

J R R - 3 原子炉施設の健全性確認に関する報告書

独立行政法人日本原子力研究開発機構

目 次

1	はじめに	1
1.1	東北地方太平洋沖地震の概要	1
1.2	地震発生時のJRR-3原子炉施設の状況	1
2	地震観測データの検証	3
3	施設の健全性に関する評価	4
3.1	健全性確認の基本的な考え方	5
3.1.1	方針	5
3.1.2	点検・評価の対象	5
3.1.3	設備点検の方法	7
3.2	設備点検及び補修	7
3.2.1	建家周辺の地盤	8
3.2.2	建物・構築物	8
3.2.3	設備機器	12
3.3	地震応答解析	23
3.3.1	建物・構築物	23
3.3.2	設備機器	24
3.4	総合評価	26
添付資料1	JRR-3原子炉施設において取得された地震観測データの検証結果について	
添付資料2	JRR-3原子炉施設の耐震健全性評価（建物・構築物）	

1 はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による J R R - 3 原子炉施設で観測された地震動の最大加速度は、設計時に想定した最大応答加速度を上回っていた。

このことから、J R R - 3 原子炉施設の建物・構築物及び設備機器に対する東北地方太平洋沖地震の影響を調査及び評価し、必要に応じて補修等を行い、所定の性能を満足することを確認するために健全性確認を実施した。

一方、平成 23 年 10 月 5 日に文部科学省から「平成 23 年東北地方太平洋沖地震に関する独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所 J R R - 3 における地震観測データに係る報告を踏まえた対応について（指示）」(23 科原安第 34 号)により指示を受けている。このため、これら健全性確認の結果をとりまとめて報告する。

1.1 東北地方太平洋沖地震の概要

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃、三陸沖(北緯 38 度 6.2 分、東経 142 度 51.6 分)において、大きな地震が発生し、宮城県で最大震度 7 を観測したほか、東北地方を中心に広い範囲で地震動が観測された。気象庁発表によれば、マグニチュード 9.0、震源深さは 24km であり、J R R - 3 原子炉施設が所在する東海村では、震度 6 弱を記録した。震央距離約 271km、震源距離約 272km に位置する J R R - 3 原子炉施設は、これにより大きな地震動を受けた。また、J R R - 3 原子炉施設が設置されている原子力科学研究所東側の海岸にも約 5m の津波が到達したことが痕跡から推定されているが、敷地内への浸水による被害はなかった。

1.2 地震発生時の J R R - 3 原子炉施設の状況

地震発生当時は、J R R - 3 原子炉施設は施設定期検査期間(平成 22 年 11 月 20 日から平成 23 年 7 月 1 日までの予定)のため停止状態であり、炉心に装荷されていた燃料及び使用済燃料は十分に冷却された状態であった。

J R R - 3 原子炉施設が設置されている原子力科学研究所では、地震の発生とほぼ同時に、外部からの商用電源を喪失し、その後 3 月 14 日までの間、商用電源が受けられなかった。加えて、原子力科学研究所内の受電・送電設備の点検等のため、J R R - 3 原子炉施設において商用電源が復電したのは 3 月 30 日であった。その間、J R R - 3 原子炉施設では、炉心及び使用済燃料の冷却等の安全対策に電源は必要なかったため、非常用電源設備を起動することはなかった。この間は、計装設備等が使用できなかったため、可搬型測定器等による状態監視に努めた。

原子炉プール等においては水面揺動が発生し、プール水の一部があふれ、蒸発による水位低下も含めて通常管理水位から 5cm 程度低下したが、炉心燃料及び使用済燃料の冷却に影響を与えるものではなかった。あふれたプール水の一部が計測設備のプロセス計装設備の制御盤にかかったが、当該計装設備は二重化されているため、監視機能に障害はなかった。

炉室を始めとする管理区域の換気空調は、地震直後から停電の影響により停止した。

換気空調を再開するために、空調に必要な設備・配管の点検を実施した上で、5月12日より換気空調設備の運転を再開し、詳細な点検及び必要な補修を開始した。換気空調が再開するまでの間は、管理区域内作業を制限し、点検等で管理区域に入域する際は半面マスクを着用し、被ばく管理を行った。

給排水については、事業所内の給排水配管が損傷したため、JRR-3原子炉施設への浄水、工業用水及び純水の供給が遮断されたが、施設の安全を確保するために必要な冷却水等は、施設内のプール及び貯槽に十分蓄えられていた。液体廃棄物については、施設外の一般排水系の経路に損傷があったため、およそ3か月間、施設からの排水ができなかったが、管理区域での水の使用を制限することで廃液の発生量を抑え、廃液貯槽などの容量を超えないように管理した。

建家周りの地盤沈下により建家間に段差が生じたが、エキスパンションジョイント等が機能し、配管やケーブル等の断裂等はなかった。

原子炉建家等のコンクリート部にひび割れが生じたが、緊急の処置を要するひび割れは発生しなかった。共同溝に発生したひび割れの一部から、地下水が流入するようになったため、補修までの間は随時管理排水した。

原子炉プール上部に設置してある上部遮へい体の駆動部が損傷し、電動による開閉が困難になったため、補修までの間は手動開閉により点検等を実施した。

2次冷却塔の変圧器が変形し、2次冷却設備等への給電が不能となったが、原子炉は停止中であり冷却設備の運転の必要がないため、施設の安全の維持には影響を及ぼさなかった。

その他、燃料管理施設のシャッターの脱落や原子炉建家等の天井材の落下などがあったが、けが人等の発生はなかった。

これらの地震、停電等の影響では、炉心燃料及び使用済燃料の健全性が損なわれることはなく、放射性物質等の異常な放出などの環境への影響はなかった。

2 地震観測データの検証

JRR-3には、観測用地震計として地盤系（4台）及び建家系（12台）の地震計を設置している。今回、東北地方太平洋沖地震時の施設の健全性を確認するに当たり、地震応答解析の前提となる地震観測データの検証を行った。

検証に当たっては、各地震計の装置としての健全性を確認するため「地震計の点検」及び「地震後の設置状況の確認」を行った上で、各地震計で得られた地震観測データについて以下の観点より検証を実施した。

- ・敷地周辺の地盤系地震計と敷地内の地盤系地震計で得られた地震観測データの比較
- ・敷地内の地盤系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較
- ・敷地内の建家系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較

その結果、以下を確認した。

JRR-3地盤系地震計の地震観測データについて、敷地周辺の地盤系地震計（K-NET・KiK-net）の地震観測データとの比較を行い、スペクトル形状及び振幅が整合性を有することを確認した。また、JRR-3地盤系地震計の鉛直アレーで得られた地震観測データについて、スペクトル形状及び振幅の比較を行い、各深さの地震観測データが整合性を有することを確認した。

JRR-3建家系地震計の鉛直アレーで得られた地震観測データについて、スペクトル形状及び振幅の比較を行い、各層の地震観測データが整合性を有することを確認した。

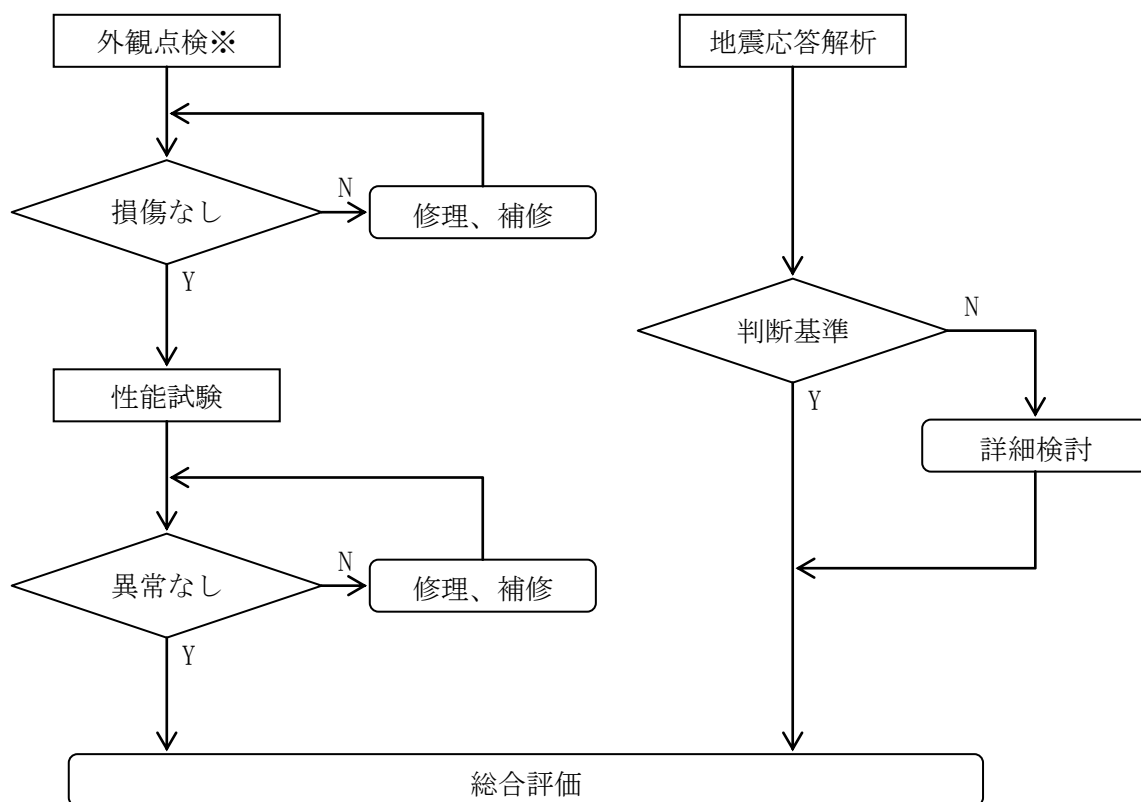
以上より、JRR-3地盤系及び建家系地震計は、東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したと考えられる。これにより、JRR-3地盤系及び建家系地震計で得られた地震観測データを、地盤及び建家の地震応答解析等に活用できることを確認した。

検証結果の詳細を、添付資料1に示す。

3 施設の健全性に関する評価

J R R - 3 原子炉施設の建物・構築物及び設備機器について、東北地方太平洋沖地震の影響に対する健全性を確認するために、外観点検、性能試験及び地震応答解析を実施し、必要に応じて修理又は補修を行い、それらの結果より健全性の総合評価をする。

健全性確認の基本フローを図1に示す。



※ 地震影響について、継続使用の観点から有害な変形等のないことを確認するための目視等による点検をいう。

図1 健全性確認の基本フロー

3.1 健全性確認の基本的な考え方

3.1.1 方針

- (1) 建物・構築物及び設備機器について、設備点検、地震応答解析による評価及びこれらの結果から必要となった補修の結果を踏まえて総合的に評価する。
- (2) 設備点検は、外観点検及び性能試験により行う。
- (3) 外観点検等で異常が確認された場合は、復帰のための補修等を実施する。
- (4) 設備機器の点検では、機器レベルの点検が終了した後、系統レベルの点検を実施する。
- (5) 地震応答解析は、耐震安全上重要な建物・構築物及び設備機器について、健全性に及ぼした影響を評価する。
- (6) 地震応答解析では、JRR-3原子炉施設における地震観測記録に基づき、地震発生時の荷重条件や実際の強度等を考慮して解析を行う。

3.1.2 点検・評価の対象

健全性確認の対象は、施設の運転に必要な全ての建物・構築物及び設備機器とし、表1に示すものとする。

地震応答解析の対象は、平成18年度から実施している耐震バックチェックにおいて、重要度分類をSクラス相当として評価対象に選定している建物・構築物及び設備機器とする。

表1 健全性確認対象の建物・構築物及び設備機器

建物・構築物及び設備機器の名称		外観点検	性能試験	地震応答解析
原子炉建家（原子炉プール、カナル及び使用済燃料プールの躯体を含む。）		○	○	○
原子炉制御棟		○		
実験利用棟		○		
使用済燃料貯槽室		○		
燃料管理施設		○		
使用済燃料貯蔵施設		○		
冷却塔		○		
排気筒		○		
共同溝		○		
燃料要素		○		○
炉心構造物	重水タンク	○		○
	炉心構造体	○		○
	ベリリウム反射体	○		○

建物・構築物及び設備機器の名称		外観 点検	性能 試験	地震応 答解析
炉心構造物	格子板	○		○
	制御棒案内管	○		○
	照射筒	○		○
制御設備		○	○	○
原子炉プール		○		○
1次冷却系設備		○	○	
2次冷却系設備		○	○	
重水冷却系設備	重水系設備	○	○	
	ヘリウム系設備	○	○	
その他の冷却系附 属設備	原子炉プール溢流系	○	○	
	原子炉プール水浄化系	○	○	
	補機冷却系	○	○	
	使用済燃料プール水浄化冷却系	○	○	
	使用済燃料貯槽水浄化系	○	○	
	軽水貯留設備	○	○	
工学的安全施設	冠水維持設備	○	○	○
	非常用排気設備	○	○	
原子炉補助設備	崩壊熱除去設備	○	○	
	試料採取設備	○	○	
	燃料取扱設備	○	○	
	燃料貯蔵装置	○		○
計測制御系統施設	中性子計装設備	○	○	
	プロセス計装設備	○	○	
	原子炉出力制御設備	○	○	
	原子炉保護設備	○	○	
	工学的安全施設作動設備	○	○	
	プロセス放射能監視設備	○	○	
電気設備	受変電設備	○	○	
	非常用電源系	○	○	
放射性廃棄物廃棄 施設	気体廃棄設備	○	○	
	液体廃棄設備	○	○	
	固体廃棄物廃棄設備	○	○	
放射線管理施設	遮へい設備	○	○	
	放射線監視設備	○	○	
換気空調設備		○	○	

建物・構築物及び設備機器の名称		外観 点検	性能 試験	地震応 答解析
補助設備	圧縮空気設備	○	○	
	給排水設備	○	○	
	消火設備	○	○	
主要な実験利用設備	水力照射設備	○	○	
	気送照射設備	○	○	
	冷中性子源設備	○	○	
	詰替セル設備	○	○	

3.1.3 設備点検の方法

(1) 建物・構築物

① 外観点検

鉄筋コンクリートに発生したひび割れについて、足場を組む等して調査を行い、ひび割れの箇所及び程度を特定し、状況に応じた補修を行う。

鉄骨構造物について、座屈、変形等の有無を確認し、損傷等を認めた場合は必要に応じて補修する。

② 性能試験

気密性の要求される原子炉建家については、気密漏えい試験を行い、所定の性能を満足していることを確認する。

(2) 設備機器

具体的な設備機器の点検については、各設備機器の特徴に応じて実施する。

① 外観点検

地震影響について、継続使用の観点から有害な変形等のないことを確認する。特に、地震による影響を考慮して、機器、配管類の変形、移動、亀裂等のないことを確認する。また、基礎ボルト等の変形、損傷、抜け、ナットの緩み、支持部の変形がないこと等を確認する。

② 性能試験

所定の性能（施設定期自主検査などの管理上の基準）を満足することを確認する。

3.2 設備点検及び補修

以下の項目について点検を実施し、その結果、補修が必要と判断した建物・構築物及び設備機器について、補修等を実施した。

3.2.1 建家周辺の地盤

JRR-3原子炉施設の各建家周辺に地盤沈下が発生し、建家間及び建家を結ぶ共同溝間で段差が、建家周辺で局所的な地面の陥没（最大で1.5m程度）が発生した。このため、以下の補修、調整等を実施した。

- ・ アスファルト舗装の補修
- ・ 沈下部の埋戻し又は盛り土
- ・ 雨水配管及び排水設備の補修
- ・ 浄水配管の補修

3.2.2 建物・構築物

(1) 原子炉建家（原子炉プール、カナル及び使用済燃料プールの躯体を含む。）

原子炉建家は、円筒形で、地下1階及び地上1階の建物である。

本建物は、地下外壁厚さ70cm、高さ7.65m、地上部外壁厚さ40cm、高さ26.65mの鉄筋コンクリート造りである。屋根は鉄骨造球面ドーム型であり、その外側には厚さ4.5mmの鋼板が張られている。この建物の漏えい率は10%/日以下である。

1階には、原子炉プール、カナル及び使用済燃料プールが一体構造となったプールを設置し、原子炉プール内に原子炉本体を設置している。また、実験利用棟方向へは炉心を中心に扇状の中性子ガイドトンネルを設置している。

地下1階には、制御棒駆動装置、原子炉冷却系統機器及び計器類を収容している。

本建物の出入口は、全て気密扉であり、一般用及び機器搬入用の扉が設置されている。また、1階天井には、主巻30t、補巻5tの旋回クレーンが設置されている。

原子炉建家及び原子炉躯体を構成する鉄筋コンクリート部に発生したひび割れについて、建家内壁及び外壁に足場を設置して詳細に調査した。発見したひび割れについては、それらの幅、長さ及び位置を記録した。その結果、ひび割れの大部分が幅1mm以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm以上0.2mm未満のひび割れに対しても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

屋根の鉄骨部材の鉄骨母材、接合部（溶接及びボルト）、アンカー部分の変形等について調査した結果、地震による影響は確認されなかった。

炉室の天井材の外周部の一部が脱落したため、脱落部について張り替えを実施した。

パーソナルドア及び原子炉建家と使用済燃料貯槽室の間のトラックドアについて外観点検、作動試験等を実施し、正常に作動することを確認した。

炉室内外の貫通部を連絡する電力ケーブル及び信号ケーブル類は、ケーブル貫通部材（MCT：マルチ・ケーブル・トランジット）を利用して炉室内外を連絡

し、気密を保持している。このMCT部に関して、外観点検及び漏えい検査を行った結果、損傷等のないことを確認した。

地盤沈下による隣接する建家からの影響を調べるため、エキスパンションジョイントについて調査した結果、隣接する建家からの影響を受けていないことを確認した。

クレーンについては、外観点検により基部の損傷や脱輪等のないことを確認し、作動試験により正常に作動することを確認した。

原子炉建家については気密漏えい試験を実施し、所定の気密性を有していることを確認した。

(2) 原子炉制御棟

原子炉制御棟は、原子炉建家の南西約 25m の位置に設けられた約 18m×約 20m、地上 2 階地下 1 階建鉄筋コンクリート造りの建物である。

原子炉制御棟の 2 階に制御室を設置し、原子炉施設の運転に必要な監視及び操作装置を配置している。本建物内の地下 1 階には、電気設備を設置している。

原子炉制御棟の鉄筋コンクリート部のひび割れについて詳細に調査した結果、ひび割れの大部分が幅 1mm 以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れに対しても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

また、制御室の天井材の一部が脱落したため、脱落部について張り替えを実施した。

(3) 実験利用棟及びコンプレッサ棟

実験利用棟は、原子炉建家の東側に隣接した、約 50m×約 30m、地上 2 階建鉄骨鉄筋コンクリート造り（一部鉄骨造り）の建物である。

本建物内 1 階には、廃樹脂貯留設備、気体・液体廃棄物廃棄設備、大型廃棄物保管庫、照射利用設備、空気調和設備、本原子炉施設用の圧縮空気設備等を設置している。2 階には中性子ガイドトンネル、ビームホール、実験準備室等を設置している。原子炉からビームホールまでは、中性子導管を設置し、中性子ビーム実験に供する設計としている。また、2 階天井には 5t の走行クレーンを設置している。

コンプレッサ棟は、原子炉建家の南東側約 70m の位置に設けられた平家建鉄骨鉄筋コンクリート造りの建物である。建物内には、CNS 用のヘリウム冷凍設備を設置している。また、天井には 10t の走行クレーンを設置している。

実験利用棟及びコンプレッサ棟の鉄筋コンクリート部のひび割れについて詳細に調査した結果、ひび割れの大部分が幅 1mm 以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対し

ではエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れに対しても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

実験利用棟の屋根の鉄骨部材の鉄骨母材、接合部（溶接、ボルト）及びアンカー一部の変形等について調査した結果、地震による影響として原子炉の安全性に関わるような損傷、変形等は確認されなかった。

実験利用棟及びコンプレッサ棟のクレーンについては、外観点検により基部の損傷や脱輪等のないことを確認し、作動試験により正常に作動することを確認した。

(4) 使用済燃料貯槽室

使用済燃料貯槽室は、事務管理棟と直角に炉室の南側に接して設けられた約 10m×約 24m、地面からの高さ約 14m の平家建（一部地下 1 階）鉄筋コンクリート造り（一部鉄骨鉄筋コンクリート造り）の建物である。

内部に使用済燃料貯槽 No. 1 が設けられている。この貯槽の構造は、水圧に耐える鉄筋コンクリート壁内面にステンレス鋼で内張りをしてある。また、天井には、主巻 18t、補巻 3.5t の走行クレーンを設けている。

炉室へのトラック搬入路は、この建家内を貫通している。このトラック搬入路の地下には重水保管タンク室があり、重水保管タンクを設置している。

使用済燃料貯槽室の鉄筋コンクリート部のひび割れについて詳細に調査した結果、ひび割れの大部分が幅 1mm 以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れに対しても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

屋根の鉄骨部材の鉄骨母材、接合部（溶接、ボルト）及びアンカー一部の変形等について調査した結果、地震による影響は確認されなかった。

クレーンについては、外観点検により基部の損傷や脱輪等のないことを確認し、作動試験により正常に作動することを確認した。

(5) 燃料管理施設

燃料管理施設は、使用済燃料貯槽室の南側に接して設けられた約 11m×約 23m、地面からの高さ約 15m の地下 1 階、地上 1 階建の鉄筋コンクリート造りの建物である。この室内には使用済燃料貯槽 No. 2 が設けられており、貯槽は使用済燃料貯槽 No. 1 と使用済燃料移送管で連結され、使用済燃料の移動が可能な構造となっている。

この貯槽の構造は、水圧に耐える鉄筋コンクリート壁内面にステンレス鋼で内張りをしてある。貯槽上面にはステンレス鋼製の天板を敷きつめてある。建家内の天井には、主巻 30t、補巻 5t の走行クレーンを設けている。

また、本建物内に未使用燃料貯蔵庫を設置している。

原子炉建家へのトラック搬入路は、この建家内を貫通している。

燃料管理施設の鉄筋コンクリート部のひび割れについて詳細に調査した結果、ひび割れの大部分が幅 1mm 以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れに対しても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

地震により、使用済燃料貯槽室と燃料管理施設の間に設置してあるシャッター（2枚）が開閉不能となったが、スラットとガイドレールの調整、ガイドレールへの注油等により補修した。

クレーンについては、外観点検により基部の損傷や脱輪等のないことを確認し、作動試験により正常に作動することを確認した。

(6) 使用済燃料貯蔵施設（北地区）

使用済燃料貯蔵施設（北地区）は、原子炉建家北北東約 1500m の位置に設けられた約 35m×約 20m、高さ約 14m の地下 1 階、地上 1 階建鉄筋コンクリート造りの建物である。

本施設の地下 1 階には、貯蔵設備を設置している。また、天井には、主巻 30t、補巻 5t の走行クレーンを設置している。貯蔵施設建家の南側には貯蔵施設建家内の空気調整、給排水、給電等を行うための鉄骨構造の機械室建家を設置している。

使用済燃料貯蔵施設の鉄筋コンクリート部のひび割れについて詳細に調査した結果、ひび割れの大部分が幅 1mm 以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れに対しても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

機械室建家については、出入口扉のドア枠及び一部の筋交いの変形を確認したため、ドア及び筋交いについて交換を実施した。

クレーンについては、外観点検により基部の損傷や脱輪等のないことを確認し、作動試験により正常に作動することを確認した。

(7) 冷却塔

冷却塔は、原子炉建家北東約 35m の位置に設けられた鉄筋コンクリート造りの建物である。本施設内には約 600m³ の水槽、2 次冷却設備のポンプ、ファン等を設置している。

鉄筋コンクリート部（ポンド躯体を含む。）の鉄筋コンクリート部のひび割れについて詳細に調査した結果、ひび割れの大部分が幅 1mm 以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れについても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

(8) 排気筒

排気筒は、原子炉建家の北東側約 30m の位置に設置されている高さ約 40m、内径が頂部で約 3.5m、下部で約 3.9m の鉄筋コンクリート造りでステンレス製の内筒を有している。

排気筒の鉄筋コンクリート部のひび割れについて詳細に調査した結果、施工上の継ぎ目に幅 1mm を超えるひび割れを確認したが、大部分が幅 1mm 以下のひび割れであり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れについても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

また、ステンレス製の内筒について、外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。

(9) 共同溝

各建家及び排気筒の間は共同溝でつながれており、この中を配管やケーブルなどが通っている。

鉄筋コンクリート部にひび割れが発生し、一部について地下水が流入したが、止水材の注入による補修により地下水の流入はなくなった。

その他、ひび割れについては、大部分が幅 1mm 以下であり、かつ、剥離・剥落も生じておらず、補修が可能なものと判断した。補修は、0.2mm 以上のひび割れに対してはエポキシ樹脂を注入し、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れについても、可能な限り樹脂注入を試みた上で樹脂により被覆した。

3.2.3 設備機器

(1) 原子炉及び炉心

原子炉は、燃料要素、炉心構造物、制御棒、原子炉プール等から構成される。炉心は、標準型燃料要素（26 体）、中性子吸収体（6 体）と接続するフォロー型燃料要素（6 体）、照射筒、これらの周囲を取り囲むベリリウム反射体等によって構成され、炉心は円環状の重水タンクによって取り囲まれ、炉心構造物により原子炉プールの底部中央に配置している。

炉心に装荷中の燃料要素、中性子吸収体及び炉心構造物（重水タンク、炉心構造物、ベリリウム反射体、格子板、制御棒案内管及び照射筒）の外観点検を実施するため、炉心から燃料要素、中性子吸収体及び照射筒を移動して、双眼鏡、水中カメラ等を用いて外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。

制御棒駆動機構について、外観点検及びギャップ測定を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、作動試験（スクラム検査及び駆動速度検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(2) 1次冷却系設備

1次冷却系設備は、1次冷却材を循環させて炉心を冷却する設備であり、1次冷却材主ポンプ（2基）、1次冷却材補助ポンプ（2基）、1次冷却材熱交換器（2基）、¹⁶N減衰タンク（1基）、配管、弁類等から構成される。

1次冷却系設備について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。性能試験（絶縁抵抗測定、単体作動試験、系統作動試験、冷却能力確認等）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。また、保全計画に基づく、主ポンプ、補助ポンプ、電動弁の分解点検及び熱交換器（No.1）の開放点検を行った際に、併せて地震による影響を確認したが異常は認められなかった。

(3) 2次冷却系設備

2次冷却系設備は、冷却系統設備の各系（1次冷却系設備、重水冷却系設備等）から伝えられた熱を冷却塔より大気中に放散させるための設備であり、2次冷却材ポンプ（2基）、冷却塔（1基）、配管、弁類等で構成される。

2次冷却系設備について、外観検査、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい検査を行った結果、以下の①～③について異常を確認したため、補修等を実施した。その他については、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（単体作動試験、電動弁作動検査、絶縁抵抗測定及び系統作動試験）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

① 機器・配管

冷却塔外部に設置してある配管については、それを固定する基礎部に対して、熱膨張等による変位を逃す設計となっている。この配管について変位していることを確認したため、配管にかかるテンションを解放した。

② 伸縮継ぎ手

2次冷却系配管は、原子炉建家、共同溝、冷却塔ポンプ室及び冷却塔にわたり設置してある。それぞれの間に配管伸縮継手（計7基）を設けて、地震等による変位を吸収する設計となっているが、地震の影響による地盤沈下等で生じた配管の変位を吸収した。このため、残留応力を考慮して配管伸縮継手を交換した。

③ 2次冷却塔ポンド

2次冷却塔ポンドについて、内壁コンクリート部及び防水塗膜のひび割れを確認したため、内壁を補修するとともに防水塗膜を塗り替えた。

(4) 重水冷却系設備

重水冷却系設備は、重水タンクで発生する熱を2次冷却系に伝えるための設備である重水系並びに重水の劣化防止及び重水の放射線分解により生じる分解ガス

を重水に戻し回収するための設備であるヘリウム系から構成される。

重水系について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい検査を行った結果、損傷等のないことを確認した。性能試験（重水熱交換器の冷却能力確認、電動機器の絶縁抵抗測定、電動弁作動検査、重水ポンプ作動検査及び系統作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

ヘリウム系について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい検査を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（ヘリウム圧縮機作動検査、凝縮器作動検査、電動機器の絶縁抵抗測定、電動弁作動検査及び系統作動試験）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(5) その他の冷却系附属設備

① 原子炉プール溢流系

原子炉プール溢流系は、原子炉プール水位を一定に維持するための設備であり、溢流ポンプ及び溢流タンク等から構成される。

原子炉プール溢流系設備について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定、単体作動試験及び系統作動試験）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

② 原子炉プール水浄化系

原子炉プール水浄化系は、浄化ポンプ、イオン交換樹脂塔、フィルタ等から構成される。

原子炉プール水浄化系設備について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。性能試験（絶縁抵抗測定、単体作動試験、系統作動試験及び浄化能力の確認）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。また、保全計画に基づく、浄化ポンプ及び電動弁の分解点検を行った際に、併せて地震による影響を確認したが異常は認められなかった。

③ 補機冷却系

補機冷却系は、原子炉停止中に使用済燃料プール冷却系及び制御棒駆動装置冷却系の冷却を行う設備であり、補機冷却ポンプ及び弁類から構成される。

補機冷却系について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び系統の漏えい検査を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定、電動弁作動検査及び作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

制御棒駆動装置の冷却設備について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試

験（絶縁抵抗測定、作動試験及び浄化能力確認）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

④ 使用済燃料プール水浄化冷却系

使用済燃料プール水浄化冷却系は使用済燃料プール水の浄化及び冷却を行うための設備であり、浄化ポンプ、使用済燃料プール水熱交換器、イオン交換樹脂塔、フィルタ等から構成される。

使用済燃料プール水浄化冷却系の設備について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定、単体作動試験、系統試験、浄化及び冷却能力の確認）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

⑤ 使用済燃料貯槽水浄化系

使用済燃料貯槽水浄化系は、使用済燃料貯槽の貯槽水の浄化を行うための設備であり、浄化ポンプ及びイオン交換樹脂塔から構成される。

使用済燃料貯槽水浄化系の設備について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（浄化能力の確認）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

⑥ 軽水貯留設備

軽水貯留設備は、1次冷却材やプール水などの補給のために軽水を貯留するための設備であり、軽水供給ポンプ、プール水移送ポンプ、軽水貯留タンク等から構成される。

軽水貯留設備について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい検査を行った結果、損傷等のないことを確認した。なお、共同溝内に設置してある配管に、地盤沈下の影響によりテンションが生じた箇所があったため、テンションを緩める調整を行った。また、性能試験（絶縁抵抗測定及び作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(6) 工学的安全施設

工学的安全施設は、冠水維持設備及び非常用排気設備から構成される。

① 冠水維持設備

冠水維持設備は、炉心及び炉心構造物を収容するもので、原子炉プール躯体及びライニング、原子炉プール貫通部のシール構造、サイフォンブレイク弁並びに制御棒駆動機構案内管から構成される。

原子炉プール躯体及びライニング、原子炉プール貫通部のシール構造、サイフォンブレイク弁並びに制御棒駆動機構案内管について、外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。サイフォンブレイク弁について、性能試験

(絶縁抵抗測定及び作動検査)を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。また、保全計画に基づく、サイフォンブレイク弁の分解点検を行った際に、併せて地震による影響を確認したが異常は認められなかった。

② 非常用排気設備

非常用排気設備は、事故時に放射性物質が環境へ放出されることを抑制するための設備で、非常用排風機、空気浄化装置、ダクト及び主要弁から構成される。

非常用排気設備について、外観点検を行った結果、非常用排気系のダクトの空気浄化装置と排気筒とを接続する伸縮継手部に変位が確認された。この配管は共同溝内の天井部に配管サポートで支持されているため、震災の影響で共同溝のエキスパンションで上下方向に変位したものであり、当該伸縮継手(3本)を交換するとともに、配管サポートを調整して配管にかかるテンション等を逃がした。その他については、損傷等のないことを確認した。また、性能試験(除去効率試験及びシステム作動試験)を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(7) 原子炉補助設備

原子炉補助設備は、原子炉の運転及び安全を保持するための施設であり、崩壊熱除去設備、試料採取設備、燃料取扱設備及び貯蔵施設がある。

① 崩壊熱除去設備

崩壊熱除去設備は、1次冷却系設備の一部である1次冷却材補助ポンプ及び原子炉プール内に設置される自然循環弁で構成される。

1次冷却材補助ポンプについて、外観点検、ボルト等の締め付け確認及び漏えい確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。性能試験(絶縁抵抗測定、単体作動試験及び崩壊熱除去性能確認)を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。また、保全計画に基づく、補助ポンプの分解点検を行った際に、併せて地震による影響を確認したが異常は認められなかった。

自然循環弁について、外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、絶縁抵抗測定及び作動試験を行った結果、正常に作動することを確認した。

② 試料採取設備

試料採取設備は、原子炉のプロセス流体を採取して電導度、濃度などを測定及び分析するための設備であり、採取設備本体と本体に接続されている各種サンプリング配管等から構成される。

試料採取設備の本体及び接続配管について、外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験(フードの風速測定及びバルブの漏え

い検査)を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

③ 燃料取扱設備及び貯蔵施設

燃料取扱設備は、燃料搬送装置、使用済燃料取扱装置及び使用済燃料移送装置から構成される。

燃料貯蔵施設は、未使用燃料貯蔵庫、使用済燃料プール、使用済燃料貯槽 No. 1、No. 2 及び使用済燃料貯蔵施設（北地区）で構成される。

燃料搬送装置について、レール、移動台車及び移動台車上の吊上げ機構の外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。絶縁抵抗測定及び作動試験を行った結果、正常に作動することを確認した。

使用済燃料取扱装置について、遮へい体、昇降機構、シフタ、案内管、垂直機構及び燃料受管の外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。絶縁抵抗測定及び作動試験を行った結果、正常に作動することを確認した。

使用済燃料移送装置について、外観点検を実施した結果、損傷等のないことを確認した。また、作動試験を実施し、正常に作動することを確認した。

未使用燃料貯蔵庫の燃料貯蔵棚及び貯蔵中の燃料要素について、外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。

使用済燃料プールに設置している使用済燃料貯蔵ラック及び貯蔵中の使用済燃料要素について、外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。

使用済燃料貯槽 No. 1、2 について、貯槽のライニング、付属設備（台車及び水中照明）、使用済燃料貯蔵ラック、貯蔵中の使用済燃料等の外観点検及び漏えい点検を実施した結果、損傷等のないことを確認した。貯槽水位警報確認、付属設備の作動確認を実施し、正常に作動することを確認した。

使用済燃料貯蔵施設（北地区）貯蔵設備の保管孔、循環系設備について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を実施した結果、放射線監視盤の据付けボルト（2 本）に緩みが確認されたため、締め付けを行った。その他は、損傷等のないことを確認した。循環系設備について、作動試験を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(8) 計測制御系統施設

計測制御系統施設は、中性子計装設備、プロセス計装設備、原子炉出力制御設備、原子炉保護設備、工学的安全施設作動設備及びプロセス放射能監視設備から構成される。

① 中性子計装設備

中性子計装設備は、検出器及び中性子計装盤で構成される。

中性子計装設備について、検出器、中性子検出器案内管、計装盤及び接続ケーブルの外観点検並びに基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（計器単体校正試験、計器ループ校正試

験及び制御回路の検査)を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

② プロセス計装設備

プロセス計装設備は、検出器、伝送器、制御盤、表示端末、計装盤等から構成される。

地震の揺れにより使用済燃料プール水に水面揺動が発生し、プール水の一部が炉室地階に設置してあるプロセス制御計算機システムの制御盤にかかり、内部機器が損傷したため、モジュールを交換した。

検出器、伝送器、制御盤、計装盤等の外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、JRR-3各建家の制御盤をつなぐため共同溝内に敷設してあるバスケーブルに、地盤沈下によるテンションが生じた箇所を1か所確認したため、ケーブルに余裕を持たせる処置を行った。その他については、損傷等のないことを確認した。また、ループ校正点検等の機能検査を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

③ 原子炉出力制御設備

原子炉出力制御設備は、制御棒の挿入度により原子炉出力を調整するための設備であり、制御盤が制御室に設置してある。

原子炉出力制御設備について、制御盤及び接続ケーブルの外観点検並びに基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、制御回路の検査を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

④ 原子炉保護設備

原子炉保護設備は、中性子計装設備、プロセス計装設備及びプロセス放射能監視設備の安全保護系からの信号により、運転時の異常な過渡変化時あるいは事故時に、制御棒を自動的に作動させ、原子炉を停止させるための設備であり、原子炉スクラム遮断器盤が制御室に設置してある。

原子炉スクラム遮断器盤及び接続ケーブルについて、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験(スクラム検査)を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

⑤ 工学的安全施設作動設備

工学的安全施設作動設備は、原子炉設備の破損、故障等に起因して、原子炉の燃料の破損等による多量の放射性物質の放散の可能性がある場合に、これらを抑制又は防止するための設備を起動するための設備であり、監視盤が制御室に設置してある。

工学的安全施設監視盤について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認

を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

⑥ プロセス放射能監視設備

プロセス放射能監視設備は、実験利用設備及び炉上面から排出される空気中の放射能並びに1次冷却材及び2次冷却材中の放射能を監視するための設備であり、燃料事故モニタ、プロセスモニタ及び破損燃料検出装置から構成され、監視盤は制御室等に設置してある。

プロセス放射能監視設備について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（計器単体試験、プリアンプ性能試験、測定系動作試験等）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(9) 電気設備

本施設の電源は、特高受電所より商用3相6kVでJRR-3の電気室に受電している。本施設の電気設備は、商用電源系及び非常用電源系から構成される。

非常用電源系は、商用電源系が停電した場合、それぞれの非常用母線に電力を供給し、安全に必要な電源を確保するため、非常用発電機及び無停電電源装置各2台から構成される。

① 受変電設備

受変電設備について外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を実施した結果、2次冷却塔配電盤内に設置しているモールド変圧器（500kVA）の変形を確認したため、変圧器を更新した。その他については、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定、接地抵抗測定及び作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

② 非常用電源系

非常用電源設備について、非常用発電機、無停電電源装置及び制御盤の外観点検並びに基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定及び作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(10) 放射性廃棄物廃棄施設

放射性廃棄物廃棄施設は、気体廃棄設備、液体廃棄設備及び固体廃棄設備から構成される。

① 気体廃棄設備

気体廃棄設備は、原子炉建家、実験利用棟及び燃料管理施設等において発生した放射性気体廃棄物を浄化し濃度を低減した後、排気筒から排出する設備である。気体廃棄設備は、空調機、排風機、空気浄化装置、ダクト、制御盤等

から構成される。

気体廃棄設備について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定、処理能力検査及び除去効率検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

② 液体廃棄設備

液体廃棄設備は、管理区域で発生する廃液を実験利用棟地階にある廃液貯槽に集め一時貯留するための設備である。液体廃棄設備は、廃液貯槽、排水ポンプ、排水ピット、配管、制御盤等から構成される。

液体廃棄設備について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定、作動検査及び漏えい検査）を実施した結果、所定の性能を有していることを確認した。

③ 固体廃棄物廃棄設備

固体廃棄物廃棄設備として、原子炉及び使用済燃料プール水を浄化した廃樹脂を一時貯留するための廃樹脂貯留設備がある。廃樹脂貯留設備は、移送水ポンプ、廃樹脂貯留タンク、移送水タンク、樹脂排出タンク、弁、配管等から構成される。

廃樹脂貯留設備について、外観点検、基礎ボルト等の締め付け確認及び漏えい確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。性能試験（絶縁抵抗測定、作動試験及び系統試験）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。また、保全計画に基づく、移送水ポンプの分解点検を行った際に、併せて地震による影響を確認したが異常は認められなかった。

(11) 放射線管理施設

① 遮へい設備

遮へい設備は、原子炉本体の遮へい、原子炉建家地階の遮へい、原子炉建家による外部遮へい、使用済燃料プールの遮へい及び実験利用設備の遮へいから構成される。

遮へい設備について外観点検を実施した結果、上部遮へい体の駆動部軸受の破損を確認したため軸及び軸受を交換した。その他、遮へい効果を期待するコンクリート等に、微少なひび割れを確認したが、遮へい性能に影響を及ぼすものはなかった。なお、コンクリートのひび割れについては、エポキシ樹脂注入により補修した。

② 放射線監視設備

放射線監視設備は、排気筒モニタリング設備、作業環境モニタリング設備、

放射線モニタ監視盤、空気吸引装置（ルーツブロワ）及びサンプリング配管（支持部含む）から構成される。

排気筒モニタリング設備及び作業環境モニタリング設備について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（校正検査、設定値確認検査及び警報作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

放射線モニタ監視盤及び空気吸引装置（ルーツブロワ）について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、絶縁抵抗測定を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

サンプリング配管（支持部含む。）について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、サンプリング配管のうち、ローカルサンプリング用使用済燃料貯槽室サンプリング配管の継手部1か所の破損を確認したため補修した。その他のサンプリング配管については、損傷等のないことを確認した。

(12) 換気空調設備

換気空調設備は、原子炉建家、実験利用棟、燃料管理施設及び使用済燃料貯槽室の各建物の換気空調設備から構成される。

換気空調設備について、空調機、ダクト、制御盤の外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、絶縁抵抗測定及び作動点検を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

(13) 補助施設

補助施設は、圧縮空気設備、給排水設備及び消火設備から構成される。

① 圧縮空気設備

圧縮空気設備について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（絶縁抵抗測定、漏えい検査及び作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

② 給排水設備

浄水、工業用水及び排水配管について、目視点検及び通水試験を行った結果、実験利用棟の散水栓配管及び一般排水配管が地盤沈下により破損していることを確認したため、破損個所の補修を実施した。その他の配管については損傷のないことを確認した。

③ 消火設備

消火設備の消火栓ポンプ、配管、制御盤等について、外観点検及び基礎ボルト等の締め付け確認を実施した結果、屋外消火栓配管の一部に漏えいを確認し

たため補修を行った。その他は、損傷等のないことを確認した。絶縁抵抗測定及び作動検査等を行った結果、正常に作動することを確認した。

(14) 主要な実験利用設備

① 照射施設

照射施設には、水力照射設備、気送照射設備その他利用設備（詰替セル設備、垂直照射設備、回転照射設備及び均一照射設備）がある。

水力照射設備及び気送照射設備について、外観点検を行った結果、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（機器作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

その他利用設備（詰替セル設備、垂直照射設備、回転照射設備及び均一照射設備）について外観点検を実施した結果、均一照射設備については、装荷用キャスク内にある試料重量を測定するためのロードセルが損傷していることが確認されたため、部品交換を実施した。その他は、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（機器作動検査）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

② 冷中性子源装置

冷中性子源装置は、液体水素を減速材として用いて冷中性子を取り出すための設備であり、CNS本体設備及びヘリウム冷凍設備から構成される。

CNS本体設備及びヘリウム冷凍設備について、外観点検を行った結果、ヘリウム冷凍設備の一部であるコールドボックスの取付ボルト（全8本）のうち1本の損傷を確認したため、取付ボルト全数の交換を実施した。その他の設備については、損傷等のないことを確認した。また、性能試験（作動検査、漏えい検査、耐圧検査等）を行った結果、所定の性能を有していることを確認した。

③ 中性子導管設備

中性子導管設備は、原子炉から発生する中性子ビームを原子炉建家に隣接したビームホールまで導くための設備であり、計5ラインの中性子導管とビームホール内に設置される遮へい体から構成される。

中性子導管について、外観点検及び真空度確認検査を行った結果、損傷はなく、導管間の変位が生じたものについては調整を行った上で、据付け状態に異常がないことを確認した。

3.3 地震応答解析

3.3.1 建物・構築物

(1) 評価対象

原子炉建家について、躯体、原子炉プール等の冠水維持機能及び屋根トラスの耐震健全性を評価する。

(2) 原子炉建家躯体

原子炉建家の基礎盤上の観測記録に基づいた入力地震動により、シミュレーション解析（質点系S Rモデル）を行う。シミュレーション解析の結果、質点系S Rモデルにより観測記録をおおむねシミュレートでき、耐震健全性評価用の解析モデルとして妥当であることを確認した。

この質点系S Rモデルによる解析により、原子炉建家の耐震壁の最大応答値が、せん断スケルトン上の第一折れ点におけるひずみ値に対して小さく、おおむね弾性範囲内に収まることを確認した。

以上より、東北地方太平洋沖地震の発生時において、原子炉建家の躯体の耐震健全性が確保されていたことを確認した。

(3) 原子炉プール等の冠水維持機能

原子炉プール等の有する冠水維持機能（躯体及びライニングの耐震健全性）を確認する。

質点系S Rモデルの地震応答解析結果より、応答せん断応力度は最大で短期許容せん断応力度の約4割と小さく、プール全体が受けた地震力に対して耐力が大きいことを確認した。さらに、プール各部の形状を踏まえた三次元FEM静的弾塑性解析を実施し、構造部について、鉄筋の引張応力度が降伏強度を下回り、コンクリートの引張応力度が引張強度を下回ることから、プール躯体はおおむね弾性範囲内に収まることを確認した。また、ライニングの引張ひずみが評価基準値を下回ることを確認した。

以上より東北地方太平洋沖地震の発生時において、原子炉プール等の躯体及びライニングの耐震健全性が確保されていたことを確認した。

(4) 屋根トラス（波及的影響）

円筒壁上部の観測記録に基づき、三次元FEM弾性動的解析を行った。各部材に発生した応力度は、評価基準値を下回ることを確認した。

以上より東北地方太平洋沖地震の発生時において、屋根トラスの耐震健全性が確保されていたことを確認した。

耐震健全性評価の詳細を、添付資料2に示す。

3.3.2 設備機器

(1) 評価対象

評価の対象は、表 2 に掲げる耐震安全上重要な設備機器とし、これらの設備機器について、構造強度評価を実施する。

表 2 JRR-3 原子炉施設における評価対象の設備機器

評価対象	設備機器の内訳	
設備機器	原子炉本体	燃料要素、ベリリウム反射体、照射筒、炉心構造体（格子板A、格子板B、格子板支持胴、プレナム）、重水タンク、原子炉プール貫通部のシール構造（水平実験孔設備 前部水封用止板）、制御棒駆動機構案内管、制御棒案内管、上部遮へい体、下部遮へい体
	核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵ラック
	工学的安全施設	サイフォンブレイク弁
	計測制御系統施設	制御棒（中性子吸収体）、制御棒駆動機構

(2) 評価方法

床応答スペクトルは、原子炉建家 1 階については、地震計の観測記録から算定する。プール上面については、地震計の観測記録により建物の地震応答解析で得られた時刻歴応答加速度から算定する。

評価対象設備機器の構造強度は、応答倍率法による評価又はスペクトルモード解析等による詳細評価により評価する。

(3) 評価の基準

評価基準値は、「設計及び工事の方法の認可申請書」に記載された基準地震動 S1 に対する許容応力とする（弾性範囲内に収まること）。

(4) 評価の結果

評価結果を表 3 に示す。その結果、本地震による応力の発生値は、全ての設備機器について評価基準値以下であることを確認した。

以上の結果、JRR-3 原子炉施設の耐震安全上重要な全ての設備機器に対する東北地方太平洋沖地震の影響は、耐震評価上ないものと判断した。

表3 評価結果

評価対象機器		材料	応力種類	評価法	発生値 N/mm ²	評価 基準値 N/mm ²	判定
標準型燃料要素	側板	A5052P-O(AG3NE)	組合せ	応答倍率法	4	54	○
フローワ型燃料要素	角穴支持部	A5052P-O(AG3NE)	支圧応力	応答倍率法	18	74	○
ベリリウム反射体(A型)	止めピン	ジルカロイ-4	せん断	応答倍率法	3	112	○
ベリリウム反射体(B,C型)	止めピン	ジルカロイ-4	せん断	応答倍率法	2	112	○
照射筒		A5052B-O	組合せ	応答倍率法	4	58	○
炉心構造体	格子板A	A6061F-T6	組合せ	応答倍率法	36	157	○
	格子板B	A5052P-O	組合せ	応答倍率法	33	58	○
	格子板支持胴	A5052P-O	組合せ	応答倍率法	8	58	○
	プレナム	A5052P-O	組合せ	応答倍率法	8	58	○
重水タンク	内胴板	A5052B-O相当	一次一般膜	応答倍率法	13	58	○
水平実験孔設備 (原子炉プール 貫通部のシール 構造)	前部水封用止板(1G-6G)	A6061FH-T6	一次一般膜	応答倍率法	59	135	○
	前部水封用止板(7R)	A6061FH-T6	一次一般膜	応答倍率法	54	135	○
	前部水封用止板(8T)	A6061FH-T6	一次一般膜	応答倍率法	42	135	○
	前部水封用止板(9C)	A6061FH-T6	一次一般膜	応答倍率法	40	135	○
上部遮へい体	取付ボルト	SUS304	せん断	静的解析	106	118	○
下部遮へい体	側板	SUS304	組合せ	応答倍率法	13	205	○
中性子吸収体	ローラスプリング	SUS630	引張	応答倍率法	571	1272	○
制御棒案内管	第1パッド部	A6063T-T6	組合せ	応答倍率法	6	123	○
制御棒駆動機構	制御棒駆動機構案内管(溶接部)	SUS304L	一次一般膜	応答倍率法	113	174	○
サイフォンブレイク弁	接続管	SUS304LTP	一次応力	応答倍率法	90	166	○
使用済燃料貯蔵ラックA型	基礎ボルト	SUS304	せん断	応答倍率法	24	118	○
使用済燃料貯蔵ラックB型	基礎ボルト	SUS304	せん断	応答倍率法	26	118	○

裕度が最も小さい評価部位、応力種類を示す
 評価基準値：各々の機器の許容応力
 発生値：本地震による発生応力

3.4 総合評価

東北地方太平洋沖地震において J R R - 3 原子炉施設で観測された地震動の最大加速度は、設計時に想定した最大応答加速度を上回るものであったため、健全性確認を実施した。

建物・構築物について点検した結果、鉄筋コンクリートにひび割れの発生を確認したが、これらのひび割れは補修した。鉄骨構造物については、原子炉の安全性に影響のある損傷は確認されなかった。

設備機器について点検した結果、一部に損傷等を確認したが、補修等を行った上で、所定の性能を有していることを確認した。

地震応答解析において、建物・構築物及び設備機器は、観測された地震波に対しておおむね弾性範囲内に収まることを確認した。

以上から、東北地方太平洋沖地震により受けた影響に対して、J R R - 3 原子炉施設は確実に補修され、健全性が確保されているものと評価する。

JRR-3 原子炉施設において取得された
地震観測データの検証結果について

<目次>

はじめに	1
1. 観測用地震計及び地震観測データ	2
1.1 観測用地震計	2
1.1.1 観測用地震計一覧.....	2
1.1.2 観測用地震計の配置.....	2
1.1.3 地盤系地震計設置位置の地盤概要.....	2
1.1.4 地震計の健全性について.....	2
1.2 地震観測データ	2
2. 敷地周辺の地盤系地震計と敷地内の地盤系地震計で得られた地震観測データの比較....	25
2.1 周辺地震観測データ (K-NET・KiK-net)	25
2.2 深部の地震観測データの比較	25
2.3 浅部(地表)の地震観測データの比較	25
2.4 検討結果	25
3. 敷地内の地盤系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較	43
3.1 地震観測データの速度応答スペクトル比較	43
3.2 検討結果	43
4. 敷地内の建家系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較	45
4.1 地震観測データの速度応答スペクトル比較	45
4.2 検討結果	45
5. まとめ	48

はじめに

本資料は、「平成 23 年東北地方太平洋沖地震に関する独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所 JRR-3 における地震観測データに係る報告を踏まえた対応について（指示）（平成 23 年 10 月 5 日，23 科原安第 34 号，文部科学省）」を受けて実施した，地震応答解析の前提となる地震観測データの詳細な検証結果をまとめたものである。

検証に当たっては，まず，各地震計の装置としての健全性を確認するため「地震計の点検」及び「地震後の設置状況の確認」を行った上で，各地震計で得られた地震観測データについて以下の観点より検証を実施した。

- ・ 敷地周辺の地盤系地震計と敷地内の地盤系地震計で得られた地震観測データの比較
- ・ 敷地内の地盤系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較
- ・ JRR-3 建家系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較

これらの比較を行い，スペクトル形状及び振幅の整合性を確認した。

※ 地震計鉛直アレー：鉛直（深さ及び高さ）方向に複数の地震計を設置した地震観測システム

1. 観測用地震計及び地震観測データ

以下に本報告の対象とする観測用地震計及び地震観測データを記す。

1.1 観測用地震計

1.1.1 観測用地震計一覧

東海研究開発センター原子力科学研究所（以下「原科研」という。）では、JRR-3 原子炉施設に地盤系及び建家系地震計を設置している。これら地震計の一覧を表 1.1.1-1 に示す。

1.1.2 観測用地震計の配置

地盤系及び JRR-3 建家系地震計の設置位置を図 1.1.2-1 ～ 図 1.1.2-3 に示す。

1.1.3 地盤系地震計設置位置の地盤概要

地盤系地震計を設置する原科研の敷地地盤概要を表 1.1.3-1 に示す。

1.1.4 地震計の健全性について

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の本震（以下「東北地方太平洋沖地震」という。）の地震観測データの検証に当たっては、地震計について装置としての機能の維持を確認するため、地震後に各層を代表する地震計の詳細点検を実施し、絶縁抵抗値や校正信号を入力した際の出力値に異常がないことを確認した。また、地震計について現場確認等を実施し、測定方向（設置方向）が正しいことを確認した（表 1.1.4-1 参照）。

以上より、全ての地震計について、東北地方太平洋沖地震時において装置としての健全性が確保されていたことを確認した。

1.2 地震観測データ

東北地方太平洋沖地震において観測された地震観測データの最大加速度を表 1.2-1 及び表 1.2-2 に、加速度時刻歴波形を図 1.2-1 及び図 1.2-2 に示す。

表 1. 1. 1-1 観測用地震計一覽

種別	設置位置		測定方向
地盤系	G. L. -1m		南北, 東西, 鉛直
	G. L. -13m		南北, 東西, 鉛直
	G. L. -100m		南北, 東西, 鉛直
	G. L. -360m		南北, 東西, 鉛直
JRR-3 建家系 (原子炉建家)	G. L. +16m	北側	南北, 東西, 鉛直
		東側	南北, 東西, 鉛直
		南側	南北, 東西, 鉛直
		西側	南北, 東西, 鉛直
	1 階	北側	南北, 東西, 鉛直
		東側	南北, 東西, 鉛直
		南側	南北, 東西, 鉛直
		西側	南北, 東西, 鉛直
	地下 1 階 (基礎上端)	北側	南北, 東西, 鉛直
		東側	南北, 東西, 鉛直
		南側	南北, 東西, 鉛直
		西側	南北, 東西, 鉛直

東海研究開発センター 原子力科学研究所

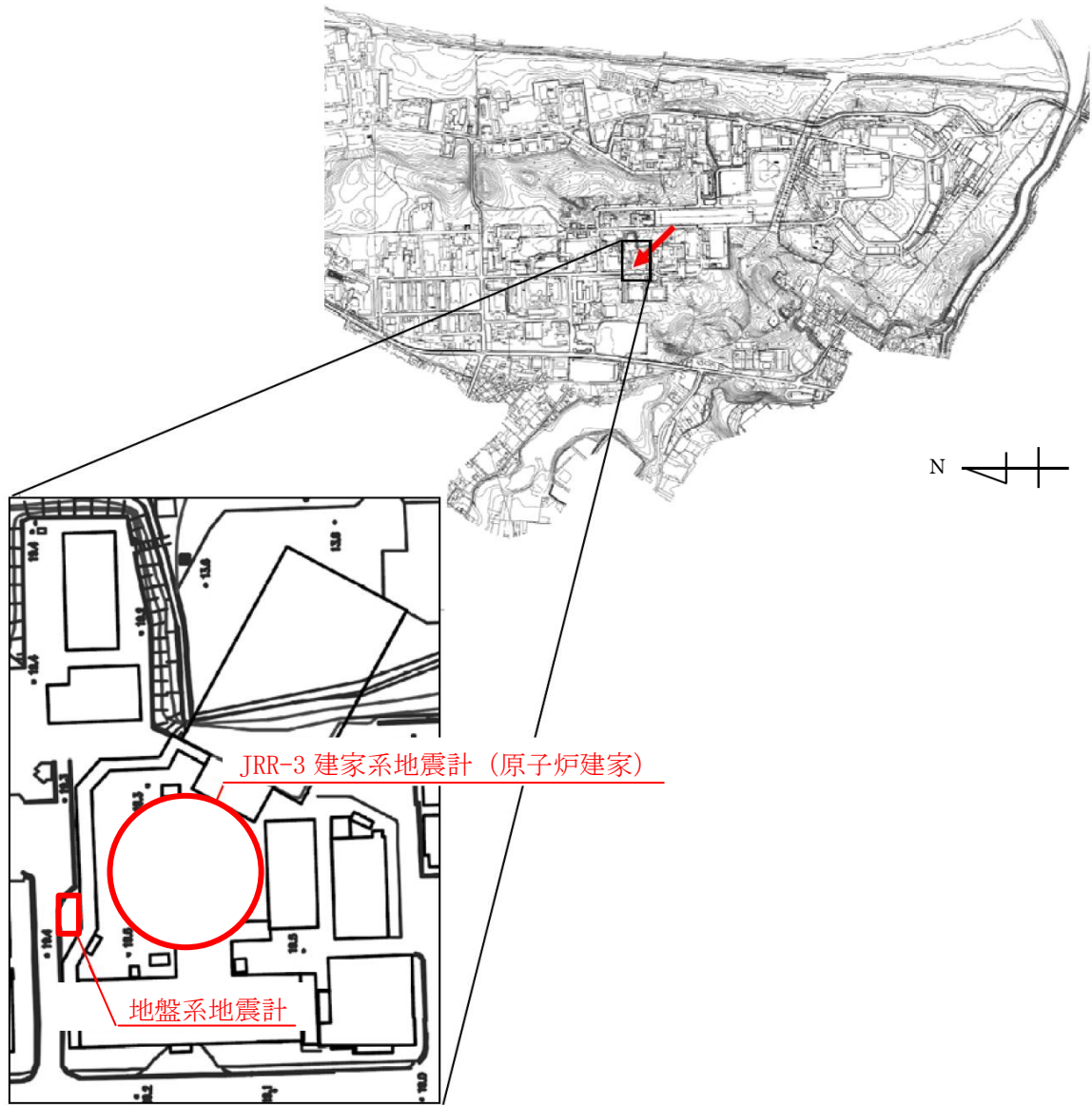
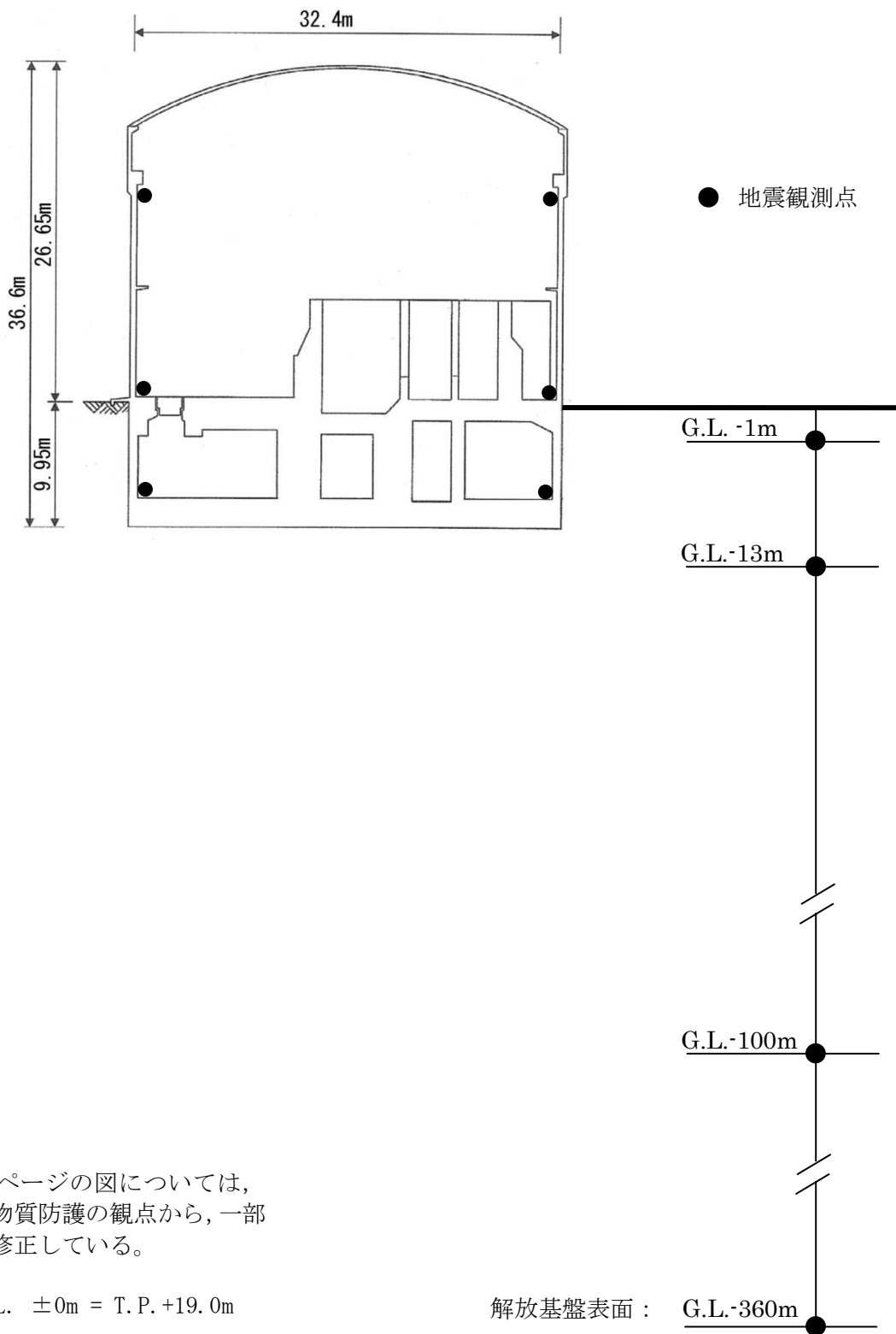


図 1. 1. 2-1 地盤系及び JRR-3 建家系地震計の設置位置

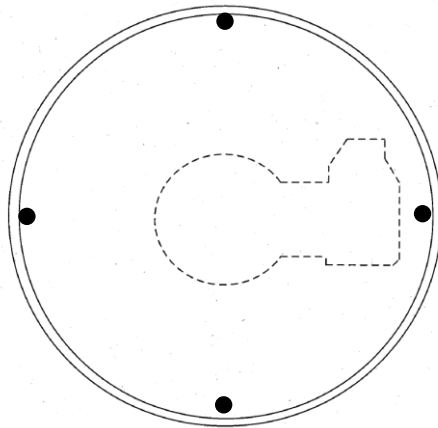


※ 本ページの図については、
核物質防護の観点から、一部
を修正している。

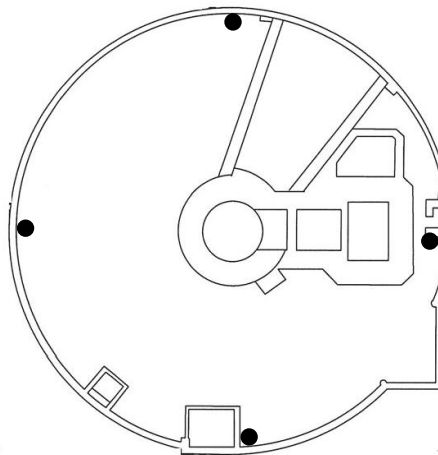
G. L. ±0m = T. P. +19. 0m

解放基盤表面： G.L.-360m

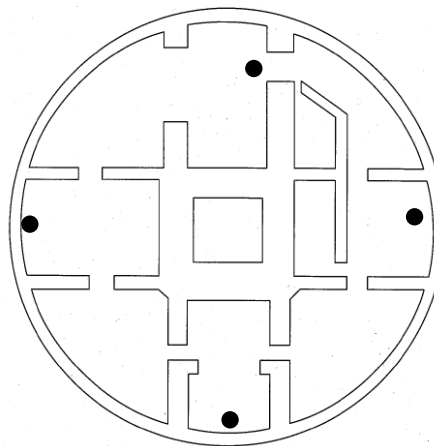
図 1. 1. 2-2 地盤系及び JRR-3 建家系地震計の設置位置 (南北方向断面図)



円筒壁上部 (G. L. +16. 0m)



1階 (G. L. +0. 3m)



地下1階 (G. L. -7. 3m)

● 地震観測点

※ 本ページの図については、核物質防護の観点から、一部を修正している。

G. L. ±0m = T. P. +19. 0m

図 1. 1. 2-3 JRR-3 建家系地震計の設置位置 (原子炉建家平面図)

表 1. 1. 3-1 原科研の敷地地盤概要 (JRR-3 原子炉建家)

深さ G. L. (m)	地質 記号	地質名	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s^* (m/s)	P波速度 V_p^* (m/s)
0.0					
-0.62	As	砂丘層	17.5	250	860
-3.00	D1	ローム層	12.5	220	800
-5.27	Dg	礫質土層	20.2	360	1,420
-6.15	Dc1	粘性土層	18.2	340	1,400
-9.77	Dg2	礫質土層	21.2	340	1,400
-9.95	Dc3	粘性土層	18.2	340	1,400
-11.74	Km	久米層	17.5	436	1,445
-29.74			17.5	442	1,466
-99.74			17.5	469	1,555
-209.74			17.5	520	1,723
-279.74			17.5	566	1,876
-360.00			17.5	602	1,995
(解放基盤表面)			17.5	710	2,355

※ 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う既設試験研究用原子炉施設の耐震安全性評価の中間報告(その2)」(平成22年12月 独立行政法人日本原子力研究開発機構)による初期地盤モデル

表 1. 1. 4-1 地震計の測定方向の確認結果

種別	設置位置		測定方向の確認結果	備考
地盤系	G. L. -1m		○	
	G. L. -13m		—	※
	G. L. -100m		—	※
	G. L. -360m		—	※
JRR-3 建家系 (原子炉建家)	G. L. +16m	北側	○	
		東側	○	
		南側	○	
		西側	○	
	1 階	北側	○	
		東側	○	
		南側	○	
		西側	○	
	地下 1 階 (基礎上端)	北側	○	
		東側	○	
		南側	○	
		西側	○	

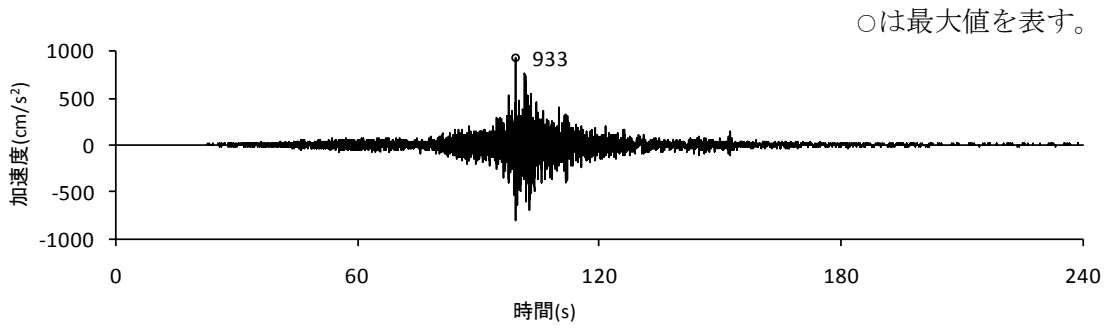
※ 「G. L. -1m」の地震観測データを基準に方位補正を行い、耐震健全性評価等に用いている。

表 1.2-1 地盤系地震計により観測された最大加速度

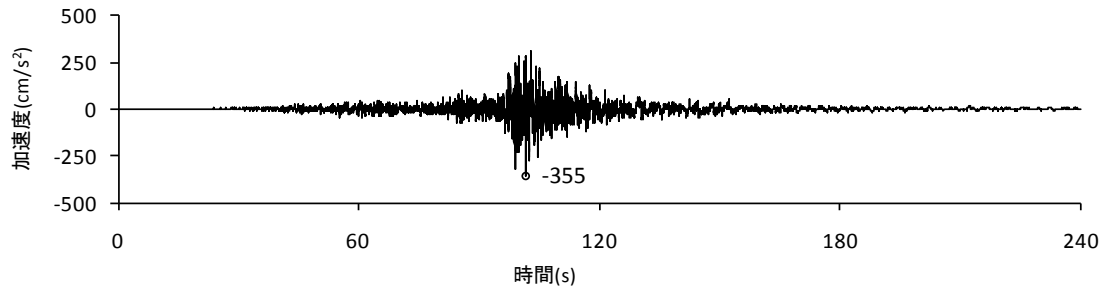
設置位置		最大加速度値 (cm/s ²)		
		南北方向	東西方向	鉛直方向
地盤系	G. L. -1m	933	744	456
	G. L. -13m	355	391	275
	G. L. -100m	367	390	184
	G. L. -360m	387	240	199

表 1.2-2 JRR-3 建家系地震計により観測された最大加速度

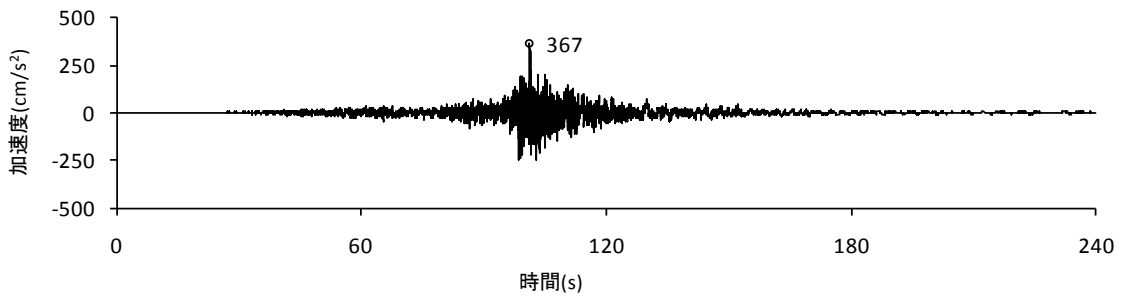
設置位置			最大加速度値 (cm/s ²)		
			南北方向	東西方向	鉛直方向
JRR-3 建家系 (原子炉建家)	G. L. +16m	北側	828	886	507
		東側	841	1,003	458
		南側	931	1,173	384
		西側	812	1,183	512
	1 階	北側	476	479	345
		東側	522	476	314
		南側	452	525	257
		西側	442	483	363
	地下 1 階 (基礎上端)	北側	394	433	305
		東側	420	440	265
		南側	396	465	242
		西側	361	441	327



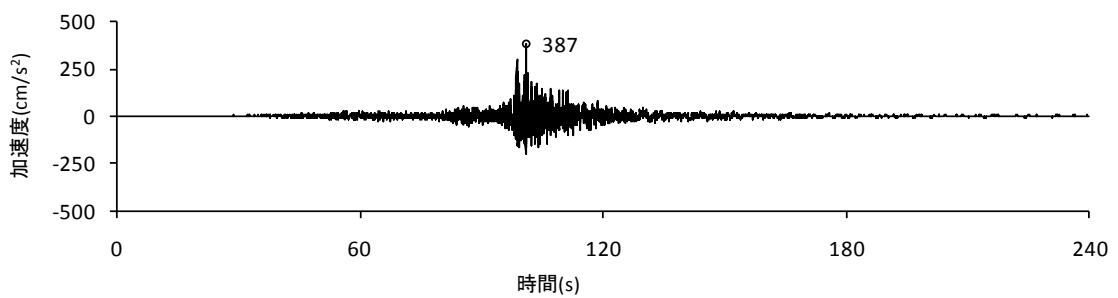
(a) 地表観測点 (G. L. -1m)



(b) 地中観測点 (G. L. -13m)

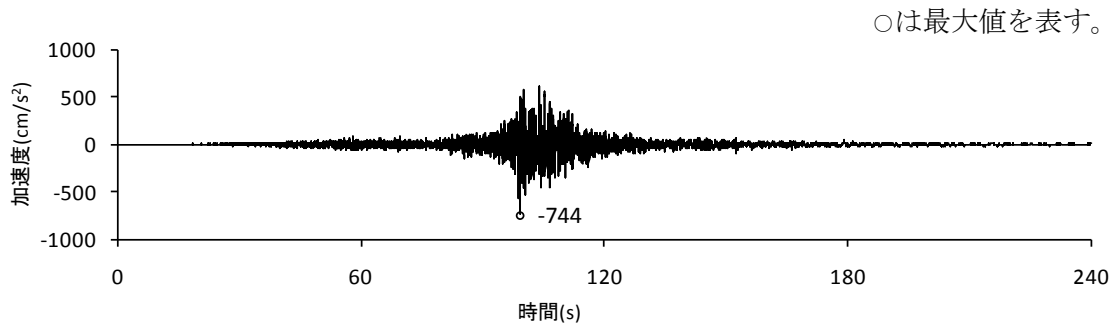


(c) 地中観測点 (G. L. -100m)

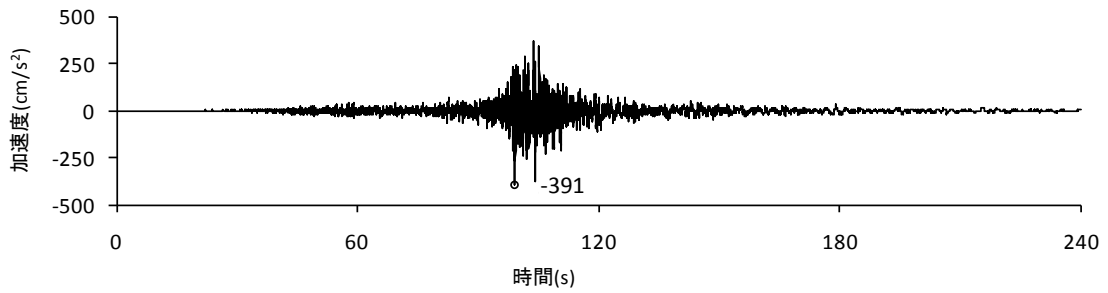


(d) 地中観測点 (G. L. -360m)

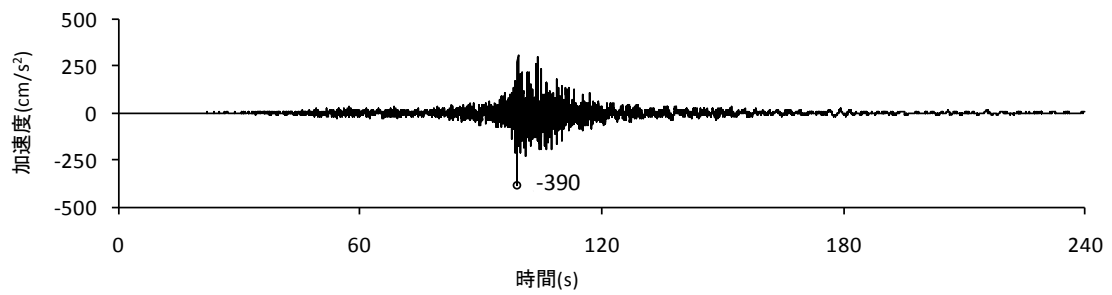
図 1.2-1 (1) 地盤系地震計の加速度時刻歴波形 (南北方向)



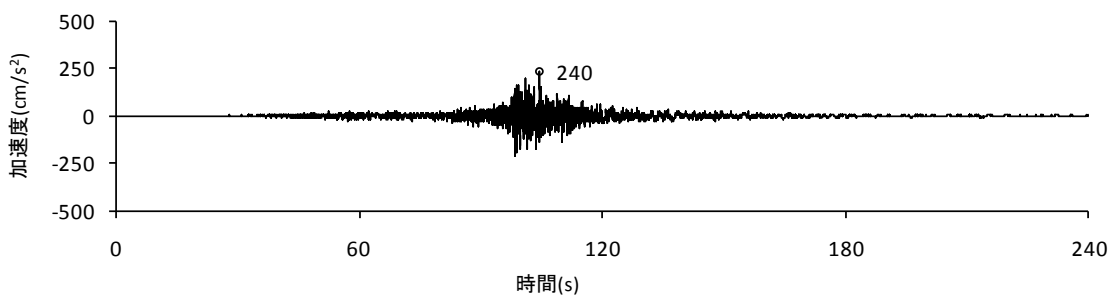
(a) 地表観測点 (G. L. -1m)



(b) 地中観測点 (G. L. -13m)

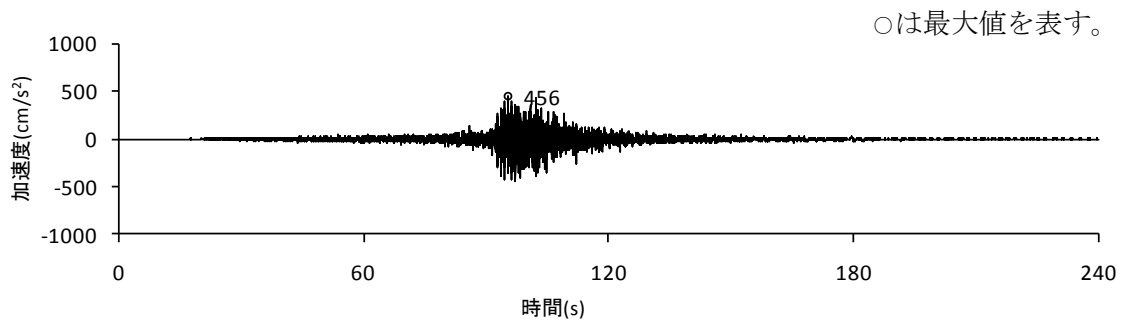


(c) 地中観測点 (G. L. -100m)

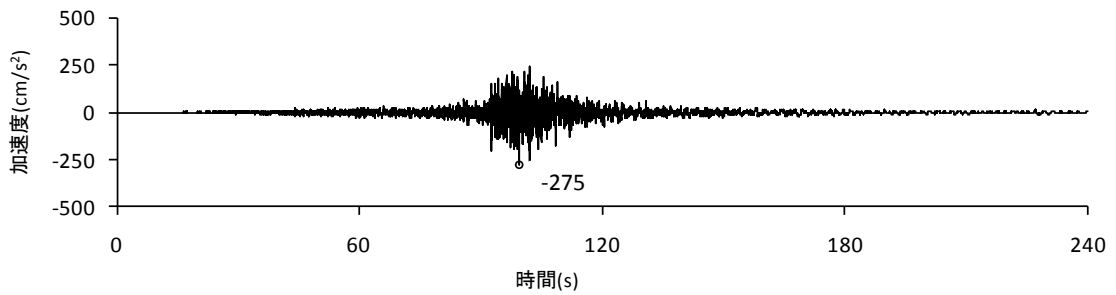


(d) 地中観測点 (G. L. -360m)

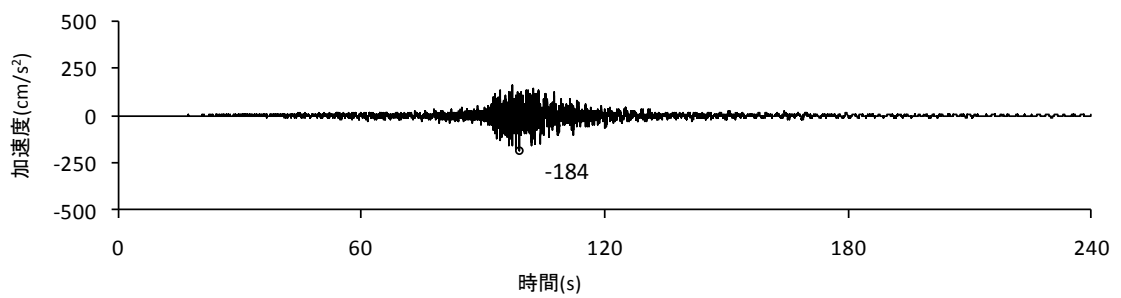
図 1.2-1 (2) 地盤系地震計の加速度時刻歴波形 (東西方向)



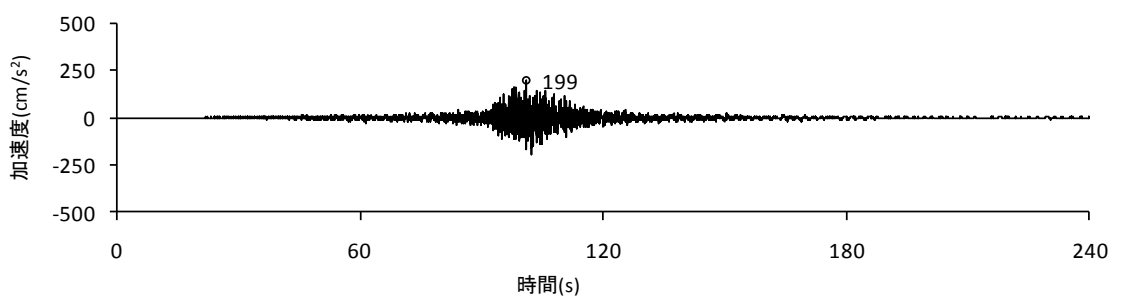
(a) 地表観測点 (G. L. -1m)



(b) 地中観測点 (G. L. -13m)



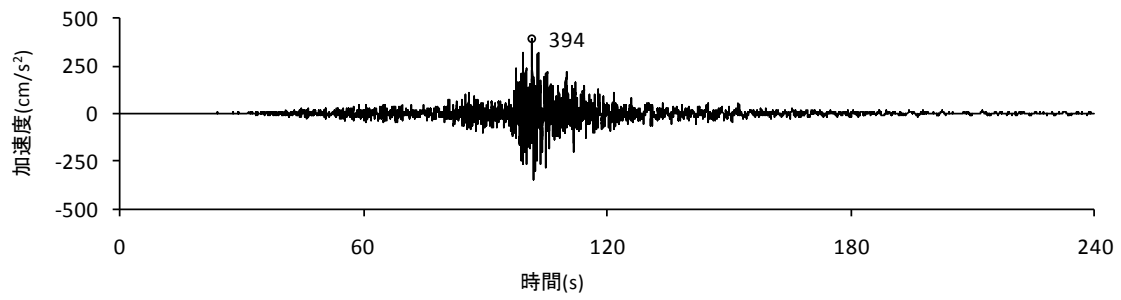
(c) 地中観測点 (G. L. -100m)



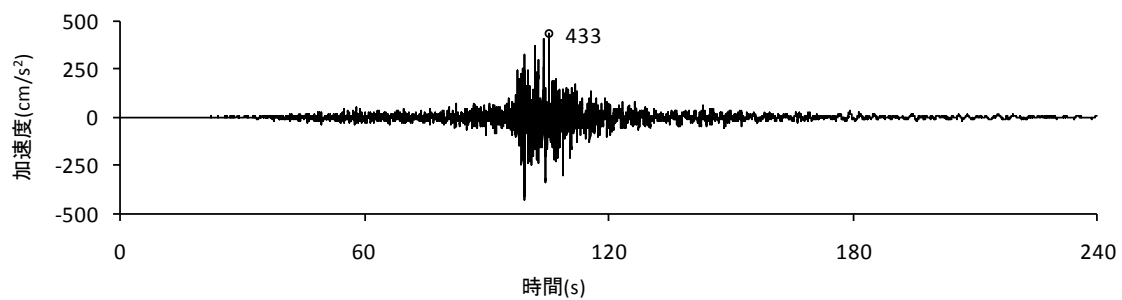
(d) 地中観測点 (G. L. -360m)

図 1.2-1 (3) 地盤系地震計の加速度時刻歴波形 (鉛直方向)

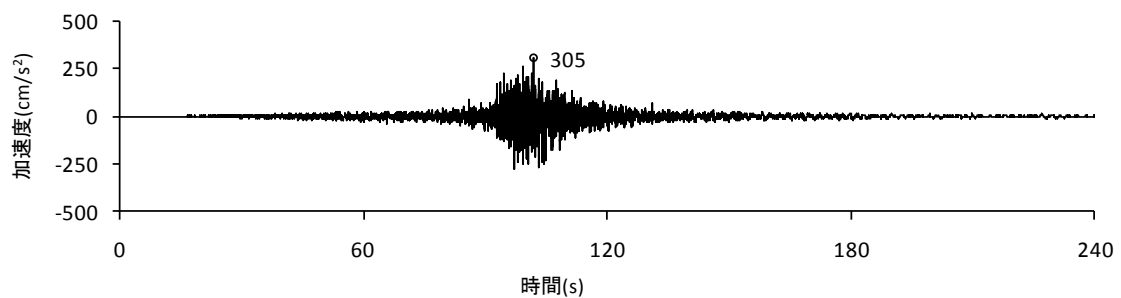
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



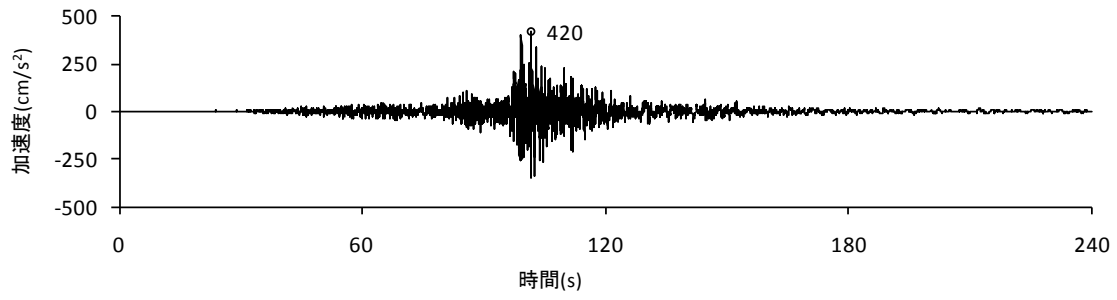
(b) 東西方向



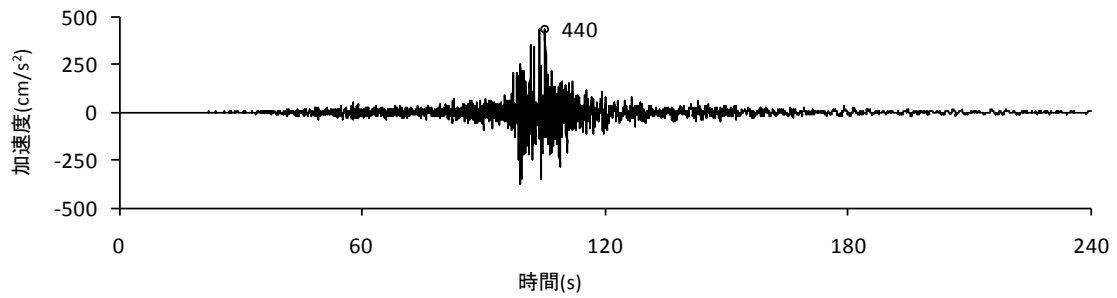
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (1) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (基礎上端 北側)

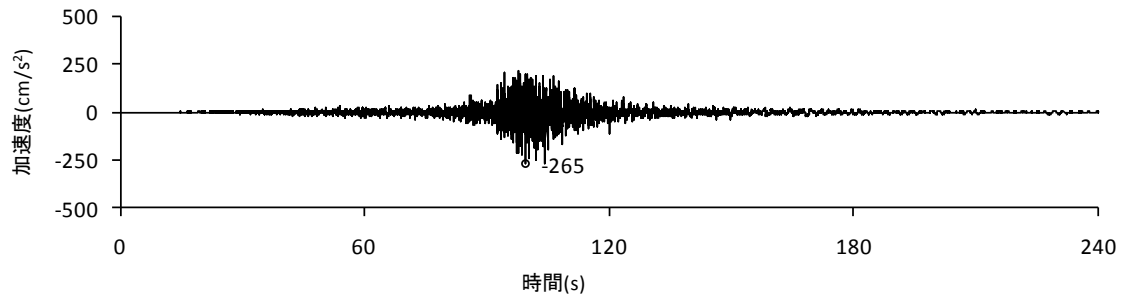
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



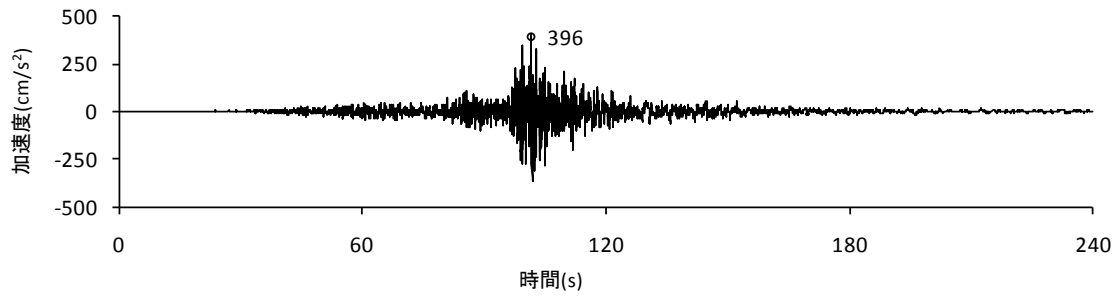
(b) 東西方向



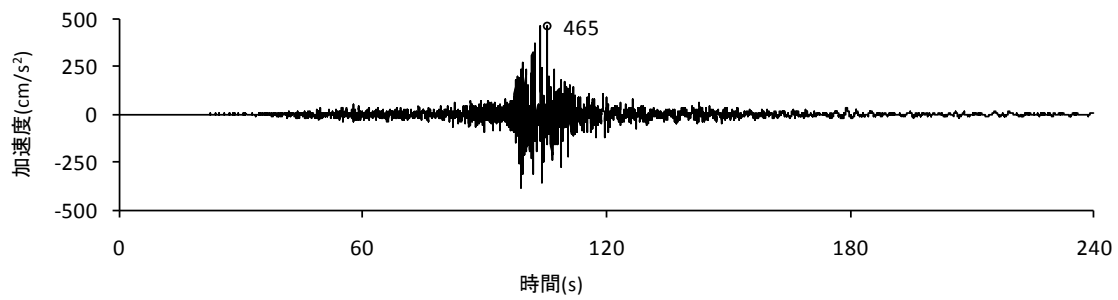
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (2) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (基礎上端 東側)

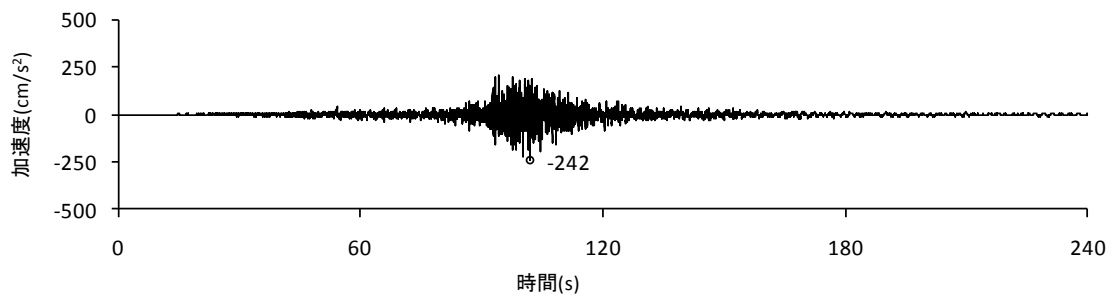
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



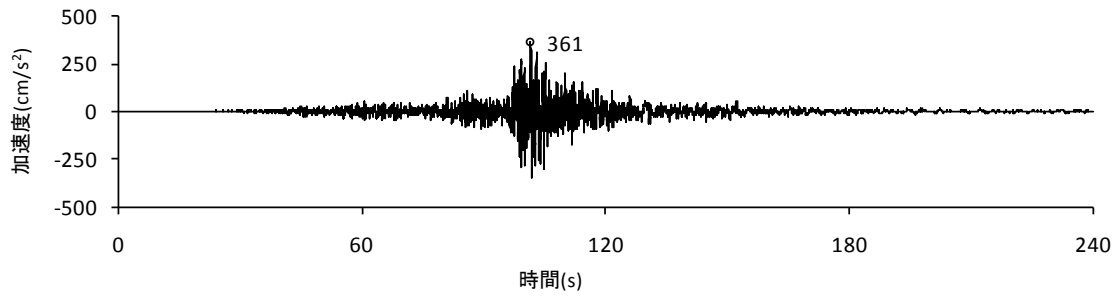
(b) 東西方向



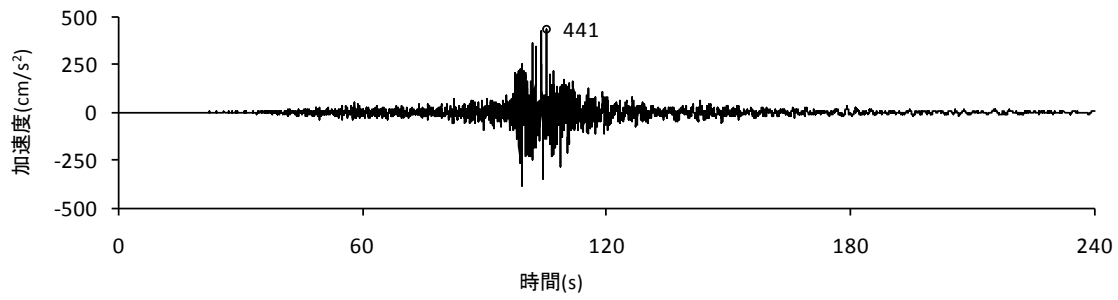
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (3) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (基礎上端 南側)

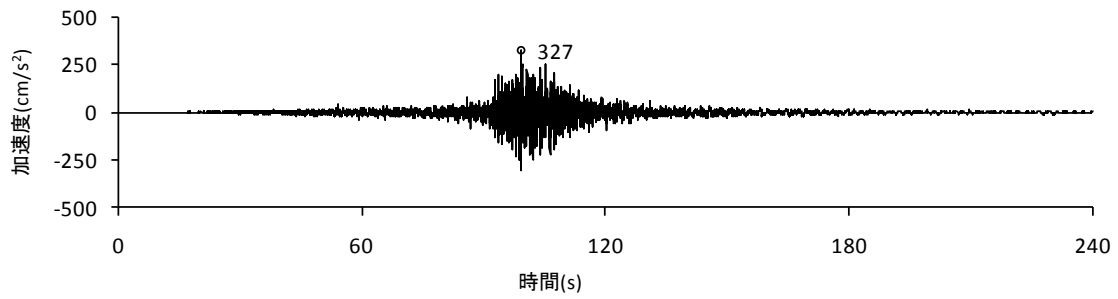
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



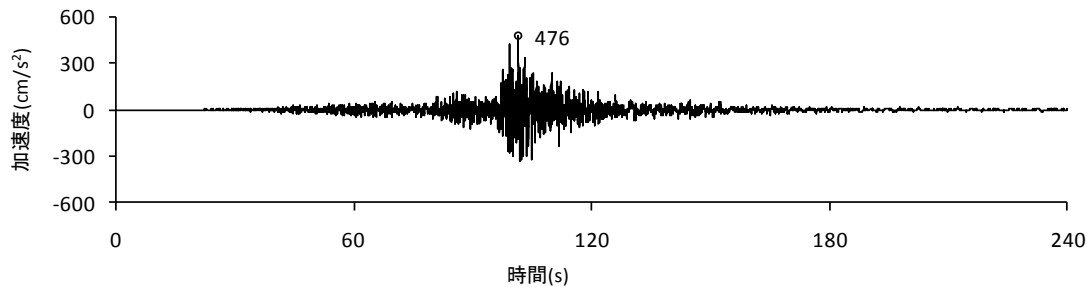
(b) 東西方向



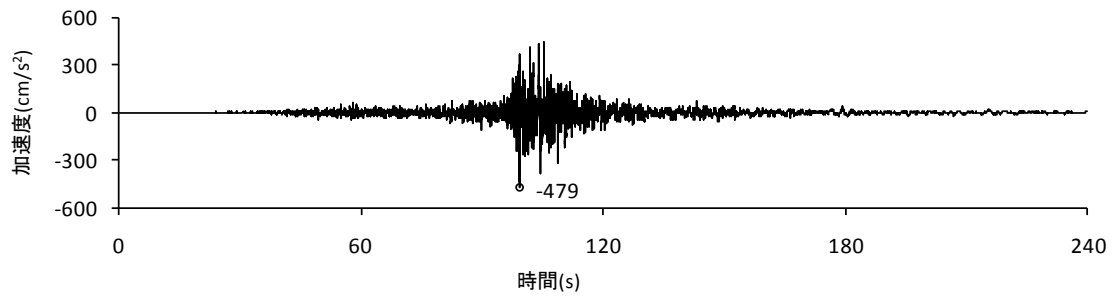
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (4) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (基礎上端 西側)

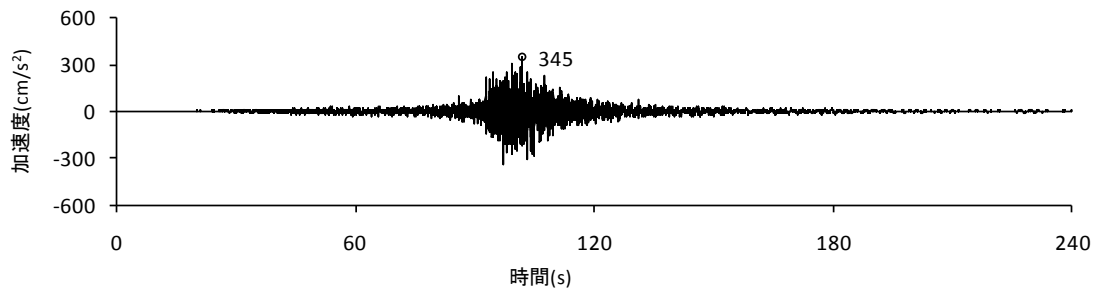
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



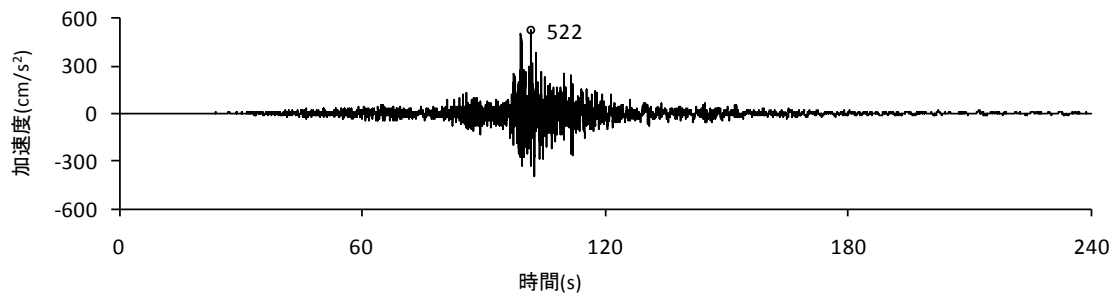
(b) 東西方向



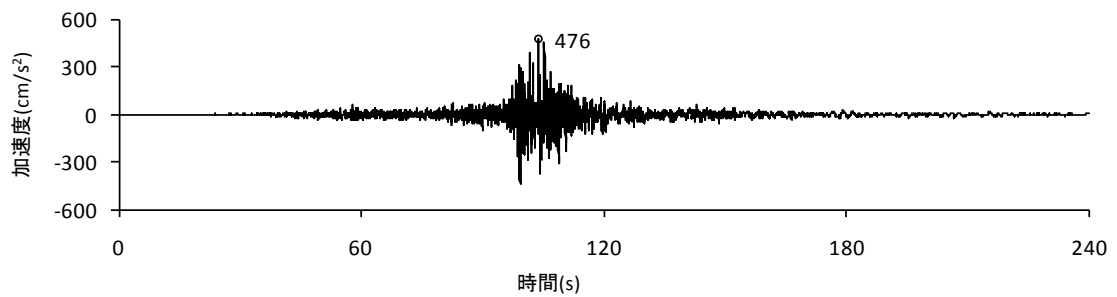
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (5) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (1階 北側)

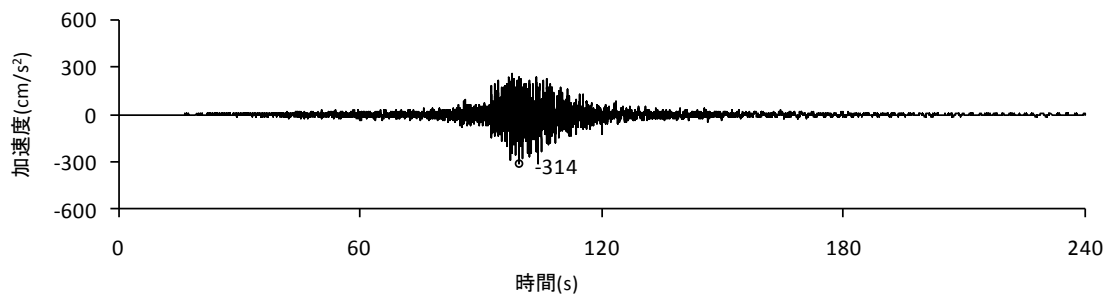
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



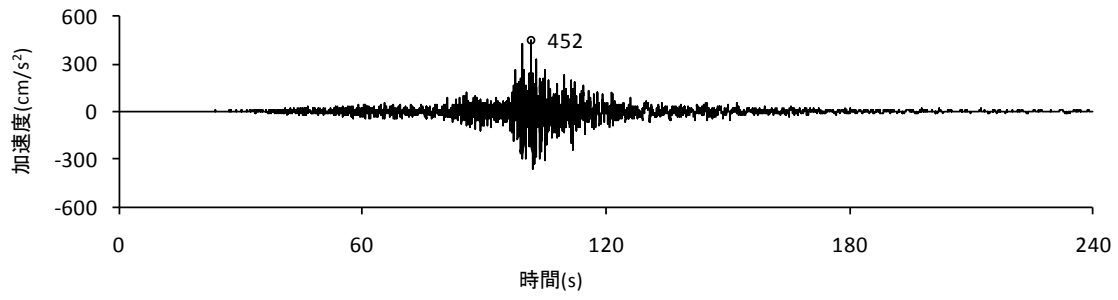
(b) 東西方向



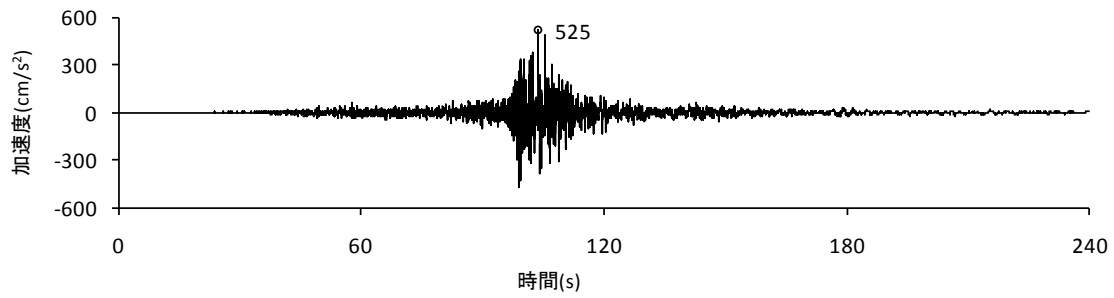
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (6) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (1階 東側)

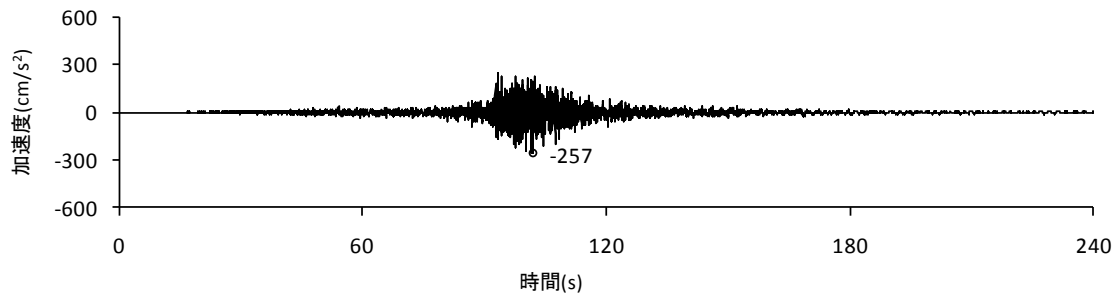
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



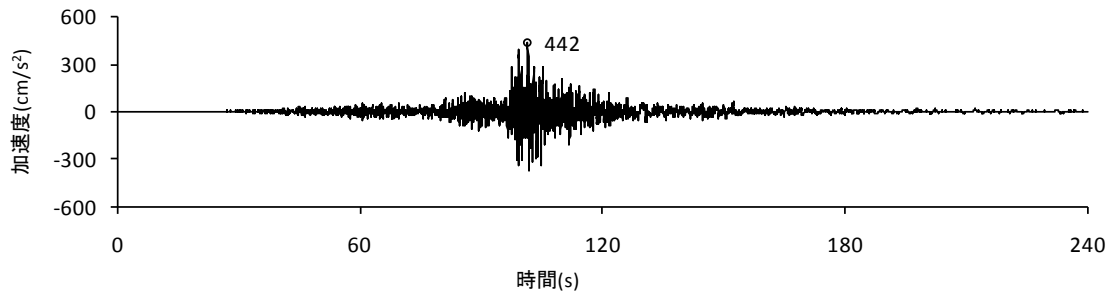
(b) 東西方向



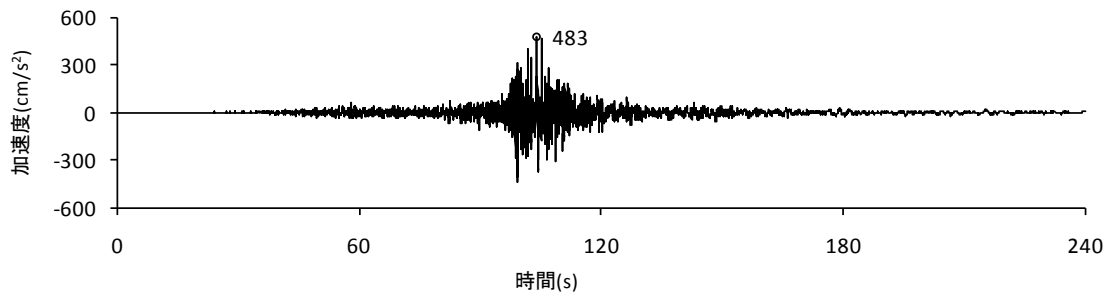
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (7) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (1階 南側)

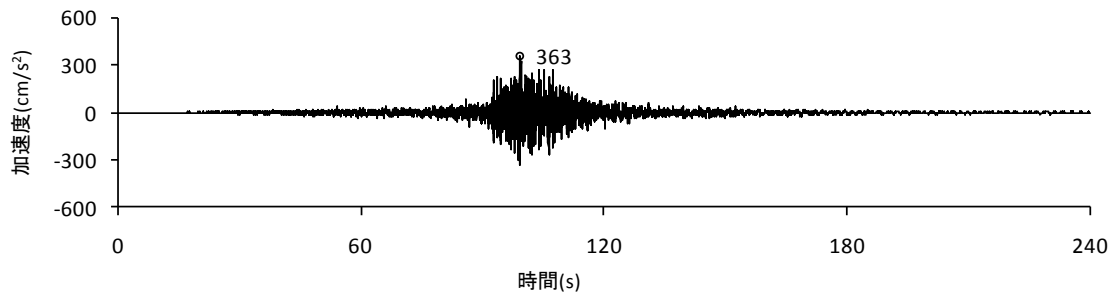
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



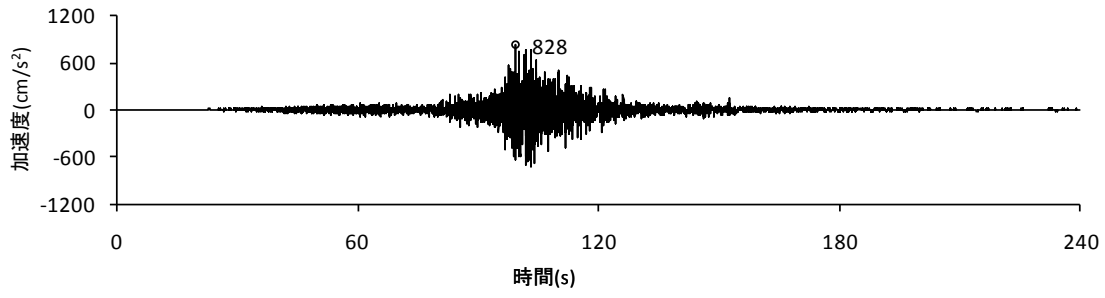
(b) 東西方向



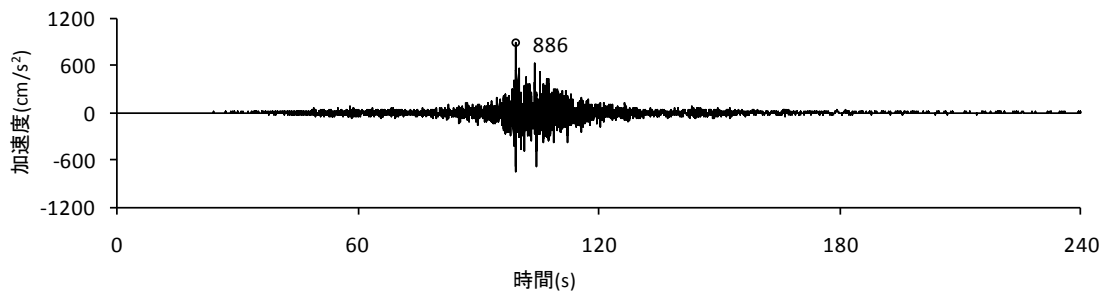
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (8) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (1階 西側)

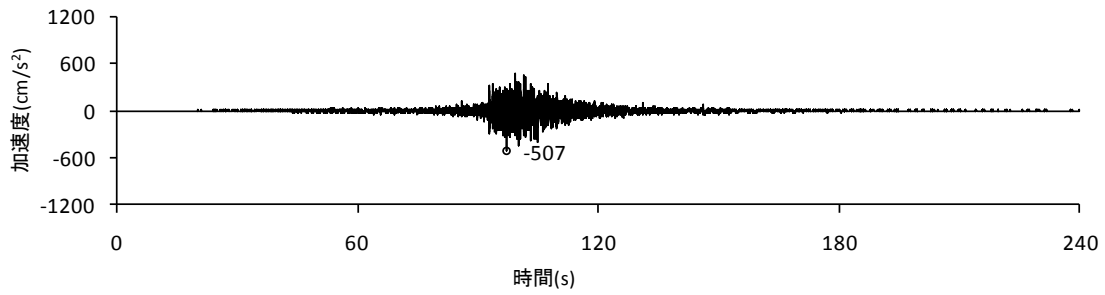
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



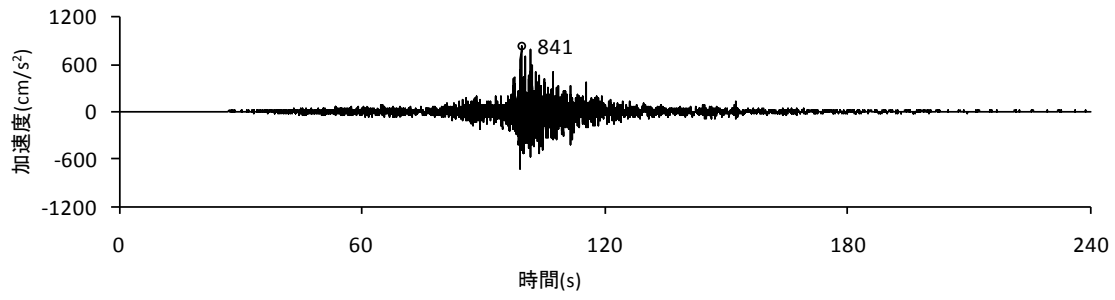
(b) 東西方向



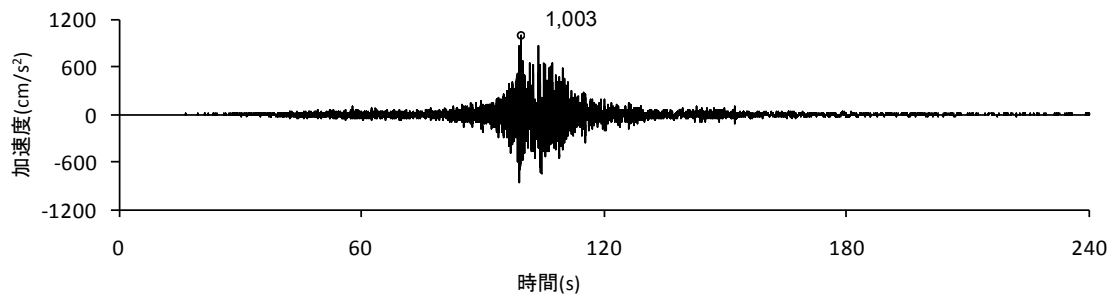
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (9) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 北側)

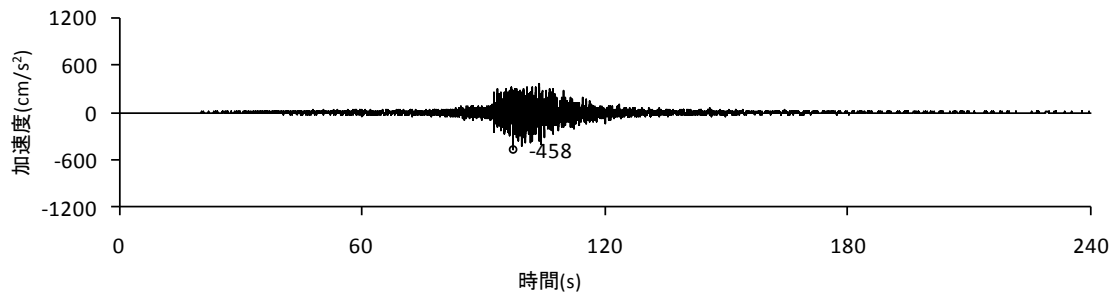
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



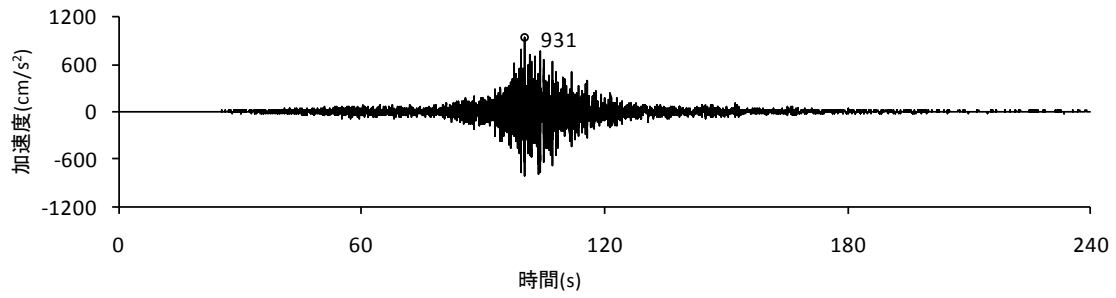
(b) 東西方向



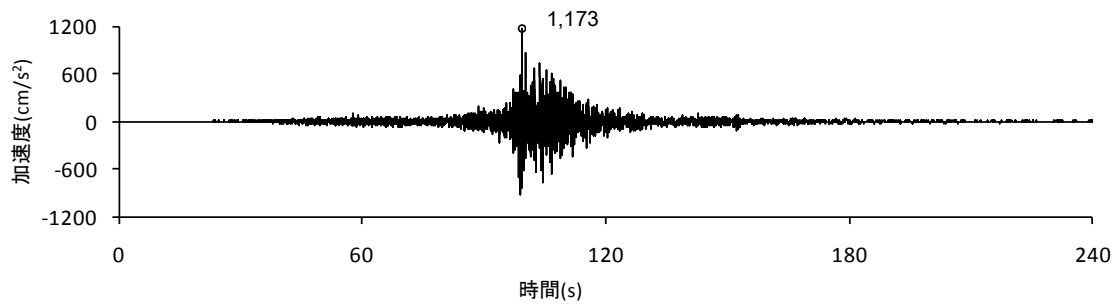
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (10) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 東側)

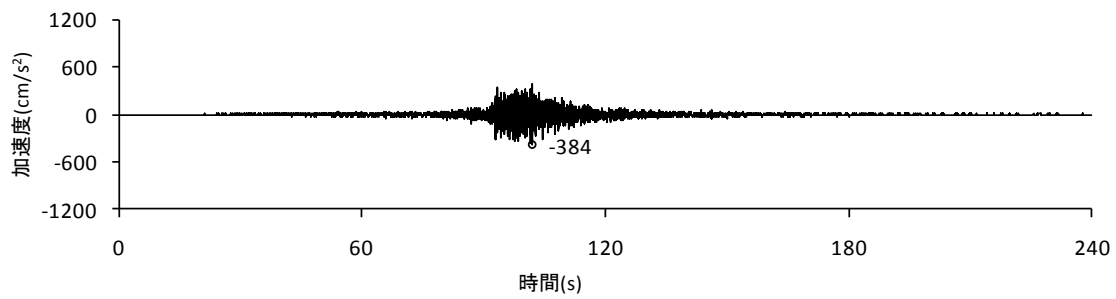
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



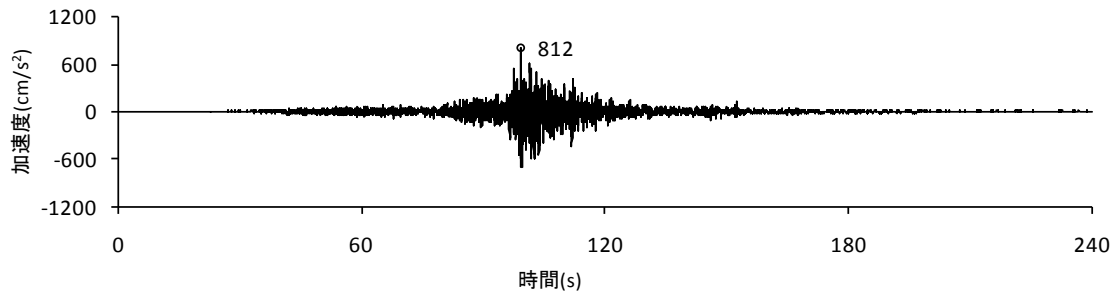
(b) 東西方向



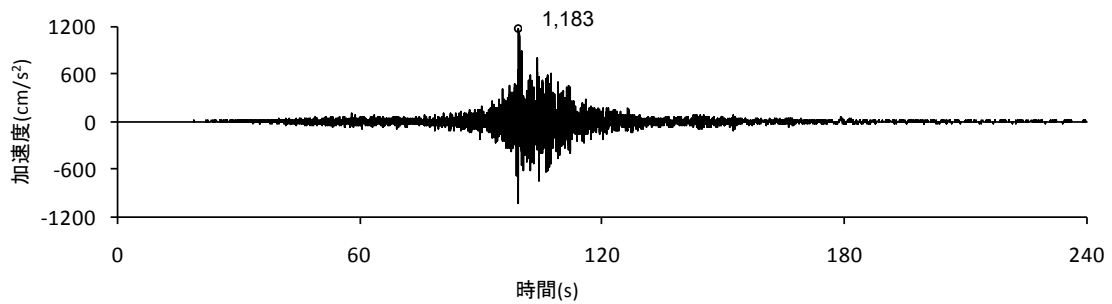
(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (11) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 南側)

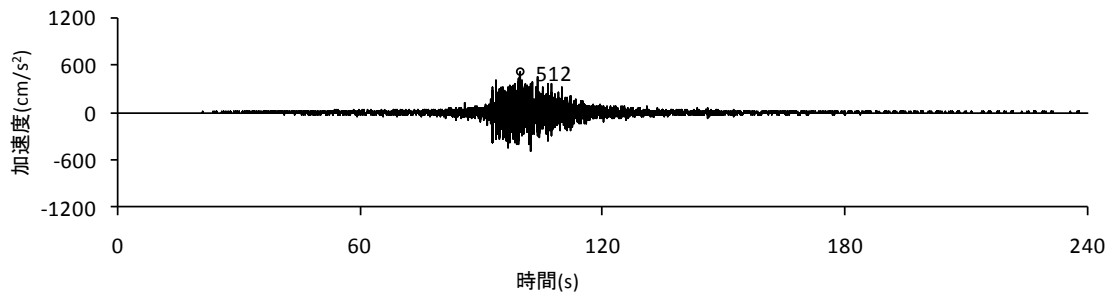
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



(b) 東西方向



(c) 鉛直方向

図 1.2-2 (12) JRR-3 建家系地震計の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 西側)

2. 敷地周辺の地盤系地震計と敷地内の地盤系地震計で得られた地震観測データの比較

震源からの伝播特性の相対的な比較を行うため、敷地周辺（半径約 30km 内）における独立行政法人防災科学技術研究所（以下「防災科研」という。）の K-NET・KiK-net と敷地内の地盤系地震計で得られた地震観測データを整理し、当該地震計が敷地周辺の地震観測データと整合した傾向を示し、東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したことを確認する。

2.1 周辺地震観測データ（K-NET・KiK-net）

K-NET・KiK-net の地震観測データのうち、敷地周辺（半径約 30km 内）における観測点で得られた東北地方太平洋沖地震の地震観測データを対象とした。

茨城県内にある防災科研の観測点一覧を表 2.1-1 及び表 2.1-2 に示す。同表中、色塗りの 11 観測点（黄緑色：30km 以内の 9 観測点，黄色：30～35km の 2 観測点）を地震観測データ分析の対象とした。分析に用いた K-NET・KiK-net の各観測点の地盤構造を図 2.1-1 に、加速度時刻歴波形を図 2.1-2 に示す。

2.2 深部の地震観測データの比較

KiK-net と原科研の地震観測データの速度応答スペクトル（減衰 5%）を図 2.2-1 に示す。スペクトルの形状は、地盤構造等の影響により周期帯によって多少の差異はあるものの、全体的な形状は KiK-net と原科研の地震観測データは同様の傾向を示している。振幅（速度）レベルは、原科研の方が全体的に大きいものの、原科研の地盤のせん断波速度が相対的に小さいこと（原科研：せん断波速度 $V_s=710$ m/s，KiK-net $V_s=1700\sim 3200$ m/s）を踏まえれば、おおむね整合した傾向といえる。

なお、本報告では、擬似速度応答スペクトルを速度応答スペクトルと表記する。

2.3 浅部(地表)の地震観測データの比較

K-NET・KiK-net と原科研の地震観測データの速度応答スペクトル（減衰 5%）を図 2.3-1 に示す。スペクトルの形状は、地盤構造等の影響により周期帯によって多少の差異はあるものの、全体的な形状は K-NET・KiK-net と原科研の地震観測データは同様の傾向を示している。振幅（速度）レベルは、原科研と K-NET・KiK-net は同程度であり、敷地周辺の地震観測データと整合した傾向を示している。

2.4 検討結果

周辺の地震観測データ（K-NET・KiK-net）及び原科研の地震観測データの速度応答スペクトルの比較を行い、両者の記録がおおむね整合した傾向を示していることを確認した。よって、原科研の地盤系地震計は東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したと考えられる。

表 2. 1-1 地震観測データの比較に用いた周辺 (K-NET) の観測点一覧

観測点 コード	観測点名	観測点位置*1)		標高 (m)	原科研との距離 (km)
		北緯(°)	東経(°)		
IBR001	大子	36.7761	140.3569	104.8	41.8
IBR002	高萩	36.7061	140.7068	9.2	29.5
IBR003	日立	36.5915	140.6453	57.5	15.7
IBR004	大宮	36.5516	140.4102	61.0	20.2
IBR005	笠間	36.3851	140.2372	62.6	33.5
IBR006	水戸	36.3690	140.4528	20.0	16.3
IBR007	那珂湊	36.3523	140.5955	23.6	11.4
IBR008	下館	36.3062	139.9828	20.4	57.8
IBR009	古河	36.1848	139.7037	17.3	85.9
IBR010	下妻	36.1843	139.9653	23.4	64.5
IBR011	つくば	36.1251	140.0903	26.0	58.7
IBR012	石岡	36.1901	140.2869	24.2	40.7
IBR013	鉾田	36.1587	140.4892	28.5	34.3
IBR014	土浦	36.0729	140.1947	11.0	55.9
IBR015	岩井	36.0693	139.9080	13.5	75.5
IBR016	取手	35.9112	140.0494	20.4	78.1
IBR017	江戸崎	35.9537	140.3194	17.4	61.1
IBR018	鹿嶋	35.9770	140.6322	38.8	53.1
IBR019	北茨城	36.8808	140.6544	—	47.5

*1) 観測点位置: 世界測地系による

※黄緑色: 原科研から 30km 以内, 黄色: 原科研から 30~35km

表 2. 1-2 地震観測データの比較に用いた周辺 (KiK-net) の観測点一覧

観測点 コード	観測点名	観測点位置*1)		地表標高 (m)	設置深度 (m)	原科研との距離 (km)
		北緯(°)	東経(°)			
IBRH07	江戸崎	35.9521	140.3301	3	1200	60.9
IBRH08	大洋	36.1187	140.5621	40	1200	37.4
IBRH09	常北	36.4390	140.3559	50	106	22.0
IBRH10	石下	36.1112	139.9889	15	900	66.9
IBRH11	岩瀬	36.3701	140.1401	67	103	42.4
IBRH12	大子	36.8369	140.3181	210	200	49.4
IBRH13	高萩	36.7955	140.5750	505	100	37.9
IBRH14	十王	36.6922	140.5484	330	100	26.8
IBRH15	御前山	36.5566	140.3013	45	107	29.1
IBRH16	山方	36.6405	140.3976	90	300	27.5
IBRH17	霞ヶ浦	36.0864	140.3140	20	510	48.3
IBRH18	ひたちなか	36.3631	140.6198	20	504	10.3
IBRH19	つくば	36.2137	140.0893	175	210	53.1
IBRH20	波崎2	35.8284	140.7323	6	923	70.5
IBRH21	つくば南	35.9814	140.1050	22	929	68.9

*1) 観測点位置: 世界測地系による

*2) IBRH09常北については原科研との距離が30km以内であるが、未選別データのため使用していない。

※黄緑色: 原科研から 30km 以内

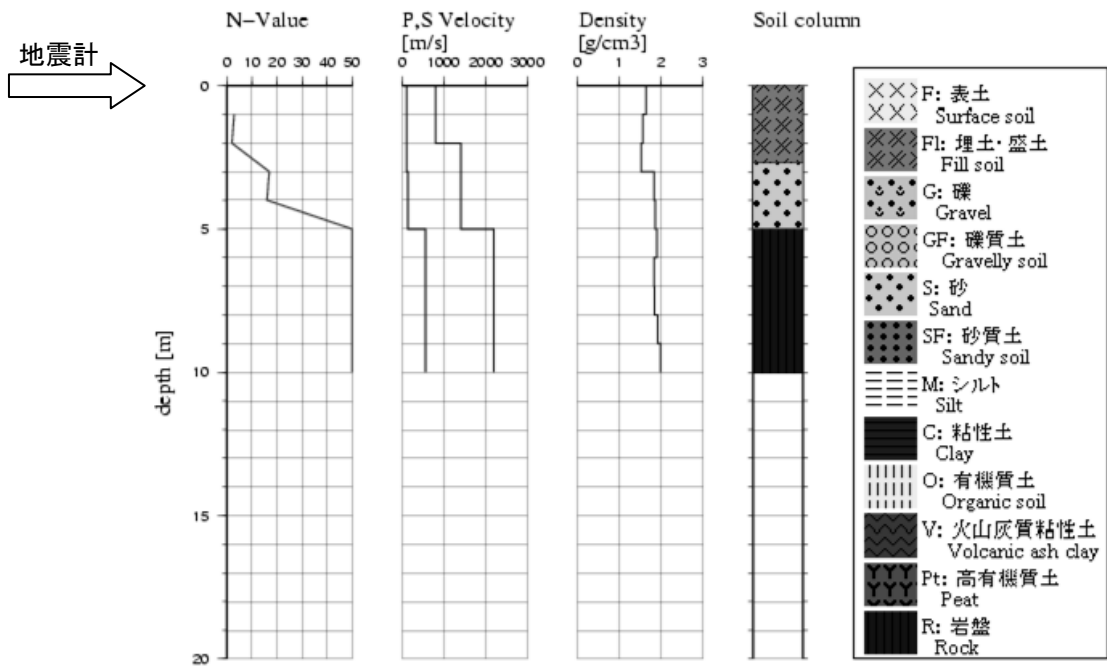


図 2.1-1(a) 防災科研 K-NET 観測点の土質柱状図 (一部加筆) : 高萩 (IBR002)

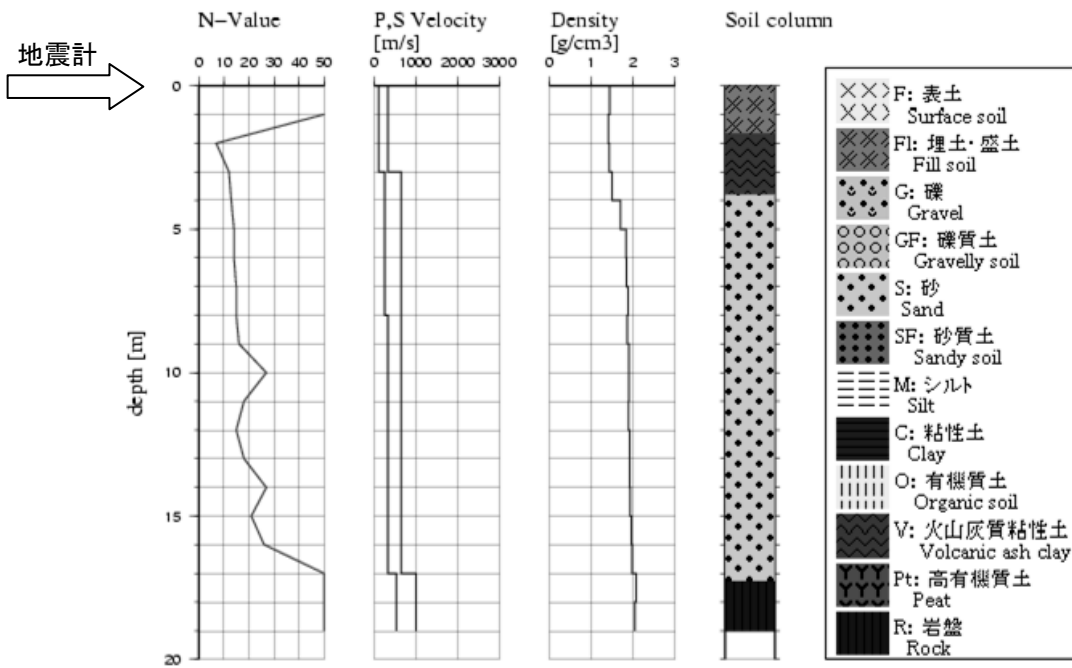


図 2.1-1 (b) 防災科研 K-NET 観測点の土質柱状図 (一部加筆): 日立 (IBR003)

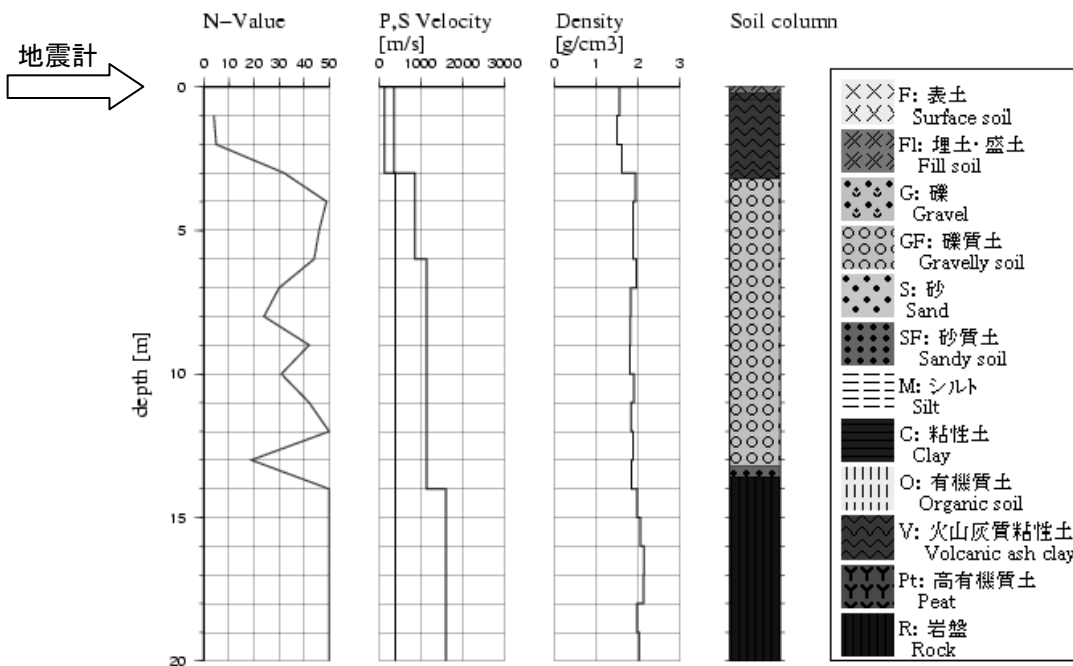


図 2.1-1 (c) 防災科研 K-NET 観測点の土質柱状図 (一部加筆): 大宮 (IBR004)

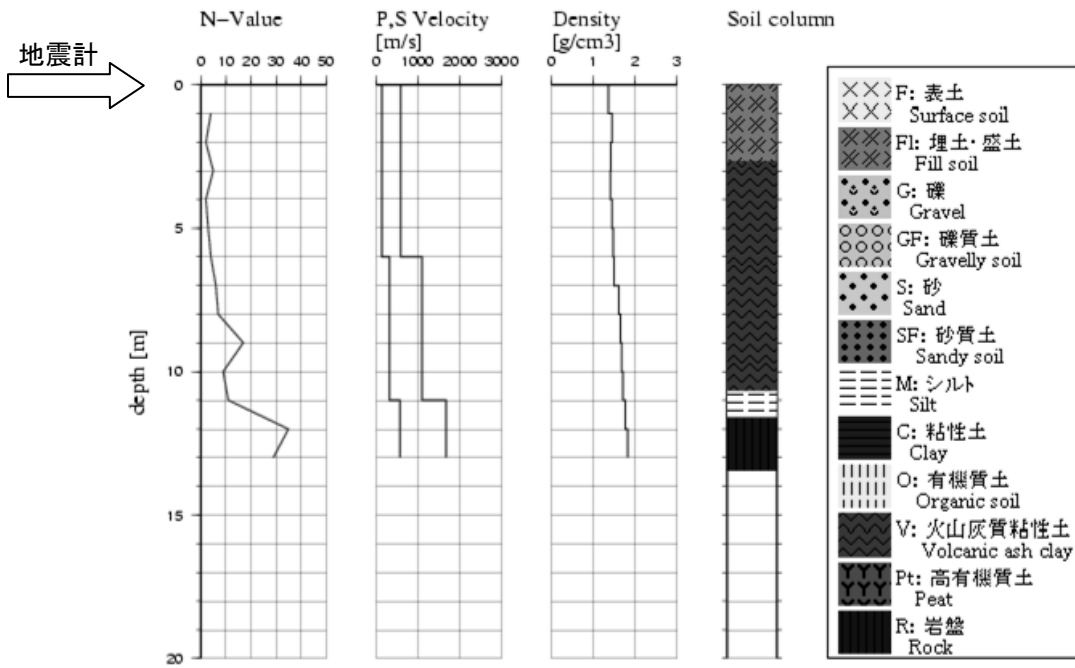


図 2.1-1 (d) 防災科研 K-NET 観測点の土質柱状図 (一部加筆) : 笠間 (IBR005)

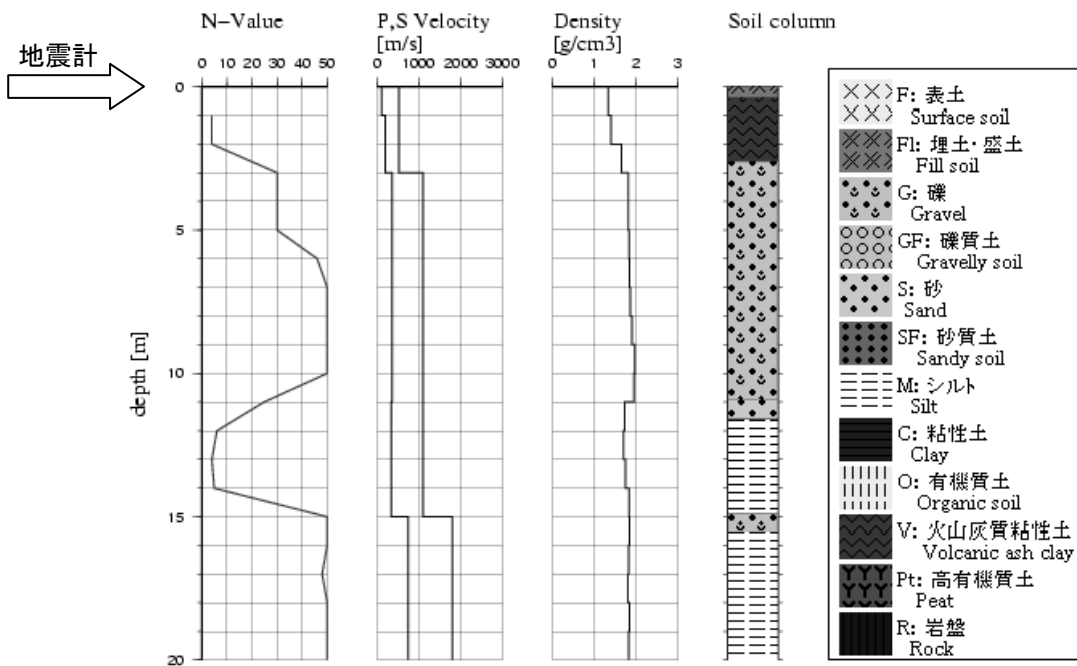


図 2.1-1 (e) 防災科研 K-NET 観測点の土質柱状図 (一部加筆) : 水戸 (IBR006)

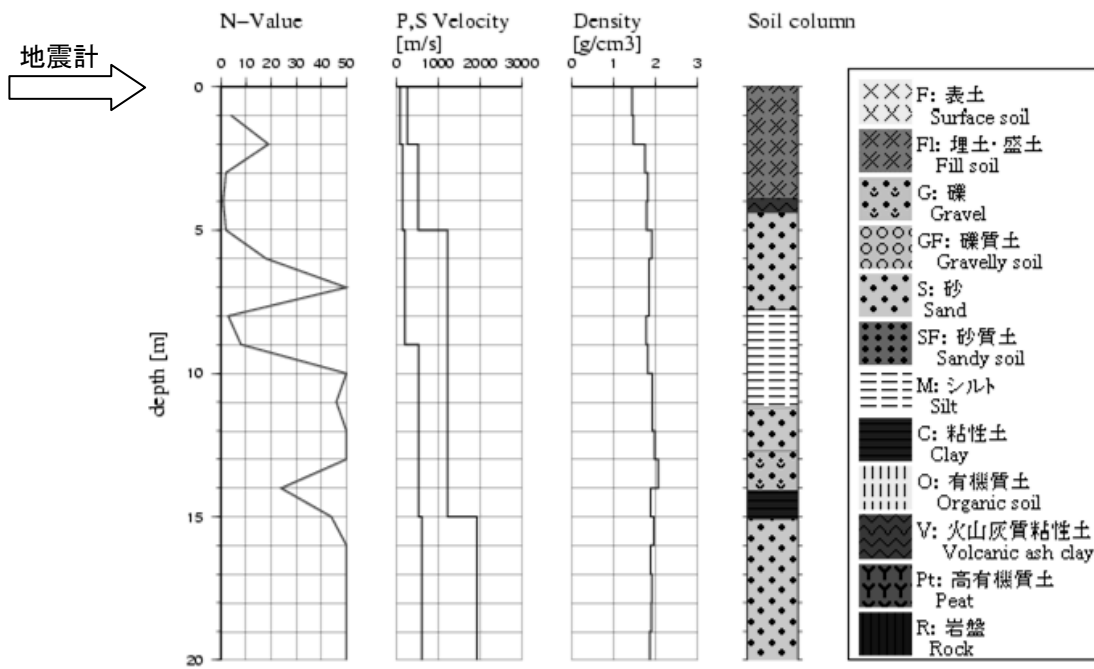


図 2.1-1 (f) 防災科研 K-NET 観測点の土質柱状図 (一部加筆): 那珂湊 (IBR007)

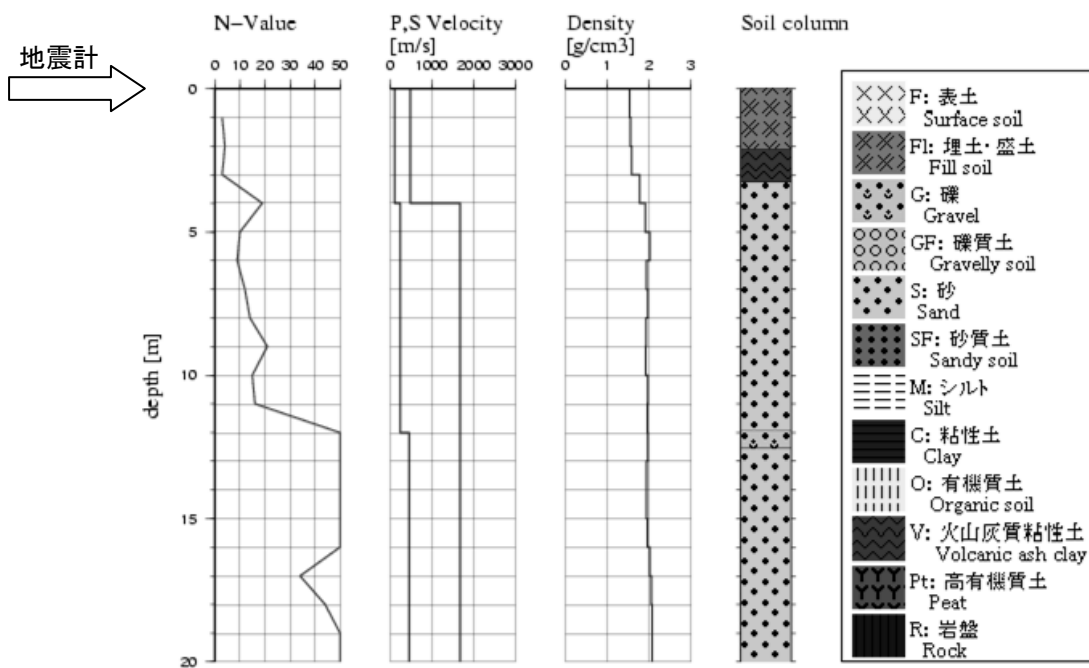


図 2.1-1 (g) 防災科研 K-NET 観測点の土質柱状図 (一部加筆): 銚田 (IBR013)

ボーリング柱状図(暫定版)

観測点名： 十王 (じゅうおう)

所在地： 茨城県多賀郡十王町黒坂168番地

緯度： 36° 41' 20.4"

孔口標高： +330m

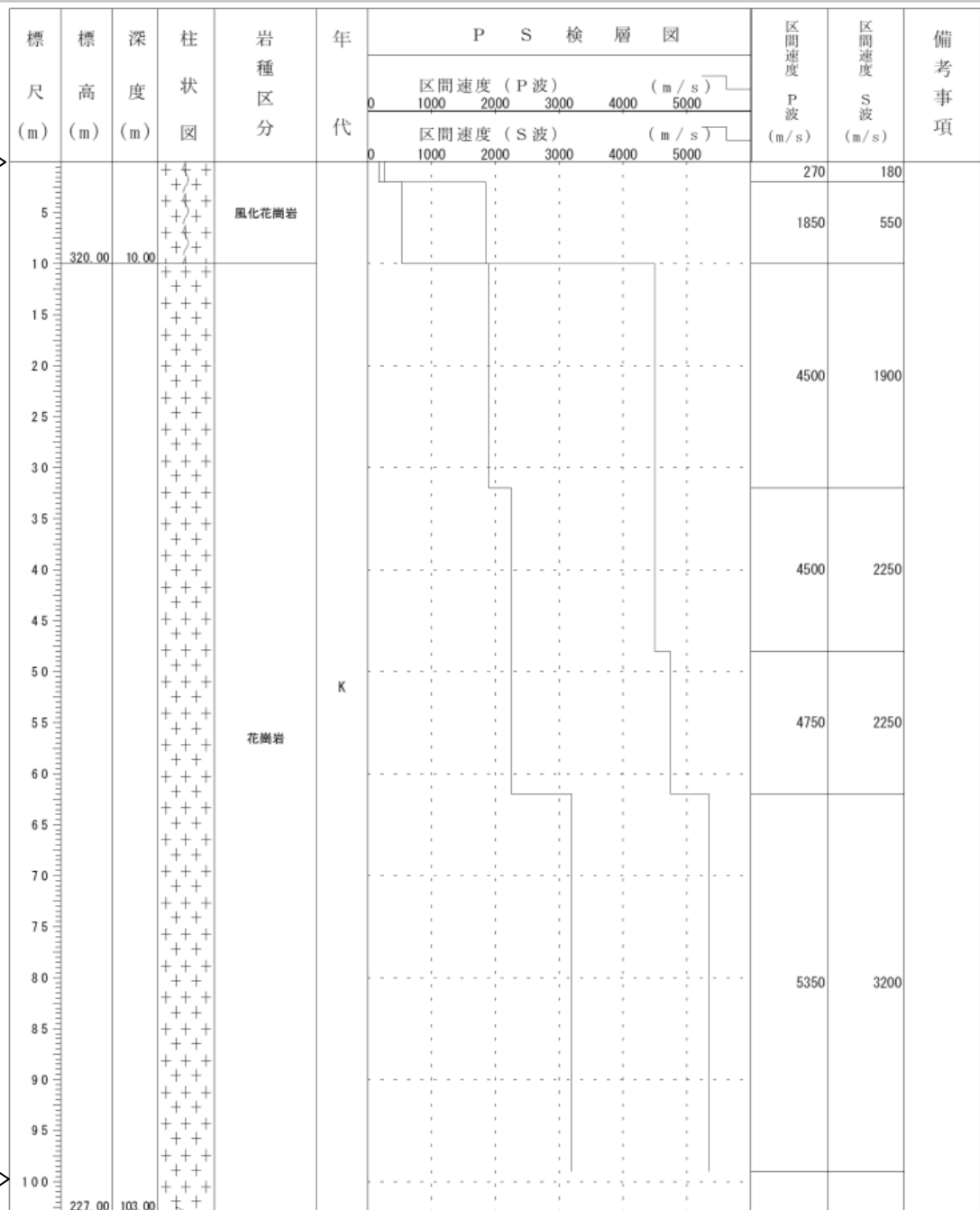
観測点コード： IBRH14

経度： 140° 33' 6.5"

総掘進長： 103.00m

地震計 →

地震計 →



年代凡例

Q : 新生代 第四紀	P : 古生代 二疊紀
N : 新生代 新第三紀	CR : 古生代 石炭紀
PG : 新生代 古第三紀	D : 古生代 デボン紀
K : 中生代 白堊紀	S : 古生代 シルル紀
J : 中生代 ジュラ紀	O : 古生代 オルドビス紀
TR : 中生代 三疊紀	CM : 古生代 カンブリア紀
	PT : 原生代

図 2. 1-1 (h) 防災科研 KiK-net 観測点の土質柱状図 (一部加筆)： 十王 (IBRH14)

ボーリング柱状図(暫定版)

観測点名： 御前山 (ごぜんやま)

所在地： 茨城県東茨城郡御前山村大字下伊勢畑字滝坂1188番5

緯度： 36° 33' 12.6"

孔口標高： +115m

観測点コード： IBRH15

経度： 140° 18' 16.6"

総掘進長： 110.00m

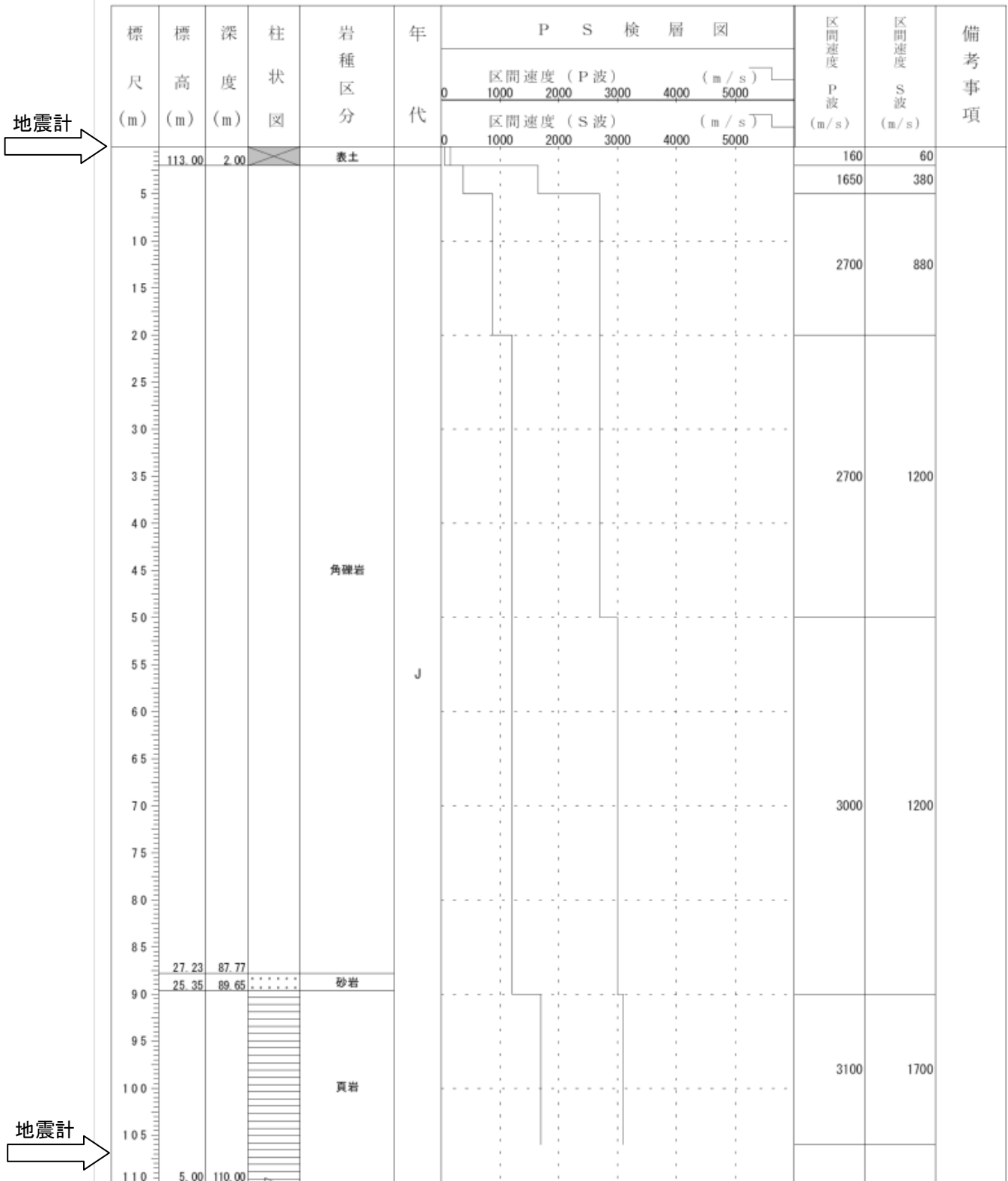


図 2.1-1 (i) 防災科研 KiK-net 観測点の土質柱状図 (一部加筆)： 御前山 (IBRH15)

ボーリング柱状図(暫定版)

観測点名： 山方 (やまがた)

所在地： 茨城県那珂郡山方町大字西野内1751

緯度： 36° 38' 14.6"

孔口標高： +90m

観測点コード： IBRH16

経度： 140° 24' 3.2"

総掘進長： 303.00m

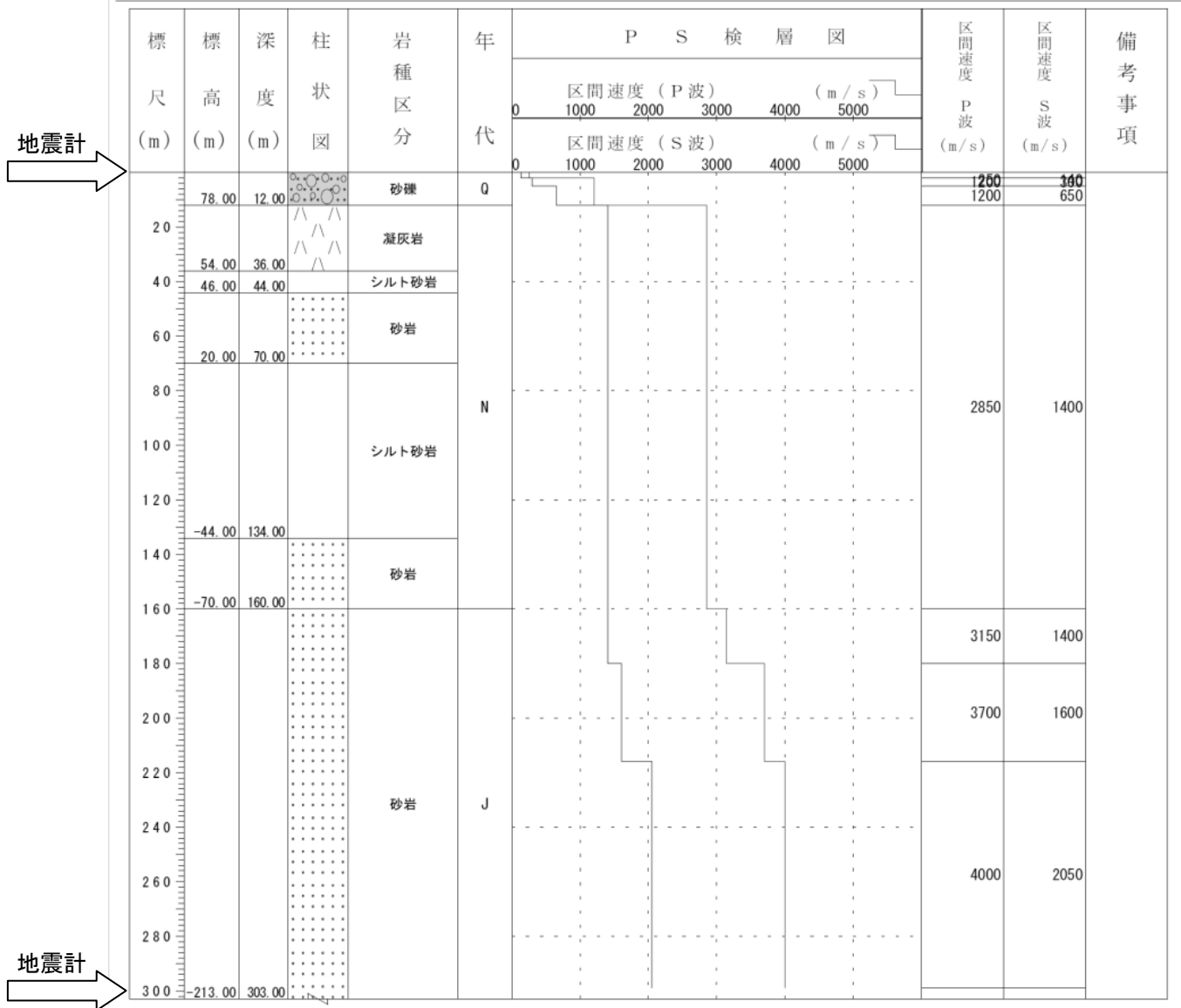


図 2.1-1 (j) 防災科研 KiK-net 観測点の土質柱状図 (一部加筆)： 山方 (IBRH16)

ボーリング柱状図(暫定版)

観測点名： ひたちなか

所在地： 茨城県ひたちなか市平磯町3550

緯度： 36° 21' 35.6"

孔口標高： +17m

観測点コード： IBRH18

経度： 140° 37' 23.2"

総掘進長： 507.00m

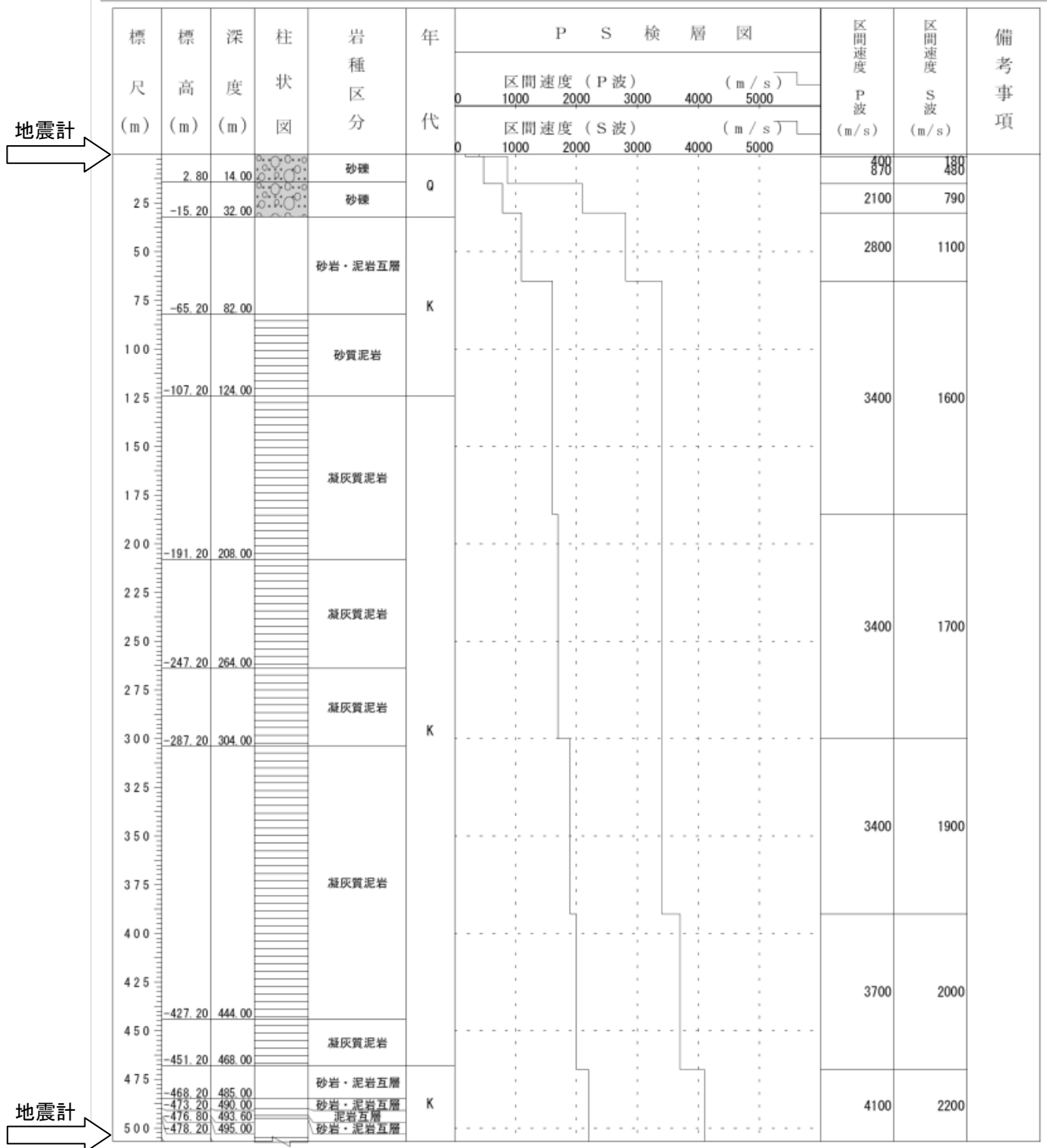


図 2.1-1 (k) 防災科研 KiK-net 観測点の土質柱状図 (一部加筆)： ひたちなか (IBRH18)

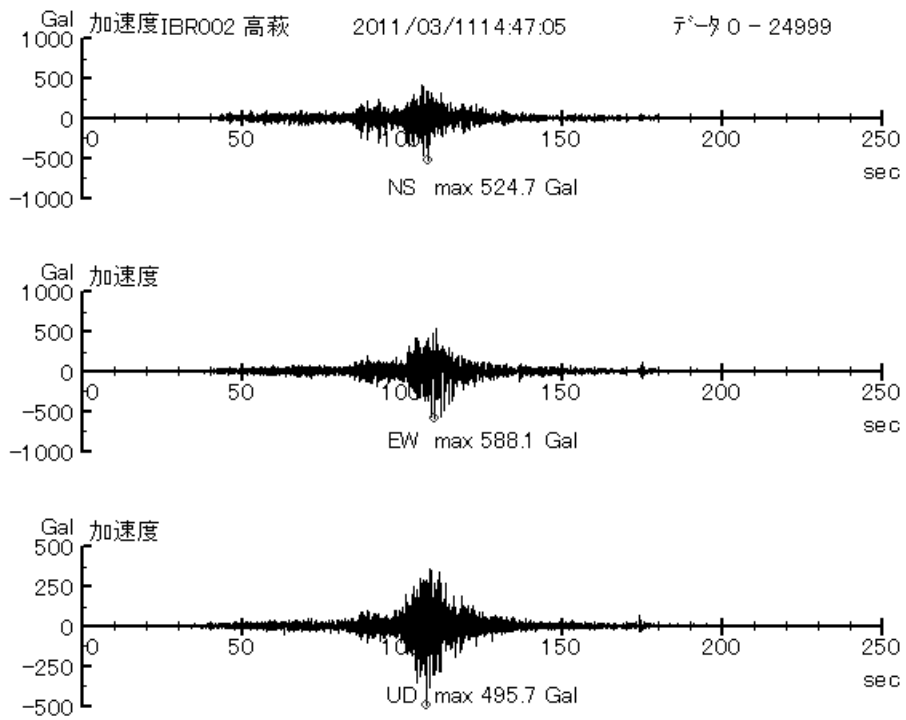


図 2.1-2 (a) 防災科研 K-NET の東北地方太平洋沖地震の観測記録：高萩 (IBR002)

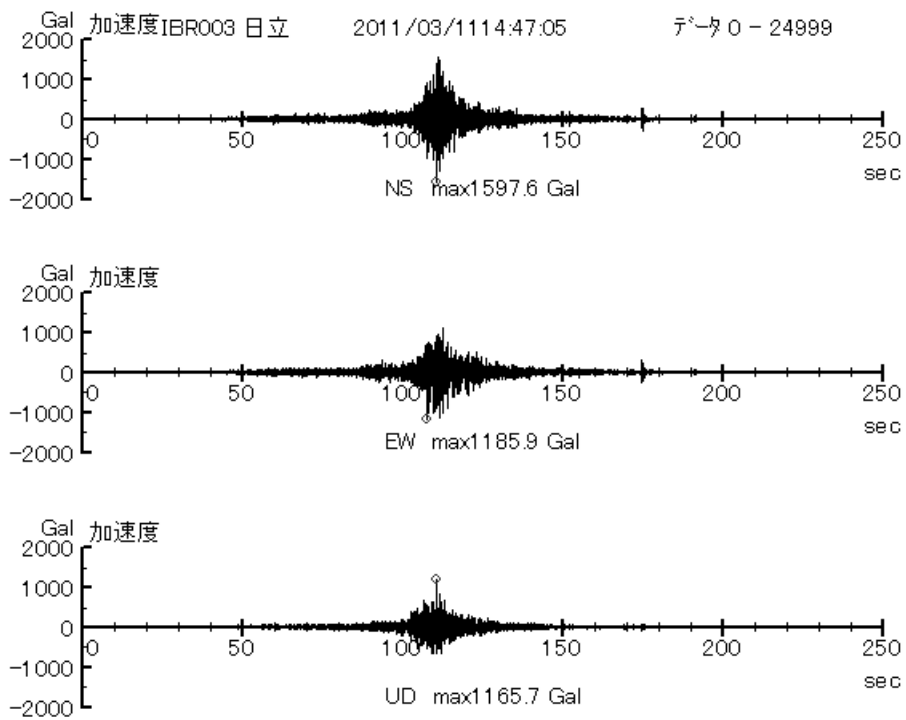


図 2.1-2 (b) 防災科研 K-NET の東北地方太平洋沖地震の観測記録：日立 (IBR003)

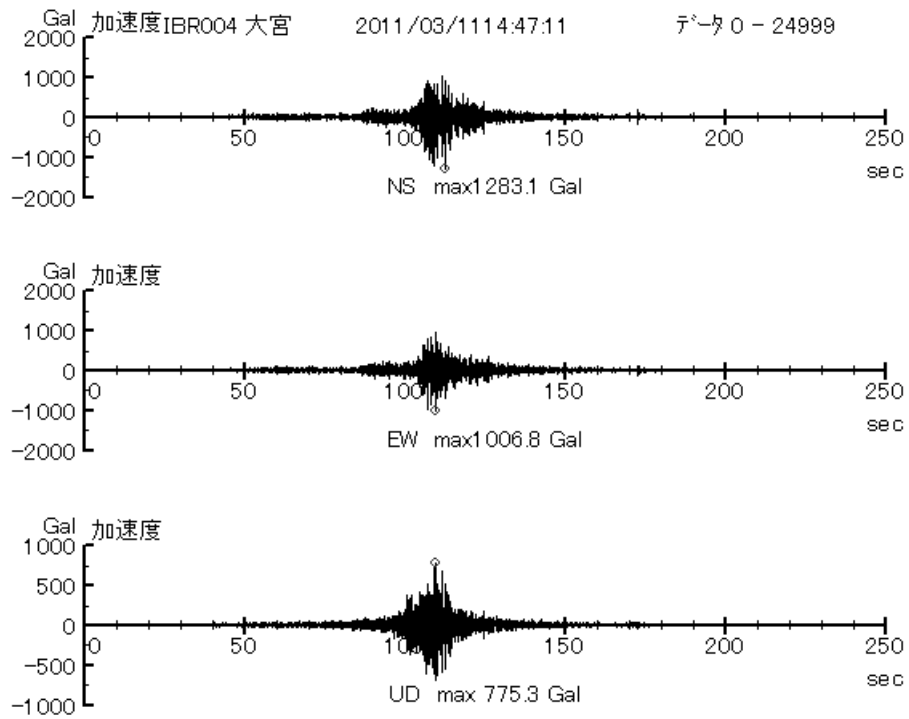


図 2.1-2 (c) 防災科研 K-NET の東北地方太平洋沖地震の観測記録：大宮 (IBR004)

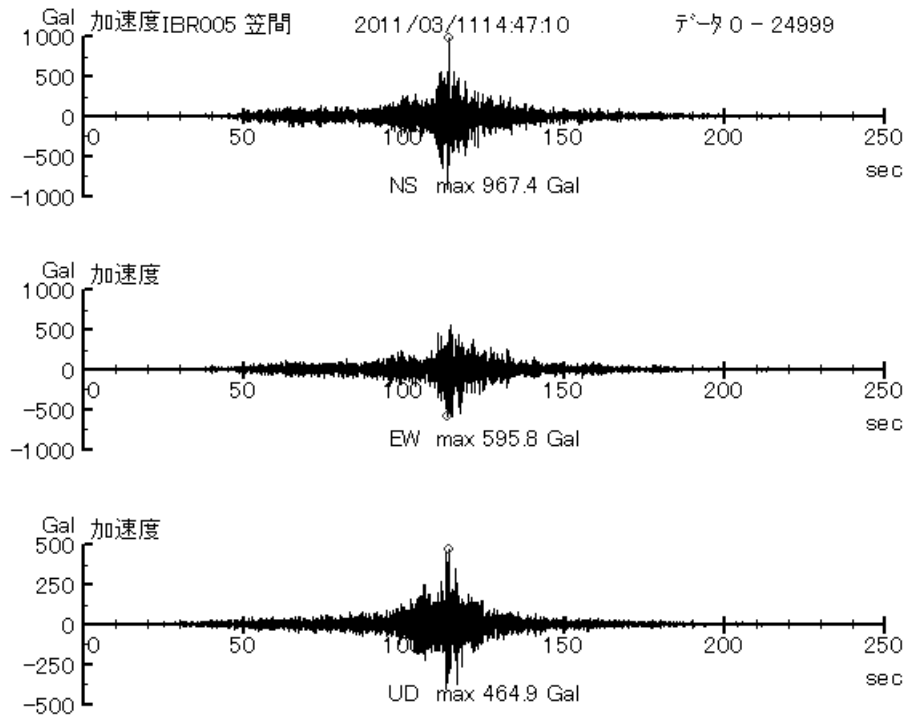


図 2.1-2 (d) 防災科研 K-NET の東北地方太平洋沖地震の観測記録：笠間 (IBR005)

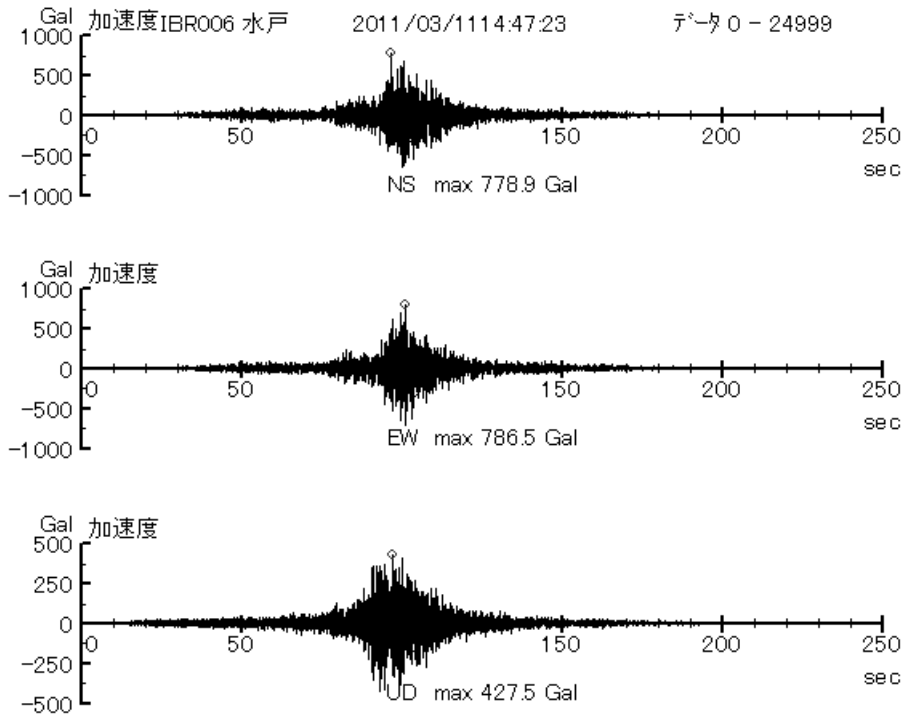


図 2. 1-2 (e) 防災科研 K-NET の東北地方太平洋沖地震の観測記録： 水戸 (IBR006)

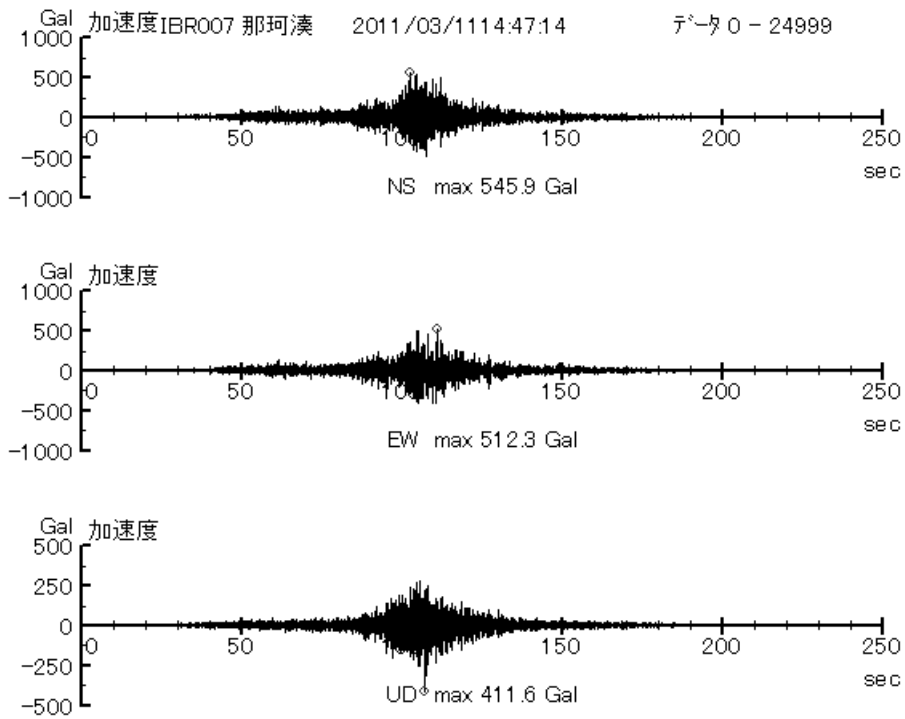


図 2. 1-2 (f) 防災科研 K-NET の東北地方太平洋沖地震の観測記録： 那珂湊 (IBR007)

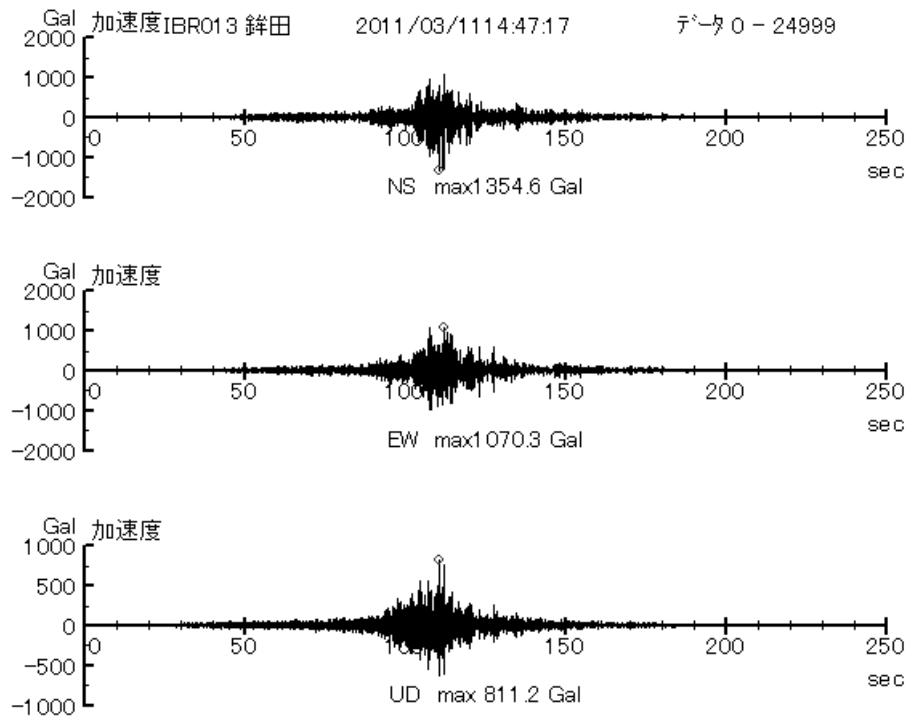


図 2.1-2 (g) 防災科研 K-NET の東北地方太平洋沖地震の観測記録： 銚田 (IBR013)

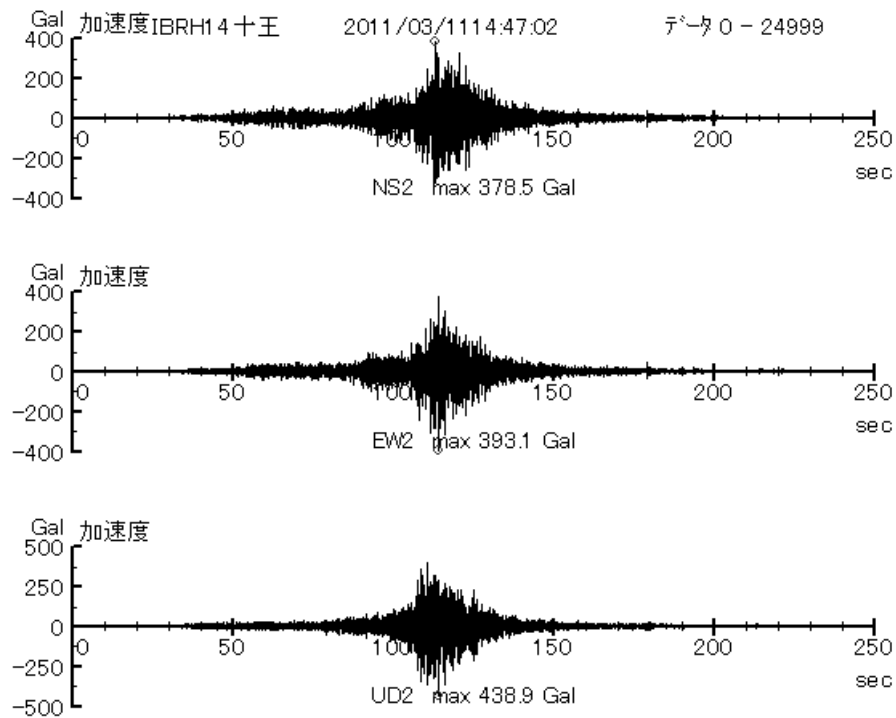


図 2.1-2 (h) 防災科研 KiK-net の東北地方太平洋沖地震の観測記録： 十王 (IBRH14)，地表

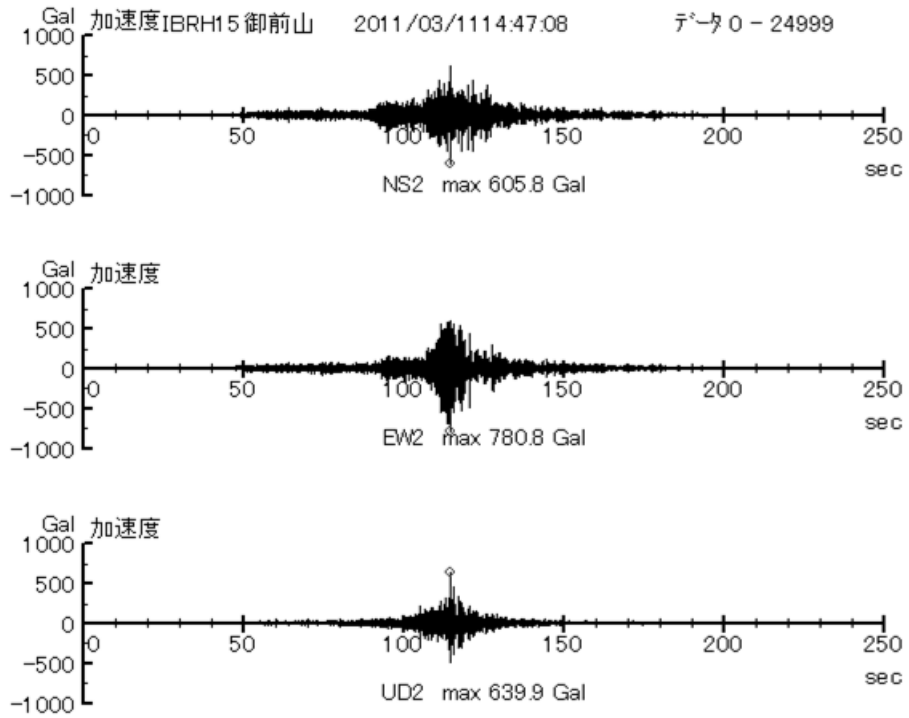


図 2.1-2 (i) 防災科研 KiK-net の東北地方太平洋沖地震の観測記録：御前山 (IBRH15)，地表

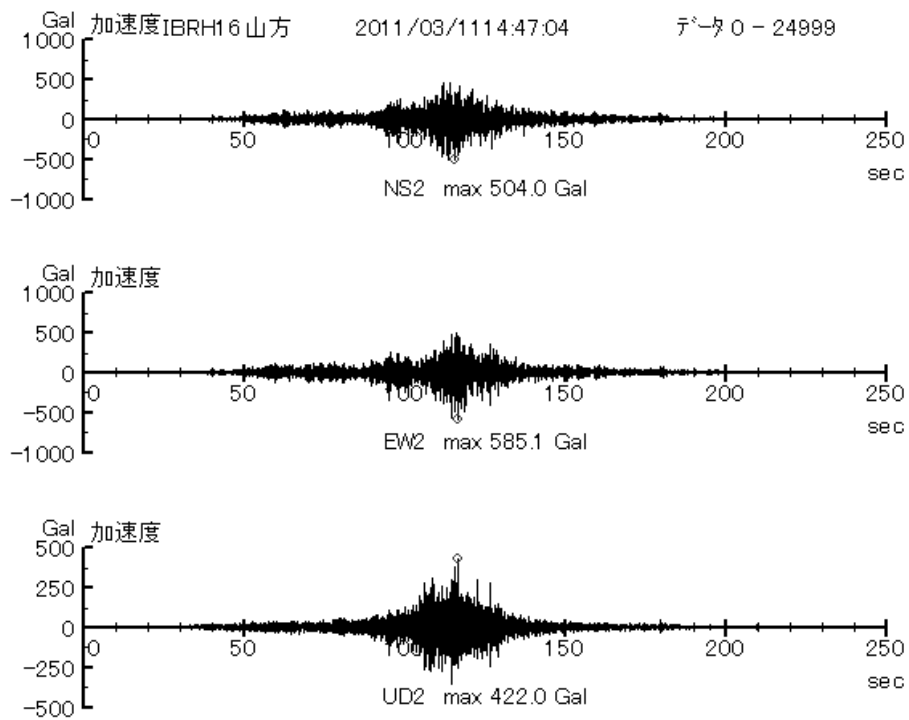


図 2.1-2 (j) 防災科研 KiK-net の東北地方太平洋沖地震の観測記録：山方 (IBRH16)，地表

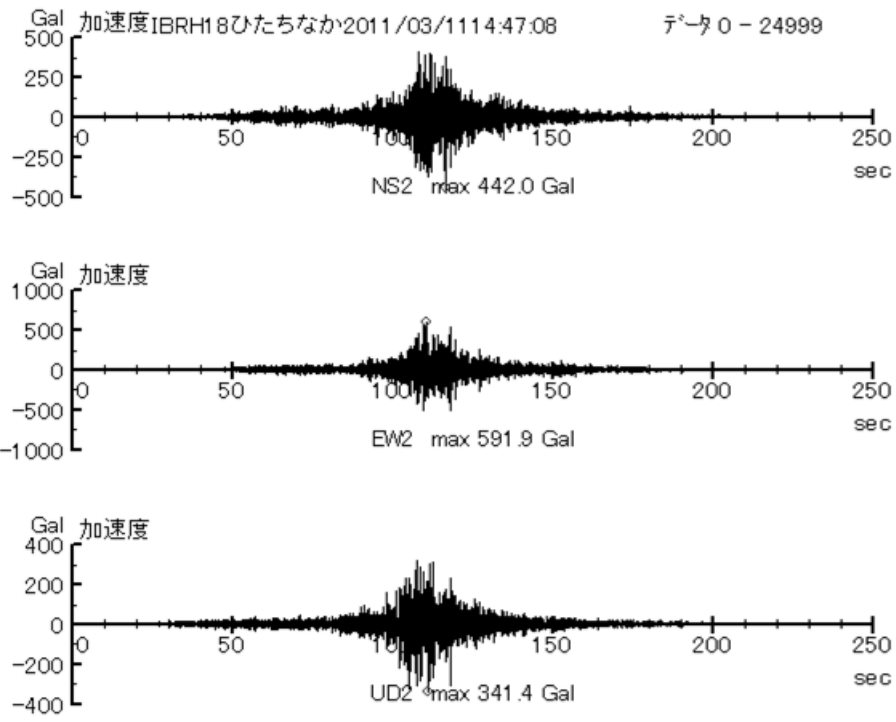


図 2.1-2 (k) 防災科研 KiK-net の東北地方太平洋沖地震の観測記録：ひたちなか (IBRH18)，地表

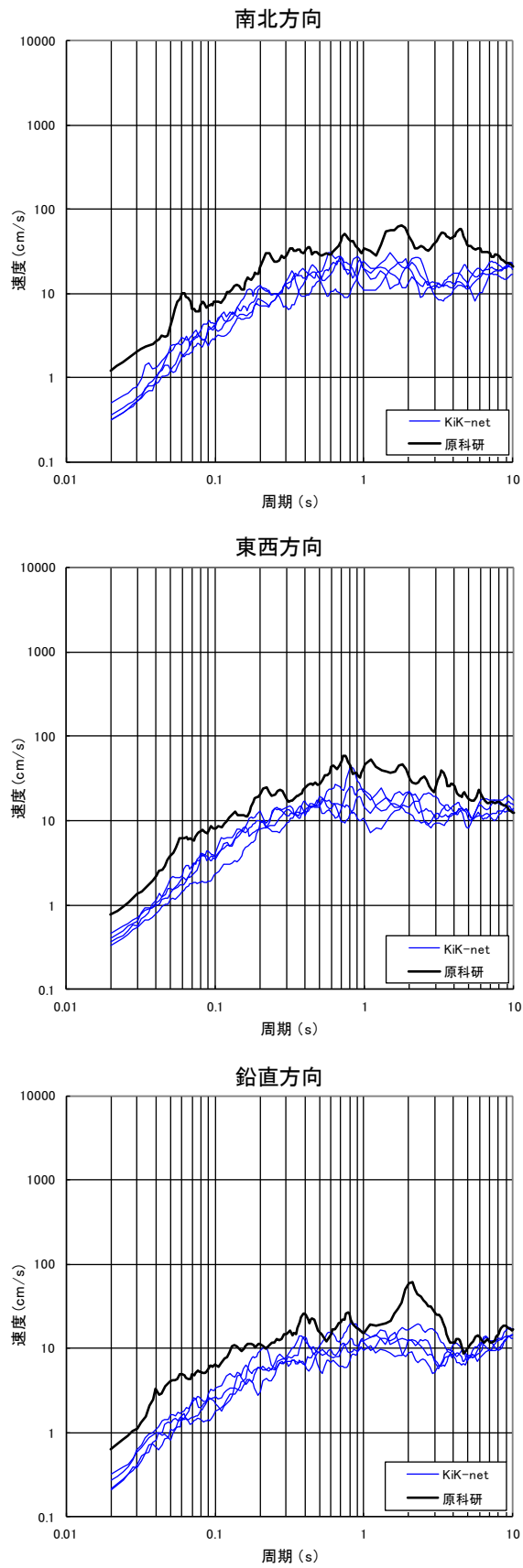


図 2.2-1 敷地周辺及び敷地内の地盤系地震計 速度応答スペクトル
($h=0.05$, 深部地盤)

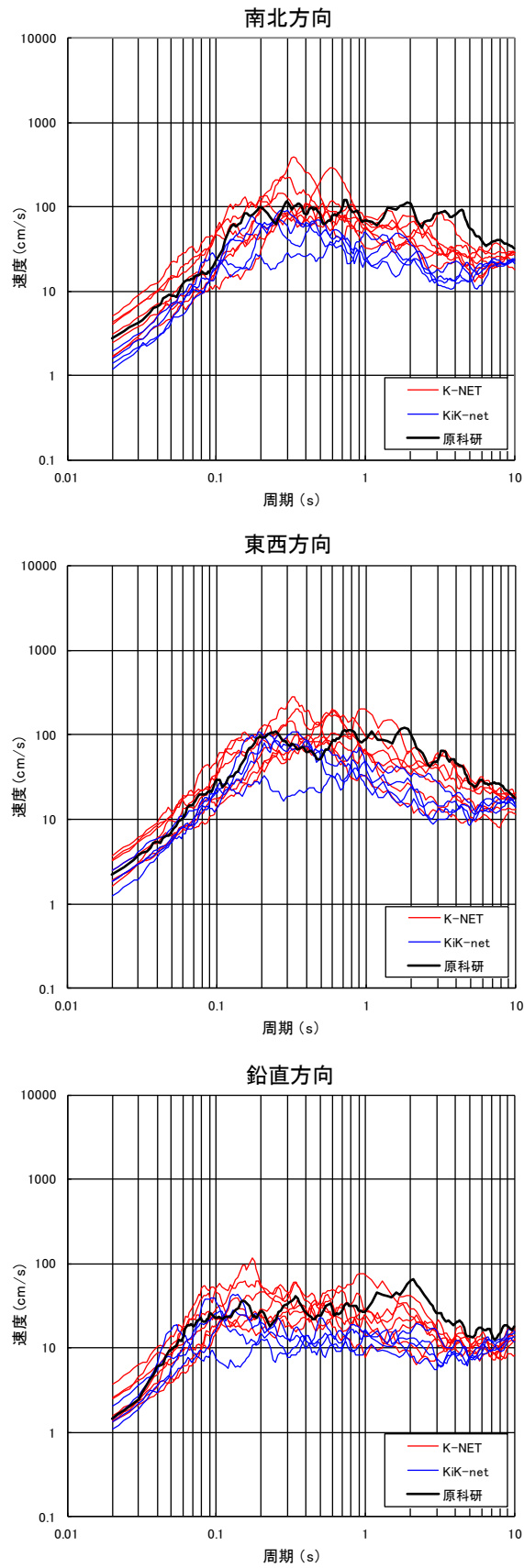


図 2. 3-1 敷地周辺及び敷地内の地盤系地震計 速度応答スペクトル
($h=0.05$, 浅部地盤 (地表))

3. 敷地内の地盤系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較

3.1 地震観測データの速度応答スペクトル比較

地盤系地震計については、G. L. -1mの地震計は砂丘層及びローム層（せん断波速度 $V_s=220\sim 250$ m/s 程度）の位置に、G. L. -13m以深の地震計は硬い砂質泥岩（せん断波速度 $V_s=400\sim 700$ m/s 程度）の位置に設置されている。

地盤系地震計の鉛直アレーで得られた地震観測データについて、速度応答スペクトルを図3-1に示す。各深さのスペクトル形状及び振幅はおおむね同様の傾向を示している。

各深さの地震観測データが整合性を有することから、地盤系地震計は、東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したと考えられる。

3.2 検討結果

地盤系地震計は、東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したと考えられる。これにより、地盤系地震計で得られた地震観測データを、地盤の地震応答解析等に活用できることを確認した。

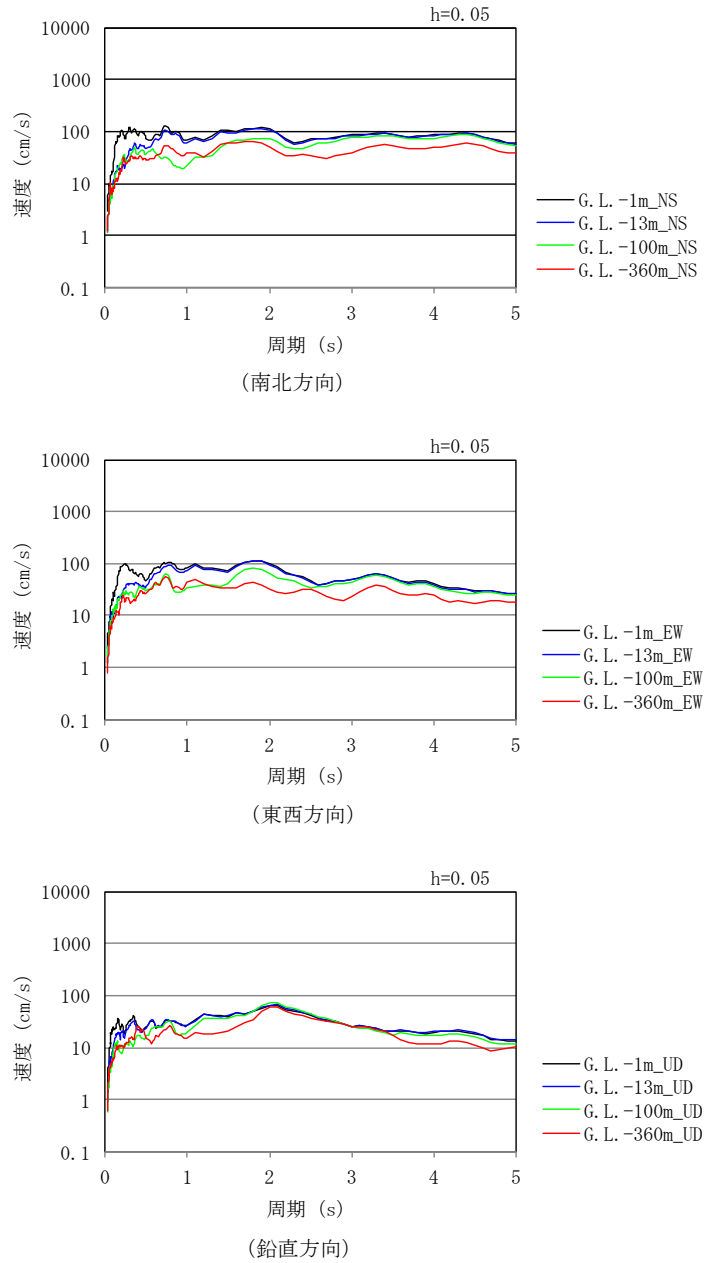


図 3-1 地盤系地震計鉛直アレー 速度応答スペクトル

4. 敷地内の建家系地震計鉛直アレーで得られた地震観測データの比較

4.1 地震観測データの速度応答スペクトル比較

JRR-3 建家系地震計は、建家各層においておおむね同じ平面位置に設置されている。

JRR-3 建家系地震計の鉛直アレーで得られた地震観測データについて、速度応答スペクトルを図 4-1 に示す。各層のスペクトル形状及び振幅は、建家の振動特性の影響より、約 1 秒以下の短周期側では異なるものの、長周期側ではほぼ同一である。

各層の地震観測データが整合性を有することから、JRR-3 建家系地震計は、東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したと考えられる。

4.2 検討結果

JRR-3 建家系地震計は、東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したと考えられる。これにより、JRR-3 建家系地震計で得られた地震観測データを、建家の地震応答解析等に活用できることを確認した。

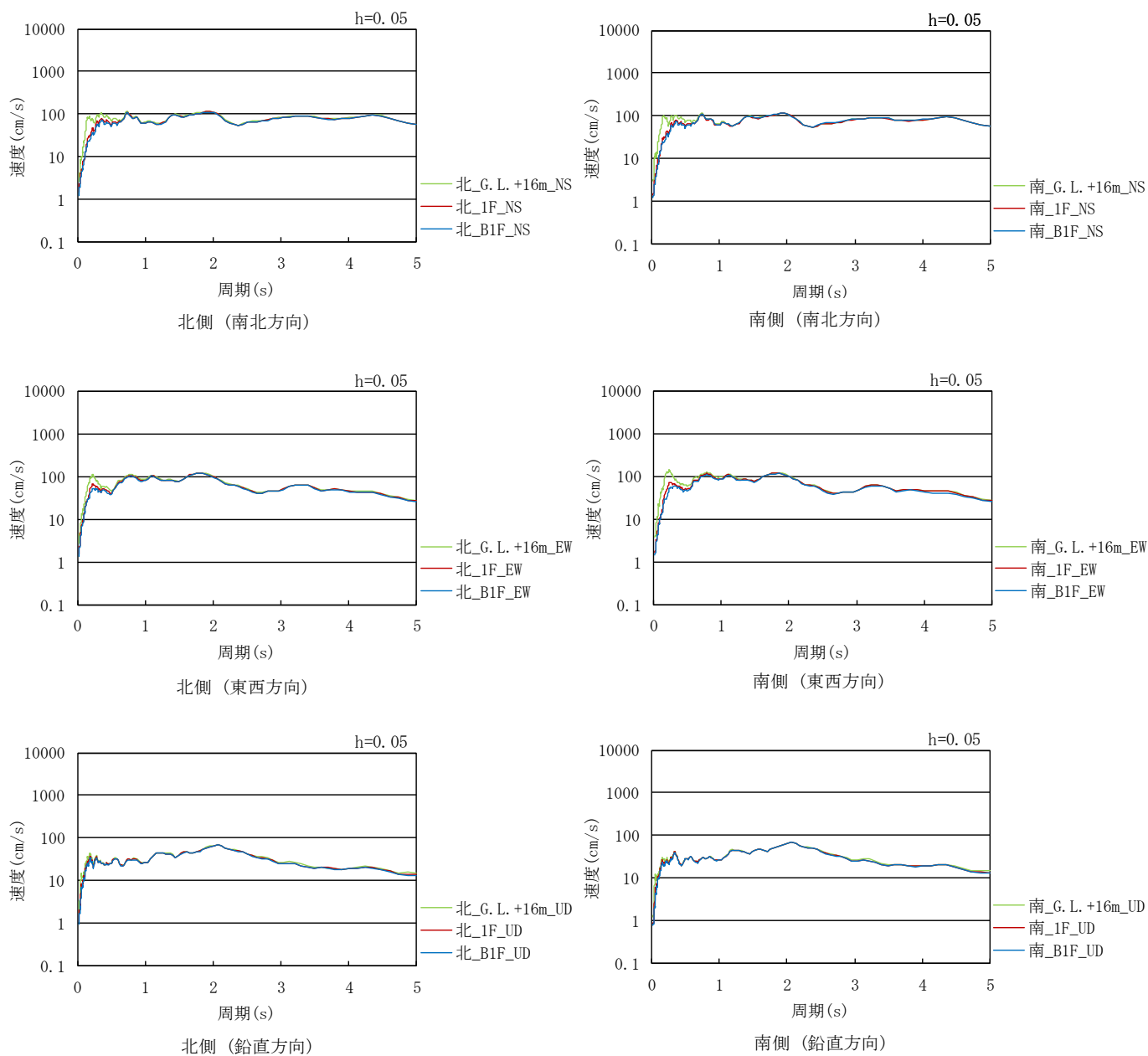


図 4-1 (1) JRR-3 建家系地震計 速度応答スペクトル (北側及び南側)

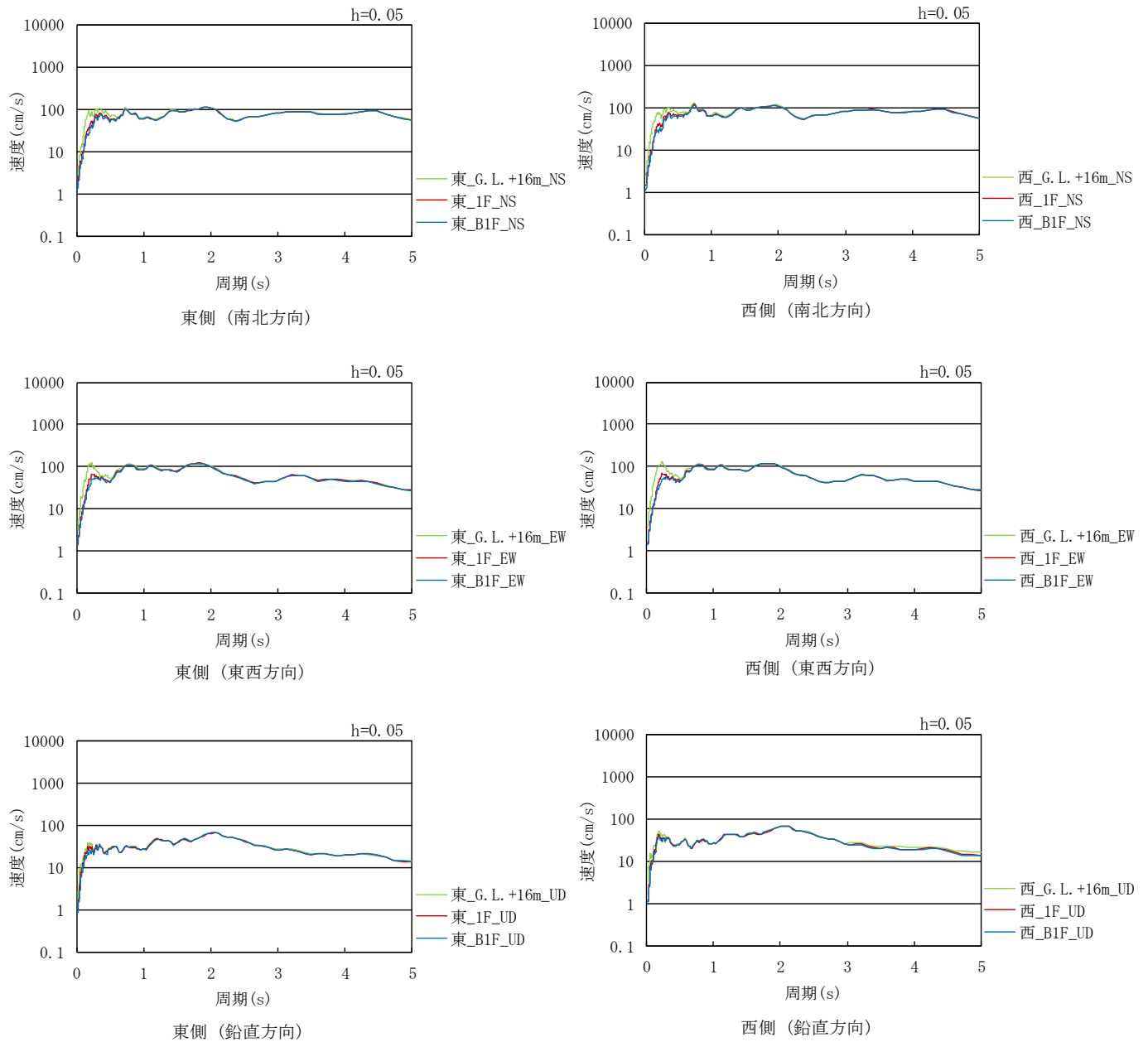


図 4-1 (2) JRR-3 建家系地震計 速度応答スペクトル (東側及び西側)

5. まとめ

原科研の地盤系地震計の地震観測データについて、敷地周辺の地盤系地震計（K-NET・KiK-net）の地震観測データとの比較を行い、スペクトル形状及び振幅が整合性を有することを確認した。また、原科研の地盤系地震計の鉛直アレーで得られた地震観測データについて、スペクトル形状及び振幅の比較を行い、各深さの地震観測データが整合性を有することを確認した。

JRR-3 建家系地震計の鉛直アレーで得られた地震観測データについて、スペクトル形状及び振幅の比較を行い、各層の地震観測データが整合性を有することを確認した。

以上より、原科研の地盤系及び JRR-3 建家系地震計は東北地方太平洋沖地震の地震動を適切に観測したと考えられる。これにより、原科研の地盤系及び JRR-3 建家系地震計で得られた地震観測データを、地盤及び建家の地震応答解析等に活用できることを確認した。

※ 本報告では、防災科研の地震観測データ（K-NET・KiK-net）を利用させていただいた。

JRR-3 原子炉施設の耐震健全性評価
(建物・構築物)

<目次>

1. はじめに	1
2. 評価方針	2
3. 原子炉建家の地震観測記録の概要	5
4. 原子炉建家の解析に用いた地震動	23
5. 原子炉建家のシミュレーション解析及び耐震健全性評価	27
6. 原子炉プール等の冠水維持機能の耐震健全性評価	55
7. 屋根トラスの耐震健全性評価	65

1. はじめに

本資料は、「平成 23 年東北地方太平洋沖地震に関する独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所 JRR-3 における地震観測データに係る報告を踏まえた対応について（指示）（平成 23 年 10 月 5 日，23 科原安第 34 号，文部科学省）」を受けて実施した地震応答解析を用いた JRR-3 原子炉施設の耐震健全性評価の結果について取りまとめたものである。

2. 評価方針

評価対象は JRR-3 原子炉施設のうち原子炉建家とする。平成 23 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の本震（以下「東北地方太平洋沖地震」という。）に対する耐震健全性を評価する。

耐震 S クラス相当の施設を内蔵している原子炉建家に対しては「原子炉プール等の冠水維持機能」及び「支持機能」の保持が地震時に要求される。

建物・構築物の耐震健全性評価は、地震観測記録を用いた地震応答解析（時刻歴応答解析法）によることを基本とし、原子炉建家の応答性状を適切に表現できる地震応答解析モデルを設定した上で行う。

東北地方太平洋沖地震に対する原子炉建家の耐震健全性評価においては、次を確認する。

- 原子炉建家躯体：

地震観測記録に基づく質点系 SR モデルによるシミュレーション解析を実施し、その応答性状より観測記録をおおむねシミュレートできる解析モデルであることを確認する。解析の結果、応答値(最大応答せん断ひずみ)がおおむね弾性範囲内に収まることを確認する。

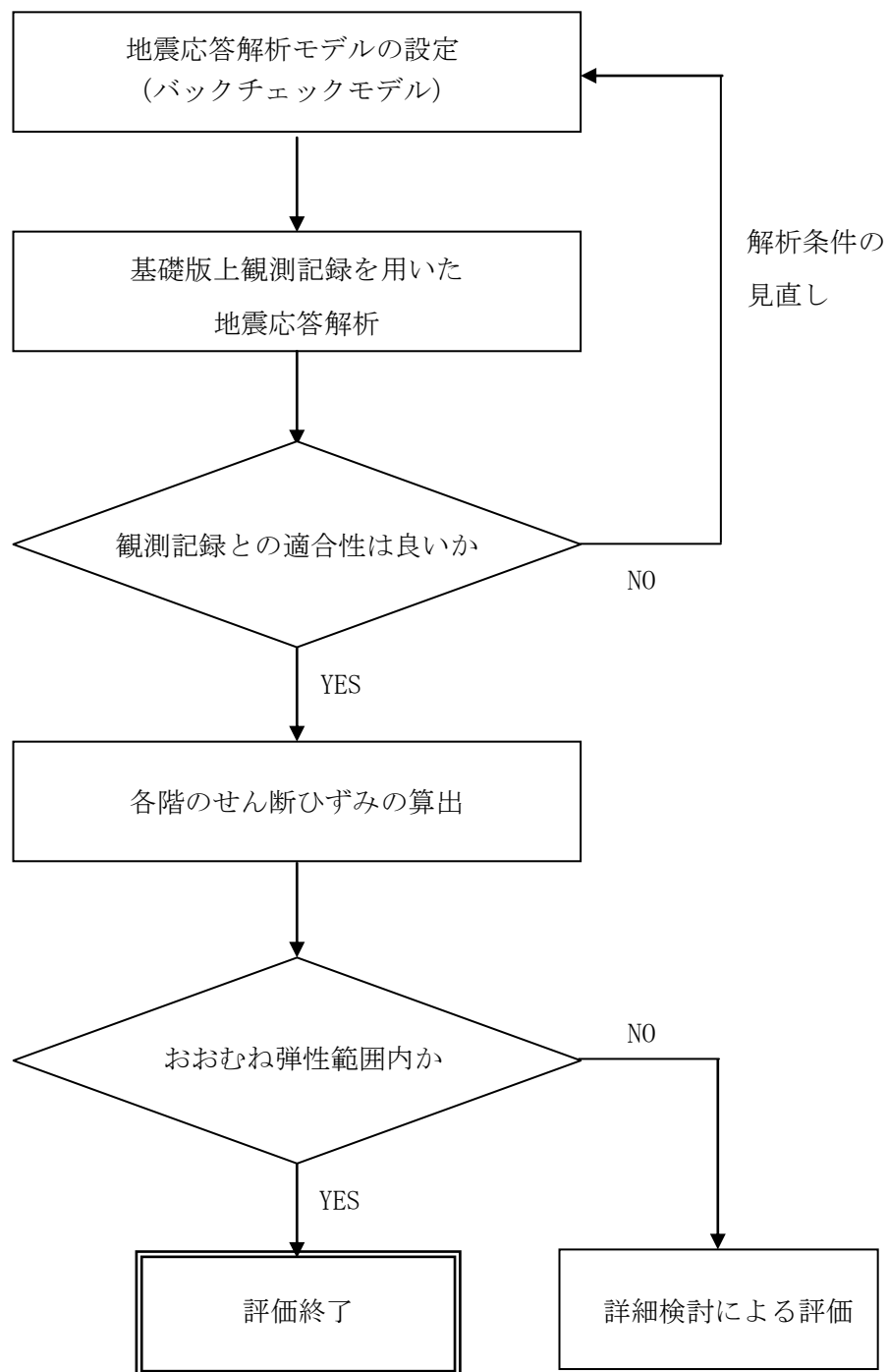
原子炉建家躯体の評価手順例を第 2. 1-1 図に示す。

- 原子炉プール等の冠水維持機能：

地震観測記録に基づく質点系 SR モデルによる解析及び三次元 FEM 解析を実施し、プール躯体がおおむね弾性範囲内に収まることを確認する。また、ライニングに発生するひずみが評価基準値を下回ることを確認する。

- 屋根トラス：

地震観測記録に基づく三次元 FEM 解析を実施し、屋根トラスの構造部材に発生する応力度が評価基準値を下回ることを確認する。

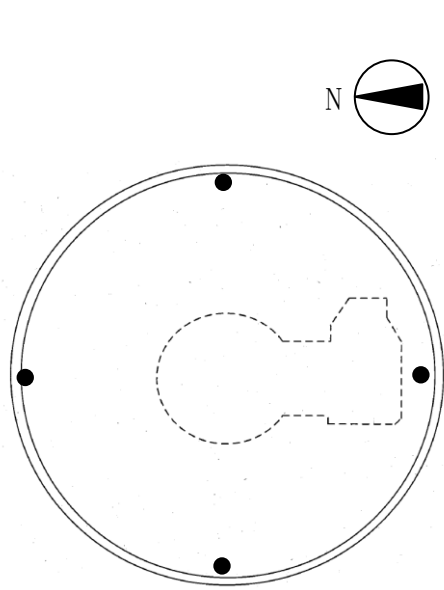


第 2.1-1 図 原子炉建家躯体の評価手順例

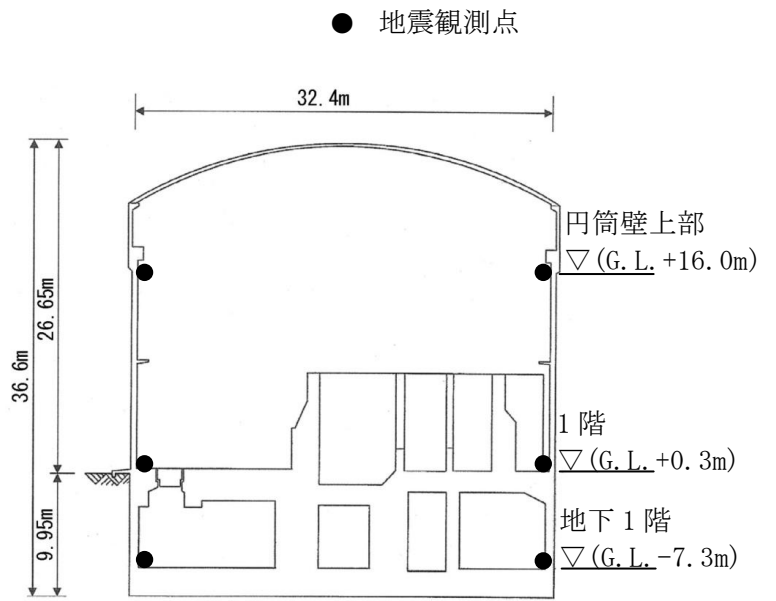
3. 原子炉建家の地震観測記録の概要

3.1 地震観測

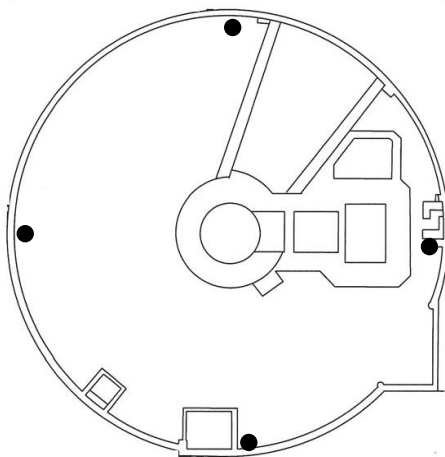
地震計は、平面的には東西南北方向の4か所、上下方向には地下1階(基礎上端)、1階、及び円筒壁上部 (G. L. +16.0m) の3か所、合計12か所に設置されている。いずれの地震計も円筒外壁の近傍にある。第3.1-1図に地震計の設置位置を示す。



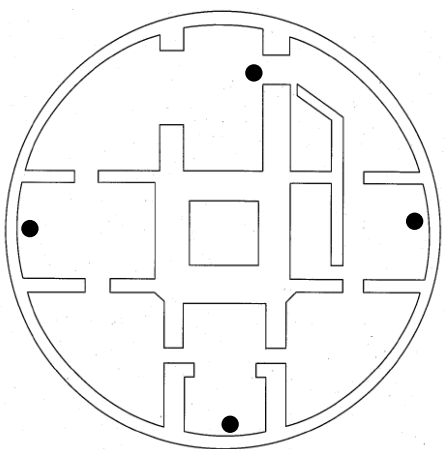
(a) 円筒壁上部平面図 (G. L. +16.0m)



(d) 南北方向断面図



(b) 1階平面図 (G. L. +0.3m)



(c) 地下1階平面図 (G. L. -7.3m)

※ 本ページの図については、核物質防護の観点から、一部を修正している。

G. L. ±0m = T. P. +19.0m

第 3.1-1 図 地震計の設置位置

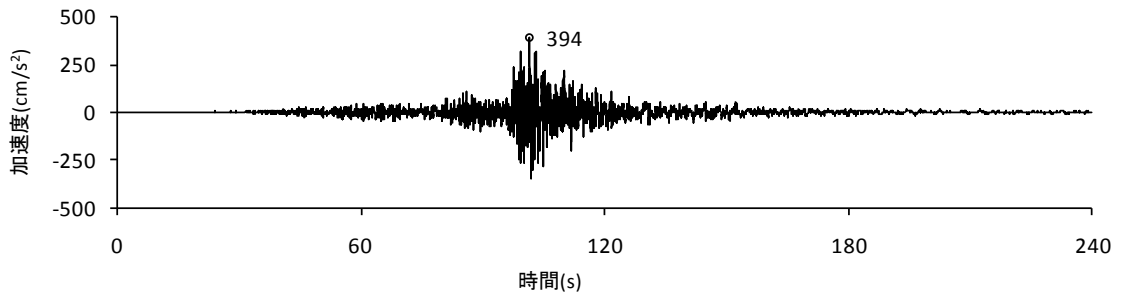
3.2 地震観測記録

東北地方太平洋沖地震において、原子炉建家で観測された観測記録の最大加速度を第 3.2-1 表に示す。地下 1 階(基礎上端)の地震観測記録の最大加速度は、南北方向で 420cm/s^2 、東西方向で 465cm/s^2 、鉛直方向で 327cm/s^2 であった。地震観測記録の加速度時刻歴波形を第 3.2-1 図～第 3.2-12 図に、加速度応答スペクトルを第 3.2-13 図～第 3.2-15 図に示す。

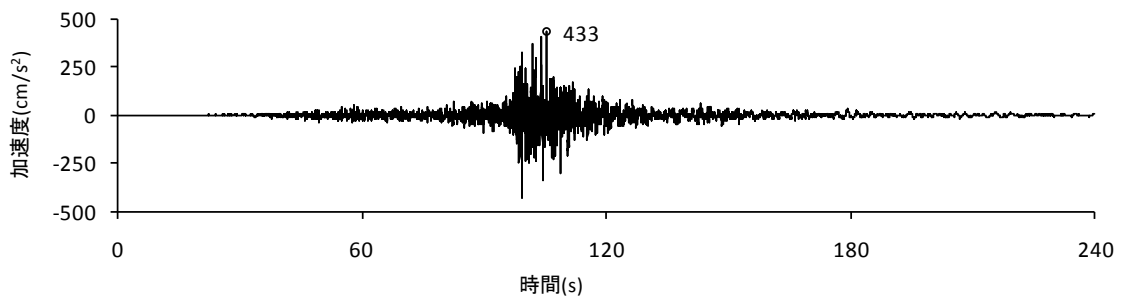
第 3.2-1 表 観測記録の最大加速度 (cm/s^2)

種別	設置位置		最大加速度値 (cm/s^2)		
			南北方向	東西方向	鉛直方向
JRR-3 建家系	G. L. +16m	北側	828	886	507
		東側	841	1,003	458
		南側	931	1,173	384
		西側	812	1,183	512
	1 階	北側	476	479	345
		東側	522	476	314
		南側	452	525	257
		西側	442	483	363
	地下 1 階 (基礎上端)	北側	394	433	305
		東側	420	440	265
		南側	396	465	242
		西側	361	441	327

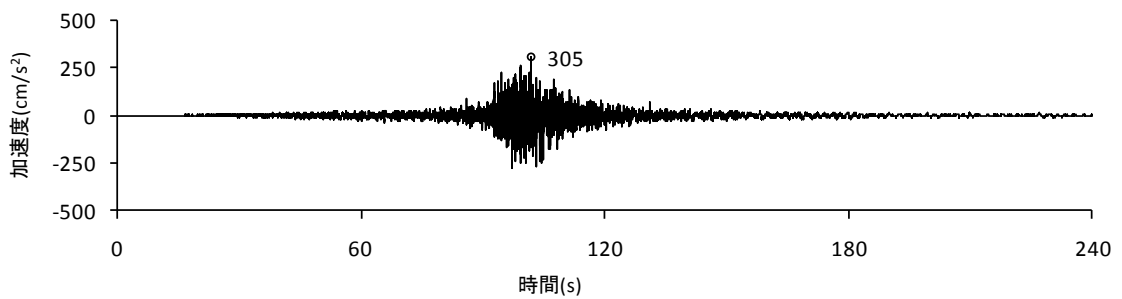
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



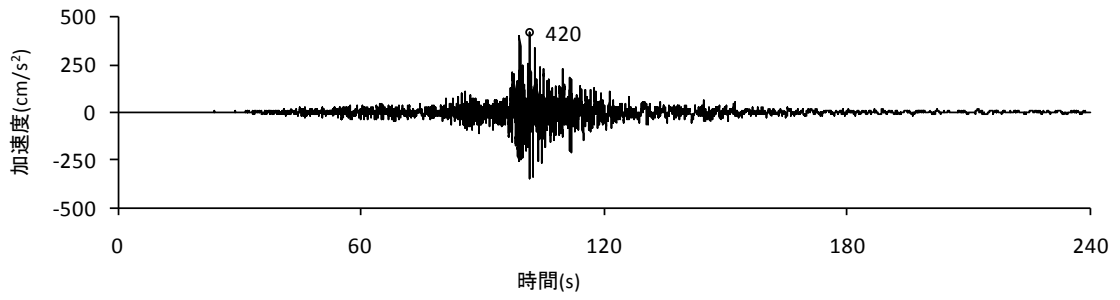
(b) 東西方向



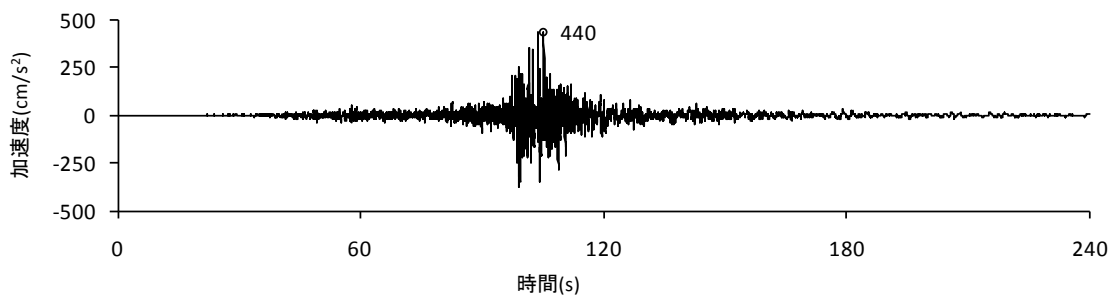
(c) 鉛直方向

第 3.2-1 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形（基礎上端 北側）

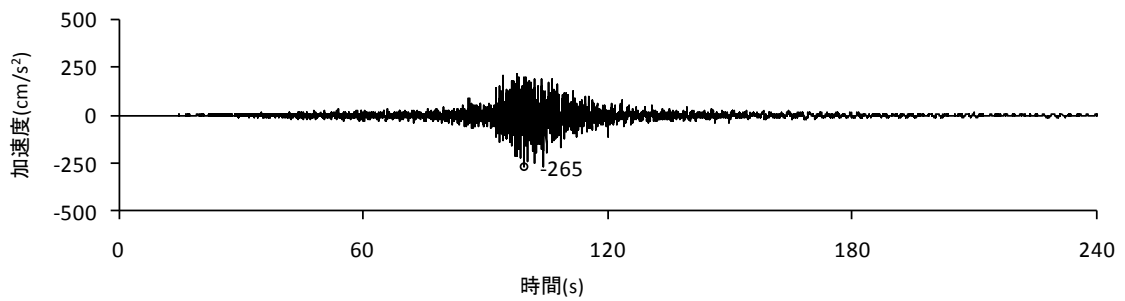
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



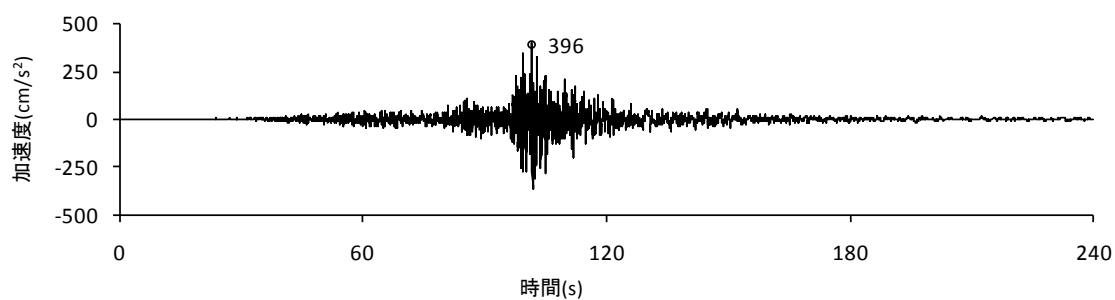
(b) 東西方向



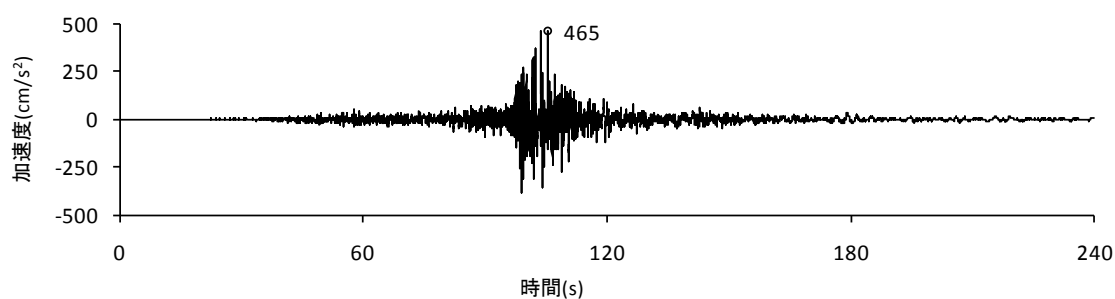
(c) 鉛直方向

第 3.2-2 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (基礎上端 東側)

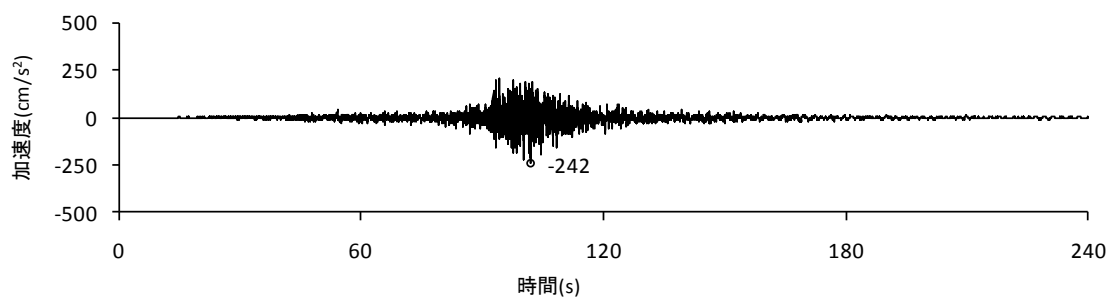
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



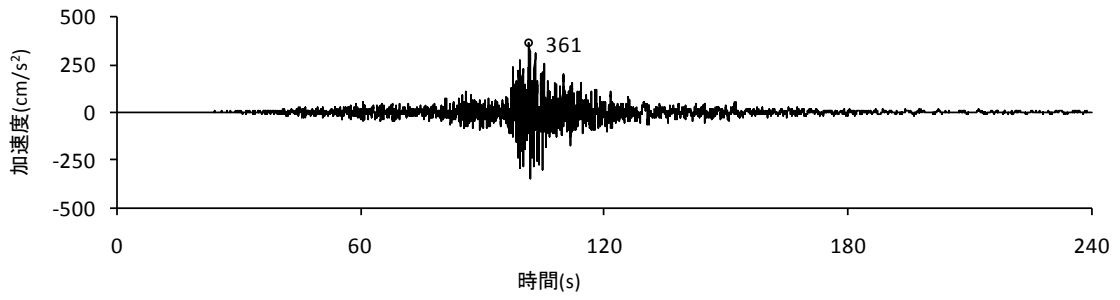
(b) 東西方向



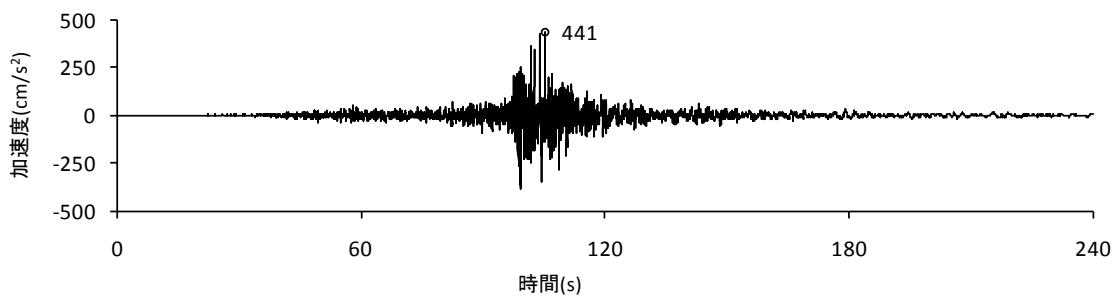
(c) 鉛直方向

第 3.2-3 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (基礎上端 南側)

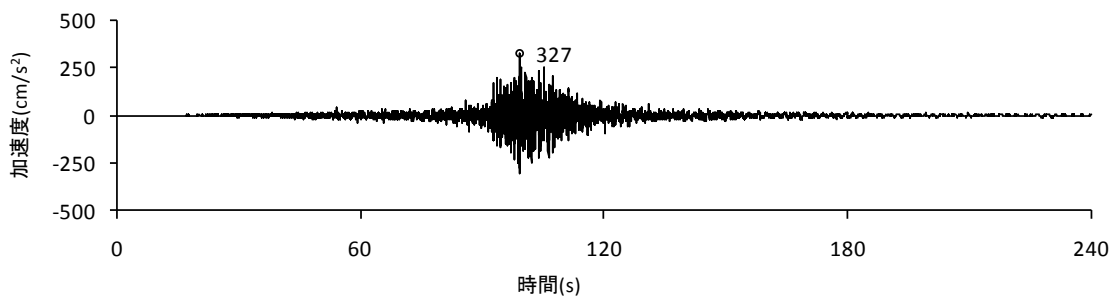
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



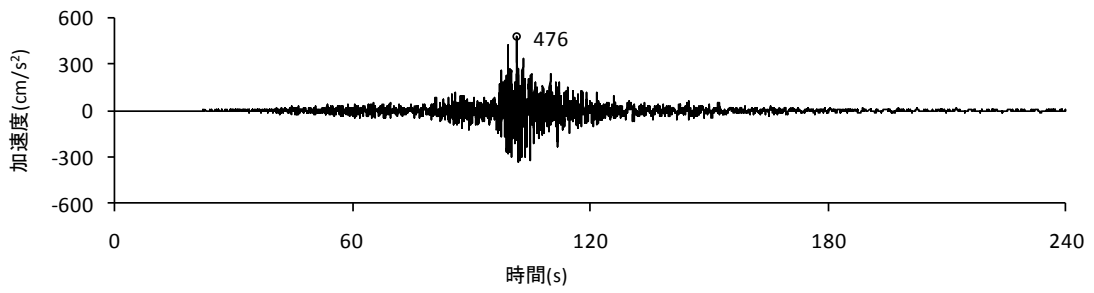
(b) 東西方向



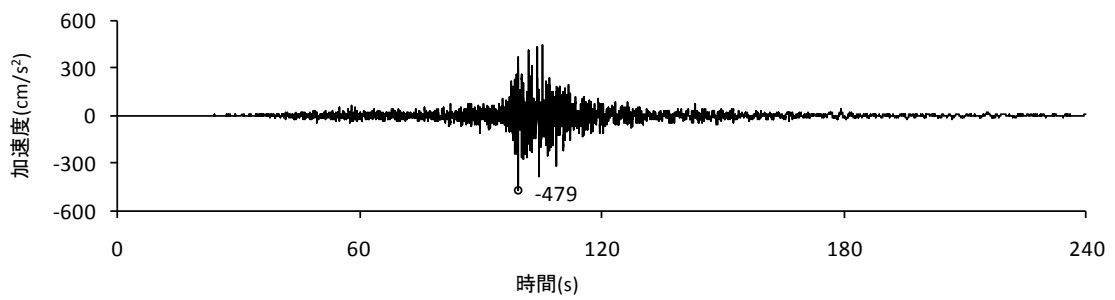
(c) 鉛直方向

第 3.2-4 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (基礎上端 西側)

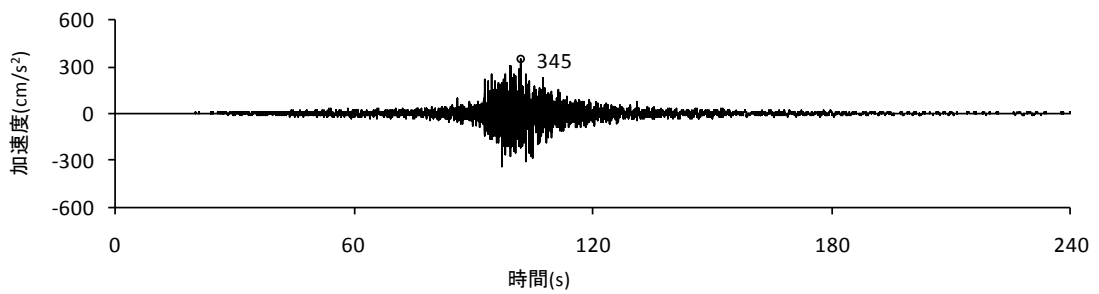
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



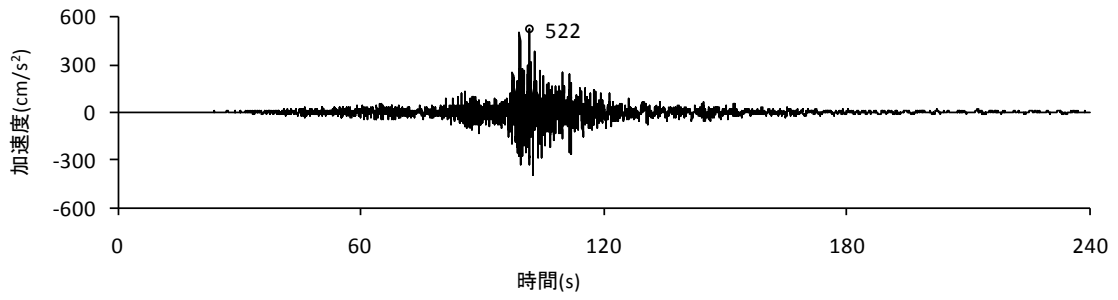
(b) 東西方向



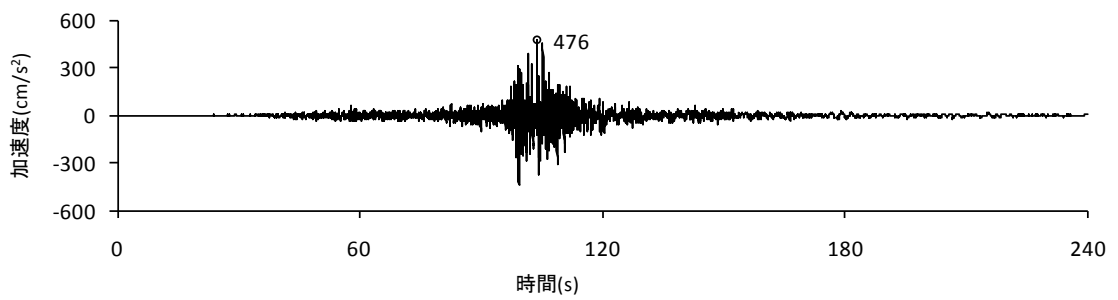
(c) 鉛直方向

第 3.2-5 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (1 階 北側)

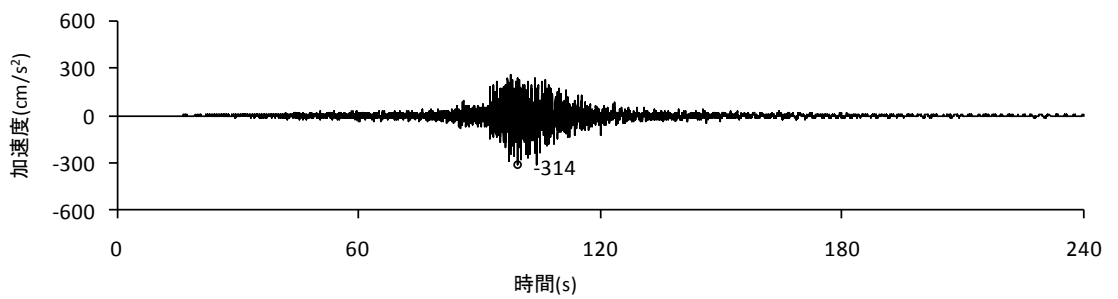
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



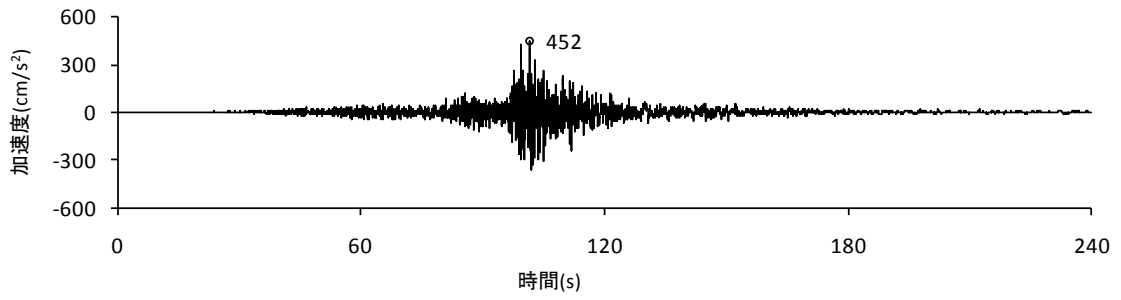
(b) 東西方向



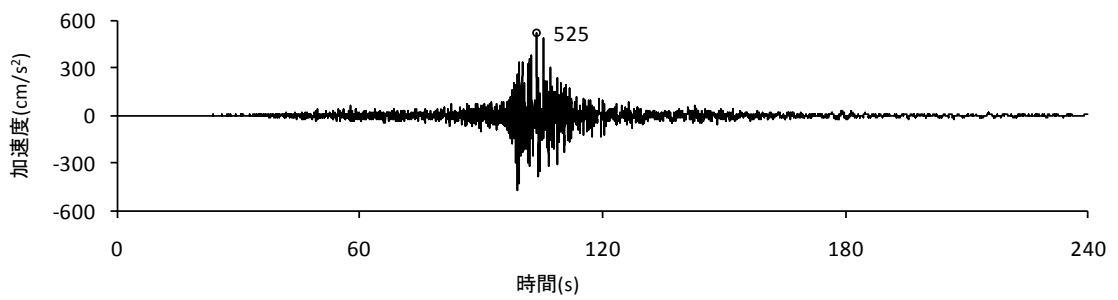
(c) 鉛直方向

第 3.2-6 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (1 階 東側)

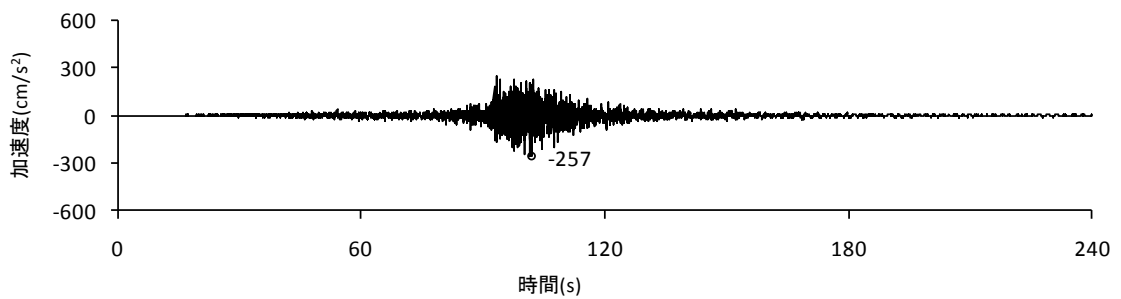
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



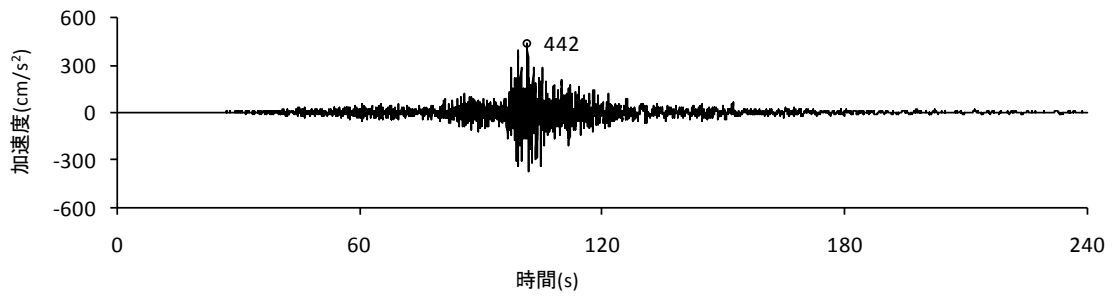
(b) 東西方向



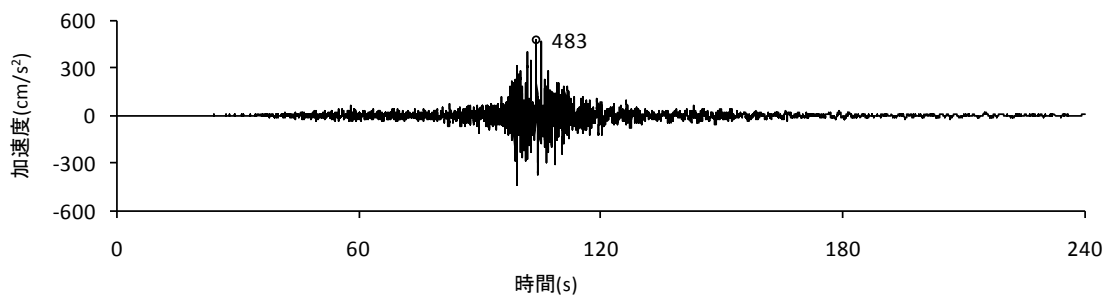
(c) 鉛直方向

第 3.2-7 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (1 階 南側)

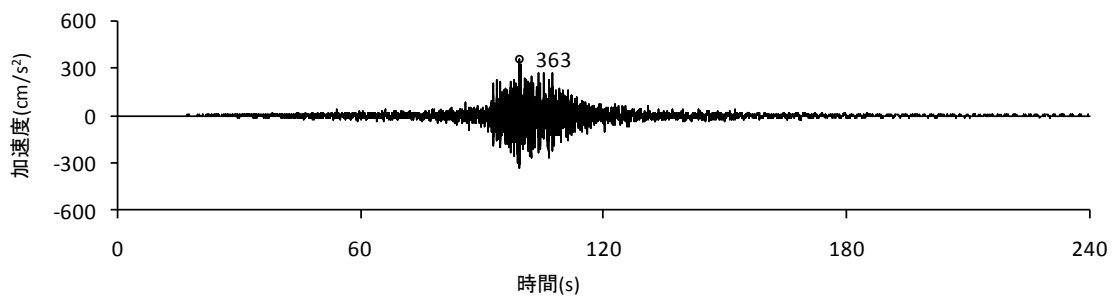
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



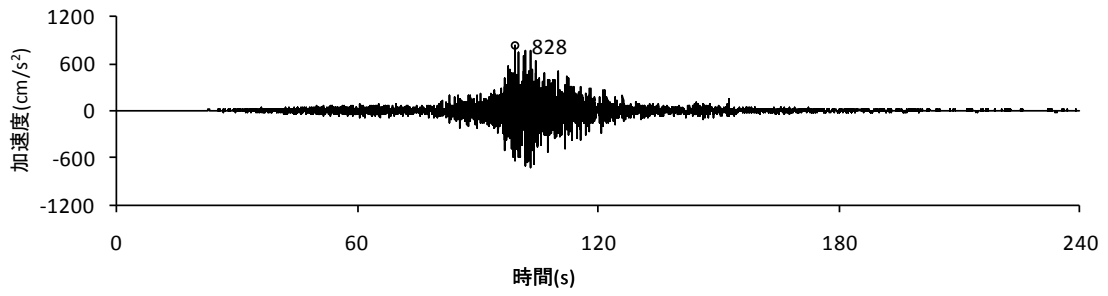
(b) 東西方向



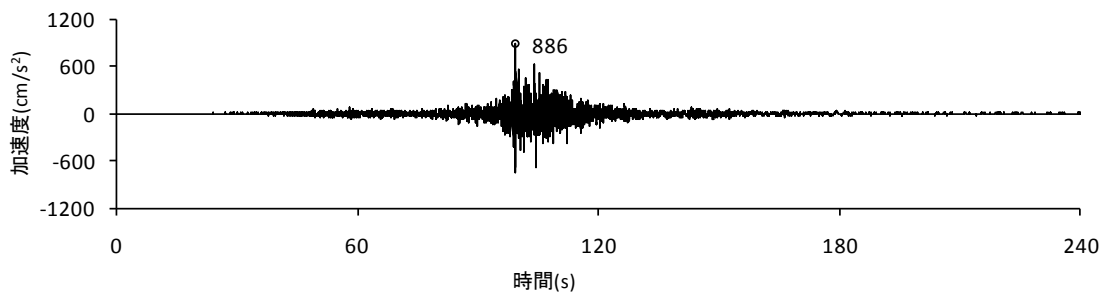
(c) 鉛直方向

第 3.2-8 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (1 階 西側)

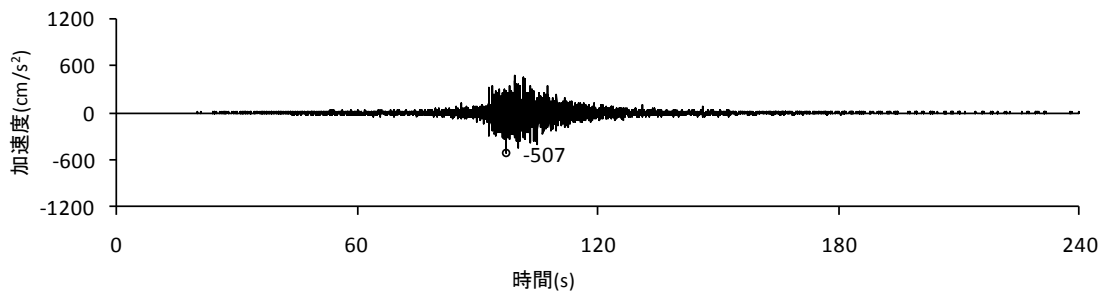
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



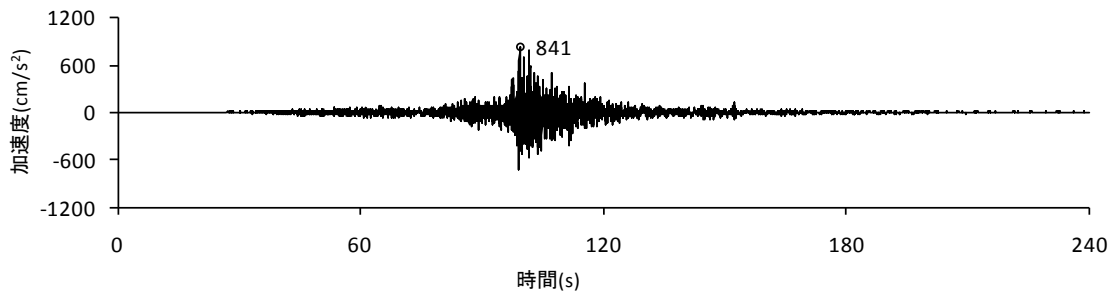
(b) 東西方向



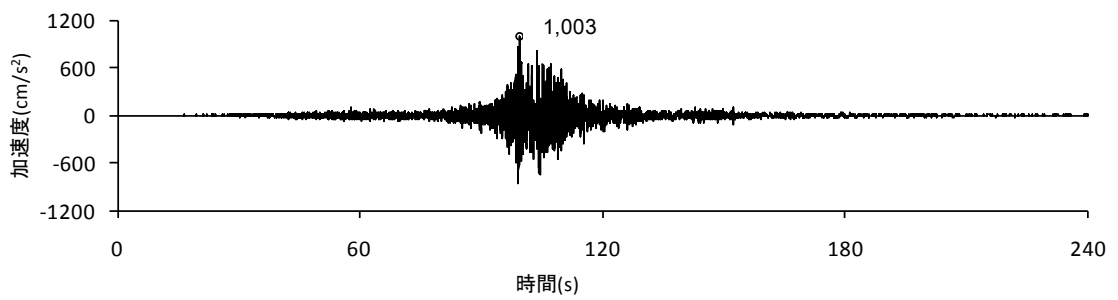
(c) 鉛直方向

第 3.2-9 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 北側)

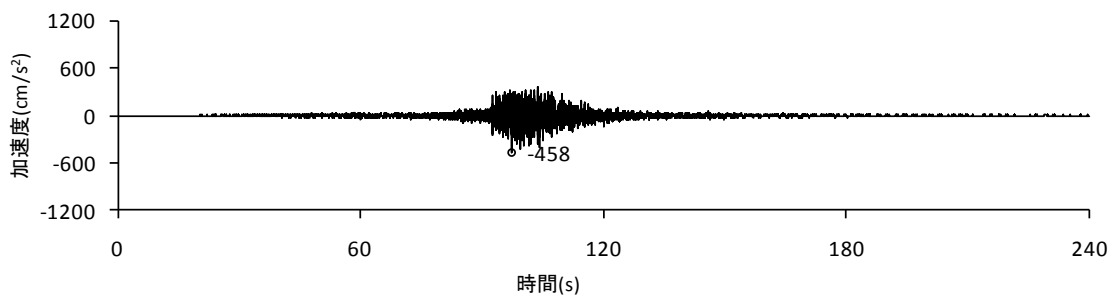
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



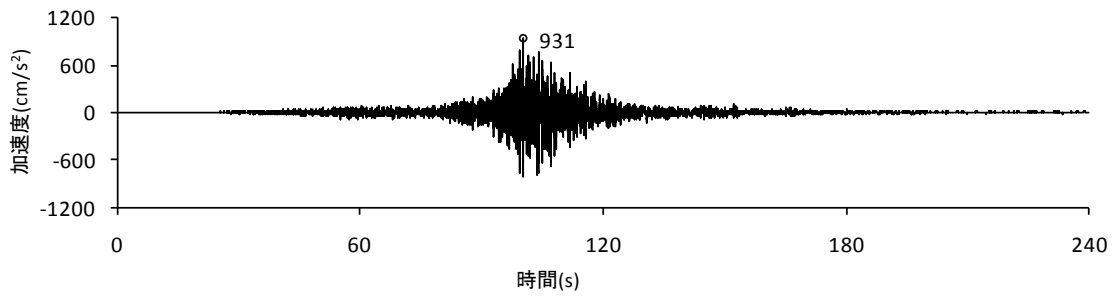
(b) 東西方向



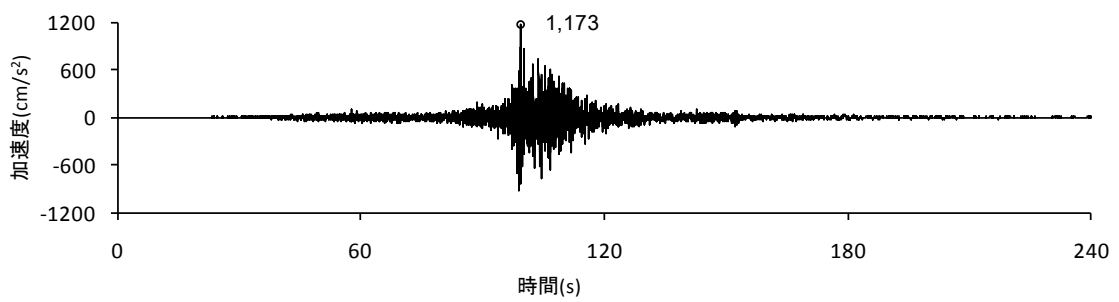
(c) 鉛直方向

第 3.2-10 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 東側)

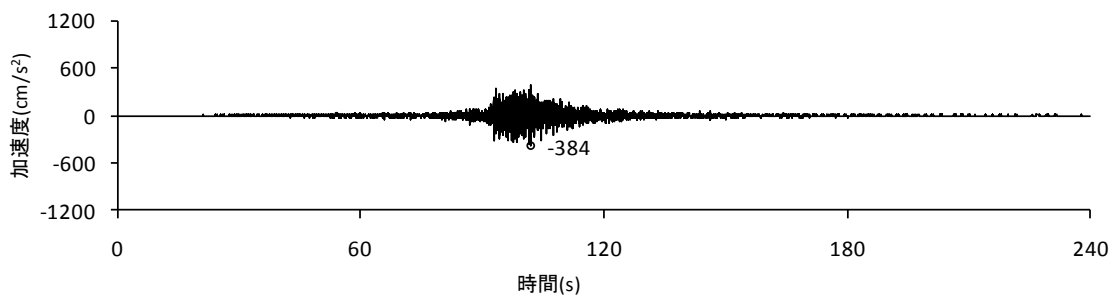
○は最大値を表す。



(a) 南北方向



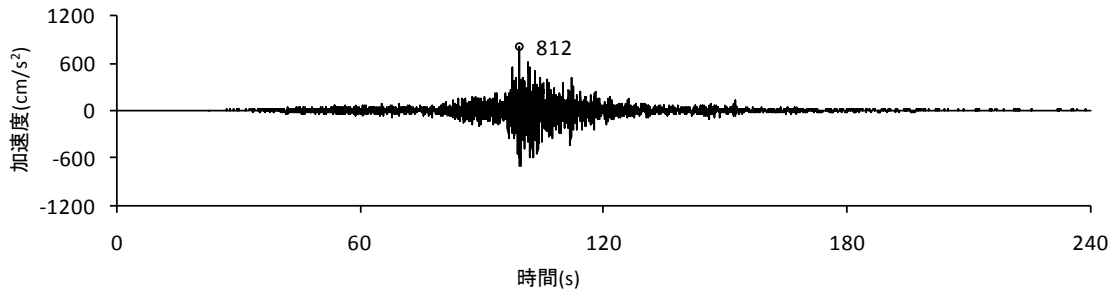
(b) 東西方向



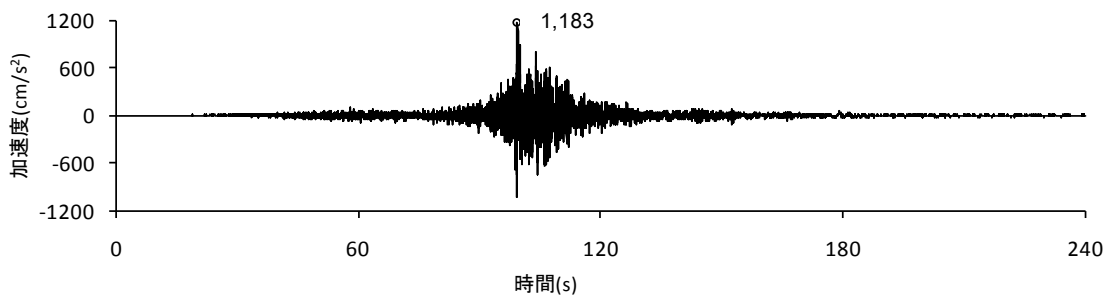
(c) 鉛直方向

第 3.2-11 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 南側)

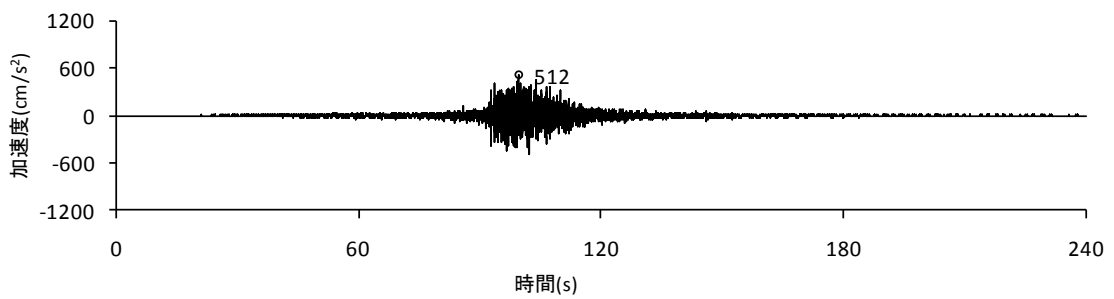
○は最大値を表す。



(a) 南北方向

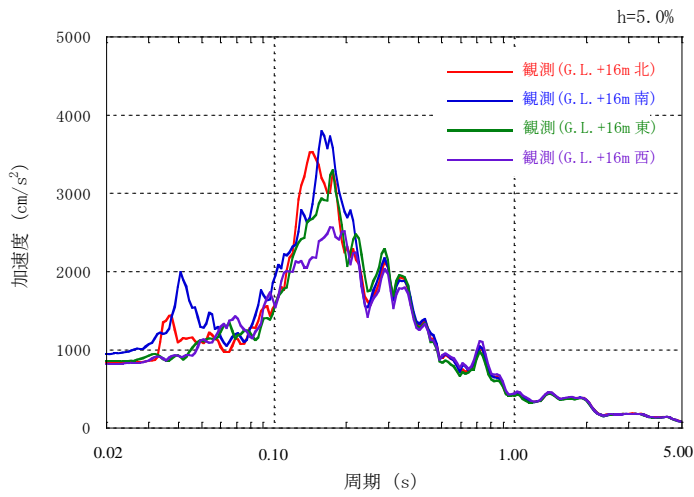


(b) 東西方向

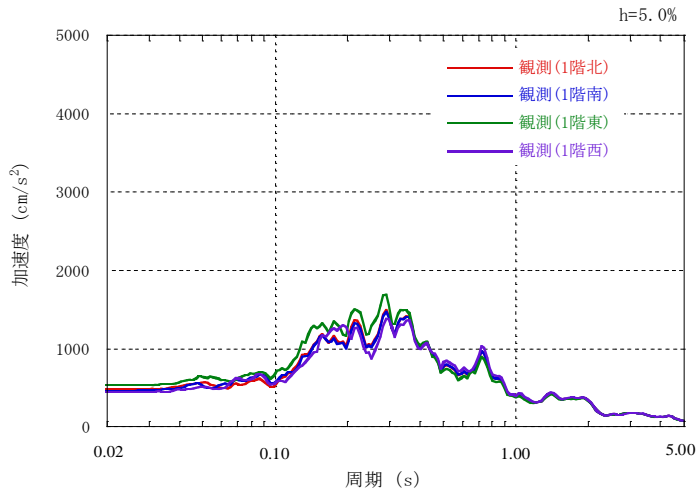
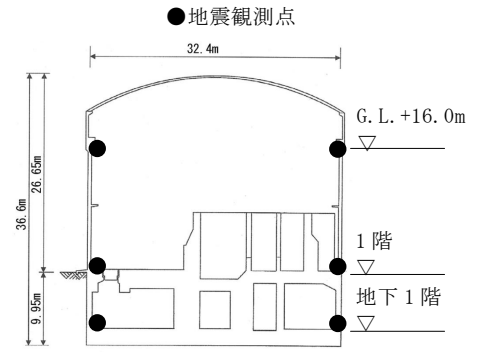


(c) 鉛直方向

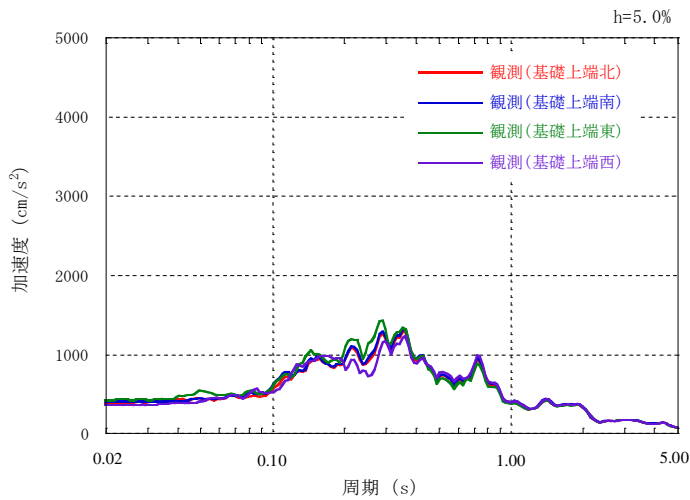
第 3.2-12 図 建家観測記録の加速度時刻歴波形 (G. L. +16m 西側)



(a) G. L. +16.0m

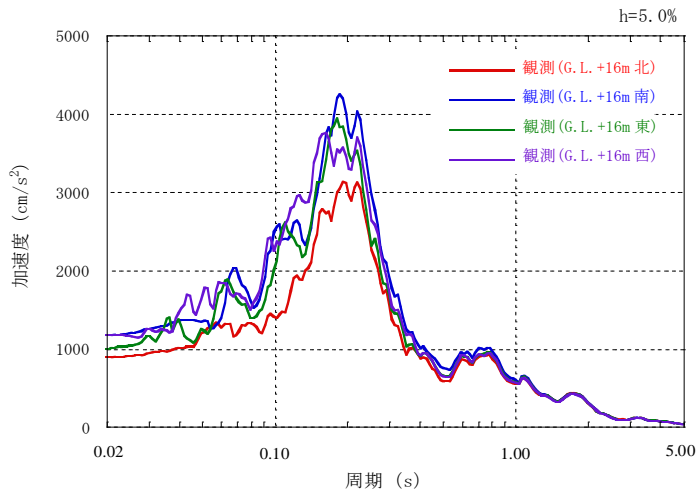


(b) 1階

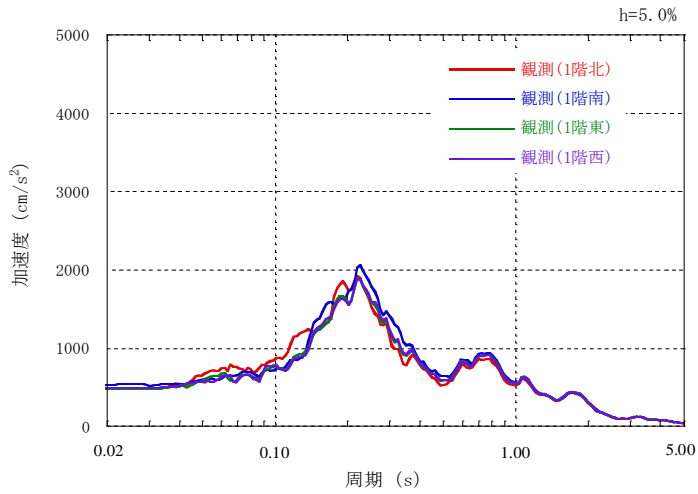
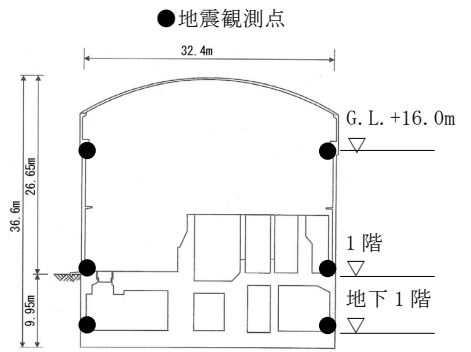


(c) 地下1階(基礎上端)

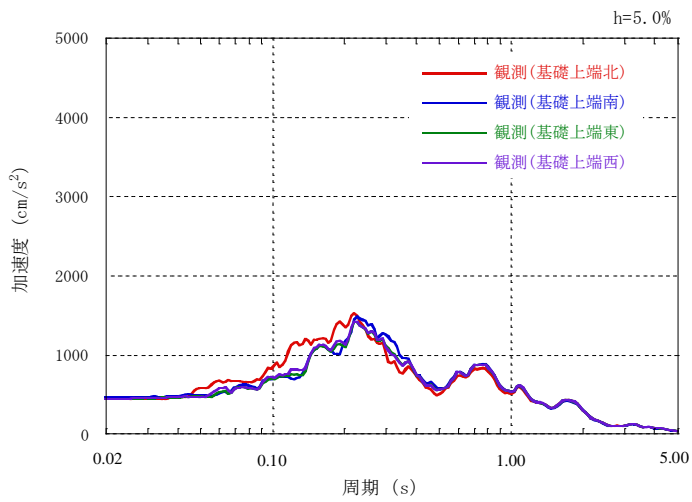
第 3.2-13 図 建家観測記録の加速度応答スペクトル (南北方向)



(a) G.L. +16.0m

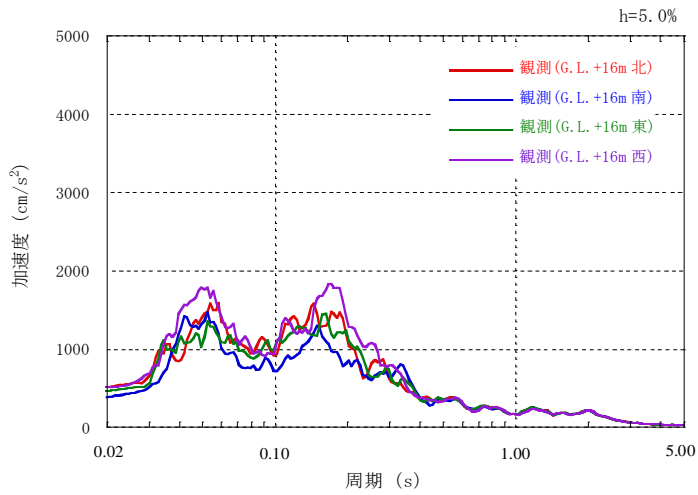


(b) 1階

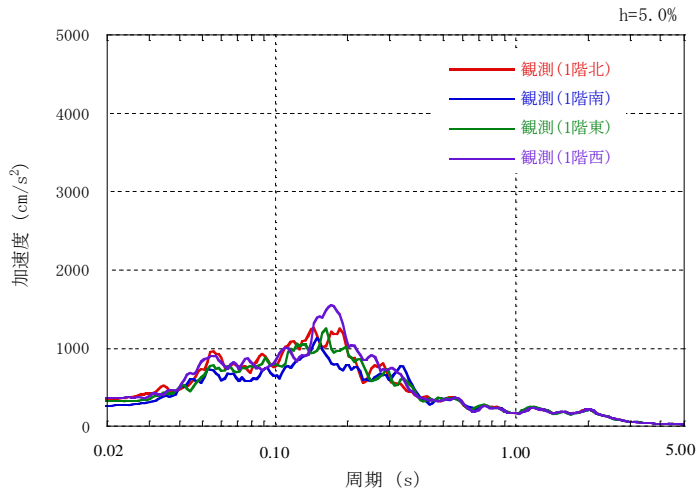
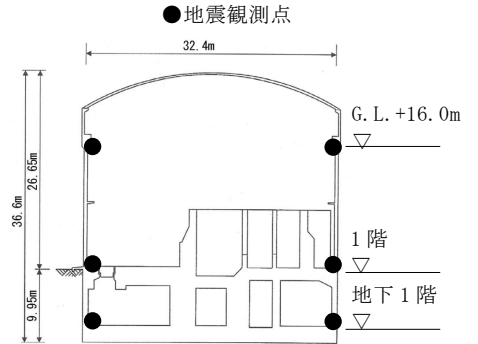


(c) 地下1階(基礎上端)

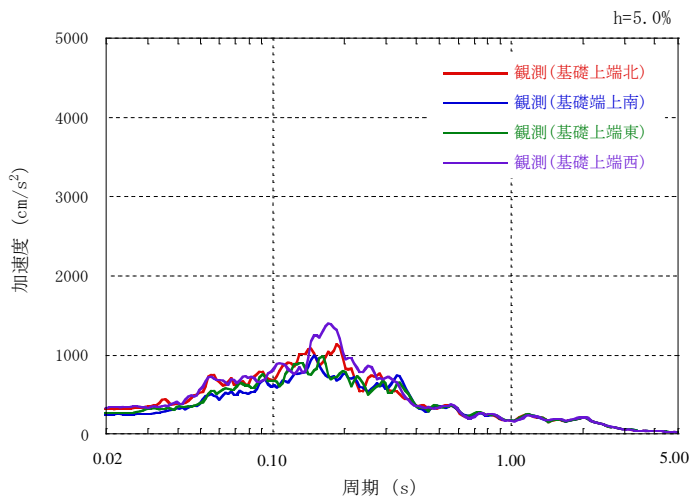
第 3.2-14 図 建家観測記録の加速度応答スペクトル (東西方向)



(a) G. L. +16.0m



(b) 1階



(c) 地下1階(基礎上端)

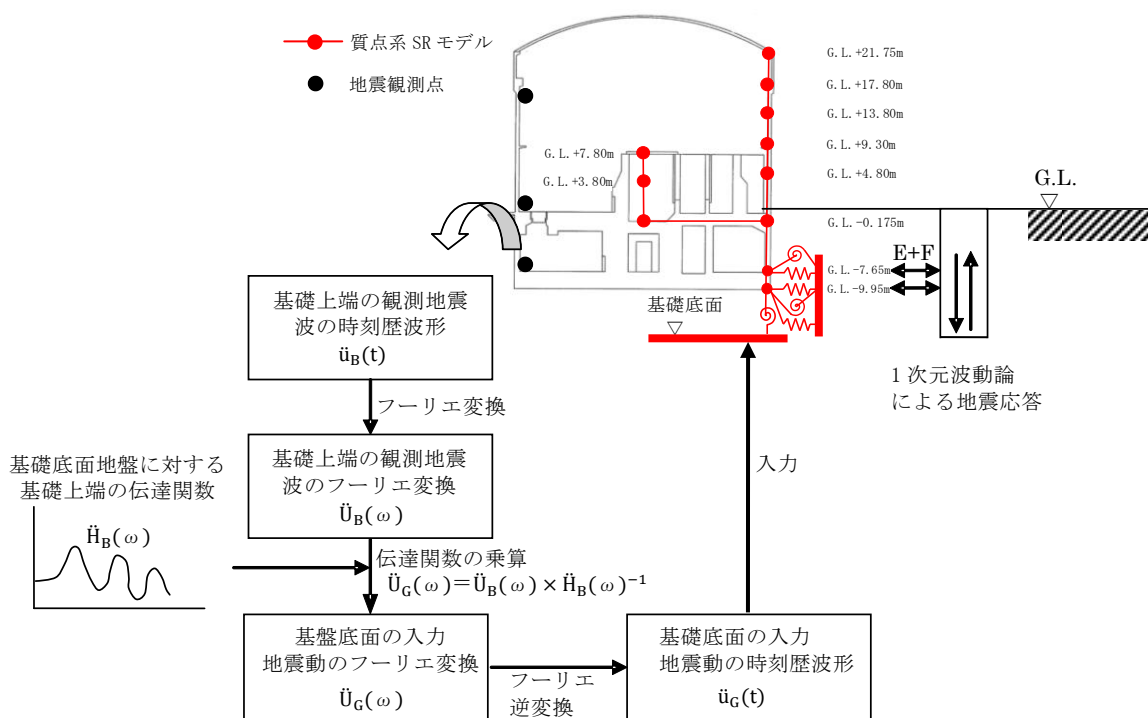
第 3.2-15 図 建家観測記録の加速度応答スペクトル (鉛直方向)

4. 原子炉建家の解析に用いた地震動

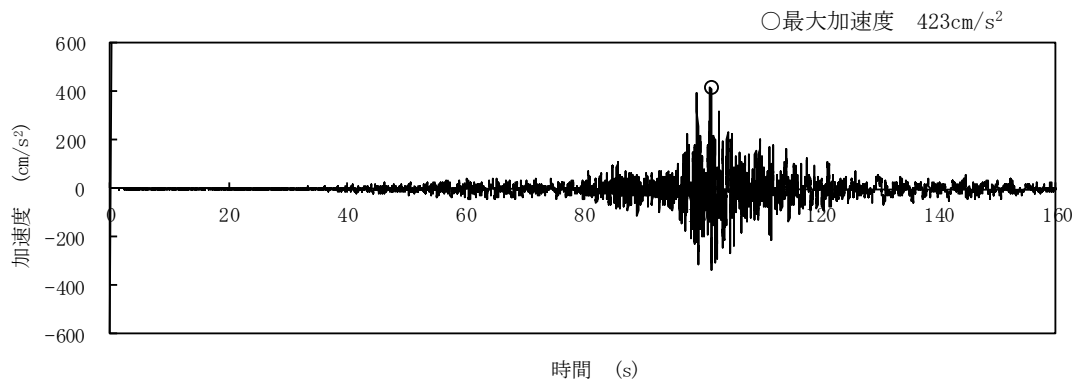
第 4-1 図に原子炉建家の観測記録に基づく入力地震動の算定方法の考え方を示す。

質点系 SR モデルを用いて、基礎上端の地震観測記録と基礎底面地盤に対する基礎上端の伝達関数との関係より、基礎底面地盤における振動モデルへの入力地震動を算定する。基礎上端の地震観測記録としては、東西南北の 4 観測記録のうち、短周期域における加速度応答スペクトルが最も大きい観測記録を採用した。具体的には、南北方向の応答解析では東側観測点の記録，東西方向の応答解析では北側観測点の記録，鉛直方向の応答解析では西側観測点の記録を用いた。

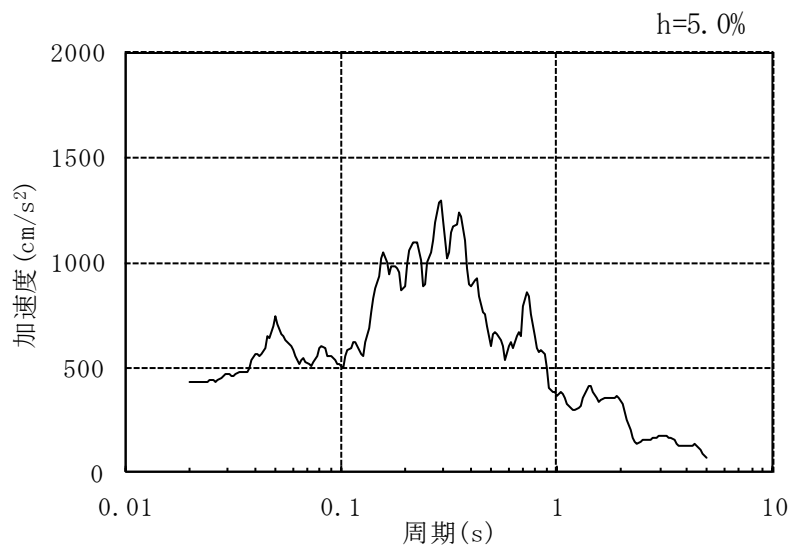
基礎底面地盤における加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第 4-2 図～第 4-4 図に示す。



第 4-1 図 入力地震動算定手法の考え方



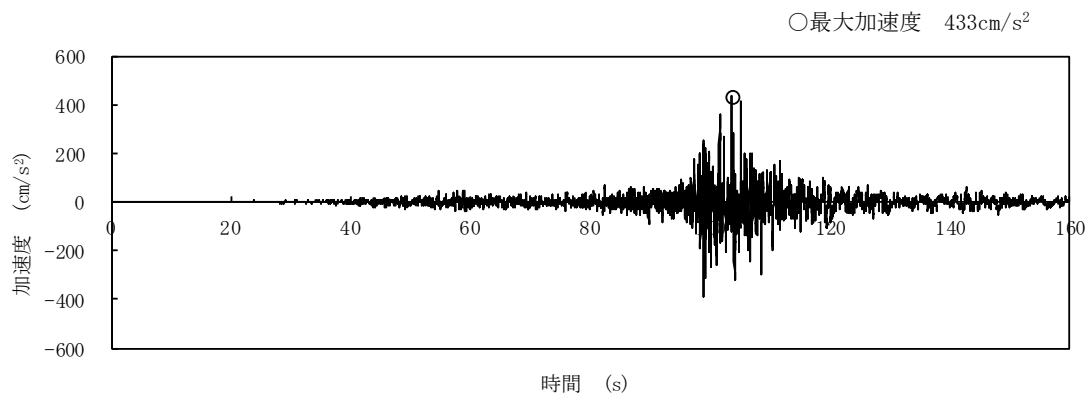
(a) 加速度時刻歴波形



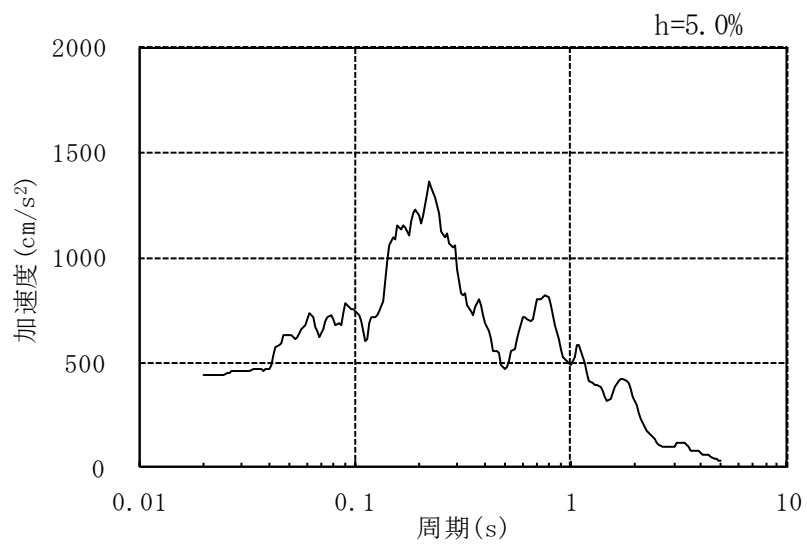
(b) 加速度応答スペクトル

第 4-2 図 基礎底面位置における入力地震動 E+F*の加速度時刻歴波形と
加速度応答スペクトル(南北方向)

※ E:上昇波 F:下降波



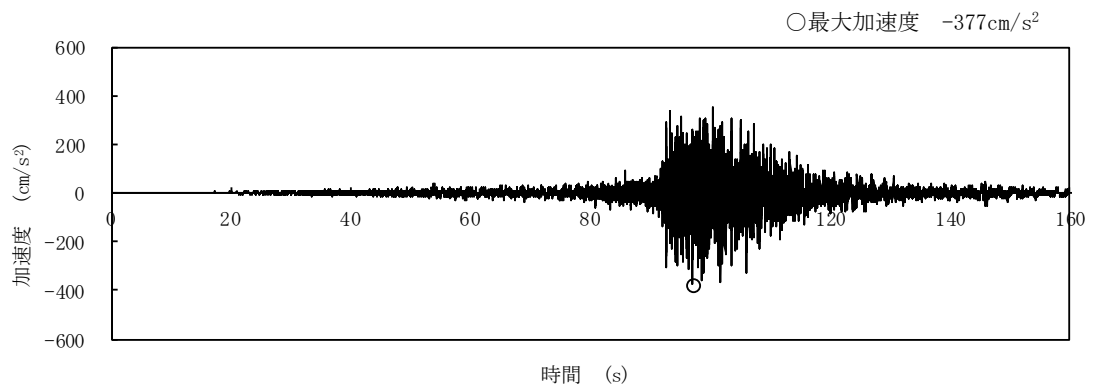
(a) 加速度時刻歴波形



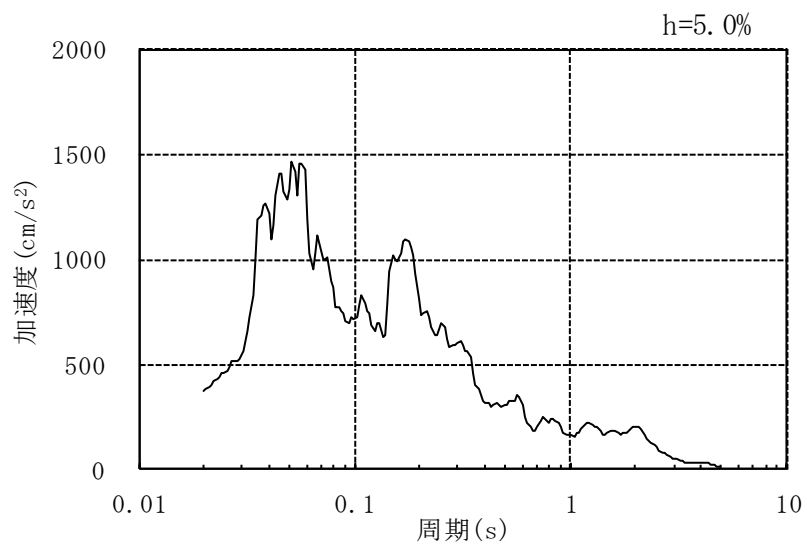
(b) 加速度応答スペクトル

第 4-3 図 基礎底面位置における入力地震動 E+F*の加速度時刻歴波形と
加速度応答スペクトル(東西方向)

※ E:上昇波 F:下降波



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

第 4-4 図 基礎底面位置における入力地震動 2E※の加速度時刻歴波形と
加速度応答スペクトル(鉛直方向)

※ E: 上昇波

5. 原子炉建家のシミュレーション解析及び耐震健全性評価

5.1 原子炉建家の概要

原子炉建家は、地上1階、地下1階の円筒形の鉄筋コンクリート造であり、屋根はドーム形状の鉄骨トラスである。

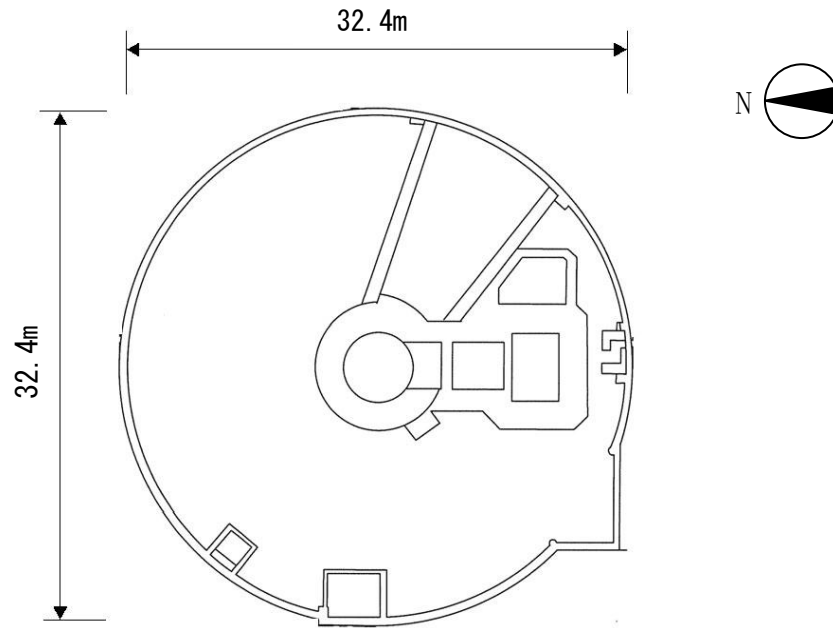
平面形状は直径32.4m、高さは地下9.95m、地上26.65m、基礎版底面より屋根頂部までの高さは36.6mである。

原子炉建家の1階には原子炉プールが配置されている。

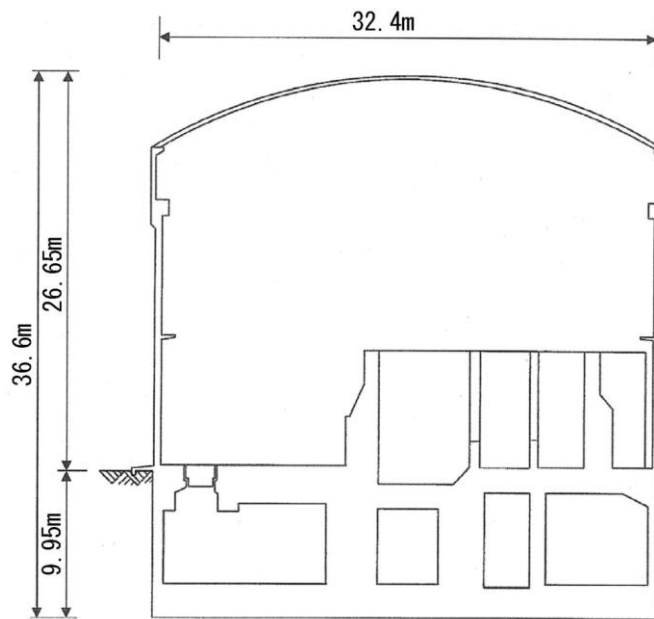
原子炉建家は、基礎版から地上部へ続く円筒壁及び原子炉プール支持壁等の耐震壁を有する壁式構造である。

基礎版は直径32.4m（外径32.8m）、厚さ2.3mの円形板の鉄筋コンクリート造であり、支持地盤である新第三系鮮新統の久米層に岩着されている。

原子炉建家の概要を第5.1-1図に、使用材料を第5.1-1表に示す。



(a) 1階平面図



(b) 南北方向断面図

第 5.1-1 図 原子炉建家概要図

※ 本ページの図については、核物質防護の観点から、一部を修正している。

第 5.1-1 表 原子炉建家の使用材料

(a) コンクリート

箇所	コンクリートの種類	設計基準強度	備考
既設部*1	普通コンクリート	17.7N/mm ² (180kg/cm ²)	
増設部*2	普通コンクリート	20.6N/mm ² (210kg/cm ²)	
	重量コンクリート	20.6N/mm ² (210kg/cm ²)	プール部等

(b) 鉄筋

箇所	鉄筋の種類	種別	備考
既設部*1	丸鋼	SR235	
増設部*2	異形鉄筋	SD295	

(c) 鉄骨

箇所	種類	種別	備考
既設部*1	一般構造用圧延鋼材	SS400	屋根部

*1 既設部：建設時（昭和 36 年竣工）の部位

*2 増設部：改造時（平成元年竣工）の増設部

5.2 地震応答解析モデル

5.2.1 水平方向の地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う既設試験研究用原子炉施設の耐震安全性評価の中間報告（その2）」（平成22年12月 独立行政法人日本原子力研究開発機構）（以下「中間報告書」という。）で採用したモデルと同一であり、以下のようにモデル化を行っている。

水平方向の地震応答解析モデルは、耐震壁の非線形を考慮した曲げせん断型の質点系モデルとし、建家-地盤の相互作用を考慮するために水平及び回転地盤ばねを設ける。また、建家埋め込み部分にも側面地盤ばねを設け、地盤への埋め込み効果を考慮する。

水平方向の地震応答解析モデルを第5.2-1図に示す。

建家の減衰定数は、鉄筋コンクリート部を3%とし、モード減衰として与える。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。

耐震壁のせん断非線形特性については、トリリニア型スケルトン曲線とし、履歴特性は最大点指向型（※1）としている。また、曲げモーメントは線形として解析する。

地盤ばね算定における地盤モデルは、第5.2-1表に示すように、基準地震動 S_s （※2）による地盤の等価線形解析に基づく結果を用いている。

底面地盤ばねは、振動アドミタンス理論に基づき求め、建家埋め込み部分側面の水平地盤ばね及び回転地盤ばねは、Novakの方法により算定する。

これらの振動数依存の複素ばねを近似して解析に用いており、底面地盤ばねの剛性は、静的理論解を用いて振動数に対して一定値とし、底面地盤ばねの減衰は、円振動数 ω の一次式で示し、地盤-建物連成系の一次固有円振動数で虚数の値と一致するように設定する。

側面地盤ばねの剛性については、理論解の極大値を用いて振動数に対して一定値とし、側面地盤ばねの減衰は、底面地盤ばねと同様に近似させて設定する。地盤ばねの近似法を第5.2-2図に、地盤ばね定数を第5.2-2表に示す。

なお、底面地盤回転ばねには基礎の浮上りによる幾何学的非線形を

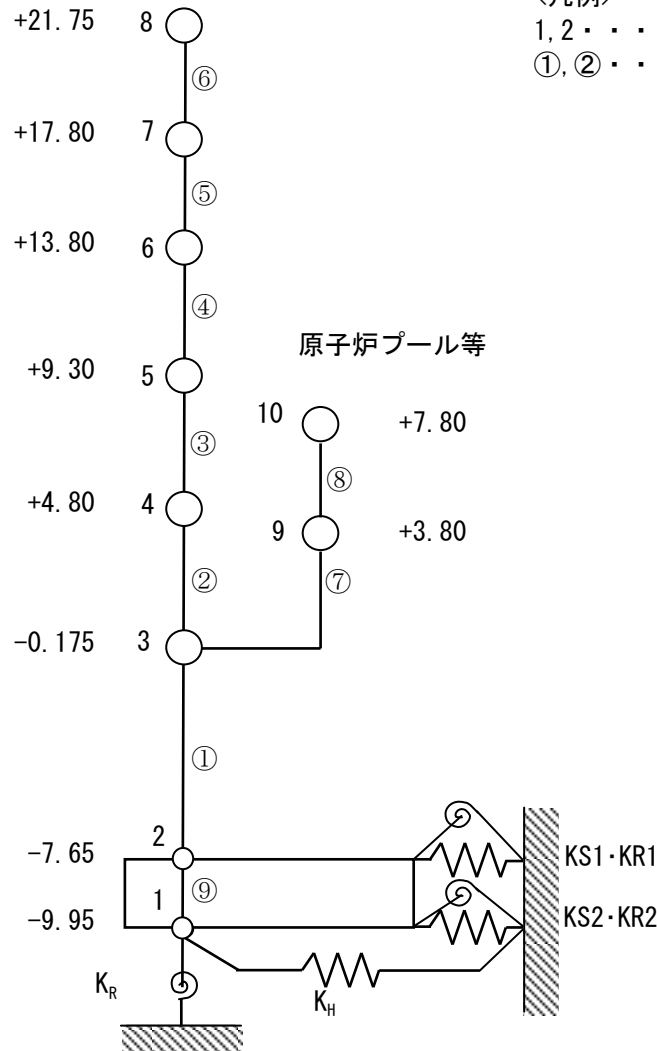
考慮する。

※1 「社団法人日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に準拠し、設定する。

※2 中間報告書において示した基準地震動 S_s （最大加速度は水平方向 600cm/s^2 ，鉛直方向 400cm/s^2 ）

G. L. (m)

原子炉建家



<凡例>

1, 2 . . . : 質点 No.

①, ② . . . : 部材 No.

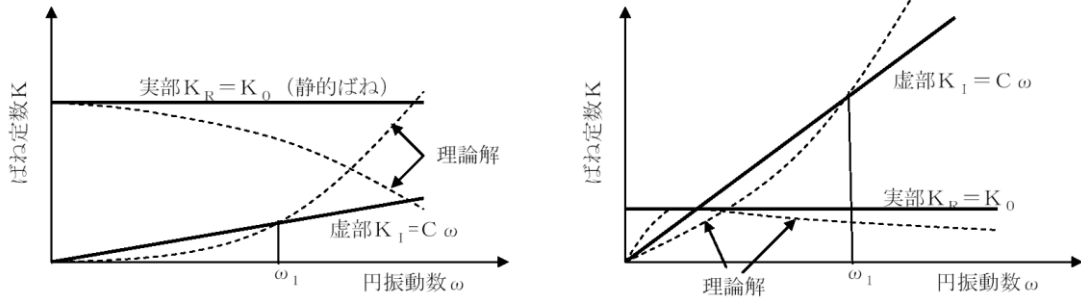
第 5. 2-1 図 水平方向の地震応答解析モデル図

第 5. 2-1 表 中間報告書による地盤モデル

深さ G. L. (m)	地質 記号	地質名	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s^* (m/s)	P波速度 V_p^* (m/s)	減衰定数 h^*
0.0	As	砂丘層	17.5	245	822	0.01
-0.62	D1	ローム層	12.5	196	796	0.05
-3.00	Dg	礫質土層	20.2	311	1,507	0.04
-5.27	Dc1	粘性土層	18.2	296	1,433	0.05
-6.15	Dg2	礫質土層	21.2	278	1,411	0.05
-9.77	Dc3	粘性土層	18.2	264	1,425	0.06
-9.95	Km	久米層	17.5	411	1,434	0.03
-11.74			17.5	417	1,454	0.03
-29.74			17.5	424	1,536	0.04
-99.74			17.5	473	1,703	0.04
-209.74			17.5	512	1,853	0.04
-279.74			17.5	547	1,972	0.04
-360.00 (解放基盤表面)			17.5	710	2,355	-

※ 基準地震動 S_s を用いた地盤の等価線形解析結果による剛性低下後の値を表す。

ω_1 : 地盤-建物連成系の一次固有円振動数



(a) 底面ばねの近似法

(b) 側面ばねの近似法

第 5.2-2 図 地盤ばねの近似法

第 5.2-2 表 地盤ばね定数 (水平方向)

(a) 底面地盤ばね

方向	水平ばね (K_H)		回転ばね (K_R)	
	剛性 K (kN/m)	減衰係数 C (kN·s/m)	剛性 K (kN·m/rad)	減衰係数 C (kN·m·s/rad)
南北	2.6681×10^7	6.0448×10^5	6.6123×10^9	3.9014×10^7
東西	2.6681×10^7	6.0473×10^5	6.6123×10^9	3.9267×10^7

(b) 側面地盤ばね (水平)

方向	側面ばね (KS1)		側面ばね (KS2)	
	剛性 K (kN/m)	減衰係数 C (kN·s/m)	剛性 K (kN/m)	減衰係数 C (kN·s/m)
南北	3.7466×10^6	6.0846×10^5	8.111×10^5	1.3946×10^5
東西	3.7466×10^6	6.0886×10^5	8.111×10^5	1.3955×10^5

(c) 側面地盤ばね (回転)

方向	側面ばね (KR1)		側面ばね (KR2)	
	剛性 K (kN·m/rad)	減衰係数 C (kN·m·s/rad)	剛性 K (kN·m/rad)	減衰係数 C (kN·m·s/rad)
南北	7.2529×10^8	3.6845×10^7	1.5703×10^8	8.4707×10^6
東西	7.2529×10^8	3.6879×10^7	1.5703×10^8	8.4771×10^6

5.2.2 鉛直方向の地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、中間報告書で採用したモデルと同一であり、以下のようにモデル化を行っている。

鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁の軸剛性を軸ばねで表現した質点系モデルとし、建家-地盤の相互作用を考慮するため、鉛直地盤ばねを設ける。なお、建家埋め込み部分については考慮しないモデルとする。

屋根トラスは、ドーム型形状であることを考慮して、軸変形と曲げ変形を生じる質点系の軸曲げ梁モデルとし、屋根トラス端部はピン支持として解析する。

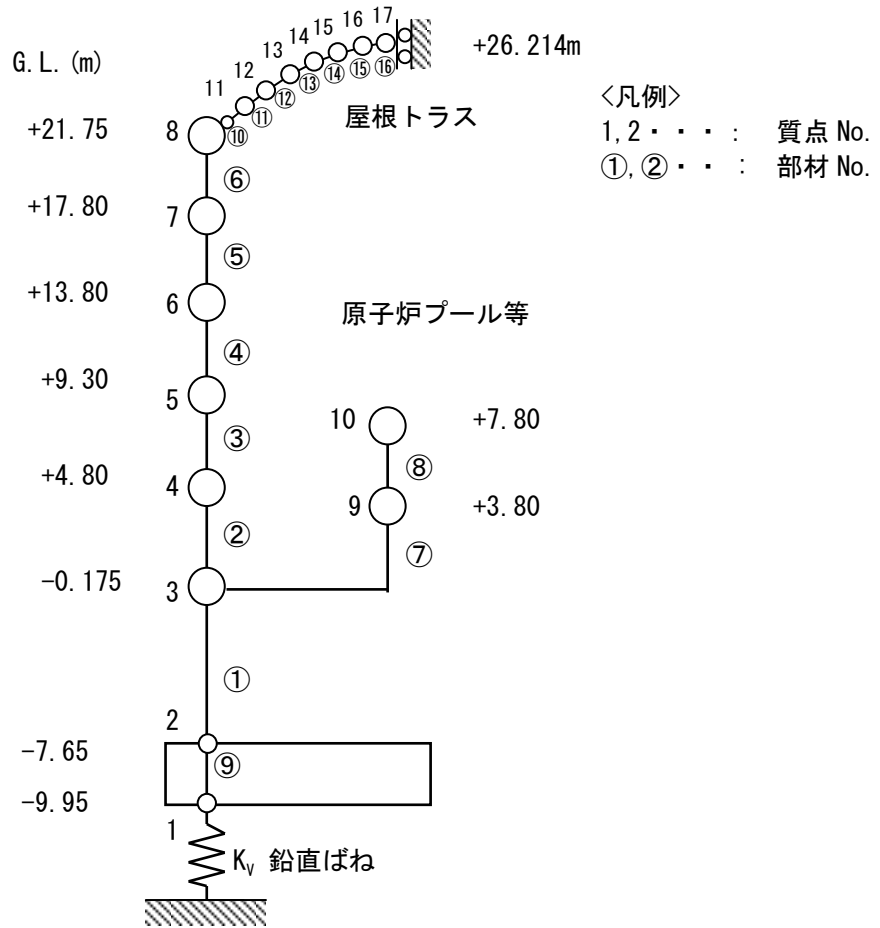
鉛直方向の地震応答解析モデルを第 5.2-3 図に示す。

建家の減衰定数は、鉄筋コンクリート部を 3%、鉄骨部を 2%とし、モード減衰として与える。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。

地盤ばね算定における地盤モデルは、水平方向の地震応答解析モデルと同様に、基準地震動 S_s による地盤の等価線形解析に基づく結果を用いている。底面地盤ばねは、振動アドミッタンス理論に基づき算定する。

この振動数依存の複素ばねを水平及び回転の底面ばねと同様に近似したものを解析に用いる。地盤ばね定数を第 5.2-3 表に示す。

原子炉建家



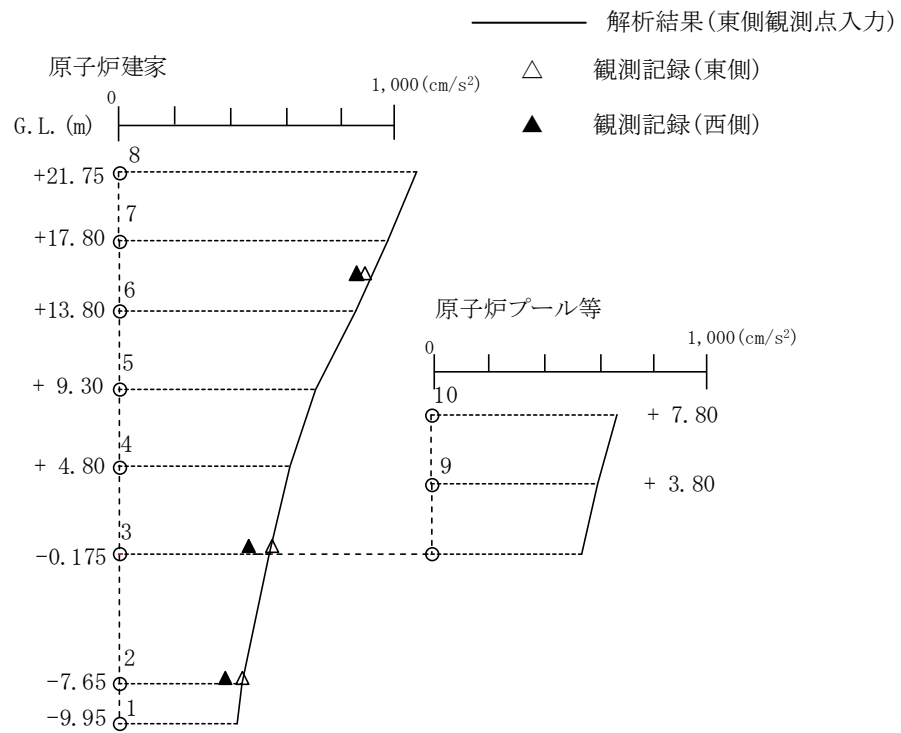
第 5.2-3 図 鉛直方向の地震応答解析モデル

第 5.2-3 表 地盤ばね定数 (鉛直方向)

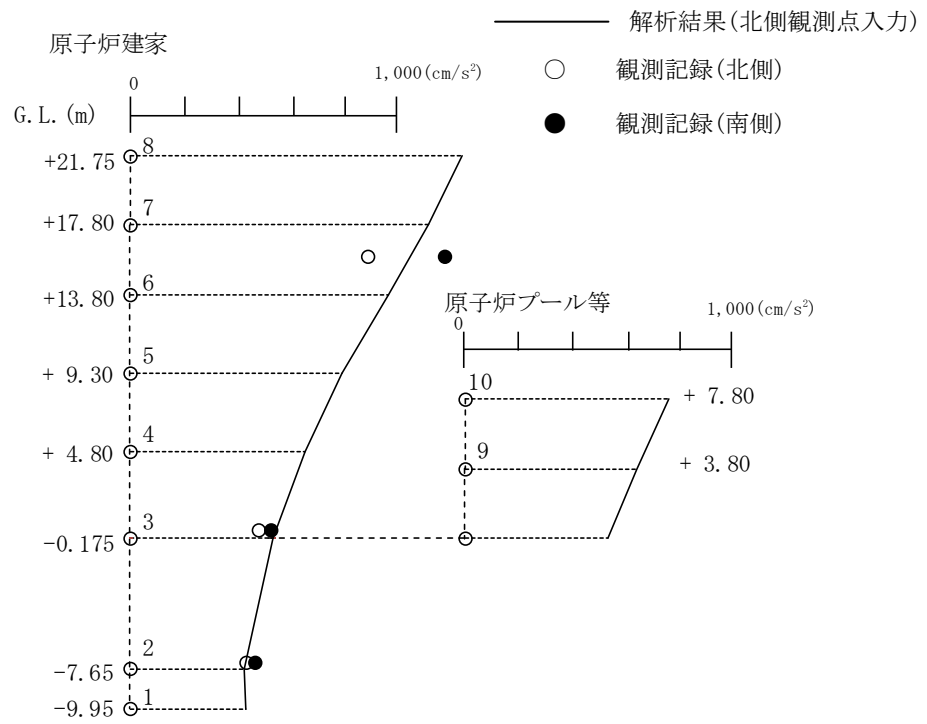
鉛直ばね (K_v)	
剛性 K (kN/m)	減衰係数 C (kN·s/m)
3.9948×10^7	1.3083×10^6

5.3 最大応答加速度

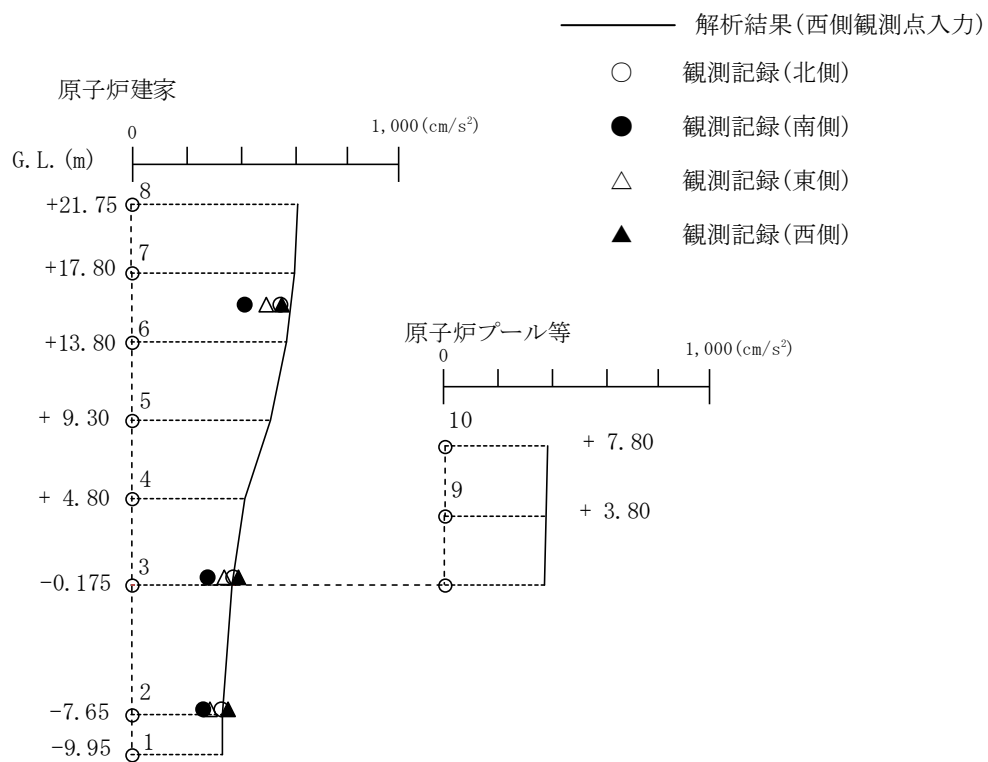
水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度を第 5.3-1 図～第 5.3-3 図に示す。解析結果と観測記録の最大応答加速度は、おおむね整合しており、中間報告書で採用した水平方向及び鉛直方向の地震応答解析モデルにより、地震観測記録をおおむねシミュレートできることを確認した。



第 5.3-1 図 最大応答加速度 (南北方向)



第 5.3-2 図 最大応答加速度 (東西方向)



第 5.3-3 図 最大応答加速度 (鉛直方向)

5.4 加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

(1) 水平方向

解析結果及び観測記録の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを比較して第 5.4-1 図～第 5.4-6 図に示す。観測記録は、円筒壁の面外振動の影響を受け難い観測点の記録を表示している。

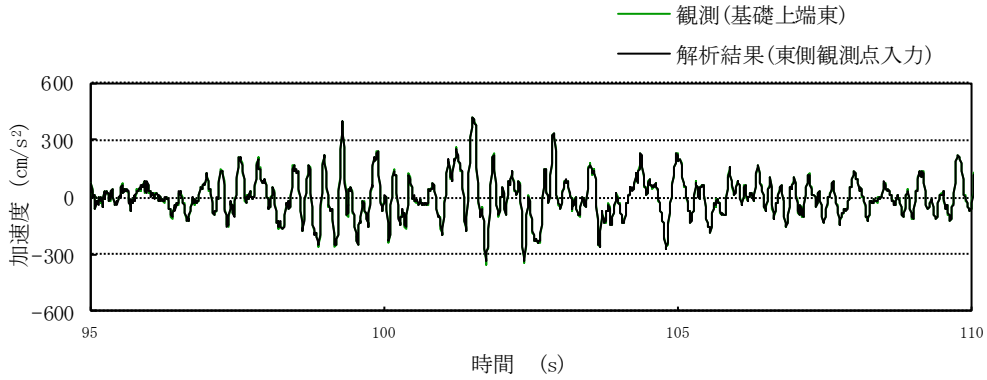
解析結果と観測記録はおおむね整合しており、地震観測記録をおおむねシミュレートできることを確認した。

(2) 鉛直方向

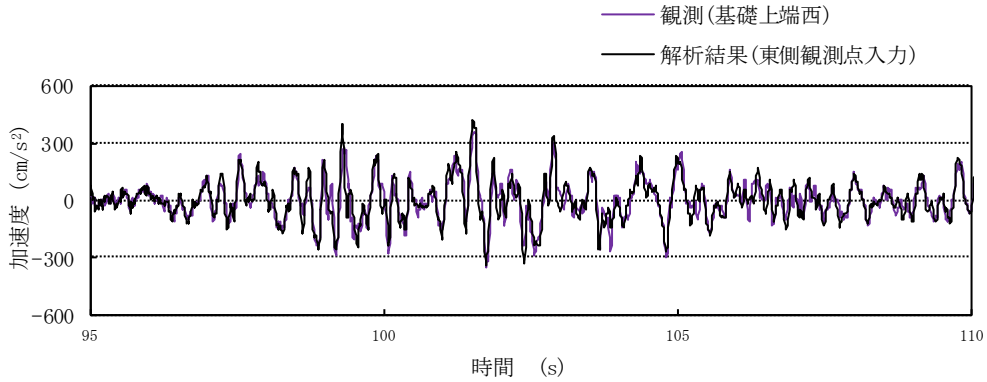
解析結果及び観測記録の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを比較して第 5.4-7 図～第 5.4-9 図に示す。

加速度応答スペクトル及び西側の加速度時刻歴波形に関して、解析結果と観測記録はおおむね整合しており、地震観測記録をおおむねシミュレートできることを確認した。なお、北側観測記録の加速度時刻歴波形は解析結果とやや整合していないが、これはロッキングの影響によるものである。

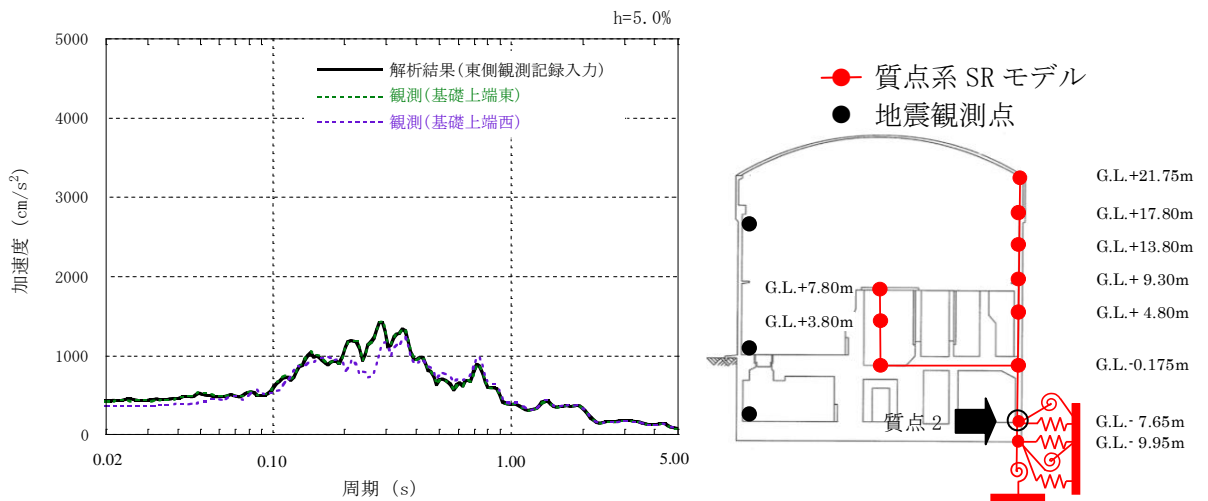
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。



(a) 加速度時刻歴波形 (観測記録：東側)



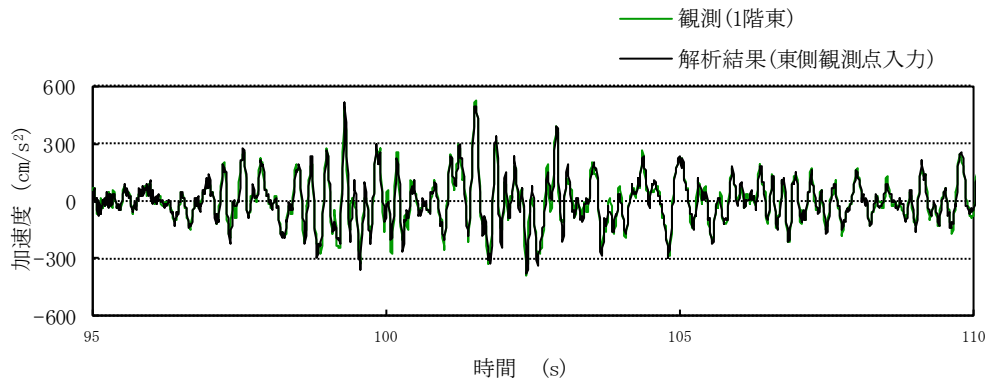
(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録：西側)



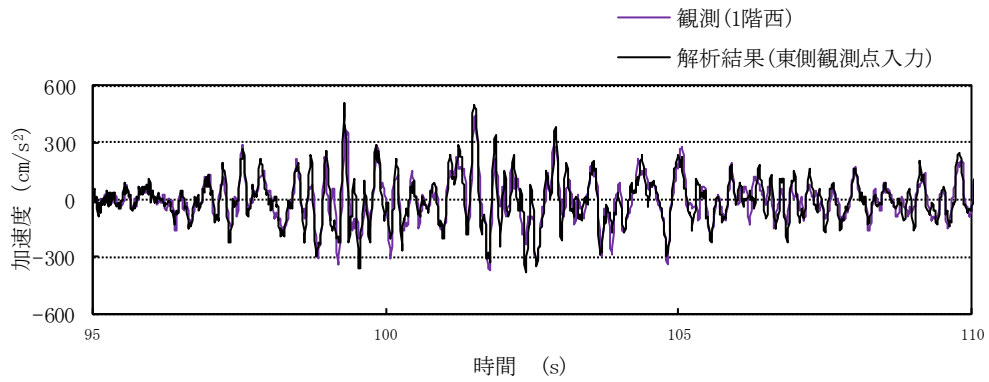
(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-1 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基礎上端, 南北方向)

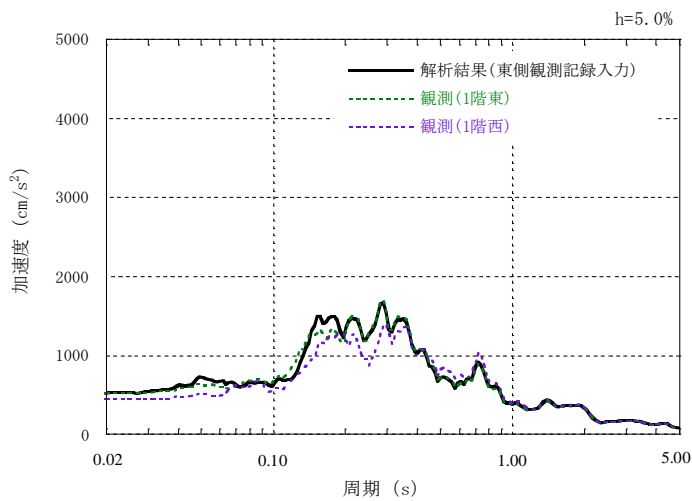
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。



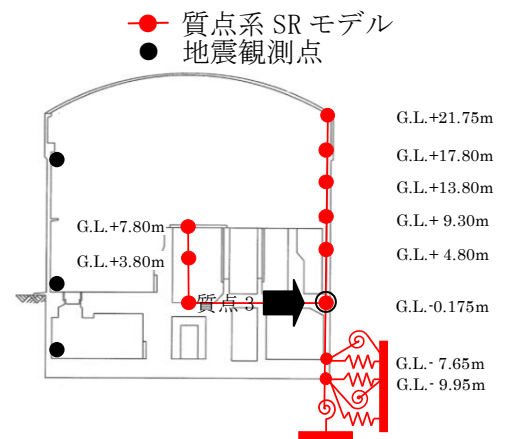
(a) 加速度時刻歴波形 (観測記録：東側)



(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録：西側)

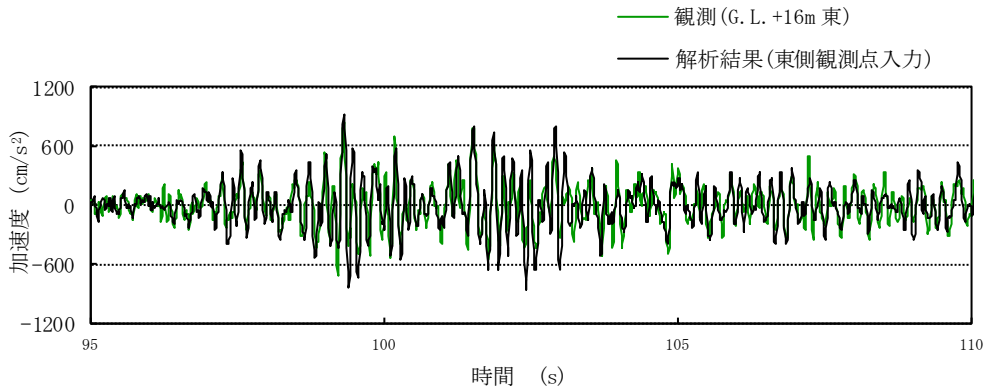


(c) 加速度応答スペクトル

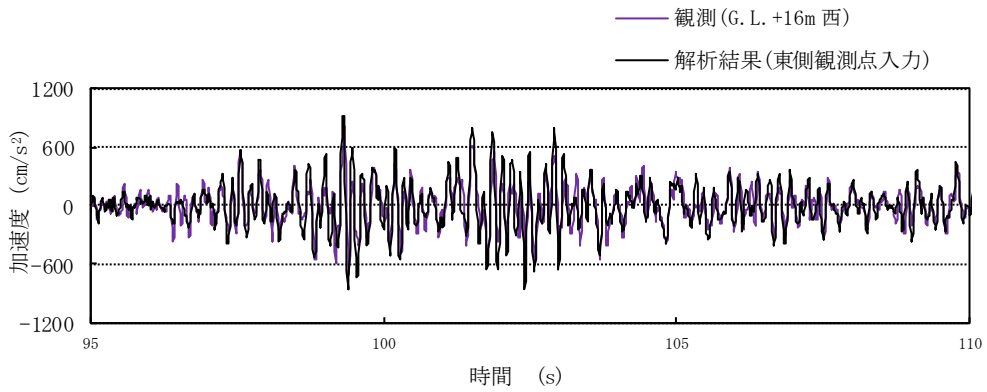


第 5.4-2 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(1 階, 南北方向)

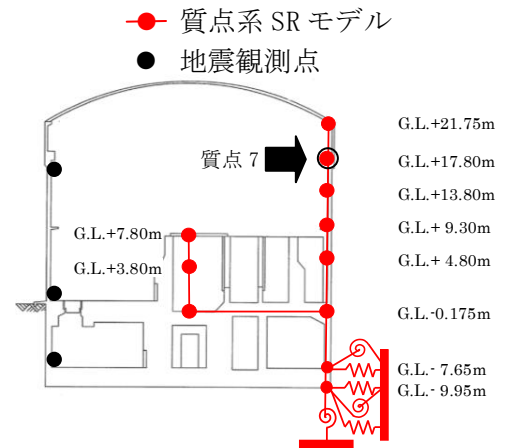
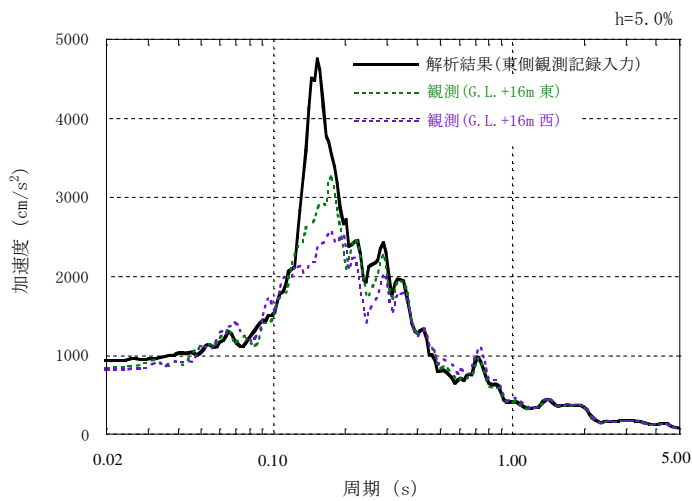
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。
解析は質点 7 の応答値を示す。



(a) 加速度時刻歴波形 (観測記録：東側)



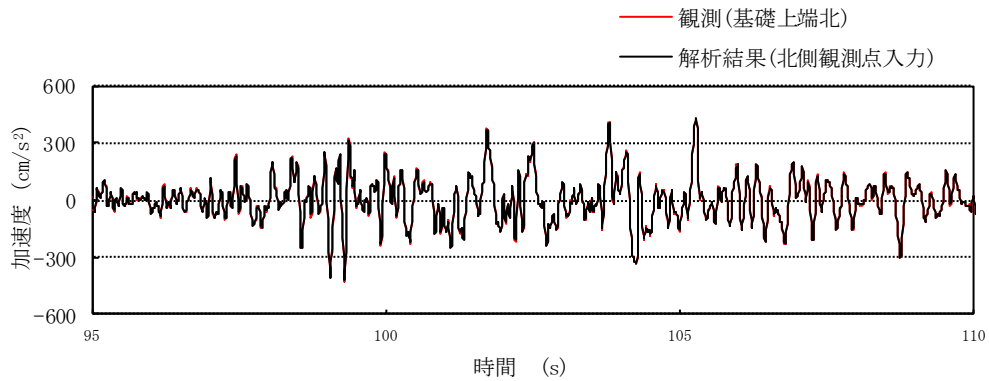
(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録：西側)



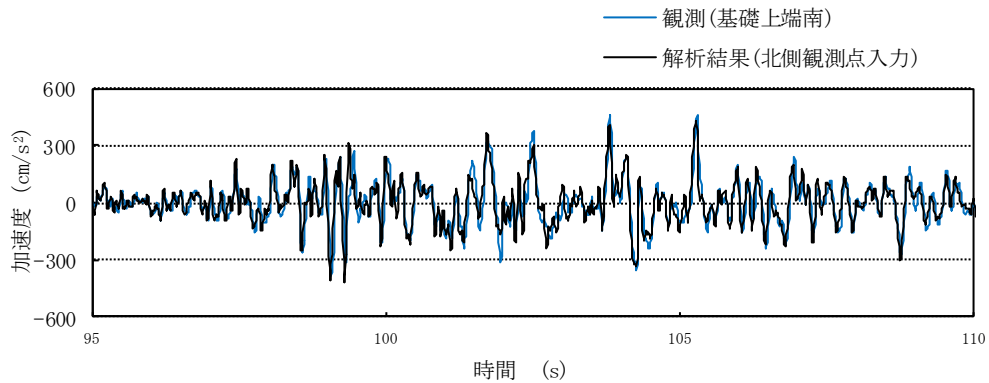
(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-3 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(G. L. +16.0m, 南北方向)

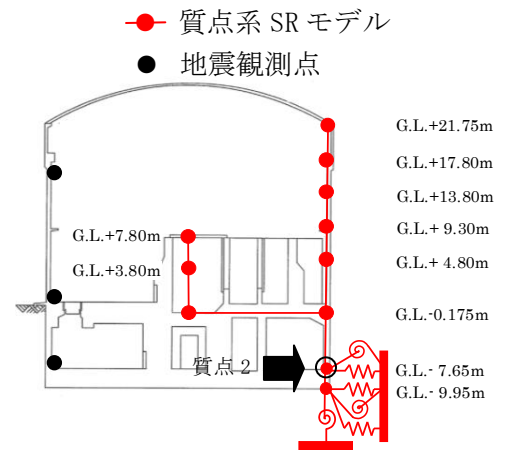
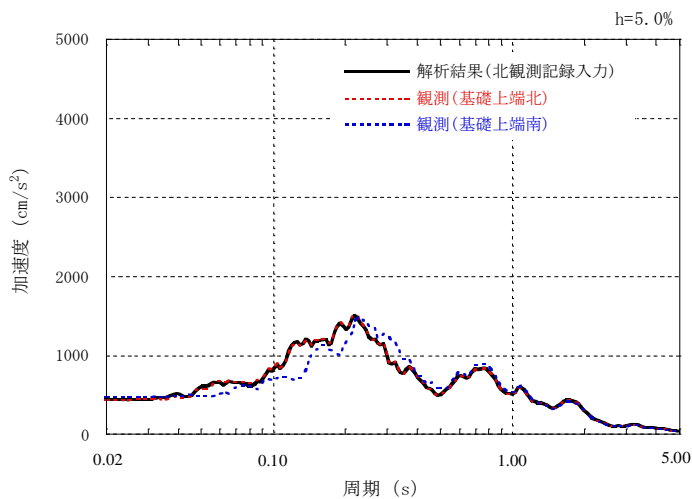
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。



(a) 加速度時刻歴波形 (観測記録：北側)



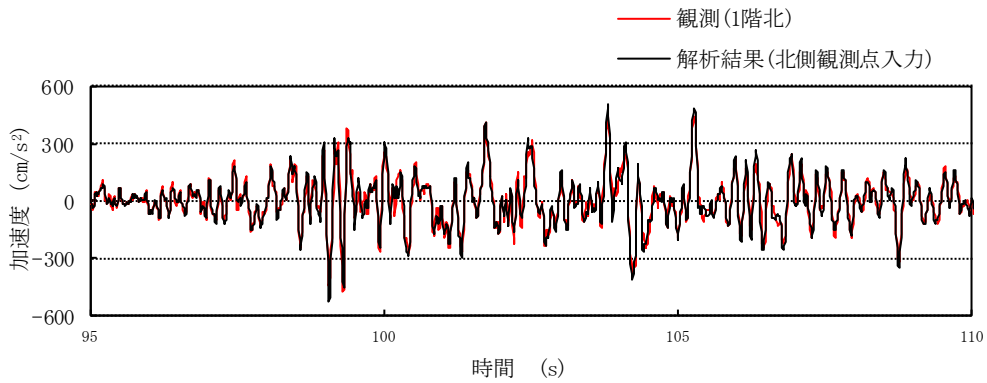
(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録：南側)



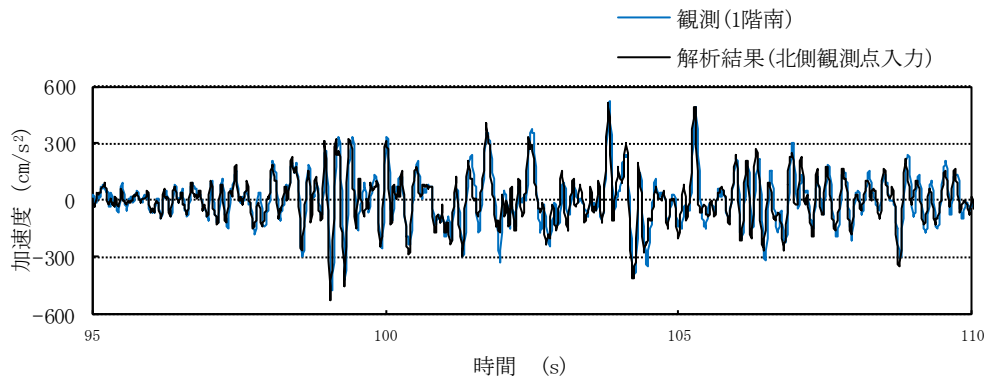
(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-4 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基礎上端，東西方向)

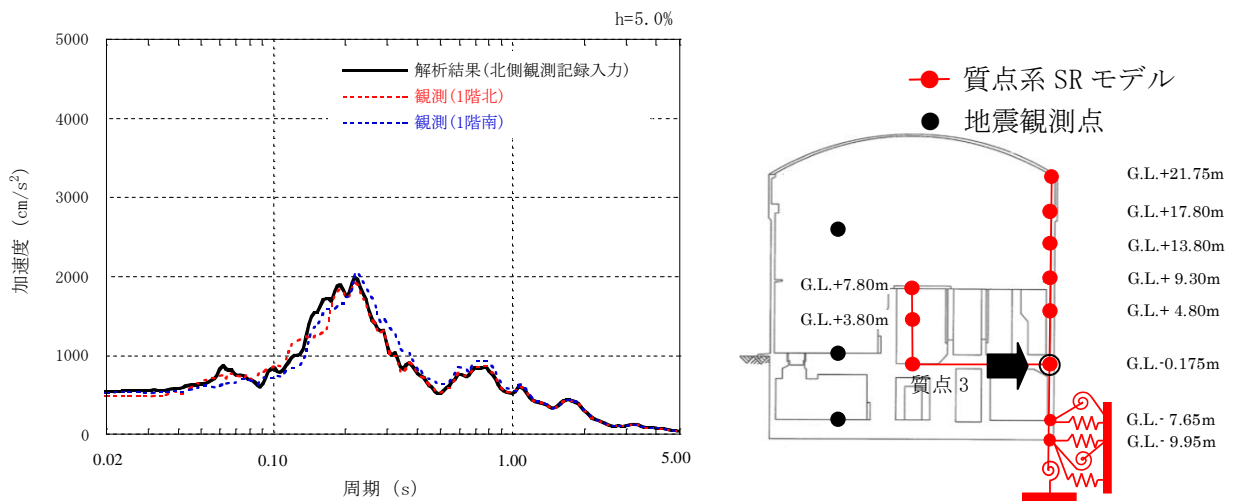
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。



(a) 加速度時刻歴波形（観測記録：北側）



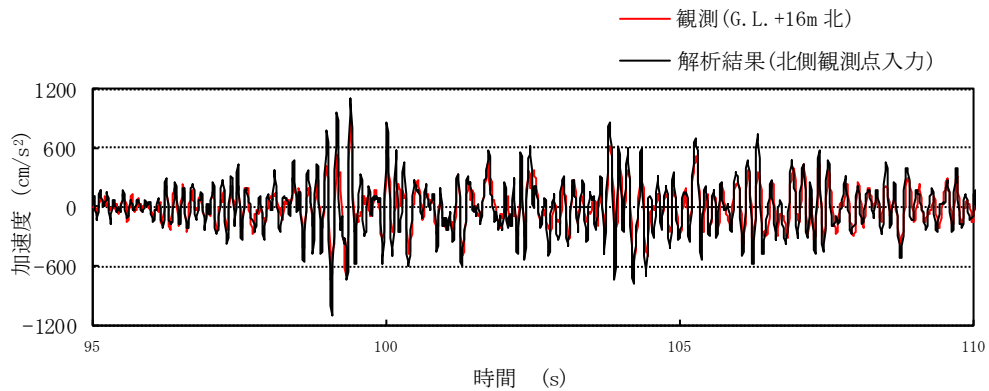
(b) 加速度時刻歴波形（観測記録：南側）



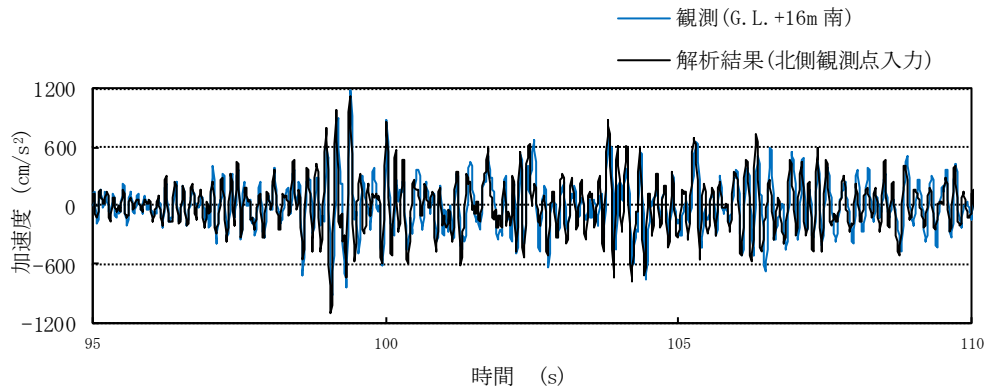
(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-5 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(1 階，東西方向)

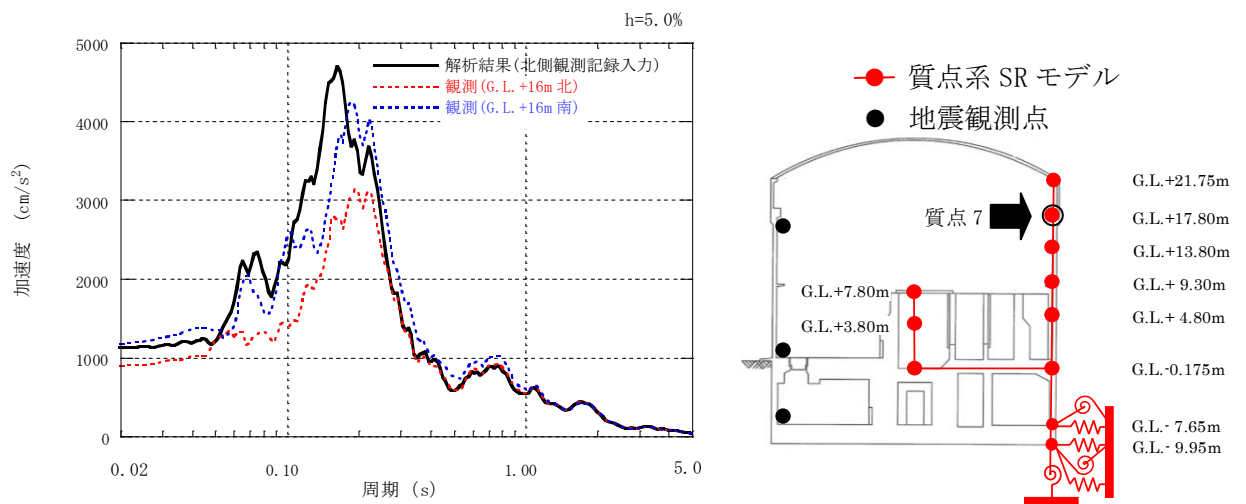
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。
解析は質点 7 の応答値を示す。



(a) 加速度時刻歴波形 (観測記録：北側)



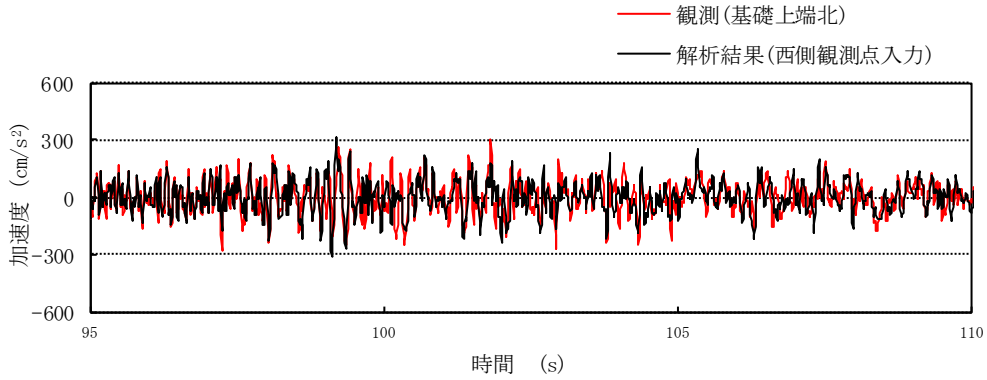
(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録：南側)



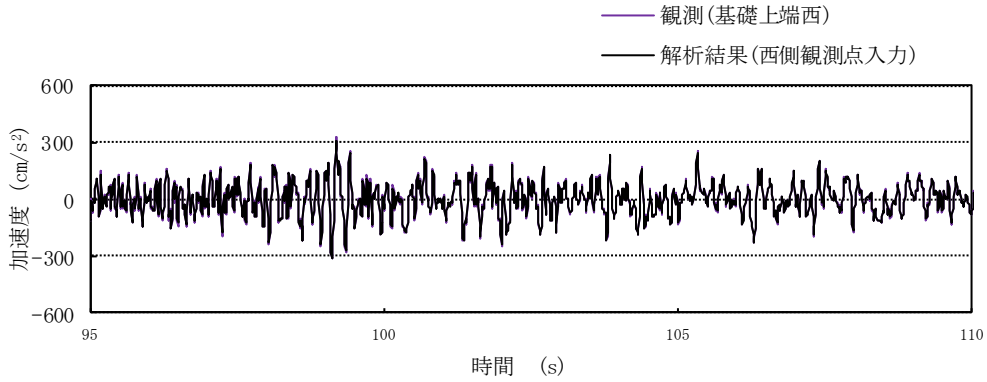
(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-6 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(G.L. +16.0m, 東西方向)

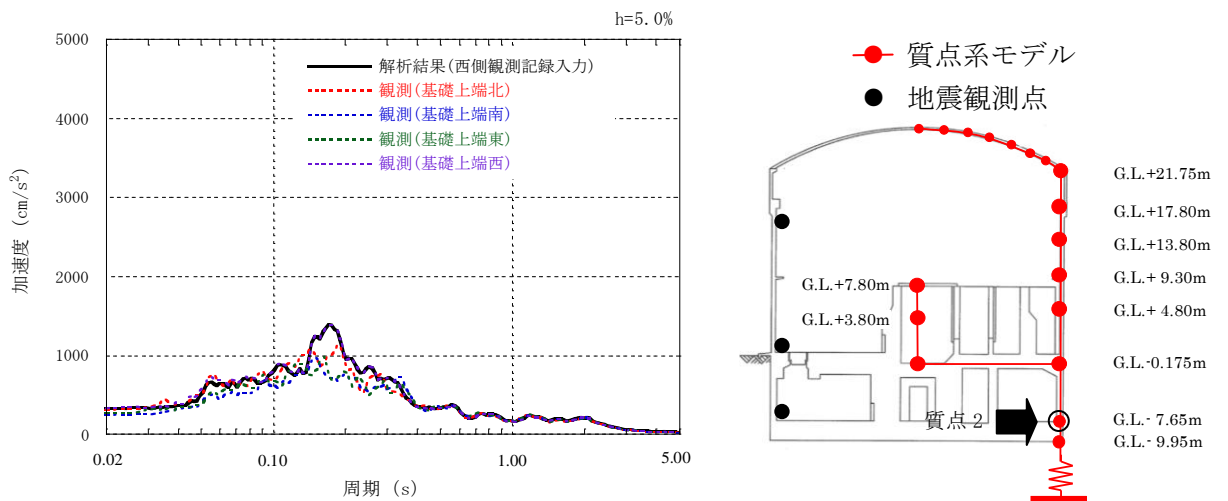
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。



(a) 加速度時刻歴波形（観測記録：北側）



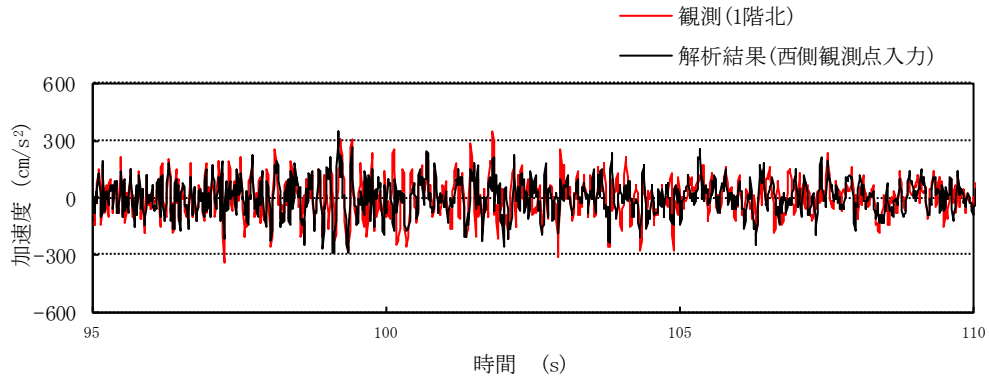
(b) 加速度時刻歴波形（観測記録：西側）



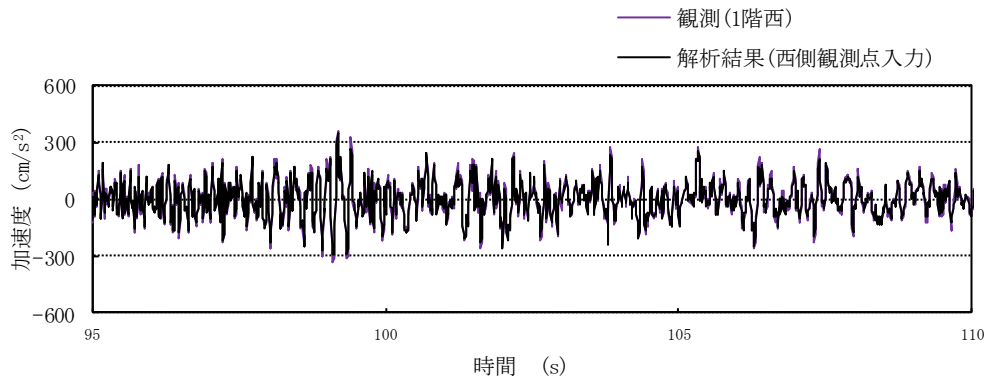
(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-7 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(基礎上端，鉛直方向)

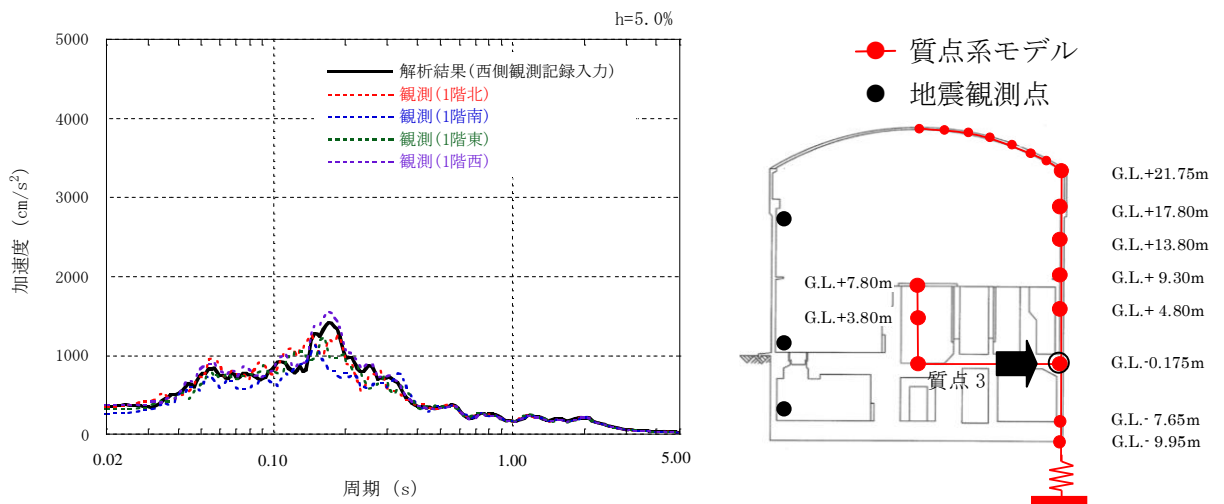
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。



(a) 加速度時刻歴波形（観測記録：北側）



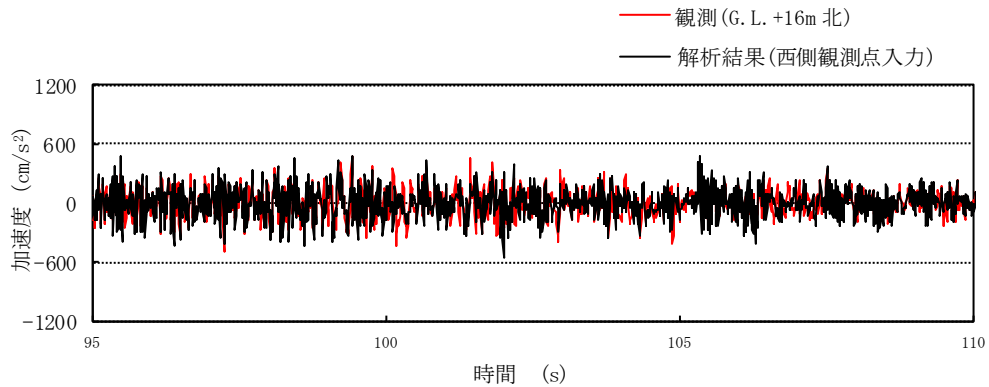
(b) 加速度時刻歴波形（観測記録：西側）



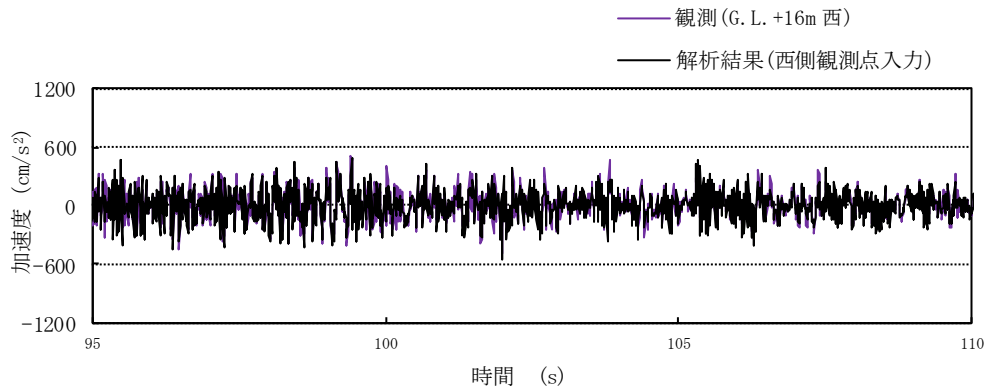
(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-8 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(1 階, 鉛直方向)

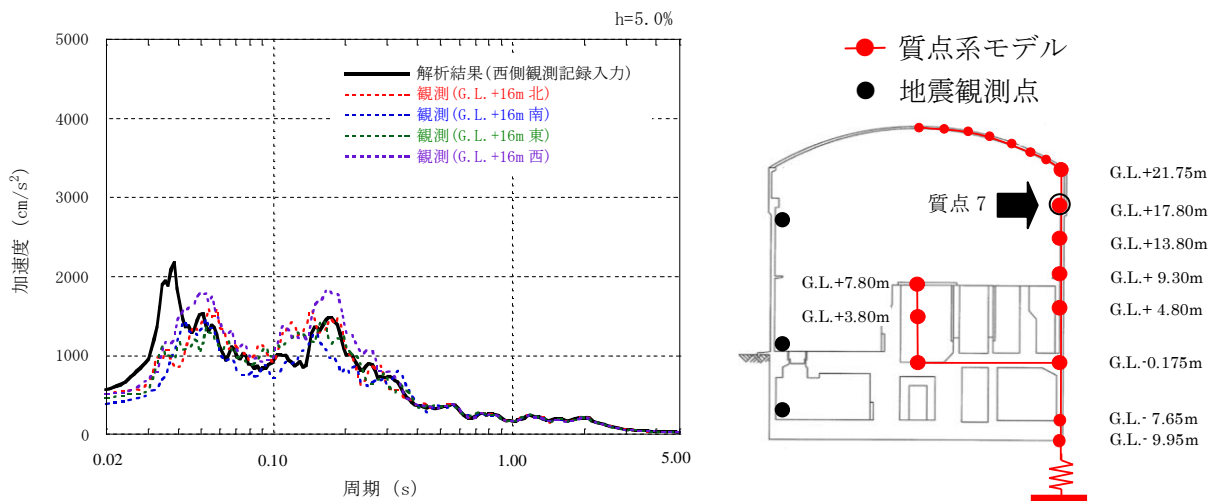
加速度時刻歴波形は 95～110s
間の記録を示す。
解析は質点 7 の応答値を示す。



(a) 加速度時刻歴波形（観測記録：北側）



(b) 加速度時刻歴波形（観測記録：西側）



(c) 加速度応答スペクトル

第 5.4-9 図 加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル
(G. L. +16.0m, 鉛直方向)

5.5 接地率

建家の接地率は水平方向の地震応答解析の結果より得られた最大転倒モーメントを用い、地盤反力を三角形分布と仮定して算定する。

接地率は南北方向 82%、東西方向 76%であり、質点系 SR モデル解析の適用範囲内(※3)である。

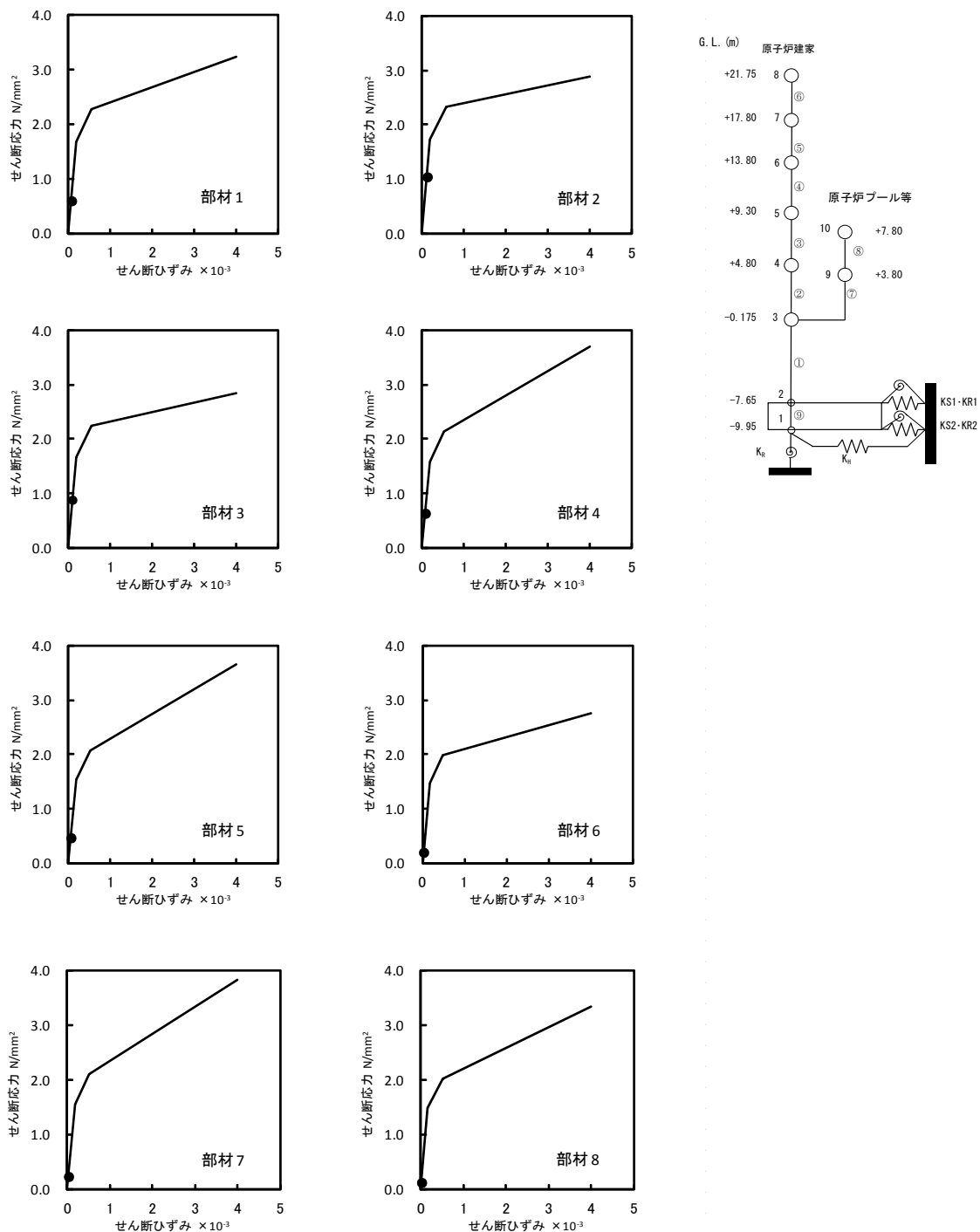
※3 「社団法人日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に示される、地盤の底面回転ばねに浮上り非線形を考慮した非線形地震応答解析法の適用限界である接地率 65%を上回っている。

5.6 耐震壁のせん断スケルトン曲線上の最大応答値

シミュレーション解析結果による建家の各層における耐震壁の最大応答値をせん断スケルトン曲線上にプロットし，第 5.6-1 図及び第 5.6-2 図に示す。

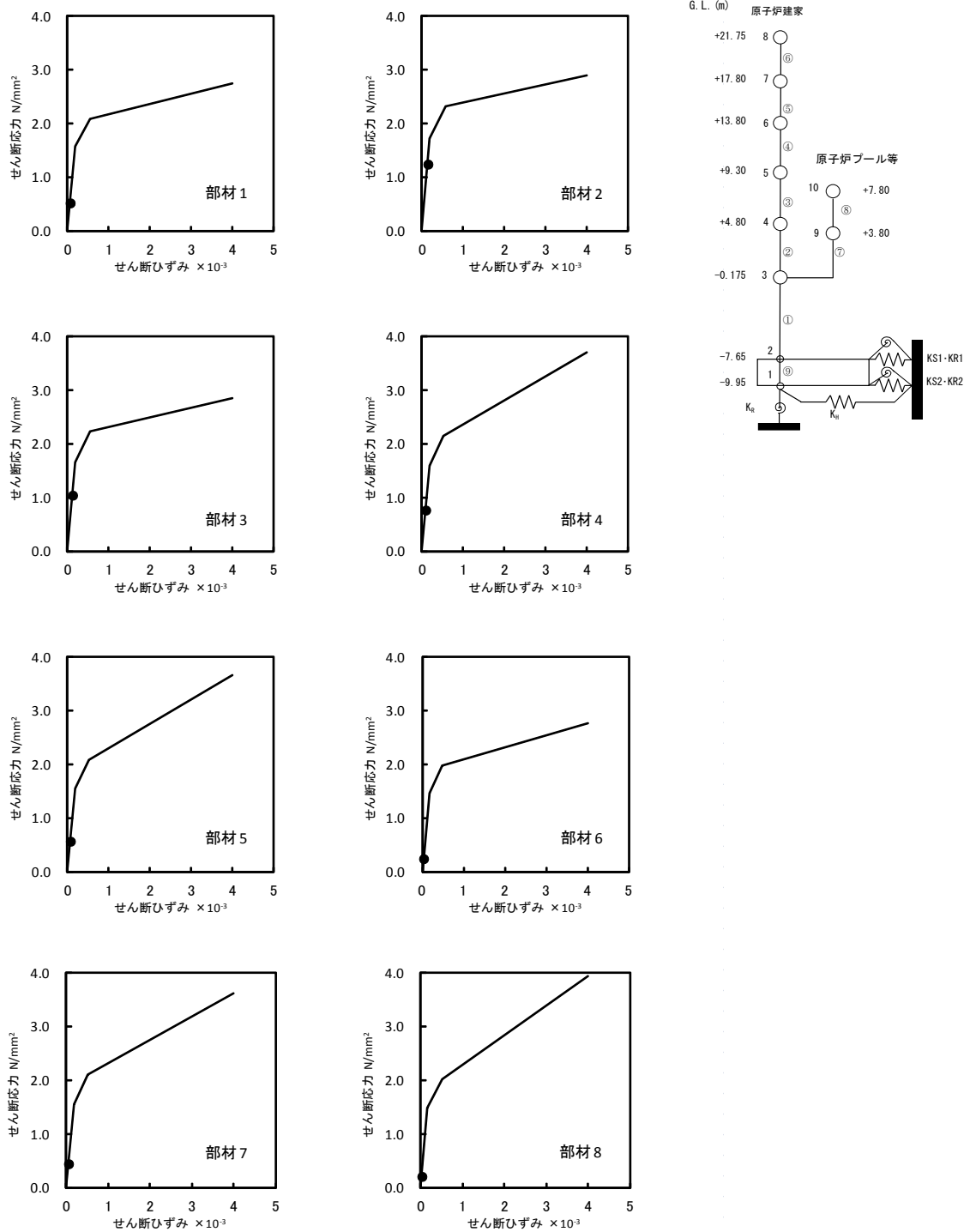
最大応答せん断ひずみはせん断スケルトン上の第一折れ点におけるひずみ値に対して小さく，おおむね弾性範囲内に収まっている。

●シミュレーション解析による最大応答値



第 5.6-1 図 セン断スケルトン曲線上の最大応答値 (南北方向)

●シミュレーション解析による最大応答値



第 5.6-2 図 セン断スケルトン曲線上の最大応答値 (東西方向)

5.7 まとめ

5.1～5.6に示したように、中間報告書で採用した解析モデルにより、東北地方太平洋沖地震の観測記録をおおむねシミュレートできることを確認し、さらに、この解析により得られる耐震壁の最大応答せん断ひずみがおおむね弾性範囲内に収まることを確認した。

以上より、東北地方太平洋沖地震の発生時において、原子炉建家の躯体の耐震健全性が確保されていたことを確認した。

6. 原子炉プール等の冠水維持機能の耐震健全性評価

6.1 評価方針

JRR-3 原子炉施設の冠水維持機能のうち、原子炉プール等の冠水維持機能（原子炉プール等の躯体及びライニングの耐震健全性）を確認する。

6.2 評価方法

(1) 評価方法

「5. 原子炉建家のシミュレーション解析及び耐震健全性評価」における質点系 SR モデルによる原子炉プール等の最大応答せん断応力度より、プール全体が受けた地震力を確認する。また、プール各部の形状を踏まえ原子炉プール等をソリッド要素等でモデル化した三次元 FEM モデルによる静的弾塑性応力解析を実施し、部材の発生応力を確認する。

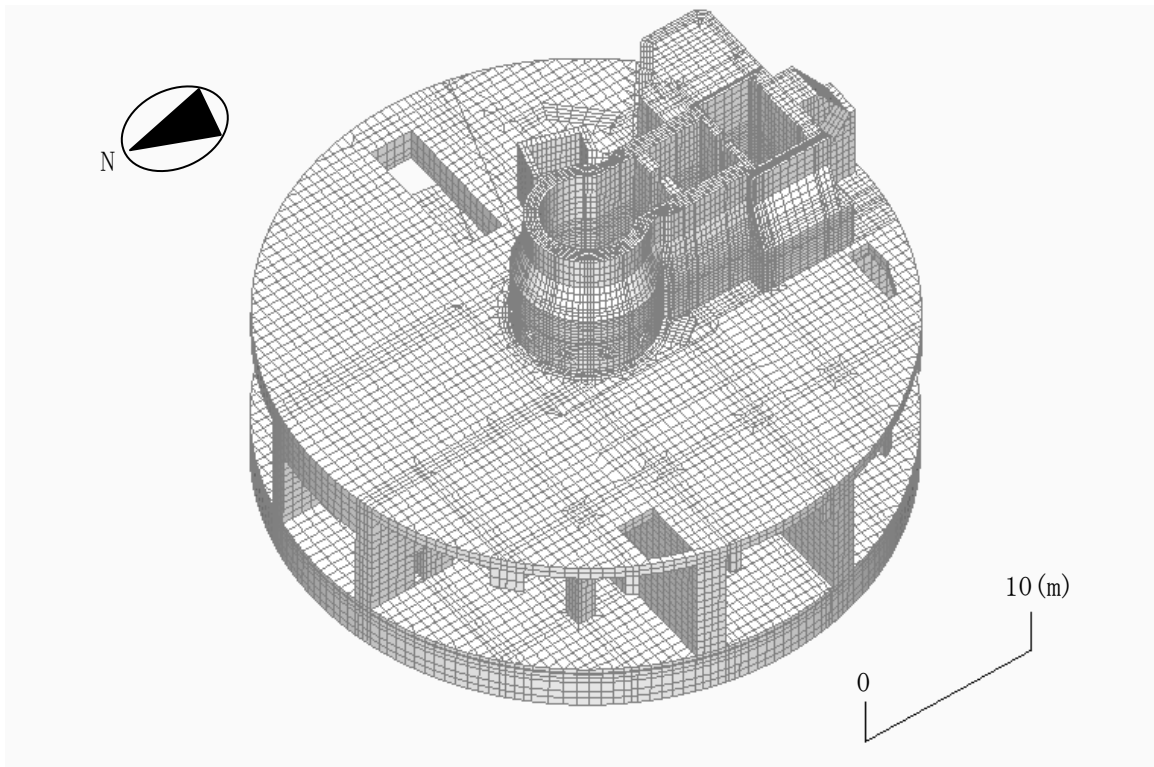
以上により、①及び②を確認し、原子炉プール等が有する冠水維持機能を評価する。

- ① プール躯体の鉄筋コンクリート部材の耐震健全性を確認する。
- ② コンクリート表面のひずみに基づき、ライニングの耐震健全性を確認する。

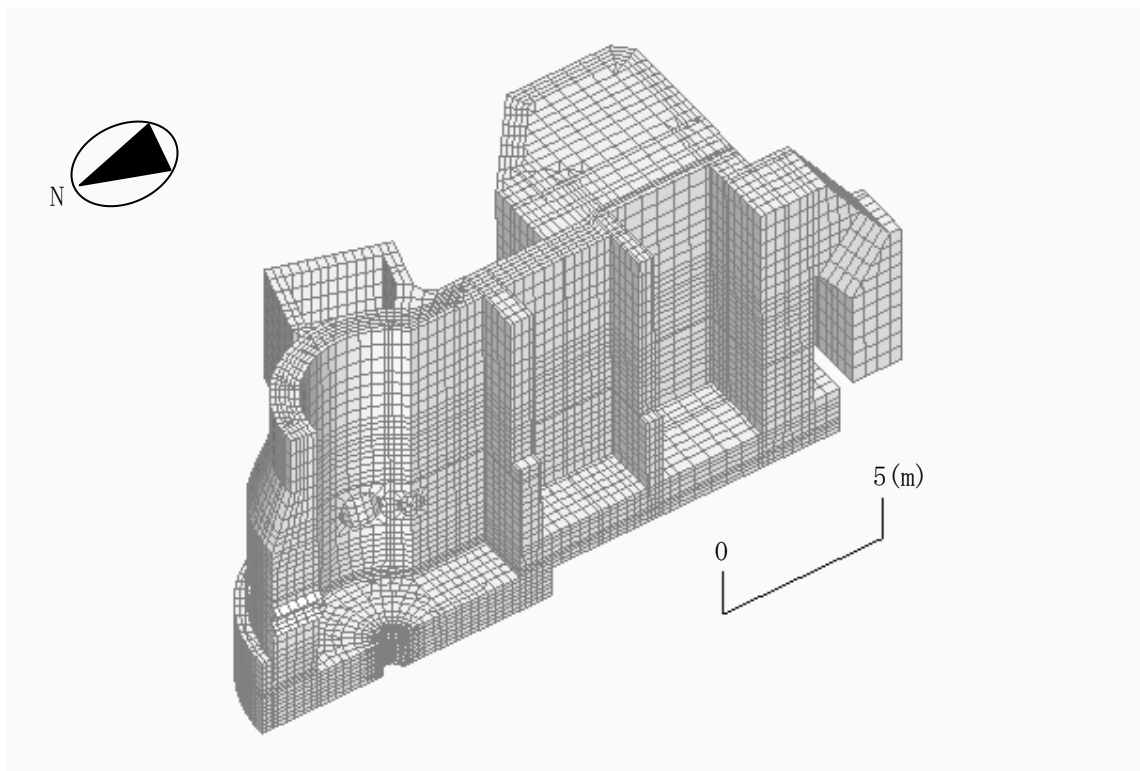
(2) 解析手法（三次元 FEM による静的応力解析）

非線形ソリッド要素，線形ソリッド要素及び線形シェル要素を用いた三次元 FEM モデルによる静的弾塑性解析を行う。コンクリートをソリッド要素により，鉄筋を平面応力要素によりモデル化する。地盤ばねは，質点系 SR モデルで用いた地盤ばねに準じて設定する。荷重は，固定荷重，積載荷重，通常時運転荷重（プール水圧等）及び地震荷重を考慮する。地震荷重は「5. 原子炉建家のシミュレーション解析及び耐震健全性評価」における質点系 SR モデルの最大応答値に基づき算定する。水平地震力と鉛直地震力の荷重の組合せは，組合せ係数法（組合せ係数 0.4）により評価する。

第 6.2-1 図及び第 6.2-2 図に解析モデルを示す。



第 6. 2-1 図 三次元 FEM モデル (外周壁を除く。)



第 6. 2-2 図 三次元 FEM モデル (プール部の断面)

応力解析におけるコンクリート強度一覧を第 6. 2-1 表に示す。コンクリートは 4 種に区別される。

今回の応力解析におけるコンクリート強度については、設計基準強度によらず、次の考え方による実力的強度を用いる。

JRR-3 原子炉施設は、原子炉プール等から必要な数のコンクリートコアを採取することは困難である。一方で、平成元年改造時に打設したコンクリート部分は、適切に施工管理されている。これらの背景を踏まえ、平成元年改造時に打設したコンクリート部分は、建設時の 28 日標準養生供試体の圧縮強度試験結果から、JASS5 の知見に基づき(※4) 実力的強度を求め、解析用強度とする。なお、昭和 36 年竣工時に打設したコンクリート部分は設計基準強度を解析用強度とする。

第6. 2-1表 応力解析におけるコンクリート強度一覧

コンクリート種別	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度※5 (N/mm ²)
普通コンクリート (既設部)	17.7	1.56
普通コンクリート (増設部)	26.0	2.02
重量コンクリート (増設部, 密度 3.4g/cm ³)	31.6	2.30
重量コンクリート (増設部, 密度 5.0g/cm ³)	44.0	2.86

※4 JASS5 (2009) における材齢91日のコンクリート構造体コア強度と材齢28日標準養生強度の関係に基づく。

※5 コンクリートの引張強度は、コンクリート標準示方書 (社団法人日本土木学会2007年制定) による。 $f_{tk} = 0.23 \times f'_{ck}{}^{2/3}$ (f_{tk} : コンクリートの引張強度 (N/mm²) , f'_{ck} : コンクリートの圧縮強度の特性値 (N/mm²))

6.3 評価基準

①及び②により，原子炉プール等の冠水維持機能（原子炉プール等の躯体及びライニングの耐震健全性）を評価する。

① プール躯体については，各解析による応答値がおおむね弾性範囲に収まることにより，健全であることを確認する。具体的には以下を確認する。

- ・ 質点系 SR モデル解析により，原子炉プール等の最大応答せん断応力度が，短期許容せん断応力度を下回ること。
- ・ 三次元 FEM 解析により，構造躯体について，鉄筋の引張応力度が降伏強度を下回ること。
- ・ 三次元 FEM 解析により，構造躯体について，コンクリートのコア部（鉄筋の内側）の引張応力度が引張強度を下回ること。

② ライニングについては，三次元 FEM 解析によるコンクリート表面の引張ひずみが評価基準値 3.0×10^{-3} （※6）を下回ることにより，健全であることを確認する。

※6 一般社団法人日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE1-2011」における荷重状態Ⅲ及びⅣの膜力に対するライニングの許容引張ひずみ。

6.4 評価結果

質点系 SR モデルによる原子炉プール等の応答せん断応力度を第 6.4-1 表に、三次元 FEM モデルによる解析結果を第 6.4-1 図～第 6.4-8 図に示す。

- ① 次のことから、プール躯体の耐震健全性は確保されていたと判断される。
 - ・ 質点系 SR モデル解析の結果、最大応答せん断応力度は短期許容せん断応力度の最大で 4 割程度であり、プールに生じた平均的なせん断応力度は比較的小さい。
 - ・ 三次元 FEM 解析の結果、構造躯体の鉄筋について、引張応力度が降伏強度を下回る。
 - ・ 三次元 FEM 解析の結果、構造躯体のコンクリートについて、引張応力度が引張強度を下回る。
- ② 次のことから、ライニングの耐震健全性は確保されていたと判断される。
 - ・ 三次元 FEM 解析の結果、コンクリート表面における最大の引張ひずみ (1.04×10^{-3}) はゲート壁の開口部下端で発生し、評価基準値 3.0×10^{-3} を下回る。

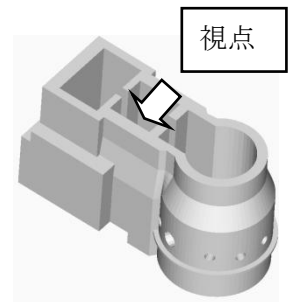
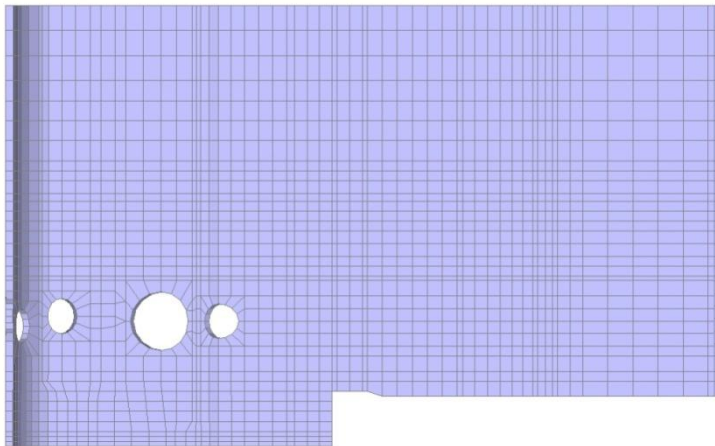
以上より、東北地方太平洋沖地震の発生時において、原子炉プール等の躯体及びライニングの耐震健全性が確保されていたことを確認した。

第 6.4-1 表 質点系 SR モデルによる原子炉プール等の最大応答せん断応力度

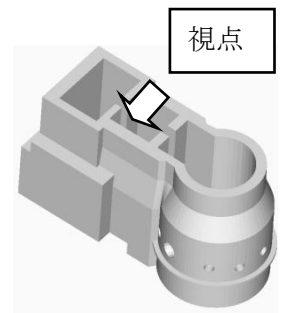
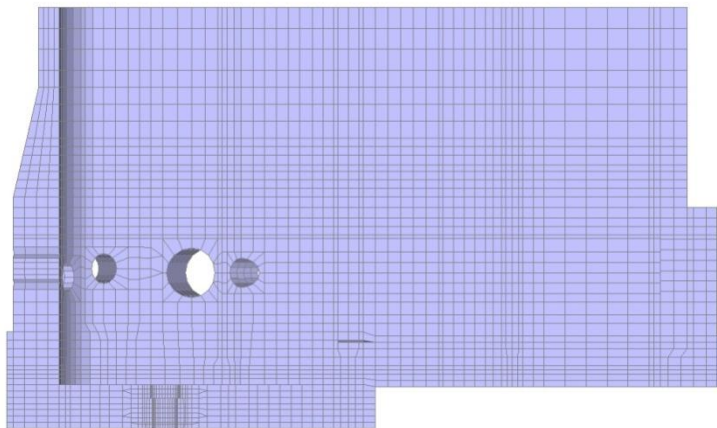
方向	部材 No.	最大応答 せん断応力度 (N/mm ²)	評価基準値 ^{※7} (N/mm ²)	最大応答 せん断応力度 / 評価基準値
南北方向	8	0.119	1.03	0.12
	7	0.229	1.03	0.22
東西方向	8	0.208	1.03	0.20
	7	0.443	1.03	0.43

※7 社団法人日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(2010年)によるコンクリートの短期許容せん断応力度。原子炉プール等の設計基準強度 (20.6N/mm²) に基づき算定。

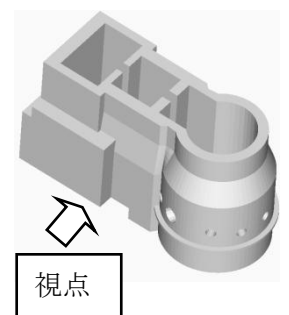
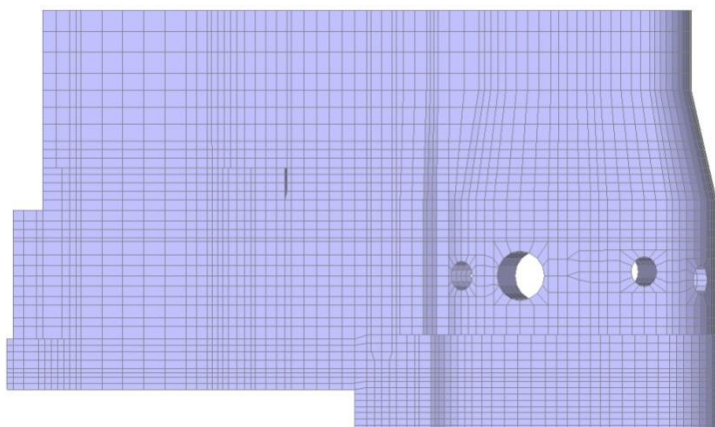
- : 引張強度に達した要素
- : 引張強度未満の要素



第 6.4-1 図 最大主応力度（引張側）（内側被りコンクリート）

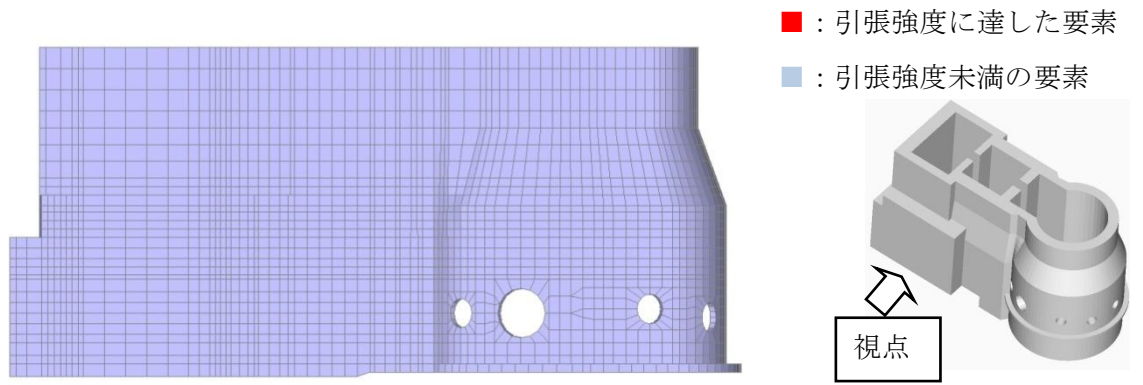


第 6.4-2 図 最大主応力度（引張側）（コアコンクリート※8 内側）

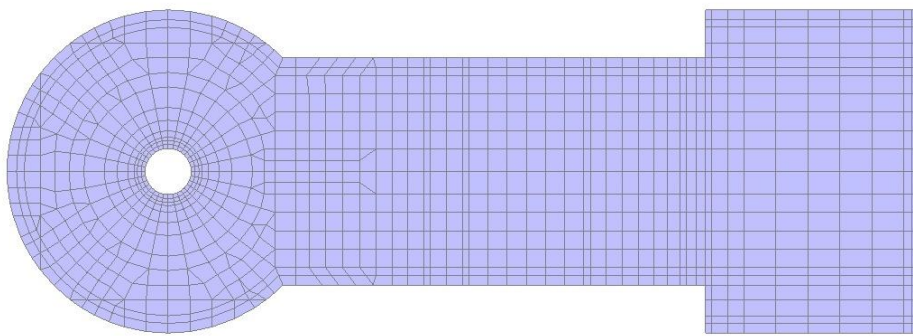


第 6.4-3 図 最大主応力度（引張側）（コアコンクリート外側）

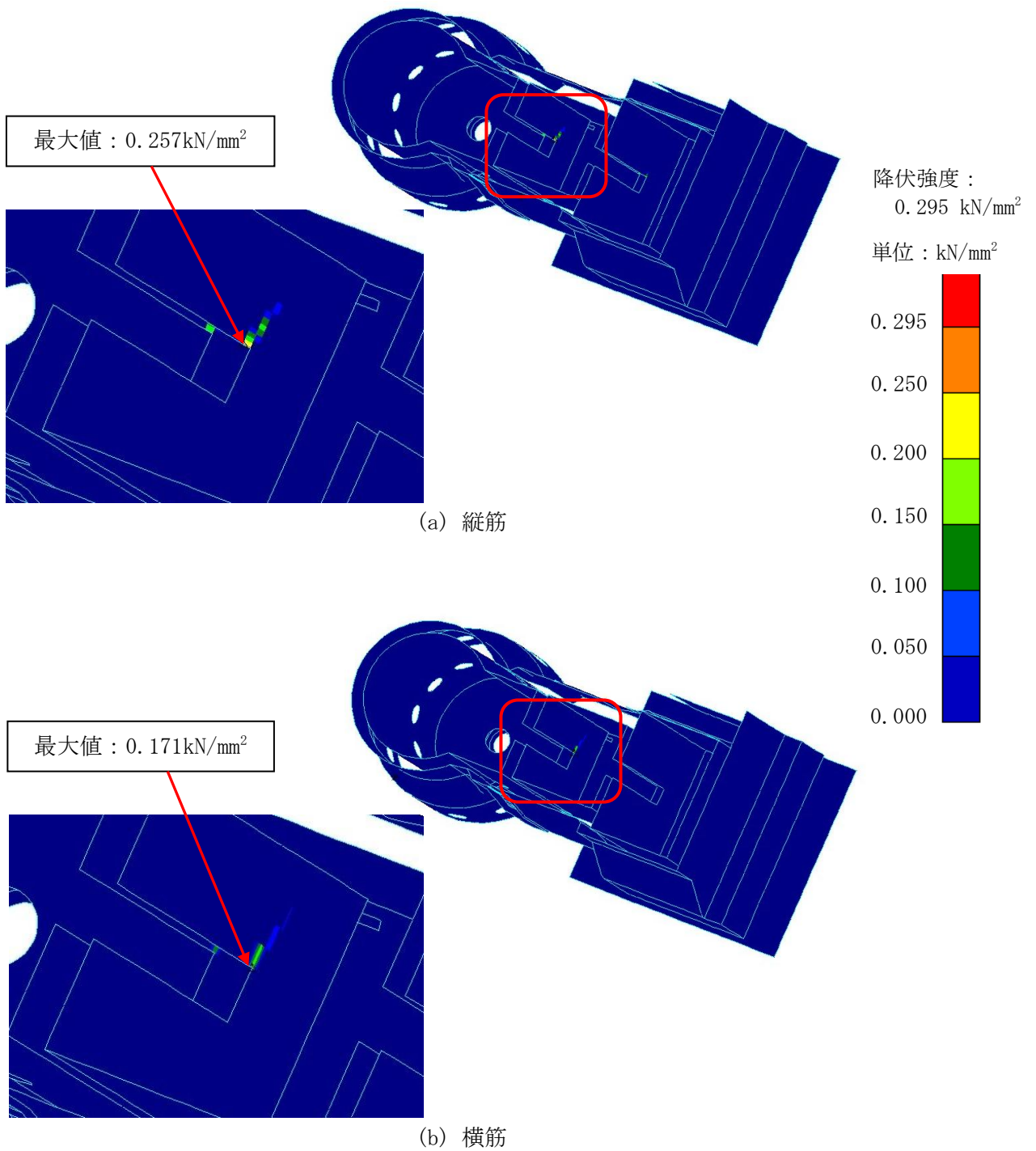
※8 コアコンクリートとは、鉄筋の内側のコンクリートを示す。構造躯体のコンクリートから被りを取り除いた部分。



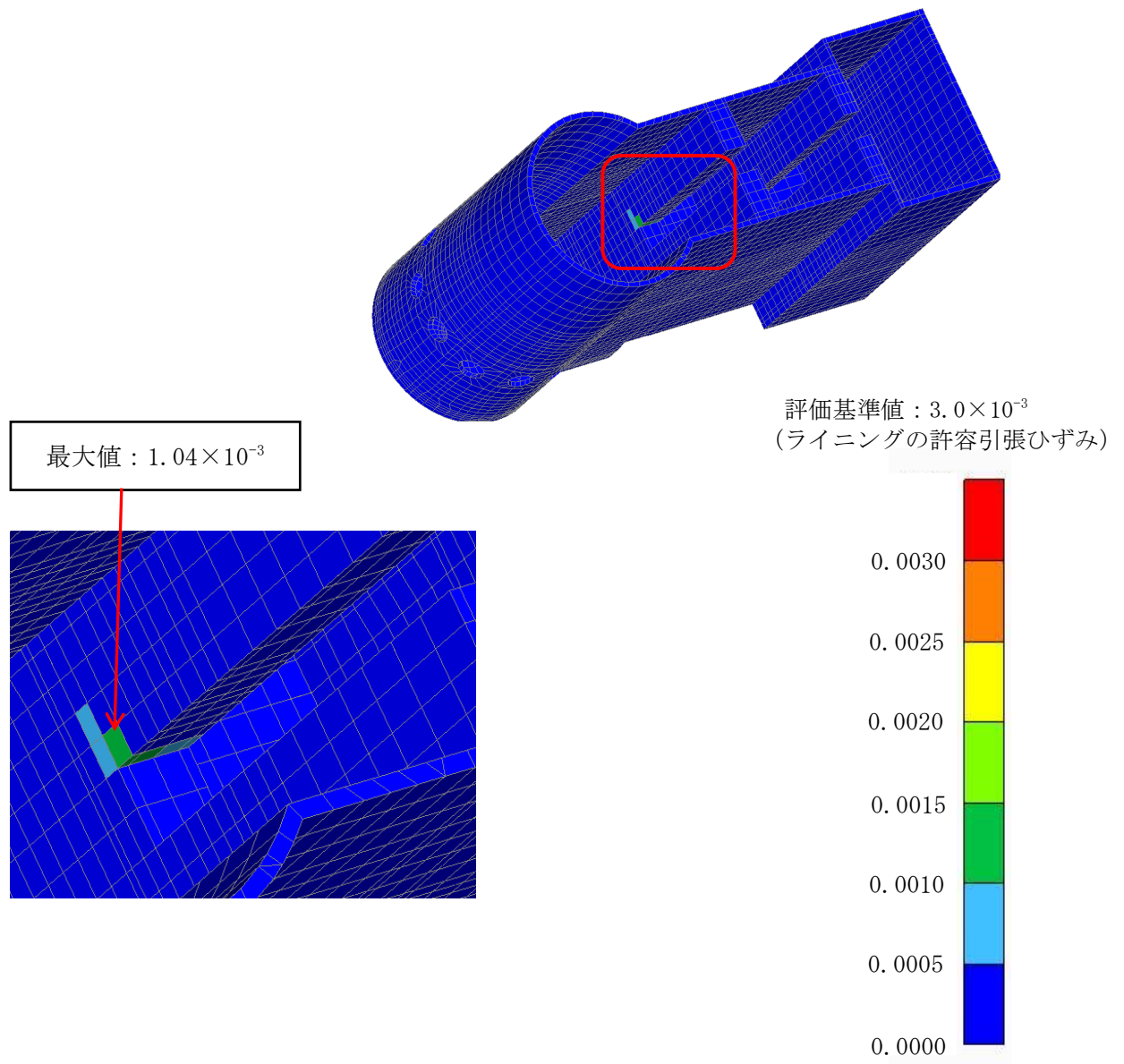
第 6.4-4 図 最大主応力度（引張側）（外側被りコンクリート）



第 6.4-5 図 最大主応力度（引張側）（底内側被りコンクリート）

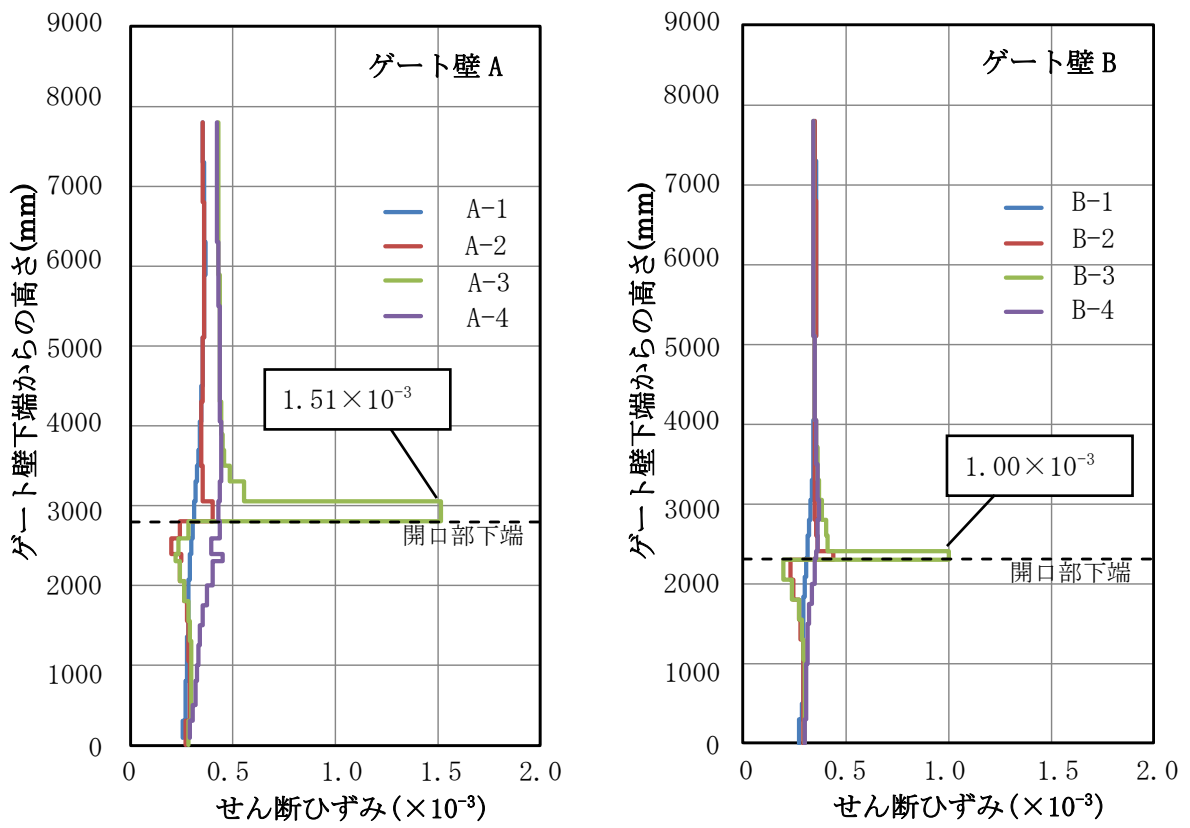


第 6.4-6 図 鉄筋の応力度 (引張側)

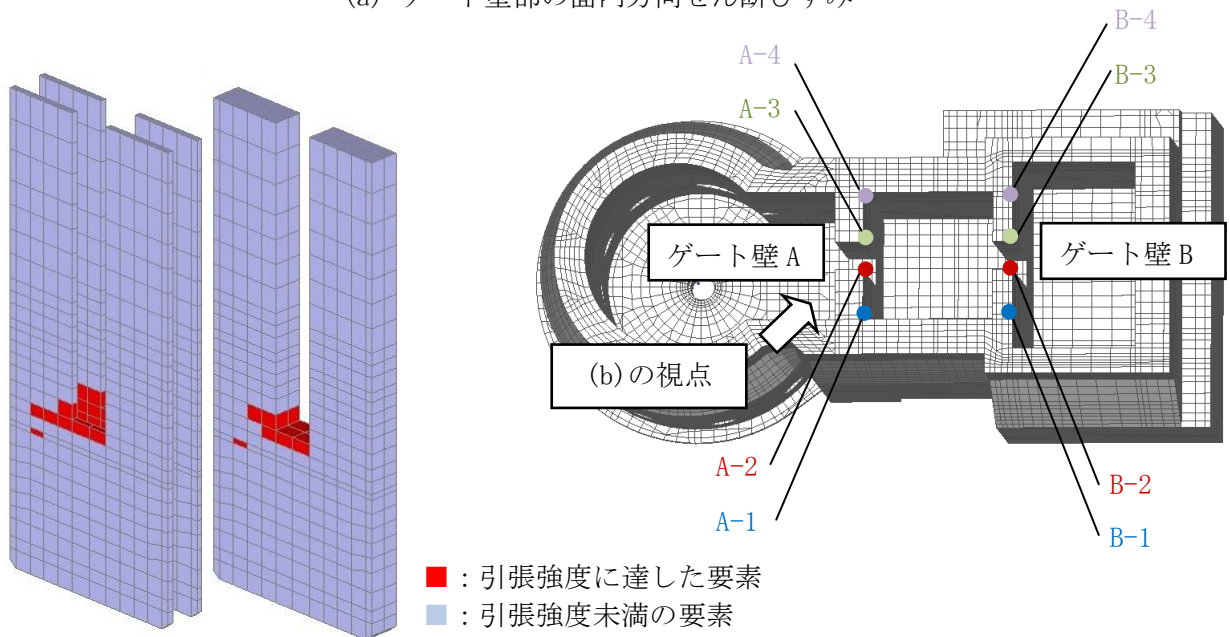


第 6.4-7 図 ライニングの主ひずみ（引張側）

(注) 上図で、ライニングの主ひずみと表示しているのは、ライニングに接するコンクリートの主ひずみを表している。また、ゲート壁の開口部下端はコンクリートの引張応力度が引張強度を上回るものの、当該部は非構造部であり、せん断ひずみは 1.51×10^{-3} と小さいことから、プール躯体はおおむね弾性範囲内に収まっている。(第 6.4-8 図参照)



(a) ゲート壁部の面内方向せん断ひずみ



(b) ゲート壁 A の最大主応力度 (引張側)
(左: 被りコンクリート, 右: コアコンクリート)

第 6.4-8 図 ゲート壁部 (非構造部) のせん断ひずみ及び最大主応力度

7. 屋根トラスの耐震健全性評価

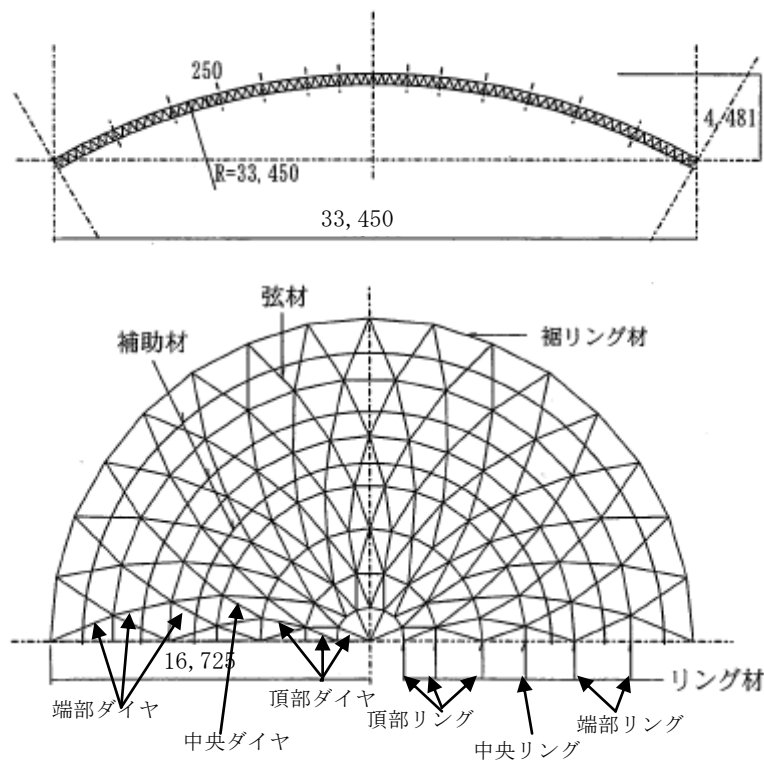
7.1 評価方針

原子炉建家の屋根トラスは、半開角 30 度のスパン 33.45m(支点間距離)の鉄骨造球面ドーム型の屋根であり、ダイヤモンドトラス構造のドーム上面を鉄板(t=4.5mm)膜で覆った構造である。第 7.1-1 表及び第 7.1-1 図に屋根構造の概要を示す。

屋根トラスについて、原子炉建家の円筒壁上部(G. L. +16m)位置の地震観測記録に基づき、中間報告書で採用した三次元 FEM モデル(屋根単体モデル)による弾性動的解析により、耐震健全性評価を行う。

第 7.1-1 表 屋根構造の概要

	概要	備考
架構形式	ダイヤモンドトラス構造 (ドーム屋根)	屋根葺き材 鉄板 t=4.5mm
半開角	30 度	



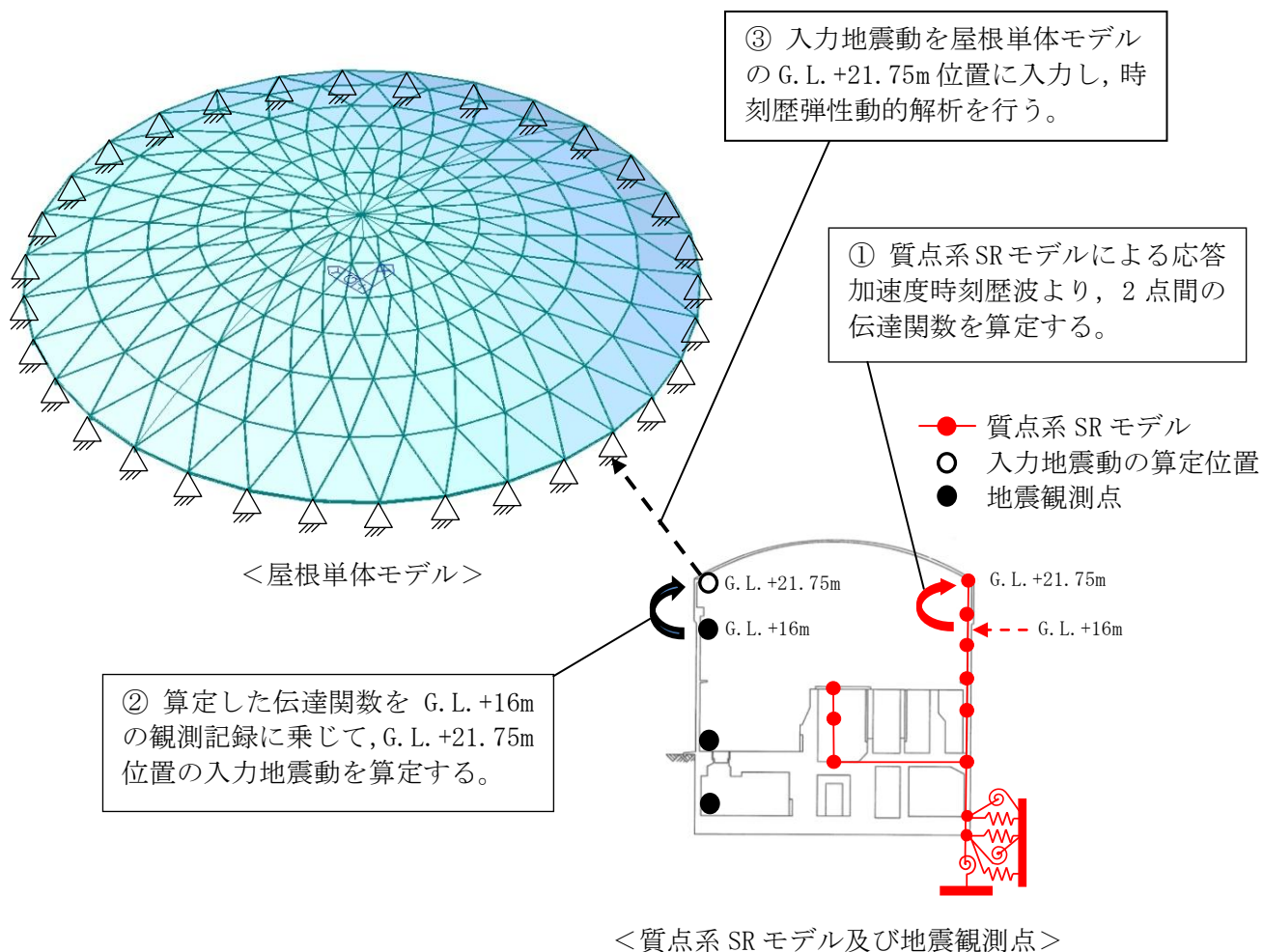
第 7.1-1 図 屋根構造の概要

7.2 評価方法

屋根単体モデルは、各部材(上弦材, 下弦材, ラチス材及びリング材)を等価な断面性能の梁要素(線材)に置換した三次元 FEM モデルとする。

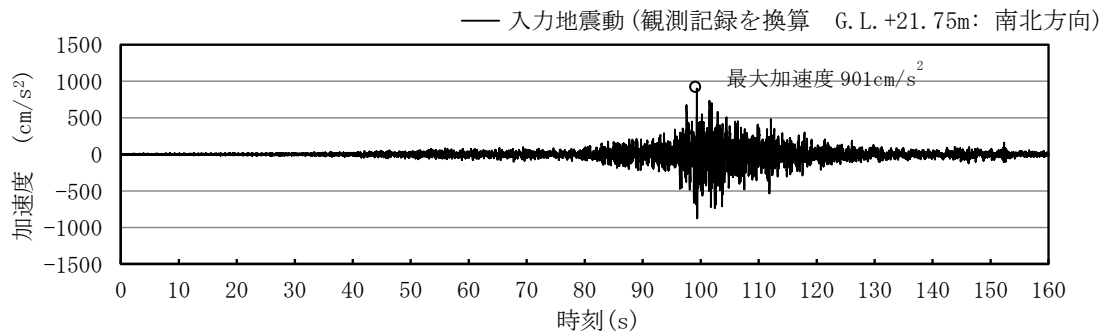
入力地震動としては, G. L. +16m(原子炉建家の円筒壁上部)において観測された加速度時刻歴波を, G. L. +21.75m(屋根端部)に換算した加速度時刻歴波とする。換算の手法は, 質点系 SR モデルによる G. L. +16m と G. L. +21.75m 間の伝達関数を算定し, その伝達関数を G. L. +16m 位置の観測記録に乗じて, G. L. +21.75m 位置の加速度時刻歴波を算定する。南北方向, 東西方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力により時刻歴弾性動的解析を行う。減衰は屋根トラスで 2% を考慮する。使用計算機コードは「ADINA」を使用する。

評価手法の概要を第 7.2-1 図に示す。

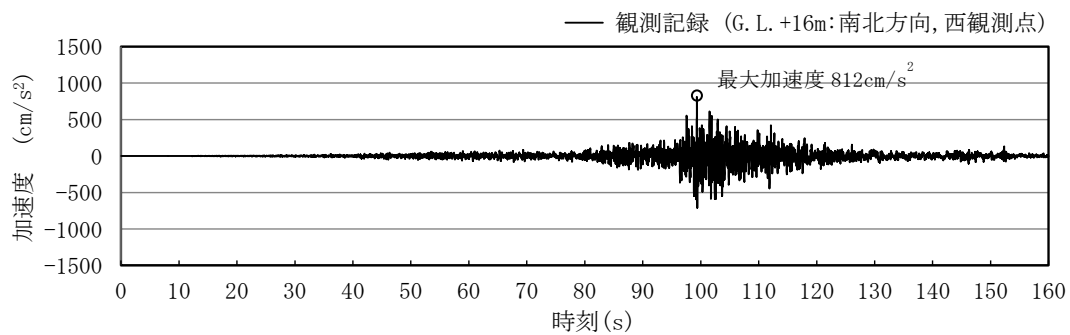


第 7.2-1 図 評価手法の概要

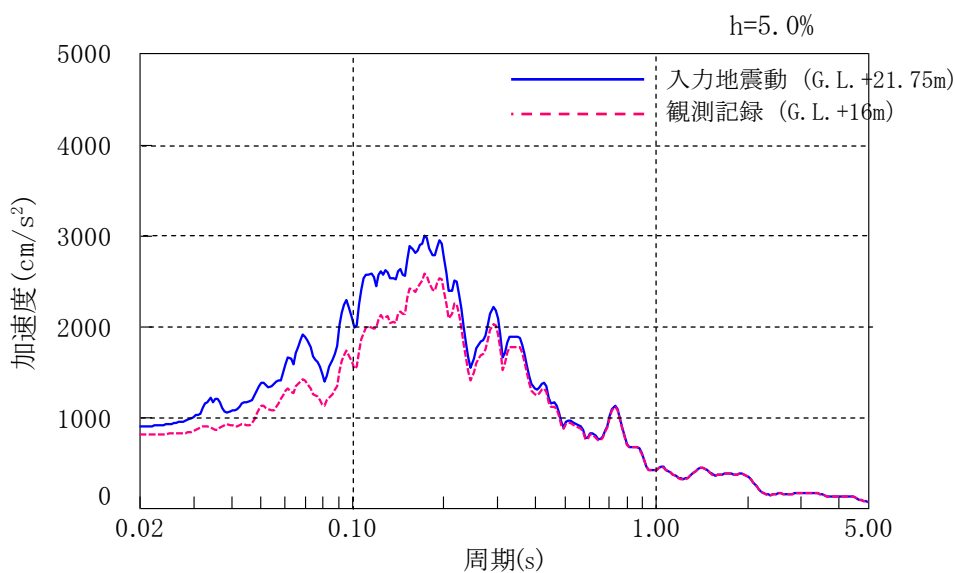
入力地震動(G. L. +21.75m 位置に換算した加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル)を、第 7.2-2 図～第 7.2-4 図に示す。



(a) 加速度時刻歴波形 (入力地震動 : G. L. +21.75m)

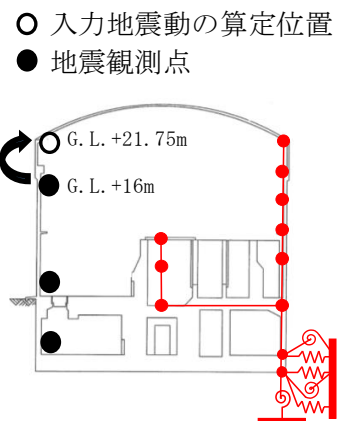


(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録 : G. L. +16m)

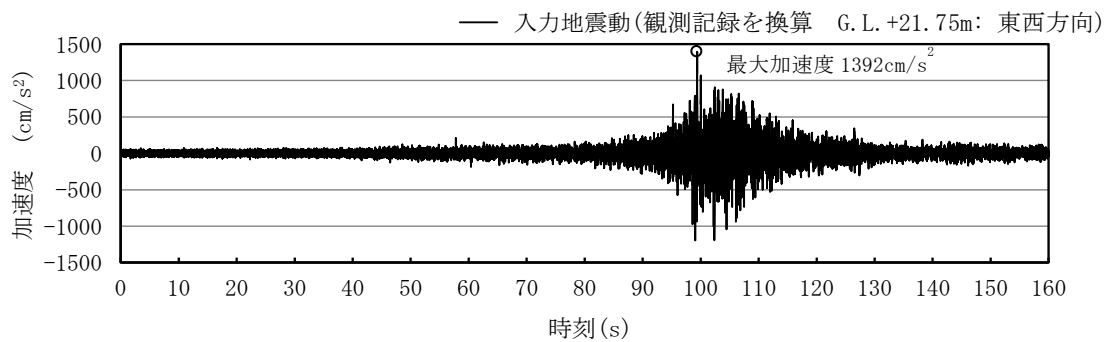


(c) 加速度応答スペクトル

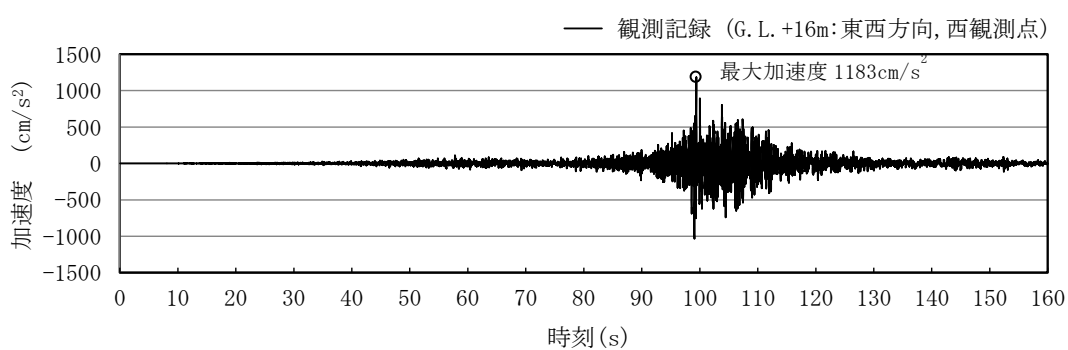
G. L. +16m 位置の観測記録を屋根端部の G. L. +21.75m 位置に換算して、入力地震動を算定する。



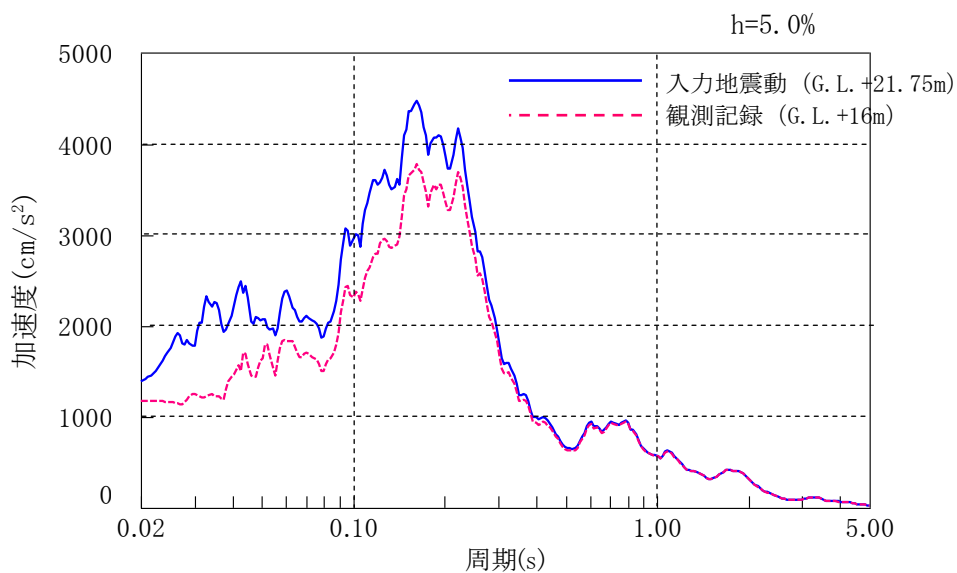
第 7.2-2 図 入力地震動 (南北方向)



(a) 加速度時刻歴波形 (入力地震動 : G. L. +21.75m)



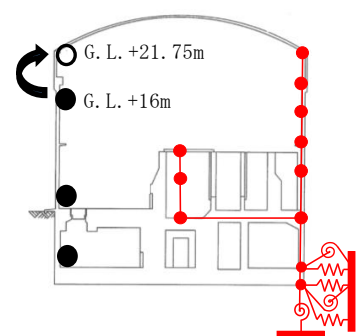
(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録 : G. L. +16m)



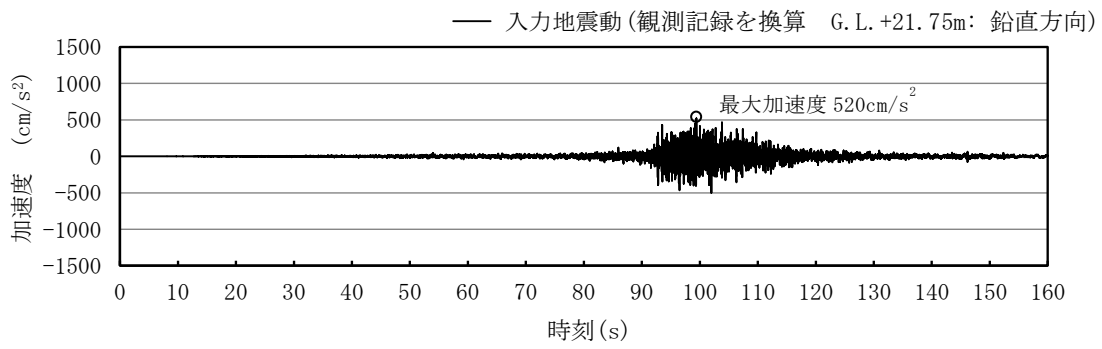
(c) 加速度応答スペクトル

G. L. +16m 位置の観測記録を屋根端部の G. L. +21.75m 位置に換算して、入力地震動を算定する。

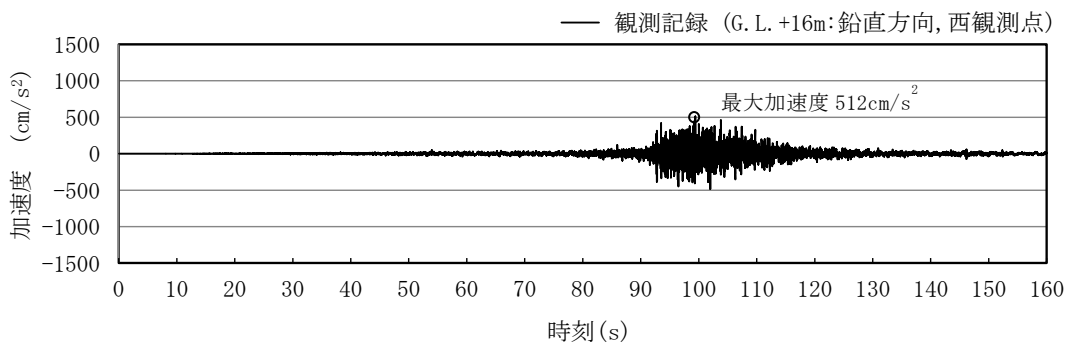
- 入力地震動の算定位置
- 地震観測点



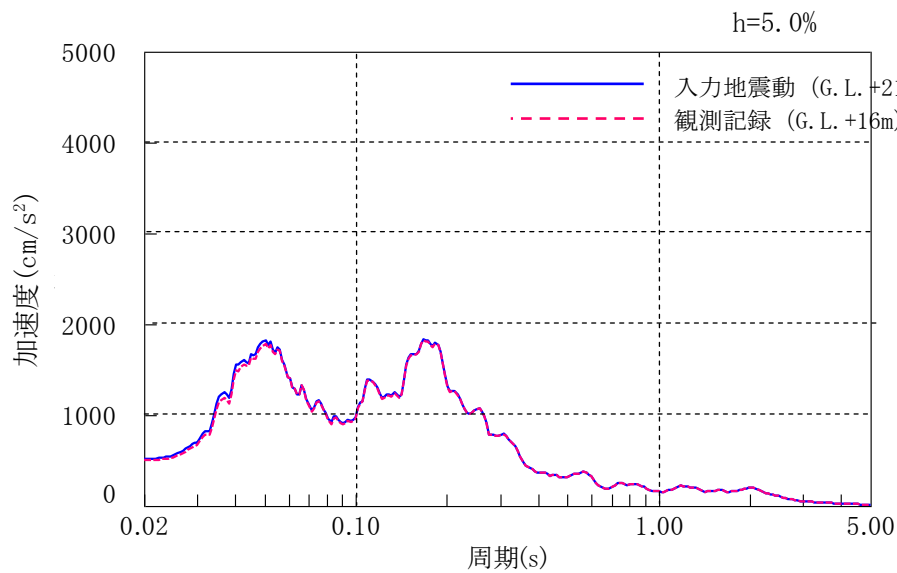
第 7.2-3 図 入力地震動 (東西方向)



(a) 加速度時刻歴波形 (入力地震動 : G. L. +21.75m)



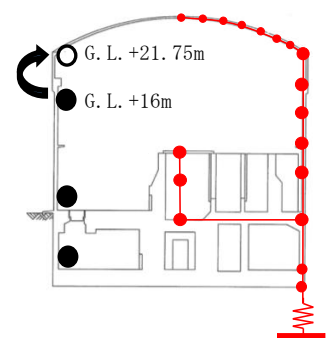
(b) 加速度時刻歴波形 (観測記録 : G. L. +16m)



(c) 加速度応答スペクトル

G. L. +16m 位置の観測記録を屋根端部の G. L. +21.75m 位置に換算して、入力地震動を算定する。

- 入力地震動の算定位置
- 地震観測点



第 7.2-4 図 入力地震動 (鉛直方向)

7.3 評価基準

上弦材,下弦材及びラチス材について,「鋼構造設計規準」(日本建築学会,2005年)に準拠して,以下のように断面を検討する。

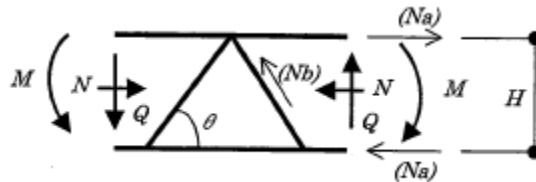
(1) 部材軸力の算定

断面の検討に用いる軸力は,応力解析から求まる軸方向の応力,せん断応力及び曲げ応力を下式により換算したものとする。

a. 上弦材及び下弦材: $Na = M/H + N/2$

(上弦材と下弦材の支点間距離: $H = 0.23m$)

b. ラチス材: $Nb = Q/\sin\theta$ ($\theta = 60^\circ$)



(2) 鉄骨部材の軸方向の応力度

a. 圧縮応力度 (σ_c)

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A_s}$$

b. 引張応力度 (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A_s}$$

N_c : 圧縮力

N_t : 引張力

A_s : 軸断面積

(3) 断面の検討

上弦材, 下弦材及びラチス材について, 軸方向の発生応力度が評価基準値 (短期許容応力度) を下回ることを確認する。各短期許容応力度は F 値に基づき求める。

a. 圧縮部材 : $\sigma_c / f_c \leq 1.0$

b. 引張部材 : $\sigma_t / f_t \leq 1.0$

σ_c : 圧縮応力度

σ_t : 引張応力度

f_c : 短期許容圧縮応力度

f_t : 短期許容引張応力度

7.4 評価結果

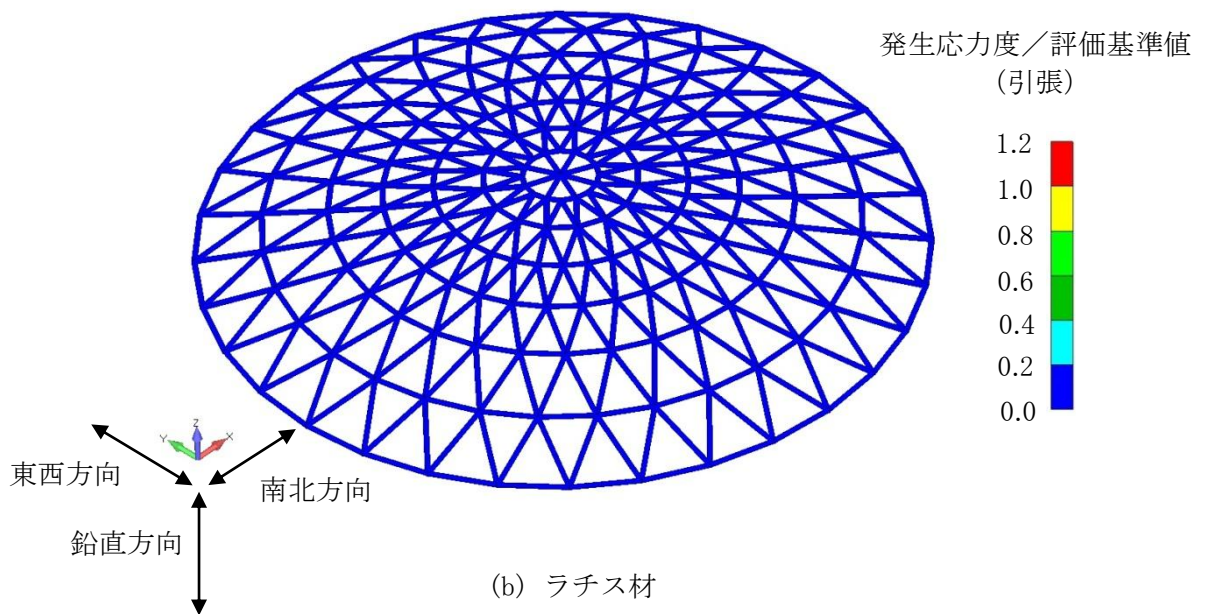
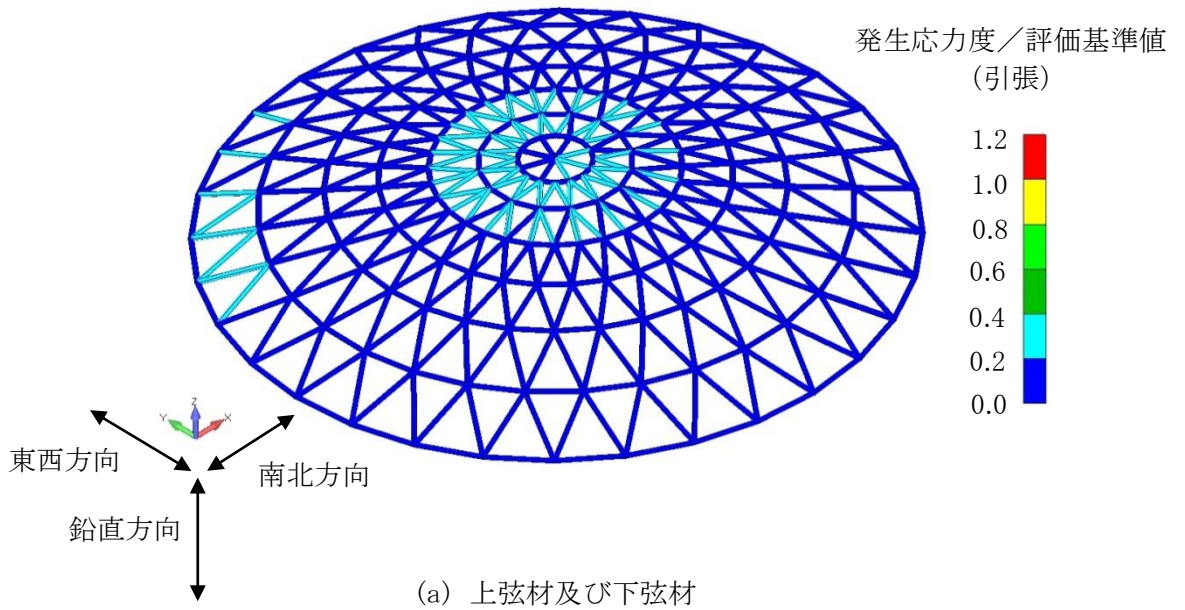
第7.4-1表に各部材の評価基準値に対する発生応力度の比(最大値)を、第7.4-1図及び第7.4-2図に評価基準値に対する発生応力度の比の分布を示す。

屋根トラスの上弦材、下弦材及びラチス材の発生応力度は評価基準値を下回っている。

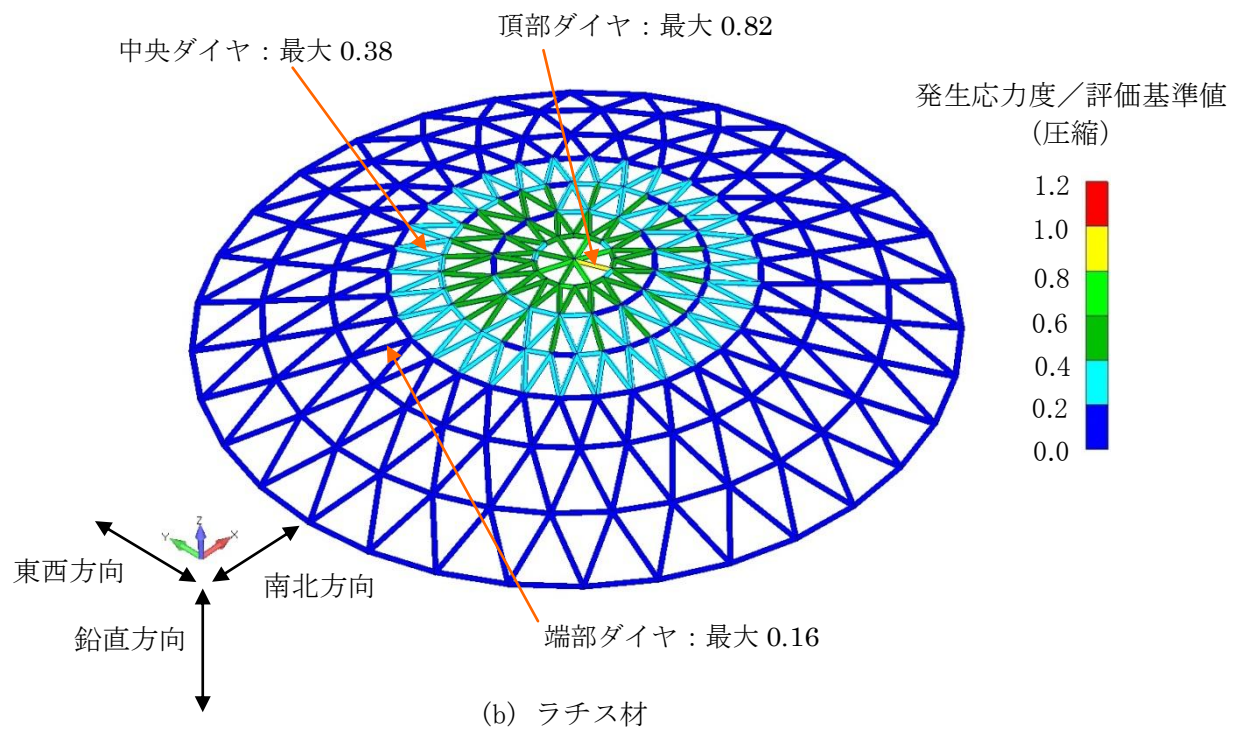
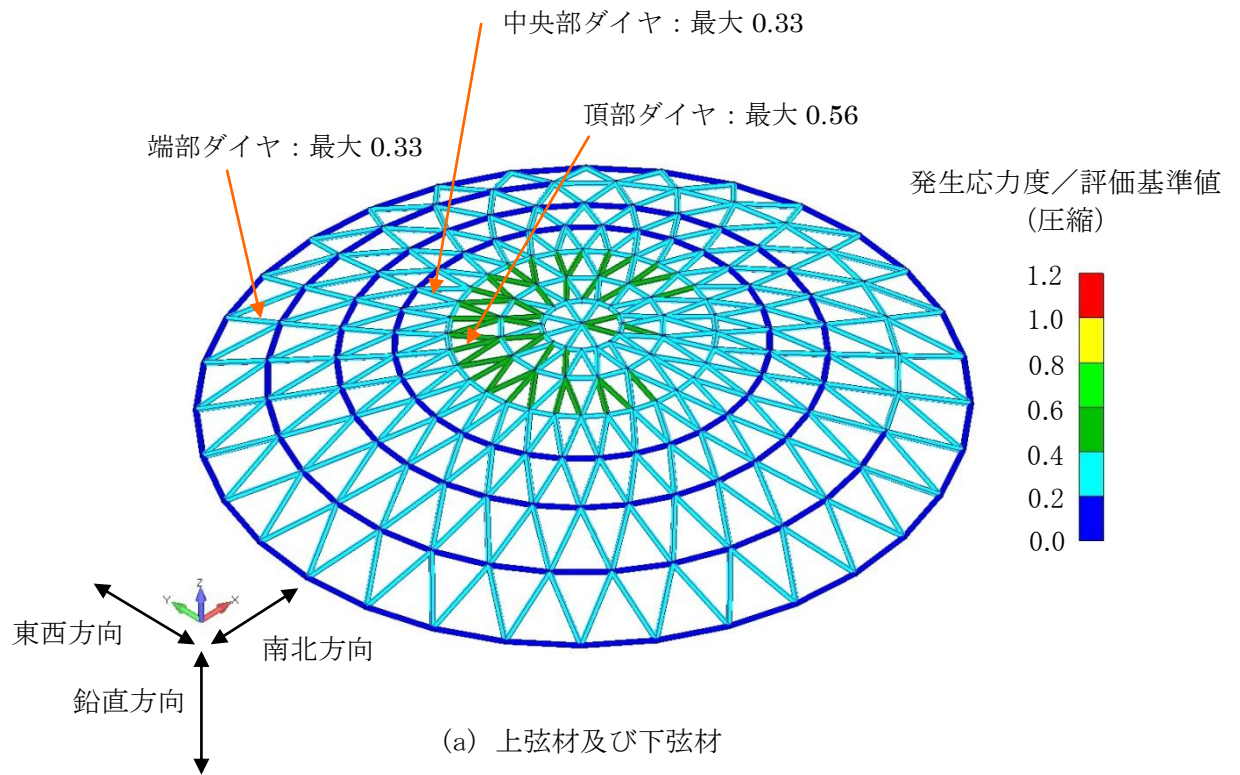
以上より、東北地方太平洋沖地震の発生時において、原子炉建家の屋根トラスの健全性は確保されていたことを確認した。

第7.4-1表 評価結果(発生応力度/評価基準値)

入力方向	部 材 (ダイヤ, リング)		発生応力度/評価基準値 (最大値)
南北 + 東西 + 鉛直	ラチス材	頂 部	0.82(圧縮)
		中央部	0.38(圧縮)
		端 部	0.16(圧縮)
	上弦材 下弦材	頂 部	0.56(圧縮)
		中央部	0.33(圧縮)
		端 部	0.33(圧縮)



第 7. 4-1 図 発生応力度／評価基準値の分布：引張



第 7.4-2 図 発生応力度/評価基準値の分布 : 圧縮