

高速増殖原型炉もんじゅ 「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 耐震安全性評価結果報告書（改訂版）の提出について

平成 18 年 9 月 20 日、経済産業省原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）より、改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下「新耐震指針」という。）に照らした耐震安全性の評価を実施するよう求める文書^{*1}が出され、原子力機構は、この指示に基づき、高速増殖原型炉もんじゅ（以下「もんじゅ」という。）の耐震安全性評価を実施してきました。また、平成 19 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震の反映として、経済産業大臣より、新潟県中越沖地震から得られる知見を耐震安全性の評価に適切に反映し早期に評価を完了する旨の指示、ならびに保安院より、平成 19 年 12 月 27 日^{*2}および平成 20 年 9 月 4 日^{*3}に、新潟県中越沖地震を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項の通知がありました。

平成 20 年 3 月 31 日には、地質調査結果、基準地震動 S_s の策定結果、施設等の耐震安全性評価結果を報告書に^{*4}とりまとめ、保安院および地元自治体に提出しました。

（平成 20 年 3 月 31 日 公表済み）

その後、国の委員会での審議を経て、平成 21 年 3 月 31 日^{*5}および平成 21 年 8 月 31 日^{*6}に基準地震動 S_s の見直しを行い、もんじゅの原子炉建物や安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの施設等について耐震安全性に関する評価を実施してきました。

（平成 21 年 3 月 31 日、8 月 31 日 公表済み）

原子力機構は、これまでの国の委員会^{*7}の審議を踏まえて、「高速増殖原型炉もんじゅの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耐震安全性評価結果報告書（改訂版）」を取りまとめ、本日、保安院および地元自治体に提出しました。

今般提出した耐震安全性評価結果報告書（改訂版）は、これまでの国の委員会において原子力機構が既に説明し審議された内容に基づき、さらに福井県原子力安全専門委員会におけるご意見等も踏まえ、平成 20 年 3 月 31 日に提出した報告書を改訂したものです。改訂内容は以下のとおりです。

1) 基準地震動 S_s の見直し

活断層評価の見直し、国の委員会の審議状況を反映して、基準地震動を 600gal から 760gal に見直すとともに、断層モデルに基づく基準地震動 S_s ^{*8}を追加しました。

2) 施設・設備等の耐震安全性評価

見直した基準地震動 S_s に基づき、原子炉建物や安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの施設やナトリウムを内包する主要な設備等、評価対象となる全施設の耐震安全性評価、および津波、基

礎地盤、斜面の安定性評価を実施し、施設の安全性が確保されていることを確認し取りまとめました。

また、平成21年2月20日の保安院からの指示^{※9}に基づき、原子炉建物・原子炉補助建物に加え主要かつ代表的設備について弾性設計用地震動Sd による評価を実施し、概ね弾性範囲内にあることを確認しました。この評価結果についても併せて提出しました。

原子力機構としましては、今後とも「もんじゅ」の耐震安全性をより一層確実なものにし、地域の皆様にご安心いただけるよう、真摯に取り組んでまいります。

以 上

- ※1：「「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設等の耐震安全性の評価等の実施について」(平成18年9月20日経済産業省原子力安全・保安院)
- ※2：「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項(中間とりまとめ)について」(平成19年12月27日経済産業省原子力安全・保安院)
- ※3：「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」(平成20年9月4日経済産業省原子力安全・保安院)
- ※4：高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書(平成20年3月31日)
- ※5：高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書追補版(平成21年3月31日)
- ※6：総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同WG Cサブグループ会合(第18回、平成21年8月31日開催)
- ※7：総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループCサブグループおよび構造ワーキンググループBサブグループ
- ※8：断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づき策定した基準地震動
- ※9：「耐震設計審査指針の改訂に伴う既設原子力施設の耐震安全性評価における弾性設計用地震動Sd による確認等について」(平成21年2月20日経済産業省原子力安全・保安院)

別添－1 高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 報告書改訂の概要

別添－2 高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価における弾性設計用地震動 Sd による確認結果報告書の概要

**高速増殖原型炉もんじゅ
「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
耐震安全性評価結果 報告書改訂の概要**

【改訂のポイント】

- これまでに、活断層評価の見直し、および国の委員会の審議状況を反映して平成 20 年 3 月に報告した基準地震動 S_s を見直しています。具体的には、応答スペクトルに基づく手法による地震動評価により策定した基準地震動 S_s-D を、昨年 3 月に 600 ガル（水平方向最大加速度）から 760 ガルに引き上げました。さらに、断層モデルを用いた手法による地震動評価が、一部の周期帯で基準地震動 S_s-D を上回ることから、基準地震動 $S_s-1 \sim S_s-9$ を断層モデル手法に基づく基準地震動として昨年 8 月に追加しました。
- これら見直した 10 組（水平方向および鉛直方向）の基準地震動 S_s に基づき、原子炉建物や安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの施設やナトリウムを内包する主要な設備等、評価対象となる施設の耐震安全性評価を実施しました。その結果、評価対象となる全ての施設の耐震安全性が確保されていることを確認しました。
- 活断層評価、基準地震動 S_s が見直されたことから、津波、基礎地盤の安定性、斜面の安定性についても再度評価を実施し、施設の安全性が確保されることを確認しました。

報告書改訂の概要は以下のとおりです。

1. 活断層評価

敷地周辺の活断層について、国の委員会の審議を反映し、活断層評価を表 1 及び図 1 のように見直しました。

表 1 「もんじゅ」敷地周辺の活断層評価一覧

断層名	断層長さ	
和布-干飯崎沖断層	約 42km	約 60km [※]
甲楽城断層	約 19km	
柳ヶ瀬断層	約 31km	
ウツロギ峠北方-池河内断層	約 23km	
浦底-内池見断層	約 18km	
白木-丹生断層	約 15km	
C 断層	約 18km	
野坂断層	約 12km	約 49km [※]
B 断層	約 21km	
大陸棚外縁断層	約 14km	
三方断層	約 27km	
敦賀断層	約 23km	

※同時活動を考慮

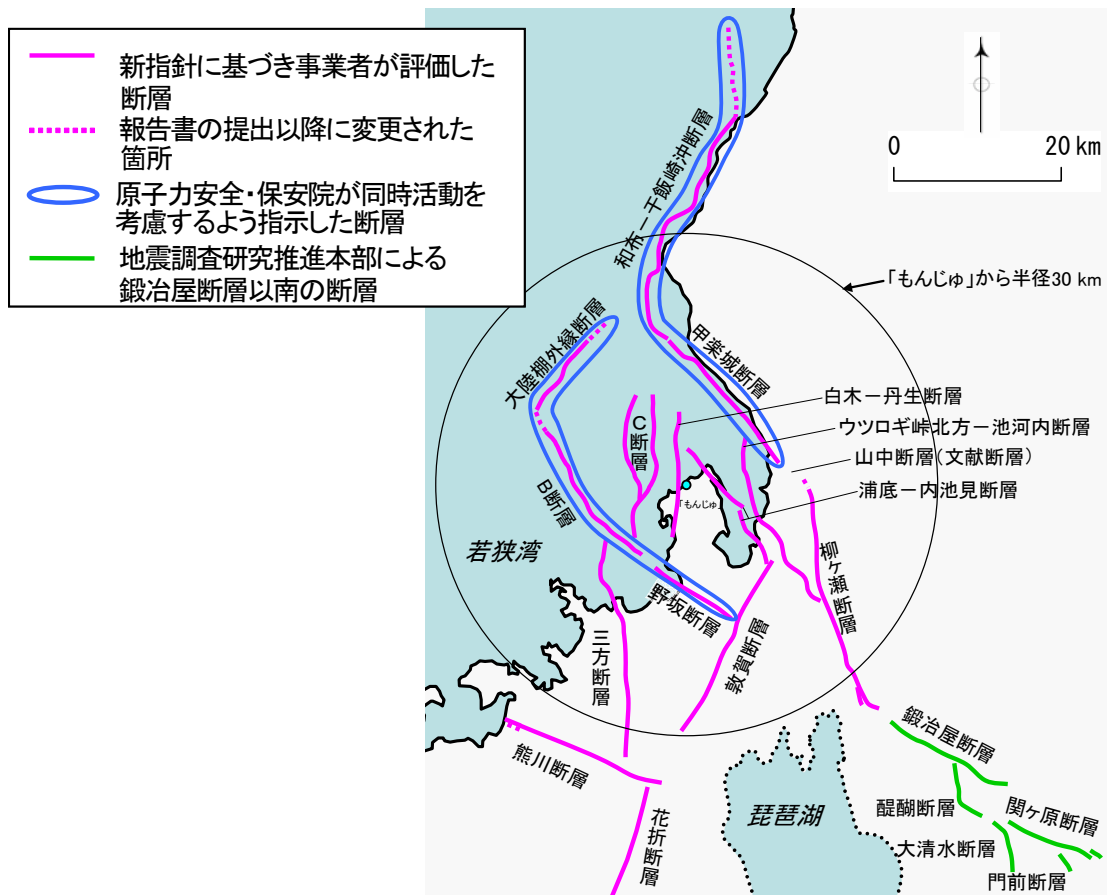


図1 「もんじゅ」敷地周辺の断層分布図

2. 基準地震動 S_s

活断層評価の見直し、国の委員会の審議を踏まえて基準地震動 S_s を以下の通り見直しました。

(1) 検討用地震

敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる地震（検討用地震）を表2の通り選定しました。

表2 選定した検討用地震

断層名	断層長さ	マグニチュードM
C断層	18km	6.9
白木-丹生断層	15km	6.8(6.9)*
浦底-内池見断層	18km	6.9
和布-干飯崎沖～甲楽城断層	60km	7.8
大陸棚外縁～B～野坂断層	49km	7.7

*: 長さが断層幅を下回らないように設定した16.2km(17.3km)から地震規模Mを評価

(2) 基準地震動 Ss

検討用地震を対象に、応答スペクトル手法及び断層モデル手法によって地震動を評価し、応答スペクトル手法に基づく基準地震動 Ss-D（水平方向の最大加速度値 760 ガル）と断層モデル手法に基づく基準地震動 Ss-1～Ss-9 を設定しました。設定した基準地震動を図 2、図 3 に示します。

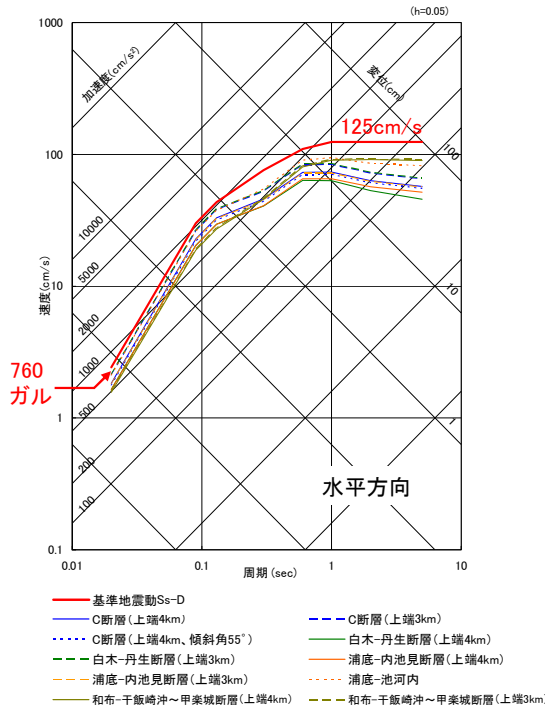


図 2 応答スペクトル手法に基づく基準地震動

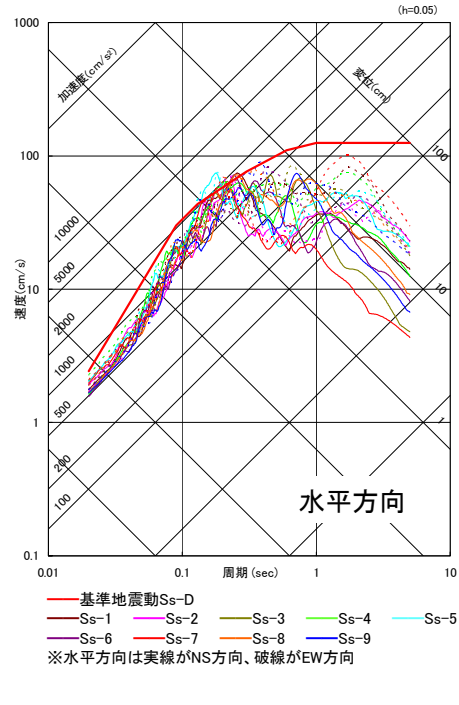


図 3 断層モデル手法に基づく基準地震動

3. 施設等の耐震安全性評価

見直した基準地震動 Ss（水平方向および鉛直方向）に基づき、安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価、機器・配管系の耐震安全性評価、原子炉建物基礎地盤の安定性評価、周辺斜面の安定性評価、屋外重要土木構造物の耐震安全性評価及び津波に対する安全性評価を実施しました。

その結果、耐震設計上重要な施設について、いずれも見直し後の基準地震動 Ss に対し安全機能が保持されることを確認しました。

(1) 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

「もんじゅ」の原子炉建物・原子炉補助建物及びディーゼル建物の評価では、見直した基準地震動 Ss に基づき、耐震設計上重要な施設の安全機能を保持する観点から、地震応答解析の結果による耐震壁のせん断ひずみを評価しました。

評価の結果、原子炉建物・原子炉補助建物及びディーゼル建物の耐震壁における最大せん断ひずみは表 3 のとおり、耐震安全性が確保されていることを確認しました。

図 4、図 5 に原子炉建物・原子炉補助建物の地震応答解析モデル及びせん断ひずみを示します。

表3 建物・構築物の耐震安全性評価結果

建物・構築物	評価部位	評価内容	発生値	評価基準値	判定
原子炉建物・ 原子炉補助建物	耐震壁	せん断ひずみ※ (-)	0.98×10^{-3}	2.0×10^{-3}	○
ディーゼル建物	耐震壁	せん断ひずみ※ (-)	0.38×10^{-3}	2.0×10^{-3}	○

※：変形の程度を示す指標で、上層と下層の間のせん断力による層間の変位を高さと除したもの。

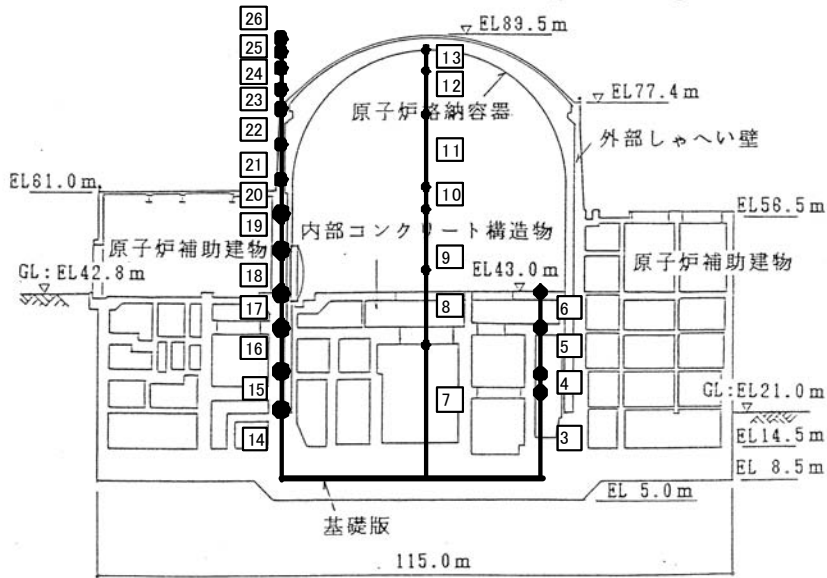
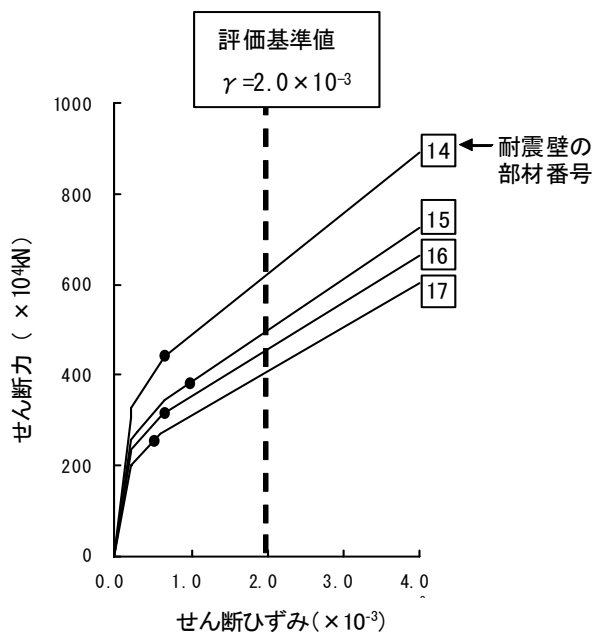


図4 原子炉建物・原子炉補助建物の断面と地震応答解析モデル



※1：せん断ひずみは、建物の各階ごとに評価しており、各階ごとの耐震壁頂部の変形を各階ごとの耐震壁の高さと除した値です。
 ※2：耐震壁のせん断ひずみ（図中の●）は、応答スペクトル波 Ss-D と断層モデル波 Ss-1～9 で最大のものを示しています。

図5 耐震壁のせん断ひずみ

(2) 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

耐震安全性評価では、原子炉を「止める」「冷やす」放射性物質を「閉じ込める」といった安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの設備だけでなくナトリウムを内包する主要な設備に対して評価を実施しました。見直した基準地震動 S_s に基づき、全評価対象の機器・配管（機器：約 100 機器、配管：約 240 ライン）の評価を行った結果、発生値は評価基準値を満足しており、設備の耐震安全性が確保されていることを確認しました。表 4 に主要設備の耐震安全性評価結果を示します。

表 4 主要設備の耐震安全性評価結果

主要設備	評価部位	評価内容	発生値 ^{※1}	評価基準値 ^{※2}	判定
原子炉格納容器	クレーン荷重発生部	応力 (MPa)	288	348	○
	下端部	応力 (MPa)	68	232	○
原子炉容器	上部フランジ	応力 (MPa)	92	436	○
	炉内構造取付部	応力 (MPa)	136	240	○
	下部サポート	応力 (MPa)	309	361	○
炉内構造物	支持構造物	応力 (MPa)	151	178	○
1 次主冷却系主配管	配管	応力 (MPa)	114	245	○
1 次主冷却系中間熱交換器	2 次出口ノズル	応力 (MPa)	126	223	○
	伝熱管	応力 (MPa)	176	231	○
	基礎ボルト	応力 (MPa)	115	361	○
1 次主冷却系循環ポンプ	吸込口	応力 (MPa)	173	257	○
	オーバーフローノズル	応力 (MPa)	49	257	○
	基礎ボルト	応力 (MPa)	47	341	○
補助冷却設備主配管	配管	応力 (MPa)	214	275	○
補助冷却設備空気冷却器	ダクト	モーメント (kN・mm)	5.25×10^5	7.61×10^5	○
制御棒の挿入性 ^{※3}	挿入性	変位 (mm)	36 ^{※4}	55 ^{※5}	○
2 次主冷却系主配管	配管	応力 (MPa)	213	260	○
2 次主冷却系循環ポンプ	吸込口	応力 (MPa)	164	231	○
	オーバーフローノズル	応力 (MPa)	57	231	○
	取付ボルト	応力 (MPa)	14	341	○
2 次主冷却系設備 蒸気発生器(蒸発器)	トリウム出口ノズル	応力 (MPa)	143	258	○
	スカート	応力 (MPa)	296	388	○
	基礎ボルト	応力 (MPa)	365	408	○

- ※1：基準地震動 S_s の発生値を示しています。発生値は、応答スペクトル波 S_s-D と断層モデル波 $S_s-1 \sim S_s-9$ で裕度（評価基準値/発生値）が最も小さいものを示しています。
- ※2：評価基準値とは、基準地震動 S_s に対する耐震安全性を確認するための許容値で、規格に準拠した値もしくは試験等で妥当性が確認された値です。構造強度の場合は材料毎に定められた許容応力等、動的機能維持評価の場合は試験で予め作動することが確認された確認済相対変位のことをいいます。
- ※3：挿入性とは、原子炉緊急停止時に制御棒が規定時間以内に挿入できることをいいます。具体的には、全ストロークの内、85%の範囲が1.2秒以内に挿入できることをいいます。
- ※4：制御棒の発生値は、解析によって得られた、基準地震動 S_s に対する「制御棒案内管」と炉心上部機構下端の「制御棒上部案内管」の相対変位の最大値です。
- ※5：制御棒の評価基準値 55 mm は、スクラム試験において、「制御棒案内管」と炉心上部機構下端の「制御棒上部案内管」に相対変位が 55 mm 発生していても、制御棒が規定時間以内に挿入できることを確認していることから、評価基準値として記載しています。

(3) 原子炉建物基礎地盤の安定性評価および周辺斜面の安定性評価

原子炉建物基礎地盤および周辺斜面について、見直した基準地震動 S_s に基づき動的な2次元有限要素法解析によって評価を行いました。表5に示すとおり、見直し後の基準地震動 S_s による地震力に対してもすべり安全率は評価基準値を満足しており、耐震安全性を有していることを確認しました。

表5 原子炉建物基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果

施設	評価内容	評価値	評価基準値	判定
原子炉建物基礎地盤	すべり安全率	9.4	1.5以上	○
周辺斜面 ※	すべり安全率	1.9	1.2以上	○

※：地震随伴事象として評価。検討対象とした斜面は下図に示す。

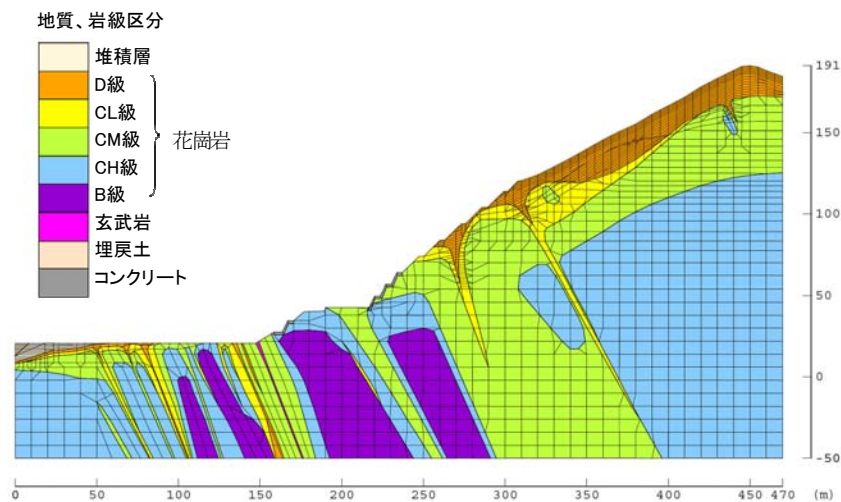
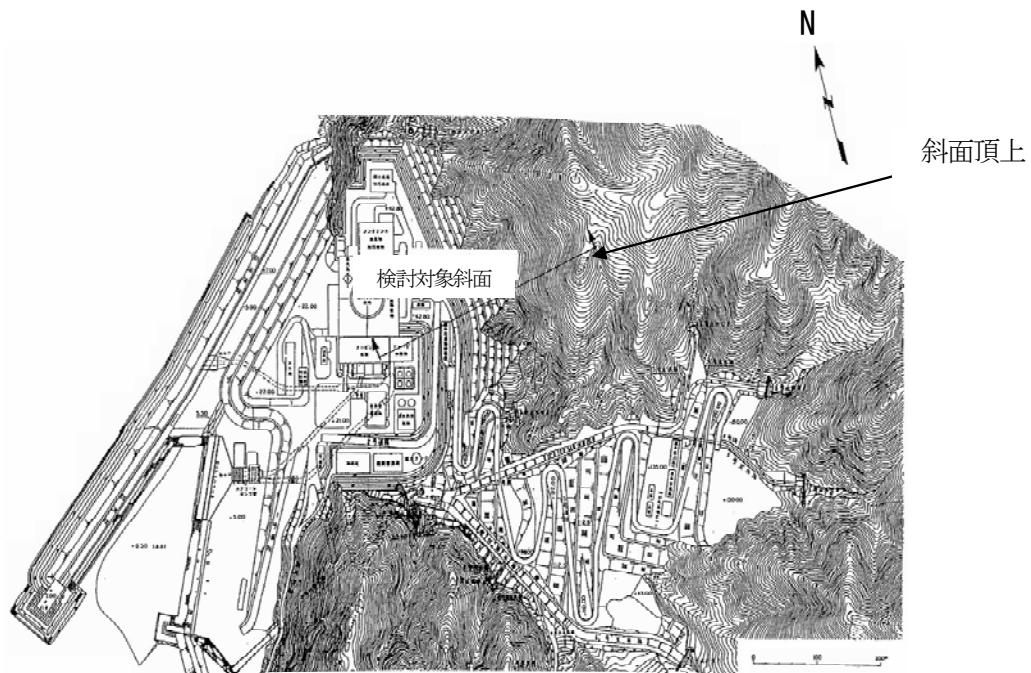


図6 検討対象斜面と解析モデル図

(4) 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

耐震設計上重要な機器・配管系を支持する屋外重要土木構造物について、地震時に機器・配管系の安全機能を保持するための耐震安全性を確認しました。見直した基準地震動 S_s に基づき評価を行った結果、発生値は評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認しました。評価結果を表6に、評価対象の屋外重要土木構造物を図7に示します。

表6 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価結果

施設	評価内容	発生値	評価基準値	判定
原子炉補機冷却系海水ポンプ室	せん断力 (kN)	1,624	2,072	○
送水管路カルバート部	せん断力 (kN)	2,628	3,162	○
送水管路トンネル部	せん断力 (kN)	401	517	○

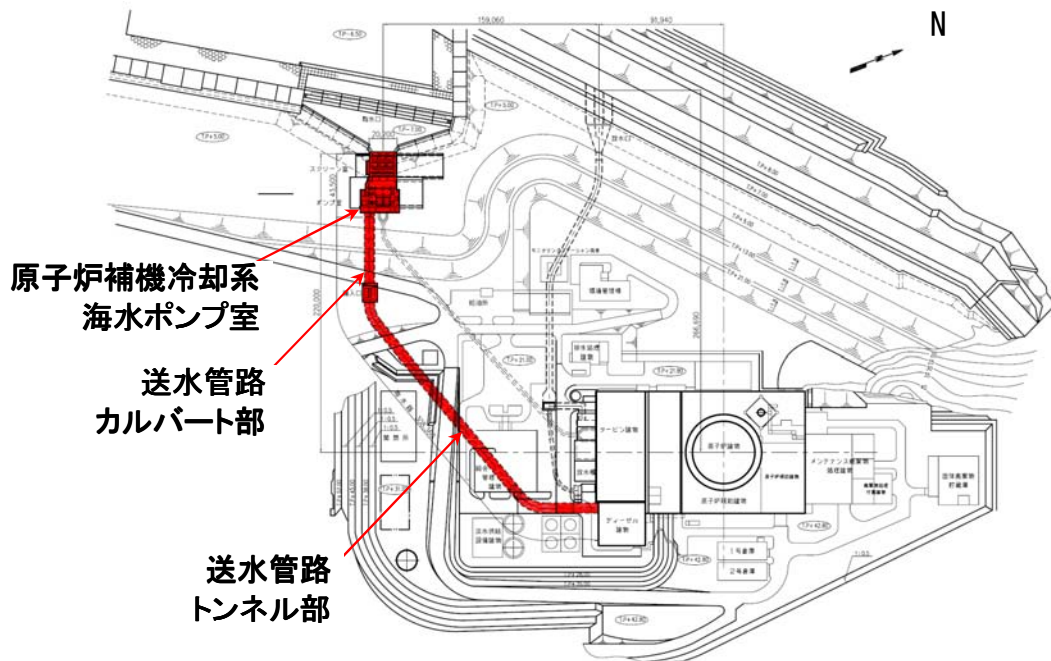


図7 評価対象の屋外重要土木構造物

(5) 地震随伴事象のうち津波に対する安全性評価

活断層評価の見直しを反映し、海域活断層において想定される地震に伴って発生する津波について数値シミュレーションを行いました。評価結果を表7に、津波評価の模式断面図を図8に示します。平成20年3月報告時に比べ、津波による水位上昇、低下は大きくなっていますが、この想定津波によっても、原子炉施設の安全性に問題のないことを確認しました。

表7 津波に対する安全性評価結果

	波源	発生値 (最高と最低)	評価対象と評価レベル※1		評価	
			対象	レベル	結果	説明
上昇側	大陸棚外縁～ B～野坂断層	T.P. +5.2m※2	原子炉施設 (敷地レベル)	T.P. +21.0m	○	津波による水位上昇に比較し敷地は十分高い。
			補機冷却海水ポンプ (防水壁のレベル)	T.P. +6.4m	○	防水壁を超えないため海水ポンプの機能は確保される。
下降側	大陸棚外縁～ B～野坂断層	T.P. -5.3m※3	補機冷却海水ポンプ (取水限界レベル)	T.P. -2.9m	○	炉心の崩壊熱除去には海水による冷却を必要としない。※4

※1：原子炉建物・原子炉補助建物、

総合管理棟建物、タンク類敷地レベル：T.P. +21.0m（公称値）

補機冷却海水ポンプ電動機設置レベル：T.P. +4.735m（公称値）

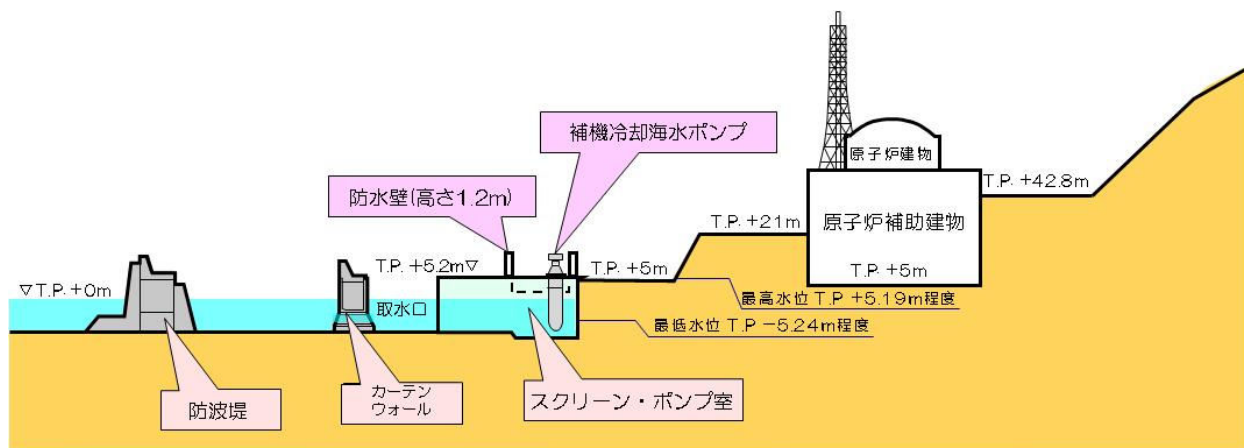
補機冷却海水ポンプ取水限界レベル：T.P. -2.97m（公称値）

防水壁上限レベル：T.P. + 6.40m（公称値）

※2：朔望平均満潮位（T.P. +0.42m）を考慮

※3：朔望平均干潮位（T.P. -0.03m）を考慮

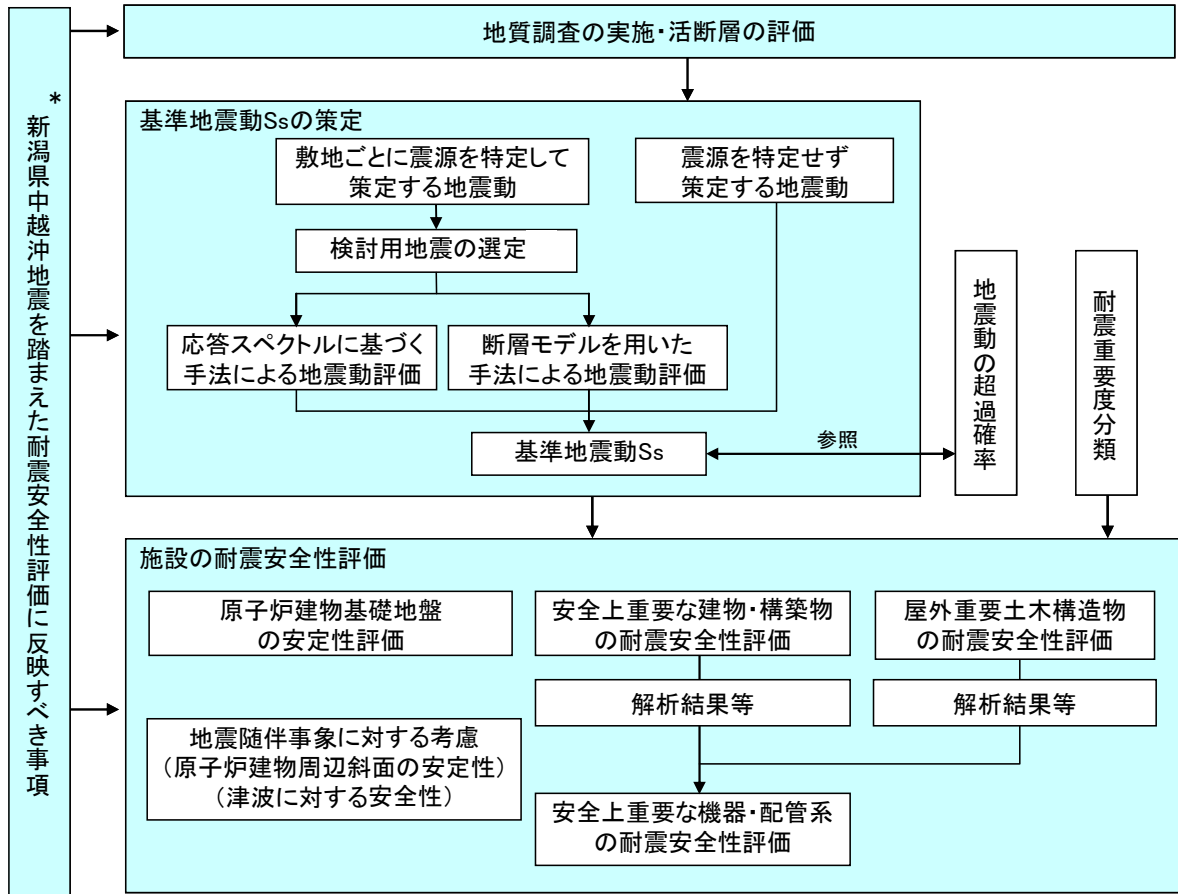
※4：取水限界を一時的に下回ったとしても、プラントとして「自然循環冷却」により炉心冷却が可能



※T.P.=東京湾平均海面

図8 津波評価 模式断面図

耐震安全性評価の手順



* : 「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項（中間取りまとめ）について」（平成 19 年 12 月 27 日経済産業省原子力安全・保安院）
 「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」（平成 20 年 9 月 4 日経済産業省原子力安全・保安院）

高速増殖原型炉もんじゅの耐震安全性評価における 弾性設計用地震動 Sd による確認結果報告書の概要

1. はじめに

平成 21 年 2 月 20 日、原子力安全・保安院より耐震設計審査指針の改訂に伴う既設原子力施設の耐震安全性評価の際に、主要な建物や代表的な設備に関して弾性設計用地震動 Sd による確認等を行うよう要請^{注1}がありました。

本指示に基づき、高速増殖原型炉もんじゅ(以下「もんじゅ」という。)の原子炉建物・原子炉補助建物および主要施設に関して弾性設計用地震動 Sd^{注2}による確認結果をとりまとめ、本日、原子力安全・保安院に結果を報告しました。

注 1: 「耐震設計審査指針の改訂に伴う既設原子力施設の耐震安全性評価における弾性設計用地震動 Sd による確認等について」
(平成 21 年 2 月 20 日 経済産業省原子力安全・保安院)

注 2: 弾性設計用地震動 Sd は施設の弾性設計に用いる地震動で、基準地震動 Ss を 0.5 倍したものです。

【報告のポイント】

- 「もんじゅ」の原子炉建物・原子炉補助建物について、弾性設計用地震動 Sd による地震応答解析を実施し、弾性設計用地震動 Sd による地震力に対して施設全体が概ね弾性範囲に留まっていることを確認しました。
- 「もんじゅ」の主要かつ代表的設備について評価を実施し、弾性設計用地震動 Sd による地震力に対して設備が評価基準値内にあり、概ね弾性範囲に留まっていることを確認しました。

2. 確認結果

2. 1 原子炉建物・原子炉補助建物

「もんじゅ」の原子炉建物・原子炉補助建物について、弾性設計用地震動 Sd を用いて解析した結果、耐震壁のせん断ひずみは、第一折点以下または第一折点近傍となっており(図中の●)、弾性設計用地震動 Sd による地震力に対して、新耐震設計審査指針が求める「概ね弾性範囲」^{注3}に留まっていることを確認しました。図 1 に耐震壁のせん断ひずみについて示します。

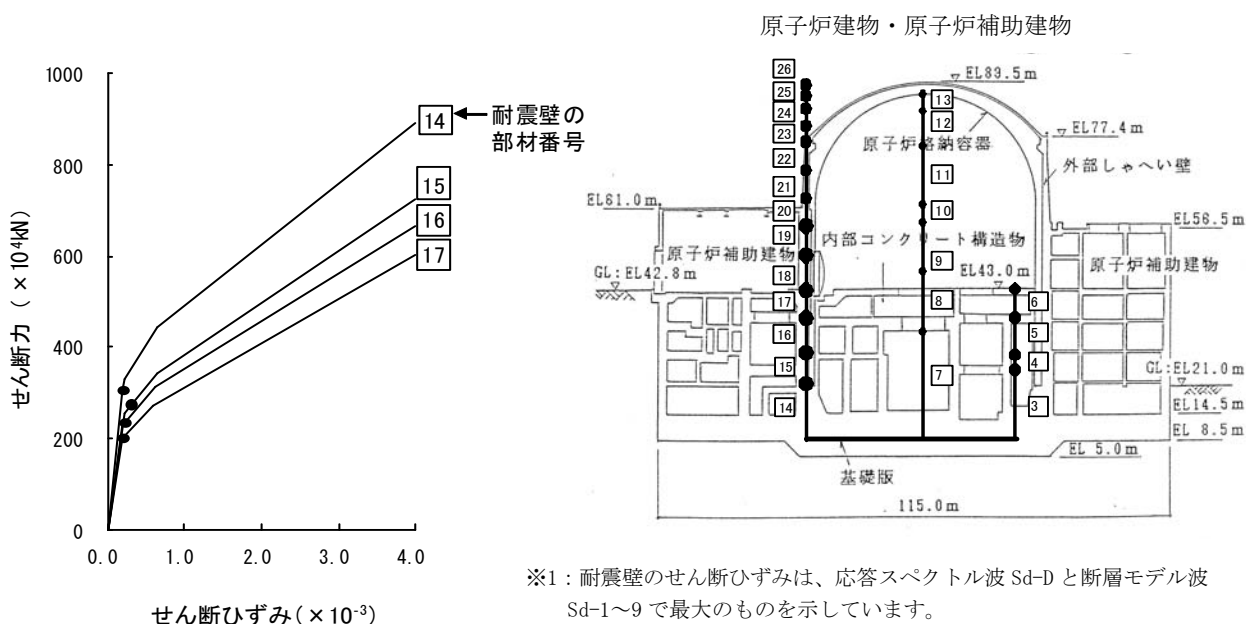


図 1 耐震壁のせん断ひずみ

※1: 耐震壁のせん断ひずみは、応答スペクトル波 Sd-D と断層モデル波 Sd-1~9 で最大のものを示しています。

※2: 耐震壁のせん断ひずみ-せん断力関係での第一折点はコンクリートのせん断ひび割れに相当、第二折点は鉄筋の降伏に相当します。

2. 2 主要施設

「もんじゅ」の主要かつ代表的設備について、基準地震動 S_s の地震力による発生値と評価基準値 $III_A S$ との比較、および弾性設計用地震動 S_d の地震力による発生値と評価基準値 $III_A S$ との比較をした結果、全て評価基準値 $III_A S$ 以内であり、新耐震設計審査指針が求める「概ね弾性範囲」^{注3}に留まっていることを確認しました。

注3：新耐震設計審査指針では『弾性範囲の設計とは、施設を弾性体とみなして応力解析を行い、施設各部の応力を許容限界以下に留めることをいう。なお、ここでいう許容限界とは、必ずしも厳密な弾性限界でなく、局部的に弾性限界を超える場合を許容しつつも施設全体として概ね弾性範囲に留まり得ることで十分である。』とされています。

表1 主要かつ代表的設備の評価結果

設備	評価部位	評価内容	発生値	評価基準値 ^{※1} $III_A S$
原子炉格納容器	クレーン荷重発生部	応力 (MPa)	288 ^{※2}	348
	下端部	応力 (MPa)	69 ^{※2}	232
原子炉容器	上部フランジ	応力 (MPa)	92 ^{※2}	246
	炉内構造取付部	応力 (MPa)	102 ^{※3}	128
	下部サポート	応力 (MPa)	172 ^{※3}	192
炉内構造物	支持構造物	応力 (MPa)	151 ^{※2}	178
1次主冷却系主配管	配管	応力 (MPa)	114 ^{※2}	147
1次主冷却系中間熱交換器	2次出口ノズル	応力 (MPa)	58 ^{※3}	117
	伝熱管	応力 (MPa)	80 ^{※3}	159
	基礎ボルト	応力 (MPa)	115 ^{※2}	361
1次主冷却系循環ポンプ	吸込口	応力 (MPa)	67 ^{※3}	128
	オーバーフローノズル	応力 (MPa)	49 ^{※2}	128
	基礎ボルト	応力 (MPa)	47 ^{※2}	341
補助冷却設備主配管	配管	応力 (MPa)	144 ^{※3}	165
補助冷却設備空気冷却器	ダクト	モーメント (kN・mm)	5.25×10^5 ^{※2}	7.61×10^5
2次主冷却系主配管	配管	応力 (MPa)	143 ^{※3}	156
2次主冷却系循環ポンプ	吸込口	応力 (MPa)	94 ^{※3}	120
	オーバーフローノズル	応力 (MPa)	57 ^{※2}	120
	取付ボルト	応力 (MPa)	14 ^{※2}	341
2次主冷却系設備 蒸気発生器(蒸発器)	スカート	応力 (MPa)	157 ^{※3}	213

※1：評価基準値 $III_A S$ とは概ね弾性範囲であることを示す許容値。

※2：基準地震動 S_s の地震力による発生値

応答スペクトル波 S_s-D と断層モデル波 $S_s-1 \sim S_s-9$ で裕度(評価基準値/発生値)が最も小さいものを示しています。

※3：弾性設計用地震動 S_d の地震力による発生値

応答スペクトル波 S_d-D と断層モデル波 $S_d-1 \sim S_d-9$ で裕度(評価基準値/発生値)が最も小さいものを示しています。