

「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  
伊方発電所3号機の耐震安全性評価結果の報告について

21.2.2

原子力安全対策推進監

(内線 2352)

本日、四国電力(株)から、安全協定第10条第4項第1号の規定に基づき、標記報告書の提出がありましたので、お知らせします。

県としては、今後、技術専門部会において、国、四国電力(株)から説明を受けるなど、伊方発電所の耐震安全性を確認することとしています。

## 『伊方発電所3号機「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』報告書の概要

## I はじめに

平成18年9月19日付けで原子力安全委員会により「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」が改訂（以下、「新耐震指針」という。）されました。これに伴い、同月、原子力安全・保安院（以下、「保安院」という。）から既設プラントについても新耐震指針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が発出され、当社は、伊方発電所の耐震安全性評価を行ってきました。

その後、平成19年7月に新潟県中越沖地震が発生し、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適切に反映し早期に耐震安全性評価を完了する旨の指示があり、平成19年12月27日には、保安院より、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（中間取りまとめ）の通知がありました。

平成20年3月28日、当社は、伊方発電所における地質調査結果、基準地震動 $S_s$ の策定結果、伊方発電所を代表して3号機における主要施設に対する耐震安全性評価結果に関する中間報告を取りまとめ、保安院に提出しました。

中間報告後、平成20年9月4日に保安院からの「新潟県中越沖地震の知見を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項」の追加指示や現在までの中間報告についての審議結果等を反映して、伊方発電所3号機の耐震安全性評価結果報告書（以下、「3号機本報告書」という。）を取りまとめ、本日、平成21年2月2日、保安院に提出しました。

## 【3号機本報告書のポイント】

- ①これまで実施してきた各種地質調査によるデータの再整理および拡充を行うとともに、新潟県中越沖地震で得られた知見も含め、新耐震指針に照らして評価した結果、新たに考慮すべき大規模な断層はなかった。
- ②新潟県中越沖地震で得られた知見（震源特性、地下構造特性等の考慮）も含め、新耐震指針に照らして、不確かさを考慮して安全側に地震動評価を行って策定した結果、基準地震動 $S_s$ の最大加速度は570ガルとなった。この基準地震動に最も影響がある地震は、これまでと同様、敷地前面海域の断層群による地震である。
- ③今回策定した基準地震動 $S_s$ に対して、伊方発電所3号機の原子炉建屋基礎地盤や安全上重要な全ての設備（耐震重要度分類Sクラス）の耐震安全性に問題がないことを確認した。また、安全上重要な施設の周辺斜面は崩壊しないことおよび津波が発電所施設に影響を及ぼさないことも確認した。

## II 新耐震指針に照らした耐震安全性評価

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も考慮し、これまで実施してきた各種地質調査等のデータの再整理および拡充を行い、新耐震指針に照らして、この結果を用いて基準地震動 $S_s$ を策定し、安全上重要な建物・構築物や機器・配管系の耐震安全性評価を実施するとともに、あわせて地震随伴事象について検討を行いました。（「参考図」参照）

## 1. 地質調査【中間報告で報告済（今回、宇和海調査結果を反映）】

## 1.1 地質調査の実施

当社は、新耐震指針を先取りして実施した各種地質調査データの再整理および拡充を行いました。主な調査項目は以下のとおりです。

- (1) 陸域調査
  - ・空中写真判読による断層変位地形の抽出（いわゆる変動地形学的調査）
  - ・陸域の詳細な地質構造の調査
- (2) 海域調査
  - ・海域の詳細な海底地形の調査
  - ・各種音源を用いた海上音波探査による、海底下浅部から深部に至る地質構造の調査
- (3) 海陸にまたがる調査
  - ・ヘリコプターを用いた重力測定による深部構造の調査
- (4) 敷地遠方の調査
  - ・ボーリング、トレンチ、反射法地震探査等による陸域の中央構造線断層帯の調査

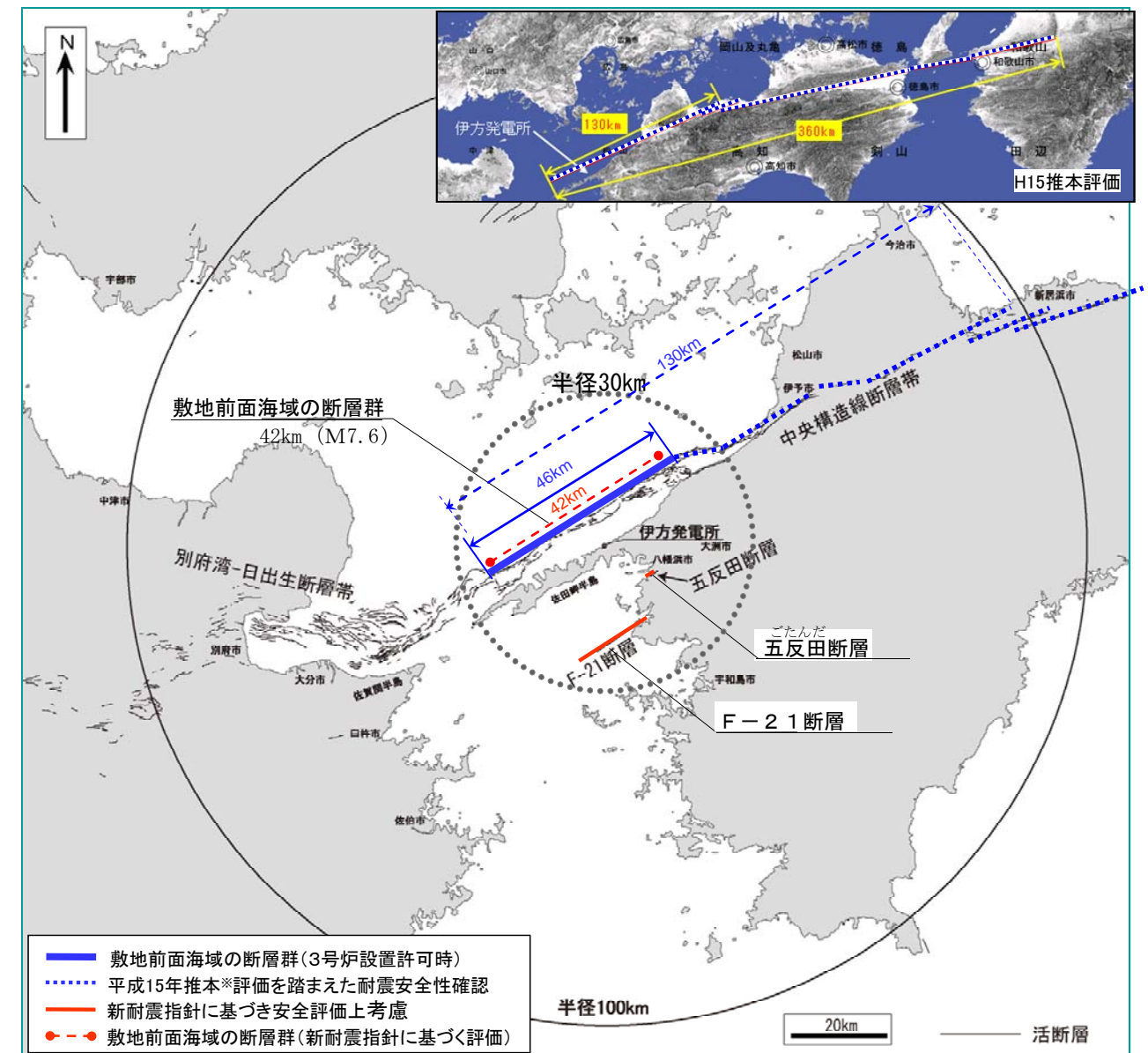
## 1.2 活断層の評価

3号炉設置許可時以降の文献調査結果や前記地質調査結果を基に、さらには「新耐震指針」や「新潟県中越沖地震の知見を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項」を考慮の上、安全側に評価を行いました。新たに考慮すべき大規模な断層はありませんでした。

小規模なものではありますが、従来の活断層評価を変更したものは以下のとおりです。

- (1) 新耐震指針では、活断層評価対象期間が5万年前から12～13万年前までに変更になったことから、宇和海に分布するF-21断層を活断層と評価しました。
- (2) 新耐震指針で示された変動地形学的調査等を受け、八幡浜市の五反田断層を安全側に活断層と見なし評価しました。

なお、伊方発電所の位置する四国北西部は、中越沖のようないわゆる「ひずみ集中帯」に位置しておらず、また、中越沖で検討されているような「断層関連褶曲」が存在しないことを確認しました。（図-1参照）



※推本：地震調査研究推進本部

【図-1 新耐震指針に照らした耐震安全性評価において考慮する断層】

## 2. 基準地震動 S s の策定【中間報告で報告済（今回、2.2（3）項の検討を追加）】

新耐震指針に基づき、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」および「震源を特定せず策定する地震動」のそれぞれについて地震動評価を実施しました。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動については、敷地周辺の断層や歴史地震等の調査結果に基づき、敷地に特に大きな影響を与えると予想される「検討用地震」として、敷地前面海域の断層群による地震、想定南海地震、想定敷地下方のプレート内地震を選定しました。選定した地震の地震動評価を行った結果、伊方発電所に最も影響を与える地震は、これまでと同様、敷地前面海域の断層群（中央構造線断層帯）による地震です。（図-2 参照）

なお、敷地前面海域の断層群を含む中央構造線断層帯については、地震調査研究推進本部の評価（活動区間については130km および360km、規模についてはマグニチュード（M）8 もしくはそれ以上）を考慮した検討を行い、断層長さが長くなっても敷地への影響が変わらないことを確認しています。

### 2.1 旧耐震指針に基づいた地震動評価

敷地前面海域の断層群と敷地との位置関係が約8km と近いことから、破壊の伝播方向等の影響を考慮できる断層モデルを用いた手法による地震動評価を行い、その結果を包絡するように基準地震動 S 2（最大加速度：473ガル）を策定しました。

なお、当時の、震源を点として評価する応答スペクトルに基づく手法（大崎スペクトル）は、敷地前面海域の断層群が敷地に近いため適用範囲外でした。

### 2.2 新耐震指針に基づく地震動評価

#### （1）基本震源モデルにおける地震動評価（応答スペクトルに基づく手法の取り入れ）

近年、原子力発電所の耐震設計で用いられている応答スペクトルに基づく地震動評価手法は、震源の面的な広がりや考慮できるものとなっており、適用限界はあるものの、従来の大崎スペクトルに比べ、断層近傍での適用が可能な手法とされています。

新耐震指針では、応答スペクトルに基づく地震動評価および断層モデルを用いた手法による地震動評価の双方を実施するよう規定されましたので、応答スペクトルに基づく地震動評価も実施しました。

（図-3 参照）

#### （2）評価上の不確かさを考慮

新耐震指針では、基準地震動 S s の策定過程に伴う不確かさについて、適切な手法を用いて考慮することが規定されました。

そこで、敷地前面海域の断層群は横ずれ断層であり、基本的には鉛直な断層面ですが、地質境界としての中央構造線が北に傾斜していることを考慮し、断層面を傾斜させて地震規模を大きくするなど、評価条件に不確かさを考慮して地震動評価を行った結果、一部、基準地震動 S 2 を上回りました。

（図-4 参照）

#### （3）新潟県中越沖地震の知見を踏まえた検討

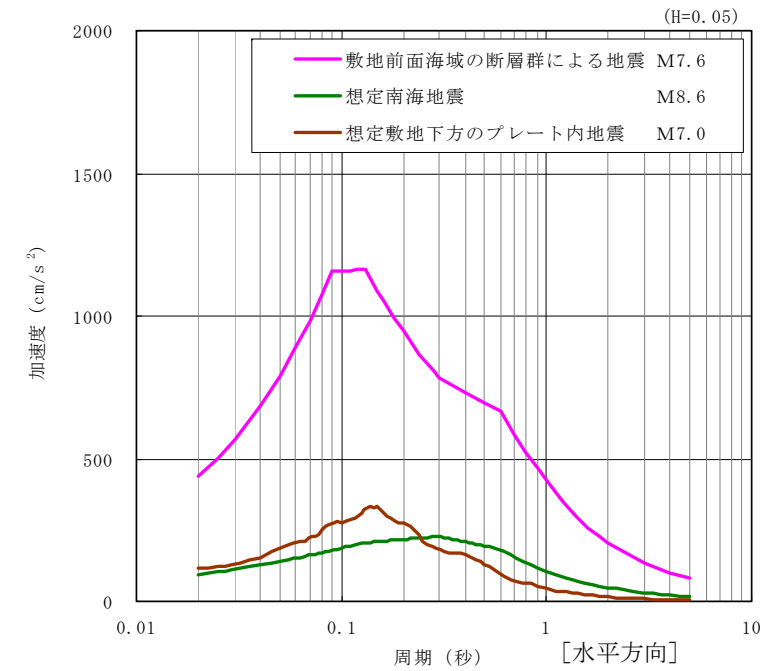
3号機本報告書では、さらに新潟県中越沖地震の知見を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項に関する検討を実施しました。

##### 1) 震源特性に関する検討

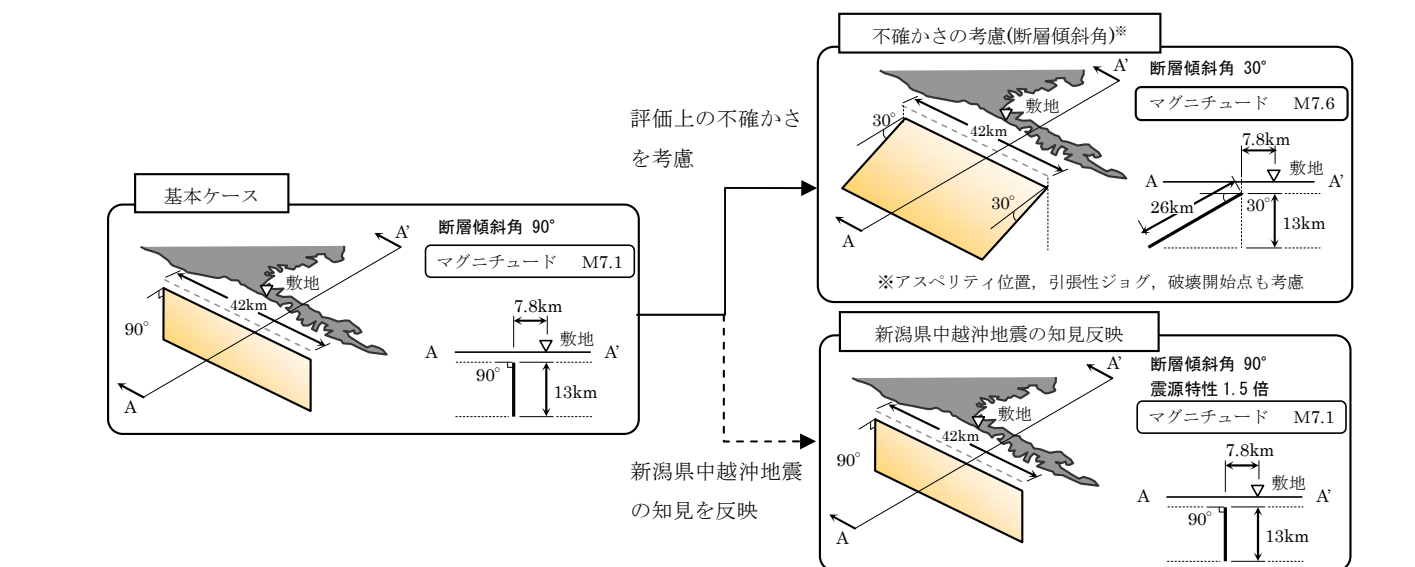
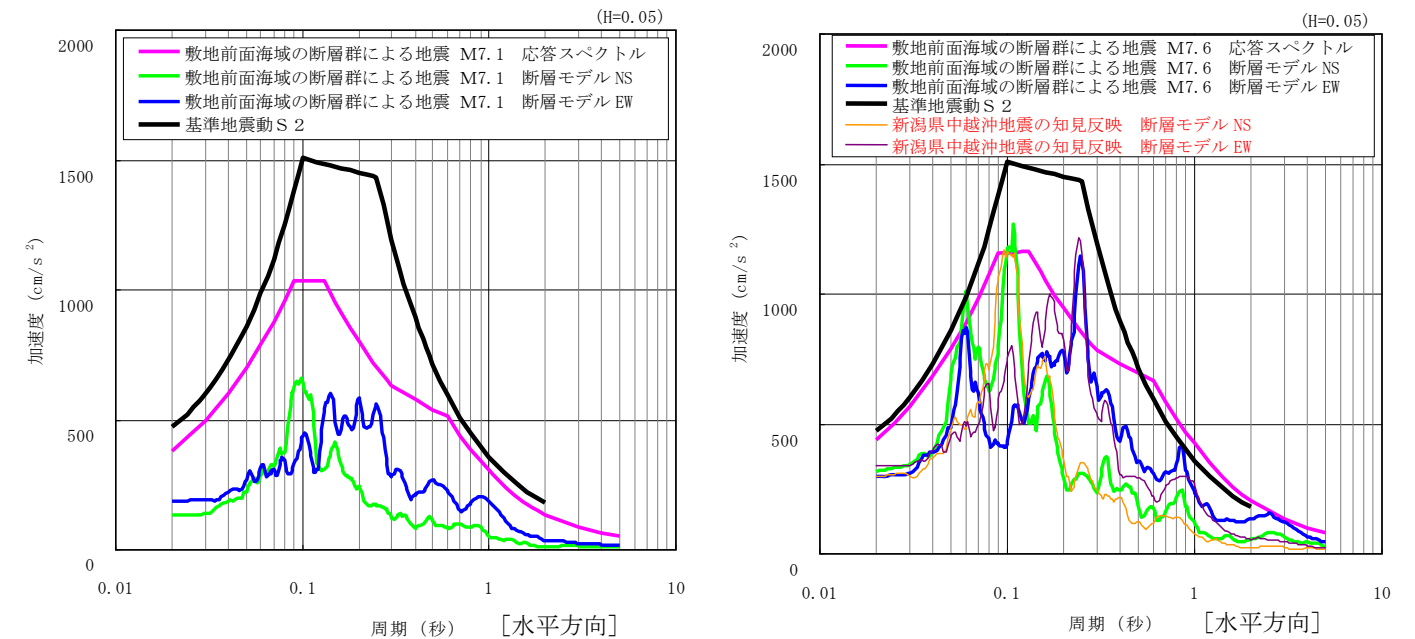
不確かさとして、震源特性を基本ケースに対して1.5倍としたケースの検討を行いました。その結果、本ケースに基づく敷地前面海域の断層群によってもたらされる地震動は、他の不確かさを考慮した地震動と同程度となりました。（図-4 参照）

##### 2) 地下構造特性に関する検討

過去の地震観測記録を分析する等して、地震の到来方向や地盤構造によって特異な増幅が見られるか否かの検討を行いました。その結果、伊方発電所の敷地地盤は、観測記録の分析でも特異な増幅特性および速度構造を有するものではないと評価されることから、新潟県中越沖地震の地震動増幅の要因とされている不整形地盤には該当しないものと考えます。



【図-2 検討用地震による地震動評価】



【図-3 応答スペクトル・断層モデルに基づく地震動評価】

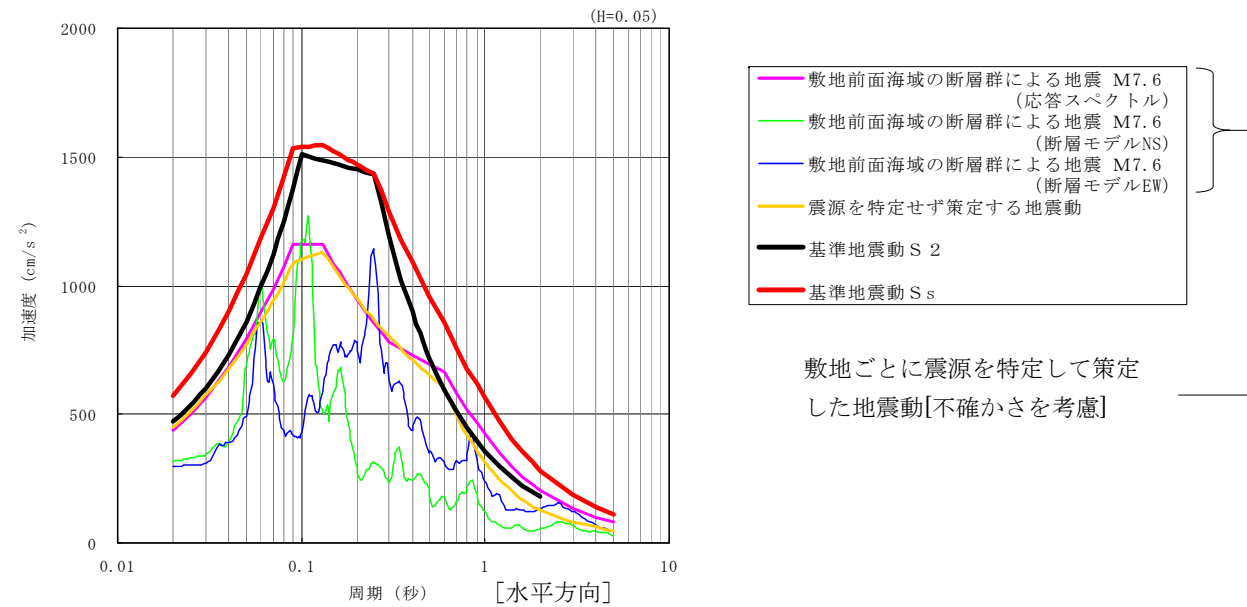
【図-4 不確かさを考慮した地震動評価】



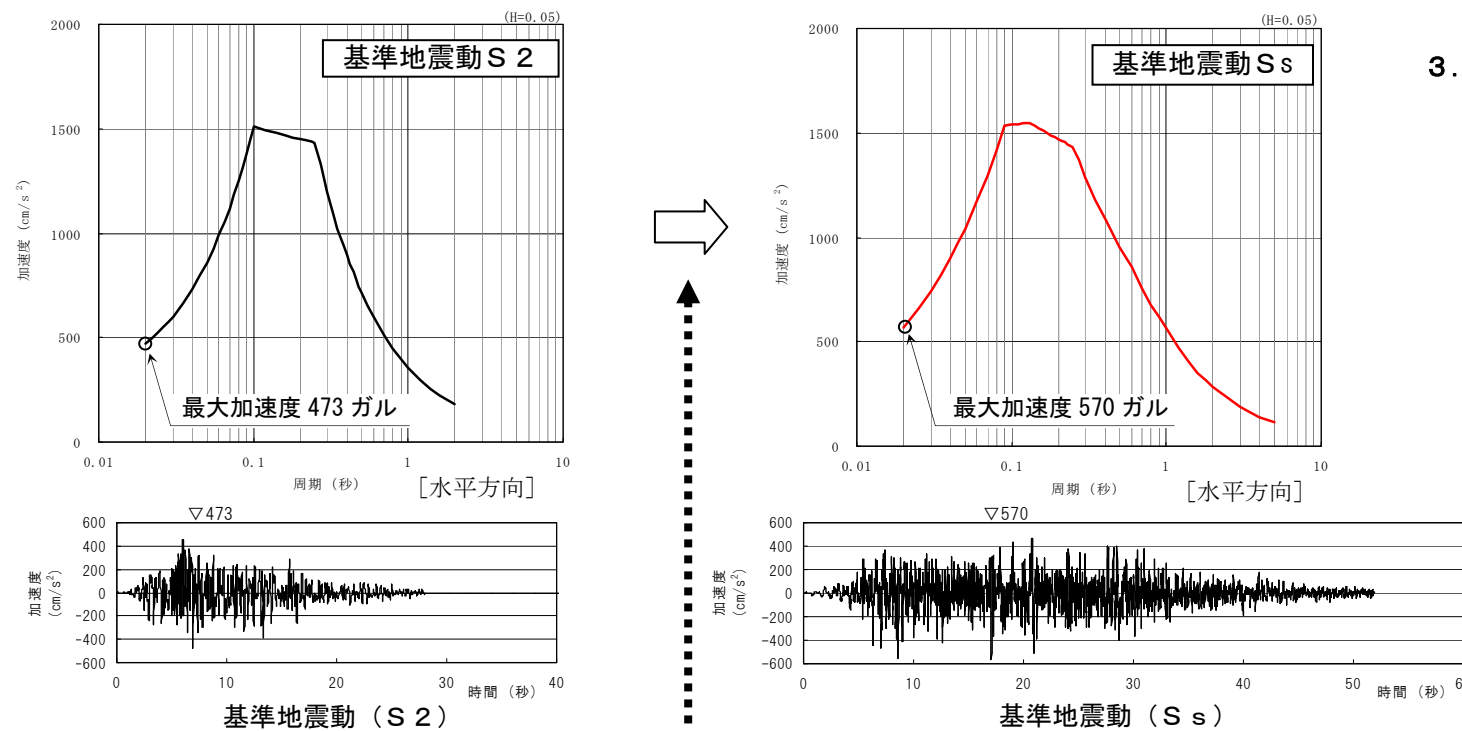
### 2.3 基準地震動 S s の策定

基準地震動 S s は、前述のように不確かさを考慮して策定した「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と、最新の知見に基づき策定した「震源を特定せず策定する地震動」、さらには、旧耐震指針に基づく基準地震動 S 2（最大加速度：473ガル）も包絡するように設定したところ、最大加速度は570ガルとなりました。なお、「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」を考慮しても、中間報告書において策定した基準地震動 S s（最大加速度：570ガル）からの変更はありません。（図-5、6参照）

また、参考として敷地における地震動の超過確率に照らしたところ、基準地震動 S s を超えるような地震動が発生する確率は  $10^{-5}$ /年程度と非常に小さなものとなっています。



【図-5 基準地震動 S s の策定】



○新耐震指針に基づく地震動評価において  
 (1) 応答スペクトルに基づく手法を取り入れ  
 (2) 評価上の不確かさを考慮（地震規模のアップほか）  
 (3) 不確かさを考慮して策定した地震動評価結果および基準地震動 S 2 を包絡

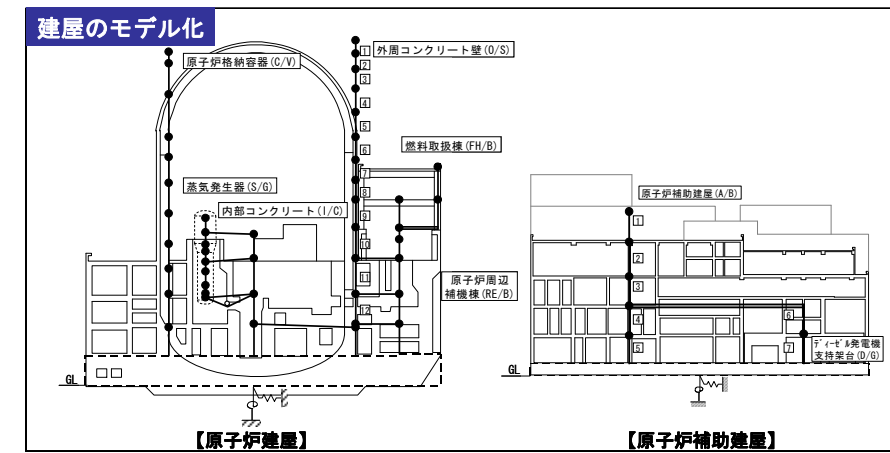
【図-6 基準地震動の最大加速度の変更要因】

### 3. 施設等の耐震安全性評価（今回、全ての評価対象施設等に対する評価を実施）

#### 3.1 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

3号機の安全上重要な設備（耐震重要度分類 S クラス）を内包する原子炉建屋および原子炉補助建屋について、耐震安全性評価を実施しました。評価に当たっては、建屋の剛性および振動特性等を適切に考慮した地震応答解析モデルを策定し、基準地震動 S s による地震応答解析を実施し、耐震壁のせん断ひずみを評価しました。

評価の結果、各建屋における耐震壁の最大応答せん断ひずみは評価基準値以下であり、耐震安全性が確保されていることを確認しました。（図-7、9参照）



対象施設	対象部位	最大応答せん断ひずみ	評価基準値	結果
原子炉建屋	耐震壁	$0.63 \times 10^{-3}$ (部材 10)	$2.0 \times 10^{-3}$	良
原子炉補助建屋	耐震壁	$0.84 \times 10^{-3}$ (部材 4)	$2.0 \times 10^{-3}$	

【図-7 建物・構築物の耐震安全性評価結果】

#### 3.2 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

3号機の安全上重要な機能を有する全ての設備（耐震重要度分類 S クラス）について、耐震安全性評価を実施しました。評価に当たっては、内圧、自重等の通常荷重に加え、基準地震動 S s による地震時荷重増分等を考慮し、工事計画認可申請時の設計手法等に基づき評価した結果、全ての設備の構造強度（発生応力、荷重等）および動的機能維持（設備の地震時応答加速度、制御棒にあっては挿入時間）については、評価基準値以下であり、耐震安全性が確保されていることを確認しました。

3号機の耐震重要度分類 S クラスの設備のうち、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主要な設備の評価結果例を示します。（表-1、図-8、9参照）

【表-1 安全上重要な機能を有する主要な設備の評価結果】

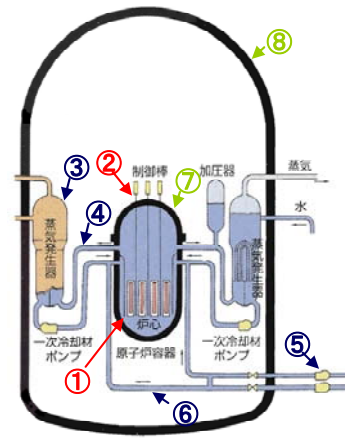
区分	設備	評価部位	単位	発生値	評価基準値	結果
止める	①炉内構造物	ラジアルサポート (ラジアルキー)	応力[MPa]	258	372	良
	②制御棒(挿入性)	-	時間[秒]	2.23	2.5	
冷やす	③蒸気発生器	給水入口管台	応力[MPa]	259	413	
	④一次冷却材管	充てん管台	応力[MPa]	170	383	
	⑤余熱除去ポンプ	原動機取付ボルト	応力[MPa]	22	210	
	⑥余熱除去設備 配管	配管本体	応力[MPa]	234	401	
閉じ込める	⑦原子炉容器	出口管台	応力[MPa]	266	422	
	⑧原子炉格納容器	本体(胴)	- (座屈評価)	0.88*	1.0	

※：座屈に対する評価式により、発生値は評価基準値に対する比率で示す。

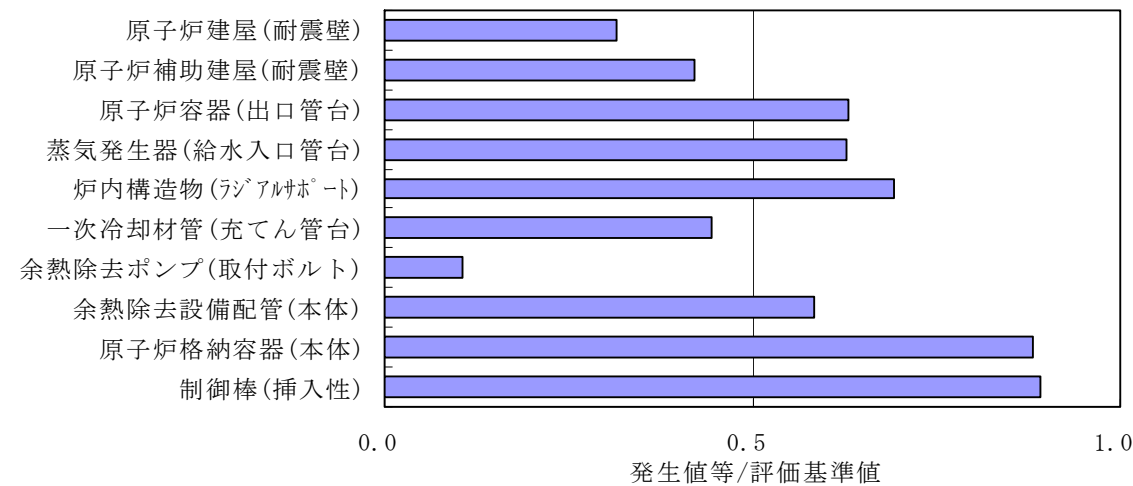
○評価結果例（3号機）

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重要度分類Sクラスの主要な設備**

- ①炉内構造物 (止める)
- ②制御棒 (挿入性) (止める)
- ③蒸気発生器 (冷やす)
- ④一次冷却材管 (冷やす)
- ⑤余熱除去ポンプ (冷やす)
- ⑥余熱除去設備配管 (冷やす)
- ⑦原子炉容器 (閉じ込める)
- ⑧原子炉格納容器 (閉じ込める)



【図-8 安全上重要な機能を有する主要な設備】



【図-9 主要な施設等の耐震安全性評価結果】

3.3 原子炉建屋基礎地盤・周辺斜面の安定性評価

3号機の原子炉建屋基礎地盤および周辺斜面について、安定性評価を実施しました。評価に当たっては、基準地震動Ssによる地震応答解析等を実施し、想定すべり面のすべり安全率を評価基準値と比較することによって、安定性の評価を行いました。

評価の結果、原子炉建屋基礎地盤および周辺斜面のすべり安全率は、評価基準値以上であり、安定性に問題のないことを確認しました。(表-2参照)

【表-2 原子炉建屋基礎地盤・周辺斜面の安定性評価】

	すべり安全率	評価基準値	結果
原子炉建屋基礎地盤	2.0	1.5	良
周辺斜面	2.1	1.2	

3.4 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

3号機の耐震重要度分類Sクラスの機器・配管系を支持している屋外重要土木構造物（原子炉補機冷却海水系の海水ピットポンプ室（海水ポンプ基礎）および海水管ダクト）について、耐震安全性評価を実施しました。評価に当たっては、基準地震動Ssによる地震応答解析等を実施し、各発生値と評価基準値とを比較することにより、耐震安全性評価を行いました。

評価の結果、各発生値は評価基準値以下であり、耐震安全性が確保されていることを確認しました。(表-3参照)

【表-3 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価】

評価対象施設	照査項目	単位	発生値	評価基準値	結果
海水ピットポンプ室	曲げに対する照査（鉄筋）	N/mm <sup>2</sup>	341.7	345	良
	せん断に対する照査（コンクリート）	N/mm <sup>2</sup>	0.27	0.88	
海水管ダクト	曲げに対する照査（曲げモーメント）	kN・m	113.9	159.8	
	せん断に対する照査（せん断力）	kN	165.2	386.9	

3.5 津波に対する安全性評価

伊方発電所周辺の海域において想定される地震に伴う津波の数値シミュレーションを実施しました。その結果、上昇側（押し波）最高水位は敷地高さ以下であり、原子炉施設の安全性に問題ないことを確認しました。また、下降側（引き波）最低水位は3号機の海水ポンプ設計最低水位以上であり、炉心冷却関連機能を有する原子炉補機冷却海水設備は取水可能であることから、地震時の原子炉安全性に問題がないことを確認しました。(表-4参照)

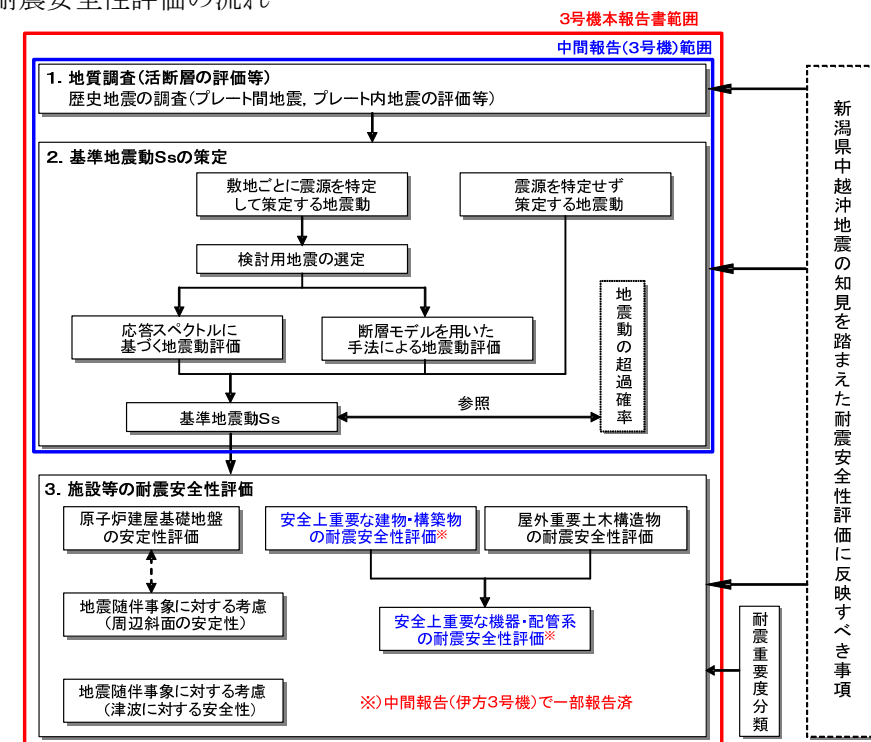
【表-4 津波に対する安全性評価】

	水位	評価基準値	結果
上昇側最高水位（押し波の場合）	T. P. +2.30m	T. P. +10.0m (敷地高さ)	良
下降側最低水位（引き波の場合）	T. P. -2.36m	T. P. -3.57m (海水ポンプ設計最低水位)	

(注) T. P. : 標高

以上

【参考図】耐震安全性評価の流れ



耐震安全性評価の評価対象施設等

施設等の内訳	評価対象施設等
基礎地盤	原子炉建屋基礎地盤
建物・構築物	原子炉建屋, 原子炉補助建屋
機器・配管系	原子炉本体, 原子炉冷却系統設備, 計測制御系統設備, 燃料設備, 放射線管理設備, 原子炉格納施設, 附帯設備
屋外重要土木構造物	海水ピットポンプ室 (海水ポンプ基礎), 海水管ダクト
地震随伴事象	周辺斜面, 津波