

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-7 改1
提出年月日	平成30年3月16日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-7【水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検  
討について】

平成30年3月

日本原子力発電株式会社

## 目次

1. 検討の目的	1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	2
2.1 東海第二発電所の基準地震動	2
2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	6
3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価	7
3.1 建物・構築物	7
3.2 機器・配管系	X
3.3 屋外重要土木構造物	X
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	X

別紙1 評価部位の抽出に関する説明資料

別紙2 3次元FEMモデルを用いた精査

本日ご説明 **別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析**

別紙4 機器・配管系に関する説明資料

## 別紙 3 3次元FEMモデルによる地震応答解析

## 目次

1. 検討概要	1
1.1 構造概要	1
1.2 3次元FEMモデルによる耐震性評価の方針	5
2. 3次元FEMモデルの構築	7
2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル	7
2.2 固有値解析	15
2.3 観測記録を用いた検討	18
3. 3次元FEMモデルによる評価	31
3.1 地震応答解析の概要	31
3.2 建屋応答性状の把握	36
3.3 建屋耐震評価への影響検討	57
3.4 床応答への影響評価	90

## 1. 検討概要

建屋の3次元応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から、原子炉建屋について3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、建屋の局所的な応答を検討する。また、3次元FEMモデルによる挙動が、建屋及び機器・配管系の有する耐震性に及ぼす影響を検討する。

### 1.1 構造概要

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5m、東西方向42.5mの原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

原子炉棟と付属棟は、同一基礎版上に配置した一体構造であり、原子炉建屋の平面は、下部で南北方向68.5m、東西方向68.25mのほぼ正方形となっている。基礎底面からの高さは73.08mであり、地上高さは56.08mである。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は、厚さ5.0mのべた基礎で、支持地盤である砂質泥岩上に人工岩盤を介して設置されている。

原子炉棟の中央部には原子炉圧力容器を収容している原子炉格納容器があり、その周囲の一時遮蔽壁（以下「シェル壁(S/W)」という。）は上部が円錐台形、下部は円筒形で基礎版から立ち上がっている。シェル壁(S/W)の壁厚は上部で1.9m、下部で1.8mである。

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁(I/W)」という。）は基礎版から屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.3mである。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁(O/W)」という。）の壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.9mである。建屋は全体として非常に剛性が高く、建屋に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

なお、燃料取替床(EL.46.5m)には使用済燃料貯蔵プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図1-1及び図1-2に示す。

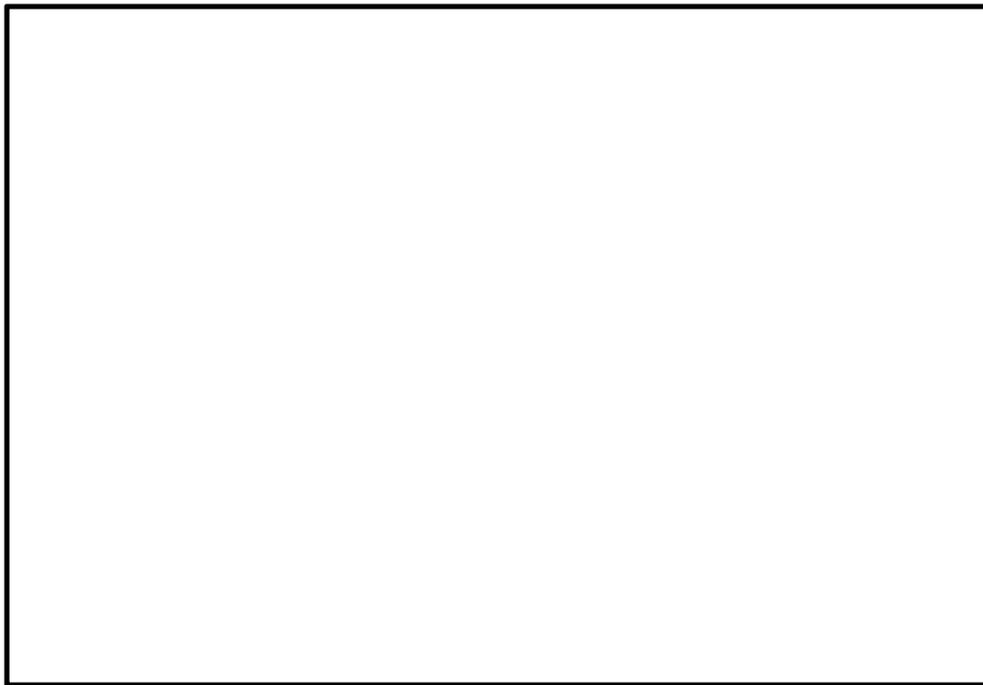


図 1-1 (1/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. 46.5 m)

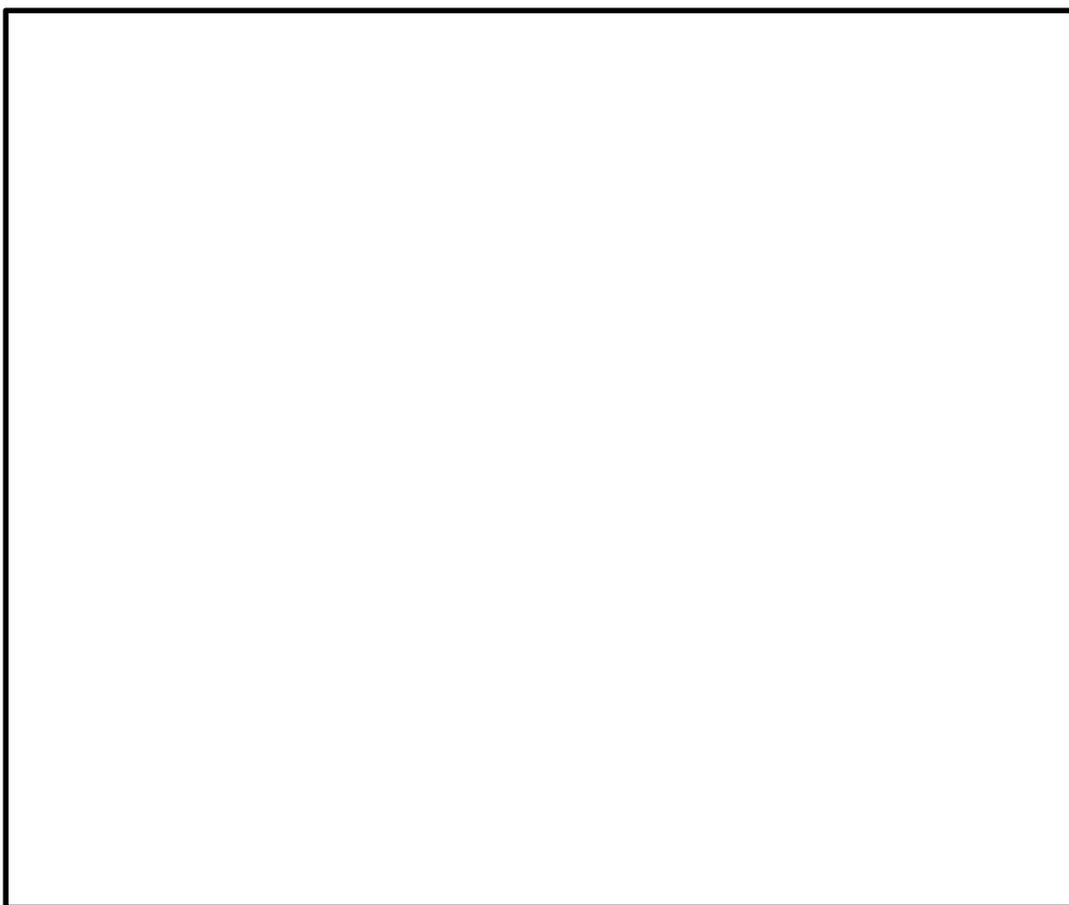


図 1-1 (2/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. -4.0 m)

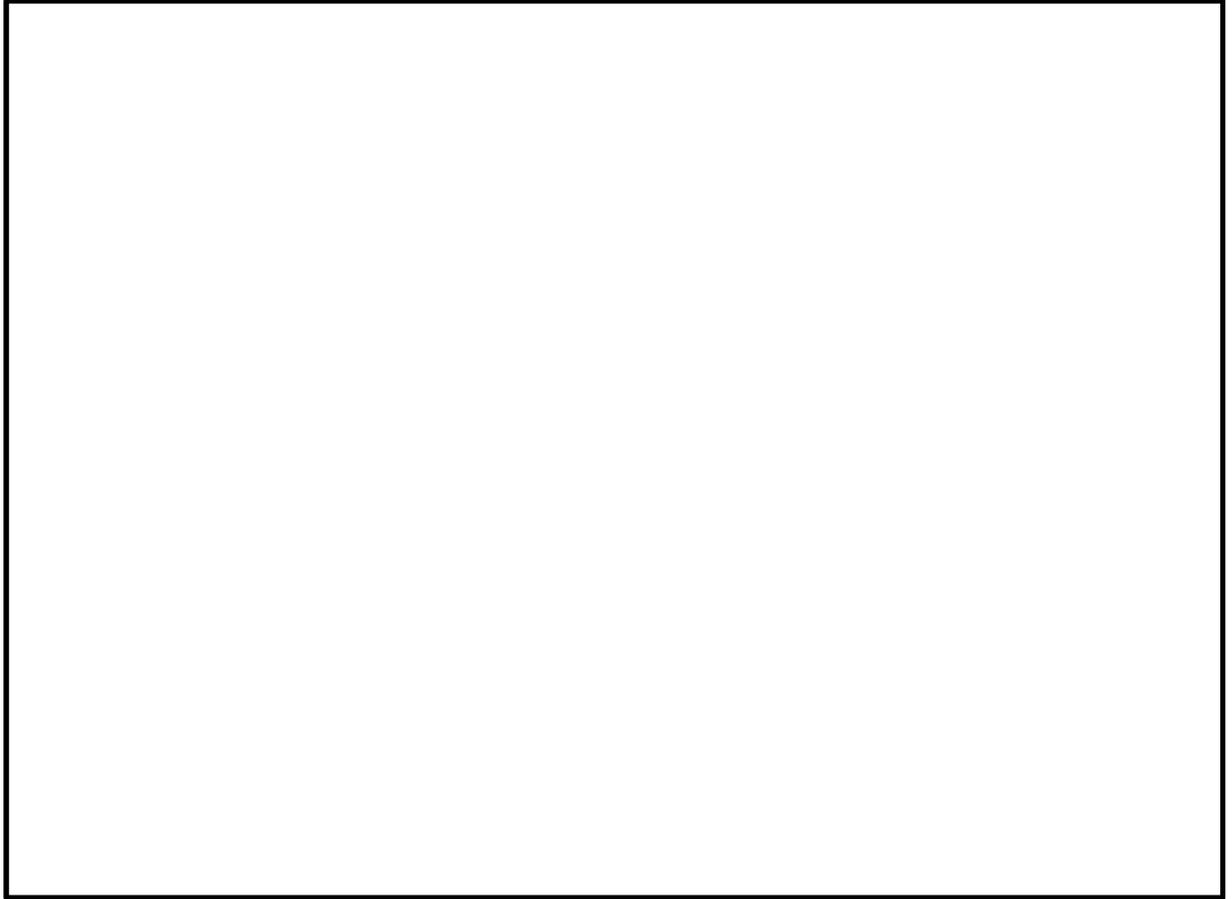


図 1-2 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

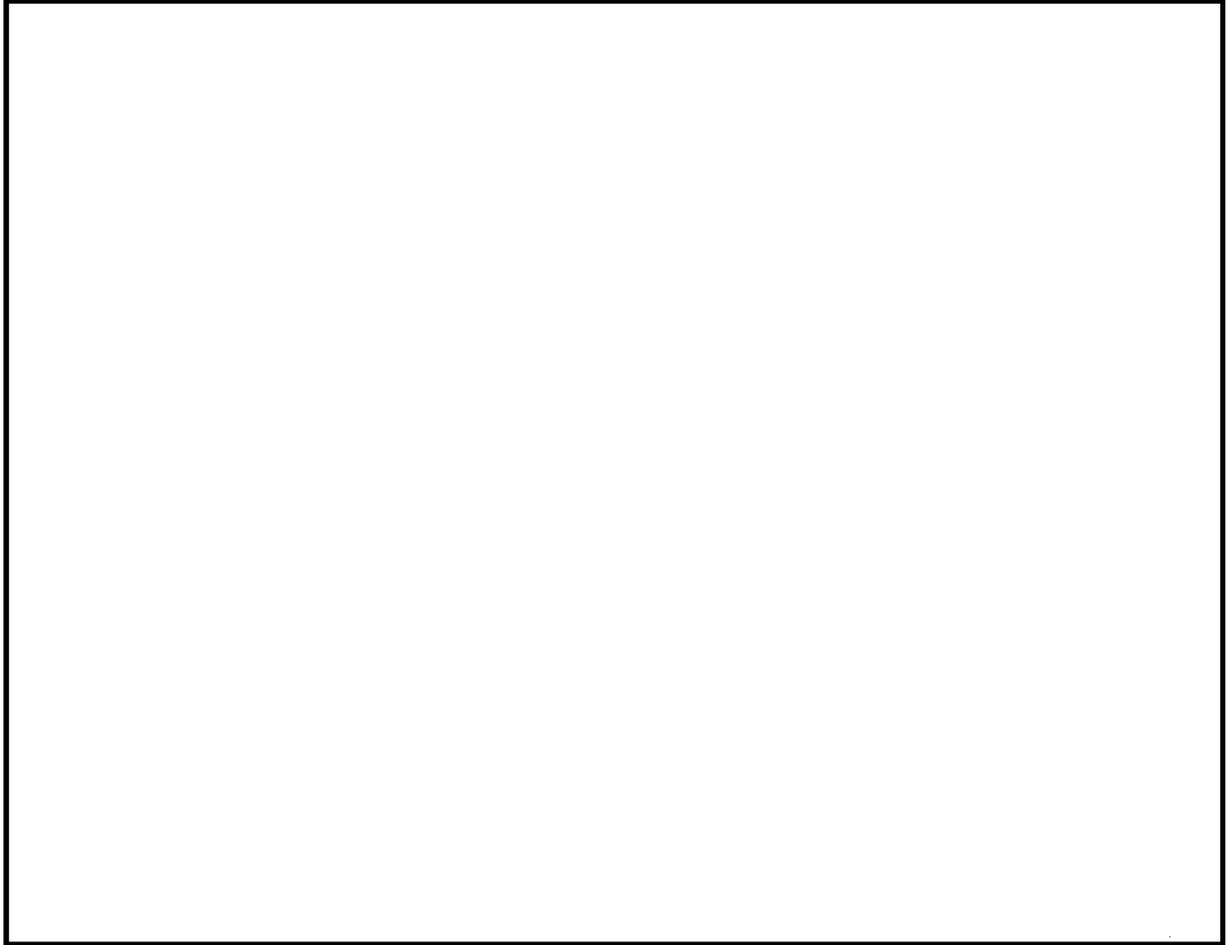


図 1-2 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面)

## 1.2 3次元FEMモデルによる耐震性評価の方針

原子炉建屋について3次元FEMモデルを構築し、固有値解析や観測記録を用いた解析結果から、同モデルの妥当性を確認する。その上で、3次元的な応答特性を把握する。また、弾性設計用地震動 $S_d$ による地震応答解析を行い、建屋の平均的な応答や局所的な応答を把握する。更に、3次元的な応答特性から建屋及び機器・配管系の耐震評価への影響を確認する。

解析モデルのケースを表1-1に示す。解析モデルのケースは、床の柔性、地盤のモデル化を変動要因とする以下の3ケースとした。

表1-1 解析モデルのケース

モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	設計基準強度
比較用モデル	床柔	底面鉛直方向固定	設計基準強度
質点系対応モデル	床剛	相互作用考慮	設計基準強度

建屋模擬モデルは、床の柔性を考慮し、地盤のモデル化に相互作用を考慮することで、建屋の実状を模擬したモデルとしている。

比較用モデルは建屋模擬モデルにおける地盤のモデル化「相互作用考慮」を「底面鉛直方向固定」に変更している。

質点系対応モデルは建屋模擬モデルにおける「床柔」を「床剛」に変更することにより、「床剛、相互作用考慮」の組合せとなり、質点系モデルに対応したモデルとなっている。

これら3ケースについて、固有値解析及び地震応答解析を実施し、その結果を比較することにより、全体的な3次元的な応答特性、ロッキング振動の影響、ねじれの影響及び床の剛性の影響について検討を実施する。

3次元FEMモデルによる耐震性評価フローを図1-3に示す。

解析には解析コード「MSC NASTRAN ver. 2016.1」を用いる。

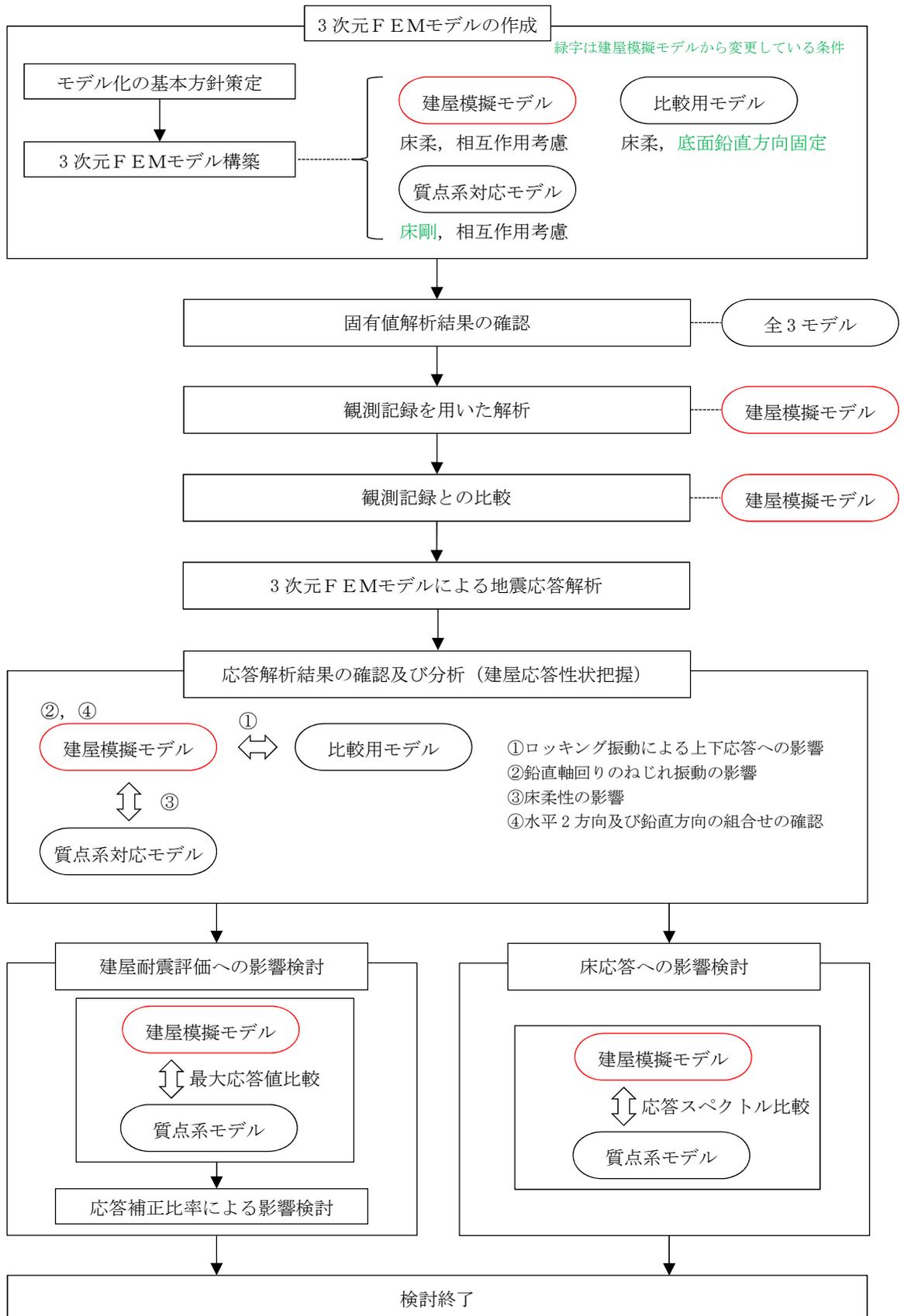


図 1-3 3次元FEMモデルによる耐震性評価フロー

## 2. 3次元FEMモデルの構築

### 2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル

#### 2.1.1 モデル化の基本方針

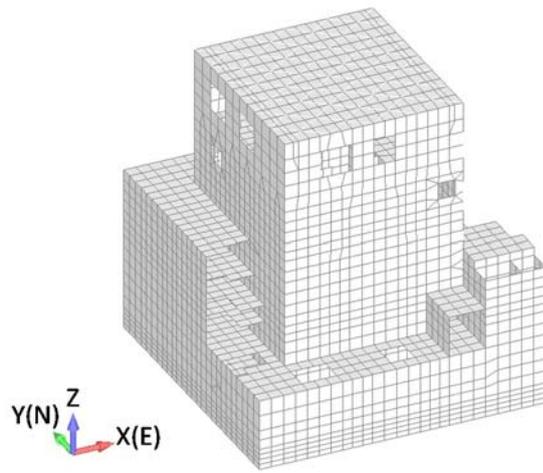
原子炉建屋の3次元FEMモデルを構築する。解析モデルを図2-1に示す。

モデル化の範囲は、原子炉棟、付属棟及び基礎とする。

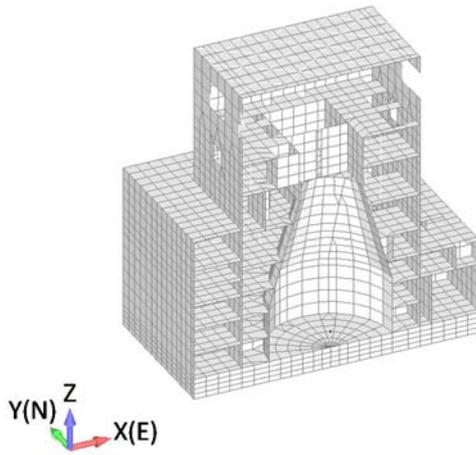
耐震壁、補助壁及び床スラブはシェル要素(約7500要素)、柱及び梁はバー要素(約50要素)、基礎はソリッド要素(約2800要素)とする。

要素の大きさは、各床スラブレベルと対応する位置に節点を設け、高さ方向及び水平方向に2~3m程度とする。

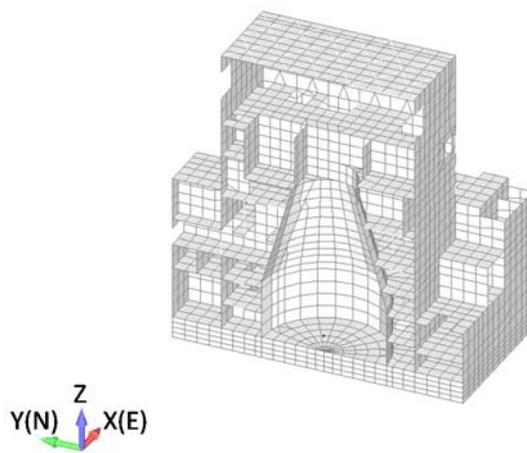
使用材料及び地盤の物性値をそれぞれ表2-1及び表2-2に、地盤のひずみ依存性を図2-2~図2-5に示す。コンクリート強度は、設計基準強度を用いるものとする。



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

図 2-1 解析モデル

表 2-1 使用材料の物性値

部位	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	2.21×10 <sup>4</sup>	5
鉄骨部	2.05×10 <sup>5</sup>	2

表 2-2 地盤の物性値

(a) 地盤物性

標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 $\rho$ t/m <sup>3</sup>	S波速度 Vs m/s	ポアソン比 $\nu$	
8.0	du*	5.0	1.82	210	0.385	
3.0	Ag2*	1.0	1.89	240	0.286	
2.0		4.7	2.01	240	0.491	
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	500	0.462	
-14.4	Km	5.6	1.72	446	0.461	
-20.0		20.0	1.72	456	0.460	
-40.0		20.0	1.73	472	0.458	
-60.0		30.0	1.73	491	0.455	
-90.0		30.0	1.73	514	0.452	
-120.0		30.0	1.73	537	0.449	
-150.0		40.0	1.74	564	0.445	
-190.0		40.0	1.74	595	0.441	
-230.0		40.0	1.75	626	0.437	
-270.0		50.0	1.75	660	0.433	
-320.0		50.0	1.76	699	0.427	
-370.0		解放基盤	—	1.76	718	0.425

\*：地下水位より浅いことを示す。

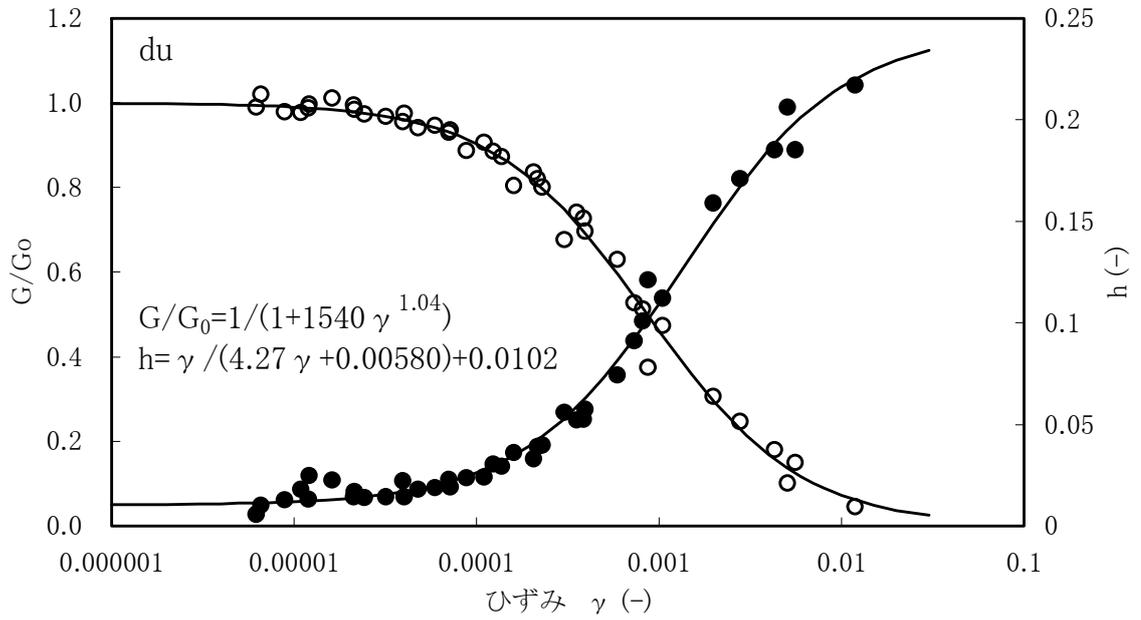


図 2-2 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (du 層)

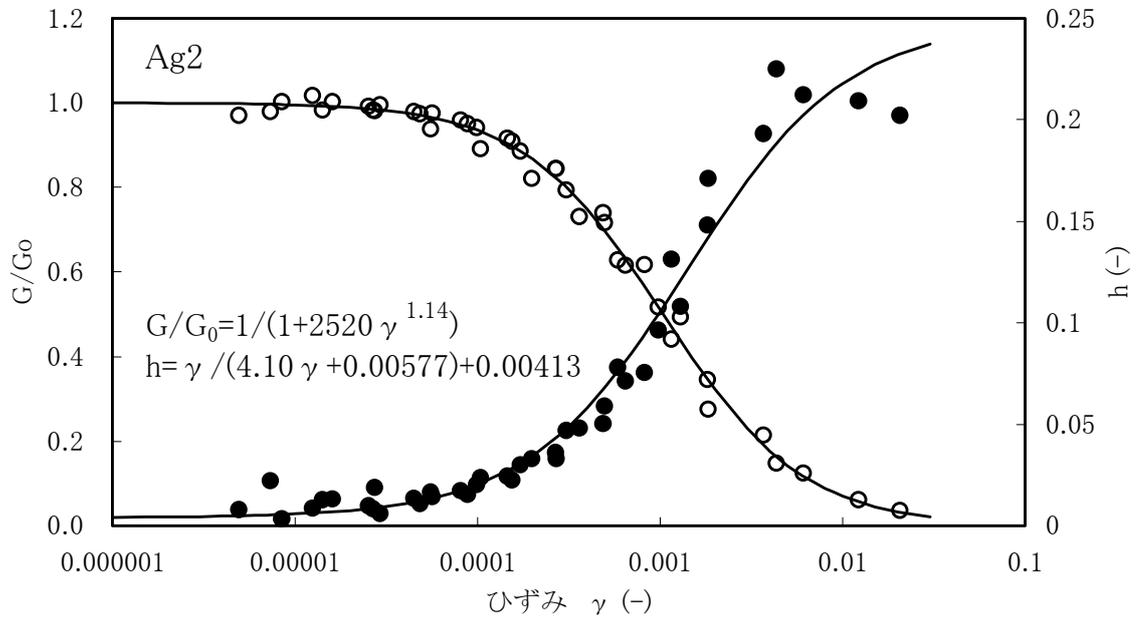


図 2-3 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Ag2 層)

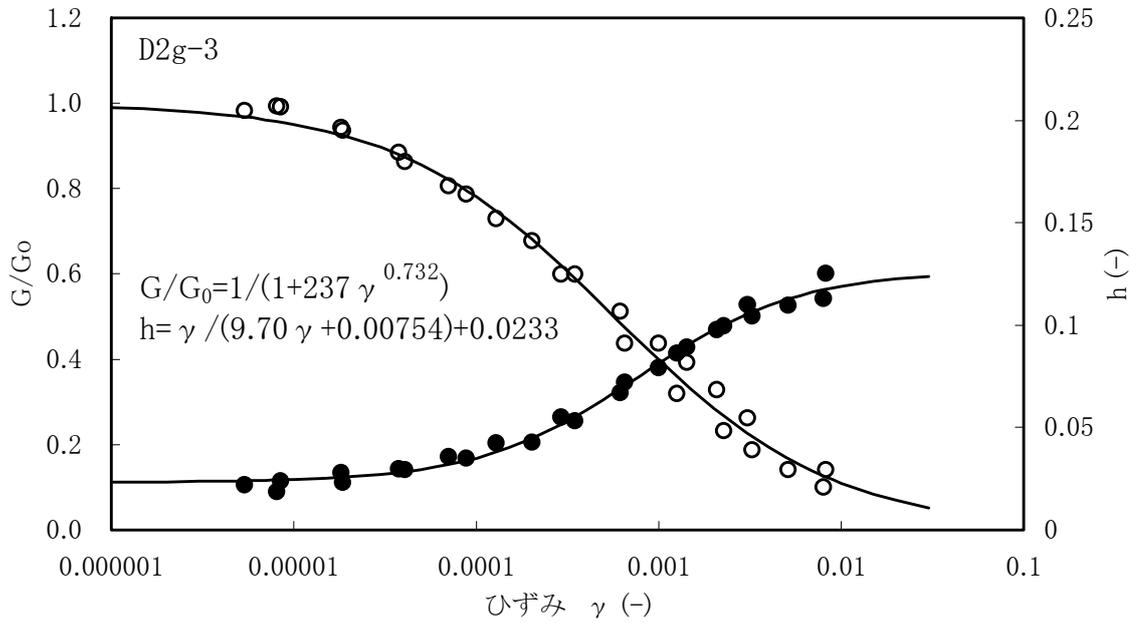


図 2-4 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (D2g-3 層)

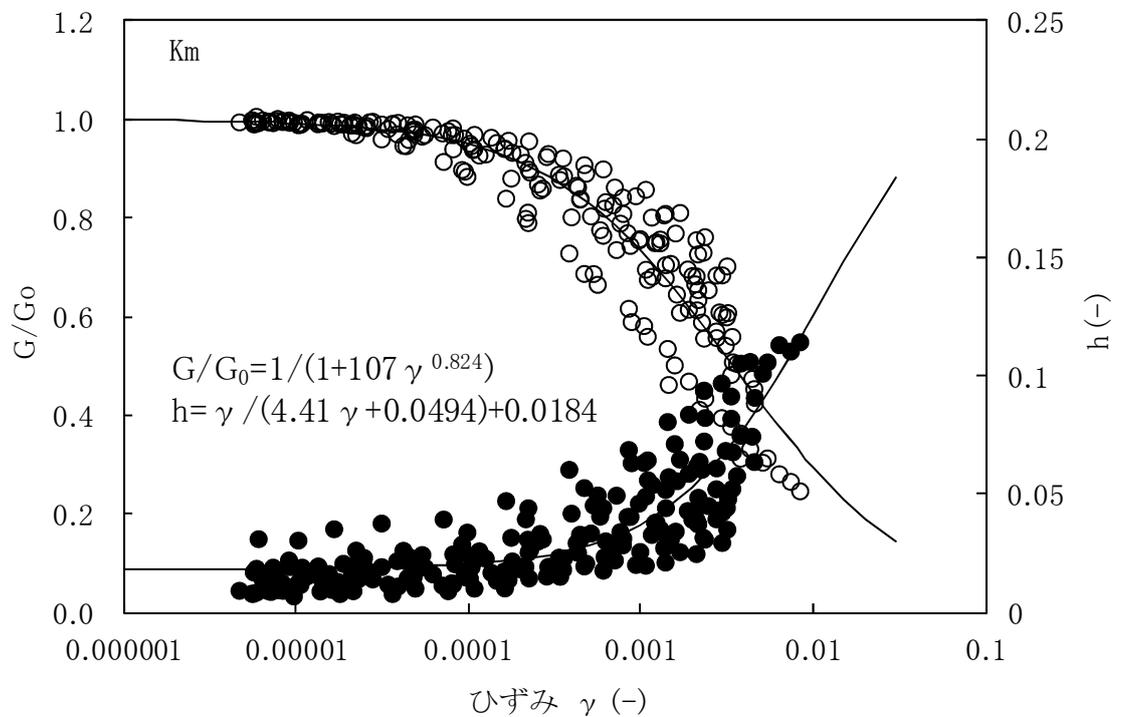


図 2-5 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Km 層)

### 2.1.2 荷重

固定荷重，積載荷重，積雪荷重及び機器・配管荷重を考慮する。各部について，質点系モデルの質量と整合するよう質量を調整する。

このうち，炉内構造物については，質点系モデルで質量として考慮しており，建屋の3次元FEMモデルについても質量として考慮する。

### 2.1.3 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，添付資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの $S_d-D1$ での基礎底面地盤ばね及び側面地盤ばねと整合するよう，地盤をばね要素でモデル化することで考慮する。

基礎底面地盤ばねについては，質点系モデルで考慮したスウェイ，ロッキング及び鉛直ばねの値を元に，3次元FEMモデルの基礎底面の各節点位置に要素面積に応じて離散化する。ただし，鉛直ばねのうち，水平方向加振用は，基礎底面ロッキングばねを元にNS方向とEW方向の平均値として設定する。

基礎側面の地盤ばねについては，質点系モデルで考慮している側面水平ばねの値を元に，各質点レベルに対応する各節点位置に要素面積に応じて離散化する。

なお，用いるばね値は，質点系モデルにおける $S_d-D1$ に対する値とする。

各地盤ばね諸元については表2-3～表2-5に，底面地盤ばねと側面地盤ばね設置図について図2-6に示す。

表 2-3 底面地盤ばね定数と減衰係数（水平方向）

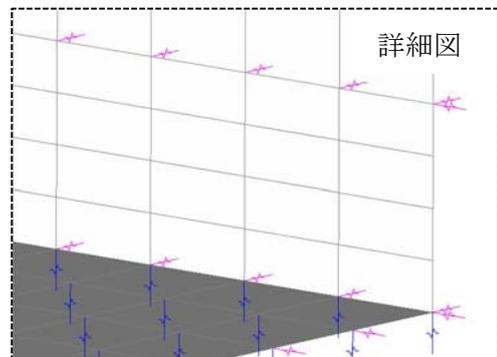
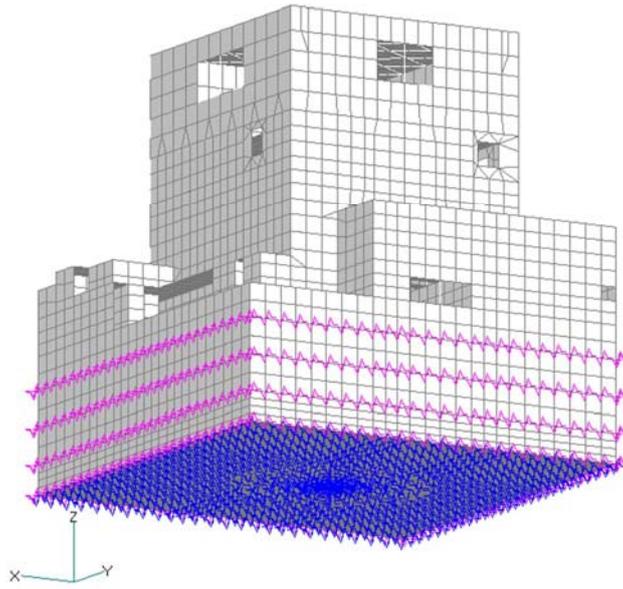
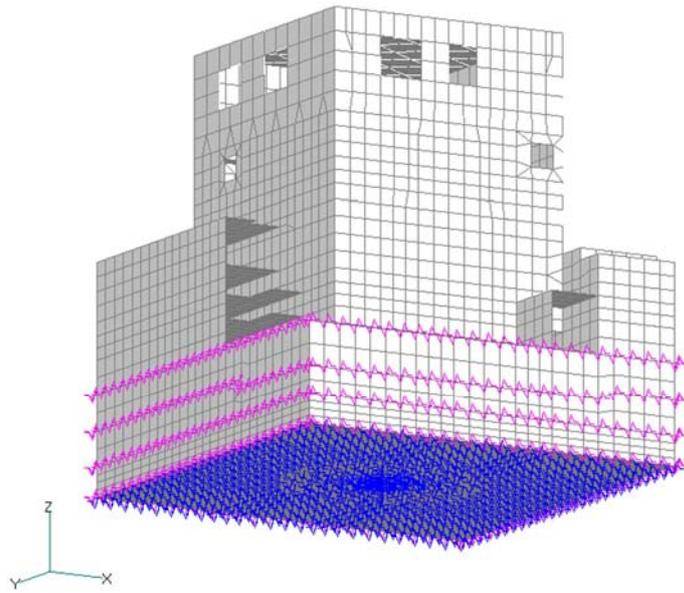
地盤ばね	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平底面ばね	$6.95 \times 10^7$ kN/m	$3.58 \times 10^6$ kN・s/m	$6.95 \times 10^7$ kN/m	$3.59 \times 10^6$ kN・s/m

表 2-4 底面地盤ばね定数と減衰係数（上下方向）

地盤ばね		UD 方向	
		ばね定数	減衰係数
上下底面ばね	水平方向加振時	$2.56 \times 10^8$ kN/m	$4.20 \times 10^6$ kN・s/m
	鉛直方向加振時	$1.16 \times 10^8$ kN/m	$8.50 \times 10^6$ kN・s/m

表 2-5 側面地盤ばね定数と減衰係数（水平方向）

地盤ばね	EL. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平側面ばね	8.0	$6.67 \times 10^5$ kN/m	$3.01 \times 10^5$ kN・s/m	$6.67 \times 10^5$ kN/m	$3.03 \times 10^5$ kN・s/m
	2.0	$1.76 \times 10^6$ kN/m	$6.71 \times 10^5$ kN・s/m	$1.76 \times 10^6$ kN/m	$6.67 \times 10^5$ kN・s/m
	-4.0	$8.58 \times 10^6$ kN/m	$9.76 \times 10^5$ kN・s/m	$8.58 \times 10^6$ kN/m	$9.76 \times 10^5$ kN・s/m
	-9.0	$2.18 \times 10^7$ kN/m	$9.56 \times 10^5$ kN・s/m	$2.18 \times 10^7$ kN/m	$9.56 \times 10^5$ kN・s/m



青 : 底面地盤ばね  
 ピンク : 側面地盤ばね  
 ※底面地盤ばねは3方向軸ばねとする。  
 ※側面地盤ばねは法線方向軸ばねとする。

図 2-6 地盤ばねの設置図

## 2.2 固有値解析

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮），比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定），質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の3つの解析モデルケースについて，固有値解析を実施した。

各モデルの建屋－地盤連成の1次モードにおける固有振動数を表2-6に示す。モード図を表2-7に示す。なお，質点系モデルの固有値解析結果は，S<sub>a</sub>-D1に対する結果とする。

建屋模擬モデルと比較用モデルとでは，モデル設定において，鉛直方向の建屋－地盤相互作用の考慮の有無に差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，建屋－地盤相互作用を考慮した建屋模擬モデルの方が，比較用モデルよりも固有振動数が小さくなる傾向である。

建屋模擬モデルと質点系対応モデルとでは，モデル設定において，床を柔とするか剛とするかに差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，床を剛とした質点系対応モデルの方が建屋模擬モデルよりも固有振動数が大きくなる傾向である。

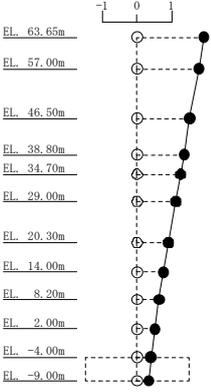
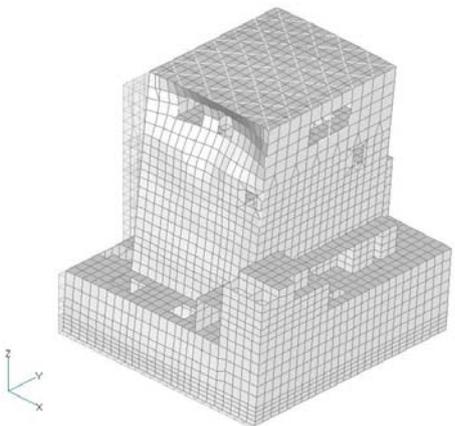
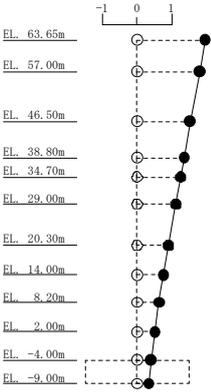
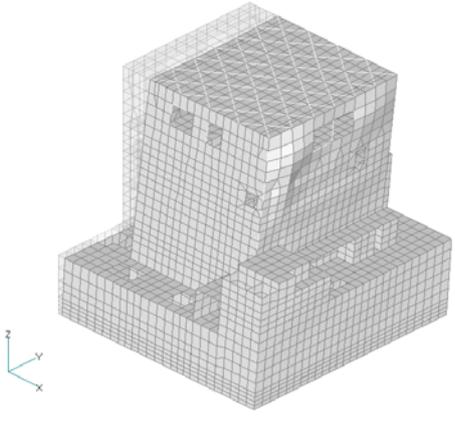
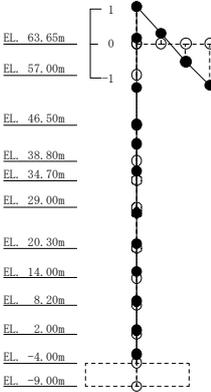
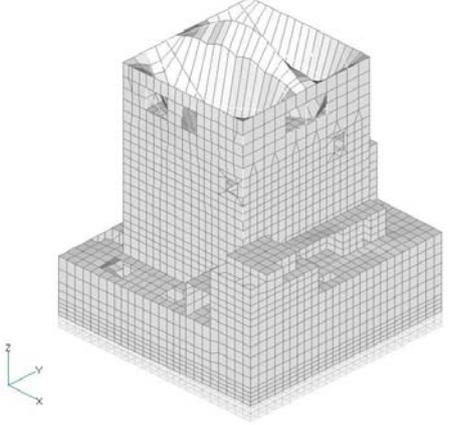
質点系対応モデルと質点系モデルとでは，補助壁のモデル化に差異がある。質点系対応モデルでは，補助壁をモデル化しているが，質点系モデルではモデル化していない。両モデルの固有値解析結果を比較すると，補助壁をモデル化した質点系対応モデルで剛性が質点系モデルより大きくなり，固有振動数も大きくなる傾向が見られる。

上記のモデル設定の差と固有値解析結果で得られた固有振動数の関係については，工学的に類推される結果と対応しており，各モデルの設定は妥当なものと考えられる。

表 2-6 固有値解析結果

方向	振動数 (Hz)			
	建屋模擬 モデル	比較用 モデル	質点系対応 モデル	質点系 モデル
NS	2.45	3.08	2.63	2.54
EW	2.38	2.95	2.60	2.53
UD	3.72	9.04	3.81	3.78

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEMモデルのモード比較

方向	質点系	建屋模擬モデル
NS	<p>1次モード 固有周期 : 0.394 (s) 固有振動数 : 2.54 (Hz) 刺激係数 : 1.936</p>  <p>2.54 Hz</p>	 <p>2.45 Hz</p>
EW	<p>1次モード 固有周期 : 0.396 (s) 固有振動数 : 2.53 (Hz) 刺激係数 : 1.962</p>  <p>2.53 Hz</p>	 <p>2.38 Hz</p>
UD	<p>2次モード 固有周期 : 0.265 (s) 固有振動数 : 3.78 (Hz) 刺激係数 : 1.465</p>  <p>3.78 Hz</p>	 <p>3.72 Hz</p>

## 2.3 観測記録を用いた検討

### 2.3.1 観測記録を用いた検討の概要

2011年東北地方太平洋沖地震に対して、3次元FEMモデルを用いて解析を実施する。解析には前述の建屋模擬モデルを用いる。観測記録を用いた検討に用いる使用材料の物性値及び地盤ばねの物性値を表2-8～表2-11に示す。

解析に用いる地震の諸元を図2-8に、地震計位置を図2-9に示す。また、観測記録を元に作成された、解放基盤表面レベル(EL. -370 m)で定義される解放基盤波を図2-10に示す。

観測記録を用いた解析は、はじめに、3次元FEMモデルに地盤ばねを介してホワイトノイズを入力し、周波数応答解析により、基礎底面レベル(EL. -9.0m)に対する各節点の伝達関数を算定する。次に、一次元波動論に基づき、解放基盤波を用いて算出した基礎底面レベルでの地盤の応答波と周波数応答解析より得られた伝達関数を用いて各節点での応答を評価する。また、3方向同時入力による応答は、水平2方向及び鉛直方向の1方向入力による地震応答解析で算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせるにより算出する。応答の算出方法の概要を図2-7に示す。

検討は、地震計を設置しているEL. 46.5m, EL. 29.0m, EL. 14.0m及びEL. -4.0mの位置での応答解析結果と観測記録とを比較することにより行う。なお、観測記録を用いた解析は、鉄筋コンクリート部の減衰定数を5%、鉄骨部の減衰定数を2%として行う。

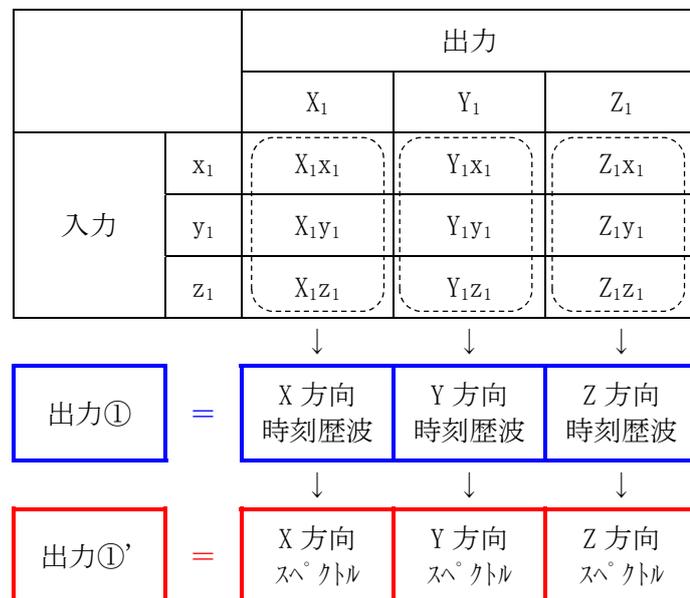


図 2-7 3方向同時入力による応答の算出方法

表 2-8 使用材料の物性値

部位	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	$2.21 \times 10^4$	5
鉄骨部	$2.05 \times 10^5$	2

表 2-9 底面地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

地盤ばね	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平底面ばね	$6.95 \times 10^7$ kN/m	$3.58 \times 10^6$ kN・s/m	$6.95 \times 10^7$ kN/m	$3.59 \times 10^6$ kN・s/m

表 2-10 底面地盤ばね定数と減衰係数 (鉛直方向)

地盤ばね		UD 方向	
		ばね定数	減衰係数
上下底面ばね	水平方向加振時	$2.55 \times 10^8$ kN/m	$4.18 \times 10^6$ kN・s/m
	鉛直方向加振時	$1.16 \times 10^8$ kN/m	$8.49 \times 10^6$ kN・s/m

表 2-11 側面地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

地盤ばね	EL. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平側面ばね	8.0	$6.28 \times 10^5$ kN/m	$2.74 \times 10^5$ kN・s/m	$6.28 \times 10^5$ kN/m	$2.74 \times 10^5$ kN・s/m
	2.0	$1.59 \times 10^6$ kN/m	$5.98 \times 10^5$ kN・s/m	$1.59 \times 10^6$ kN/m	$6.03 \times 10^5$ kN・s/m
	-4.0	$8.27 \times 10^6$ kN/m	$9.58 \times 10^5$ kN・s/m	$8.27 \times 10^6$ kN/m	$9.56 \times 10^5$ kN・s/m
	-9.0	$2.14 \times 10^7$ kN/m	$9.49 \times 10^5$ kN・s/m	$2.14 \times 10^7$ kN/m	$9.48 \times 10^5$ kN・s/m

地震名	2011年東北地方太平洋沖地震
発生日時	2011年3月11日 14時46分頃 <sup>(注)</sup>
マグニチュード	9.0 <sup>(注)</sup>
震源深さ	24km <sup>(注)</sup>
震央距離	270
震源距離	271

(注) 気象庁発表値



図 2-8 東北地方太平洋沖地震の震央位置

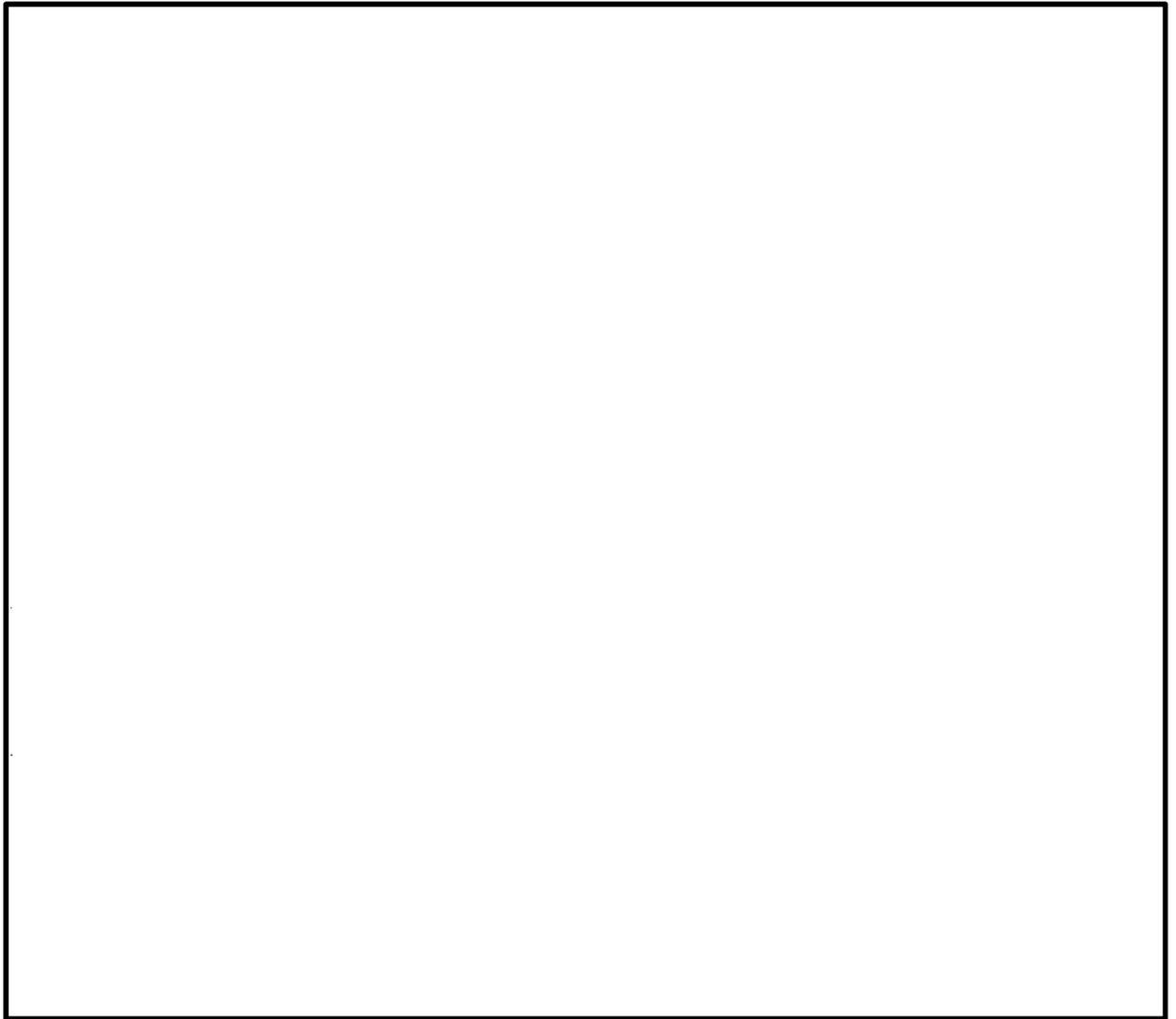
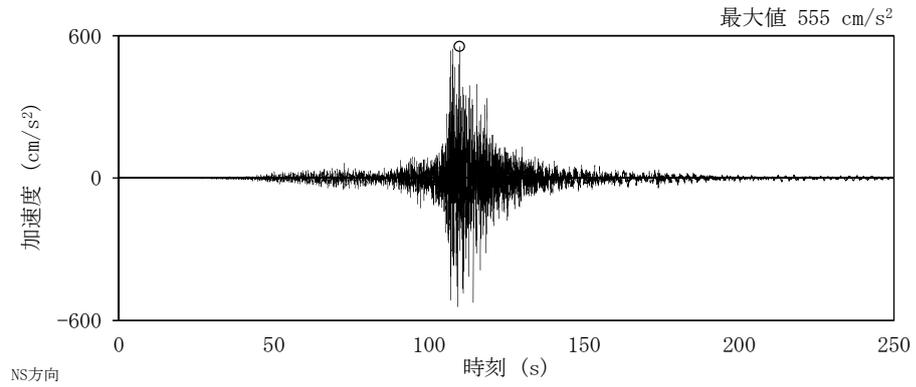
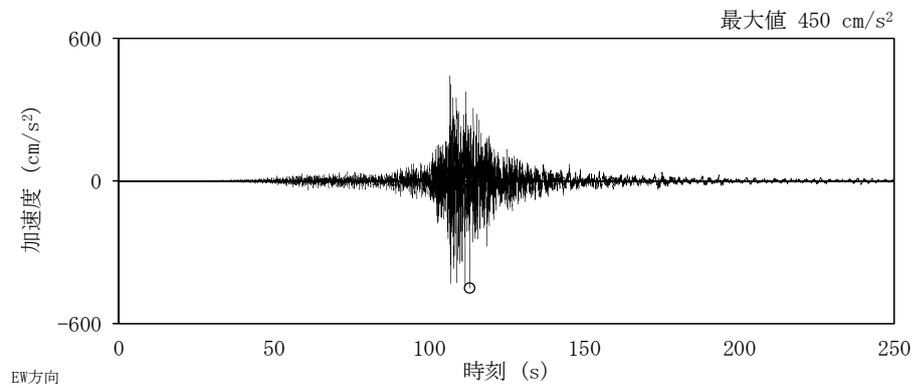


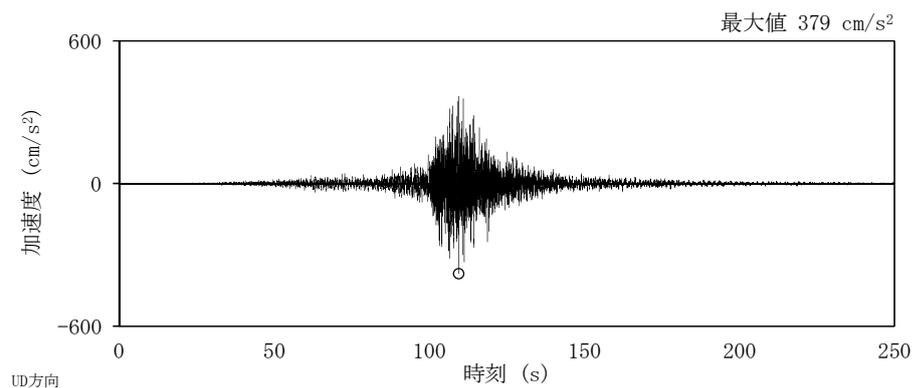
図 2-9 地震計位置



NS



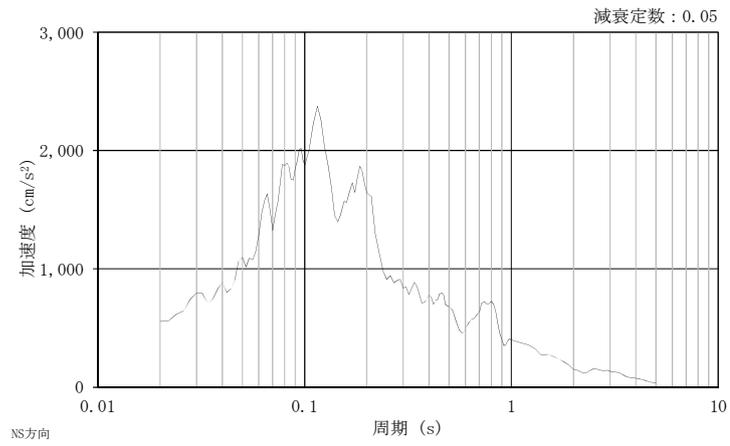
EW



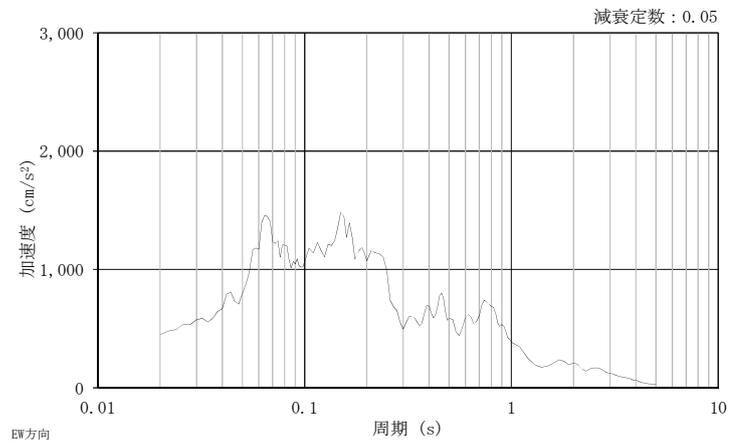
UD

(a) 加速度波形

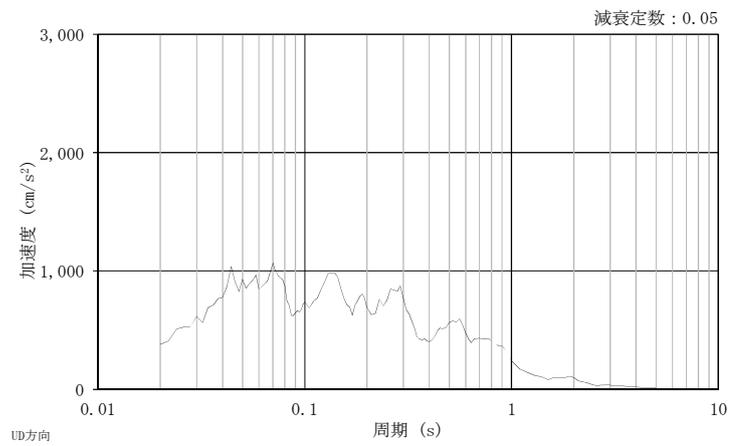
図 2-10 (1/2) 解放基盤表面レベル (EL. -370 m) での解放基盤波



NS



EW



UD

(b) 加速度応答スペクトル

図 2-10 (2/2) 解放基盤表面レベル (EL. -370 m) での解放基盤波

### 2.3.2 観測記録による解析結果

2011年東北地方太平洋沖地震の解放基盤波を用いて3次元FEMモデル（建屋模擬モデル）による解析を実施する。

EL. 46.5m, EL. 29.0m, EL. 14.0m 及び EL. -4.0m の地震計位置での観測記録及び解析結果の加速度応答スペクトルの比較を表 2-12 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は3方向同時入力による結果とし、地震計位置近傍の節点のものを用いる。また、添付資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」で用いた質点系モデルにおける解析結果も参考として併せて示す。

### 2.3.3 観測記録と解析結果の比較及び考察

観測記録と3次元FEMモデルによる解析結果とを比較すると、NS方向については、やや解析結果が大きめとなる傾向にあるが、3次元FEMモデルによる解析結果は観測記録のスペクトル形状と概ね対応している。

EW方向について、3次元FEMモデルによる解析結果は0.4秒～0.5秒付近におけるピークを大きく評価しているが、その他の周期帯においては比較的よく整合している。EL. 46.5m では、0.1秒付近より短周期側の周期帯において、質点系モデルの解析結果に比べ観測記録が大きくなっている。3次元FEMモデルの解析結果については、若干小さめではあるものの応答スペクトルの傾向は再現できている。

鉛直方向について、全体的に3次元FEMモデルによる解析結果が大きくなる傾向にはあるが、両モデルでの解析結果は観測記録のスペクトル形状と概ね対応している。

EW方向において、解析結果と観測記録とで差異が生じる要因としては、以下が考えられる。

#### ①0.4～0.5秒付近の周期帯において大きなピークが生じる要因

- ・0.4～0.5秒付近の周期帯は、建屋-地盤連成系における1次固有周期付近の周期帯である。原子炉建屋の地震応答解析モデルは、補足説明資料「地震応答解析における既工認との比較」の別紙「原子炉建屋の地震応答解析モデルについて」で示すように、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化し、埋込み効果としての側面回転地盤ばねを考慮しないモデルとしており、応答を保守的に評価するモデルとしていることが要因の一つであると考えられる。

#### ②0.1秒付近より短周期側の周期帯で観測記録が大きくなる要因

- ・3次元FEMモデルにおける水平及び鉛直の各方向の入力によるEL. 46.5mでのEW方向成分の床応答スペクトルを表 2-13 に示す。NS方向入力によるEW方向成分の応答はいずれの位置でも比較的小さく、位置による差はほとんどない。また、EW方向入力によるEW方向成分の応答についても、位置によって大きな差はなく、質点系モデルによる結果ともよく整合している。しかし、UD方向入力によるEW方向成分の応答は、応答評価点①及び②では比較的小さいが、応答評価点③～⑤においては0.1秒付近で大きな応答が生じている。各方向の入力によるEW方向成分の応答を時

刻歴で足し合わせた 3 方向入力による応答は、応答評価点①及び②では、EW 方向入力及び質点系モデルの結果と大きな差は生じていないが、応答評価点③～⑤では、短周期側で増幅しており、観測記録に近いスペクトル形状を示している。

- ・観測記録において短周期側で応答の増幅が生じている EL. 46.5 m の下階の EL. 38.8 m における 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの床応答スペクトルを表 2-14 に示す。EL. 38.8 m では、位置によるスペクトル形状の差はほとんどなく、1 方向入力と 3 方向入力による結果も差はわずかであり、EL. 46.5m で見られるような局所的な応答は生じていない。
- ・以上より、観測記録で見られる短周期側の増幅は、鉛直方向の入力により生じる EW 方向の応答によるものであり、EL. 46.5 m において生じているものと考えられる。質点系モデルにおいては他方向からの入力による応答を評価することができないため、観測記録と差異が生じたと考えられる。

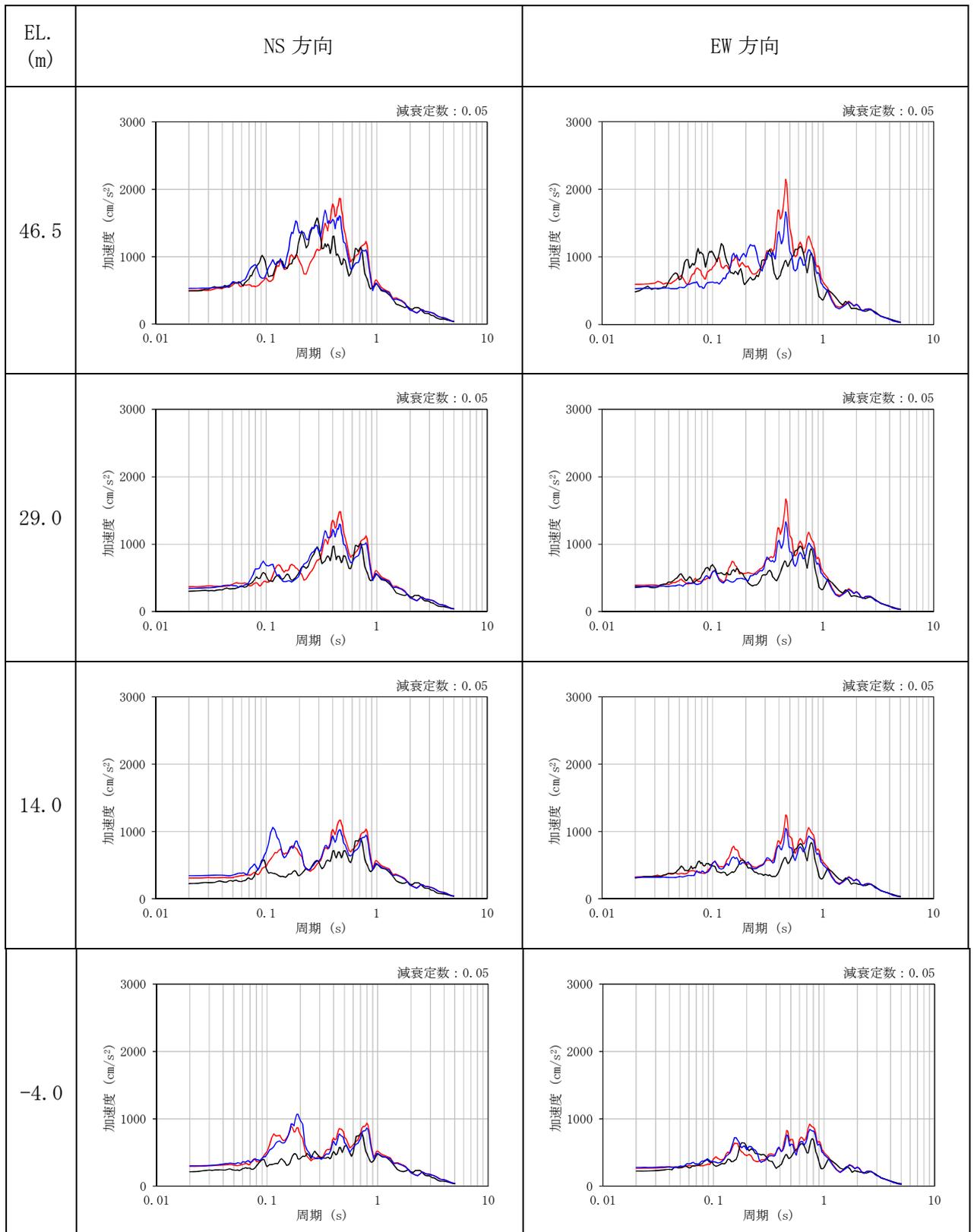
#### 2.3.4 結論

以上から、建屋模擬モデルによる解析結果は、一部の周期帯に差異が認められるものの、観測記録と概ね対応しており、スペクトル形状を再現できている。

よって、以降の原子炉建屋の 3 次元応答性状の影響検討については、建屋模擬モデルを用いることとする。

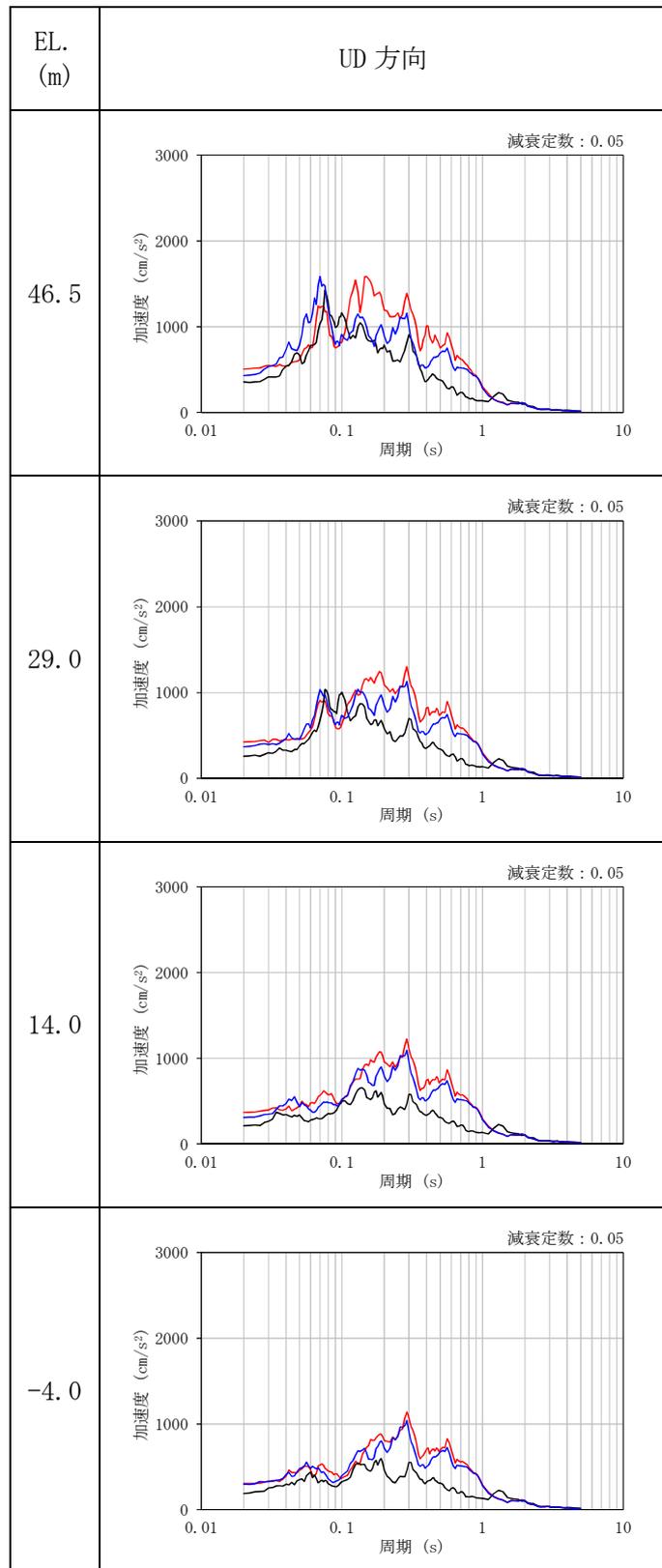
また、観測記録と質点系モデルの結果の比較で確認した局所的な応答と考えられる応答の影響については、以降で検討する。

表 2-12(1/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=5%)



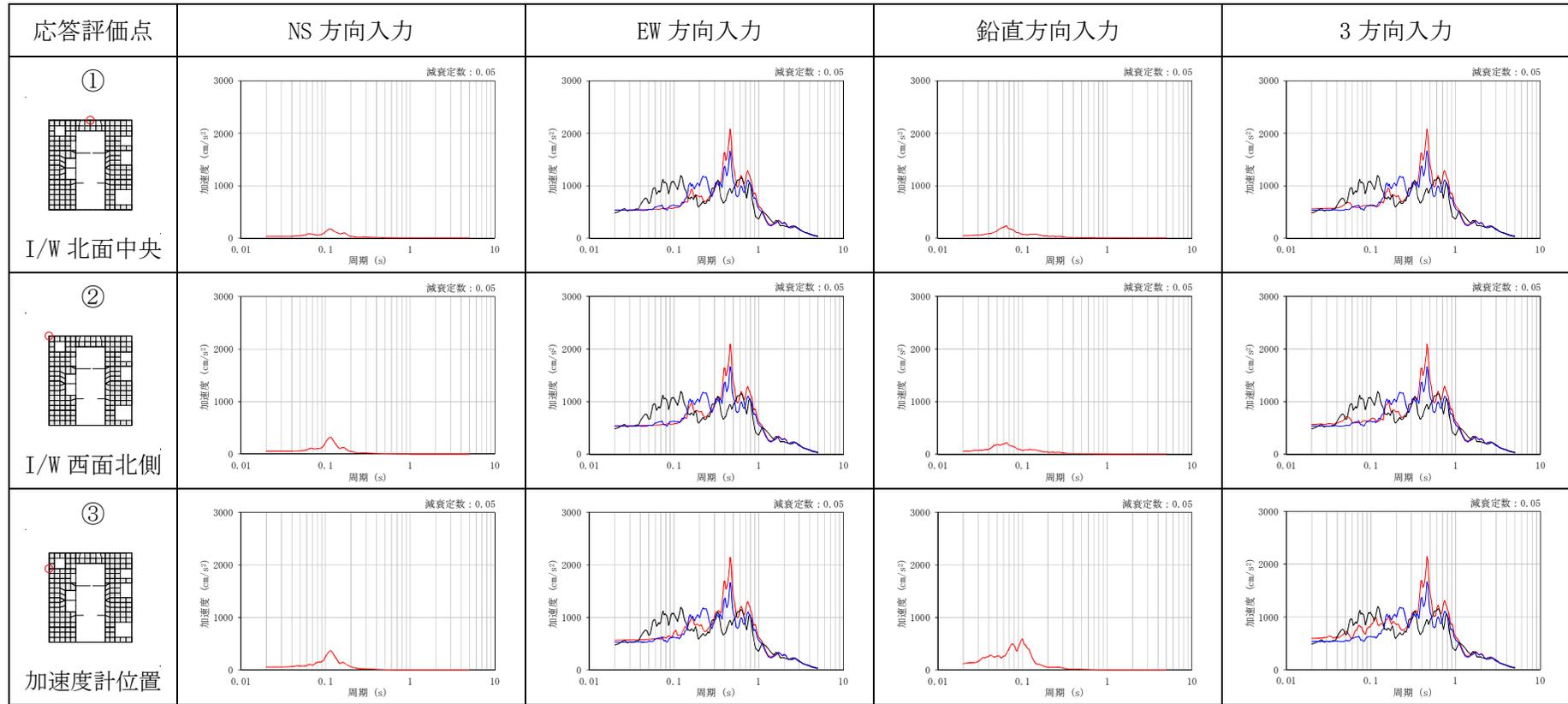
— 観測記録      — 3次元FEM      — 質点系

表 2-12(2/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=5%)



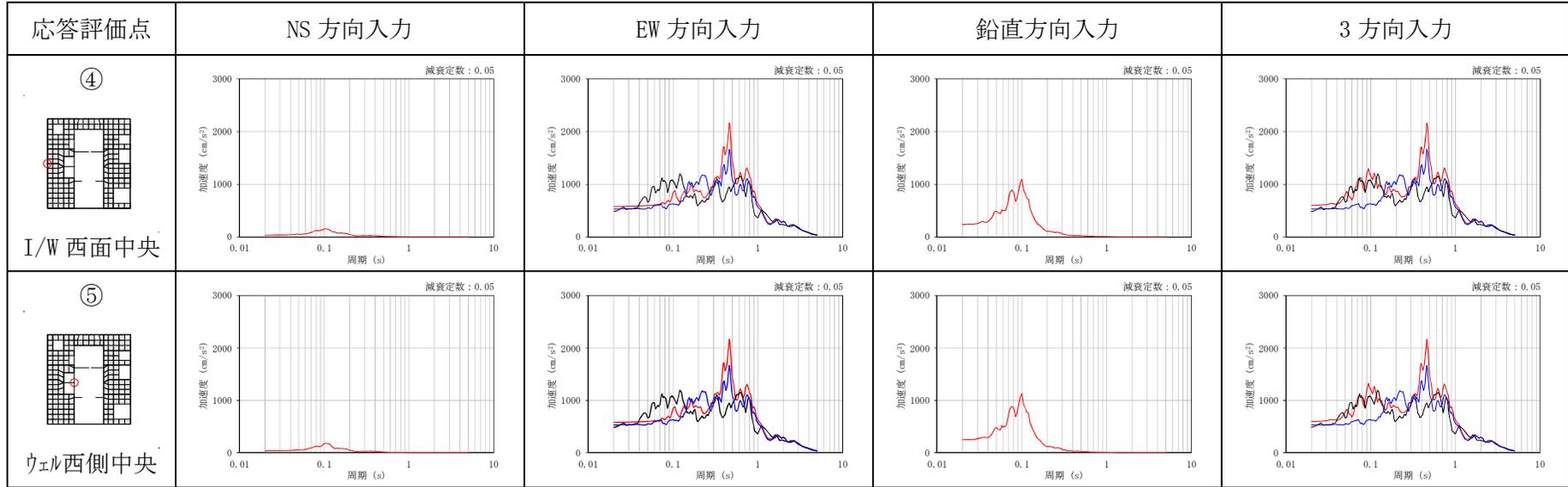
— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

表 2-13(1/2) EW 方向の床応答スペクトル (EL. 46.5 m, h=5%)



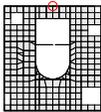
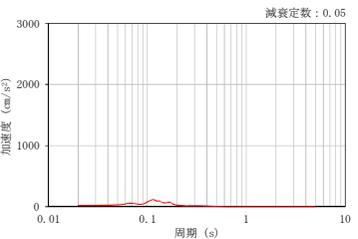
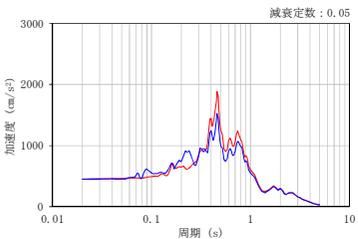
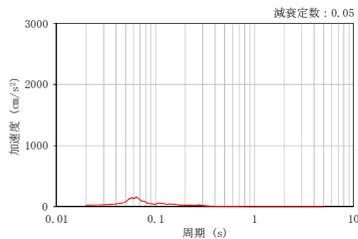
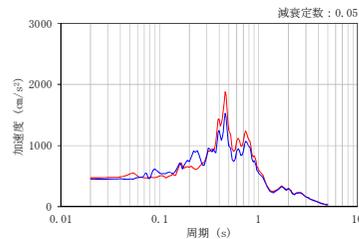
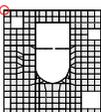
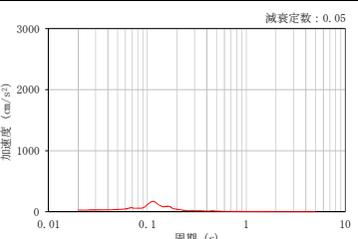
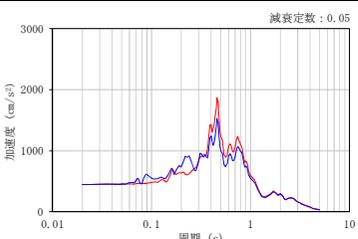
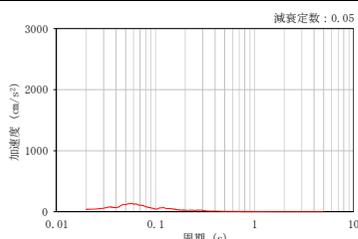
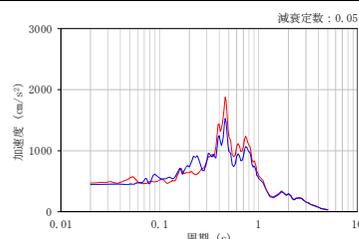
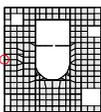
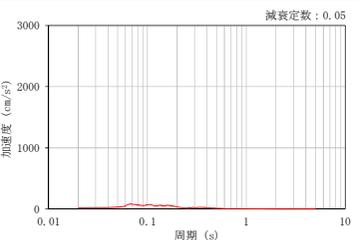
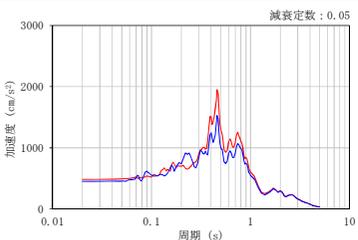
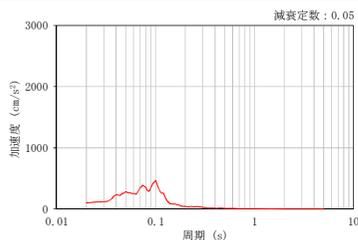
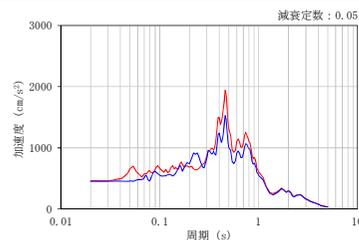
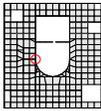
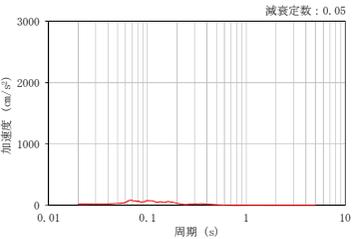
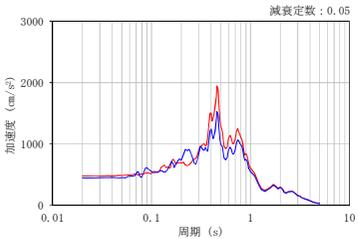
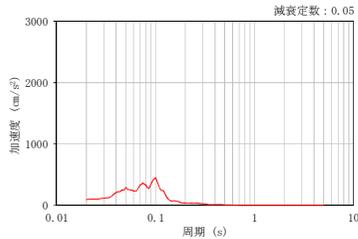
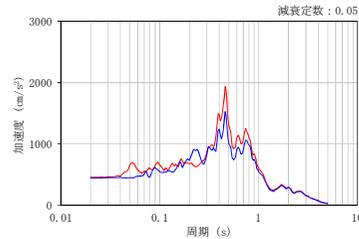
— 観測記録    — 3次元FEM    — 質点系

表 2-13(2/2) EW 方向の床応答スペクトル (EL. 46.5 m, h=5%)



— 観測記録    — 3次元FEM    — 質点系

表 2-14 EW 方向の床応答スペクトル (EL. 38.8 m, h=5%)

応答評価点	NS 方向入力	EW 方向入力	鉛直方向入力	3 方向入力
⑥  I/W 北面中央				
⑦  I/W 西面北側				
⑧  I/W 西面中央				
⑨  ウェル西側中央				

— 3次元FEM — 質点系

### 3. 3次元FEMモデルによる評価

#### 3.1 地震応答解析の概要

原子炉建屋の3次元的な応答性状を把握し、それらが建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮）、比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の3つの3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動 $S_d$ に対する地震応答解析を実施する。

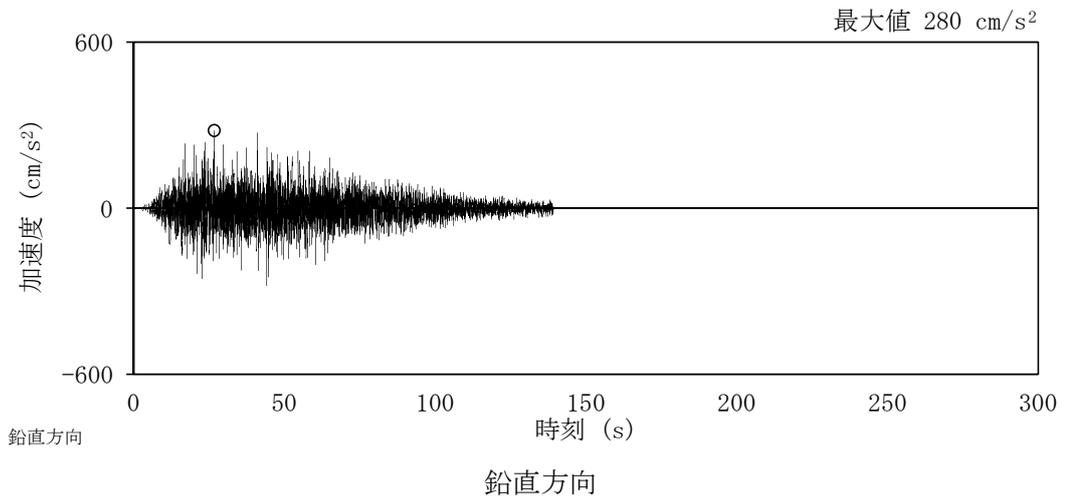
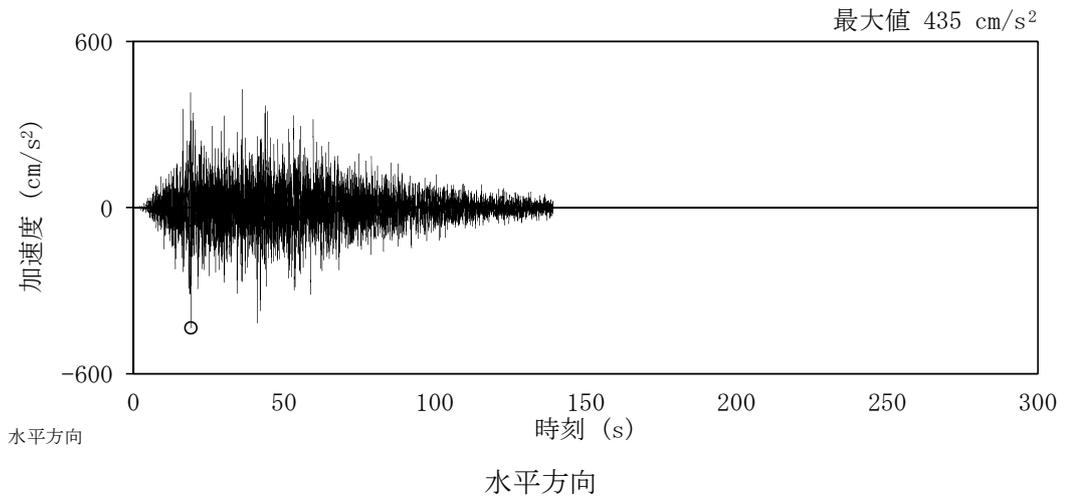
3次元FEMモデルによる地震応答解析は弾性応答解析としていることから、地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベル（EL. -370 m）で定義される弾性設計用地震動 $S_d-D1$ に対する建屋基礎底面及び側面地盤ばねレベルでの地盤の応答を、地盤ばねを介して入力し、3次元的な応答性上の把握を行う。

入力地震動 $S_d-D1$ を図3-1に示す。

3次元FEMモデルによる地震応答解析は、NS方向、EW方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、NS方向、EW方向及び鉛直方向の3方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

3次元FEMモデルの応答評価位置を図3-2、3次元FEMモデルの評価点に対応する質点系モデルの質点を図3-3に示す。

3次元FEMモデルの応答評価位置は、地震計設置階に対応する床における耐震壁位置（O/W, I/W及びS/W）の点のうち、対称性及び建屋形状を考慮した代表点を抽出した。



(a) 加速度波形

図 3-1 (1/2) 入力地震動 (S<sub>d</sub>-D1)

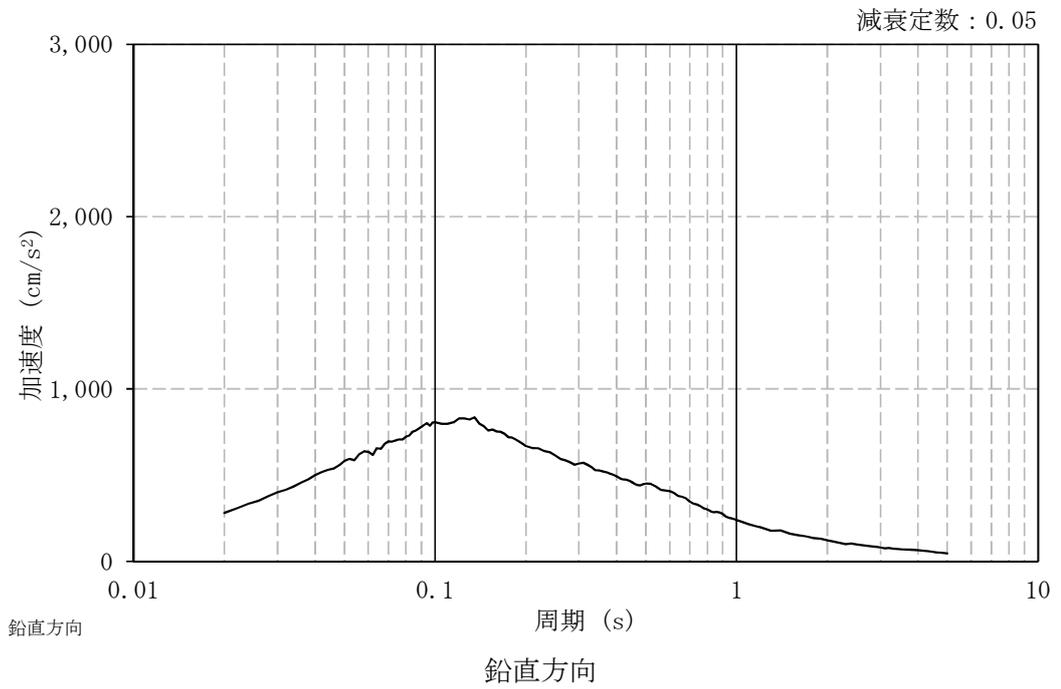
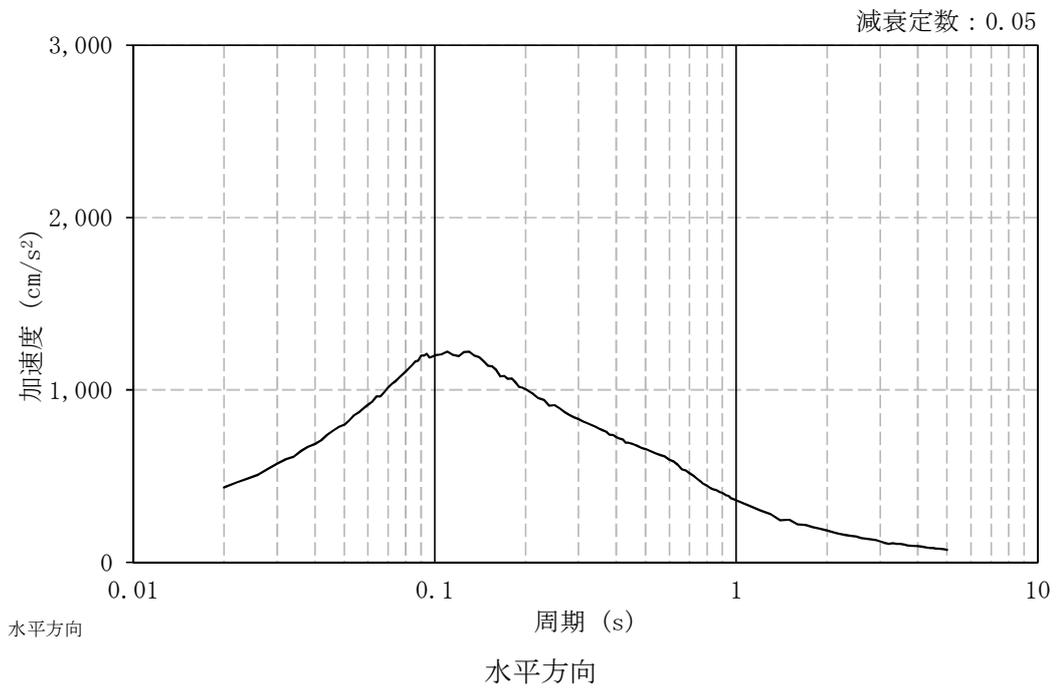


図 3-1 (2/2) 入力地震動 (S<sub>d</sub>-D1)

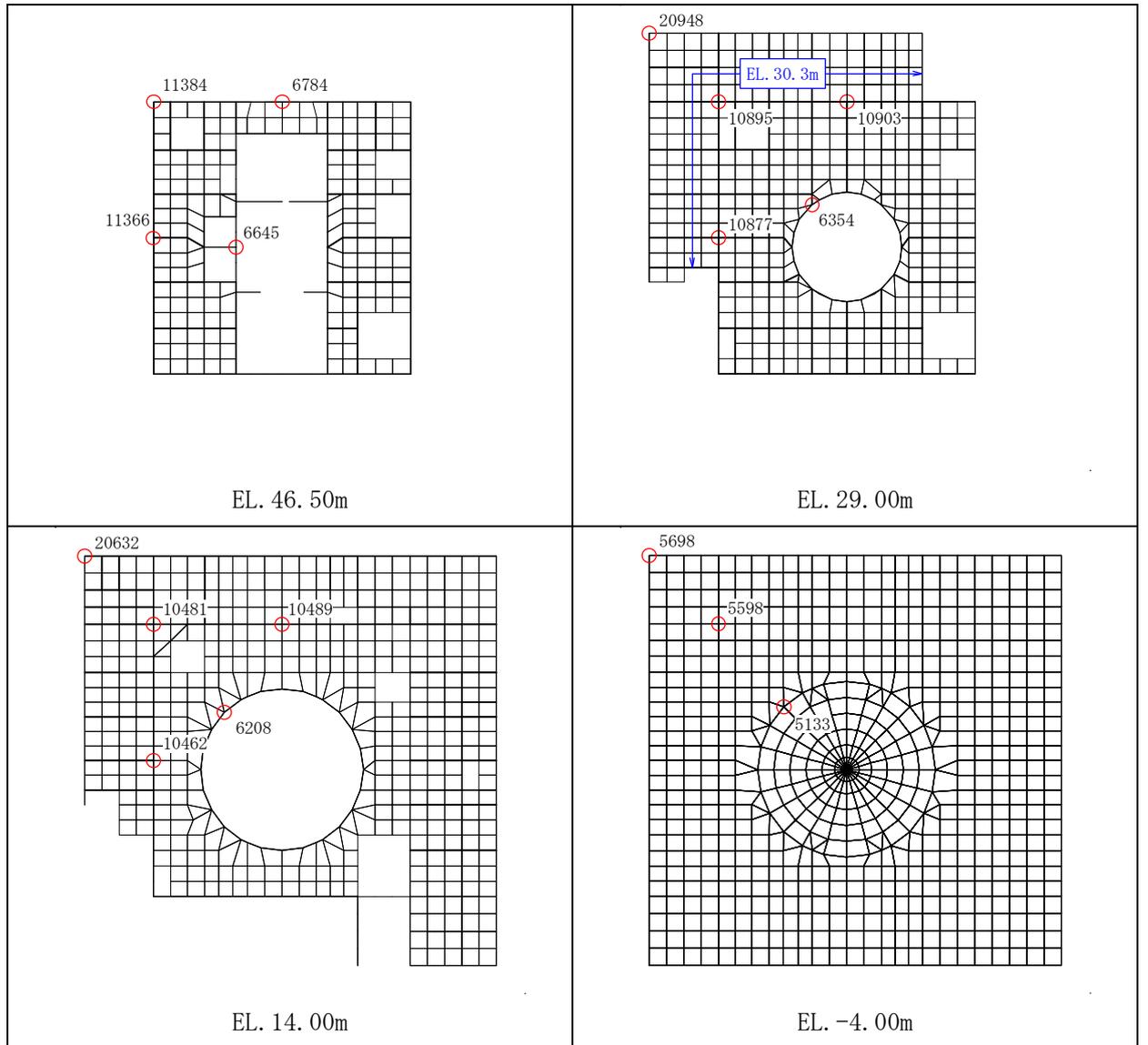


图 3-2 応答評価位置

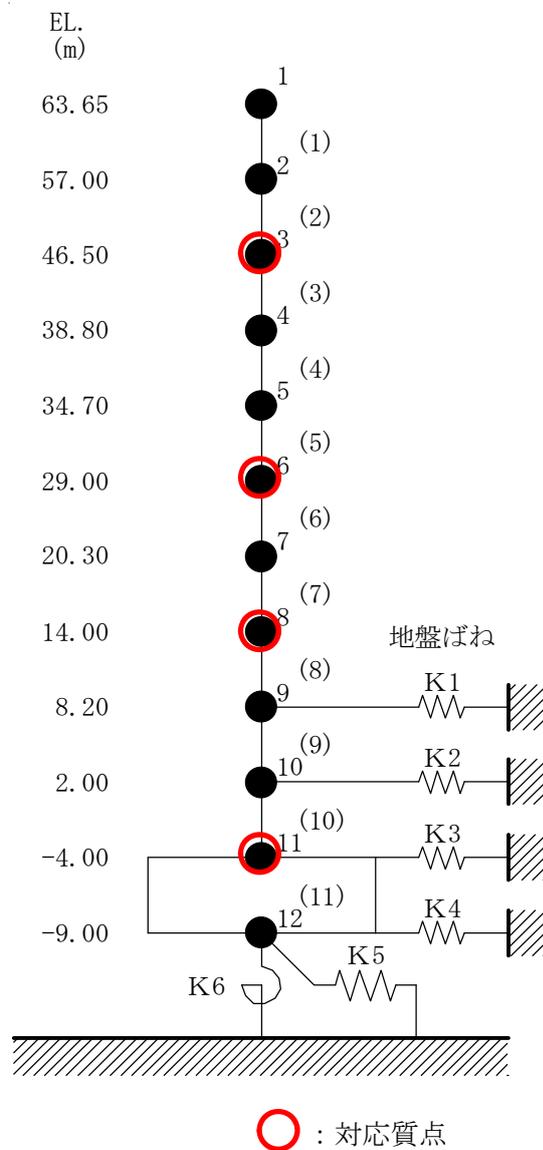


図 3-3 3次元FEMモデルの評価点に対応する質点系モデルの質点（水平方向）

### 3.2 建屋応答性状の把握

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮），比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の3つの3次元FEMモデルを用いて，図1-3の評価フローに基づき，建屋応答特性の把握を行う。

具体的には，以下の(1)～(4)の応答特性について，分析・考察する。

- (1) 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響：建屋模擬モデルー比較用モデル間で比較。
- (2) 鉛直軸回りのねじれ振動の影響：建屋模擬モデルの加振方向及び直交方向の応答で比較。
- (3) 床柔性の影響：建屋模擬モデルー質点系対応モデル間で比較。
- (4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響：建屋模擬モデルの水平1方向入力と3方向同時入力で比較。

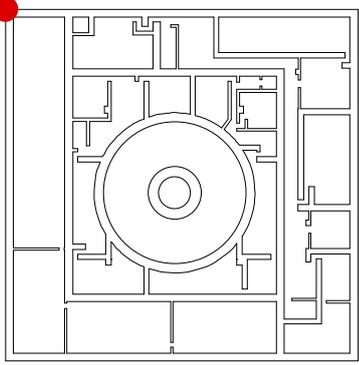
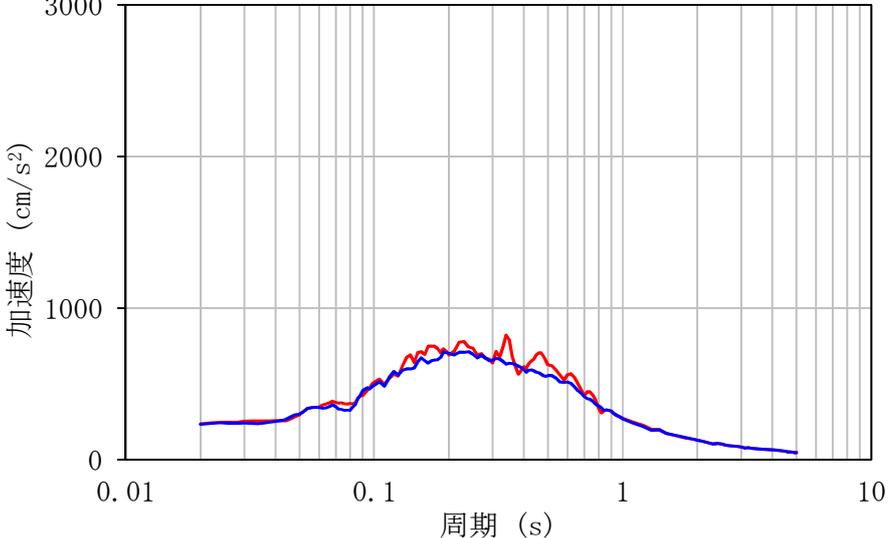
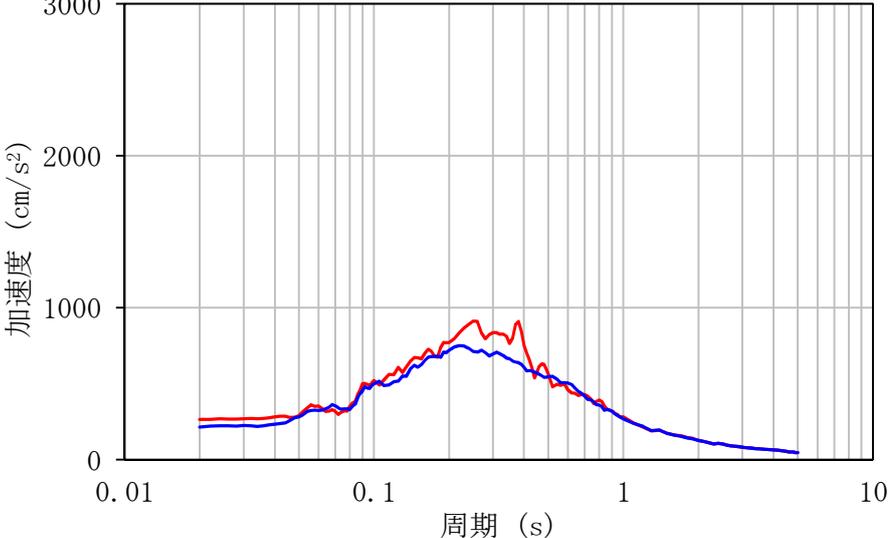
#### (1) 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響

基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響は，相互作用を考慮している建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮）及び相互作用を考慮していない比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定）の水平方向の入力による鉛直方向応答を比較することで検討する。なお，鉛直方向応答は，水平加振時の鉛直方向応答+鉛直加振時の鉛直方向応答により求めるが，水平方向の入力による鉛直方向応答を比較するため，鉛直加振時の鉛直方向応答はいずれのモデルも建屋模擬モデルによる結果を用いる。

応答比較に用いる評価点は，ロッキング振動の影響が出やすいと考えられる建屋端部の評価点 No. 5698 (EL. -4.0 m)，No. 20632 (EL. 14.0 m) 及び No. 20948 (EL. 29.0 m) を抽出した。検討結果を表3-1に示す。

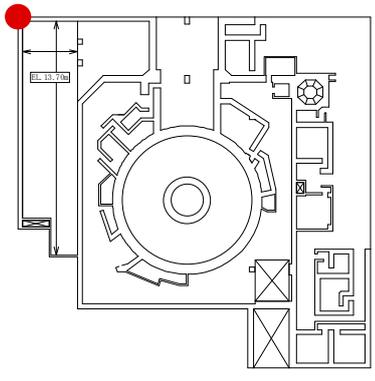
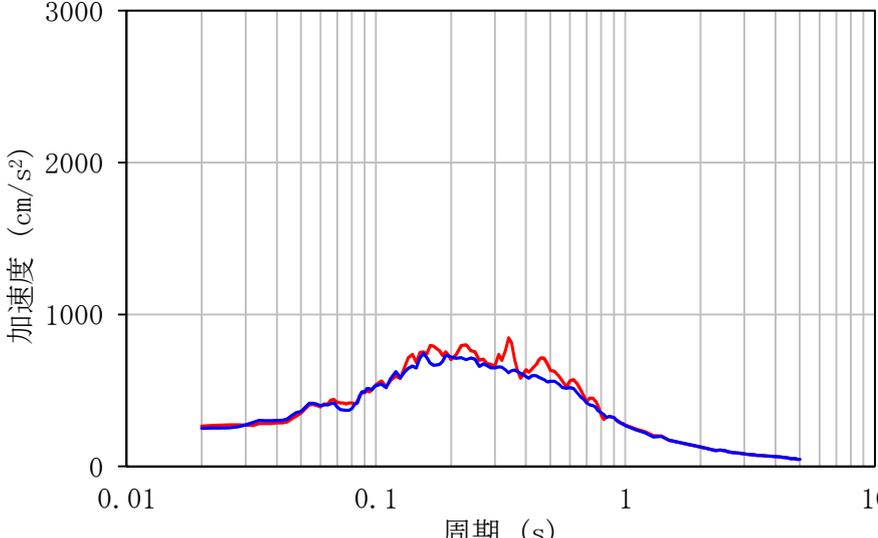
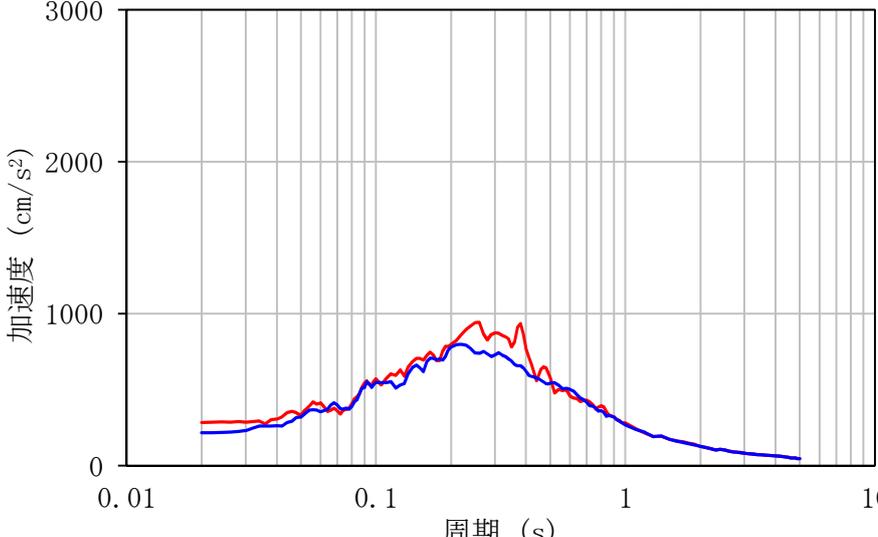
表3-1より，全ての評価点において，建屋模擬モデル及び比較用モデルの応答を比較すると，モデル間の差分は小さく，基礎のロッキング振動による影響は小さい。また，建屋模擬モデルの応答がやや大きいことから，建屋模擬モデルを検討対象モデルとすることは保守的である。

表 3-1(1/3) 建屋模擬モデル及び比較用モデルの鉛直方向応答

<p>EL. -4.0 m 評価点 No. 5698 O/W 脚部</p>		
<p>NS+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> 	
<p>EW+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> 	

— 建屋模擬モデル    — 比較用モデル

表 3-1(2/3) 建屋模擬モデル及び比較用モデルの鉛直方向応答

<p>EL. 14.0 m 評価点 No. 20632 O/W 脚部</p>		
<p>NS+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> 	
<p>EW+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> 	

— 建屋模擬モデル    — 比較用モデル

表 3-1(3/3) 建屋模擬モデル及び比較用モデルの鉛直方向応答

<p>EL. 29.0m 評価点 No. 20948 O/W 脚部</p>		
<p>NS+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> <p style="text-align: center;">周期 (s)</p>	
<p>EW+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> <p style="text-align: center;">周期 (s)</p>	

— 建屋模擬モデル    — 比較用モデル

## (2) 鉛直軸回りのねじれの影響

鉛直軸回りのねじれの影響は、建屋模擬モデル（床柔、相互作用考慮）の地震応答解析により確認する。

応答評価点は、平面形状よりねじれの影響が出やすいと考えられる No.20632 (EL.14.0 m) 及び No.20948 (EL.29.0 m) について抽出し、加振方向と加振直交方向の応答を比較する。

水平加振時の応答比較を表 3-2 に示す。

表 3-2 より、選定した評価点において、加振直交方向の応答は発生しているものの加振方向の応答と比較して十分に小さくなっている。したがって、水平 1 方向入力を考慮する場合、加振方向の応答に対して設計を行えば、耐震安全性上問題にはならないと考えられるが、水平 2 方向の入力を考えた場合、ねじれ応答の影響による応答が増幅する可能性がある。

以上より、水平 2 方向の入力によるねじれ応答の影響は「(4)水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響」において確認する。

表 3-2(1/2) 建屋模擬モデルの水平加振時の応答比較

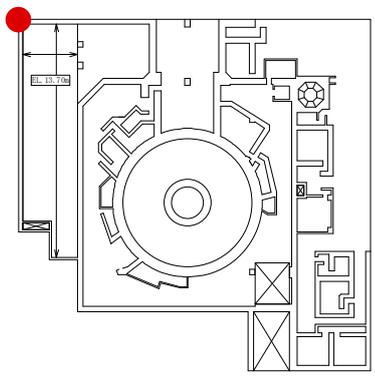
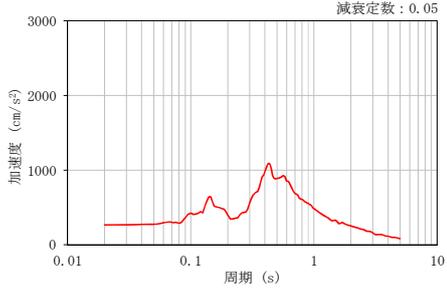
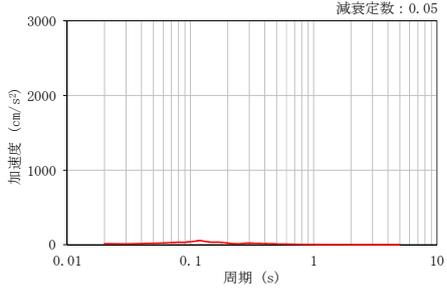
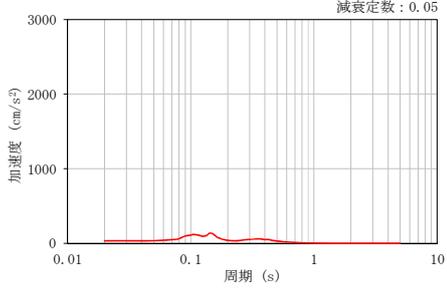
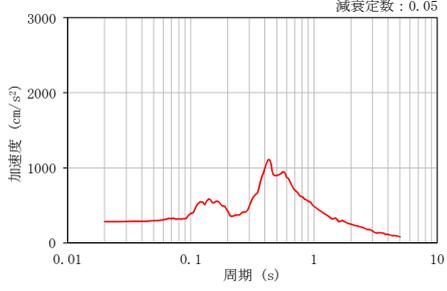
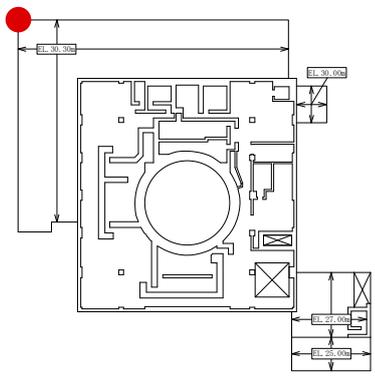
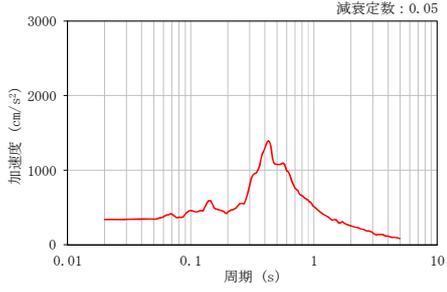
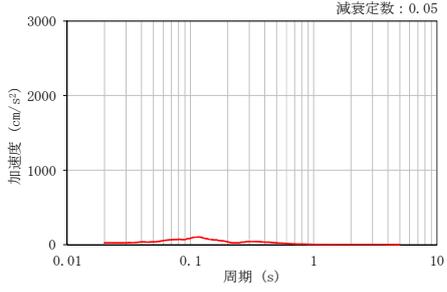
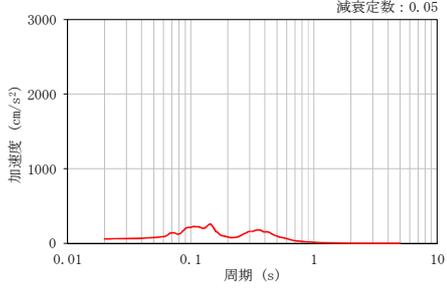
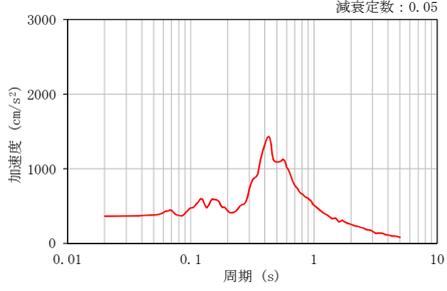
<p>EL. 14.0m 評価点 No. 20632 O/W 脚部</p>		
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>NS 方向 加振時</p>		
<p>EW 方向 加振時</p>		

表 3-2(2/2) 建屋模擬モデルの水平加振時の応答比較

<p>EL. 29.0m 評価点 No. 20948 O/W 脚部</p>		
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>NS 方向 加振時</p>		
<p>EW 方向 加振時</p>		

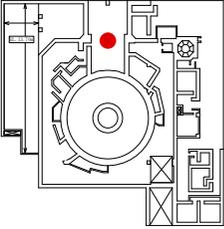
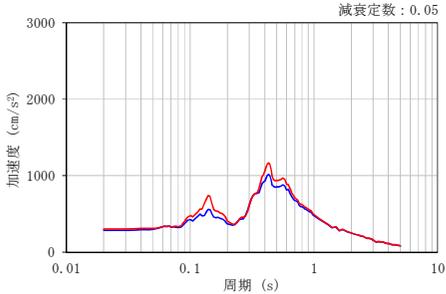
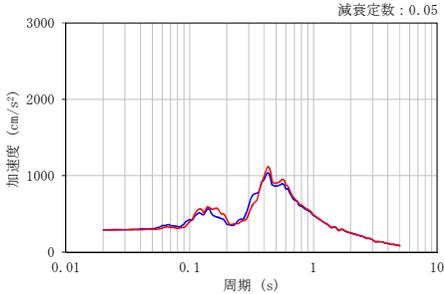
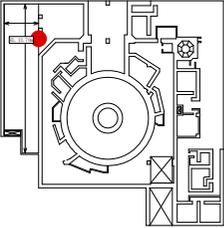
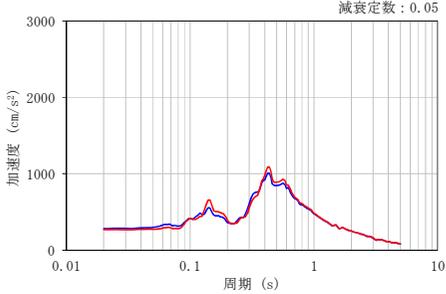
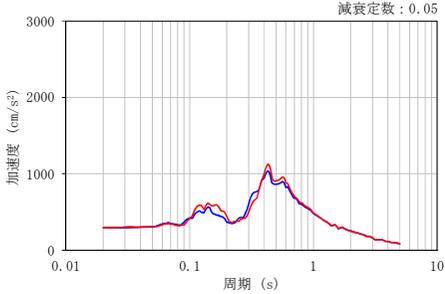
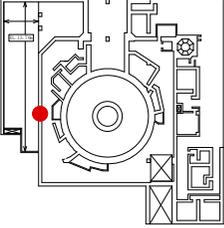
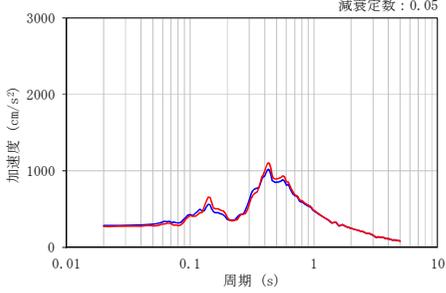
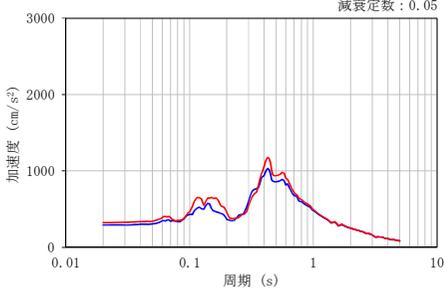
### (3) 床柔性の影響

床柔性の影響は、床の柔性を考慮した建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮）と床を剛とした比較用モデル（床剛，相互作用考慮）を比較することにより確認する。応答を比較する評価点は、平面的に広い EL. 14.0 m の評価点 No. 10462, No. 10481 の建屋端部及び中心部とする。

建屋模擬モデル及び質点系対応モデルの比較結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 より、建屋模擬モデル及び質点系対応モデルを比較すると、概ね同等もしくは質点系対応モデルにおいてピーク値がやや低減されることから、建屋模擬モデルを検討対象とすることは保守的である。

表 3-3 建屋模擬モデルと質点系対応モデルの応答比較

評価点	NS 方向加振時 NS 応答	EW 応答方向加振時 EW 応答
 <p>EL. 14.0 m No. 10489</p>		
 <p>EL. 14.0 m No. 10481</p>		
 <p>EL. 14.0 m No. 10462</p>		

— 建屋模擬モデル — 質点系対応モデル

#### (4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響

##### a. 地震動の入力方法

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、建屋模擬モデルに弾性設計用地震動  $S_d$  を水平 2 方向及び鉛直方向に同時に入力（3 方向同時入力）した場合について検討する。

地震動の組合せを表 3-4 に示す。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響検討は、弾性設計用地震動  $S_d$  を水平 2 方向及び鉛直方向に組合せた地震力に対して実施する。具体的には、弾性設計用地震動  $S_d-D1$  を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

ただし、全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的ではないことから、弾性設計用地震動  $S_d-D1$  については、水平 2 方向の地震動のうち NS 方向には弾性設計用地震動  $S_d-D1$  の水平方向成分を入力し、直交する EW 方向は弾性設計用地震動  $S_d-D1$  の設計用応答スペクトルに適合するが、 $S_d-D1$  の水平方向成分とは位相特性の異なる模擬地震波を入力する。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動  $S_d-D1$  の鉛直方向成分を入力する。

したがって、本検討においては、NS 方向に対しては弾性設計用地震動  $S_d-D1$  の水平成分を、EW 方向に対しては模擬地震波（基準地震動  $S_d-D1$  の水平成分の設計用応答スペクトルに適合するよう、位相を変えたもの）をそれぞれ入力する。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動  $S_d-D1$  の鉛直方向成分を入力する。3 方向同時入力による応答は、水平 2 方向及び鉛直方向の 1 方向入力による地震応答解析で算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせるにより算出する。応答算出の考え方を図 3-4 に示す。

表 3-4 地震動の組合せ

地震動の入力方法		NS 方向	EW 方向	鉛直方向
1 方向入力	NS 方向	$S_d - D 1$	—	—
	EW 方向	—	模擬地震波 <sup>(注)</sup>	—
3 方向同時入力		$S_d - D 1$	模擬地震波 <sup>(注)</sup>	$S_d - D 1$

(注) 弾性設計用地震動  $S_d - D 1$  の設計用応答スペクトルに適合するが、 $S_d - D 1$  とは位相特性が異なる地震波。

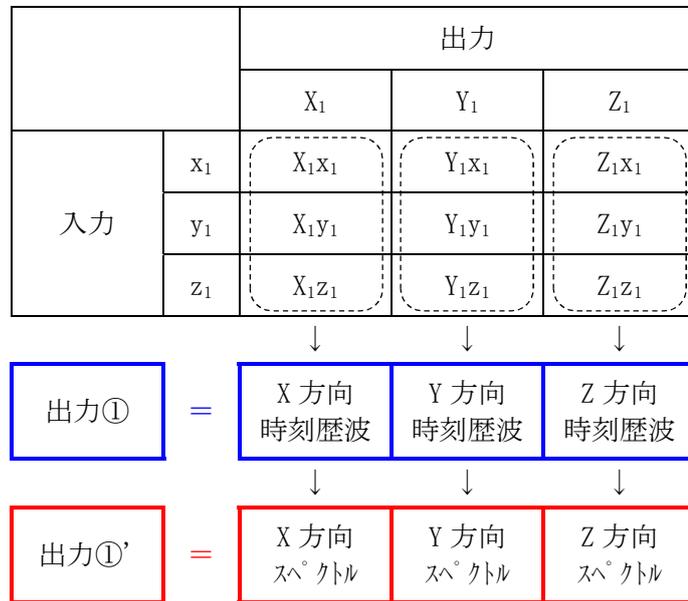


図 3-4 3次元FEMモデルによる応答算出の考え方

b. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認は、表 3-4 の地震動を対象に、NS 方向に入力した場合及び EW 方向に入力した場合の応答と、3 方向同時入力した場合の応答とを比較することにより実施する。

応答を比較する評価点は、地震計設置階である EL. -4.0 m, EL. 14.0 m, EL. 29.0 m 及び EL. 46.5 m の床における耐震壁位置 (O/W, I/W 及び S/W) の点のうち、対称性及び建屋形状を考慮した代表点を抽出した。

比較した結果を表 3-5 に示す。

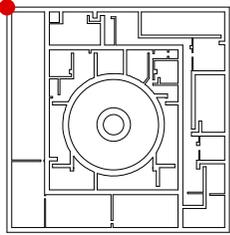
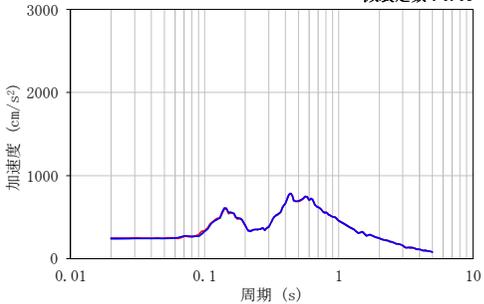
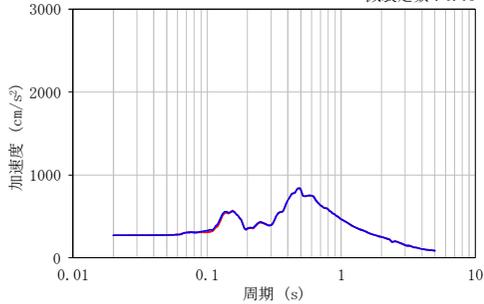
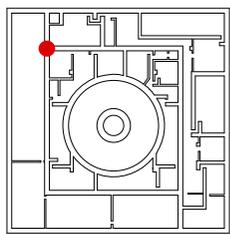
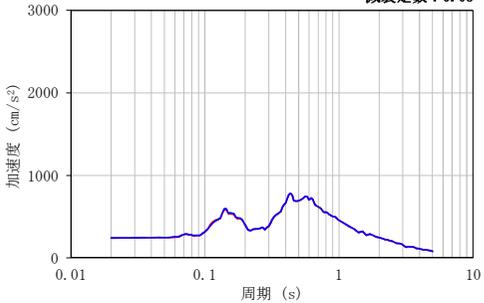
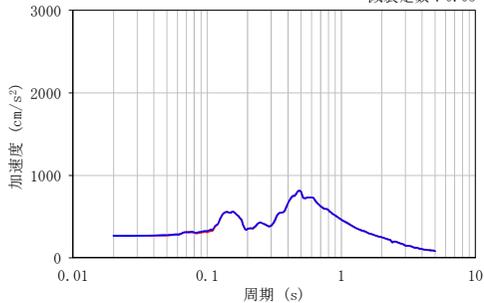
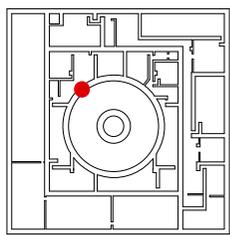
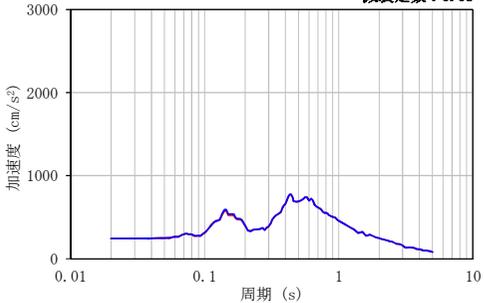
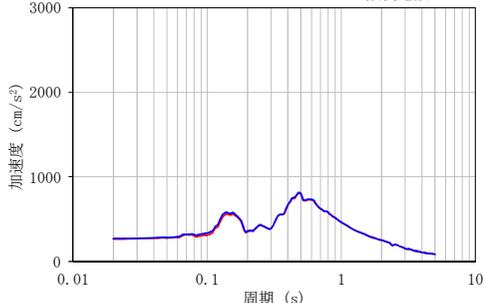
表 3-5 より、EL. 46.5 m の評価点 No. 6645 及び 11366 を除く評価点においては、3 方向同時入力時の方が若干応答が大きくなる点もあるものの、1 方向入力時及び 3 方向入力時の応答の差は小さく、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はほとんどないことを確認した。

EL. 46.5 m の評価点 No. 6645 及び 11366 では、NS 方向については 1 方向入力時及び 3 方向入力時の応答は概ね一致しているが、EW 方向では「2.3 観測記録を用いた検討」で見られた 0.1 秒付近の周期帯における応答増幅が生じている。また、表 3-6 に示す直下階である EL. 38.8 m やその他の床レベルでは、EL. 46.5 m で見られるような増幅はほとんど生じていない。したがって、EW 方向における 0.1 秒付近の応答増幅は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる EL. 46.5 m における局所的な応答であると考えられる。EL. 46.5 m における影響検討は「別紙 4 機器・配管系に関する説明資料」で行う。

「(2) 鉛直軸回りのねじれの影響」では、水平 2 方向の入力を考えた場合に、ねじれの影響によって相互に応答増幅する可能性が示唆されたが、ねじれ振動の影響による応答増幅は見られなかった。

原子炉建屋の質点系モデルを用いた耐震検討では、ねじれ振動を考慮せず、水平 1 方向入力時の入力方向の応答に対する検討を行っているが、本検討により、ねじれを考慮しないことは妥当と考えられる。

表 3-5(1/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. -4.0 m No. 5698</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. -4.0 m No. 5598</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. -4.0 m No. 5133</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

— 3方向      — 1方向

表 3-5(2/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

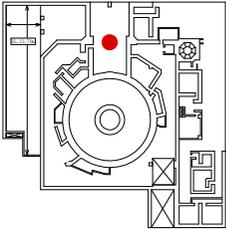
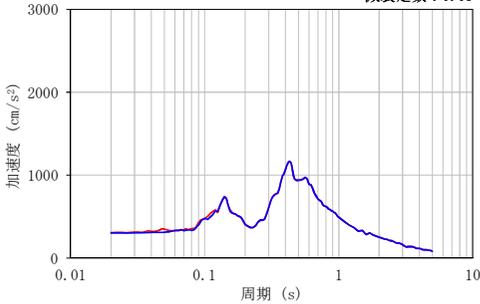
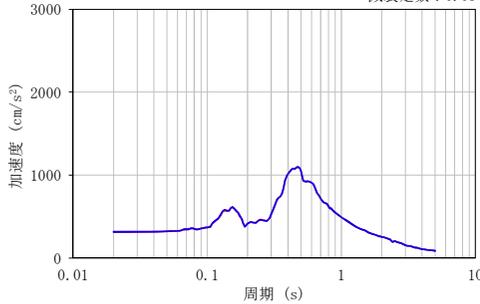
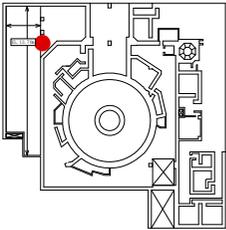
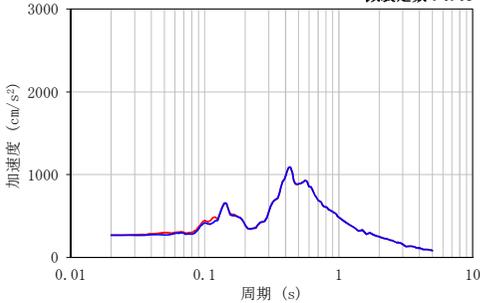
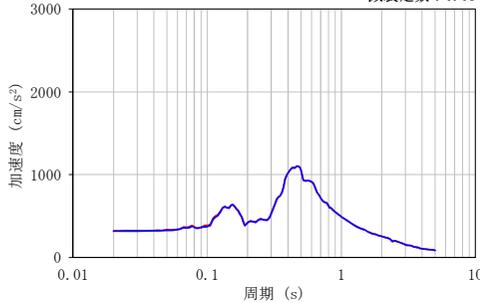
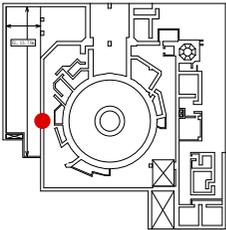
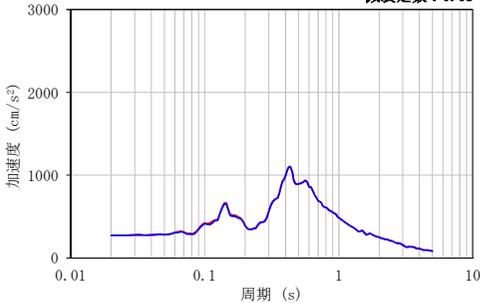
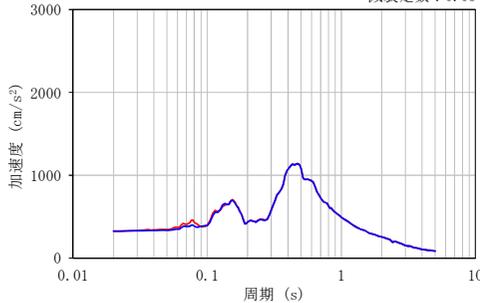
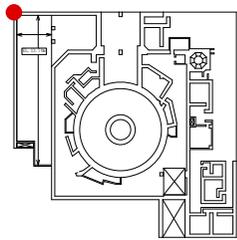
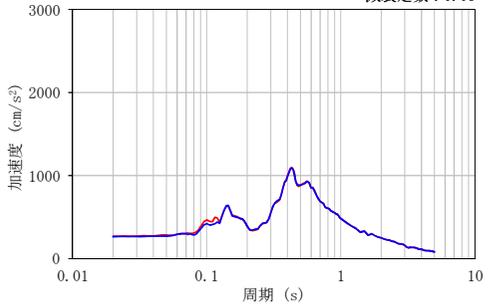
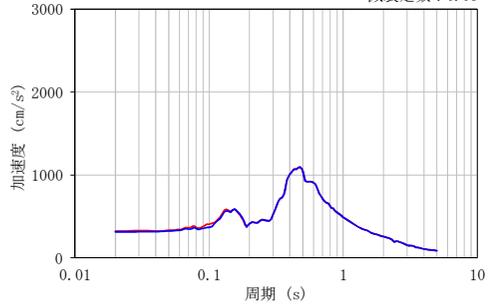
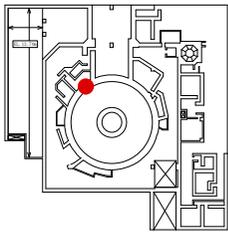
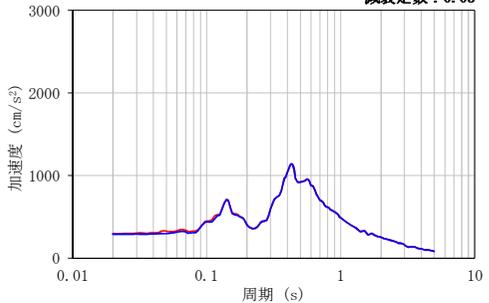
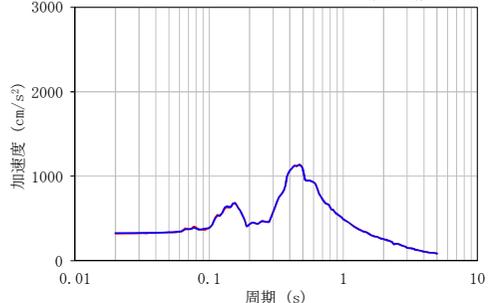
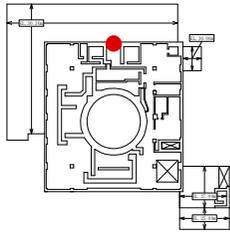
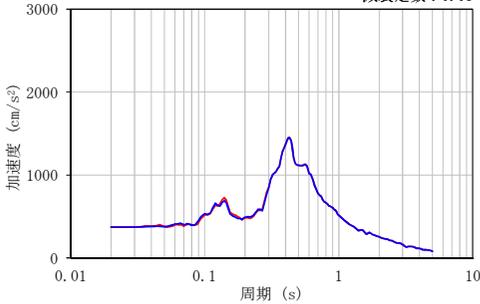
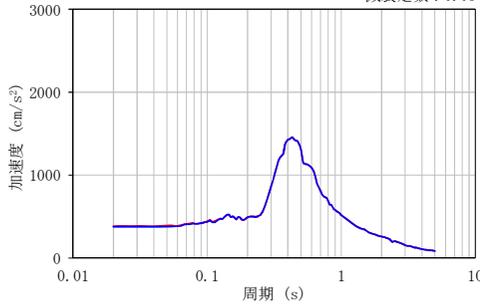
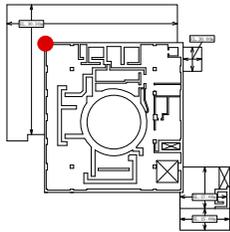
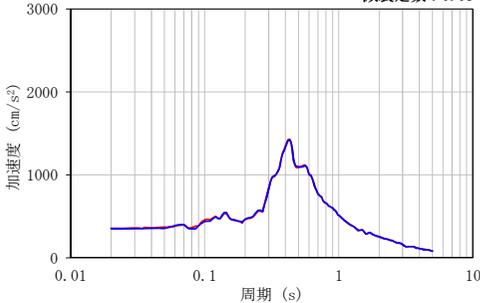
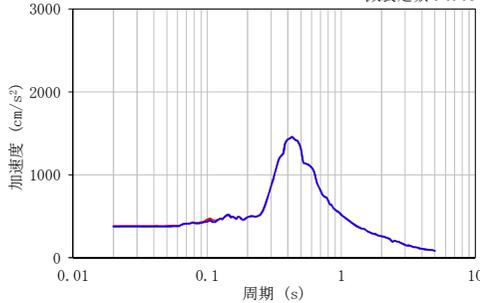
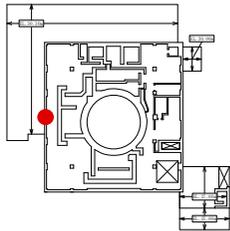
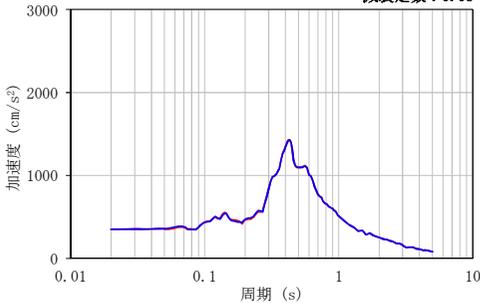
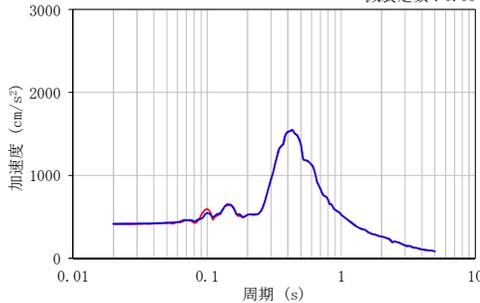
評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. 14.0 m No. 10489</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. 14.0 m No. 10481</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. 14.0 m No. 10462</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

表 3-5(3/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. 14.0 m No. 20632</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. 14.0 m No. 6208</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

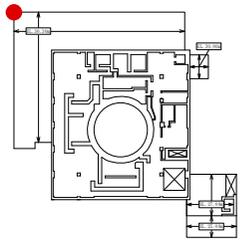
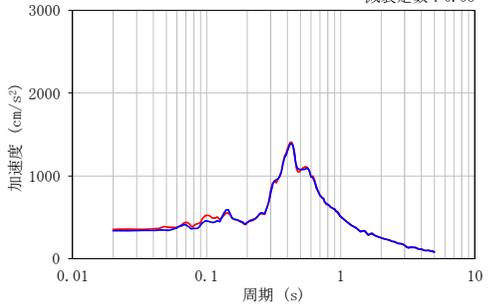
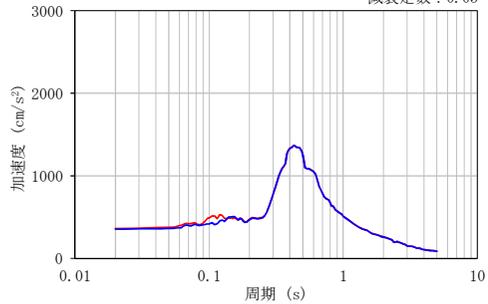
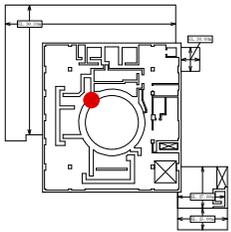
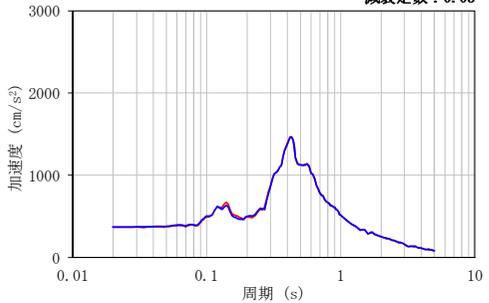
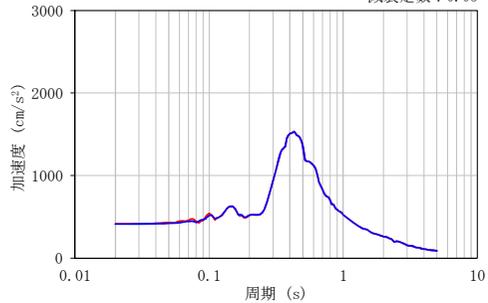
— 3方向      — 1方向

表 3-5(4/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. 29.0 m No. 10903</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. 29.0 m No. 10895</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. 29.0 m No. 10877</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

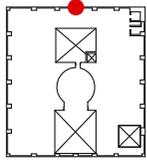
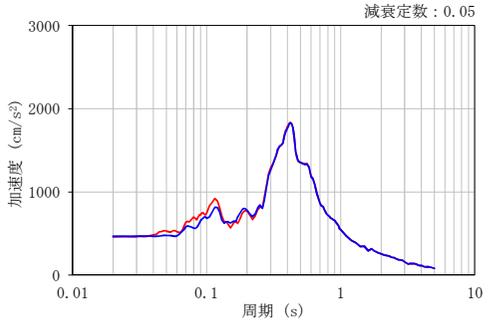
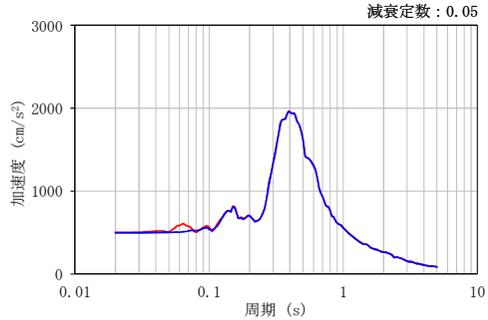
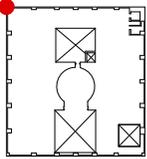
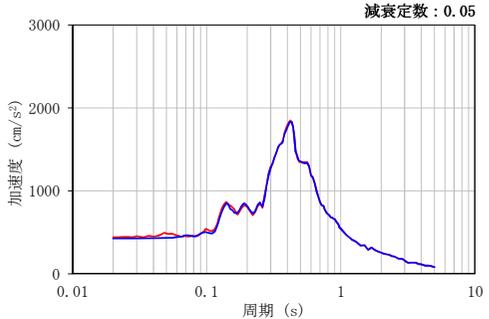
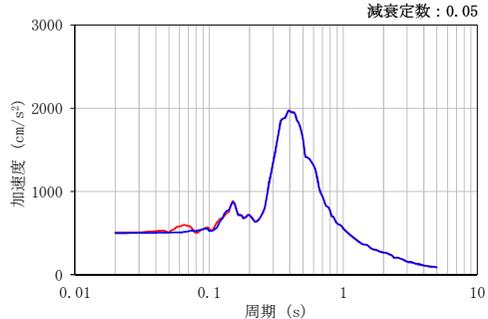
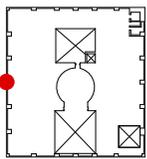
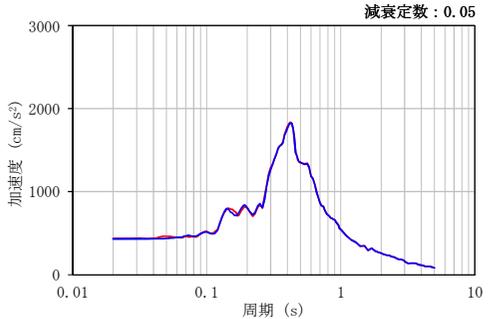
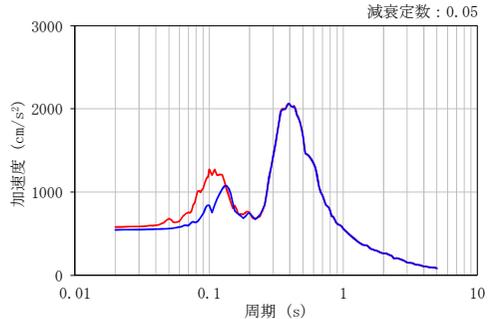
— 3方向      — 1方向

表 3-5(5/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. 29.0 m No. 20948</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. 29.0 m No. 6354</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

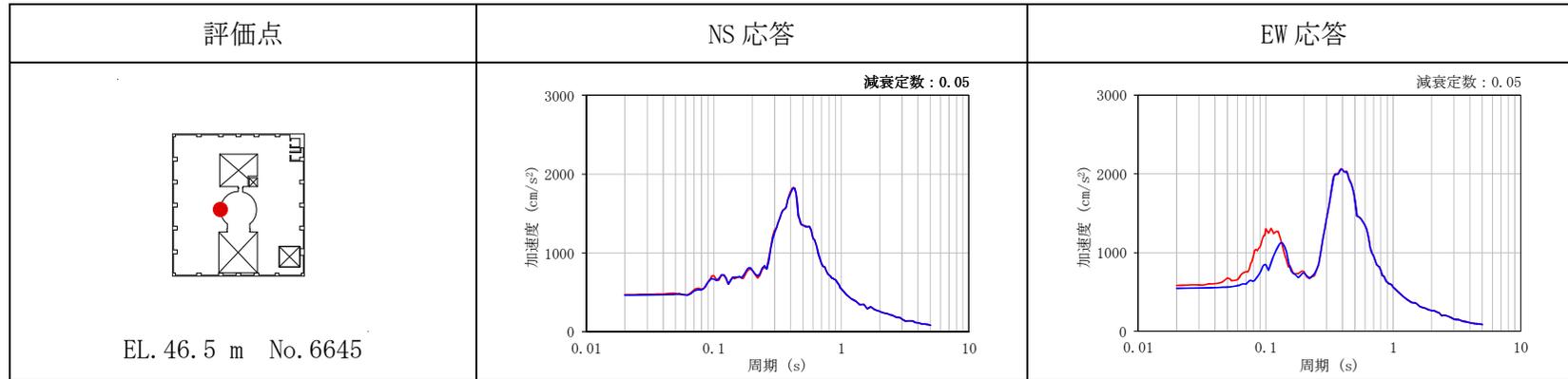
— 3方向      — 1方向

表 3-5(6/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. 46.5 m No. 6784</p>		
 <p>EL. 46.5 m No. 11384</p>		
 <p>EL. 46.5 m No. 11366</p>		

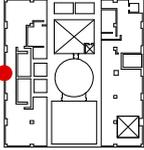
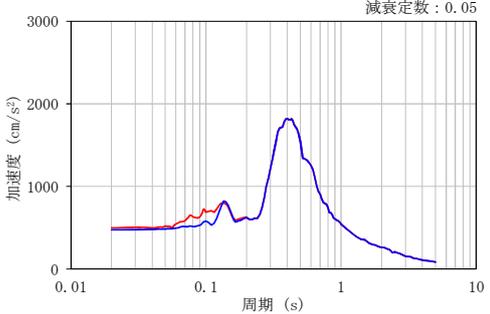
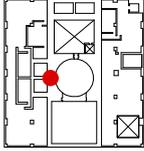
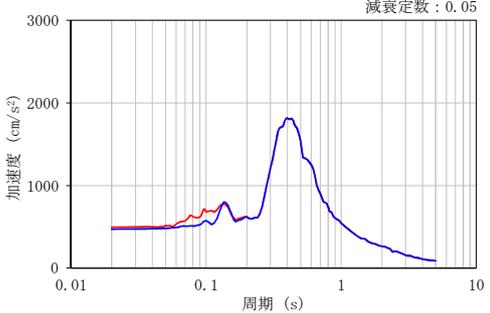
— 3方向      — 1方向

表 3-5(7/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較



— 3方向      — 1方向

表 3-6 EL. 38.8 m における EW 方向の応答

評価点	EW 応答
 <p data-bbox="432 622 703 651">EL. 46.5 m No. 11182</p>	 <p data-bbox="1225 349 1342 371">減衰定数 : 0.05</p>
 <p data-bbox="440 958 695 987">EL. 46.5 m No. 6431</p>	 <p data-bbox="1225 683 1342 705">減衰定数 : 0.05</p>

— 3 方向      — 1 方向

(5) まとめ

建屋模擬モデル，比較用モデル及び質点系対応モデルを用いて地震応答解析を実施し，応答性状について分析・考察を行った。

基礎のロッキング振動による鉛直方向への影響について，建屋模擬モデルと比較用モデルでの応答比較をした結果，ロッキング振動の影響はほとんど見られないこと，及び建屋模擬モデルにより保守的な評価が可能であることを確認した。

床柔性の影響について，建屋模擬モデルと比較用モデルでの応答比較をした結果，建屋模擬モデルにより保守的な評価が可能であることを確認した。

鉛直軸回りのねじれ振動の影響及び水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響について，建屋模擬モデルを用いて検討した結果，3 方向同時入力と 1 方向入力時での応答の差異がほとんどないことから，1 方向入力時の応答に対し，これらの影響がほとんどないことを確認した。ただし，EL. 46.5 m の EW 方向においては，水平 2 方向及び鉛直方向の組合せによる影響と考えられる局所的な応答が生じるため，「別紙 4 機器・配管系に関する説明資料」で影響検討を行う。

以上の 3 次元的な応答特性に関する分析・考察を踏まえて，次節以降では建屋模擬モデルを用いて，局所的な応答による建屋耐震評価及び床応答への影響を検討する。

### 3.3 建屋耐震評価への影響検討

#### (1) 検討方針

建屋耐震評価への影響検討として、3次元FEMモデルの応答及び質点系モデルの応答を比較する。

検討において、両モデルともに弾性設計用地震動 $S_d$ に対する地震応答解析を実施し、以下の2項目について検討を行う。

①建屋模擬モデル（3次元FEMモデル）及び質点系モデルの最大応答値（最大応答加速度）の比較検討

②3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討

なお、質点系モデルは添付資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の原子炉建屋の地震応答解析モデルと同じである。

#### (2) 建屋模擬モデル（3次元FEMモデル）及び質点系モデルの最大応答値（最大応答加速度）の比較検討

建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答加速度の比較を行い、3次元的な影響について確認する。

評価にあたっては、質点系モデルの全質点での応答を評価対象とし、質点系モデルの各質点に対応する3次元FEMモデルの節点としては、図3-5に示す節点とした。

比較検討結果を図3-6に示す。

両モデル間で、最大応答加速度は概ね対応しているが、建屋模擬モデルは3次元的な応答性状が考慮されているため、完全には一致しない。

したがって、以降の「3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討」により、建屋への影響検討を実施する。

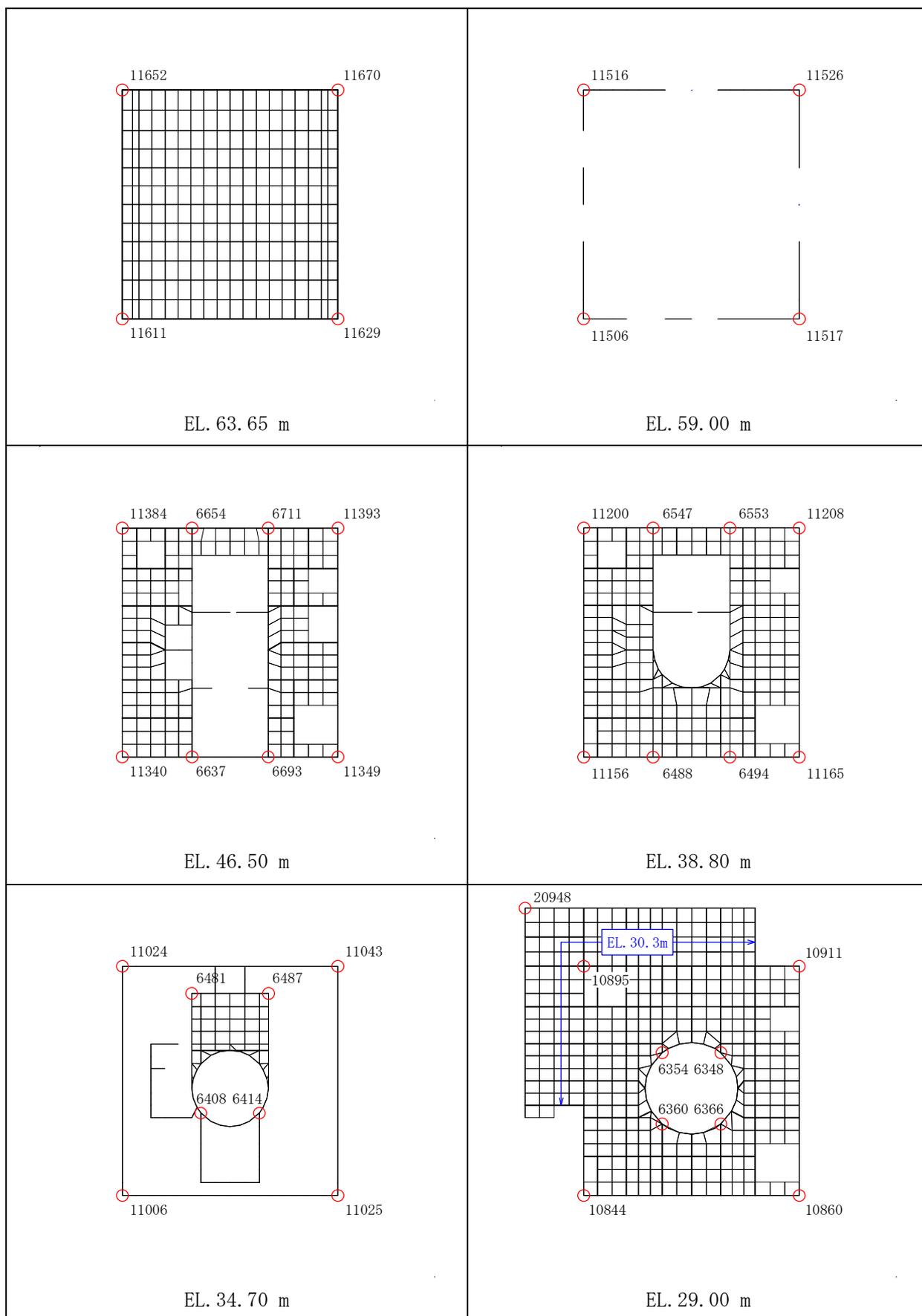


图 3-5(1/2) 応答評価位置

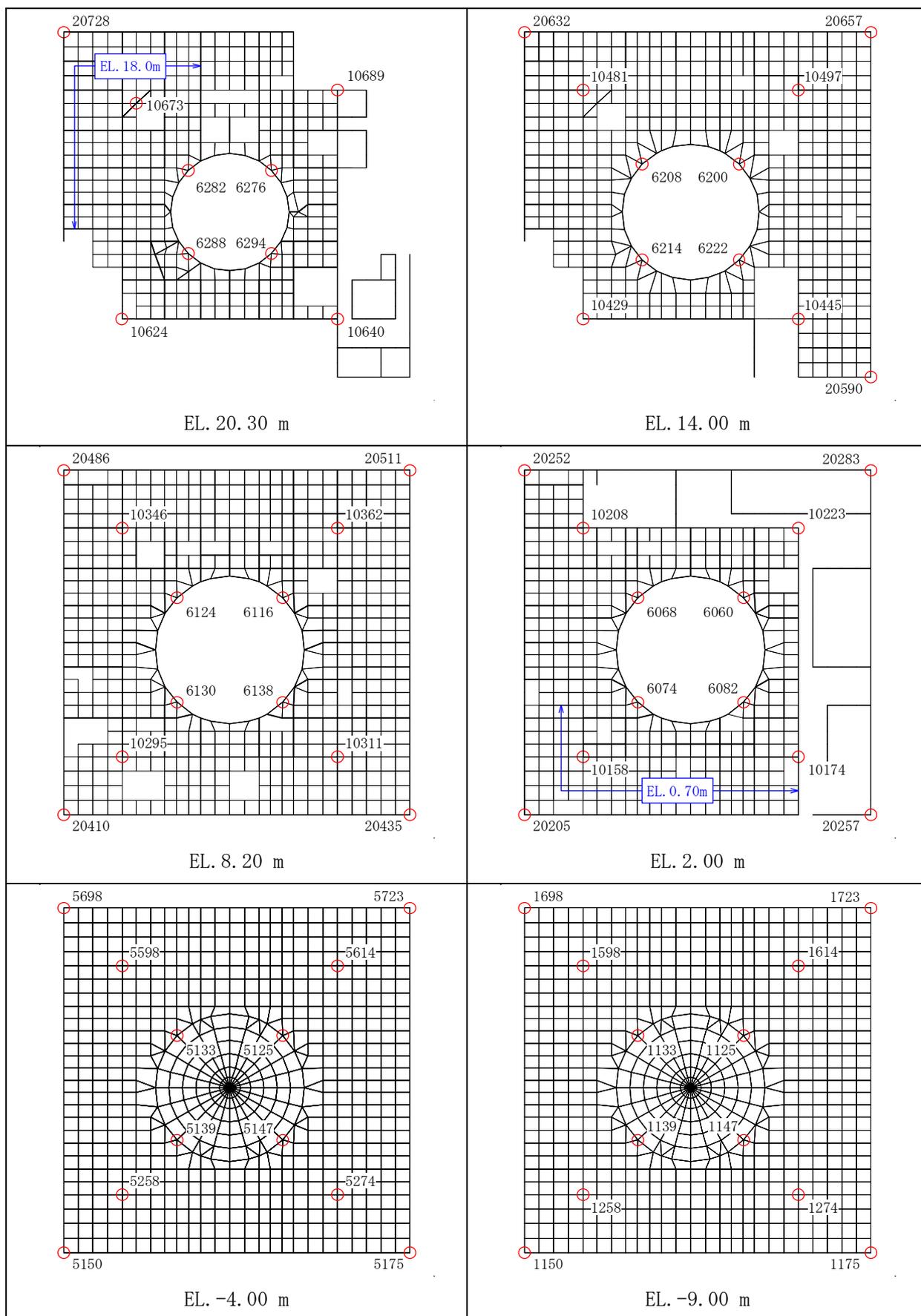
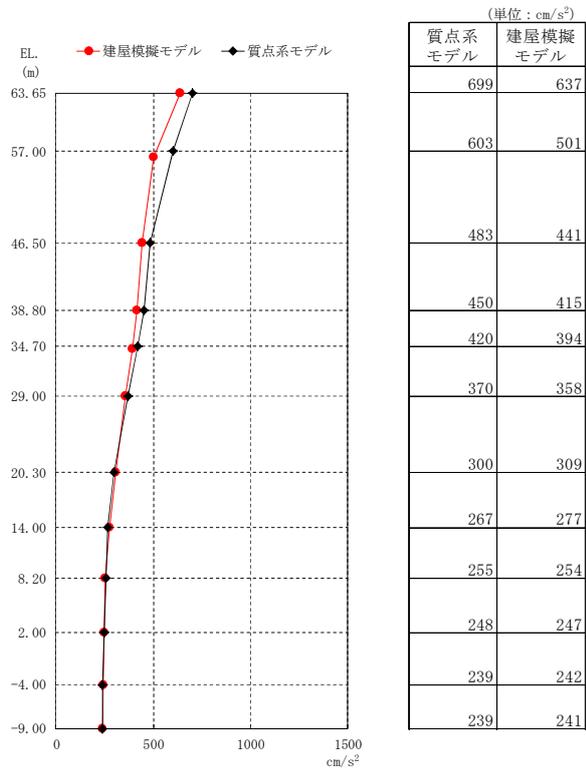
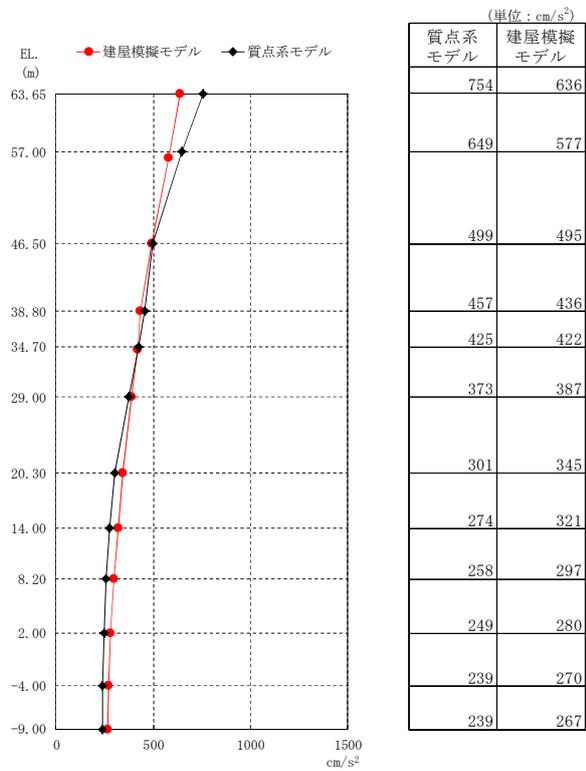


図 3-5(2/2) 応答評価位置



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-6 最大応答加速度の比較

(3) 3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討

(2)の結果を踏まえて、質点系モデルに対して、3次元FEMモデルを用いて3次元的な応答補正を考慮し、建屋耐震評価への影響検討を実施する。

評価に当たっては、質点系モデルにおいて、基準地震動 $S_s$ に対する層レベルでの評価を行う部位を対象とし、3次元FEMモデルにおける当該部での代表的な節点を複数節点選定する。

図3-7に検討フローを示す。

選定した3次元FEMモデルでの評価点において、弾性設計用地震動 $S_d$ に対する最大応答加速度をもとに、3次元的な応答補正比率 $\zeta$ を算出し、質点系モデルの基準地震動 $S_s$ に対する応答補正を行い、耐震評価への影響検討を行う。

具体的には、質点系モデルの基準地震動 $S_s$ に対する最大応答せん断力 $Q$ に応答補正比率 $\zeta$ を乗じて、3次元的な応答特性を踏まえたせん断力を算定する。得られたせん断力を質点系モデルの各層のせん断スケルトンカーブ上にプロットし、せん断ひずみが評価基準値( $2.0 \times 10^{-3}$ )を超えないことを確認する。ここで、第1折点を超える場合は、エネルギー一定則によりせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法を図3-8に示す。せん断ひずみを確認した結果、せん断ひずみが評価基準値を超えるものは詳細検討を実施する。

評価において用いた3次元FEMモデルにおける応答評価位置を図3-5に、質点系モデルでの評価部位を図3-9に示す。

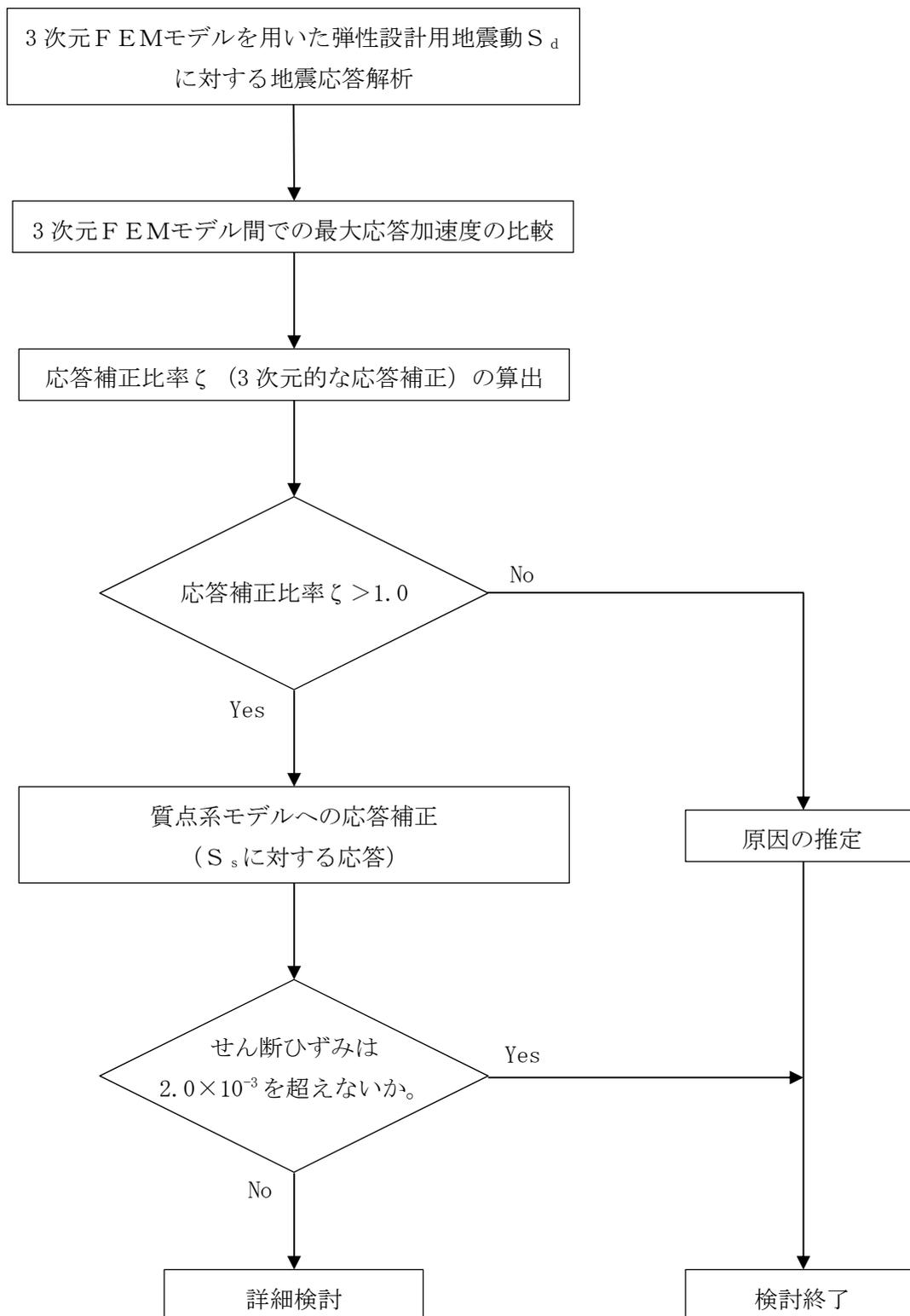
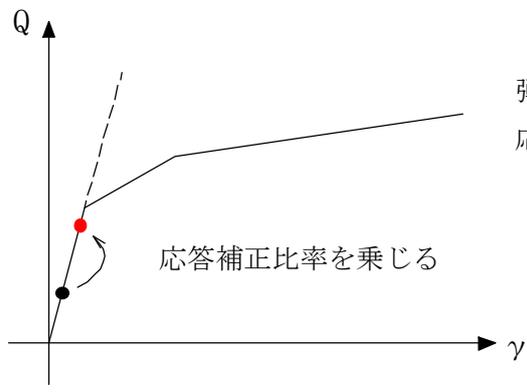
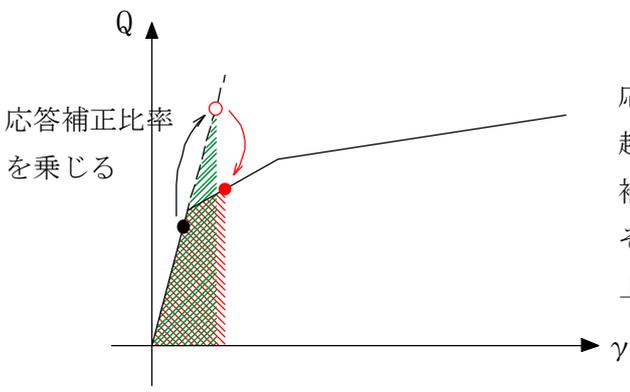


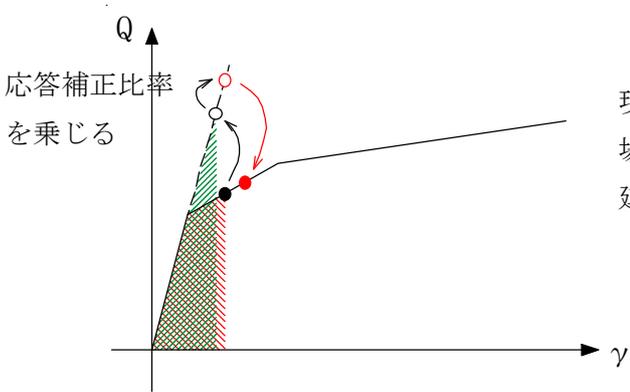
図 3-7 検討フロー



弾性直線状において，現設計による  
応答結果に応答補正比率を乗じる。



応答補正比率を乗じた際，第一折点を  
超える場合，弾性直線の延長線上に  
補正後の評価結果をプロットする。  
その後，エネルギー一定則で，評価線分  
上にプロットする。



現設計において第一折点を越えている  
場合は，エネルギー一定則で弾性直線の  
延長に戻した後，補正比率を乗じる。  
(以下，上記に準じる。)

図 3-8 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

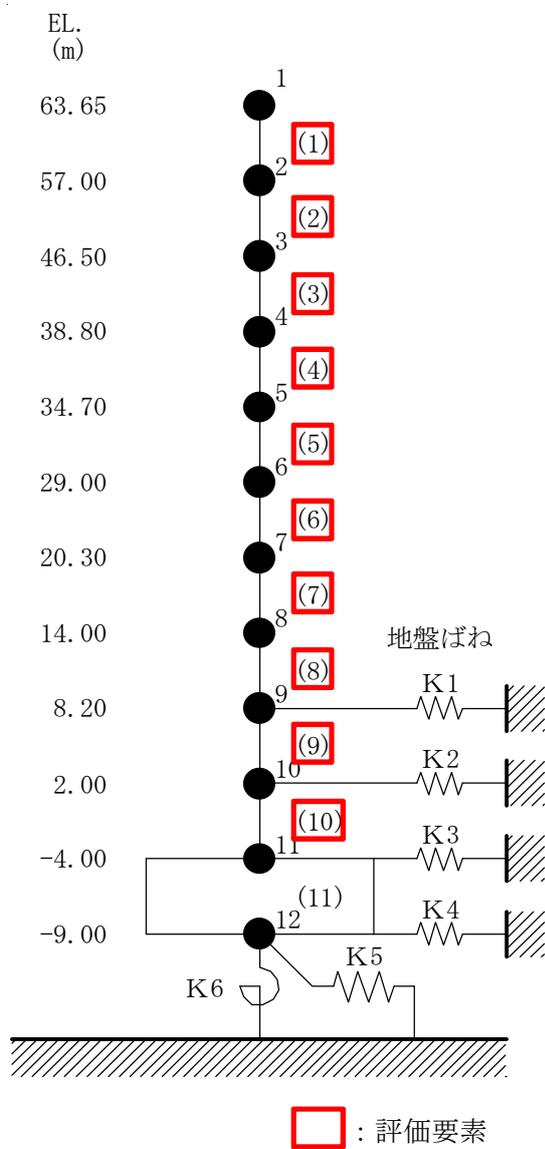


図 3-9 質点系モデルの評価部位

a. 応答補正比率の算出

3次元FEMモデルによる3次元的な応答性状を踏まえた定量的な耐震評価を行うため、質点系モデルの応答を補正する応答補正比率 $\zeta$ を算出する。

原子炉建屋については、質点系モデルにおいて、3次元的な応答性状を考慮した3方向同時入力の解析ができないことから、建屋模擬モデルにおいて、1方向入力及び3方向同時入力の最大応答加速度を比較し、応答補正比率 $\alpha$ を算出する。

また、質点系モデルにおいて、ねじれ振動を考慮していないことから、建屋模擬モデル及び質点系モデルと諸条件を整合させた質点系対応モデルの最大応答加速度を比較し、応答補正比率 $\beta$ を算出する。

得られた $\alpha$ 及び $\beta$ を乗じて、建屋評価用の応答補正比率 $\zeta$ を以下のように算出する。

①応答補正比率 $\alpha$ 及び $\beta$ はそれぞれ評価点ごとに定める。

②応答補正比率 $\alpha$ 及び $\beta$ は保守的な評価を実施するため、それぞれ1.0以上とする。

③応答補正比率 $\zeta$ は、層ごとの各評価点の $\alpha \times \beta$ の最大値を用いる。

応答補正比率 $\zeta$ の算出式を以下に示す。

建屋評価用の応答補正比率 $\zeta = \text{Max}(\alpha \times \beta) \dots(1)$ 式

( $\text{Max}(\alpha \times \beta)$  : 層ごとの各評価点の $\alpha \times \beta$ の最大値)

ここで、

3方向同時入力の応答補正比率 $\alpha = \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}} \dots(2)$ 式

(ただし、 $\zeta$ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$ )

ねじれ振動の応答補正比率 $\beta = \frac{\text{建屋模擬モデルの最大応答加速度}}{\text{質点系対応モデルの最大応答加速度}} \dots(3)$ 式

(ただし、 $\zeta$ を算出する場合は、 $\beta \geq 1.0$ )

応答補正比率 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\zeta$ の算定結果を表3-7～表3-12に示す。応答補正比率 $\zeta$ は1.02～1.32の範囲にある。

表 3-7(1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\alpha$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
63.65	1	11652	635	664	1.05
		11611	630	668	1.06
		11629	641	672	1.05
		11670	642	649	1.01
57.00	2	11516	498	504	1.01
		11506	495	506	1.02
		11517	506	512	1.01
		11526	507	507	1.00
46.50	3	11384	426	441	1.03
		11340	424	422	0.995
		11349	414	416	1.00
		11393	419	426	1.02
		6654	460	456	0.991
		6637	465	482	1.04
		6693	459	462	1.01
		6711	461	445	0.966
38.80	4	11200	399	412	1.03
		11156	399	394	0.987
		11165	389	386	0.994
		11209	394	389	0.988
		6547	432	432	0.999
		6488	434	430	0.991
		6494	439	436	0.995
		6553	431	430	0.997
34.70	5	11024	377	387	1.03
		11006	379	374	0.987
		11025	368	362	0.983
		11043	375	367	0.979
		6481	414	415	1.00
		6408	412	406	0.987
		6414	412	402	0.977
		6487	415	406	0.979

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\alpha$  を示す。

表 3-7(2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\alpha$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
29	6	20948	337	354	1.05
		10895	350	356	1.02
		10844	352	346	0.981
		10860	339	329	0.970
		10911	348	341	0.981
		6351	368	368	0.999
		6357	371	366	0.986
		6363	387	375	0.969
		6345	373	368	0.986
20.3	7	20728	282	286	1.01
		10673	306	310	1.01
		10624	306	304	0.992
		10640	299	289	0.967
		10689	308	304	0.988
		6279	326	332	1.02
		6285	314	314	1.00
		6291	320	316	0.986
		6273	319	318	0.999
14	8	20632	266	270	1.02
		20590	268	272	1.01
		20657	264	267	1.01
		10481	268	271	1.01
		10429	276	272	0.986
		10445	272	266	0.975
		10497	281	276	0.983
		6204	301	307	1.02
		6211	280	282	1.01
		6218	285	279	0.979
		6197	285	287	1.01

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\alpha$  を示す。

表 3-7(3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\alpha$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
8.2	9	20486	251	250	0.999
		20410	245	253	1.03
		20435	253	254	1.01
		20511	251	249	0.991
		10346	253	252	0.996
		10295	252	255	1.01
		10311	254	256	1.01
		10362	256	259	1.01
		6120	263	269	1.02
		6127	255	255	0.997
		6134	257	261	1.01
		6113	256	258	1.01
2	10	20252	246	248	1.01
		20205	243	245	1.01
		20257	247	243	0.986
		20283	245	244	0.996
		10208	247	248	1.01
		10158	247	246	0.999
		10174	248	244	0.984
		10223	248	249	1.00
		6064	247	250	1.02
		6071	248	247	0.996
		6078	248	247	0.996
		6057	249	248	0.996

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\alpha$  を示す。

表 3-8(1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\alpha$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
63.65	1	11652	635	671	1.06
		11611	640	652	1.02
		11629	637	682	1.07
		11670	633	648	1.02
57.00	2	11516	576	597	1.04
		11506	578	589	1.02
		11517	580	606	1.04
		11526	576	593	1.03
46.50	3	11384	497	507	1.02
		11340	496	504	1.02
		11349	501	514	1.03
		11393	494	506	1.03
		6654	495	505	1.02
		6637	490	493	1.00
		6693	492	499	1.01
		6711	494	503	1.02
38.80	4	11200	436	433	0.991
		11156	434	452	1.04
		11165	428	426	0.995
		11209	440	449	1.02
		6547	439	437	0.994
		6488	434	445	1.02
		6494	432	438	1.01
		6553	440	441	1.00
34.70	5	11024	409	410	1.00
		11006	411	421	1.02
		11025	403	399	0.991
		11043	413	418	1.01
		6481	439	453	1.03
		6408	433	435	1.00
		6414	427	424	0.992
		6487	440	456	1.04

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\alpha$  を示す。

表 3-8(2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\alpha$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
29	6	20948	356	362	1.02
		10895	376	381	1.01
		10844	383	387	1.01
		10860	377	364	0.968
		10911	380	386	1.02
		6351	406	413	1.02
		6357	413	410	0.993
		6363	397	389	0.980
		6345	397	397	1.00
20.3	7	20728	324	332	1.03
		10673	345	345	0.997
		10624	340	337	0.990
		10640	349	345	0.989
		10689	339	344	1.01
		6279	352	350	0.993
		6285	357	349	0.979
		6291	348	335	0.964
		6273	350	346	0.988
14	8	20632	314	323	1.03
		20590	319	333	1.04
		20657	308	319	1.04
		10481	318	321	1.01
		10429	313	309	0.987
		10445	334	335	1.00
		10497	317	317	1.00
		6204	325	323	0.995
		6211	329	326	0.992
		6218	320	318	0.994
		6197	331	327	0.988

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\alpha$  を示す。

表 3-8(3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\alpha$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
8.2	9	20486	298	306	1.03
		20410	284	282	0.992
		20435	297	307	1.03
		20511	294	296	1.01
		10346	300	302	1.01
		10295	292	296	1.01
		10311	292	297	1.01
		10362	298	300	1.00
		6120	302	301	0.997
		6127	305	309	1.01
		6134	298	301	1.01
		6113	306	304	0.994
2	10	20252	283	288	1.02
		20205	275	273	0.993
		20257	281	285	1.02
		20283	281	283	1.01
		10208	279	281	1.01
		10158	280	282	1.01
		10174	281	281	1.00
		10223	282	287	1.02
		6064	281	283	1.01
		6071	278	280	1.01
		6078	282	285	1.01
		6057	280	282	1.01

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\alpha$  を示す。

表 3-9(1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\beta$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
63.65	1	11652	513	635	1.24
		11611	513	630	1.23
		11629	517	641	1.24
		11670	517	642	1.24
57.00	2	11516	450	498	1.11
		11506	450	495	1.10
		11517	453	506	1.12
		11526	453	507	1.12
46.50	3	11384	369	426	1.16
		11340	369	424	1.15
		11349	368	414	1.13
		11393	368	419	1.14
		6654	369	460	1.25
		6637	369	465	1.26
		6693	368	459	1.24
		6711	368	461	1.25
38.80	4	11200	343	399	1.16
		11156	343	399	1.16
		11165	341	389	1.14
		11209	341	394	1.16
		6547	342	432	1.26
		6488	342	434	1.27
		6494	341	439	1.28
		6553	341	431	1.26
34.70	5	11024	334	377	1.13
		11006	334	379	1.14
		11025	328	368	1.12
		11043	328	375	1.14
		6481	332	414	1.25
		6408	332	412	1.24
		6414	330	412	1.25
		6487	330	415	1.26

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\beta$  を示す。

表 3-9(2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\beta$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
29	6	20948	326	337	1.03
		10895	322	350	1.09
		10844	322	352	1.09
		10860	318	339	1.07
		10911	318	348	1.10
		6351	320	368	1.15
		6357	321	371	1.16
		6363	320	387	1.21
		6345	319	373	1.17
20.3	7	20728	299	282	0.943
		10673	303	306	1.01
		10624	303	306	1.01
		10640	300	299	0.998
		10689	300	308	1.03
		6279	301	326	1.08
		6285	302	314	1.04
		6291	301	320	1.06
		6273	301	319	1.06
14	8	20632	286	266	0.929
		20590	281	268	0.954
		20657	281	264	0.938
		10481	282	268	0.949
		10429	285	276	0.967
		10445	282	272	0.964
		10497	282	281	0.993
		6204	284	301	1.06
		6211	285	280	0.983
		6218	284	285	1.00
		6197	283	285	1.01

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\beta$  を示す。

表 3-9(3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\beta$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
8.2	9	20486	263	251	0.952
		20410	263	245	0.932
		20435	262	253	0.964
		20511	262	251	0.958
		10346	263	253	0.963
		10295	263	252	0.959
		10311	263	254	0.967
		10362	263	256	0.974
		6120	263	263	0.999
		6127	263	255	0.971
		6134	263	257	0.978
		6113	263	256	0.976
2	10	20252	242	246	1.01
		20205	242	243	1.00
		20257	243	247	1.01
		20283	243	245	1.01
		10208	243	247	1.02
		10158	243	247	1.02
		10174	244	248	1.02
		10223	244	248	1.02
		6064	243	247	1.01
		6071	243	248	1.02
		6078	243	248	1.02
		6057	244	249	1.02

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\beta$  を示す。

表 3-10(1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\beta$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
63.65	1	11652	576	635	1.10
		11611	575	640	1.11
		11629	575	637	1.11
		11670	576	633	1.10
57.00	2	11516	511	576	1.13
		11506	509	578	1.14
		11517	509	580	1.14
		11526	511	576	1.13
46.50	3	11384	425	497	1.17
		11340	416	496	1.19
		11349	416	501	1.20
		11393	425	494	1.16
		6654	425	495	1.16
		6637	416	490	1.18
		6693	416	492	1.18
		6711	425	494	1.16
38.80	4	11200	389	436	1.12
		11156	384	434	1.13
		11165	384	428	1.11
		11209	389	440	1.13
		6547	389	439	1.13
		6488	384	434	1.13
		6494	384	432	1.13
		6553	389	440	1.13
34.70	5	11024	373	409	1.10
		11006	367	411	1.12
		11025	367	403	1.10
		11043	373	413	1.11
		6481	372	439	1.18
		6408	369	433	1.17
		6414	369	427	1.16
		6487	372	440	1.18

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\beta$  を示す。

表 3-10(2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\beta$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
29	6	20948	349	356	1.02
		10895	347	376	1.01
		10844	348	383	1.01
		10860	348	377	0.968
		10911	347	380	1.02
		6351	347	406	1.02
		6357	347	413	0.993
		6363	347	397	0.980
		6345	347	397	1.00
20.3	7	20728	324	324	1.03
		10673	325	345	0.997
		10624	324	340	0.990
		10640	324	349	0.989
		10689	325	339	1.01
		6279	325	352	0.993
		6285	324	357	0.979
		6291	324	348	0.964
		6273	324	350	0.988
14	8	20632	310	314	1.03
		20590	312	319	1.04
		20657	310	308	1.04
		10481	310	318	1.01
		10429	312	313	0.987
		10445	312	334	1.00
		10497	311	317	1.00
		6204	311	325	0.995
		6211	311	329	0.992
		6218	312	320	0.994
		6197	311	331	0.988

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\beta$  を示す。

表 3-10(3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )		$\beta$ (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
8.2	9	20486	300	298	0.992
		20410	299	284	0.950
		20435	299	297	0.993
		20511	300	294	0.980
		10346	300	300	0.999
		10295	300	292	0.975
		10311	300	292	0.976
		10362	300	298	0.995
		6120	300	302	1.01
		6127	300	305	1.02
		6134	300	298	0.995
		6113	300	306	1.02
2	10	20252	288	283	0.983
		20205	287	275	0.958
		20257	288	281	0.977
		20283	287	281	0.977
		10208	288	279	0.971
		10158	288	280	0.973
		10174	288	281	0.976
		10223	288	282	0.980
		6064	288	281	0.976
		6071	288	278	0.965
		6078	288	282	0.980
		6057	288	280	0.973

※網掛け部：質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる  $\beta$  を示す。

表 3-11(1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (NS 方向)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 $\zeta$
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
63.65	1	11652	1.05	1.24	1.31	1.31
		11611	1.06	1.23	1.31	
		11629	1.05	1.24	1.31	
		11670	1.01	1.24	1.26	
57.00	2	11516	1.01	1.11	1.13	1.14
		11506	1.02	1.10	1.13	
		11517	1.01	1.12	1.14	
		11526	1.00	1.12	1.12	
46.50	3	11384	1.03	1.16	1.20	1.32
		11340	1.00	1.15	1.15	
		11349	1.00	1.13	1.13	
		11393	1.02	1.14	1.17	
		6654	1.00	1.25	1.25	
		6637	1.04	1.26	1.32	
		6693	1.01	1.24	1.26	
		6711	1.00	1.25	1.25	
38.80	4	11200	1.03	1.16	1.20	1.28
		11156	1.00	1.16	1.16	
		11165	1.00	1.14	1.14	
		11209	1.00	1.16	1.16	
		6547	1.00	1.26	1.26	
		6488	1.00	1.27	1.27	
		6494	1.00	1.28	1.28	
		6553	1.00	1.26	1.26	
34.70	5	11024	1.03	1.13	1.17	1.26
		11006	1.00	1.14	1.14	
		11025	1.00	1.12	1.12	
		11043	1.00	1.14	1.14	
		6481	1.00	1.25	1.25	
		6408	1.00	1.24	1.24	
		6414	1.00	1.25	1.25	
		6487	1.00	1.26	1.26	

※網掛け部：質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる $\zeta$  ( $=\alpha \times \beta$ ) を示す。

表 3-11 (2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (NS 方向)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 $\zeta$
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
29	6	20948	1.05	1.03	1.09	1.21
		10895	1.02	1.09	1.12	
		10844	1.00	1.09	1.09	
		10860	1.00	1.07	1.07	
		10911	1.00	1.10	1.10	
		6351	1.00	1.15	1.15	
		6357	1.00	1.16	1.16	
		6363	1.00	1.21	1.21	
		6345	1.00	1.17	1.17	
20.3	7	20728	1.01	1.00	1.01	1.11
		10673	1.01	1.01	1.03	
		10624	1.00	1.01	1.01	
		10640	1.00	1.00	1.00	
		10689	1.00	1.03	1.03	
		6279	1.02	1.08	1.11	
		6285	1.00	1.04	1.04	
		6291	1.00	1.06	1.06	
		6273	1.00	1.06	1.06	
14	8	20632	1.02	1.00	1.02	1.09
		20590	1.01	1.00	1.01	
		20657	1.01	1.00	1.01	
		10481	1.01	1.00	1.01	
		10429	1.00	1.00	1.00	
		10445	1.00	1.00	1.00	
		10497	1.00	1.00	1.00	
		6204	1.02	1.06	1.09	
		6211	1.01	1.00	1.01	
		6218	1.00	1.00	1.00	
		6197	1.01	1.01	1.03	

※網掛け部：質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる $\zeta$  ( $=\alpha \times \beta$ ) を示す。

表 3-11 (3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (NS 方向)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 $\zeta$
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
8.2	9	20486	1.00	1.00	1.00	1.03
		20410	1.03	1.00	1.03	
		20435	1.01	1.00	1.01	
		20511	1.00	1.00	1.00	
		10346	1.00	1.00	1.00	
		10295	1.01	1.00	1.01	
		10311	1.01	1.00	1.01	
		10362	1.01	1.00	1.01	
		6120	1.02	1.00	1.02	
		6127	1.00	1.00	1.00	
		6134	1.01	1.00	1.01	
		6113	1.01	1.00	1.01	
2	10	20252	1.01	1.01	1.03	1.04
		20205	1.01	1.00	1.01	
		20257	1.00	1.01	1.01	
		20283	1.00	1.01	1.01	
		10208	1.01	1.02	1.04	
		10158	1.00	1.02	1.02	
		10174	1.00	1.02	1.02	
		10223	1.00	1.02	1.02	
		6064	1.02	1.01	1.04	
		6071	1.00	1.02	1.02	
		6078	1.00	1.02	1.02	
		6057	1.00	1.02	1.02	

※網掛け部：質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる $\zeta$  ( $= \alpha \times \beta$ ) を示す。

表 3-12(1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (EW 方向)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 $\zeta$
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
63.65	1	11652	1.06	1.10	1.17	1.19
		11611	1.02	1.11	1.14	
		11629	1.07	1.11	1.19	
		11670	1.02	1.10	1.13	
57.00	2	11516	1.04	1.13	1.18	1.19
		11506	1.02	1.14	1.17	
		11517	1.04	1.14	1.19	
		11526	1.03	1.13	1.17	
46.50	3	11384	1.02	1.17	1.20	1.24
		11340	1.02	1.19	1.22	
		11349	1.03	1.20	1.24	
		11393	1.03	1.16	1.20	
		6654	1.02	1.16	1.19	
		6637	1.00	1.18	1.18	
		6693	1.01	1.18	1.20	
		6711	1.02	1.16	1.19	
38.80	4	11200	1.00	1.12	1.12	1.18
		11156	1.04	1.13	1.18	
		11165	1.00	1.11	1.11	
		11209	1.02	1.13	1.16	
		6547	1.00	1.13	1.13	
		6488	1.02	1.13	1.16	
		6494	1.01	1.13	1.15	
		6553	1.00	1.13	1.13	
34.70	5	11024	1.00	1.10	1.10	1.23
		11006	1.02	1.12	1.15	
		11025	1.00	1.10	1.10	
		11043	1.01	1.11	1.13	
		6481	1.03	1.18	1.22	
		6408	1.00	1.17	1.17	
		6414	1.00	1.16	1.16	
		6487	1.04	1.18	1.23	

※網掛け部：質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる $\zeta$  ( $=\alpha \times \beta$ ) を示す。

表 3-12(2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (EW 方向)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 $\zeta$
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
29	6	20948	1.02	1.02	1.05	1.20
		10895	1.01	1.08	1.10	
		10844	1.01	1.10	1.12	
		10860	1.00	1.08	1.08	
		10911	1.02	1.10	1.13	
		6351	1.02	1.17	1.20	
		6357	1.00	1.19	1.19	
		6363	1.00	1.14	1.14	
		6345	1.00	1.14	1.14	
20.3	7	20728	1.03	1.00	1.03	1.10
		10673	1.00	1.06	1.06	
		10624	1.00	1.05	1.05	
		10640	1.00	1.08	1.08	
		10689	1.01	1.05	1.07	
		6279	1.00	1.09	1.09	
		6285	1.00	1.10	1.10	
		6291	1.00	1.07	1.07	
		6273	1.00	1.08	1.08	
14	8	20632	1.03	1.01	1.05	1.07
		20590	1.04	1.02	1.07	
		20657	1.04	1.00	1.04	
		10481	1.01	1.03	1.05	
		10429	1.00	1.00	1.00	
		10445	1.00	1.07	1.07	
		10497	1.00	1.02	1.02	
		6204	1.00	1.04	1.04	
		6211	1.00	1.06	1.06	
		6218	1.00	1.03	1.03	
		6197	1.00	1.06	1.06	

※網掛け部：質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる $\zeta$  ( $=\alpha \times \beta$ ) を示す。

表 3-12(3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (EW 方向)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 $\zeta$
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
8.2	9	20486	1.03	1.00	1.03	1.04
		20410	1.00	1.00	1.00	
		20435	1.03	1.00	1.03	
		20511	1.01	1.00	1.01	
		10346	1.01	1.00	1.01	
		10295	1.01	1.00	1.01	
		10311	1.01	1.00	1.01	
		10362	1.00	1.00	1.00	
		6120	1.00	1.01	1.01	
		6127	1.01	1.02	1.04	
		6134	1.01	1.00	1.01	
		6113	1.00	1.02	1.02	
2	10	20252	1.02	1.00	1.02	1.02
		20205	1.00	1.00	1.00	
		20257	1.02	1.00	1.02	
		20283	1.01	1.00	1.01	
		10208	1.01	1.00	1.01	
		10158	1.01	1.00	1.01	
		10174	1.00	1.00	1.00	
		10223	1.02	1.00	1.02	
		6064	1.01	1.00	1.01	
		6071	1.01	1.00	1.01	
		6078	1.01	1.00	1.01	
		6057	1.01	1.00	1.01	

※網掛け部：質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる $\zeta$  ( $= \alpha \times \beta$ ) を示す。

b. 評価結果

各層の応答比率を乗じた最大応答せん断力及び最大せん断ひずみを表 3-13 に示す。  
補正後の応答をプロットしたせん断スケルトンカーブを図 3-10 及び図 3-11 に示す。

質点系モデルの最大応答せん断力  $Q$  に応答補正比率  $\xi$  を乗じて、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響及び 3 次元的な応答特性を踏まえたせん断ひずみを評価した結果、NS 方向及び EW 方向ともに全ての層において、評価基準値 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

以上のことから、原子炉建屋については、3 次元的な応答特性による応答補正を考慮しても、建屋が有する耐震性への影響はないことを確認した。

表 3-13 3次元的な応答特性を踏まえたせん断力及びせん断ひずみ

(a) NS 方向

要素 番号	質点系モデルの 最大応答値 (Ss)			応答補正 比率 $\zeta$	応答補正後 (最大応答値 $\times\zeta$ )	
	Q ( $\times 10^5\text{kN}$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	地震動		Q ( $\times 10^5\text{kN}$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	0.212	0.084	Ss-21	1.31	0.278	0.110
2	0.396	0.158	Ss-21	1.14	0.452	0.180
3	0.989	0.051	Ss-31	1.32	1.31	0.067
4	1.83	0.169	Ss-31	1.28	1.95	0.227
5	2.50	0.452	Ss-31	1.26	2.67	0.637
6	3.54	0.259	Ss-31	1.21	3.80	0.333
7	4.63	0.367	Ss-31	1.11	4.85	0.424
8	5.96	0.164	Ss-31	1.09	6.50	0.179
9	6.77	0.158	Ss-31	1.03	6.97	0.163
10	7.57	0.177	Ss-31	1.04	7.87	0.184

(b) EW 方向

要素 番号	質点系モデルの 最大応答値 (Ss)			応答補正 比率 $\zeta$	応答補正後 (最大応答値 $\times\zeta$ )	
	Q ( $\times 10^5\text{kN}$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	地震動		Q ( $\times 10^5\text{kN}$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )
1	0.214	0.091	Ss-22	1.19	0.255	0.108
2	0.398	0.169	Ss-22	1.19	0.442	0.202
3	0.989	0.070	Ss-31	1.24	1.23	0.086
4	1.79	0.138	Ss-31	1.18	2.10	0.162
5	2.53	0.298	Ss-31	1.23	2.79	0.396
6	3.56	0.259	Ss-31	1.20	3.84	0.332
7	4.63	0.468	Ss-31	1.10	4.83	0.535
8	6.07	0.235	Ss-31	1.07	6.19	0.255
9	6.83	0.163	Ss-31	1.04	7.10	0.170
10	7.71	0.184	Ss-31	1.02	7.86	0.188

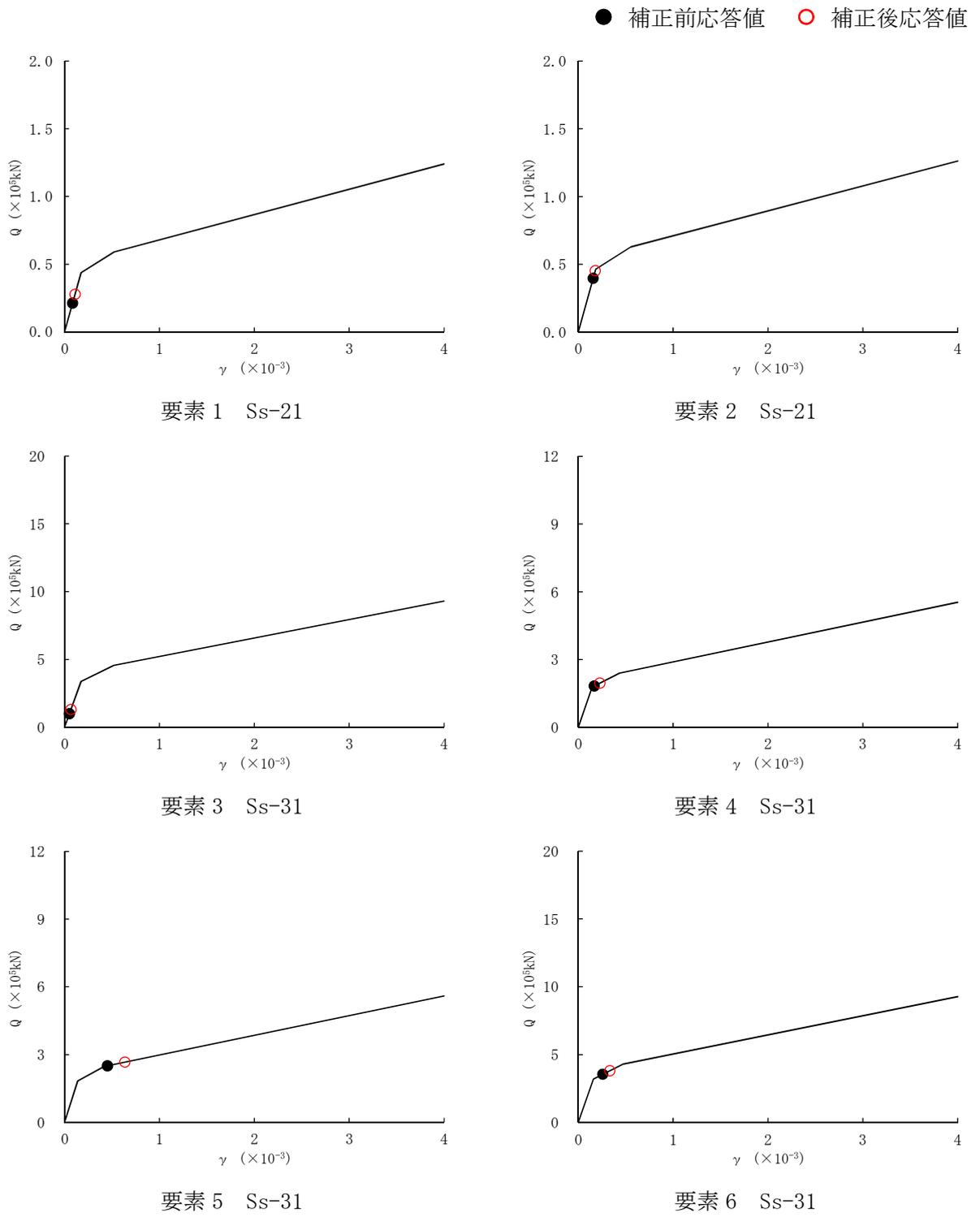


図 3-10(1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向)

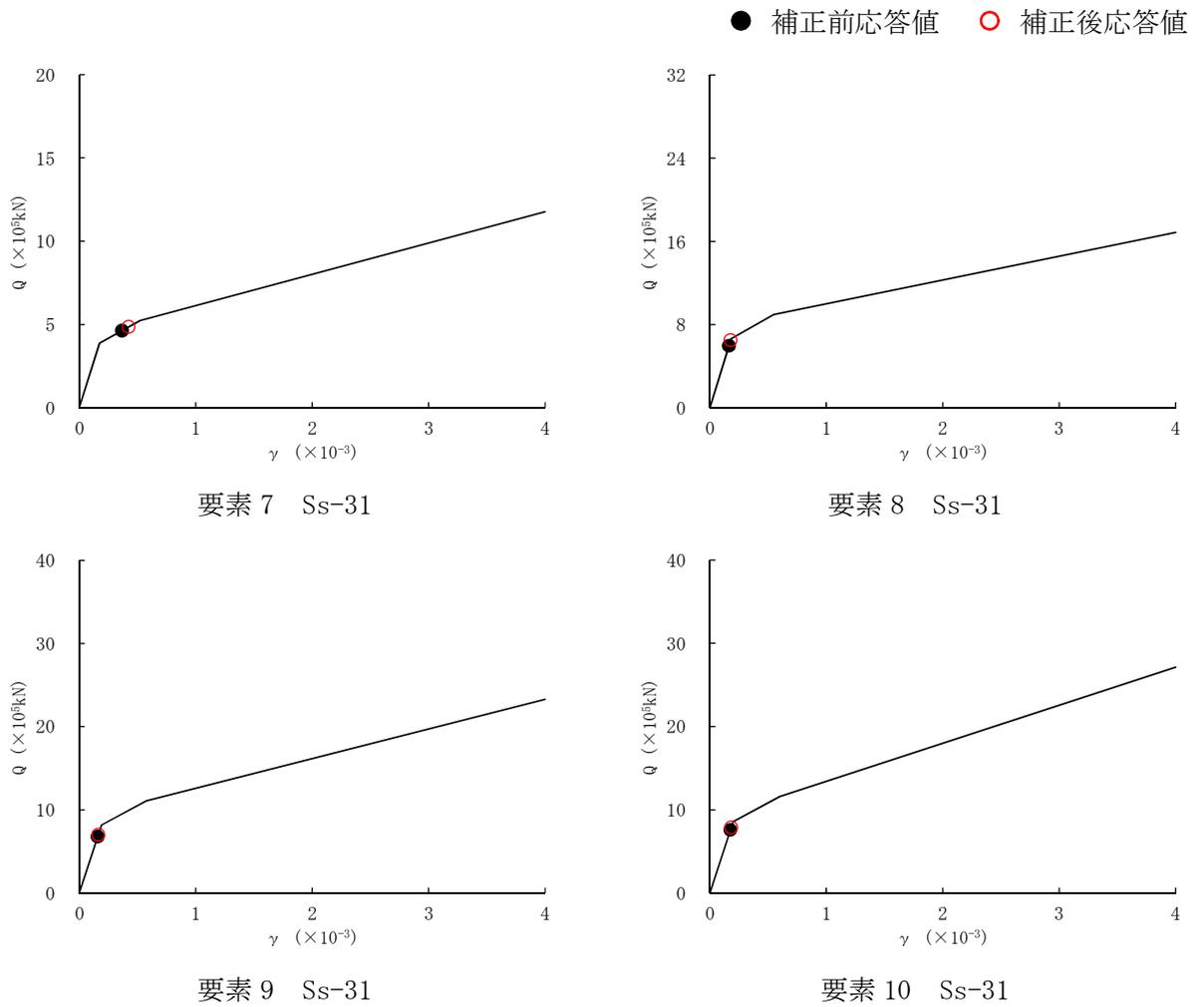


図 3-10(2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向)

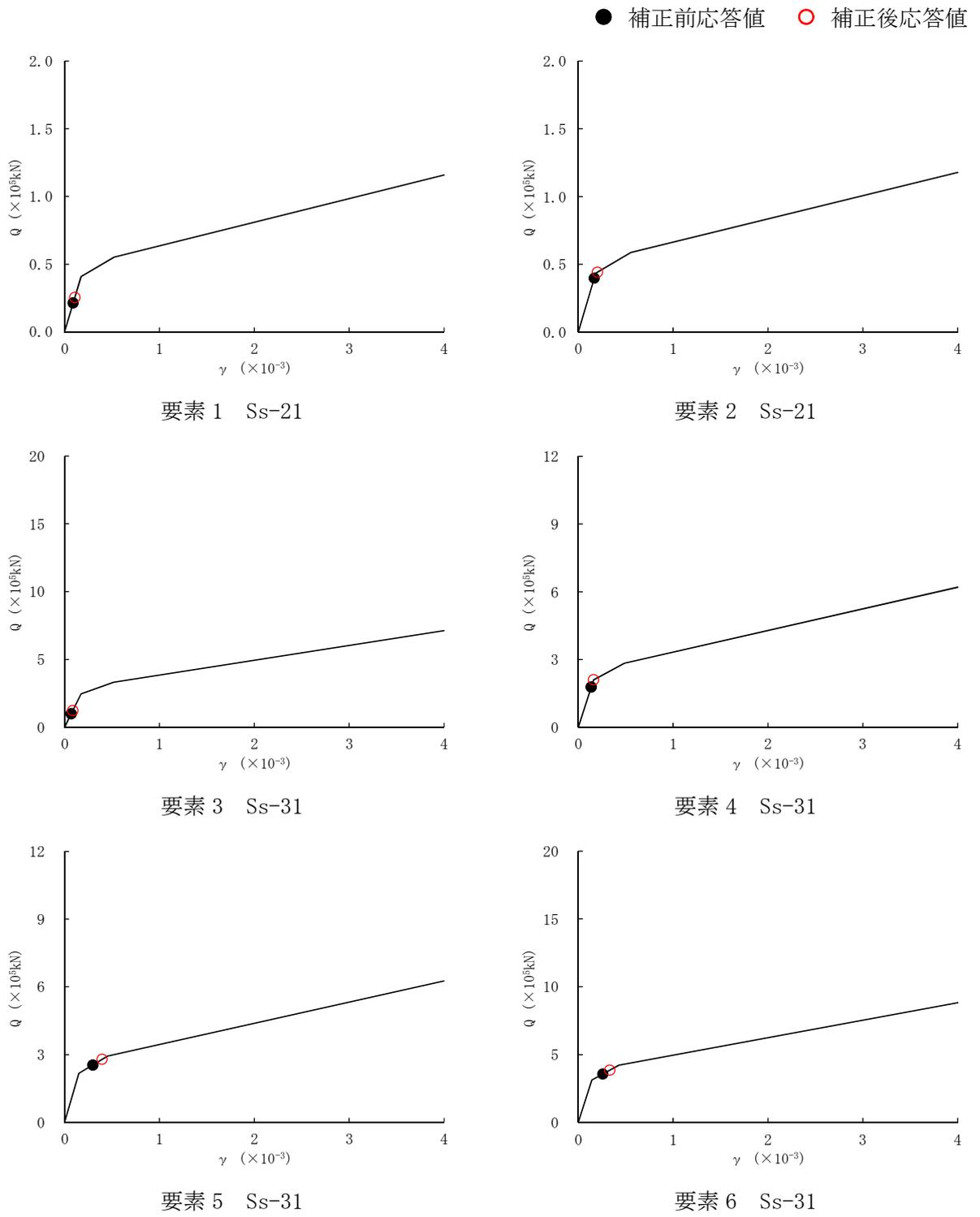


図 3-11(1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向)

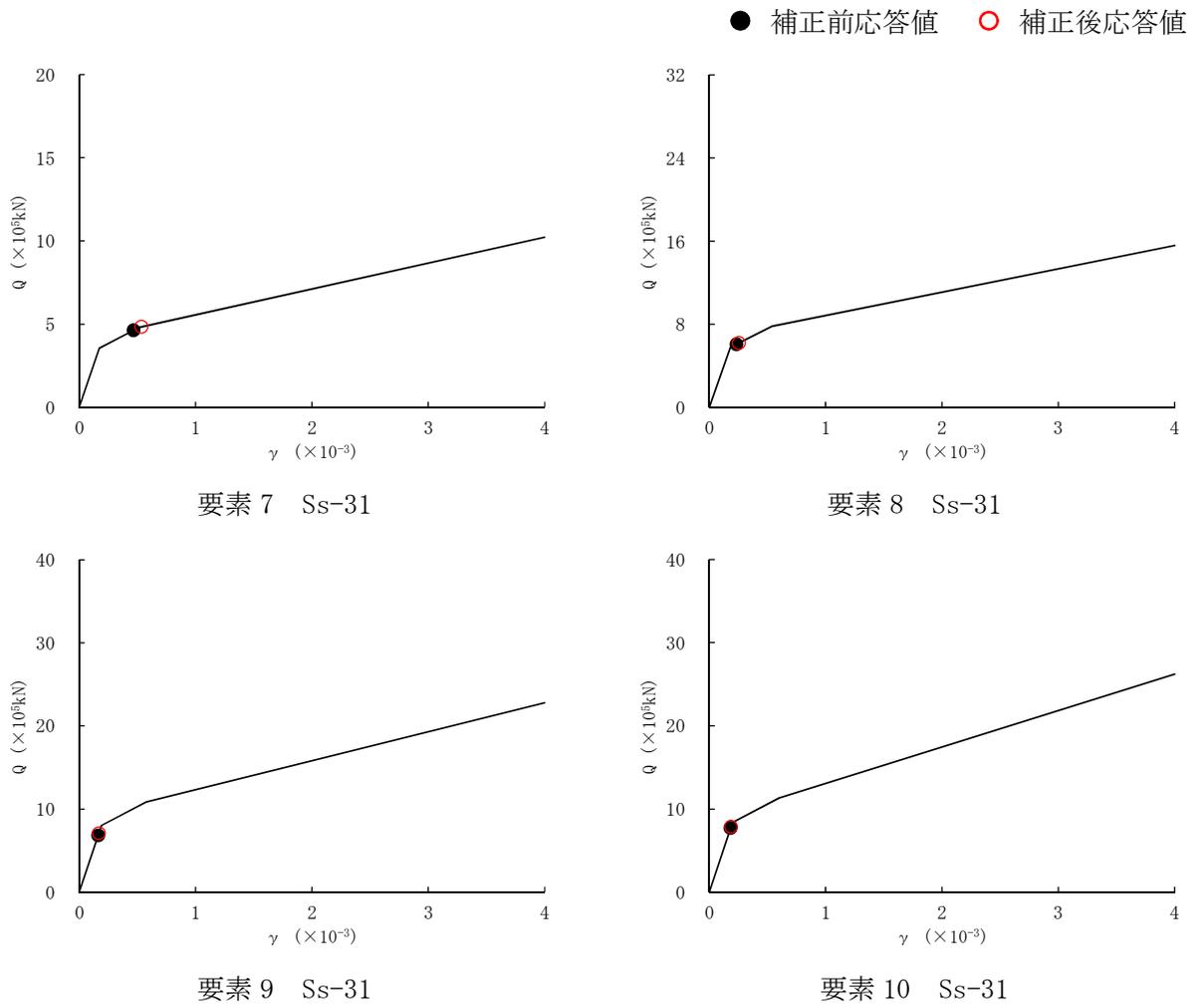


図 3-11 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向)

### 3.4 床応答への影響検討

3次元FEMモデルによる地震応答解析結果から、3次元挙動が床応答に及ぼす影響について検討する。

評価部位は、図3-5における各レベルのI/W位置の北西部とする。

評価にあたっては、3次元FEMモデルにおける1方向入力及び3方向同時入力時の床応答の比較、並びに質点系モデル及び3次元FEMモデルの床応答を比較し、3次元的な応答特性の影響を確認する。

ここで、1方向入力及び3方向同時入力時の床応答の比較については、「3.2(4)水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響」にて検討しており、各レベルにおいて3方向同時入力による影響はほとんどないことを確認している。

質点系モデル及び3次元FEMモデルの床応答の比較について、地震動の入力は質点系モデルで1方向入力していることから、3次元FEMモデルにおいても1方向入力と比較する。

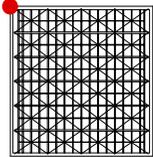
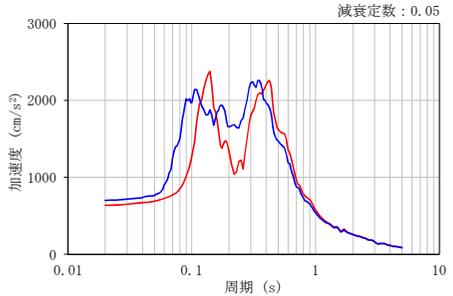
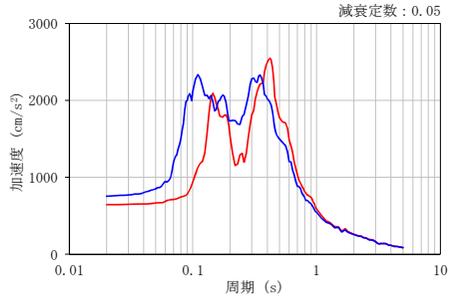
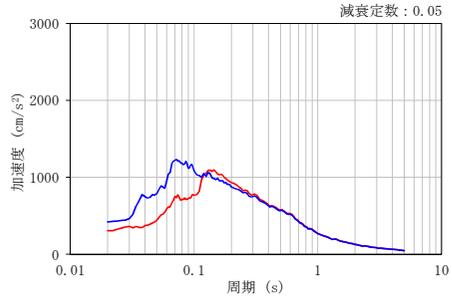
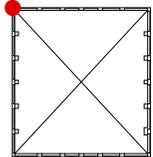
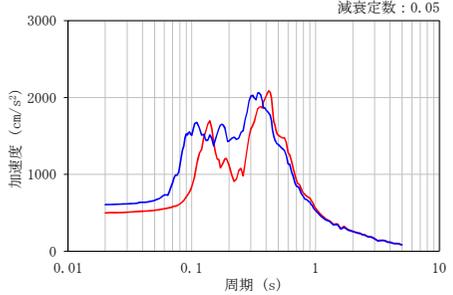
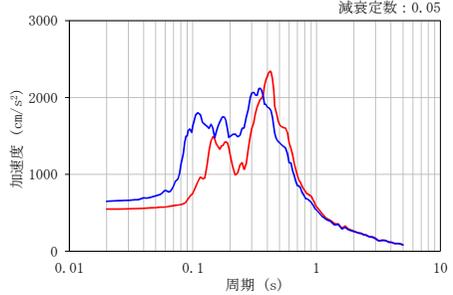
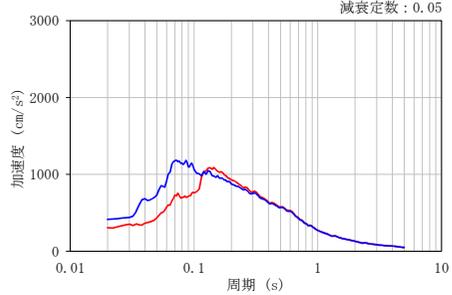
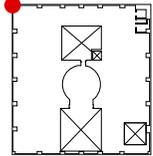
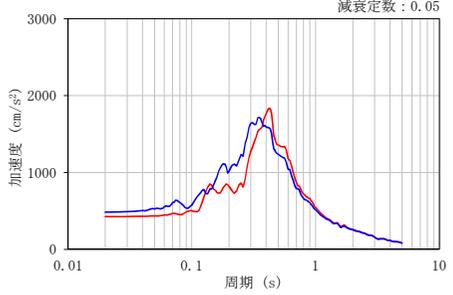
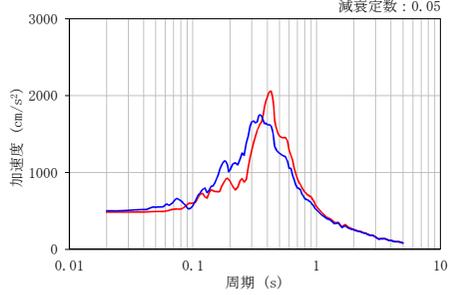
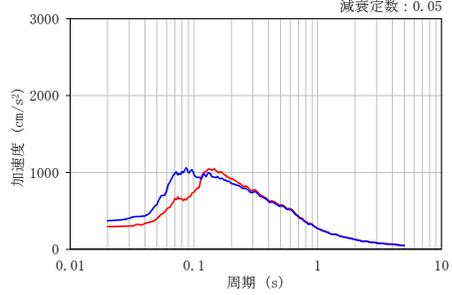
表3-14に比較結果を示す。

質点系モデルの応答と建屋模擬モデルの応答は概ね同等であることが確認できた。

以上のことから、3次元的な応答特性を踏まえても、原子炉建屋における質点系モデルの応答は、妥当な応答となることが確認できた。

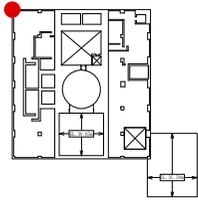
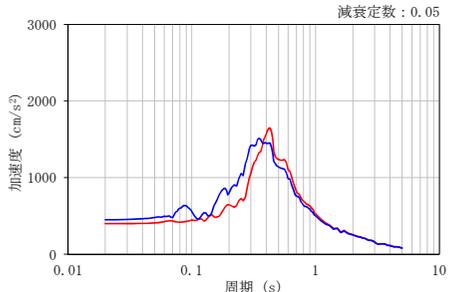
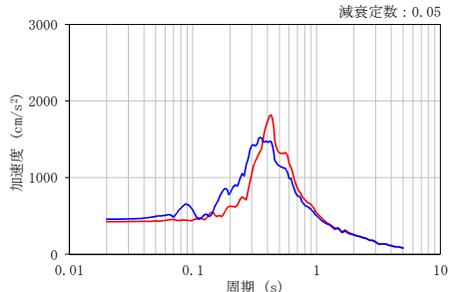
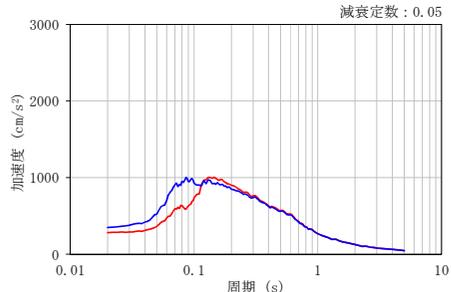
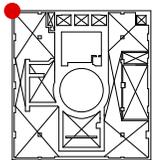
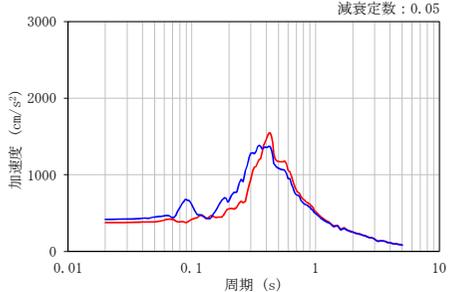
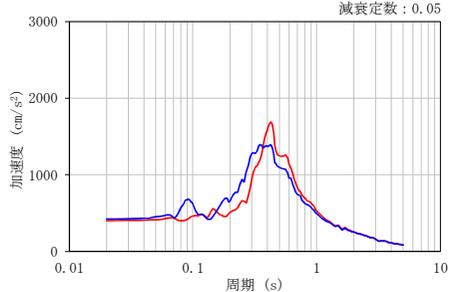
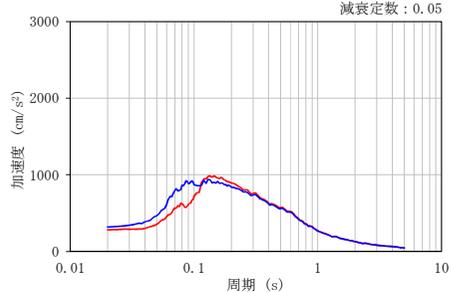
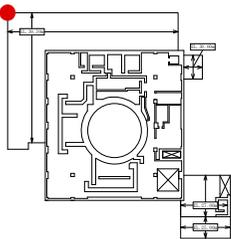
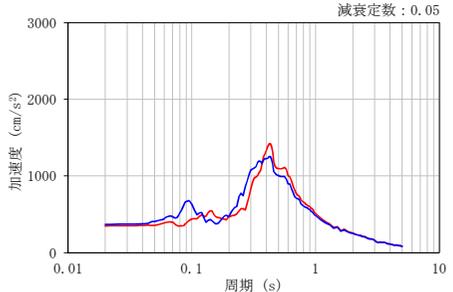
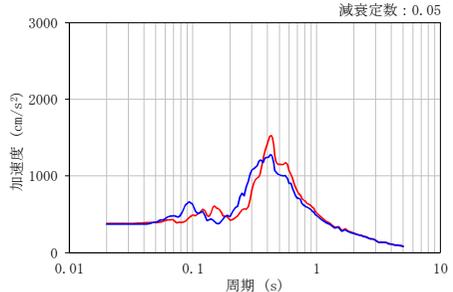
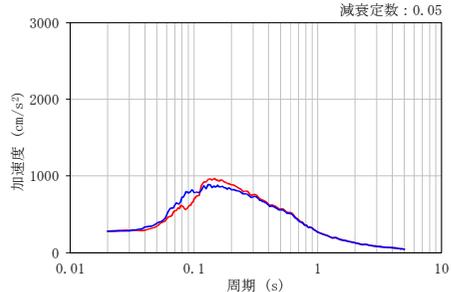
なお、「3.2 建屋応答性状の把握」で確認したように、EL.46.5mのEW方向については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響で局所的な応答が生じるため、「別紙4 機器・配管系に関する説明資料」において、その影響について検討を行う。

表 3-14(1/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答	UD 応答
 <p>EL. 63.65m No. 11652</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>
 <p>EL. 59.0m No. 11516</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>
 <p>EL. 46.5m No. 11384</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>	 <p>減衰定数 : 0.05</p>

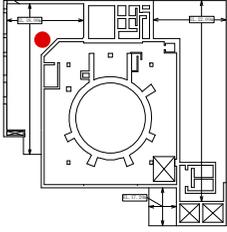
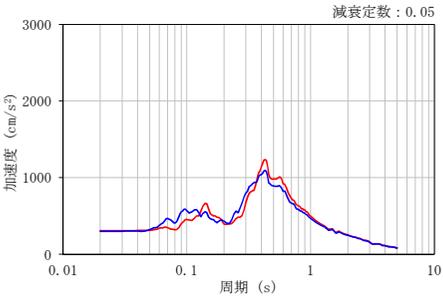
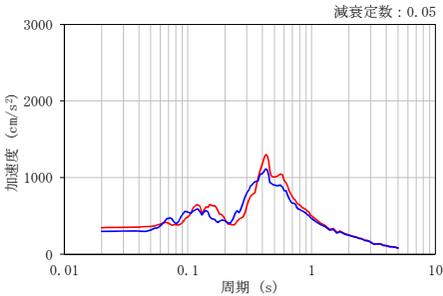
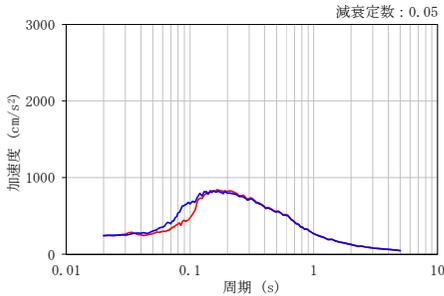
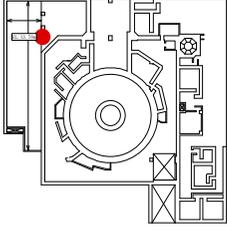
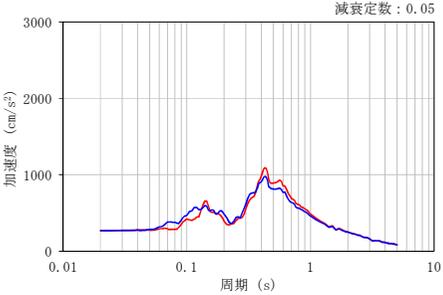
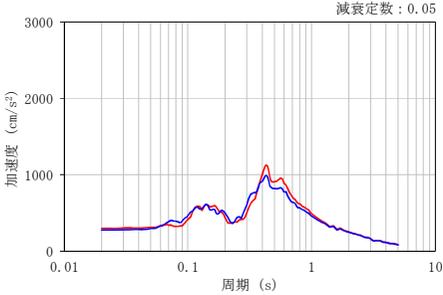
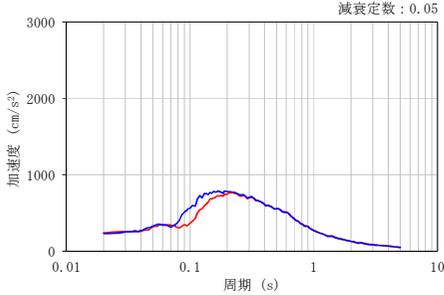
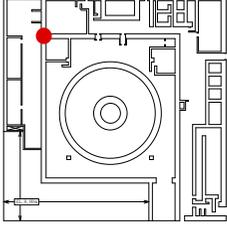
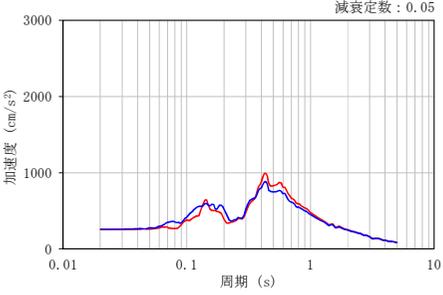
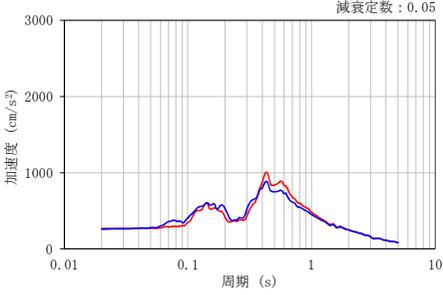
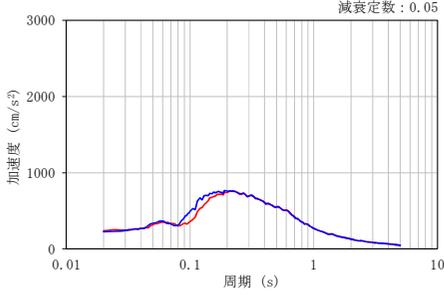
— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

表 3-14(2/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答	UD 応答
 <p>EL. 38.8m No. 11200</p>			
 <p>EL. 34.7m No. 11024</p>			
 <p>EL. 29.0m No. 10895</p>			

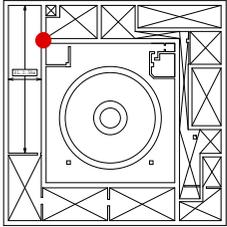
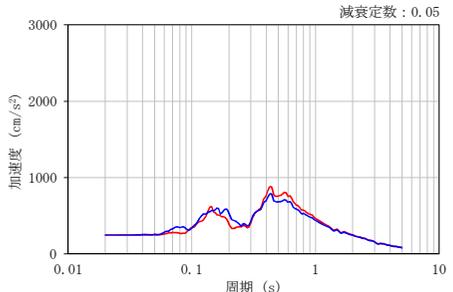
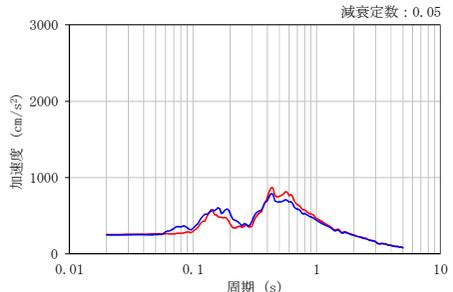
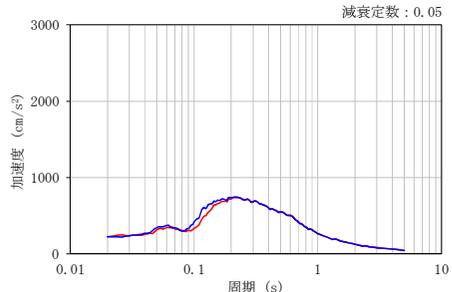
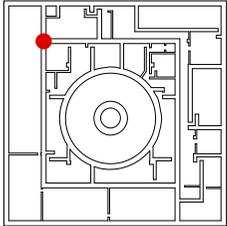
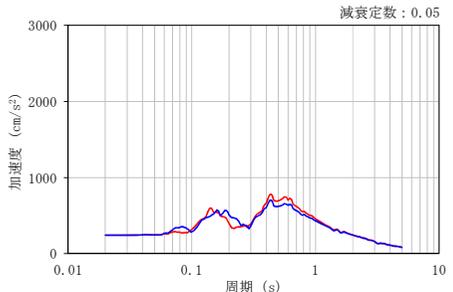
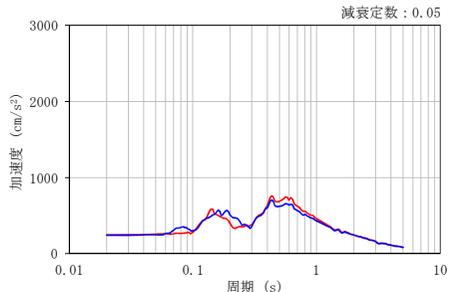
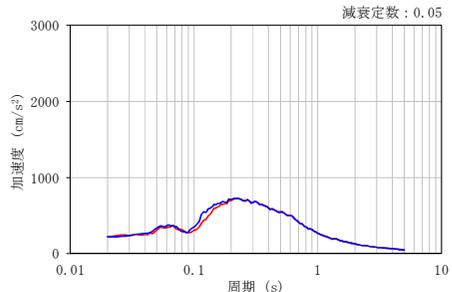
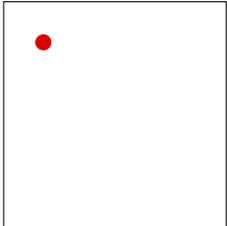
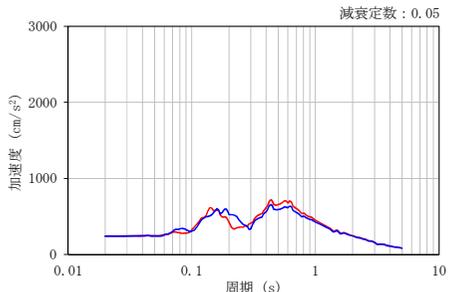
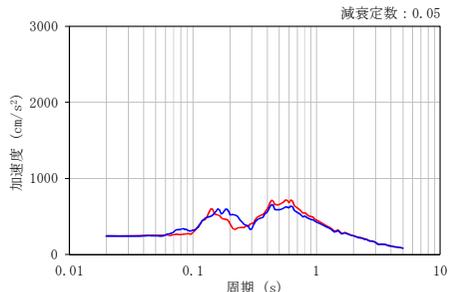
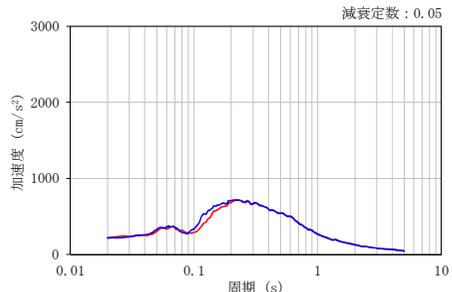
— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

表 3-14(3/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答	UD 応答
 <p>EL. 20.3m No. 10673</p>			
 <p>EL. 14.0m No. 10481</p>			
 <p>EL. 8.20m No. 10346</p>			

— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

表 3-14(4/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答	UD 応答
 <p>EL. 2.00m No. 10208</p>			
 <p>EL. -4.00m No. 5598</p>			
 <p>EL. -9.00m No. 1598</p>			

— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

## 別紙3の補足説明資料

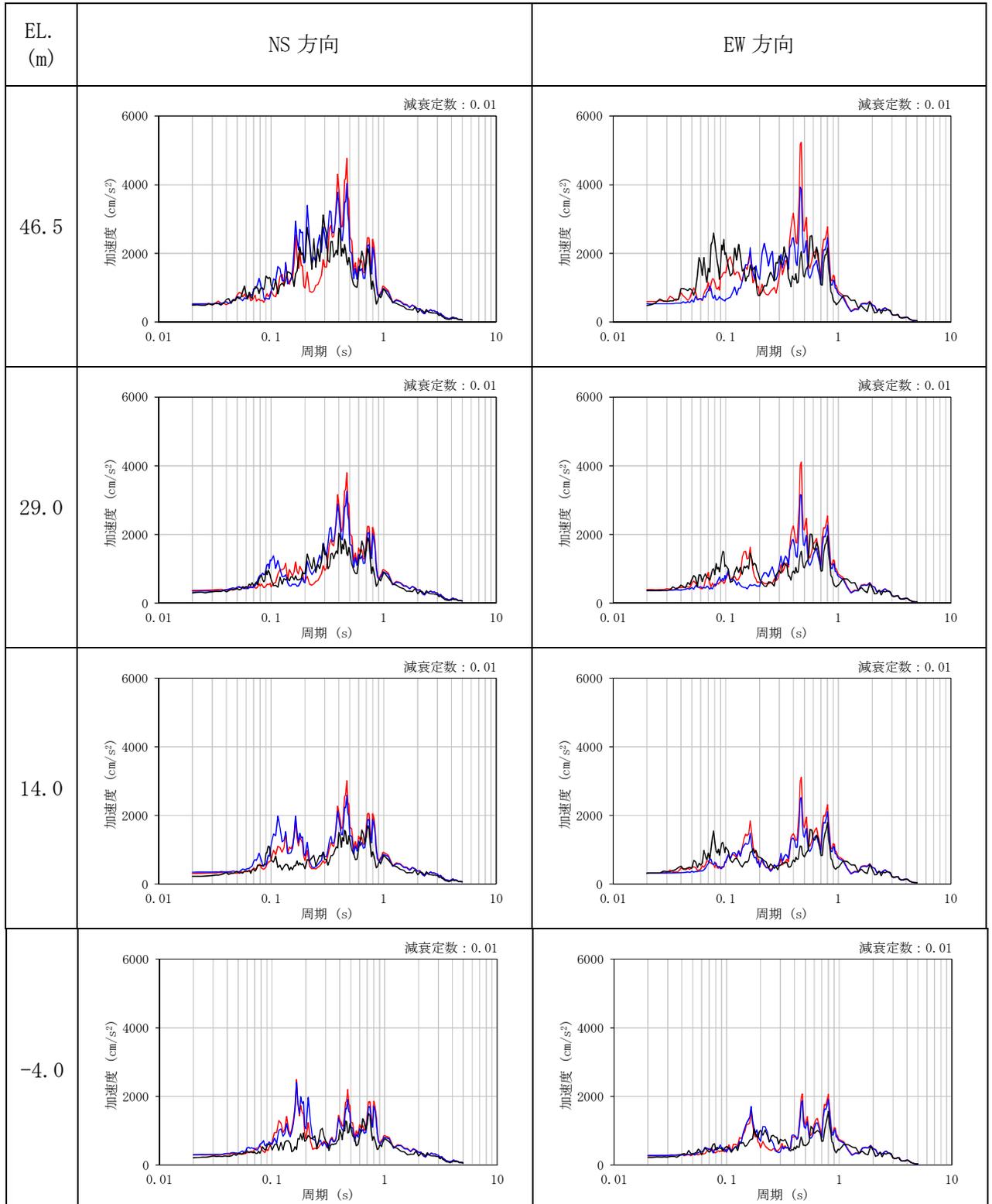
### 1. はじめに

本資料は、「別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析」の「2.3 観測記録を用いた検討」において示した、観測記録とシミュレーション解析結果の比較について減衰定数を0.1とした場合の床応答スペクトルを記載するものである。

### 2. 床応答スペクトル

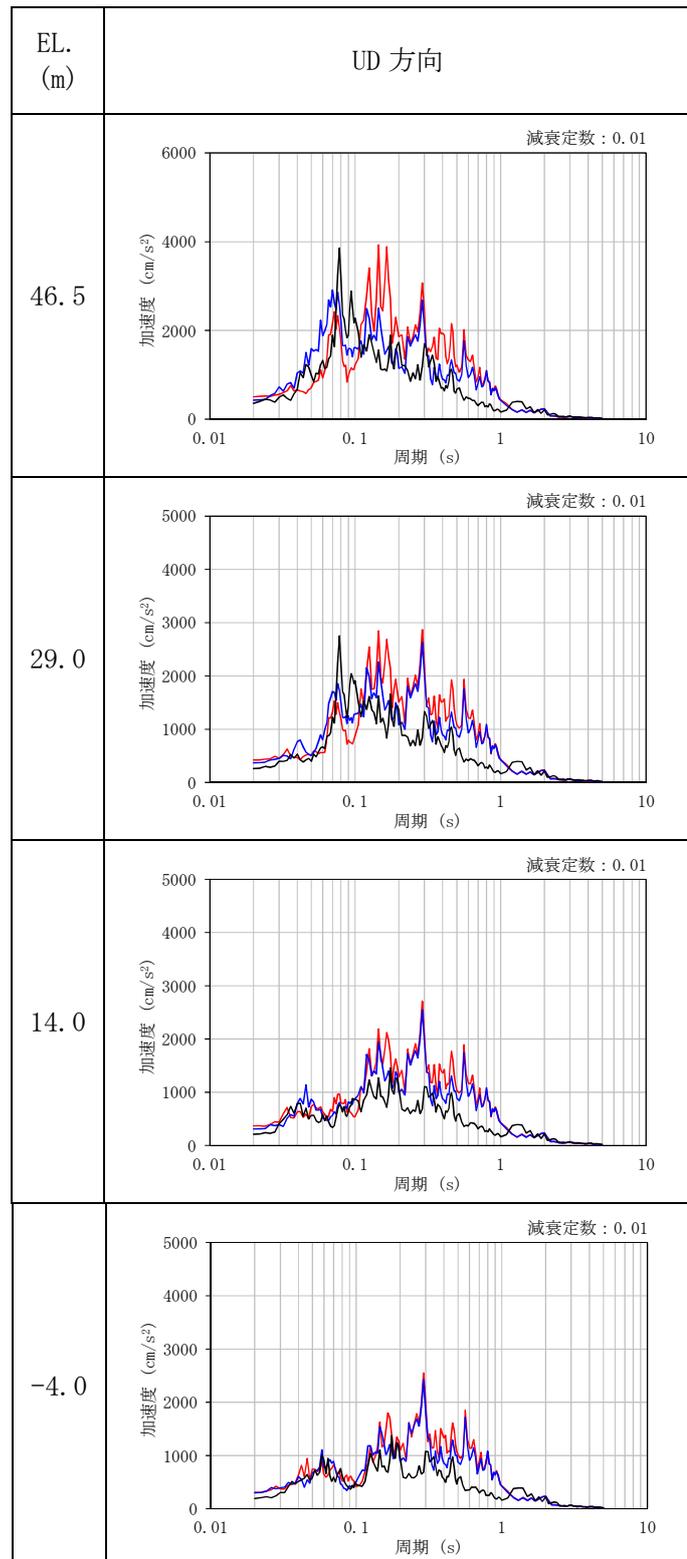
EL. 46.5 m, EL. 29.0 m, EL. 14.0 m 及び EL. -4.0 m の地震計位置での観測記録及び解析結果の加速度応答スペクトルの比較を表 2-1 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は3方向同時入力による結果とし、地震計位置近傍の節点のものを用いる。また、添付資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に用いた質点系モデルにおける解析結果も参考として併せて示す。

表 2-1(1/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=1%)



— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

表 2-1 (2/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=1%)



観測記録
  3次元FEM
  質点系