その値として 421 kN／本を得た。また，ボルトの断面積に基づき計算された許容応力は 232 MPa であった。

参考文献

1. ″日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2008 年版） 〈第Ⅰ編 軽水炉規格〉″, JSME S NC1-2008, 日本機械学会（2008）
2. ″日本機械学会規格 発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）″, JSME S NJ1-2012, 日本機械学会（2012）
3. 上坂 充, 鬼沢邦雄, 笠原直人, 鈴木一彦, ″原子力教科書 原子炉構造工学″, 株式会社オーム社, ISBN978-4-274-20690-0（2009）
3. ″日本工業規格 JIS G 4303 ステンレス鋼棒″, 日本工業規格
4. ″日本工業規格 JIS Z 2201 金属材料引張試験片″, 日本工業規格
5. ″電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針″, JEAG4601-1991 追補版,日本電気協会 電気技術基準調査委員会（1991）
6. ″電気技術指針 原子力編 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編″, JEAG4601・補-1984, 日本電気協会 電気技術基準調査委員会（1984）
7. 日立製作所, ″ SUS316 の高温強度試験（構造材料試験 77-3）″, 動力炉・核燃料開発事業団 委託報告書, PNC TJ 202 78-28（1978）
8. 坂口 忍, 立花 郁也 他, ″地震時にせん断荷重を受ける機器据付けボルトの耐震裕度に関する一考察″, JAEA-Technology 2011-006, 日本原子力研究開発機構（2011）
9. 白井 更知, 三浦 靖 他, ″第 2 回 再処理施設の定期的な評価報告書″, JAEA-Technology 2016-007（Part I）, 日本原子力研究開発機構（2016）

添付資料

(1) 材料試験成績書（実機アンカーボルト材）

(2) 材料検査証明書（本試験において用いた供試体）
(3) ボルトせん断試験結果通知書

三菱重工神戸造船所

Purchaser : Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
(需 要 家) Kobe Shipyard & Engine works.

MATERIAL TEST REPORT
(材料試験成績書)

Date : June 14th 1983
(発行年月日)

Report No. 1238
(成績書番号)

TAKENAKA SEISAKUSHO CO., LTD.
(株式会社 竹中製作所)
Head Office : 1-18, 9-Chome Tanimachi, Minami-Ku, Osaka 542, Japan
本 社 大阪市南区谷町9丁目1番18号 (住友生命谷町ビル)

購品管 58.6.24

Oct, T 八角テイ

P. O. No. 7572201-0100-ZH-387003
(客先注文番号)

Material Spec. : JIS G4303 SUS316-81
(材 質 規 格)

Heat No. 55914
(溶 解 番)

Steel Works (製鋼所)	Dimension (寸 法)	Chemical Composition (化 学 成 分) (%×100 Except P, S)													
		Elements (成 分)	C%	Si%	Mn%	P% (%×1000)	S% (%×1000)	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	V%			I.D No.
		Specification (規 格)	max 8	max 100	max 200	max 45	max 30	---	1000 -1400	1600 -1800	200 -300				
AS	48 mm	Results (成 績)	6	75	122	34	4	---	1036	1633	207				14

Items (項 目)	Test Temp. (試験温度)	Test Piece (試験片寸法)	Yield Strength 0.2% offset (耐 力) kgf/mm²	Tensile Strength (引張強さ) kgf/mm²	Elongation (伸 び) %	Reduction of Area (絞 り) %	Impact Test (衝 撃 試 験)		Hardness Test (硬さ試験) Hs	Heat Treatment (熱処理) Solution °C	Quenching (焼 入)	Tempering (焼 戻)	
Specification (規 格)	°C	mm	min 21	min 53	min 40	min 60	min	Avg min	max 187	1010 -1150	---	---	
Results (成 績)	20	12.5x50.0	26	62	62	77			147	1050	---	---	

It is hereby certified that the above results are true and correct in every details.
(上記の通り検査の結果、指定の規格に合格していることを証明致します。)

Certified by
Inspection Section (検査部門)

el Works (製鋼所)
L: Kobe Steel, Ltd. (株式会社 神戸製鋼所)
NS: Nippon Steel Corporation (新日本製鐵株式会社)
SM: Sumitomo Metal Industries Ltd. (住友金属工業株式会社)
AS: Aichi Steel Works, Ltd. (愛知製鋼株式会社)
DS: Daido Steel Co., Ltd. (大同特殊鋼株式会社)
KSC: Kawasaki Steel Corporation. (川崎製鉄株式会社)
SS: Sanyo Special Co., Ltd. (山陽特殊製鋼株式会社)
AZ: Azuma Steel Co., Ltd. (株式会社 東洋製鋼所)

6-1-2-3-3-1-参考 1-26

添付-1

契約番号 OUR REF. NO.
CB71B012 16

INSPECTION CERTIFICATE 検査証明書

Contractor 契約先	三井物産株式会社 ステンダイIA 御中	Purchaser 需要家	株式会社UEX 御中

Chemical Composition 化学成分

Elements 成分	C %X100	Si %X100	Mn %X100	P %X1000	S %X1000	Cu %	Ni %X100	Cr %X100	Mo %X100	%	%	%	%	%	%	%	%
Specification 規格	MAX 8	MAX 100	MAX 200	MAX 45	MAX 30		1000 -1400	1600 -1800	200 -300								
Results 成績	5	29	129	33	27		1006	1708	202								

Mechanical Properties 機械的性質

Items 項目	Tension Test 引張試験 Type of Specimen 試験片	Yield Strength 耐力 0.2 %	Yield Point 降伏点	Tensile Strength 引張強さ	Elongation 伸び	Reduction of Area 絞り	Hardness かたさ	Impact Test 衝撃試験 Type of Specimen 試験片		Bending Test 曲げ試験	Heat Treatment 熱処理
Specification 規格		N/mm² MIN 205		N/mm² MIN 520	% MIN 40	% MIN 60	HBW MAX 187				BODY 1080°C WQ
Results 成績	JIS10	282		595	60	74	156				

Items 項目	Grain Size 結晶粒度	Decarburization 脱炭 mm	Streak Flaw 地きず	Body Hardness 製品かたさ	Non Metallic Inclusion 非金属介在物				
Results 成績				HBW 156					
Items 項目	Hardenability 熱処理かたさ								
Results 成績									

Hardenability (End Quenching Method) 焼入性(一端焼入法)

Results 成績																	

Remarks 記事
寸法検査
GOOD
外観検査
GOOD

Date 発行日	Certificate No. 証明書番号	Type of Steel 鋼種名	Size & Shape 寸法・形状	Condition 納入状態	Heat No. 溶解番号
07- 2- 1 (DS2210)	IM1114 (1BK491)	JISG4303-05-SUS316	48D	ST,PM	D459D

It is hereby certified that the above results are true and correct in every detail
上記の成績は要求事項を満足していることを証明します。

Chief of Quality Assurance Section

Quality Assurance Section, Hoshizaki Plant
Daido Steel Co.,Ltd.
大同特殊鋼株式会社
星崎工場品質保証グル
〒457-8545 名古屋市南区大同町
TEL. ダイヤルイン (052) 611

受付番号	09212

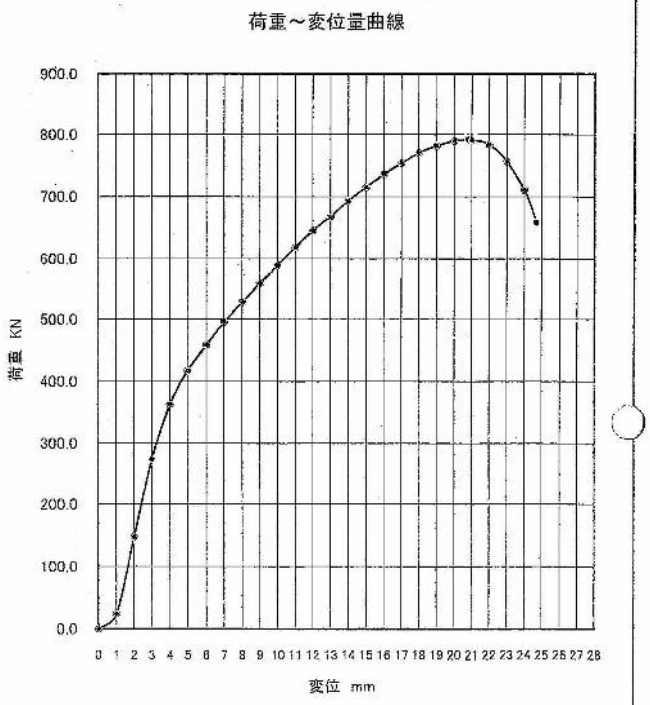
ボルトせん断試験結果通知書

(1/6)

受付年月日	平成 20 年 08 月06 日	試験年月日	平成 20 年 08 月 07 日
工事名	***		
工事場所	***		
試料名	本試験A　1本目　(SUS316　M48)		
産地又は製造者	***		
特記事項	試験方法は「日本機械学会（JSME）発電用原子力設備規格　設計・建設規格 2005年版　SSB-3200」による		

供試体番号　1

変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0	0.0	
1	23.5	
2	147.0	
3	274.0	
4	362.0	
5	417.0	
6	458.5	
7	495.0	
8	528.0	
9	560.0	
10	589.0	
11	618.0	
12	645.0	
13	668.0	
14	692.5	
15	715.0	
16	735.5	
17	753.5	
18	770.0	
19	781.5	
20	789.5	
20.8	791.5	最大荷重
21	791.0	
22	783.5	
23	756.0	
24	710.0	
24.7	658.5	破断



備　考

荷重速度　＝　1056kN／min　≒　17.6kN／sec　とした
試験室温度　　23.3℃

試験者

（財）茨城県建設技術管理センター

受付番号	09212

ボルトせん断試験結果通知書

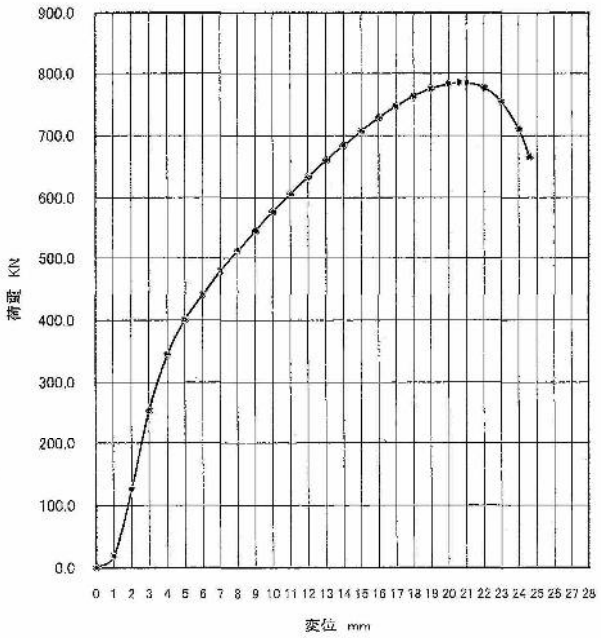
(2/6)

受付年月日	平成 20 年 08 月 06 日	試験年月日	平成 20 年 08 月 07 日
工事名	***		
工事場所	***		
試料名	本試験A　2本目　(SUS316　M48)		
産地又は製造者	***		
特記事項	試験方法は「日本機械学会（JSME）発電用原子力設備規格　設計・建設規格 2005年版　SSB-3200」による		

供試体番号　2

変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0	0.0	
1	18.5	
2	125.5	
3	254.5	
4	343.5	
5	400.5	
6	441.0	
7	479.0	
8	513.0	
9	546.5	
10	577.0	
11	606.0	
12	633.0	
13	660.0	
14	683.5	
15	706.5	
16	728.5	
17	747.0	
18	763.5	
19	775.5	
20	783.0	
20.6	785.5	最大荷重
21	785.0	
22	777.0	
23	754.0	
24	710.5	
24.6	666.0	破断

荷重～変位量曲線



備考

荷重速度　＝　1056kN／min　≒　17.6kN／sec　とした
試験室温度　23.3℃

試験者

（財）茨城県建設技術管理センター

受付番号	09212

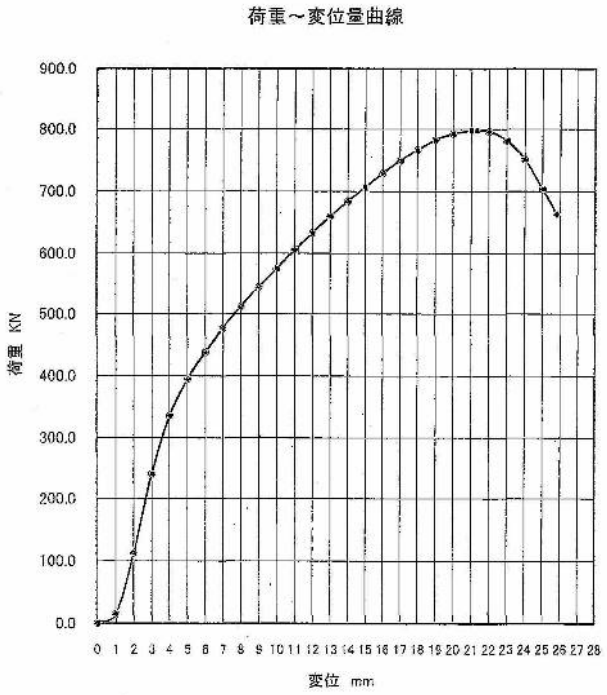
ボルトせん断試験結果通知書

(3/6)

受付年月日	平成 20 年 08 月 06 日	試験年月日	平成 20 年 08 月 08 日
工事名	***		
工事場所	***		
試料名	本試験A　3本目　(SUS316　M48)		
産地又は製造者	***		
特記事項	試験方法は「日本機械学会（JSME）発電用原子力設備規格　設計・建設規格 2005年版　SSB-3200」による		

供試体番号　3

変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0	0.0	
1	14.5	
2	112.5	
3	241.5	
4	335.0	
5	395.0	
6	438.5	
7	477.0	
8	511.5	
9	545.5	
10	575.5	
11	605.5	
12	633.0	
13	659.5	
14	683.5	
15	706.5	
16	729.0	
17	749.5	
18	766.5	
19	783.0	
20	792.5	
21	797.5	
21.3	798.0	最大荷重
22	796.5	
23	781.5	
24	751.5	
25	703.5	
25.8	663.5	破断



備　考

荷重速度　＝　1056kN／min　≒　17.6kN／sec　とした
試験室湿度　　24.1℃

試験者	

（財）茨城県建設技術管理センター

受付番号	09212

ボルトせん断試験結果通知書

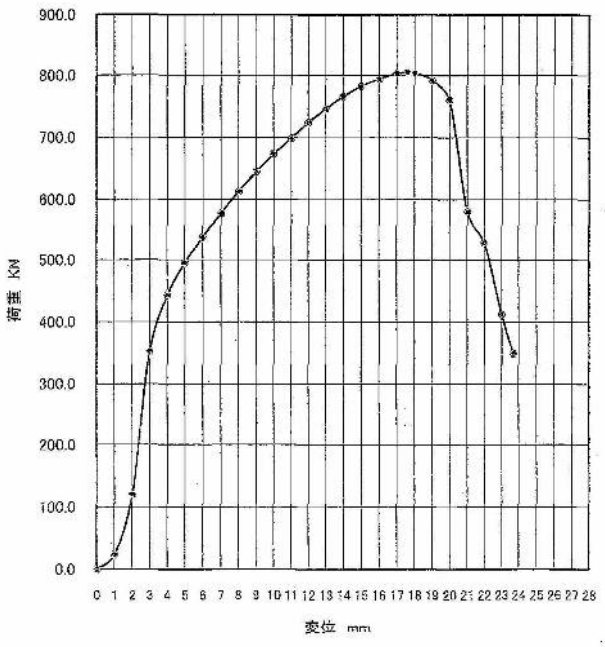
(4/6)

受付年月日	平成 20 年 08 月 06 日	試験年月日	平成 20 年 08 月 07 日
工事名	***		
工事場所	***		
試料名	本試験B　1本目　(SUS316　M48)		
産地又は製造者	***		
特記事項	試験方法は「日本機械学会（JSME）発電用原子力設備規格　設計・建設規格 2005年版　SSB-3200」による		

供試体番号　1

変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0	0.0	
1	23.0	
2	119.5	
3	352.0	
4	442.5	
5	495.0	
6	538.5	
7	577.5	
8	612.5	
9	644.5	
10	673.0	
11	698.5	
12	724.0	
13	746.0	
14	766.0	
15	782.5	
16	794.5	
17	803.0	
17.6	805.0	最大荷重
18	804.0	
19	792.0	
20	760.0	
21	580.0	
22	530.0	
23	412.0	
23.7	348.5	破断

荷重～変位量曲線



備　考

荷重速度　＝　1056kN／min　≒　17.6kN／sec　とした
試験室温度　　23.1℃

試験者

受付番号	09212

ボルトせん断試験結果通知書

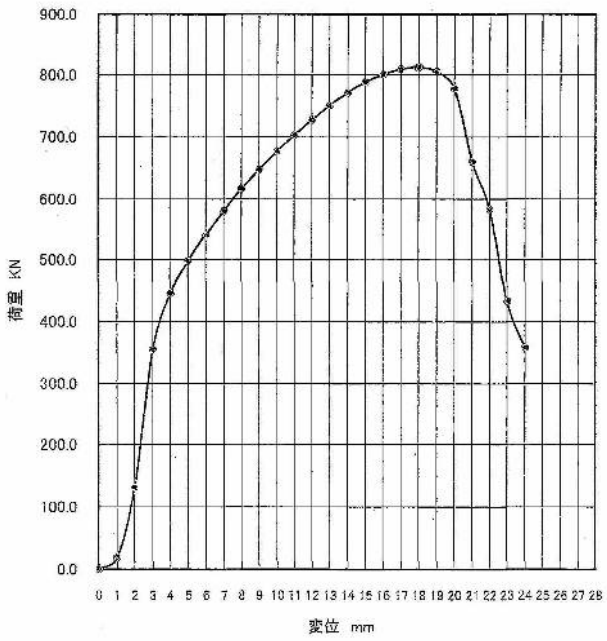
(5/6)

受付年月日	平成 20 年 08 月 06 日	試験年月日	平成 20 年 08 月 07 日
工事名	***		
工事場所	***		
試料名	本試験B　2本目　(SUS316　M48)		
産地又は製造者	***		
特記事項	試験方法は「日本機械学会（JSME）発電用原子力設備規格　設計・建設規格 2005年版　SSB-3200」による		

供試体番号　2

変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0	0.0	
1	19.0	
2	131.5	
3	355.0	
4	445.5	
5	497.5	
6	541.0	
7	580.5	
8	616.0	
9	647.0	
10	676.5	
11	702.5	
12	727.5	
13	750.5	
14	771.0	
15	788.0	
16	800.5	
17	809.0	
17.9	812.0	最大荷重
18	812.0	
19	805.0	
20	777.5	
21	659.5	
22	583.0	
23	432.5	
24	358.0	破断

荷重～変位量曲線



備　考

荷重速度　＝　1056kN／min　≒　17.6kN／sec　とした
試験室温度　　23.0℃

試験者

（財）茨城県建設技術管理センター

受付番号	09212

ボルトせん断試験結果通知書

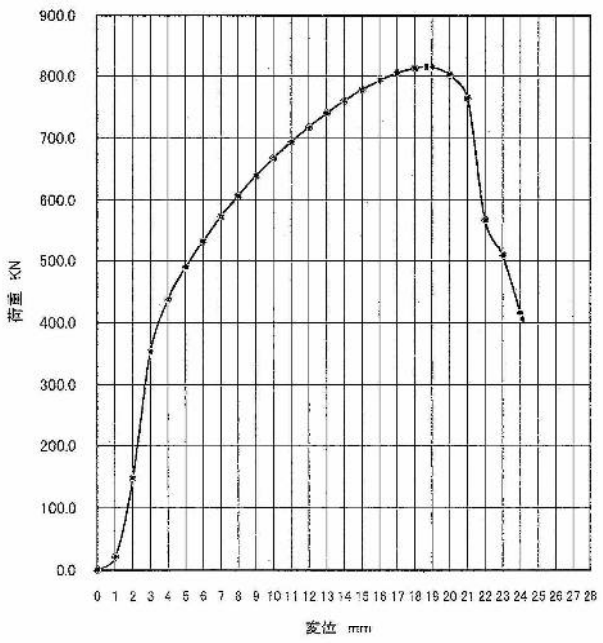
(6/6)

受付年月日	平成 20 年 08 月 06 日	試験年月日	平成 20 年 08 月 08 日
工事名	***		
工事場所	***		
試料名	本試験B　3本目　(SUS316　M48)		
産地又は製造者	***		
特記事項	試験方法は「日本機械学会（JSME）発電用原子力設備規格　設計・建設規格 2005年版　SSB-3200」による		

供試体番号　3

変位量 (mm)	荷重 (kN)	備考
0	0.0	
1	20.5	
2	147.5	
3	353.5	
4	437.0	
5	489.5	
6	533.0	
7	573.5	
8	606.5	
9	639.0	
10	667.5	
11	694.0	
12	718.0	
13	740.5	
14	760.0	
15	778.0	
16	793.0	
17	805.0	
18	813.0	
18.7	815.0	最大荷重
19	815.0	
20	802.0	
21	764.5	
22	568.0	
23	508.5	
24	416.0	
24.1	406.5	破断

荷重～変位量曲線



備考

荷重速度　＝　1056kN／min　≒　17.6kN／sec　とした
試験室温度　　22.9℃

試験者	

（財）茨城県建設技術管理センター

中間貯槽(272V37,V38)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を構成する中間貯槽（272V37,V38）について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

中間貯槽(272V37,V38)の構造強度の評価は，有限要素法（FEM）解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

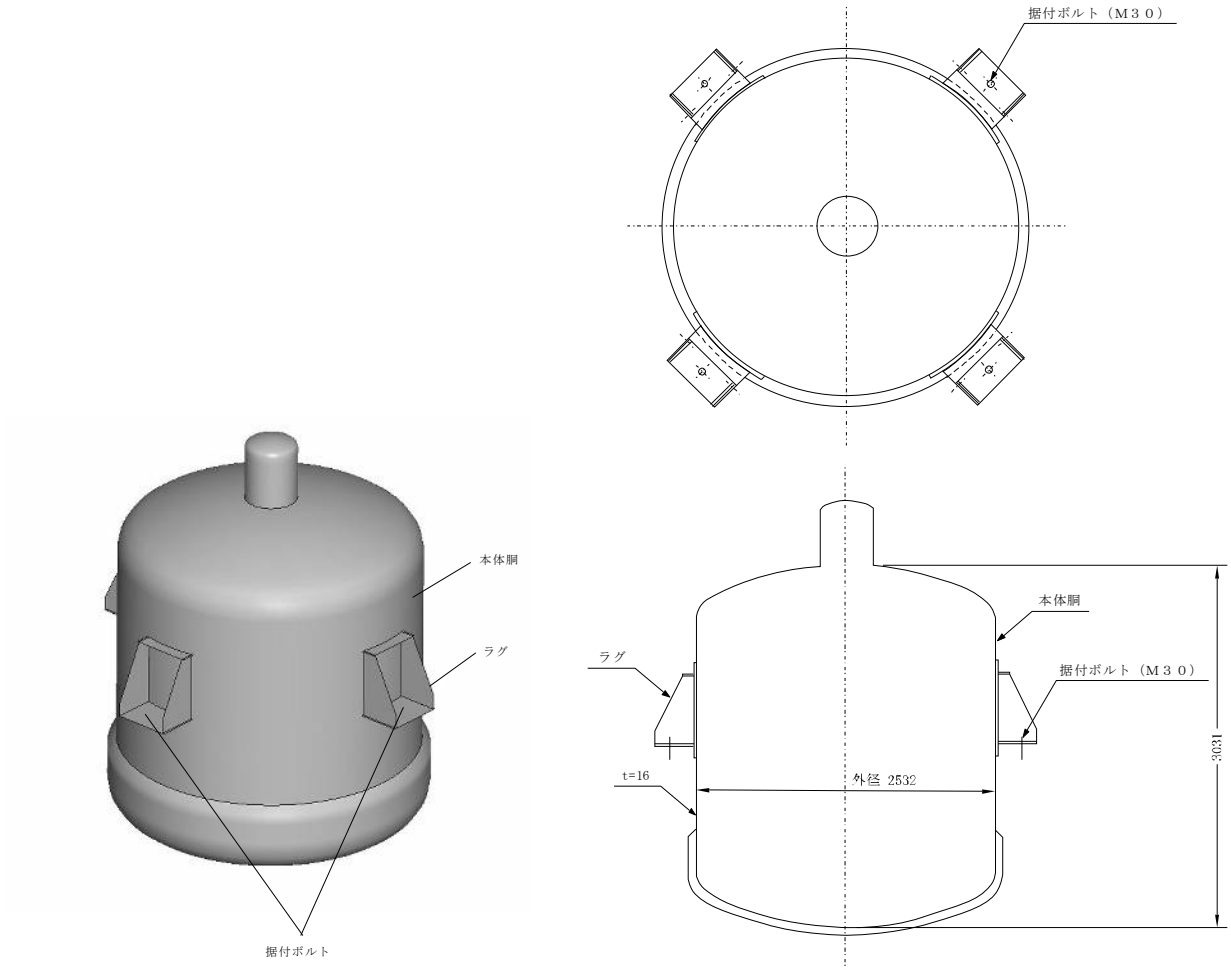
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

中間貯槽(272V37,V38)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，ラグ及び据付ボルトとする。中間貯槽(272V37,V38)の概要図を図 3-1 に示す。



（単位;mm）

図 3-1　中間貯槽（272V37,V38）の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力

については設計圧力，自重については液量を満杯とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

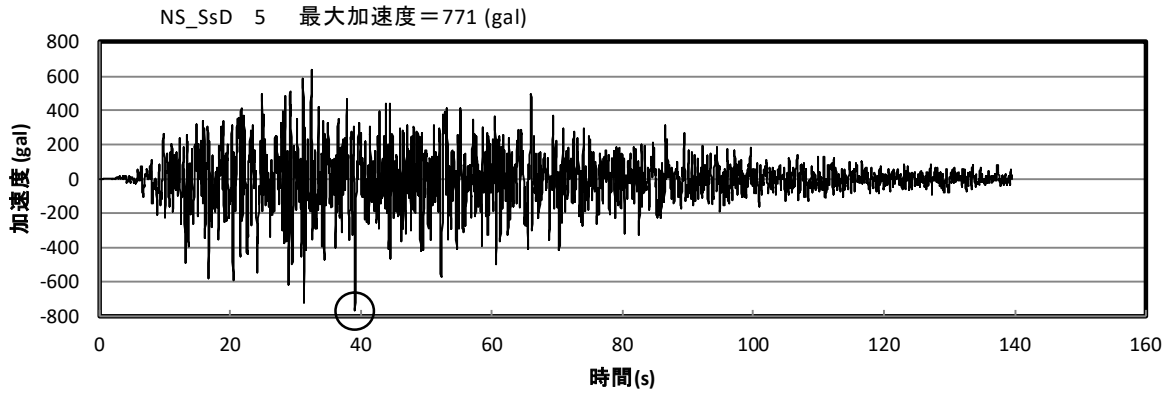
評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
中間貯槽 (272V37,V38)	1.0	1.0

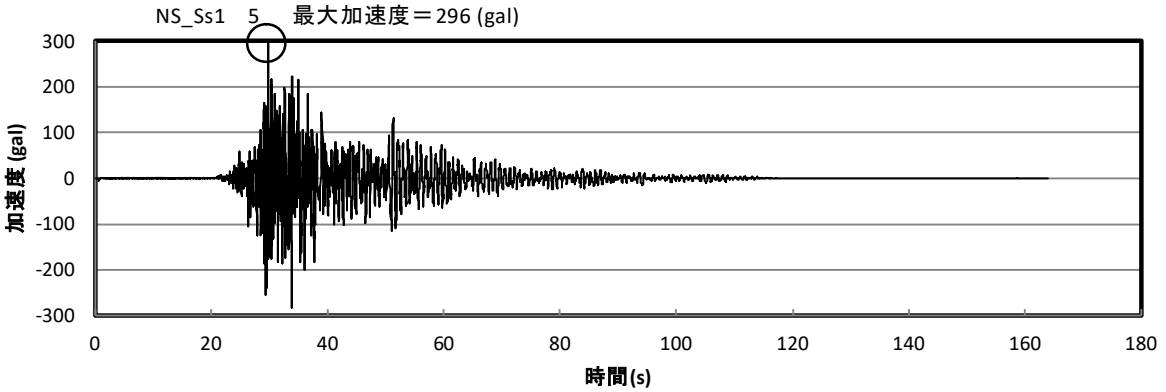
4.4　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答時刻歴波を評価に用いた。中間貯槽(272V37,V38)の床応答時刻歴波は，機器据付階（1 階）のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 4-3，図 4-1，図 4-2 及び図 4-3 に示す。

表 4-3　使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
中間貯槽 (272V37,V38)	廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D，Ss-1，Ss-2)による床応答時刻歴波(１階)	廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D，Ss-1，Ss-2)による床応答時刻歴波(1 階)





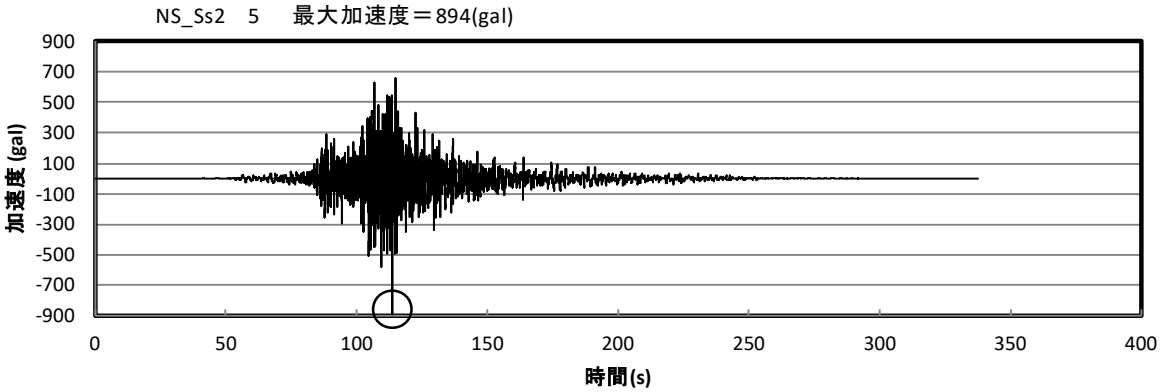
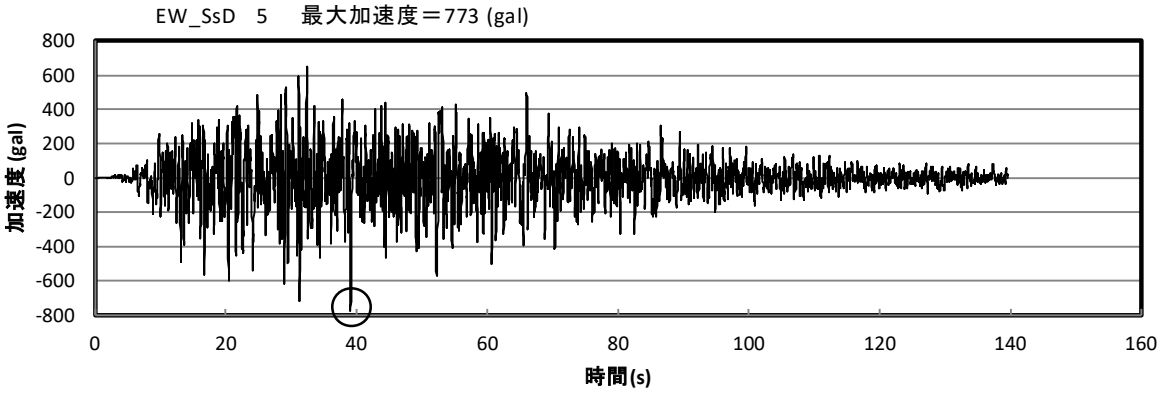
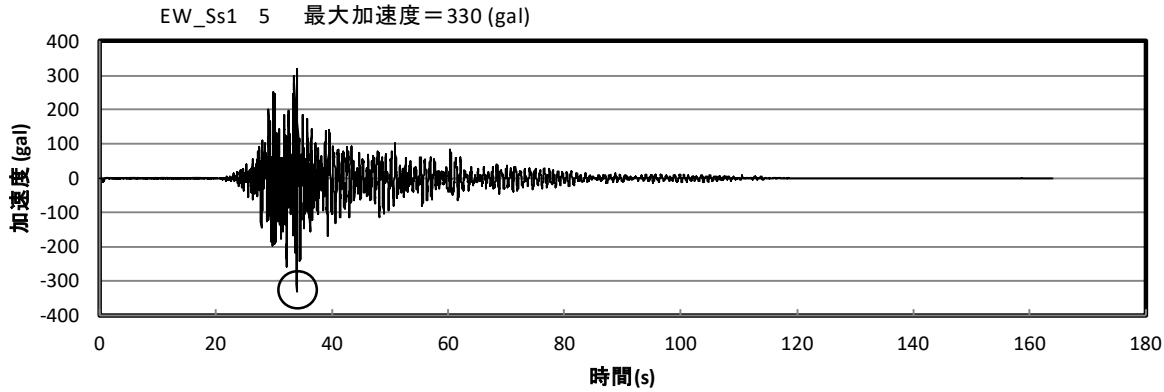


図 4-1　廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D，Ss-1，Ss-2)による床応答時刻歴波形
（1 階，水平 NS 方向）





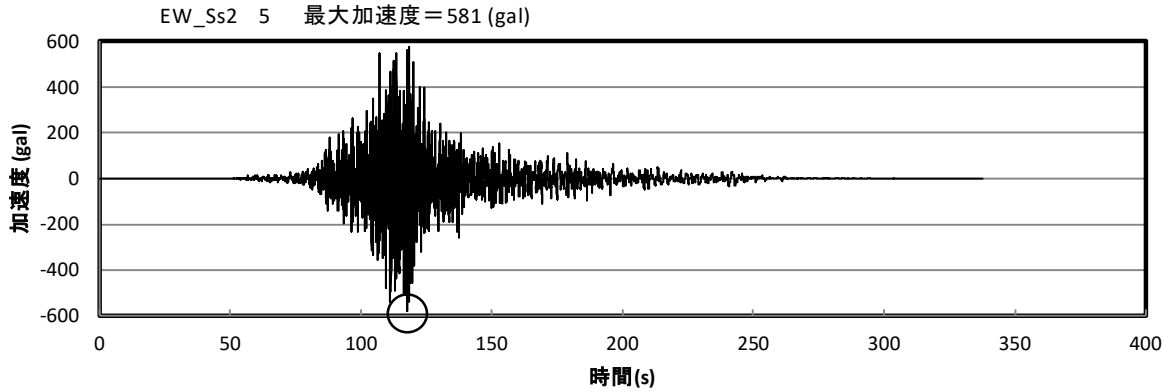
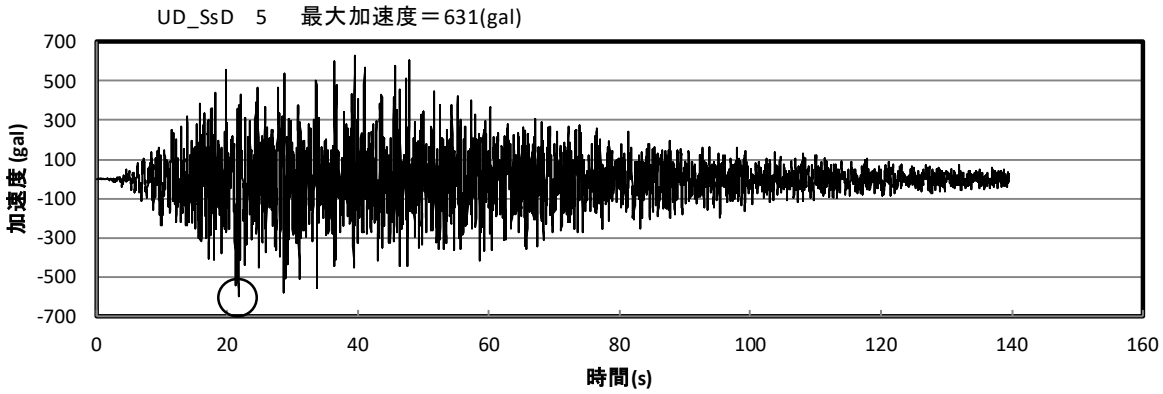
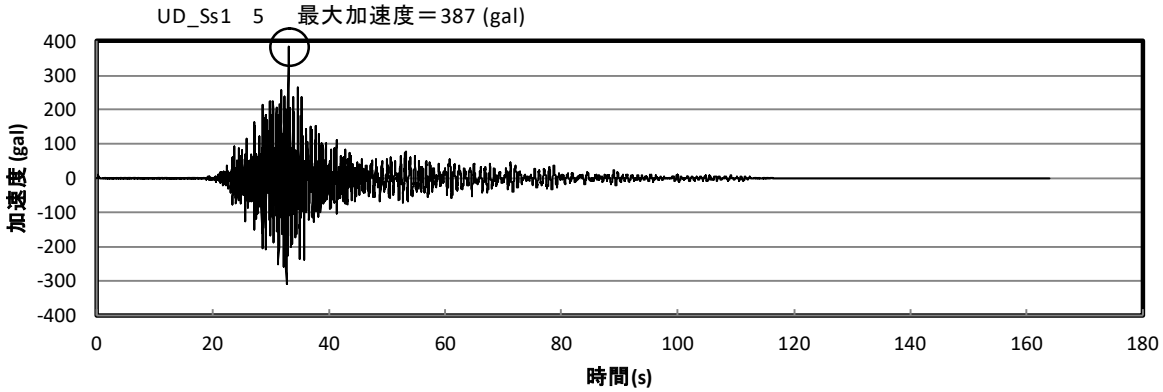


図 4-2　廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D，Ss-1，Ss-2)による床応答時刻歴波形
(1 階，水平 EW 方向)





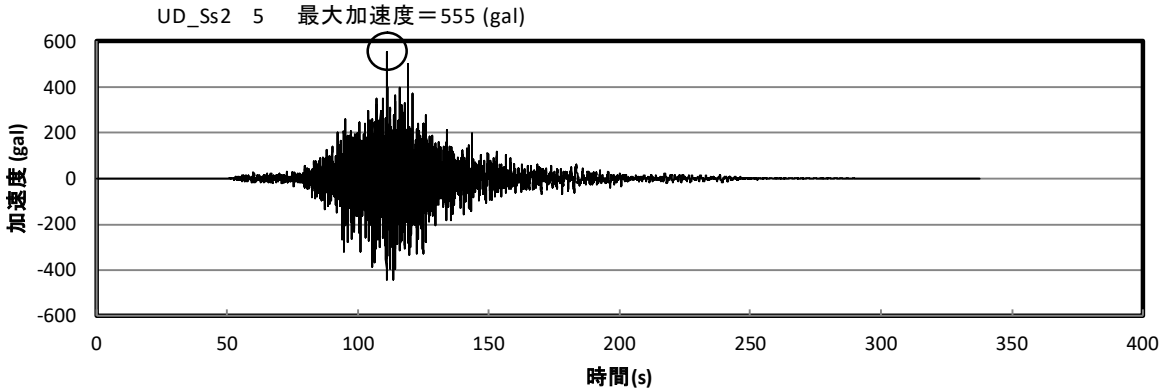


図 4-3　廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D，Ss-1，Ss-2)による床応答時刻歴波形
（1 階，鉛直方向）

4.5　計算方法

中間貯槽(272V37,V38)は一次固有振動数が20 Hzを超えることから剛構造であるとみなせるが,胴部のラグ取り付け位置に応力の集中がみられることから,計算方法は,地震時の振動特性についてより詳細な評価が可能なFEM解析（時刻歴応答解析）を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

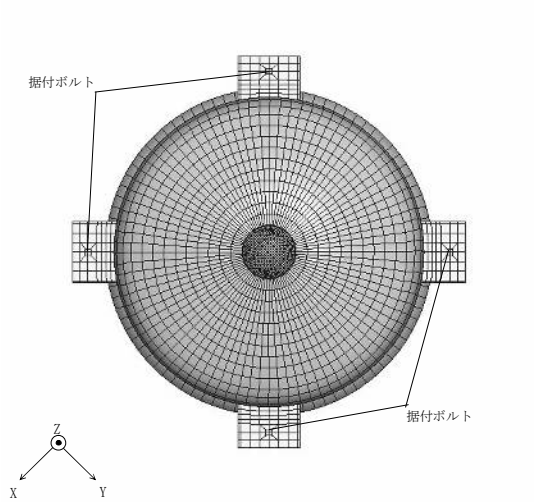
※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

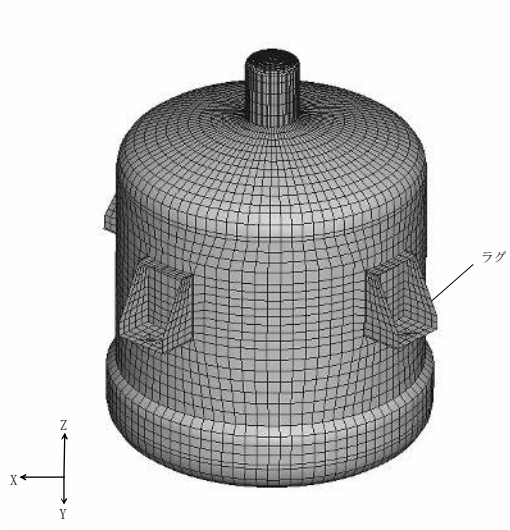
4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

中間貯槽(272V37,V38)の解析モデルを図4-4に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化にあたって，総質量には槽内構造物，高放射性廃液等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約22 tとなるように，液位より下部の胴板の密度に付加した。





拘束条件　　○：固定，―：フリー

部位	並進			回転		
	X	Y	Z	θ_X	θ_X	θ_X
据付ボルト部（4箇所）	○	○	○	―	―	―
ラグ底面（4箇所）	―	―	○	―	―	―

図 4-4　中間貯槽（272V37,V38）の解析モデル

4.6.2　諸元

中間貯槽(272V37,V38)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
中間貯槽 (272V37,V38)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	圧力（設計圧力）	0.049（MPa）
	胴外径	2532（mm）
	胴板厚さ	16（mm）
	胴高さ（外側）	3031（mm）
	胴材質	SUS316L
	胴温度(設計温度)	80（℃）
	据付ボルト呼び径	M30
	据付ボルト有効断面積※	561（mm^2）
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	60（℃）
	液量（満杯，(22 t － 7.9 t)/(1.28 g/cm^3)）	11（m^3）
	液密度	1.28（g/cm^3）
	空質量（設計質量）	約 7.9（t）
	総質量（設計質量）	約 22（t）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7　固有周期

中間貯槽(272V37,V38)の固有周期及び固有モードを図 4-5 に示す。

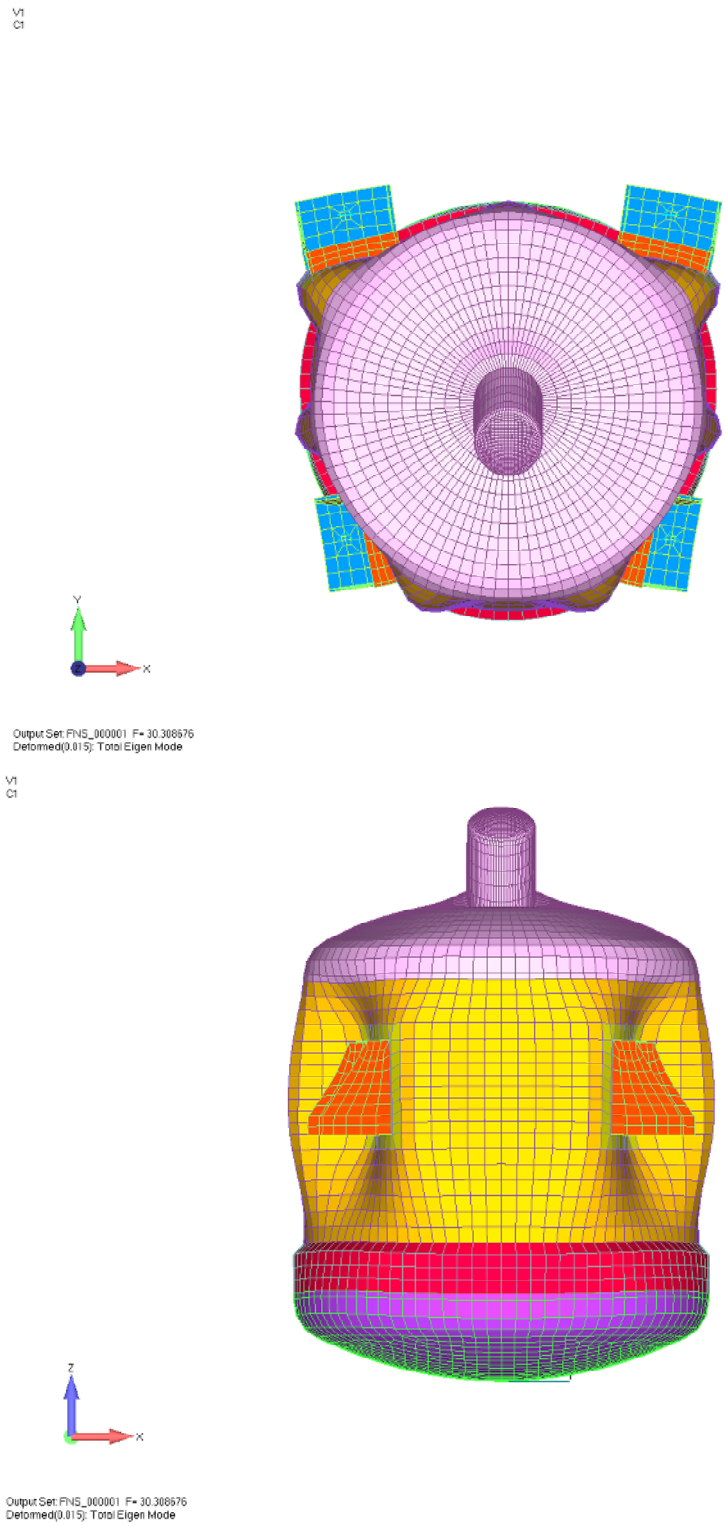
１次モード図　　固有周期：0.033（秒）


図 4-5　中間貯槽(272V37,V38)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.033（秒）

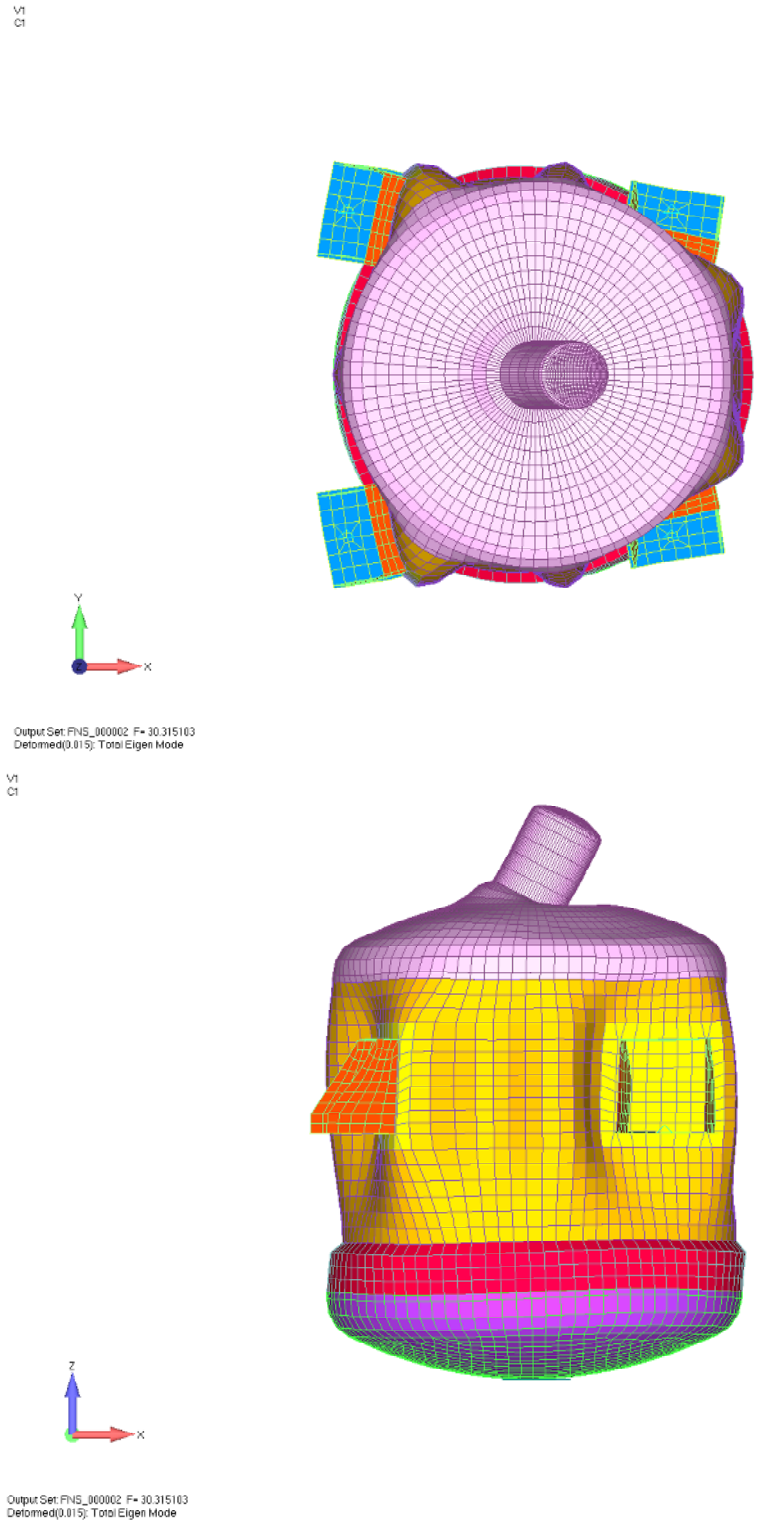


図 4-5　中間貯槽(272V37, V38)　固有モード図（2/3）

３次モード図　　固有周期：0.027（秒）

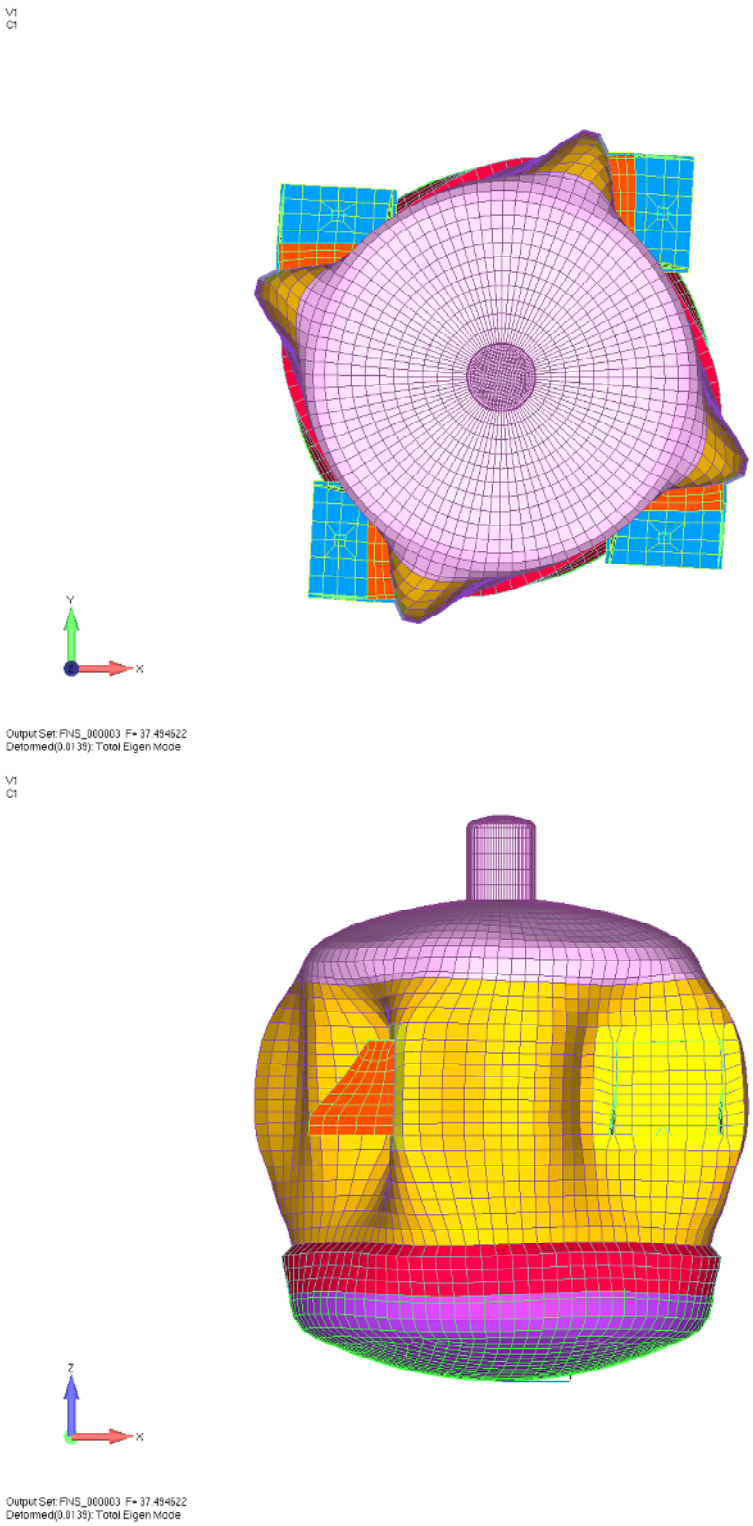


図 4-5　中間貯槽(272V37, V38)　固有モード図（3/3）

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の中間貯槽(272V37,V38)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
中間貯槽 (272V37,V38)	胴 (冷却ジャケットを含む。)	一次一般膜	102	269	0.38
		一次	167	404	0.42
	ラグ	一次	66	210	0.32
	据付ボルト	引張	3	139	0.03
		せん断	108	142	0.77

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-3

分配器(272D12,D13)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する分配器(272D12,D13)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

分配器(272D12,D13)の構造強度の評価は，鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAG4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
Do	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
h	胴高さ	mm
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	胴板厚さ	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\Phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{\Phi 1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11} ～σ_{16}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{17} ～σ_{110}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1} ～σ_{b3}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4} ～σ_{b5}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4} ～τ_{b5}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s

3. 評価部位

分配器(272D12,D13)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，据付ボルトとする。分配器(272D12,D13)の概要図を図 3-1 に示す。

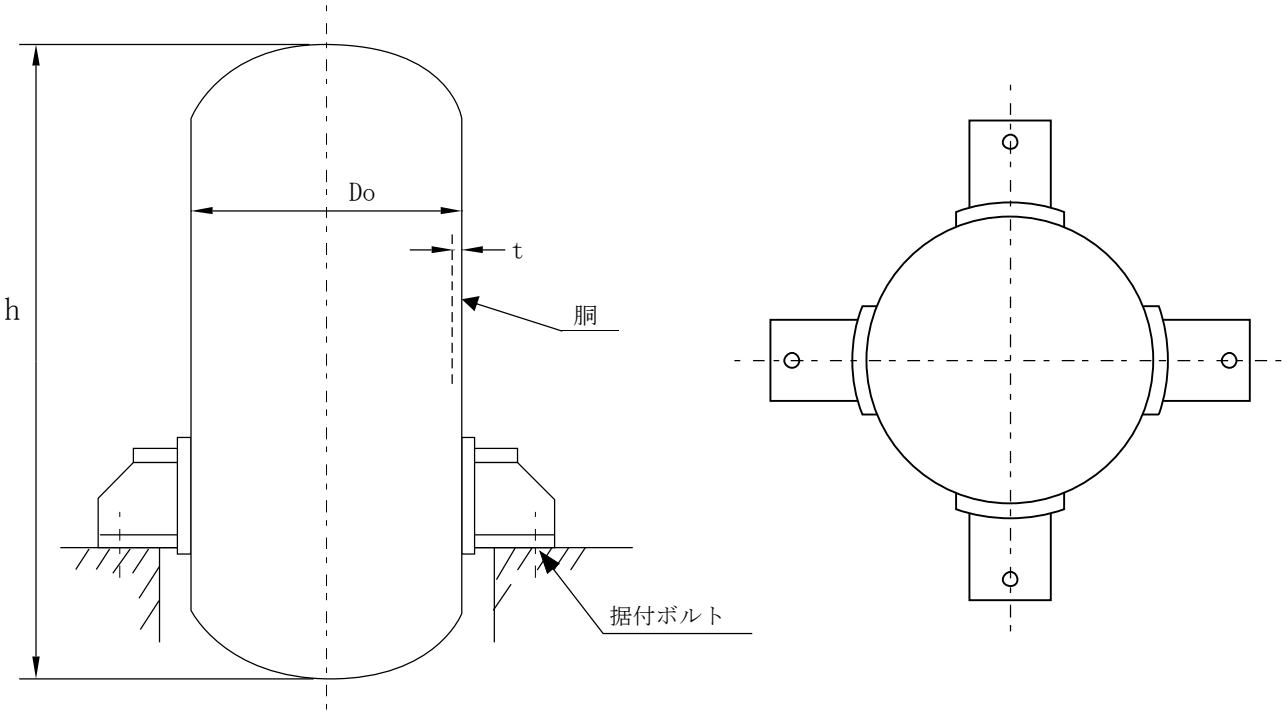


図 3-1　分配器(272D12,D13)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力

については設計圧力，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表4-2に示す。分配器(272D12,D13)の静的解析用震度は,機器据付階のもの(3F,水平方向：1.18，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

分配器(272D12,D13)の発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\Phi}, \sigma_{0x}]$$

$$\sigma_{0\Phi} = \sigma_{\Phi 1} + \sigma_{\Phi 2}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{{\sigma_{x11}}^2 + {\sigma_{x4}}^2}$$

胴の一次応力：

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}]$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}]$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

分配器(272D12,D13)の解析モデルを図 4-1 に示す。

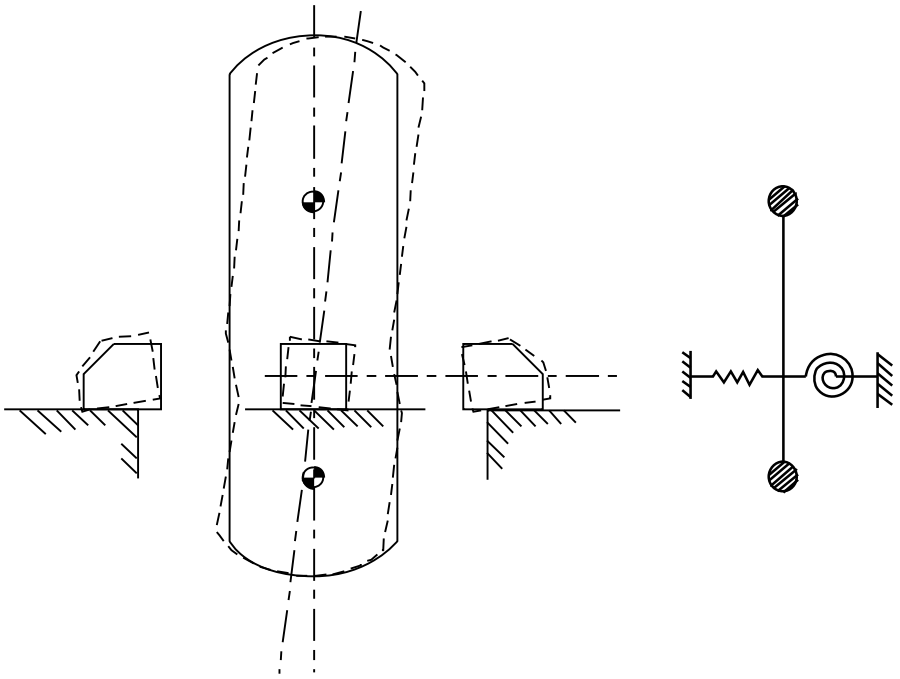


図 4-1　分配器(272D12,D13)の解析モデル

4.5.2　諸元

分配器(272D12,D13)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
分配器 (272D12,D13)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	圧力（設計圧力）	—	0.029 (MPa)
	胴外径	Do	1020 (mm)
	胴板厚さ	t	10 (mm)
	胴高さ	h	720 (mm)
	胴材質	—	SUS316L
	胴温度（設計温度）	—	80 (℃)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	80 (℃)
	総質量	—	1200 (kg)

4.6　固有周期

分配器(272D12,D13)の固有周期は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H}$$

分配器(272D12,D13)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
分配器(272D12,D13)	0.020 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の分配器(272D12,D13)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
分配器 (272D12,D13)	胴	一次一般膜	3	269	0.02
		一次	4	404	0.01
	据付ボルト	引張	11	246	0.05
		せん断	12	142	0.08

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

水封槽(272V206,V207)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する水封槽(272V206,V207)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

水封槽(272V206,V207)の構造強度の評価は,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠する。

当該設備に,廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）
(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）
(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
Do	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
h	胴高さ	mm
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	胴板厚さ	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\Phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{\Phi 1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11} ～σ_{16}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{17} ～σ_{110}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1} ～σ_{b3}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4} ～σ_{b5}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4} ～τ_{b5}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s

3. 評価部位

水封槽(272V206,V207)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，据付ボルトとする。水封槽(272V206,V207)の概要図を図 3-1 に示す。

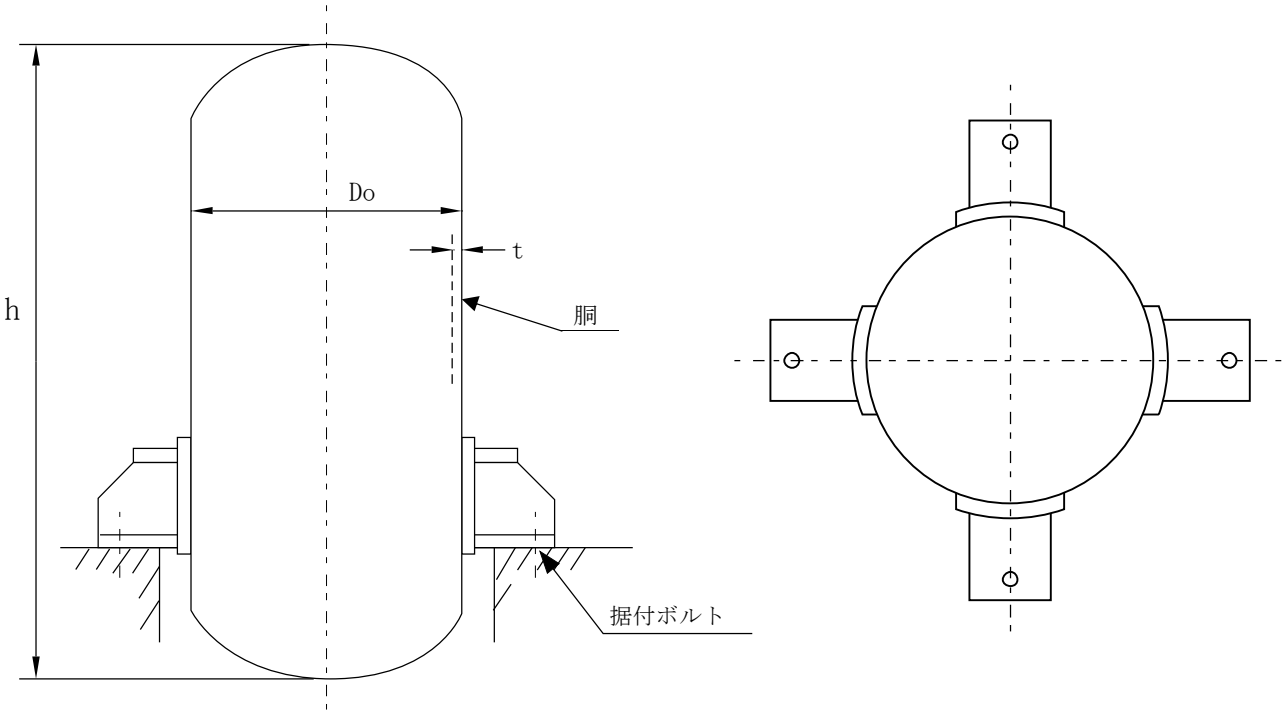


図 3-1　水封槽(272V206,V207)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力

については設計圧力，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。水封槽(272V206,V207)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（3F，水平方向：1.18，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

水封槽(272V206,V207)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\Phi}, \sigma_{0x}]$$

$$\sigma_{0\Phi} = \sigma_{\Phi 1} + \sigma_{\Phi 2}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{{\sigma_{x11}}^2 + {\sigma_{x4}}^2}$$

胴の一次応力：

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}]$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}]$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

水封槽(272V206,V207)の解析モデルを図 4-1 に示す。

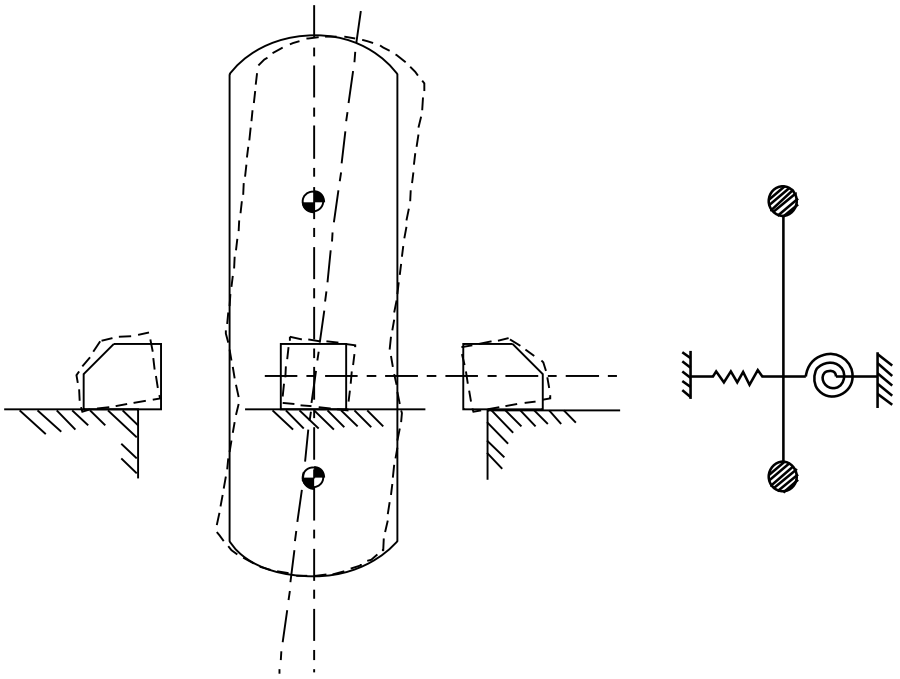


図 4-1　水封槽(272V206,V207)の解析モデル

4.5.2　諸元

水封槽(272V206,V207)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
水封槽 (272V206,V207)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	圧力（設計圧力）	—	0.049（MPa）
	胴外径	Do	812（mm）
	胴板厚さ	t	6（mm）
	胴高さ	h	1322（mm）
	胴材質	—	SUS316LC
	胴温度（設計温度）	—	80（℃）
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度		80（℃）
	総質量	—	950（kg）

4.6　固有周期

水封槽(272V206,V207)の固有周期は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H}$$

水封槽(272V206,V207)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
水封槽(272V206,V207)	0.013 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の水封槽(272V206,V207)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
水封槽 (272V206,V207)	胴	一次一般膜	6	269	0.03
		一次	17	404	0.05
	据付ボルト	引張	29	246	0.12
		せん断	23	142	0.16

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

洗浄塔(272T44)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する洗浄塔(272T44)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

洗浄塔(272T44)の構造強度の評価は,有限要素法(FEM)解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987(日本電気協会)

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008(日本電気協会)

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012(日本機械学会)

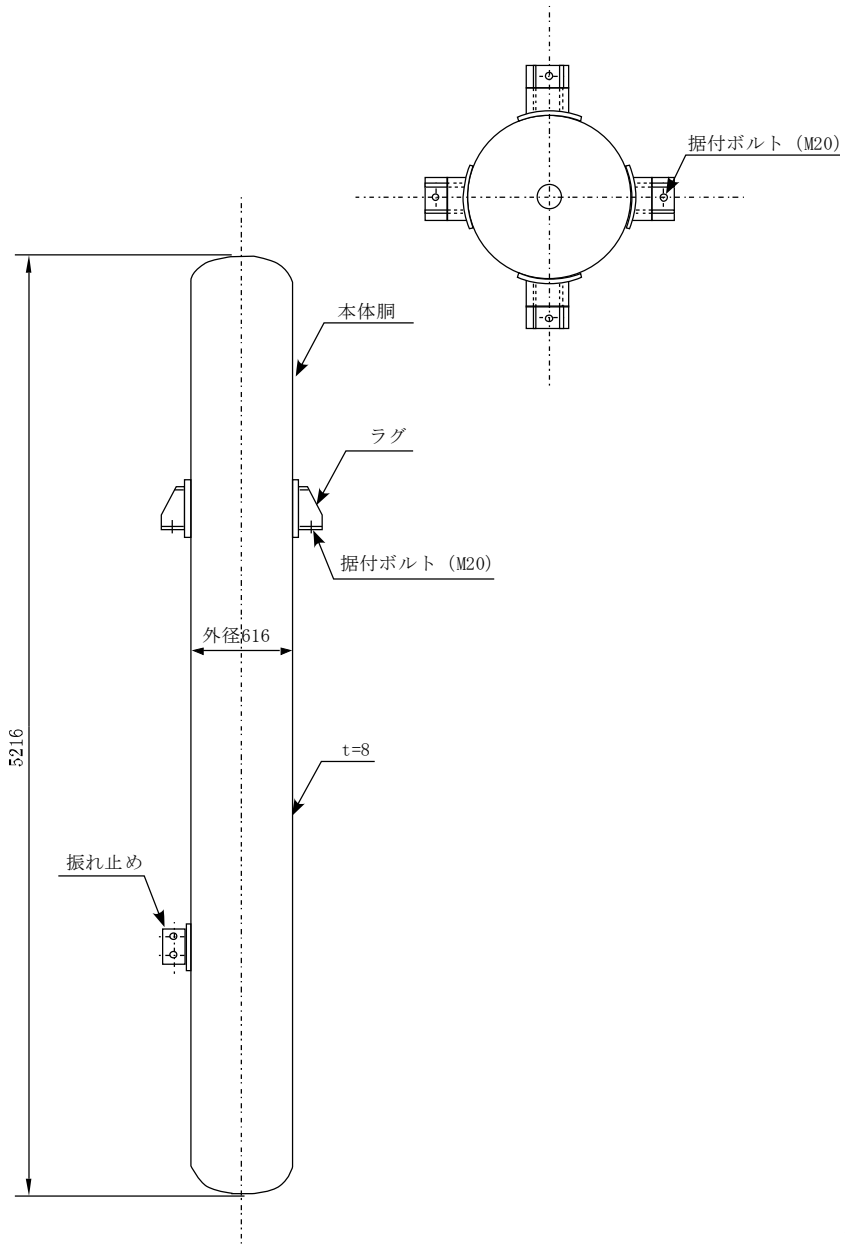
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012(日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

洗浄塔(272T44)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる胴,据付ボルトとする。洗浄塔(272T44)の概要図を図 3-1 に示す。



（単位;mm）

図 3-1　洗浄塔(272T44)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，自重については液量を満杯とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。洗浄塔(272T44)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

洗浄塔(272T44)の発生応力の計算方法はFEM解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

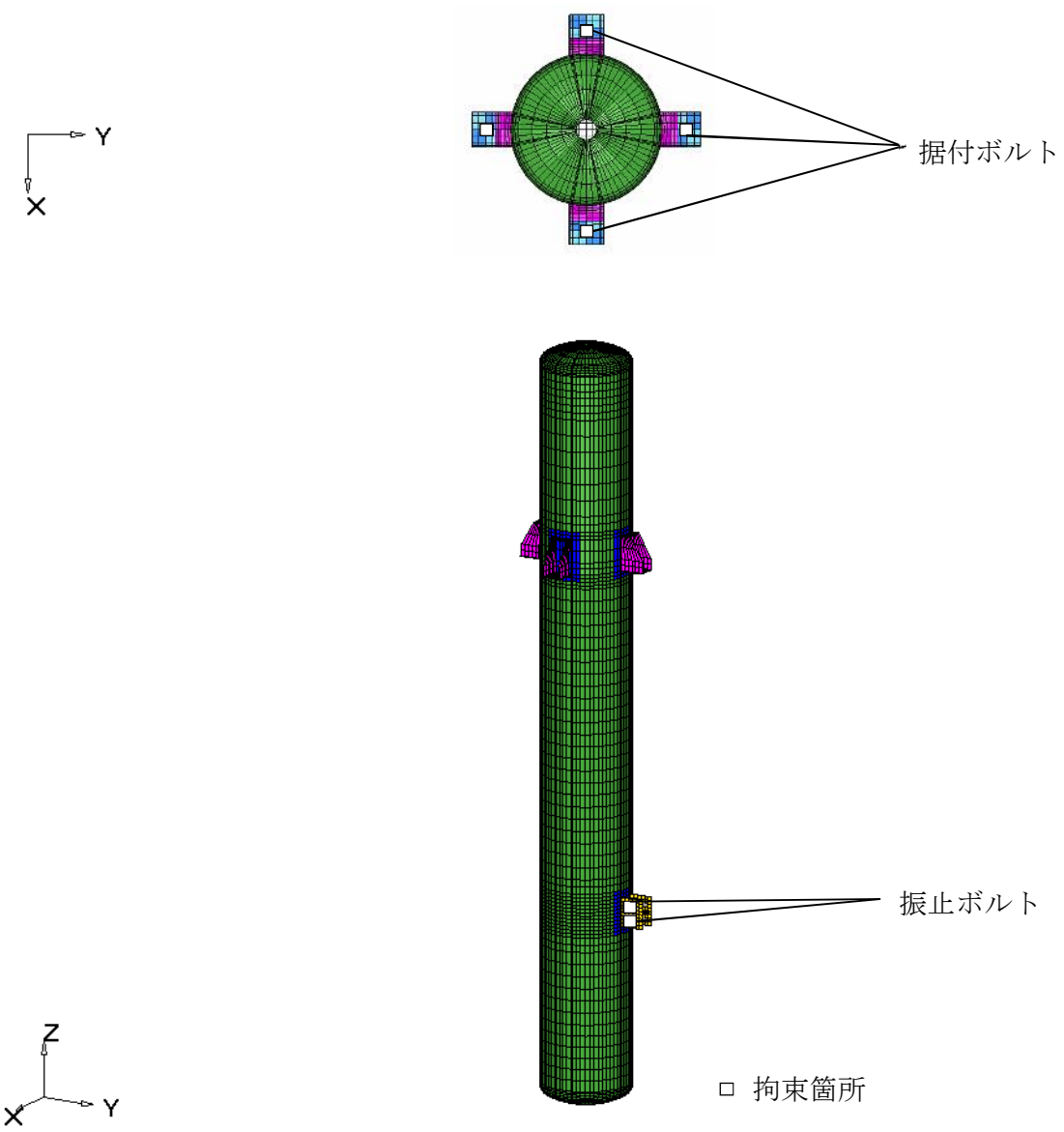
※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

洗浄塔(272T44)の解析モデルを図4-1に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化に当たって，総質量には槽内構造物等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約2390 kgとなるように，胴板の密度を設定した。



拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	－	－	－
振止ボルト	○	○	－	－	－	－

図 4-1　洗浄塔(272T44)の解析モデル

4.5.2　諸元

洗浄塔(272T44)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
洗浄塔(272T44)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	胴外径	616 (mm)
	胴板厚さ	8 (mm)
	胴高さ	5216 (mm)
	胴材質	SUS316L
	胴温度	100 (℃)
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト有効断面積※	245 (mm^2)
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	100 (℃)
	総質量(設計質量)	約 2390 (kg)

※ JIS B 0205 に基づく。

4.6　固有周期

洗浄塔(272T44)の固有周期及び固有モードを図 4-2 に示す。

1次モード図　　固有周期：0.037（秒）

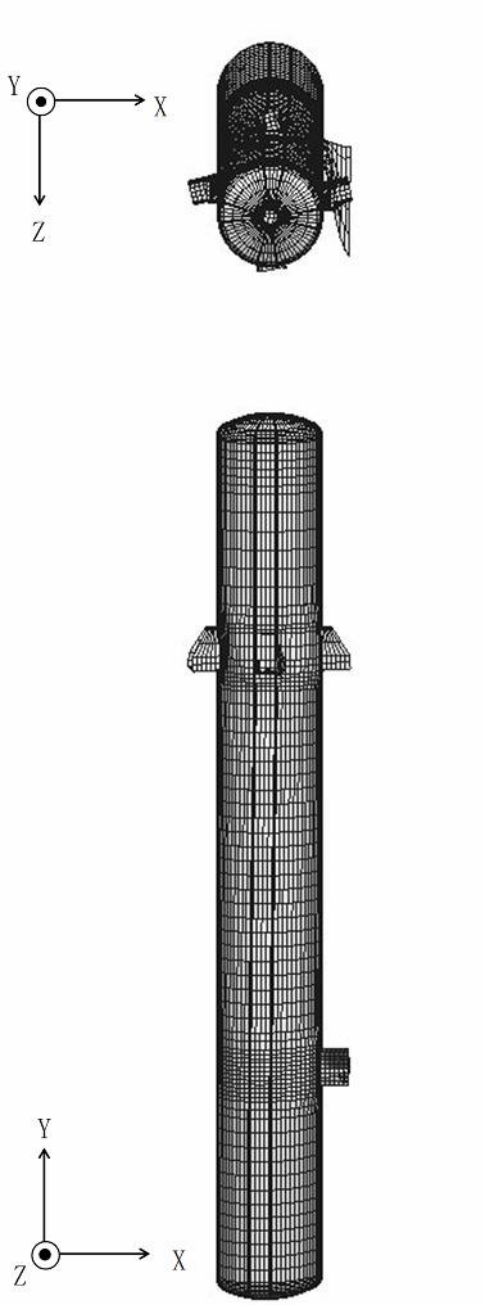


図 4-2　洗浄塔(272T44)　固有モード図

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の洗浄塔(272T44)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
洗浄塔(272T44)	胴	一次一般膜	20	263	0.08
		一次	43	395	0.11
	据付ボルト	引張	7	237	0.03
		せん断	30	137	0.22

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

除湿器(272H46)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する除湿器(272H46)について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

除湿器(272H46)の構造強度の評価は，有限要素法（FEM）解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

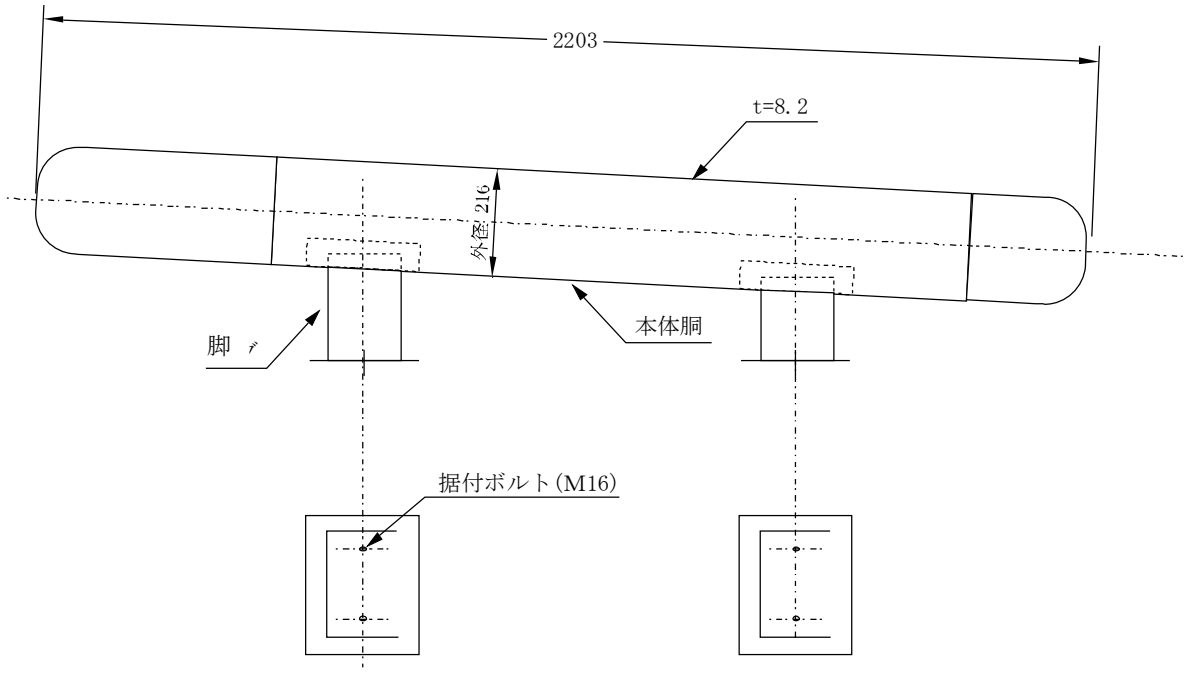
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

除湿器(272H46)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，脚及び据付ボルトとする。除湿器(272H46)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位;mm)

図 3-1　除湿器(272H46)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，自重については液量を満杯とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。除湿器(272H46)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

除湿器(272H46)の発生応力の計算方法はFEM解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

除湿器(272H46)の解析モデルを図4-1に，据付ボルトの拘束条件を図4-2に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化に当たって，総質量には槽内構造物等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約450 kgとなるように，胴板の密度を設定した。

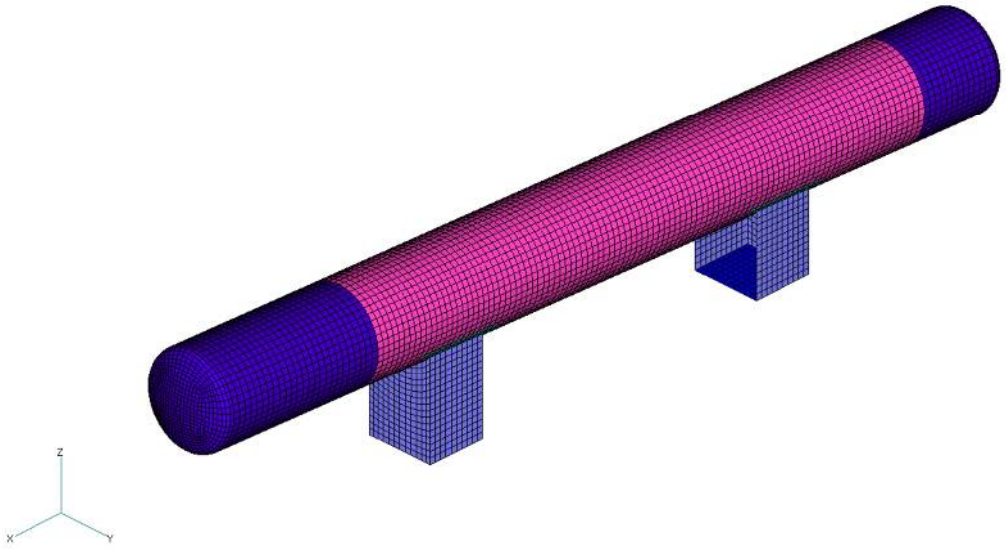
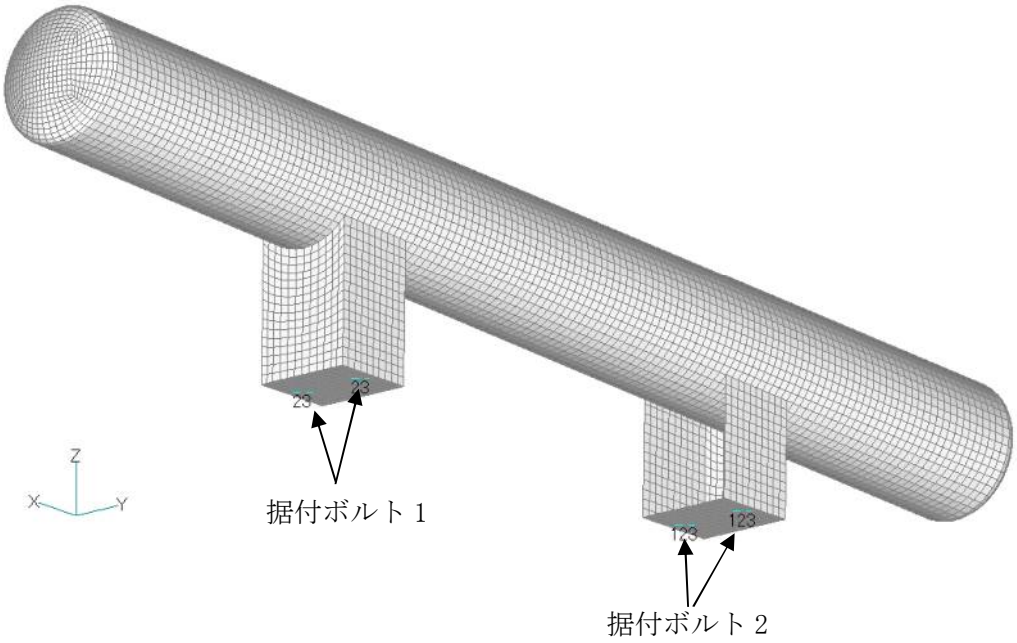


図4-1　除湿器(272H46)の解析モデル



拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ x	θ y	θ z
据付ボルト 1	－	○	○	－	－	－
据付ボルト 2	○	○	○	－	－	－

図 4-2　除湿器(272H46)解析モデルの据付ボルトの拘束条件

4.5.2　諸元

除湿器(272H46)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
除湿器(272H46)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	圧力（設計圧力）	0.049 (MPa)
	胴外径	216 (mm)
	胴板厚さ	8.2 (mm)
	胴長さ（外側）	2203 (mm)
	胴材質	SUS316L
	胴温度（設計温度）	30 (℃)
	据付ボルト呼び径	M16
	据付ボルト有効断面積※	157 (mm^2)
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	40 (℃)
	液量（満杯，(0.45 t－0.25 t)/(1.0 g/cm^3)）	0.2 (m^3)
	液密度	1.0 (g/cm^3)
	空質量（設計質量）	約 250 (kg)
	総質量（設計質量）	約 450 (kg)

※ JIS B 0205 に基づく。

4.6　固有周期

除湿器(272H46)の固有周期及び固有モードを図 4-3 に示す。

１次モード図　　固有周期：0.038（秒）

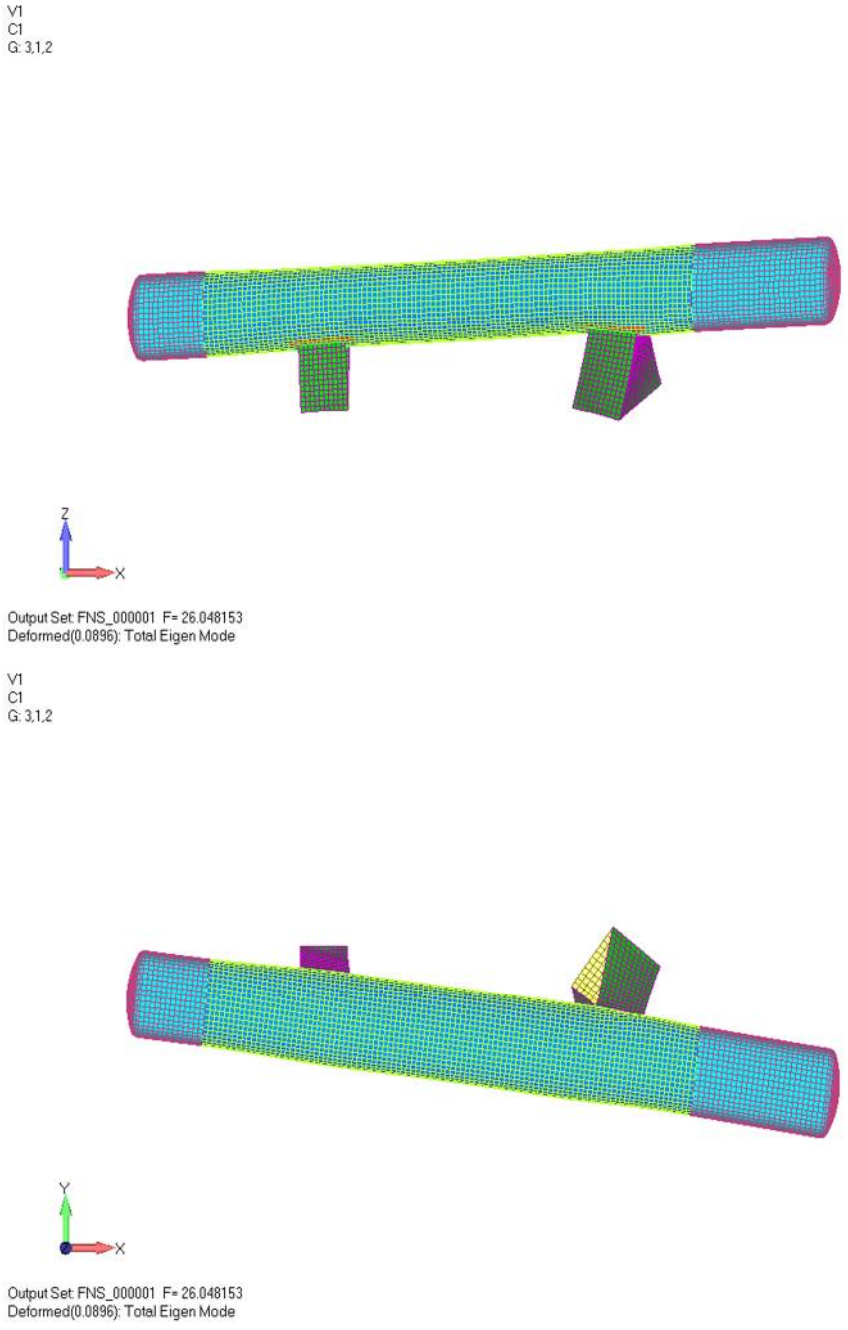


図 4-3　除湿器(272H46)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.019（秒）

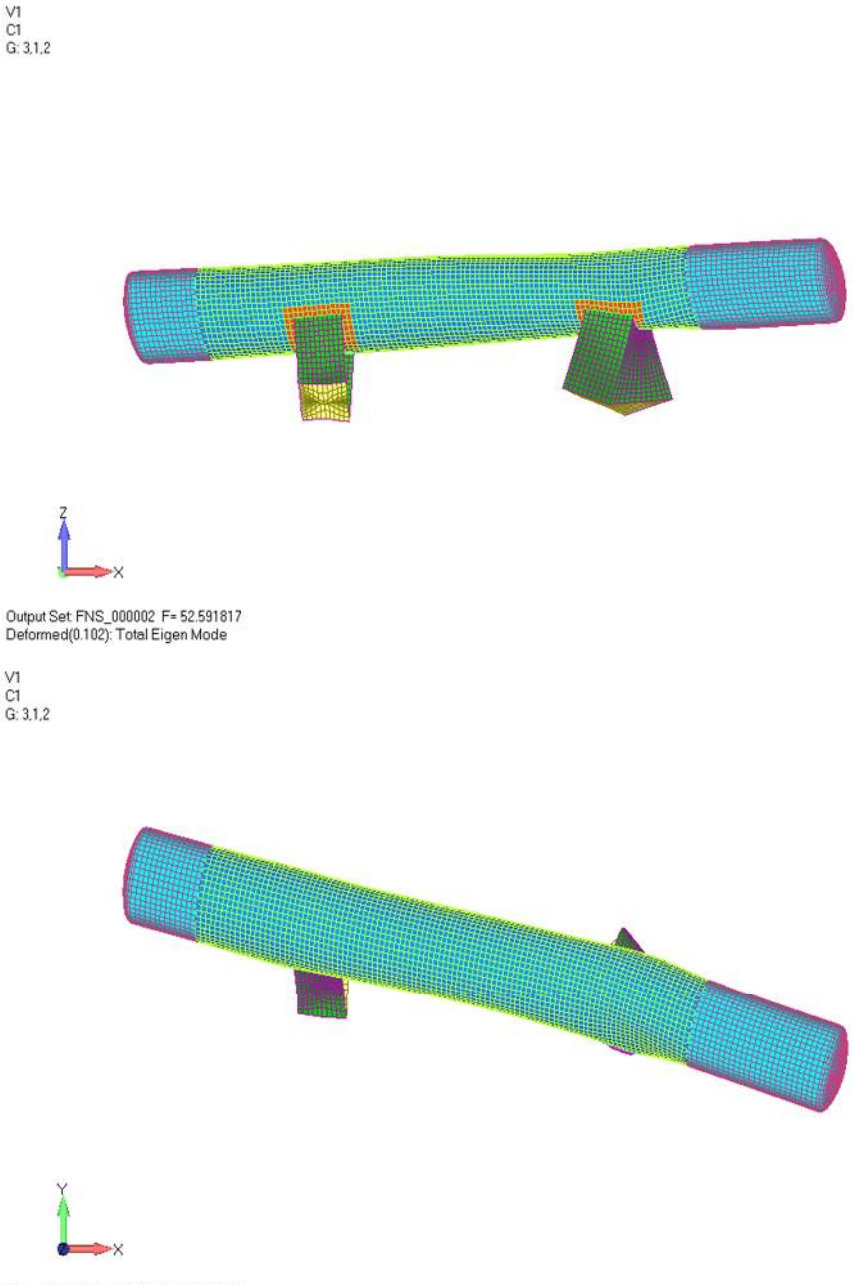
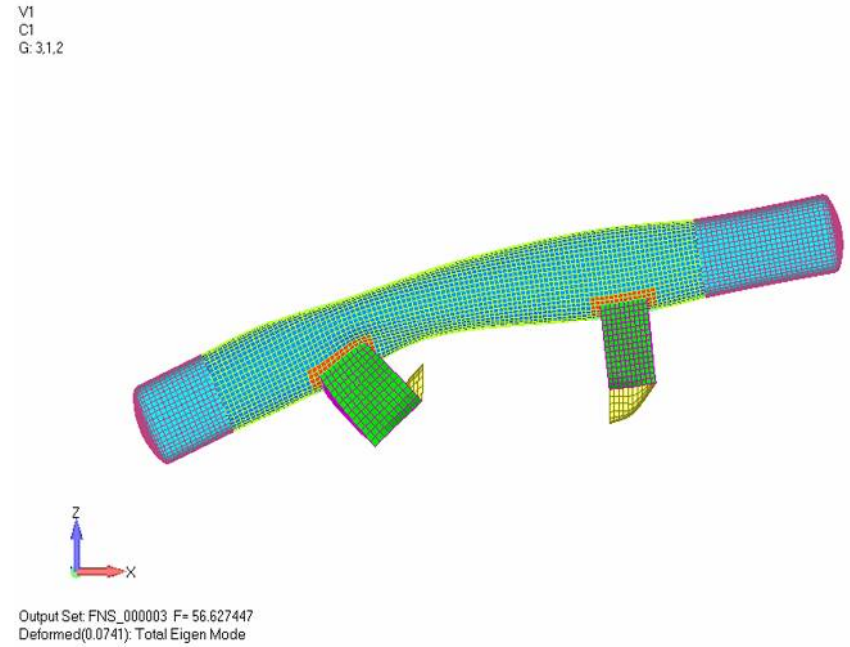


図 4-3　除湿器(272H46)　固有モード図（2/3）

３次モード図　　固有周期：0.018（秒）



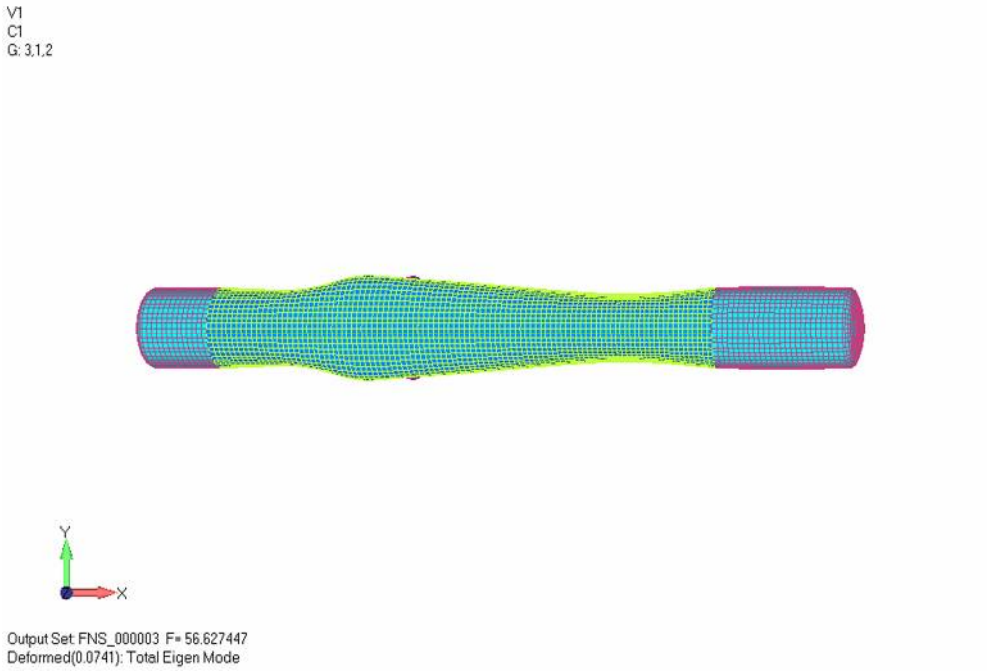


図 4-3　除湿器(272H46)　固有モード図（3/3）

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の除湿器(272H46)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
除湿器(272H46)	胴	一次一般膜	20	288	0.07
		一次	39	432	0.10
	脚	一次	43	210	0.21
	据付ボルト	引張	37	246	0.16
		せん断	18	142	0.13

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-7

電気加熱器(272H471,H472)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する電気加熱器(272H471,H472)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

電気加熱器(272H471,H472)の構造強度の評価は,有限要素法（FEM）解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

電気加熱器(272H471,H472)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる胴,サポート部とする。電気加熱器(272H471,H472)の概要図を図 3-1 に示す。

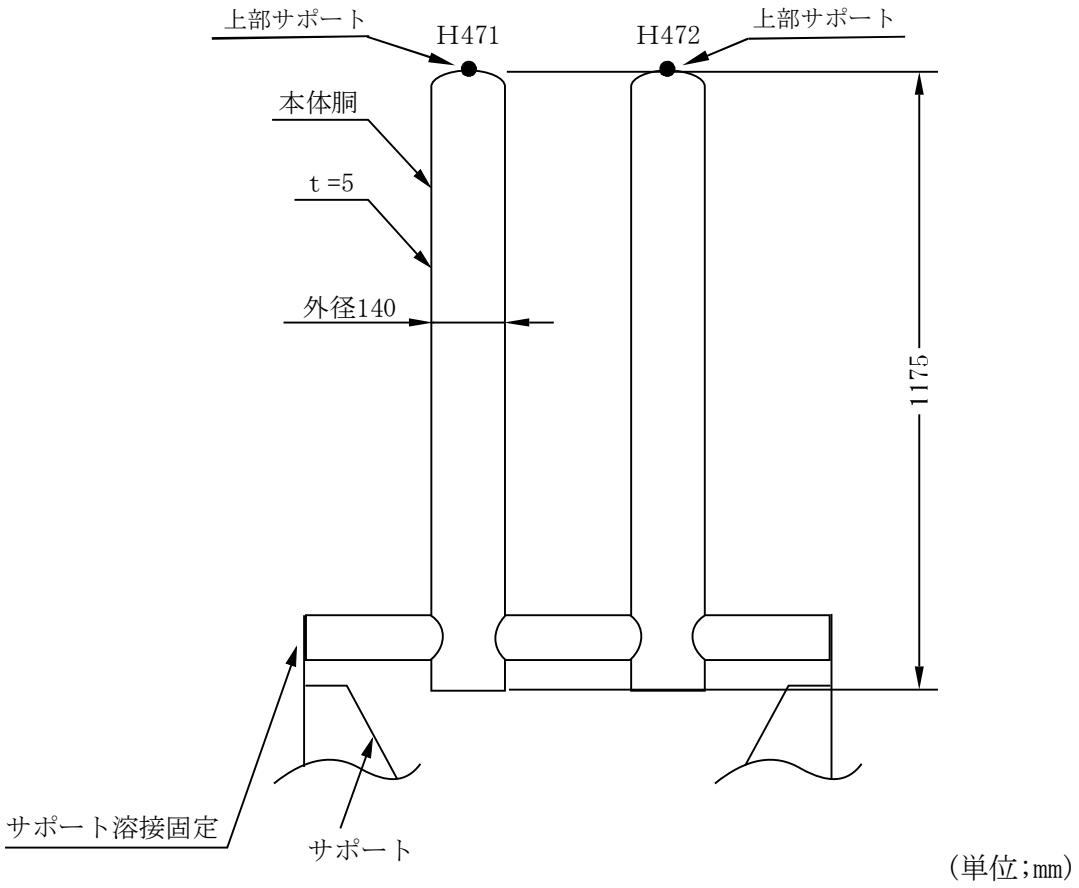


図 3-1　電気加熱器(272H471,H472)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，自重については液量を満杯とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
サポート	一次応力	F

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。電気加熱器(272H471,H472)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（5F，水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

電気加熱器(272H471,H472)の発生応力の計算方法は FEM 解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードは FINAS※1 を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

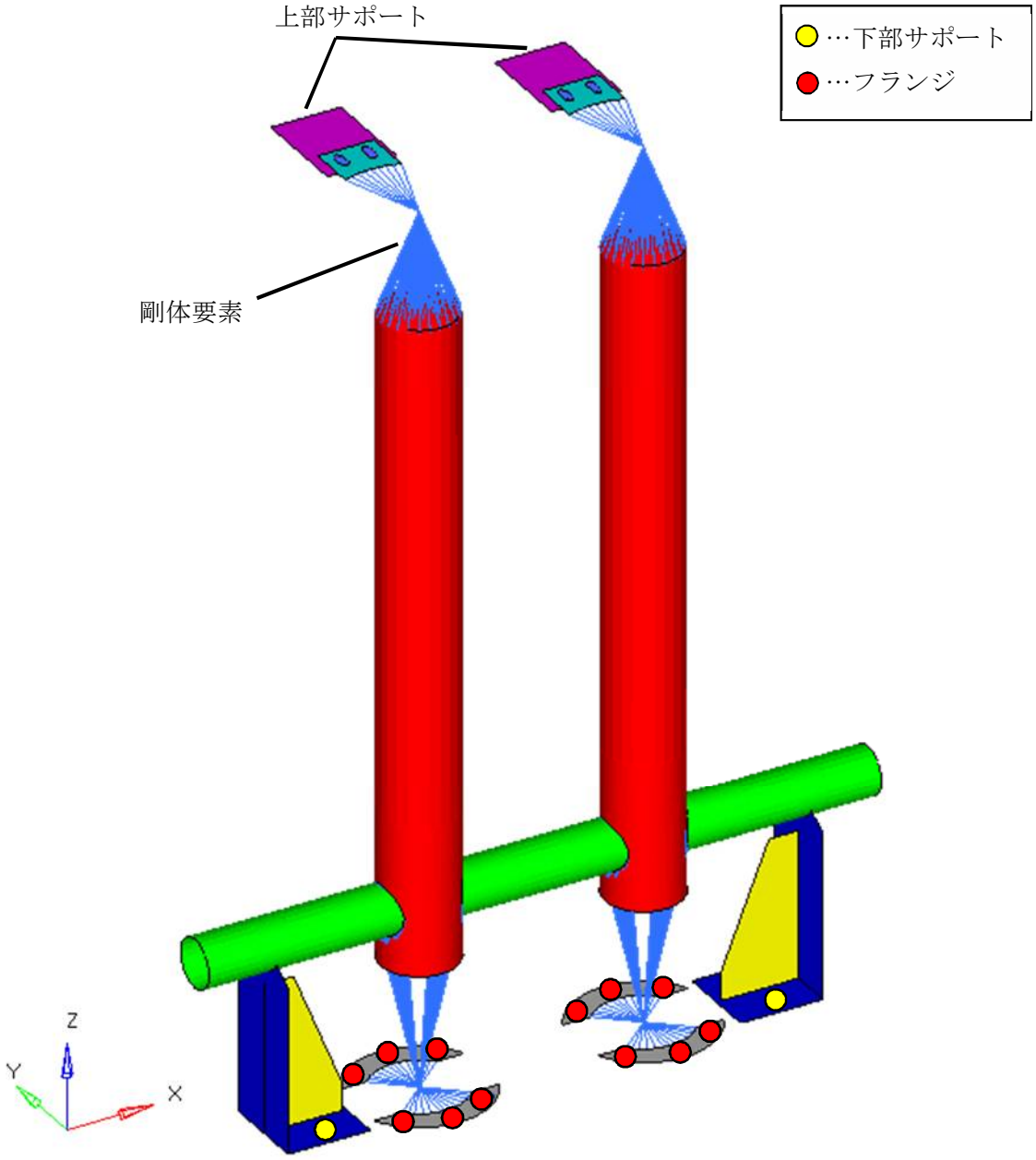
※1　MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2”.

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

電気加熱器(272H471,H472)の解析モデルを図 4-1 に示す。FEM 解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化に当たって，総質量には槽内構造物等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約 60 kg となるように，胴板の密度を設定した。



拘束条件　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
上部サポート	○	○	○	○	○	○
下部サポート据付ボルト	○	○	○	○	○	－
フランジ据付ボルト	○	○	○	○	○	－

図 4-1　電気加熱器(272H471,H472)の解析モデル

4.5.2　諸元

電気加熱器(272H471,H472)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
電気加熱器 (272H471,H472)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	圧力（設計圧力）	0.049（MPa）
	胴外径	140（mm）
	胴板厚さ	5（mm）
	胴長さ（外側）	1175（mm）
	胴材質	SUS304L
	胴温度（設計温度）	55（℃）
	サポート材質	SUS316
	サポート温度	55（℃）
	総質量（設計質量）	約 60（kg）

4.6　固有周期

電気加熱器(272H471,H472)の固有周期及び固有モードを図 4-2 に示す。

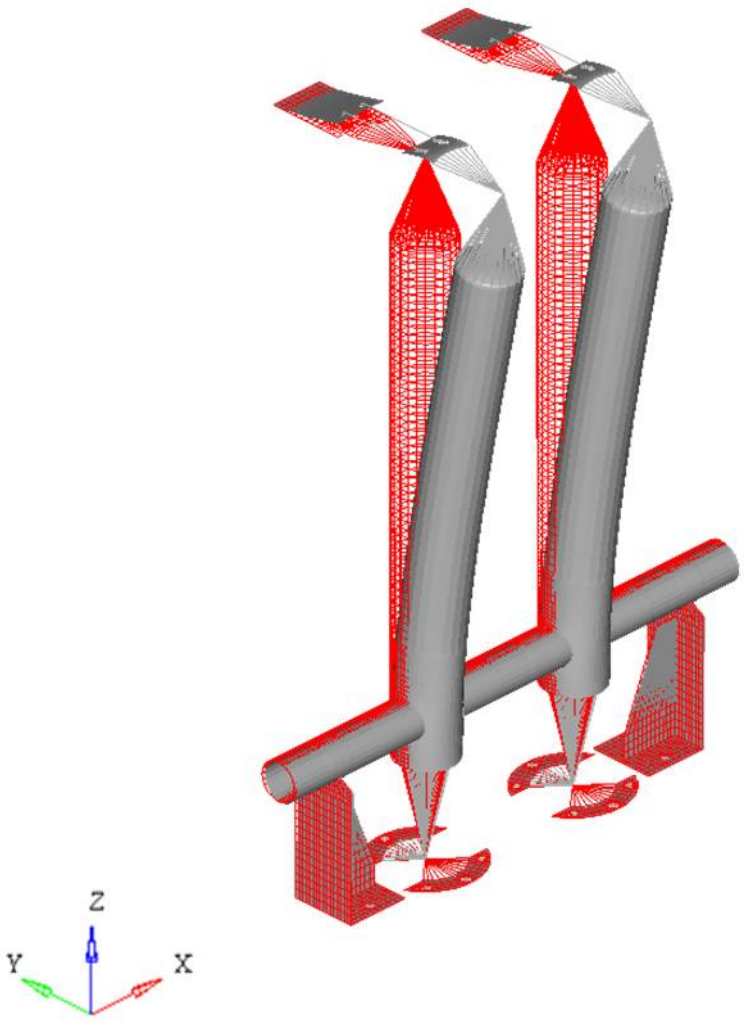
１次モード図　　固有周期：0.019（秒）


図 4-2　電気加熱器(272H471,H472)　固有モード図

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の電気加熱器(272H471,H472)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
電気加熱器 (272H471,H472)	胴	一次一般膜	11	275	0.04
		一次	12	413	0.03
	サポート	一次	26	246	0.11

※1　応力比は，発生応力/許容応力を示す。

電気加熱器(272H481,H482)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する電気加熱器(272H481,H482)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

電気加熱器(272H481,H482)の構造強度の評価は,有限要素法（FEM）解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

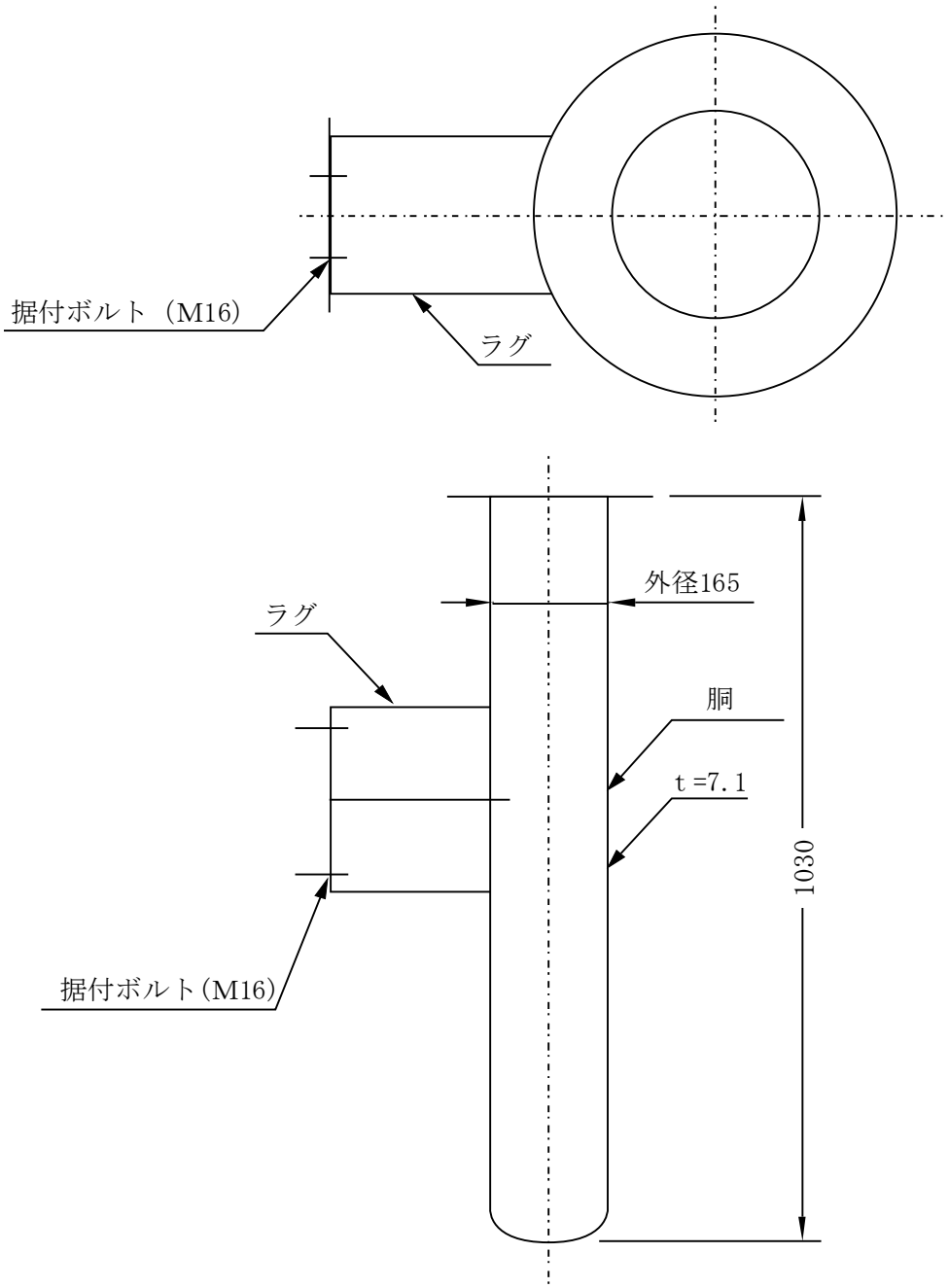
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

電気加熱器(272H481,H482)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる胴,据付ボルトとする。電気加熱器(272H481,H482)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位;mm)

図 3-1　電気加熱器(272H481,H482)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
電気加熱器 (272H481,H482)	1.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術指針　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）を作成し，これを評価に用いた。

電気加熱器(272H481,H482)の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（5 階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3　使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
電気加熱器 (272H481,H482)	解析用の床応答スペクトル （5 階，減衰定数 1.0 %）	解析用の床応答スペクトル （5 階，減衰定数 1.0 %）

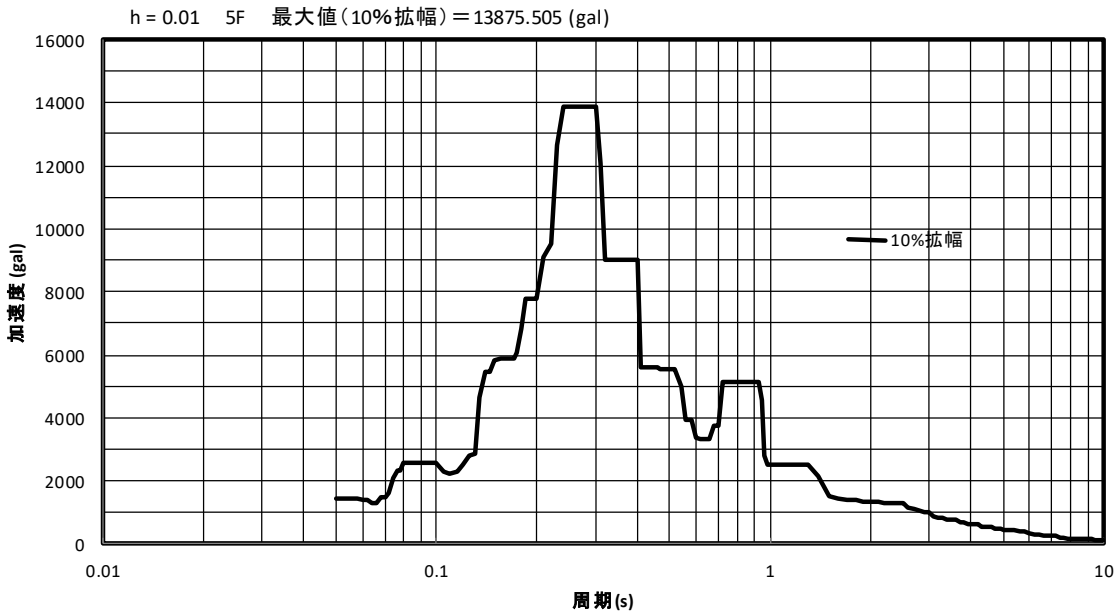


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，5 階，減衰定数 1.0 %）

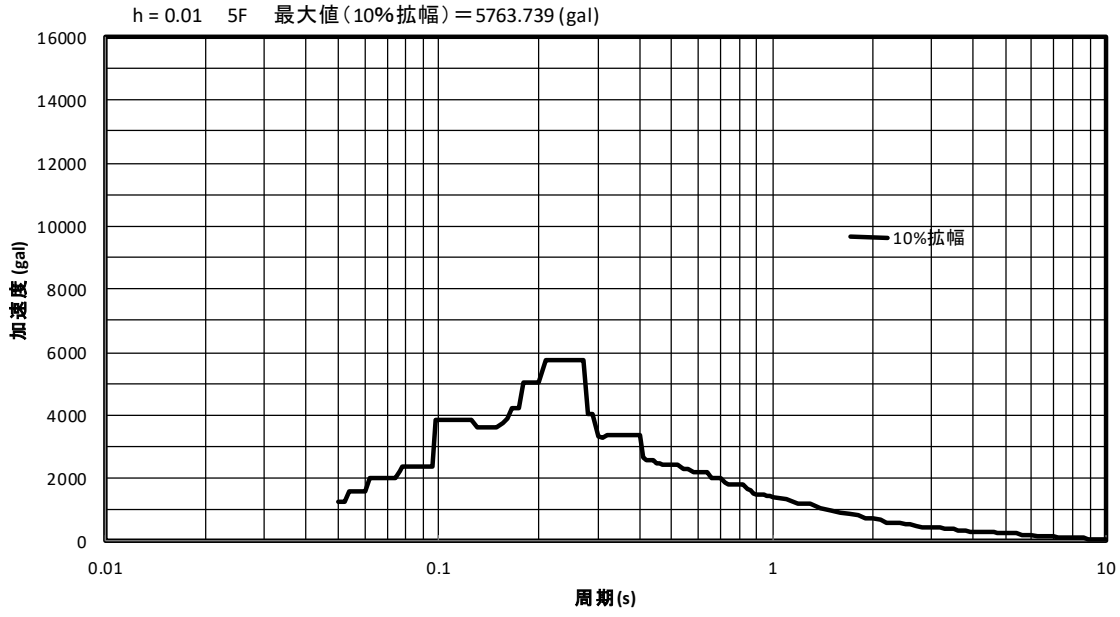


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，5 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

電気加熱器(272H481,H482)の発生応力の計算方法は FEM 解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードは FINAS※1 を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

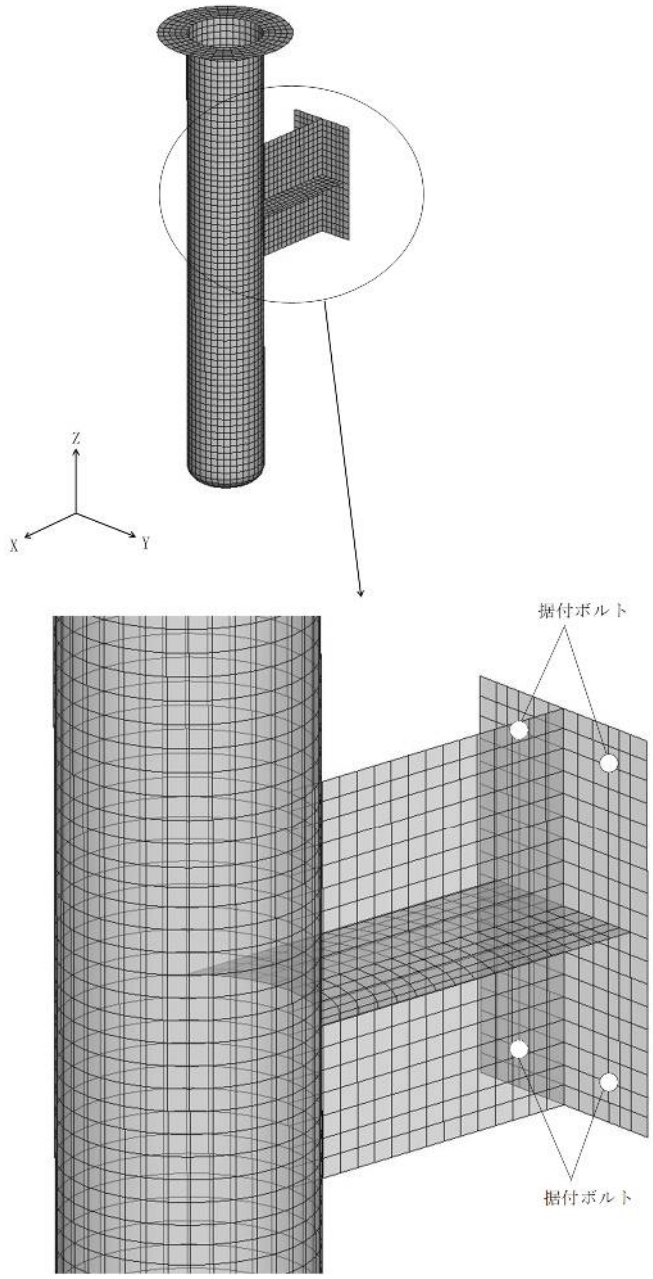
※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

電気加熱器(272H481,H482)の解析モデルを図 4-3 に示す。FEM 解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

モデル化に当たって，総質量には槽内構造物等の質量が含まれているが，それらの質量は胴板全体に付加した。胴板への質量の付加においては，解析モデルの総質量が約 2390 kg となるように，胴板の密度を設定した。



拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進			回転		
	X	Y	Z	θx	θy	θz
据付ボルト(4箇所)	○	○	○	－	－	－

図 4-3　電気加熱器(272H481,H482)の解析モデル

4.6.2　諸元

電気加熱器(272H481,H482)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
電気加熱器 (272H481,H482)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	圧力（設計圧力）	0.049（MPa）
	胴外径	165（mm）
	胴板厚さ	7.1（mm）
	胴高さ	1030（mm）
	胴材質	SUS304L
	胴温度（設計温度）	130（℃）
	据付ボルト呼び径	M16
	据付ボルト有効断面積※	157（mm^2）
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	100（℃）
	総質量　（設計質量）	約 75（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7　固有周期

電気加熱器(272H481,H482)の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

１次モード図　　固有周期：0.098（秒）

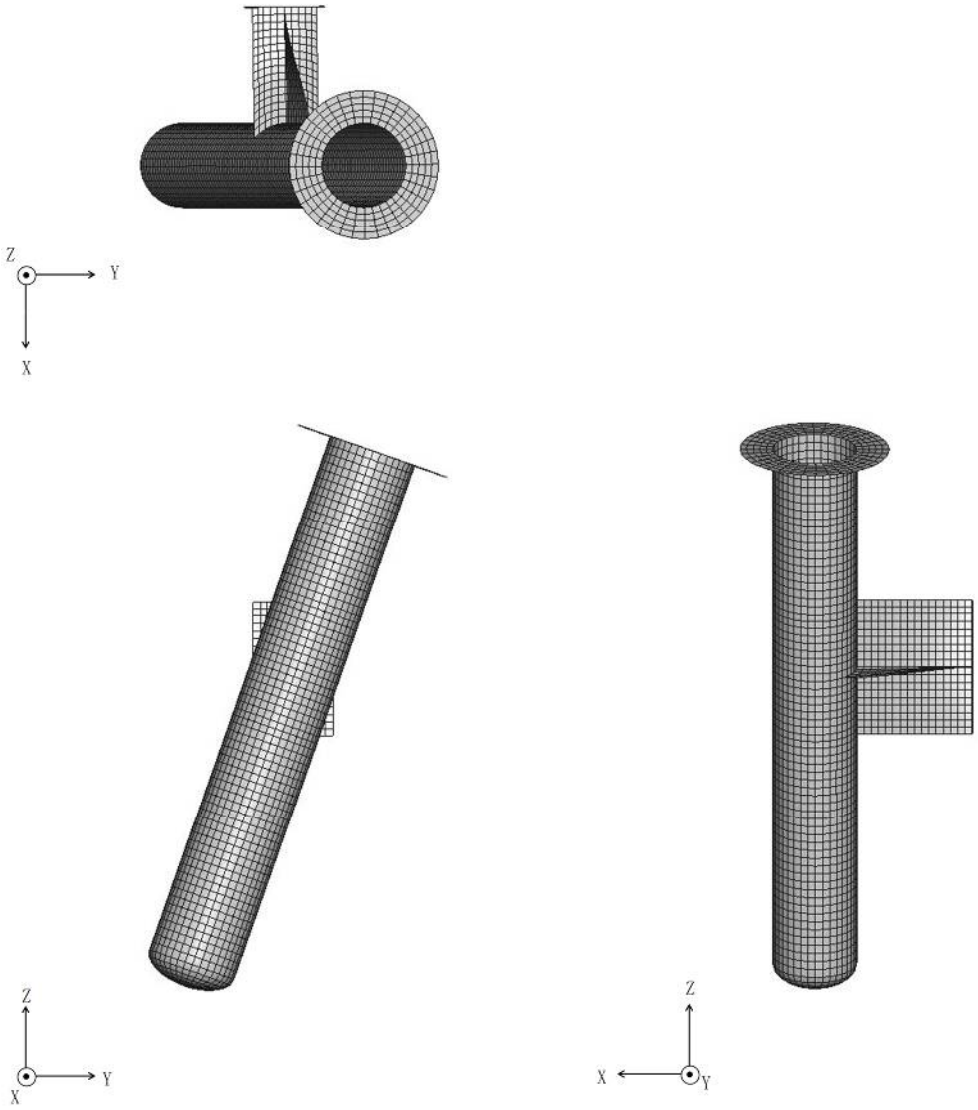


図 4-4　電気加熱器(272H481,H482)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.056（秒）

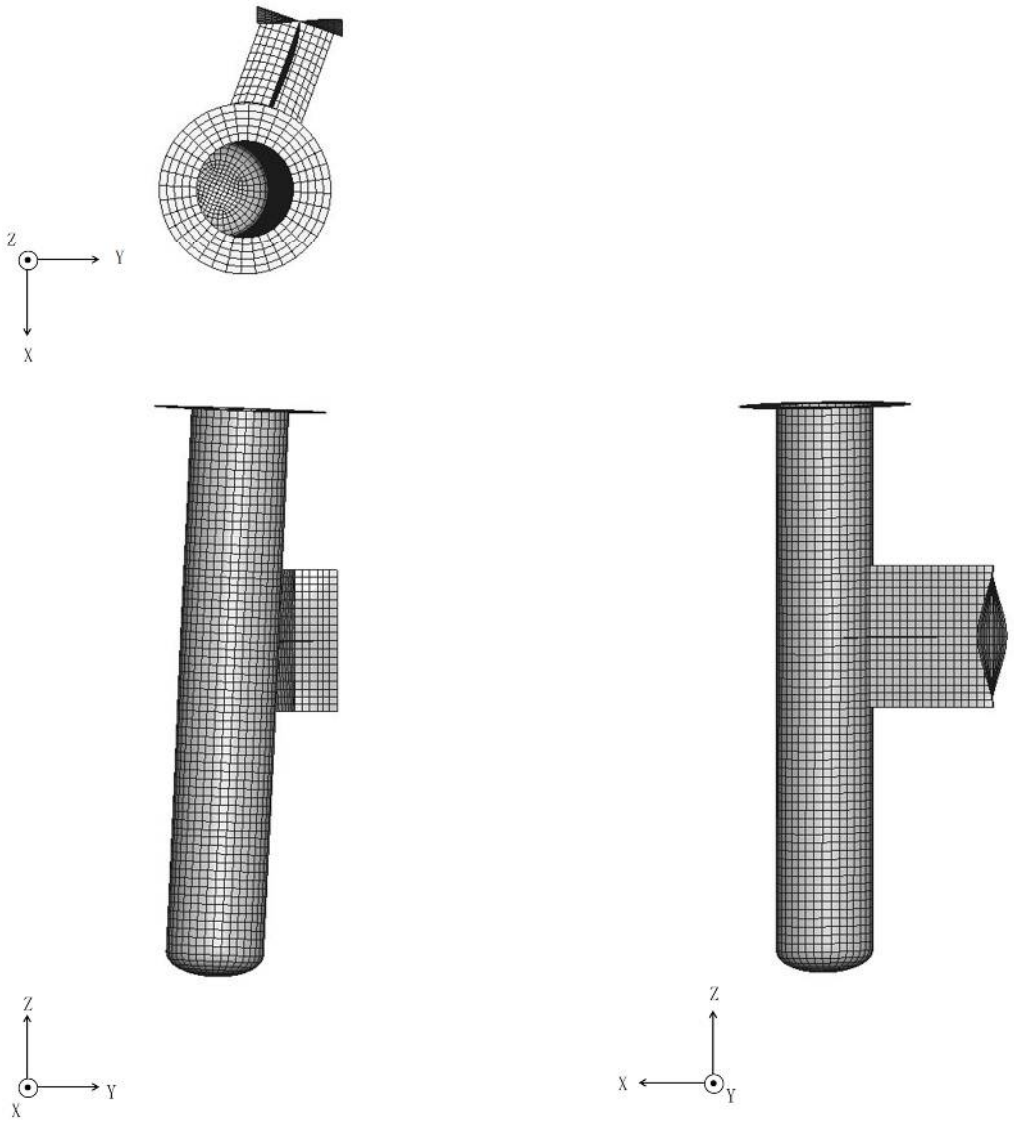


図 4-4　電気加熱器(272H481,H482)　固有モード図（2/3）

３次モード図　　固有周期：0.026（秒）

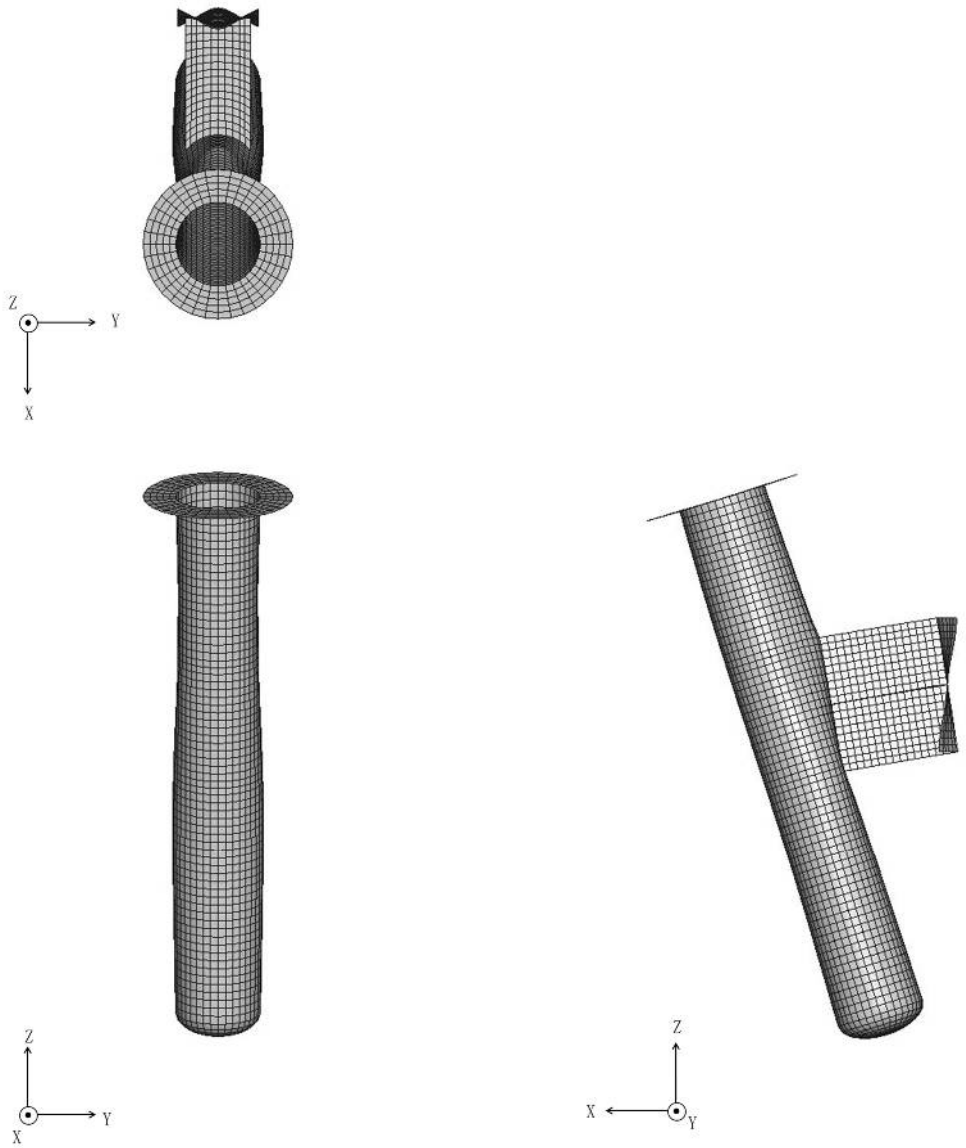


図 4-4　電気加熱器(272H481,H482)　固有モード図（3/3）

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の電気加熱器(272H481,H482)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
電気加熱器 (272H481,H482)	胴	一次一般膜	12	238	0.06
		一次	37	357	0.11
	据付ボルト	引張	16	237	0.07
		せん断	4	137	0.03

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-9

フィルタ(272F4611,F4621)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するフィルタ(272F4611,F4621)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

フィルタ(272F4611,F4621)の構造強度の評価は，耐震構造上の類似性（底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

フィルタ(272F4611,F4621)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。フィルタ(272F4611,F4621)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

フィルタ(272F4611,F4621)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

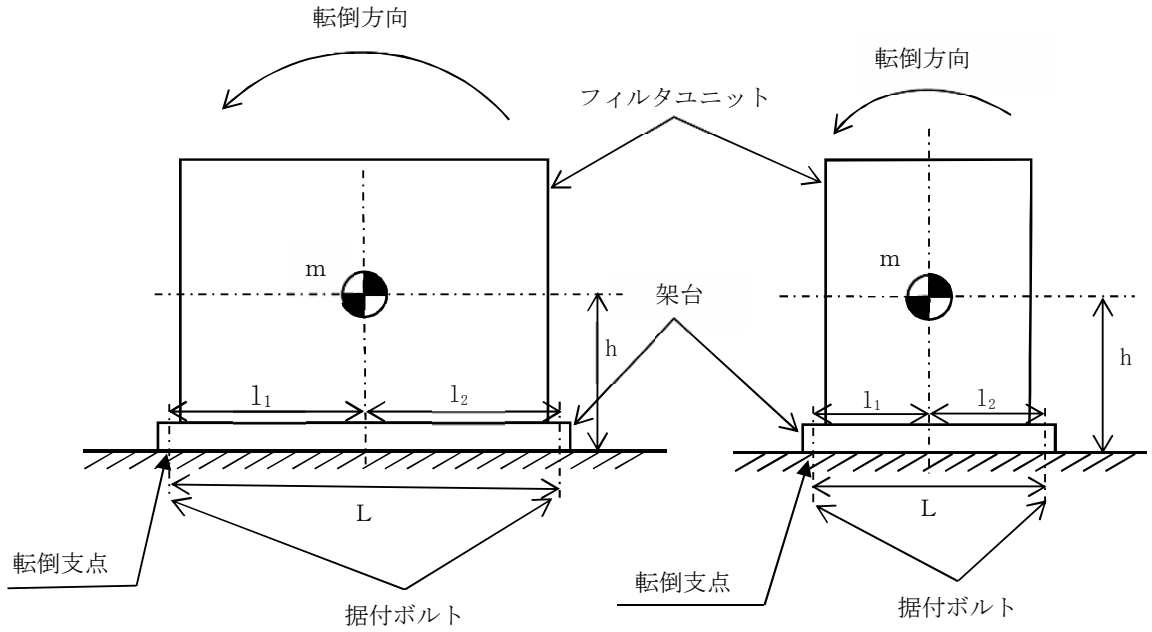
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

フィルタ(272F4611,F4621)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（a）正面方向モデル　　（b）側面方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

フィルタ(272F4611,F4621)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
フィルタ (272F4611,F4621)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	据付ボルト間隔	580 (mm)
	据付ボルト呼び径	M16
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	50(℃)
	据付ボルトの本数	8
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	3
	据付面から重心までの距離	1150(mm)
	総質量	480 (kg)

4.6　固有周期

フィルタ(272F4611,F4621)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

フィルタ(272F4611,F4621)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
フィルタ(272F4611,F4621)	0.05(秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のフィルタ(272F4611,F4621)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
フィルタ (272F4611,F4621)	据付ボルト	引張	16	246	0.07
		せん断	4	142	0.03

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-10

フィルタ(272F4613,F4623)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するフィルタ(272F4613,F4623)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

フィルタ(272F4613,F4623)の構造強度の評価は，耐震構造上の類似性（底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

フィルタ(272F4613,F4623)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。フィルタ(272F4613,F4623)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

フィルタ(272F4613,F4623)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

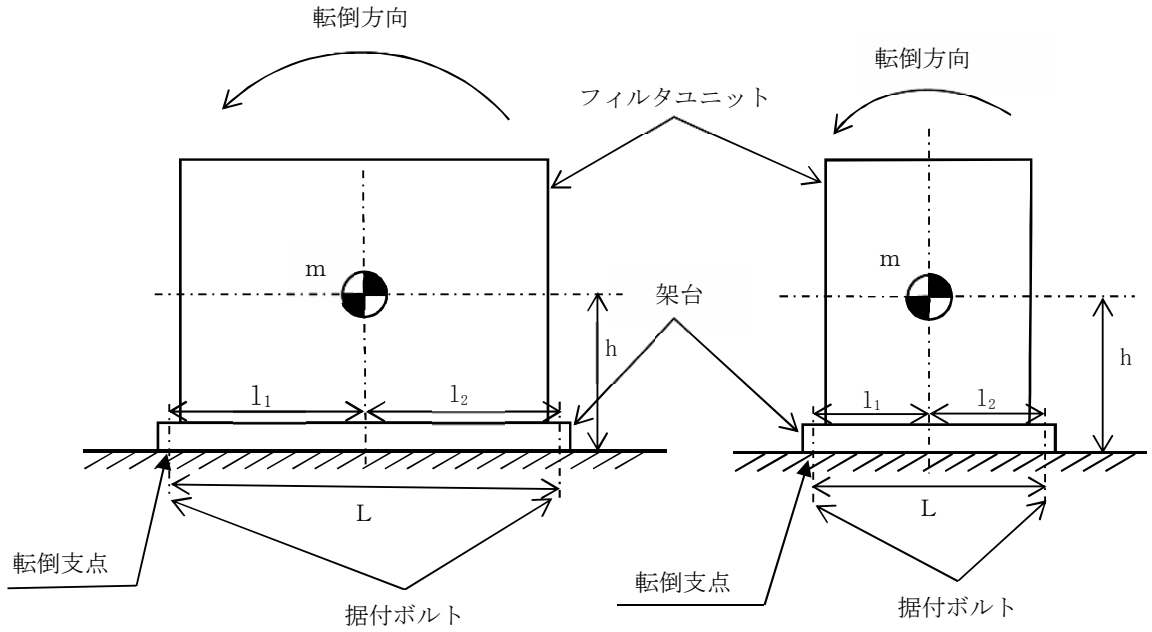
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

フィルタ(272F4613,F4623)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（a）正面方向モデル　　（b）側面方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

フィルタ(272F4613,F4623)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
フィルタ (272F4613,F4623)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	580(mm)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	50 (℃)
	据付ボルトの本数	n	8
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	3
	据付面から重心までの距離	h	575(mm)
	総質量	m	250 (kg)

4.6　固有周期

フィルタ(272F4613,F4623)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

フィルタ(272F4613,F4623)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
フィルタ(272F4613,F4623)	0.05(秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のフィルタ(272F4613,F4623)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
フィルタ (272F4613,F4623)	据付ボルト	引張	4	246	0.02
		せん断	2	142	0.02

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

よう素フィルタ(272F465,F466)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するよう素フィルタ(272F465,F466)について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

よう素フィルタ(272F465,F466)の構造強度の評価は，有限要素法（FEM）解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

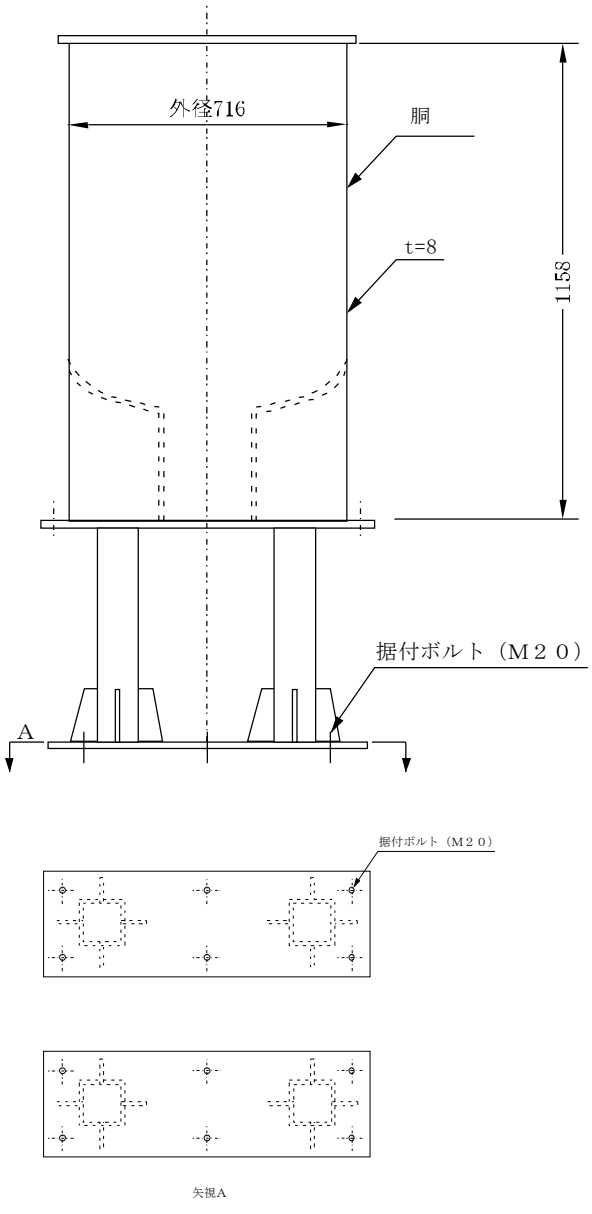
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

よう素フィルタ(272F465,F466)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，据付ボルトとする。よう素フィルタ(272F465,F466)の概要図を図 3-1 に示す。



（単位;mm）

図 3-1　よう素フィルタ(272F465,F466)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。よう素フィルタ(272F465,F466)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

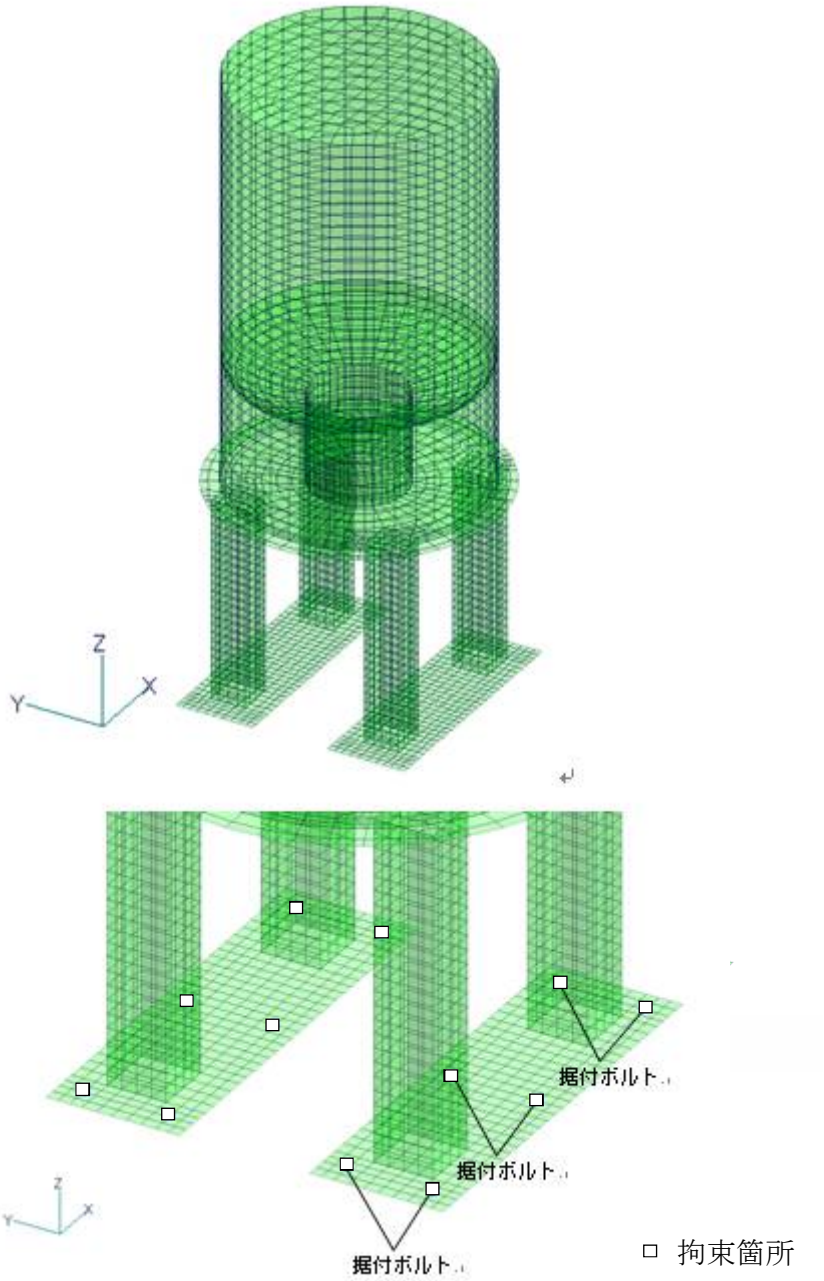
よう素フィルタ(272F465,F466)の発生応力の計算方法は FEM 解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードは FINAS※1 を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

よう素フィルタ(272F465,F466)の解析モデルを図 4-1 に示す。FEM 解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。



拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	－	－	－

図 4-1　よう素フィルタ(272F465,F466)の解析モデル

4.5.2　諸元

よう素フィルタ(272F465,F466)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
よう素フィルタ (272F465,F466)	安全上の機能	閉じ込め機能
	胴外径	716（mm）
	胴板厚さ	8（mm）
	胴高さ	1158（mm）
	胴材質	SUS304L
	胴温度	100（℃）
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト有効断面積※	245（mm^2）
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	100（℃）
	総質量	約 900（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.6　固有周期

よう素フィルタ(272F465,F466)の固有周期及び固有モードを図 4-2 に示す。

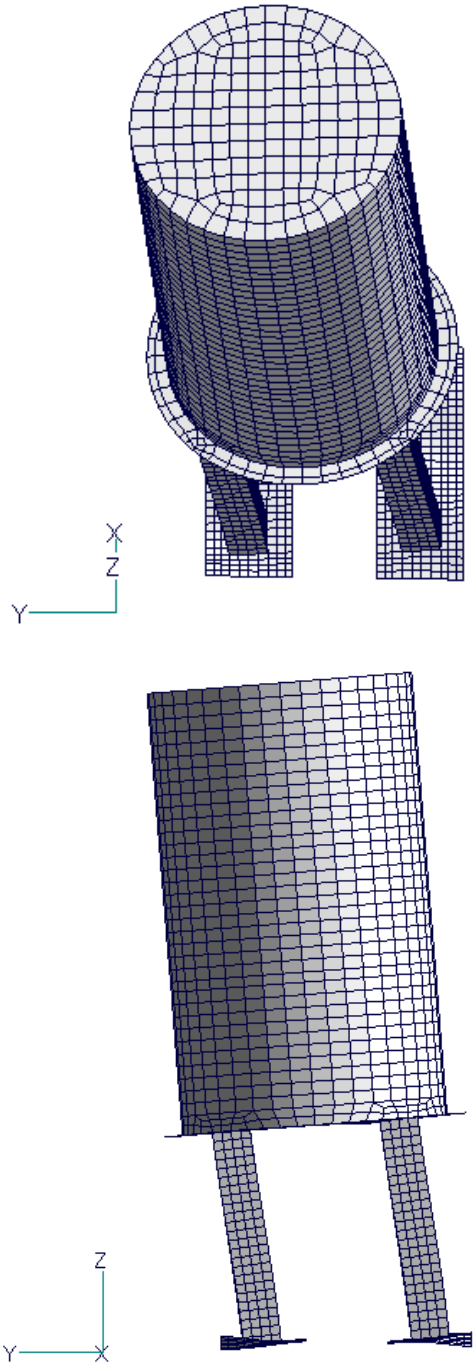
１次モード図　　固有周期：0.039（秒）


図 4-2　よう素フィルタ(272F465,F466)　固有モード図

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のよう素フィルタ(272F465,F466)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
よう素フィルタ (272F465,F466)	胴	一次一般膜	7	244	0.03
		一次	15	367	0.05
	据付ボルト	引張	38	237	0.17
		せん断	8	137	0.06

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-12

冷却器(272H49)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する冷却器(272H49)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

冷却器(272H49)の構造強度の評価は，有限要素法（FEM）解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

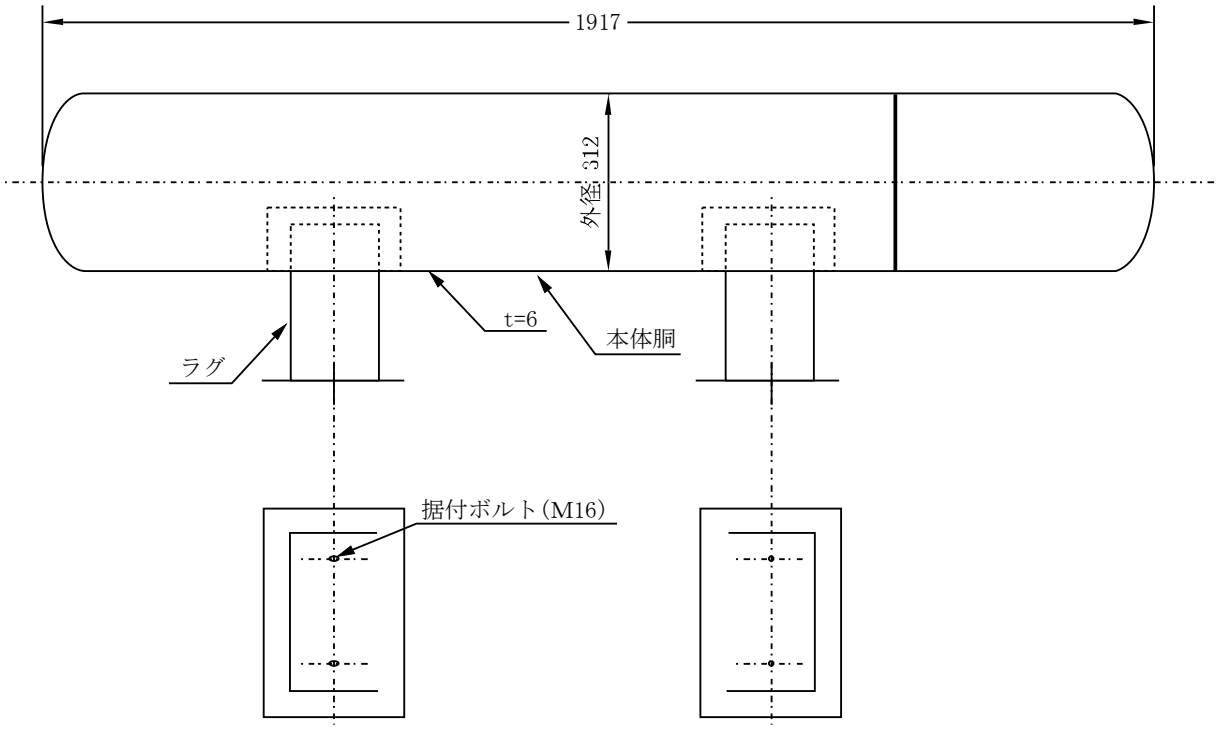
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa

3. 評価部位

冷却器(272H49)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる胴,据付ボルトとする。冷却器(272H49)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位;mm)

図 3-1　冷却器(272H49)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。冷却器(272H49)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（5F，水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

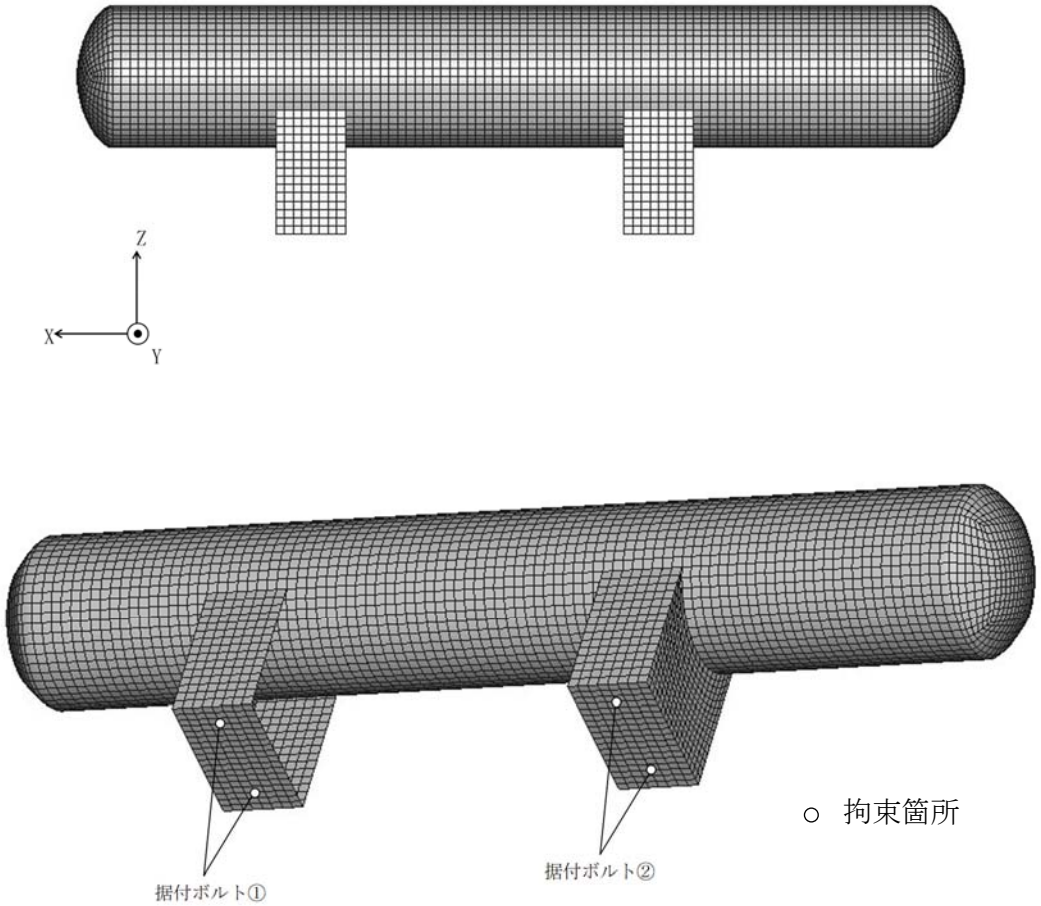
冷却器(272H49) の発生応力の計算方法は FEM 解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードは FINAS※1 を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

冷却器(272H49)の解析モデルを図 4-1 に示す。FEM 解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。



拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト部①(2 箇所)	－	○	○	－	－	－
据付ボルト部①(2 箇所)	○	○	○	－	－	－

図 4-1　冷却器(272H49)の解析モデル

4.5.2　諸元

冷却器(272H49)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
冷却器(272H49)	安全上の機能	閉じ込め機能
	機器区分	クラス 3
	圧力（設計圧力）	0.049（MPa）
	胴長さ	1917（mm）
	胴外径	312（mm）
	胴板厚さ	6（mm）
	胴材質	SUS316L
	胴温度	150（℃）
	据付ボルト呼び径	M16
	据付ボルト有効断面積※	157（mm^2）
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	40（℃）
	総質量(設計質量)	約 550（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.6　固有周期

冷却器(272H49)の固有周期及び固有モードを図 4-2 に示す。

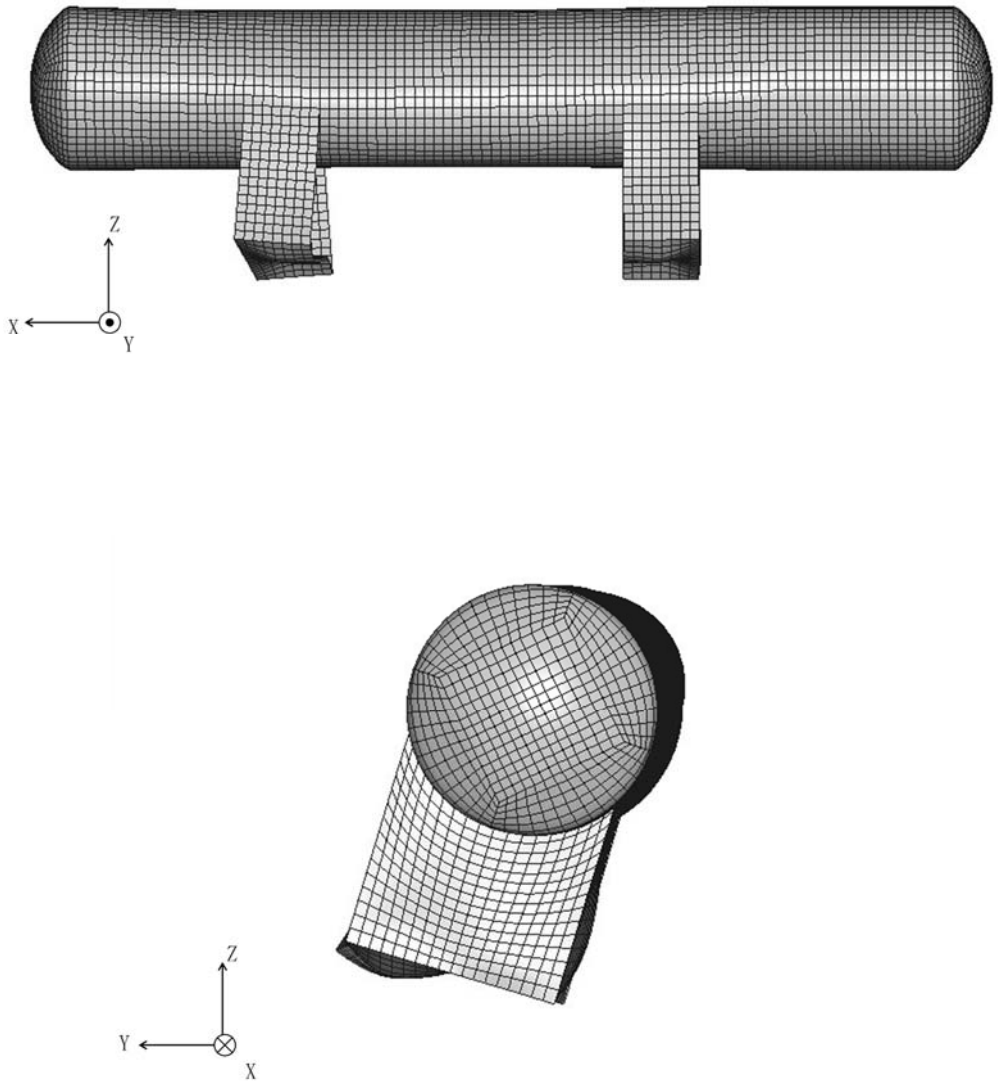
1次モード図　　固有周期：0.045（秒）


図 4-2　冷却器(272H49)　固有モード図

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の冷却器(272H49)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
冷却器(272H49)	胴	一次一般膜	26	253	0.11
		一次	65	379	0.18
	据付ボルト	引張	57	246	0.24
		せん断	26	142	0.19

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-13

排風機(272K463,K464)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する排風機(272K463,K464)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

排風機(272K463,K464)の構造強度の評価は,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

また,当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は,廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）
(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）
(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）
(5)ルーツブロワの地震時の動的機能維持評価に関する研究　HLR-051(日本原燃株式会社,株式会社日立製作所)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ブロワ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ブロワ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

排風機(272K463,K464)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1-2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。排風機(272K463,K464)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

排風機(272K463,K464)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は,算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

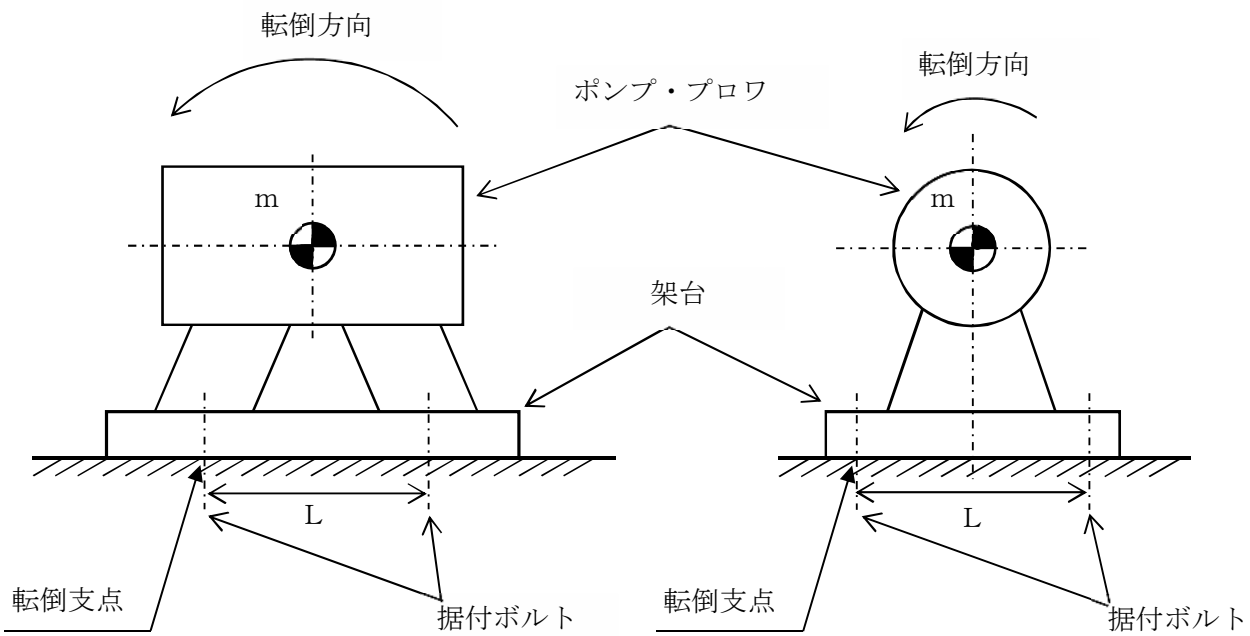
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

排風機(272K463,K464)の解析モデルを図 4-1 に示す。



（ａ）軸方向転倒モデル　　（ｂ）軸直角方向転倒モデル

図 4.1　解析モデル

4.5.2　諸元

排風機(272K463,K464)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
排風機(272K463,K464)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	530 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M12
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	318 (mm)
	ブロワ振動による震度	C_P	0.17
	ブロワ回転により働くモーメント	M_P	0 (N・mm)
	総質量	m	454 (kg)

4.6　固有周期

排風機(272K463,K464)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

排風機(272K463,K464)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
排風機(272K463,K464)	0.05 (秒)以下

5. 機能維持評価

5.1　動的機能維持評価方法

排風機(272K463,K464)の地震時及び地震後の動的機能維持評価について,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のファンの評価方法を準用し, 廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。

排風機(272K463,K464)は形式がルーツ式であることから, 機能確認済加速度は「ルーツブロワの地震時の動的機能維持評価に関する研究　HLR-051 (日本原燃株式会社, 株式会社日立製作所)」のものを用いた。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8$ m/s^2)
排風機(272K463,K464)	ルーツブロワ	水平	1.2
		鉛直	1.2

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の排風機(272K463,K464)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

また，動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動により排風機(272K463,K464)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
排風機(272K463,K464)	据付ボルト	引張	12	280	0.05
		せん断	14	161	0.09

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

表 6-2　動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 (×9.8 m/s^2)	機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)
排風機(272K463,K464)	水平	1.04	1.2
	鉛直	0.66	1.2

別紙 6-1-2-3-3-14

セル換気系フィルタユニット

(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)

の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するセル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)について,「再処理施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ, 廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

セル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)の構造強度の評価は, 耐震構造上の類似性(底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。)に基づき, 鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に, 廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し, 構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）
(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）
(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

セル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。セル換気系フィルタユニット(272F033,F034,F035,F036,F037,F038,F039,F040)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（3F，水平方向：1.18，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

セル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

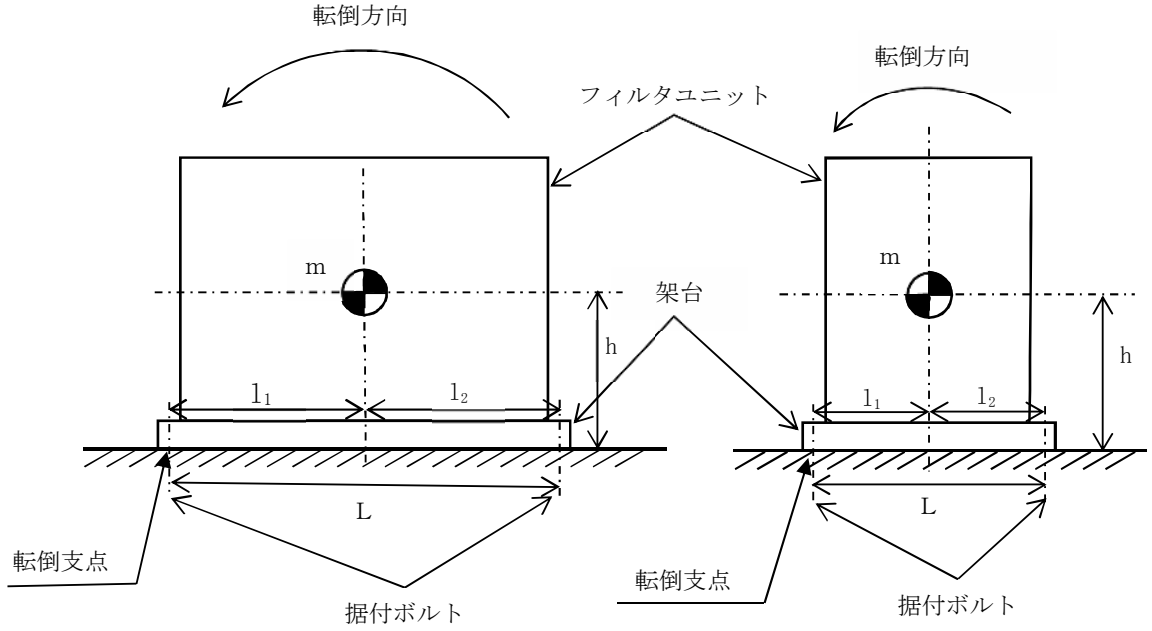
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

セル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（a）正面方向モデル　　（b）側面方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

セル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
セル換気系フィルタユニット (272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	600 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M12
	据付ボルト材質	—	SUS304L
	据付ボルト温度	—	100 (℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	1140(mm)
	総質量	m	620 (kg)

4.6　固有周期

セル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

セル換気系フィルタユニット(272F033, F034, F035, F036, F037, F038, F039, F040)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
セル換気系フィルタユニット (272F033,F034,F035,F036,F037,F038,F039,F040)	0.05(秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のセル換気系フィルタユニット(272F033,F034,F035,F036,F037,F038,F039,F040)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
セル換気系フィルタユニット (272F033,F034, F035,F036,F037, F038,F039,F040)	据付ボルト	引張	48	197	0.25
		せん断	16	113	0.15

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-15

セル換気系排風機(272K103,K104)

の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するセル換気系排風機(272K103,K104)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

セル換気系排風機(272K103,K104)の構造強度の評価は,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

また,当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は,廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）
(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）
(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ブロワ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ブロワ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

セル換気系排風機(272K103,K104)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。セル換気系排風機(272K103,K104)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

セル換気系排風機(272K103,K104)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

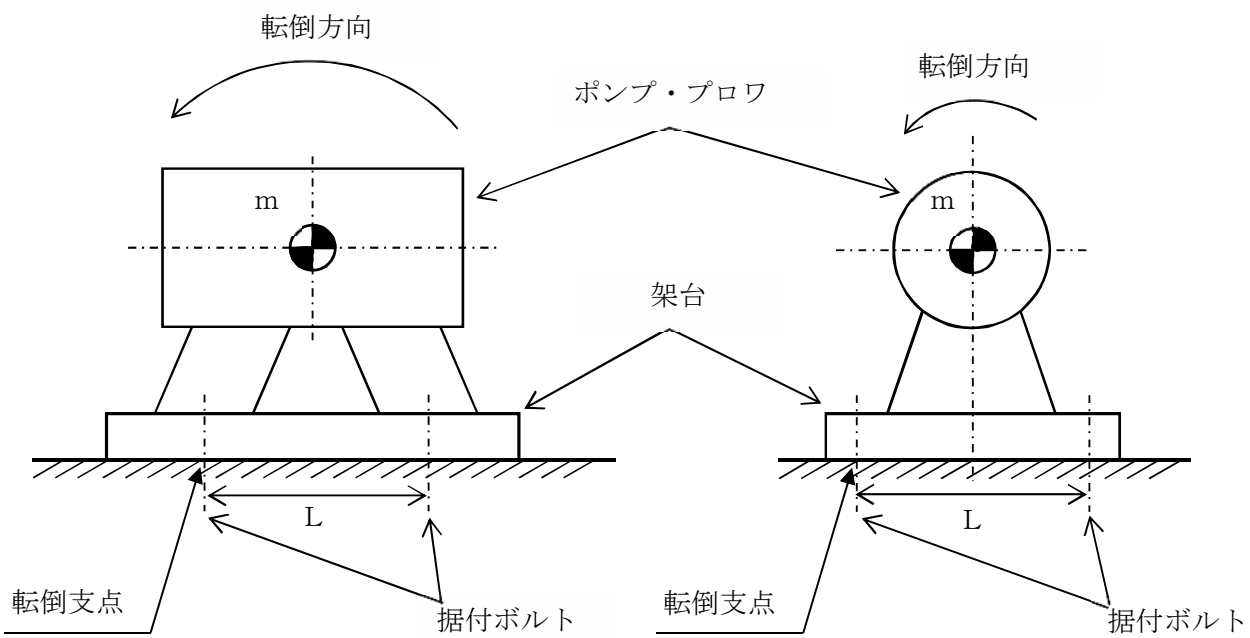
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

セル換気系排風機(272K103,K104)の解析モデルを図 4-1 に示す。



（ａ）軸方向転倒モデル　　（ｂ）軸直角方向転倒モデル

図 4.1　解析モデル

4.5.2　諸元

セル換気系排風機(272K103,K104)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
セル換気系排風機 (272K103,K104)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	1180 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	10
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	550 (mm)
	ブロワ振動による震度	C_P	0.14
	ブロワ回転により働くモーメント	M_P	0 (N・mm)
	総質量	m	922 (kg)

4.6　固有周期

セル換気系排風機(272K103,K104)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

セル換気系排風機(272K103,K104)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
セル換気系排風機(272K103,K104)	0.05 (秒)以下

5. 機能維持評価

5.1　動的機能維持評価方法

セル換気系排風機(272K103,K104)の地震時及び地震後の動的機能維持評価について,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のファンの評価方法を準用し,廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)
セル換気系排風機 (272K103,K104)	遠心直結型	水平	2.3
		鉛直	1.0

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のセル換気系排風機(272K103,K104)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

また，動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動によりセル換気系排風機(272K103,K104)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
セル換気系排風機 (272K103,K104)	据付ボルト	引張	8	280	0.03
		せん断	7	161	0.05

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

表 6-2　動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 ($\times 9.8$ m/s^2)	機能確認済加速度 ($\times 9.8$ m/s^2)
セル換気系排風機 (272K103,K104)	水平	1.04	2.3
	鉛直	0.66	1.0

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ,
272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するトランスミッターラック(272LA+001～LA+008圧力スイッチ,272FA+201,FA+202圧力スイッチ)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008圧力スイッチ,272FA+201,FA+202圧力スイッチ)の構造強度の評価は,耐震構造上の類似性（底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に,廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ，272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ，272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）：

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）：

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

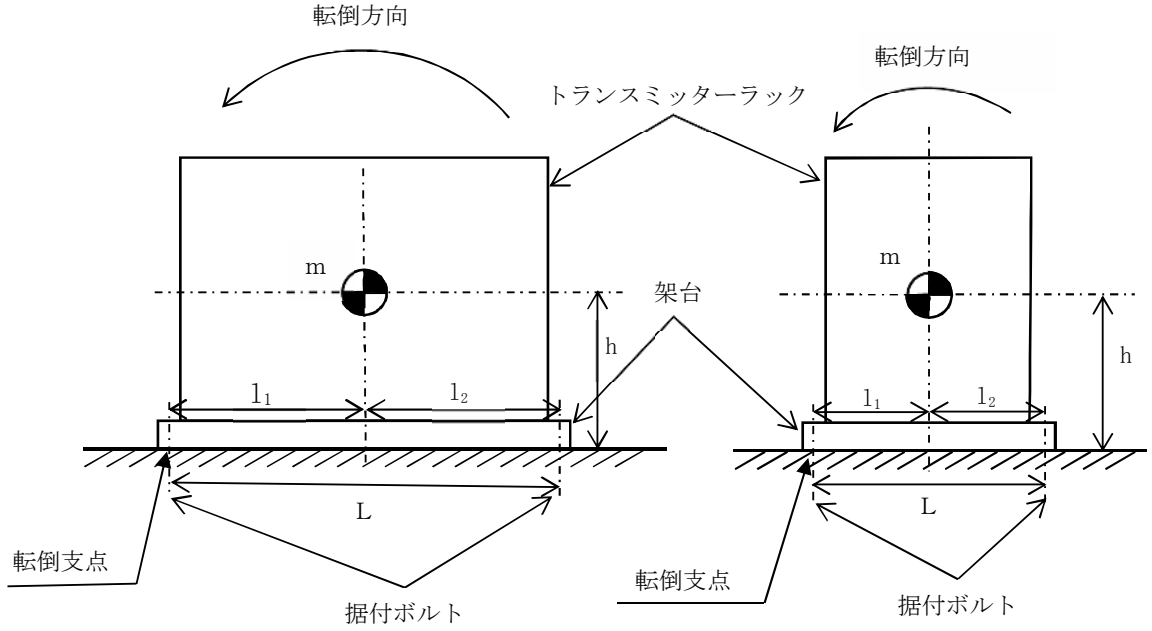
せん断応力（τ_b）：

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の解析モデルを図 4-1 に示す。



（ａ）正面方向モデル　　（ｂ）側面方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
トランスミッターラック (272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	340 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	8
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	4
	据付面から重心までの距離	h	900 (mm)
	総質量	m	630 (kg)

4.6　固有周期

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の固有周期は, 1 質点系振動モデルとして考え, 以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
トランスミッターラック (272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272 FA+201,FA+202 圧力スイッチ)	0.05 (秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のトランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201,FA+202 圧力スイッチ)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
トランスミッターラック(272LA+001～LA+008 圧力スイッチ, 272FA+201, FA+202 圧力スイッチ)	据付ボルト	引張	28	280	0.10
		せん断	7	161	0.04

※1　応力比は, 発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-17

主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

主制御盤(主制御盤No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の構造強度の評価は,耐震構造上の類似性（底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
M	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）：

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）：

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

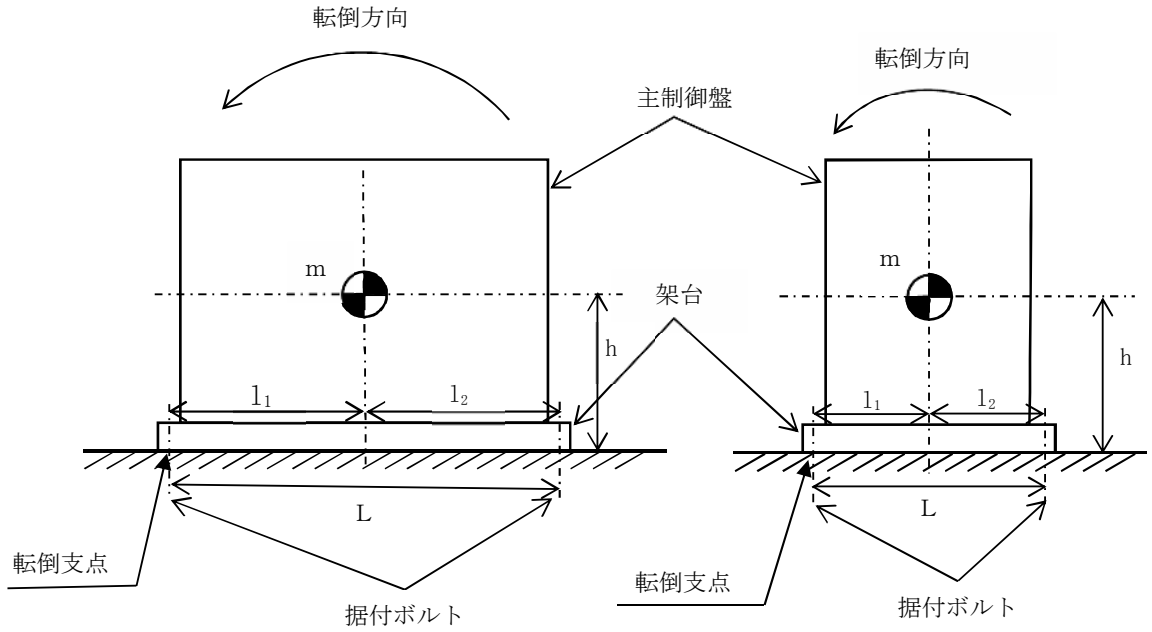
せん断応力（τ_b）：

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（a）正面方向モデル　　（b）側面方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))	安全上の機能	—	閉じ込め機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	1240 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M12
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	15
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	4
	据付面から重心までの距離	h	1000 (mm)
	総質量	m	3000 (kg)

4.6　固有周期

主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

主制御盤(主制御盤No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))	0.05(秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
主制御盤(主制御盤 No.1,No.2,No.3(漏えい検知装置))	据付ボルト	引張	51	280	0.19
		せん断	29	161	0.19

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-18

主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能を構成する主制御盤 No.5(換気設備)及び崩壊熱除去機能を構成する主制御盤No.4について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

主制御盤(主制御盤No.5(換気設備),主制御盤No.4)の構造強度の評価は,有限要素法(FEM)解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

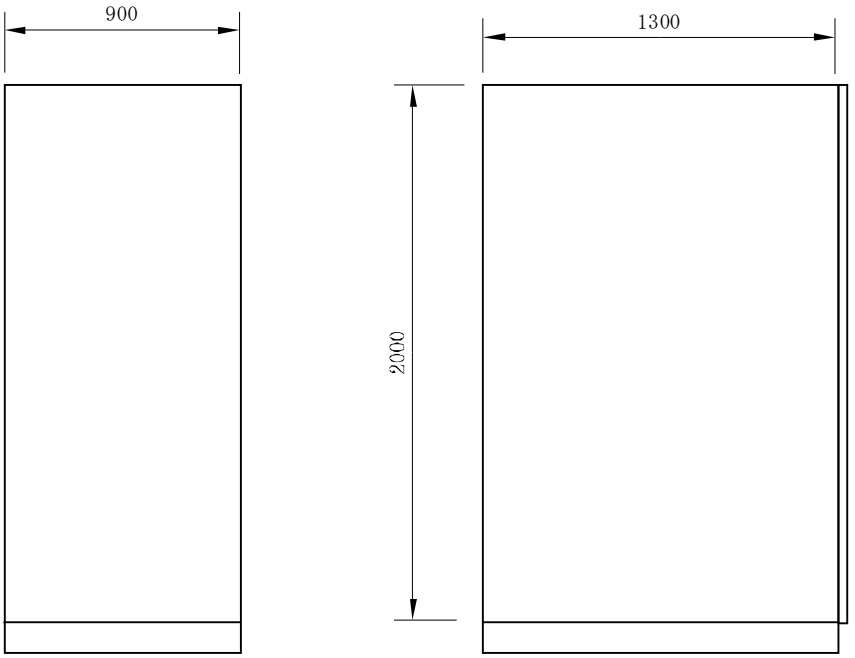
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121に定める許容応力算定用基準値	MPa

3. 評価部位

主制御盤(主制御盤No.5(換気設備),主制御盤No.4)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる本体,据付ボルトとする。主制御盤(主制御盤No.5(換気設備),主制御盤No.4)の概要図を図3-1に示す。



(単位; mm)

図 3-1　主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備), 主制御盤 No.4)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価に当たっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
本体	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)	4.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）を作成し，これを評価に用いた。

主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（4 階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-2，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3　使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)	解析用の床応答スペクトル（4 階，減衰定数 4.0 %）	解析用の床応答スペクトル（4 階，減衰定数 1.0 %）

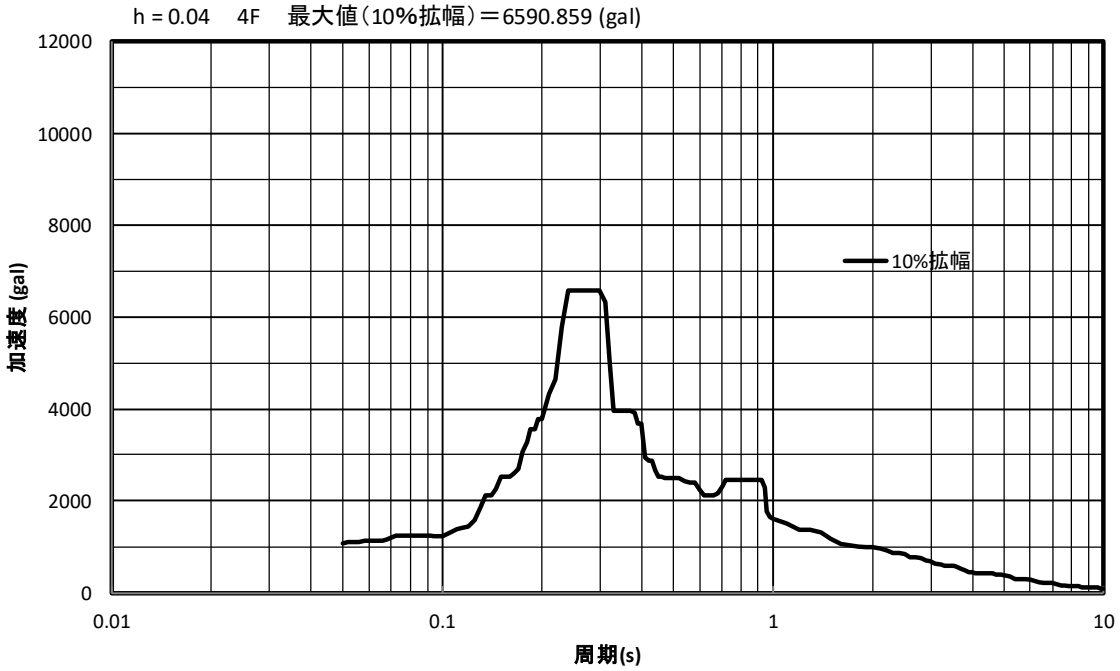


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，4 階，減衰定数 4.0 %）

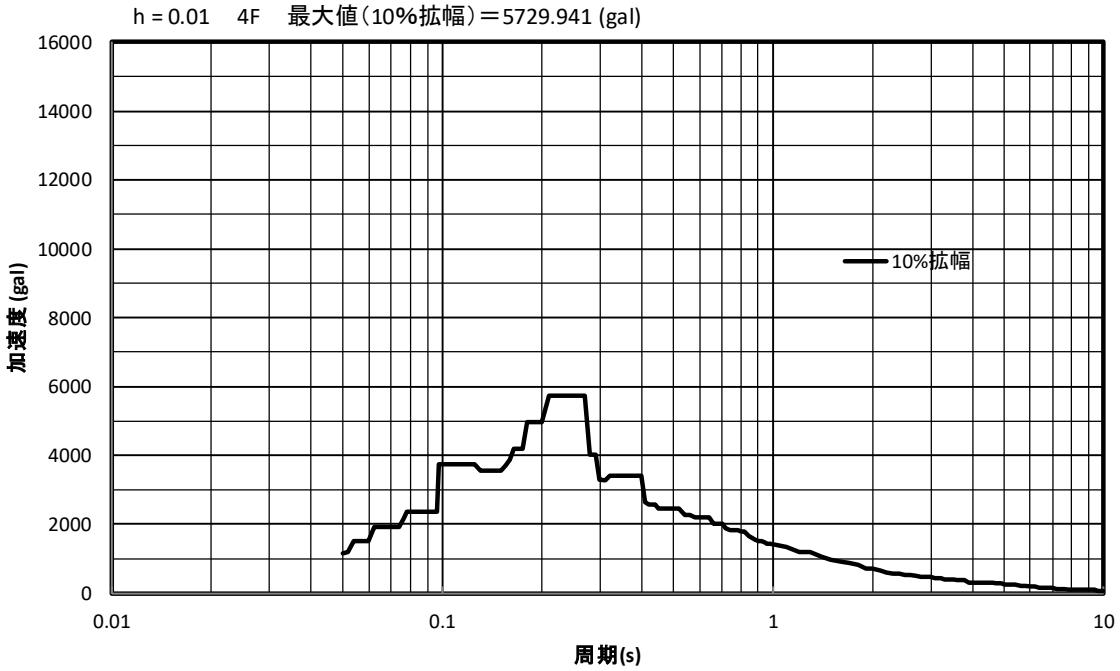


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，4 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)の発生応力の計算方法は FEM 解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードは FINAS※1 を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)の解析モデルを図 4-3 に示す。主制御盤 No.5(換気設備)と主制御盤 No.4 は同じ構造であるため共通の解析モデルとする。FEM 解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

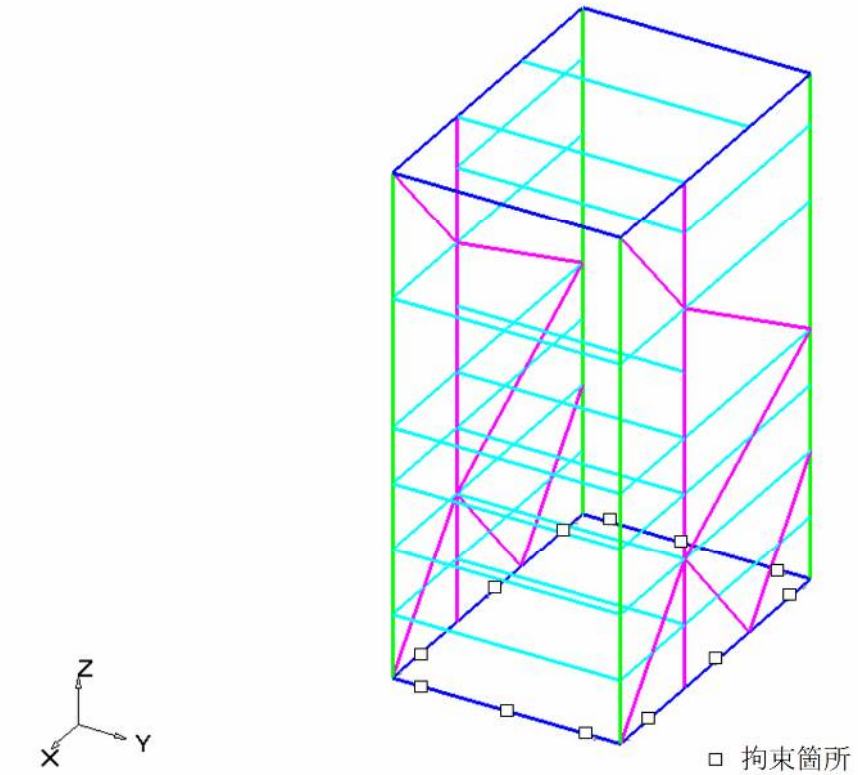
4.6.2　諸元

主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)	安全上の機能	崩壊熱除去機能 閉じ込め機能
	外形寸法（縦）	1300（mm）
	外形寸法（横）	900（mm）
	外形寸法（高さ）	2000（mm）
	本体材質	SS400
	本体温度	40（℃）
	据付ボルト呼び径	M12
	据付ボルト有効断面積※	84.3（mm^2）
	据付ボルト材質	SS400
	据付ボルト温度	40（℃）
	総質量	約 700（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。



拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	－	－	－

図 4-3　主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備)，主制御盤 No.4)の解析モデル

4.7　固有周期

主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備)，主制御盤 No.4)の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

1次モード図　　固有周期：0.091（秒）

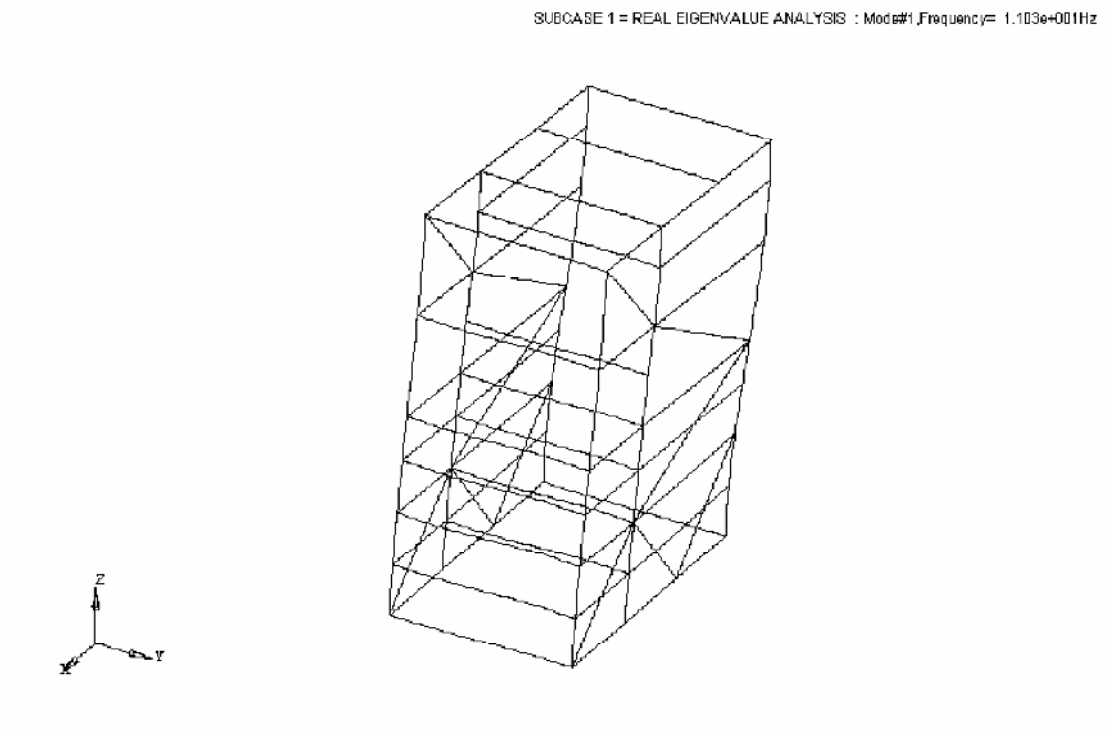


図 4-4　主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.036（秒）

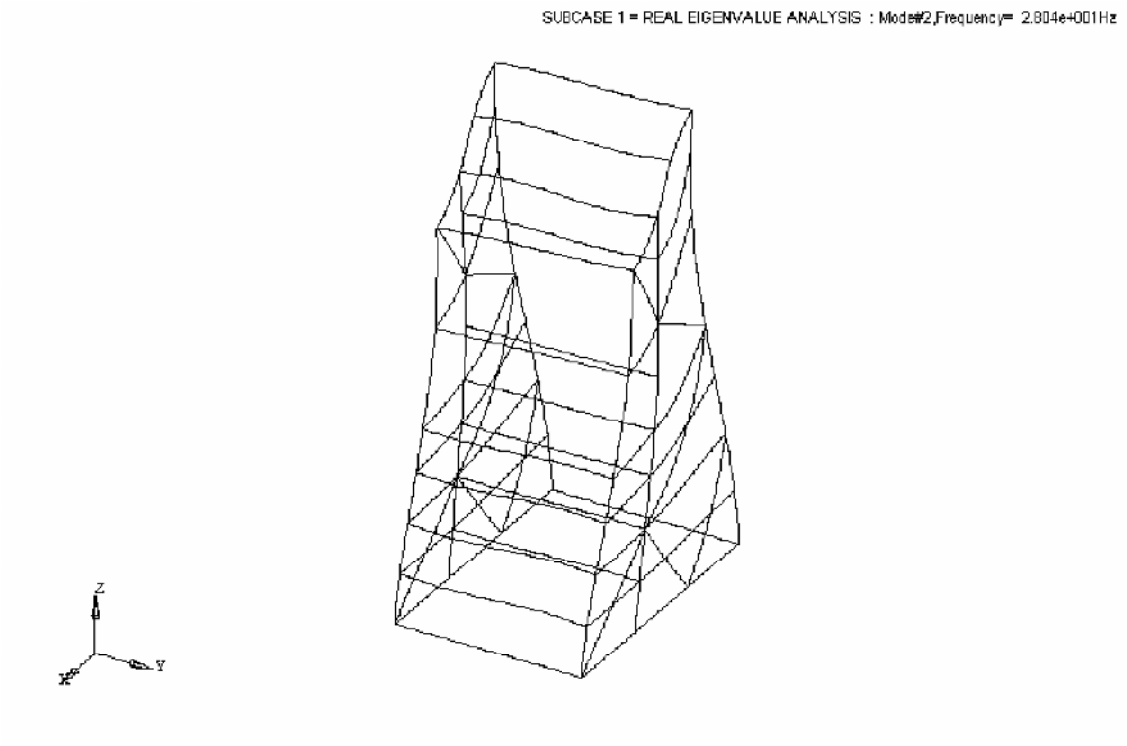


図 4-4　主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)　固有モード図 (2/3)

３次モード図　　固有周期：0.027（秒）

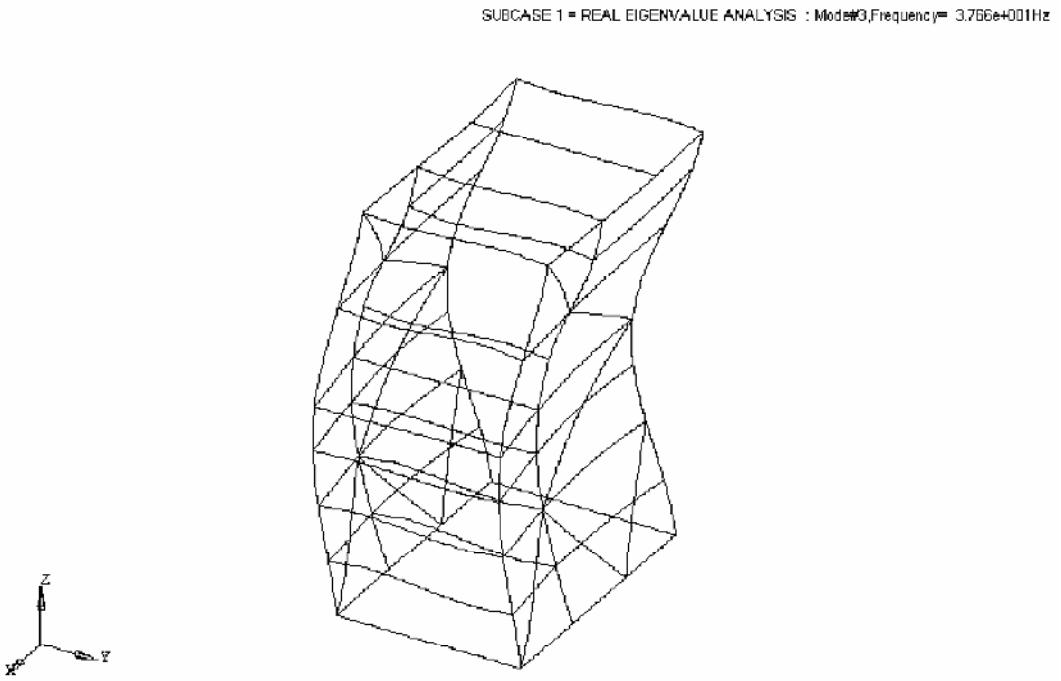


図 4-4　主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備),主制御盤 No.4)　固有モード図 (3/3)

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備)，主制御盤 No.4)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
主制御盤(主制御盤 No.5(換気設備)，主制御盤 No.4)	本体	曲げ	72	280	0.26
	据付ボルト	引張	129	280	0.47
		せん断	22	161	0.14

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-19

高圧受電盤(DX)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能を構成する高圧受電盤(DX)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

高圧受電盤(DX)の構造強度の評価は,有限要素法(FEM)解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987(日本電気協会)
(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008(日本電気協会)
(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012(日本機械学会)
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012(日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa

3. 評価部位

高圧受電盤(DX)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる本体，据付ボルトとする。高圧受電盤(DX)の概要図を図 3-1 に示す。

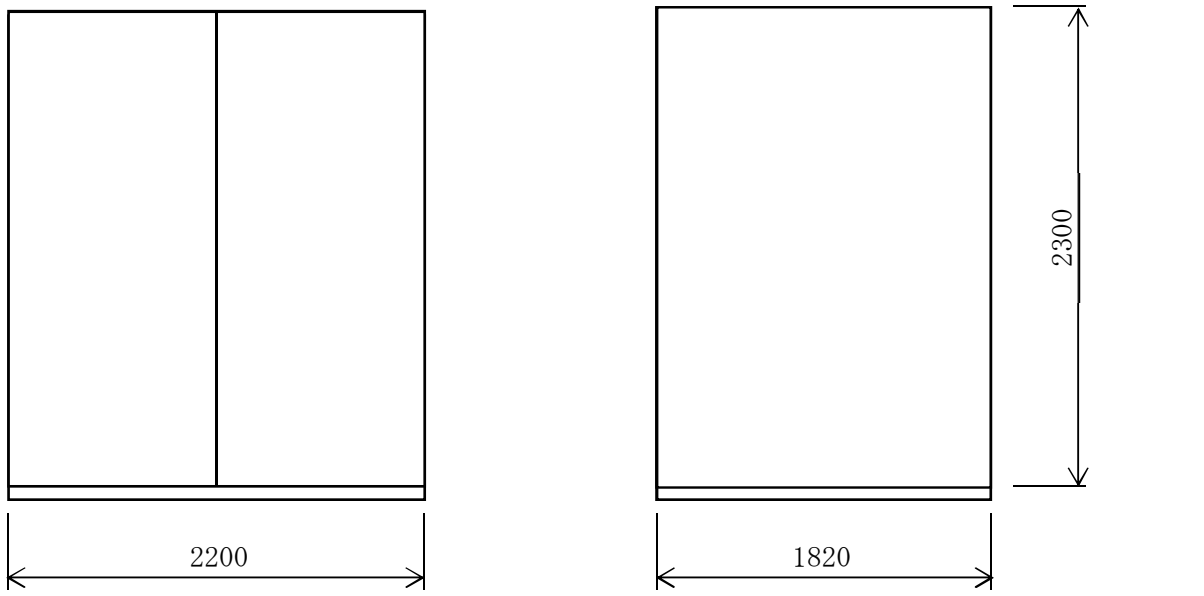


図 3-1　高圧受電盤(DX)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1-2012」に準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価に当たっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
本体	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
高圧受電盤(DX)	4.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）を作成し，これを評価に用いた。

高圧受電盤(DX)の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（4 階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3　使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
高圧受電盤(DX)	解析用の床応答スペクトル （4 階，減衰定数 4.0 %）	解析用の床応答スペクトル （4 階，減衰定数 1.0 %）

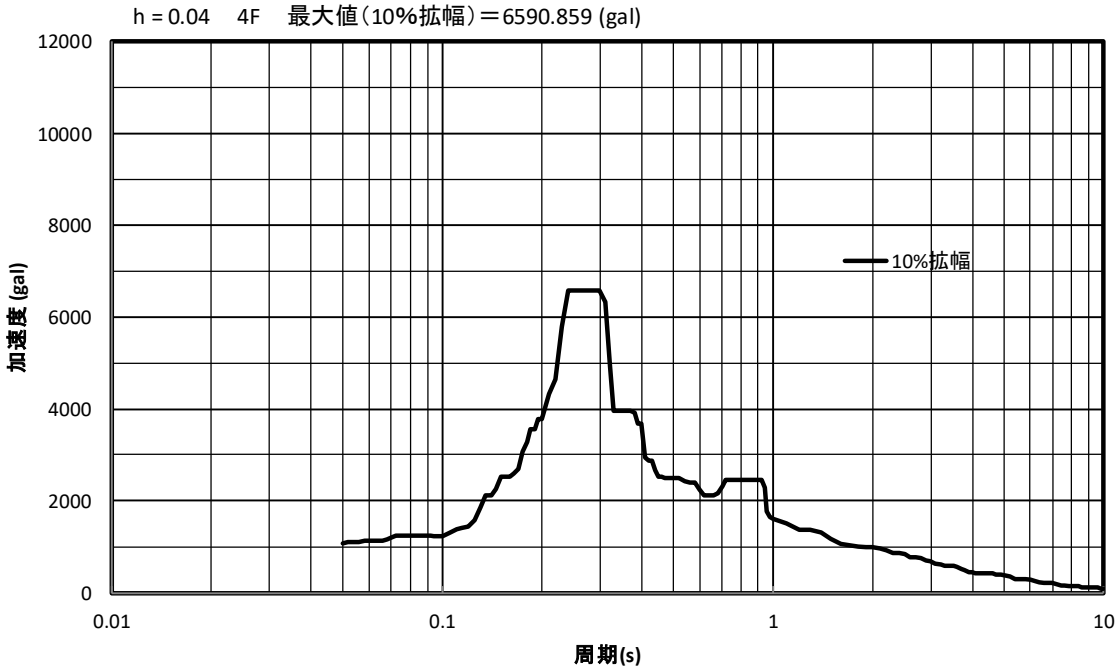


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，4 階，減衰定数 4.0 %）

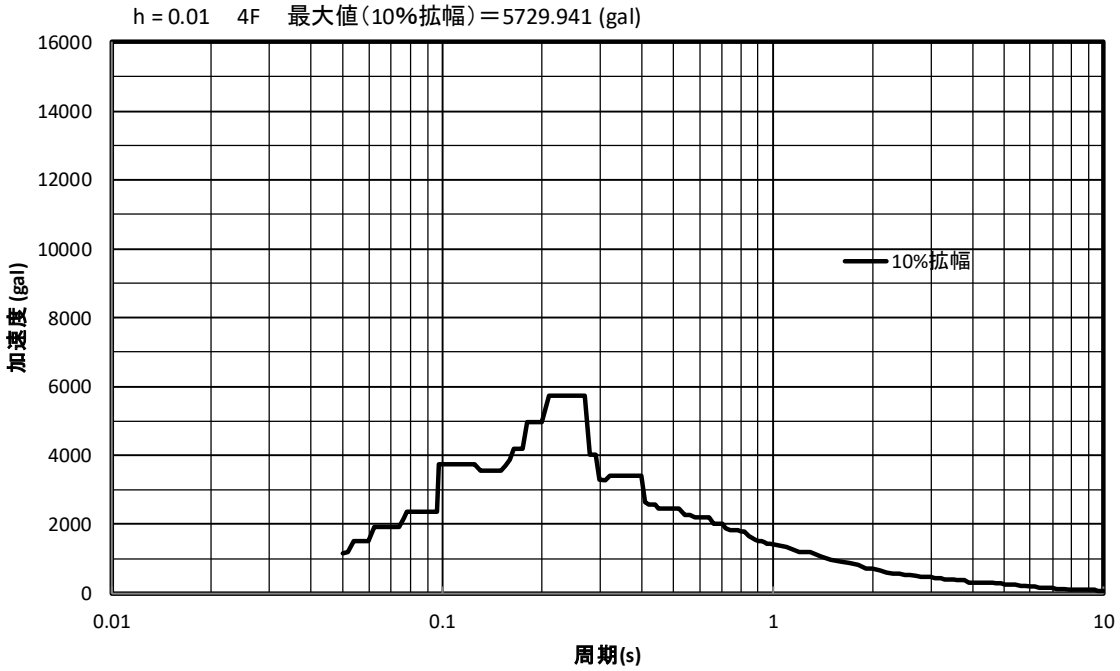


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，4 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

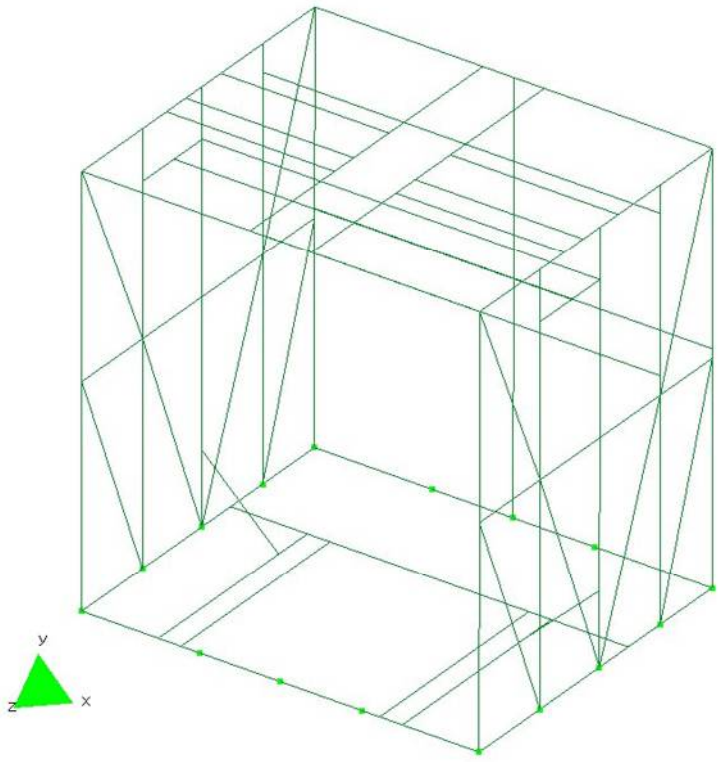
高圧受電盤(DX)の発生応力の計算方法はFEM解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

高圧受電盤(DX)の解析モデルを図4-3に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。



拘束条件　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト (16 箇所)	○	○	○	－	－	－

図 4-3　高圧受電盤(DX)の解析モデル

4.6.2　諸元

高圧受電盤(DX)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
高圧受電盤(DX)	安全上の機能	崩壊熱除去機能 閉じ込め機能
	外形寸法（縦）	1820（mm）
	外形寸法（横）	2200（mm）
	外形寸法（高さ）	2300（mm）
	本体材質	SS400
	本体温度	40（℃）
	据付ボルト呼び径	M12
	据付ボルト有効断面積※	84.3（mm^2）
	据付ボルト材質	SS400
	据付ボルト温度	40（℃）
	総質量	1480（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7　固有周期

高圧受電盤(DX)の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

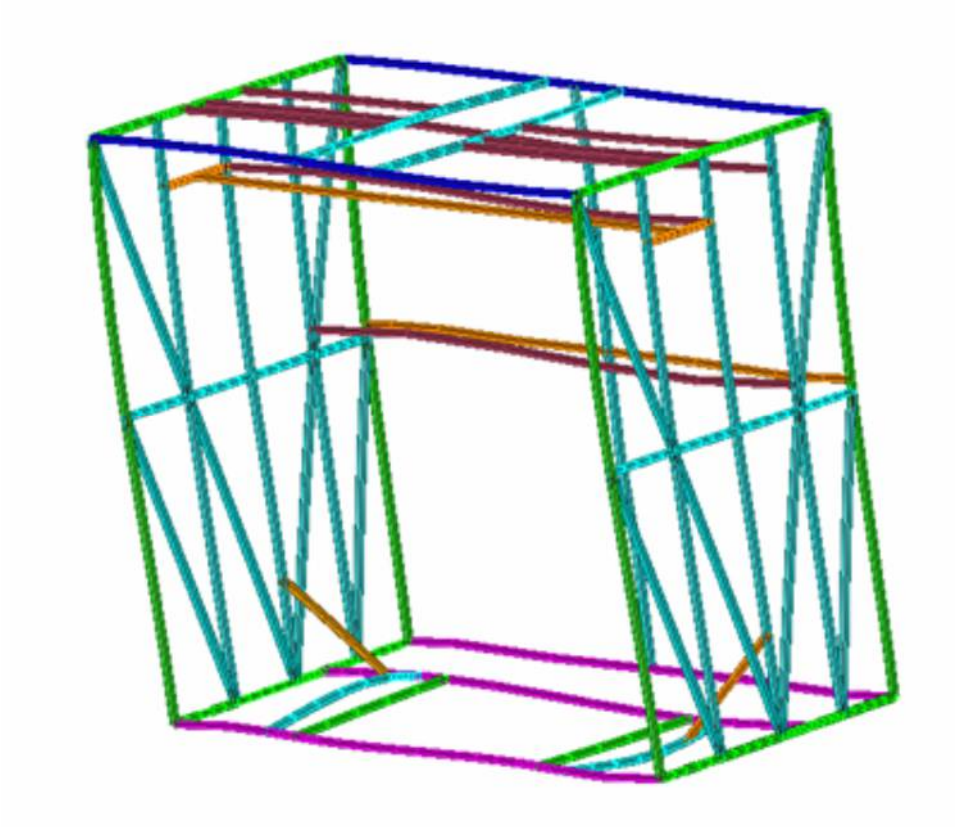
１次モード図　　固有周期：0.081（秒）


図 4-4　高圧受電盤(DX)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.044（秒）

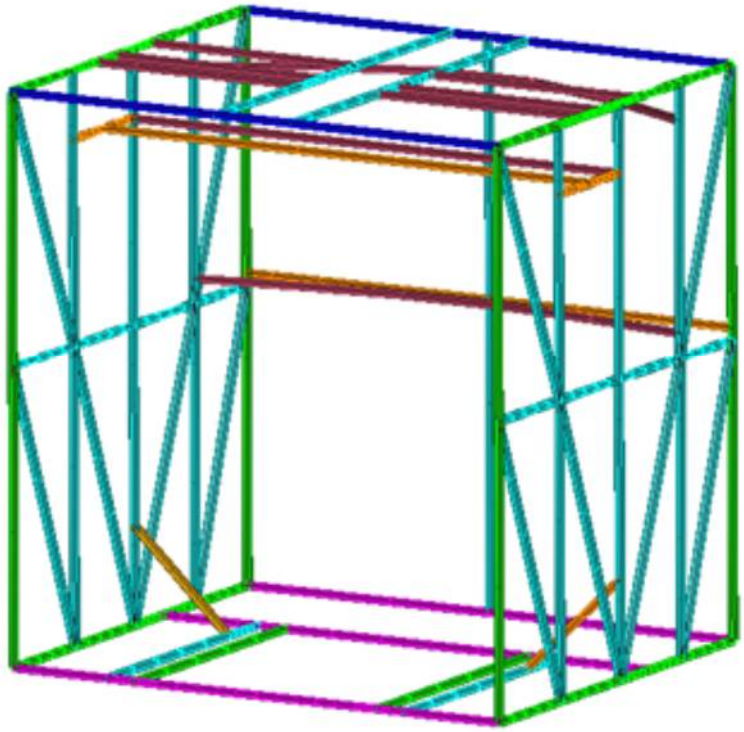


図 4-4　高圧受電盤(DX)　固有モード図（2/3）

３次モード図　　固有周期：0.042（秒）

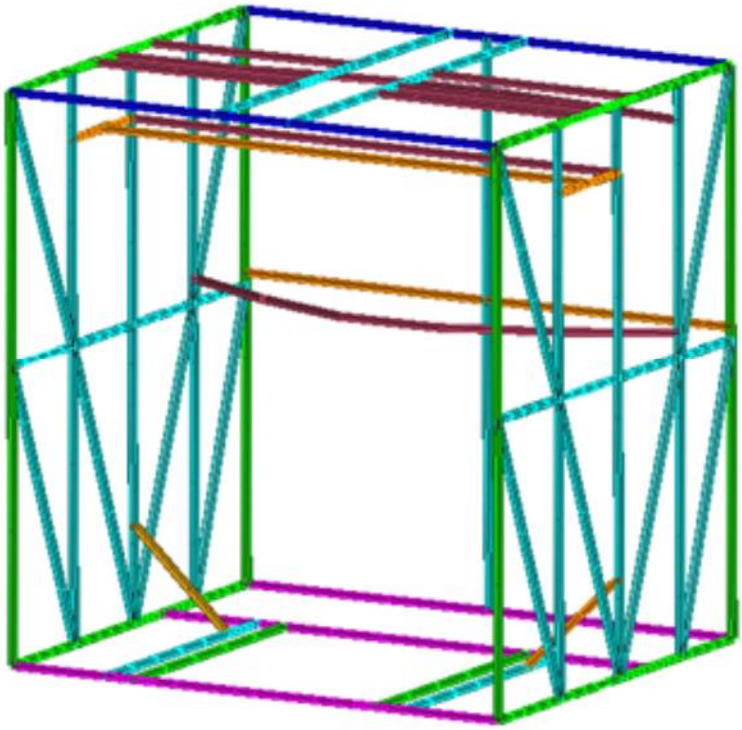


図 4-4　高圧受電盤(DX)　固有モード図（3/3）

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の高圧受電盤(DX)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
高圧受電盤(DX)	本体	曲げ	61	280	0.22
	据付ボルト	引張	80	280	0.29
		せん断	37	161	0.23

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-20

低圧受電盤(DY)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能を構成する低圧受電盤(DY)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

低圧受電盤(DY)の構造強度の評価は,有限要素法(FEM)解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

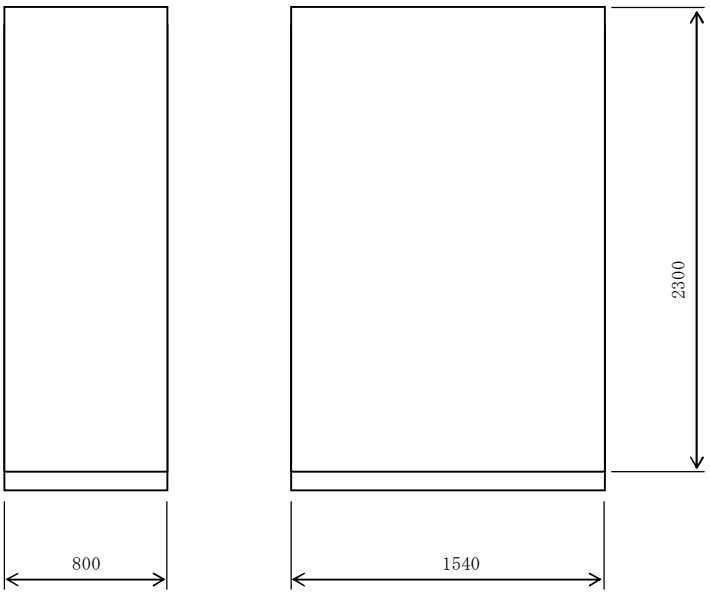
(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987(日本電気協会)
(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008(日本電気協会)
(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012(日本機械学会)
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012(日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa

3. 評価部位

低圧受電盤(DY)の構造強度の評価は，評価上厳しくなる本体，据付ボルトについて実施する。低圧受電盤(DY)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位；mm)

図 3-1　低圧受電盤(DY)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価に当たっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
本体	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
低圧受電盤(DY)	4.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）を作成し，これを評価に用いた。

低圧受電盤(DY)の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（4 階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3　使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
低圧受電盤(DY)	解析用の床応答スペクトル （4 階，減衰定数 4.0 %）	解析用の床応答スペクトル （4 階，減衰定数 1.0 %）

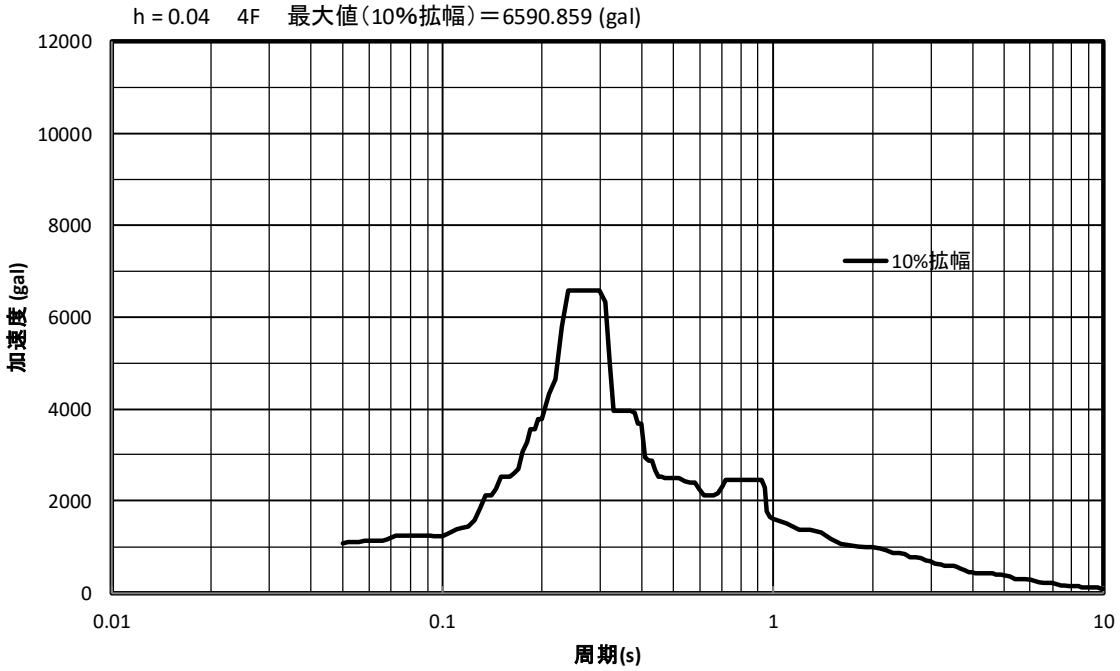


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，4 階，減衰定数 4.0 %）

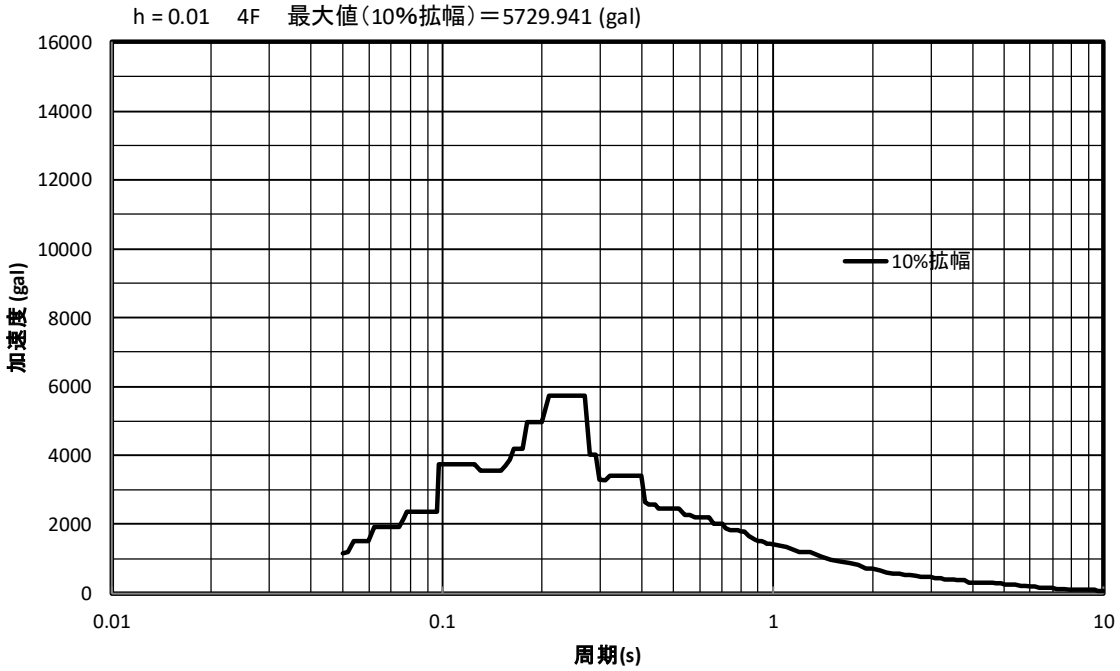


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，4 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

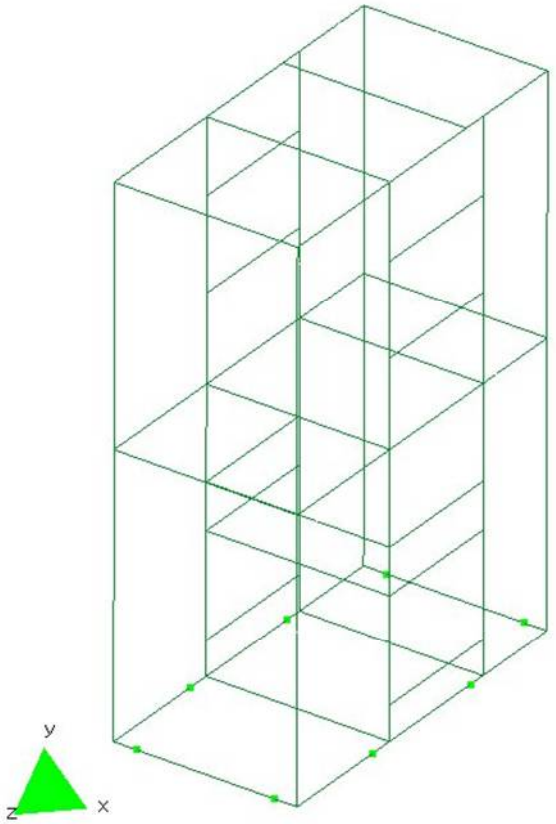
低圧受電盤(DY)の発生応力の計算方法はFEM解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

低圧受電盤(DY)の解析モデルを図4-3に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。



拘束条件　　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト (8 箇所)	○	○	○	－	－	－

図 4-3　低圧受電盤(DY)の解析モデル

4.6.2　諸元

低圧受電盤(DY)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
低圧受電盤(DY)	安全上の機能	崩壊熱除去機能 閉じ込め機能
	外形寸法（縦）	1540（mm）
	外形寸法（横）	800（mm）
	外形寸法（高さ）	2300（mm）
	本体材質	SS400
	本体温度	40（℃）
	据付ボルト呼び径	M12
	据付ボルト有効断面積※	84.3（mm^2）
	据付ボルト材質	SS400
	据付ボルト温度	40（℃）
	総質量	500（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7　固有周期

低圧受電盤(DY)の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

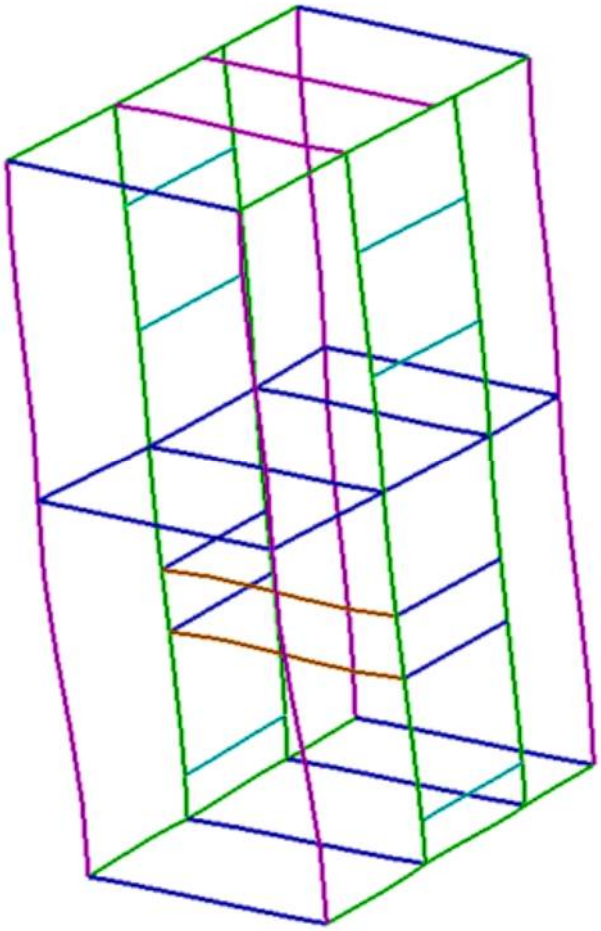
１次モード図　　固有周期：0.080（秒）


図 4-4　低圧受電盤(DY)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.044（秒）

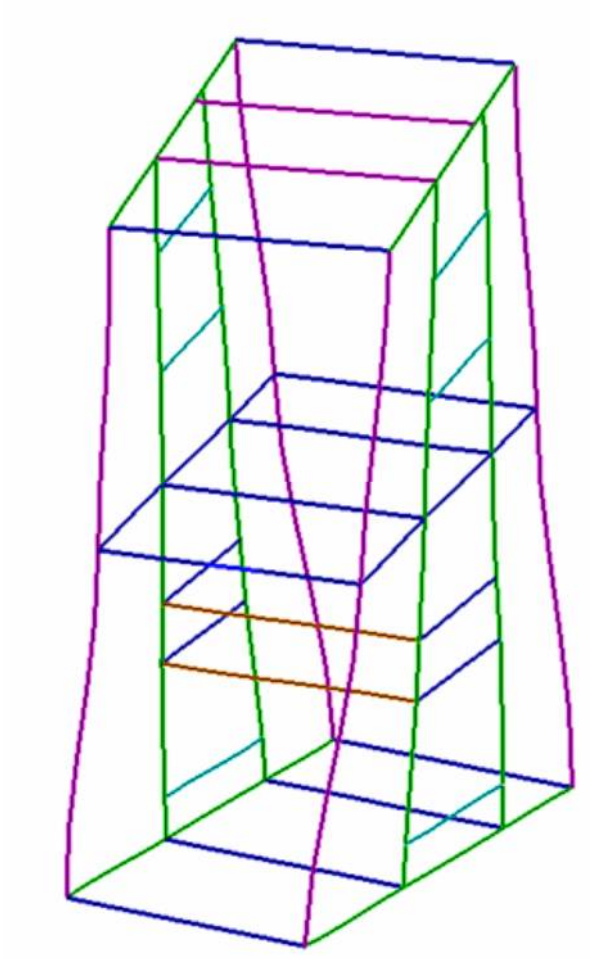


図 4-4　低圧受電盤(DY)　固有モード図（2/3）

３次モード図　　固有周期：0.042（秒）

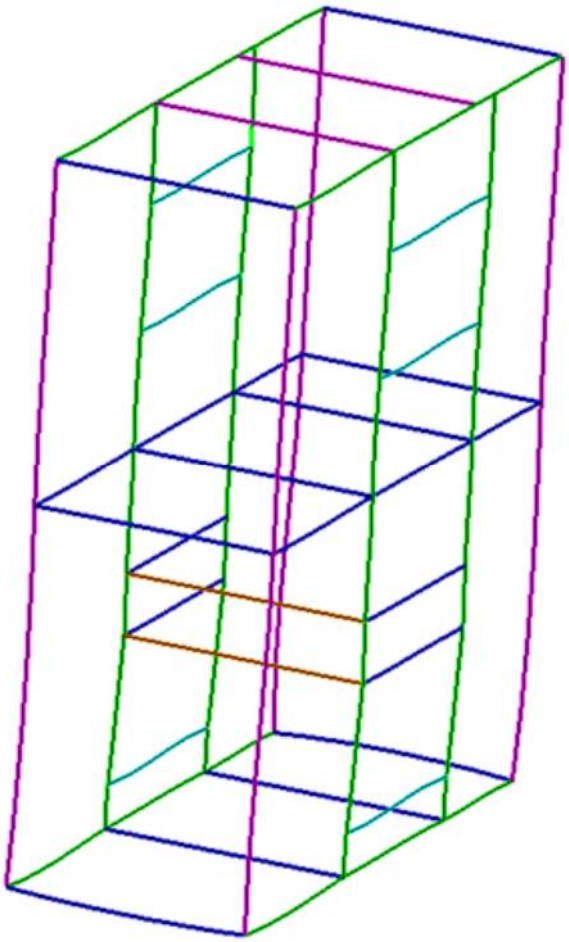


図 4-4　低圧受電盤(DY)　固有モード図（3/3）

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の低圧受電盤(DY)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
低圧受電盤(DY)	本体	曲げ	39	280	0.14
	据付ボルト	引張	41	280	0.15
		せん断	19	161	0.12

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

動力分電盤(HM-1,HM-2)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能を構成する動力分電盤(HM-1,HM-2)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

動力分電盤(HM-1,HM-2)の構造強度の評価は,有限要素法（FEM）解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

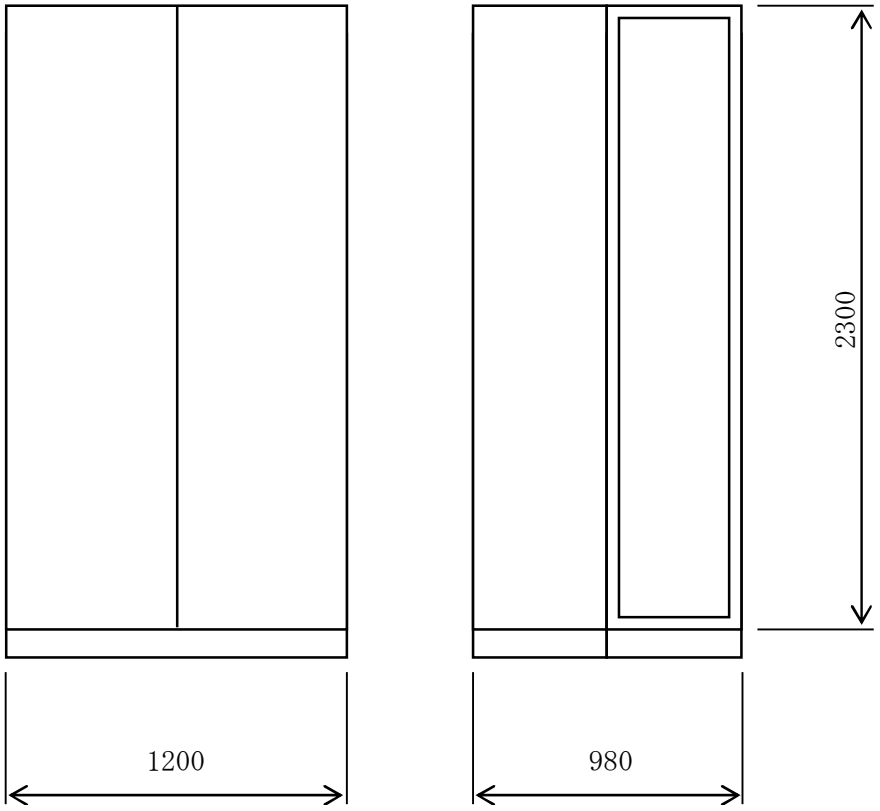
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa

3. 評価部位

動力分電盤(HM-1,HM-2)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる本体,据付ボルトとする。動力分電盤(HM-1,HM-2)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位; mm)

図 3-1　動力分電盤(HM-1,HM-2)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価に当たっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
本体	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
動力分電盤 (HM-1,HM-2)	4.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）を作成し，これを評価に用いた。

動力分電盤(HM-1,HM-2)の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（3 階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3　使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
動力分電盤 (HM-1,HM-2)	解析用の床応答スペクトル （3 階，減衰定数 4.0 %）	解析用の床応答スペクトル （3 階，減衰定数 1.0 %）

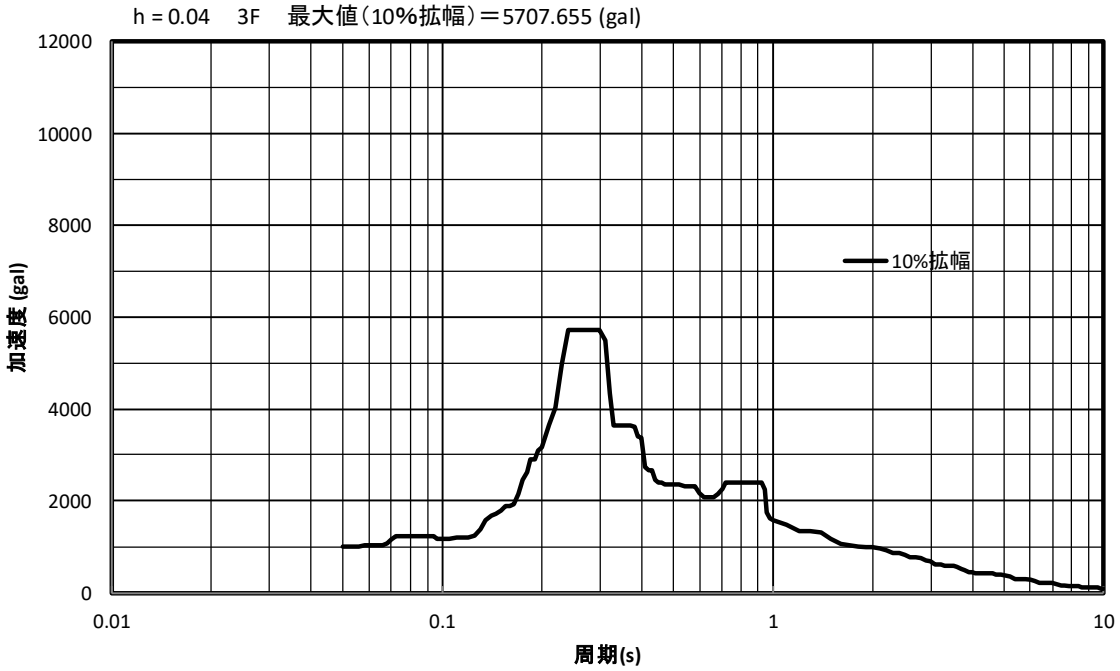


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，3 階，減衰定数 4.0 %）

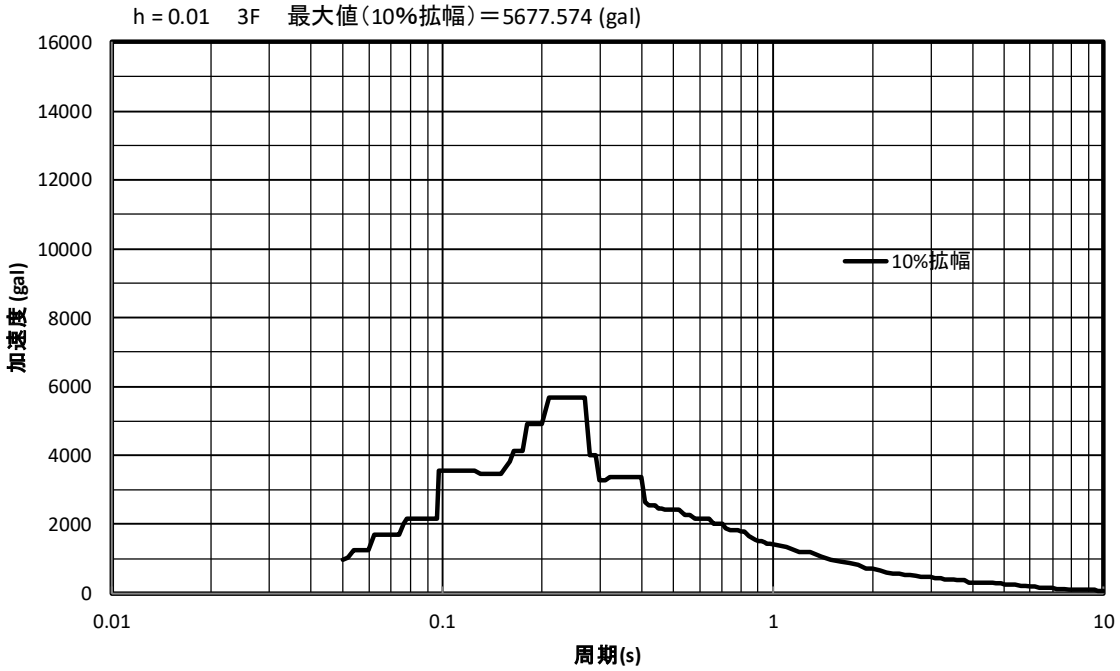


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，3 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

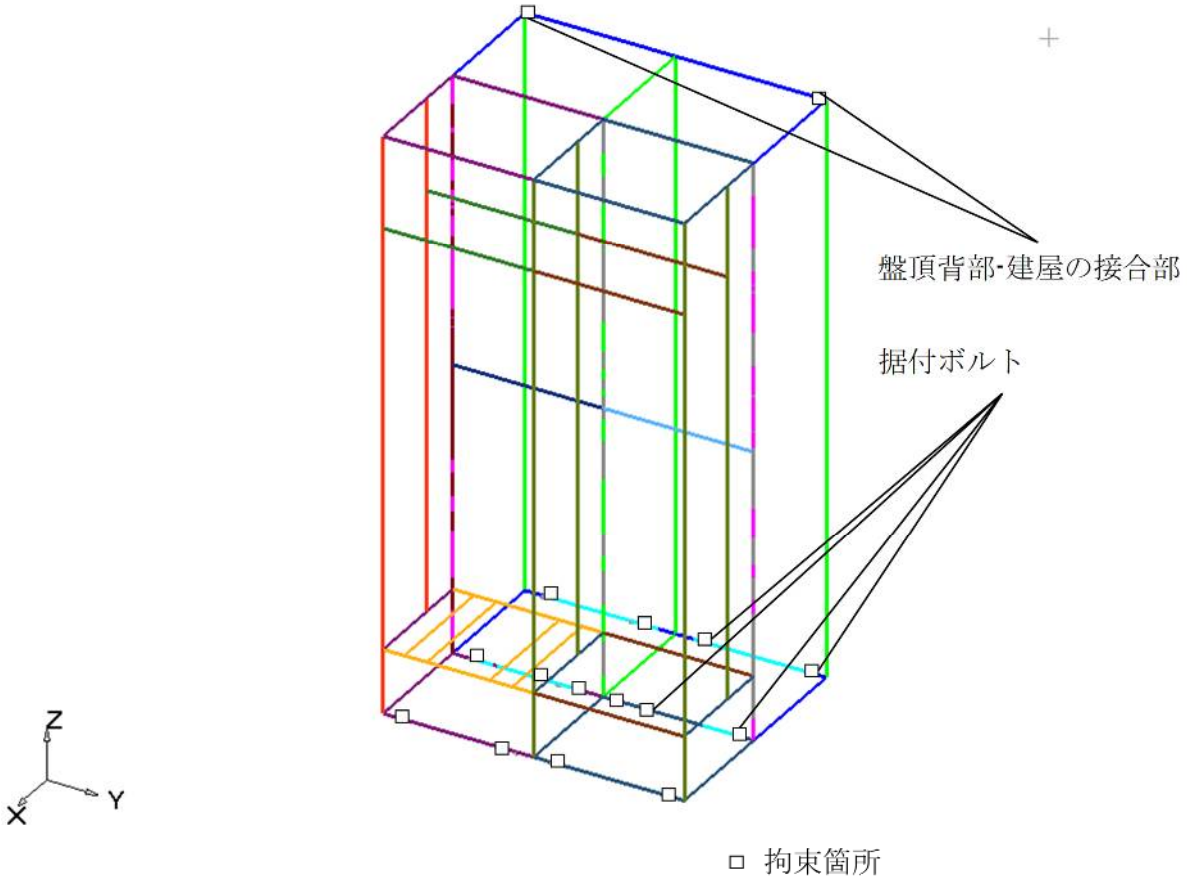
動力分電盤(HM-1,HM-2)の発生応力の計算方法はFEM解析(スペクトルモーダル法)を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

動力分電盤(HM-1,HM-2)の解析モデルを図 4-3 に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。



拘束条件	○：固定，－：フリー

図 4-3　動力分電盤(HM-1,HM-2)の解析モデル

4.6.2　諸元

動力分電盤(HM-1,HM-2)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
動力分電盤 (HM-1,HM-2)	安全上の機能	崩壊熱除去機能 閉じ込め機能
	外形寸法（縦）	980（mm）
	外形寸法（横）	1200（mm）
	外形寸法（高さ）	2300（mm）
	本体材質	SS400
	本体温度	40（℃）
	据付ボルト呼び径	M12
	据付ボルト有効断面積※	84.3（mm^2）
	据付ボルト材質	SS400
	据付ボルト温度	40（℃）
	総質量	約 780（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7　固有周期

動力分電盤(HM-1,HM-2)の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

１次モード図　　固有周期：0.101（秒）

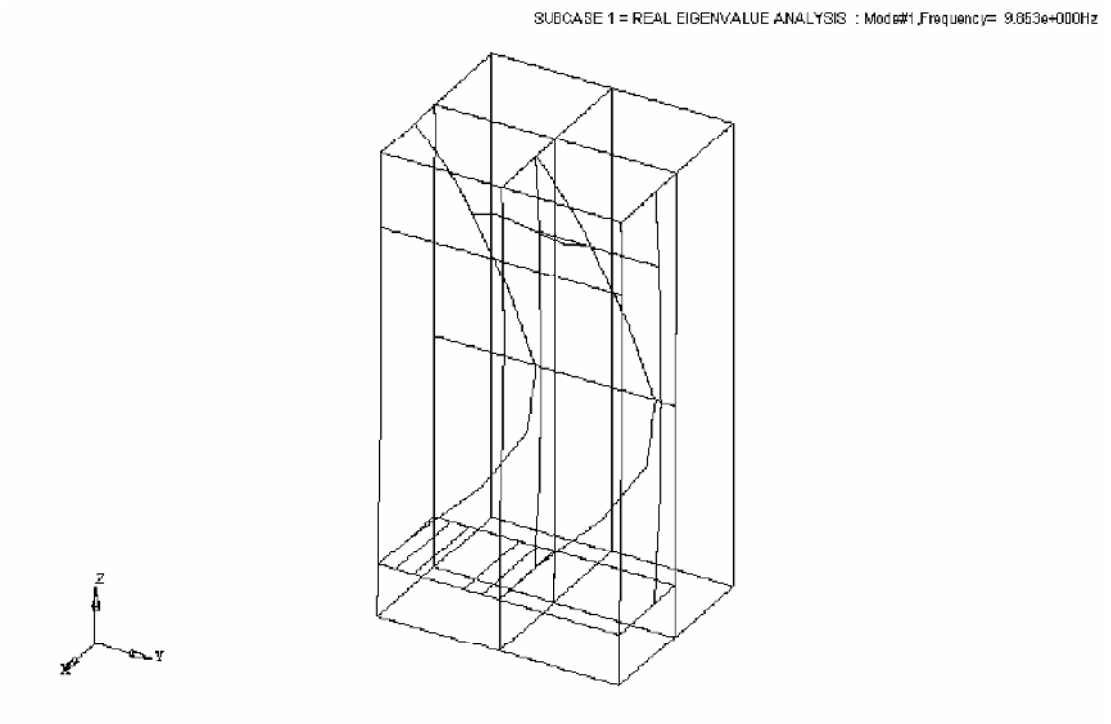


図 4-4　動力分電盤(HM-1,HM-2)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.091（秒）

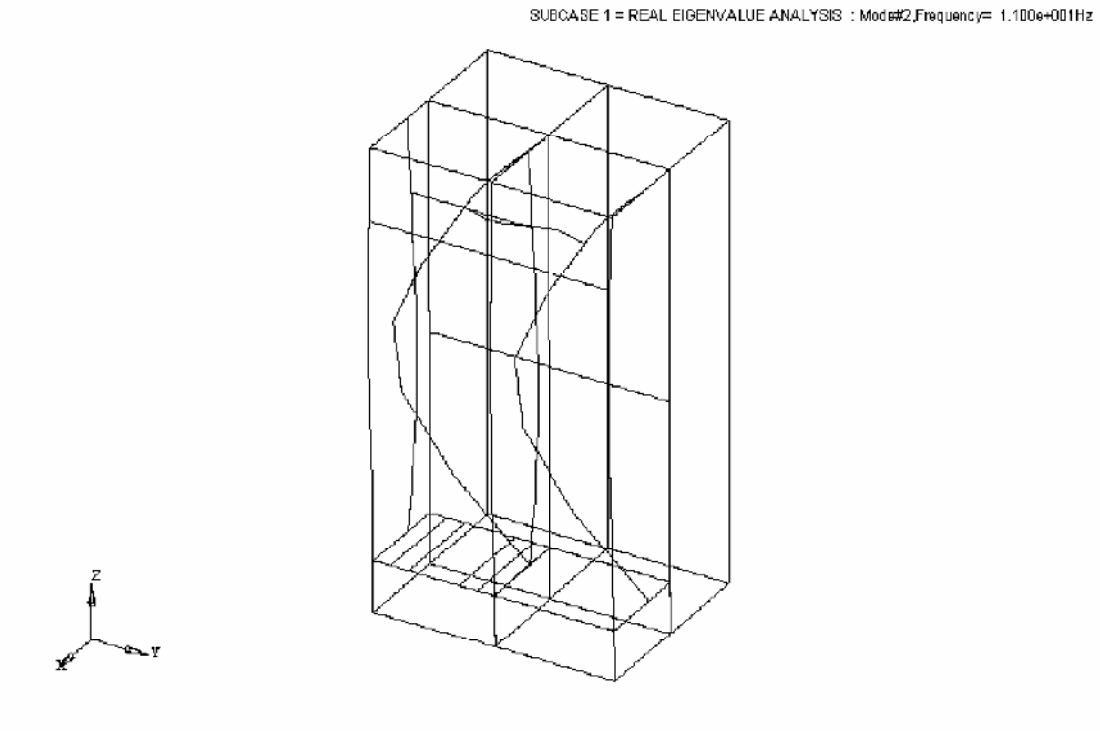


図 4-4　動力分電盤(HM-1,HM-2)　固有モード図 (2/3)

３次モード図　　固有周期：0.073（秒）

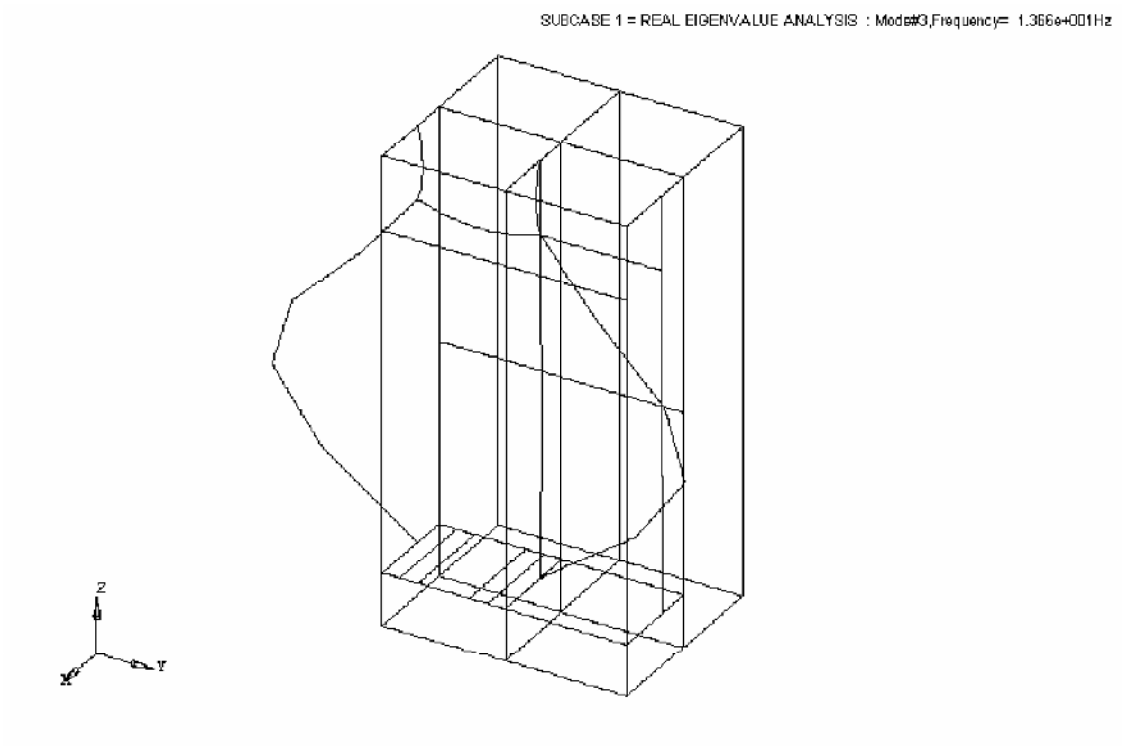


図 4-4　動力分電盤(HM-1,HM-2)　固有モード図（3/3）

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の動力分電盤(HM-1,HM-2)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
動力分電盤(HM-1,HM-2)	本体	曲げ	134	280	0.48
	据付ボルト	引張	16	280	0.06
		せん断	5	161	0.04

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-22

熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,
H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)
の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355, H364,H365)の構造強度の評価は,有限要素法(FEM)解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987(日本電気協会)

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008(日本電気協会)

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012(日本機械学会)

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012(日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa

3. 評価部位

熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなるフレーム,据付ボルトとする。熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の概要図を図3-1に示す。

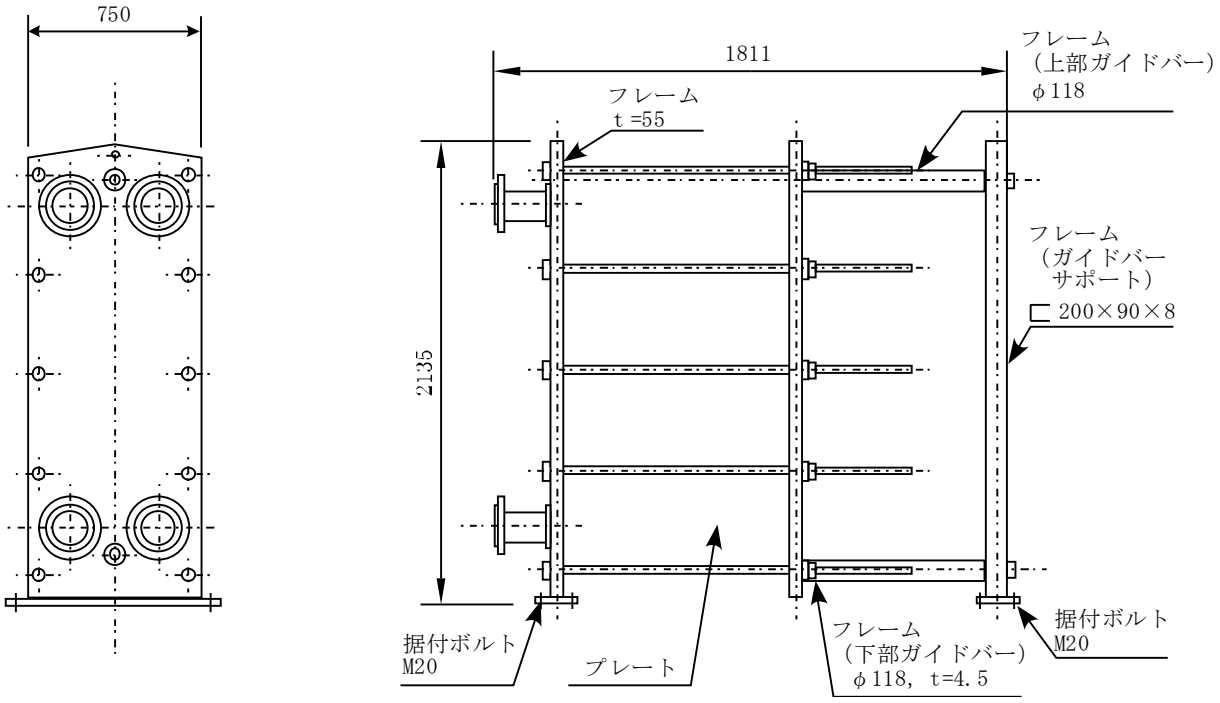


図 3-1　熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
フレーム	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
熱交換器 (272H314,H315,H324,H325,H334,H335, H344,H345,H354,H355,H364,H365)	1.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの）を作成し，これを評価に用いた。

熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の解析用の床応答スペクトルは，機器据付階（3 階）のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-3，図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-3　使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
熱交換器 (272H314,H315,H324,H325, H334,H335,H344,H345, H354,H355,H364,H365)	解析用の床応答スペクトル (3 階，減衰定数 1.0 %)	解析用の床応答スペクトル (3 階，減衰定数 1.0 %)

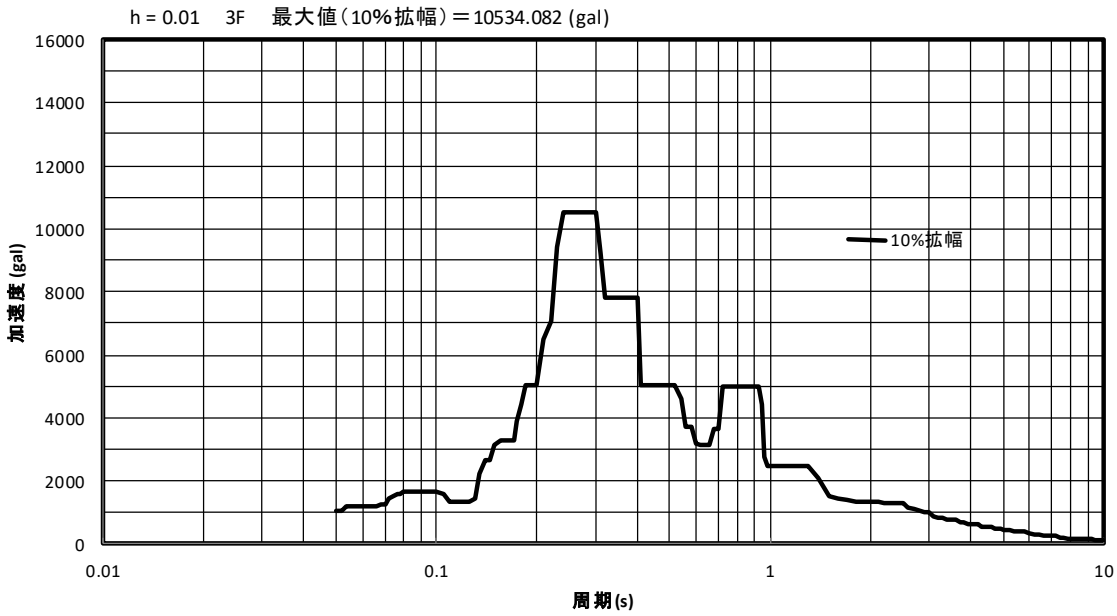


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，3 階，減衰定数 1.0 %）

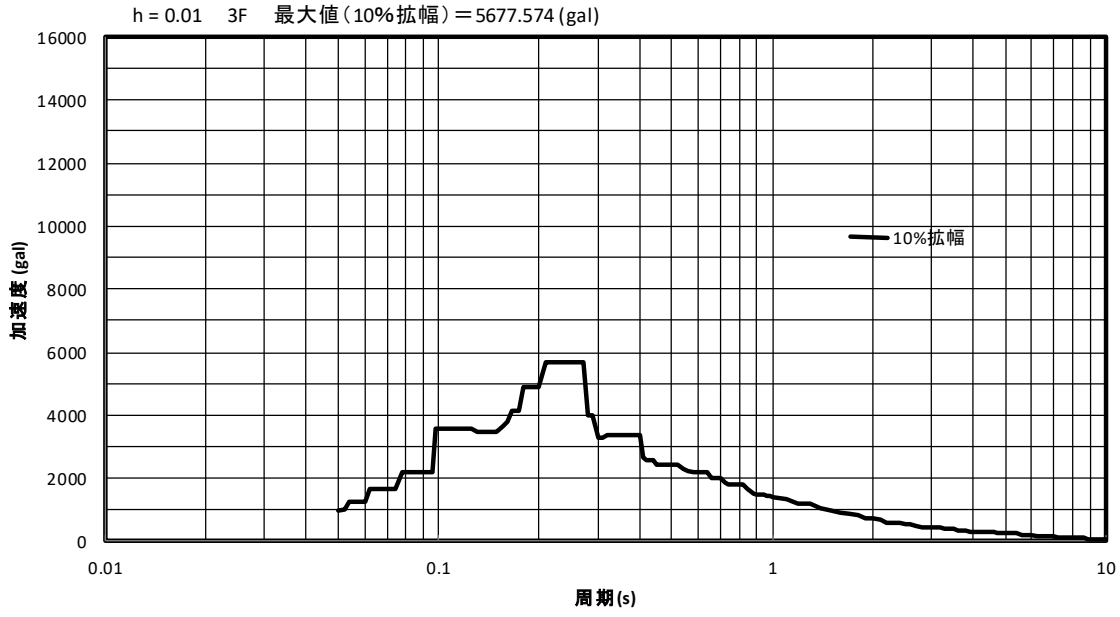


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，3 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

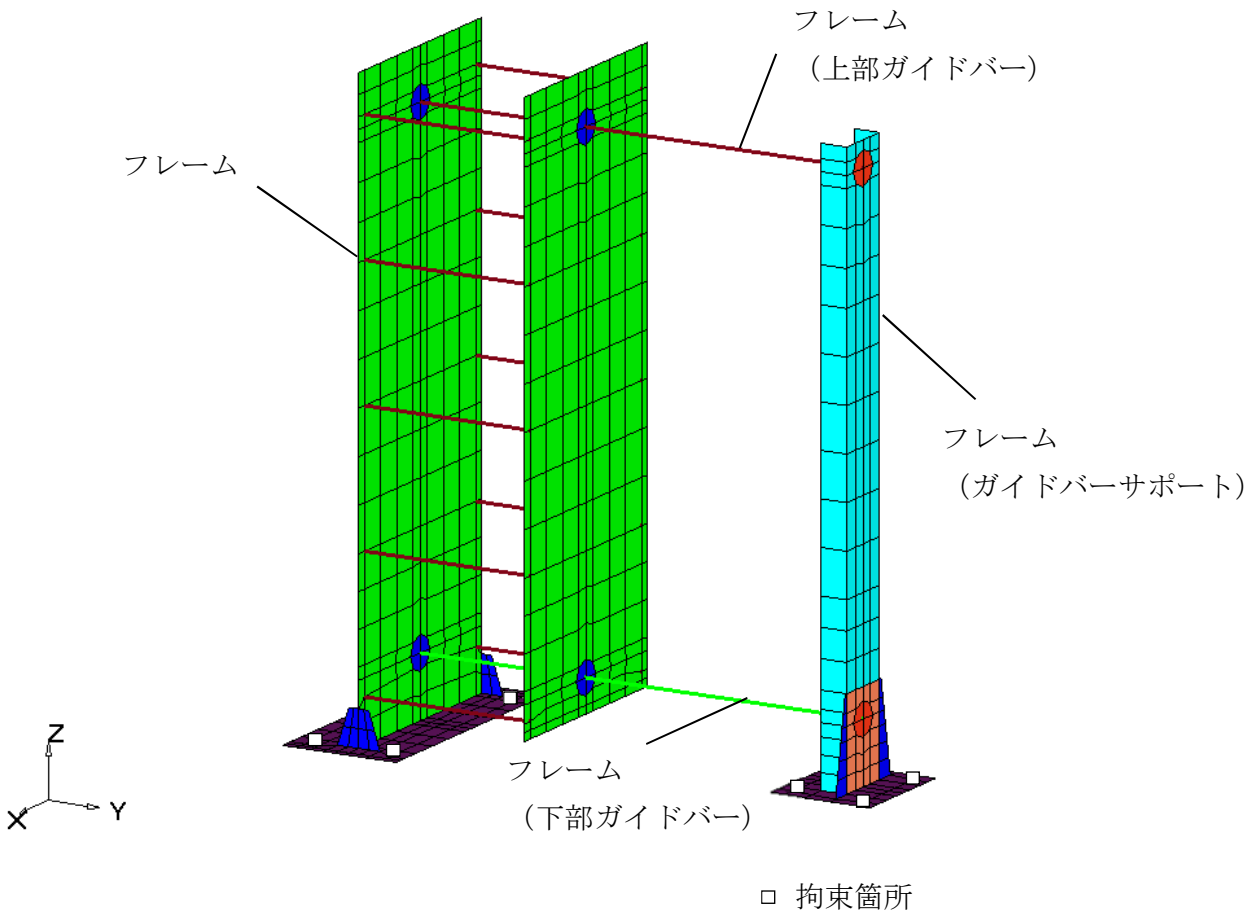
熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の発生応力の計算方法はFEM解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードはFINAS※1を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS汎用非線形構造解析システム Version 21.0”.

4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の解析モデルを図4-3に示す。FEM解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。



拘束条件　　○:固定，－：フリー

部位	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	－	－	－

図 4-3　熱交換器(272H314, H315, H324, H325, H334, H335, H344, H345, H354, H355, H364, H365)の解析モデル

4.6.2　諸元

熱交換器(272H314, H315, H324, H325, H334, H335, H344, H345, H354, H355, H364, H365)の主要寸法・仕様を表 4-4 に示す。

表 4-4　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
熱交換器 (272H314,H315 H324,H325, H334,H335 H344,H345 H354,H355 H364,H365)	安全上の機能	崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	本体横	1811 (mm)
	本体縦	750 (mm)
	本体高さ	2135 (mm)
	本体材質	SS400
	本体温度（設計温度）	50 (℃)
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト有効断面積※	245 (mm^2)
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度（設計温度）	50 (℃)
	総質量	約 2350 (kg)

※ JIS B 0205 に基づく。

4.7　固有周期

熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の固有周期及び固有モードを図 4-4 に示す。

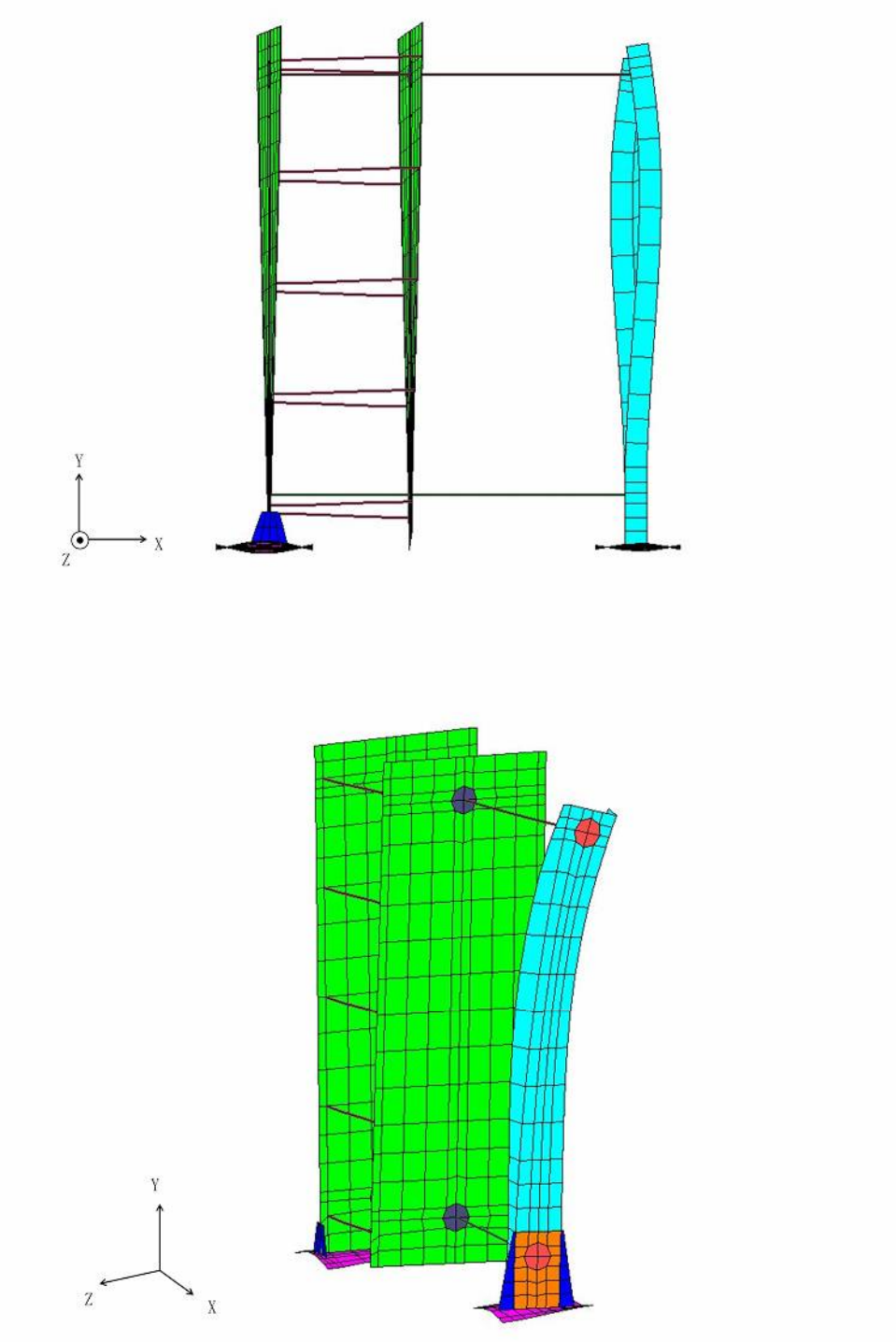
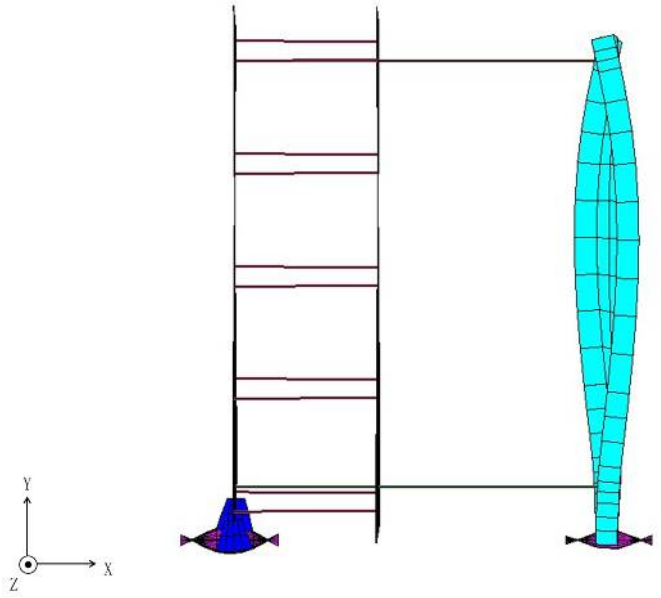
1次モード図　　固有周期：0.424（秒）


図 4-4　熱交換器(272H314, H315, H324, H325, H334, H335, H344, H345, H354, H355, H364, H365)　固有モード図（1/3）

２次モード図　　固有周期：0.244（秒）



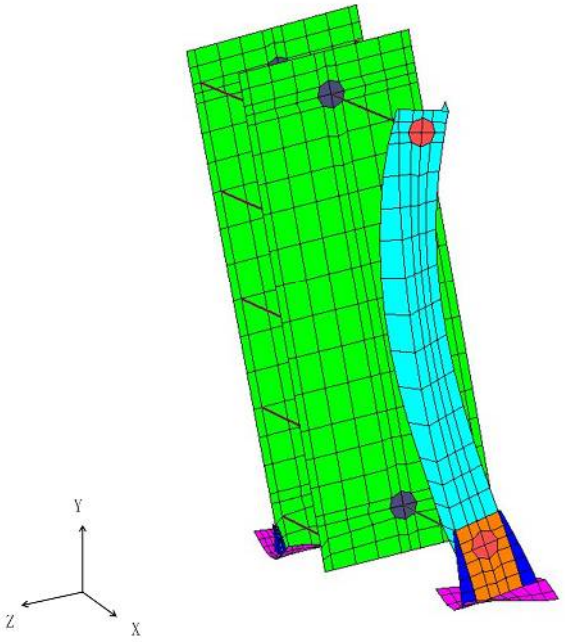


図 4-4　熱交換器(272H314, H315, H324, H325, H334, H335, H344, H345, H354, H355, H364, H365)　固有モード図（2/3）

３次モード図　　固有周期：0.094（秒）

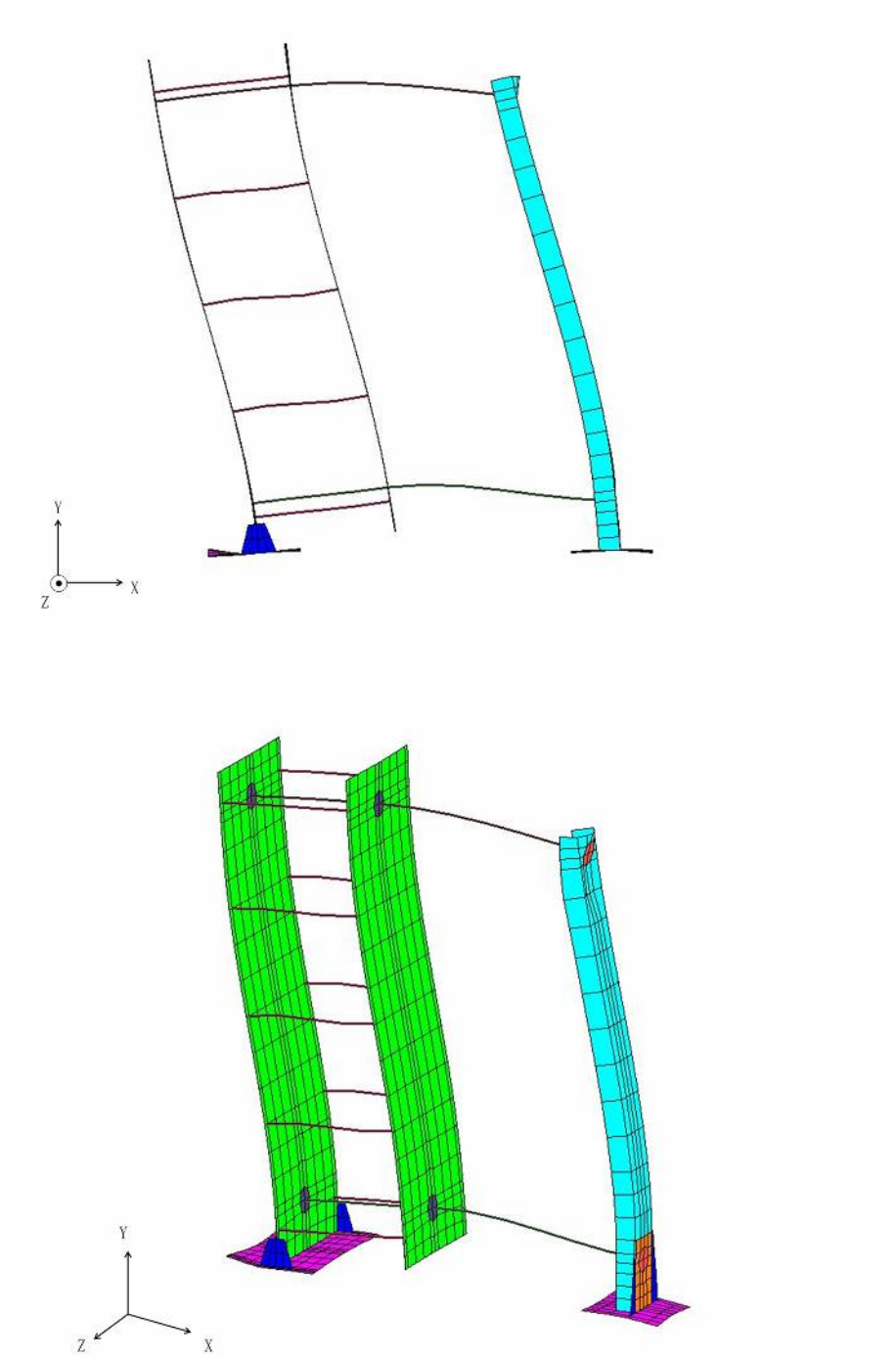


図 4-4　熱交換器(272H314, H315, H324, H325, H334, H335, H344, H345, H354, H355, H364, H365)　固有モード図（3/3）

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の熱交換器(272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
熱交換器 (272H314,H315,H324,H325,H334,H335,H344,H345,H354,H355,H364,H365)	フレーム	一次	112	253	0.45
	据付ボルト	引張	109	246	0.45
		せん断	37	142	0.27

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-23

一次系の送水ポンプ(272P3161, P3162, P3261, P3262, P3361, P3362, P3461, P3462, P3561, P3562, P3661, P3662)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362, P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の構造強度の評価は，鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

また，当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は，廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法によ

り組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462, P3561,P3562,P3661,P3662)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（3F，水平方向：1.18，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

一次系の送水ポンプ(272P3161, P3162, P3261, P3262, P3361, P3362, P3461, P3462, P3561, P3562, P3661, P3662)の発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）：

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）：

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

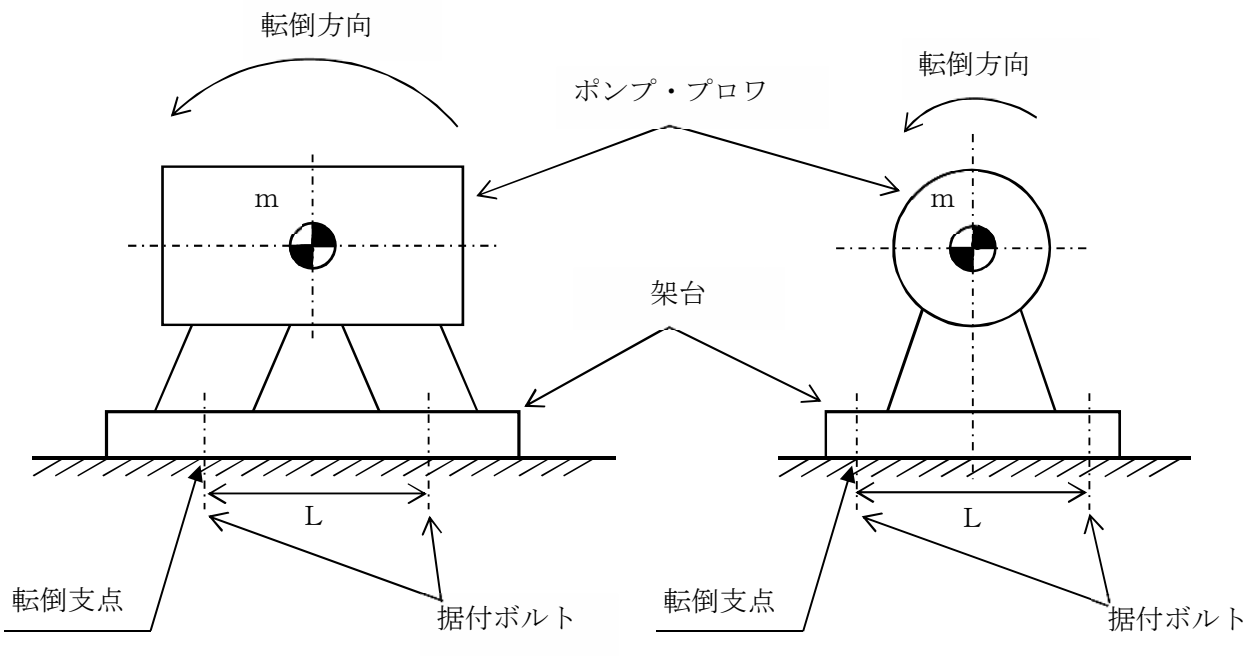
せん断応力（τ_b）：

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい軸直角方向に対して行う。



（a）軸方向転倒モデル　　（b）軸直角方向転倒モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	350 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M12
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	50(℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	330 (mm)
	ポンプ振動による震度	C_P	0.16
	ポンプ回転により働くモーメント	M_P	0 (N・mm)
	総質量	m	315 (kg)

4.6　固有周期

一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
一次系の送水ポンプ (272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362, P3461,P3462,　P3561,P3562,P3661,P3662)	0.05（秒)以下

5. 機能維持評価

5.1　動的機能維持評価方法

一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の地震時及び地震後の動的機能維持評価について，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの評価方法を準用し，廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)
一次系の送水ポンプ (272P3161,P3162, P3261,P3262, P3361,P3362, P3461,P3462, P3561,P3562, P3661,P3662)	横形単段遠心式	水平	1.4
		鉛直	1.0

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

また，動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動により一次系の送水ポンプ(272P3161,P3162,P3261,P3262,P3361,P3362,P3461,P3462,P3561,P3562,P3661,P3662)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
一次系の送水ポンプ (272P3161,P3162, P3261,P3262, P3361,P3362, P3461,P3462, P3561,P3562, P3661,P3662)	据付ボルト	引張	13	276	0.05
		せん断	10	159	0.07

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

表 6-2　動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 ($\times 9.8\ m/s^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8\ m/s^2$)
一次系の送水ポンプ (272P3161,P3162, P3261,P3262, P3361,P3362, P3461,P3462, P3561,P3562, P3661,P3662)	水平	0.98	1.4
	鉛直	0.66	1.0

別紙 6-1-2-3-3-24

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)

の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する一次系の予備循環ポンプ(272P3061, P3062)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の構造強度の評価は,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

また,当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は,廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）
(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）
(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表4-2に示す。一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（3F，水平方向：1.18，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

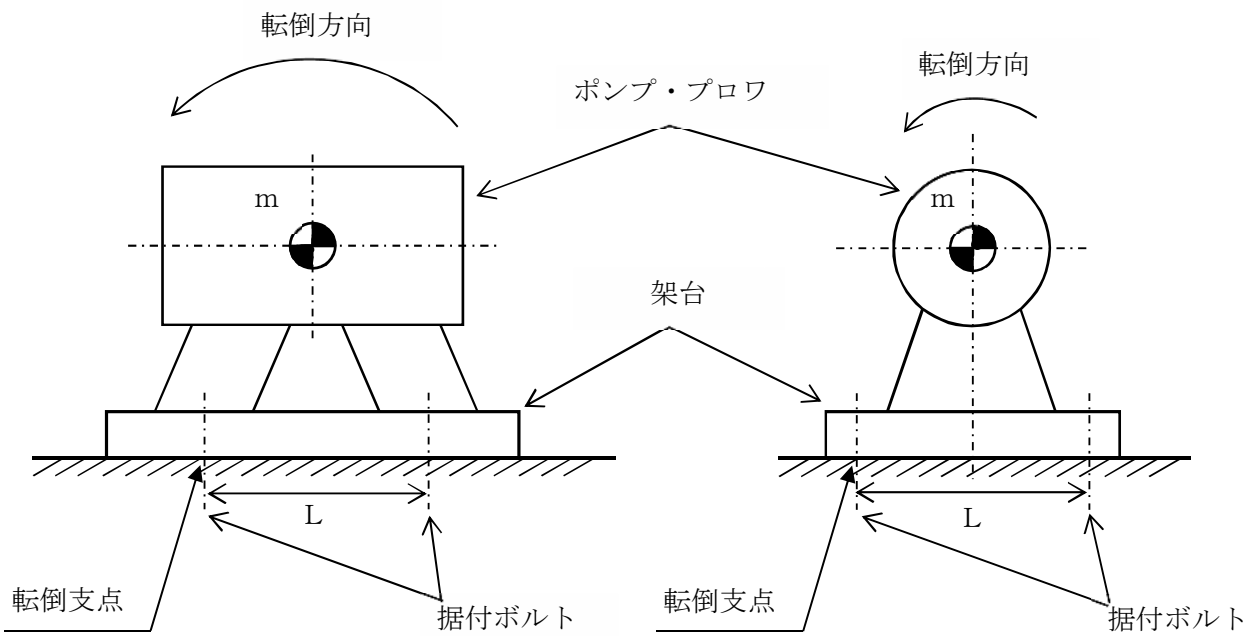
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい軸直角方向に対して行う。



（ａ）軸方向転倒モデル　　（ｂ）軸直角方向転倒モデル

図 4-1 解析モデル

4.5.2　諸元

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	450 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	45 (℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	355 (mm)
	ポンプ振動による震度	C_P	0.16
	ポンプ回転により働くモーメント	M_P	0 (N・mm)
	総質量	m	505 (kg)

4.6　固有周期

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)	0.05 (秒)以下

5. 機能維持評価

5.1　動的機能維持評価方法

一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の地震時及び地震後の動的機能維持評価について,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの評価方法を準用し,廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8\ m/s^2$)
一次系の予備循環ポンプ (272P3061,P3062)	横形単段遠心式	水平	1.4
		鉛直	1.0

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

また，動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動により一次系の予備循環ポンプ(272P3061,P3062)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
一次系の予備循環ポンプ (272P3061,P3062)	据付ボルト	引張	12	278	0.05
		せん断	11	160	0.07

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

表 6-2　動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 ($\times 9.8\ m/s^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8\ m/s^2$)
一次系の予備循環ポンプ (272P3061,P3062)	水平	0.98	1.4
	鉛直	0.66	1.0

別紙 6-1-2-3-3-25

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)

の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の構造強度の評価は，鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

また，当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は，廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（5F，水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は,算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

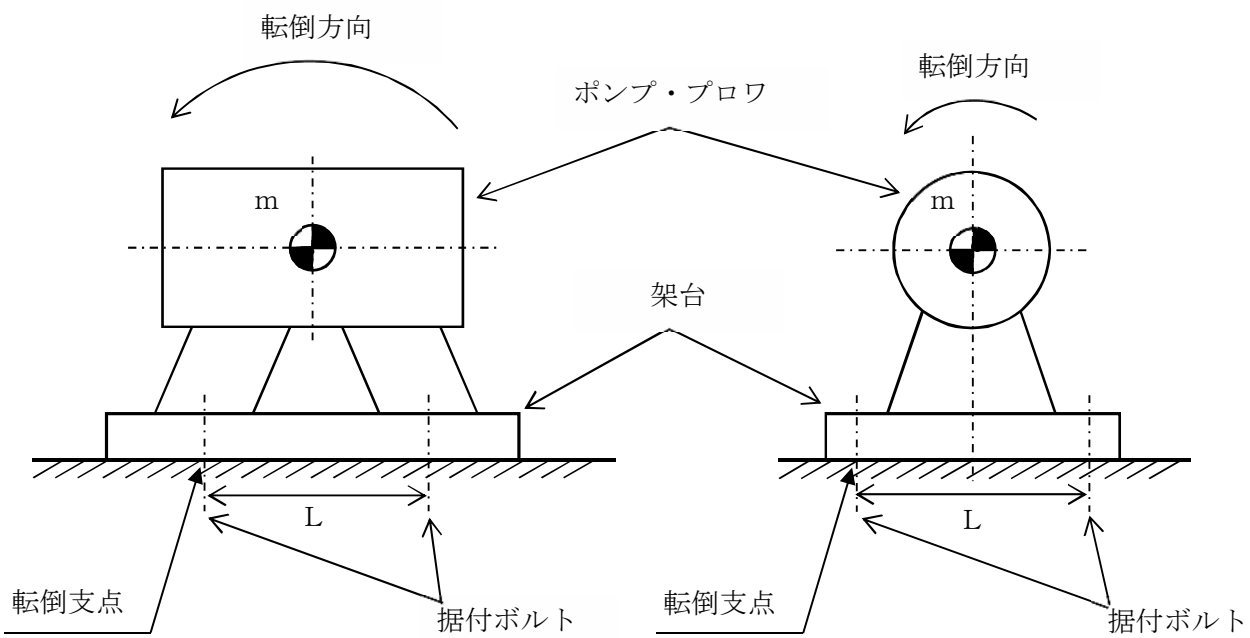
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい軸直角方向に対して行う。



（ａ）軸方向転倒モデル　　（ｂ）軸直角方向転倒モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
二次系の送水ポンプ (272P8160,P8161, P8162,P8163)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	500 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	380(mm)
	ポンプ振動による震度	C_P	0.16
	ポンプ回転により働くモーメント	M_P	0 (N・mm)
	総質量	m	575 (kg)

4.6　固有周期

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
二次系の送水ポンプ (272P8160,P8161,P8162,P8163)	0.05（秒)以下

5. 機能維持評価

5.1　動的機能維持評価方法

二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の地震時及び地震後の動的機能維持評価について,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの評価方法を準用し,廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)
二次系の送水ポンプ (272P8160,P8161,P8162,P8163)	横形単段遠心式	水平	1.4
		鉛直	1.0

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

また，動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動により二次系の送水ポンプ(272P8160,P8161,P8162,P8163)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
二次系の送水ポンプ (272P8160,P8161, P8162,P8163)	据付ボルト	引張	9	280	0.04
		せん断	10	161	0.07

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

表 6-2　動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 ($\times 9.8$ m/s^2)	機能確認済加速度 ($\times 9.8$ m/s^2)
二次系の送水ポンプ (272P8160,P8161, P8162,P8163)	水平	1.14	1.4
	鉛直	0.67	1.0

別紙 6-1-2-3-3-26

冷却塔(272H81,H82,H83)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する冷却塔(272H81,H82,H83)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

冷却塔(272H81,H82,H83)の構造強度の評価は,有限要素法(FEM)解析により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987(日本電気協会)

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008(日本電気協会)

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012(日本機械学会)

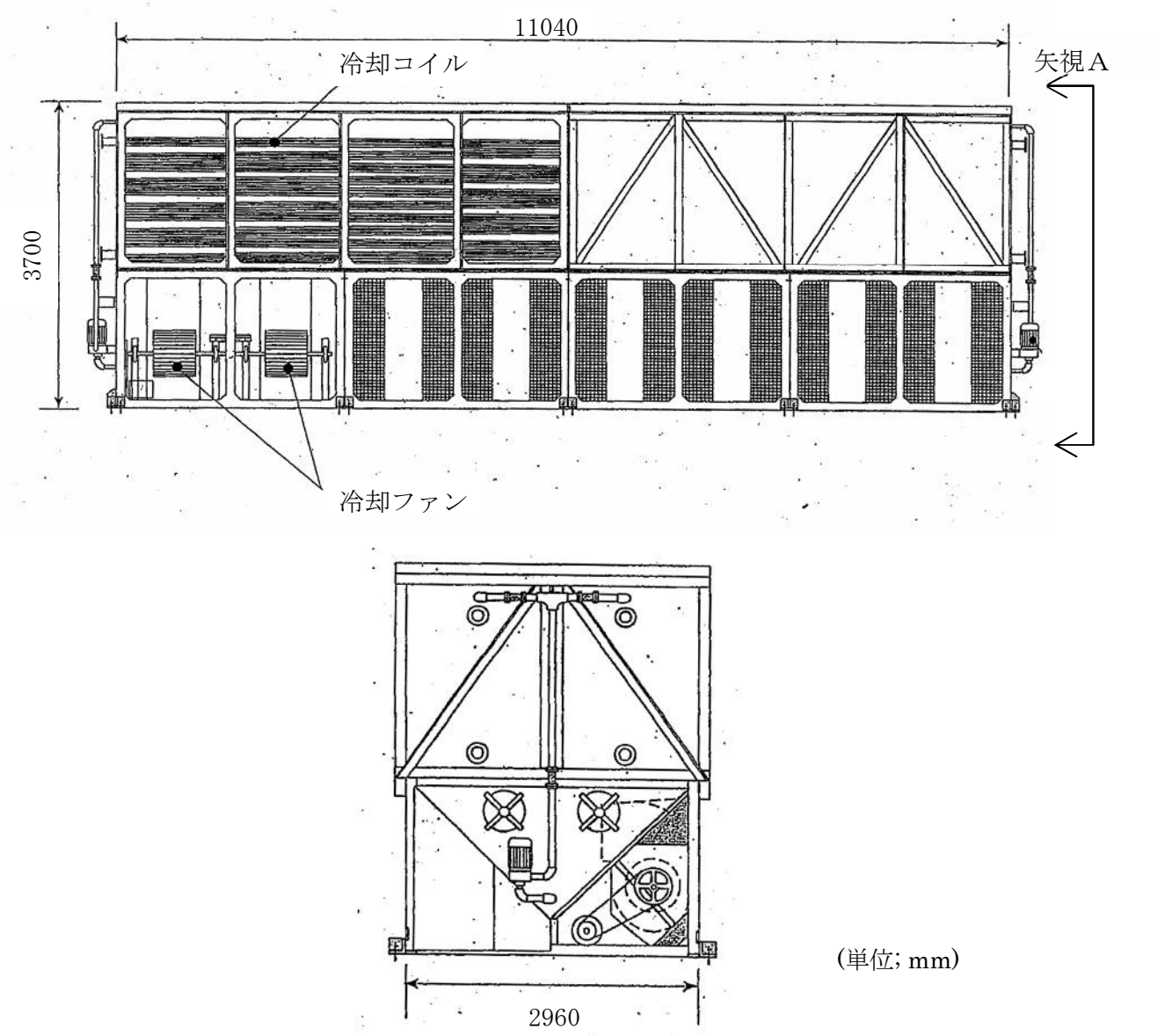
(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012(日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
ft*	JEAC4601-2008 に定める供用状態 Ds での許容引張応力	MPa
fs*	JEAC4601-2008 に定める供用状態 Ds での許容せん断応力	MPa
fc*	JEAC4601-2008 に定める供用状態 Ds での許容圧縮応力	MPa
fb*	JEAC4601-2008 に定める供用状態 Ds での許容曲げ応力	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa

3. 評価部位

冷却塔(272H81,H82,H83)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる本体,据付ボルトとする。冷却塔(272H81,H82,H83)の概要図を図 3-1 に示す。



(単位; mm)

図 3-1　冷却塔(272H81, H82, H83)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類と許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位ごとの応力分類と許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
本体	引張	1.5 ft*
本体	せん断	1.5 fs*
本体	圧縮	1.5 fc*
本体	曲げ	1.5 fb*
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。冷却塔(272H81,H82,H83)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（5F，水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

冷却塔(272H81,H82,H83)の発生応力の計算方法は，FEM 解析（スペクトルモーダル法）を用いた。解析コードは FINAS※1 を用いた。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

※1　MSC Software Corporation, “MSC.Nastran Version 2005r2”.

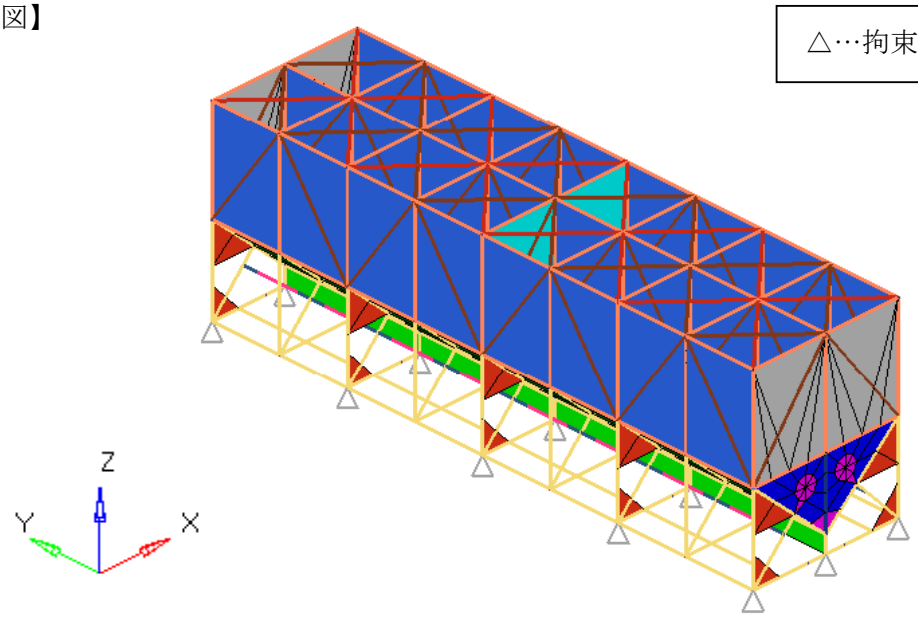
4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

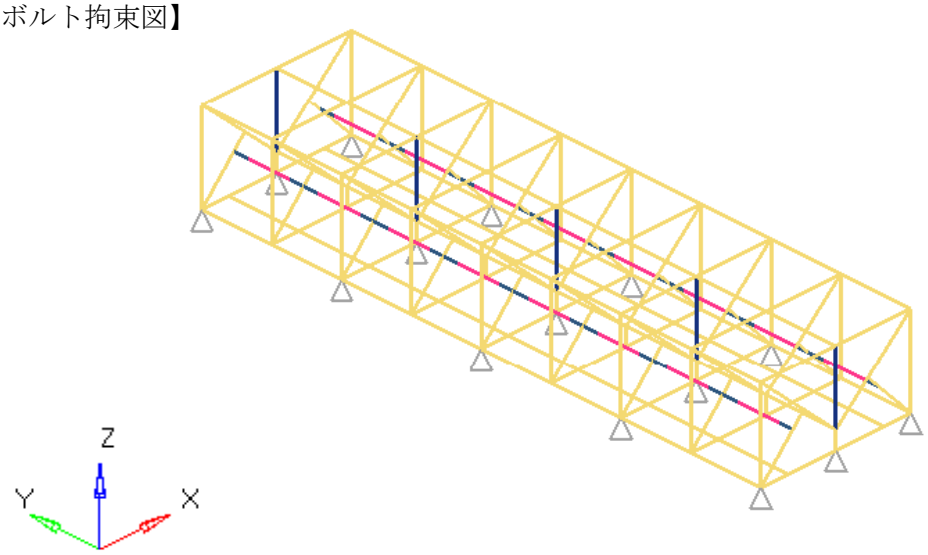
冷却塔(272H81,H82,H83)の解析モデルを図 4-1 に示す。FEM 解析のモデルは，その振動特性に応じ，代表的な振動モードが適切に表現でき，地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

【全体図】

△…拘束点



【据付ボルト拘束図】



拘束条件　○：固定，－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	－	－	－

図 4-1　冷却塔(272H81, H82, H83)の解析モデル

4.5.2　諸元

冷却塔(272H81,H82,H83)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	値
冷却塔 (272H81,H82,H83)	安全上の機能	崩壊熱除去機能
	外形寸法（縦）	2960（mm）
	外形寸法（横）	11040（mm）
	外形寸法（高さ）	3700（mm）
	本体材質	SUS304
	本体温度	40（℃）
	据付ボルト呼び径	M24
	据付ボルト有効断面積※	353（mm^2）
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	40（℃）
	総質量	約 46700（kg）

※ JIS B 0205 に基づく。

4.6　固有周期

冷却塔(272H81,H82,H83)の固有周期及び固有モードを図 4-2 に示す。

1次モード図　　固有周期：0.046（秒）

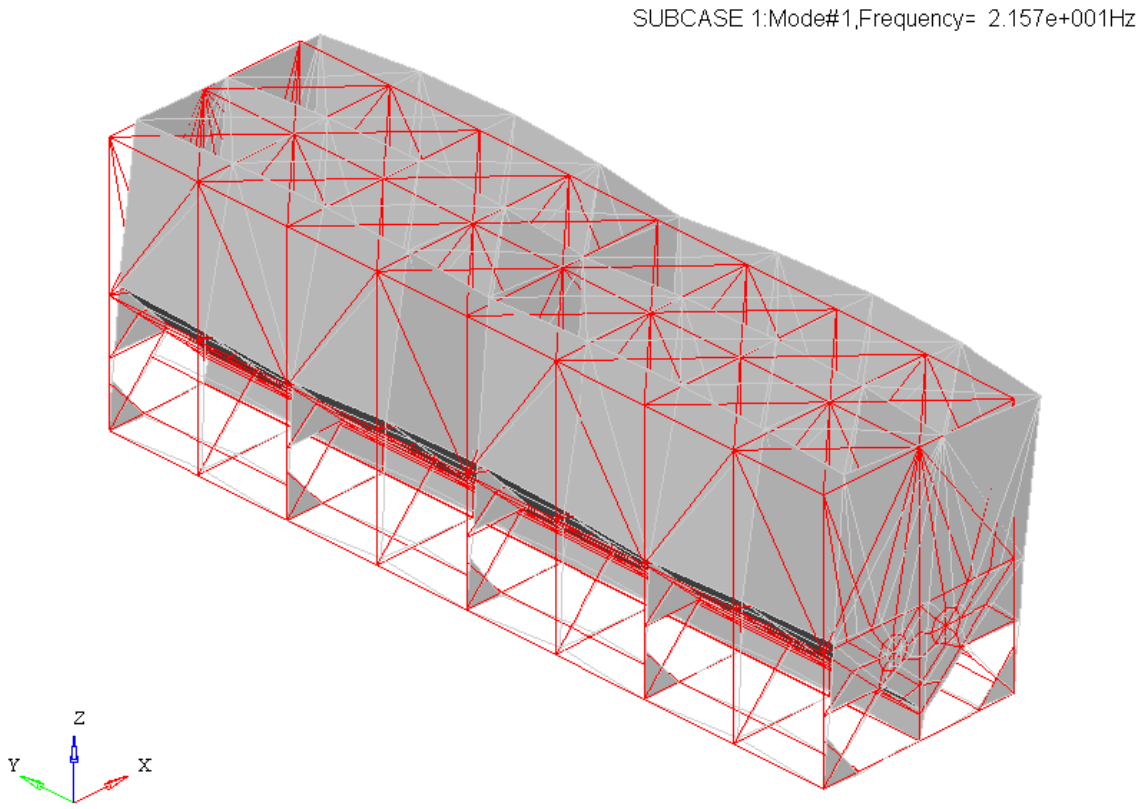


図 4-2　冷却塔(272H81,H82,H83)　固有モード図

5.評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。ボルトの発生応力は，計算から得られるボルト 1 本あたりの最大せん断応力をボルトの有効断面積で割って算出した。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の冷却塔(272H81,H82,H83)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
冷却塔 (272H81,H82,H83)	本体	引張	26	246	0.11
		せん断	9	142	0.07
		圧縮	15	58	0.26
		曲げ	58	246	0.24
	据付ボルト	引張	160	246	0.65
		せん断	118	142	0.83

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-27

浄水ポンプ(272P761,P762)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する浄水ポンプ(272P761,P762)について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

浄水ポンプ(272P761,P762)の構造強度の評価は，鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠し，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

また，当該設備の地震時及び地震後の動的機能の評価は，廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

浄水ポンプ(272P761,P762)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類ごとの許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類ごとの許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。浄水ポンプ(272P761,P762)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（5F，水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

浄水ポンプ(272P761,P762)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

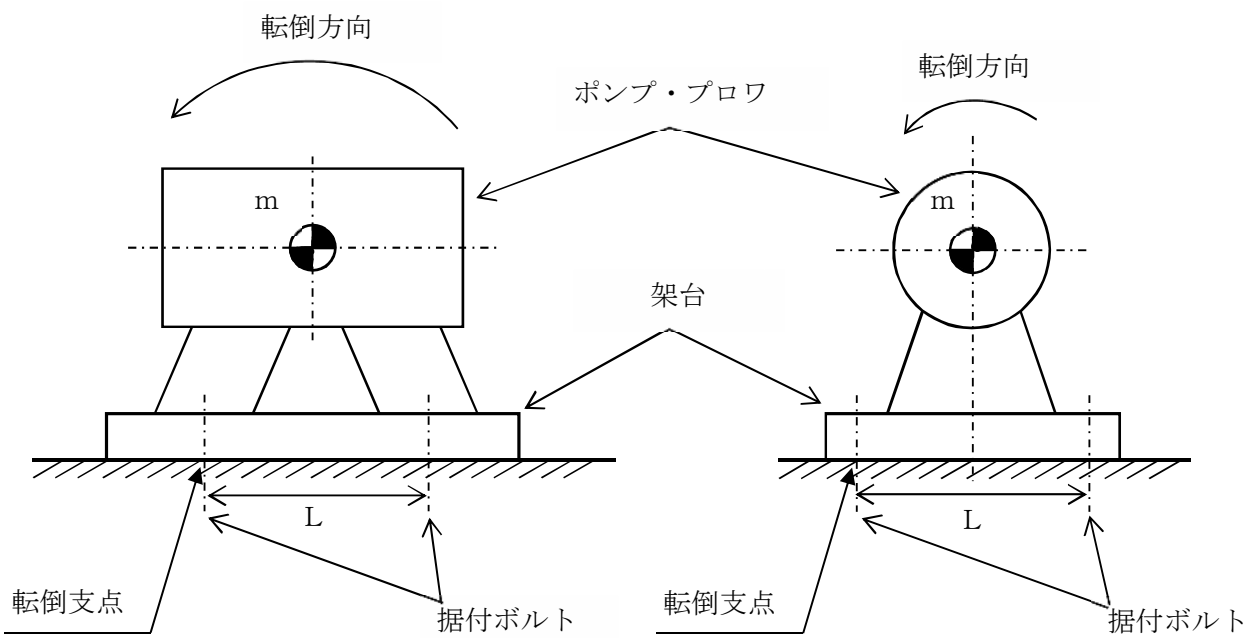
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

浄水ポンプ(272P761,P762)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい軸直角方向に対して行う。



（ａ）軸方向転倒モデル　　（ｂ）軸直角方向転倒モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

浄水ポンプ(272P761,P762)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
浄水ポンプ (272P761,P762)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	300（mm）
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40（℃）
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	300（mm）
	ポンプ振動による震度	C_P	0.16
	ポンプ回転により働くモーメント	M_P	0（N・mm）
	総質量	m	193（kg）

4.6　固有周期

浄水ポンプ(272P761,P762)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

浄水ポンプ(272P761,P762)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
浄水ポンプ(272P761,P762)	0.05 (秒)以下

5. 機能維持評価

5.1　動的機能維持評価方法

浄水ポンプ(272P761,P762)の地震時及び地震後の動的機能維持評価について,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの評価方法を準用し,廃止措置計画用設計地震動により当該設備に作用する加速度と機能確認済加速度を比較することにより評価を行った。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1　機能確認済加速度

評価対象設備	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8\ m/s^2$)
浄水ポンプ(272P761,P762)	横形単段遠心式	水平	1.4
		鉛直	1.0

6. 評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の浄水ポンプ(272P761,P762)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

また，動的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。廃止措置計画用設計地震動により浄水ポンプ(272P761,P762)に作用する加速度は機能確認済加速度以下であることを確認した。

表 6-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
浄水ポンプ (272P761,P762)	据付ボルト	引張	13	280	0.05
		せん断	9	161	0.06

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

表 6-2　動的機能維持評価結果

評価対象設備	方向	廃止措置計画用設計地震動により設備に作用する加速度 (×9.8 m/s^2)	機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)
浄水ポンプ (272P761,P762)	水平	1.14	1.4
	鉛直	0.67	1.0

別紙 6-1-2-3-3-28

浄水受槽(272V76)の耐震性についての計算書

1. 概要

廃高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する浄水受槽(272V76)について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

浄水受槽(272V76)の構造強度の評価は，鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の平底たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_t	据付ボルト計算における係数	—
D_c	据付ボルトのピッチ円直径	mm
Do	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_t	据付ボルトに作用する引張力	N
K_l	第 1 脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/mm
l_g	基礎から容器重心までの距離	mm
m_0	容器の運転時質量	kg
n	脚 1 個当たりの据付ボルトの本数	—
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t_1	据付ボルト面積相当板幅	mm
T_1	水平方向（長手方向）固有周期	s
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ一次一般膜応力（圧縮側）	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ一次一般膜応力（引張側）	MPa
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

浄水受槽(272V76)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，据付ボルトとする。浄水受槽(272V76)の概要図を図 3-1 に示す。

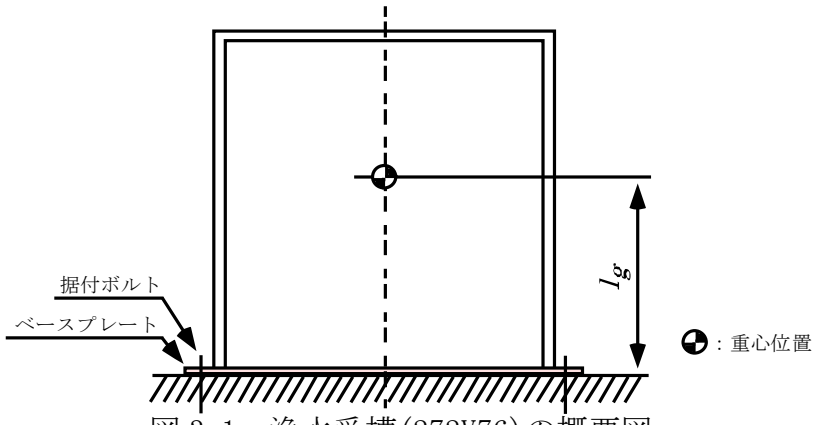


図 3-1　浄水受槽(272V76)の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601－2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1-2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。浄水受槽(272V76)の静的解析用震度は,機器据付階のもの(5F,水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

浄水受槽(272V76)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」の平底たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0t}, \sigma_{0c}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t}$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \frac{C_H m_0 g}{n A_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

浄水受槽(272V76)の解析モデルを図 4-1 に示す。

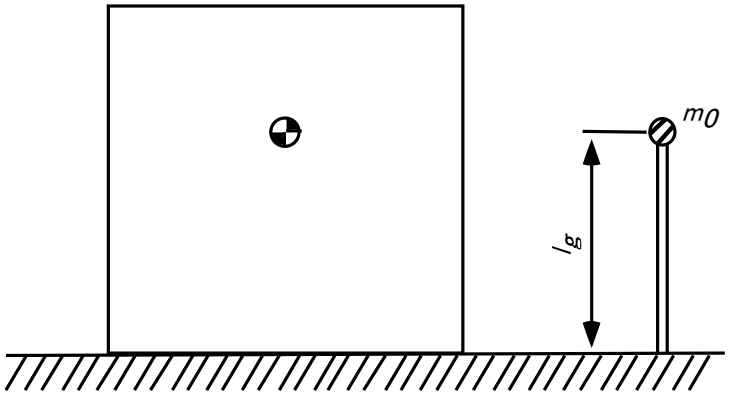


図 4-1　浄水受槽(272V76)の解析モデル

4.5.2　諸元

浄水受槽(272V76)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
浄水受槽(272V76)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能
	機器区分	—	クラス 3
	胴外径	Do	2516 (mm)
	胴板厚さ	t	8 (mm)
	基礎から容器重心までの距離	l_g	1350 (mm)
	胴材質	—	SUS304
	胴温度 (設計温度)	—	40 (℃)
	据付ボルト呼び径	—	M20
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	総質量	—	16000 (kg)

4.6　固有周期

浄水受槽(272V76)の固有周期は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の平底たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_l}}$$

浄水受槽(272V76)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
浄水受槽(272V76)	0.021 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の浄水受槽(272V76)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
浄水受槽 (272V76)	胴	一次一般膜	18	312	0.06
	据付ボルト	引張	40	246	0.16
		せん断	49	142	0.35

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

水封槽(272V41,V42)の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能(蒸発乾固発生時の影響緩和機能を担う重大事故対処設備)を構成する水封槽(272V41,V42)について,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

水封槽(272V41,V42)の構造強度の評価は,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAG4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価に準拠する。

当該設備に,廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
Do	胴外径	mm
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
h	胴高さ	mm
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	胴板厚さ	mm
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\Phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{\Phi 1}$	内圧又は静水頭による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11} ～σ_{16}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{17} ～σ_{110}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1} ～σ_{b3}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4} ～σ_{b5}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力（Z 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4} ～τ_{b5}	水平方向地震力（X 方向）及び鉛直方向地震力によりボルトに生じるせん断応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s

3. 評価部位

水封槽(272V41,V42)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる胴，据付ボルトとする。水封槽(272V41,V42)の概要図を図 3-1 に示す。

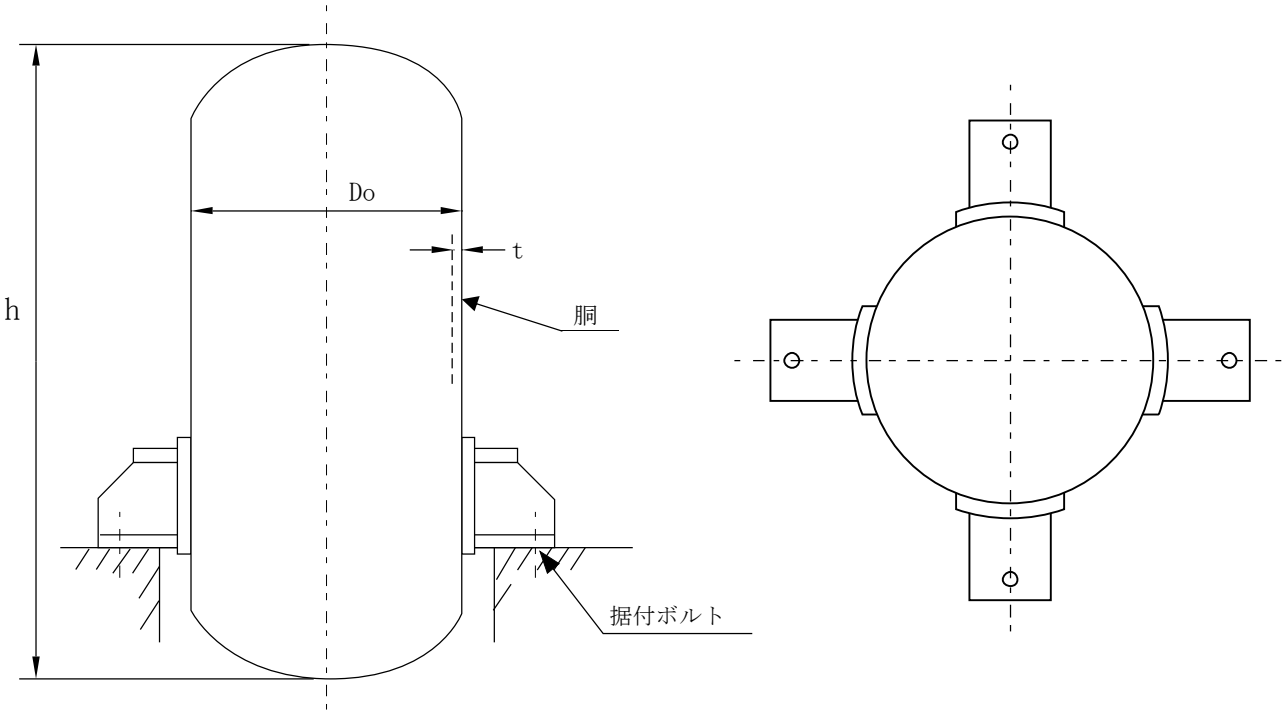


図 3-1　水封槽 (272V41,V42) の概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根 (SRSS) 法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1-2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力

については設計圧力，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表4-2に示す。水封槽(272V41,V42)の静的解析用震度は,機器据付階のもの(4F,水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

水封槽(272V41,V42)の発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

胴の一次一般膜応力：

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\Phi}, \sigma_{0x}]$$

$$\sigma_{0\Phi} = \sigma_{\Phi 1} + \sigma_{\Phi 2}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{{\sigma_{x11}}^2 + {\sigma_{x4}}^2}$$

胴の一次応力：

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}]$$

据付ボルトの引張応力：

$$\sigma_b = \max[\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}]$$

据付ボルトのせん断応力：

$$\tau_b = \max[\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}]$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

水封槽(272V41,V42)の解析モデルを図 4-1 に示す。

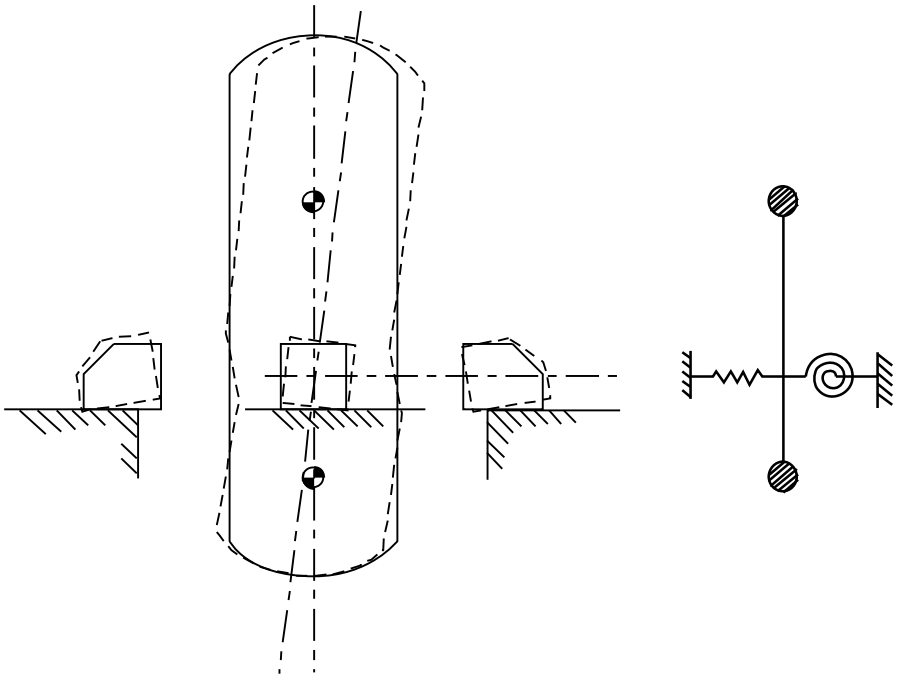


図 4-1　水封槽（272V41,V42）の解析モデル

4.5.2　諸元

水封槽(272V41,V42)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
水封槽 (272V41,V42)	安全上の機能	—	重大事故対処設備
	機器区分	—	クラス 3
	圧力（設計圧力）		0.049（MPa）
	胴外径	Do	816（mm）
	胴板厚さ	t	6（mm）
	胴高さ	h	1316（mm）
	胴材質	—	SUS316L
	胴温度（設計温度）	—	100（℃）
	据付ボルト呼び径	—	M20
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度		100（℃）
	総質量	—	600（kg）

4.6　固有周期

水封槽(272V41,V42)の固有周期は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のラグ支持たて置円筒形容器の以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = \frac{2\pi}{\omega_H}$$

水封槽(272V41,V42)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
水封槽(272V41,V42)	0.028（秒）

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の水封槽(272V41,V42)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
水封槽 (272V41,V42)	胴	一次一般膜	4	263	0.02
		一次	9	395	0.03
	据付ボルト	引張	21	237	0.09
		せん断	15	137	0.11

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-30

緊急放出系フィルタユニット(272F480)

の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能(蒸発乾固発生時の影響緩和機能を担う重大事故対処設備）を構成する緊急放出系フィルタユニット（272F480）について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の構造強度の評価は，耐震構造上の類似性（底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる短辺方向の据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重は設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。緊急放出系フィルタユニット（272F480）の静的解析用震度は，機器据付階のもの（4F，水平方向：1.24，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）：

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）：

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

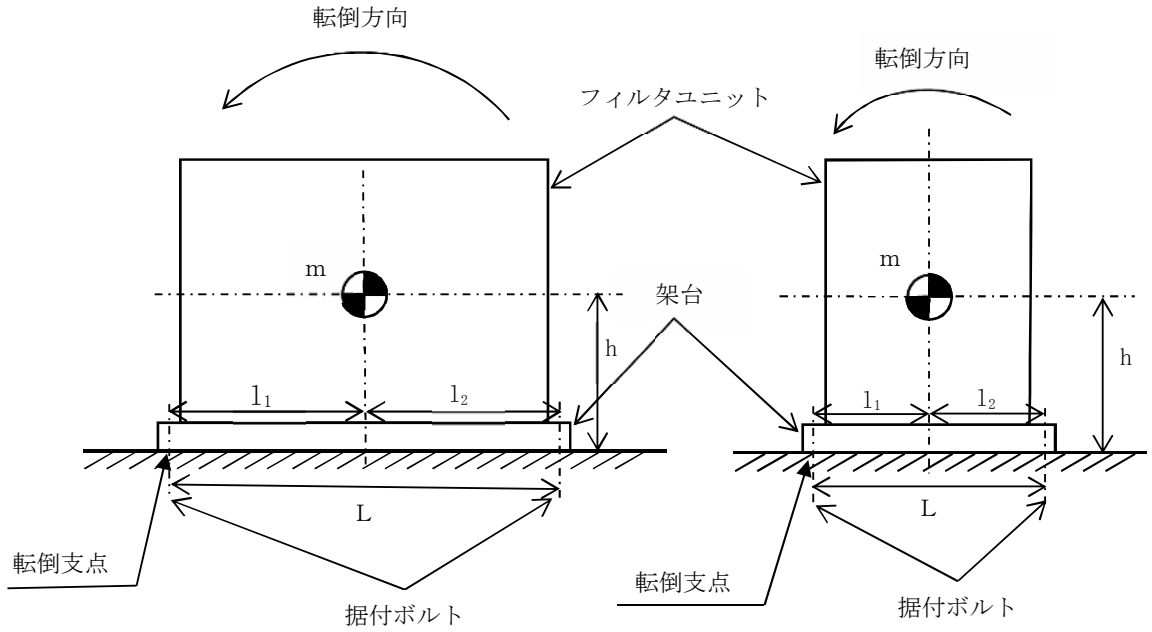
せん断応力（τ_b）：

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（ａ）正面（長辺）方向モデル　　（ｂ）側面（短辺）方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
緊急放出系フィルタユニット（272F480）	安全上の機能	—	重大事故対処設備
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	810（mm）
	据付ボルト呼び径	—	M16
	据付ボルト材質	—	SUS316
	据付ボルト温度	—	110（℃）
	据付ボルトの本数	n	20
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	9
	据付面から重心までの距離	h	1100（mm）
	総質量	m	1800（kg）

4.6　固有周期

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

緊急放出系フィルタユニット（272F480）の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
緊急放出系フィルタユニット（272F480）	0.029（秒）

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の緊急放出系フィルタユニット（272F480）の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
緊急放出系フィルタユニット (272F480)	据付ボルト	引張	16	233	0.07
		せん断	7	134	0.06

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-31

配管の耐震性についての計算書

1. 概要

高放射性廃液の閉じ込め機能，崩壊熱除去機能及び重大事故対処設備を構成する配管について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

配管は，振動数基準の定ピッチスパン法により設置している。配管の構造強度の評価は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，当該配管に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_0	管の外径	mm
g	重力加速度	mm/s^2
i_1	設計・建設規格 PPC-3530 及び PPC-3810 に定める応力係数	—
L	直管部の最大支持間隔	mm
M_a	機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント	N・mm
M_b	機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント	N・mm
P	圧力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
Su	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	管の厚さ	mm
w	管の単位長さ当たりの質量	kg/mm
Z	管の断面係数	mm^3

3. 評価部位

配管の構造強度の評価は，本体の一次応力について実施する。評価の範囲は高放射性廃液を内蔵する系統，槽類換気系統，セル換気系統，一次冷却水系統，二次冷却水系統及び緊急放出系統の配管とする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重，圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2 許容応力

配管の構造強度の許容応力は，クラス 3 管に対する一次応力制限が規定されている「原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601 補-1984 重要度分類・許容応力編」に準拠し，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1-2012」に基づき，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，配管内部の流体については充填し，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。配管の応力分類と許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　配管の応力分類と許容応力

評価部位	応力分類	許容応力	備考
配管	一次応力	0.9 Su (1.5×0.6 Su)	弾塑性挙動の範囲に入ることは許容するものの，崩壊防止の観点から制限を課した許容応力

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。配管の静的解析用震度は，配管据付最上階のもの（RF，水平方向：1.41，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

配管の発生応力の計算方法は，以下に示す「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」の配管の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

$$S_{prm} = \frac{\mathrm{P}D_0}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{\mathrm{Z}}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

配管については，振動数基準の定ピッチスパン法に基づき配管が地震時に共振しないよう一次固有振動数が 20 Hz 以上（剛）となる間隔で支持している。

直管部においては，等分布荷重を受ける両端単純支持はりにモデル化した。配管の解析モデルを図 4-1 に示す。

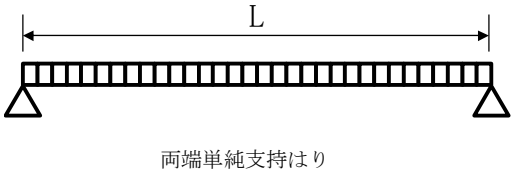


図 4-1　配管の解析モデル

等分布荷重を受ける両端単純支持はりのM_aは次式で表される。

$$M_a = \frac{wg\,L^2}{8}$$

また，M_bについては，次式で表される。

$$M_b = \sqrt{(M_a C_H)^2 + (M_a C_V)^2}$$

上記のモデル化では両端を単純支持としているが，実際の配管において機器に接続される部分は固定端となる。したがって実機では両端固定支持又は一端固定他端

単純支持に近い状態となる。両端固定支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメントM_aは

$$\text{端部：}M_a = \frac{wg\,L^2}{12},\quad \text{支間最大：}M_a = \frac{wg\,L^2}{24}$$

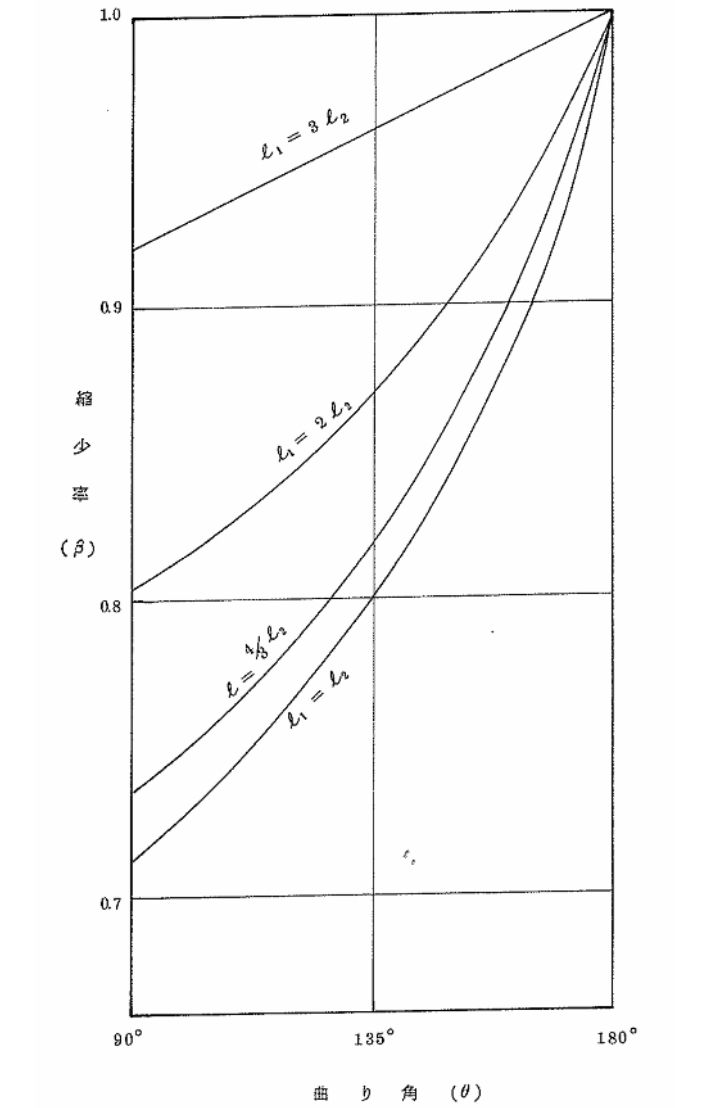
一端固定他端単純支持とした場合の配管部に作用する曲げモーメントM_aは

$$\text{端部：}M_a = \frac{wg\,L^2}{8},\quad \text{支間最大：}M_a = \frac{9wg\,L^2}{128}$$

となるので両端を単純支持とするモデルは実機よりも保守的となる（「構造力学公式集」，土木学会，1974)。

直管部以外の曲がり部分,支持間隔の間にバルブ等の集中質量がある部分,分岐等の部分については,それぞれの部位の固有振動数が 20 Hz 以上となるように,直管部の支持間隔にそれぞれの部位の特徴に縮小率を乗じて短くした支持間隔としている。図 4-2 には曲がり部分に対する縮小率を,図 4-3 には集中質量部に対する縮小率を示す。また,分岐部については縮小率 0.85 とする。したがって直管部で最も長い支持間隔となる配管（最も固有振動数が低くなる配管）について地震時の発生応力を計算することで,他の配管の発生応力は包絡される。

なお，高放射性廃液貯槽（272V31～V36）に接続されている配管については，地震時における高放射性廃液貯槽上部の最大変位が十分少ないことを確認しており，接続されている配管に過大な変形や二次応力は生じない（別紙 6-1-2-3-3-1「高放射性廃液貯槽(272V31～V36)の耐震性についての計算書」参照)。



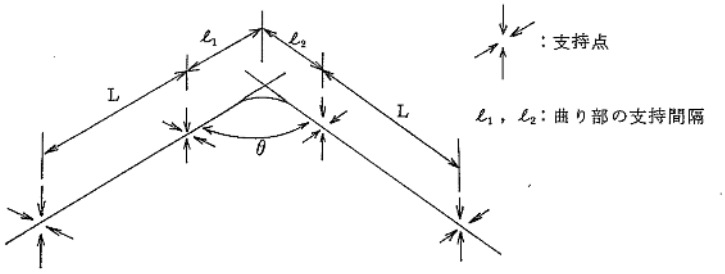


図 4-2 曲がり部を 20 Hz 以上とするための縮小率

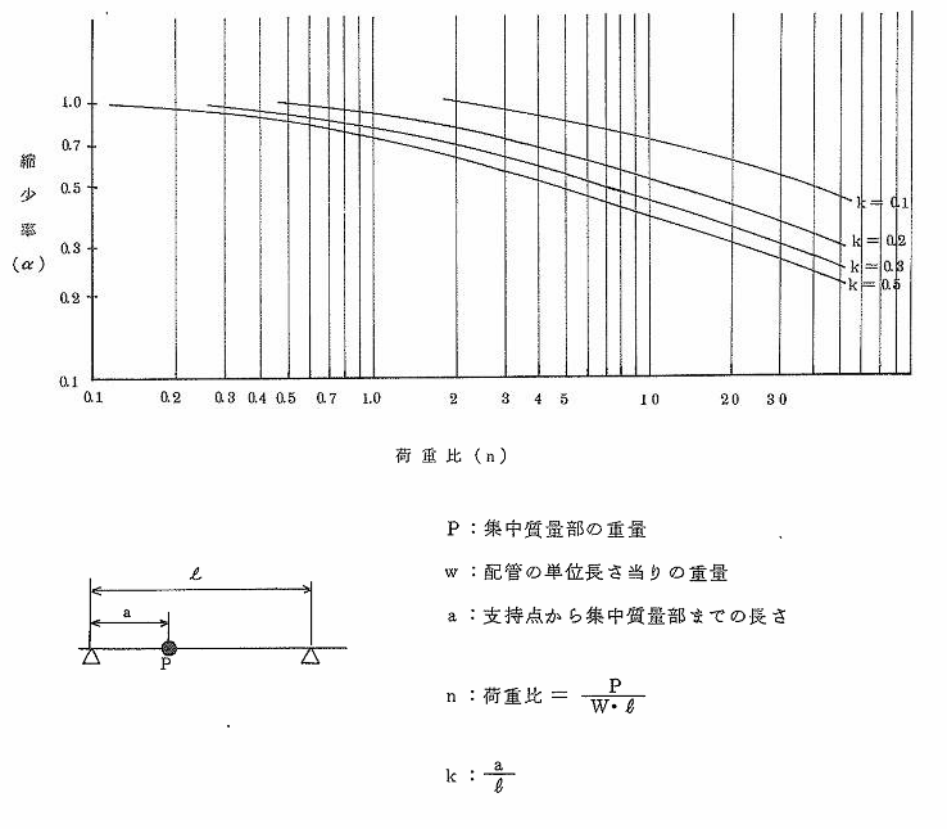


図 4-3 集中質量部を 20 Hz 以上とするための縮小率

4.5.2　諸元

配管の仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　配管の仕様

評価対象設備	安全上の機能	機器区分	流体名	流体の密度 (g/cm^3)	材質	保温有無	温度 (℃)	圧力 (MPa)	呼び径 (A)	配管 Sch. 又は肉厚 (mm)	最大支持間隔※2 (mm)
高放射性廃液を内蔵する系統の配管	閉じ込め機能	クラス 3	高放射性廃液	1.6	SUS304LTP	無	100	1.37	50	Sch. 20S	2410
									80	Sch. 20S	2850
			水	1.0			250	2.84	32	Sch. 20S	1560
槽類換気系統及び緊急放出系統の配管	閉じ込め機能，重大事故対処設備	クラス 3	空気	—	SUS304LTP	無	100	1.37	80	Sch. 20S	3380
									200	Sch. 20S	5310
									400	9.0 (mm)	7340
					SUS304		40	—	φ850	5.0 (mm)	11189
セル換気系統の配管	閉じ込め機能	クラス 3	空気	—	SS400	無	40	—	400×400※1	2.3 (mm)	8130
									650×250※1	2.3 (mm)	6190
									800×450※1	2.3 (mm)	7090
									800×800※1	2.3 (mm)	8380
									1000×1000※1	2.3 (mm)	8440
									1100×600※1	2.3 (mm)	7130
									200	2.3 (mm)	5270
									250	2.3 (mm)	6104
									300	2.3 (mm)	6692
									350	2.3 (mm)	7232
一次冷却水系統の配管及び二次冷却水系統の配管	崩壊熱除去機能，重大事故対処設備	クラス 3	冷却水	1.0	SUS304	無	100	1.37	32	Sch. 40	2160
									50	Sch. 20S	2520
									80	Sch. 10S	2920
									150	Sch. 10S	3730
									200	Sch. 10S	4200
						有	100	1.37	100	Sch. 10S	2580
									200	Sch. 10S	3600

※1　角ダクト

※2　直管部の最大支持間隔

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

これより高放射性廃液貯蔵場(HAW)の配管の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。また，高放射性廃液の配管，槽類換気系及び緊急放出系の配管（セル換気系への合流部まで。)，一次冷却水系配管(冷却水)については，最高温度 100 ℃，最高圧力 1.37 MPa においても上記の耐震性を有することから，高放射性廃液の沸騰等を考慮しても十分耐えうるものである。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	保温 有無	呼び径 (A)	配管 Sch.又 は肉厚(mm)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
高放射性廃液を 内蔵する系統の配管	無	50	Sch. 20S	36	367	0.10
		80	Sch. 20S	40	367	0.11
		32	Sch. 20S	25	330	0.08
槽類換気系統及び 緊急放出系統の配管	無	80	Sch. 20S	31	367	0.09
		200	Sch. 20S	34	367	0.10
		400	9.0 (mm)	38	367	0.11
		φ850	5.0 (mm)	24	468	0.06
セル換気系統の配管	無	400×400※2	2.3 (mm)	20	280	0.08
		650×250※2	2.3 (mm)	15	280	0.06
		800×450※2	2.3 (mm)	12	280	0.05
		800×800※2	2.3 (mm)	11	280	0.04
		1000×1000※2	2.3 (mm)	9	280	0.04
		1100×600※2	2.3 (mm)	9	280	0.04
		200	2.3 (mm)	23	360	0.07
		250	2.3 (mm)	25	360	0.07
		300	2.3 (mm)	25	360	0.07
		350	2.3 (mm)	25	360	0.07
一次冷却水系配管 及び 二次冷却水系配管	無	32	Sch. 40	31	396	0.08
		50	Sch. 20S	34	396	0.09
		80	Sch. 10S	41	396	0.11
		150	Sch. 10S	51	396	0.13
		200	Sch. 10S	54	396	0.14
	有	100	Sch. 10S	37	396	0.10
		200	Sch. 10S	47	396	0.12

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

※2　角ダクト。

別紙 6-1-2-3-3-32

ホイスト・レールの耐震性についての計算書

1. 概要

ホイスト・レールは高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するよう素フィルタ(272F465,F466)の上部にあることから,その落下等によりよう素フィルタ(272F465,F466)への波及的影響を考慮する必要がある。このため,ホイスト・レールについて,「再処理施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ,廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

ホイスト・レールの構造強度の評価は,「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」を踏まえ力学平衡計算により行い,当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し,構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	据付ボルト間隔	mm
A_b	据付ボルトの有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルト1本に作用する引張力	N
g	重力加速度	mm/s^2
h	サポートの長さ	mm
I_x	レールの強軸方向の断面二次モーメント	mm^4
I_y	レールの弱軸方向の断面二次モーメント	mm^4

記号	記号の説明	単位
L	最大スパン長さ	mm
M_H	レールの垂直荷重による曲げモーメント	N mm
M_V	レールの水平荷重による曲げモーメント	N mm
n	サポート1個あたりの据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
P_1	吊り荷荷重(定格荷重に，吊り具及び巻き上げ用ワイヤーロープの重量を加えた荷重)	kg
P_2	P_1に含まれない部分の自重	kg
P_3	1スパン当たりのレール自重	kg
P_4	サポートの自重	kg
Q_b	据付ボルト1本に作用するせん断力	N
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
Z_x	レールの強軸方向の断面係数	mm^3
Z_y	レールの弱軸方向の断面係数	mm^3
σ	レールの曲げ応力	MPa
σ_H	レールの水平荷重による曲げ応力	MPa
σ_V	レールの垂直荷重による曲げ応力	MPa
σ_b	据付ボルト1本に作用する引張応力	MPa
τ_b	据付ボルト1本に作用するせん断応力	MPa
δ_H	レールの水平方向の最大たわみ量	mm
δ_V	レールの鉛直方向の最大たわみ量	mm

3. 評価部位

ホイスト・レールの構造強度の評価部位は，評価上厳しくなるレール，据付ボルトとする。ホイスト・レールの概要図を図 3-1 に示す。

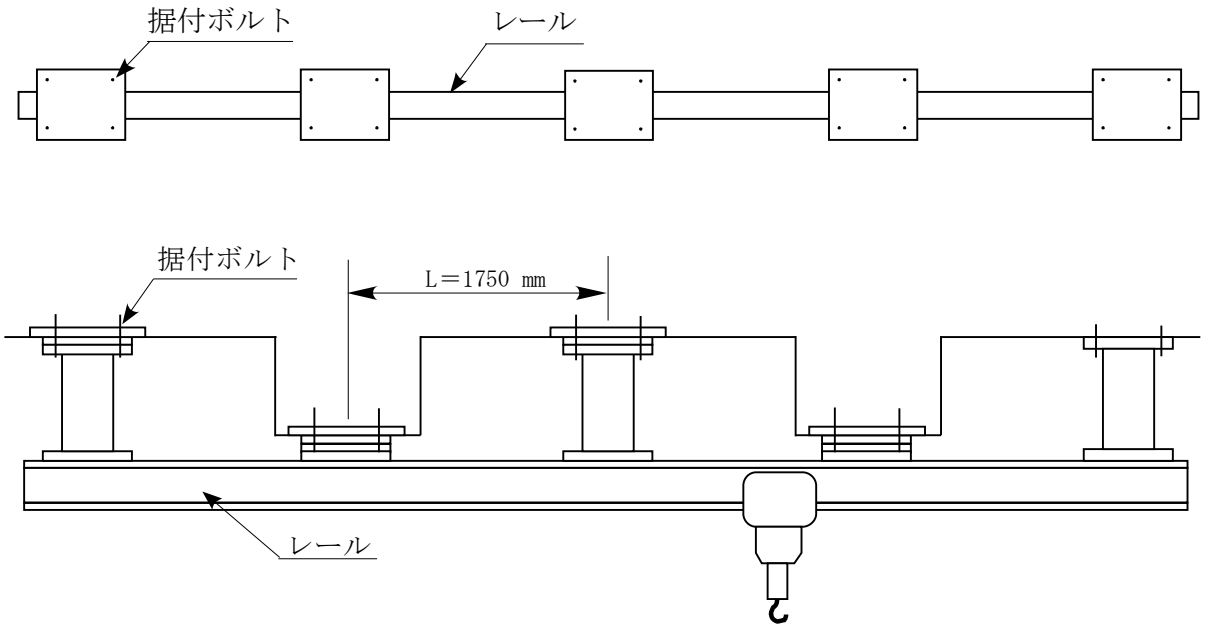


図 3-1　ホイスト・レールの概要図

4. 構造強度評価

4.1　荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，絶対値和により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，圧力については設計圧力，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。評価部位ごとの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　評価部位ごとの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
レール	曲げ	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。ホイスト・レールの静的解析用震度は，機器据付階のもの（5F，水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

ホイスト・レールの発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」を踏まえ以下の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

レールの垂直荷重による曲げモーメント(M_V)

$$M_V = (1 + C_V)\left(\frac{P_1\ g\ L}{4} + \frac{P_2\ g\ L}{4} + \frac{P_3\ g\ L}{8}\right)$$

レールの垂直荷重による曲げ応力(σ_V)

$$\sigma_V = \frac{M_V}{Z_x}$$

レールの水平荷重による曲げモーメント(M_H)

$$M_H = C_H\left(\frac{P_2\ g\ L}{4} + \frac{P_3\ g\ L}{8}\right)$$

レールの水平荷重による曲げ応力(σ_H)

$$\sigma_H = \frac{M_H}{Z_y}$$

レールの曲げ応力(σ)

$$\sigma = \sigma_V + \sigma_H$$

据付ボルト 1 本に作用する引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{(1 + C_V)(P_1 + P_2 + P_3 + P_4)\ g}{n} + \frac{C_H(P_2 + P_3 + P_4)\ g\ h}{n_f\ a}$$

据付ボルト 1 本に作用する引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

据付ボルト 1 本に作用するせん断力（Q_b）:

$$Q_b = \frac{C_H\ (P_2 + P_3 + P_4)\ \mathrm{g}}{n}$$

据付ボルト 1 本に作用するせん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

ホイスト・レールの解析モデルを図 4-1 に示す。

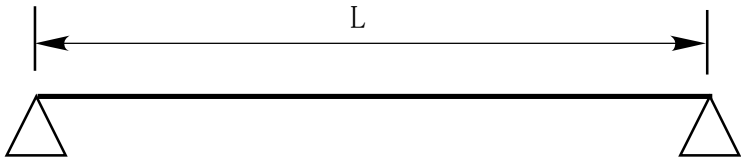


図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

ホイスト・レールの主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
ホイスト・レール	安全上の機能	—	閉じ込め機能（波及的影響の防止）
	機器区分	—	クラス 3
	定格荷重	—	2000 (kg)
	レール材質	—	SS400
	レール	—	I 250×125×7.5×12.5
	吊り荷荷重(定格荷重に吊り具，巻き上げ用ワイヤーロープの重量を加えた荷重)	P_1	2005 (kg)
	P_1に含まれない部分の自重	P_2	130 (kg)
	1 スパン当たりのレール自重	P_3	65 (kg)
	サポートの自重	P_4	30 (kg)
	サポートの長さ	h	950 (mm)
	最大スパン長さ	L	1750 (mm)
	レール温度	—	40 (℃)
	据付ボルト呼び径	—	M20
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルト間隔	a	250 (mm)

4.6　固有周期

ホイスト・レールの固有周期は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」を踏まえ以下の計算式を用いて算出した。

垂直方向：

$$T_V = 2\pi\sqrt{\frac{\delta_V}{g}}$$

最大たわみ量(δ_V)：　$\delta_V = \frac{(P_1+P_2+P_3)\ g\ L^3}{48\ E\ I_x}$

水平方向：

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{\delta_H}{g}}$$

最大たわみ量(δ_H)：　$\delta_H = \frac{(P_2+P_3)\ g\ L^3}{48\ E\ I_y}$

ホイスト・レールの固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
ホイスト・レール（垂直方向）	0.031（秒）
ホイスト・レール（水平方向）	0.036（秒）

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のホイスト・レールの各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
ホイスト・レール	レール	曲げ	59	280	0.22
	据付ボルト	引張	50	280	0.18
		せん断	3	161	0.02

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-33

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の

耐震性についての計算書

1. 概要

トリチウムモニタ(272T2RA+001)は，高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するセル換気系フィルタユニット(272F040)の近傍に設置されていることから，転倒によりセル換気系フィルタユニット(272F040)への波及的影響を考慮する必要がある。そのため，トリチウムモニタ(272T2RA+001)について，「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の構造強度の評価は，耐震構造上の類似性（底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1-2012」を準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。トリチウムモニタ(272T2RA+001)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（3F，水平方向：1.18，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

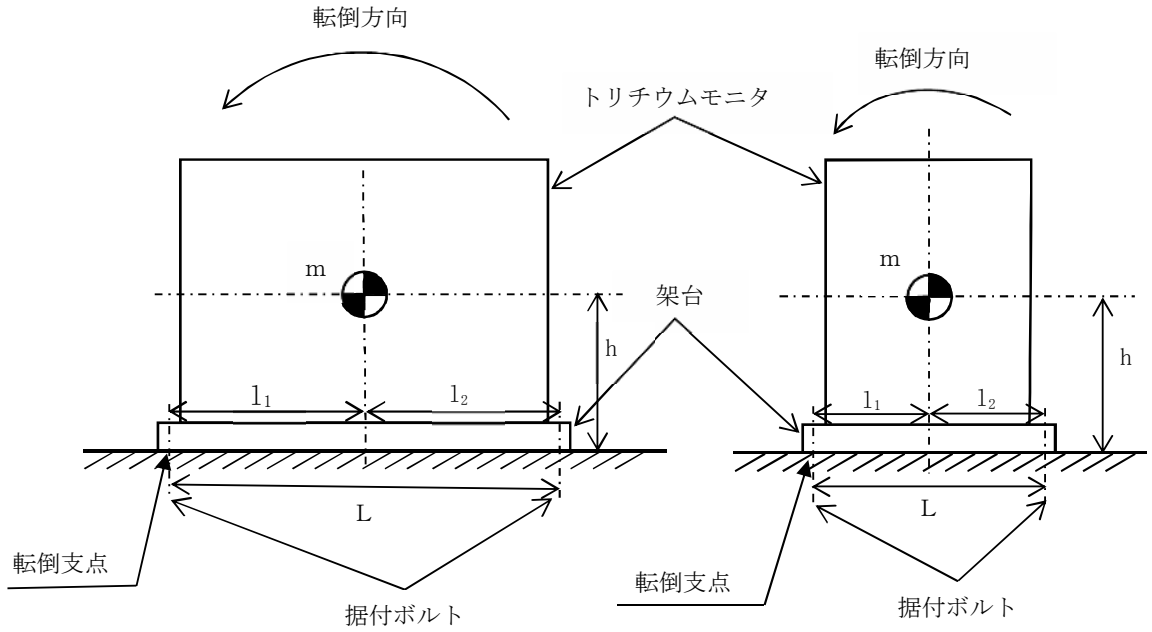
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（a）正面方向モデル　　（b）側面方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
トリチウムモニタ (272T2RA+001)	安全上の機能	—	閉じ込め機能 (波及的影響の防止)
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	400 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M10
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	850 (mm)
	総質量	m	550 (kg)

4.6　固有周期

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

トリチウムモニタ(272T2RA+001)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
トリチウムモニタ(272T2RA+001)	0.05 (秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)のトリチウムモニタ(272T2RA+001)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
トリチウムモニタ (272T2RA+001)	据付ボルト	引張	95	280	0.34
		せん断	28	161	0.18

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-34

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の

耐震性についての計算書

1. 概要

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)は,高放射性廃液の閉じ込め機能を構成するセル換気系排風機(272K103,K104)の上部近傍に設置されていることから,セル換気系排風機(272K103,K104)への波及的影響を考慮する必要がある。このため，空調用ファンコイル(272AC112,AC113)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の構造強度の評価は，鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ファン振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ファン回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出においては，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（5F，水平方向：1.36，鉛直方向：0.80）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

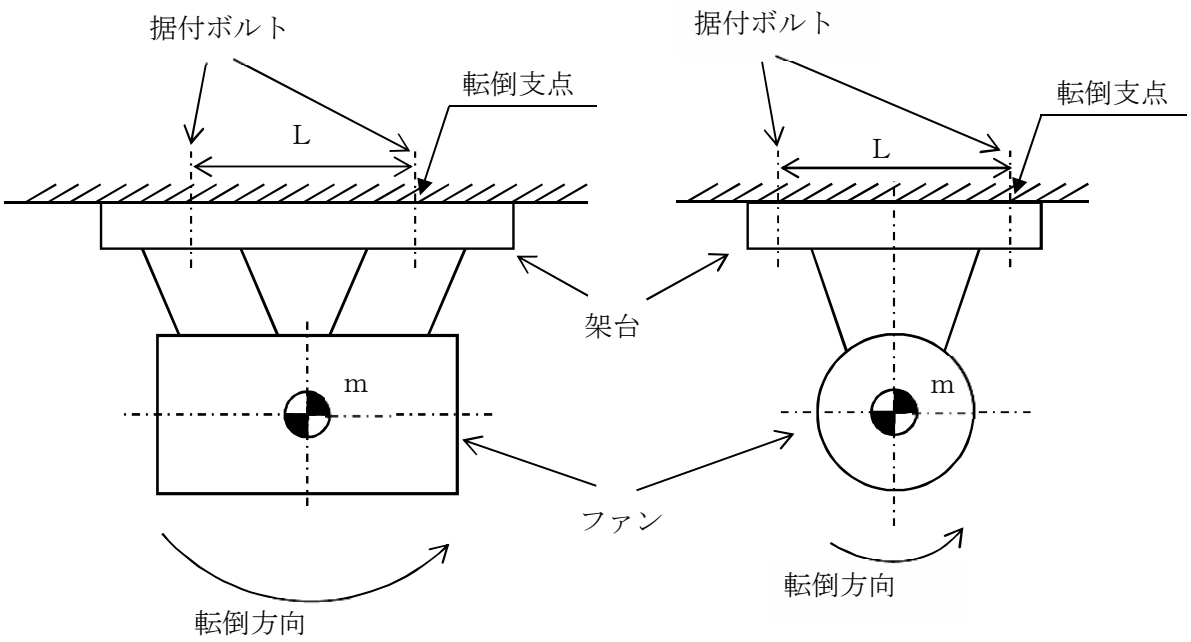
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい軸直角方向に対して行う。



（ａ）軸方向転倒モデル　　（ｂ）軸直角方向転倒モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記号	値
空調用ファンコイル (272AC112,AC113)	安全上の機能	—	閉じ込め機能 (波及的影響の防止)
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	304 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M10
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	484 (mm)
	ファン振動による震度	C_P	0.10
	ファン回転により働くモーメント	M_P	0 (N・mm)
	総質量	m	50 (kg)

4.6　固有周期

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
空調用ファンコイル(272AC112,AC113)	0.05 (秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の空調用ファンコイル(272AC112,AC113)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
空調用ファンコイル (272AC112,AC113)	据付ボルト	引張	13	280	0.05
		せん断	4	161	0.03

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-35

動力分電盤(HM-3)の耐震性についての計算書

1. 概要

動力分電盤(HM-3)は,高放射性廃液の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能を構成する動力分電盤(HM-1,HM-2)に隣接して設置されていることから， 動力分電盤(HM-1,HM-2)への波及的影響を考慮する必要がある。このため,動力分電盤(HM-3)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

動力分電盤(HM-3)の構造強度の評価は，耐震構造上の類似性（底部アンカーボルトによる支持構造を持つ。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601－2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	据付ボルトの軸断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	据付ボルトに生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と据付ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	据付ボルト間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	据付ボルトの本数	—
n_f	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	—
Q_b	据付ボルトに生じるせん断力	N
σ_b	据付ボルトに生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	据付ボルトに生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

動力分電盤(HM-3)の構造強度の評価部位は，評価上厳しくなる据付ボルトとする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。据付ボルトの応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　据付ボルトの応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
据付ボルト	引張応力	1.5×(F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の各階での静的解析用震度を表 4-2 に示す。動力分電盤(HM-3)の静的解析用震度は，機器据付階のもの（3F，水平方向：1.18，鉛直方向：0.79）を用いた。

表 4-2　静的解析用震度

階	静的解析用震度（床応答最大加速度×1.2）	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4　計算方法

動力分電盤(HM-3)の発生応力の計算方法は，「原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を適用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）：

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）：

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

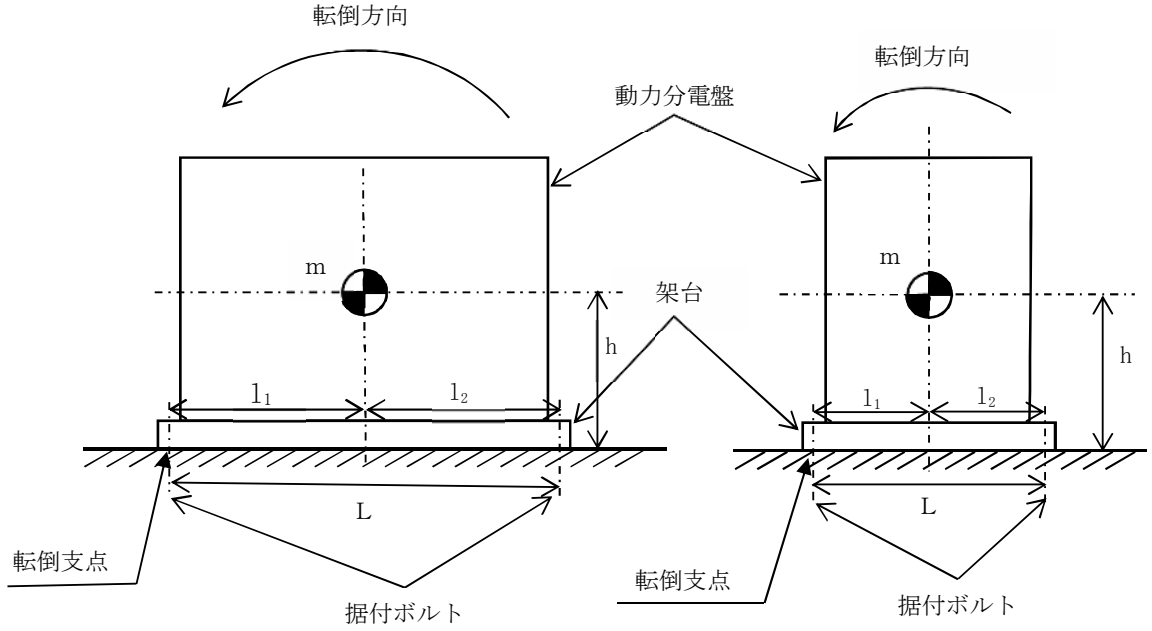
せん断応力（τ_b）：

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.5　計算条件

4.5.1　解析モデル

動力分電盤(HM-3)の解析モデルを図 4-1 に示す。評価は据付ボルト間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（ａ）正面方向モデル　　（ｂ）側面方向モデル

図 4-1　解析モデル

4.5.2　諸元

動力分電盤(HM-3)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記号	値
動力分電盤(HM-3)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能 閉じ込め機能 (波及的影響の防止)
	機器区分	—	クラス 3
	据付ボルト間隔	L	480 (mm)
	据付ボルト呼び径	—	M12
	据付ボルト材質	—	SS400
	据付ボルト温度	—	40 (℃)
	据付ボルトの本数	n	4
	引張力の作用する据付ボルトの評価本数	n_f	2
	据付面から重心までの距離	h	1275 (mm)
	総質量	m	330 (kg)

4.6　固有周期

動力分電盤(HM-3)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

動力分電盤(HM-3)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
動力分電盤(HM-3)	0.05 (秒)以下

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の動力分電盤(HM-3)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
動力分電盤(HM-3)	据付ボルト	引張	52	280	0.19
		せん断	12	161	0.08

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

別紙 6-1-2-3-3-36

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の

耐震性についての計算書

1. 概要

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)は,高放射性廃液の崩壊熱除去機能を構成する冷却塔(272H81,H82,H83)の近傍に設置されていることから，冷却塔(272H81,H82,H83)への波及的影響を考慮する必要がある。このため，空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)について,「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしても波及的影響が生じないことを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の構造強度の評価は，耐震構造上の類似性（底部を定ピッチで溶接された支持構造であり，溶接部をアンカーボルトとみなす。）に基づき,鉛直方向地震動に対する扱いを考慮するため「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」のポンプ・ファン類の構造強度評価に準拠する。

当該設備に，廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会）

(2)原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008（日本電気協会）

(3)発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012（日本機械学会）

(4)発電用原子力設備規格　材料規格　JSME S NJ1 2012（日本機械学会）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	溶接部の断面積	mm^2
A_S	最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
F_b	溶接部に生じる引張力	N
G_I	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面 2 次モーメント	mm^4
l_1, l_2	重心と溶接部間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）	mm
L	溶接部間隔	mm
m	総質量	kg
M_P	ポンプ回転により働くモーメント	N・mm
n	溶接部の本数	—
n_f	引張力の作用する溶接部の評価本数	—
Q_b	溶接部に生じるせん断力	N
σ_b	溶接部に生じる引張応力	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
τ_b	溶接部に生じるせん断応力	MPa

3. 評価部位

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の構造強度の評価部位は,評価上厳しくなる底部溶接部とする。

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組合せ

発生応力の算出については，自重及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2　許容応力

設備の構造強度の許容応力は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格　設計・建設規格　JSME S NC1 2012」に準拠し，供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds については，温度は設計温度，自重については設計時の質量とし，それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。底部溶接部の応力分類及び許容応力を表 4-1 に示す。

表 4-1　底部溶接部の応力分類及び許容応力

評価部位	応力分類	許容応力
底部溶接部	引張応力	1.5×(F/1.5)
底部溶接部	せん断応力	1.5×(F/(1.5√3))

4.3　減衰定数

減衰定数は，「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。使用した減衰定数を表 4-2 に示す。

表 4-2　使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
空調用冷却塔 (272AC115,AC116,AC117)	1.0	1.0

4.4　設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」に基づき，廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに，各階の床応答スペクトル（Ss-D，Ss-1，Ss-2 の 3 波包絡，周期軸方向に±10 %拡幅したもの。）を作成した。評価対象設備の解析用の震度については，評価対象設備の固有周期における床応答スペクトルの読み取り値を用いた。

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の据付階（5 階）の床応答スペクトルを図 4-1 及び図 4-2 に示す。空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の解析用の震度は，固有周期 0.127 秒における震度（水平方向：2.91，鉛直方向：3.83）を用いた。

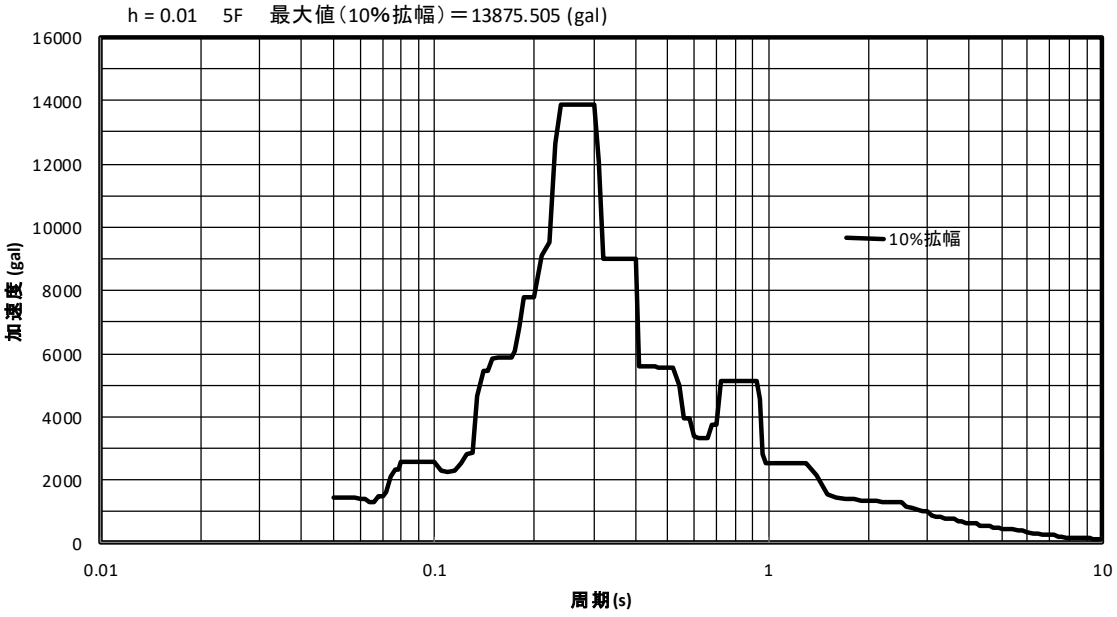


図 4-1 解析用の床応答スペクトル（水平方向，5 階，減衰定数 1.0 %）

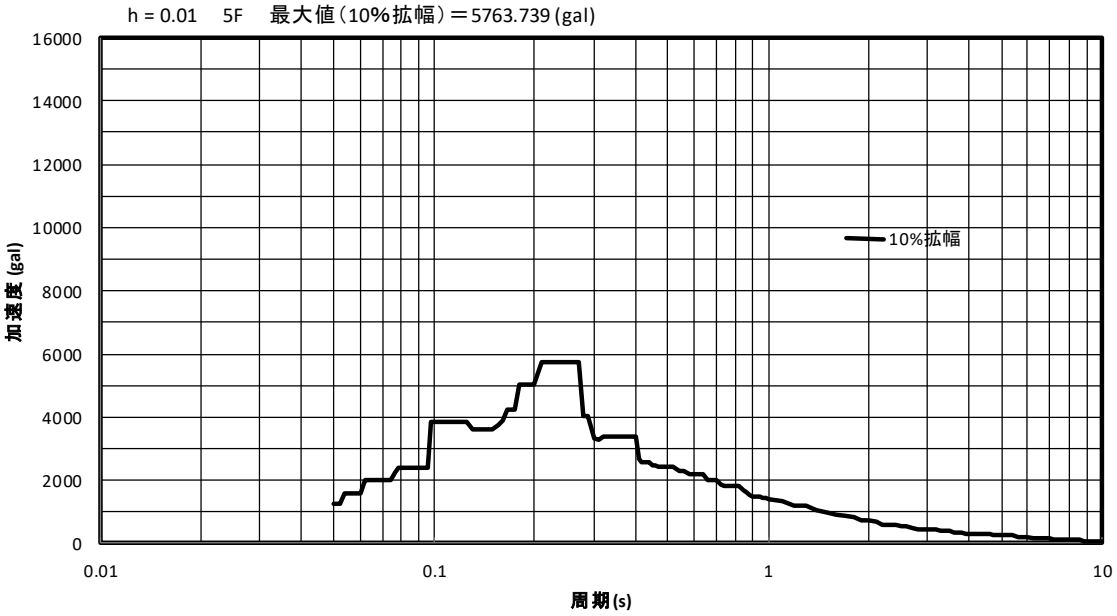


図 4-2 解析用の床応答スペクトル（鉛直方向，5 階，減衰定数 1.0 %）

4.5　計算方法

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の発生応力の計算方法は,「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」の横形ポンプの構造強度評価の計算式を準用した。構造強度評価は，算出した発生応力と許容応力を比較することにより行った。

引張力（F_b）:

$$F_b = \frac{1}{L}\left\{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg\, C_P(h + l_1) + M_P - mg\, l_1 \right\}$$

引張応力（σ_b）:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力（Q_b）:

$$Q_b = \mathrm{mg}(C_H + C_P)$$

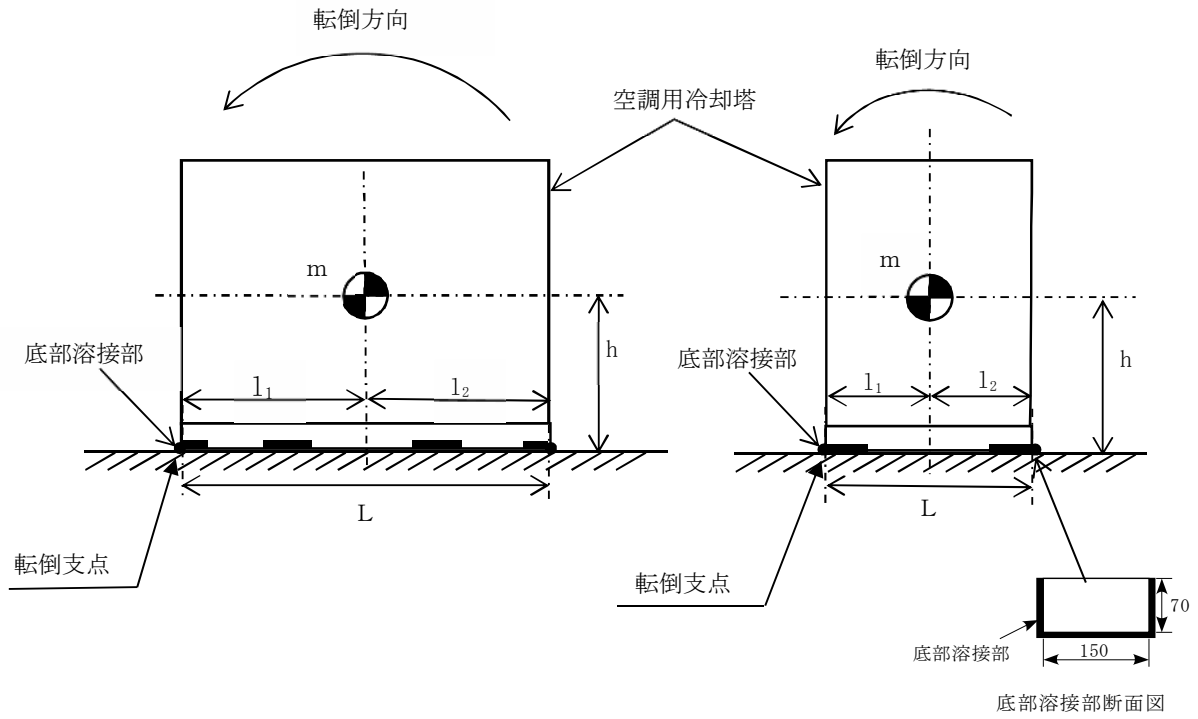
せん断応力（τ_b）:

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

4.6　計算条件

4.6.1　解析モデル

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の解析モデルを図 4-3 に示す。評価は底部溶接部の間隔が短く転倒に対して厳しい側面方向に対して行う。



（a）正面方向モデル　　（b）側面方向モデル

図 4-3　解析モデル

4.6.2　諸元

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3　主要寸法・仕様

評価対象設備	項　目	記　号	値
空調用冷却塔 (272AC115,AC116,AC117)	安全上の機能	—	崩壊熱除去機能 (波及的影響の防止)
	機器区分	—	クラス 3
	溶接方法	—	隅肉溶接
	溶接部の間隔	L	2080 (mm)
	溶接部の脚長	—	4.5 (mm)
	溶接部 1 箇所当たりの断面積	A_b	923 (mm^2)
	溶接部材質	—	SS400
	溶接部温度	—	40 (℃)
	溶接部の本数	n	8
	引張力の作用する溶接部の評価本数	n_f	4
	据付面から重心までの距離	h	1180 (mm)
	総質量	m	4910 (kg)

4.7　固有周期

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の固有周期は，1 質点系振動モデルとして考え，以下の計算式を用いて算出した。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m}{1000}\left(\frac{h^3}{3EI}+\frac{h}{A_S G_I}\right)}$$

空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の固有周期を表 4-4 に示す。

表 4-4　固有周期

評価対象設備	固有周期
空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)	0.127 (秒)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の空調用冷却塔(272AC115,AC116,AC117)の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1　構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比※1
空調用冷却塔 (272AC115,AC116, AC117)	底部溶接部	引張	106	270	0.40
		せん断	76	161	0.48

※1　応力比は，発生応力／許容応力を示す。

配管トレンチ(T21)の耐震応答計算書

1. 概要

本資料は，廃止措置計画用設計地震動(Ss)に対して，配管トレンチ(T21)が耐震余裕を有することを説明するものである。

廃止措置計画用設計地震動は，令和2年2月10日付け原規規発第2002103号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」において策定した敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動とする。策定した廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトルを図1-1から図1-3に，時刻歴波形を図1-4から図1-6に示す。解放基盤表面は，S波速度が0.7 km/s以上であるT.P.※-303 mとする。

※T.P.：東京湾平均海面

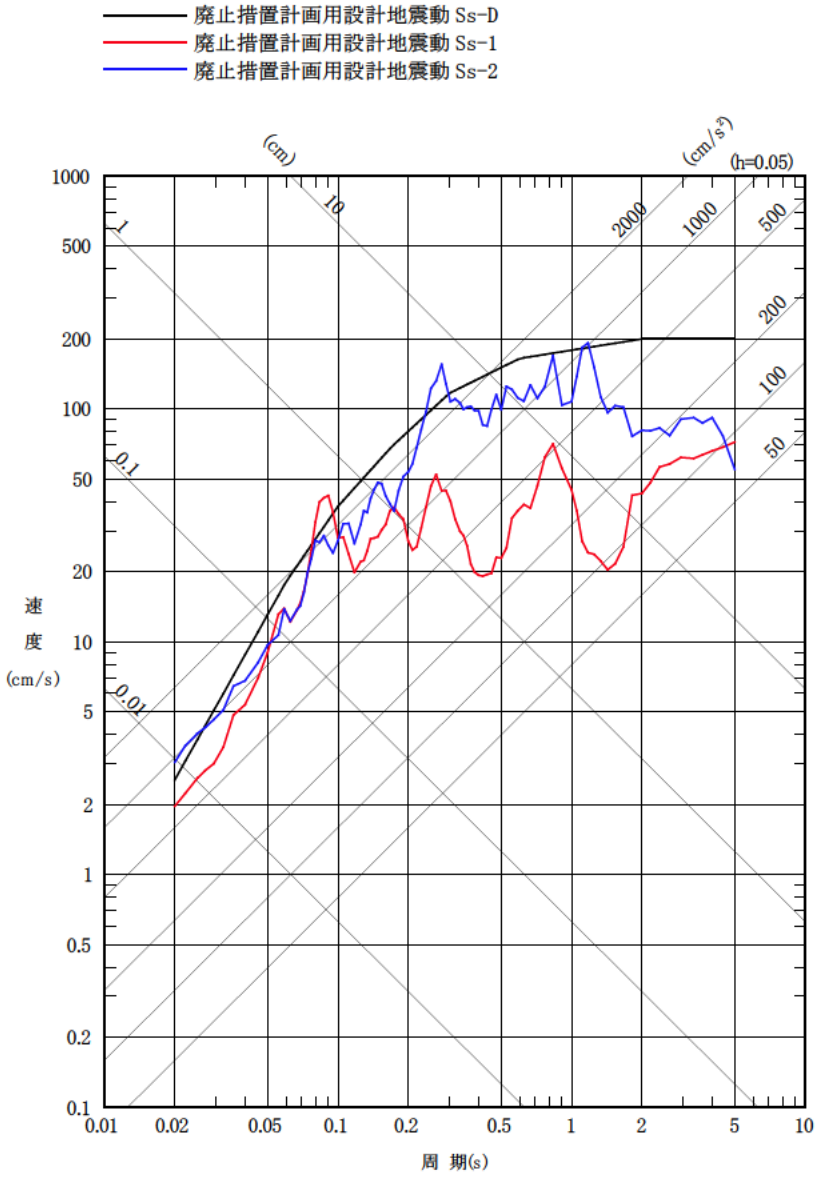


図 1-1　廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(NS 成分)

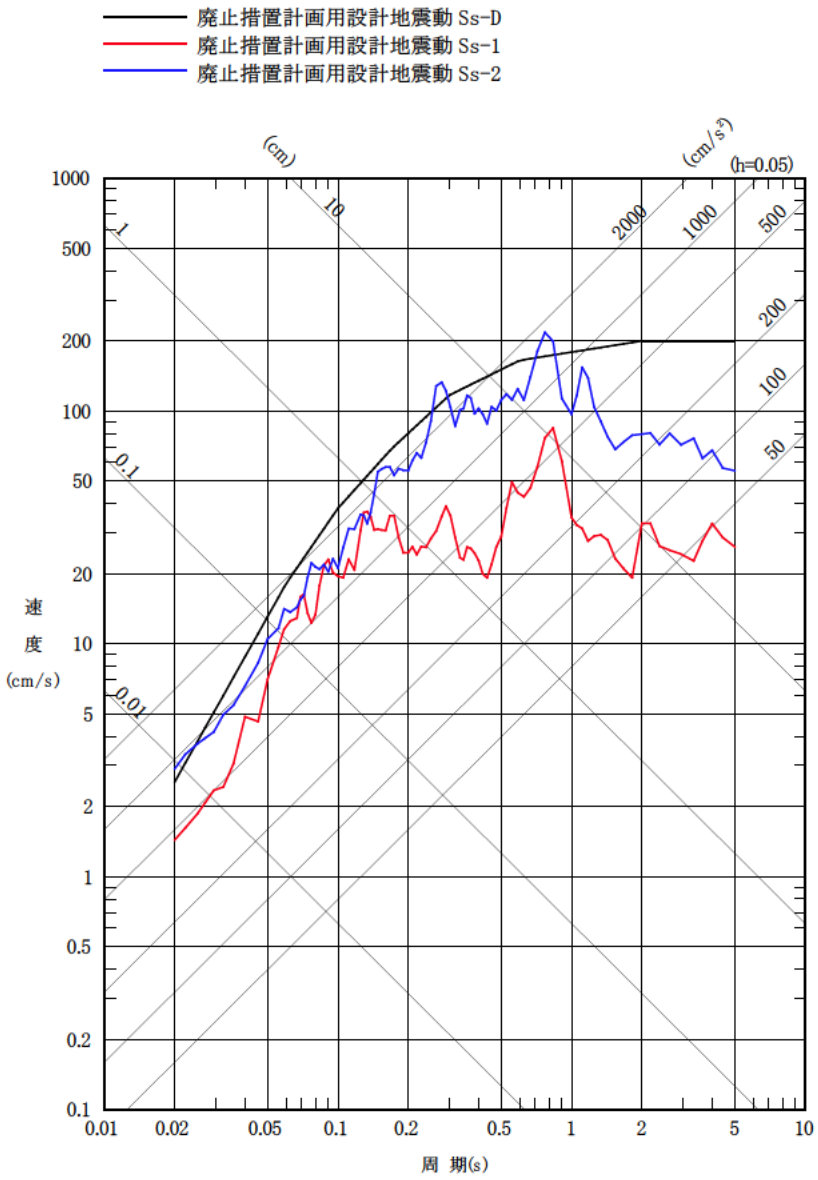


図 1-2　廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(EW 成分)

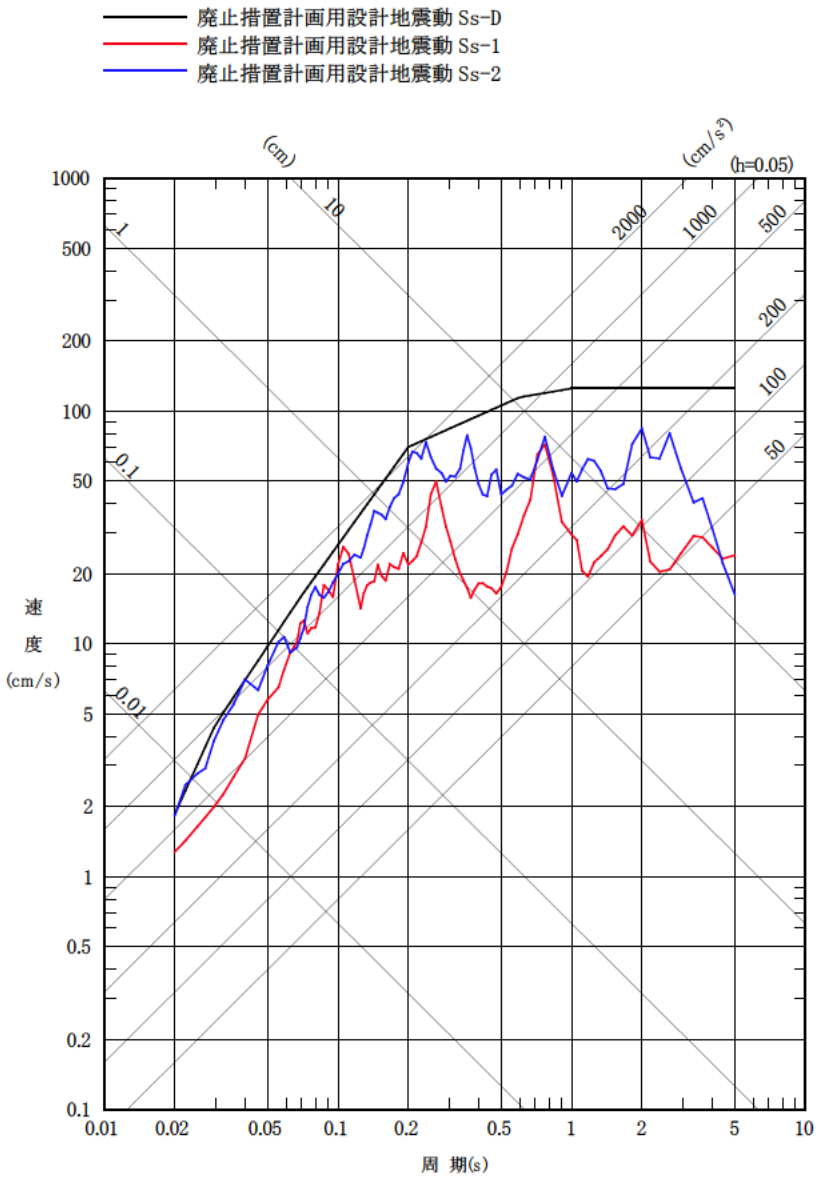
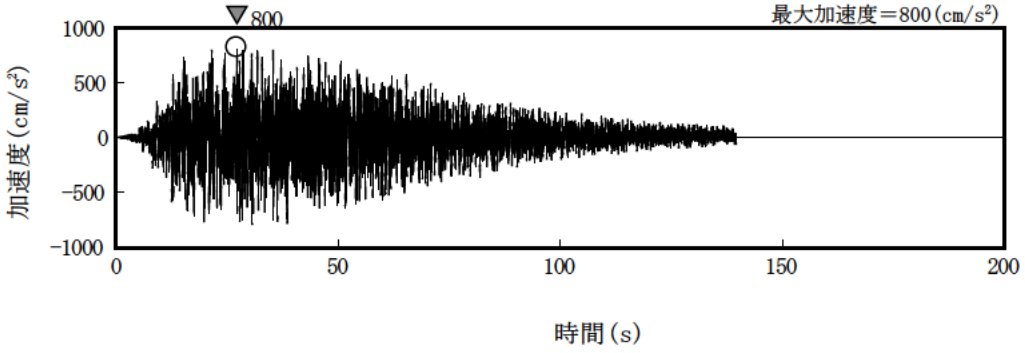
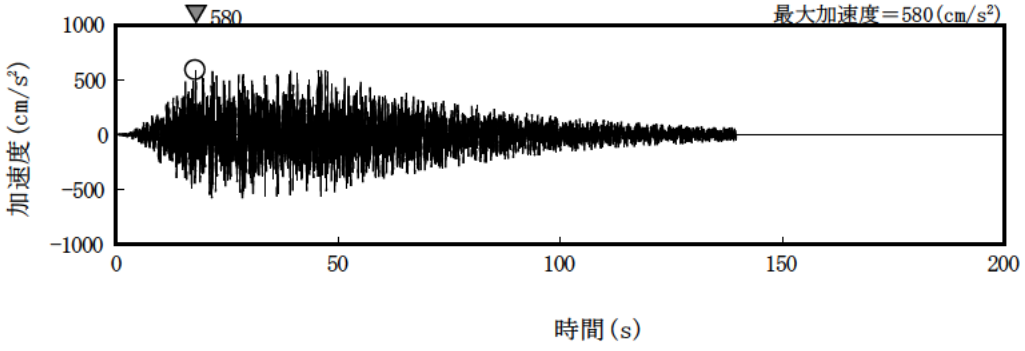


図 1-3　廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(UD 成分)

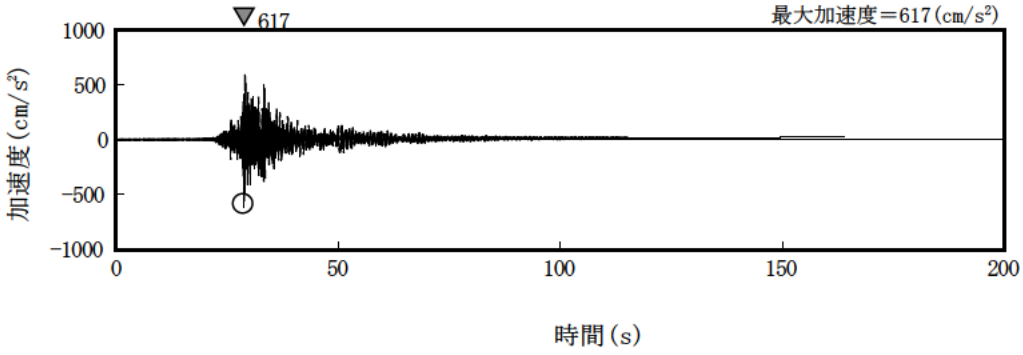


(水平成分)

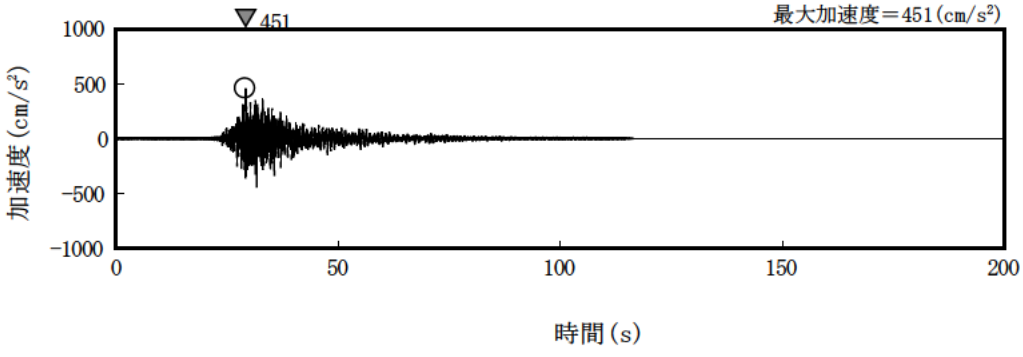


(鉛直成分)

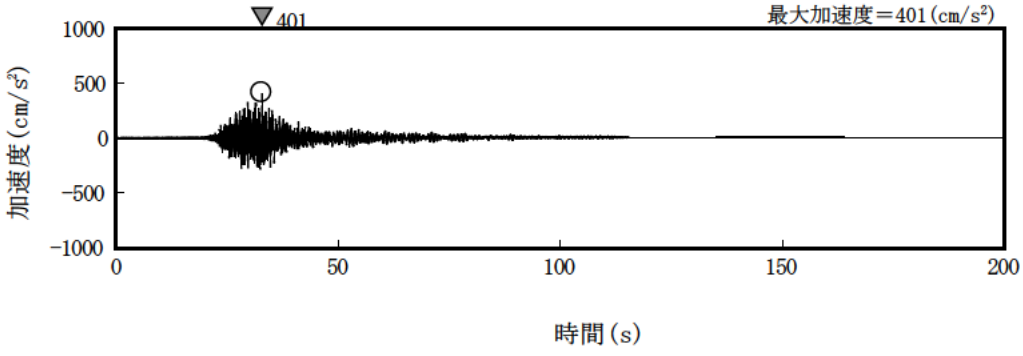
図 1-4　廃止措置計画用設計地震動(Ss-D)の時刻歴波形



(NS 成分)

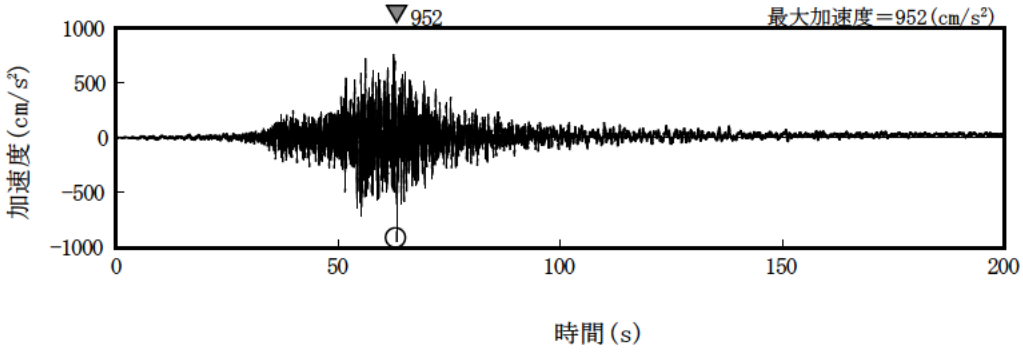


(EW 成分)

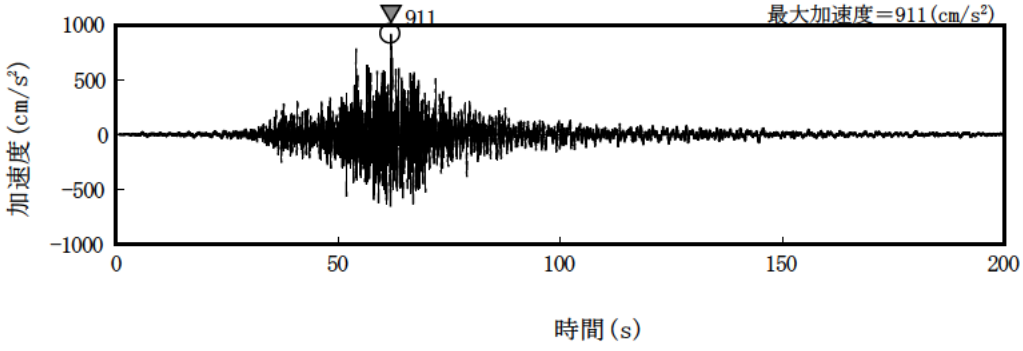


(UD 成分)

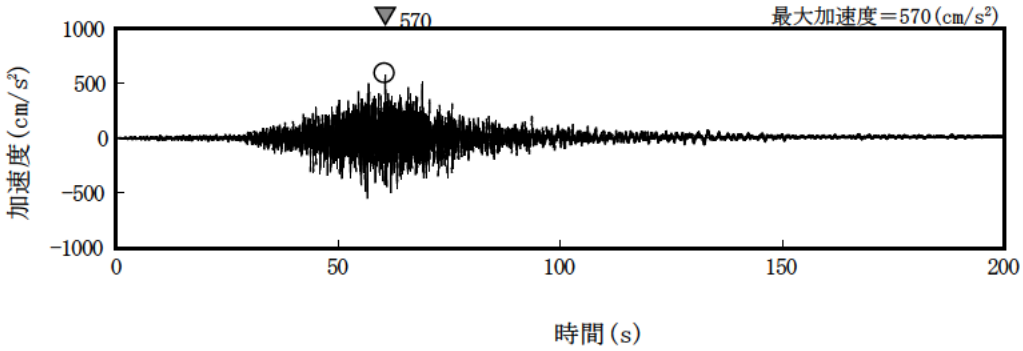
図 1-5　廃止措置計画用設計地震動(Ss-1)の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



(UD 成分)

図 1-6　廃止措置計画用設計地震動(Ss-2)の時刻歴波形

2. 一般事項

2.1 位置

配管トレンチ(T21)の平面配置図を図 2-1 に示す。プラントノースと磁北方向の角度差は，35.7 ° である。

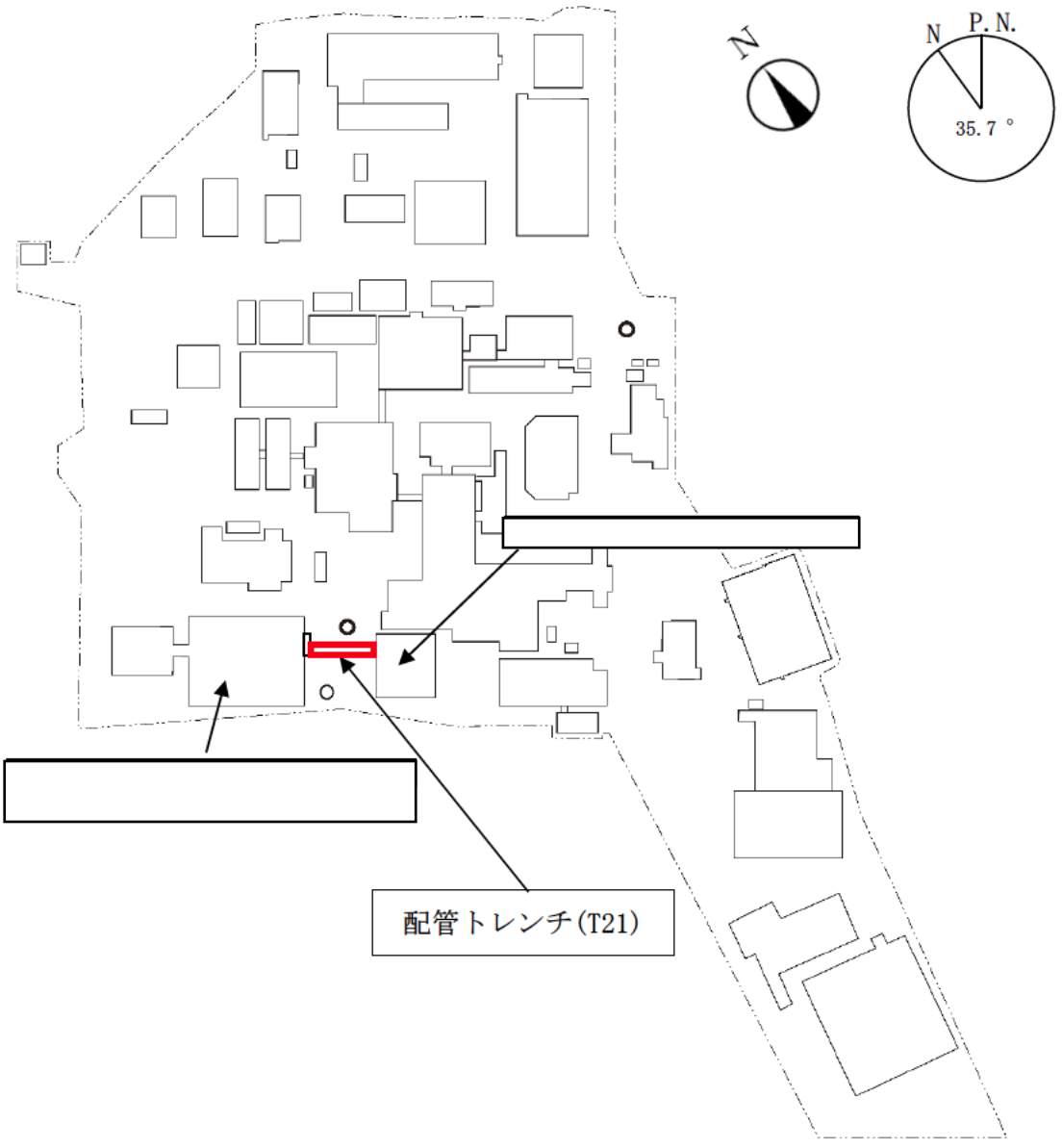


図 2-1　配管トレンチ(T21)　平面配置図

2.2 構造概要

配管トレンチ(T21)は，[　　]の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，基礎地盤である久米層(砂質泥岩)に設置されている。隣接する建家にはエキスパンションジョイントを介して接続し，独立した構造となっている。

配管トレンチ(T21)の平面図及び断面図をそれぞれ図 2-2 及び図 2-3 に，基礎地盤(久米層)の等高線図及び断面図をそれぞれ図 2-4 及び図 2-5 に，配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良範囲を図 2-6 に示す。

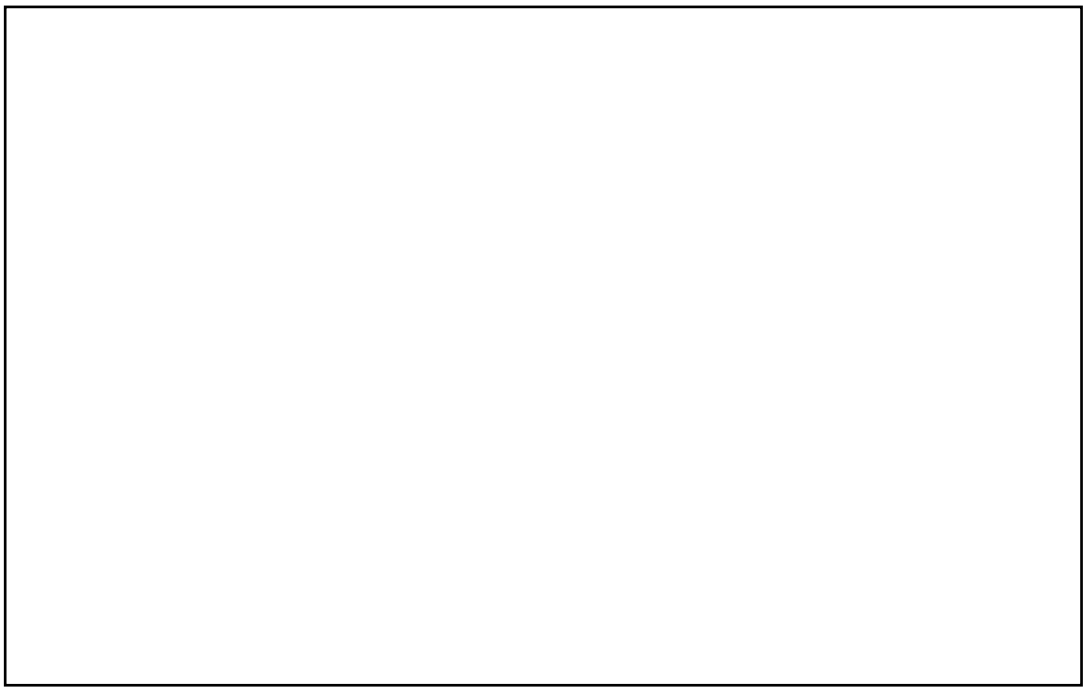


図 2-2　配管トレンチ(T21)の平面図

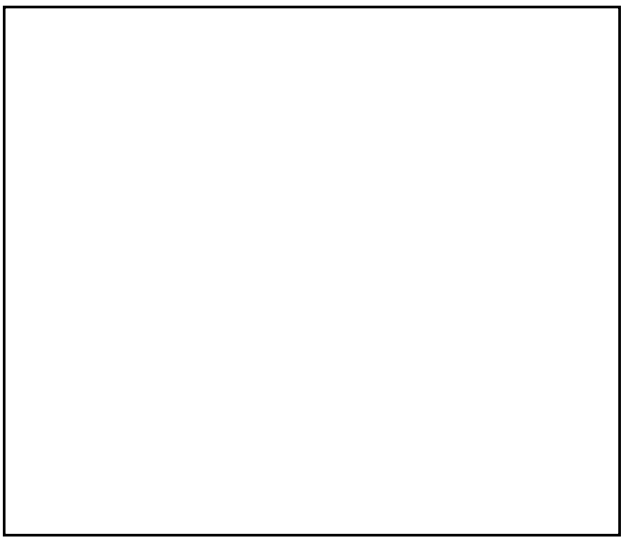


図 2-3　配管トレンチ(T21)の断面図(A-A’断面)　　(単位：mm)

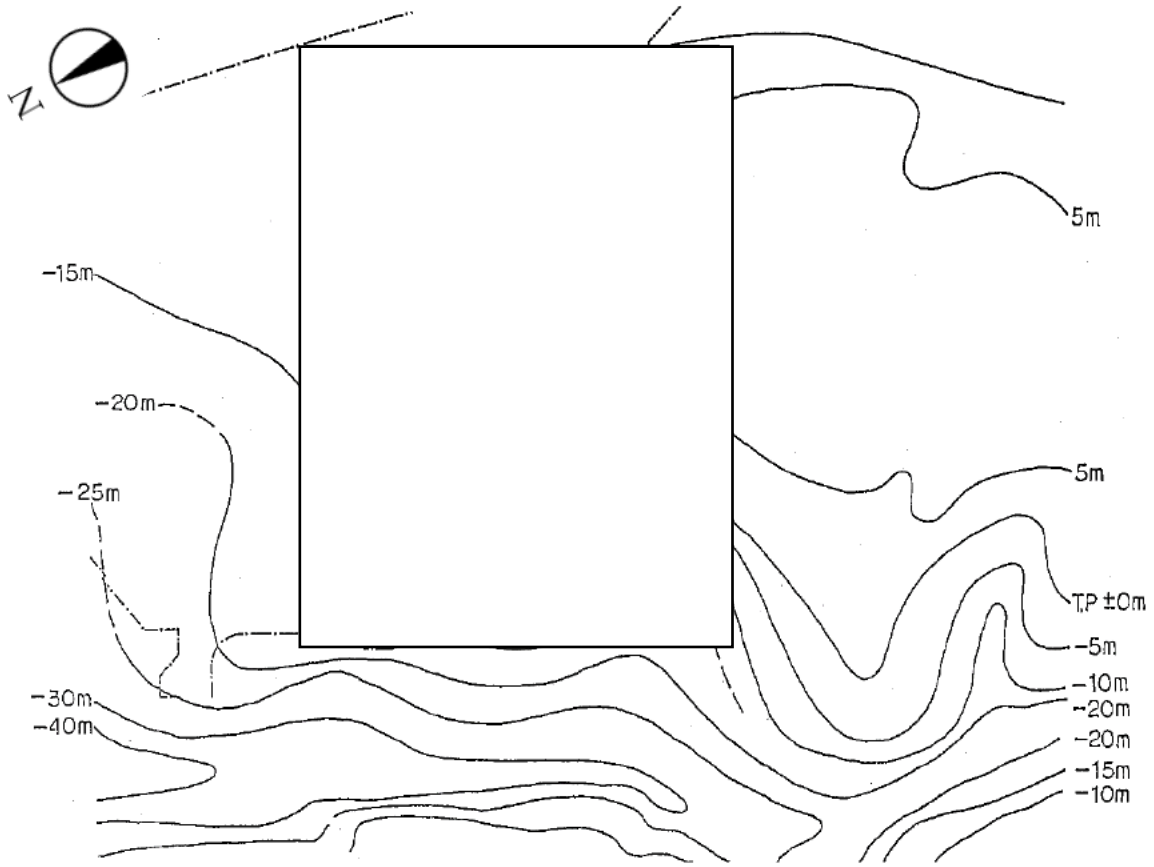
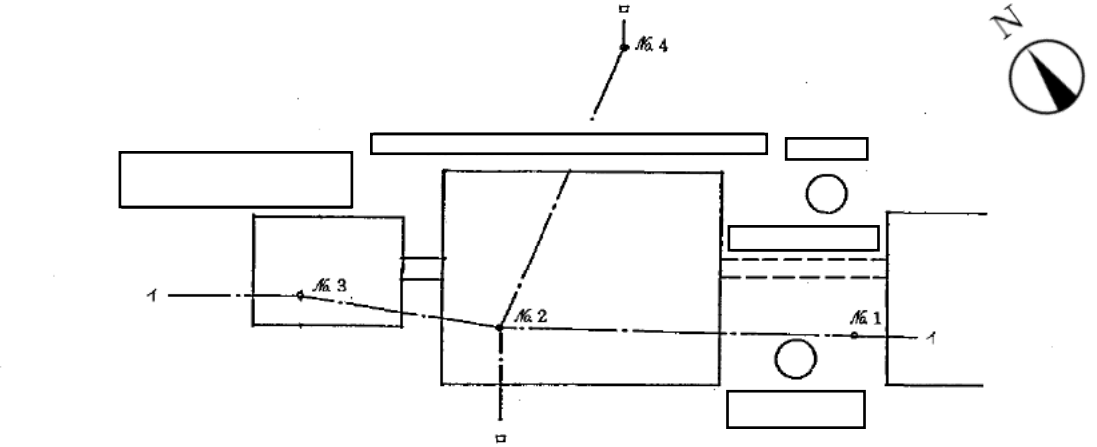
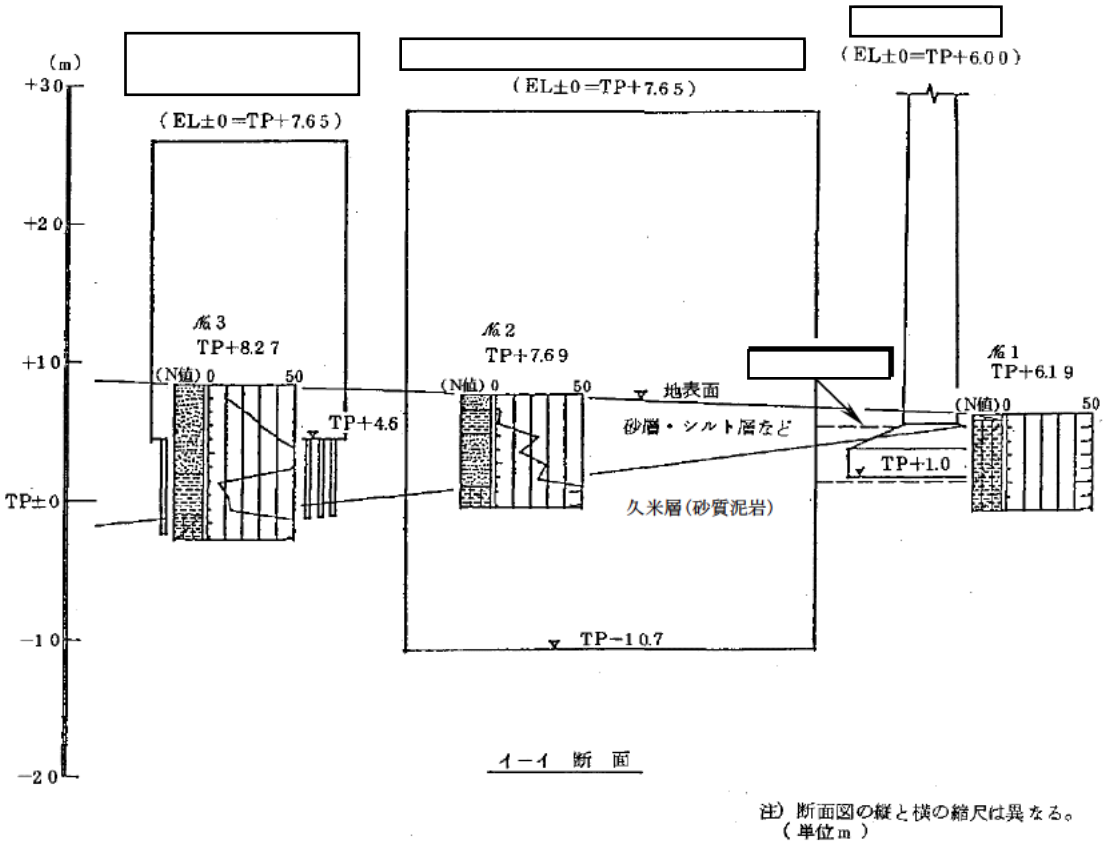


図 2-4　基礎地盤(久米層)の等高線図



ボーリング位置図



イ－イ 断 面

注) 断面図の縦と横の縮尺は異なる。
(単位 m)

図 2-5　基礎地盤(久米層)の断面図

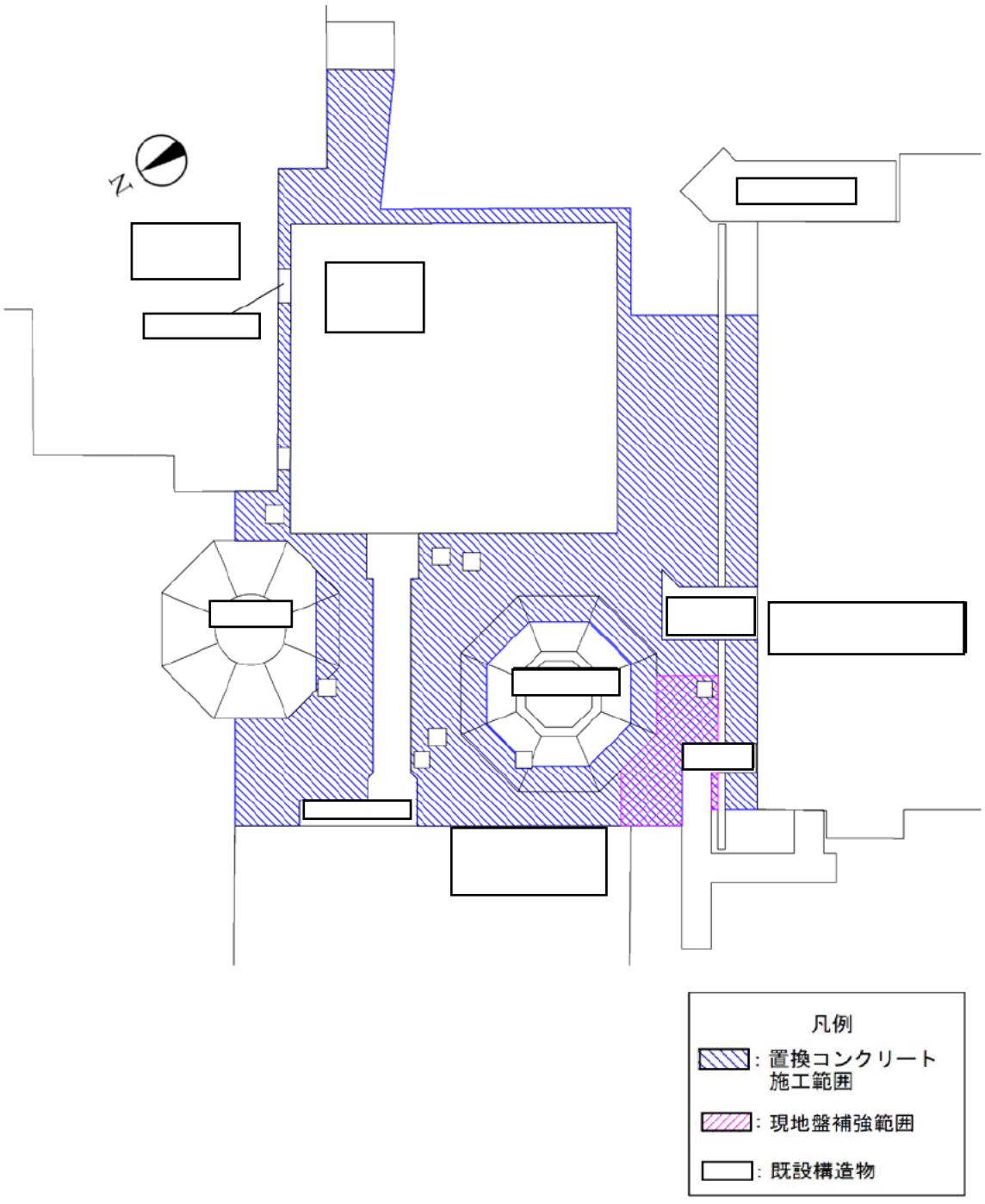


図 2-6　配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良範囲

2.3 解析方針

配管トレンチ(T21)は，廃止措置計画用設計地震動(Ss)に対して地震応答解析を実施する。地震応答解析においては，地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

図 2-7 に配管トレンチ(T21)の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は，「2. 一般事項」に基づき，「3.2 解析対象断面」にて設定する断面において時刻歴非線形解析にて行う。時刻歴非線形解析は，「3.4 解析モデル及び諸元」及び「3.5 荷重及び荷重の組合せ」に示す条件を基に，「3.3 入力地震動」にて設定する入力地震動を用いて，水平地震動と鉛直地震動の同時加振により実施する。

地震応答解析による応答加速度は，機器・配管系の設計用床応答曲線の作成に用い，断面力及び接地圧は，配管トレンチ(T21)の耐震性評価に用いる。

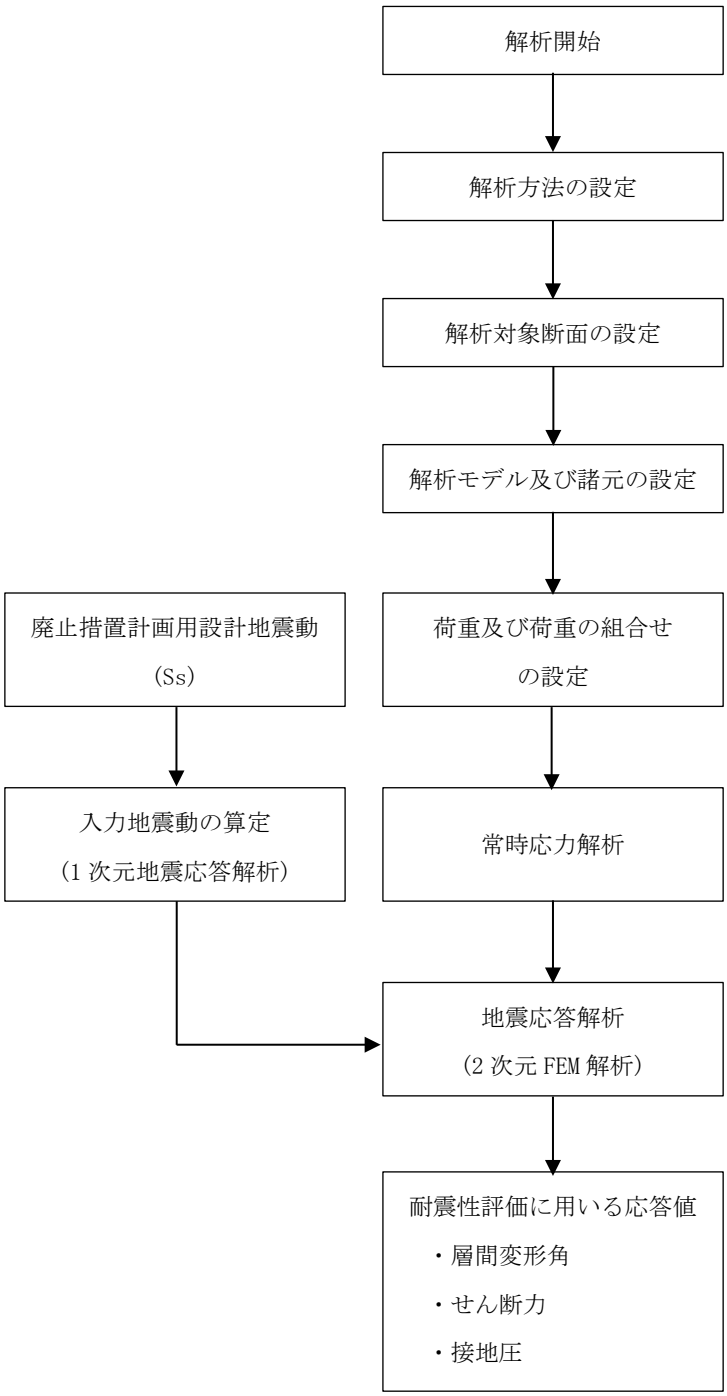


図 2-7　配管トレンチ(T21)の地震応答解析フロー

2.4 準拠規格・基準

配管トレンチ(T21)の地震応答解析において，準拠する規格・基準等を以下に示す。

・ コンクリート標準示方書［構造性能照査編］(土木学会)
・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル(土木学会)
(以下「土木学会マニュアル」という。)
・ 原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601(日本電気協会)
・ 原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601(日本電気協会)
・ 道路橋示方書(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)・同解説(日本道路協会)

2.5 使用材料

配管トレンチ(T21)の使用材料は，既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(ガラス固化技術開発施設)」に基づき設定する。構造物の使用材料を表 2-1 に示す。

表 2-1　構造物の使用材料

コンクリート	設計基準強度(N/mm²) 22.1
鉄筋	SD35(SD345 相当)

3. 地震応答解析

3.1 解析方法

配管トレンチ(T21)の地震応答解析は，地盤と構造物の相互作用を考慮できる二次元有限要素法を用いて，廃止措置計画用設計地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

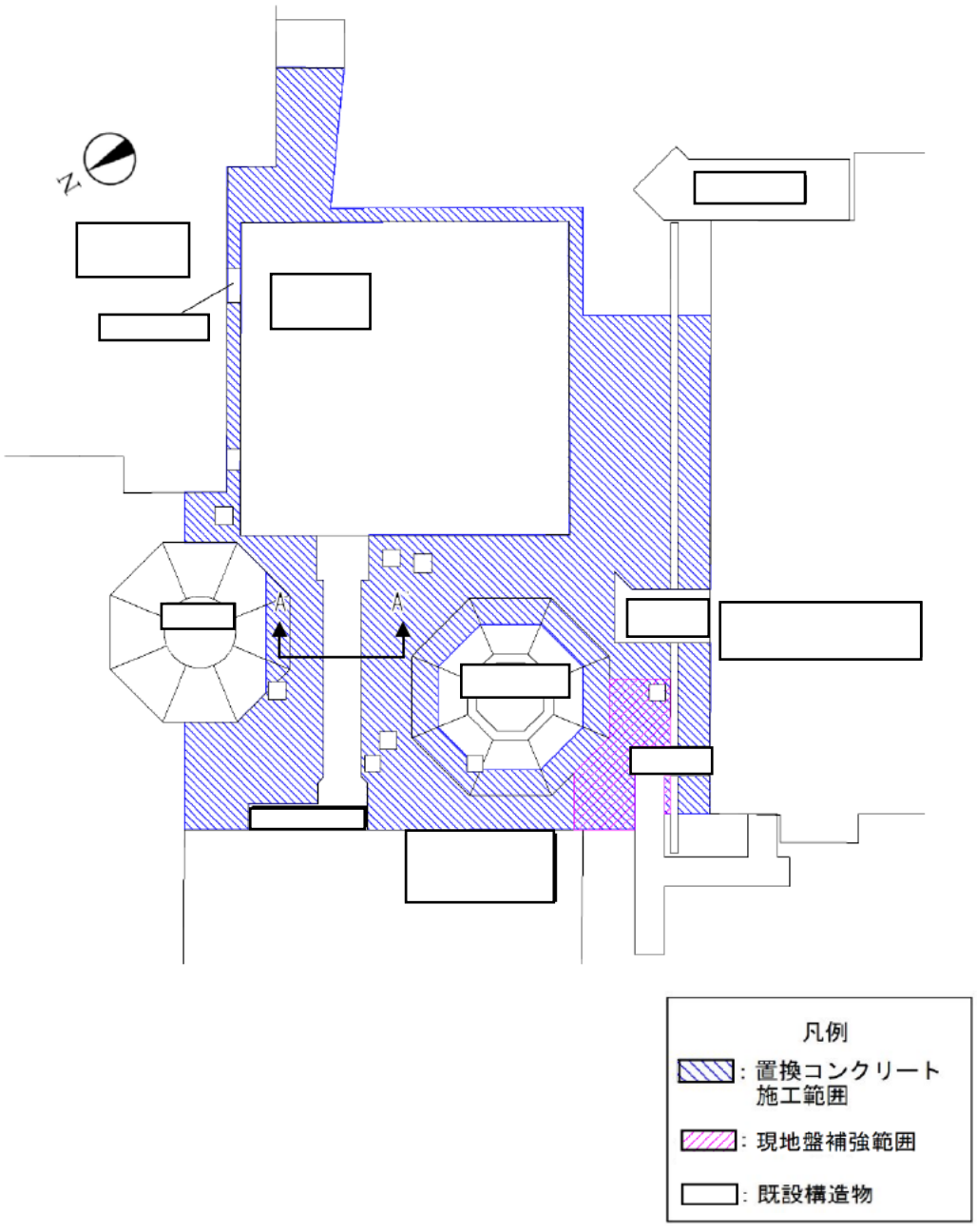
地震応答解析に用いる地盤剛性は，原地盤におけるせん断波速度の原位置試験データに基づき設定し，地盤の液状化強度特性は，構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として，ばらつき(-1σ)を設定する。

地震応答解析に使用する解析コードは，「FLIP(FLIP コンソーシアム)」である。

3.2 解析対象断面

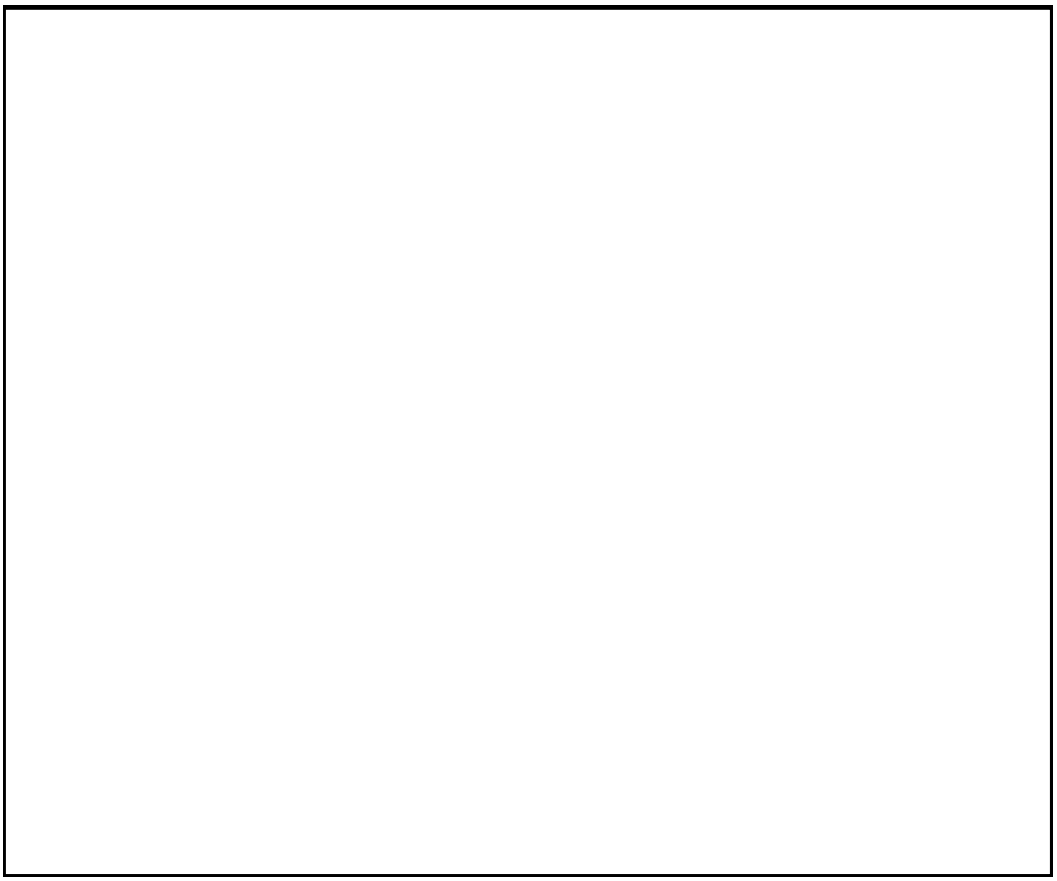
配管トレンチ(T21)の解析対象断面位置図を図 3-1 に示す。構造物の耐震性評価における解析対象断面は図 3-1 の NS 方向断面(A-A'断面)とする。

解析対象断面を図 3-2 に示す。



※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により，改良範囲が異なる場合がある。

図 3-1　配管トレンチ(T21)の解析対象断面位置図



※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により，改良範囲が異なる場合がある。

図 3-2　配管トレンチ(T21)の解析対象断面(A-A'断面)

3.3 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される廃止措置計画用設計地震動(Ss)を一次元等価線形解析により地震応答解析モデル(二次元 FEM モデル)の底面位置で算定した応答波(2E)を用いる。

廃止措置計画用設計地震動のうち，NS 及び EW 方向で個別の地震動が定義されている Ss-1 及び Ss-2 については，解放基盤表面への入力前に建家座標系に方位変換する。

入力地震動算定の概念図を図 3-3 に，地盤の物性値を表 3-1 に，動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を図 3-4 に，入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-5 から図 3-7 に示す。

入力地震動の算定に使用する解析コードは，「SoilPlus(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

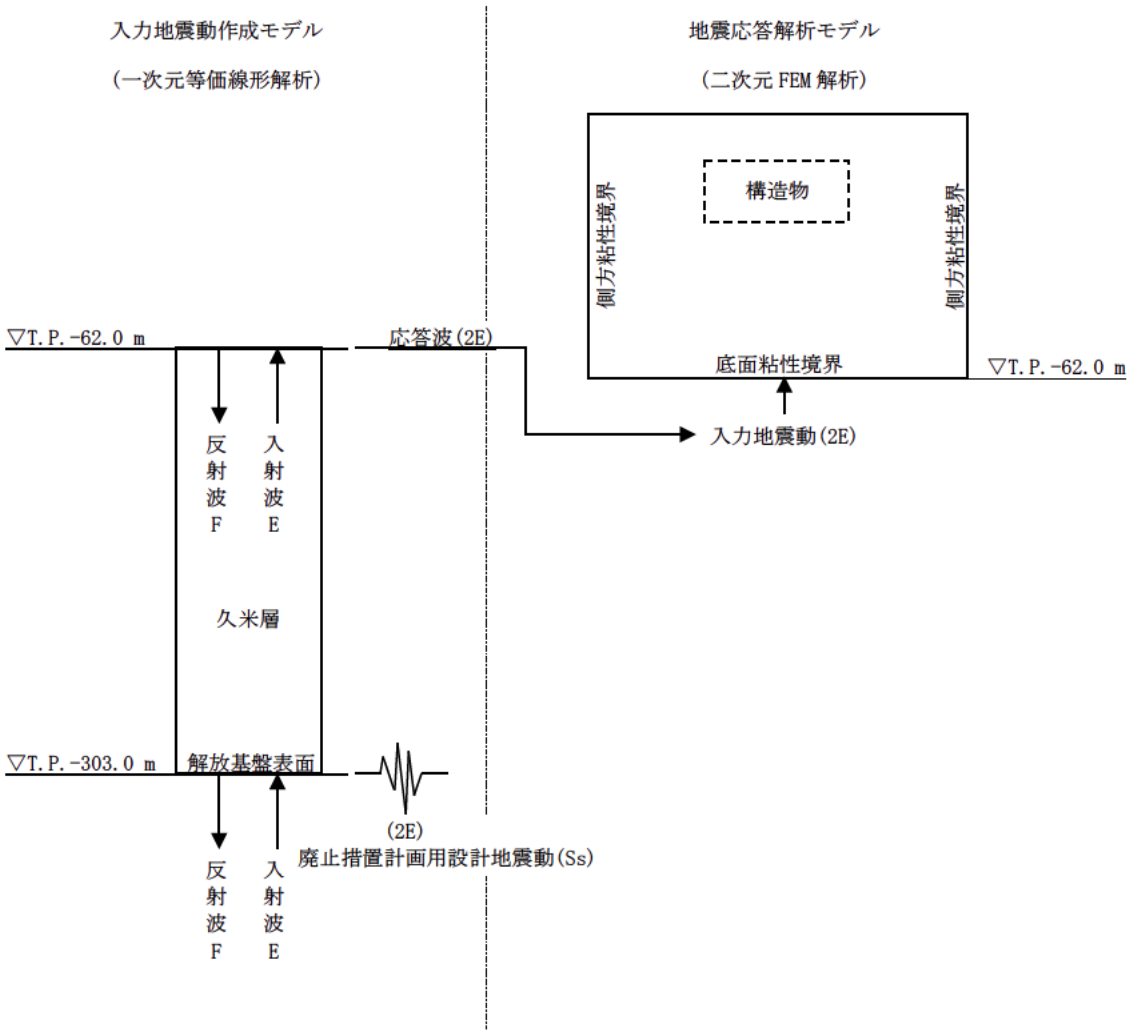
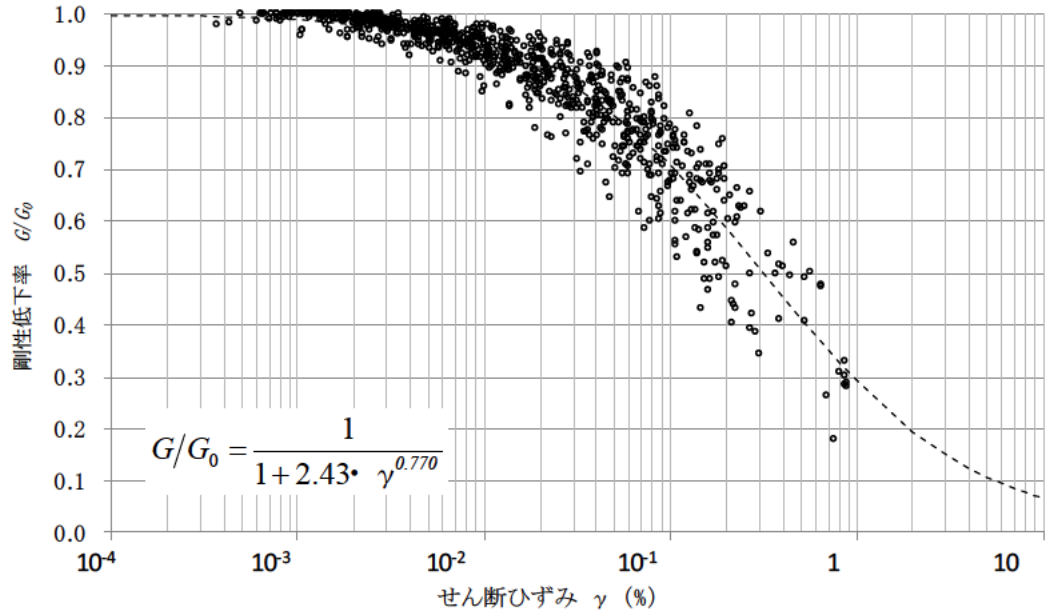


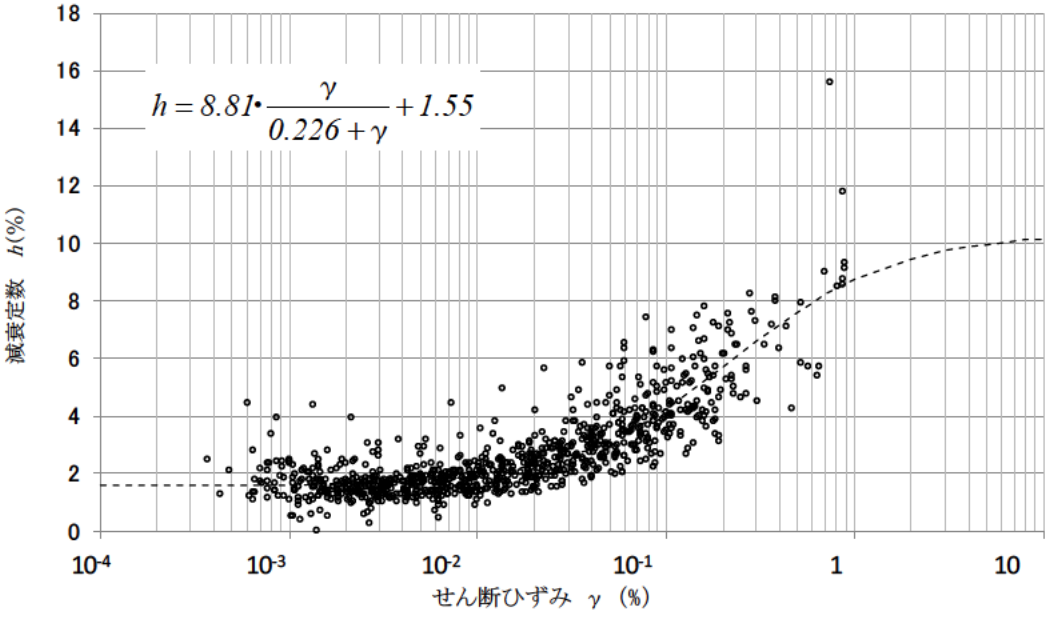
図 3-3　入力地震動算定の概念図

表 3-1　地盤の物性値(入力地震動作成モデル)

標高 T.P.(m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 $G_0(MN/m^2)$
-62.0					
-92.0	久米層	Km3	1.77	0.447	515
-118.0		Km4	1.77	0.444	549
-169.0		Km5	1.77	0.440	596
-215.0		Km6	1.77	0.436	655
-261.0		Km7	1.77	0.431	711
-303.0	▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426	764
	解放基盤		1.77	0.417	867

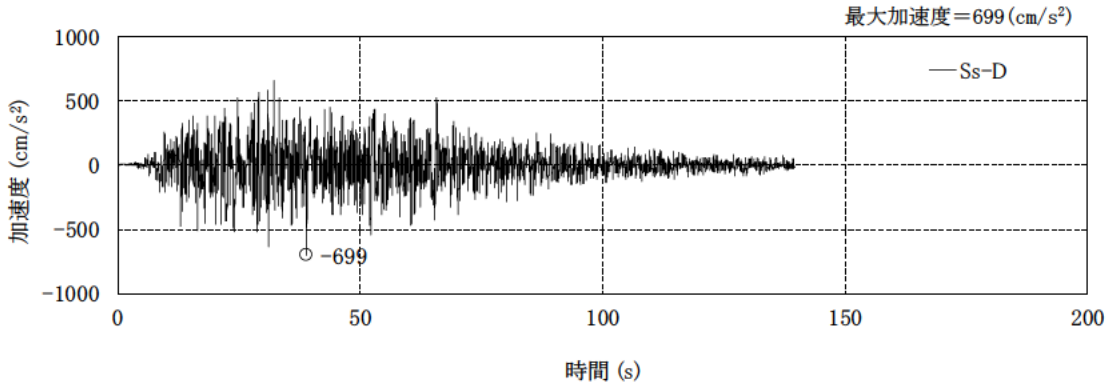


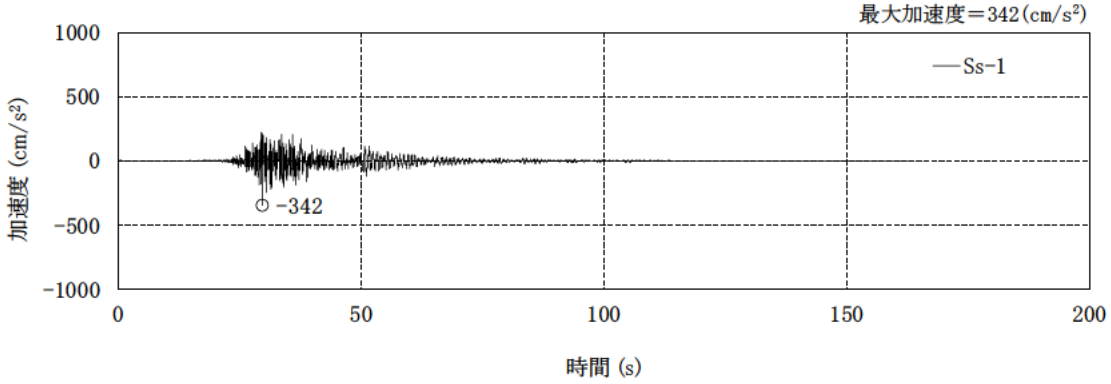
(a)動せん断弾性係数



(b)減衰定数

図 3-4　動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)





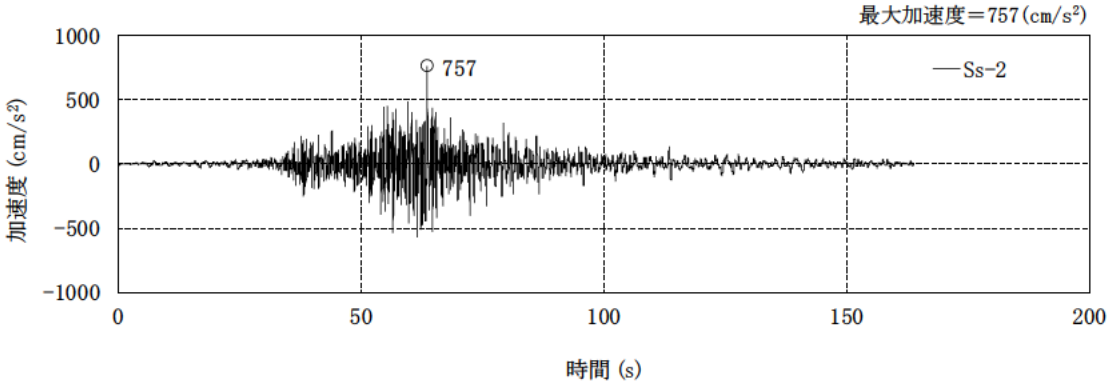
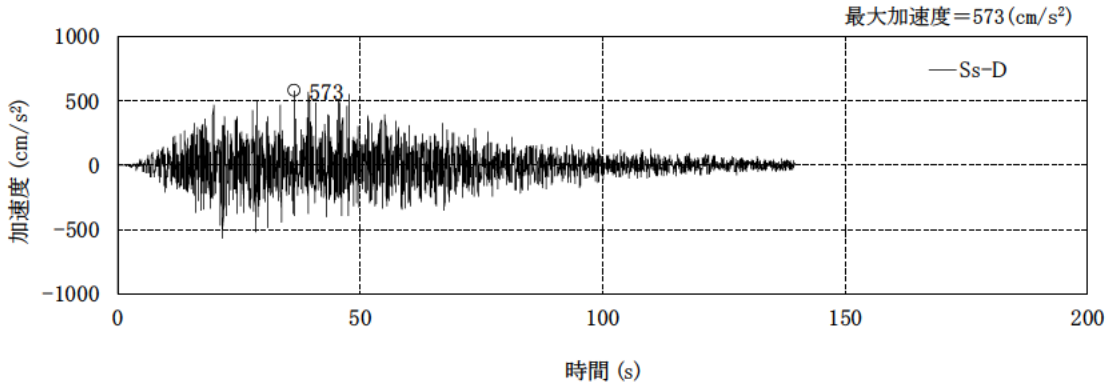
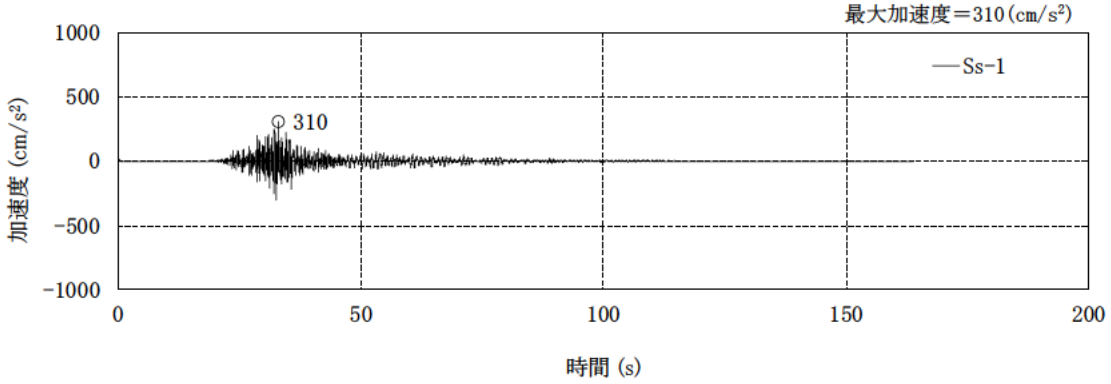


図 3-5　入力地震動の加速度時刻歴波形(水平方向)





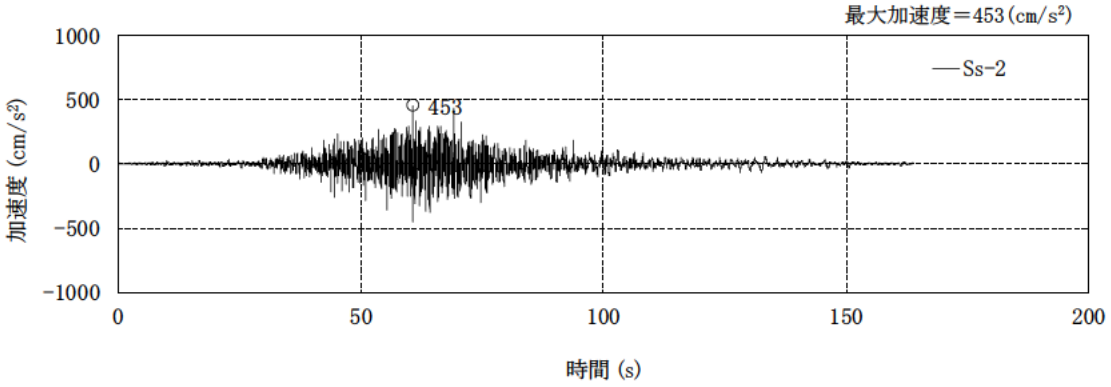
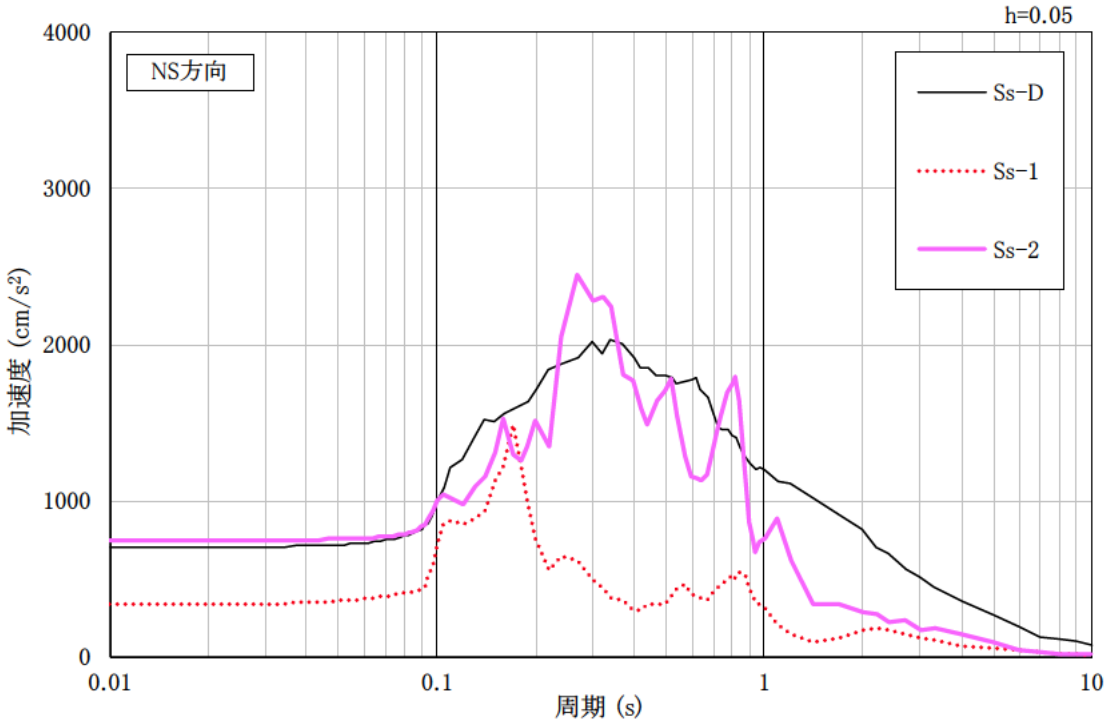
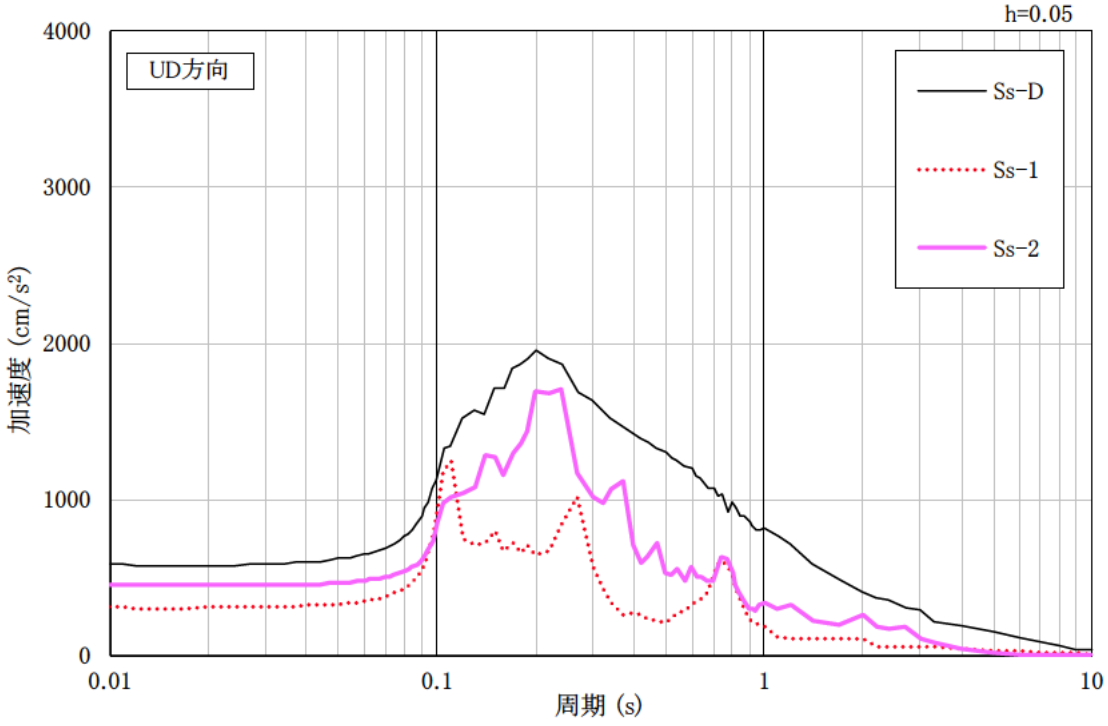


図 3-6　入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3-7　入力地震動の加速度応答スペクトル

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 解析モデル

配管トレンチ(T21)の地震応答解析モデルを図 3-8 に示す。

(1)解析領域

解析領域は，側方境界及び底面境界が，構造物の応答に影響しないよう，構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。具体的には，JEAG4601 を参考に，モデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上，モデル高さを構造物基礎幅の 2 倍以上確保する。

(2)境界条件

解析領域の側方及び底面には，エネルギーの逸散効果を考慮するため，粘性境界を設ける。

(3)構造物のモデル化

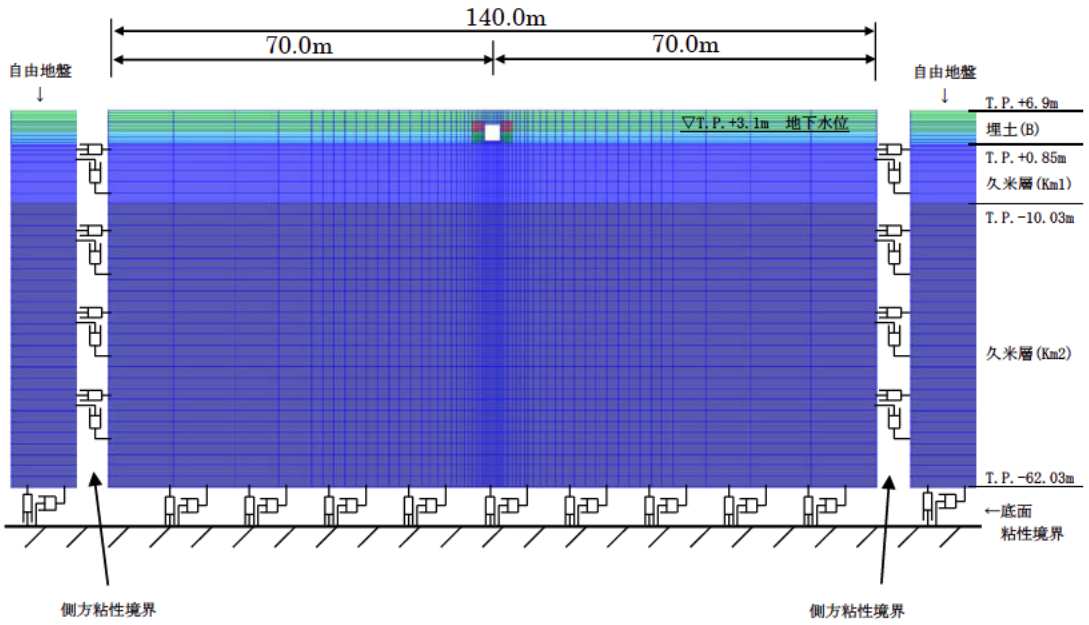
配管トレンチ(T21)躯体は，頂版，側壁及び底版の断面中心位置に線形梁要素によりモデル化する。

(4)地盤のモデル化

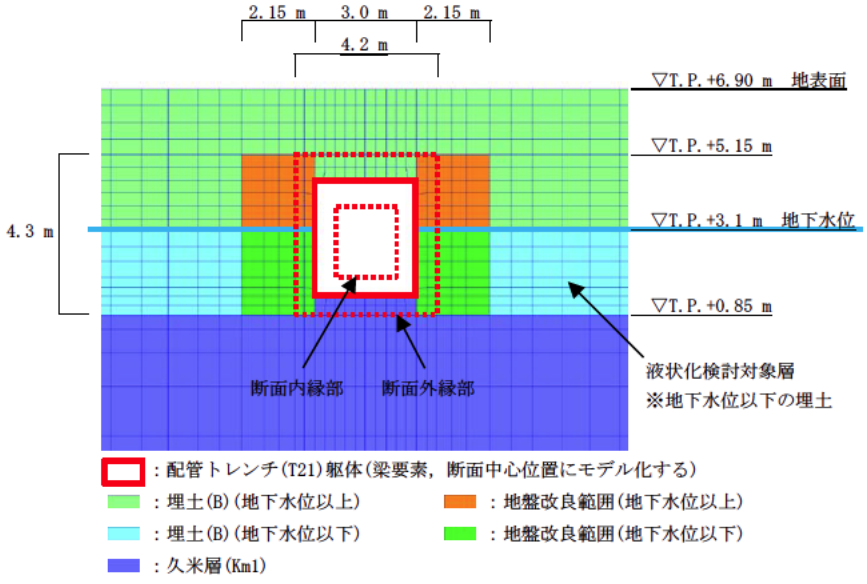
地盤は，マルチスプリング要素によりモデル化し，地盤の繰返しせん断応力-せん断ひずみ関係の骨格曲線は，地震時の有効応力の変化に応じた地震時挙動を表現できる双曲線モデル(H-D モデル)を設定する。地盤の要素は，地質断面図に基づき分割し，地盤の要素の高さは，JEAG4601 を参考に，最大周波数 20 Hz 及び地盤のせん断波速度 Vs により求まる要素高さ(＝1/4×Vs/20)を目安に設定し，浅くなるにつれて細かく分割する。地下水位は，地盤調査結果に基づき T.P.+3.1 m に設定する。配管トレンチ(T21)側面の地盤改良は，水平方向に広範囲で実施するが，解析では保守的な設定として，地盤改良範囲の幅は 2.15 m(構造物幅の約 1/2)とする。

(5)減衰

構造物の減衰は剛性比例型減衰とし，減衰定数を 3 %とする。地盤の減衰はレーリー減衰とし，減衰定数を 1 %とする。



(a)全体図



(b)配管トレンチ(T21)周辺拡大図

図 3-8　配管トレンチ(T21)の地震応答解析モデル

3.4.2 材料の物性値

配管トレンチ(T21)の地震応答解析に用いる材料の物性値は，土木学会マニュアルに基づき設定する。材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-2　材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m³)	ヤング係数 (N/mm²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.5	2.43×10^{4}	0.2

3.4.3 地盤の物性値

地震応答解析に用いる地盤の物性値を表 3-3 に，設定根拠を表 3-4 に示す。物性値は，敷地内における各種の地盤調査及び地盤材料試験に基づき設定する。

液状化検討対象層とする埋土に設定する液状化パラメータは，液状化試験(繰返し非排水三軸試験)結果から得られる液状化強度特性に基づき設定する。液状化強度特性は，保守的に(液状化しやすく)評価されるよう，原地盤の液状化試験データの最小二乗法による回帰曲線と，その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差σを用いて，平均-1σとなる曲線を設定する。

液状化試験結果から得られた液状化強度特性及びFLIPによる再現結果を図 3-9 に示す。平均-1σの液状化強度曲線を再現するよう設定したFLIPの液状化パラメータを表 3-5 に示す。

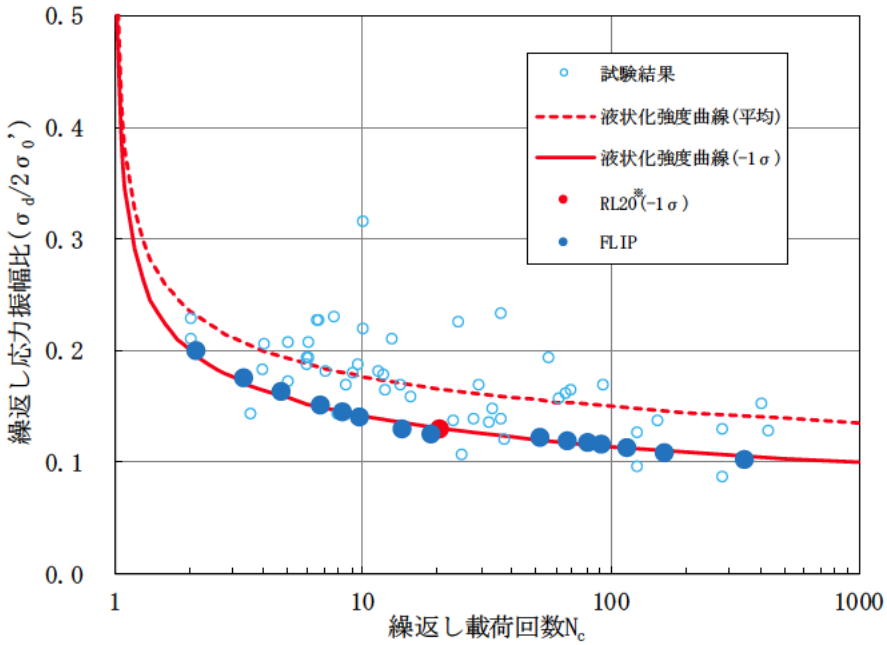
地盤改良に用いる置換コンクリートの物性値を表 3-6 に示す。地盤改良範囲の要素は，久米層(Km1)以上のせん断弾性係数を持つコンクリートで地盤を改良するため，当該要素を久米層(Km1)でモデル化している。

表 3-3　地盤の物性値(地震応答解析モデル)

	記号	単位	埋土 B	久米層 Km1	久米層 Km2
密度	ρ	g/cm^3	1.76	1.77	1.77
間隙率	n	－	0.418	0.519	0.519
ポアソン比	ν	－	0.22	0.46	0.46
基準平均有効主応力	σ_{ma}'	kN/m^2	61.83	1	1
基準せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2	75300	428000	466000
最大減衰定数	h_{max}	－	0.2507	0.1406	0.1406
粘着力	C	kN/m^2	0	1030	1120
内部摩擦角	ϕ	°	40	0	0
せん断波速度	Vs	m/s	143	492	513

表 3-4　物性値の設定根拠(地震応答解析モデル)

	記号	単位	埋土 B	久米層 Km1	久米層 Km2
密度	ρ	g/cm^3	室内物理試験	室内物理試験	室内物理試験
間隙率	n	－			
ポアソン比	ν	－	三軸圧縮試験	PS 検層から 算定	PS 検層から 算定
基準平均有効主応力	σ_{ma}'	kN/m^2	動的変形試験 に基づき設定	動的変形試験 に基づき設定	動的変形試験 に基づき設定
基準せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2			
最大減衰定数	h_{max}	－			
粘着力	C	kN/m^2	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験 及び引張強さ 試験	三軸圧縮試験 及び引張強さ 試験
内部摩擦角	ϕ	°			
せん断波速度	Vs	m/s	PS 検層	PS 検層	PS 検層



※RL20：液状化強度比（N_c＝20 回で液状化に至る繰返し応力振幅比）

図 3-9　液状化強度特性及び FLIP による再現結果（埋土）

表 3-5　FLIP の液状化パラメータ

	変相角 ϕ_p（°）	液状化の終局状態を規定するパラメータ S_1	液状化特性全体を規定するパラメータ W_1	液状化特性の前半を規定するパラメータ P_1	液状化特性の後半を規定するパラメータ P_2	液状化発生の下限値を規定するパラメータ C_1
埋土 B（-1σ）	28	0.005	1.267	0.355	1.2	1.59

表 3-6　置換コンクリートの物性値

材料	設計基準強度 (N/mm²)	単位体積重量 (kN/m³)	ヤング係数 (N/mm²)	ポアソン比	せん断弾性係数 (kN/m²)
置換コンクリート	18	23	2.06×10^4	0.2	8580000

3.5 荷重及び荷重の組合せ

3.5.1 荷重

配管トレンチ(T21)の地震応答解析において，考慮する荷重を以下に示す。

(1)固定荷重(G)

固定荷重として，躯体自重を考慮する。

(2)積載荷重(P)

積載荷重として機器・配管荷重，土圧及び水圧による荷重を考慮する。

(3)地震荷重(Ks)

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による荷重を考慮する。

3.5.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-7 に示す。

表 3-7　荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時(Ss)	G＋P＋Ks

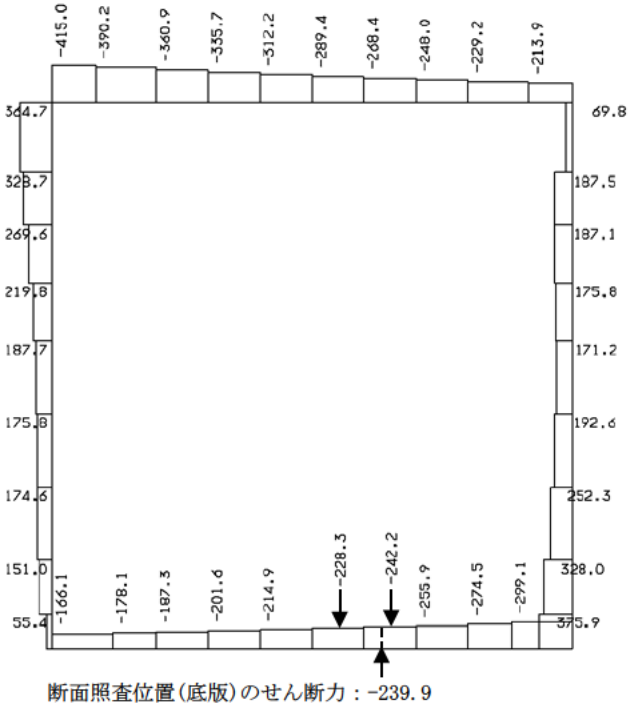
G ：固定荷重

P ：積載荷重

Ks ：地震荷重

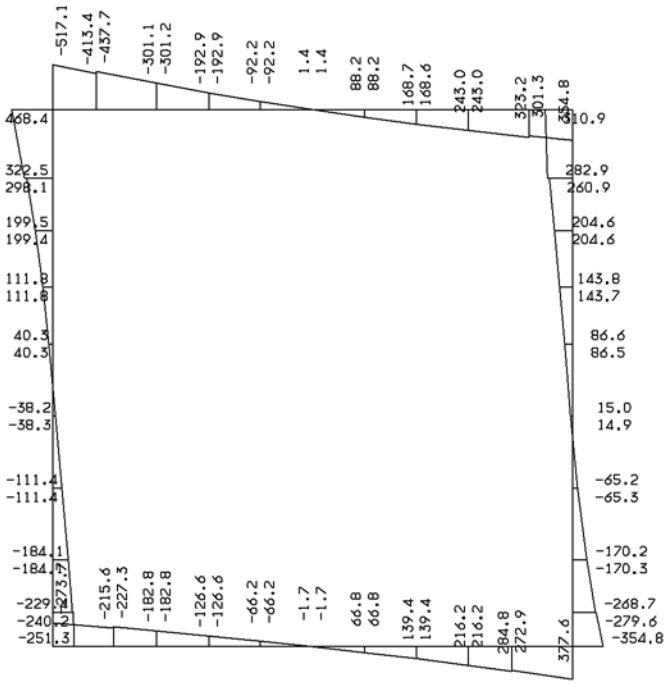
4. 地震応答解析結果

地震応答解析結果のうち，最大の応答値が発生する Ss-D を入力地震動とするケースについて，配管トレンチ(T21)躯体のせん断力，曲げモーメント，軸力分布及び最大層間変位を図 4-1 から図 4-4 に示す。なお，液状化検討対象層とした地下水位以下の埋土は，地震応答解析において過剰間隙水圧比が 0.95 を超えることから，液状化が生じる結果となっており，解析結果には液状化による地盤時挙動の影響が含まれている。



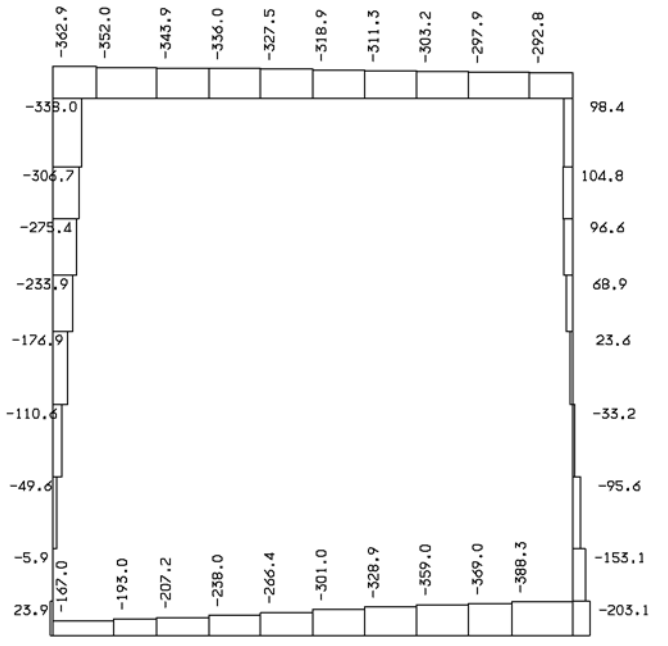
(単位：kN)

図 4-1　せん断力分布図(Ss-D，時刻 t=15.81 s)



（単位：kN・m）

図 4-2　曲げモーメント分布図(Ss-D, 時刻 t=15.81 s)



（単位：kN）

図 4-3　軸力分布図(Ss-D, 時刻 t=15.81 s)

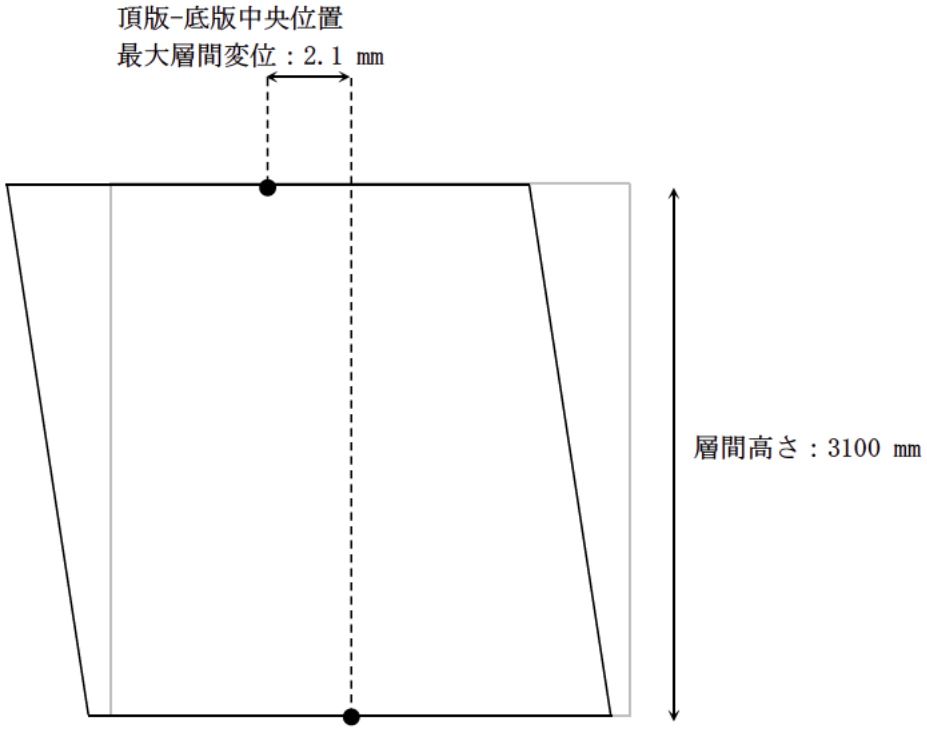


図 4-4　最大層間変位(Ss-D, 時刻 t=22.31 s)

5. 耐震性評価

5.1 評価方針

配管トレンチ(T21)の耐震性評価は，地震応答解析結果に基づき，表 5-1 に示すとおり，構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行うことで，構造強度を有すること及びＳクラスの設備を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については，構造部材の層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価においては，基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

配管トレンチ(T21)の耐震性評価フローを図 5-1 に示す。

表 5-1　配管トレンチ(T21)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角，せん断力が許容限界以下であることを確認	限界層間変形角
				せん断耐力
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力
Ｓクラスの設備を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角，せん断力が許容限界以下であることを確認	限界層間変形角
				せん断耐力

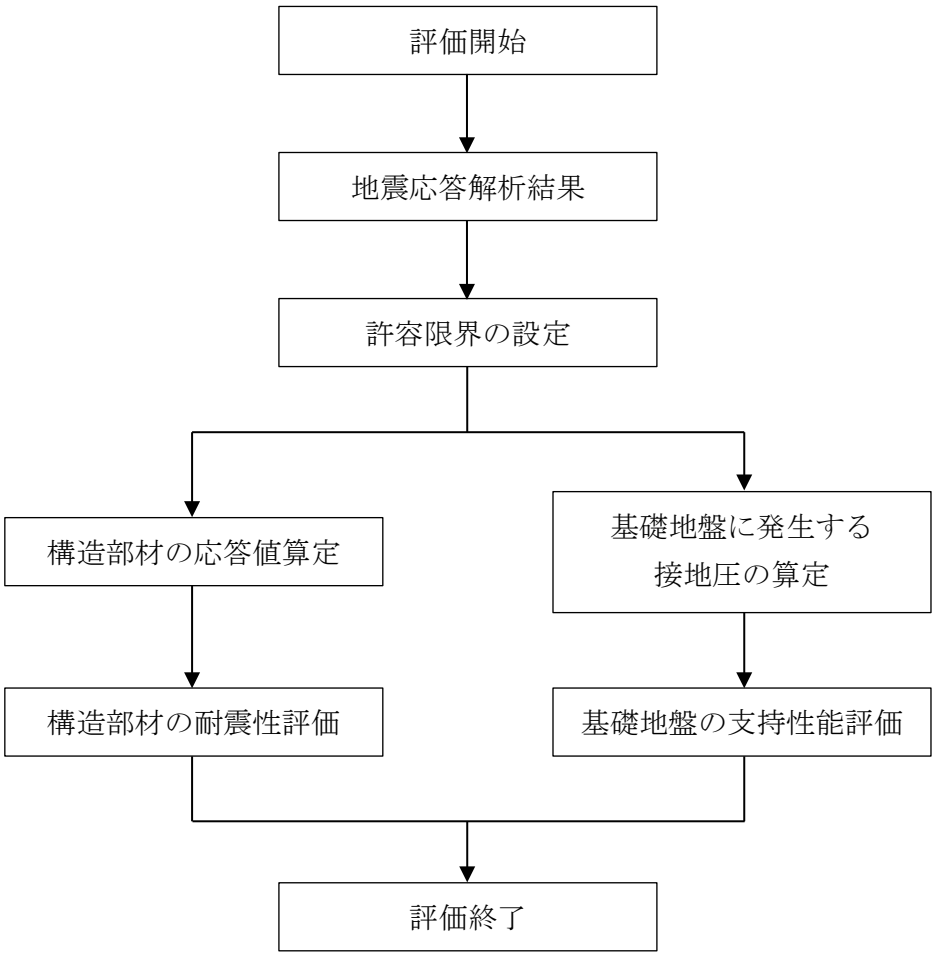


図 5-1　配管トレンチ(T21)の耐震性評価フロー

5.2 許容限界

5.2.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1)曲げに対する許容限界

構造部材の曲げに対する照査は，土木学会マニュアルに基づき，層間変形角1/100(以下「限界層間変形角」という。)を許容限界とする。

土木学会マニュアルでは，曲げ系の破壊に対する限界状態は，圧縮縁コンクリートひずみが 1.0 %に至った状態とされており，層間変形角が 1/100 以下であれば，限界状態に至らないことを保証したものとみなされる。

(2)せん断に対する許容限界

構造部材のせん断力に対する照査は，土木学会マニュアルに基づき，以下のせん断耐力評価式からせん断耐力を算出し，棒部材式とディープビーム式で求まるせん断耐力のうち，いずれか大きい方を許容限界とする。

(a)棒部材式

$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$

ここで，V_{cd}：コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd}：せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d/\gamma_{bc}$

$f_{vcd} = 0.20\sqrt[3]{f'_{cd}}$

ただし，$f_{vcd} > 0.72\ (N/mm^2)$となる場合は$f_{vcd} = 0.72\ (N/mm^2)$

$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}\quad (d\ [m])$　　ただし，$\beta_d > 1.5$となる場合は$\beta_d = 1.5$

$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$　　ただし，$\beta_p > 1.5$となる場合は$\beta_p = 1.5$

$\beta_n = 1 + M_0/M_d\ (N'_d \geq 0)$　　ただし，$\beta_n > 2.0$となる場合は$\beta_n = 2.0$

$= 1 + 2M_0/M_d (N'_d < 0)$　　ただし，$\beta_n < 0$となる場合は　$\beta_n = 0$

$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$　　ただし，$\beta_a < 1.0$となる場合は$\beta_a = 1.0$

f'_{cd}：コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm²)で設計基準強度f'_{ck}を材料係数γ_{mc}(=1.3)で除したもの

$p_v = A_s/(b_w \cdot d)$：引張鉄筋比

A_s：引張側鋼材の断面積

b_w：部材の有効幅

N'_d：設計軸圧縮力

M_d：設計曲げモーメント

$M_0 = N'_d \cdot D/6$：M_dに対する引張縁において，軸方向力によって発生する応力

を打ち消すために必要なモーメント(デコンプレッションモーメント)

D：断面高さ

a/d：せん断スパン比

γ_{bc}：部材係数(=1.3)

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd}(\sin\alpha + \cos\alpha)/s\}\, z/\gamma_{bs}$$

A_w：区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd}：せん断補強鉄筋の降伏強度で，400(N/mm²)以下とする。ただし，コンクリート圧縮強度の特性値f'_{ck}が 60(N/mm²)以上の時は，800(N/mm²)以下とする。

α：せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s：せん断補強鉄筋の配置間隔

z：圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で，一般に$d/1.15$としてよい。

γ_{bs}：部材係数(=1.1)

(b)ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで，V_{cdd}：コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd}：せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d/\gamma_{bc}$$

$f_{dd} = 0.19\sqrt{f'_{cd}}$

$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$　$(d\ [m])$　　ただし，$\beta_d > 1.5$となる場合は$\beta_d = 1.5$

$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$　　ただし，$\beta_p > 1.5$となる場合は$\beta_p = 1.5$

$\beta_a = \frac{5}{1+(a/d)^2}$

γ_{bc}：部材係数(=1.3)

$$V_{sdd} = \varphi \cdot V_{sd}$$

$\varphi = -0.17 + 0.3a/d + 0.33/p_{wb}$　ただし，$0 \le \varphi \le 1$

p_{wb}：せん断補強鉄筋比(%)

5.2.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に生じる接地圧に対する許容限界は，基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度とする。

表 5-2 に極限支持力度を示す。

表 5-2　基礎地盤の支持性能に対する許容限界

	極限支持力度 (kN/m²)
基礎地盤(久米層)	2350

5.3 評価方法

配管トレンチ(T21)の耐震性評価は，地震応答解析により算定した照査用応答値が「5.2 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

5.3.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げに対する照査は，地震応答解析により算定した照査用層間変形角が許容限界以下であることを確認する。照査用層間変形角は，土木学会マニュアルに基づき，以下の式により算出する。

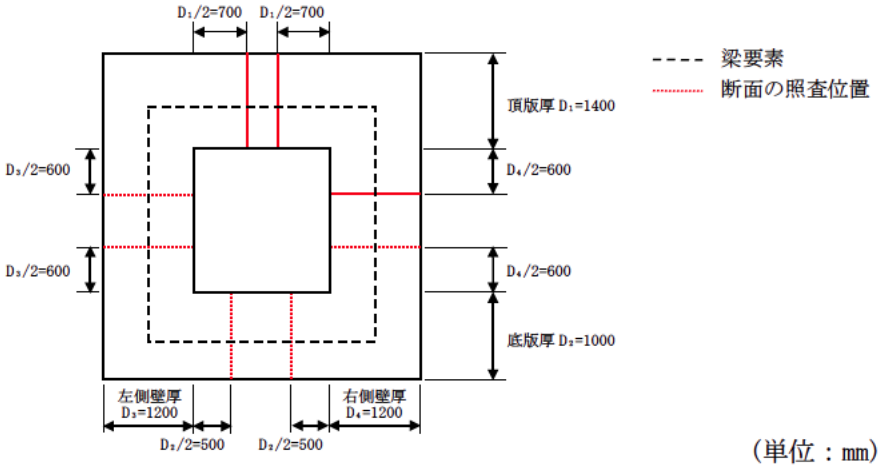
$$R_d = \gamma_a \cdot \frac{\Delta}{H}$$

ここで，γ_a：構造解析係数(=1.20)，Δ：最大層間変位(mm)，H：層間高さ(mm)

構造部材のせん断に対する照査は，地震応答解析により算定した照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。照査用せん断力は，土木学会マニュアルに基づき，図 5-2 に示す断面の照査位置における数値を以下の式により算出する。

$$V_d = \gamma_a \cdot V$$

ここで，γ_a：構造解析係数(=1.05)，V：発生せん断力(kN)



(単位：mm)

図 5-2　断面の照査位置

5.3.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては，地震応答解析により基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

6. 耐震性評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げに対する照査の最大照査値を表 6-1 に示す。構造部材のせん断に対する照査の最大照査値を表 6-2 に示す。

配管トレンチ(T21)の構造部材の層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1　曲げに対する照査の最大照査値

地震動	頂版-底版 中央位置 最大層間変位 (mm)	照査用 層間変形角 R_d	限界 層間変形角 R_U	R_d/R_U
Ss-D	2.1	0.00081	0.01	0.09

表 6-2　せん断に対する照査の最大照査値

地震動	照査位置	照査用せん断力 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	V_d/V_{yd}
Ss-D	頂版	332	1215	0.28
Ss-D	左側壁	186	640	0.30
Ss-D	右側壁	229	721	0.32
Ss-D	底版	252	669	0.38

6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-3 に，最大接地圧分布図を図 6-1 に示す。

配管トレンチ(T21)の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 6-3　基礎地盤の支持性能照査結果

地震動	最大接地圧 (kN/m²)	極限支持力度 (kN/m²)
Ss-D	161	2350

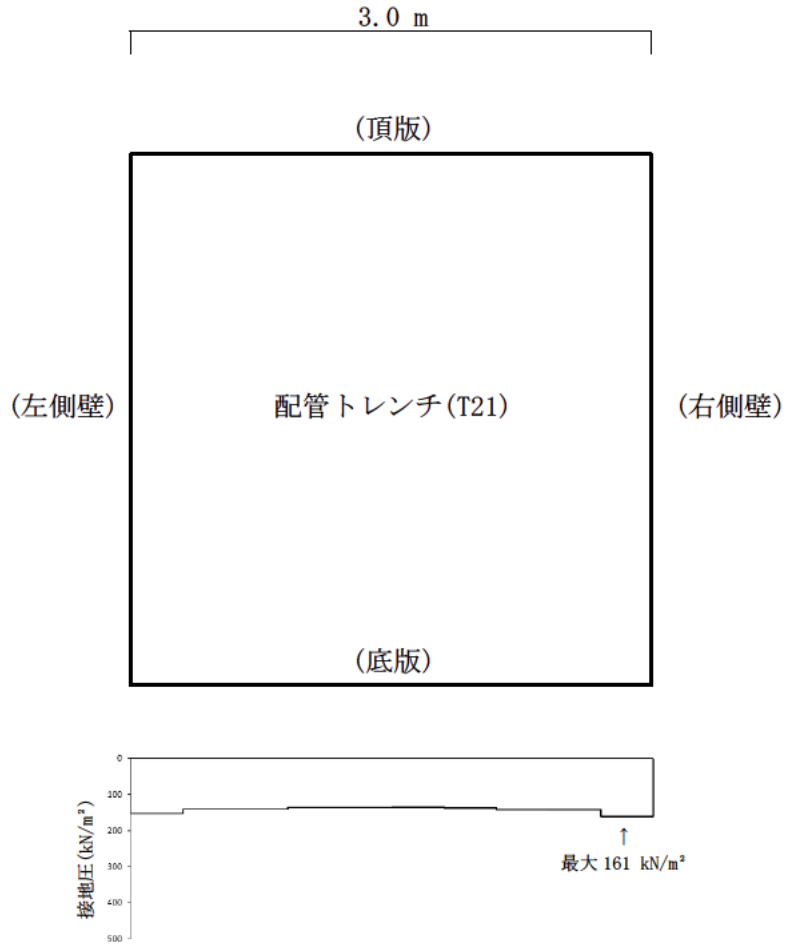


図 6-1　最大接地圧分布図

建物・構築物及び機器・配管系の構造（耐震性）の評価で使用した計算機プログラム（解析コード）の概要

1. 概要

別添 6-1-2-3「建物・構築物及び機器・配管系の構造（耐震性）に関する説明書」において使用した計算機プログラム（解析コード）の概要を示す。使用した計算機プログラムのうち，他の原子力施設の審査に用いられているものについては 2 章に実績例を明示する。一方，他の原子力施設の審査に用いられていないものについては，検証を行って妥当性を確認した上で使用していることから，3 章に実施した検証の内容について示す。

2.使用実績のある計算プログラム

コード名 / 項目	RESP-F3T
対象	高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家
使用目的	建家の地震応答解析
開発機関	株式会社構造計画研究所
使用したバージョン	Ver. 1.5.3
コードの概要	時刻歴領域における 3 次元構造解析が可能な汎用解析プログラムである。部材の材料非線形性及び基礎浮き上がりの非線形性を考慮した地震応答解析を行うことができる。
使用実績	京都大学研究用原子炉(KUR),日本原子力研究開発機構 JRR-3 で使用実績あり。

コード名 / 項目	ADMITK
対象	高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家
使用目的	建家解析モデルに用いる底面地盤ばねの算定
開発機関	株式会社構造計画研究所
使用したバージョン	Ver. 2.0
コードの概要	振動アドミッタンス理論に基づき水平,鉛直,回転に対する底面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
使用実績	京都大学研究用原子炉(KUR)で使用実績あり。

コード名 項目	FLIP
対象	配管トレンチ(T21)
使用目的	2 次元地盤・構築物の地震応答解析
開発機関	FLIP コンソーシアム
使用したバージョン	Ver. 7.3.0_2
コードの概要	1988 年に運輸省港湾技術研究所(現：港湾航空技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく 2 次元地震応答解析プログラムである。
使用実績	日本原子力発電株式会社 東海第二発電所で使用実績あり。

コード名 項目	Soil Plus
対象	配管トレンチ(T21)
使用目的	1 次元地盤の地震応答解析（入力地震動の算定）
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
使用したバージョン	Ver. 16.0
コードの概要	時刻歴領域における地盤･構造物の 3 次元連成解析が可能な汎用解析プログラムである。1 次元地盤の地震応答解析にも適用でき,地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができる。
使用実績	日本原子力発電株式会社 東海第二発電所で使用実績あり。

コード名 項目	FINAS
対象	機器・配管系
使用目的	機器の地震応答解析（静的解析，動的解析）
開発機関	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 株式会社伊藤忠テクノソリューションズ
使用したバージョン	Ver. 21.0
コードの概要	FINAS(Finite Element Nonlinear Structural Analysis System)は,線形及び非線形の三次元有限要素法による汎用構造解析プログラムである。国産コードとしては初めての非弾性解析機能を備えた汎用コードとして開発されたもので,固有値解析,静的応力解析及び動的応答解析（スペクトルモーダル法,時刻歴応答解析等）,伝熱解析,構造流体連成解析などが可能である。
使用実績	日本原子力研究開発機構 高速増殖原型炉もんじゅ九州電力株式会社 玄海原子力発電所で使用実績あり。

コード名 項目	MSC NASTRAN
対象	機器・配管系
使用目的	機器の地震応答解析（静的解析，動的解析）
開発機関	MSC Software Corporation
使用したバージョン	Ver. 2005r2
コードの概要	MSC NASTRANは,航空機設計のためにNASA向けにMSC社が開発した三次元有限要素法による汎用構造解析プログラムである。静的応力解析及び動的応答解析（スペクトルモーダル法,時刻歴応答解析等）,伝熱解析,構造流体連成解析などが可能である。
使用実績	日本原子力発電株式会社 東海第二発電所等発電炉で使用実績あり。日本原子力研究開発機構 高速増殖原型炉「もんじゅ」で使用実績あり。

3. 日本原子力研究開発機構において妥当性の検証を実施した計算プログラム

3.1 DYNEQ の検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）

コード名 / 項目	DYNEQ
対象	高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家
開発機関	東北学院大学 吉田望教授
使用したバージョン	Ver. 3.34
使用目的	1 次元地盤の地震応答解析（建家入力地震動の算定）
コードの概要	重複反射理論に基づく 1 次元地盤の地震応答解析を行うことが可能な解析プログラムである。地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができる。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	DYNEQ は，高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家の地震応答解析における入力地震動の算定において，廃止措置計画用設計地震動及び津波に対する設計において想定する余震動に対する地盤の応答を評価するために使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 東京電力株式会社 柏崎刈羽原子力発電所で使用実績がある「D-PROP」(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)によるサンプルデータの解析解と，本解析コードによる解析解がおおむね一致することを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。 ・ 地盤のひずみ依存特性を用いた等価線形化法による 1 次元地盤の地震応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

(1) 解析コードの特徴

本解析コードは重複反射理論に基づく 1 次元地盤の地震応答解析を行うことが可能な解析プログラムである。

(2) 他コードとの比較による検証

１次元地盤の等価線形解析コード「D-PROP(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」との比較を行う。なお,「D-PROP」は柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機で使用実績がある解析コードである。

検討地盤の物性値を表 3-1 に，ひずみ依存特性を図 3-1 及び図 3-2 に，検討に用いる入力地震動を図 3-3 に，解析結果の比較を図 3-4 に示す。

図より，DYNEQ の結果は D-PROP による結果とおおむね一致していることが確認できる。

表 3-1　地盤の物性値

深さ G.L.(m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 G_0(kN/m^2)
0.0	▽地表面				
-1.5	M1段丘堆積物	Lm	1.36	0.47	42,300
-8.5		Mu-S1	1.90	0.44	222,000
-11.3		Mu-C	1.75	0.46	150,000
-14.3		Mu-S2	1.90	0.41	354,000
-15.9		Mu-Sg	2.02	0.44	409,000
-21.3		Mu-S3	1.81	0.38	386,000
-26.3	東茨城層群	Mm-Sg	2.02	0.38	752,000
-38.5		Is-S1	1.87	0.46	359,000
-39.6		Is-C	1.88	0.47	275,000
-64.6		Is-S2	1.86	0.47	288,000
-73.3		Is-Sc	1.82	0.47	285,000
-84.4		Is-S2	1.86	0.47	288,000
-85.8		Is-Sg	1.98	0.44	714,000
-90.2		Is-S3	1.97	0.45	485,000
-160.3	久米層	Km	1.79	0.45	464,000
-171.9	▽解放基盤表面	Ks	1.88	0.43	763,000
	解放基盤		1.98	0.36	2,020,000

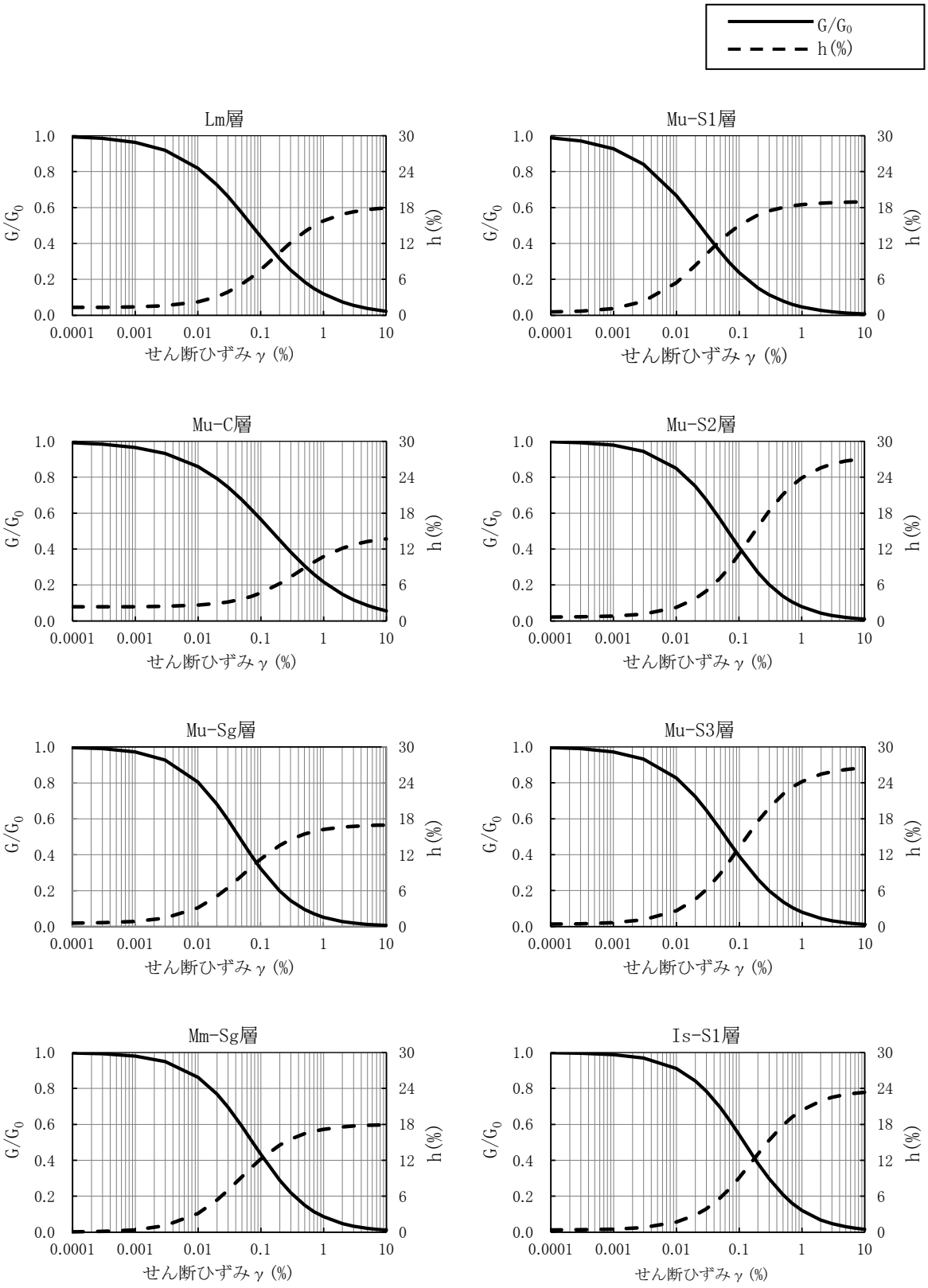


図 3-1　地盤のひずみ依存特性(1/2)

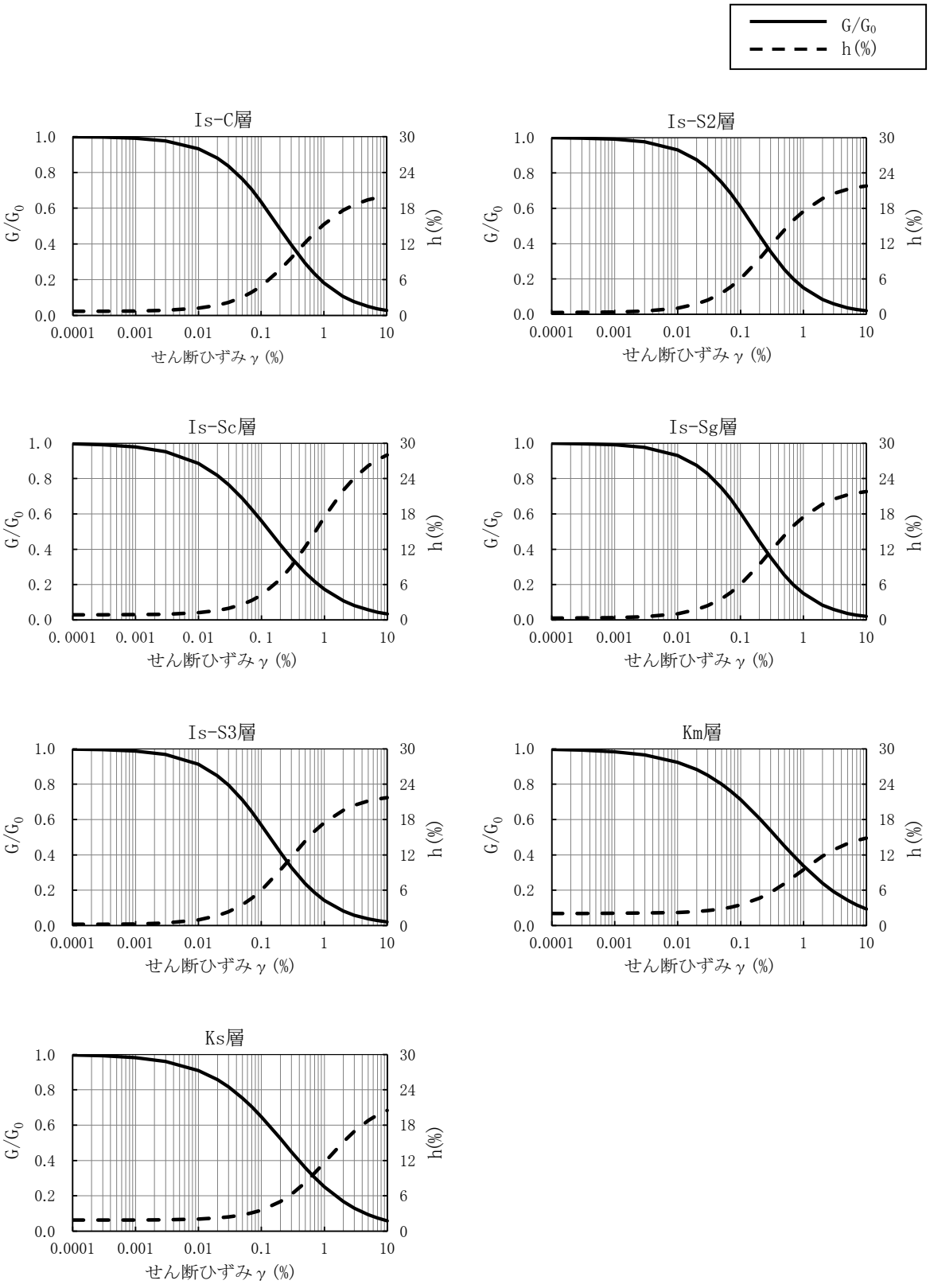


図 3-2　地盤のひずみ依存特性(2/2)

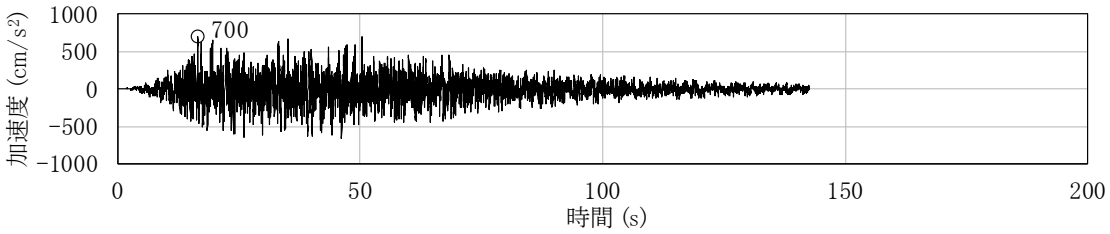


図 3-3　地盤の入力地震動の時刻歴波形（Ss-D，水平方向）

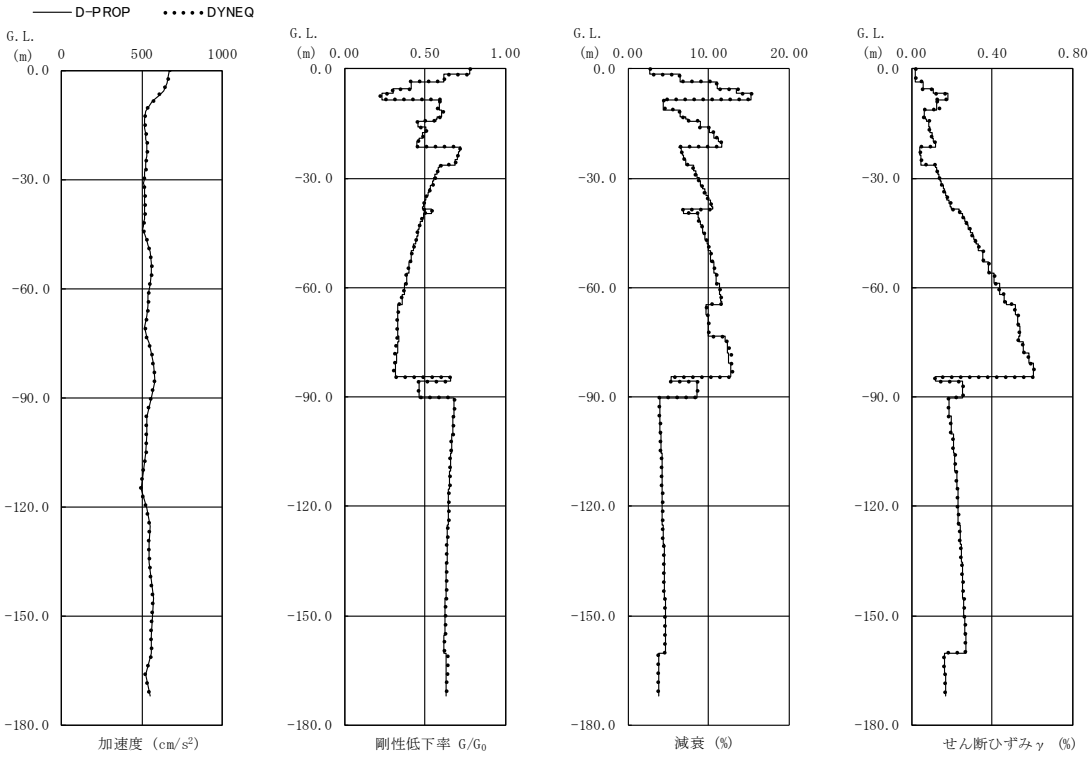


図 3-4 地盤の地震応答解析結果の比較（Ss-D，水平方向）

(3) 使用内容に対する妥当性

建家の地震応答解析の入力地震動の算定にDYNEQを使用することは，次のとおり本解析の適用範囲に対して検証しており，妥当である。

・地盤のひずみ依存特性を用いた等価線形化法による1次元地盤の地震応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3.2 K-NOVAK の検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）

コード名 / 項目	K-NOVAK
対象	高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家
開発機関	株式会社構造計画研究所
使用したバージョン	Ver. 2.0
使用目的	建家解析モデルに用いる側面地盤ばねの算定
コードの概要	Novak らの論文「Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case, 1978」に基づき水平,鉛直,回転に対する側面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	K-NOVAK は，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の地震応答解析における水平方向の地震応答解析モデルにおける建家埋め込み部分の基礎側面地盤ばね（水平・回転）算定に使用している。 【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 東京電力株式会社 柏崎刈羽原子力発電所、関西電力株式会社 美浜発電所で使用実績がある「NOVAK」（株式会社竹中工務店）の比較検証に用いられた解析コード※によるサンプルデータの解析解と,本解析コードによる解析解がおおむね一致することを確認している。 ※「建物と地盤の相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」（日本建築学会,2006 年)に添付されている Novak の方法に基づく解析コード 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。 ・ 周辺を地盤に埋め込まれた基礎側面の水平及び回転ばねを対象とし検証していることから,解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

(1) 解析コードの特徴

Novak らの論文「Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case, 1978」に基づき水平，鉛直，回転に対する側面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。（以下 Novak らの論文に基づく地盤ばねの計算方法を「Novak の方法」という。）高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家の地震応答解析において Novak の方法による建家埋め込み部分の側面地盤ばねの評価に使用している。

(2) 他コードとの比較による検証

K-NOVAK と建築学会「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」に添付されている解析コード※による計算結果との比較を行う。

※　関西電力株式会社　美浜発電所で使用実績がある「NOVAK」(株式会社竹中工務店)の比較検証に用いられた解析コード

設定した計算条件を以下に示す。

・基礎半径：1 m（正方形基礎の矩形置換時の 1 辺の長さ：1.77245 m）

・地盤物性

S 波速度：400 m/s，ポアソン比：0.40，単位体積重量：18 kN/m^3，

・減衰定数：0，層厚：1 m

水平ばねの比較結果を図 3-5 に，回転ばねの比較結果を図 3-6 に示す。K-NOVAK と建築学会のプログラムによる結果はおおむね一致していることが確認できる。

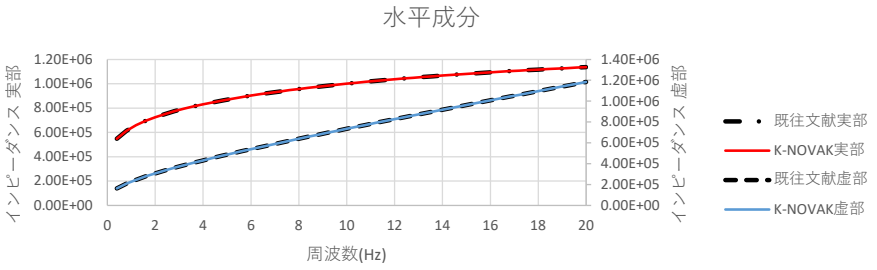


図 3-5　計算結果比較（水平ばね）

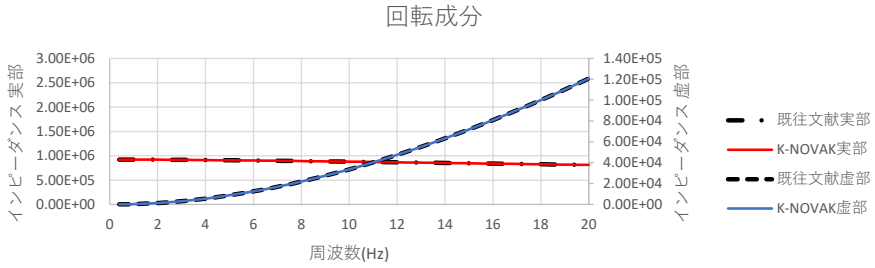


図 3-6　計算結果比較（回転ばね）

(3) 使用内容に対する妥当性

高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家の地震応答解析における側面地盤ばねの算定にK-NOVAKを使用することは，次のとおり本解析の適用範囲に対して検証しており，妥当である。

・周辺を地盤に埋め込まれた基礎側面の水平及び回転ばねを対象とし検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

別添 6-1-3-1

再処理施設の津波影響評価に関する説明書

「再処理施設の津波影響評価」

Ⅰ 耐津波設計の基本方針

1. 基本方針

本来，一般的に再処理施設は，平面的に広く多数の施設にリスクが分散しており，守るべき性能や施設が多岐にわたるため，津波による敷地への浸水は合理的でなく，ドライサイトにより安全を確保することが求められていると認識している。

廃止措置段階にある再処理施設においては，リスクが特定の施設に集中しており，高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）と，これに付随して廃止措置全体の長期間ではないものの分離精製工場（MP）等の工程洗浄や系統除染に伴う廃液処理も含めて一定期間使用するガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟については，令和 20 年頃までの維持期間を想定し，廃止措置計画用設計津波※1（以下「設計津波」という。）に対して対策を講じる※2 こととする。具体的には，設計津波の敷地への浸入が想定されるものの高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の建家内へは浸入させない措置を講じるとともに，有効性を確認した上で事故対処設備として配備する設備等※3 が使用できるよう必要な対策を実施する。

上記以外の施設については，今後とも安全かつ継続して施設を運用し計画的に廃止措置を進めることができるよう，リスクに応じた対策を講じることとする。

※1 廃止措置計画用設計津波は，令和 2 年 2 月 10 日付け原規規発第 2002103 号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」において策定した敷地に最も影響を及ぼす津波波源をいう。

※2 津波対策にあたっては，設計津波に対する津波荷重を保守的に評価するため，水深係数 $\alpha = 3$ として設備設計を実施する。

※3 高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の全交流電源喪失時に備えて高台のプルトニウム転換技術開発施設管理棟駐車場（T.P.+18 m）及び南東地区（T.P.+27 m）に分散配置している緊急安全対策関連の設備等（恒設の電源を代替する移動式発電機及び移動式発電機から施設へ給電するための緊急用電源接続系統，恒設の給水設備を代替する専用ポンプ車及び補給水貯槽を含む緊急用給水系統，恒設の蒸気供給設備を代替する可搬型ボイラ及び緊急用蒸気接続系統，地震及び津波発生後のアクセスルート確保に必要となる重機，車両等への燃料供給設備等）を重大事故対処設備として位置づけ，これらを用いて必要な安全機能の維持を図る。また，これらの有効性の確保に必要な対策（主要な保管場所としてのプルトニウム転換技術開発施設管理棟駐車場の地盤補強，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟へのアクセスルートの整備，訓練，人員の確保）を行う。

2.　基本事項

2.1 核燃料サイクル工学研究所の位置及び周辺の地形，標高，河川の存在

再処理施設の高放射性廃液貯蔵場（HAW）が位置する核燃料サイクル工学研究所の敷地は，関東平野の北東端に位置し，北側は新川（二級河川）に接しており，核燃料サイクル工学研究所敷地の東側は常陸那珂火力発電所を隔てて太平洋が広がる。核燃料サイクル工学研究所敷地は，T.P.約＋30 m の台地及び T.P.約+6 m の沖積低地からなる。核燃料サイクル工学研究所敷地及び再処理施設の位置等を図 2-1 に示す。

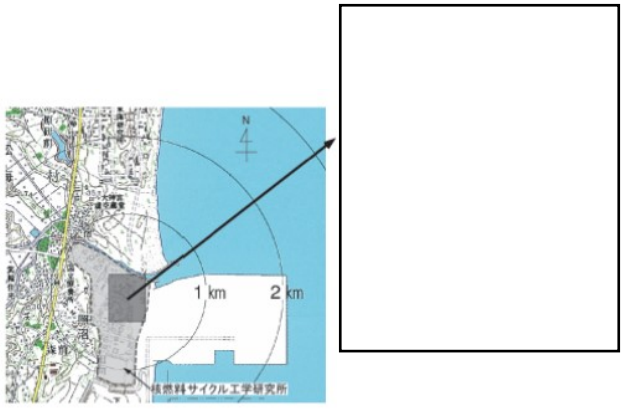


図 2-1 核燃料サイクル工学研究所敷地及び東海再処理施設の位置

2.2 核燃料サイクル工学研究所敷地周辺の人工構造物の位置，形状等

港湾施設として，核燃料サイクル工学研究所敷地外北方約 5 km に茨城港日立港区，南方約 1 km に茨城港常陸那珂港区がある。これらの港区には防波堤が設置されている。また，港湾には船舶等が係留されている。

核燃料サイクル工学研究所敷地周辺には，民家，商業施設，倉庫等がある他，核燃料サイクル工学研究所敷地北方には原子力発電所，茨城港日立港区の液化天然ガス基地，核燃料サイクル工学研究所敷地南方の茨城港常陸那珂港区には火力発電所，工場，倉庫等の施設がある。

核燃料サイクル工学研究所敷地東方の海域には，再処理施設沖合 12 km に常陸那珂－苫小牧，松山等を結ぶ定期航路がある。

2.3 核燃料サイクル工学研究所敷地における高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置，形状

核燃料サイクル工学研究所敷地内の建物・構築物等として約 50 の施設がある。高放射性廃液の貯蔵に係る重要な安全機能である放射性物質の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を有する設備（設計津波防護対象設備）を持つ建家として，T.P.+6.00 m の核燃料サイクル工学研究所の敷地に高放射性廃液貯蔵場（HAW）を設置しており，高放射性廃液貯蔵場（HAW）周辺には，東側（海側）にプルトニウム転換技術開発施設，北側（新川側）に分離精製工場（MP），西側にガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟，南側（高台側）にリサイクル機器試験施設（RETF）が位置している（図 2-2）。

基本方針に基づき，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家内への浸水を防止するため， 設計津波の津波防護施設として高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁等を，設計津波の浸水防止設備として建家開口部に浸水防止扉を，それぞれ設置している。なお，浸水防止扉と建家との接続部，電線管路等の建家貫通部，放射性廃液を移送する配管を内包するトレンチ等の建家との接続部には止水処置を施している。また，設計津波遡上状況等監視設備として，分離精製工場（MP）屋上 T.P.約+33 m に屋外監視カメラを設置している。



図 2-2 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置及び周辺建家

Ⅱ 廃止措置計画用設計津波の概要

1. 概要

廃止措置計画用設計津波は，研究用原子炉施設（JRR-3）の申請書に記載の原子力科学研究所における津波評価を踏まえ，敷地に最も影響を及ぼす波源として，茨城県沖から房総沖に想定する津波波源を選定し，不確かさを考慮した上で策定した令和 2 年 2 月 10 日付 原規規発第 2002103 号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」に基づくものを用いる。

2. 廃止措置計画用設計津波

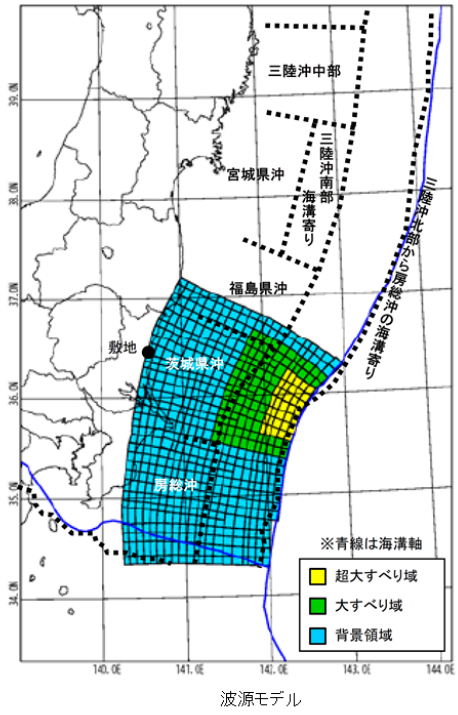
敷地に大きな影響を及ぼすおそれがある津波として，茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震による津波を選定し，廃止措置計画用設計津波としている。また，敷地において海からの取水がないことから，水位上昇側のみ評価している。当該津波の津波波源を図 2-1 に示す。

廃止措置計画用設計津波は，時刻歴波形に対して敷地からの反射波の影響が微小となるよう，敷地前面の沖合約 19 km（水深 100 m 地点）の位置で策定している。廃止措置計画用設計津波策定位置における最高水位は T.P.＋7.9 m である。廃止措置計画用設計津波策定位置及び水位の時刻歴波形を図 2-2 に示す。

パラメータ	設定値
断層面積：S	53684 km^2
平均応力降下量：$\Delta\sigma$	3.0 MPa
剛性率：μ	4.7×10^{10} N/m^2
モーメントマグニチュード：Mw	8.7
平均すべり量：D	6.1 m
地震モーメント：M_0	1.5×10^{22} N m

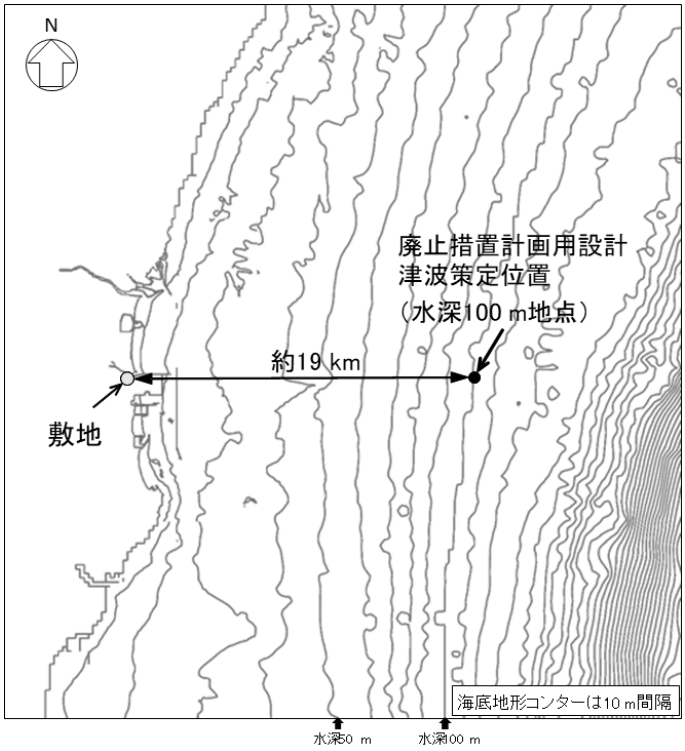
パラメータ		設定値
超大すべり域	すべり量	24.3 m
	面積比率（断層面積）	全体面積の5 %（2659 km^2）※
大すべり域	すべり量	12.1 m
	面積比率（断層面積）	全体面積の15 %（8231 km^2）※
背景領域	すべり量	3.8 m
	面積比率（断層面積）	全体面積の80 %（42794 km^2）※

※ 断層面積は，右図の波源モデル値
超大すべり域，大すべり域の位置により若干変動する

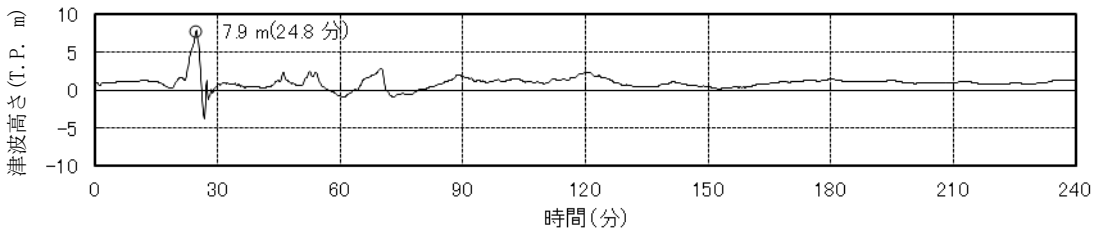


波源モデル

図 2-1 茨城県沖から房総沖に想定する津波波源



廃止措置計画用設計津波策定位置



廃止措置計画用設計津波策定位置における時刻歴波形
※破壊伝播速度 3.0 km/s, 立ち上がり時間 30 秒

図 2-2 廃止措置計画用設計津波策定位置及び水位の時刻歴波形

Ⅲ 入力津波の設定

1. 概要

入力津波の設定においては，敷地及び敷地周辺の地形，施設の位置等を把握し，遡上解析モデルを適切に設定した上で，遡上解析により，廃止措置計画用設計津波による敷地周辺の遡上・浸水域を評価し，評価対象施設設計又は評価に用いる入力津波を設定する。

また，評価対象施設において廃止措置計画用設計地震動Ssとの組合せの必要性を確認する。

2. 敷地の地形及び施設の位置

敷地は，久慈川と那珂川に挟まれた那珂台地東縁に位置し，北側は新川に接しており，東側は常陸那珂火力発電所を隔てて太平洋が広がっている。敷地は，主にT.P.約+30 mの台地及びT.P.約+6 mの沖積低地からなる。台地は敷地の南部に分布し，低地は新川の河口沿いに分布している。

評価対象施設は，新川河口から約400 m，T.P.約+6 mに位置しており，その周囲には複数の建物・構築物等がある。

図2-1に敷地の位置及び標高を示す。図2-2に敷地内の施設位置を示す。

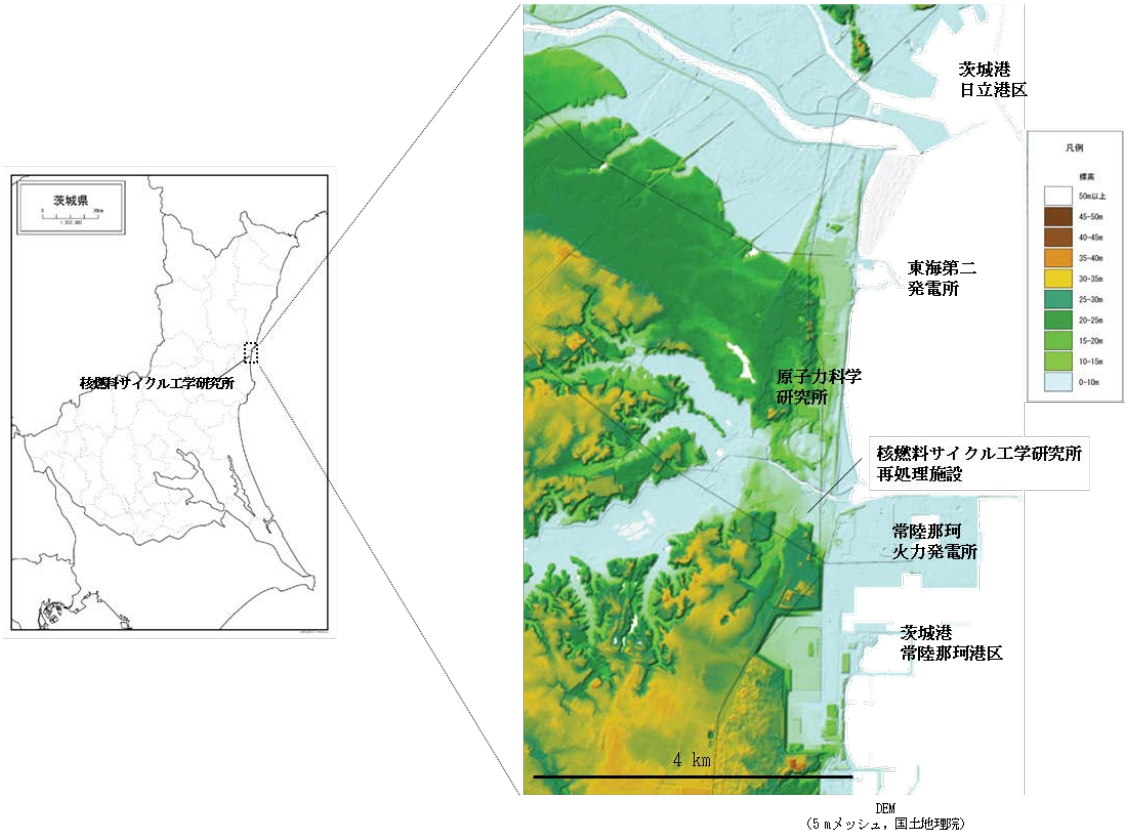


図 2-1 核燃料サイクル工学研究所の位置及び標高

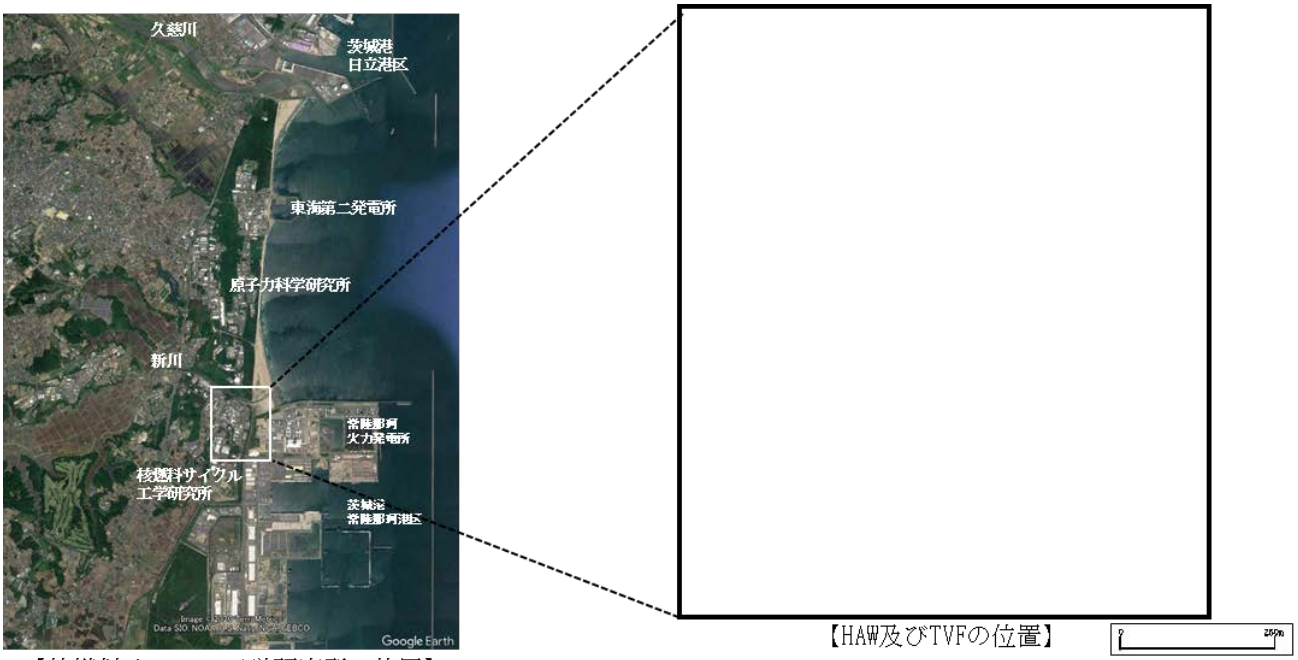


図 2-2 核燃料サイクル工学研究所の施設位置

3. 廃止措置計画用設計津波による敷地周辺の遡上・浸水域

3.1 考慮事項

廃止措置計画用設計津波の遡上解析においては，地震・津波による地形変化等として以下の事項を考慮し，保守的に入力津波を設定する。

敷地内外の人工構造物として，再処理施設内の建家（以下「周辺建家」という。），港湾部には茨城港日立港区及び茨城港常陸那珂港区の防波堤（以下「港湾構造物」という。）があり，これらの地震による影響を考慮した遡上解析を実施する。

敷地の北側は，新川に接するため，新川からの流入を考慮して適切に評価する。なお，新川の河岸は敷地より低く，堤防等はないことから，地震・津波の地形変化等が遡上波に影響することはないと考える。

津波に伴う洗掘・堆積による地形変化については，文献[(1), (2)]によるとアスファルト部で 8.0 m/s，植生部で 1.5 m/s～2.7 m/s の流速に対して，洗掘への耐性があるとされている。遡上解析結果から施設周辺の流速は約 5 m/s であり，施設周辺は地盤補強等を行うため，入力津波に影響を与えるような地形変化は生じないと考える。

初期潮位は，「3.1.1 潮位変動」及び「3.1.2 地殻変動」を考慮する。

3.1.1 潮位変動

潮位変動としては，朔望平均満潮位及び潮位のばらつきを考慮する。

朔望平均満潮位は，敷地周辺の観測地点「茨城港日立港区」（茨城県茨城港湾事務所日立港区事業所所管）における昭和 59 年～平成 21 年の潮位観測記録に基づき，T.P.+0.61 m と評価する。また，最新の潮位観測記録（平成 18 年～平成 22 年）を用いた朔望平均満潮位は T.P.+0.65 m，標準偏差として 0.14 m と評価される。潮位のばらつきの設定にあたっては，津波計算で用いた朔望平均満潮位と比較して，最新の潮位観測記録データの方が 0.04 m 高いため，この差分を考慮して安全側に潮位のばらつきを+0.18 m に設定する。表 3-1 に考慮する潮位変動を示す。

なお，朔望平均満潮位は初期潮位として考慮して解析を実施し，潮位のばらつきについては，遡上解析により求めた津波水位に加えることにより考慮する。

表 3-1 考慮する潮位変動範囲

朔望平均満潮位	潮位のばらつき
T.P.+0.61 m	+0.18 m

3.1.2 地殻変動

地震による地殻変動については，廃止措置計画用設計津波の波源である茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震による広域的な地殻変動及び広域的な余効変動を含む 2011 年東北地方太平洋沖地震による地殻変動を考慮する。

茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震による広域的な地殻変動については，廃止措置計画用設計津波の波源モデルを踏まえて，Mansinha and Smylie(1971)[(3)]の方法により算定

し，敷地地盤の地殻変動量は，0.27 m の沈降となる。広域的な余効変動を含む 2011 年東北地方太平洋沖地震による地殻変動について，実施した測量結果から敷地周辺の地殻変動量は 0.44 m 程度の沈降となる。なお，2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻の沈降については，測量実施以降，余効変動により回復傾向にあるが，保守的に考慮しない。表 3-2 に評価に考慮する地殻変動量を示す。

なお，地殻変動量は初期潮位として考慮する。

表 3-2 評価に考慮する地殻変動量

茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震による広域的な地殻変動量	広域的な余効変動を含む2011年東北地方太平洋沖地震による地殻変動量
0.27 m の沈降	0.44 m の沈降

3.2 遡上解析モデル

廃止措置計画用設計津波による敷地周辺の遡上，浸水域の評価に用いる遡上解析モデルについては，遡上解析に影響を及ぼす斜面や道路及び伝播経路上の人工構造物の設置状況を考慮し，遡上域の格子サイズに合わせた形状にモデル化する。

敷地沿岸域及び海底地形は，廃止措置計画用設計津波を策定した計算格子を用い，施設の北側に接している新川については，新川流域の標高をモデル化している。

入力津波高さの算定にあたっては，地震による影響を考慮し，人工構造物がない場合（「港湾構造物なし，周辺建家なし」）を基本解析モデルとし，周辺建家がある場合（「周辺建家あり」），港湾構造物がある場合（「港湾構造物あり」）について，それぞれの津波遡上への影響を確認する。津波高さは，建家外周で最も高い位置で評価する。

波力は進行波の最大浸水深さを用いることとし，高放射性廃液貯蔵場（HAW），ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟及び人工構造物がないものとする（「構造物なし」）。津波高さは，建家中心位置で評価する。

漂流物荷重算定に用いる津波流速は「構造物なし」を基本とし，周辺建家による津波流速への影響を確認する。評価は，津波高さ評価位置と同様とする。

遡上解析モデルを図 3-1～図 3-3 に示す。

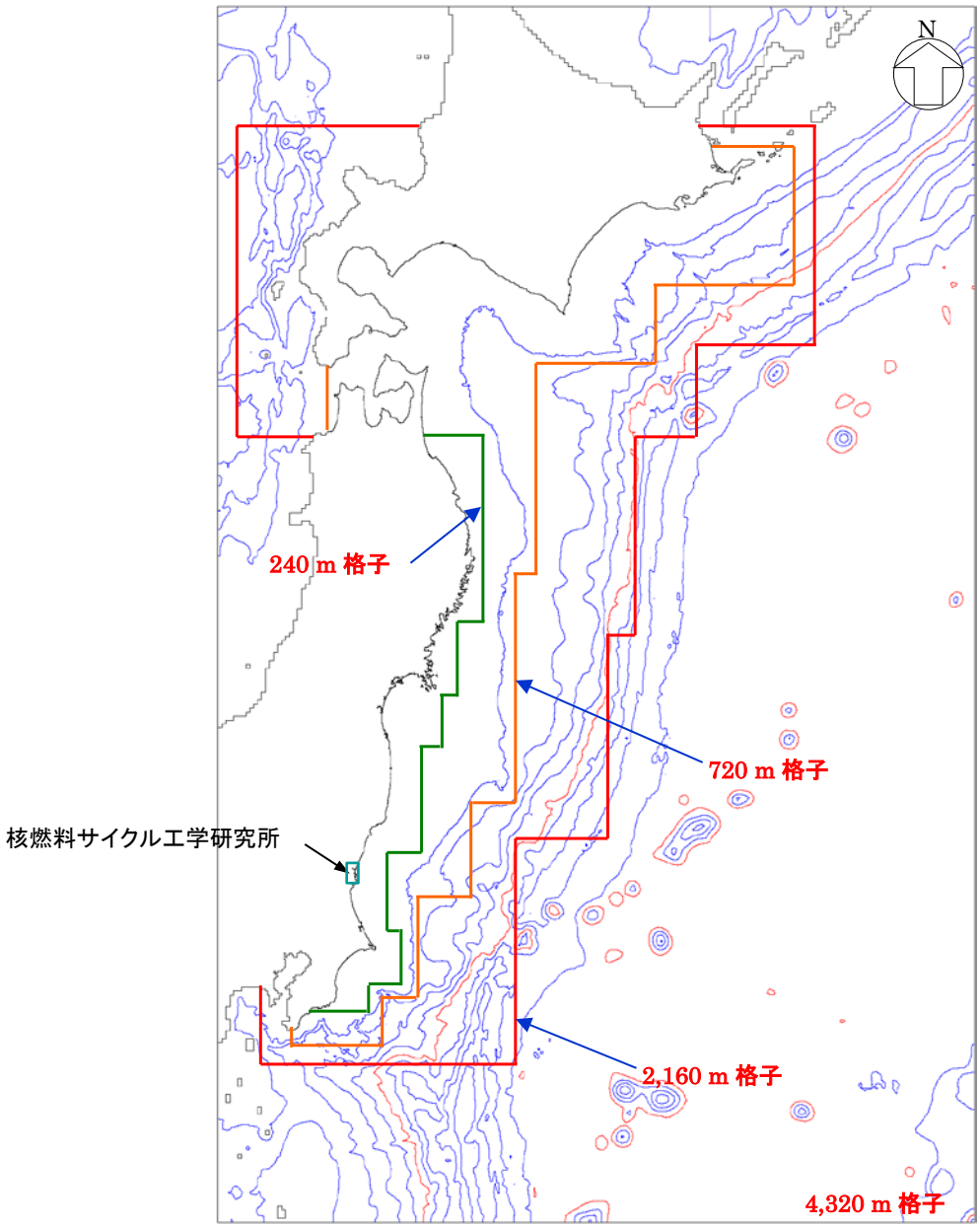
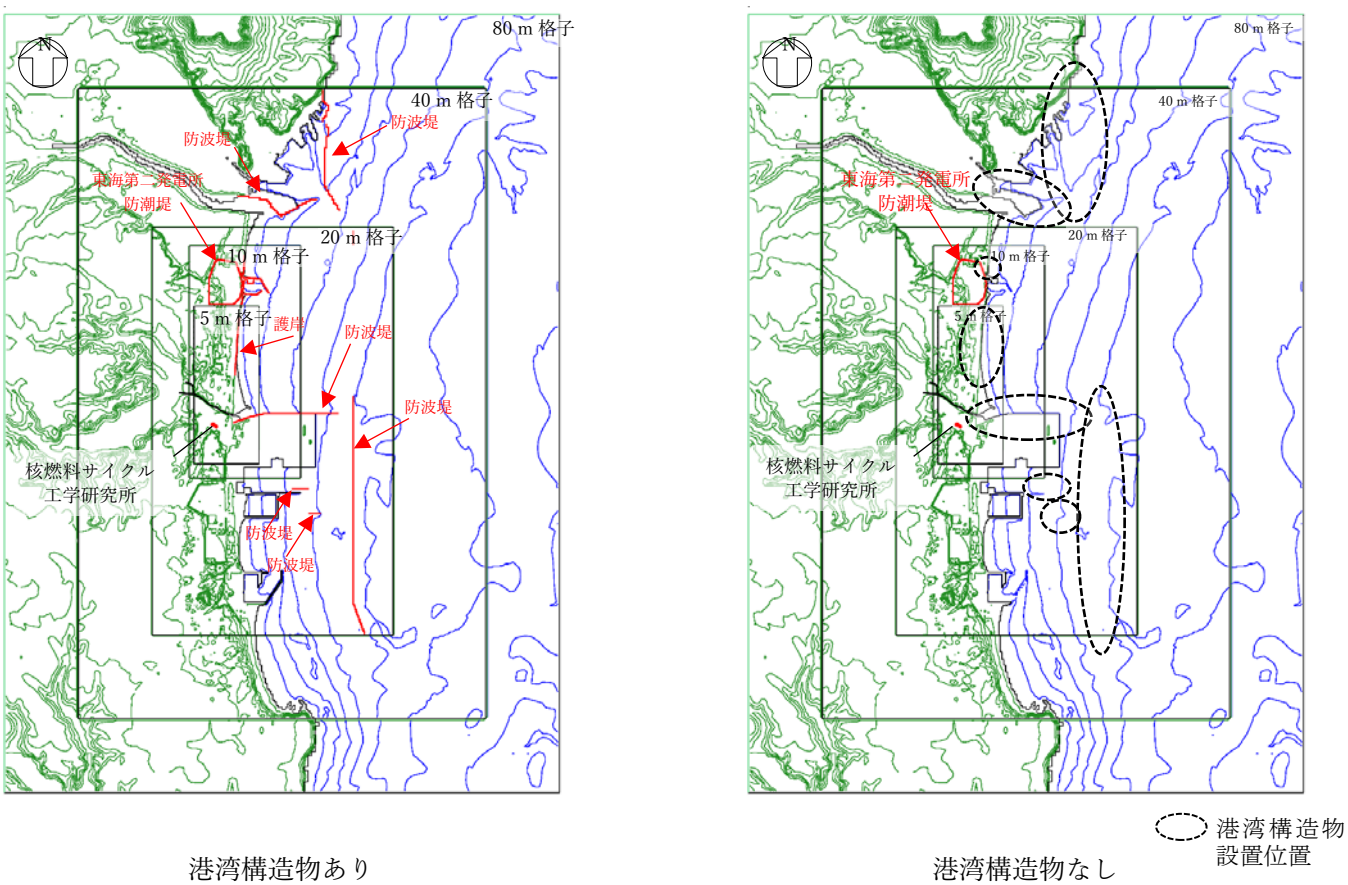
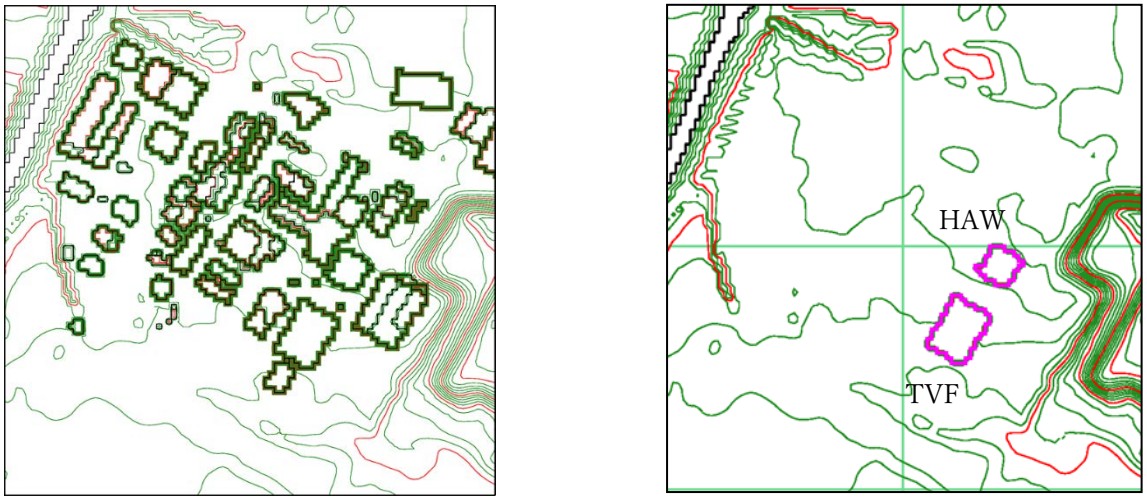


図 3-1　遡上解析モデル図(沖合域)



港湾構造物あり　　港湾構造物なし

図 3-2　遡上解析モデル図(沿岸域)



周辺建家あり　　周辺建家なし

図 3-3　遡上解析モデル図(敷地内)

3.3 敷地の遡上・浸水域の評価

廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果について，表 3-3，図 3-4～図 3-6 に示す。津波の最大水位は「港湾構造物なし，周辺建家なし」の場合で，高放射性廃液貯蔵場（HAW）で T.P.+13.4 m，ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟で T.P.+12.0 m となる。津波高さが最大となる「港湾構造物なし，周辺建家なし」の水位・流向・流速の経時変化を図 3-7，図 3-8 に，時刻歴波形を図 3-9 に示す。津波の敷地への侵入角度は北東方向及び南東方向であり，敷地に遡上後 2 方向の津波が合流し，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に到達する。両施設に津波到達後，流向はほぼ西方向となり，津波高さが最大となる。最大水位到達以降は，津波水位は低下する。

波力算定に用いる進行波について，高放射性廃液貯蔵場（HAW）で T.P.+11.9 m，ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟で T.P.+12.1 m となる。時刻歴波形を図 3-10 に示す。

漂流物荷重算定に用いる津波流速の評価結果を表 3-4 に，時刻歴波形を図 3-11 及び図 3-12 に示す。最大流速は「構造物なし」の場合で，高放射性廃液貯蔵場（HAW）で 5.2 m/s，ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟で 4.0 m/s となる。

表 3-3 廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（津波高さ）

高放射性廃液貯蔵場（HAW）

	周辺建家なし	周辺建家あり
港湾構造物なし	T.P.+13.4 m	T.P.+12.9 m
港湾構造物あり	T.P.+10.4 m	－

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

	周辺建家なし	周辺建家あり
港湾構造物なし	T.P.+12.0 m	T.P.+10.1 m
港湾構造物あり	T.P.+10.6 m	－

表 3-4 廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（津波流速）

高放射性廃液貯蔵場（HAW）

	構造物なし	周辺建家あり
港湾構造物なし	5.2 m/s	4.9 m/s

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

	構造物なし	周辺建家あり
港湾構造物なし	4.0 m/s	4.0 m/s

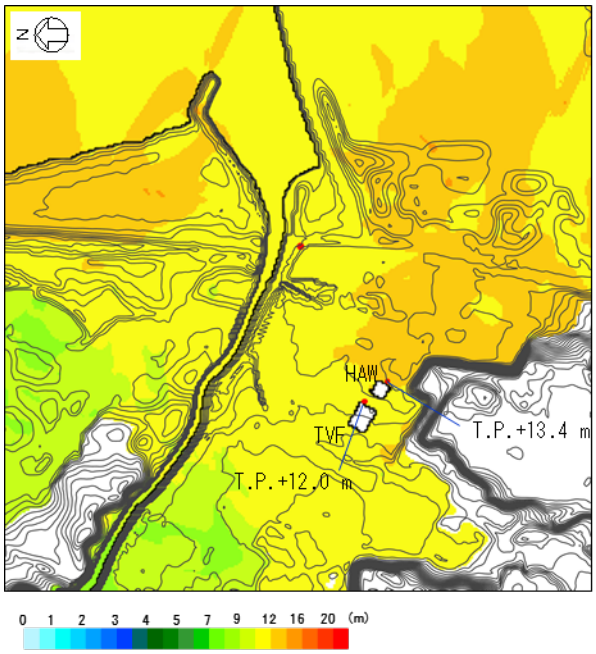


図 3-4　廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（最大水位上昇量分布）
（港湾構造物なし，周辺建家なし）

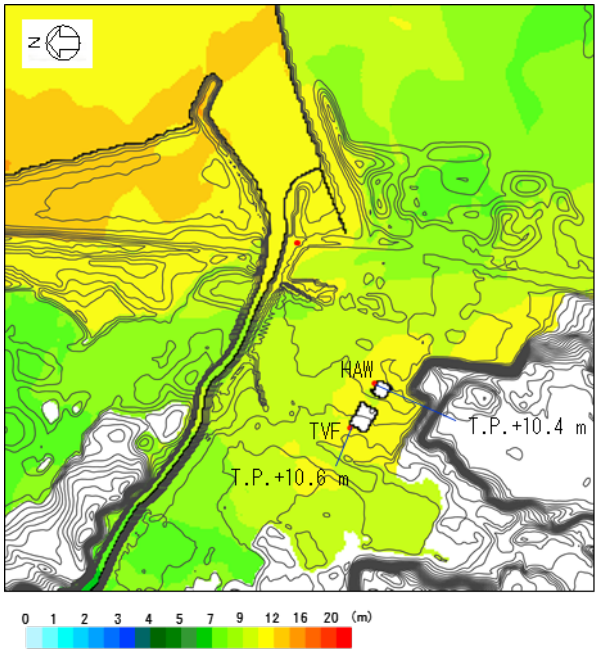


図 3-5　廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（最大水位上昇量分布）
（港湾構造物あり，周辺建家なし）

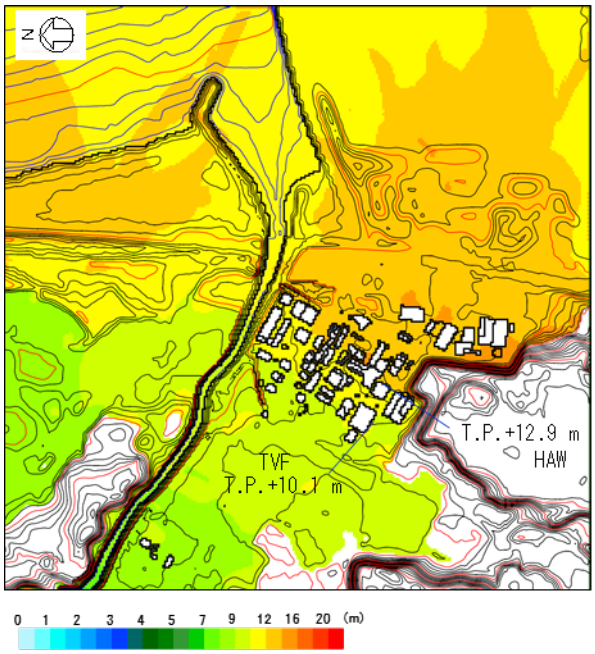


図 3-6　廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（最大水位上昇量分布）
（港湾構造物なし，周辺建家あり）

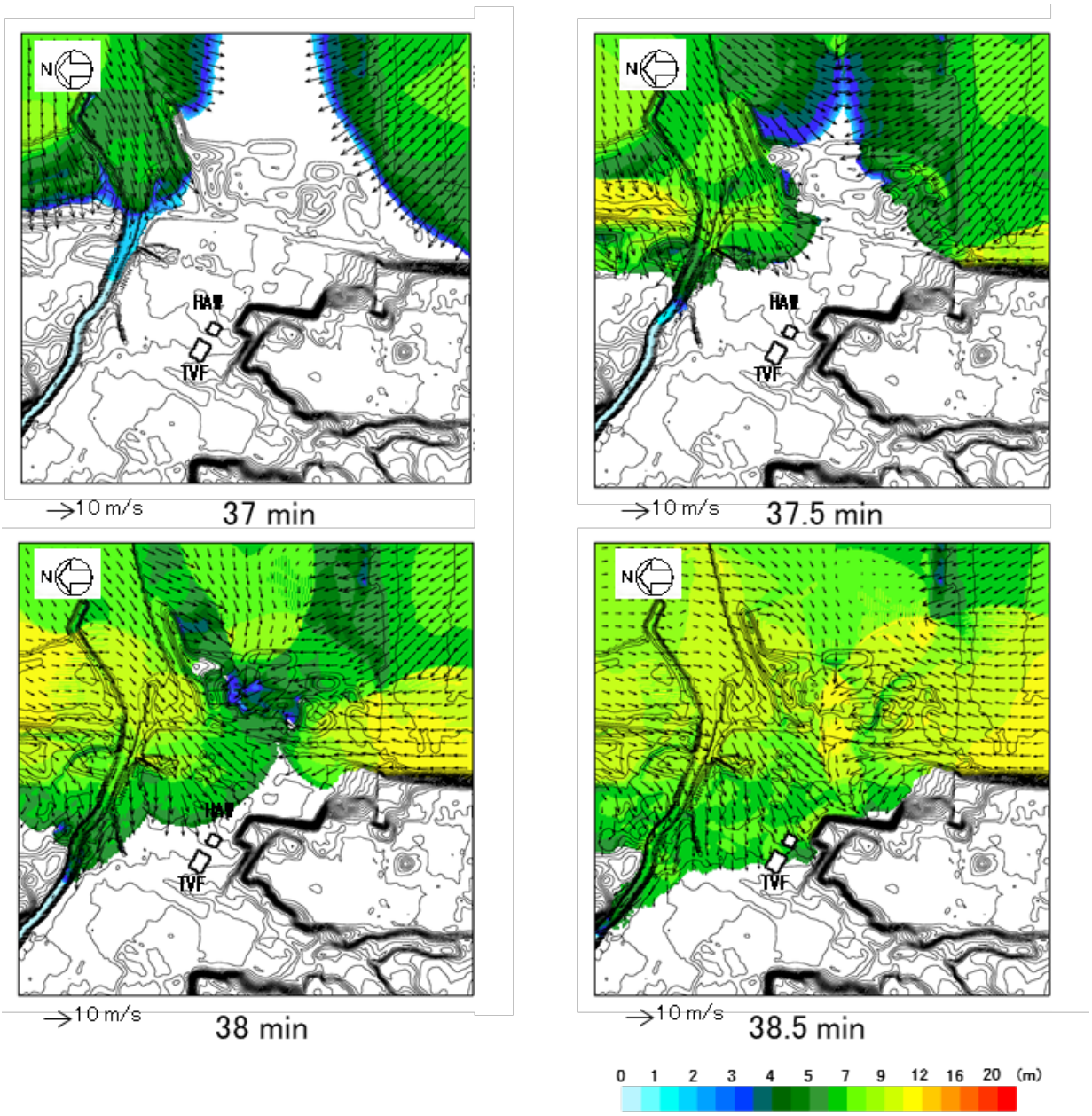


図 3-7　廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（港湾構造物なし，周辺建家なし）
（津波高さ・流向・流速の経時変化）（37 min～38.5 min）

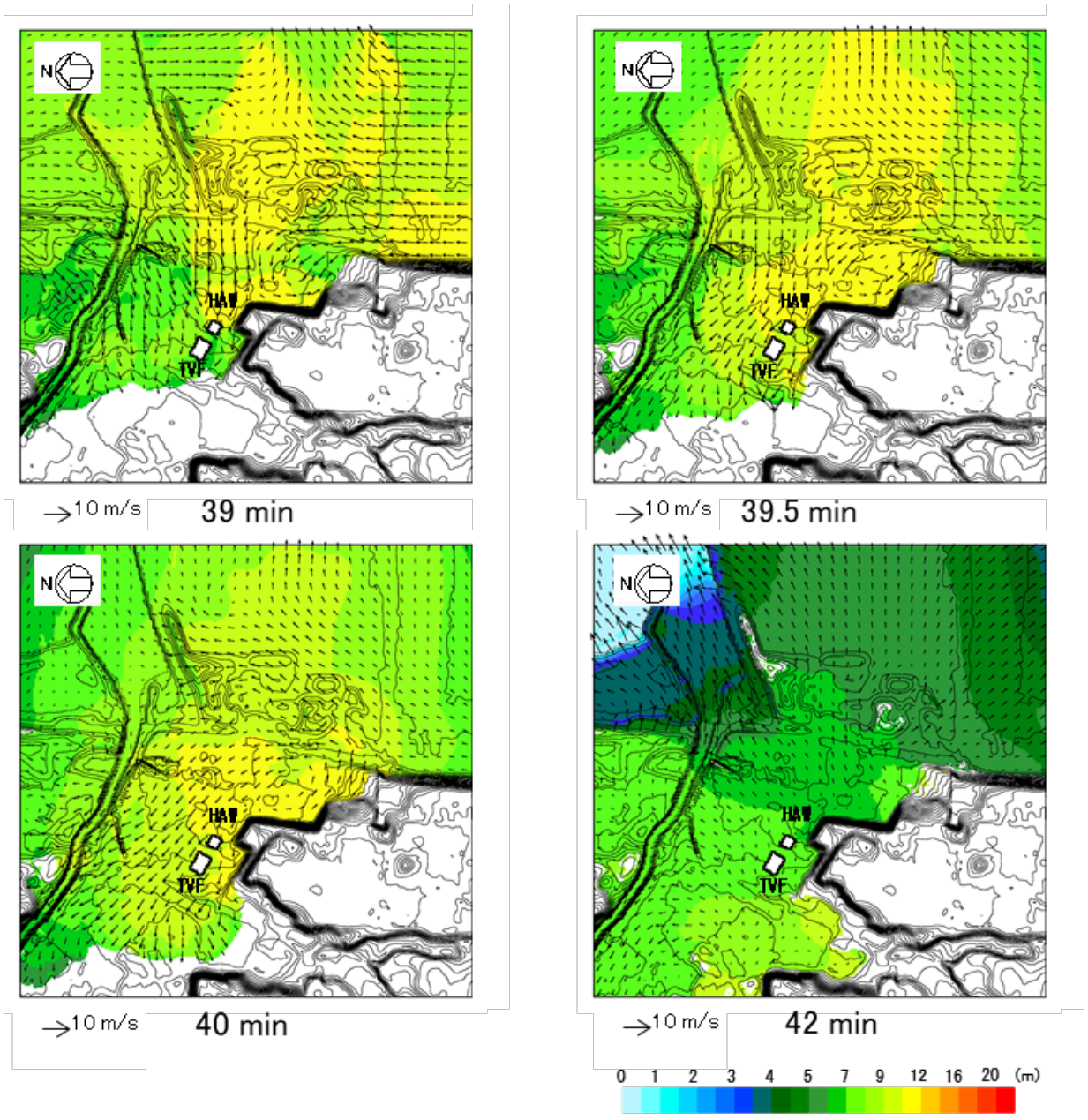
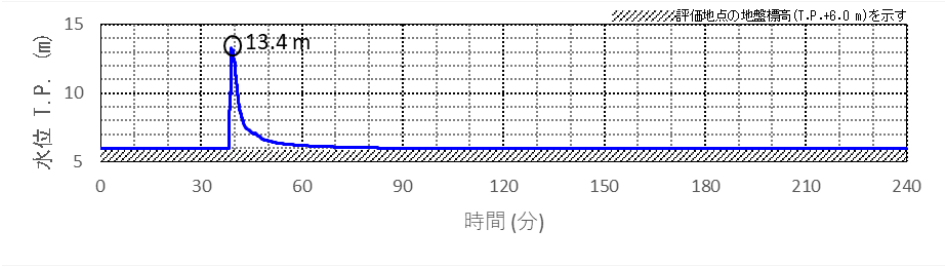
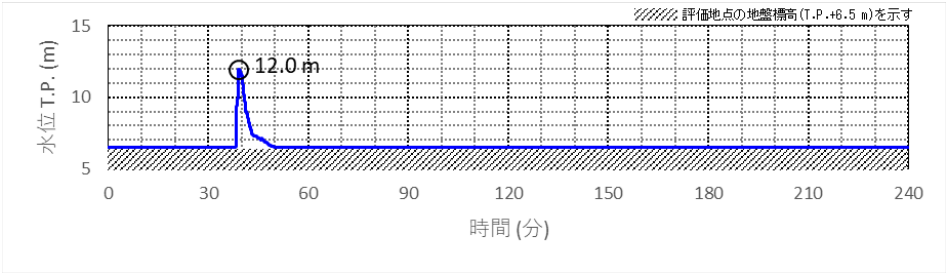


図 3-8　廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（港湾構造物なし，周辺建家なし）
（津波高さ・流向・流速の経時変化）（39 min～42 min）

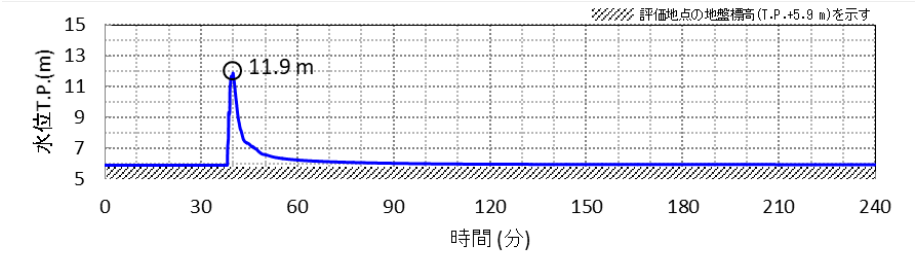


高放射性廃液貯蔵場(HAW)

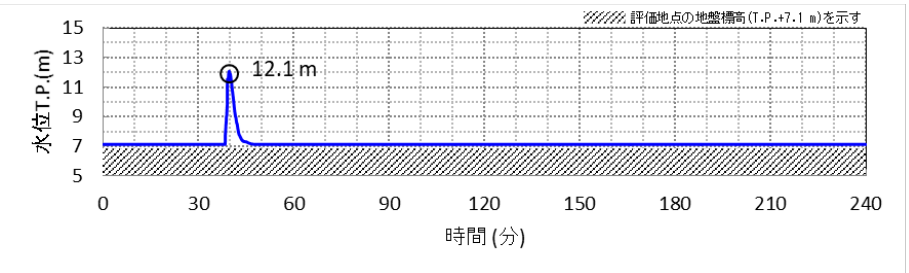


ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟

図 3-9　廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果(津波高さの時刻歴波形)
(港湾構造物なし，周辺建家なし)

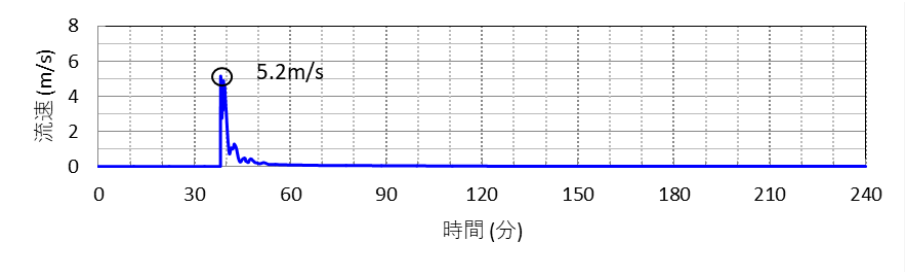


高放射性廃液貯蔵場(HAW)

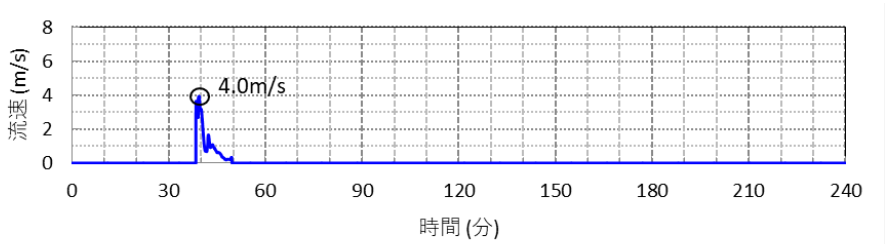


ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟

図 3-10　廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果(津波高さの時刻歴波形)
(構造物なし)

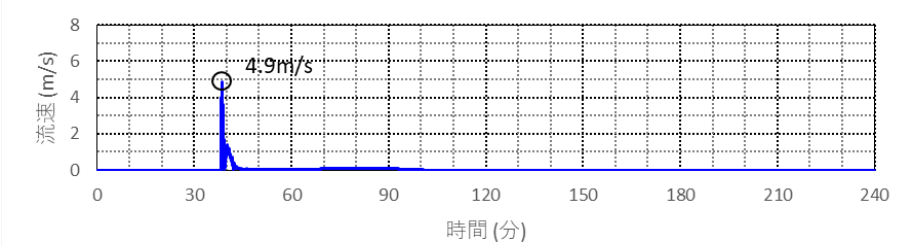


高放射性廃液貯蔵場（HAW）

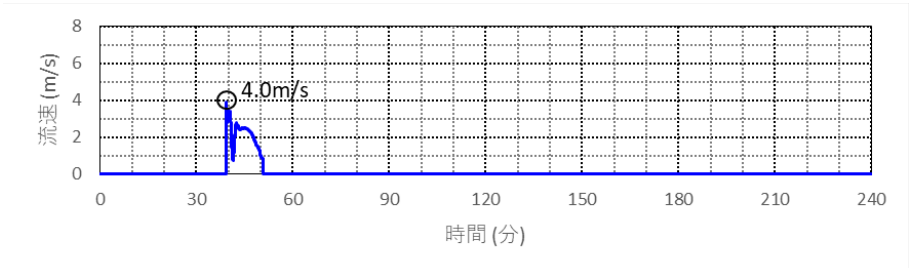


ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

図 3－11 廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（津波流速の時刻歴波形）
（構造物なし）



高放射性廃液貯蔵場（HAW）



ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟

図 3－12 廃止措置計画用設計津波による遡上解析結果（津波流速の時刻歴波形）
（港湾構造物なし，周辺建家あり）

4. 入力津波の設定

入力津波の設定にあたっては，遡上解析の結果に基づき， 津波の高さ，速度及び衝撃力に着目し，評価対象施設において津波高さに影響するパラメータを考慮して，安全側に評価した値を入力津波高さや速度として設定する。

入力津波高さは，「港湾構造物なし，周辺建家なし」の組合せで最高水位となり，「3.1.1 潮位変動」に基づき潮位のばらつきを考慮して，高放射性廃液貯蔵場（HAW）において T.P.+13.6 m， ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟において T.P.+12.2 m と設定する。また，波力算定に用いる津波高さ（進行波）は，高放射性廃液貯蔵場（HAW）において T.P.+12.1 m，ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟において T.P.+12.3 m と設定する。津波流速は，高放射性廃液貯蔵場（HAW）で 5.2 m/s，ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟で 4.0 m/s と設定する。

5. 廃止措置計画用設計地震動 Ssと津波荷重の組合せの必要性

廃止措置計画用設計地震動 Ssとして選定している震源は，2011 年東北地方太平洋沖型地震及び F1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の連動による地震である。これらの震源については，地震波と津波の伝播速度が異なることを考慮すると，両者が同時に敷地に到達することはないことから，廃止措置計画用設計地震動 Ssによる地震力と津波荷重の組合せを考慮する必要はない。図 5-1 に F1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の位置を示す。

一方，廃止措置計画用設計地震動 Ssの震源と津波の波源が異なる場合については，F1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の連動による地震の活動に伴い，津波を起こす地震が誘発される可能性は低いと考えられるが，仮に誘発地震の発生を考慮した場合においても，上記と同様に伝播速度の違いから地震動が敷地に到達する前に津波が敷地に到達することはない。このため，廃止措置計画用設計地震動 Ssによる地震力と津波荷重の組合せを考慮する必要はない。また，2011 年東北地方太平洋沖型地震の活動に伴い，誘発地震の発生を考慮した場合においても，地震動が敷地に到達する前に津波が敷地に到達することはない。

以上のことから，廃止措置計画用設計地震動 Ssによる地震力と津波荷重の組合せを考慮する必要はない。

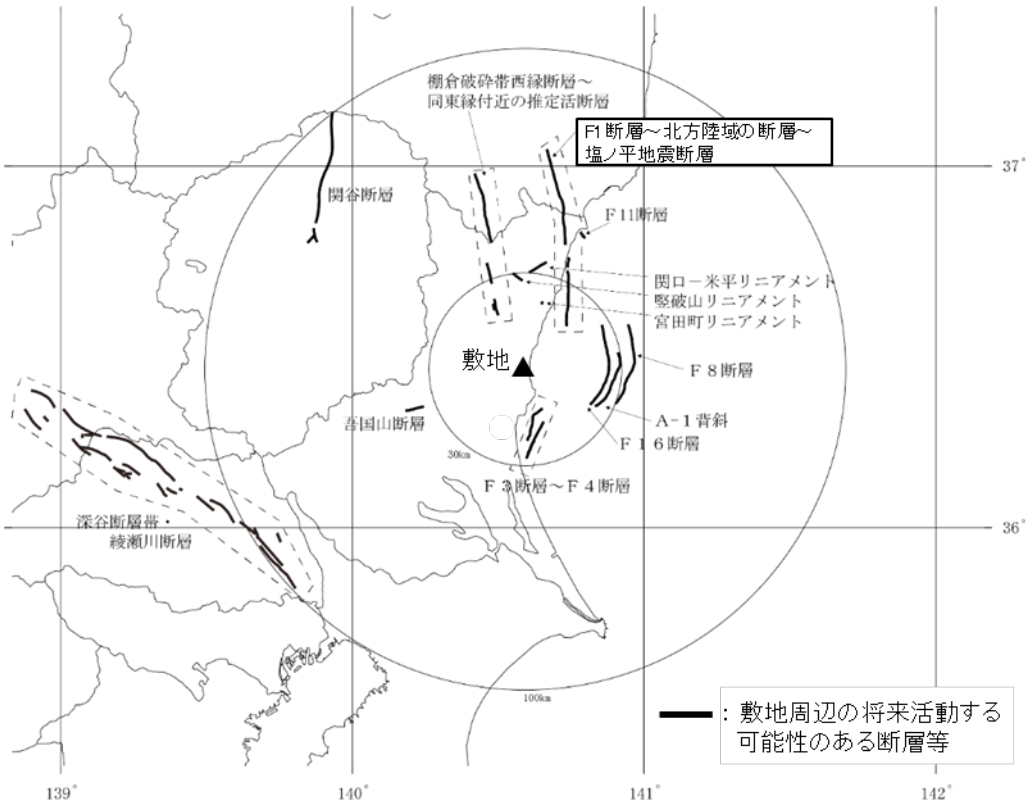


図 5-1 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層の位置

6. 参考文献

(1) 津波防災地域づくりに係る技術検討報告書, 津波防災地域づくりに係る技術検討会, p.33, 2012

(2) 水理公式集[平成 11 年版], 土木学会, p.211, 2010

(3) L. MANSINHA AND D. E. SMYLIE :THE DISPLACEMENT FIELDS OF INCLINED FAULTS, Bulletin of the Seismological Society of America.Vol.61, No5, pp.1433-1440, 1971

Ⅳ 耐津波設計における津波荷重と組み合わせる余震荷重

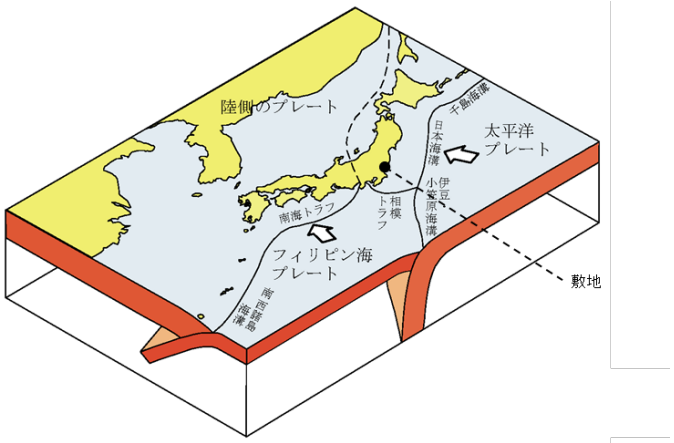
1. 概要

耐津波設計における津波荷重と組み合わせる余震荷重については，敷地の地学的背景を踏まえ，余震の発生の可能性を検討する。

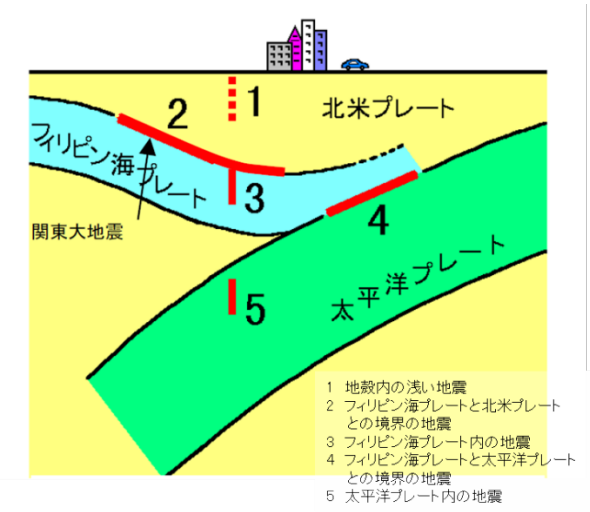
検討結果に基づき，余震発生の可能性に応じて余震による荷重と入力津波による荷重との組合せを考慮する。

2. 敷地周辺のプレートテクトニクス

敷地周辺は，陸側のプレート，太平洋プレート，フィリピン海プレートの 3 つのプレートが接触する場所であり，その状況について模式的に示したものを図 2-1 に示す。関東地方においては南方からフィリピン海プレートが沈み込み，そのフィリピン海プレートは敷地のほぼ直下まで及んでいる（図 2-2）。

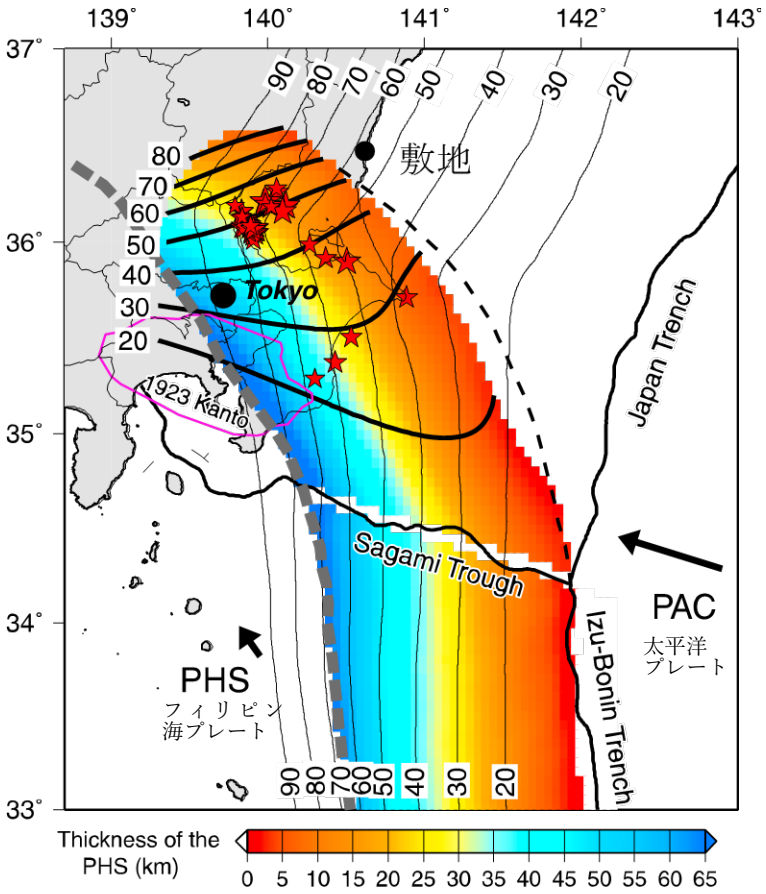


（防災科学研究所 HP　日本のプレートテクトニクスモデル概念図に一部加筆）



（中央防災会議 HP　南関東地域で発生する地震のタイプ図に一部加筆）

図 2-1　敷地周辺におけるプレートの沈み込みの状況



図中のカラーコンターはフィリピン海プレートの厚さを示している。

(Uchida et al.(2010)[(1)]に一部加筆)

図 2-2 フィリピン海プレートの沈み込み

3. 廃止措置計画用設計津波の波源

廃止措置計画用設計津波は，茨城県沖から房総沖に想定するプレート間地震に起因する波源として設定し，その規模は Mw8.7 である。津波波源モデルを図 2-3 に示す。

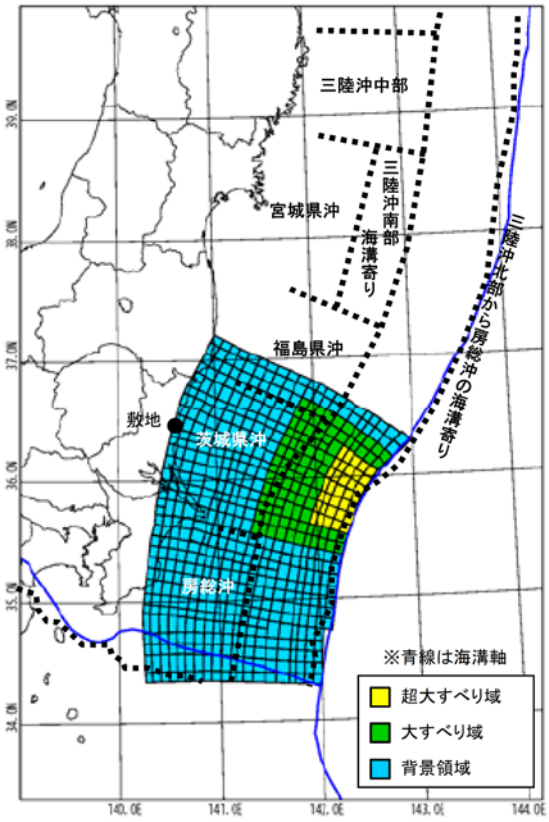
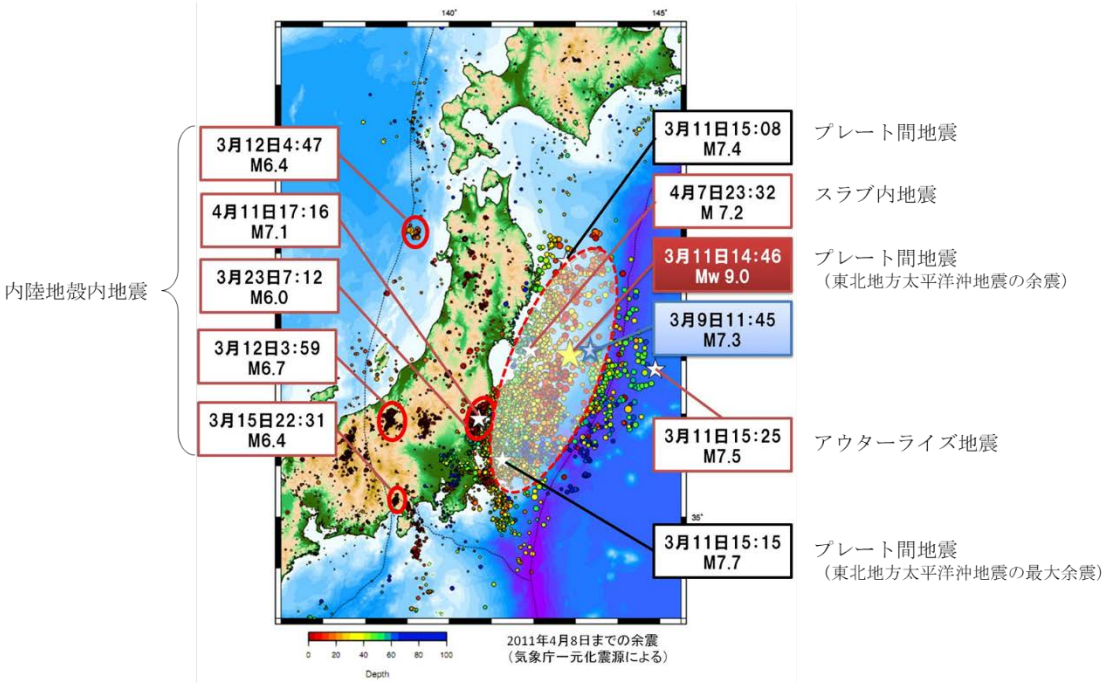


図 2-3 津波波源モデル

4. 検討方針

敷地周辺のプレートテクトニクス的背景や廃止措置計画用設計津波と同じ地震発生様式(プレート間地震)である 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震・誘発地震の発生状況(図 4-1)を踏まえ，廃止措置計画用設計津波の波源の活動(本震)に伴い発生する可能性のある余震を設定する。設定した余震と Sd-D(廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトルとの比率を 0.5 倍として設定)の比較を行い，耐津波設計において津波荷重と組み合わせる余震荷重を保守的に設定する。

なお，本検討では，日本地震工学会の「東日本大震災合同調査報告書」(2014)[(2)]を参考に，本震の震源域とその周辺において発生する地震(アウターライズの地震及び破壊域内のスラブ内地震を含む)を余震とし，この余震発生域外において，本震がトリガーとなって発生する地震を誘発地震として整理した。余震荷重の検討フローを図 4-2 に示す。



(東京大学地震研究所 HP に地震発生様式を加筆)

図 4-1 東北地方太平洋沖地震の余震・誘発地震の発生状況

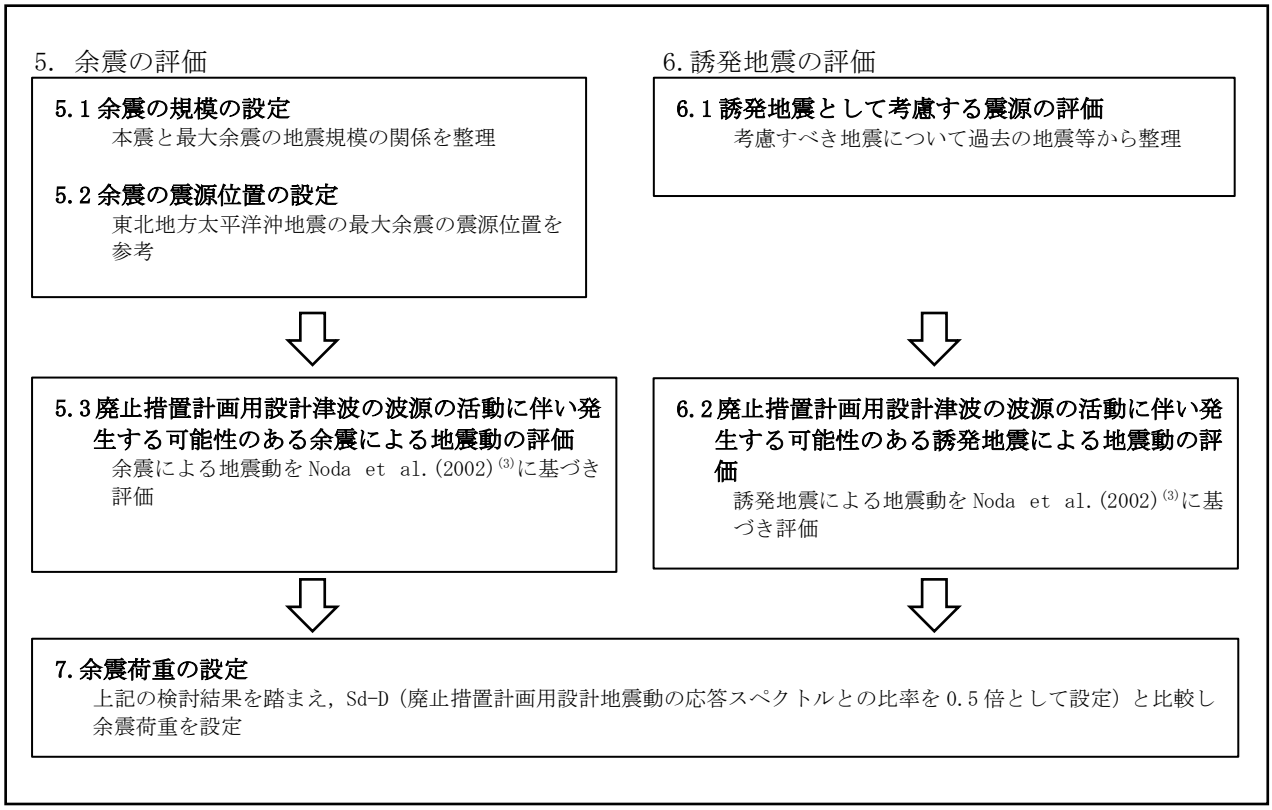


図 4-2 余震荷重の検討フロー

5. 余震の評価

5.1 余震の規模の設定

余震の規模は，過去の地震データにおける本震規模と最大余震の規模の関係を整理することにより想定する。検討対象とした地震は，津波荷重と組み合わせる余震荷重を評価するという観点から，地震調査研究推進本部[4]の地震データによる本震のマグニチュード M7.0 以上とし，かつ，廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する津波の最大水位を生起する時間帯が地震発生から約 40 分後（図 5-1）であることを考慮し，本震と最大余震との時間間隔が 12 時間以内の地震とする。表 5-1 に，対象とした地震の諸元を示す。また，検討対象とした地震の震央分布を図 5-2 に示す。

地震調査研究推進本部の地震データを整理し，本震のマグニチュード M_0 と最大余震のマグニチュード M_1 の関係から本震と余震のマグニチュードの差 D_1 を求めると，図 5-3 の通り，$D_1=M_0-M_1=1.3$ として評価できる。余震の規模を想定する際は，データ数が少ないことから，保守的に標準偏差を考慮し $D_1=0.8$ として余震の規模を想定する。従って，余震の地震規模は Mw8.7-0.8 より M7.9（Mw=M とする）と設定する。

5.2 余震の震源位置の設定

廃止措置計画用設計津波（Mw8.7）の波源域と廃止措置計画用設計地震動の一つとして設定した 2011 年東北地方太平洋沖型地震（Mw9.0）の震源域は茨城県沖で重なっており，その重なっている領域において 2011 年東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）の最大余震（M7.6）が発生している。この最大余震の地震発生様式は廃止措置計画用設計津波と同じプレート間地震である。これら波源域，震源域等の位置関係を図 5-4 に示す。

一般に規模の大きなプレート間地震は，過去に発生した規模の大きなプレート間地震の震源域で繰り返し発生する。また，2011 年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域も過去に発生した規模の大きなプレート間地震の発生位置と対応していることが指摘されている（例えば入倉（2012）[5]）。従って，廃止措置計画用設計津波の波源域が活動した場合の強震動生成域や規模の大きな余震の発生位置は 2011 年東北地方太平洋沖地震における茨城県沖の例と類似すると考えられる。以上のことから，廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある余震は 2011 年東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）の最大余震（M7.6）の震源位置に設定する（図 5-4）。

なお，茨城県南部から房総沖にかけては図 2-2 で示したとおり，陸のプレートと太平洋プレートの間にフィリピン海プレートが潜り込んでおり，Uchida et al.（2009）[6]によれば，この領域ではプレート間結合度が低いことが示されている。従って，図 2-2 に示したフィリピン海プレートの北東端より南側において規模の大きな地震は発生しにくいと考えられる。

5.3 廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある余震による地震動の評価

廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある余震による地震動を評価する。余震の地震規模は「5.1 余震の規模の設定」のとおり M7.9，震源位置は「5.2 余震の震源位置の設定」のとおり 2011 年東北地方太平洋沖地震の最大余震発生位置とする。設定した余震の地震諸元を表 5-2 に示す。

上記に基づき，廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある余震による地

震動評価を Noda et al.(2002)[3]により行う。その際，廃止措置計画用設計地震動策定におけるプレート間地震の評価と同様，鹿島灘付近の地震を除く太平洋プレートと陸のプレート境界で発生した地震の観測記録による補正係数を考慮する。観測記録による補正係数を図 5-5 に，評価結果と Sd-D の比較を図 5-6 に示す。

同図より，評価結果は，Sd-D を下回ることが確認できる。

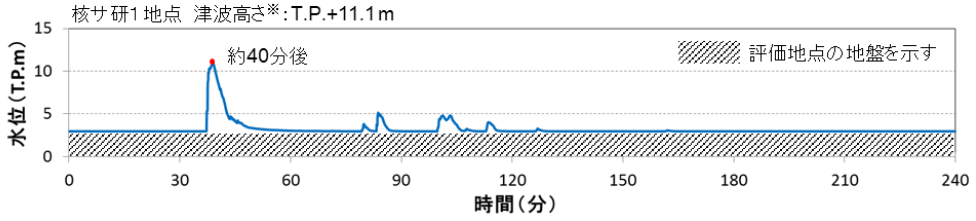


図 5-1 核燃料サイクル工学研究所 1 地点における時刻歴波形

表 5-1 過去の地震における本震と最大余震の関係

No	発生年月日	震源	本震	最大余震	
			ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ M_0	ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ M_1	本震との時間間隔
1	1933/3/3	昭和三陸地震	8.1	6.7	0.038日
2	1937/2/21	択捉島南東沖の地震	7.6	7.2	0.017日
3	1948/6/28	福井地震	7.1	5.8	0.004日
4	1961/8/19	北美濃地震	7.0	5.2	0.107日
5	1964/6/16	新潟地震	7.5	6.1	0.134日
6	1968/4/1	日向灘地震	7.5	6.4	0.272日
7	1968/5/16	十勝沖地震	7.9	7.5	0.410日
8	1969/8/12	北海道東方沖の地震	7.8	6.2	0.317日
9	1995/1/17	兵庫県南部地震	7.3	5.4	0.078日
10	2003/5/26	宮城県沖	7.1	4.9	0.264日
11	2003/9/26	十勝沖地震	8.0	7.1	0.054日
12	2008/6/14	岩手・宮城内陸地震	7.2	5.7	0.025日
13	2008/9/11	十勝沖	7.1	5.7	0.008日
14	2011/3/11	東北地方太平洋沖地震	9.0	7.6	0.020日
15	2016/4/16	熊本地震	7.3	5.9	0.014日

気象庁[7]による最新の震源情報を参照

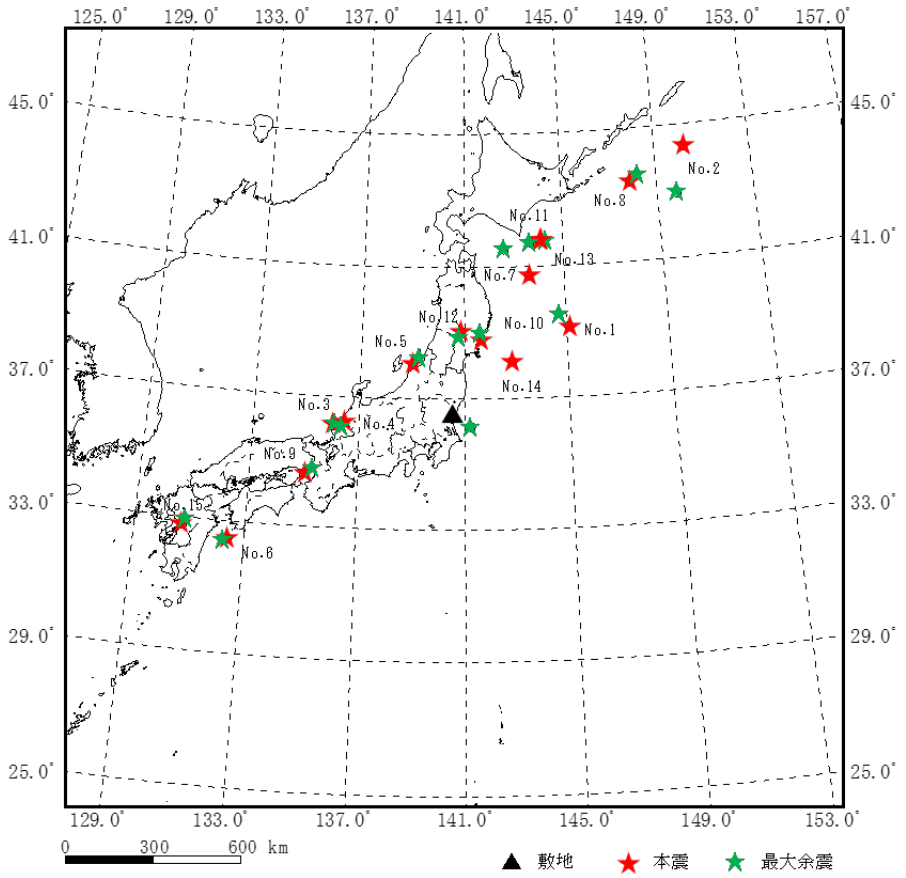


図 5-2 余震の最大規模の評価に用いた地震の震央分布

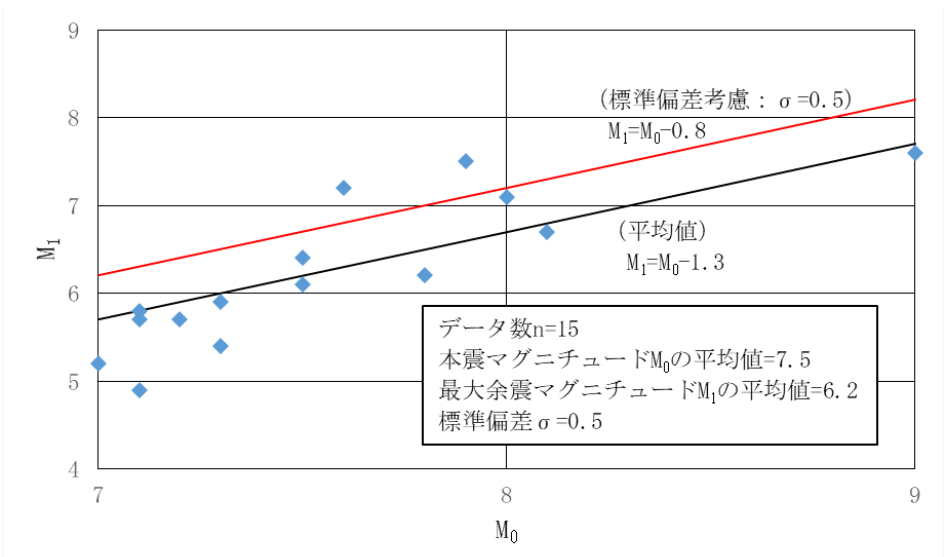


図 5-3 本震と最大余震の関係(M7.0 以上)

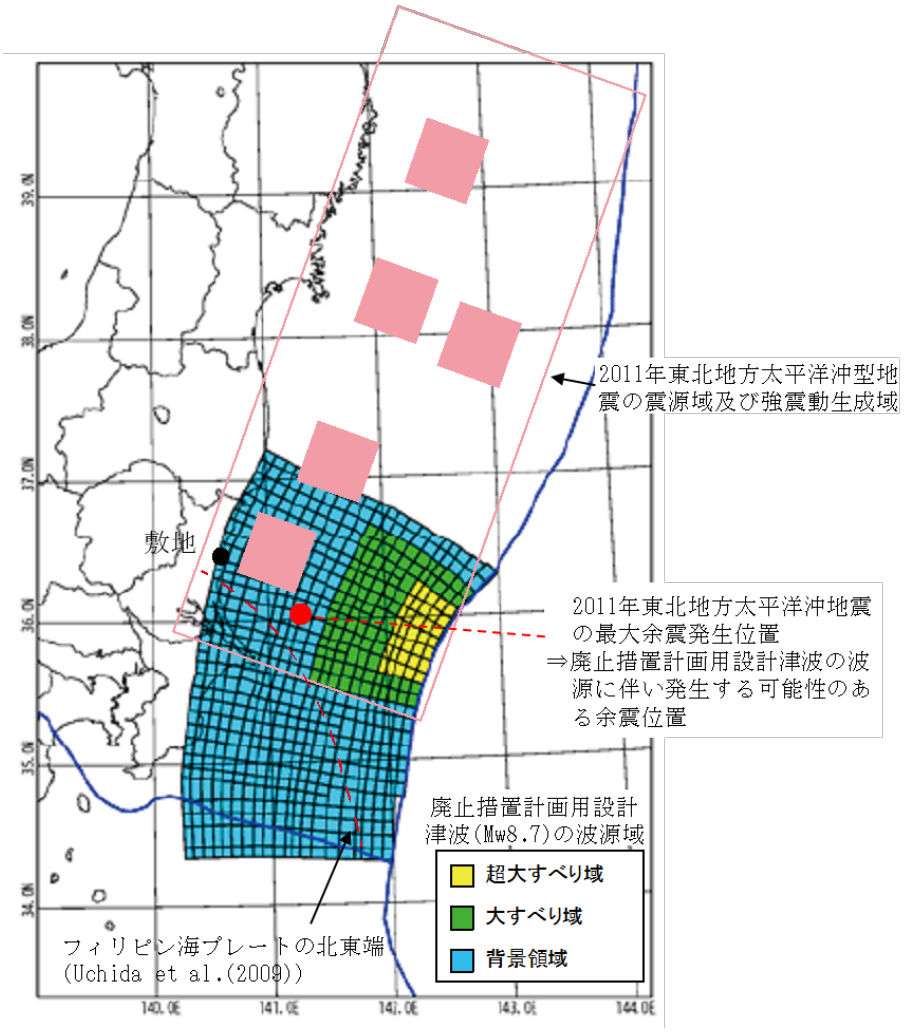
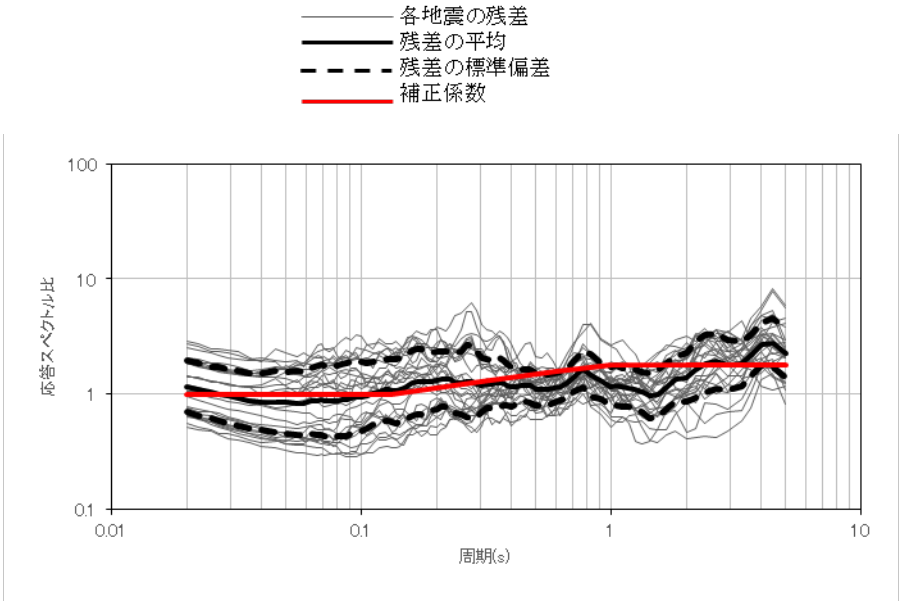


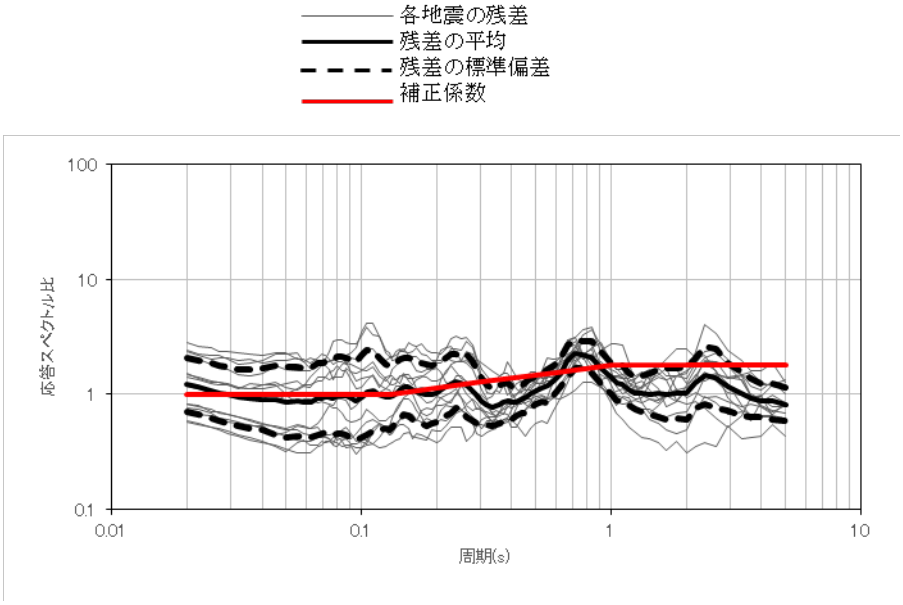
図 5-4 廃止措置計画用設計津波の波源域と 2011 年東北地方太平洋沖型地震の震源域及び最大余震発生位置図

表 5-2 設定した余震の震源諸元

項目	設定値
本震の地震規模（Mw）	8.7
余震の地震規模（M）	7.9
等価震源距離（km）	86



（水平成分）



（鉛直成分）

図 5-5 鹿島灘付近の地震を除く太平洋プレート間地震による補正係数

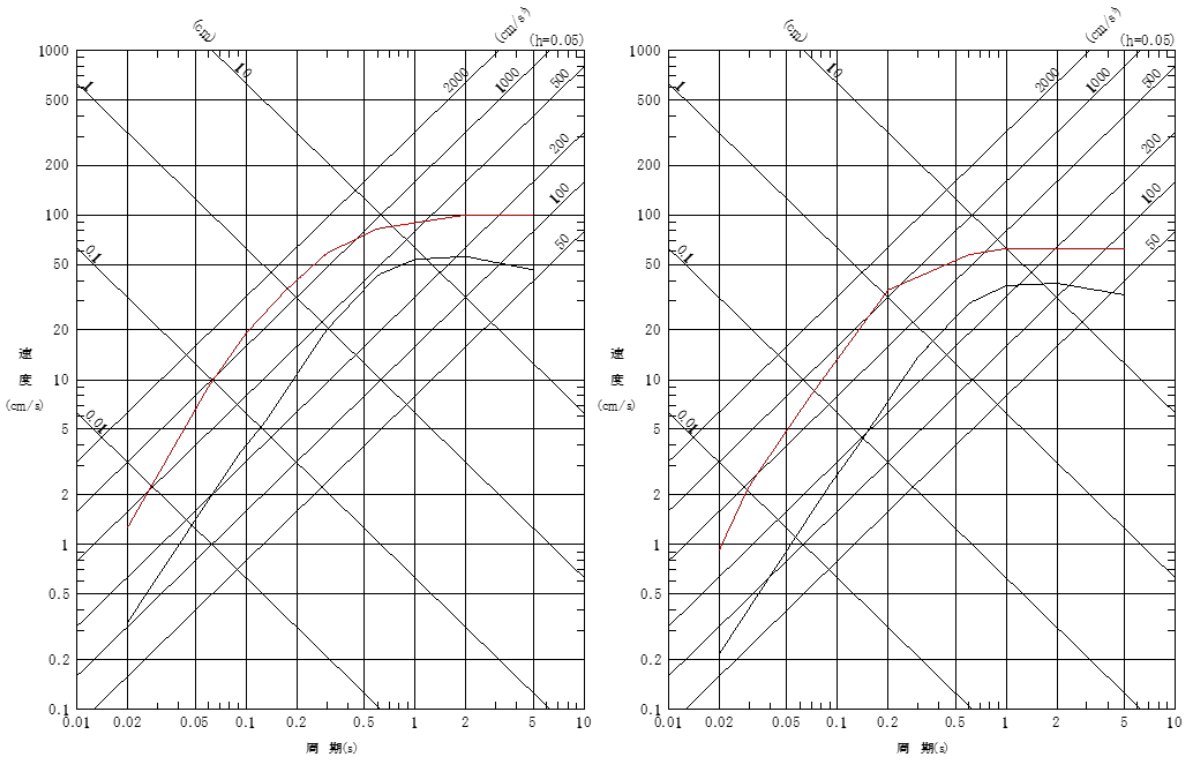


図 5-6　設定した余震と Sd-D との比較
（左:水平成分, 右:鉛直成分）

6. 誘発地震の評価

6.1 誘発地震として考慮する震源の評価

廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある誘発地震として考慮する震源を評価する。

評価に際しては,「4.検討方針」のとおり,廃止措置計画用設計津波と同じ地震発生様式である 2011 年東北地方太平洋沖地震の事例を参考に地震規模,発生位置を検討する。図 4-1 に示す 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生による誘発地震である内陸地殻内地震のうち,本震発生からもっとも早く発生した誘発地震は 3 月 12 日長野県北部の地震(M6.7)であり,本震発生から 13 時間後である。

一方,敷地の廃止措置計画用設計津波の到達時間は図 5-1 に示すとおり,地震発生から約 40 分後である。

このことから,廃止措置計画用設計津波の到達時間帯において規模の大きな誘発地震が発生する可能性は低いと考えられる。

しかしながら,規模の小さな誘発地震は 2011 年東北地方太平洋沖地震発生直後から発生していることを踏まえ,廃止措置計画用設計地震動の評価において検討用地震の候補として考慮していた規模の小さな短い活断層による地震を保守的に考慮する。

6.2 廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある誘発地震による地震動の評価

廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある誘発地震による地震動を評価する。誘発地震として考慮する規模の小さな短い活断層の分布及び地震諸元をそれぞれ図 6-1 及び表 6-1 に示す。地震動評価は Noda et al.(2002)[3]により行う。その際,廃止措置計画用設計地震動策定における内陸地殻内地震の評価と同様,福島県と茨城県の県境付近で発生した地震の観測記録による補正係数を考慮する。観測記録による補正係数を図 6-2 に,評価結果と Sd-D の比較を図 6-3 に示す。

同図より,評価結果は,Sd-D を下回ることが確認できる。

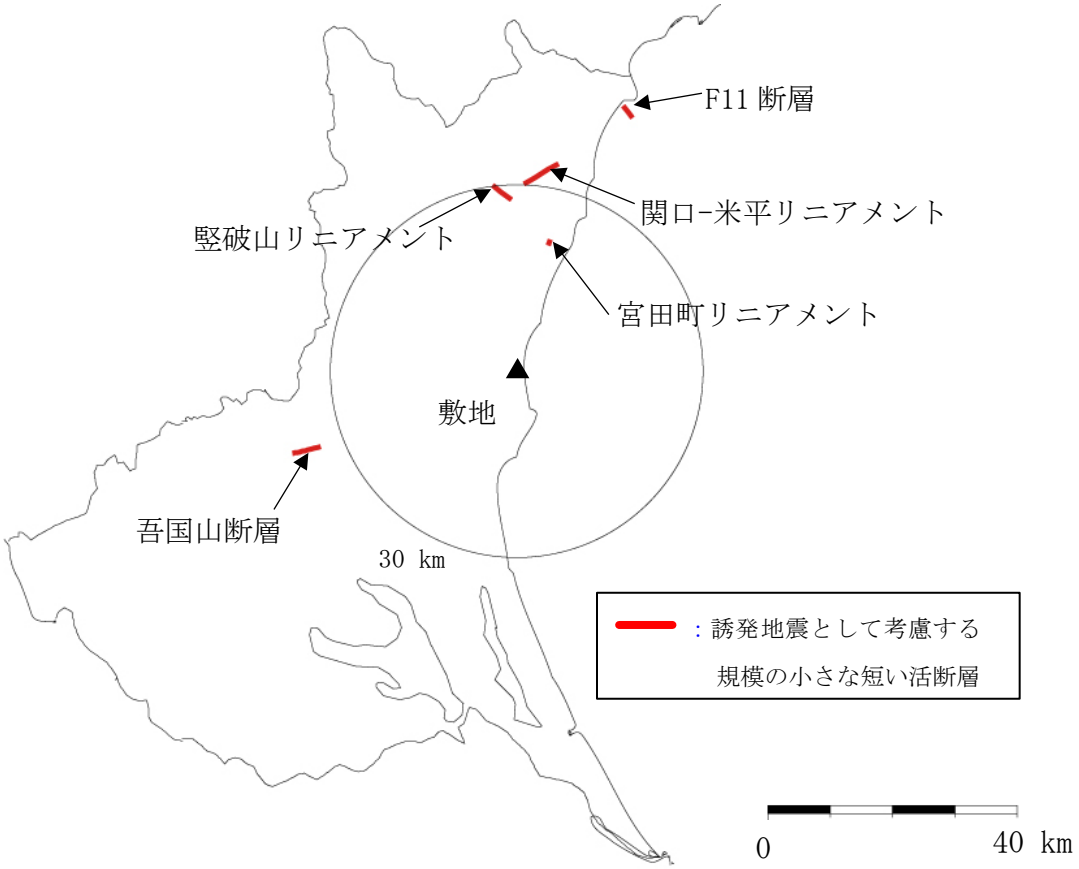
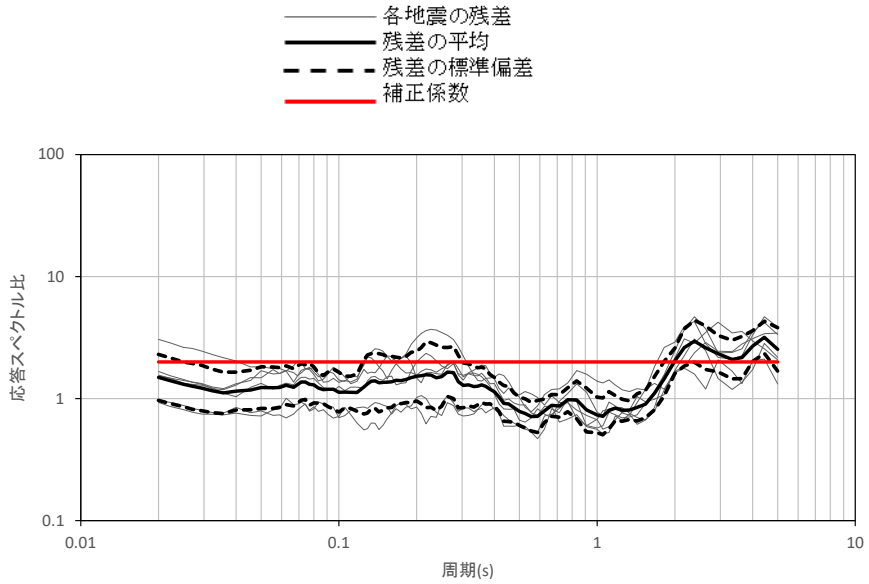


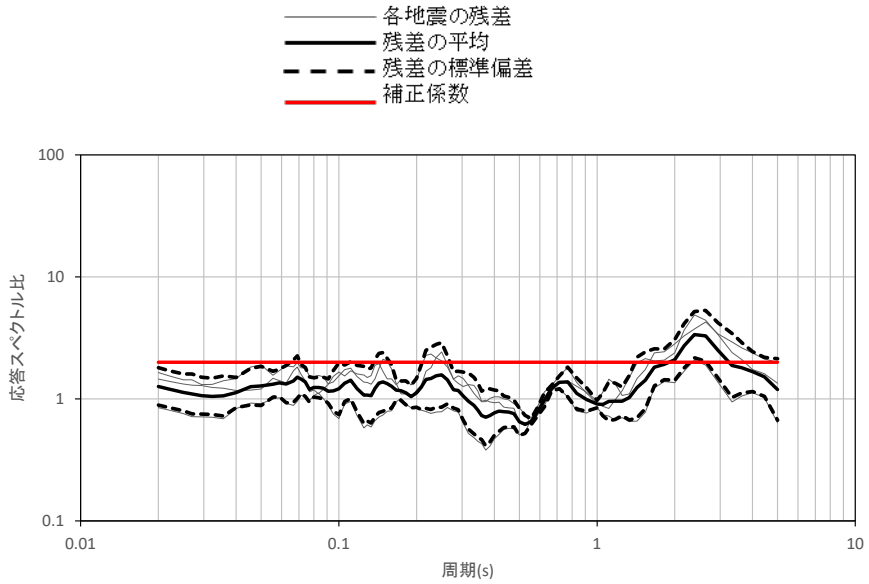
図 6-1　誘発地震として考慮する規模の小さな短い活断層の分布

表 6-1　設定した誘発地震の諸元

地震名	地震規模M	等価震源距離（km）
宮田町リニアメント	6.8	23
関口－米平リニアメント	6.8	30
竪破山リニアメント	6.8	28
Ｆ１１断層	6.8	41
吾国山断層	6.8	37



（水平成分）



（鉛直成分）

図 6-2　福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震の補正係数

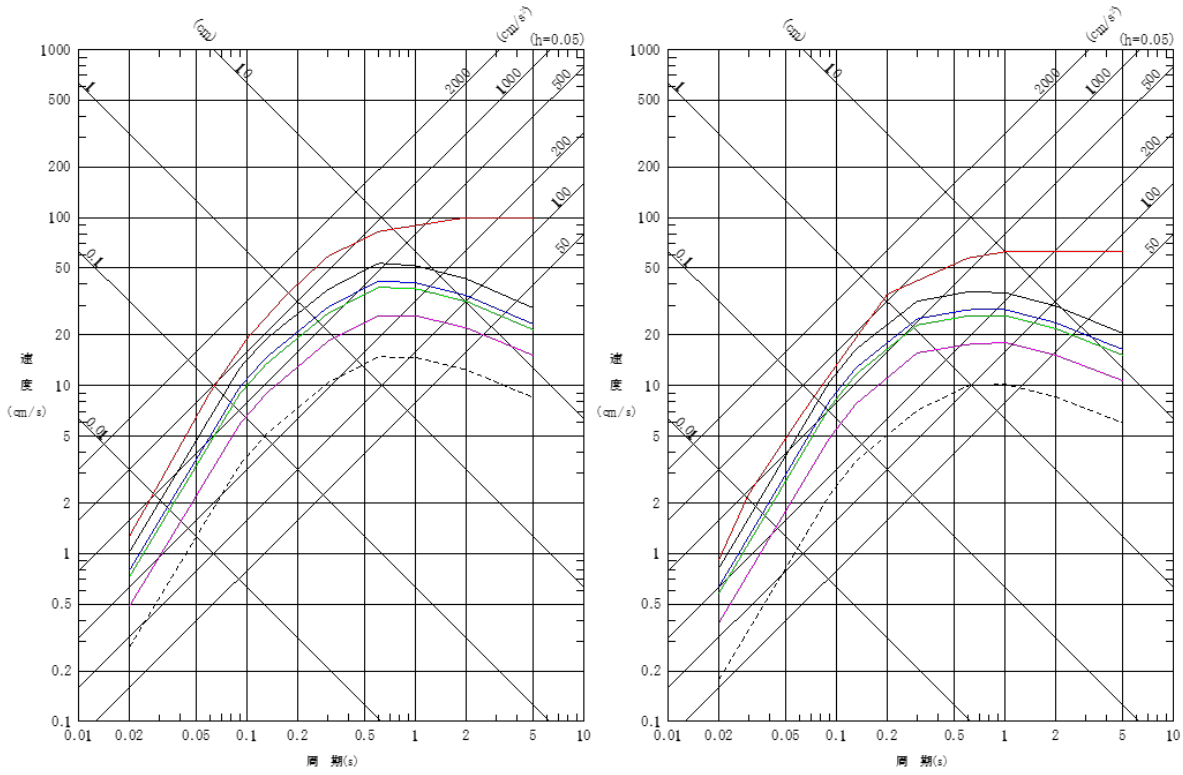


図 6-3　規模の小さな短い活断層による地震と Sd-D との比較

（左：水平成分，右：鉛直成分）

7. 余震荷重の設定

以上の検討結果から，Sd-D を津波荷重に組み合わせる余震荷重として考慮する。

8. 参考文献

(1) Naoki Uchida, Toru Matsuzawa, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa. Subduction of a wedgeshaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH. vol.115, 2010, B07309.

(2) 日本地震工学会，東日本大震災合同調査報告,共通編 1,地震・地震動，2014.

(3) Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide Watanabe（2002）. RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD. NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16-18, Istanbul, 2002.

(4) 地震調査研究推進本部.「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書. 地震調査推進本部地震調査委員会，2016，平成 28 年 8 月 19 日.

(5) 入倉考次郎，海溝型巨大地震の強震動予測のための震源モデルの構築，第 40 回地盤振動シンポジウム，2012.

(6) Naoki Uchida, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa, Toru Matsuzawa. What controls interpolate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone. Earth and Planetary Science Letters. vol.283,2009, pp.111-121.

(7) 気象庁，地震月報（カタログ編），2020-03-31 時点，ほか

Ⅴ 漂流可能性のある漂流物の選定

1. 概要

本資料は，廃止措置計画用設計津波により，高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟に影響を与える可能性のある漂流物を選定するものである。

2. 基本方針

再処理施設では，廃止措置計画用設計津波が敷地内に流入することを想定しており，高放射性廃液に伴うリスクが集中する高放射性廃液貯蔵場（HAW）とこれに付随するガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟については，廃止措置計画用設計津波に対し，建家内へ浸水しないよう個別に対策し，安全を確保する方針である。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及びガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の建家外壁においては，波力及び余震との重畳に対して増し打ちなどの対策により防護するが，漂流物については，漂流物の種類や大きさによっては建家外壁だけで防護することは困難となるため，津波漂流物防護柵の設置等の対策により，建家外壁への漂流物の衝突を軽減又は防止する。

船舶や車両等の大型の漂流物に対しては、津波漂流物防護柵の設置等の対策により捕捉し、建家外壁への到達を防止し、津波漂流物防護柵をすり抜けて遡上する流木や瓦礫等の比較的小型の漂流物は、建家外壁に到達することを考慮した防護方針とし、津波漂流物防護柵と建家外壁により多重に防護する。

2.1 漂流物の判定

廃止措置計画用設計津波の遡上経路を調査範囲として設定し，調査範囲に存在する建物・設備等の漂流物となる可能性のあるものを重量，形状に関係なく洗い出した後，建物・設備，流木，船舶，車両に分類し，スクリーニングにより漂流物となるかどうかを判定する。

判定では，保守的に，廃止措置計画用設計津波の流況，漂流物の軌跡解析及び再処理施設周辺の障害物等の存在を考慮せず，漂流物としたものは再処理施設に到達するものとする。

2.2 代表漂流物の選定

漂流物として作用する荷重は，その重量に大きく影響を受けることから，判定した漂流物について，分類ごとに最も重量の大きい漂流物を代表漂流物として選定し，建家外壁である設計津波の津波防護施設，津波漂流物防護柵で構成する漂流物の影響防止施設，それぞれの設計において考慮すべき代表漂流物を定める。

3. 代表漂流物の選定

3.1 漂流物分類ごとの代表漂流物の選定

漂流物分類ごとの代表漂流物の選定について添付資料 6-1-3-1-1「再処理施設における代表漂流物の選定について」に纏める。

3.2 津波防護施設において考慮すべき代表漂流物

重量の大きい，水素タンク，小型船舶，中型バスは，津波漂流物防護柵で構成する漂流物の影響防止施設にて捕捉し，津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある防砂林（流木）は，建家外壁である設計津波の津波防護施設で防護することとし，それぞれの設計において考慮すべき代表漂流物とする。

漂流物の影響防止施設の設計においては，津波漂流物防護柵に作用する荷重を「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」に基づき算定し，設計条件とする。

津波防護施設においては，津波漂流物防護柵により，定められた代表漂流物の流速が軽減することが見込まれ，建家外壁に作用する荷重を「道路橋示方書」に基づき算出し，別添 6-1-3-2「Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価」の設計条件とする。

なお，防砂林を超える重量を持つ漂流物は，津波漂流物防護柵で捕捉できるように設計に反映する。

4. 今後の対応

津波漂流物防護柵で構成する漂流物の影響防止施設においては，代表漂流物の妥当性を令和 2 年 10 月末までに検証する。検証の結果，代表漂流物に変更が生じた場合は津波防護対策の設計に反映する。

添付資料 6-1-3-1-1

再処理施設における代表漂流物の選定について

再処理施設における代表漂流物の選定について

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所の再処理施設に廃止措置計画用設計津波(以下「設計津波」という。)が襲来した際に,漂流物と成り得る可能性のある建物・設備等について調査し,再処理施設の津波防護対策の設計に用いる代表漂流物を選定した。

2. 調査

(1)考え方

日本原子力発電株式会社東海第二原子力発電所(以下「TK2」という。)の津波漂流物調査要領の調査範囲,調査方法を参考に,再処理施設周辺が設計津波により浸水することを考慮して,核燃料サイクル工学研究所内外の調査範囲を決定し,調査範囲に存在する建物・設備等を重量,形状に関係なく洗い出す。核燃料サイクル工学研究所内における洗い出しはウォークダウン及び設計図書,製作図書等の図書類により行い,屋内から流出する可能性のある容器も対象とする。核燃料サイクル工学研究所外における洗い出しはウォークダウンにより行う。

洗い出した対象物は,「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」(財)沿岸技術研究センター,(社)寒地港湾技術研究センター(平成 26 年 3 月)に示す漂流物の衝突エネルギーの算出に係る評価条件を考慮し,コンテナ(建物・設備),流木,船舶,車両に分類した後(参考資料参照),スクリーニングにより漂流物となるか判定する。

漂流物の衝突エネルギーの算出においては,衝突形態(建物等への接触の仕方)が横方向,縦方向,斜め方向で異なることを考慮する。同じ漂流物では重量が支配的となる。従って,衝突エネルギーを最も厳しく評価できるように,代表漂流物はスクリーニングで判定した各分類の漂流物の中から最も重いものを選定する。

今回の調査では保守的に,設計津波の流況,漂流物の軌跡解析及び再処理施設周辺の障害物等によらず,判定した漂流物は再処理施設に到達するものとする。

(2)範囲

調査範囲は,TK2 の漂流物の移動量の設定値(5 km)を参考に,再処理施設(高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟)から半径 5 km 以内で設計津波が遡上するエリア(図 1 参照)とした。

(3) スクリーニング

洗い出した対象物は,図 2 に示す判定フロー,表 1 に示す判定基準及び考え方に従ってスクリーニングを実施し,漂流物となるか判定した。

スクリーニングでは,再処理施設周辺が設計津波により浸水することを考慮して,設備等の固定ボルトの損傷の可能性,屋内にある容器については屋外への流出の可能性も考慮して漂流物となるか判定した。

(4) 代表漂流物の選定

スクリーニングで判定した漂流物については,各分類(建物・設備,流木,船舶,車両)におい

て，最も重い漂流物を代表漂流物として選定した。

3. 調査結果

(1)核燃料サイクル工学研究所内

核燃料サイクル工学研究所内で洗い出した対象物の代表例を建物・設備，流木，船舶，車両に分類し，それらの設置状況，主要構造/材質，形状，寸法，重量の調査結果及びスクリーニング結果を取りまとめたものを表 2 に示す。各分類の種類及び数量が多いものについては，種類毎にグループ化したものを名称として整理した。それぞれの名称の代表例は，衝突エネルギーに寄与する重量の重い順に整理した。また，スクリーニングの判定結果として，表 1 に示したスクリーニングの判定番号と漂流物の判定結果を記載した。

表 2 に整理した対象物のスクリーニングの判定結果と写真を別紙 6-1-3-1-1-1 に，それらの配置を別紙 6-1-3-1-1-2 に示す。

(2)核燃料サイクル工学研究所外（常陸那珂火力発電所，茨城港常陸那珂港区及びその南側）

核燃料サイクル工学研究所外については，株式会社 JERA 常陸那珂火力発電所，茨城港常陸那珂港区及びその南側の調査を実施し，核燃料サイクル工学研究所内と同様に整理した調査結果を表 3，4 に示す。各分類の種類及び数量が多いものについては，核燃料サイクル工学研究所内と同様に整理し，表 1 に示したスクリーニングの判定番号と漂流物の判定結果を記載した。

表 3 に整理した対象物のスクリーニングの判定結果と写真及びそれらの配置を別紙 6-1-3-1-1-3，別紙 6-1-3-1-1-4 に，表 4 に整理した対象物のスクリーニングの判定結果と写真及びそれらの配置を別紙 6-1-3-1-1-5，別紙 6-1-3-1-1-6 に示す。

上記(1)，(2)のスクリーニングにおいて，スクリーニング項目②の固定ボルト等の損傷の判定に係る評価結果を別紙 6-1-3-1-1-7 に示す。また，スクリーニング項目⑤の気密性を有する設備等の浮遊の判定に係る評価結果を別紙 6-1-3-1-1-8 に示す。なお，スクリーニング項目③については，固縛等がされている容器はなかったため，評価は行わなかった。

4. 代表漂流物

表 2～4 に取りまとめた核燃料サイクル工学研究所内外の漂流物のうち，各分類において最も重い漂流物から代表漂流物を以下のように選定した。選定結果を表 5 に示す。

(1) 建物・設備

漂流物と判定したものは，簡易建物，タンク・槽，容器等があり，重量順に水素タンク:約 30 t，窒素タンク:約 28 t，硝酸タンク:約 22 t，[redacted]還水タンク:約 14 t 等のタンク類であったことから，今後撤去予定ではあるものの，水素タンク:約 30 t を代表漂流物として選定した。

(2) 流木

流木は，核燃料サイクル工学研究所内外の防砂林の調査結果より，直径約 20～30 cm，高さ約 4～10 m であったことから，直径最大約 30 cm，高さ最高約 10 m から算出した約 0.55t の防砂林

を代表漂流物として選定した。

(3) 船舶

ウォークダウン時に茨城港常陸那珂港区に係留されていた小型船舶(小型船舶の登録等に関する法律に定められている総トン数 20 トン未満の船舶)は 23 隻であり，そのうち，総トン数が大きいことが想定された最も大きい小型船舶の船名を確認した。その後，[redacted]から当該小型船舶の総トン数が約 19.0 t であること，また聞き取りにより当該小型船舶の総トン数が最も大きいものであることを確認した。

茨城港常陸那珂港区における船舶の安全等の確保を図るための対応については，[redacted]が策定した[redacted]に，総トン数 20 t 以上の大型船舶に係る津波警報発令時の対応として，緊急退避等の措置を取ることが定められている。[redacted]は，茨城港常陸那珂港区に関係のある行政機関及び企業等から構成され，[redacted]については[redacted]等を通して[redacted]へ周知されていることを[redacted]からの聞き取りにて確認した。また，企業からの聞き取りにより，[redacted]が周知されており，緊急退避等の措置が[redacted]従って取られることを確認した。

このため，大型船舶は漂流物にはならず，当該小型船舶(総トン数約 19.0 t を排水トン数に換算した約 57.0 t)を代表漂流物として選定した(参考資料参照)。

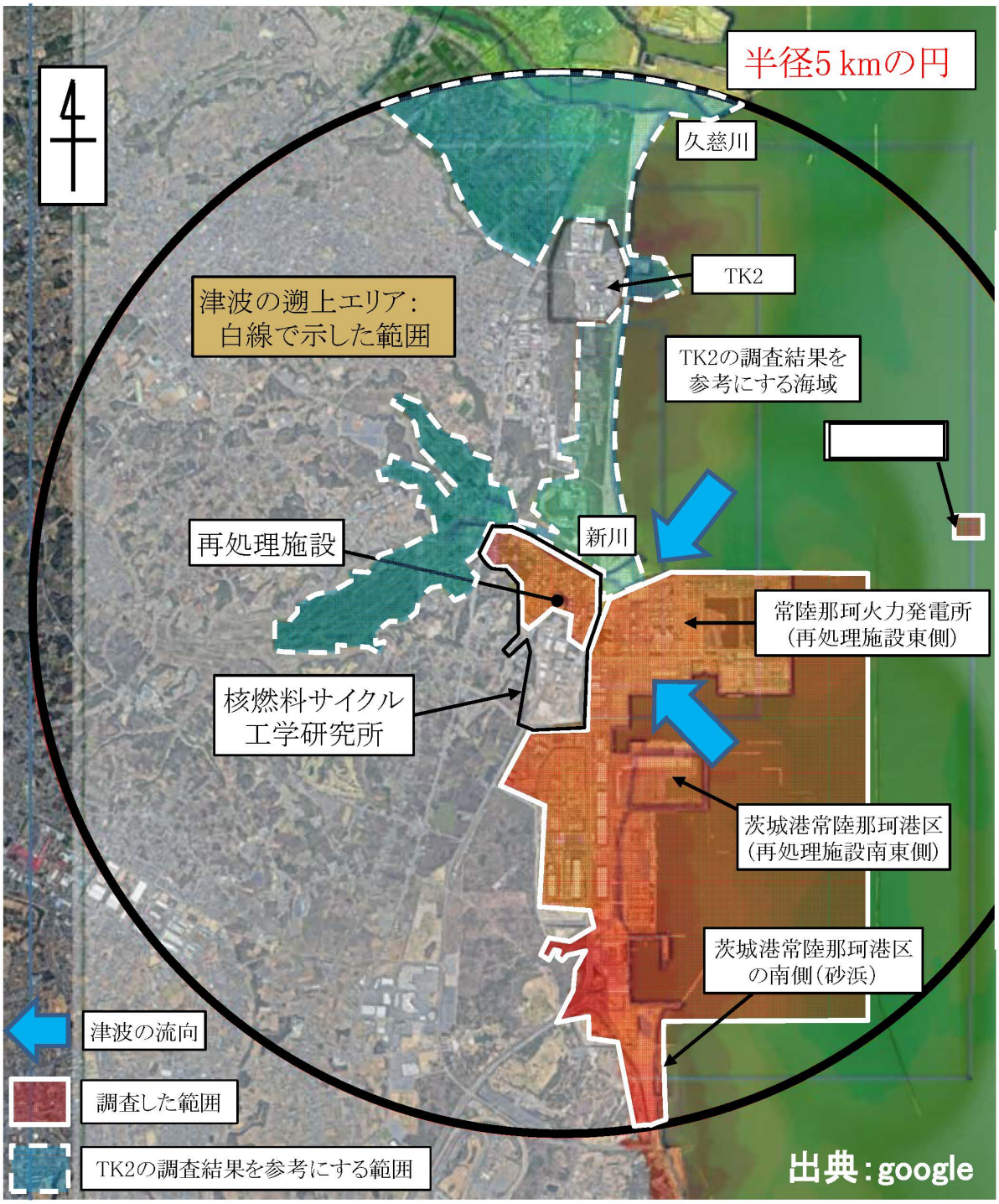
(4) 車両

漂流物と判定したものは，中型車両と普通車両があり，それらのうち重いものは，中型バス:約 9.7 t，トラック:約 5 t，乗用車:約 3 t であったことから，中型バス:約 9.7 t を代表漂流物として選定した。

5. 今後の予定

選定した代表漂流物を用いて，津波防護対策の設計を開始する。具体的には，代表漂流物の重量等から漂流物の衝突エネルギーを算出し，津波防護対策への設計に反映する。

選定した代表漂流物については，設計津波の流況及び漂流物の軌跡解析の結果を踏まえて，再処理施設への漂流物の到達の有無を明らかにし，代表漂流物の妥当性を令和 2 年 10 月末までに検証する。検証の結果，代表漂流物に変更が生じた場合は津波防護対策の設計へ反映する。



漂流物の調査範囲

（再処理施設（高放射性廃液貯蔵場(HAW)及びガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟）から半径5 km※1以内で，津波が遡上するエリア）

※1　立地が近いTK2が，漂流物の最大移動量3.6 kmに保守性をもって設定した値を踏まえ，同じ調査範囲（半径5 km）とした。

図 1　漂流物の調査範囲

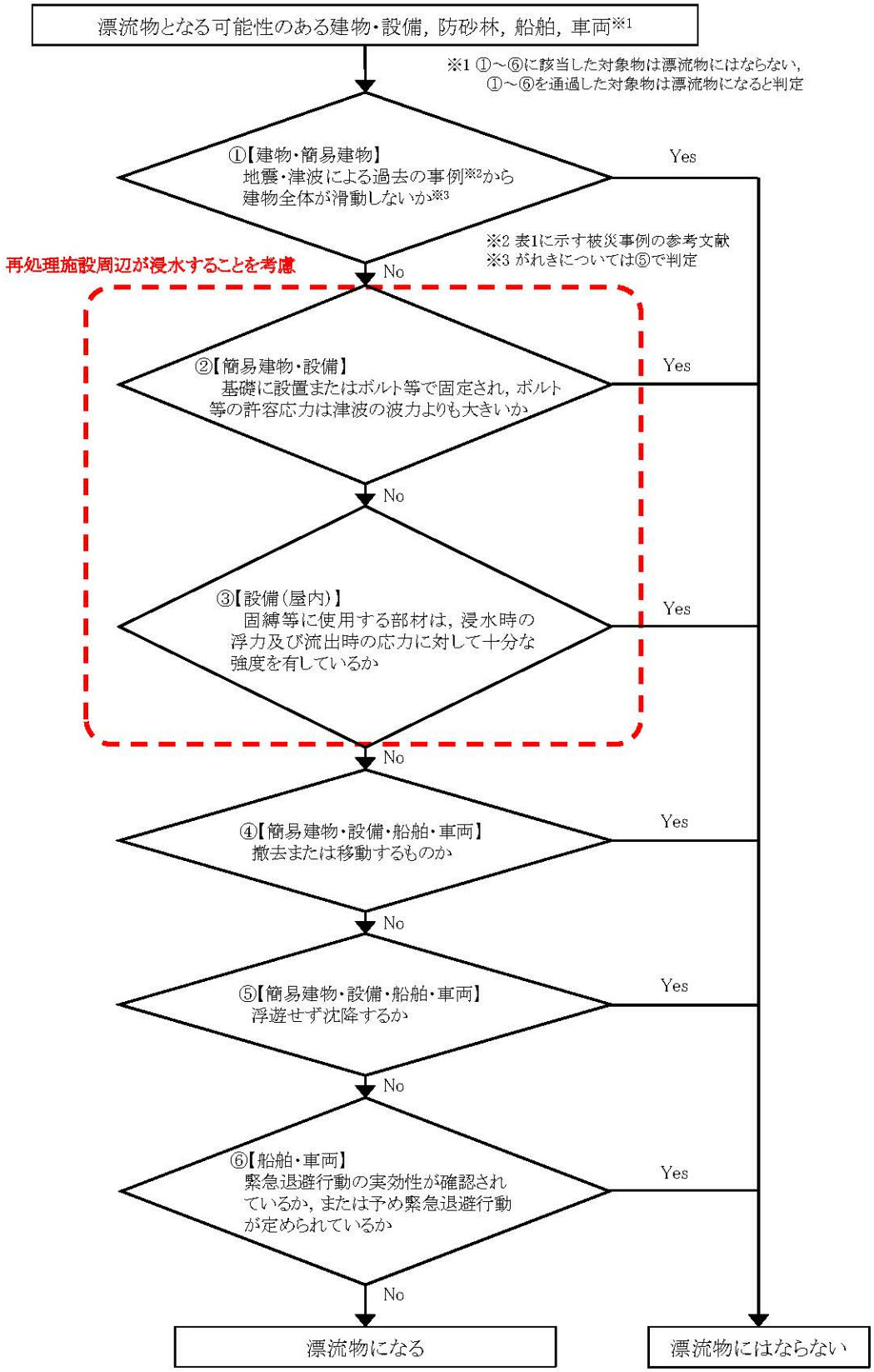


図2　スクリーニングの方法（判定フロー）

表 1 スクリーニングの判定基準と考え方

判定番号	スクリーニング項目	判定基準と考え方
①	【建物・簡易建物】 地震・津波による過去の事例から建物全体が滑動しないか	東日本大震災においては，鉄筋コンクリート造，鉄骨造の建物は，地震，津波により壁面や窓等の損傷が確認されているものの，本来の形状を維持したまま滑動し漂流を続ける事例は確認されていないため，本来の形状を維持したまま漂流物にはならない（別紙 6-1-3-1-1-9 参照）。地震，津波による建物の損壊で発生したコンクリート，鉄骨等の構成部材はがれきとなる。がれきの判定は，判定番号⑤のスクリーニングに従い，漂流物になるか判定する。
②	【簡易建物・設備】 基礎に設置またはボルト等で固定され，ボルト等の許容応力は津波の波力よりも大きいか	津波波力（高放射性廃液貯蔵場（HAW）における津波高さ T.P.12.1 m を想定した波力）により，設備等の固定ボルト等に発生する応力を求め，固定ボルト等の許容応力と比較する。固定ボルトの許容応力が津波波力による応力よりも大きい場合には，固定ボルト等が損傷しないことから，固定ボルト等に錆の発生等がなく健全であることを確認した上で，漂流物にはならないものと判定する（別紙 6-1-3-1-1-7 参照）。
③	【設備（屋内）】 固縛等に使用する部材は，浸水時の浮力及び流出時の応力に対して十分な強度を有しているか	固縛部材の強度を求め，浸水時の浮力及び津波の流出時の応力と比較する。固縛部材の強度が，浸水時の浮力及び津波の流出時の応力に対して大きい場合は屋外へ流出しないことから，漂流物にはならないものと判定する。
④	【簡易建物・設備・船舶・車両】 撤去または移動するものか	津波の遡上エリアから撤去または移動する場合は，漂流物にはならないものと判定する。
⑤	【簡易建物・設備・船舶・車両】 浮遊せず沈降するか	・気密性を有しているもの（気密性を有しているか疑わしいものは保守的に気密性を有しているものとする）は，算出した浮力を重量と比較する。重量が浮力より大きい場合は，沈降することから漂流物にはならないものと判定する（別紙 6-1-3-1-1-8，別紙 6-1-3-1-1-9 参照）。 ・気密性がないもの（空気溜まりがないもの，開口部等があるもの）は，材質の比重と海水の比重を比較する。材質の比重が海水の比重より大きい場合は，沈降することから漂流物にはならないものと判定する。
⑥	【船舶・車両】 緊急退避行動の実効性が確認されているか，または予め緊急退避行動が定められているか	船舶等で津波警報発令時に緊急退避または係留避泊が定められている等，津波の影響を受けない場合は，漂流物にはならないものと判定する（別紙 6-1-3-1-1-9 参照）。

【図 2 に記載した鉄筋コンクリート造建物，鉄骨造建物の被災事例に関する参考文献（別紙 6-1-3-1-1-9 参照）】

・国土交通省 国土技術政策総合研究所: “2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み－緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録－”, ISSN1346-7301 国総研研究報告第 52 号，平成 25 年 1 月.

・田村修次: “東日本大震災の津波による建築被害”，京都大学防災研究所年報, Vol.55, 181 (2012).

・浜口耕平，原野崇，二階堂竜司，中園大介，原宏，諏訪義雄: “東日本大震災における津波漂流物の範囲と量の推定”，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.72, I_193 (2016).

・加藤博人: “鉄筋コンクリート造建築物の津波被害と津波避難ビルに係る検討”，コンクリート工学, Vol.50, 82 (2012).

表2 対象物（代表例）の調査結果（核燃料サイクル工学研究所(再処理施設内)）（1/3）

分類	名称	総数	代表例※1	設置状況※2	主要構造/材質	形状	寸法※3（m）	重量※3（t）	スクリーニングの結果※4		備考※5
									スクリーニングの判定番号	漂流物に成り得るか	
建物	鉄筋コンクリート造建物	71	1. 建物	固定あり	RC造	直方体			①, ⑤	×	地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはないと考えられる 地震又は津波による建物の部分的な損壊で発生したコンクリート片等はがれきとなるが，気密性はなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
			2. 建物	固定あり	RC造	直方体			①, ⑤	×	
	鉄骨造建物	20	3. 第二付属排気筒	固定あり	鉄骨造	円筒			①, ⑤	×	地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはないと考えられる 地震又は津波による建物の部分的な損壊で発生した鉄骨片等はがれきとなるが，気密性はなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
			4. 真砂橋	固定あり	鉄骨造	直方体			①, ⑤	×	
	簡易建物	43	5. テントハウス	固定あり	鉄骨造	直方体	17×22×5	約7.2	⑤	×	津波によりテントが流され鉄骨片等はがれきとなるが，気密性はなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
			6. 倉庫	固定なし	鋼製	直方体	4.5×2.3×2.4	約0.53	①, ②, ④, ⑤	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
設備（屋外）	タンク・槽	16	7. 水素タンク	固定あり	鋼製	円筒	Φ3.6×16.6	約30	②, ④, ⑤	○	津波により固定ボルトが損傷するとともに，対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする 水素タンクは，令和2年9月までに撤去予定の不稼働品（内部は窒素で置換済み）であるものの，撤去までの期間を考慮し，漂流物とした
			8. 窒素タンク	固定あり	鋼製	円筒	Φ2.8×8.9	約28		○	
			9. 硝酸タンク	固定あり	鋼製	円筒	Φ3.6×5.3	約22		○	
			10. 還水タンク	固定あり	鋼製	円筒	Φ2×4.5	約14		○	
	電気盤	31	11. キュービクル	固定あり	鋼製	直方体	2.7×2.5×2.4	約6.75	⑤	×	津波により固定ボルトは損傷するが，対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
			12. 受電盤	固定あり	鋼製	直方体	3.5×2.2×2.7	約4	⑤	×	
			13. 信号中継盤	固定あり	鋼製	直方体	1×0.8×2	約0.15	⑤	×	
	鉄製品，鋼材類	185	14. 鉄板	固定なし	鋼製	直方体	3.1×1.6×0.02	約0.2	⑤	×	対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
			15. 止水板	固定なし	鋼製	直方体	7×0.4×0.1	約0.05	⑤	×	
	プラスチック，樹脂製品	10	16. パレット	固定なし	樹脂製	直方体	1.3×1.3×0.2	約0.03	②, ④, ⑤	○	対象物は気密性がないが，比重が小さく浮遊することから漂流物とする
	ボンベ類	22	17. 消火器（200型）	固定なし	鋼製	円筒	Φ0.4×1.1	約0.25	⑤	×	対象物は気密性を有しているが，重量が浮力よりも大きく沈降することから漂流物にはならない
	コンクリート類	10	18. コンクリートブロック	固定なし	コンクリート	直方体	3.3×1.6×1.8	約20	⑤	×	対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない

※1 代表例の番号は別紙 6-1-3-1-1-1，別紙 6-1-3-1-1-2の番号と対応
※2 固定あり：土地に定着した基礎を有する施設・設備(例：常設の基礎上に設置したプラント設備等)，固定なし：簡易に固定又は置いてあるだけのもの （例：地面や基礎に置いてあるだけの仮置き物品等）
※3 調査対象となる建物，設備，車両等の図面，図書類等から寸法と重量を確認し，最大重量のものを記載
※4 スクリーニングの判定番号は図2，表1の番号と対応，○は漂流物になる，×は漂流物にならない
※5 スクリーニング項目の評価結果は別紙 6-1-3-1-1-1に示す

表2 対象物（代表例）の調査結果（核燃料サイクル工学研究所(再処理施設内)）（2/3）

分類	名称	総数	代表例※1	設置状況※2	主要構造/材質	形状	寸法※3（m）	重量※3（t）	スクリーニングの結果※4		備考※5
									スクリーニングの判定番号	漂流物に成り得るか	
設備（屋外）	機器	124	19. チラーユニット	固定あり	鋼製	直方体	1.8×3.0×2.2	約2	⑤	×	津波により固定ボルトは損傷するが，対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
			20. 冷却塔	固定あり	鋼製	円筒	Φ4×3	約1	⑤	×	
			21. 室外機	固定なし	鋼製	直方体	1.5×1.2×0.8	約0.25	⑤	×	対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
	浮標	4	22. 浮標（海域）	固定あり	鋼製	円筒	Φ2.5×9	約4.0	②	×	津波が襲来した場合でも固定部材であるチェーンには余長があり，損傷しないことから漂流物にはならない
	自動販売機	1	23. 自動販売機	固定なし	鋼製	直方体	1×1×2	約0.5	②，④，⑤	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
設備（屋内）	容器		24. ウランポット	固定なし	鋼製	円筒			⑤	×	対象物は気密性を有しているが，重量が浮力よりも大きく沈降することから漂流物にはならない
			25. ドラム缶	固定なし	鋼製	円筒			②，③，④，⑤	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする 屋内の容器等は流出防止の観点から固定・固縛等の措置をとる
			26. コンテナ	固定なし	鋼製	直方体			②，③，④，⑤	○	
流木											
船舶											
車両	特殊	11	27. クレーン車	固定なし	鋼製	直方体	2.5×12×3.3	約24	⑤	×	対象物は気密性を有しているが，重量が浮力よりも大きく沈降することから漂流物にはならない
	普通	4	28. トラック	固定なし	鋼製	直方体	1.7×4.7×2	約4.1	⑤	×	
		2	29. 乗用車	固定なし	鋼製	直方体	1.5×3.4×2	約1	④，⑤，⑥	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
	二輪車	43	30. 原動機付自転車	固定なし	鋼製	直方体	0.6×1.8×1.1	約0.04	⑤	×	対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない

※1 代表例の番号は別紙 6-1-3-1-1-1，別紙 6-1-3-1-1-2の番号と対応
※2 固定あり：土地に定着した基礎を有する施設・設備(例：常設の基礎上に設置したプラント設備等)，固定なし：簡易に固定又は置いてあるだけのもの（例：地面や基礎に置いてあるだけの仮置き物品等）
※3 調査対象となる建物，設備，車両等の図面，図書類等から寸法と重量を確認し，最大重量のものを記載
※4 スクリーニングの判定番号は図2，表1の番号と対応，○は漂流物になる，×は漂流物にならない
※5 スクリーニング項目の評価結果は別紙 6-1-3-1-1-1に示す

表2 対象物（代表例）の調査結果（核燃料サイクル工学研究所(再処理施設外)）（3/3）

分類	名称	総数	代表例※1	設置状況※2	主要構造/材質	形状	寸法※3（m）	重量※3（t）	スクリーニングの結果※5		備考※6
									スクリーニングの判定番号	漂流物に成り得るか	
建物	鉄筋コンクリート造建物	132	1. 建物	固定あり	RC造	直方体			①, ⑤	×	地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはないと考えられる 地震又は津波による建物の部分的な損壊で発生したコンクリート片等はがれきとなるが，気密性はなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
			2. 建物	固定あり	RC造	直方体			①, ⑤	×	
	鉄骨造建物	1	3. 鉄塔	固定あり	鉄骨造	直方体	7×7×50	約90	①, ⑤	×	地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはないと考えられる 地震又は津波による建物の部分的な損壊で発生した鉄骨片等はがれきとなるが，気密性はなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
	簡易建物	98	4. プレハブ	固定あり	鉄骨造	直方体	10×5×8	約40	①, ⑤	×	
		36	5. 倉庫	固定なし	鋼製	直方体	3×2×2	約1	①, ②, ④, ⑤	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
設備	タンク・槽	26	6. タンク	固定あり	鋼製	円筒	Φ2.3×3.5	約7	②, ④, ⑤	○	津波により固定ボルトが損傷するとともに，対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
	電気盤	60	7. 変電設備（工学試験棟キュービクル）	固定あり	鋼製	直方体	10×2.5×2.5	約10	⑤	×	津波により固定ボルトは損傷するが，対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
	鉄製品，鋼材類	494	8. フェンス	固定あり	鋼製	直方体	300×0.2×1.8	約6	⑤	×	
	プラスチック，樹脂製品	6	9. ゴミ箱	固定なし	樹脂製	直方体	1.5×0.7×1.1	約0.04	②, ④, ⑤	○	対象物は気密性がないが，比重が小さく浮遊することから漂流物とする
	ボンベ類	8	10. プロパンガスボンベ	固定なし	鋼製	円筒	Φ0.4×1.3	約0.09	②, ④, ⑤	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
	機器	426	11. 車両重量測定装置	固定あり	鋼製	直方体	11×3×0.5	約15	⑤	×	対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
	浮標	2	12. 浮標（陸域）	固定なし	鋼製	円筒	Φ2.5×9	約4	②, ④, ⑤	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする 漂流物とならないように固定・固縛等の措置をとる
		2	13. 浮標（海域）	固定あり	鋼製	円筒	Φ1.3×4.4	約0.5	②, ④, ⑤	○	津波が襲来した場合，固定部材であるチェーンの余長はなく，損傷することから漂流物とする
	コンクリート類	3	14. 旧本部門	固定あり	RC造	直方体	10×2×1	約48	⑤	×	津波により損壊し，コンクリート片，鉄骨等の構成部材ががれきとなるが，気密性はなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない
	煙突	1	15. 煙突	固定あり	鋼製	円筒	Φ0.6×15	約2	⑤	×	
	自動販売機	5	16. 自動販売機	固定なし	鋼製	直方体	1×0.5×2	約0.5	②, ④, ⑤	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
流木	防砂林	1式	17. 防砂林	―	木	―	Φ0.3×10	約0.55 ※4	―	○	対象物は比重が小さく浮遊することから漂流物とする
船舶											
車両	特殊	4	18. 消防自動車	固定なし	鋼製	直方体	2.5×8×3	約13	⑤	×	対象物は気密性を有しているが，重量が浮力よりも大きく沈降することから漂流物にはならない
	大型	1	19. タンクローリ	固定なし	鋼製	直方体	2.5×7.8×3	約12.9	⑤	×	
	中型	7	20. 中型バス	固定なし	鋼製	直方体	2.3×9×3	約9.7	④, ⑤, ⑥	○	対象物は気密性を有しており，浮遊することから漂流物とする
	普通	約1,200	21. 乗用車	固定なし	鋼製	直方体	3×5×2	約3	④, ⑤, ⑥	○	
	二輪車	約150	22. バイク	固定なし	鋼製	直方体	0.8×2.4×1.2	約0.3	⑤	×	対象物は気密性がなく，比重が大きく沈降することから漂流物にはならない

※1 代表例の番号は別紙 6-1-3-1-1-1，別紙 6-1-3-1-1-2の番号と対応
※2 固定あり：土地に定着した基礎を有する施設・設備(例：常設の基礎上に設置したプラント設備等)，固定なし：簡易に固定又は置いてあるだけのもの（例：地面や基礎に置いてあるだけの仮置き物品等）
※3 調査対象となる建物，設備，車両等の図面，図書類等から寸法と重量を確認し，最大重量のものを記載
※4 TK2と同様に建築空間の緑化手法を参考に算出
※5 スクリーニングの判定番号は図2，表1の番号と対応，○は漂流物になる，×は漂流物にならない
※6 スクリーニング項目の評価結果は別紙 6-1-3-1-1-1に示す

表3 対象物（代表例）の調査結果（常陸那珂火力発電所）

分類	名称	総数	代表例※1	設置状況※2	主要構造/材質	形状	概算寸法※3（m）	概算重量（最大値）（t）	スクリーニングの結果※7		備考※8
									スクリーニングの判定番号	漂流物に成り得るか	
建物											
設備											
流木											
船舶											
車両											

※1 代表例の番号は別紙 6-1-3-1-1-3，別紙 6-1-3-1-1-4の番号と対応
※2 固定あり：土地に定着した基礎を有する施設・設備(例：常設の基礎上に設置したプラント設備等)，固定なし：簡易に固定又は置いてあるだけのもの(例：地面や基礎に置いてあるだけの仮置き物品等)
※3 概算寸法は目視及び衛星写真にて確認したものを記載
※4 TK2と同様に建築空間の緑化手法を参考に重量を算出した
※5 タンクの重量は核燃料サイクル工学研究所再処理施設内にある水素タンクとの寸法比から算出した
※6 設備が地上面より下に設置されている
※7 スクリーニングの判定番号は図2，表1の番号と対応，○は漂流物になる，×は漂流物にならない
※8 スクリーニング項目の評価結果は別紙 6-1-3-1-1-3に示す

表4 対象物（代表例）の調査結果（茨城港常陸那珂港区及びその南側）(1/2)

分類	名称	総数	代表例※1	設置状況※2	主要構造/材質	形状	概算寸法※3（m）	概算重量（最大値）（t）	スクリーニングの結果※6		備考※7
									スクリーニングの判定番号	漂流物に成り得るか	
建物											
設備											
流木											

※1 代表例の番号は別紙 6-1-3-1-1-5、別紙 6-1-3-1-1-6の番号と対応
※2 固定あり：土地に定着した基礎を有する施設・設備(例：常設の基礎上に設置したプラント設備等)，固定なし：簡易に固定又は置いてあるだけのもの(例：地面や基礎に置いてあるだけの仮置き物品等)
※3 概算寸法は目視及び衛星写真にて確認したものを記載
※4 TK2と同様に建築空間の緑化手法を参考に重量を算出した
※5 タンクの重量は核燃料サイクル工学研究所再処理施設内にある水素タンクとの寸法比から算出
※6 スクリーニングの判定番号は図2，表1の番号と対応，○は漂流物になる，×は漂流物にならない
※7 スクリーニング項目の評価結果は別紙 6-1-3-1-1-5に示す

表4 対象物（代表例）の調査結果（茨城港常陸那珂港区及びその南側）(2/2)

分類	名称	総数	代表例※1	設置状況※2	主要構造/材質	形状	概算寸法※3（ｍ）	概算重量（最大値）（ｔ）	スクリーニングの結果※5		備考※6
									スクリーニングの判定番号	漂流物に成り得るか	
船舶											
車両											

※1 代表例の番号は別紙 6-1-3-1-1-5，別紙 6-1-3-1-1-6の番号と対応
※2 固定あり：土地に定着した基礎を有する施設・設備（例：常設の基礎上に設置したプラント設備等），固定なし：簡易に固定又は置いてあるだけのもの（例：地面や基礎に置いてあるだけの仮置き物品等）
※3 概算寸法は目視及び衛星写真にて確認したものを記載
※4 重機の重量はカタログにて確認した値
※5 スクリーニングの判定番号は図2，表1の番号と対応，○は漂流物になる，×は漂流物にならない
※6 スクリーニング項目の評価結果は別紙 6-1-3-1-1-5に示す

表 5 代表漂流物

種類	代表漂流物	重量 (t)
建物・設備	水素タンク※1	約 30
流木	防砂林	約 0.55
船舶	小型船舶	約 57.0※2 (排水トン数)
車両	中型バス	約 9.7

※1 水素タンクは，令和 2 年 9 月までに撤去予定の不稼働品(内部は窒素で置換済み)であるものの，撤去までの期間を考慮し，漂流物とした。

※2 船舶の重量は「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」に基づき(参考資料参照)，総トン数(約 19.0 t)の 3 倍に相当する排水トン数(約 57.0 t)とした。

参考資料

津波漂流物対策施設設計ガイドラインを参考にした漂流物調査の考え方

1. 津波漂流物対策施設設計ガイドラインについて

原子力規制委員会による耐津波設計に係る工認審査ガイド(平成 25 年 6 月 19 日 日本原子力規制委員会決定)は，発電用軽水炉型原子炉施設の工事計画認可に係る耐津波設計に関わる審査において，耐津波設計の妥当性を確認するために津波防護の基本方針，津波防護設計，津波防護施設，浸水防止設備，津波監視設備等に関する事項を取り纏めたものである。

耐津波設計に係る工認審査ガイドの津波防護施設に関する事項には，「漂流物による荷重(衝突力)は，「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)」等を参照し，対象漂流物や寸法，喫水(海水面から対象漂流物の下端までの深さ)を基にして算出されていることを確認する。」と記載(耐津波設計に係る工認審査ガイド 4. 津波防護施設に関する事項 4.3 荷重及び荷重の組合せの確認内容の中に記載)されている。このため，漂流物の調査は，津波漂流物対策施設設計ガイドライン(以下「漂流物設計ガイドライン」とする。)を参考にして，以下の 2 項及び 3 項に示す対象物の分類と船舶の重量の換算を行った。

2. 衝突エネルギーの算定式と対象物の分類

漂流物設計ガイドラインは，津波による漂流物の被害低減のため，津波漂流物対策施設の設計手法等を取り纏めたものであり，港湾周辺における一般的な津波対象漂流物として，コンテナ，流木，船舶，車両を対象とし，津波漂流物対策施設の設計に必要となる津波流速・漂流物流速の算定方法，漂流物の衝突エネルギーの算定方法等が示されている。

衝突エネルギーの算定においては，参考資料表 1 に示すように，漂流物の分類，衝突形態(建物等への接触の仕方)に応じたものとなっており，コンテナ，流木，船舶，車両ごとに式中で使用する重量等の定義が異なっている。

そこで，今回の漂流物調査においては，漂流物設計ガイドラインの衝突エネルギーの算定式に示す分類から，ウォークダウン等で洗い出した対象物をコンテナ(建物・設備)，流木，船舶，車両の 4 つに分類した。

3. 船舶の重量の換算

衝突エネルギーの算定には漂流物の重量を用いることになっているが，船舶の場合は排水トン数を船舶の重量と定義している。船舶の排水トン数については，「排水トン数は総トン数のほぼ 3 倍としてよい」と記載(漂流物設計ガイドライン 3.4.5 漂流物の衝突エネルギーの算定に示す船舶の衝突エネルギーの解説に記載)されていることから，代表漂流物である小型船舶の重量は，総トン数を排水トン数に換算した約 57.0 t とした。

参考資料表１ 漂流物の衝突エネルギーの算定式(「漂流物設計ガイドライン 3.4.5 漂流物の衝突エネルギーの算定」より抜粋)

<table>
<tr><th>分類</th><th>衝突形態による
衝突エネルギーE</th><th>仮想重量 W</th><th>式中の記号の定義</th></tr>
<tr><td>コンテナ
（建物・設備）</td><td rowspan="4">横方向，縦方向
$E = E_0 = WV^2/(2g)$
斜め方向
$E = E' = WV^2/(4g)$
g:重力加速度(m/s^2)</td><td rowspan="4">$W = W_0 + W' = W_0 + (\pi/4)D^2 L\gamma_w$</td><td>$W_0$:コンテナ重量
W’:付加重量
D:コンテナの喫水
L:コンテナの長さあるいは幅
γ_w:海水の単位体積重量</td></tr>
<tr><td>防砂林</td><td>W_0:流木重量
W’:付加重量
D:流木の喫水
L:流木の長さあるいは幅
γ_w:海水の単位体積重量</td></tr>
<tr><td>船舶</td><td>W_0:排水トン数
W’:付加重量
D:喫水
L:横方向の場合は船の長さ，縦方向の場合は船の幅
γ_w:海水の単位体積重量</td></tr>
<tr><td>車両</td><td>W_0:車両重量
W’:付加重量
D:車両の喫水
L:車両の長さあるいは幅
γ_w:海水の単位体積重量</td></tr>
</table>

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内））（1/5）

名称 （代表例）	設置 状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	
鉄筋コンクリート造建物 （1.建物） （構造：鉄筋コンクリート造）	固定あり	× 地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊したコンクリート片等のがれきは，比重(2.3 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄筋コンクリート造建物 （2.建物） （構造：鉄筋コンクリート造）	固定あり	× 地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊したコンクリート片等のがれきは，比重(2.3 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄骨造建物 （3.第二付属排気筒） （構造：鉄骨造）	固定あり	× 地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊した鉄骨片等のがれきは，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄骨造建物 （4.真砂橋） （構造：鉄骨造）	固定あり	× 地震又は津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊した鉄骨片等のがれきは，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
簡易建物 （5.テントハウス） （構造：鉄骨造に樹脂製テントを被せた構造）	固定あり	○ 建物全体又は一部が滑動し漂流すると想定する また，地震又は津波により部分的に損壊し，鉄骨片等のがれきが生じると想定する	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力□□が，ボルトの許容せん断応力□□より大きいため，鉄骨構成部材が漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 部分的に損壊した鉄骨片等のがれきは，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
簡易建物 （6.倉庫）	固定なし	○ 固定されていないことから，津波により建物全体が滑動し漂流する	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力□□は重量□□より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内））（2/5）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※ ①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	代表例の状況
タンク・槽（7.水素タンク）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[ ][ ]が，ボルトの許容せん断応力[ ]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力[ ]は重量[ ]kN)より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 令和2年9月までに撤去予定 撤去までの間を考慮し，漂流物とする	
タンク・槽（8.窒素タンク）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[ ][ ]が，ボルトの許容せん断応力[ ]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力[ ]は重量[ ]より大きいことから，浮遊し漂流する		○ 漂流物とする	
タンク・槽（9.硝酸タンク）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[ ][ ]が，ボルトの許容せん断応力[ ]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力[ ]は重量[ ]より大きいことから，浮遊し漂流する		○ 漂流物とする	
タンク・槽（10.還水タンク）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[ ][ ]が，ボルトの許容せん断応力[ ]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力[ ]は重量[ ]より大きいことから，浮遊し漂流する		○ 漂流物とする	
電気盤（11.キュービクル）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[ ][ ]が，ボルトの許容せん断応力[ ]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
電気盤（12.受電盤）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[ ][ ]が，ボルトの許容せん断応力[ ]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内））（3/5）

名称 （代表例）	設置 状況	スクリーニングの判定結果※						判定結果	代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥		
電気盤 （13.信号中継盤） （材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[redacted]が，ボルトの許容せん断応力[redacted]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄製品，鋼材類 （14.鉄板） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄製品，鋼材類 （15.止水板） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
プラスチック， 樹脂製品 （16.パレット） （材質：ポリプロピレン）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性がなく，比重(0.91 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より小さく浮遊することから漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	
ボンベ類 （17.消火器(200型)） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性はあるが，重量[redacted]が浮力[redacted]より大きく沈降することから，漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
コンクリート類 （18.コンクリートブロック） （材質：コンクリート）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(2.3 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内））（4/5）

名称 （代表例）	設置 状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	
機器 （19.チラーユニット） （材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[redacted]が，ボルトの許容せん断応力[redacted]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
機器 （20.冷却塔） （材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本当たりのせん断応力[redacted]が，ボルトの許容せん断応力[redacted]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
機器 （21.室外機） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重(7.8 t/m^3)が海水の比重(1.03 t/m^3)より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
浮標 （22.浮標(海域)） （材質：鉄）	固定あり	該当しない	× 浮標を係留しているチェーンは，津波波高[redacted]に対し余長が[redacted]であることから，チェーンが損傷して漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
自動販売機 （23.自動販売機） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性を有しており，浮力[redacted]が重量[redacted]より大きく浮遊することから漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	
容器 （24.ウランポット） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	○ 固縛等されておらず，屋外へ流出することから，漂流する	○ 撤去又は移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性を有しているが，重量[redacted]が浮力[redacted]より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内））（5/5）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※ ①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	代表例の状況
容器（25.ドラム缶）（材質：鉄）	固定なし	該当しない	○	○	○	○	該当しない	○ 漂流物とする 屋内の容器等は流出防止の観点から固定・固縛等の措置をとる	
			固定されていないことから，漂流する	固縛等されておらず，屋外へ流出することから，漂流する	撤去又は移動しないことから，漂流する	対象物は気密性を有しており，浮力[redacted]が重量[redacted]より大きく浮遊することから漂流する			
容器（26コンテナ）（材質：鉄）	固定なし	該当しない	○	○	○	○	該当しない	○ 漂流物とする 屋内の容器等は流出防止の観点から固定・固縛等の措置をとる	
			固定されていないことから，漂流する	固縛等されておらず，屋外へ流出することから，漂流する	撤去又は移動しないことから，漂流する	対象物は気密性を有しており，浮力[redacted]が重量[redacted]より大きく浮遊することから漂流する			
特殊（27.クレーン車）（材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○	×	該当しない	× 漂流物にはならない	
					撤去又は移動しないことから，漂流する	対象物は気密性を有しているが，重量[redacted]が浮力[redacted]より大きく沈降することから漂流しない			
普通（28.トラック）（材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○	×	該当しない	× 漂流物にはならない	
					撤去又は移動しないことから，漂流する	対象物は気密性を有しているが，重量[redacted]が浮力[redacted]より大きく沈降することから漂流しない			
普通（29.乗用車）（材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○	○	○	○ 漂流物とする	
					撤去又は移動しないことから，漂流する	対象物は気密性を有しており，浮力[redacted]が重量[redacted]より大きく浮遊することから漂流する	緊急退避行動が定められていないため，漂流する		
二輪車（30.原動機付自転車）（材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○	×	該当しない	× 漂流物にはならない	
					撤去又は移動しないことから，漂流する	対象物は気密性がなく，比重（7.8 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない			

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外））（1/4）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※ ①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	代表例の状況
鉄筋コンクリート造建物（1.建物）（構造：鉄筋コンクリート造）	固定あり	× 地震または津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊したコンクリート片等のがれきは，比重（2.3 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄筋コンクリート造建物（2.建物）（構造：鉄筋コンクリート造）	固定あり	× 地震または津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊したコンクリート片等のがれきは，比重（2.3 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄骨造建物（3. 鉄塔）（構造：鉄骨造）	固定あり	× 地震または津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊した鉄骨片等のがれきは，比重（7.8 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
簡易建物（4. プレハブ）（構造：鉄骨造）	固定あり	× 地震または津波により部分的に損壊するおそれがあるが，建物の形状を維持したまま漂流することはない	該当しない	該当しない	該当しない	× 部分的に損壊した鉄骨片等のがれきは，比重（7.8 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
簡易建物（5. 倉庫）（材質：鉄）	固定なし	○ 固定されていないことから，津波により建物全体が滑動し漂流する	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力［　　］は重量［　　］より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	
タンク・槽（6. タンク）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本あたりのせん断応力［　　］が，ボルトの許容せん断応力［　　］より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力［　　］は重量［　　］より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外））（2/4）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※ ①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	代表例の状況
電気盤（7. 変電設備（工学試験棟キュービクル））（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本あたりのせん断応力[redacted]が，ボルトの許容せん断応力[redacted]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重（7.8 t/m³）が海水の比重（1.03 t/m³）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
鉄製品，鋼材類（8. フェンス）（材質：鉄，コンクリート基礎に鉄製の支柱とネットを取り付けた構造）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によりコンクリート基礎は損傷し，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重（7.8 t/m³）が海水の比重（1.03 t/m³）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
プラスチック，樹脂製品（9. ゴミ箱）（材質：ポリエチレン）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性がなく，比重（0.97 t/m³）が海水の比重（1.03 t/m³）より小さく浮遊することから漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	
ボンベ類（10. プロパンガスボンベ）（材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力[redacted]は重量[redacted]より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	
機器（11. 車両重量測定装置）（材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本あたりのせん断応力[redacted]が，ボルトの許容せん断応力[redacted]より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重（7.8 t/m³）が海水の比重（1.03 t/m³）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
浮標（12. 浮標（陸域））（材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，津波による浮力[redacted]は本体の重量[redacted]より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 漂流物とする 今後，漂流物とならないように移動または固定・固縛等の措置をとる	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外））（3/4）

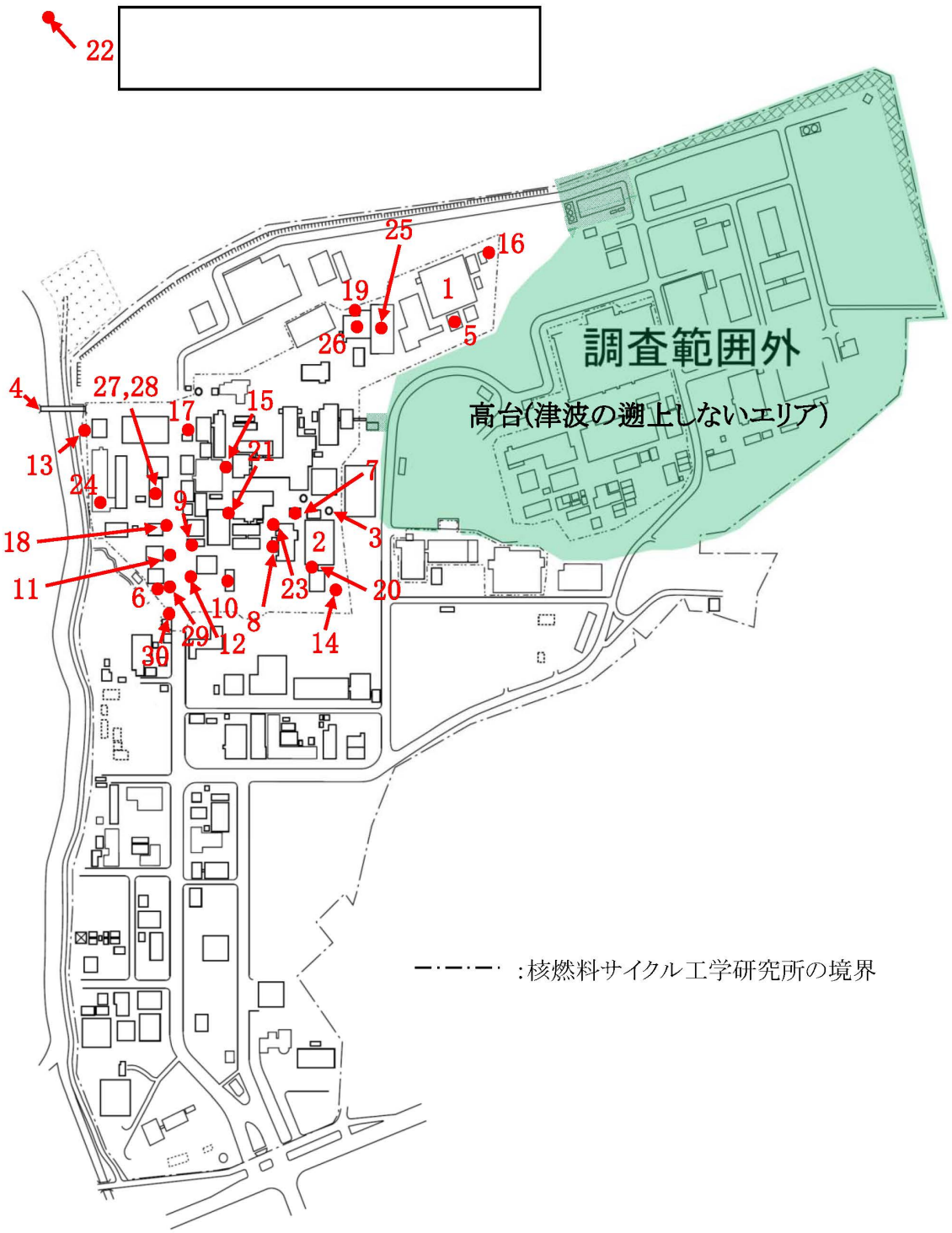
名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※ ①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	代表例の状況
浮標 （13. 浮標（海域）） （材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波が襲来（海水面が□m上昇）した場合，係留部材であるチェーンの余長□がなく，損傷することから漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，津波による浮力□は本体の重量□より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	
コンクリート類 （14. 旧本部門） （材質：コンクリート）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によりコンクリート基礎は損壊し，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 損壊したコンクリート片等のがれきは，比重（2.3 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
煙突 （15. 煙突） （材質：鉄）	固定あり	該当しない	○ 津波波力によるボルト1本あたりのせん断応力□が，ボルトの許容せん断応力□より大きいため，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重（7.8 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
自動販売機 （16. 自動販売機） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	○ 固定されていないことから，漂流する	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力□は重量□より大きいことから，浮遊し漂流する	該当しない	○ 漂流物とする	
防砂林 （17. 防砂林） （材質：木）	---	対象物は比重（0.8 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より小さく浮遊することから漂流する						○ 漂流物とする	
特殊 （18. 消防自動車） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性があり，重量□が浮力□より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外））（4/4）

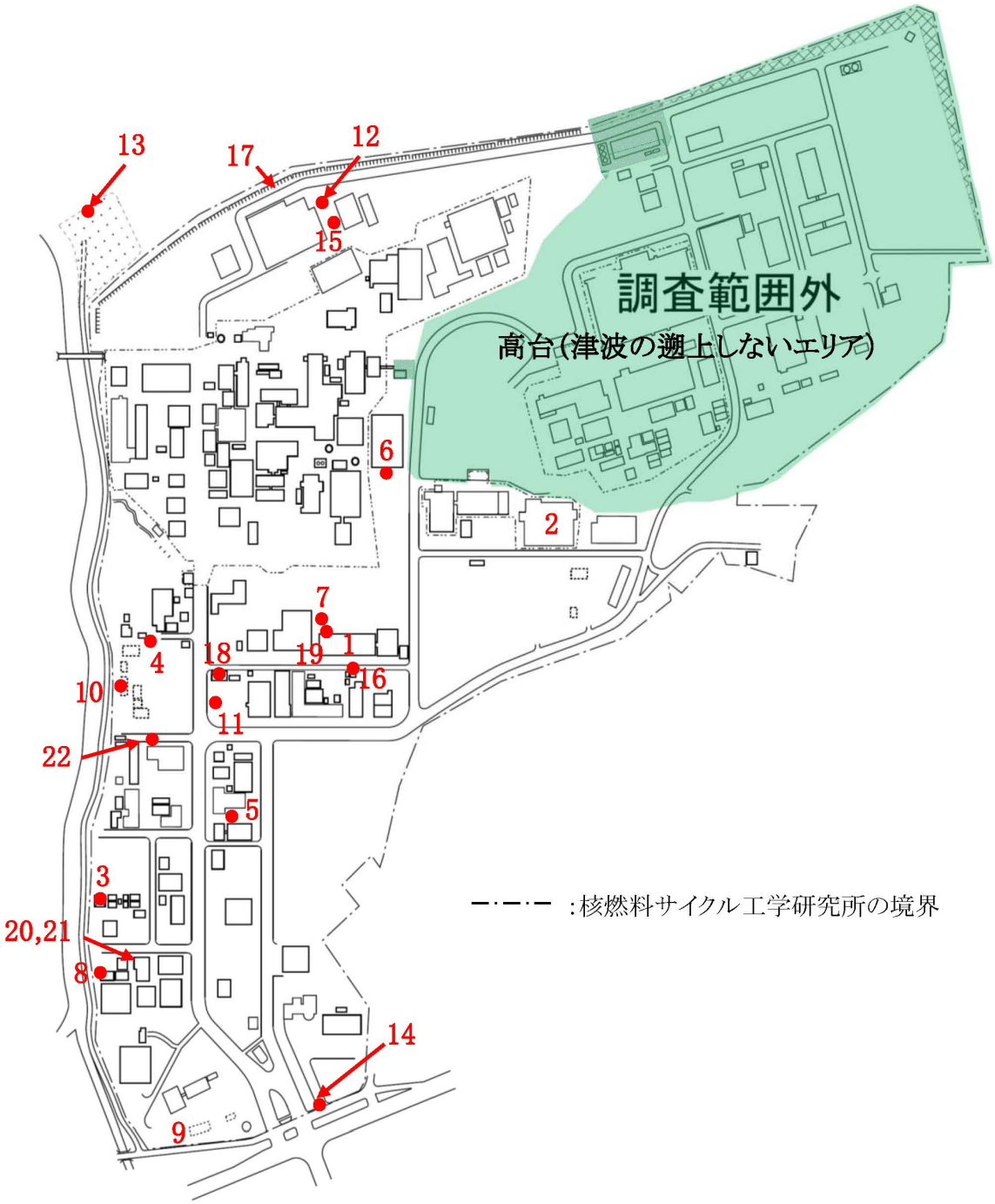
名称 （代表例）	設置 状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	
大型 （19. タンクローリ） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性があり，重量[redacted]が浮力[redacted]より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	
中型 （20. 中型バス） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力[redacted]は重量[redacted]より大きいことから，浮遊し漂流する	○ 緊急退避行動が定められていないため，漂流する	○ 漂流物とする	
普通 （21. 乗用車） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	○ 対象物は気密性があり，浮力[redacted]は重量[redacted]より大きいことから，浮遊し漂流する	○ 緊急退避行動が定められていないため，漂流する	○ 漂流物とする	
二輪車 （22. バイク） （材質：鉄）	固定なし	該当しない	該当しない	該当しない	○ 撤去または移動しないことから，漂流する	× 対象物は気密性がなく，比重（7.8 t/m^3）が海水の比重（1.03 t/m^3）より大きく沈降することから漂流しない	該当しない	× 漂流物にはならない	（個人所有物のため画像無し）

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない



図中の番号は表2(1/3～2/3)の代表例の番号と対応

別図2-1　対象物(代表例)の配置



図中の番号は表2(3/3)の代表例の番号と対応

別図2-2 対象物(代表例)の配置

スクリーニングの判定結果（常陸那珂火力発電所）（1/4）

名称 （代表例）	設置 状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（常陸那珂火力発電所）（2/4）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（常陸那珂火力発電所）（3/4）

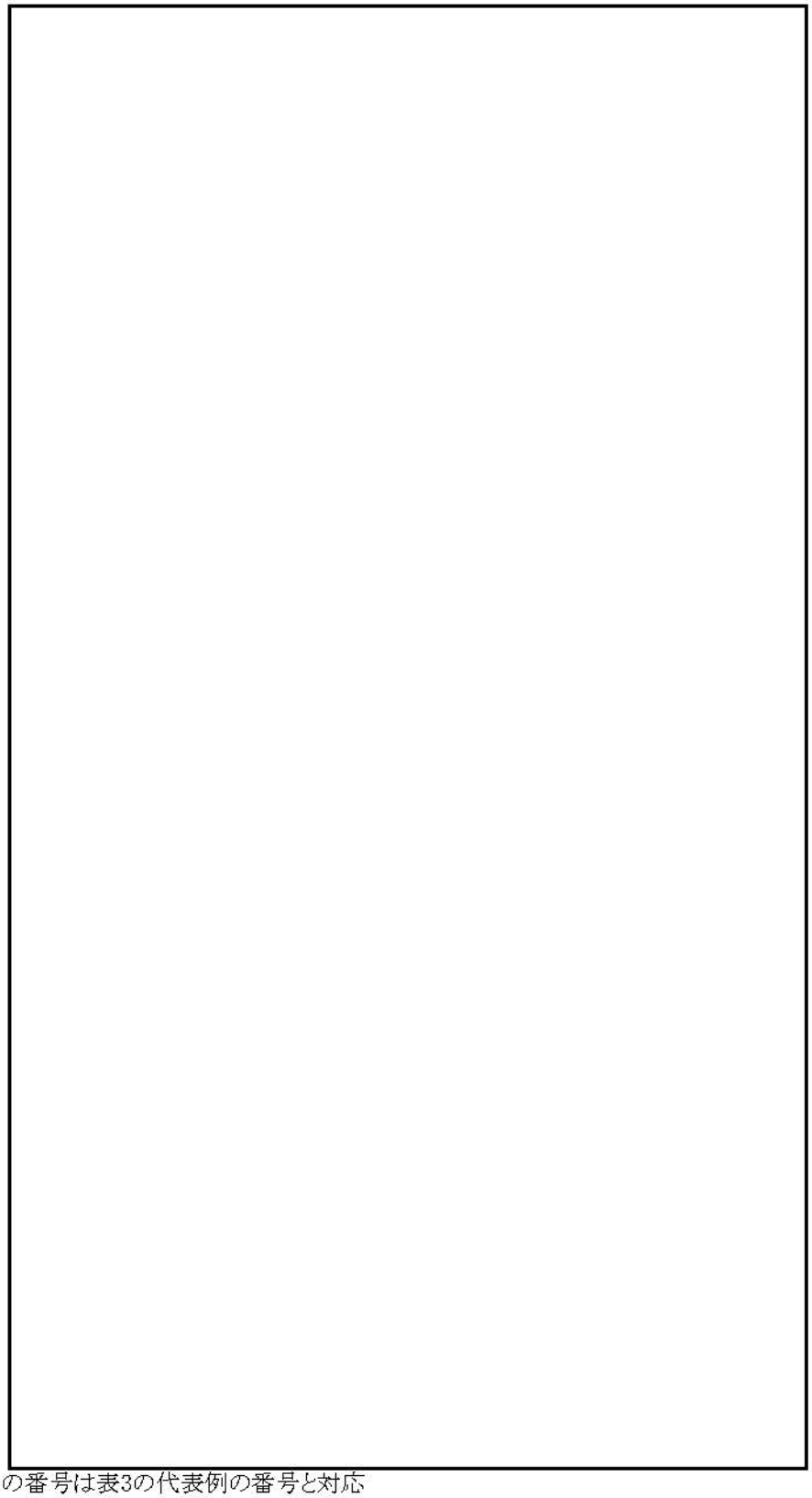
名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（常陸那珂火力発電所）（4/4）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない



図中の番号は表3の代表例の番号と対応

別図4-1　対象物(代表例)の配置

スクリーニングの判定結果（茨城港常陸那珂港区及びその南側）（1/5）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（茨城港常陸那珂港区及びその南側）（2/5）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の○は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（茨城港常陸那珂港区及びその南側）（3/5）

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（茨城港常陸那珂港区及びその南側）(4/5)

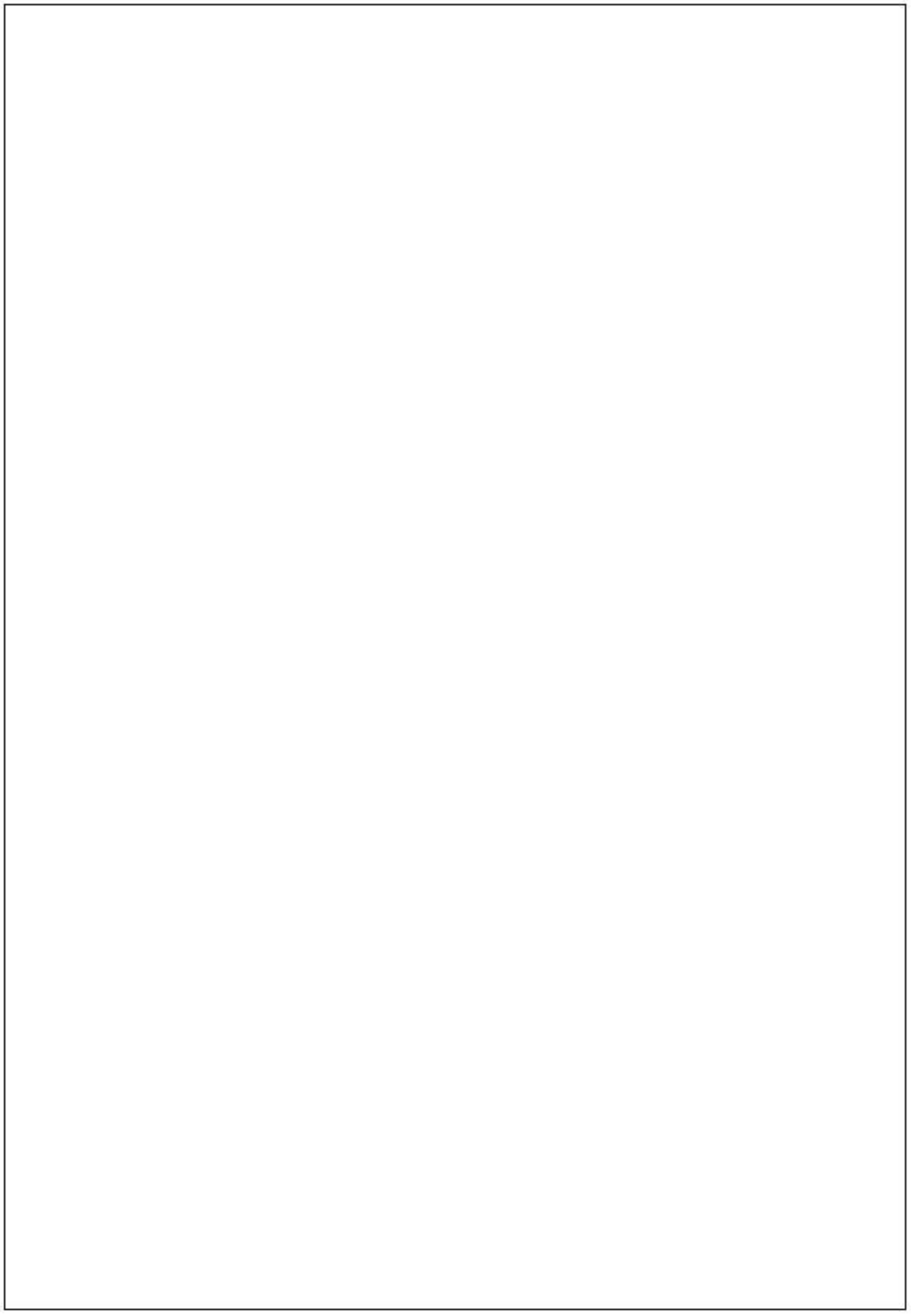
名称 （代表例）	設置 状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない

スクリーニングの判定結果（茨城港常陸那珂港区及びその南側）(5/5)

名称（代表例）	設置状況	スクリーニングの判定結果※							代表例の状況
		①	②	③	④	⑤	⑥	判定結果	

※：表中の①～⑥は図2，表1のスクリーニング項目の番号に対応
判定結果中の〇は漂流物に成り得る，×は漂流物に成り得ない



図中の番号は表4の代表例の番号と対応

別図6-1　対象物（代表例）の配置

スクリーニング②の固定ボルト等の損傷の判定に係る評価結果について

1. 概要

核燃料サイクル工学研究所内のボルトで固定されたテントハウス，タンク・槽，電気盤，冷却塔，煙突等の簡易建物・設備の一部（以下「評価対象物」という。）について，津波に対する固定ボルトの損傷の有無を評価した。

また，浮標の係留チェーンについては，津波による海面上昇とチェーン余長を比較することにより，係留チェーンの損傷の可能性を評価した。

[redacted]については，津波に対する側板の損傷の有無等を評価した。

核燃料サイクル工学研究所外のその他の設備等については，固定状況の詳細が不明のためボルト等が損傷すると想定した。

2. 評価方法

2.1 固定ボルトに生じる津波波力

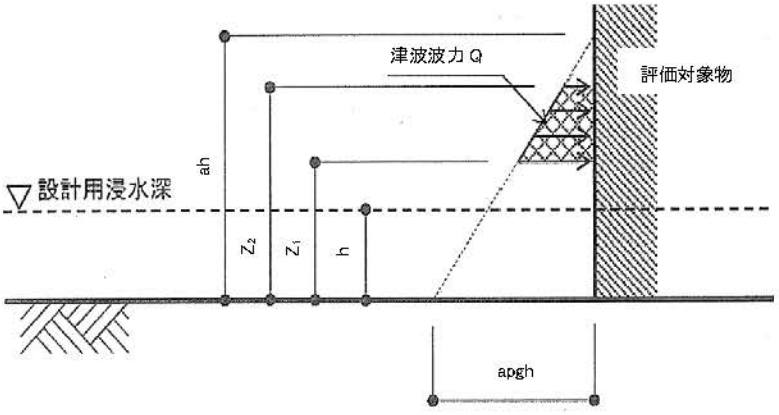
別図 7-1 に示す評価対象物に生じる津波波力は，「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）で引用されている「東日本大震災における津波による建築被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」（平成 23 年 11 月 17 日付国住指第 2570 号）に基づき [1)2)]，式(1)より算出した。

$$Q=\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot g\cdot B\cdot\left\{\left(2ahZ_2-Z_2^2\right)-\left(2ahZ_1-Z_1^2\right)\right\} \qquad (1)$$

Q	津波波力(N)
ρ	海水密度(1,030 kg/m^3)
g	重力加速度(9.80665 m/s^2)
B	津波を受ける評価対象物の幅(m)※1
a	水深係数（a=3）
h	浸水深さ(m)※2
Z_2	津波を受ける評価対象物の最高高さ(m)
Z_1	津波を受ける評価対象物の最低高さ(m)

※1 評価対象物の形状を問わず，直径，長さ，奥行きのうち最も大きい値とした。

※2 高放射性廃液貯蔵場（HAW）における遡上津波高さ（T.P.12.1 m）から，地盤面高さ（T.P.6 m）を引いた値（6.1 m）とした。



別図 7-1 津波波力算定式の計算モデル [1)]

2.2　固定ボルトに生じるせん断応力

評価対象物の固定ボルトに生じるせん断応力は，原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991）に基づき[3]，式(2)より評価対象物の水平方向に生じる津波波力をボルトの本数及びボルトの有効断面積で除して算出した。

$$\tau = \frac{Q}{NA} \qquad (2)$$

τ　ボルトのせん断応力(N/mm^2)
Q　津波波力(N)
N　評価対象物の固定ボルトの本数(本)
A　固定ボルトの有効断面積(mm^2)

2.3　ボルトの許容せん断応力

ボルトの許容せん断応力は，原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991）により算出される[3]。本評価では，津波波力が固定ボルトに瞬間的にせん断応力として加わることから，短期許容せん断応力（fs）を式(3)から算出した（別表 7-1 参照）。

なお，設計図書等で確認した評価対象物の固定ボルトの材質は SS400 及び SUS304L であった。

$$fs = \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right) \times 1.5 \qquad (3)$$

別表 7-1　固定ボルトの短期許容せん断応力

材質	SS400	SUS304L
材料強度 F[4] (N/mm^2)	235	175
短期許容せん断応力 fs (N/mm^2)	135	101

2.4　固定ボルトの評価

2.2 で求めた津波波力により固定ボルトに生じるせん断応力（τ）と，2.3 で求めた固定ボルトの許容せん断応力（fs）を比較し，τ ＞ fs ならばボルトは損傷する，τ ＜ fs ならばボルトは損傷しないものと評価した。

3.　評価結果

全ての評価対象物の固定ボルトは，津波波力により損傷するとの結果が得られた。詳細な評価結果は別表 7-2 に示す。

また，津波による浮標係留チェーンに係る評価結果は別表 7-3 に示す。

[　　]に係る評価結果は別表 7-4 に示す。

4.　参考文献

1)「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」（平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定）
2)「東日本大震災における津波による建築被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」（平成 23 年 11 月 17 日付国住指第 2570 号）
3)「原子力発電所耐震設計技術指針」（JEAG4601-1991）
4)「JIS B8265:2017. 圧力容器の構造－一般事項」

別表 7-2 津波波力による評価対象物の固定ボルトの評価結果

代表例※1		津波を受ける評価対象物の幅 B(m)	浸水深さ h(m)	津波を受ける評価対象物の最高高さ Z_2(m)	津波を受ける評価対象物の最低高さ Z_1(m)	津波波力 Q(N)	評価対象物の固定ボルトの本数 N(本)	固定ボルトの径	固定ボルトの有効断面積 A(mm^2)	固定ボルトの材質	評価			備考
											せん断応力 (N/mm^2)	許容せん断応力 (N/mm^2)	損傷の有無	
核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内）（表2）	5.テントハウス													
	7.水素タンク													
	8.窒素タンク													
	9.硝酸タンク													
	10.還水タンク													
	11.キュービクル													
	12.受電盤													
	13.信号中継盤													
	19.チラーユニット													
	20.冷却塔													架台を含む
核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外）（表2）	6.タンク													
	7.変電設備（工学試験棟キュービクル）													
	11.車両重量測定装置													
	15.煙突													

※1 表中の代表例の番号は本文中の表 2 対象物（代表例）の調査結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内））（1/3,2/3），表 2 対象物（代表例）の調査結果（核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外））（3/3）と対応

別表 7-3 津波による浮標係留チェーンの評価結果

代表例 ※2	係留水深（m）	浮標の重量（kg）	浮標の直径（m）	浮標の実浮力（kN）	チェーンの長さ（m）	シンカーの重量（t）	評価			
							チェーンの余長（m）	浮標付近における津波襲来時の海面上昇高さ（m）	津波襲来時のチェーン余長の有無	理由
									チェーンに余長はある。	
									チェーンに余長はない。	

※2 表中の 22.浮標は表 2 対象物（代表例）の調査結果(核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内））(2/3)，13.浮標は表 2 対象物（代表例）の調査結果(核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外））(3/3)と対応

別表 7-4

代表例※3	津波を受ける評価対象物の幅 B(m)	浸水深さ h(m)	津波を受ける評価対象物の最高高さ Z_2(m)	津波を受ける評価対象物の最低高さ Z_1(m)	津波波力 Q(N)	断面積 A(mm^2)	材質	重心高さ H(m)	重量 m(t)	重心から外周までの距離 L(m)	評価				
											せん断応力 (N/mm^2)※4	許容せん断応力 (N/mm^2)	転倒モーメント (kNm)※5	復元モーメント (kNm)※5	

※3

※4

※5 転倒モーメント M_1 は，津波波力 Q と重心高さ H から M_1=QH，復元モーメント M_2 は，重量 m，重力加速度 g，重心から外周までの距離 L から M_2=mgL により算出

スクリーニング⑤の気密性を有する設備等の浮遊の判定に係る評価結果について

1. 概要

核燃料サイクル工学研究所，常陸那珂火力発電所及び茨城港常陸那珂港区周辺の簡易建物・設備等のうち，気密性を有するもの（以下「評価対象物」という。）について，浮力及び重量から浮遊性を評価した。

2. 評価

評価対象物の浮力（Q_Z）と重量（W）を比較し，$Q_Z > W$ならば評価対象物は浮遊する，$Q_Z < W$ならば評価対象物は沈降するため，浮遊しないと評価する。

2.1 浮力

津波による浸水に伴い，評価対象物には鉛直上向きに浮力が生じる。浮力は，評価対象物の体積分の海水の重量に等しいことから，評価対象物の体積と海水の密度から以下の式(1)で表される[1) 2)]。

$$Q_Z = \rho \cdot g \cdot V \qquad (1)$$

Q_Z	浮力	(kN = t・m/s^2)
ρ	海水の密度	(1.03 t/m^3)
g	重力加速度	(9.80665 m/s^2)
V	評価対象物の体積	(m^3)※

※評価対象物の体積Vは，簡易建物・設備（倉庫，タンク・ボンベ類，自動販売機等）については寸法から求め，車両については運転席等の空間の寸法から求めた。また，浮標の浮力は当該浮標の仕様に明記されている実浮力値を用いた。

2.2 重量

評価対象物の重量（kN）は，質量と重力加速度から以下の式(2)で表される。

$$W = g \cdot m \qquad (2)$$

W	評価対象物の重量	(kN)
g	重力加速度	(9.80665 m/s^2)
m	評価対象物の質量	(t)

3. 結果

気密性を有する評価対象物のうち，消火器，ウランポット，クレーン車，トラック，消防自動車，タンクローリ，[　　]は沈降するため浮遊せず，それ以外の評価対象物は浮遊するとの結果が得られた。詳細な評価結果は別表 8-1 に示す。

4. 参考文献

1) 国土交通省　国土技術政策総合研究所：“津波避難ビル等の構造上の要件の解説”，pp.I-19 (2012).

2) 福山洋，奥田泰雄，加藤博人，石原直，田尻清太郎，壁谷澤寿一，中埜良昭：“津波避難ビルの構造設計法”，BRI-H23 講演会テキスト，pp.39-55 (2011).

別表 8-1　評価対象物の浮遊性の評価結果

代表例 ※1		材質	形状	寸法				質量(t) ※2	評価			備考
				直径(m)	幅(m)	奥行(m)	高さ(m)		浮力(kN)	重量(kN)	浮遊性	
核燃料サイクル工学研究所（再処理施設内）（表2）	6. 倉庫	鋼製	直方体								浮遊する	
	7. 水素タンク	鋼製	円筒								浮遊する	
	8. 窒素タンク	鋼製	円筒								浮遊する	
	9. 硝酸タンク	鋼製	円筒								浮遊する	
	10. 還水タンク	鋼製	円筒								浮遊する	
	17. 消火器	鋼製	円筒								浮遊しない	
	22. 浮標(海域)	鋼製	円筒								浮遊する	
	23. 自動販売機	鋼製	直方体								浮遊する	
	24. ウランポット	鋼製	円筒								浮遊しない	
	25. ドラム缶	鋼製	円筒								浮遊する	
	26. コンテナ	鋼製	直方体								浮遊する	
	27. クレーン車	鋼製	直方体								浮遊しない	体積は運転席等の空間の寸法から算出(外寸は2.5 m×12 m×3.3 m)
	28. トラック	鋼製	直方体								浮遊しない	体積は運転席等の空間の寸法から算出(外寸は1.7 m×4.7 m×2 m)
	29. 乗用車	鋼製	直方体								浮遊する	体積は運転席等の空間の寸法から算出(外寸は1.5 m×3.4 m×2 m)
核燃料サイクル工学研究所（再処理施設外）（表2）	5. 倉庫	鋼製	直方体								浮遊する	
	6. タンク	鋼製	円筒								浮遊する	
	10. プロパンガスボンベ	鋼製	円筒								浮遊する	
	12. 浮標(陸域)	鋼製	円筒								浮遊する	
	13. 浮標(海域)	鋼製	円筒								浮遊する	
	16. 自動販売機	鋼製	直方体								浮遊する	
	18. 消防自動車	鋼製	直方体								浮遊しない	体積は運転席等の空間の寸法から算出(外寸は2.5 m×8 m×3 m)
	19. タンクローリ(運転席等)	鋼製	直方体								浮遊しない	体積は運転席等の空間の寸法から算出(外寸は2.5 m×7.8 m×3 m)
	タンクローリ(タンク部)	鋼製	円筒									
	20. 中型バス	鋼製	直方体								浮遊する	体積は運転席等の空間の寸法から算出(外寸は2.3 m×9 m×3 m)
	21. 乗用車	鋼製	直方体								浮遊する	体積は運転席等の空間の寸法から算出(外寸は3 m×5 m×2 m)

※1　代表例の番号は本文中の表2～4の代表例の番号と対応
※2　質量には本文中の表2～4の代表例の重量を記載

2011 年東日本大震災を踏まえた被災状況に係る文献調査について

1. 概要

2011 年東日本大震災の地震・津波による被害状況に係る文献調査を実施した。鉄筋コンクリート造建物と鉄骨造建物については，文献調査の結果から本文の表 1 の判定番号①による漂流物の判定を実施した。その他の建物，設備等については，文献調査の結果を表 1 の判定番号⑤，⑥に示すスクリーニングの目安とし，図 2 の判定フロー及び表 1 のスクリーニングの判定基準と考え方に従って漂流物の判定を実施した。

2. 東日本大震災における核燃料サイクル工学研究所内の被害状況

2011 年の東日本大震災において，核燃料サイクル工学研究所内の建物，屋外の設備等に損壊，転倒等の被害は確認されなかった。

3. 東日本大震災における建物・設備等の被害状況

3.1 建物

(1) 鉄筋コンクリート造建物 [1-4)]

東日本大震災では津波により浸水深 15 m を超えた鉄筋コンクリート造建物もあり，外壁や開口部である窓等に損傷が見られ，小規模な鉄筋コンクリート造建物では浮力によって転倒・転覆したケースが見られたものの，本来の形状を維持したまま滑動し漂流を続ける事例は確認されていない。津波襲来後に残存した鉄筋コンクリート造建物に構造躯体のひび割れ等はなく，ほぼ無被害の状態で残っているものも見られた(別表 9-1)。

別表 9-1 東日本大震災における鉄筋コンクリート造建物の被害状況

	
鉄筋コンクリート造 4 階建て共同住宅※1 【被害状況】 構造的な被害は発生していない	鉄筋コンクリート造 3 階建て建物※1 【被害状況】 建物の外壁，付帯する柱及び梁が変形

※1 参考文献 1 より写真を引用

(2) 鉄骨造建物 [1-4)]

東日本大震災では，津波の襲来に伴い早期に外装板等のほとんどが流され，大きな波力を受けなかったために残存した建物が多くみられる。崩壊，転倒した建物は，外装板が流される前に大きな波力を受けたと推測されたが(別表 9-2)，本来の形状を維持したまま滑動もしくは転倒し漂流する被害には至っていない。

別表 9-2 東日本大震災における鉄骨造建物の被害状況

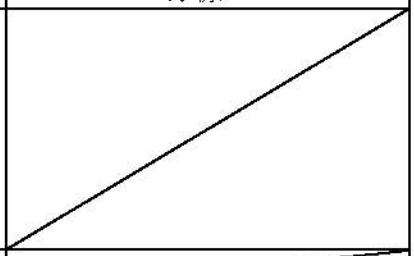
	
鉄骨造 3 階建て大型ショッピングセンター※2 【被害状況】 津波により海側の外装板が破損	鉄骨造戸建て住宅※2 【被害状況】 外装板等が流され柱，梁，床は残存

※2 参考文献 2 より写真を引用

3.2 設備，流木，船舶，車両

東日本大震災では，タンク，コンテナ，浮標，流木，車両等が津波によって漂流することが報告されている(別表 9-3)。危険物等の屋外タンク貯蔵所においては，容量 500 kL 未満の小さいタンクで被害が多く見られ，容量 10,000 kL 以上のタンクの被害は確認されていない[5]。港湾地区においては，津波によりコンテナが損傷あるいは漂流する事例や係留索が切断して浮標が漂流する事例が見られた[6]。流木については，海岸林が津波による幹折れ，根返り等により漂流している[7]。また，船舶については，漁船に代表される小型船舶が漂流しやすいことが報告されており，緊急退避を行った大型船舶は漂流せず，船舶の被害が少なかった[8-10]。

別表 9-3 東日本大震災におけるタンク，コンテナ，浮標，船舶，車両の被害状況

		
タンク※3	コンテナ※4	浮標※4
		
漁船(小型船舶)※4	車両※4	

※3 参考文献 9 より写真を引用，※4 参考文献 6 より写真を引用

4. 東日本大震災を踏まえた核燃料サイクル工学研究所内外の建物・設備等の漂流物について

東日本大震災の事例を踏まえ，核燃料サイクル工学研究所内外の建物・設備等について漂流物の判定の考え方を整理した。なお，津波の流況，漂流物の軌跡解析及び再処理施設周辺の障害物等によらず，漂流物は再処理施設に到達するものとする。

(1) 建物

東日本大震災による建物の被害状況を考慮すると，地震・津波により鉄筋コンクリート造建物は部分的に損壊する可能性があるものの，建物が本来の形状を維持したまま滑動し漂流することはないと考えられる。また，損壊等により生じたコンクリート片等のがれきは，気密性がなく重量物であり沈降することから漂流しないと考えられる。

鉄骨造建物は，地震・津波により外装板等が部分的に損壊する可能性があり，津波による大きな波力を受けないことから，建物が本来の形状を維持したまま滑動し漂流することはないと考えられる。万一，滑動，転倒が起こった場合においても外装板は破損しており，建物は気密性がなく重量物であり沈降することから漂流しないと考えられる。また，損壊等により生じた外装板を含む鉄骨片等のがれきは，気密性がなく重量物であり沈降することから漂流しないと考えられる。

テントハウスは地震・津波により損壊する可能性があり，テントが流され，鉄骨片等はがれきとなるが，気密性がなく比重が海水よりも大きく沈降することから漂流しないと考えられる。倉庫は地震・津波により部分的に損壊するものの，気密性を有しており，浮遊することから漂流する可能性がある。

(2) 設備

支持構造物により基礎に固定されているタンク等は，地震・津波により損壊又は滑動して漂流物となる可能性がある。コンテナ，浮標，樹脂製品，ボンベ類，自動販売機等は，比重が海水よりも小さい又は気密性を有しており，浮力が重量よりも大きいことから漂流する可能性がある。その他の設備については，比重が海水よりも大きい又は気密性があっても重量が浮力よりも大きいことから漂流しないと考えられる。

(3) 流木

防砂林は，津波により倒木して漂流する可能性がある。

(4) 船舶

予め緊急退避等が定められ，運用することとなっている場合，大型船舶は漂流しないと考えられるが，小型船舶は東日本大震災の事例から，漂流する可能性がある。

(5) 車両

中型バス，乗用車等は気密性を有しており，浮力が重量よりも大きく浮遊することから漂流する可能性がある。重機等は，気密性を有しているものの，重量が浮力よりも大きく沈降することから漂流しないと考えられる。

参考文献

1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所: “2011 年東日本大震災に対する国土技術政策総合研究所の取り組み－緊急対応及び復旧・復興への技術支援に関する活動記録－”, ISSN1346-7301 国総研研究報告第 52 号, 平成 25 年 1 月.
2) 田村修次: “東日本大震災の津波による建築被害”, 京都大学防災研究所年報, Vol.55, 181 (2012).
3) 浜口耕平, 原野崇, 二階堂竜司, 中園大介, 原宏, 諏訪義雄: “東日本大震災における津波漂流物の範囲と量の推定”, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.72, I_193 (2016).
4) 加藤博人: “鉄筋コンクリート造建築物の津波被害と津波避難ビルに係る検討”, コンクリート工学, Vol.50, 82 (2012).
5) 危険物保安技術協会: “大型地下貯蔵タンクに係る地震・津波に対する有効な対策のあり方に関する調査報告書”, 平成 24 年 12 月.
6) 塩谷茂明: “東日本大震災による宮城県主要港湾施設及び船舶の津波被害復旧の実態調査”, 日本航海学会誌 NAVIGATION, 183 号, 79 (2012).
7) 林田光祐: “海岸林の津波被害と減災効果”, 森林科学, 66, 2 (2012).
8) 岡本修: “東日本大震災時の港内船舶の被害実態”, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 69, I_73 (2013).
9) 今村文彦: “東北地方太平洋沖地震による津波発生のメカニズム”, 学術の動向, Vol.17, 12 (2012).
10) 中嶋雄一, 井元忠博, 上久保勝美, 本間大輔, 酒井和彦: “港湾・漁港における津波漂流物対策に関する研究”, 国立研究開発法人土木研究所 平成 27 年度成果報告書 (2015).

別添 6-1-3-2

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の
廃止措置計画用設計津波
に対する津波影響評価に関する説明書

Ⅰ　高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設の設計方針

1. 概要

本資料は，別添 6-1-3-1「Ⅰ 耐津波設計の基本方針」に基づき，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設・設備の分類，要求機能及び性能目標を明確にし，各施設・設備の機能設計及び構造強度設計に関する設計方針について説明するものである。

2. 設計の基本方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）に影響を与える可能性がある廃止措置計画用設計津波（以下「設計津波」という。）の発生により，別添 6-1-3-1「Ⅰ 耐津波設計の基本方針」にて設定する設計津波から防護する設備がその安全機能を維持するために必要な機能を損なうおそれがないようにするため，津波防護に関する施設を設置する。津波防護に関する施設は，別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」で設定する入力津波に対して，その機能が維持できる設計とする。

津波防護に関する施設の設計にあたっては，津波防護対策を実施する目的や施設の分類を踏まえて，施設分類ごとの要求機能を整理するとともに，施設ごとに機能設計上の性能目標及び構造強度設計上の性能目標を定める。

津波防護に関する施設の構造強度設計上の性能目標を達成するため，施設ごとに設計方針を示す。

津波防護に関する施設の設計フローを図 2-1 に示す。

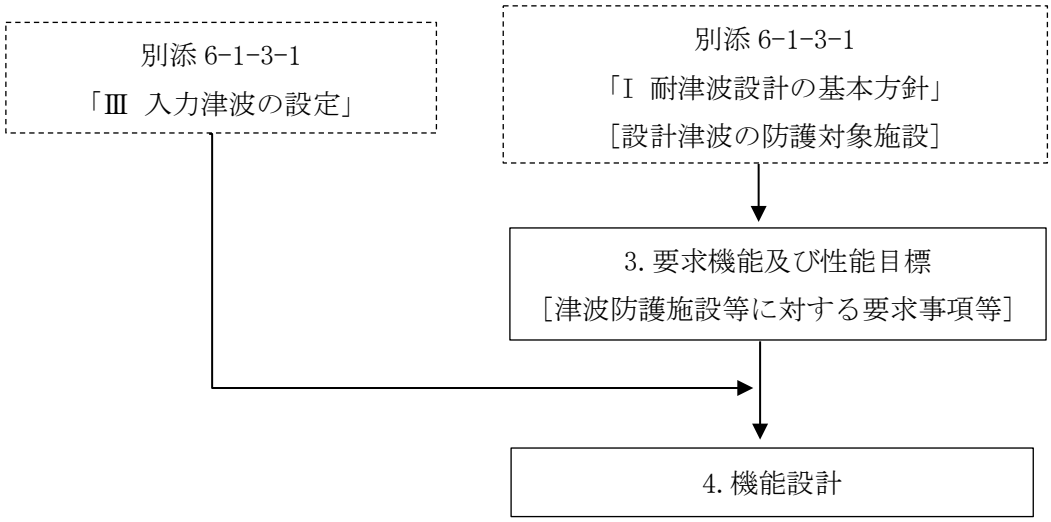


図 2-1　施設の設計フロー

3. 要求機能及び性能目標

津波防護対策を実施する目的は，設計津波から防護する設備の安全機能が損なわれるおそれがないこととする。また，施設の分類については，設計津波の津波防護施設，設計津波の浸水防止設備，漂流物の影響防止施設及び設計津波遡上状況等監視設備に分類する。

設計津波の遡上波の敷地への浸水，余震，高放射性廃液貯蔵場（HAW）へ到達する可能性のある漂流物の調査結果を踏まえ，施設分類ごとの要求機能を整理するとともに，施設分類ごとの機能設計上の性能目標及び構造強度上の性能目標を設定する。

(1)施設分類

a.設計津波の津波防護施設

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁は，設計津波の建家内への浸水に対する障壁となることから，建家外壁等を設計津波の津波防護施設と位置付ける。

b.設計津波の浸水防止設備

設計津波の津波防護施設である建家外壁の開口部には，設計津波の建家内への浸水を防止するため，浸水防止扉を設置していることから，浸水防止扉を設計津波の浸水防止設備と位置付ける。

c.漂流物の影響防止施設

設計津波の津波防護施設である建家外壁の周辺には，船舶等の重量物が建家外壁に衝突した場合の影響が大きいと考えられる大型の漂流物の影響を軽減するため津波漂流物防護柵の設置を計画していることから，津波漂流物防護柵を漂流物の影響防止施設と位置付ける。

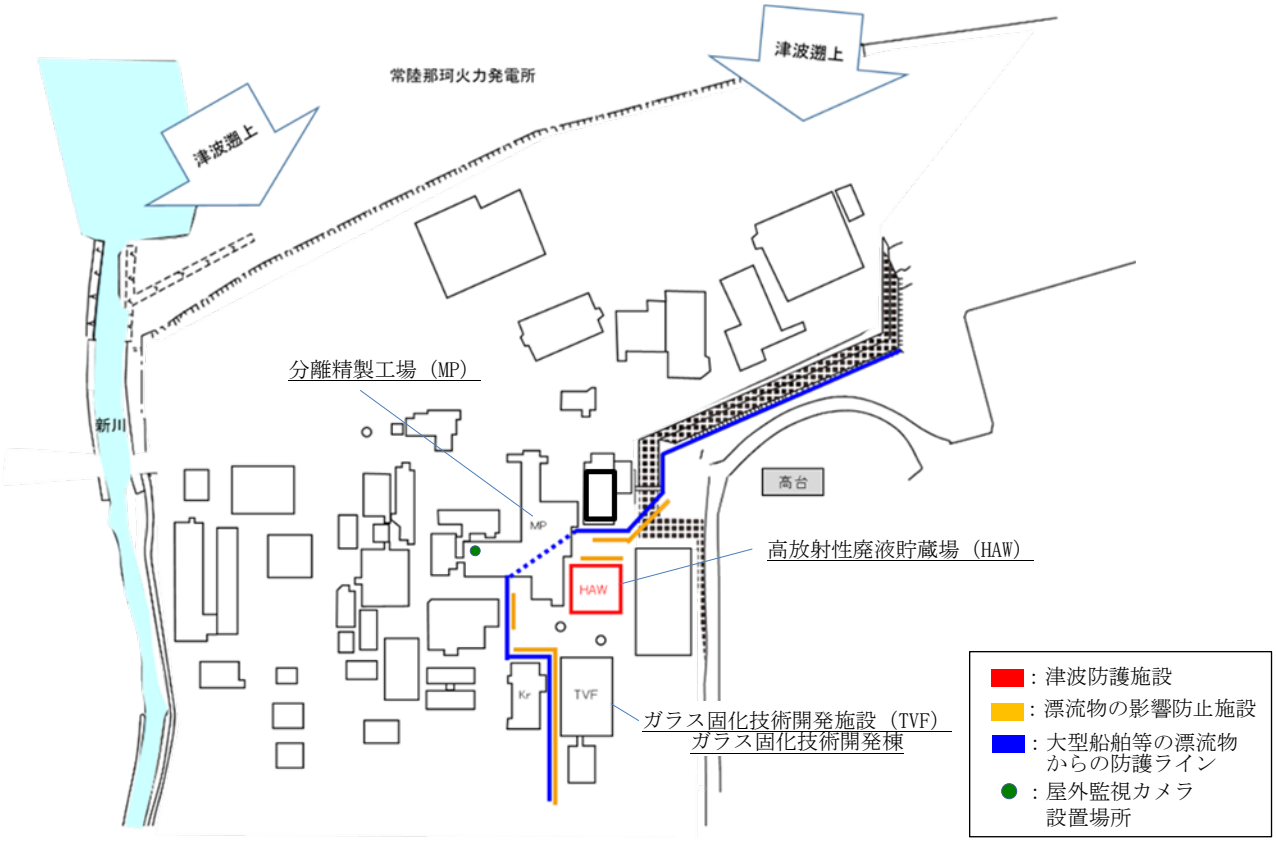
また，高放射性廃液貯蔵場（HAW）北側に隣接する分離精製工場（MP）は，設計地震動による地震力や設計津波による波圧，漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり，令和2年11月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認したうえで，漂流物の影響防止施設として期待する。

d.設計津波遡上状況等監視設備

設計津波の遡上状況等を監視する機能を有する設備を設計津波遡上状況等監視設備と位置付ける。

(2)施設の配置

津波防護に関する施設について，設計津波の津波防護施設，設計津波の浸水防止設備，漂流物の影響防止施設及び設計津波遡上状況等監視設備の配置を図3-1 に示す。なお，漂流物の影響防止施設の配置については，津波漂流物防護柵の詳細設計を踏まえ令和3年1月に見直す。



※敷地内の遡上津波の流況及び軌跡解析結果等を踏まえ津波漂流物防護柵の配置を検討する。

図 3-1 津波防護に関する施設の配置(1/3)

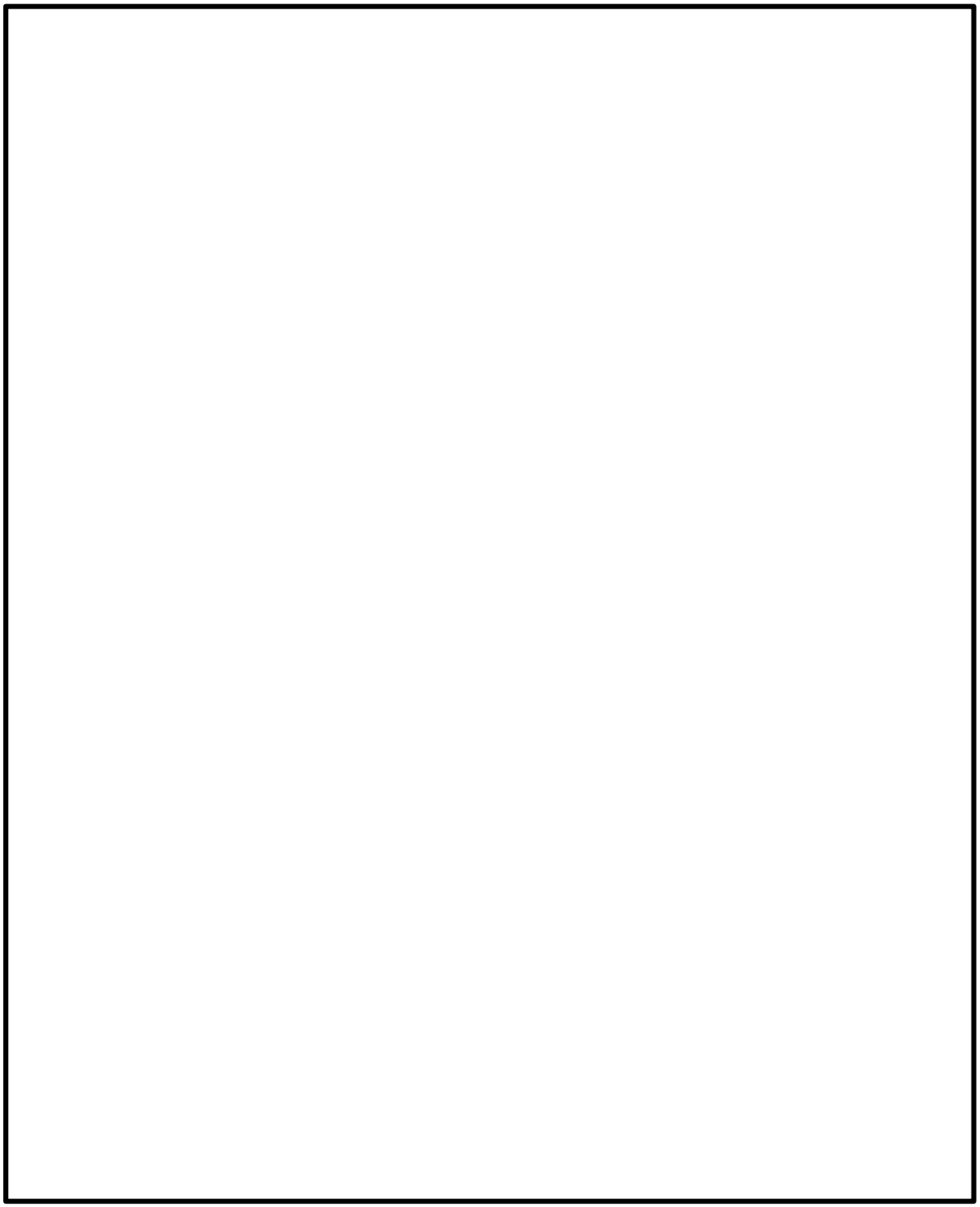


図 3-1 津波防護に関する施設の配置(2/3)

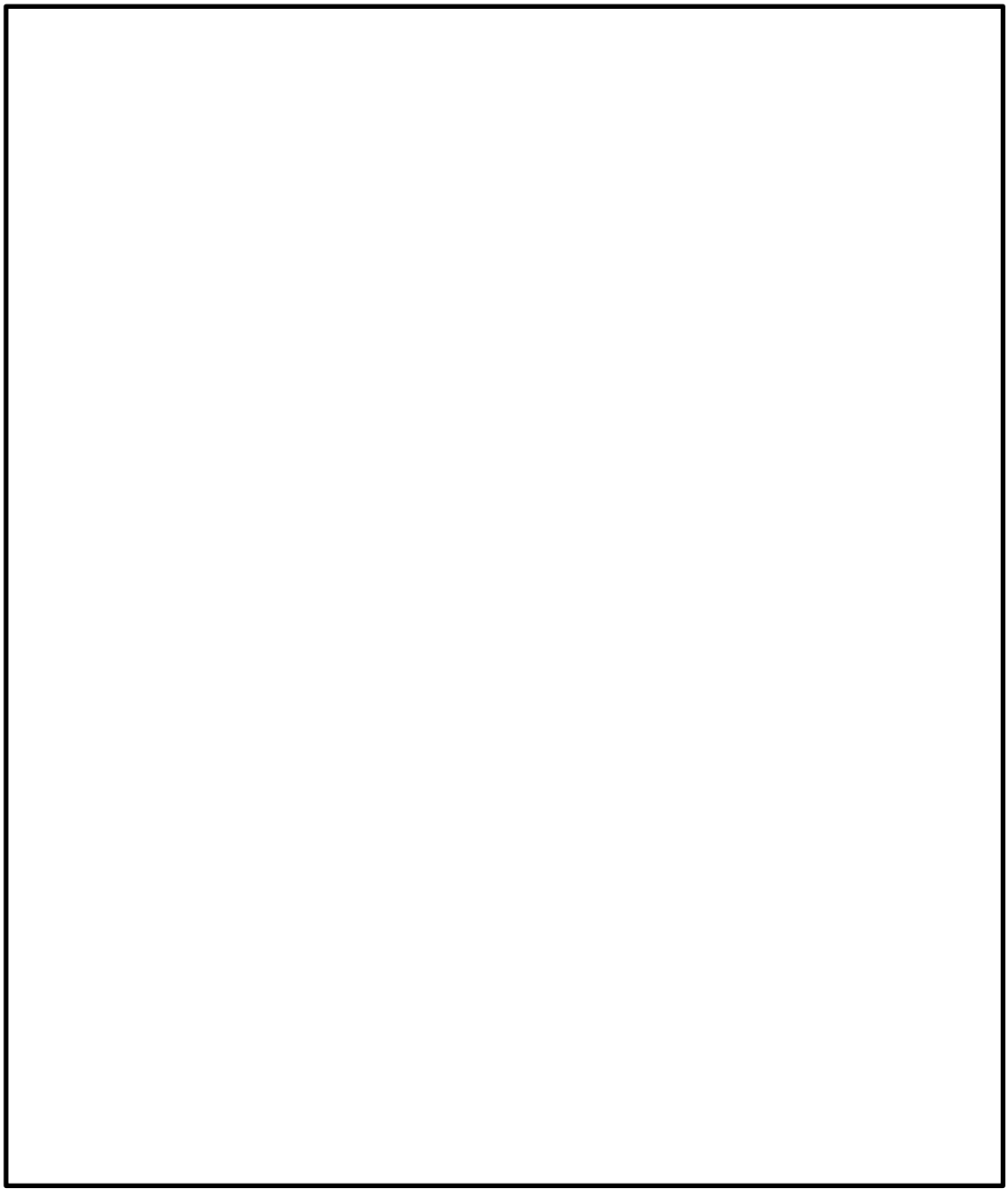


図 3-1 津波防護に関する施設の配置(3/3)

3.1 設計津波の津波防護施設

(1) 施設

a. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁

(2) 要求機能

設計津波の津波防護施設は，入力津波に対し，余震，漂流物の影響防止施設によって捕捉される船舶等の大きな漂流物を除く漂流物（以下「建家設計用漂流物」という。）の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，設計津波による建家内への浸水を防止できるよう設計する。

(3) 性能目標

a. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁は，設計津波の遡上波に対し，余震，建家設計用漂流物の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，想定される津波高さに余裕を考慮した高さまで止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

当該建家外壁は，岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成する。津波後の再使用性を考慮し，想定する荷重に対し，主要な構造部材が構造健全性を保持する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

また，T21 トレンチ，連絡管路及び T15 トレンチ（以下「トレンチ等」という。）は，設計津波の遡上波に対し，余震を考慮した場合においても，想定される津波高さに余裕を考慮した高さまで止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

これらトレンチ等は，鉄筋コンクリート製の躯体で構成する。津波後の再使用性を考慮し，想定する荷重に対し，主要な構造部材が構造健全性を保持することを構造強度設計上の性能目標とする。

さらに，設計津波に対し，当該建家の外壁貫通部を介して浸水することを防止するため，当該建家の外壁貫通部の設置箇所に想定される津波高さに余裕を考慮した高さに対する止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

3.2 設計津波の浸水防止設備（浸水防止扉）

(1)施設

a. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 1 階）の片開きスイング扉

b. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（北側 1 階）の片開きスイング扉

c. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 1 階）の横引き扉

d. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 3 階）の片開きスイング扉

e. 高放射性廃液貯蔵場（HAW）（南側 3 階）の閉止板（盾式角落し）

(2) 要求機能

浸水防止設備は，入力津波に対し，余震，建家設計用漂流物の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，設計津波による建家外壁の開口部からの浸水を防止できるよう設計する。

(3) 性能目標

浸水防止設備の扉枠と扉の接触面は，止水ゴムを施工し，接触面からの浸水を防止する構造とする。設計津波の遡上波に対し，余震，建家設計用漂流物の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，当該扉を介して建家内に浸水することを防止するため，当該扉の設置箇所に想定される津波高さに余裕を考慮した止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

浸水防止設備は，鋼製の扉を，扉枠を介して建家外壁開口部にアンカーボルトで固定し，支持する構成とする。津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材が，想定する荷重に対し，構造健全性を保持することを構造強度設計上の性能目標とする。

3.3 漂流物の影響防止施設

(1) 施設

a. 津波漂流物防護柵

b. 分離精製工場(MP)

(2) 要求機能

漂流物の影響防止施設は，入力津波に対し，余震，船舶等の漂流物の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，設計津波により漂流が想定される漂流物の津波防護施設への影響を軽減※できるよう設計する。

※ 別添 6-1-3-1「Ⅴ 漂流可能性のある漂流物の選定」の基本方針に従う。

(3) 性能目標

a. 津波漂流物防護柵

津波漂流物防護柵は，設計津波の遡上波に対し，余震，船舶等の漂流物の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物の衝突による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等への影響を軽減※することを機能設計上の性能目標とする。

津波漂流物防護柵は，鋼製の支柱，必要に応じて支柱間にワイヤーロープを設置し，支柱の下部は岩盤等に支持される構成とする。

支柱は，設計津波の遡上波に対し，想定する荷重を考慮しても，主要な構造部材は構造健全性を保持する設計とし，ワイヤーロープは，漂流物が衝突した際にワイヤーロープが衝撃を緩和することで漂流物を捕捉する設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

※ 別添 6-1-3-1「Ⅴ 漂流可能性のある漂流物の選定」の基本方針に従う。重量の大きい，水素タンク，小型船舶，中型バスは，津波漂流物防護柵により捕捉し，津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある防砂林（流木）は，建家外壁である津波防護施設で防護することとし，それぞれの設計において考慮すべき代表漂流物とする。

なお,津波漂流物防護柵は，設計地震動及び設計津波に対して耐震性，耐津波性を有する設計とすることから漂流物となることはない。

b. 分離精製工場(MP)

分離精製工場(MP)は，設計津波の遡上波に対し，余震，船舶等の漂流物の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物の衝突による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等への影響を軽減※することを機能設計上の性能目標とする。

当該建家は，岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成されていること，想定する荷重に対し，一部外壁等が損傷する場合であっても，建家の倒壊及び浮き上がりがないことを確認し，当該建家のセル等の主要な躯体により，設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物が漂流物として高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等へ到達することを防止する障壁となることを構造強度設計上の性能目標とする。

※ 別添 6-1-3-1「Ⅴ 漂流可能性のある漂流物の選定」の基本方針に従う。重量の大きい，水素タンク，小型船舶，中型バスは，津波漂流物防護柵により捕捉し，津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある防砂林（流木）は，建家外壁である津波防護施設で防護することとし，それぞれの設計において考慮すべき代表漂流物とする。

なお，分離精製工場(MP)については，建家外壁等の部材が部分的に損壊し漂流物となる可能性があるが，令和 2 年 11 月までに行う詳細評価において代表漂流物の選定結果に影響を与えないことを検証する。

3.4 設計津波遡上状況等監視設備

(1) 施設

屋外監視カメラ

(2) 要求機能

設計津波遡上状況等監視設備は，設計地震動に対し機能維持すること，また，入力津波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪による荷重を適切に組み合わせて考慮した場合においても，設計津波の遡上状況等の状態を監視できるよう設計する。

(3) 性能目標

屋外監視カメラは，設計地震動に対し機能維持すること，また，カメラ架台は剛構造として分離精製工場（MP）の建家屋上に固定し，分離精製工場（MP）は，設計地震動による地震力や設計津波による波圧，漂流物の衝突を考慮した場合においても十分な構造強度を有することを構造強度設計上の性能目標とする。

また，屋外監視カメラは，昼夜問わず敷地への津波の襲来状況を監視できることを機能設計上の性能目標とする。

4. 機能設計

別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」で設定している入力津波に対し，「3. 要求機能及び性能目標」で設定している津波防護に関する施設の機能設計上の性能目標を達成するために，各施設の機能設計の方針を定める。

設計方針においては，止水処置等を確認する高さが設計津波の最大水位に対して，余裕を考慮した高さとなっていることを確認するため，高潮ハザードの再現期間 100 年に対する期待値 T.P.＋1.44 m と，朔望平均満潮位 T.P.＋0.61 m 及び潮位のばらつき 0.18 m（別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」表 3-1）の合計との差である 0.65 m を参照する裕度として設定する。

高潮ハザードの再現期間 100 年に対する期待値については，観測地点「茨城港日立港区」における 40 年（1971 年～2010 年）の潮位観測記録に基づき求めた最高潮位の超過発生確率を参照する。図 4－1 に観測地点「茨城港日立港区」における最高潮位の超過発生確率，表 4－1 に観測地点「茨城港日立港区」における 40 年（1971 年～2010 年）の年最高潮位を示す。

なお，再処理施設では，東日本大震災後の緊急安全対策において，土木学会評価(原子力発電所の津波評価技術（平成 14 年)）において近隣に襲来すると想定した津波高さ(4.9 m)に，福島第一原子力発電所に襲来した津波高さと土木学会評価が当該発電所付近に襲来すると予想した津波高さの差(9.5 m)を加えた高さ（T.T.+14.4 m）の津波が襲来すると想定し，高放射性廃液貯蔵場(HAW)の浸水防止扉の設置等の対策を実施した。

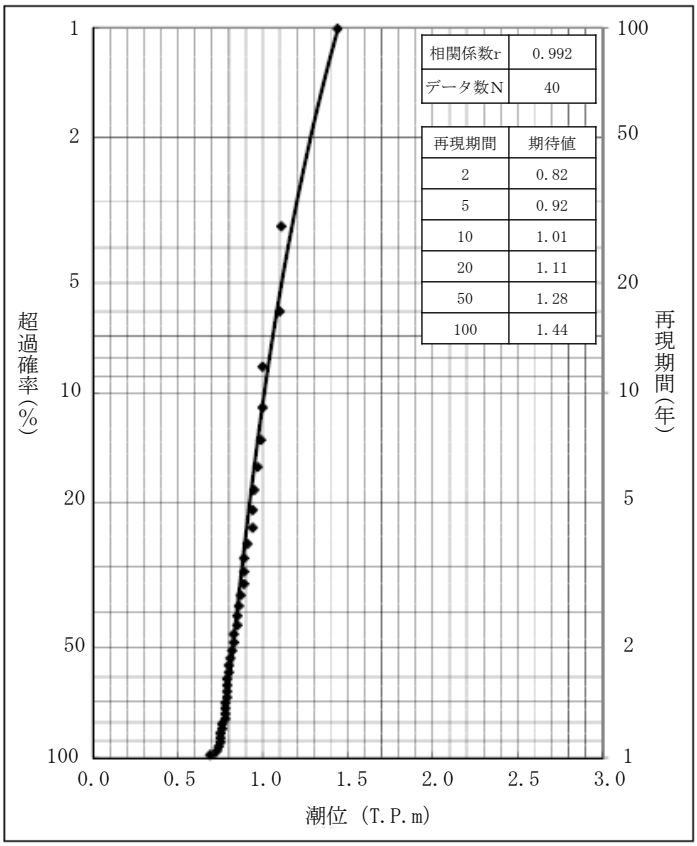


図 4－1　観測地点「茨城港日立港区」における最高潮位の超過発生確率

表 4－1　観測地点「茨城港日立港区」における 40 年（1971 年～2010 年）の年最高潮位

表　年最高潮位（日立港）

年	年	年最高潮位				
		月	日	時	分	潮位(m)
昭和46年	1971	9	1	15	0	0.89
昭和47年	1972	11	21	15	0	0.80
昭和48年	1973	10	28	16	0	0.73
昭和49年	1974	1	10	16	30	0.85
昭和50年	1975	9	8	17	10	0.76
昭和51年	1976	9	28	17	50	0.83
昭和52年	1977	9	19	19	30	0.86
昭和53年	1978	9	17	3	40	0.79
昭和54年	1979	10	7	16	40	1.00
昭和55年	1980	12	24	16	40	1.11
昭和56年	1981	10	2	17	40	0.78
昭和57年	1982	10	20	6	0	0.80
昭和58年	1983	9	9	5	0	0.75
昭和59年	1984	10	27	16	40	0.79
昭和60年	1985	8	31	4	0	0.87
		11	14	15	50	0.87
昭和61年	1986	10	8	17	40	0.94
昭和62年	1987	9	17	21	0	0.74
		2	4	7	40	0.74
昭和63年	1988	9	16	17	50	0.94
昭和64年	1989	8	6	18	50	0.99
平成2年	1990	10	8	17	10	0.89
平成3年	1991	10	13	17	50	1.00
平成4年	1992	9	11	3	10	0.85
平成5年	1993	11	14	15	10	0.69
平成6年	1994	10	22	16	40	0.78
平成7年	1995	11	24	16	0	0.75
平成8年	1996	9	22	22	40	0.79
平成9年	1997	9	19	17	20	0.91
平成10年	1998	11	17	14	40	0.75
平成11年	1999	10	27	17	0	0.83
平成12年	2000	9	4	19	0	0.76
		12	11	15	0	0.76
平成13年	2001	8	22	5	40	0.79
平成14年	2002	10	1	21	40	1.10
平成15年	2003	10	26	15	50	0.81
平成16年	2004	9	30	4	50	0.78
平成17年	2005	12	5	17	0	0.82
平成18年	2006	10	7	3	35	1.44
平成19年	2007	7	16	3	55	0.95
平成20年	2008	12	14	15	50	0.78
平成21年	2009	10	8	16	55	0.97
平成22年	2010	9	25	16	25	0.89

4.1 津波防護施設

津波防護施設は，「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために，以下の設計方針としている。

(1) 高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の建家外壁

機能設計上の性能目標を達成するため，岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成される当該建家外壁は，設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ(T.P.+14.2 m)を超える T.P.+14.4 m までの止水性を保持する設計とする。

構造強度設計上の性能目標を達成するため，設計津波の遡上波(波力算定用津波高さ：T.P.+12.1 m)に対して耐津波性を有する設計とする。発生する浮力については，設計津波の最高水位（浮力算定用津波高さ：T.P.+13.6 m）を考慮する。建家設計用漂流物による荷重は，津波漂流物防護柵による効果を期待する。当該建家周辺の地盤は地盤改良による効果を期待する。

また，トレンチ等が，鉄筋コンクリート製の躯体，鉄遮蔽体で構成することにより，止水性を有する設計となっていること，建家外壁と当該境界部の接続部からの漏水による影響及び漏水時の排水対策について確認する（添付資料 6-1-3-2-1「高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家貫通部からの浸水の可能性について」）。

機能設計上の性能目標を達成するため，当該建家外壁の貫通部が，設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ（T.P.+14.2 m）を超える高さ(T.P.+14.4 m)までシール材等での止水処置されていることを確認する。

また，構造強度設計上の性能目標を達成するため，当該建家外壁の貫通部の止水処置の健全性を模擬試験体による耐圧試験により確認する。試験にあたっては，模擬試験体の止水材厚さを外壁厚さに対し十分保守的な厚さとするとともに，模擬試験体に作用させる水圧は，各外壁貫通部に作用する津波波圧を包絡するよう十分保守的に設定し，貫通部に対する止水処置の健全性を確認する。（添付資料 6-1-3-2-1「高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家貫通部からの浸水の可能性について」）。

4.2 浸水防止設備（浸水防止扉）

浸水防止設備（浸水防止扉）は，「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 設計津波の浸水防止設備（浸水防止扉） (3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために，以下の設計方針としている。

機能設計上の性能目標を達成するため，浸水防止扉は十分な支持性能を有する高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家外壁に設置する扉枠との境界に水密ゴムを挟んで鋼製の扉を固定する構造とし，設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ（T.P.+14.2 m）を超える高さ(T.P.+14.4 m）まで止水性を保持する設計とする。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁と浸水防止扉の扉枠との接続部が，設計津波の最大水位に参照する裕度を考慮した高さ(T.P.+14.2 m)を超える高さ(T.P.+14.4 m)までシール材等での止水処置により止水性を有する設計とし，設計津波の遡上波による波圧を考慮した漏えい試験により有意な漏えいが生じないこと，当該外壁接続部からの漏水による影響及び漏水時の排水対策について令和２年７月までに確認する。

構造強度設計上の性能目標を達成するため，設計津波の遡上波(波力算定用津波高さ：T.P.+12.1 m)に対して耐津波性を有する設計とし，浸水防止扉が，設計津波の遡上波による波圧を考慮し止水性を保持する設計であることを令和２年 7 月までに確認する。

4.3 漂流物の影響防止施設

漂流物の影響防止施設は，「3. 要求機能及び性能目標」の「3.3 漂流物の影響防止施設 (3)性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために，以下の設計方針とする。

(1) 津波漂流物防護柵

機能設計上の性能目標を達成するため，津波漂流物防護柵は，鋼製の支柱，必要に応じて支柱間にワイヤーロープを設置する構成とし，支柱の下部は岩盤等に支持される設計とする。

構造強度設計上の性能目標を達成するため，支柱の下部は，主な再処理施設の支持地盤である砂質泥岩層又は強固に改良した地盤に設置し，設計地震動に対する耐震性を確保する。また，支柱については，船舶等の重量物が漂流物として１本の支柱へ直接衝突する等の最も厳しい条件において，ある程度塑性変形を生じ，漂流物が複数回衝突する場合であっても支柱としての機能を保持し，隣接する支柱が弾性範囲内で津波漂流物防護柵を支持する設計とする。津波漂流物防護柵に設けるワイヤーロープは，津波漂流物対策施設設計ガイドラインに従い，漂流物が衝突した際にワイヤーロープが衝撃を緩和することで漂流物を捕捉する設計とする。

これらの設計によって，設計津波により漂流が想定される船舶等の重量物を捕

捉することで漂流物の衝突による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等への影響を軽減させる設計※となっていることを確認する。

※ 小型船舶は総トン数 20 トン未満の船舶であり，総トン数 19 トンを超える小型船舶が入港することも考えられる。船舶等の大型の漂流物は津波漂流物防護柵で捕捉することから，津波漂流物防護柵の設計荷重を 20 トン相当にすることにより保守性を確保する。設計津波の時刻歴波形から津波の繰り返しの遡上はないことから，最大荷重の漂流物が津波漂流物防護柵の同一箇所に繰り返し衝突することはない。

(2) 分離精製工場(MP)

機能設計上の性能目標を達成するため，分離精製工場(MP)は，岩盤に支持される鉄筋コンクリート製の基礎と鉄筋コンクリート製の躯体で構成する設計としている。

構造強度設計上の性能目標を達成するため，分離精製工場(MP)は，設計津波の遡上波に対し，余震，船舶等の漂流物の衝突，風及び積雪の組合せによる荷重に対し，外壁等が一部損傷する場合であっても建家全体が倒壊することなく主要な構造部材は構造健全性を保持し，浮き上がるおそれのない設計とする。なお,分離精製工場（MP）は，設計地震動による地震力や設計津波による波圧，漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり，令和 2 年 11 月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認する。また，代表漂流物の選定結果に影響を与えないことを検証する。

これらの設計によって，設計津波により漂流が想定される船舶等の漂流物の衝突による高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等への影響を軽減させる設計となっていることを確認する。

4.4 設計用津波遡上状況等監視設備

設計用津波遡上状況等監視設備は，「3. 要求機能及び性能目標」の「3.4 設計用津波遡上状況等監視設備 (3) 性能目標」で設定している機能設計上の性能目標を達成するために，以下の設計状況を確認している（添付資料 6－1－3－2－2「屋外監視カメラについて」）。

(1) 屋外監視カメラ

機能設計上の性能目標を達成するため，屋外監視カメラは，設計津波の遡上波に対し，波力及び漂流物の影響を受けない位置に設置し昼夜を問わず監視可能な設計としている。また，屋外監視カメラ本体からの映像信号を電路により分離精製工場(MP)中央制御室に設置する監視装置に伝送し，中央制御室にて監視可能な設計としている。電路については，波力や漂流物の影響を受けない箇所に設置し，電源は設計津波の遡上波の影響を受けない分離精製工場(MP)に設けた無停電電源装置等から給電できる設計としている。

屋外監視カメラを構成する部品は，監視機能を維持するために，交換可能な設計とするとともに，監視装置等と屋外監視カメラ本体とを直接接続可能な設計としており，中央制御室に常駐する要員により構成部品の交換又は監視装置との接続操作は速やかに行える。

これらの操作は，設計津波の遡上波が敷地へ浸入するまでの時間を考慮し，要員による対応が確実に実施できることを確認する。

さらに，監視機能が維持できない場合には設計津波の遡上高さを上回る建家屋上等から目視により施設周辺を監視する代替措置により対応することができることを確認する。

上記の対応については，令和２年 7 月までに実施する事故対処設備の有効性評価に合わせて確認する。

構造強度設計上の性能目標を達成するため，設計地震動に対し屋外監視カメラ本体は，機能維持する設計としており，カメラ架台は剛構造として分離精製工場（MP）の建家屋上に固定している。分離精製工場（MP）は，設計地震動による地震力や設計津波による波圧，漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり，令和 2 年 11 月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認する。

Ⅱ 余震による地震応答解析

1. 概要

本資料は，別添 6-1-3-1「Ⅳ 耐津波設計における津波荷重と組み合わせる余震荷重」において設定した余震（以下「Sd-D」という。）を用いた高放射性廃液貯蔵場(HAW)の地震応答解析を説明するものである。この地震応答解析による応答値は，別添 6-1-3-2「Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価」及び「Ⅲ-2 設計津波に対する浸水防止設備（浸水防止扉）の強度評価」における余震荷重として用いる。

敷地の解放基盤表面における Sd-D の応答スペクトルを図 1-1 及び図 1-2 に，時刻歴波形を図 1-3 に示す。解放基盤表面は，S 波速度が 0.7 km/s 以上である T.P.※-303 m(G.L.-309 m)とする。

※T.P.：東京湾平均海面

Sd-D
廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある余震　M7.9　Xeq=86 km

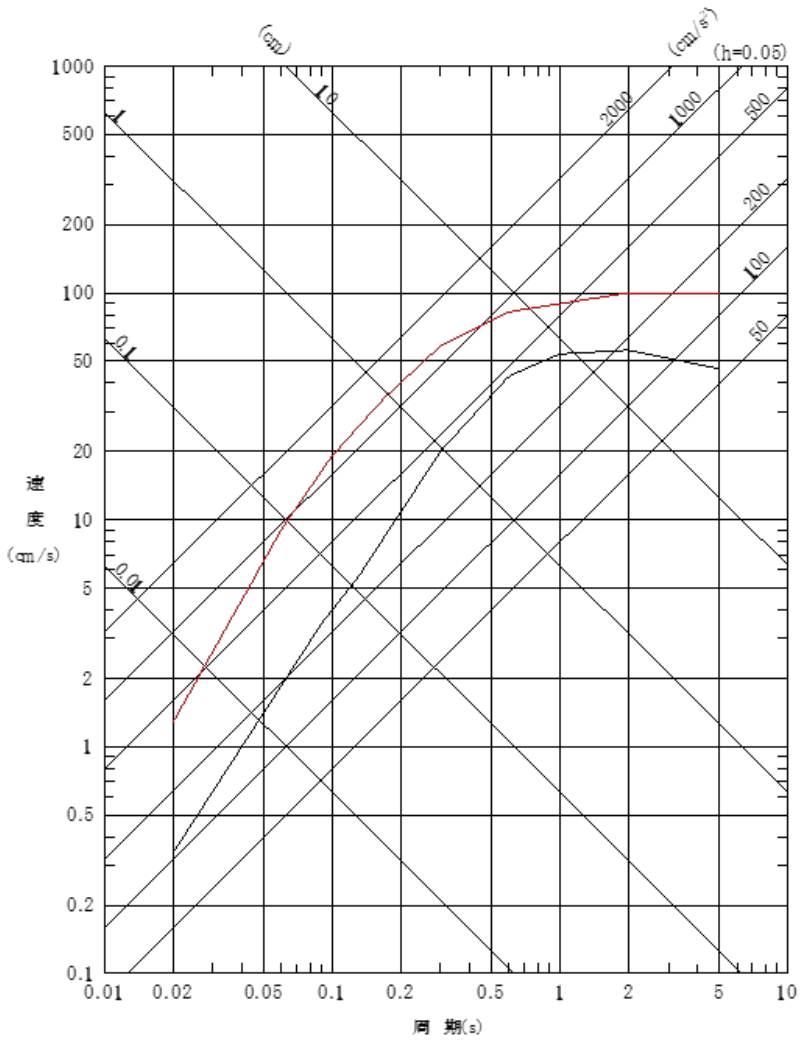


図 1-1　Sd-D の応答スペクトル(水平成分)

—— Sd-D
—— 廃止措置計画用設計津波の波源の活動に伴い発生する可能性のある余震　M7.9　Xeq=86 km

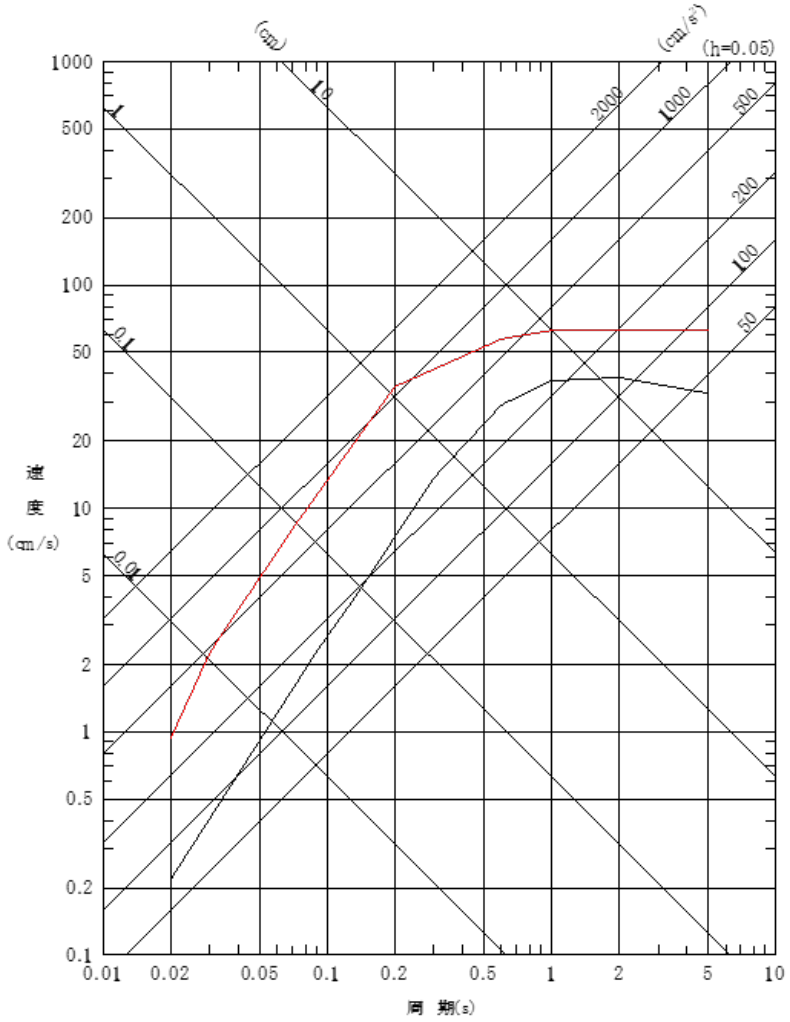
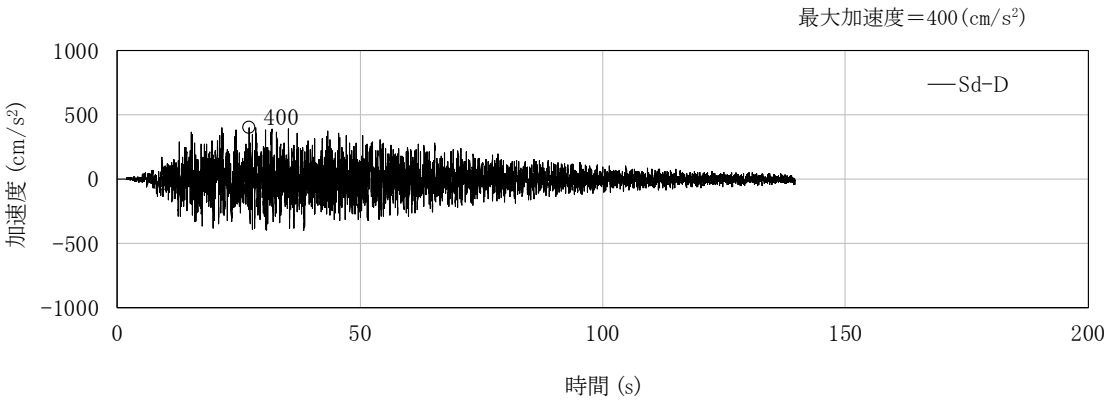
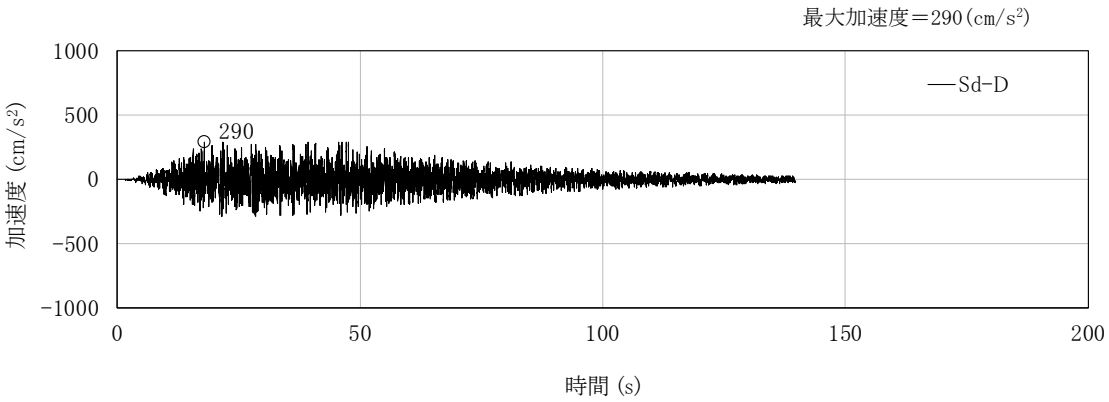


図 1-2　Sd-D の応答スペクトル(鉛直成分)



（水平成分）



（鉛直成分）

図 1-3　Sd-D の時刻歴波形

2. 一般事項

2.1 位置

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の位置を図 2-1 に示す。プラントノースと磁北方向の角度差は，35.7 ° である。

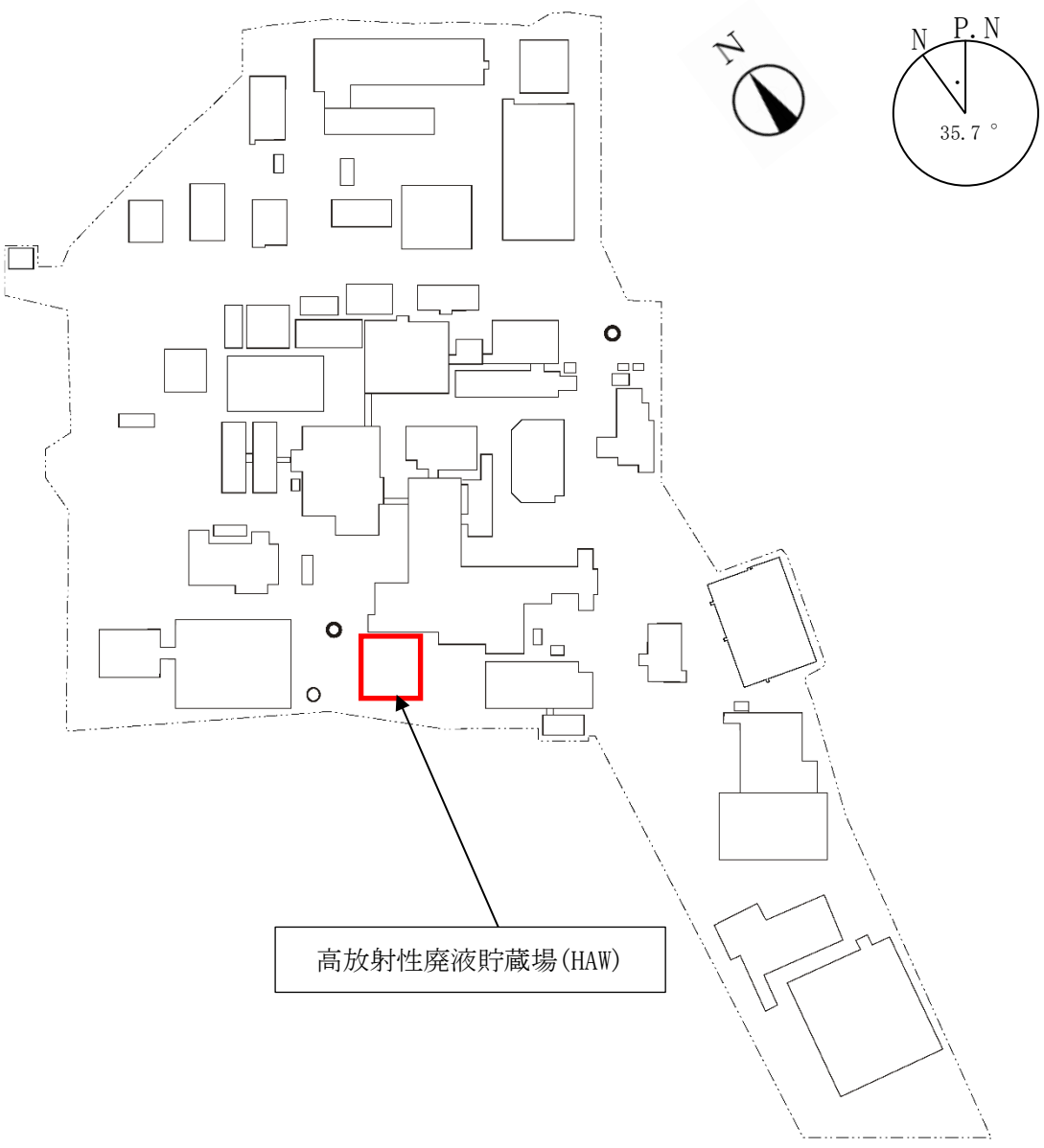


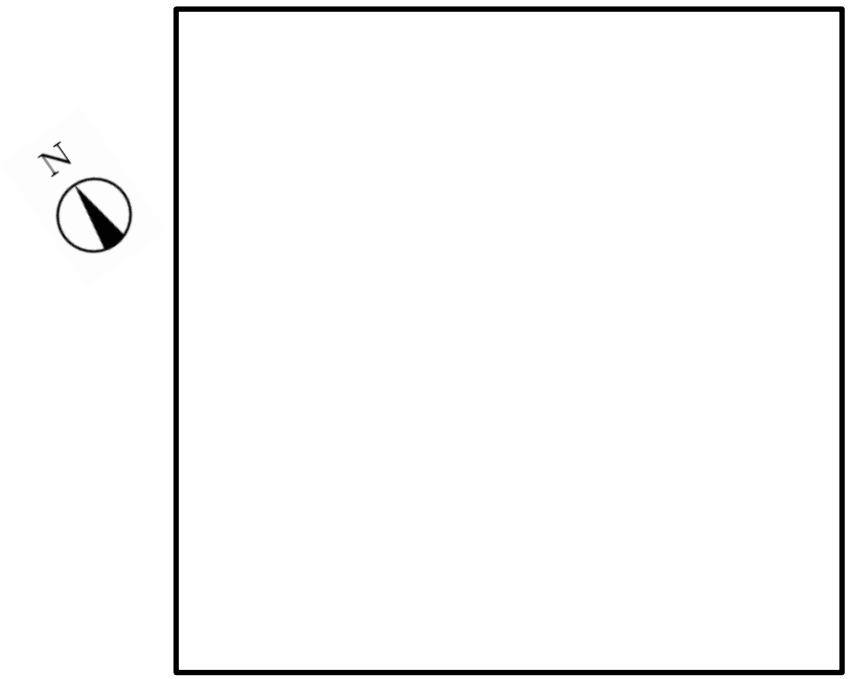
図 2-1　高放射性廃液貯蔵場(HAW)の位置

2.2 構造概要

高放射性廃液貯蔵場(HAW)は，平面形状が [redacted] のほぼ正方形を成しており，地上高さ [redacted] の鉄筋コンクリート造の建家である。基礎は，べた基礎とし，基礎地盤である久米層(砂質泥岩)に設置されている。

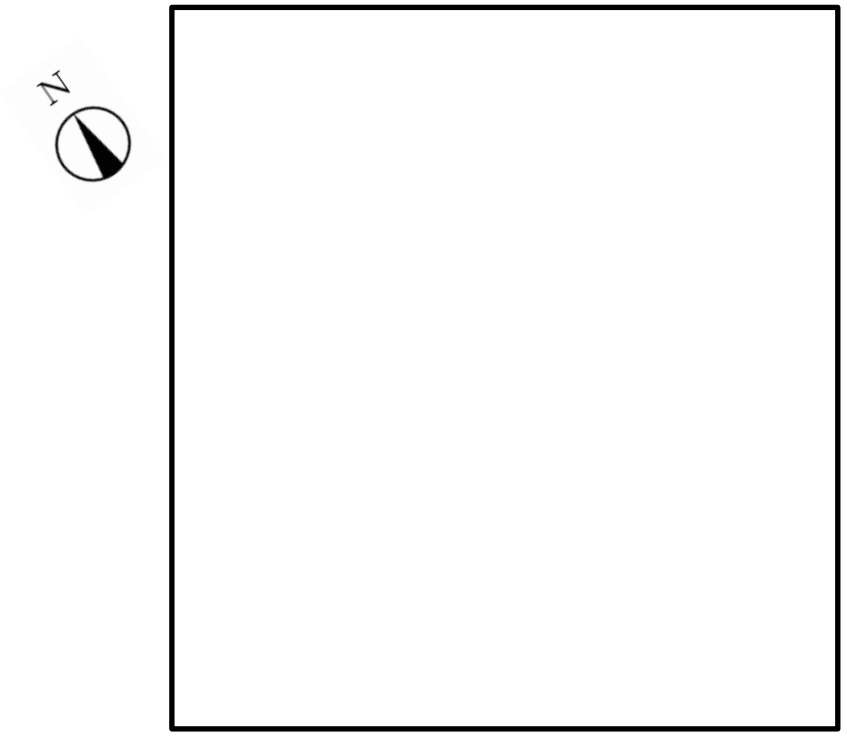
高放射性廃液貯蔵場(HAW)周辺において，地盤による拘束効果を高めるため，基礎地盤の深さまで地盤改良を実施する。

建家の代表的な平面図及び断面図を図 2-2 から図 2-5 に，基礎地盤(久米層)の等高線図及び断面図を図 2-6 及び図 2-7 に，高放射性廃液貯蔵場(HAW)周辺の地盤改良範囲を図2-8 に示す。



(壁厚の単位:mm)

図 2-2　高放射性廃液貯蔵場(HAW)平面図(地下 1 階)



(壁厚の単位:mm)

図 2-3　高放射性廃液貯蔵場(HAW)平面図(4 階)

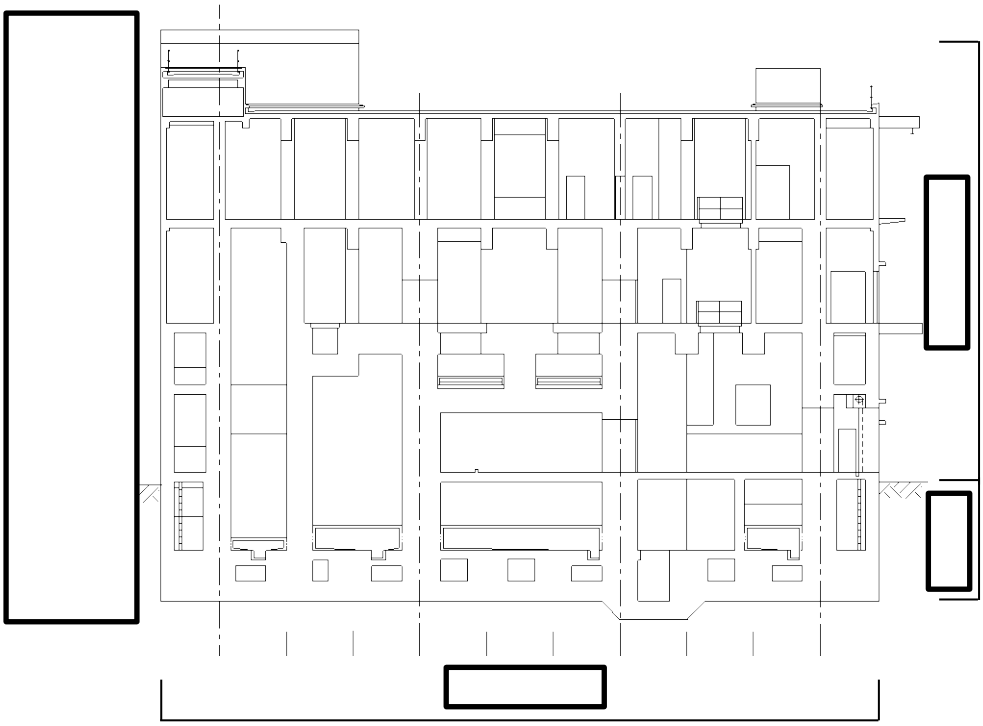


図 2-4　高放射性廃液貯蔵場(HAW)断面図(NS 断面)

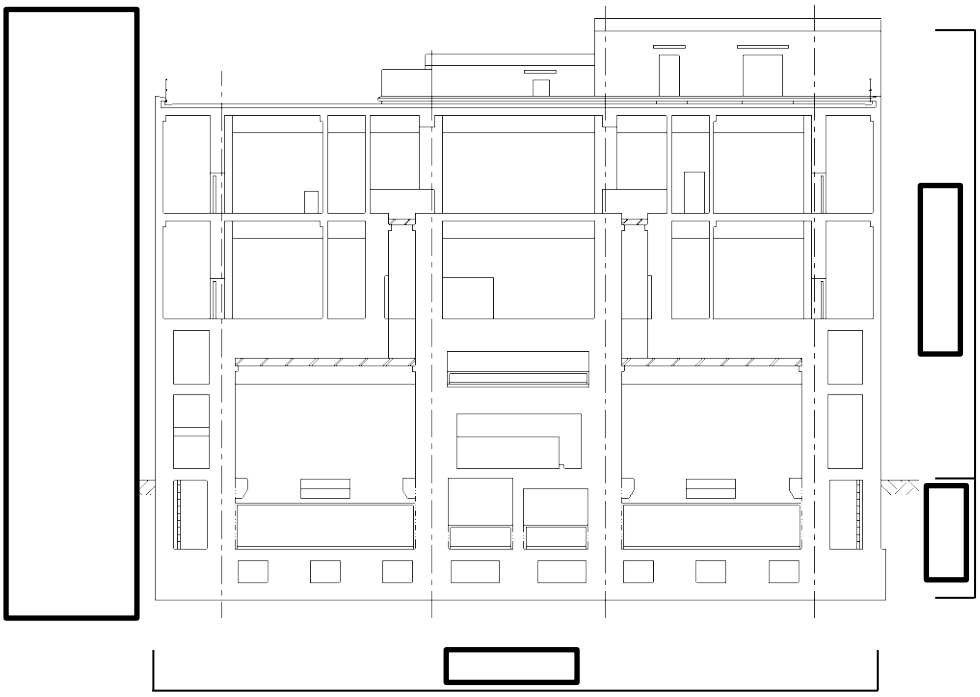


図 2-5　高放射性廃液貯蔵場(HAW)断面図(EW 断面)

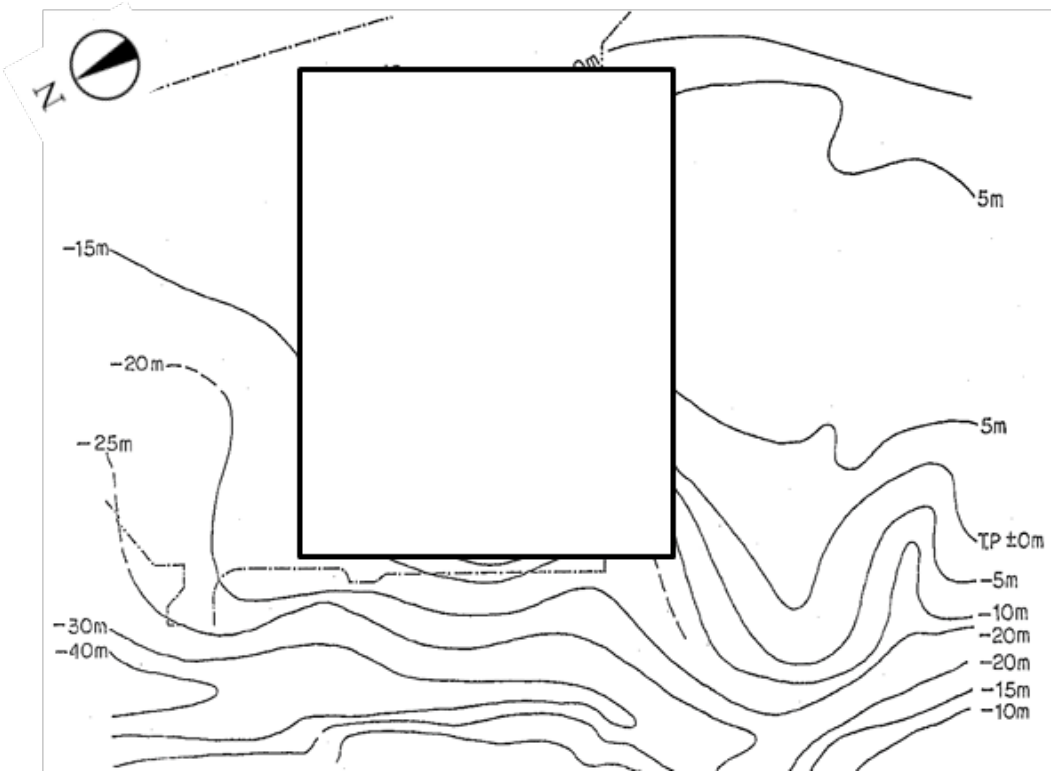


図 2-6　基礎地盤(久米層)の等高線図

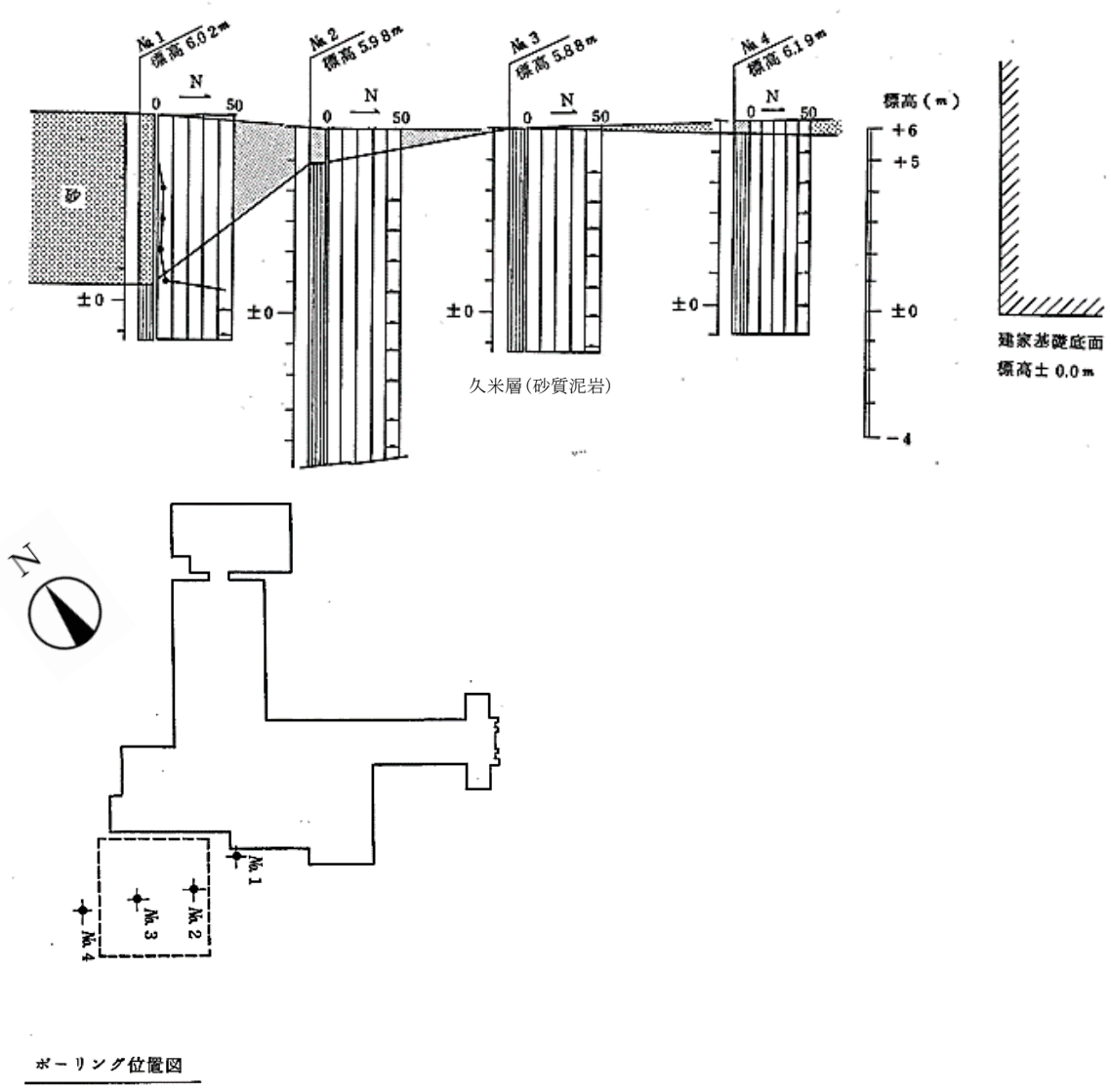


図 2-7　基礎地盤(久米層)の断面図

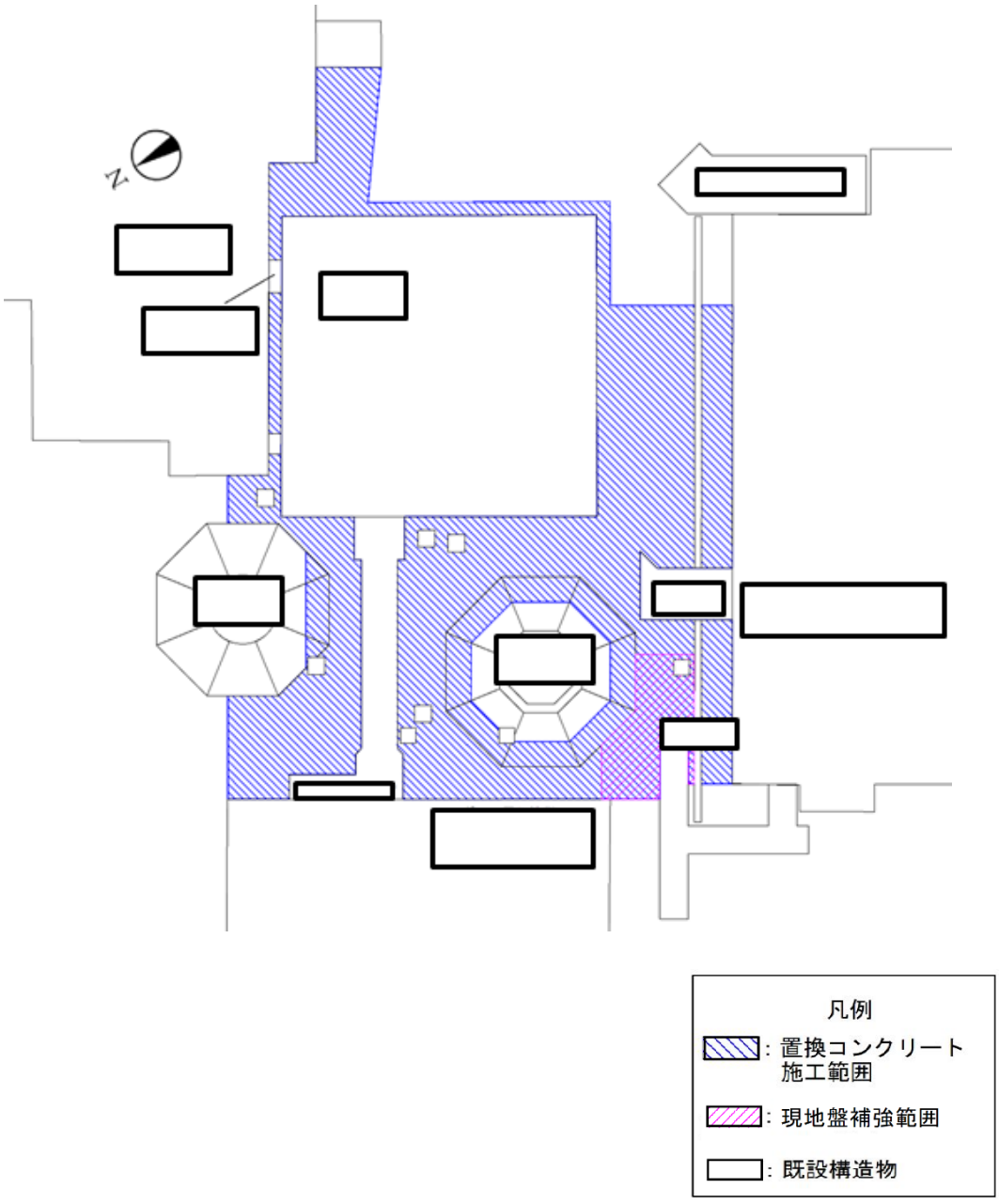


図 2-8　高放射性廃液貯蔵場(HAW)周辺の地盤改良範囲

2.3 解析方針

地震応答解析は，Sd-D を用いて建物・構築物の形状，構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS，EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

地震応答解析による応答値は，別添 6-1-3-2「Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価」及び「Ⅲ-2 設計津波に対する浸水防止設備（浸水防止扉）の強度評価」における余震荷重として用いる。

なお，接地率を算出し，基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の解析フローを図 2-9 に示す。

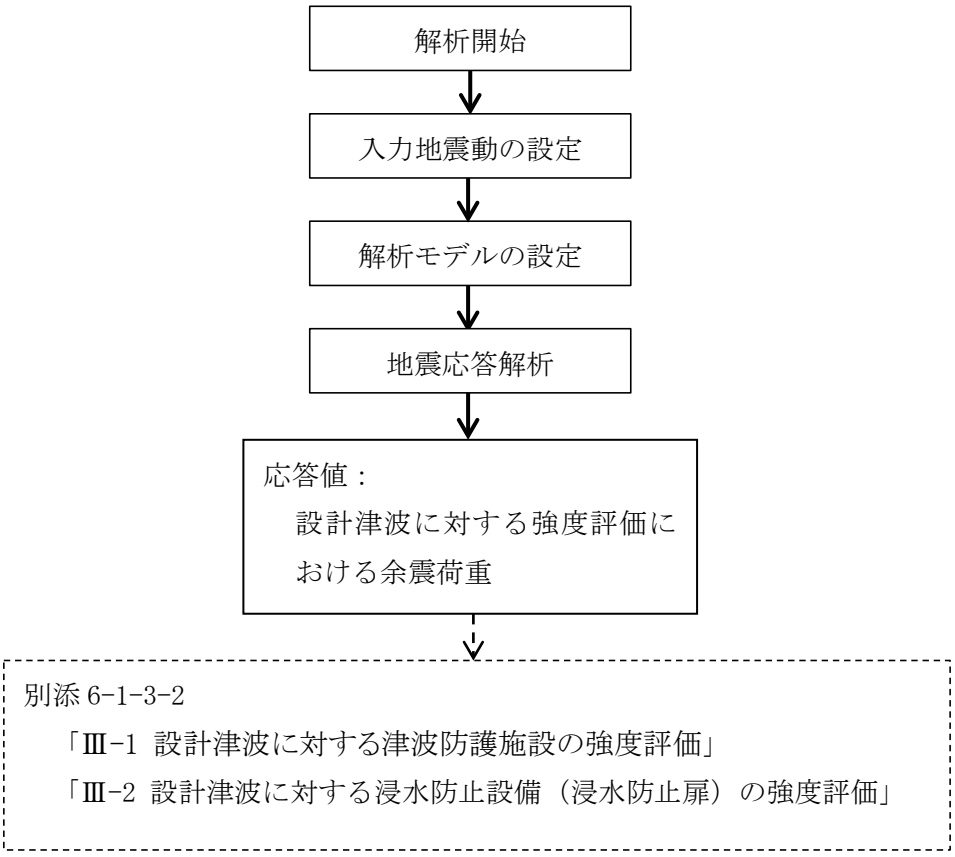


図 2-9　高放射性廃液貯蔵場(HAW)の解析フロー

2.4 準拠規格・基準

高放射性廃液貯蔵場(HAW)の地震応答解析において，準拠する規格・基準等を以下に示す。

- 建築基準法・同施行令
- 原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601(日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601(日本電気協会)
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数は，既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その 25)」において定めている設計基準強度を用いて鉄筋コンクリート構造計算規準に基づき設定する。コンクリートの材料定数を表 2-1 に示す。

表 2-1　コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 Fc(N/mm^2)	ヤング係数 E(N/mm^2)	ポアソン比 ν
建家	20.6	2.15×10^4	0.2

3. 入力地震動

3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は，Sd-D を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは，当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし，等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を図 3-1 に，地盤の物性値を表 3-1 に，動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を図 3-2 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「DYNEQ※」である。

Sd-D による地盤の地震応答解析結果を図 3-3 に，建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルをそれぞれ図 3-4 及び図 3-5 に示す。

※吉田望: DYNEQ A computer program for DYNamic response analysis of level ground by EQuivalent linear method, 東北学院大学工学部(2008)

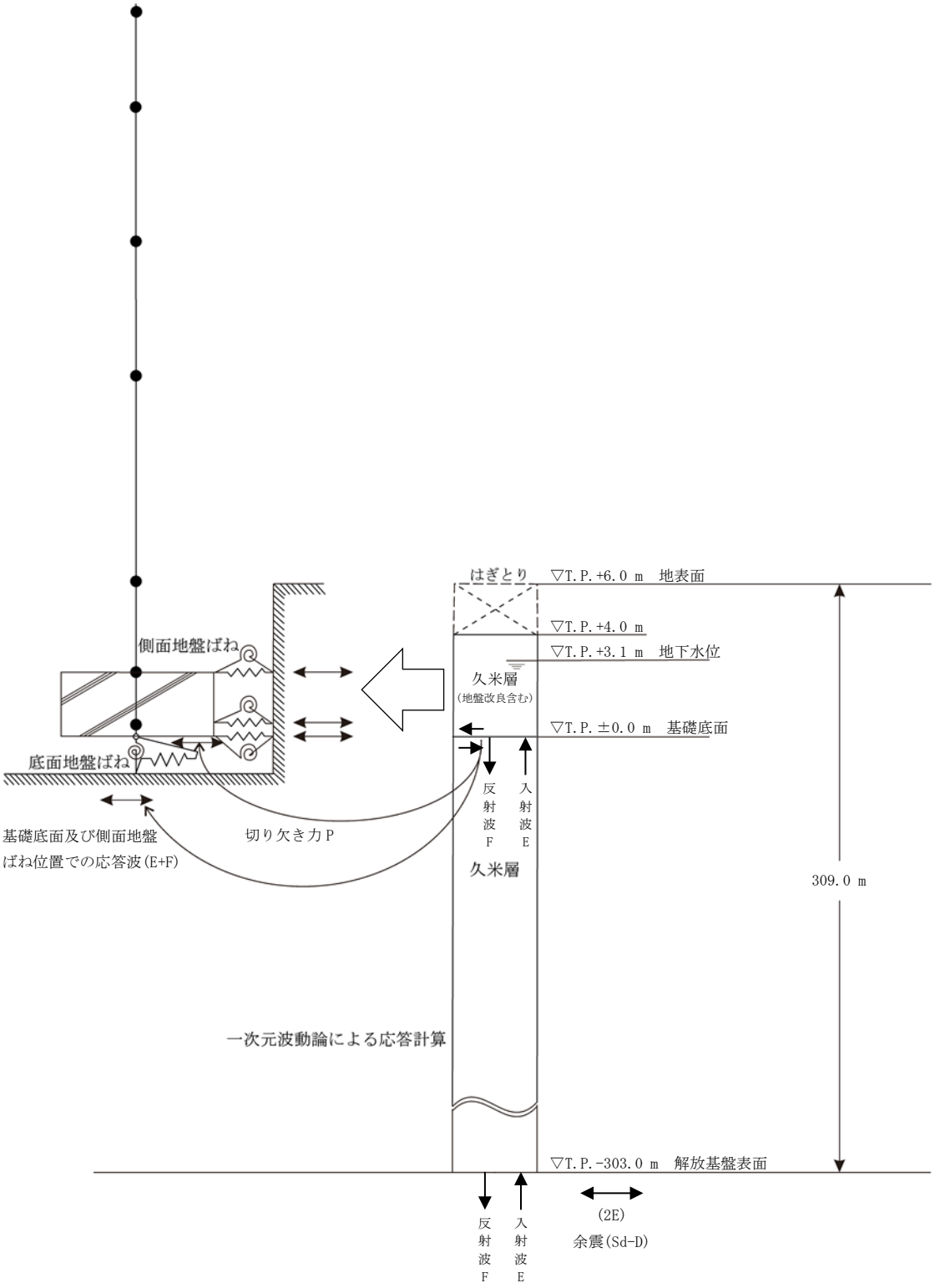
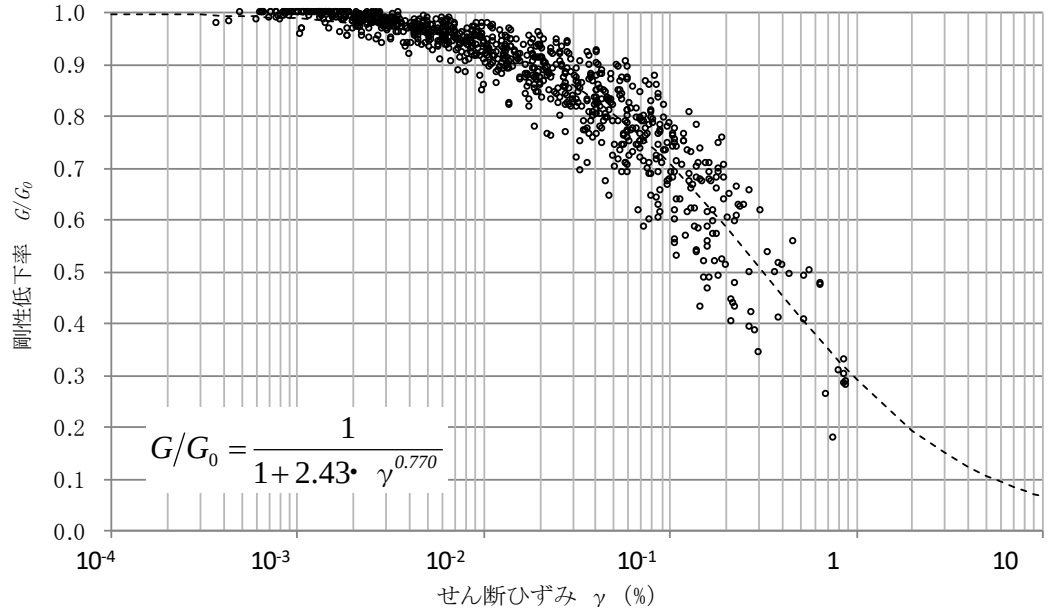


図 3-1　入力地震動算定の概要(水平方向)

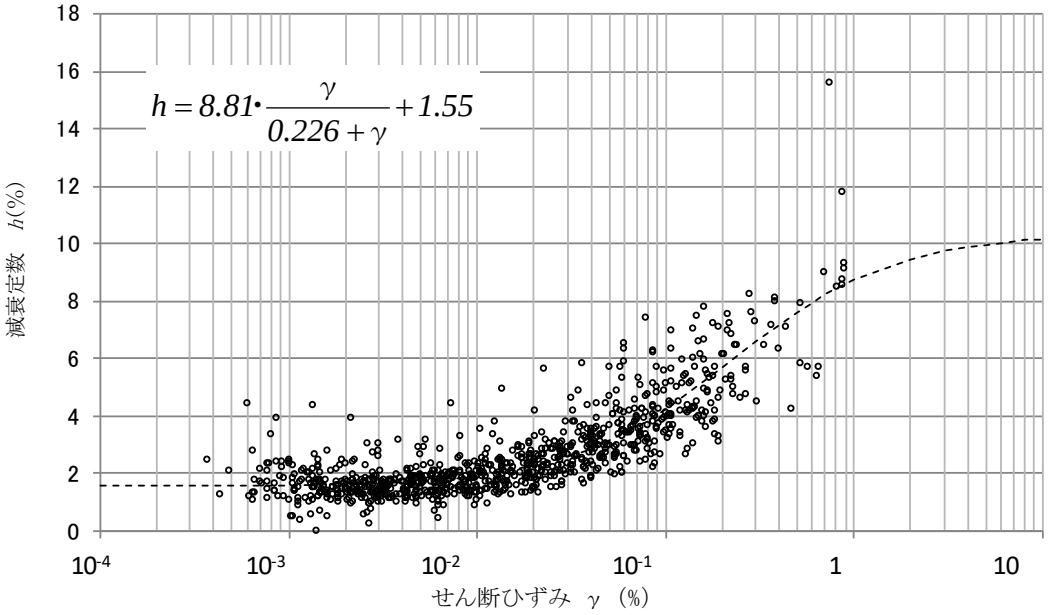
表 3-1　地盤の物性値

標高 T.P.(m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 G_0(MN/m^2)
4.0					
3.1	久米層	Km1※	1.77	0.455	426
0.0		Km1※	1.77	0.455	426
-10.0		Km1	1.77	0.455	426
-62.0		Km2	1.77	0.451	466
-92.0		Km3	1.77	0.447	515
-118.0		Km4	1.77	0.444	549
-169.0		Km5	1.77	0.440	596
-215.0		Km6	1.77	0.436	655
-261.0		Km7	1.77	0.431	711
-303.0	▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426	764
	解放基盤		1.77	0.417	867

※建家周辺の地盤(T.P.+4.0～±0.0 m)について，Km1 以上の動せん断弾性係数 G_0 を持つコンクリート(設計基準強度 18 N/mm^2)で地盤を改良するため，当該層を Km1 でモデル化している。



(a)動せん断弾性係数



(b)減衰定数

図 3-2　動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)

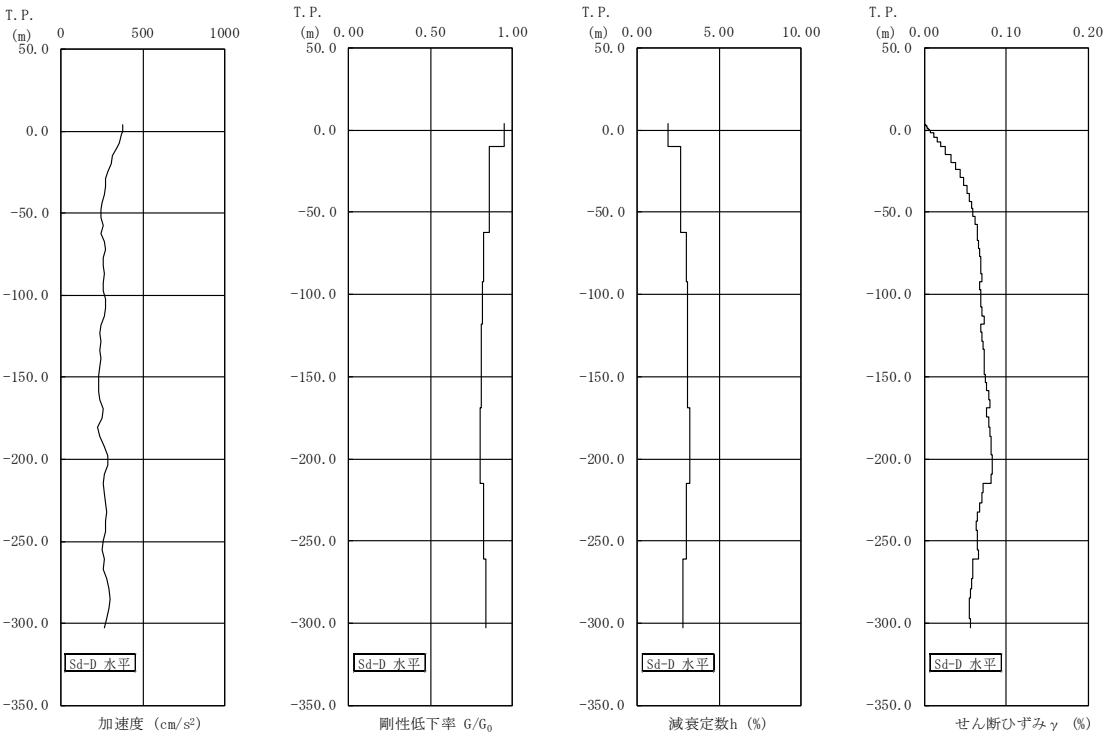


図 3-3　地盤の地震応答解析結果(水平方向, Sd-D)

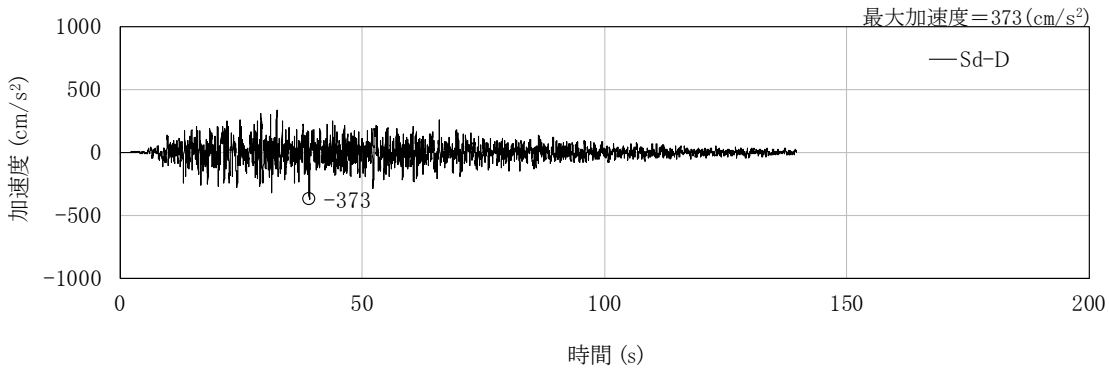


図 3-4　入力地震動の加速度時刻歴波形(水平方向，Sd-D，基礎底面位置)

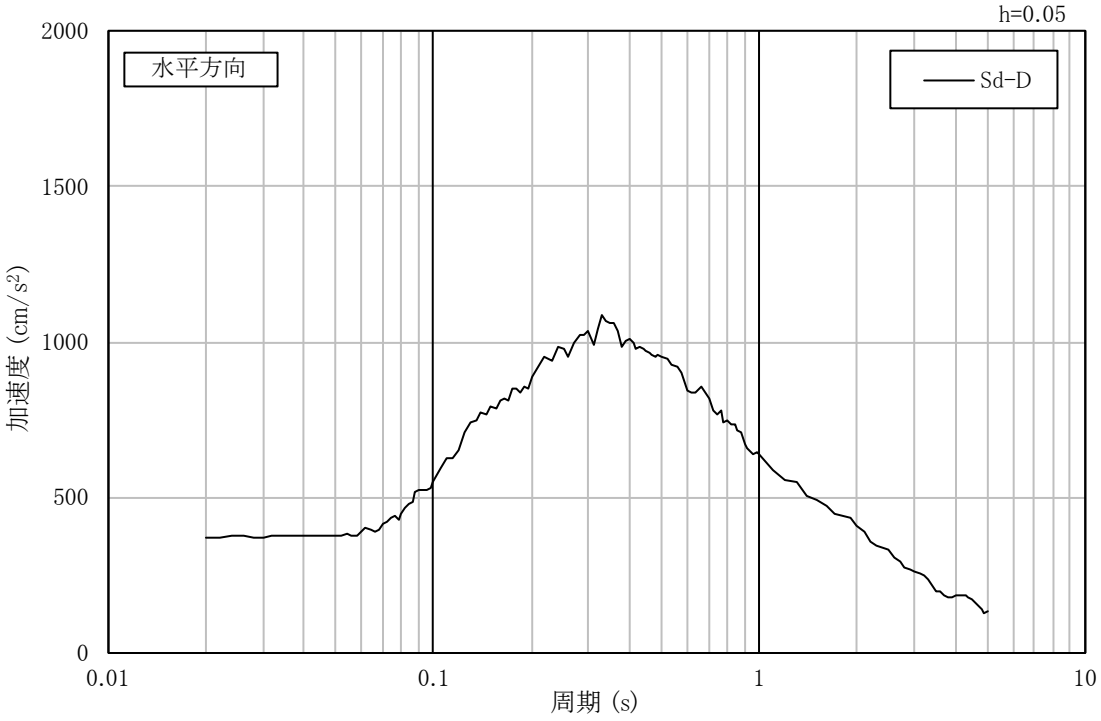


図 3-5　入力地震動の加速度応答スペクトル(水平方向，Sd-D，基礎底面位置)

3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は，Sd-D を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは，水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき，基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を図 3-6 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「DYNEQ※」である。

Sd-D による地盤の地震応答解析結果を図 3-7 に，建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルをそれぞれ図 3-8 及び図 3-9 に示す。

※吉田望: DYNEQ A computer program for DYNamic response analysis of level ground by EQuivalent linear method, 東北学院大学工学部(2008)

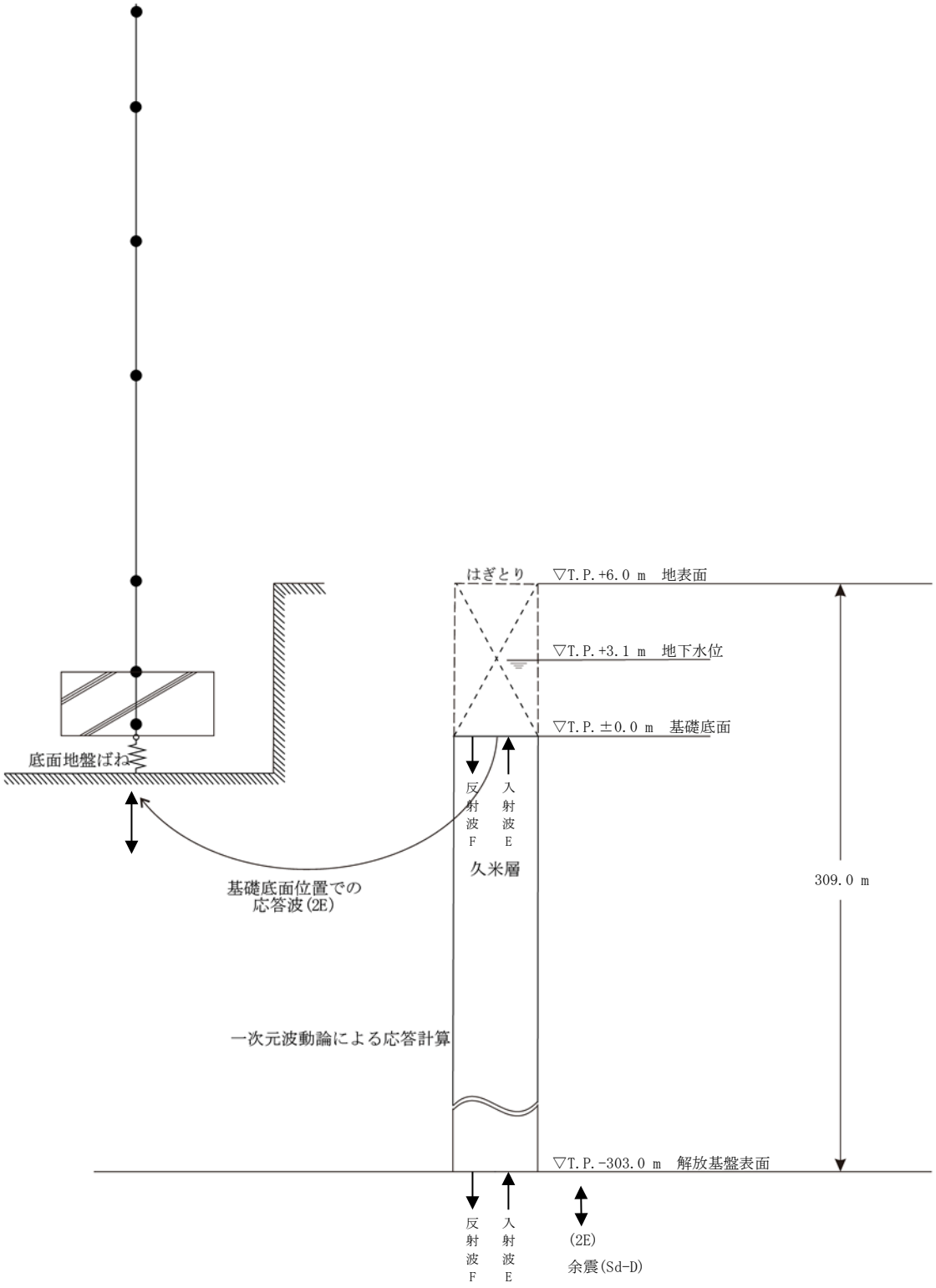


図 3-6　入力地震動算定の概要(鉛直方向)

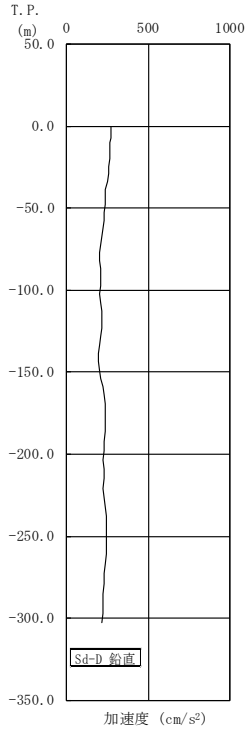


図 3-7　地盤の地震応答解析結果(鉛直方向，Sd-D)

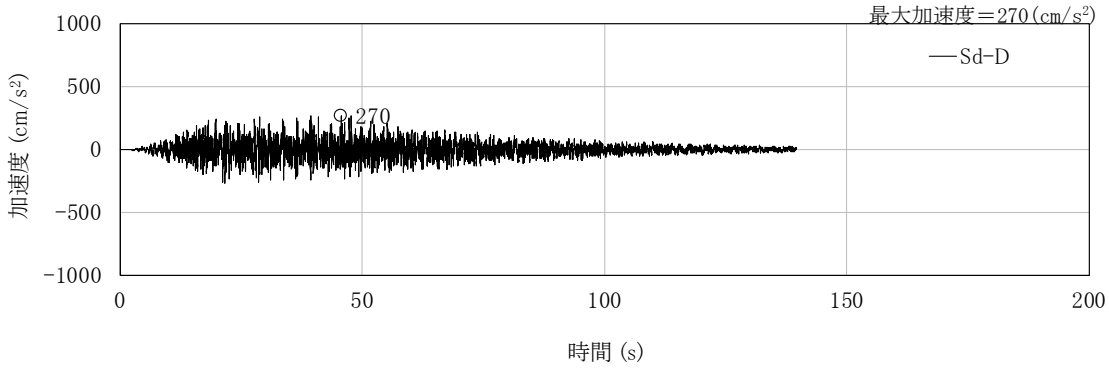


図 3-8　入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向，Sd-D，基礎底面位置)

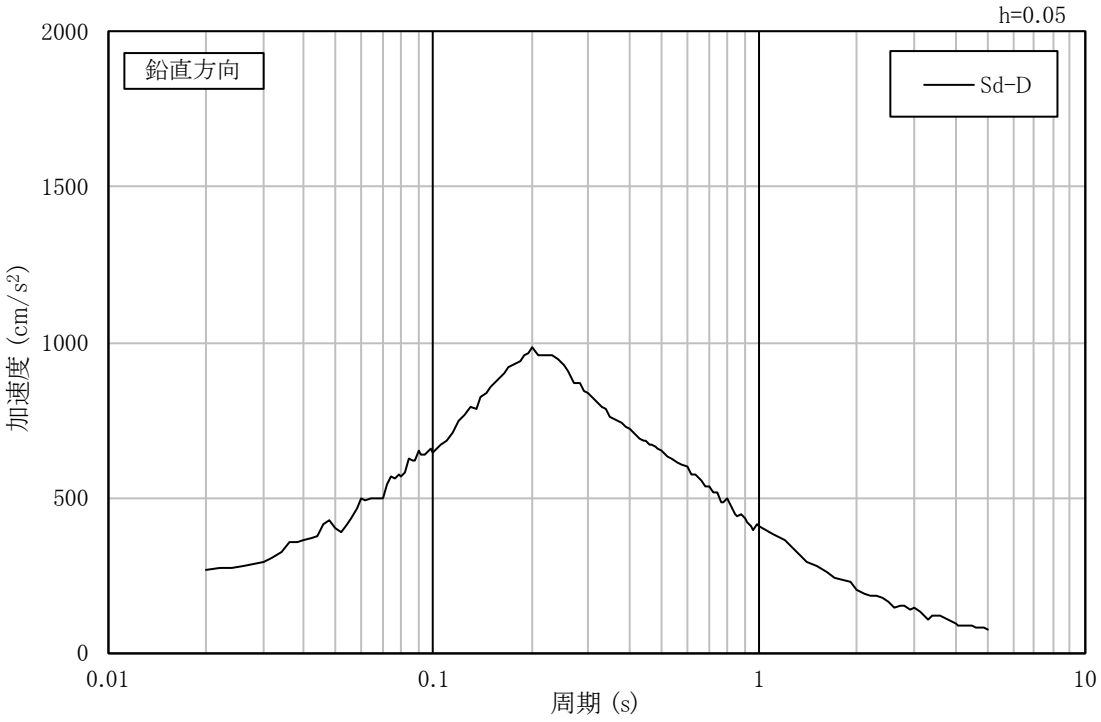


図 3-9　入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向，Sd-D，基礎底面位置)

4. 解析モデル

4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは，建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多質点系モデルとする。

水平方向の解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの諸元を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

解析モデルの諸元は，既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その 25)」の構造図に基づき設定する。

耐震壁のせん断の復元力特性は,図 4-2 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし，履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は，図 4-3 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし，履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。せん断及び曲げのスケルトンカーブを表 4-3 から表 4-6 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(以下「JEAG4601-1991 追補版」という。)に基づき，振動アドミッタンス理論により振動数依存の複素ばねを算定し，地盤ばね定数は 0 Hz での実部(静的ばね値)により，減衰係数は地盤-建家連成系 1 次固有円振動数での虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾きにより，それぞれ設定する。埋め込み部分の側面地盤ばねは，Novak の方法により振動数依存の複素ばねを算定し，地盤ばね定数は実部の極大値により，減衰係数は底面地盤ばねと同様に，それぞれ設定する。底面地盤回転ばねは，基礎の浮き上がりを考慮する非線形ばねとし，非線形特性を算定する際には，建家重量に津波による浸水高さ T.P.+13.6 m 及び海水の単位体積重量 10.1 kN/m³により生じる浮力 175455 kN を考慮する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「ADMITK(株式会社構造計画研究所)」，側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「K-NOVAK(株式会社構造計画研究所)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数をそれぞれ表 4-7 及び表 4-8 に，地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要を図 4-4 に，底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)を図 4-5 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え，各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家の減衰定数は 3 %(鉄筋コンクリート部分)とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「RESP-F3T(株式会社構造計画研究所)」である。

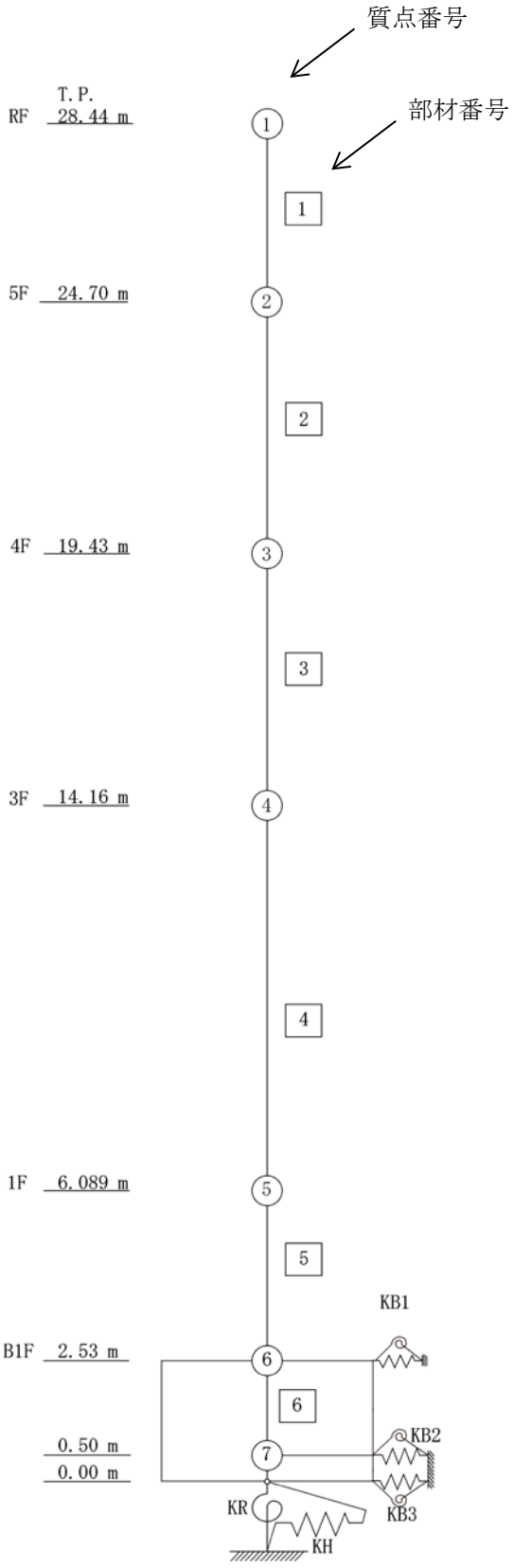


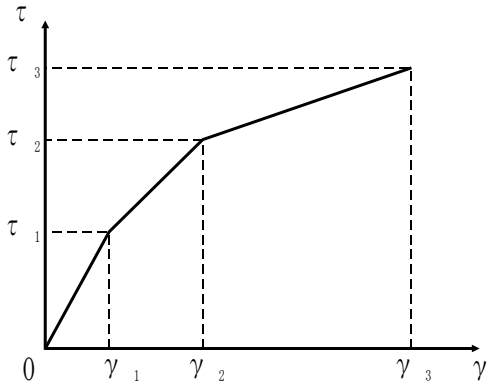
図 4-1　解析モデル(水平方向)

表 4-1　解析モデルの諸元(NS 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN･m^2)	部材 番号	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)
1	28.44	4154.6	4712	―		
				1	4.5	27
2	24.70	36046.5	40490			
				2	65.2	6290
3	19.43	51038.2	57700			
				3	87.1	8730
4	14.16	121100.8	137800			
				4	212.5	22330
5	6.089	79292.5	90780			
				5	212.5	20650
6	2.53	72321.2	81070			
				6	790.6	92910
7	0.50	31655.0	35390			
				―		

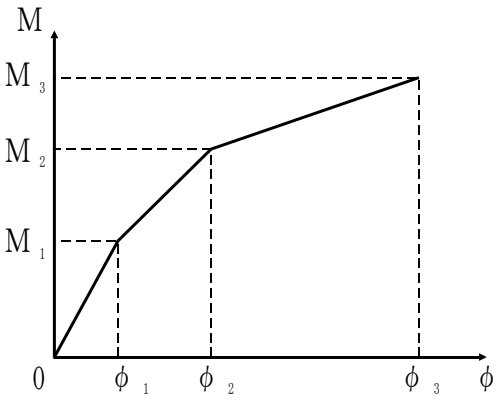
表 4-2　解析モデルの諸元(EW 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN･m^2)	部材 番号	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)
1	28.44	4154.6	4328	―		
				1	5.5	79
2	24.70	36046.5	36830			
				2	39.9	3850
3	19.43	51038.2	52510			
				3	93.2	6650
4	14.16	121100.8	125500			
				4	208.8	19550
5	6.089	79292.5	82800			
				5	229.8	18020
6	2.53	72321.2	73670			
				6	830.9	92670
7	0.50	31655.0	32220			
				―		



τ 1：第一折点のせん断応力度
τ 2：第二折点のせん断応力度
τ 3：終局点のせん断応力度
γ 1：第一折点のせん断ひずみ
γ 2：第二折点のせん断ひずみ
γ 3：終局点のせん断ひずみ

図 4-2　せん断のスケルトンカーブ（τ－γ関係）



M 1：第一折点の曲げモーメント
M 2：第二折点の 曲げモーメント
M 3：終局点の 曲げモーメント
ϕ 1：第一折点の曲率
ϕ 2：第二折点の曲率
ϕ 3：終局点の曲率

図 4-3　曲げのスケルトンカーブ(M－ϕ関係)

表 4-3　せん断のスケルトンカーブ（$\tau-\gamma$ 関係，NS 方向）

部材番号	τ_1 (N/mm^2)	γ_1 ($\times10^{-3}$)	τ_2 (N/mm^2)	γ_2 ($\times10^{-3}$)	τ_3 (N/mm^2)	γ_3 ($\times10^{-3}$)
1	1.57	0.175	2.12	0.525	4.15	4.00
2	1.57	0.175	2.12	0.526	4.63	4.00
3	1.65	0.184	2.23	0.551	4.83	4.00
4	1.66	0.185	2.24	0.554	4.25	4.00
5	1.72	0.192	2.33	0.576	4.27	4.00

表 4-4　曲げのスケルトンカーブ（$M-\phi$ 関係，NS 方向）

部材番号	M_1 ($\times10^5$ kN･m)	ϕ_1 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_2 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_2 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_3 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_3 ($\times10^{-3}$ 1/m)
1	0.165	2.83	0.0401	26.3	0.0610	5.27
2	8.54	0.630	1.64	6.21	2.48	1.24
3	12.9	0.683	2.93	6.62	4.45	1.18
4	33.2	0.689	6.95	6.41	10.4	1.22
5	32.8	0.736	7.48	6.55	10.6	1.02

表 4-5　せん断のスケルトンカーブ（$\tau-\gamma$ 関係，EW 方向）

部材番号	τ_1 (N/mm^2)	γ_1 ($\times10^{-3}$)	τ_2 (N/mm^2)	γ_2 ($\times10^{-3}$)	τ_3 (N/mm^2)	γ_3 ($\times10^{-3}$)
1	1.57	0.175	2.12	0.525	4.55	4.00
2	1.57	0.175	2.12	0.526	4.70	4.00
3	1.65	0.184	2.23	0.551	5.01	4.00
4	1.66	0.185	2.24	0.554	4.27	4.00
5	1.72	0.192	2.33	0.576	4.24	4.00

表 4-6　曲げのスケルトンカーブ（$M-\phi$ 関係，EW 方向）

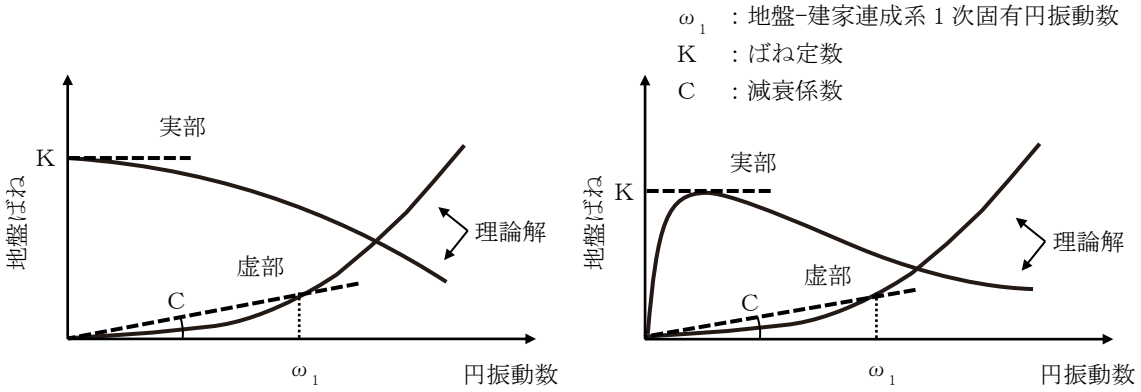
部材番号	M_1 ($\times10^5$ kN･m)	ϕ_1 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_2 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_2 ($\times10^{-5}$ 1/m)	M_3 ($\times10^6$ kN･m)	ϕ_3 ($\times10^{-3}$ 1/m)
1	0.321	1.89	0.0742	17.0	0.107	3.41
2	5.53	0.667	1.31	6.76	1.91	1.35
3	10.4	0.724	2.84	7.43	5.01	0.931
4	30.7	0.730	6.42	6.85	9.47	1.29
5	30.3	0.780	7.01	7.06	9.99	1.05

表 4-7　地盤ばね定数及び減衰係数(NS 方向，Sd-D)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平：kN/m) (回転：kN･m/rad)	減衰係数 C (水平：kN･s/m) (回転：kN･m･s/rad)
	位置	成分	記号		
Sd-D	側面	水平	KB1	4.317×10^{6}	5.012×10^{5}
			KB2	2.197×10^{6}	2.551×10^{5}
			KB3	4.343×10^{5}	5.042×10^{4}
		回転	KB1	1.276×10^{9}	4.451×10^{7}
			KB2	6.496×10^{8}	2.266×10^{7}
			KB3	1.284×10^{8}	4.478×10^{6}
	底面	水平	KH	4.266×10^{7}	1.056×10^{6}
		回転	KR	1.753×10^{10}	1.167×10^{8}

表 4-8　地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向，Sd-D)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平：kN/m) (回転：kN･m/rad)	減衰係数 C (水平：kN･s/m) (回転：kN･m･s/rad)
	位置	成分	記号		
Sd-D	側面	水平	KB1	4.317×10^{6}	5.012×10^{5}
			KB2	2.197×10^{6}	2.551×10^{5}
			KB3	4.343×10^{5}	5.042×10^{4}
		回転	KB1	1.276×10^{9}	4.439×10^{7}
			KB2	6.496×10^{8}	2.260×10^{7}
			KB3	1.284×10^{8}	4.466×10^{6}
	底面	水平	KH	4.284×10^{7}	1.066×10^{6}
		回転	KR	1.638×10^{10}	1.030×10^{8}



(a)底面地盤ばね　　(b)側面地盤ばね

図 4-4　地盤ばね定数及び減衰係数の設定方法の概要

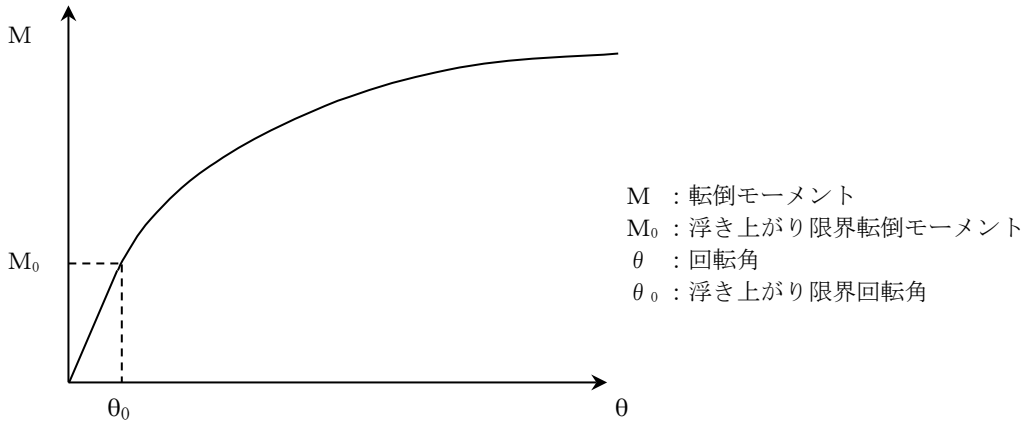


図 4-5　底面地盤回転ばねの非線形特性(転倒モーメント-回転角関係)

4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは，建家と地盤の相互作用を考慮した多質点系モデルとする。建家部分は質点を鉛直方向のばねで連結しモデル化する。なお，建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

鉛直方向の解析モデルを図 4-6 に，解析モデルの諸元を表 4-9 に示す。

解析モデルの諸元は，既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法(その 25)」の構造図に基づき設定する。

基礎下の底面地盤ばねは，JEAG4601-1991 追補版に基づき，振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「ADMITK(株式会社構造計画研究所)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-10 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え，各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算出する。建家の減衰定数は 3 %(鉄筋コンクリート部分)とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「RESP-F3T(株式会社構造計画研究所)」である。

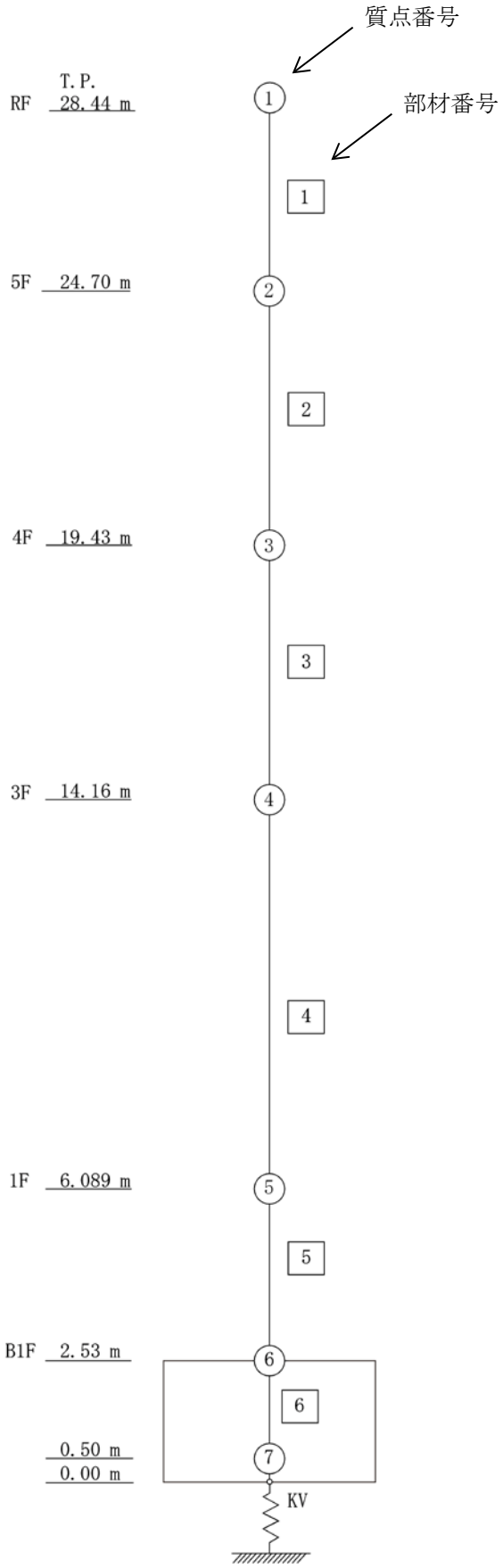


図 4-6　解析モデル(鉛直方向)

表 4-9　解析モデルの諸元(鉛直方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m^2)
1	28.44	4154.6	－	
			1	11.9
2	24.70	36046.5		
			2	114.2
3	19.43	51038.2		
			3	172.8
4	14.16	121100.8		
			4	387.8
5	6.089	79292.5		
			5	415.4
6	2.53	72321.2		
			6	1130.9
7	0.50	31655.0		
			－	

表 4-10　地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向, Sd-D)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
Sd-D	底面	鉛直	KV	6.408×10^7	2.339×10^6

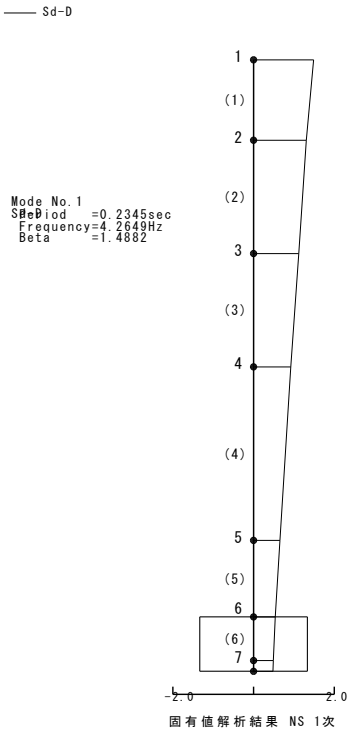
5. 解析結果

5.1 固有値解析結果

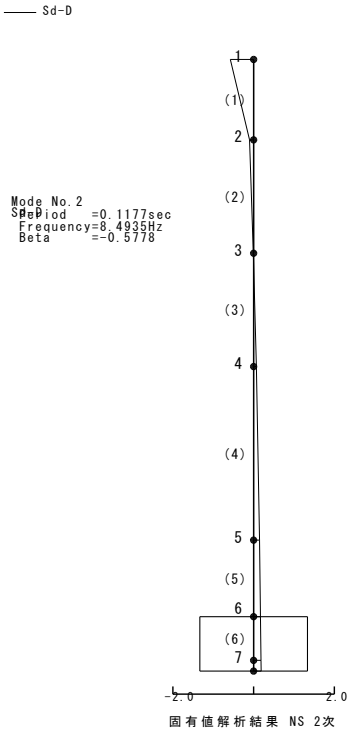
解析モデルの固有値解析結果を表 5-1 に示す。Sd-D による刺激関数を図 5-1 から図 5-6 に示す。

表 5-1　固有値解析結果(Sd-D)

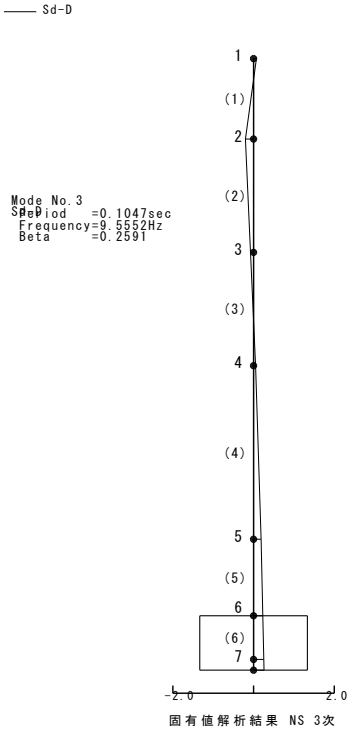
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.234	4.26	1.488	全体 1 次
	2	0.118	8.49	-0.578	
	3	0.105	9.56	0.259	
	4	0.049	20.45	-0.039	
	5	0.041	24.13	0.127	
	6	0.037	26.84	-0.062	
	7	0.030	33.85	0.013	
EW	1	0.237	4.22	1.495	全体 1 次
	2	0.111	9.01	-0.593	
	3	0.065	15.50	0.094	
	4	0.052	19.27	0.011	
	5	0.043	23.40	0.042	
	6	0.034	29.31	0.039	
	7	0.031	32.32	-0.050	
UD	1	0.161	6.21	1.058	全体 1 次
	2	0.027	36.37	-0.089	
	3	0.017	58.07	0.053	
	4	0.014	69.69	-0.024	
	5	0.011	91.54	0.002	
	6	0.008	126.61	-0.006	
	7	0.003	372.00	0.002	



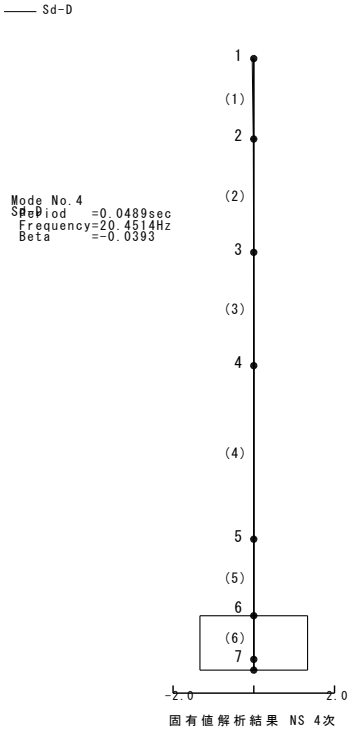
(1 次)



(2 次)

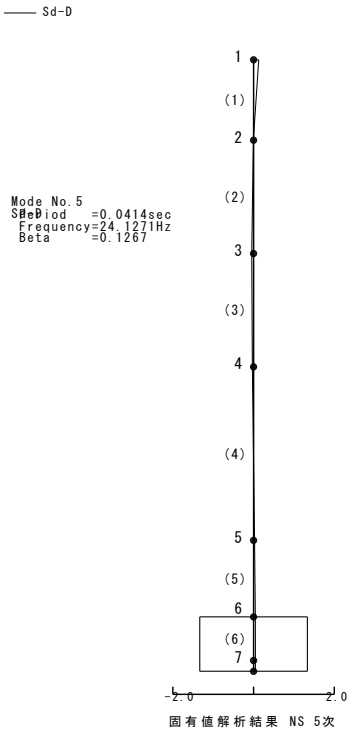


(3 次)

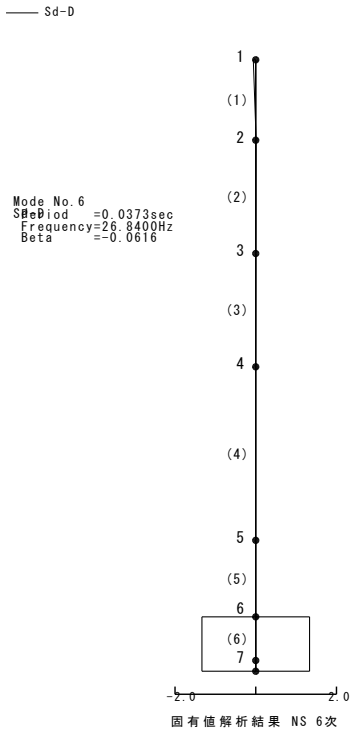


(4 次)

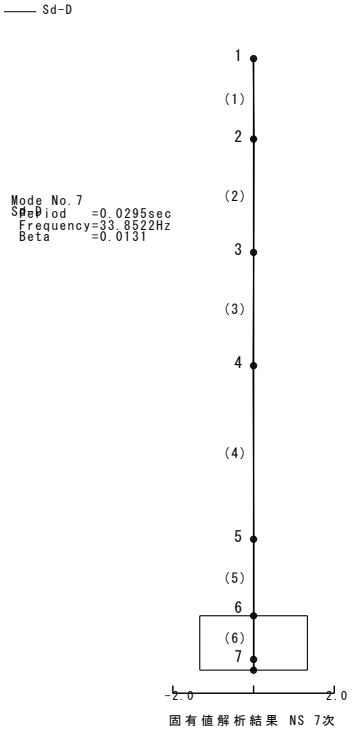
図 5-1　刺激関数(NS 方向, Sd-D, 1～4 次)



(5 次)

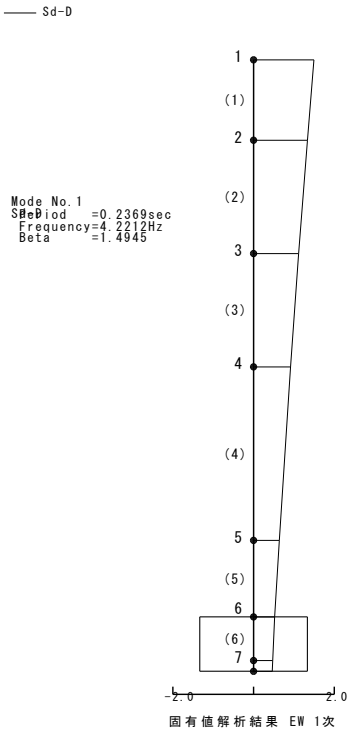


(6 次)

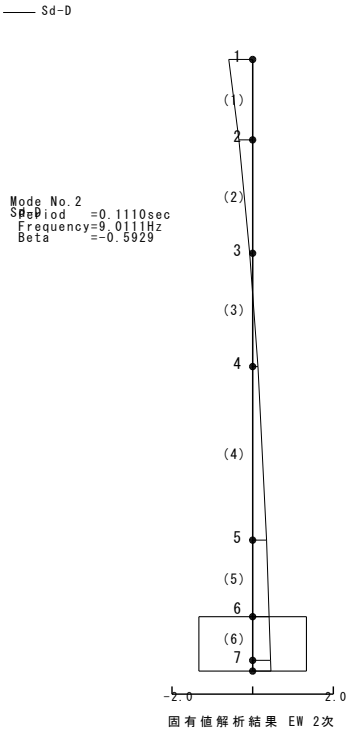


(7 次)

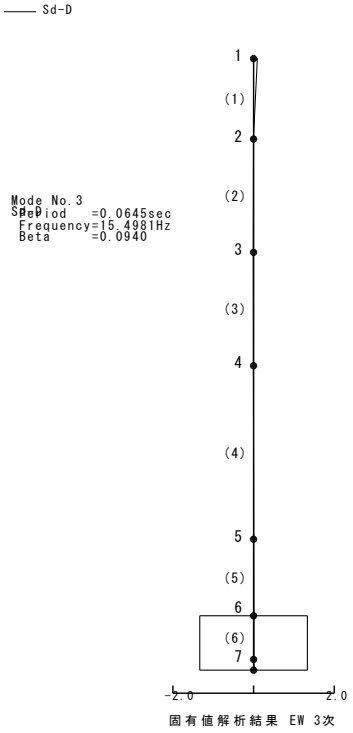
図 5-2　刺激関数(NS 方向, Sd-D, 5～7 次)



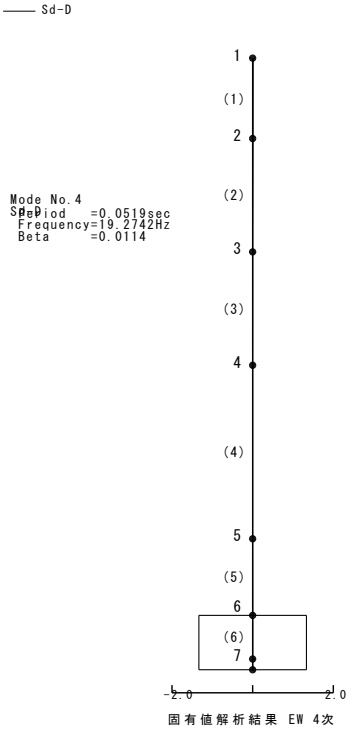
(1 次)



(2 次)

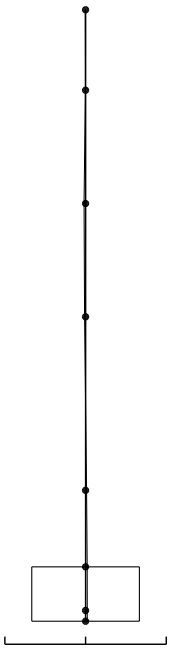


(3 次)

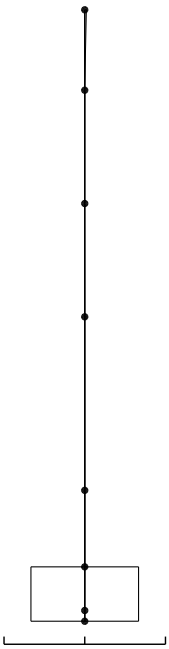


(4 次)

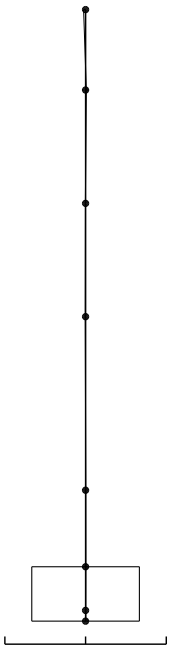
図 5-3　刺激関数(EW 方向, Sd-D, 1～4 次)



(5 次)

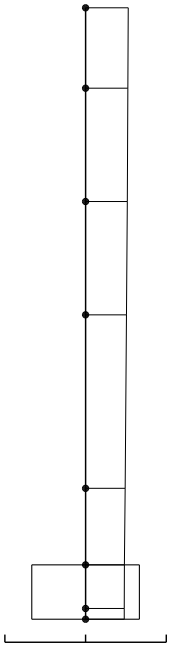


(6 次)

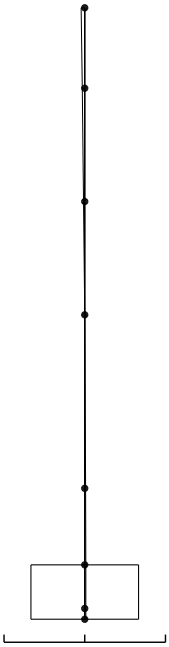


(7 次)

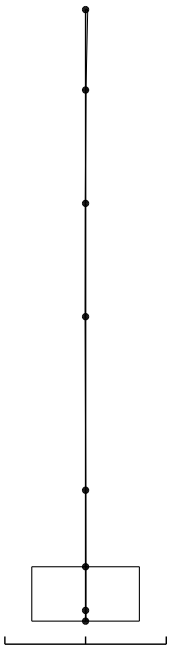
図 5-4　刺激関数(EW 方向, Sd-D, 5～7 次)



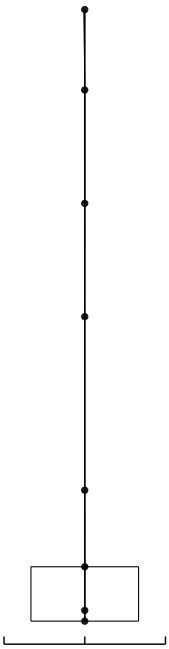
(1 次)



(2 次)

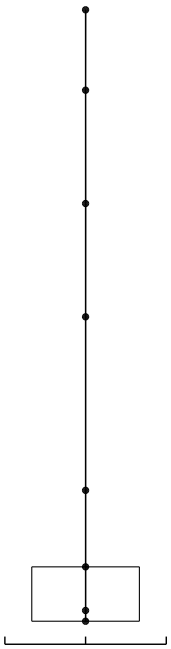


(3 次)

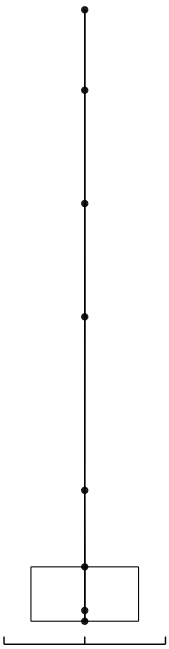


(4 次)

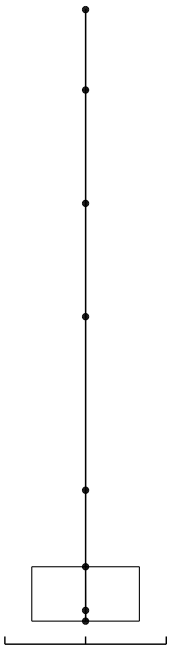
図 5-5　刺激関数(UD 方向, Sd-D, 1～4 次)



(5 次)



(6 次)

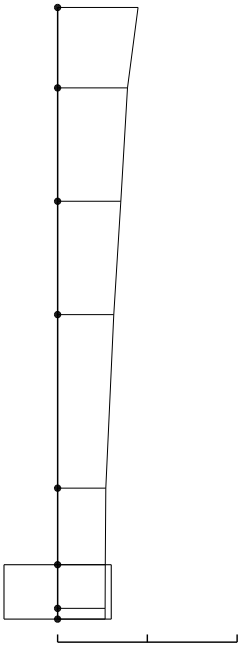


(7 次)

図 5-6　刺激関数(UD 方向, Sd-D, 5～7 次)

5.2 地震応答解析結果

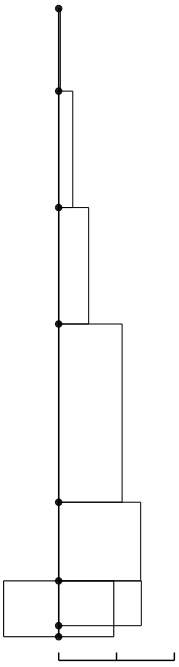
Sd-D による水平方向の最大応答加速度，最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを図 5-7 から図 5-12 に，鉛直方向の最大応答加速度及び最大応答軸力を図 5-13 及び図 5-14 に示す。また，耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値は，図 5-15 及び図 5-16 に示すとおり，弾性範囲内にある。



単位：cm/s^2

質点	Sd-D
1	672
2	584
3	528
4	470
5	403
6	398
7	397

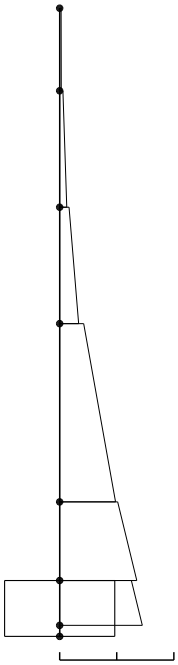
図 5-7　最大応答加速度（Sd-D，NS 方向）



単位：×10^4 kN

部材	Sd-D
1	0.29
2	2.43
3	5.18
4	10.96
5	14.18
6	14.29

図 5-8　最大応答せん断力（Sd-D，NS 方向）



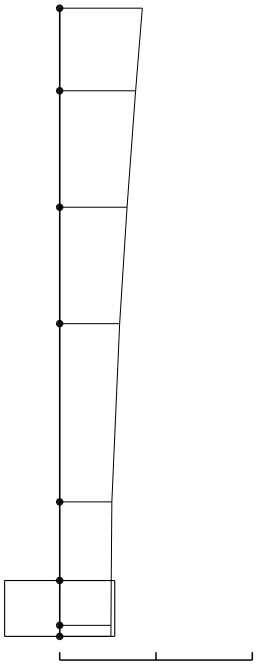
単位：×10^4 kN・m

部材	Sd-D
1	3.7 4.1
2	8.5 18.7
3	24.7 49.9
4	63.0 146.9
5	152.4 202.6
6	188.3 217.1

※底面地盤ばねKRの最大応答曲げモーメント：

213.6(×10^4 kN・m)

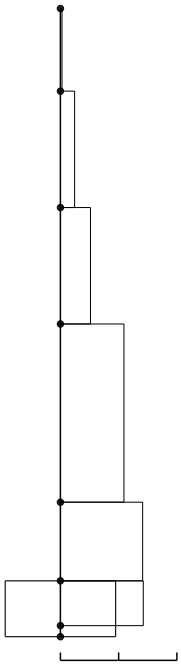
図 5-9　最大応答曲げモーメント（Sd-D，NS 方向）



単位：cm/s^2

質点	Sd-D
1	643
2	591
3	525
4	467
5	406
6	401
7	400

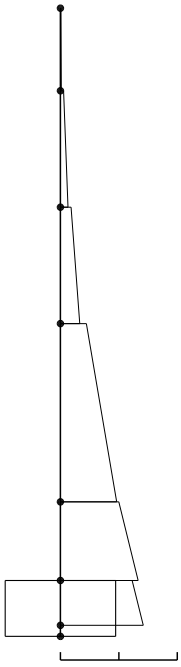
図 5-10　最大応答加速度（Sd-D，EW 方向）



単位：×10^4 kN

部材	Sd-D
1	0.27
2	2.45
3	5.17
4	10.91
5	14.12
6	14.23

図 5-11　最大応答せん断力（Sd-D，EW 方向）



単位：×10^4 kN・m

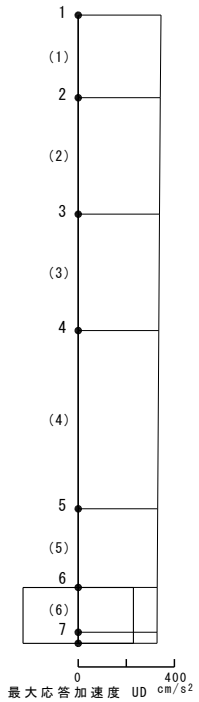
部材	Sd-D
1	1.3 2.3
2	8.1 19.4
3	27.4 49.6
4	66.6 144.4
5	149.9 199.5
6	184.0 212.7

※底面地盤ばねKRの最大応答曲げモーメント：

208.6(×10^4 kN・m)

図 5-12　最大応答曲げモーメント（Sd-D，EW 方向）

—— Sd-D

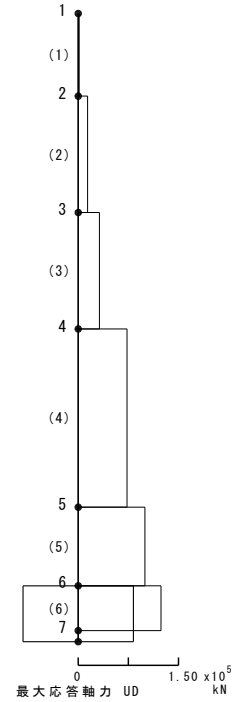


単位:cm/s^2

質点	Sd-D
1	344
2	341
3	338
4	335
5	331
6	328
7	328

図 5-13　最大応答加速度（Sd-D，UD 方向）

—— Sd-D



単位:×10^2 kN

部材	Sd-D
1	14.63 14.63
2	140.34 140.34
3	316.70 316.70
4	730.56 730.56
5	997.40 997.40
6	1,238.31 1,238.31

※底面地盤ばね KV の最大応答軸力：

1011.91(×10^2 kN)

図 5-14　最大応答軸力（Sd-D，UD 方向）

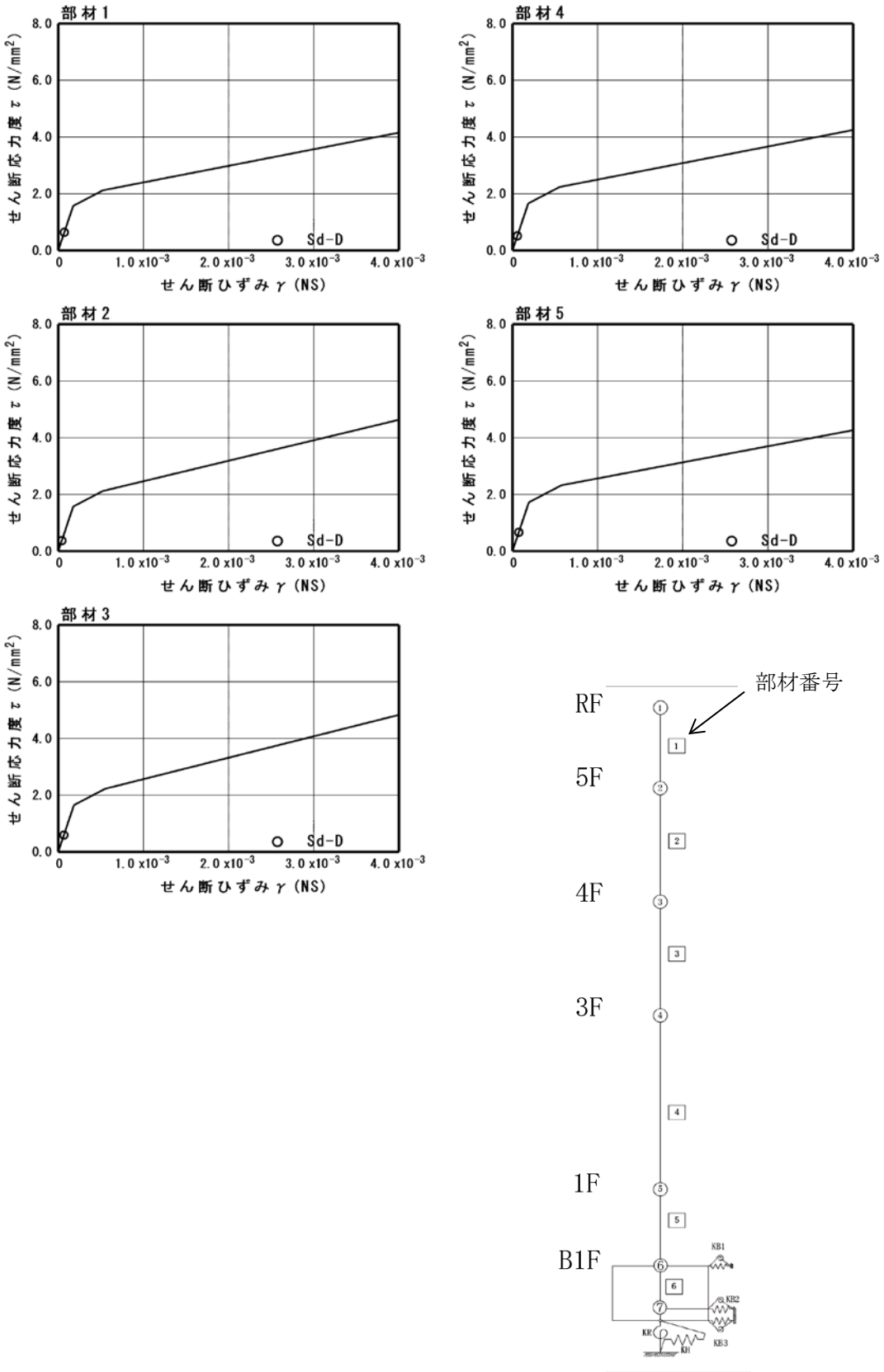


図 5-15　せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向，Sd-D)

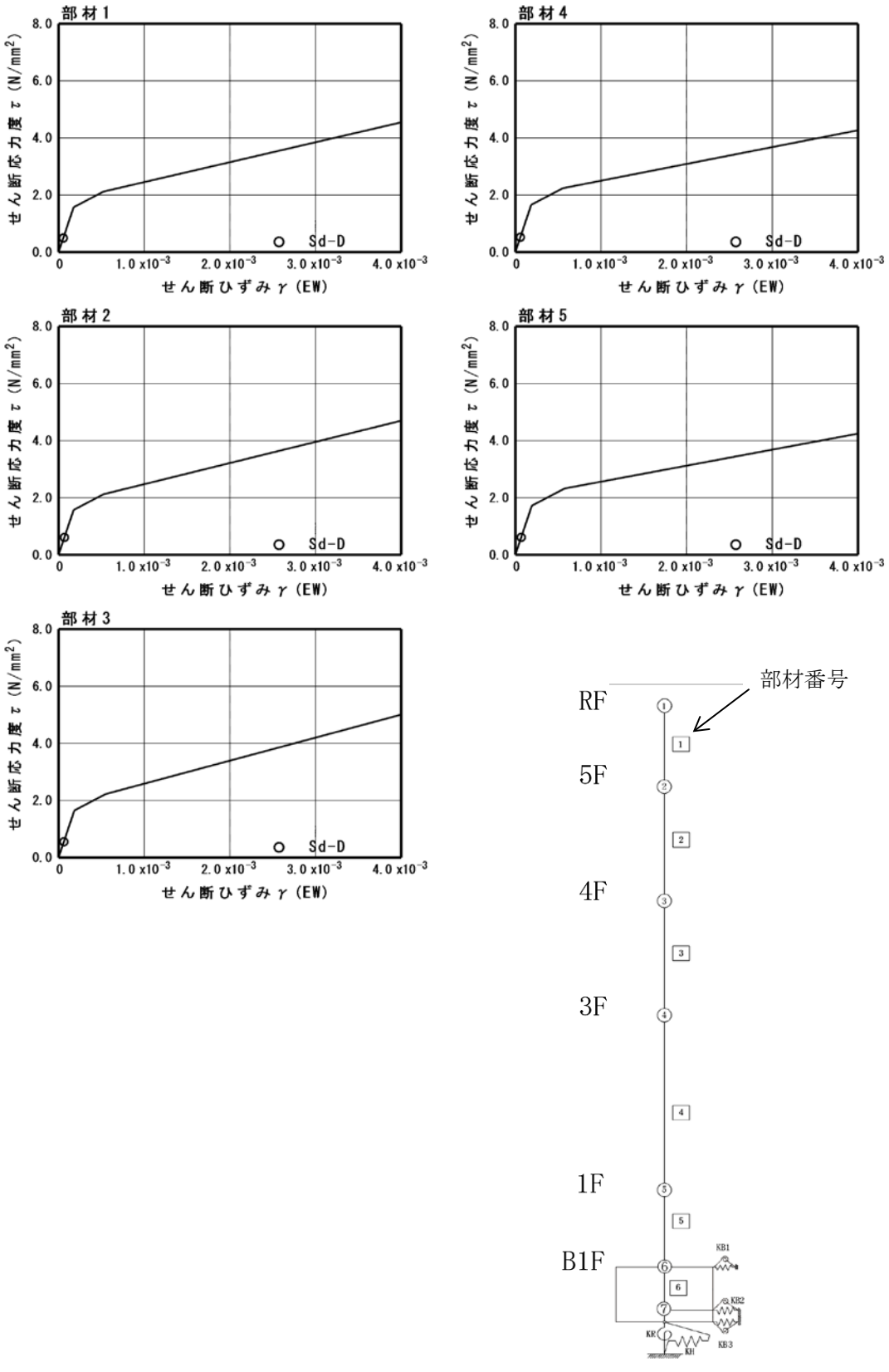


図 5-16　せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向，Sd-D)

6. 基礎浮き上がりの検討

最小接地率は,建家重量に津波による浸水により生じる浮力を考慮して算定する。Sd-D による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を表 6-1 に示す。

接地率は，浮き上がり非線形ばねを用いた地震応答解析を適用できる基準値(65 %以上)を満足していることを確認した。

表 6-1　最小接地率

(a)NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-D	1.71	2.14	81.8

(b)EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Sd-D	1.63	2.09	79.6

7. 評価結果

高放射性廃液貯蔵場(HAW)について，Sd-D による地震応答解析を行い，接地率が浮き上がり非線形ばねを用いた地震応答解析を適用できる基準値を満足していることを確認した。地震応答解析による応答値は，別添 6-1-3-2「Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価」及び「Ⅲ-2 設計津波に対する浸水防止設備（浸水防止扉）の強度評価」における余震荷重として用いる。

Ⅲ-1 設計津波に対する津波防護施設の強度評価

1. 概要

本資料は，別添 6-1-3-2「I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設の設計方針」に基づき，津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して，高放射性廃液貯蔵場（HAW）が構造強度・止水性を保持することを説明するものである。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）が建家であることから「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」※（以下「津波避難ビル等の指針」という。）に基づき強度評価を行う。

津波避難ビル等の指針に基づき，許容限界は終局耐力を基本とする。なお，建家外壁については，要求性能が止水性の確保であること及び津波後の再使用性を考慮し，許容限界を終局耐力から短期許容応力に読み替えて評価を行う。

※「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」－2011 年 11 月 17 日「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について（技術的助言）」（国住指第 2570 号）の別添

2. 一般事項

2.1 位置

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置を図 2-1 に示す。

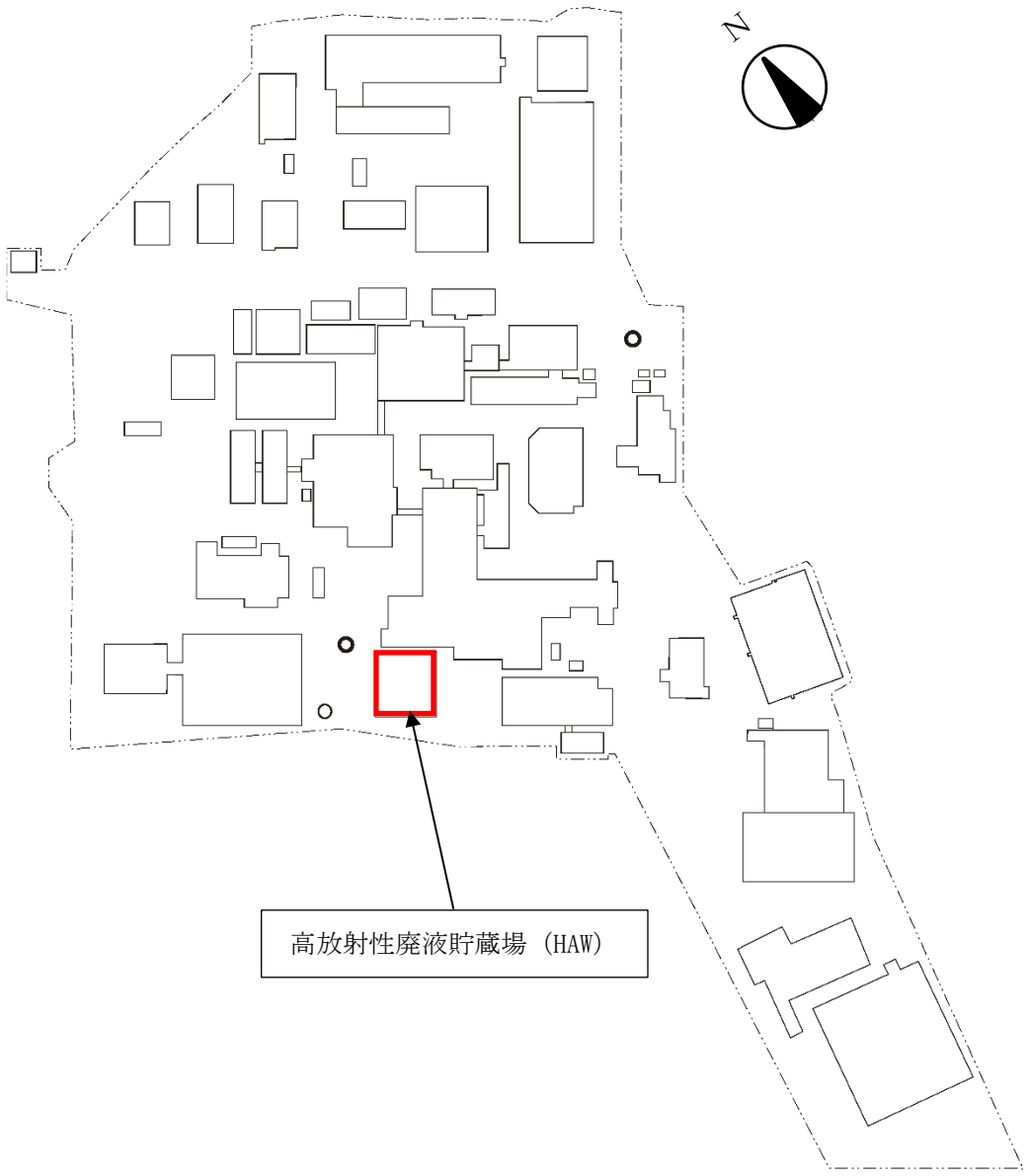


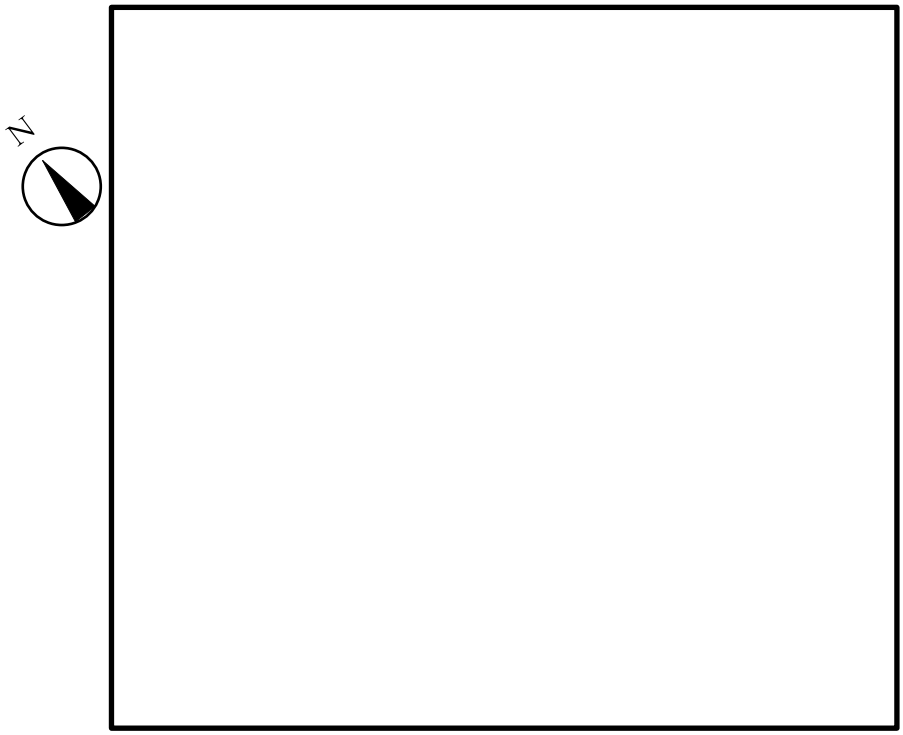
図 2-1　高放射性廃液貯蔵場（HAW）の位置

2.2 構造概要

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は，平面形状が [redacted] のほぼ正方形を成しており，地上高さ [redacted] の鉄筋コンクリート造の建家である。基礎は，べた基礎とし，基礎地盤である久米層（砂質泥岩）に設置されている。

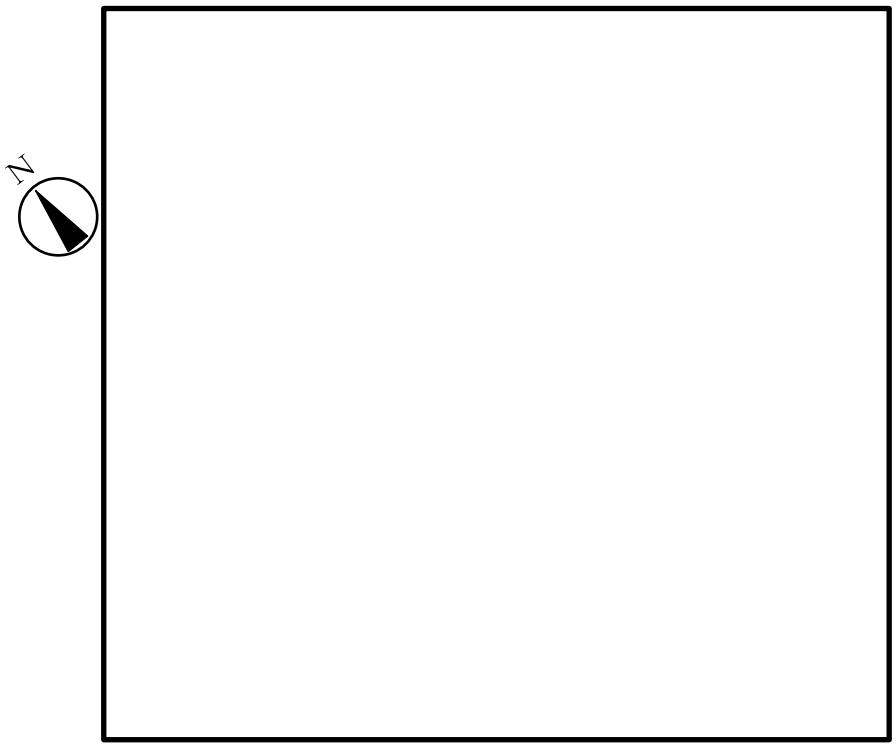
高放射性廃液貯蔵場（HAW）周辺において，地盤による拘束効果を高めるため，基礎地盤の深さまで地盤改良を実施する。

建家の代表的な平面図及び断面図を図 2-2 から図 2-5 に示す。



(壁厚の単位:mm)

図 2-2　高放射性廃液貯蔵場（HAW）平面図（地下 1 階）



(壁厚の単位：mm)

図 2-3　高放射性廃液貯蔵場（HAW）平面図（1 階）

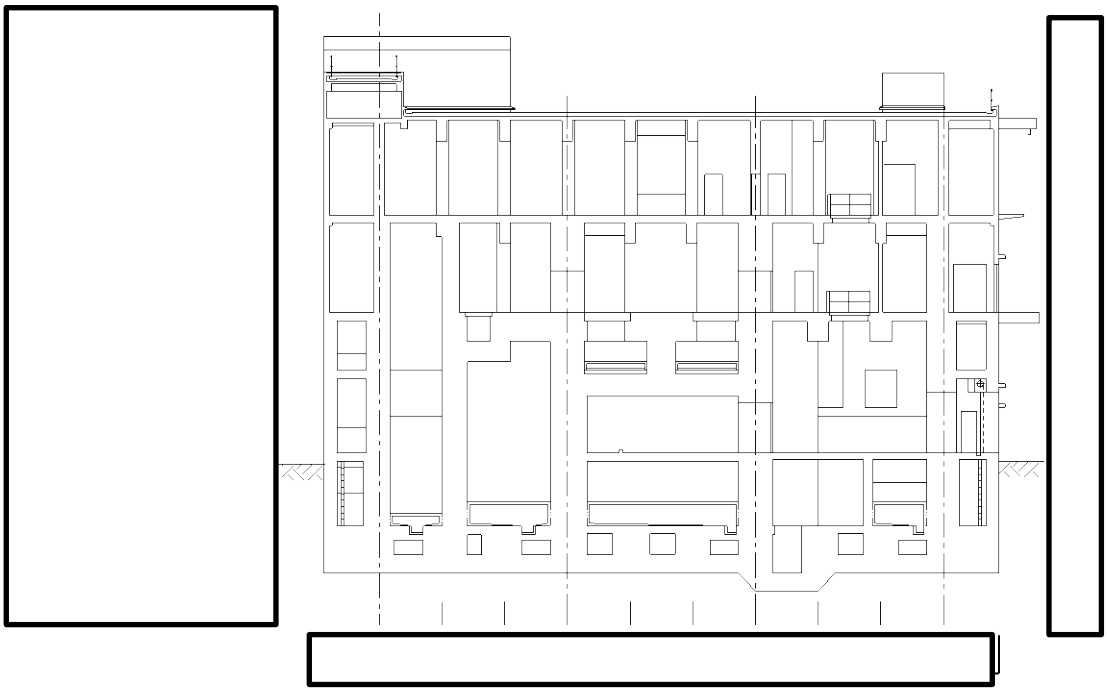


図 2-4　高放射性廃液貯蔵場（HAW）断面図（NS 断面）

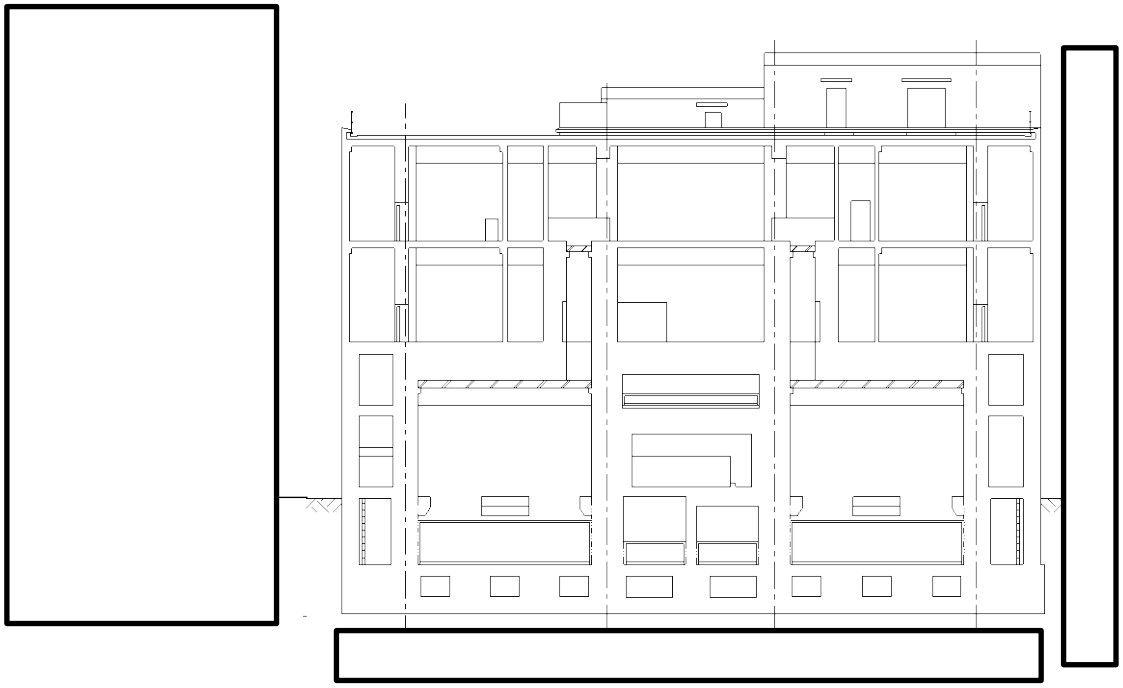


図 2-5　高放射性廃液貯蔵場（HAW）断面図（EW 断面）

2.3 評価方針

評価に当たっては「津波避難ビル等の指針」に基づき，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家及び基礎地盤が設計津波による津波荷重等を考慮した荷重に対して構造強度を有することを確認する。

また，別添 6-1-3-2「I 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の津波防護に関する施設の設計方針」に基づき，建家外壁が止水性を損なわないことを確認する。

評価項目を表 2-1 に示す。

表 2-1 評価項目

評価方針	評価項目	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	建家の健全性（保有水平耐力）	各階の層せん断力が，各階の許容限界以下であることを確認	保有水平耐力
	基礎地盤の支持性能（接地圧）	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力度
止水性を損なわないこと	部材の健全性（建家外壁）	発生応力（曲げﾓｰﾒﾝﾄ，せん断）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力

2.4 適用基準

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価において，適用する基準等を以下に示す。

(1) 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針（2011 年 11 月 17 日「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について(技術的助言)」(国住指第 2570 号)の別添)

(2) 津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料　第 673 号，平成 24 年）

(3) 建築基準法・同施行令

(4) 2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（建築行政情報センター・日本建築防災協会編集，2015 年）

(5) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，2018 年）

(6) 建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2015 年）

(7) 道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編，Ⅴ耐震設計編（日本道路協会，2017 年）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価の計算に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1　高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価計算に用いる記号（1/3）

記号	定義
h	波力算定用津波高さ：G.L.+6.1 m（T.P.+12.1 m）
α	水深係数
h′	浮力算定用津波高さ：G.L.+7.6 m（T.P.+13.6 m）
α_{SR}	最大応答水平加速度
P	漂流物衝突荷重
W_1	漂流物重量
V_1	流速
Qu	保有水平耐力
H	層せん断力を算定する対象階の下端の高さ
σ_u	極限支持力度
Ma	建家外壁の短期許容曲げモーメント
a_t	既存断面の引張鉄筋断面積
f_t	引張鉄筋の短期許容引張応力度
j	応力中心間距離（7/8d）
d	部材の有効せい
T	鉄筋コンクリート外壁の壁厚
d_t	引張縁から引張鉄筋重心までの距離
Q_{AS}	建家外壁の短期許容せん断力
b	壁幅
f_s	コンクリートの短期許容せん断応力度
$_wf_t$	せん断補強筋の短期許容引張応力度
p_w	せん断補強筋比
α'	せん断スパン比M/(Q･d)による割増係数
M	建家外壁に生じる曲げモーメント
Q	建家外壁に生じるせん断力
Q_T	各荷重の組合せによる層せん断力
E	余震による層せん断力

表 3-1　高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価計算に用いる記号（2/3）

記号	定義
P（z）	水深zにおける地震時動水圧
z	水面からの浸水深
ρ_o	海水の単位体積重量
k_h	水平震度
k	荷重増分係数
R	波力による層せん断力
h_T	水深係数（α）×波力算定用津波高さ（h）
x	G.L.±0 m からの高さ
w（x）	G.L.±0 m からの高さ x の位置での波圧
B（x）	G.L.±0 m からの高さ x の位置での受圧面の幅
σ	接地圧
B	建家幅
L	建家長さ
F	地反力
A	接地圧係数
e	偏心距離
Qz	浮力
W_B	建家総重量
Pv′	浸水時の動水圧による集中荷重
Mv′	浸水時の動水圧による転倒モーメント
Mv	余震による転倒モーメント
Fu	最大応答軸力
h_g	G.L.±0 m から基礎底面までの距離
Mt	波力による転倒モーメント
P′	波力による集中荷重
w	波圧
Mt′	漂流物衝突荷重による転倒モーメント
H_B	建家全高
Ms	三角形分布荷重による曲げモーメント
Me	等分布荷重による曲げモーメント

表 3-1　高放射性廃液貯蔵場（HAW）の強度評価計算に用いる記号（3/3）

記号	定義
l	壁高さ
h_1	G.L.±0 m から上階スラブ下端までの高さ
h_2	G.L.±0 m から対象階の床面上端までの高さ
h_3	h_2から平方根分布荷重の重心位置までの高さ
P_1	平方根分布荷重の合力
Ms'	平方根分布荷重による曲げモーメント
Qs'	平方根分布荷重によるせん断力
Qs	三角形分布荷重によるせん断力
Qe	等分布荷重によるせん断力
Me'	余震による曲げモーメント
w_3	余震による等分布荷重
Qe'	余震によるせん断力
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量
Mp	漂流物衝突荷重による曲げモーメント
Qp	漂流物衝突荷重によるせん断力
g	重力加速度
M_W	静水圧による曲げモーメント
Q_W	静水圧によるせん断力
M_W'	動水圧による曲げモーメント
Q_W'	動水圧によるせん断力
M_R	波力による曲げモーメント
Q_R	波力によるせん断力
W	動水圧による層せん断力

3.2 評価部位

(1) 保有水平耐力評価

保有水平耐力評価は，建家各階を評価対象とする。保有水平耐力評価の概念図を図 3-1 に示す。

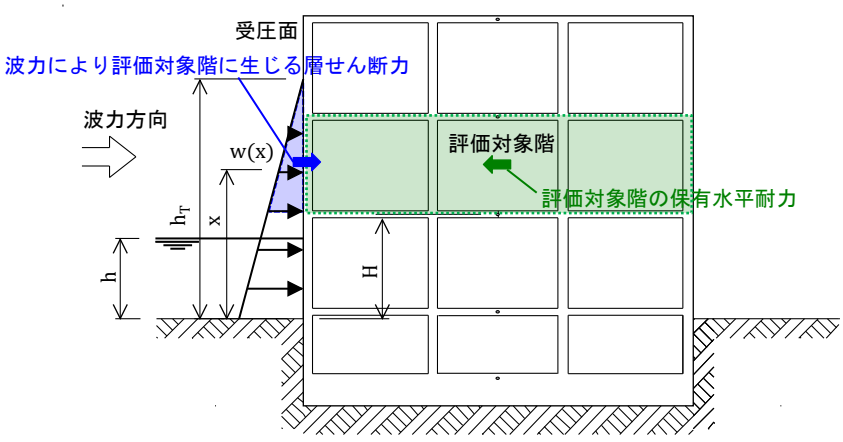


図 3-1　保有水平耐力評価の概念図

(2) 接地圧の評価

接地圧の評価は，建家を支持する基礎地盤を評価対象とする。接地圧の評価の概念図を図 3-2 に示す。

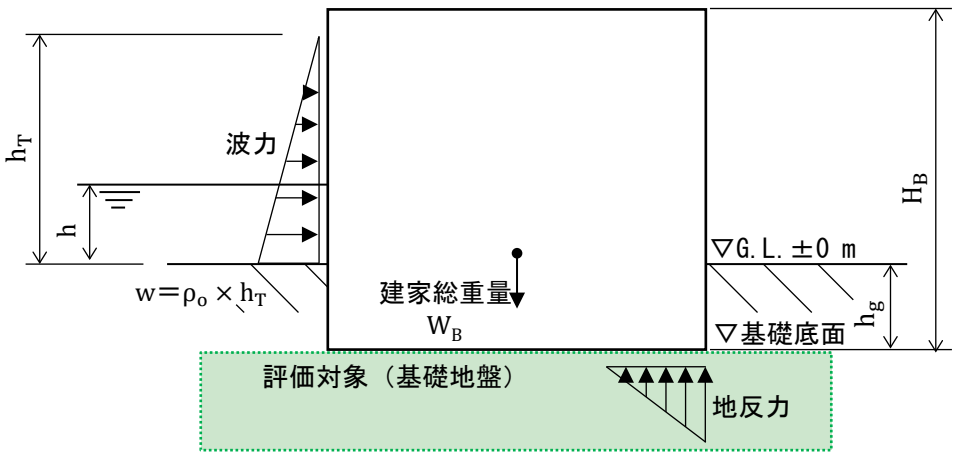


図 3-2　接地圧の評価の概念図

(3) 建家外壁の健全性評価

建家外壁の健全性評価は，図 3-3 に示す波力算定用津波高さ G.L.+6.1 m（T.P.+12.1 m）以下の外壁を評価対象とする。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁は，地下階から地上 2 階まで同厚・同配筋で構成されており，波力は下階の方が大きいため，1 階の無開口壁（A-1）を評価対象とする。また，開口部の波力は開口部横の壁が負担するため，開口部横の壁（B-1,B-2）を別途評価対象とする。

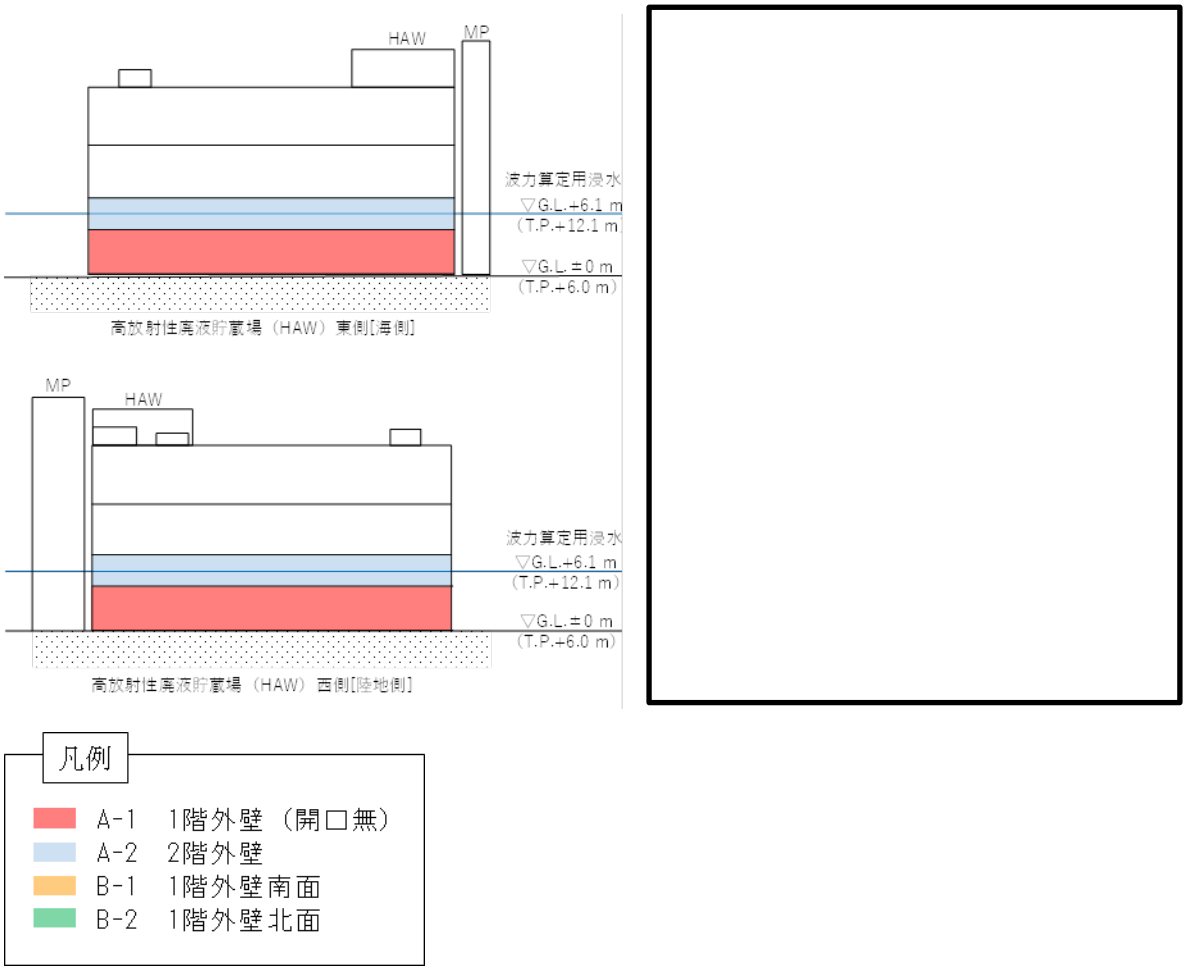


図 3-3 評価対象とする外壁

3.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

① 津波による波力（P_R）

津波による波力については，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の地表面から波力算定用津波高さ h※1 までの高さを考慮して算定する。算定に当たっては，静水圧及び動水圧の影響として水深係数α＝3.0※2 を考慮する。

② 津波浸水時の浮力（P_Q）

津波浸水時の浮力については，高放射性廃液貯蔵場（HAW）における基礎底面から浮力算定用津波高さh′※1 までの高さを考慮して算定する。

③ 津波浸水時の水圧（P_W，P_W'）

津波浸水時の水圧については，高放射性廃液貯蔵場（HAW）における地表面から浮力算定用津波高さh′※1 までの高さによる静水圧（P_W）及び動水圧（余震時）（P_W' ）を考慮する。

④ 余震による荷重（P_E）

余震による荷重として，別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」の応答値（加速度，せん断力，転倒モーメント，最大応答軸力）による慣性力を考慮する。

⑤ 漂流物衝突荷重（P_P）

津波漂流物防護柵をすり抜ける可能性がある漂流物として，防砂林（0.55 t の流木）※3 を想定する。流木は，津波漂流物防護柵への衝突等によりエネルギーを失った後に，高放射性廃液貯蔵場(HAW)の建家外壁等に到達すると考えられる。このため，流木等が河川の橋脚に衝突する状況を想定した衝突力を評価する「道路橋示方書・同解説 Ⅰ共通編，Ⅴ耐震設計編」（以下「道路橋示方書」という。）の算定式に基づく荷重を考慮する。

⑥ 風荷重

風荷重については，建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号）の規定に基づき組合せを考慮しない。

⑦ 積雪荷重

積雪荷重については，建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号）の規定に基づき特定行政庁が指定する区域に該当しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは,「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を参考として,津波到達時に生じる津波による波力と余震による荷重及び津波による波力と漂流物衝突荷重の同時作用を考慮する。上記 2 ケースに加えて，津波到達後，建家の周囲が浸水することから，浸水時の浮力と余震による荷重及び水圧の同時作用を考慮する。

表 3-2 に荷重の組合せ，表 3-3 に荷重算定条件を示す。

① ケース 1（浮力+余震+水圧，$P_Q + P_E + P_W + P_W'$）

津波到達後，高放射性廃液貯蔵場（HAW）の周囲が浸水した状況において，余震が発生することを想定する。外力として津波浸水時の浮力と静水圧，動水圧（余震時）及び余震による慣性力を同時に作用させる。静水圧（P_W）は，建家両側から作用するため，保有水平耐力と接地圧の評価時は考慮しない。

② ケース 2（波力+余震，$P_R + P_E$）

津波到達時に，余震が発生することを想定する。外力として津波による波力と余震による慣性力を同時に作用させる。地下水位による浮力を考慮する。

③ ケース 3（波力+漂流物衝突荷重，$P_R + P_P$）

津波到達時に，漂流物が衝突することを想定する。外力として津波による波力と漂流物衝突荷重を同時に作用させる。地下水位による浮力を考慮する。

表 3-2　荷重の組合せ

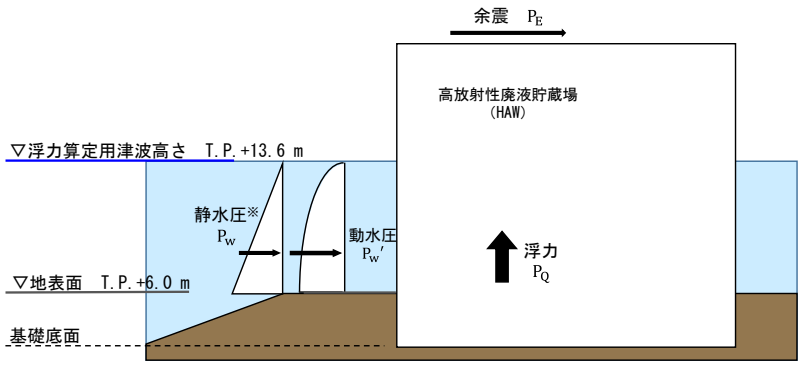
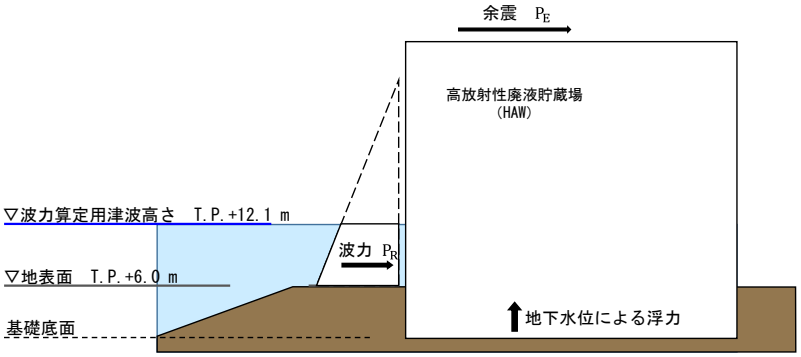
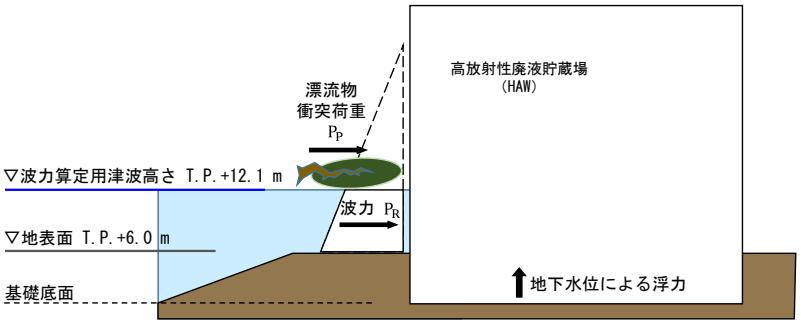
荷重の組合せ	
ケース 1 （浮力+余震+水圧， $P_Q + P_E + P_w + P_w'$ ） 津波到達後，建家周囲が浸水した状況において，余震が発生することを想定する。	 ※静水圧は建家両側から作用するため，保有水平耐力と接地圧の評価時は考慮しない。
ケース 2 （波力+余震，$P_R + P_E$） 津波到達時，余震が発生することを想定する。	
ケース 3 （波力+漂流物衝突荷重， $P_R + P_P$） 津波到達時，漂流物が衝突することを想定する。	

表 3-3　荷重算定条件

荷重の組合せ	評価項目	荷重算定条件
ケース 1 （浮力+余震+水圧， $P_Q + P_E + P_w + P_w'$ ）	建家の健全性 （保有水平耐力）	○浮力 浮力算定用津波高さ：T.P.+13.6 m※1 海水の単位体積重量：10.1 kN/m^3 ○余震（Sd-D） 水平加速度（α_{SR}）：5.0 m/s^2※4 ○水圧 浮力算定用津波高さ：T.P.+13.6 m※1 水平震度（k_h）：0.5※4
	基礎地盤の支持性能 （接地圧）	
	部材の健全性 （建家外壁）	
ケース 2 （波力+余震，$P_R + P_E$）	建家の健全性 （保有水平耐力）	○波力 波力算定用津波高さ：T.P.+12.1 m※1 海水の単位体積重量：10.1 kN/m^3 ○余震（Sd-D） 水平加速度（α_{SR}）：5.0 m/s^2※4
	基礎地盤の支持性能 （接地圧）	
	部材の健全性 （建家外壁）	
ケース 3 （波力+漂流物衝突荷重， $P_R + P_P$）	建家の健全性 （保有水平耐力）	○波力 波力算定用津波高さ：T.P.+12.1 m※1 海水の単位体積重量：10.1 kN/m^3 ○漂流物 代表漂流物：0.55 t の流木※3 算定式：道路橋示方書 $P = 0.1 \times W_1 \times V_1 =$ 2.8 kN W_1：流送物の重量 （漂流物重量）5.4 kN V_1：表面流速 5.2 m/s※1
	基礎地盤の支持性能 （接地圧）	
	部材の健全性 （建家外壁）	

※1　別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」
　　浮力算定用津波高さ：入力津波の最高水位
　　波力算定用津波高さ：進行波による津波高さ

※2　津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料第 673 号，平成 24 年）

※3　船舶や車両等の大型の漂流物に対しては，津波漂流物防護柵の設置等の対策により捕捉し，建家外壁への到達を防止する。流木や瓦礫等の比較的小型の漂流物は，建家外壁に到達することを考慮する。別添 6-1-3-1「Ⅴ 漂流可能性のある漂流物の選定　3.2 津波防護施設において考慮すべき代表漂流物」

※4　別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」

3.4 許容限界

(1) 使用材料

許容限界は「津波避難ビル等の指針」に基づき，終局耐力を基本とする。なお，建家外壁の許容限界については，要求機能が止水性の確保であること及び津波後の再使用性を考慮して短期許容応力とする。

強度評価に用いる使用材料は既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その 25）」に基づき設定する。使用材料を表 3-4 に示す。

表 3-4　使用材料

使用材料	短期許容応力度
コンクリート 設計基準強度：Fc20.6 N/mm²（Fc210 kgf/cm²）	せん断 1.03 N/mm²
鉄筋 SD30（F = 3000 kgf/cm²）	引張 295 N/mm²

(2) 保有水平耐力

既往の「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その 25）」の保有水平耐力（Qu）を表 3-5 に示す。

表 3-5　保有水平耐力

方向	高さ H（m）	階	保有水平耐力 Qu（kN）
NS		5	7443
		4	142716
		3	203390
		1	433846
		B1	433846
EW		5	8738
		4	94624
		3	201605
		1	415871
		B1	415871

(3) 接地圧の評価の極限支持力度

極限支持力度は，基礎地盤における平板載荷試験（「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その 25）」）に基づき長期許容支持力度80 tf/m^2とし，「国土交通省告示第 1113 号：平成 13 年 7 月 2 日（最終改訂　平成 19 年 9 月　告示第 1232 号）」に基づき 3 倍して算定した。

極限支持力度（σ_u）を表 3-6 に示す。

表 3-6　極限支持力度

評価項目	極限支持力度σ_u（kN/m^2）
接地圧	2350

(4) 建家外壁の短期許容応力

建家外壁の許容限界は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき算定する。

短期許容曲げモーメント（Ma）及び短期許容せん断力（Q_{AS}）の算定式を以下に示す。

$$Ma = a_t \, f_t \, j$$

M_a ：短期許容曲げモーメント

a_t ：既存断面の引張鉄筋断面積

f_t ：引張鉄筋の短期許容引張応力度

j ：応力中心間距離（7/8d）

d ：部材の有効せい

$$d = T - d_t$$

T ：鉄筋コンクリート外壁の壁厚

d_t ：引張縁から引張鉄筋重心までの距離

$$Q_{AS} = bj\left\{\frac{2}{3}\alpha' f_s + 0.5 \, {}_w f_t (p_w - 0.002)\right\}$$

ただし，$\alpha' = \left(\frac{4}{\frac{M}{Qd}+1}\right)$ かつ $\left(1 \leqq \alpha' \leqq 2\right)$

Q_{AS} ：短期許容せん断力

b ：壁幅

f_s ：コンクリートの短期許容せん断応力度

${}_w f_t$ ：せん断補強筋の短期許容引張応力度

p_w ：せん断補強筋比

α' ：せん断スパン比$M/(Q \cdot d)$による割増係数

M ：建家外壁に生じる曲げモーメント

Q ：建家外壁に生じるせん断力

3.5 評価方法

(1) 保有水平耐力評価

各荷重の組合せによる層せん断力を算定し,既往の設計及び工事の方法の認可「再処理施設に関する設計及び工事の方法（その 25）」に基づく保有水平耐力（Qu）と比較する。

① ケース1（浮力+余震+水圧）

a. 余震による層せん断力

余震による層せん断力は，別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」において算定した，各階の最大応答せん断力を用いる。

b. 動水圧による層せん断力

動水圧は道路橋示方書を参考として，ウエスタガードの補正式に基づいて算定する。水平震度k_hは別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」において算定した，浮力算定用津波高さ以下の最大応答加速度（質点 4：470 cm/s^2）を保守的に 0.5 とする。

$$W = \int_0^{h'-H} P(z)\,dz \times B$$

$$P(z) = \frac{7}{8}\rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot z}$$

W　：動水圧による層せん断力

P（z）：水深zにおける地震時動水圧

ρ_0　：海水の単位体積重量

k_h　：水平震度

h′　：浮力算定用津波高さ

H　：層せん断力を算定する下端の高さ

z　：水面からの浸水深

B　：建家幅（NS 評価時）

※ EW 評価時はL：建家長さを用いる。

② ケース2（波力+余震）

余震による層せん断力は「①ケース 1（浮力+余震+水圧）a. 余震による層せん断力」と同様に用いる。

a. 波力による層せん断力

波力による層せん断力（R）は，「津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料第673号，平成24年）」により算定する。

算定の考え方を図3-4に示す。

$$R = \int_{H}^{h_T} w\ (x)\ \times B\ (x)\ dx$$

R　：波力による層せん断力

h_T　：水深係数（α）× 波力算定用津波高さ（h）

H　：層せん断力を算定する対象階の下端の高さ
（地震応答解析モデルの質点高さに合わせる）

x　：G.L. ±0 m からの高さ

w（x）：G.L. ±0 m からの高さxの位置での波圧

$$w\ (x)\ = \rho_o\ (h_T - x)$$

B（x）：G.L. ±0 m からの高さxの位置での受圧面の幅

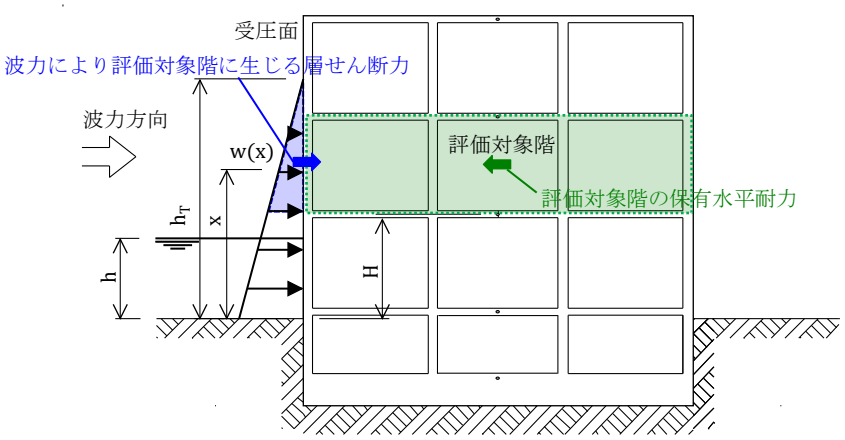


図 3-4　波力による層せん断力算定の考え方

③　ケース3（波力+漂流物衝突荷重）

波力による層せん断力は「②ケース2（波力+余震）a.波力による層せん断力」と同様に算定する。

a.　漂流物衝突荷重による層せん断力

漂流物衝突荷重は，「道路橋示方書」により算定する。

$$P = 0.1 \times W_1 \times V_1$$

P　　：漂流物衝突荷重

W_1　：流送物の重量（漂流物重量）

V_1　：表面流速

漂流物衝突荷重は，保守的に全ての階に作用させ，層せん断力を算定する。

(2) 接地圧の評価

接地圧の評価は，各荷重の組合せによる接地圧（σ）を算定し，極限支持力度（σ_u）と比較する。

接地圧は下式により算定する。

$\sigma = A \cdot F / (B \cdot L)$

σ ：接地圧

B ：建家幅

L ：建家長さ

F ：地反力

A ：接地圧係数

偏心率 e/L が 1/6 以下の場合（$e/L \leqq 1/6$）

$A = 1 + 6e/L$

偏心率 e/L が 1/6 より大きい場合（$e/L > 1/6$）

$A = 2/\{3 \times (0.5 - e/L)\}$

e ：偏心距離

① ケース1（浮力+余震+水圧）

余震による荷重は，別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」において算定した，転倒モーメント及び最大応答軸力を用いる。余震の水平慣性力と鉛直慣性力は組合せ係数法に従い，水平 1.0，鉛直 0.4 で組み合わせる。鉛直力に対しては，上向きに作用した場合と下向きに作用した場合について検討する。

浸水時の動水圧による集中荷重は，道路橋示方書のウエスタガードの補正式に基づいて算定する。

算定の考え方を図 3-5 に示す。

$e = (Mv' + Mv) / F$

Mv ：余震による転倒モーメント

Mv′：浸水時の動水圧による転倒モーメント

F ：地反力

$$Mv' = Pv' \cdot \left(2/5 \cdot h' + h_g\right)$$

$$Pv' = \frac{7}{12}\rho_0 k_h h' \times B^{※}$$

Pv' ：浸水時の動水圧による集中荷重

ρ_0 ：海水の単位体積重量

k_h ：水平震度

h' ：浮力算定用津波高さ

h_g ：G.L. ±0 m から基礎底面までの距離

B ：建家幅（NS 評価時）

※ EW 評価時は L：建家長さを用いる。

地反力Fの算定式

上向き：水平 $-0.4 \times$ 鉛直の地反力計算

$$F = W_B - Qz - 0.4 \times Fu$$

下向き：水平 $+0.4 \times$ 鉛直の地反力計算

$$F = W_B - Qz + 0.4 \times Fu$$

W_B ：建家総重量

Qz ：浮力（津波浸水時）

Fu ：最大応答軸力

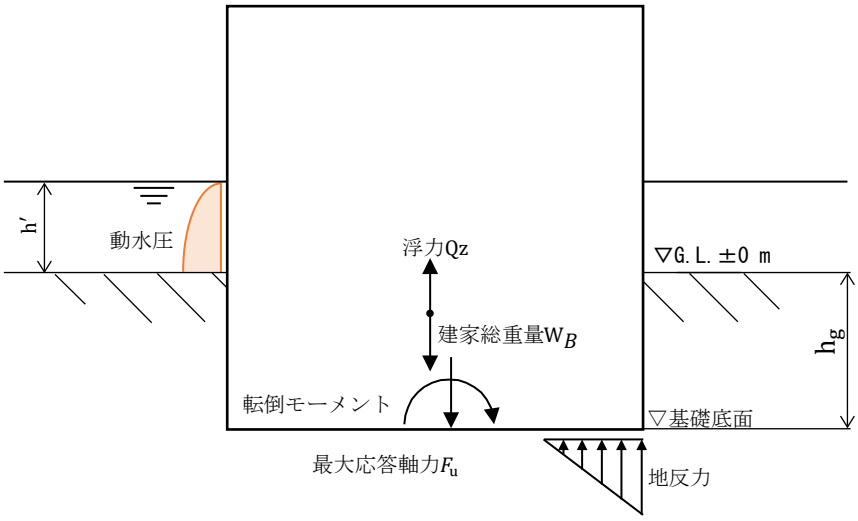


図 3-5　接地圧の評価：ケース 1（浮力+余震+水圧）の考え方

② ケース2（波力+余震）

余震による転倒モーメント，最大応答軸力及び水平慣性力と鉛直慣性力の組合せ係数法はケース 1（浮力+余震+水圧）と同様に考慮する。

地下水位による浮力を考慮し，波力と余震は，保守的に同じ方向に作用するものとする。

算定の考え方を図 3-6 に示す。

$e = (Mt + Mv)/F$

Mv ：余震による転倒モーメント

Mt ：波力による転倒モーメント

F ：地反力

$Mt = P' \cdot (h_T/3 + h_g)$

$h_T/3$ ：波力の作用位置

P' ：波力による集中荷重

$P' = w \cdot B \cdot h_T/2$

w ：波圧

$w = \rho_o \cdot h_T$

地反力Fの算定式

上向き：水平 $-0.4 \times$ 鉛直の地反力計算

$F = W_B - Qz - 0.4 \times Fu$

下向き：水平 $+ 0.4 \times$ 鉛直の地反力計算

$F = W_B - Qz + 0.4 \times Fu$

W_B ：建家総重量

Qz ：浮力（地下水位）

Fu ：最大応答軸力

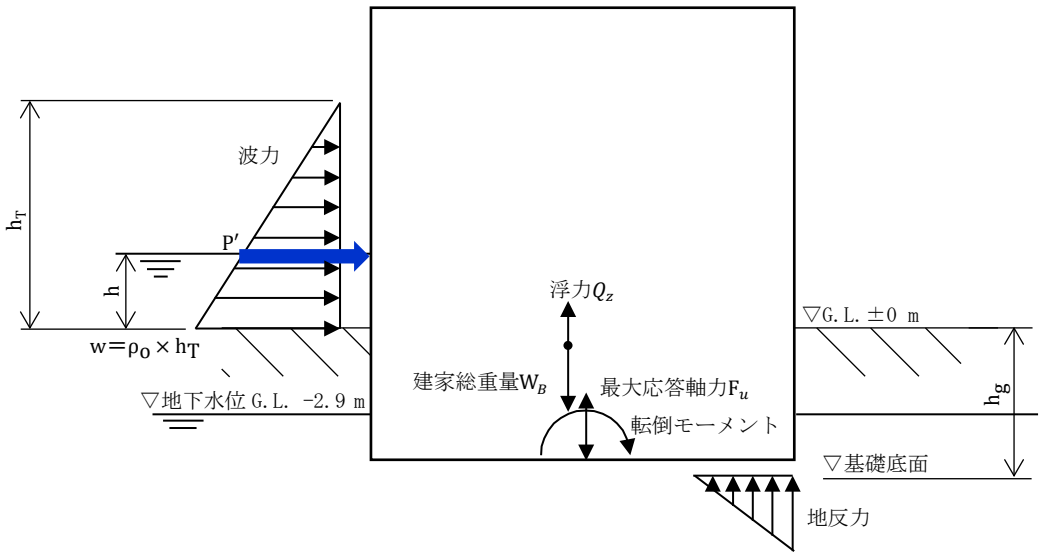


図 3-6　接地圧の評価：ケース 2（波力+余震）の考え方

③　ケース3（波力+漂流物衝突荷重）

波力による転倒モーメント及び地下水位による浮力はケース 2（波力+余震）と同様に考慮する。

漂流物衝突荷重は，保守的に津波と同じ方向に作用するものとし，衝突する箇所（荷重が作用する箇所）は，対象とする建家の最上階位置に作用するものと仮定する。

算定の考え方を図 3-7 に示す。

$e = (Mt + Mt') / F$

Mt ：波力による転倒モーメント

Mt'：漂流物衝突荷重による転倒モーメント

$Mt' = P \cdot H_B$

P ：漂流物衝突荷重

H_B ：建家全高

F ：地反力

地反力 F の算定式

$F = W_B - Qz$

W_B ：建家総重量

Qz ：浮力（地下水位）

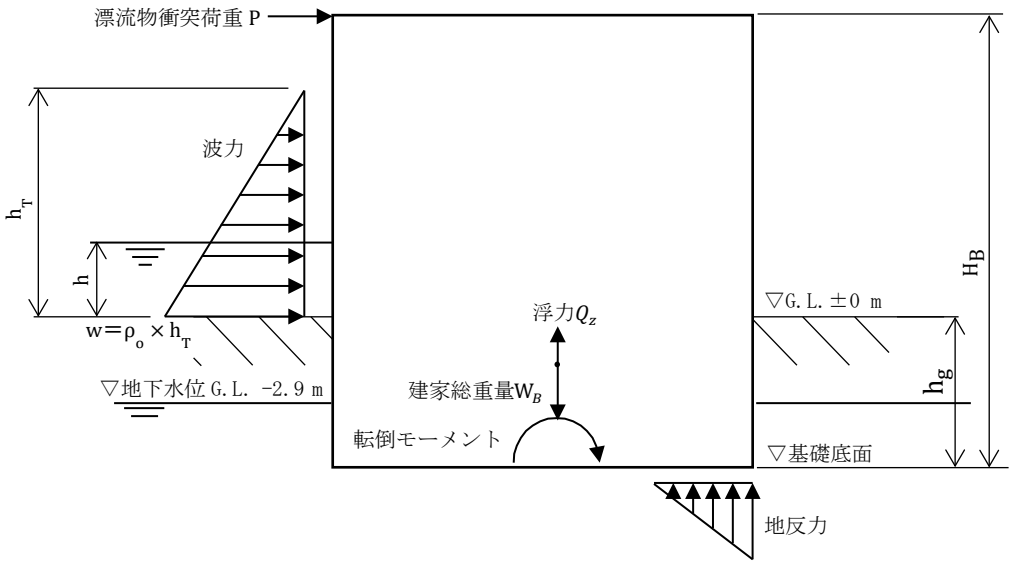


図 3-7　接地圧の評価：ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）の考え方

(3) 建家外壁の健全性評価

建家外壁は上下階のスラブで拘束されているため，両端固定の一方向版として検討することとし，単位幅による評価を基本とする。

各荷重の組合せに対して，対象とする建家外壁に生じる応力を算定し，短期許容曲げモーメント（Ma）と，短期許容せん断力（Q_{AS}）との比較を行う。

① ケース1（浮力+余震+水圧）

a. 余震の慣性力による応力

余震の慣性力による応力は下式により算定する。

余震による曲げモーメントMe′

$$Me'（中央）= \frac{w_3 \cdot l^2}{24}$$

$$Me'（下端）= \frac{w_3 \cdot l^2}{12}$$

余震によるせん断力 Qe’

$$Qe' = \frac{w_3 \cdot l}{2}$$

w_3 ：余震による荷重

$$w_3 = \frac{\rho \cdot T \cdot \alpha_{SR}}{g}$$

ρ ：鉄筋コンクリートの単位体積重量

T ：鉄筋コンクリート外壁の壁厚

α_{SR} ：最大応答加速度

l ：壁高さ

g ：重力加速度

b.　津波浸水時の静水圧による応力

津波浸水時の静水圧による応力算定の考え方を図3-8に示す。台形分布荷重を三角形分布荷重と等分布荷重の応力の足し合わせにより求める。算定式を以下に示す。

静水圧による曲げモーメントM_W

$M_W = Ms + Me$

Ms ：三角形分布荷重による曲げモーメント

Me ：等分布荷重による曲げモーメント

三角形分布荷重による曲げモーメント算定式

$$Ms\ （中央）\ = 0.043l\left\{\rho_o \frac{l^2}{2}\right\}$$

$$Ms\ （下端）\ = \frac{l}{10}\left\{\rho_o \frac{l^2}{2}\right\}$$

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$Me\ （中央）\ = \rho_o(h' - h_1)\frac{l^2}{24}$$

$$Me\ （下端）\ = \rho_o(h' - h_1)\frac{l^2}{12}$$

静水圧によるせん断力Q_W

$$Q_W = Qs + Qe$$

Qs ：三角形分布荷重によるせん断力

Qe ：等分布荷重によるせん断力

三角形分布荷重によるせん断力算定式

$$Qs = \frac{7}{10}\left\{\rho_o \frac{l^2}{2}\right\}$$

等分布荷重によるせん断力算定式

$$Qe = \rho_o(h' - h_1)\frac{l}{2}$$

l ：壁高さ

h_1 ：G.L.±0 m から上階のスラブ下端までの高さ

h' ：浮力算定用津波高さ

ρ_o ：海水の単位体積重量

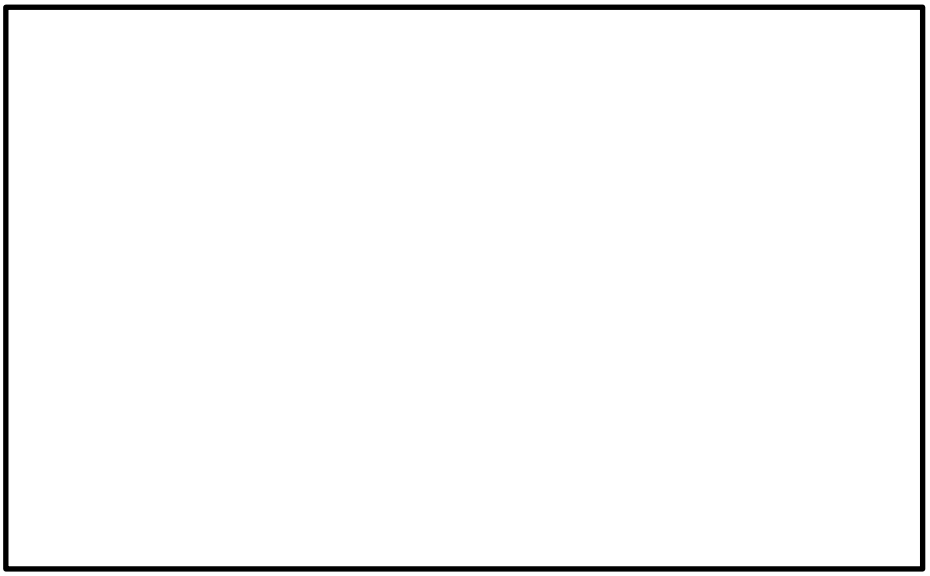


図 3-8　建家外壁の津波浸水時の静水圧による応力算定の考え方

c. 津波浸水時の動水圧による応力

津波浸水時の動水圧による応力算定の考え方を図3-9に示す。算定式を以下に示す。

動水圧による曲げモーメントM_W'

$$M_W' = Ms' + Me$$

Ms'：平方根分布荷重による曲げモーメント

Me'：等分布荷重による曲げモーメント

平方根分布荷重による曲げモーメント算定式

$$Ms'（中央）= 2 \cdot P_1 \cdot h_3^2 \cdot （l - h_3）^2 / l^3$$

$$Ms'（下端）= P_1 \cdot h_3 \cdot （l - h_3）^2 / l^2$$

Ms'（中央）：中央の平方根分布荷重による曲げモーメント

Ms'（下端）：下端の平方根分布荷重による曲げモーメント

$$P_1 = \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h'} \times \int_{h'-h_1}^{h'-h_2} （\sqrt{z} - \sqrt{h' - h_1}） dz$$

P_1　：平方根分布の合力

l　：壁高さ

h_3　：h_2から平方根分布荷重の重心位置までの高さ

（l = 3.99 m の場合，h_3 = 1.37 m）

（l = 4.19 m の場合，h_3 = 1.44 m）

ρ_o　：海水の単位体積重量

k_h　：水平震度

h'　：浮力算定用津波高さ

h_2　：G.L.±0 m から対象階の床面上端までの高さ

z　：水面からの浸水深

h_1　：G.L.±0 m から上階のスラブ下端までの高さ

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$Me（中央）= \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot （h' - h_1）} \times \frac{l^2}{24}$$

$$Me（下端）= \frac{7}{8} \rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot （h' - h_1）} \times \frac{l^2}{12}$$

動水圧によるせん断力Q_W'

$Q_W' = Qs + Qe$

Qs ：平方根分布荷重によるせん断力

Qe ：等分布荷重によるせん断力

平方根分布荷重によるせん断力算定式

$Qs = P_1 \cdot （l - h_3）^2 \cdot （2 \cdot h_3 + l）/l^3$

等分布荷重によるせん断力算定式

$$Qe = \frac{7}{8}\rho_0 k_h \sqrt{h' \cdot （h' - h_1）} \times \frac{l}{2}$$

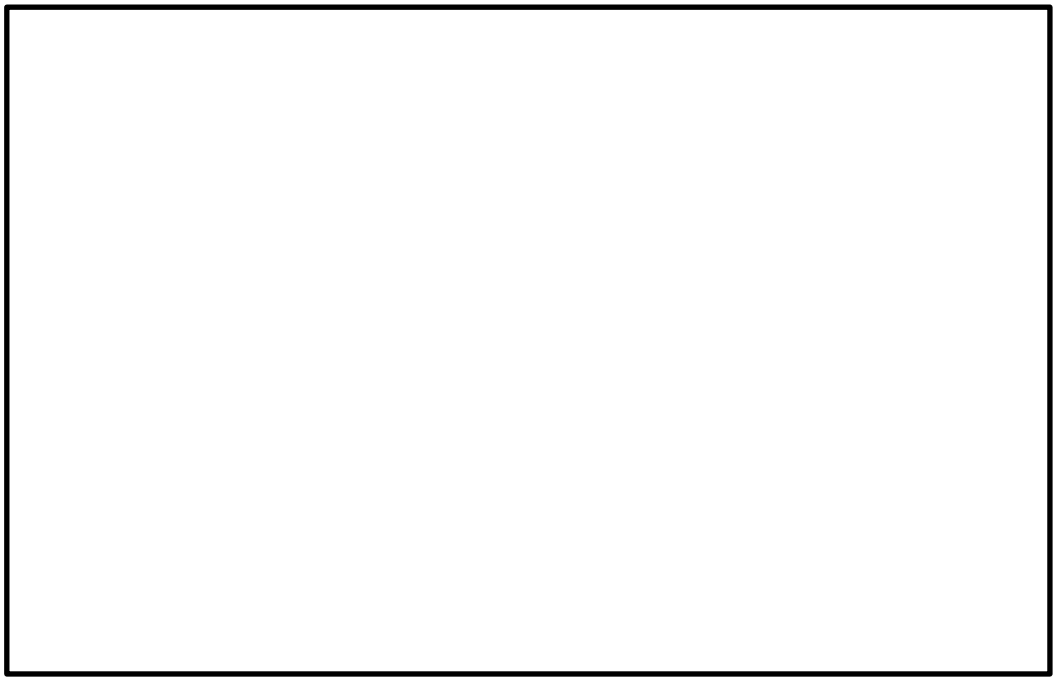


図 3-9　建家外壁の津波浸水時の動水圧による応力算定の考え方

② ケース2（波力+余震）

余震による応力は「①ケース１（浮力+余震+水圧）a．余震の慣性力による応力」と同様に算定する。

a. 波力による応力

波力による曲げモーメント及びせん断力の算定の考え方を，図3-10に示す。台形分布荷重を，三角形分布荷重と等分布荷重の応力の足し合わせにより求める。算定式を以下に示す。

波力による曲げモーメントM_R

$$M_R = Ms + Me$$

Ms ：三角形分布荷重による曲げモーメント

Me ：等分布荷重による曲げモーメント

三角形分布荷重による曲げモーメント算定式

$$Ms\ （中央）\ = 0.043l\left\{\rho_o \frac{l^2}{2}\right\}$$

$$Ms\ （下端）\ = \frac{l}{10}\left\{\rho_o \frac{l^2}{2}\right\}$$

等分布荷重による曲げモーメント算定式

$$Me\ （中央）\ = \rho_o(h_T - h_1)\frac{l^2}{24}$$

$$Me\ （下端）\ = \rho_o(h_T - h_1)\frac{l^2}{12}$$

波力によるせん断力Q_R

$$Q_R = Qs + Qe$$

Qs ：三角形分布荷重によるせん断力

Qe ：等分布荷重によるせん断力

三角形分布荷重によるせん断力算定式

$$Qs = \frac{7}{10}\left\{\rho_o \frac{l^2}{2}\right\}$$

等分布の荷重によるせん断力算定式

$$Qe = \rho_o(h_T - h_1)\frac{l}{2}$$

l ：壁高さ

h_1 ：G.L.±0ｍから上階スラブ下端までの高さ

h_T ：水深係数（α）×波力算定用津波高さ（h）

ρ_o ：海水の単位体積重量

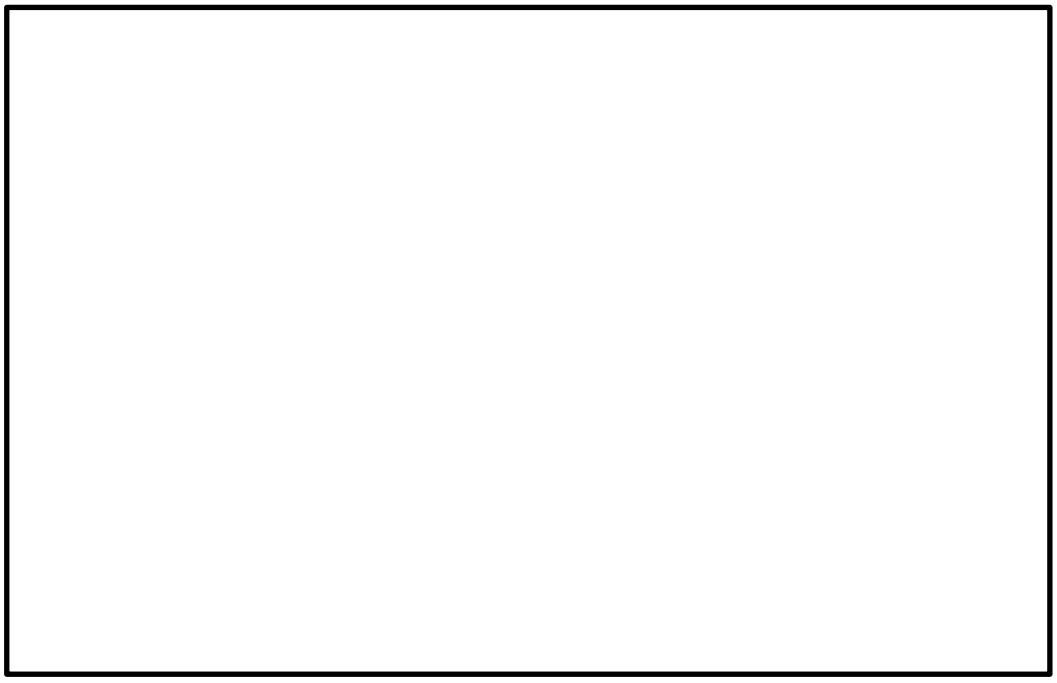


図 3-10　建家外壁の波力による応力算定の考え方

③　ケース3（波力＋漂流物衝突荷重）

波力による応力は「②ケース 2（波力+余震）a. 波力による応力」と同様に算定する。

a.　漂流物の衝突による応力

漂流物衝突荷重の作用位置は，検討内容に応じて保守的となるように設定する。

図3-11に漂流物衝突荷重の作用位置設定の考え方を示す。

漂流物衝突荷重は，部材端部の曲げ検討時には部材下端部から壁高さの1/3の位置に，部材中央の曲げ検討時には中央に作用させる。

せん断検討時には，対象部材の端部に作用させる。

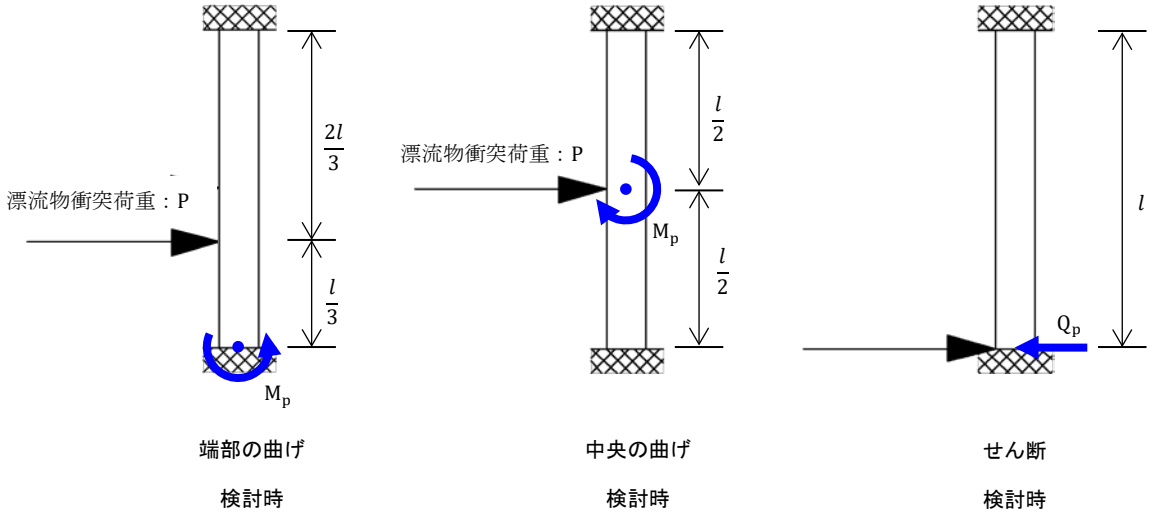


図 3-11　漂流物衝突荷重の作用位置設定の考え方

漂流物衝突荷重よる応力は下式により算定する。

漂流物衝突荷重による曲げモーメント Mp

$$Mp（下端）= \frac{4Pl}{27}$$

$$Mp（中央）= \frac{Pl}{8}$$

P ：漂流物衝突荷重

l ：壁高さ

漂流物衝突荷重によるせん断力 Qp

$$Qp = P$$

④　開口部を有する外壁の評価方法

開口部を有する外壁については，有効負担幅により評価を行う。

各荷重の組合せ荷重による応力は，単位幅の外壁の荷重に荷重増分係数を乗じて算定する（漂流物衝突荷重を除く）。

a.　有効負担幅

外壁の両側が開口部に接する外壁については，開口部間の外壁の幅を有効負担幅とする。

外壁の片側が開口部に接する外壁については，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」を踏まえ，開口端から壁厚さの2倍の範囲を有効負担幅とする。

b.　荷重増分係数

荷重増分係数の考え方を図3-12及び図3-13に示す。

荷重増分係数は，単位幅の外壁に対する有効負担幅と開口幅の1/2との和の比率とする。

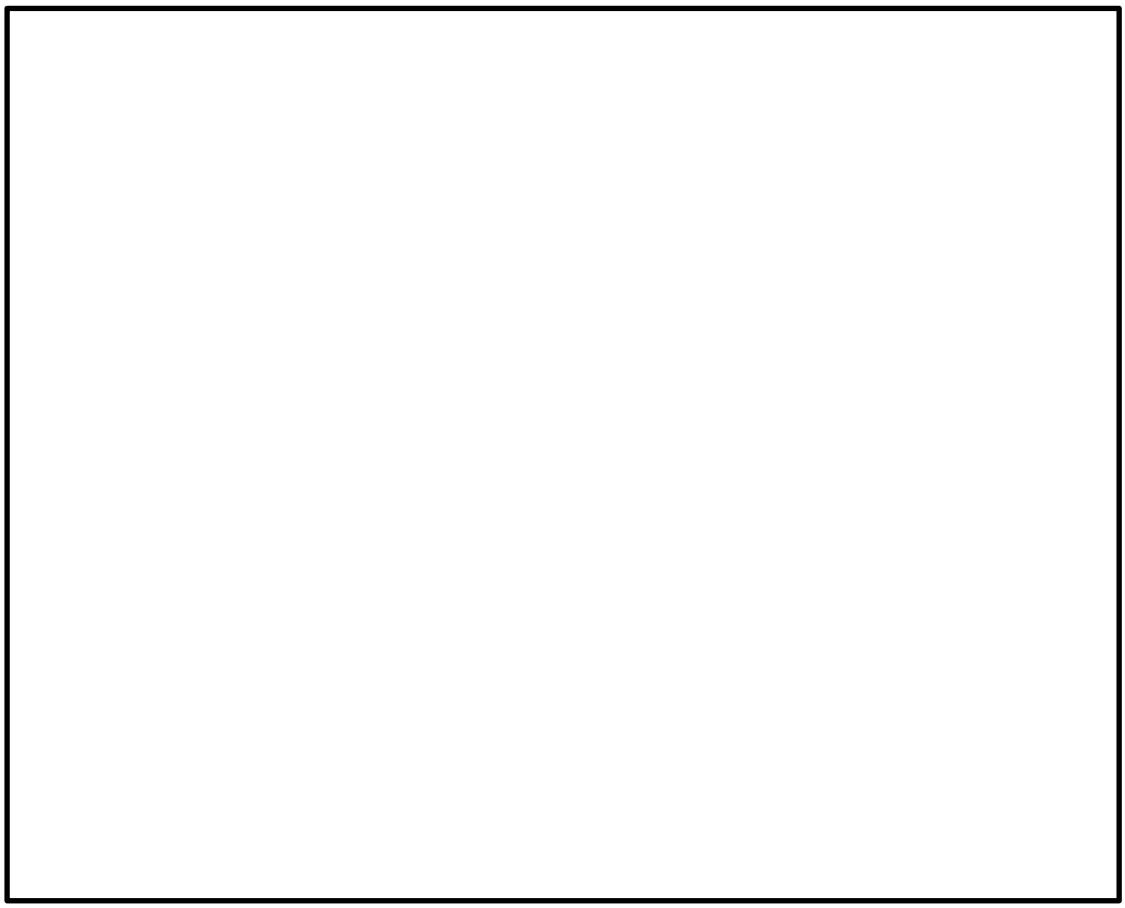


図 3-12 [redacted] 外壁の荷重増分係数の考え方（1 階外壁南面）

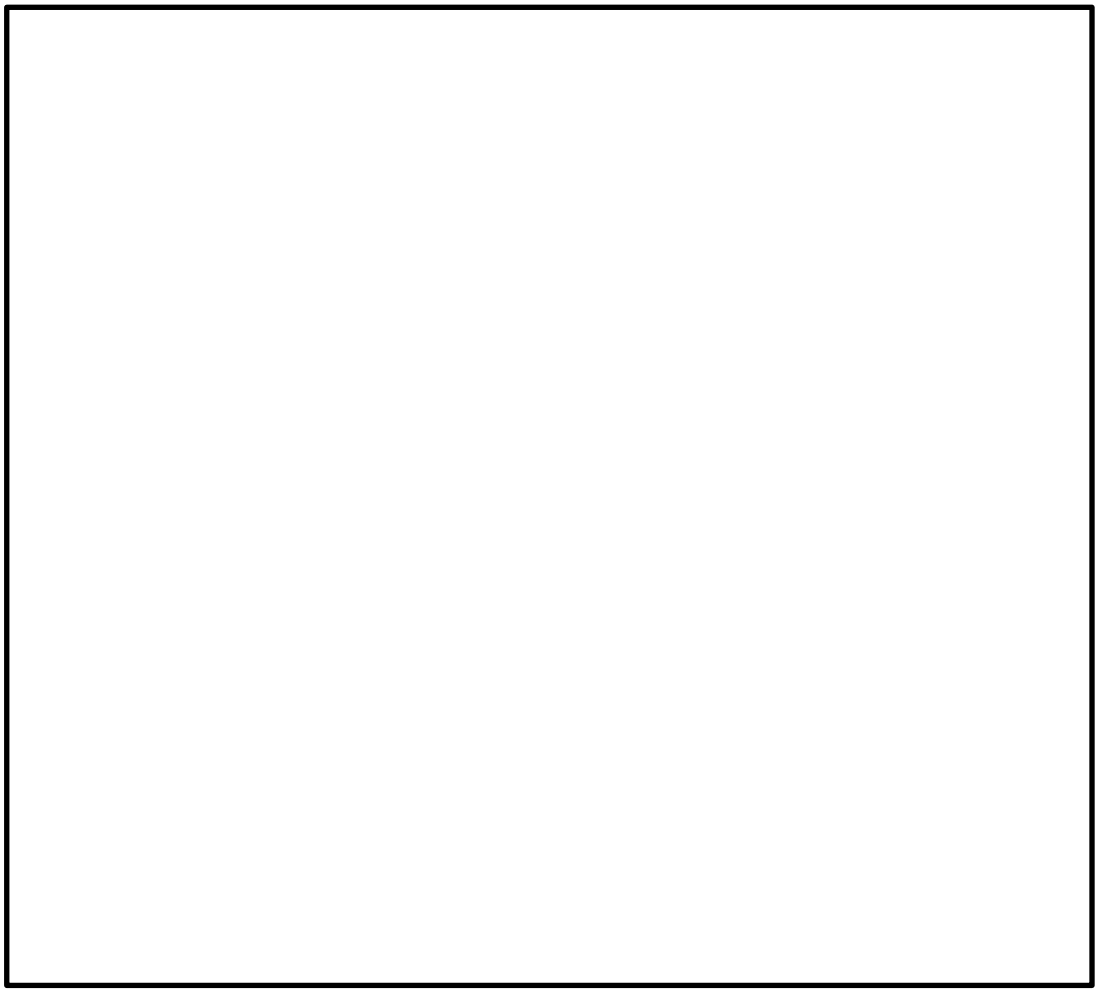


図 3-13 [redacted] 外壁の荷重増分係数の考え方（1 階外壁北面）

4. 評価条件

4.1 ケース 1（浮力+余震+水圧）の評価条件

ケース 1（浮力+余震+水圧）検討時の評価に用いる条件を表 4-1 に示す。

表 4-1　ケース 1（浮力+余震+水圧）の評価条件（1/2）

記号	定義	数値		単位
B	建家幅	[redacted]		m
L	建家長さ	[redacted]		m
l	壁高さ	[redacted]※5		m
T	鉄筋コンクリート外壁の壁厚	[redacted]		m
－	鉄筋コンクリート外壁の壁筋	D22@200D		－
－	鉄筋コンクリート外壁の B-1,B-2 [redacted] の開口補強筋	B-1 1 階外壁南面 [redacted]：6-D22		
		B-2 1 階外壁北面 [redacted]：6-D22		
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量	24.0		kN/m³
ρ_O	海水の単位体積重量	10.1		kN/m³
h′	浮力算定用津波高さ※1	7.6		m
α	水深係数※2	3		－
h_g	G.L.±0 m から基礎底面までの距離	6.0		m
k_h	水平震度※4	0.5		－
α_{SR}	最大応答加速度※4	5.0		m/s²
保有水平耐力評価の諸元				
E	余震による層せん断力	各階の層せん断力は※4 による		kN
接地圧評価の諸元				
W_B	建家総重量	395,609		kN
Q_Z	浮力（津波浸水時）	175,455		kN
F_u	最大応答軸力※4	101,191		kN
M_V	余震による転倒モーメント※4	NS	2,135,747	kN・m
		EW	2,086,001	
M_V'	浸水時の動水圧による転倒モーメント	NS	53,682	kN・m
		EW	56,297	

表 4-1　ケース 1（浮力+余震+水圧）の評価条件（2/2）

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：A-1　1 階外壁（　　）			
k	荷重増分係数	1.000	－
M_e'	余震による曲げモーメント	9.8	kN・m
M_W	静水圧による曲げモーメント	74.0	kN・m
M_W'	動水圧による曲げモーメント	42.3	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	14.7	kN
Q_W	静水圧によるせん断力	119.3	kN
Q_W'	動水圧によるせん断力	59.9	kN
評価部位：B-1　1 階外壁南面（　　）			
k	荷重増分係数	2.765	－
M_e'	余震による曲げモーメント	29.9	kN・m
M_W	静水圧による曲げモーメント	230.6	kN・m
M_W'	動水圧による曲げモーメント	131.1	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	42.6	kN
Q_W	静水圧によるせん断力	354.7	kN
Q_W'	動水圧によるせん断力	176.0	kN
評価部位：B-2　1 階外壁北面（　　）			
k	荷重増分係数	1.715	－
M_e'	余震による曲げモーメント	16.8	kN・m
M_W	静水圧による曲げモーメント	126.9	kN・m
M_W'	動水圧による曲げモーメント	72.5	kN・m
Q_e'	余震によるせん断力	25.2	kN
Q_W	静水圧によるせん断力	204.7	kN
Q_W'	動水圧によるせん断力	102.7	kN

※1　別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」

※2　津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料第 673 号，平成 24 年）

※4　別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」

※5　1 階外壁南面の評価部位の壁高さ：

4.2 ケース 2（波力+余震）の評価条件

ケース 2（波力+余震）検討時の評価に用いる条件を表 4-2 に示す。

表 4-2　ケース 2（波力+余震）の評価条件（1/2）

記号	定義	数値		単位
B	建家幅	[redacted]		m
L	建家長さ	[redacted]		m
l	壁高さ	[redacted] ※5		m
－	鉄筋コンクリート外壁の壁筋	D22@200D		－
－	鉄筋コンクリート外壁の B-1,B-2 ([redacted]) の開口補強筋	B-1 1 階外壁南面 ([redacted]) ：6-D22		
		B-2 1 階外壁北面 ([redacted]) ：6-D22		
ρ	鉄筋コンクリートの単位体積重量	24.0		kN/m^3
ρ_O	海水の単位体積重量	10.1		kN/m^3
h	波力算定用津波高さ※1	6.1		m
α	水深係数※2	3		－
h_T	水深係数×波力算定用津波高さ	18.3		m
h_g	G.L.±0 m から基礎底面までの距離	6.0		m
α_{SR}	最大応答加速度※4	5.0		m/s^2
保有水平耐力評価の諸元				
E	余震による層せん断力	各階の層せん断力は※4 による		kN
接地圧評価の諸元				
W_B	建家総重量	395,609		kN
Q_Z	浮力（地下水位）	39,994		kN
F_u	最大応答軸力	101,191		kN
M_t	波力による転倒モーメント	NS	714,178	kN・m
		EW	748,966	
M_V	余震による転倒モーメント※4	NS	2,135,747	kN・m
		EW	2,086,001	

表 4-2　ケース 2（波力+余震）の評価条件（2/2）

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：A-1　1 階外壁（　　）			
k	荷重増分係数	1.000	－
M_R	波力による曲げモーメント	217.4	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	9.8	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	334.9	kN
Q_e'	余震によるせん断力	14.7	kN
評価部位：B-1　1 階外壁南面（　　）			
k	荷重増分係数	2.765	－
M_R	波力による曲げモーメント	667.8	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	29.9	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	980.7	kN
Q_e'	余震によるせん断力	42.6	kN
評価部位：B-2　1 階外壁北面（　　）			
k	荷重増分係数	1.715	－
M_R	波力による曲げモーメント	372.8	kN・m
M_e'	余震による曲げモーメント	16.8	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	574.4	kN
Q_e'	余震によるせん断力	25.2	kN

※1　別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」

※2　津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料第 673 号，平成 24 年）

※4　別添 6-1-3-2「Ⅱ 余震による地震応答解析」

※5　1 階外壁南面の評価部位の壁高さ：　　

4.3 ケース 3（波力+漂流物衝突荷重）の評価条件

ケース 3（波力+漂流物衝突荷重）検討時の評価に用いる条件を表 4-3 に示す。

表 4-3　ケース 3（波力+漂流物衝突荷重）の評価条件（1/2）

記号	定義	数値		単位
B	建家幅	[redacted]		m
L	建家長さ	[redacted]		m
l	壁高さ	[redacted]※5		m
－	鉄筋コンクリート外壁の壁筋	D22@200D		－
－	鉄筋コンクリート外壁の B-1,B-2（[redacted]）の開口補強筋	B-1 1 階外壁南面（[redacted]）：6-D22		
		B-2 1 階外壁北面（[redacted]）：6-D22		
H_B	建家全高	28.44		m
ρ_O	海水の単位体積重量	10.1		kN/m^3
h	波力算定用津波高さ※1	6.1		m
α	水深係数※2	3		－
h_T	水深係数×波力算定用津波高さ	18.3		m
h_g	G.L.±0 m から基礎底面までの距離	6.0		m
保有水平耐力評価の諸元				
P	漂流物衝突荷重（各階共通）	2.8		kN
接地圧評価の諸元				
W_B	建家総重量	395,609		kN
Q_Z	浮力（地下水位）	39,994		kN
M_t	波力による転倒モーメント	NS	714,178	kN・m
		EW	748,966	
M_t'	漂流物による転倒モーメント	NS	80	kN・m
		EW	80	

表 4-3　ケース 3（波力+漂流物衝突荷重）の評価条件（2/2）

記号	定義	数値	単位
建家外壁評価の諸元			
評価部位：A-1　1 階外壁（　　）			
k	荷重増分係数	1.000	－
M_R	波力による曲げモーメント	217.4	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	334.9	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN
評価部位：B-1　1 階外壁南面（　　）			
k	荷重増分係数	2.765	－
M_R	波力による曲げモーメント	667.8	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	980.7	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN
評価部位：B-2　1 階外壁北面（　　）			
k	荷重増分係数	1.715	－
M_R	波力による曲げモーメント	372.8	kN・m
M_P	漂流物による曲げモーメント	1.7	kN・m
Q_R	波力によるせん断力	574.4	kN
Q_P	漂流物によるせん断力	2.8	kN

※1　別添 6-1-3-1「Ⅲ 入力津波の設定」

※2　津波避難ビル等の構造上の要件の解説（国総研資料第 673 号，平成 24 年）

※5　1 階外壁南面の評価部位の壁高さ:　　

5. 評価結果

5.1 ケース 1（浮力＋余震＋水圧）の強度評価結果

(1) 保有水平耐力

ケース 1（浮力＋余震＋水圧）に対する保有水平耐力の評価結果を表 5-1 に示す。

各層に生じる層せん断力はいずれも保有水平耐力以下であることを確認した。

表 5-1 保有水平耐力評価結果ケース 1（浮力＋余震＋水圧）

方向	評価高さ H（m）	階	保有水平耐力 Qu (kN)	余震 E (kN)	水圧 W (kN)	層せん断力 $Q_T = E + W$ (kN)	検定比 Q_T/Qu
NS		5	7443	2856	0	2856	0.39
		4	142716	24340	0	24340	0.18
		3	203390	51810	0	51810	0.26
		1	433846	109600	5834	115434	0.27
		B1	433846	141800	5938	147738	0.35
EW		5	8738	2726	0	2726	0.32
		4	94624	24450	0	24450	0.26
		3	201605	51670	0	51670	0.26
		1	415871	109100	6118	115218	0.28
		B1	415871	141200	6228	147428	0.36

(2) 接地圧

ケース 1（浮力＋余震＋水圧）に対する接地圧の評価結果を表 5-2，表 5-3 に示す。

浮力と余震及び水圧による転倒モーメントが作用した場合に発生する接地圧は極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-2 接地圧評価結果（上向き 0.4×鉛直）

ケース 1（浮力＋余震＋水圧）

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m^2)	転倒方向	接地圧 σ (kN/m^2)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	561	0.24
		EW	592	0.26

表 5-3 接地圧評価結果（下向き 0.4×鉛直）

ケース 1（浮力＋余震＋水圧）

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m^2)	転倒方向	接地圧 σ (kN/m^2)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	503	0.22
		EW	514	0.22

(3) 建家外壁

ケース 1（浮力＋余震＋水圧）に対する建家外壁の健全性評価結果を表 5-4 に示す。

1 階外壁（　　）及び 1 階外壁北面（　　）の応力は短期許容応力以下であるが，1 階外壁南側（　　）の発生するせん断力は短期許容応力を超えており，補強が必要である。

表 5-4 建家外壁評価結果ケース 1（浮力＋余震＋水圧）

評価対象部位		短期許容曲げﾓｰﾒﾝﾄ Ma (kN・m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ M (kN・m)	検定比 M /Ma
A-1 1 階外壁		273.7	126.1	0.47
B-1 1 階外壁南面		383.2	391.6	1.03
B-2 1 階外壁北面		437.9	216.2	0.50

評価対象部位		短期許容せん断力 Q_{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q_{AS}
A-1 1 階外壁		602.9	193.9	0.33
B-1 1 階外壁南面		440.2	573.3	1.31
B-2 1 階外壁北面		723.7	332.6	0.46

5.2 ケース 2（波力＋余震）の強度評価結果

(1) 保有水平耐力

ケース 2（波力＋余震）に対する保有水平耐力の評価結果を表 5-5 に示す。

各層に生じる層せん断力はいずれも保有水平耐力以下であることを確認した。

表 5-5 保有水平耐力評価結果ケース 2（波力＋余震）

方向	評価高さ H（m）	階	保有水平耐力 Qu (kN)	波力 R (kN)	余震 E (kN)	層せん断力 $Q_T = R + E$ (kN)	検定比 Q_T/Qu
NS		5	7443	0	2856	2856	0.39
		4	142716	4180	24340	28520	0.20
		3	203390	18121	51810	69931	0.35
		1	433846	58450	109600	168050	0.39
		B1	433846	59023	141800	200823	0.47
EW		5	8738	0	2726	2726	0.32
		4	94624	4384	24450	28834	0.31
		3	201605	19004	51670	70674	0.36
		1	415871	61297	109100	170397	0.41
		B1	415871	61898	141200	203098	0.49

(2) 接地圧

ケース 2（波力＋余震）に対する接地圧の評価結果を表 5-6，表 5-7 に示す。

波力と余震による転倒モーメントが作用した場合に発生する接地圧は極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-6 建家の接地圧に関する評価結果（上向き 0.4×鉛直）

ケース 2（波力＋余震）

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m^2)	方向	接地圧 σ (kN/m^2)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	650	0.28
		EW	679	0.29

表 5-7 建家の接地圧に関する評価結果（下向き 0.4×鉛直）

ケース 2（波力＋余震）

評価項目	極限支持力度 σ_u (kN/m^2)	方向	接地圧 σ (kN/m^2)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	681	0.29
		EW	701	0.30

(3) 建家外壁

ケース 2（波力＋余震）に対する建家外壁の健全性評価結果を表 5-8 に示す。

1 階外壁（ ）及び 1 階外壁北面（ ）の応力は短期許容応力以下であるが，1 階外壁南側（ ）の発生する曲げモーメント及びせん断力は短期許容応力を超えており，補強が必要である。

表 5-8 建家外壁の健全性評価結果ケース 2（波力＋余震）

評価対象部位		短期許容曲げﾓｰﾒﾝﾄ Ma (kN・m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ M (kN・m)	検定比 M/Ma
A-1 1 階外壁		273.7	227.2	0.84
B-1 1 階外壁南面		383.2	697.7	1.83
B-2 1 階外壁北面		437.9	389.6	0.89

評価対象部位		短期許容せん断力 Q_{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q_{AS}
A-1 1 階外壁		603.1	349.6	0.58
B-1 1 階外壁南面		440.6	1023.3	2.33
B-2 1 階外壁北面		723.8	599.6	0.83

5.3 ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）の強度評価結果

(1) 保有水平耐力

ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）に対する保有水平耐力の評価結果を表 5-9 に示す。

各層に生じる層せん断力はいずれも保有水平耐力以下であることを確認した。

表 5-9 保有水平耐力評価結果ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）

方向	評価高さH (m)	階	保有水平耐力Qu (kN)	波力 R (kN)	漂流物衝突荷重 P (kN)	層せん断力 $Q_T = R + P$ (kN)	検定比 Q_T/Qu
NS		5	7443	0	2.8	3	0.01
		4	142716	4180	2.8	4183	0.03
		3	203390	18121	2.8	18124	0.09
		1	433846	58450	2.8	58453	0.14
		B1	433846	59023	2.8	59026	0.14
EW		5	8738	0	2.8	3	0.01
		4	94624	4384	2.8	4387	0.05
		3	201605	19004	2.8	19007	0.10
		1	415871	61297	2.8	61300	0.15
		B1	415871	61898	2.8	61901	0.15

(2) 接地圧

ケース3（波力＋漂流物衝突荷重）に対する接地圧の評価結果を表5-10に示す。

波力と漂流物衝突荷重による転倒モーメントが作用した場合に発生する接地圧は極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-10 建家の接地圧に関する評価結果ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）

評価項目	極限支持力度σ_u (kN/m^2)	方向	接地圧 σ (kN/m^2)	検定比 σ/σ_u
接地圧	2350	NS	370	0.16
		EW	379	0.17

(3) 建家外壁

ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）に対する建家外壁の健全性評価結果を表 5-11 に示す。

1 階外壁 [redacted]）及び 1 階外壁北面 [redacted]）の外壁の応力は短期許容応力以下であるが，1 階外壁南側 [redacted]）の発生する曲げモーメント及びせん断力は短期許容応力を超えており，補強が必要である。

表 5-11 建家外壁の健全性評価結果ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）

評価対象部位		短期許容曲げﾓｰﾒﾝﾄ Ma (kN･m)	曲げﾓｰﾒﾝﾄ M (kN･m)	検定比 M /Ma
A-1 1 階外壁	[redacted]	273.7	219.0	0.81
B-1 1 階外壁南面	[redacted]	383.2	669.5	1.75
B-2 1 階外壁北面	[redacted]	437.9	374.4	0.86

評価対象部位		短期許容せん断力 Q_{AS} (kN)	せん断力 Q (kN)	検定比 Q/Q_{AS}
A-1 1 階外壁	[redacted]	604.8	337.7	0.56
B-1 1 階外壁南面	[redacted]	441.0	983.5	2.23
B-2 1 階外壁北面	[redacted]	724.4	577.2	0.80

5.4 評価のまとめ

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は，ケース 1（浮力＋余震＋水圧），ケース 2（波力＋余震），ケース 3（波力＋漂流物衝突荷重）の荷重条件に対して，保有水平耐力の検定比は最大 0.49，接地圧の検定比は最大 0.30 であり，許容限界（終局耐力）以下であることを確認した。また，建家外壁のうち 1 階外壁（[redacted]）及び 1 階外壁北面（[redacted]）についても検定比は最大 0.89 であり，許容限界（短期許容応力）以下であることを確認した。

建家外壁の評価に用いた応力（曲げモーメント，せん断力）は，表 4-1～表 4-3 に示すとおり，水圧や余震，漂流物による応力に比べて波力による応力が大きい。波力算定に用いる津波高さについては「港湾構造物なし，周辺建家なし」とし，潮位変動に基づき潮位のばらつきを考慮した値とするなど，安全側となる荷重の設定しており，1 階外壁（[redacted]）及び 1 階外壁北面（[redacted]）も含め，耐津波設計上の裕度を有している。

一方，1 階外壁南面（[redacted]）の応力は，ケース 1，2，3 いずれにおいても許容限界を超えるため，当該部位に対しコンクリートの増打ち補強を実施する。具体的な補強方法については，令和 2 年 7 月に変更申請を行う。

外壁補強に係る補足説明を「添付資料 6－1－3－2－3 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について」に示す。

Ⅲ-2 設計津波に対する浸水防止設備(浸水防止扉)の強度評価

1. 概要

本資料は，別添 6-1-3-2「I 高放射性廃液貯蔵場(HAW)の津波防護に関する施設の設計方針 2. 設計の基本方針」に基づき，高放射性廃液貯蔵場(HAW)の扉及びシャッター部の構造強度評価に関する方針について説明し，今後の強度評価に資するものである。

「耐津波設計に係る工認審査ガイド」において，「津波が流入する可能性について検討した上で，流入の可能性のある経路(扉，開口部，貫通部等) を特定し，それらに対して浸水対策を施すこと。」とあり，高放射性廃液貯蔵場(HAW)の浸水防止扉に対して設計津波による強度評価を行う。

2. 扉及びシャッター部

高放射性廃液貯蔵場(HAW)外壁の扉及びシャッター部には，緊急安全対策として T.P.+14.4 m の範囲で浸水防止扉を設置しており，1 階に 3 箇所，3 階に 2 箇所の計 5 箇所に設置している。

これらの浸水防止扉の設置状態を図 2-1 に示す。高放射性廃液貯蔵場(HAW)に設置している浸水防止扉は T.P.+14.4 m までの浸水を想定し，最大浸水深の3倍の水圧が浸水防止扉に作用するものとして設計・施工している。これら浸水防止扉は東日本大震災直後の緊急安全対策(「原子力発電所の外部電源の信頼性確保について」 平成 23・04・15 原院発第 3 号)の一つとして設置されたものであるが，令和 2 年 2 月に廃止措置計画用設計地震動及び設計津波が認可されたことに伴い，その他の津波に対する防護施設の設計と併せ，設計地震動及び設計津波に対する適合性評価を行う計画である。

3. 評価の考え方

設計津波の浸水防止設備(浸水防止扉)については，廃止措置計画用設計地震動による地震力に対して浸水防止機能が十分に保持できるよう設計する。また，設計津波の遡上波による浸水時及び冠水後の波圧等に対する耐性等を確認し，入力津波に対して浸水防止機能が十分に保持できることを評価する。

以下に浸水防止設備について荷重の組合せ，荷重の設定及び許容限界について考え方を示す。

a. 荷重の組合せ

常時荷重，津波荷重及び地震荷重を適切に組合せる。

風荷重は，竜巻による風荷重又は竜巻以外の風荷重として「建築基準法(建設告示第 1454 号)」に基づく立地地域(東海村)の基準風速による風荷重を考慮する。

・常時荷重＋地震荷重

・常時荷重＋津波荷重
・常時荷重＋津波荷重＋余震荷重
・常時荷重＋津波荷重＋漂流物衝突荷重

b. 荷重の設定

・常時荷重

自重等を考慮する。

・地震荷重

設計用地震動Ssを考慮する。

・津波荷重

各設備の荷重水位を考慮する。

・余震荷重

Sd－D(廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトル比率を 0.5 倍として設定)を考慮する。

・漂流物衝突荷重

流木等の比較的小型の漂流物は建家外壁に到達することを考慮する。

c. 許容限界

津波防護に対する機能限界保持として，津波後の再使用性や津波の繰り返し作用を想定し，止水性の面も踏まえることにより，当該構造物全体の変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し，浸水防止機能を保持することを確認する。

4. 今後の対応

これらの浸水防止扉は「原子力発電所の外部電源の信頼性確保について」（平成 23・04・15 原院発第 3 号）を受けて平成 26 年 3 月までに設置されたもので，T.P.+14.4 m の浸水深の津波波力と 1000 cm/s^2 の水平地震動に耐えられるものとして設計されている。

なお，令和 2 年 2 月に廃止措置計画用設計地震動及び設計津波が認可されたことに伴い，今後，それらへの適合性評価を行う。

図2-1　浸水防止扉等の設置状態

添付資料 6-1-3-2-1

高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家貫通部からの浸水の可能性について

高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家貫通部からの浸水の可能性について

1. はじめに

「耐津波設計に係る工認審査ガイド」において,「津波が流入する可能性について検討した上で,流入の可能性のある経路(扉,開口部,貫通部等) を特定し,それらに対して浸水対策を施すこと。」とあり,高放射性廃液貯蔵場(HAW)に対して浸水の可能性のある経路について確認した。

2. 確認対象箇所

2.1 トレンチ及び連絡管路



これらのトレンチや連絡管路(以下「トレンチ等」という。)の配置を図2-1に示す。

2.2 壁貫通部



これらの壁貫通部の施工状態等について図2-2～図2-6に示す。

2.3 扉及びシャッター部



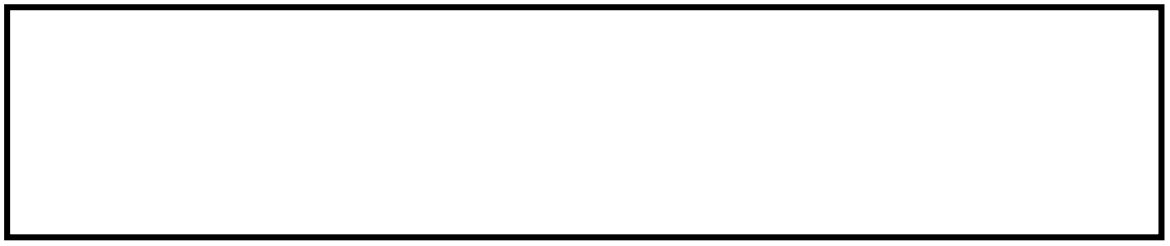
これらの浸水防止扉の設置状態について図2-7に示す。

3. 浸水の可能性のある経路の構造

3.1 トレンチ及び連絡管路

高放射性廃液貯蔵場(HAW)と接続するトレンチ及び連絡管路の構造を以下に示す。

(1) T21 トレンチ(図 3-1 参照)

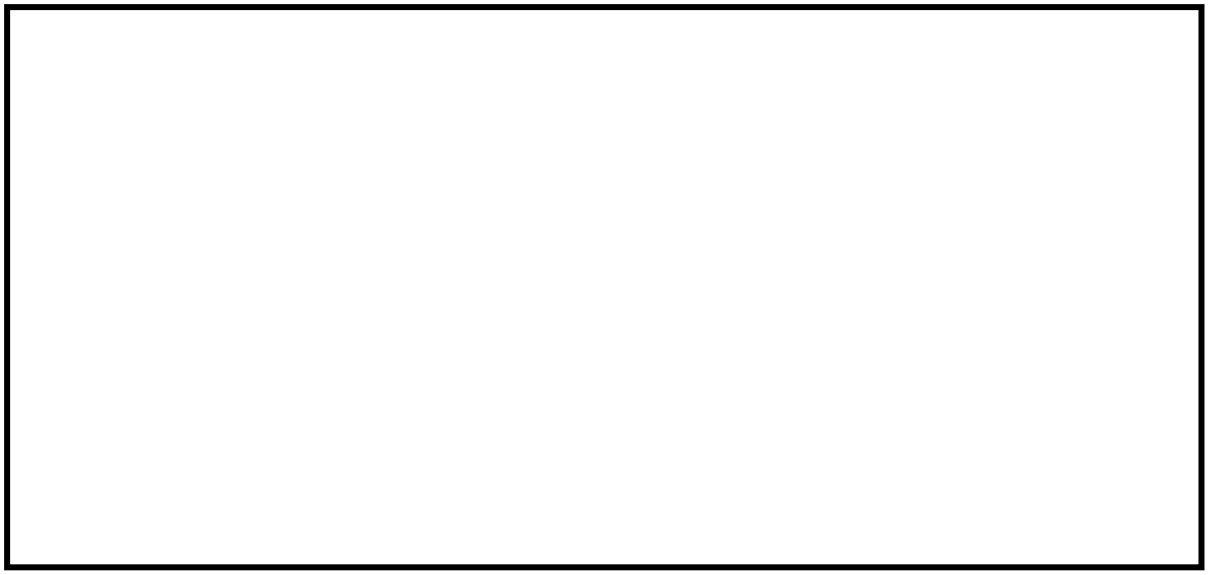




(2)連絡管路(図 3-2 参照)



(3)T15 トレンチ(図 3-3 参照)



3.2 壁貫通部

高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁を貫通する配管等の施工状態について，現場調査及び図書による確認結果を図2-2～図2-6に示す。

すべての壁貫通配管等において，モルタル及びシール材による止水措置が施されていることを確認した。

3.3 扉及びシャッター部

高放射性廃液貯蔵場(HAW)に設置している浸水防止扉は，T.P.+14.4 mまでの浸水を想定し，最大浸水深の3倍の水圧が浸水防止扉に作用するものとして設計・施工している。

4. トレンチ及び連絡管路の耐震性

4.1 T21 トレンチ

T21トレンチ(図3-1)は，高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家とガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟建家間の約30 mを結ぶ地下洞道であるため，設計用地震動に対する応答について二次元FEMを用いて詳細な評価を実施し，耐震性を確認した(別添6-1-2-3「建物・構築物及び機器・配管系の構造(耐震性)に関する説明書」参照)。

4.2 連絡管路及び T15 トレンチ

高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家と分離精製工場(MP)建家間を，それぞれ地上と地表面付近の地下で結ぶ連絡管路(図3-2)及びT15トレンチ(図3-3)は鉄筋コンクリート構造でHAW建家側に一体で取り付けられており，長さが約1.4 mと短い。そのため，地震時においては高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家と一体で振動することになり，高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家と分離精製工場(MP)建家それぞれの建家振動挙動の違いによって分離精製工場(MP)建家に衝突するおそれがある。そこで，設計地震動において生じる高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家と分離精製工場(MP)建家の最大相対変位を時刻歴応答解析により評価した。評価においては，各建家の地震時の変位の同時性を無視し，それぞれの建家の最大変位の絶対値を加算して相対変位とすることで保守的な評価とした。

その結果，表4-1に示すように設計地震動によって生じる建家間の最大相対変位(暫定値)は連絡管路及びT15トレンチの分離精製工場(MP)建家取り付け位置に設けられているクリアランス以内であり，地震時に連絡管路及びT15トレンチが分離精製工場(MP)建家躯体に衝突して損傷することはないことを確認した。

5. 貫通部等の点検

5.1 トレンチ等の点検(図 5-1，図 5-2，図 5-3 参照)

津波襲来時における，トレンチ等と接するセル壁及び建屋内壁等の健全性を令和 2 年 5 月

末までに確認する(確認結果については，令和2年7月末までに示す)。

評価として

①トレンチ等と接する高放射性廃液貯蔵場(HAW)セル壁の健全性評価(最大浸水深においてセル壁が水圧に耐えることの確認)

②トレンチ等と接する高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家内壁の健全性評価(最大浸水深においてトレンチ等の内壁が水圧に耐えることの確認)

③トレンチ等の内部の 2 重管(T15，連絡管路)の健全性評価(最大浸水深において 2 重管が水圧に耐えることの確認)

5.2 トレンチ等を除く壁貫通配管等の点検

トレンチ等を除く壁貫通配管等に対して以下の点検・評価を実施した。

①高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁貫通部の健全性評価(津波波力が作用する外壁の壁貫通部のシール材等が波力に耐えることを確認)

・シール材の水圧試験(令和 2 年 3 月実施)の実施状況を図 5-4 に示す。

津波波力を上回る 0.5 MPa の水圧をかけても，シール材からの漏れのないことを確認した。

・モルタルの水圧試験(令和 2 年 5 月実施)の実施状況を図 5-5 に示す。

津波波力を上回る 0.5 MPa の水圧をかけても，モルタル材からの漏れのないことを確認した。

なお，トレンチ等の構造上，建家内に浸水することは考えにくいが，建家内に浸水した場合の影響については別紙 6-1-3-2-1-1 に示す。

図2-1　高放射性廃液貯蔵場(HAW)と接続しているトレンチ等

図2-2　高放射性廃液貯蔵場（HAW）のトレンチ以外の壁貫通部調査（東側）

図2-3　高放射性廃液貯蔵場（HAW）のトレンチ以外の壁貫通部調査（北側）1/2

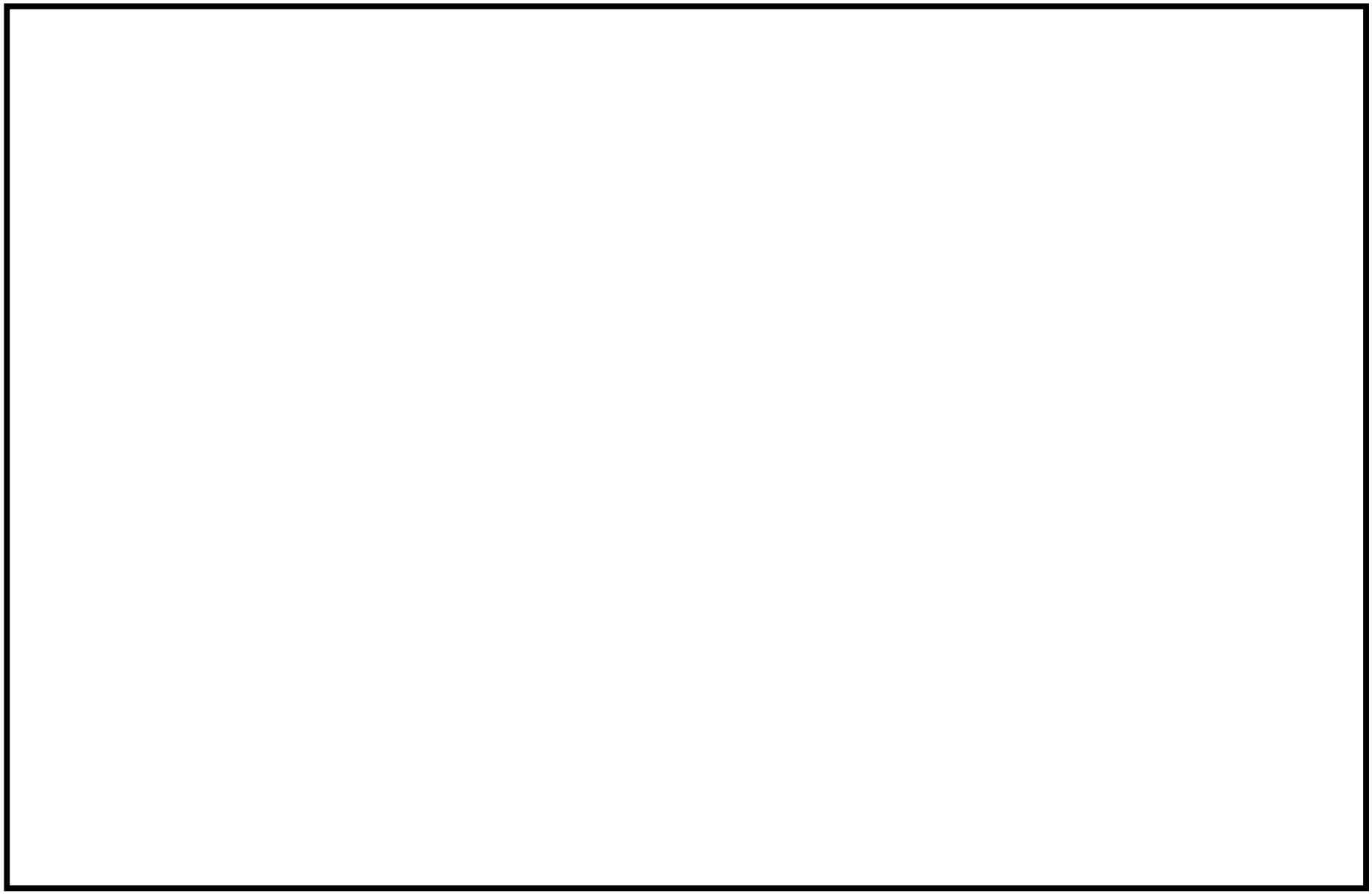


図2-3　高放射性廃液貯蔵場（HAW）のトレンチ以外の壁貫通部調査（北側）2/2

図2-4　高放射性廃液貯蔵場（HAW）のトレンチ以外の壁貫通部調査（西側）

図2-5　高放射性廃液貯蔵場（HAW）のトレンチ以外の壁貫通部調査（南側）1/3

図2-5　高放射性廃液貯蔵場（HAW）のトレンチ以外の壁貫通部調査（南側）2/3

図2-5　高放射性廃液貯蔵場（HAW）のトレンチ以外の壁貫通部調査（南側）3/3

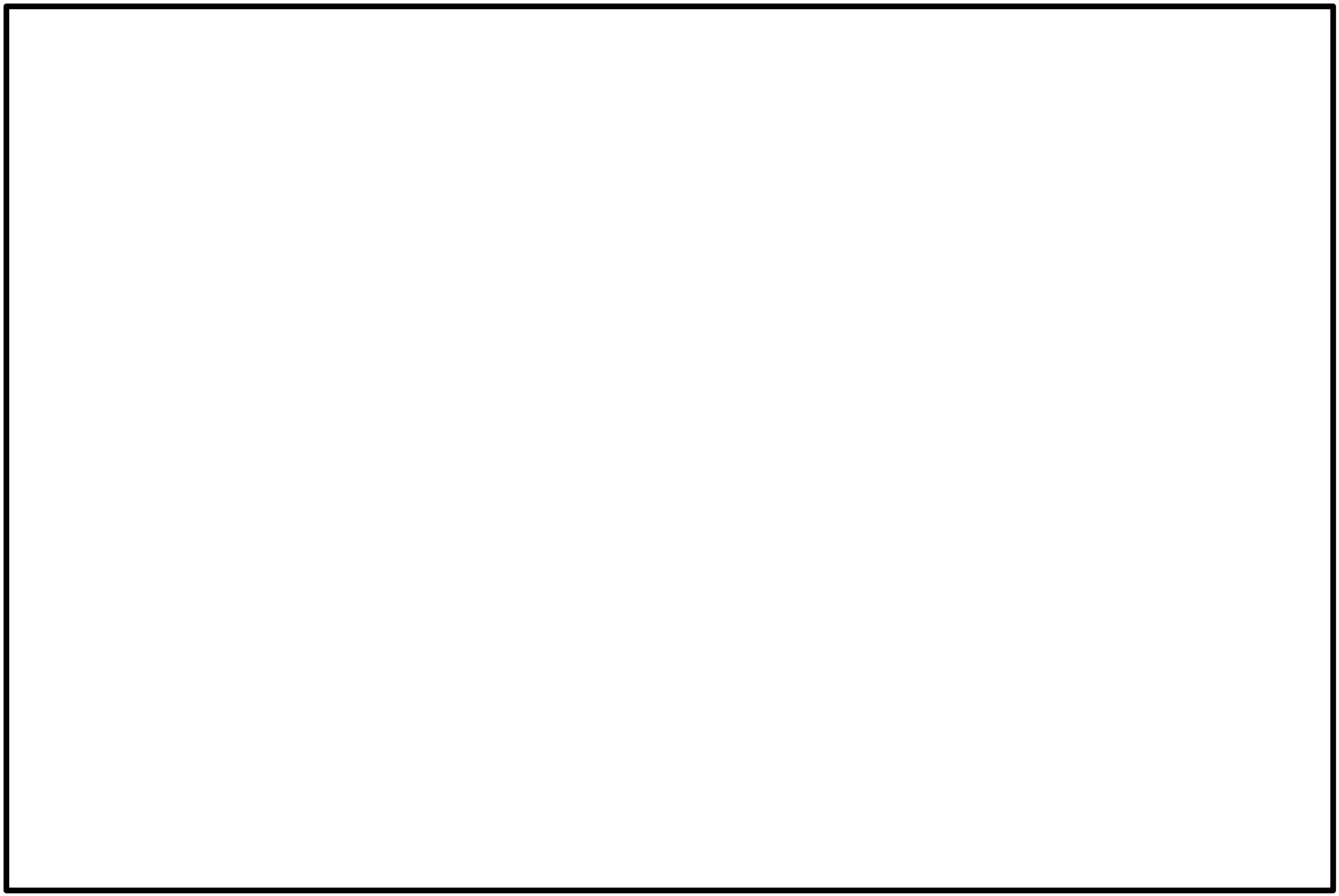


図2-6　T.P.+14.2 m以下の建家外壁開口部の施工概要

図2-7　浸水防止扉等の設置状態

図3-1　T21トレンチの構造（概要）

図3-2　連絡管路の構造(概要)

図3-3　T15トレンチの構造(概要)

図5-1　T21トレンチの構造(浸水想定)

図5-2　連絡管路の構造(浸水想定)

図5-3　T15トレンチの構造(浸水想定)

連絡管路

振動方向		設計用地震動に対する HAW-MP間最大相対変位*1[mm]			接合部 クリアランス [mm]
		Ss-D	Ss-1	Ss-2	
水平	NS	19	7	21	50
	EW	19	8	15	50
鉛直		7	3	6	50

*1 相対変位は，HAW建家，MP建家それぞれの時刻歴応答における最大変位の発生時刻の同時性を保守的に無視し，時刻にかかわらずそれぞれの最大変位の絶対値を加えて評価した。
また，連絡管路上部位置より高い位置の床応答変位を保守的に用いた。

T15トレンチ

振動方向		設計用地震動に対する HAW-MP間最大相対変位*1[mm]			接合部 クリアランス [mm]
		Ss-D	Ss-1	Ss-2	
水平	NS	15	5	16	100
	EW	15	6	11	100
鉛直		6	3	6	100

*1 相対変位は，HAW建家，MP建家それぞれの時刻歴応答における最大変位の発生時刻の同時性を保守的に無視し，時刻にかかわらずそれぞれの最大変位の絶対値を加えて評価した。
また，連絡管路上部位置より高い位置の床応答変位を保守的に用いた。

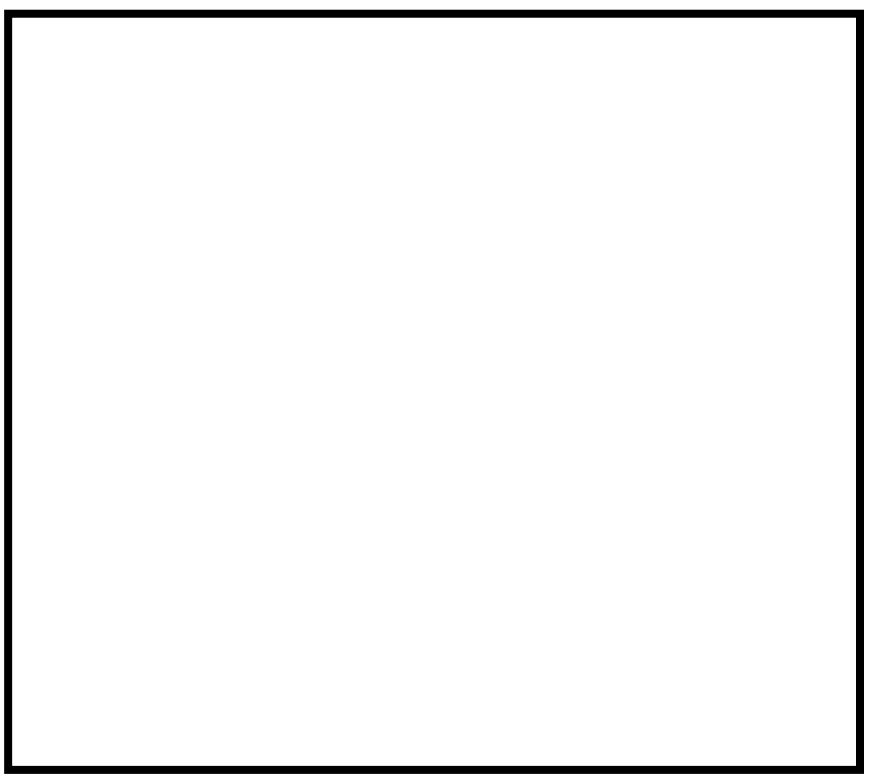


表4-1 設計地震動によりHAWとMPに生じる相対変位（暫定値）

図5-4　シール材（難燃性気密防水材）の耐圧試験の実施状況（R2.3.25実施）

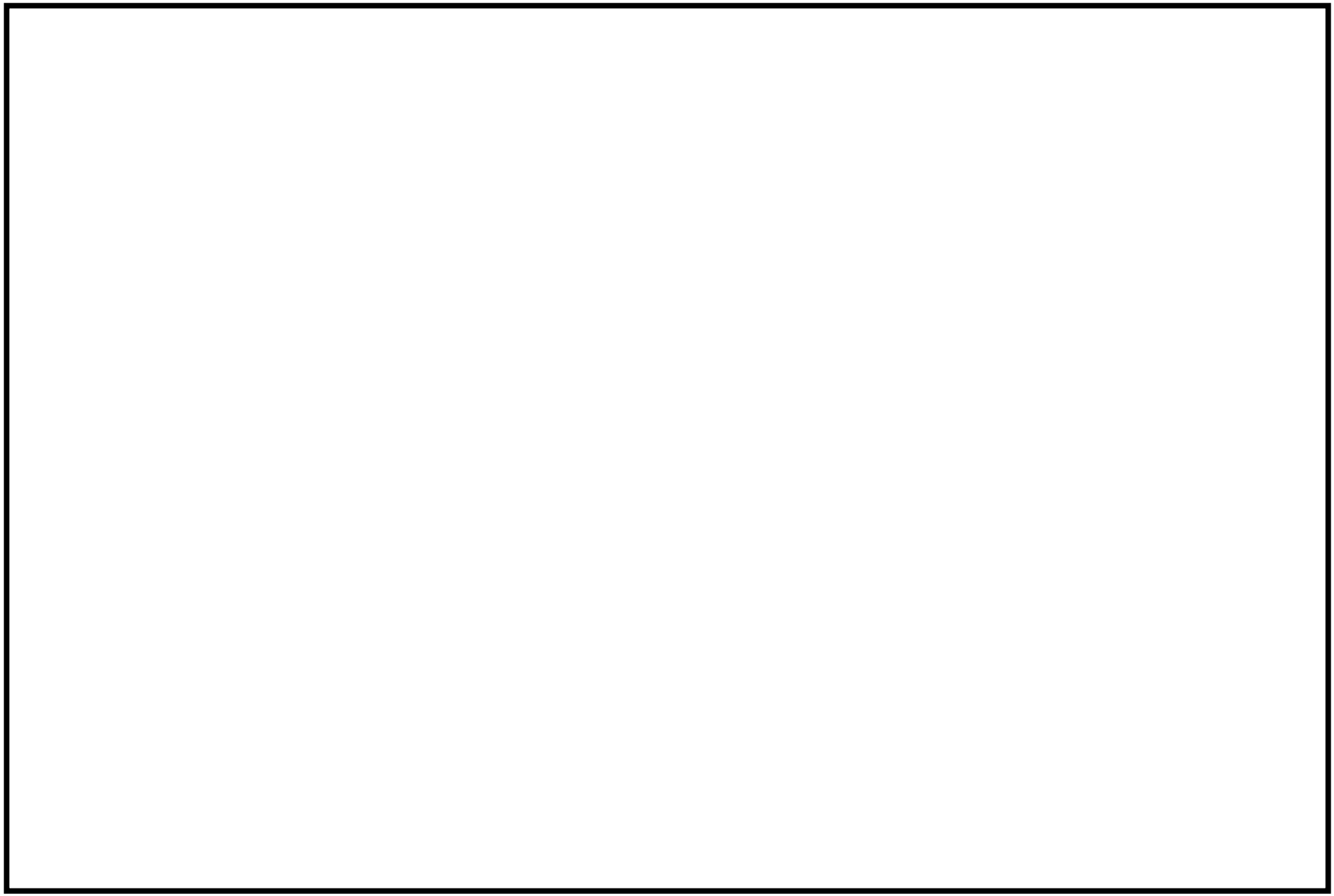


図5-5　モルタル充填の耐圧試験の実施状況（R2.5.8実施）

建家内へ浸水した場合の影響について

トレンチ等の構造上，建家内に浸水することは考えにくいが，浸水した場合の影響について以下の通り検討した。

(1)T21 トレンチ

T21 トレンチは高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁との接合部があることから，仮に当該部が損傷し隙間が生じた際の浸水経路及び浸水量を図 1(1/3)に示す。当該部が損傷しひび割れが生じた際は，1 階の廊下から最終的に地下ピット(2 重スラブ含む)に流入する。流入が継続し地下ピット(2 重スラブ含む)が満水になれば，地下 1 階の廊下に溢れ，セル入気口の高さまで水位が上昇した場合は，セル内に流入することとなるが，浸水量は，境界部に 5 ㎜のひび割れが発生した場合を想定すると，約 300 m^3 でありセル内に流入することはない。

(2)連絡管路

連絡管路は高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁と一体構造であり接合部がないが，仮に高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁との境界部が損傷し隙間が生じた際の浸水の影響について図 1(2/3)に示す。連絡管路と高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁にひび割れが生じた際は，2 階の廊下及び 1 階の廊下から最終的に地下ピット(2 重スラブ含む)に流入する。流入が継続し地下ピット(2 重スラブ含む)が満水になれば，地下 1 階の廊下に溢れ，セル入気口の高さまで水位が上昇した場合セル内に流入することとなるが，浸水量は，周方向に T21 トレンチと同等のひび割れが発生した場合を想定すると，約 140 m^3 でありセル内に流入することはない。また，仮に 2 重管に浸水した際は，ドレン配管を通ってセル内に設置している水封槽に入り，中間貯槽へ流入する。

(3)T15 トレンチ

T15 トレンチは高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁と一体構造であり接合部がないが，仮に高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁との境界部が損傷し隙間が生じた際の浸水の影響について図 1(3/3)に示す。トレンチと高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家外壁の境界部にひび割れが生じた際は，1 階の廊下から最終的に地下ピット(2 重スラブ含む)に流入する。流入が継続し地下ピット(2 重スラブ含む)が満水になれば，地下 1 階の廊下に溢れ，セル入気口の高さまで水位が上昇した場合セル内に流入することとなるが，浸水量は，T21 トレンチと同等のひび割れが発生した場合を想定すると，約 220 m^3 でありセル内に流入することはない。また，仮に 2 重管に浸水した際は，分離精製工場(MP)側のセル内のドリップトレイに流入することから，高放射性廃液貯蔵場(HAW)建家への影響はない。

(4)トレンチ等を除く壁貫通配管等

トレンチ等を除く壁貫通配管等は止水処置がなされているが，仮に止水処置部が損傷し隙間が生じた際の浸水の影響について図 2 に示す。貫通部の外径が最も大きく，高さが低い箇所（図 4 No.3 制御ケーブル電線管）から浸水した際は，1 階の廊下及び 2 階の廊下から最終的に地下ピット（2 重スラブ含む）に集約されることとなるが，浸水量は約 21 m^3 でありセル内に流入することはない。

建家内に流入した水については，中型送水ポンプ又はエンジン付きポンプを使用し回収することができる。また，仮にセル内に流入した場合でもエンジン付きポンプを使用し回収できる。排水方法については図 3 に示す。

なお，浸水した場合の排水作業については，継続的な訓練を行い，事故対処設備での対応が確実にできることを確認していく。

図1　建家内へ浸水した場合の影響（T21トレンチ）　1/3

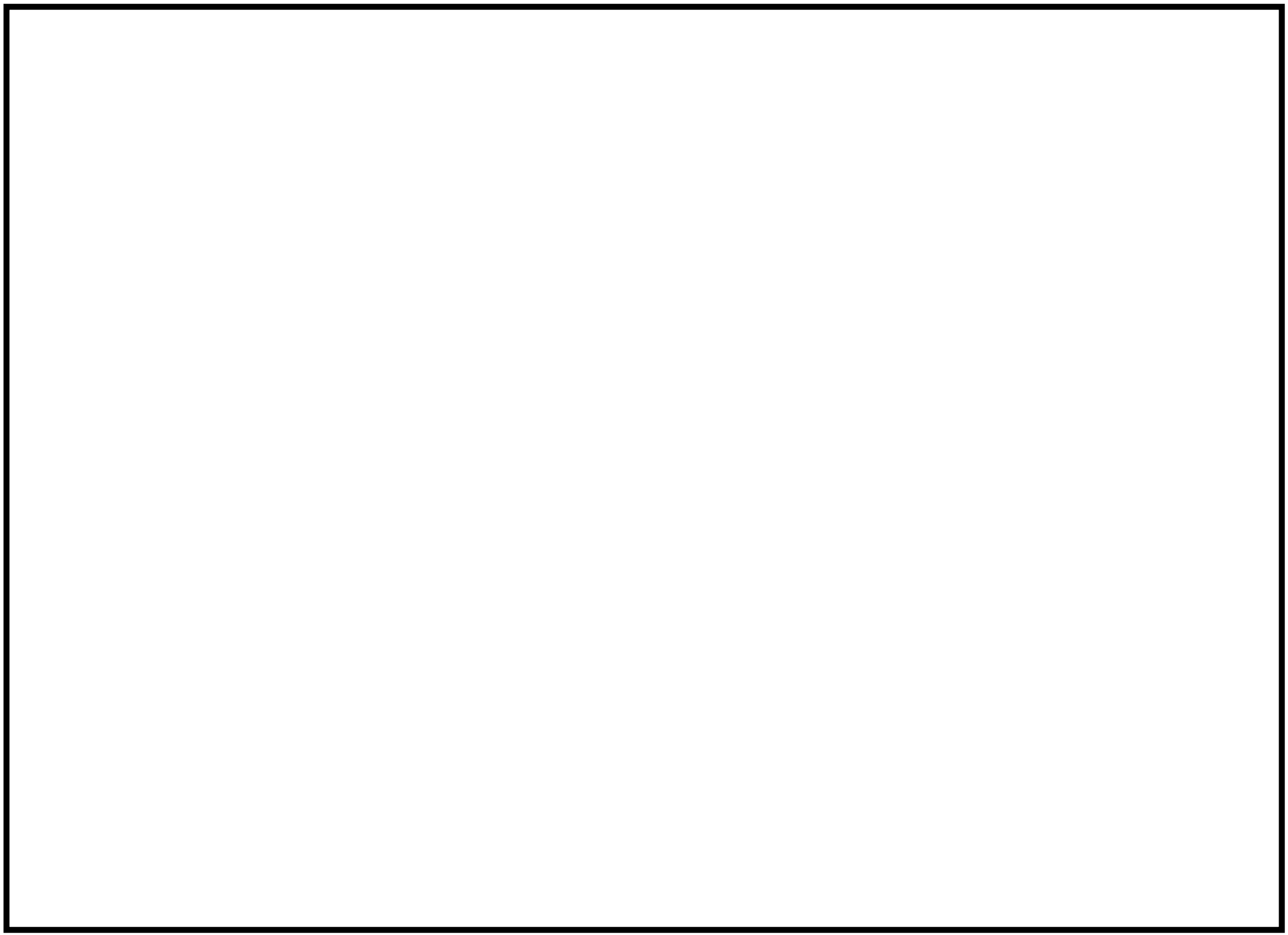


図1　建家内へ浸水した場合の影響(連絡管路)　2/3

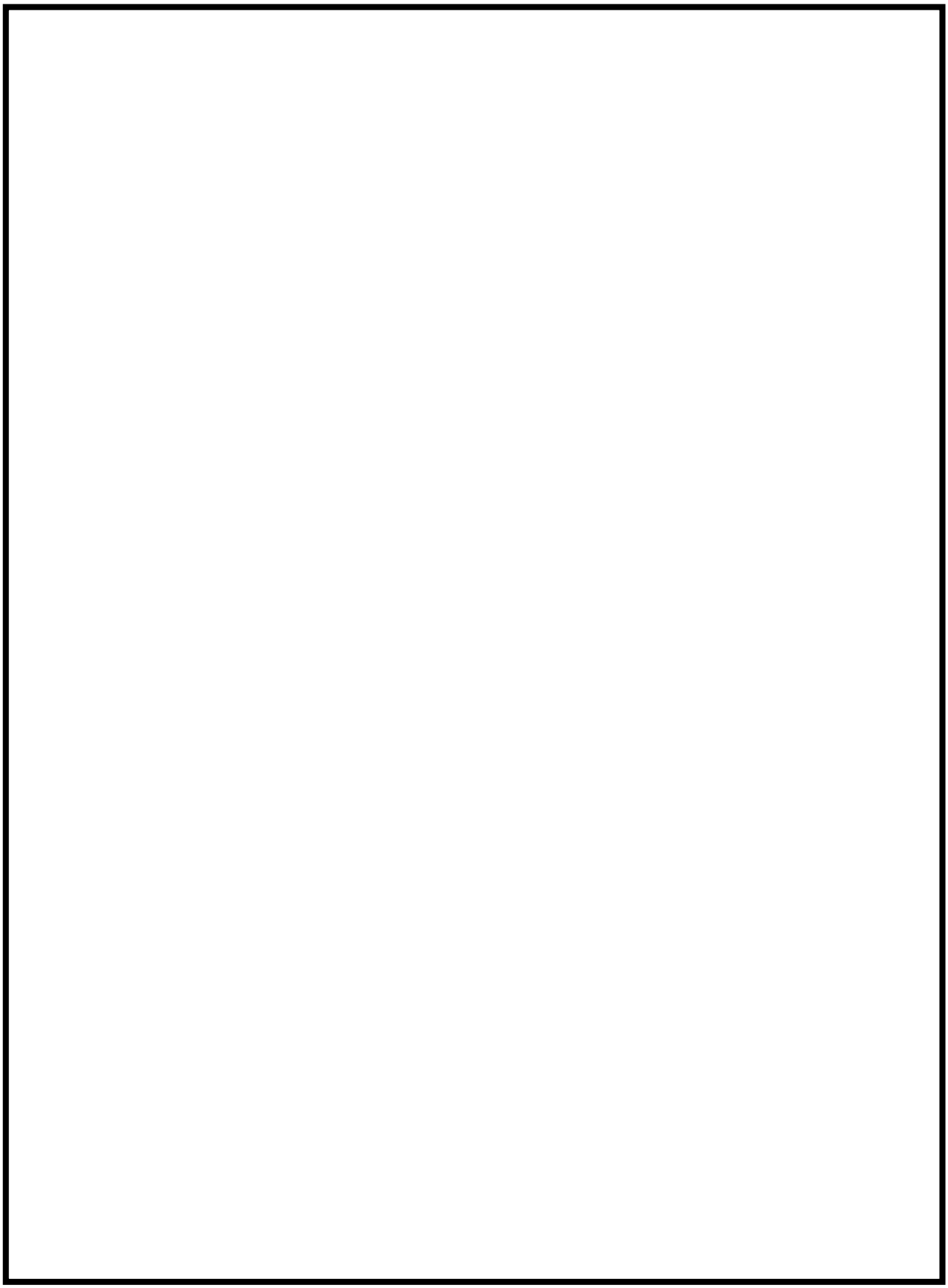


図1 建家内へ浸水した場合の影響(T15トレンチ) 3/3

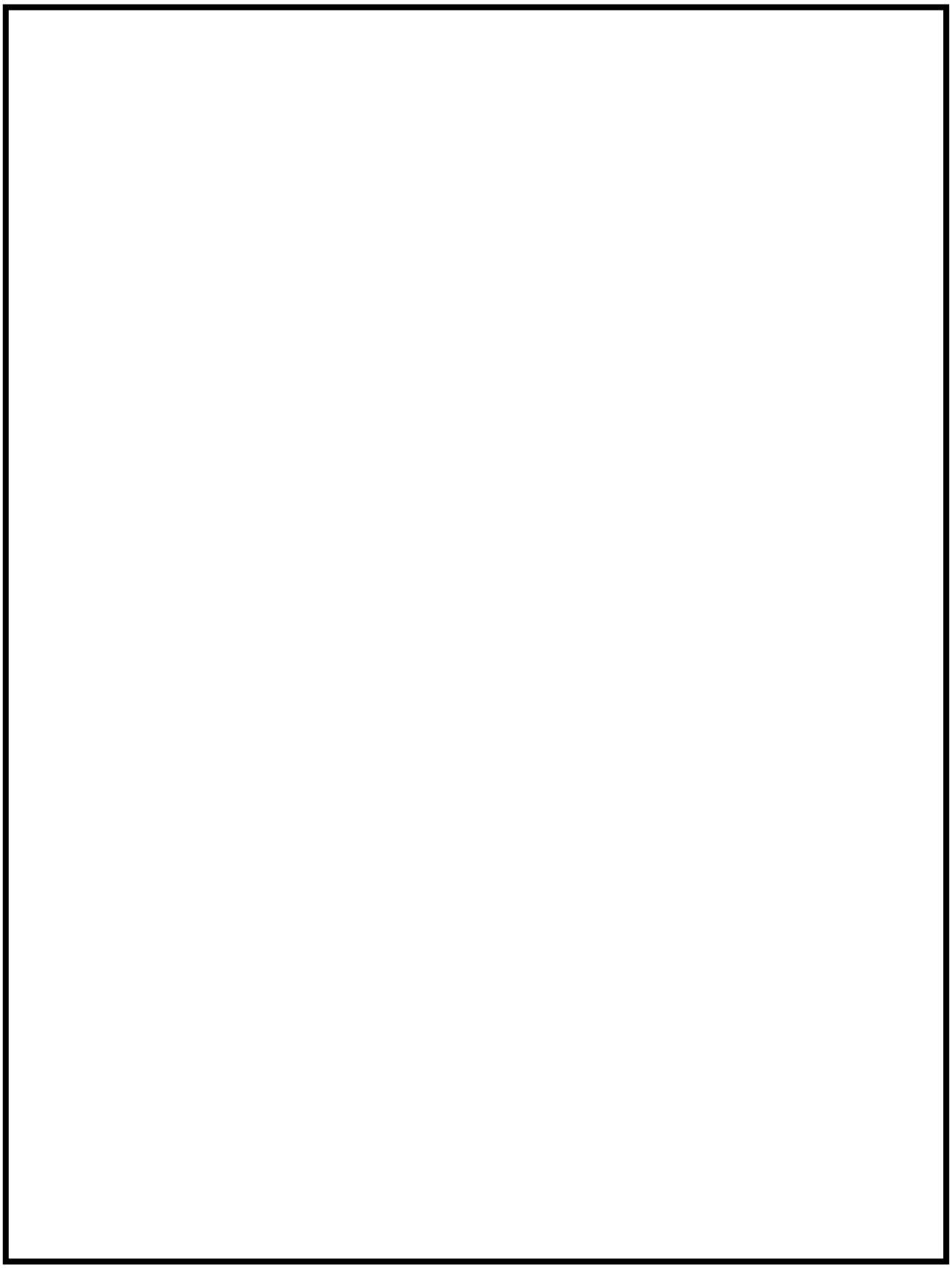


図2　建家内へ浸水した場合の影響（壁貫通配管部）

6−1−3−2−1−1−7

図3　建家内等浸水時の排水方法

添付資料 6-1-3-2-2

屋外監視カメラについて

屋外監視カメラについて

1. 概要

再処理施設への津波の襲来状況等を把握するため，繰り返しの襲来を察知し，津波防護施設及び浸水防止設備の機能，敷地東側の沿岸域並びに敷地内外の状況を監視するために，津波監視設備として，屋外監視カメラを設計津波の影響を受けにくい分離精製工場の屋上に設置している（図-1）。当該監視カメラの機能等について規制要求と比較し，要求を満たすための対応について整理した。

2. 屋外監視カメラの設備構造及び運用

現在運用している屋外監視カメラは，赤外線カメラと可視光カメラを登載した屋外防水防塵構造のデュアルカメラであり（表-1），カメラの左右旋回（360度），上下旋回（水平±90度）及びズーム（2倍，4倍）の操作が可能であり，屋外における津波等の災害の状況を把握することができる。また，カメラの操作は分離精製工場の中央制御室にて行い，カメラ映像は分離精製工場の中央制御室と現場指揮所の監視パソコンにおいて確認することができる。

全交流電源喪失時には無停電電源装置，カセットボンベ式のポータブル発電機を用いて屋外監視カメラ及び監視パソコンに給電し，プルトニウム転換技術開発施設の管理棟駐車場に設置している可搬型発電機が使用できる場合は当該発電機から給電することが可能であり，停電時の運用が可能である。

また，機能維持のため，定期点検の実施（外観目視，作動確認を毎月実施）及び予備品の確保を行っている。

3. 屋外監視カメラの現状と規制要求の整理

「耐震設計に係る工認審査ガイド」，「耐津波設計に係る工認審査ガイド」及び「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」が屋外監視カメラに要求している事項と，再処理施設の屋外監視カメラの現状を整理した（表-2）。

4. まとめ

現在運用している屋外監視カメラについては，機能が維持できない場合には建家屋上から目視で施設周辺を監視する代替措置により対応する。

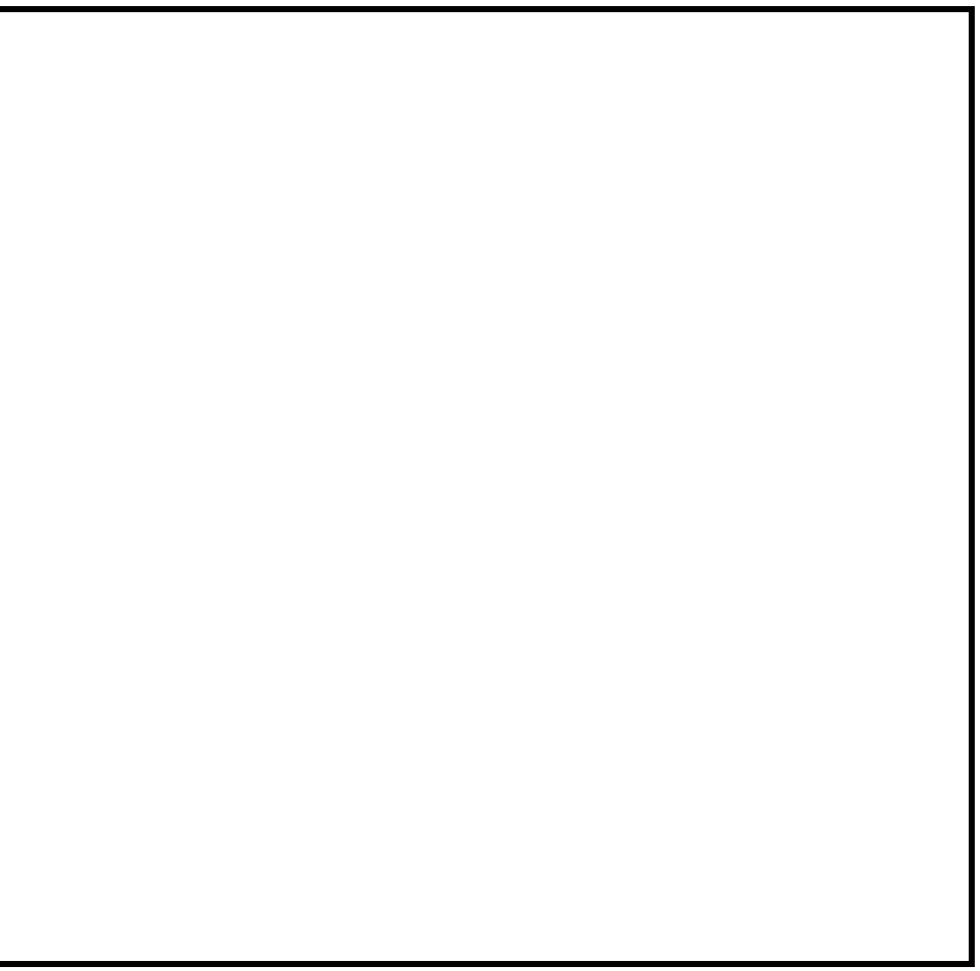
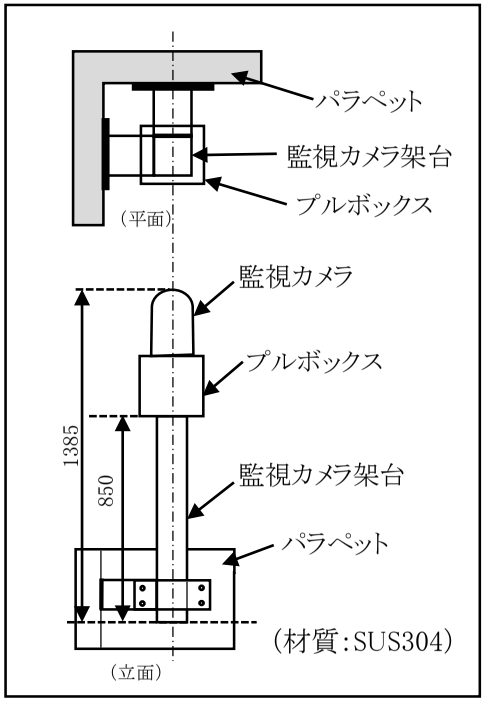
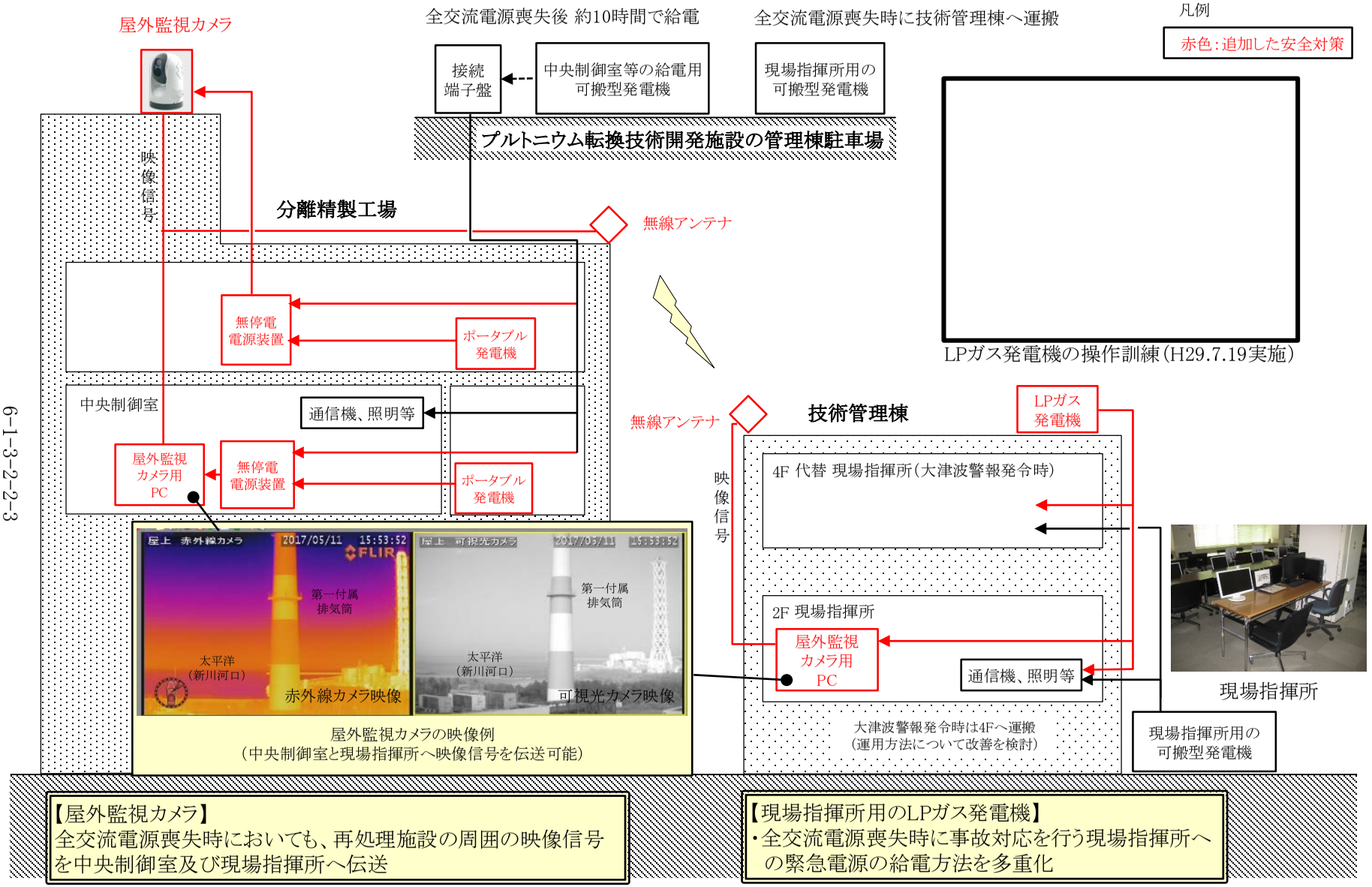


図1　屋外監視カメラの設置場所(1/2)



屋外監視カメラ架台構造図



6-1-3-2-2-3

図1　屋外監視カメラの設置場所(2/2)

表1　屋外監視カメラの主な仕様

		使用範囲など
動作温度範囲		－25度～＋55度
防塵性能		MIL標準810E
防水性能		IPx6
視野角		25°　×20°
パーン（左右旋回）		連続 360°
チルト（上下旋回）		水平±90°
消費電力		25 W（最大50 W）
赤外線カメラ	画像	夜間でも温度差に基づいたカラー画像を表示
	ズーム機能	デジタルズーム（×2倍、×4倍）
可視光カメラ	画像	日中、微光環境下での白黒画像を表示
	ズーム機能	無

表2　屋外監視カメラの現状と規制要求の整理結果

規制要求		屋外監視カメラの現状		
ガイド名	要求事項	要求を満たしている事項	要求を満たしていない事項	要求を満たすための対応
耐震設計に係る工認審査ガイド	津波監視設備の耐震設計上の重要度分類はSクラスとし，基準地震動に対して十分な余裕を考慮して設計すること。	カメラ本体は水平方向9G，垂直方向15Gの耐衝撃性能を有している（メーカカタログ値）。	廃止措置計画用設計地震動により，屋外監視カメラの付属機器（パソコン，ルーター，ケーブル等）及び可搬型電源は動的機能維持が確認された仕様ではないことから監視機能が損なわれるおそれがある。	カメラ本体及び付属機器の予備品を確保しており，破損した場合は，速やかに交換し，監視機能を復旧させる。PCについては，耐衝撃性能等を考慮した仕様として改善する。 遡上津波の襲来の状況が確認できない場合，建家屋上から人の目視などで施設周辺を監視する。
	津波監視設備は，地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器であるため，基準地震動により，動的機能が保持されること。			
耐津波設計に係る工認審査ガイド	設置位置 遡上解析結果に基づき，津波防護施設や浸水防止設備の状態を監視でき，津波影響を受けにくい位置に設置されること。	カメラ本体は鉄筋コンクリート構造である分離精製工場※の屋上（T.P.約33 m）に，監視モニタは分離精製工場の中央制御室（T.P.約20 m）に設置されており，津波の影響を受けにくい位置に設置している。	高放射性廃液貯蔵場及び浸水防止扉への状態は，屋外監視カメラの死角となっており視認できない。	高放射性廃液貯蔵場の浸水防止扉の状況は，高台の旧転換駐車場や建家屋上から目視などにより監視する。
	仕様 地震後や津波前後の主要位置における津波防護施設及び浸水防止設備の状態，並びに敷地前面の津波の襲来の状況等をリアルタイムかつ継続的に把握できる仕様であること。	遡上津波の襲来の状況はリアルタイムで監視できる。		
	構造及び強度（カメラ本体） 入力津波による荷重及び地震による荷重等の組み合わせを考慮して設定した，設備に生じる応力又は変形等の値が，許容限界値に対して妥当な余裕を有していること。	屋外監視カメラは津波の影響を受けにくい位置に設置されている。 カメラ本体は水平方向9G，垂直方向15Gの耐衝撃性能を有している（メーカカタログ値）。	設置当時，1000 ガル相当の地震動を想定し，耐えうるように据付ボルトの耐震設計を行った。	カメラ本体及び付属機器の予備品を確保しており，破損した場合は，速やかに交換し，監視機能を復旧させる。PCについては，耐衝撃性能等を考慮した仕様として改善する。 遡上津波の襲来の状況が確認できない場合，建家屋上から人の目視などで施設周辺を監視する。
	構造及び強度（屋外監視カメラを設置する建家や建築物等） 地震や津波に対して屋外監視カメラの正常動作に影響を及ぼすことが無いこと。	屋外監視カメラの架台は剛構造であり，共振のおそれはない。主なケーブルは電線管等に収納し固有振動数が20Hz以上となるよう固定して敷設。	廃止措置計画用設計地震動により，屋外監視カメラの付属機器（パソコン，ルーター，ケーブル等）及び可搬型電源は動的機能維持が確認された仕様ではないことから監視機能が損なわれるおそれがある。	カメラ本体及び付属機器の予備品を確保しており，破損した場合は，速やかに交換し，監視機能を復旧させる。PCについては，耐衝撃性能等を考慮した仕様として改善する。 遡上津波の襲来の状況が確認できない場合，建家屋上から人の目視などで施設周辺を監視する。
基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド	津波遡上解析結果に基づき，津波影響（波力，漂流物の衝突等）を受けにくい位置，及び津波影響を受けにくい建家・区画・囲い等の内部に設置されること。	カメラ本体は鉄筋コンクリート構造である分離精製工場の屋上（T.P.+約33 m）に，監視モニタは分離精製工場の中央制御室（T.P.+約20 m）に設置されており，津波の影響を受けにくい位置に設置している。		
	設備の位置，構造（耐水性を含む），地震荷重・風荷重等の組み合わせを考慮した強度に対しても津波監視機能が十分に保持できるよう設計すること。	カメラ本体は水平方向9G，垂直方向15Gの耐衝撃性能を有している（メーカカタログ値）。 カメラ本体は100ノット（185 km/h）の風に耐える仕様である（メーカカタログ値）。		

※廃止措置計画用設計地震動による地震力や廃止措置計画用設計津波による波圧，漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり，令和2年11月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認する。

別紙 6-1-3-2-2-1

屋外監視カメラの監視機能維持の方法

屋外監視カメラを構成する部品は，監視機能を維持するために，交換可能な設計とするとともに，監視装置等と屋外監視カメラ本体とを直接接続可能な設計としており，中央制御室に常駐する要員により構成部品の交換又は監視装置との接続操作は速やかに行える。

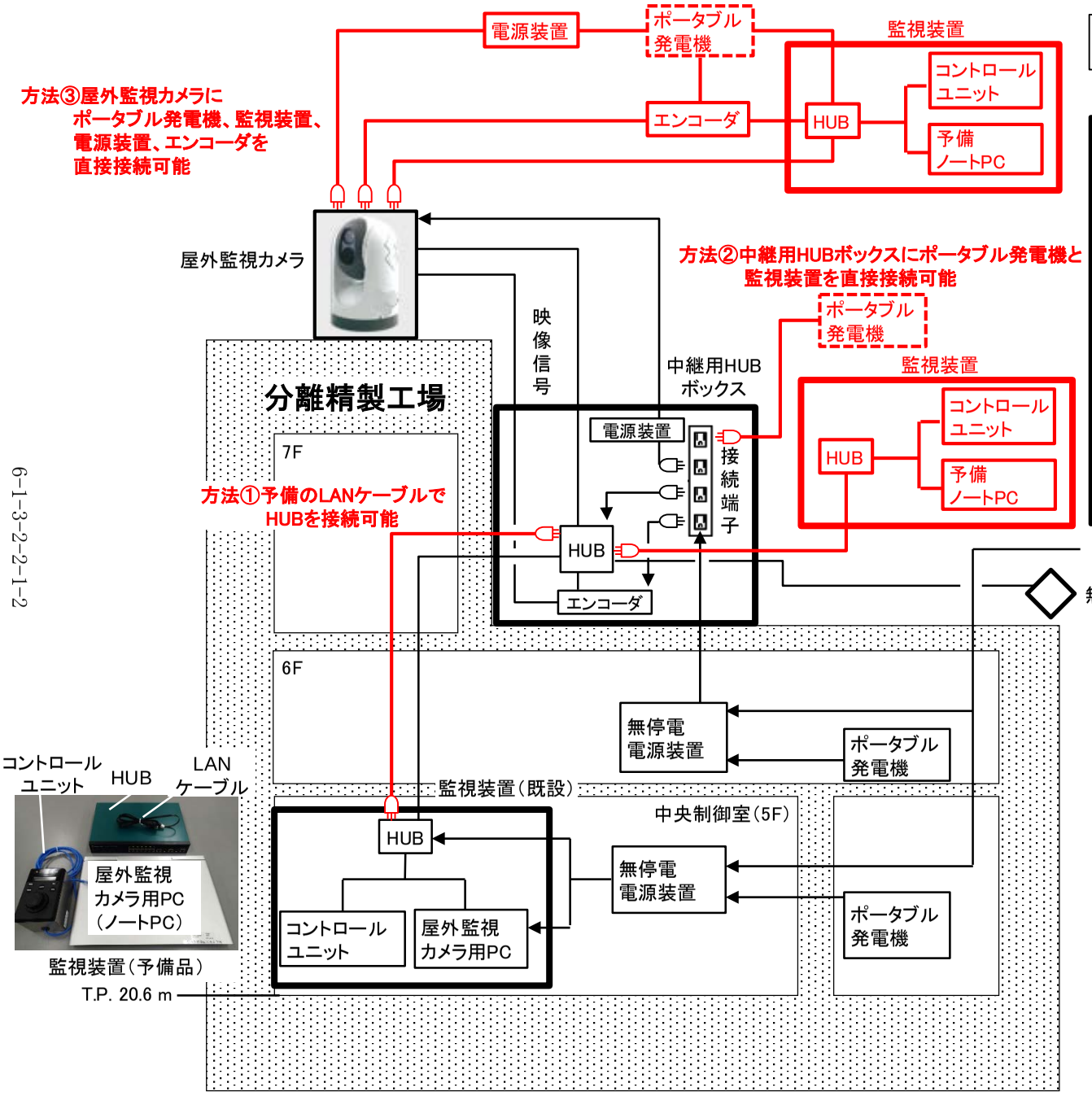
これらの操作は，設計津波の遡上波が敷地へ浸入するまでの時間を考慮し，要員による対応が確実に実施できることを確認する。

さらに，監視機能が維持できない場合には設計津波の遡上高さを上回る建家屋上等から目視により施設周辺を監視する代替措置により対応することができることを確認する。

上記の対応については，令和2年 7 月までに実施する事故対処設備の有効性評価に合わせて確認する。

以上

屋外監視カメラの構成と監視機能維持の方法



凡例
：監視機能維持の方法

屋外監視カメラ等の耐震性

・屋外監視カメラ本体は，水平方向9 G，垂直方向15 Gの耐衝撃性能を有している。屋外監視カメラの架台は剛構造であり，1000ガル相当の地震動に耐え得る据付ボルトで分離精製工場屋上に固定している。

・分離精製工場建家は，設計地震動による地震力や設計津波による波圧，漂流物の衝突を考慮した場合においても倒壊しない見通しであり，令和2年11月までに行う詳細評価において十分な構造強度を有することを確認する。

・屋外のケーブル類は電線管に収納し，定ピッチスパン法で算出した固有振動数20 Hz以上になるサポート間隔で分離精製工場の外壁に固定している。

監視機能維持の方法

方法①中継用HUBボックスのHUBと中央制御室のHUBを予備のLANケーブル（約50 m）で接続することで監視機能を維持可能。

方法②中継用HUBボックスの接続端子，HUBにポータブル発電機（屋内に配備済）と監視装置を直接接続することで，監視機能を維持可能。

方法③屋外監視カメラ本体にポータブル発電機と，監視装置，電源装置，エンコーダを直接接続することで，監視機能を維持可能。

添付資料 6-1-3-2-3

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁の補強について

1．概要

高放射性廃液貯蔵場（HAW）の建家1階にはシャッターと扉による開口部（以下「開口部」という。）があり，開口部の外側には浸水防止扉が設置されている（別紙 6-1-3-2-3-1参照）。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）1階南面開口部周辺の外壁は，浸水防止扉に加わる津波波力を負担することから応力が部材耐力を超えるため補強対策を行う（別紙 6-1-3-2-3-2参照）*。補強に当たっては，外壁外側はスライド式浸水防止扉と干渉するため，内側にコンクリートの増し打ち補強を行う補強設計を進めており，令和2年7月に申請を予定している（別紙 6-1-3-2-3-3参照）。

＊当該箇所を除くその他の外壁については，津波波力に対し部材耐力を超過せず，補強を要さない

2．開口部周辺の補強の考え方（別紙 6-1-3-2-3-4参照）

津波の波力による応力は下部で大きくなるため，これまでの概略検討では下部の補強が必要となっている。

現在，実施中の補強設計では，既存躯体との一体性を確保するため，開口部周辺の外壁全面を補強範囲とし，既存躯体にあと施工アンカーを打設し，増打ち壁と連結する計画である。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）外壁の開口部の設置状況と波力算定用津波高さの関係

廃止措置計画用設計津波による波力＋余震に対して補強が必要な高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁面について

- 廃止措置計画用設計津波を基に評価した高放射性廃液貯蔵場（HAW）の波力算定用津波高さはT.P.+12.1 m。
- 高放射性廃液貯蔵場（HAW）の外壁に作用する津波波力（水深係数3）に余震を重畳させた場合の荷重と外壁の短期許容応力の検定比を評価した（表1，2）。
- 2箇所の開口部（浸水防止扉）を有する外壁(南側)は，津波波力と余震による荷重が、短期許容応力を上回るため，開口部周辺の補強を行い高放射性廃液貯蔵場（HAW）建家内への浸水を防止する。

表1 評価条件

項目	条件
波力算定用津波高さ	T.P.+12.1 m
水深係数	3
余震	Sd=1/2Ss
外壁の評価基準	短期許容応力

表2 評価結果 (詳細は次頁参照)

評価対象外壁	照査項目	外壁の短期許容応力に対する津波波力＋余震による荷重の検定比*1
開口壁（南側[高台側]）	曲げ	1.64
	せん断	2.14
無開口壁（東側[海側]）	曲げ	0.84
	せん断	0.58
開口壁（北側[新川側]）	曲げ	0.89
	せん断	0.83
無開口壁（西側[陸地側]）	曲げ	0.84
	せん断	0.58

*1 小数点第三位を切上げ

短期許容曲げモーメントの算出式※1	短期許容せん断力の算出式※2
$M = a_t f_t j$ M ：**短期許容曲げモーメント**[N・mm] a_t ：引張鉄筋断面積[mm^2] f_t ：引張鉄筋の許容引張応力度[N/mm^2] j ：梁の応力中心距離で、(7/8) d としてよい 部材の有効せいの算出式 $\mathrm{d} = D - d_t$ d ：部材の有効せい[mm] D ：壁厚[mm] d_t ：引張縁から引張鉄筋重心までの距離[mm]	$Q_{AS} = bj\left\{\frac{2}{3}\alpha f_s + 0.5\,{}_w f_t (p_w - 0.002)\right\}$ ただし、 $\alpha = \left(\frac{4}{\frac{M}{Qd}+1}\right)$ かつ $(1 \leqq \alpha \leqq 2)$ **(柱は$1 \leqq \alpha \leqq 1.5$)** p_wの値が1.2%を超える場合は，1.2%として許容せん断力を計算する。 Q_{AS}：短期許容せん断力[N] b ：壁幅[mm] j ：応力中心間距離[mm] f_s ：コンクリートの短期許容せん断応力度[N/mm^2] ${}_w f_t$：せん断補強筋の短期許容引張応力度[N/mm^2] (390 N/mm^{2}を超える場合は390 N/mm^{2}として許容せん断力を計算する) p_w ：せん断補強筋比 α ：せん断スパン比$\frac{M}{Qd}$による割増係数 M ：最大曲げモーメント[N・mm] Q ：最大せん断力[N] d ：部材の有効せい[mm]

※1 出典：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説2018(13.1)式
※2 出典：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説2018 (15.3)式

津波波圧による曲げモーメントの算出式※3

$$M = M_s + M_e$$

M_s ：三角分布の荷重による曲げモーメント[kN･m]
M_e ：等分布の荷重による曲げモーメント[kN・m]

三角分布の荷重による曲げモーメント算出式

$$M_s(\text{中央}) = 0.043l\left\{10.1\frac{l^2}{2}\right\}$$

$$M_s(\text{下端}) = \frac{l}{10}\left\{10.1\frac{l^2}{2}\right\}$$

等分布の荷重による曲げモーメント算出式

$$M_e(\text{中央}) = 10.1(h_T - h_1)\frac{l^2}{24}$$

$$M_e(\text{下端}) = 10.1(h_T - h_1)\frac{l^2}{12}$$

l ：壁高さ[m]
h_1：壁上端までの高さ[m]
h_T：水深係数α×静水圧換算津波高さh

津波波圧によるせん断力の算出式※3

$$Q = Q_s + Q_e$$

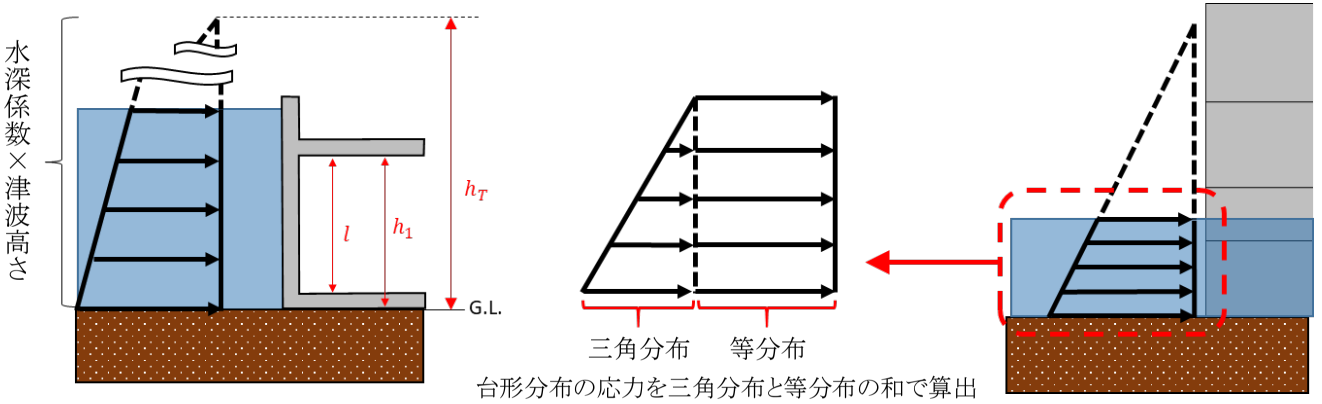
Q_s ：三角分布の荷重によるせん断力[kN]
Q_e ：等分布の荷重によるせん断力[kN]

三角分布の荷重によるせん断力算出式

$$Q_s = \frac{7}{10}l\left\{10.1\frac{l^2}{2}\right\}$$

等分布の荷重によるせん断力算出式

$$Q_e = 10.1(h_T - h_1)\frac{l}{2}$$



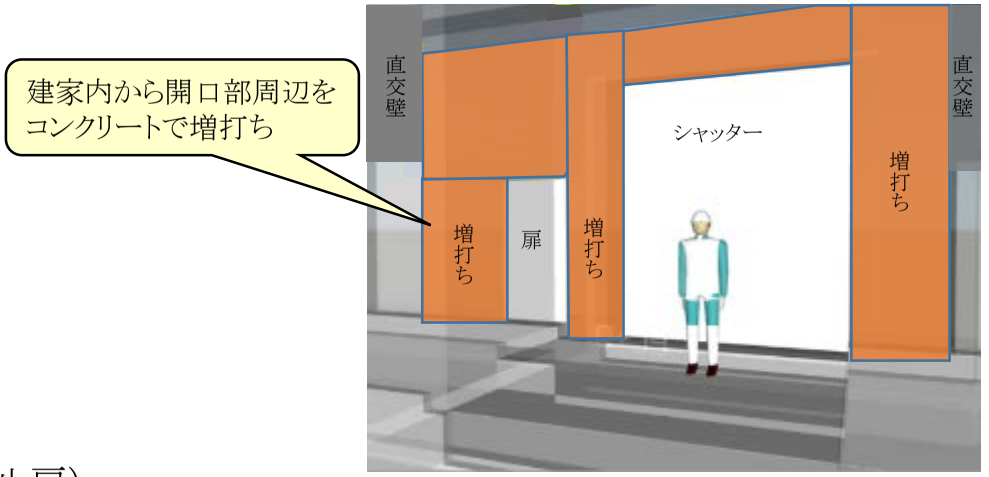
※3 津波による曲げモーメント及びせん断力は、弾性梁の理論式から算出。出典：建築構造ポケットブック（共立出版）、建築構造力学（培風館）

津波防護対策の検討状況－開口部周辺の補強－

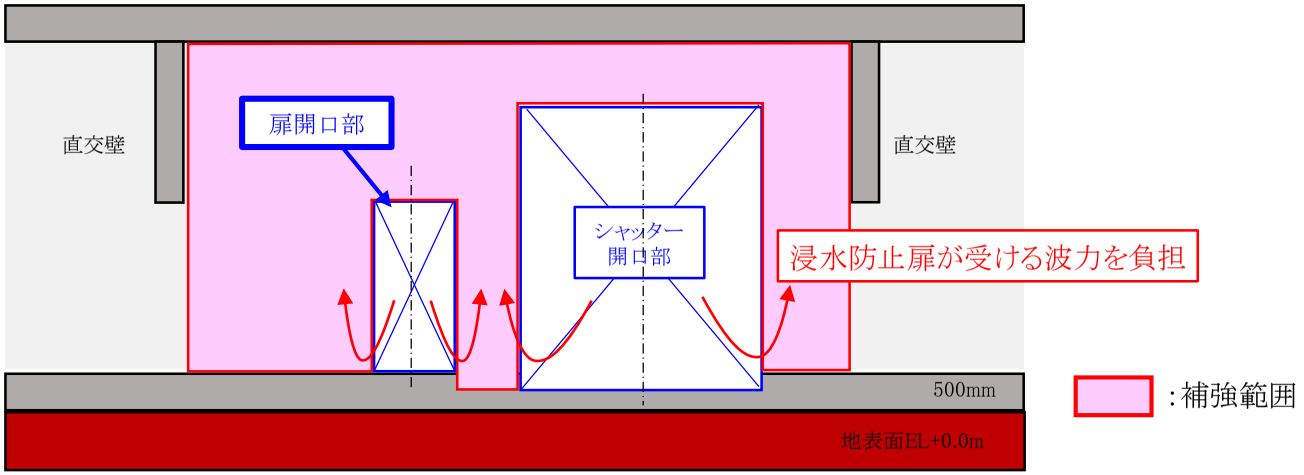
- 開口部周辺の外壁は，浸水防止扉が受ける波力を負担することから応力が大きくなり，部材耐力を超えるため，補強する必要がある。
- 外壁外側はスライド式浸水防止扉と干渉するため，内側にコンクリートの増打ち補強を行う。



建家外側の状況（スライド式浸水防止扉）



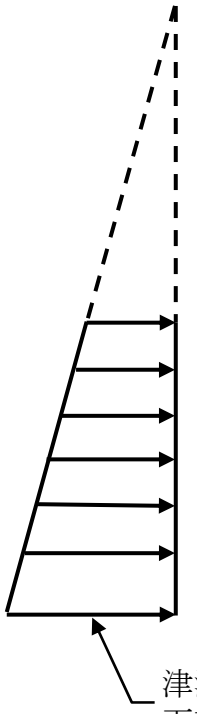
建家内開口部周辺の増打ちのイメージ図



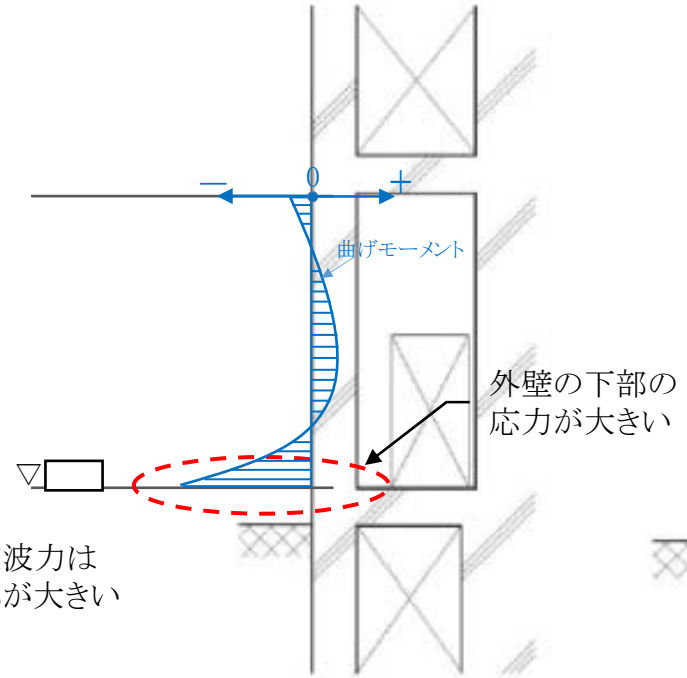
建家内開口部周辺の補強のイメージ図（建家内断面図）

開口部周辺の補強の考え方

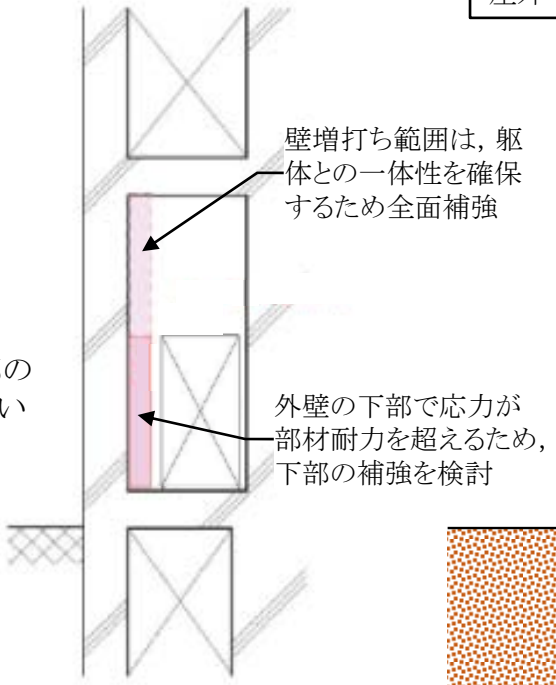
・津波波力は下部の方が大きく，外壁の下部の応力が大きくなるため，補強が必要となる。
・開口部周辺の外壁下部の補強が必要となるが，既存躯体との一体性を確保するため，開口部周辺の外壁全面を補強範囲として設計を進める。
・あと施工アンカーにより，既存躯体と増打ち壁の一体性を高める。



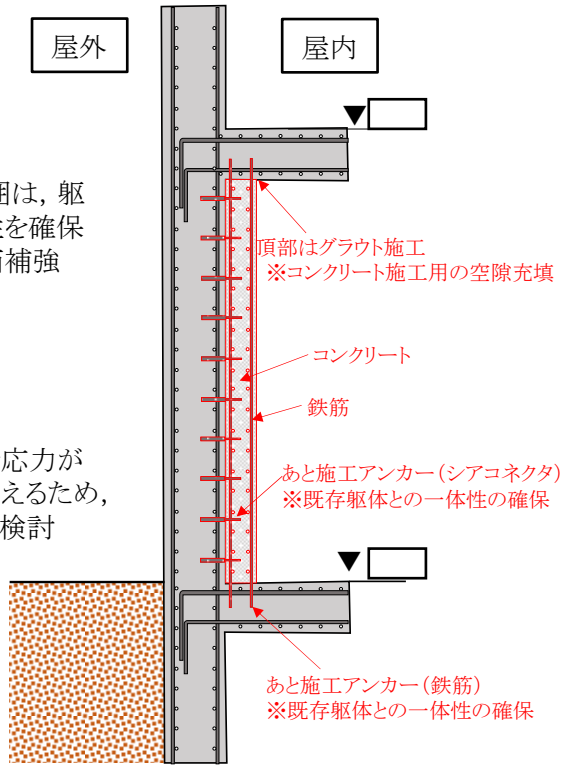
津波の波力



津波の波力により生じる応力
（曲げモーメント分布）



補強範囲



施工イメージ

※壁増打ち厚さは，津波の波力，クライテリアに応じて仕様を確定する。

（別冊 1－12）

再処理施設に関する設計及び工事の計画

（高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）周辺の地盤改良工事）

建物（その 16）高放射性廃液貯蔵場

目　　次

頁

１．　変更の概要　・・・

別　図　一　覧

別図-1　再処理施設の構成及び申請範囲

別図-2　置換コンクリート施工範囲平面図

別図-3　A- A’　断面図

別図-4　B- B’　断面図

別図-5　C- C’　断面図

別図-6　D- D’　断面図

別図-7　置換コンクリート工事フロー図

表　一　覧

表-1　設計条件１

表-2　設計条件２

表-3　設計仕様

表-4　置換コンクリート工の範囲

表-5　高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）周辺の地盤改良工事工程表

１．変更の概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構法（平成 16 年法律第 155 号）附則第 18 条第 1 項に基づき、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第 44 条第 1 項の指定があったものとみなされた再処理施設について、平成 30 年 6 月 13 日付け原規規発第 1806132 号をもって認可を受け、令和 2 年 2 月 10 日付け原規規発第 2002103 号をもって変更の認可を受けた核燃料サイクル工学研究所の再処理施設の廃止措置計画について、変更認可の申請を行う。

今回、高放射性廃液貯蔵場（HAW）は地盤の拘束効果により建物の接地率及び接地圧の向上、配管トレンチ（T21）は躯体の曲げ及びせん断力に対する耐震性を向上させることを目的として、周辺地盤を置換コンクリートにより改良する。

２．準拠すべき法令、基準及び規格

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」
（昭和 32 年法律第 166 号）
「再処理施設の技術基準に関する規則」（令和 2 年原子力規制委員会規則第 9 号）
「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」
（平成 25 年 原子力規制委員会規則第 27 号）
「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」
（平成 25 年 原子力規制委員会規則第 5 号）
「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）」（日本電気協会）
「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）」（日本電気協会）
「日本産業規格（JIS）」
「コンクリート標準示方書」（土木学会）
「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」
（平成４年９月 土木学会 原子力土木委員会）
「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」
（平成１７年６月 土木学会 原子力土木委員会）

３．設計の基本方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は地盤の拘束効果により建物の接地率及び接地圧の向上、配管トレンチ（T21）は躯体の曲げ及びせん断力に対する耐震性を向上させることを目的として、周辺地盤を置換コンクリートにより改良する。

４．設計条件及び仕様

(1) 設計条件

表-1　設計条件１

名　　称	高放射性廃液貯蔵場（HAW）
耐震重要度分類	セル　S クラス（旧 A 類） 建家　B クラス（旧 B 類）
構　　造	鉄筋コンクリート造

表-2　設計条件２

名　　称	配管トレンチ（T21）
耐震重要度分類	S クラス（旧 A 類）
構　　造	鉄筋コンクリート造

(2)　仕様

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）の耐震性向上のため、以下の施工を行う。

表-3　設計仕様

名　　称	高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）
仕　　様	高放射性廃液貯蔵場（HAW）周辺地盤 置換コンクリート：普通コンクリート（JIS A 5308） 設計基準強度 18 N/mm^2 配管トレンチ（T21）　周辺地盤 置換コンクリート：普通コンクリート（JIS A 5308） 設計基準強度 18 N/mm^2
図	別図-1～別図-6

表-4　置換コンクリート工の範囲

対　象	底面（m）※1,2	上面（m）※1
高放射性廃液貯蔵場（HAW）	T.P.±0.00 以深	T.P.＋4.00 以浅
配管トレンチ（T21）	T.P.＋0.70 以深	T.P.＋5.30 以浅

※1：既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

※2：砂質泥岩層（久米層）（以下「久米層」という。）の出現深度により、改良範囲が異なる場合がある。

５．工事の方法

(1)　工事の方法及び手順

本工事は、まず、地表面から、置換コンクリート底面深さである T.P.±0.00 m （配管トレンチ（T21）周辺は T.P.+0.70 m）まで掘削する。掘削完了前に久米層が確認された場合は、確認された深さで掘削を止める。掘削床に関して、基面整形を行った後、型枠の組立て及び置換コンクリート上面深さである T.P.+4.00 m（配管トレンチ（T21）周辺は T.P.+5.30 m）になるまでコンクリート打設を繰り返す（ただし、既設構造物がある場合は改良深さが異なる場合がある。）。置換コンクリートの上面深さに達した後、地表面まで埋め戻す。この工程を置換コンクリートの施工範囲が完了するまで繰り返す（ただし、既設構造物がある場合は改良範囲が異なる場合がある）。なお、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟近傍の置換コンクリートの直下のみ、地表面から沖積層の地盤補強を実施する。

本工事のフローを別図-7 に示す。また、本工事において実施する試験・検査項目、検査方法、判定基準を以下に示す。

1）　試験・検査項目

試験・検査は、工事の工程にしたがい、次の項目について実施する。

①　強度検査

方　法：　置換コンクリートの強度を圧縮強度試験により確認する。

判　定：　置換コンクリートの圧縮強度の平均値が表-3 に示す設計基準強度の値以上であり、かつ、個々の値が表-3 に示す設計基準強度の値の 85 %以上であること。

②　寸法検査 1

方　法：　置換コンクリートの底面深さを測定により確認する。ただし、久米層の出現深度が表-4 より浅い場合には久米層を底面とする。久米層は地盤調査時に採取した土質試料との比較により確認する。

判　定：　置換コンクリートの底面深さが表-4 に示す範囲であること。ただし、久米層の出現深度が表-4 より浅い場合には、地盤調査時に採取した土質試料と同じ土質であることの確認結果を踏まえ、置換コンクリートの底面を別図-3～別図-6 に示す久米層とする。

寸法検査 2

方　法：　置換コンクリートの上面深さを測定により確認する。

判　定：　置換コンクリートの上面深さが表-4 に示す範囲であること。

③　外観検査

方　法：　置換コンクリートの範囲を目視により確認する。

判　定：　置換コンクリートが別図-2 に示す範囲であること。

(2)　工事上の安全対策

本工事に際しては、以下の注意事項にしたがい行う。

① 本工事の保安については、再処理施設保安規定に従うとともに、労働安全衛生法に従い、作業者に係る労働災害の防止に努める。

② 本工事においては、作業手順、装備、連絡体制等について十分に検討した上で、作業を実施する。

③ 本工事においては、ヘルメット、保護手袋等の保護具を作業の内容に応じて着用し、災害防止に努める。

④ 本工事における火気作業時は、近傍の可燃物を除去した上で実施する。ただし、可燃物を除去できない場合は、不燃シートによる作業場所の養生等を行い、火災を防止する。

⑤ 本工事における高所作業時は、墜落制止用器具等の保護具を着用し、災害防止に努める。

⑥ 本工事における掘削作業時は、既設埋設物及び既設構築物を図面及び現地にて確認し、既設埋設物及び既設構築物の損傷防止に努める。

⑦ 本工事においては、高放射性廃液貯蔵場（HAW）、ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟、分離精製工場（MP）、リサイクル機器試験施設（RETF）リサイクル機器試験棟、主排気筒、第二付属排気筒及び配管トレンチ等の躯体に対して損傷を与えないよう、監視の強化、躯体近傍での重機の制限等を要領書等に定めて工事を行う。なお、補修等の必要がある劣化等が確認された場合は、速やかに補修等の適切な対処を行う。

⑧ 本工事においては、工事期間中も電源、冷却水供給等の事故対処ができるように、高放射性廃液貯蔵場（HAW）へのアクセスに支障の無いよう仮設足場等、工事状況に応じて適切な措置を講じる。

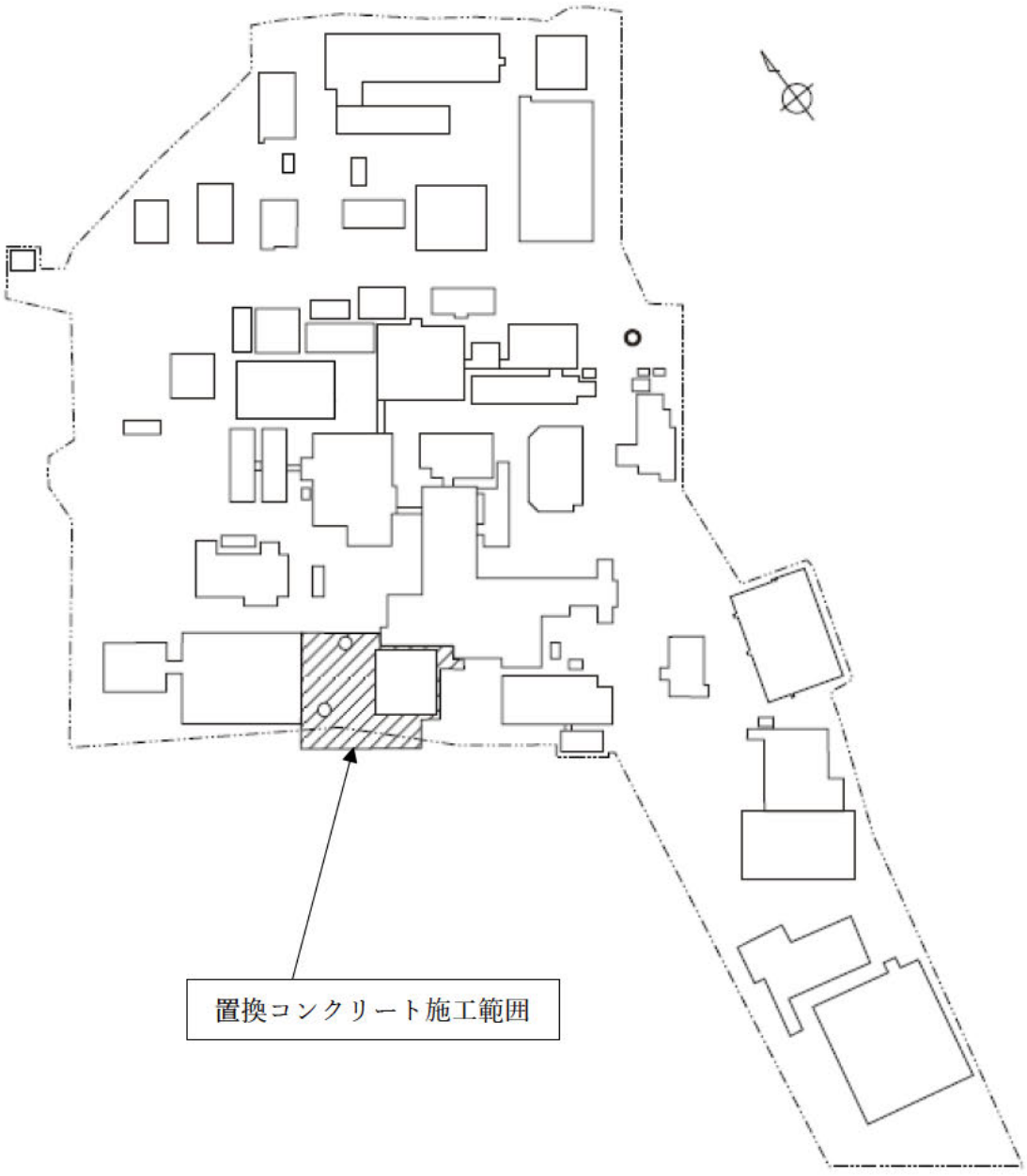
６．工事の工程

本申請に係る工事の工程を表-5 に示す。

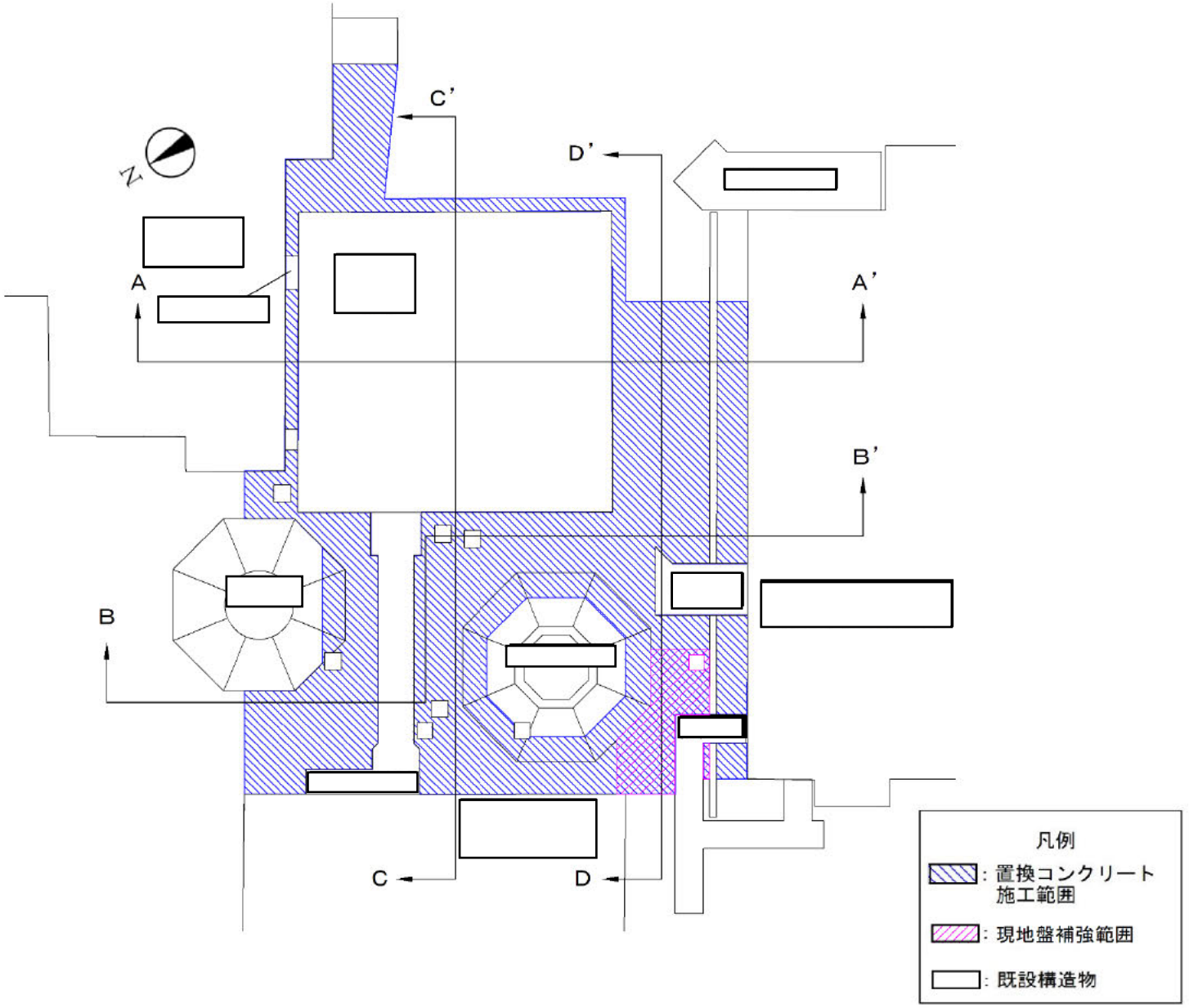
表-5　高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）周辺の地盤改良工事工程表

	令和 2 年度		令和 3 年度		備　考
高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）周辺の地盤改良工事		工事			

（別図）

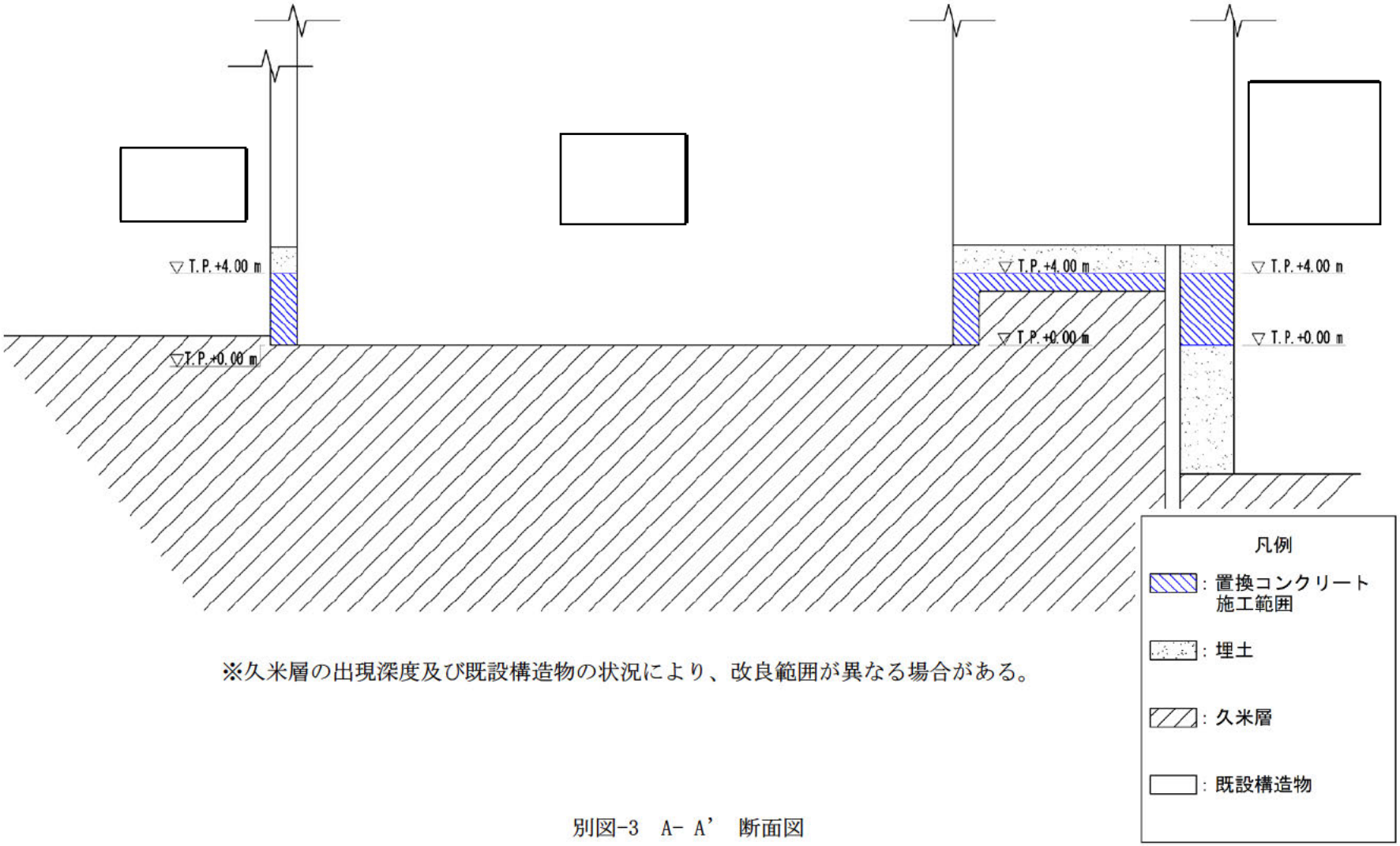


別図−1　再処理施設の構成及び申請範囲



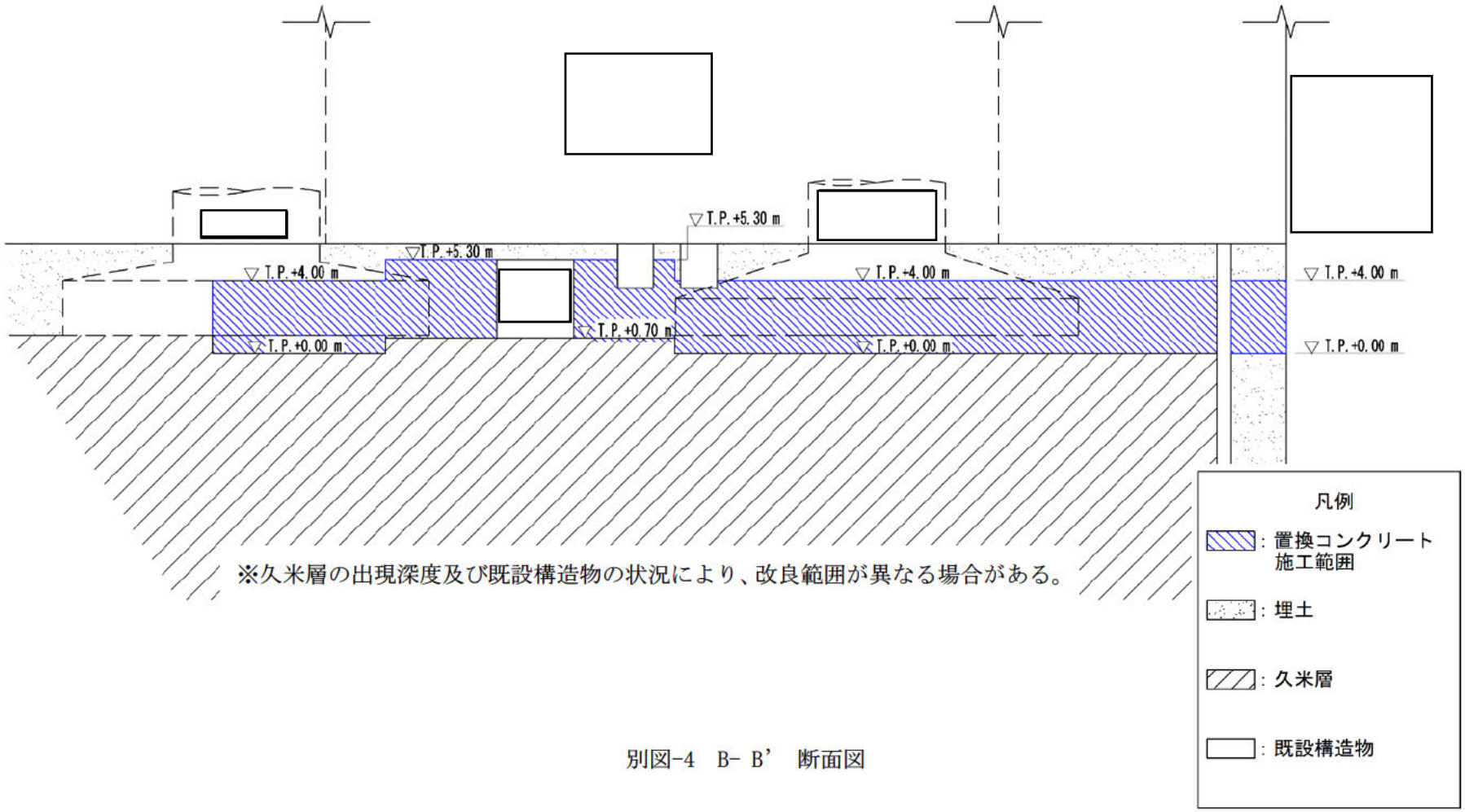
※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-2　置換コンクリート施工範囲平面図

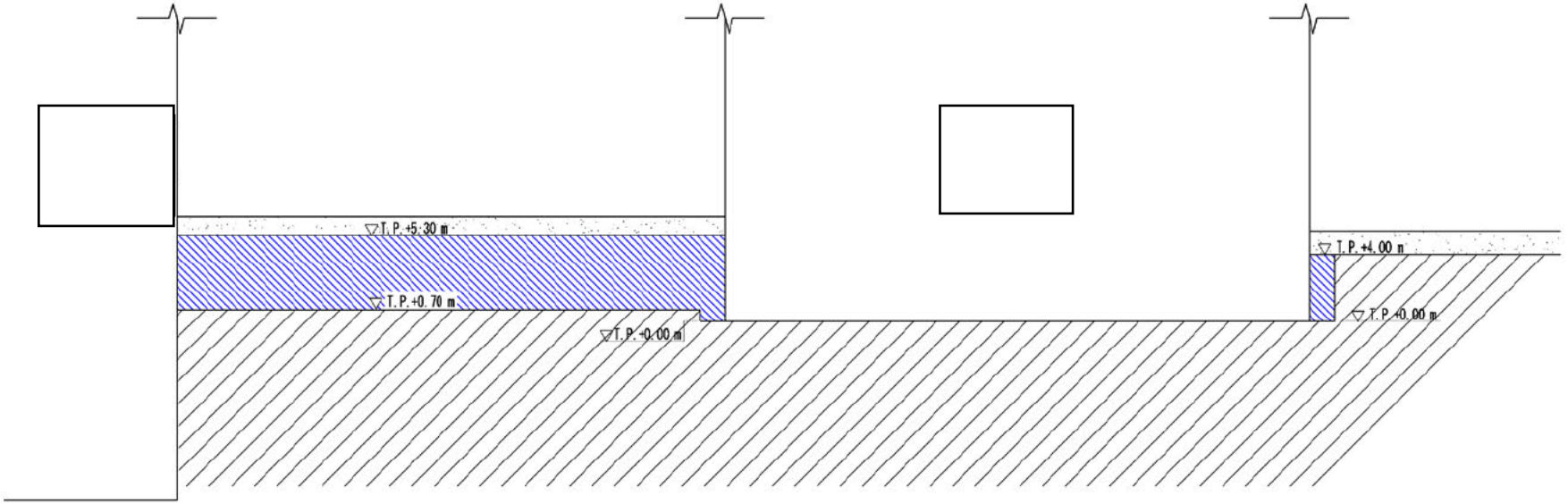


※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-3　A- A’　断面図


▽T.P.+5.30 m
▽T.P.+5.30 m
▽T.P.+4.00 m
▽T.P.+4.00 m
▽T.P.+4.00 m
▽T.P.+0.70 m
▽T.P.+0.00 m
▽T.P.+0.00 m
▽T.P.+0.00 m
※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。
凡例
：置換コンクリート施工範囲
：埋土
：久米層
：既設構造物

別図-4　B- B’　断面図



※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

凡例

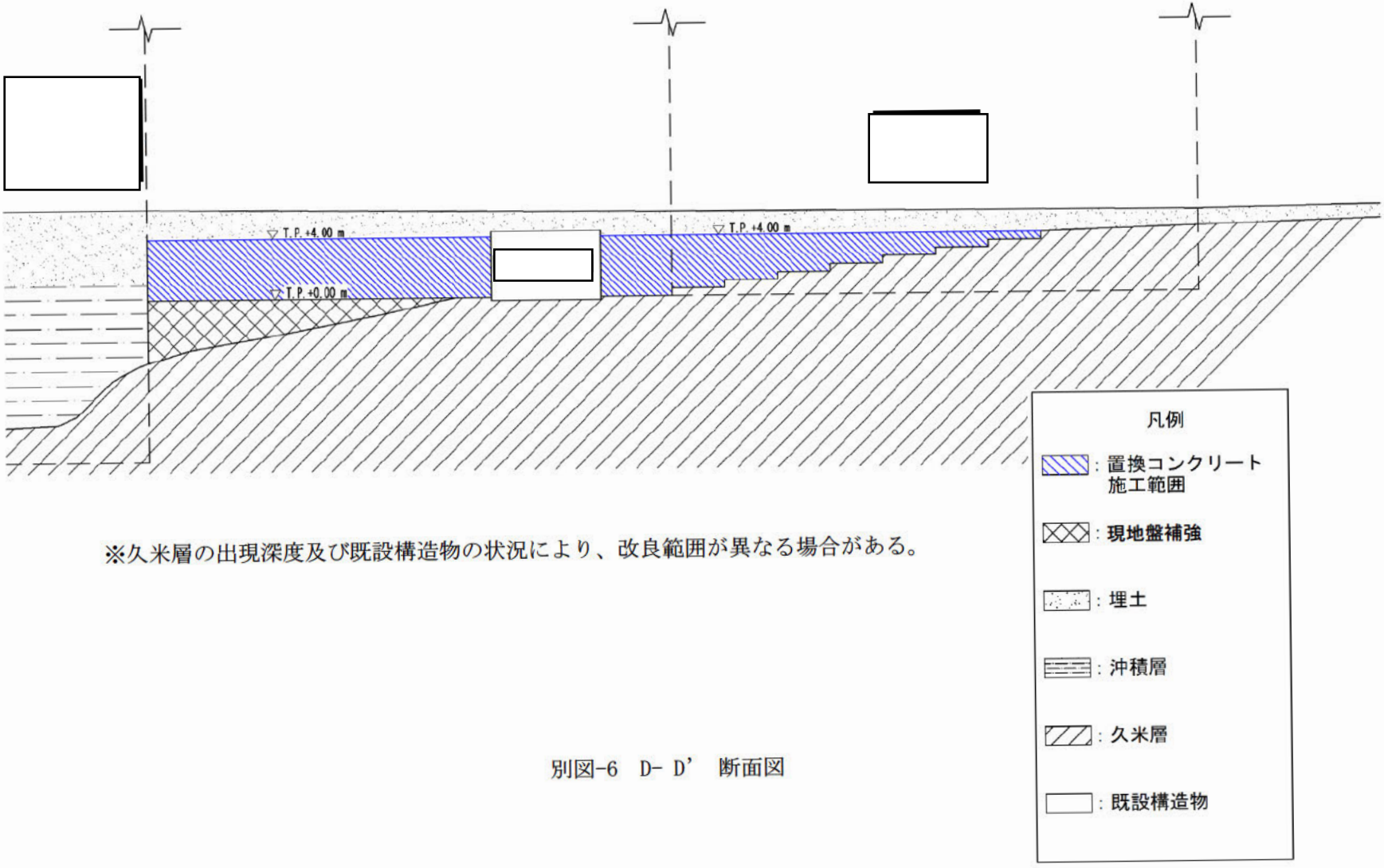
：置換コンクリート施工範囲

：埋土

：久米層

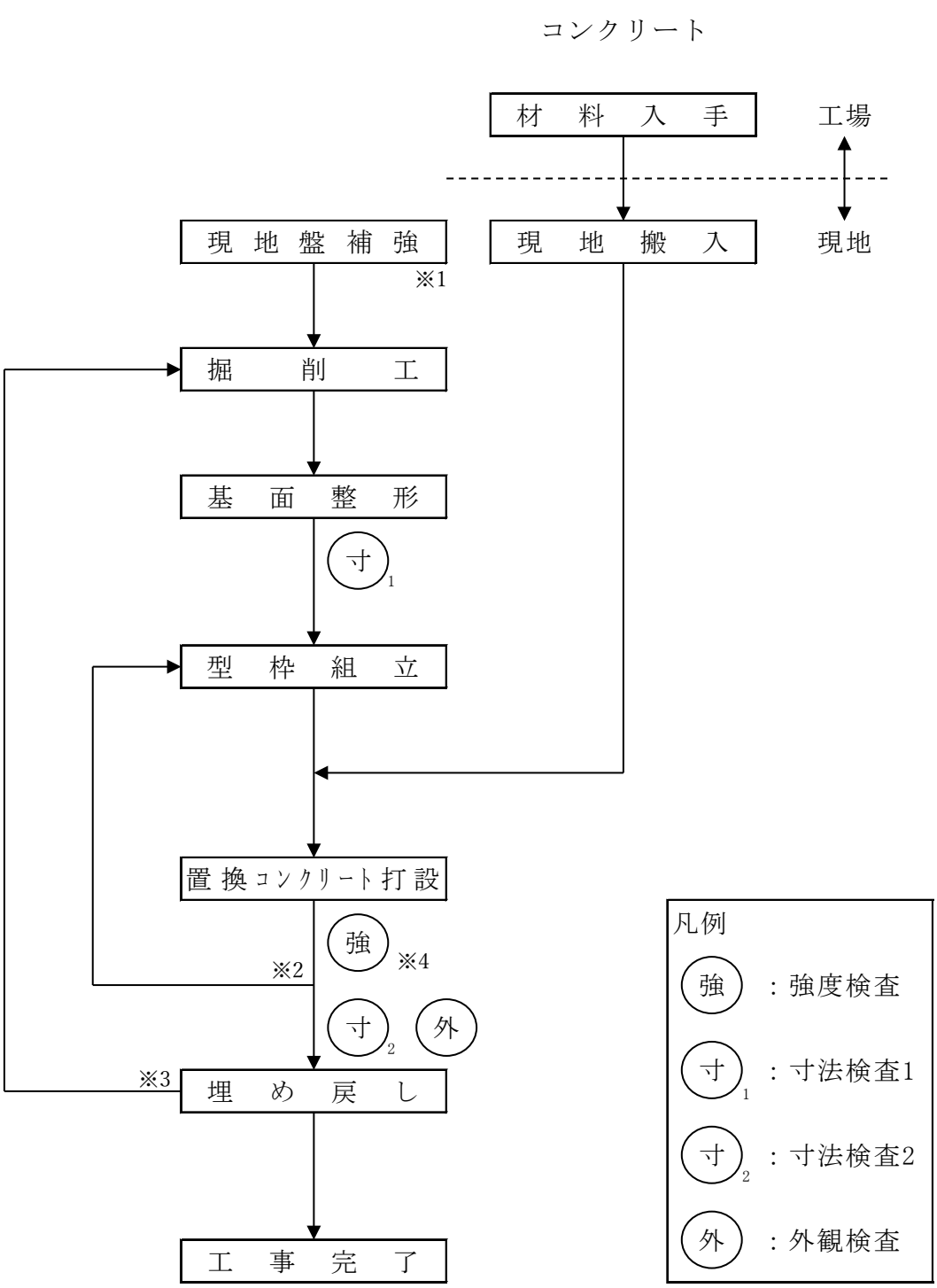
：既設構造物

別図-5　C- C’　断面図



※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-6　D- D’　断面図



※1：ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟近傍の置換コンクリートの直下のみ実施する

※2：置換コンクリートが表-4 の上面深度に達するまで繰り返す

※3：置換コンクリートの施工範囲が完了するまで繰り返す

※4：コンクリートの圧縮強度試験はトラックアジテータから採取した供試体を用いて実施する

別図-7　置換コンクリート工事フロー図

添　付　書　類

１．申請に係る「再処理施設の技術基準に関する規則」との適合性

２．申請に係る「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第 44 条第 1 項の指定若しくは同法第 44 条の 4 第 1 項の許可を受けたところ又は同条第 2 項の規定により届け出たところによるものであることを説明した書類

１．申請に係る「再処理施設の技術基準に関する規則」との適合性

本申請に係る「再処理施設に関する設計及び工事の計画」は以下に示すとおり「再処理施設の技術基準に関する規則」に掲げる技術上の基準に適合している。

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第一条	定義	－	－	－
第二条	特殊な設計による再処理施設	無	－	－
第三条	廃止措置中の再処理施設の維持	無	－	－
第四条	核燃料物質の臨界防止	無	－	－
第五条	安全機能を有する施設の地盤	無	－	－
第六条	地震による損傷の防止	有	第２項	別紙-1 に示すとおり
第七条	津波による損傷の防止	無	－	－
第八条	外部からの衝撃による損傷防止	無	－	－
第九条	再処理施設への人の不法な侵入等の防止	無	－	－
第十条	閉じ込めの機能	無	－	－
第十一条	火災等による損傷の防止	無	－	－
第十二条	再処理施設内における溢水による損傷の防止	無	－	－
第十三条	再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止	無	－	－
第十四条	安全避難通路等	無	－	－
第十五条	安全上重要な施設	無	－	－
第十六条	安全機能を有する施設	無	－	－
第十七条	材料及び構造	無	－	－
第十八条	搬送設備	無	－	－
第十九条	使用済燃料の貯蔵施設等	無	－	－
第二十条	計測制御系統施設	無	－	－
第二十一条	放射線管理施設	無	－	－
第二十二条	安全保護回路	無	－	－

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第二十三条	制御室等	無	－	－
第二十四条	廃棄施設	無	－	－
第二十五条	保管廃棄施設	無	－	－
第二十六条	使用済燃料等による汚染の防止	無	－	－
第二十七条	遮蔽	無	－	－
第二十八条	換気設備	無	－	－
第二十九条	保安電源設備	無	－	－
第三十条	緊急時対策所	無	－	－
第三十一条	通信連絡設備	無	－	－
第三十二条	重大事故等対処施設の地盤	無	－	－
第三十三条	地震による損傷の防止	無	－	－
第三十四条	津波による損傷の防止	無	－	－
第三十五条	火災等による損傷の防止	無	－	－
第三十六条	重大事故等対処設備	有	第１項三号 第３項五号	別紙-2 に示すとおり
第三十七条	材料及び構造	無	－	－
第三十八条	臨界事故の拡大を防止するための設備	無	－	－
第三十九条	冷却機能の喪失による蒸発乾固に対処するための設備	無	－	－
第四十条	放射線分解により発生する水素による爆発に対処するための設備	無	－	－
第四十一条	有機溶媒等による火災又は爆発に対処するための設備	無	－	－
第四十二条	使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	無	－	－
第四十三条	放射性物質の漏えいに対処するための設備	無	－	－
第四十四条	工場等外への放射性物質等の放出を抑制するための設備	無	－	－

技術基準の条項		評価の必要性の有無		適合性
		有・無	項・号	
第四十五条	重大事故等への対処に必要となる水の供給設備	無	－	－
第四十六条	電源設備	無	－	－
第四十七条	計装設備	無	－	－
第四十八条	制御室	無	－	－
第四十九条	監視測定設備	無	－	－
第五十条	緊急時対策所	無	－	－
第五十一条	通信連絡を行うために必要な設備	無	－	－
第五十二条	電磁的記録媒体による手続	無	－	－

第六条（地震による損傷の防止）

安全機能を有する施設は、これに作用する地震力（事業指定基準規則第七条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないものでなければならない。

２　耐震重要施設（事業指定基準規則第六条第一項に規定する耐震重要施設をいう。以下同じ。）は、基準地震動による地震力（事業指定基準規則第七条第三項に規定する基準地震動による地震力をいう。以下同じ。）に対してその安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。

３　耐震重要施設は、事業指定基準規則第七条第三項の地震により生ずる斜面の崩壊によりその安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。

２　本申請は、事業指定基準規則第七条第三項に規定する基準地震動による地震力（廃止措置計画用設計地震動による地震力）に対して、耐震重要施設である高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）の健全性を維持するために必要となる耐力を確保するため、高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）周辺地盤を置換コンクリートで改良するものである。

高放射性廃液貯蔵場（HAW）及び配管トレンチ（T21）については、周辺地盤改良により、地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがない地盤とする。耐震性の詳細については、別添 6-1-2-3「建物・構築物及び機器・配管系の構造（耐震性）に関する説明書」による。

第三十六条（重大事故等対処設備）

重大事故等対処設備は、次に掲げるところによるものでなければならない。

一　想定される重大事故等の収束に必要な個数及び容量を有すること。

二　想定される重大事故等が発生した場合における温度、放射線、荷重その他の使用条件において、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮すること。

三　想定される重大事故等が発生した場合において確実に操作できること。

四　健全性及び能力を確認するため、再処理施設の運転中又は停止中に検査又は試験ができること。

五　本来の用途以外の用途として重大事故等に対処するために使用する設備にあっては、通常時に使用する系統から速やかに切り替えられる機能を備えること。

六　工場等内の他の設備に対して悪影響を及ぼさないこと。

七　想定される重大事故等が発生した場合において重大事故等対処設備の操作及び復旧作業を行うことができるよう、線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講ずること。

三　工事期間中は、組立水槽，可搬型エンジン付ポンプ等の事故対処資機材を使用する際に、機材の設置場所、対処要員のアクセスルート等を確保し、冷却水等を供給できるように処置する。

第三十六条（重大事故等対処設備）

2　常設重大事故等対処設備は、前項各号に掲げるもののほか、共通要因（事業指定基準規則第一条第二項第九号に規定する共通要因をいう。以下この条において同じ。）によって設計基準事故に対処するための設備の安全機能と同時にその機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置が講じられたものでなければならない。

3　可搬型重大事故等対処設備に関しては、第一項の規定によるほか、次に掲げるところによるものでなければならない。

一　常設設備（再処理施設と接続されている設備又は短時間に再処理施設と接続することができる常設の設備をいう。以下この項において同じ。）と接続するものにあっては、当該常設設備と容易かつ確実に接続することができ、かつ、二以上の系統が相互に使用することができるよう、接続部の規格の統一その他の適切な措置を講ずること。

二　常設設備と接続するものにあっては、共通要因によって接続することができなくなることを防止するため、可搬型重大事故等対処設備（再処理施設の外から水又は電力を供給するものに限る。）の接続口をそれぞれ互いに異なる複数の場所に設けること。

第三十六条（重大事故等対処設備）

三　想定される重大事故等が発生した場合において可搬型重大事故等対処設備を設置場所に据え付け、及び常設設備と接続することができるよう、線量が高くなるおそれが少ない設置場所の選定、設置場所への遮蔽物の設置その他の適切な措置を講ずること。

四　地震、津波その他の自然現象又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる影響、設計基準事故に対処するための設備及び重大事故等対処設備の配置その他の条件を考慮した上で常設重大事故等対処設備と異なる保管場所に保管すること。

五　想定される重大事故等が発生した場合において、可搬型重大事故等対処設備を運搬し、又は他の設備の被害状況を把握するため、工場等内の道路及び通路が確保できるよう、適切な措置を講ずること。

六　共通要因によって、設計基準事故に対処するための設備の安全機能又は常設重大事故等対処設備の重大事故等に対処するために必要な機能と同時に可搬型重大事故等対処設備の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないよう、適切な措置を講ずること。

五　改良工事の施工範囲においては、事故時に使用する機材の設置や運搬を行うことから、以下の処置を実施する。

〇機材の設置場所の確保

〇対処要員のアクセスルート等の確保

２．申請に係る「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」第 44 条第 1 項の指定若しくは同法第 44 条の 4 第 1 項の許可を受けたところ又は同条第 2 項の規定により届け出たところによるものであることを説明した書類

原子力利用における安全対策の強化のための核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等の一部を改正する法律附則第5条第6項において読み替えて準用する同法第4条第1項の規定に基づき、独立行政法人日本原子力研究開発機構法（平成16年法律第155号）附則第18条第1項により、指定があったものとみなされた再処理事業指定申請書について、令和2年4月22日付け令02原機（再）007により届出を行っているところによる。