
III章 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

1. 基本方針

2. 床応答スペクトル

3. 減衰定数

4. 応答倍率法による評価

5. 評価基準値

6. 機器・配管系の耐震安全性評価結果

7. 今後の予定

機器毎の評価方法まとめ

■ 構造強度評価(伊方3号機)

区分	評価対象施設	評価部位	評価方法※1	水平・鉛直方向の地震力の組合せ法 [工認時/耐震BC時]	評価基準
止める	炉内構造物	炉心そう	応答倍率法:②	絶対値和法/SRSS法	JEAG4601-1984 許容応力状態 IVAS
冷やす	蒸気発生器	支持構造物	応答倍率法:②	絶対値和法/SRSS法	
	一次冷却材管	本 体	応答倍率法:②	絶対値和法/SRSS法	
	余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応答倍率法:②	絶対値和法/SRSS法	
		原動機取付ボルト※2	応答倍率法:②	絶対値和法/SRSS法	
	余熱除去設備配管	本 体	応答倍率法:①	絶対値和法/SRSS法	
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物	応答倍率法:②	絶対値和法/SRSS法	
	原子炉格納容器	本 体	応答倍率法:②	絶対値和法/SRSS法	

※1 ①:方法①(地震による発生値のみに応答比を乗じる方法)による評価, ②:方法②(発生値全てに応答比を乗じる方法)による評価

※2 参考までに, ポンプ本体を除く支持構造物の評価部位を示す。

■ 動的機能維持評価(伊方3号機)

区分	評価対象施設	評価部位	評価方法※1	水平・鉛直方向の地震力の組合せ法 [工認時/耐震BC時]	評価基準
止める	制御棒(挿入性)	—	応答倍率法:①	絶対値和法/SRSS法	2.50秒※2

※1 ①:方法①(地震による発生値のみに応答比を乗じる方法)による評価, ②:方法②(発生値全てに応答比を乗じる方法)による評価

※2 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(2.20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)を加えた時間

評価結果

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

■ 構造強度評価結果(伊方3号機)

区分	評価対象設備	評価部位	応力分類	材料	温度 [℃]	評価 方法※1	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	②	90	391	252
冷やす	蒸気発生器	支持構造物	圧縮応力	SM50B	49	②	56	79	73
	一次冷却材管	本 体	一次応力	SCS14A	329.9	②	117	348	260
	余熱除去ポンプ	基礎ボルト	引張応力	SS41	40	②	1	210	176
		原動機取付 ボルト※2	引張応力	SS41	40	②	10	210	176
	余熱除去設備配管	本 体	一次応力	SUS316TP	343	①	176	343	256
閉じ込める	原子炉容器	支持構造物	支圧応力	SFVQ1A	170	②	274	465	421
	原子炉格納容器	本 体	一次応力	SGV49	132	②	60	351	351

■ 動的機能維持評価結果(伊方3号機)

区分	評価対象設備	評価 方法※1	発生値 [秒]	評価基準値※3 [秒]
止める	制御棒(挿入性)	①	2.03	2.50

※1 方法①(地震による発生値のみに応答比を乗じる方法)による評価

方法②(発生値全てに応答比を乗じる方法)による評価

※2 参考までに、ポンプ本体を除く支持構造物の評価結果を示す。

※3 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。

(参考)

基準地震動S_s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。

【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

「応答倍率法」を適用する際、各設備の評価に用いた床応答スペクトルが原子炉建屋および原子炉補助建屋の地震応答解析モデルのどの質点のものに対応するか整理した結果を示す。(表－1, 図－1, 2参照)
また、中間報告評価対象設備の評価結果(応答比算定方法および床応答スペクトル)を示す。(図－3参照)

表－1 中間報告時の評価に用いた床応答スペクトル
(建屋地震応答解析モデルの質点番号で整理)

構造強度評価

評価対象設備	評価部位	設置建屋	方向	質点 ^{※1} 番号	備 考 (質点選定の考え方)
原子炉容器	支持構造物	原子炉建屋	水平	24	当該設備設置レベル付近の質点を選定
			鉛直	24	
蒸気発生器	支持構造物	原子炉建屋	水平	23	当該設備設置レベル付近の質点を選定
			鉛直	23	
炉内構造物	炉心そう	原子炉建屋	水平	24	当該設備を内包する原子炉容器と同じ質点を選定
			鉛直	24	
一次冷却材管	本体	原子炉建屋	水平	23	当該設備と連結される蒸気発生器と同じ質点を選定
			鉛直	23	
余熱除去ポンプ	基礎ボルト (原動機取付ボルト ^{※2})	原子炉補助建屋	水平	11	当該設備設置レベル付近の質点を選定
			鉛直	11	
余熱除去設備配管	本体	原子炉建屋	水平	24, 25	当該設備設置レベル付近(複数フロア)の全質点を選定
			鉛直	24, 25	
原子炉格納容器	本体	原子炉建屋	水平	45	当該設備設置レベル付近の質点を選定
			鉛直	45	

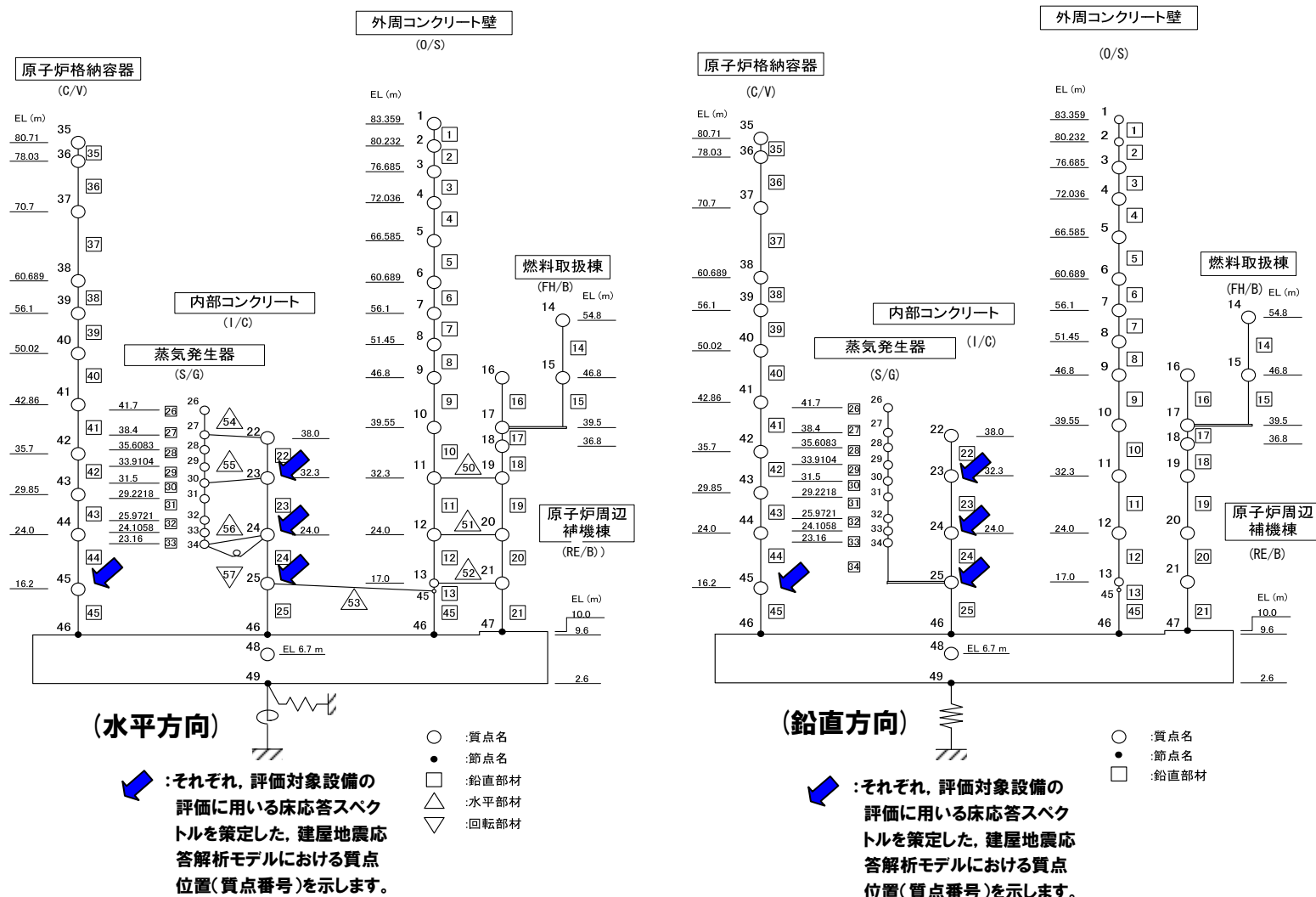
動的機能維持評価

評価対象設備	評価部位	設置建屋	方向	質点 ^{※1} 番号	備 考 (質点選定の考え方)
制御棒	挿入性	原子炉建屋	水平	24	当該設備が挿入される原子炉容器と同じ質点を選定
			鉛直	24	

※1：耐震バックチェック中間報告時の建屋地震応答解析モデルで対応する質点番号を示す。

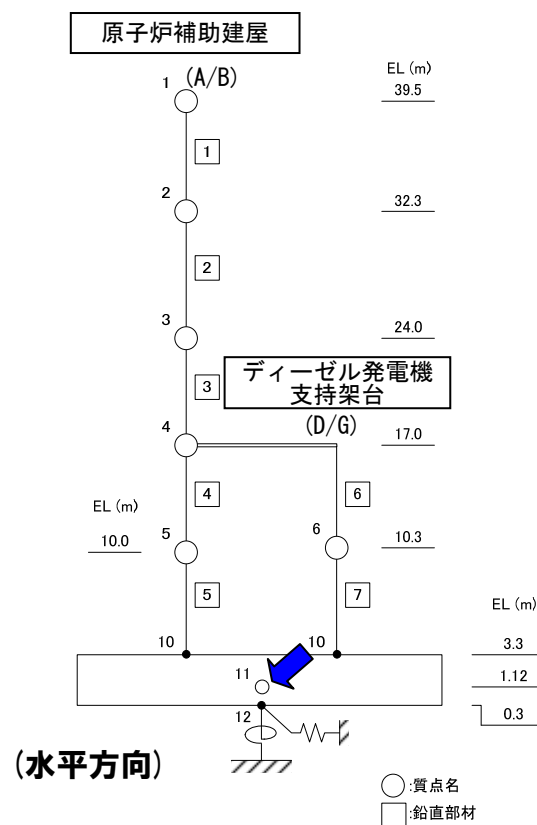
※2：参考までに、ポンプ本体を除く支持構造物の評価部位を示す。

【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

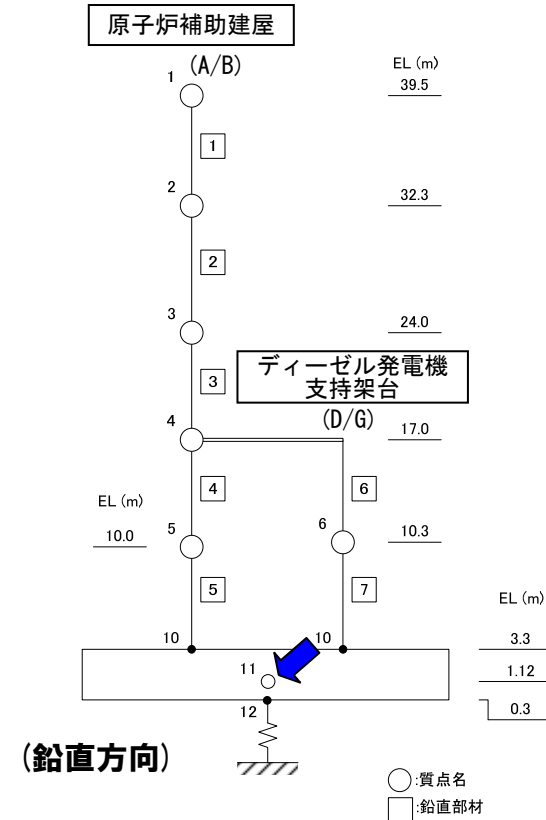


図－1 原子炉建屋地震応答解析モデル

【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)



↓ :評価対象設備の評価に用いる床応答スペクトルを策定した、建屋地震応答解析モデルにおける質点位置(質点番号)を示します。



↓ :評価対象設備の評価に用いる床応答スペクトルを策定した、建屋地震応答解析モデルにおける質点位置(質点番号)を示します。

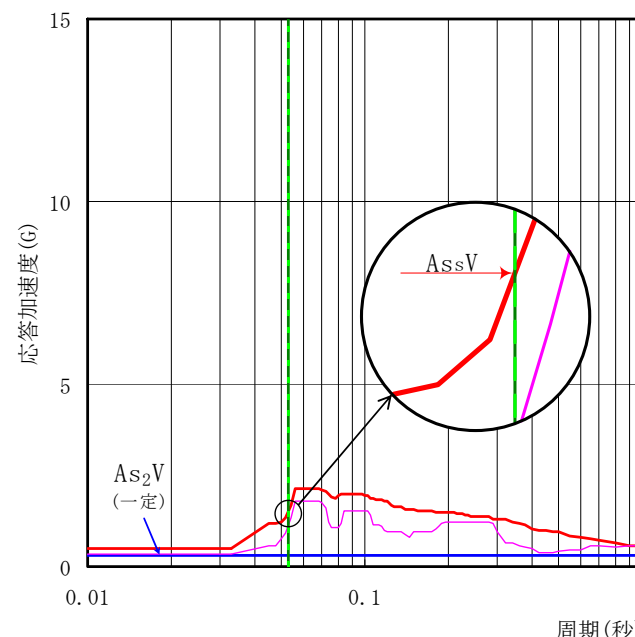
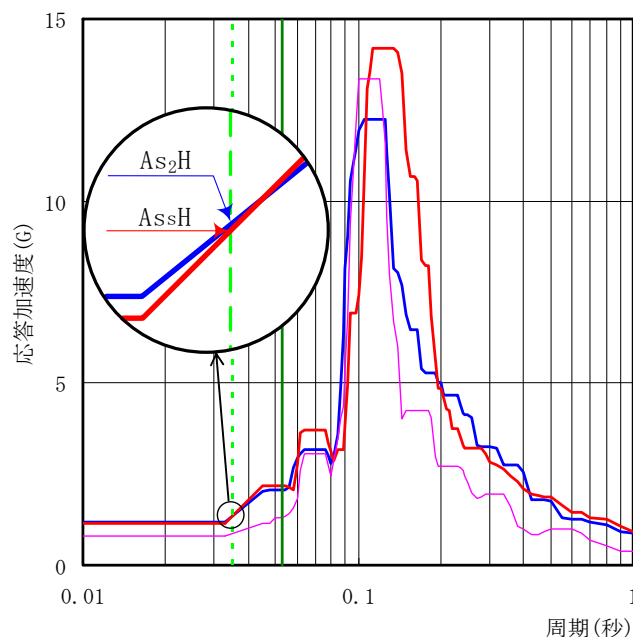
【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【①原子炉容器】[支持構造物]

床応答スペクトル[水平方向：減衰1%]

床応答スペクトル[鉛直方向：減衰1%]

凡例



- 基準地震動Ss-1
- 基準地震動Ss-2
- 基準地震動S₂
- 設備の1次固有周期
- - - 最大応答比となる設備の固有周期

記号説明

応答加速度[単位:G]
 AssH: 基準地震動Ss(水平)
 As₂H: 基準地震動S₂(水平)
 AssV: 基準地震動Ss(鉛直)
 As₂V: 基準地震動S₂(鉛直)

設置建屋: 原子炉建屋
 質点番号: 24

基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (1 + AssV)^2}}{As_2H + (1 + As_2V)} = \frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1 + 1.46)^2}}{1.33 + (1 + 0.29)} = 1.064$$

$$\text{基準地震動Ssによる発生値} = S_2\text{地震および地震以外による発生値} \times \text{応答比} = 257[\text{N/mm}^2] \times 1.064 = 274[\text{N/mm}^2]$$

(既往評価結果を参照)

基準地震動Ssによる発生値
 274[N/mm²] < 評価基準値
 465[N/mm²]

発生値は評価基準値を下回る



図-3(1/9) 各設備の応答倍率法による評価

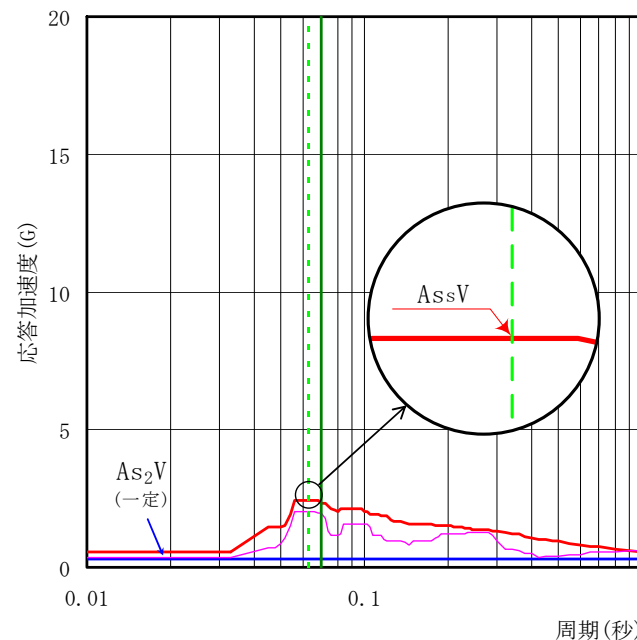
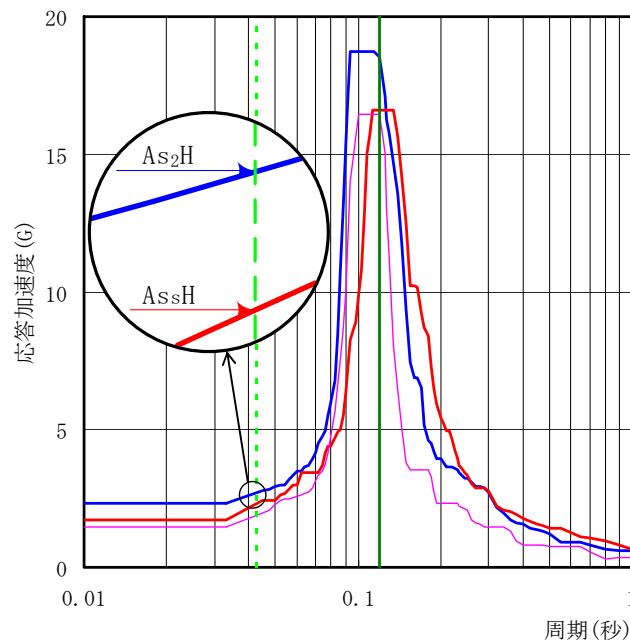
【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【②蒸気発生器】[支持構造物]

床応答スペクトル[水平方向：減衰3%]

床応答スペクトル[鉛直方向：減衰1%]

凡例



- 基準地震動Ss-1
- 基準地震動Ss-2
- 基準地震動S2
- 設備の1次固有周期
- - - 最大応答比となる設備の固有周期

記号説明

応答加速度[単位:G]

AssH: 基準地震動Ss (水平)

As2H: 基準地震動S2 (水平)

AssV: 基準地震動Ss (鉛直)

As2V: 基準地震動S2 (鉛直)

設置建屋: 原子炉建屋
質点番号: 23

基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (1 + AssV)^2}}{As2H + (1 + As2V)} = \frac{\sqrt{(2.34)^2 + (1 + 2.43)^2}}{2.71 + (1 + 0.29)} = 1.039$$

$$\text{基準地震動Ssによる発生値} = S_2\text{地震および地震以外による発生値} \times \text{応答比} = 53[\text{N/mm}^2] \times 1.039 = 56[\text{N/mm}^2]$$

(既往評価結果を参照)

$$\begin{array}{ccc} \text{基準地震動Ssによる発生値} & < & \text{評価基準値} \\ 56[\text{N/mm}^2] & < & 79[\text{N/mm}^2] \end{array}$$

発生値は評価基準値を下回る



図-3(2/9) 各設備の応答倍率法による評価

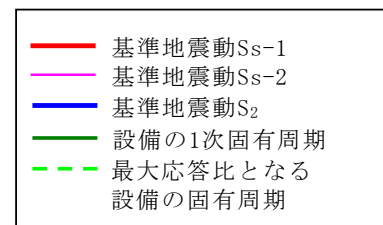
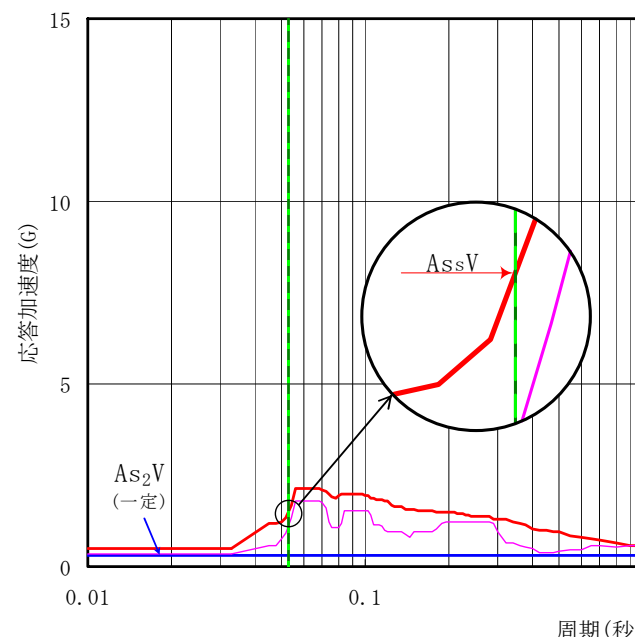
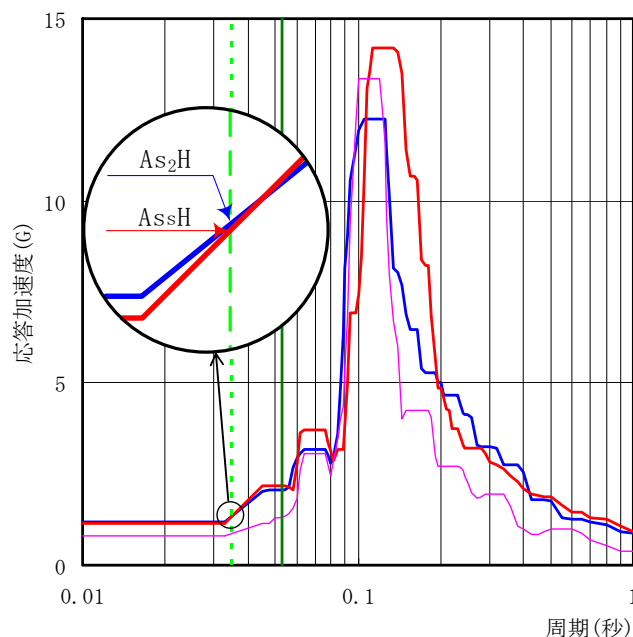
【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【③炉内構造物】[炉心そう]

床応答スペクトル[水平方向：減衰1%]

床応答スペクトル[鉛直方向：減衰1%]

凡例



記号説明

応答加速度[単位:G]

AssH: 基準地震動Ss (水平)

As2H: 基準地震動S2 (水平)

AssV: 基準地震動Ss (鉛直)

As2V: 基準地震動S2 (鉛直)

設置建屋: 原子炉建屋
質点番号: 24

基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (1 + AssV)^2}}{As2H + (1 + As2V)} = \frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1 + 1.46)^2}}{1.33 + (1 + 0.29)} = 1.064$$

$$\text{基準地震動Ssによる発生値} = S_2\text{地震および地震以外による発生値} \times \text{応答比} = 84[\text{N/mm}^2] \times 1.064 = 90[\text{N/mm}^2]$$

(既往評価結果を参照)

$$\text{基準地震動Ssによる発生値} \quad 90[\text{N/mm}^2] < \text{評価基準値} \quad 391[\text{N/mm}^2]$$

発生値は評価基準値を下回る



図-3(3/9) 各設備の応答倍率法による評価

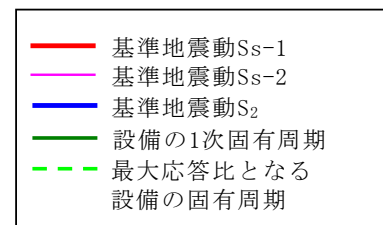
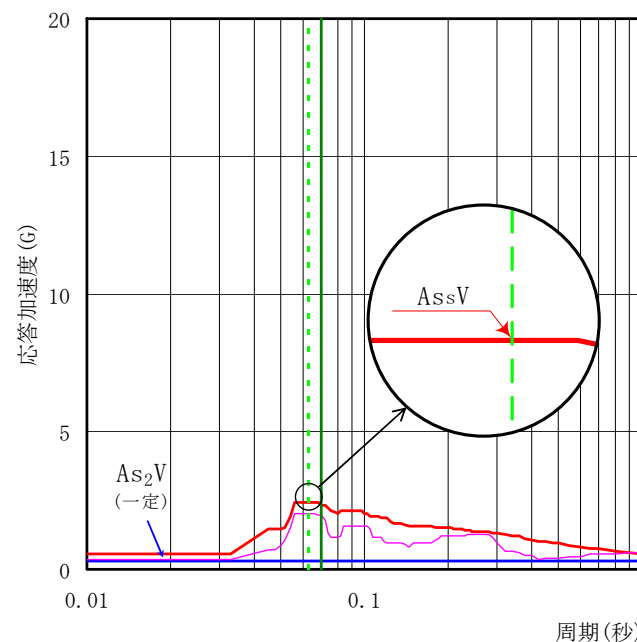
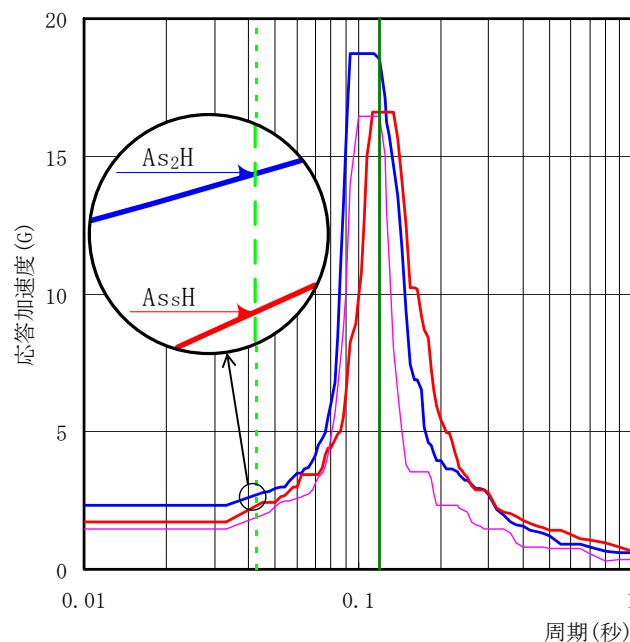
【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【④一次冷却材管】[本体]

床応答スペクトル[水平方向：減衰3%]

床応答スペクトル[鉛直方向：減衰1%]

凡例



記号説明

応答加速度[単位:G]

AssH: 基準地震動Ss (水平)

As2H: 基準地震動S2 (水平)

AssV: 基準地震動Ss (鉛直)

As2V: 基準地震動S2 (鉛直)

設置建屋: 原子炉建屋
質点番号: 23

基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (1 + AssV)^2}}{As2H + (1 + As2V)} = \frac{\sqrt{(2.34)^2 + (1 + 2.43)^2}}{2.71 + (1 + 0.29)} = 1.039$$

$$\text{基準地震動Ssによる発生値} = S_2\text{地震および地震以外による発生値} \times \text{応答比} = 112[\text{N/mm}^2] \times 1.039 = 117[\text{N/mm}^2]$$

(既往評価結果を参照)

$$\text{基準地震動Ssによる発生値} < \text{評価基準値}$$

$$117[\text{N/mm}^2] < 348[\text{N/mm}^2]$$

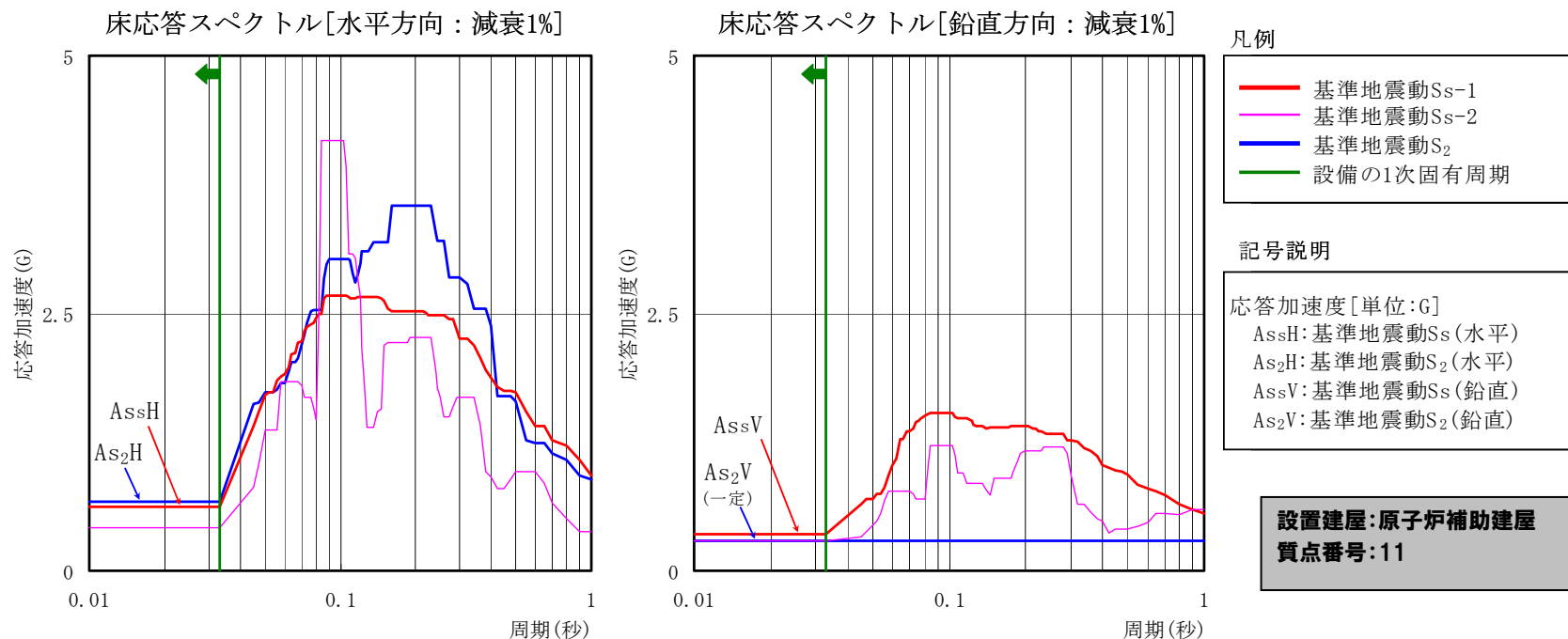
発生値は評価基準値を下回る



図-3(4/9) 各設備の応答倍率法による評価

【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【⑤余熱除去ポンプ】[基礎ボルト]



基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (1 + AssV)^2}}{As2H + (1 + As2V)} = \frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1 + 0.42)^2}}{0.80 + (1 + 0.29)} = 0.767$$

基準地震動Ssによる発生値 = S2地震および地震以外による発生値 × 応答比 = 1[N/mm²] × 1.000 = 1[N/mm²]
(既往評価結果を参照)

応答比は1以上とする

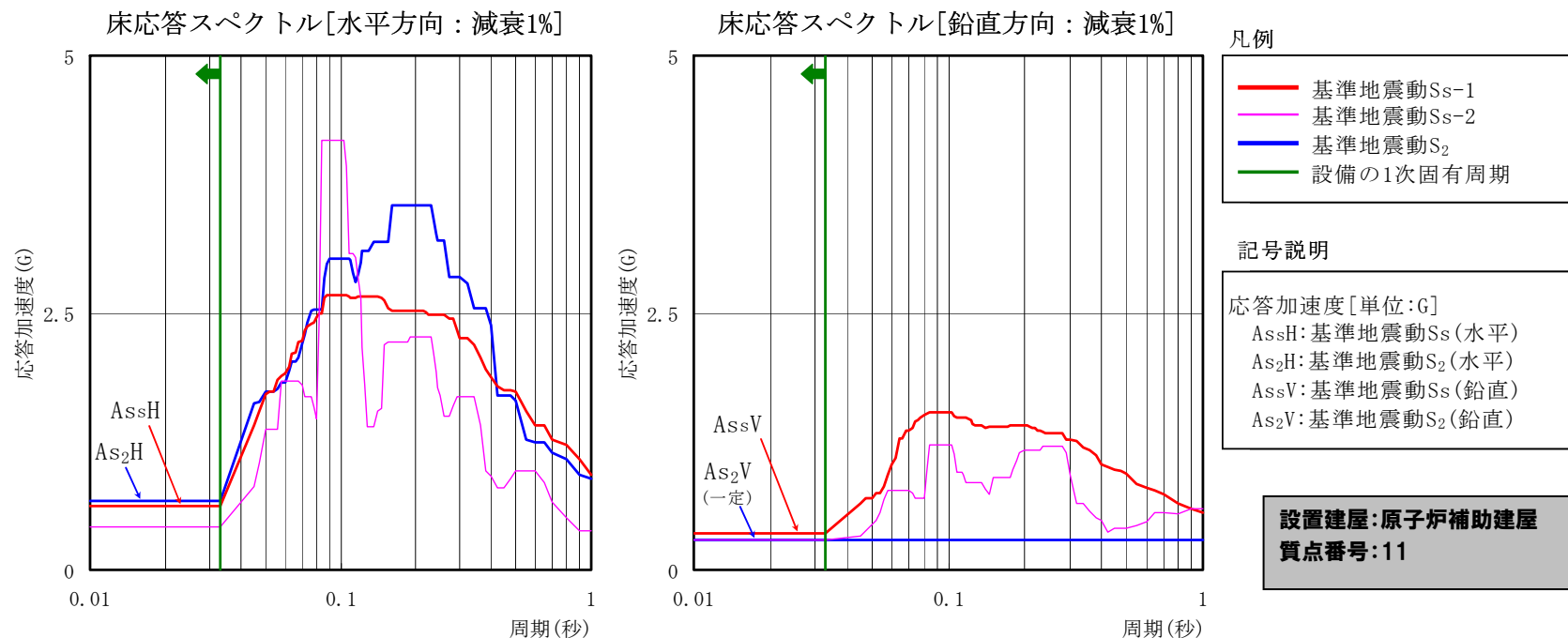
基準地震動Ssによる発生値 1[N/mm²] < 評価基準値 210[N/mm²] 発生値は評価基準値を下回る



図-3(5/9) 各設備の応答倍率法による評価

【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【⑤余熱除去ポンプ】[原動機取付ボルト]



基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (1 + AssV)^2}}{As_2H + (1 + As_2V)} = \frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1 + 0.42)^2}}{0.80 + (1 + 0.29)} = 0.767$$

基準地震動Ssによる発生値 = S₂地震および地震以外による発生値 × 応答比 = 10[N/mm²] × 1.000 = 10[N/mm²]
 (既往評価結果を参照)

応答比は1以上とする

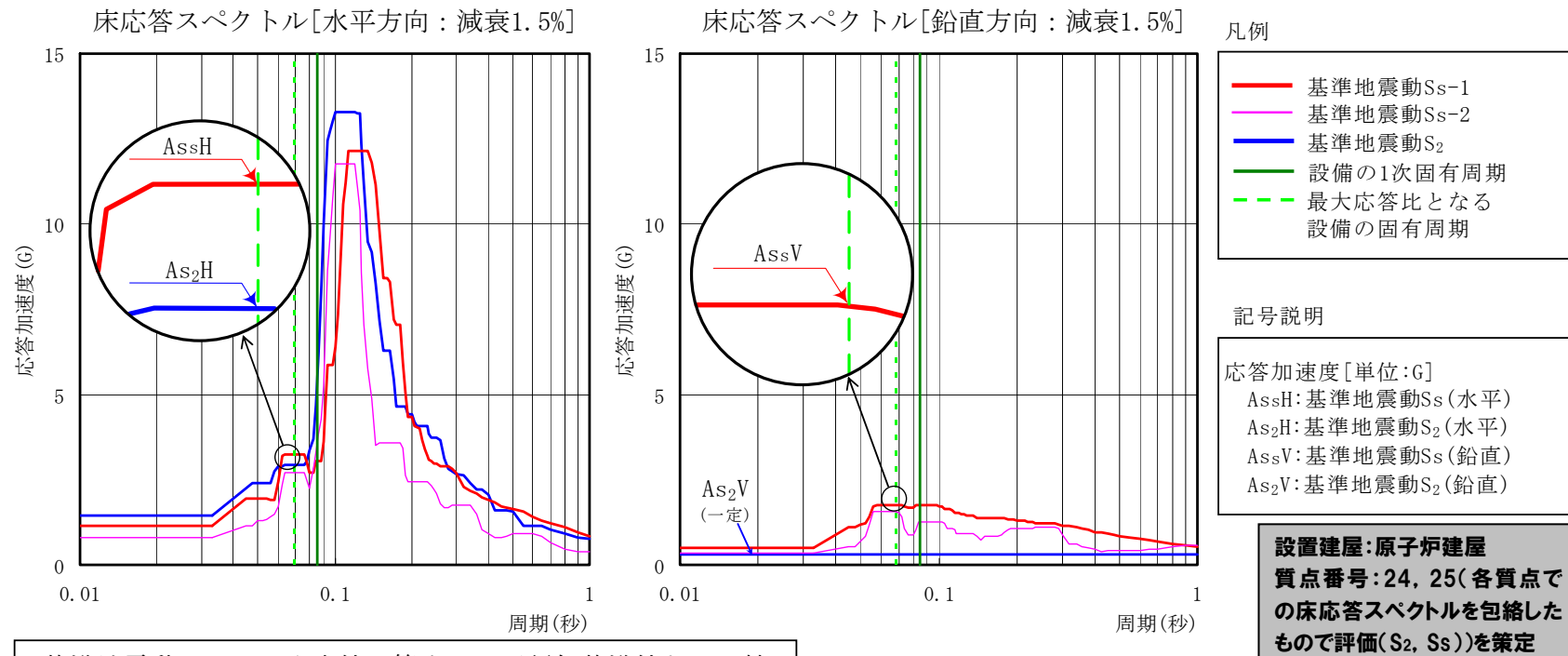
基準地震動Ssによる発生値 10[N/mm²] < 評価基準値 210[N/mm²] 発生値は評価基準値を下回る



図-3(6/9) 各設備の応答倍率法による評価

【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【⑥余熱除去設備配管】[本体]



基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AsH)^2 + (AsV)^2}}{As2H + As2V} = \frac{\sqrt{(3.25)^2 + (1.76)^2}}{2.95 + 0.29} = 1.141$$

$$\text{基準地震動Ssによる発生値} = \underbrace{\text{地震以外による発生値}}_{\text{(既往評価結果を参照)}} + \underbrace{S_2\text{地震による発生値}}_{\text{(既往評価結果を参照)}} \times \text{応答比} = 40.3[\text{N/mm}^2] + 118.60[\text{N/mm}^2] \times 1.141 = 176[\text{N/mm}^2]$$

基準地震動Ssによる発生値 176[N/mm²] < 評価基準値 343[N/mm²] 発生値は評価基準値を下回る



図-3(7/9) 各設備の応答倍率法による評価

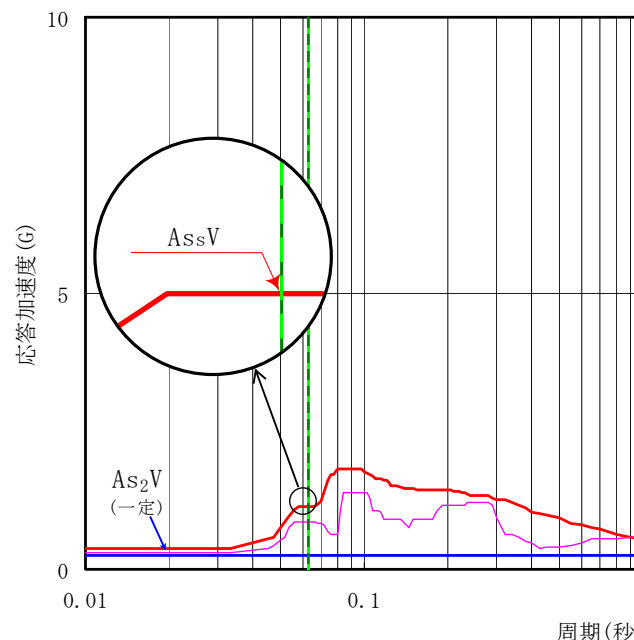
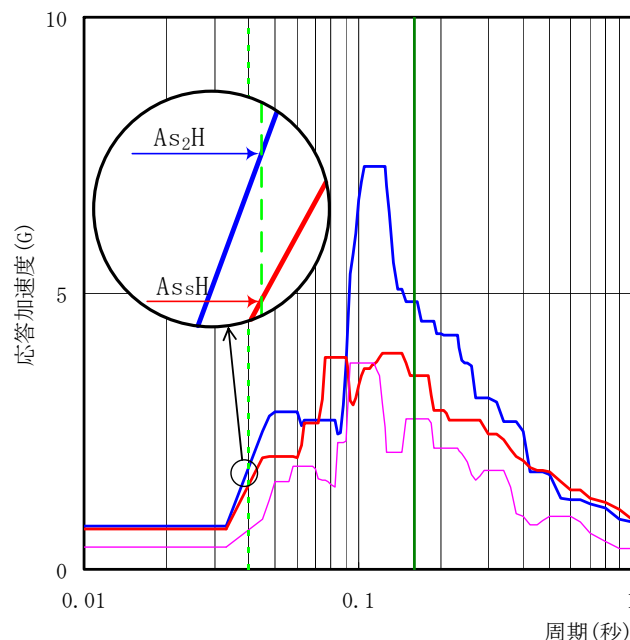
【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【⑦原子炉格納容器】[本体]

床応答スペクトル[水平方向：減衰1%]

床応答スペクトル[鉛直方向：減衰1%]

凡例



- 基準地震動Ss-1
- 基準地震動Ss-2
- 基準地震動S2
- 設備の1次固有周期
- - - 最大応答比となる設備の固有周期

記号説明

応答加速度[単位:G]

- AssH: 基準地震動Ss(水平)
- As2H: 基準地震動S2(水平)
- AssV: 基準地震動Ss(鉛直)
- As2V: 基準地震動S2(鉛直)

設置建屋:原子炉建屋
質点番号:45

基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (1 + AssV)^2}}{As2H + (1 + As2V)} = \frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1 + 1.14)^2}}{1.82 + (1 + 0.241)} = 0.854$$

基準地震動Ssによる発生値 = S2地震および地震以外による発生値 × 応答比 = 60[N/mm²] × 1.000 = 60[N/mm²]
(既往評価結果を参照)

基準地震動Ssによる発生値 < 評価基準値
60[N/mm²] < 351[N/mm²]

発生値は評価基準値を下回る



図-3(8/9) 各設備の応答倍率法による評価

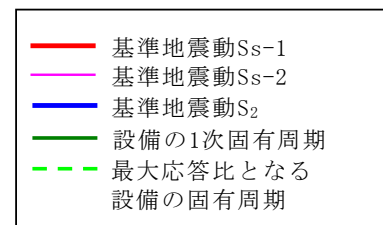
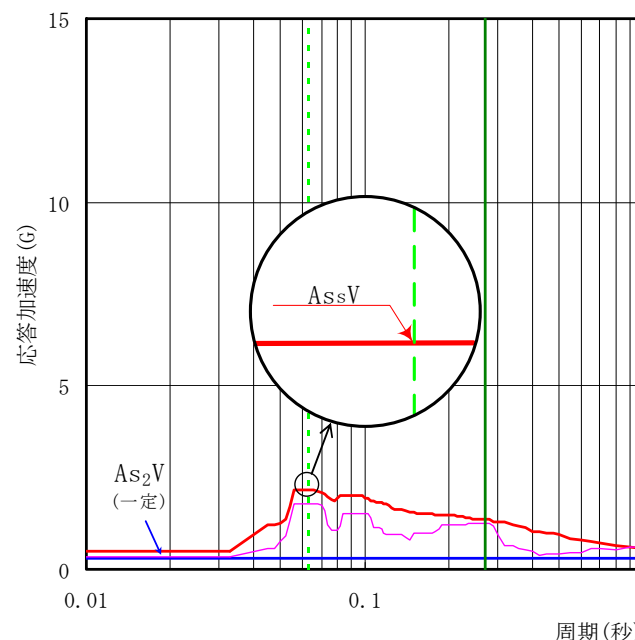
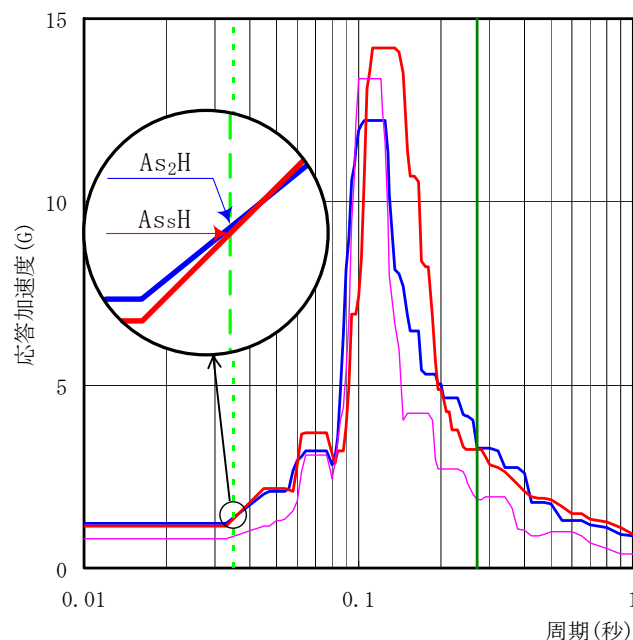
【参考】応答倍率法による評価結果(詳細)

各設備の応答倍率法による評価【⑧制御棒(挿入性)】

床応答スペクトル[水平方向：減衰1%]

床応答スペクトル[鉛直方向：減衰1%]

凡例



記号説明

応答加速度[単位:G]

AssH: 基準地震動Ss(水平)

As2H: 基準地震動S2(水平)

AssV: 基準地震動Ss(鉛直)

As2V: 基準地震動S2(鉛直)

設置建屋: 原子炉建屋
質点番号: 24

基準地震動Ss時の挿入時間の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対和}} = \frac{\sqrt{(AssH)^2 + (AssV)^2}}{As2H + As2V} = \frac{\sqrt{(1.31)^2 + (2.15)^2}}{1.33 + 0.29} = 1.555$$

$$\text{基準地震動Ss時の挿入時間} = \underbrace{\text{通常運転時の挿入時間}}_{\text{(既往評価結果を参照)}} + \underbrace{S_2\text{地震による遅れ時間}}_{\text{(既往評価結果を参照)}} \times \text{応答比} = 1.87[\text{秒}] + 0.10[\text{秒}] \times 1.555 = 2.03[\text{秒}]$$

鉛直地震力が制御棒挿入性に与える影響は、解析および試験から水平地震力に比べ十分小さいと考えられる。

基準地震動Ss時の挿入時間 2.03[秒] < 評価基準値 2.50[秒]

挿入時間は評価基準値を下回る



図-3(9/9) 各設備の応答倍率法による評価

III章 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 1. 基本方針**
- 2. 床応答スペクトル**
- 3. 減衰定数**
- 4. 応答倍率法による評価**
- 5. 評価基準値**
- 6. 機器・配管系の耐震安全性評価結果**
- 7. 今後の予定**

今後の予定(本報告(補正)までの検討)

【本報告(補正)までの検討】

- (1) 中間報告における主要8施設以外の安全上重要な施設に係る耐震安全性についても評価する。
- (2) 主要8施設の中間報告における評価対象部位以外の部位についても評価する。
- (3) 鉛直方向入力も含めて、「詳細法」を適用して評価する。

【構造AサブWGにおける主な審議事項等】

- [1] 水平方向および鉛直方向の地震力の組合せ方法
- [2] 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率の検討
- [3] 耐震バックチェック建屋モデルに対する基準地震動 S_2 および S_s による応答解析の検討
- [4] 余熱除去設備配管の減衰定数の設定の考え方について
- [5] 応答倍率法による制御棒の挿入性評価について
- [6] 応答倍率法による評価結果の安全性について
- [7] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討
(構造WGにおける他サイトの審議を踏まえ追加)

[1] 水平方向および鉛直方向の地震力の組合せ方法

- 既往評価(工認時の耐震計算書)では、地震により構造物に生じる荷重を、水平および鉛直地震動各々により発生した最大荷重の絶対値を組合わす「絶対値和法」を用いている。
- また、新耐震指針に照らした耐震安全性評価においては、地震により構造物に生じる荷重を、水平および鉛直地震動各々により発生した最大荷重の二乗和平方根として組合わす「二乗和平方根(SRSS)法」を用いることとしている。
この方法は、水平および鉛直地震動を同時に入力した場合の最大荷重との比較において平均的な値を与え、設備における荷重分布は水平および鉛直地震動を同時に入力した場合の最大荷重分布に近い傾向を示すものである。

【参 考】日本電気協会「機器・配管系検討会No.10-4-1, 平成18年6月9日」(抜粋)

水平および鉛直地震動による荷重をSRSS法により組合せた場合と水平および鉛直地震動を同時に入力する時刻歴法による場合とで比較した結果、以下を確認している

- (1) 水平および鉛直地震動各々に対する設備の応答は、最大値発生時刻に差があることから、互いに相関が小さい。
- (2) SRSS法による応答が同時入力の時刻歴法による応答を下回る地震発生時間中の頻度は小さく、実機配管系を例に解析した結果では0.1%未満であった。
- (3) 実機配管系において、水平および鉛直地震動による荷重とSRSS法と同時入力の時刻歴法で比較したところ、最大応力発生点およびこれに準ずる比較的応力の高い評価点では、SRSS法が時刻歴法より大きな応力となった。配管系全体にわたっては、SRSS法による応力は時刻歴法による応力を中心にばらつき、平均的な応答を与えた。

以上より、水平地震動と鉛直地震動による地震荷重の組合せ方法として、SRSS法を用いて差し支えない。

[1] 水平方向および鉛直方向の地震力の組合せ方法

■時刻歴法による応力とSRSSによる応力の比較 (実機配管例)

配管系は、容器等他のタイプの構造に比較して、鉛直地震動による荷重と水平地震動による荷重の比が相対的に大きくなると考えられる。そのため、実機配管系において、水平および鉛直地震動による荷重をSRSS法により組合せた場合と同時入力時刻歴法により求めた場合とで比較した。

参考図に示すように、SRSS法による応力は時刻歴法による応力を中心にばらついており、平均的に模擬した応答(約-15%~+40%)を与えている。

また、最大応力発生点およびこれに準ずる比較的応力の高い評価点で、SRSS法による応力が同時入力時刻歴法による応力を上回っている。

注:出典

(社)日本電気協会「水平地震動と鉛直地震動による荷重の組合せ法に関する検討」, 第10回機器・配管系検討会資料No.10-4-1, 平成18年6月9日

一次応力での時刻歴法(同時入力)とSRSS法の比較
(最大応力発生点での応力比)

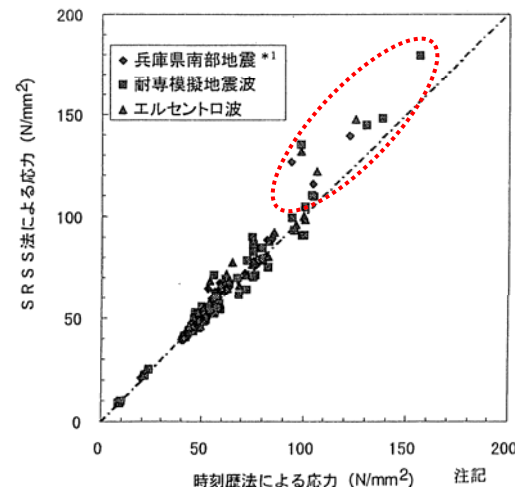
解析対象配管*	入力地震波	最大応力発生箇所	SRSS 時刻歴法
FDW-001 [Aプラント]	兵庫県南部地震*2	ティ	1.08
	耐専模擬地震波	ティ	1.08
	エルセントロ波	ティ	1.08
MS-001 [Aプラント]	兵庫県南部地震*2	ティ	1.08
	耐専模擬地震波	ティ	1.15
	エルセントロ波	ティ	1.20
RHR-001 [Aプラント]	兵庫県南部地震*2	サポート点	1.15
	耐専模擬地震波	サポート点	1.15
	エルセントロ波	サポート点	1.18
FDW-001 [Bプラント]	兵庫県南部地震*2	サポート点	1.35
	耐専模擬地震波	サポート点	1.37
	エルセントロ波	サポート点	1.34

注記

* 1 : FDWは給水系配管を、MSは主蒸気系配管を、RHRは残留熱除去系配管を示す。

* 2 : 松村組観測波を示す。

時刻歴法とSRSS法の比較



高応力発生箇所

注記

* 1 : 松村組観測波を示す。

参考図 時刻歴法による応力とSRSSによる応力の比較(実機配管例)(注)

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率の検討

●検討方針

既往評価において実績のある水平方向の拡幅率(±10%)と同様に、鉛直方向についても周期軸方向に±10%拡幅し床応答スペクトルを算定することについて、剛性の変動幅を考慮しても、拡幅率を10%とした場合にカバーできる範囲に入っているかを検討。



●検討項目

- ① 設置岩盤のせん断波速度による地盤剛性の変動幅
- ② 原子炉建屋のコンクリート実強度による建屋剛性の変動幅
- ③ 原子炉建屋内の補助壁の断面積を加えた建屋剛性の変動幅



●検討結果

- ・実機の地盤および建屋剛性の変動は、地盤剛性の変動が±20%、建屋剛性の変動が+20%程度であり、床応答スペクトルの拡幅率10%でカバーされる変動幅以内である。
- ・補助壁の剛性を考慮するか否かが建屋全体の応答の変動に及ぼす影響は小さい。

→鉛直方向の拡幅率を±10%で算定することは妥当である。

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの振幅率の検討

① 設置岩盤のせん断波速度による地盤剛性の変動幅

3号機建設時の試掘孔内弾性波試験に基づく地盤のせん断波速度測定値を処理した結果、平均値2.6km/s、標準偏差は0.2km/s、変動係数(標準偏差/平均値)は0.09となった。これより、地盤剛性(地盤ばね剛性)の変動係数は0.18となる。
(表－1 参照)

この地盤剛性の変動は、床応答スペクトルの振幅率10%でカバーできる変動幅*(50%)以内である。

※:「別紙」, 第29回耐震設計分科会資料(平成20年1月18日)参照。

表－1 地盤剛性の変動

	平均値	標準偏差	変動係数 (標準偏差/平均値)	備考
地盤のせん断波速度 (V_s)	2.6km/s (設計値)	0.2km/s	0.09	3号機建設時 (7データ)
地盤剛性 (地盤ばね剛性)	—————	—————	0.18	地盤剛性 $\propto (V_s)^2$ の関係 から算出

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの振幅率の検討

② 原子炉建屋のコンクリート実強度による建屋剛性の変動幅

BCモデルでは、下式に示す日本建築学会コンクリート構造計算規準に基づきヤング係数を算定しており、この式によりコンクリート剛性の変動を評価した。

$$E(N/mm^2) = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24} \right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{ここで, } \gamma = 23, \quad F_c : \text{設計基準強度}$$

なお、伊方3号機では実機から採取したコアによる圧縮強度試験データがないことから、伊方3号機建設時に作成したモニタリング用供試体から取得した圧縮強度データを元にコンクリート強度について評価した。

圧縮強度の平均値は43.8N/mm²と設計基準強度26.5N/mm²の1.66倍となった。これより、コンクリート剛性(ヤング係数)の平均値は2.77×10⁴N/mm²となり、BCモデル(2.34×10⁴N/mm²)に対して1.18倍となる。

(表-2参照)

この建屋剛性の変動は、床応答スペクトルの振幅率10%でカバーできる変動幅*(30%)以内である。

※:「別紙」, 第29回耐震設計分科会資料(平成20年1月18日)参照。

表-2 建屋剛性の変動

	平均値	標準偏差	変動係数 (標準偏差/平均値)	備考
コンクリート強度 (F _c)	43.8N/mm ² (設計の1.66倍)	3.3N/mm ²	0.08	モニタリング用供試体 1年目試験結果 (21データ)
コンクリート剛性 (ヤング係数)	2.77×10 ⁴ N/mm ² (設計の1.18倍)	0.07×10 ⁴ N/mm ²	0.03	建屋剛性 ∝ (F _c) ^{1/3} の関係 から算出

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの振幅率の検討

③ 原子炉建屋内の補助壁の断面積を加えた建屋剛性の変動幅

(1) 補助壁を考慮した場合の建屋剛性の変動

伊方3号機原子炉建屋解析モデルにおいては、原子炉周辺補機棟内に耐震壁として剛性評価していない壁（以下「補助壁」という）があるが、これら補助壁の断面積を加えて建屋剛性を評価した結果、原子炉周辺補機棟全体では、約10%程度の増加になった。（表－3参照）

この変動は床応答スペクトルの振幅率10%でカバーされる建屋剛性の変動幅*（30%）以内である。

※：「別紙」，第29回耐震設計分科会資料（平成20年1月18日）参照。

表－3 原子炉周辺補機棟の剛性評価断面積

部位	X（EW）方向			Y（NS）方向			Z（UD）方向		
	①耐震壁 (m ²)	②補助壁 (m ²)	①+② ①	①耐震壁 (m ²)	②補助壁 (m ²)	①+② ①	①耐震壁 (m ²)	②補助壁 (m ²)	①+② ①
EL46.8m ～39.5m	69.94	13.14	1.19	88.95	5.91	1.07	160.53	17.93	1.11
EL39.5m ～36.8m	90.09	29.86	1.33	92.13	44.64	1.48	253.89	21.28	1.08
EL36.8m ～32.3m	134.25	55.55	1.41	134.66	57.20	1.42	339.87	56.77	1.17
EL32.3m ～24.0m	409.07	6.93	1.02	401.38	19.09	1.05	740.31	28.51	1.04
EL24.0m ～17.0m	424.28	14.19	1.03	409.04	12.19	1.03	762.48	29.98	1.04
EL17.0m ～10.0m	435.01	24.19	1.06	425.51	31.08	1.07	796.60	46.43	1.06
計	1562.64	143.86	1.09	1551.67	170.11	1.11	3053.68	200.90	1.07



原子炉周辺補機棟の固有値解析も実施

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率の検討

③ 原子炉建屋内の補助壁の断面積を加えた建屋剛性の変動幅

(2) 固有値解析結果

(1)の結果を踏まえ、補助壁による建屋剛性を考慮した固有値解析を実施した結果、BCモデルに対する各モードの固有振動数の変動は最大でも数%程度であった。(表－4参照)

表－4 固有値解析結果

次数	X(EW) 方向 固有振動数 (Hz)		Y(NS) 方向 固有振動数 (Hz)		Z(UD) 方向 固有振動数 (Hz)	
	BC モデル	補助壁 考慮	BC モデル	補助壁 考慮	BC モデル	補助壁 考慮
1	4.68	4.68 (1.00)	1.76	1.76 (1.00)	12.07	12.07 (1.00)
2	6.23	6.23 (1.00)	4.23	4.24 (1.00)	16.00	16.05 (1.00)
3	7.10	7.22 (1.02)	5.12	5.14 (1.00)	16.77	16.91 (1.01)
4	8.10	8.10 (1.00)	6.23	6.23 (1.00)	17.80	17.85 (1.00)
5	9.50	9.64 (1.01)	8.94	8.98 (1.00)	22.13	22.17 (1.00)
6	13.86	13.88 (1.00)	9.75	9.94 (1.02)	23.86	23.87 (1.00)
7	14.50	14.50 (1.00)	14.41	14.42 (1.00)	24.03	24.12 (1.00)
8	17.74	18.39 (1.04)	16.44	16.57 (1.01)	32.71	32.75 (1.00)

※()内は、BCモデルに対する比率

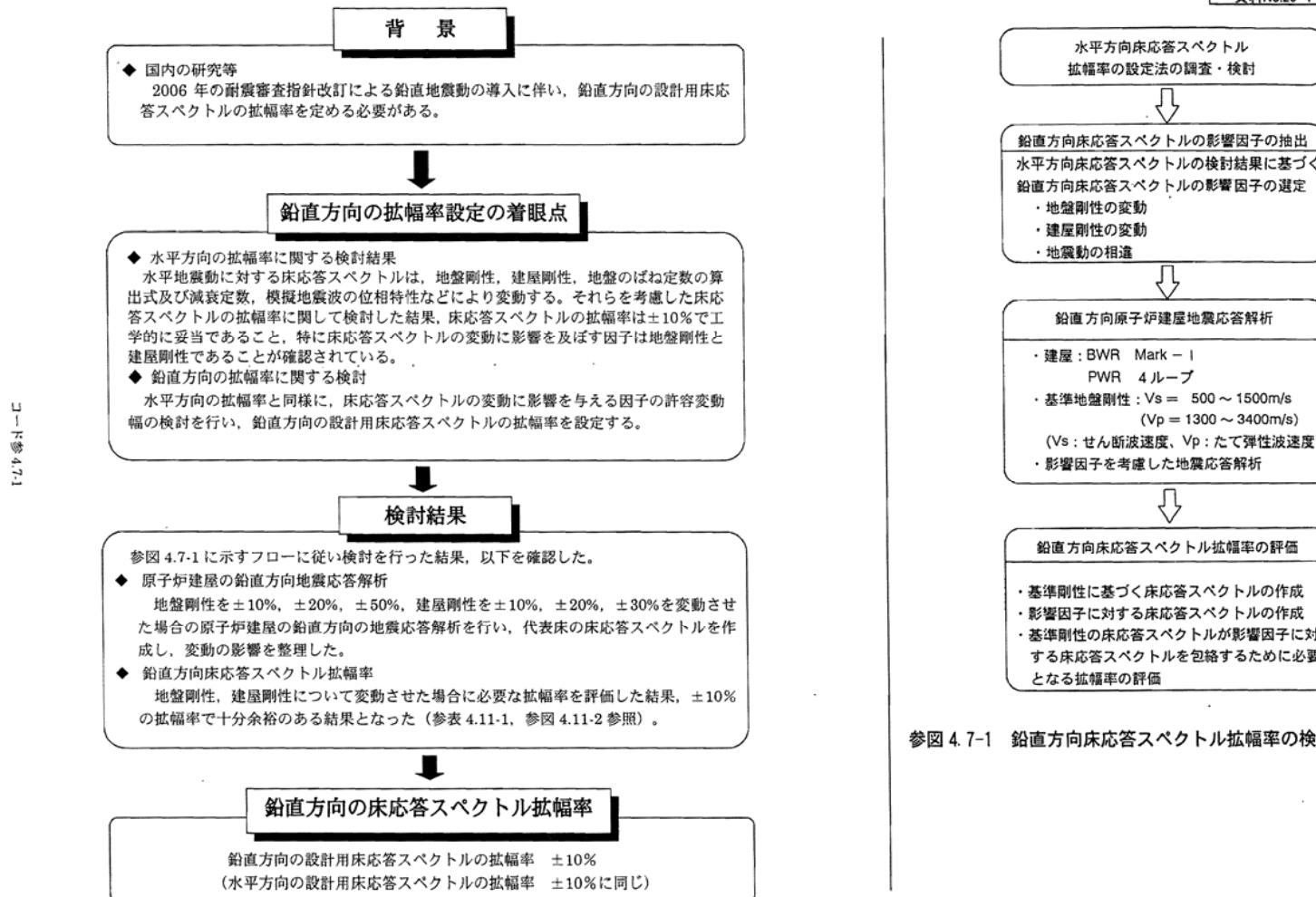
●補助壁の剛性を考慮するか否かが建屋全体の応答の変動に及ぼす影響は小さい。

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率の検討

別紙

第29回耐震設計分科会
平成20年1月18日
資料No.29-4-5-7

参考資料 4.7 鉛直方向の設計用床応答スペクトルの拡幅率



参図 4.7-1 鉛直方向床応答スペクトル拡幅率の検討フロー

第29回耐震設計分科会資料より抜粋
(平成20年1月18日)

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率の検討

別紙

地盤剛性及び建屋剛性を剛側あるいは柔側に変動させた場合の原子炉建屋の鉛直方向地震応答解析を実施し、床応答スペクトルへの影響を評価した。その結果に基づいて、必要なスペクトル拡幅率を検討した結果を参表 4.7-1 に示す。

添付資料に示すように、地盤と建屋の剛性の現実的な変動幅は、地盤が-20%~+20%、建屋が0%~+20%である。

以上から、鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率は参図 4.7-2 に示すように、±10%で十分と判断される。

参表 4.7-1 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅でカバーされる地盤剛性と建屋剛性の変動幅

影響因子	地盤(せん断波速度 m/s)					
	軟質地盤(500m/s)		中硬質地盤(1000m/s)		硬質地盤(1500m/s)	
	剛側	柔側	剛側	柔側	剛側	柔側
地盤剛性の 変動	5%拡幅でカバーできる地盤剛性の変動幅					
	24%	50%	13%	50%	13%	50%
	8%拡幅でカバーできる地盤剛性の変動幅					
	50%	50%	50%	50%	44%	50%
	10%拡幅でカバーできる地盤剛性の変動幅					
	50%以上	50%以上	50%以上	50%以上	50%以上	50%以上
建屋剛性の 変動	5%拡幅でカバーできる建屋剛性の変動幅					
	4%	3%	13%	10%	7%	9%
	8%拡幅でカバーできる建屋剛性の変動幅					
	19%	23%	27%	30%	27%	26%
	10%拡幅でカバーできる建屋剛性の変動幅					
	30%以上	30%以上	30%以上	30%以上	30%以上	30%以上
地盤・建屋 剛性変動の 組合せ (地盤基準)	5%拡幅でカバーできる地盤剛性の変動幅					
	8%	8%	6%	7%	5%	5%
	8%拡幅でカバーできる地盤剛性の変動幅					
	50%	50%	20%	20%	8%	8%
	10%拡幅でカバーできる建屋剛性の変動幅					
	50%以上	50%以上	50%以上	50%以上	50%以上	50%以上
地盤・建屋 剛性変動の 組合せ (建屋基準)	5%拡幅でカバーできる地盤剛性の変動幅					
	8%	15%	8%	8%	8%	8%
	8%拡幅でカバーできる建屋剛性の変動幅					
	30%	30%	24%	30%	9%	30%
	10%拡幅でカバーできる建屋剛性の変動幅					
	30%以上	30%以上	30%以上	30%以上	30%以上	30%以上

(注) 上記拡幅率は絶対値を示す。

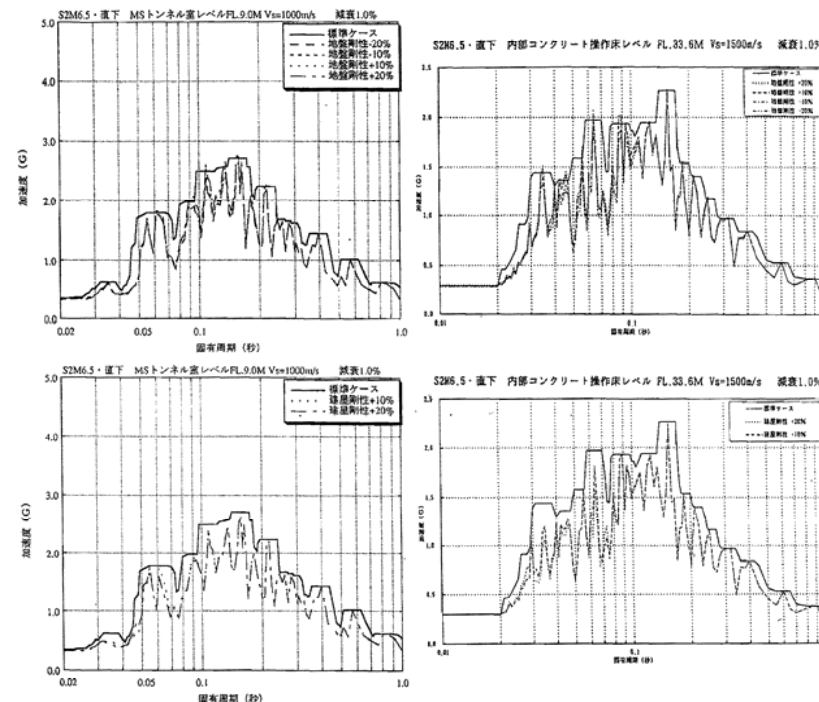


図 3-12 (2/3) FRS±10%拡幅と 剛性の変動 (S2M6.5直下 V=1000) (S2: M6.5 直下, V=1000m/s, MS トンネル室) PWR 建屋例 (S2: M6.5 直下, V=1500m/s, 内部コンクリート操作床)

図中の標準ケースは、基準剛性±10%である。

参図 4.7-2 地盤・建屋剛性の変動による床応答スペクトルの変動と±10%拡幅

第29回耐震設計分科会資料より抜粋
(平成20年1月18日)

[2] 鉛直方向床応答スペクトルの拡幅率の検討

別紙

添付資料

1. 地盤剛性及び建屋剛性の現実的な変動幅

下表に示す知見に基づき、剛性の現実的な変動幅は、地盤剛性 $-20\% \sim +20\%$ 、建屋剛性 $0 \sim +20\%$ とした。

[地盤剛性]

	平均値	標準偏差 ／平均値	変動幅	備考
地盤の せん断波速度	設計値	0.1	$\pm 10\%$	(出典) 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価の実施基準 財団法人原子力学会
地盤剛性	設計値	0.2	$\pm 20\%$	地盤剛性 $\propto$ (地盤のせん断波速度) 2 の関係より算出

[建屋剛性]

	平均値	標準偏差 ／平均値	変動幅	備考
コンクリート 実強度	設計基準強度の 約 1.4 倍 ^{*1}	約 0.13	$0\% + 59\%$	(出典) 原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価の実施基準 財団法人原子力学会
建屋剛性	設計基準剛性の 約 1.1 倍 ^{*1}	約 0.04	$0\% \sim +17\%$	建屋剛性 $\propto$ (コンクリート実強度) $^{1/3}$ の関係より算出

*1: 打設1年後のコンクリート実強度データに基づく。

2. 床応答スペクトルの局所的なピークについて

現実的な変動幅内で地盤剛性、建屋剛性を変動させた場合、加速度軸方向に参図 4.7-2 に見られるようなスパイク状の応答増幅が現れる場合がある。ただ、この応答増幅が最大 8% 程度でしかも狭い周期範囲に限られること、設計用床応答スペクトルを $\pm 10\%$ 拡幅していること、さらに耐震設計手法全体に余裕があることから、耐震設計でこのスパイク状の応答増幅を考慮する必要はないと判断した。

コード参 4.7.3

第29回耐震設計分科会資料より抜粋
(平成20年1月18日)

[3] 耐震バックチェック建屋モデルに対する基準地震動S₂およびS_sによる応答解析の検討

- 中間報告(伊方3号機)の評価対象設備に対して、応答倍率法を適用して応答比を算定する際、内部コンクリートの質点における基準地震動S₂および基準地震動S_s-1による床応答スペクトル(減衰定数:1%)を用いている。
- 耐震バックチェック建屋モデル(BCモデル)の基準地震動S_sおよびS₂による応答解析結果を比較すると、主に約5Hz~10Hzの周期帯域で基準地震動S_sによる床応答スペクトルがS₂によるそれと同等か下回っている。(図-1参照)

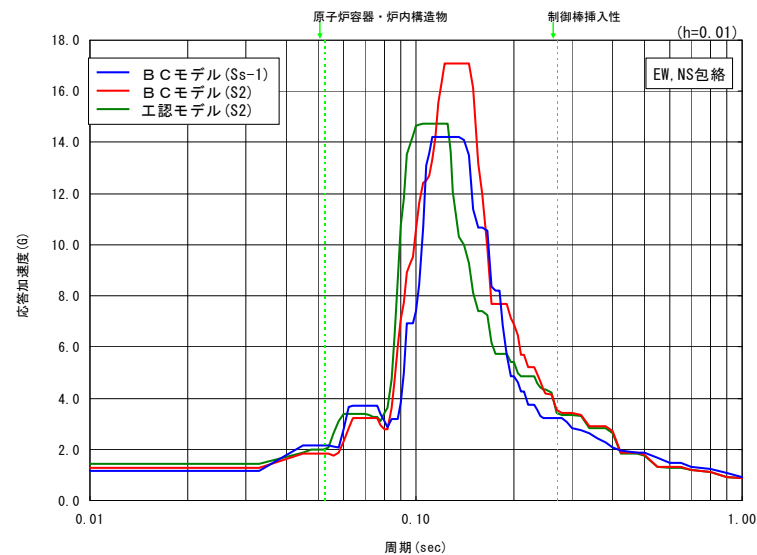


図-1 床応答スペクトル(内部コンクリートEL.+24.0m)



基準地震動の模擬地震波策定に係る設計用
床応答スペクトルに対する適合性の観点から検討

[3] 耐震バックチェック建屋モデルに対する基準地震動 S_2 および S_s による応答解析の検討

● 基準地震動 S_s の模擬地震波

作成する際の設計用応答スペクトルに対する適合性検討を減衰定数として5%ととる場合に加え、1%ととる場合についても実施し、スペクトルの適合度を高めた。(2価フィッティング)

→この結果、減衰定数1%の床応答スペクトルにおいて、主に約5Hz～10Hzの周波数帯域での変動が抑えられている。(図-2参照)

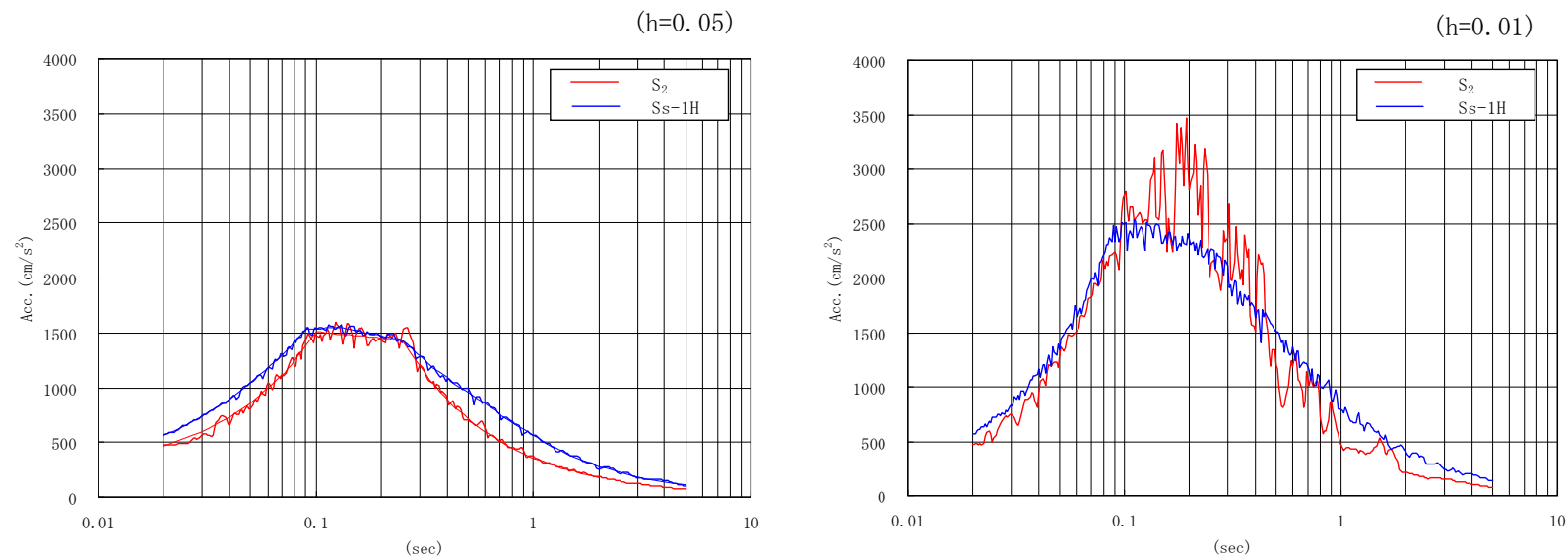


図-2 基準地震動 S_2 および基準地震動 S_s -1Hの応答スペクトル(減衰定数:5%, 1%)

[4] 余熱除去設備配管の減衰定数の設定の考え方について

余熱除去設備配管(ブロック⑫)の水平・鉛直方向の減衰定数の設定の考え方を以下に示す。
建設工認時の余熱除去設備配管(ブロック⑫)の地震応答解析モデルを示す。(図－1参照)
当該ブロックは、一次冷却材管に接続するステンレス鋼製の高温配管であり、全範囲に渡って金属保温が施工されている。また、当該ブロックについて、減衰定数を設定する際に重要な支持具の種類・個数を整理した。(表－1参照)
その結果、建設工認時における当該ブロックの水平方向の減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」に基づき1.5%(配管区分:II, 保温材有)と設定している。
(「別紙1」参照)

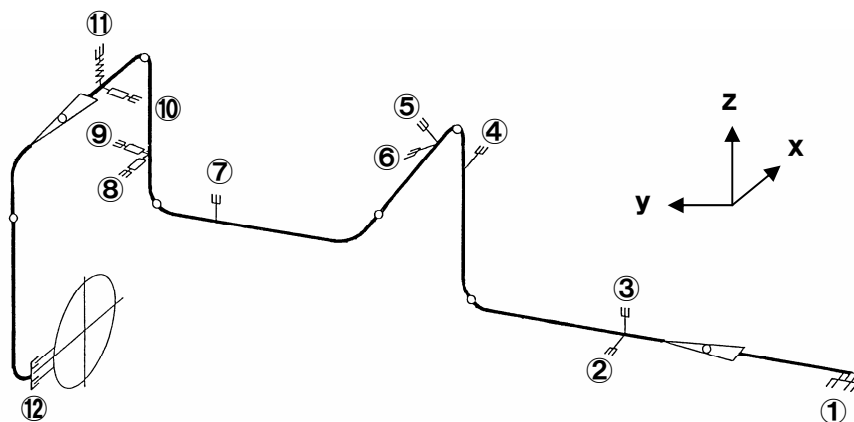
耐震設計審査指針の改訂により、動的鉛直地震動が導入されたが、鉛直方向の減衰定数は、現行JEAG4601では規定されていないため、中間報告においては、JEAC4601案を参考に水平方向と同じ1.5%を適用している。
(「別紙2」参照)

また、当該ブロックの支持具について、拘束方向(水平・鉛直)毎に整理した結果を示す。
当該ブロックの支持具は、水平・鉛直方向の振動に対してバランス良く配置されており、振動モード図からもその状況が確認できる。(表－2, 図－2参照)
したがって、鉛直方向についても、水平方向と同じ減衰定数を設定することは問題ないと考えられる。

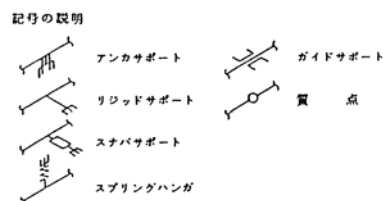
なお、参考までに、当該ブロックの水平方向の減衰定数をJEAC4601案に基づき算定した場合、1.5%(配管区分:II, 保温材有(金属保温材使用割合が40%を超える場合))であり、建設工認時と同じ値となる。
(「別紙2」参照)



[4] 余熱除去設備配管の減衰定数の設定の考え方について



図－1 余熱除去設備配管(ブロック⑫)
の地震応答解析モデル



表－1 余熱除去設備配管(ブロック⑫)の支持具

支持具タイプの分類	支持具名	対象支持具	個数
スナツバ	メカニカルスナツバ	⑧, ⑨, ⑩	3
ハンガ	スプリングハンガ	⑪	1
ロッド レストレイント	ロッド式 レストレイント (コンロッド)	②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦	6

支持具数合計(アンカーサポートを除く) 10

表－2 余熱除去設備配管(ブロック⑫)
の支持具拘束方向

拘束方向	支持具名	対象支持具	個数
水平方向 (x, y)	メカニカルスナツバ スプリングハンガ ロッド式レストレイント	⑧, ⑨, ⑩ — ②, ④, ⑤, ⑥	7
鉛直方向 (z)	メカニカルスナツバ スプリングハンガ ロッド式レストレイン	— ⑪ ③, ⑤, ⑥, ⑦	5

(注)アンカーサポートを除く。

[4] 余熱除去設備配管の減衰定数の設定の考え方について

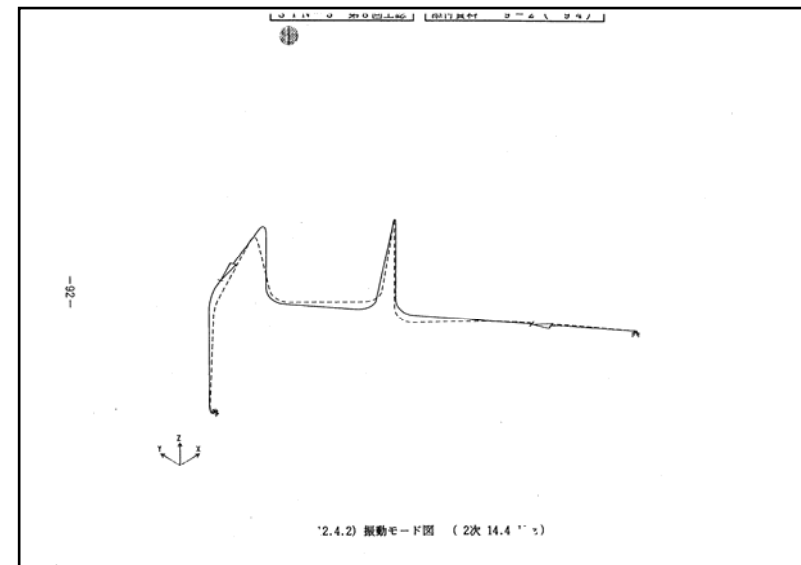
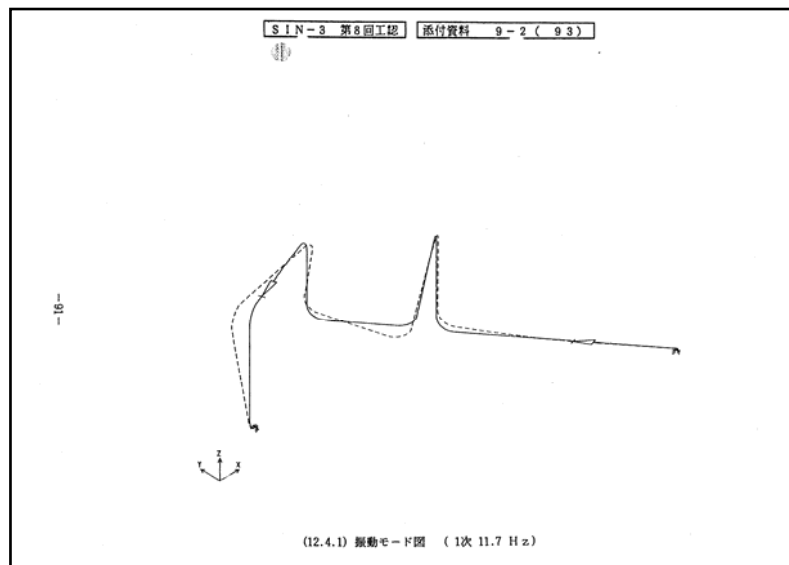
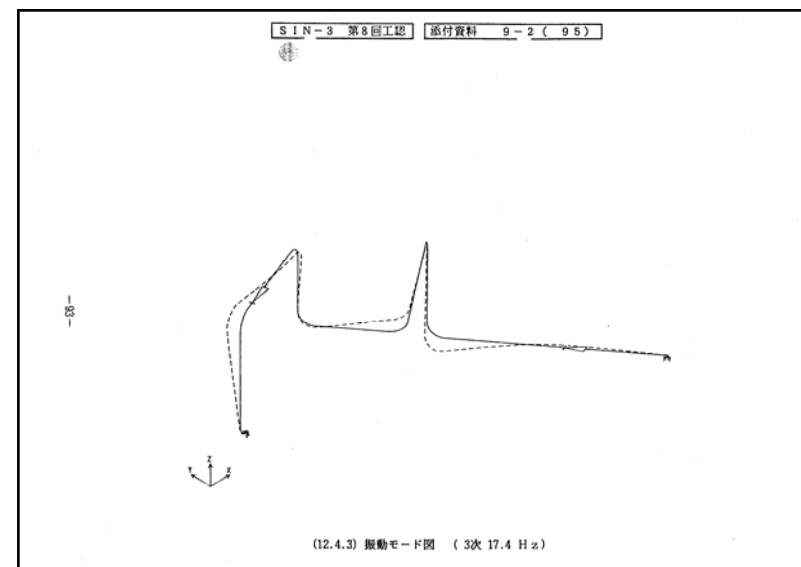


図-2 余熱除去設備配管(ブロック⑫)
の振動モード図
(伊方3号機建設工認時資料より抜粋)



[4] 余熱除去設備配管の減衰定数の設定の考え方について

別紙1

伊方3号機 配管系の減衰定数について
(JEAG4601-1987抜粋)

表 6.5.3-1 配管系の設計用減衰定数

配 管 区 分		設計用減衰定数 (%)	
		保 温 材 有	保 温 材 無
I	スナバ及び架構レストレイント支持主体の配管系でその支持具（スナバ又は架構レストレイント）数が4個以上のもの	2.5	2.0
II	スナバ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系でその支持具（アンカー及びUボルトを除く）数が4個以上で、配管区分Iに属さないもの。	1.5	1.0
III	配管区分I及びIIに属さないもの	1.0	0.5

適用条件

- 表に示す設計用減衰定数は、アンカーからアンカーまでの独立した振動系である配管系に対して適用するものとする。
- 表に示す設計用減衰定数は、当該配管系が設置される建屋の1次固有周期より短周期側で設計される場合に適用するものとする。
- 表に示す支持具数の算定に際しては、当該支持点を同一方向に複数の支持具で分配して支持する場合には、支持具数は1個として取扱い、同一支持点を複数の支持具で2方向に支持する場合には支持具数は2個として取扱うものとする。
- 支持具は、その位置及び方向が配管系全体として見た場合、局所的に集中していないこと。
- 支持点間の間隔については、次の条件を満たすよう配慮すること。

$$\frac{\text{配管系全長}}{\text{配管区分ごとに定められた支持具の支持点数}} \leq 15 \text{ (m/支持点)}$$

ここで支持点とは、支持具が取り付けられている配管接点をいい、複数の支持具がとりつけられている場合も1支持点とする。

- 支持具等の施工管理規程に基づいて、施工時の管理が十分なされるものであること。

別紙2

配管系の減衰定数について
(「水平及び鉛直方向の設計用減衰定数」(社)日本電気協会
第29回耐震設計分科会資料, No.29-4-5-8, 平成20年
1月18日)より抜粋

(3) 配管系の設計用減衰定数

配管系の設計用減衰定数は、以下の適用条件を満たす場合には支持具の種類及び保温材の有無により、水平・鉛直方向とも各振動モードについて一律に表 4.4.5-5 の値とする。ただし、適用条件を満たさない場合の設計用減衰定数は、一律 0.5% とする。

・適用条件

- 適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。
大口径管から分岐する小口径管は、その口径が大口径管の口径の 1/2 倍以下である場合、その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。
- 配管系全体として、配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。
- 配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。
配管系全長/配管区分ごとに定められた支持具の支持点数 ≤ 15 (m/支持点)
ここで、支持点とは、支持具が取り付けられている配管節点をいい、複数の支持具が取り付けられている場合も 1 支持点とする。
- 配管と支持構造物の間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。
ここで、施工管理規程とは、支持装置の設計仕様要求される内容を反映した施工要領等をいう。

表 4.4.5-5 配管系の設計用減衰定数

配 管 区 分 ⁽¹⁾⁽²⁾		設計用減衰定数 (%)	
		保温材有 ⁽³⁾	保温材無
I	スナバ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、支持具（スナバ又は架構レストレイント）の数が4個以上のもの	3.0	2.0
II	スナバ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	2.0	1.0
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの ⁽⁴⁾	3.0	2.0
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	1.5	0.5

- 注(1): 配管区分の支持具の種類及び数は、アンカからアンカまでの独立した振動系について算定する。
 注(2): 支持具数の算定において、当該支持点を同一方向に複数の支持具で分配して支持する場合は、支持具数を1個として算定し、同一支持点を2方向に複数の支持具で支持する場合は支持具数を2個として算定する。
 注(3): 保温材の有設計用減衰定数は、無機多孔質保温材による付加減衰定数として 1.0% を考慮したものである。金属保温材による付加減衰定数は、配管ブロック全長に対する金属保温材使用割合が 40% 以下の場合 1.0% を適用してよいが、金属保温材使用割合が 40% を超える場合は 0.5% とする。
 注(4): 架構で水平配管の自重を受けるUボルトの施工形態を表 4.4.5-6 に示す。Uボルトは、運転時に配管とボルト頂部との間に隙間があるよう施工されていること。なお、ドレン配管のように穏やかな勾配を持つものは水平配管とみなす。また、UボルトにはUプレートを含む。

[5] 応答倍率法による制御棒の挿入性評価について

工認時の耐震計算書における地震時の制御棒挿入性評価では、通常運転時の挿入時間に影響する流体による抗力、メカニカル抗力、浮力、自重に加え、地震外力による抗力を考慮して挿入時間を求めている。

制御棒の挿入時間遅れは、構成要素の様々な非線形挙動の影響を受けるものではあるが、地震時の制御棒挿入性評価で重要な地震外力による抗力は、燃料集合体等の地震応答変位量に依存することから、遅れ時間と地震力には相関性があると考えられる。



中間報告における制御棒の挿入性に関する評価では、独立行政法人原子力安全基盤機構による知見より、水平方向の地震入力レベルに対し遅れ時間が比例増加する範囲であれば、遅れ時間を比例倍することで概略評価可能であると考えて、地震による挿入遅れ時間に応答比を乗じて挿入時間を評価する。



○計算方法

$$\text{挿入時間} = (\text{通常時の落下時間}) + (\text{地震による遅れ時間}) \times \text{応答比}$$

【参考文献】

・独立行政法人原子力安全基盤機構(2006):平成17年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その2(PWR制御棒挿入性)に係る報告書, 06 基構報-0001

(JNES報告書抜粋)

※:加筆

※

S2:JNESにおいて、制御棒挿入性試験用の模擬地震波として設定したもの。

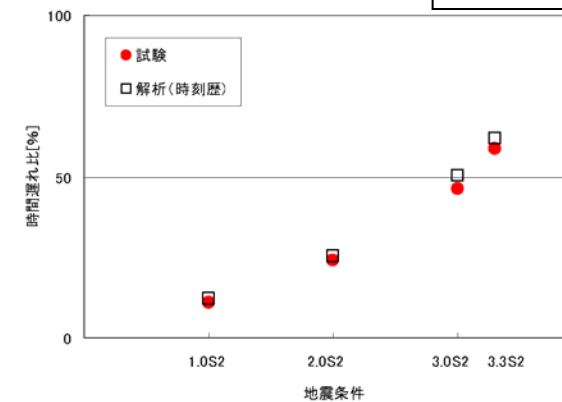


図 5.3.3-16 (2/2) 各地震条件における挿入時間遅れの比較

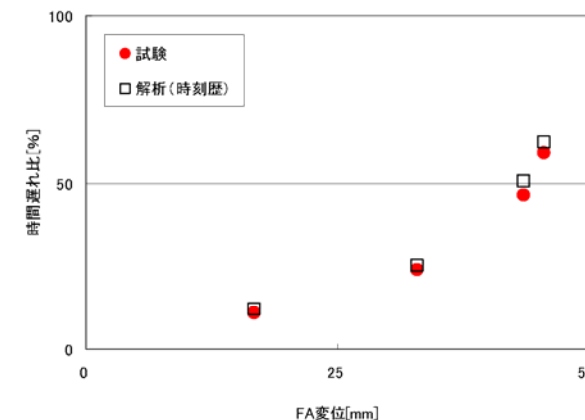


図 5.3.3-17 燃料集合体変位と挿入時間遅れ

※

$$\text{時間遅れ比} [\%] = \frac{\text{挿入時間遅れ}}{\text{通常時の挿入時間}}$$

5.3.3-25

FA変位:燃料集合体変位



詳細は、添付-2「伊方発電所3号機 制御棒挿入性の評価における応答倍率法の適用性」参照。

[5] 応答倍率法による制御棒の挿入性評価について

伊方3号機の既往評価結果(工認時の耐震計算書:基準地震動S₂[最大加速度値:473ガル])における制御棒挿入解析より、S₂地震時の燃料集合体の応答変位は約30mmである。

中間報告における基準地震動S_s(最大加速度値:570ガル[基準地震動S₂の約1.2倍])に対する評価では、JNES文献データから、地震入力レベルに対して遅れ時間が直線的に増加する範囲であると判断し、地震による挿入遅れ時間に応答比を乗じて挿入時間を評価している。

鉛直方向の地震力が制御棒挿入性に与える影響については、独立行政法人原子力安全基盤機構による知見より、制御棒挿入性への影響は水平方向の地震力に比べて十分小さいと考える。

【参考文献】

- ・独立行政法人原子力安全基盤機構(2006):平成17年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その2(PWR制御棒挿入性)に係る報告書, 06 基構報-0001

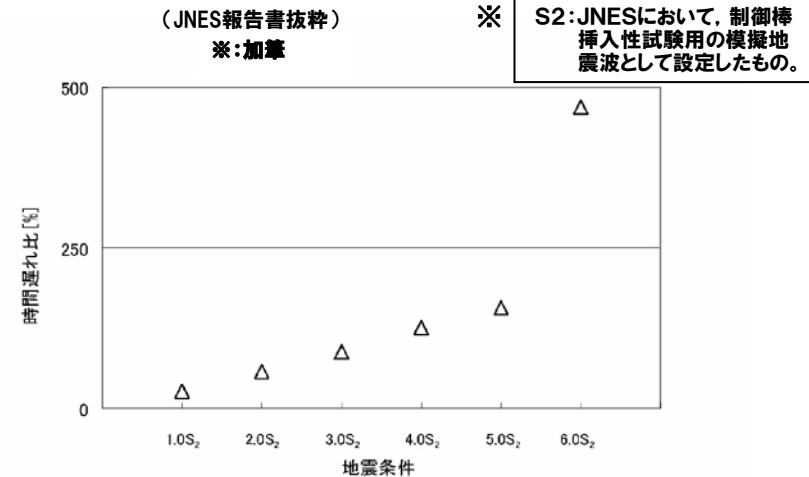
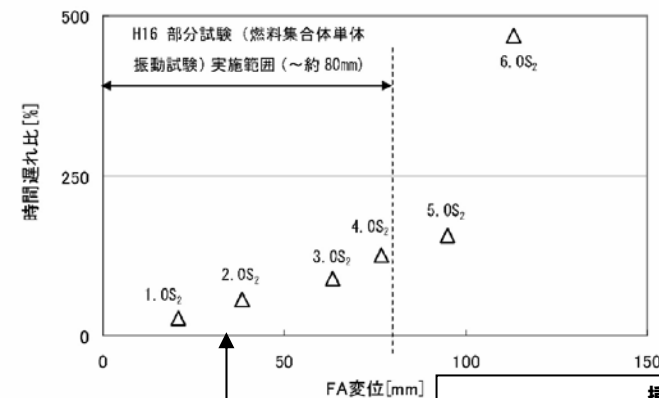


図 6.4.4-1 実機条件 各地震条件における時間遅れ



※ 伊方3号機の基準地震動S₂(最大加速度値:473ガル)に対する燃料集合体変位:約30mm

※
$$\text{時間遅れ比} [\%] = \frac{\text{挿入時間遅れ}}{\text{通常時の挿入時間}}$$

図 6.4.4-2 燃料集合体変位と時間遅れ

FA変位:燃料集合体変位



[5] 応答倍率法による制御棒の挿入性評価について

●制御棒の挿入性評価(中間報告)における鉛直地震動の影響について

「平成10年度 耐震設計高度化調査 原子炉建屋・機器の水平・上下応答特性評価法の調査 報告書」(平成11年3月, (財)原子力発電技術機構)において, 模擬地震動(M7.0, 20km)に対するPWR建屋に対する地震応答解析結果を用いて, 制御棒挿入性解析における鉛直地震動による遅れ時間を評価している。

その結果, 原子炉容器頂部の鉛直方向応答加速度が1 G以下(最大加速度値: 約166ガル(下向き) [NUPEC解析条件])(参考)であれば, 安全側に加速度最大値が上向き, かつ, 制御棒クラスタ駆動装置保持コイルの電源しゃ断から落下開始までの時間(約5/100秒)にわたって, 最大加速度が継続して作用すると仮定した評価を行っても, 本報告書に示すように, 鉛直地震動を考慮することによる制御棒の挿入時間遅れは僅かであることを確認している。 (表-1 参照)

(参考)伊方3号機の基準地震動Ssに対する原子炉容器頂部の鉛直方向応答加速度値: 0.7 G以下

表-1 挿入時間解析結果

(単位: 秒)

挿入時間解析条件	挿入時間遅れ
通常運転時	ベース
水平地震	+0.08
水平地震+鉛直地震	+0.10(水平+0.02)

(NIPEC報告書より転記)

【参考文献】

- ・(財)原子力発電技術機構(1999):平成10年度 耐震設計高度化調査 原子炉建屋・機器の水平・上下応答特性評価法の調査 報告書



詳細は, 添付-2「伊方発電所3号機 制御棒挿入性の評価における応答倍率法の適用性」参照。

[5] 応答倍率法による制御棒の挿入性評価について

●制御棒の挿入性評価(中間報告)における鉛直地震動の影響について

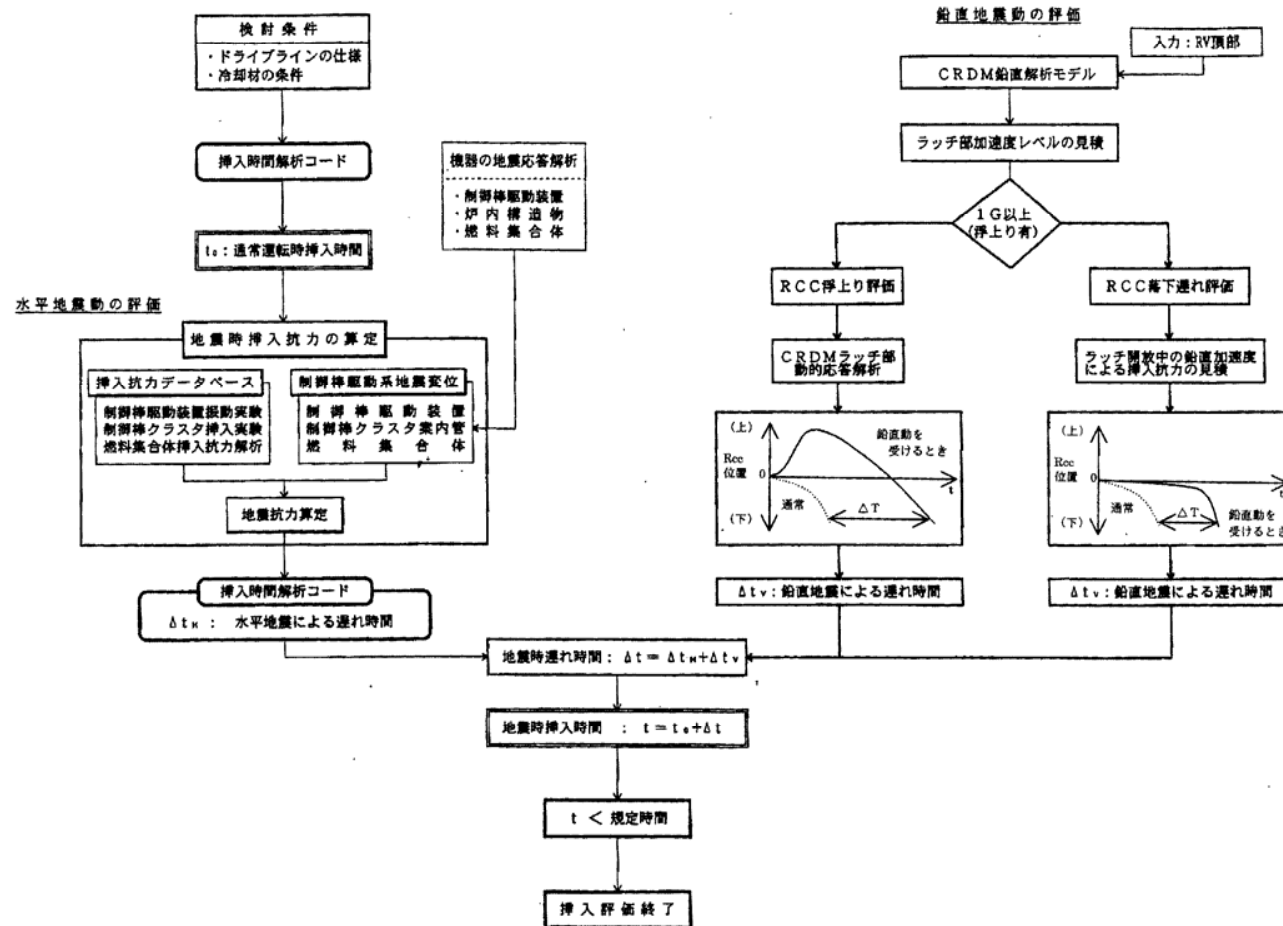


図 3.6-5 地震時制御棒挿入時間解析評価の流れ

[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

●検討方針

応答倍率法の適用に際して、各種の条件整理を行い、各種「応答比」算定法による比較検討、既往評価の結果等における荷重分析(耐震安全性に影響する荷重(地震荷重, それ以外)を分析)を踏まえた考察、応答比「SRSS/絶対値和, 鉛直下向き」の詳細分析および中間報告の評価対象施設に対する適用性を検討。



●検討項目

- ① 各種「応答比」算定法による評価結果との比較
- ② 既往評価結果(工認時の耐震計算書)における荷重分析
- ③ 中間報告と荷重分析結果に基づく簡易式による評価結果との比較



●検討結果

- ① 新耐震指針に照らした耐震安全性評価においては、鉛直方向の地震力が静的震度から鉛直地震動に基づく評価に変更となったため、鉛直方向のみの加速度で算定した応答比は大きめの値を与える。(表-1, 図-1参照)
耐震安全性評価に影響する荷重(地震荷重, その他)を分析し、合理的に適用することが望ましい。
- ② 中間報告の評価対象設備, 評価対象部位については、鉛直方向の地震力が地震力の総和に占める割合(寄与率)は最大でも20%程度であり、鉛直方向の地震力に比べ水平方向の地震力が支配的であることを確認。
(表-2, 図-2参照)
- ③ 中間報告の評価対象設備, 評価対象部位について、荷重成分ごとの寄与率と荷重成分ごとの応答比を考慮して応力等の発生値を簡易評価した結果、中間報告において報告された発生値と同等か、またはそれを下回ることを確認。
(表-3, 4参照)

→以上より、合理的に安全側の数値を算定するための「条件整理」を行い、その範囲で応答倍率法を適用することが可能と考える。

なお、制御棒挿入性の評価に関しては、評価に与える影響が支配的と考えられる水平方向の地震入力レベル等に着目した場合、既往の知見の適用範囲内であり、中間報告の制御棒挿入性の評価において応答倍率法を適用することは可能と考える。



[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

① 各種「応答比」算定法による評価結果との比較

表－１ 各種「応答比」算定法による検討結果(数値データ)

		既往評価結果 (工認時の耐震 計算結果)	SRSS/絶対値和 (自重考慮・鉛直下向)	SRSS/絶対値和 (自重考慮・鉛直上向)	SRSS/絶対値和 (自重考慮無し)	SRSS/SRSS (自重考慮)	SRSS/SRSS (自重考慮無し)	水平方向のみ	鉛直方向のみ (自重考慮)	鉛直方向のみ (自重考慮無し)	絶対値和/絶対値和 (自重考慮)	絶対値和/絶対値和 (自重考慮無し)
			$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 + AS_z V)^2}}{(AS_x H) + (1 + AS_z V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 - AS_z V)^2}}{(AS_x H) + (1 - AS_z V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (AS_z V)^2}}{(AS_x H) + (AS_z V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 + AS_z V)^2}}{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 + AS_z V)^2}}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (AS_z V)^2}}{\sqrt{(AS_x H)^2 + (AS_z V)^2}}$	$\frac{AS_x H}{AS_x H}$	$\frac{1 + AS_z V}{1 + AS_z V}$	$\frac{AS_z V}{AS_z V}$	$\frac{(AS_x H) + (1 + AS_z V)}{(AS_x H) + (1 + AS_z V)}$	$\frac{(AS_x H) + (AS_z V)}{(AS_x H) + (AS_z V)}$
①原子炉容器 (支持構造物)	応答比	—	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.064$	$\frac{\sqrt{(2.17)^2 + (1-1.46)^2}}{(2.08)+(1-0.29)} = 0.796$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{(1.33)+(0.29)} = 1.211$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.505$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (0.29)^2}} = 1.441$	2.17 2.08 = 1.044	$\frac{1+1.46}{1+0.29} = 1.907$		$\frac{(1.31)+(1+1.46)}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.439$	$\frac{(1.31)+(1.46)}{(1.33)+(0.29)} = 1.710$
	発生値 [kg/mm ²]	26.2	27.9	20.9	31.8	39.5	37.8	27.4	50.0		37.8	44.9
	許容値 [kg/mm ²]	47.5	47.5									
②蒸気発生器 (支持構造物)	応答比	—	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (1+2.43)^2}}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.039$	$\frac{\sqrt{(1.66)^2 + (1-2.43)^2}}{(1.839)+(1-0.29)} = 0.874$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{(2.71)+(0.29)} = 1.125$	$\frac{\sqrt{(2.32)^2 + (1+2.43)^2}}{\sqrt{(2.70)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.384$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{\sqrt{(2.71)^2 + (0.29)^2}} = 1.238$	3.43 3.56 = 0.964	$\frac{1+2.43}{1+0.29} = 2.659$		$\frac{(2.34)+(1+2.43)}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.443$	$\frac{(2.34)+(2.43)}{(2.71)+(0.29)} = 1.590$
	発生値 [kg/mm ²]	5.4	5.7	4.8	6.1	7.5	6.7	5.3	14.4		7.8	8.6
	許容値 [kg/mm ²]	8.1	8.1									
③炉内構造物 (炉心そう)	応答比	—	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.064$	$\frac{\sqrt{(2.17)^2 + (1-1.46)^2}}{(2.08)+(1-0.29)} = 0.796$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{(1.33)+(0.29)} = 1.211$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.505$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (0.29)^2}} = 1.441$	2.17 2.08 = 1.044	$\frac{1+1.46}{1+0.29} = 1.907$		$\frac{(1.31)+(1+1.46)}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.439$	$\frac{(1.31)+(1.46)}{(1.33)+(0.29)} = 1.710$
	発生値 [kg/mm ²]	8.5	9.1	6.8	10.3	12.8	12.3	8.9	16.3		12.3	14.6
	許容値 [kg/mm ²]	39.9	39.9									
④一次冷却配管 (本体)	応答比	—	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (1+2.43)^2}}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.039$	$\frac{\sqrt{(1.66)^2 + (1-2.43)^2}}{(1.839)+(1-0.29)} = 0.874$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{(2.71)+(0.29)} = 1.125$	$\frac{\sqrt{(2.32)^2 + (1+2.43)^2}}{\sqrt{(2.70)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.384$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{\sqrt{(2.71)^2 + (0.29)^2}} = 1.238$	3.43 3.56 = 0.964	$\frac{1+2.43}{1+0.29} = 2.659$		$\frac{(2.34)+(1+2.43)}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.443$	$\frac{(2.34)+(2.43)}{(2.71)+(0.29)} = 1.590$
	発生値 [kg/mm ²]	11.4	11.9	10.0	12.9	15.8	14.2	11.0	30.4		16.5	18.2
	許容値 [kg/mm ²]	35.5	35.5									
⑤余熱除去ポンプ (基礎ボルト/ 原動機取付ボルト)	応答比	—	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1+0.42)^2}}{(0.80)+(1+0.29)} = 0.767(1)$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1-0.42)^2}}{(0.80)+(1-0.29)} = 0.623$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (0.42)^2}}{(0.80)+(0.29)} = 0.781$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1+0.42)^2}}{\sqrt{(0.80)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.055$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (0.42)^2}}{\sqrt{(0.80)^2 + (0.29)^2}} = 1.000$	0.74 0.80 = 0.925	$\frac{1+0.42}{1+0.29} = 1.101$		$\frac{(0.74)+(1+0.42)}{(0.80)+(1+0.29)} = 1.034$	$\frac{(0.74)+(0.42)}{(0.80)+(0.29)} = 1.065$
	発生値 [kg/mm ²]	0.1/1.0	0.1/1.0	0.1/0.7	0.1/0.8	0.2/1.1	0.1/1.0	0.1/1.0	0.2/1.2		0.2/1.1	0.2/1.1
	許容値 [kg/mm ²]	21.5	21.5									
⑥余熱除去設備配管 (本体)	応答比	—			$\frac{\sqrt{(3.25)^2 + (1.76)^2}}{(2.95)+(0.29)} = 1.141$		$\frac{\sqrt{(1.38)^2 + (1.76)^2}}{\sqrt{(1.72)^2 + (0.29)^2}} = 1.283$	3.25 2.95 = 1.102		1.76 0.29 = 6.069		$\frac{(1.38)+(1.76)}{(1.72)+(0.29)} = 1.563$
	発生値 [kg/mm ²]	16.2 [※]			18.0		19.7	17.5		77.5		23.1
	許容値 [kg/mm ²]	35.0	35.0									
⑦原子炉格納容器 (本体)	応答比	—	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1+1.14)^2}}{(1.82)+(1+0.24)} = 0.85(4)$	$\frac{\sqrt{(3.52)^2 + (1-1.14)^2}}{(4.86)+(1-0.24)} = 0.627$	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1.14)^2}}{(1.82)+(0.24)} = 0.915$	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1+1.14)^2}}{\sqrt{(1.82)^2 + (1+0.24)^2}} = 1.187$	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1.14)^2}}{\sqrt{(1.82)^2 + (0.24)^2}} = 1.027$	1.50 1.82 = 0.825	$\frac{1+1.14}{1+0.24} = 1.725$		$\frac{(1.50)+(1+1.14)}{(1.82)+(1+0.24)} = 1.190$	$\frac{(1.50)+(1.14)}{(1.82)+(0.24)} = 1.281$
	発生値 [kg/mm ²]	6.1	6.1	3.9	5.6	7.3	6.3	5.1	10.6		7.3	7.9
	許容値 [kg/mm ²]	35.8	35.8									
⑧制御棒挿入性 (動的機能維持)	応答比	—			$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (2.15)^2}}{(1.33)+(0.29)} = 1.555$		$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (2.15)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (0.29)^2}} = 1.850$	3.69 3.14 = 1.176		2.15 0.29 = 7.414		$\frac{(1.31)+(2.15)}{(1.33)+(0.29)} = 2.136$
	発生値 [秒]	1.97			2.03		2.06	1.99		2.62		2.09
	許容値 [秒]	2.5	2.5									

① : 中間報告記載値

※ : 訂正後の工認時評価結果による
(工認時: 15.5)

ケース①

ケース②

ケース③

ケース④

ケース⑤

ケース⑥

ケース⑦

ケース⑧

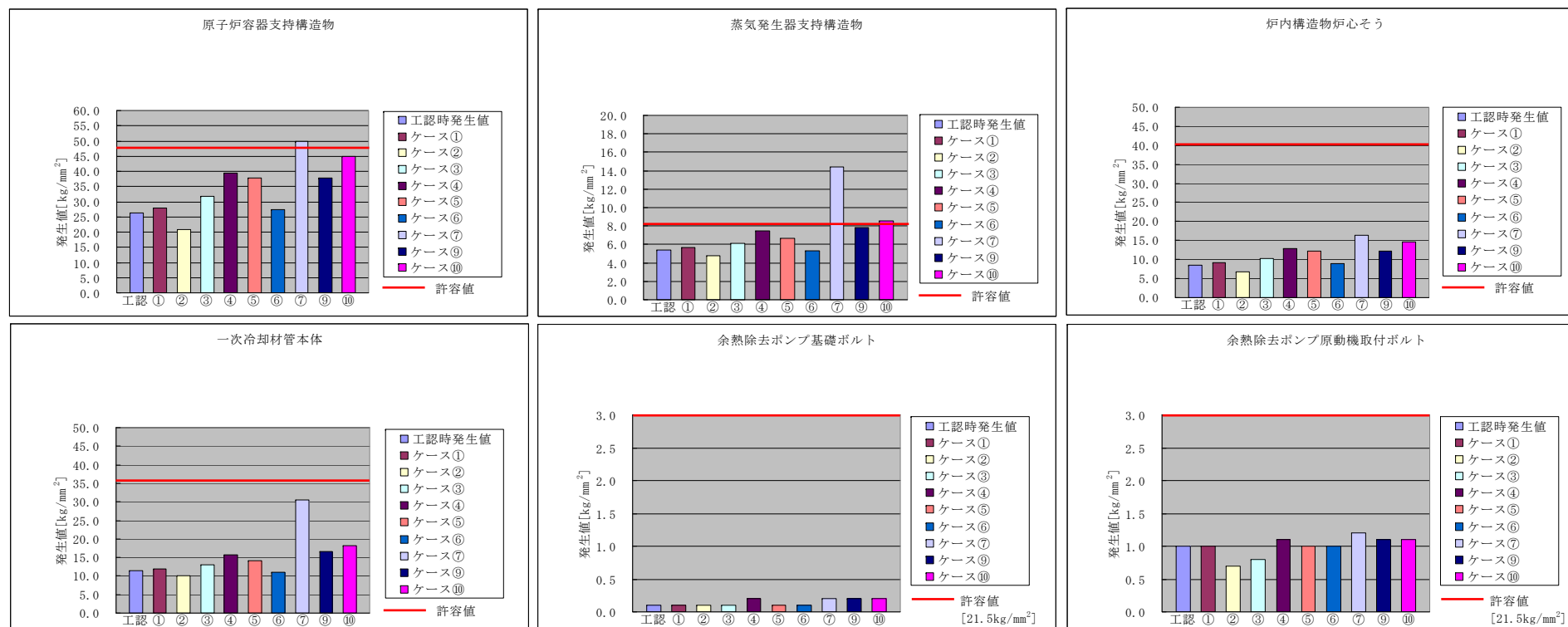
ケース⑨

ケース⑩



[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

① 各種「応答比」算定法による評価結果との比較



☆応答比ケース

ケース①

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}$$

ケース②

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 - AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (1 - AS_s V)}$$

ケース③

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (AS_s V)}$$

ケース④

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}$$

ケース⑤

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}$$

ケース⑥

$$\frac{AS_s H}{AS_s H}$$

ケース⑦

$$\frac{1 + AS_s V}{1 + AS_s V}$$

ケース⑧

$$\frac{AS_s V}{AS_s V}$$

ケース⑨

$$\frac{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}$$

ケース⑩

$$\frac{(AS_s H) + (AS_s V)}{(AS_s H) + (AS_s V)}$$

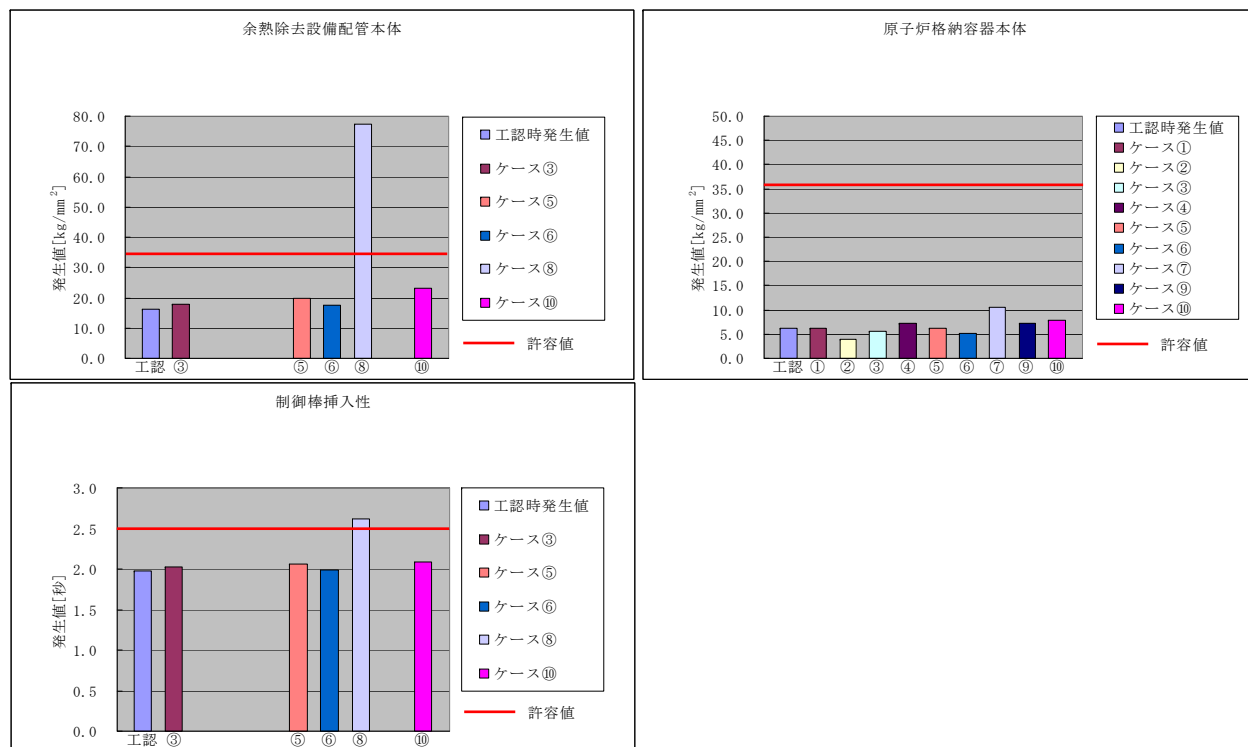
ASsH: 基準地震動Ss (水平)
ASsH: 基準地震動S2 (水平)
ASsV: 基準地震動Ss (鉛直)
ASsV: 基準地震動S2 (鉛直)

図－1 各種「応答比」算定法による検討結果(相対比較)[1/2]



[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

① 各種「応答比」算定法による評価結果との比較



☆応答比ケース

$$\text{ケース①} \quad \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}$$

$$\text{ケース②} \quad \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 - AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (1 - AS_s V)}$$

$$\text{ケース③} \quad \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (AS_s V)}$$

$$\text{ケース④} \quad \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}$$

$$\text{ケース⑤} \quad \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}$$

$$\text{ケース⑥} \quad \frac{AS_s H}{AS_s H}$$

$$\text{ケース⑦} \quad \frac{1 + AS_s V}{1 + AS_s V}$$

$$\text{ケース⑧} \quad \frac{AS_s V}{AS_s V}$$

$$\text{ケース⑨} \quad \frac{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}$$

$$\text{ケース⑩} \quad \frac{(AS_s H) + (AS_s V)}{(AS_s H) + (AS_s V)}$$

ASsH: 基準地震動Ss (水平)
ASsH: 基準地震動S2 (水平)
ASsV: 基準地震動Ss (鉛直)
AS2V: 基準地震動S2 (鉛直)

図－1 各種「応答比」算定法による検討結果(相対比較) [2/2]

[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

② 既往評価結果(工認時の耐震計算書)における荷重分析

表－２ 評価対象設備の荷重分析結果

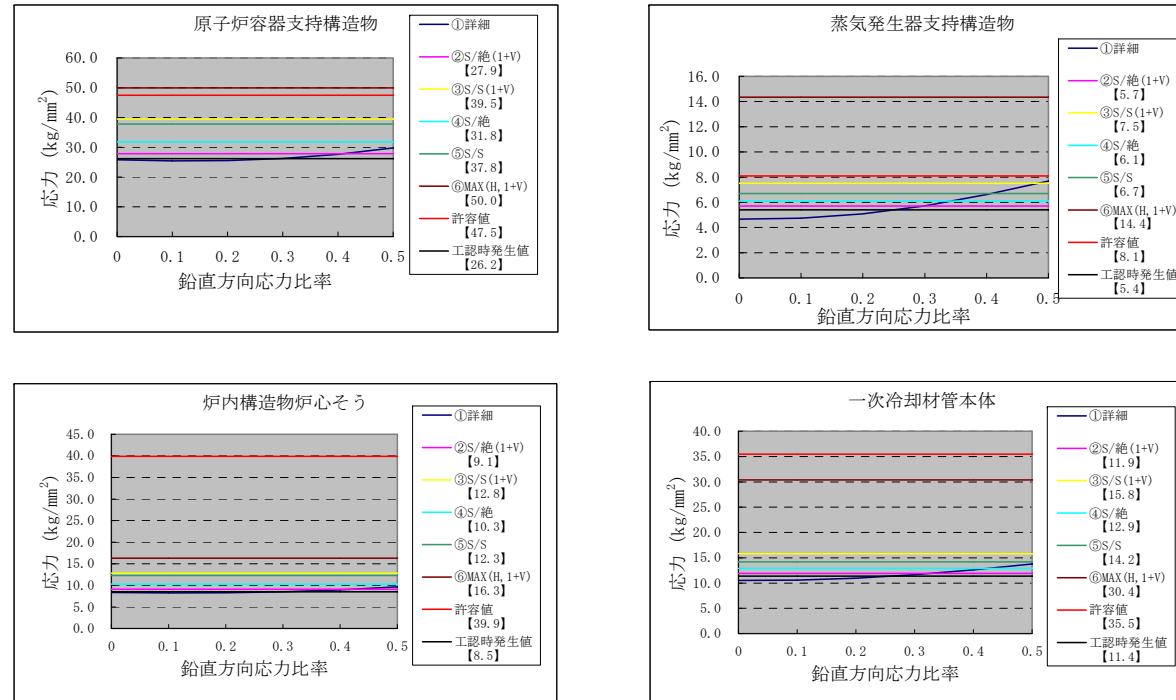
評価対象施設	地震時発生応力への荷重比率 [%]	
①原子炉容器 (支持構造物)	水平地震	100
	鉛直地震	0
	自重	0
	その他 ^{※1}	0
②蒸気発生器 (支持構造物)	水平地震	100
	鉛直地震	0
	自重	0
	その他 ^{※1}	0
③炉内構造物 (炉心そう)	地震荷重	20
	その他 ^{※1}	80
④一次冷却材管 (本体)	水平地震	43.6
	鉛直地震	1.8
	自重	6
	その他 ^{※1}	48.6
⑤余熱除去ポンプ (基礎ボルト／ 原動機取付ボルト)	水平地震 ^{※2}	71.8/82.1
	鉛直地震 ^{※2}	28.2/17.9
	自重 ^{※2}	-97.1/-61.7
	その他 ^{※1}	0/0
	水平地震	87.9
⑦原子炉格納容器 (本体)	鉛直地震	2.4
	自重	9.7
	その他 ^{※1}	0

※1：その他とは、地震荷重および自重による応力以外（内圧、機械荷重等）をいう。

※2：転倒モーメントに占める水平・鉛直地震荷重の比率を示す。
なお、自重は復元モーメントとして、転倒モーメントを相殺する効果がある。

[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

② 既往評価結果(工認時の耐震計算書)における荷重分析



『記号解説』

①詳細 (簡易式による推定値)

$$\sqrt{\left(\sigma_H \times \frac{AS_s H}{AS_2 H}\right)^2 + \left(\sigma_V \times \frac{AS_s V}{AS_2 V}\right)^2} + \sigma_L$$

※余熱除去ポンプは規格に当てはめて計算実施

②S/絶(1+V)

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$$

③S/S(1+V)

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (1 + AS_2 V)^2}}$$

④S/絶

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$$

⑤S/S

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (AS_2 V)^2}}$$

⑥MAX(H, 1+V)

$$\text{MAX} \left(\frac{AS_s H}{AS_2 H}, \frac{(1 + AS_s V)}{(1 + AS_2 V)} \right) \times \sigma$$

⑦MAX(H, V)

$$\text{MAX} \left(\frac{AS_s H}{AS_2 H}, \frac{AS_s V}{AS_2 V} \right) \times \sigma$$

AS₂H: 基準地震動S2 (水平)

AS_sH: 基準地震動SS (水平)

AS₂V: 基準地震動S2 (鉛直)

AS_sV: 基準地震動SS (鉛直)

σ: 工認時発生応力 (合計)

σ_H: 工認時発生応力 (水平地震力による応力)

σ_V: 工認時発生応力 (鉛直地震力による応力)

σ_L: 工認時発生応力 (自重+その他による応力)

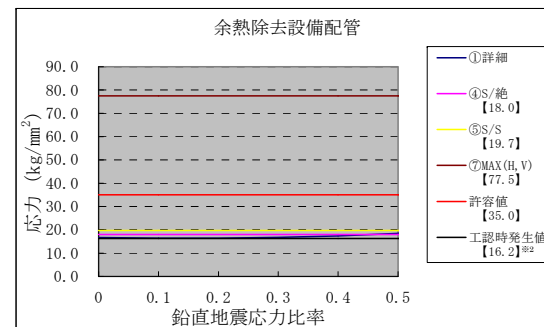
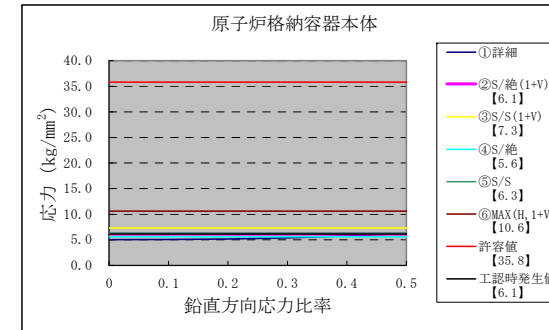
図-2 各種「応答比」算定法における適用可能範囲について [1/2]

[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

② 既往評価結果(工認時の耐震計算書)における荷重分析

評価方法	基礎ボルト	原動機取付ボルト (kg/mm ²)
①詳細	—※1	0.5
②S/絶(1+V)	0.1	1.0
③S/S(1+V)	0.2	1.1
④S/絶	0.1	0.8
⑤S/S	0.1	1.0
⑥MAX(H, 1+V)	0.2	1.2
許容値	21.5	21.5
工認時発生値	0.1	1.0

※1：転倒モーメント<自重による復元モーメントのため
基礎ボルトに引張応力は発生しない。



※2：訂正後の工認時評価結果による (工認時：15.5)

『記号解説』

①詳細 (簡易式による推定値)

$$\sqrt{\left(\sigma_H \times \frac{AS_s H}{AS_2 H}\right)^2 + \left(\sigma_V \times \frac{AS_s V}{AS_2 V}\right)^2} + \sigma_L$$

※余熱除去ポンプは規格に当てはめて計算実施

②S/絶(1+V)

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$$

③S/S(1+V)

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (1 + AS_2 V)^2}}$$

④S/絶

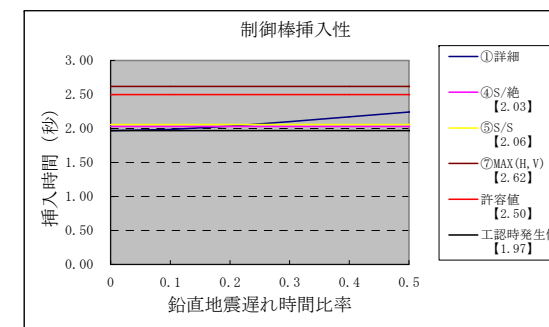
$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$$

⑤S/S

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (AS_2 V)^2}}$$

⑥MAX(H, 1+V)

$$\text{MAX} \left(\frac{AS_s H}{AS_2 H}, \frac{(1 + AS_s V)}{(1 + AS_2 V)} \right) \times \sigma$$



⑦MAX(H, V)

$$\text{MAX} \left(\frac{AS_s H}{AS_2 H}, \frac{AS_s V}{AS_2 V} \right) \times \sigma$$

AS₂H: 基準地震動S2 (水平)

AS_sH: 基準地震動SS (水平)

AS₂V: 基準地震動S2 (鉛直)

AS_sV: 基準地震動SS (鉛直)

σ: 工認時発生応力 (合計)

σ_H: 工認時発生応力 (水平地震力による応力)

σ_V: 工認時発生応力 (鉛直地震力による応力)

σ_L: 工認時発生応力 (自重+その他による応力)

図-2 各種「応答比」算定法における適用可能範囲について [2/2]

[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

③ 中間報告と荷重分析結果に基づく簡易式による評価結果との比較

表－３ 機器・配管系の構造強度評価結果(簡易式による評価結果との比較検討)

	区分	評価対象設備	評価部位	応力分類	中間報告における評価値 (水平・鉛直地震動を考慮)		水平地震動のみによる応答比で評価※ ³		簡易式による評価※ ⁴	評価基準値 [N/mm ²]
					応答比	発生値※ ² [N/mm ²]	応答比	発生値 [N/mm ²]	発生値 [N/mm ²]	
構造強度評価	止める	①炉内構造物	炉心そう	一次応力	1.064	90	1.044	88	(91※ ⁵)	391
	冷やす	③蒸気発生器	支持構造物	一次応力	1.039	56	0.964	52	52	79
		④一次冷却材管	本 体	一次応力	1.039	117	0.964	108	112	348
		⑤余熱除去ポンプ	基礎ボルト	一次応力	0.767(1)※ ¹	1	0.925	1	—※ ⁶	210
			原動機取付ボルト※ ⁷	一次応力		10		10	5	210
		⑥余熱除去設備配管	本 体	一次応力	1.141	176	1.102	171	168	343
	閉じ込める	⑦原子炉容器	支持構造物	一次応力	1.064	274	1.044	269	269	465
		⑧原子炉格納容器	本 体	一次応力	0.854(1)※ ¹	60	0.825	50	50	351

※¹ 応答比は1以下であるが、評価上は「1」とする。

※² 水平・鉛直地震動に基づく応答比（SRSS/絶対値和）に基づく評価結果を記載している。

※³ 水平地震動に基づく応答比（新指針BC時/工認時）に基づく評価結果を記載している。

※⁴ 簡易式による推定値を記載している。

$$\sqrt{\left(\sigma_H \times \frac{AS_S H}{AS_2 H}\right)^2 + \left(\sigma_V \times \frac{AS_S V}{AS_2 V}\right)^2} + \sigma_L$$

σ_H : 工認時発生応力（水平地震力による応力）

σ_V : 工認時発生応力（鉛直地震力による応力）

σ_L : 工認時発生応力（自重+その他による応力）

※⁵ 既往評価結果（工認耐震計算書）から水平・鉛直地震荷重の分解ができないため、地震時発生応力に応答比（SRSS法/SRSS法、自重考慮無し）を乗じて評価。

※⁶ 規格式に当てはめて計算した結果、基礎ボルトには引張応力は発生しない。

※⁷ 参考までに、ポンプ本体を除く支持構造物の評価結果を示す。

[6] 応答倍率法による評価結果の安全性について

③ 中間報告と荷重分析結果に基づく簡易式による評価結果との比較

表－4 制御棒挿入性に関する評価結果(簡易式による評価結果との比較検討)

動的機能維持評価	区分	評価対象設備	評価項目	中間報告記載値 (水平・鉛直地震動を考慮)		水平地震動のみ よる応答比で 評価※ ²		簡易式による評価※ ³	評価基準値 [秒]
				応答比	発生値※ ¹ [秒]	応答比	発生値 [秒]	発生値 [秒]	
	止める	②制御棒(挿入性)	挿入時間	1.555	2.03	1.176	1.99	(2.06※ ⁴)	2.50※ ⁵

※¹ 水平・鉛直地震動に基づく応答比(SRSS/絶対値和)に基づく評価結果を記載している。

※² 水平地震動に基づく応答比(新指針BC時/工認時)に基づく評価結果を記載している。

※³ 簡易式による推定値を記載している。

$$\sqrt{\left(t_H \times \frac{AS_S H}{AS_2 H}\right)^2 + \left(t_V \times \frac{AS_S V}{AS_2 V}\right)^2} + t_L$$

tH : 工認時発生値(水平地震力による遅れ時間)
tV : 工認時発生値(鉛直地震力による遅れ時間)
tL : 工認時発生値(自重+その他による遅れ時間)

※⁴ 既往評価結果(工認耐震計算書)から水平・鉛直地震力による遅れ時間の分解ができないため、地震時遅れ時間に応答比(SRSS法/SRSS法、自重考慮無し)を乗じて評価。

※⁵ 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2.20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] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討

● 検討結果(概要)

芸予地震(2001.3.24)観測波によるものとシミュレーション解析による床応答スペクトルのピークのズレが中間報告(3号機)評価対象設備の耐震安全性評価結果に与える影響について、耐震安全性評価の裕度と合わせて検討した。

芸予地震観測波が一部の周期帯においてシミュレーション解析結果を上回るが、中間報告評価対象設備の地震応答解析に及ぼす影響は限定的であり、耐震安全性評価の裕度を考慮すると、耐震安全性評価に支障はないと考える。

■ 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	1次固有周期 [秒]	①発生値※1 [N/mm ²]	②評価基準値 [N/mm ²]	裕度※2 (②/①)	最大 応答比※3
炉内構造物	炉心そう	0.053	90	391	4.34	1.37
蒸気発生器	支持構造物	0.112	56	79	1.41	1.25
一次冷却材管	本体	0.112	117	348	2.97	1.25
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	0.033以下	1	210	210	—※5
	原動機取付ボルト※4		10	210	21	
余熱除去設備配管	本体	0.085	176	343	1.94(2.23)	1.51
原子炉容器	支持構造物	0.053	274	465	1.69	1.37
原子炉格納容器	本 体	0.161	60	351	5.85	—※5

■ 動的機能維持評価結果

評価対象設備	1次固有周期 [秒]	①発生値※1 [秒]	②評価基準値 [秒]	裕度※2 (②/①)	最大 応答比※3
制御棒(挿入性)	0.063(制御棒クラスタ駆動装置) 0.035(制御棒クラスタ案内管) 0.270(燃料集合体)	2.03	2.5	1.23 (3.93)	1.37

※1 中間報告評価結果を示す。

※2 ()内数値は評価基準値より地震以外による発生値を減じた値/地震による発生値を示す。

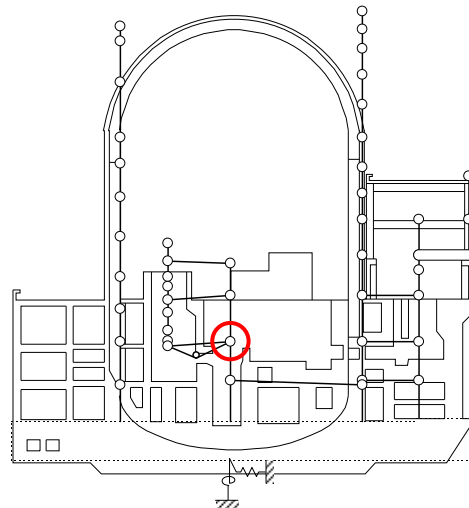
※3 設備の各固有周期で最大の応答加速度比(観測波スペクトル/解析波振幅スペクトル)を示す。

※4 参考までに、ポンプ本体を除く支持構造物の評価結果を示す。

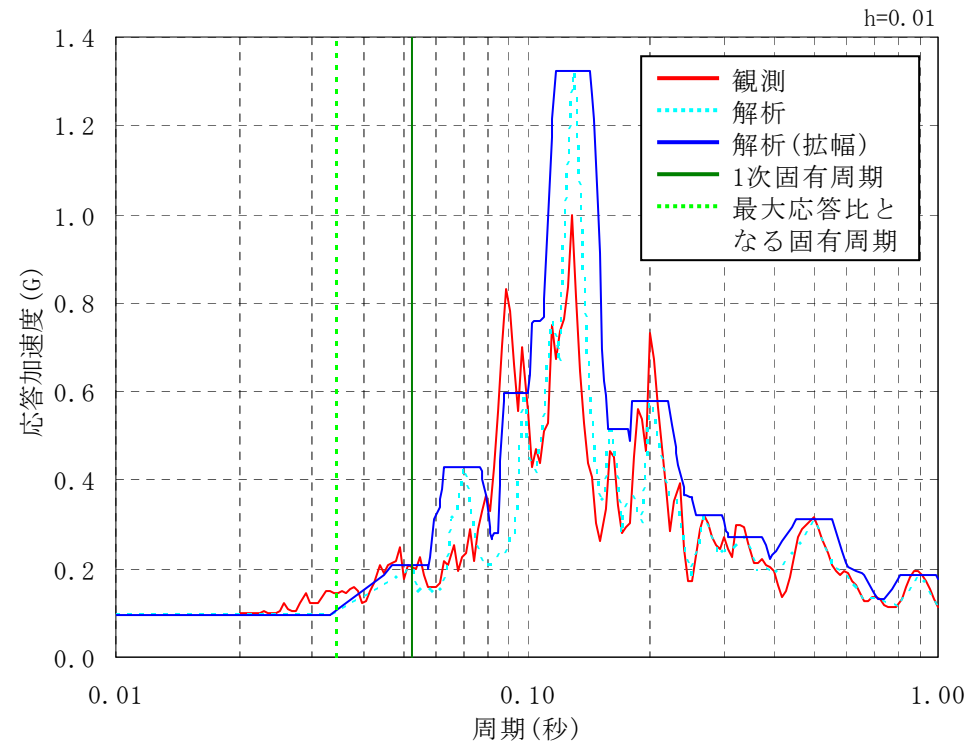
※5 比較できる観測波が無いため評価していない。

[7] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討

地震観測記録と解析値(振幅値)の比較【原子炉容器】



原子炉建屋 I/C 24.0m



床応答スペクトル(水平方向 I/C 24.0m)

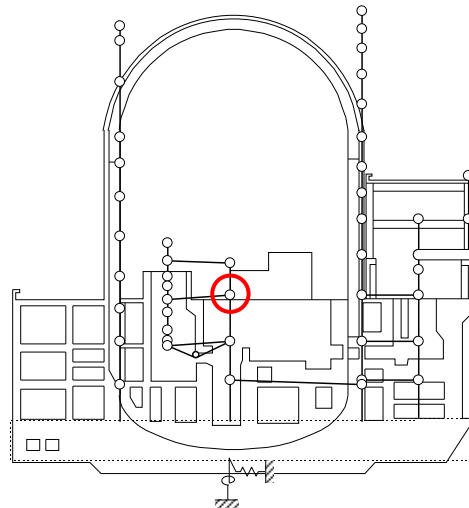
対象設備	評価部位	1次固有周期 [秒]	①発生値 ^{※1} [N/mm ²]	②評価基準値 [N/mm ²]	裕度 (②/①)	最大応答比 ^{※2}
原子炉容器	支持構造物	0.053	274	465	1.69	1.37

※1 中間報告評価結果を示す。

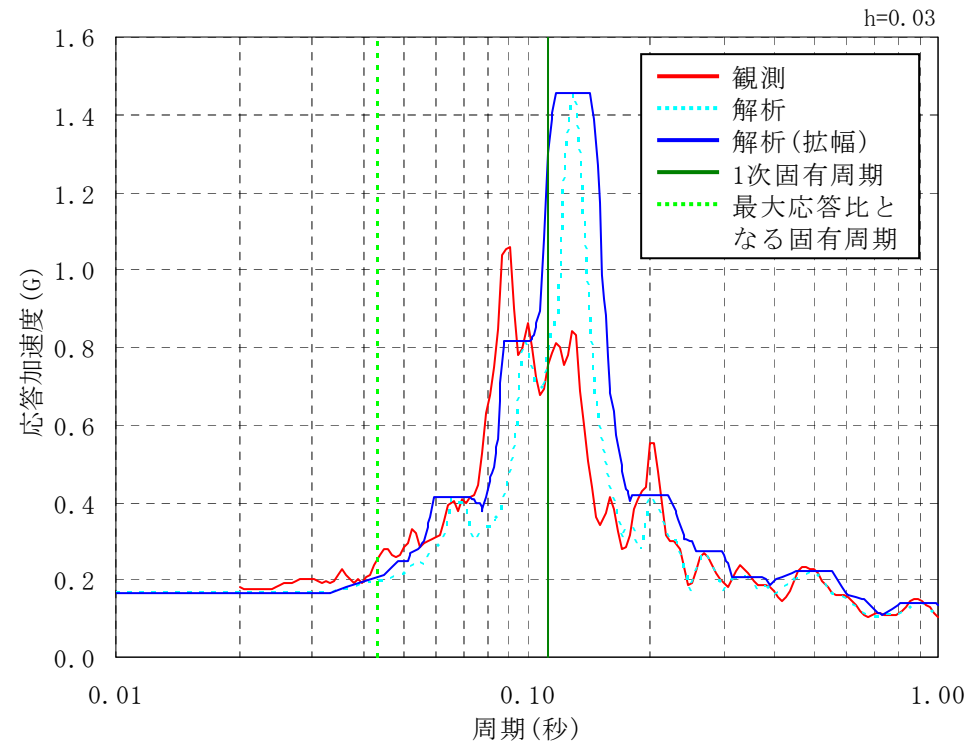
※2 設備の各固有周期で最大の応答加速度比(観測波スペクトル/解析波振幅スペクトル)を示す。

[7] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討

地震観測記録と解析値(振幅値)の比較【蒸気発生器】



原子炉建屋 I/C 32.3m



床応答スペクトル(水平方向 I/C 32.3m)

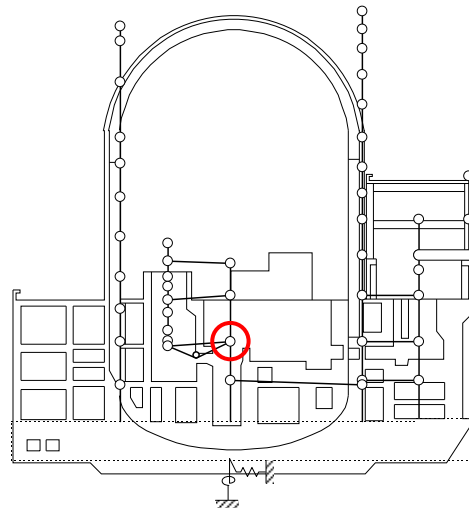
対象設備	評価部位	1次固有周期 [秒]	①発生値※1 [N/mm ²]	②評価基準値 [N/mm ²]	裕度 (②/①)	最大応答比※2
蒸気発生器	支持構造物	0.112	56	79	1.41	1.25

※1 中間報告評価結果を示す。

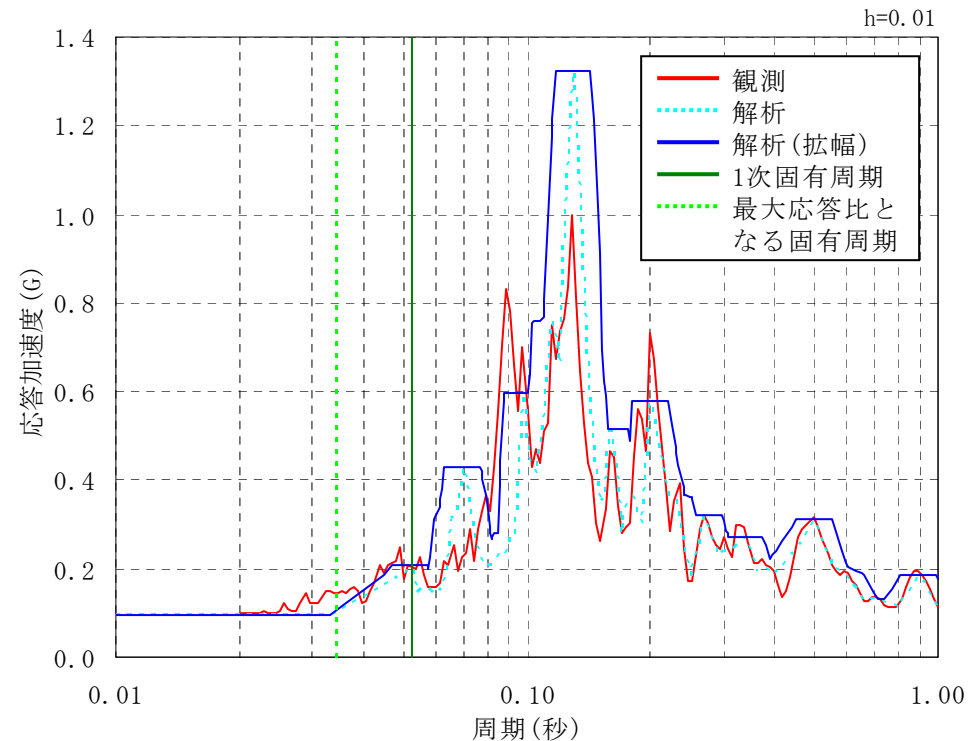
※2 設備の各固有周期で最大の応答加速度比(観測波スペクトル/解析波振幅スペクトル)を示す。

[7] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討

地震観測記録と解析値(振幅値)の比較【炉内構造物】



原子炉建屋 I/C 24.0m



床応答スペクトル(水平方向 I/C 24.0m)

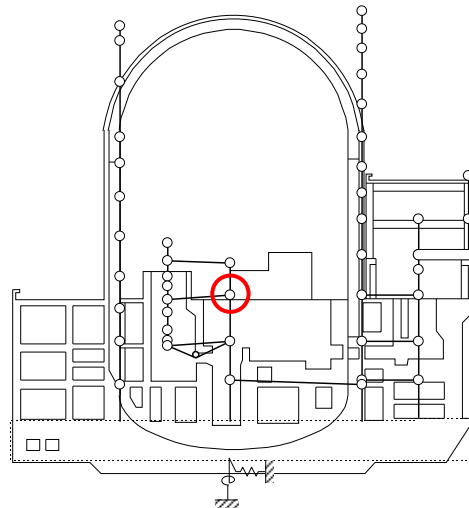
対象設備	評価部位	1次固有周期 [秒]	①発生値※1 [N/mm ²]	②評価基準値 [N/mm ²]	裕度 (②/①)	最大応答比※2
炉内構造物	炉心そう	0.053	90	391	4.34	1.37

※1 中間報告評価結果を示す。

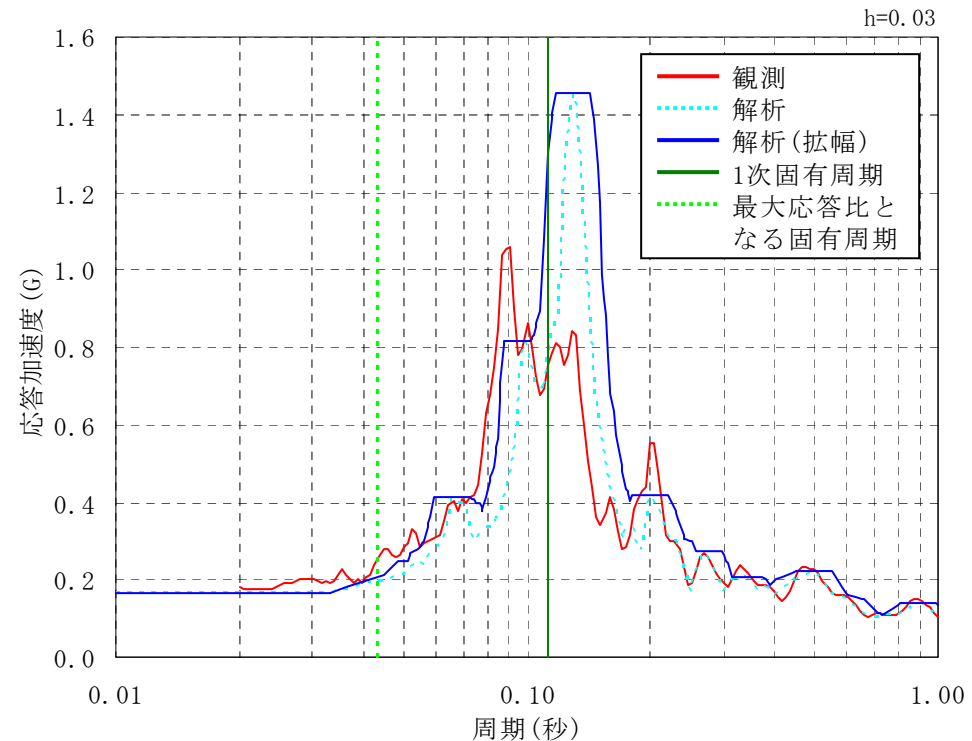
※2 設備の各固有周期で最大の応答加速度比(観測波スペクトル/解析波振幅スペクトル)を示す。

[7] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討

地震観測記録と解析値(振幅値)の比較【一次冷却材管】



原子炉建屋 I/C 32.3m



床応答スペクトル(水平方向 I/C 32.3m)

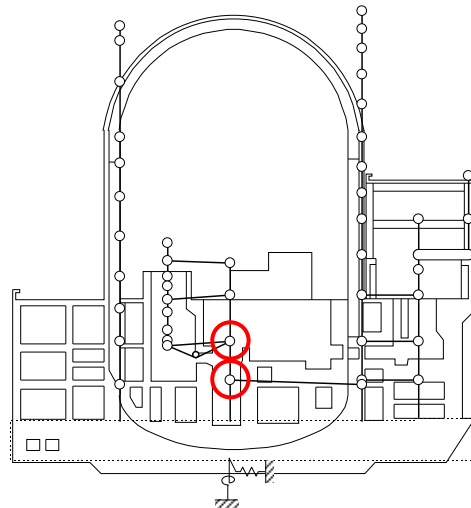
対象設備	評価部位	1次固有周期 [秒]	①発生値※1 [N/mm ²]	②評価基準値 [N/mm ²]	裕度 (②/①)	最大応答比※2
一次冷却材管	本体	0.112	117	348	2.97	1.25

※1 中間報告評価結果を示す。

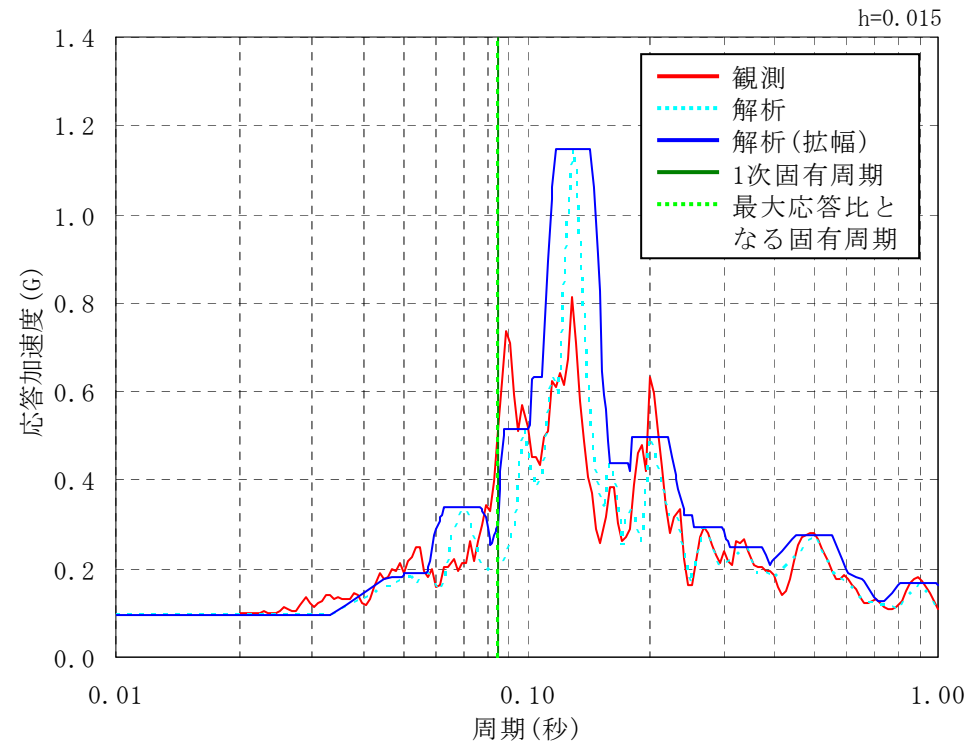
※2 設備の各固有周期で最大の応答加速度比(観測波スペクトル/解析波振幅スペクトル)を示す。

[7] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討

地震観測記録と解析値(振幅値)の比較【余熱除去設備配管】



原子炉建屋 I/C 17.0,24.0m



床応答スペクトル(水平方向 I/C 17.0,24.0m包絡)

対象設備	評価部位	1次固有周期 [秒]	①発生値※1 [N/mm ²]	②評価基準値 [N/mm ²]	裕度※2 (②/①)	最大応答比※3
余熱除去 設備配管	本体	0.085	176	343	1.94 (2.23)	1.51

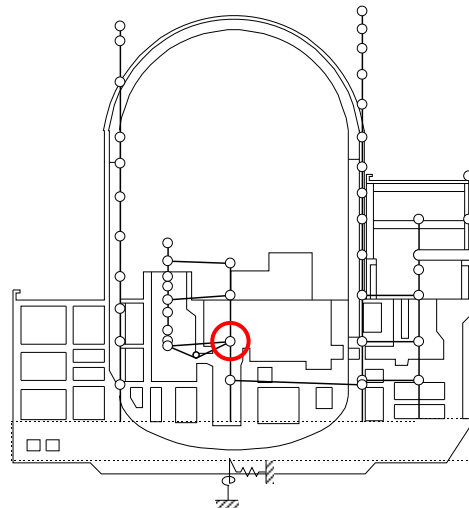
※1 中間報告評価結果を示す。

※2 ()内は評価基準値より地震以外による中間報告評価結果を減じた値／地震による発生値を示す。

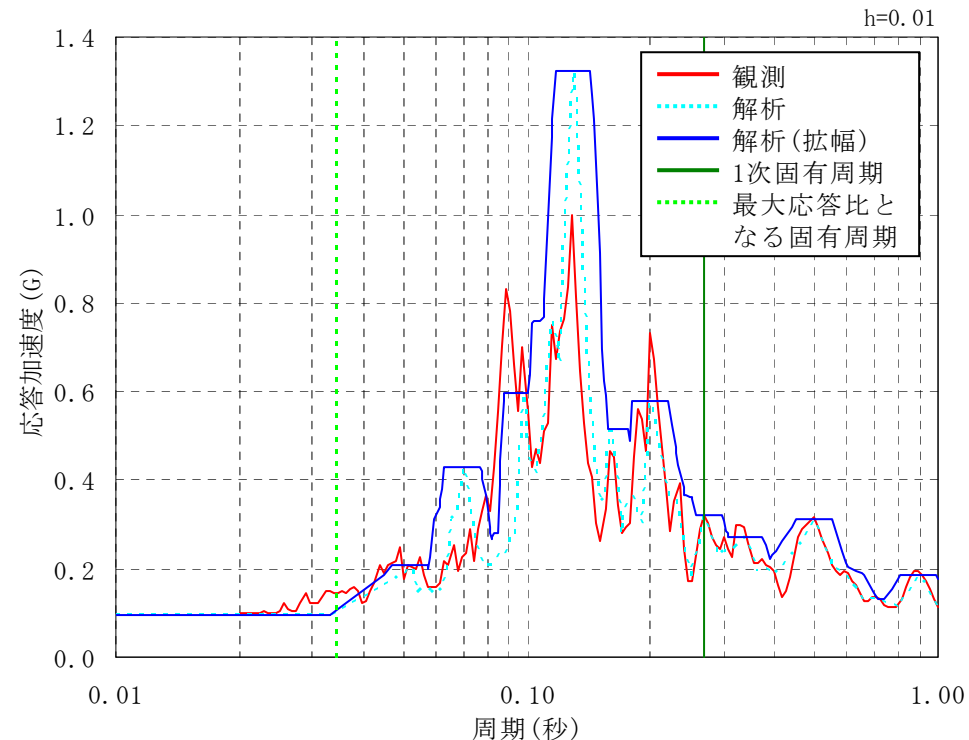
※3 設備の各固有周期で最大の応答加速度比(観測波スペクトル／解析波振幅スペクトル)を示す。

[7] シミュレーション解析結果に基づく機器評価の影響検討

地震観測記録と解析値(振幅値)の比較【制御棒挿入性】



原子炉建屋 I/C 24.0m



床応答スペクトル(水平方向 I/C 24.0m)

対象設備	1次固有周期 [秒]	①発生値※1 [秒]	②評価基準値 [秒]	裕度※2 (②/①)	最大応答比※3
制御棒挿入性	0.063 (制御棒クラスタ駆動装置) 0.035 (制御棒クラスタ案内管) 0.270 (燃料集合体)	2.03	2.5	1.23 (3.93)	1.37

※1 中間報告評価結果を示す。

※2 ()内は評価基準値より地震以外による発生値を減じた値/地震による発生値を示す。

※3 設備の各固有周期で最大の応答加速度比(観測波スペクトル/解析波振幅スペクトル)を示す。