

平成 20 年 10 月 22 日
四国電力株式会社

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 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、伊方発電所の新耐震指針に照らした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、平成 20 年 3 月 28 日、地質調査結果、基準地震動 S_s の策定結果、3 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取りまとめ、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 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ありませんでした。
- ② 新耐震指針に照らして、不確かさを考慮し安全側に地震動評価を行って策定した結果、基準地震動の最大加速度は、570ガルとなりました。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す。
- ③ 新しい基準地震動により、安全上重要な機能を有する耐震 S クラスの主要な設備や原子炉建屋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、これまで実施してきた各種地質調査、歴史地震の調査等を実施し、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 S_s 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、別紙-1 のとおりであり、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も踏まえ、評価を行いました。

3. 地質調査の実施

当社は、新耐震指針を先取りし、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実施しております。

主な調査項目は別紙-2 のとおりです。

4. 活断層の評価

活断層の評価にあたっては、「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，3号炉許可以降の文献も考慮しながら安全側に評価を行いました。（表-1，図-1）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。

[活断層評価が変更となった考え方のポイント]

- a. 活断層評価対象期間が5万年から12～13万年前までに変更になったことによるもの
- b. 複数のセグメント間における破壊の伝播を考慮したもの
- c. 変動地形学的調査等の新耐震指針で明示的に追加された調査手法によるもの
- d. 不確かさを考慮した安全側の評価

【表-1 新耐震指針に照らした活断層の評価のまとめ】

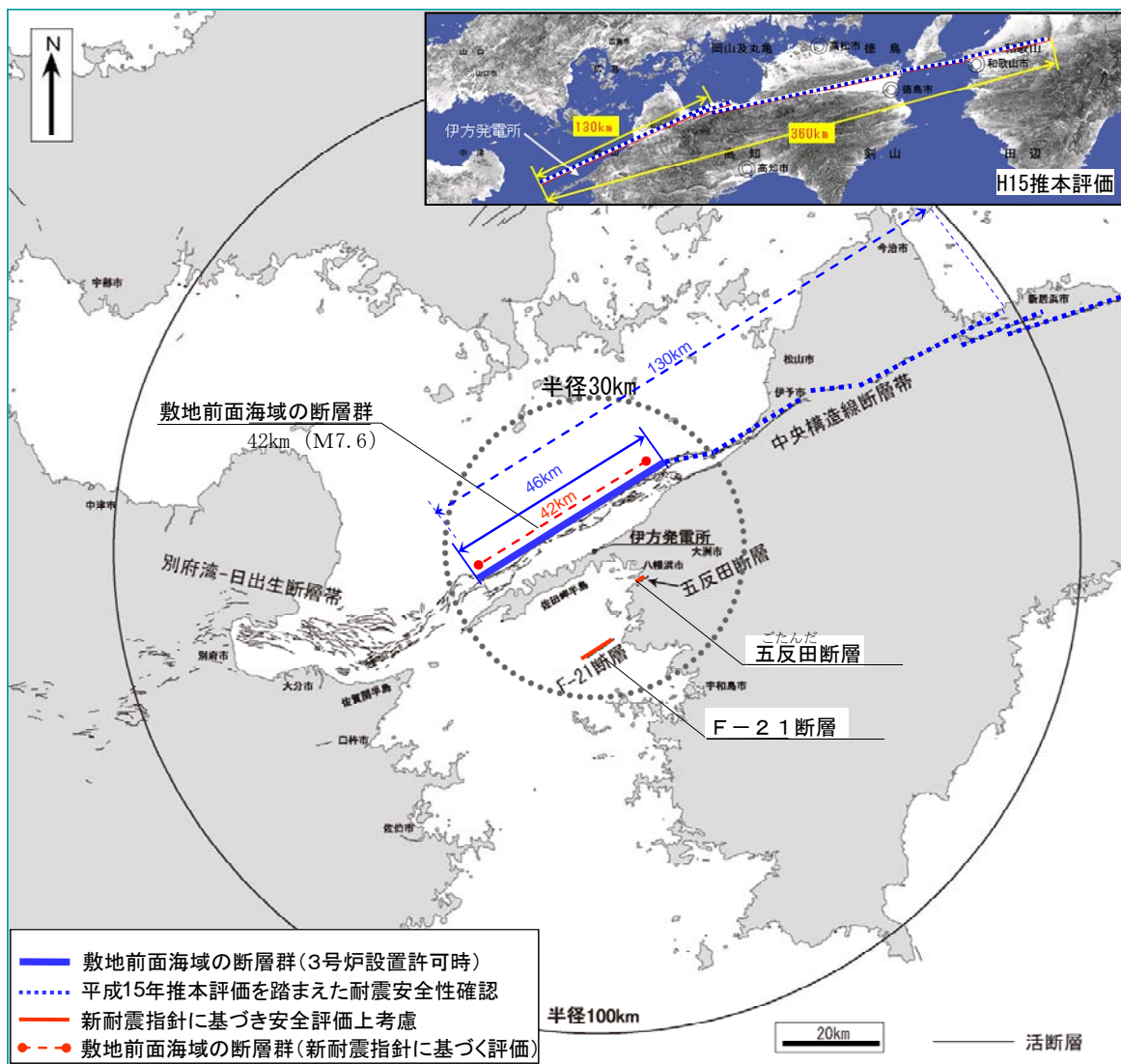
新耐震指針における評価			旧耐震指針における評価 (3号炉評価)		変更理由
断層名	断層長さ L	地震動評価 上の規模	断層長さ L	地震動評価 上の規模	
①	敷地前面海域の 断層群	42 km ^{※1}	M7.6 ^{※6}	46 km 間を断層 モデルでケース検討	M7 程度
	中央構造線断層帯	130km 360km	M8 もしくは それ以上 ^{※6}		b
②	五反田断層	2km ^{※2}	M6.8 ^{※4}	—	c
③	F-21 断層	(8.9km) ^{※3}	M6.8 ^{※4}	— ^{※5}	a

※1 3号炉以降に独立行政法人産業技術総合研究所が伊予灘海域で実施した地質調査結果が平成15年2月に論文^注として公表され，その中で42km長さの伊予灘セグメントが示された。（これらについては，平成15年3月の環境安全管理委員会にて報告済。）

当社は，その後独自の調査も加え，断層の分布形態（直線状、あるいは屈曲、分岐）や深部地下構造（基盤岩の凹み，大規模な堆積盆地）を考慮して地震動評価上の断層長さとして，同じく42kmを採用した。

注：七山・他「伊予灘～佐賀関沖 MTL 活断層系の広域イメージングとセグメント区分」活断層・古地震研究報告，No2, P141-152, 2002.

- ※2 浸食地形と推定されるものの，変動地形学の観点から後期更新世以降の活動を確実に否定できないため，安全評価上考慮することとし，地震動評価上は20kmと設定。
- ※3 解析・評価中のため，3号炉評価時の長さを（ ）付で表記。地震動評価上は20kmと設定。
- ※4 「中越沖地震を踏まえ反映すべき事項」に基づき，マグニチュード6.8相当の地震規模を設定。
- ※5 断層長さは8.9kmであるが，5万年前以降の活動がないことから耐震設計上考慮すべき活断層でないと評価。
- ※6 地震動評価上の規模算定の考え方を別紙-3に示す。



【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】

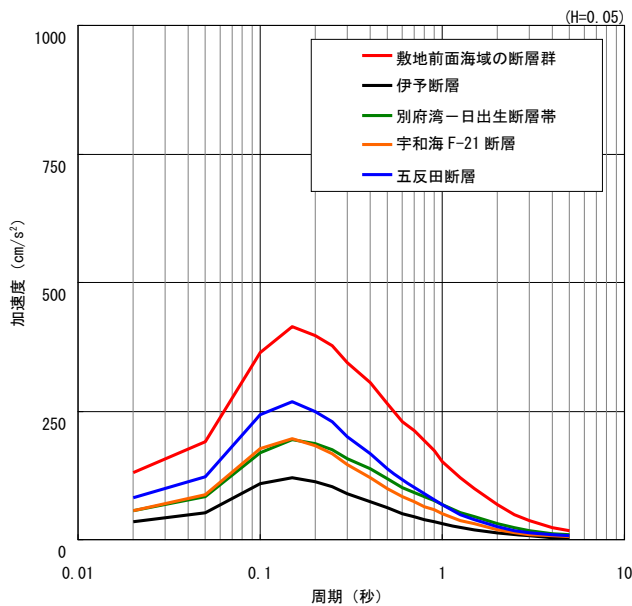
5. 基準地震動 Ss の策定

5.1 敷地に特に大きな影響を及ぼす「検討用地震」の選定

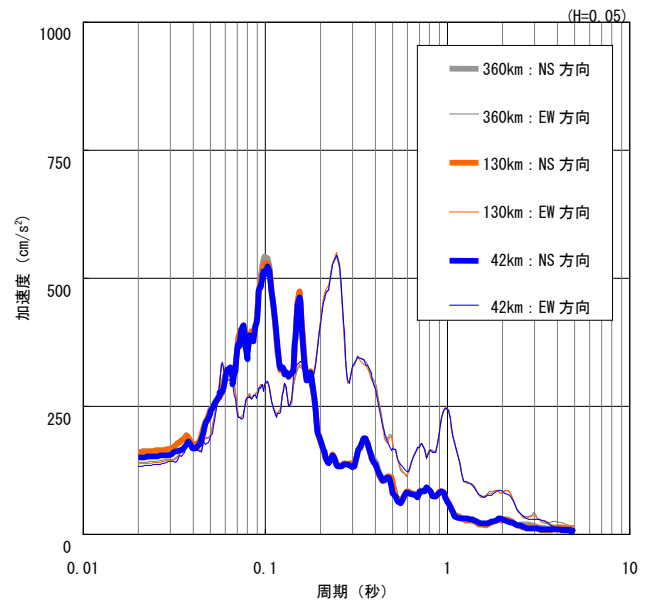
敷地周辺の地震発生様式や、過去の地震発生状況、活断層の調査結果さらには他機関による活断層評価を踏まえ検討用地震を選定する際、隣接する活断層において破壊が伝播することを考慮した地震動評価を行うとともに、変動地形学的観点から活断層が推定される場合は安全側に震源を設定しました。

これらの検討の結果、内陸地殻内地震においては、敷地前面海域の断層群を含む中央構造線断層帯による地震が、五反田断層やF-21断層による地震など、他の敷地周辺の断層による地震と比較して、敷地により大きな影響を与えることを確認しました。(図-2)

さらに他機関による中央構造線断層帯の活動区間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から内陸地殻内地震の検討用地震として敷地前面海域の断層群による地震を選定しました。(図-3)



【図-2 内陸地殻内地震のスペクトル】

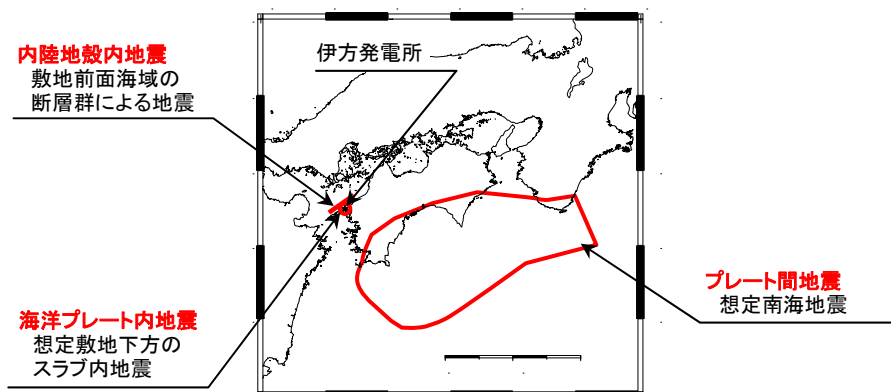


【図-3 中央構造線断層帯による断層長さの影響】

同様に、プレート間地震および海洋プレート内地震についても過去の地震発生や他機関による評価を踏まえ検討用地震を選定しました。

検討用地震の選定結果を以下に示します。(図-4)

- ・内陸地殻内地震：敷地前面海域の断層群による地震 (L=42km)
- ・プレート間地震：想定南海地震 (中央防災会議による想定南海地震 M8.6)
- ・海洋プレート内地震：想定敷地下方のスラブ内地震 (M7.0)



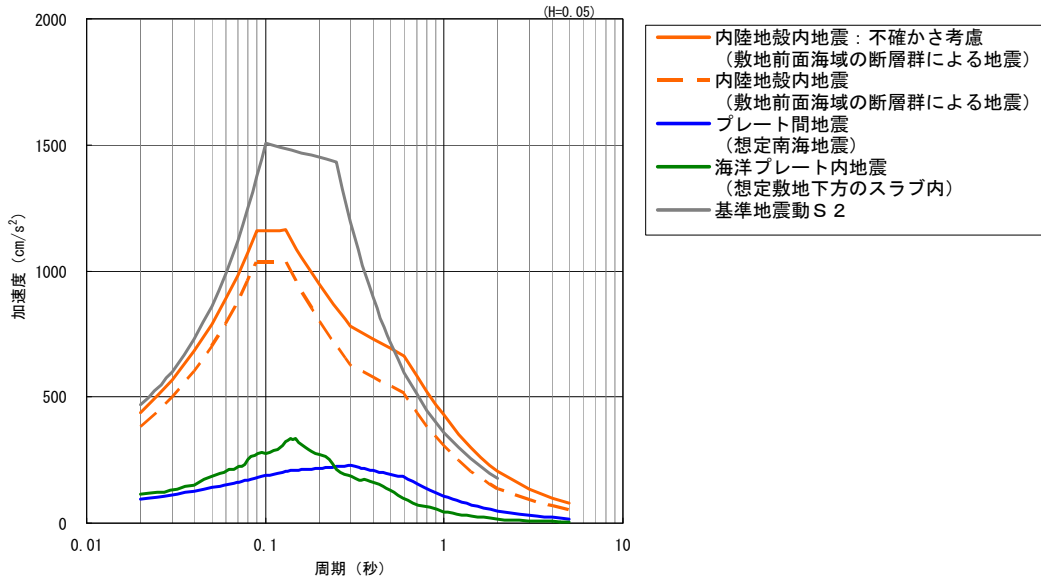
【図-4 検討用地震の選定結果】

5.2 応答スペクトルに基づく地震動評価

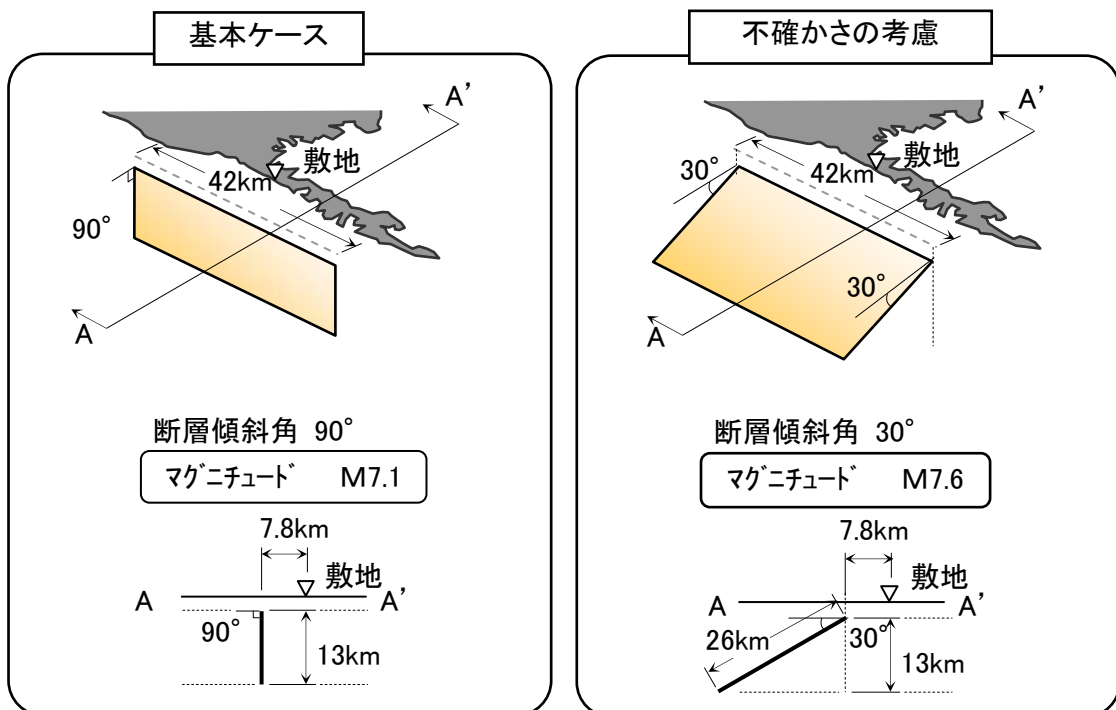
(1) 「震源を特定して策定する地震動」

検討用地震で選定した地震による地震動の応答スペクトルを示す。(図-5)

なお、内陸地殻内地震（敷地前面海域の断層群による地震）による地震動評価においては、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、不確かさを考慮しました。(図-6)



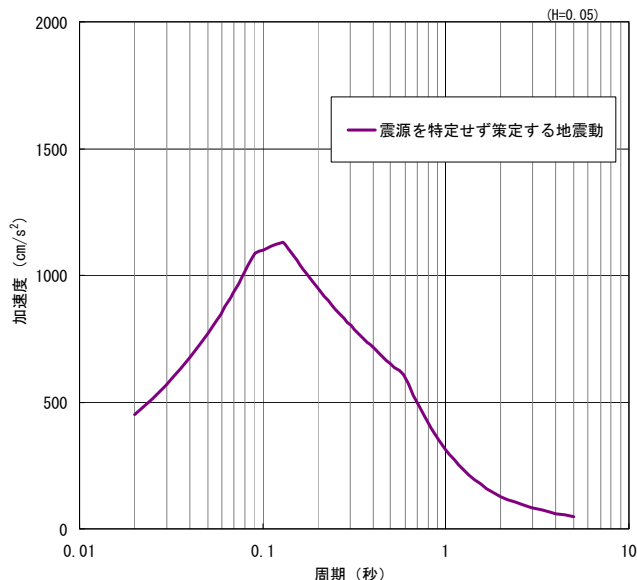
【図-5 震源を特定して策定する地震動（応答スペクトルに基づく地震動評価）】



【図-6 不確かさの考慮（応答スペクトルに基づく地震動評価）】

(2) 「震源を特定せず策定する地震動」

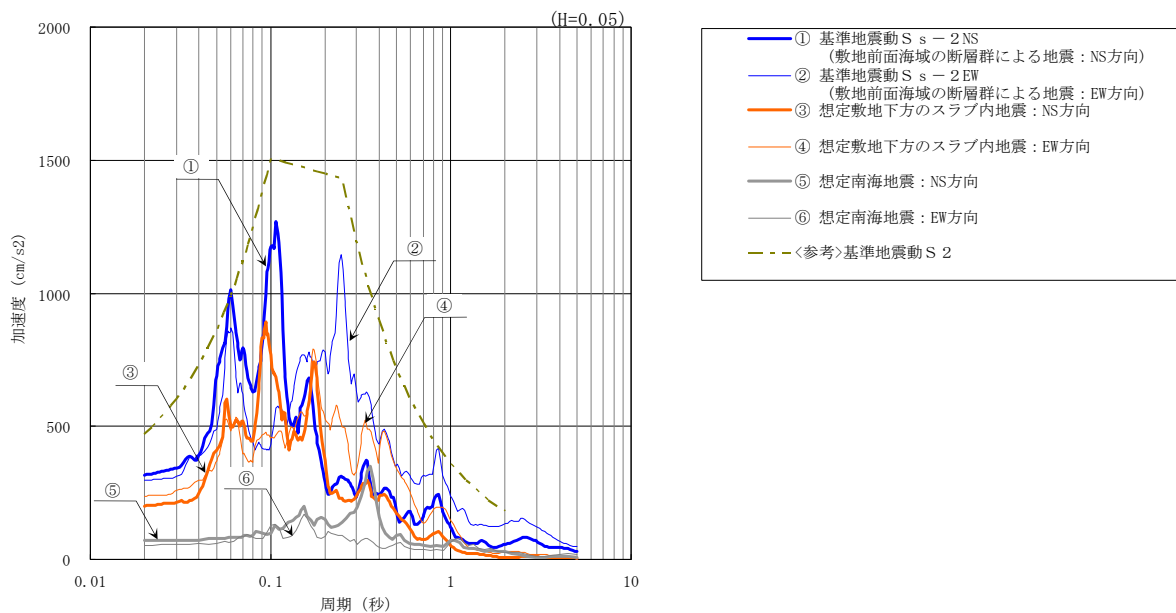
敷地周辺において震源を事前に特定できない地震の最大規模は、加藤ほか(2004)が「震源を事前に特定できない地震による水平動の地震動レベル」を提案する際にに基づいた地震規模M6.8と同程度以下と推定されるため、敷地の地盤物性を考慮し、加藤ほか(2004)が提案した地震基盤における地震動レベルを、震源を特定せず策定する地震動として設定しました。(図-7)



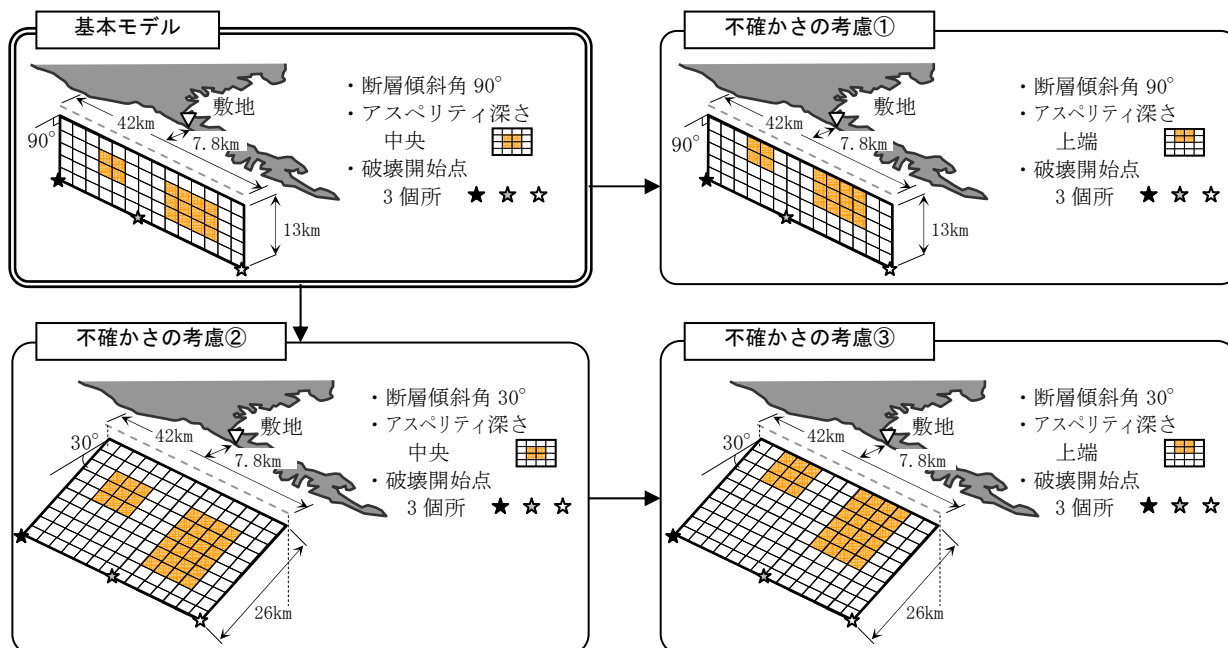
【図-7 震源を特定せず策定する地震動 (応答スペクトル)】

5.3 断層モデルを用いた手法による地震動評価

検討用地震で選定した地震について破壊過程や地震動の伝播特性が適切に評価できる断層モデル手法を用いて評価を行いました。評価にあたってはアスペリティ (震源断層面内で地震時に大きなゆれを発生させる場所) の位置を発電所敷地に近づけるなど、不確かさについても考慮しました。(図-8, 9)



【図-8 震源を特定して策定する地震動 (断層モデル)】

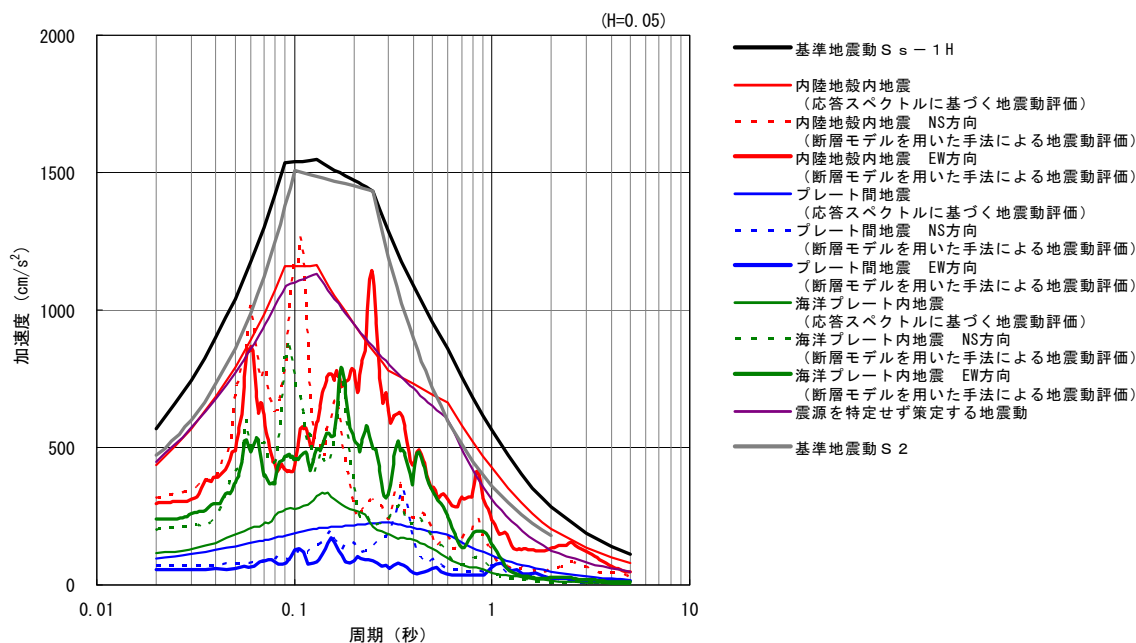


【図-9 不確かさの考慮について】
(敷地前面海域の断層群による地震)

5.4 基準地震動 Ss-1H の策定

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（応答スペクトル，断層モデル）」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 も包絡した「基準地震動 Ss-1H」（最大加速度振幅 570 ガル）を設定しました。（図-10）

なお，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 Ss-1H を超えるような地震動が発生する確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ /年と非常に小さなものとなっています。

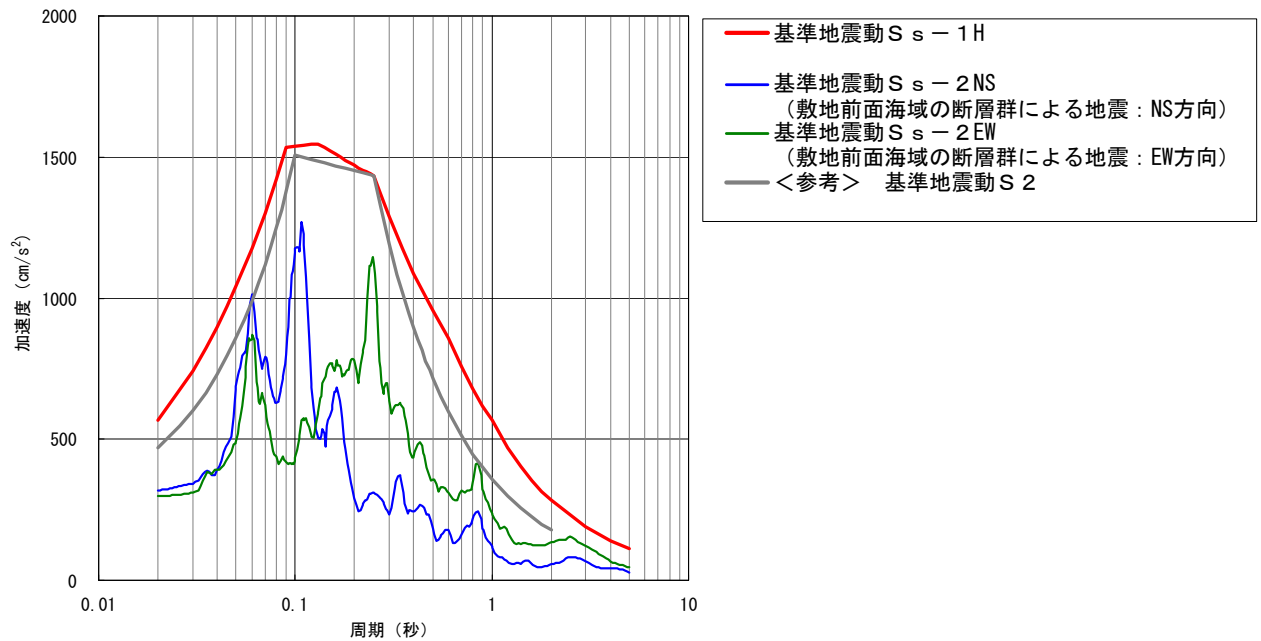


【図-10 基準地震動 Ss-1H の策定】

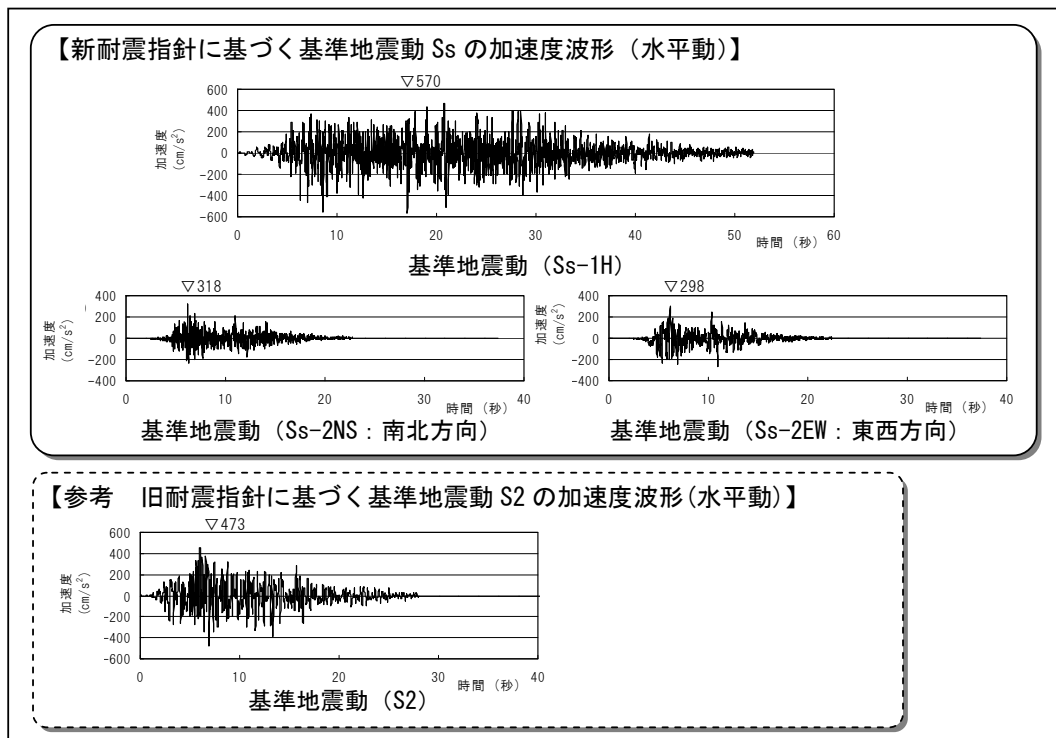
5.5 基準地震動 Ss の策定のまとめ

基準地震動 Ss としては、「基準地震動 Ss-1H」に加え、施設に与える影響の観点から、地震動の周波数特性・位相特性等を考慮して、断層モデルを用いた手法により「基準地震動 Ss-2NS, Ss-2EW」を設定しました。(図-11)

地震波については、基準地震動 Ss-1H に適合させた設計用模擬地震波を策定し、基準地震動としました。また、断層モデルにより策定した基準地震動 Ss-2NS, Ss-2EW については、断層モデル評価による時刻歴波形をそのまま基準地震動として設定しました。(図-12)



【図-11 策定した基準地震動の応答スペクトル（水平動）】



【図-12 基準地震動の加速度波形（水平動）】

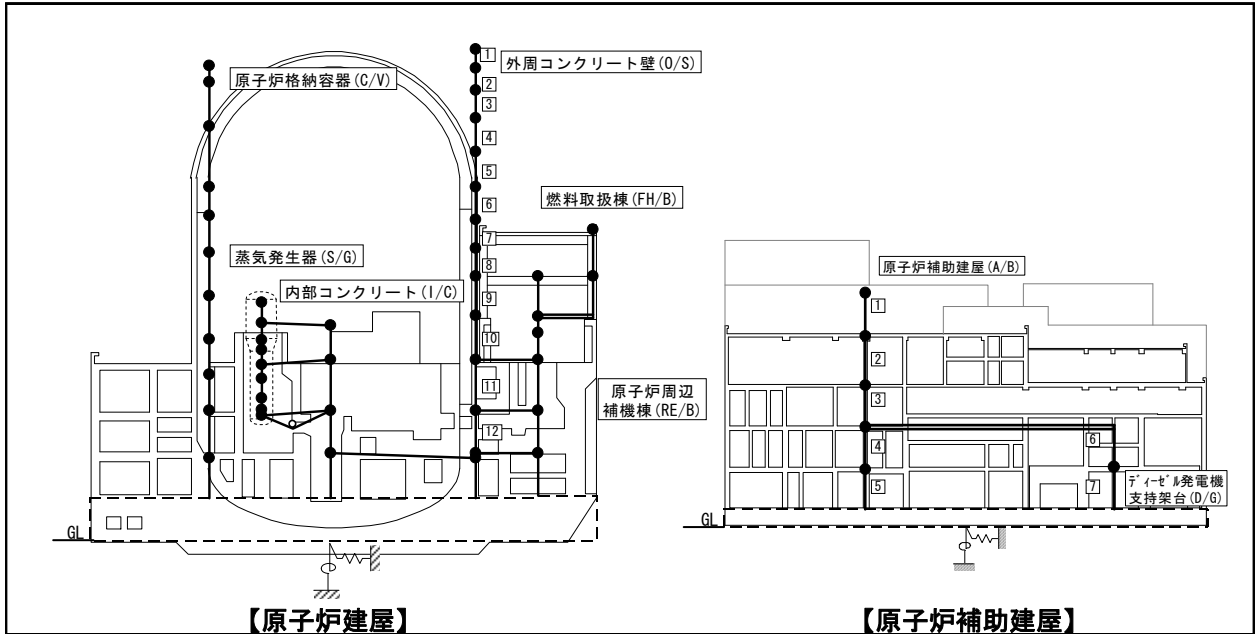
6. 施設等の耐震安全性評価

6.1 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

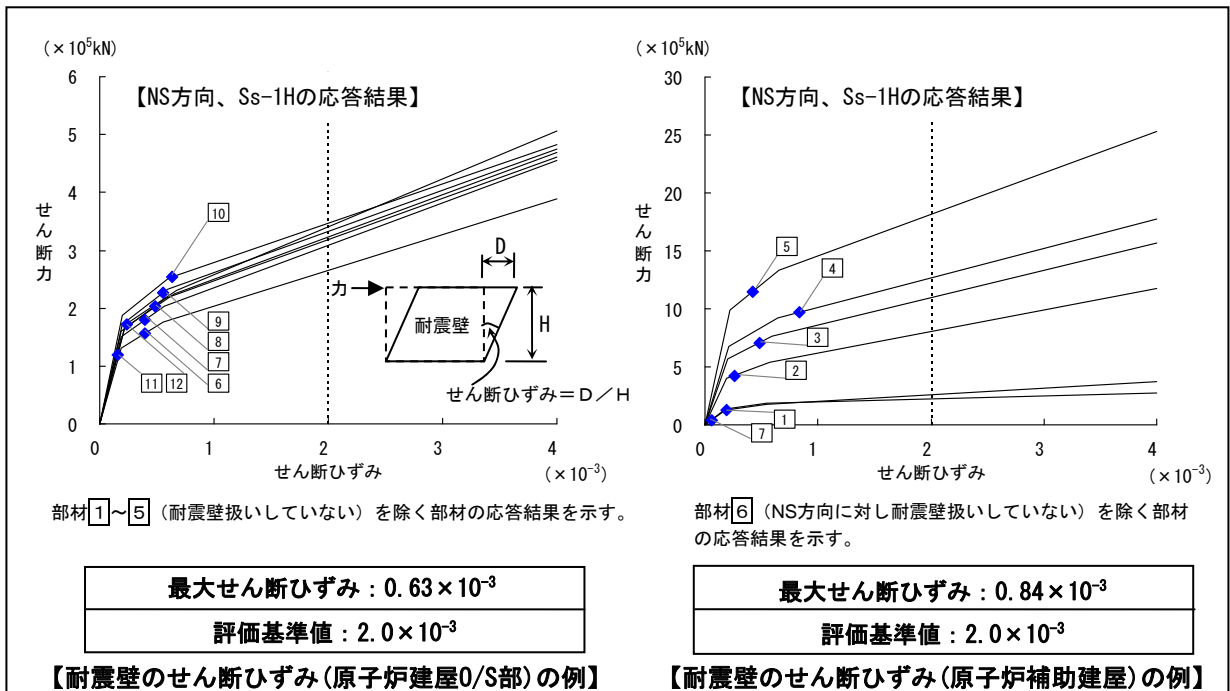
耐震Sクラスの施設を内包する原子炉建屋および原子炉補助建屋について、地震応答解析モデル(図-13)を設定し、基準地震動 S_s による地震応答解析を実施しました。

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。

評価の結果、耐震壁の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。(図-14)



【図-13 建屋のモデル化】

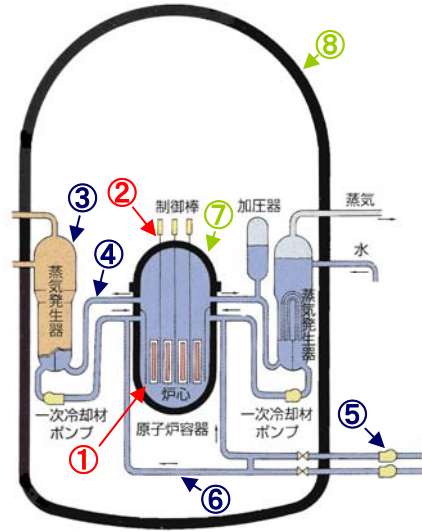


【図-14 建屋の耐震安全性評価結果】

6.2 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」**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。

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



基準地震動 S_s による応答解析を行い、その結果求められた発生値（または制御棒の挿入時間）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（制御棒の挿入性）の場合は安全評価の解析条件等を踏まえて設定された規定時間のことを言います。

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-2、3）

【表-2 構造強度評価結果】

構造強度評価	区分	評価対象設備	評価部位	単位	発生値 ^{※1}	評価基準値（許容値）
	止める	①炉内構造物	炉心そう	応力[N/mm ²]	88	391
	冷やす	③蒸気発生器	支持構造物	応力[N/mm ²]	55	79
		④一次冷却材管	本体	応力[N/mm ²]	116	348
		⑤余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力[N/mm ²]	1	210
		⑥余熱除去設備配管	本体	応力[N/mm ²]	168	343
	閉じ込める	⑦原子炉容器	支持構造物	応力[N/mm ²]	270	465
		⑧原子炉格納容器	本体	応力[N/mm ²]	60	351

※1 発生値は基準地震動 S_s -1, 2 によるもののうち最も厳しいものを記載

【表-3 動的機能維持評価結果】

動的機能維持評価	区分	評価対象設備	評価部位	単位	発生値 ^{※1}	評価基準値（許容値）
	止める	②制御棒（挿入性）	—	時間[秒]	2.03	2.50 ^{※2}

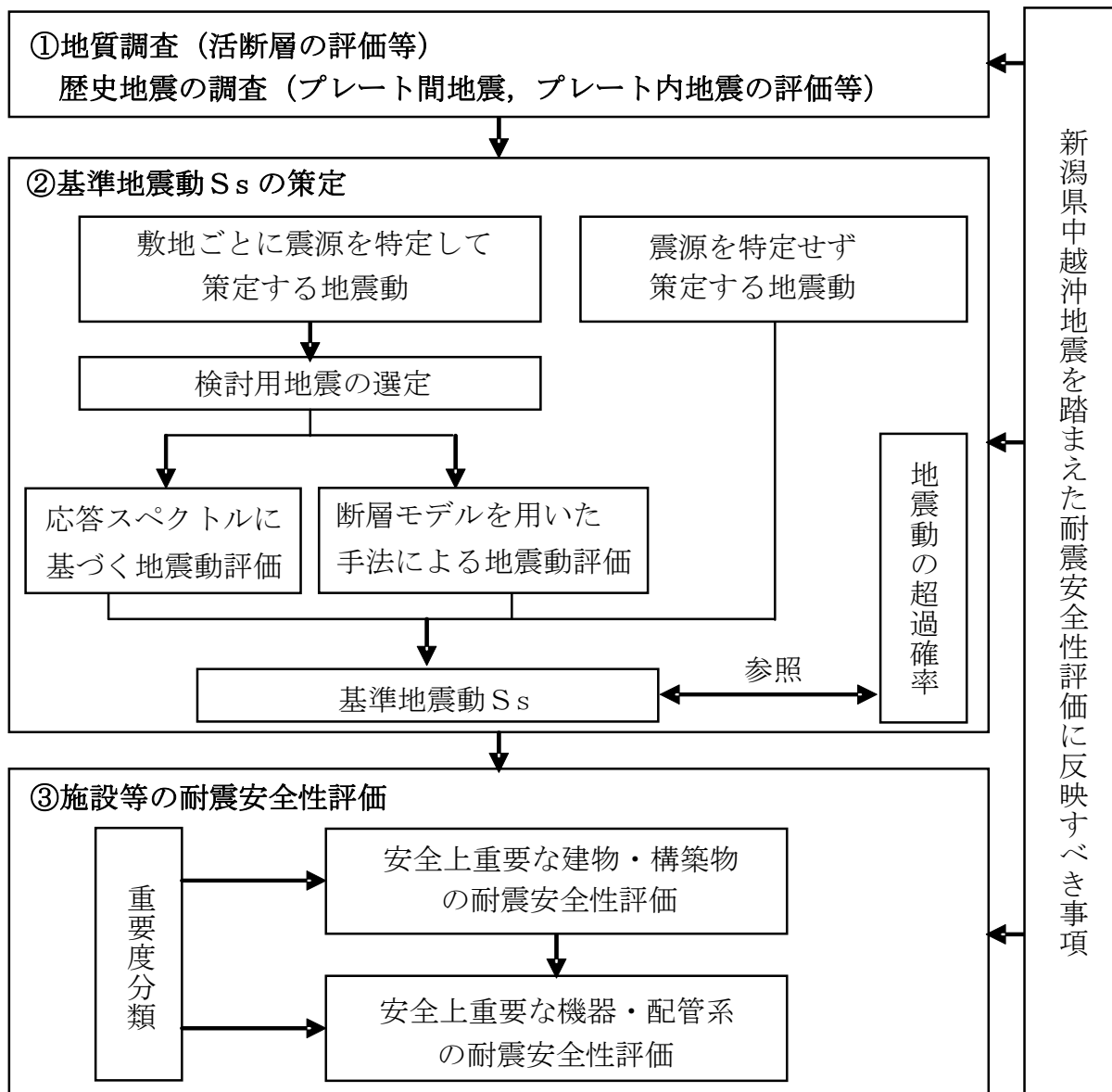
※1 発生値は基準地震動 S_s -1, 2 によるもののうち最も厳しいものを記載

※2 安全評価の解析条件である制御棒クラスタ落下開始から全ストロークの85%挿入までの時間2.2秒に電流遮断時から制御棒クラスタの駆動軸が制御棒駆動装置のラッチを離れるまでの時間0.30秒を加えた2.50秒を制御棒挿入性の評価における規定時間とする。

7. 今後の予定

- 伊方3号機の耐震安全性評価については、本年7月末までに報告書を提出することとしていましたが、7月末の段階で、新潟県中越沖地震の知見を踏まえた具体的な評価事項について、保安院において検討が継続されていたことから、この検討を踏まえて評価を行うため、3号機の耐震安全性評価結果の報告を延期することとしました。その後、本年9月4日に保安院から具体的な評価事項についての通知が出され、現在は、それらに対する検討を行っております。検討結果がまとまり次第、3号機の耐震安全性評価を報告する予定です。
伊方1, 2号機についても、3号機に引き続き、耐震安全性評価を行っていきます。
- 現在、新耐震指針の主旨を踏まえ、耐震安全性に関する信頼性を一層向上させるとの観点から、既に自主的に開始している耐震性向上工事を、今後とも、進めて参ります。

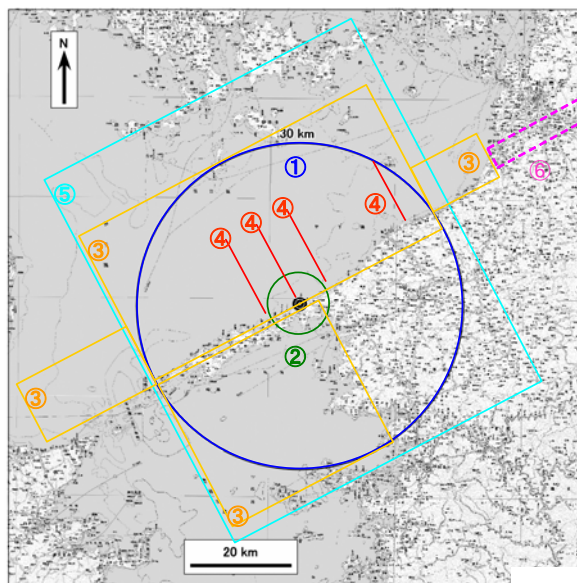
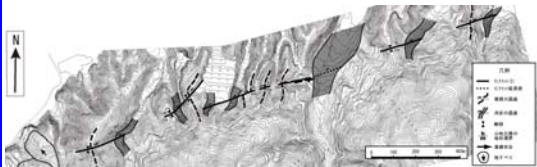
【別紙-1】耐震安全性評価の流れ



【別紙-2】新耐震指針を踏まえた主な調査項目

①地形調査（2002～2008年）

変動地形学的な観点に基づく空中写真判読による変位地形の抽出



※地形図は国土地理院発行 1/20万地形図を使用

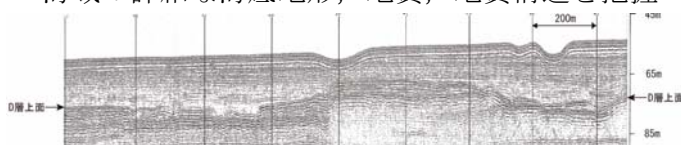
②地表地質調査（2004～2008年）

陸域の詳細な地質、地質構造を調査

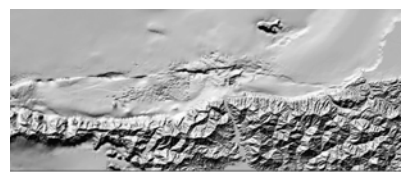


③音響測深、海上音波探査（2000～2008年）

探査深度の異なる各種音源を用いて地下浅部から深部に至る地質構造を調査
既存のデータ、他機関によるデータを併せた膨大な音波探査記録の再解析
海域の詳細な海底地形、地質、地質構造を把握



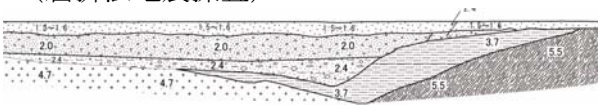
音波探査記録例



海底地形

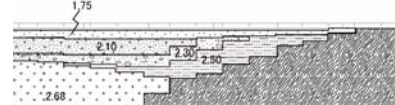
④地球物理学的調査（2004年）

地下深部の速度構造を調査
(屈折法地震探査)



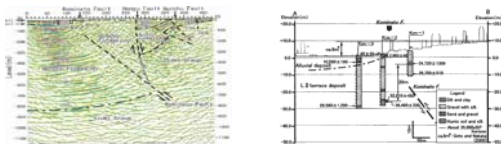
⑤地球物理学的調査（2004～2005年）

地下深部の密度構造を調査
(重力測定)



⑥陸域の中央構造線断層帯を対象とする調査（1997～2008年）

地球物理学的調査（反射法地震探査、重力測定）
地表地質調査（ボーリング調査、トレンチ調査）



【別紙-3】地震動評価上の規模算定の考え方

【参考1】地震調査研究推進本部による中央構造線断層帯の長期評価

○活動区間

中央構造線断層帯を5つの区間に分け、これらの区間が個別に活動する可能性、複数の区間が同時に活動する可能性、さらには、これらの区間とは異なった区間が活動する可能性が否定できないとしている。

○地震の規模

四国全域や断層帯全域が同時に活動する可能性も考慮すると、その長さは松田（1975）による経験式*の適用範囲外と考え、松田（1975）がこれらの経験式を求める際に用いた最大長さ（80km）とその時のマグニチュード（8.0）をもとに「マグニチュード8.0程度もしくはそれ以上」と評価している。

*松田（1975）による経験式

日本の内陸で発生した地震のうち、対応する活断層長さLと地震規模（マグニチュード）Mについて、1891～1970年までに発生した地震のデータを基にして両者の関係を求めた式である。

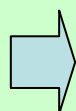
$$\text{Log } L = 0.6M - 2.9$$

【参考2】地震規模算定法の比較

地震調査研究推進本部の長期評価での算定手法

【断層長さから設定】

活断層長さ
L



断層長さとマグニチュード*^{※1}

$$\text{Log } L = 0.6M - 2.9$$

※1 松田(1975)の経験式



マグニチュード
M

四国電力の耐震安全性評価での算定手法

(地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」に基づく)

【断層面積から設定】

震源断層面積

$$S = \text{長さ}(L) \times \text{幅}(W)$$



地震モーメントと断層面積*^{※2}

$$S(\text{km}^2) = 4.24 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2}(\text{dyn}\cdot\text{cm})$$

※2 入倉・三宅(2001)の経験式

地震モーメントとマグニチュード*^{※3}

$$\text{Log } M_0(\text{dyn}\cdot\text{cm}) = 1.2 M + 17.7$$

※3 武村(1998)の経験式



マグニチュード
M