

## 志賀原子力発電所 「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（中間報告）

平成20年3月14日  
北陸電力株式会社

本日(3月14日)、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂（以下「新耐震指針」）に伴う志賀原子力発電所の耐震安全性評価(中間報告)を原子力安全・保安院に提出いたしました。

この耐震安全性評価は、耐震信頼性のより一層の向上を目指して行ったものです。

### 【中間報告のポイント】

新耐震指針に照らした各種地質調査(変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等)を実施し、新耐震指針の趣旨等を踏まえ、活断層の長さ等を保守的に評価しました。

活断層評価結果等に基づく基準地震動 $S_s$ は、「笹波沖断層帯(全長)」(断層長さ43km、マグニチュード7.6)による地震をも考慮し、保守的に策定しました。

基準地震動 $S_s$ により、原子炉建屋や安全上重要な機能を有する耐震Sクラスの主要な設備等の耐震解析を実施し、耐震安全性が確保されていることを確認しました。

これらの評価結果については、今後、原子力安全・保安院により確認されていくこととなっています。

なお、引き続き、本年10月には2号機の耐震安全性評価報告を、また、平成21年6月には1号機の耐震安全性評価報告を行っていく予定です。

### 【中間報告の位置付け】

- ・平成18年9月20日付で、原子力安全・保安院より、改訂された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出され、当社は、志賀原子力発電所の耐震安全性評価を行ってきました。
- ・平成19年7月には新潟県中越沖地震があり、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があったことから、平成19年8月20日に耐震安全性評価の見直し計画書を提出し、3月を目途に中間報告を行うこととしていました。

添付資料 志賀原子力発電所「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に関わる中間報告（概要）

以上

志賀原子力発電所「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 中間報告書の概要

1. はじめに

- 平成18年9月20日付けで原子力安全・保安院より、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が出され、当社は、志賀原子力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3月に能登半島地震が発生したことから、当社は評価に万全を期すため、震源付近の追加調査を実施するとともに各種研究機関による調査研究も含めて評価を行ってきました。
- また、平成19年7月には新潟県中越沖地震があり、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があるとともに、平成19年12月27日には、原子力安全・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。

これらを踏まえ、本日平成20年3月14日、地質調査結果、基準地震動Ssの策定結果、2号機における主要施設の評価結果など、これまで実施してきた耐震安全性評価に関する中間報告をとりまとめ、国に提出いたしました。

中間報告の概要は以下のとおりです。

【中間報告のポイント】

- ①新耐震指針に照らした各種地質調査(変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等)を実施し、新耐震指針の趣旨等を踏まえ、活断層の長さ等を保守的に評価しました。
- ②活断層評価結果等に基づく基準地震動 Ss は「笹谷沖断層帯(全長)」(断層長さ 43km、マグニチュード 7.6) による地震をも考慮し、保守的に策定しました。
- ③基準地震動 Ss により、原子炉建屋や安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの主要な設備等の耐震解析を実施し、耐震安全性が確保されていることを確認しました。

2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ

- 耐震安全性評価の検討に先立ち、新耐震指針に照らした各種地質調査を実施し、この調査結果を用いて、新耐震指針に照らした基準地震動Ssの策定を行い、建物・構築物や機器・配管系の耐震安全性評価を順次実施するとともに、あわせて地震随件事象について検討しました。
- 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れは、下図に示すとおりであり、能登半島地震の知見や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踏まえ、評価を行いました。

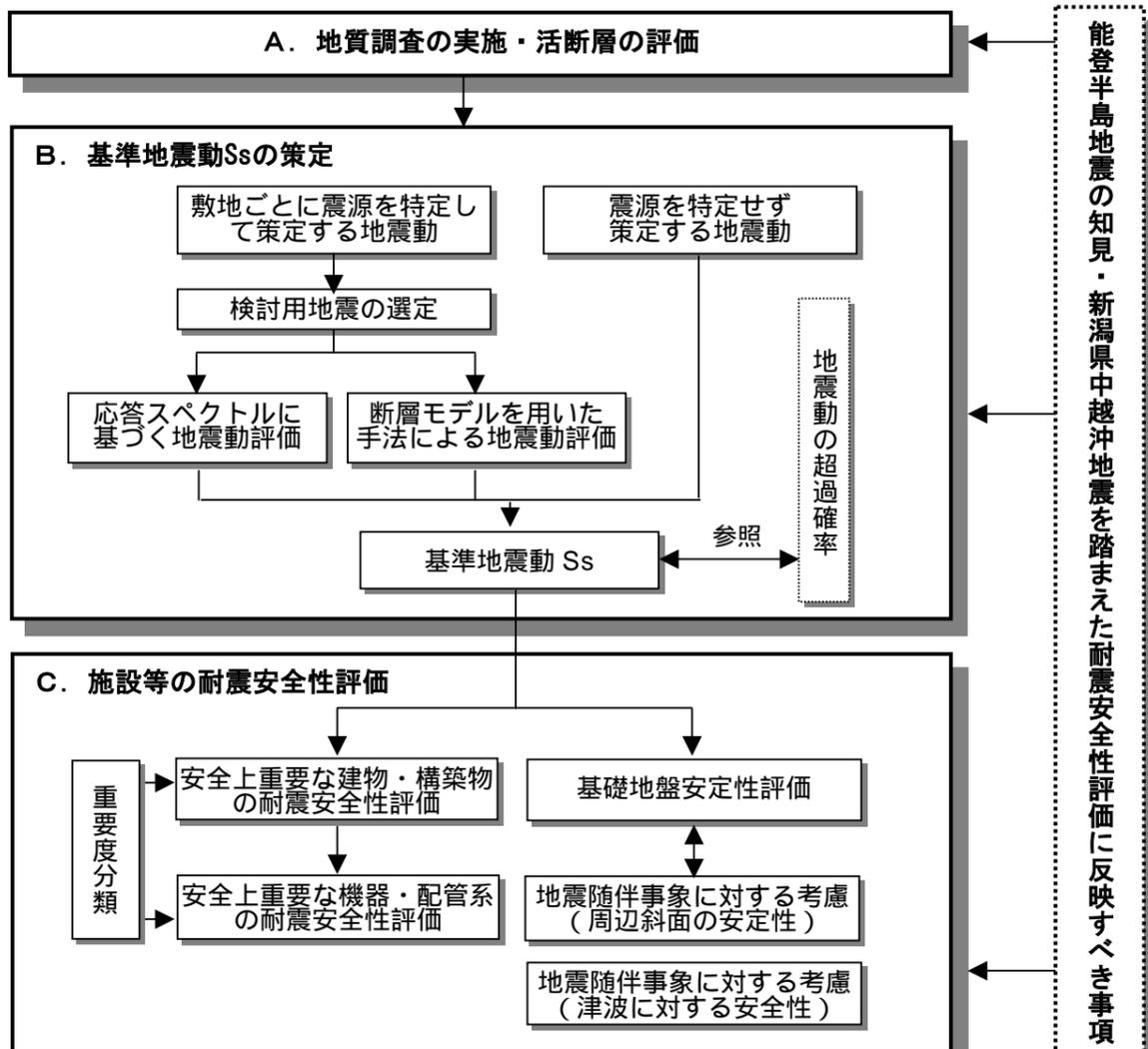


図 A-① 耐震安全性評価の流れ

3. 耐震安全性評価(中間報告)の概要

A-1 地質調査の概要

- 新耐震指針を先取りし、平成 18 年 6 月から、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等を適切に組み合わせた詳細な調査を徹底して実施しました。
- 新耐震指針を踏まえて実施した主な調査項目は以下のとおりです。

文献調査・空中写真判読・地表地質調査の実施  
(範囲: ①、②、③)

- 地表地質調査では、トレンチ調査・表土はぎによる露頭観察を実施し、直接地質を確認。

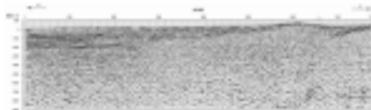
航空レーザ計測の実施(範囲: ①、②)

- 植生の影響を除去した精密な微地形情報を取得し、客観的な変動地形の検討を実施



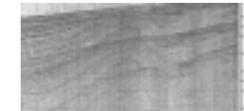
反射法地震探査・地中レーダ探査等の実施

- 主要な断層について、探査を実施し、地下構造を把握。



既存の音波探査記録の再解析  
(範囲: A)

- 断層関連褶曲の考え方を適用



海上音波探査の追加実施  
(範囲: B)

- 沿岸域を中心にブーマー・マルチチャンネル音波探査を実施

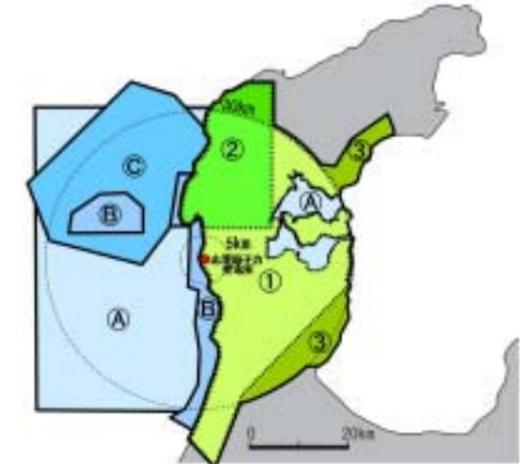


図 A-② 地質調査の範囲

高密度重力探査の実施  
(範囲: ①他)

- 重力異常を解析し地下の断層の存在の可能性を検討。
- 大深度ボーリングによる基盤の確認及び反射法地震探査結果との整合性確認。



各種研究機関による調査結果の反映  
(海域(範囲: C))

- 東大地震研: 深部構造調査として 2 船式エアガン・マルチチャンネル音波探査
- 産総研: 浅部構造調査として、ブーマー・マルチチャンネル音波探査を実施。
- その他海底地震観測等の調査結果を基に海域の活構造の評価を実施。



(陸域(範囲: ②))

- 東大地震研: 反射法地震探査、
- 京大防災研等: 地下の比抵抗構造調査
- その他陸上臨時地震観測等の調査

A - 2 活断層の評価

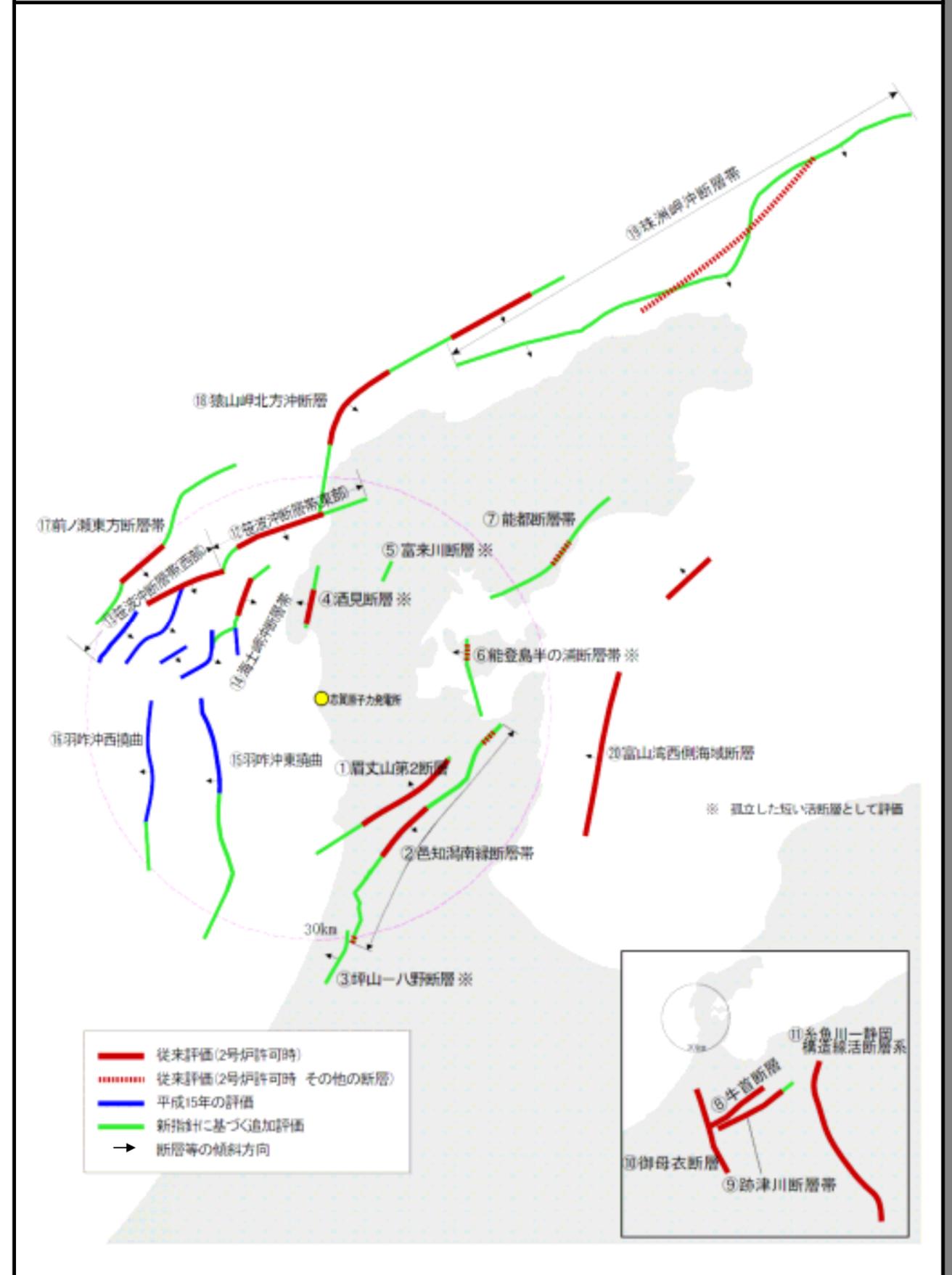
- ・活断層評価にあたっては、「新耐震指針」や「中越沖地震を踏まえ反映すべき事項」(平成19年12月27日、原子力安全・保安院)における活断層評価の考え方や趣旨を踏まえ、変動地形学的観点からの地形判読などを行い、また、2号炉許可降の文献や能登半島地震の見も考慮しながら保守的な評価を行いました。
- ・従来の活断層評価が変更となった考え方のポイントは以下のとおりです。
  - 断層関連褶曲の考え方を適用し、地下深部に断層が伏在する可能性を考慮しました。
  - 地質構造の連続性等を考慮して、複数の断層等が連続する可能性を考慮しました。
  - 最新の文献や能登半島地震等による新知見を反映しました。
  - 変動地形学的調査や地球物理学的調査といった新耐震指針で明示的に追加された調査結果を反映しました。
  - 平野下に断層が伏在する可能性等、調査によって断層の活動性等に関する情報が少ない場合は不確かさを考慮した評価としました。

表A - 新旧指針に基づいた活断層の評価

	新耐震指針における評価			旧指針における評価 <sup>1)</sup>		変更理由 <sup>2)</sup>
	断層名	断層長さ L	マグニチュード M	原子炉設置許可申請書に記載の断層長さ	マグニチュード M	
陸域	眉丈山第2断層	19 km	7.0	12 km	6.6	e
	邑知潟南縁断層帯	34 km	7.4	8km(石動山断層)	6.3	b・c・d
	坪山 - 八野断層	10 km	6.9 <sup>3)</sup>	-	-	d
	酒見断層	9.1 km	6.9 <sup>3)</sup>	4.6 km	5.9	c・d
	富来川断層	3.0 km	6.9 <sup>3)</sup>	-	-	e
	能登島半の浦断層帯	10 km	6.9 <sup>3)</sup>	-	-	b
	能都断層帯	20 km	7.0	-	-	b
	牛首断層	56 km	7.7	56 km	7.7	変更なし
	跡津川断層帯	69 km	7.9	60 km	7.8	c
	御母衣断層	70 km	7.9	70 km	7.9	変更なし
	糸魚川 - 静岡構造線活断層系		M8 <sup>1/2</sup> / <sub>2</sub> <sup>4)</sup>		M8 <sup>1/2</sup> / <sub>2</sub> <sup>4)</sup>	変更なし
海域	笹波冲断層帯(東部)	21 km	7.0	12 km (F-14)	6.6	b・c
	笹波冲断層帯(西部)	22 km	7.1	11 km (F-16)	6.6	a・b・c
	海士岬冲断層帯	18 km	6.9	5.5 km (F-17)	6.1	a・b・c
	羽咋冲東撓曲	32 km	7.3	褶曲として図示	-	a・b・c
	羽咋冲西撓曲	23 km	7.1	褶曲として図示	-	a・b・c
	前ノ瀬東方断層帯	30 km	7.3	7.5 km (F-12)	6.3	b・c
	猿山岬北方冲断層	49 km	7.7	12 km, 12.5 km	6.6	b・c
	珠洲岬冲断層帯	69 km	7.9	-	-	b・c
	富山湾西側海域断層	22 km	7.1	22 km	7.1	変更なし

1) - : 断層の長さや敷地からの距離を考慮すると敷地に与える影響は小さいと評価。  
 2) 変更理由: 文章中の「従来の活断層評価が変更となった考え方のポイント」の記号を示す。  
 3) 孤立した短い活断層として評価。  
 4) 地震調査委員会が評価した最大マグニチュードを適用。

図A - 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・褶曲



## B 基準地震動 Ss の策定

### (1) 敷地に最も大きな影響を及ぼす「検討用地震」の選定

- 活断層調査結果を踏まえ、地震動を策定する際にも保守的な評価を行いました。
- 具体的には、酒見断層のように、地表に少しでも活断層が確認された場合は、地下に M6.9 相当の地震を起こす活断層が伏在するものとして評価したり、活断層調査の結果、「笹波沖断層帯(東部)」と「笹波沖断層帯(西部)」は、それぞれ個別の断層であると考えられますが、耐震安全評価上、「笹波沖断層帯(全長)(+ )」(断層長さ 43km、M7.6)による地震も念のため考慮することとしました。
- 全ての考慮すべき活断層を比較検討した結果、「笹波沖断層帯(全長)による地震」が志賀原子力発電所に最も影響が大きいことから、これを検討用地震としました。

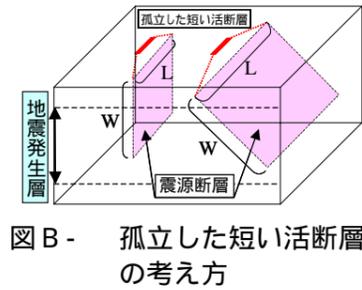


図 B - 孤立した短い活断層の考え方

### (2) 応答スペクトルに基づく地震動評価

#### a. 「震源を特定して策定する地震動」

- 「笹波沖断層帯(全長)」による地震動に、さらに余裕を考慮し、「基準地震動 Ss - 1」(600 ガル)を策定しました。(なお、この基準地震動 Ss は志賀原子力発電所 1、2 号機に共通です。)

#### b. 「震源を特定せず策定する地震動」

- 高密度重力探査の結果等によれば、敷地近傍には邑知潟にみられるような大規模な断層構造はないことから、直下で大規模な地震が発生することはないと考えられます。(図 B - )
- 一方、地震調査研究推進本部によれば、能登地区における「活断層が特定されていない場所で発生する地震の最大マグニチュード」は M6.8 となっています。これらのことから、「震源を特定せず策定する地震動」として、加藤ほか(2004)による応答スペクトル(450 ガル)を想定することとしましたが、「基準地震動 Ss - 1」は、この「震源を特定せず策定する地震動」を十分上回る結果となることから、基準地震動 Ss - 1 で代表させることとしました。(図 B - )

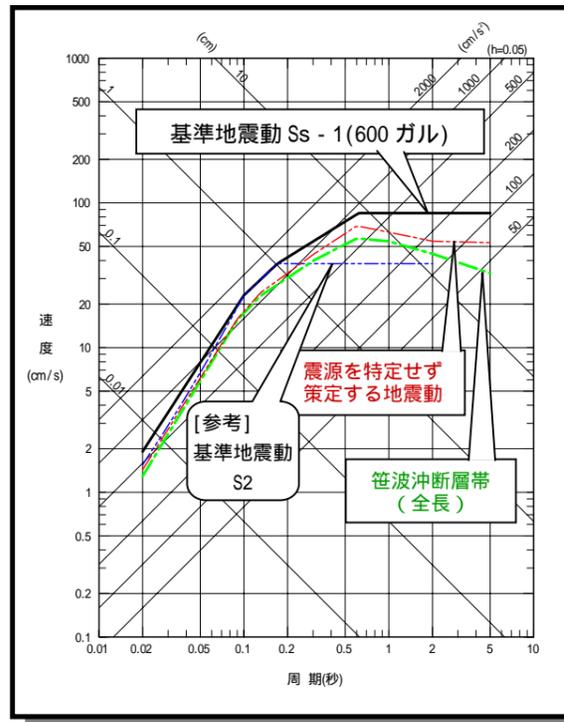


図 B - 応答スペクトルに基づく地震動評価

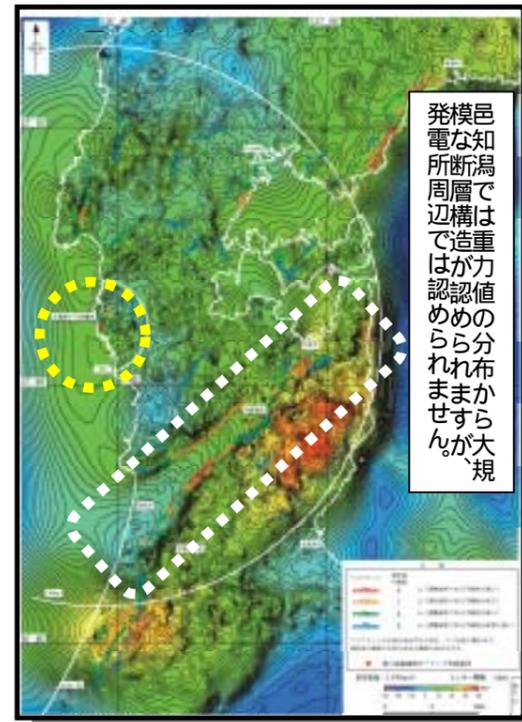


図 B - 高密度重力探査結果

### (3) 断層モデルを用いた手法による地震動評価

- 震源が敷地に近く、破壊過程が地震動に大きな影響を与えると考えられる地震については、断層モデルを用いた手法を重視し、より詳細な検討を行うこととなっていることから、以下の検討を行いました。
- 断層モデルは、能登半島地震で得られた知見や音波探査等の調査結果を反映して、設定しています。さらに評価にあたっては、アスペリティ(震源域のうち地震時に特に大きなゆれを発生させる場所)の位置を発電所敷地に最も近づけるなど、不確かさについても考慮しました。

### (4) 基準地震動 Ss の策定のまとめ

- 応答スペクトルに基づく手法により設定した「基準地震動 Ss - 1(600 ガル)」に加え、断層モデルを用いた手法により、「基準地震動 Ss - 2(482 ガル)」「(調査結果に基づきアスペリティを設定)及び「基準地震動 Ss - 3(509 ガル)」「(敷地に近づけたアスペリティを設定)を設定しました。

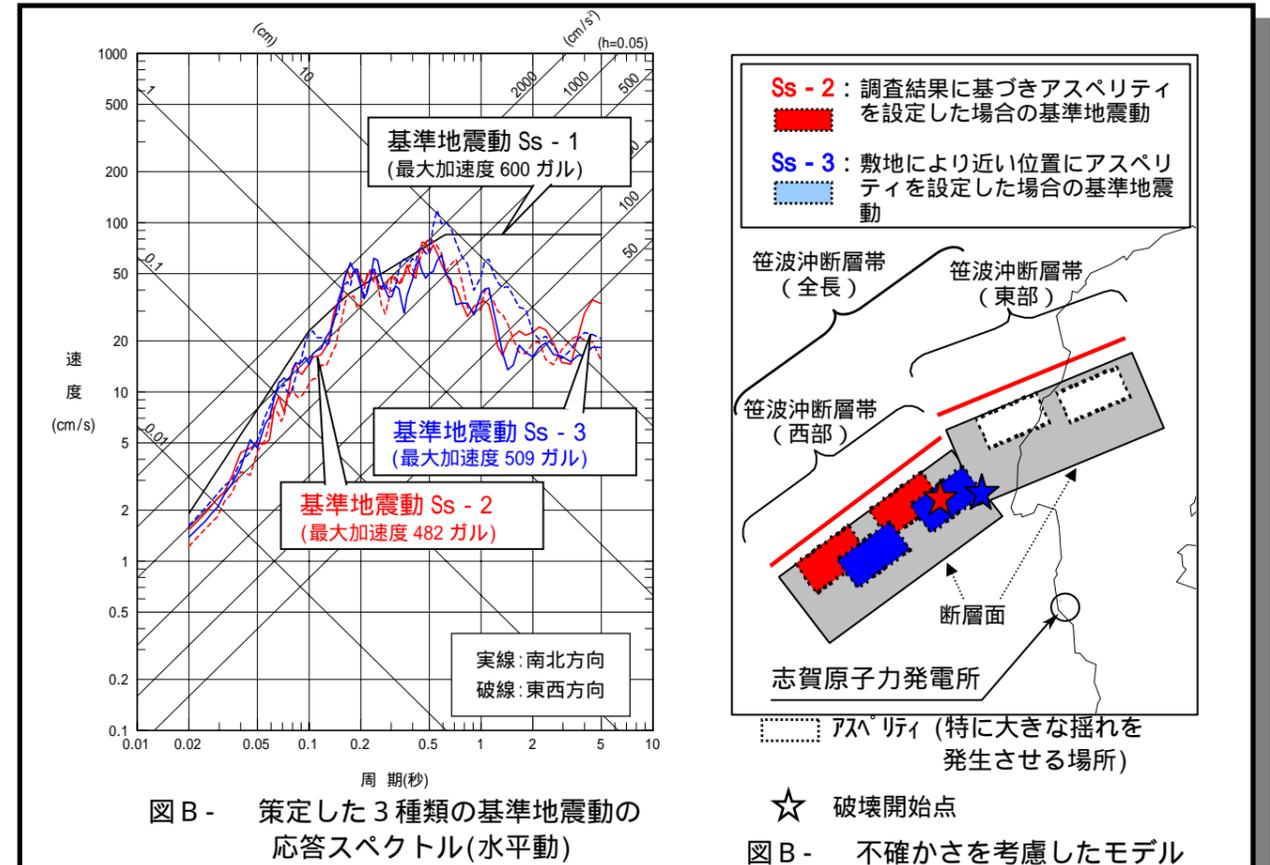
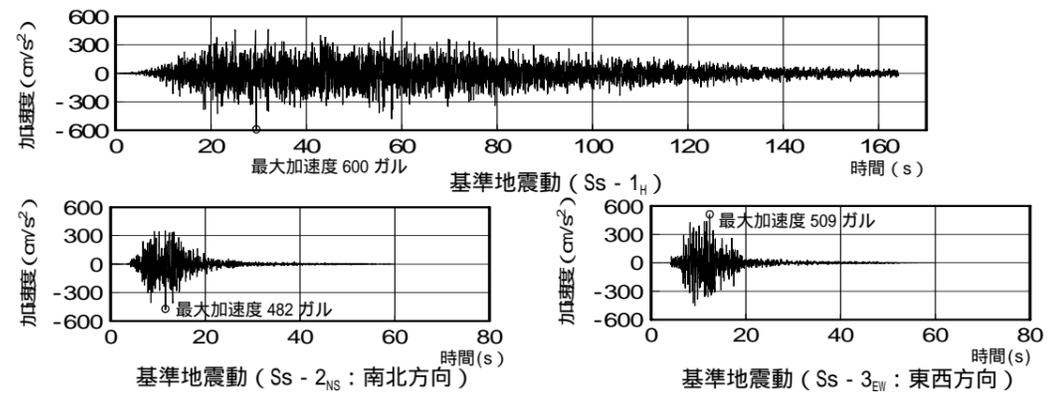


図 B - 策定した3種類の基準地震動の応答スペクトル(水平動)

図 B - 不確かさを考慮したモデル

#### 【新耐震指針に基づく基準地震動 Ss の加速度波形(水平動)】



#### 【参考 旧指針に基づく基準地震動 S2 の加速度波形(水平動)】

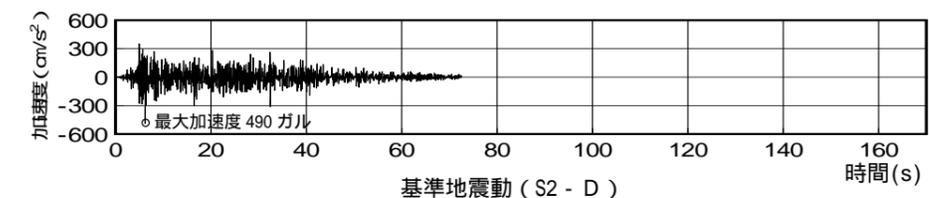
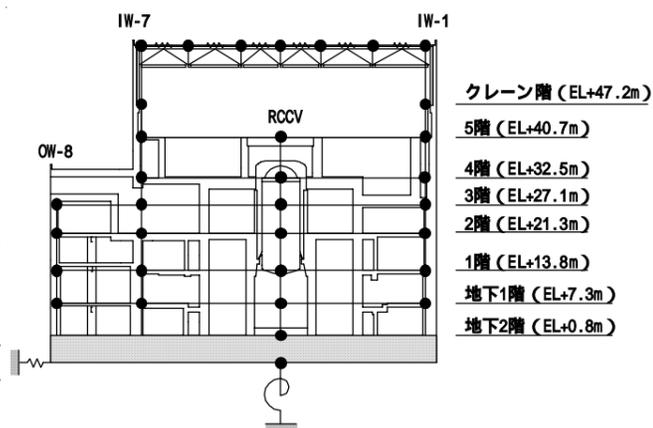


図 B - 基準地震動の加速度波形(水平動)

## C 施設等の耐震安全性評価

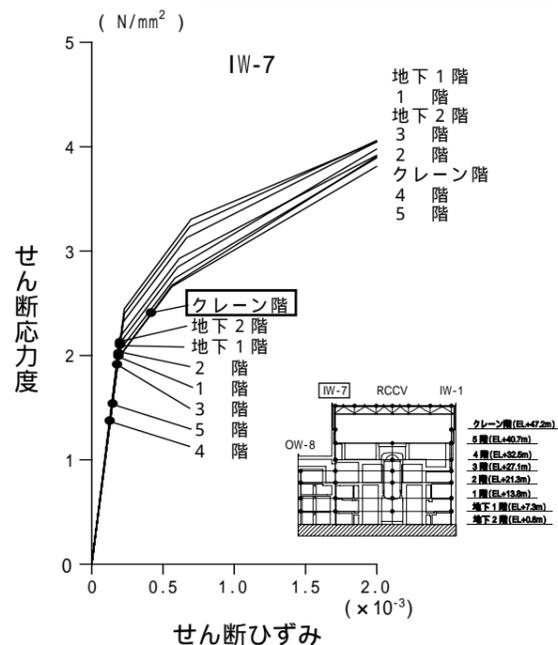
### (1) 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 2号機原子炉建屋の耐震安全性の評価にあたっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、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。
- 地震応答解析モデルは、能登半島地震の知見を踏まえ、観測記録を良く再現できる解析モデルを設定し、基準地震動Ssによる地震応答解析を実施しました。
- 評価の結果、耐震壁の最大せん断ひずみ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。

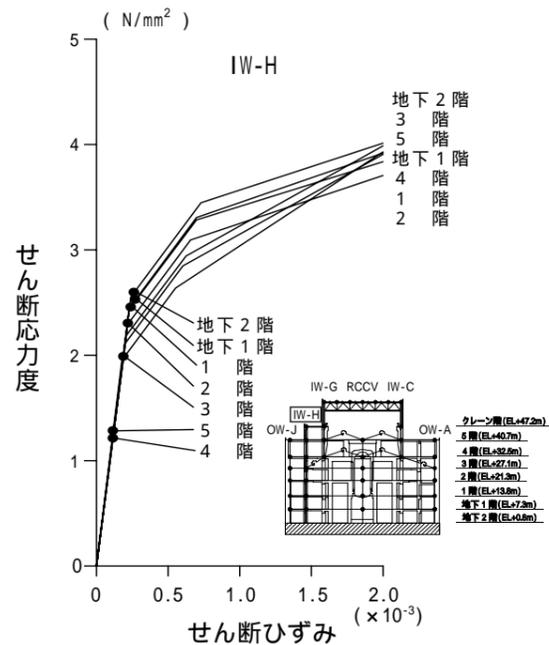


耐震壁の最大せん断ひずみ

せん断ひずみ: $0.43 \times 10^{-3}$ (NS方向, クレーン階)
評価基準値: $2.0 \times 10^{-3}$



図C- 耐震壁のせん断ひずみ  
(南北方向)



図C- 耐震壁のせん断ひずみ  
(東西方向)

### (2) 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 評価は、以下に示す2号機の原子炉を「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クラスの主要な設備に対して実施しました。

炉心支持構造物	制御棒（挿入性）	残留熱除去ポンプ
残留熱除去系配管	原子炉压力容器	主蒸気系配管
		原子炉格納容器

- 基準地震動Ssによる応答解析を行い、その結果求められた発生値（または応答加速度）を評価基準値と比較することによって構造強度評価、動的機能維持評価を行いました。
- ここで評価基準値とは、構造強度評価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正常に作動することが確認された確認済相対変位や機能確認済加速度等のことを言います。
- 評価の結果、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。（表C- ）

表C- 構造強度評価結果（発生値 < 評価基準値（許容値）であれば、耐震安全性を有すると言える。）

区分	設備	評価部位	単位	発生値 <sup>1</sup>	評価基準値（許容値）
止める	炉心支持構造物	シフトボルト	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	87	260
冷やす	残留熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	9	350
	残留熱除去系配管	配管	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	317	364
閉じ込める	原子炉压力容器	基礎ボルト	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	187	499
	主蒸気系配管	配管	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	293	374
	原子炉格納容器	配管貫通部	応力 (N/mm <sup>2</sup> )	207 <sup>2</sup>	258

1 発生値は基準地震動Ss-1、2、3によるものうち最も厳しいものを記載

2 Ss-1、2、3による評価荷重が既往評価時の設計荷重以下となったため、発生値は既往評価時の値を記載

表C- 動的機能維持評価結果（発生値 < 評価基準値（許容値）であれば、耐震安全性を有すると言える。）

区分	設備	加速度確認部位	単位	発生値 <sup>1</sup>	評価基準値（許容値）
止める	制御棒（挿入性）	-	時間(秒) <sup>2</sup>	1.38 (60%挿入) 1.93 (100%挿入)	1.44 (60%挿入) 2.80 (100%挿入)
冷やす	残留熱除去ポンプ	コラム先端部	加速度(G)	水平 0.7 鉛直 0.6	水平 10.0 鉛直 1.0
	残留熱除去系 弁	弁駆動部	加速度(G)	水平 5.4 鉛直 0.1	水平 6.0 鉛直 6.0
閉じ込める	主蒸気系 弁	弁駆動部	加速度(G)	水平 7.7 鉛直 6.8 <sup>3</sup>	水平 10.0 鉛直 12.3 <sup>3</sup>

1 発生値は基準地震動Ss-1、2、3によるものうち最も厳しいものを記載

2 確認済相対変位を超えたため、制御棒挿入解析を実施し、制御棒が基準時間以内に挿入できることを確認

3 機能確認済加速度を超えたため、既往試験で駆動部が12.3Gにおいても正常に作動することを確認、あわせて弁の構造強度評価を実施し、最弱部発生応力(596N/mm<sup>2</sup>)が評価基準値(887N/mm<sup>2</sup>)を下回ることを確認

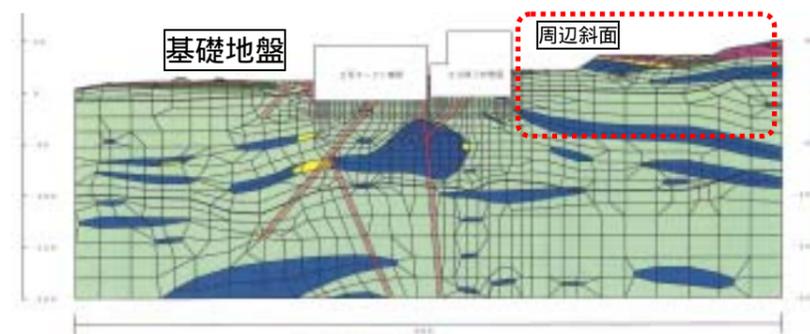
### (3) 原子炉建屋の基礎地盤安定性評価及び周辺斜面の安定性評価

- 原子炉建屋の基礎地盤及び周辺斜面について、基準地震動Ssによる地震力に対して十分な耐震安全性を有していることを確認しました。

表C- 最小すべり安全率

	評価値	評価基準値 (許容値)
基礎地盤	Fs	1.5 以上
周辺斜面	4.9	1.2 以上

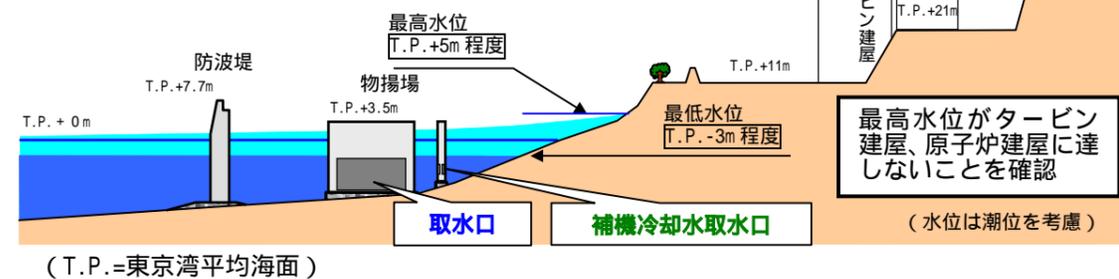
(評価値 > 評価基準値(許容値)であれば耐震安全性を有すると言える。)



図C- 基礎地盤・周辺斜面解析（モデル図）

### (4) 津波に対する安全性評価

- 既往津波、海域活断層に想定される地震に伴う津波及び日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の数値シミュレーションにより最も大きな津波を想定しました。この想定津波によっても、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認しました。



図C- 津波評価 模式断面図