

伊 方 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 (補正の要点)

1. 活断層評価について
 - ①宇和海の活断層調査データの拡充
2. 中央構造線断層帯の地震動評価について
 - ①基本震源モデルの変更(42km→54km)
 - ②考慮する不確かさの変更
 - ③基準地震動Ss-2の変更
3. 施設の耐震安全性評価について(伊方3号機)
 - ①原子炉建屋地震応答解析モデルの諸元の訂正
 - ②新しい基準地震動Ss-2に基づく耐震安全性確認
4. まとめ

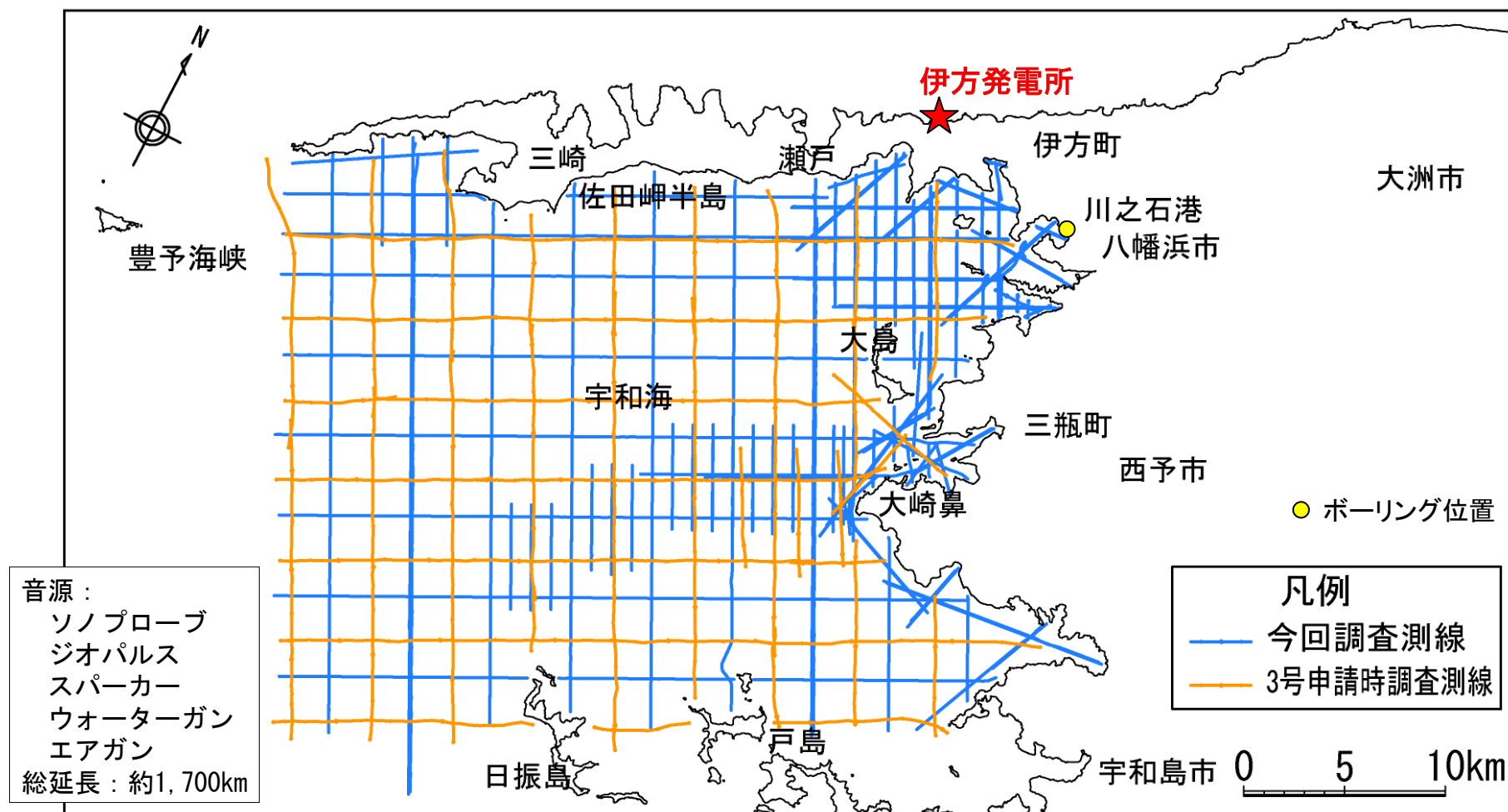
平成22年1月29日
四国電力株式会社



1. 活断層評価について

①宇和海の活断層調査データの拡充

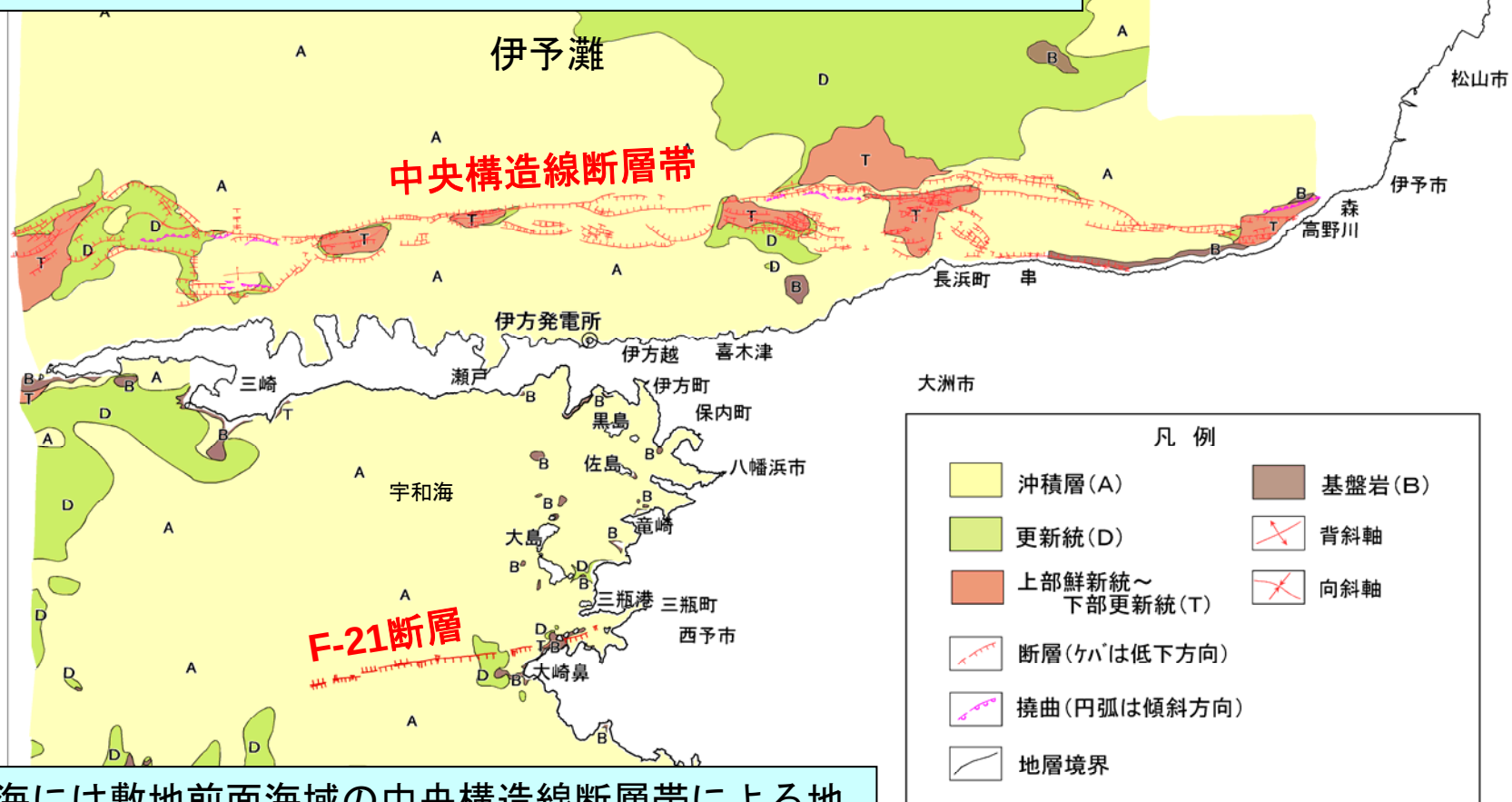
宇和海の海上音波探査測線図



ジオパルスを主体にソノプローブ、ウォーターガン、エアガンによる探査を実施。3号申請時のスパーカーによる探査測線の上に測線を配置。

宇和海の調査結果

F-21断層には約19kmの区間で後期更新世以降の活動が認められる。全般に南落ち変位が優勢で、直線的な断層分布、さらには断層の走向と広域応力場の関係から横ずれの卓越する断層運動が推定される。



宇和海には敷地前面海域の中央構造線断層帯による地震動を上回るような活断層は分布しない。

2. 中央構造線断層帯の地震動評価について

①基本震源モデルの変更(42km→54km)

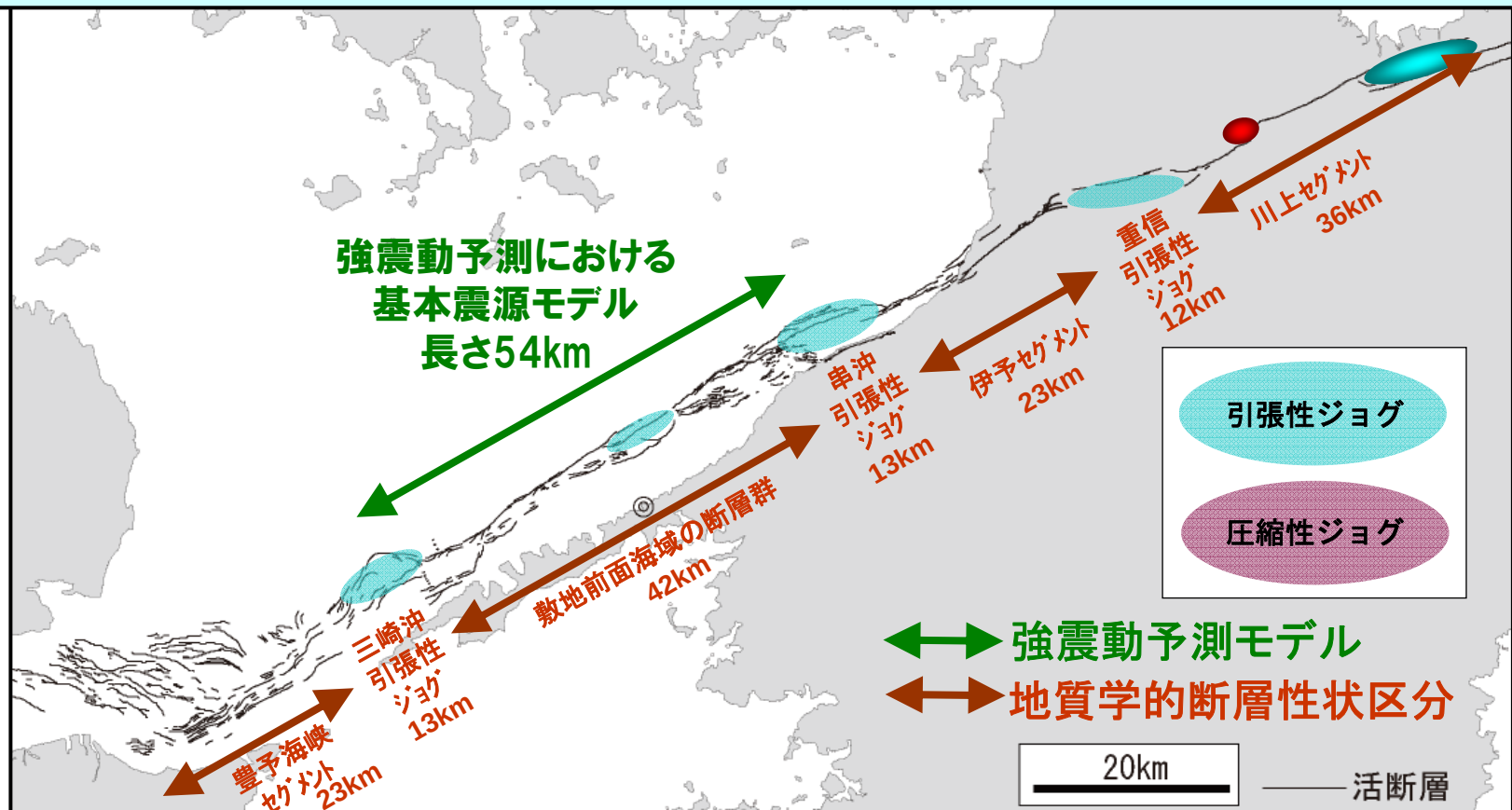
基本震源モデルの変更(断層長さ)

【当初評価】

これまでの詳細な地質調査により、串沖、三崎沖にジョグを確認しており、ジョグは断層が活動した際の破壊の停止域であり、強震動は生成しないとの知見を考慮し、地震動策定の基本震源モデルとして両ジョグに挟まれた断層長さである42km(地質学的断層性状区分に基づく敷地前面海域の断層群)に設定。

【変更内容】

「地震動評価を行う上で、中央構造線のような長大な断層を評価する際に、その一部を基本震源モデルとして設定する場合には、ジョグの中央付近(分岐点)まで震源モデルを延ばしたケース(54km)を基本とすべき」旨の原子力安全・保安院における審議結果を踏まえ、基本震源モデルの断層長さを42km→54kmに変更。

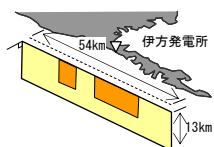


2. 中央構造線断層帯の地震動評価について

②考慮する不確かさの変更

基本震源モデルと不確かさ考慮ケース（応答スペクトルに基づく手法）

基本震源モデル



54kmモデル

断層長さ54km
断層傾斜角90度
M7.7 $X_{eq}=14.3\text{km}$
アスペリティ上端

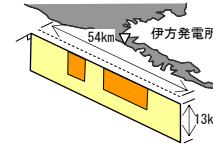
- 断層長さは54km
- 傾斜角は90度
- 断層上端深さは2km
- アスペリティ深さは断層上端

※地震規模は、松田式より設定する
※距離として等価震源距離を採用する場合は、断層面の不均質破壊を想定して算出する
※不確かさの考慮④（連動ケース）については松田式の適用範囲外となるため、断層モデルのみで地震動評価を行う

断層長さ54kmの震源モデルを基本に、各種不確かさを考慮。
原子力安全・保安院や原子力安全委員会における審議を踏まえて、断層長さ69km、南傾斜80度のケースを追加

不確かさ

不確かさ考慮①

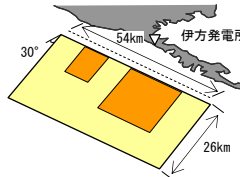


応力降下量1.5倍
断層長さ54km
断層傾斜角90度
M7.7 $X_{eq}=14.3\text{km}$
アスペリティ上端
応力降下量1.5倍

- 応力降下量1.5倍を不確かさとして考慮

不確かさ

不確かさ考慮②

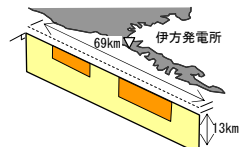


北傾斜30°
断層長さ54km
断層傾斜角30度
M7.7 $X_{eq}=18.6\text{km}$
アスペリティ上端

- 活断層としての中央構造線断層帯が地質境界断層としての中央構造線と一致する可能性を考慮して北傾斜30度を想定

不確かさ

不確かさ考慮③

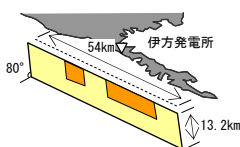


69kmモデル
断層長さ69km
断層傾斜角90度
M7.9 $X_{eq}=15.4\text{km}$
アスペリティ上端

- 安全側に、引張性ジョグの全長を含む領域に対してスケーリング則を適用する → 断層長さ69km

不確かさ

不確かさ考慮⑤



南傾斜80°
断層長さ54km
断層傾斜角80度
M7.7 $X_{eq}=13.9\text{km}$
アスペリティ上端

- 角度のばらつきを考慮

基本震源モデルと不確かさ考慮ケース（断層モデルを用いた手法）

基本震源モデル



- 断層長さは54km
- 傾斜角は90度
- 断層上端深さは2km
- アスペリティ深さは断層上端
- 破壊開始点は断層西下端、中央下端、東下端を設定

※地震規模は、断層面積(入倉・三宅)より設定する

断層長さ54kmの震源モデルを基本に、各種不確かさを考慮。
原子力安全・保安院や原子力安全委員会における審議を踏まえて、断層長さ69km、南傾斜80度のケースを追加。

不確かさ

不確かさ考慮①



- 応力降下量1.5倍を不確かさとして考慮

不確かさ

不確かさ考慮②



- 活断層としての中央構造線断層帯が地質境界断層としての中央構造線と一致する可能性を考慮して北傾斜30度を想定

不確かさ

不確かさ考慮③



- 安全側に、引張性ジョグの全長を含む領域に対してスケーリング則を適用する → 断層長さ69km

不確かさ

不確かさ考慮④



- 地震本部の知見も勘案して断層の連動(断層長さ約130km)を考慮

不確かさ

不確かさ考慮⑤

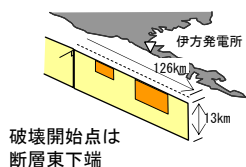


- 角度のばらつきを考慮

基準地震動 S_s の妥当性確認

基準地震動 S_s の妥当性確認のため、念のための検討ケースとして設定

不確かさ考慮④

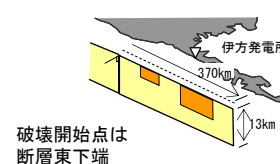


130km連動モデル
(カスケード)

M7.5
断層傾斜角90度
アスペリティ上端

念のため検討

S_s 妥当性確認

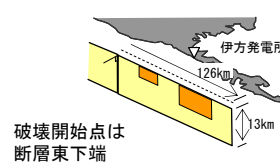


360km連動モデル
(カスケード)

M8.4
断層傾斜角30~90度
アスペリティ上端

○地震本部の知見も勘案して360kmの連動を考慮

S_s 妥当性確認

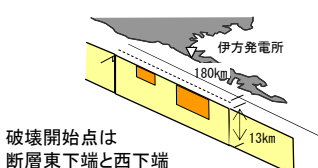


130km連動モデル
(スケーリング)

M7.9
断層傾斜角90度
アスペリティ上端

○断層トレースの形状や連続性、また地表変位量の情報からはカスケードモデルが適切と判断されるが、念のためスケーリングモデルでも評価

S_s 妥当性確認



180km連動モデル
(カスケード)

M7.6
断層傾斜角90 or 60度
アスペリティ上端

○念のため、九州側への連動も考慮

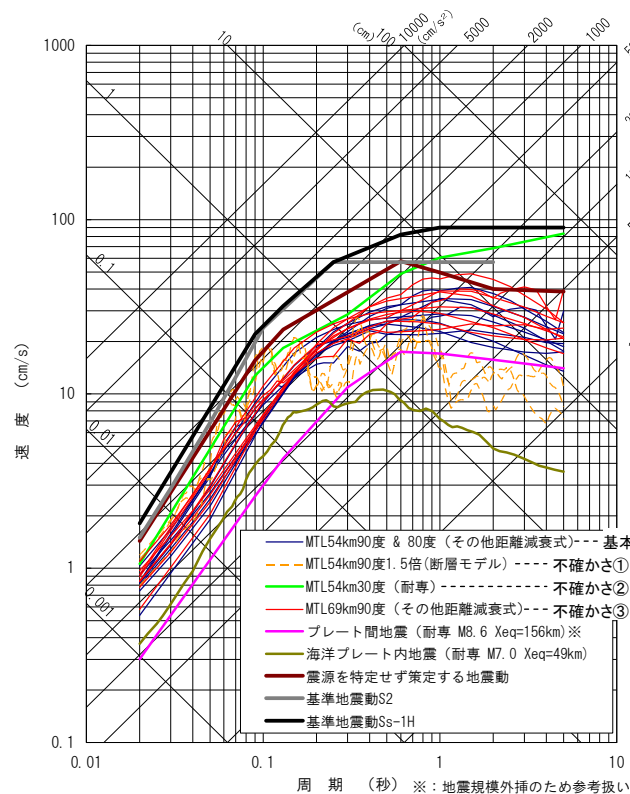
原子力安全委員会WG3のコメントを受けて検討を実施

2. 中央構造線断層帯の地震動評価について

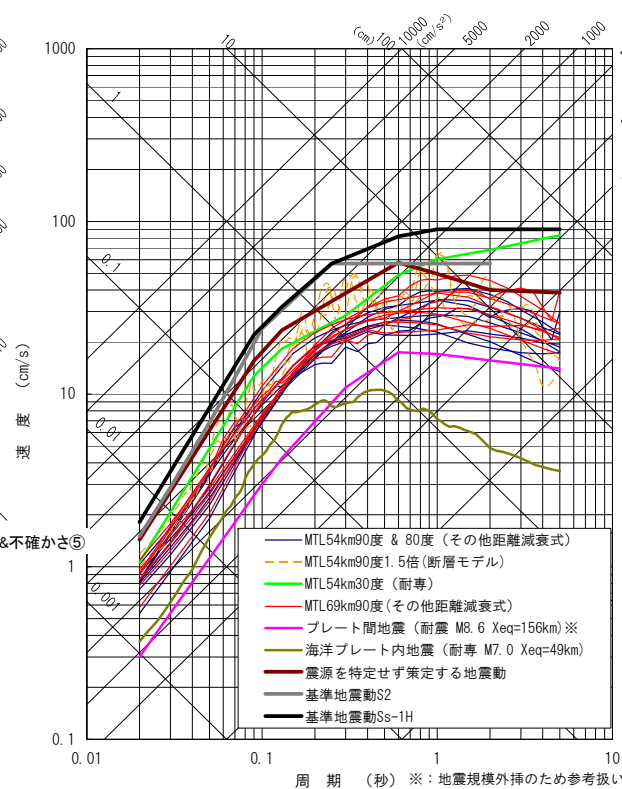
③基準地震動Ss-2の変更

基準地震動Ss-1の策定（応答スペクトル手法による地震動評価）

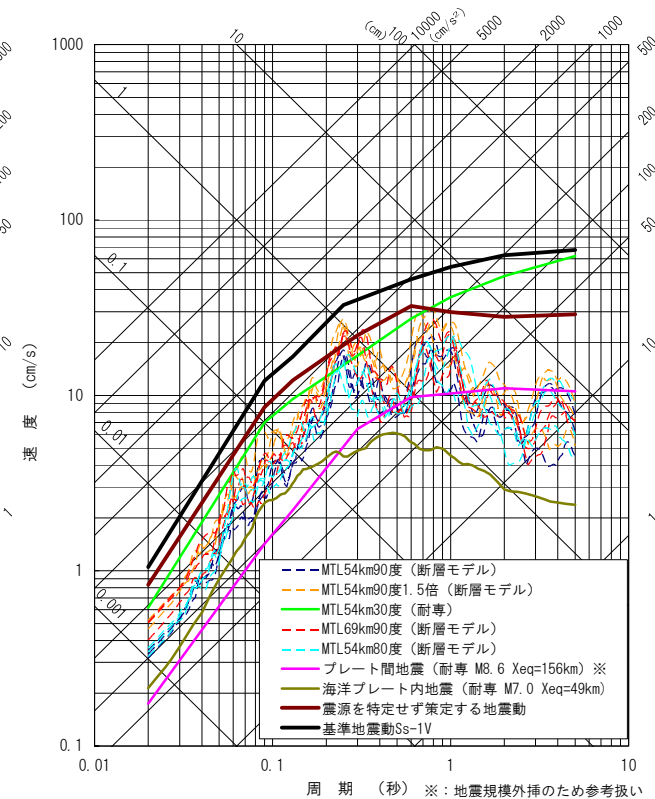
各種の不確かさ考慮ケースについて、応答スペクトル手法による地震動評価を行い、基準地震動Ss-1に変更が生じないことを確認。



NS方向



EW方向



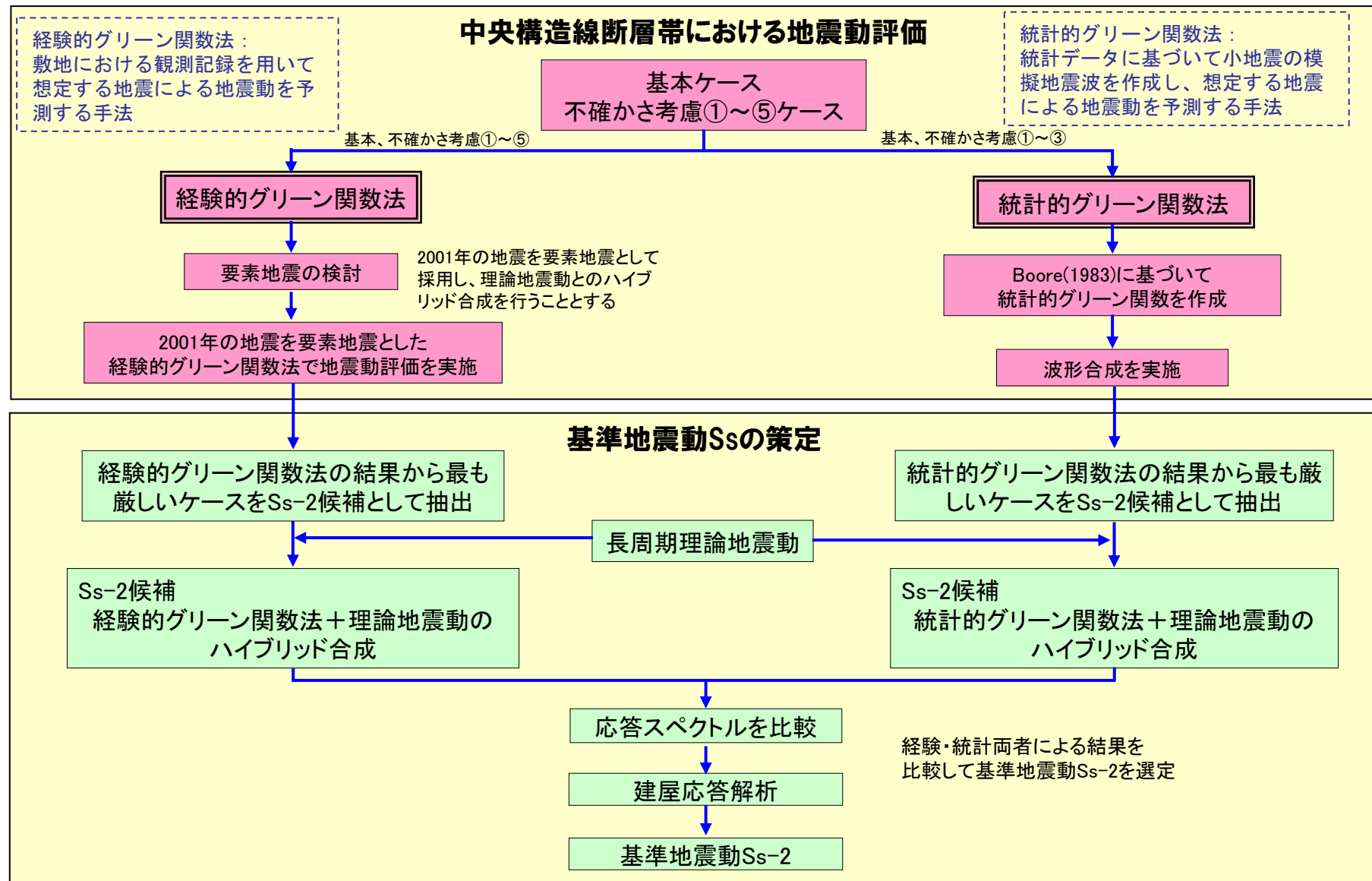
UD方向

※：その他距離減衰式では断層最短距離を採用しているため、54km90度と54km80度の水平方向の地震動は等しい

※：耐専スペクトルもその他距離減衰式も適用できないケースについては、断層モデルによる結果を参考とする。

基準地震動Ss-2策定の流れ（断層モデルによる地震動評価）

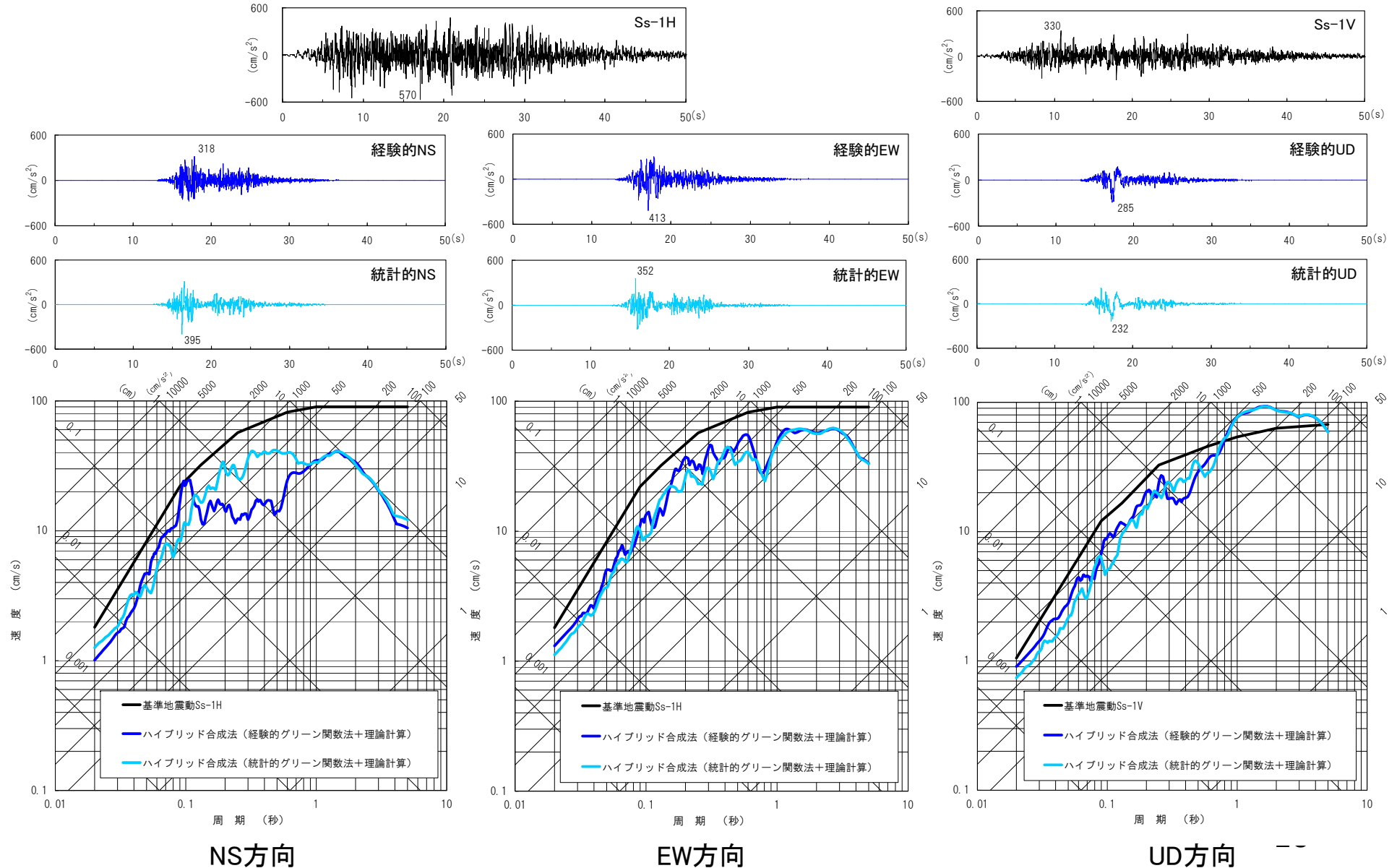
想定する横ずれ断層に適合する地震記録が得られていないこと、要素地震の周期0.1秒付近のピークの原因を必ずしも明確にはできないことから、統計的グリーン関数法で地震動評価を行う。しかしながら、観測記録があることから、経験的グリーン関数法でも評価する。



なお、統計的グリーン関数法による地震動評価を実施していない不確かさ④⑤および妥当性確認ケース(運動)については、本報告書の補正にて対応する。

統計的手法と経験的手法による結果の比較

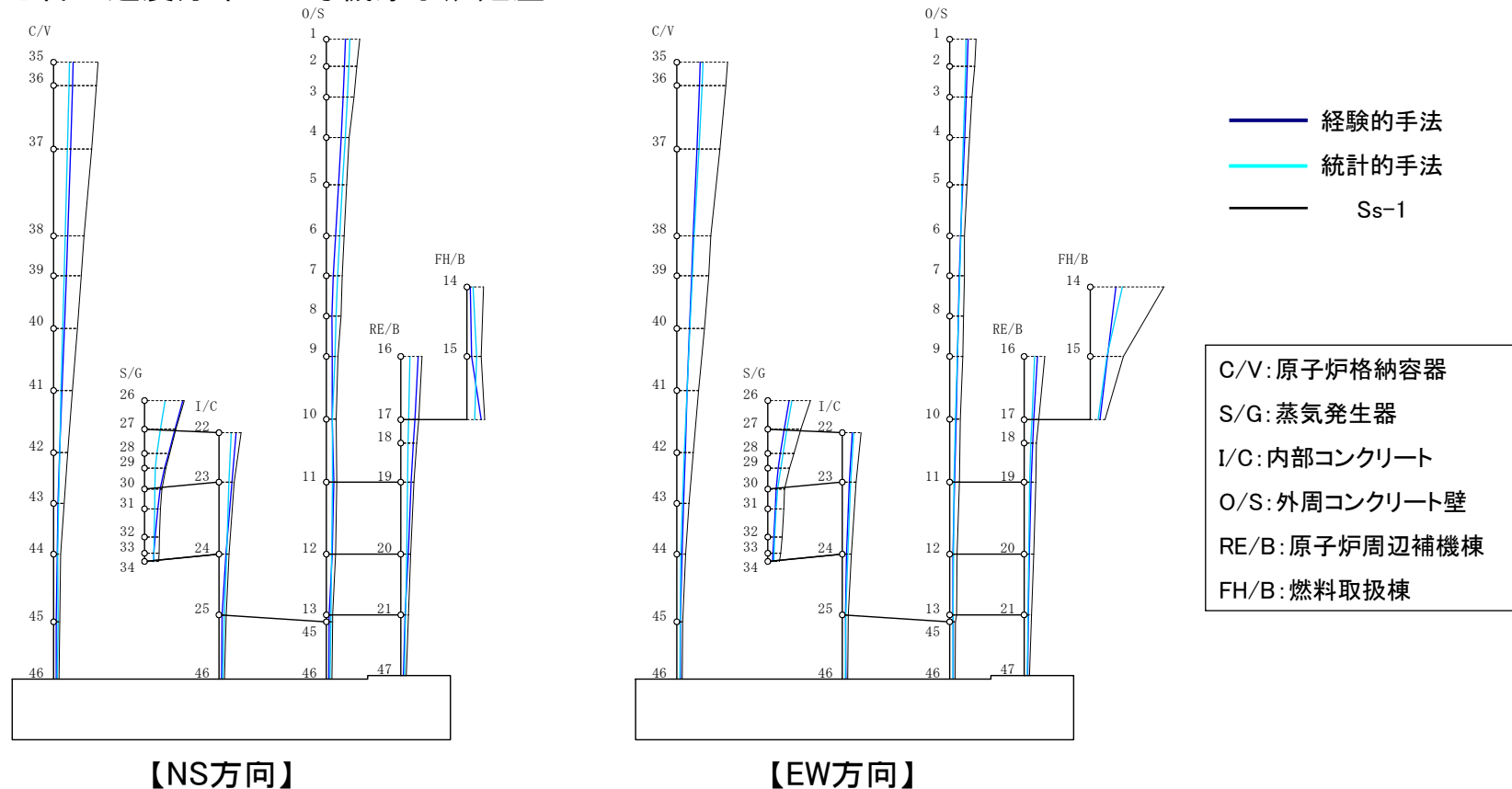
統計的手法および経験的手法で選定された最も厳しい地震動を比較する。ともに、54km・30度・破壊開始点：断層西下端ケースである。



建屋応答解析①

基準地震動Ss-2候補の2つの地震動について、建屋応答解析を行い、施設への影響度合いの検討を行う。

最大応答加速度分布：3号機原子炉建屋



【NS方向】・固有周期が0.05～0.1秒付近にある部位(C/V、S/G、I/C、RE/B)については、経験的手法による応答が統計的手法による応答を上回り、Ss-1による応答に匹敵する箇所がある。

・その他の部位(O/S、FH/B)については、統計的手法による応答が経験的手法による応答を若干上回る。

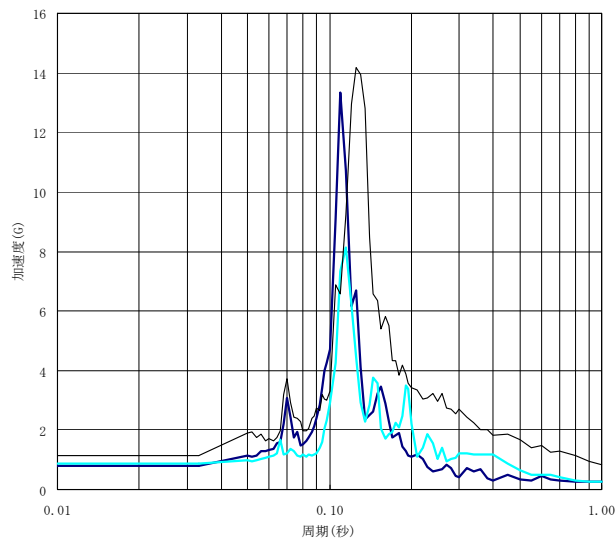
【EW方向】・経験的手法および統計的手法による応答は同等となっている。

建屋応答解析②

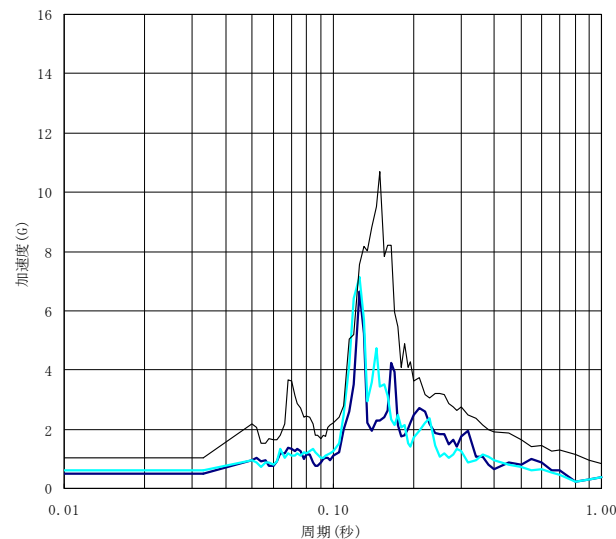
機器設計用床応答スペクトルの例 (減衰:0.01)

・3号機原子炉建屋 内部コンクリート(質点24)

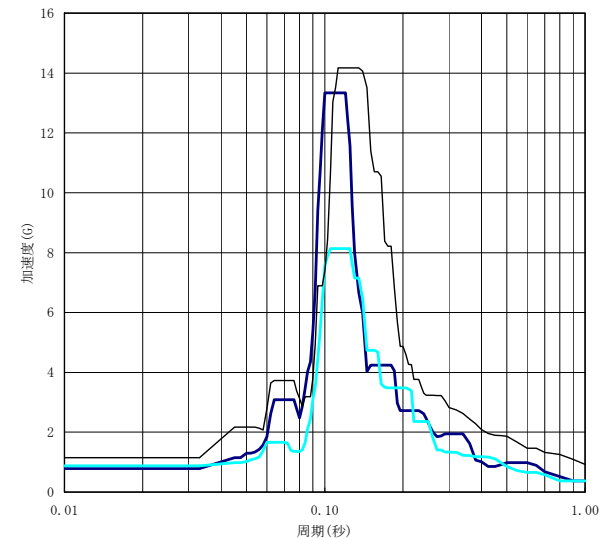
— 経験的手法
— 統計的手法
— S_s-1



【NS方向】



【EW方向】



【NS方向とEW方向の拡張・包絡】

各方向の床応答スペクトルを周期軸に対して
±10%拡張したものを包絡したスペクトル

【NS方向】 0.1秒付近で経験的手法による応答が卓越しており、S_s-1による応答を上回る。

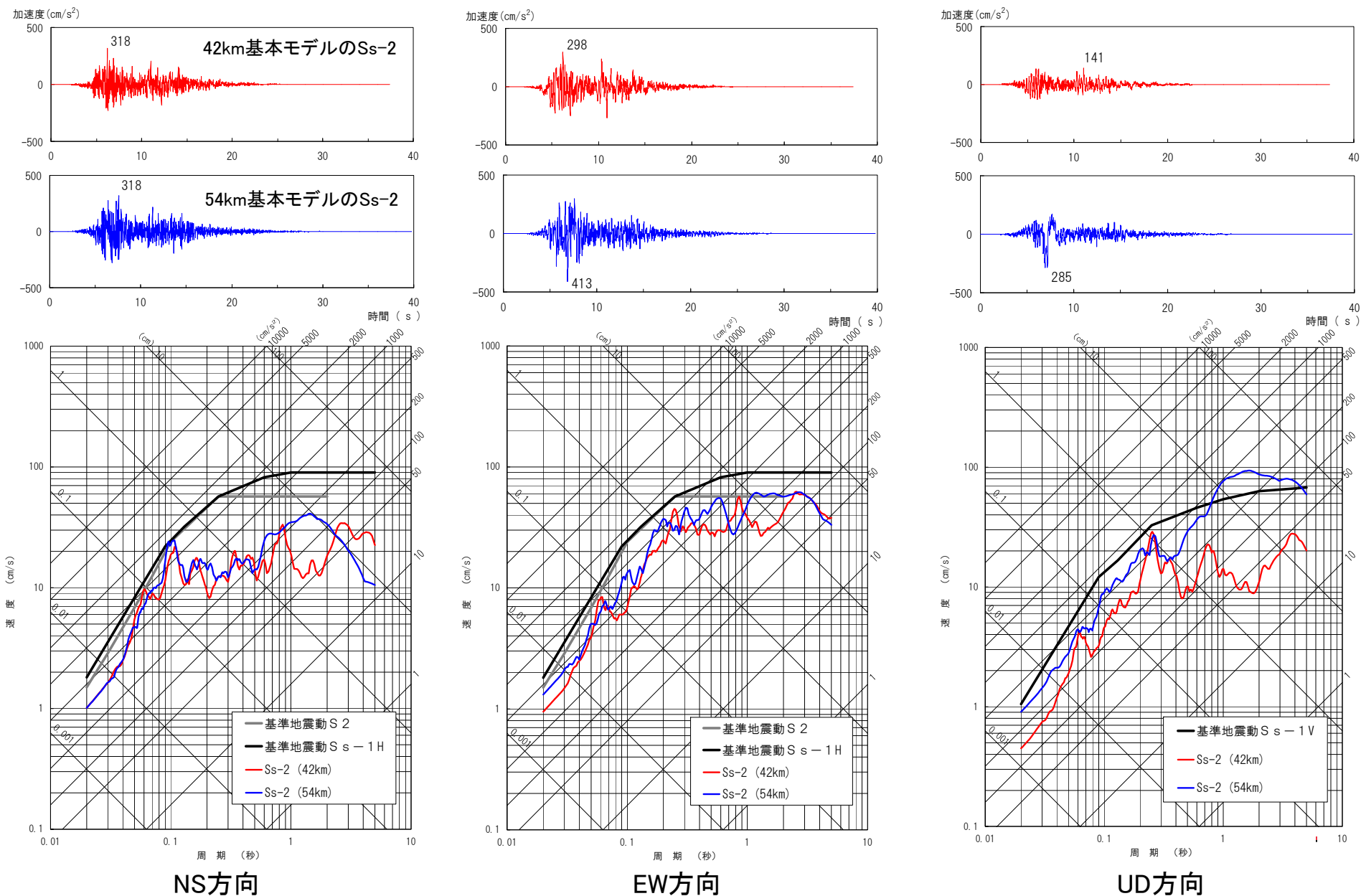
【EW方向】 経験的手法、統計的手法による応答は同等であり、一部の周期ではS_s-1による応答に匹敵する。

【NS方向とEW方向の拡張・包絡】 経験的手法による応答は統計的手法による応答をほぼ包絡したものとなっている。

以上の結果から、経験的手法による地震動を基準地震動S_s-2として選定する。

基準地震動Ss-2

54kmを基本として新しく策定したSs-2を、42kmを基本ケースとした際に設定していたSs-2と比較して示す。



基準地震動Ssの加速度振幅および速度振幅

基準地震動Ssの最大加速度振幅および最大速度振幅

基準地震動Ss				最大加速度 振 幅 (cm/s ²)	最大速度 振 幅 (cm/s)
応答スペクトルに 基づく手法による 基準地震動Ss	設計用模擬地震波	水平動	Ss-1H	570 (変更なし)	45.2 (変更なし)
		鉛直動	Ss-1V	330 (変更なし)	29.4 (変更なし)
断層モデルを用い た手法による 基準地震動Ss	中央構造線断層帯 不確かさ考慮② 〔ハイブリッド合成法 (経験的手法+理論的手法) 断層長さ:54km 断層傾斜角:30度 アスペリティ深さ:上端 破壊開始点:西下端〕	水平動 NS成分	Ss-2NS	318 → 318	12.4 → 22.4
		水平動 EW成分	Ss-2EW	298 → 413	41.3 → 41.0
		鉛直動 UD成分	Ss-2UD	141 → 285	14.0 → 60.5

注:最大加速度・最大速度の値は、42km基本時の値→54km基本時の値

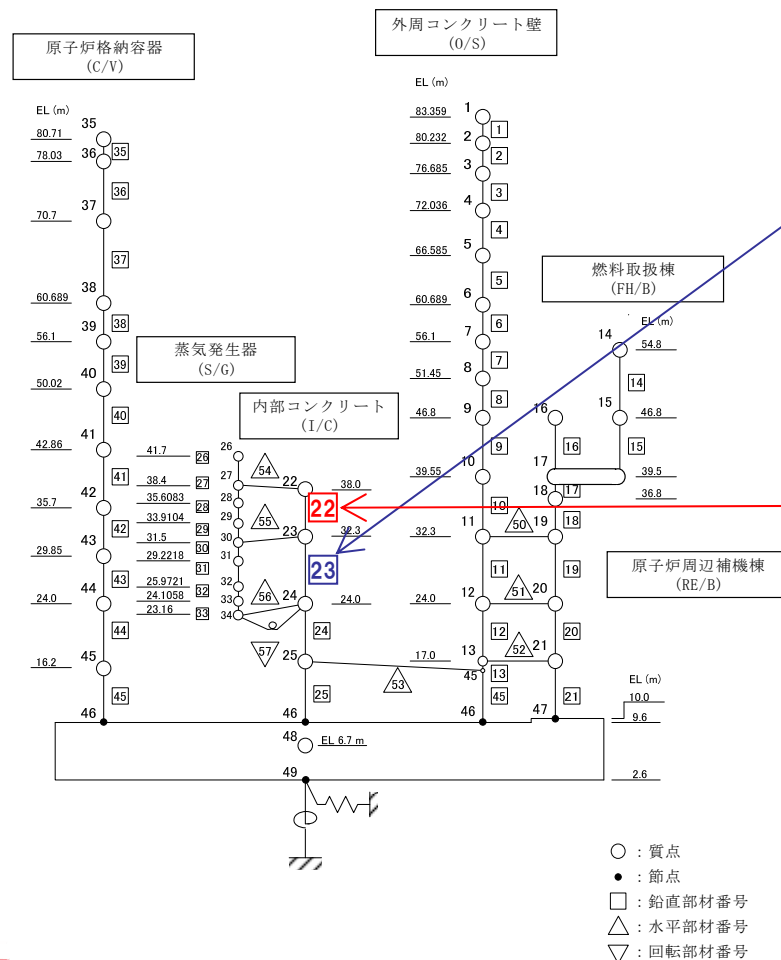
3. 施設の耐震安全性評価について

①原子炉建屋地震応答解析モデルの諸元の訂正

モデルへの入力データ(諸元)の一部に誤りがあったことから、訂正モデルによる地震応答解析を行い、訂正前・後を比較した結果、基準地震動 S_s-1 による最大応答分布等の差異は小さく殆ど同じであることを確認した。

原子炉建屋 地震応答解析モデルのデータ誤り

原子炉建屋の諸元の一部に誤りを確認したことから、正しいデータ(諸元)を用いた再評価を実施



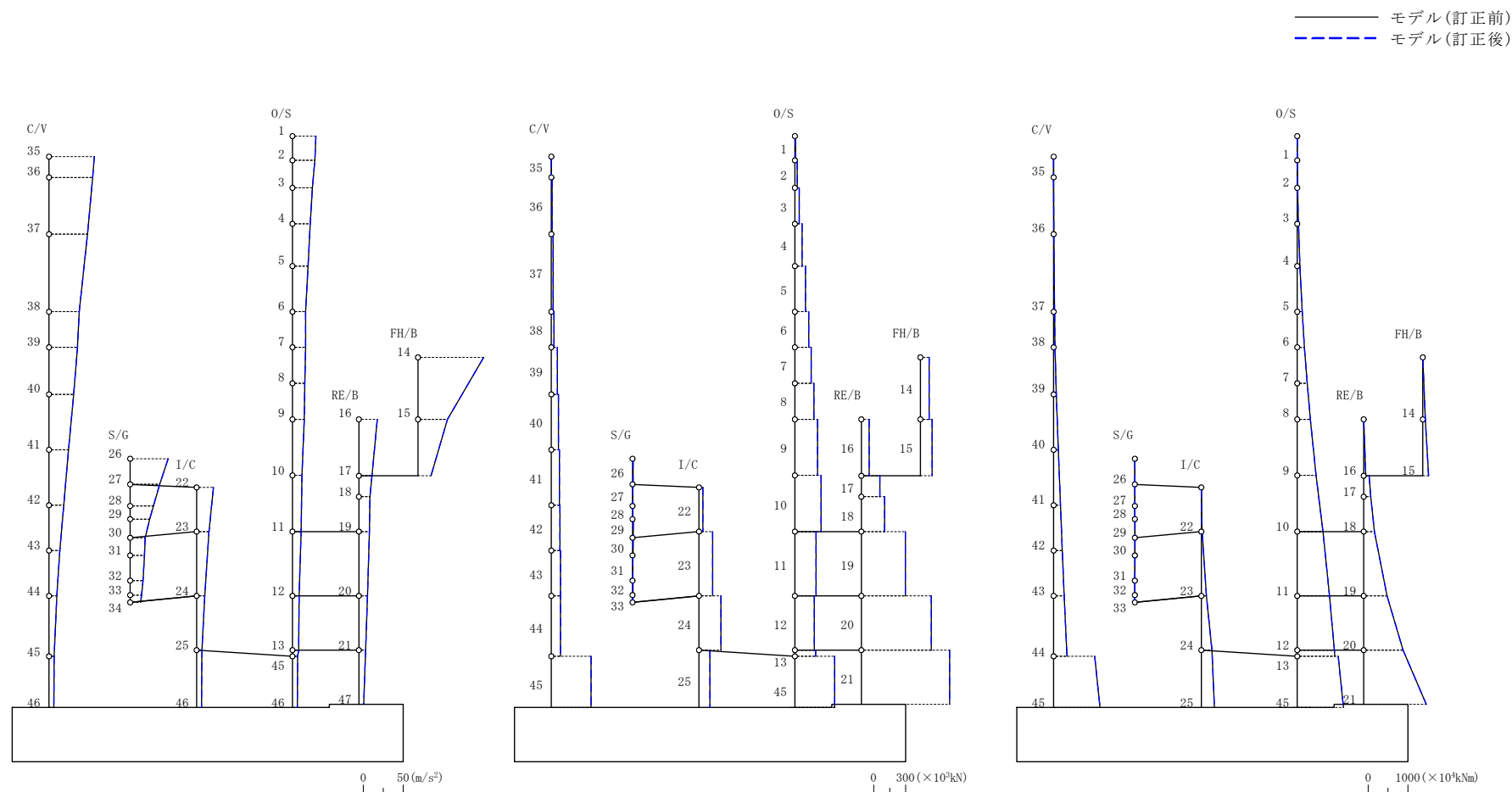
① 諸元誤り
(3号機建設時の工事計画
認可申請書で用いたモデル)

部材 番号	方向	断面2次モーメント(m^4)	
		誤	正
23	NS	5509.5	8190.6

② 諸元誤り
(新耐震指針に照らした耐震安全性
評価で用いたモデル)

部材 番号	方向	等価せん断断面積(m^2)	
		誤	正
22	EW	53.38	56.38
	NS	54.79	57.79

原子炉建屋の地震応答解析結果(Ss-1 EW方向)

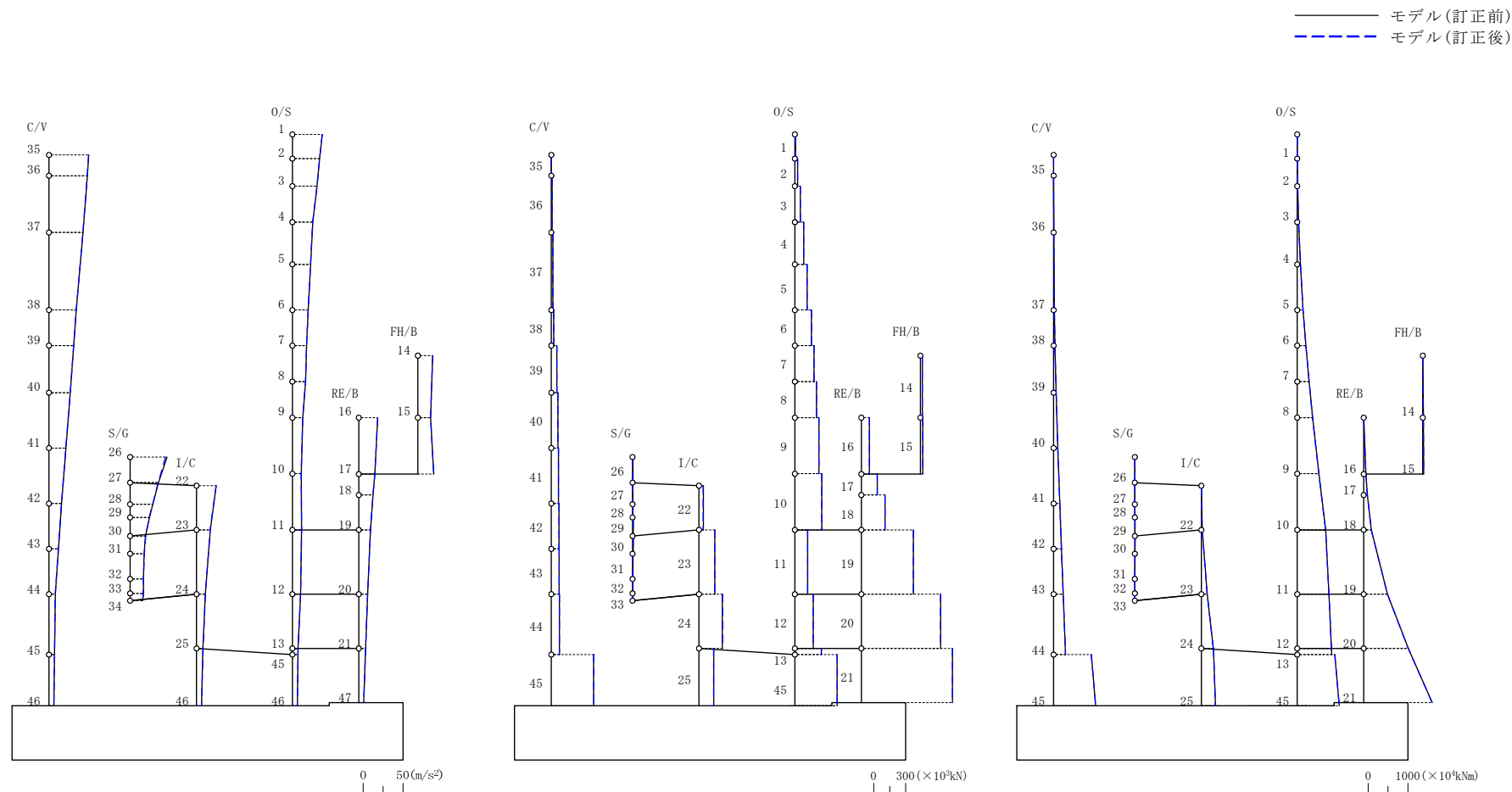


最大応答加速度分布

最大応答せん断力分布

最大応答曲げモーメント分布

原子炉建屋の地震応答解析結果(Ss-1 NS方向)



最大応答加速度分布

最大応答せん断力分布

最大応答曲げモーメント分布

3. 施設の耐震安全性評価について(伊方3号機)

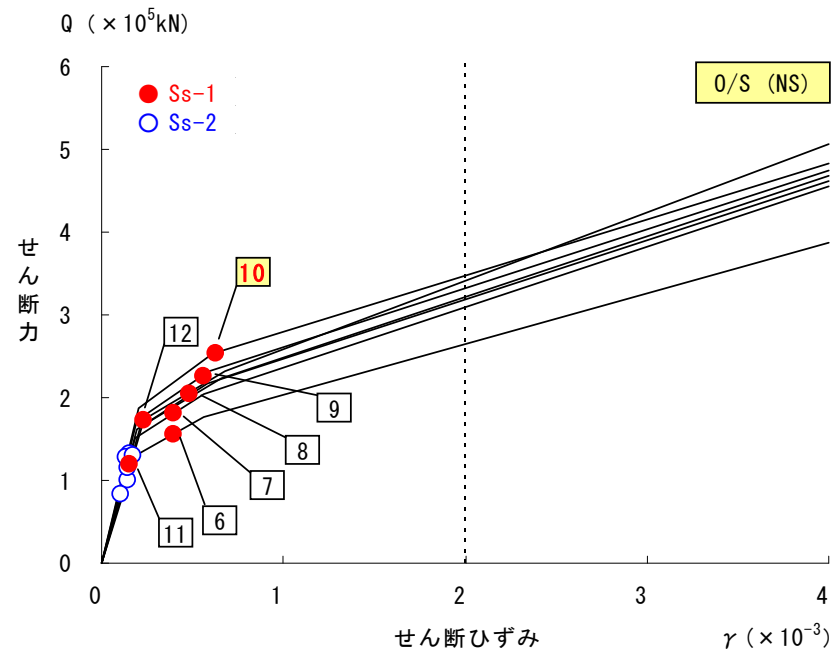
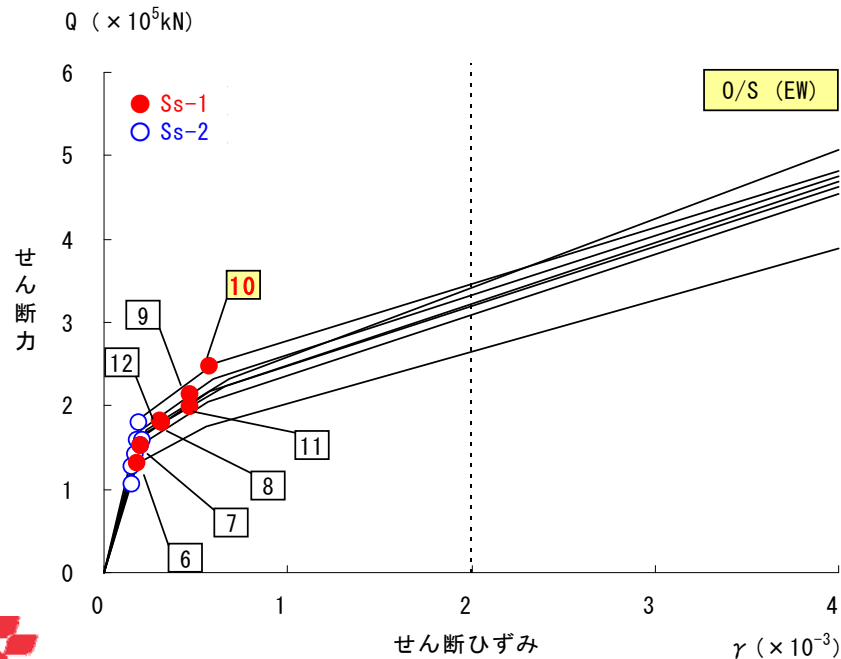
②新しい基準地震動Ss-2(新Ss-2)に基づく耐震安全性確認

伊方3号機原子炉建屋(モデル訂正後)および原子炉補助建屋について、基準地震動Ss-1、新Ss-2に対する地震応答解析を行い、耐震壁の最大応答せん断ひずみは、評価基準値(2.0×10^{-3})を超えないことを確認するとともに、床応答スペクトルを用いた応答倍率法による主要施設の発生値が、評価基準値を満足していることを確認した。

原子炉建屋の耐震安全性評価結果

耐震壁の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.63×10^{-3} であり、評価基準値 (2.0×10^{-3})を超えない。

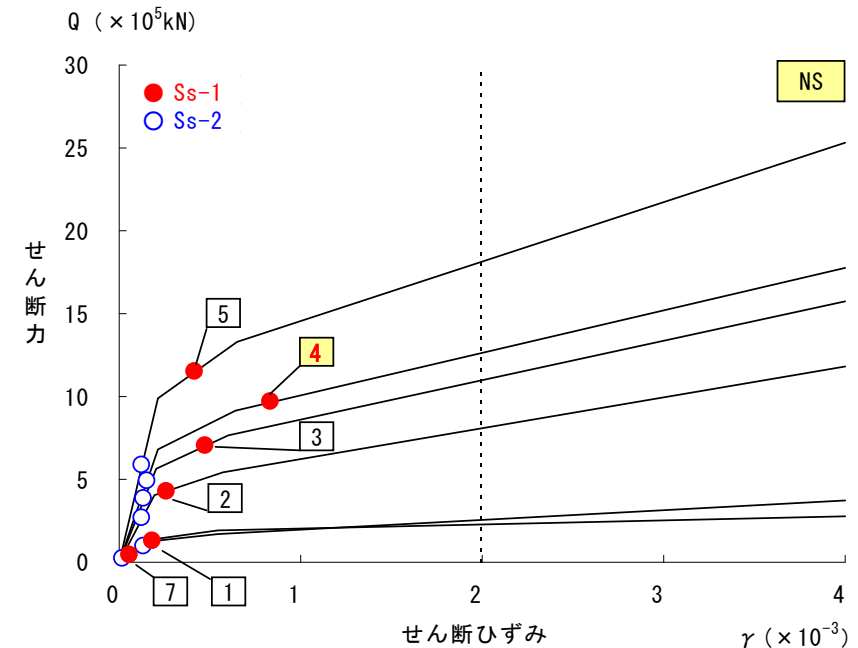
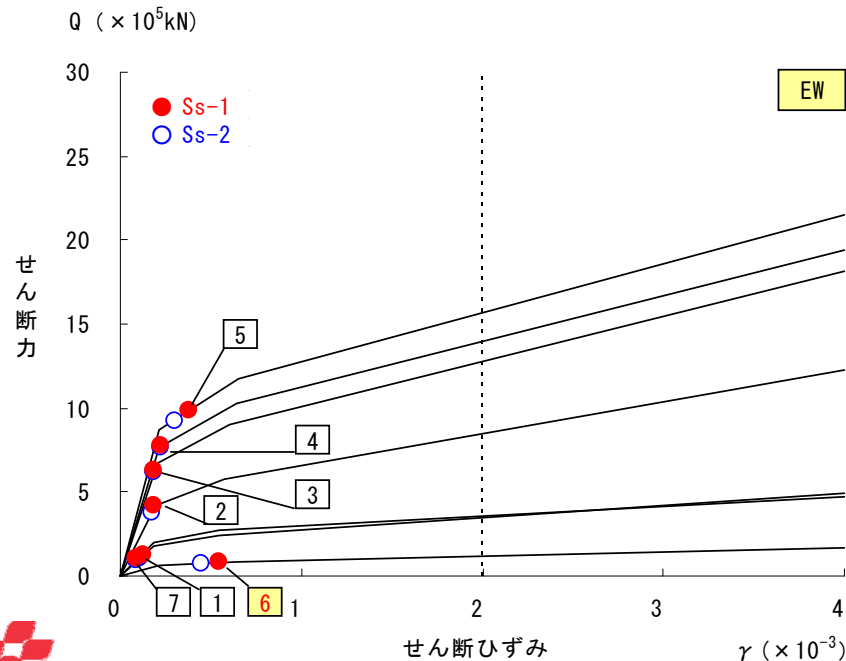
基準地震動	EW方向		NS方向	
	最大応答せん断ひずみ	部位	最大応答せん断ひずみ	部位
Ss-1	0.58×10^{-3}	O/S 10 部材	0.63×10^{-3}	O/S 10 部材
Ss-2	0.22×10^{-3}	O/S 11 部材	0.17×10^{-3}	O/S 12 部材



原子炉補助建屋の耐震安全性評価結果

耐震壁の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.84×10^{-3} であり、評価基準値(2.0×10^{-3})を超えない。

基準地震動	EW方向		NS方向	
	最大応答せん断ひずみ	部位	最大応答せん断ひずみ	部位
Ss-1	0.55×10^{-3}	D/G 6 部材	0.84×10^{-3}	A/B 4 部材
Ss-2	0.45×10^{-3}	D/G 6 部材	0.16×10^{-3}	A/B 4 部材



※ (NS方向 部材6)は、耐震壁として扱っていない。

機器・配管系の評価結果

発生値は評価基準値を超えず、耐震安全性が確保されていることを確認。
評価した全ての機器において、基準地震動Ss-1による発生値が新Ss-2によるものを上回っていた。
(Ss-2は変更になったものの、Ss-1が支配的であることに変更はなかった。)

■ 構造強度評価結果

区分	評価対象設備	評価部位	応力分類	材料	温度 [°C]	発生値 [N/mm ²]	評価基準値 [N/mm ²]	
							Ⅳ _A S	Ⅲ _A S (参考)
止める	炉内構造物	炉心そう	膜+曲げ	SUS304	329.9	90	391	252
冷やす	蒸気発生器	支持構造物	圧縮応力	SM50B	49	56	79	73
	一次冷却材管	本 体	一次応力	SCS14A	329.9	117	348	260
	余熱除去ポンプ	基礎ボルト	引張応力	SS41	40	1	210	176
		原動機取付ボルト※1	引張応力	SS41	40	10	210	176
	余熱除去設備配管	本 体	一次応力	SUS316TP	343	176	343	256
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物	支圧応力	SFVQ1A	170	274	465	421
	原子炉格納容器	本 体	一次応力	SGV49	132	60	351	351

※1 参考に、ポンプ本体を除く支持構造物の評価結果を示す。

■ 動的機能維持評価結果

区分	評価対象設備	発生値 [秒]	評価基準値 [秒]
止める	制御棒(挿入性)	2.03	2.50

(参考)

基準地震動Ssによる評価対象設備の発生応力については、弾性範囲(許容応力状態:Ⅲ_AS)に収まっていることを確認した。

4. まとめ

基準地震動策定

- 基本震源モデルの断層長さを42kmから54kmに変更
- 断層長さ54kmを基本に、不確かさの考慮として、断層長さ69kmや断層南傾斜80度のケースなどを追加
- 基準地震動Ss-1 (最大加速度振幅570ガル) に変更ないことを確認
- Ss-2の策定に当たっては、経験的グリーン関数法に加え、統計的グリーン関数法でも評価し、Ss-2を新たに設定(新Ss-2)

施設評価

- 原子炉建屋の諸元の一部に誤りを確認したことから、正しい諸元で施設の評価を実施
- Ss-1、新Ss-2で、伊方3号機の原子炉建屋、原子炉補助建屋の耐震安全性評価を実施した結果、耐震壁の最大応答せん断歪は評価基準値を超えないことを確認
- Ss-1、新Ss-2で、伊方3号機の原子炉を止める、冷やす、放射性物質を閉じ込めるのに必要な機能を持つ主要8施設について、構造強度評価、動的機能維持評価を行った結果、発生値は評価基準値を超えないことを確認