

：添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の検討の範囲

注記*1：基準地震動 S_s (7波) による応答

*2：影響確認用耐震条件／耐震計算に用いる耐震条件

*3：床応答曲線の応答比率は、設備の固有周期に応じた応答比を用いる（保守的に、設備の1次固有周期以下の周期における応答比率の最大値を用いる場合もある。）。

図 4-1 重大事故等時の高温による影響確認フロー

4.1.2 検討結果

(1) 地震応答解析結果

最大応答加速度の比較結果（水平方向（NS/EW 包絡）及び鉛直方向）を表 4-1 に、床応答スペクトルの比較結果（水平方向（NS/EW 包絡）及び鉛直方向）を図 4-2 に示す。なお、床応答スペクトルの減衰定数は、耐震裕度の比較的小さい配管系の主要な減衰定数である 2.0%を代表として、設備評価に用いた標高の床応答スペクトルを記載している。

最大応答加速度の応答比率は、水平方向の加速度として NS 方向と EW 方向の包絡値を用い、水平方向及び鉛直方向で標高ごとに算出する。

また、床応答スペクトルの応答比率は、水平方向の応答スペクトルとして NS 方向と EW 方向の包絡値を用い、標高、減衰定数及び設備の固有周期に応じた応答比率を算定する（保守的に、設備の 1 次固有周期以下の周期における応答比率の最大値を用いる場合もある）。応答比率の算定例を、図 4-3 に示す。

「SA 時環境考慮モデル」の一部の応答が「工認モデル」の応答を上回ることを確認した。

表 4-1 最大応答加速度の比較（基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向（NS/EW 包絡））

(1/2)

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 (1.2ZPA)		応答比率 (①/②)
		① SA 時環境考慮モデル	② 工認モデル	
原子炉建屋	50.500	6.13	7.28	0.85
	41.200	3.16	3.43	0.93
	33.200	2.62	2.65	0.99
	22.500	2.11	2.12	1.00
	15.000	2.05	1.97	1.05
	6.000	1.51	1.57	0.97
	1.150	1.37	1.46	0.94
	-0.800	1.22	1.34	0.92
-8.100	0.96	0.99	0.97	

表 4-1 最大応答加速度の比較（基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 鉛直方向）(2/2)

構造物名	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 (1.2ZPA)		応答比率 (①/②)
		① SA 時環境考慮モデル	② 工認モデル	
原子炉建屋	48.725	2.02	2.09	0.97
	41.200	1.84	1.89	0.98
	33.200	1.76	1.77	1.00
	22.500	1.52	1.56	0.98
	15.000	1.34	1.37	0.98
	6.000	1.07	1.09	0.99
	-0.800	0.85	0.88	0.97
	-8.100	0.65	0.69	0.95

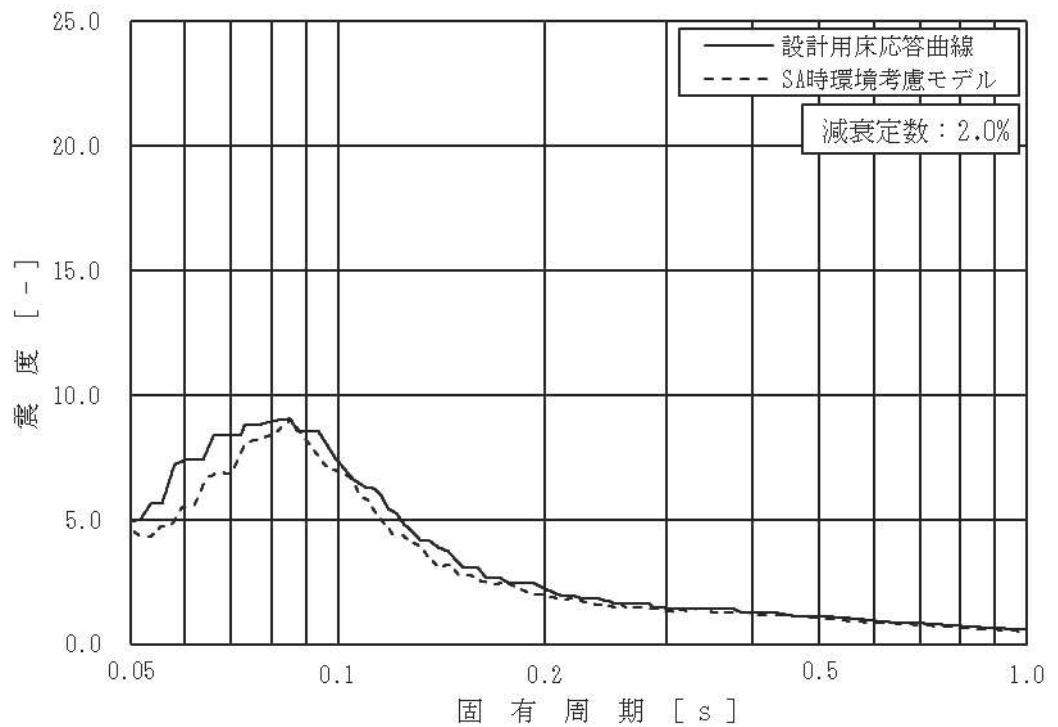
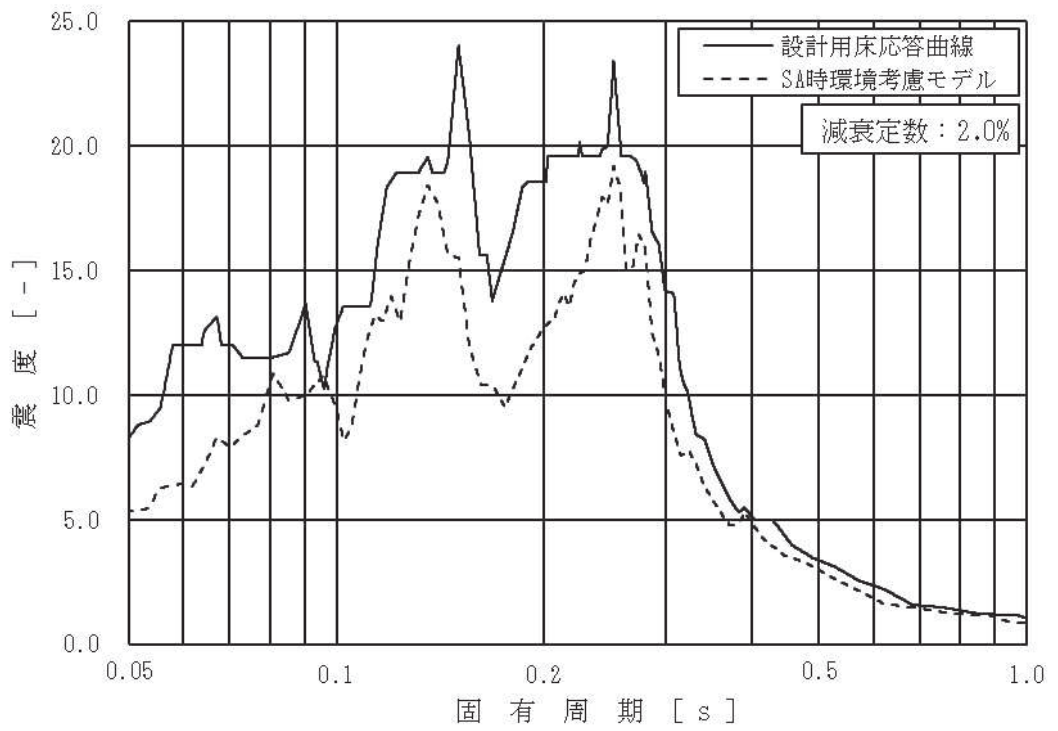


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (1/8)

(原子炉建屋, 0.P. 41.200m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

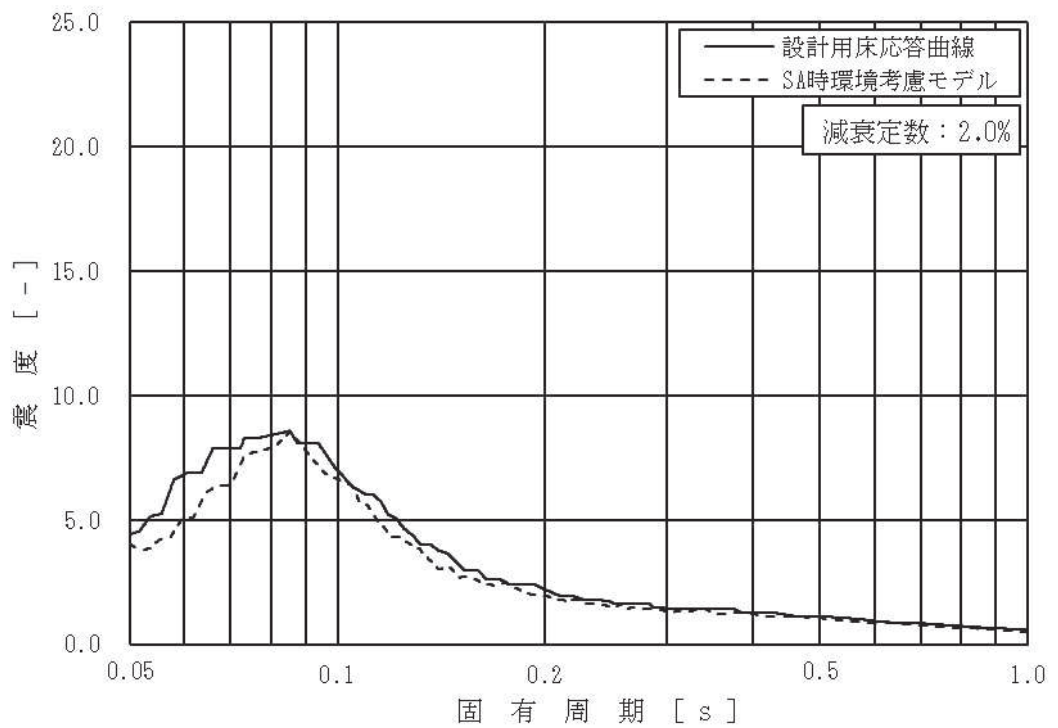
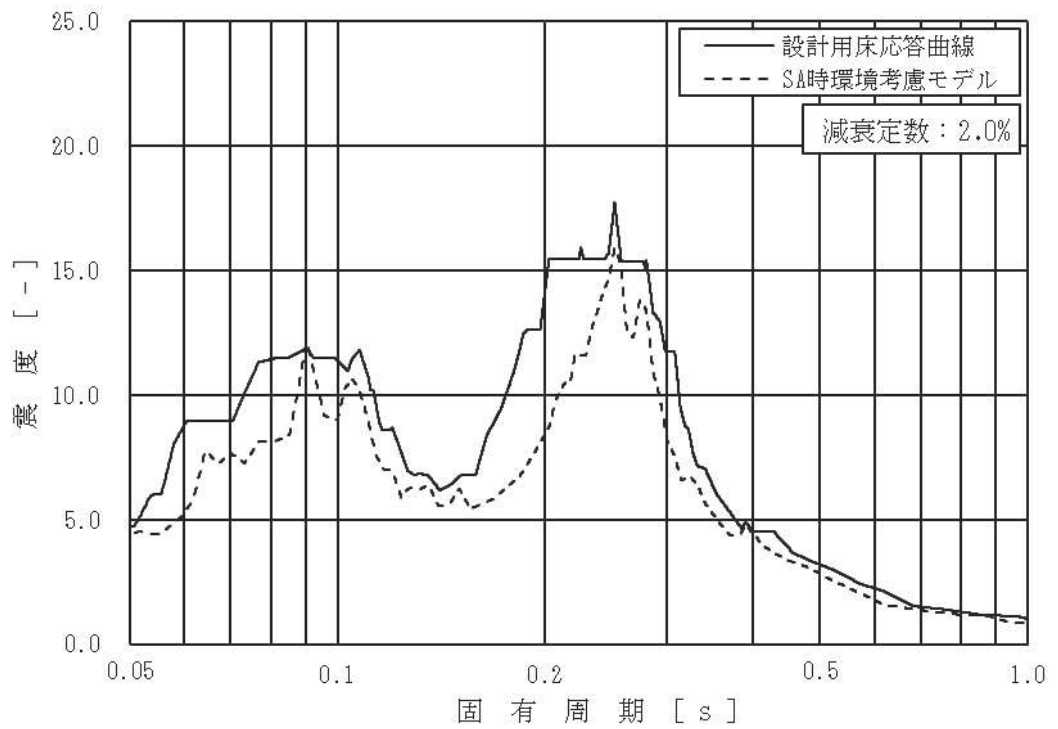


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (2/8)

(原子炉建屋, 0.P. 33.200m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

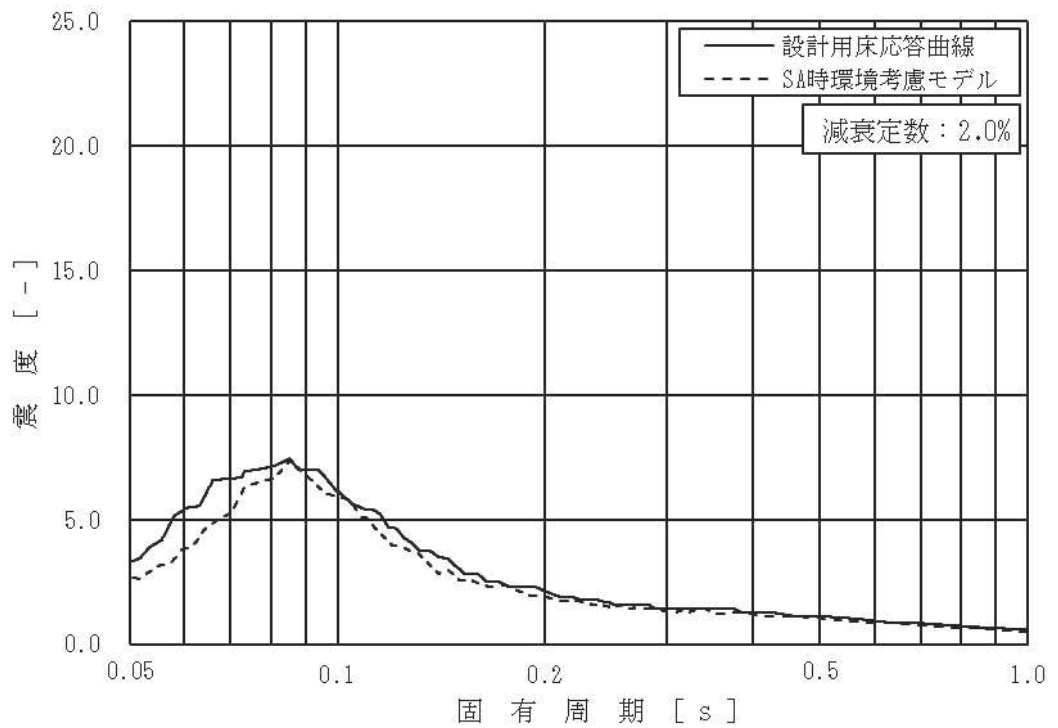
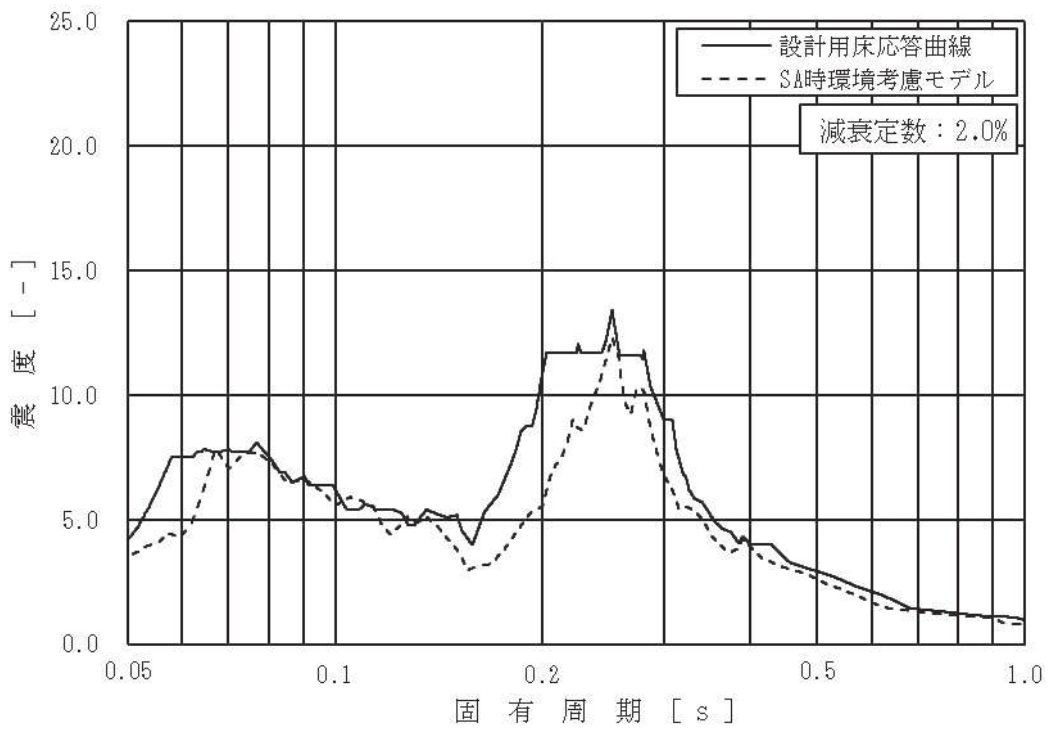


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (3/8)
 (原子炉建屋, 0.P.22.500m, 基準地震動 S s,
 減衰 2.0%, 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

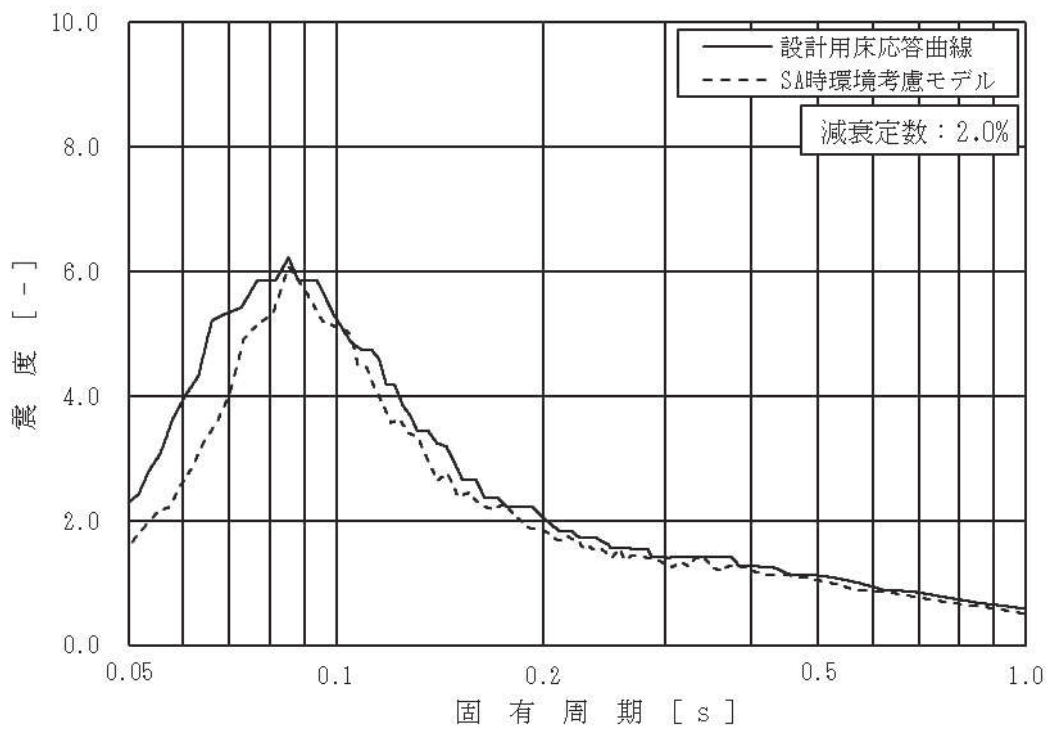
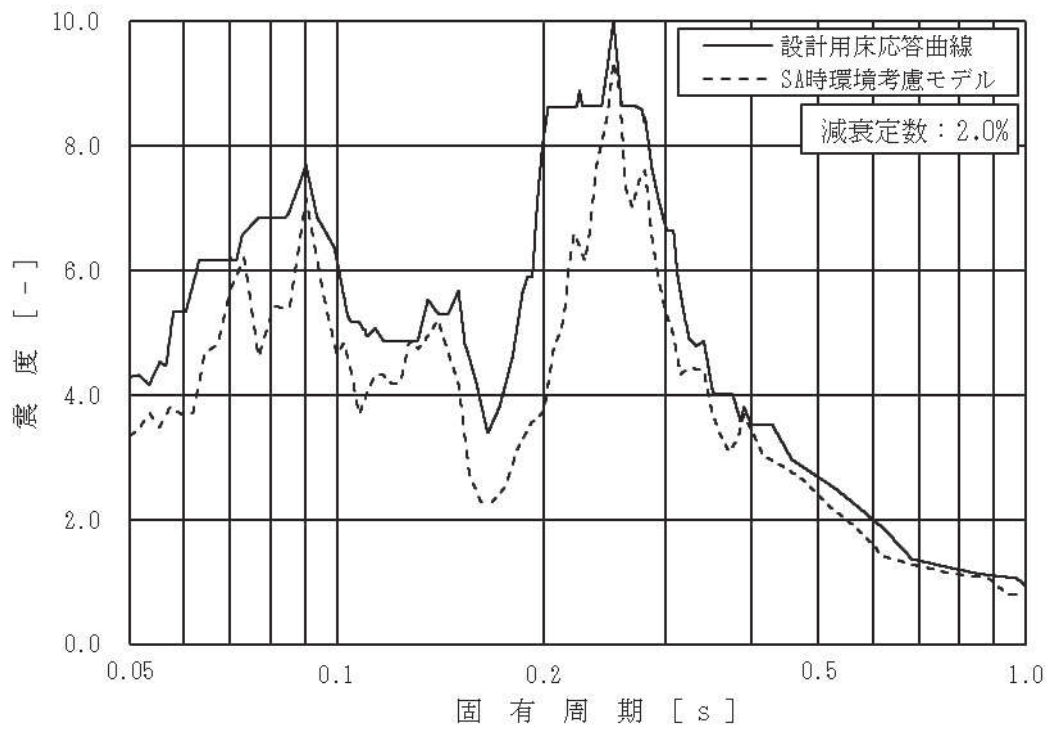


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (4/8)
 (原子炉建屋, 0.P.15.000m, 基準地震動 S s,
 減衰 2.0%, 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

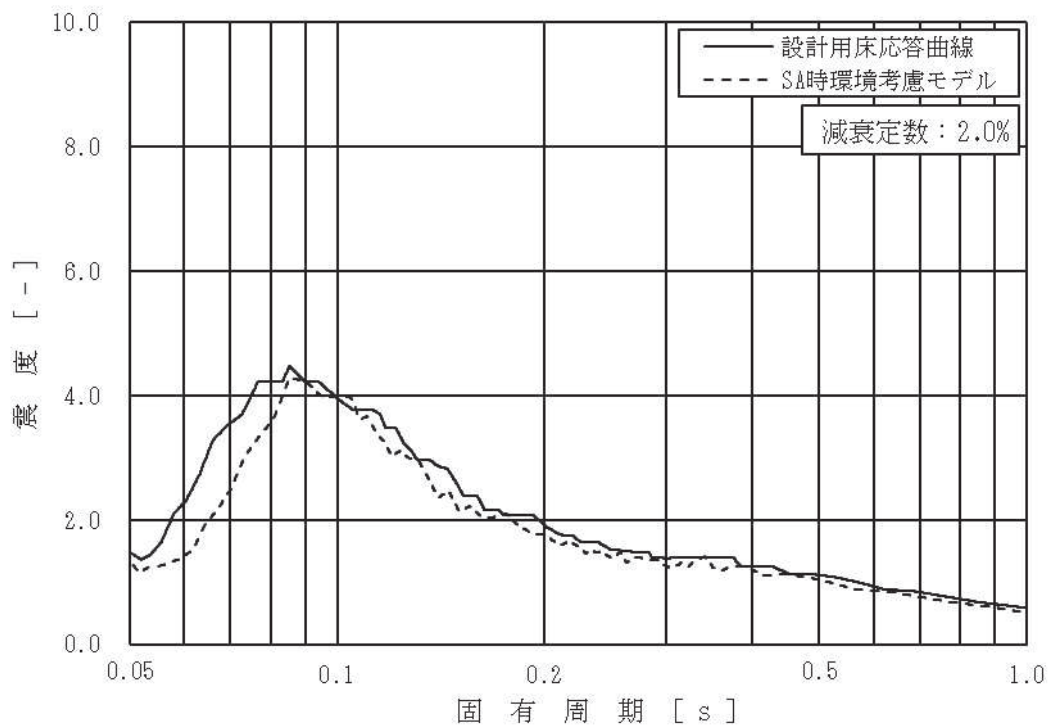
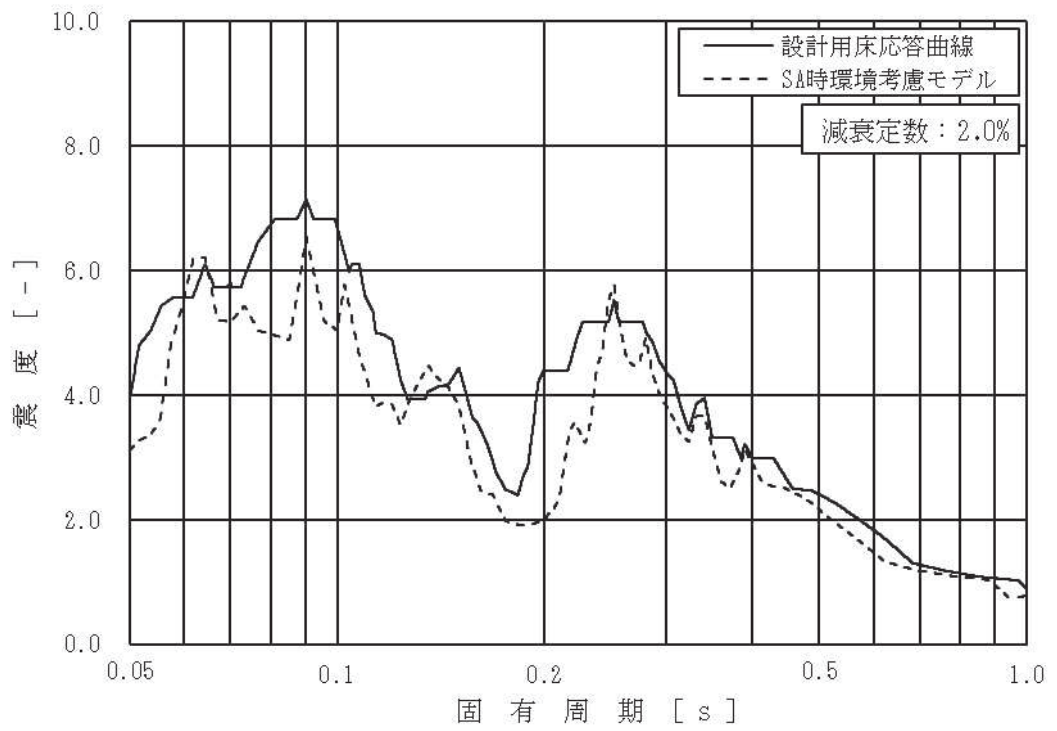


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (5/8)
 (原子炉建屋, O.P. 6.000m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

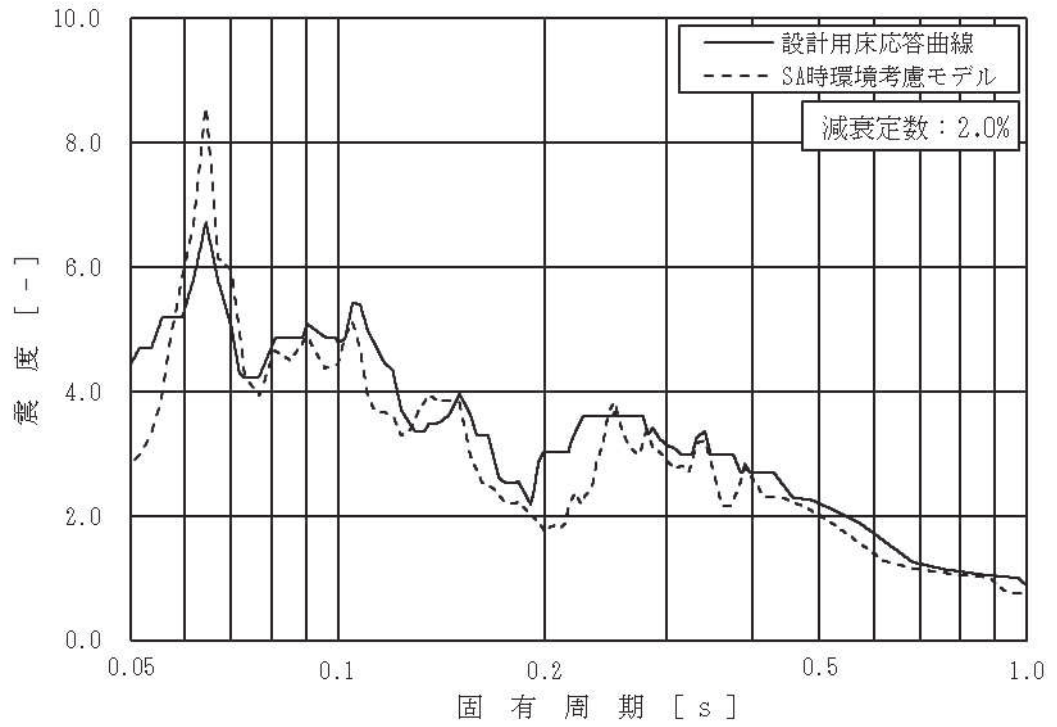


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (6/8)

(原子炉建屋, O.P. 1.150m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%, 水平 (NS/EW 包絡))

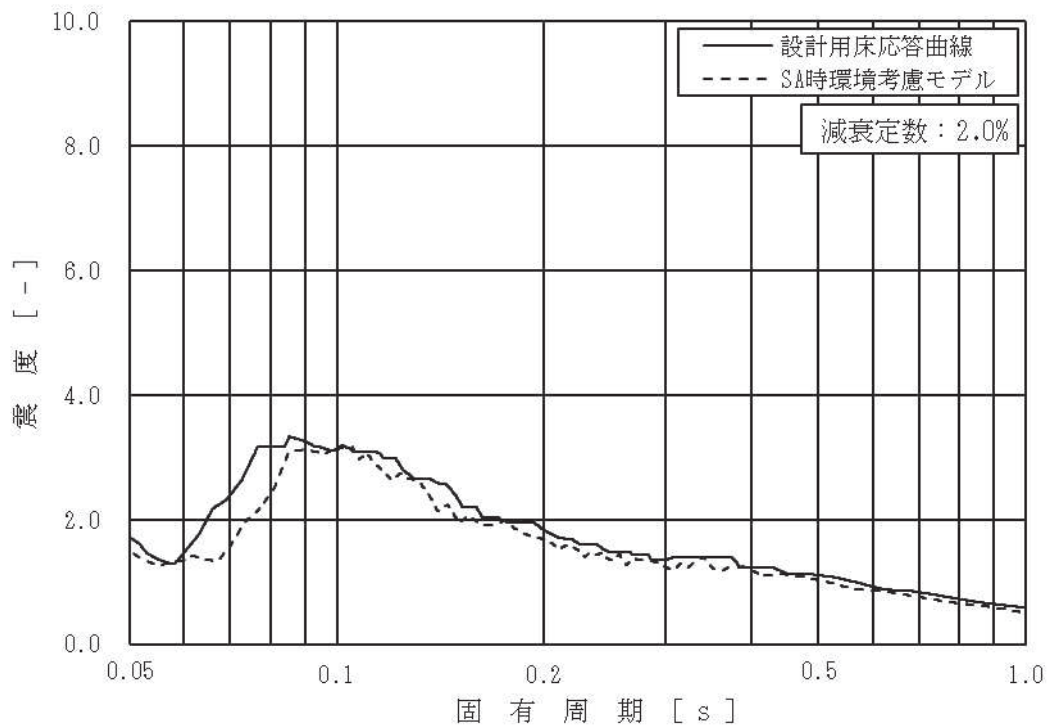
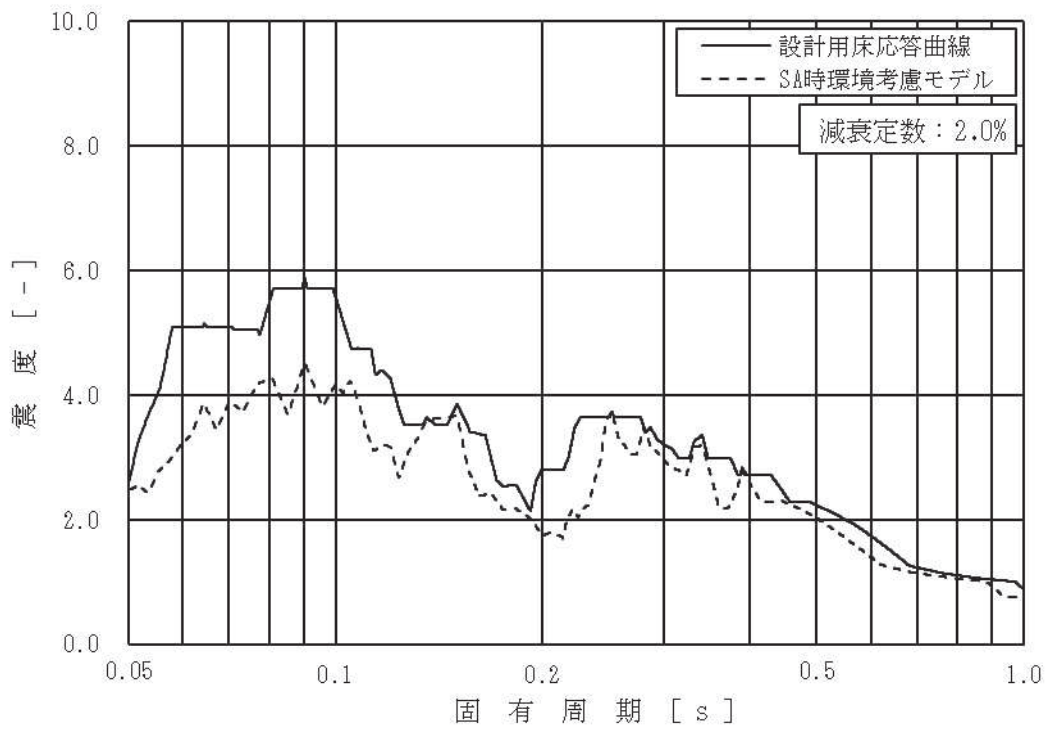


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (7/8)

(原子炉建屋, O.P. -0.800m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

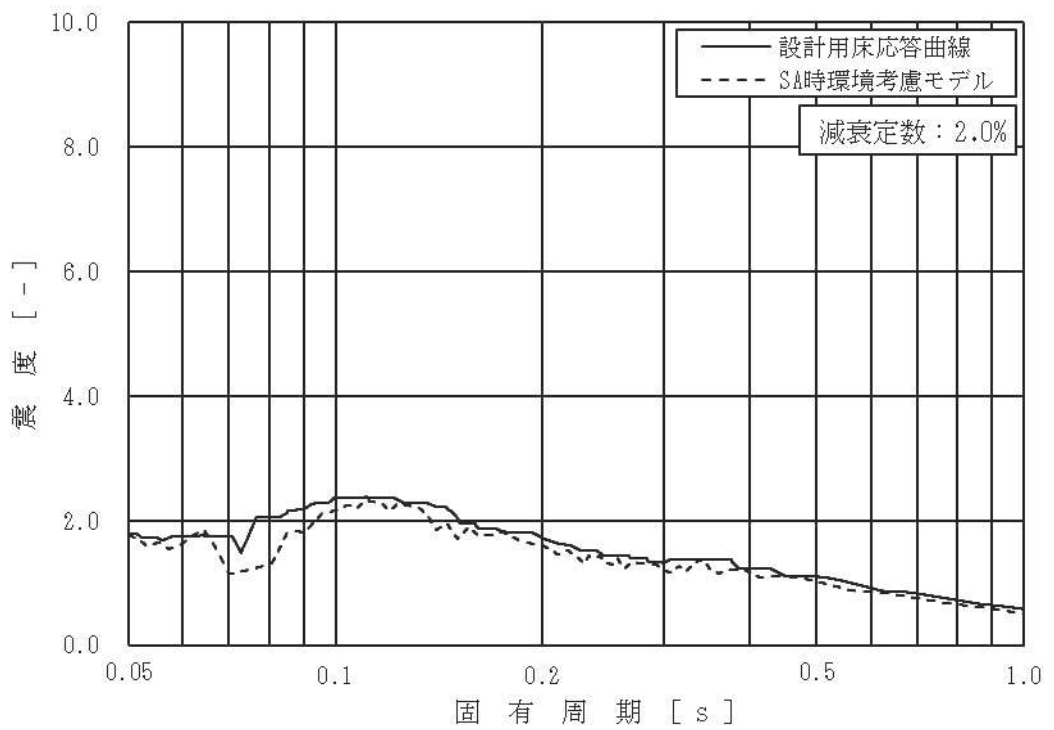
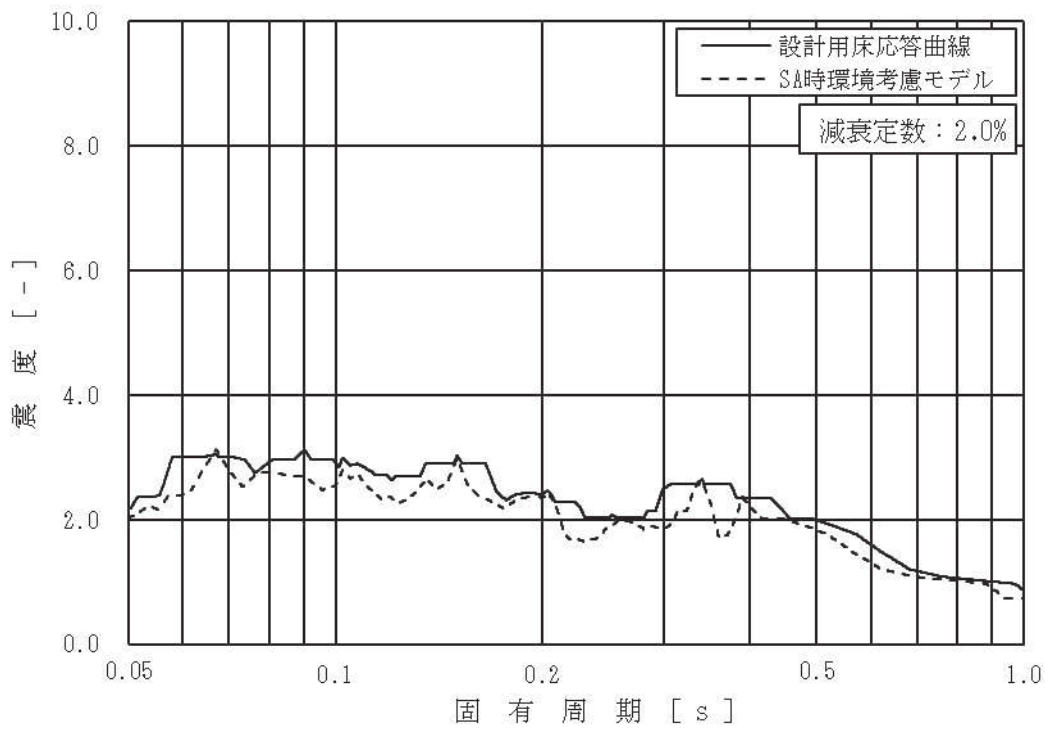


図 4-2 床応答スペクトルの比較 (8/8)

(原子炉建屋, 0.P.-8.100m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

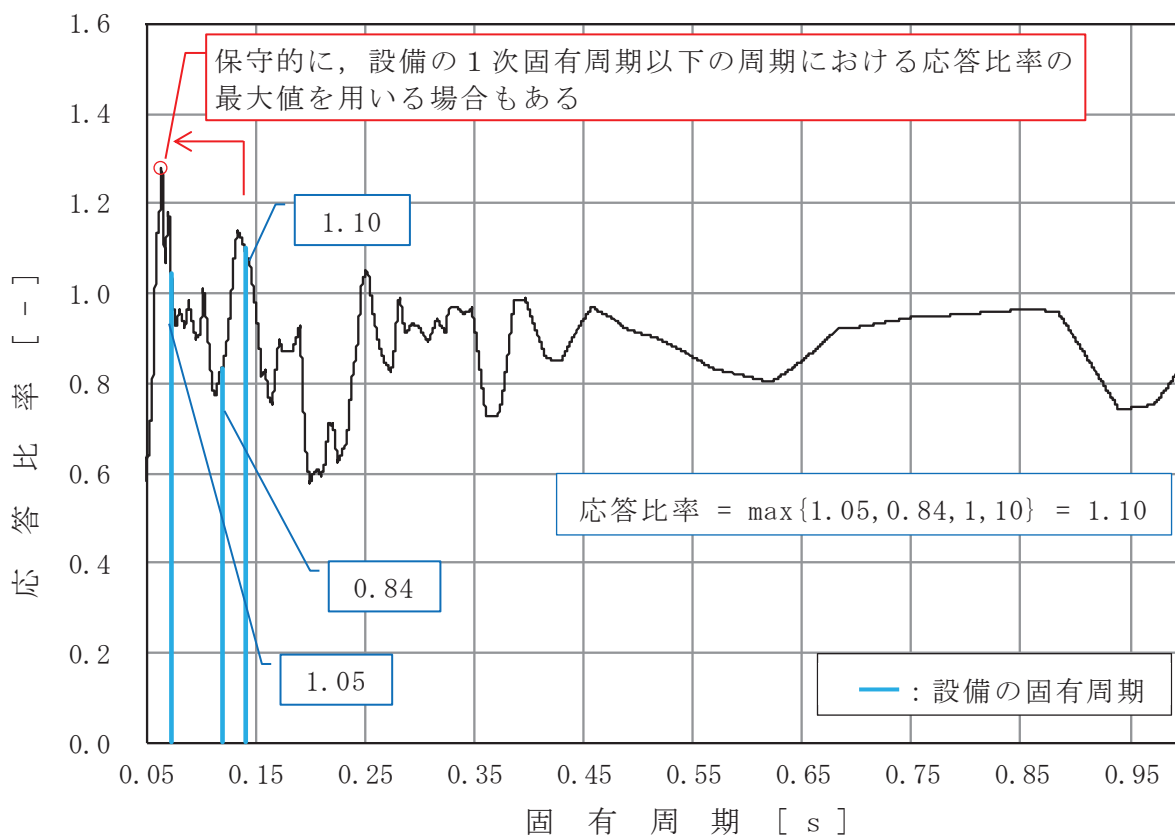


図 4-3 床応答スペクトルにおける応答比率の算定例
 (水平方向 (NS/EW 包絡), 原子炉建屋 0.P.1.150m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 固有周期 : 0.073s, 0.12s, 0.14s)

(2) 影響確認結果

「4.1.1 検討方針」に示す影響確認フローに従った検討を行い、一部の設備（6設備）を除き、簡易評価の結果で裕度が応答比率を上回ることを確認した。

また、簡易評価において裕度が応答比率を下回った6設備の評価結果を設備の評価結果を表4-3に示す。また、当該設備の詳細評価結果を表4-4に示す。

なお、配管の詳細評価対象は、評価に用いる各標高（質点）で応力評価結果の裕度が最小となる配管及び疲労累積係数が最大となる配管を代表としている。また、簡易評価は、対象設備の応力分類毎に行っている。

簡易評価で裕度が応答比率を下回った6設備に対して、影響確認用耐震条件による耐震計算を行い、算出値が許容値以下となることを確認した。

表 4-3 裕度が応答比率を下回った 6 設備の簡易評価
 (「SA 時環境考慮モデル」による応答の影響)

対象設備*1	評価部位	応力分類	今回工認の耐震評価 (基準地震動 S s)			応答比率	確認結果
			計算値*2 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度		
燃料プール冷却浄化系 熱交換器	胴板	一次+二次 応力	675	420	0.62	1.05	×
		疲労	0.31*3	1*3	-		
残留熱除去系 熱交換器	胴板	一次+二次 応力	783	497	0.63	1.05	×
		疲労	0.38*3	1*3	-		
SA クラス 2 配管 (原子炉補機冷却水系 (KRCW-205))	配管 本体	一次+二次 応力	440	458	1.04	1.28	×
SA クラス 2 配管 (原子炉補機冷却海水系 (RSW-004))	配管 本体	一次+二次 応力	481	482	1.00	1.26	×
SA クラス 2 配管 (非常用ディーゼル発電 設備 (DGDO-B008))	配管 本体	一次+二次 応力	439	398	0.90	1.11	×
		疲労	0.4004*3	1*3	-		
SA クラス 2 配管 (残留熱除去系 (RHR-010))	配管 本体	一次+二次 応力	422	414	0.98	1.28	×
		疲労	0.7118*3	1*3	-		

注記*1：大型機器系の地震応答解析による応答を用いる設備は、4.2 項で評価する。

*2：一次+二次応力の算出値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*3：単位は、「無次元」。

表 4-4 裕度が応答比率を下回った 6 設備の影響確認結果 (詳細評価)
 (「SA 時環境考慮モデル」による応答の影響)

対象設備*1	評価部位	応力分類	影響確認用耐震条件を用いた耐震計算 (基準地震動 S s)				確認結果
			最大応答 加速度 (1.2ZPA)	床応答曲線	算出値*2 (MPa)	許容値 (MPa)	
燃料プール冷却浄化系 熱交換器	胴板	一次+二次応力	水平：2.05 鉛直：1.34	—	692	420	○
		疲労			0.34*3	1*3	
残留熱除去系 熱交換器	胴板	一次+二次応力	水平：2.07 鉛直：1.38	—	800	497	○
		疲労			0.41*3	1*3	
SA クラス 2 配管 (原子炉補機冷却水系 (KRCW-205))	配管本体	一次+二次応力	水平：3.16 鉛直：1.51	0. P. 41.2, 33.2, 22.5, 15.0, 6.0, 1.15, -0.8, -8.1 m (2%減衰)	336	458	○
SA クラス 2 配管 (原子炉補機冷却海水系 (RSW-004))	配管本体	一次+二次応力	水平：2.11 鉛直：1.52	0. P. 22.5, 15.0, 6.0, 1.15, -0.8, -8.1 m (2%減衰)	372	482	○
SA クラス 2 配管 (非常用ディーゼル発電設備 (DGDO-B008))	配管本体	一次+二次応力	水平：2.05 鉛直：1.34	原子炉建屋 0. P. 15.0, 6.0 m 軽油タンク連絡ダクト 0. P. 12.1, 10.5, 9.5 m (2%減衰)	435	398	○
		疲労			0.3005*3	1.000*3	
SA クラス 2 配管 (残留熱除去系 (RHR-010))	配管本体	一次+二次応力	水平：1.51 鉛直：1.07	0. P. 6.0, 1.15, -0.8, -8.1 m (2%減衰)	382	414	○

注記*1：大型機器系の地震応答解析による応答を用いる設備は、4.2項で評価する。

*2：一次+二次応力の算出値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*3：単位は、「無次元」。

4.2 大型機器系の地震応答解析結果による影響

4.2.1 検討方針

大型機器系の地震応答解析モデルの応答を用いる機器・配管系への重大事故等時の高温による影響確認フローを図4-4に示し、以下の通り、重大事故等時の高温による設備の評価に与える影響確認を行う。

なお、重大事故等時の有効性評価で対象とする事故シナリオのうち、原子炉格納容器内の高温状態が長期間続く事故シナリオ（格納容器破損モード）では、事象発生後に炉心が損傷に至り炉内構造物の機能が喪失することから、炉内構造物は本検討の対象外とする。

(1) 検討対象設備

重大事故等時の高温による影響を確認する設備は、大型機器系の地震応答解析モデルの応答を用いる以下の設備とする。

- ・常設耐震重要重大事故防止設備
- ・常設重大事故緩和設備

(2) 影響確認用耐震条件の作成

「3.2.1 解析条件」に示す「SA 時環境考慮モデル」の温度条件及び重大事故等時の水位条件を考慮した大型機器系の地震応答解析モデル（以下「SA 時環境考慮連成モデル」という。）を用いて地震応答解析を行い、その結果から影響確認用耐震条件（影響確認用最大応答加速度、影響確認用床応答曲線及び影響確認用地震力）を作成する。「SA 時環境考慮連成モデル」のモデル化の詳細は、4.2.2 項に示す。

影響確認用耐震条件の作成に考慮する地震動は、機器・配管系への重大事故等時の高温の影響を確認する観点から「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の結果より、基本ケースの各質点で耐震条件が最大となる地震動（水平方向は S_s-D1 ， S_s-D2 ， S_s-D3 ， S_s-F3 及び S_s-N1 ，鉛直方向は S_s-D2 ）とする。水平方向の影響確認用耐震条件は、NS 及び EW 方向の地震応答解析結果を包絡する。

(3) 簡易評価

(1)の検討対象設備に対する裕度（許容応力/算出応力）を整理する。

また、影響確認用耐震条件と「大型機器系の地震応答解析モデル」の応答から作成した耐震計算に用いる耐震条件との応答比率を作成する。

検討対象設備の裕度と応答比率を比較し、検討対象設備の裕度が応答比率以上

となることを確認する。確認の結果、検討対象設備の裕度が応答比率を下回る場合は、詳細評価を行う。

(4) 詳細評価

詳細評価が必要となった設備は、影響確認用耐震条件を用いた耐震評価を行い、算出値が許容値以下となることを確認する。確認の結果、算出値が許容値を上回る場合は、追加検討を行う。

(5) 追加検討

追加検討が必要となった設備は、設備の評価結果等に応じて個別に設備対策または評価の精緻化を行うものとする。

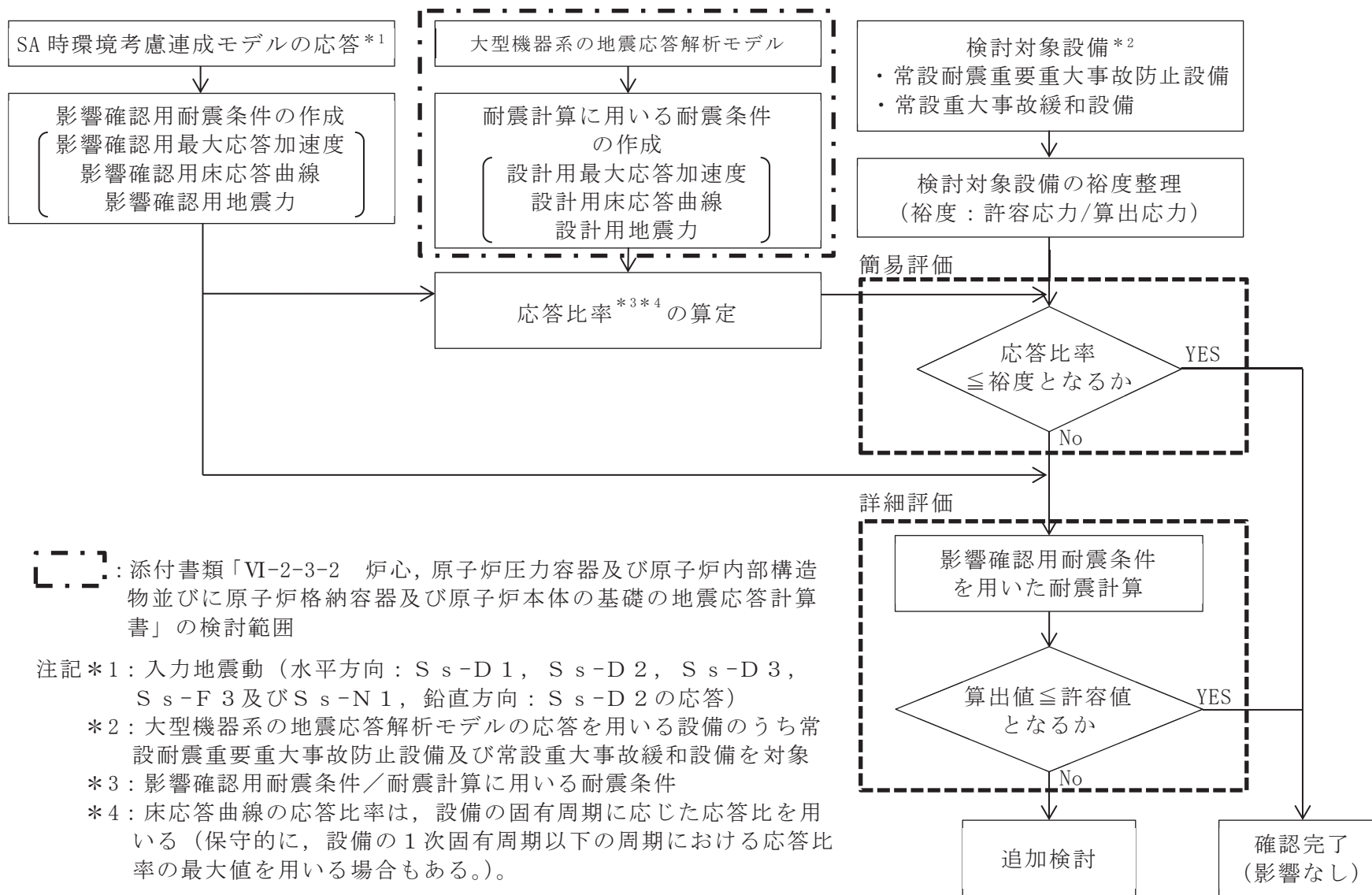


図 4-4 大型機器系の地震応答解析モデルの応答を用いる機器・配管系への重大事故等時の高温による影響確認フロー

4.2.2 「SA 時環境考慮連成モデル」のモデル化

(1) 原子炉圧力容器及び原子炉格納容器内の環境条件

基準地震動 S_s と組み合わせる SA 時環境条件等を以下に示す。

原子炉格納容器内の SA 時環境条件は、 2×10^{-1} 年後の原子炉格納容器内温度を包絡し設定した値とし添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」等の原子炉格納施設の評価条件と同じ値を適用した。

重大事故等時の温度条件、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器内の水位及び燃料状態等の炉内環境は重大事故等の進展に伴い変化する。一方、重大事故等時の原子炉圧力容器のモデル化は、耐震評価では重心位置が高いほうが地震時の応答が大きくなる傾向があることを踏まえ、「SA 時環境考慮連成モデル」における炉内水位及び燃料状態等は燃料破損や冷却材喪失等の状態を考慮せず「大型機器系の地震応答解析モデル」の諸元及びそれに対応する温度条件を適用して解析を実施する（事故シナリオを踏まえた設定の妥当性については、別紙 5-1(1)を参照）。

原子炉圧力容器、原子炉格納容器等の「SA 時環境考慮連成モデル」に適用する解析条件を表 4-5 に、解析条件を踏まえ変更した解析諸元を表 4-6 及び表 4-7 に、解析モデル図を図 4-5 に示す。

なお、コンクリート剛性低下率の考え方については、4.2.2(2)に詳細を示す。また、「SA 時環境考慮連成モデル」の原子炉本体の基礎のスケルトンカーブの設定の詳細を別紙 5-1(2)に示す。

表 4-5 「SA 時環境考慮連成モデル」に適用する解析条件

項目		大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	SA 時環境考慮連成モデル設定の考え方
原子炉 圧力容器	炉内環境 (水位, 燃料状態)	通常運転水 位, 燃料健 全	大型機器系の地震 応答解析モデルの 条件を適用	重心位置が高く地震応答が 大きくなる「大型機器系の 地震応答解析モデル」の炉 内環境を適用する。
	温度 (°C)	286		
原子炉 格納容器	温度 (°C)	57	111* ²	重大事故等時に原子炉格納 容器バウンダリと基準地震 動 S_s との組み合わせを行 う 2×10^{-1} 年後の原子炉格 納容器温度 110°C^{*1} より設 定した。
サプレッション プール	水位 (m)	3.6 (O. P. -3.800m)	5.886 (O. P. -1.514m)	耐震評価用重大事故等時水 位* ² を設定した。
ドライウエル	水位 (m)	0.0	0.458 (O. P. 1.6076m)	耐震評価用重大事故等時水 位* ² を設定した。

注記*1：補足説明資料「重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」(補足 600-19)

*2：添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」

表 4-6 解析条件を踏まえ変更した解析諸元（縦弾性係数，ばね定数）

項目	対象設備	材質	SA 時環境考慮連成モデル	【参考】大型機器系の地震応答解析モデル
縦弾性係数	原子炉しゃへい壁	鋼材		
	原子炉本体の基礎	鋼材		
コンクリート				
ばね定数	原子炉格納容器シヤラゲ (K ₁)	鋼材		
	原子炉格納容器スタビライザ (K ₂)	鋼材		
	原子炉圧力容器スタビライザ (K ₃)	鋼材		
	燃料交換ベローズ (K ₄)	鋼材		
	所員用エアロック (K ₅)	鋼材		
	ベント管 (K ₆)	鋼材		

表 4-7(1/2) 解析条件を踏まえ変更した解析諸元（原子炉本体基礎の初期剛性）

地震応答解析モデル諸元（NS 方向）						
質点 番号	SA 時環境考慮連成モデル			大型機器系の地震応答解析モデル		
	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)
7						
6						
5						
4						
3						

表 4-7(2/2) 解析条件を踏まえ変更した解析諸元（原子炉本体基礎の初期剛性）

地震応答解析モデル諸元（EW 方向）						
質点 番号	SA 時環境考慮連成モデル			大型機器系の地震応答解析モデル		
	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)
7						
6						
5						
4						
3						

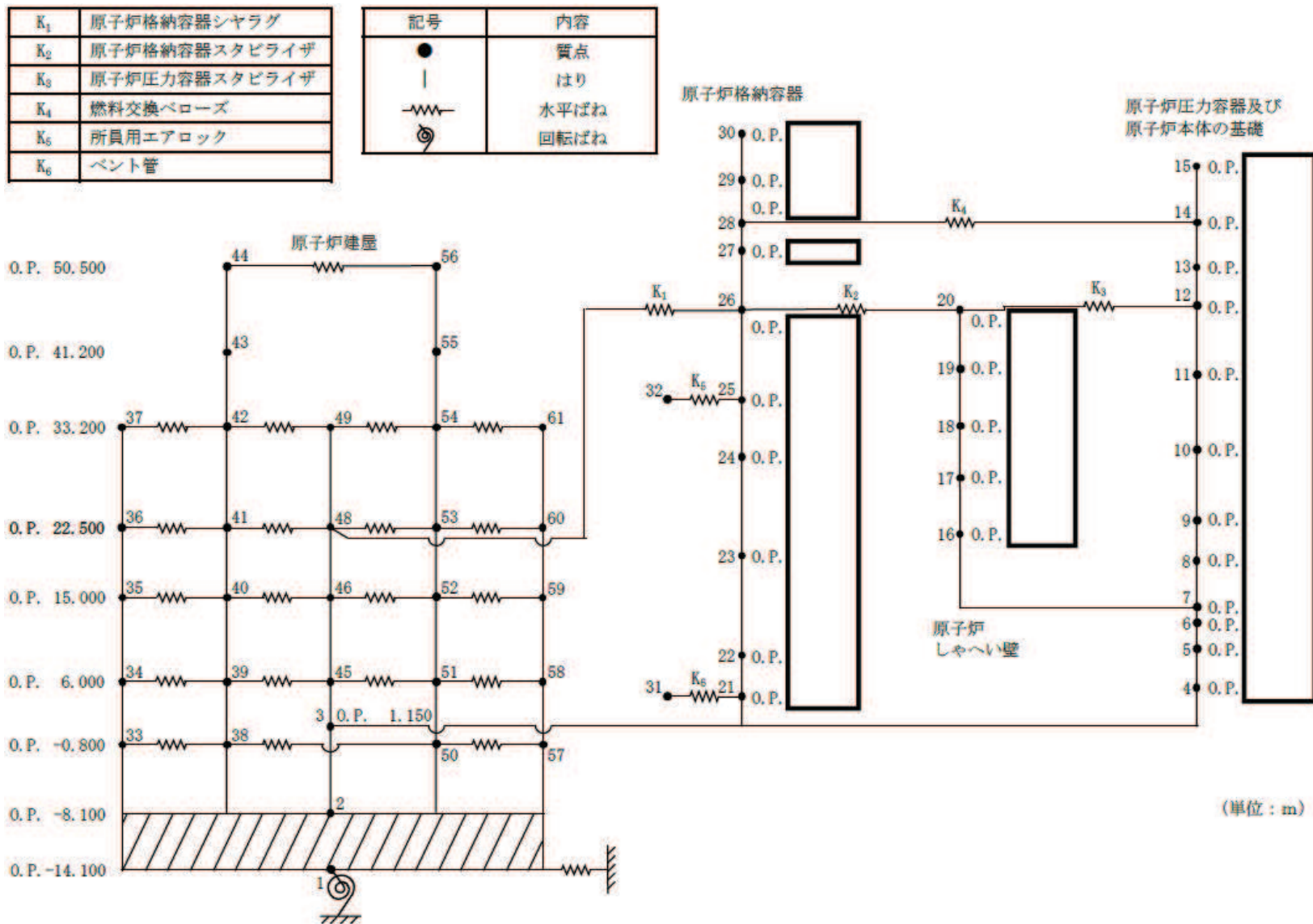


図 4-5 SA 時環境考慮連成モデル (NS 方向) (1/3)

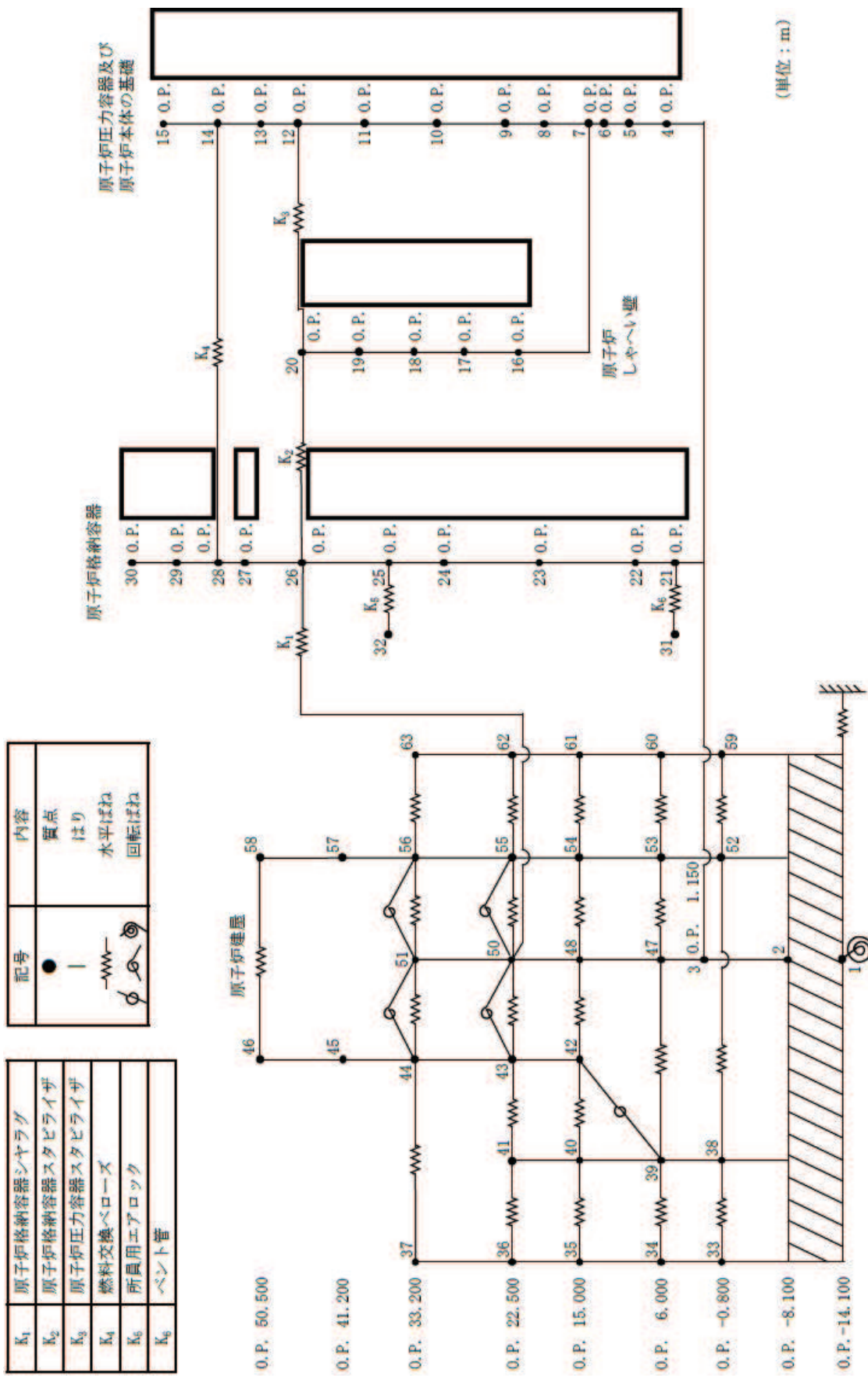
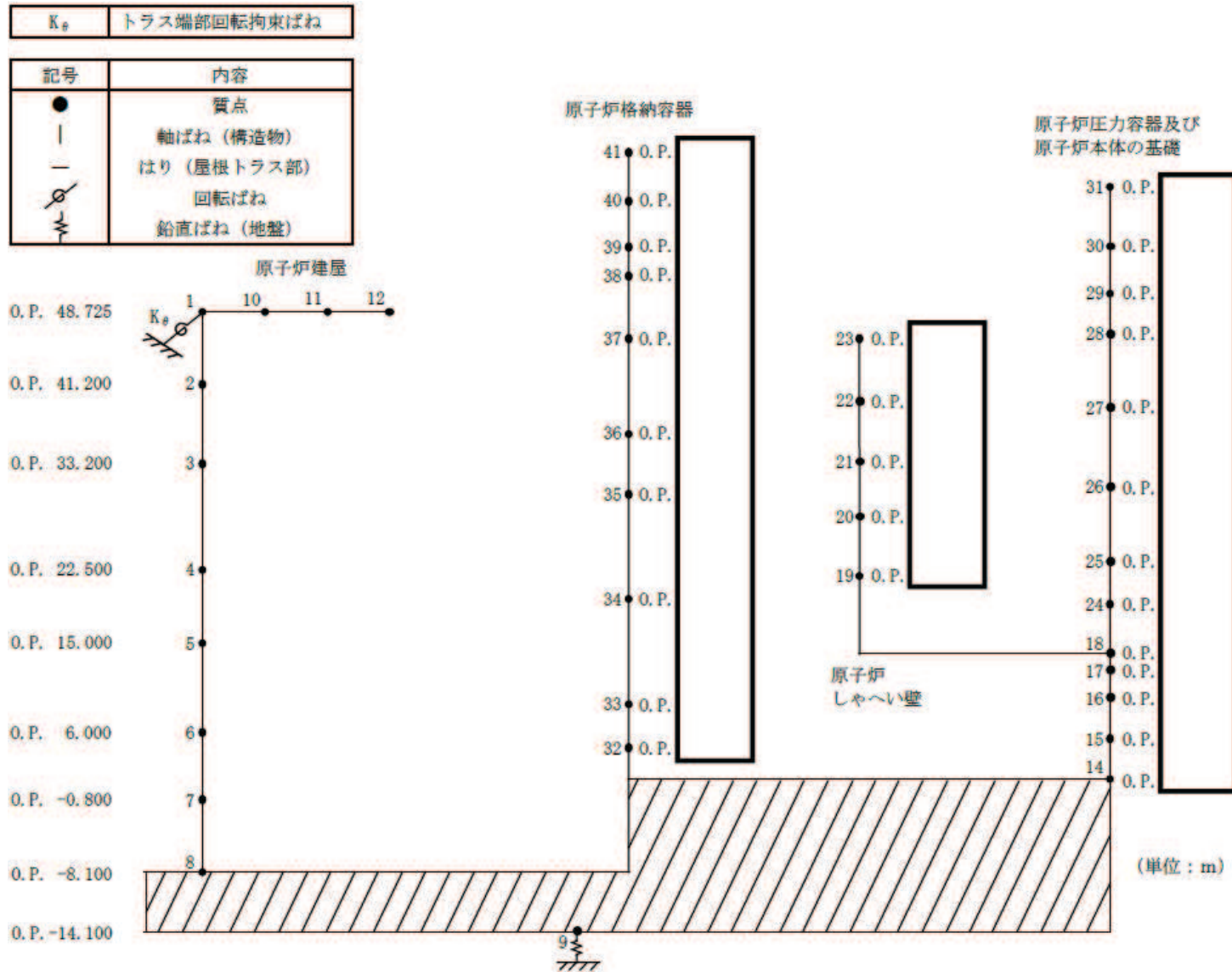


図 4-5 SA 時環境考慮連成モデル (EW 方向) (2/3)



(2) コンクリート剛性低下率

原子炉本体の基礎のコンクリートは鋼板に覆われている構造である。また、既往の文献*によって、コンクリートを鋼板で密封した試験体を加熱した場合 175℃までの範囲においてコンクリート剛性の低下が見られないことが確認されている。以上のことから、原子炉本体の基礎は、重大事故等時の熱によるコンクリート部材の剛性低下は小さいと考えられるが、念のため、「SA 時環境考慮連成モデル」において重大事故等時の熱による剛性低下を考慮する。

「SA 時環境考慮連成モデル」にてコンクリート部材としてモデル化している原子炉本体の基礎のコンクリート部材の解析条件は、「3.2.1 解析条件」と同様に剛性低下を見込んで設定する。表 4-8 に「SA 時環境考慮連成モデル」に用いたコンクリート部材の剛性低下率を示す。

「SA 時環境考慮連成モデル」の諸元設定においては、高温状態を経験したコンクリート部材の剛性がその後元に戻らないと仮定し、コンクリート部材の剛性低下率の検討に用いる温度は、「3.2.1 解析条件」と同様に、原子炉格納容器の限界温度である 200℃とする。また、コンクリート部材の剛性低下率は原子炉建屋の「SA 時環境考慮モデル」と同様に「構造材料の耐火性ガイドブック（2017 年日本建築学会）」に基づき設定する。

なお、原子炉しゃへい壁は円筒形の内外の鋼板及びその内部に充てんされたモルタルで構成されているが、建設時及び今回工認の建屋-機器連成地震応答解析モデルにおいて、モルタル部材の剛性を考慮せず鋼材の剛性のみ考慮している。このため「SA 時環境考慮連成モデル」でも同様に、原子炉しゃへい壁は鋼材の剛性のみを考慮する（別紙 5-1(4)参照）。

鋼材の剛性は高温状態を経験した後においても温度に応じて変化するため、原子炉本体の基礎と原子炉しゃへい壁の鋼材の剛性は表 4-5 の原子炉格納容器内雰囲気温度(111℃)に基づき設定する。

注記*：長尾 他：高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究：
日本建築学会構造系論文集 第 457 号 1994

表 4-8 「SA 時環境考慮連成モデル」に用いたコンクリート部材の剛性低下率

		検討に用いた温度 (℃)	剛性低下率
原子炉 本体の基礎	コンクリート	200	0.68
	(鋼材)	111	—

4.2.3 検討結果

(1) 地震応答解析結果

「SA 時環境考慮連成モデル」による固有値解析結果を表 4-9 に、振動モード図を図 4-7 に示す。なお、刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる値を示している。

「大型機器系の地震応答解析モデル」と「SA 時環境考慮連成モデル」による耐震条件の比較結果を表 4-10 に、最大応答加速度の比較結果を表 4-11 に、床応答スペクトルの比較結果（水平方向（NS, EW 包絡）及び鉛直方向）を図 4-8 に示す。なお、床応答スペクトルの減衰定数は、耐震裕度の比較的小さい配管系の主要な減衰定数である 2.0%を代表として、設備評価に用いた標高の床応答スペクトルを記載している。

最大応答加速度の応答比率は、水平方向の加速度として NS 方向と EW 方向の包絡値を用い、水平方向及び鉛直方向で標高ごとに算出する。

また、床応答スペクトルの応答比率は、水平方向の応答スペクトルとして NS 方向と EW 方向の包絡値を用い、標高、減衰定数及び設備の固有周期に応じた応答比率を算定する。

表 4-9 から SA 時環境考慮連成モデルは、大型機器系の地震応答解析モデルよりもやや長周期化しており、剛性低下を考慮したこととの整合性がある。また、表 4-10, 表 4-11, 図 4-8 より、に対する「SA 時環境考慮連成モデル」の応答が「大型機器系の地震応答解析モデル」の応答を上回ることを確認した。

表 4-9 固有値解析結果*1(NS 方向) (1/3)

次数		固有周期 (s)		刺激係数*2	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.236	0.245	2.222	2.149
2	2	0.123	0.126	-2.741	-2.543
3	3	0.116	0.120	-1.113	-1.244
4	4	0.097	0.102	2.048	1.705
5	5	0.093	0.097	-1.037	0.290
6	6	0.090	0.094	-1.774	-0.447
7	7	0.089	0.092	-0.033	-0.548
8	8	0.082	0.083	-0.001	-0.196
9	9	0.074	0.078	-0.614	0.806
10	10	0.071	0.073	0.445	0.558
11	11	0.068	0.069	-0.374	-0.179
12	12	0.065	0.067	-0.596	-0.933
13	13	0.063	0.065	-0.668	-0.079
14	14	0.060	0.062	0.047	-0.556
15	15	0.058	0.060	0.475	-0.575
16	16	0.055	0.059	-0.590	1.366
17	17	0.052	0.054	1.558	-1.016
18	18	0.051	0.054	0.438	-0.271
19	19	0.050	0.051	0.173	-1.543
—	20	—	0.051	—	0.500

注記*1：固有周期 0.050s 以上の次数について記載した。

*2：刺激係数は、固有ベクトルを正規化し、質量マトリックスとの積から算出した値を示す。

表 4-9 固有値解析結果*1(EW 方向) (2/3)

次数		固有周期 (s)		刺激係数*2	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.228	0.238	2.197	2.135
2	2	0.125	0.129	1.928	1.763
3	3	0.116	0.121	0.066	0.083
4	4	0.098	0.103	0.619	0.586
5	5	0.091	0.095	-0.782	2.120
6	6	0.090	0.093	-1.793	-0.105
7	7	0.086	0.089	2.182	1.843
8	8	0.077	0.079	1.023	1.179
9	9	0.074	0.076	0.369	0.020
10	10	0.070	0.073	-0.244	-0.420
11	11	0.067	0.070	-0.521	0.333
12	12	0.064	0.069	0.549	-0.345
13	13	0.062	0.064	-0.256	0.408
14	14	0.060	0.063	1.549	-2.185
15	15	0.059	0.059	0.109	0.366
16	16	0.055	0.058	-0.329	-1.331
17	17	0.055	0.057	0.558	0.239
18	18	0.052	0.054	-2.456	1.422
—	19	—	0.051	—	0.195
—	20	—	0.051	—	0.087

注記*1：固有周期 0.050s 以上の次数について記載した。

*2：刺激係数は、固有ベクトルを正規化し、質量マトリックスとの積から算出した値を示す。

表 4-9 固有値解析結果*¹(鉛直方向)(3/3)

次数		固有周期 (s)		刺激係数* ²	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.339	0.339	1.458	1.467
2	2	0.100	0.103	1.584	1.518
3	3	0.079	0.079	1.360	1.266
4	4	0.051	0.051	-0.381	-0.448

注記*1：固有周期 0.050s 以上の次数について記載した。

*2：刺激係数は，固有ベクトルを正規化し，質量マトリックスとの積から算出した値を示す。

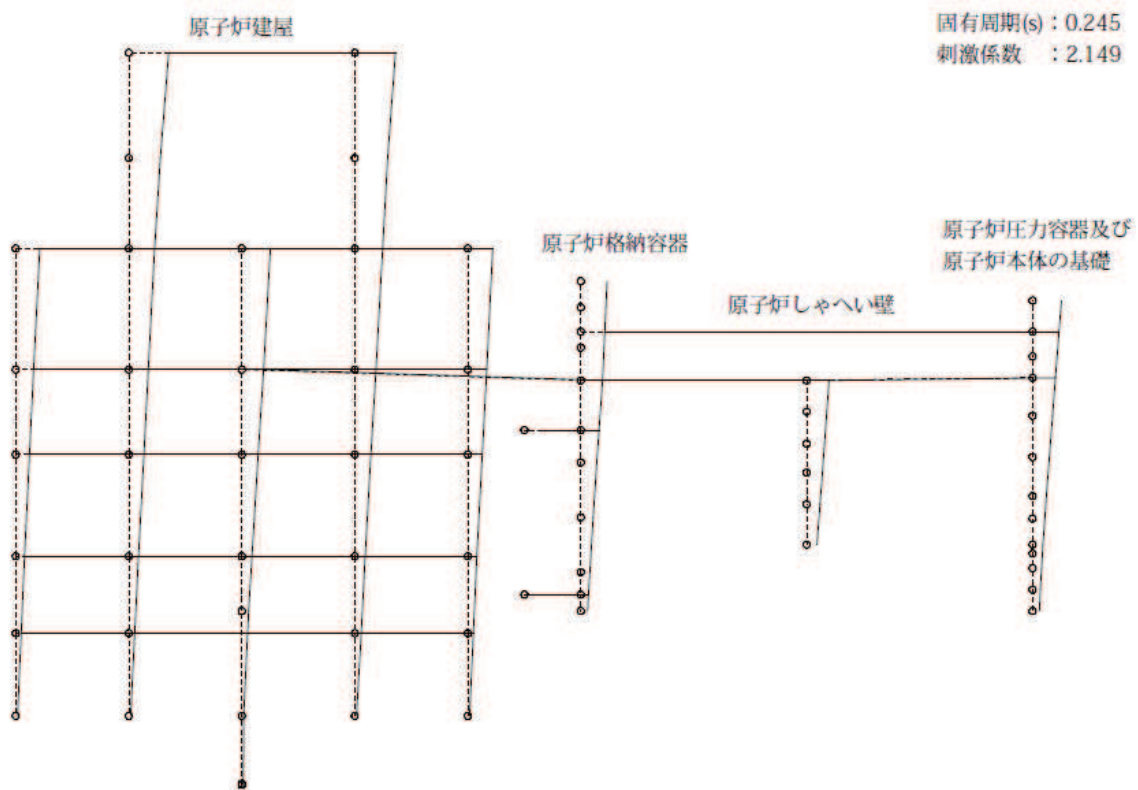


図 4-7(1) 1次振動モード(NS方向)(1/20)

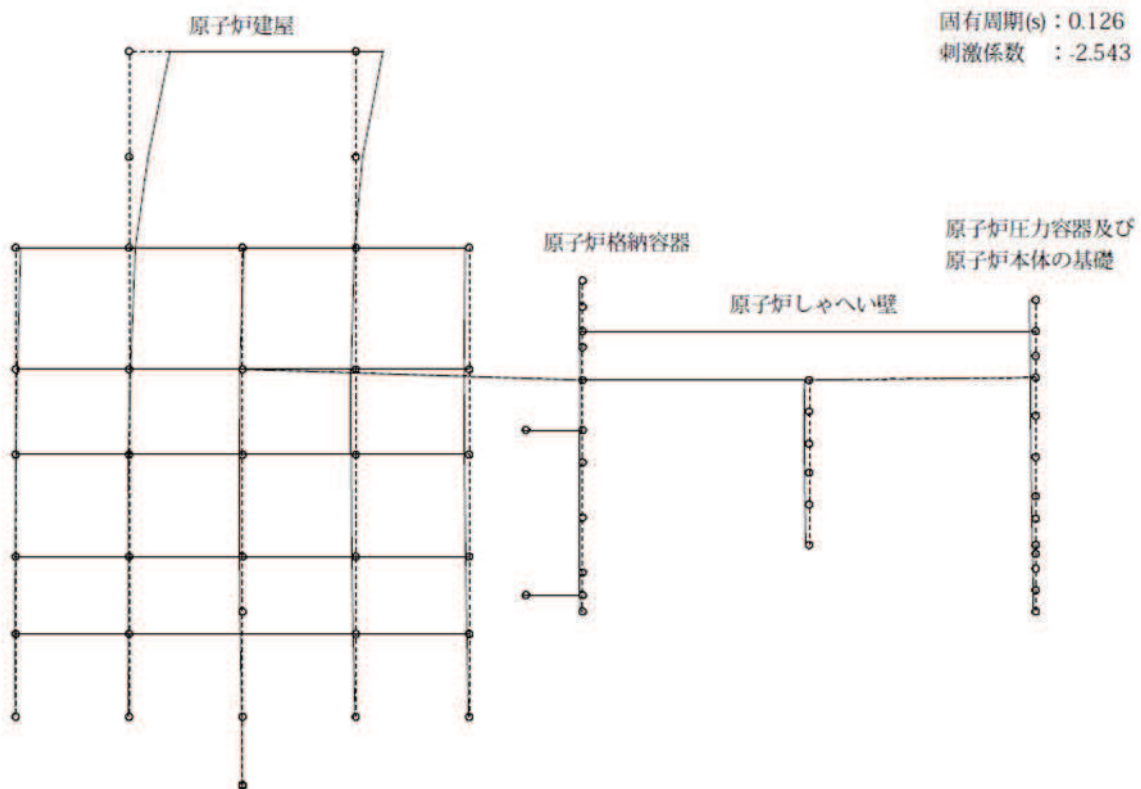


図 4-7(1) 2次振動モード(NS方向)(2/20)

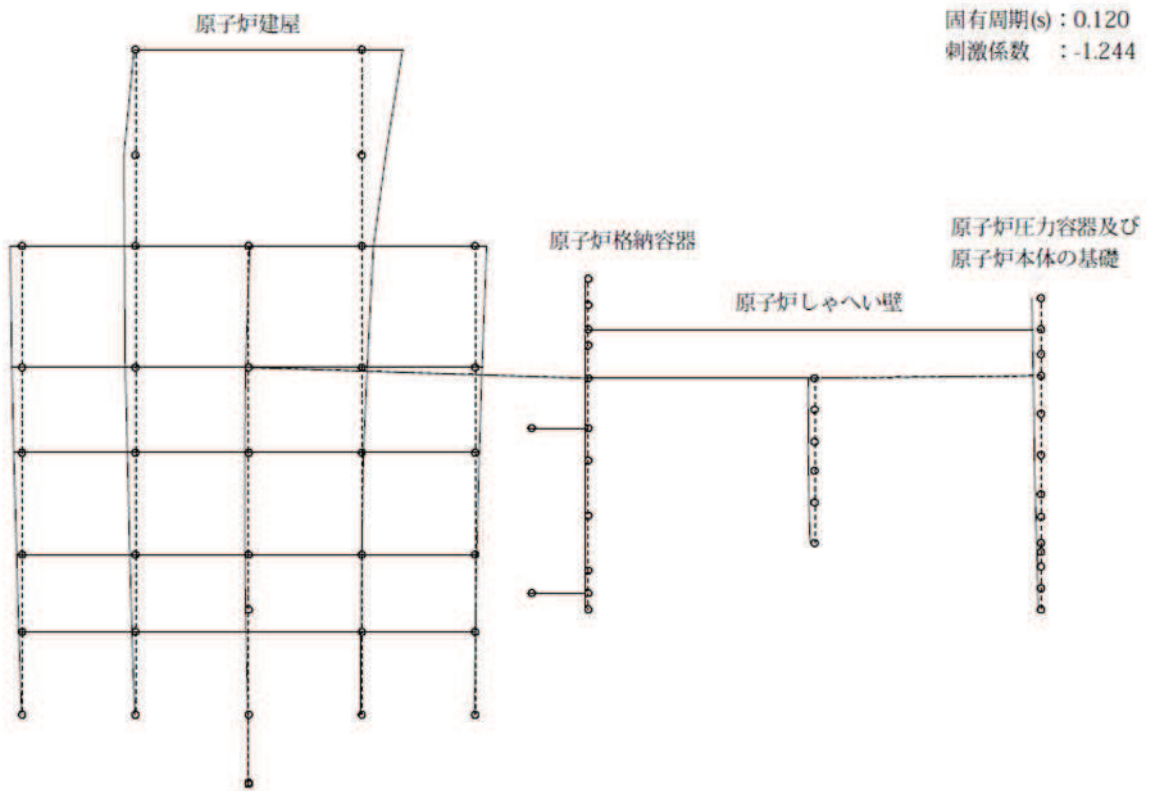


図 4-7(1) 3次振動モード(NS方向)(3/20)

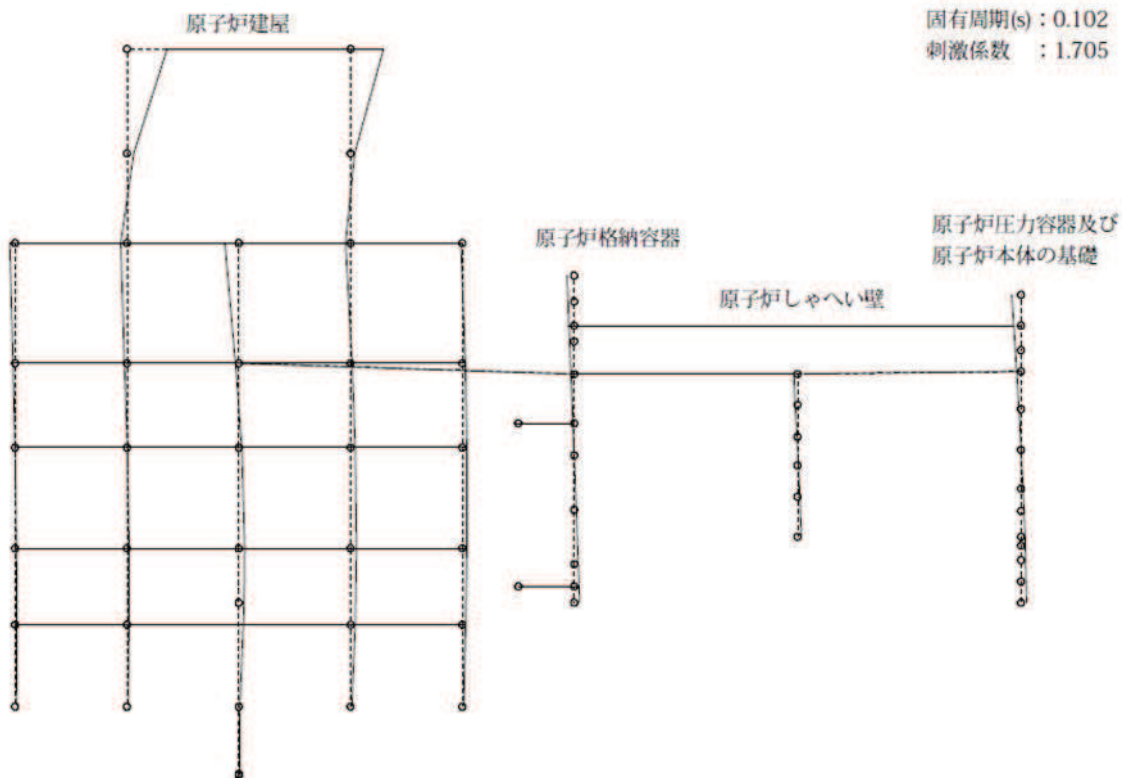


図 4-7(1) 4次振動モード(NS方向)(4/20)

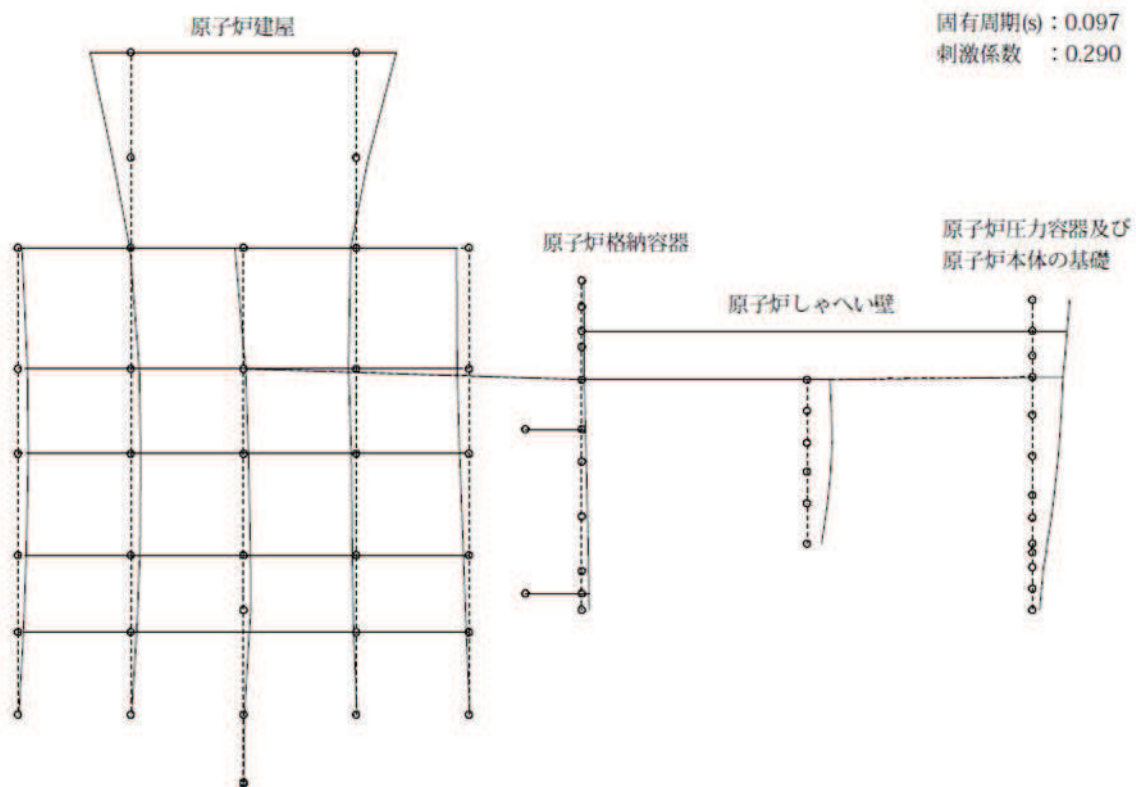


図 4-7(1) 5次振動モード(NS方向)(5/20)

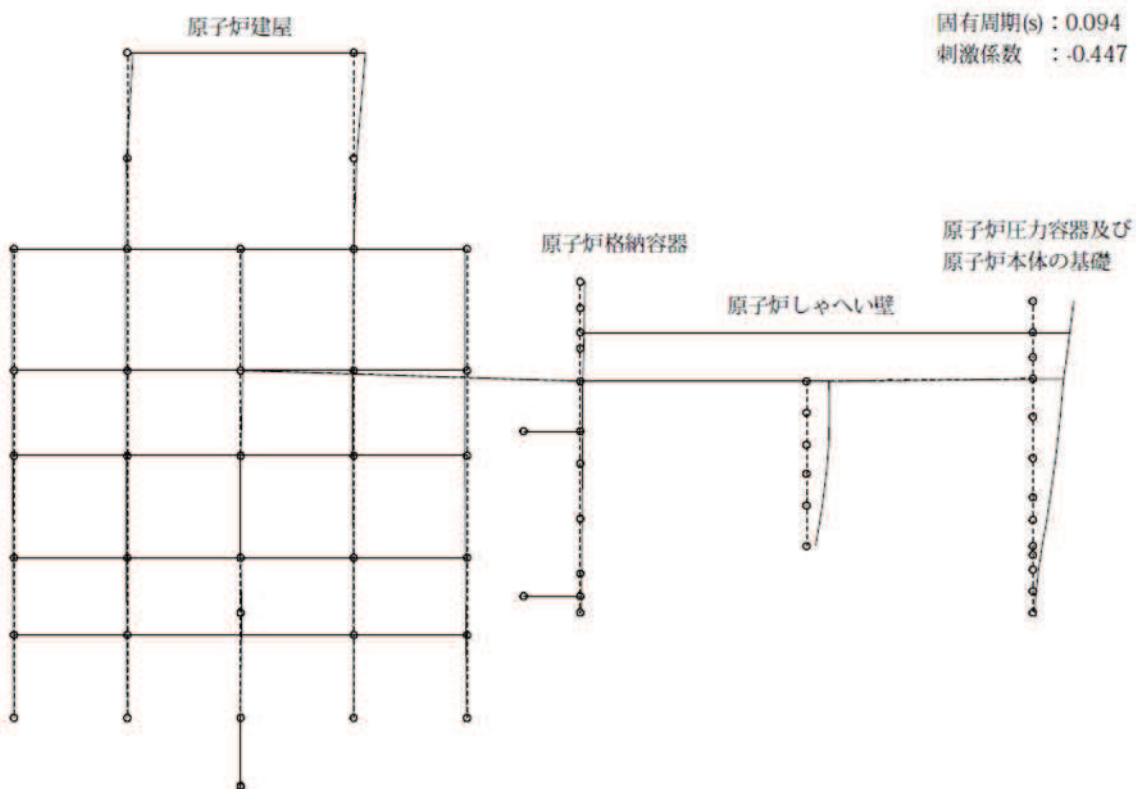


図 4-7(1) 6次振動モード(NS方向)(6/20)

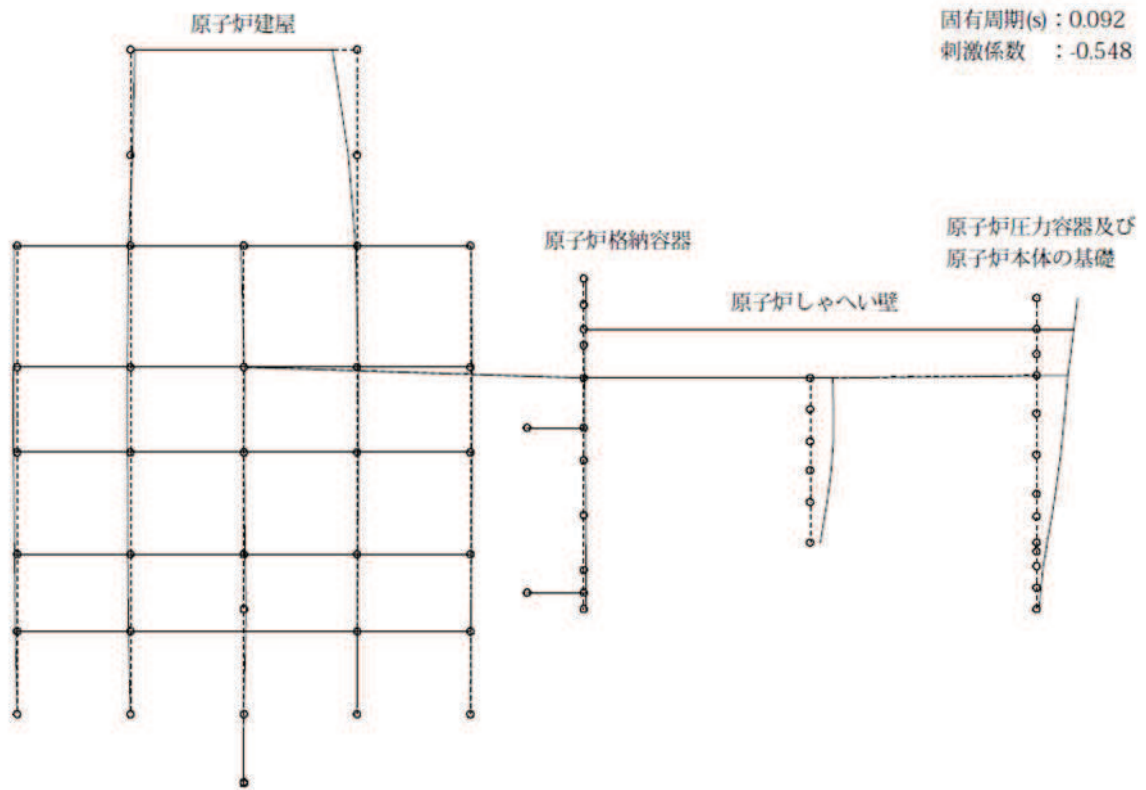


図 4-7(1) 7次振動モード(NS方向)(7/20)

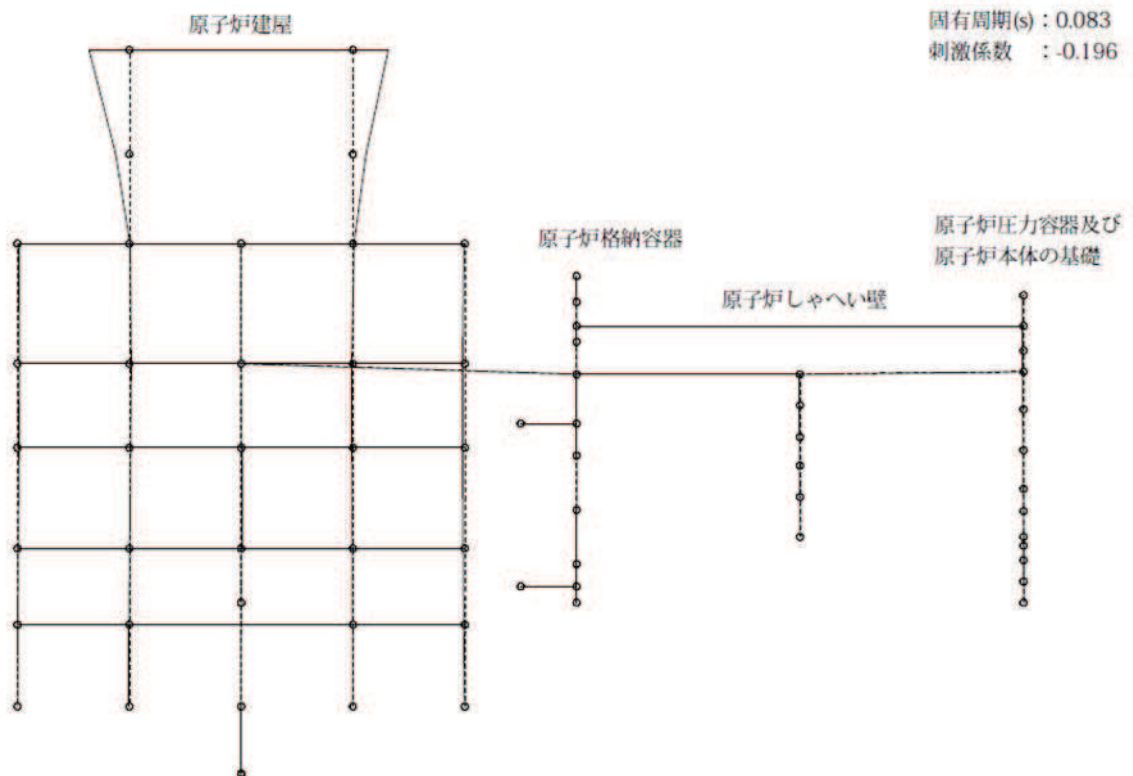


図 4-7(1) 8次振動モード(NS方向)(8/20)

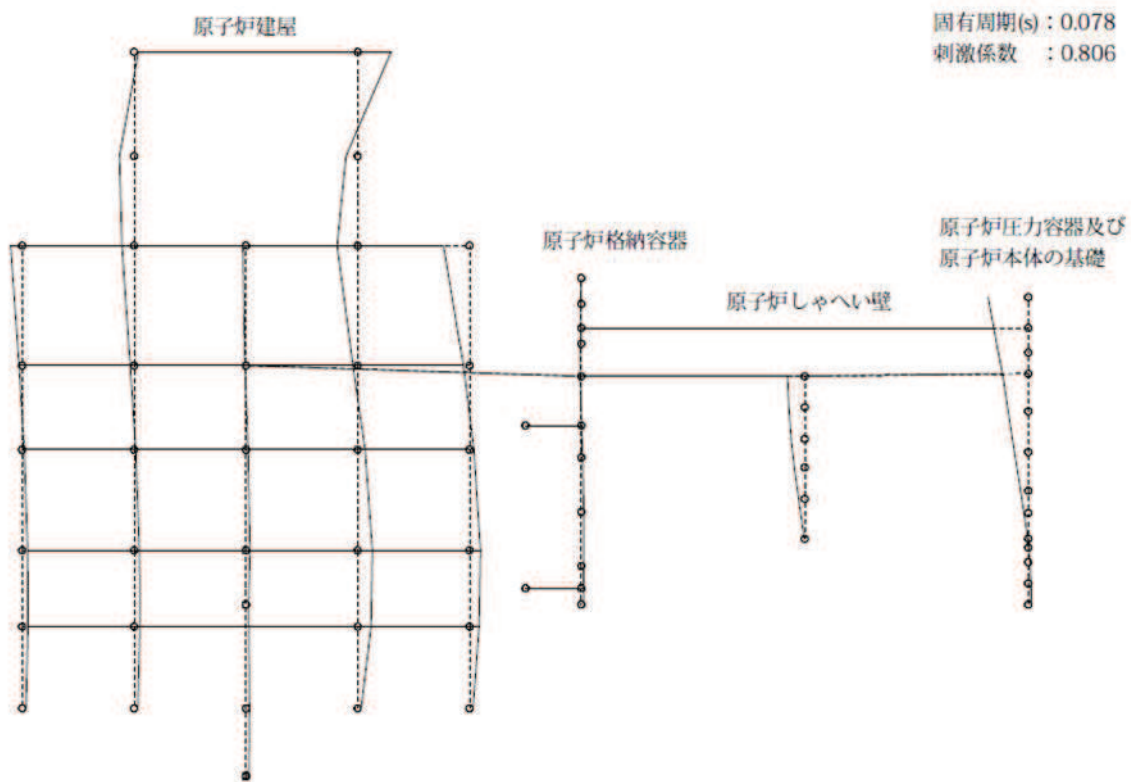


図 4-7(1) 9次振動モード(NS方向)(9/20)

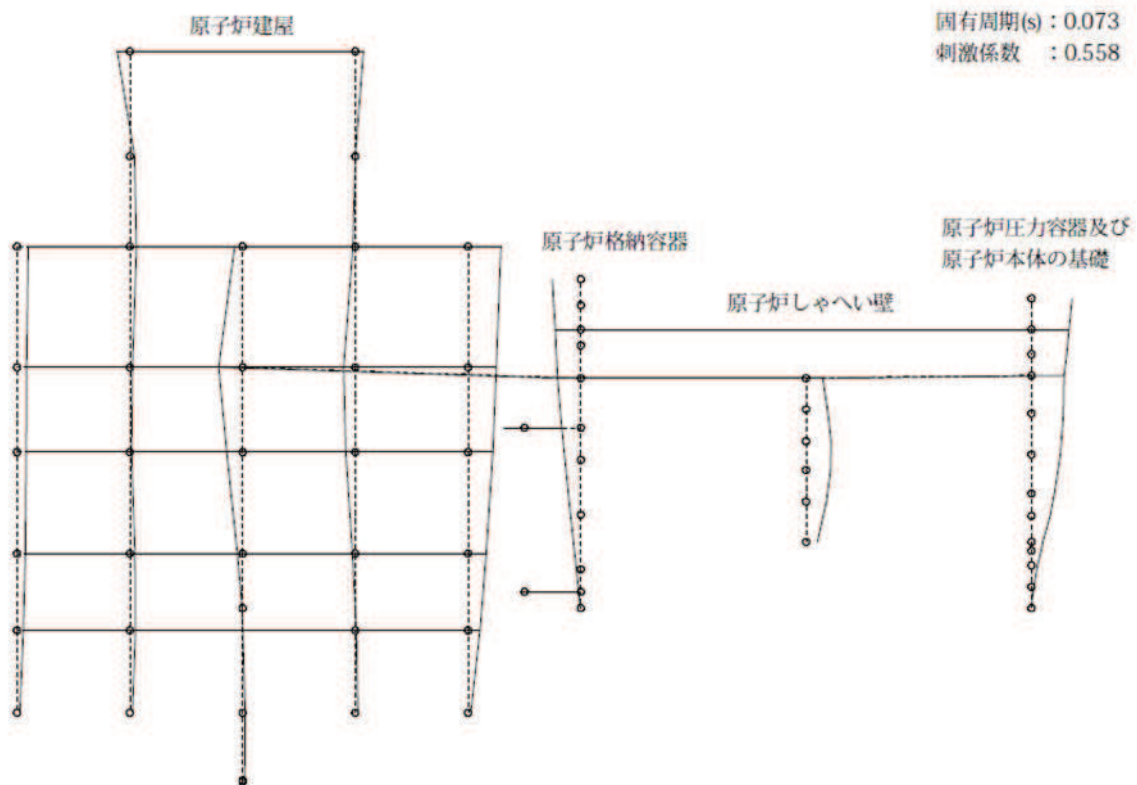


図 4-7(1) 10次振動モード(NS方向)(10/20)

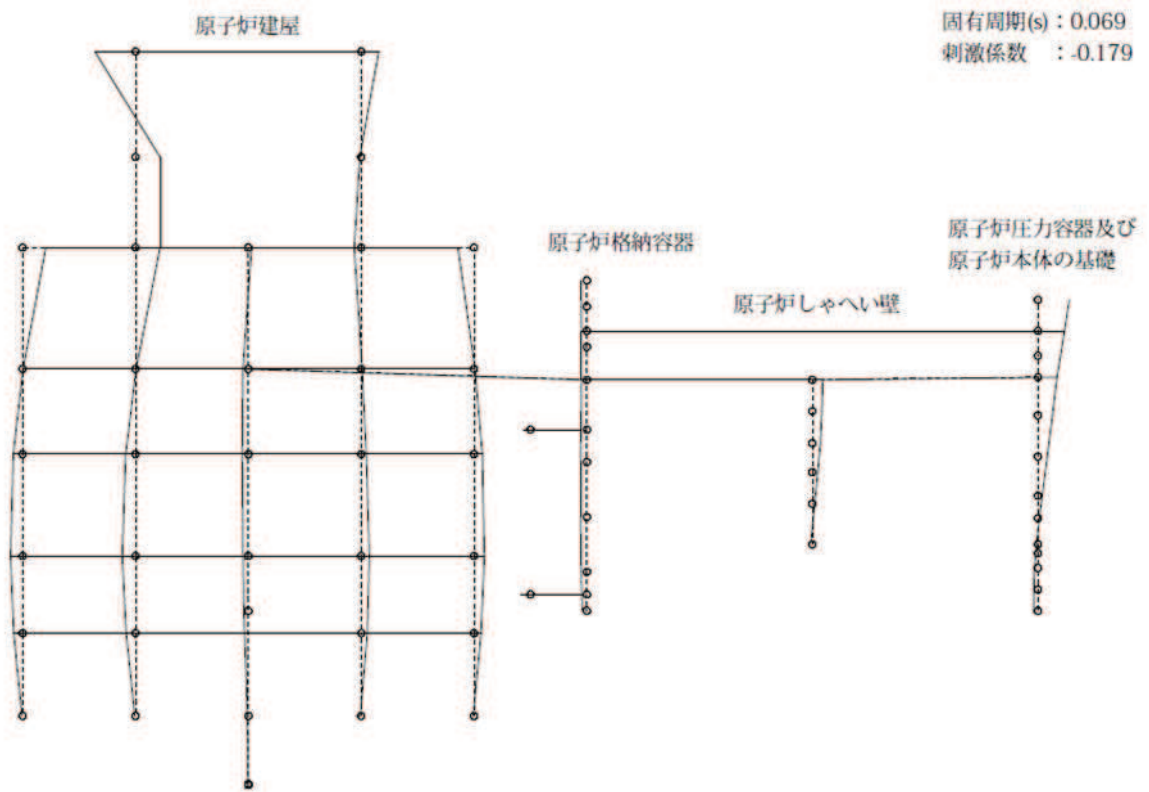


図 4-7(1) 11 次振動モード (NS 方向) (11/20)

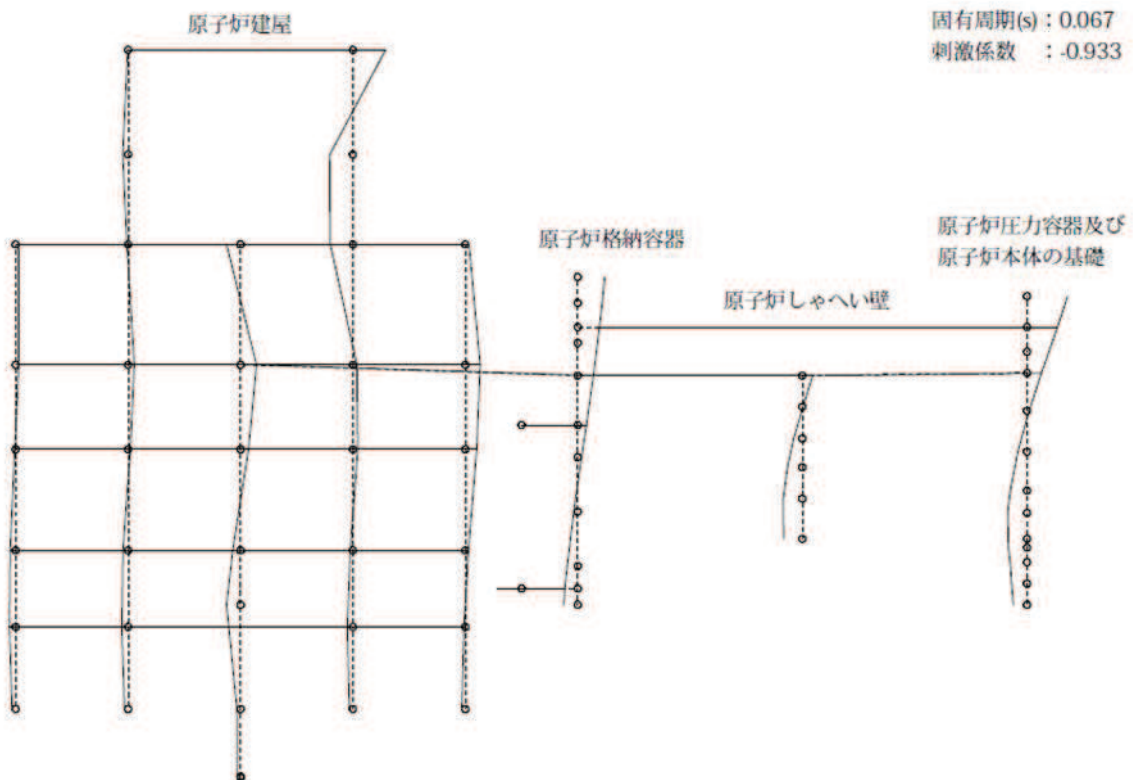


図 4-7(1) 12 次振動モード (NS 方向) (12/20)

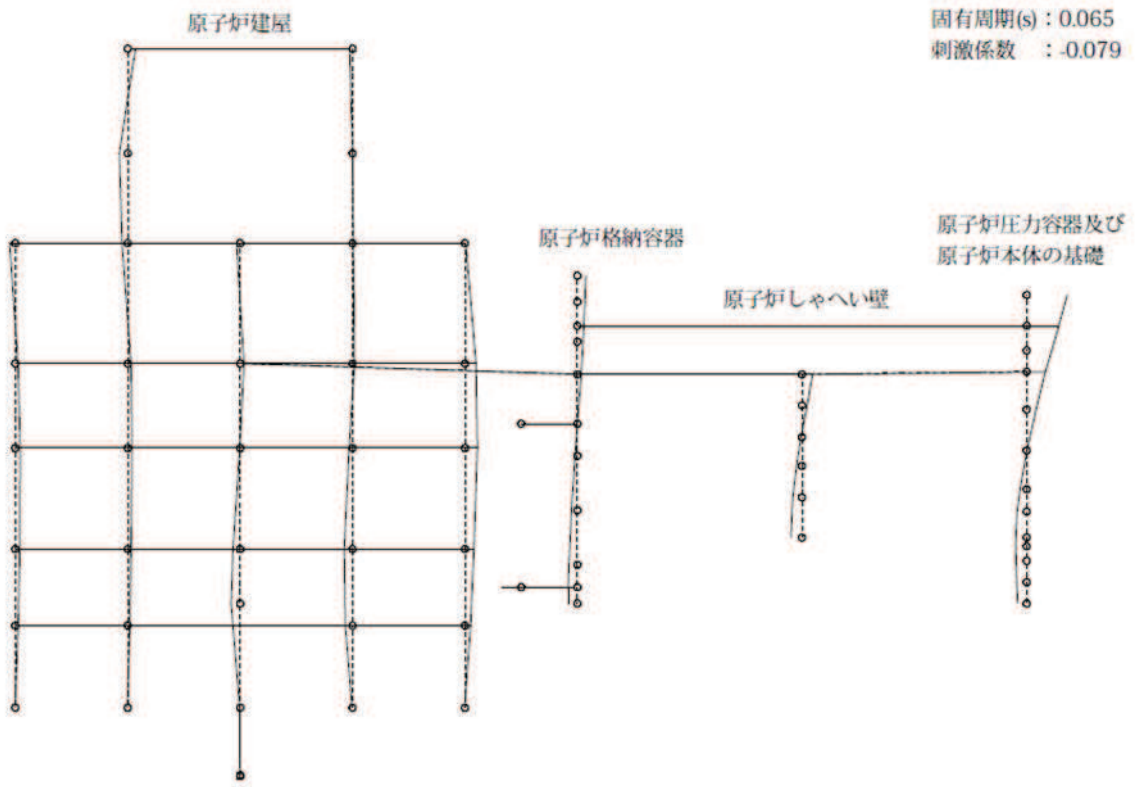


図 4-7(1) 13 次振動モード (NS 方向) (13/20)

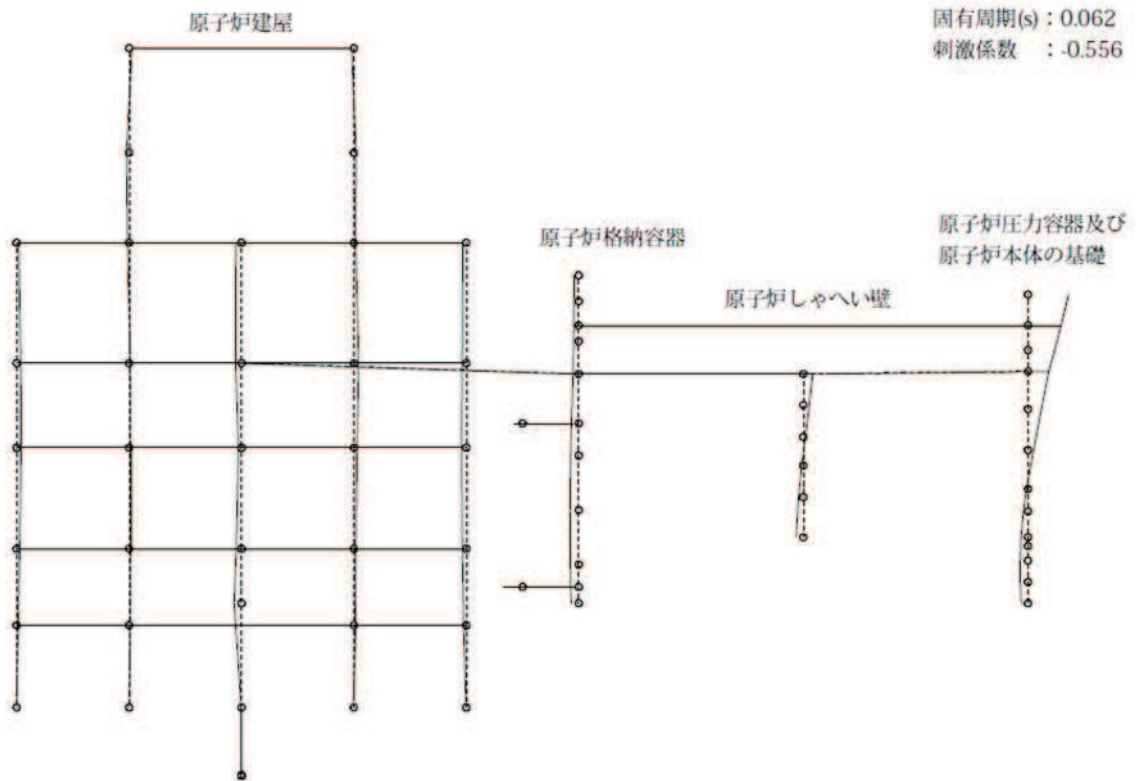


図 4-7(1) 14 次振動モード (NS 方向) (14/20)

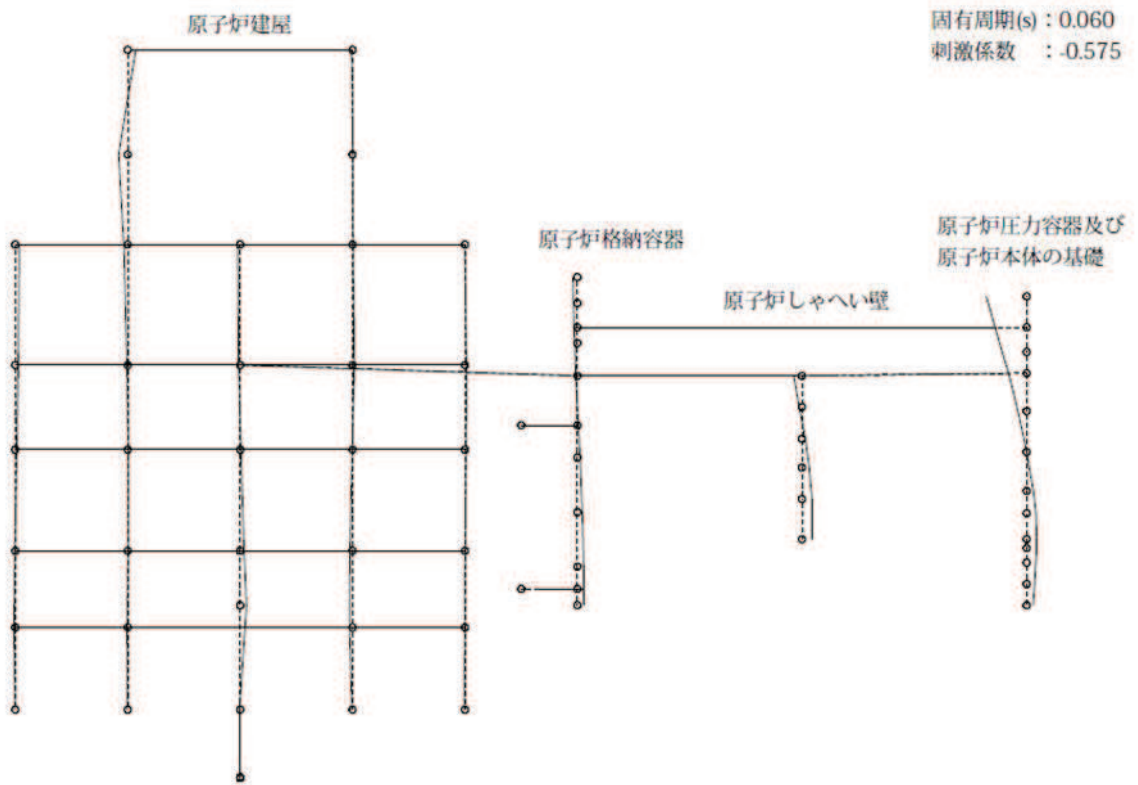


図 4-7(1) 15 次振動モード (NS 方向) (15/20)

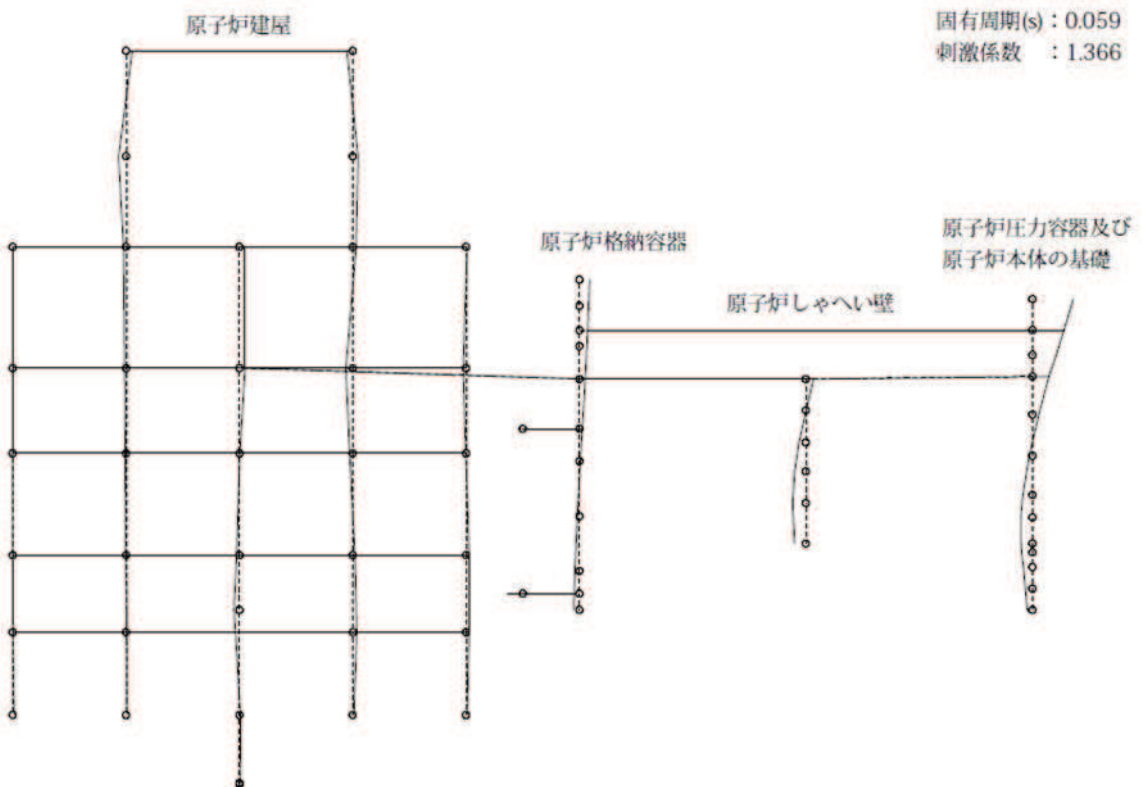


図 4-7(1) 16 次振動モード (NS 方向) (16/20)

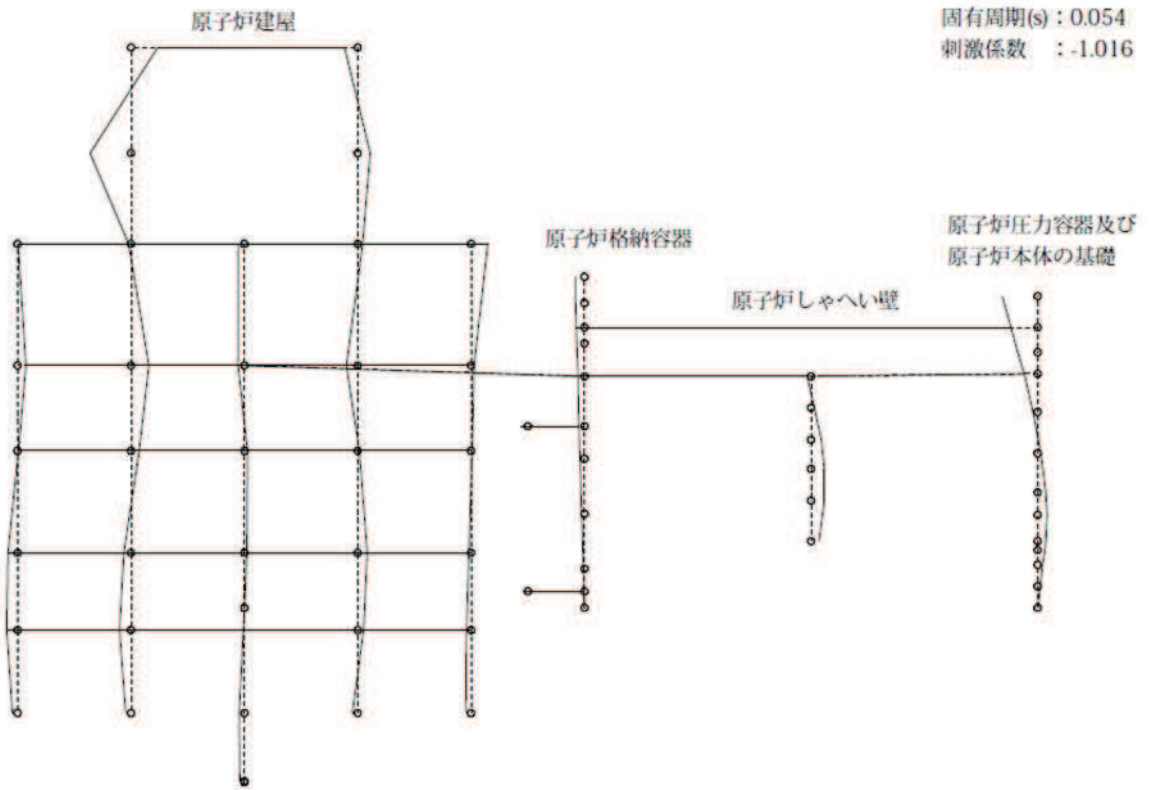


図 4-7(1) 17 次振動モード (NS 方向) (17/20)

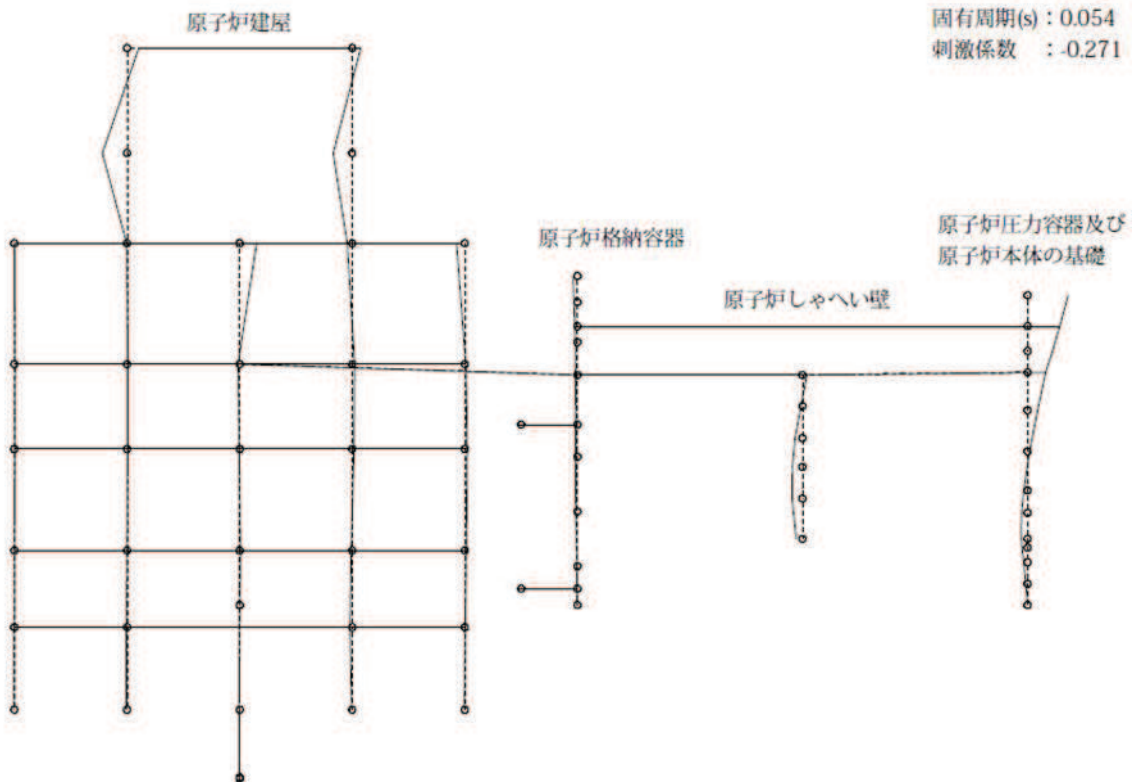


図 4-7(1) 18 次振動モード (NS 方向) (18/20)

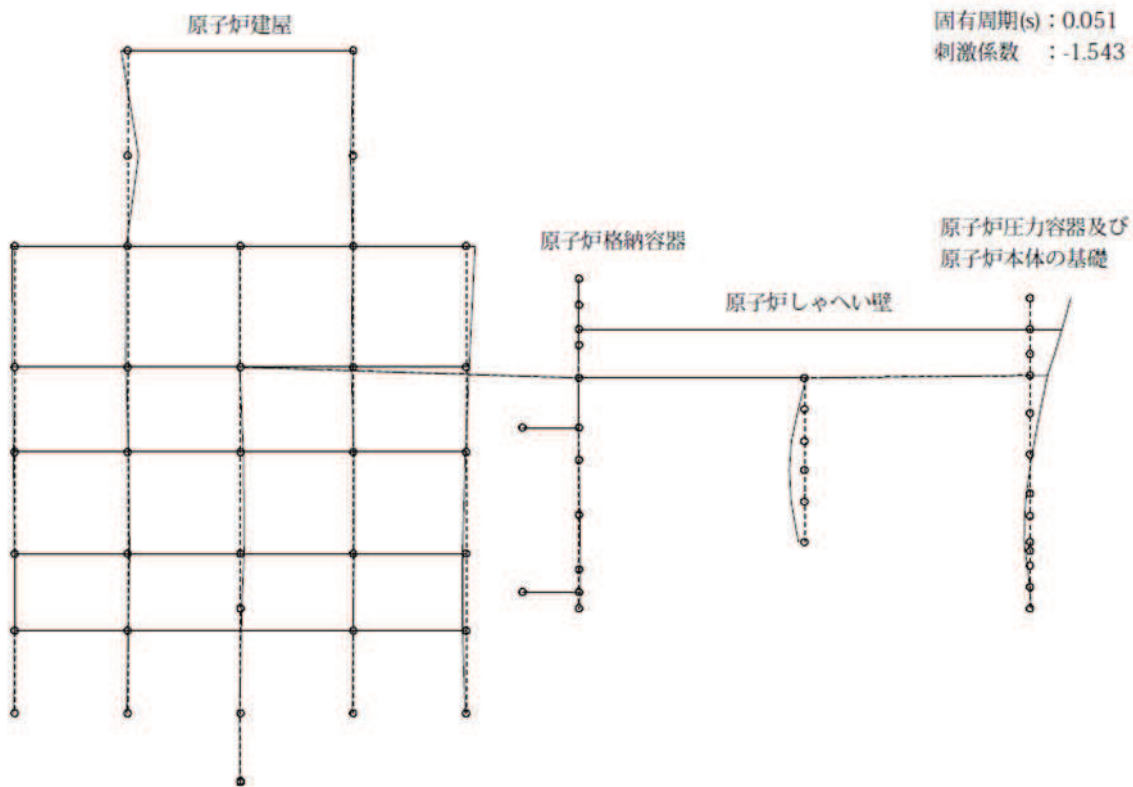


図 4-7(1) 19 次振動モード (NS 方向) (19/20)

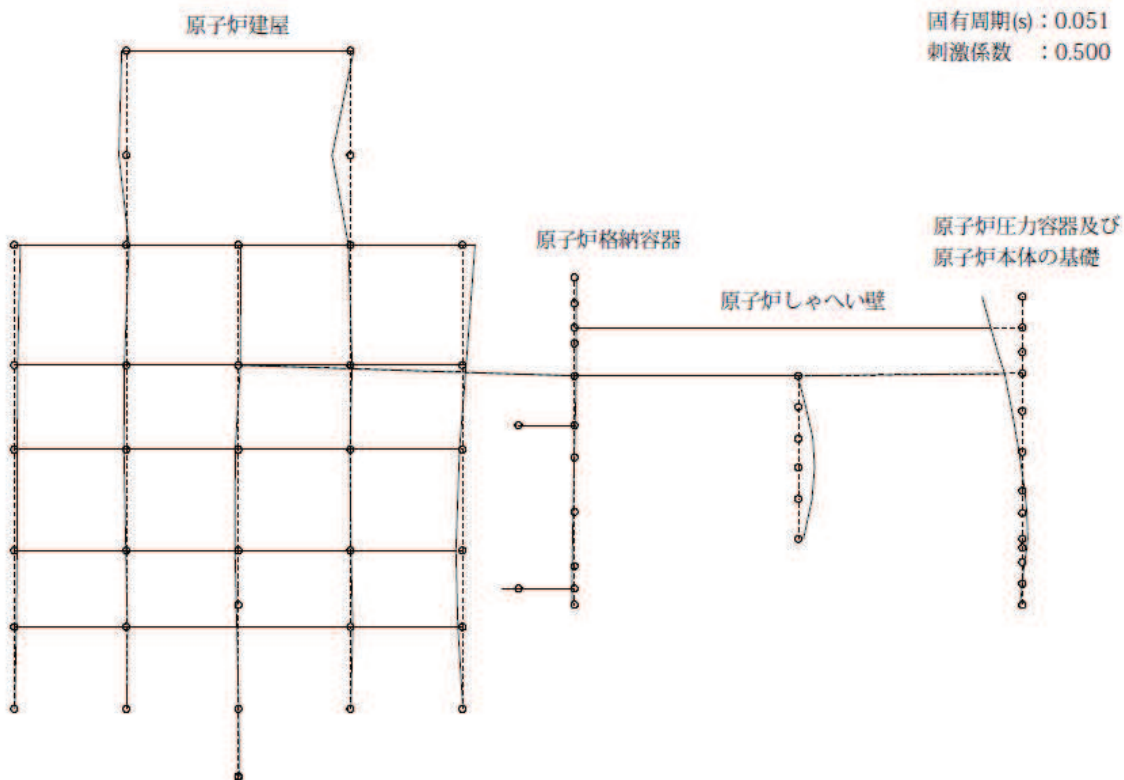


図 4-7(1) 20 次振動モード (NS 方向) (20/20)

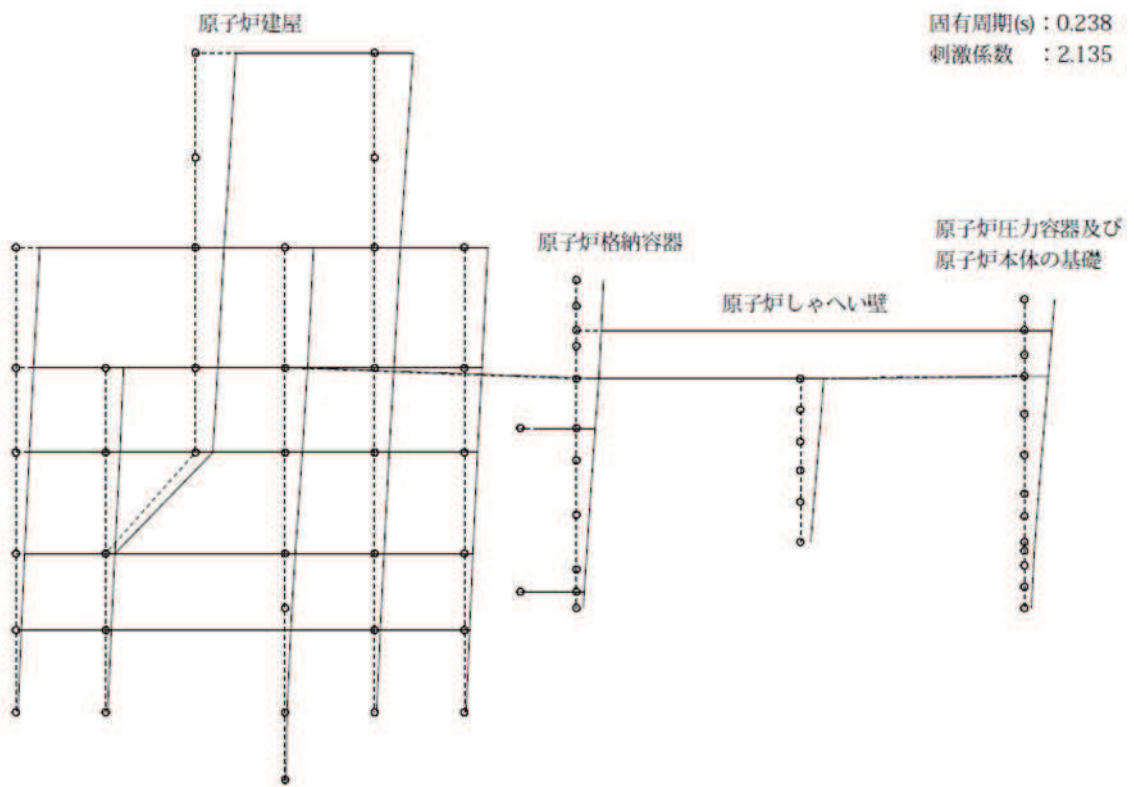


図 4-7(2) 1次振動モード(EW方向)(1/20)

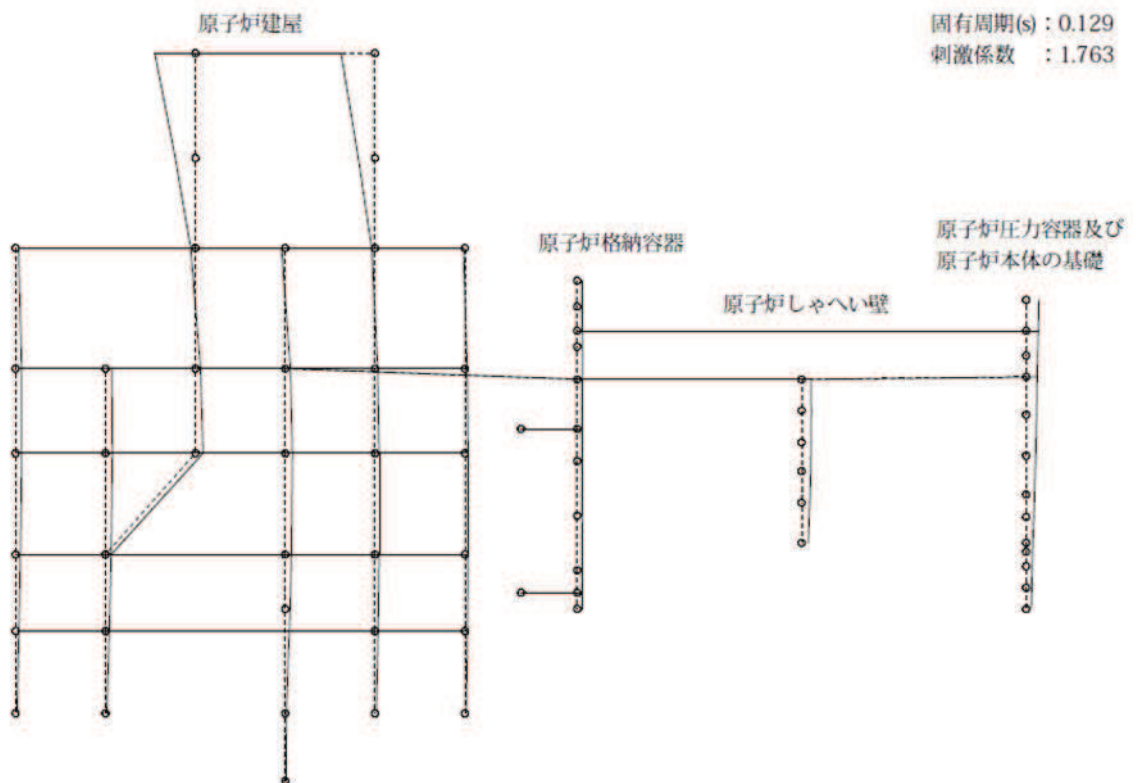


図 4-7(2) 2次振動モード(EW方向)(2/20)

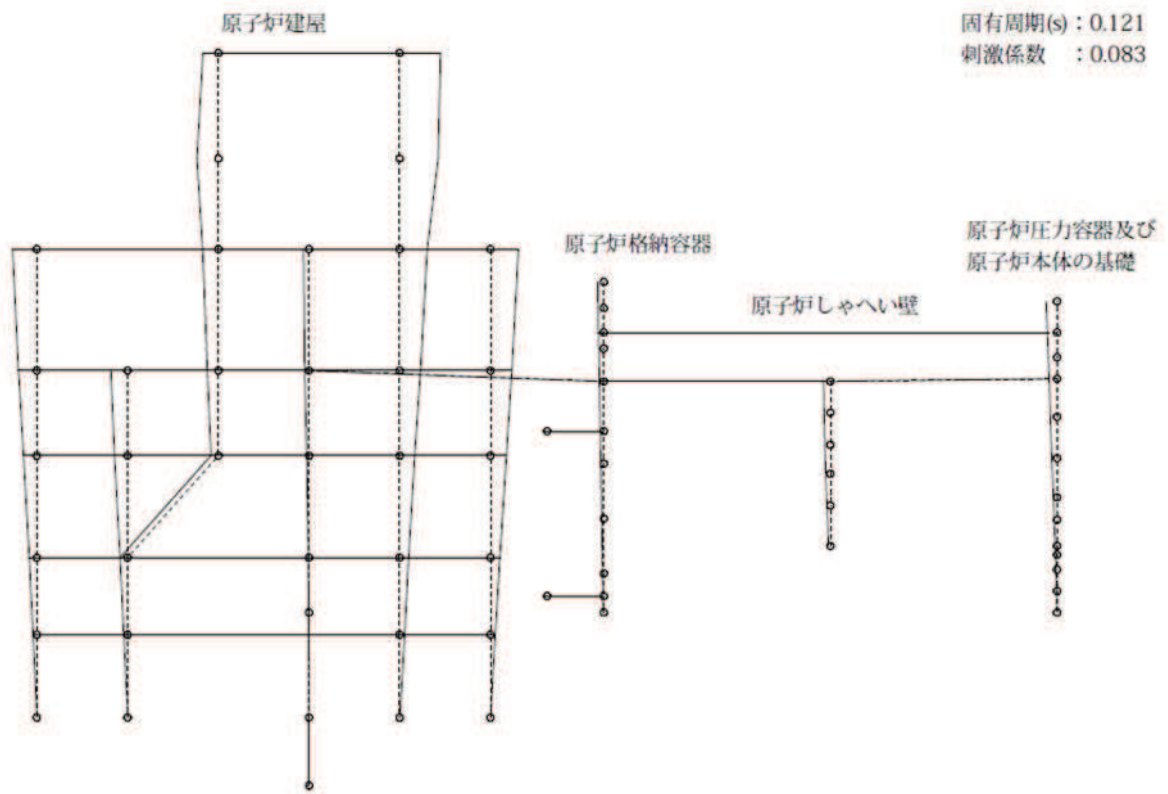


図 4-7(2) 3次振動モード(EW方向)(3/20)

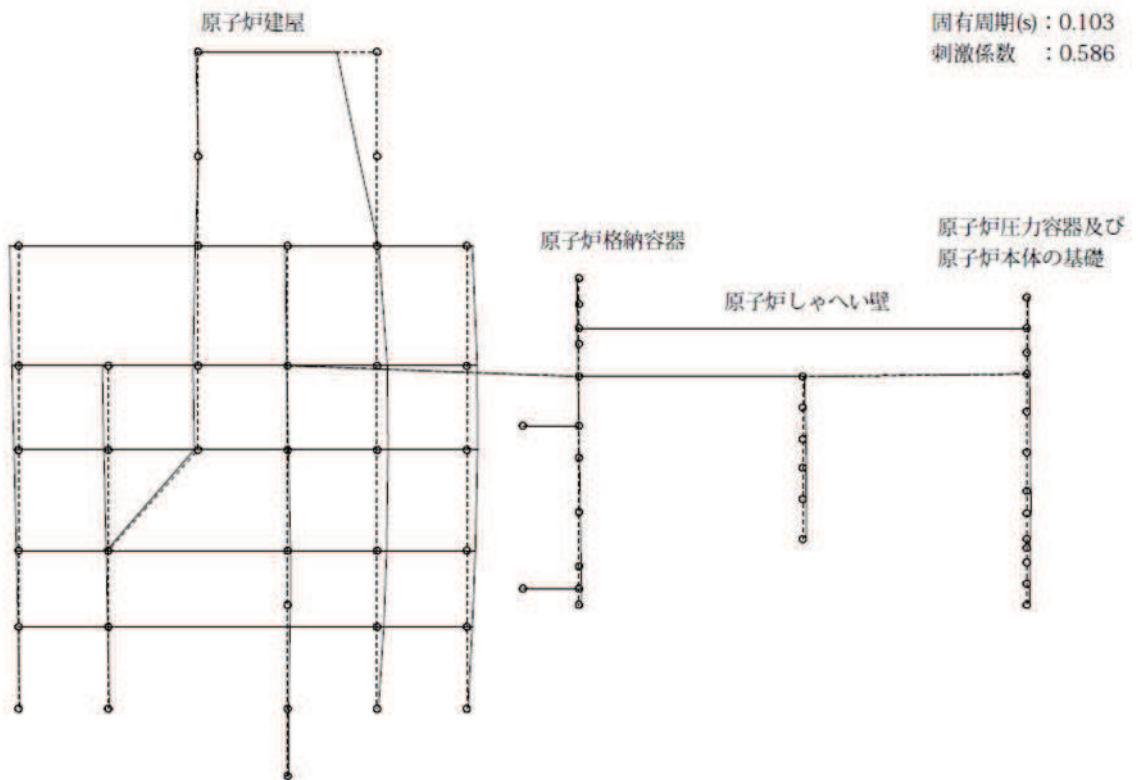


図 4-7(2) 4次振動モード(EW方向)(4/20)

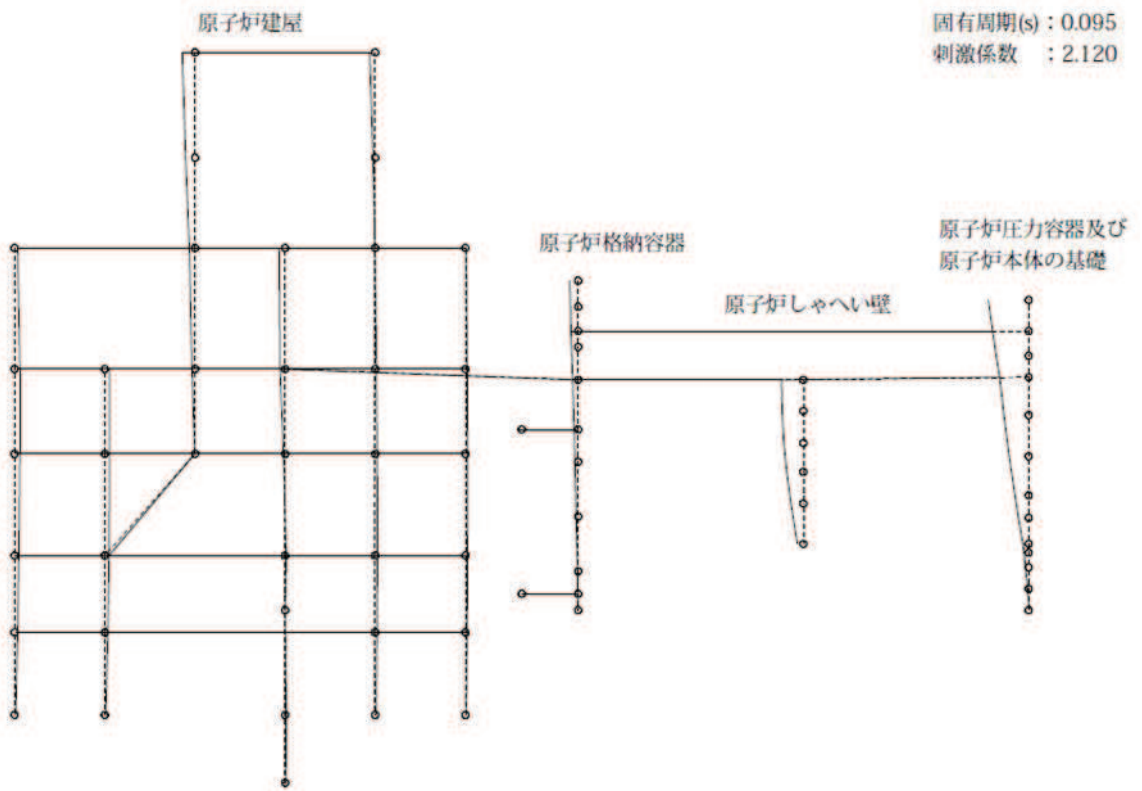


図 4-7(2) 5次振動モード(EW方向)(5/20)

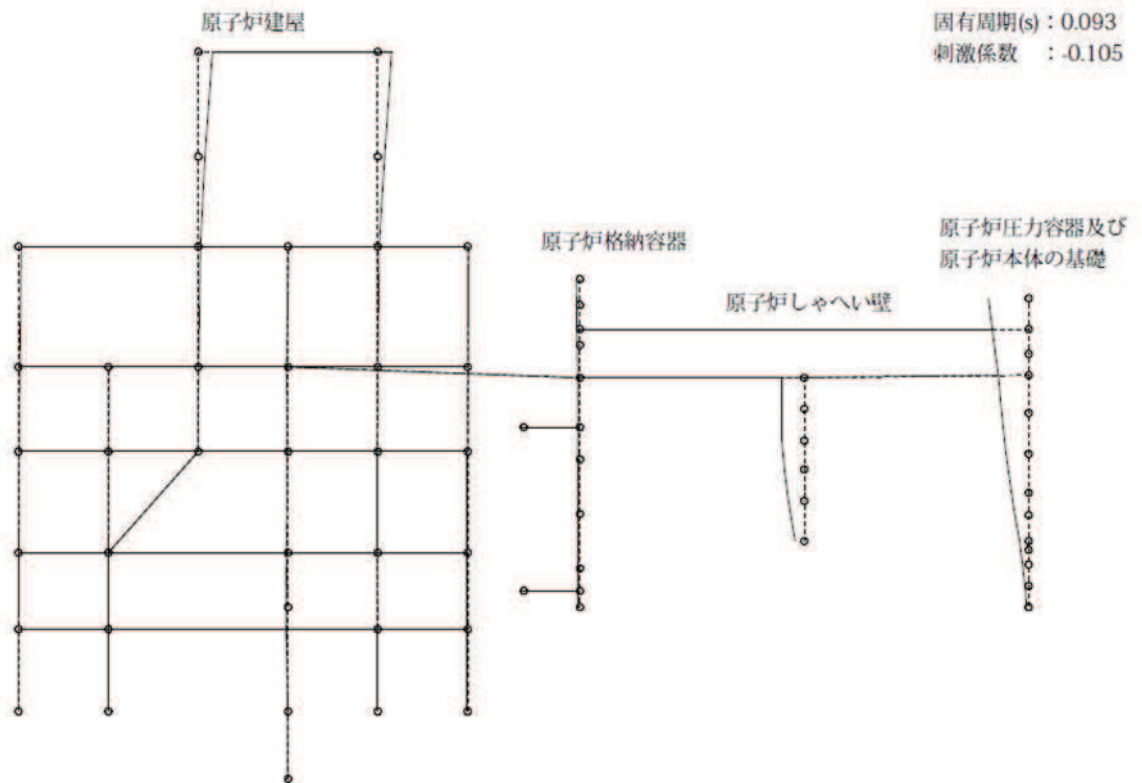


図 4-7(2) 6次振動モード(EW方向)(6/20)

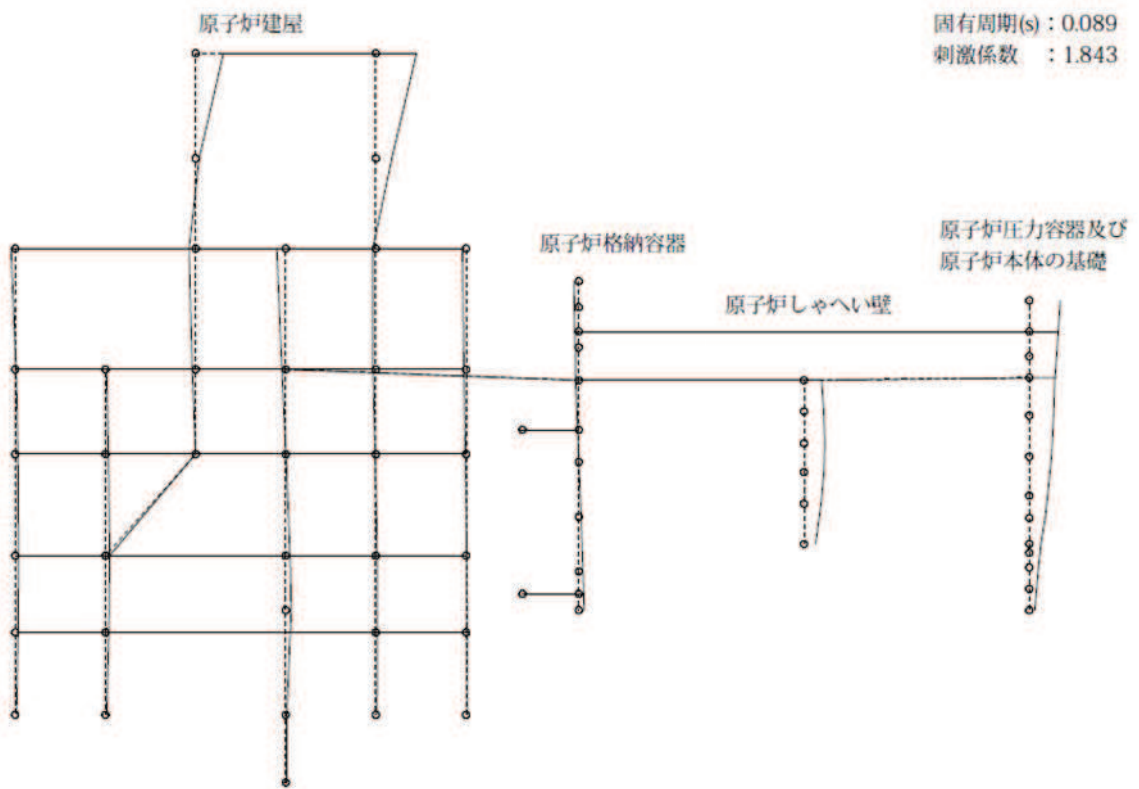


図 4-7(2) 7次振動モード(EW方向)(7/20)

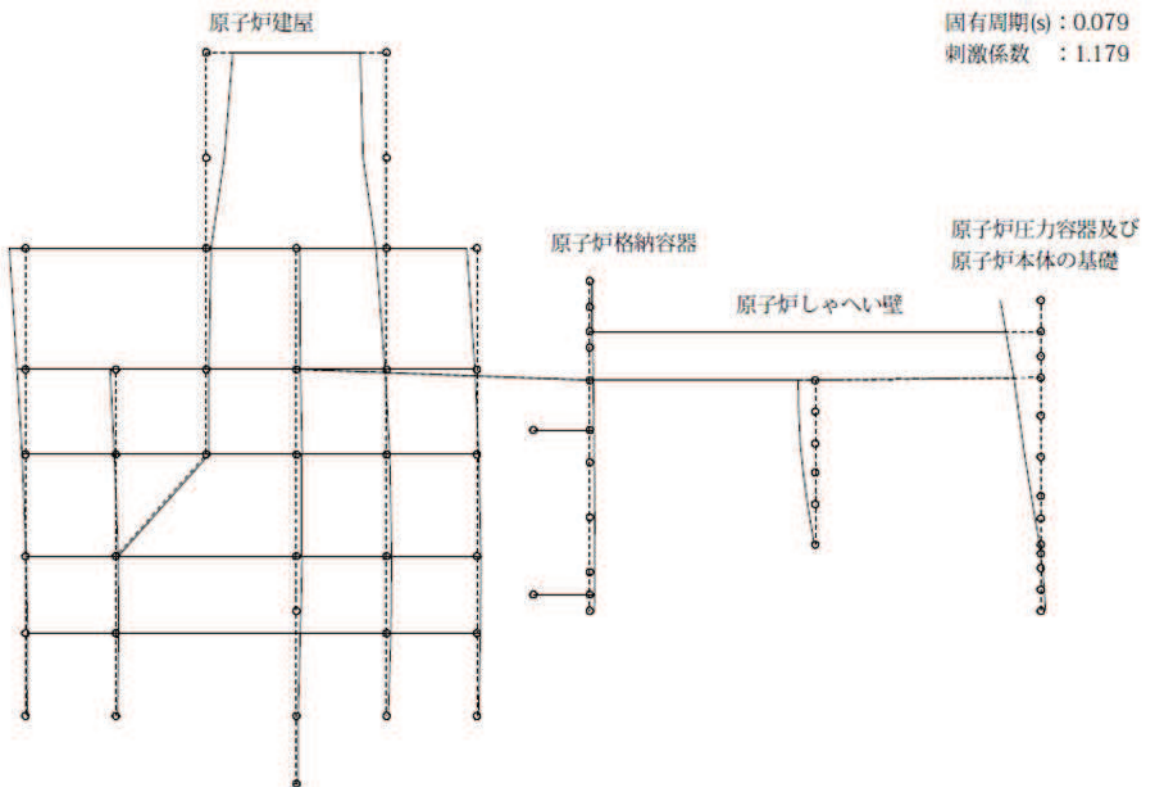


図 4-7(2) 8次振動モード(EW方向)(8/19)

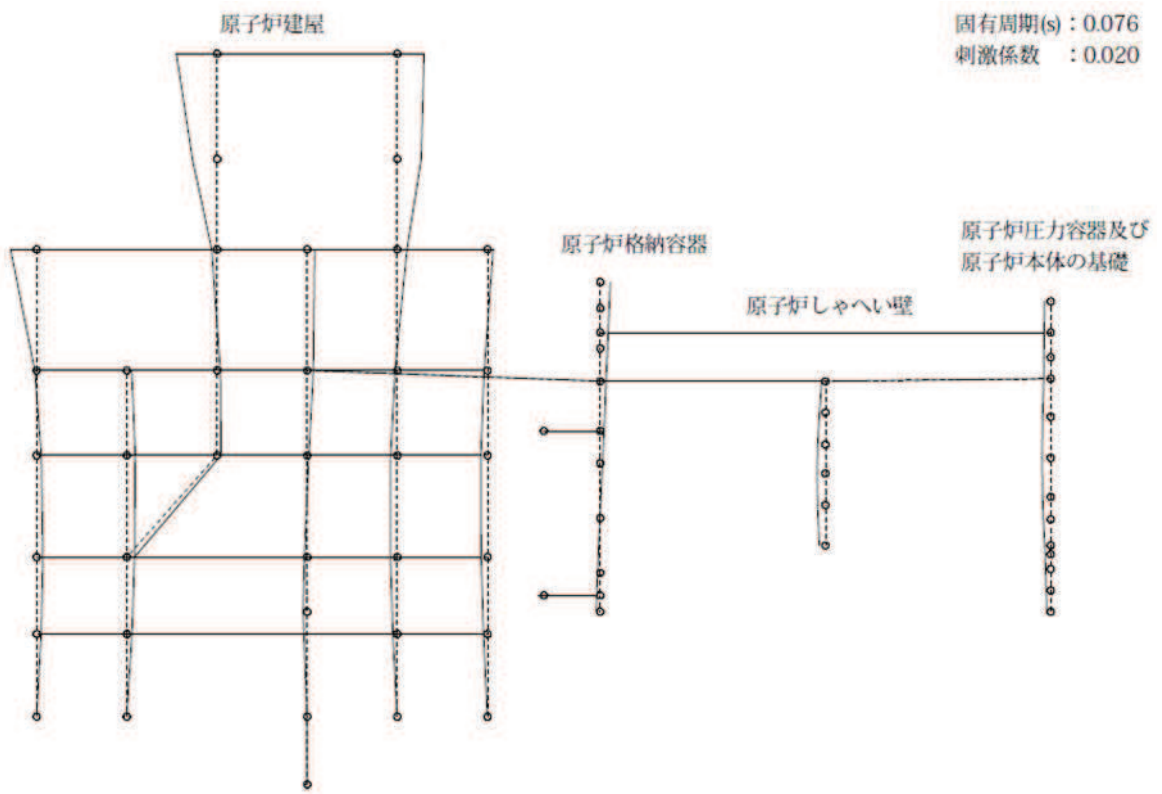


図 4-7(2) 9次振動モード(EW方向)(9/20)

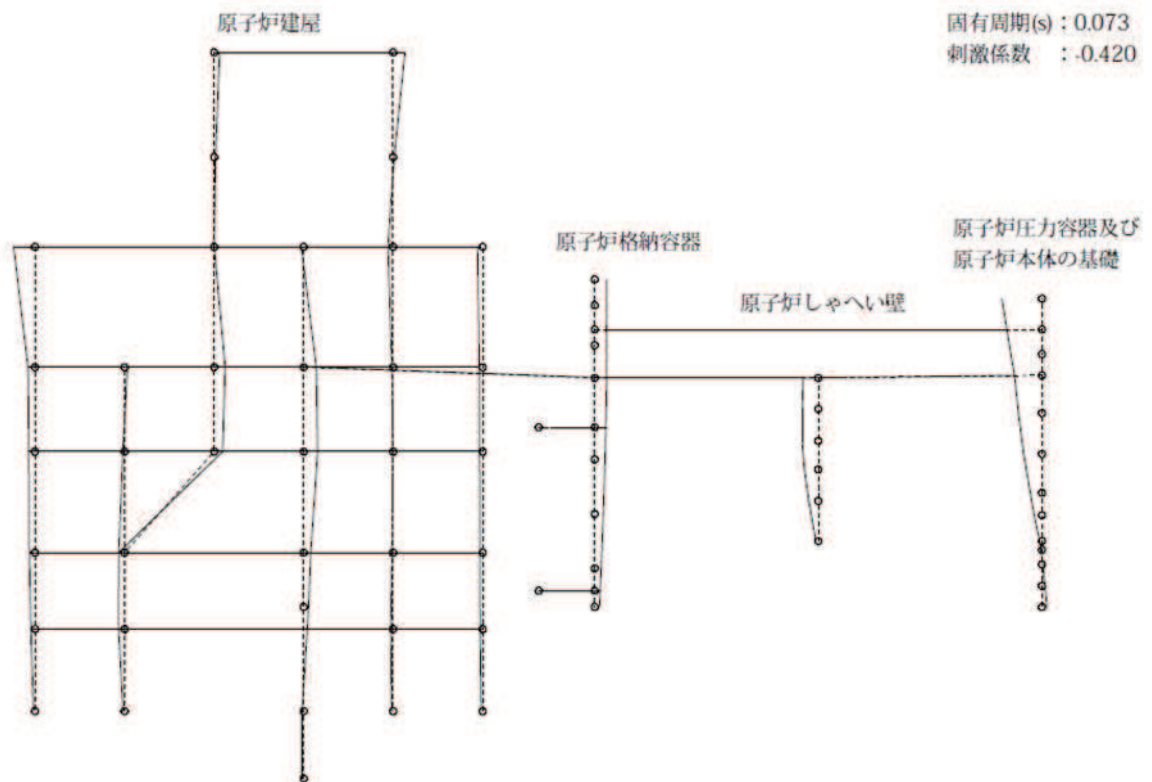


図 4-7(2) 10次振動モード(EW方向)(10/20)

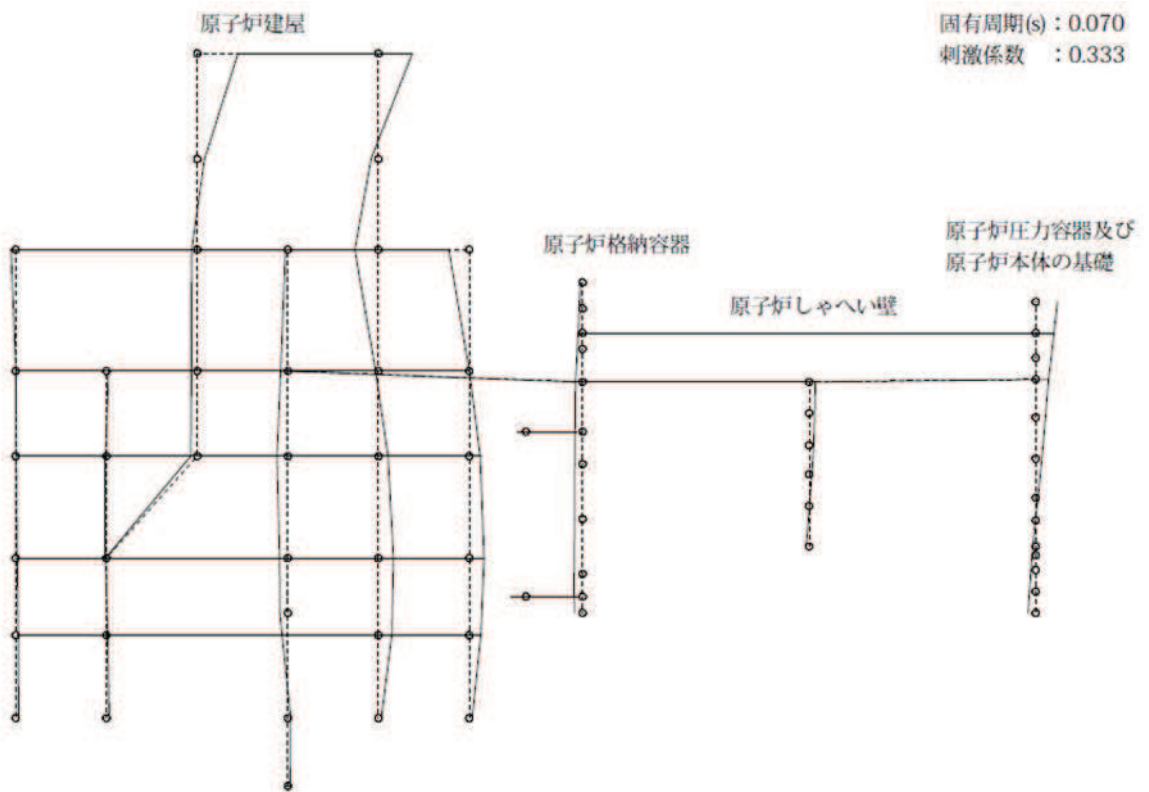


図 4-7(2) 11次振動モード(EW方向)(11/20)

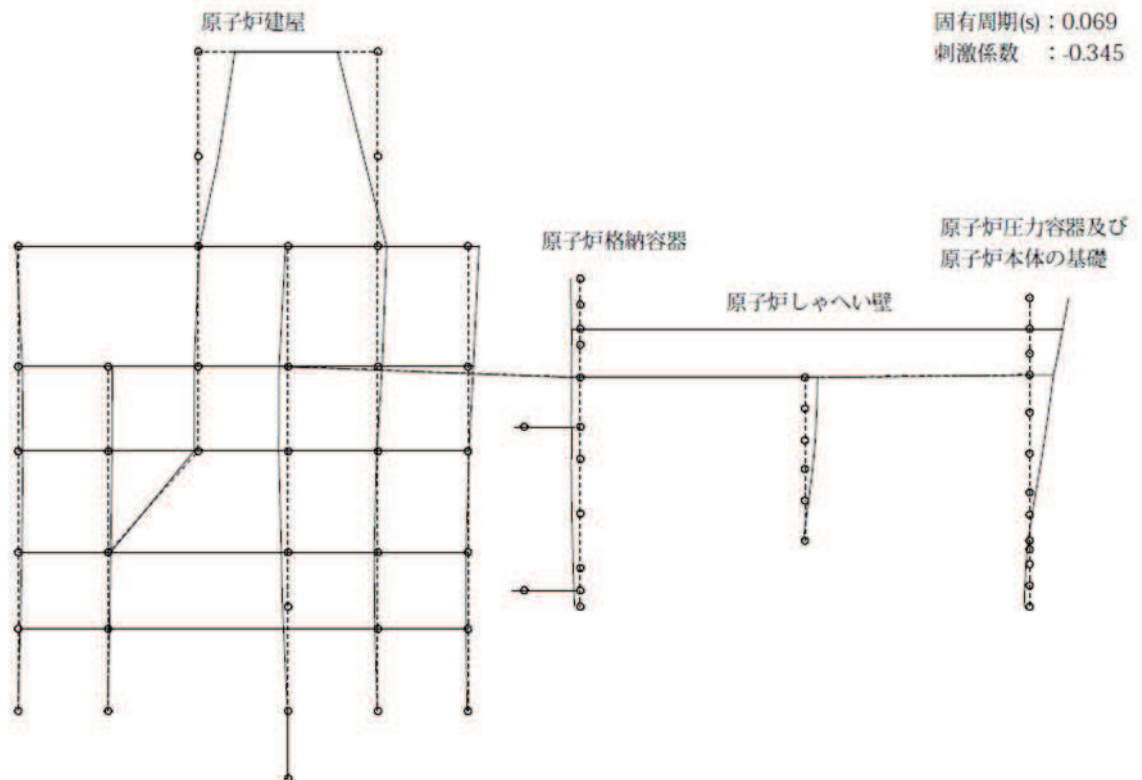


図 4-7(2) 12次振動モード(EW方向)(12/20)

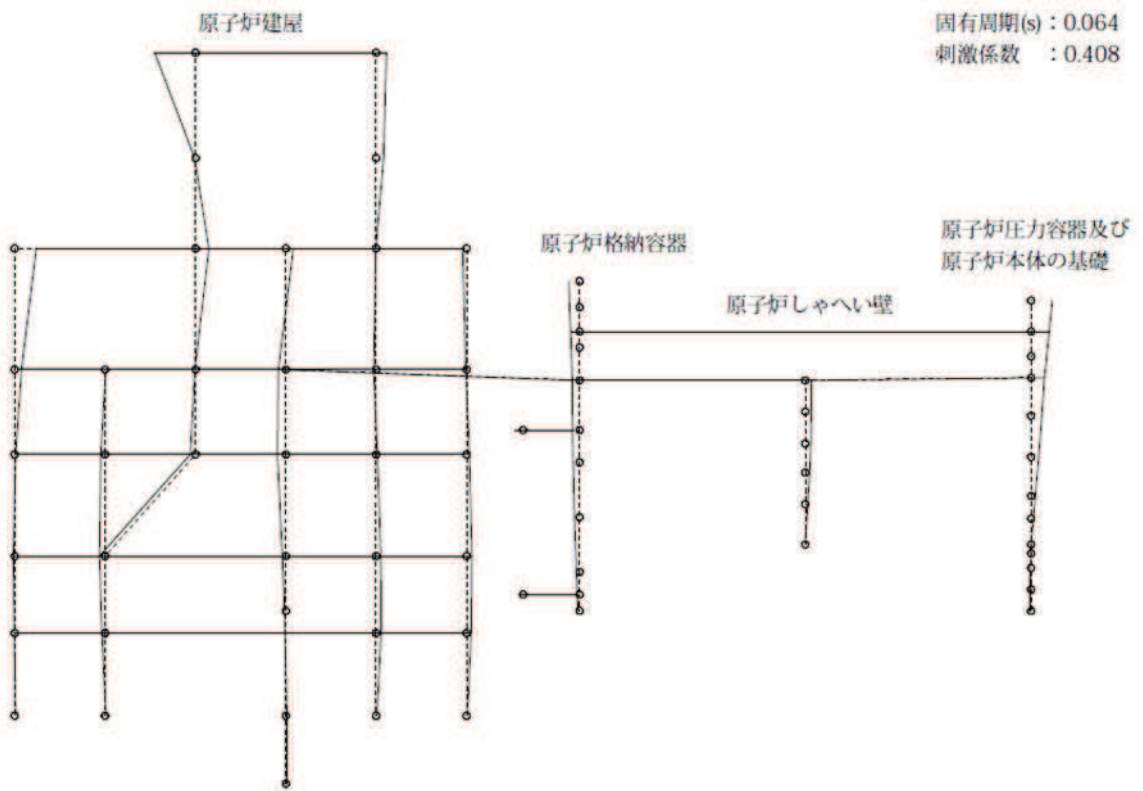


図 4-7(2) 13 次振動モード (EW 方向) (13/20)

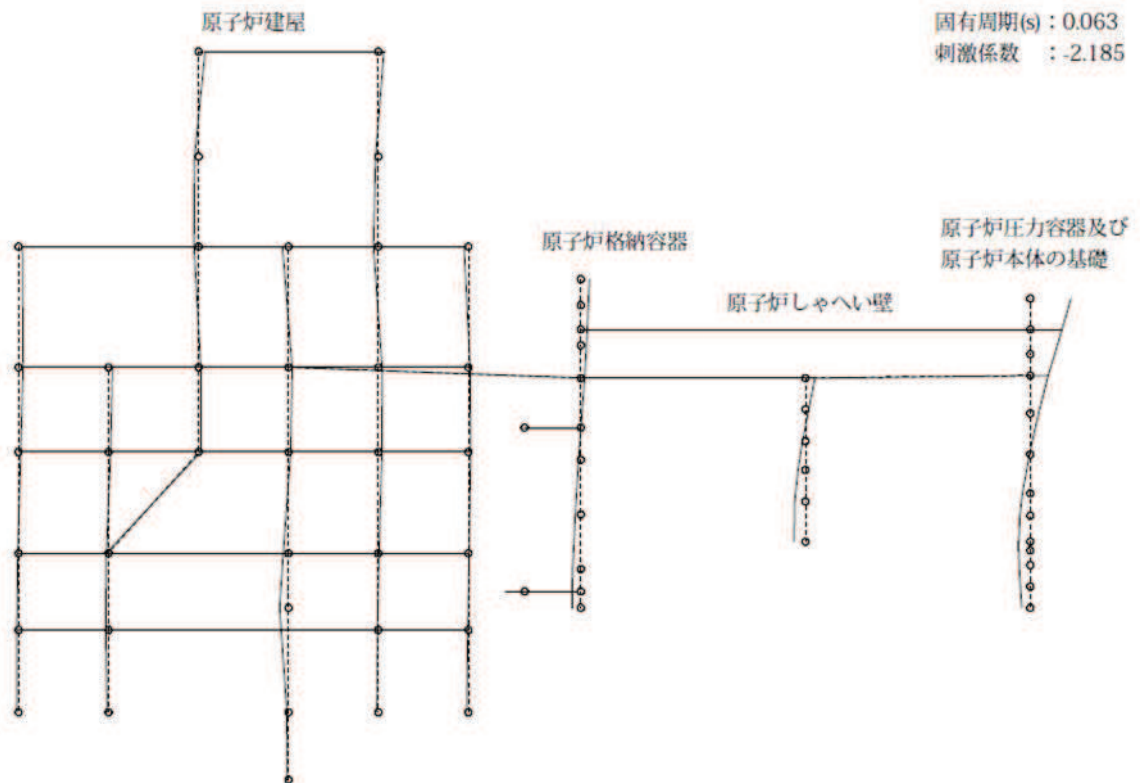


図 4-7(2) 14 次振動モード (EW 方向) (14/20)

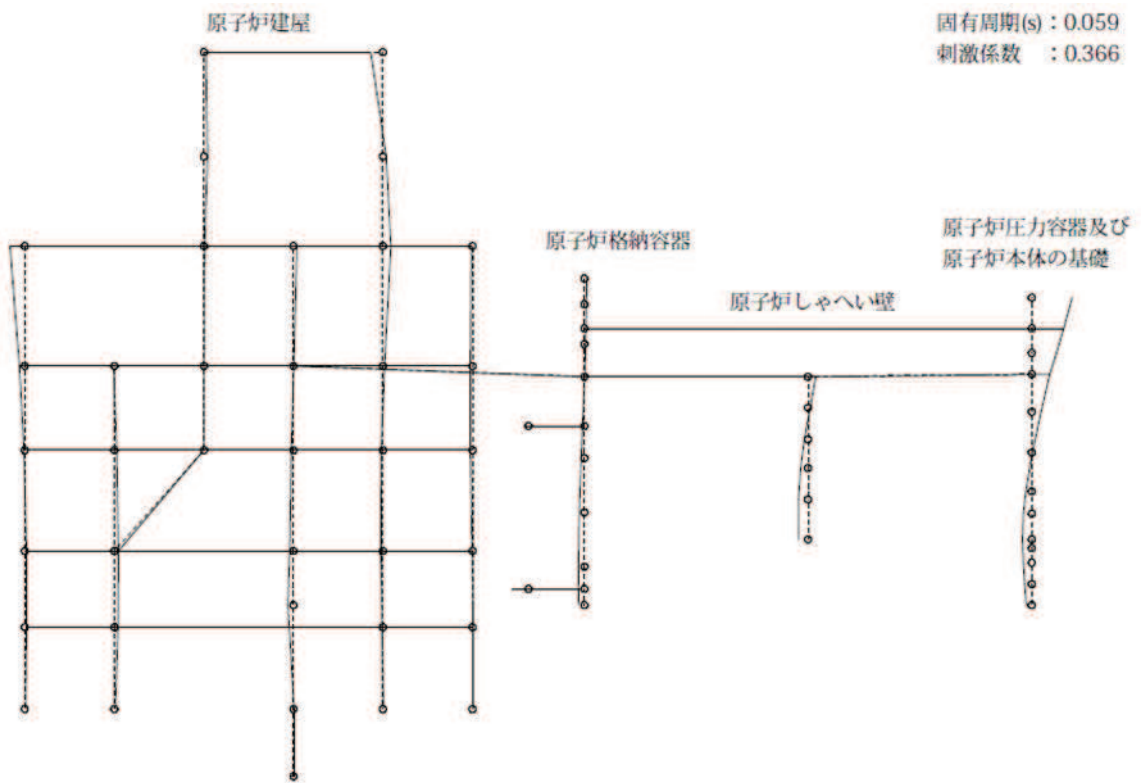


図 4-7(2) 15 次振動モード (EW 方向) (15/20)

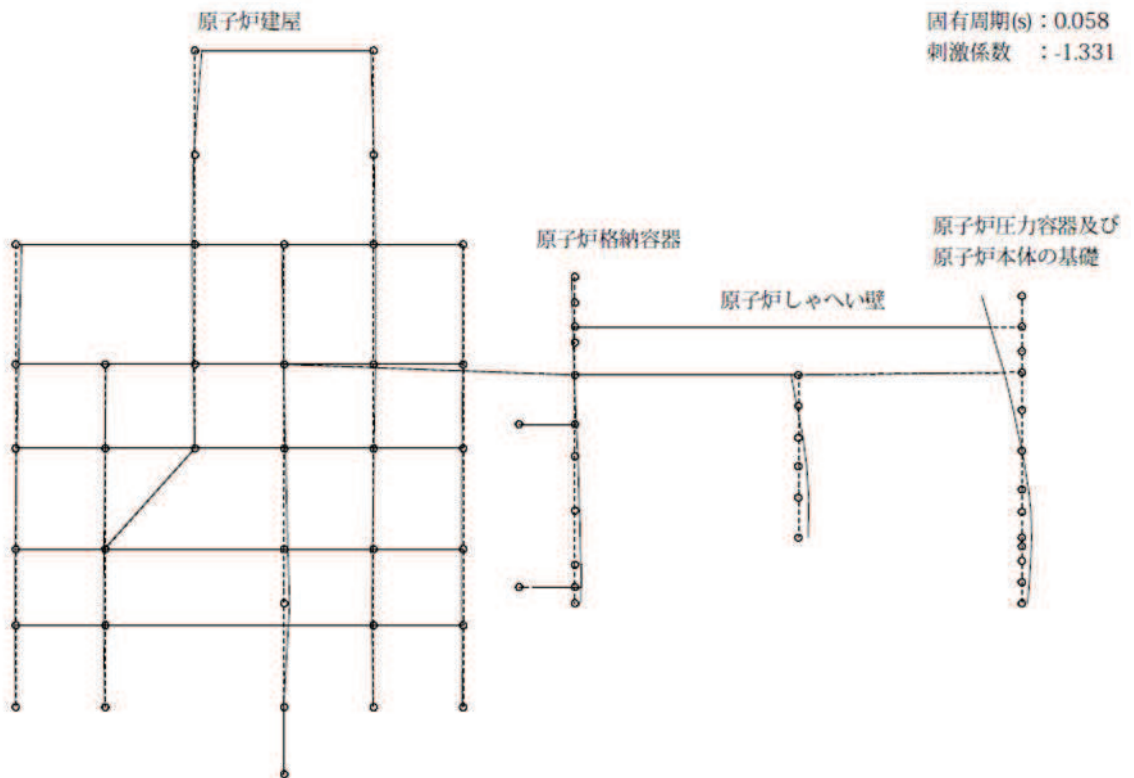


図 4-7(2) 16 次振動モード (EW 方向) (16/20)

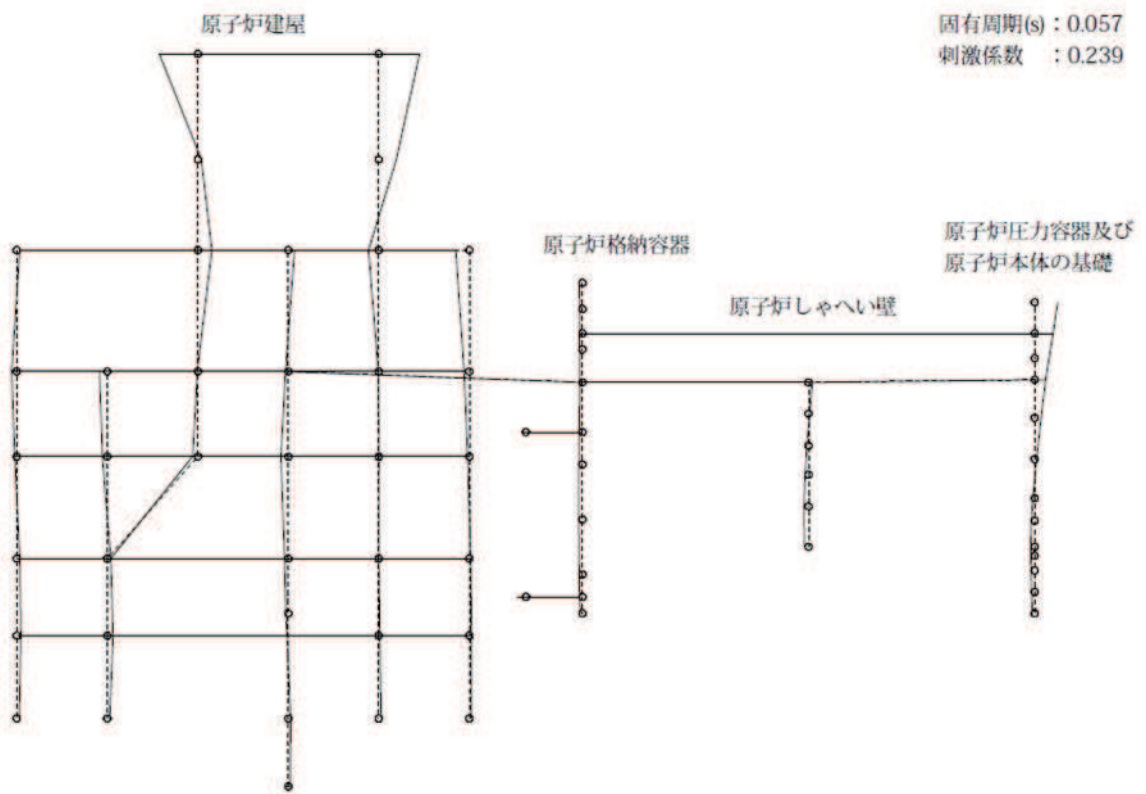


図 4-7(2) 17 次振動モード (EW 方向) (17/20)

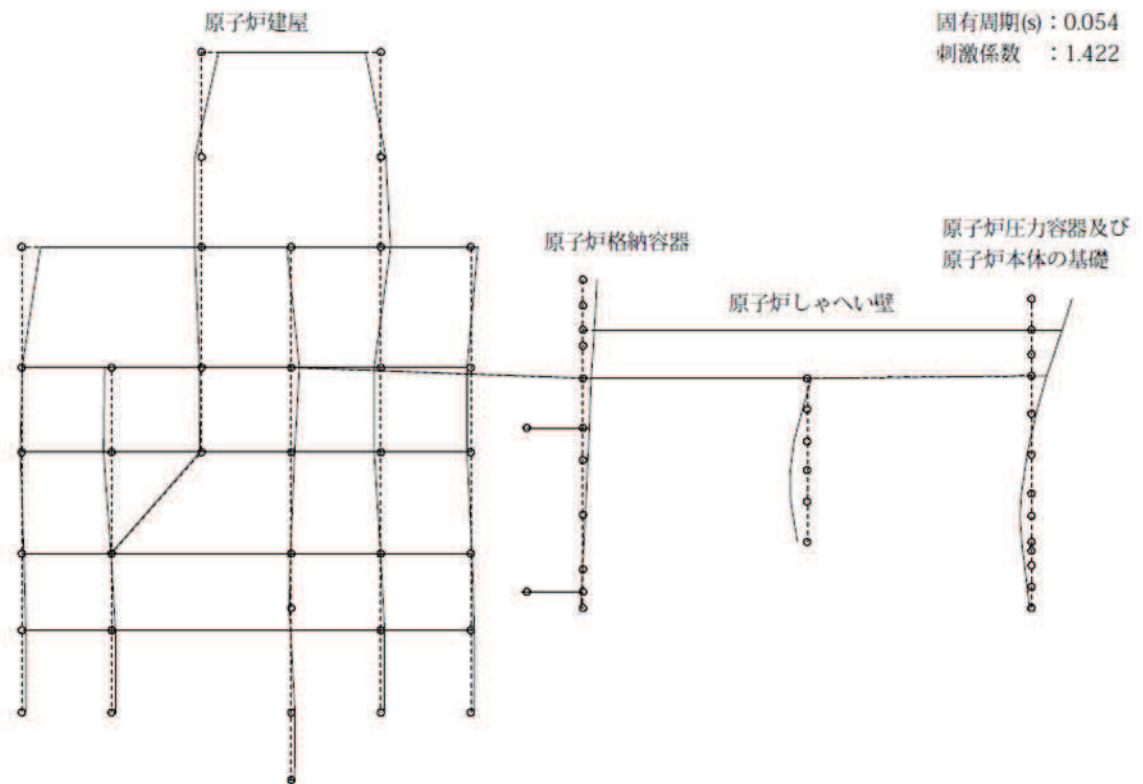


図 4-7(2) 18 次振動モード (EW 方向) (18/20)

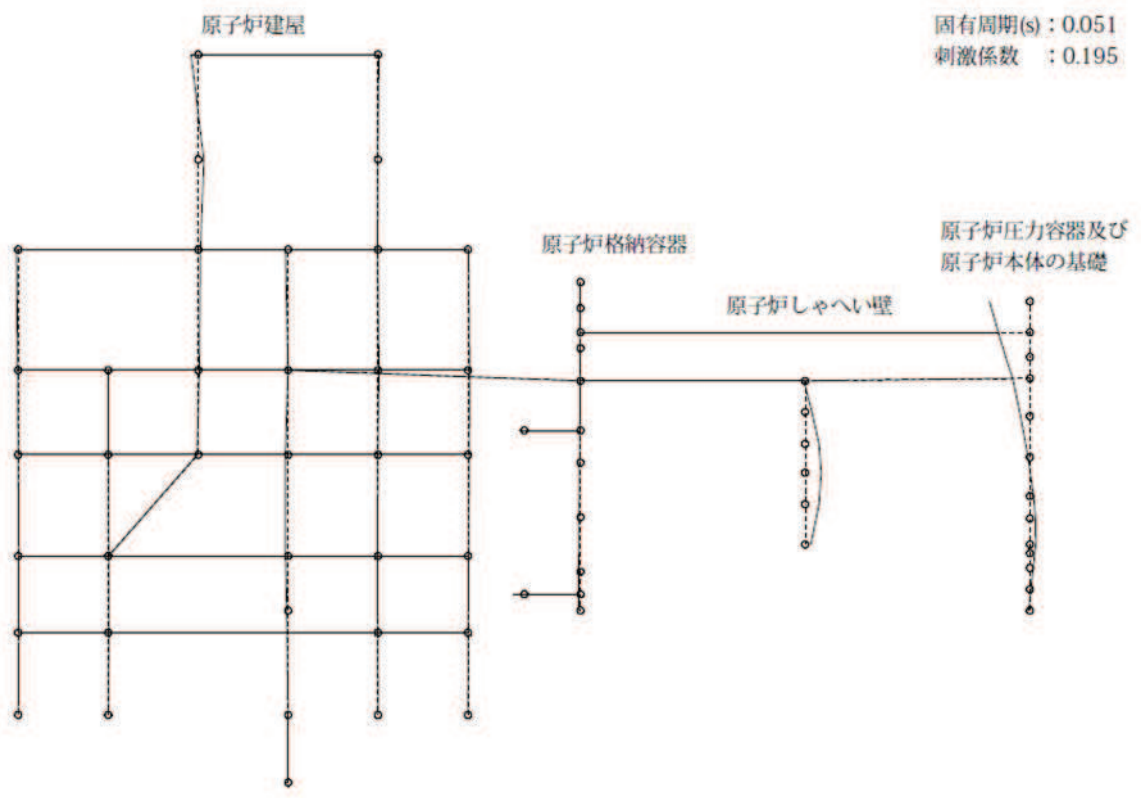


図 4-7(2) 19 次振動モード (EW 方向) (19/20)

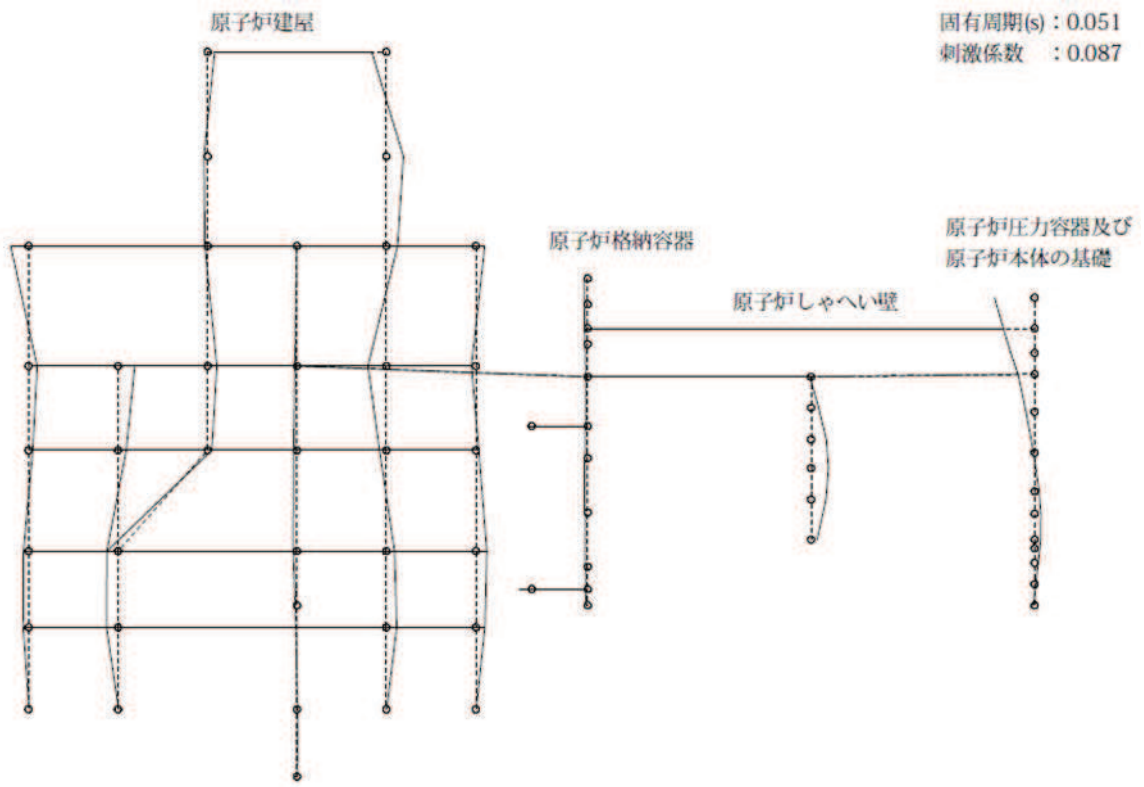


図 4-7(2) 20 次振動モード (EW 方向) (20/20)

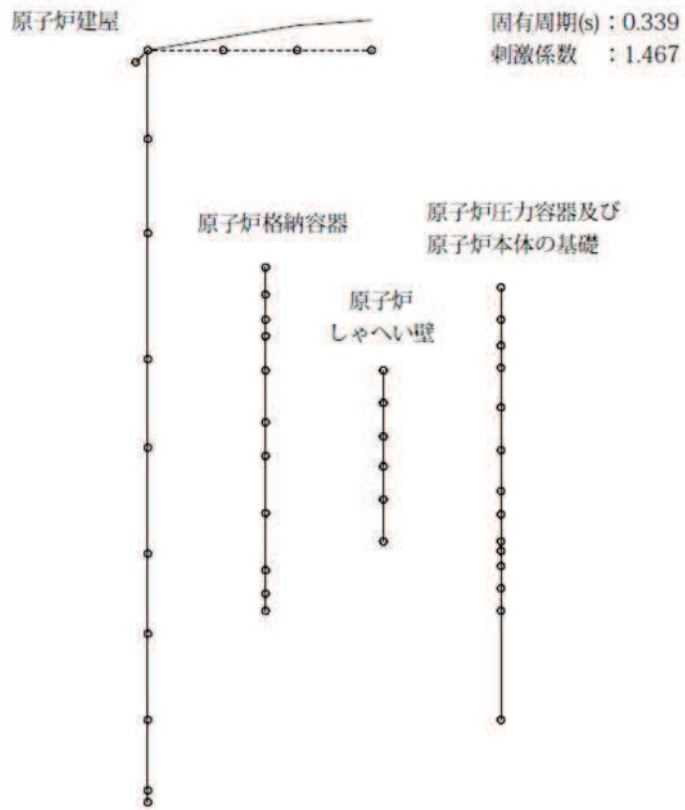


図 4-7(3) 1次振動モード(UD方向)(1/4)

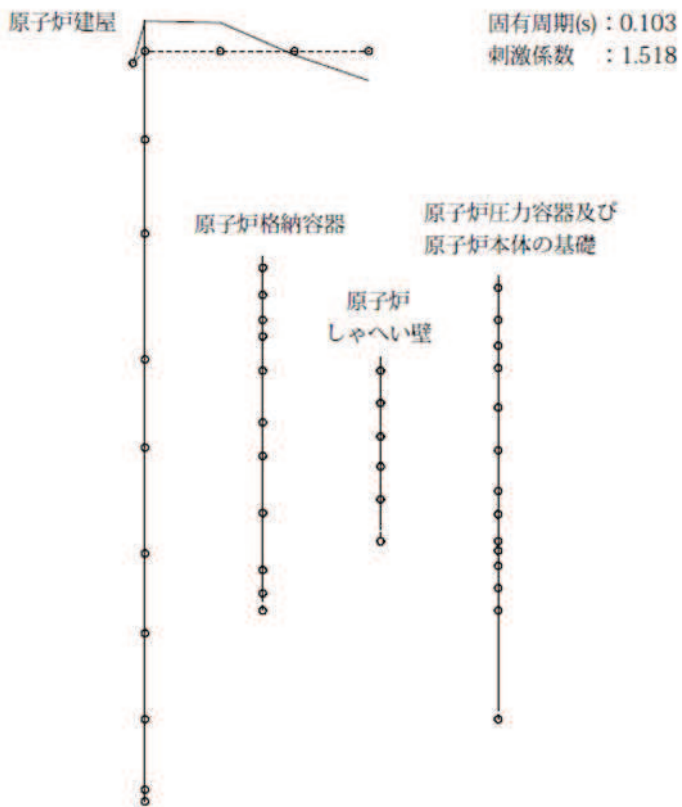


図 4-7(3) 2次振動モード(UD方向)(2/4)

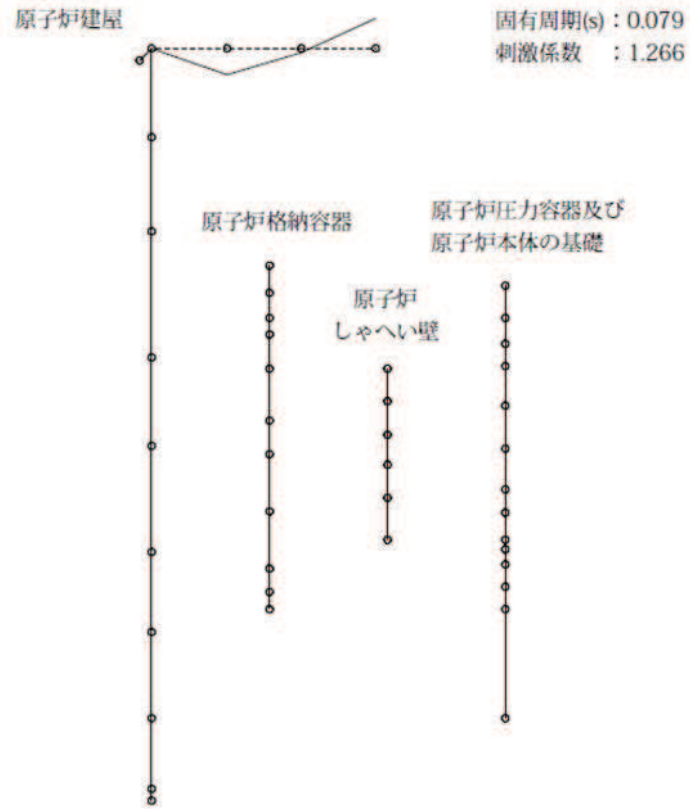


図 4-7(3) 3次振動モード(UD方向)(3/4)

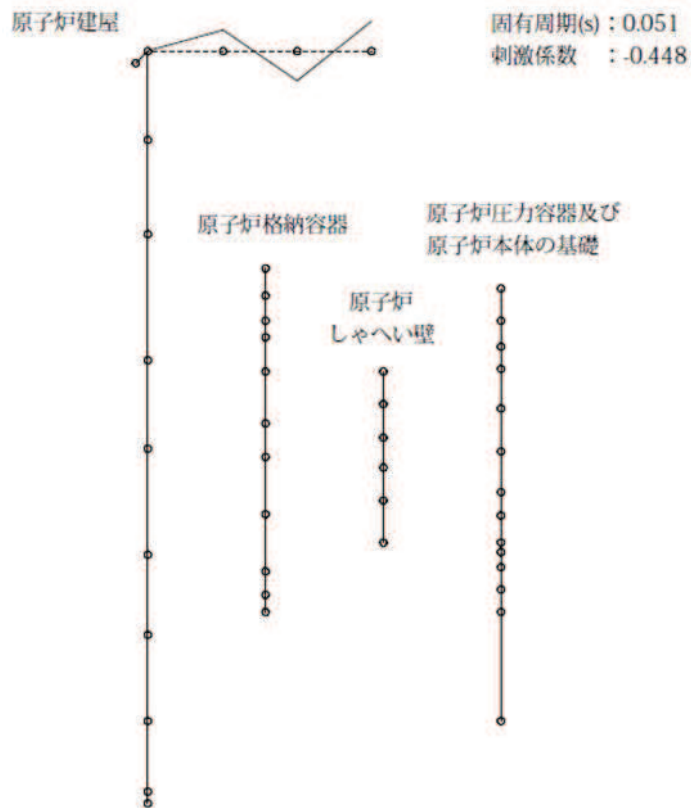


図 4-7(3) 4次振動モード(EW方向)(4/4)

表 4-10 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（基準地震動 S_s ，せん断力（NS/EW 包絡））（1/4）

構造物	標高 O.P. (m)	せん断力 (kN)		
		① SA 時環境考慮 連成モデル	② 大型機器系の 地震応答解析モデル	応答比率 (①/②)
原子炉压力容器		607	559	1.09
		2.45×10^3	2.22×10^3	1.11
		4.79×10^3	4.40×10^3	1.09
		3.46×10^3	3.69×10^3	0.94
		3.71×10^3	3.90×10^3	0.96
		6.69×10^3	6.74×10^3	1.00
		8.73×10^3	9.30×10^3	0.94
原子炉本体の基礎		1.09×10^4	1.15×10^4	0.95
		3.02×10^4	3.06×10^4	0.99
		3.28×10^4	3.33×10^4	0.99
		3.52×10^4	3.64×10^4	0.97
原子炉しゃへい壁		3.76×10^4	3.93×10^4	0.96
		7.38×10^3	7.41×10^3	1.00
		7.37×10^3	7.84×10^3	0.95
		8.85×10^3	1.02×10^4	0.87
		1.19×10^4	1.35×10^4	0.89
原子炉格納容器		1.70×10^4	1.75×10^4	0.98
		336	312	1.08
		654	609	1.08
		3.74×10^3	3.46×10^3	1.09
		4.44×10^3	4.17×10^3	1.07
		3.13×10^4	3.45×10^4	0.91
		3.25×10^4	3.57×10^4	0.92
		3.34×10^4	3.65×10^4	0.92
		3.49×10^4	3.79×10^4	0.93
3.56×10^4	3.85×10^4	0.93		
	3.69×10^4	3.99×10^4	0.93	

表 4-10 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（基準地震動 S_s ，モーメント（NS/EW 包絡））（2/4）

構造物	標高 O. P. (m)	モーメント (kN・mm)		
		① SA 時環境考慮 連成モデル	② 大型機器系の 地震応答解析モデル	応答比率 (①/②)
原子炉压力容器		0	0	-
		1.67×10^6	1.54×10^6	1.09
		6.96×10^6	6.38×10^6	1.10
		1.59×10^7	1.48×10^7	1.08
		2.01×10^7	1.97×10^7	1.03
		3.31×10^7	3.26×10^7	1.02
		5.14×10^7	5.21×10^7	0.99
		6.23×10^7	6.59×10^7	0.95
		8.26×10^7	8.91×10^7	0.93
原子炉本体の基礎		2.01×10^8	2.34×10^8	0.86
		2.21×10^8	2.57×10^8	0.86
		2.57×10^8	2.96×10^8	0.87
		3.19×10^8	3.60×10^8	0.89
		3.87×10^8	4.28×10^8	0.91
原子炉しゃへい壁		0	0	-
		2.04×10^7	2.05×10^7	1.00
		3.74×10^7	4.16×10^7	0.90
		5.91×10^7	6.37×10^7	0.93
		8.46×10^7	9.11×10^7	0.93
		1.25×10^8	1.45×10^8	0.87
原子炉格納容器		0	0	-
		7.75×10^5	7.20×10^5	1.08
		2.17×10^6	2.02×10^6	1.08
		6.97×10^6	6.57×10^6	1.07
		1.98×10^7	1.87×10^7	1.06
		1.49×10^8	1.64×10^8	0.91
		2.41×10^8	2.65×10^8	0.91
		4.02×10^8	4.42×10^8	0.91
		5.71×10^8	6.25×10^8	0.92
		6.42×10^8	7.02×10^8	0.92
6.95×10^8	7.59×10^8	0.92		

表 4-10 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（基準地震動 S_s ，軸力）（3/4）

構造物	標高 O.P. (m)	軸力 (kN)		
		① SA 時環境考慮 連成モデル	② 大型機器系の 地震応答解析モデル	応答比率 (①/②)
原子炉圧力容器		213	204	1.05
		1.55×10^3	1.49×10^3	1.05
		2.69×10^3	2.58×10^3	1.05
		3.44×10^3	3.30×10^3	1.05
		4.43×10^3	4.25×10^3	1.05
		5.31×10^3	5.10×10^3	1.05
		6.19×10^3	5.96×10^3	1.04
		1.26×10^4	1.23×10^4	1.03
原子炉本体の基礎		3.45×10^4	3.38×10^4	1.03
		3.65×10^4	3.57×10^4	1.03
		3.85×10^4	3.76×10^4	1.03
		4.01×10^4	3.92×10^4	1.03
原子炉しゃへい壁		2.67×10^3	2.64×10^3	1.02
		6.01×10^3	5.92×10^3	1.02
		1.17×10^4	1.16×10^4	1.01
		1.59×10^4	1.57×10^4	1.02
		2.02×10^4	1.98×10^4	1.03
原子炉格納容器		134	143	0.94
		266	285	0.94
		1.03×10^3	1.10×10^3	0.94
		1.45×10^3	1.55×10^3	0.94
		2.79×10^3	2.97×10^3	0.94
		3.79×10^3	4.01×10^3	0.95
		4.51×10^3	4.77×10^3	0.95
		5.76×10^3	6.10×10^3	0.95
		6.30×10^3	6.69×10^3	0.95
7.53×10^3	7.99×10^3	0.95		

表 4-10 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（基準地震動 S_s ，ばね反力（NS/EW 包絡））（4/4）

名称	ばね反力 (kN)		
	① SA 時環境考慮連成モデル	② 大型機器系の地震応答解析モデル	応答比率 (①/②)
原子炉圧力容器スタビライザ	8.53×10^3	8.25×10^3	1.04
原子炉格納容器スタビライザ	1.58×10^4	1.58×10^4	1.00
原子炉格納容器シヤラグ	3.19×10^4	3.41×10^4	0.94
ベント管	2.12×10^3	2.06×10^3	1.03
燃料交換ベローズ	1.96×10^3	1.71×10^3	1.15
所員用エアロック	295	304	0.98

表 4-11 最大応答加速度（基準地震動 S_s , 1.2ZPA）の比較（水平方向（NS/EW 包絡））
 (1/2)

構造物	標高 O.P. (m)	最大応答加速度(1.2ZPA)		
		① S A時環境考慮 連成モデル	②大型機器系の 地震応答解析モデル	応答比率 (①/②)
原子炉压力容器		4.34	4.03	1.08
		3.81	3.35	1.14
		3.38	3.04	1.12
		3.00	2.78	1.08
		2.48	2.42	1.03
		2.02	2.07	0.98
		1.93	1.98	0.98
		1.89	1.88	1.01
原子炉本体 の基礎		1.70	1.64	1.04
		1.66	1.60	1.04
		1.53	1.59	0.97
		1.42	1.43	1.00
		1.32	1.38	0.96
原子炉遮蔽壁		2.41	2.33	1.04
		2.08	2.05	1.02
		1.96	1.99	0.99
		1.96	1.89	1.04
		1.88	1.82	1.04
原子炉格納容器		2.75	2.56	1.08
		2.59	2.43	1.07
		2.44	2.30	1.07
		2.33	2.21	1.06
		2.09	2.01	1.04
		1.63	1.64	1.00
		1.41	1.40	1.01
		1.29	1.26	1.03
		1.21	1.30	0.94
		1.27	1.35	0.95
所員用 エアロック		1.72	1.77	0.98
ベント管		2.30	2.20	1.05

表 4-11 最大応答加速度（基準地震動 S_s , 1.2ZPA）の比較（鉛直方向）（2/2）

構造物	標高 O.P. (m)	最大応答加速度(1.2ZPA)		
		① S A時環境考慮 連成モデル	②大型機器系の 地震応答解析モデル	応答比率 (①/②)
原子炉压力容器		1.53	1.44	1.07
		1.53	1.44	1.07
		1.51	1.43	1.06
		1.49	1.41	1.06
		1.43	1.36	1.06
		1.36	1.31	1.04
		1.28	1.26	1.02
		1.24	1.22	1.02
原子炉本体 の基礎		0.98	0.95	1.04
		0.93	0.91	1.03
		0.82	0.83	0.99
		0.73	0.76	0.97
		0.67	0.70	0.96
原子炉遮蔽壁		1.94	1.93	1.01
		1.89	1.89	1.00
		1.78	1.78	1.00
		1.60	1.59	1.01
		1.34	1.33	1.01
原子炉格納容器		1.12	1.18	0.95
		1.11	1.16	0.96
		1.10	1.14	0.97
		1.08	1.13	0.96
		1.04	1.09	0.96
		0.97	1.02	0.96
		0.92	0.97	0.95
		0.84	0.89	0.95
		0.76	0.80	0.95
0.72	0.75	0.96		

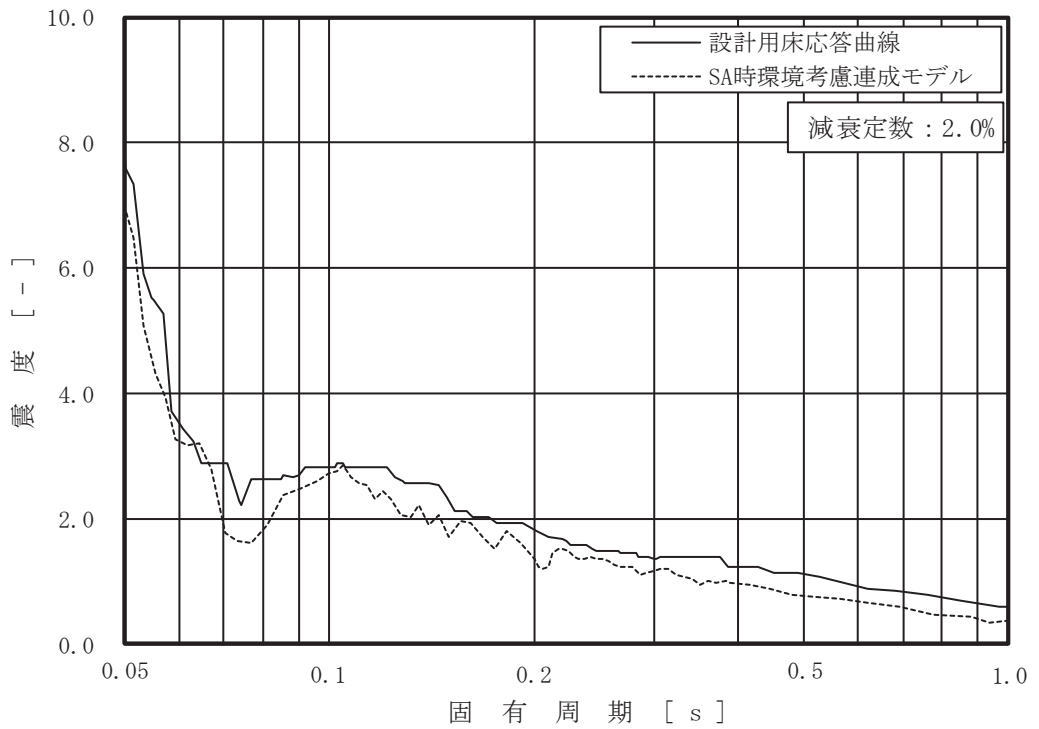
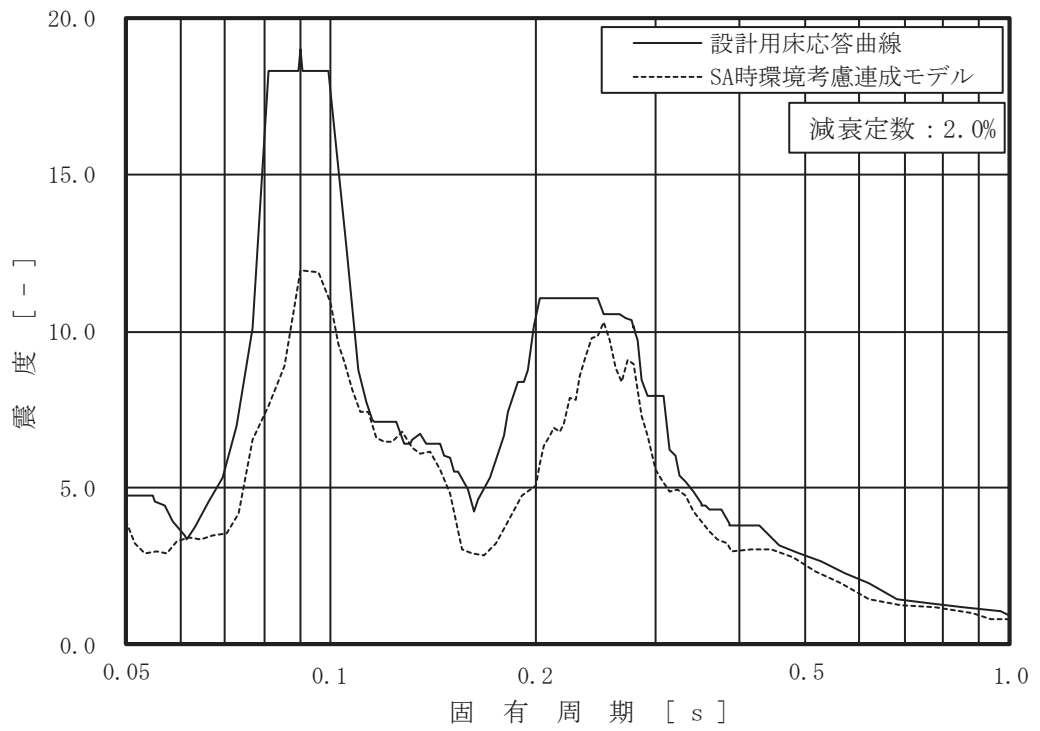


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (1/15)
 (原子炉しゃへい壁, O.P. m, 基準地震動 S_s , 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

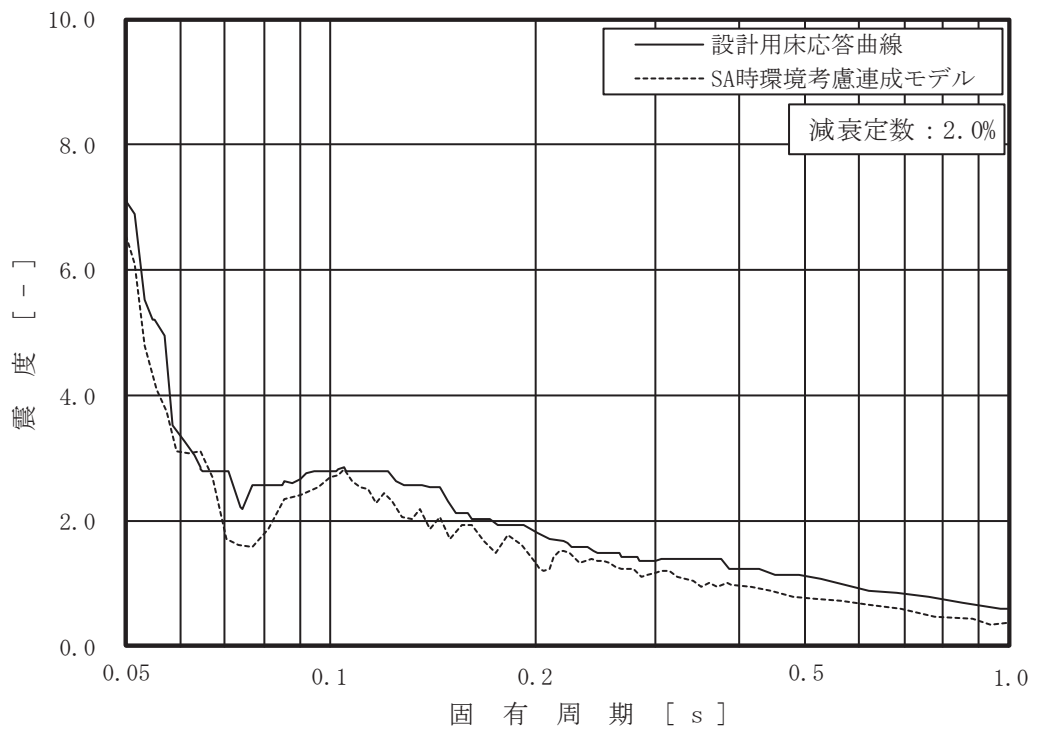
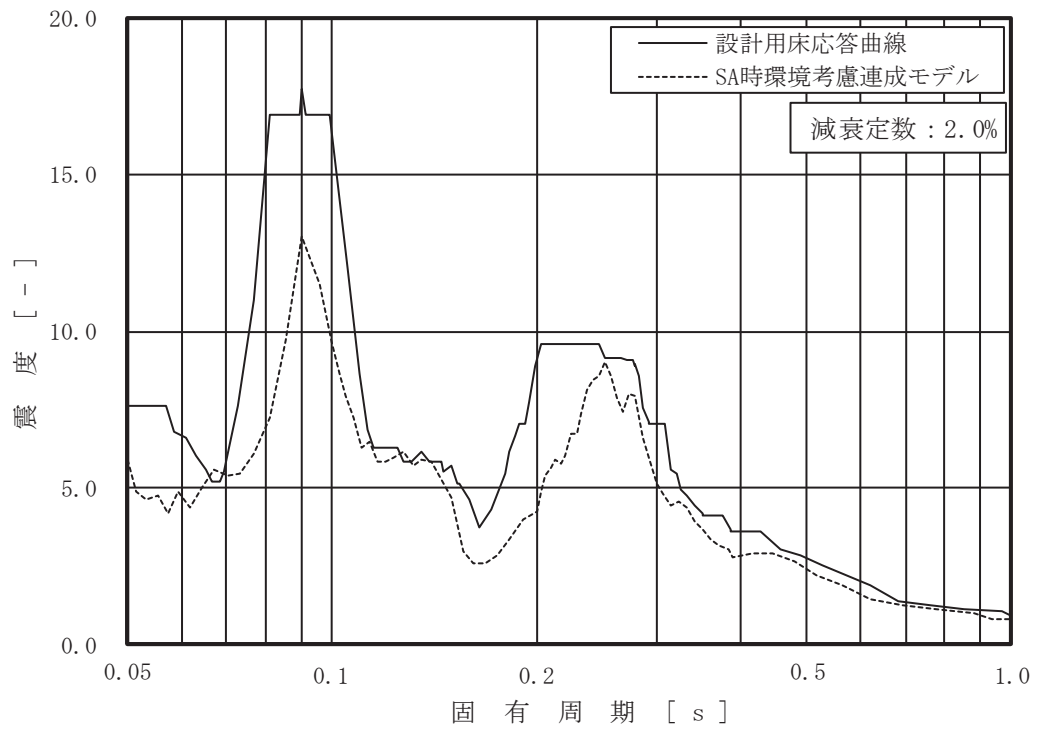


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (2/15)
 (原子炉しゃへい壁, O.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

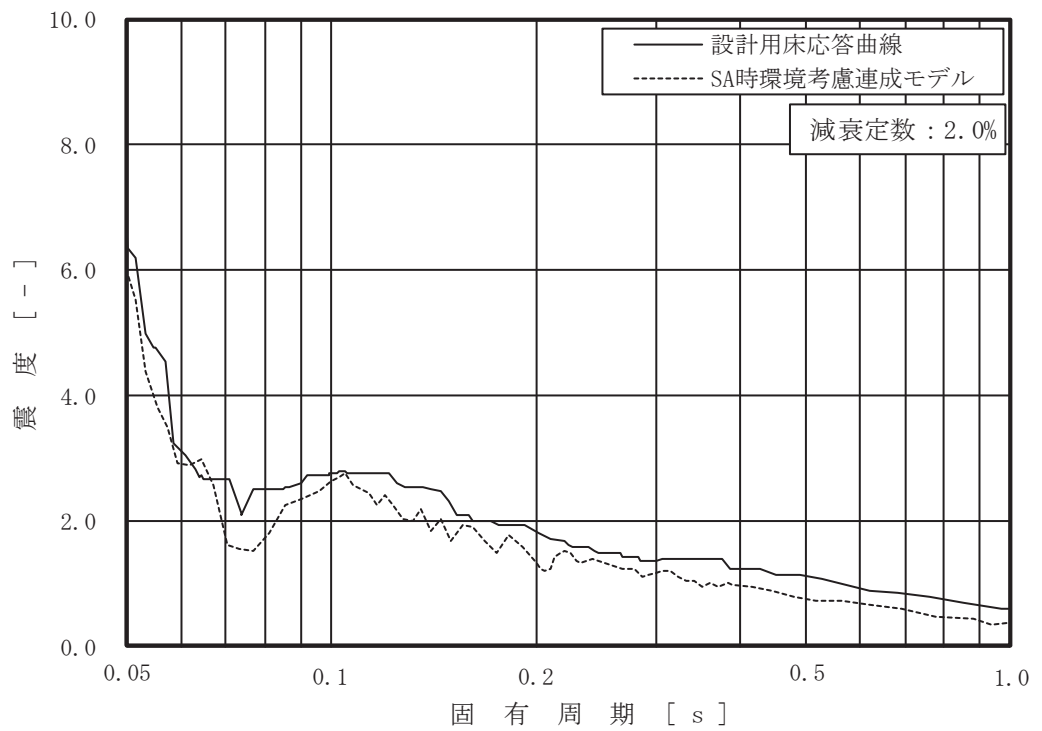
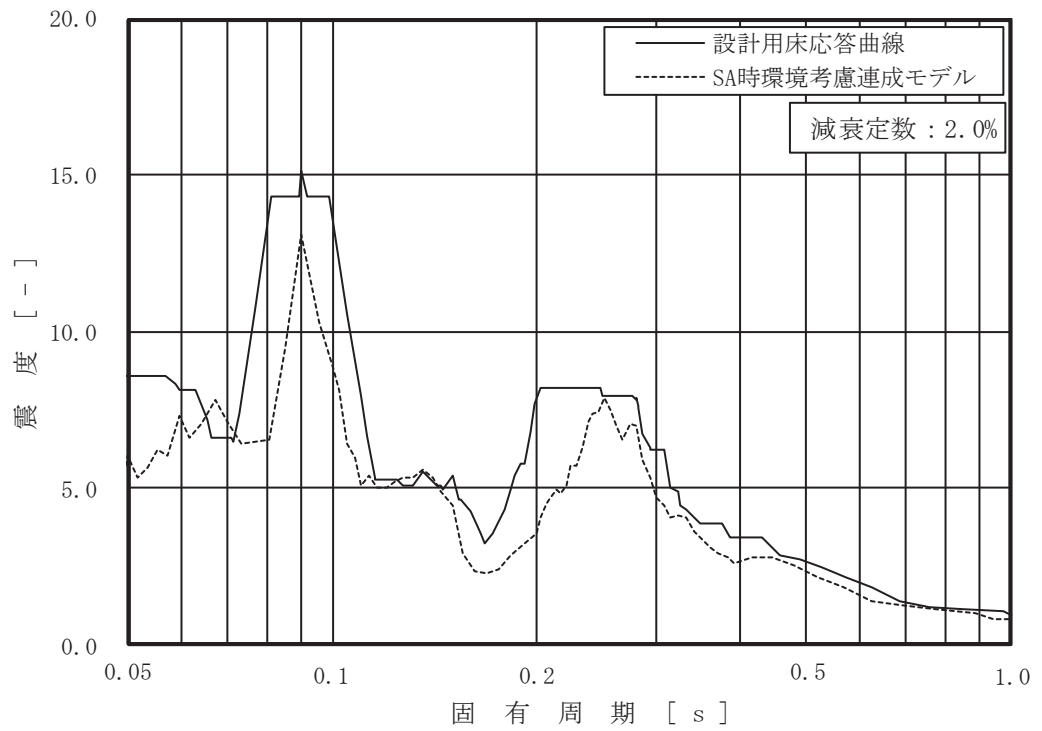


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (3/15)
 (原子炉しゃへい壁, 0.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

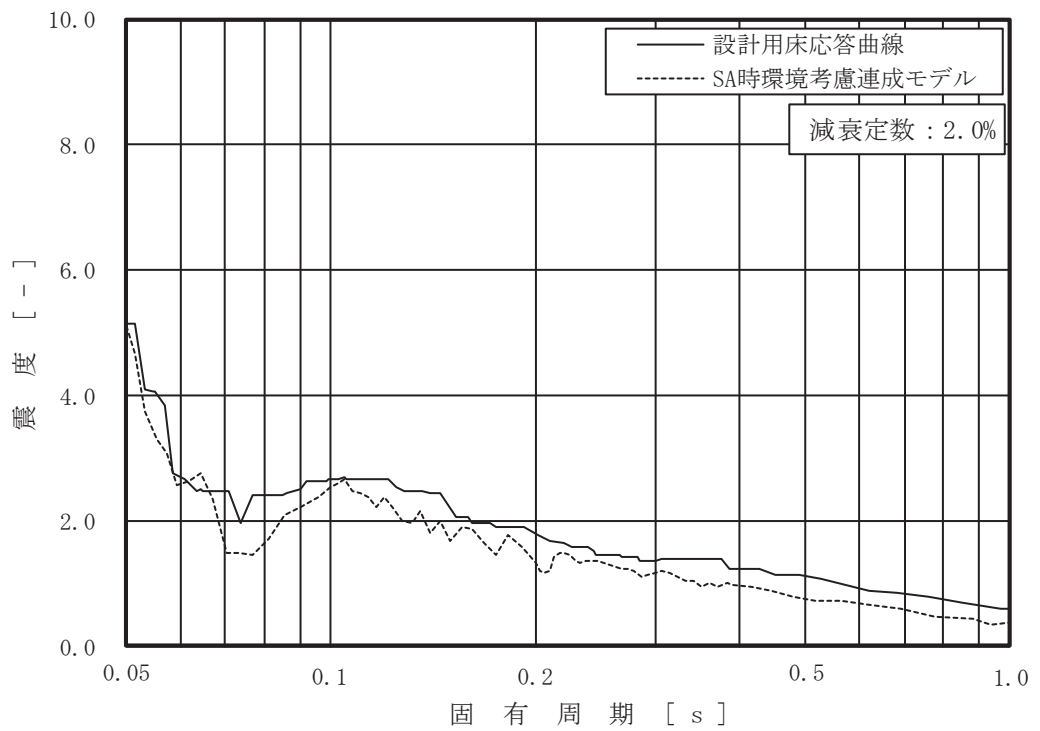
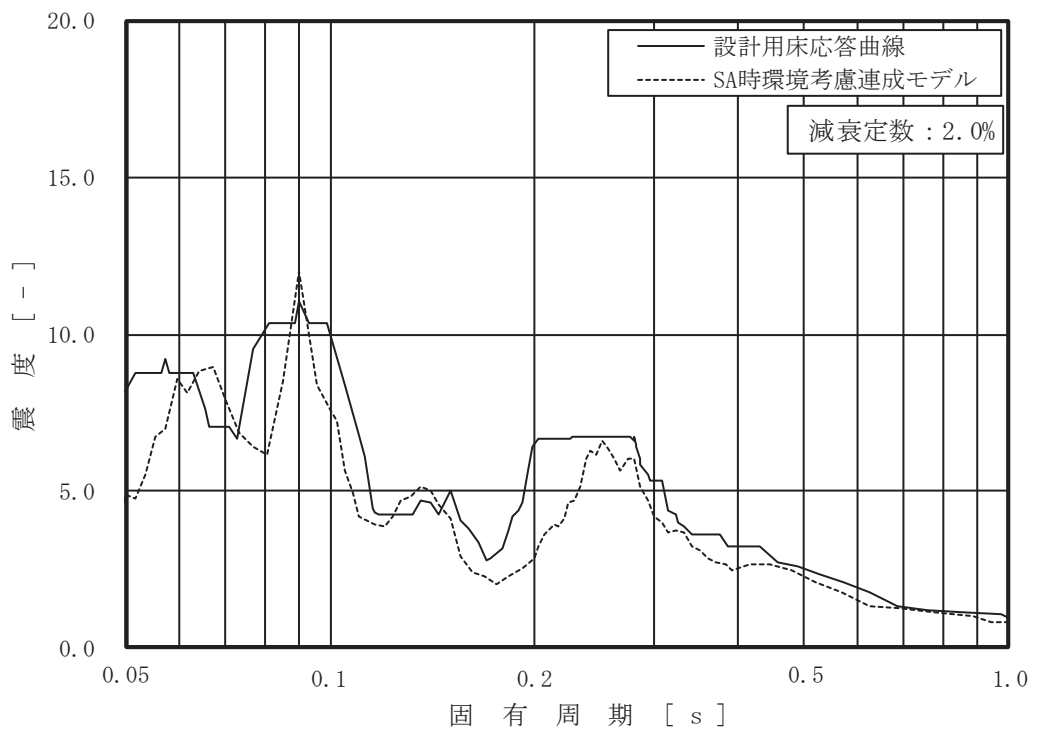


図 4-8 床応答スペクトルの比較(4/15)
 (原子炉しゃへい壁, O.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

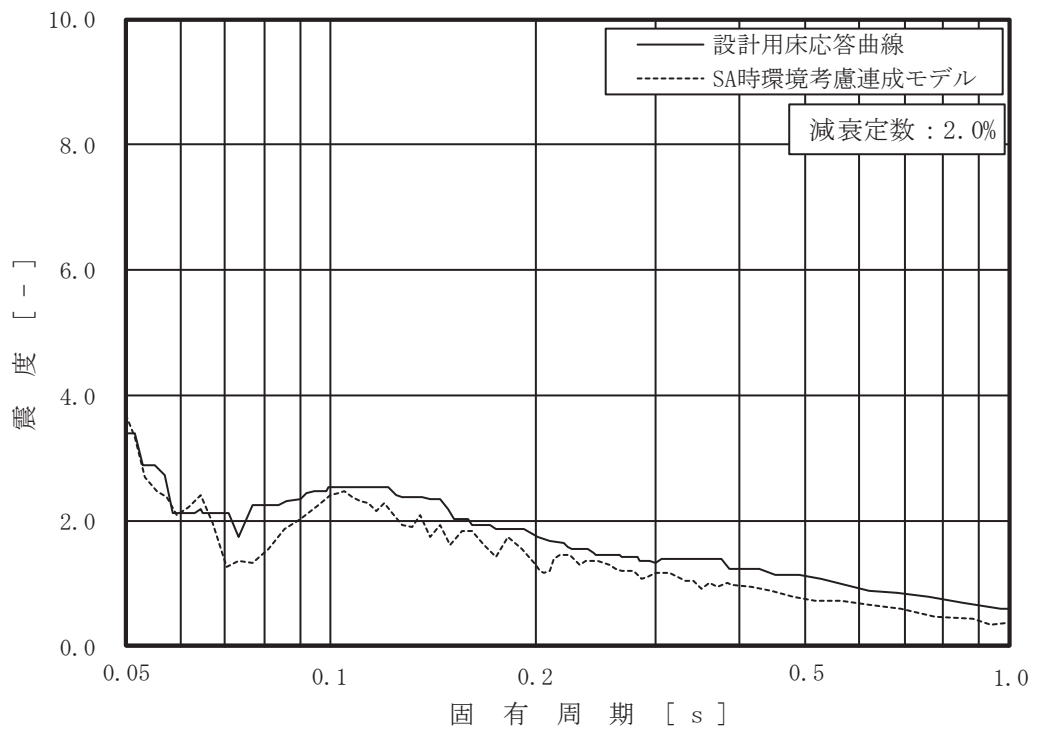
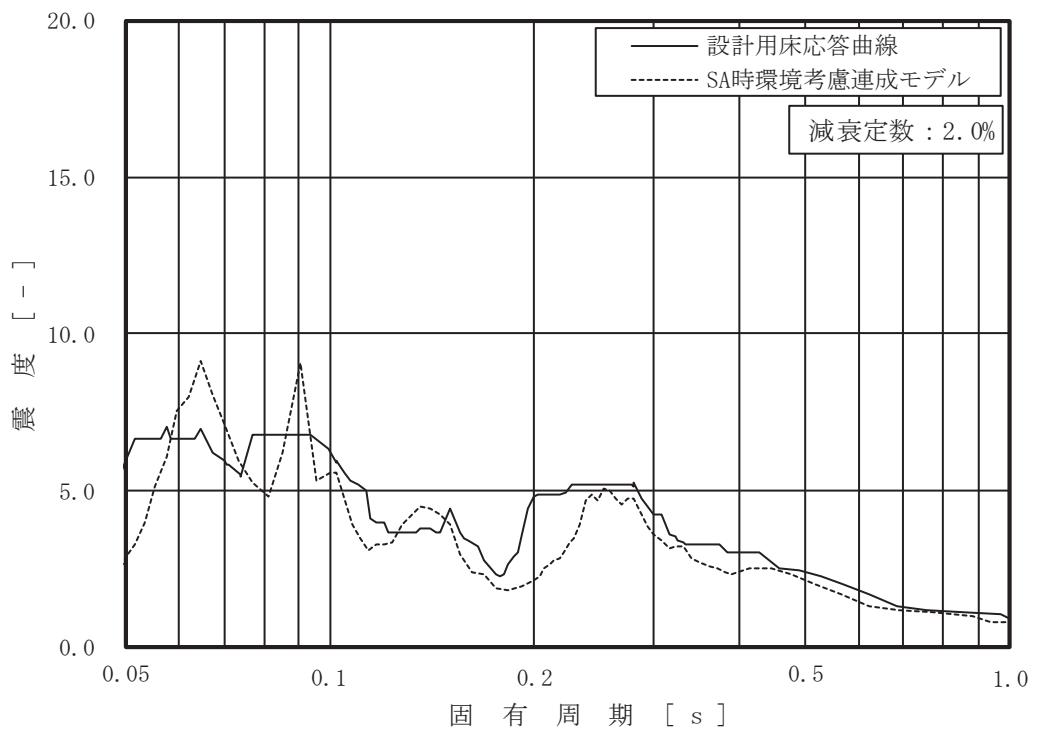


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (5/15)
 (原子炉本体の基礎, 0.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

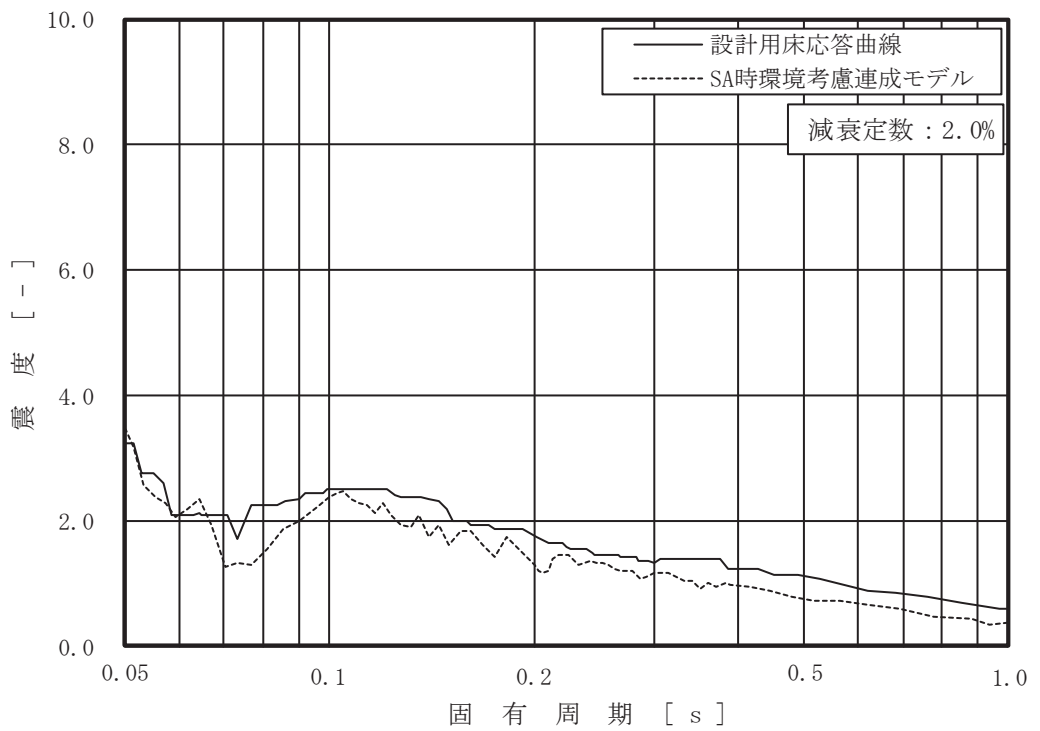
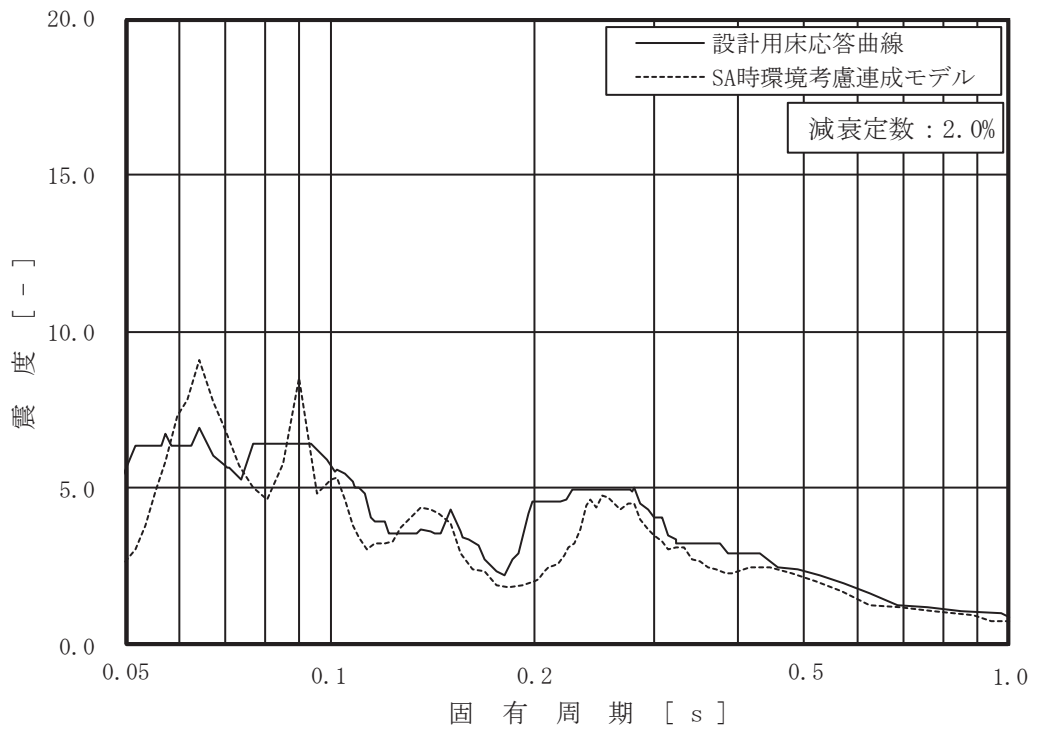


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (6/15)
 (原子炉本体の基礎, 0.P. m, 基準地震動 S_s , 減衰 2.0%,
 上 : 水平 (NS/EW 包絡), 下 : 鉛直)

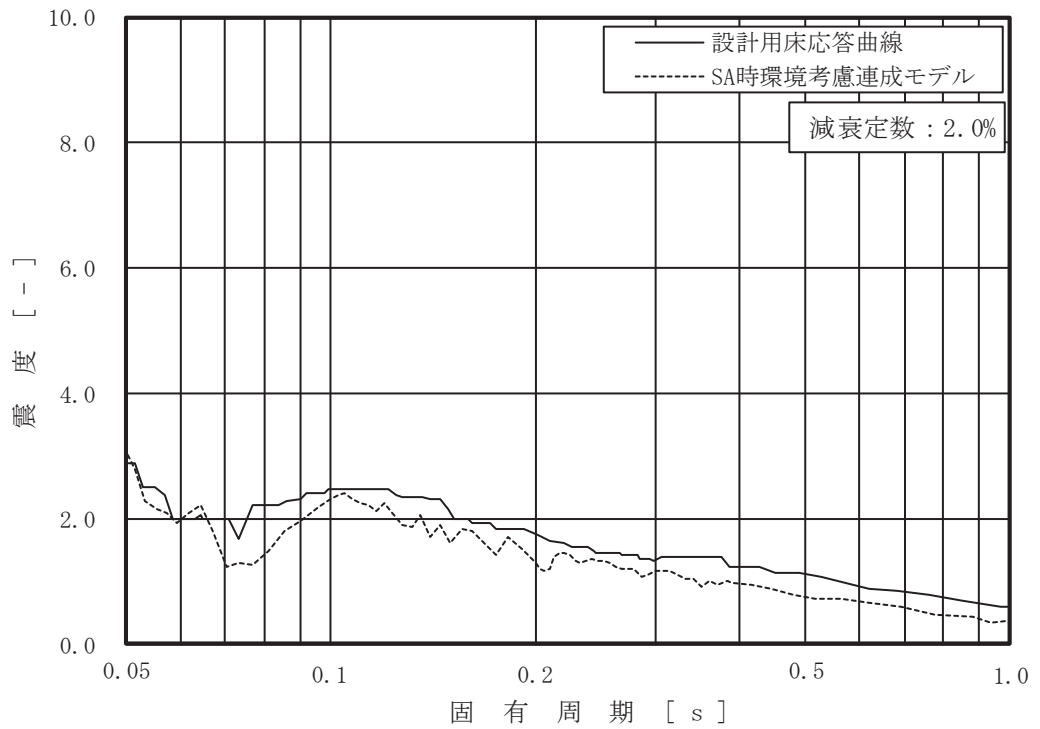
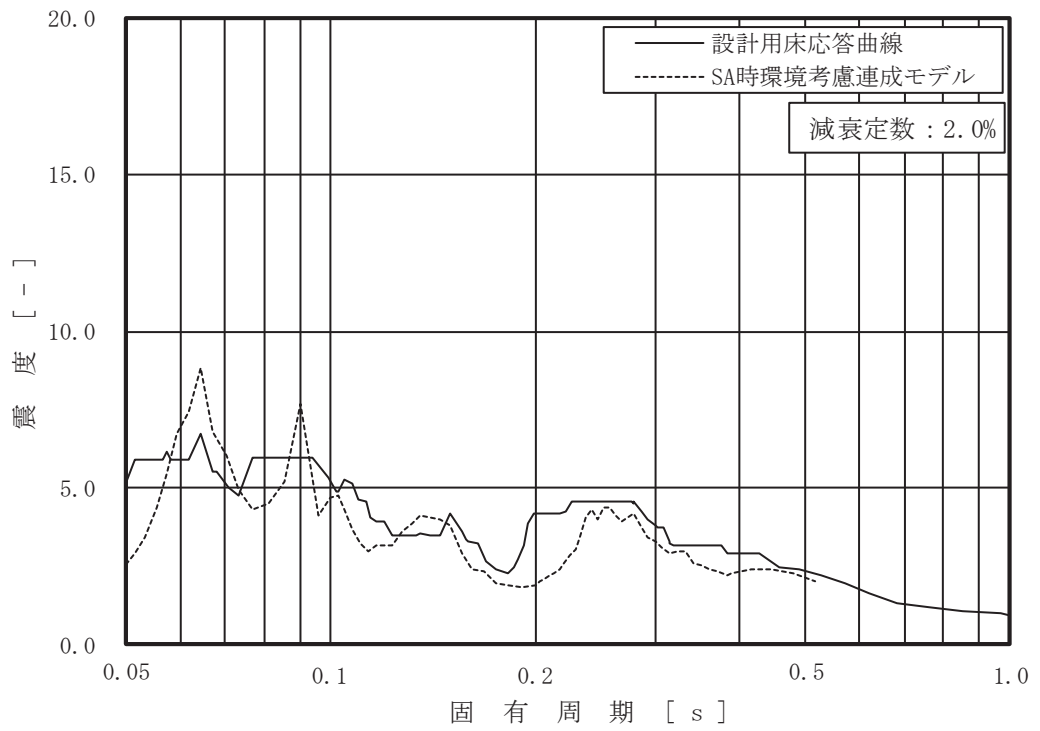


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (7/15)
 (原子炉本体の基礎, 0.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

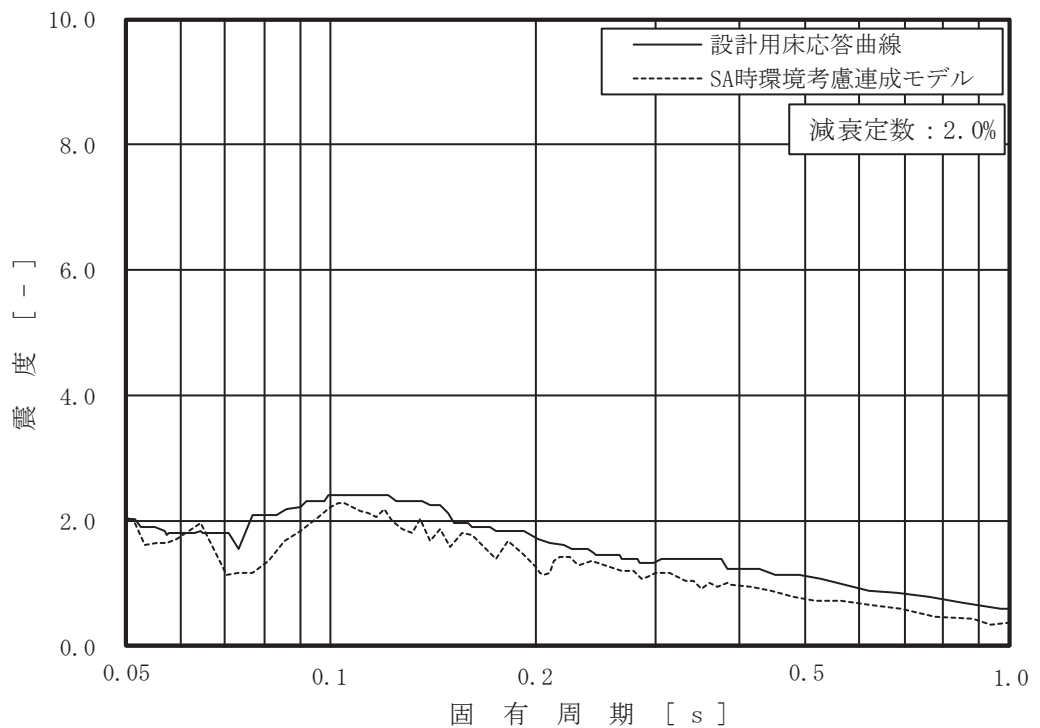
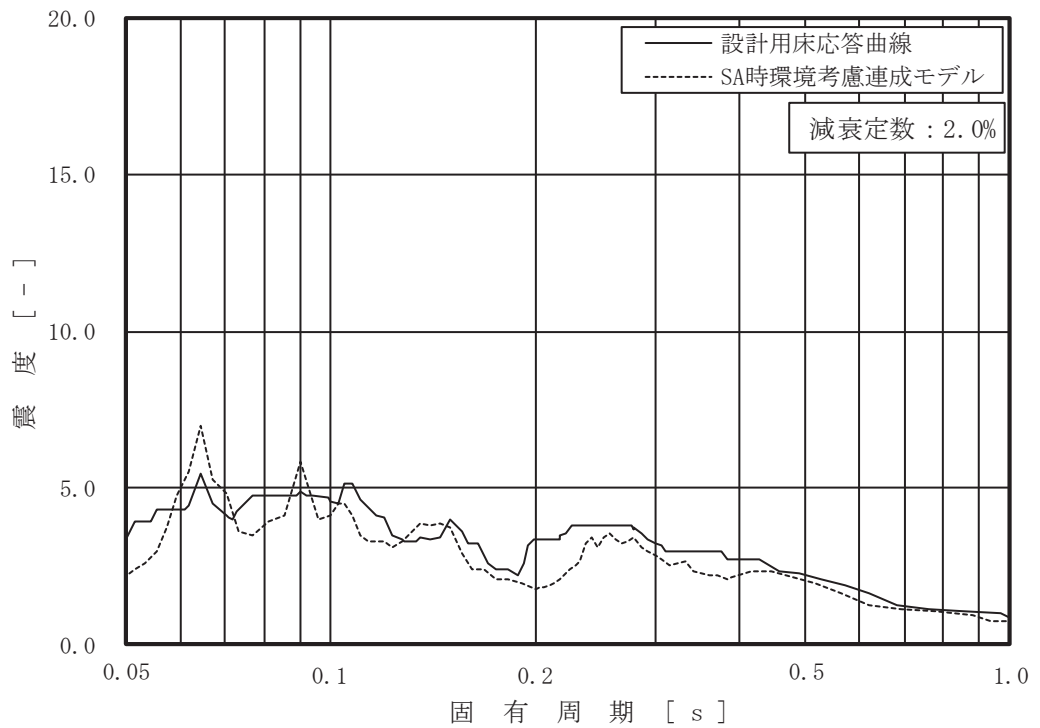


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (8/15)
 (原子炉本体の基礎, 0.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上 : 水平 (NS/EW 包絡), 下 : 鉛直)

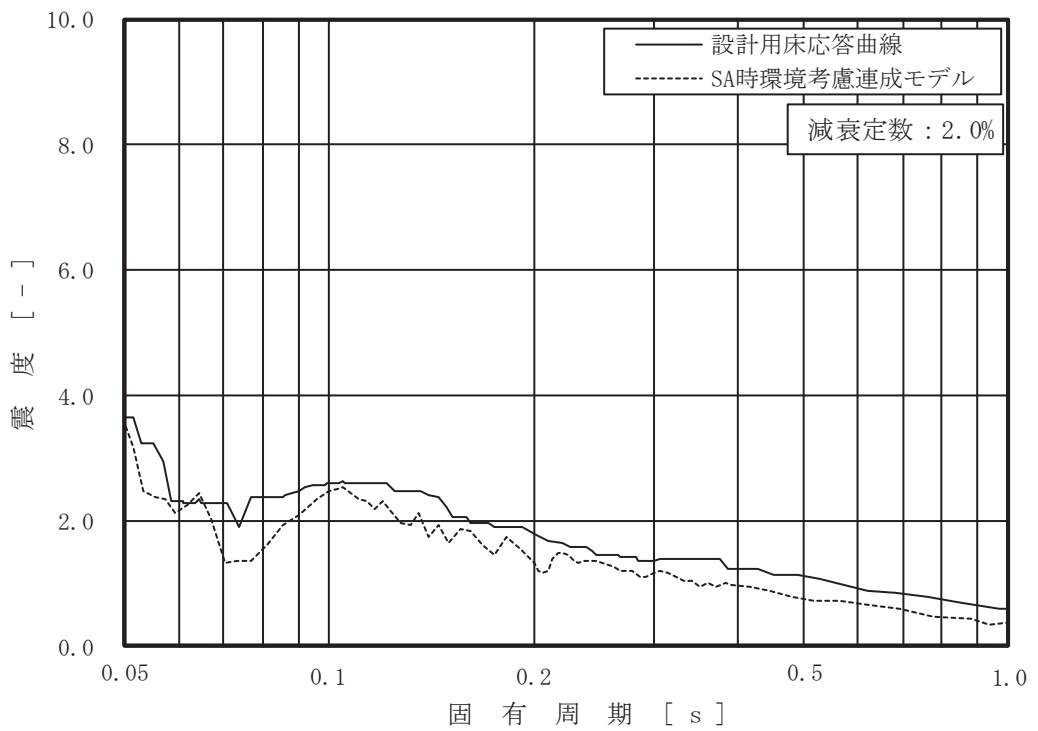
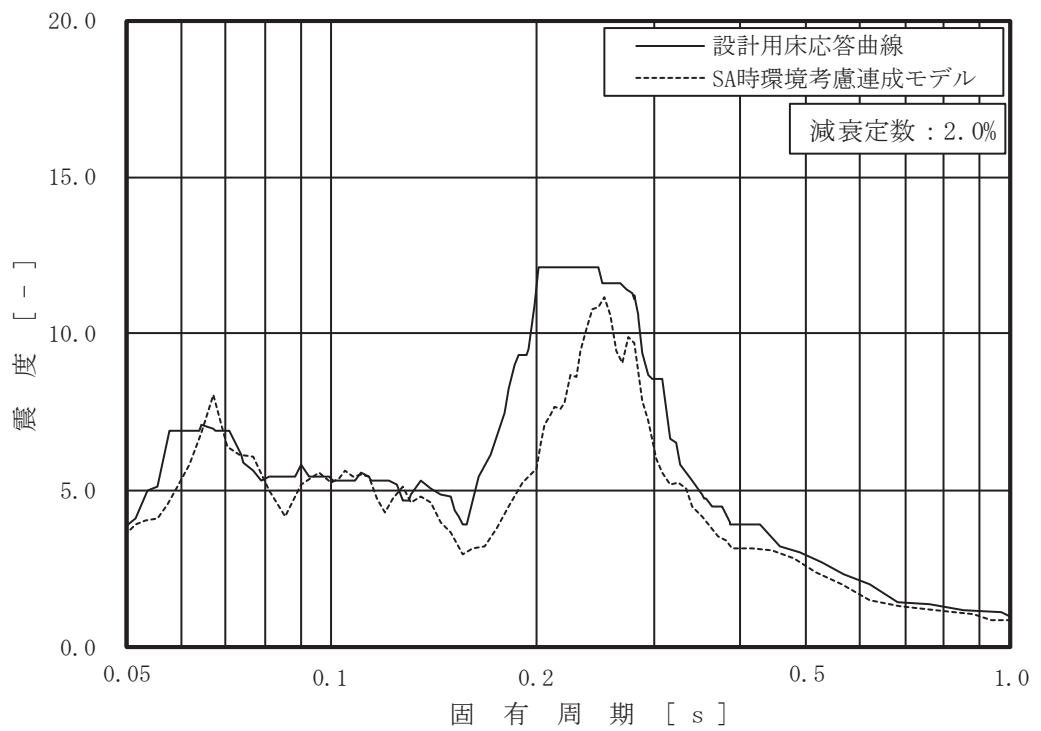


図 4-8 床応答スペクトルの比較(9/15)
 (原子炉格納容器, 0.P. m, 基準地震動 S_s , 減衰 2.0%,
 上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

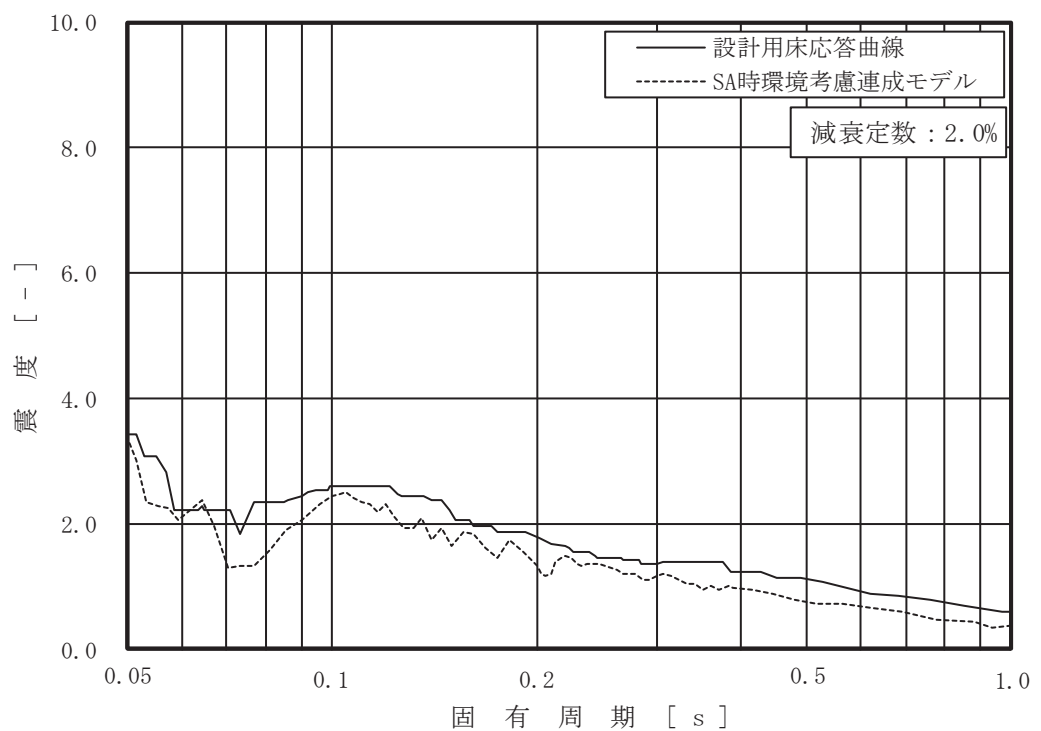
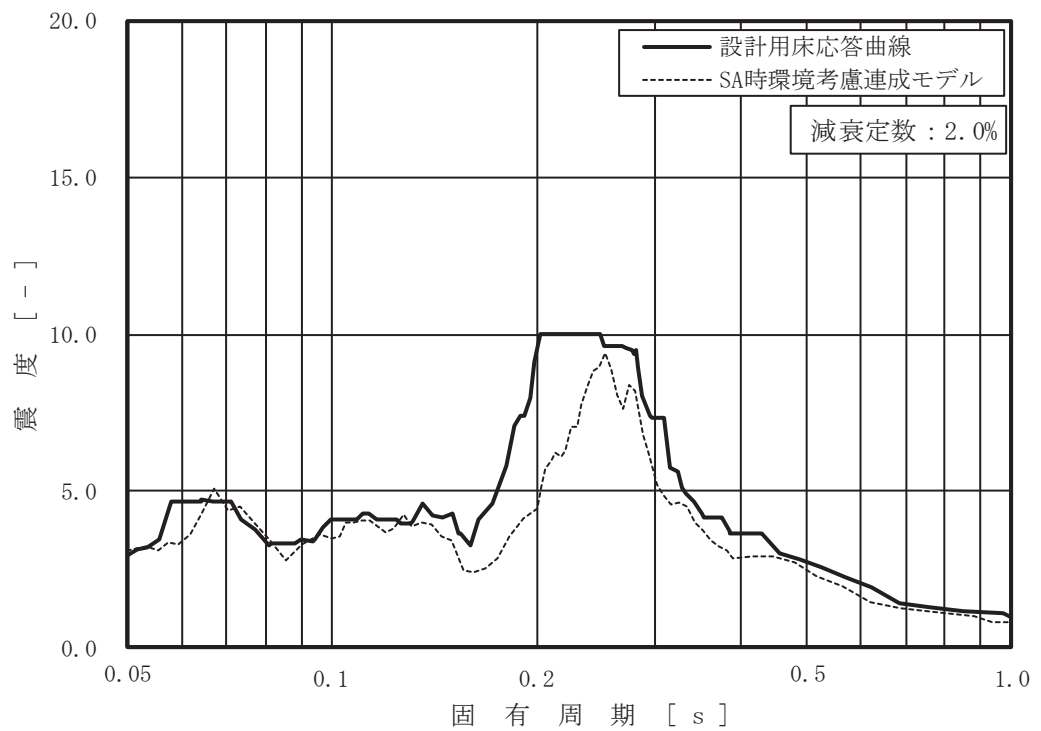


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (10/15)

(原子炉格納容器, 0.P. m, 基準地震動 S_s , 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

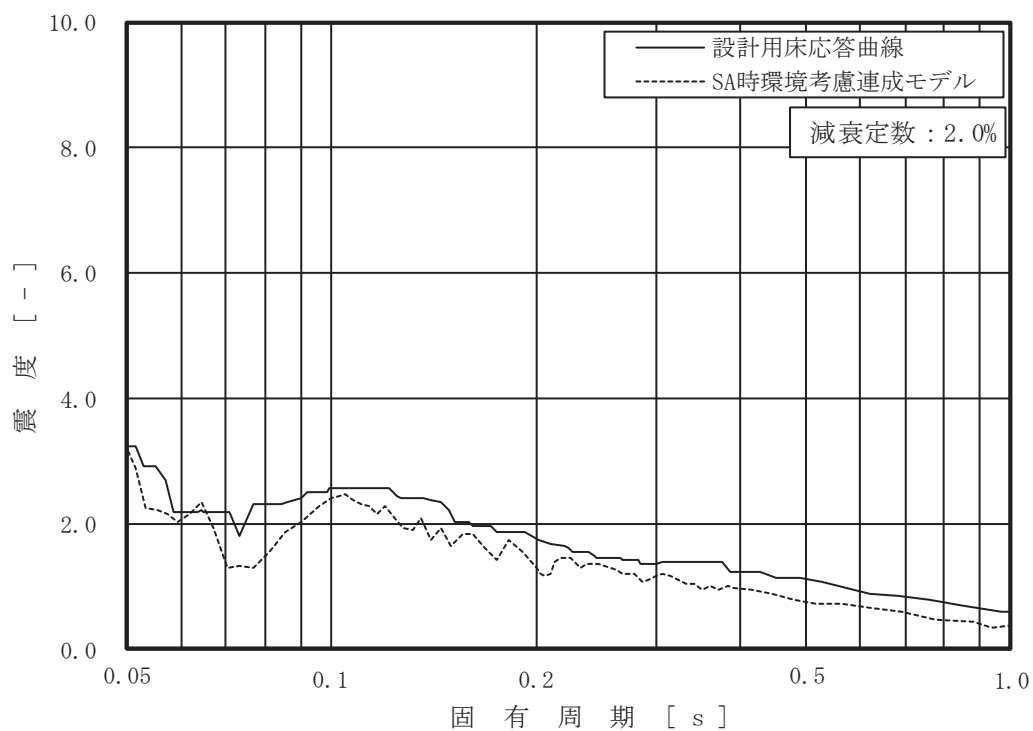
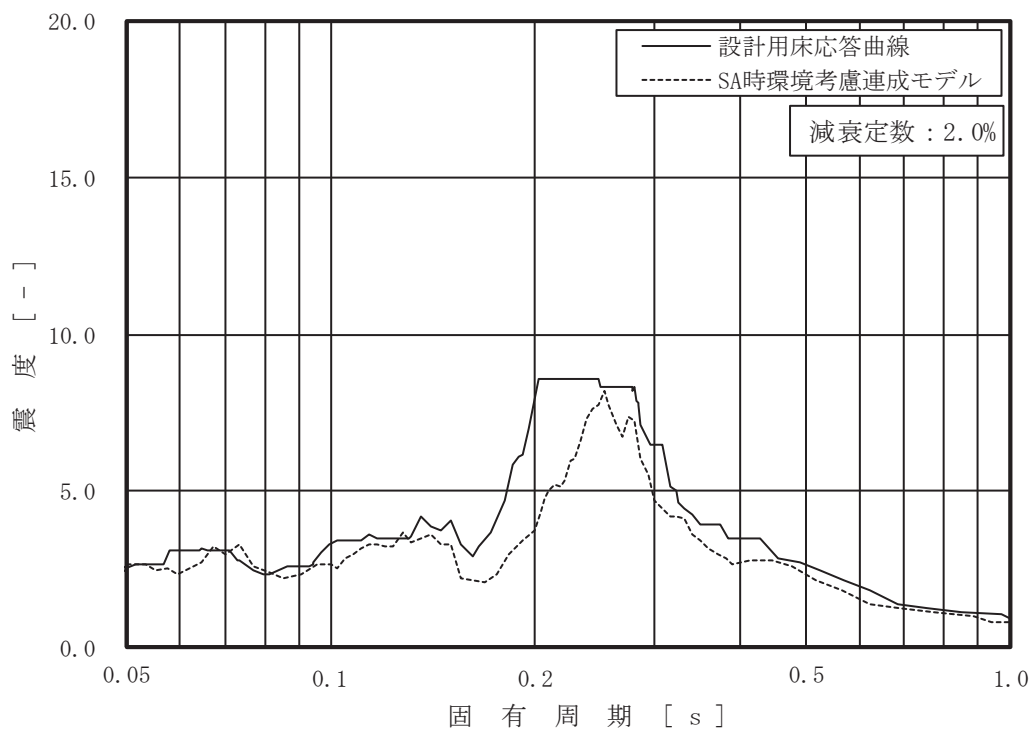


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (11/15)

(原子炉格納容器, 0.P. m, 基準地震動 S_s , 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

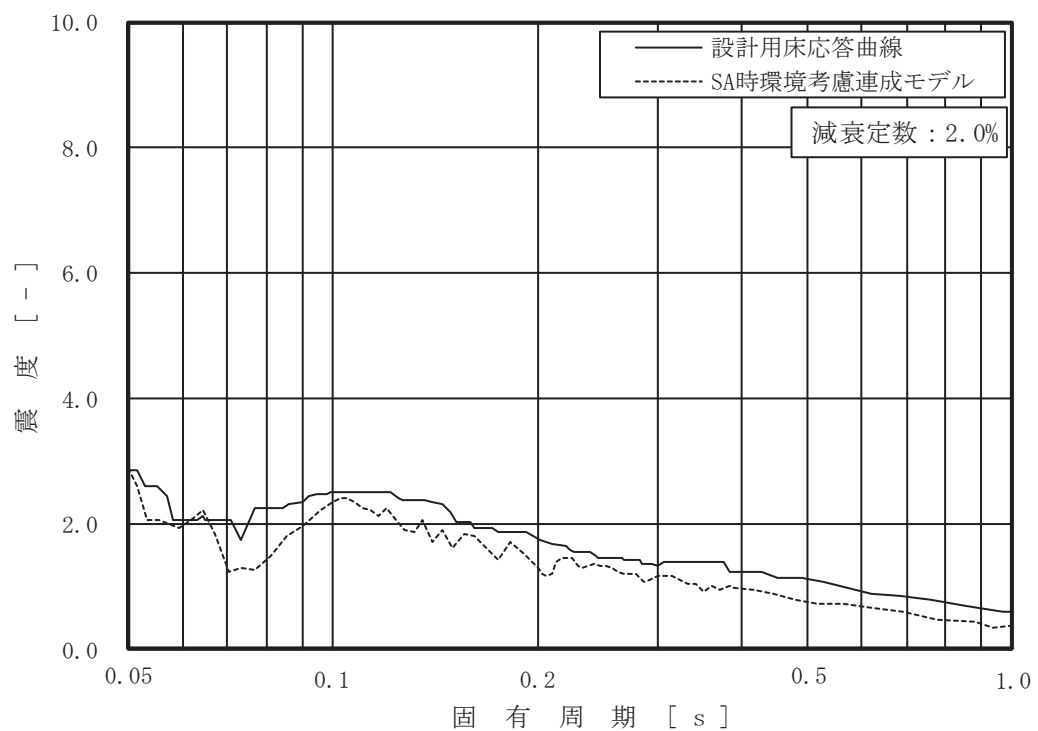
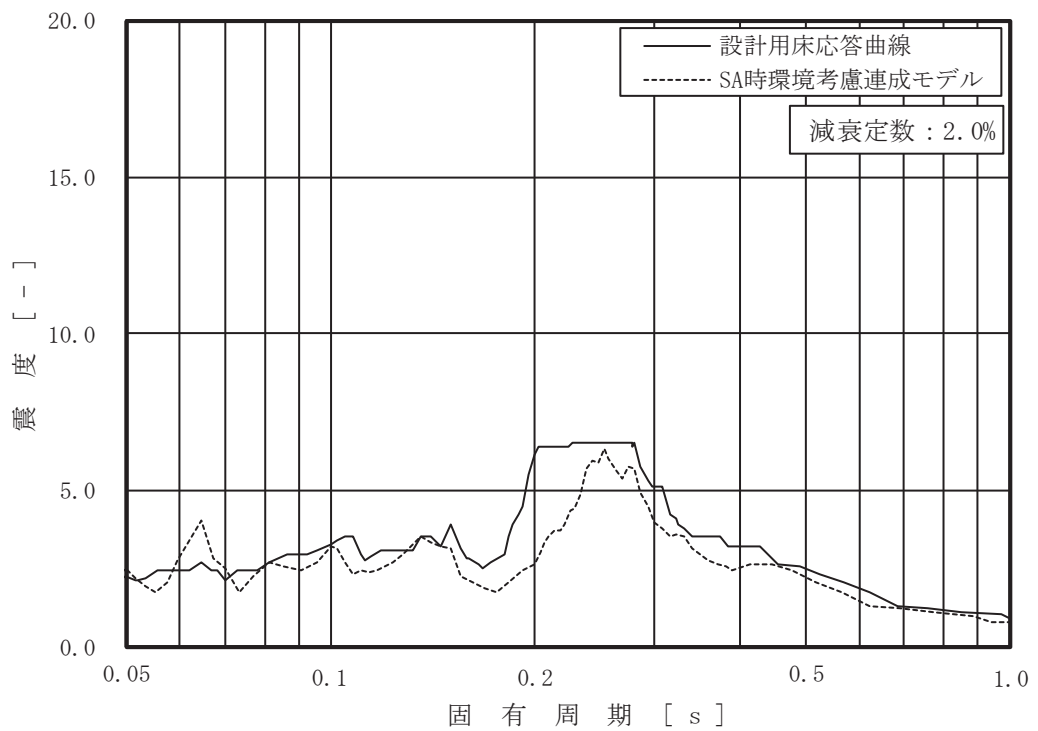


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (12/15)

(原子炉格納容器, 0.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

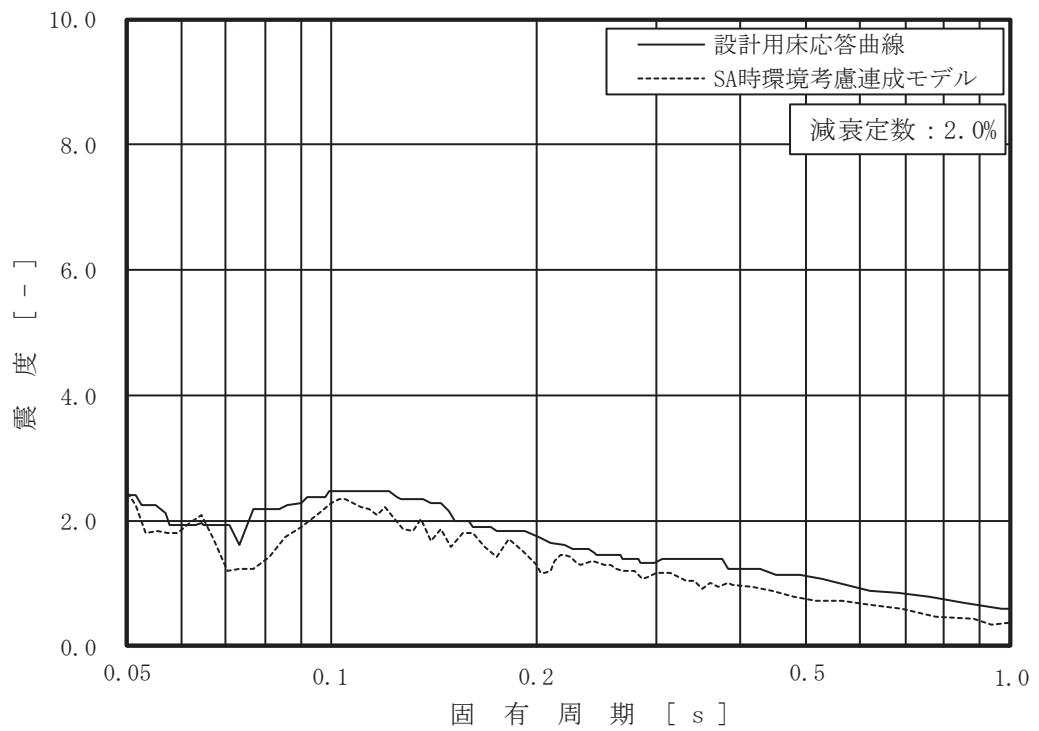
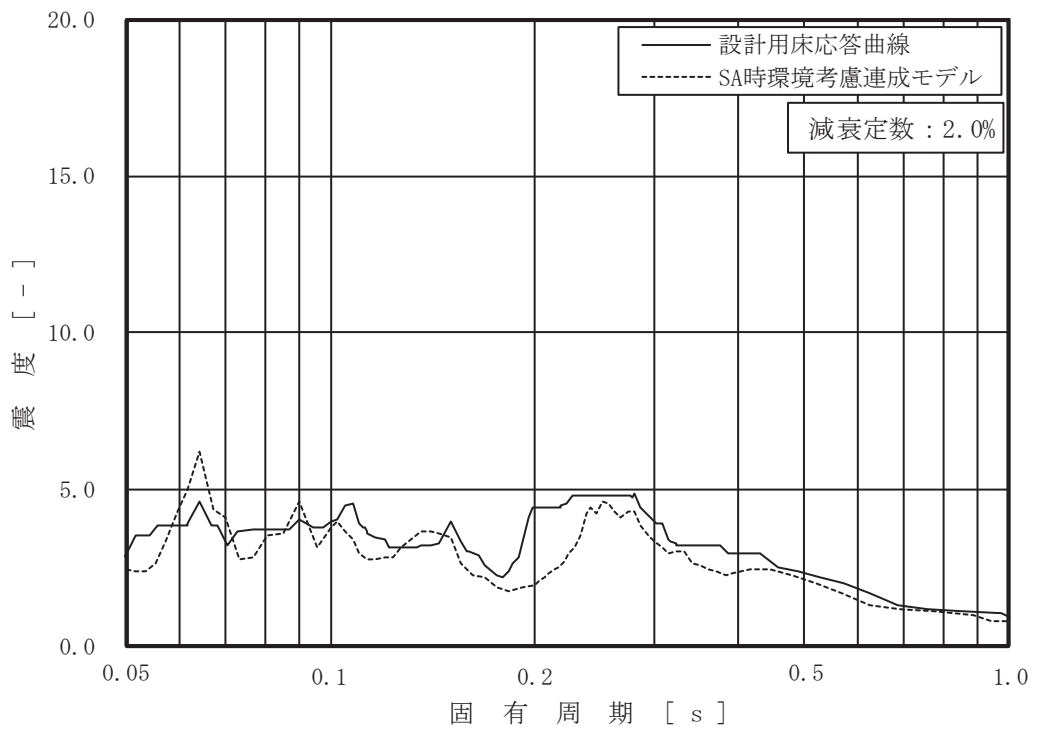


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (13/15)

(原子炉格納容器, 0.P. m, 基準地震動 S_s , 減衰 2.0%,

上 : 水平 (NS/EW 包絡), 下 : 鉛直)

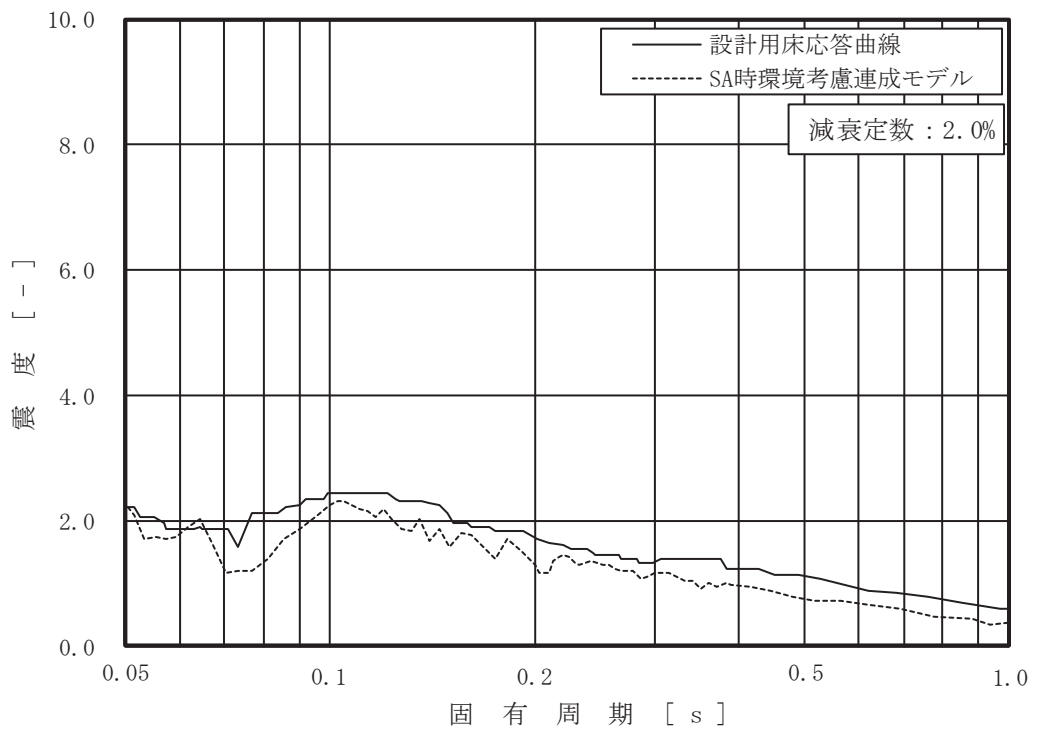
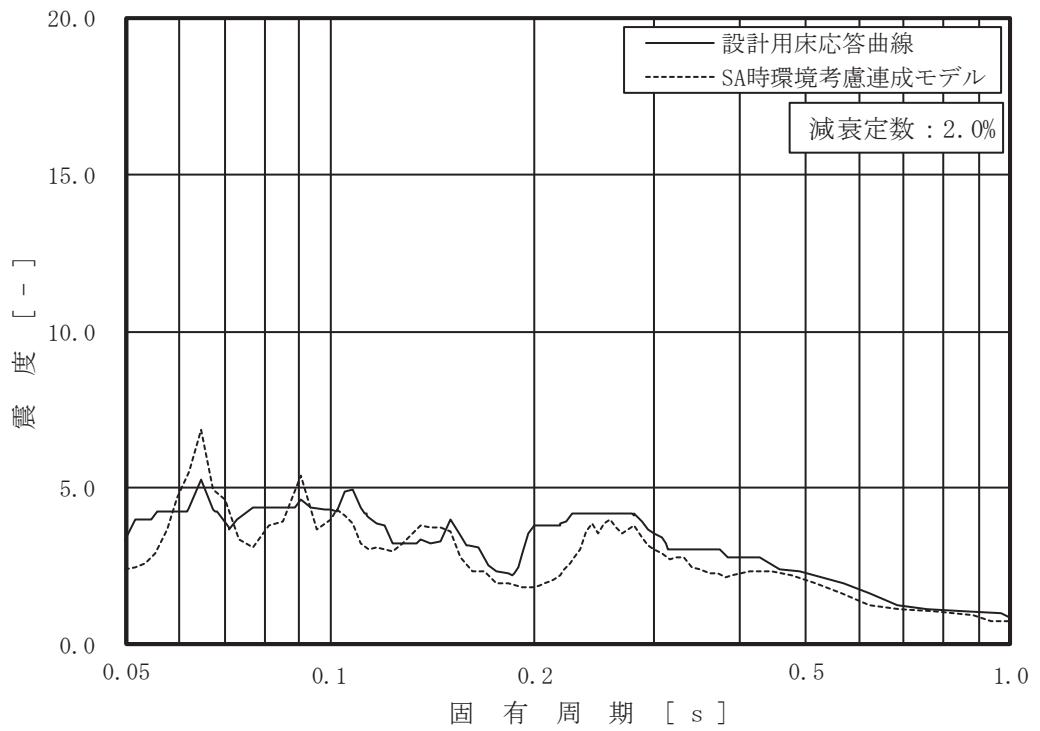


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (14/15)
 (原子炉格納容器, 0.P. m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%,
 上 : 水平 (NS/EW 包絡), 下 : 鉛直)

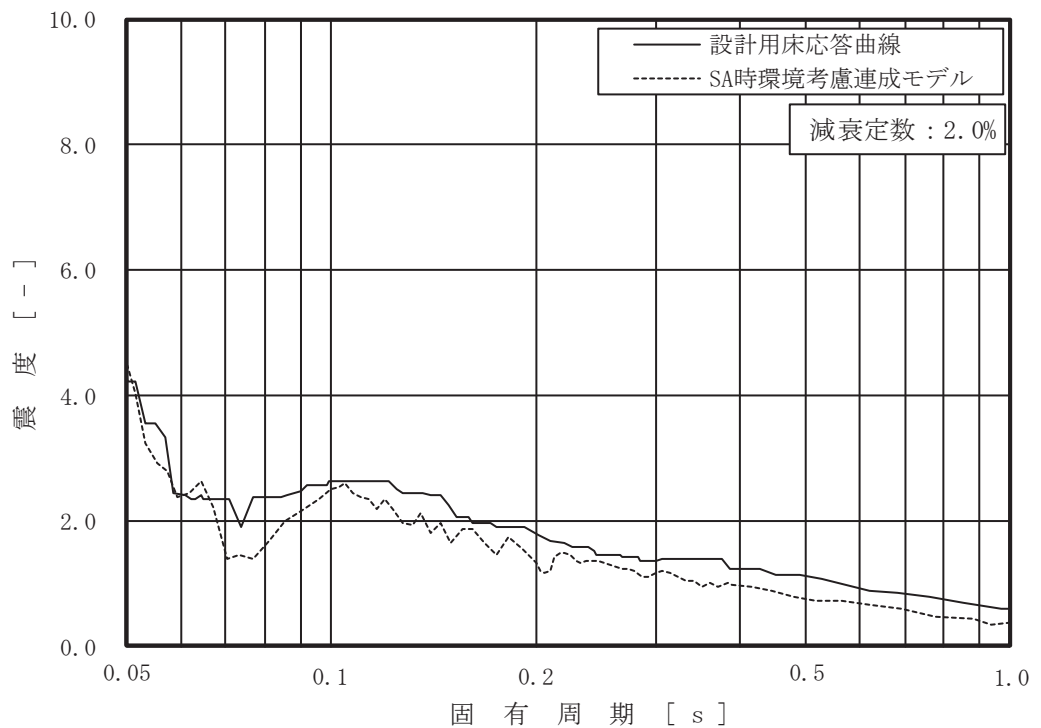
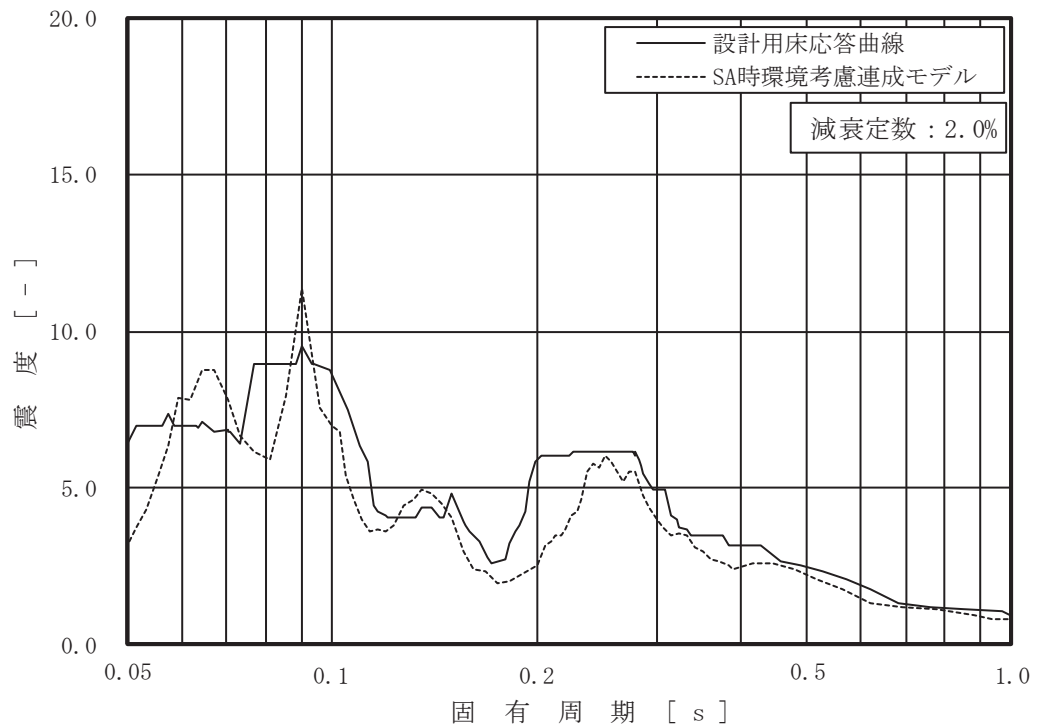


図 4-8 床応答スペクトルの比較 (15/15)

(原子炉压力容器, 0.P. m, 基準地震動 S_s , 減衰 2.0%,

上: 水平 (NS/EW 包絡), 下: 鉛直)

(2) 影響確認結果

「4.2.1 検討方針」に示す影響確認フローに従った検討を行い、一部の設備（8設備）を除き、簡易評価の結果で裕度が応答比率を上回ることを確認した。

また、簡易評価において裕度が応答比率を下回った 8 設備の評価結果を表 4-12 に示す。また、当該設備の詳細評価結果を表 4-13 に示す。

なお、配管の詳細評価は、評価に用いる各標高（質点）で応力評価結果の裕度が最小となる配管及び疲労累積係数が最大となる配管を代表としている。また、簡易評価は、対象設備の応力分類毎に行っている。

簡易評価で裕度が応答比率を下回った 8 設備に対して、影響確認用耐震条件による耐震計算を行い、算出値が許容値以下となることを確認した。

表 4-12 裕度が応答比率を下回った 8 設備の影響確認結果（簡易評価）
 （「SA 時環境考慮連成モデル」による応答の影響）

対象設備	評価部位	応力分類	今回工認の耐震評価 (基準地震動 S s)			SA 時環境考慮連成モデル	確認結果
			計算値 *1 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度	応答比率	
原子炉格納容器 シヤラグ	原子炉格納容器シヤラグ取付部	一次+二次応力	416	393	0.94	1.06	×
		疲労	0.467 *2	1*2	-		
ドライウエル ベント開口部	ドライウエルベント開口部	一次+二次応力	460	501	1.08	1.33	×
ダウンカマ	エンドプレート (上側)	一次応力	247	264	1.06	1.33	×
	ベントヘッド(一般部以外)	一次+二次応力	592	473	0.79	1.33	×
		疲労	0.547 *2	1*2	-	1.33	×
ベント管	ベント管(一般部以外)	一次+二次応力	418	393	0.94	1.33	×
		疲労	0.489 *2	1*2	-		
SA クラス 2 配管 (主蒸気系(MS-004))	配管本体	一次+二次応力	468	386	0.82	1.08	×
		疲労	0.8529 *2	1*2	-		
SA クラス 2 配管 (ほう酸水注入系(SLC-003))	配管本体	一次+二次応力	211	206	0.97	1.28	×
		疲労	0.0001 *2	1*2	-		
SA クラス 2 配管 (ほう酸水注入系(SLC-004))	配管本体	一次+二次応力	175	206	1.17	1.32	×
SA クラス 2 配管 (制御棒駆動水圧系(CRD-005-1))	配管本体	一次+二次応力	292	318	1.08	1.28	×
		疲労	0.2729 *2	1*2	-		

注記*1：一次+二次応力の算出値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*2：単位は、「無次元」。

表 4-13 裕度が応答比率を下回った 8 設備の影響確認結果 (詳細評価)
 (「SA 時環境考慮連成モデル」による応答の影響)

対象設備	評価部位	応力分類	影響確認用耐震条件を用いた耐震計算 (基準地震動 S s)				確認結果
			最大応答 加速度	床応答曲線	算出値*3 (MPa)	許容値 (MPa)	
原子炉格納容器 シヤラグ	原子炉格納容器シヤラグ 取付部	一次+二次応力	水平：- *1 鉛直：0.93	-	400	393	○
		疲労			0.396*4	1*4	
ドライウエル ベント開口部*1	ドライウエルベント開口 部	一次+二次応力	水平：- 鉛直：0.93	(1%減衰) 原子炉格納容器 O.P. 2.6 m*2	437	501	○
ダウンカム	エンドプレート (上側)	一次応力	-	(1%減衰) 原子炉格納容器 O.P. 2.6 m*2	216	264	○
	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次応力			516	473	
		疲労			0.2707*4	1*4	
ベント管	ベント管 (一般部以外)	一次+二次応力	-	(1%減衰) 原子炉格納容器 O.P. 2.6 m*2	365	393	○
SA クラス 2 配管 (主蒸気系(MS-004))	配管本体	一次+二次応力	水平：1.96 鉛直：1.60	(2%減衰) 原子炉しゃへい壁 O.P. 13.4 m	352	386	○
SA クラス 2 配管 (ほう酸水注入系 (SLC-003))	配管本体	一次+二次応力	水平：2.11 鉛直：1.60	(2%減衰) 原子炉建屋 O.P. 22.5, 15.0 m 原子炉本体の基礎 O.P. 7.04 m 原子炉しゃへい壁 O.P. 13.4, 10.6 m 原子炉格納容器 O.P. 17.15, 14.295 m	185	206	○
SA クラス 2 配管 (ほう酸水注入系 (SLC-004))	配管本体	一次+二次応力	水平：1.89 鉛直：1.34	(2%減衰) 原子炉圧力容器 O.P. 9.334 m 原子炉本体の基礎 O.P. 7.04, 6.24, 4.95 m 原子炉しゃへい壁 O.P. 10.6m	177	206	○
SA クラス 2 配管 (制御棒駆動水圧系 (CRD-005-1))	配管本体	一次+二次応力	水平：2.05 鉛直：1.34	(2%減衰) 原子炉建屋 O.P. 15.0, 6.0 m 原子炉格納容器 O.P. 14.295, 9.448 m	256	318	○

注記*1：原子炉格納容器のせん断力及び曲げモーメントを考慮。

*2：ベント系設備の反力を考慮しているため、ベント系設備の評価に用いる床応答曲線を記載。

*3：一次+二次応力の算出値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*4：単位は、「無次元」。

5. まとめ

各施設に対する確認結果を以下に示す。

5.1 「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響

重大事故等時における熱の影響を考慮し、「SA 時環境考慮モデル」を用いて、基準地震動 $S_s - D2$ に対する地震応答解析を実施し、「工認モデル」を用いた結果と比較した。

その結果、「SA 時環境考慮モデル」の固有周期はコンクリートの剛性を低減させた影響により「工認モデル」に比べて僅かに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認し、最大応答値及び最大接地圧については「工認モデル」の結果とおおむね整合することを確認した。更に、「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響についても確認を行った。

原子炉建屋に生じる最大応答せん断ひずみ及び最大接地圧（材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 $S_s - D1 \sim S_s - N1$ に対する包絡値）に、基準地震動 $S_s - D2$ に対する「SA 時環境考慮モデル」と「工認モデル」の応答比（「SA 時環境考慮モデル」／「工認モデル」）を乗じた値が許容限界を超えないことを確認した。また、床応答スペクトルが「工認モデル」と「SA 時環境考慮モデル」でほぼ同程度になることを確認した。

5.2 「機器・配管系の評価」に与える影響

「機器・配管系の評価」に与える影響は、「SA 時環境考慮モデル」及び「SA 時環境考慮連成モデル」を用いて、基準地震動 S_s （ $S_s - D1 \sim S_s - N1$ （7波））に対する地震応答解析を実施し、応答結果を包絡して作成した「影響確認用耐震条件」と「工認モデル」及び「大型機器系の地震応答解析モデル」によって作成した「耐震計算に用いる耐震条件」との応答比率を用いて簡易評価を行った。簡易評価の結果、一部の設備を除き、裕度が応答比率を上回ることを確認した。また、簡易評価において裕度が応答比率を下回る設備に対して、影響確認用耐震条件による耐震計算を行い、算出値が許容値以下となることを確認した。確認結果は以下の通り。

① 原子炉建屋に設置した機器・配管系に対する確認結果

簡易評価の結果、一部の設備（6設備）を除き、裕度が応答比率を上回ることを確認した。また、簡易評価において裕度が応答比率を下回る6設備に対して、影響確認用耐震条件による耐震計算を行い、算出値が許容値以下となることを確認した。

- ② 大型機器系の地震応答解析モデルの応答を用いる機器・配管系に対する確認結果
簡易評価の結果，一部の設備（8設備）を除き，裕度が応答比率を上回ることを
確認した。また，簡易評価において裕度が応答比率を下回る8設備に対して，影響
確認用耐震条件による耐震計算を行い，算出値が許容値以下となることを確認し
た。

別紙 5-1 重大事故等時の環境を考慮した大型機器系の
地震応答解析モデルの設定

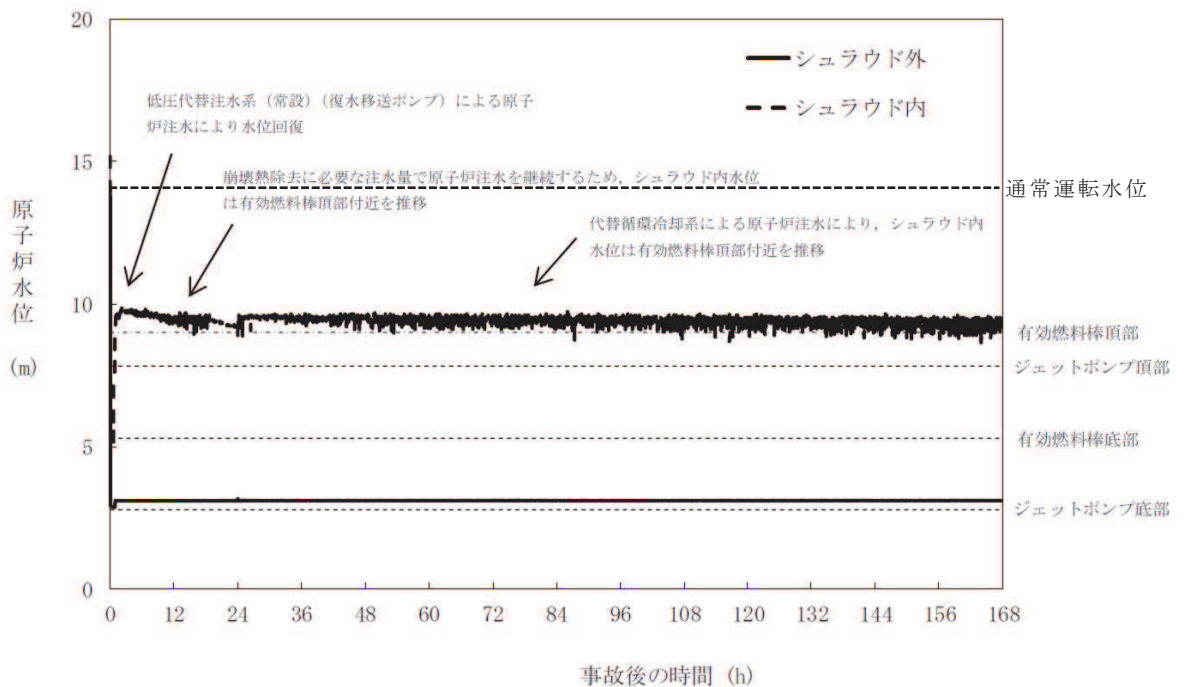
目 次

- (1) 原子炉圧力容器の条件設定の考え方 別紙 5-1- 1
- (2) 原子炉本体の基礎のスケルトンカーブの設定 別紙 5-1- 3
- (3) 原子炉しゃへい壁と原子炉本体の基礎の剛性の設定 別紙 5-1-11

(1) 原子炉压力容器の条件設定の考え方

重大事故等時の「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」の原子炉水位の水位を図 1-1 に示す。図 1-1 より原子炉水位は、通常運転水位より低くなる。このため、通常運転水位を考慮している「大型機器系の地震応答解析モデル」より、重大事故等時の原子炉压力容器内の水の重量が小さくなる。また、炉心の燃料は、炉心損傷により落下するため、炉心の燃料体が健全であることを想定している「大型機器系の地震応答解析モデル」より炉心の重心は、低い位置となる。

重大事故等時の原子炉压力容器の条件設定においては、重量が大きく、重心位置が高いほうが地震時の応答が大きくなる傾向があることから「大型機器系の地震応答解析モデル」と同じ条件を適用する。

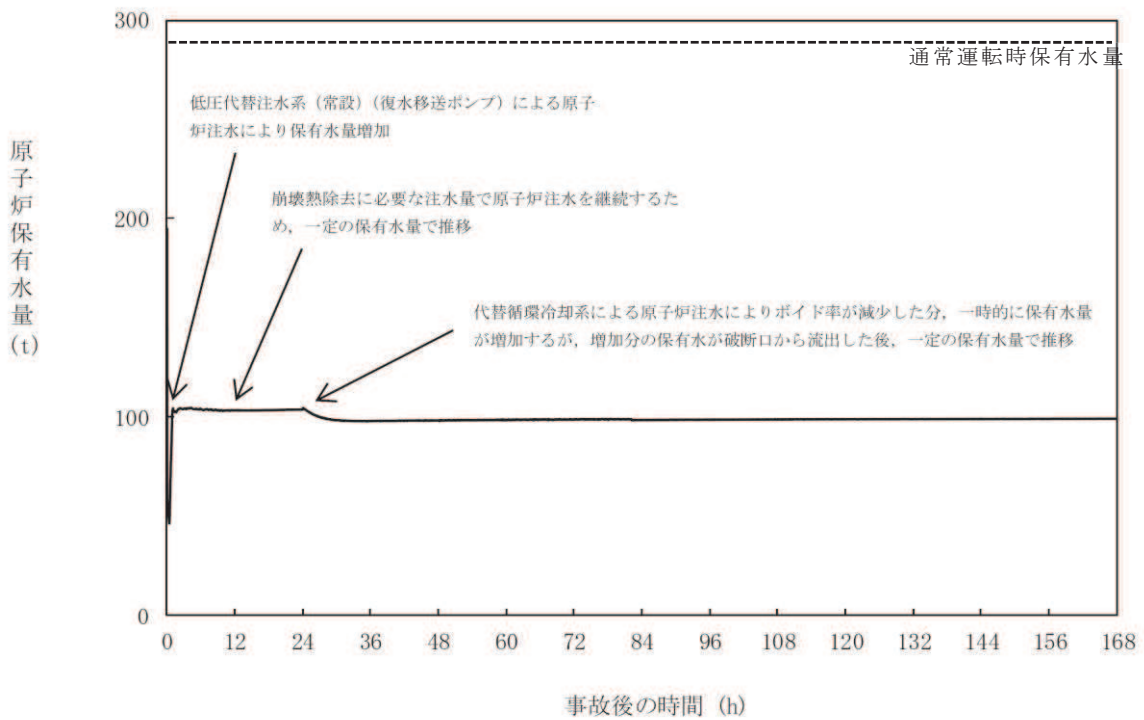


第 3. 1. 2. 5 図 原子炉水位（シュラウド内外水位）の推移

図 1-1 「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」における原子炉水位（シュラウド内外水位）の推移*

注記*：設置変更許可申請書 まとめ資料「重大事故等対策の有効性評価について」第 3. 1. 2. 5 図に加筆

なお、重大事故等時の「格納容器過圧、過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」の原子炉圧力容器内の保有水量は、図 1-2 の通り、通常運転時保有水量よりも少なくなっていることを確認している。



第 3. 1. 2. 7 図 原子炉圧力容器内保有水量の推移

図 1-2 「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」における原子炉圧力容器内の保有水量の推移*

注記*：設置変更許可申請書 まとめ資料「重大事故等対策の有効性評価について」第 3. 1. 2. 7 図に加筆

(2) 原子炉本体の基礎のスケルトンカーブの設定

(a) 原子炉本体の基礎のスケルトンカーブの設定方法

原子炉本体の基礎のスケルトンカーブは、補足説明資料「補足 600-8-3 建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の非線形復元力特性等の設定に関する補足説明資料」の「4. RPV ペDESTALのスケルトンカーブの設定方法」と同じ評価式と重大事故等時の熱による剛性低下を考慮したコンクリートの物性値を用いて評価を行い、設定する。

重大事故等時の熱による剛性低下を考慮したコンクリートの物性値は、高温状態を経験したコンクリート部材の剛性がその後元に戻らないと仮定し、コンクリート部材の剛性低下率の検討に用いる温度は、「3.2.1 解析条件」と同様に、原子炉格納容器の限界温度である 200℃とする。また、コンクリート部材の剛性低下率は原子炉建屋の「SA 時環境考慮モデル」と同様に「構造材料の耐火性ガイドブック（2017 年日本建築学会）」に基づき設定する。

「SA 時環境考慮連成モデル」に用いたコンクリート部材の剛性低下率を表 2-1 に、剛性低下を考慮したコンクリートの物性値を表 2-2 に、重大事故等時の熱による剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定方法（イメージ）を図 2-1 に示す。剛性低下を考慮したコンクリートの物性値以外のスケルトンカーブの評価に必要な値は、今回工認と同じ値としている。

なお、評価に用いるスケルトンカーブは、今回工認に用いたスケルトンカーブの設定と同様に、曲線近似のスケルトンカーブを包絡するように設定した折れ線のスケルトンカーブ（曲線包絡スケルトンカーブ）を設定する。

表 2-1 「SA 時環境考慮連成モデル」に用いたコンクリート部材の剛性低下率

		検討に用いた温度 (°C)	剛性低下率
原子炉 本体の基礎	コンクリート	200	0.68
	(鋼材)	111	—

表 2-1 剛性低下を考慮したコンクリートの物性値

スケルトンカーブ	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	縦弾性係数 E_c (N/mm ²)	せん断弾性係数 G_c (N/mm ²)
今回工認	32.3	2.65×10^4	1.14×10^4
重大事故等時の熱による 剛性低下を考慮	32.3	1.80×10^4	7.71×10^3

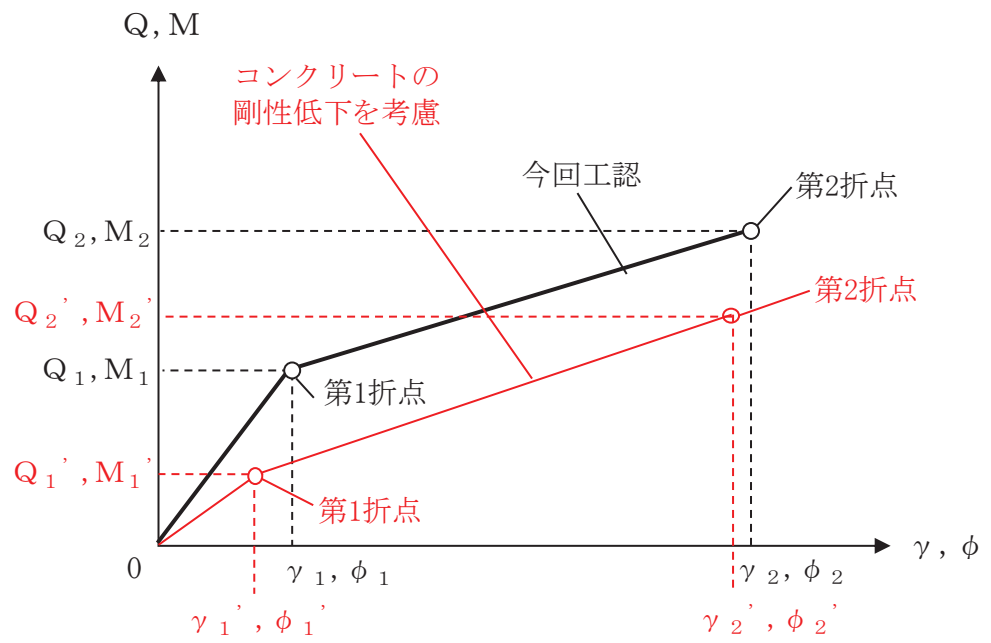


図 2-1 重大事故等時の熱による剛性低下を考慮したスケルトンカーブの設定方法
(イメージ)

(b) せん断力のスケルトンカーブの設定

「SA 時環境考慮連成モデル」の各要素におけるせん断力のスケルトンカーブの諸数値を表 2-2 に、「SA 時環境考慮連成モデル」と「大型機器系の地震応答解析モデル」のスケルトンカーブを図 2-2 に示す。

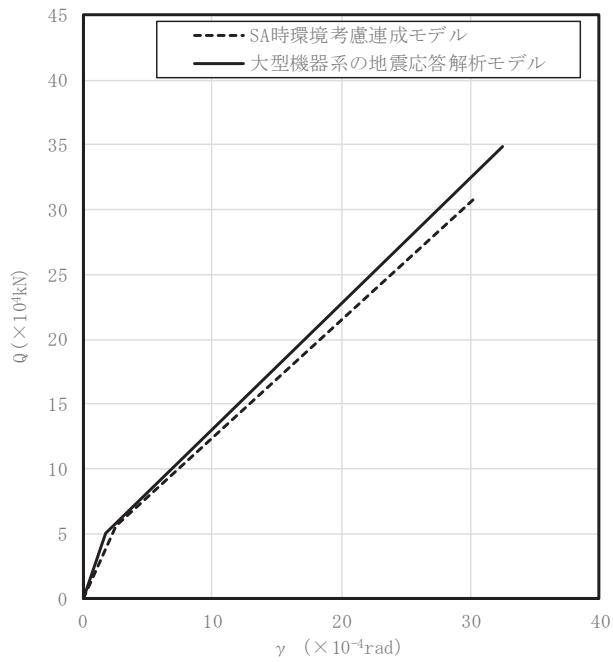
表 2-2(1/2) せん断力のスケルトンカーブ (NS 方向)

質点 番号	要素 番号	Q_1 ($\times 10^4 \text{kN}$)	γ_1 ($\times 10^{-4} \text{rad}$)	Q_2 ($\times 10^4 \text{kN}$)	γ_2 ($\times 10^{-4} \text{rad}$)
7	6	5.604	2.586	30.74	30.25
6					
5	5	3.167	2.698	21.48	26.82
	4	5.896	2.632	26.27	30.69
4	3	5.983	2.671	26.27	30.69
3					

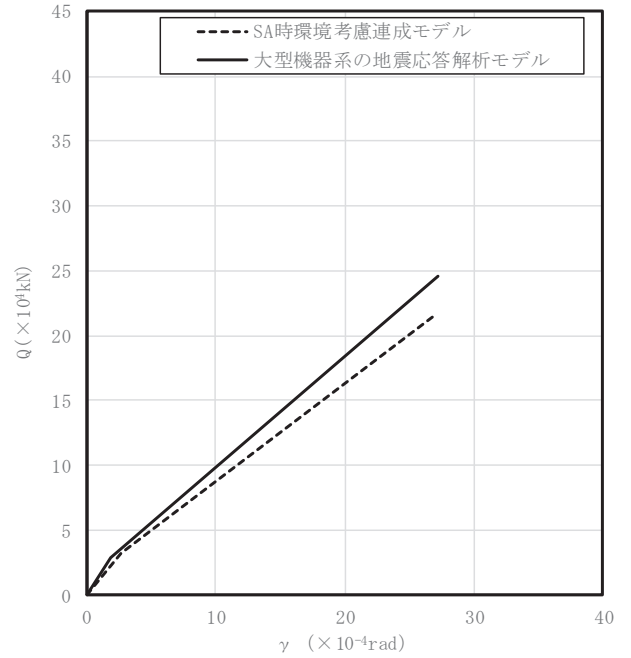
表 2-2(2/2) せん断力のスケルトンカーブ (EW 方向)

質点 番号	要素 番号	Q_1 ($\times 10^4 \text{kN}$)	γ_1 ($\times 10^{-4} \text{rad}$)	Q_2 ($\times 10^4 \text{kN}$)	γ_2 ($\times 10^{-4} \text{rad}$)
7	6	5.604	2.586	30.74	30.25
6					
5	5	5.965	2.698	34.20	29.50
	4	5.896	2.632	26.27	30.69
4	3	5.547	2.671	24.59	30.68
3					

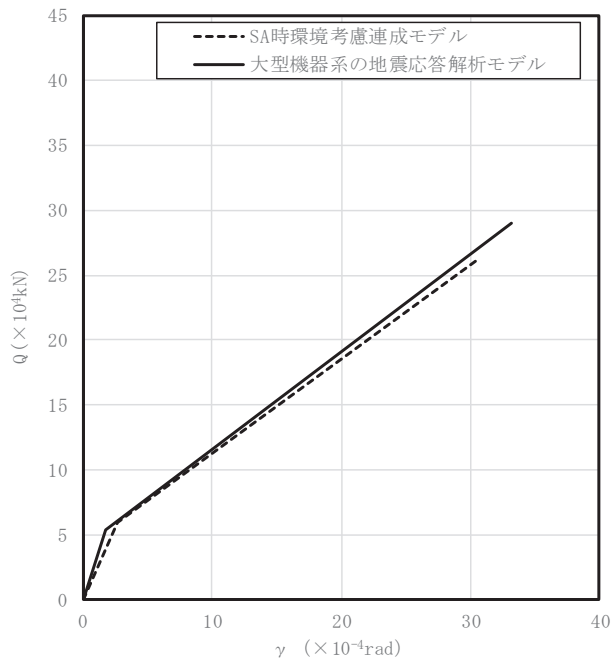
6



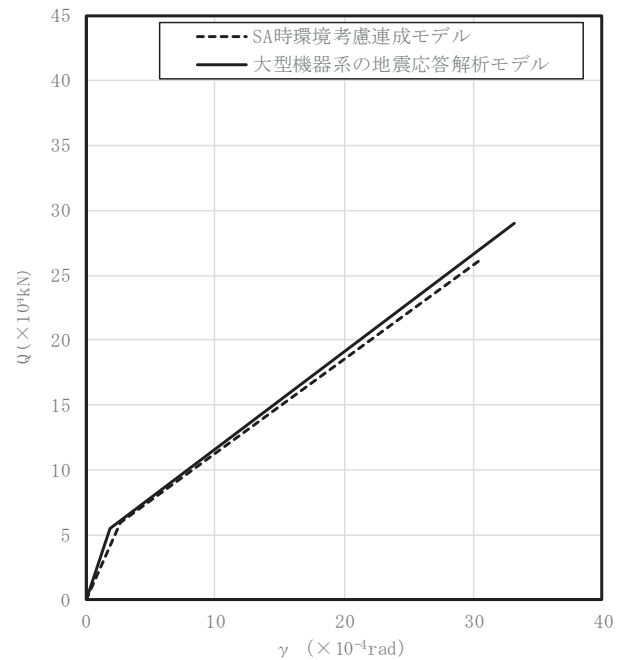
5



4



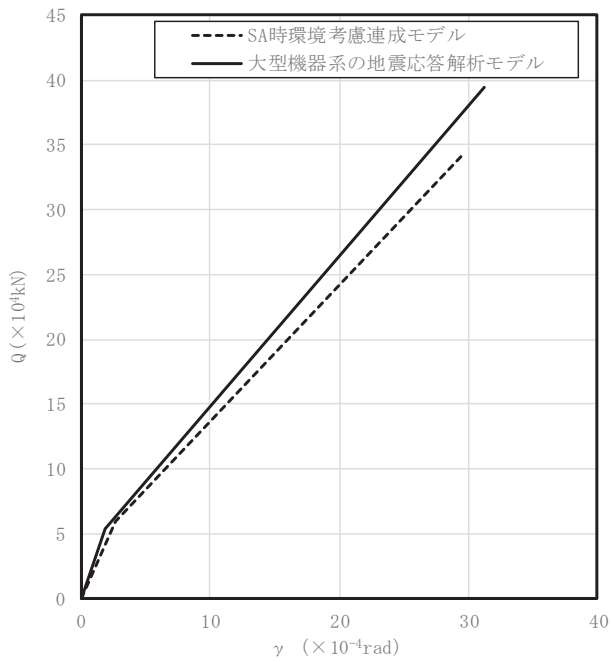
3



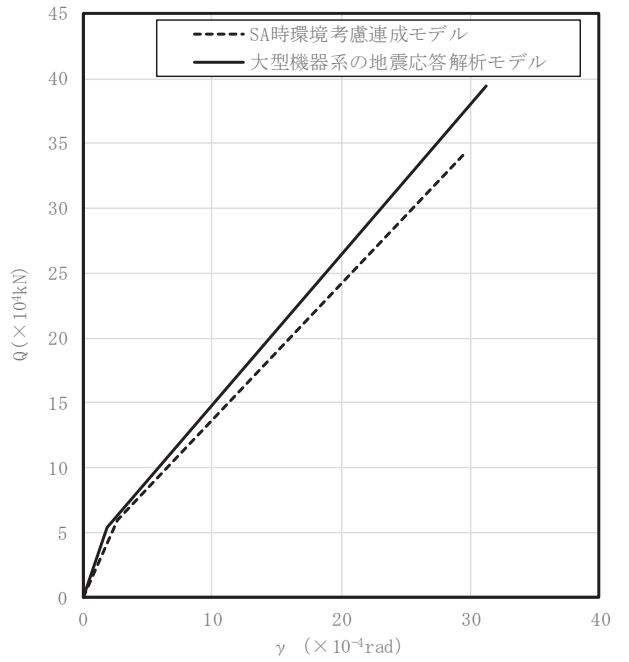
注記* : 各図上に記載の要素番号は表 2-2 に対応

図 2-2 (1/2) せん断力のスケルトンカーブ (NS 方向)

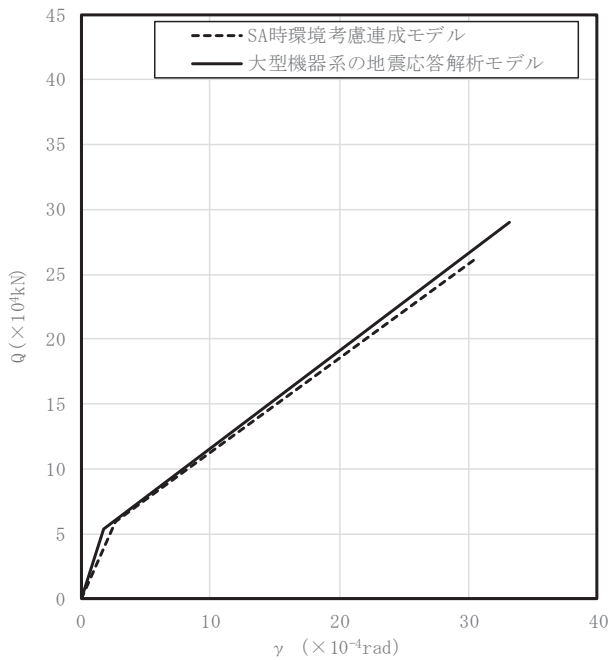
6



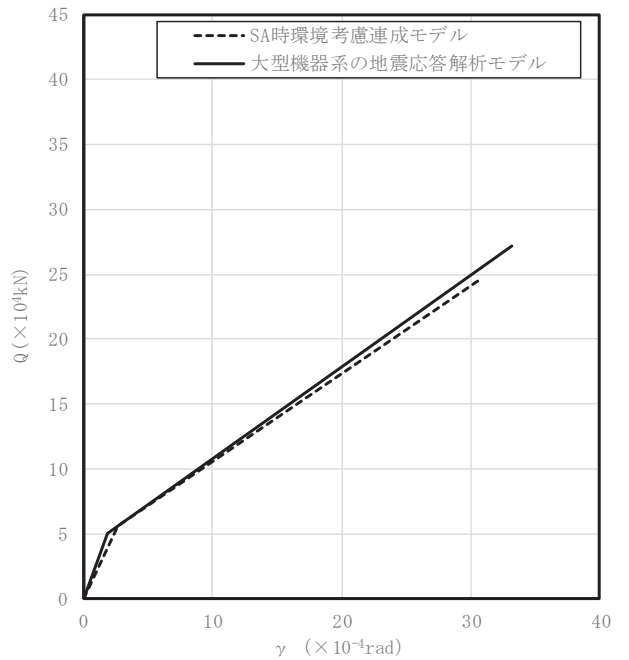
5



4



3



注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-1 に対応

図 2-2 (2/2) せん断力のスケルトンカーブ (EW 方向)

(c) 曲げモーメントのスケルトンカーブ

「SA 時環境考慮連成モデル」の各要素における曲げモーメントのスケルトンカーブの諸数値を表 2-3 に、「SA 時環境考慮連成モデル」と「大型機器系の地震応答解析モデル」のスケルトンカーブを図 2-3 に示す。

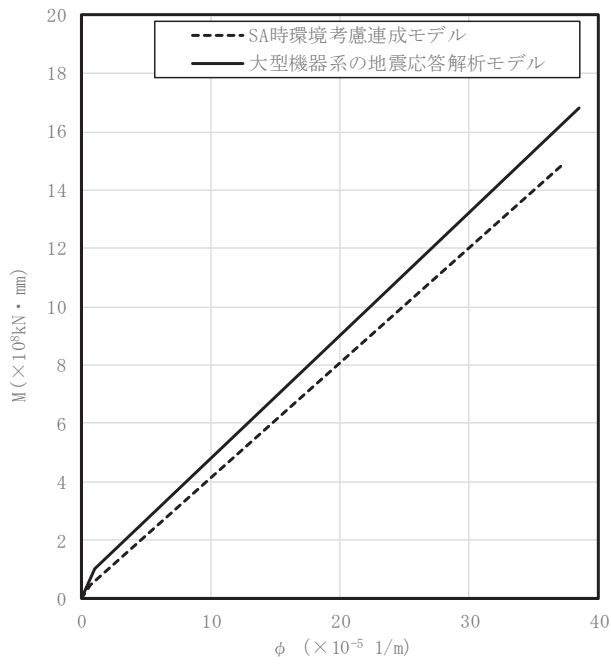
表 2-3(1/2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (NS 方向)

質点 番号	要素 番号	M_1 ($\times 10^8$ kN \cdot mm)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M_2 ($\times 10^8$ kN \cdot mm)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)
7	6	0.4716	0.6093	14.84	37.12
6					
5	5	0.6369	0.8536	14.13	37.1
	4	1.795	2.298	14.67	37.02
4	3	1.780	2.383	14.11	37.15
3					

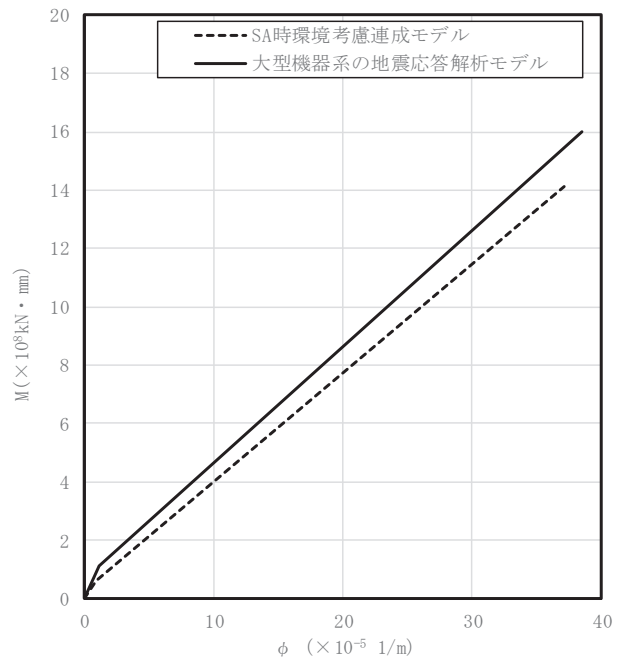
表 2-3(2/2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (EW 方向)

質点 番号	要素 番号	M_1 ($\times 10^8$ kN \cdot mm)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M_2 ($\times 10^8$ kN \cdot mm)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)
7	6	0.4716	0.6093	14.84	37.12
6					
5	5	0.4127	0.8536	9.366	37.60
	4	1.795	2.298	14.67	37.02
4	3	1.814	2.384	14.36	37.14
3					

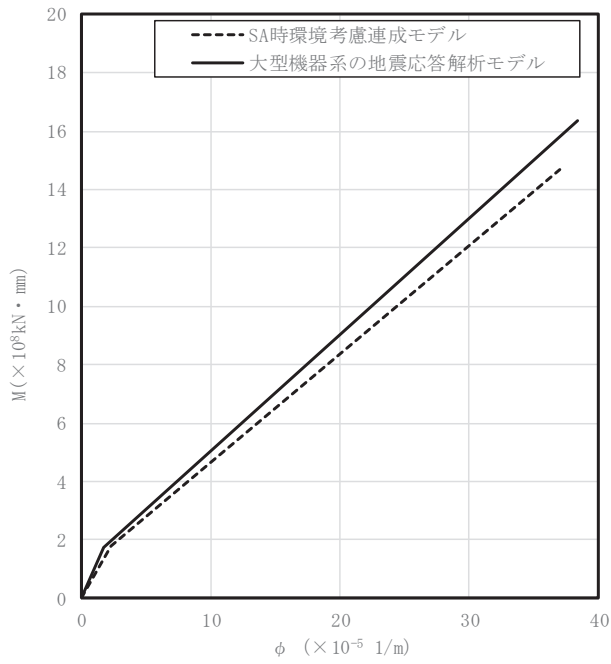
6



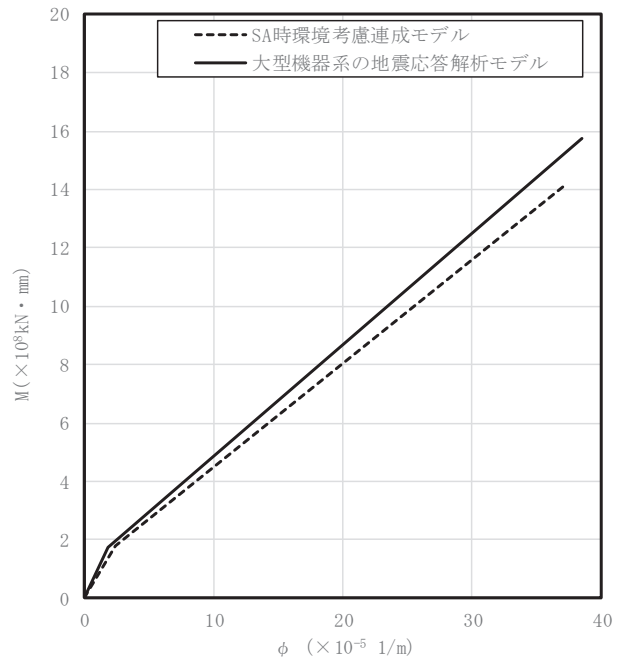
5



4



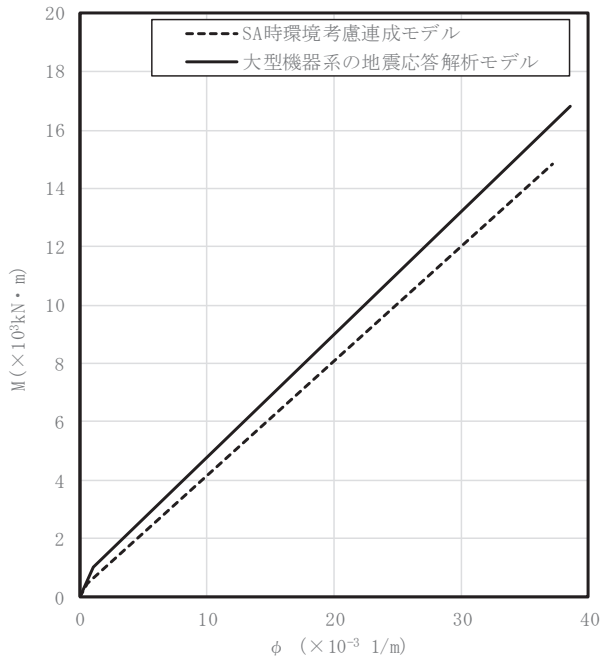
3



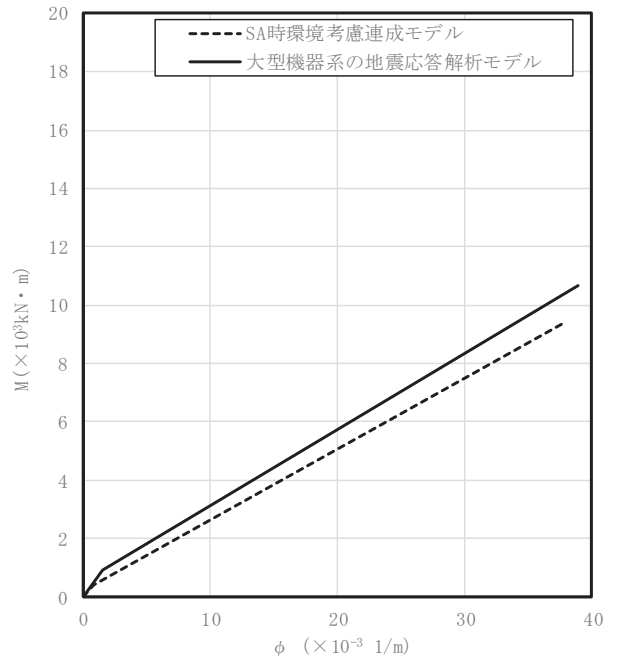
注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-2 に対応

図 2-3(1/2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (NS 方向)

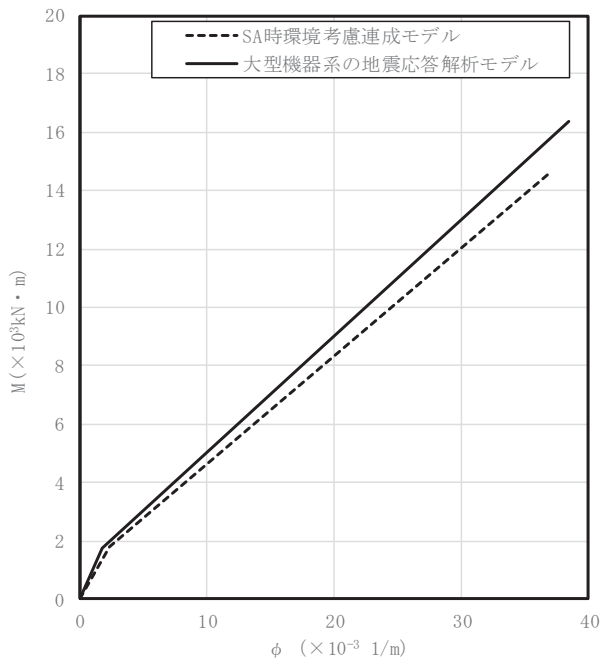
6



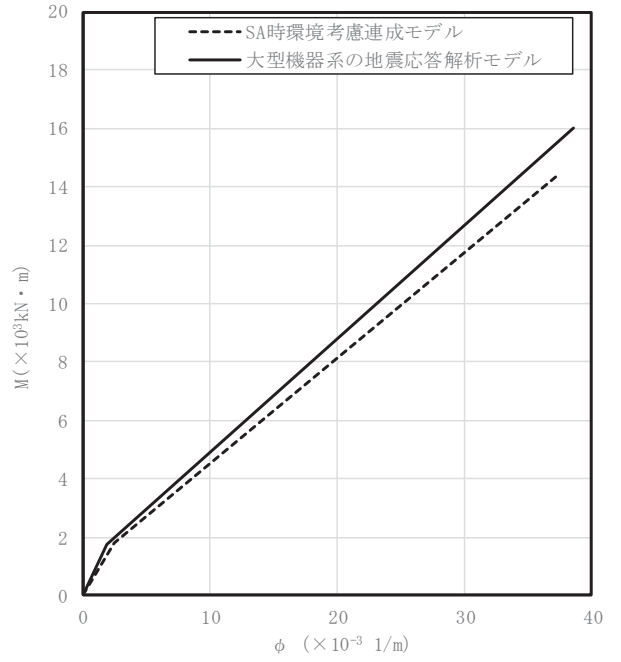
5



4



3



注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-2 に対応

図 2-3(2/2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ (EW 方向)

(3) 原子炉しゃへい壁と原子炉本体の基礎の剛性の設定

建設時及び今回工認の大型機器系の地震応答解析モデルにおける原子炉しゃへい壁と原子炉本体の基礎における剛性の扱いを表3-1に、原子炉しゃへい壁と原子炉本体の基礎の構造図を図3-1及び図3-2に示す。

原子炉しゃへい壁は、原子炉圧力容器からの放射線を遮蔽するための構造物である。主体構造は、原子炉圧力容器を取り囲む円筒形の壁であり、内外の鋼板及びその内部に充てんされたモルタルより構成される。地震応答解析における原子炉しゃへい壁の剛性は、モルタルは遮蔽を目的としており構造部材として期待しないこととして、鋼板を考慮している。

原子炉本体の基礎は、耐震重要度分類Sクラスである原子炉圧力容器の間接支持構造物であり、主体構造は鋼板とコンクリートで構成される円筒形の構造物である。地震応答解析における原子炉本体の基礎の剛性は、鋼板とコンクリートをともに考慮している。

重大事故等時の環境を考慮した「SA 時環境考慮連成モデル」においても、建設時及び今回工認と同様に、原子炉しゃへい壁は鋼板の剛性のみを考慮し、原子炉本体の基礎はコンクリートと鋼板の剛性を考慮している。

表3-1 地震応答解析における原子炉しゃへい壁と原子炉本体の基礎の剛性

	原子炉しゃへい壁	原子炉本体の基礎
剛性の考慮	鋼板	鋼板とコンクリート

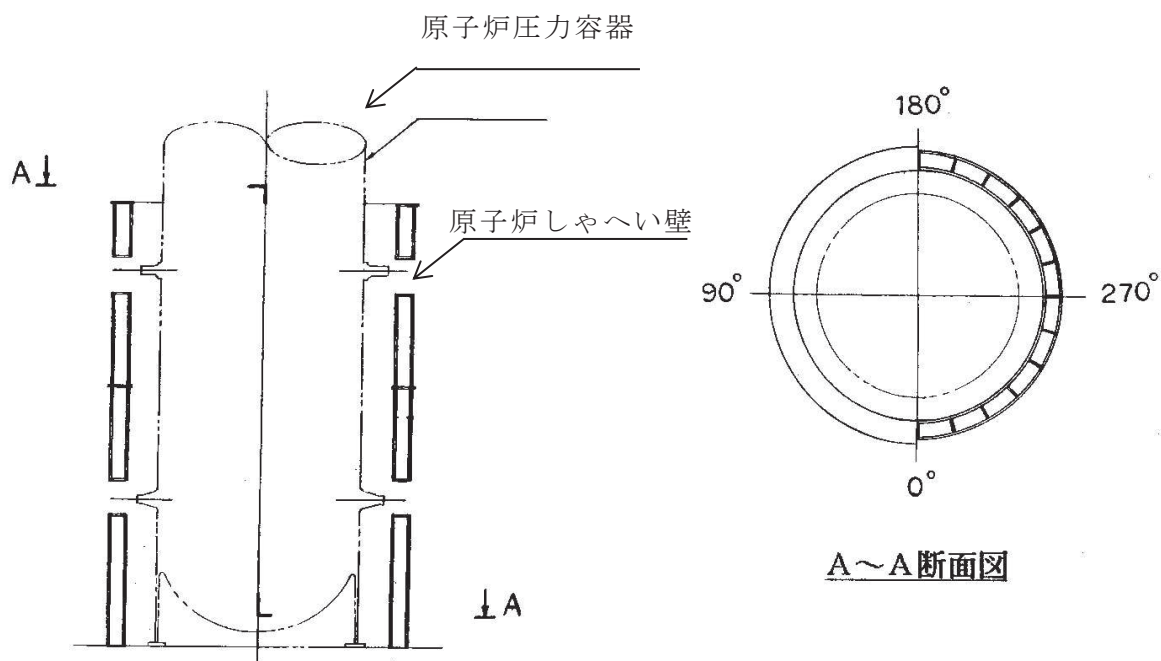
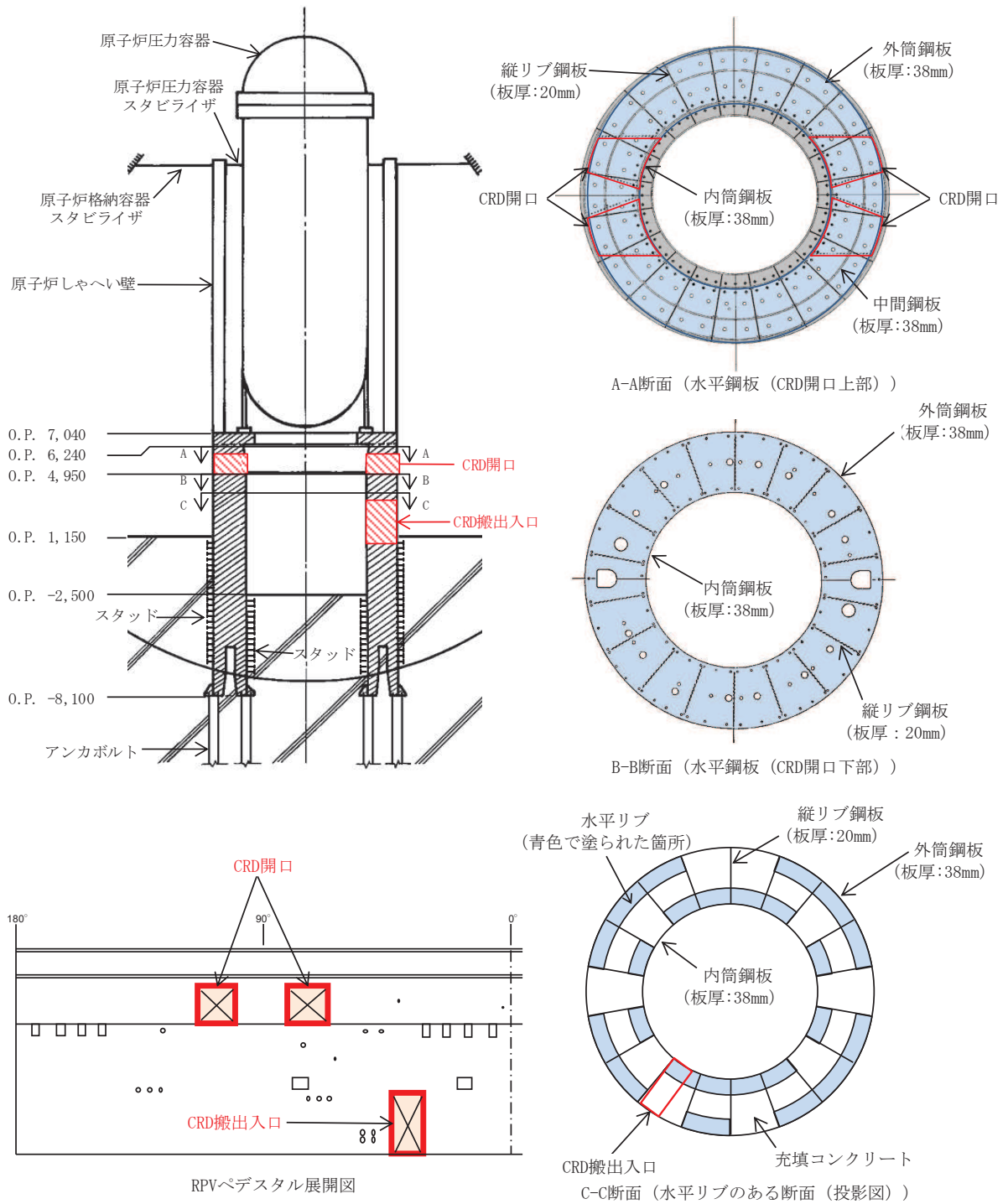


図 3-1 原子炉しゃへい壁の構造図



注* : 「補足-600-8-3 建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の非線形復元力特性等の設定に関する補足説明資料」より引用

図 3-2 原子炉本体の基礎の構造図

別紙 5-2 SA 時環境考慮モデルにおける床ばねの応答について

目 次

1. 概要.....	別紙 5-2- 1
2. SA 時環境考慮モデルによる床ばねの最大応答せん断応力度.....	別紙 5-2- 1
3. EW 方向の床ばねの応答に対する検討.....	別紙 5-2- 3
4. EW 方向の床ばね（部材番号(2)，(7)及び(12)）を非線形ばねとした場合 の検討.....	別紙 5-2- 4
4.1 解析方法.....	別紙 5-2- 4
4.2 非線形特性のモデル化方法.....	別紙 5-2- 5
4.3 床応答スペクトルの比較.....	別紙 5-2- 8
4.4 床ばね（部材番号(2)，(7)及び(12)）の最大応答せん断ひずみ.....	別紙 5-2-10

1. 概要

「SA 時環境考慮モデル」では、床ばねを線形モデルでモデル化していることから、その応答について確認する。

2. SA 時環境考慮モデルによる床ばねの最大応答せん断応力度

床ばねは線形モデルとしていることから、概ね弾性範囲の応答であることを確認する。ここでは、コンクリート強度より求められる床のせん断スケルトンカーブの第 1 折点 τ_1 と応答最大せん断応力度を比較する。 τ_1 を超える応力度となった場合には別途検討を行う。検討にあたっては全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 S s - D 2 を用いる。図 2-1 に原子炉建屋の地震応答解析モデルの床ばね部材番号を、表 2-1 に原子炉建屋の基準地震動 S s - D 2 に対する地震応答解析における床ばねの最大応答せん断応力度の確認結果を示す。

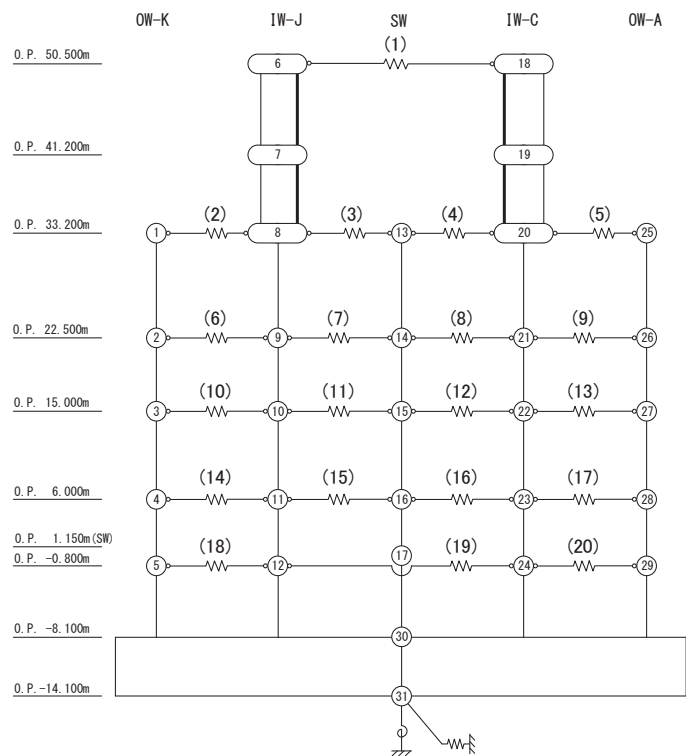
NS 方向は全ての床ばねの最大応答せん断応力度が τ_1 以下であり、概ね弾性範囲であることを確認した。一方で EW 方向については、一部の床ばねの最大応答せん断応力度が τ_1 を上回ることを確認した。

表 2-1 原子炉建屋の床ばねの最大応答せん断応力度

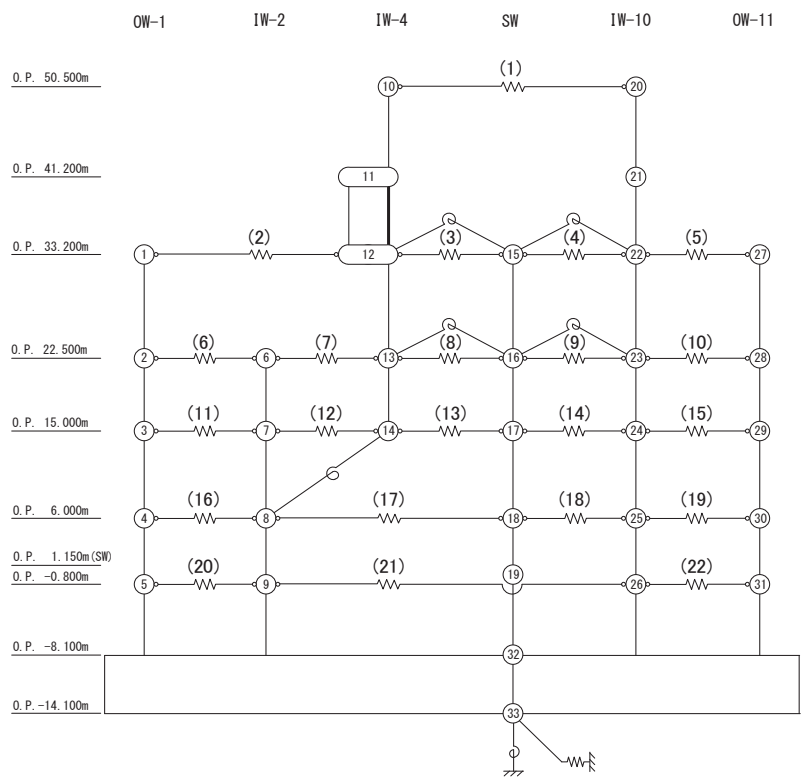
(単位：N/mm²)

NS 方向	EW 方向
1.73 (部材番号(2))	2.75 (部材番号(7))

注：床のせん断スケルトンカーブの第 1 折点 τ_1 ($0.31\sqrt{Fc}$) : 1.78 N/mm²



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 2-1 原子炉建屋の地震応答解析モデル (床ばね部材番号)

3. EW方向の床ばねの応答に対する検討

一部の床ばねの最大応答せん断応力度が τ_1 を超えたことから、最大応答せん断ひずみを確認する。図3-1に原子炉建屋EW方向の床ばねの最大応答せん断応力度、最大応答せん断ひずみを示す。

最大応答せん断ひずみの値は、最大で 0.32×10^{-3} である。これは、コンクリートのせん断ひび割れが生じる始める程度の変形であるが、線形ばねとしてモデル化していることから床ばねを非線形ばねとした場合の検討を実施する。

	OW-1 (R1)	IW-2 (R2)	IW-4 (R4)	SW	IW-1 (R10)	OW-11 (R11)					
OP+50.5	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">1.51 0.13</td> </tr> </table>						1.51 0.13				
1.51 0.13											
OP+33.2	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1.78 0.16</td> <td style="text-align: center;">0.55 0.05</td> <td style="text-align: center;">1.51 0.13</td> <td style="text-align: center;">1.63 0.14</td> </tr> </table>						1.78 0.16		0.55 0.05	1.51 0.13	1.63 0.14
1.78 0.16		0.55 0.05	1.51 0.13	1.63 0.14							
OP+22.5	0.25 0.02	2.75 0.32	0.43 0.05	1.02 0.12	1.31 0.12						
OP+15.0	0.94 0.08	1.97 0.19	0.48 0.05	1.11 0.11	1.02 0.09						
OP+ 6.0	0.66 0.06	0.36 0.04		0.40 0.04	0.71 0.06						
OP- 0.8	0.33 0.03	0.12 0.01			0.42 0.04						

上段：最大応答せん断応力度 (N/mm²)
下段：最大応答せん断ひずみ (×10⁻³)

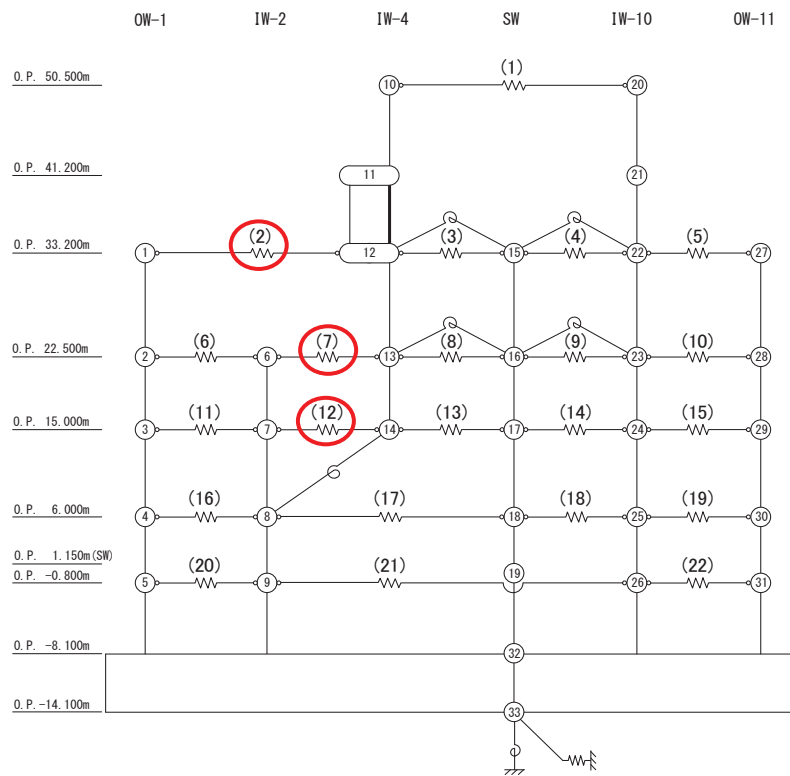
図3-1 原子炉建屋の床ばねの応答結果
(EW方向, S s - D 2)

4. EW方向の床ばね（部材番号(2)，(7)及び(12)）を非線形ばねとした場合の検討

原子炉建屋 EW 方向では，床ばね（部材番号(2)，(7)及び(12)）において最大応答せん断応力度が床のせん断スケルトンカーブの第 1 折点 τ_1 を超えたことから，これらを非線形ばねとした場合（以下「SA 時環境考慮床ばね非線形モデル」という。）の解析を実施し，線形ばねとした場合（以下「SA 時環境考慮床ばね線形モデル」という。）の結果と床応答スペクトルを比較するとともに，床ばねの最大応答せん断ひずみを確認する。

4.1 解析方法

最大応答せん断応力度が τ_1 を上回った床ばね要素に非線形特性を設定した地震応答解析モデルによる地震応答解析を行い，建屋全体の床応答への影響を確認する。図 4-1 に非線形特性を設定した床ばねを示す。



※赤囲み部を非線形ばねとする

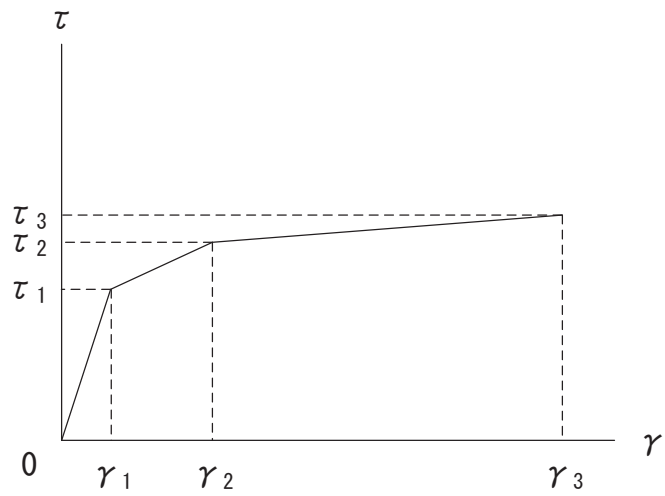
図 4-1 原子炉建屋の地震応答解析モデル（床ばね部材番号（EW 方向））

4.2 非線形特性のモデル化方法

床ばねの非線形特性は、重大事故等における熱の影響による剛性低下を考慮したうえで、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づきトリリニア型のせん断スケルトンカーブとする。終局点は1つの床ばねに配筋と厚さが異なる領域が混在していることから、最も鉄筋比が小さい断面の鉄筋比を適用する。表4-1に設定したスケルトンカーブの諸数値を、図4-2に床ばねのせん断応力度-せん断ひずみ関係を、図4-3に床ばねのせん断応力度-せん断ひずみ関係の履歴特性を示す。

表4-1 床ばねのせん断力のスケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係) EW 方向モデル

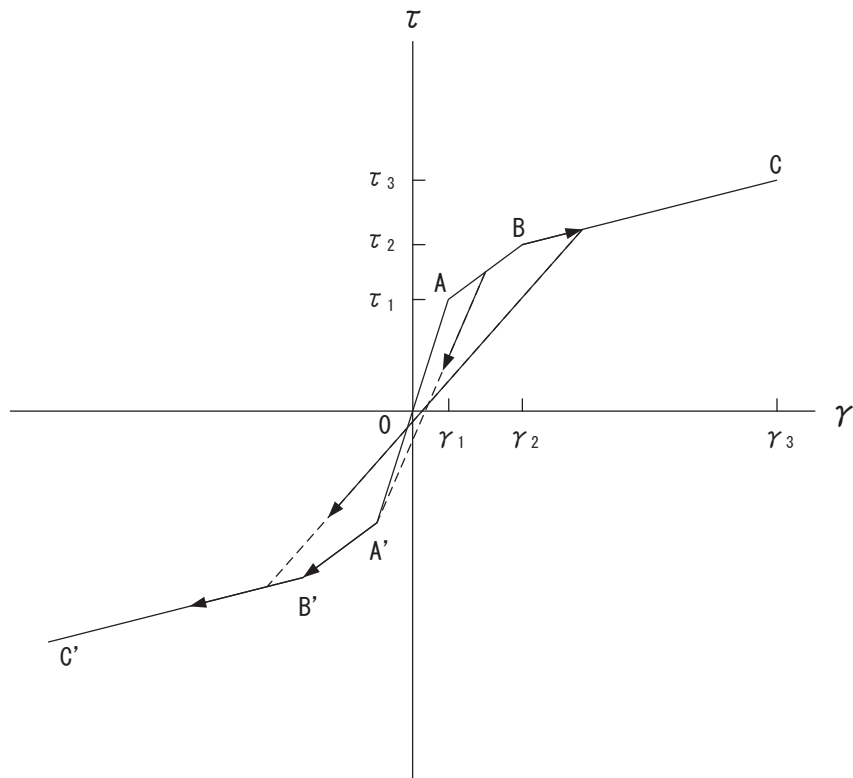
部材番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
(2)	1.78	2.39	3.17	0.158	0.468	4.00
(7)	1.90	2.39	3.17	0.220	0.468	4.00
(12)	1.81	2.39	3.17	0.175	0.468	4.00



床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき，トリリニア型スケルトンカーブとする。

- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ ($= 4.0 \times 10^{-3}$)

図 4-2 床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係



床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。

- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 4-3 床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

4.3 床応答スペクトルの比較

図 4-4 に SA 時環境考慮床ばね線形モデルと SA 時環境考慮床ばね非線形モデルの床応答スペクトル（減衰 5%）を比較して示す。両者にわずかな違いは見られるが顕著な差はないことを確認した。

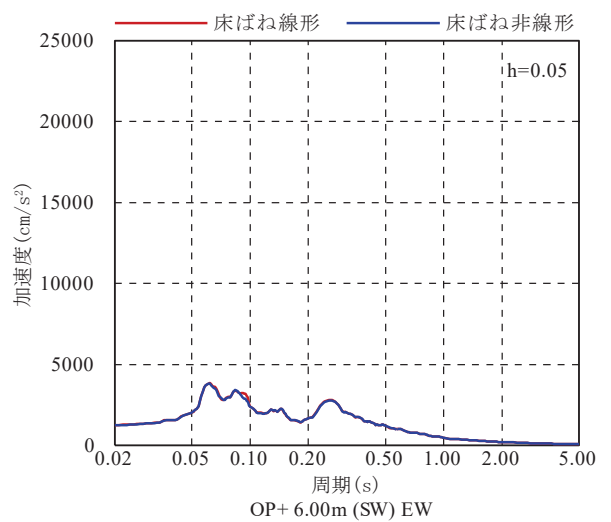
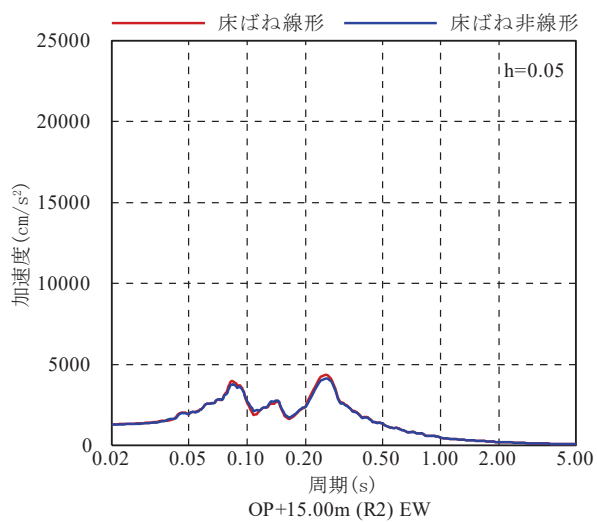
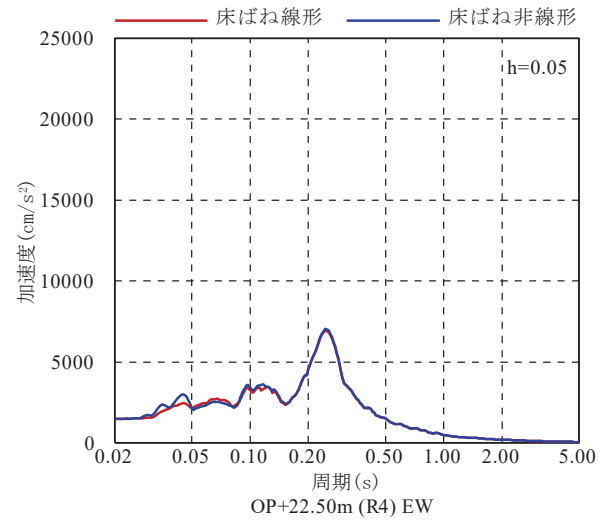
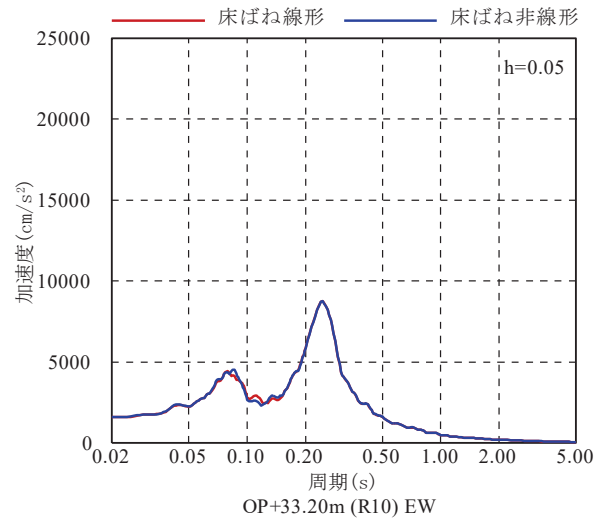
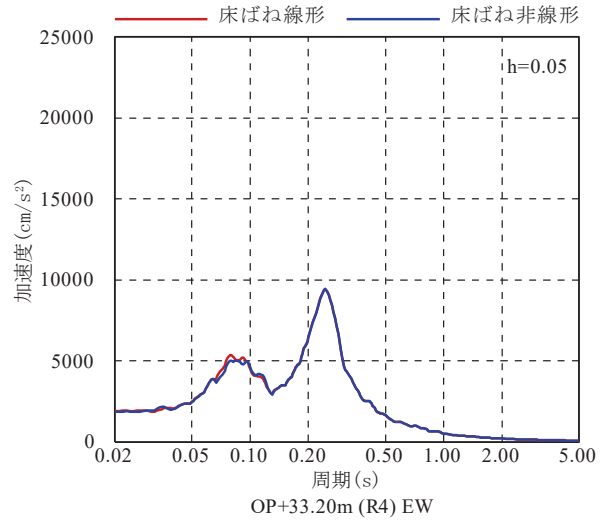
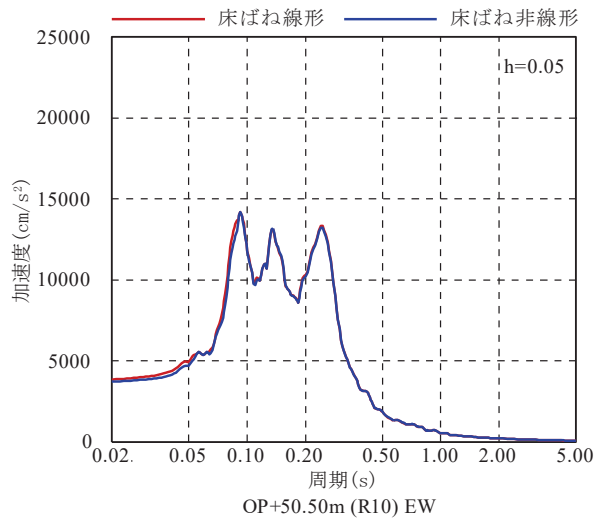


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (EW 方向, S s - D 2)

4.4 床ばね（部材番号(2)，(7)及び(12)）の最大応答せん断ひずみ

表 4-2 に床ばね非線形モデルの床ばね（部材番号(2)，(7)及び(12)）の最大応答せん断ひずみを示す。最大応答せん断ひずみは，部材番号(2)では 0.159×10^{-3} ，部材番号(7)では 0.425×10^{-3} ，部材番号(12)では 0.240×10^{-3} となっている。部材番号(7)は，ひび割れが生じるとされるせん断ひずみ ($0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3}$) を超えているものの第2折点の 0.468×10^{-3} (表 4-3 参照) 以下であることを確認した。これらの結果から，2次格納施設のバウンダリとしての遮へい性，気密性(評価基準値であるせん断ひずみ 2.0×10^{-3}) に対しても問題はないと考えられる。

表 4-2 SA 時環境考慮床ばね非線形モデルの床ばねの最大応答せん断ひずみ

入力波	部材番号	$\gamma_{\max} (\times 10^{-3})$
S s - D 2	(2)	0.159
	(7)	0.425
	(12)	0.240

別紙 6 改造工事に伴う重量増加を反映した検討

目 次

1. 概要.....	別紙 6- 1
2. 検討方針.....	別紙 6- 2
3. 重量増加を考慮した地震応答解析結果を踏まえた各施設の評価結果への 影響検討.....	別紙 6- 3
3.1 建物・構築物.....	別紙 6- 3
3.1.1 使用済燃料プール及びキャスクピット.....	別紙 6- 3
3.1.2 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）.....	別紙 6- 8
3.1.3 原子炉建屋ブローアウトパネル.....	別紙 6-17
3.1.4 原子炉建屋エアロック.....	別紙 6-20
3.1.5 原子炉建屋基礎版.....	別紙 6-23
3.1.6 水密扉.....	別紙 6-26
3.2 機器・配管系.....	別紙 6-30
3.2.1 検討方針.....	別紙 6-30
3.2.2 検討内容.....	別紙 6-33
3.2.3 検討結果.....	別紙 6-57
4. 検討結果.....	別紙 6-76

別紙 6-1 改造工事に伴う重量増加による建屋－機器連成地震応答解析結果に与える影響

1. 概要

添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加が有意な場合は，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した地震応答解析を行い，建物・構築物及び機器・配管系の耐震性への影響についての検討を行う。

2. 検討方針

平成 18 年耐震設計審査指針改定及び平成 25 年新規制基準施行に伴う設備の補強や追加等の改造工事に伴う原子炉建屋の主要な増加重量及び増加重量比を表 2-1 に示す。

増加重量及び増加重量比は小さく，重量増加が建屋の応答性状に与える影響は極めて軽微と想定されるが，施設の重要性を踏まえて添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載のとおり有意な重量増加と判断し，重量増加を反映した影響検討を行う。影響検討を行うに当たっては，添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」（以下「地震応答計算書の別紙」という。）に示す重量増加を反映した地震応答解析結果を用いる。

表 2-1 原子炉建屋の増加重量及び増加重量比

①工認モデル重量 [kN]	②増加重量 [kN]	増加重量比(%) ②/ (①+②)
3414970	43980	1.27

3. 重量増加を考慮した地震応答解析結果を踏まえた各施設の評価結果への影響検討

3.1 建物・構築物

地震応答計算書の別紙に示した地震応答解析結果の応答比率を用いて、各施設の評価結果への影響を検討する。

3.1.1 使用済燃料プール及びキャスクピット

(1) 検討方針

使用済燃料プール及びキャスクピットを対象として、設備の補強や追加等の改修工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と添付書類「VI-2-4-2-1 使用済燃料プール（キャスクピットを含む）（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書」（以下「使用済燃料プールの計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

使用済燃料プールの計算書では、水平地震力として、O.P. 22.5m～33.2m位置（要素番号13（NS方向）及び14（EW方向））の最大応答せん断力を考慮し、鉛直地震力として、O.P. 22.5m～33.2m位置（要素番号6）の鉛直方向最大応答軸力より算出した鉛直震度（軸力係数）を考慮することから、水平方向は要素番号13（NS方向）及び14（EW方向）の最大応答せん断力の応答比率の最大値を、鉛直方向は要素番号6の最大応答軸力の応答比率の最大値を応答比率とし、各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表3-1に応答比率及び割増係数を示す。

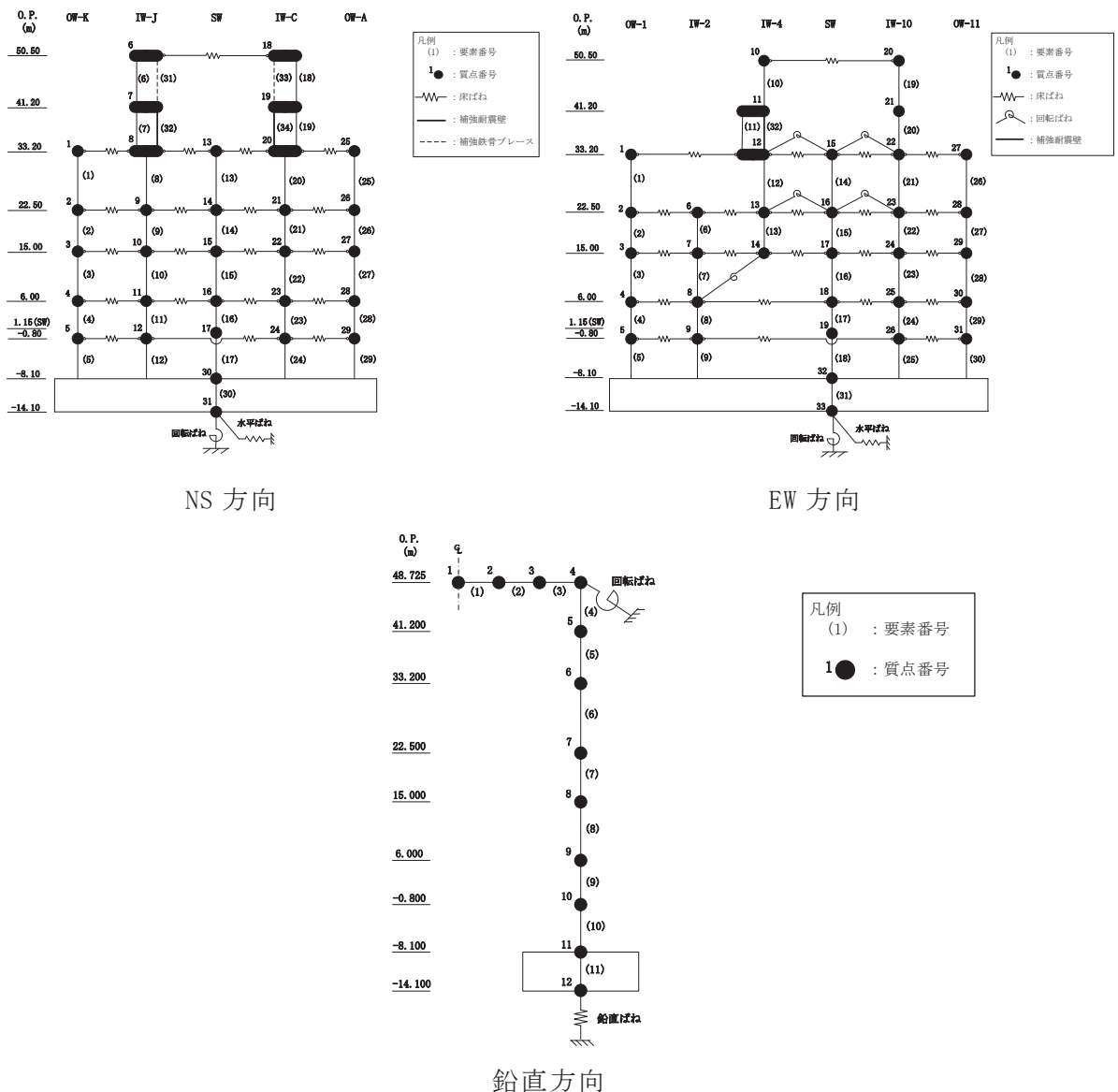
表 3-1 重量増加を考慮した割増係数（使用済燃料プール及びキャスクピット）

位置 (O.P.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
22.5m~33.2m	1.00 ^{*1}	1.00 ^{*1}	1.04 ^{*2}
割増係数	1.04 ^{*3}		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 13（NS 方向）及び 14（EW 方向）の最大応答せん断力の応答比率の最大値。

*2：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 6（鉛直方向）の最大応答軸力の応答比率の最大値。

*3：各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

各荷重時における評価結果を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-2 重量増加を考慮した評価結果 S d 地震時

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	水平	210	1-1	4.79	1.04	4.98	24.3
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	6	1-9	196	1.04	204	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	51	1-4	1.59	1.04	1.65	4.53
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	水平	241	1-1	0.890	1.04	0.926	1.52
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	386	1-11	7.42	1.04	7.72	21.6
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	389	1-3	190	1.04	198	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	390	1-9	1.02	1.04	1.06	3.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	386	1-11	0.576	1.04	0.599	1.06
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	340	1-12	9.30	1.04	9.67	24.3
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	EW	340	1-11	184	1.04	191	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	EW	338	1-11	1.38*	1.04	1.44	2.59

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

表 3-3 重量増加を考慮した評価結果 S s 地震時

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	7	2-9	0.269	1.04	0.280	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	6	2-9	1.28	1.04	1.33	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	3	2-10	2.40	1.04	2.50	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	3	2-11	2.21	1.04	2.30	5.99
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	241	2-1	0.892	1.04	0.928	2.08
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	386	2-11	0.502	1.04	0.522	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	425	2-1	1.30	1.04	1.35	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	390	2-12	2.40	1.04	2.50	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	388	2-10	1.14	1.04	1.19	4.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	386	2-11	0.808	1.04	0.840	1.44
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	340	2-12	0.409	1.04	0.425	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	341	2-11	0.964	1.04	1.00	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	338	2-11	1.89*	1.04	1.97	2.59

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

3.1.2 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）

(1) 検討方針

原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」（以下「二次格納施設の計算書」という。）に示す各評価結果より、影響検討を行う。

二次格納施設の計算書における地震応答解析による評価では、せん断ひずみの評価として、原子炉建屋の耐震壁について基準地震動 S_s に対する各層の最大せん断ひずみを考慮していることから、最大せん断ひずみの応答比率を割増係数として設定し、二次格納施設の計算書における各層の最大せん断ひずみに乗じた値が許容値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

二次格納施設の計算書における応力解析による評価のうち、屋根トラスの評価は、燃料取替床レベル (O.P. 33.2m) より上部を対象とした立体フレームモデル（以下「屋根トラスモデル」という。）の地震応答解析により行っており、屋根トラスモデルへの入力地震動は、基準地震動 S_s による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる O.P. 33.2m 位置における応答加速度（水平方向及び鉛直方向）を用いている。このように、屋根トラスに関しては、原子炉建屋の応答加速度を用いて検討していることから、各方向における O.P. 33.2m 位置の最大応答加速度および床応答スペクトルの応答比率の最大値を割増係数として設定し、屋根トラスの応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

二次格納施設の計算書における応力解析による評価のうち、屋根スラブ及び床スラブの評価は、地震荷重として鉛直震度を考慮することから、鉛直方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

二次格納施設の計算書における応力解析による評価のうち、耐震壁の評価は、地震荷重として曲げモーメント、鉛直震度に重量を乗じて算定した軸力及びせん断力を考慮することから、曲げモーメント、鉛直軸力及びせん断力の応答比率を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-4～表 3-7 に応答比率及び割増係数を示す。

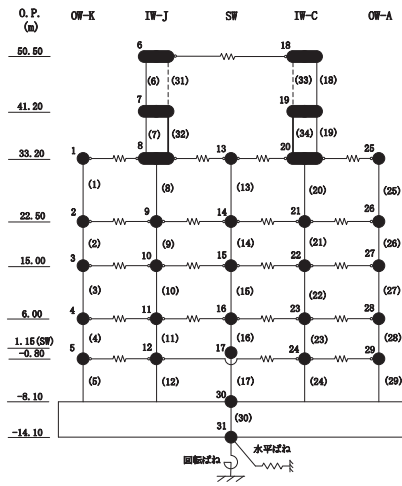
表 3-4(1) 重量増加を考慮した割増係数 (屋根トラス, 最大応答加速度)

位置 (O.P.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
33.2m	1.01 ^{*1}	1.00 ^{*1}	1.02 ^{*2}
割増係数	1.02 ^{*3}		

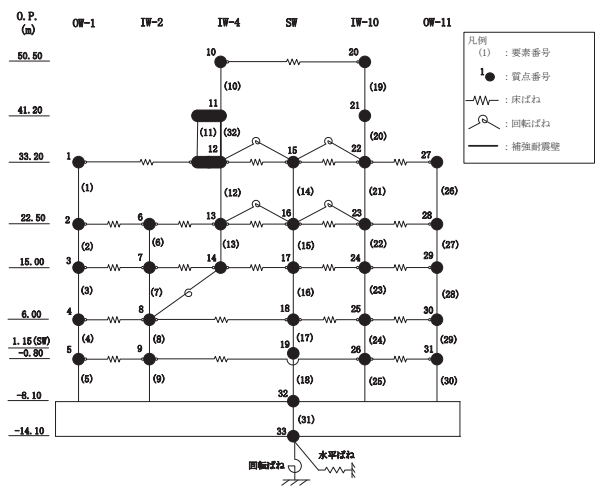
注記*1: 地震応答計算書の別紙に示す質点番号 8 と 20 (NS 方向) 及び 12 と 22 (EW 方向) の平均時刻歴から求まる最大応答加速度の応答比率。

*2: 地震応答計算書の別紙に示す質点番号 6 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

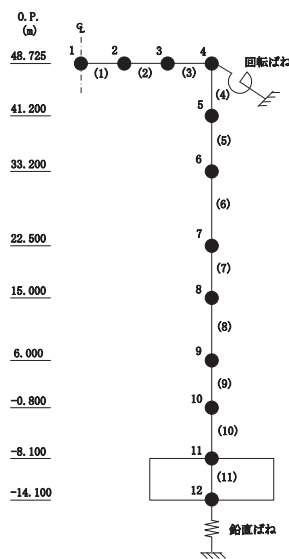
*3: 各方向の応答比率の最大値。



NS 方向



EW 方向



鉛直方向

表 3-4(2) 重量増加を考慮した割増係数（屋根トラス， 応答スペクトル）

方向	鉛直方向
周期	鉛直方向 1 次 0.278s
スペクトル図	<p>— 今回工認モデル - - - 補強反映モデル</p> <p>鉛直方向 1 次 (0.278s)</p> <p>鉛直方向 質点番号 6 (O.P. 33.2m)</p> <p>①今回工認モデル：1300cm/s² ②補強反映モデル：1310cm/s²</p>
応答比率 ②/①	1.01
割増係数	1.01

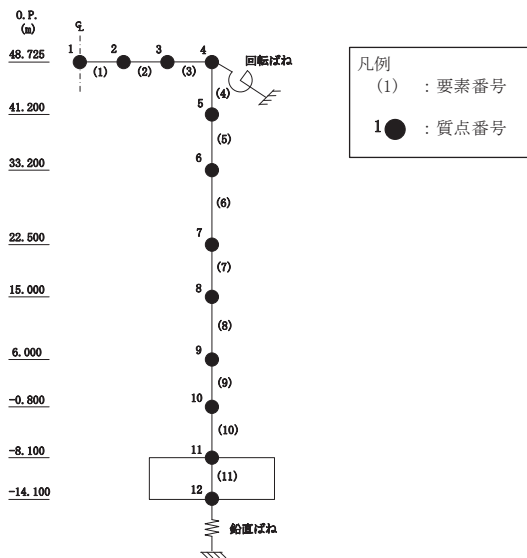


表 3-5 重量増加を考慮した割増係数（屋根スラブ）

位置 (O. P.)	鉛直方向
48.725m	1.03*
割増係数	1.03

注記*：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 1～4 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

表 3-6 重量増加を考慮した割増係数（床スラブ）

位置 (O. P.)	鉛直方向
15.0m	1.01*
割増係数	1.01

注記*：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 8 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

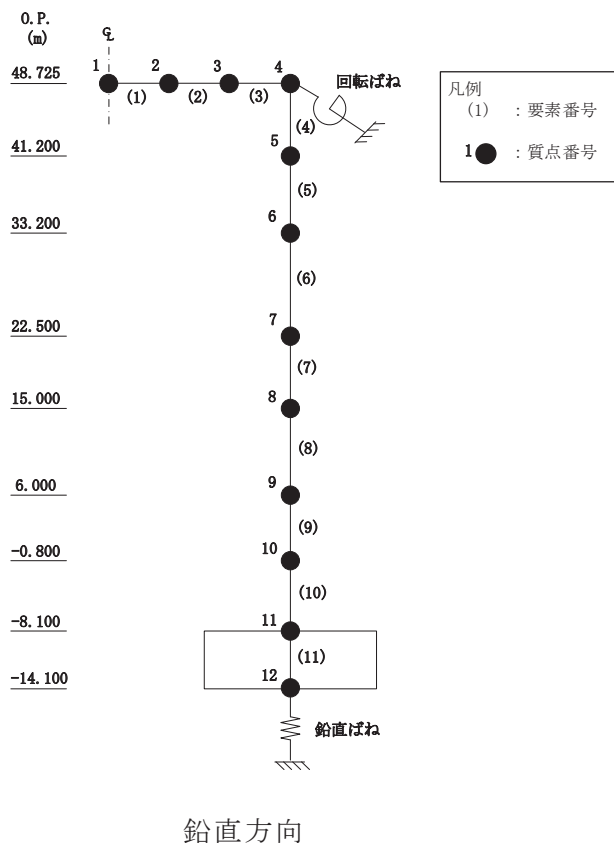


表 3-7 重量増加を考慮した割増係数（耐震壁）

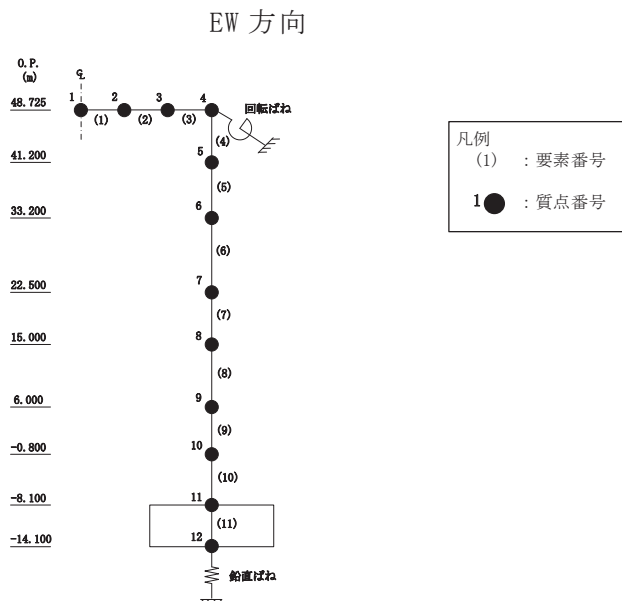
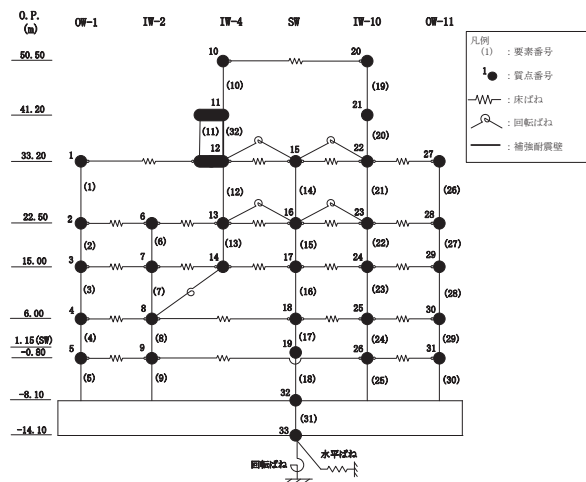
位置 (O.P.)	曲げモーメント	軸力	せん断力
22.5m~33.2m	1.02* ¹	1.04* ²	1.00* ³
割増係数	1.04* ⁴		1.00

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 21（EW 方向）の最大応答曲げモーメントの応答比率。

*2：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 6（鉛直方向）の最大応答軸力の応答比率。

*3：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 21（EW 方向）の最大応答せん断力の応答比率。

*4：曲げモーメント及び軸力の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

a. 地震応答解析による評価

地震応答解析による評価について、材料物性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみに設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を乗じた評価値は、地震応答計算書の別紙 4.3 項に示す 1.75×10^{-3} (要素番号 7, NS 方向) となり、許容値 (2.0×10^{-3}) を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

b. 応力解析による評価

(a) 屋根トラス

応力評価結果について、床スラブの評価結果を表 3-8 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた評価においても、各応力が許容限界を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-8(1) 重量増加を考慮した評価結果（屋根トラス）（1/2）

部位		評価項目	検定比 ①	割増係数 ②	①×②	許容限界
主トラス	上弦材	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.28	1.02	0.29	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.17	1.02	0.17	1.0
	下弦材	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.79	1.02	0.81	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.29	1.02	0.30	1.0
	斜材	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.03	1.02	0.03	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	0.61	1.02	0.62	1.0
	束材	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.06	1.02	0.06	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	0.18	1.02	0.18	1.0
サブトラス	上弦材	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.55	1.02	0.56	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.61	1.02	0.62	1.0
	下弦材	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.75	1.02	0.77	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.44	1.02	0.45	1.0
	斜材	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.21	1.02	0.21	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	0.80	1.02	0.82	1.0
	束材	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.11	1.02	0.11	1.0
		$\frac{\sigma_c}{f_c}$	0.23	1.02	0.23	1.0

表 3-8(2) 重量増加を考慮した評価結果（屋根トラス）（2/2）

部位	評価項目	検定比 ①	割増係数 ②	①×②	許容限界
母屋	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.71	1.02	0.72	1.0
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.72	1.02	0.73	1.0
方杖	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.24	1.02	0.24	1.0
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	0.67	1.02	0.68	1.0

(b) 屋根スラブ

応力評価結果について、屋根スラブの評価結果を表 3-9 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた評価においても、各応力が許容限界を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-9 重量増加を考慮した評価結果（屋根スラブ）

評価項目		発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容限界
曲げモーメント	鉄筋応力度 (N/mm ²)	272	1.03	280	345
面外せん断力	発生せん断力 (kN/m)	42.6	1.03	43.9	112.2

(c) 床スラブ

応力評価結果について、床スラブの評価結果を表 3-10 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた評価においても、各応力が許容限界を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-10 重量増加を考慮した評価結果（床スラブ）

評価項目		発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容限界
曲げモーメント	鉄筋応力度 (N/mm ²)	244	1.01	246	345
面外せん断力	発生せん断力 (kN/m)	322	1.01	325	912

(d) 耐震壁

応力評価結果について、耐震壁の評価結果を表 3-11 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた評価においても、各応力が許容限界を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-11 重量増加を考慮した評価結果（耐震壁）

評価項目		発生値 ①		割増係数 ②	①×②	組合せ $\sigma_t + s \sigma_t$	許容限界
曲げモーメント に対する検討	鉄筋応力度 (N/mm ²)	σ_t	135	1.04	140	335	345
		$s \sigma_t$	195				

3.1.3 原子炉建屋ブローアウトパネル

(1) 検討方針

原子炉建屋ブローアウトパネル（以下「原子炉建屋 BOP」という）を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率を用いて、添付書類「VI-2-9-3-1-1 原子炉建屋ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」（以下「原子炉建屋 BOP の計算書という。）に示す機能維持評価の影響検討を行う。

原子炉建屋 BOP の計算書では、S d 閉機能維持評価は、O.P. 38.5m 位置（O.P. 41.2m：質点番号 7, 19 と O.P. 33.2m：質点番号 1, 8, 13, 20, 25 の線形補間）の NS 方向の応答加速度より定めた水平震度を用いて検討していることから、O.P. 41.2m 及び O.P. 33.2m の NS 方向の最大応答加速度の応答比率の最大値による O.P. 38.5m における線形補間値を割増係数として設定し、割増係数を乗じた S d 地震荷重が開放荷重を超えないことを確認する。

原子炉建屋 BOP の計算書では、S s 開機能維持評価は、せん断ひずみの許容限界を層間変形角として層間変位の検討をしているが、ここでは O.P. 33.2m～O.P. 41.2m 位置（要素番号 11, 20, 32）の EW 方向の最大せん断ひずみの応答比率を割増係数として設定し、割増係数を乗じた層間変位が許容値を超えないことを確認する。

表 3-12 及び表 3-13 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-12 重量増加を考慮した割増係数（原子炉建屋 BOP S d 閉機能維持）

位置 (O. P.)	NS 方向
41.2m	1.00* ¹
33.2m	1.05* ²
割増係数	1.02* ³

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 7, 19 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

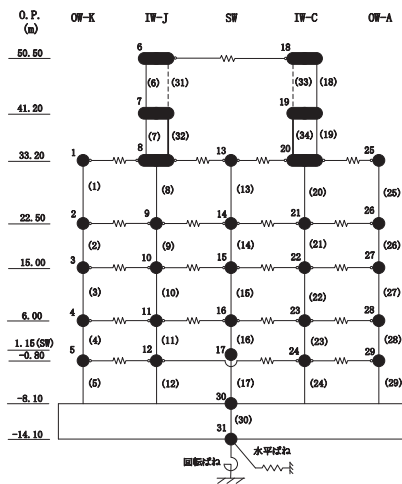
*2：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 1, 8, 13, 20, 25 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

*3：O. P. 41.2m 及び O. P. 33.2m の応答比率による O. P. 38.5m における線形補間値。

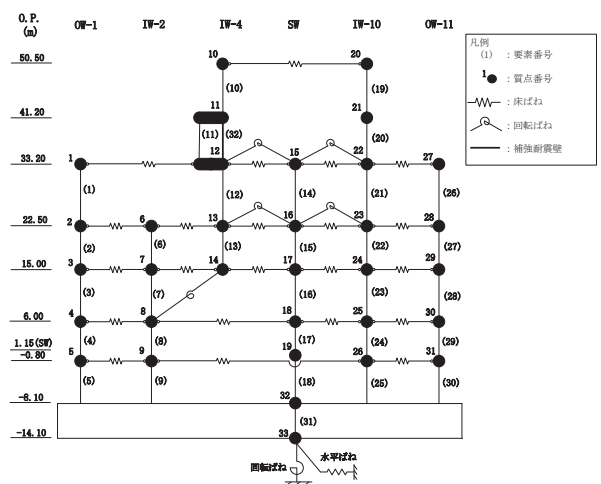
表 3-13 重量増加を考慮した割増係数（原子炉建屋 BOP S s 開機能維持）

位置 (O. P.)	EW 方向
33.2m~41.2m	1.15* ¹
割増係数	1.15

注記*：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 11, 20, 32 の最大せん断ひずみの応答比率の最大値。



NS 方向



EW 方向

(2) 検討結果

a. S d 閉機能維持評価

評価結果を表 3-14 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても，許容値を超えないため，重量増加を考慮した場合においても，耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-14 重量増加を考慮した評価結果（原子炉建屋 BOP S d 閉機能維持）

項目	地震荷重 (kN) ①	割増係数 ②	① × ②	開放荷重*
開放時	59.9	1.02	61.1	80.1

注記*：実機大モックアップ試験結果。

b. S s 開機能維持評価

評価結果を表 3-15 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても，許容値を超えないため，重量増加を考慮した場合においても，耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-15 重量増加を考慮した評価結果（原子炉建屋 BOP S s 開機能維持）

層間変位 (mm) ①	割増係数 ②	① × ②	許容値
8.4	1.15	9.7	50

3.1.4 原子炉建屋エアロック

(1) 検討方針

原子炉建屋エアロック（以下「エアロック」という。）を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と添付書類「VI-2-9-3-3 原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書」（以下「エアロックの計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

エアロックの計算書では、O.P. 22.5m 位置の最大応答加速度による水平震度及び鉛直震度を用いて検討していることから、各方向の最大応答加速度の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-16 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-16 重量増加を考慮した割増係数 (エアロック)

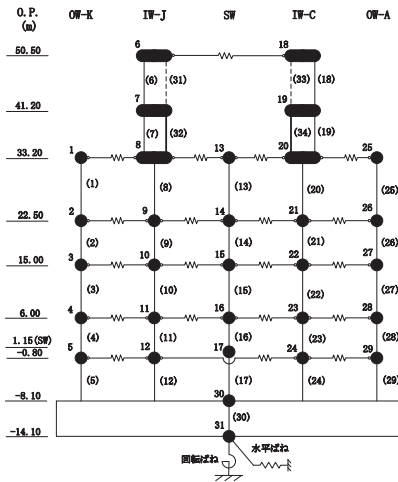
位置 (O. P.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
22.5m	1.01 ^{*1}	1.03 ^{*2}	1.01 ^{*3}
割増係数	1.03 ^{*4}		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 2, 9, 14, 21, 26 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

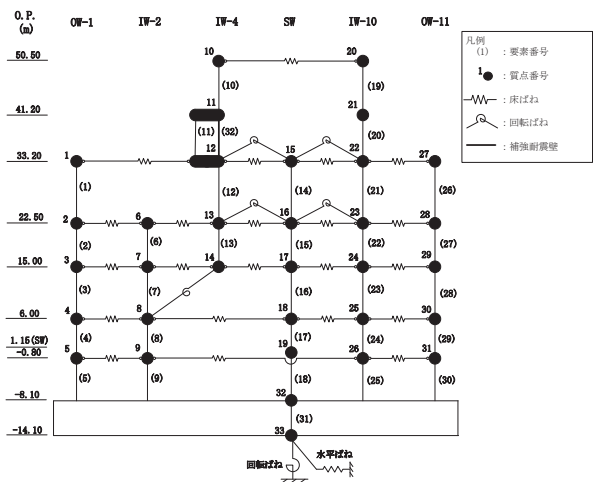
*2：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 2, 6, 13, 16, 23, 28 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

*3：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 7 の最大応答加速度の応答比率。

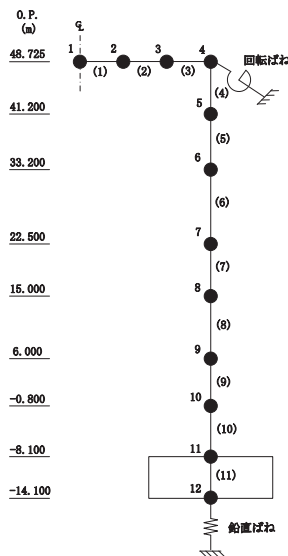
*4：各方向の応答比率の最大値。



NS 方向



EW 方向



鉛直方向

(2) 検討結果

エアロックの評価結果を表 3-17 に示す。重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-17 重量増加を考慮した評価結果

評価部位		分類	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容限界
ヒンジ部	ヒンジ アーム	曲げ (N/mm ²)	28	1.03	29	215
		せん断 (N/mm ²)	3	1.03	3	124
		組合せ (N/mm ²)	28	1.03	29	215
	ヒンジ ピン	曲げ (N/mm ²)	182	1.03	187	345
		せん断 (N/mm ²)	17	1.03	18	199
		組合せ (N/mm ²)	184	1.03	190	345
	ヒンジ ボルト	引張 (N/mm ²)	39	1.03	40	651
		せん断 (N/mm ²)	39	1.03	40	375
	カンヌキ部	カンヌキ	曲げ (N/mm ²)	7	1.03	7
せん断 (N/mm ²)			2	1.03	2	118
組合せ (N/mm ²)			7	1.03	7	205
カンヌキ受け ピン		曲げ (N/mm ²)	42	1.03	43	205
		せん断 (N/mm ²)	4	1.03	4	118
カンヌキ受け ボルト		引張 (N/mm ²)	19	1.03	20	651

3.1.5 原子炉建屋基礎版

(1) 検討方針

原子炉建屋基礎版を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」（以下「基礎版の計算書」という。）に示す各評価結果より影響検討を行う。

基礎版の計算書における地震応答解析による評価では、接地圧の評価として、基準地震動 S_s に対する最大接地圧を考慮していることから、最大接地圧の応答比率を割増係数として設定し、基礎版の計算書における各最大接地圧に乗じた値が許容値（ 13700kN/m^2 ）を超えないことを確認する。

基礎版の計算書における応力解析による評価では、地震荷重として、上部構造物からの基礎へのせん断力、曲げモーメント及び軸力（軸力係数）を考慮することから、基礎スラブ直上層である O.P. -8.1m～-0.8m 位置の最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力の各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-18 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-18 重量増加を考慮した割増係数（原子炉建屋基礎版）

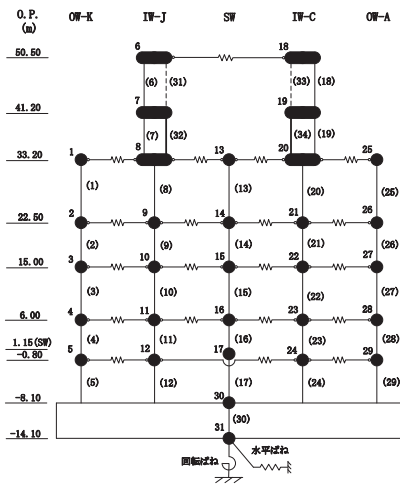
位置 (O. P.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
-8.1m~-0.8m	1.03* ¹	1.02* ²	1.03* ³
割増係数	1.03* ⁴		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 5, 12, 17, 24, 29 の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値。

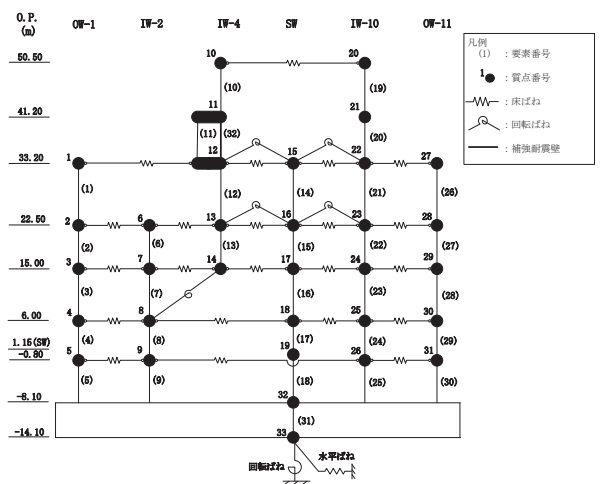
*2：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 5, 9, 18, 25, 30 の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値。

*3：地震応答計算書の別紙に示す要素番号 10 の最大応答軸力の応答比率。

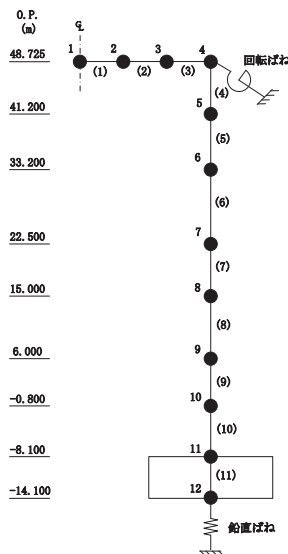
*4：各方向の応答比率の最大値。



NS 方向



EW 方向



鉛直方向

(2) 検討結果

a. 地震応答解析による評価

地震応答解析による評価について、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数に乗じた、材料物性の不確かさを考慮した最大接地圧は、地震応答計算書の別紙 4.3 項に示すとおり、S_s地震時は 3500kN/m² (NS 方向) となり、許容限界 (13700kN/m²) を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

b. 応力解析による評価

評価結果を表 3-19 に示す。

重量増加を考慮した割増係数に乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-19 重量増加を考慮した評価結果 S_s地震時

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモー メント	コンクリート 圧縮ひずみ (×10 ⁻³)	EW	1123	1-6	0.766	1.03	0.789	3.00
	鉄筋 圧縮ひずみ (×10 ⁻³)	放射	169	1-2	0.488	1.03	0.503	5.00
面外 せん断力	面外 せん断応力度 (N/mm ²)	NS	1158	1-4	1.52*	1.03	1.57*	2.42

注記*：応力の再配分等を考慮して応力の平均化を行った結果。

3.1.6 水密扉

(1) 検討方針

溢水防護設備である原子炉建屋の水密扉（以下「水密扉」という。）を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と添付書類「VI-2-10-2-7-2 水密扉（溢水防護設備）の耐震性についての計算書」（以下「水密扉の計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

水密扉の計算書では、O.P. 22.5m 及び O.P. -0.80m 位置の最大応答加速度による水平震度及び鉛直震度を用いて検討していることから、各方向の最大応答加速度の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-20 及び表 3-21 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-20 重量増加を考慮した割増係数（水密扉 No. 9, 10, 12）

位置 (O.P.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
22.5m	1.01 ^{*1}	1.03 ^{*2}	1.01 ^{*3}
割増係数	1.03 ^{*4}		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 2, 9, 14, 21, 26 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

*2：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 2, 6, 13, 16, 23, 28 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

*3：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 7 の最大応答加速度の応答比率。

*4：各方向の応答比率の最大値。

表 3-21 重量増加を考慮した割増係数 (水密扉 No. 1)

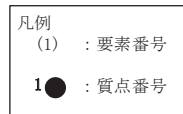
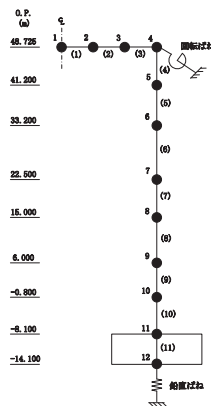
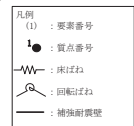
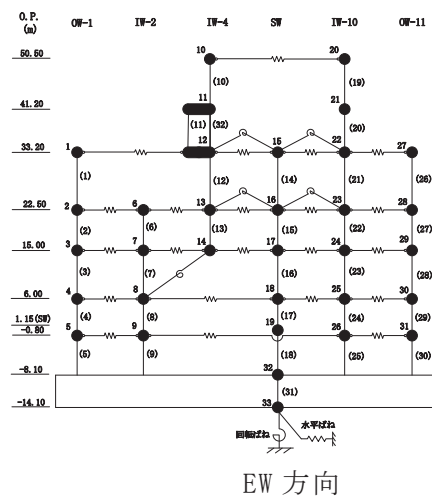
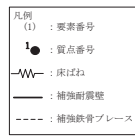
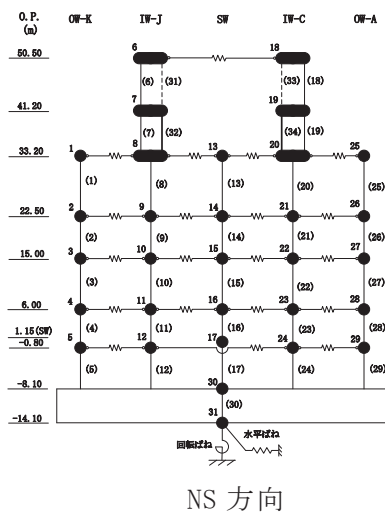
位置 (O. P.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
-0.80m	1.00* ¹	1.02* ²	1.00* ³
割増係数	1.02* ⁴		

注記*1: 地震応答計算書の別紙に示す質点番号 5, 12, 24, 29 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

*2: 地震応答計算書の別紙に示す質点番号 5, 9, 26, 31 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

*3: 地震応答計算書の別紙に示す質点番号 10 の最大応答加速度の応答比率。

*4: 各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

水密扉の評価結果を表 3-22 に示す。重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-22(1) 重量増加を考慮した評価結果 (1/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値① (応力度, 荷 重) (N/mm ² , N)	割増係数 ②	①×②	許容限界値 (N/mm ² , N)	備考
1	ヒンジ 部	ヒンジ板* ¹	67	1.02	68	235	組合せ
		ヒンジピン* ¹	173	1.02	176	345	組合せ
		ヒンジボルト	46	1.02	47	420	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ* ¹	13	1.02	13	205	組合せ
		カンヌキ 受けピン* ²	12	1.02	12	345	曲げ
		カンヌキ 受けボルト	5	1.02	5	728	引張
	アンカーボルト* ³		3497	1.02	3567	12824	せん断
9	ヒンジ 部	ヒンジ板* ¹	106	1.03	109	215	組合せ
		ヒンジピン* ¹	48	1.03	49	686	組合せ
		ヒンジボルト	42	1.03	43	420	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ* ¹	99	1.03	102	205	組合せ
		カンヌキ 受けピン* ²	123	1.03	127	345	曲げ
		カンヌキ 受けボルト	34	1.03	35	854	引張
	アンカーボルト* ³		12290	1.03	12659	40302	せん断
10	ヒンジ 部	ヒンジ板* ¹	62	1.03	64	215	組合せ
		ヒンジピン* ¹	93	1.03	96	345	組合せ
		ヒンジボルト	199	1.03	205	420	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ* ¹	143	1.03	147	345	組合せ
		カンヌキ 受けピン* ²	75	1.03	77	345	曲げ
		カンヌキ 受けボルト	—	—	—	—	—
	アンカーボルト* ³		46030	1.03	47411	92284	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張, せん断及び組合せのうち、評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-22(2) 重量増加を考慮した評価結果 (2/2)

水密 扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷 重) (N/mm ² , N)	割増係数 ②	①×②	許容限界値 (N/mm ² , N)	備考
12	ヒンジ 部	ヒンジ板* ¹	65	1.03	67	215	組合せ
		ヒンジピン* ¹	64	1.03	66	686	組合せ
		ヒンジボルト	33	1.03	34	493	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ* ¹	29	1.03	30	205	組合せ
		カンヌキ 受けピン* ²	44	1.03	45	345	曲げ
		カンヌキ 受けボルト	12	1.03	12	854	引張
	パネル取付ボルト		3	1.03	3	854	引張
	方立		40	1.03	41	235	曲げ
	マグサ		22	1.03	23	235	曲げ
	アンカーボルト* ³		6012	1.03	6192	25826	せん断

注記*1：曲げ,せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

3.2 機器・配管系

3.2.1 検討方針

設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加による影響確認フローを図 3-2-1 に示し、以下の通り、改造工事に伴う重量増加による影響確認を行う。影響確認は、以下に示す「工認モデル」及び「補強反映モデル」の地震応答解析結果を用いて応答比率を作成し、それを考慮した耐震条件（以下「補強反映耐震条件」という。）を用いて行う。

【工認モデル】

- ・添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデル
- ・添付書類「VI-2-3-2 炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示す原子炉圧力容器、原子炉しゃへい壁及び原子炉本体の基礎等（以下「大型機器系」という。）の地震応答解析モデル

【補強反映モデル】

- ・改造工事に伴う重量増加を反映した「地震応答計算書の別紙 3.2 地震応答解析モデル」に示す原子炉建屋の地震応答解析モデル（基本ケース）
- ・改造工事に伴う重量増加を反映した別紙 6-1「改造工事に伴う重量増加による建屋－機器連成地震応答解析結果に与える影響 3.2 解析モデル」に示す大型機器系の地震応答解析モデル（基本ケース）

(1) 検討対象

原子炉建屋に設置される以下の機器・配管系を影響検討の対象とする。

- ・設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類の S クラスに属する機器・配管系
- ・重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に属する機器・配管系
- ・波及的影響防止のために耐震評価を実施する機器・配管系

(2) 影響検討における耐震条件の考え方

改造工事に伴う重量増加の影響検討における耐震条件は、「工認モデル（基本ケース）」、「補強反映モデル」及び基準地震動 $S_s - D2$ を用いた地震応答解析を行い、「工認モデル（基本ケース）」による応答と「補強反映モデル」による応答の比から応答比率を算定し、算定した応答比率を「工認モデル（不確かさケースを含む）」及び基準地震動 S_s （7 波）を用いた地震応答解析結果に乗じることで「補強反映

耐震条件」を作成する。応答比率の算定結果を「3.2.2(1) 応答比率算定」に、詳細な「補強反映耐震条件」の作成方法を「3.2.2(2) 補強反映耐震条件作成」に示す。

なお、「2.1 解析方針」に示すとおり、影響検討は応答比率を用いた手法により行うことから、応答比率の算出のための「補強反映モデル」を用いた地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 $S_s - D_2$ に対して実施し、「補強反映耐震条件」の作成では、基準地震動 S_s (7波) に対する応答を考慮する。

(3) 簡易評価

(1)の検討対象設備に対する裕度(許容値/発生値)を整理する。

また、「補強反映耐震条件」と「工認モデル」の応答から作成した耐震計算に用いる耐震条件(最大応答加速度、床応答曲線及び地震力)との条件比率を作成する。

ただし、耐震計算において非線形要素を用いた時刻歴応答解析により発生値を算定している原子炉建屋クレーンについては、固有周期の変動等の不確かさを考慮して0.05~1.00sの周期帯での補強反映床応答曲線と設計用床応答曲線の比率の最大値を用いた比較を行う。

条件比率と設備の裕度を比較し、条件比率が設備の裕度以下となることを確認する。確認の結果、条件比率が設備の裕度を上回る場合は、詳細評価を行う。

(4) 詳細評価

簡易評価で条件比率が設備の裕度を上回った設備について、補強反映耐震条件を用いて、当該設備の耐震計算書で適用している評価手法と同等の手法による評価を行い、発生値が許容値以下となることを確認する。確認の結果、発生値が許容値を上回る場合は、追加検討を行う。

(5) 追加検討

詳細評価で発生値が許容値を上回った設備は、設備の評価結果等に応じて個別に設備対策、評価の精緻化等を行うものとする。

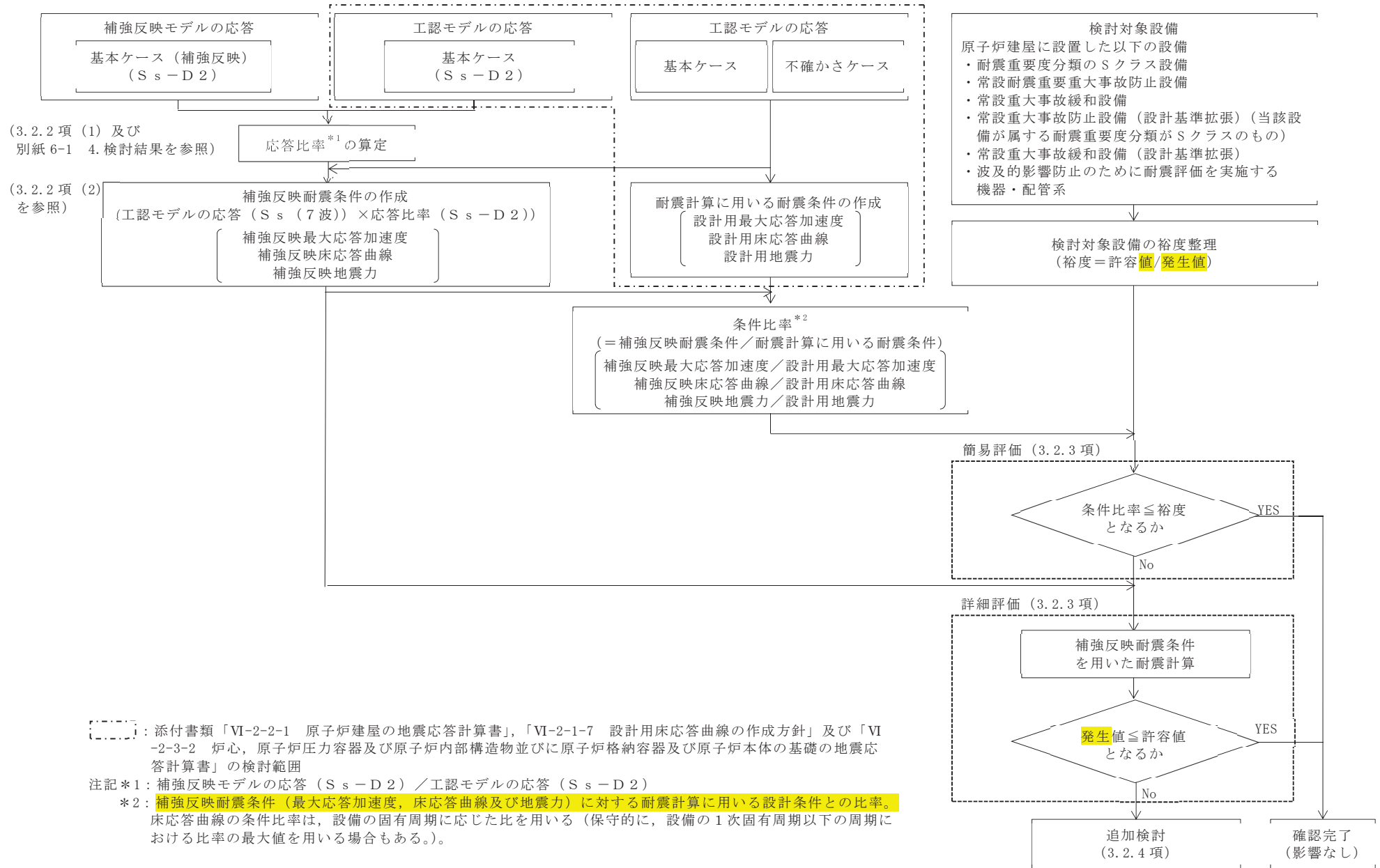


図 3-2-1 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した影響検討フロー

3.2.2 検討内容

(1) 応答比率

機器・配管系の耐震計算に用いる条件の応答比率の算定方法及び応答比率を以下に示す（建屋－機器連成地震応答解析結果を踏まえた応答比率は、「別紙 6-1 改造工事に伴う重量増加による建屋－機器連成地震応答解析結果に与える影響」参照）。

a. 最大応答加速度の応答比率

各標高について、基準地震動 $S_s - D_2$ による工認モデル（基本ケース）と補強反映モデル（基本ケース）の最大応答加速度を比較し、補強反映モデルの最大応答加速度／工認モデルの最大応答加速度により応答比率を算定する。なお、水平方向の最大応答加速度の応答比率算定にあたっては、NS 方向と EW 方向の包絡値（以下、「NS/EW 包絡」という。）を用いる。

原子炉建屋の最大応答加速度の応答比率を表 3-2-1～表 3-2-4 に示す

表 3-2-1 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 $S_s - D_2$, 1.0ZPA, 水平方向(NS/EW包絡) : 原子炉建屋)

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.0$		応答比率 (②/①)
	①工認モデル	②補強反映モデル	
50.500	4.71	4.37	0.93
41.200	2.56	2.48	0.97
33.200	2.03	1.98	0.98
22.500	1.74	1.76	1.02
15.000	1.39	1.35	0.98
6.000	1.30	1.28	0.99
1.150	1.00	1.02	1.02
-0.800	0.99	1.00	1.02
-8.100	0.66	0.65	0.99

表 3-2-2 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 $S_s - D_2$, 1.0ZPA, 鉛直方向 : 原子炉建屋)

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.0$		応答比率 (②/①)
	①工認モデル	②補強反映モデル	
48.725	1.58	1.61	1.02
41.200	1.46	1.46	1.00
33.200	1.38	1.40	1.02
22.500	1.22	1.23	1.01
15.000	0.99	1.00	1.02
6.000	0.75	0.75	1.00
-0.800	0.62	0.61	0.99
-8.100	0.55	0.55	1.00

表 3-2-3 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 $S_s - D 2$, 1.2ZPA, 水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋)

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
	①工認モデル	②補強反映モデル	
50.500	5.66	5.24	0.93
41.200	3.07	2.98	0.98
33.200	2.44	2.38	0.98
22.500	2.09	2.11	1.01
15.000	1.67	1.62	0.98
6.000	1.55	1.54	1.00
1.150	1.20	1.22	1.02
-0.800	1.18	1.19	1.01
-8.100	0.79	0.78	0.99

表 3-2-4 最大応答加速度の応答比率

(基準地震動 $S_s - D 2$, 1.2ZPA, 鉛直方向 : 原子炉建屋)

標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
	①工認モデル	②補強反映モデル	
48.725	1.90	1.94	1.03
41.200	1.75	1.75	1.00
33.200	1.66	1.68	1.02
22.500	1.46	1.47	1.01
15.000	1.19	1.20	1.01
6.000	0.90	0.90	1.00
-0.800	0.74	0.73	0.99
-8.100	0.66	0.66	1.00

b. 床応答曲線の応答比率

工認モデルと補強反映モデルにおける基準地震動 $S_s - D_2$ による床応答曲線を比較し、各標高・各減衰について、補強反映モデルの震度／工認モデルの震度により周期毎の応答比率を算定する。なお、水平方向の床応答曲線の応答比率算定にあたっては、「NS/EW 包絡」を用いる。応答比率の算定例を図 3-2-2 に示す。

原子炉建屋の各標高・減衰定数 2.0%の工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線を図 3-2-3 及び図 3-2-4 に、周期毎の応答比率を図 3-2-5 及び図 3-2-6 に示す。なお、床応答曲線の減衰定数は、耐震裕度の比較的小さい配管系の主要な減衰定数である 2.0%を代表として、設備評価に用いた標高の床応答曲線を記載している。

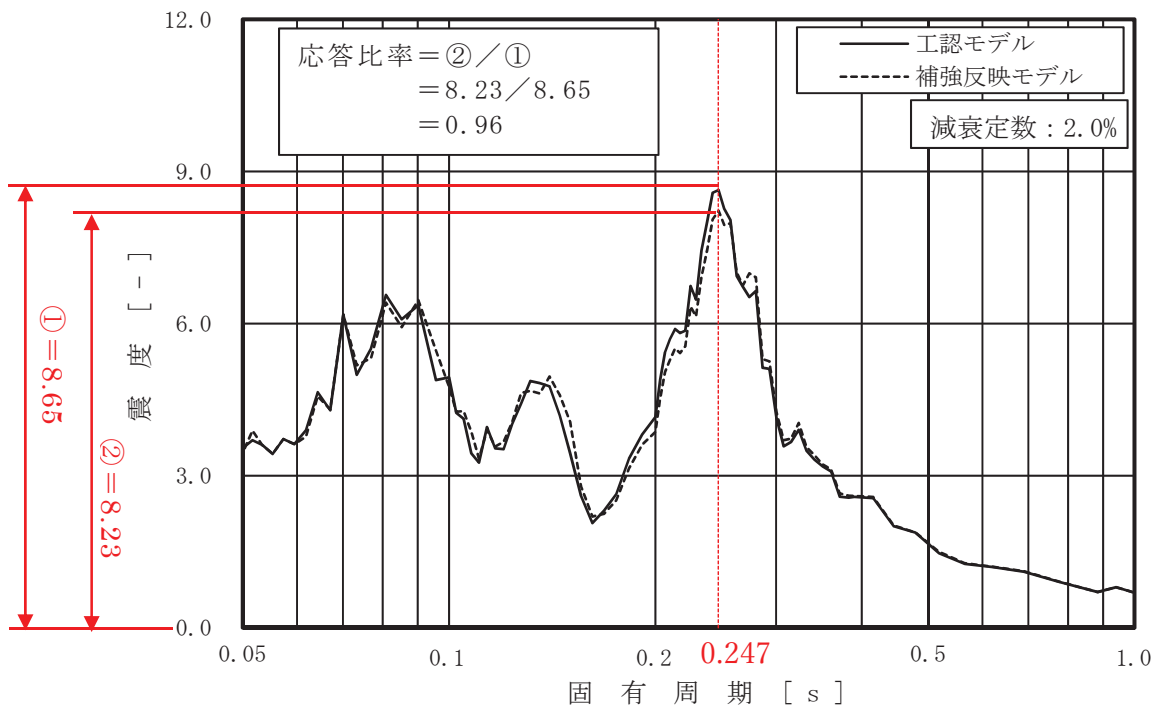


図 3-2-2 床応答曲線における応答比率の算定例

(水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋 0. P. 15.0m, 固有周期 0.247s)

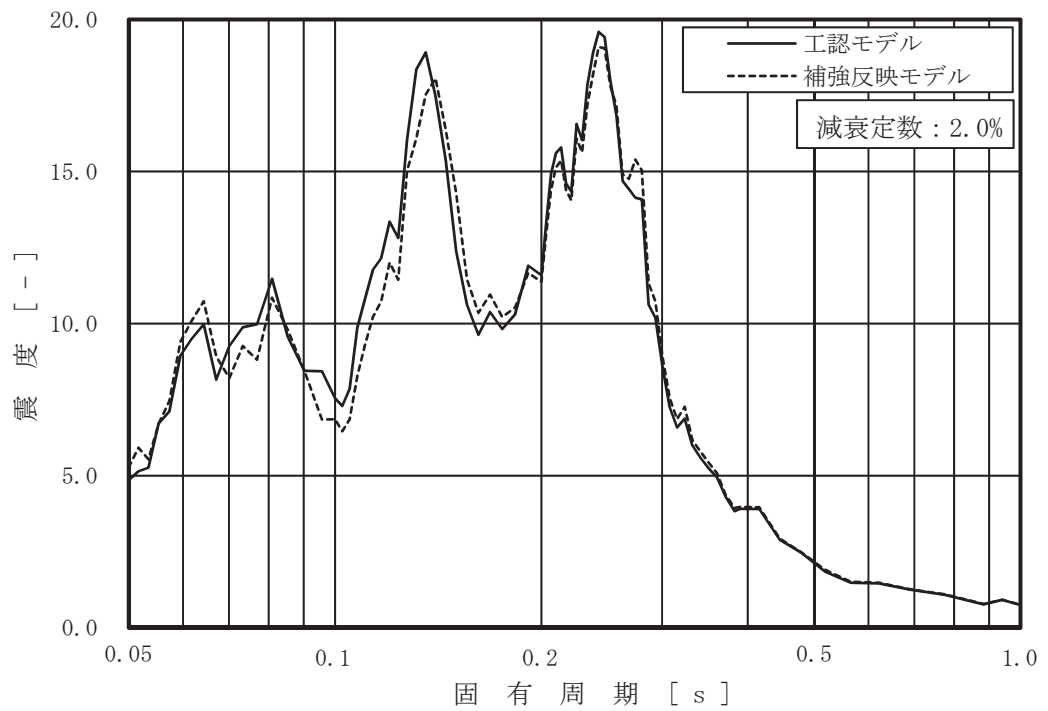


図 3-2-3 (1/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P.41.2m)

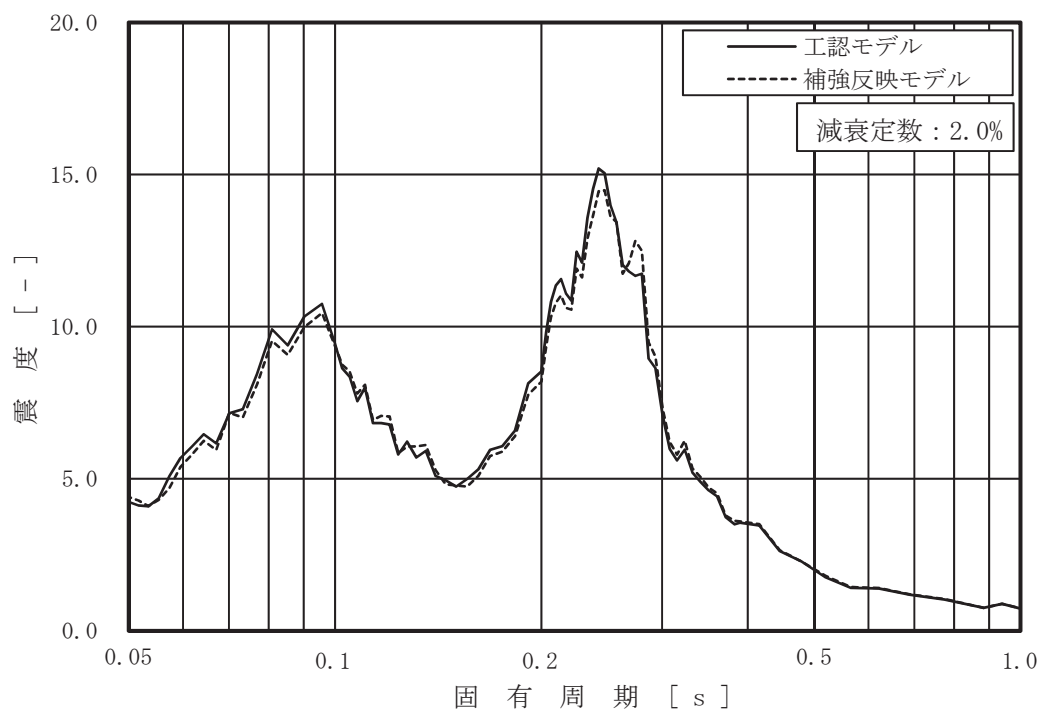


図 3-2-3 (2/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P.33.2m)

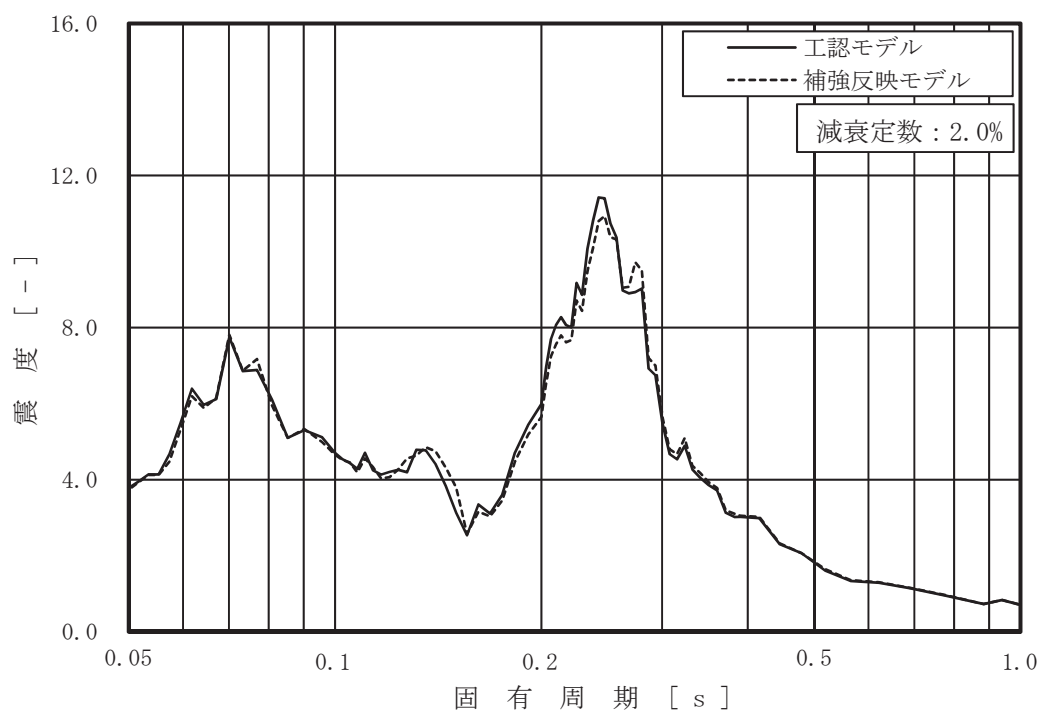


図 3-2-3 (3/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P. 22.5m)

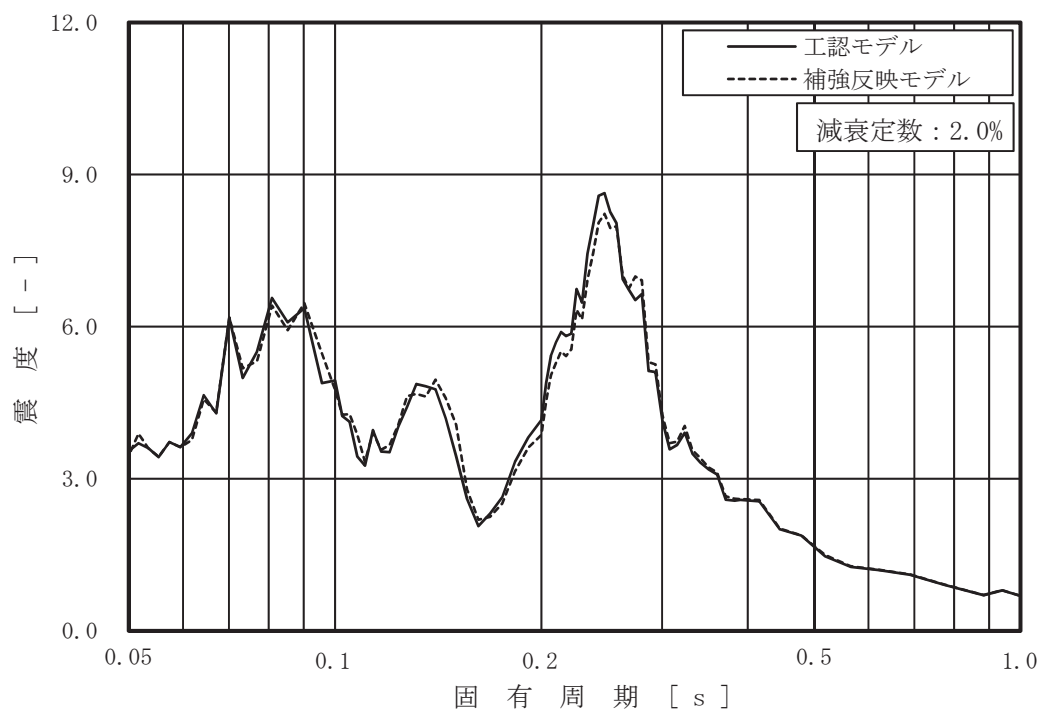


図 3-2-3 (4/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P. 15.0m)

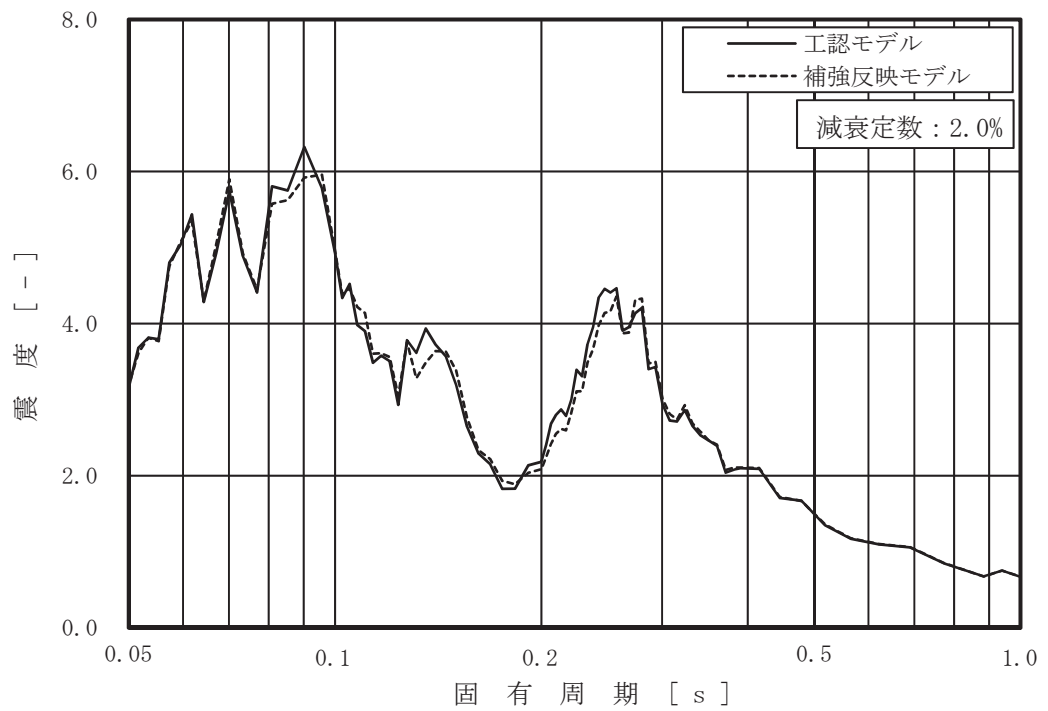


図 3-2-3 (5/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P. 6.0m)

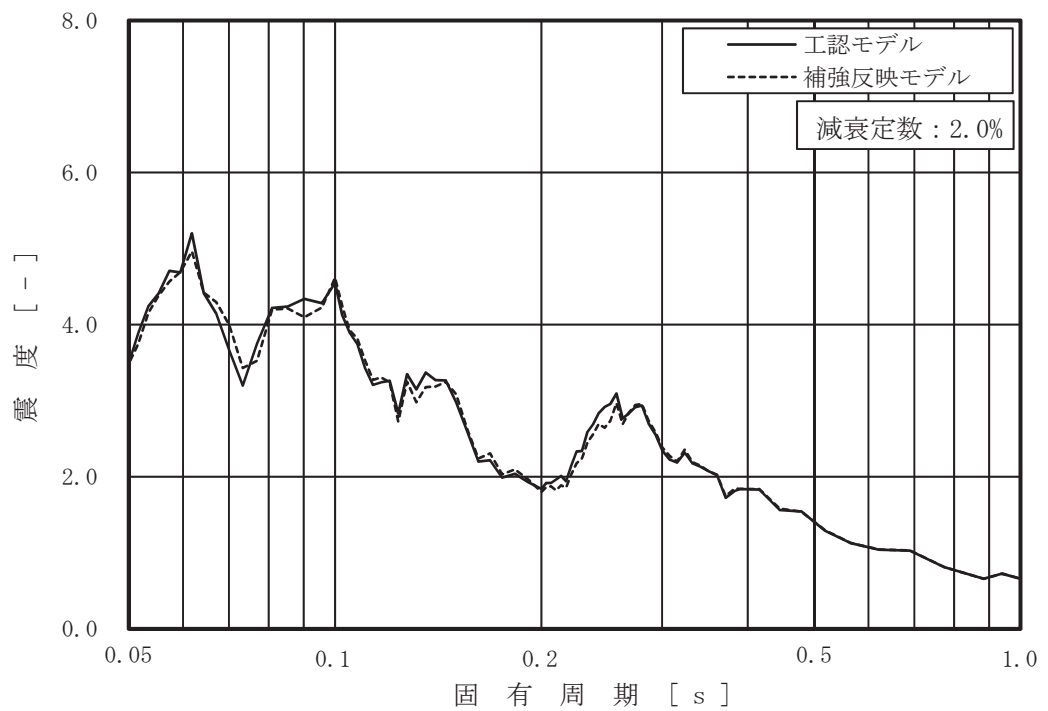


図 3-2-3 (6/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P. 1.15m)

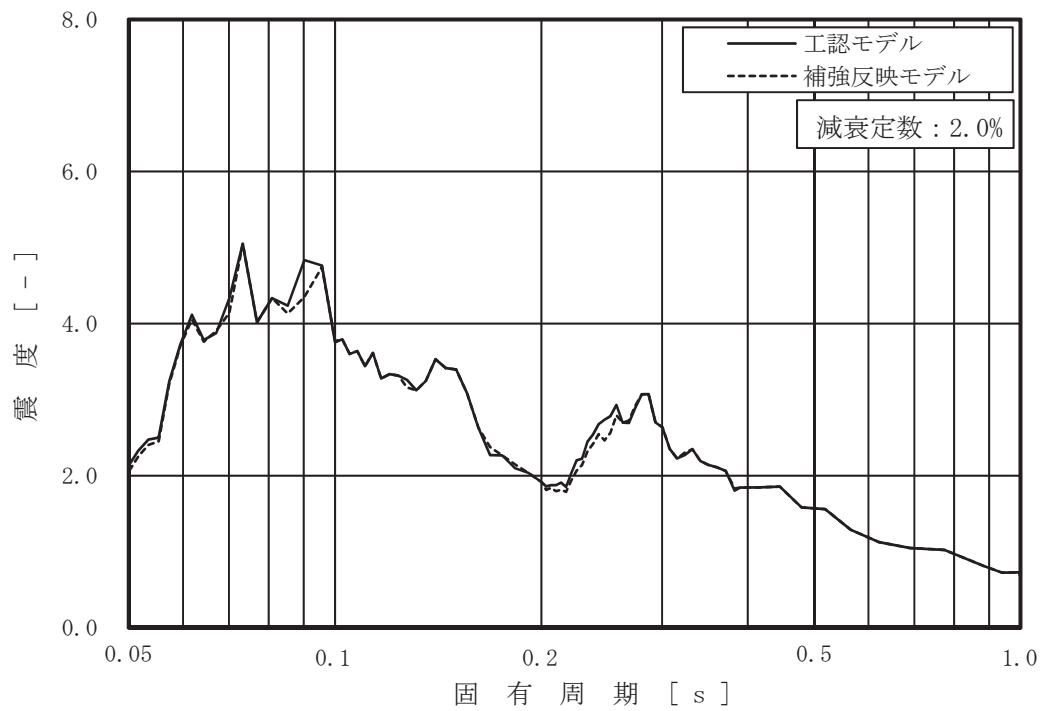


図 3-2-3 (7/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P.-0.8m)

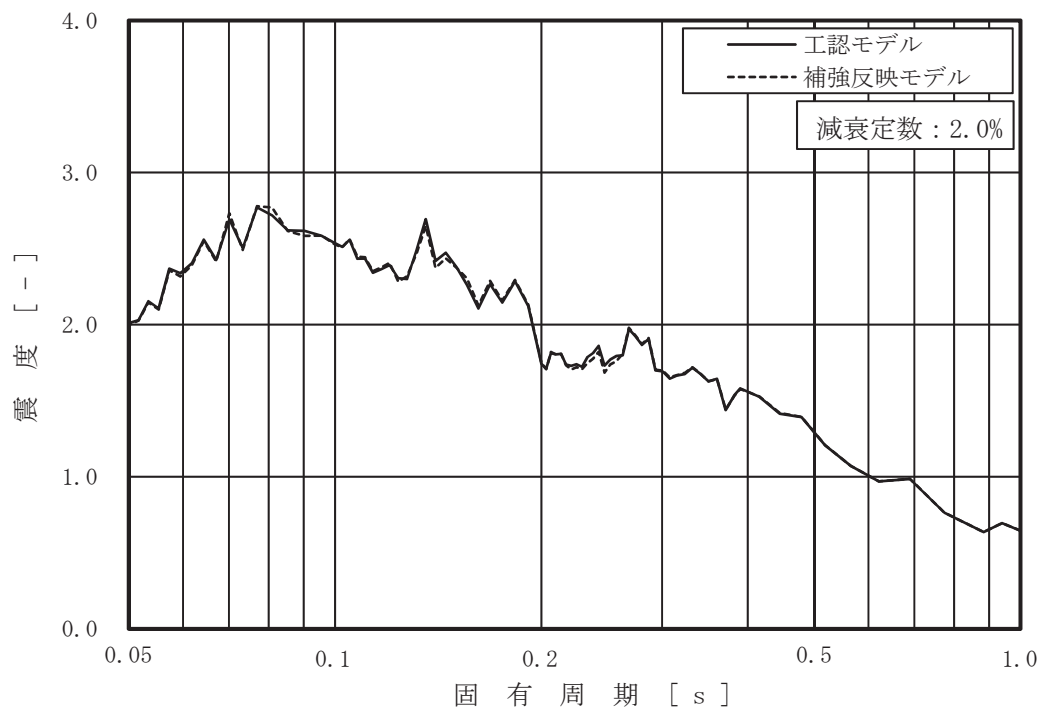


図 3-2-3 (8/8) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P.-8.1m)

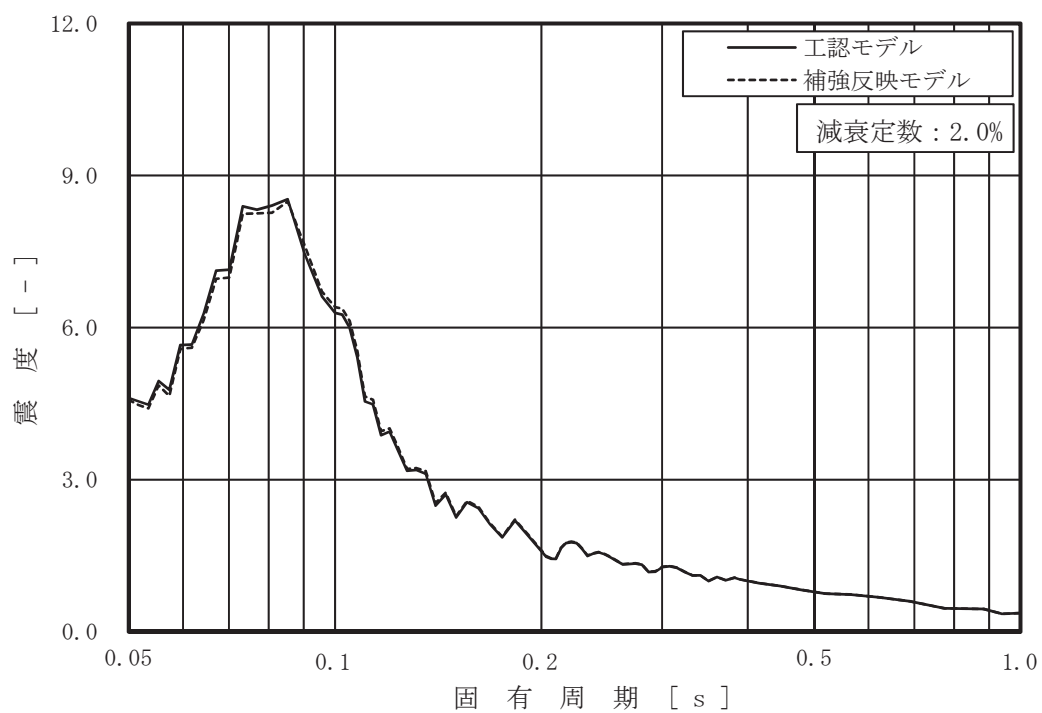


図 3-2-4 (1/7) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P.41.2m)

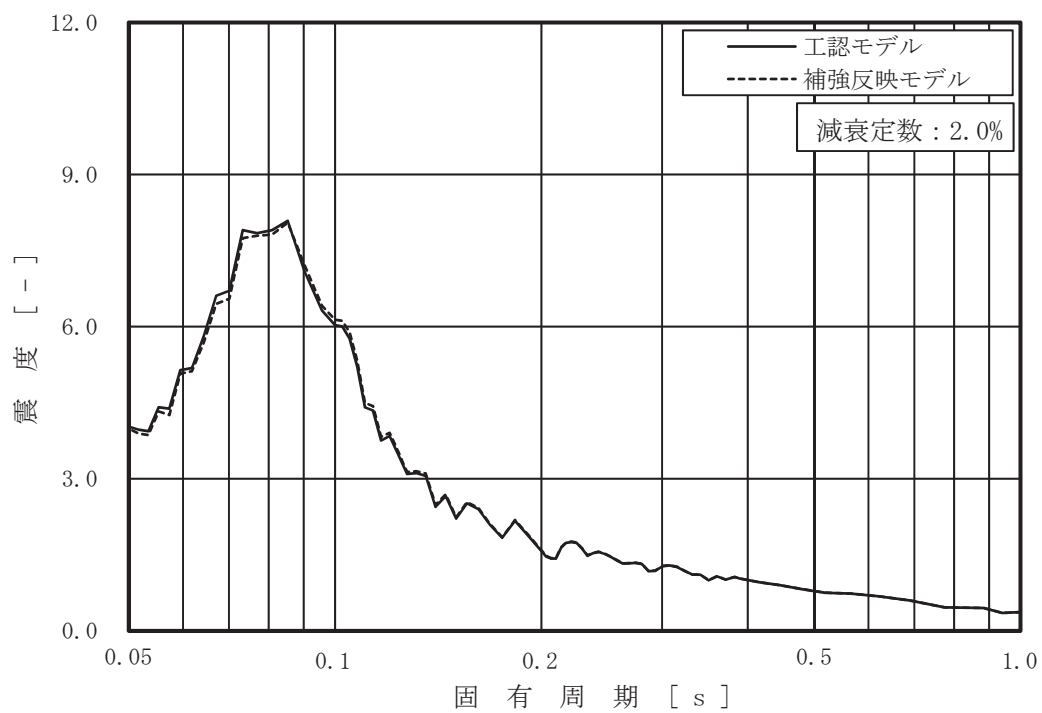


図 3-2-4 (2/7) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P.33.2m)

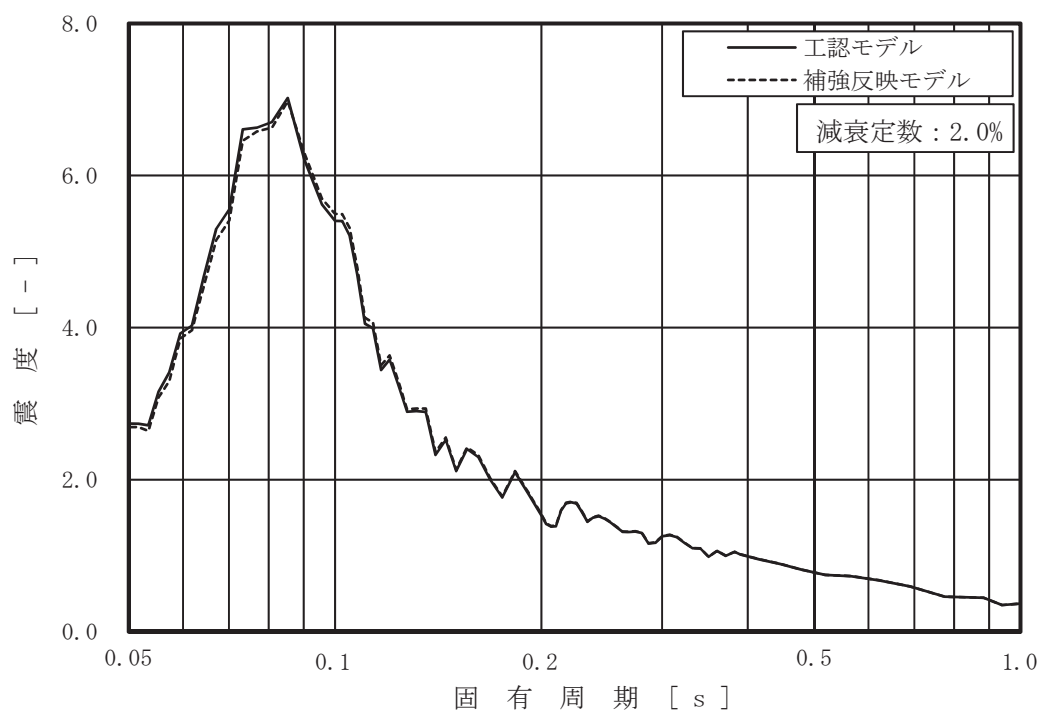


図 3-2-4 (3/7) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P.22.5m)

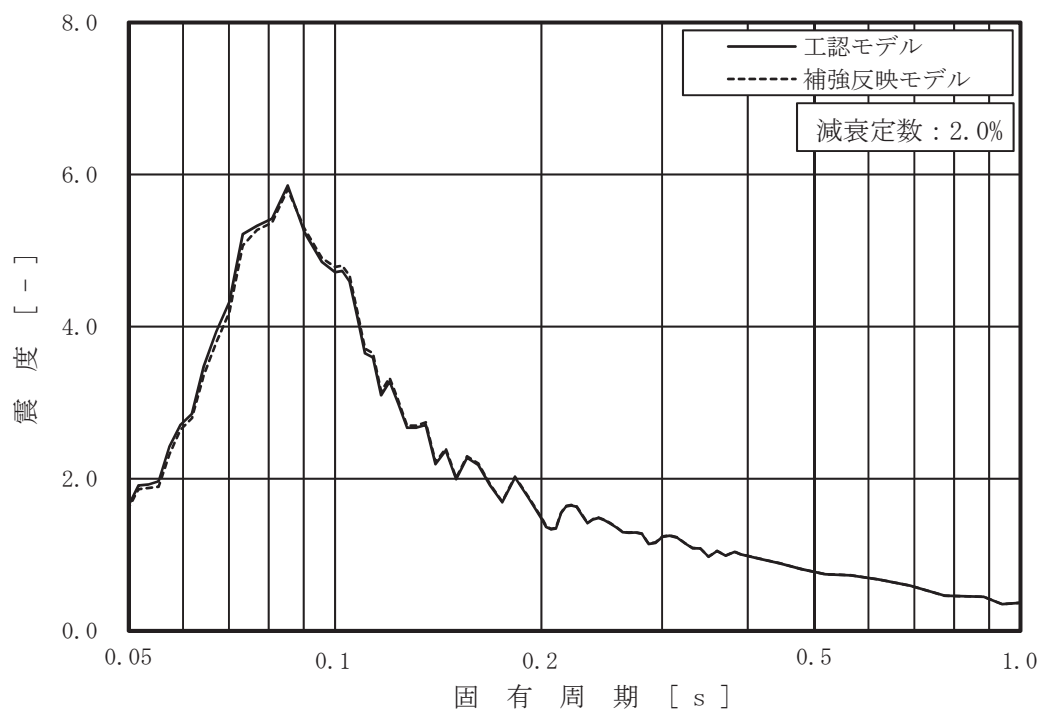


図 3-2-4 (4/7) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P.15.0m)

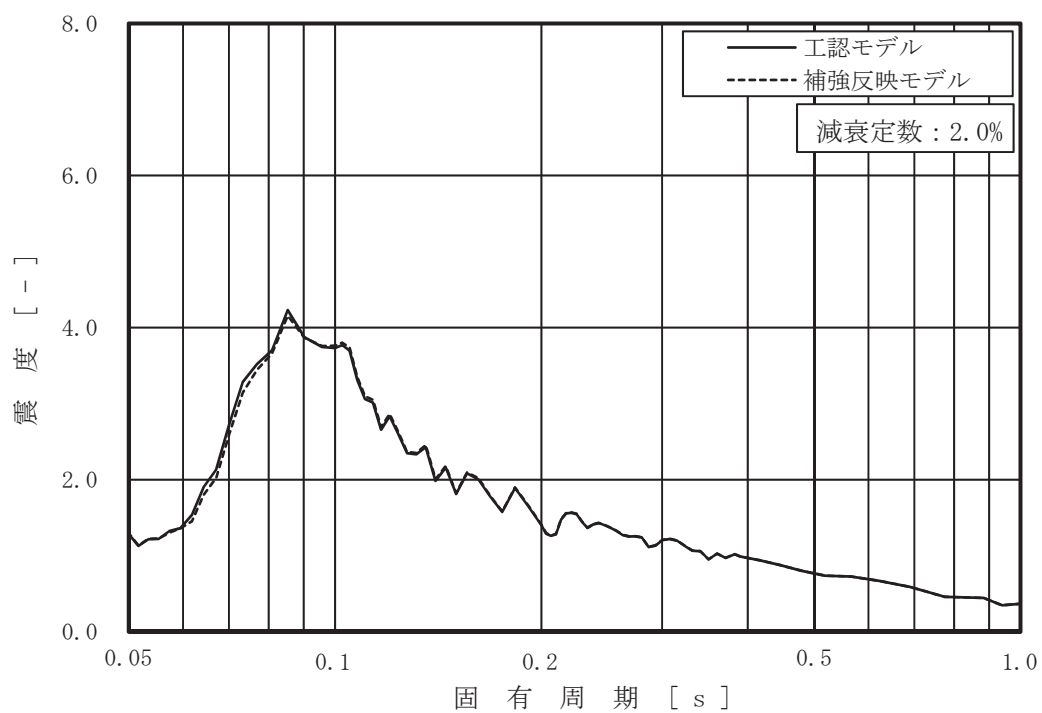


図 3-2-4 (5/7) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P. 6.0m)

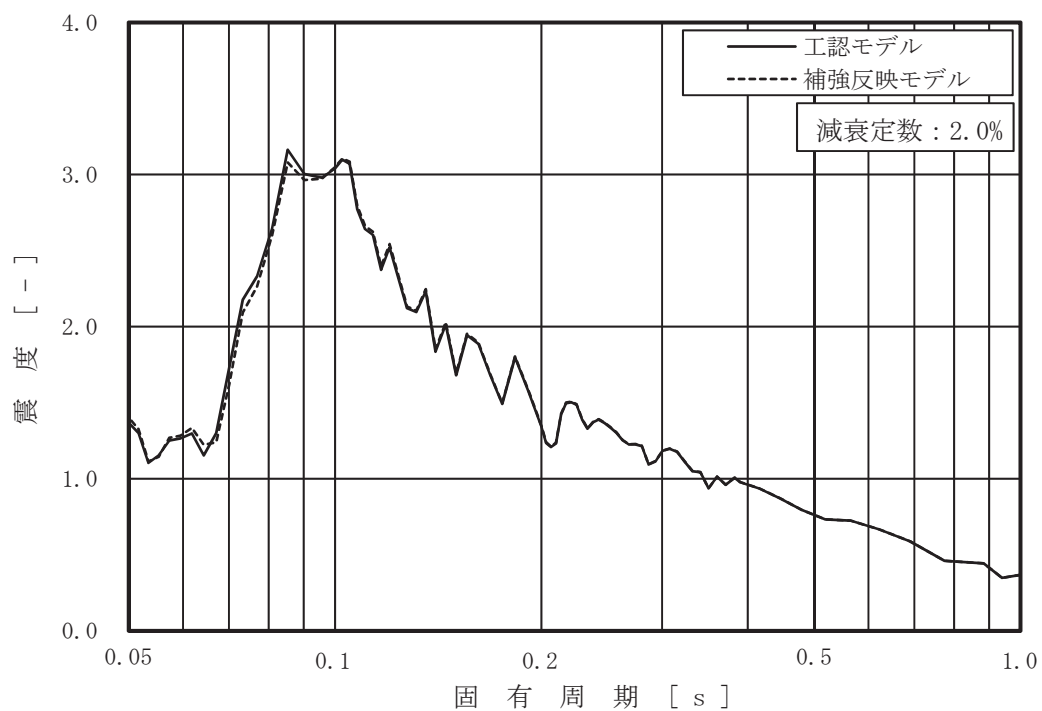


図 3-2-4 (6/7) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P. -0.8m)

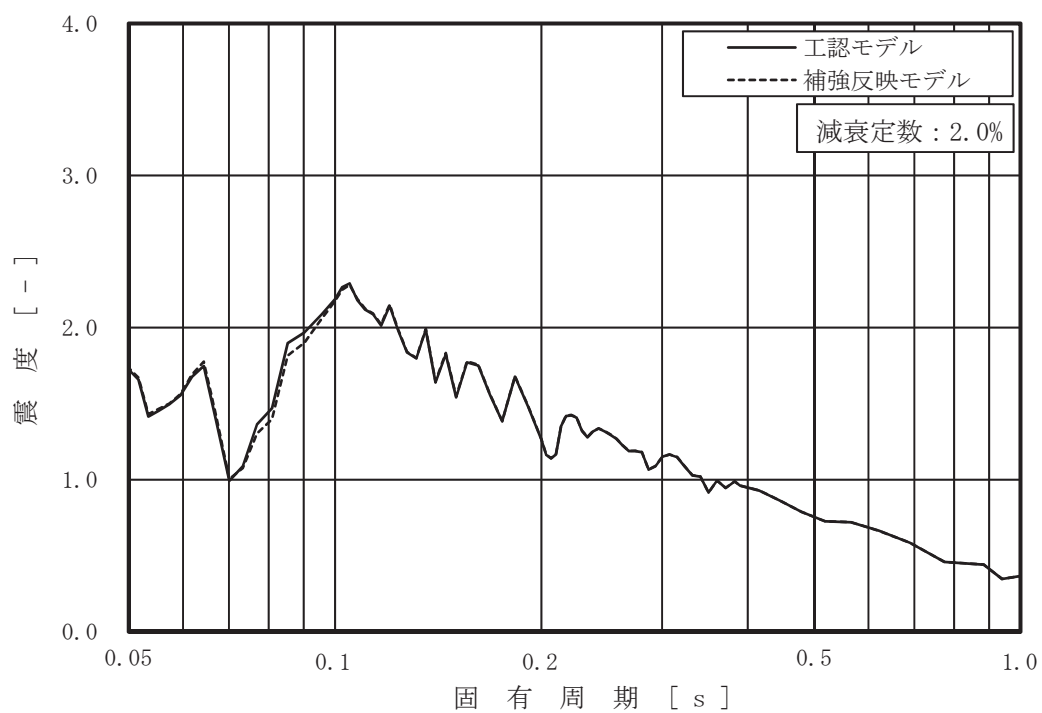


図 3-2-4 (7/7) 工認モデルと補強反映モデルの床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P. -8.1m)

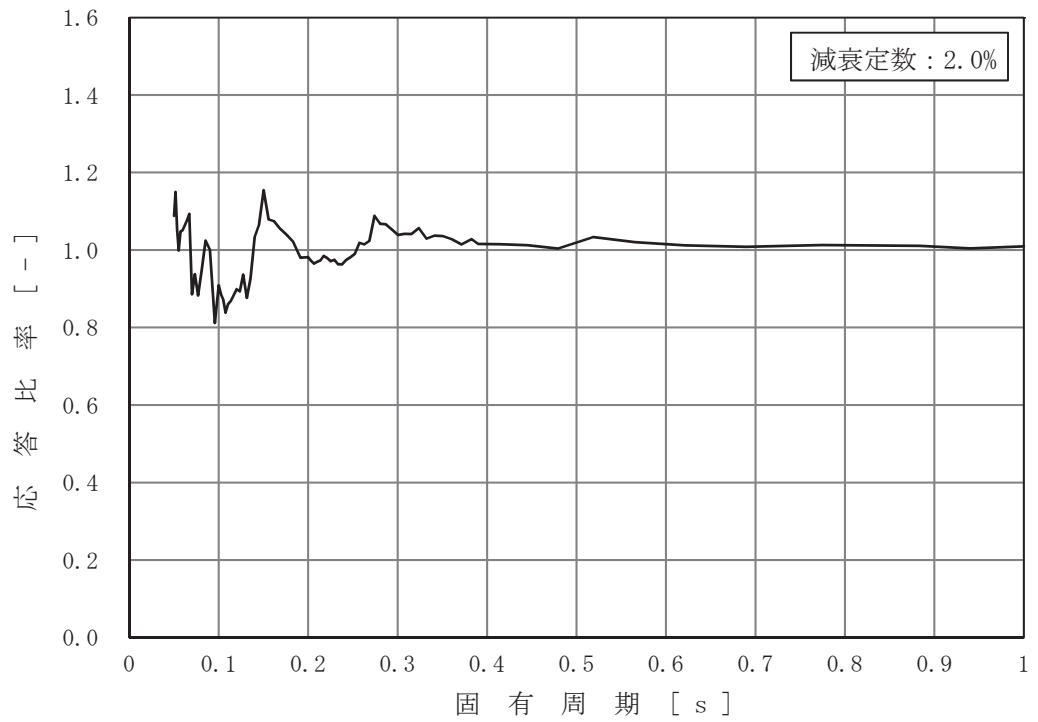


図 3-2-5 (1/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P.41.2m)

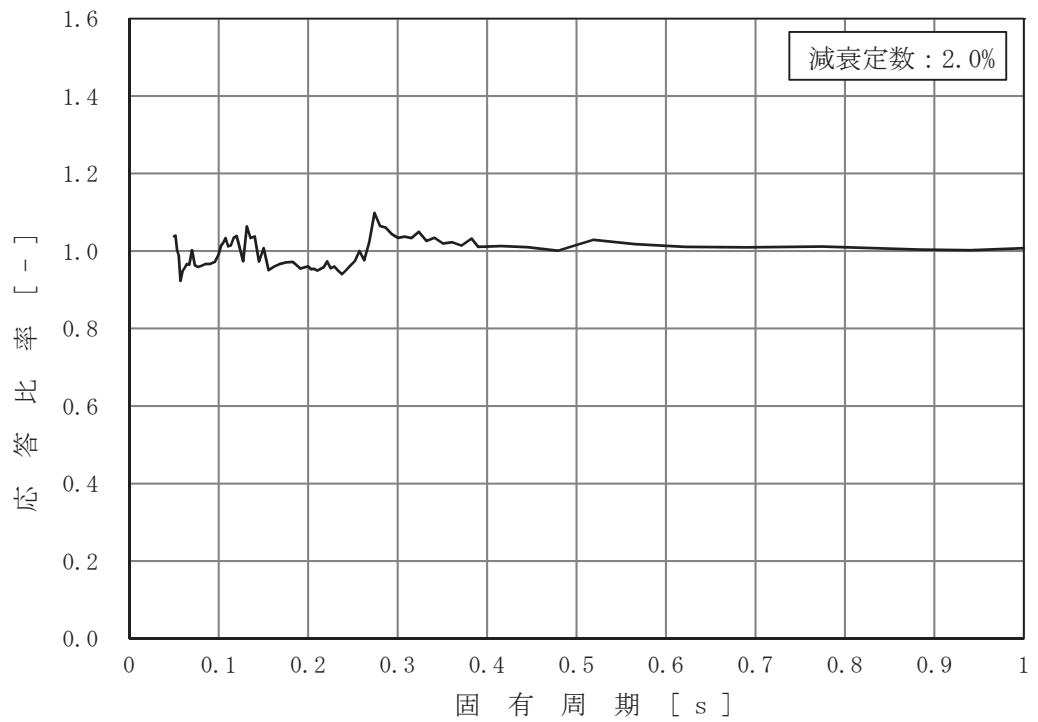


図 3-2-5 (2/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡): 原子炉建屋 0.P.33.2m)

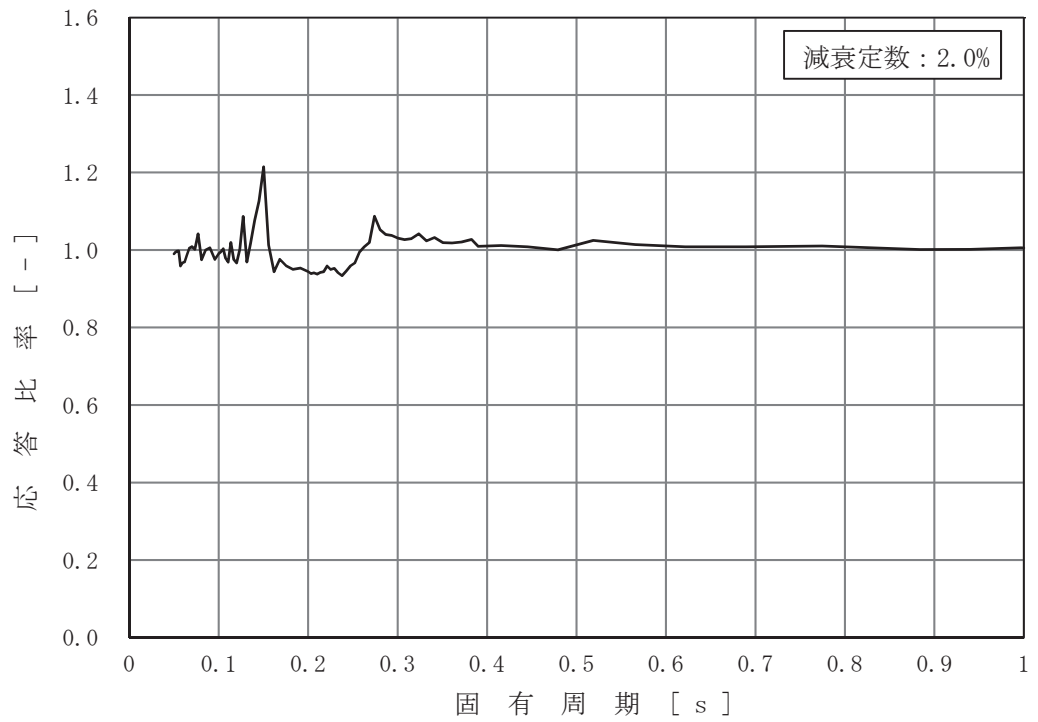


図 3-2-5 (3/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋 0.P.22.5m)

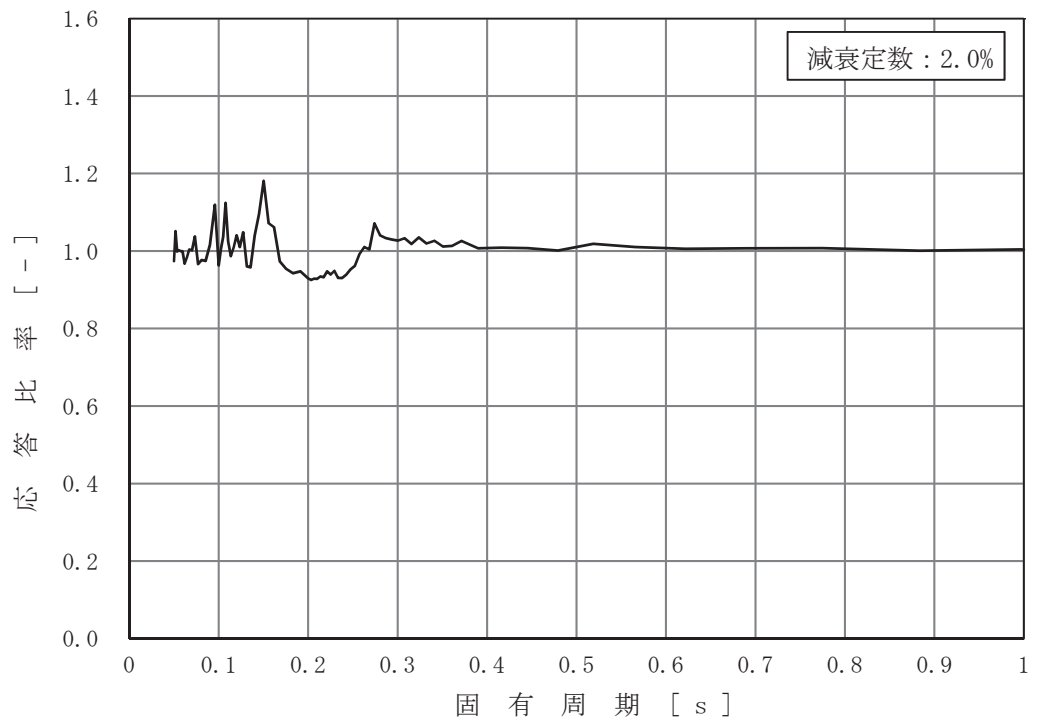


図 3-2-5 (4/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋 0.P.15.0m)

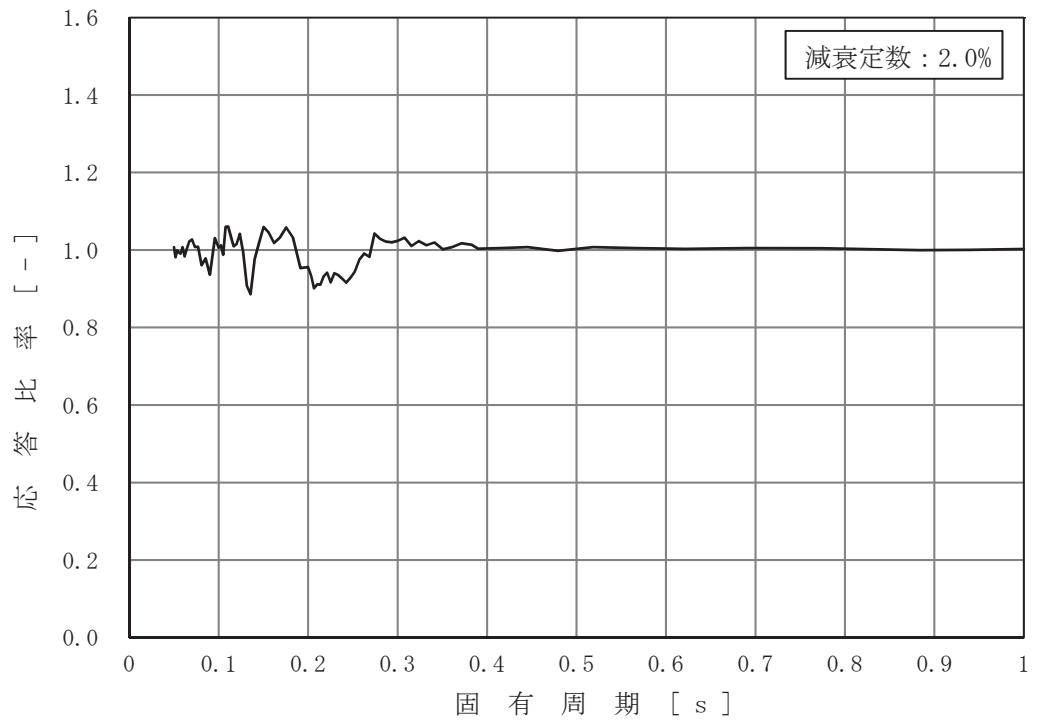


図 3-2-5 (5/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋 0.P. 6.0m)

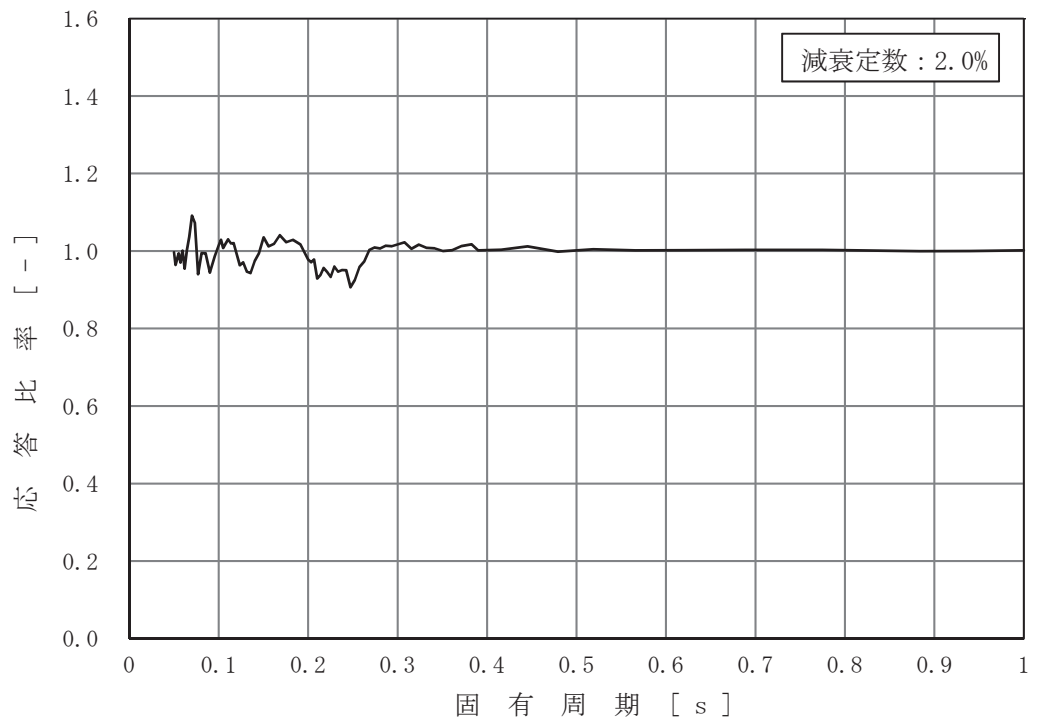


図 3-2-5 (6/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋 0.P. 1.15m)

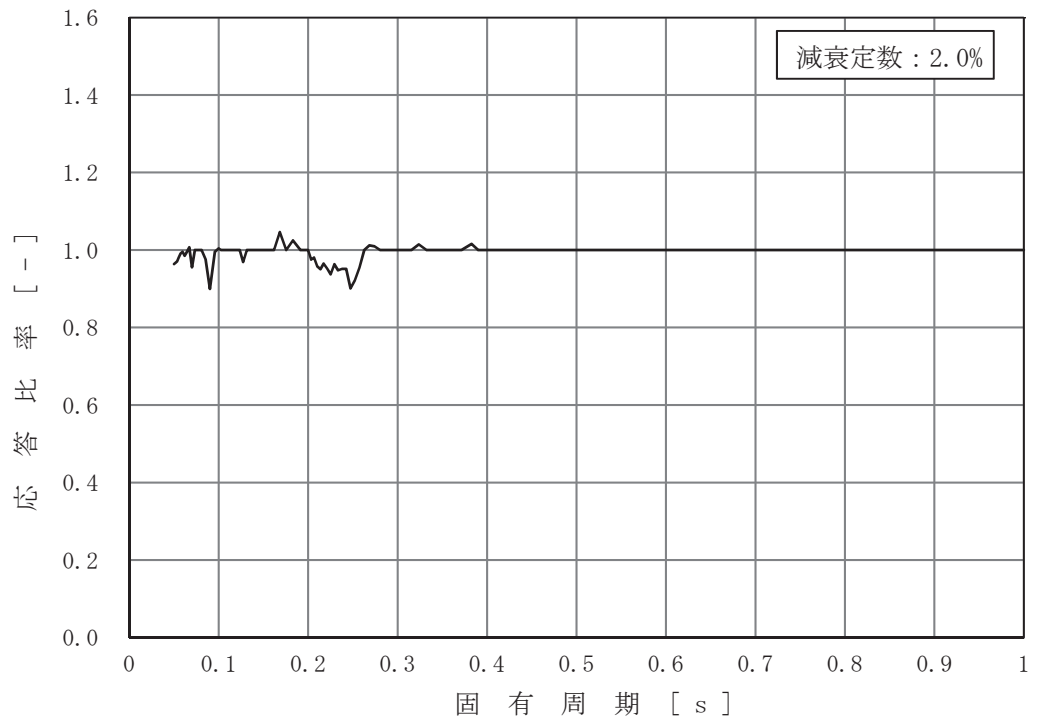


図 3-2-5 (7/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋 0.P. -0.8m)

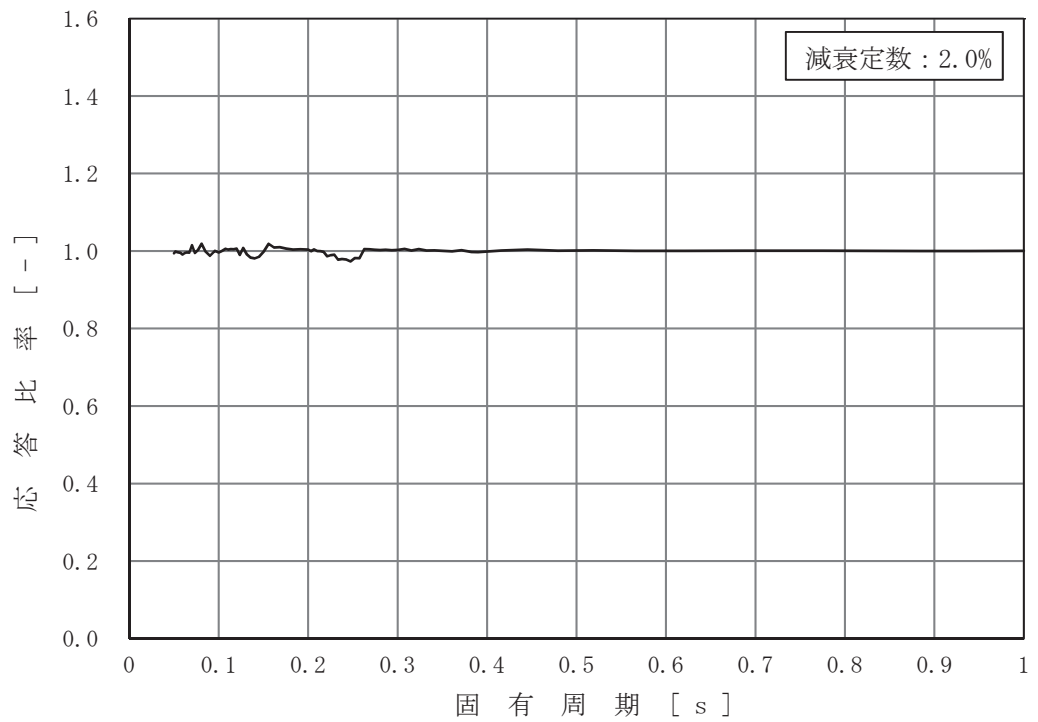


図 3-2-5 (8/8) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向 (NS/EW 包絡) : 原子炉建屋 0.P. -8.1m)

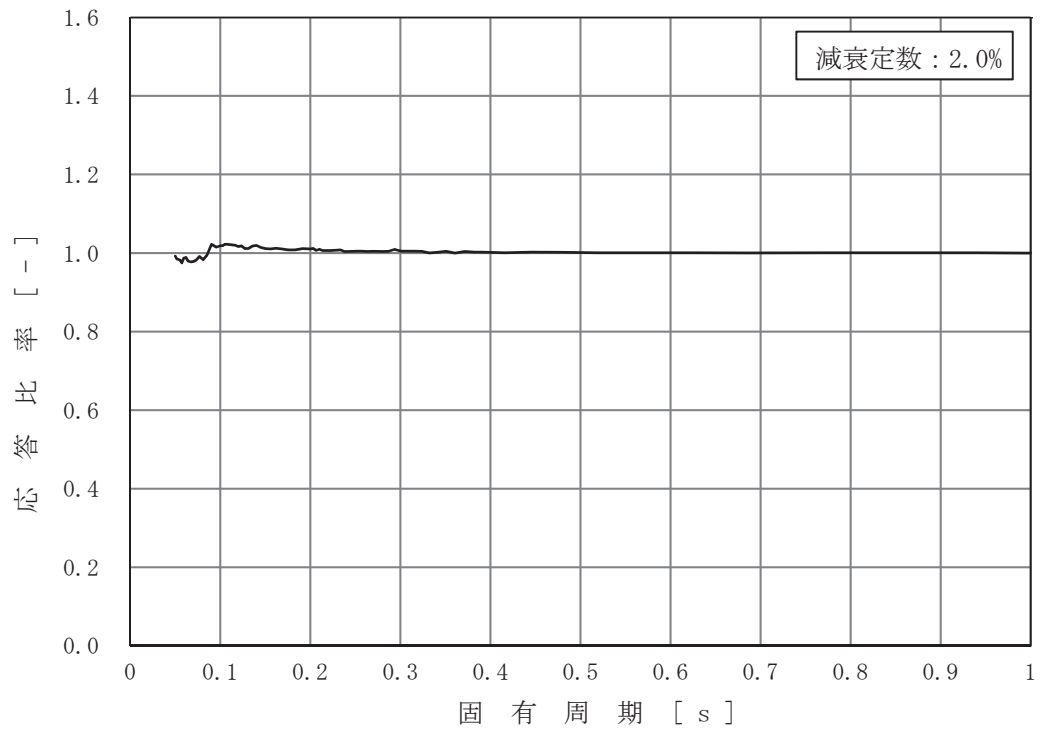


図 3-2-6 (1/7) 床応答曲線の応答比率
(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向 : 原子炉建屋 0.P.41.2m)

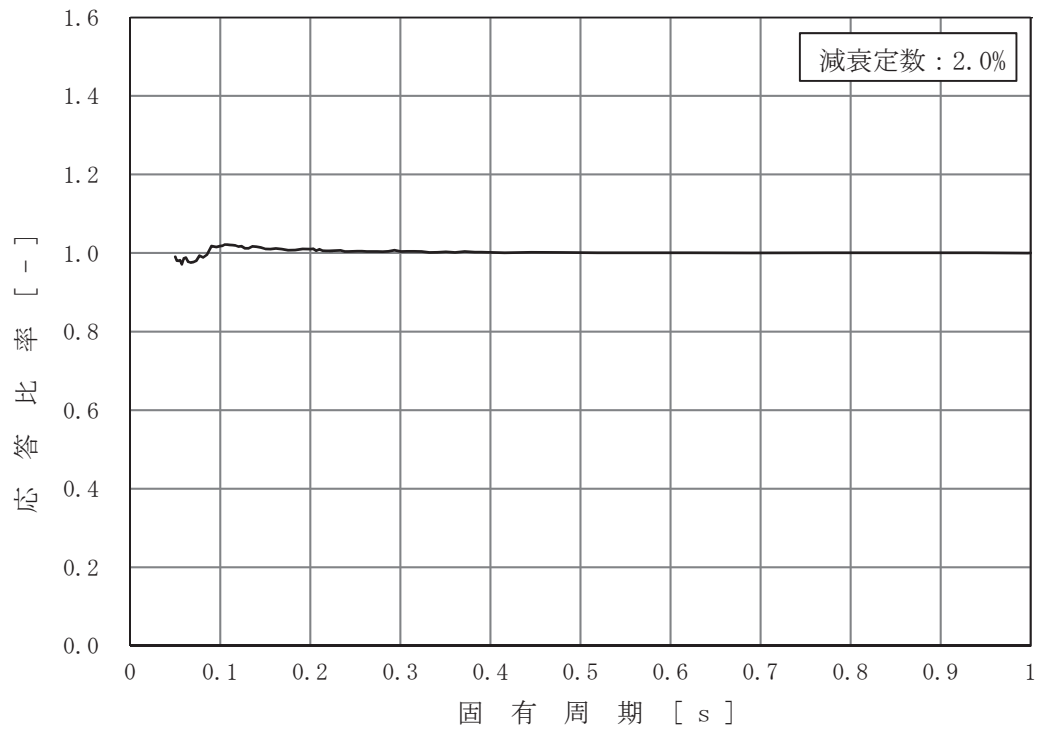


図 3-2-6 (2/7) 床応答曲線の応答比率
(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向 : 原子炉建屋 0.P.33.2m)

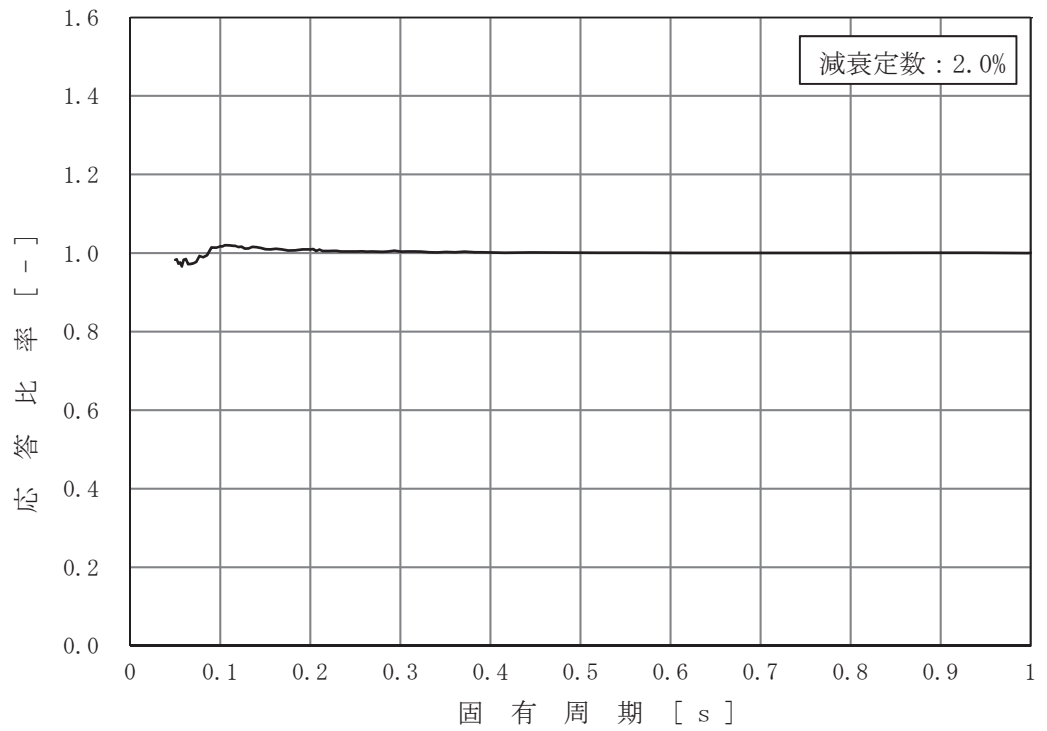


図 3-2-6 (3/7) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向 : 原子炉建屋 0.P.22.5m)

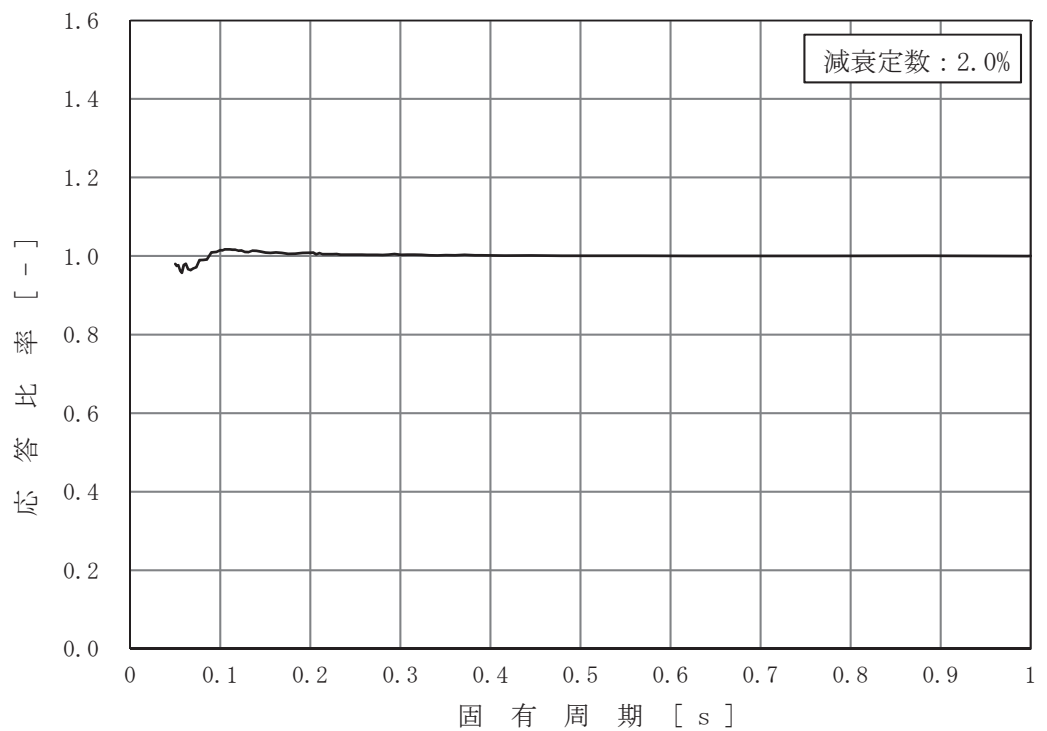


図 3-2-6 (4/7) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向 : 原子炉建屋 0.P.15.0m)

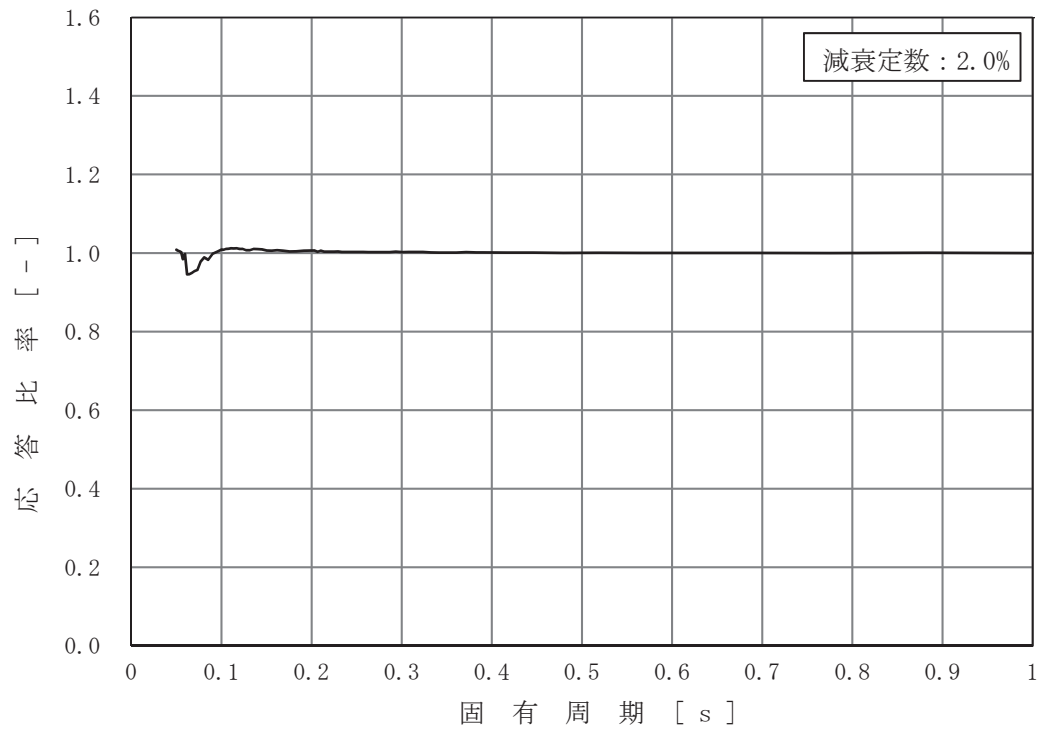


図 3-2-6 (5/7) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向 : 原子炉建屋 0.P. 6.0m)

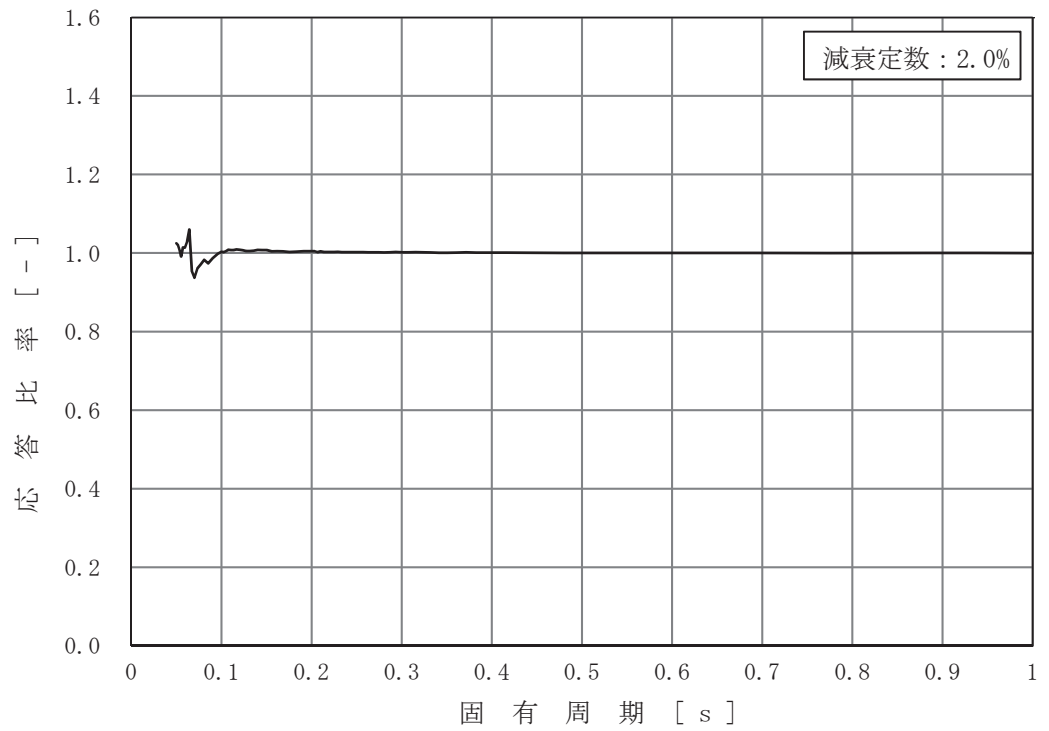


図 3-2-6 (6/7) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向 : 原子炉建屋 0.P. -0.8m)

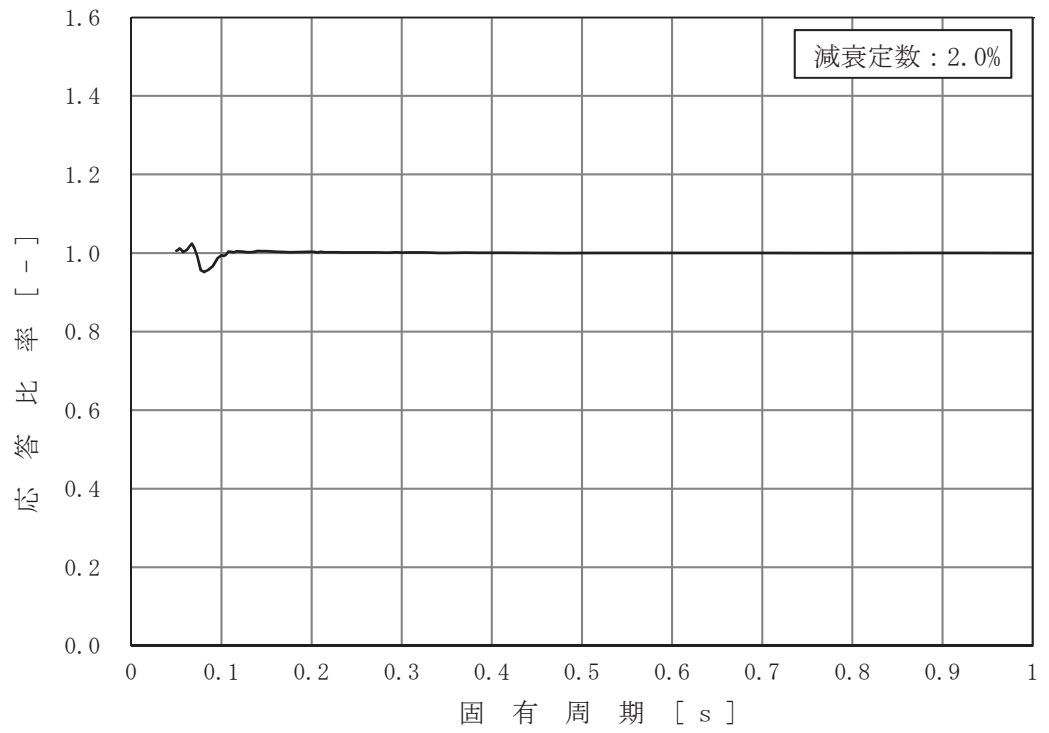


図 3-2-6 (7/7) 床応答曲線の応答比率
 (基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向 : 原子炉建屋 0.P. -8.1m)

c. 地震力の応答比率

建屋－機器連成地震応答解析モデルの各標高・要素について、工認モデルと補強反映モデルにおける基準地震動 $S_s - D_2$ による地震力（せん断力，モーメント，軸力等）を比較し，補強反映モデルの地震力／工認モデルの地震力により応答比率を算定する。なお，水平方向の応答比率算定にあたっては，「NS/EW 包絡」を用いる。

(2) 補強反映耐震条件

補強反映耐震条件は、最大加速度、床応答曲線及び地震力についてそれぞれ以下のとおり応答比率を用いて作成する。なお、影響評価の観点から、応答比率が1を下回る場合においても、応答比率の算出値をそのまま用いる。

a. 補強反映最大応答加速度

各標高について、地震応答解析（基本ケース）から得られる応答波の最大応答加速度と、地震応答解析（不確かさケース）から得られる応答波の最大応答加速度を包絡させ設定した設計用地震力に(1)で算定した応答比率を乗じて作成する。

補強反映最大応答加速度の作成フローを図 3-2-7 に示す。

b. 補強反映床応答曲線

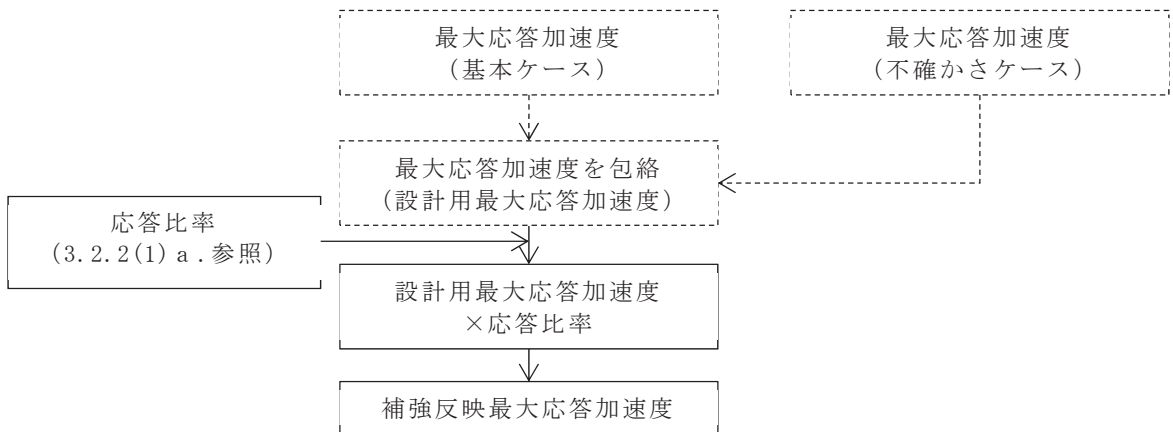
各標高・各減衰について、地震応答解析（基本ケース）から得られる応答波を用いて作成した床応答曲線に(1)で算定した周期毎の応答比率を乗じ±10%拡幅したものと、地震応答解析（不確かさケース）から得られる応答波を用いて作成した床応答曲線に(1)で算定した周期ごとの応答比率を乗じたものを包絡させて作成する。

補強反映床応答曲線の作成フローを図 3-2-8 に示す。

c. 補強反映地震力

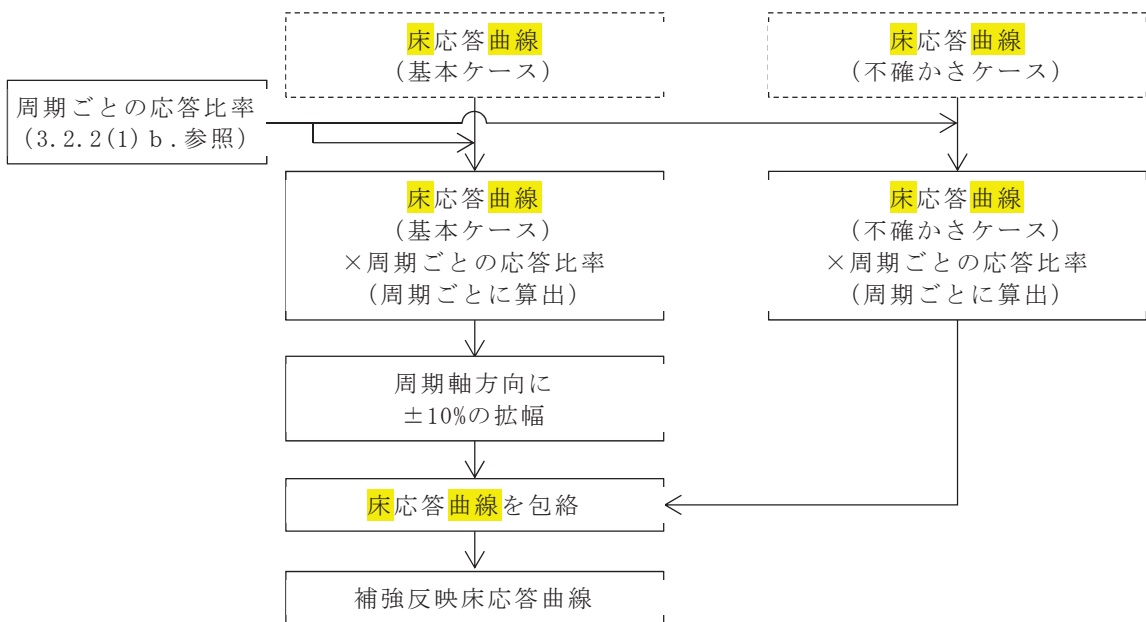
建屋－機器連成地震応答解析モデルの各標高・要素について、地震応答解析（基本ケース）から得られる地震地震力と、地震応答解析（不確かさケース）から得られる地震力を包絡させ設定した設計用地震力に(1)で算定した応答比率を乗じて作成する。

補強反映地震力の作成フローを図 3-2-9 に示す。



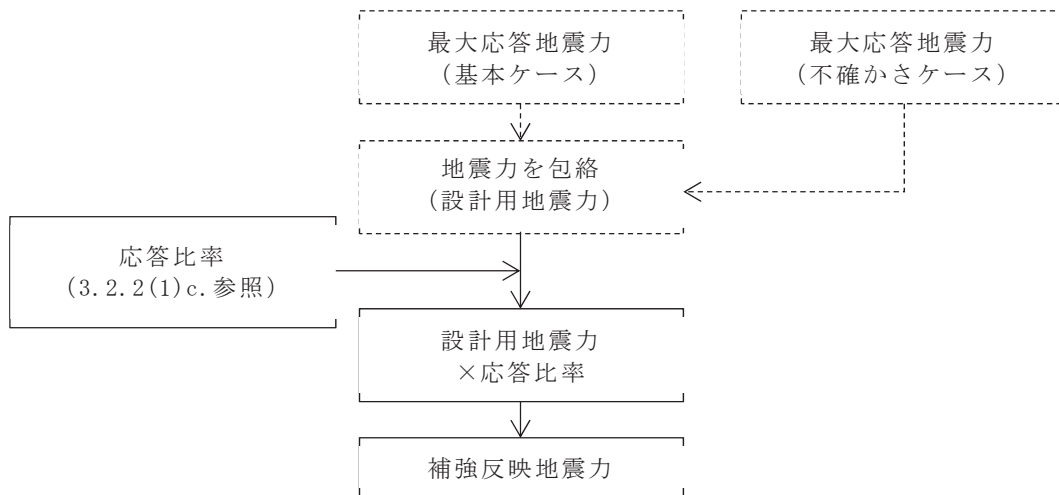
注記：破線範囲は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」における設計用最大応答加速度作成の実施事項を示す。

図 3-2-7 補強反映最大応答加速度の作成フロー



注記：破線範囲は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」における設計用床応答曲線作成の実施事項を示す。

図 3-2-8 補強反映床応答曲線の作成フロー



注記：破線範囲は、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」における設計用地震力作成の実施事項を示す。

図 3-2-9 補強反映地震力の作成フロー

3.2.3 検討結果

(1) 簡易評価結果及び詳細評価結果

「3.2.1 検討方針」に示す影響検討フローに従った検討を行い、一部の設備（25設備）を除き、簡易評価の結果で条件比率が設備の裕度以下となることを確認した。

また、簡易評価において条件比率が設備の裕度を上回った 25 設備の簡易評価結果を表 3-2-5 に示す。また、当該設備の詳細評価結果を表 3-2-6 に示す。

なお、配管の詳細評価対象は、評価に用いる各標高（質点）で応力評価結果の裕度が最小となる配管及び疲労累積係数が最大となる配管を代表としている。また、簡易評価は、対象設備の応力分類毎に行っている。

簡易評価で条件比率が設備の裕度を上回った 25 設備に対して、詳細評価として補強反映耐震条件による耐震計算を行い、制御棒挿入性評価を除く 24 設備については、発生値が許容値以下となることを確認した。

詳細評価の結果、発生値が許容値を上回った制御棒挿入性評価に対する追加検討を行う。

表 3-2-5 条件比率が設備の裕度を上回った 25 設備の簡易評価結果 (1/3)

設備名称	評価部位	応力分類	耐震評価計算書 (基準地震動 S s)			条件比率	確認結果
			発生値*1 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度		
燃料プール冷却浄化系 熱交換器	胴板	一次+二次 応力	675	420	0.62	1.01	×
		疲労	0.31*2	1*2	-		
残留熱除去系 熱交換器	胴板	一次+二次 応力	783	497	0.63	1.01	×
		疲労	0.38*2	1*2	-		
ドライウエルベント 開口部 (DB)	ドライウエルベ ント開口部	一次+二次 応力	432	501	1.15	1.26 図 3-2-10	×
ドライウエルベント 開口部 (SA)	ドライウエルベ ント開口部	一次+二次 応力	460	501	1.08	1.25 図 3-2-11	×
ダウンカマ (DB)	エンドプレート (上側)	一次応力 (組合せ)	248	264	1.06	1.26 図 3-2-10	×
	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次 応力	516	458	0.88		
		疲労	0.284*2	1*2	-		
ダウンカマ (SA)	エンドプレート (上側)	一次応力 (組合せ)	247	264	1.06	1.25 図 3-2-11	×
	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次 応力	592	473	0.79		
		疲労	0.547*2	1*2	-		
ベント管 (DB)	ベント管 (一般 部以外)	一次+二次 応力	371	393	1.05	1.26 図 3-2-10	
ベント管 (SA)	ベント管 (一般 部以外)	一次+二次 応力	418	393	0.94	1.25 図 3-2-11	×
		疲労	0.489*2	1*2	-		
シュラウドサポート	レグ	軸圧縮	189	209	1.10	1.12	×
制御棒 (挿入性評価)	-	相対変位	54.2*3	60*3	1.10	1.11	×
燃料プール冷却浄化系 配管 (FPC-002)	配管本体	一次+二次 応力	436	376	0.86	1.07 図 3-2-12	×
		疲労	0.0034*2	1*2	-		
可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-006 DB)	配管本体	一次+二次 応力	200	150	0.75	1.02 図 3-2-13	×
		疲労	0.5717*2	1*2	-		
原子炉補機冷却水系配管 (KRCW-205)	配管本体	一次+二次 応力	440	458	1.04	1.16 図 3-2-14	×
ほう酸水注入系配管 (SLC-003 SA)	配管本体	一次+二次 応力	211	206	0.97	1.08 図 3-2-15	×
		疲労	0.0001*2	1*2	-		

注記*1：一次+二次応力の発生値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*2：単位は「無次元」

*3：単位は「mm」

表 3-2-5 条件比率が設備の裕度を上回った 25 設備の簡易評価結果 (2/3)

設備名称	評価部位	応力分類	耐震評価計算書 (基準地震動 S s)			条件比率	確認結果
			発生値*1 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度		
非常用ディーゼル 発電設備配管 (DGD0-B008)	配管本体	一次+二次 応力	439	398	0.90	1.08 図 3-2-16	×
		疲労	0.4004*2	1*2	-		
残留熱除去系配管 (RHR-010) (SA)	配管本体	一次+二次 応力	422	414	0.98	1.09 図 3-2-17	×
		疲労	0.7118*2	1*2	-		
原子炉格納容器フィルタ ベント系配管 (FCVS-003) (SA)	配管本体	一次+二次 応力	302	240	0.79	1.05 図 3-2-18	×
		疲労	0.3849*2	1*2	-		
原子炉格納容器フィルタ ベント系配管 (FCVS-004) (SA)	配管本体	一次+二次 応力	274	240	0.87	1.08 図 3-2-19	×
		疲労	0.3833*2	1*2	-		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-017-3)	配管本体	一次+二次 応力	434	318	0.73	1.02 図 3-2-20	×
		疲労	0.8674*2	1*2	-		
主蒸気系配管 (MS-001 クラス 1) (DB)	配管本体	一次+二次 応力	684	375	0.54	1.10 図 3-2-21	×
		疲労	0.614*2	1*2	-		
主蒸気系配管 (MS-003 クラス 1 DB)	配管本体	一次+二次 応力	630	375	0.59	1.10 図 3-2-22	×
		疲労	0.3706*2	1*2	-		
主蒸気系配管 (MS-004) (SA)	配管本体	一次+二次 応力	468	386	0.82	1.07 図 3-2-23	×
		疲労	0.8529*2	1*2	-		
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-005-1)	配管本体	一次+二次 応力	292	318	1.08	1.11 図 3-2-24	×
		疲労	0.2729*2	1*2	-		
原子炉再循環系配管 (PLR-001)	配管本体	一次+二次 応力	663	354	0.53	1.06 図 3-2-25	×
		疲労	0.2091*2	1*2	-		
原子炉再循環系配管 (PLR-002)	配管本体	一次+二次 応力	657	354	0.53	1.05 図 3-2-26	×
		疲労	0.3181*2	1*2	-		
残留熱除去系配管 (RHR-003)	配管本体	一次+二次 応力	680	366	0.53	1.03 図 3-2-27	×
		疲労	0.5620*2	1*2	-		

注記*1：一次+二次応力の発生値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*2：単位は「無次元」。

表 3-2-5 条件比率が設備の裕度を上回った 25 設備の簡易評価結果 (3/3)

設備名称	評価部位	応力分類	耐震評価計算書 (基準地震動 S s)			条件比率	確認結果
			発生値*1 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度		
残留熱除去系配管 (RHR-004)	配管本体	一次+二次 応力	370	366	0.98	1.05 図 3-2-28	×
		疲労	0.0887*2	1*2	-		
残留熱除去系配管 (RHR-005)	配管本体	一次+二次 応力	675	366	0.54	1.04 図 3-2-29	×
		疲労	0.6667*2	1*2	-		

注記*1：一次+二次応力の発生値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*2：単位は「無次元」。

表 3-2-6 条件比率が設備の裕度を上回った 25 設備の詳細評価結果 (1/3)

設備名称	評価部位	応力分類	詳細評価条件		補強反映耐震条件を用いた評価 (基準地震動 S s)		確認結果
			最大応答加速度	床応答曲線	発生値** (MPa)	許容値 (MPa)	
燃料プール冷却浄化系 熱交換器	胴板	一次+二次応力 疲労	水平：1.93 鉛直：1.39	—	667 0.30*4	420 1*4	○
		一次+二次応力 疲労	水平：1.97 鉛直：1.42	—	776 0.36*4	497 1*4	
ドライウエルベント 開口部(DB)	ドライウエルベ ント開口部	一次+二次応力	水平：— 鉛直：1.01	原子炉格納容器 0.P. 2.6 m *1 (1%減衰)	445	501	○
ドライウエルベント 開口部(SA)	ドライウエルベ ント開口部	一次+二次応力	水平：— 鉛直：1.04	原子炉格納容器 0.P. 2.6 m *1 (1%減衰)	488	501	○
ダウンカマ(DB)	エンドプレート (上側)	一次応力 (組合せ)	—	原子炉格納容器 0.P. 2.6 m (1%減衰)	255	264	○
	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次応力 疲労	—	—	530 0.317*4	458 1*4	
ダウンカマ(SA)	エンドプレート (上側)	一次応力 (組合せ)	—	原子炉格納容器 0.P. 2.6 m (1%減衰)	261	264	○
	ベントヘッド (一般部以外)	一次+二次応力 疲労	—	—	628 0.771*4	473 1*4	
ベント管(DB)	ベント管 (一般部以外)	一次+二次応力	—	原子炉格納容器 0.P. 2.6 m (1%減衰)	382	393	○
ベント管(SA)	ベント管 (一般部以外)	一次+二次応力 疲労	—	原子炉格納容器 0.P. 2.6 m (1%減衰)	444 0.635*4	393 1*4	○
シュウラウドサポート	レグ	軸圧縮	—	原子炉圧力容器 *2 0.P. 11.310, 9.334 m 炉心シュラウド 0.P. 11.496, 10.324, 8.595 m タイロッド	204	209	○
制御棒(挿入性評価)	—	相対変位	—	—	60.2*5	60*5	×
燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-002)	配管本体	一次+二次応力	水平：2.60 鉛直：1.81	原子炉建屋 0.P. 33.2, 22.5, 15.0 m (0.5%減衰)	426	376	○
		疲労	—	—	0.0025*4	1*4	

注記 *1：原子炉格納容器のせん断力及び曲げモーメントも使用。

*2：補強反映耐震条件（震度、地震力（せん断力、モーメント、軸力）の算出位置を床応答曲線の欄に記載。

*3：一次+二次応力の発生値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*4：単位は「無次元」。

*5：単位は「mm」。

表 3-2-6 条件比率が設備の余裕を上回った 25 設備の詳細評価結果 (2/3)

設備名称	評価部位	応力分類	詳細評価条件		補強反映耐震条件を用いた評価 (基準地震動 S s)		確認 結果
			最大応答加速度	床応答曲線	発生値*2 (MPa)	許容値 (MPa)	
可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-006) (DB)	配管本体	一次＋二次応力	水平：2.15 鉛直：1.58	原子炉建屋 O.P. 22.5 m (1.0%減衰)	204*1	150	○
		疲労					
原子炉補機冷却水系配管 (KRCW-205)	配管本体	一次＋二次応力	水平：3.37 鉛直：1.89	原子炉建屋 O.P. 41.2, 33.2, 22.5, 15.0, 6.0, 1.15, -0.8, -8.1 m (2%減衰)	442	458	○
		疲労					
ほう酸水注入系配管 (SLC-003) (SA)	配管本体	一次＋二次応力	水平：2.15 鉛直：1.59	原子炉建屋 O.P. 22.5, 15.0 m 原子炉本体の基礎 O.P. 7.04 m 原子炉しゃへい壁 O.P. 13.4, 10.6 m 原子炉格納容器 O.P. 17.15, 14.295 m (2%減衰)	195	206	○
		疲労					
非常用ディーゼル 発電設備配管 (DGDO-B008)	配管本体	一次＋二次応力	水平：1.93 鉛直：1.39	軽油連絡ダクト O.P. 12.100, 10.500, 9.500 m 原子炉建屋 O.P. 15.0, 6.0 m (2%減衰)	439	398	○
		疲労					
残留熱除去系配管 (RHR-010) (SA)	配管本体	一次＋二次応力	水平：1.57 鉛直：1.09	原子炉建屋 O.P. 6.0, 1.15, -0.8, -8.1 m (2%減衰)	406	414	○
		疲労					
原子炉格納容器フィルタ ベント系配管 (FCVS-003) (SA)	配管本体	一次＋二次応力	水平：2.60 鉛直：1.81	原子炉建屋 O.P. 33.2, 22.5, 15.0 m (3.0%減衰)	294	240	○
		疲労					
原子炉格納容器フィルタ ベント系配管 (FCVS-004) (SA)	配管本体	一次＋二次応力	水平：6.77 鉛直：2.16	原子炉建屋 O.P. 50.5 (水平), 48.725 (鉛直), 33.2, 22.5 m (3.0%減衰)	278	240	○
		疲労					
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-017-3)	配管本体	一次＋二次応力	水平：1.66 鉛直：1.32	原子炉本体の基礎 O.P. 7.040, 6.240, 4.950 m 制御棒駆動ハウジング O.P. 3.258 m (0.5%減衰)	420	318	○
		疲労					

注記*1：設備の固有周期に対応する応答比率の包絡値を耐震計算書の値（一次＋二次応力）に乗じた値を適用。

*2：一次＋二次応力の発生値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*3：単位は「無次元」。

表 3-2-6 条件比率が設備の余裕を上回った 25 設備の詳細評価結果 (3/3)

設備名称	評価部位	応力分類	詳細評価条件		補強反映耐震条件を用いた評価 (基準地震動 S s)		確認 結果
			最大応答加速度	床応答曲線	発生値*2 (MPa)	許容値 (MPa)	
主蒸気系配管 (MS-001 クラス 1) (DB)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 1.93 鉛直 : 1.33	原子炉しゃへい壁 O.P. 10.6 m (2.0%減衰)	633	375	○
		疲労					
主蒸気系配管 (MS-003 クラス 1) (DB)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 2.01 鉛直 : 1.59	原子炉しゃへい壁 O.P. 13.4 m (2.0%減衰)	596	375	○
		疲労					
主蒸気系配管 (MS-004) (SA)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 2.01 鉛直 : 1.59	原子炉しゃへい壁 O.P. 13.4 m (2.0%減衰)	484	386	○
		疲労					
制御棒駆動水圧系配管 (CRD-005-1)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 1.93 鉛直 : 1.39	原子炉建屋 O.P. 15.0, 6.0 m 原子炉格納容器 O.P. 14.295, 9.448 m (2.0%減衰)	292	318	○
		疲労					
原子炉再循環系配管 (PLR-001)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 1.62 鉛直 : 0.90	原子炉本体の基礎 O.P. 6.24 m (2.5%減衰)	626	354	○
		疲労					
原子炉再循環系配管 (PLR-002)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 1.62 鉛直 : 0.90	原子炉本体の基礎 O.P. 6.24 m (2.5%減衰)	629	354	○
		疲労					
残留熱除去系配管 (RHR-003)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 2.09 鉛直 : 1.78	原子炉しゃへい壁 O.P. 15.95 m (2.5%減衰)	664	366	○
		疲労					
残留熱除去系配管 (RHR-004)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 2.33 鉛直 : 1.93	原子炉建屋 O.P. 22.5, 15.0 m 原子炉しゃへい壁 O.P. 21.55, 18.79, 15.95 m 原子炉格納容器 O.P. 25.858 m (2.5%減衰)	338	366	○
		疲労					
残留熱除去系配管 (RHR-005)	配管本体	一次 + 二次応力	水平 : 3.75 鉛直 : 1.47	原子炉圧力容器 O.P. 28.6 m 原子炉格納容器 O.P. 25.858 m (2.5%減衰)	623	366	○
		疲労					

注記*1: 設備の全固有周期に応じた等価繰返し回数に包絡値として、個別に設定する等価繰返し回数 181 回を適用。

*2: 一次 + 二次応力の発生値が許容値を上回った場合は、疲労評価を実施する。

*3: 単位は「無次元」。

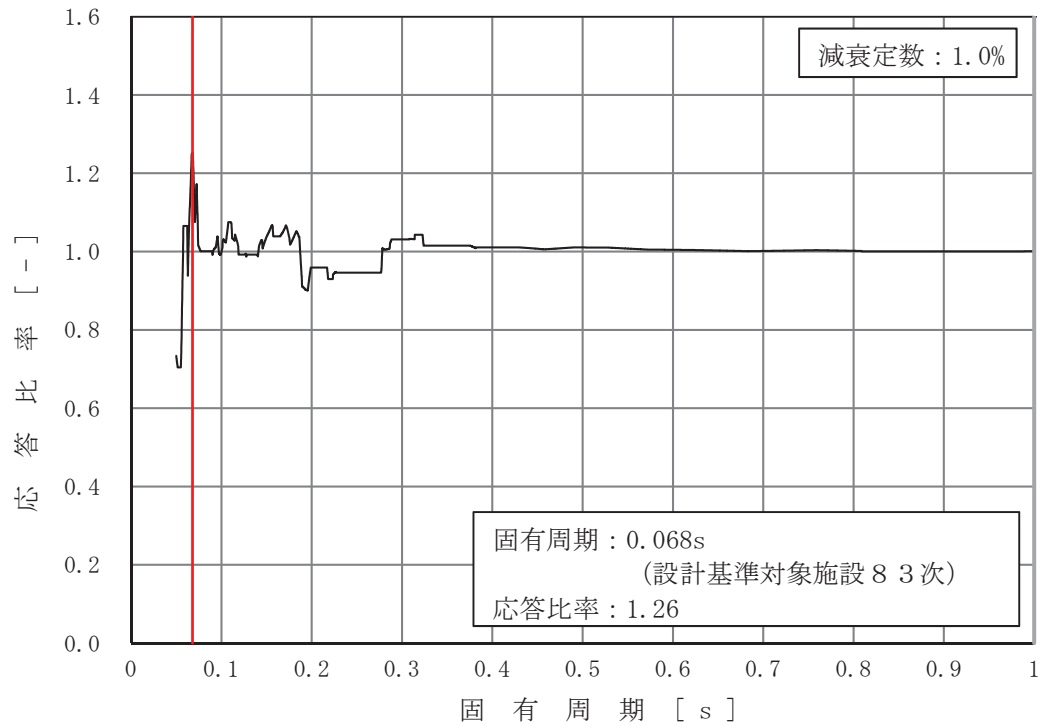


図 3-2-10 ドライウェルベント開口部, ダウンカメラ, ベント管 (DB) の条件比率
(基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉格納容器 O.P. m)

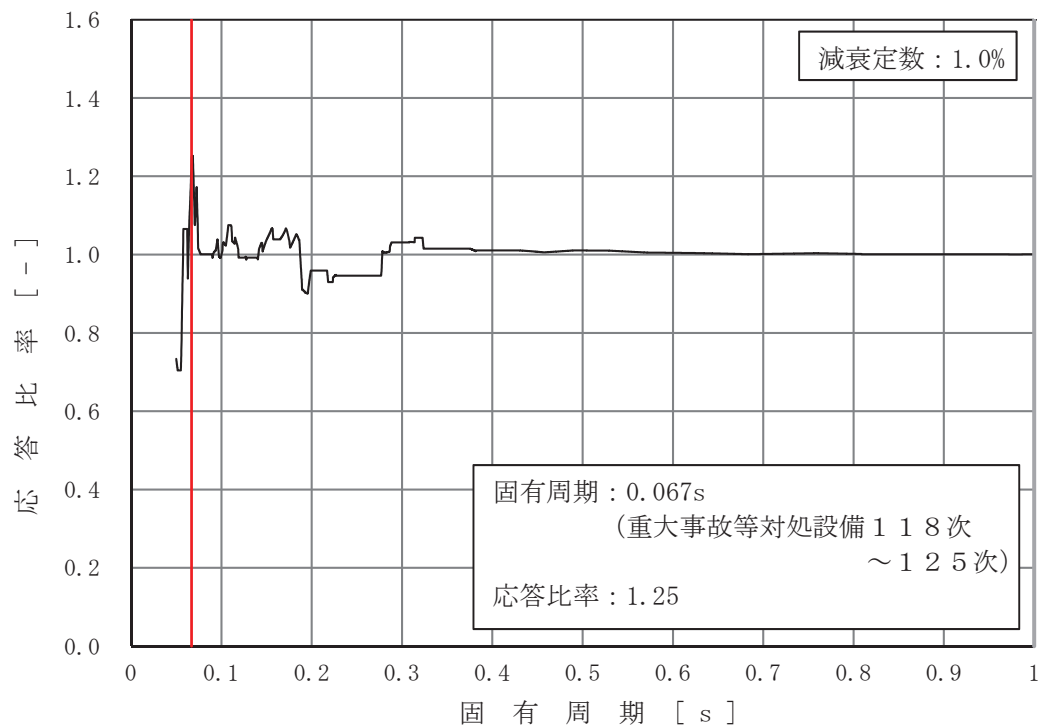


図 3-2-11 ドライウェルベント開口部, ダウンカメラ, ベント管 (SA) の条件比率
(基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉格納容器 O.P. m)

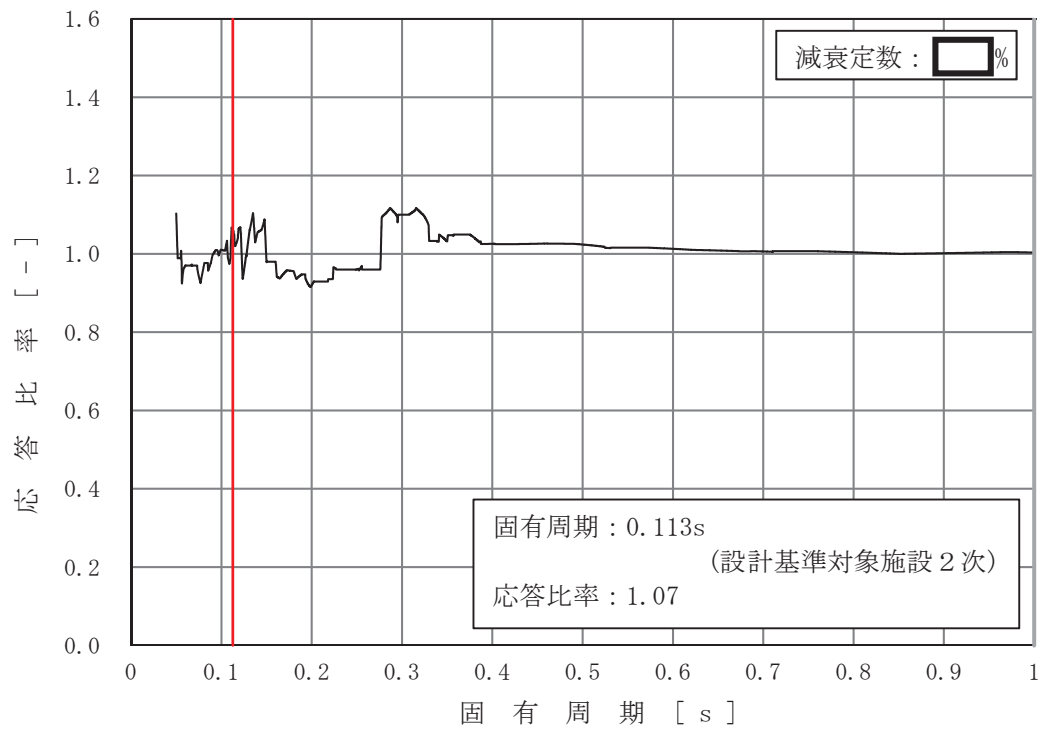


図 3-2-12 燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-002) (DB) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉建屋 0.P. [] m)

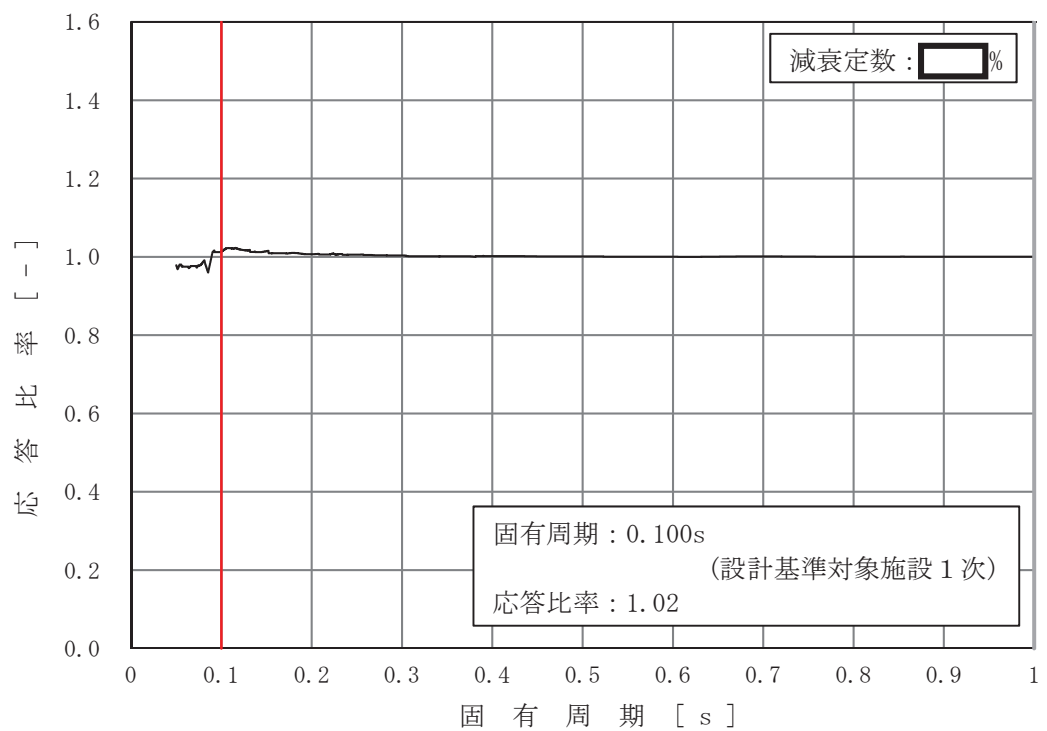


図 3-2-16 可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-006 DB) の条件比率
 (基準地震動 S s, 鉛直方向: 原子炉建屋 0.P. [] m)

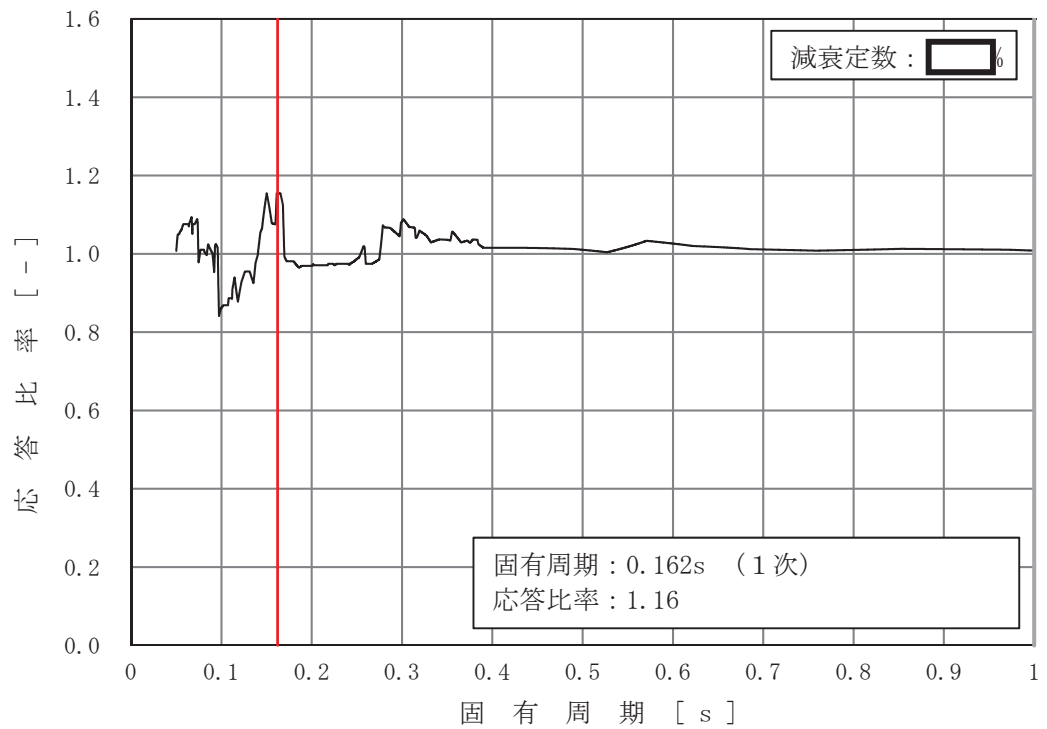


図 3-2-14 原子炉補機冷却水系配管 (KRCW-205) の条件比率
(基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉建屋 0.P. [] m)

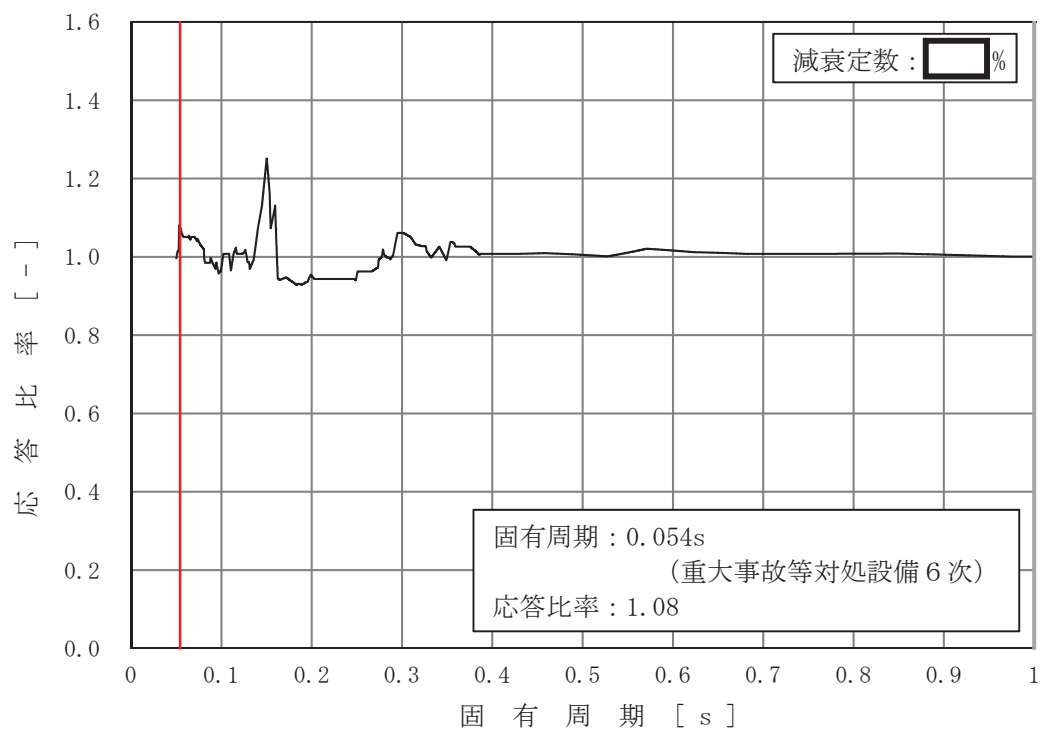


図 3-2-15 ほう酸水注入系配管 (SLC-003) (SA) の条件比率
(基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉格納容器 0.P. [] m)

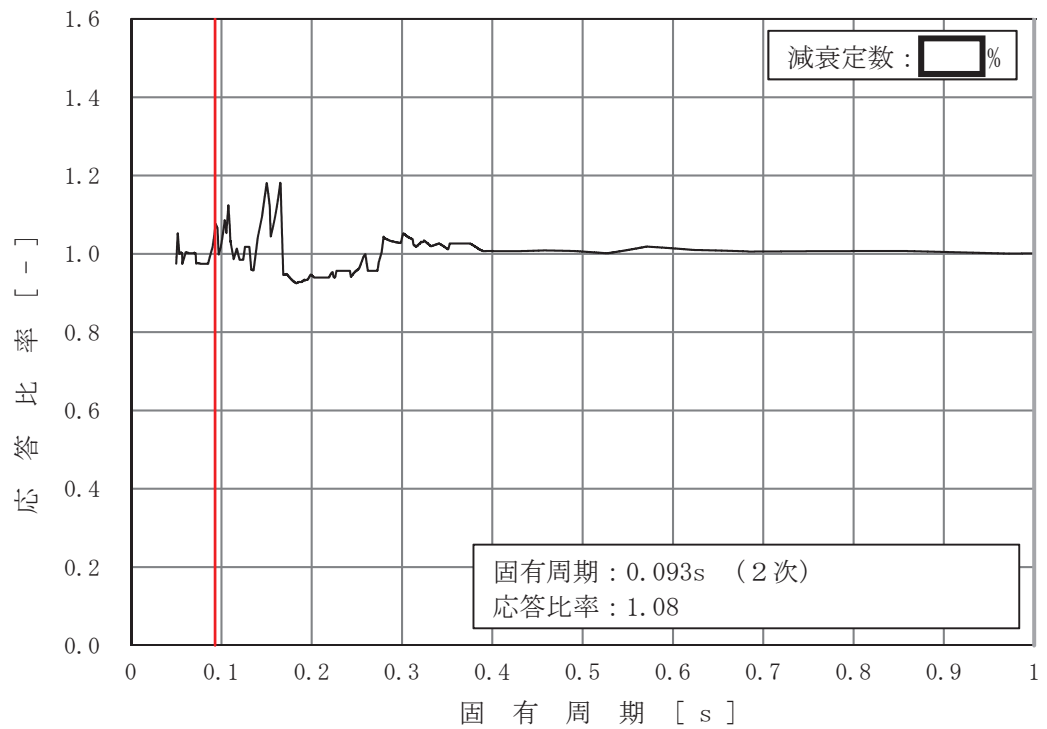


図 3-2-16 非常用ディーゼル発電設備配管 (DGDO-B008) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉建屋 O.P. [] m)

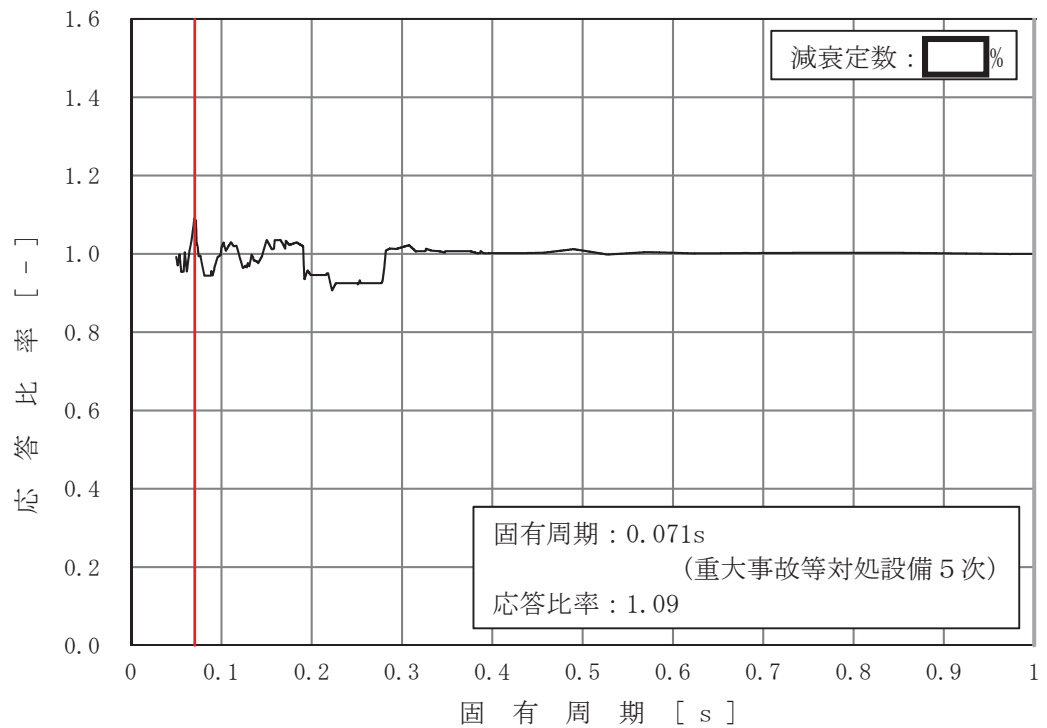


図 3-2-17 残留熱除去系配管 (RHR-010) (SA) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉建屋 O.P. [] m)

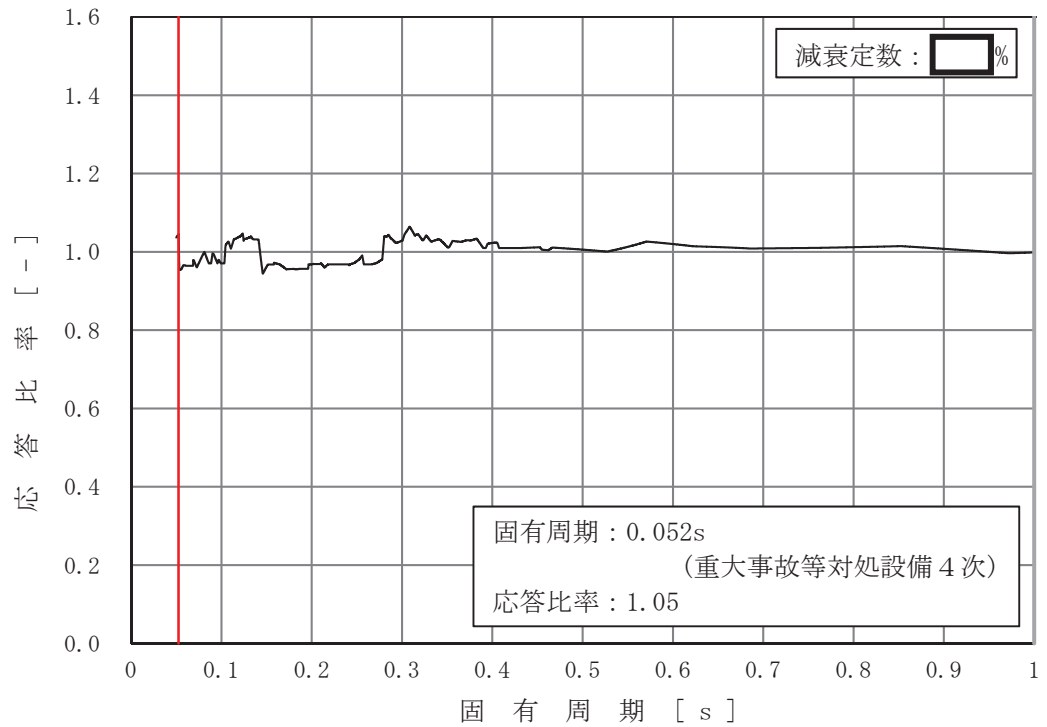


図 3-2-18 原子炉格納容器フィルタベント系配管 (FCVS-003) (SA) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉建屋 O.P. [] m)

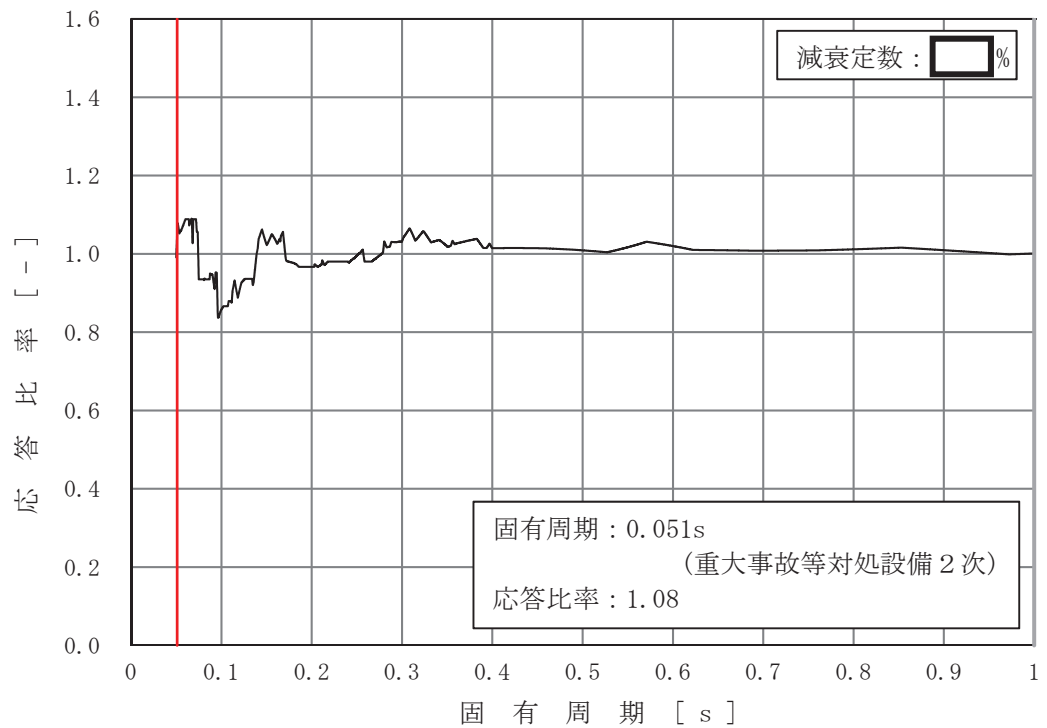


図 3-2-19 原子炉格納容器フィルタベント系配管 (FCVS-004) (SA) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉建屋 O.P. [] m)

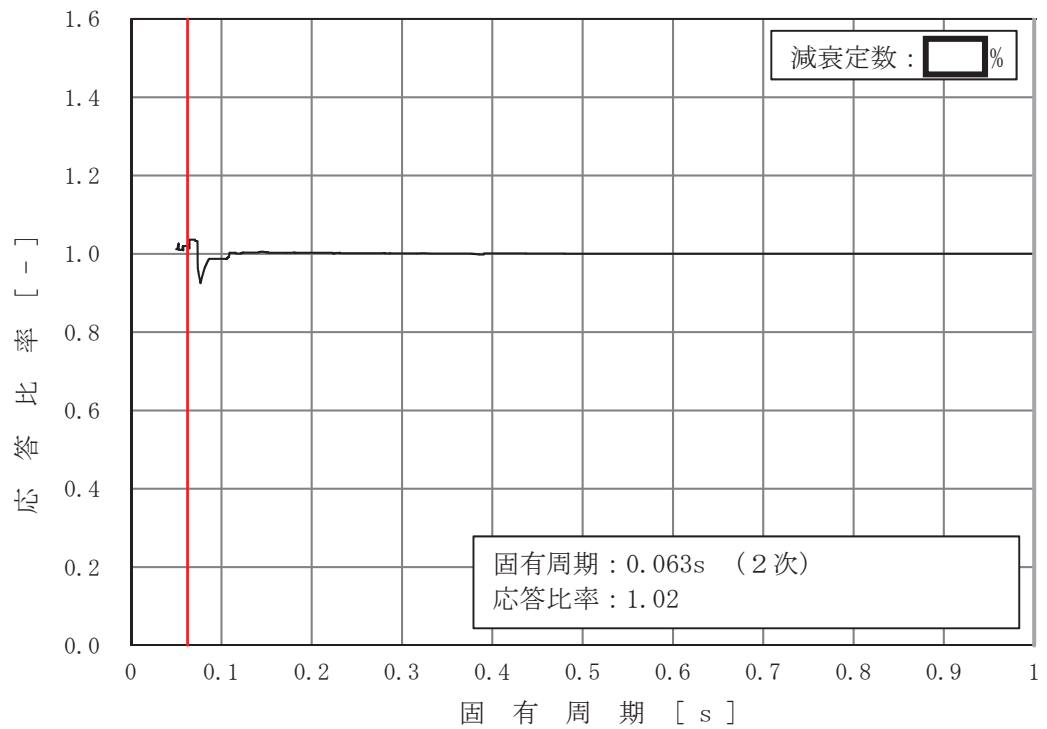


図 3-2-20 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-017-3) の条件比率
 (基準地震動 S s, 鉛直方向 : 制御棒駆動機構ハウジング O.P. [] m)

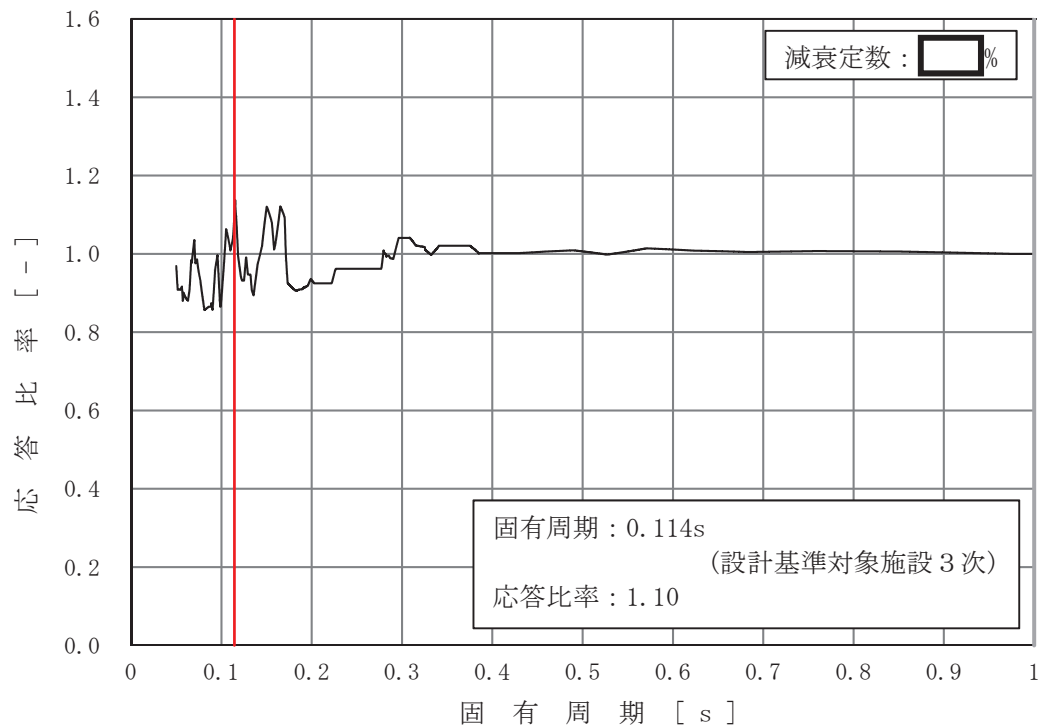


図 3-2-21 主蒸気系配管 (MS-001 クラス1) (DB) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向 : 原子炉しゃへい壁 O.P. [] m)

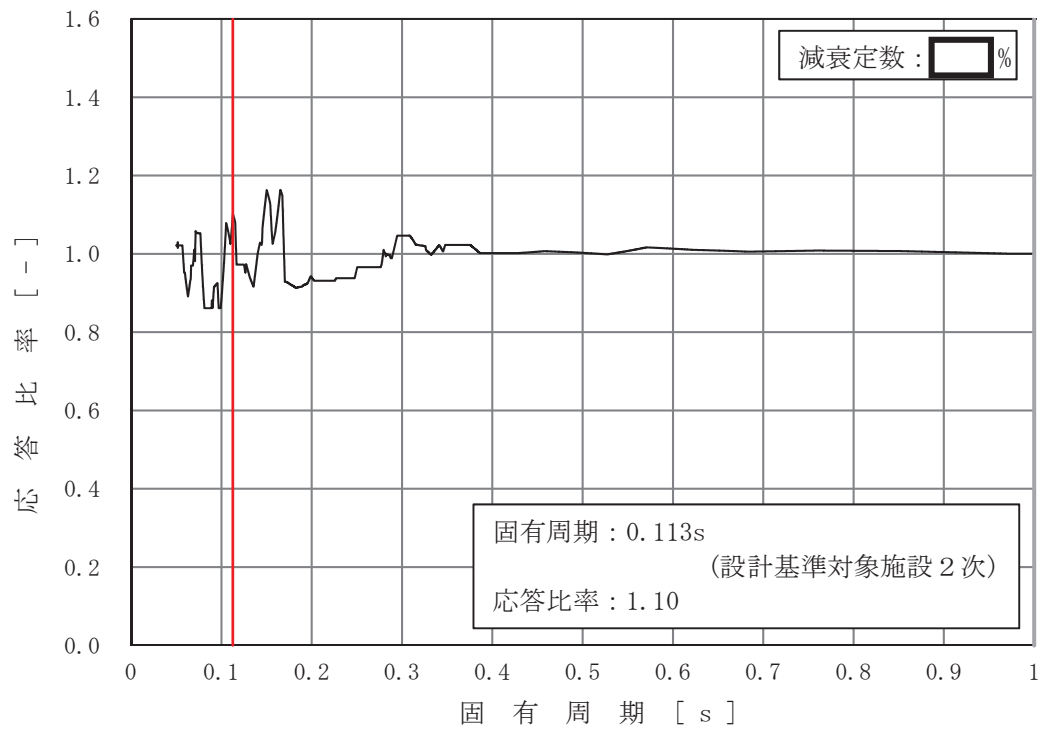


図 3-2-22 主蒸気系配管 (MS-003 クラス1) (DB) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉しゃへい壁 O.P. [] m)

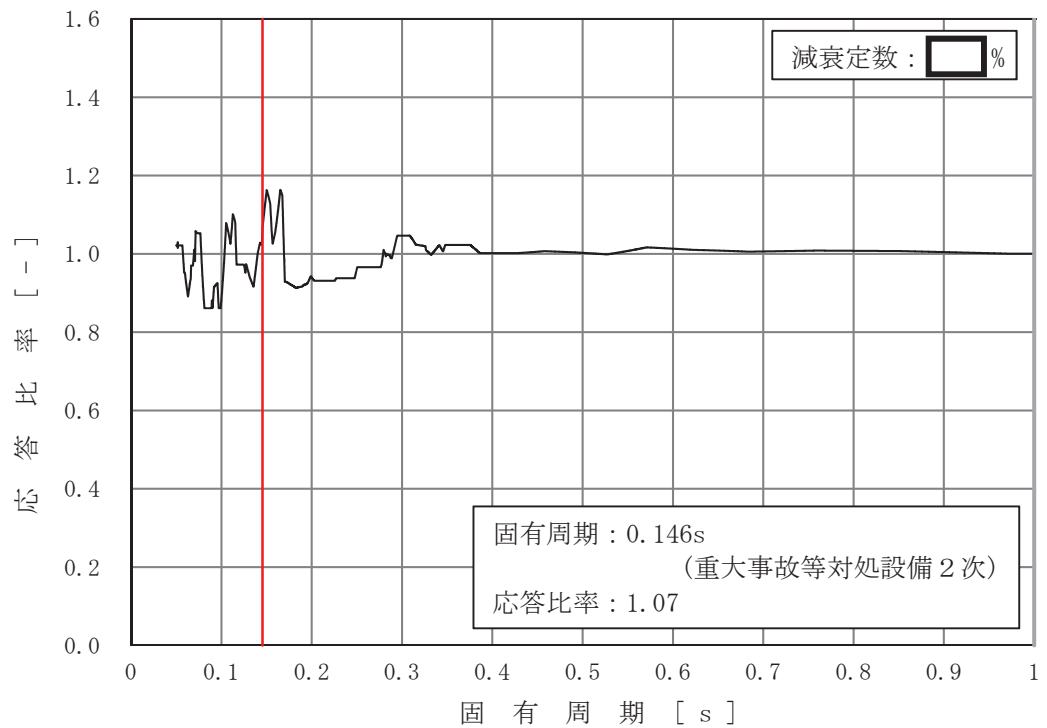


図 3-2-23 主蒸気系配管 (MS-004) (SA) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉しゃへい壁 O.P. [] m)

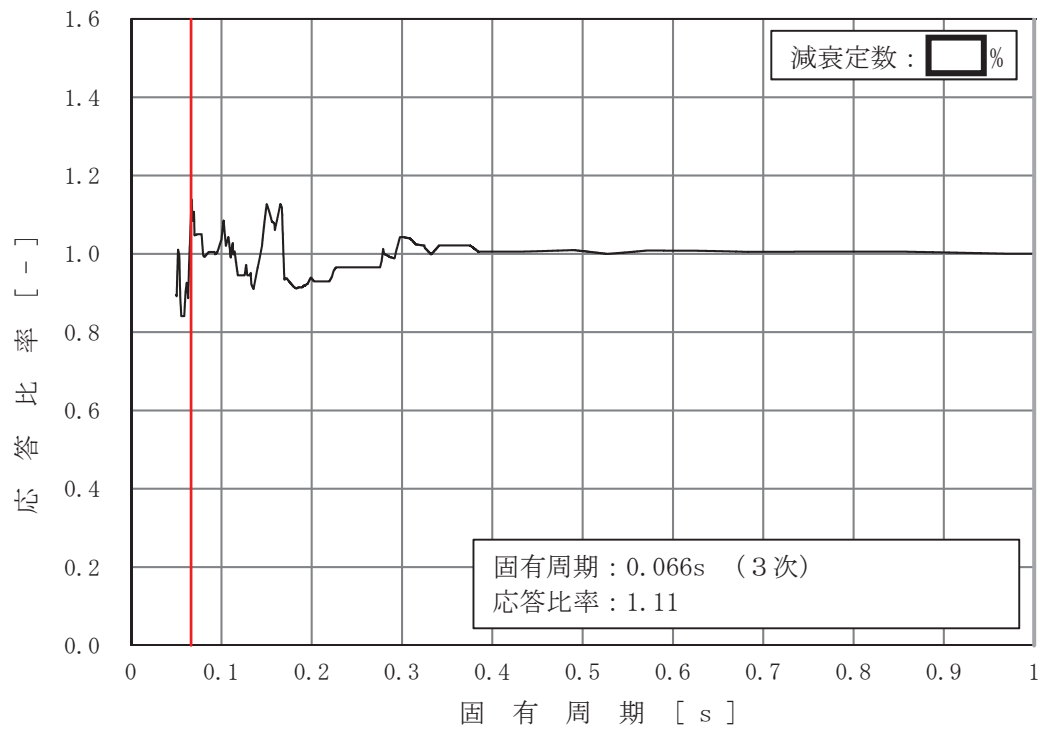


図 3-2-24 制御棒駆動水圧系配管 (CRD-005-1) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉格納容器 0.P. [] m)

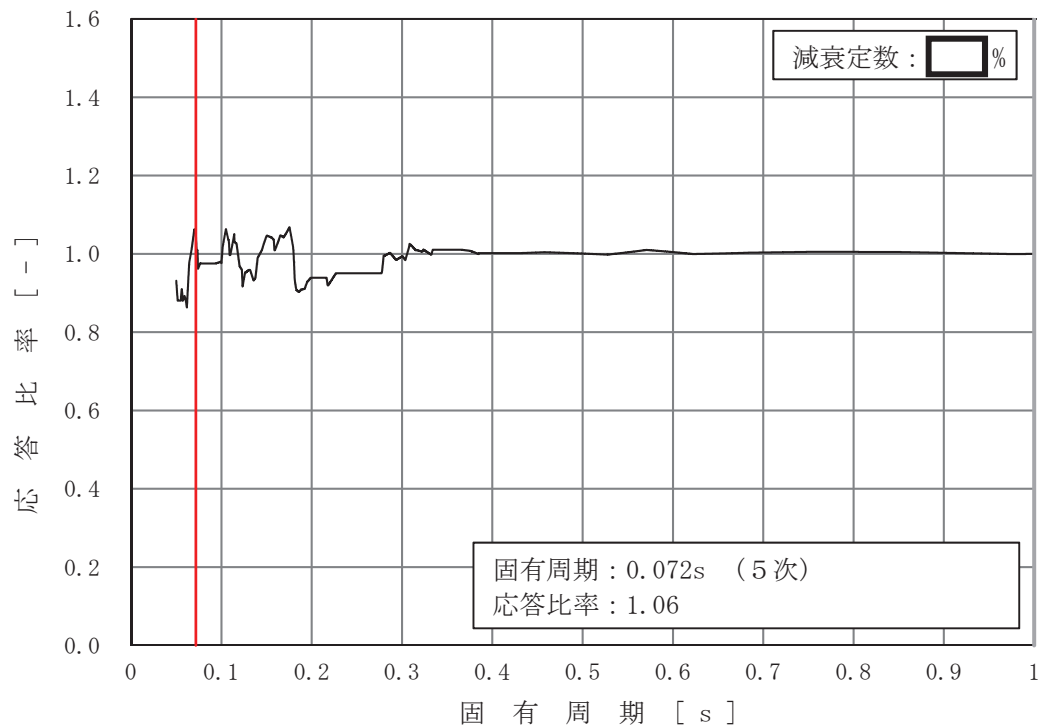


図 3-2-25 原子炉再循環系配管 (PLR-001) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉本体の基礎 0.P. [] m)

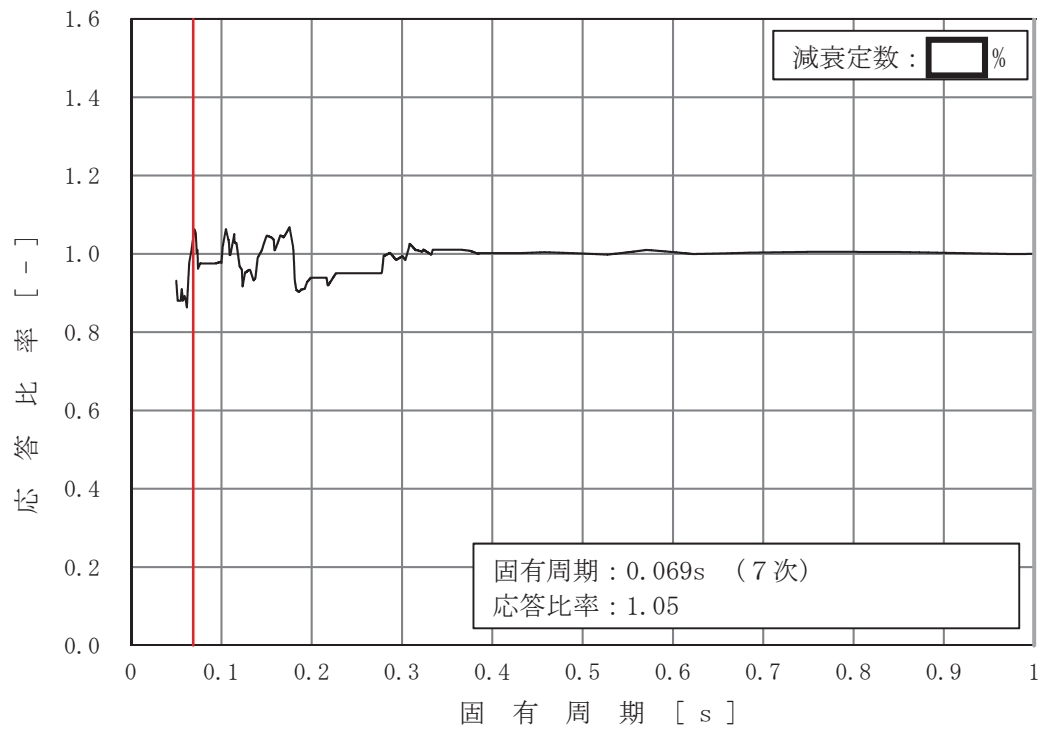


図 3-2-26 原子炉再循環系配管 (PLR-002) の条件比率
 (基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉本体の基礎 0.P. [] m)

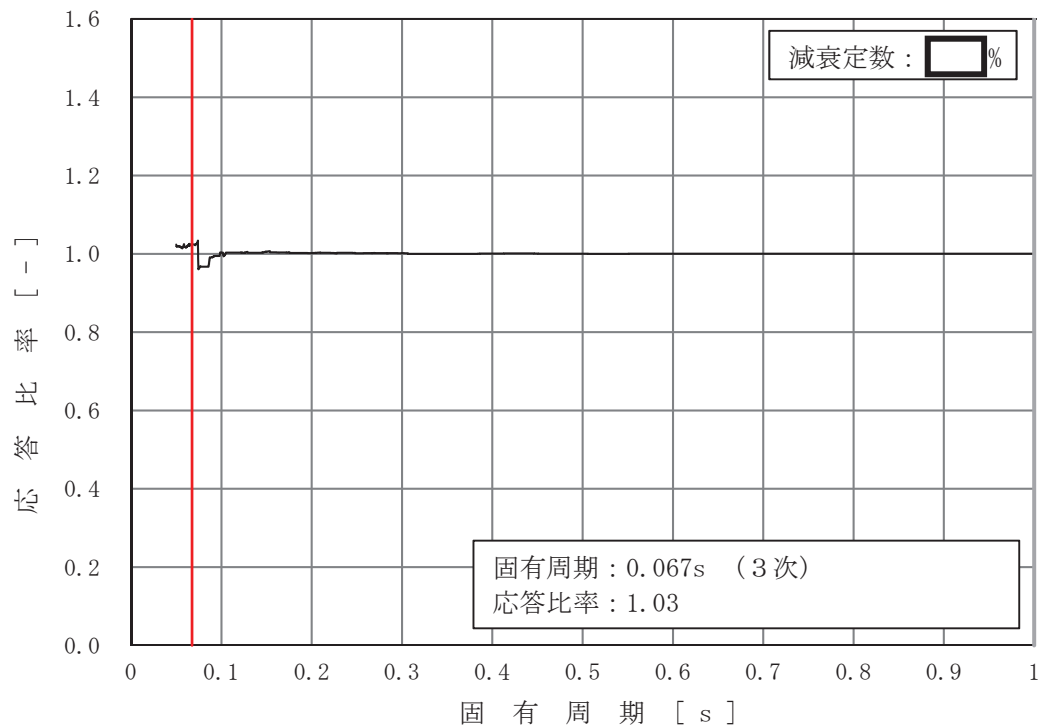


図 3-2-27 残留熱除去系配管 (RHR-003) の条件比率
 (基準地震動 S s, 鉛直方向: 原子炉しゃへい壁 0.P. [] m)

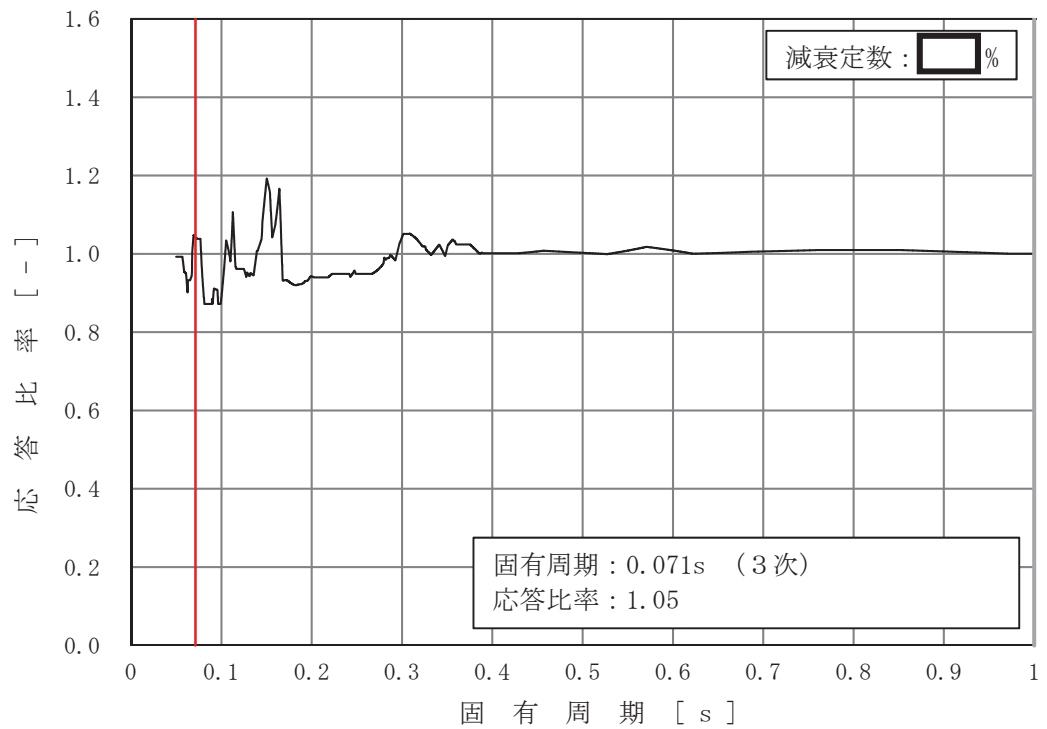


図 3-2-28 残留熱除去系配管 (RHR-004) の条件比率
(基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉しゃへい壁 O.P. [] m)

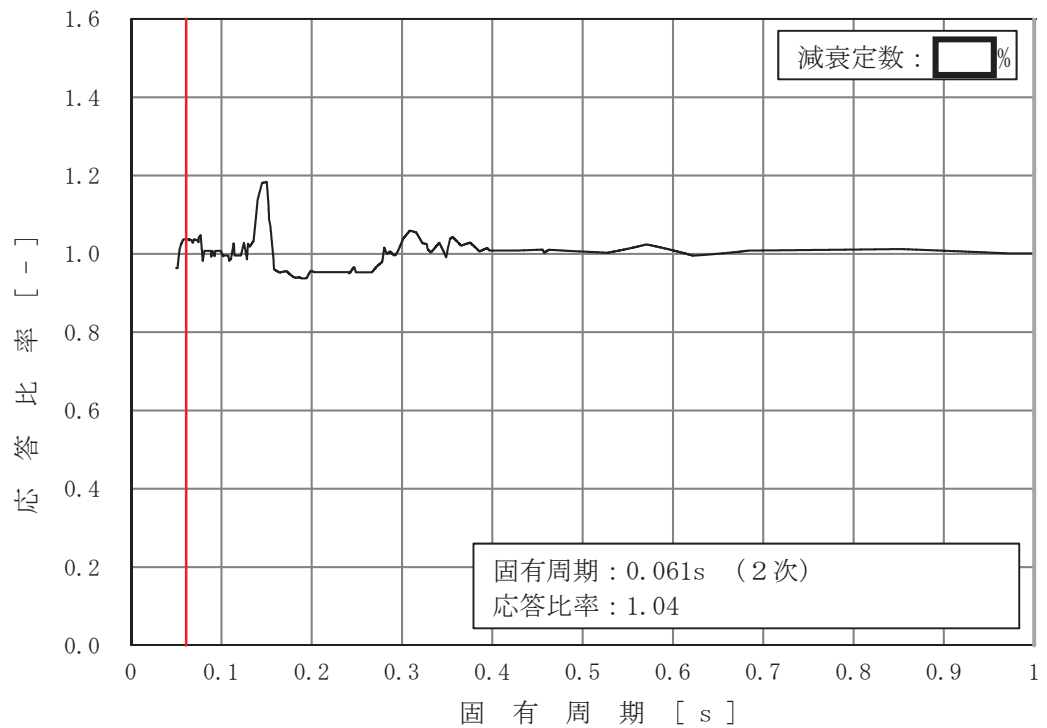


図 3-2-29 残留熱除去系配管 (RHR-005) の条件比率
(基準地震動 S s, 水平方向: 原子炉格納容器 O.P. [] m)

(2) 追加検討結果

「3.2.1 検討方針」に示す原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した影響検討フロー（図 3-2-1）に基づき実施した制御棒挿入性評価の詳細評価の結果、補強反映耐震条件 60.2 mm（工認評価に用いる燃料集合体相対変位 54.2 mm）×応答比率（1.11，別紙 6-1 表 4-7 参照）が許容値 60mm を上回ったことを踏まえ，図 3-2-1 の影響検討フローに従い追加検討を行う。

追加検討は，以下の手順により検討した。なお，検討に用いる地震動は，燃料集合体相対変位が最大となる基準地震動 $S_s - D_2$ を用いている。

- ① 「工認モデル」による材料物性の不確かさを考慮する検討ケース*ごとに応答比率を考慮した燃料集合体相対変位（各検討ケースの燃料集合体相対変位×応答比率（1.11）*²）を確認し，確認済相対変位を上回る検討ケース（ケース 3）を抽出（表 3-2-7 参照）。
- ② 抽出した検討ケースの地震応答解析モデルに改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析モデルを作成。
- ③ 作成した地震応答解析モデルを用いて地震応答解析を行い，燃料集合体相対変位（55.2 mm）が確認済相対変位（60 mm）以下となることを確認。

対象の確認結果を表 3-2-7 に，追加検討結果を表 3-2-8 に示す。

検討結果から，発生値（燃料集合体相対変位 55.2mm）が許容値（確認済相対変位 60mm）以下となることを確認した。

注記*：添付書類「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示す検討ケース

表 3-2-7 各検討ケースにおける制御棒挿入性評価

工認モデルによる材料物性の不確かさを考慮する検討ケース	燃料集合体 相対変位 (mm) (NS/EW 包絡)	応答比率を考慮した燃料集合体相対変位 (燃料集合体相対変位×応答比率 (1.11))	確認済 相対変位 (mm)	追加検討 ケース*
ケース 1 (基本ケース)	47.7	53.0	60	—
ケース 2	50.5	56.1		—
ケース 3	54.2	60.2		○
ケース 4	39.9	44.3		—
ケース 5	40.6	45.1		—
ケース 6	39.0	43.3		—
ケース 7	48.0	53.3		—

注記*：応答比率を考慮した燃料集合体相対変位が許容値 60mm を上回るケースを追加検討ケースとする。

表 3-2-8 追加検討結果

検討ケース	入力地震動	燃料集合体 相対変位 (mm)	確認済 相対変位 (mm)	影響検討結果
ケース 3	S s - D 2	55.2	60	○

4. 検討結果

改造工事に伴う重量増加の影響確認について、影響検討フローに従った検討を行い、以下の内容を確認した。

- ・改造工事に伴う重量増加を反映して作成した補強反映モデルを作成し、基準地震動 $S_s - D2$ に対する「補強反映モデル」の応答及び「工認モデル」の応答の比から応答比率を算定した。また、算定した応答比率を基準地震動 S_s に対する「工認モデル」の応答に乗じることで「補強反映耐震条件」を作成した。「補強反映耐震条件」と「工認モデル」の応答から作成した耐震計算に用いる耐震条件との条件比率を作成した。
- ・簡易評価の結果、一部の設備（25 設備）を除き、条件比率が設備の裕度以下となることを確認した。
- ・簡易評価において条件比率が設備の裕度を上回る 25 設備に対して、詳細評価として補強反映耐震条件による耐震計算を行い、制御棒挿入性評価を除く 24 設備については、発生値が許容値以下となることを確認した。
- ・詳細評価において発生値が許容値を上回った制御棒挿入性評価に対する追加検討を行った。追加検討の結果、改造工事に伴う重量増加を反映して作成した地震応答解析モデルを用いて地震応答解析を行い、発生値が許容値以下となることを確認した。

以上の結果から、改造工事に伴う重量増加の影響を考慮しても機器・配管系の耐震性が確保されることを確認した。

別紙 6-1 改造工事に伴う重量増加による建屋－機器連成
地震応答解析結果に与える影響

目 次

1. 概要	別紙 6-1- 1
2. 検討方針	別紙 6-1- 1
3. 検討条件	別紙 6-1- 1
3.1 補強等に伴う重量増加	別紙 6-1- 1
3.2 解析モデル	別紙 6-1- 9
4. 解析結果	別紙 6-1-16

1. 概要

本資料は、建屋－機器連成地震応答解析モデルにおいて、補強等の改造工事に伴う質量の増加分を考慮した地震応答解析を実施し、「建屋－機器連成地震応答解析結果」に与える影響について確認するものである。

2. 検討方針

添付書類「VI-2-3-2 炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示す工認評価に用いている質点系モデル（以下、「工認モデル」という。）では、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」（以下「地震応答計算書の別紙」という。）の3.2.1項の表3-5に示す通り、既工認*の質点系モデルからオペフロ耐震補強等、応答性状に影響を与える質量の変更を考慮している。

本検討では、上述した補強等の質量変更に加え、平成18年耐震設計審査指針改定及び平成25年新規制基準施行に伴う安全対策工事等による質量の増加分を考慮したモデル（以下、「補強反映モデル」という。）と工認モデルの応答値を比較することにより、質量変更による建屋－機器連成地震応答解析モデルの応答への影響を確認する。

なお、影響検討は別紙6「改造工事に伴う重量増加を反映した検討」と同様に基準地震動 $S_s - D_2$ に対して実施することとする。

注記*：女川原子力発電所2号機

『既工事計画認可申請書 添付資料IV-2-3「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」（元資庁第2015号平成元年6月8日認可）』

『既工事計画認可申請書 添付資料IV-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」（3資庁第10518号平成4年1月13日認可）』

3. 検討条件

3.1 補強等に伴う増加質量

補強等に伴う増加質量の総質量は約4,570tであり、そのうち建物・構築物の増加質量は約770t，機器・配管系の増加質量は約3800tである。原子炉建屋の重量増加の内訳を表3-1に示す。なお、地震応答解析モデルの諸元の変更箇所は原子炉建屋の質点質量及び回転慣性質量並びにと原子炉格納容器，ベント管，原子炉しゃへい壁及び原子炉本体基礎の質点質量のみである。

補強等に伴う増加質量と補強後の変更となる補強反映モデルの原子炉建屋及び大型機器（原子炉本体の基礎等）の振動諸元を表3-2～表3-4に示す。

表 3-1 原子炉建屋の重量増加の内訳

	項目	合計質量(t)
建物・構築物	屋上水素ベント飛来物防護対策	774
	屋根トラス補強（サブトラス・母屋）	
	竜巻防護フード	
	フィルタ装置設置に伴う建屋改造	
	各部の防護扉	
	3時間耐火要求扉	
機器・配管系	サプレッションチェンバの耐震補強	200
	フィルタ装置設置	182
	原子炉格納容器ベント系の耐震補強	85
	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置設置	51
	燃料交換機の耐震補強	22
	代替循環冷却ポンプ設置	14
	直流駆動低圧注水系ポンプ設置	11
	高圧代替注水系タービンポンプ設置	4
	静的触媒式水素再結合装置設置	3
	その他機器追加重量（電源盤設置等）	811
	その他配管追加重量（原子炉格納容器フィルタベント系，低圧代替注水系，高圧代替注水系，燃料プール代替注水系，代替循環冷却系設置等）	2413

表 3-2(1/2) 原子炉建屋の振動諸元 (NS 方向)

質点 番号*	標高 O. P. (m)	工認モデル		質量 増加 (t)	補強反映モデル	
		質量(t)	回転慣性質量 ($\times 10^4$ t・m)		質量(t)	回転慣性質量 ($\times 10^4$ t・m)
1(1)	-14.100	46599	2306	0	46599	2306
2(2)	-8.100	76921	3816	490	77411	3841
3(3)	1.150	6957	92	0	6957	92
33(61)	-0.800	6116	304	67	6183	307
34(62)	6.000	5440	270	93	5533	274
35(63)	15.000	4546	225	137	4683	232
36(64)	22.500	2725	135	114	2839	140
37(65)	33.200	1765	87	58	1823	90
38(66)	-0.800	11380	714	99	11479	720
39(67)	6.000	11993	787	195	12188	800
40(68)	15.000	10817	710	311	11128	730
41(69)	22.500	11237	684	294	11531	702
42(70)	33.200	8368	509	179	8547	520
43(71)	41.200	1788	31	13	1801	31
44(72)	50.500	1055	14	81	1136	15
45(73)	6.000	6311	76	23	6334	76
46(75)	15.000	9533	115	83	9616	116
48(76)	22.500	10722	93	72	10794	94
49(77)	33.200	5964	41	66	6030	42
50(78)	-0.800	17490	1061	66	17556	1065
51(79)	6.000	15818	994	157	15975	1004
52(80)	15.000	13661	858	707	14368	903
53(81)	22.500	15965	943	538	16503	975
54(82)	33.200	10365	612	214	10579	625
55(83)	41.200	1459	25	13	1472	25
56(84)	50.500	1055	14	75	1130	15
57(85)	-0.800	7115	352	38	7153	354
58(86)	6.000	6896	341	41	6937	343
59(87)	15.000	5179	256	106	5285	261
60(88)	22.500	5082	251	112	5194	257
61(89)	33.200	2849	141	24	2873	142

注記*：括弧内は、炉内構造物モデルの質点を表す。

表 3-2(2/2) 大型機器（原子炉本体の基礎等）の振動諸元（NS 方向）

構造物*1	質点番号	標高 O.P. (m)	工認 モデル	質量増加(t)	補強反映 モデル
			質量(t)		質量(t)
原子炉本体の基礎	3(90)			1.57	
	3(90) *2			89.09	
	4(4)			2.09	
	5(5)			1.82	
	6(6)			1.34	
	7(7)			1.2	
原子炉しゃへい壁	16(56)			2	
	17(57)			1.75	
	18(58)			2.46	
	19(59)			1.83	
	20(60)			2.65	
原子炉格納容器*3	21			2.51	
	22			0	
	23			0.01	
	24			0	
	25			0.01	
	26			0	
	27			0	
	28			0	
	29			0	
	30			0	
ベント管*3	31			85	
所員用 エアロック*3	32			0	

注記*1：本記載以外の構造物の重量変更はない。

*2：炉内構造物モデルの場合。

*3：炉内構造物モデルに対応する質点はない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-3(1/2) 原子炉建屋の振動諸元 (EW 方向)

質点 番号*	標高 O. P. (m)	工認モデル		質量 増加 (t)	補強反映モデル	
		質量(t)	回転慣性質量 ($\times 10^4$ t・m)		質量(t)	回転慣性質量 ($\times 10^4$ t・m)
1(1)	-14.100	46599	2744	0	46599	2744
2(2)	-8.100	76921	4539	490	77411	4568
3(3)	1.150	6957	92	0	6957	92
33(61)	-0.800	5304	312	38	5342	315
34(62)	6.000	5225	308	50	5275	311
35(63)	15.000	4389	258	168	4557	268
36(64)	22.500	4855	286	132	4987	294
37(65)	33.200	4404	259	161	4565	269
38(66)	-0.800	15438	1115	81	15519	1121
39(67)	6.000	15231	1143	147	15378	1154
40(68)	15.000	13186	989	330	13516	1014
41(69)	22.500	6633	390	186	6819	401
42(70)	15.000	819	10	7	826	10
43(71)	22.500	8090	583	140	8230	594
44(72)	33.200	8250	561	128	8378	570
45(73)	41.200	2030	48	26	2056	48
46(74)	50.500	1055	25	78	1133	27
47(75)	6.000	6311	76	23	6334	76
48(76)	15.000	8714	105	76	8790	106
50(78)	22.500	10722	161	72	10794	162
51(79)	33.200	5964	72	66	6030	73
52(80)	-0.800	14985	1091	102	15087	1098
53(81)	6.000	13359	1012	188	13547	1026
54(82)	15.000	11897	901	345	12242	927
55(83)	22.500	12203	924	315	12518	948
56(84)	33.200	8768	664	157	8925	676
57(85)	41.200	1217	29	0	1217	29
58(86)	50.500	1055	25	78	1133	27
59(87)	-0.800	6374	376	49	6423	379
60(88)	6.000	6332	374	101	6433	380
61(89)	15.000	4731	279	418	5149	303
62(90)	22.500	3228	190	285	3513	207
63(91)	33.200	1925	113	29	1954	115

注記* : 括弧内は、炉内構造物モデルの質点を表す。

表 3-3(2/2) 大型機器（原子炉本体の基礎等）の振動諸元（EW 方向）

構造物*1	質点番号	標高 O.P. (m)	工認 モデル	質量増加(t)	補強反映 モデル
			質量(t)		質量(t)
原子炉本体の基礎	3(92)			1.57	
	3(92) *2			89.09	
	4(4)			2.09	
	5(5)			1.82	
	6(6)			1.34	
	7(7)			1.2	
原子炉しゃへい壁	16(56)			2	
	17(57)			1.75	
	18(58)			2.46	
	19(59)			1.83	
	20(60)			2.65	
原子炉格納容器*3	21			2.51	
	22			0	
	23			0.01	
	24			0	
	25			0.01	
	26			0	
	27			0	
	28			0	
	29			0	
	30	0			
ベント管*3	31	85			
所員用 エアロック*3	32	0			

注記*1：本記載以外の構造物の重量変更はない。

*2：炉内構造物モデルの場合。

*3：炉内構造物モデルに対応する質点はない。

表 3-4(1/2) 原子炉建屋の振動諸元 (UD 方向)

質点 番号	標高 O. P. (m)	工認 モデル	質量増加 (t)	補強反映 モデル
		質量 (t)		質量 (t)
1	48.725	1288	45	1333
2	41.200	3247	26	3273
3	33.200	29311	541	29852
4	22.500	48186	1139	49325
5	15.000	43736	1344	45080
6	6.000	46458	509	46967
7	-0.800	51662	280	51942
8	-8.100	71863.9	471.2	72335.1
9	-14.100	46599	0	46599
10	48.725	333	42	375
11	48.725	326	46	372
12	48.725	163	23	186

表 3-4(2/2) 大型機器（原子炉本体の基礎等）の振動諸元（UD 方向）

構造物*1	質点 番号	標高 O. P. (m)	工認 モデル	質量増加 (t)	補強反映 モデル
			質量 (t)		質量 (t)
原子炉本体の基礎	14(14)			1.57	
	14(14) *2			1.57	
	15(15)			2.09	
	16(16)			1.82	
	17(17)			1.34	
	18(18)			1.2	
原子炉しゃへい壁	19(19)			2	
	20(20)			1.75	
	21(21)			2.46	
	22(22)			1.83	
	23(23)			2.65	
原子炉格納容器*3	32			87.51	
	33			0	
	34			0.01	
	35			0	
	36			0.01	
	37			0	
	38			0	
	39			0	
	40			0	
41	0				

注記*1：本記載以外の構造物の重量変更はない。

*2：炉内構造物モデルの場合。

*3：炉内構造物モデルに対応する質点はない。

3.2 解析モデル

大型機器系の地震応答解析モデルを図 3-1 に、炉内構造物系の地震応答解析モデルを図 3-2 に示す。地盤ばね定数は「地震応答計算書の別紙」に記載の値を使用する。

また、重量増分に伴うせん断及び曲げスケルトンへの影響は軽微であるため「工認モデル」の諸元を用いる。

K ₁	原子炉格納容器シヤラグ
K ₂	原子炉格納容器スタビライザ
K ₃	原子炉圧力容器スタビライザ
K ₄	燃料交換ベローズ
K ₅	所員用エアロック
K ₆	ベント管

記号	内容
●	質点
	はり
— —	水平ばね
⊙	回転ばね

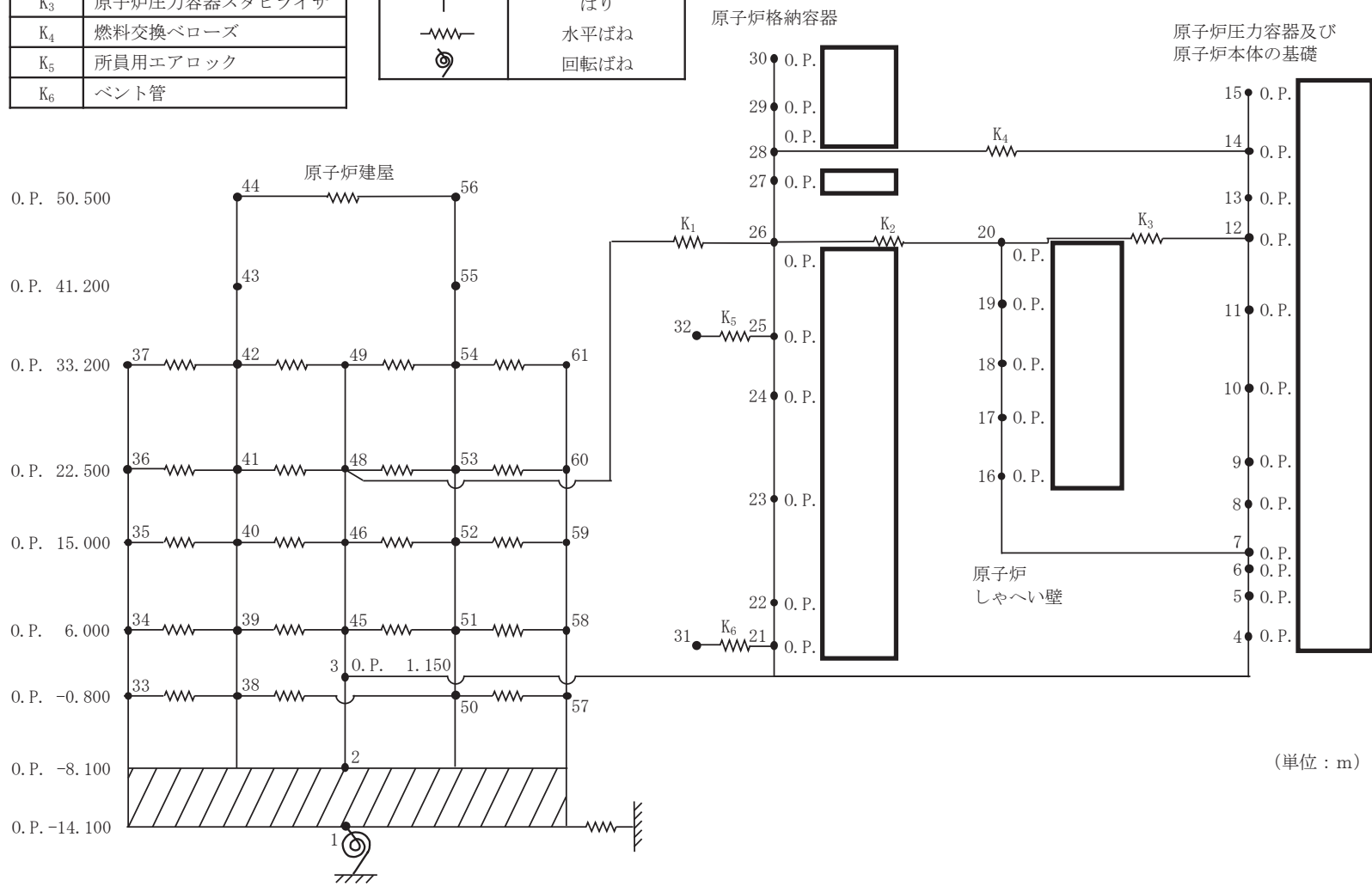


図 3-1(1/3) 大型機器系地震応答解析モデル (NS 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

K ₁	原子炉格納容器シヤラグ
K ₂	原子炉格納容器スタビライザ
K ₃	原子炉圧力容器スタビライザ
K ₄	燃料交換ベローズ
K ₅	所員用エアロック
K ₆	ベント管

記号	内容
●	質点
	はり
— —	水平ばね
○ ↻	回転ばね

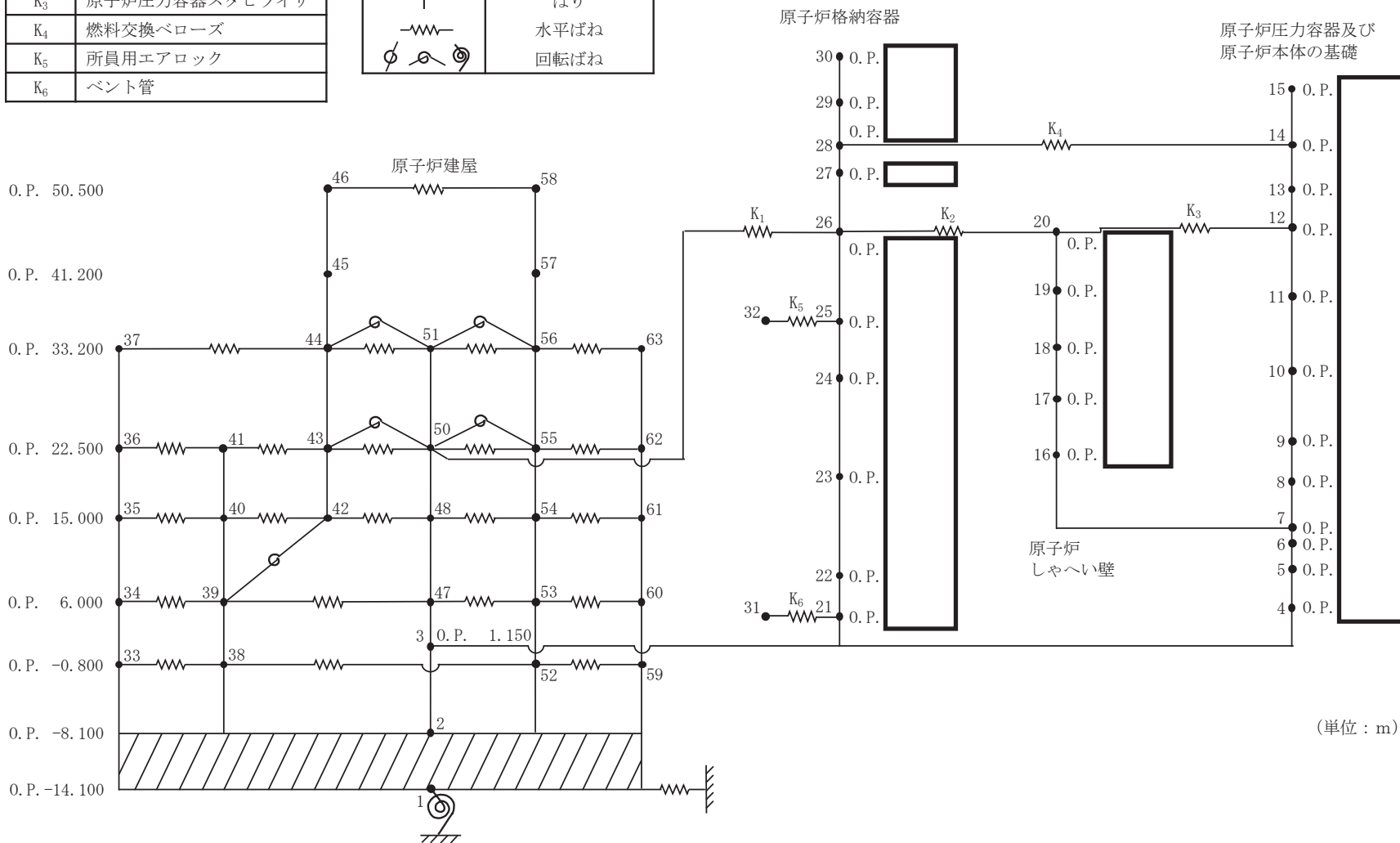


図 3-1(2/3) 大型機器系地震応答解析モデル (EW 方向)

K_{θ}	トラス端部回転拘束ばね
--------------	-------------

記号	内容
●	質点
—	軸ばね (構造物)
—	はり (屋根トラス部)
⊗	回転ばね
⊚	鉛直ばね (地盤)

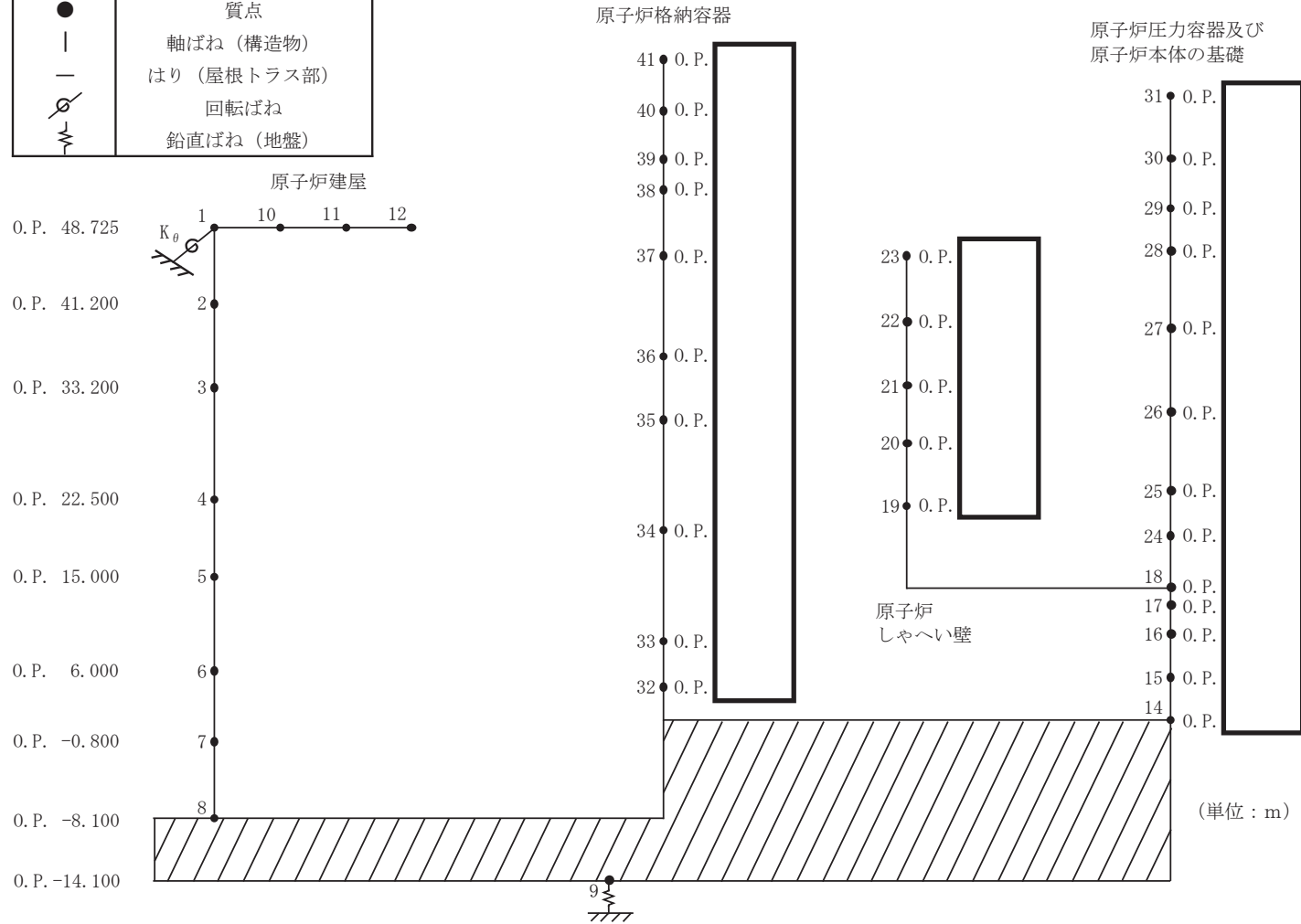


図 3-1(3/3) 大型機器系地震応答解析モデル (UD 方向)

別紙 6-1-12

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

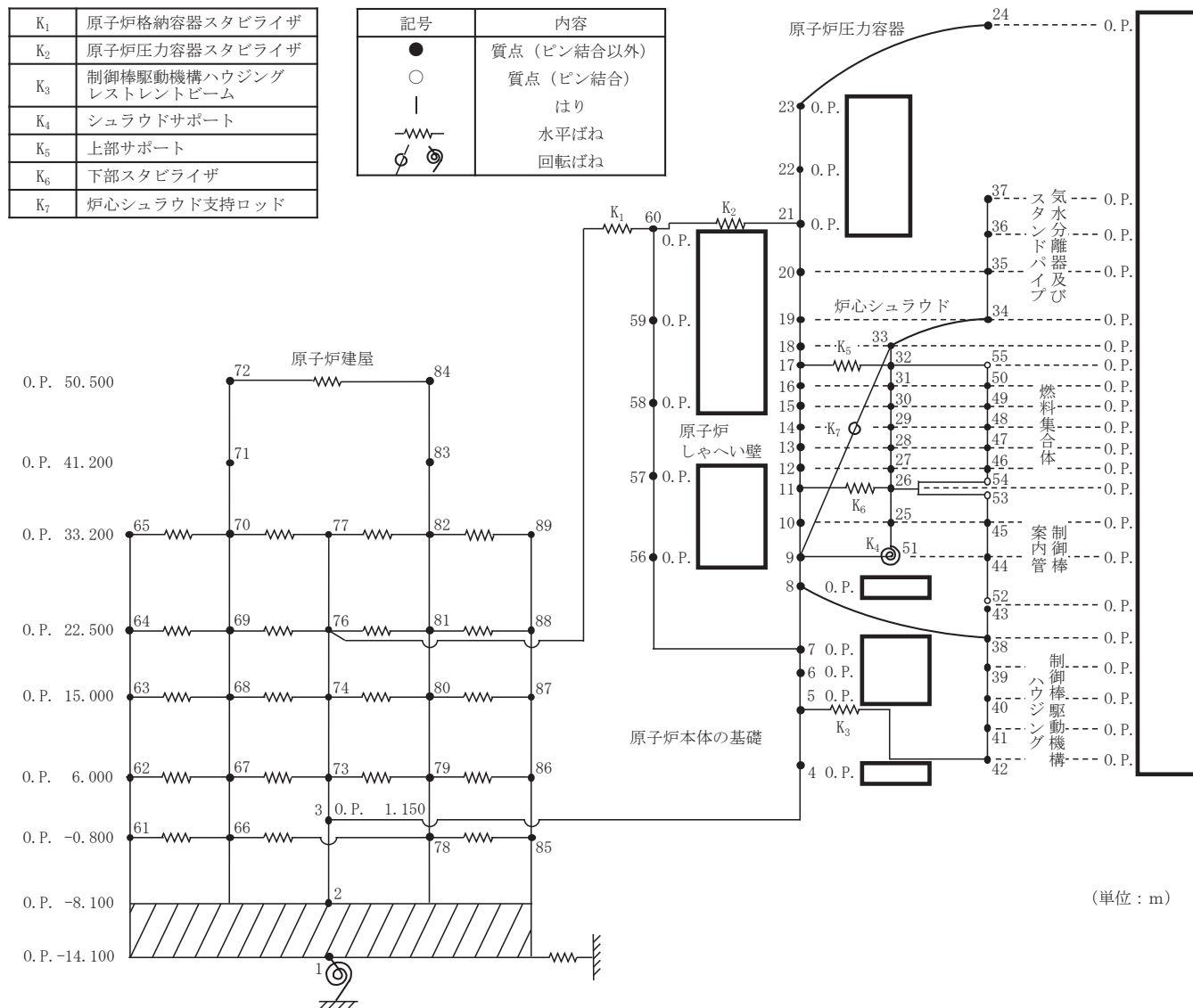


図 3-2 (1/3) 炉内構造物系地震応答解析モデル (NS 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

K ₁	原子炉格納容器スタビライザ
K ₂	原子炉圧力容器スタビライザ
K ₃	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム
K ₄	シュラウドサポート
K ₅	上部サポート
K ₆	下部スタビライザ
K ₇	炉心シュラウド支持ロッド

記号	内容
●	質点 (ピン結合以外)
○	質点 (ピン結合)
	はり
— —	水平ばね
○— —○	回転ばね

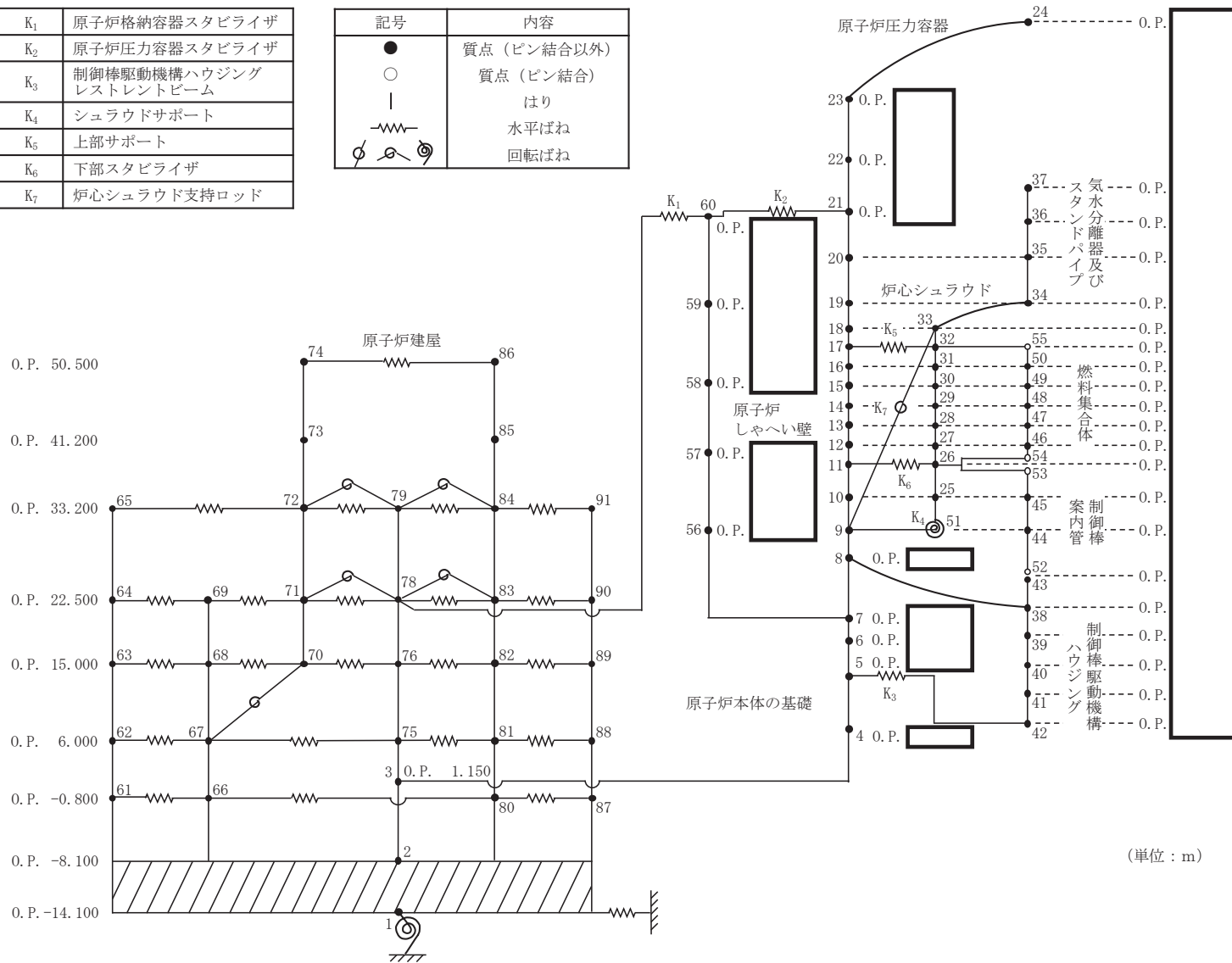


図 3-2 (2/3) 炉内構造物系地震応答解析モデル (EW 方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

K_{θ}	トラス端部回転拘束ばね
--------------	-------------

記号	内容
●	質点
	軸ばね (構造物)
—	はり (屋根トラス部)
⊗	回転ばね
⊚	鉛直ばね (地盤)

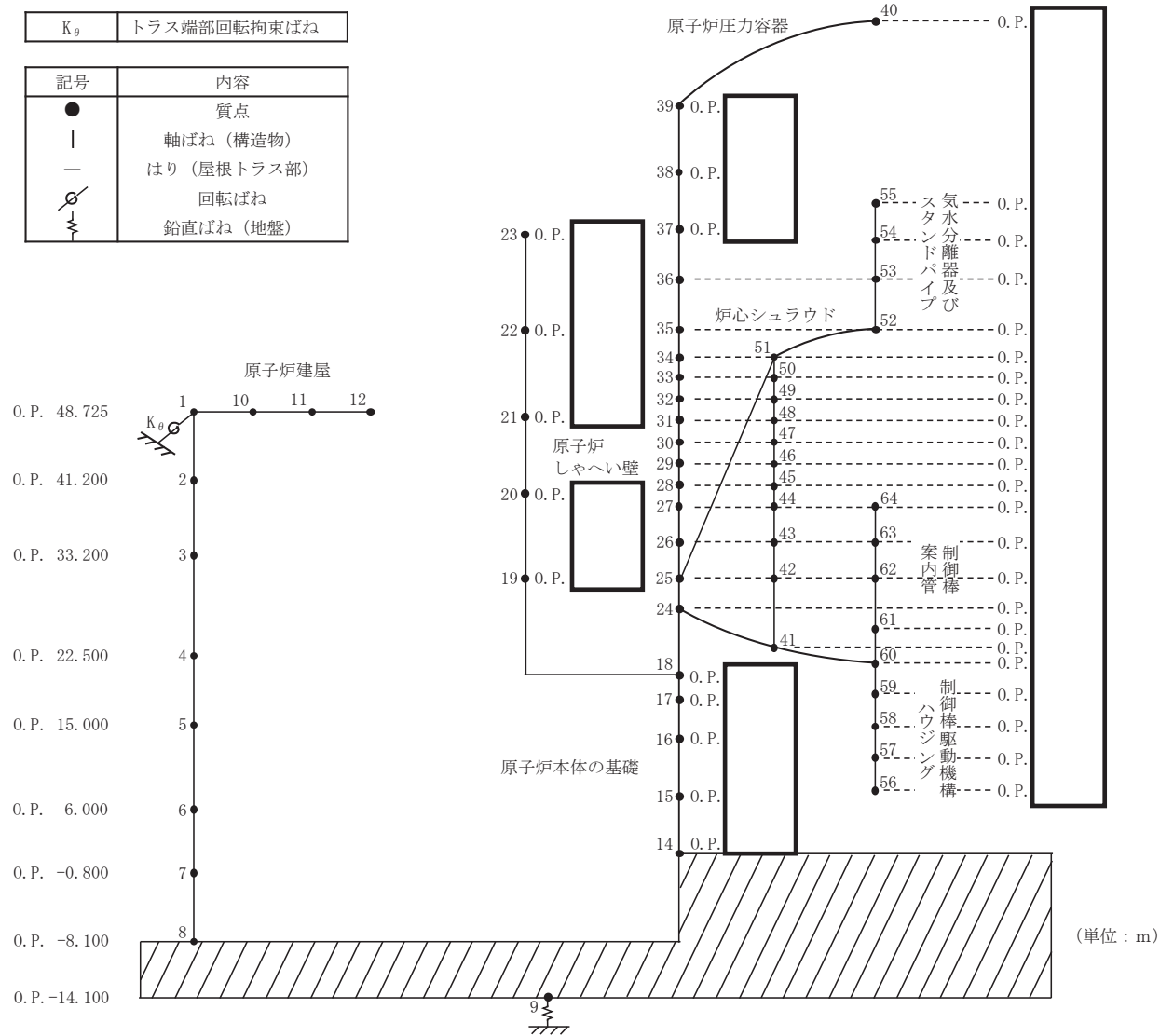


図 3-2 (3/3) 炉内構造物系地震応答解析モデル (UD 方向)

4. 解析結果

基準地震動 $S_s - D_2$ による最大応答値を表 4-1～表 4-7 に、床応答曲線を表 4-8 に示す。

「補強反映モデル」の最大応答値は、「工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。

表 4-1(1/5) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D 2, 1.0ZPA, 水平方向)

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.0$		応答比率 (②/①)
			①工認モデル	②補強反映モデル	
原子炉本体 の基礎	62/64		0.89	0.89	1.00
	4		0.95	0.95	1.00
	5		0.99	1.00	1.02
	6		1.02	1.03	1.01
	7		1.02	1.04	1.02
原子炉圧力 容器	8		1.08	1.08	1.00
	15		3.23	3.00	0.93
原子炉 しゃへい壁	16		1.24	1.30	1.05
	17		1.42	1.49	1.05
	18		1.49	1.56	1.05
	19		1.58	1.54	0.98
	20		1.70	1.63	0.96
原子炉格納 容器	21		0.90	0.91	1.02
	22		0.88	0.89	1.02
	23		0.84	0.87	1.04
	24		1.10	1.06	0.97
	25		1.26	1.22	0.97
	26		1.51	1.52	1.01
	28		1.73	1.75	1.02

注記：設備評価に用いる質点に対する応答比率を記載。

表 4-1(2/5) 最大応答加速度（基準地震動 S s - D 2, 1.0ZPA, 水平方向）

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.0$		応答比率 (②/①)
			①工認モデル	②補強反映モデル	
気水分離器 及びスタン ドパイプ	37		7.73	7.03	0.91
	36		3.71	3.00	0.81
	35		2.31	2.19	0.95
	34		2.07	2.01	0.98
炉心シュラ ウド	33		1.93	1.89	0.98
	32		1.83	1.79	0.98
	31		1.71	1.69	0.99
	30		1.58	1.58	1.00
	29		1.45	1.50	1.04
	28		1.40	1.44	1.03
	27		1.37	1.42	1.04
	26		1.33	1.38	1.04
	25		1.22	1.27	1.05
51	1.12		1.14	1.02	
制御棒案内 管	53		1.55	1.38	0.90
	45		1.81	2.98	1.65
	44		2.35	3.84	1.64
	52		2.15	1.91	0.89
制御棒駆動 機構ハウジ ング	43		1.98	1.91	0.97
	38		1.12	1.19	1.07
	39		1.48	1.56	1.06
	40		2.30	2.22	0.97
	41		2.90	2.05	0.71
	42		1.55	1.27	0.82
燃料集合体	55		1.83	1.79	0.98
	50		2.68	2.97	1.11
	49		3.60	4.03	1.12
	48		4.02	4.32	1.08
	47	3.74	3.93	1.06	
	46	2.75	2.91	1.06	
	54	1.33	1.38	1.04	

注記：設備評価に用いる質点に対する応答比率を記載。

表 4-1(3/5) 最大応答加速度（基準地震動 S_s-D2, 1.2ZPA, 水平方向）

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
原子炉本体 の基礎	62/64		1.07	1.07	1.00
	4		1.13	1.14	1.01
	5		1.19	1.20	1.01
	6		1.22	1.23	1.01
	7		1.23	1.24	1.01
原子炉圧力 容器	8		1.29	1.30	1.01
	15		3.88	3.60	0.93
原子炉本体 の基礎	16		1.48	1.56	1.06
	17		1.70	1.79	1.06
	18		1.79	1.87	1.05
	19		1.90	1.84	0.97
	20		2.04	1.95	0.96
原子炉格納 容器	21		1.08	1.09	1.01
	22		1.06	1.06	1.00
	23		1.01	1.05	1.04
	24		1.32	1.27	0.97
	25		1.51	1.46	0.97
	26		1.81	1.82	1.01
	28		2.08	2.09	1.01

注記：設備評価に用いる質点に対する応答比率を記載。

表 4-1(4/5) 最大応答加速度（基準地震動 S s - D 2, 1.2ZPA, 水平方向）

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
気水分離器 及びスタン ドパイプ	37		9.27	8.44	0.92
	36		4.45	3.59	0.81
	35		2.77	2.62	0.95
	34		2.49	2.41	0.97
炉心シュラ ウド	33		2.31	2.27	0.99
	32		2.19	2.15	0.99
	31		2.05	2.03	1.00
	30		1.90	1.89	1.00
	29		1.74	1.80	1.04
	28		1.68	1.73	1.03
	27		1.64	1.70	1.04
	26		1.60	1.66	1.04
	25		1.46	1.52	1.05
51	1.35		1.37	1.02	
制御棒案内 管	53		1.86	1.66	0.90
	45		2.17	3.58	1.65
	44		2.82	4.61	1.64
	52		2.58	2.29	0.89
制御棒駆動 機構ハウジ ング	43		2.38	2.29	0.97
	38		1.34	1.43	1.07
	39		1.78	1.87	1.06
	40		2.75	2.67	0.98
	41		3.48	2.46	0.71
	42		1.86	1.52	0.82
燃料集合体	55		2.19	2.15	0.99
	50		3.21	3.56	1.11
	49		4.32	4.83	1.12
	48		4.82	5.19	1.08
	47	4.48	4.72	1.06	
	46	3.29	3.49	1.07	
	54	1.60	1.66	1.04	

注記：設備評価に用いる質点に対する応答比率を記載。

表 4-1(5/5) 最大応答加速度（基準地震動 S s - D 2, 1.2ZPA, 水平方向）

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
原子炉圧力 容器	24		4.08	3.82	0.94
	23		3.36	3.14	0.94
	22		2.85	2.75	0.97
	21		2.47	2.43	0.99
	20		2.25	2.23	1.00
	19		2.02	2.02	1.00
	18		1.93	1.91	0.99
	17		1.88	1.83	0.98
	16		1.83	1.74	0.96
	15		1.78	1.68	0.95
	14		1.72	1.62	0.95
	13		1.66	1.57	0.95
	12		1.60	1.51	0.95
	11		1.53	1.44	0.95
	10		1.42	1.40	0.99
	9		1.35	1.37	1.02
8	1.29	1.33	1.04		
38	1.34	1.43	1.07		

注記：設備評価に用いる質点に対する応答比率を記載。

表 4-2(1/2) せん断力 (基準地震動 S_s-D2)

部位	質点 番号	標高 O. P. (m)	せん断力 (kN)						応答比率 (②/①)
			工認モデル			補強反映モデル			
			NS	EW	① 包絡値	NS	EW	② 包絡値	
原子炉 圧力容 器	15		510	536	536	474	510	510	0.96
	14		1890	2130	2130	1930	2150	2150	1.01
	13		3960	4210	4210	3900	4180	4180	1.00
	12		3050	2550	3050	3390	2510	3390	1.12
	11		3270	3200	3270	3340	3280	3340	1.03
	10		6150	6480	6480	6040	6460	6460	1.00
	9		8260	8930	8930	8110	8860	8860	1.00
	8		10200	11100	11100	9970	10900	10900	0.99
	7		28300	27000	28300	27100	27100	27100	0.96
原子炉 本体の 基礎	7		30200	29100	30200	28900	29300	29300	0.98
	6		32200	31200	32200	30800	31500	31500	0.98
	5		34100	32800	34100	32500	33300	33300	0.98
	4		6840	6040	6840	6370	5590	6370	0.94
	3		6190	6640	6640	6470	6360	6470	0.98
原子炉 しゃへ い壁	20		8560	8610	8610	8660	8540	8660	1.01
	19		12500	11700	12500	12100	11600	12100	0.97
	18		16600	14900	16600	15800	15100	15800	0.96
	17		286	269	286	286	264	286	1.00
	7		556	522	556	556	512	556	1.00
原子炉 格納容 器	30		3100	3220	3220	3120	3010	3120	0.97
	29		3920	3980	3980	3940	3750	3940	0.99
	28		25100	26200	26200	25600	26100	26100	1.00
	27		26500	27300	27300	27000	27200	27200	1.00
	26		27400	28100	28100	27900	28000	28000	1.00
	25		28700	29400	29400	29200	29400	29400	1.00
	24		29200	29800	29800	29700	30000	30000	1.01
	23		30200	31400	31400	30700	32000	32000	1.02
	22								
	21								
	3								

表 4-2(2/2) せん断力 (基準地震動 S_s-D2)

部位	質点 番号	標高 O. P. (m)	せん断力 (kN)						比率 (①/②)
			工認モデル			補強反映モデル			
			NS	EW	① 包絡値	NS	EW	② 包絡値	
炉心 シュラウド	37		443	603	603	398	548	548	0.91
	36		909	1190	1190	842	1020	1020	0.86
	35		1350	1420	1420	1480	1170	1480	1.05
	34		1690	1820	1820	1910	1420	1910	1.05
	33		2120	2350	2350	2450	1780	2450	1.05
	32		2990	2690	2990	2880	3520	3520	1.18
	31		2790	2480	2790	2870	3210	3210	1.16
	30		2520	2650	2650	2940	2660	2940	1.11
	29		2850	3030	3030	3180	2850	3180	1.05
	28		3110	3350	3350	3390	3060	3390	1.02
	27		3330	3590	3590	3570	3220	3570	1.00
	26		4810	4330	4810	4930	5150	5150	1.08
	25		4730	4480	4730	4820	5180	5180	1.10
	51		4730	4480	4730	4820	5180	5180	1.10
制御棒 案内管	53		688	633	688	1050	693	1050	1.53
	45		178	170	178	282	188	282	1.59
	44		587	546	587	902	597	902	1.54
	52		587	546	587	902	597	902	1.54
制御棒 駆動機構 ハウジング	43		900	807	900	1320	888	1320	1.47
	38		454	437	454	468	447	468	1.04
	39		261	253	261	273	257	273	1.05
	40		20.5	18.8	20.5	21.2	20.0	21.2	1.04
	41		255	236	255	264	241	264	1.04
	42		255	236	255	264	241	264	1.04
燃料 集合体	55		3180	2750	3180	2820	3520	3520	1.11
	50		2240	2020	2240	1990	2510	2510	1.13
	49		809	783	809	711	885	885	1.10
	48		832	736	832	745	966	966	1.17
	47		2230	2020	2230	1990	2510	2510	1.13
	46		2230	2020	2230	1990	2510	2510	1.13
	54		3130	2840	3130	2770	3410	3410	1.09

表 4-3(1/2) 曲げモーメント (基準地震動 S s - D 2)

部位	質点 番号	標高 O. P. (m)	曲げモーメント (kN・m)						比率 (②/①)
			工認モデル			補強反映モデル			
			NS	EW	① 包絡値	NS	EW	② 包絡値	
原子炉 压力容器	15		0	0	0	0	0	0	-
	14		1400	1470	1470	1300	1400	1400	0.96
	13		5400	6120	6120	5500	6090	6090	1.00
	12		12700	14100	14100	12900	14100	14100	1.00
	11		16100	16900	16900	16200	18200	18200	1.08
	10		27500	27900	27900	27700	30100	30100	1.08
	9		46700	45000	46700	47400	48300	48300	1.04
	8		59500	57500	59500	60600	59800	60600	1.02
	7		77800	77800	77800	77500	77100	77500	1.00
原子炉 本体の基 礎	7		199000	195000	199000	197000	195000	197000	0.99
	6		222000	214000	222000	219000	214000	219000	0.99
	5		261000	246000	261000	256000	245000	256000	0.99
	4		321000	298000	321000	314000	298000	314000	0.98
	3		385000	360000	385000	375000	362000	375000	0.98
原子炉 しゃへい 壁	20		0	0	0	0	0	0	-
	19		18900	16700	18900	17600	15500	17600	0.94
	18		32200	35300	35300	32200	33000	33000	0.94
	17		50900	53300	53300	52900	51600	52900	1.00
	16		76800	75300	76800	78100	75400	78100	1.02
	7		122000	121000	122000	121000	121000	121000	1.00
原子炉 格納容器	30		0	0	0	0	0	0	-
	29		657	619	657	658	607	658	1.01
	28		1850	1740	1850	1850	1700	1850	1.00
	27		6160	6210	6210	6190	5890	6190	1.00
	26		17600	17800	17800	17700	16800	17700	1.00
	25		124000	129000	129000	126000	128000	128000	1.00
	24		200000	207000	207000	203000	206000	206000	1.00
	23		332000	343000	343000	338000	341000	341000	1.00
	22		471000	484000	484000	479000	482000	482000	1.00
	21		529000	543000	543000	538000	541000	541000	1.00
3		573000	587000	587000	580000	586000	586000	1.00	

表 4-3(2/2) 曲げモーメント (基準地震動 S_s-D2)

部位	質点番号	標高 O.P. (m)	曲げモーメント (kN・m)						比率 (②/①)
			工認モデル			補強反映モデル			
			NS	EW	① 包絡値	NS	EW	② 包絡値	
炉心 シュラウド	37		0	0	0	0	0	0	-
	36		567	773	773	510	702	702	0.91
	35		1740	2300	2300	1580	2010	2010	0.88
	34		3990	4660	4660	3930	3670	3930	0.85
	33		5380	5980	5980	5600	4620	5600	0.94
			4630	5460	5460	4680	4270	4680	0.86
	32		5870	6480	6480	6250	5090	6250	0.97
	31		7550	7120	7550	8030	6630	8030	1.07
	30		9230	8660	9230	9970	8200	9970	1.09
	29		10800	10300	10800	12000	9980	12000	1.12
	28		12200	12000	12200	14000	11300	14000	1.15
	27		13600	13600	13600	16100	12200	16100	1.19
	26		15100	15700	15700	18100	14400	18100	1.16
	25		19300	20800	20800	22400	19600	22400	1.08
51		23800	26000	26000	27200	24900	27200	1.05	
制御棒 案内管	53		0	0	0	0	0	0	-
	45		805	742	805	1230	811	1230	1.53
	44		1020	941	1020	1560	1030	1560	1.53
	52		0	0	0	0	0	0	-
制御棒 駆動機構 ハウジング	43		0	0	0	0	0	0	-
	38		989	886	989	1450	976	1450	1.47
			479	479	479	498	489	498	1.04
	39		59.1	59.8	59.8	59.5	61.0	61.0	1.03
	40		279	253	279	287	258	287	1.03
	41		271	251	271	281	256	281	1.04
42		0	0	0	0	0	0	-	
燃料集合 体	55		0	0	0	0	0	0	-
	50		2240	1930	2240	1980	2480	2480	1.11
	49		3810	3350	3810	3380	4230	4230	1.12
	48		4350	3900	4350	3860	4840	4840	1.12
	47		3770	3410	3770	3340	4160	4160	1.11
	46		2200	2000	2200	1950	2400	2400	1.10
	54		0	0	0	0	0	0	-

表 4-4(1/5) 最大加速度 (基準地震動 S s - D 2, 1.0ZPA, 鉛直方向)

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.0$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
原子炉本体 の基礎	14		0.57	0.56	0.99
	15		0.61	0.61	1.00
	16		0.68	0.68	1.00
	17		0.74	0.74	1.00
	18		0.77	0.77	1.00
原子炉圧力 容器	24		0.98	0.98	1.00
	25		1.01	1.01	1.00
	31		1.13	1.15	1.02
原子炉 しゃへい壁	19		1.08	1.07	1.00
	20		1.28	1.28	1.00
	21		1.44	1.44	1.00
	22		1.53	1.53	1.00
	23		1.56	1.57	1.01
原子炉格納 容器	32		0.61	0.62	1.02
	33		0.65	0.65	1.00
	34		0.72	0.72	1.00
	35		0.78	0.78	1.00
	36		0.83	0.82	0.99
	37		0.88	0.89	1.02
	39		0.93	0.93	1.00
	41		0.96	0.94	0.98

表 4-4(2/5) 最大加速度 (基準地震動 S s - D 2, 1.0ZPA, 鉛直方向)

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.0$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
気水分離器 及びスタン ドパイプ	55		1.33	1.32	1.00
	54		1.33	1.32	1.00
	53		1.32	1.32	1.00
	52		1.31	1.30	1.00
炉心シュラ ウド	51		1.20	1.19	1.00
	50		1.19	1.18	1.00
	49		1.17	1.16	1.00
	48		1.15	1.14	1.00
	47		1.13	1.12	1.00
	46		1.11	1.10	1.00
	45		1.09	1.08	1.00
	44		1.07	1.06	1.00
	43		1.04	1.03	1.00
	42		1.00	0.99	0.99
制御棒案内 管	64		1.32	1.31	1.00
	63		1.24	1.23	1.00
	62		1.17	1.15	0.99
	61		1.06	1.05	1.00
制御棒駆動 機構ハウジ ング	61		1.06	1.05	1.00
	60		1.03	1.02	1.00
	59	1.04	1.03	1.00	
	58	1.04	1.03	1.00	
	57	1.05	1.04	1.00	
	56	1.06	1.05	1.00	

表 4-4(3/5) 最大加速度 (基準地震動 S s - D 2, 1.2ZPA, 鉛直方向)

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
原子炉本体 の基礎	14		0.68	0.68	1.00
	15		0.74	0.73	0.99
	16		0.81	0.81	1.00
	17		0.89	0.88	0.99
	18		0.92	0.92	1.00
原子炉圧力 容器	24		1.18	1.18	1.00
	25		1.21	1.21	1.00
	31		1.36	1.38	1.02
原子炉 しゃへい壁	19		1.29	1.28	1.00
	20		1.54	1.53	1.00
	21		1.73	1.73	1.00
	22		1.84	1.84	1.00
	23		1.88	1.88	1.00
原子炉格納 容器	32		0.73	0.74	1.02
	33		0.77	0.78	1.02
	34		0.86	0.86	1.00
	35		0.94	0.93	0.99
	36		0.99	0.99	1.00
	37		1.06	1.06	1.00
	39		1.12	1.11	1.00
	41		1.15	1.13	0.99

表 4-4(4/5) 最大加速度 (基準地震動 $S_s - D_2$, 1.2ZPA, 鉛直方向)

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
気水分離器 及びスタン ドパイプ	55		1.60	1.59	1.00
	54		1.60	1.59	1.00
	53		1.59	1.58	1.00
	52		1.57	1.56	1.00
炉心シュラ ウド	51		1.44	1.43	1.00
	50		1.42	1.41	1.00
	49		1.40	1.39	1.00
	48		1.38	1.37	1.00
	47		1.36	1.34	0.99
	46		1.33	1.32	1.00
	45		1.31	1.30	1.00
	44		1.29	1.28	1.00
	43		1.24	1.23	1.00
	42		1.20	1.19	1.00
制御棒案内 管	64		1.58	1.57	1.00
	63		1.49	1.48	1.00
	62		1.40	1.38	0.99
	61		1.28	1.26	0.99
制御棒駆動 機構ハウジ ング	61		1.28	1.26	0.99
	60		1.24	1.23	1.00
	59	1.24	1.23	1.00	
	58	1.25	1.24	1.00	
	57	1.26	1.25	1.00	
	56	1.27	1.26	1.00	

表 4-4(5/5) 最大加速度 (基準地震動 S s - D 2, 1.2ZPA, 鉛直方向)

構造物	質点*	標高 O.P. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665 \text{ m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
			①工認 モデル	②補強反映 モデル	
原子炉 圧力容器	40		1.45	1.44	1.00
	39		1.45	1.44	1.00
	38		1.43	1.42	1.00
	37		1.39	1.38	1.00
	36		1.36	1.35	1.00
	35		1.32	1.31	1.00
	34		1.29	1.29	1.00
	33		1.28	1.27	1.00
	32		1.27	1.26	1.00
	31		1.25	1.24	1.00
	30		1.23	1.22	1.00
	29		1.22	1.21	1.00
	28		1.20	1.19	1.00
	27		1.18	1.18	1.00
	26		1.16	1.15	1.00
25	1.13	1.12	1.00		
24	1.11	1.10	1.00		

表 4-5(1/2) 軸力 (基準地震動 S s - D 2)

部位	質点番号	標高 O. P. (m)	軸力 (kN)		比率 (②/①)
			①工認モデル	②補強反映モデル	
原子炉 圧力容 器	31		193	193	1.00
	30		1410	1410	1.00
	29		2430	2440	1.01
	28		3100	3130	1.01
	27		4000	4040	1.01
	26		4810	4850	1.01
	25		5640	5670	1.01
	24		11800	11800	1.00
	18		32200	32400	1.01
原子炉 本体の 基礎	18		34000	34200	1.01
	17		35800	36000	1.01
	16		37400	37600	1.01
	15		2580	2630	1.02
	14		5790	5880	1.02
原子炉 しゃへ い壁	23		11300	11400	1.01
	22		15300	15400	1.01
	21		19100	19200	1.01
	20		140	138	0.99
	19		278	274	0.99
	18		1070	1070	1.00
原子炉 格納容 器	41		1510	1510	1.00
	40		2900	2890	1.00
	39		3900	3880	1.00
	38	4640	4610	1.00	
	37	5930	5890	1.00	
	36	6500	6460	1.00	
	35	7760	8220	1.06	
	34				
	33				
	32				
	14				

表 4-5(2/2) 軸力 (基準地震動 S s - D 2)

部位	質点 番号	標高 O. P. (m)	軸力 (kN)		比率 (②/①)
			①工認モデル	②補強反映モデル	
炉心 シュラウド	55		103	103	1.00
	54		309	308	1.00
	53		476	474	1.00
	52		673	670	1.00
	51		977	968	1.00
	50		1150	1140	1.00
	49		1180	1170	1.00
	48		1220	1210	1.00
	47		1250	1240	1.00
	46		1280	1270	1.00
	45		1320	1300	0.99
	44		1630	1610	0.99
	43		1650	1640	1.00
	42		1670	1650	0.99
	制御棒 案内管		64	2440	2420
63		2510	2490	1.00	
62		2570	2540	0.99	
61		2640	2620	1.00	
制御棒 駆動機構 ハウジング	61	662	661	1.00	
	60	605	604	1.00	
	59	546	546	1.00	
	58	488	487	1.00	
	57	488	487	1.00	
	56	488	487	1.00	
炉心シュラウド 支持ロッド	51	15.7	15.6	1.00	
	25				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-6 ばね反力, せん断力及び軸力 (基準地震動 S s - D 2)

部位	応答種別 及び単位	ばね反力, せん断力及び軸力						応答 比率 (②/①)
		工認モデル			補強反映モデル			
		NS	EW	① 包絡値	NS	EW	② 包絡値	
原子炉圧力容器 スタビライザ	ばね反力 (kN)	7700	7350	7700	7300	7710	7710	1.01
原子炉格納容器 スタビライザ	ばね反力 (kN)	13300	12800	13300	14300	12300	14300	1.08
原子炉格納容器 シヤラグ	ばね反力 (kN)	24200	25800	25800	25000	25000	25000	0.97
ベント管	ばね反力 (kN)	1630	1820	1820	4600	5160	5160	2.84
燃料交換 ベローズ	ばね反力 (kN)	1660	1500	1660	1580	1380	1580	0.96
所員用 エアロック	ばね反力 (kN)	261	281	281	260	281	281	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング レストレント ビーム	ばね反力 (kN)	350	327	350	360	337	360	1.03
炉心シュラウド 回転ばね	ばね反力 (kN・m)	23800	26000	26000	27200	24900	27200	1.05
上部格子板	せん断力 (kN)	3320	2900	3320	2960	3670	3670	1.11
炉心支持板	せん断力 (kN)	4110	3750	4110	4110	4410	4410	1.08
上部 サポート	ばね反力 (kN)	1680	1720	1720	1760	1540	1760	1.03
下部 スタビライザ	ばね反力 (kN)	453	441	453	446	428	446	0.99
炉心シュラウド支持ロッド (1体あたり)	軸力 (kN)	164	168	168	187	158	187	1.12

表 4-7 相対変位 (基準地震動 S s - D 2)

部位	質点番号	標高 O. P. (m)	相対変位 (mm)						比率 (②/①)
			工認モデル			補強反映モデル			
			NS	EW	① 包絡値	NS	EW	② 包絡値	
燃料集合体	55		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
	50		23.2	20.6	23.2	20.6	25.7	25.7	1.11
	49		40.1	35.6	40.1	35.5	44.4	44.4	1.11
	48		46.2	41.2	46.2	40.9	51.2	51.2	1.11
	47		40.0	35.8	40.0	35.4	44.2	44.2	1.11
	46		23.1	20.7	23.1	20.5	25.5	25.5	1.11
	54		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-

表 4-8(1/2) 床応答曲線 (基準地震動 $S_s - D_2$)

方向	地震応答解析モデル	構造物	質点番号	標高 O. P. (m)	減衰定数	図番	
						床応答曲線	応答比率
水平	大型機器系	原子炉 しゃへい壁	19		2.0	図 4-1(1/18)	図 4-2(1/18)
			18			図 4-1(2/18)	図 4-2(2/18)
			17			図 4-1(3/18)	図 4-2(3/18)
			16			図 4-1(4/18)	図 4-2(4/18)
		原子炉 本体の基礎	7			図 4-1(5/18)	図 4-2(5/18)
			6			図 4-1(6/18)	図 4-2(6/18)
			5			図 4-1(7/18)	図 4-2(7/18)
			4			図 4-1(8/18)	図 4-2(8/18)
			3			図 4-1(9/18)	図 4-2(9/18)
		原子炉 格納容器	26			図 4-1(10/18)	図 4-2(10/18)
			25			図 4-1(11/18)	図 4-2(11/18)
			24			図 4-1(12/18)	図 4-2(12/18)
			23			図 4-1(13/18)	図 4-2(13/18)
			22			図 4-1(14/18)	図 4-2(14/18)
			21			図 4-1(15/18)	図 4-2(15/18)
	炉内 構造物系	原子炉 压力容器	8			図 4-1(16/18)	図 4-2(16/18)
		炉心支持板	26			図 4-1(17/18)	図 4-2(17/18)
		原子炉圧力 容器底部	38			図 4-1(18/18)	図 4-2(18/18)

表 4-8(2/2) 床応答曲線 (基準地震動 $S_s - D_2$)

方向	地震応答解析モデル	構造物	質点番号	標高 O. P. (m)	減衰定数	図番	
						床応答曲線	応答比率
鉛直	大型機器系	原子炉 しゃへい壁	22		2.0	図 4-3(1/16)	図 4-4(1/16)
			21			図 4-3(2/16)	図 4-4(2/16)
			20			図 4-3(3/16)	図 4-4(3/16)
			19			図 4-3(4/16)	図 4-4(4/16)
		原子炉 本体の基礎	18			図 4-3(5/16)	図 4-4(5/16)
			17			図 4-3(6/16)	図 4-4(6/16)
			16			図 4-3(7/16)	図 4-4(7/16)
			15			図 4-3(8/16)	図 4-4(8/16)
		原子炉 格納容器	14			図 4-3(9/16)	図 4-4(9/16)
			37			図 4-3(10/16)	図 4-4(10/16)
			36			図 4-3(11/16)	図 4-4(11/16)
			35			図 4-3(12/16)	図 4-4(12/16)
			34			図 4-3(13/16)	図 4-4(13/16)
			33			図 4-3(14/16)	図 4-4(14/16)
		原子炉 圧力容器	32			図 4-3(15/16)	図 4-4(15/16)
			24			図 4-3(16/16)	図 4-4(16/16)

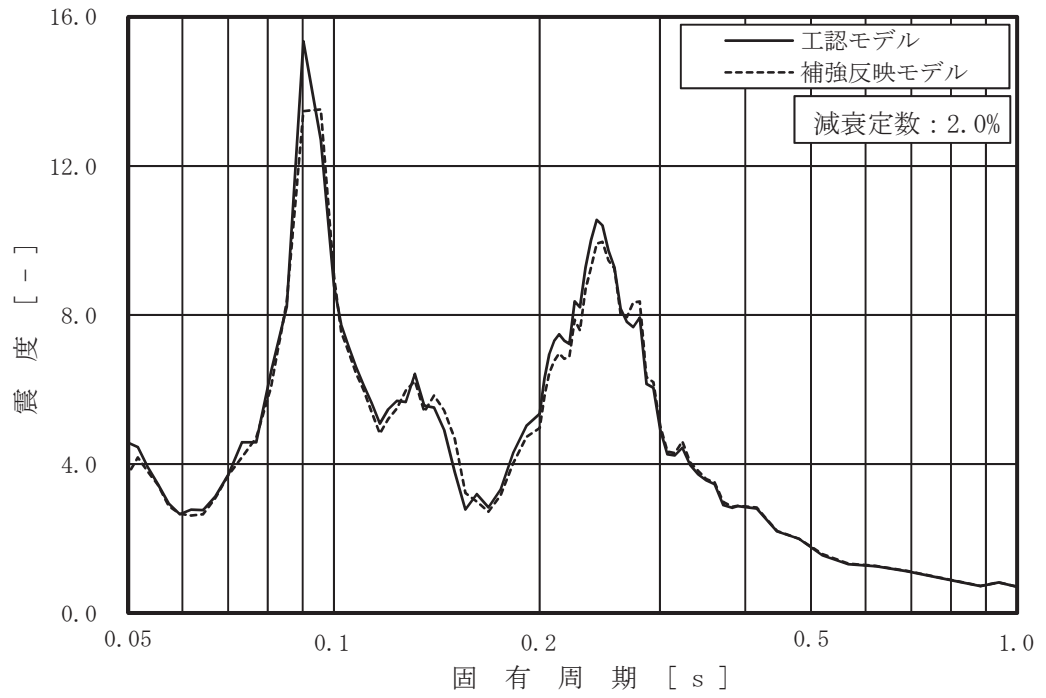


図 4-1 (1/18) 床応答曲線

(基準地震動 $S_s - D_2$, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

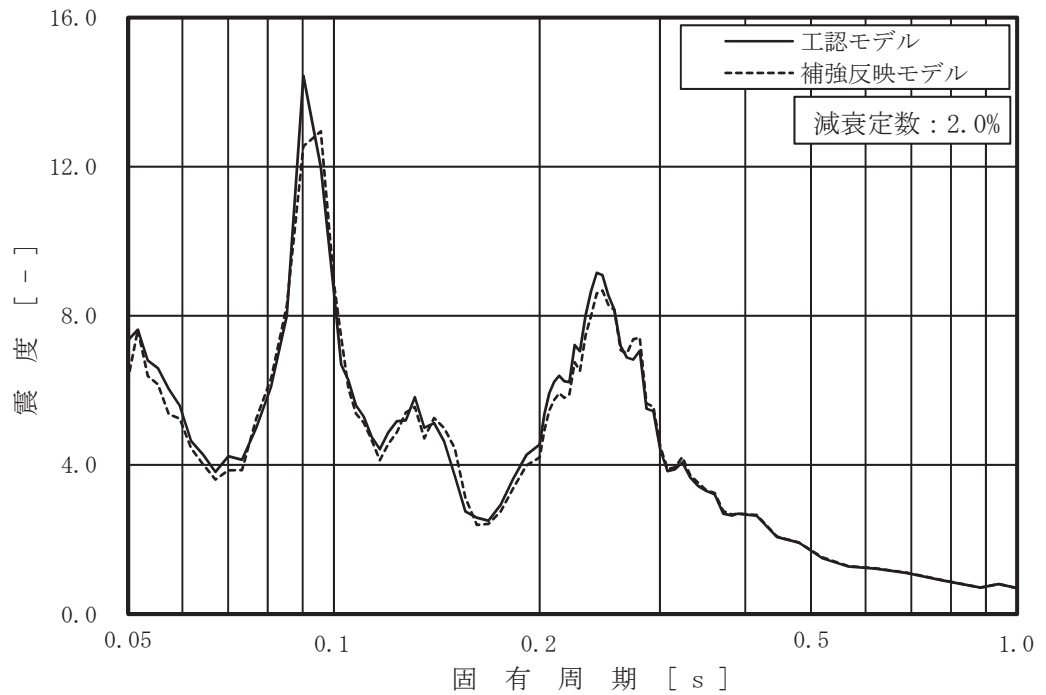


図 4-1 (2/18) 床応答曲線

(基準地震動 $S_s - D_2$, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

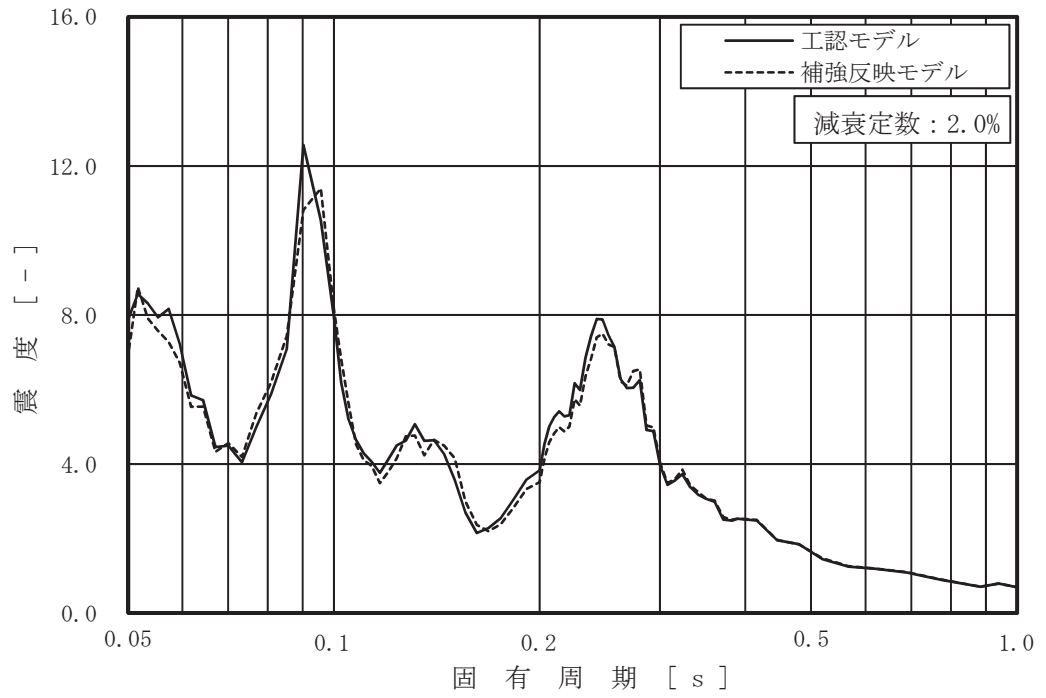


図 4-1 (3/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

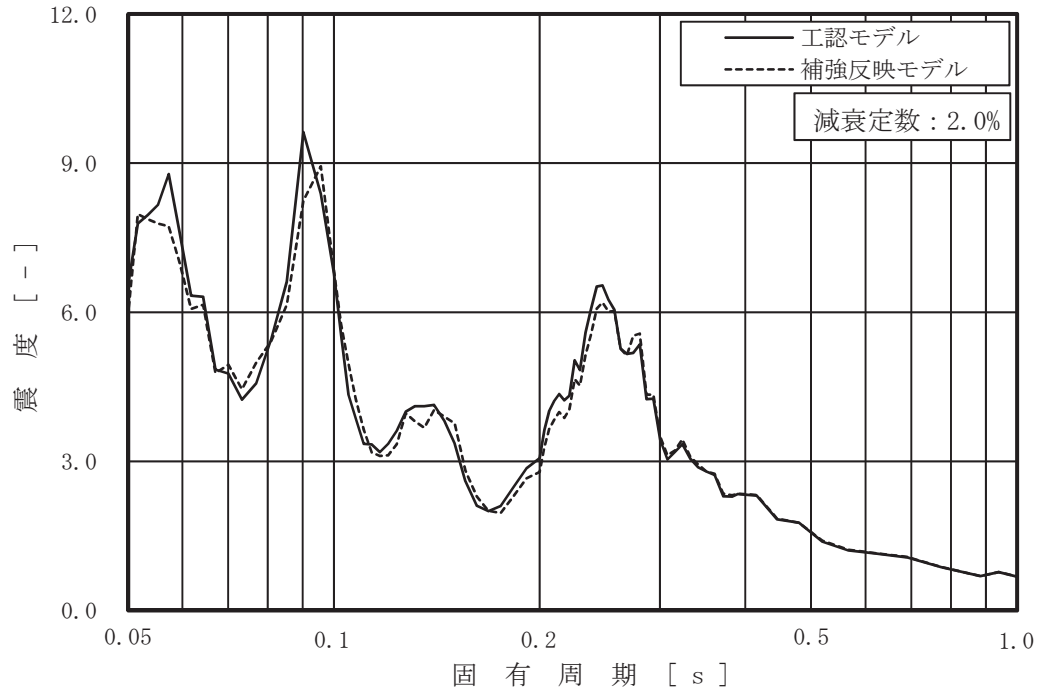


図 4-1 (4/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

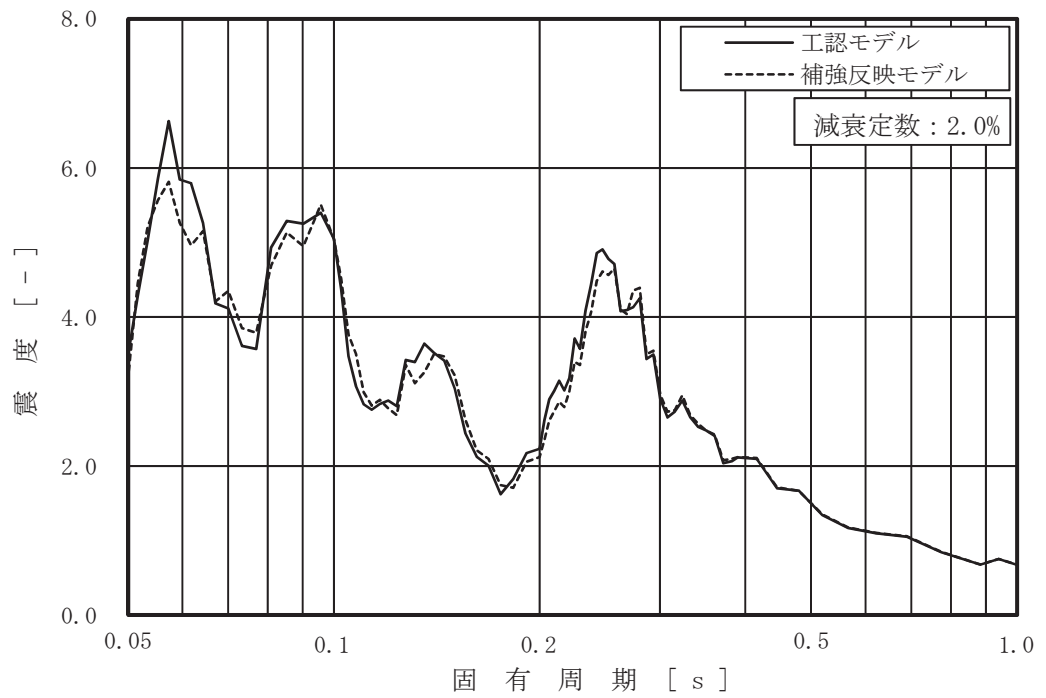


図 4-1 (5/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

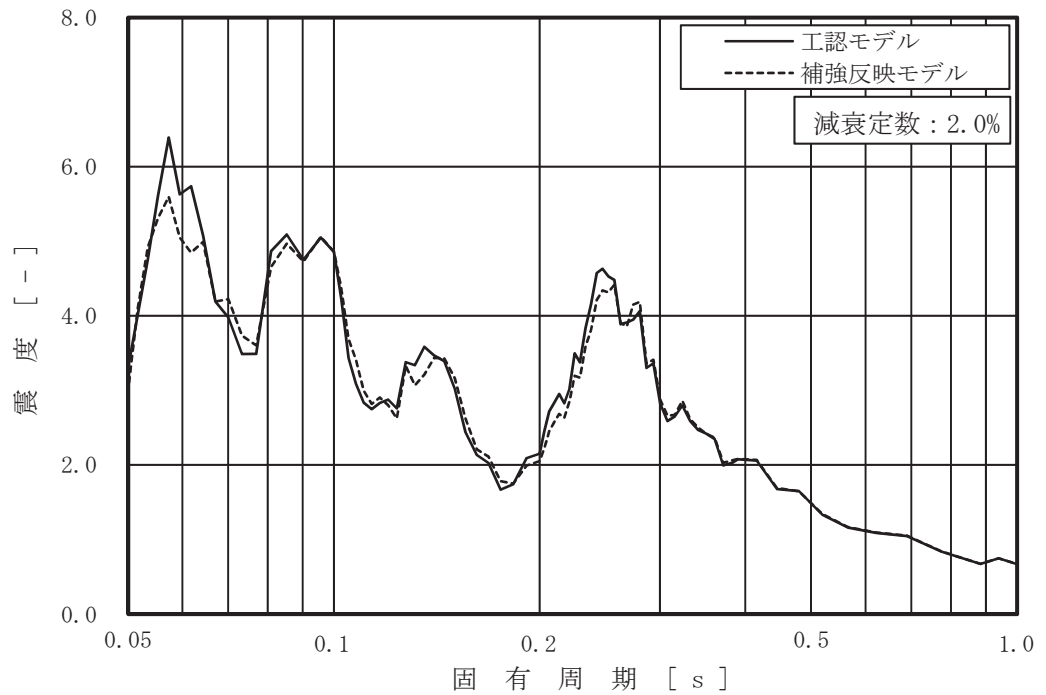


図 4-1 (6/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

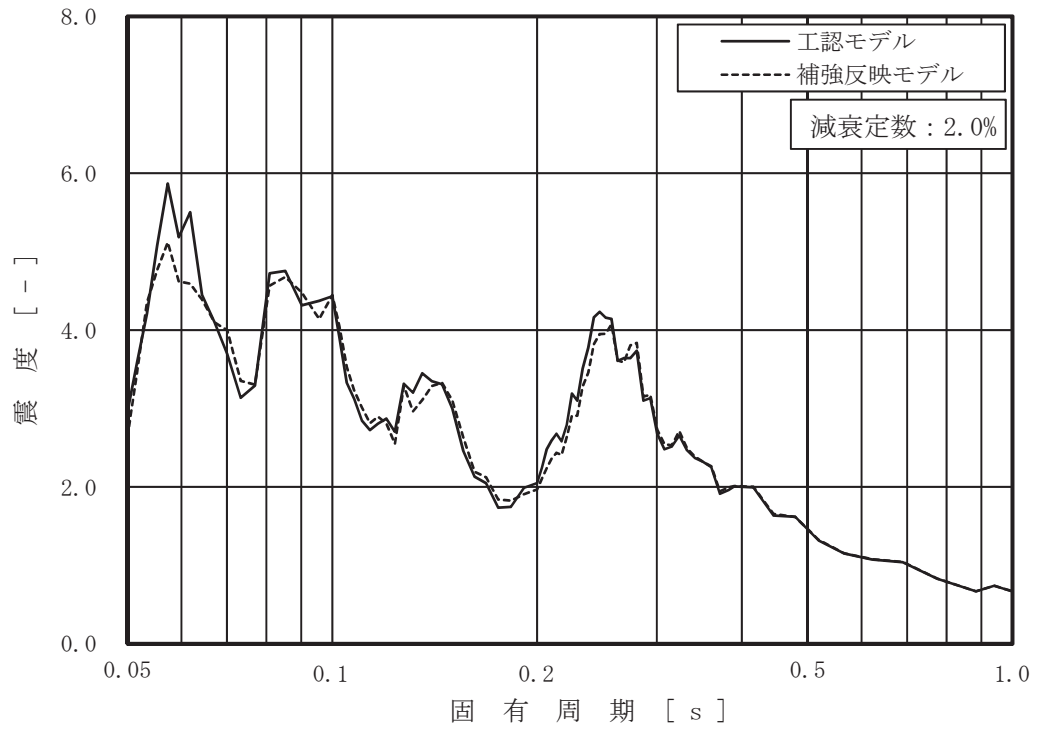


図 4-1 (7/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

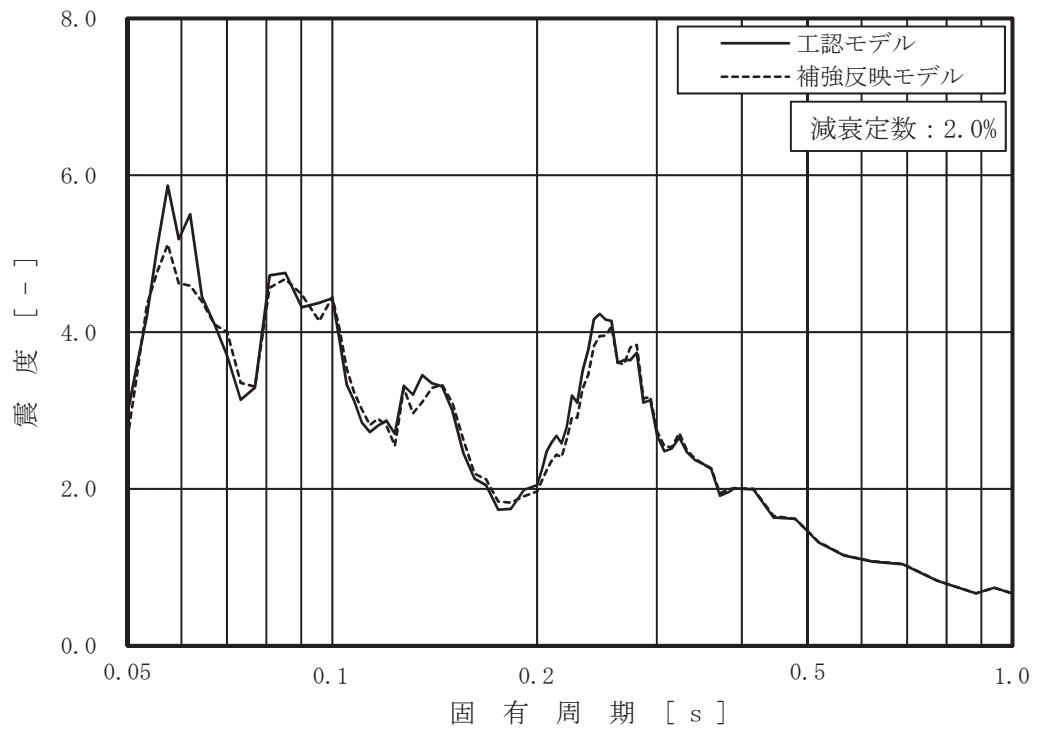


図 4-1 (8/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

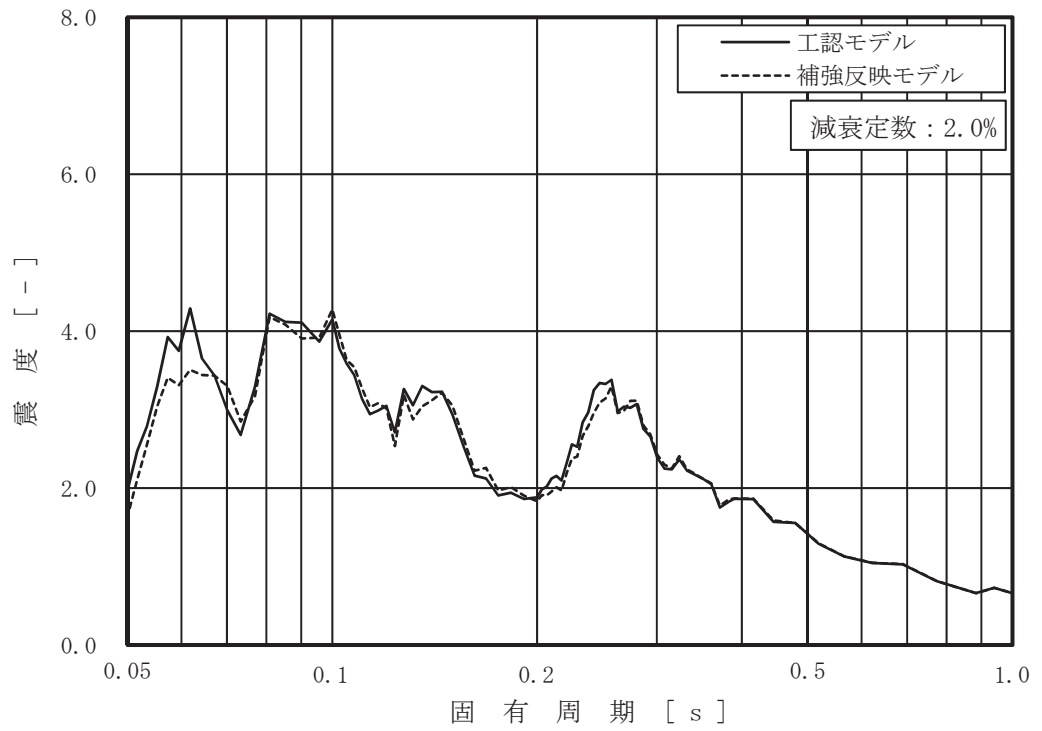


図 4-1 (9/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

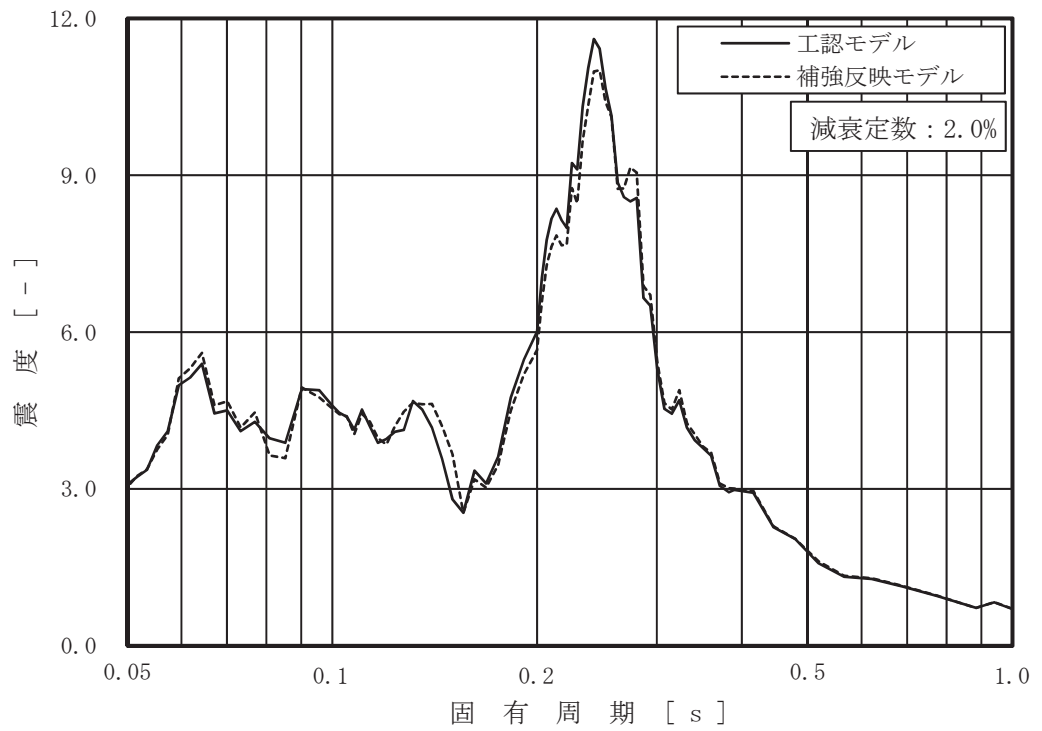


図 4-1 (10/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

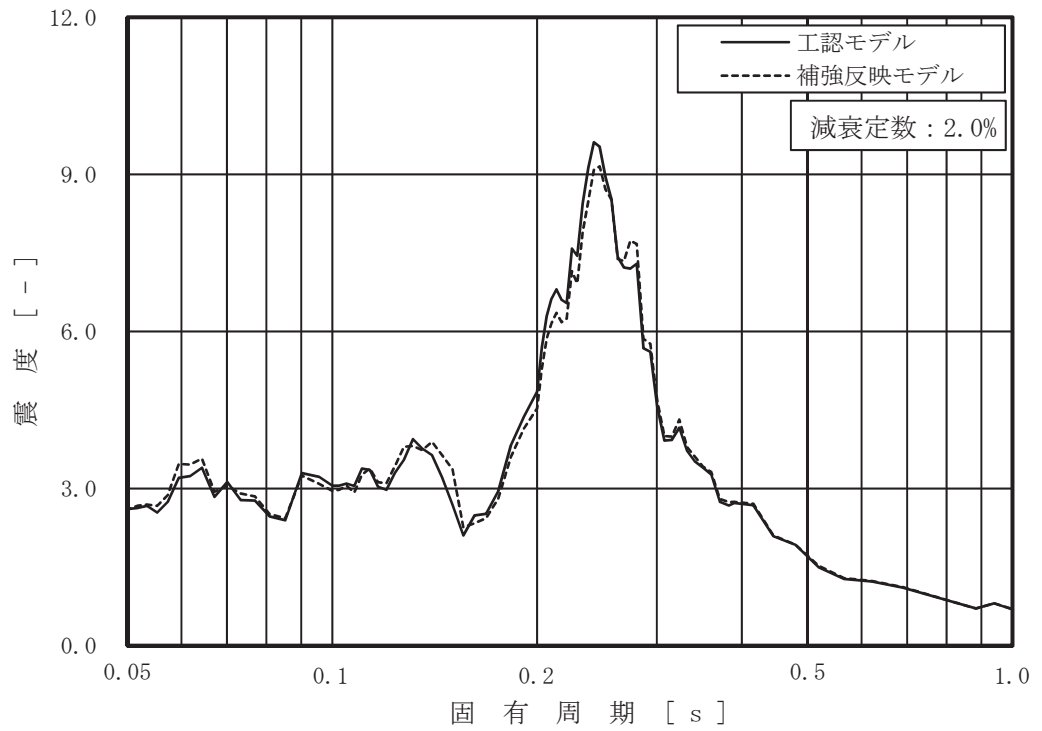


図 4-1 (11/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

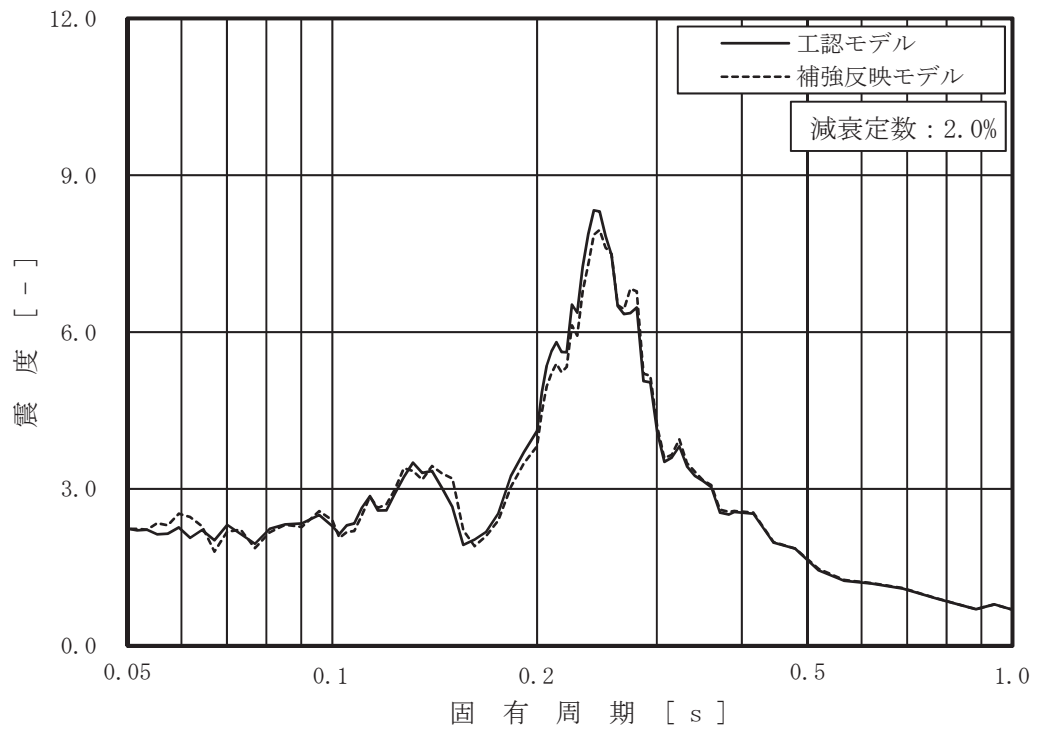


図 4-1 (12/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

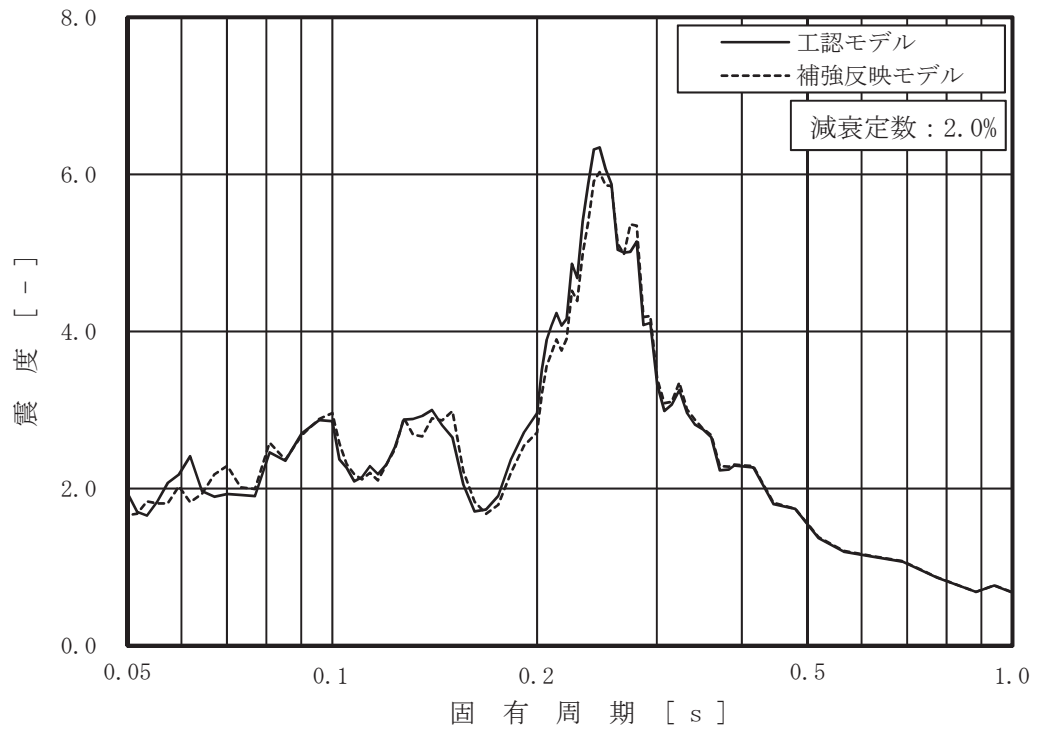


図 4-1 (13/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

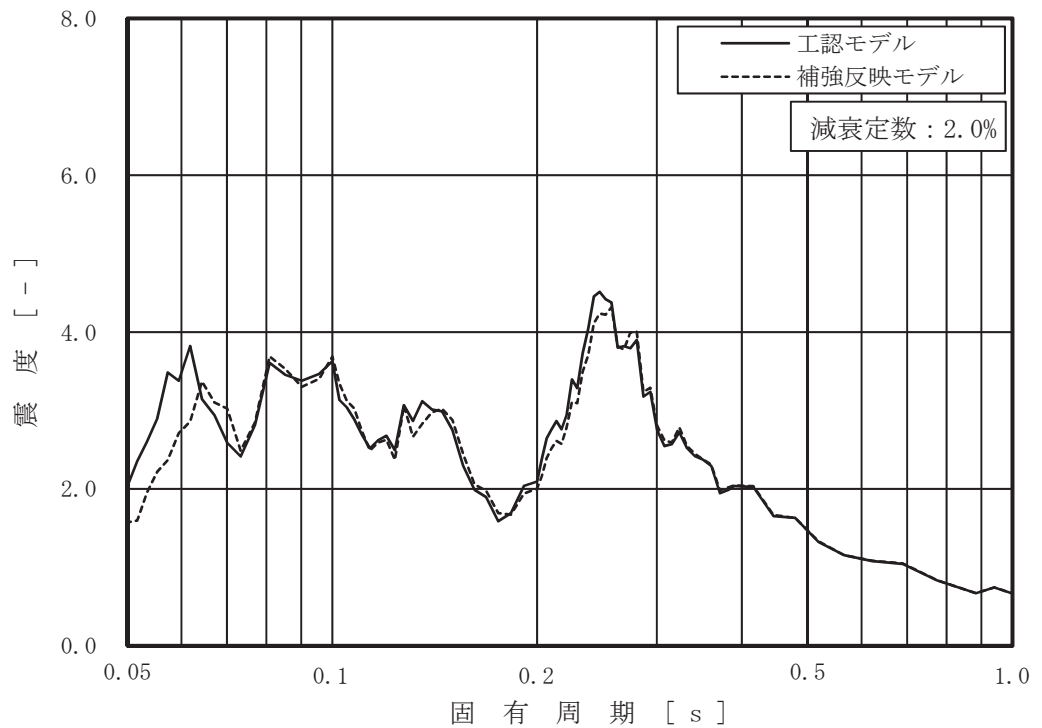


図 4-1 (14/18) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

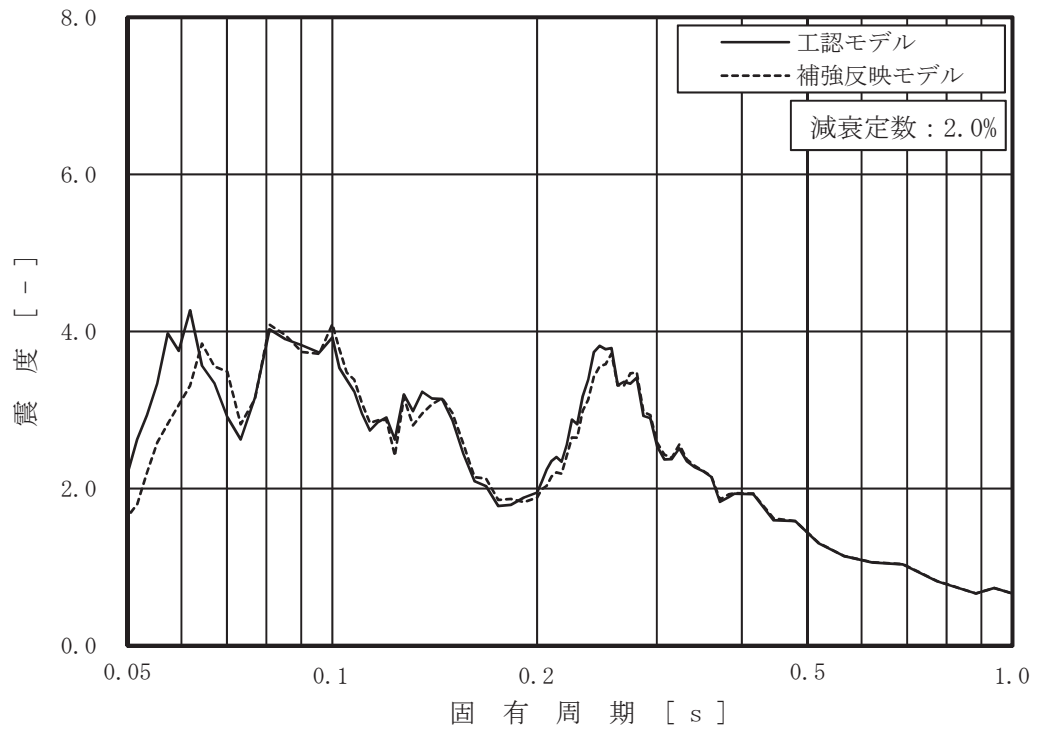


図 4-1 (15/18) 床応答曲線

(基準地震動 S_s-D2, 水平方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

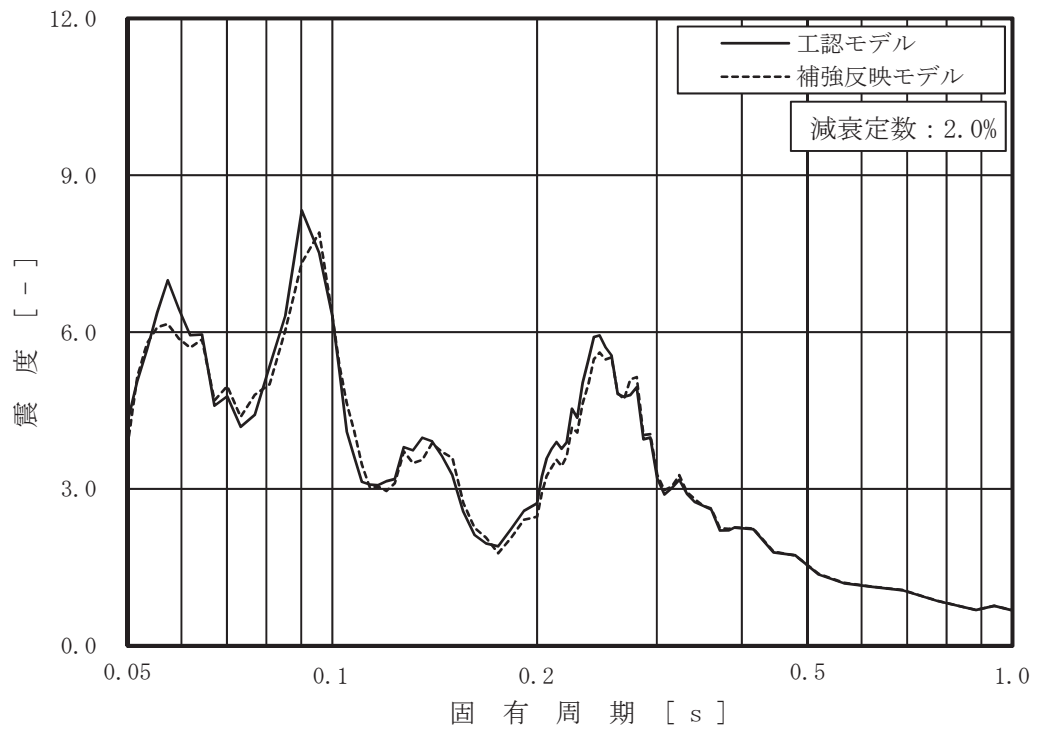


図 4-1 (16/18) 床応答曲線

(基準地震動 S_s-D2, 水平方向, 原子炉压力容器 O.P. m)

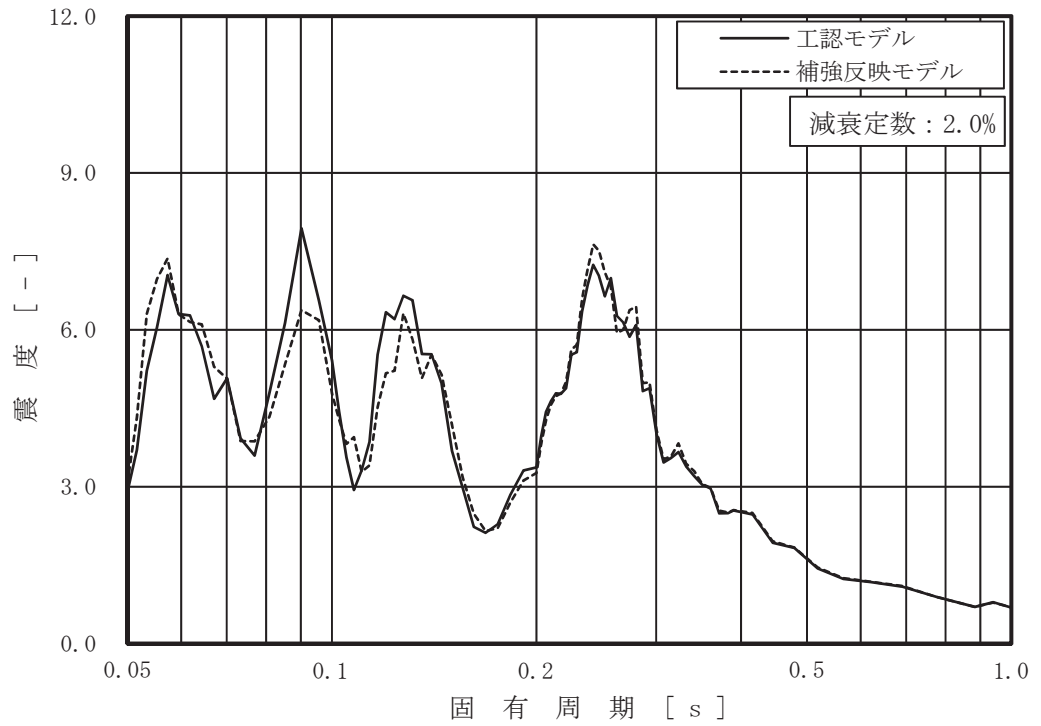


図 4-1 (17/18) 床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 炉心支持板 0.P. m)

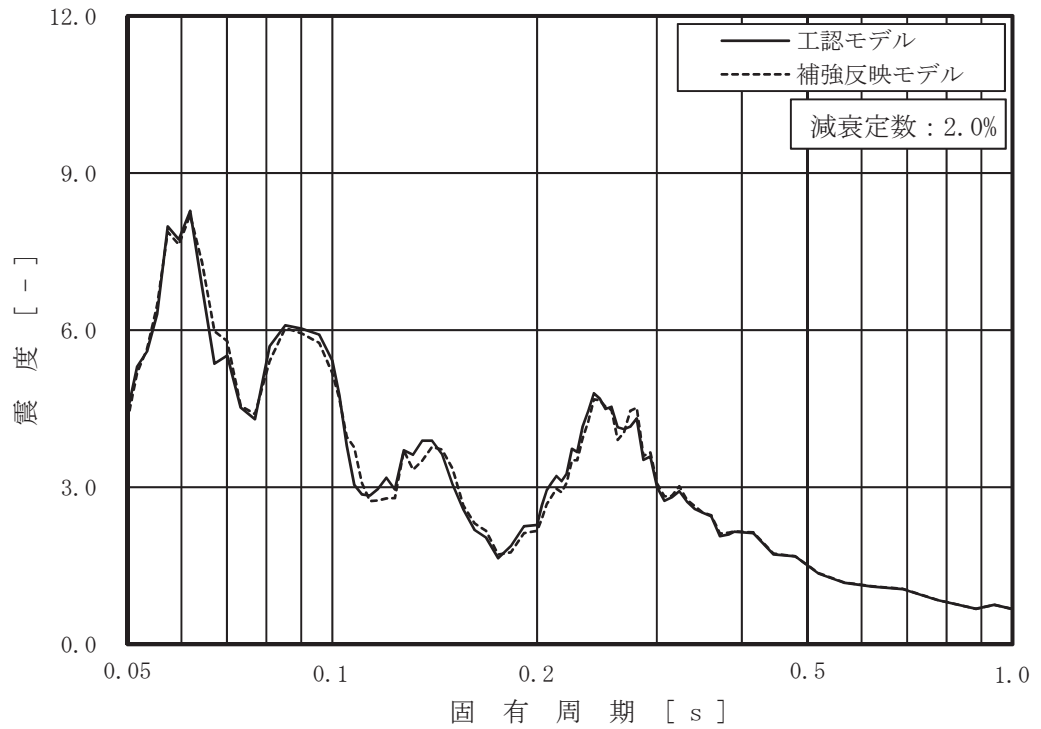


図 4-1 (18/18) 床応答曲線
 (基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉压力容器底部 0.P. m)

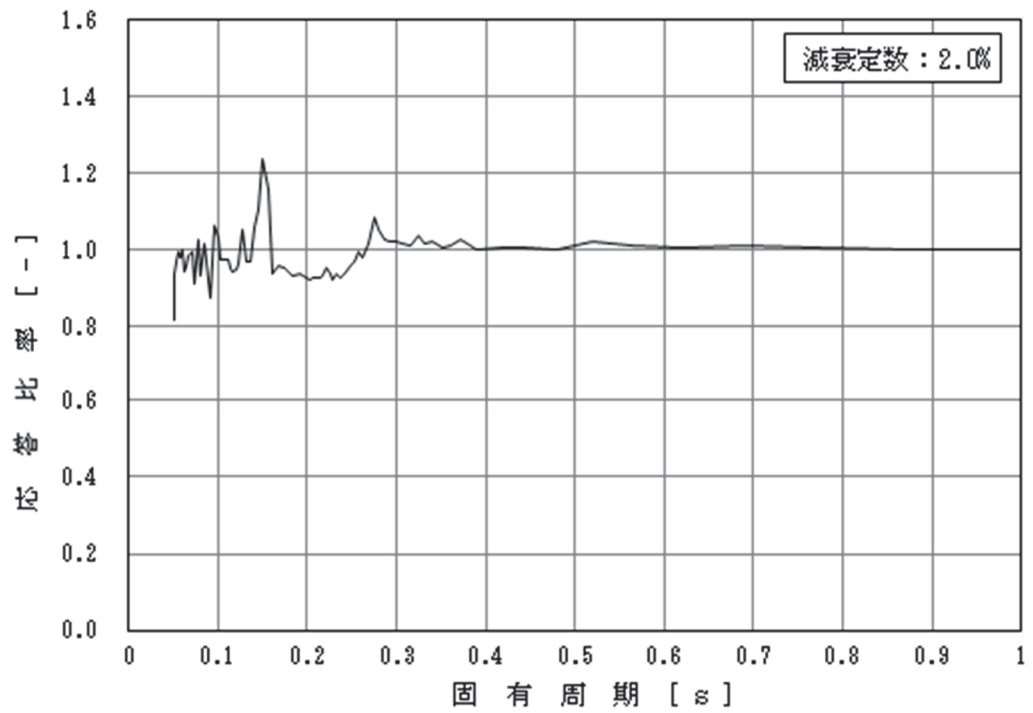


図 4-2 (1/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

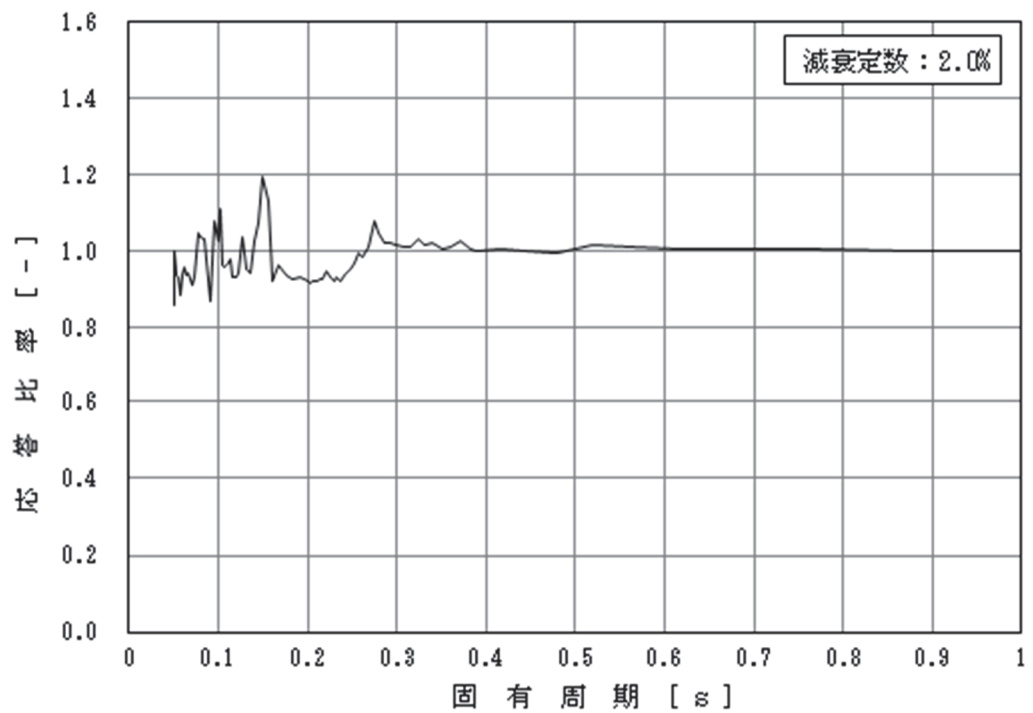


図 4-2 (2/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

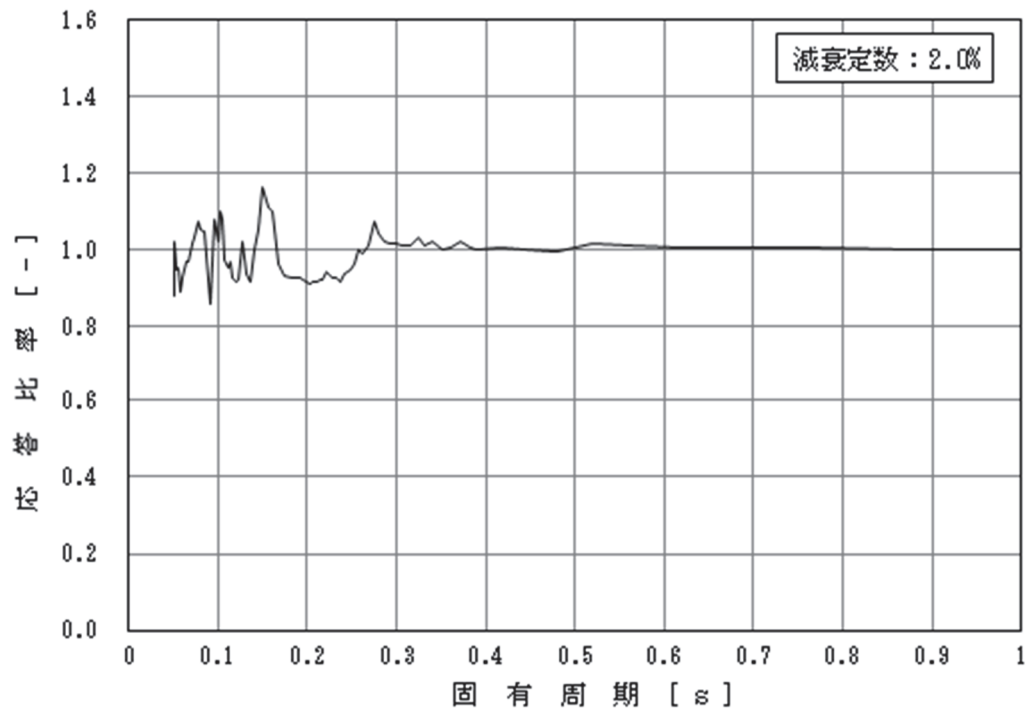


図 4-2 (3/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

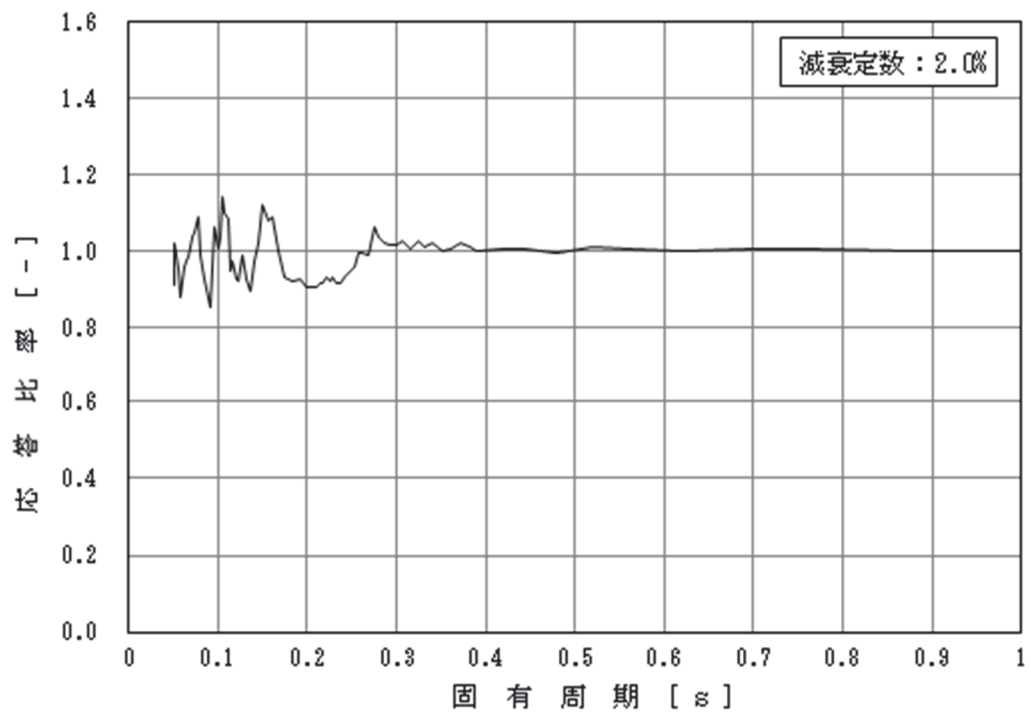


図 4-2 (4/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

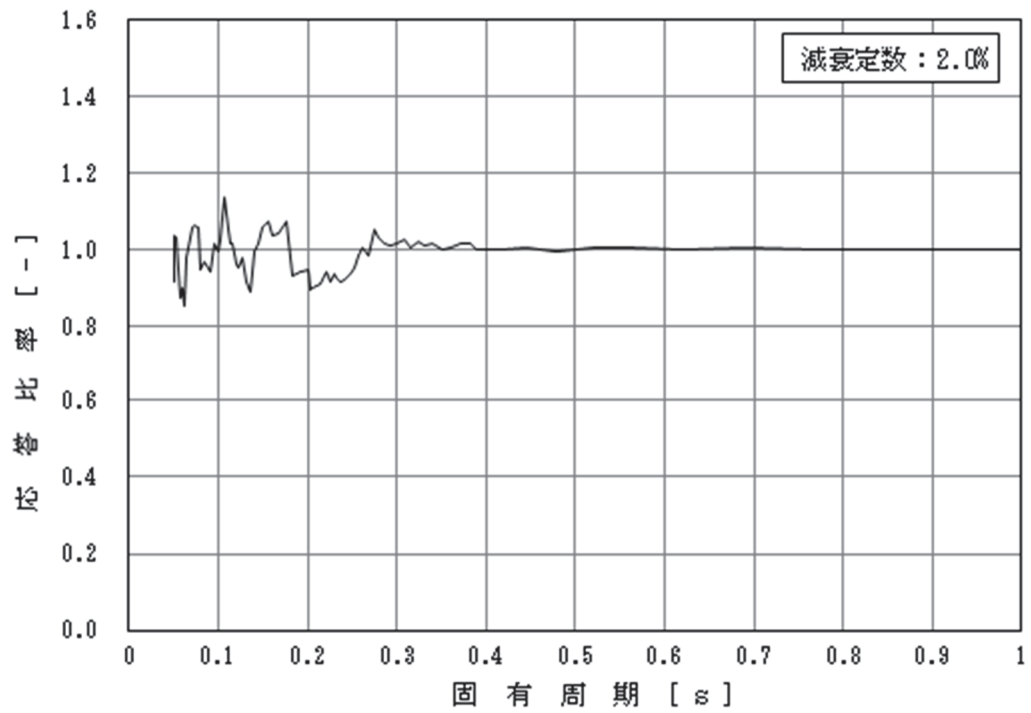


図 4-2 (5/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

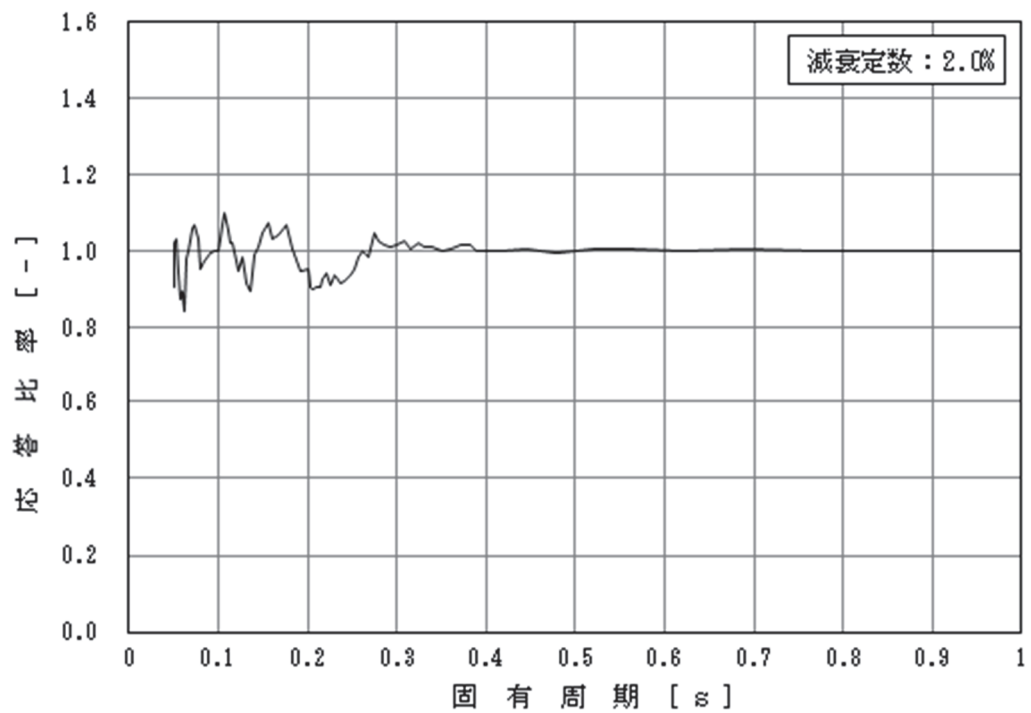


図 4-2 (6/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

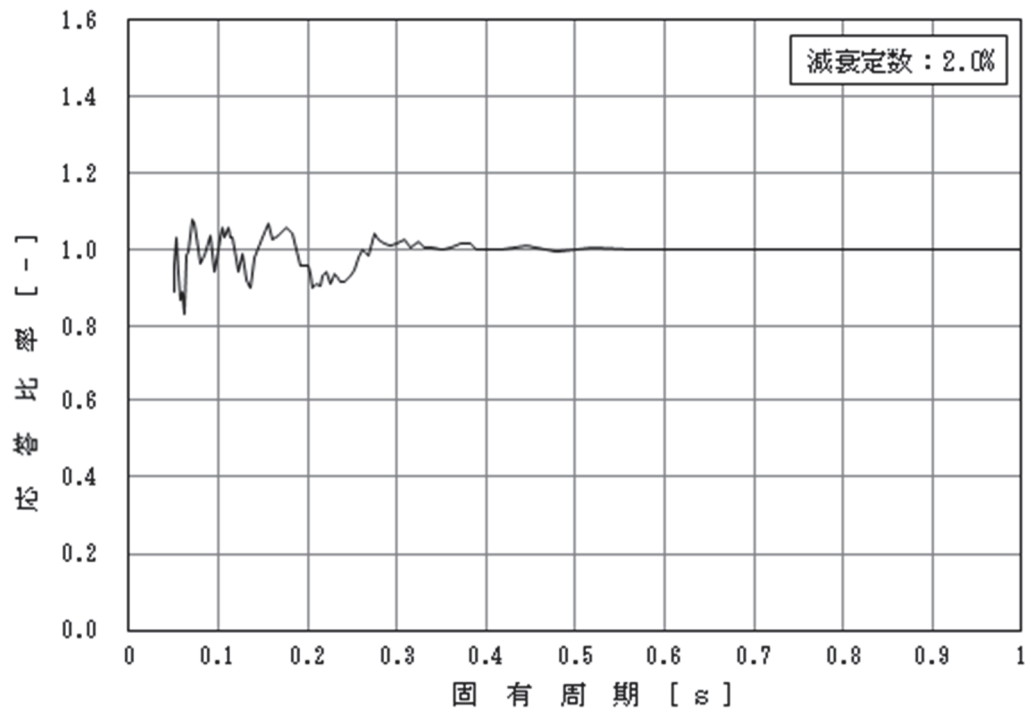


図 4-2 (7/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 O.P. m)

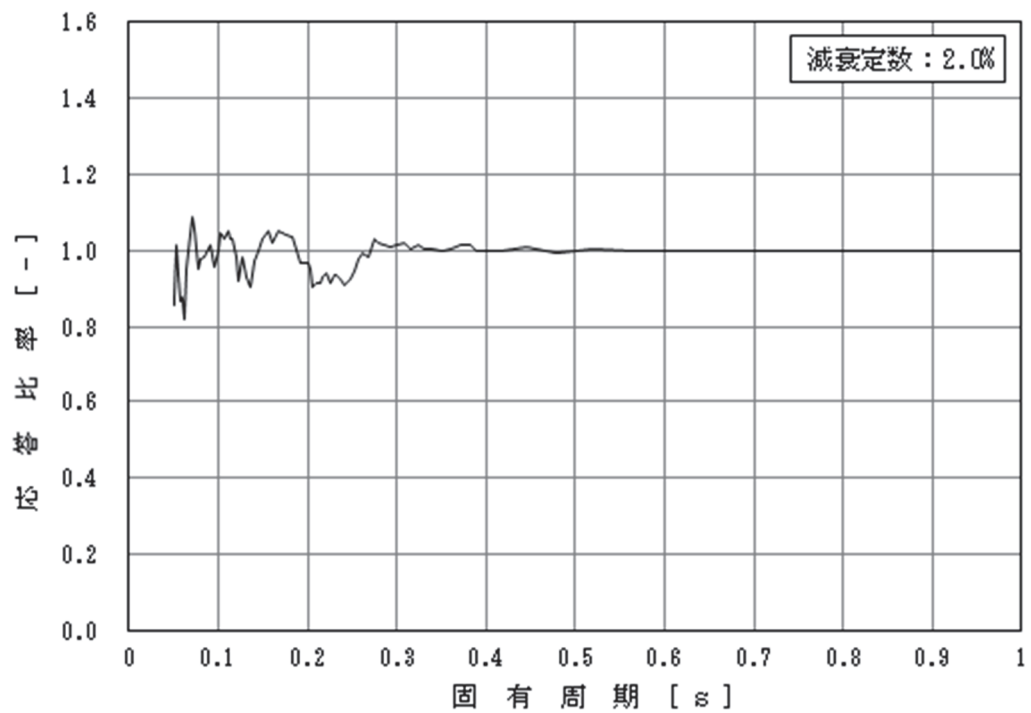


図 4-2 (8/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 O.P. m)

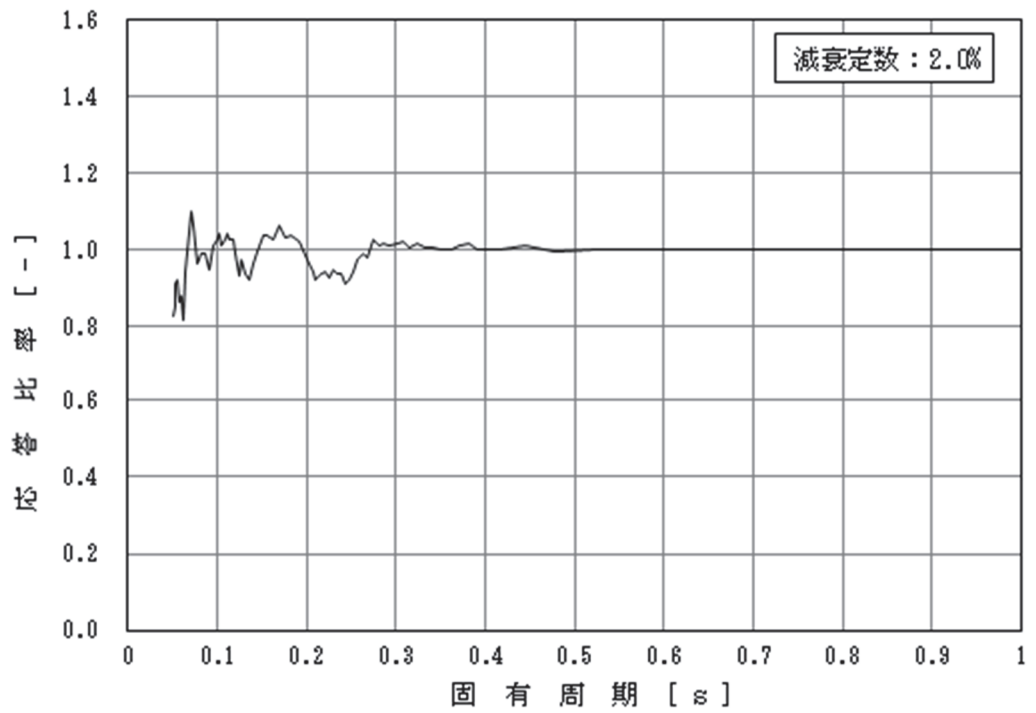


図 4-2 (9/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉本体の基礎 O.P. m)

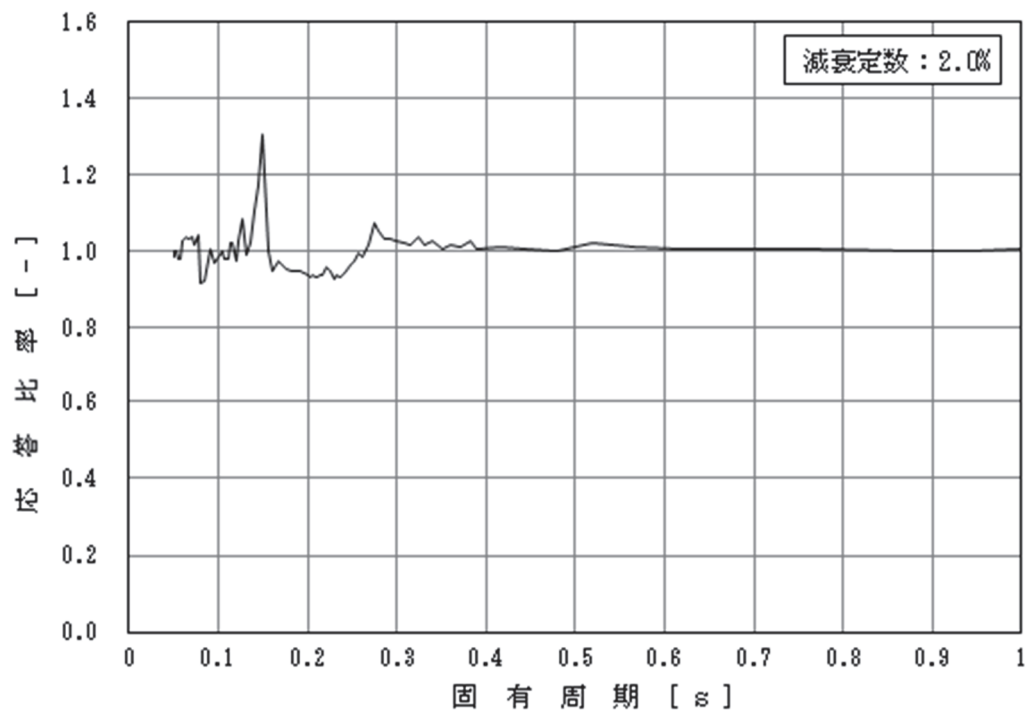


図 4-2 (10/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

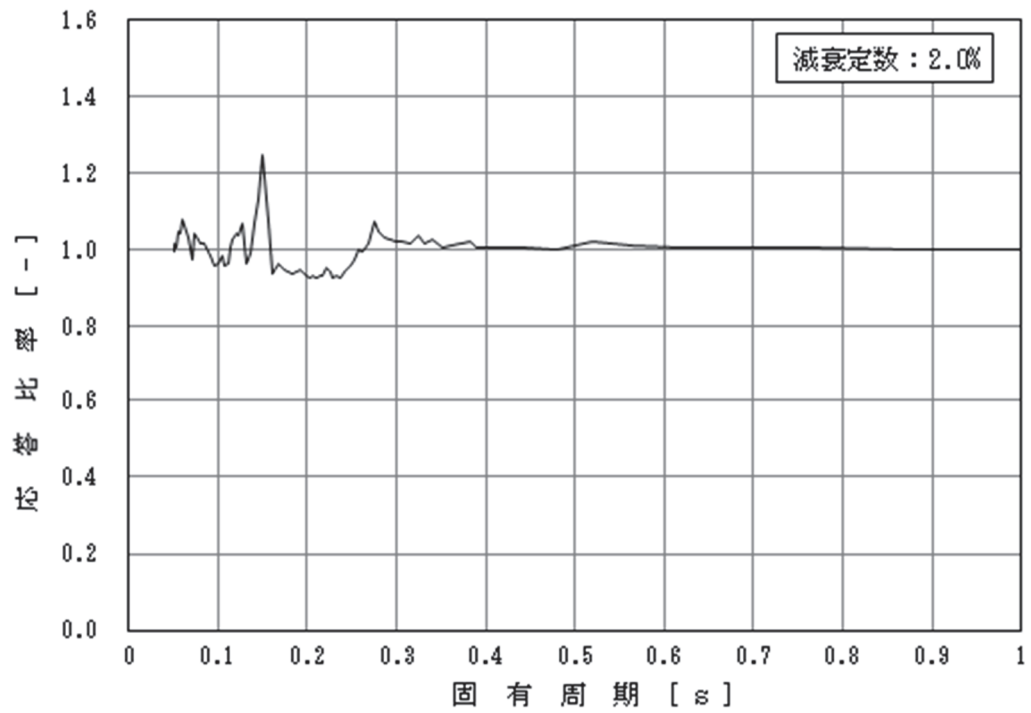


図 4-2 (11/18) 応答比率

(基準地震動 S_s-D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

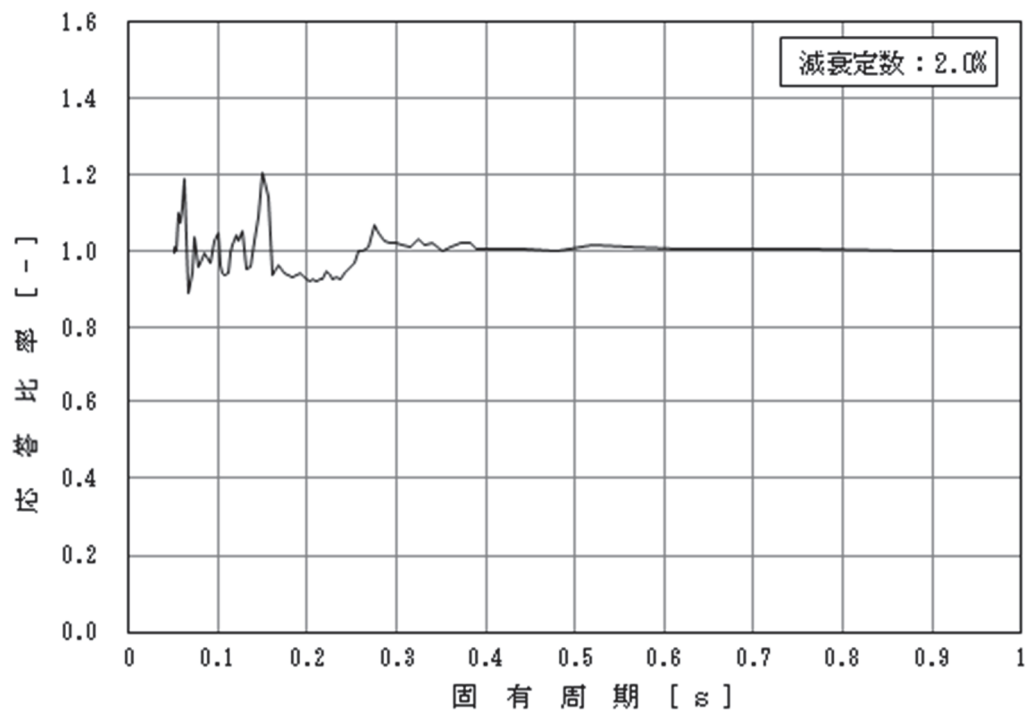


図 4-2 (12/18) 応答比率

(基準地震動 S_s-D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

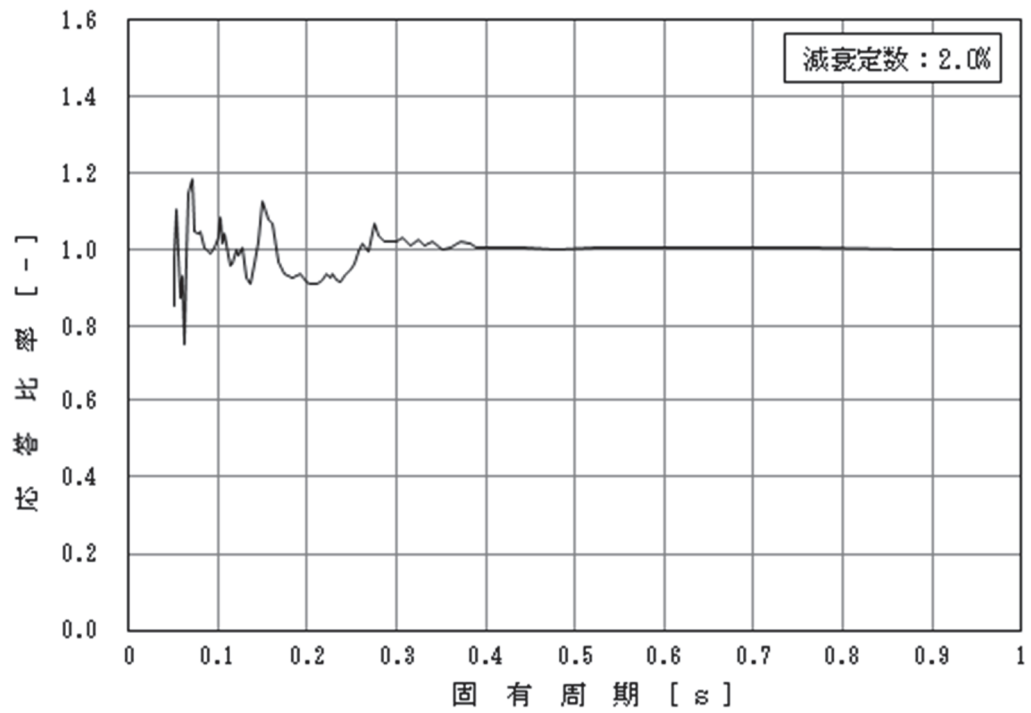


図 4-2 (13/18) 応答比率

(基準地震動 S_s-D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

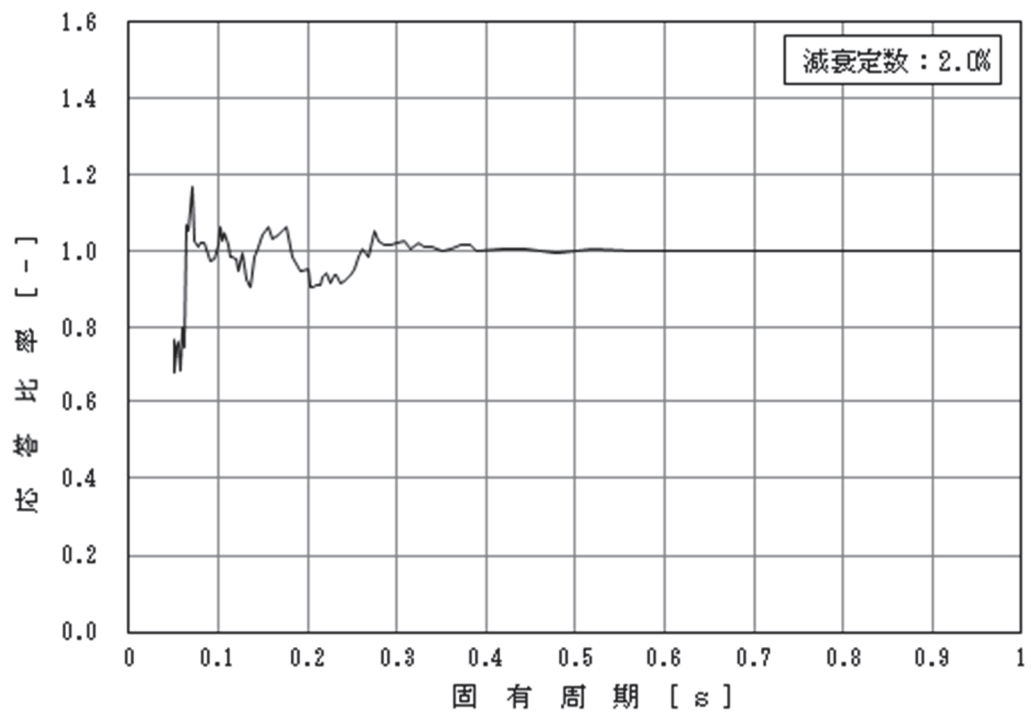


図 4-2 (14/18) 応答比率

(基準地震動 S_s-D 2, 水平方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

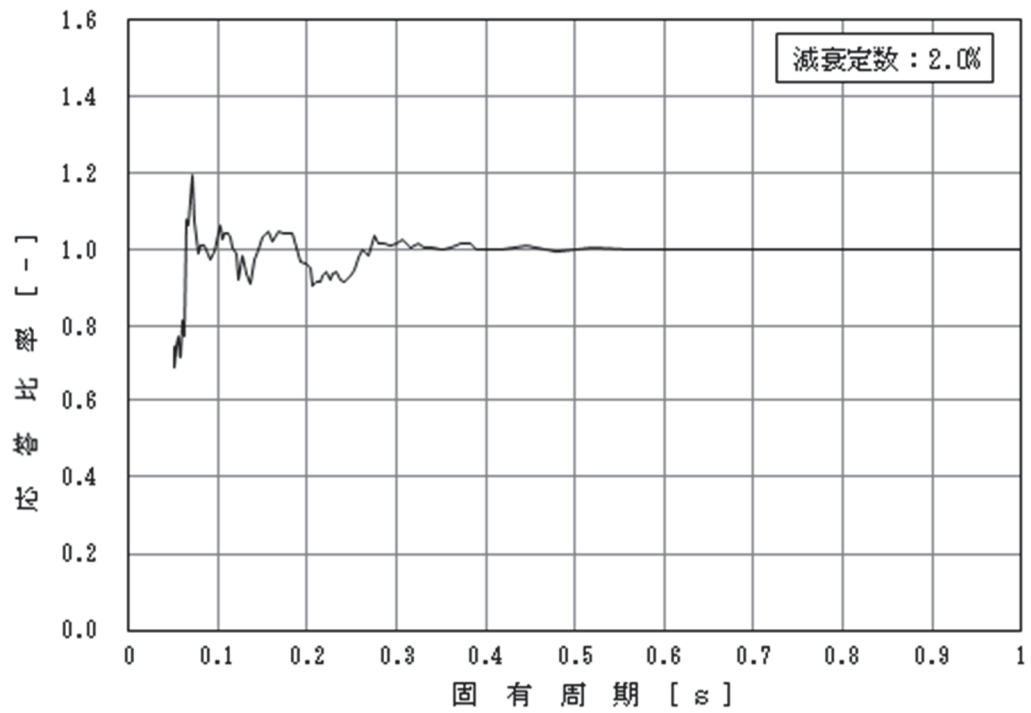


図 4-2 (15/18) 応答比率

(基準地震動 S_s-D2, 水平方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

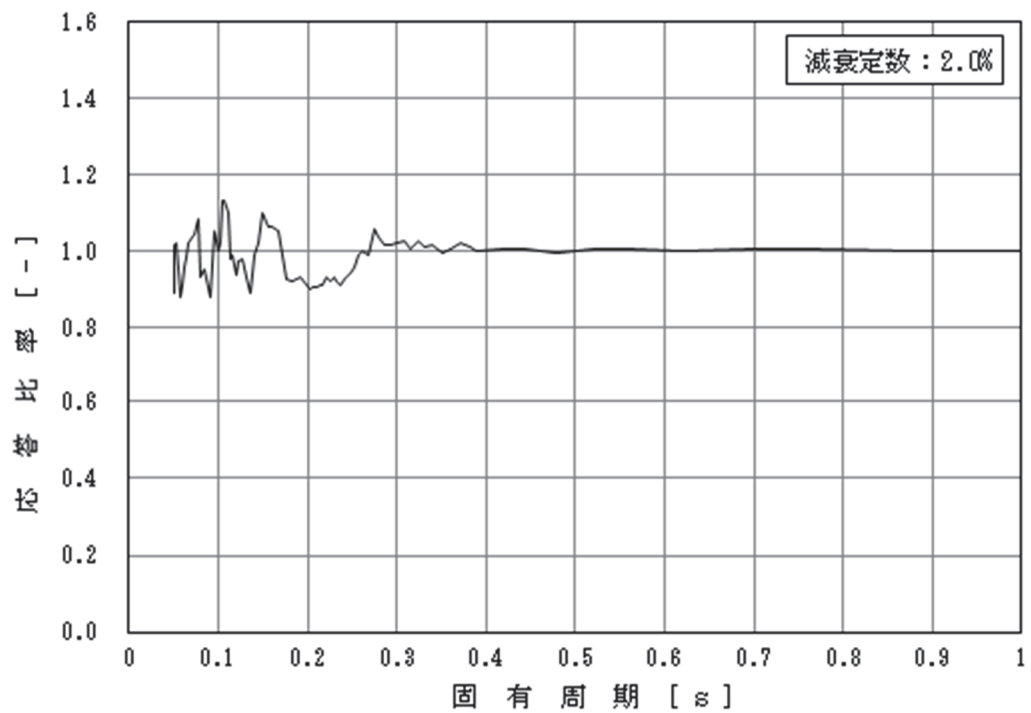


図 4-2 (16/18) 応答比率

(基準地震動 S_s-D2, 水平方向, 原子炉压力容器 O.P. m)

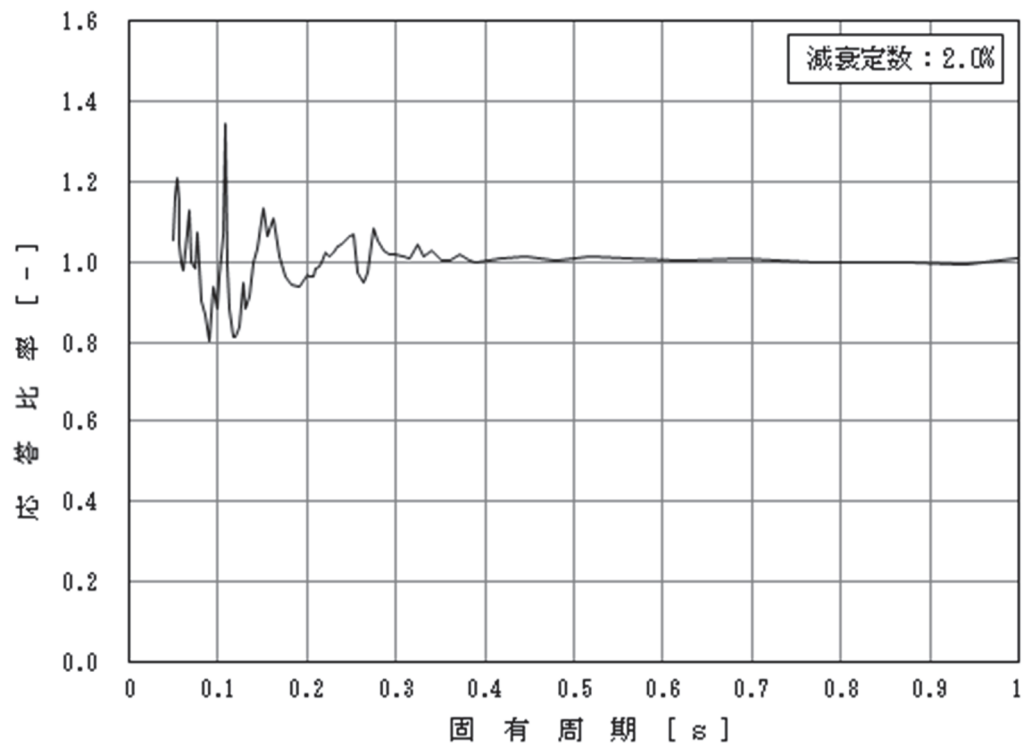


図 4-2 (17/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 炉心支持板 0.P. m)

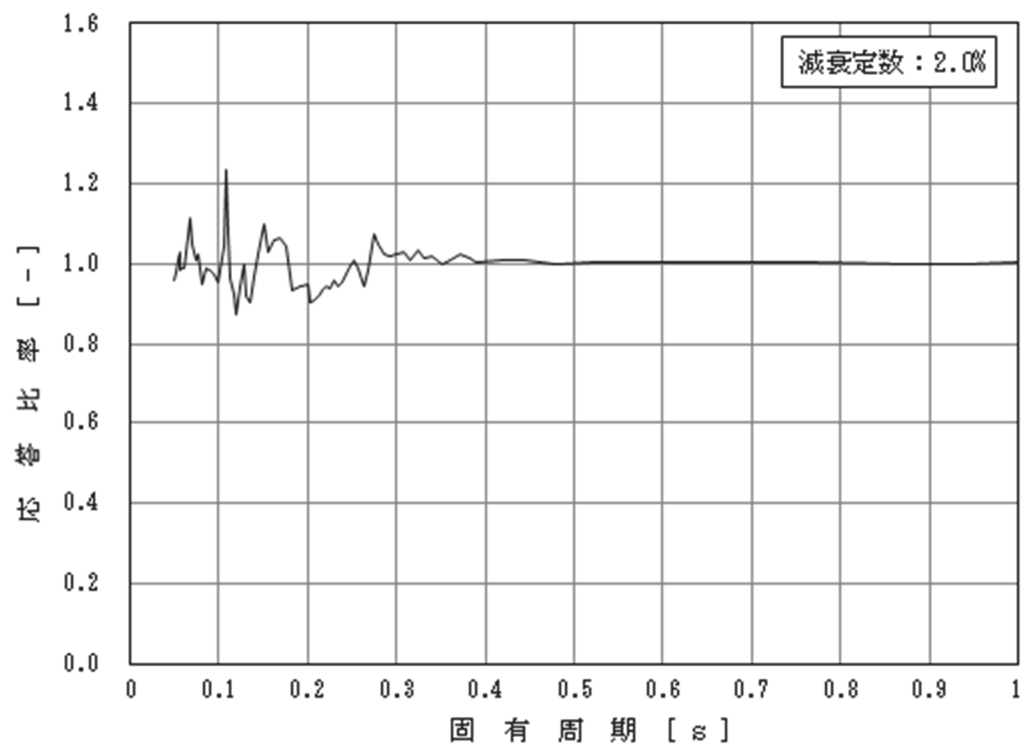


図 4-2 (18/18) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 水平方向, 原子炉压力容器底部 0.P. m)

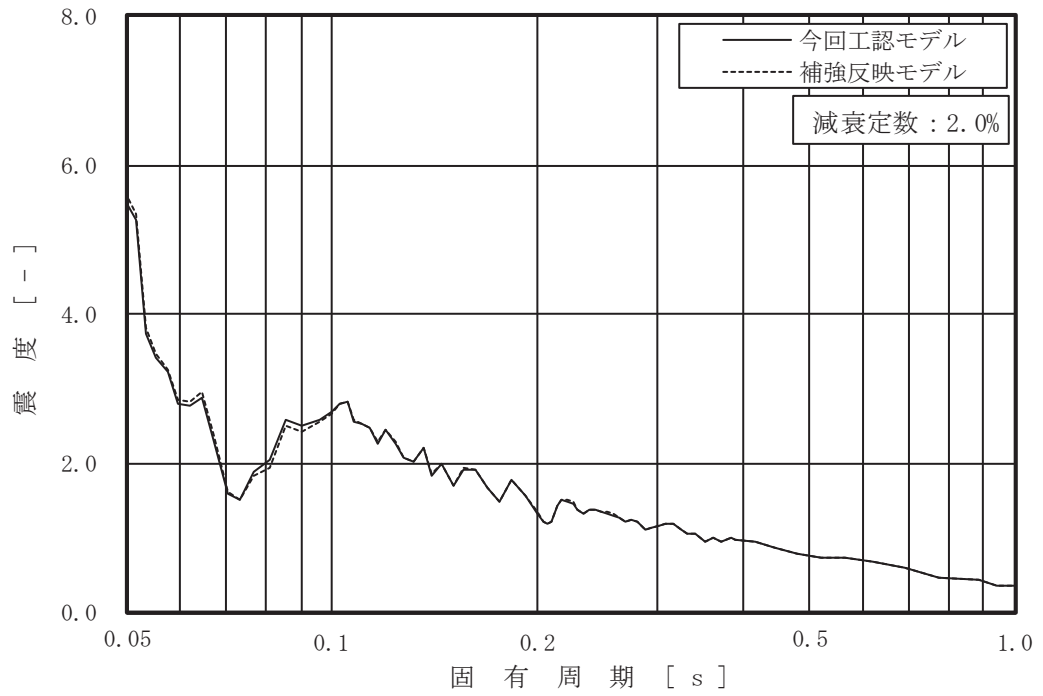


図 4-3 (1/16) 床応答曲線

(基準地震動 $S_s - D_2$, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 0. P. m)

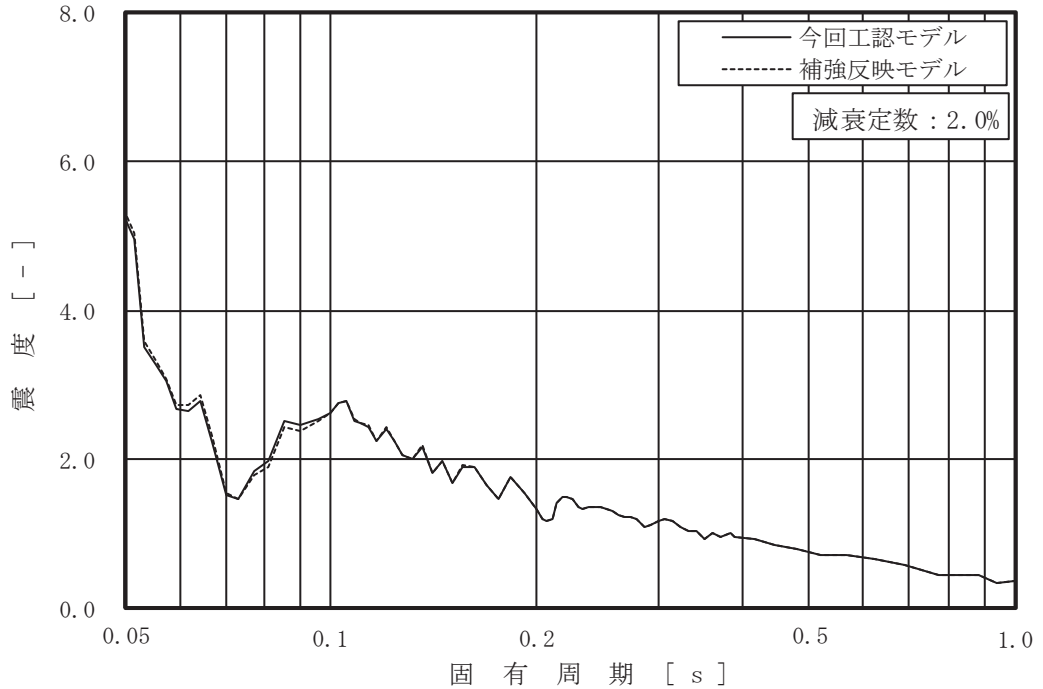


図 4-3 (2/16) 床応答曲線

(基準地震動 $S_s - D_2$, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 0. P. m)

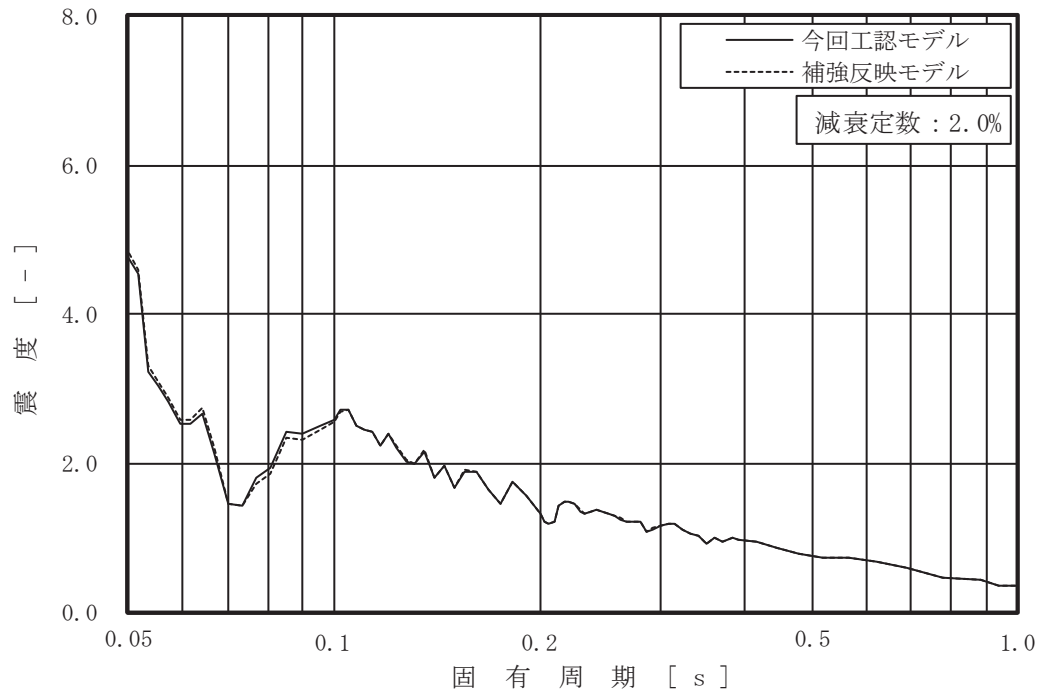


図 4-3 (3/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

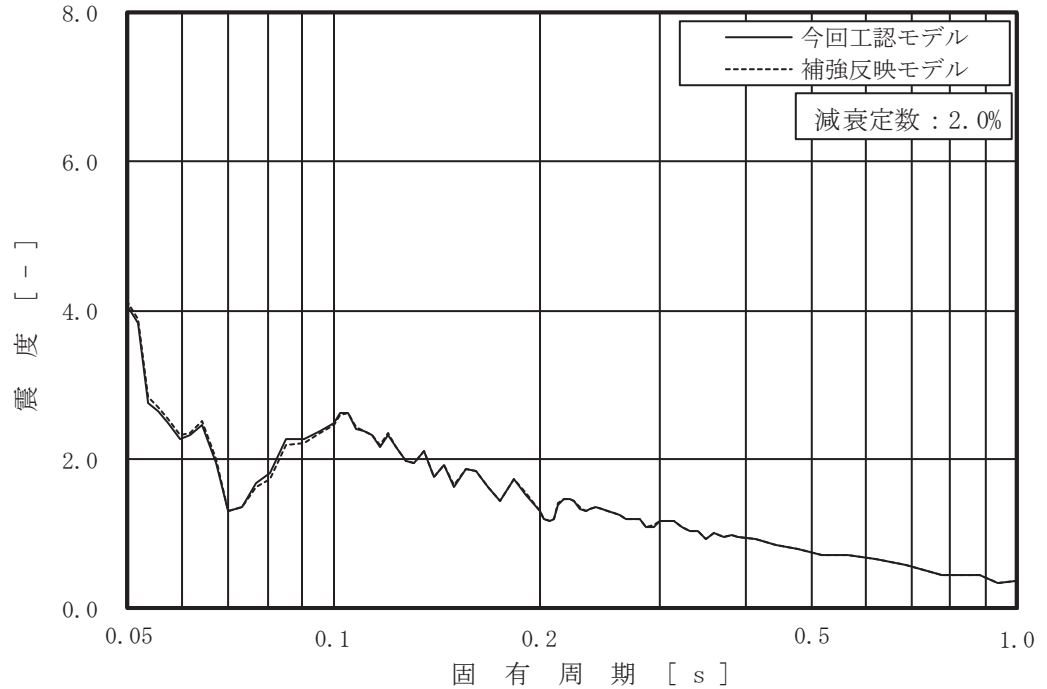


図 4-3 (4/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

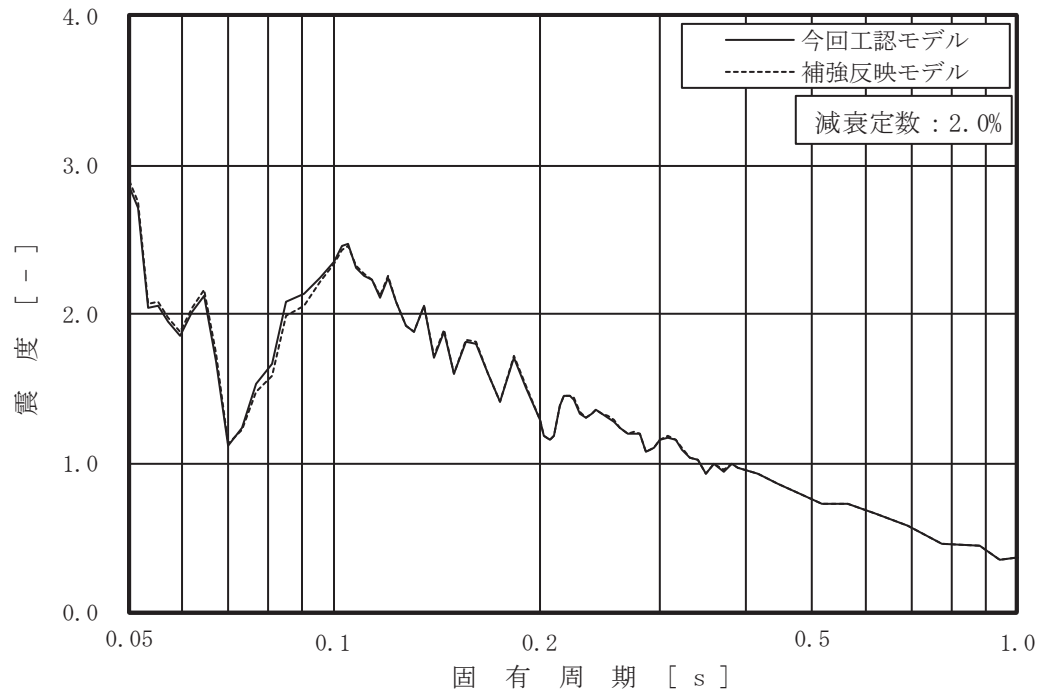


図 4-3 (5/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

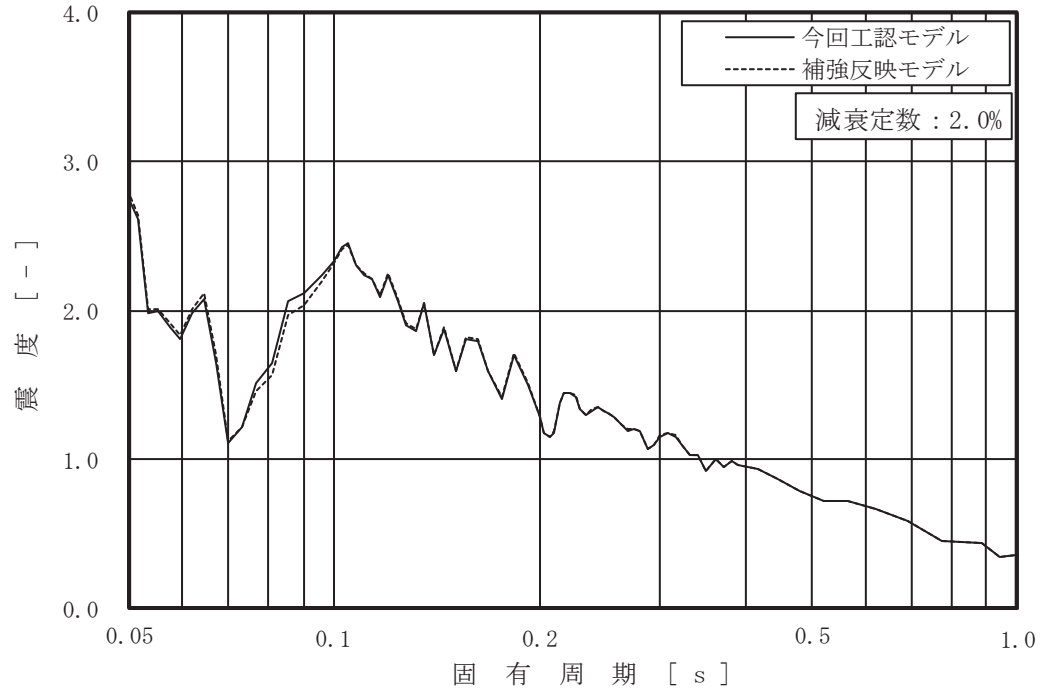


図 4-3 (6/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

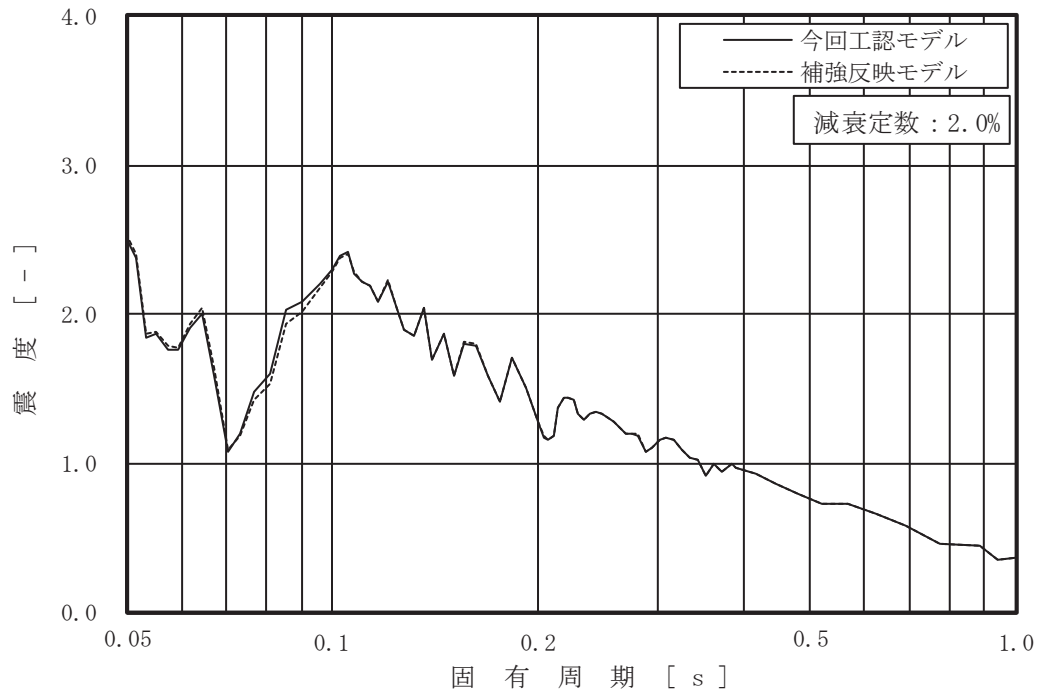


図 4-3 (7/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

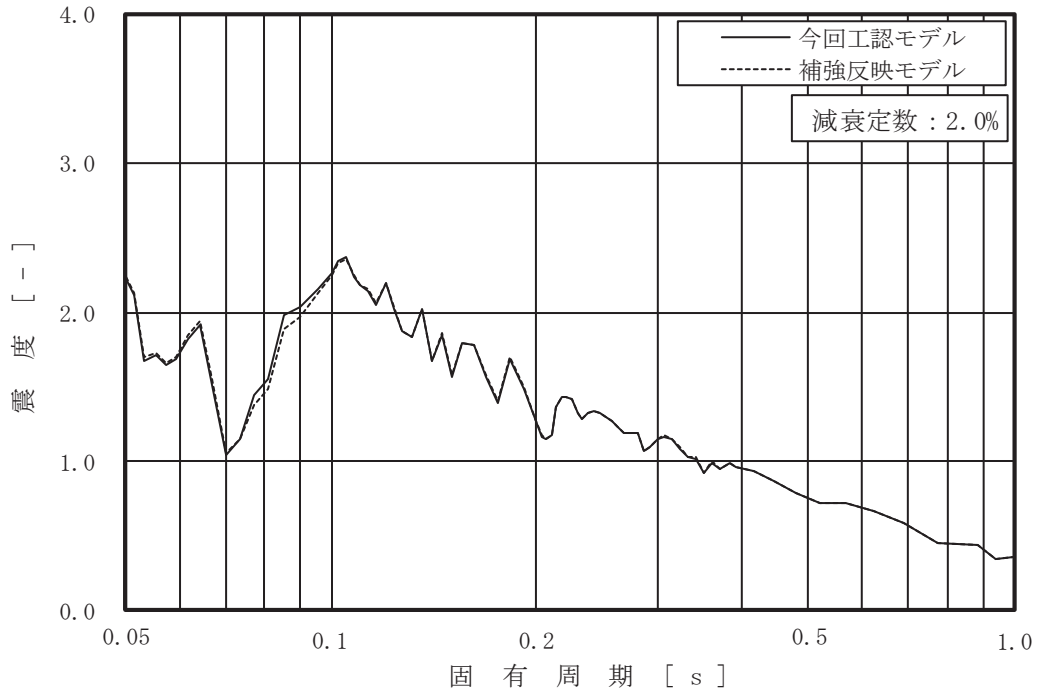


図 4-3 (8/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

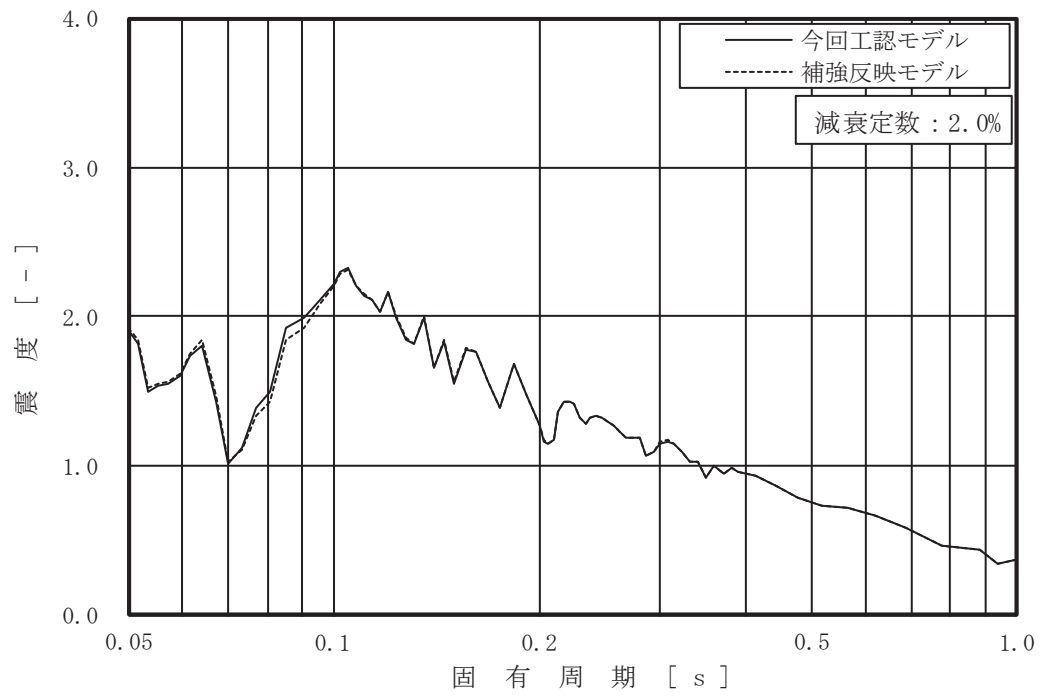


図 4-3 (9/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

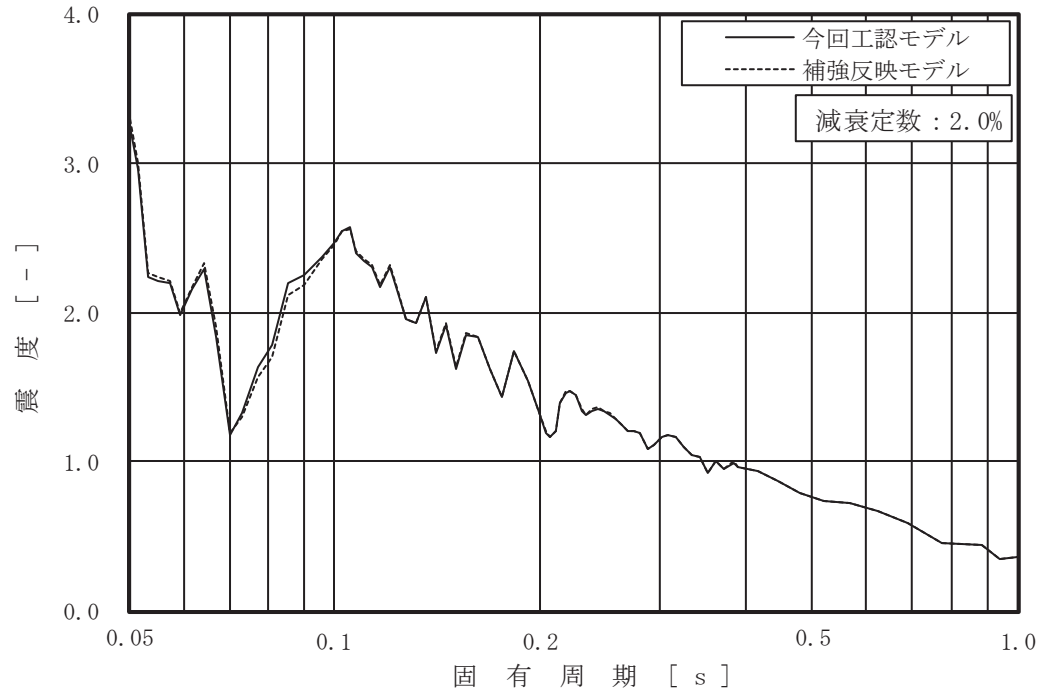


図 4-3 (10/16) 床応答曲線

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

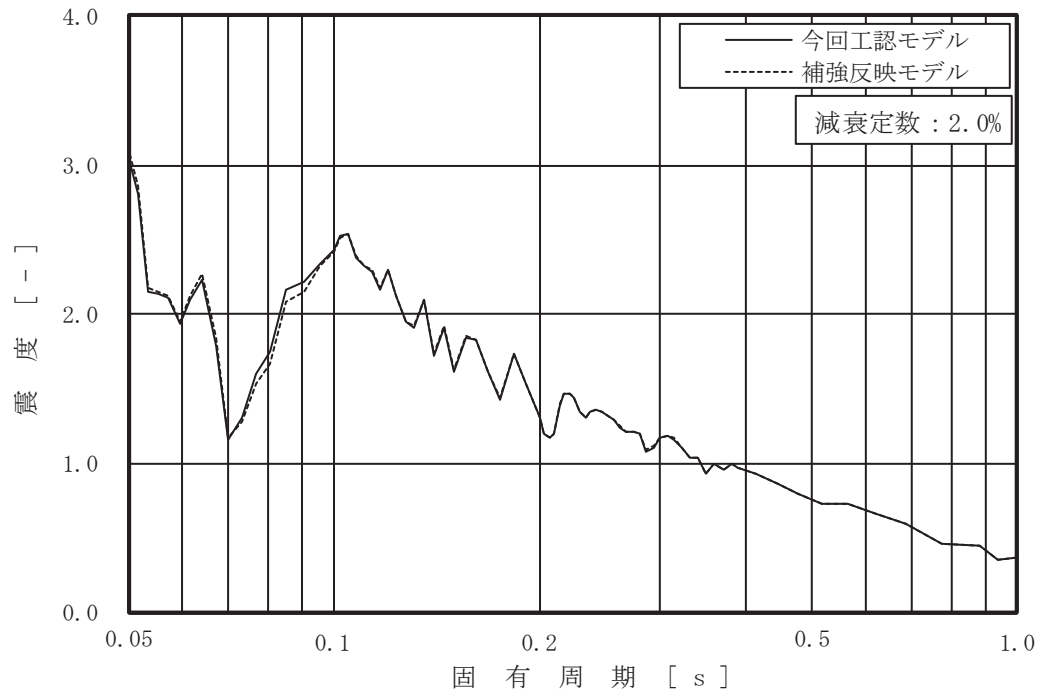


図 4-3 (11/16) 床応答曲線

(基準地震動 S_s-D2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

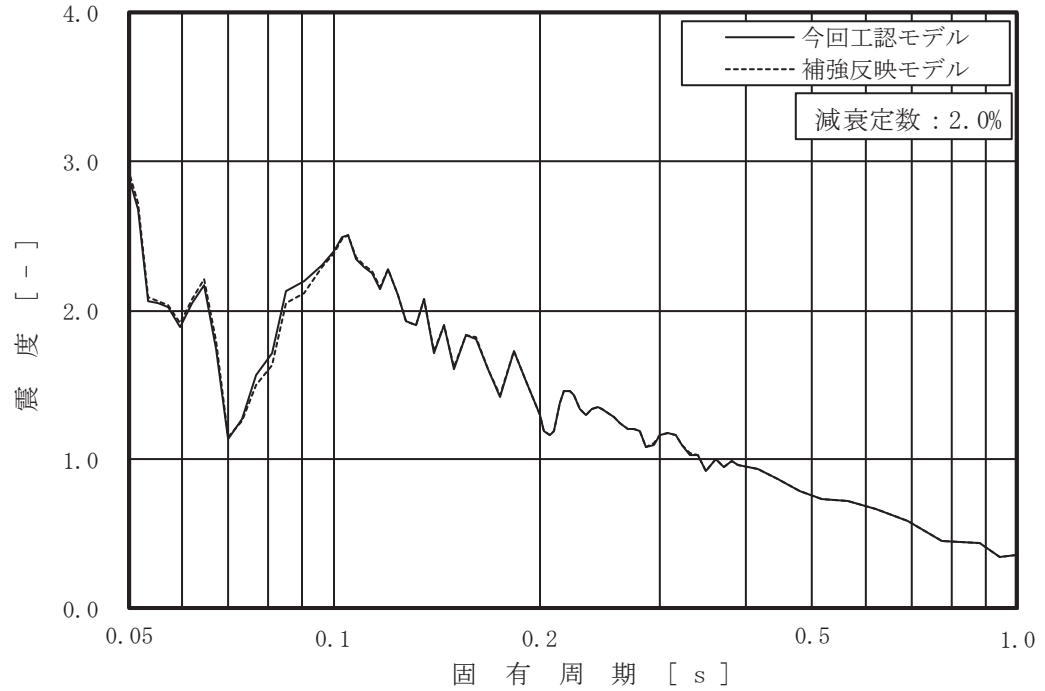


図 4-3 (12/16) 床応答曲線

(基準地震動 S_s-D2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

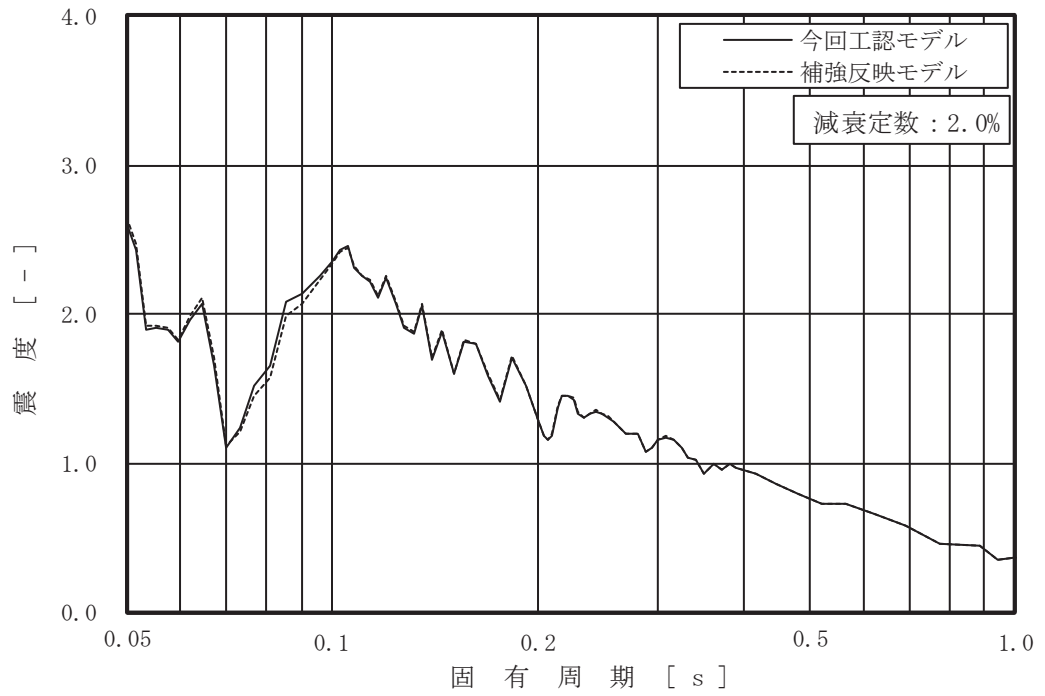


図 4-3 (13/16) 床応答曲線

(基準地震動 S_s-D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

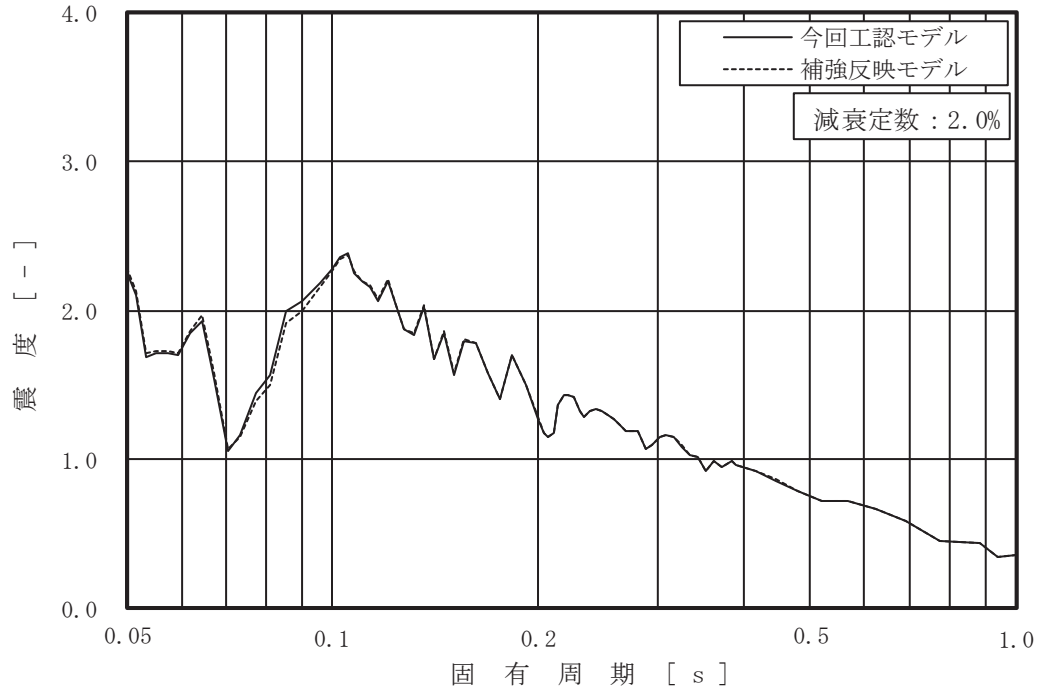


図 4-3 (14/16) 床応答曲線

(基準地震動 S_s-D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

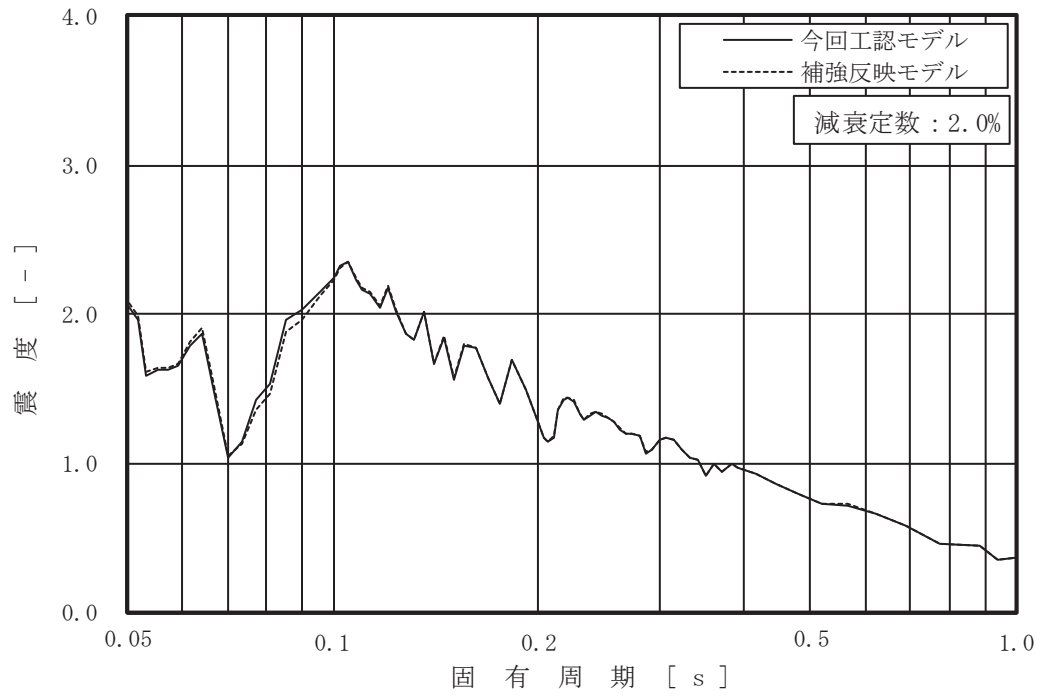


図 4-3 (15/16) 床応答曲線

(基準地震動 $S_s - D2$, 鉛直方向, 原子炉格納容器 O.P. m)

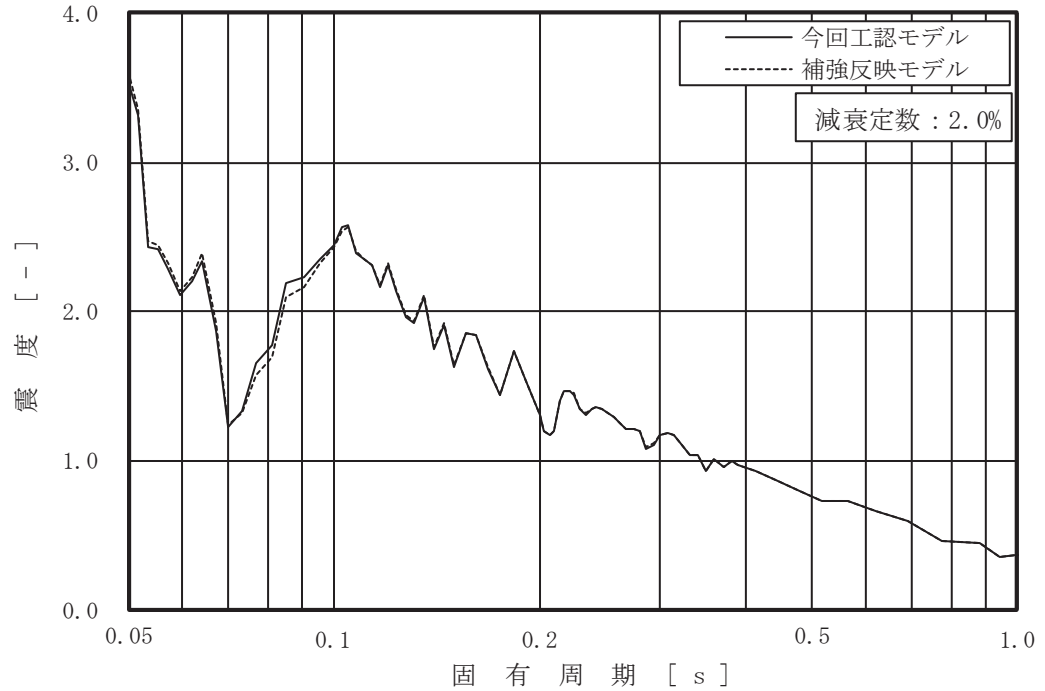


図 4-3 (16/16) 床応答曲線

(基準地震動 $S_s - D2$, 鉛直方向, 原子炉压力容器 O.P. m)

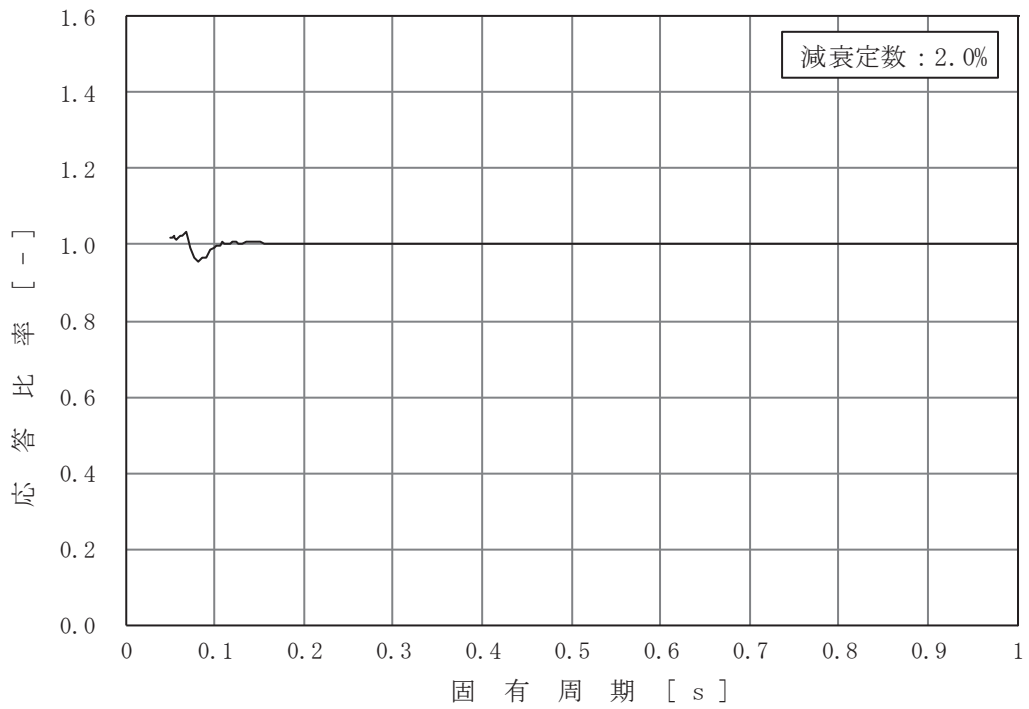


図 4-4 (1/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

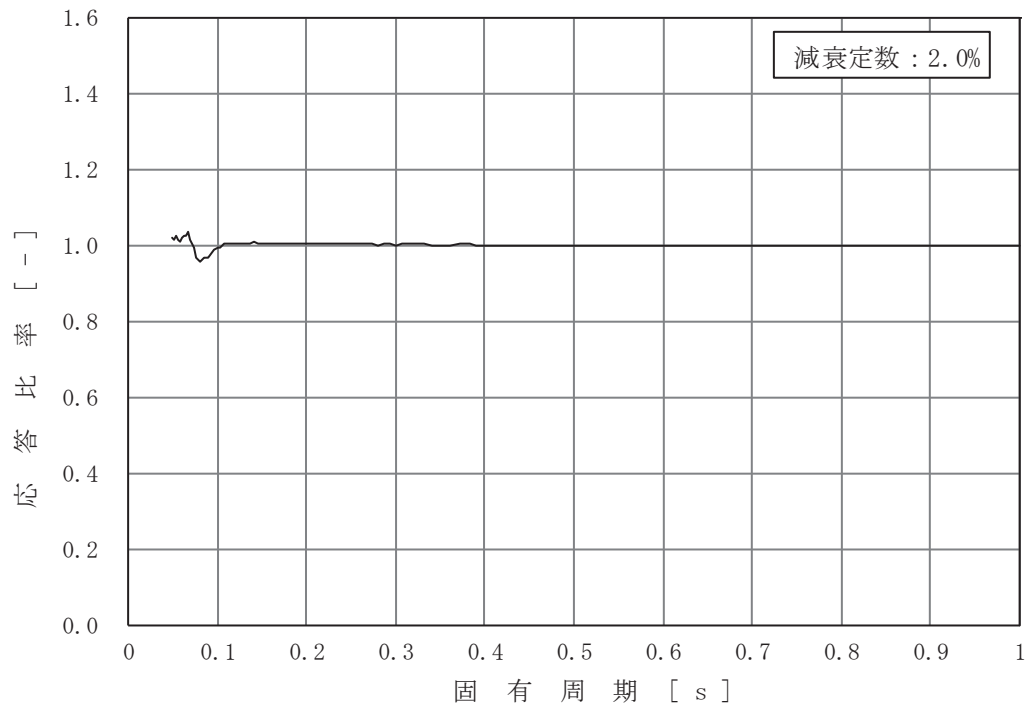


図 4-4 (2/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 O.P. m)

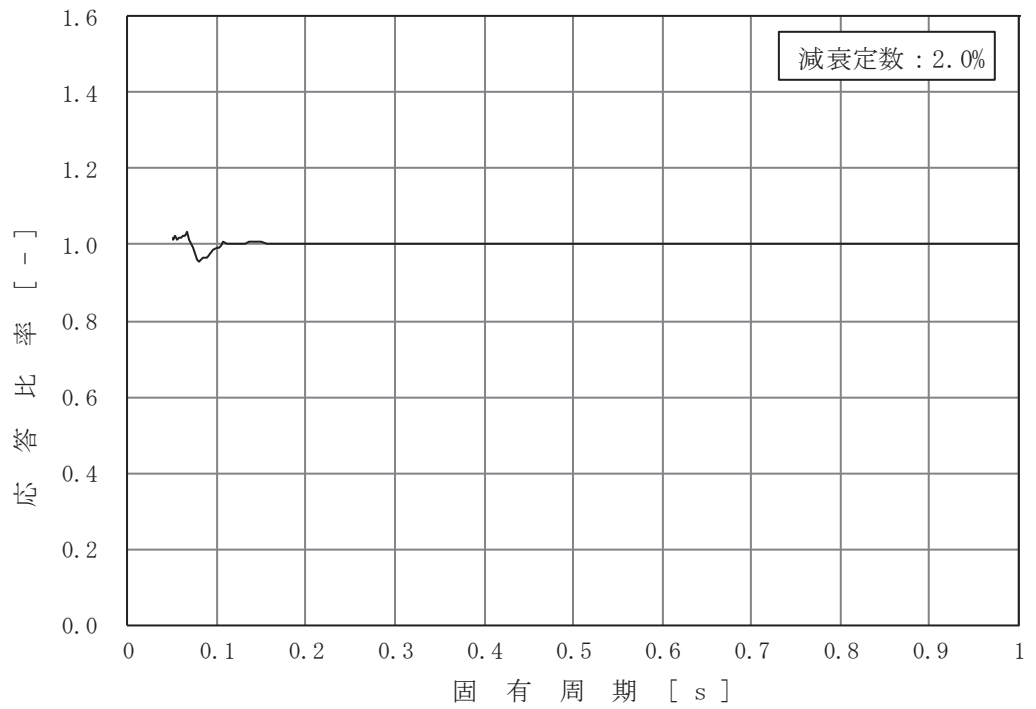


図 4-4 (3/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 0.P. m)

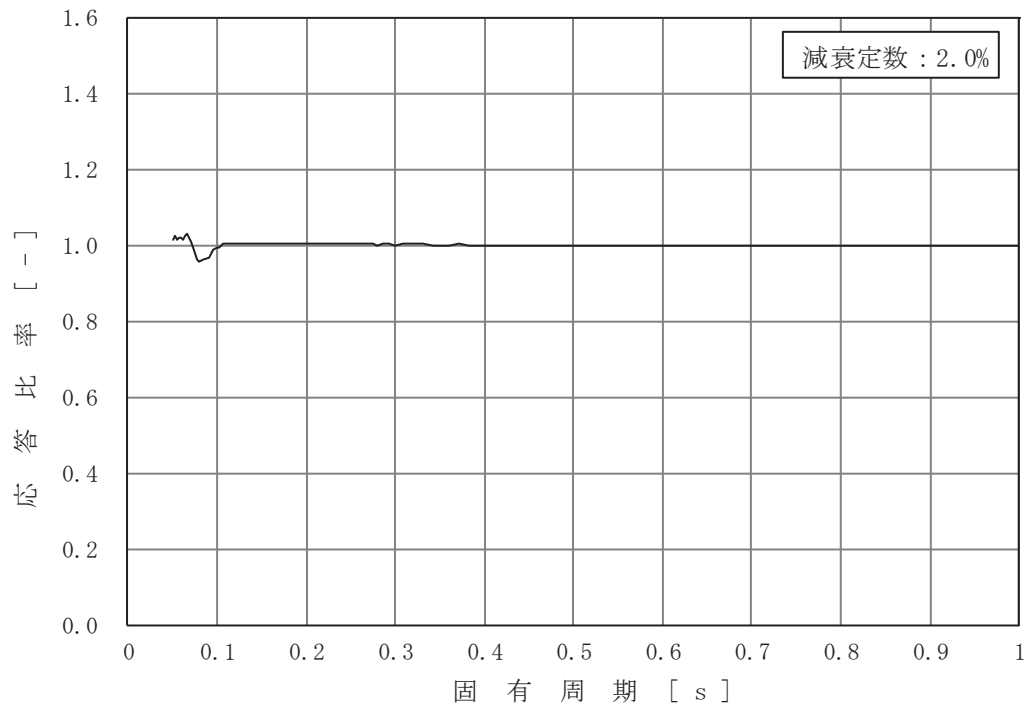


図 4-4 (4/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉しゃへい壁 0.P. m)

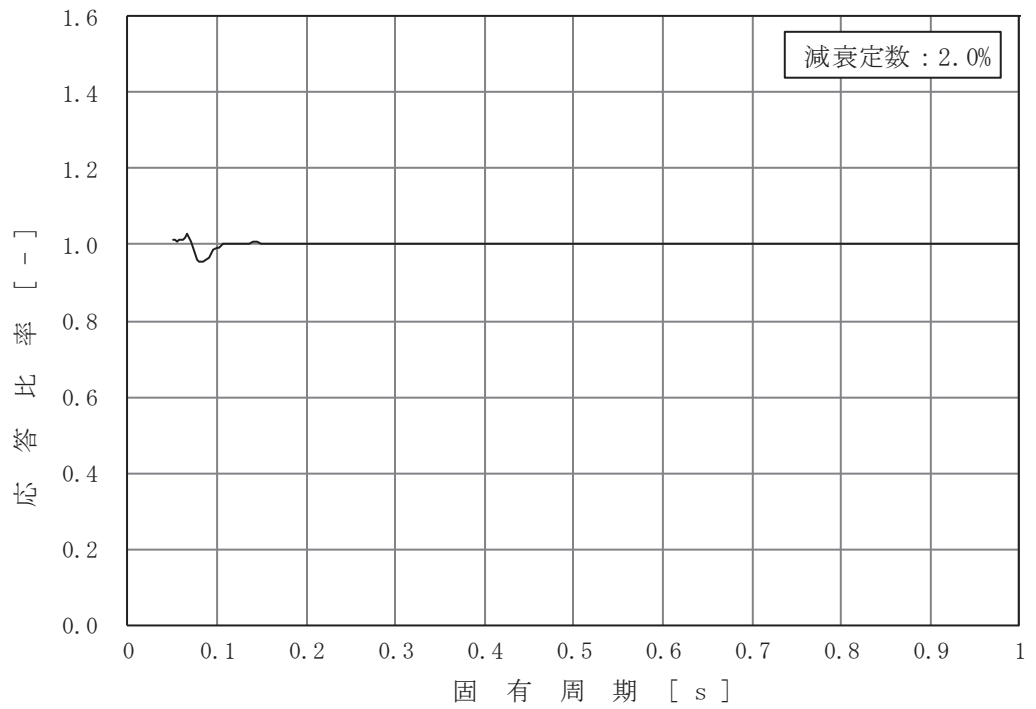


図 4-4 (5/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0. P. m)

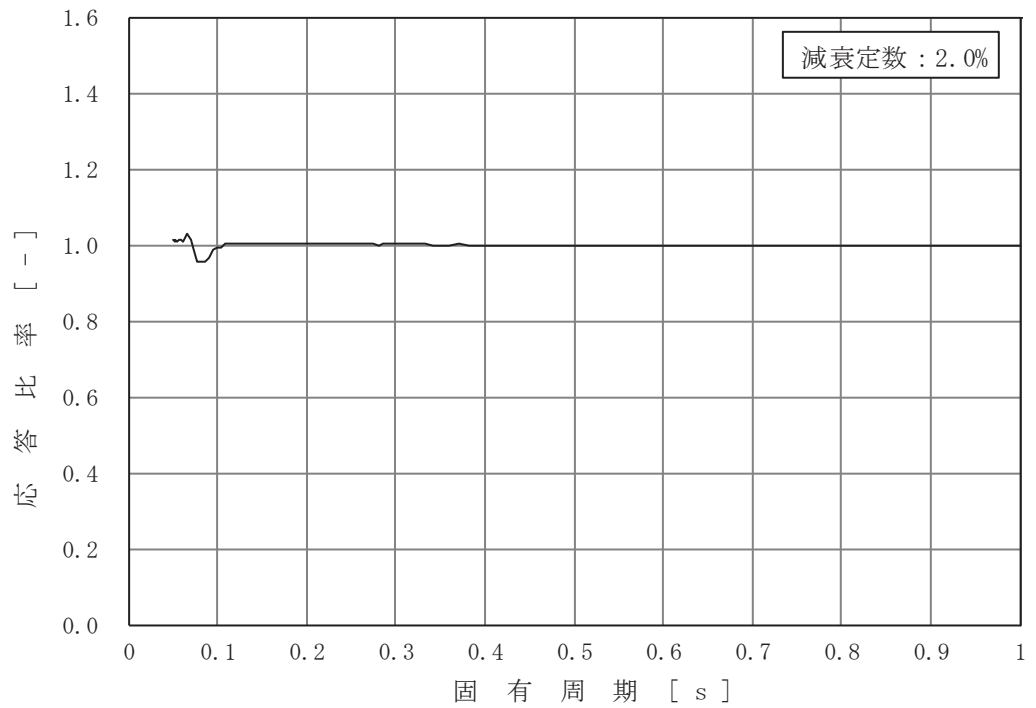


図 4-4 (6/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0. P. m)

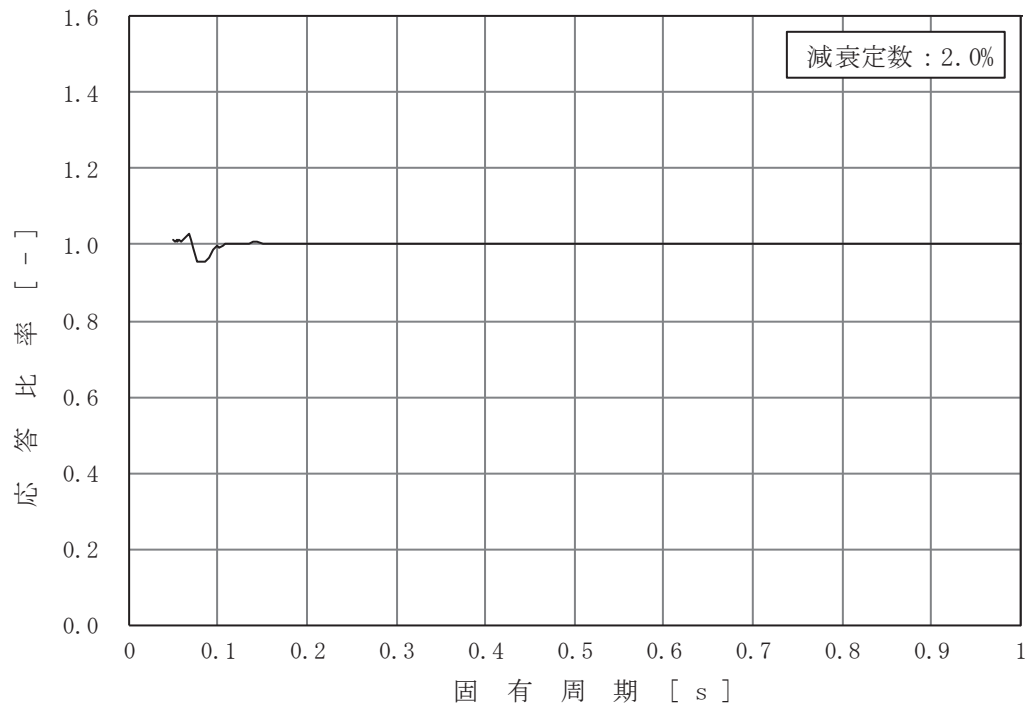


図 4-4 (7/16) 応答比率

(基準地震動 S_s-D2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

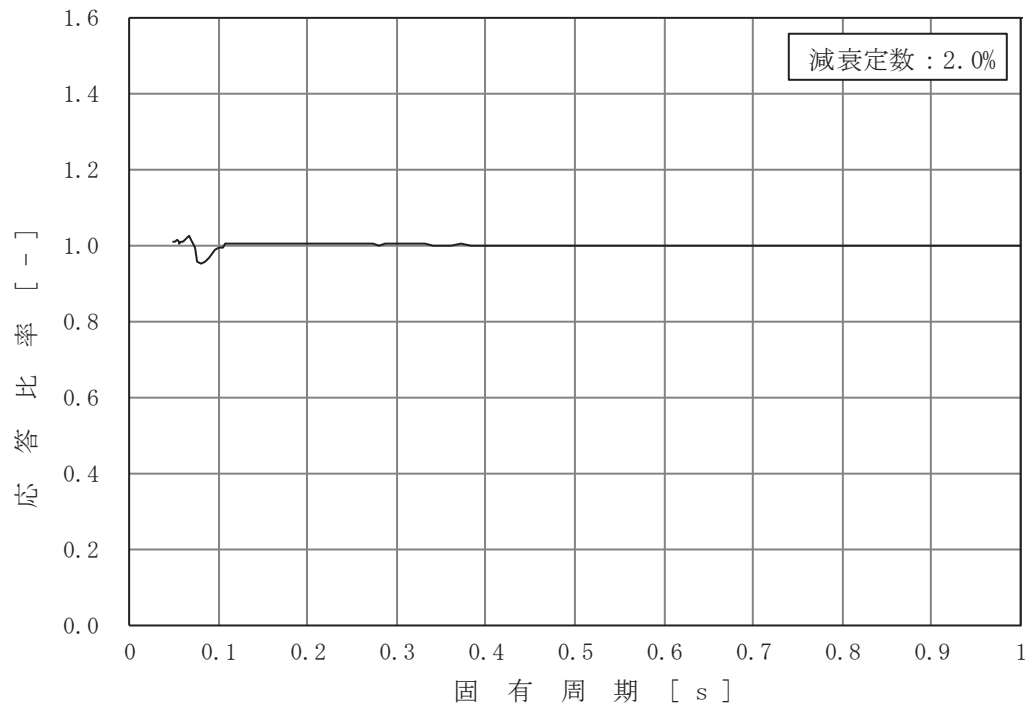


図 4-4 (8/16) 応答比率

(基準地震動 S_s-D2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

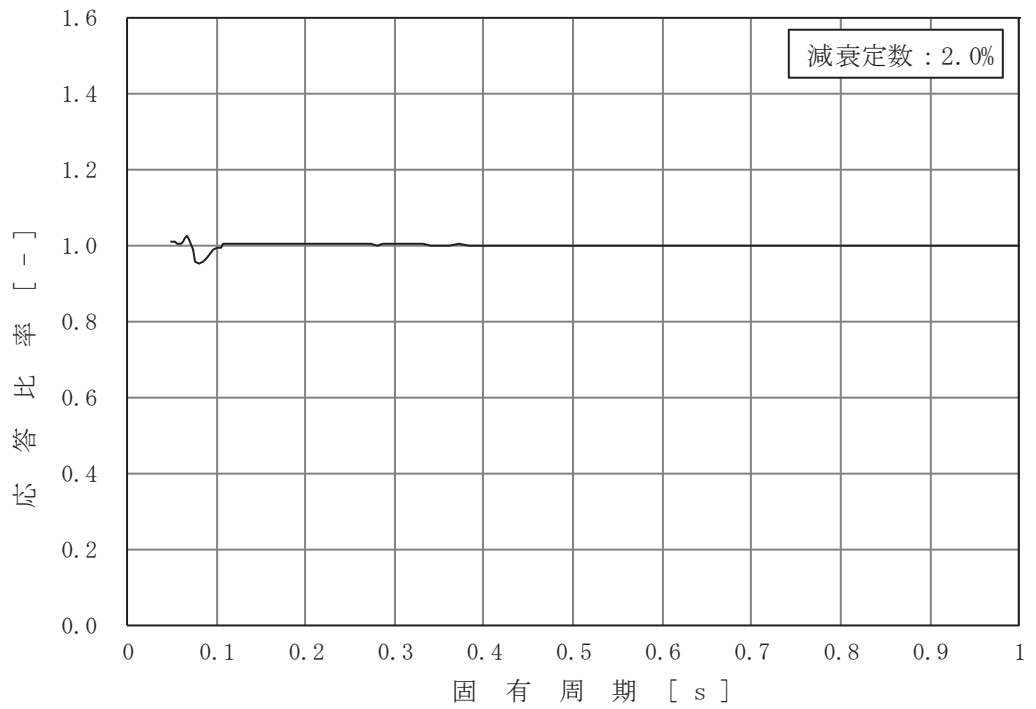


図 4-4 (9/16) 応答比率

(基準地震動 S_s-D 2, 鉛直方向, 原子炉本体の基礎 0.P. m)

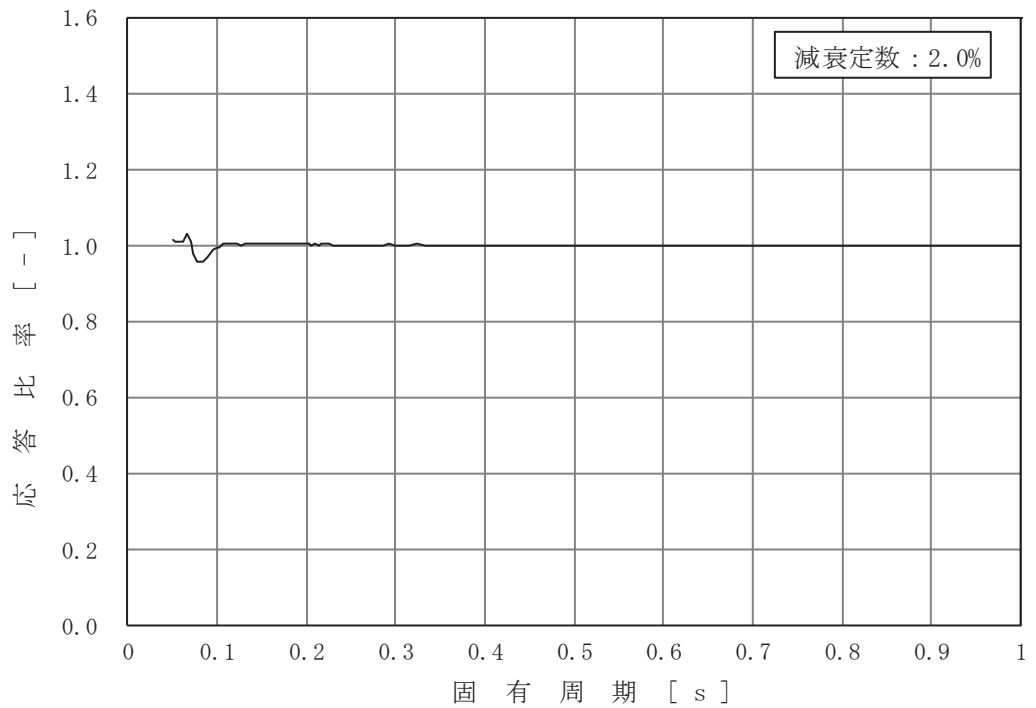


図 4-4 (10/16) 応答比率

(基準地震動 S_s-D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

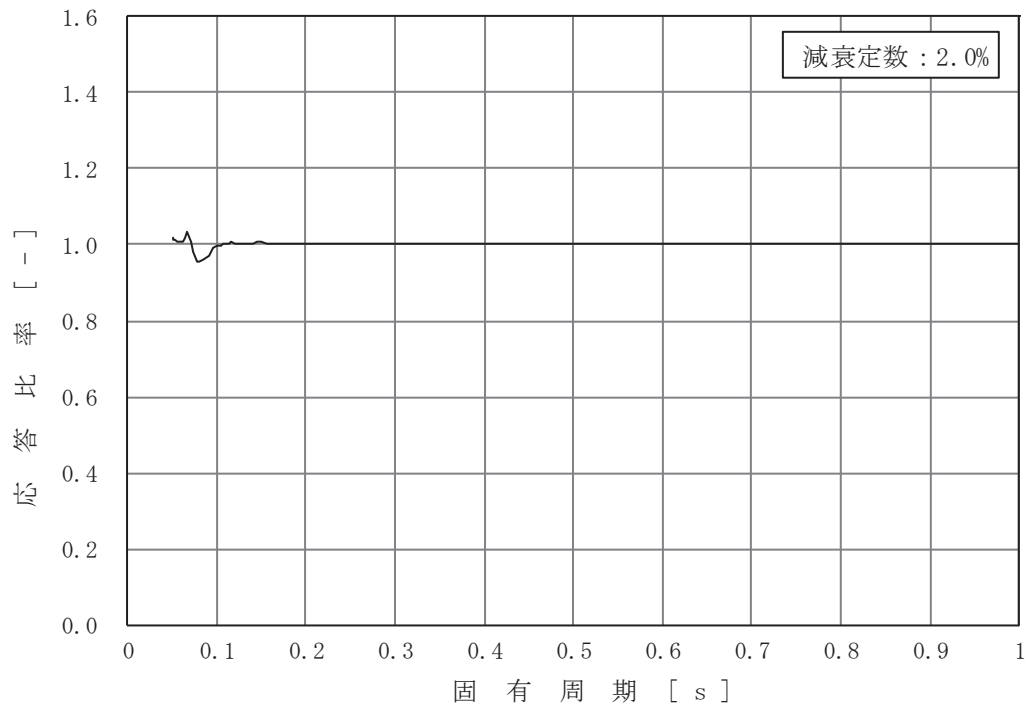


図 4-4 (11/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

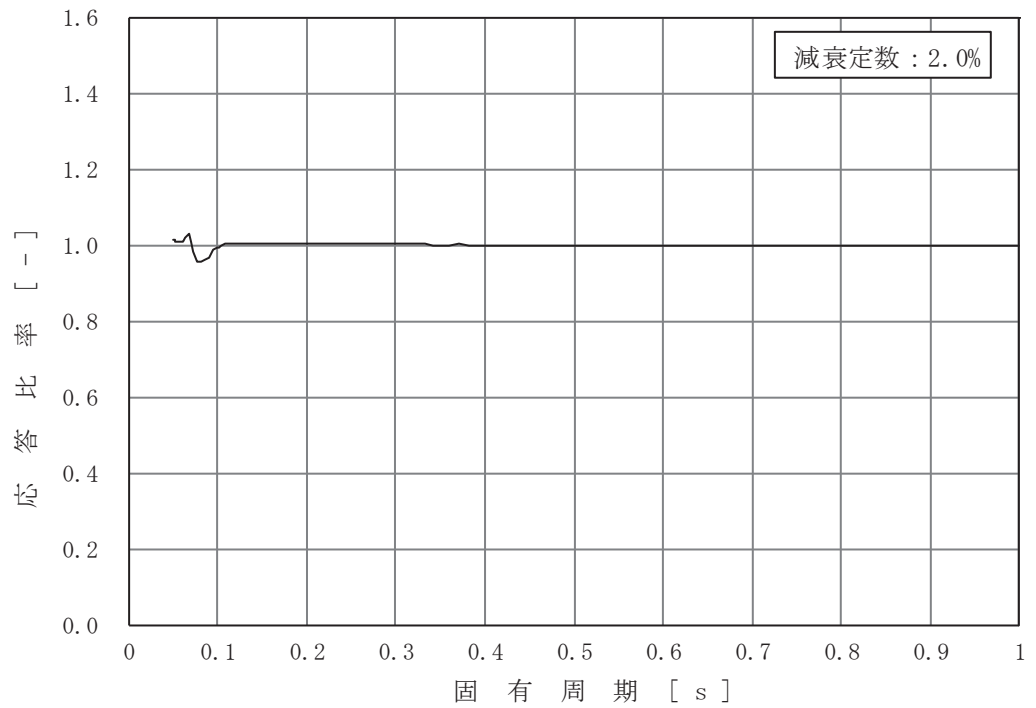


図 4-4 (12/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

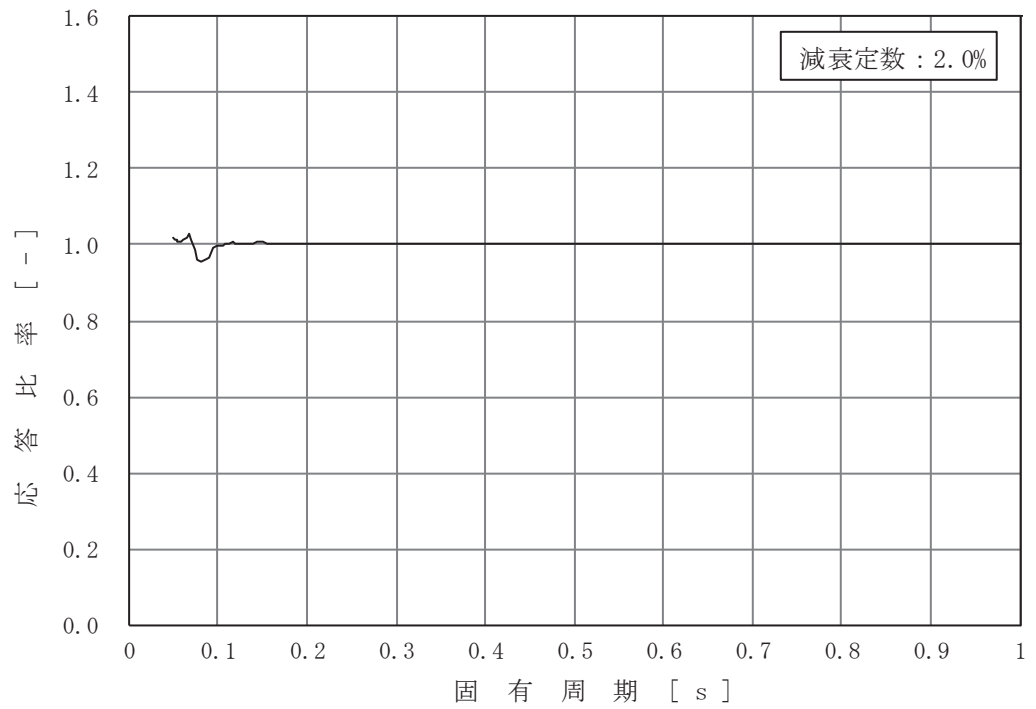


図 4-4 (13/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

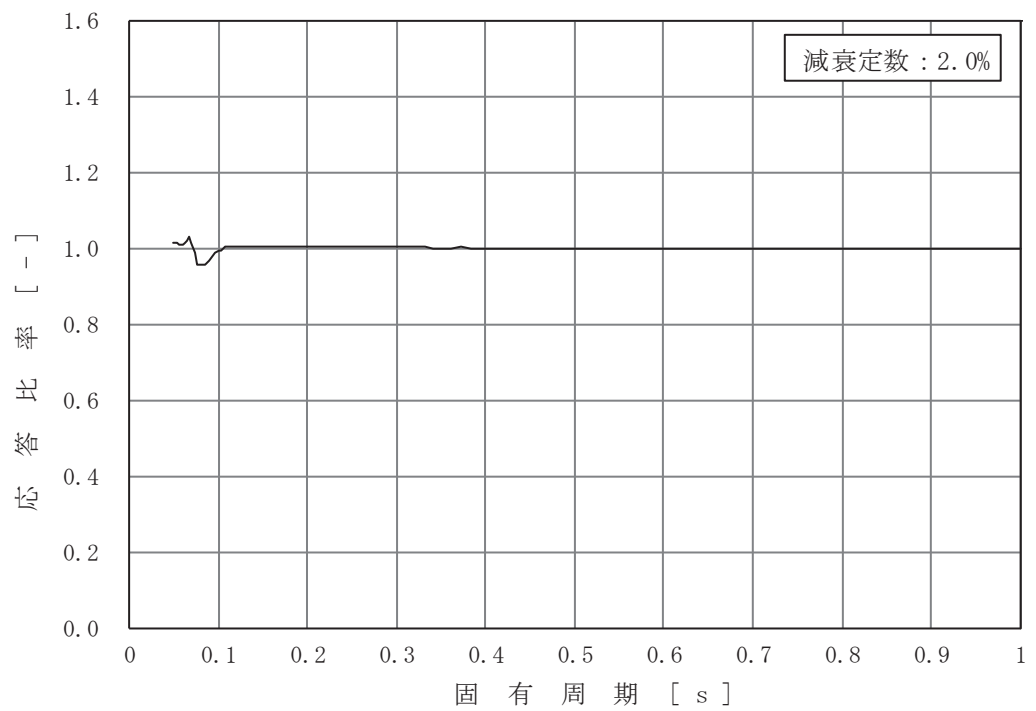


図 4-4 (14/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 0.P. m)

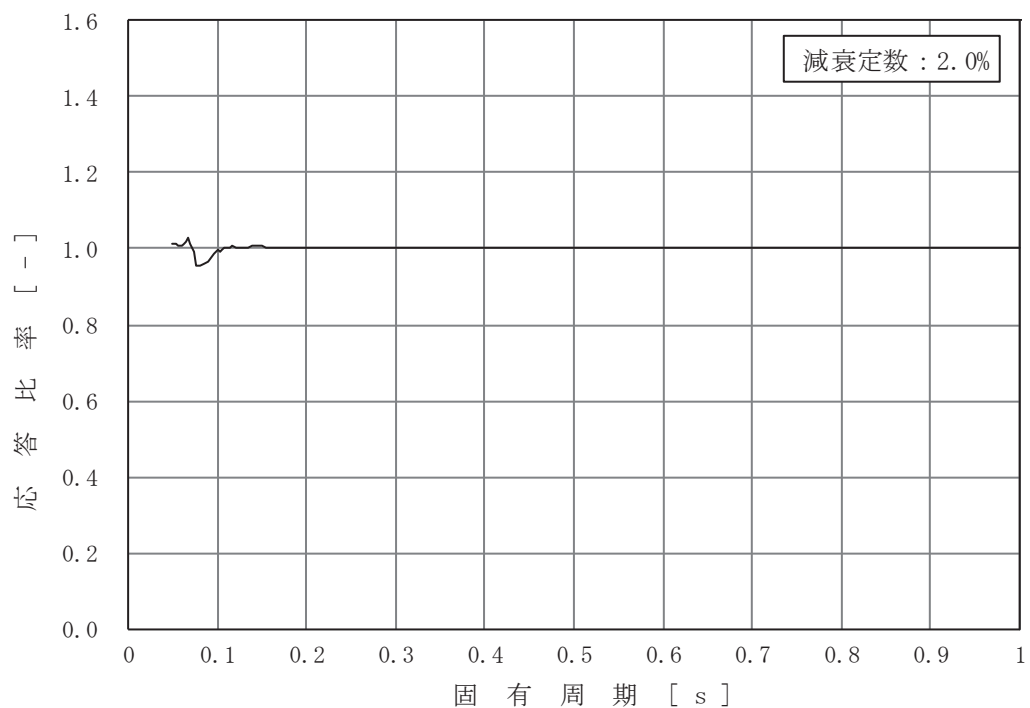


図 4-4 (15/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉格納容器 0. P. m)

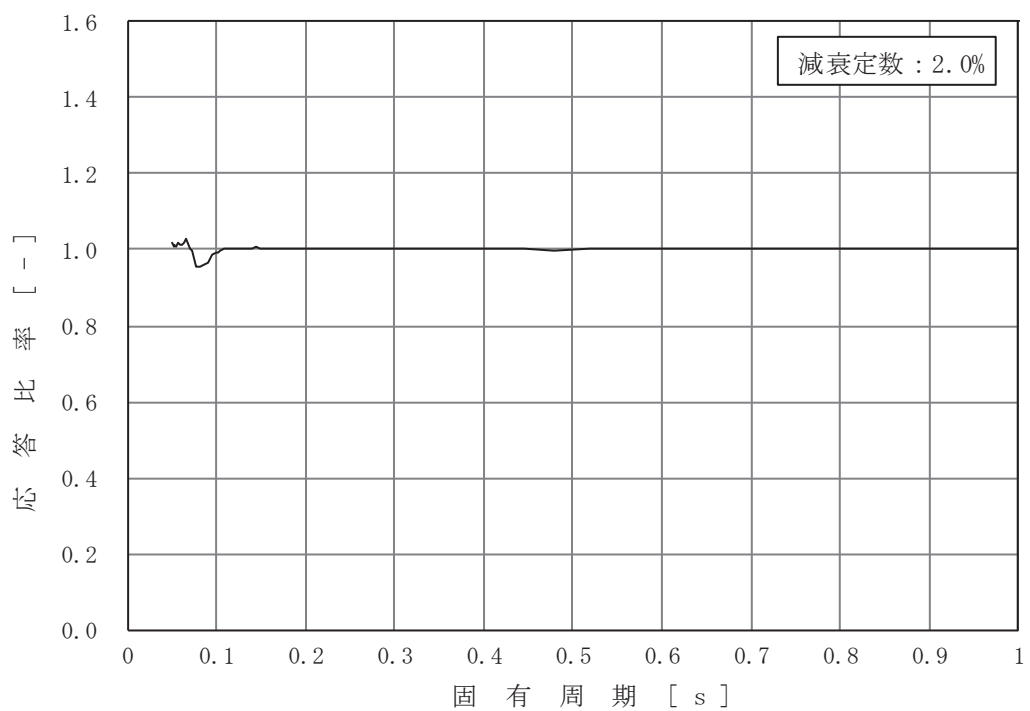


図 4-4 (16/16) 応答比率

(基準地震動 S s - D 2, 鉛直方向, 原子炉压力容器 0. P. m)

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0620-4_改8

補足-620-4 制御建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 制御建屋に対する平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震等の影響

別紙 1-1 制御建屋の東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価（点検結果）

別紙 1-2 東北地方太平洋沖地震等に対する制御建屋のシミュレーション解析

別紙 1-2-1 制御建屋の追設地震計による地震観測記録を用いた建屋モデルの検討

別紙 1-3 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析（制御建屋）

別紙 1-3-1 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析と点検結果の比較（制御建屋）

別紙 2 制御建屋の地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 2-1 制御建屋の床ばねの算定について

別紙 3 制御建屋の地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定

別紙 4 制御建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 4-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙 4-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 1 制御建屋に対する平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖
地震等の影響

目 次

1. はじめに..... 別紙 1-1
2. 点検結果およびシミュレーション解析結果..... 別紙 1-2
 - 2.1 点検結果 別紙 1-2
 - 2.2 シミュレーション解析結果 別紙 1-2
 - 2.3 点検結果とシミュレーション解析結果の比較 別紙 1-3
3. 評価結果のまとめ..... 別紙 1-4

別紙 1-1 制御建屋の東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価（点検結果）

別紙 1-2 東北地方太平洋沖地震等に対する制御建屋のシミュレーション解析

1. はじめに

3.11 地震及び 4.7 地震により，女川原子力発電所では一部周期帯において当時の基準地震動 $S_s - D$ を上回る地震動を観測した。

ここでは，制御建屋について，地震後の点検結果と地震観測記録に基づくシミュレーション解析結果に基づき構造的な影響について評価する。

2. 点検結果およびシミュレーション解析結果

2.1 点検結果

女川原子力発電所の設備健全性に及ぼした影響を評価することを目的に「女川原子力発電所2号機 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震及び2011年4月7日宮城県沖の地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書(建物・構築物編)」に基づき点検した結果を別紙1-1に示す。

点検の結果、制御建屋の耐震壁には、地震により生じた幅1.0mmを超えるひび割れ及び剥離・剥落は確認されなかった。なお、幅1.0mm以下のひび割れは各階で認められるが、特に地上2階NS方向CF通りの耐震壁において他の耐震壁よりも多く確認されている。しかし、地上2階NS方向CA通りも含め、ほとんどのひび割れの幅は0.3mm以下であり、また、その長さも断続的なものであることから、ひび割れの中には地震が原因ではないと明確に判断できないとして抽出されたものも含まれていると考えられる。

2.2 シミュレーション解析結果

制御建屋について、3.11地震及び4.7地震の2つの地震に対して、建屋の振動特性を確認すること及び建屋に構造的な影響が生じていないか確認することを目的としてシミュレーション解析を実施した。結果を別紙1-2に示す。

水平動の地震応答解析モデルに対し、建屋全体に一律の初期剛性低下率として設計基準強度から算定されるコンクリートの剛性よりもNS方向は0.40倍、EW方向は0.50倍の剛性補正係数を適用した結果、観測記録との整合性が良い応答が得られた。

なお、NS方向の剛性補正係数がEW方向の剛性補正係数より小さくなる傾向は原子炉建屋の剛性低下と同様の傾向である。また、剛性補正係数は、原子炉建屋の比較的薄い耐震壁を有する地上3階(0.3~0.5)と同等の値である。

シミュレーション解析により得られた各階のせん断応力度は、設計配筋量のみで負担できる短期許容せん断応力度($p_w \cdot \sigma_y^*$)以下(耐震壁のせん断応力度の $p_w \cdot \sigma_y^*$ に対する検定比は、最大0.92)であった。したがって、耐震壁の鉄筋はおおむね弾性範囲にあると言える。なお、原子炉建屋での検定比は最大0.89であり同等の結果である。

各階のせん断ひずみ分布は、NS方向地上2階の耐震壁以外は 0.5×10^{-3} を下回る結果となったが、地上2階では若干上回っている。ひび割れが発生するせん断ひび割れの目安は $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-3}$ であることから、各階でひび割れが発生するひずみレベルとなった。

注記* : p_w : 耐震壁の設計鉄筋比

(タテ・ヨコ筋のうち鉄筋量の少ない方による値)

σ_y : 鉄筋の短期許容応力度 (SD345 : 345N/mm²)

2.3 点検結果とシミュレーション解析結果の比較

点検結果から、制御建屋の耐震壁には各階で地震によるひび割れが確認されたが、幅 1.0mm ひび割れは確認されていない。シミュレーション解析に基づくせん断ひずみ分布は、耐震壁の点検結果と整合する結果となっている。特に地上 2 階の NS 方向の点検結果では他の階に比較して多くのひび割れが確認されたが、シミュレーション解析結果においても地上 2 階 NS 方向のせん断ひずみが最も大きい結果となっている。

3 評価結果のまとめ

制御建屋の点検結果，シミュレーション解析結果から，建屋の構造的影響評価を行った。検討結果は以下のとおりである。

- ①点検の結果，制御建屋の耐震壁には，地震により生じた幅 1.0mm を超えるひび割れ及び剥離・剥落は確認されなかった。
- ②シミュレーション解析で得られた各階のせん断応力度は，設計配筋量のみで負担できる短期許容せん断応力度以下であった。
- ③シミュレーション解析の結果は，観測記録とおおむね整合し，せん断ひずみ分布は耐震壁の点検結果と整合している。

なお，シミュレーション解析により得られた各階の耐震壁のせん断応力度の $p_w \cdot \sigma_y$ に対する検定比はすべて 1.0 以下であるが，余裕が比較的少ないところもあったことから，別途詳細検討を実施し，鉄筋が弾性範囲内であったことを確認している。

以上のことから，制御建屋は 3.11 地震及び 4.7 地震に対して概ね弾性範囲であったと判断している。

別紙 1-1 制御建屋の東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価（点検結果）

目 次

1. はじめに.....	別紙 1-1-1
2. 建屋に関する地震後設備健全性の確認方法.....	別紙 1-1-2
2.1 地震後健全性確認の基本的な考え方.....	別紙 1-1-2
2.2 点検方法策定にあたっての基本的な考え方.....	別紙 1-1-2
2.3 鉄筋コンクリート躯体に関する点検方法及び判定基準.....	別紙 1-1-3
2.4 第三者機関による確認.....	別紙 1-1-5
3. 耐震壁のひび割れ分布の点検結果.....	別紙 1-1-6
3.1 ひび割れ分布の記録.....	別紙 1-1-6
4. 地震後の補修.....	別紙 1-1-8
4.1 地震後のひび割れ補修.....	別紙 1-1-8
5. まとめ.....	別紙 1-1-9

付録 1 制御建屋のひび割れ分布

1. はじめに

3.11 地震及び 4.7 地震により、女川原子力発電所では一部周期帯において基準地震動 $S_s - D$ を上回る地震動を観測したことから、女川原子力発電所の設備健全性に及ぼした影響を評価することを目的に「女川原子力発電所 2 号機 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震及び 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」（以下「点検・評価計画書（建物・構築物編）」という。）に基づき点検・評価作業を実施している。

制御建屋の結果をとりまとめた。

2. 建屋に関する地震後設備健全性の確認方法

2.1 地震後健全性確認の基本的な考え方

点検・評価とは、建物・構築物における点検、地震応答解析による評価及び両者の結果を踏まえた健全性の総合評価をいう。

点検は、各建物・構築物に共通的に実施する目視点検により行う。地震応答解析では、本地震の観測記録に基づく各建物・構築物の解析的な評価を実施する。

点検・評価に関しては、以下の基本的な考え方に従った。（図2-1参照）

- ① 耐震安全上重要な建物・構築物については、点検と地震応答解析を実施し、両者の結果を照合して健全性の総合評価を行う。
- ② 目視点検で異常が確認された場合は、必要に応じ追加点検を行い、必要に応じて補修を実施することも検討する。
- ③ 地震応答解析結果において裕度が比較的少ない場合は、詳細検討を行う。

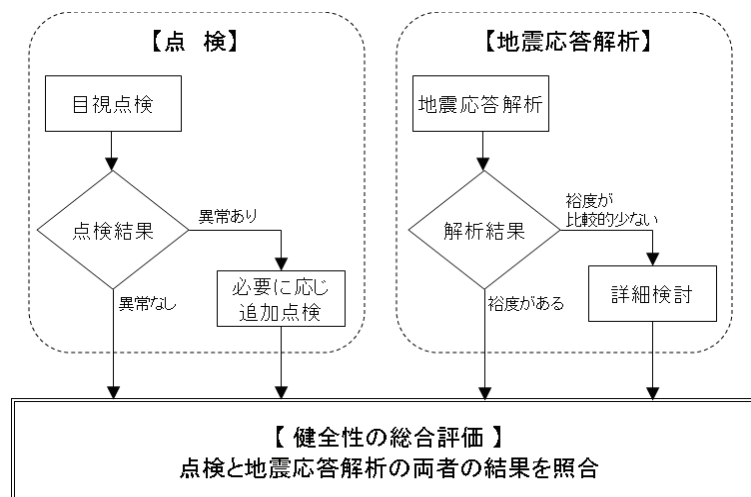


図2-1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

2.2 点検方法策定にあたっての基本的な考え方

点検の実施にあたっては、以下を考慮する。

- ① 対象とする建物・構築物の構造形式ごとに地震時に想定される影響を把握し、点検手法に反映させる。
- ② 目視点検によって健全性が十分確認できない場合は、適宜非破壊試験等の実施を検討する。
- ③ 作業員被ばく低減、人身安全等の観点から点検が困難な場合については、構造的に類似した部位の点検結果及び解析結果を踏まえた上で必要に応じ合理的な評価方法を策定する。

2.3 鉄筋コンクリート躯体に関する点検方法及び判定基準

鉄筋コンクリート構造物への地震の影響については、ひび割れ及び剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検*を主体とした点検を実施した。

また、「基本的な考え方」に従い、人身安全等の観点から歩行できる箇所からの目視点検を実施し、作業員被ばく低減の観点から高線量エリアの点検は行わないこととした。

制御建屋に関しては、壁面付近に盤などが設置されていて目視でコンクリート躯体の確認が行えない箇所が多いことから、外壁に足場を設け、外壁塗膜を除去した上で点検を実施した。

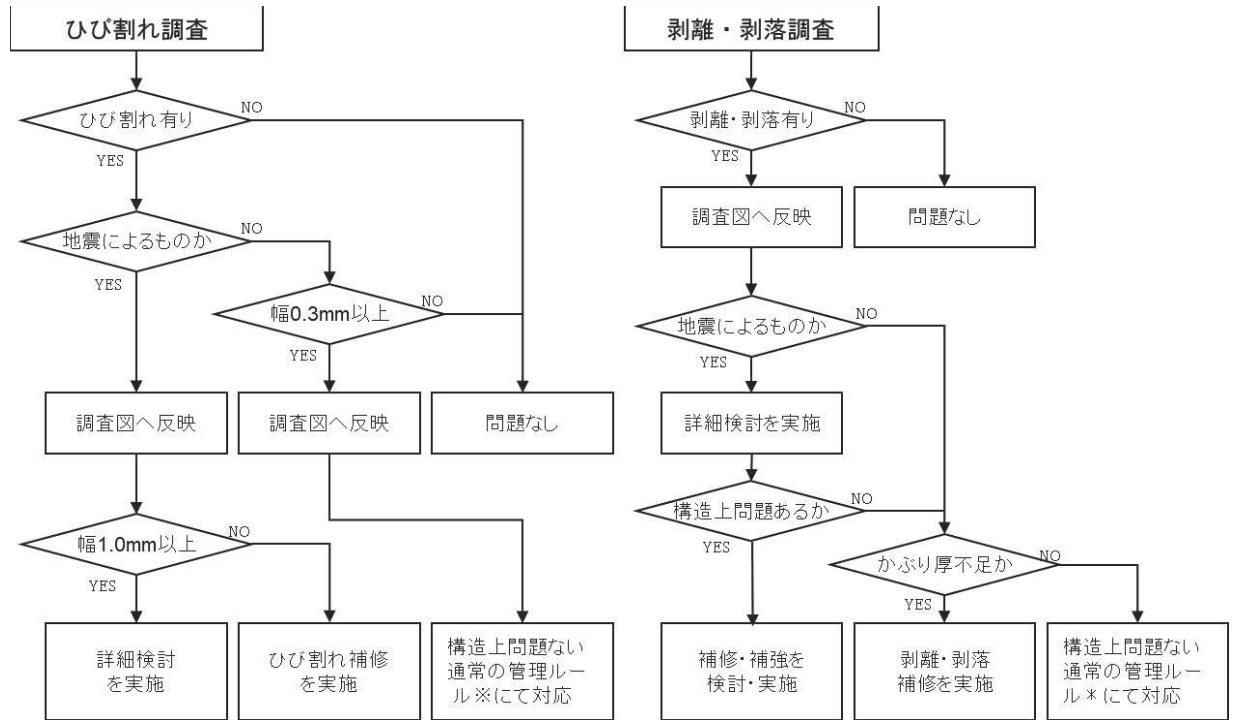
注記*：耐震壁のひび割れは、地震時のせん断力により生じるひび割れを想定しており、主に斜め45度方向に発生すると考えられ、断面方向には若干方向を変えながら進展し、裏面側のほぼ同じ場所にもひび割れを生じると考えられる。また、せん断力により生じるひび割れは、耐震壁全体にほぼ一様にせん断力が加わることから、壁の上部と下部に同様に生じると考えられる。したがって、点検の際には基本的に片側から壁の下部を中心に点検を実施する。

表2-1 点検・評価計画書（建物・構築物編）の「判定基準例一覧」（1）

点検対象	判定基準
生体遮蔽装置	・ 遮蔽性能に影響を与える断面欠損がないこと
原子炉格納施設	・ 構造上問題となるひび割れがないこと （幅1.0mm以上のひび割れがないこと*） ・ 構造上問題となる剥離・剥落がないこと

注記*：EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquakeにおける以下の記載等を参考に設定。

- ① 幅0.06インチ(約1.5mm)を超えて新しく地震によって生じたひび割れ、コンクリートの剥離、目視で確認できるフレームの変形を重大な損傷とする。(0.06インチ以上のコンクリートひび割れは鉄筋の降伏を示している)
- ② コンクリート構造物のわずかなヘアークラックのような微細なひび割れは重要な被害ではない。



注記*：社内マニュアル

図 2-2 地震による影響評価の流れ

2.4 第三者機関による確認

「点検・評価計画書（建物・構築物編）」に従い，点検の計画及び点検結果の妥当性について，第三者機関の確認を受けている。

体制を図 2-3 に示す。

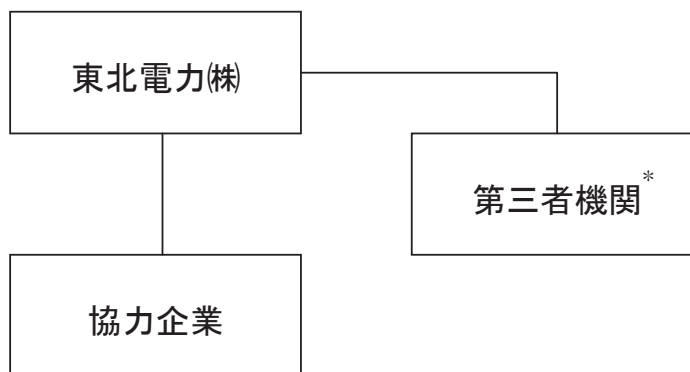


図 2-3 点検・評価の体制

注記*：建物の点検に関わる第三者機関は，「一般社団法人 建築研究振興協会」（国土交通省所管）

3. 耐震壁のひび割れ分布の点検結果

3.1 ひび割れ分布の記録

表 3-1 のとおり，地震によるひび割れは，幅に関わらず全て展開図に記録し，幅 0.3mm 以上の地震によらないひび割れについても展開図に記録した。

なお，幅 0.3mm 未満の乾燥収縮ひび割れ等の地震によらない微細なひび割れも見られるものの，本点検では対象としていない。

ひび割れ調査結果を付録 1 に示す。

表 3-1 記録の対象（展開図）

ひび割れの種類	ひび割れ幅	
	$W < 0.3\text{mm}$	$0.3\text{mm} \leq W$
地震によるひび割れ (地震が原因ではないと明確に判断できないひび割れを含む)	記録する	記録する
地震によらないひび割れ	調査は行うが記録しない	記録する

付録 1 のひび割れ分布図より，追加調査の目安となる地震により生じた幅 1.0mm 以上のひび割れ（図中の凡例は赤の太線）は確認されなかった。また，剥離，剥落も確認されなかった。

参考にひび割れの発生例を図 3-1 に示す。

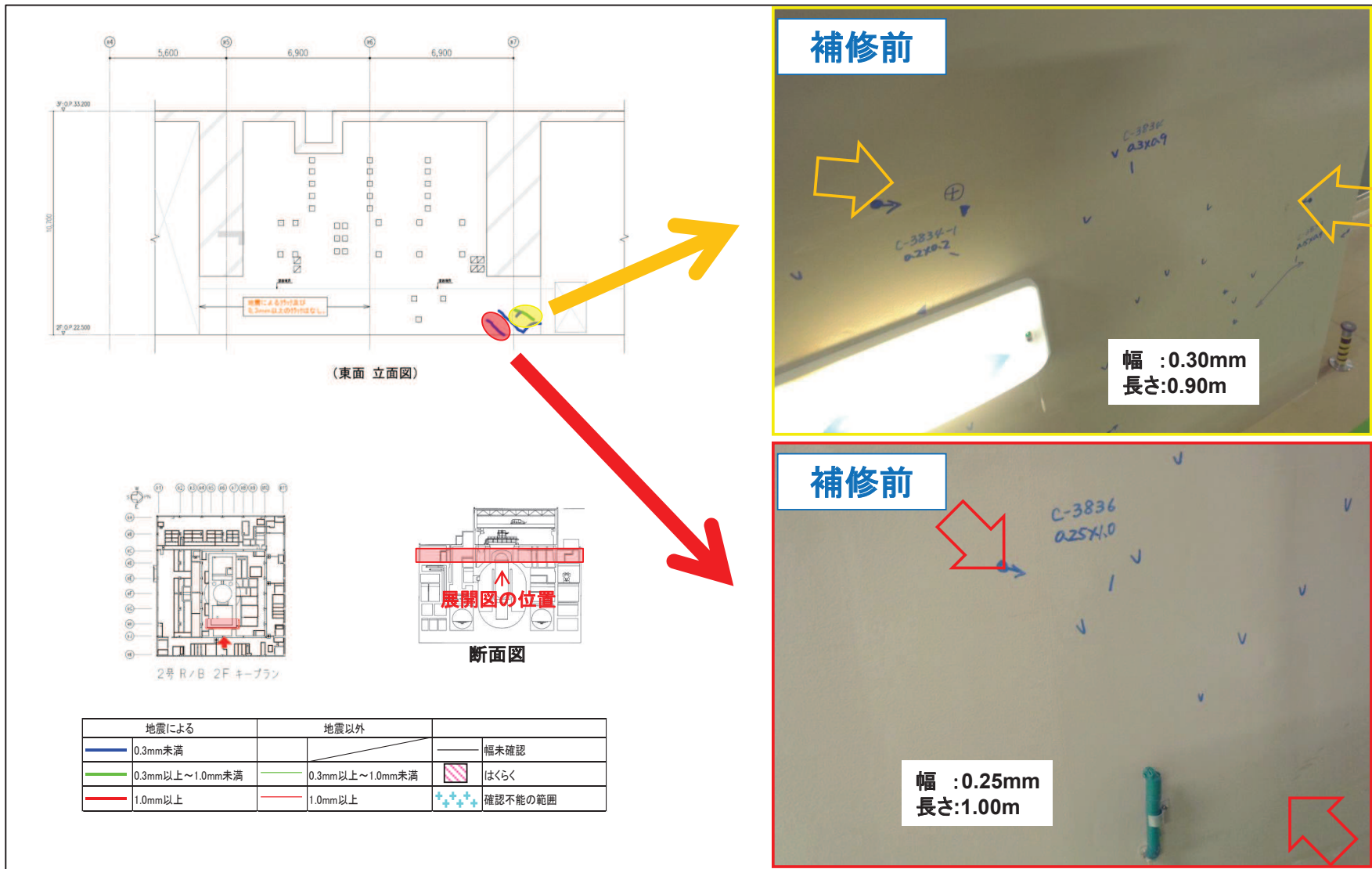


図 3-1 鉄筋コンクリート躯体のひび割れの例 (原子炉建屋地上 2 階)

4. 地震後の補修

4.1 地震後のひび割れ補修

地震による壁のひび割れについては、鉄筋コンクリートの耐久性維持の観点から、ひび割れ幅及び塗装の有無に応じて適切な補修方法を選択し実施する。

また、床等に発生している地震以外によって発生しているひび割れについては、鉄筋コンクリートの耐久性維持の観点から、従来通りひび割れ幅に応じて社内ルールに基づく補修を実施している。

補修工法の例を図4-1に示す。

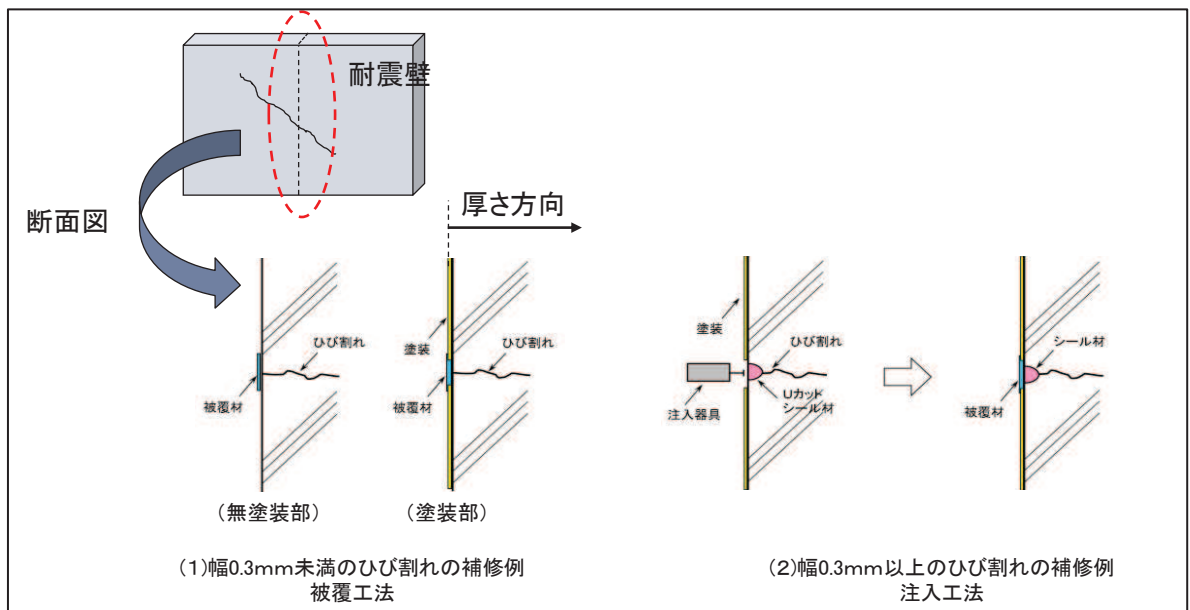


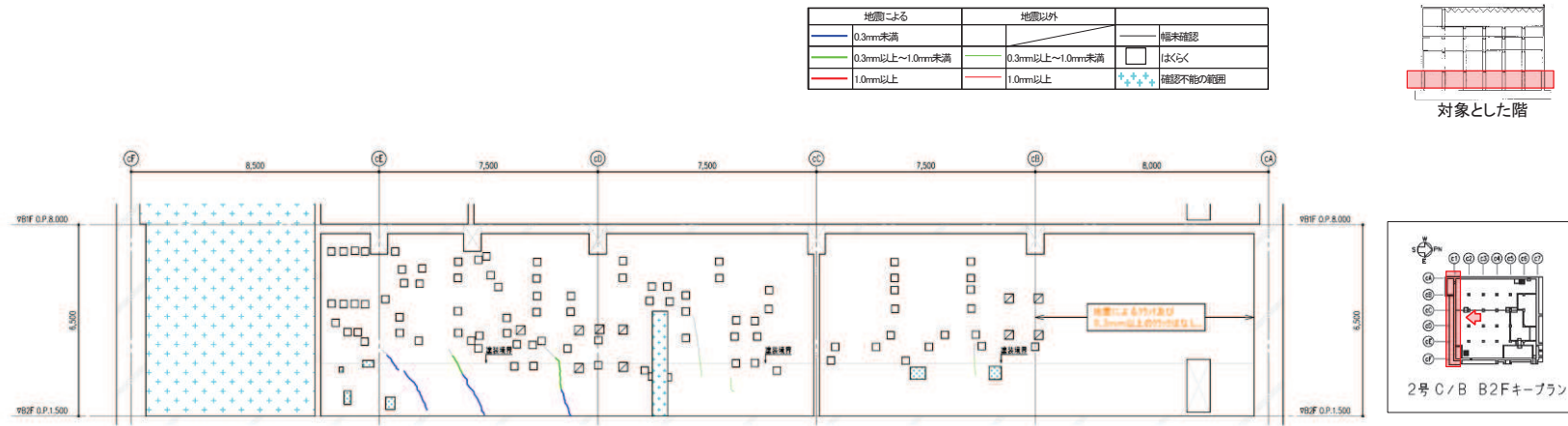
図4-1 補修工法例

5. まとめ

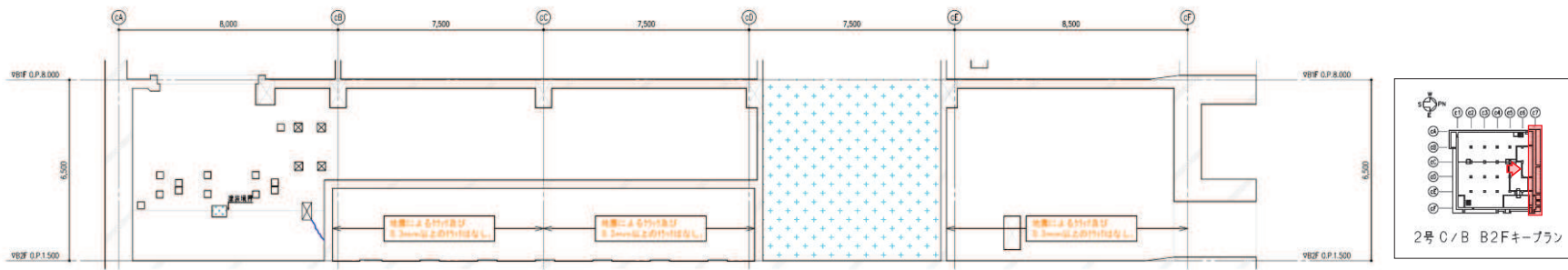
3.11地震及び4.7地震後の点検の結果、制御建屋の耐震壁には、地震により生じた幅1.0mmを超えるひび割れ、および剥離・剥落は確認されなかった。

なお、地震後の点検で確認されたひび割れについては、継続的に補修を実施している。

付録 1 制御建屋のひび割れ分布

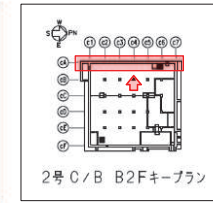
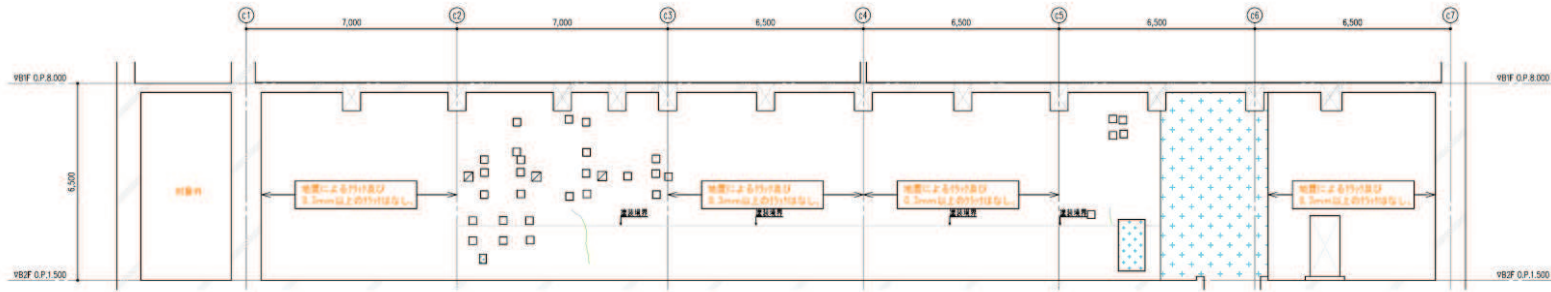
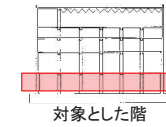


付図-1 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (1) 地下2階 C1 通り

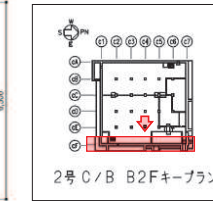
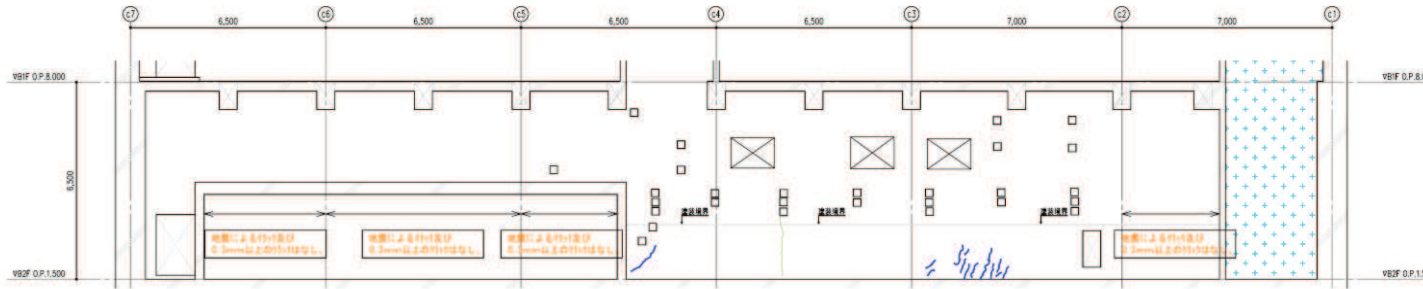


付図-2 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (2) 地下2階 C7 通り

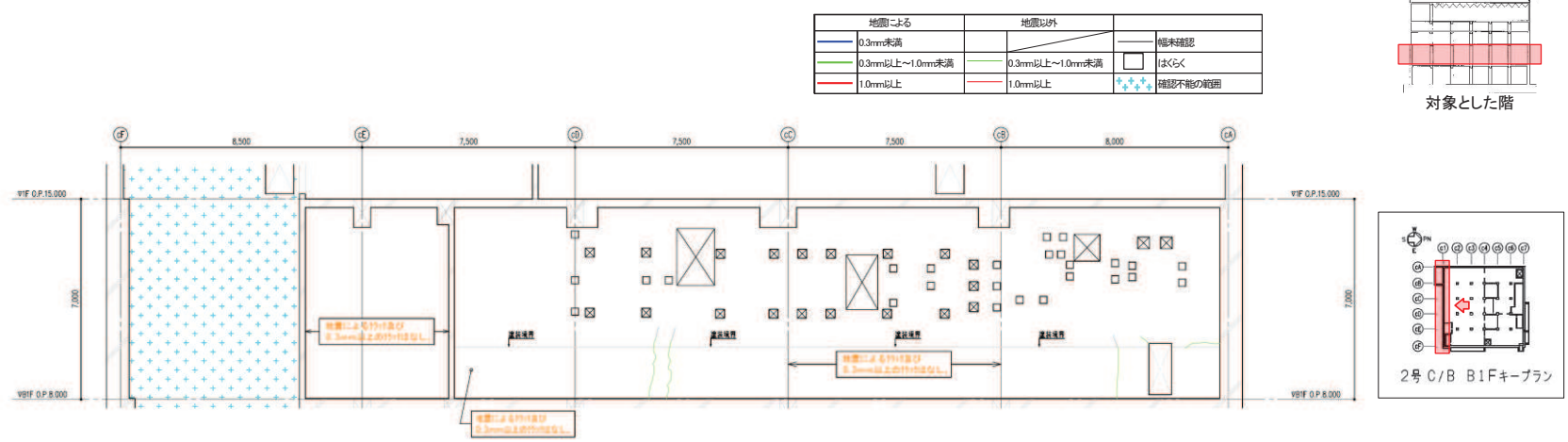
地震による		地震以外	
0.3mm未満			幅未確認
0.3mm以上~1.0mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満	はらく
1.0mm以上		1.0mm以上	確認不能の範囲



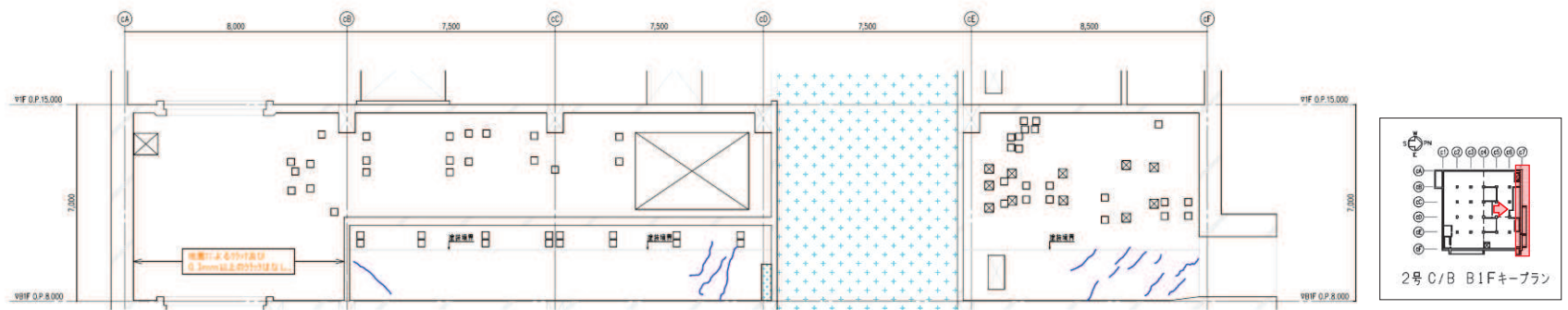
付図-3 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (3) 地下2階 CA 通り



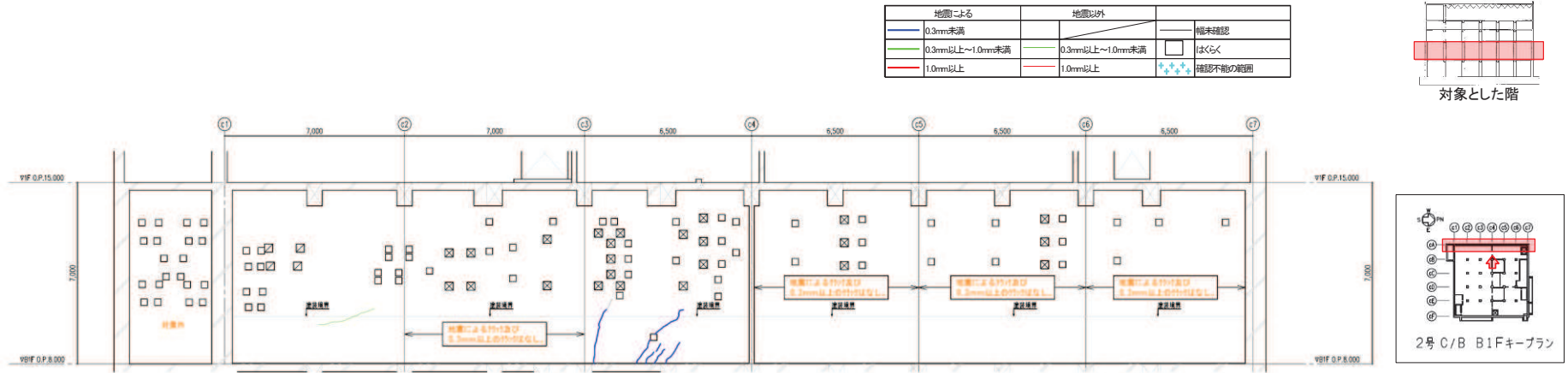
付図-4 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (4) 地下2階 CF 通り



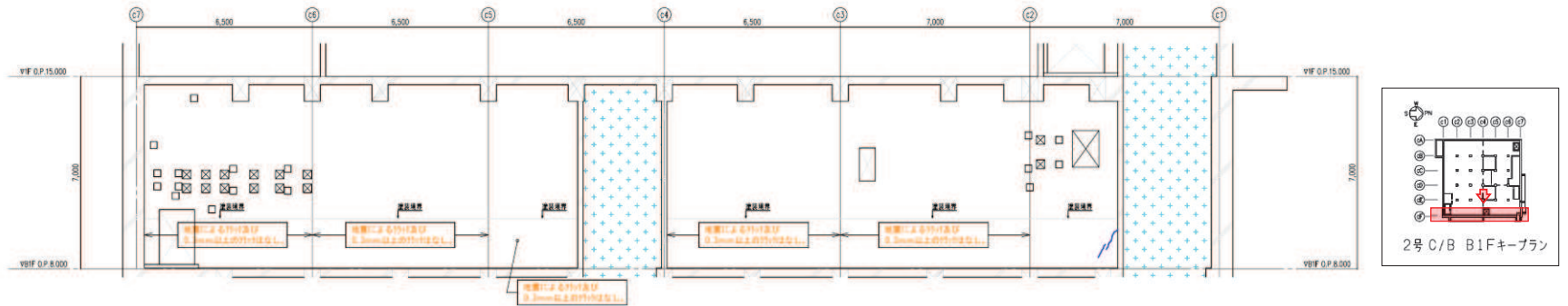
付図-5 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (5) 地下1階 C1 通り



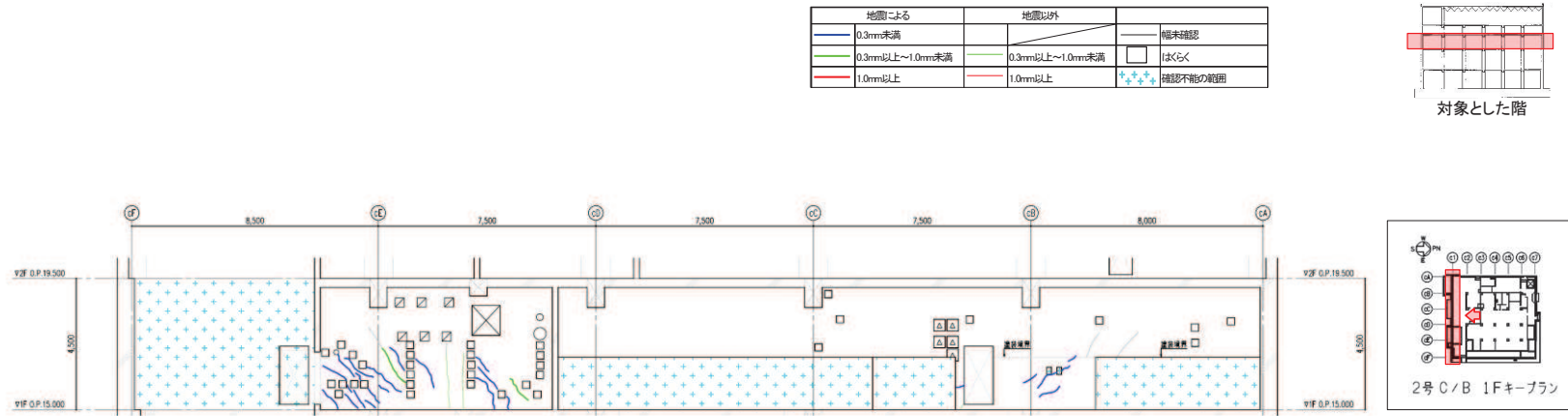
付図-6 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (6) 地下1階 C7 通り



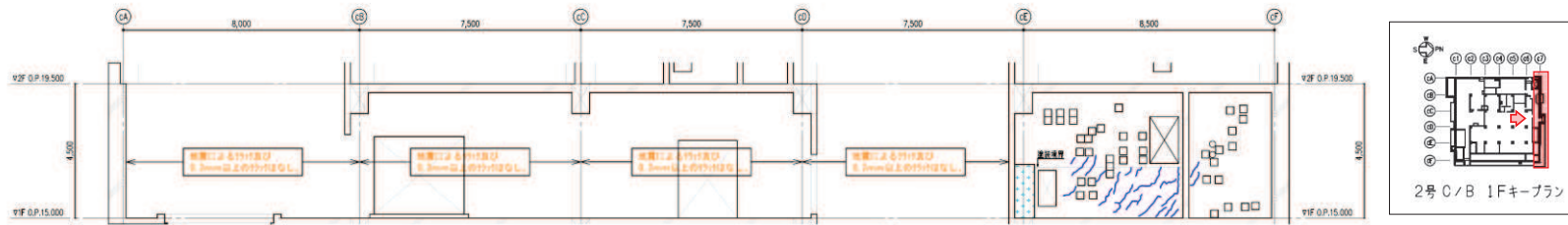
付図-7 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (7) 地下1階 CA 通り



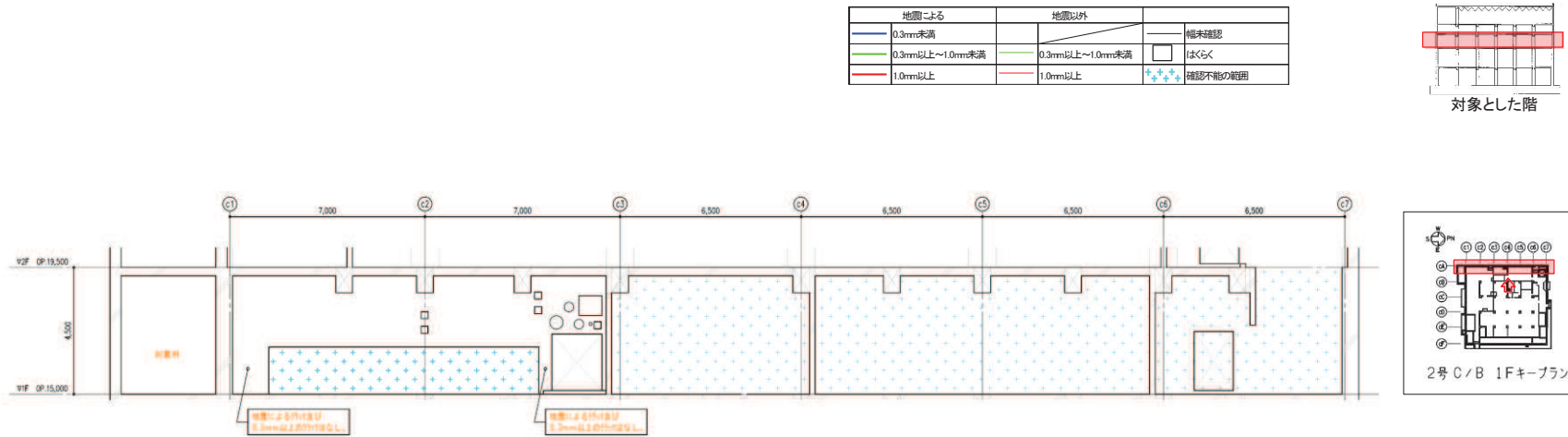
付図-8 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (8) 地下1階 CF 通り



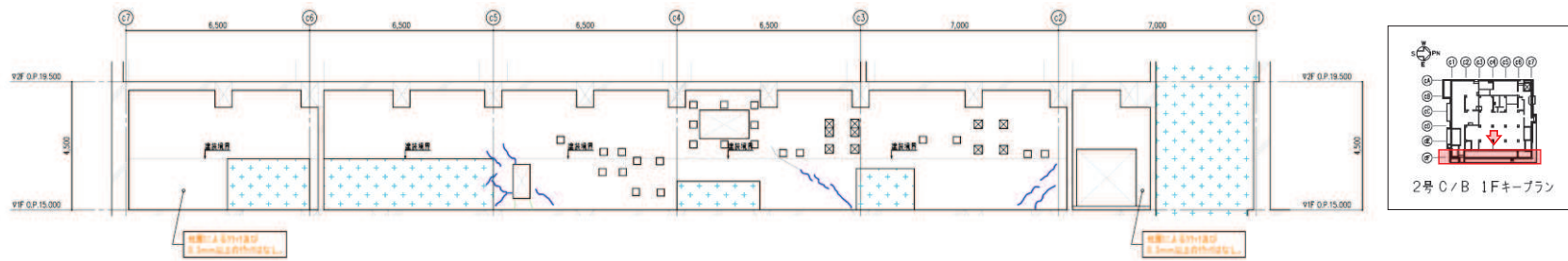
付図-9 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (9) 1階 C1 通り



付図-10 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (10) 1階 C7 通り

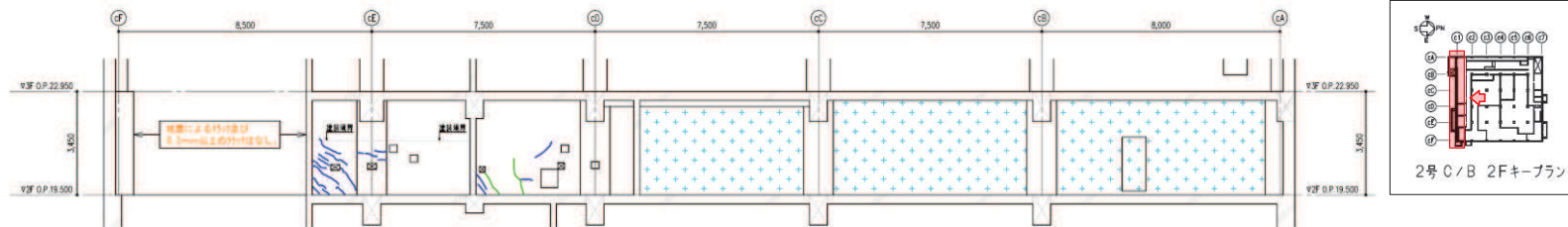
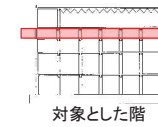


付図-11 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (11) 1階 CA 通り

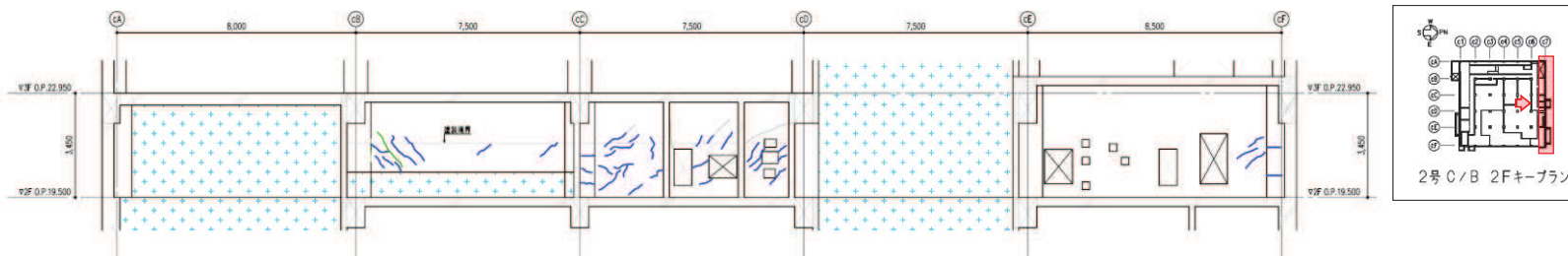


付図-12 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (12) 1階 CF 通り

地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		確認不能
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲



付図-13 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (13) 2階 C1 通り

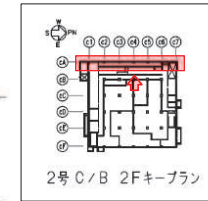
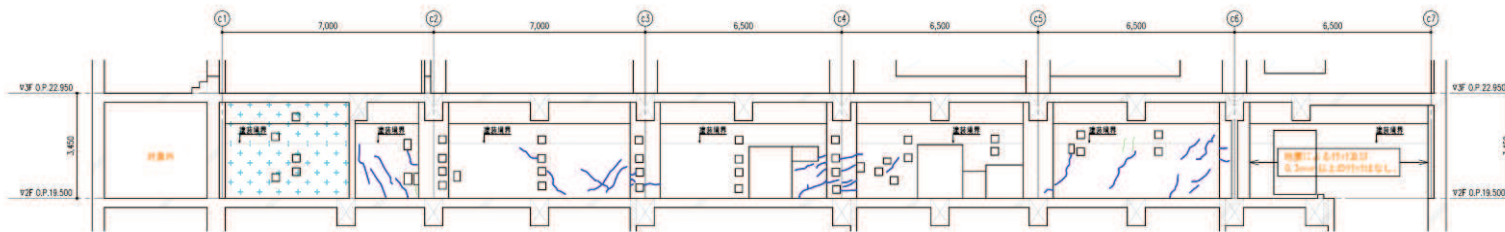


付図-14 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (14) 2階 C7 通り

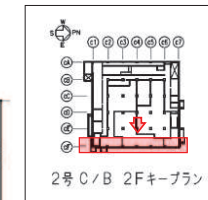
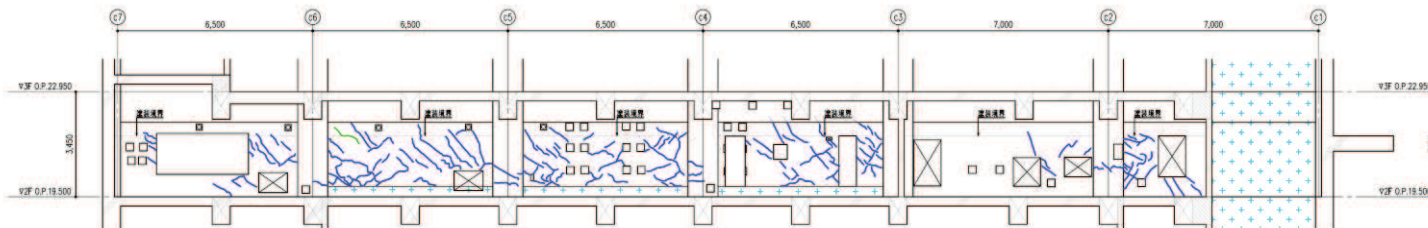
地震による		地震以外	
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上
	1.0mm以上		確認不能の範囲



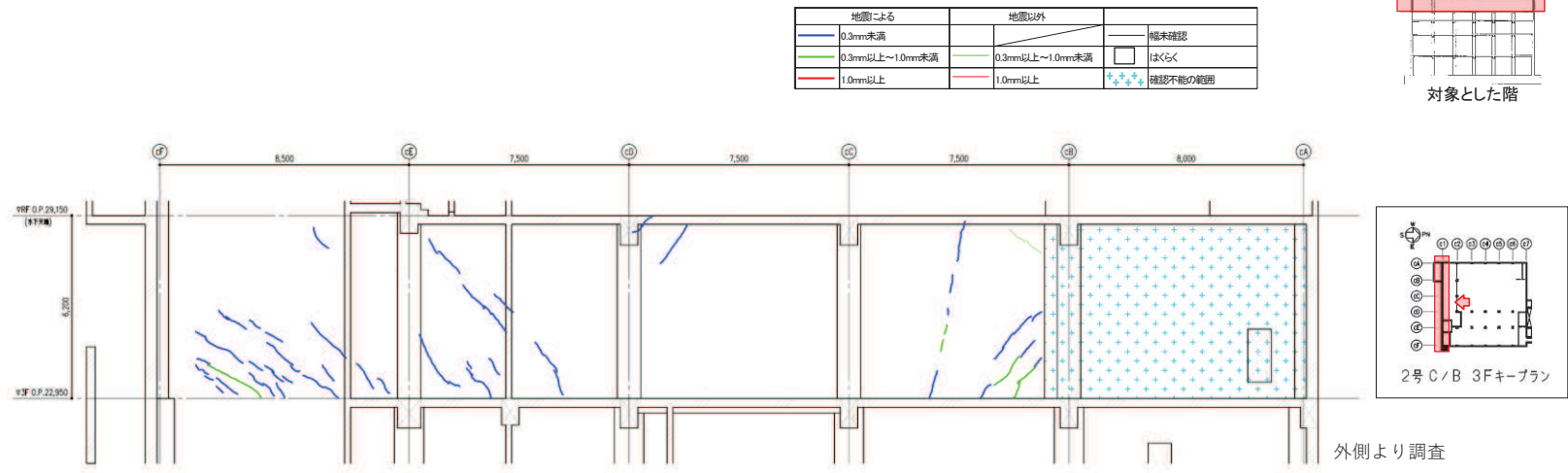
対象とした階



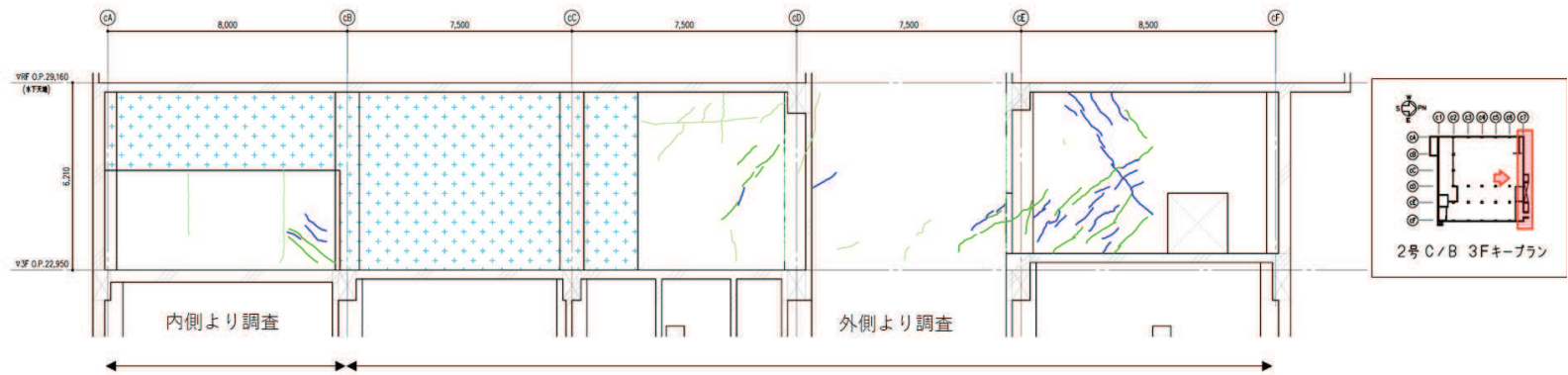
付図-15 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (15) 2階 CA 通り



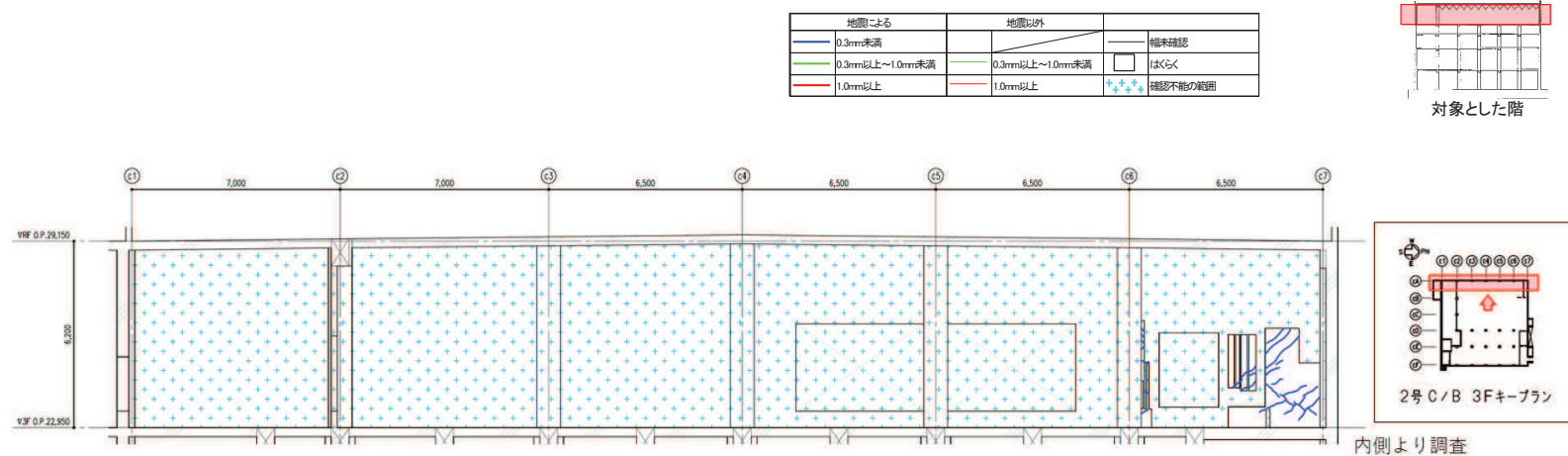
付図-16 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (16) 2階 CF 通り



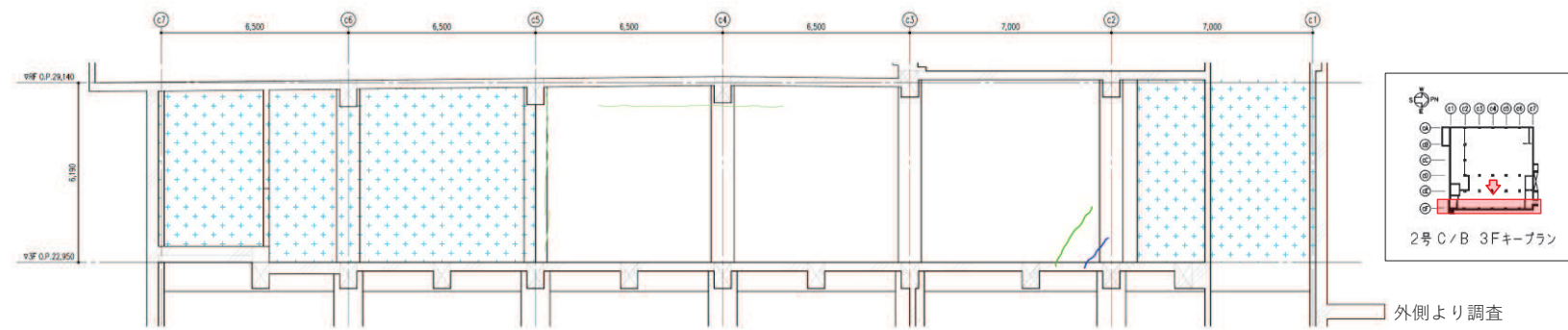
付図-17 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (17) 3階 C1 通り



付図-18 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (18) 3階 C7 通り



付図-19 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (19) 3階 CA 通り



付図-20 制御建屋のひび割れ分布 耐震壁 (20) 3階 CF 通り

別紙 1-2 東北地方太平洋沖地震等に対する制御建屋の
シミュレーション解析

目 次

1. はじめに	別紙 1-2- 1
2. シミュレーション解析	別紙 1-2- 2
2.1 地震計の配置	別紙 1-2- 2
2.2 耐震壁の評価	別紙 1-2- 4
2.2.1 地震応答解析の概要	別紙 1-2- 4
2.2.2 水平方向の地震応答解析モデル	別紙 1-2- 8
2.2.3 鉛直方向の地震応答解析モデル	別紙 1-2-17
2.2.4 地震応答解析結果	別紙 1-2-18
2.2.5 耐震壁の評価結果	別紙 1-2-33
2.3 接地圧の評価	別紙 1-2-52
3. 評価結果のまとめ	別紙 1-2-55

別紙 1-2-1 制御建屋の追設地震計による地震観測記録を用いた建屋モデルの検討

1. はじめに

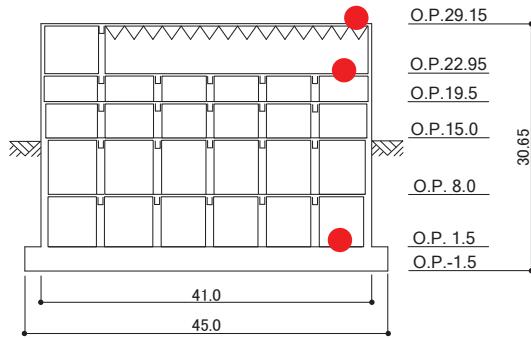
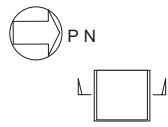
制御建屋について、3.11 地震及び 4.7 地震の 2 つの地震に対して、建屋の振動特性を確認すること及び建屋に構造的な影響が生じていないか確認することを目的としてシミュレーション解析を実施する。

地震による制御建屋の構造的な影響評価は、建屋の質点系モデルを用いて建屋内に設置された地震計の観測記録によるシミュレーション解析を行い、地震時の応力に対し鉄筋が弾性範囲内にあることを確認することにより実施する。

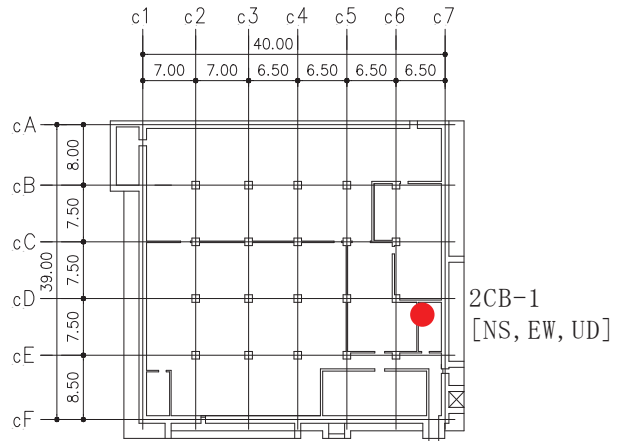
2. シミュレーション解析

2.1 地震計の配置

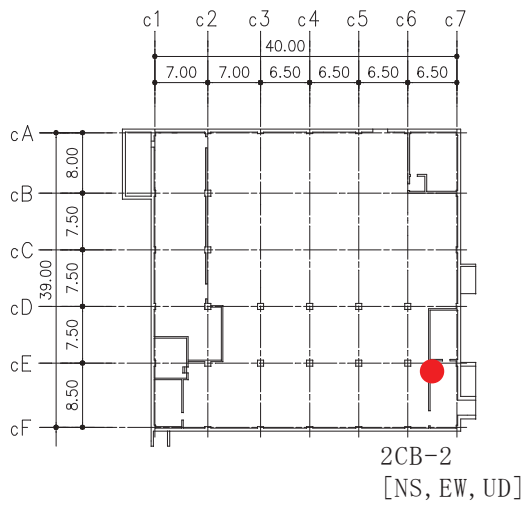
制御建屋における地震計配置図（断面図及び平面図）を図 2-1 に示す。



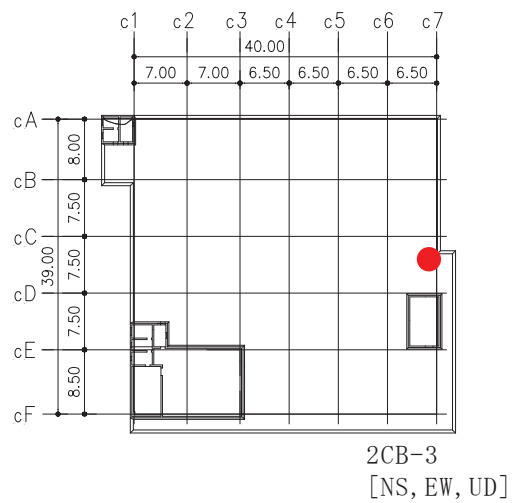
断面図



基礎版上 (O. P. 1.5m)



地上 3 階 (O. P. 22.95m)



屋上階 (O. P. 29.15m)

図 2-1 地震計配置図

2.2 耐震壁の評価

2.2.1 地震応答解析の概要

当該地震に対する制御建屋の地震応答解析は、基礎版上における水平方向及び鉛直方向の地震観測記録を用いた解析（水平：非線形解析，鉛直：線形解析）とした。

解析モデルへの入力地震動は、制御建屋の基礎版上での観測記録を線形解析モデルの基礎版上に入力し、基礎版上から建屋底面ばね外の伝達関数を用いて算定する。

解析結果と観測記録の整合性は、制御建屋各階における最大応答加速度及び加速度応答スペクトルについて観測記録との比較によって確認する。

入力地震動の算出概念図を図 2-2 に示す。

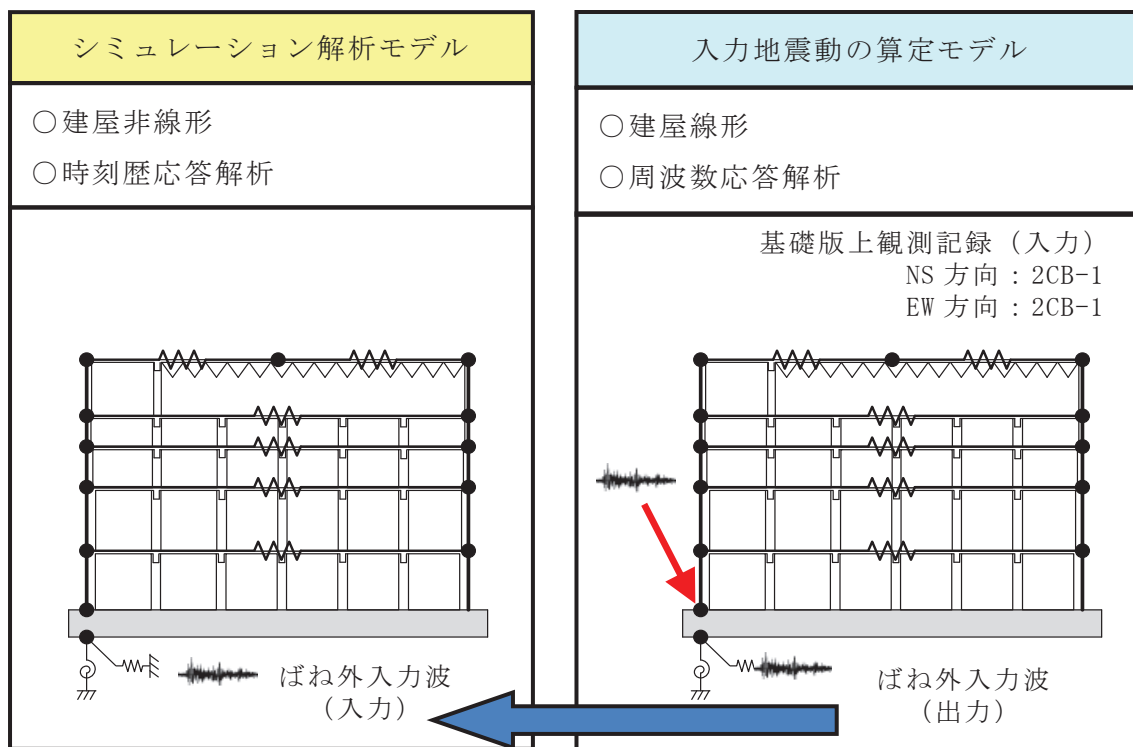


図 2-2 入力地震動の算出概念図

解析モデルは、地震観測記録と解析結果が整合するように次の3項目を見直して新たな解析モデルを構築した。

解析モデルの諸元の設定について表2-1に水平方向、表2-2に鉛直方向について示す。

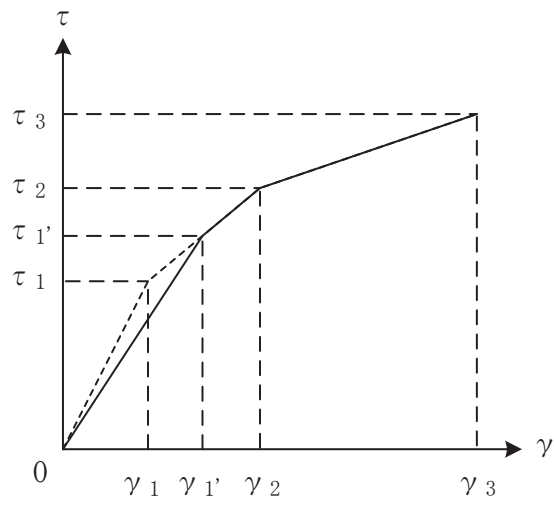
- ① 鉄筋コンクリート部の剛性評価は、耐震壁について観測記録と整合するように等価な剛性として設定し、図2-3に示すように復元力特性の第1勾配は既工認時から見直した。建屋全体に一律の等価な剛性を設定した。
- ② 建屋の減衰定数は、観測記録と整合するように解析では全て鉄筋コンクリート部の減衰定数に代表させて再設定した。また、水平2方向には同じ減衰定数とした。
- ③ 既工認では1軸多質点系モデルとしていたが、別途実施した地震後の点検結果から、通りによってひび割れ発生の傾向が異なることが確認されたことから、多軸多質点系モデルとし、床の柔性を考慮した。また、屋上の地震観測記録の再現性の観点から、屋上階は中央質点を設定した。

表 2-1 解析モデル諸元の設定（水平方向）

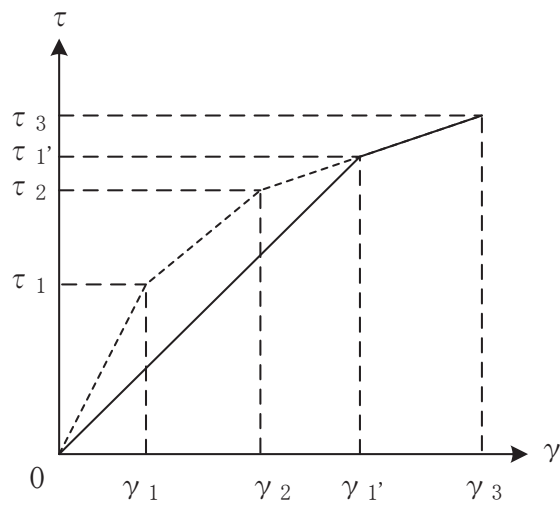
項 目		シミュレーション解析 (当該地震による評価)
応答計算法		時刻歴応答解析(非線形解析)
入力地震動		入力地震動の算定モデルで求めた 基礎底面ばね外における地震動
剛性評価	考慮範囲	耐震壁
	ヤング係数(E) せん断弾性係数(G)	観測記録との整合性を踏まえ再設定
	剛性・復元力特性の 設定の考え方	観測記録と整合する等価な剛性のモデル化は、耐震壁のヤング係数・せん断弾性係数を再設定することにより行い、復元力特性は設計基準強度に基づくスケルトンカーブに接続。 建屋全体に一律の等価剛性を設定。
減衰定数	鉄筋コンクリート	5% (ひずみエネルギー比例型)
	減衰定数設定の 考え方	観測記録のみかけの減衰に対して、解析では全て鉄筋コンクリート部の減衰に代表させた。 なお、水平2方向は同じ値を採用。
解析 モデル	建屋-地盤相互作用	スウェイ・ロッキングモデル (側面地盤との相互作用は考慮しない)
	建屋モデル	質点系多軸モデル 床の柔性考慮
	地盤ばね	J E A Gによる近似法

表 2-2 解析モデル諸元の設定（鉛直方向）

項 目		シミュレーション解析 (当該地震による評価)
応答計算法		時刻歴応答解析(線形解析)
入力地震動		入力地震動の算定モデルで求めた 基礎底面ばね外における地震動
剛性評価	考慮範囲	耐震壁
	ヤング係数(E) せん断弾性係数(G)	コンクリートの設計基準強度に基づく
減衰定数	鉄筋コンクリート	5% (ひずみエネルギー比例型)
解析モデル	建屋-地盤相互作用	底面地盤ばねで考慮 (側面地盤との相互作用は考慮しない)
	建屋モデル	質点系1軸モデル
	地盤ばね	J E A Gによる近似法



(a) 補正後の初期剛性が第 2 勾配と交わる場合



(b) 補正後の初期剛性が第 3 勾配と交わる場合

図 2-3 等価な剛性の設定による復元力特性見直しの例

2.2.2 水平方向の地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、図 2-4 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋 - 地盤連成系モデルとした。また、各質点間の床は面内にせん断変形するものとした。

観測記録と整合するように設定した鉄筋コンクリート部の等価なヤング係数、せん断弾性係数及び減衰定数を表 2-3 に示す。なお、床のばね値の算定に用いたコンクリートの物性値は設計基準強度に基づく値を用いている。また、耐震壁のせん断応力度 - せん断ひずみ度関係 ($\tau - \gamma$ 関係) を図 2-5 に示すようなトリリニア型スケルトンカーブに置換し、復元力特性は図 2-6 に示すような最大点指向型履歴ループを用いる。耐震壁の曲げモーメント - 曲率関係 ($M - \phi$ 関係) は図 2-7 に示すようなトリリニア型スケルトンカーブに置換し、復元力特性は図 2-8 に示すような履歴ループを用いる。各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトンカーブの諸数値を表 2-4 及び表 2-5 に示す。

水平方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねのスウェイ及びロッキングばね定数は、振動アドミタンス理論に基づいて近似的に評価した。

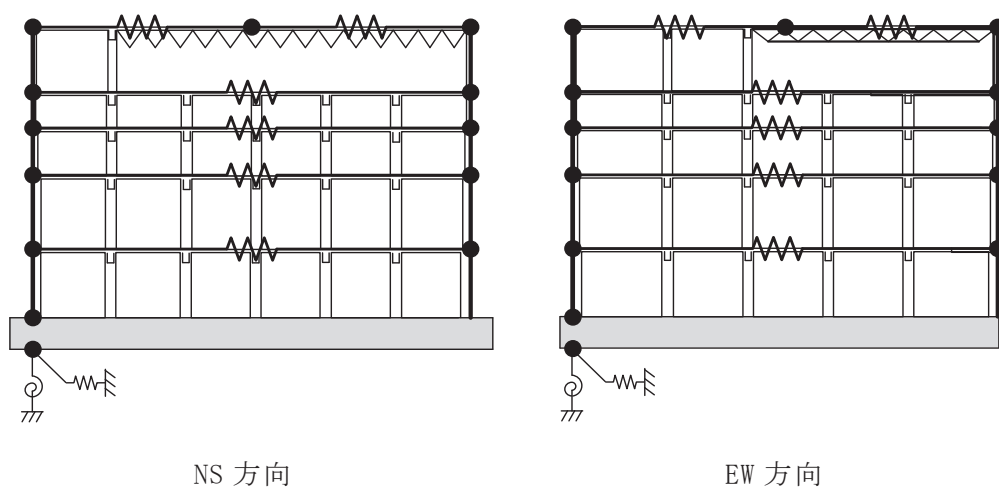


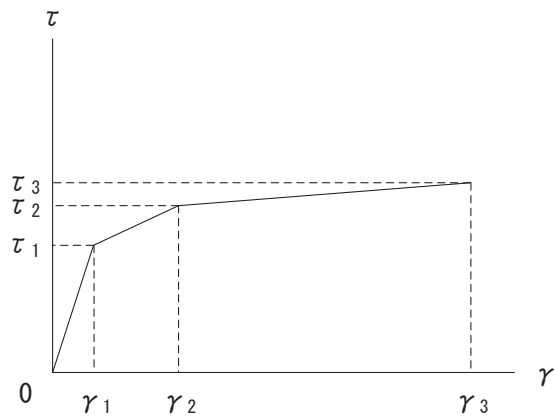
図 2-4 地震応答解析モデル (水平方向)

表 2-3 水平方向の地震応答解析に用いる物性値

材 料	方向	初期剛性 補正係数*	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
コンクリート	NS	0.40	10.59×10^3	4.55×10^3	5
	EW	0.50	13.24×10^3	5.69×10^3	5

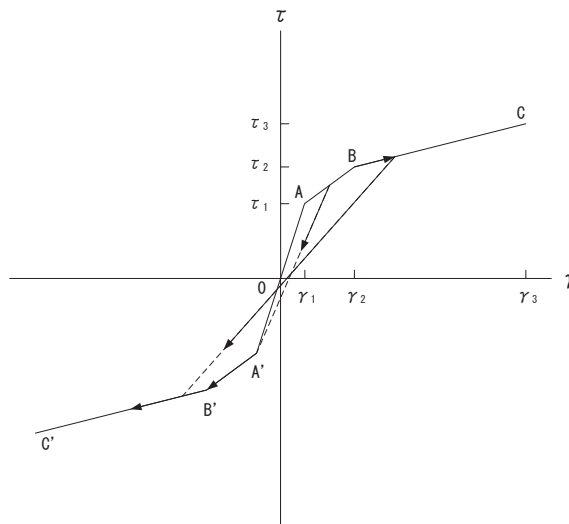
注記*：初期剛性補正係数は、観測記録と整合するように設定した耐震壁の初期剛性の既工認（設計基準強度に基づく初期剛性）に対する係数

既工認	ヤング係数	2.65×10^4 N/mm ²
	せん断弾性係数	1.14×10^4 N/mm ²



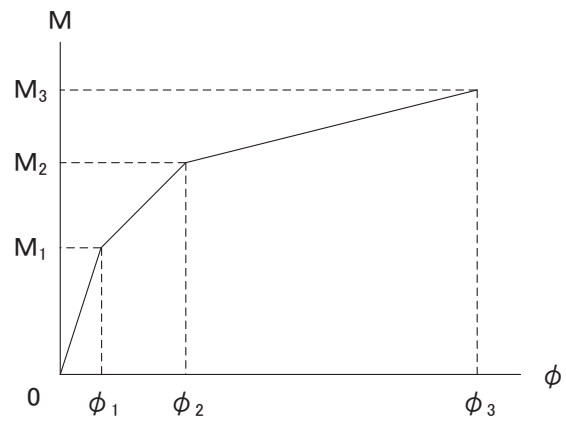
- τ_1 : 第1折点のせん断応力度
- τ_2 : 第2折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第1折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第2折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ ($=4 \times 10^{-3}$)

図 2-5 せん断応力度－せん断ひずみ関係



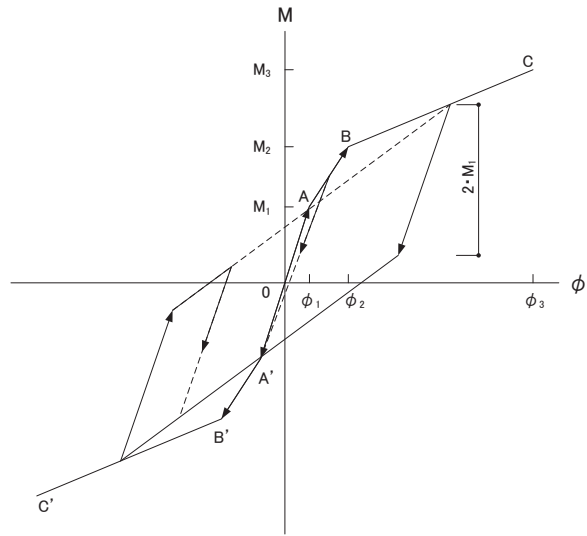
- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていない時は負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間：負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 2-6 せん断応力度－せん断ひずみ関係の復元力特性



- M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント
- M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント
- M_3 : 終局点の曲げモーメント
- ϕ_1 : 第 1 折点の曲率
- ϕ_2 : 第 2 折点の曲率
- ϕ_3 : 終局点の曲率

図 2-7 曲げモーメントー曲率関係



- a. 0-A 間：弾性範囲
- b. A-B 間：負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていない時は負側第 1 折点に向かう。
- c. B-C 間：最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を越えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点はスケルトン上を移動することにより更新される。

図 2-8 曲げモーメントー曲率関係の復元力特性

表 2-4(1) せん断力のスケルトンカーブ数値表(NS 方向)
(剛性補正係数 0.40)

CF

0. P. (m)	τ_1' (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1' ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.65	—	5.68	0.583	—	4.00
22.95 ~ 19.50	2.84	—	6.56	0.623	—	4.00
19.50 ~ 15.00	2.83	—	6.62	0.621	—	4.00
15.00 ~ 8.00	2.87	—	6.75	0.630	—	4.00
8.00 ~ 1.5	2.90	—	6.56	0.638	—	4.00

CA

0. P. (m)	τ_1' (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1' ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.65	—	5.71	0.583	—	4.00
22.95 ~ 19.50	2.84	—	6.56	0.623	—	4.00
19.50 ~ 15.00	2.83	—	6.62	0.621	—	4.00
15.00 ~ 8.00	2.87	—	6.76	0.630	—	4.00
8.00 ~ 1.5	2.90	—	6.57	0.638	—	4.00

表 2-4(2) せん断力のスケルトンカーブ数値表(EW 方向)
(剛性補正係数 0.50)

C1

0. P. (m)	τ_1' (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1' ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.41	2.56	5.70	0.423	0.500	4.00
22.95 ~ 19.50	2.55	2.71	6.56	0.448	0.529	4.00
19.50 ~ 15.00	2.54	2.70	6.60	0.446	0.527	4.00
15.00 ~ 8.00	2.57	2.73	6.73	0.452	0.534	4.00
8.00 ~ 1.5	2.61	2.78	6.55	0.460	0.543	4.00

C7

0. P. (m)	τ_1' (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1' ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
29.15 ~ 22.95	2.41	2.56	5.68	0.423	0.500	4.00
22.95 ~ 19.50	2.55	2.71	6.56	0.448	0.529	4.00
19.50 ~ 15.00	2.54	2.70	6.61	0.446	0.527	4.00
15.00 ~ 8.00	2.57	2.73	6.74	0.452	0.534	4.00
8.00 ~ 1.5	2.62	2.78	6.54	0.460	0.543	4.00

表 2-5(1) 曲げモーメントのスケルトンカーブ数値表(NS 方向)
(剛性補正係数 0.40)

CF

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.77	8.75	11.4	1.25	4.63	92.8
22.95 ~ 19.50	10.6	17.6	24.0	1.83	5.02	100
19.50 ~ 15.00	16.4	27.5	38.0	2.17	5.11	102
15.00 ~ 8.00	25.8	41.6	58.6	2.52	5.23	105
8.00 ~ 1.5	32.8	53.2	73.9	2.48	5.27	105

CA

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.89	8.91	11.6	1.25	4.64	92.8
22.95 ~ 19.50	10.6	17.6	24.0	1.83	5.02	100
19.50 ~ 15.00	17.6	29.7	41.0	2.17	5.11	102
15.00 ~ 8.00	28.1	45.4	64.0	2.52	5.23	105
8.00 ~ 1.5	34.0	55.1	76.6	2.48	5.28	105

表 2-5(2) 曲げモーメントのスケルトンカーブ数値表(EW 方向)
(剛性補正係数 0.50)

C1

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.90	9.78	12.9	0.998	4.81	96.2
22.95 ~ 19.50	9.01	17.0	22.9	1.30	5.12	102
19.50 ~ 15.00	13.8	28.2	38.8	1.45	5.24	105
15.00 ~ 8.00	20.9	43.1	58.7	1.58	5.32	106
8.00 ~ 1.5	26.1	53.0	72.8	1.60	5.37	107

C7

O. P. (m)	M_1' ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_2 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	M_3 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)	ϕ_1' ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}/\text{m}$)
29.15 ~ 22.95	6.29	8.92	11.8	0.998	4.81	96.2
22.95 ~ 19.50	9.01	17.0	22.9	1.30	5.12	102
19.50 ~ 15.00	12.7	25.9	35.6	1.45	5.24	105
15.00 ~ 8.00	19.6	40.5	55.1	1.58	5.32	106
8.00 ~ 1.5	25.1	50.8	69.8	1.60	5.37	107

2.2.3 鉛直方向の地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、図 2-9 に示すように、建屋を軸変形する耐震壁部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋-地盤連成系モデルとした。

観測記録と整合するように設定した鉄筋コンクリート部のヤング係数、せん断弾性係数及び減衰定数を表 2-6 に示す。なお、これらの剛性及び減衰定数は既工認に基づく値とした。

基礎底面地盤ばねの鉛直ばね定数は、振動アドミタンス理論に基づいて近似的に評価した。

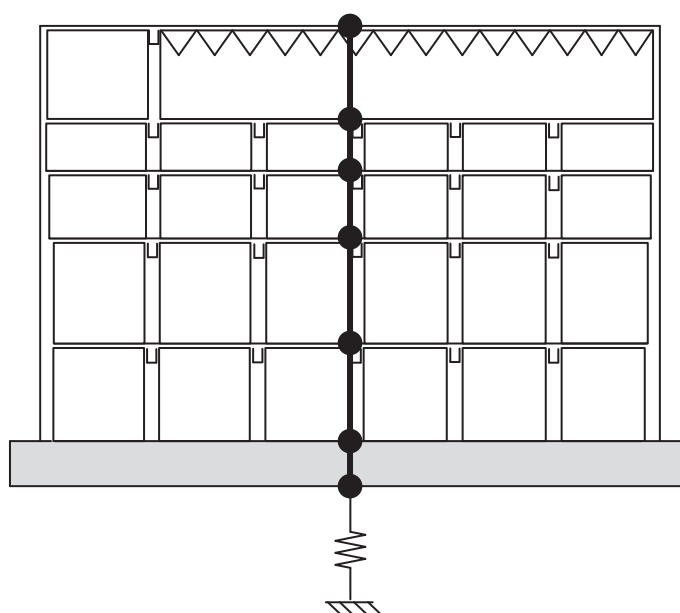


図 2-9 地震応答解析モデル（鉛直方向）

表 2-6 鉛直方向の地震応答解析に用いる物性値

材 料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コンクリート	2.65 × 10 ⁴	1.14 × 10 ⁴	5

2.2.4 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向，EW 方向，UD 方向の最大応答加速度，最大応答変位及び加速度応答スペクトルと 3.11 地震の観測記録との比較を図 2-10～図 2-14 に，4.7 地震との比較を図 2-15～図 2-19 に示す。解析モデルの固有値解析結果を表 2-7 及び図 2-20 に示す。

これより，観測記録と解析結果の各方向の最大応答加速度，最大応答変位及び加速度応答スペクトルは概ね整合していることを確認した。

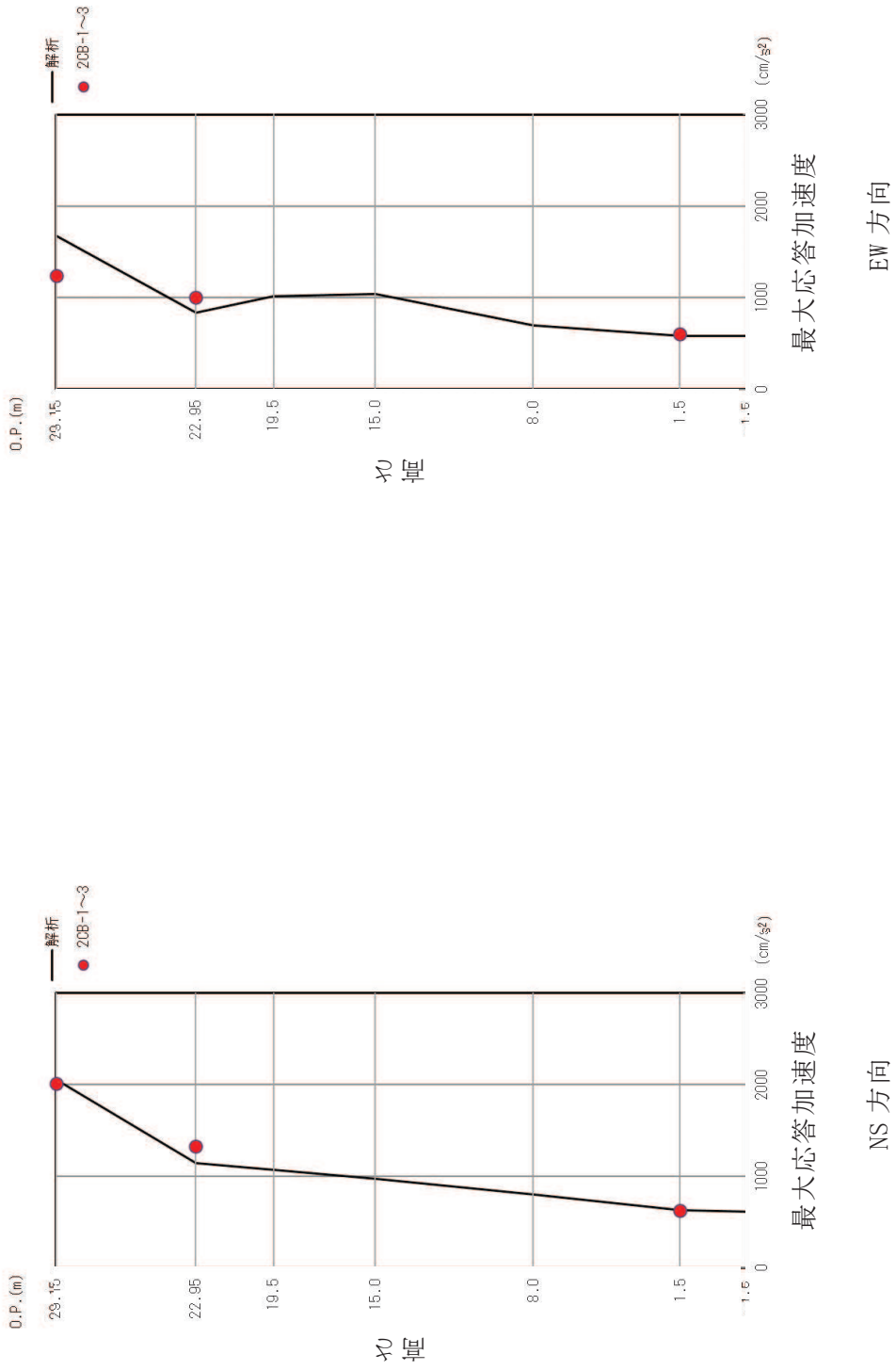


図 2-10 最大応答加速度の比較 (3.11 地震, 水平方向)

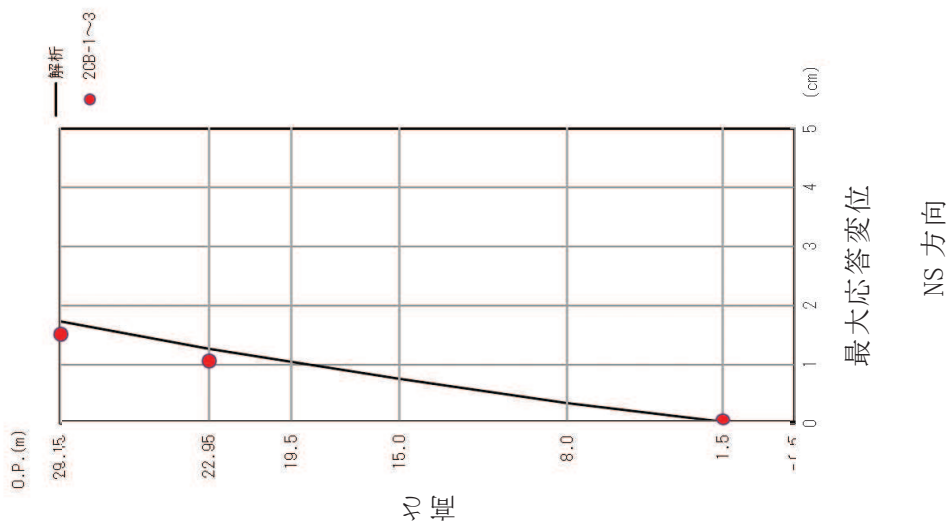
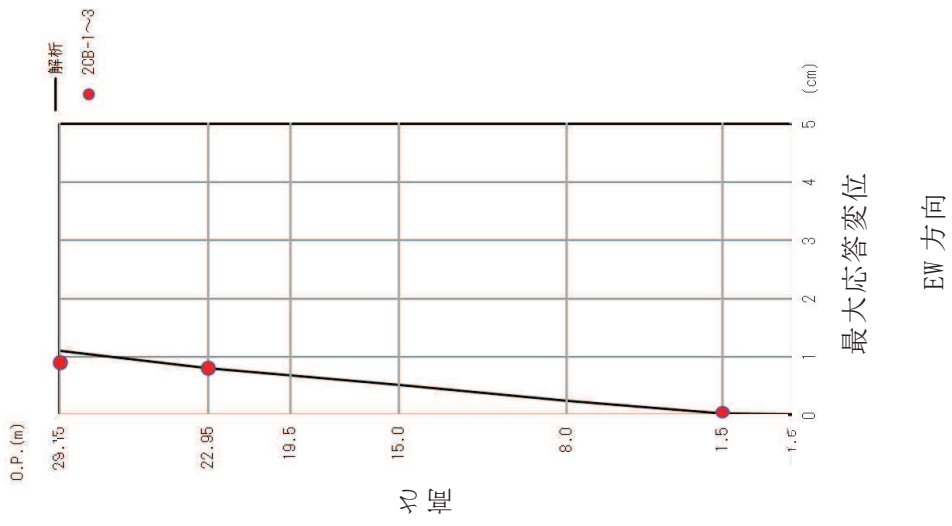
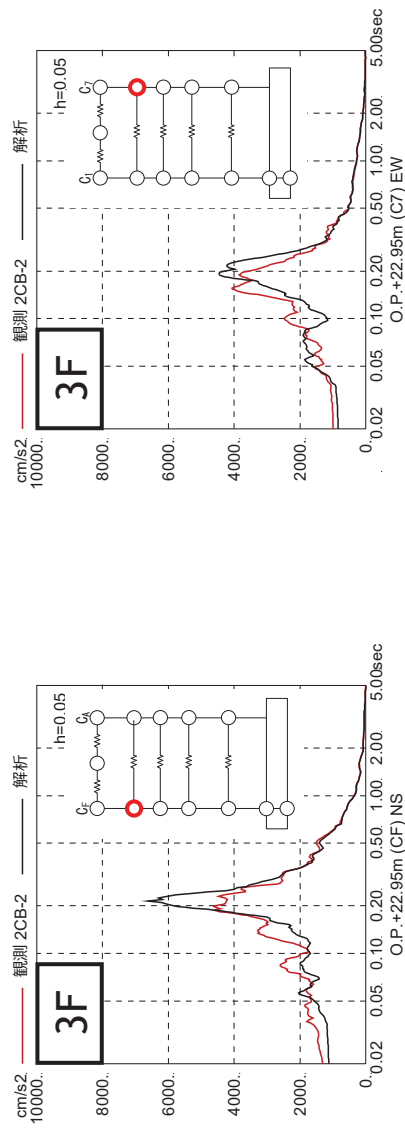
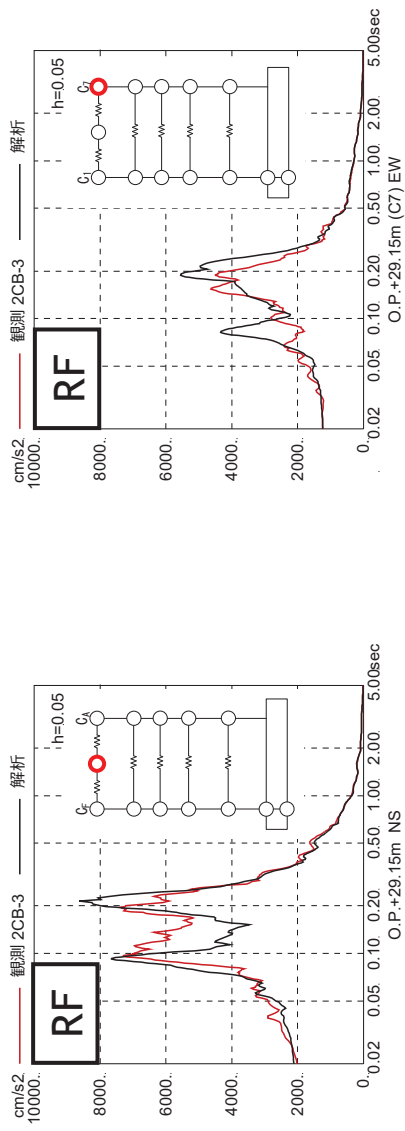


図 2-11 最大応答変位の比較 (3.11 地震, 水平方向)

※RF (138ch) の記録は

最大値が振り切り切れているため参考扱い



NS 方向

EW 方向

図 2-12 加速度応答スペクトルの比較 (3.11 地震)

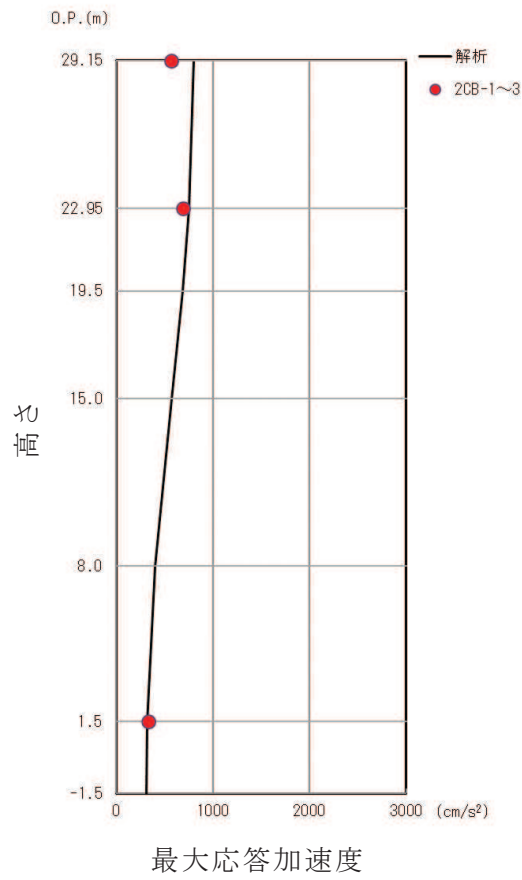


図 2-13 最大応答加速度の比較 (3.11 地震, 鉛直方向)

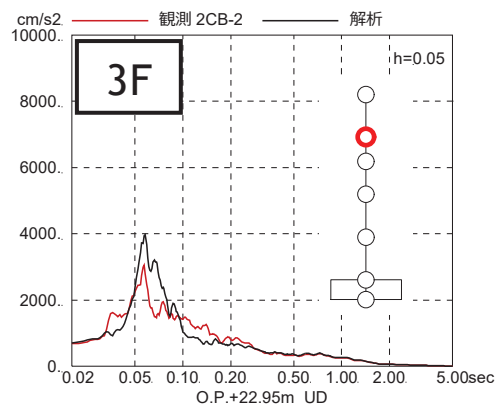
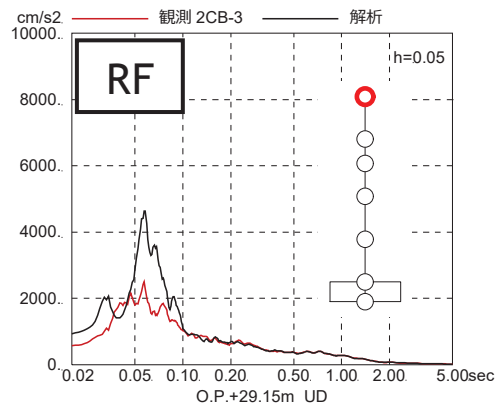


図 2-14 加速度応答スペクトルの比較 (3.11 地震, 鉛直方向)

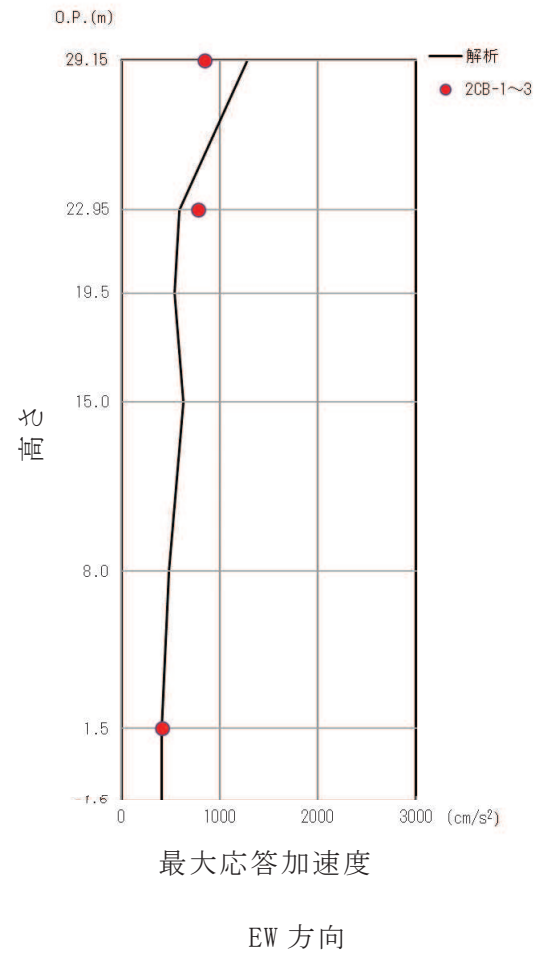
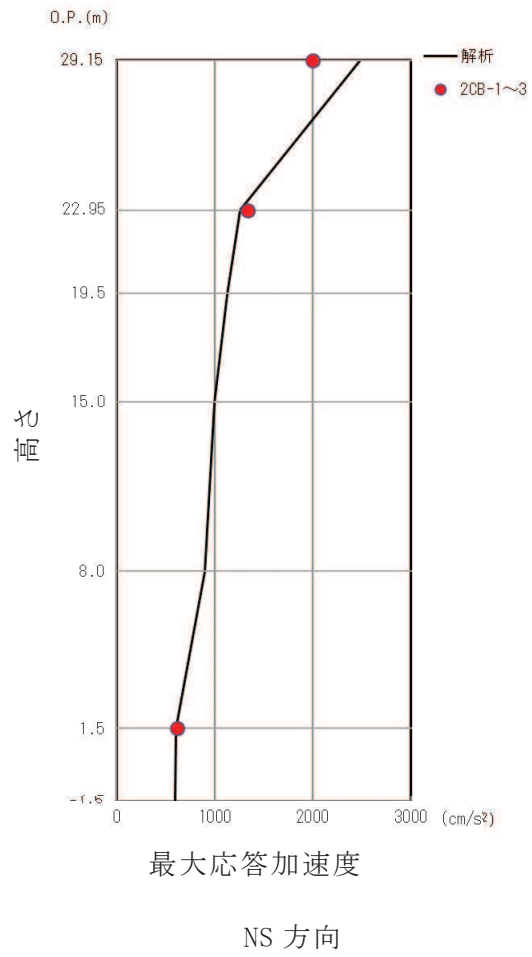


図 2-15 最大応答加速度の比較 (4.7 地震, 水平方向)

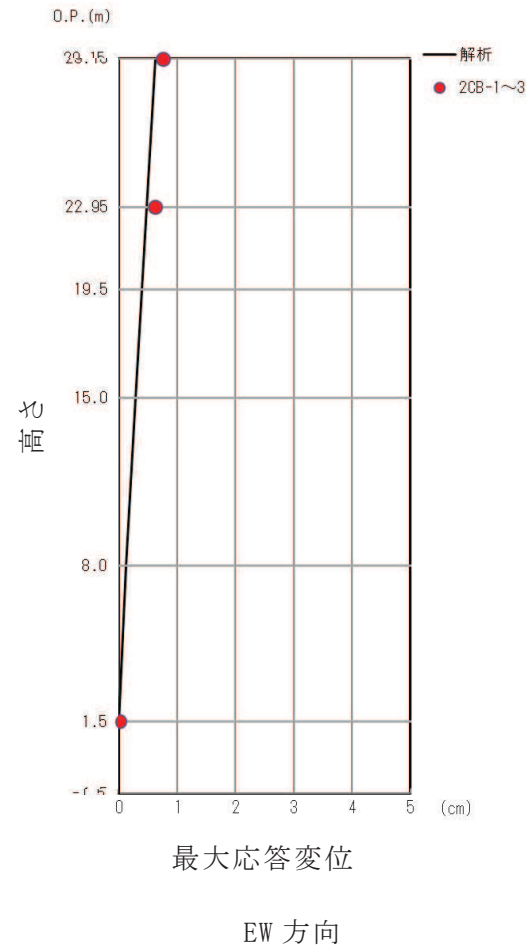
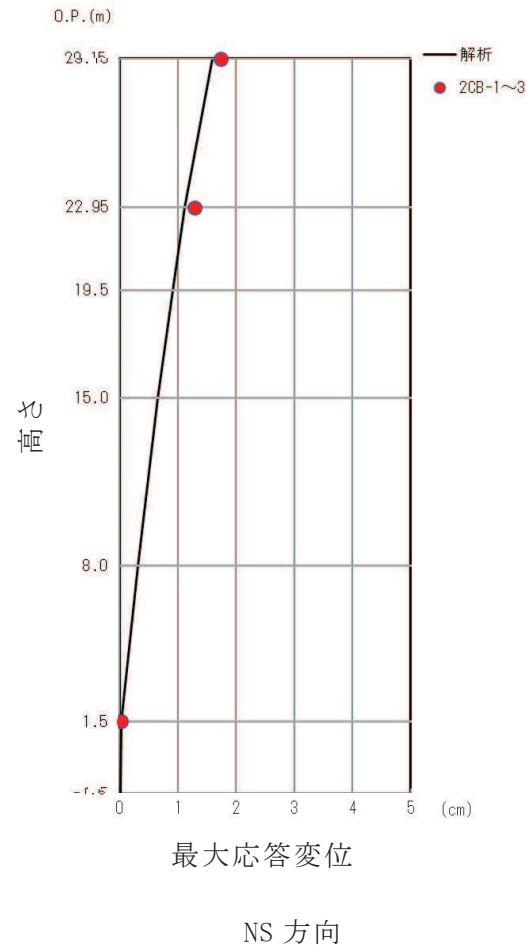
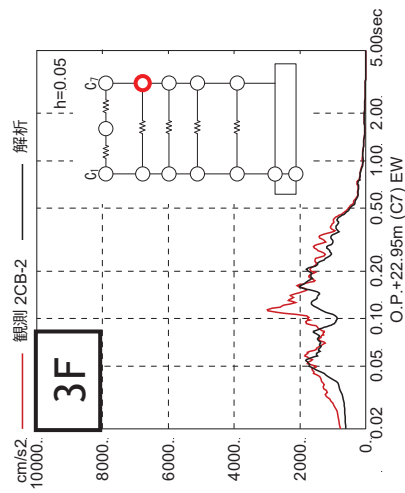
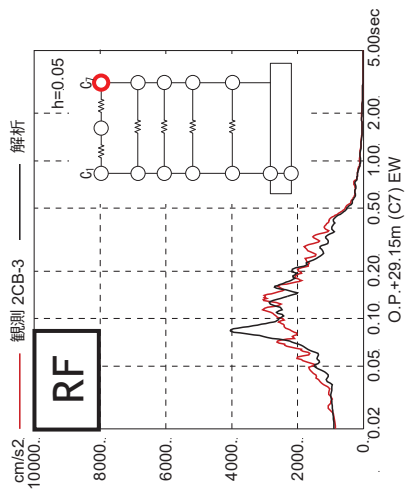


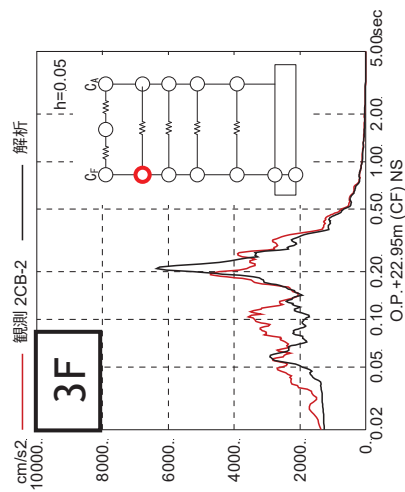
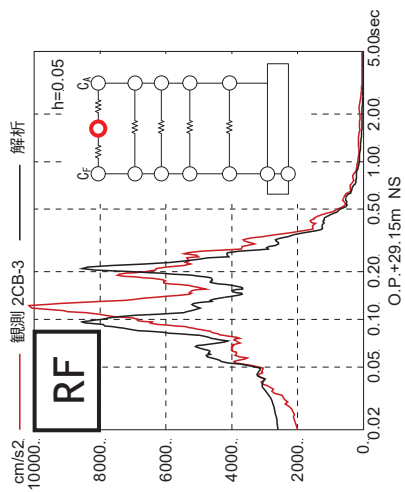
図 2-16 最大応答変位の比較 (4.7 地震, 水平方向)

※RF (138ch) の記録は

最大値が振り切れているため参考扱い



EW 方向



NS 方向

図 2-17 加速度応答スペクトルの比較 (4.7 地震)

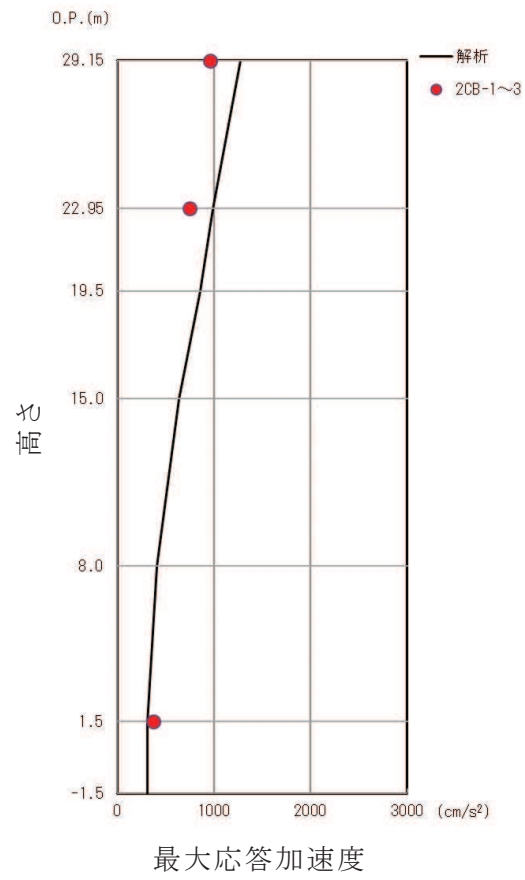


図 2-18 最大応答加速度の比較 (4.7 地震, 鉛直方向)

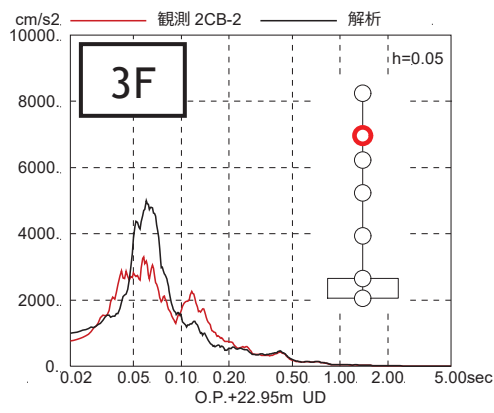
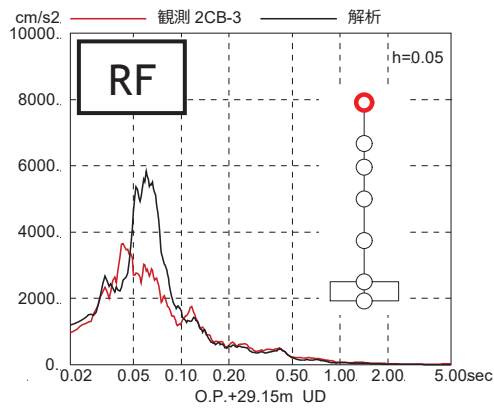


図 2-19 加速度応答スペクトルの比較 (4.7 地震, 鉛直方向)

表 2-7(1) 固有値解析結果 (NS 方向)

次 数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.217	4.60	1.482
2	0.091	10.95	0.620
3	0.087	11.52	0.149
4	0.078	12.83	0.080

注記* : 最大値を 1 で規準化した各次固有モードに対する刺激係数として求め絶対値を示す。

表 2-7(2) 固有値解析結果 (EW 方向)

次 数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.201	4.97	1.487
2	0.087	11.53	0.112
3	0.082	12.14	0.767
4	0.071	14.13	0.012

注記* : 最大値を 1 で規準化した各次固有モードに対する刺激係数として求め絶対値を示す。

表 2-7(3) 固有値解析結果 (UD 方向)

次 数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.063	15.97	1.487
2	0.026	38.42	0.908
3	0.019	52.89	0.550
4	0.014	70.47	0.157

注記* : 最大値を 1 で規準化した各次固有モードに対する刺激係数として求め絶対値を示す。

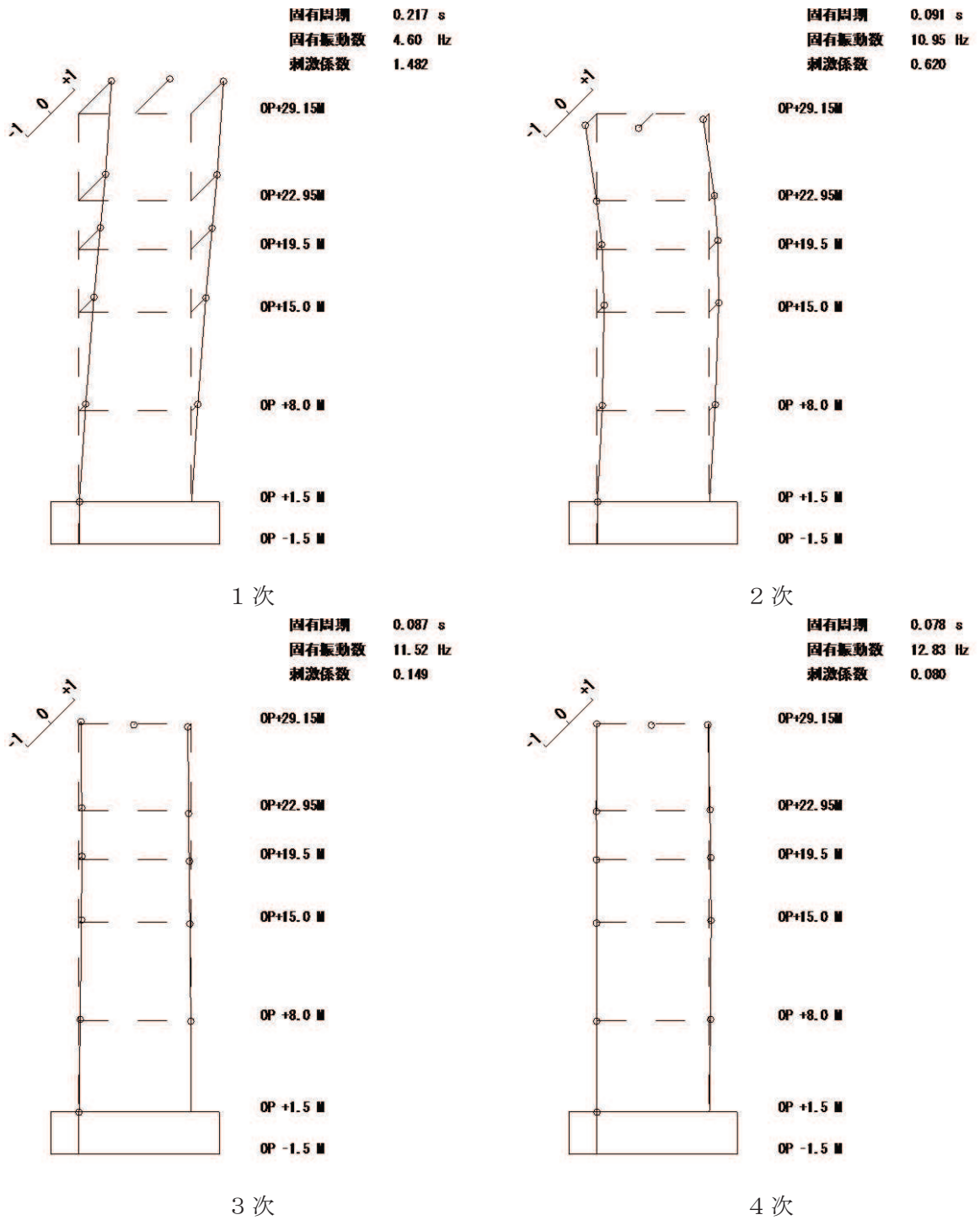


図 2-20(1) 固有振動モード (NS 方向)
(剛性補正係数 0.40)

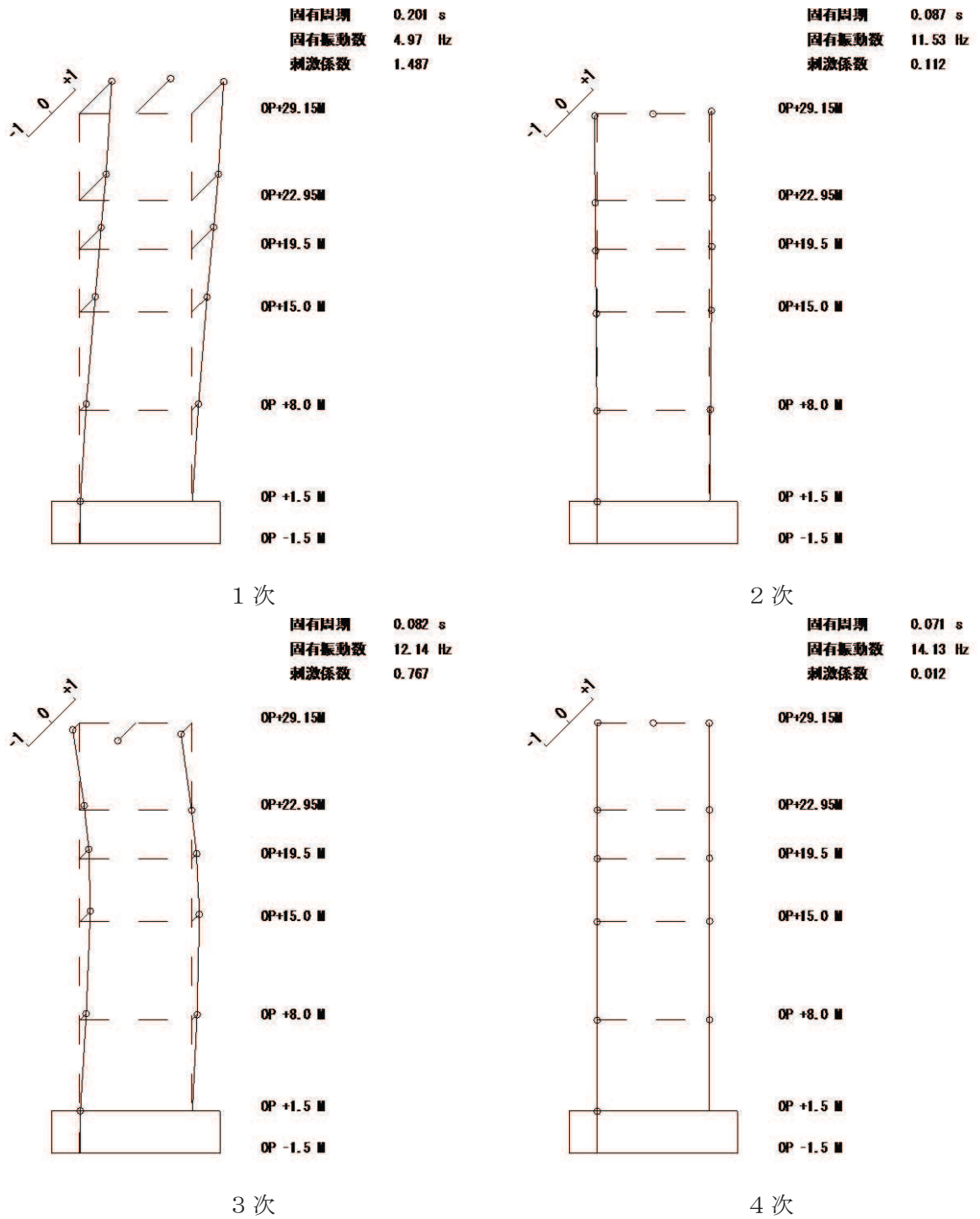
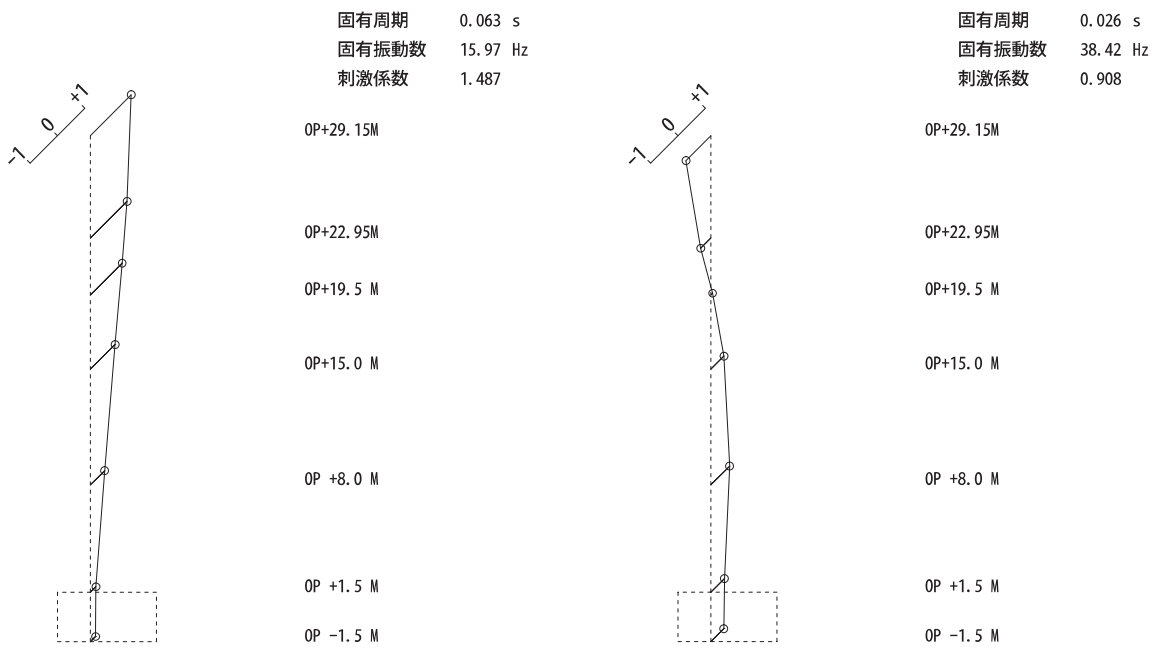
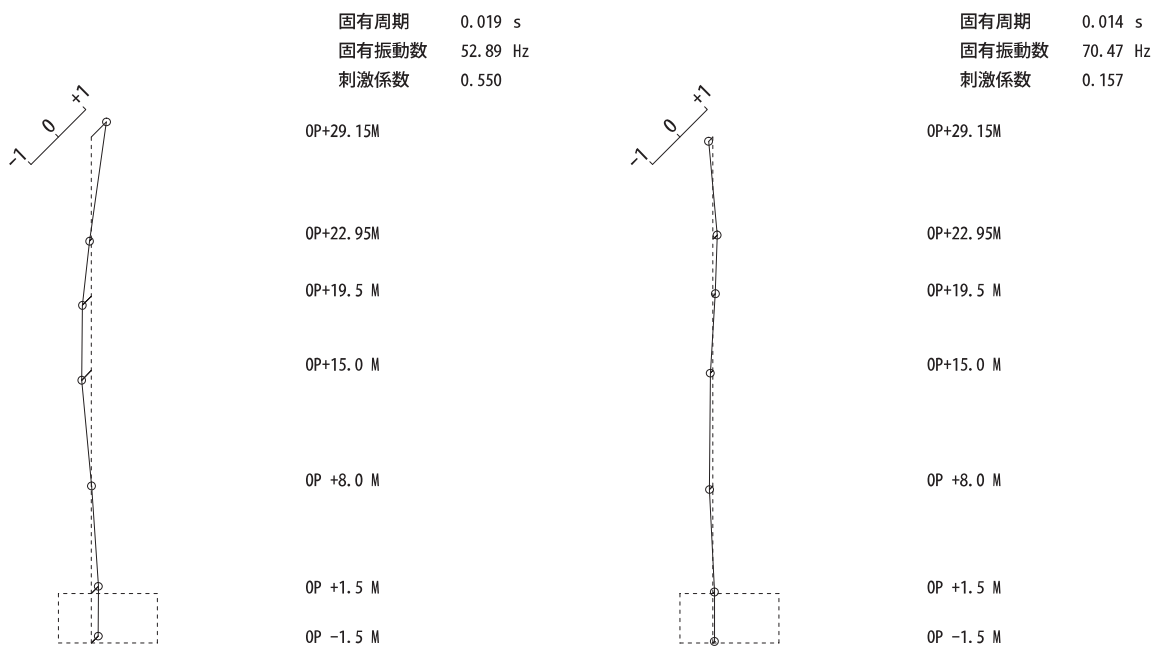


図 2-20(2) 固有振動モード (EW 方向)
(剛性補正係数 0.50 倍)



1 次

2 次



3 次

4 次

図 2-20(3) 固有振動モード (UD 方向)

2.2.5 耐震壁の評価結果

地震応答解析により得られた各階のせん断応力度を解析モデルの軸ごとに、設計配筋量のみで負担できる短期許容せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y^*$) と併せて図 2-21 及び図 2-22 に、耐震壁の設計鉄筋比 p_w を表 2-8 に示す。表中の記号は図 2-23 に示す耐震壁の配置図に対応する。

注記* p_w : 耐震壁の設計鉄筋比

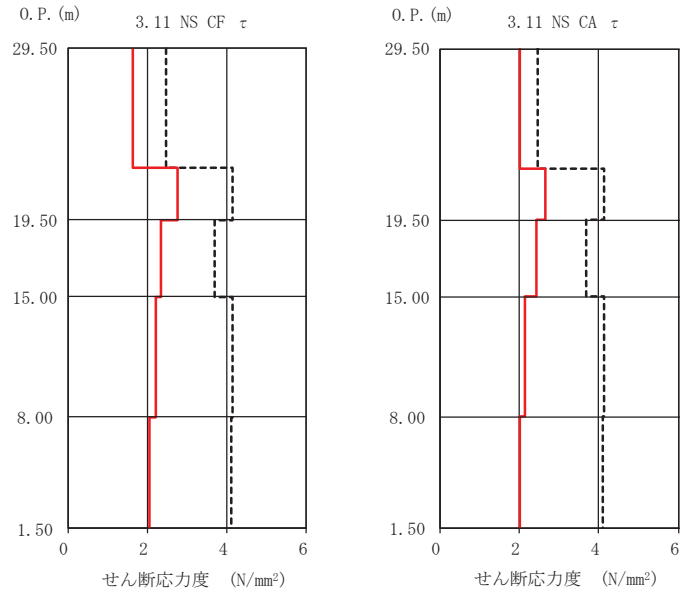
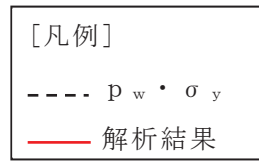
(タテ・ヨコ筋のうち鉄筋量の少ない方による値で、上限を 1.2% とする。)

σ_y : 鉄筋の短期許容応力度 (SD345 : 345N/mm²)

図 2-21 及び図 2-22 より、各階のせん断応力度は、設計配筋量のみで負担できる短期許容せん断応力度以下であることを確認した。ただし、3.11 地震及び 4.7 地震の EW 方向の結果において地上 3 階 (O.P. 22.95m) CA 通り耐震壁の検定比が 0.81 及び 0.92 と 20% 以上の余裕がないため、せん断応力に加え曲げ応力も含めた断面算定を行い鉄筋は弾性範囲であることを確認した。断面算定表を表 2-9 に示す。

地震応答解析により得られた各階のせん断ひずみを解析モデルの軸ごとに、設計基準強度に基づくせん断応力度-せん断ひずみ関係の第 1 折点の値と併せて図 2-24 及び図 2-25 に示す。一部耐震壁のせん断ひずみは設計基準強度に基づくせん断応力度-せん断ひずみ度関係の第 1 折点の値を上回っており、点検結果においてひび割れが認められたことと対応している。また、最大応答値を再設定したせん断力のスケルトンカーブおよび曲げモーメントのスケルトンカーブ上にプロットして図 2-26~図 2-29 に示す。

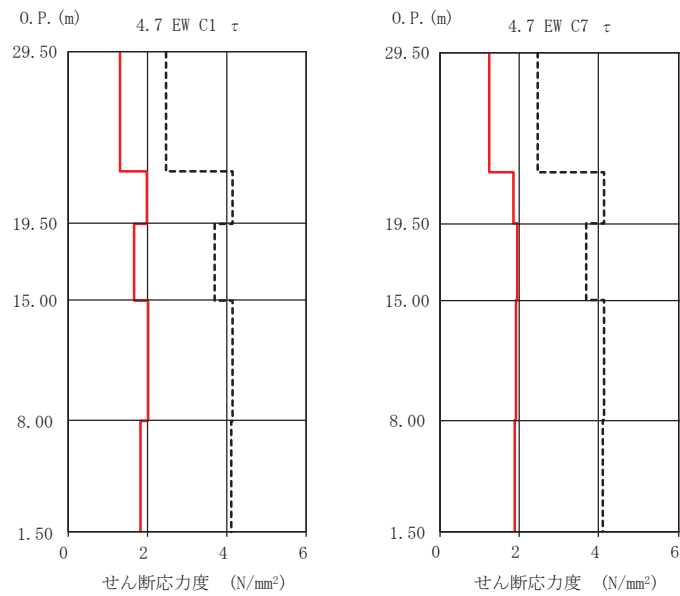
以上のことから、耐震壁の鉄筋コンクリート部はひび割れが発生するものの、鉄筋は弾性範囲にあることを確認した。



CF

CA

NS 方向

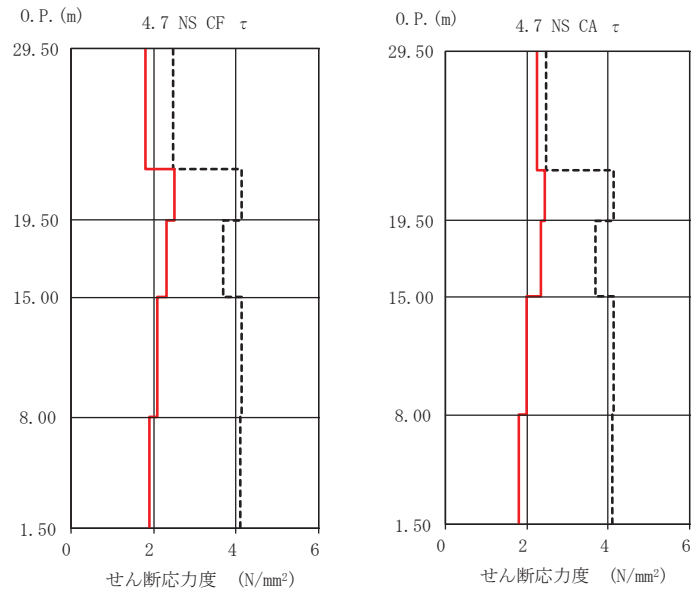
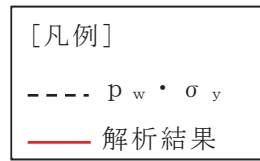


C1

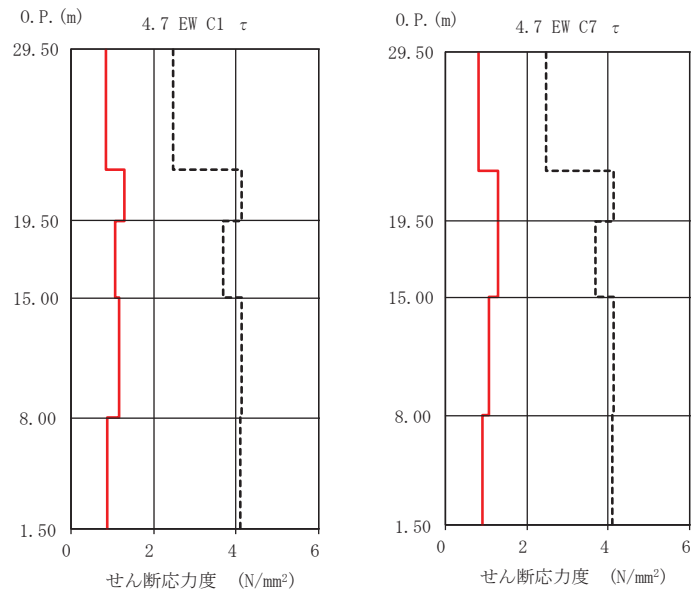
C7

EW 方向

図 2-21 制御建屋 耐震壁のせん断応力度 (3.11 地震)



NS 方向



EW 方向

図 2-22 制御建屋 耐震壁のせん断応力度 (4.7 地震)

表 2-8 耐震壁の設計鉄筋比 p_w

壁厚 (cm)	記号	配筋		鉄筋比	設計鉄筋比
				p_g (%)	p_w (%)
100	TW100	タテ筋	2-D38@200 + 2-D38@400	1.710	1.191
		ヨコ筋	2-D32@200 + 2-D32@400	1.191	
80	TW80	タテ筋	2-D35@200 + 2-D35@400	1.794	1.200
		ヨコ筋	2-D29@200 + 2-D29@400	1.203	
60	TW60	タテ筋	2-D35@200	1.595	1.070
		ヨコ筋	2-D29@200	1.070	
40	TW40A	タテ筋	2-D19@200	0.717	0.717
		ヨコ筋	2-D19@200	0.717	
40	TW40B	タテ筋	2-D25@200	1.267	1.200
		ヨコ筋	2-D25@200	1.267	

注記：鉄筋比 p_g が 1.2% を超えた場合は鉄筋比 p_w を 1.2% とする。

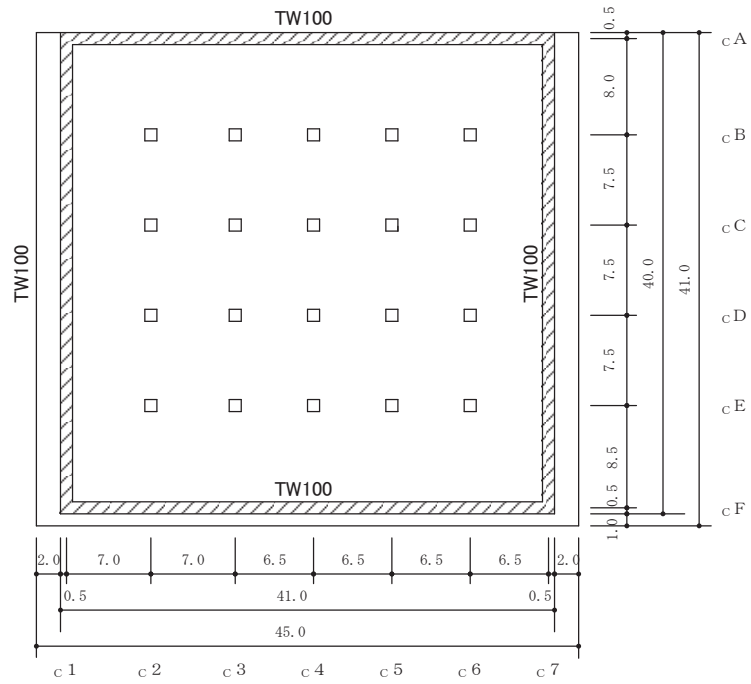


図 2-23(1) 耐震壁配置図 (0. P. 8.0m~0. P. 1.5m)

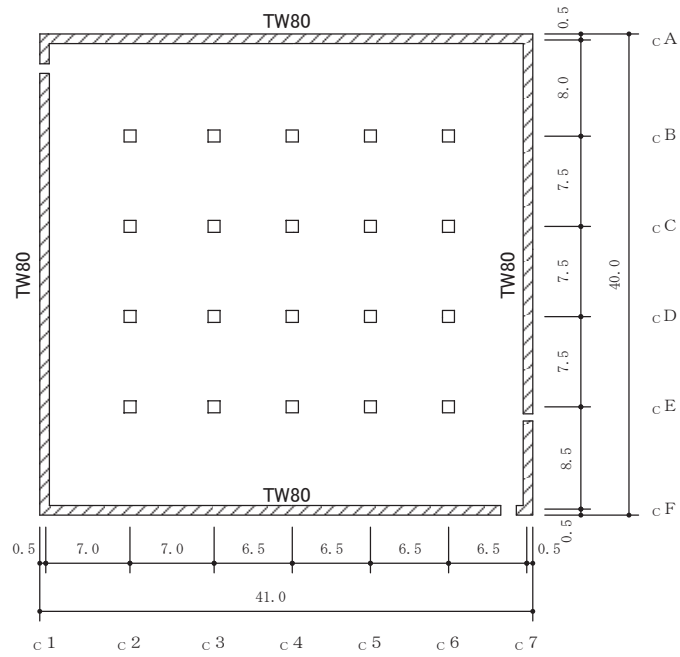


図 2-23(2) 耐震壁配置図 (0. P. 15.0m~0. P. 8.0m)

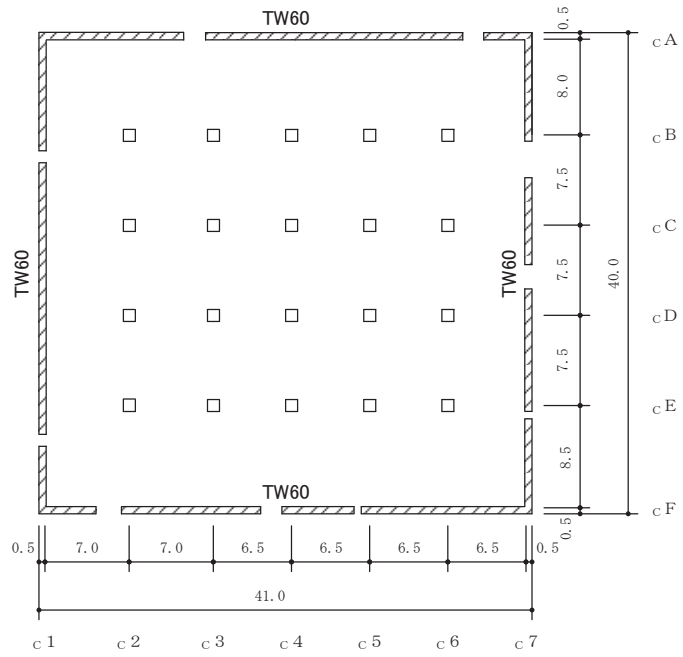


図 2-23(3) 耐震壁配置図 (0. P. 19.5m~0. P. 15.0m)

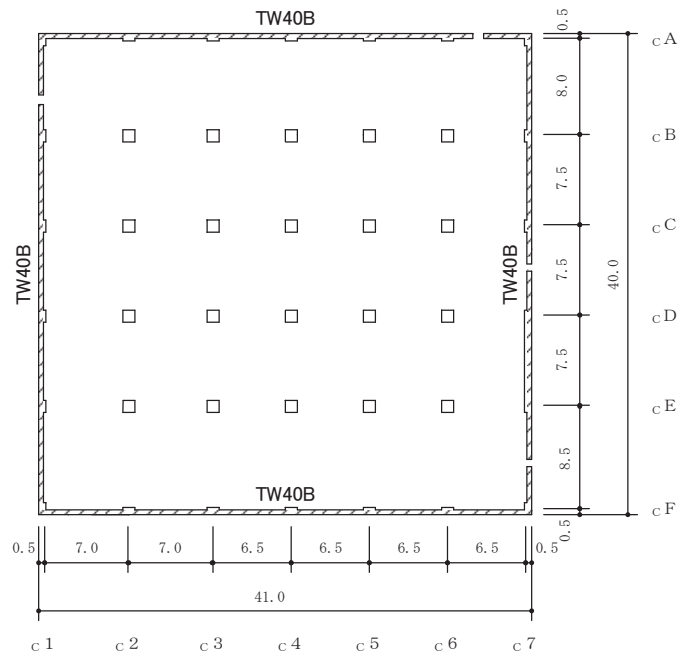


図 2-23(4) 耐震壁配置図 (0. P. 22.95m~19.5m)

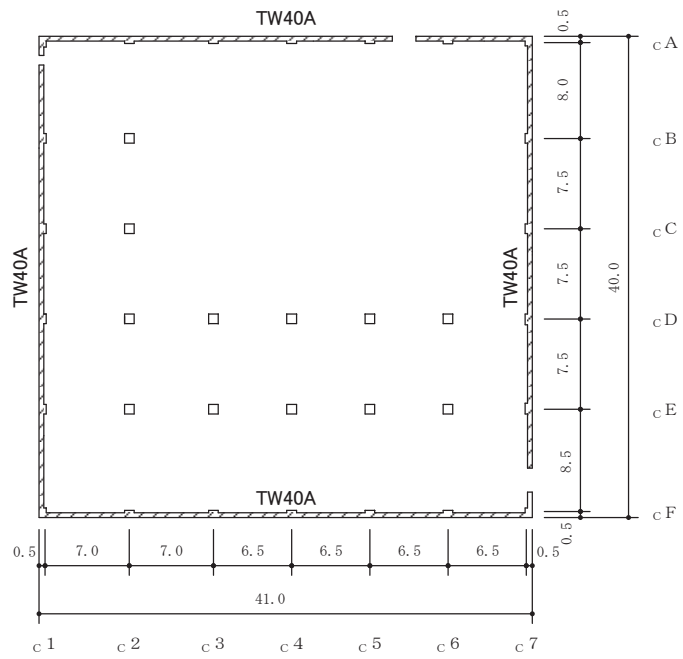


図 2-23(5) 耐震壁配置図 (0. P. 29. 15m~0. P. 22. 95m)

表 2-9(1) 断面算定表 (3.11 地震, NS 方向, 地上 3 階 CA 通り)

階	壁位置	断面積 ($\times 10^4 \text{ cm}^2$)	壁厚 (cm)	配筋 上段 タテ筋 下段 ヨコ筋 ()内は p_g []内は p_g' *1	せん断力に対する検討			曲げモーメントに対する検討				$\frac{p_Q}{p_g}$	$\frac{p_Q+p_M}{p_g'}$
					せん断力 Q (kN)	せん断 応力度 τ (N/mm ²)	必要 鉄筋比 p_Q (%)	曲げ モーメント M ($\times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$)	軸力 N *2 (kN)	必要 鉄筋比 p_M (%)	コンクリートの 最大圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
地上 3 階	CA	12.64	40	2-D19 @200 (0.717) [0.982]	25213	1.99	0.578	23.05	3896 7111	0.221	1.31	0.807	0.814
				2-D19 @200 (0.717)						—			

注記*1: 耐震壁内の柱主筋を考慮した鉄筋比

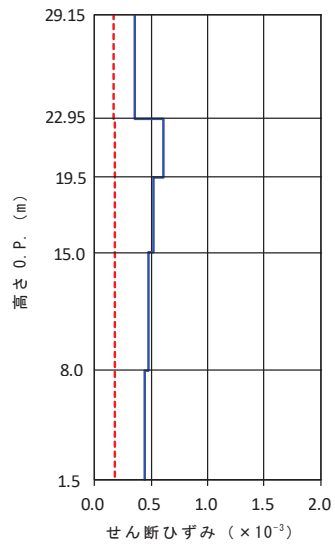
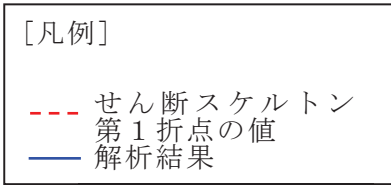
*2: 上段は鉛直震度上向きの場合の軸力, 下段は鉛直震度下向きの場合の軸力

表 2-9(2) 断面算定表 (4.7 地震, NS 方向, 地上 3 階 CA 通り)

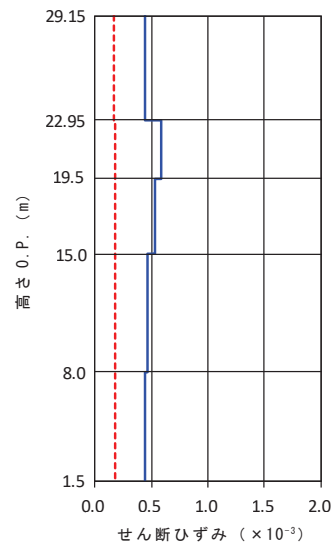
階	壁位置	断面積 ($\times 10^4 \text{ cm}^2$)	壁厚 (cm)	配筋 上段 タテ筋 下段 ヨコ筋 ()内は p_g []内は p_g' *1	せん断力に対する検討			曲げモーメントに対する検討				$\frac{p_Q}{p_g}$	$\frac{p_Q+p_M}{p_g'}$
					せん断力 Q (kN)	せん断 応力度 τ (N/mm ²)	必要 鉄筋比 p_Q (%)	曲げ モーメント M ($\times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$)	軸力 N *2 (kN)	必要 鉄筋比 p_M (%)	コンクリートの 最大圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
地上 3 階	CA	12.64	40	2-D19 @200 (0.717) [0.982]	28479	2.25	0.653	26.67	3290 7717	0.273	1.49	0.911	0.943
				2-D19 @200 (0.717)						—	—	0.911	—

注記*1: 耐震壁内の柱主筋を考慮した鉄筋比

*2: 上段は鉛直震度上向きの場合の軸力, 下段は鉛直震度下向きの場合の軸力

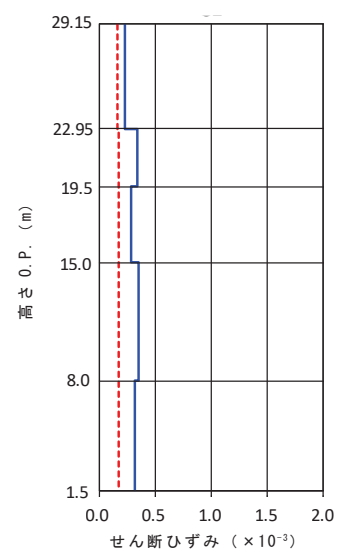


CF



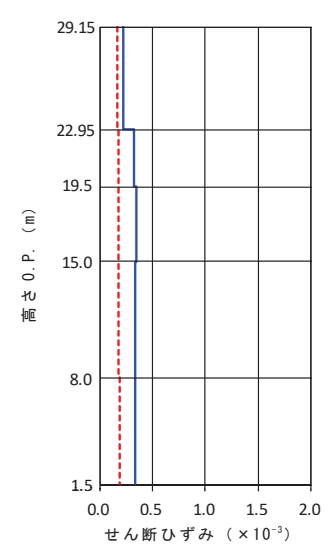
CA

NS 方向



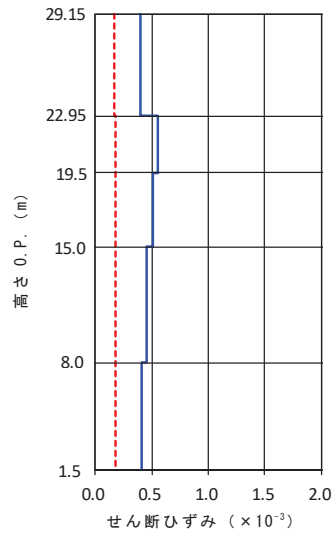
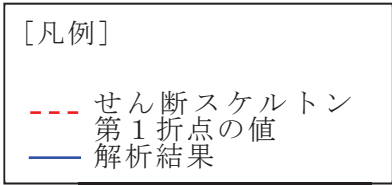
C1

EW 方向



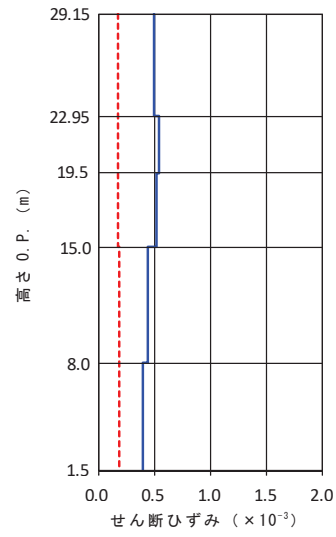
C7

図 2-24 耐震壁のせん断ひずみ (3.11 地震)

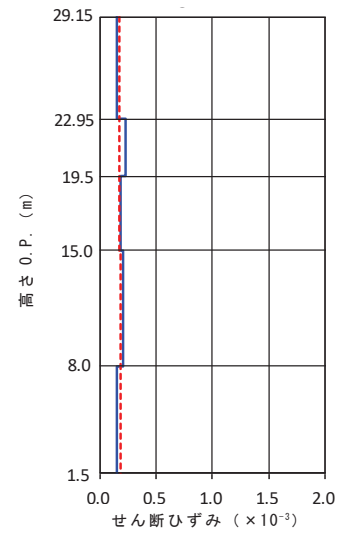


CF

NS 方向

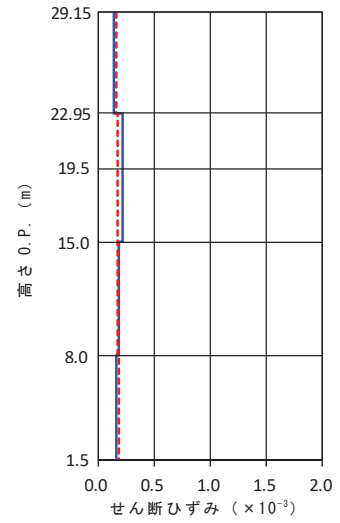


CA



C1

EW 方向



C7

図 2-25 耐震壁のせん断ひずみ (4.7 地震)

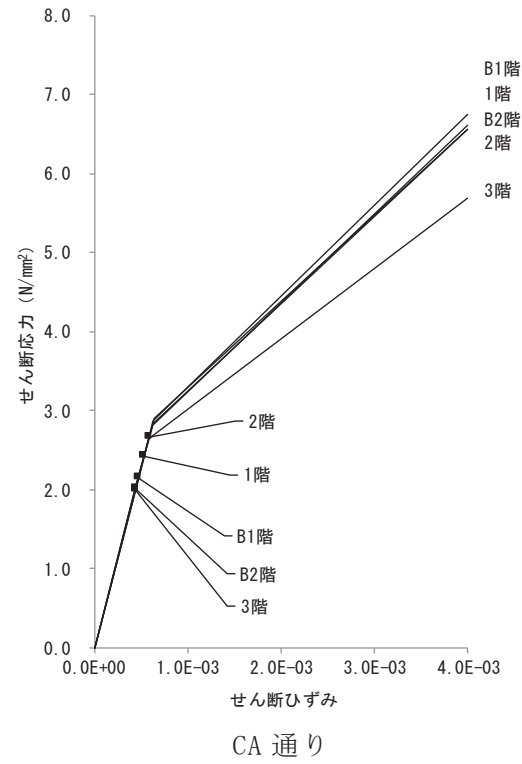
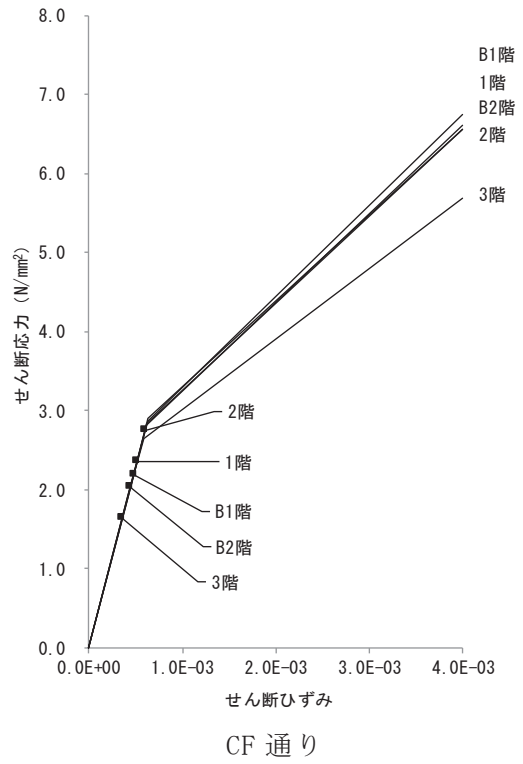
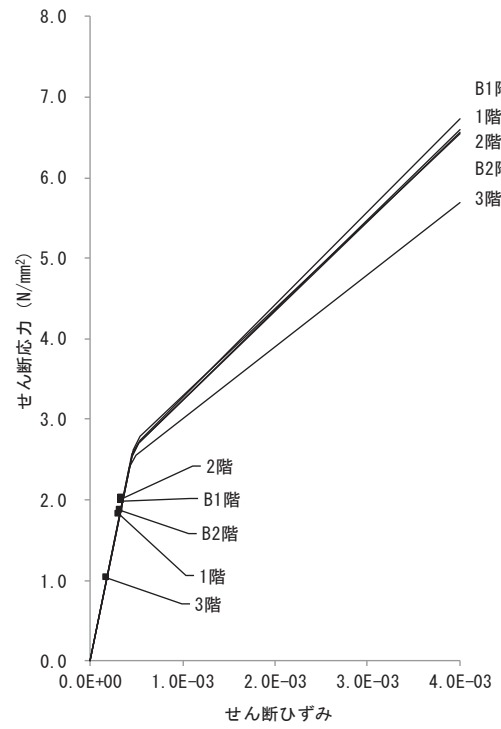
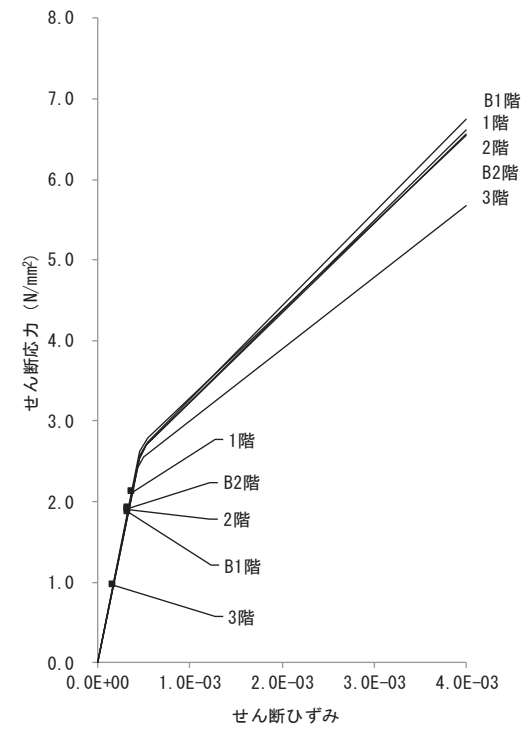


図 2-26(1) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値(3.11地震, NS方向)



C1 通り



C7 通り

図 2-26(2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値(3.11地震, EW方向)

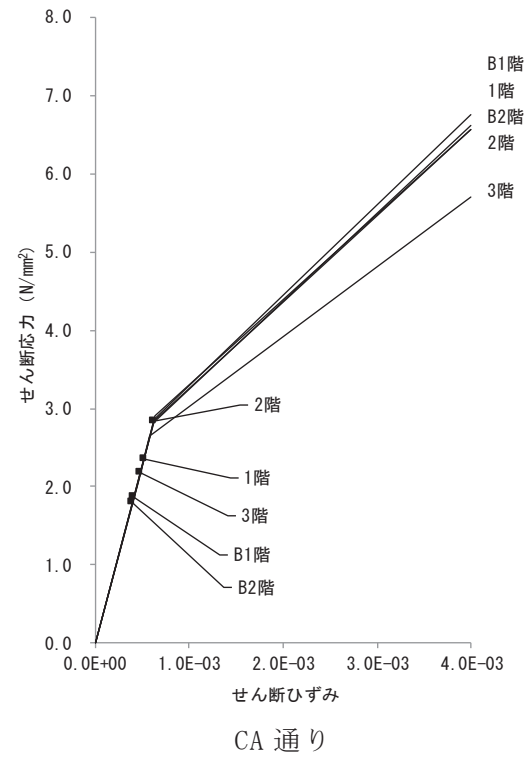
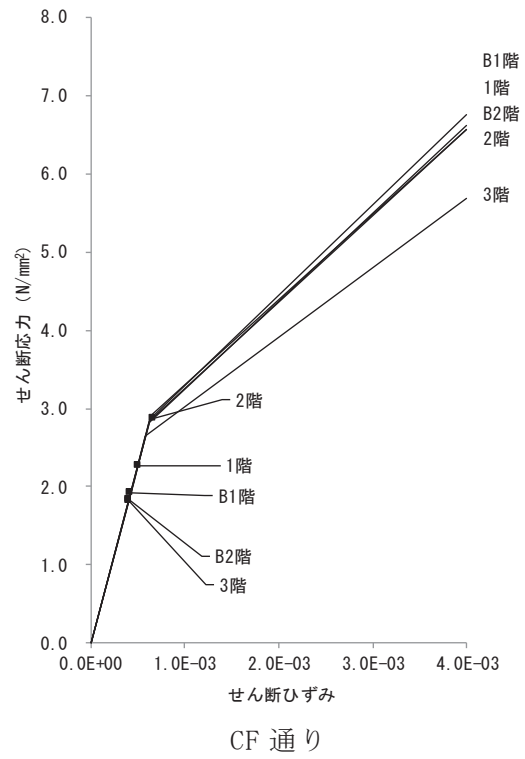


図 2-27(1) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値(4.7地震, NS方向)

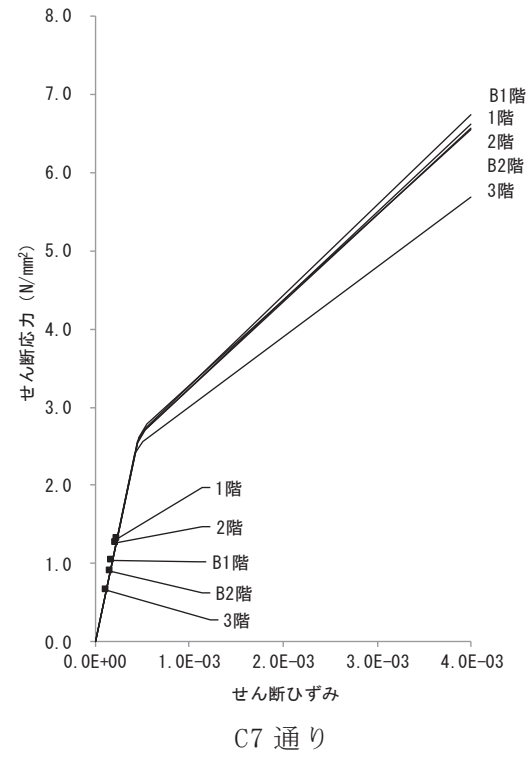
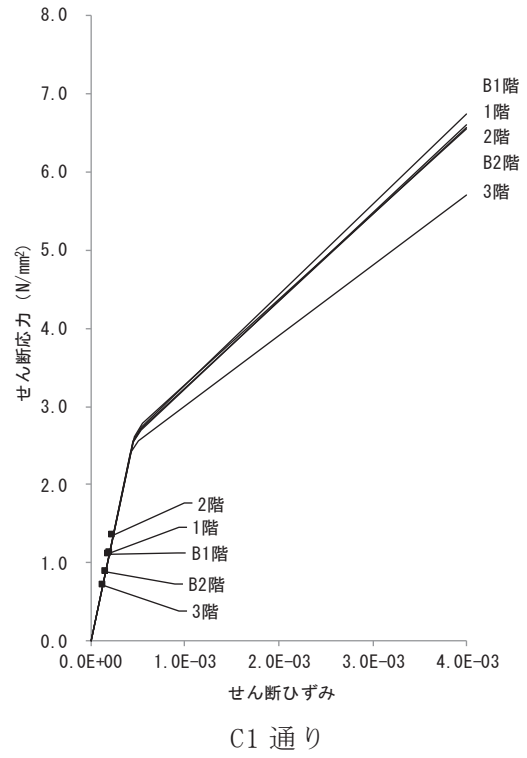


図 2-27(2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値(4.7地震, EW方向)

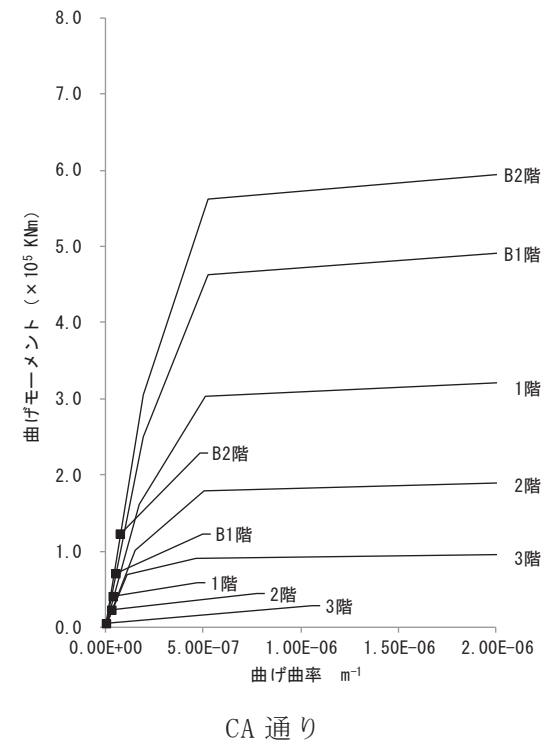
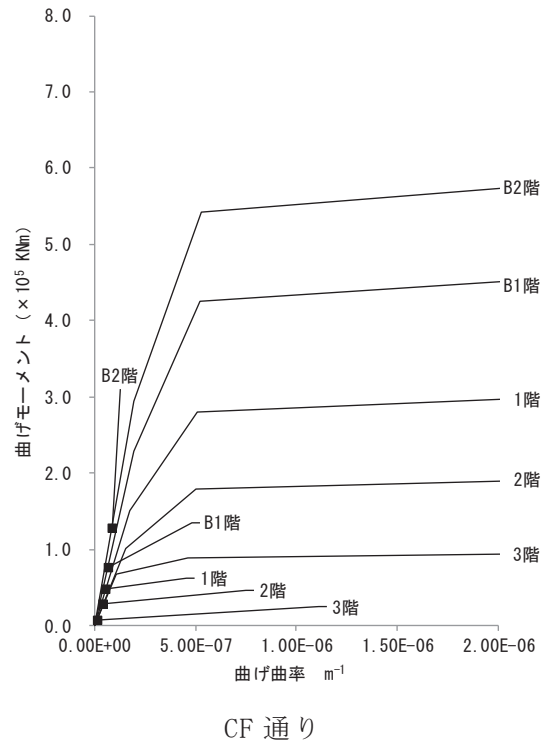


図 2-28(1) 曲げスkeletonカーブ上の最大応答値(3.11 地震, NS 方向)

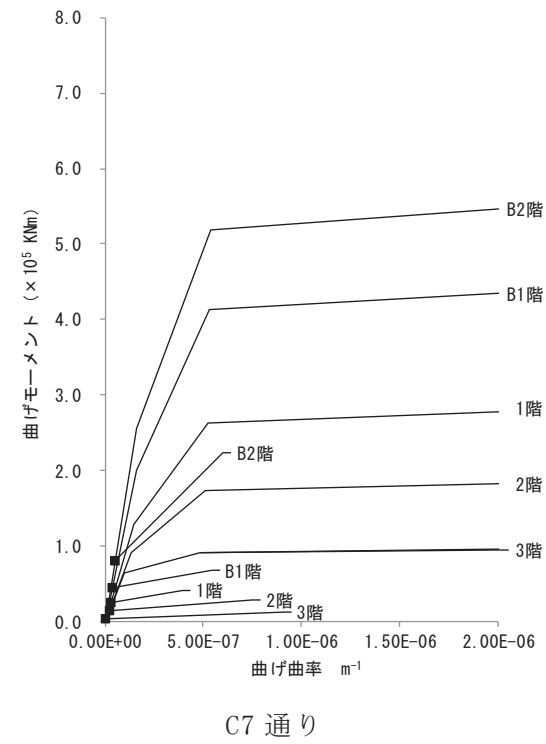
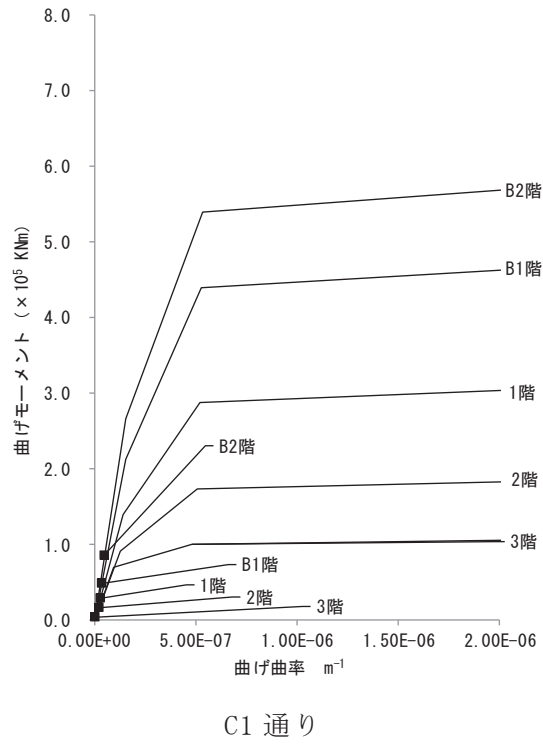
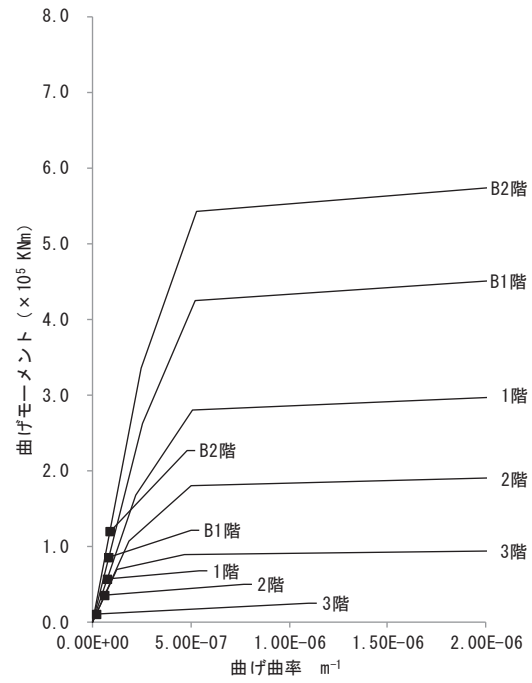
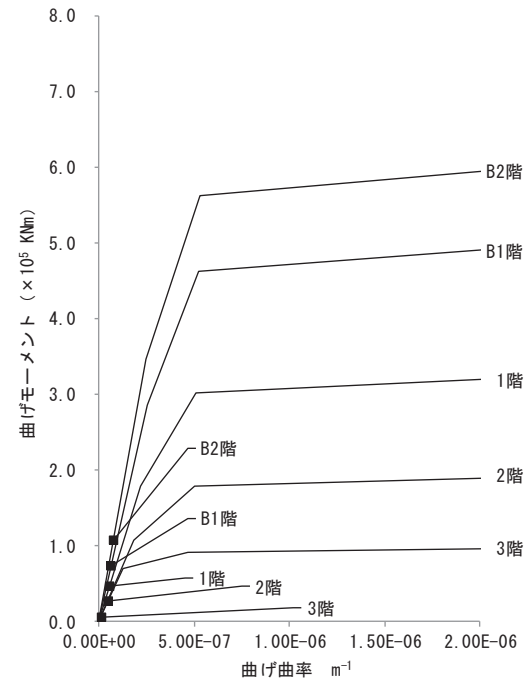


図 2-28(2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値(3.11地震, EW方向)



CF 通り



CA 通り

図 2-29(1) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値(4.7地震, NS方向)

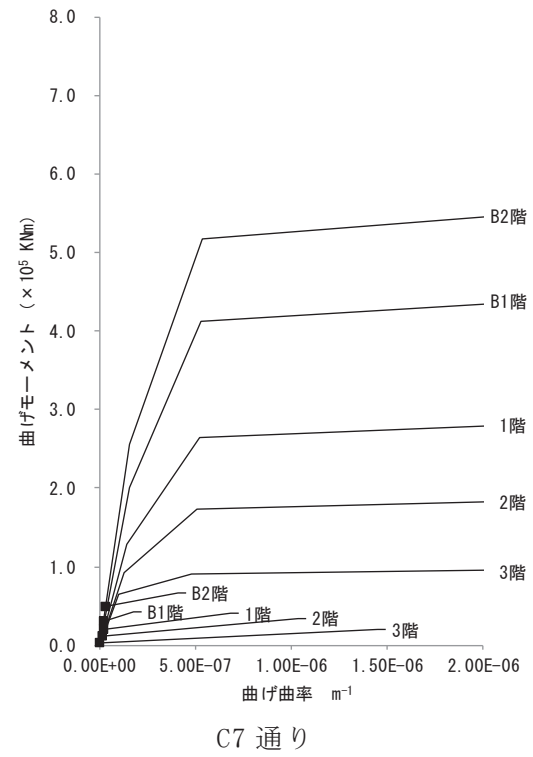
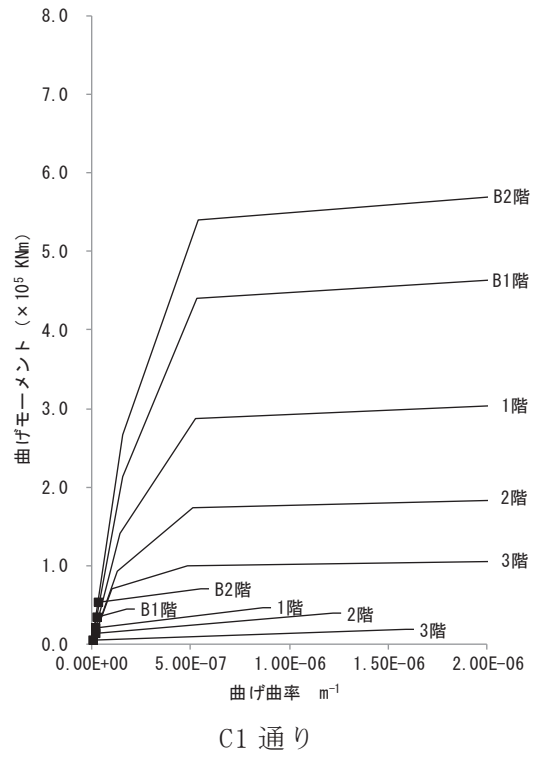
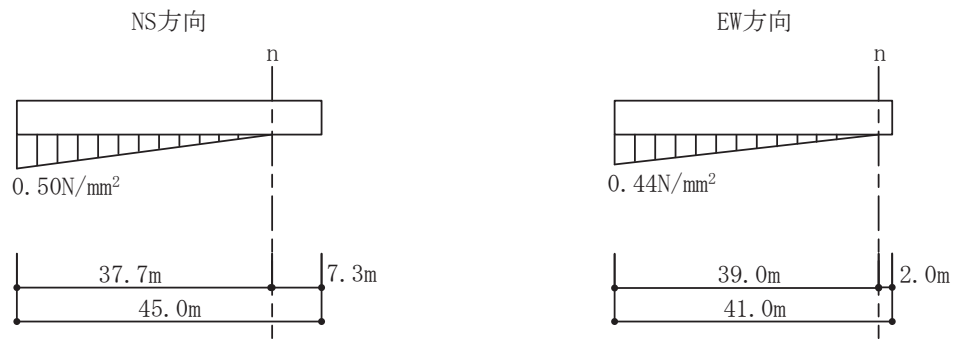


図 2-29(2) 曲げスkeletonカーブ上の最大応答値(4.7地震, EW方向)

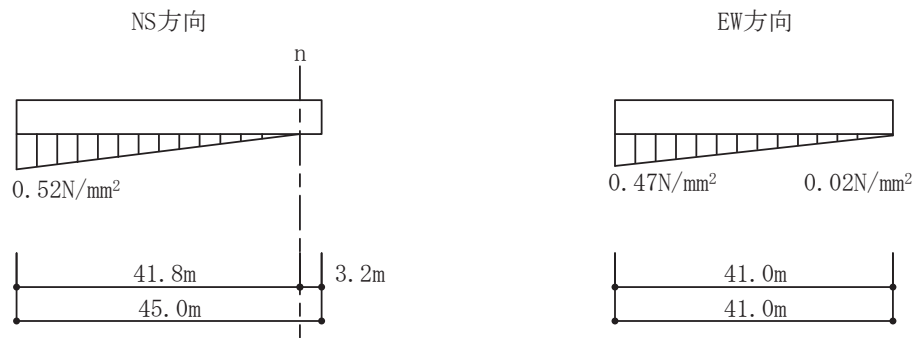
2.3 接地圧の評価

地震応答解析により得られた接地圧を図 2-30 及び図 2-31 に示す。最大接地圧は、鉛直方向地震応答解析モデルにより評価した鉛直震度を組み合わせて評価した場合でも、3.11 地震 NS 方向入力での 0.52N/mm^2 が最大であり、地盤の短期許容支持力度 9.1N/mm^2 （極限鉛直支持力度の $2/3$ ）に対して十分下回っている。

なお、地震応答解析により得られた接地率は、3.11 地震 NS 方向入力は 88.6%、EW 方向入力は 99.1%、4.7 地震 NS 方向入力は 96.4%、EW 方向入力は接地率 100%となった。

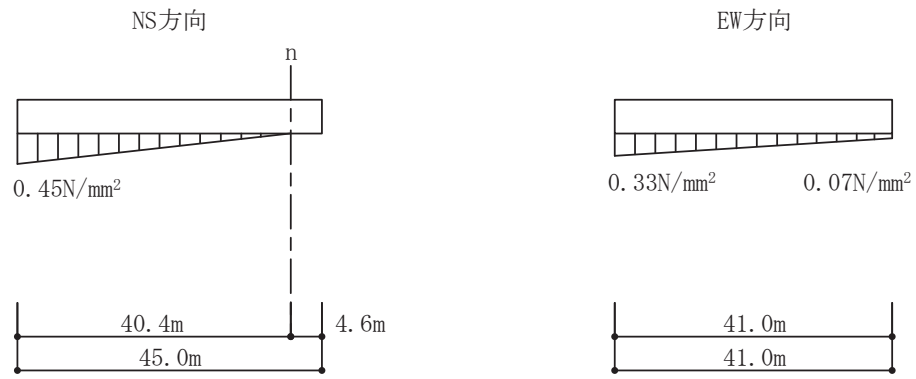


鉛直震度上向き

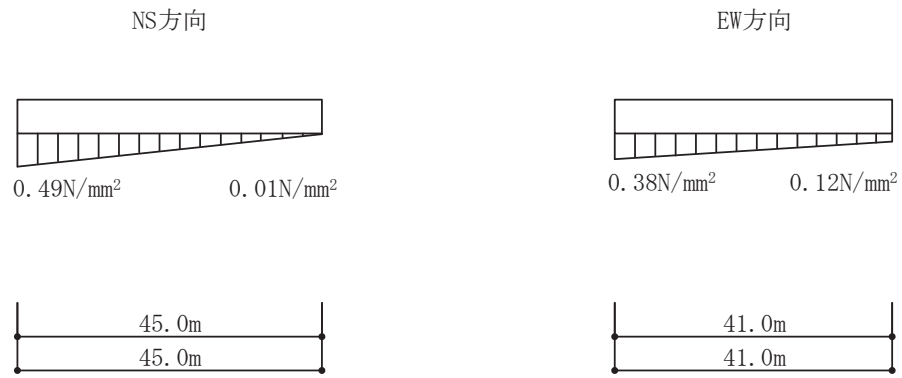


鉛直震度下向き

図 2-30 最大接地圧 (3.11 地震)



鉛直震度上向き



鉛直震度下向き

図 2-31 最大接地圧 (4.7 地震)

3. 評価結果のまとめ

制御建屋のシミュレーション解析の結果，以下の傾向が確認された。

- ① 水平動について，建屋全体に一律の初期剛性低下を考慮したモデルを設定すると，コンクリートの設計基準強度に基づく剛性よりもNS方向は0.40倍，EW方向は0.50倍に低下させた解析結果が，記録との整合性が良い。また，耐震壁の最大せん断ひずみは， 0.61×10^{-3} となり 2.0×10^{-3} 以下であった。
- ② NS方向の剛性補正係数がEW方向の剛性補正係数より小さくなる傾向は原子炉建屋の剛性低下と同様の傾向である。
- ③ RC減衰については既工認で考慮している5%で観測記録との整合性が良い結果が得られた。なお，原子炉建屋のシミュレーション解析では，RC減衰は7%で観測記録との整合性が良かったが，この差異の理由としては，建屋の減衰定数は，観測記録と整合するように解析では全て鉄筋コンクリート部の減衰定数に代表させて再設定していることを踏まえると，原子炉建屋の構造が制御建屋に比べて複雑であること，また，埋め込み深さが異なるため地盤への逸散減衰効果に違いがあることが考えられる。
- ④ 鉛直動については，既工認で考慮している剛性，減衰を用いた解析結果が，記録との整合性が良い。これは原子炉建屋と同様の傾向である。
- ⑤ シミュレーション解析の結果，耐震壁の鉄筋はおおむね弾性範囲であることを確認した。

別紙 1-2-1 制御建屋の追設地震計による地震観測記録を用いた
建屋モデルの検討

目 次

1. はじめに	別紙1-2-1- 1
2. 制御建屋の地震応答解析	別紙1-2-1- 4
2.1 地震計の配置	別紙1-2-1- 4
2.2 入力地震動	別紙1-2-1- 7
2.3 地震応答解析結果	別紙1-2-1-14
3. 評価結果のまとめ	別紙1-2-1-27
[参考文献]	別紙 1-2-1-28

1. はじめに

制御建屋の建屋モデルの妥当性の確認を目的として、3.11 地震以降に追加設置した地震計による地震観測記録を用いた地震応答解析を行う。

3.11 地震及び 4.7 地震時は地震計が屋上、3 階及び地下 2 階に設置されており、これらの地震計で観測された地震観測記録の分析を踏まえ、建屋応答解析モデルの剛性補正係数を評価している。

その後の 2013 年 7 月より、3.11 地震時に地震計が設置されていなかった階を含めた建屋全体の地震応答性状を確認することを目的として、各階に地震計を追加設置し地震観測を行っている。

本資料では、これらの追設地震計で観測された中小地震の観測記録の中から比較的加速度が大きい地震観測記録を選定し、建屋モデルの妥当性の確認を目的として地震応答解析を行った結果を示す。

解析モデルは、「別紙 1-2 東北地方太平洋沖地震等に対する制御建屋のシミュレーション解析」で用いた質点系モデルをベースとする。モデル図を図 1-1 に示す。

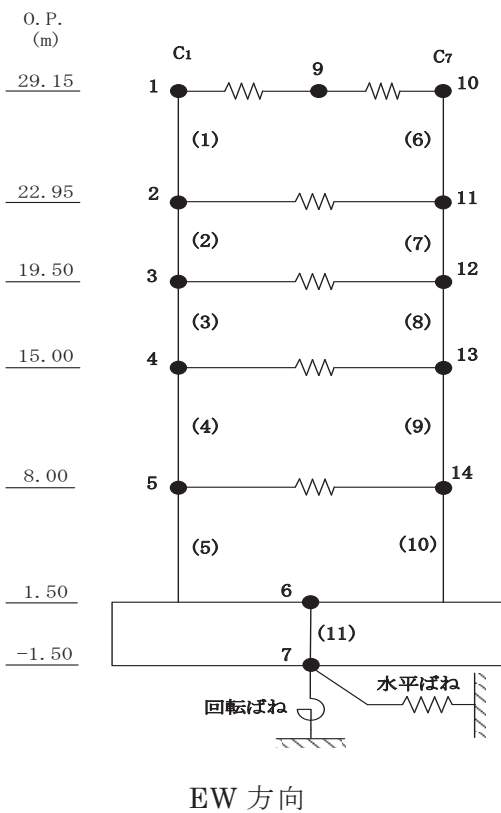
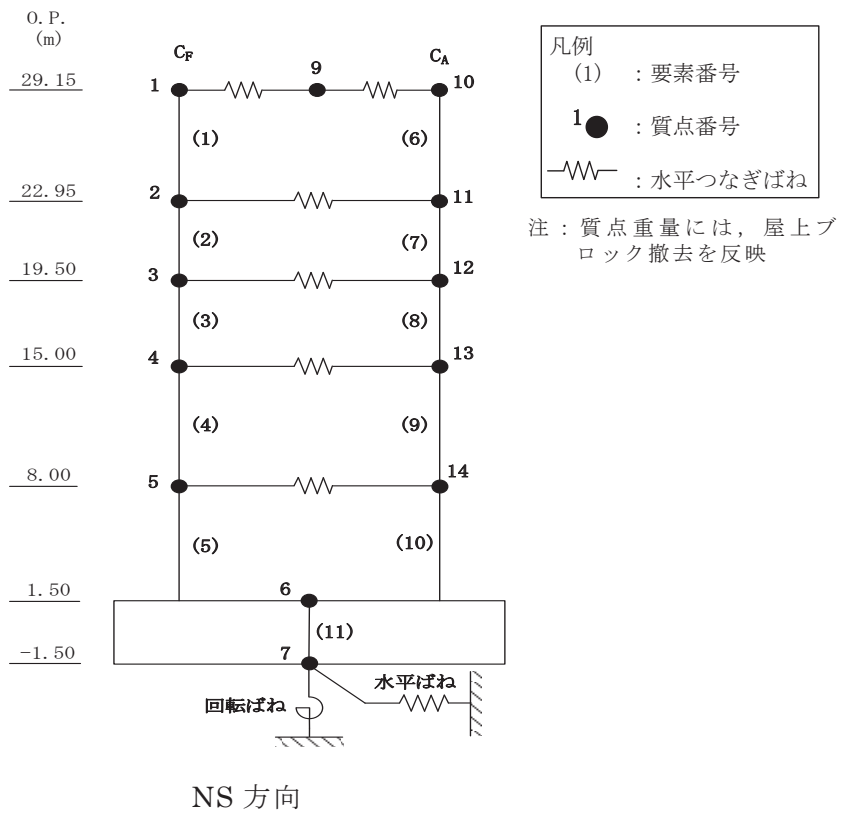


図 1-1(1) 地震応答解析モデル (水平方向)

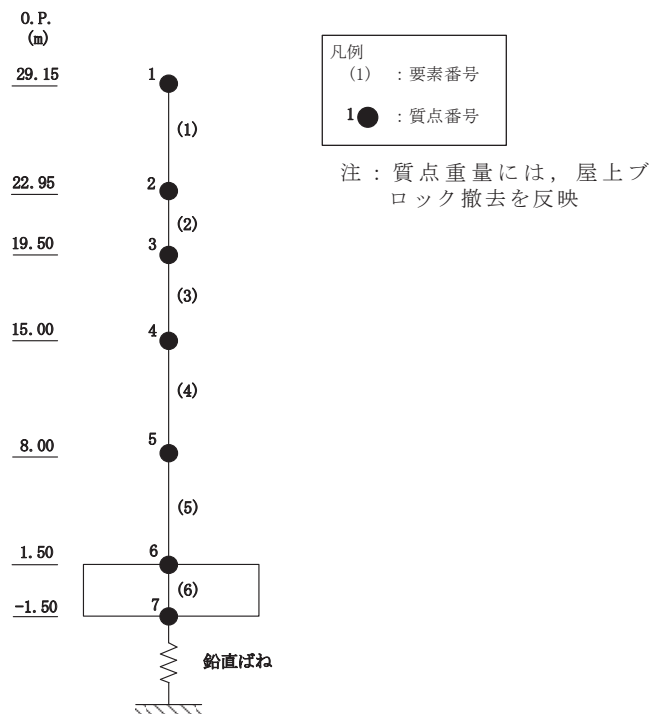
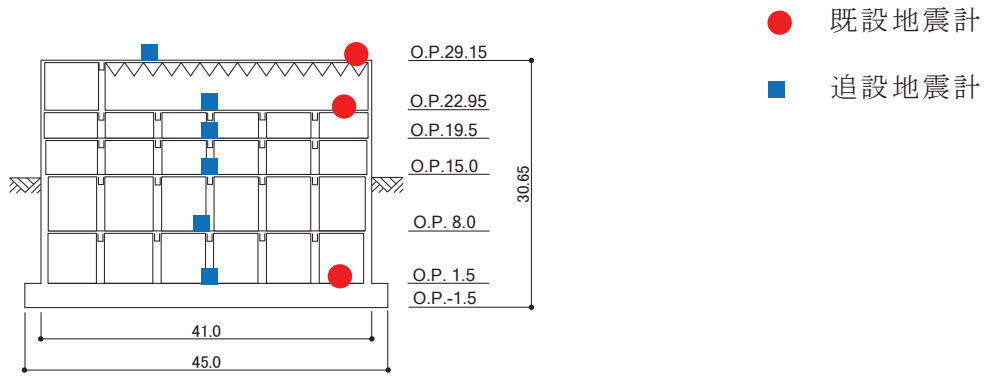
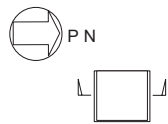


図 1-1(2) 地震応答解析モデル (鉛直方向)

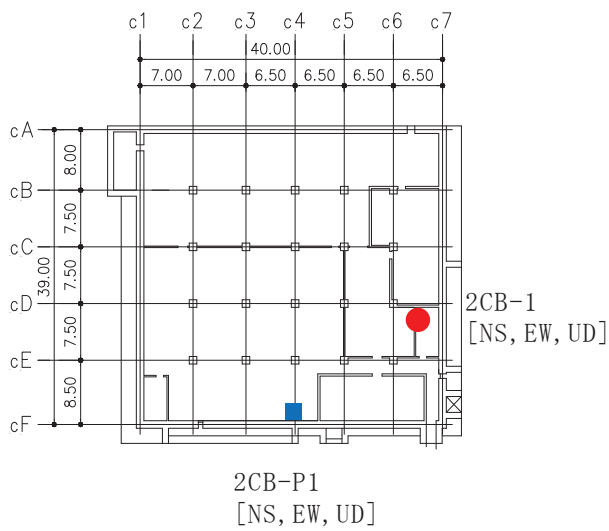
2. 制御建屋の地震応答解析

2.1 地震計の配置

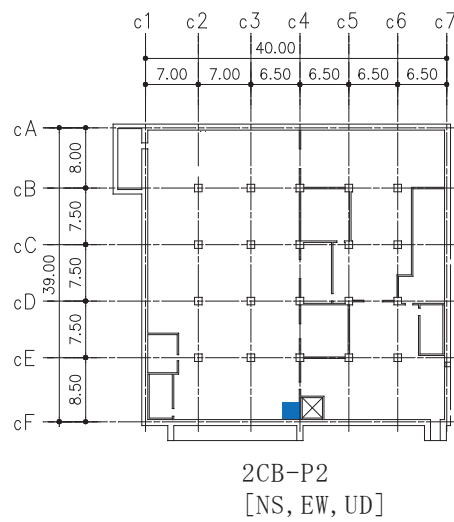
制御建屋における既設地震計及び追設地震計の配置図（断面図及び平面図）を図 2-1 に示す。追設地震計は、基礎版上～屋上階で各階とも CF 通りの耐震壁の中央付近に設置した。



断面図



基礎版上 (O.P. 1.5m)

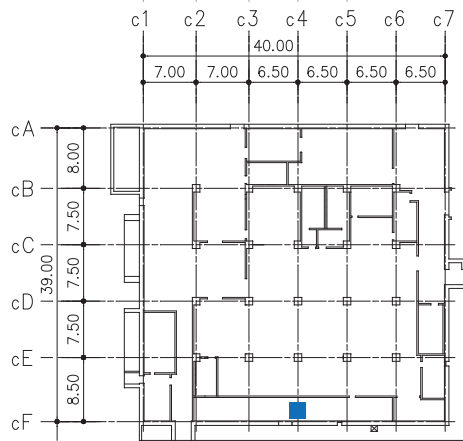


地下1階 (O.P. 8.0m)

図 2-1(1) 地震計配置図

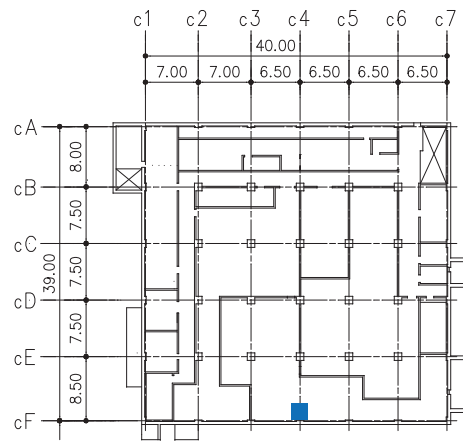
● 既設地震計

■ 追設地震計



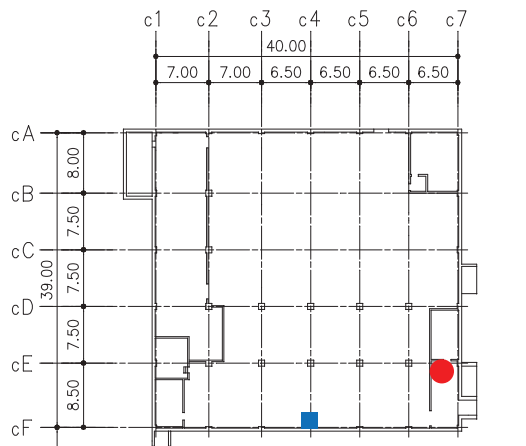
2CB-P3
[NS, EW, UD]

地上 1 階 (O. P. 15. 0m)



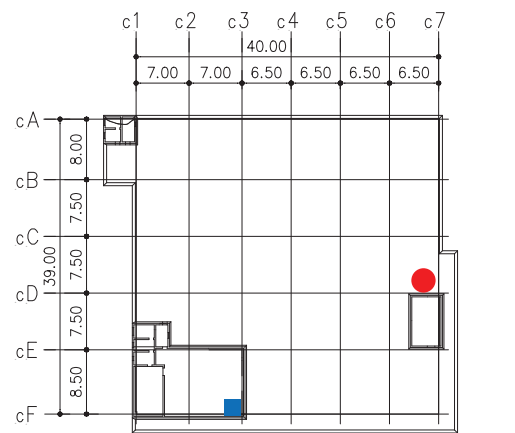
2CB-P4
[NS, EW, UD]

地上 2 階 (O. P. 19. 5m)



2CB-P5 [NS, EW, UD] 2CB-2 [NS, EW, UD]

地上 3 階 (O. P. 22. 95m)



2CB-P6 [NS, EW, UD] 2CB-3 [NS, EW, UD]

屋上階 (O. P. 29. 15m)

図 2-1(2) 地震計配置図

2.2 入力地震動

解析モデルへの入力地震動は、制御建屋の基礎版上での観測記録を線形解析モデルの基礎版上に入力し、基礎版上から建屋底面ばね外の伝達関数を用いて算定する。入力地震動の算出概念図を図 2-2 に示す。検討に用いる地震動の諸元を表 2-1 に、加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 2-3 及び図 2-4 に示す。検討に用いる地震動には、追設地震計設置以降に発生した地震の中から制御建屋基礎版上での水平方向の加速度が比較的大きな記録を選定した。

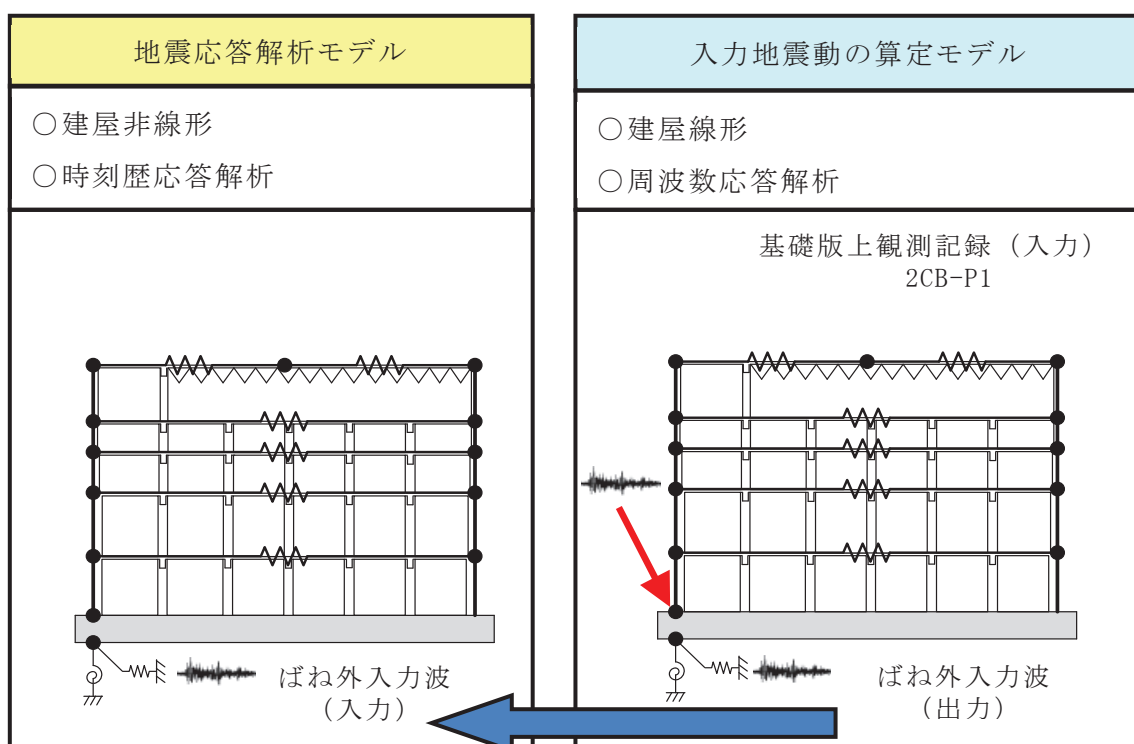


図 2-2 入力地震動の算出概念図

表 2-1 検討に用いる地震動の諸元

No.	収録開始日時	地震規模 M	震央地
1	2013/08/04 12:29:01	6.0	宮城県東方沖
2	2018/02/17 06:38:56	4.5	宮城県東方沖
3	2018/10/26 03:36:19	5.7	宮城県沖

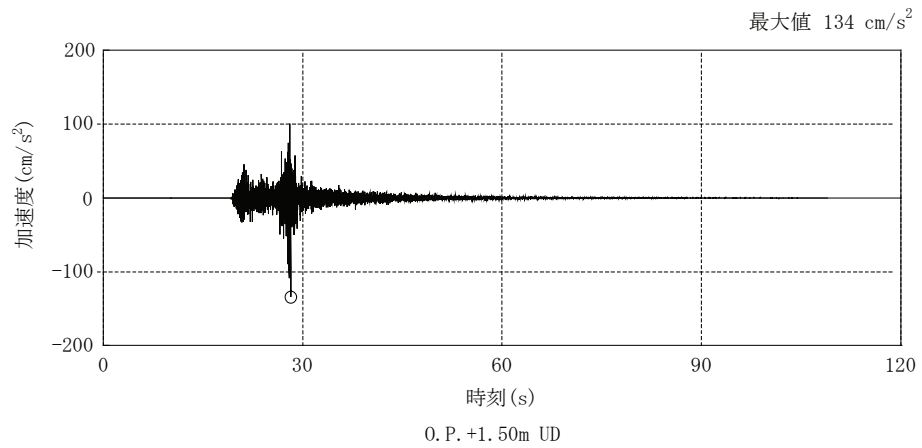
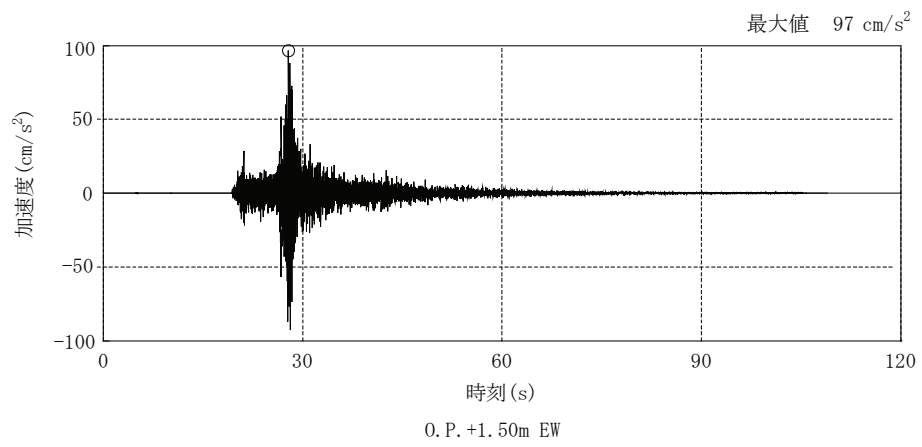
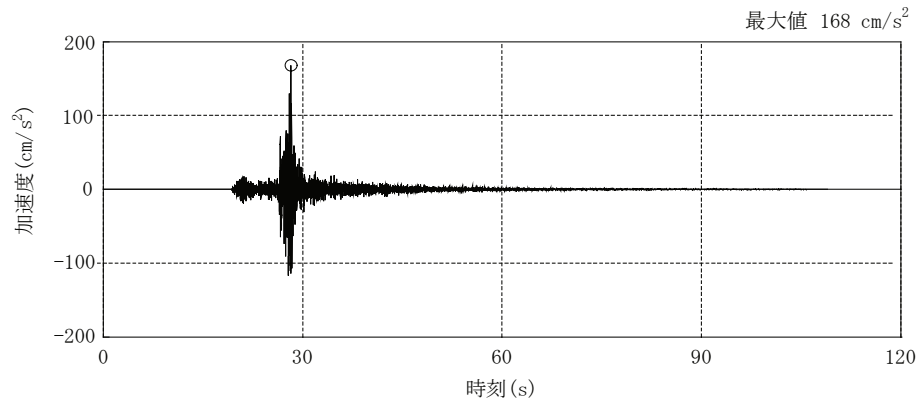


図 2-3(1) 加速度時刻歴波形 (2013/08/04 宮城県東方沖の地震) : 2CB-P1

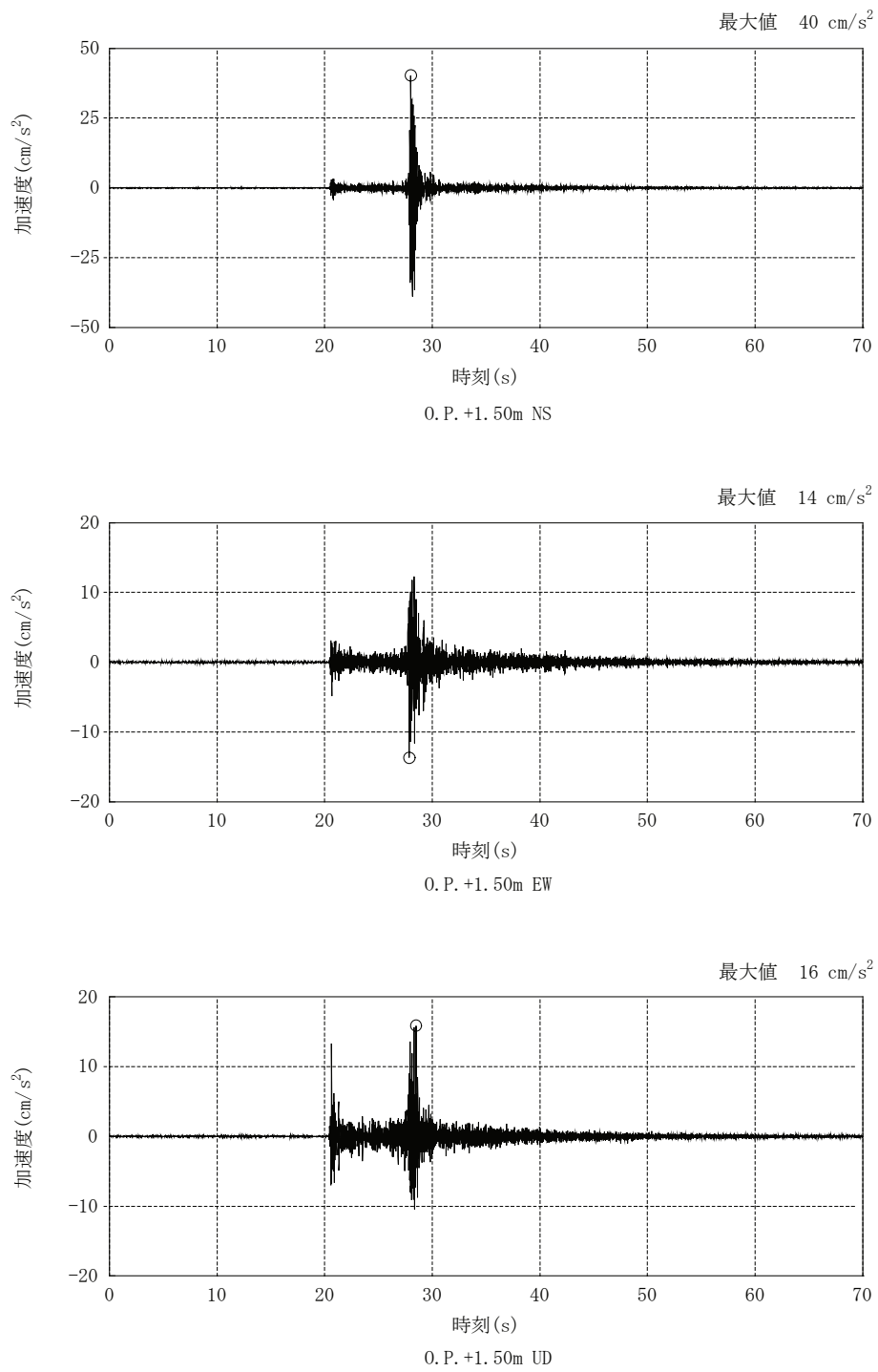


図 2-3(2) 加速度時刻歴波形 (2018/02/17 宮城県東方沖の地震) : 2CB-P1

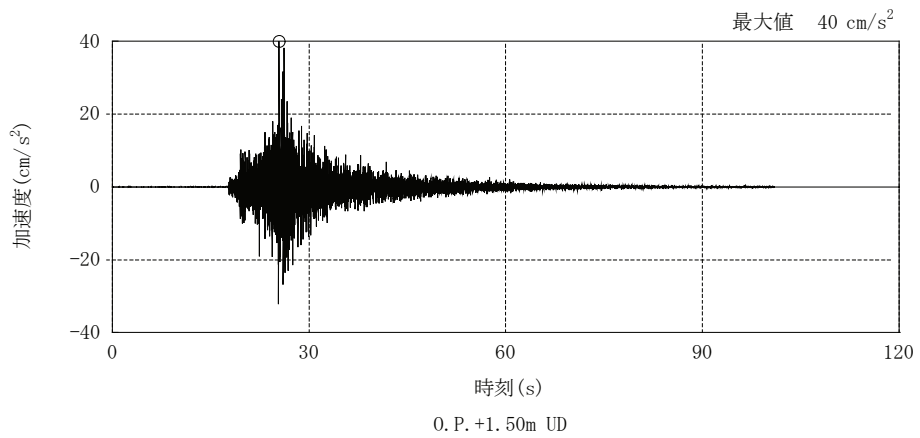
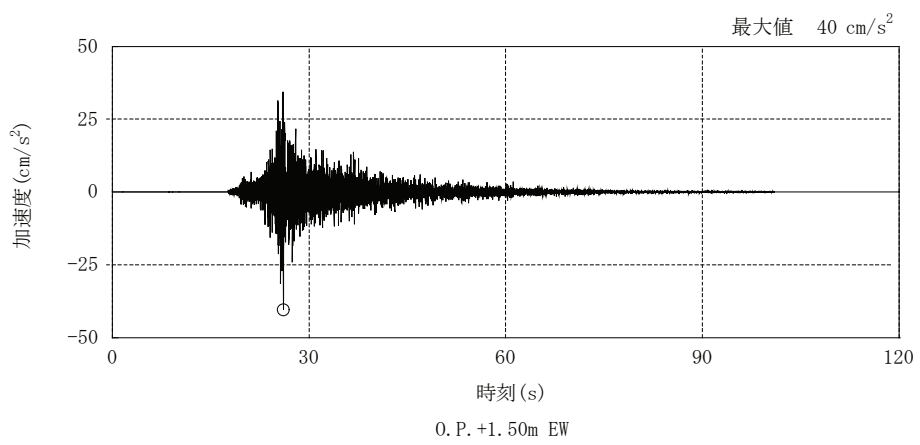
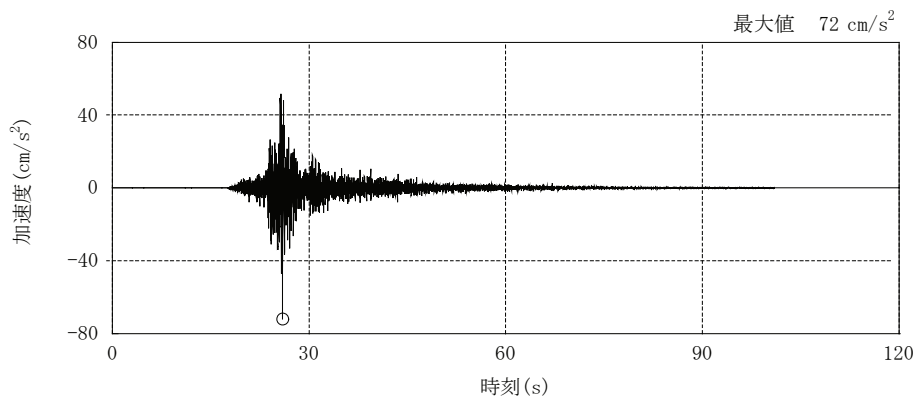
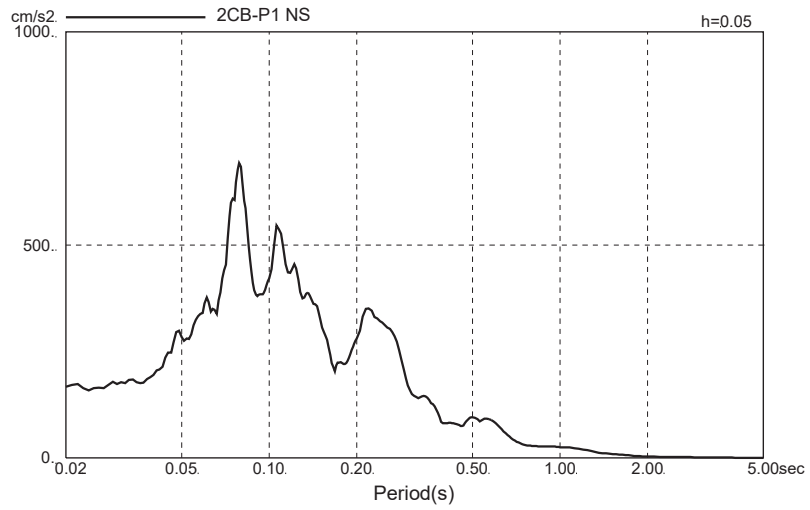
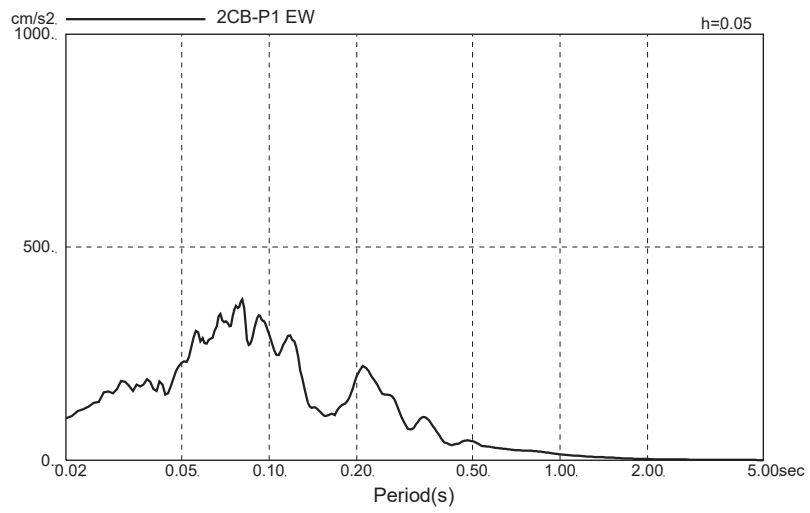


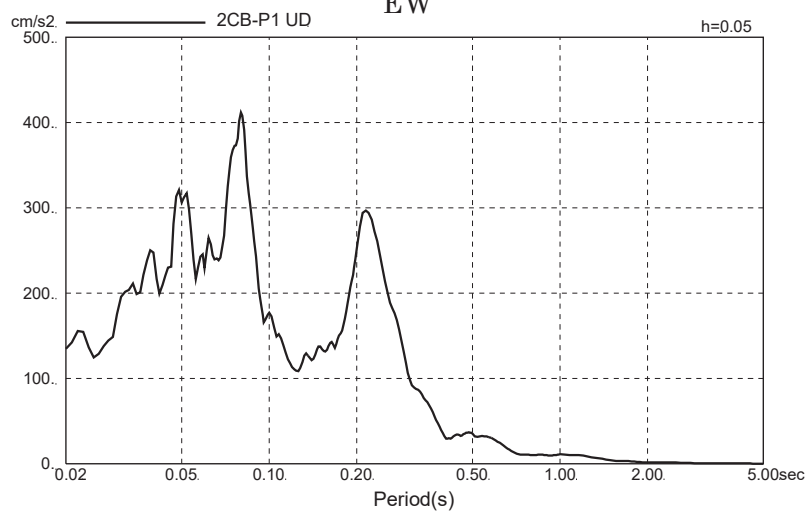
図 2-3(3) 加速度時刻歴波形 (2018/10/26 宮城県沖の地震) : 2CB-P1



NS

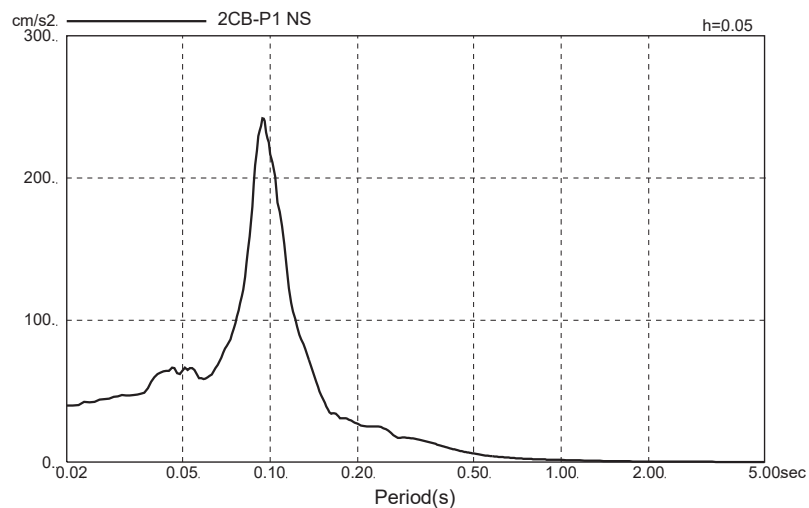


EW

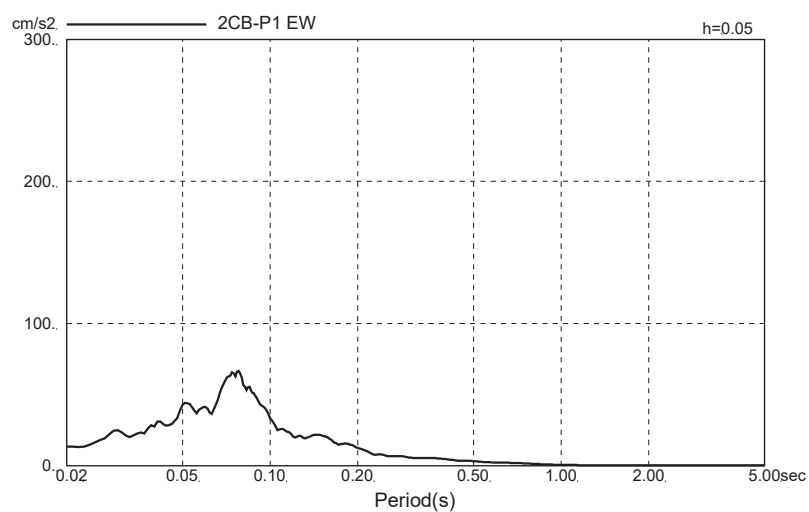


UD

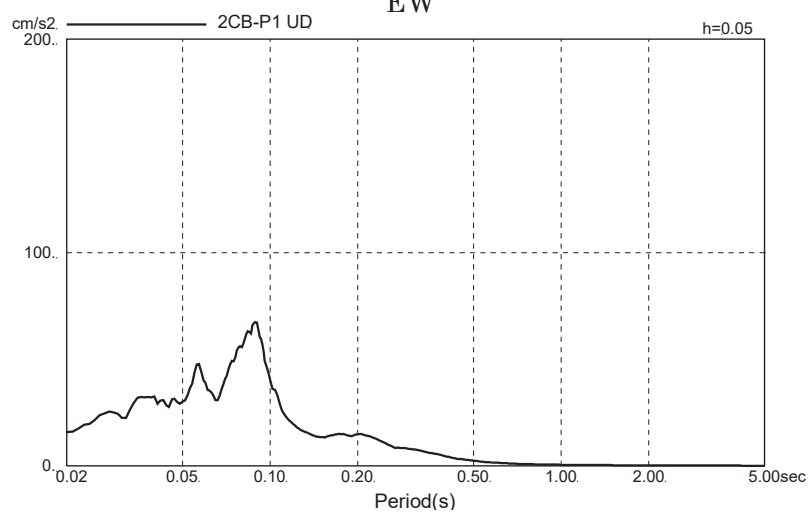
図 2-4(1) 加速度応答スペクトル (2013/08/04 宮城県東方沖の地震) : 2CB-P1



NS

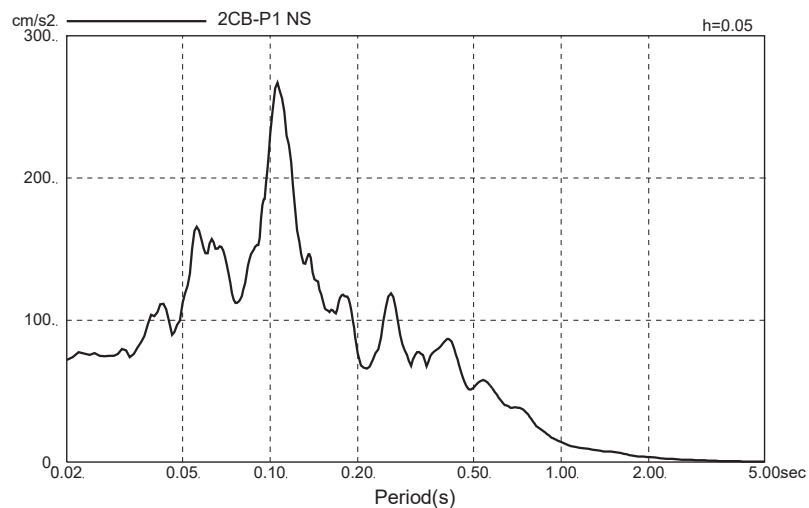


EW

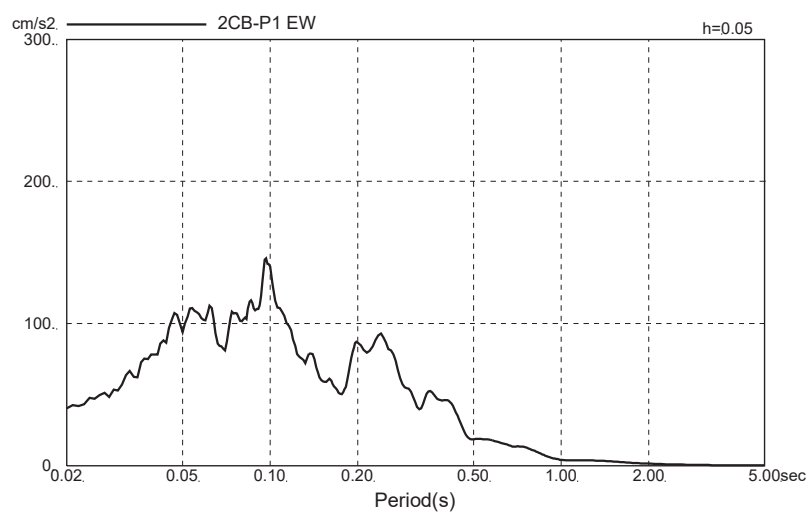


UD

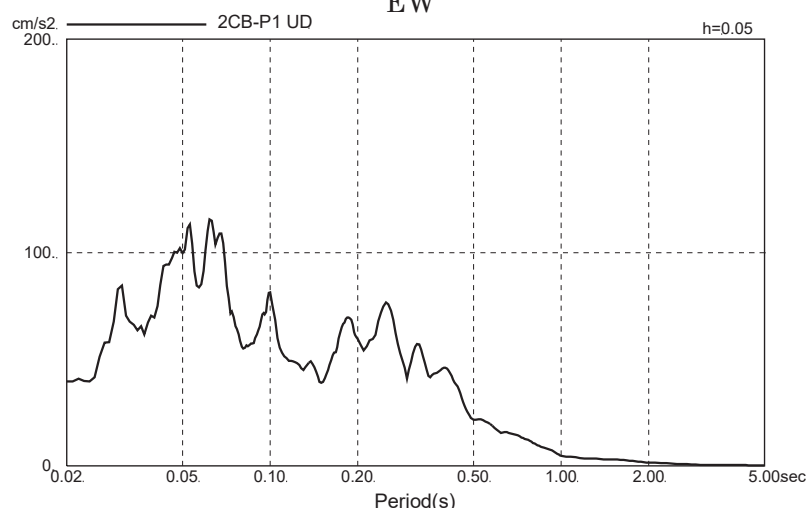
図 2-4(2) 加速度応答スペクトル (2018/02/17 宮城県東方沖の地震) : 2CB-P1



NS



EW



UD

図 2-4(3) 加速度応答スペクトル (2018/10/26 宮城県沖の地震) : 2CB-P1

2.3 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた各階のNS方向，EW方向及びUD方向の最大応答加速度及び加速度応答スペクトルと検討対象地震の観測記録との比較を図2-5～図2-10に示す。

最大応答加速度及び加速度応答スペクトルともに若干のばらつきはあるものの，いずれの地震においても，各階とも観測記録の応答スペクトルの形状を概ねとらえており，建屋全体の地震応答性状を再現できている。

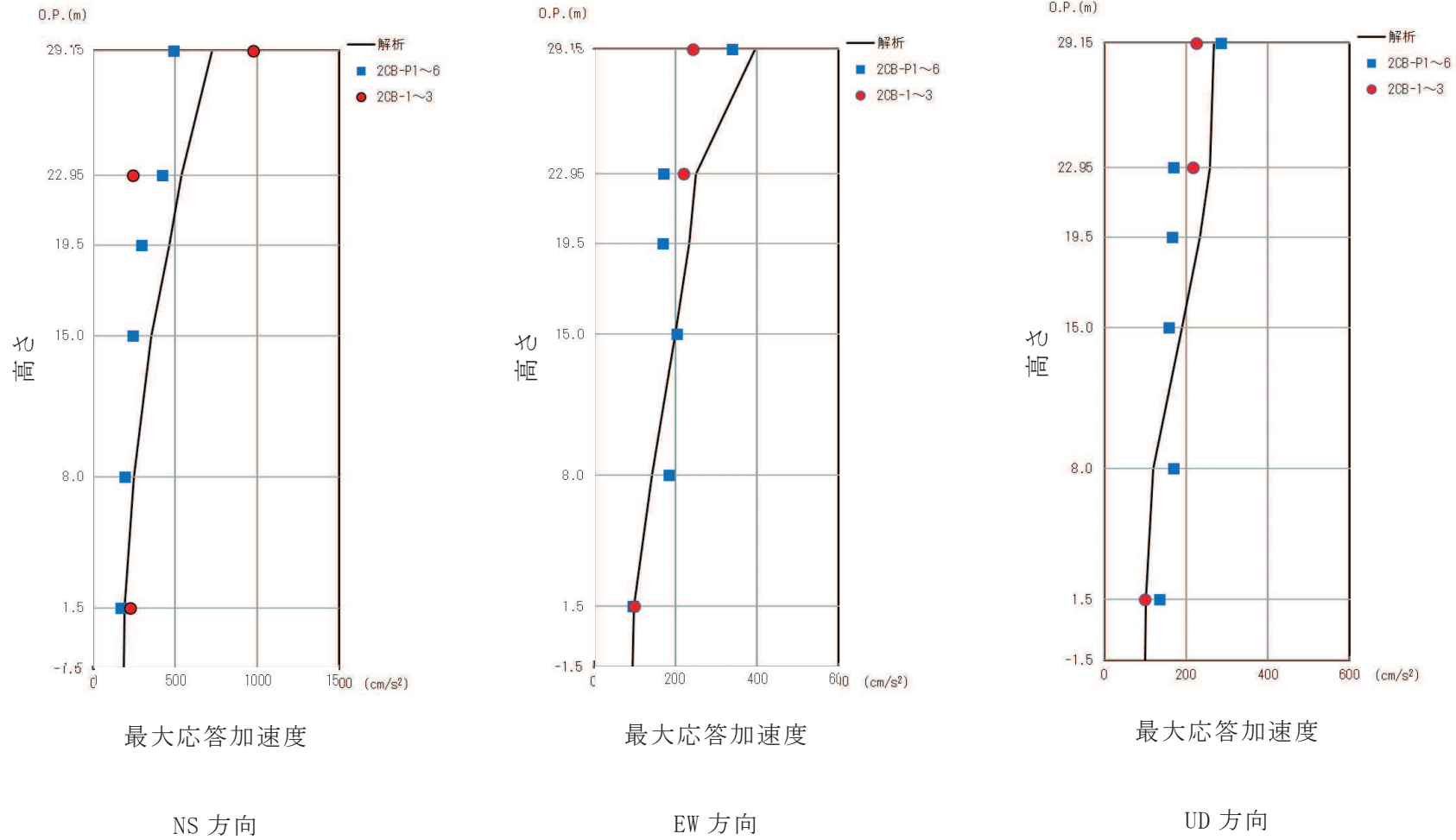


図 2-5 最大応答加速度の比較 (2013/08/04 宮城県東方沖の地震)

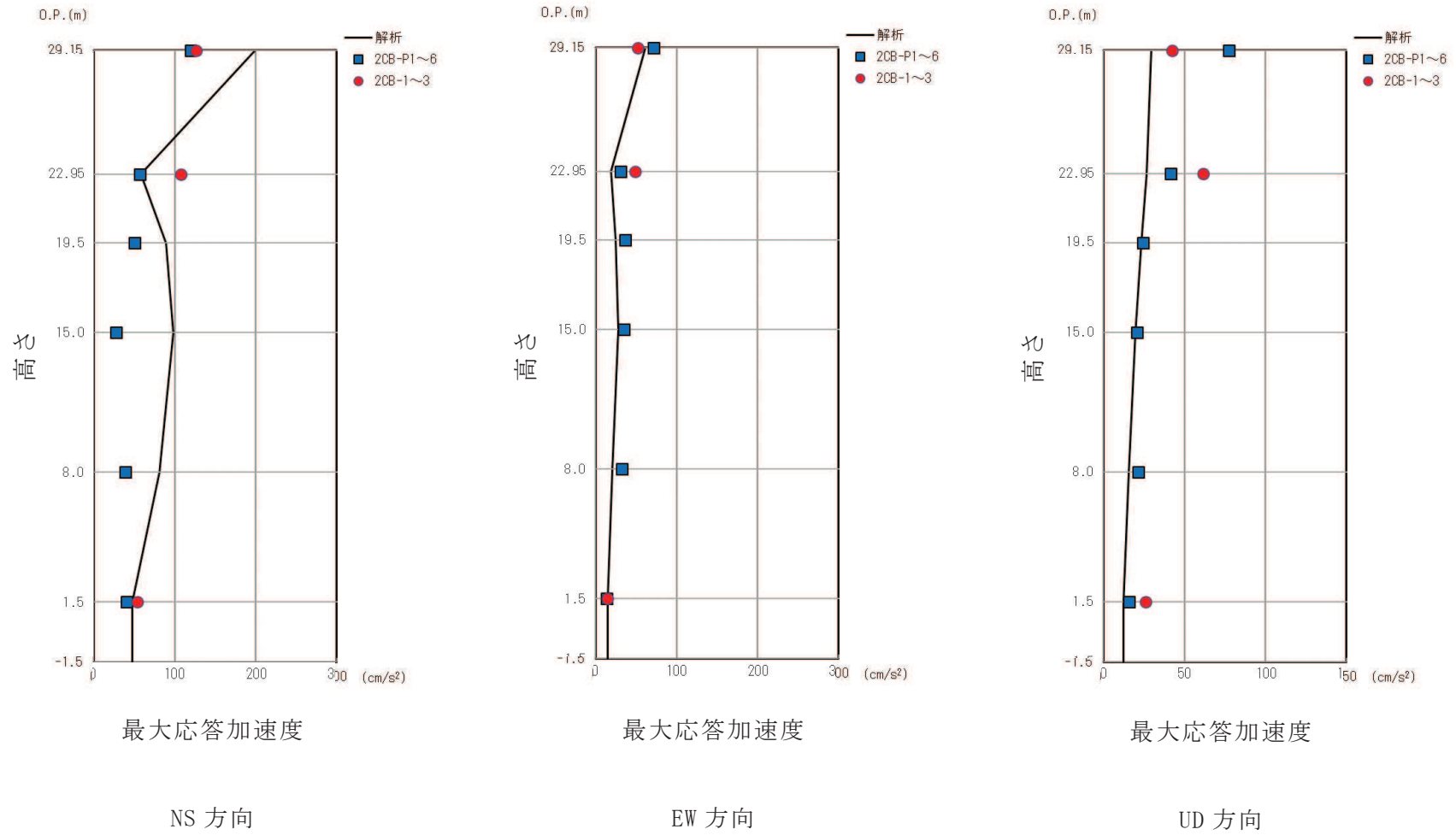
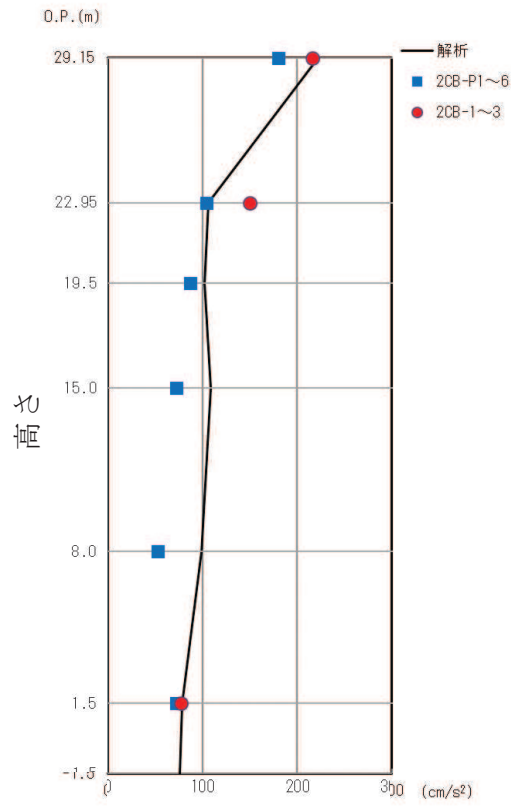
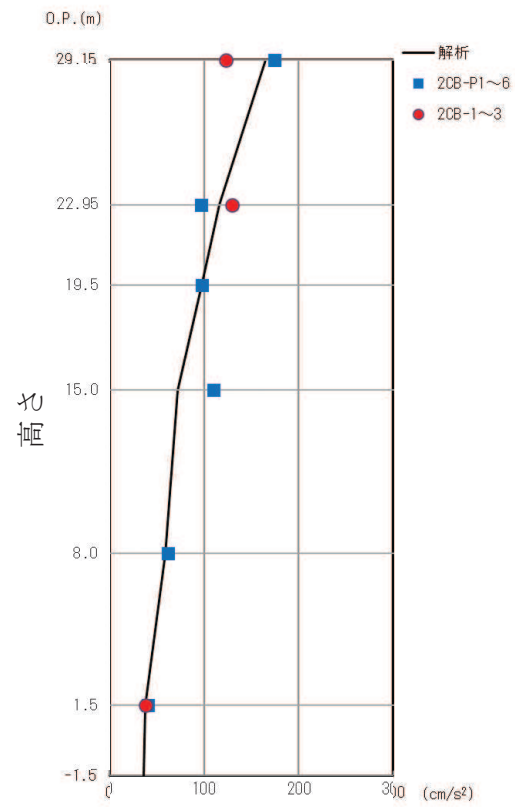


図 2-6 最大応答加速度の比較 (2018/02/17 宮城県東方沖の地震)



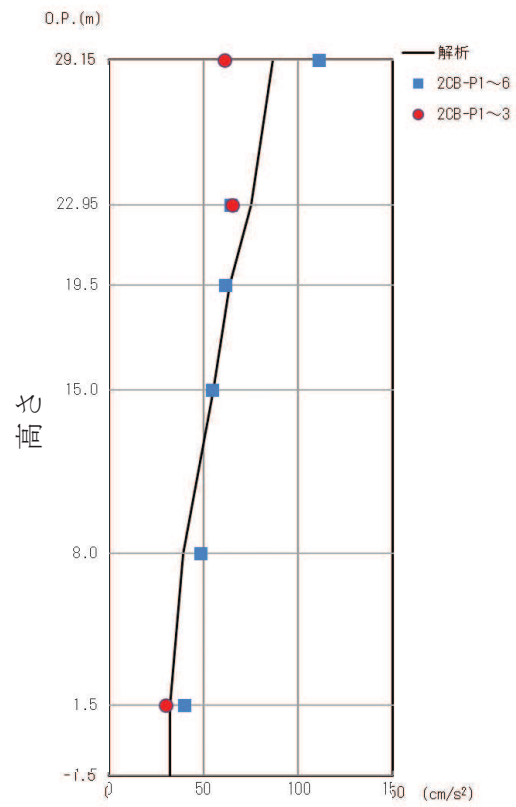
最大応答加速度

NS 方向



最大応答加速度

EW 方向



最大応答加速度

UD 方向

図 2-7 最大応答加速度の比較 (2018/10/26 宮城県沖の地震)

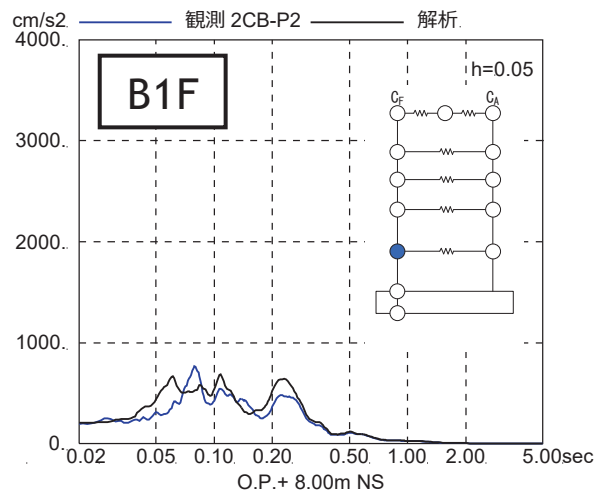
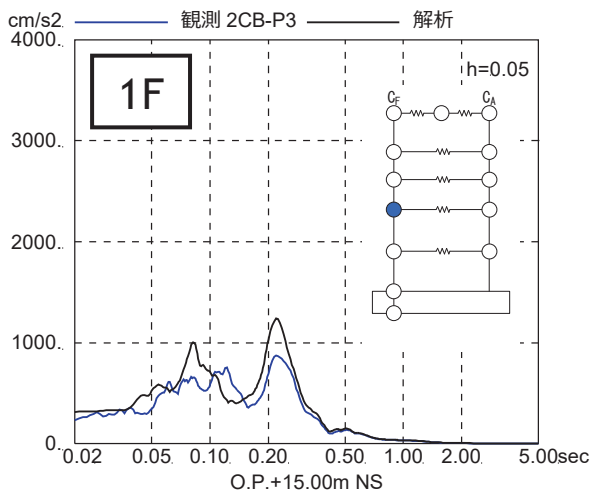
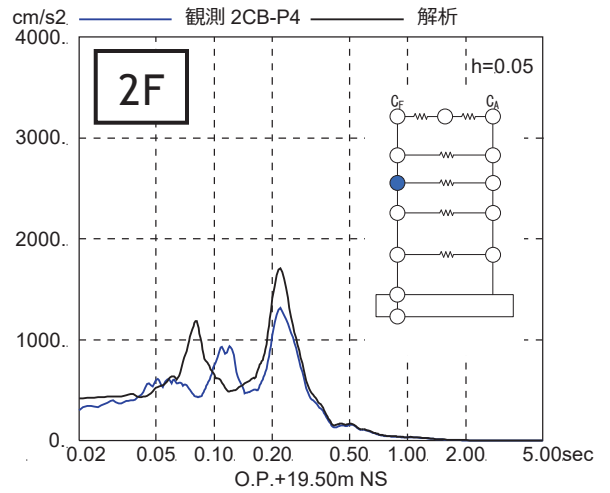
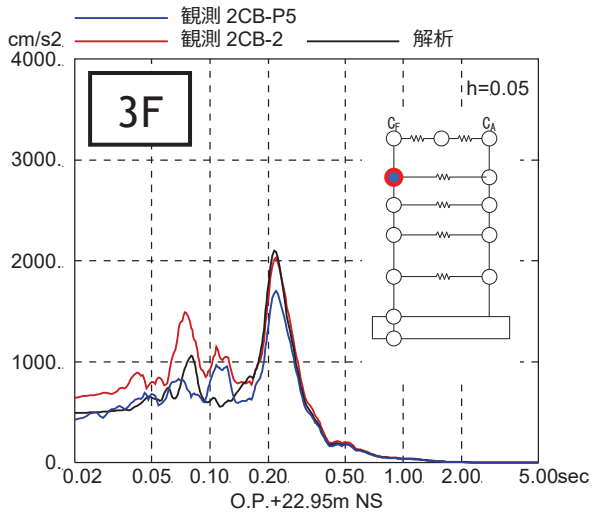
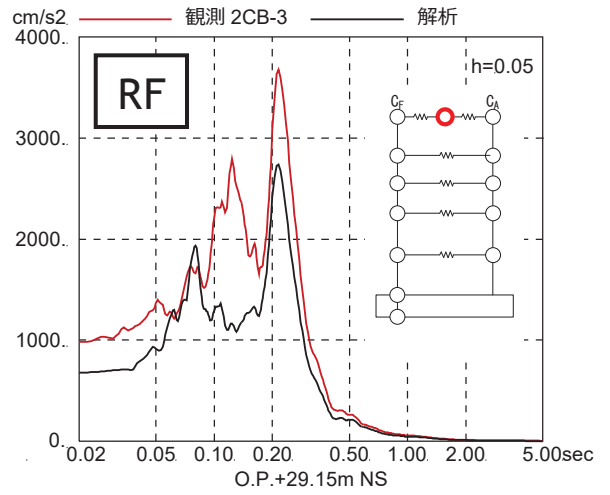
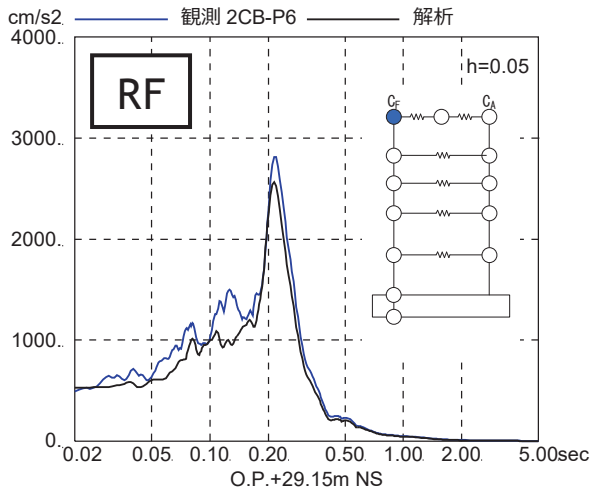


図 2-8(1) 加速度応答スペクトルの比較
(2013/08/04 宮城県東方沖の地震, NS 方向)

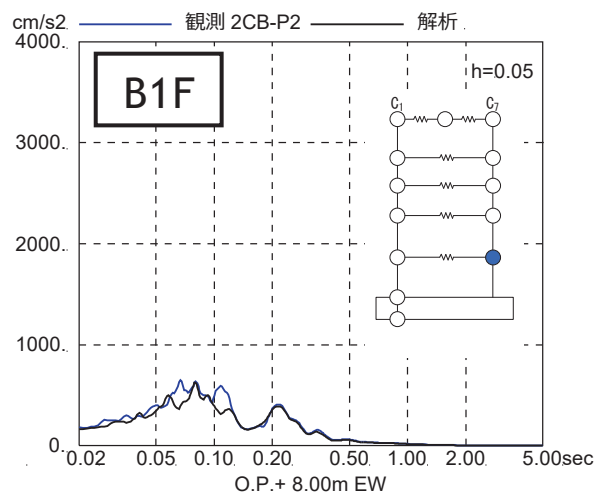
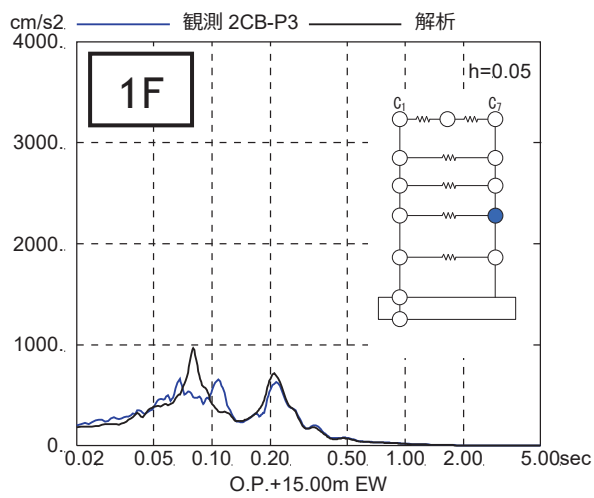
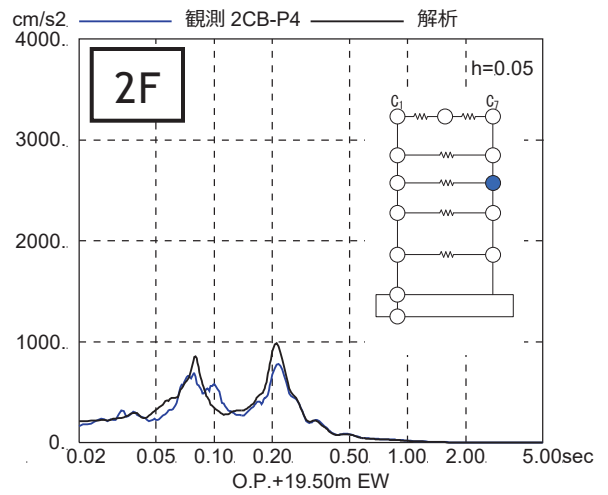
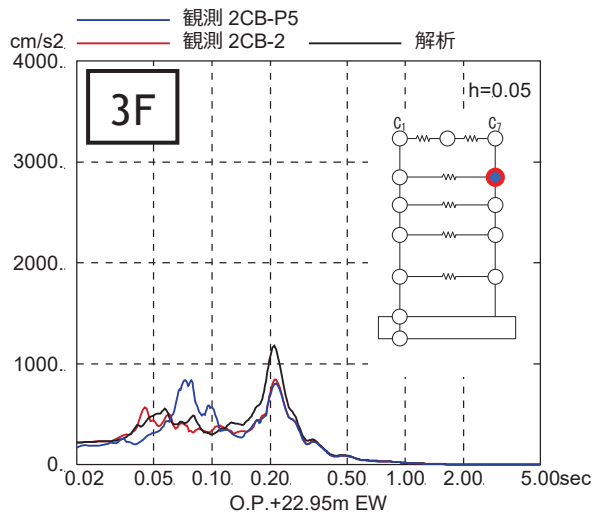
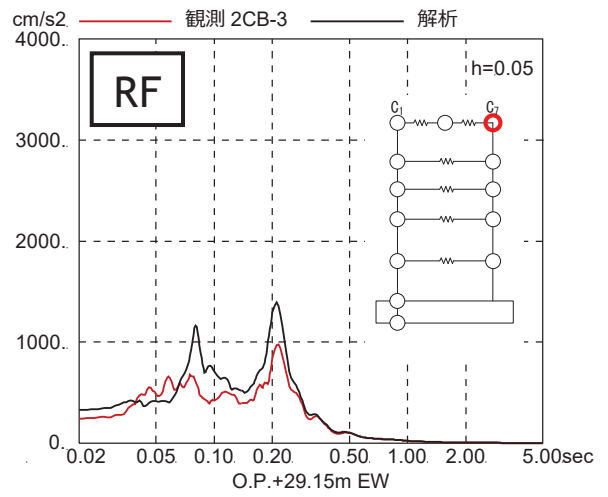
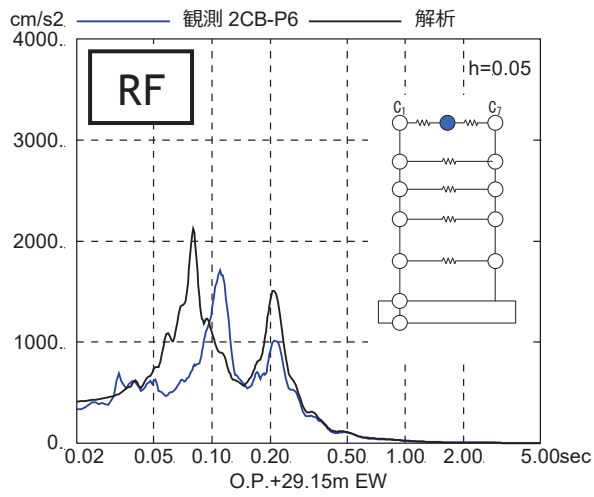


図 2-8(2) 加速度応答スペクトルの比較
(2013/08/04 宮城県東方沖の地震, EW 方向)

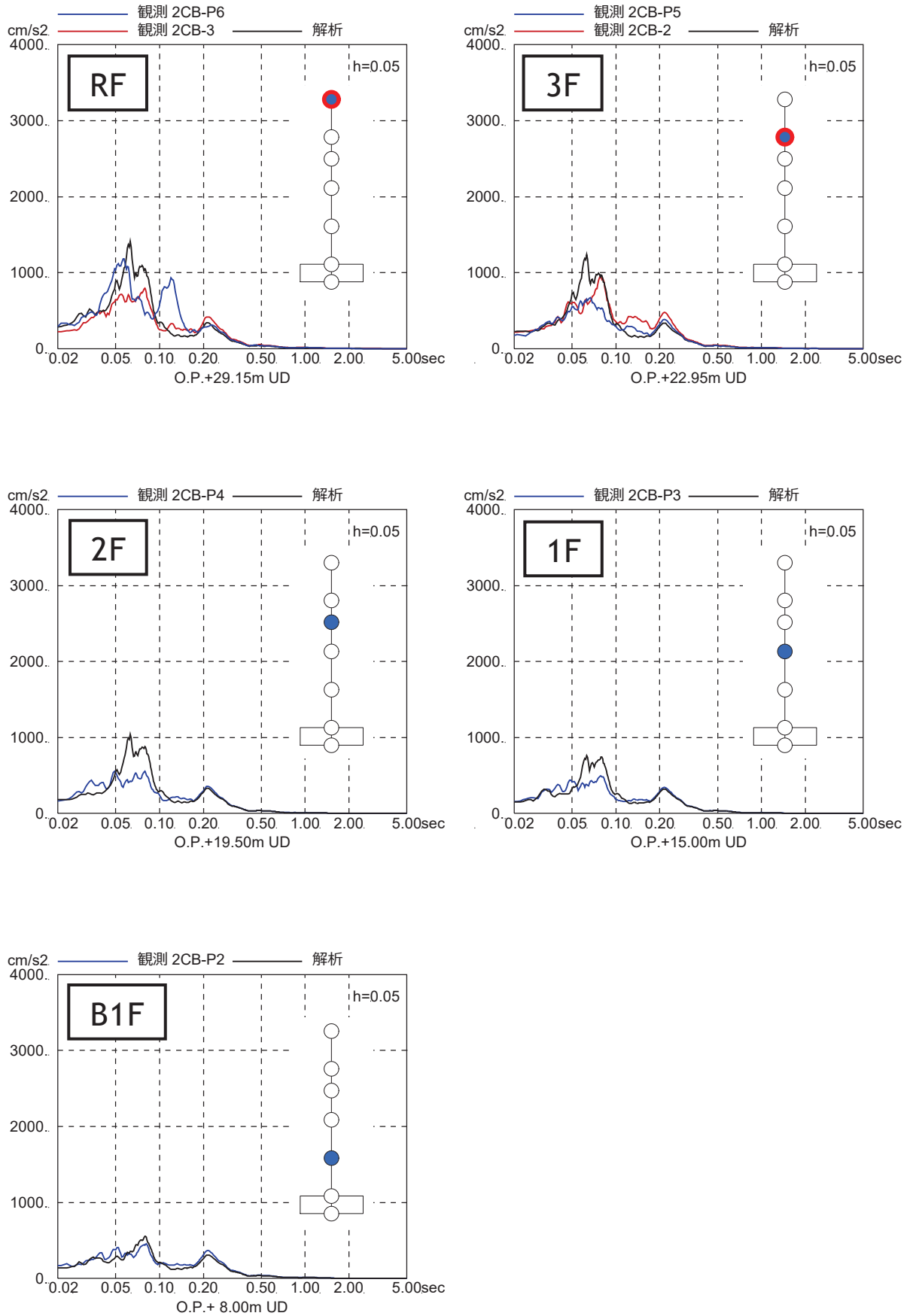


図 2-8(3) 加速度応答スペクトルの比較
(2013/08/04 宮城県東方沖の地震, UD 方向)

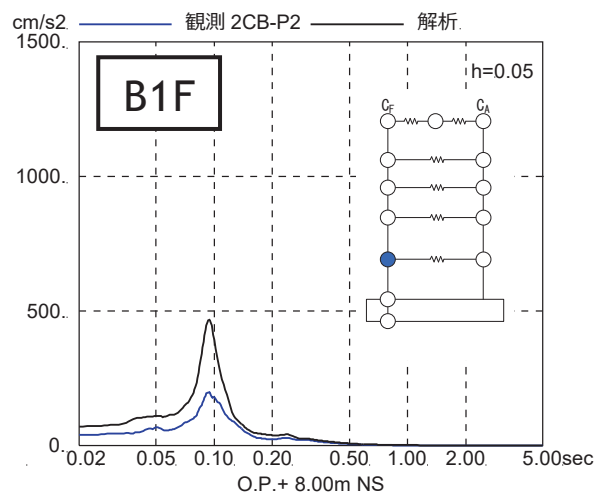
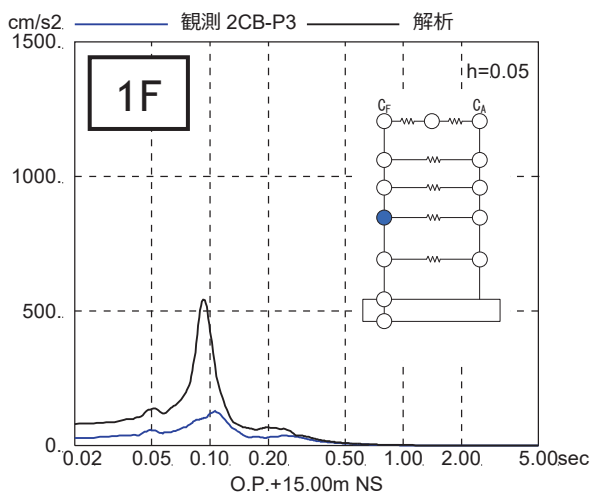
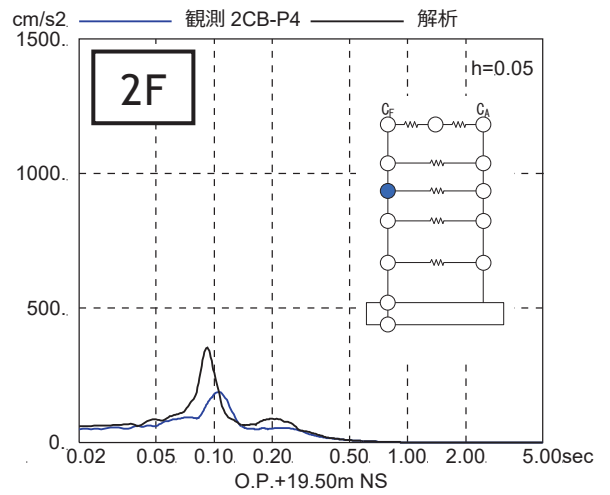
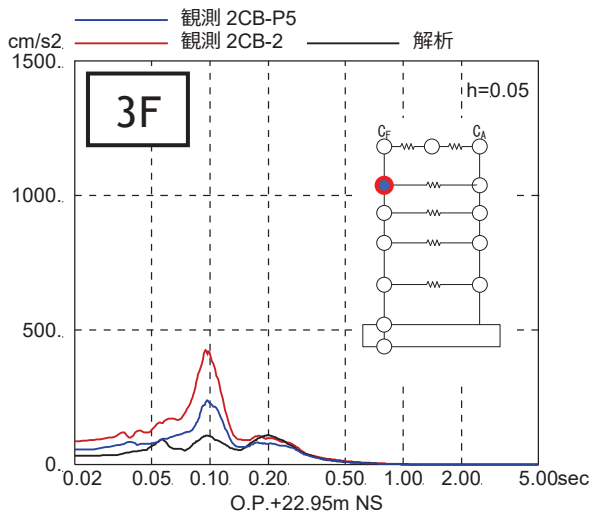
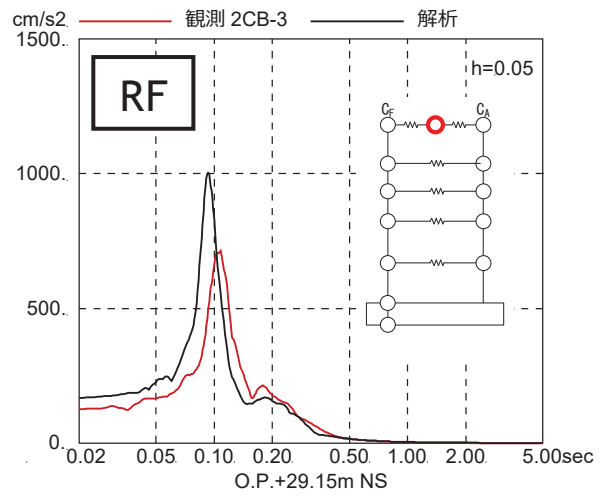
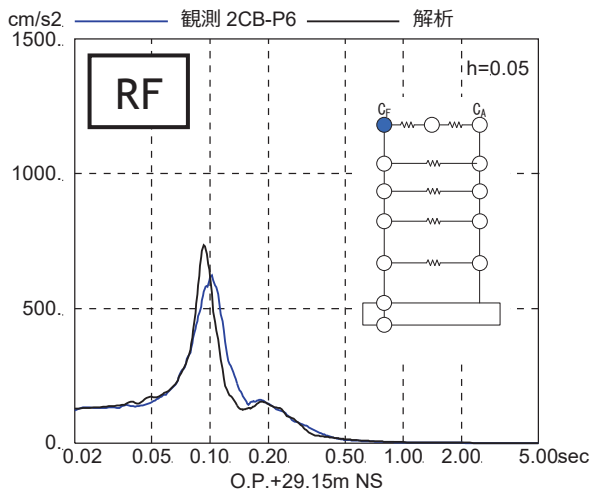


図 2-9(1) 加速度応答スペクトルの比較
(2018/02/17 宮城県東方沖の地震, NS 方向)

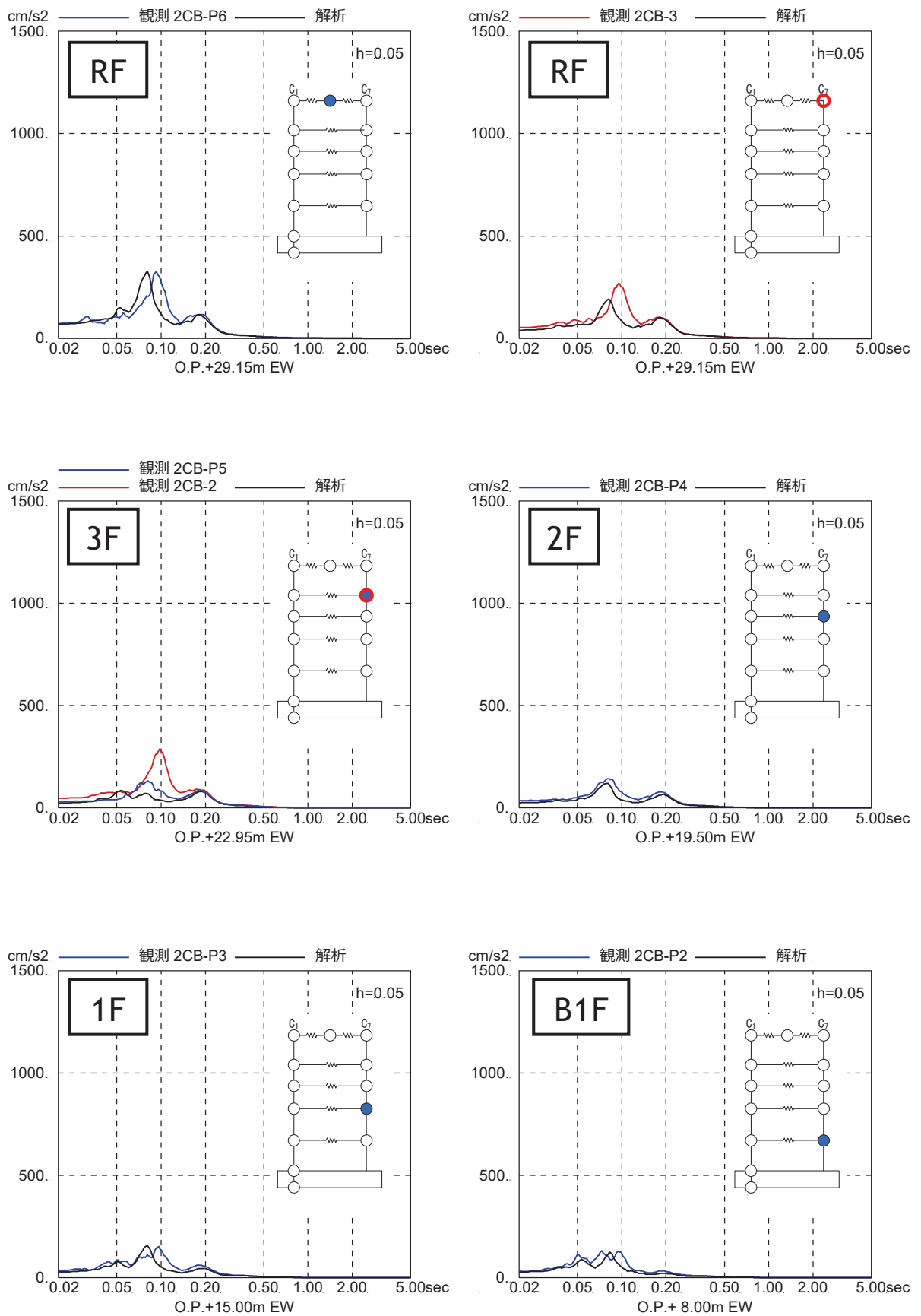


図 2-9(2) 加速度応答スペクトルの比較
(2018/02/17 宮城県東方沖の地震, EW 方向)

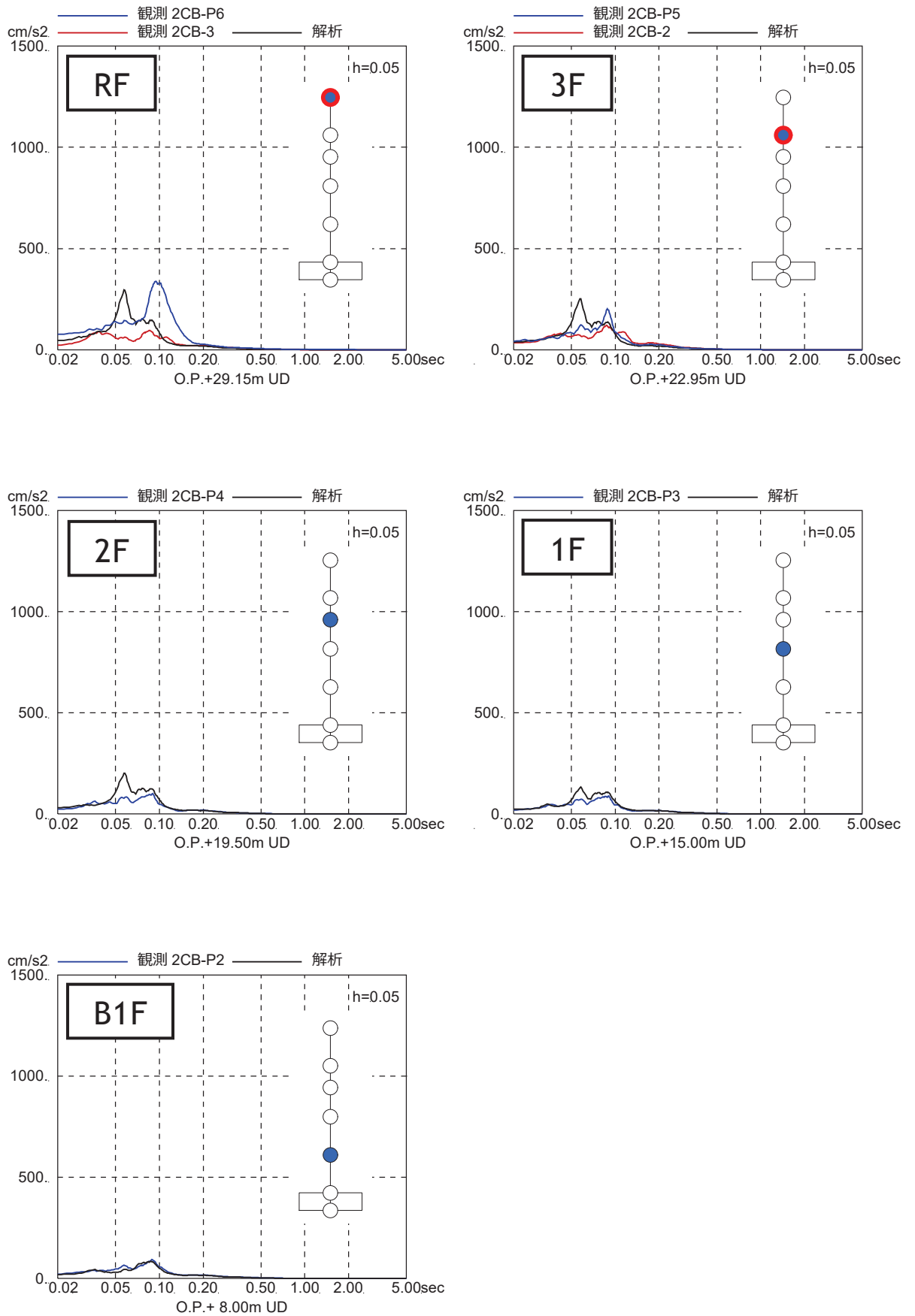


図 2-9(3) 加速度応答スペクトルの比較
(2018/02/17 宮城県東方沖の地震, UD 方向)

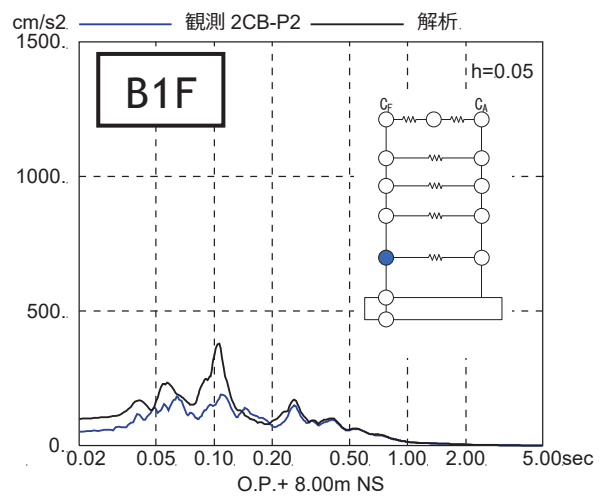
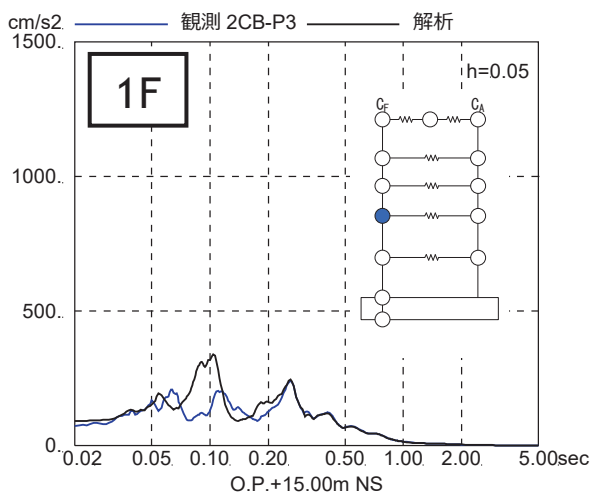
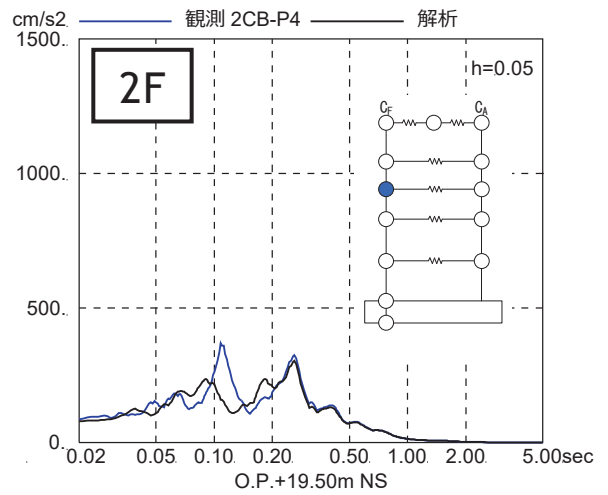
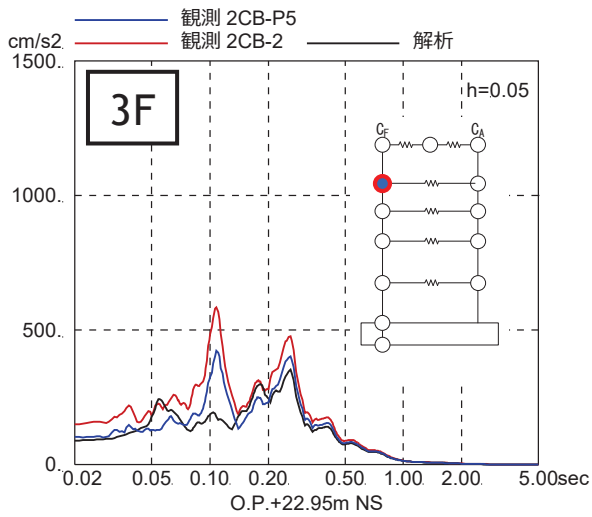
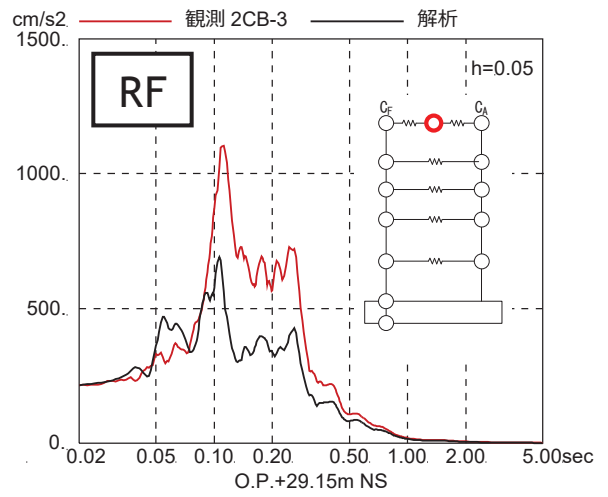
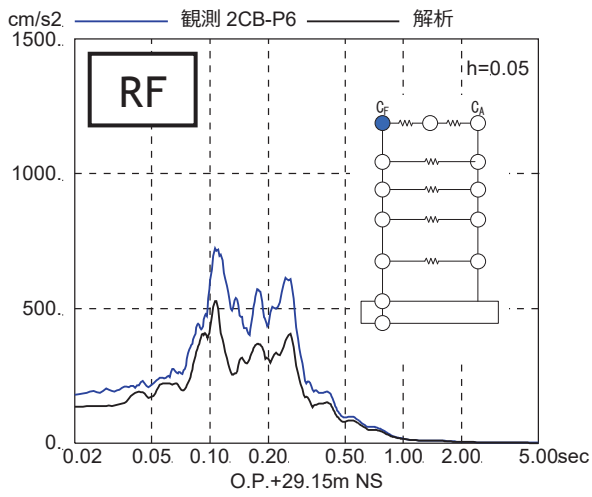


図 2-10(1) 加速度応答スペクトルの比較
(2018/10/26 宮城県沖の地震, NS 方向)

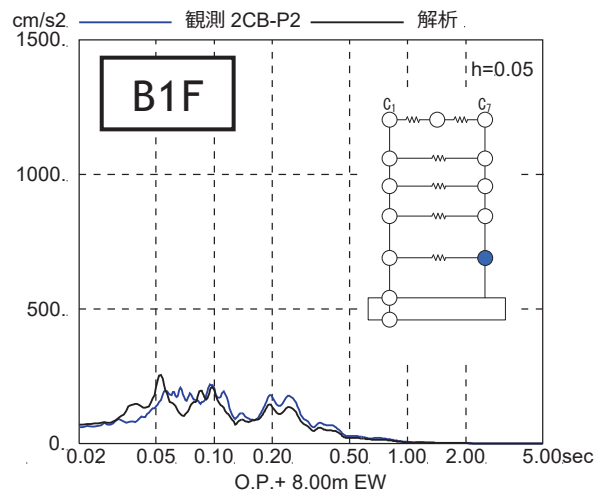
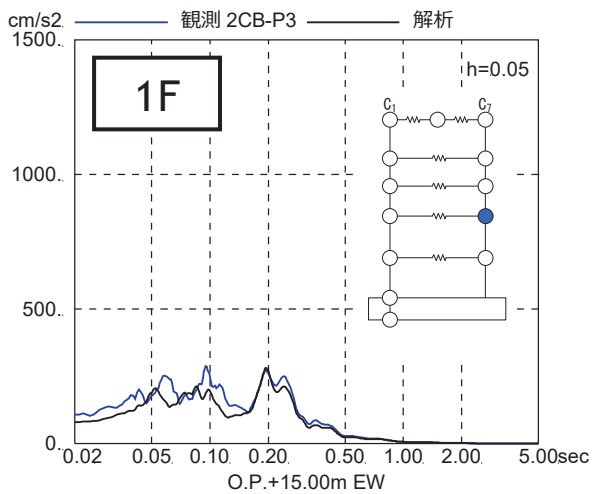
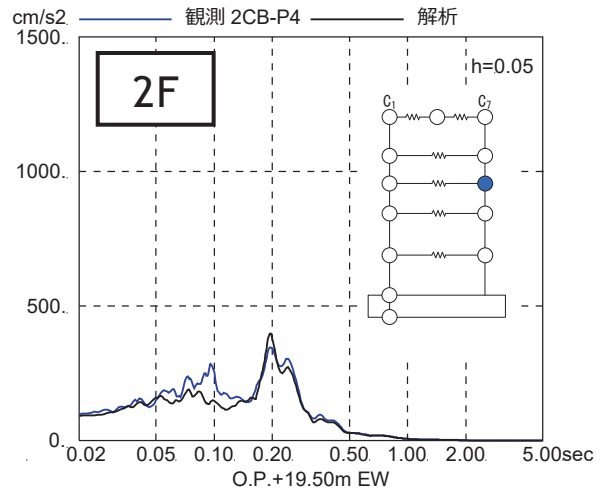
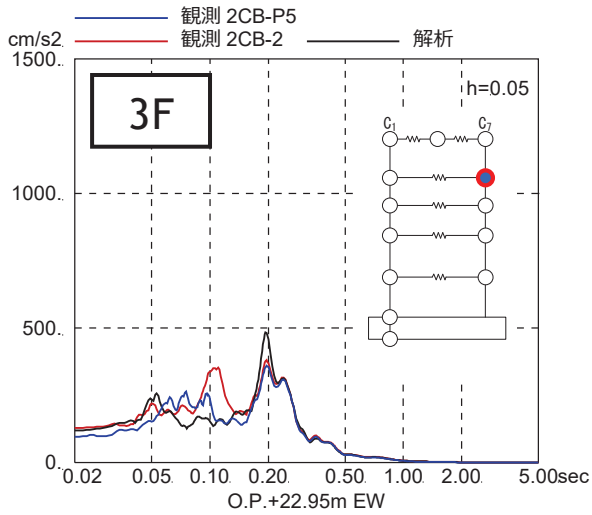
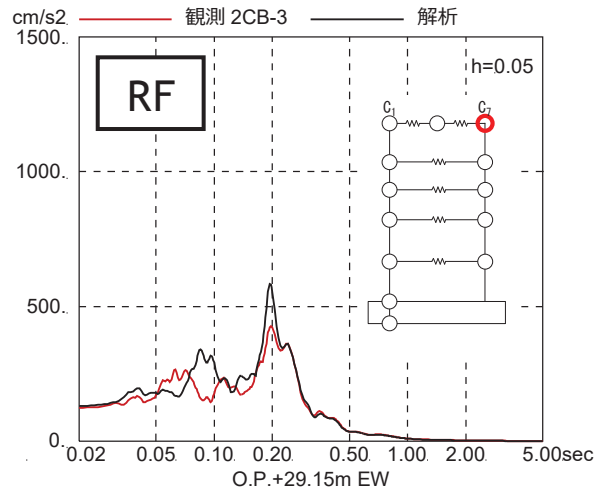
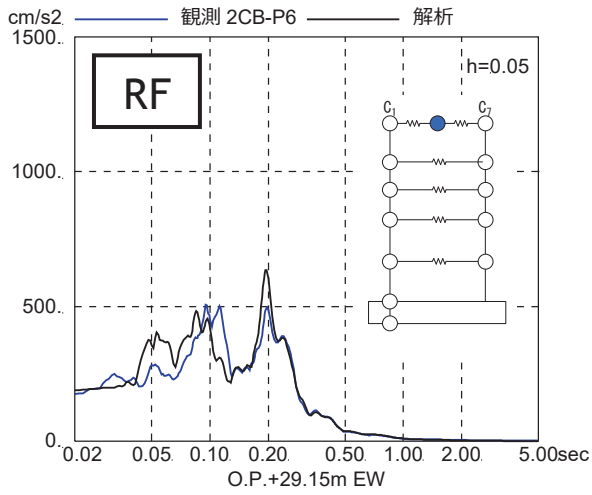


図 2-10(2) 加速度応答スペクトルの比較
(2018/10/26 宮城県沖の地震, EW 方向)

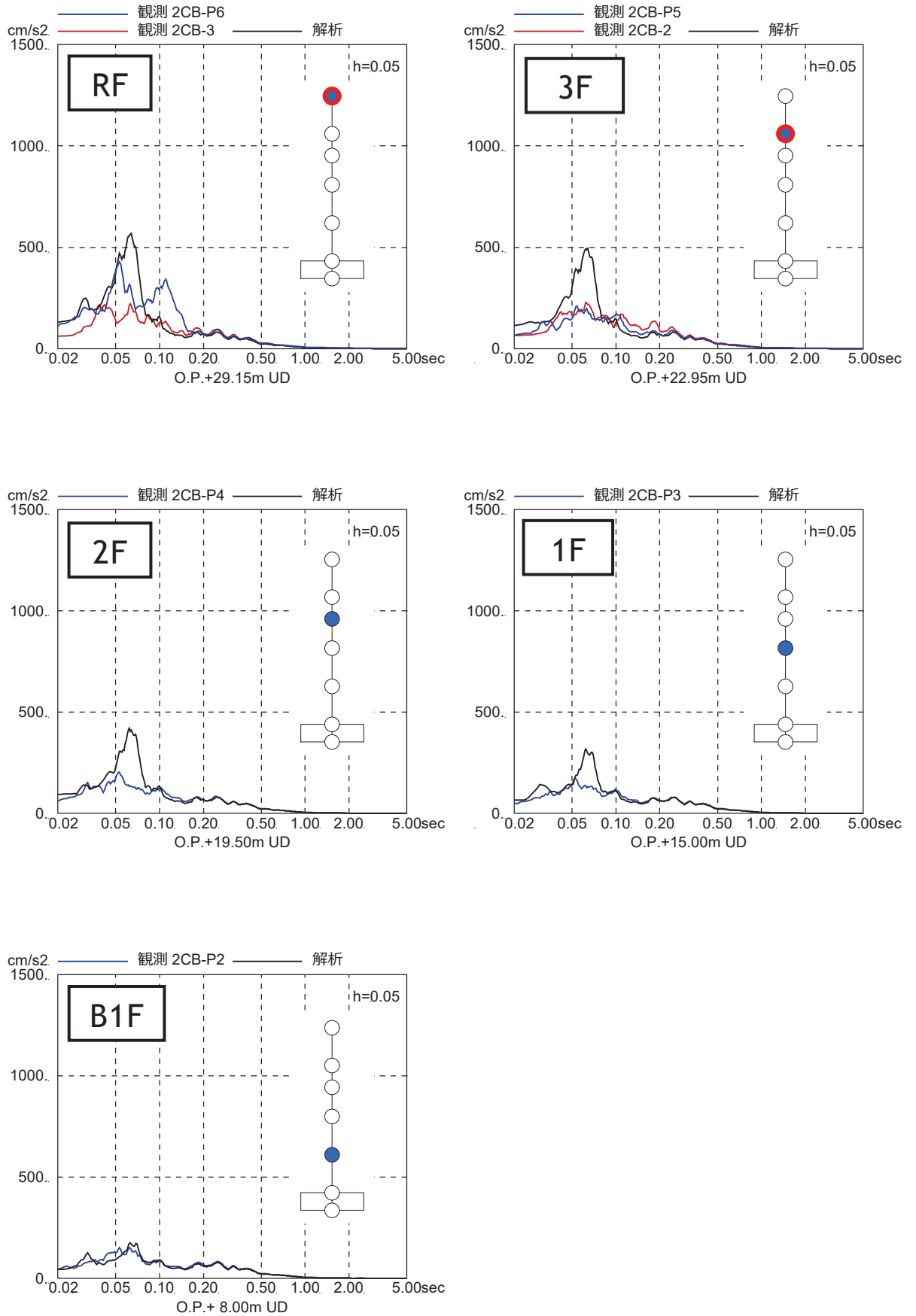


図 2-10(3) 加速度応答スペクトルの比較
(2018/10/26 宮城県沖の地震, UD 方向)

3. 評価結果のまとめ

制御建屋の3.11地震以降の各階に設置された地震計による地震観測記録を用いた地震応答解析の結果、以下の傾向が確認された。

- ① 検討対象とした地震は中小地震であり、建屋応答は弾性範囲となる地震であるが、設計剛性に対して設定した剛性補正係数（NS方向：0.40倍，EW方向：0.50倍）を用いた建屋モデルにより、最大応答加速度及び加速度応答スペクトルともに若干のばらつきはあるものの、いずれの地震においても、応答スペクトルの形状から各階ともに観測記録の1次固有周期をとらえており、建屋全体の地震応答性状に関する再現性を確認できた。
- ② RC減衰については、今回対象とした振幅が小さい地震では減衰は小さくなる傾向であるが、設計モデルで考慮している5%減衰で概ね整合する。より振幅が大きい地震時にはより減衰が大きくなると考えられる。
- ③ 鉛直動については、設計で考慮している剛性、減衰を用いた解析結果が、記録との整合性が良く、ピーク付近では観測記録に比べて大きくなっている。

[参考文献]

- (1) 女川原子力発電所における平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震時に取得された地震観測記録の分析及び津波の調査結果に係わる報告書
平成 23 年 4 月 7 日 東北電力株式会社
- (2) 女川原子力発電所における 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震時に取得された地震観測記録の分析結果に係わる報告書
平成 23 年 4 月 25 日 東北電力株式会社

別紙 1-3 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析
(制御建屋)

目 次

1. 検討の目的.....	別紙 1-3- 1
2. 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析.....	別紙 1-3- 2
2.1 解析モデルの概要.....	別紙 1-3- 2
2.1.1 建屋モデル.....	別紙 1-3- 2
2.1.2 入力地震動の算定.....	別紙 1-3- 9
2.2 地震応答解析結果.....	別紙 1-3-11
2.2.1 最大加速度分布の比較.....	別紙 1-3-11
2.2.2 観測記録の床応答スペクトルとの比較.....	別紙 1-3-14
2.2.3 面内せん断ひずみ分布と点検結果との比較.....	別紙 1-3-17
2.2.4 地震による建屋の構造的影響評価.....	別紙 1-3-22
3. 評価結果のまとめ.....	別紙 1-3-23
別紙 1-3-1 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析と点検結果の比較 (制御建屋)	

1. 検討の目的

3.11 地震及び 4.7 地震の 2 つの地震について、制御建屋の 3 次元 FEM 等価線形モデルにより建屋内に設置された地震計の観測記録を用いてシミュレーション解析を行う。

本検討は、3 次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析結果から、3.11 地震時及び 4.7 地震時に建屋各部に発生する面内せん断ひずみを算定し、耐震壁の点検結果との整合性確認を行った上で、3.11 地震及び 4.7 地震時の建屋の構造的影響評価を行うことを目的とする。

2. 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析

2.1 解析モデルの概要

2.1.1 建屋モデル

制御建屋 3次元 FEM モデルによる地震応答解析は、基礎版上における地震観測記録から算定した入力地震動を用いた周波数応答解析とする。建屋モデルは等価線形モデルとする。

解析モデルへの入力地震動は、制御建屋の基礎版上での観測記録から算定した基礎底面への入力地震動を底面地盤ばねを介して入力する。

解析結果と観測記録の整合性は、最大応答加速度及び加速度応答スペクトルについて観測記録との比較によって確認する。

建屋モデルの概要を以下に示す。解析モデルの諸元の設定について表 2-1 に示す。

①モデル化範囲

耐震壁，補助壁，床スラブ，基礎スラブ，柱，はり及び屋根トラス

②地盤ばね

地震応答解析モデルでは、アドミッタンス理論により算定される基礎底面水平地盤ばね及び回転地盤ばね（J E A Gによる近似法）を基礎版底面の節点に取りつく離散化ばねとしてモデル化する。なお、側面地盤ばねは考慮しないものとする。

③質量

壁と床はシェル要素でモデル化し、厚さに応じたコンクリート重量を与える。柱及びはりのはり要素でモデル化し、部材断面に応じたコンクリート重量を与える。屋根トラスの弦材は鋼材物性のはり要素でモデル化し、屋根トラスの斜材は鋼材物性のトラス要素でモデル化する。基準階ごとに、上下の階高の1/2の範囲を支配高さとして重量を算定し、質点系モデルの重量から不足する重量（機器荷重や配管荷重等に相当）は、床面に等分布荷重として与えて、質点系モデルの重量と等しくなるようにする。

④鉄筋コンクリート剛性

設計剛性を基本とし、壁については質点系モデルによるシミュレーション解析により評価した最適な剛性を参考にして、NS方向の壁とEW方向の壁は独立に剛性を設定する。床スラブ及び柱，はりには設計剛性とする。

⑤減衰

建屋全体1次固有周期に対して5%の一定減衰とする。

各階のモデル化範囲および解析モデル図を図2-1に示す。また、解析モデルに用

いる物性値を表2-2 に示す。図2-2～図2-5に解析モデルのNS方向及びEW方向の1次固有モード及び2次固有モードを示す。1次固有モードは刺激関数が最大となるモードとして選定した。

表2-1 解析モデル諸元の設定（水平方向）

項 目		シミュレーション解析 (当該地震による評価)
応答計算法		周波数応答解析
入力地震動		制御建屋の基礎版上での観測記録から算定した基礎底面の入力波を底面地盤ばねを介して入力
剛性 評価	考慮範囲	耐震壁，補助壁，床スラブ，基礎スラブ，柱，はり，屋根トラス
	ヤング係数(E) せん断弾性係数(G)	壁要素のみ観測記録との適合性を踏まえ再設定 床要素，柱，はり は設計剛性
	剛性・復元力特性の 設定の考え方	観測記録と整合する等価な剛性のモデル化は，壁のヤング係数・せん断弾性係数をNS，EW方向別に再設定することにより行う。
減衰 定数	鉄筋コンクリート	観測記録との適合性も踏まえ5%に設定 (一定減衰)
	減衰定数設定の 考え方	埋込み効果分も含め，観測記録のみかけの減衰に対して，解析では全て鉄筋コンクリート部の減衰に代表させた。なお，水平2方向は同じ値を採用。
解析 モデル	建屋-地盤相互作用	離散化ばね（水平2方向，鉛直）を基礎版底面の全節点に支配面積比で分配する。 (側面地盤との相互作用は考慮しない)
	建屋モデル	3次元FEMモデル（壁，床及び基礎スラブはシェル要素，柱，はり ははり要素） (剛域などの拘束条件は設定していない)
	地盤ばね	J E A Gによる近似法により評価したばねを離散化ばねとする

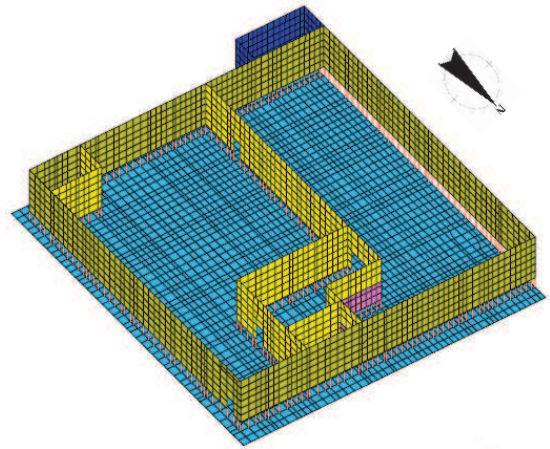
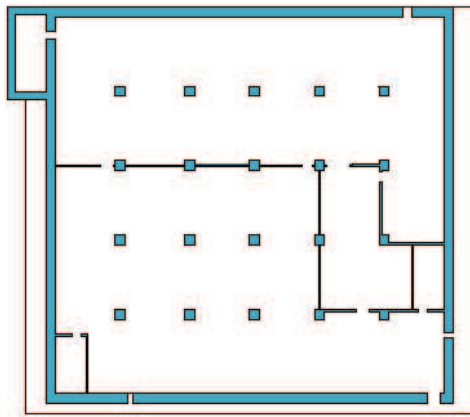


図 2-1(1) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 1.5m)

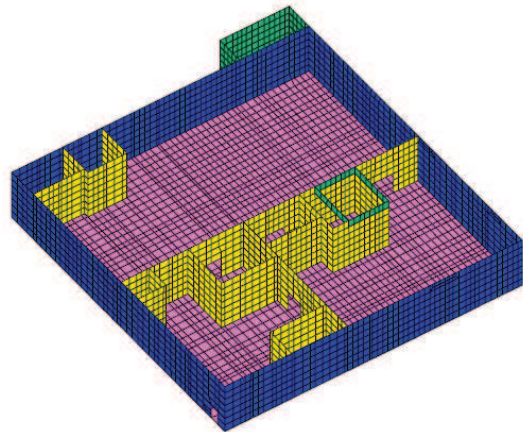
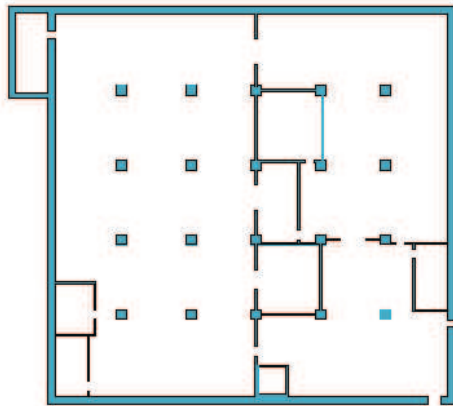


図 2-1(2) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 8.0m)

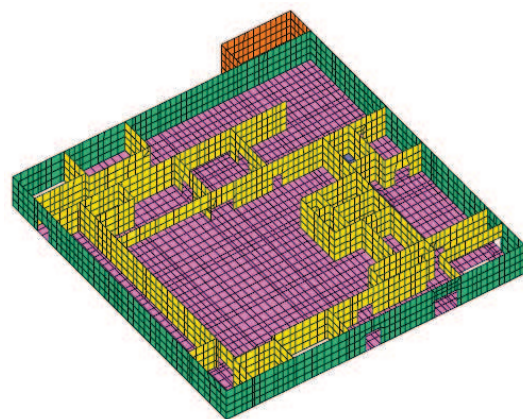
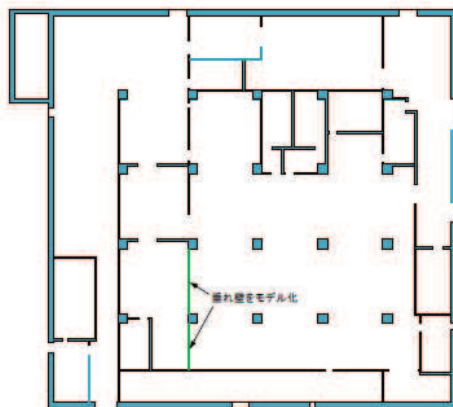


図 2-1(3) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 15.0m)

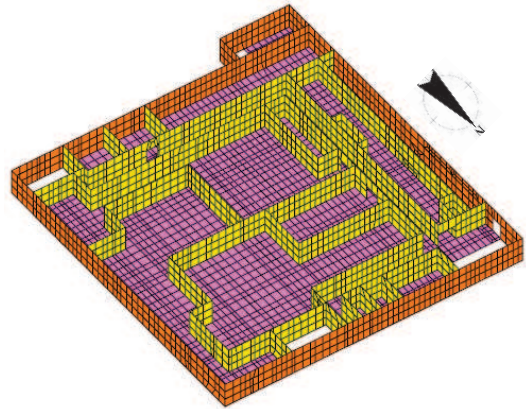
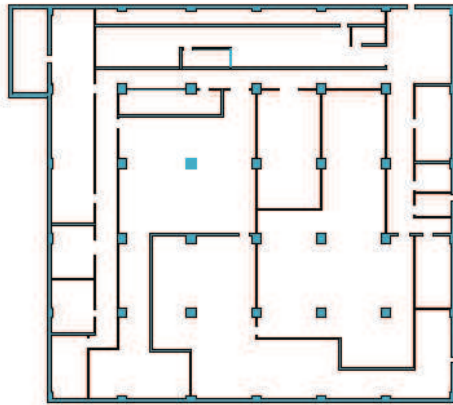


図 2-1(4) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (O.P. 19.5m)

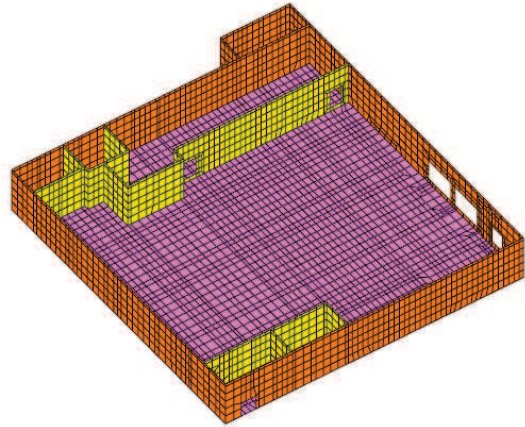
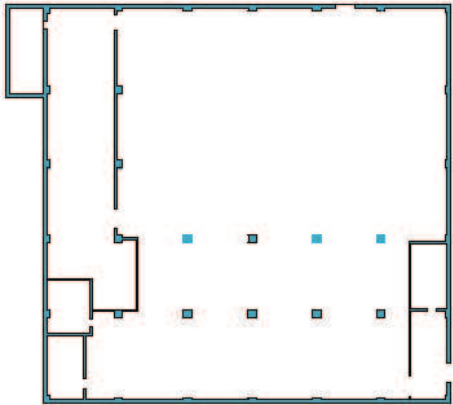


図 2-1(5) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (O.P. 22.95m)

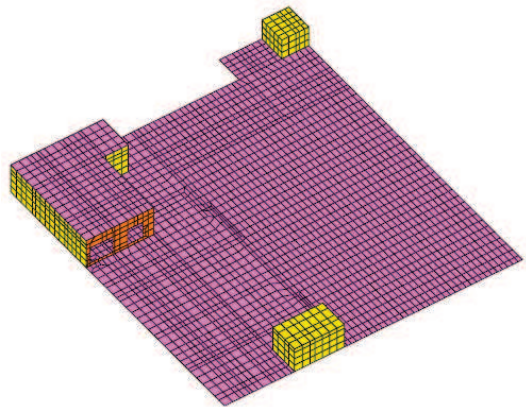
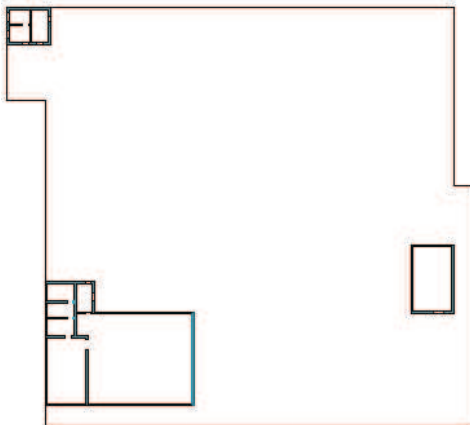


図 2-1(6) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (O.P. 29.15m)

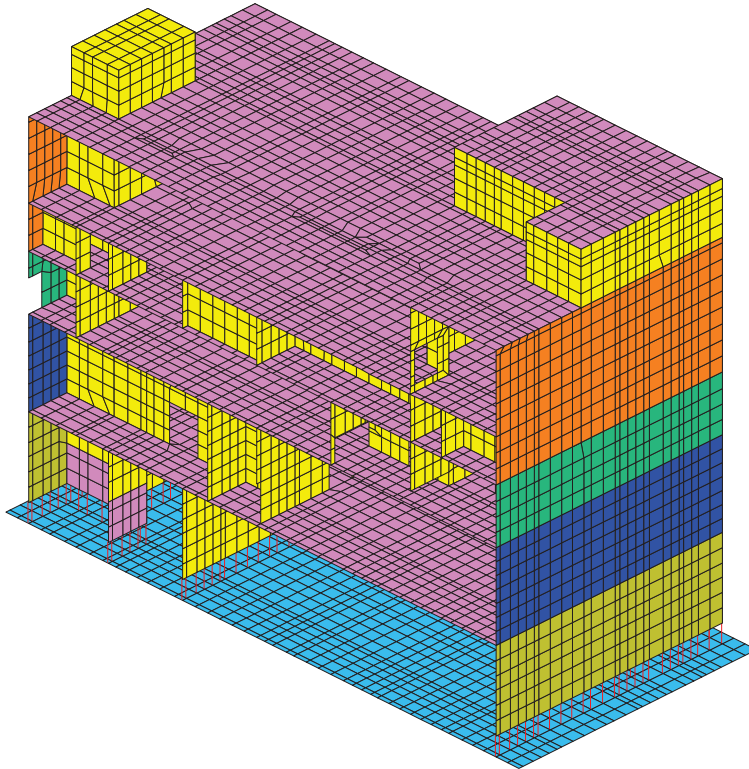


図2-1(7) 3次元FEMモデル断面図

表2-2 解析モデルに用いる物性値（水平方向）

材 料	方向	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コンクリート	NS	10.59×10^3	4.55×10^3	5
	EW	13.24×10^3	5.69×10^3	5

注記：設計値 ヤング係数 2.65×10^4 N/mm²
せん断弾性係数 1.14×10^4 N/mm²

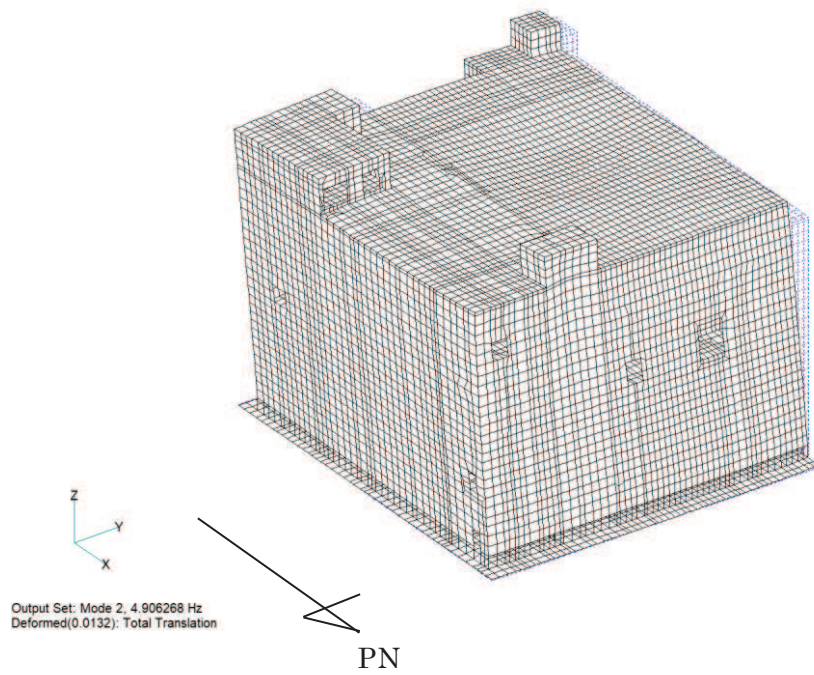


図2-2 3次元FEMモデルNS方向1次（全体3次）固有モード図
（周期0.204秒）

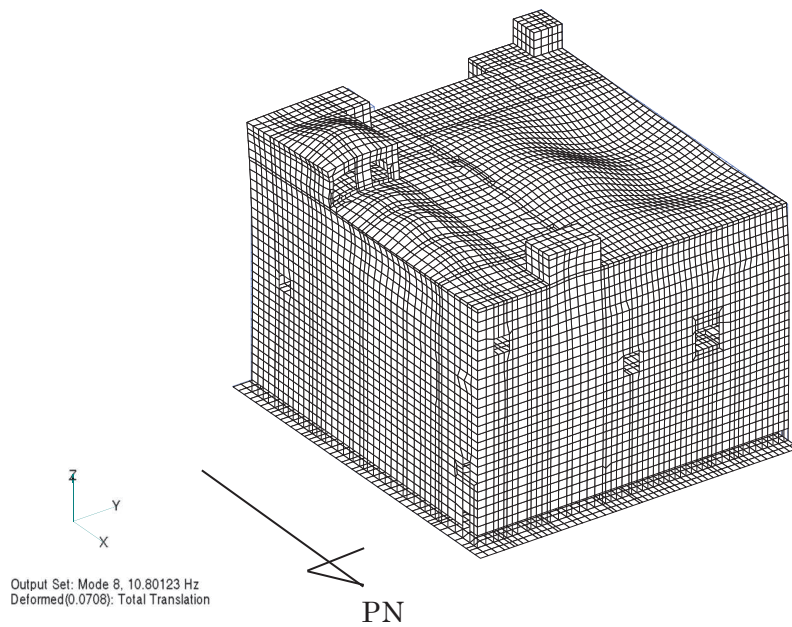


図2-3 3次元FEMモデルNS方向2次（全体8次）固有モード図
（周期0.093秒）

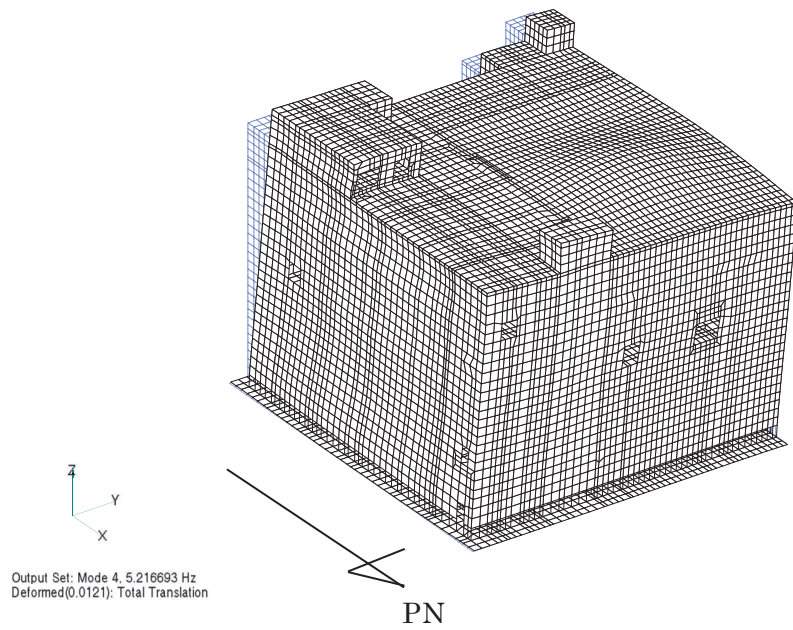


図 2-4 3次元 FEM モデル EW 方向 1 次（全体 4 次）固有モード図
（周期 0.192 秒）

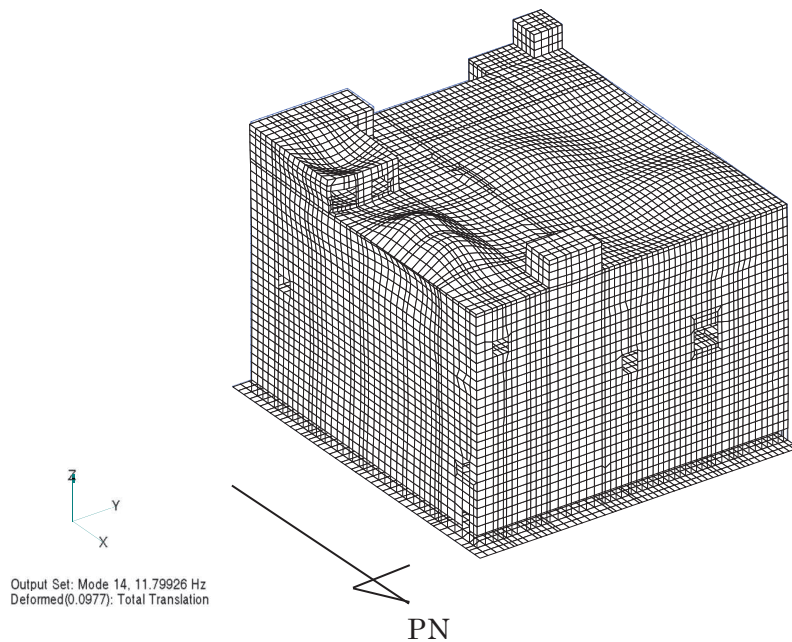


図 2-5 3次元 FEM モデル EW 方向 2 次（全体 14 次）固有モード図
（周期 0.085 秒）

2.1.2 入力地震動の算定

解析モデルへの入力地震動は、制御建屋の基礎版上での観測記録から質点系モデルの周波数応答解析で算定した入力地震動を線形解析モデルの底面地盤ばねを介して入力し、建屋各部の応答を算定する。入力地震動の概念を図 2-6 に示す。また、制御建屋における地震計配置図（断面図及び平面図）を図 2-7 に示す。

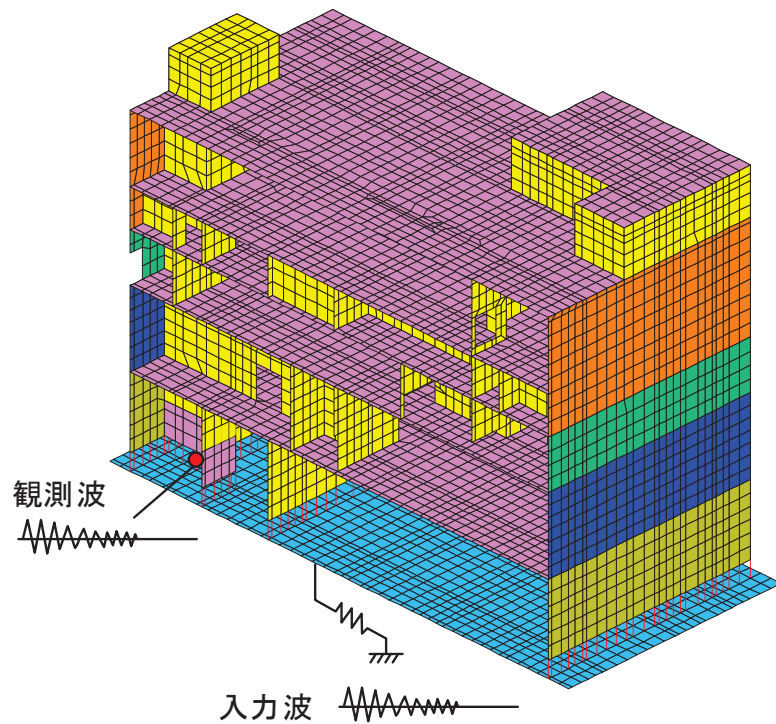
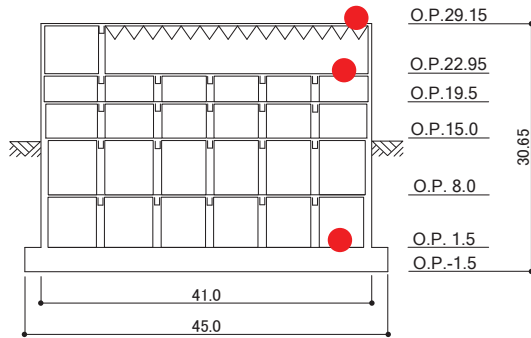
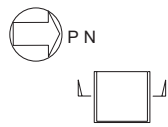
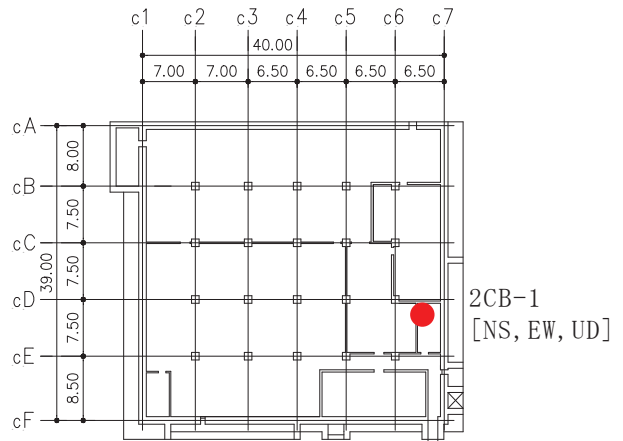


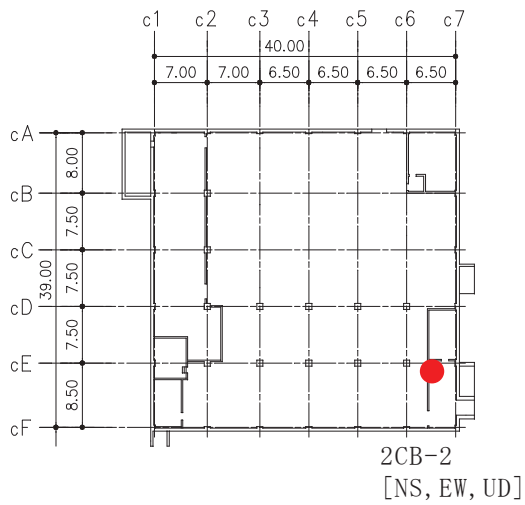
図 2-6 入力地震動の算出概念図



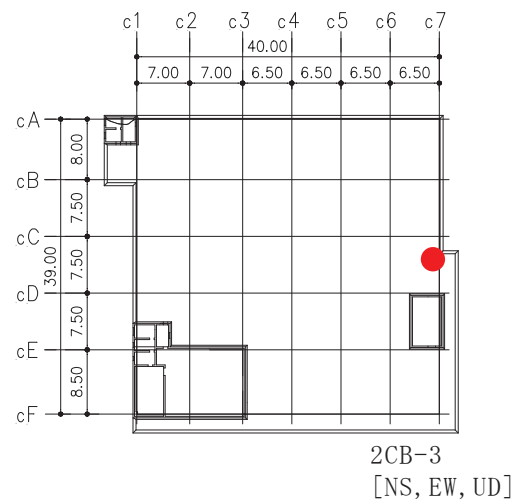
断面図



基礎版上 (O.P. 1.5m)



地上 3 階 (O.P. 22.95m)



屋上階 (O.P. 29.15m)

図 2-7 制御建屋 地震計配置図

2.2 地震応答解析結果

作成した3次元FEMモデルの妥当性を確認するため、地震観測記録のシミュレーション解析を行う。

2.2.1 最大加速度分布の比較

3.11地震及び4.7地震の3次元FEMモデルにより算定した応答波形の最大加速度分布を観測記録と比較して図2-8～図2-9に示す。比較にあたっては、図2-7に示す地震計位置で得られた観測記録の最大加速度と、地震計位置に相当する解析モデルの節点における解析結果とを比較して示している。

3次元FEMモデルにより算定した応答波形の最大加速度は、観測記録と整合している。

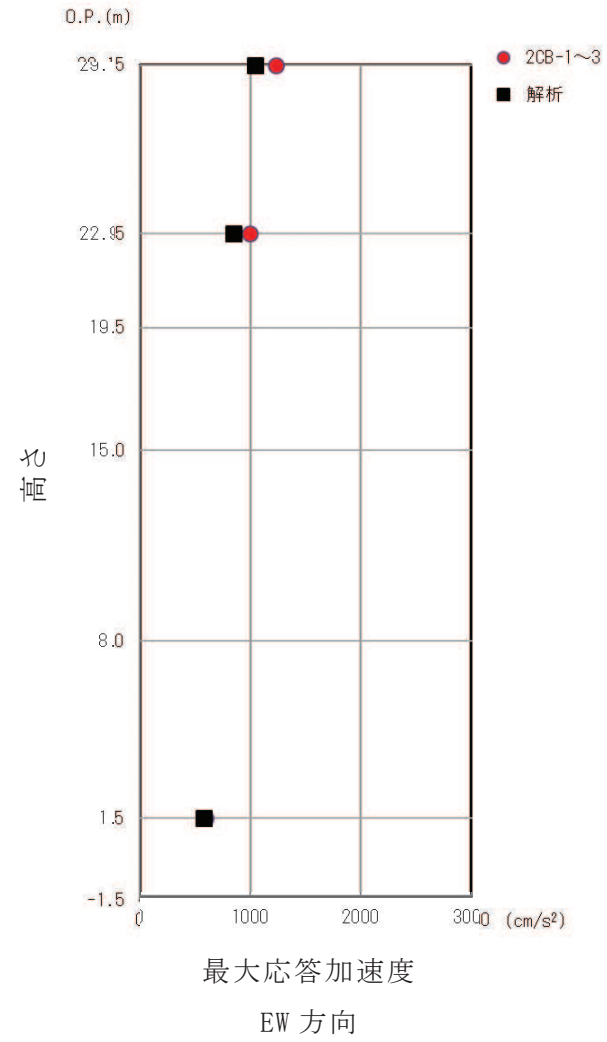
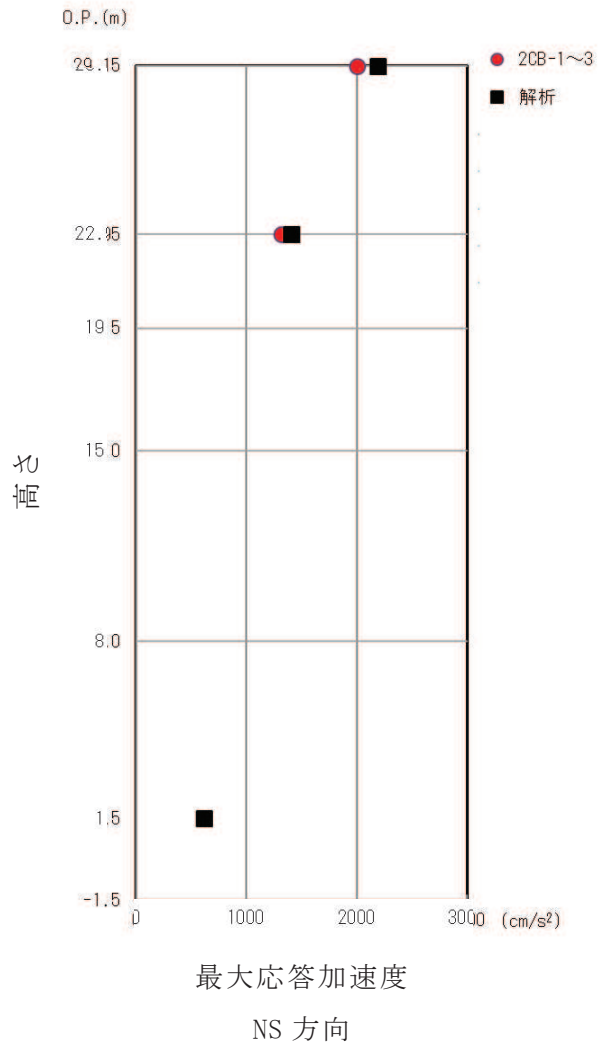


図2-8 3次元FEMモデルと観測記録の最大加速度分布 (3.11地震)

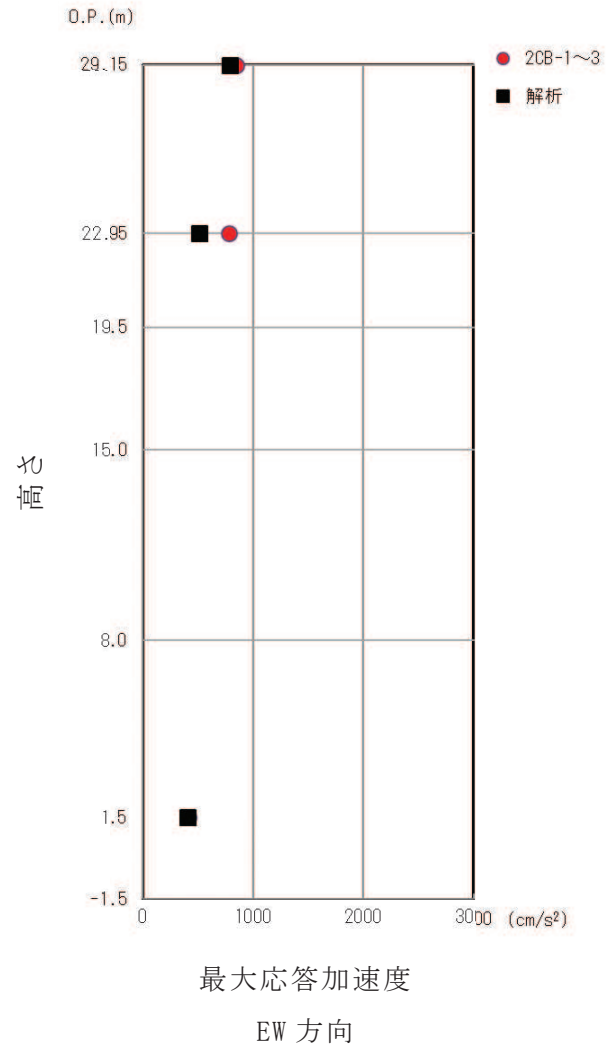
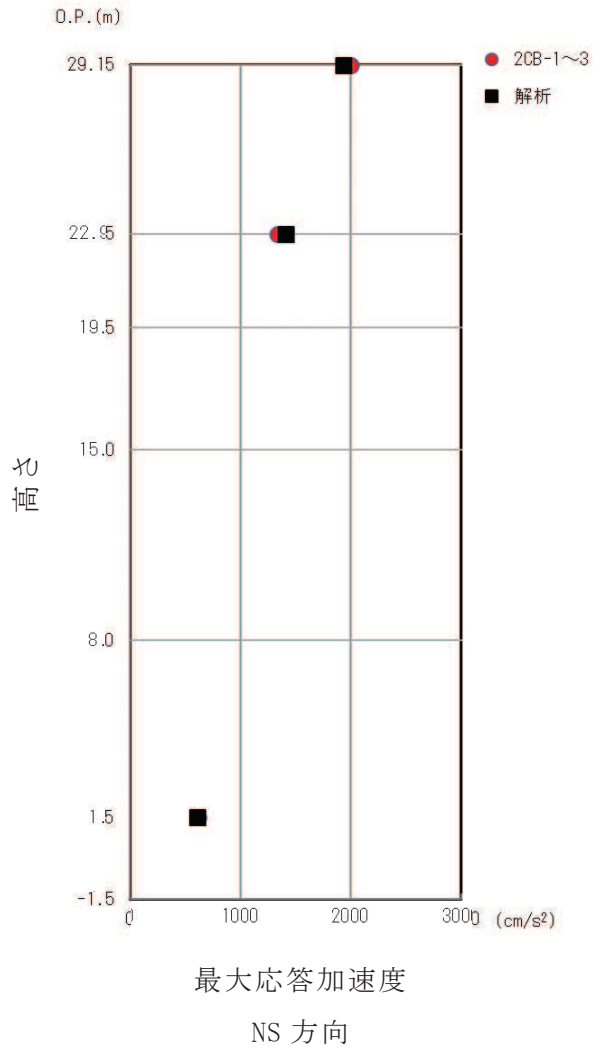
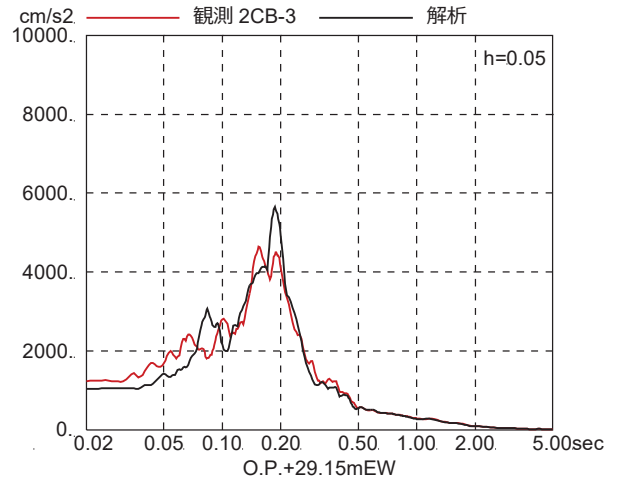
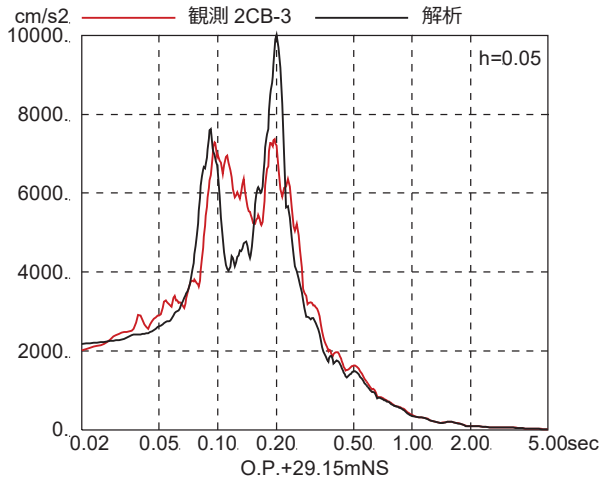


図2-9 3次元FEMモデルと観測記録の最大加速度分布 (4.7地震)

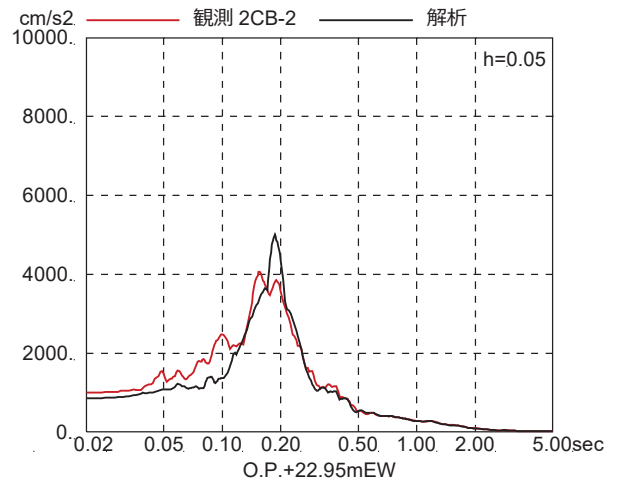
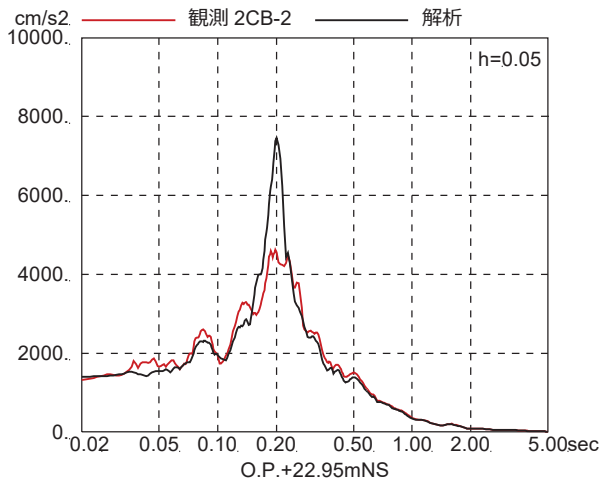
2.2.2 観測記録の床応答スペクトルとの比較

3次元FEMモデルのシミュレーション解析による床応答スペクトルと3.11地震及び4.7地震の観測記録の床応答スペクトルを比較して図2-10～図2-11に示す。比較にあたっては、図2-7に示す地震計位置で得られた観測記録の床応答スペクトルと、地震計位置に相当する解析モデルの節点における解析結果とを比較して示している。

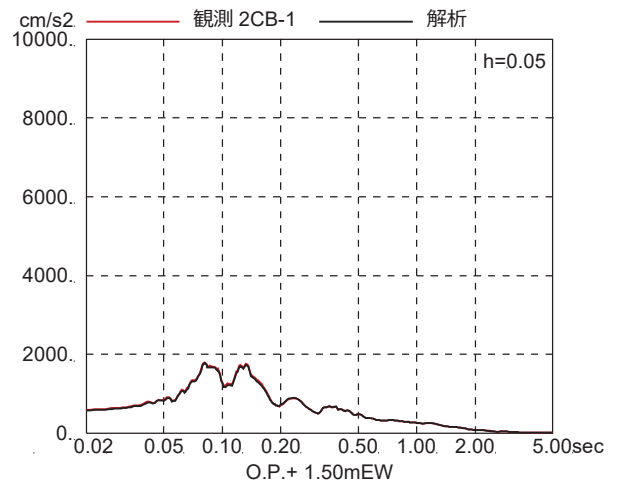
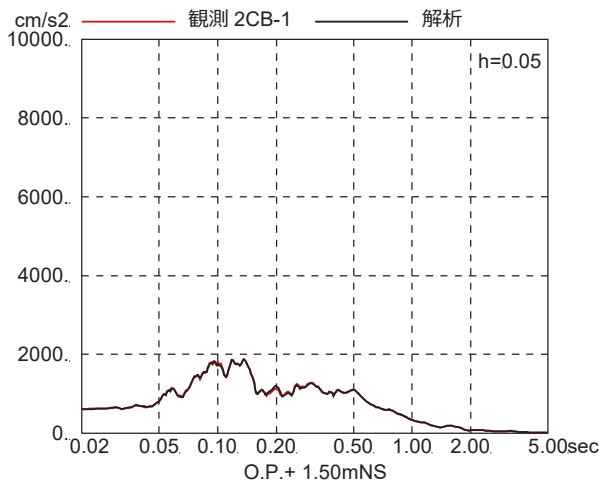
これより、観測記録と解析結果の各方向の加速度応答スペクトルは概ね整合していることを確認した。



屋上 (O.P. 29.15m)

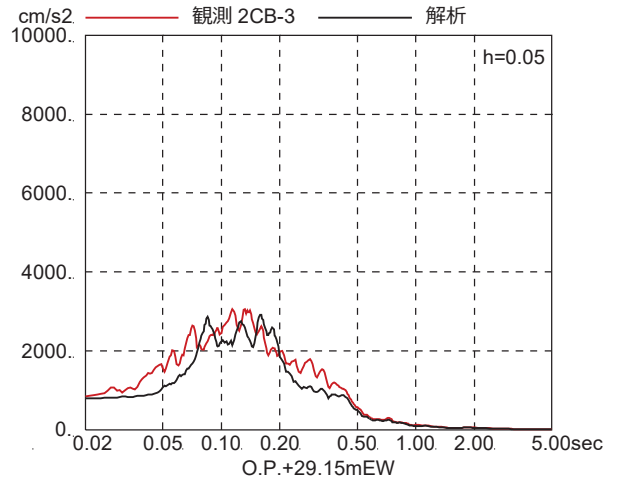
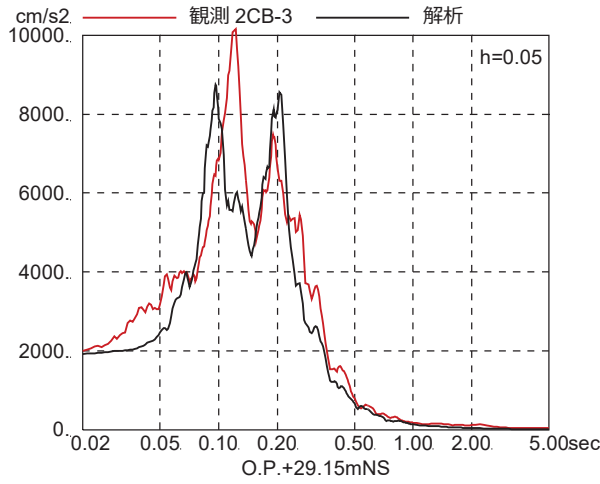


地上 3 階 (O.P. 22.95m)

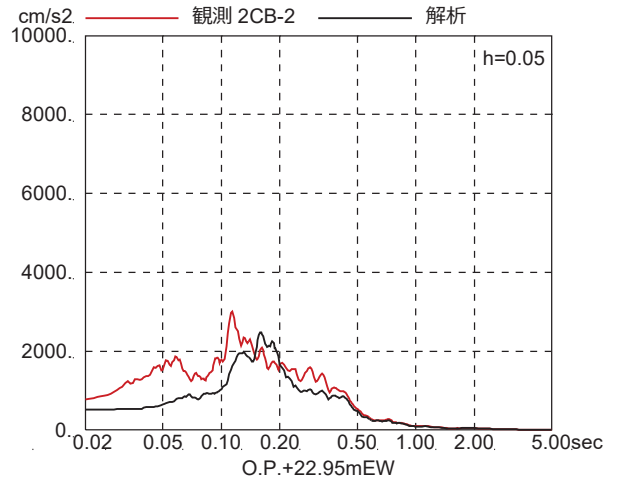
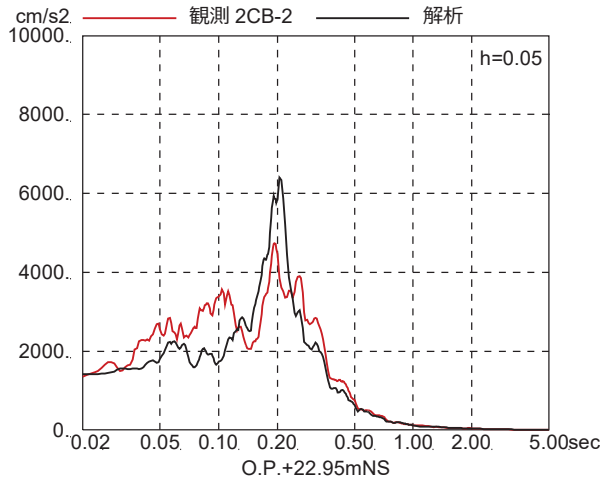


地下 2 階 (O.P. 1.5m)

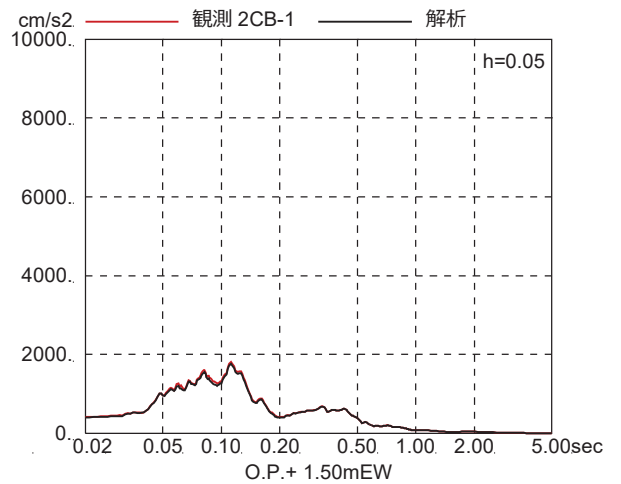
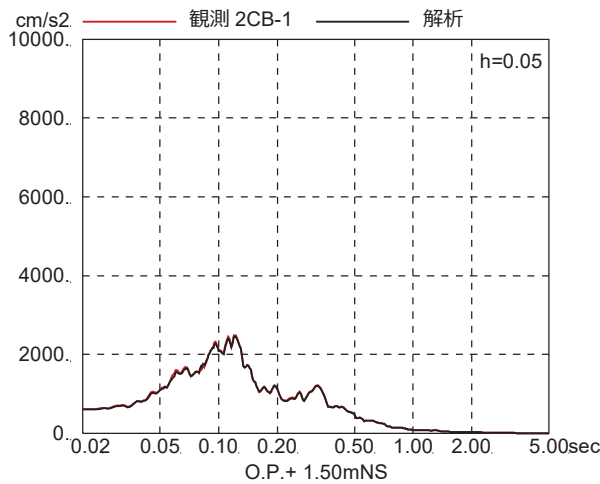
図2-10 3次元FEMモデルと3.11地震の床応答スペクトルの比較



屋上 (O.P. 29.15m)



地上 3 階 (O.P. 22.95m)



地下 2 階 (O.P. 1.5m)

図2-11 3次元FEMモデルと4.7地震の床応答スペクトルの比較

2.2.3 面内せん断ひずみ分布と点検結果との比較

3次元FEMモデルによる3.11地震及び4.7地震のシミュレーション解析による建屋各部の面内せん断ひずみコンター図を図2-12～図2-19に示す。ここで、面内せん断ひずみを評価対象としたのは、せん断ひずみについて、コンクリートにひび割れが発生するせん断ひずみの目安値 0.00025^* (0.25×10^{-3}) との比較からその影響度合いについて評価することを目的としている

面内せん断ひずみ分布の特徴は以下のとおり。

- ① 面内せん断ひずみが大きくなる部位は、東面と西面の壁であり、北面と南面の壁の面内せん断ひずみは相対的に小さい。これは、原子炉建屋と同様の傾向である。
- ② 3.11地震と4.7地震の応答を比較すると、東面の壁のせん断ひずみは3.11地震のほうが大きいですが、西面のせん断ひずみは4.7地震のほうが大きくなっている。コンクリートにひび割れが発生するせん断ひずみの目安値 0.00025 (0.25×10^{-3}) を上回る部分は広い範囲に分布している。部分的な最大値は 0.63×10^{-3} である。

面内せん断ひずみ分布と耐震壁のひび割れ点検結果の比較を別紙1-3-1に示す。

面内せん断ひずみ分布は、東西面を中心に、ひび割れが発生する面内せん断ひずみの目安値を上回る部分があり、また、3階よりも2階のほうが面内せん断ひずみが大きい傾向である。

一方、点検結果では地下2階～地上3階まで各階とも部分的にひび割れが認められるが、ほとんどが幅0.3mm未満である。また、東西面においては、3階よりも2階の比較的ひび割れが多い傾向が認められ、これは解析結果の3階よりも2階のせん断ひずみが大きい傾向と整合している。

これらの比較により、解析結果は点検結果に対して若干せん断ひずみが大きい傾向であるものの概ね対応している。

* 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会, 1999）

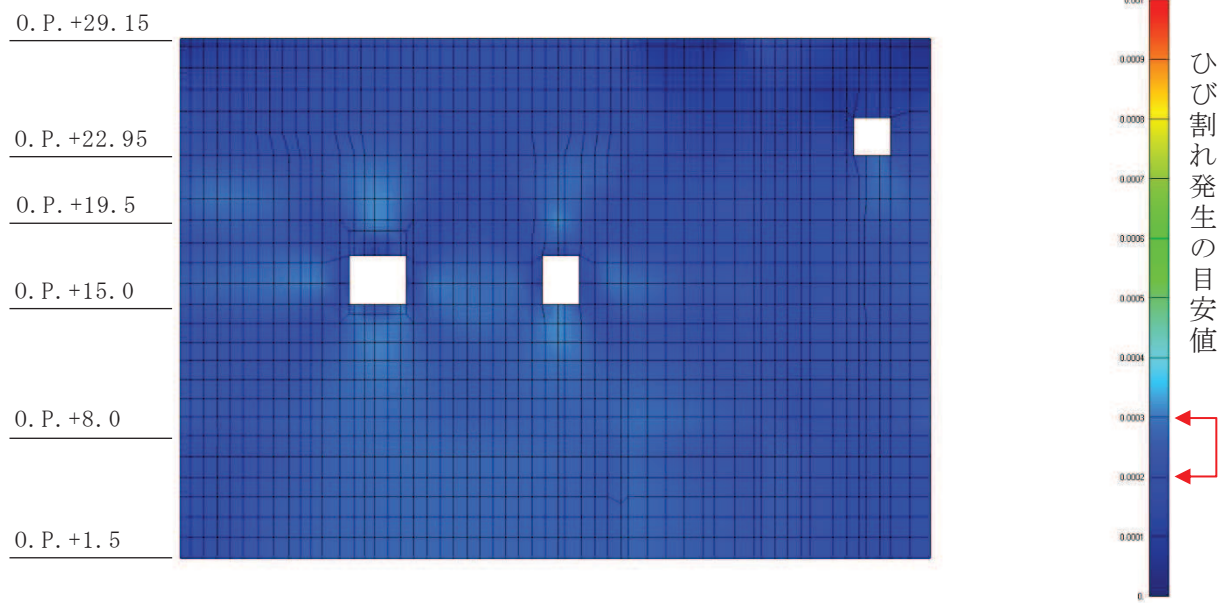


図 2-12 面内せん断ひずみコンター図（北面）
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

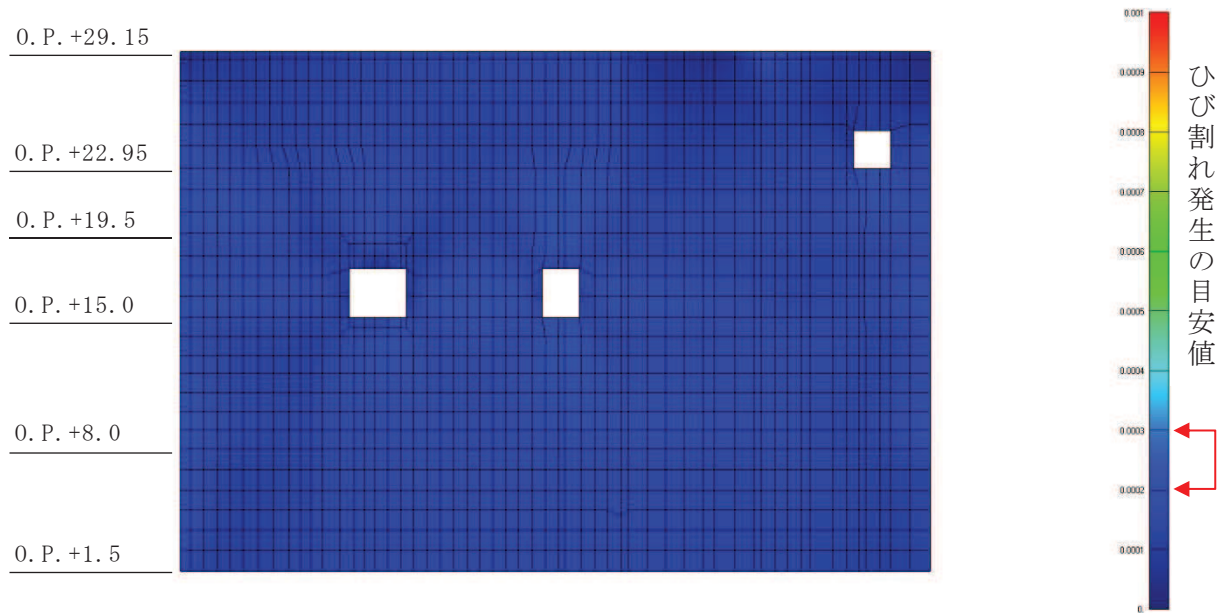


図 2-13 面内せん断ひずみコンター図（北面）
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

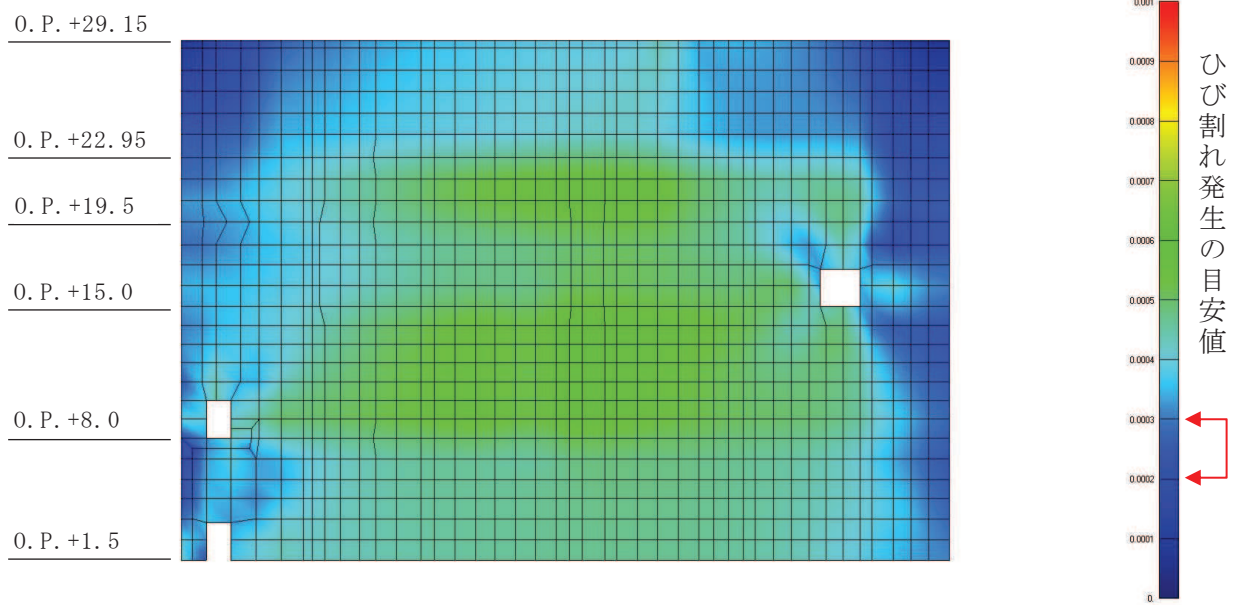


図 2-14 面内せん断ひずみコンター図 (東面)
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

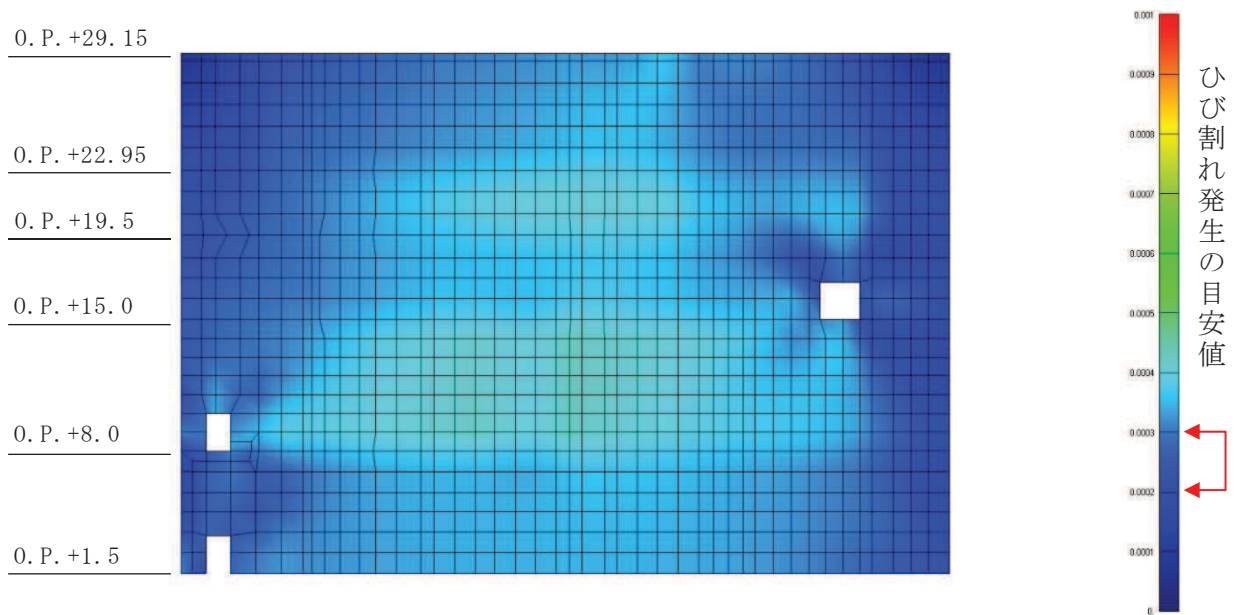


図 2-15 面内せん断ひずみコンター図 (東面)
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

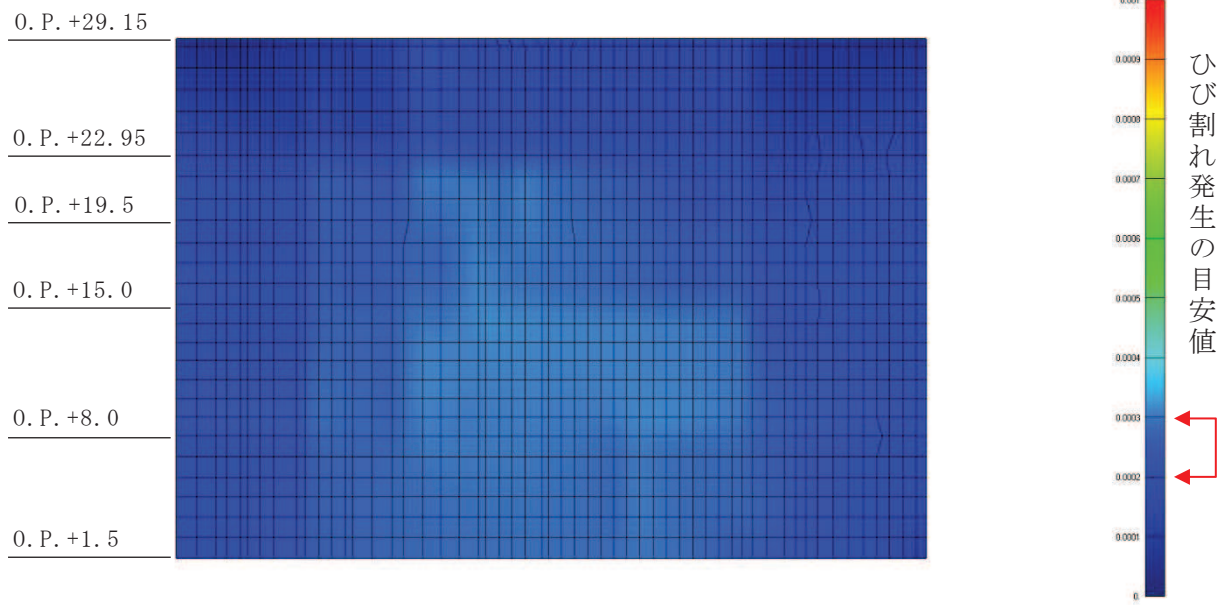


図 2-16 面内せん断ひずみコンター図 (南面)
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

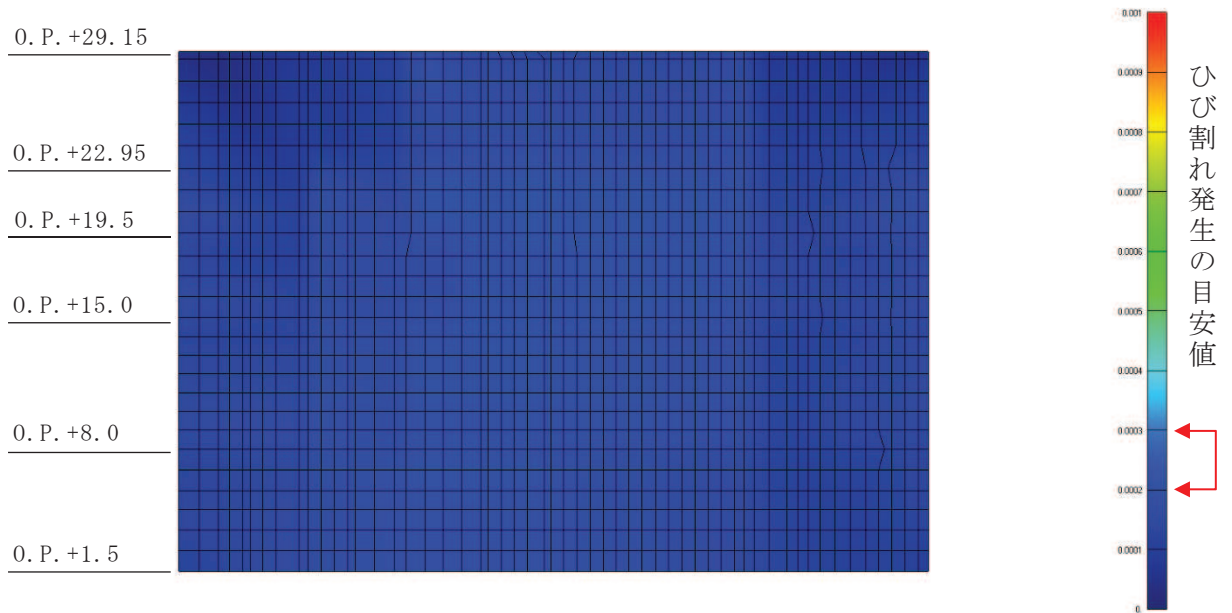


図 2-17 面内せん断ひずみコンター図 (南面)
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

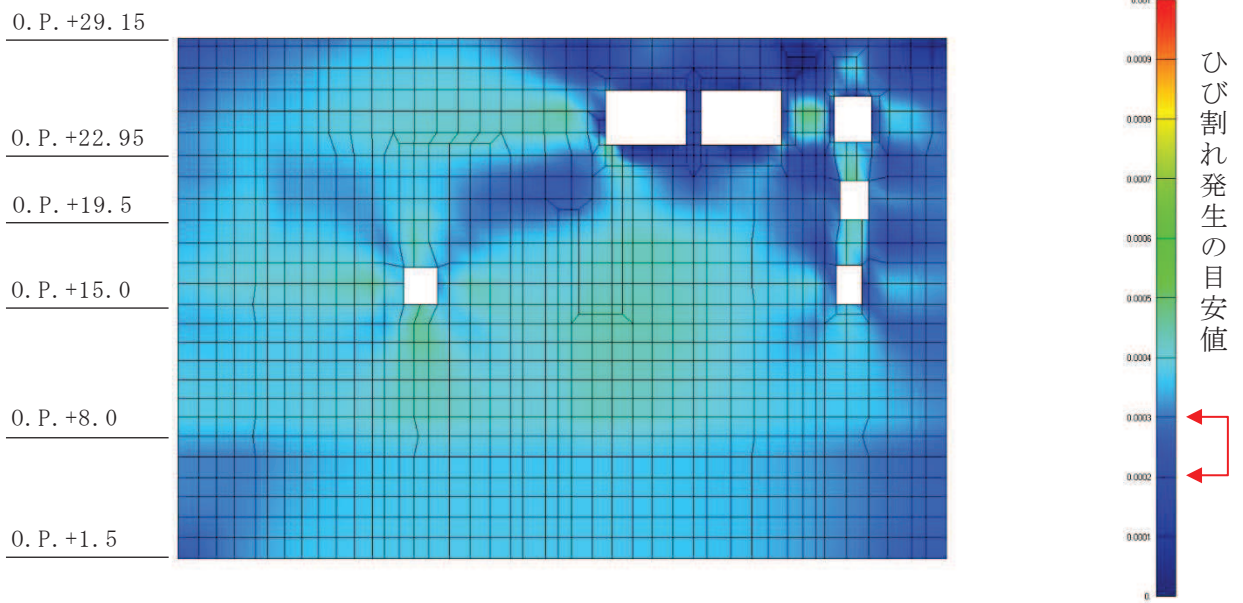


図 2-18 面内せん断ひずみコンター図 (西面)
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

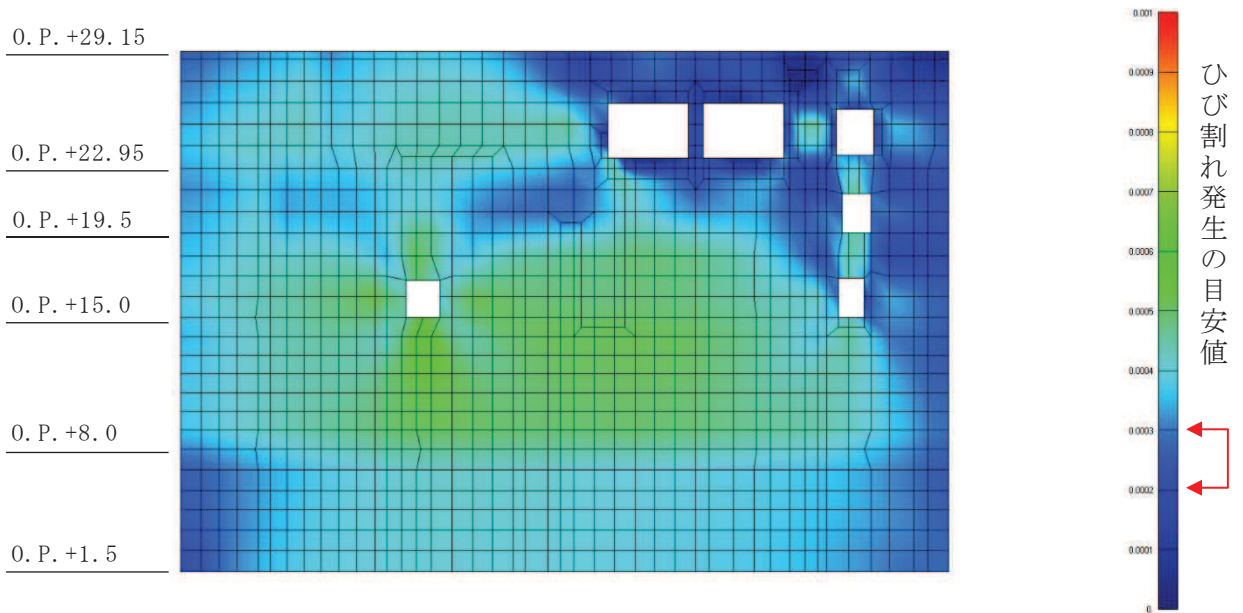


図 2-19 面内せん断ひずみコンター図 (西面)
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

2.2.4 地震による建屋の構造的影響評価

耐震壁の面内せん断ひずみ分布において、せん断ひずみが最も大きい傾向を示すのは西面3階の耐震壁であり、解析モデルの最大値は 0.63×10^{-3} である。

耐震壁の一部でせん断ひび割れの目安値を超える箇所はあるものの、別紙1-2に示す耐震壁の詳細評価から鉄筋の健全性は確保されているものと判断される。

3. 評価結果のまとめ

3次元FEM等価線形モデルによる地震応答シミュレーション解析を行い、3.11地震及び4.7地震時の建屋の構造的影響評価を行った。検討結果は以下のとおりである。

- ① 3次元FEM等価線形モデルによるシミュレーション解析結果は、観測記録と概ね整合することを確認した。
- ② 3次元FEM等価線形モデルによるシミュレーション解析に基づき算定したせん断ひずみ分布は耐震壁の点検結果と概ね整合することを確認した。
- ③ 3次元FEM等価線形モデルによる耐震壁のひずみ分布は部分的にひび割れの目安値を上回る箇所が生じたため、別紙1-2に示す耐震壁の詳細評価から鉄筋の健全性は確保されているものと判断される。従って、制御建屋の鉄筋が損傷を受けていないことを確認した。

[参考文献]

- (1) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会, 1999）

別紙 1-3-1 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション
解析と点検結果の比較（制御建屋）

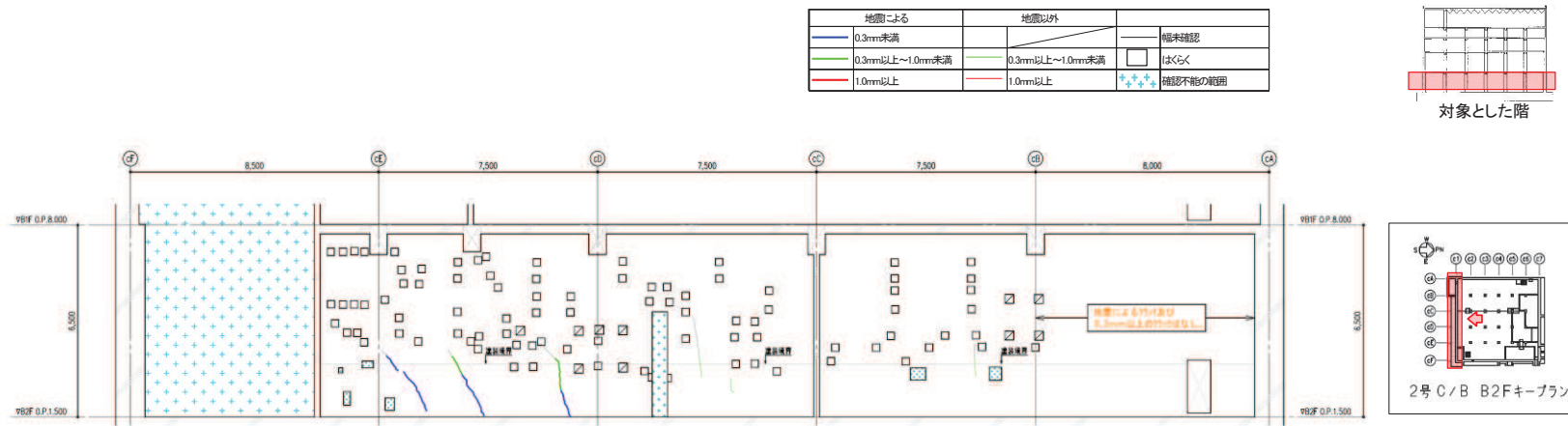


図 1 (1) 制御建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 C1 通り)

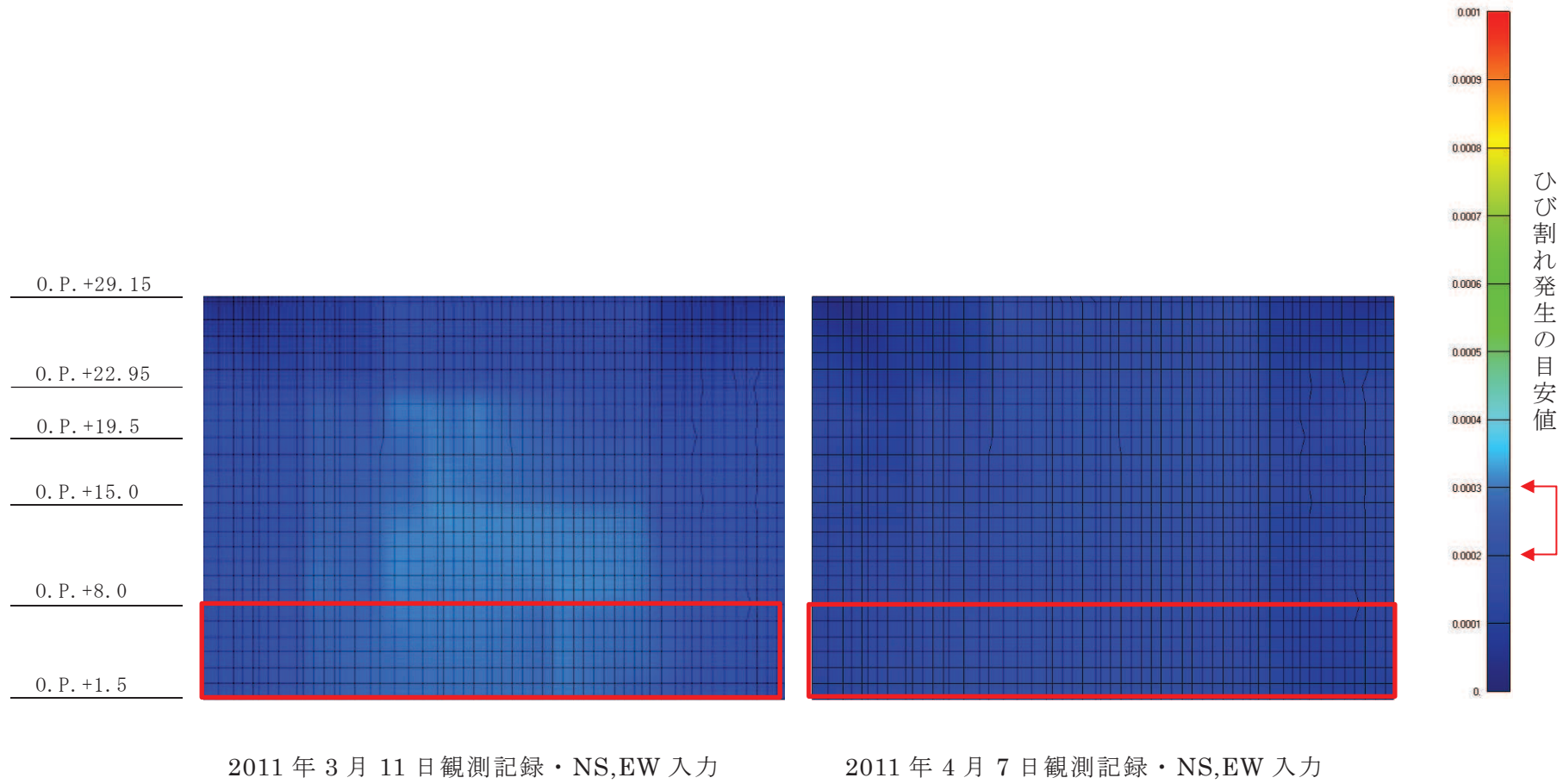


図 1 (2) 制御建屋の面内せん断ひずみコンター図 (耐震壁 地下 2 階 C1 通り)

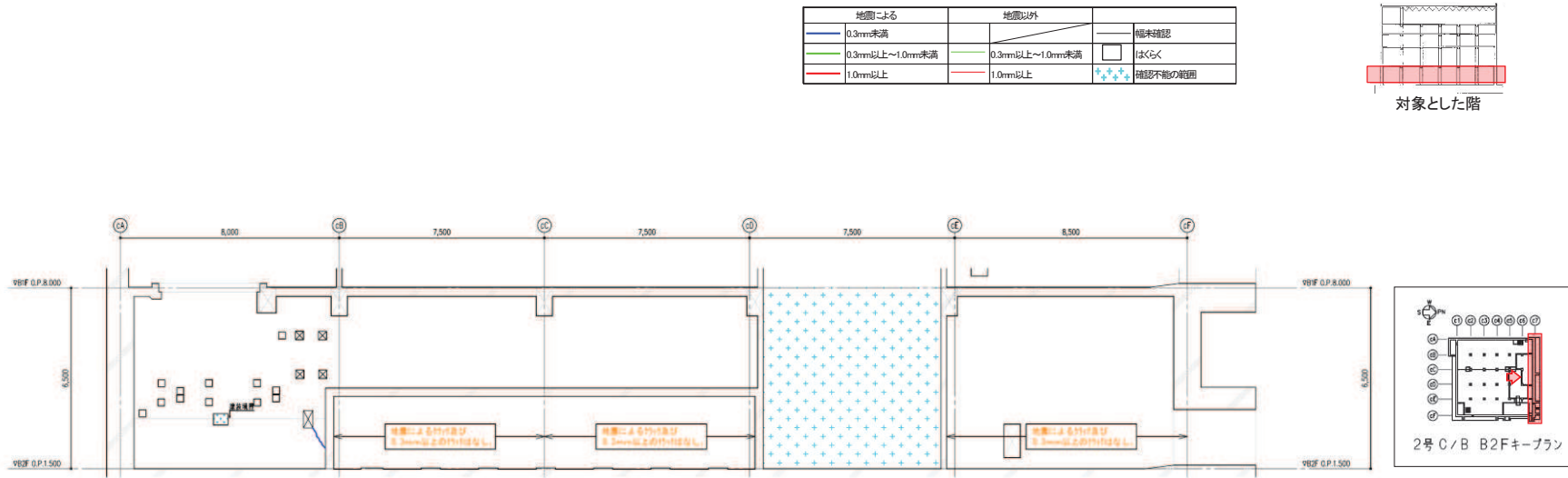


図 2 (1) 制御建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 C7 通り)