

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う当社原子力発電所の耐震安全性評価結果中間報告の概要

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、「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評価を実施するよう求める文書が出され、当社は、美浜発電所、高浜発電所、大飯発電所の耐震安全性評価を行ってきました。
- また平成19年7月16日には、新潟県中越沖地震があり、7月20日には、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、当社は平成19年8月20日に耐震安全性評価実施計画書を見直したうえで、経済産業省および福井県、立地町等に提出しました。さらに平成19年12月27日には、原子力安全・保安院から、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31日、地質調査結果、基準地震動Ssの策定結果、美浜発電所1号機、高浜発電所1号機、大飯発電所1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結果に関する中間報告をとりまとめました。**

【中間報告のポイント】

- 新耐震指針に照らして、当社原子力発電所周辺の地質調査を実施しました。
 - 地質調査の結果に基づき、当社原子力発電所に影響のある活断層を評価し基準地震動Ss^{*1}を策定しました。
 - 策定した基準地震動Ss（美浜、大飯発電所は最大加速度600ガル、高浜発電所は最大加速度550ガル）により、原子炉建屋や安全上重要な機能を有する耐震Sクラスの主要な施設^{*2}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。
- ※1：新耐震指針で要求されている原子力発電所の耐震設計に用いる地震動
 ※2：美浜発電所1号機、高浜発電所1号機、大飯発電所1号機の原子炉容器、蒸気発生器、炉内構造物、一次冷却材管、余熱除去ポンプ、余熱除去配管、原子炉格納容器、原子炉建屋、原子炉補助建屋、制御棒（挿入性）

2. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ

- 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の最終報告までの流れは、図-1のとおりです。
- なお、今回の中間報告において、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評価も行いました。

■ = 今回の中間報告で実施したもの
 ■ = 今回の中間報告で一部実施したもの

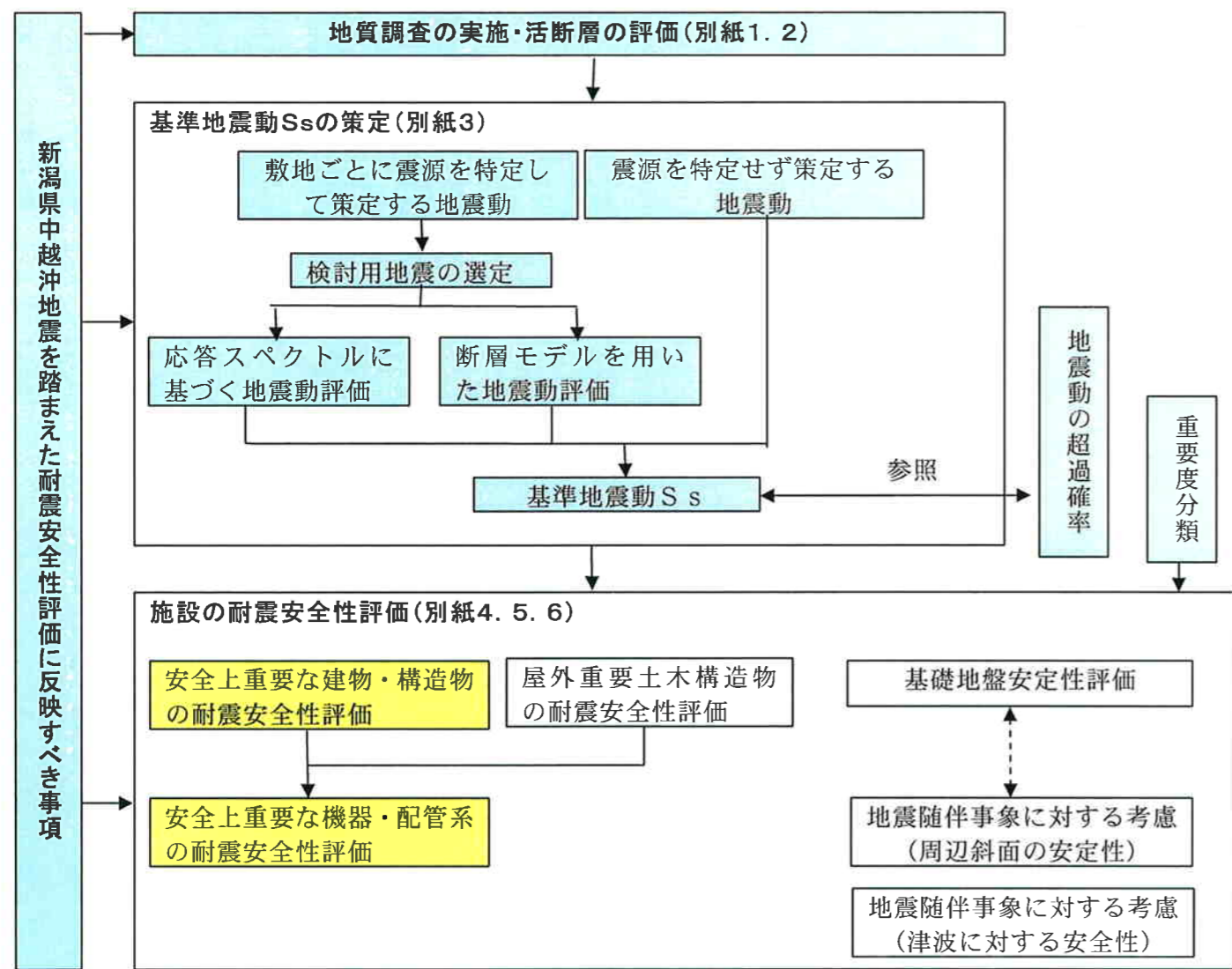


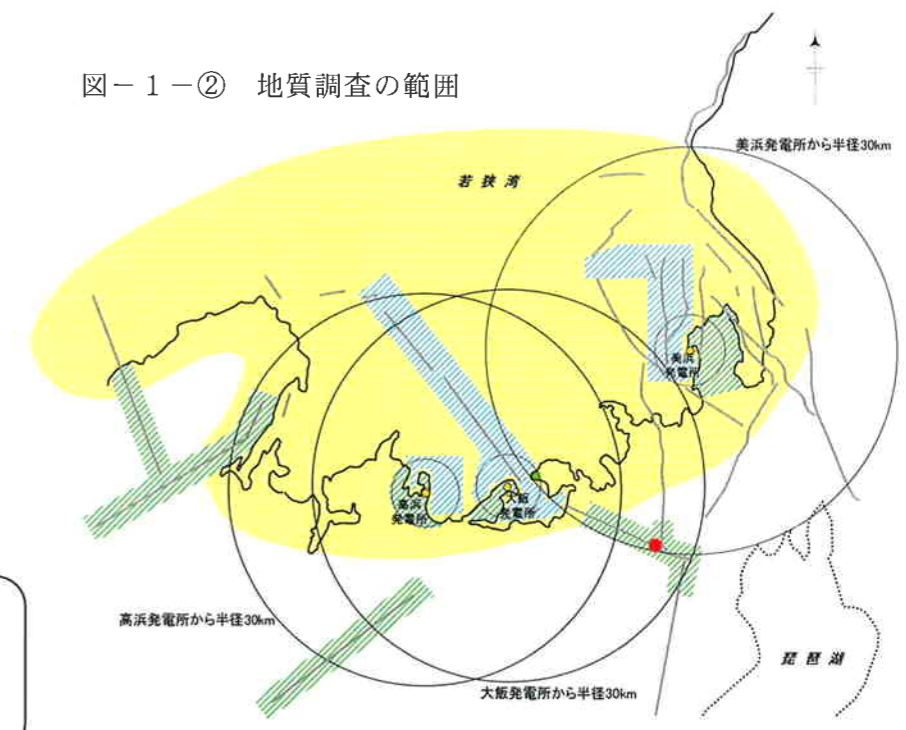
図-1-① 耐震安全性評価の流れ

3 耐震安全性評価（中間報告）の概要

3.1 地質調査の概要

- 新耐震指針に照らして、実施した主な調査項目は以下のとおりです。
- なお、美浜発電所の周辺については、日本原子力発電株式会社の敦賀発電所および独立行政法人日本原子力研究開発機構のもんじゅと近いことから、3社で協調して、調査・評価を実施してきました。

図-1-② 地質調査の範囲



文献調査・空中写真判読の実施
 ・最近の文献を調査するとともに、敷地から半径約30kmの範囲について空中写真判読（変動地形学的調査）を実施。

地表地質調査の実施（■の範囲）
 ・敷地近傍（敷地から半径約5kmの範囲）と、空中写真判読結果をもとにした主要な断層周辺について、表土をはぎとるなどしながら、地質調査を実施。
 ・図示以外の範囲も必要に応じて実施。

海上音波探査の実施（■の範囲）
 ・敷地から半径約5kmの海域を中心に、最新の調査技術（ジオパルス・マルチチャンネル音波探査）を導入し、海底の地質構造を把握。

トレンチ調査の実施（●の地点）
 ・地盤に溝を掘り、直接断層を確認する調査を実施。
 熊川断層のトレンチ調査を公開（H18.12）

航空重力探査の実施（○の範囲）
 ・海から陸にかけての地下構造を把握するため、空から探査を実施。

既存・他機関の音波探査記録の再解析
 ・敷地から半径約30kmの範囲の海域の記録を再解析。

3. 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た反映すべき事項」(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^{※1}や地下構造の状況^{※2}を重視した検討を実施し、安全側に考慮して評価を行いました。

※1: 変動地形とは、地殻の変動に起因する特徴的な地形をいい、地形の切断・屈曲、撓曲、傾動・逆傾斜等である。

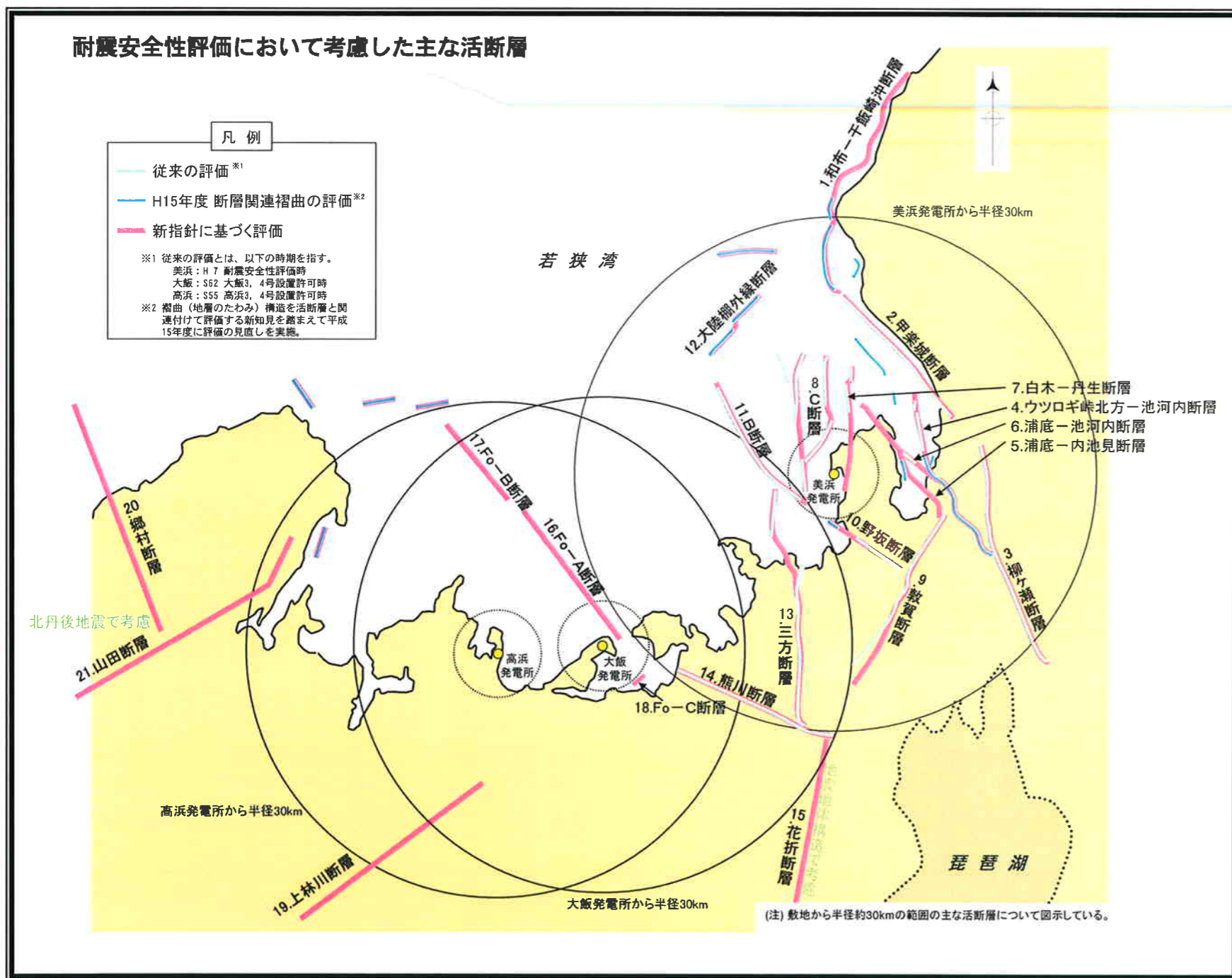
※2: 地下構造の状況を重視した検討とは、地表付近の断層の連続・不連続の状況のみならず、断層面の向きや傾斜などの類似性から、地下での断層の連続の可能性も考慮して、一連で活動する断層の範囲を検討すること。

・従来の活断層評価を変更したポイントは以下の通りです。

(下表の変更理由欄に下記番号を記載)

- ①変動地形(地形の切断・屈曲、褶曲など)など特徴的な地形を調査することにより活断層と評価したもの。
- ②地下構造の状況を重視した検討により、別々の断層が地下で繋がっている可能性も考慮したもの。
- ③詳細地表地質調査やトレンチ調査や最新の調査技術を導入した海上音波探査などによる、より入念な調査の結果を反映したもの。
- ④旧耐震指針において、過去に起こった地震(歴史地震)や地震地体構造で評価していた断層を、調査結果に基づく断層の長さで評価したもの。
- ⑤断層の長さは変わらないがマグニチュードの算出方法の違いにより、変更したもの。

耐震安全性評価において考慮した主な活断層



【耐震安全性評価において考慮した主な活断層】

断層名	今回の評価		これまでの評価 ^{※1}		変更理由
	断層長さ L (km)	マグニチュード M ^{※2}	断層長さ L (km)	マグニチュード M ^{※3}	
1. 和布-干飯崎沖断層	約 32	7.3	※4		①, ②, ③
2. 甲斐城断層	約 19	6.8	約 20	7.0	①, ②, ③
3. 柳ヶ瀬断層	約 28	7.0	約 28	7.2	⑤
4. ウツロギ峠北方-池河内断層	約 23	6.9	※4		①, ②, ③
5. 浦底-内池見断層	約 18	6.8	—		①, ②, ③
6. 浦底-池河内断層	約 25	6.9	—		①, ②, ③
7. 白木-丹生断層	約 15	6.9 ^{※5}	—		①, ②, ③
8. C断層	約 18	6.9	※4		①, ②, ③
9. 敦賀断層	約 23	6.9	約 19	7.0	①, ②, ③
10. 野坂断層	約 12	6.8 ^{※5}	約 7	6.2	①, ②, ③
11. B断層	約 19	6.8	約 17	6.9	③
12. 大陸棚外縁断層	約 10	6.8 ^{※5}	※4		①, ②, ③
13. 三方断層	約 27	7.1	約 18	6.9	②, ③
14. 熊川断層	約 20	6.8	約 20	7.0	⑤
15. 花折断層	約 58	7.6	長さは評価外 (マグニチュードのみで評価)	7.8 (地震地体構造で評価)	④
16. Fo-A断層	約 23	6.9	—		①, ③
17. Fo-B断層	約 12	6.8 ^{※5}	—		③
18. Fo-C断層	約 3	6.8 ^{※5}	—		③
19. 上林川断層	約 26	7.0	—		①
20. 郷村断層	約 34	7.2	長さは評価外 (マグニチュードのみで評価)	7.3 (北丹後地震で評価)	④
21. 山田断層	約 33	7.1	—		

※1: 「—」は旧指針で考慮対象外

※2: 断層面積からマグニチュードを算出

※3: 松田式(断層の長さからマグニチュードを関係づける経験式)によりマグニチュードを算出

※4: 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

※5: 新潟県中越沖地震を踏まえた反映すべき事項の通知において短い活断層による地震の想定は少なくともマグニチュード6.8相当の地震規模を想定することが記載されていることを反映

C断層は、美浜発電所の基準地震動 S s 策定において影響した活断層

Fo-A断層は、高浜、大飯発電所の基準地震動 S s 策定において影響した活断層

3. 3 基準地震動 S_s の策定

(1) 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動（活断層評価の結果から策定する地震動）

a. 検討用地震の選定

- 活断層調査結果を踏まえ、地震動評価のために活断層をモデル化しました。（概要②の「耐震安全性評価において考慮した主な活断層」は全て断層モデルを設定）
- 敷地に与える影響を検討するために、応答スペクトルによる地震動評価を行い、比較検討した結果、影響の大きい検討用地震として美浜発電所においては「C断層」、高浜発電所・大飯発電所においては「Fo-A断層」を選定しました。

b. 応答スペクトルに基づく地震動評価（図-3-①～図-3-③参照）

- 選定した「検討用地震」を対象に地震動評価を安全側に考慮した検討を実施しました。
- その結果、検討用地震のスペクトルを上回る地震動として、美浜発電所・大飯発電所は最大加速度600ガル、高浜発電所は最大加速度550ガルの基準地震動 S_{S-1H} を策定しました。
- 鉛直動は、水平動の2/3倍としました。

c. 断層モデルを用いた地震動評価（図-3-④～図-3-⑥参照）

- 評価においては、特に地震動に影響を及ぼすアスペリティ（他の領域よりも大きな地震動を出す領域）を発電所敷地に近いところに想定する等、安全側に考慮しました。
- 検討の結果、美浜発電所において、C断層の一部の計算結果が S_{S-1H} を上回るため、これを別途基準地震動 S_{S-2H} （最大加速度約430ガル）としました。なお、高浜発電所・大飯発電所においては、いずれの結果においても S_{S-1H} を下回ることを確認しました。

d. 孤立した短い活断層に対する地震動評価（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反映）

- 震源を特定して策定する地震動の妥当性確認のため、地質調査の結果短く孤立した活断層を対象として、マグニチュード6.8相当（白木-丹生断層については6.9）を考慮した地震動評価を実施し、いずれの結果においても S_{S-1H} を下回ることを確認しました。

(2) 震源を特定せず策定する地震動（活断層調査の結果にかかわらず共通的に考慮する地震動）

- 震源を特定せず策定する地震動は、地震調査委員会の「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」と評価された敷地周辺の過去の地震の分析も行った結果、加藤・他（2004）による応答スペクトルを想定することとしましたが、基準地震動 S_{S-1H} は、震源を特定せず策定する地震動を十分上回る結果となりました。

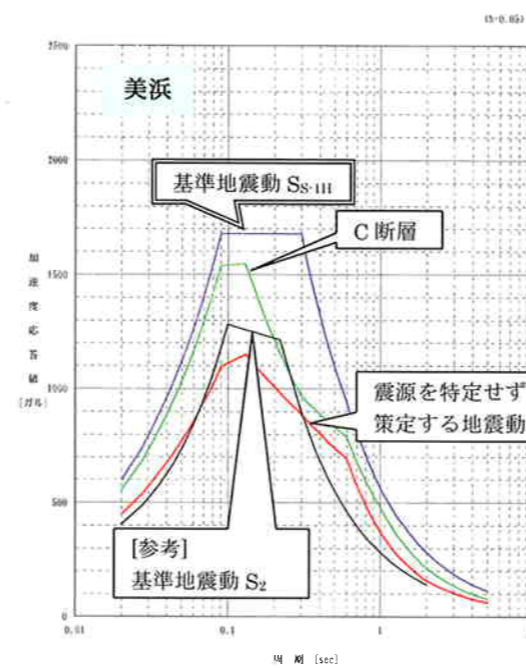


図-3-① 応答スペクトルに基づく地震動評価（美浜）

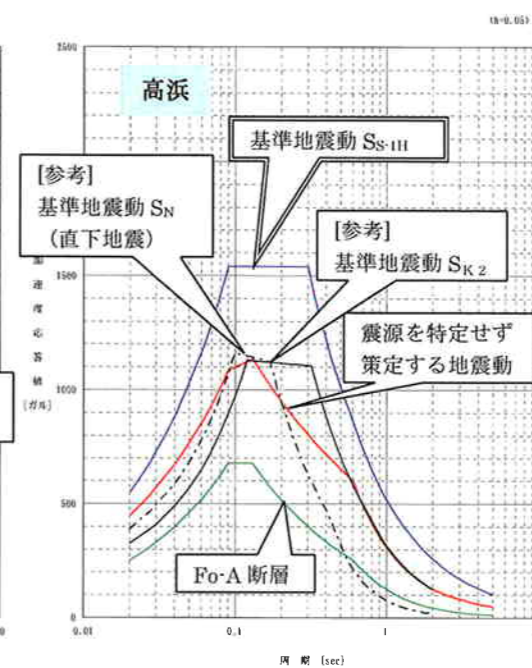


図-3-② 応答スペクトルに基づく地震動評価（高浜）

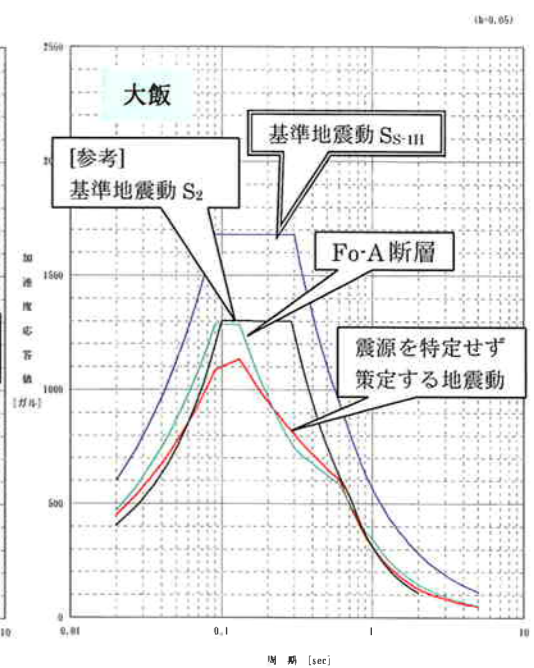


図-3-③ 応答スペクトルに基づく地震動評価（大飯）

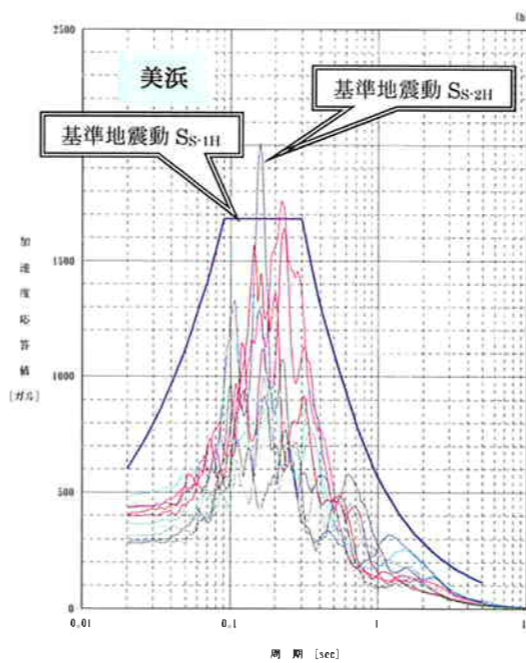


図-3-④ C断層を対象とした断層モデルを用いた地震動評価結果と基準地震動 S_{S-1H} との比較（美浜，EW方向）

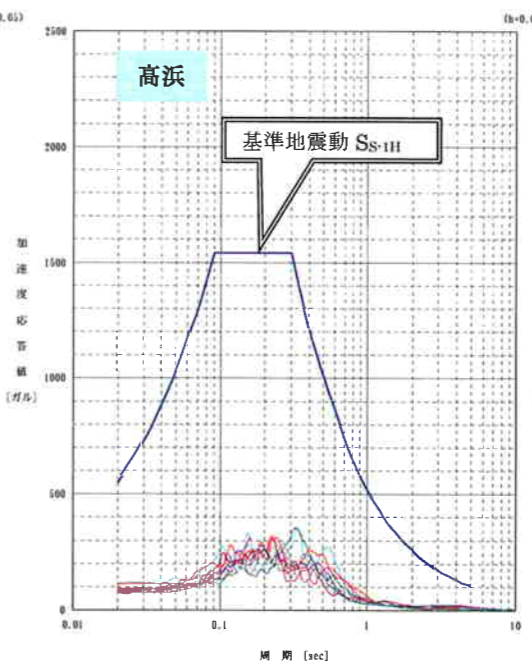


図-3-⑤ Fo-A断層を対象とした断層モデルを用いた地震動評価結果と基準地震動 S_{S-1H} との比較（高浜，EW方向）

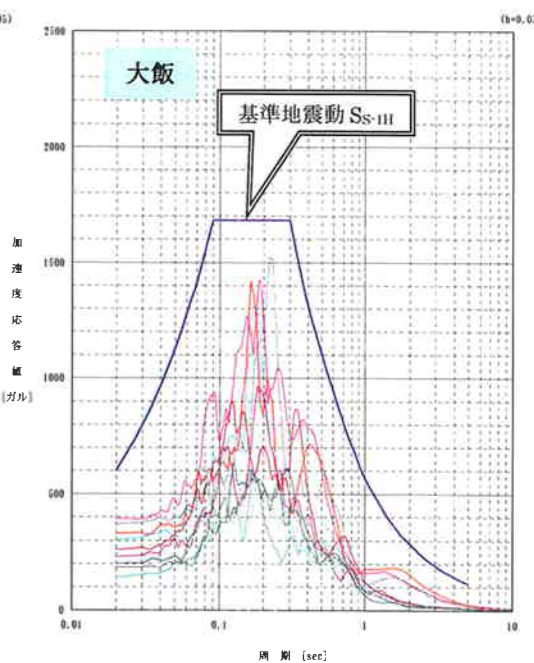


図-3-⑥ Fo-A断層を対象とした断層モデルを用いた地震動評価結果と基準地震動 S_{S-1H} との比較（大飯，EW方向）

3. 4 施設の耐震安全性評価 (美浜発電所1号機)

(1) 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋および原子炉補助建屋の耐震安全性の評価に当たっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、地震時の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、最新の知見を踏まえた上で設定し、基準地震動S_sによる解析を実施しました。以下に、原子炉建屋および原子炉補助建屋の解析結果を示します。(図-4-①~図-4-④)
- 評価の結果、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。(表-4-①)

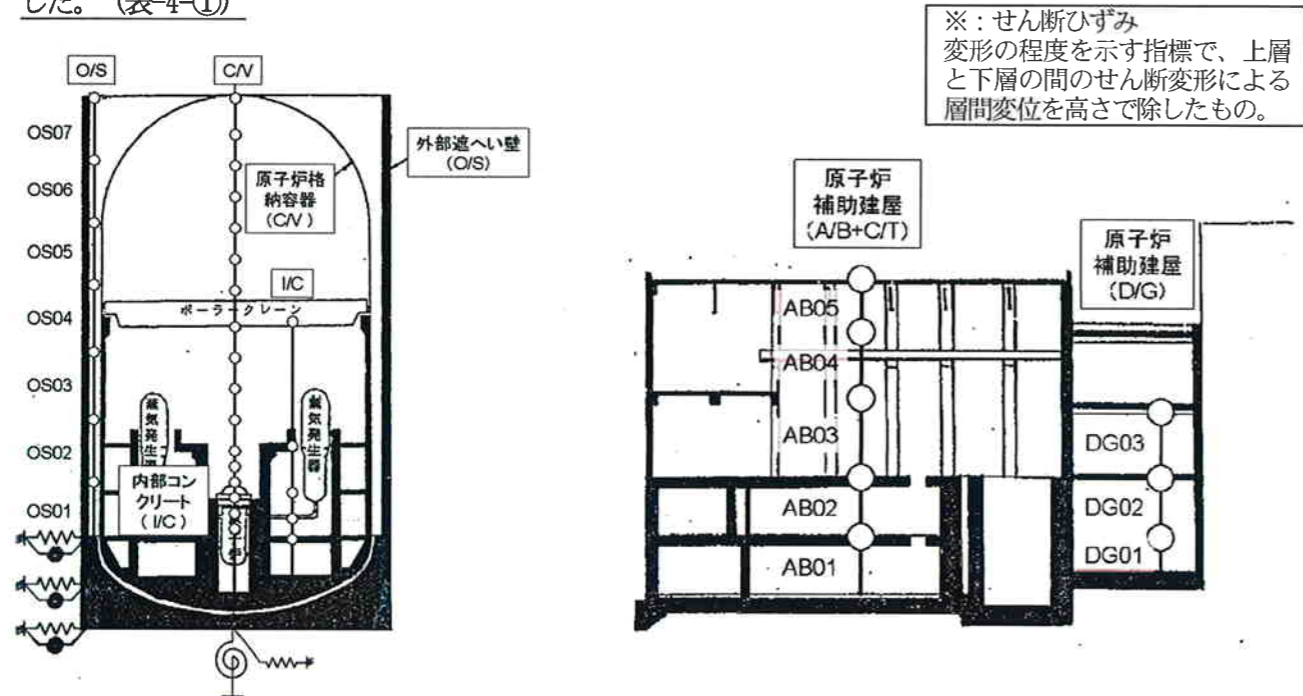


図-4-① 原子炉建屋の解析モデルの概念図

図-4-② 原子炉補助建屋の解析モデルの概念図

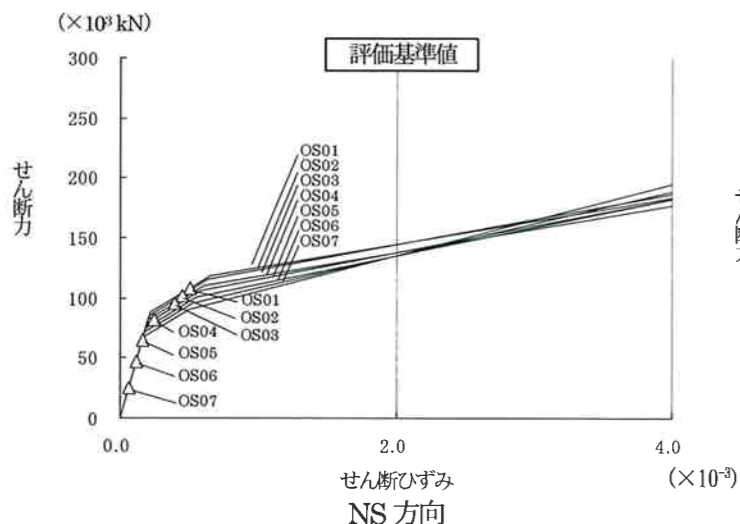


図-4-③ 原子炉建屋の最大応答せん断ひずみ

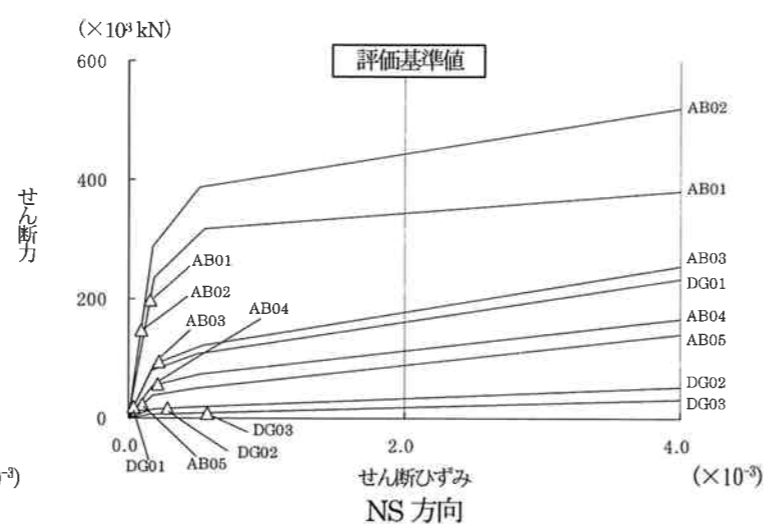


図-4-④ 原子炉補助建屋の最大応答せん断ひずみ

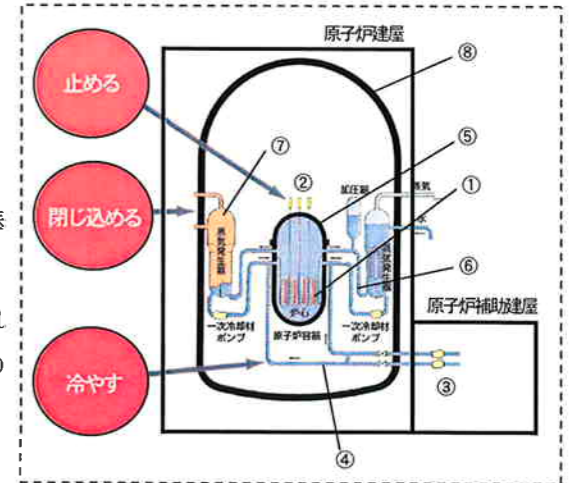
表-4-① 評価結果

建物・構築物	評価対象建屋	評価部位	最大応答せん断ひずみ	評価基準値 (許容値)
	原子炉建屋	耐震壁	0.50×10 ⁻³ (NS方向 OS01)	2.0×10 ⁻³
	原子炉補助建屋	耐震壁	0.58×10 ⁻³ (NS方向 DG03)	2.0×10 ⁻³

(2) 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 評価は、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クラスの主要な施設に対して実施しました。

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



- 基準地震動S_sによる解析を行い、評価項目である応力や制御棒の挿入時間について、評価基準値に照らして評価しました。
- 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、制御棒の挿入性評価の場合は制御棒挿入規定時間のことを指します。
- 評価の結果、評価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-4-②)

表-4-② 評価結果 (評価値≤評価基準値であれば、耐震安全性を有すると言えます。)

区分	評価対象 機器・配管系	評価項目	評価値	評価基準値 (許容値)
止める	炉内構築物	炉心そのの構造強度 (応力: MPa)	86	391
	制御棒	挿入性 (挿入時間: 秒)	1.73	1.8
冷やす	余熱除去ポンプ	基礎ボルトの構造強度 (応力: MPa)	11	210
	余熱除去配管	本体の構造強度 (応力: MPa)	49	360
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物の構造強度 (応力: MPa)	43	166
	一次冷却材管	本体の構造強度 (応力: MPa)	136	354
	蒸気発生器	支持構造物の構造強度 (応力: MPa)	382	444
	原子炉格納容器	本体の構造強度 (応力: MPa)	45	280

施設の耐震安全性評価結果

美浜発電所の基準地震動S_sを用いて、主要施設の解析により求めた評価値は、全て評価基準値を下回っており、主要施設の安全性を確認しました。

3. 4 施設の耐震安全性評価 (高浜発電所1号機)

(1) 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋および原子炉補助建屋の耐震安全性の評価に当たっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、地震時の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、最新の知見を踏まえた上で設定し、基準地震動Ssによる解析を実施しました。以下に、原子炉建屋および原子炉補助建屋の解析結果を示します。(図-5-①～図-5-④)
- 評価の結果、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。(表-5-①)

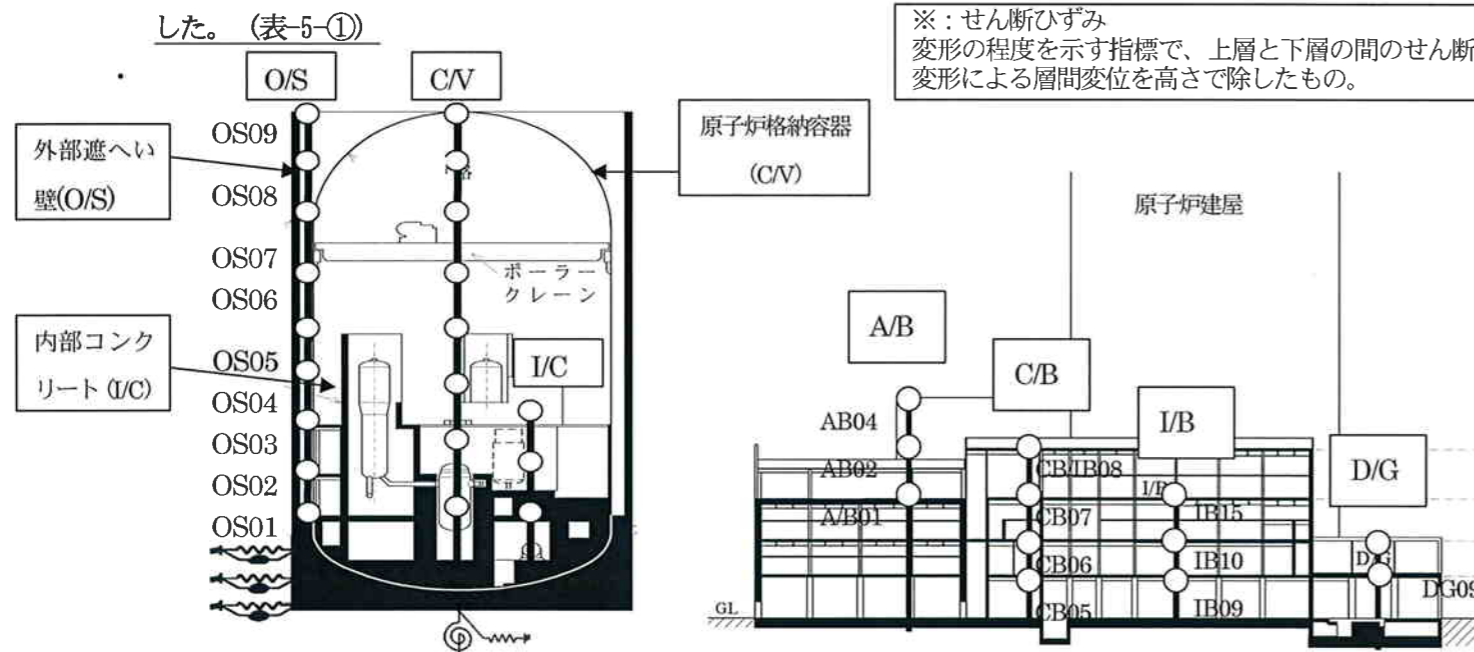


図-5-① 原子炉建屋の解析モデルの概念図

図-5-② 原子炉補助建屋の解析モデルの概念図

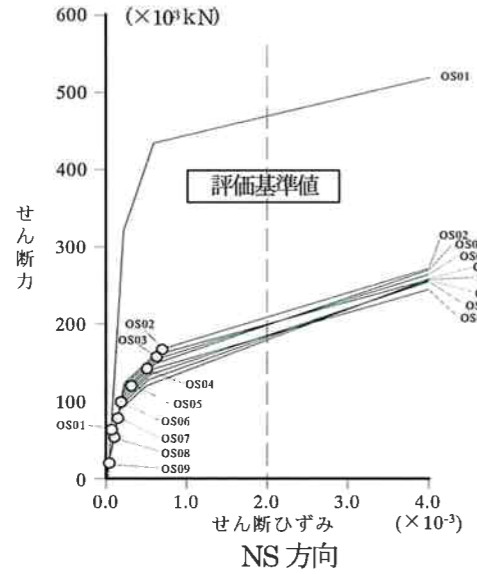


図-5-③ 原子炉建屋の最大応答せん断ひずみ

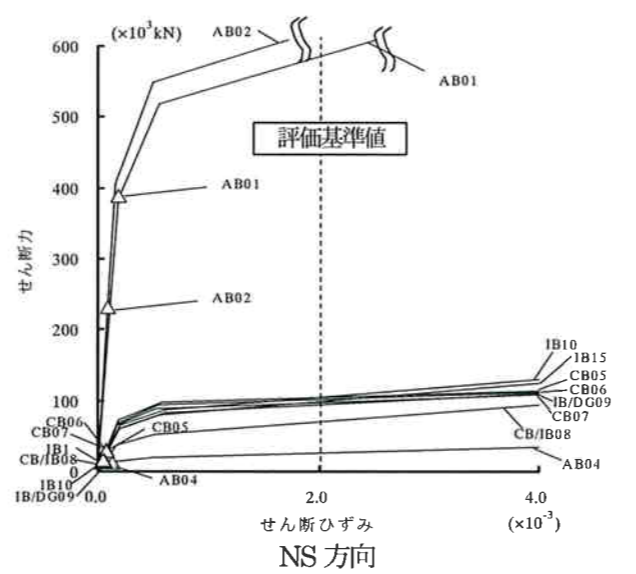


図-5-④ 原子炉補助建屋の最大応答せん断ひずみ

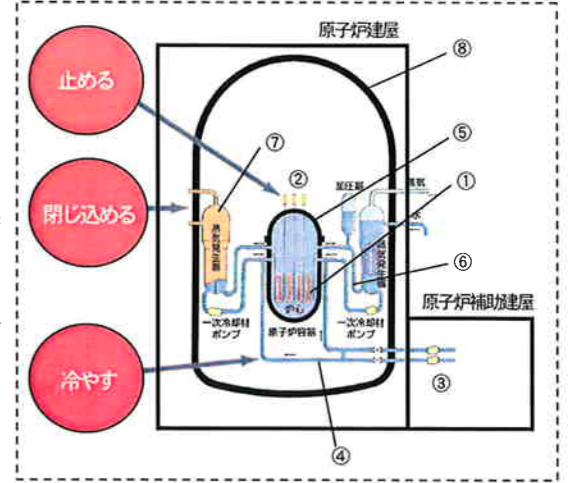
表-5-① 評価結果

建物・構築物	評価対象建屋	評価部位	最大応答せん断ひずみ	評価基準値 (許容値)
	原子炉建屋	耐震壁	0.69×10 ⁻³ (NS方向 OS02)	2.0×10 ⁻³
	原子炉補助建屋	耐震壁	0.19×10 ⁻³ (NS方向 AB01)	2.0×10 ⁻³

(2) 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 評価は、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クラスの主要な施設に対して実施しました。

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



- 基準地震動Ssによる解析を行い、評価項目である応力や制御棒の挿入時間について、評価基準値に照らして評価しました。
- 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、制御棒の挿入性評価の場合は制御棒挿入規定時間のことを指します。
- 評価の結果、評価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-5-②)

表-5-② 評価結果 (評価値≤評価基準値であれば、耐震安全性を有すると言えます。)

区分	評価対象機器・配管系	評価項目	評価値	評価基準値 (許容値)
止める	炉内構造物	炉心そこの構造強度 (応力: MPa)	52	391
	制御棒	挿入性 (挿入時間: 秒)	1.73	1.8
冷やす	余熱除去ポンプ	基礎ボルトの構造強度 (応力: MPa)	23	210
	余熱除去配管	本体の構造強度 (応力: MPa)	92	342
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物の構造強度 (応力: MPa)	317	385
	一次冷却材管	本体の構造強度 (応力: MPa)	244	348
	蒸気発生器	支持構造物の構造強度 (応力: MPa)	312	415
	原子炉格納容器	本体の構造強度 (応力: MPa)	223	282

施設の耐震安全性評価結果

高浜発電所の基準地震動Ssを用いて、主要施設の解析により求めた評価値は、全て評価基準値を下回っており、主要施設の安全性を確認しました。

3. 4 施設の耐震安全性評価（大飯発電所1号機）

(1) 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋および原子炉補助建屋の耐震安全性の評価に当たっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、地震時の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、最新の知見を踏まえた上で設定し、基準地震動S_sによる解析を実施しました。以下に、原子炉建屋および原子炉補助建屋の解析結果を示します。（図-6-①～図-6-④）
- 評価の結果、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。（表-6-①）

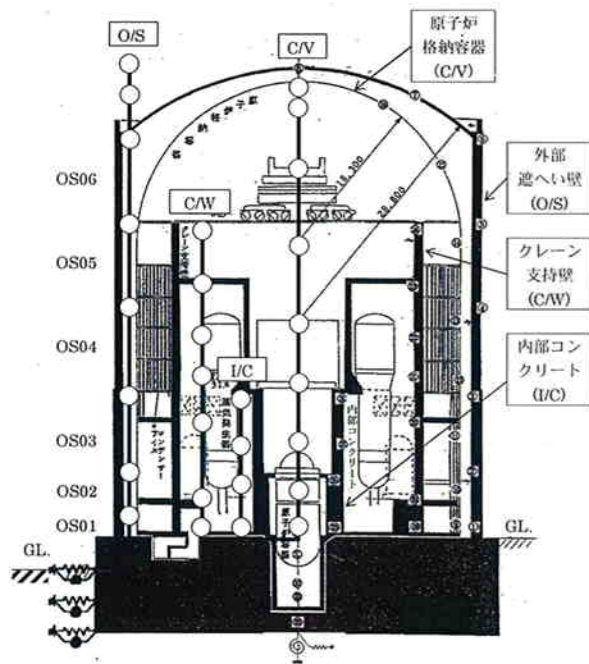


図-6-① 原子炉建屋の解析モデルの概念図

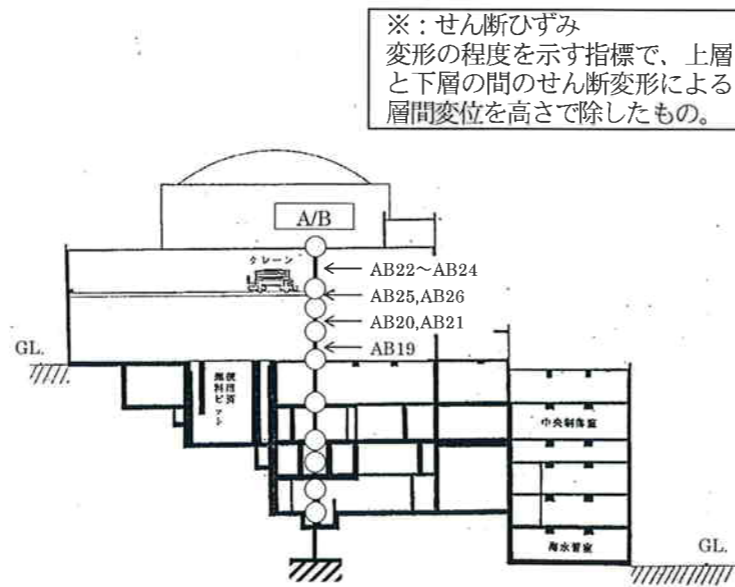


図-6-② 原子炉補助建屋の解析モデルの概念図

※：せん断ひずみ変形の程度を示す指標で、上層と下層の間のせん断変形による層間変位を高さと除したもの。

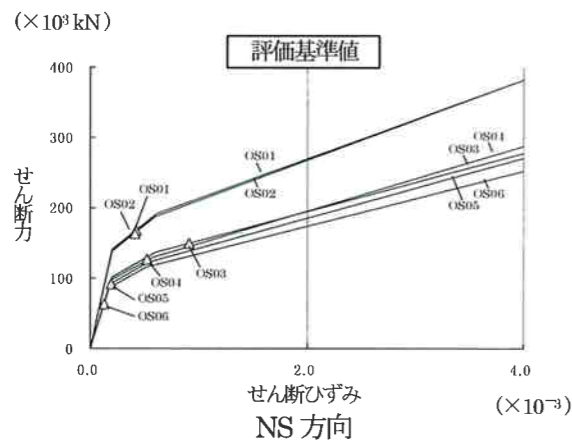


図-6-③ 原子炉建屋の最大応答せん断ひずみ

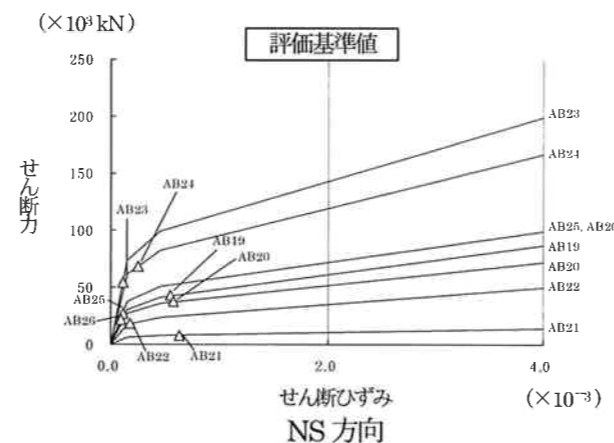


図-6-④ 原子炉補助建屋の最大応答せん断ひずみ

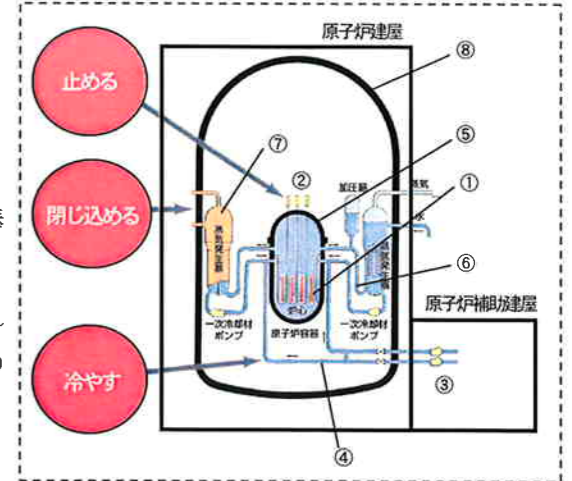
表-6-① 評価結果

建物・構築物	評価対象建屋	評価部位	最大応答せん断ひずみ	評価基準値（許容値）
建物・構築物	原子炉建屋	耐震壁	0.91×10 ⁻³ (NS方向 OS03)	2.0×10 ⁻³
	原子炉補助建屋	耐震壁	0.63×10 ⁻³ (NS方向 AB21)	2.0×10 ⁻³

(2) 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 評価は、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クラスの主要な施設に対して実施しました。

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



- 基準地震動S_sによる解析を行い、評価項目である応力や制御棒の挿入時間について、評価基準値に照らして評価しました。
- 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、制御棒の挿入性評価の場合は制御棒挿入規定時間のことを指します。
- 評価の結果、評価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-6-②）

表-6-② 評価結果（評価値≦評価基準値であれば、耐震安全性を有すると言えます。）

区分	評価対象 機器・配管系	評価項目	評価値	評価基準値 （許容値）
止める	炉内構造物	炉心そのの構造強度 （応力：MPa）	53	372
	制御棒	挿入性 （挿入時間：秒）	1.93	2.2
冷やす	余熱除去ポンプ	基礎ボルトの構造強度 （応力：MPa）	45	210
	余熱除去配管	本体の構造強度 （応力：MPa）	257	333
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物の構造強度 （応力：MPa）	370	385
	一次冷却材管	本体の構造強度 （応力：MPa）	271	354
	蒸気発生器	支持構造物の構造強度 （応力：MPa）	278	426
	原子炉格納容器	本体の構造強度 （応力：MPa）	21	238

施設の耐震安全性評価結果

大飯発電所の基準地震動S_sを用いて、主要施設の解析により求めた評価値は、全て評価基準値を下回っており、主要施設の安全性を確認しました。