

### 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	別紙 3-1
1.1 構造概要	別紙 3-1
1.2 3次元 FEM モデルによる耐震性評価の方針	別紙 3-13
2. 3次元 FEM モデルの構築	別紙 3-15
2.1 原子炉建屋の3次元 FEM モデル	別紙 3-15
2.1.1 モデル化の基本方針	別紙 3-15
2.1.2 荷重	別紙 3-22
2.1.3 建屋-地盤の相互作用	別紙 3-22
2.2 固有値解析	別紙 3-27
2.3 観測記録を用いた検討	別紙 3-33
2.3.1 観測記録を用いた検討の概要	別紙 3-33
2.3.2 観測記録による解析結果	別紙 3-39
2.3.3 観測記録と解析結果の比較及び考察	別紙 3-39
2.3.4 結論	別紙 3-39
3. 3次元 FEM モデルによる評価	別紙 3-41
3.1 地震応答解析の概要	別紙 3-41
3.2 建屋応答性状の把握	別紙 3-48
3.2.1 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響	別紙 3-48
3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響	別紙 3-51
3.2.3 床柔性の影響	別紙 3-56
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	別紙 3-61
3.2.5 まとめ	別紙 3-80
3.3 建屋耐震性評価への影響検討	別紙 3-81
3.3.1 検討方針	別紙 3-81
3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討	別紙 3-81
3.3.3 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	別紙 3-86
3.4 床応答への影響検討	別紙 3-113
4. まとめ	別紙 3-122

別紙 3-1 6号機原子炉建屋の観測記録を用いたシミュレーション解析

別紙 3-2 3次元 FEM モデルによる応答結果の整理

## 1. 検討概要

建屋の 3 次元的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

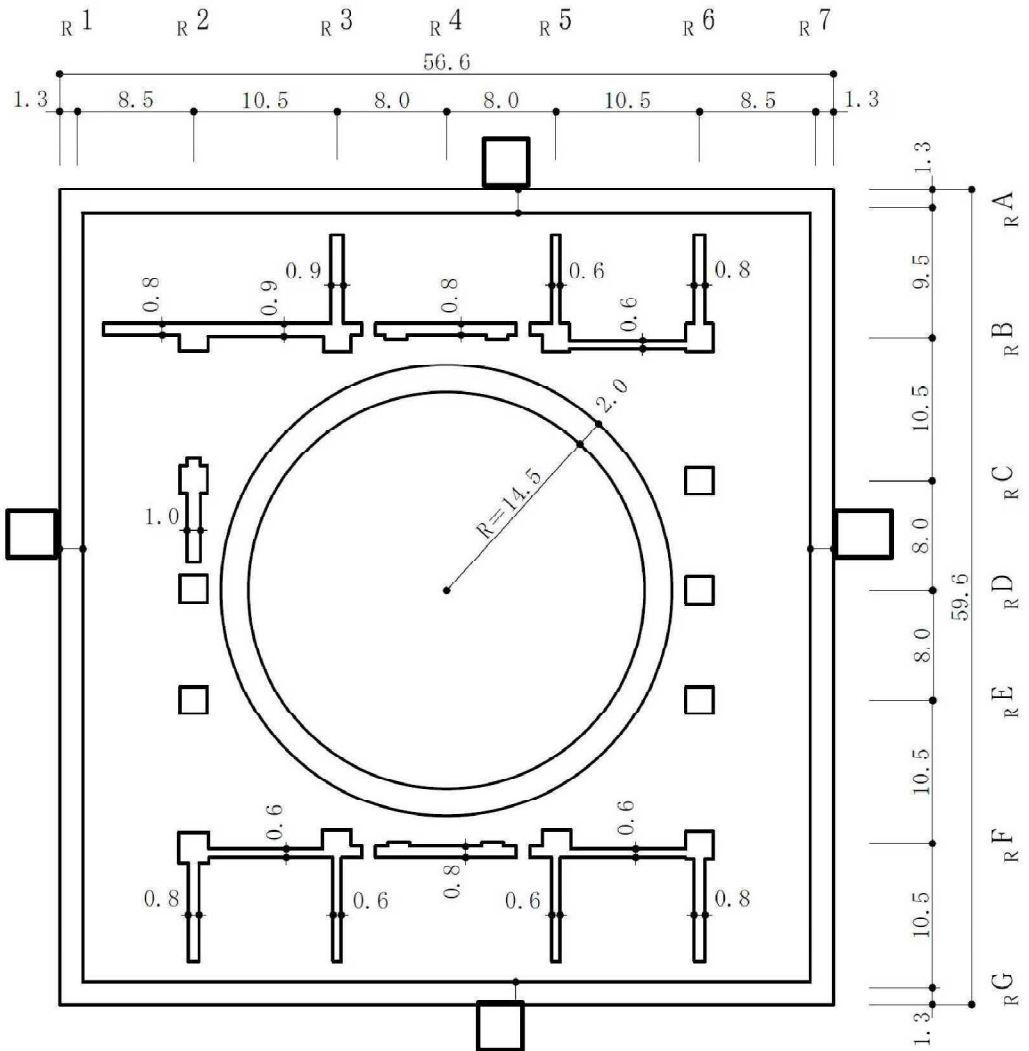
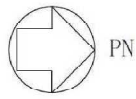
原子炉建屋は、地上 4 階、地下 3 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

原子炉建屋の平面は、下部では 56.6m（NS方向）×59.6m（EW方向）、最上階は 39.0m（NS方向）×59.6m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 63.4m であり、地上高さは 37.7m である。なお、原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は厚さ 5.5m のべた基礎で、支持地盤である泥岩上にマンメイドロックを介して設置している。

原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCV は円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。この RCCV の高さは底部上端からトップスラブ部下端まで 29.5m、内径は 29.0m であり、壁厚は 2.0m である。

原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCV と外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



(単位：m)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. - 8.2m) (1/9)

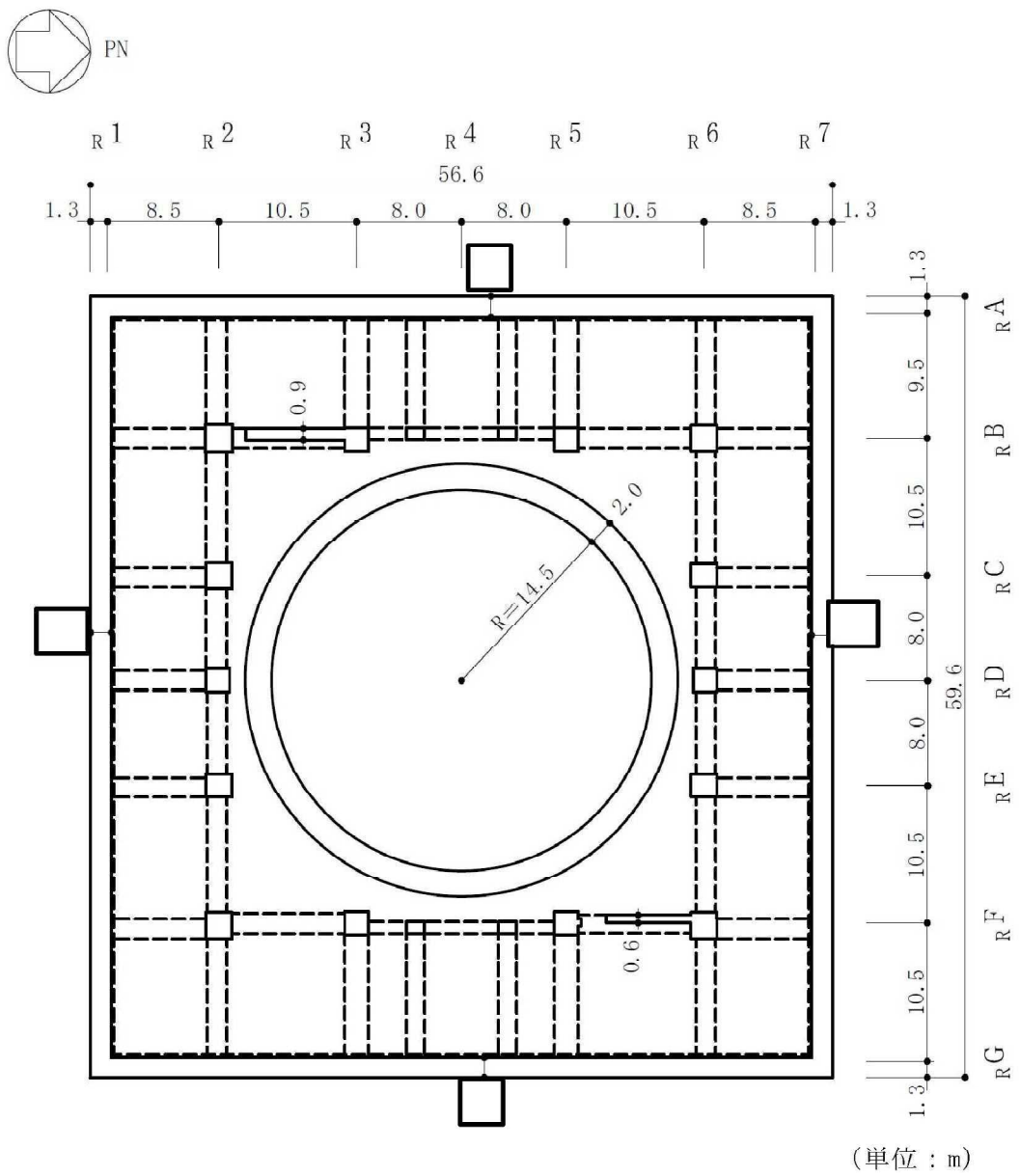


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. - 1.7m) (2/9)

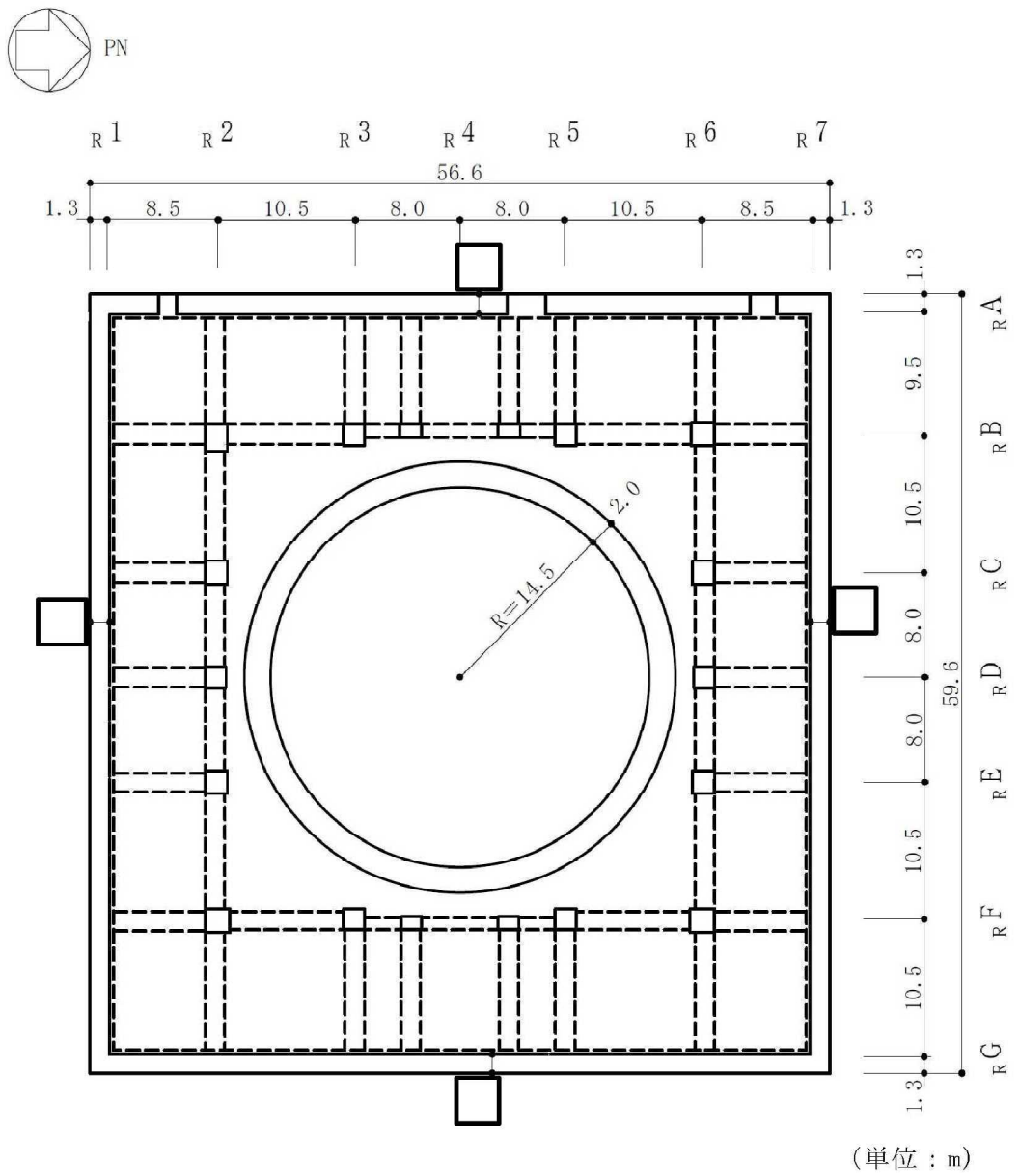
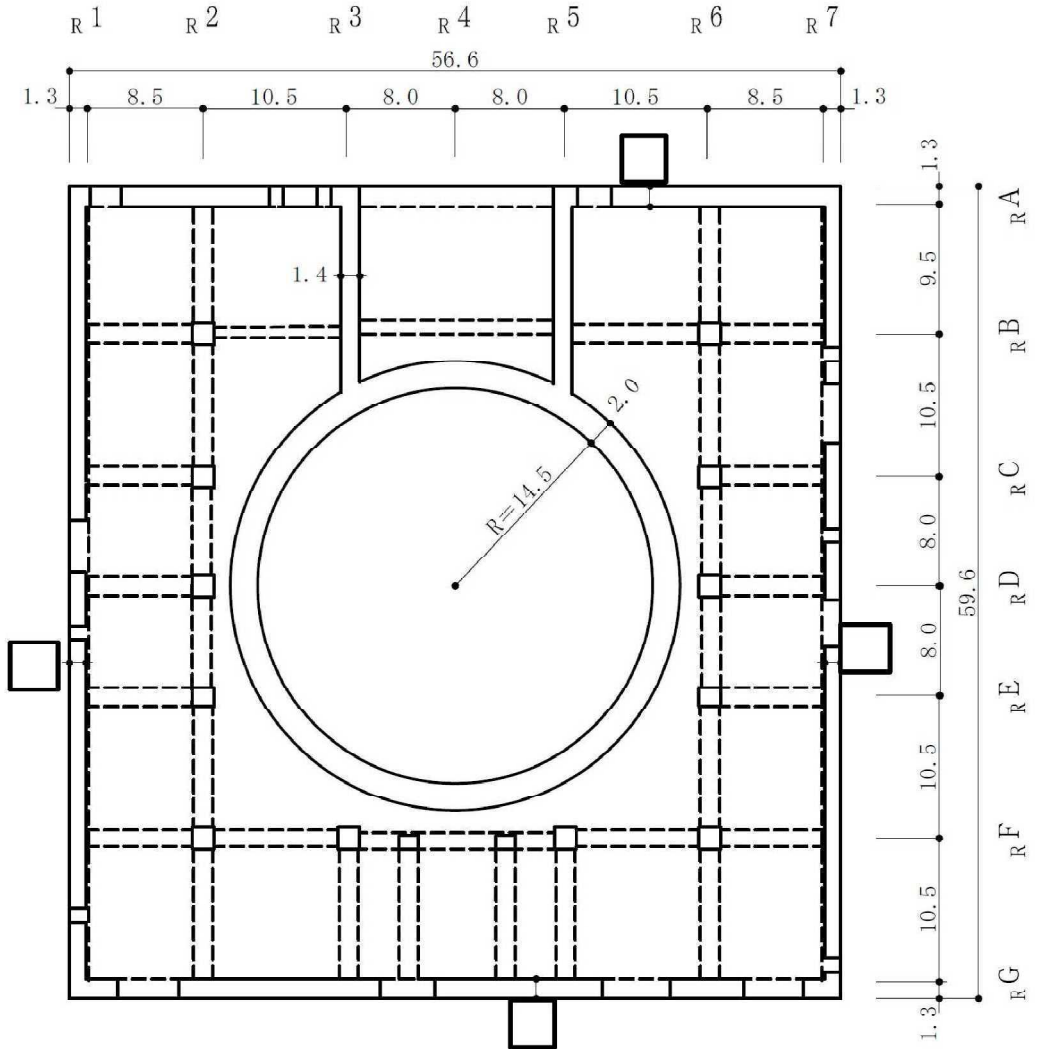
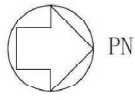
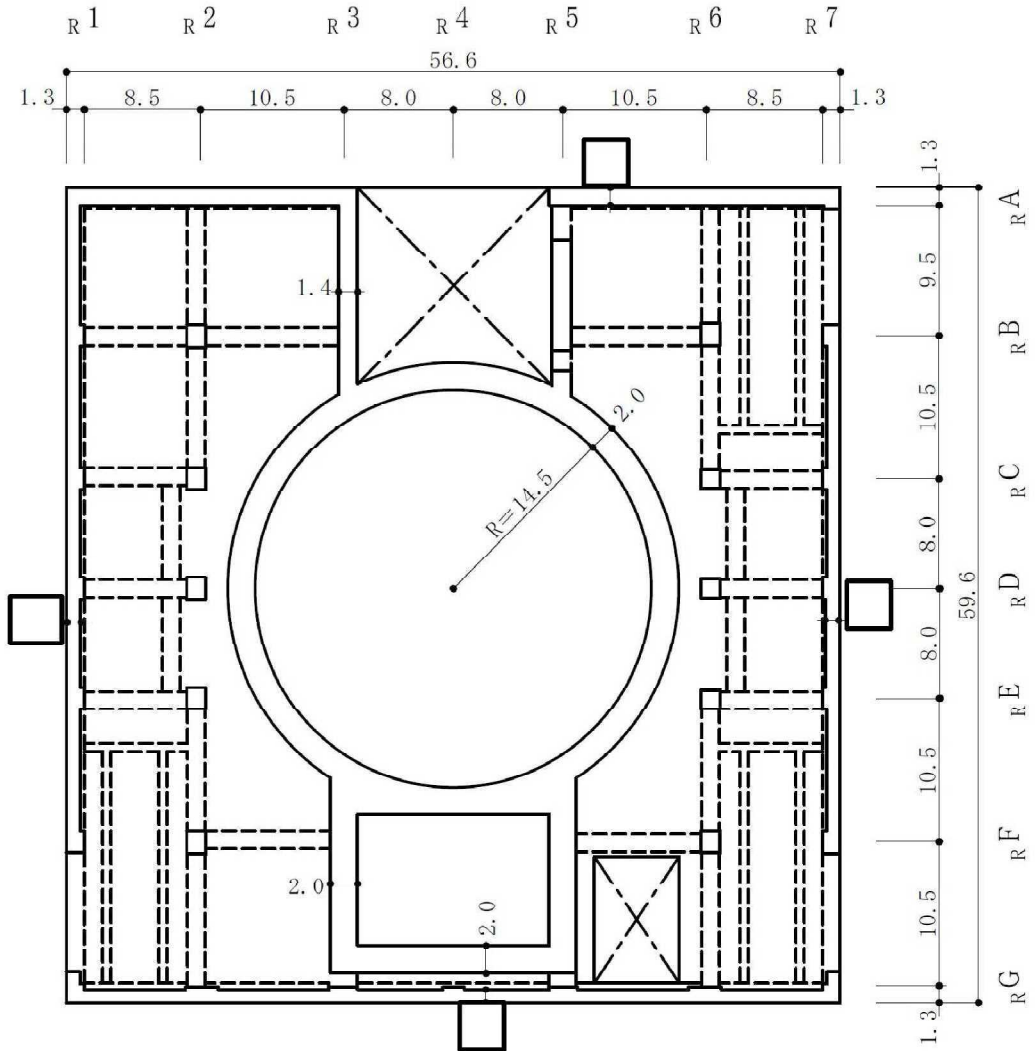


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.8m) (3/9)



(単位 : m)

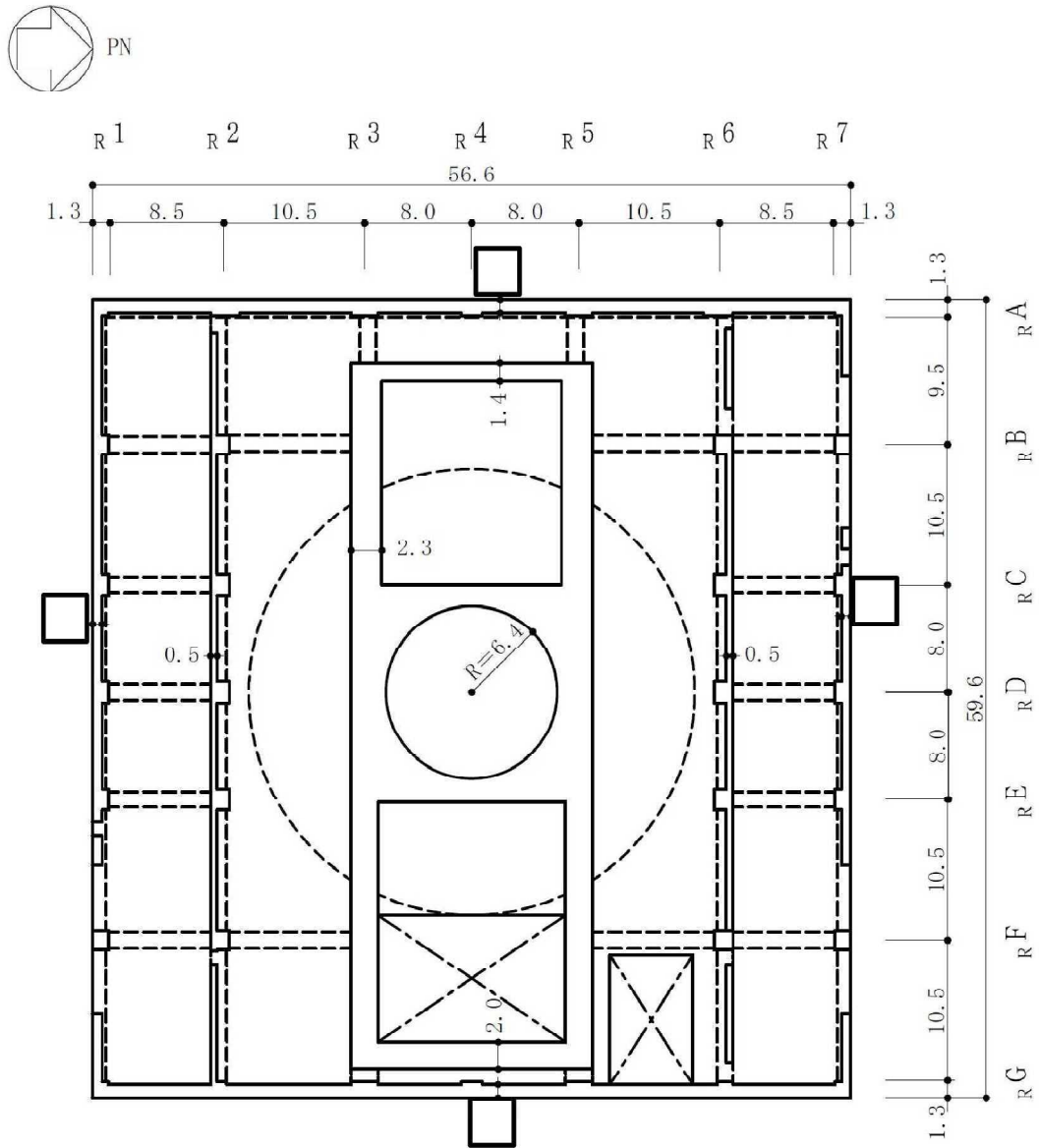
図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/9)



(単位：m)

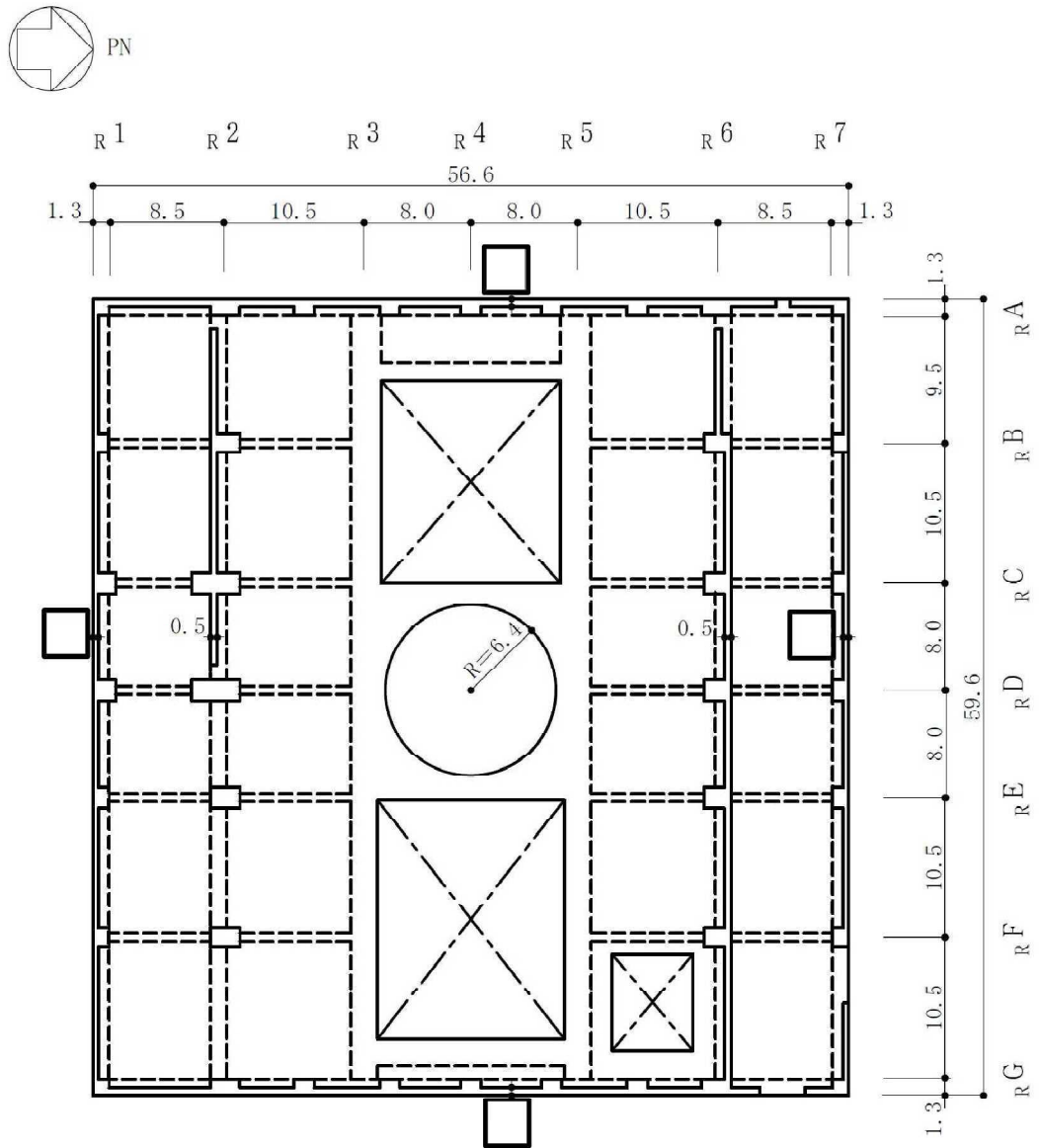
図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 18.1m) (5/9)





(単位 : m)

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 23.5m) (6/9)



(単位：m)

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 31.7m) (7/9)

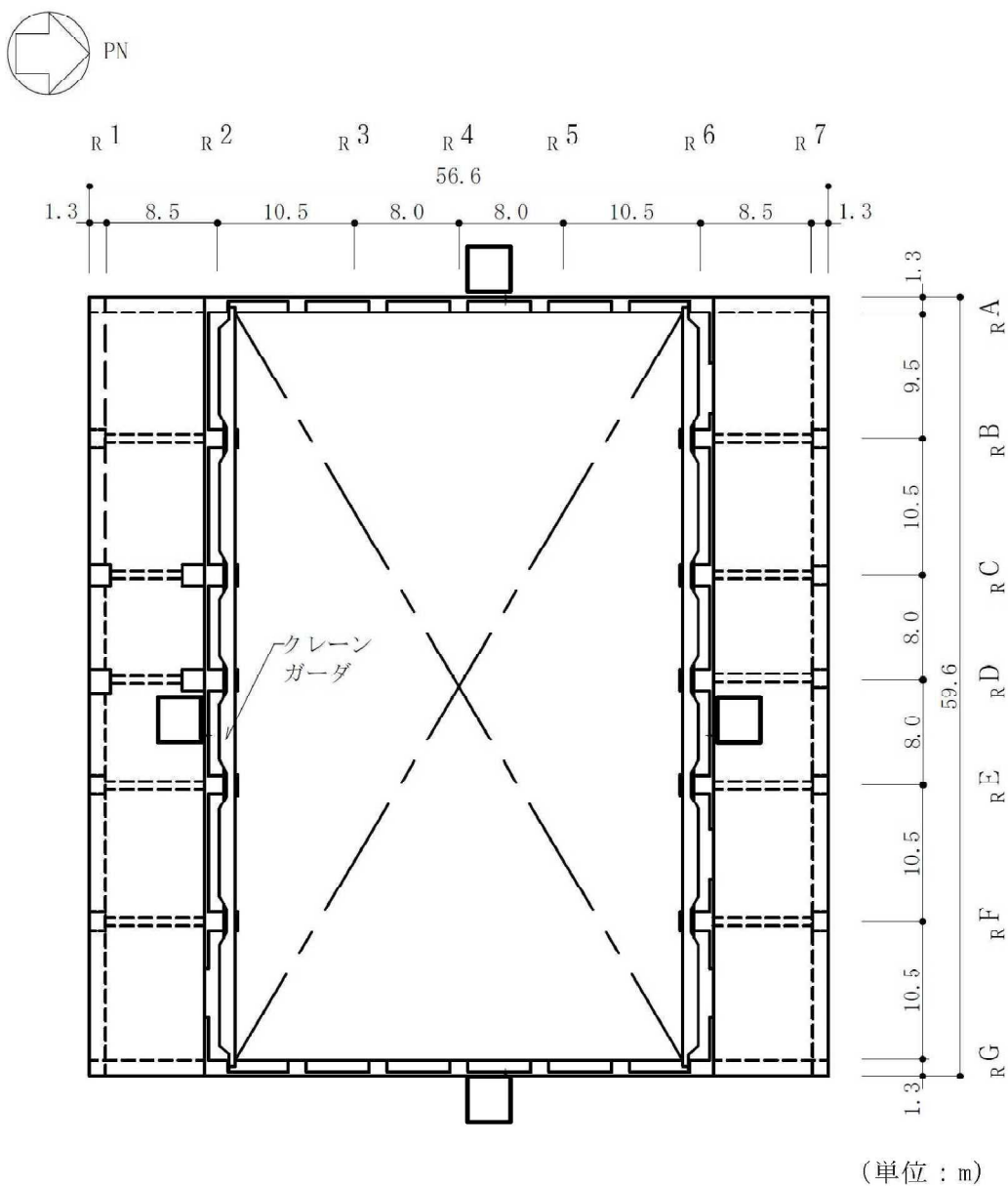


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T.M.S.L. 38.2m) (8/9)

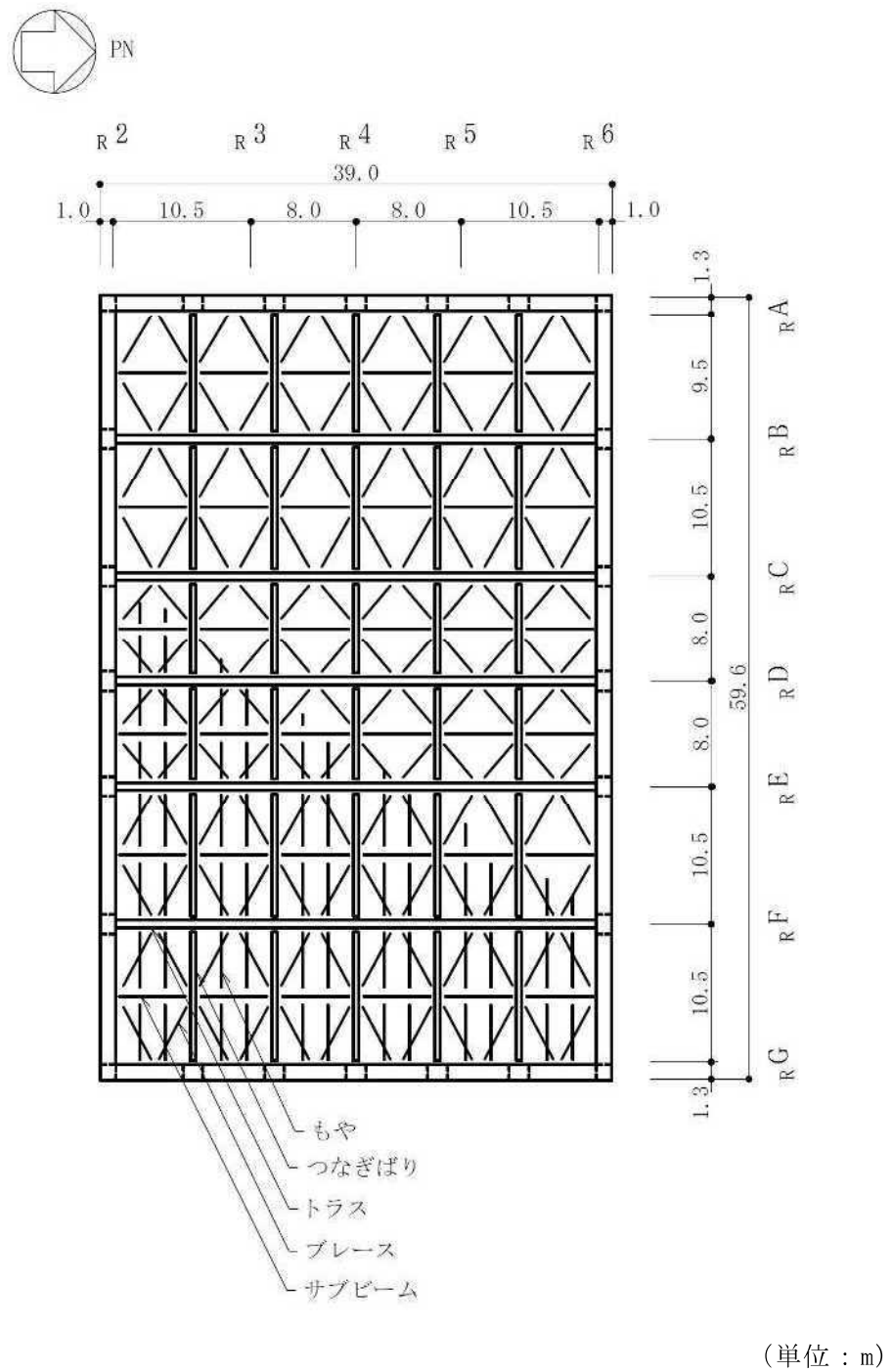
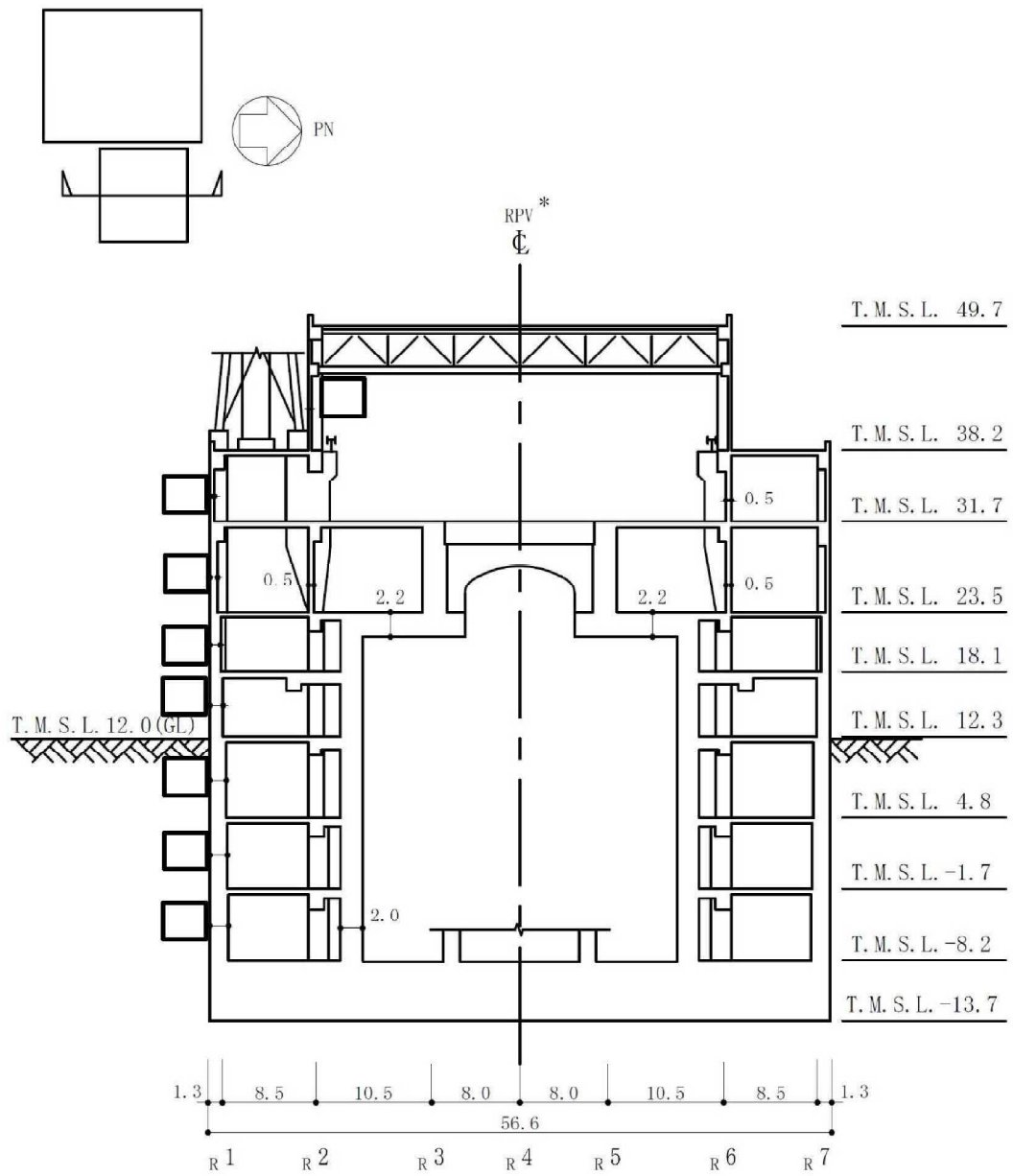


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (RF, T. M. S. L. 49.7m) (9/9)



(単位 : m)

注記\* : 原子炉圧力容器 (以下「RPV」という。)

図 1-2 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2)

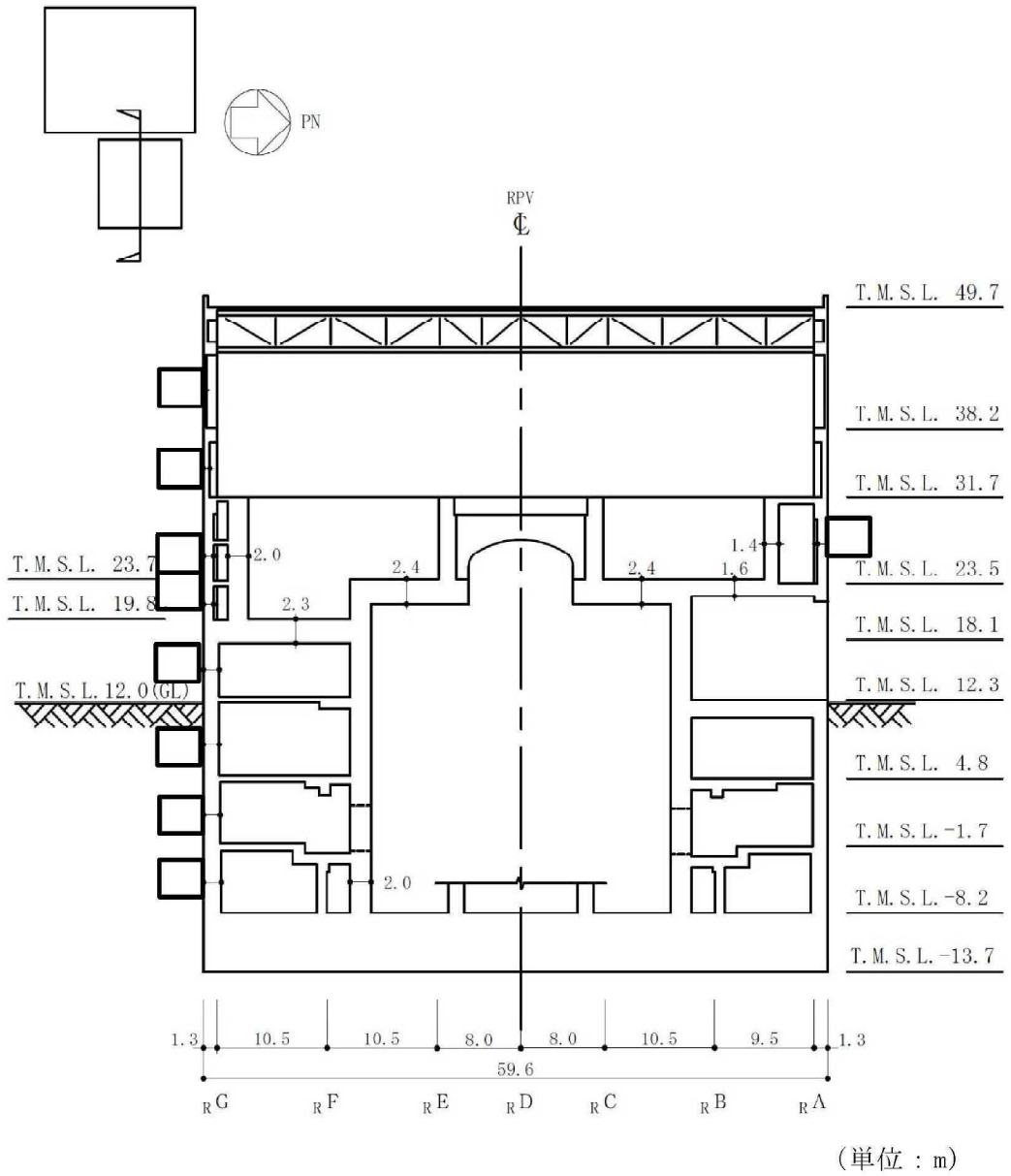


図 1-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

## 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。そのうえで，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（3 次元 FEM）のケースを表 1-1 に示す。解析モデル（3 次元 FEM）のケースは，床の柔性を変動要因とする以下の 2 ケースとした。

表 1-1 解析モデル（3 次元 FEM）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 (3 次元 FEM)	床柔	相互作用考慮	実強度
質点系対応モデル (3 次元 FEM)	床剛	相互作用考慮	実強度

注記\*：床のモデル化は基礎スラブを含むものとし，「床剛」の設定ではせん断剛性，曲げ剛性及び軸剛性のいずれについても剛とする。

建屋模擬モデル（3 次元 FEM）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。

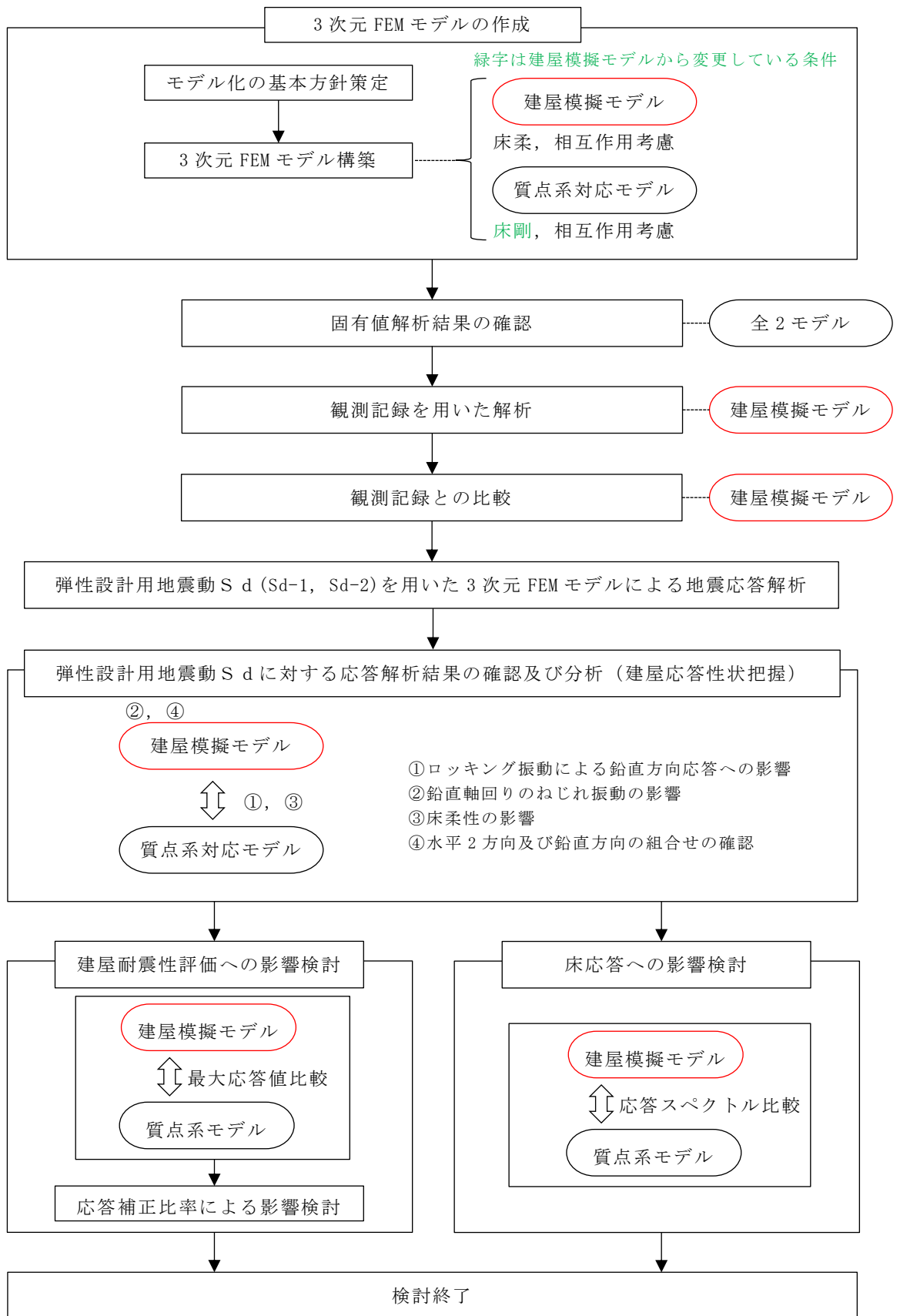
質点系対応モデル（3 次元 FEM）は，建屋模擬モデル（3 次元 FEM）における「床柔」を「床剛」に変更することにより，「床剛，相互作用考慮」の組合せとなり，質点系モデルに対応したモデルとなっている。

これら 2 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，ねじれ振動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。

3 次元 FEM モデルによる地震応答解析は，1 方向入力により行う。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検討として 3 方向同時入力による応答評価も併せて実施する。なお，3 方向同時入力による各方向の応答は，1 方向入力における各成分の応答を時刻歴で足し合わせるにより算出しており，詳細は「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」にて示す。

また，解析には解析コード「NX NASTRAN」を用いる。



○ : 検討対象モデル

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。

モデル図を図 2-1 に、各階のモデル図を図 2-2 に示す。

モデル化の範囲は、原子炉建屋、RCCV、使用済燃料貯蔵プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピット、ダイヤフラムフロア、原子炉本体基礎及び基礎とする。

3次元 FEM モデルで設定する各部材の要素タイプは、以下のとおりである。

床スラブ・壁はシェル要素（約 23100 要素）とし、補助壁については 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で考慮している壁をモデル化する。基礎スラブは、ソリッド要素（約 9500 要素）とする。柱、はり、屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの上下弦材、サブビームについてはビーム要素（約 3800 要素）とし、壁内に収まる柱及びはりについては、モデル化しないものとする。屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの斜材・束材、水平ブレースはトラス要素（約 400 要素）とする。

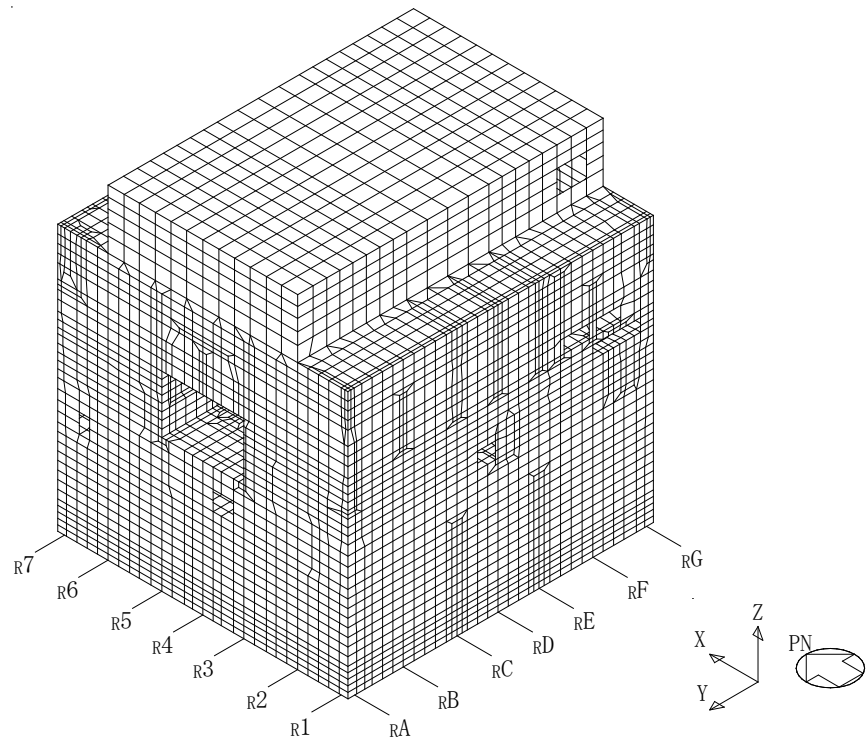
また、壁・床の開口部については、主要な開口部のみモデル化する。

要素の大きさは、各スラブレベルと対応する位置に節点を設け、水平方向には通り芯間を 2 分割以上、鉛直方向にはフロア間を 2 分割以上とする。

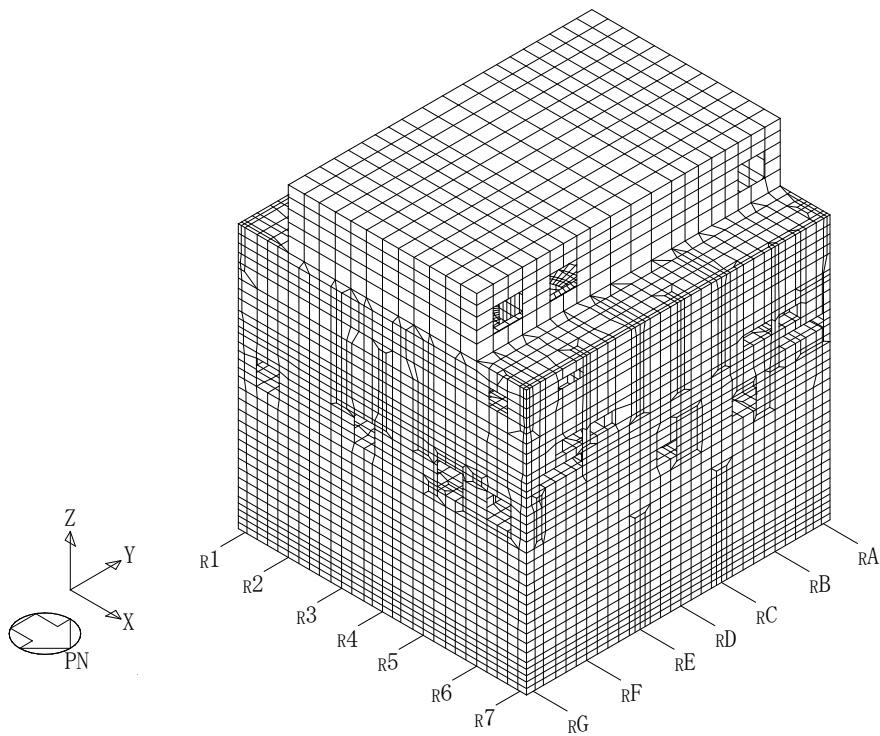
部材の接合部における剛域の設定は行わない。また、ビーム要素は柱・はりの壁・床と重複する部分の断面も含めて断面性能としてモデル化している。

使用材料の物性値を表 2-1 に示す。

コンクリートの実強度及びヤング係数並びに地盤物性については、V-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」における原子炉建屋の設定値と同一である。なお、屋根スラブについては剛性を見込まないものとする。

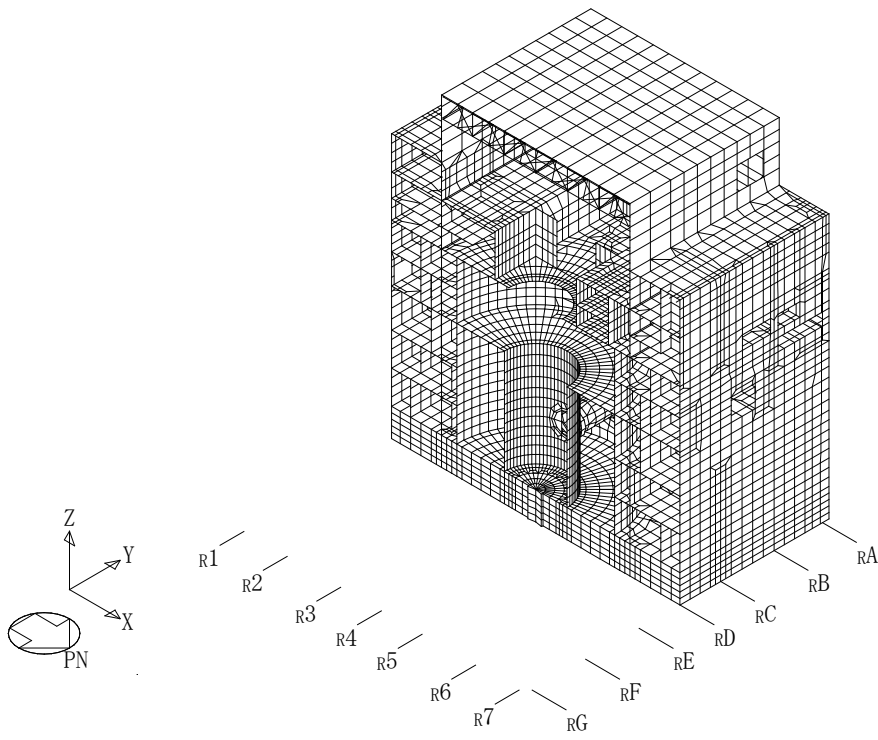


(a) 建屋全景（南西面）

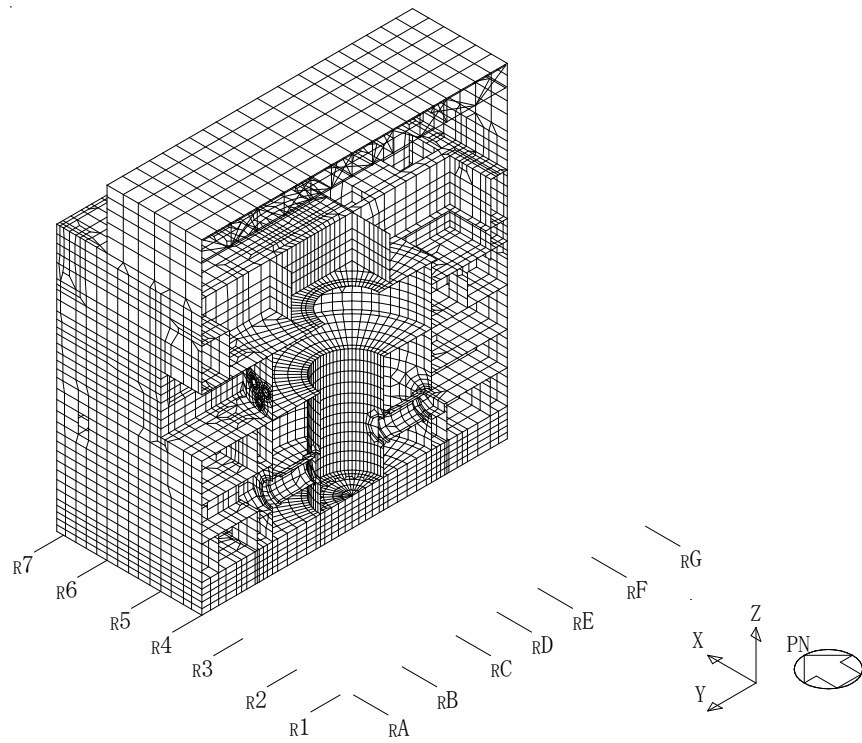


(b) 建屋全景（北東面）

図 2-1 モデル図 (1/2)

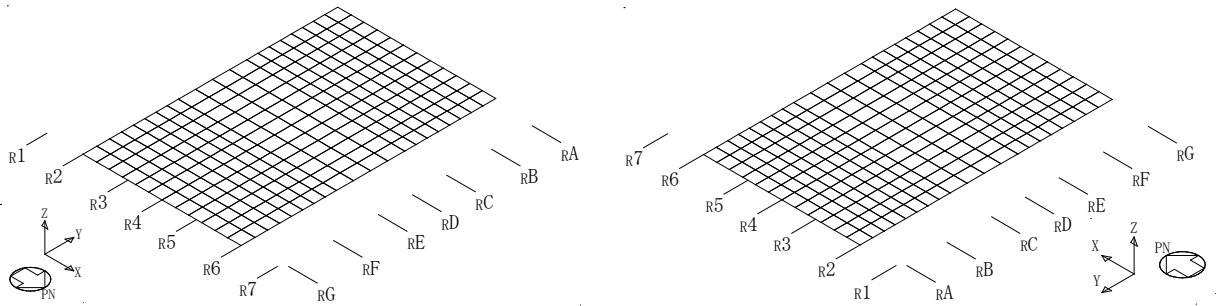


(c) NS 断面図

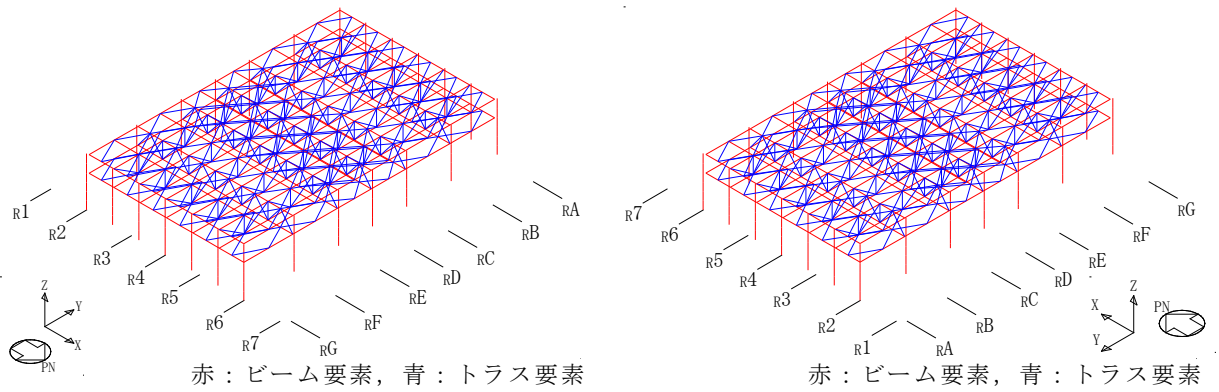


(d) EW 断面図

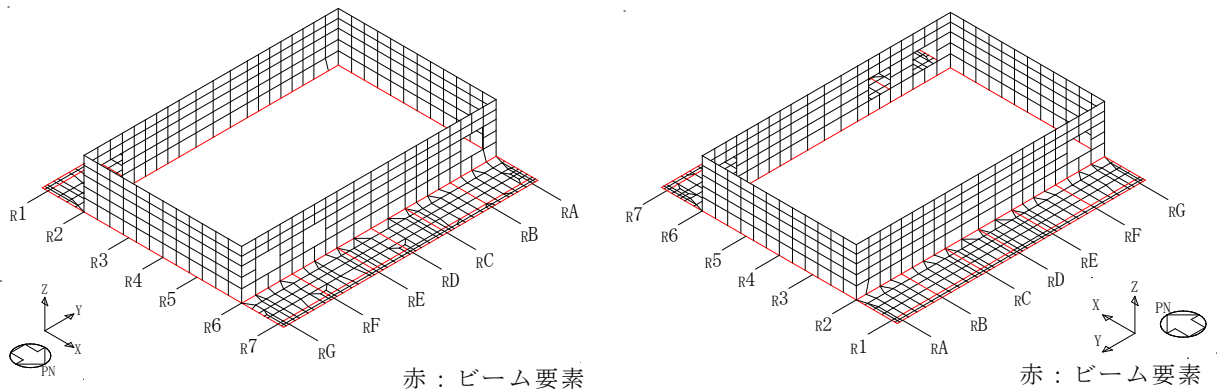
図 2-1 モデル図 (2/2)



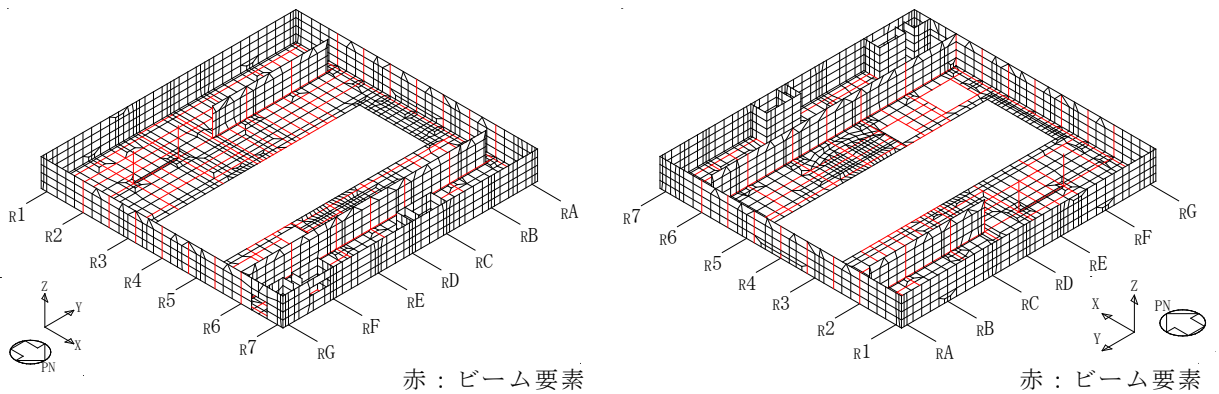
(a) T.M.S.L. 49.7m (屋根スラブ)



赤：ビーム要素，青：トラス要素  
 (b) T.M.S.L. 38.2m～T.M.S.L. 49.7m (柱，はり及び屋根トラス)

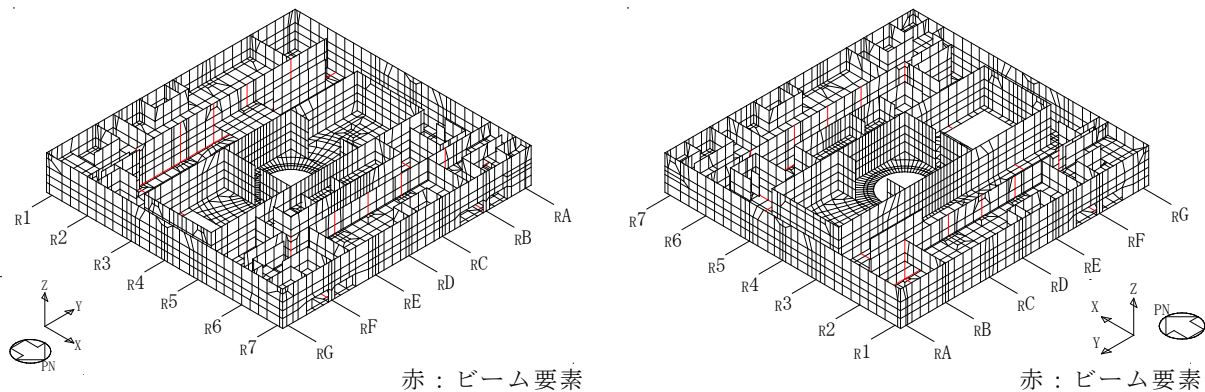


赤：ビーム要素  
 (c) T.M.S.L. 38.2m～T.M.S.L. 49.7m

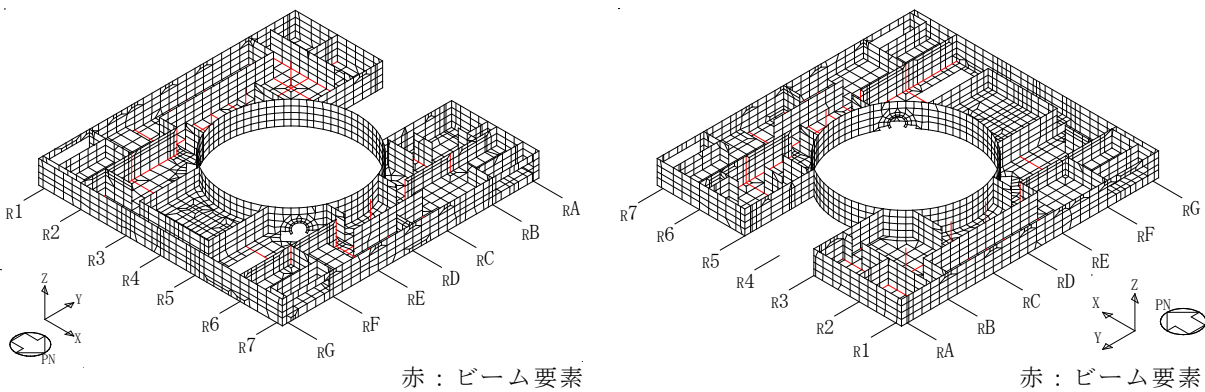


赤：ビーム要素  
 (d) T.M.S.L. 31.7m～T.M.S.L. 38.2m

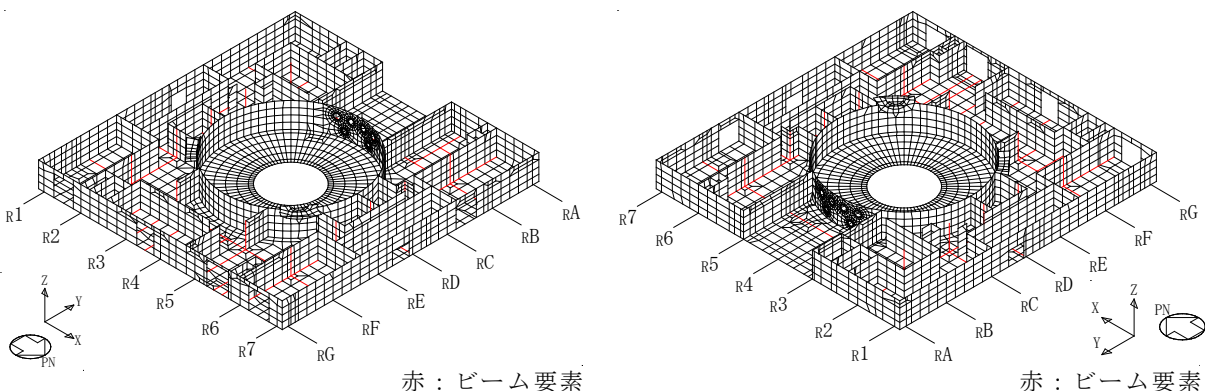
図 2-2 各階のモデル図 (1/3)



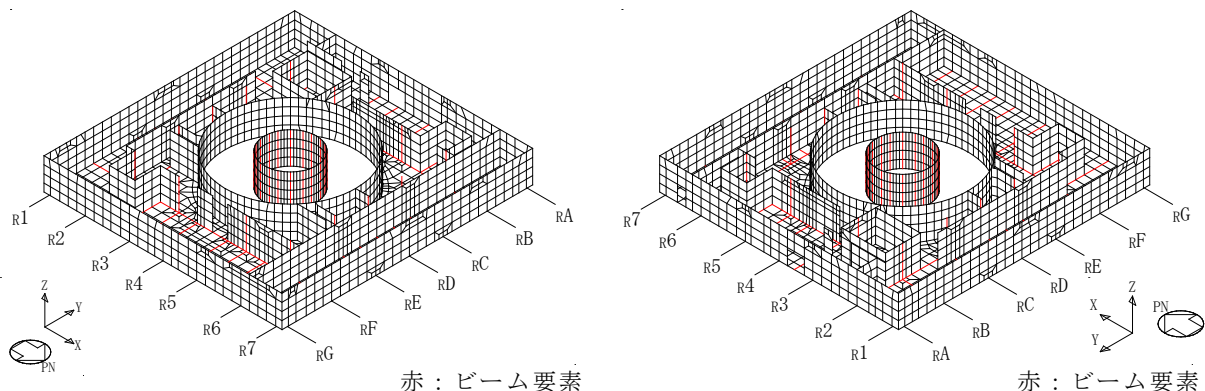
赤：ビーム要素  
(e) T.M.S.L. 23.5m～T.M.S.L. 31.7m



赤：ビーム要素  
(f) T.M.S.L. 18.1m～T.M.S.L. 23.5m

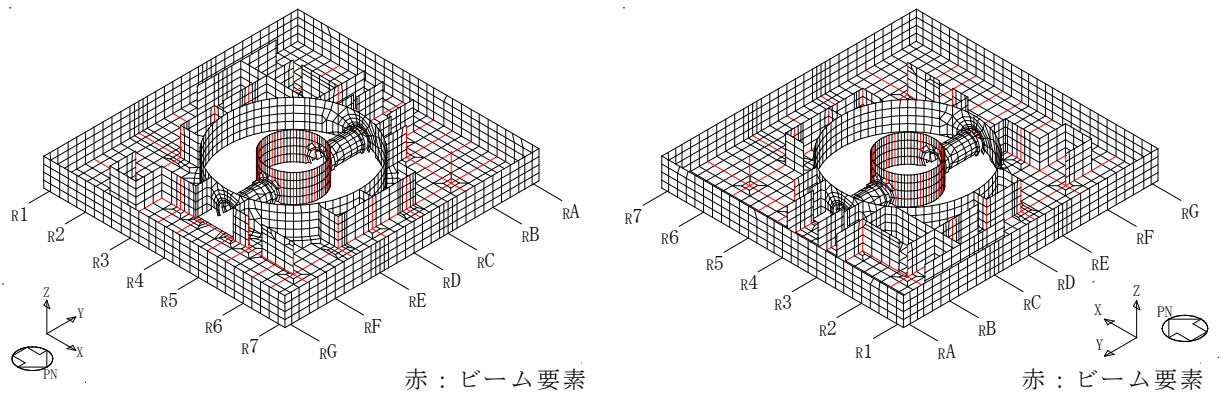


赤：ビーム要素  
(g) T.M.S.L. 12.3m～T.M.S.L. 18.1m

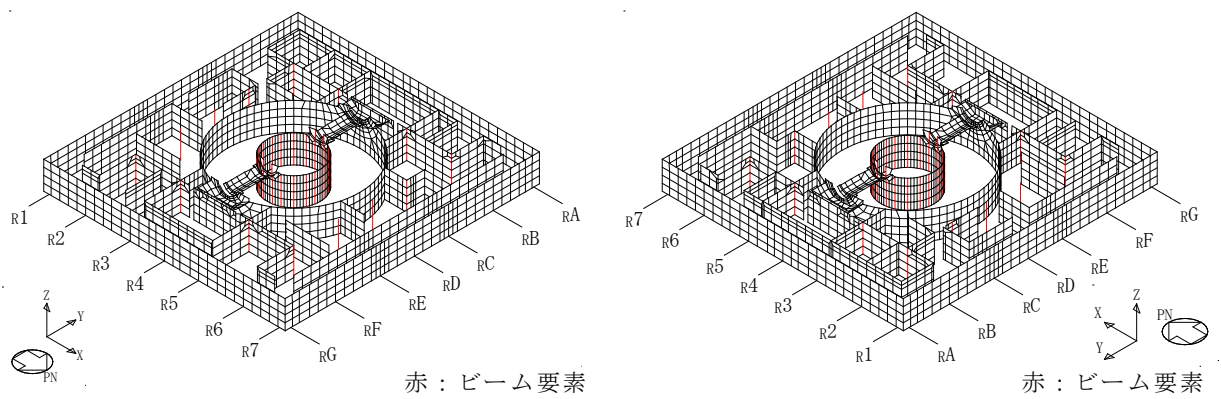


赤：ビーム要素  
(h) T.M.S.L. 4.8m～T.M.S.L. 12.3m

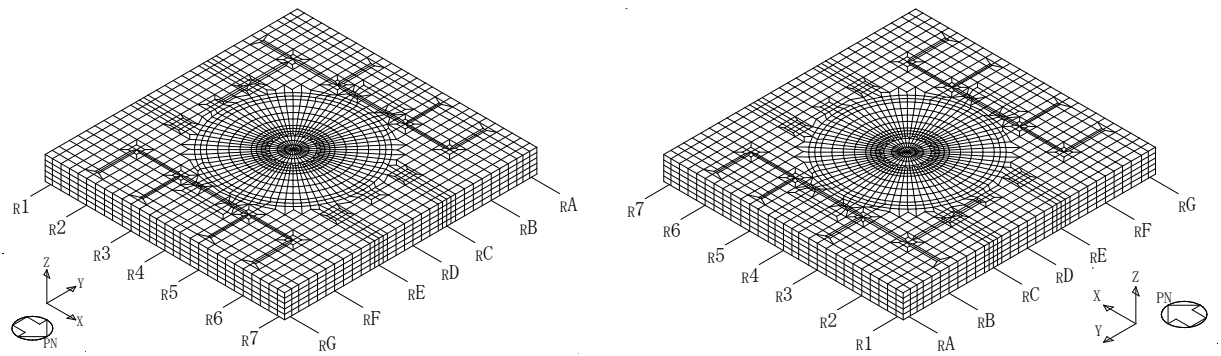
図 2-2 各階のモデル図 (2/3)



(i) T. M. S. L. -1.7m~T. M. S. L. 4.8m



(j) T. M. S. L. -8.2m~T. M. S. L. -1.7m



(k) T. M. S. L. -13.7m~T. M. S. L. -8.2m

図 2-2 各階のモデル図 (3/3)

表 2-1 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ( $\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$ ) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	$2.88 \times 10^4$	$1.20 \times 10^4$	5
基礎スラブ	コンクリート* : $\sigma_c = 39.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ( $\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$ ) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	$2.79 \times 10^4$	$1.16 \times 10^4$	5
屋根トラス部	鉄骨 : SS41 (SS400相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨 : SM41A (SM400A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨 : SM50A (SM490A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2

注記\* : 実強度に基づくコンクリート強度。

### 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，質点系モデルの重量と整合するよう重量を調整する。

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

### 2.1.3 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，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 Sd-1 及び Sd-2 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，地盤をばね要素でそれぞれ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基に，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，基礎底面回転ばねを基に設定する。詳細な離散化方法を以下に示す。

地盤ばね成分が底面・並進及び底面・鉛直の場合は，各方向の地盤ばね定数を基礎底面積で除した地盤反力係数に対し，各節点の支配面積を乗じ，各節点に離散化する。また，地盤ばね成分が底面・回転の場合（水平方向加振時のみ考慮），各方向の地盤ばね定数を基礎底面の断面二次モーメントで除した鉛直次元の地盤反力係数に対し，各節点の支配面積を乗じ，各節点に離散化する。

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基に，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，鉛直方向加振時では質点系モデルと同様に側面ばねを考慮しないものとする。詳細な離散化方法を以下に示す。

地盤ばね成分が側面・並進（水平方向加振時のみ考慮）の場合，各節点における支配高さは全周にわたり同一とし，各方向の地盤ばね定数を全周長さ（支配長さの総和）で除した地盤反力係数に対し，各節点の支配長さを乗じ，各節点に離散化する。また，地盤ばね成分が側面・回転の場合（水平方向加振時のみ考慮），各方向の地盤ばね定数を壁側面の断面二次モーメントで除した地盤反力係数に対し，各節点の支配長さを乗じることで，各節点に離散化する。

なお，減衰係数は地盤ばね定数と同様に分配するものとする。

各地盤ばね諸元については表 2-2～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 2-3 に示す。



表 2-2 地盤ばね定数と減衰係数 (底面・並進)

地震動	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
Sd-1	$7.70 \times 10^7$	$2.90 \times 10^6$	$7.66 \times 10^7$	$2.88 \times 10^6$
Sd-2	$7.76 \times 10^7$	$2.91 \times 10^6$	$7.72 \times 10^7$	$2.89 \times 10^6$

表 2-3 地盤ばね定数と減衰係数

(a) 底面・回転

地震動		回転方向	
		ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
Sd-1	NS 方向加振時	$7.50 \times 10^{10}$	$6.17 \times 10^8$
	EW 方向加振時	$8.08 \times 10^{10}$	$7.22 \times 10^8$
Sd-2	NS 方向加振時	$7.56 \times 10^{10}$	$6.17 \times 10^8$
	EW 方向加振時	$8.14 \times 10^{10}$	$7.22 \times 10^8$

注：底面回転ばねについては、鉛直ばねに置換してモデル化する。

(b) 底面・鉛直

地震動		鉛直方向	
		ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
Sd-1	鉛直方向加振時	$1.27 \times 10^8$	$6.64 \times 10^6$
Sd-2	鉛直方向加振時	$1.28 \times 10^8$	$6.68 \times 10^6$

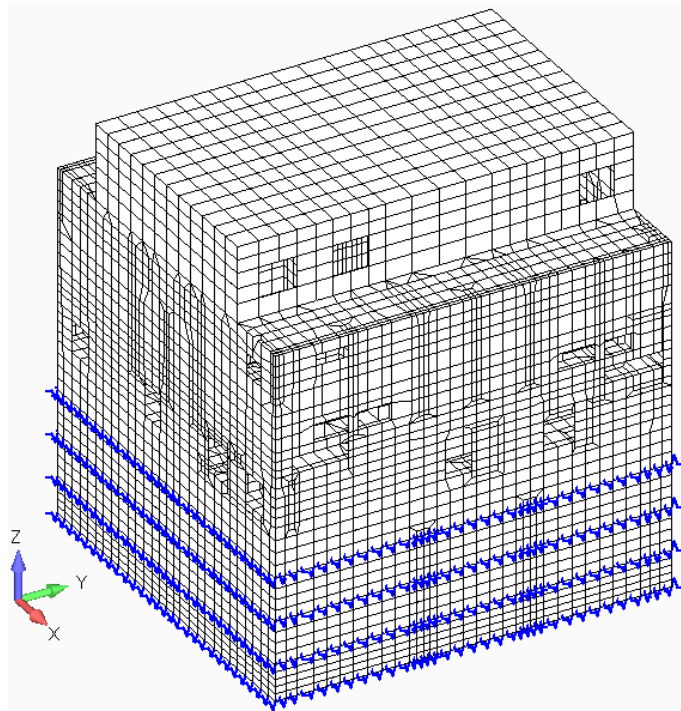
表 2-4 地盤ばね定数と減衰係数（側面・並進）

地震動	T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
Sd-1	4.8	$1.34 \times 10^6$	$4.69 \times 10^5$	$1.34 \times 10^6$	$4.70 \times 10^5$
	-1.7	$3.55 \times 10^6$	$1.24 \times 10^6$	$3.55 \times 10^6$	$1.25 \times 10^6$
	-8.2	$9.11 \times 10^6$	$1.80 \times 10^6$	$9.11 \times 10^6$	$1.80 \times 10^6$
	-13.7	$4.78 \times 10^6$	$8.86 \times 10^5$	$4.78 \times 10^6$	$8.85 \times 10^5$
Sd-2	4.8	$1.29 \times 10^6$	$4.61 \times 10^5$	$1.29 \times 10^6$	$4.63 \times 10^5$
	-1.7	$3.42 \times 10^6$	$1.22 \times 10^6$	$3.42 \times 10^6$	$1.23 \times 10^6$
	-8.2	$9.08 \times 10^6$	$1.79 \times 10^6$	$9.08 \times 10^6$	$1.79 \times 10^6$
	-13.7	$4.78 \times 10^6$	$8.86 \times 10^5$	$4.78 \times 10^6$	$8.85 \times 10^5$

表 2-5 地盤ばね定数と減衰係数 (側面・回転)

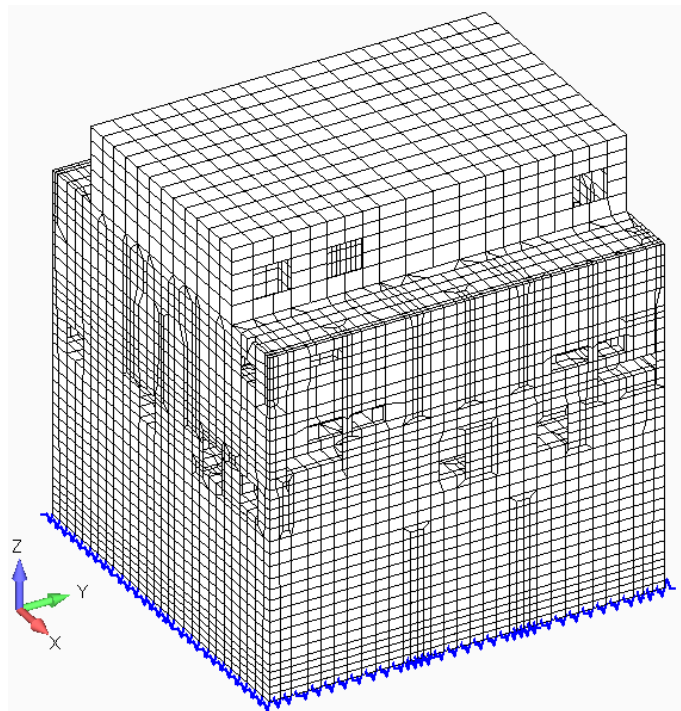
地震動	T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
Sd-1	4.8	$1.04 \times 10^9$	$1.16 \times 10^8$	$1.04 \times 10^9$	$1.17 \times 10^8$
	-1.7	$2.76 \times 10^9$	$3.09 \times 10^8$	$2.76 \times 10^9$	$3.10 \times 10^8$
	-8.2	$7.17 \times 10^9$	$4.12 \times 10^8$	$7.17 \times 10^9$	$4.15 \times 10^8$
	-13.7	$3.74 \times 10^9$	$2.01 \times 10^8$	$3.74 \times 10^9$	$2.03 \times 10^8$
Sd-2	4.8	$1.00 \times 10^9$	$1.14 \times 10^8$	$1.00 \times 10^9$	$1.15 \times 10^8$
	-1.7	$2.66 \times 10^9$	$3.04 \times 10^8$	$2.66 \times 10^9$	$3.05 \times 10^8$
	-8.2	$7.16 \times 10^9$	$4.11 \times 10^8$	$7.16 \times 10^9$	$4.15 \times 10^8$
	-13.7	$3.74 \times 10^9$	$2.01 \times 10^8$	$3.74 \times 10^9$	$2.03 \times 10^8$

注：側面回転ばねについては，鉛直ばねに置換してモデル化する。



青線：離散化した地盤ばね（NS・EWで異なるばね値，底面及び側面に対して考慮）

(a) 水平方向解析時



青線：離散化した地盤ばね（底面のみに考慮）

(b) 鉛直方向解析時

図 2-3 地盤ばねの設置図

## 2.2 固有値解析

建屋模擬モデル（3次元FEM，床柔，相互作用考慮），質点系対応モデル（3次元FEM，床剛，相互作用考慮）の2つの解析モデルケースについて，Sd-1及びSd-2に対する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。また，各モデルのモード図を表2-7に示す。

固有値解析の結果について，質点系モデルと3次元FEMモデルである建屋模擬モデル及び質点系対応モデルは，いずれの方向についてもおおむね整合している。

3次元FEMモデルの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。

床剛とした3次元FEMモデルである質点系対応モデルと質点系モデルとでは，同程度の振動数において質点系モデルの固有モードに類似したモードが質点系対応モデルのモードに見られ，良い対応をしている。

床柔とした3次元FEMモデルである建屋模擬モデルと質点系モデルとでは，水平方向の固有振動数は整合的であり，鉛直方向の固有振動数は質点系モデルの方が大きくなる。鉛直方向における違いは，建屋模擬モデルにおいて屋根スラブの剛性を保守的に考慮していないことによる影響と考えられる。

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

(a) Sd-1

方向	振動数 (Hz)		
	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	2.32	2.41	2.34
EW	2.40	2.46	2.40
鉛直	3.84	3.90	3.96

(b) Sd-2

方向	振動数 (Hz)		
	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	2.32	2.41	2.34
EW	2.40	2.47	2.40
鉛直	3.86	3.91	3.97

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (1/4)

(a) Sd-1 水平方向

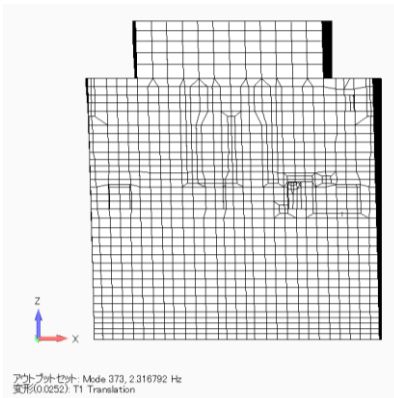
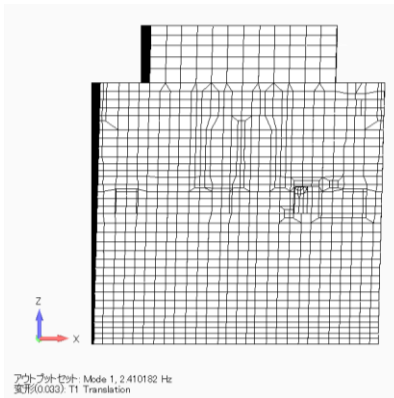
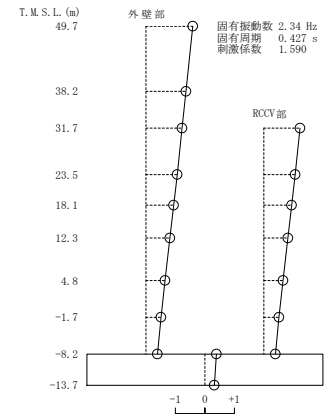
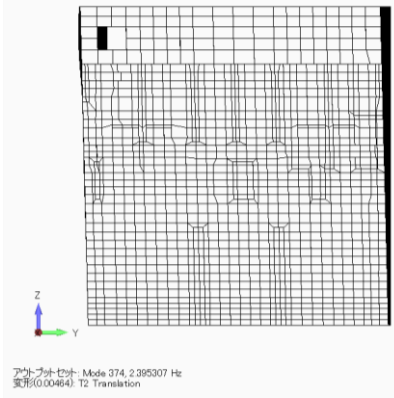
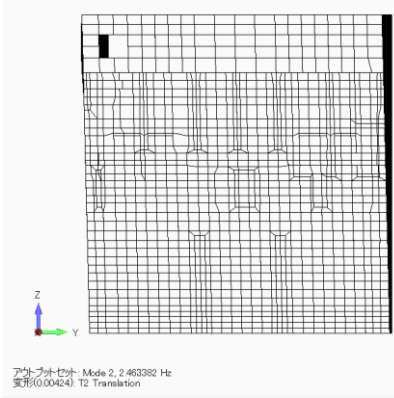
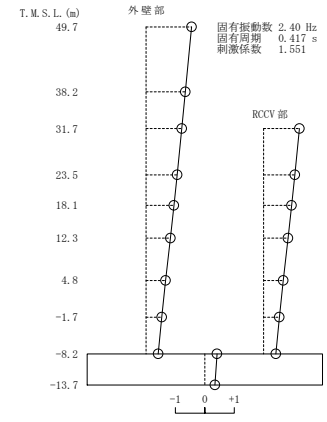
方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	 <p>アウトプットセット: Mode 373, 2.316792 Hz 変形(0.0252): T1 Translation</p> <p>2.32 Hz</p>	 <p>アウトプットセット: Mode 1, 2.410182 Hz 変形(0.003): T1 Translation</p> <p>2.41 Hz</p>	 <p>T.M.S.L. (m) 49.7 38.2 31.7 23.5 18.1 12.3 4.8 -1.7 -8.2 -13.7</p> <p>外壁部 RCCV部</p> <p>固有振動数 2.34 Hz 固有周期 0.427 s 制振係数 1.590</p> <p>2.34 Hz</p>
EW	 <p>アウトプットセット: Mode 374, 2.395307 Hz 変形(0.00464): T2 Translation</p> <p>2.40 Hz</p>	 <p>アウトプットセット: Mode 2, 2.463382 Hz 変形(0.00424): T2 Translation</p> <p>2.46 Hz</p>	 <p>T.M.S.L. (m) 49.7 38.2 31.7 23.5 18.1 12.3 4.8 -1.7 -8.2 -13.7</p> <p>外壁部 RCCV部</p> <p>固有振動数 2.40 Hz 固有周期 0.417 s 制振係数 1.551</p> <p>2.40 Hz</p>

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (2/4)

(b) Sd-1 鉛直方向

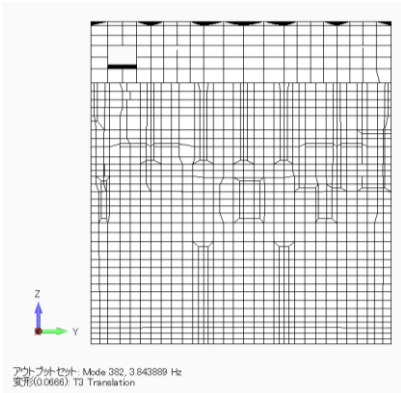
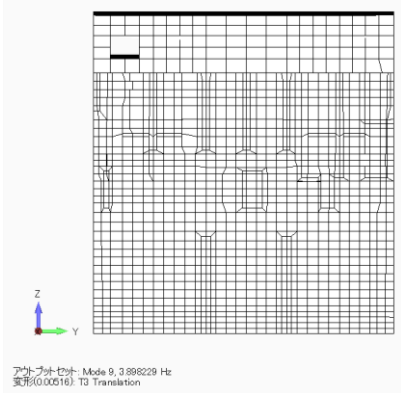
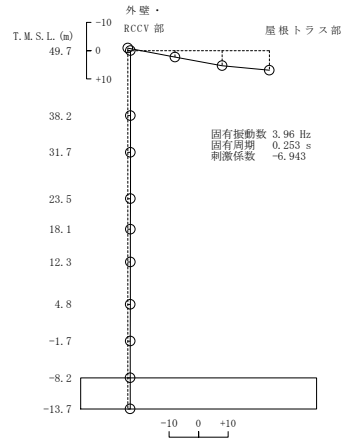
方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
鉛直	 <p>3.84 Hz</p>	 <p>3.90 Hz</p>	 <p>3.96 Hz</p> <p>固有振動数 3.96 Hz 固有周期 0.253 s 制振係数 -6.943</p>



表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (3/4)

(c) Sd-2 水平方向

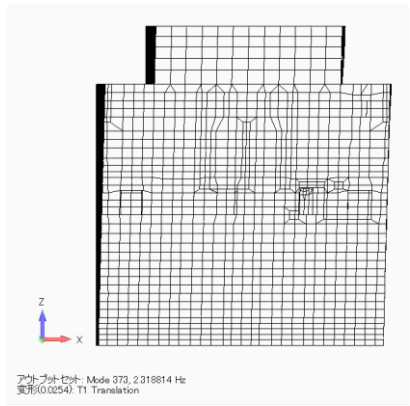
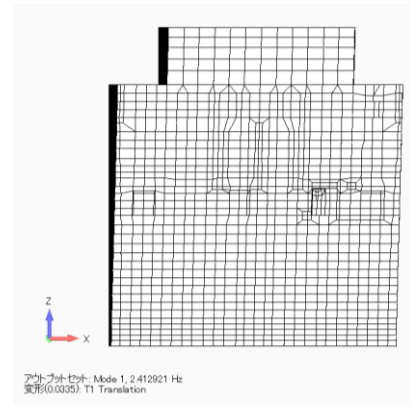
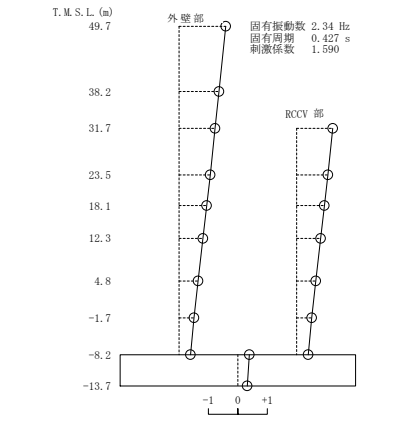
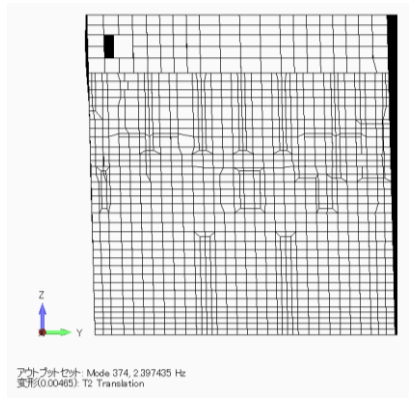
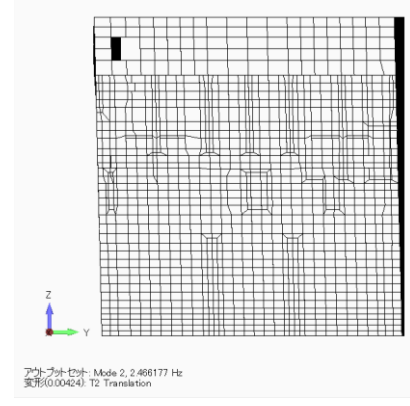
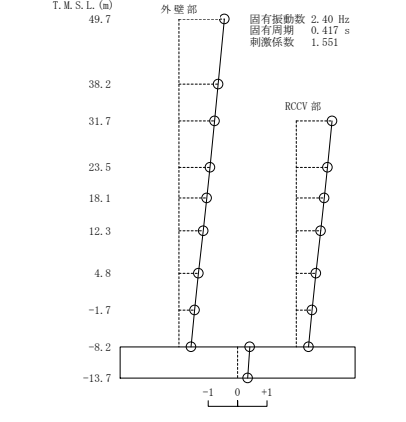
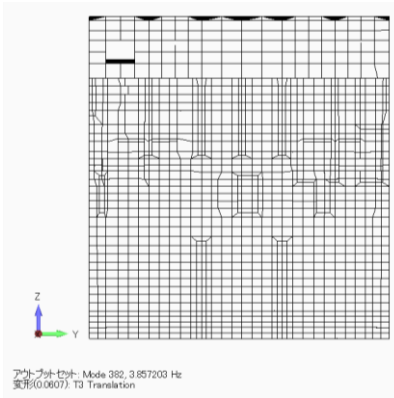
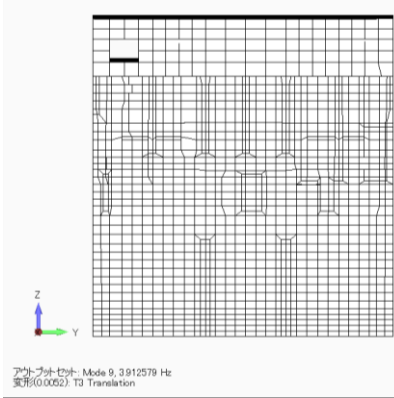
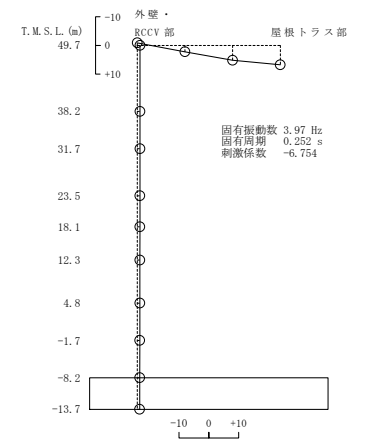
方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	 <p>アクトプロット: Mode 373, 2.318814 Hz 変形(0.0254): T1 Translation</p> <p>2.32 Hz</p>	 <p>アクトプロット: Mode 1, 2.412921 Hz 変形(0.0335): T1 Translation</p> <p>2.41 Hz</p>	 <p>T.M.S.L. (m) 49.7 38.2 31.7 23.5 18.1 12.3 4.8 -1.7 -8.2 -13.7</p> <p>外壁部 RCCV部</p> <p>固有振動数 2.34 Hz 固有周期 0.427 s 刺激係数 1.590</p> <p>2.34 Hz</p>
EW	 <p>アクトプロット: Mode 374, 2.397435 Hz 変形(0.00465): T2 Translation</p> <p>2.40 Hz</p>	 <p>アクトプロット: Mode 2, 2.468177 Hz 変形(0.00424): T2 Translation</p> <p>2.47 Hz</p>	 <p>T.M.S.L. (m) 49.7 38.2 31.7 23.5 18.1 12.3 4.8 -1.7 -8.2 -13.7</p> <p>外壁部 RCCV部</p> <p>固有振動数 2.40 Hz 固有周期 0.417 s 刺激係数 1.551</p> <p>2.40 Hz</p>

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (4/4)

(d) Sd-2 鉛直方向

方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
鉛直	 <p>3.86 Hz</p>	 <p>3.91 Hz</p>	 <p>3.97 Hz</p> <p>固有振動数 3.97 Hz 固有周期 0.252 s 制振係数 -6.754</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

2007年新潟県中越沖地震に対して、3次元FEMモデルを用いたシミュレーション解析を実施する。解析は、建屋模擬モデル（3次元FEM）に対して中越沖地震発生時の実状を考慮する。

シミュレーション解析における地震応答解析の概略図を図2-4に示す。

シミュレーション解析は、地震時に観測した基礎スラブ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周波数応答解析により行う。

基礎スラブ上における観測記録を地盤の伝達関数を用いて解放基盤に下ろし、基礎スラブ上の応答が観測記録と整合するまで一次元波動論による等価線形地震応答解析を繰り返し、シミュレーション解析用の収束地盤物性を作成する。作成した収束地盤物性に基づく建屋基礎底面レベル及び側面地盤ばねレベルの地盤応答を、地盤ばねを介して入力し、建屋の伝達関数を求める。

以上の手順で求めた基礎スラブ上からの建屋各部の伝達関数と原子炉建屋の基礎スラブ上での観測地震波を用いて建屋各部位の応答を算定する。

本検討においては、地震計を設置しているT.M.S.L. 23.5mの位置での応答解析結果と観測記録とを比較し、傾向を確認する。

観測記録を用いた検討では、表2-8～表2-12に示す使用材料の物性値及び地盤ばねの物性値を用いる。

解析に用いる地震の諸元を図2-5に、地震計位置を図2-6に示す。また、原子炉建屋の基礎上で得られた観測記録を図2-7に示す。

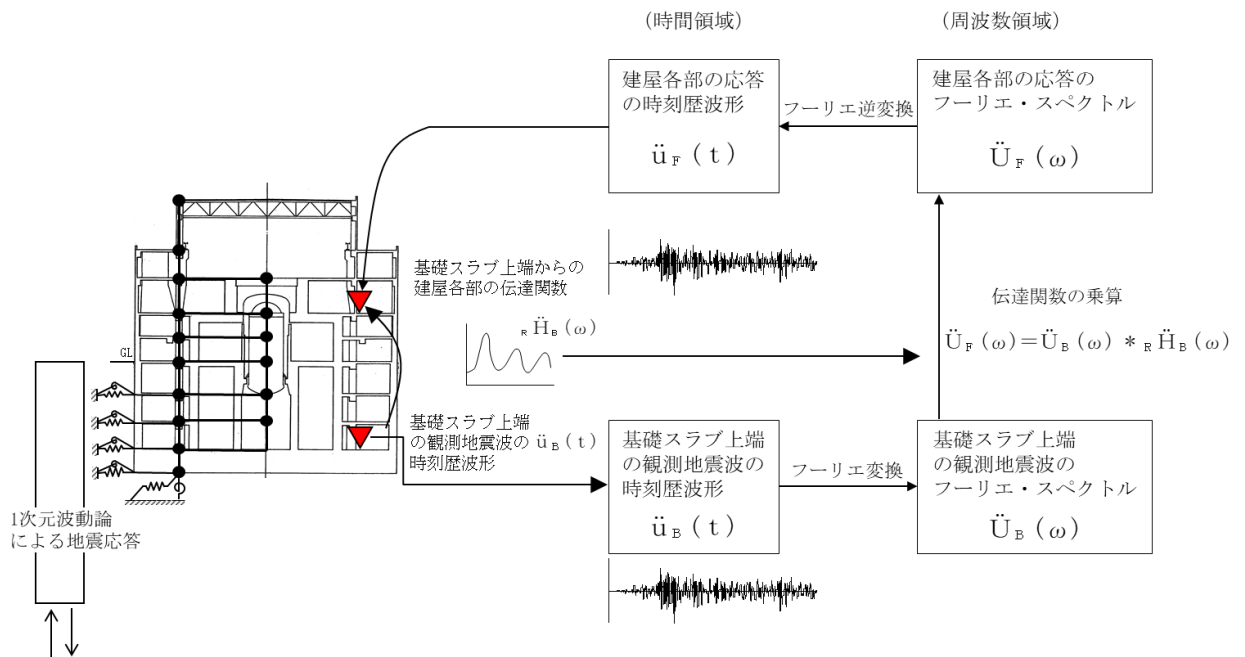


図 2-4 シミュレーション解析における地震応答解析の概略図

表 2-8 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ( $\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$ ) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	$2.88 \times 10^4$	$1.20 \times 10^4$	5
基礎スラブ	コンクリート* : $\sigma_c = 39.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ( $\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$ ) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	$2.79 \times 10^4$	$1.16 \times 10^4$	5
屋根トラス部	鉄骨 : SS41 (SS400相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨 : SM41A (SM400A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨 : SM50A (SM490A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2

注記\* : 実強度に基づくコンクリート強度。

表 2-9 地盤ばね定数と減衰係数（底面・並進）

NS 方向		EW 方向	
ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
$7.48 \times 10^7$	$2.85 \times 10^6$	$7.44 \times 10^7$	$2.83 \times 10^6$

表 2-10 地盤ばね定数と減衰係数

(a) 底面・回転

	回転方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
NS 方向加振時	$7.32 \times 10^{10}$	$6.12 \times 10^8$
EW 方向加振時	$7.88 \times 10^{10}$	$7.14 \times 10^8$

注：底面回転ばねについては，鉛直ばねに置換してモデル化する。

(b) 底面・鉛直

	鉛直方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
鉛直方向加振時	$1.24 \times 10^8$	$6.56 \times 10^6$

表 2-11 地盤ばね定数と減衰係数（側面・並進）

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
4.8	$1.29 \times 10^6$	$4.61 \times 10^5$	$1.29 \times 10^6$	$4.62 \times 10^5$
-1.7	$3.42 \times 10^6$	$1.22 \times 10^6$	$3.42 \times 10^6$	$1.23 \times 10^6$
-8.2	$8.70 \times 10^6$	$1.76 \times 10^6$	$8.70 \times 10^6$	$1.75 \times 10^6$
-13.7	$4.56 \times 10^6$	$8.66 \times 10^5$	$4.56 \times 10^6$	$8.65 \times 10^5$

表 2-12 地盤ばね定数と減衰係数（側面・回転）

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
4.8	$1.00 \times 10^9$	$1.14 \times 10^8$	$1.00 \times 10^9$	$1.15 \times 10^8$
-1.7	$2.65 \times 10^9$	$3.03 \times 10^8$	$2.65 \times 10^9$	$3.04 \times 10^8$
-8.2	$6.85 \times 10^9$	$4.05 \times 10^8$	$6.85 \times 10^9$	$4.07 \times 10^8$
-13.7	$3.57 \times 10^9$	$1.98 \times 10^8$	$3.57 \times 10^9$	$1.99 \times 10^8$

注：側面回転ばねについては，鉛直ばねに置換してモデル化する。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007年7月16日 10時13分頃*
マグニチュード	6.8*
震源深さ	17km*
震央距離	16km
震源距離	約23km

注記\*：気象庁発表

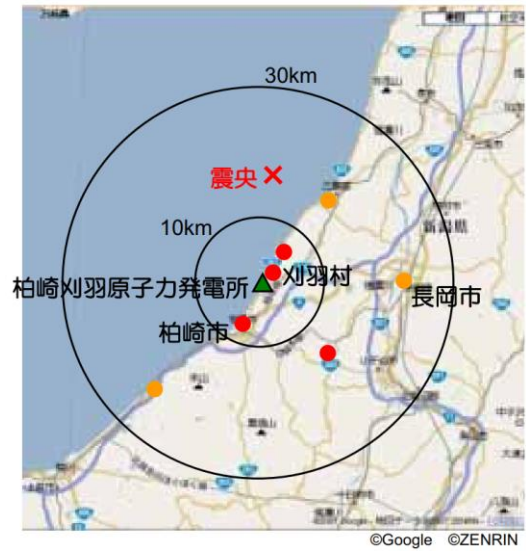


図 2-5 新潟県中越沖地震の震央位置

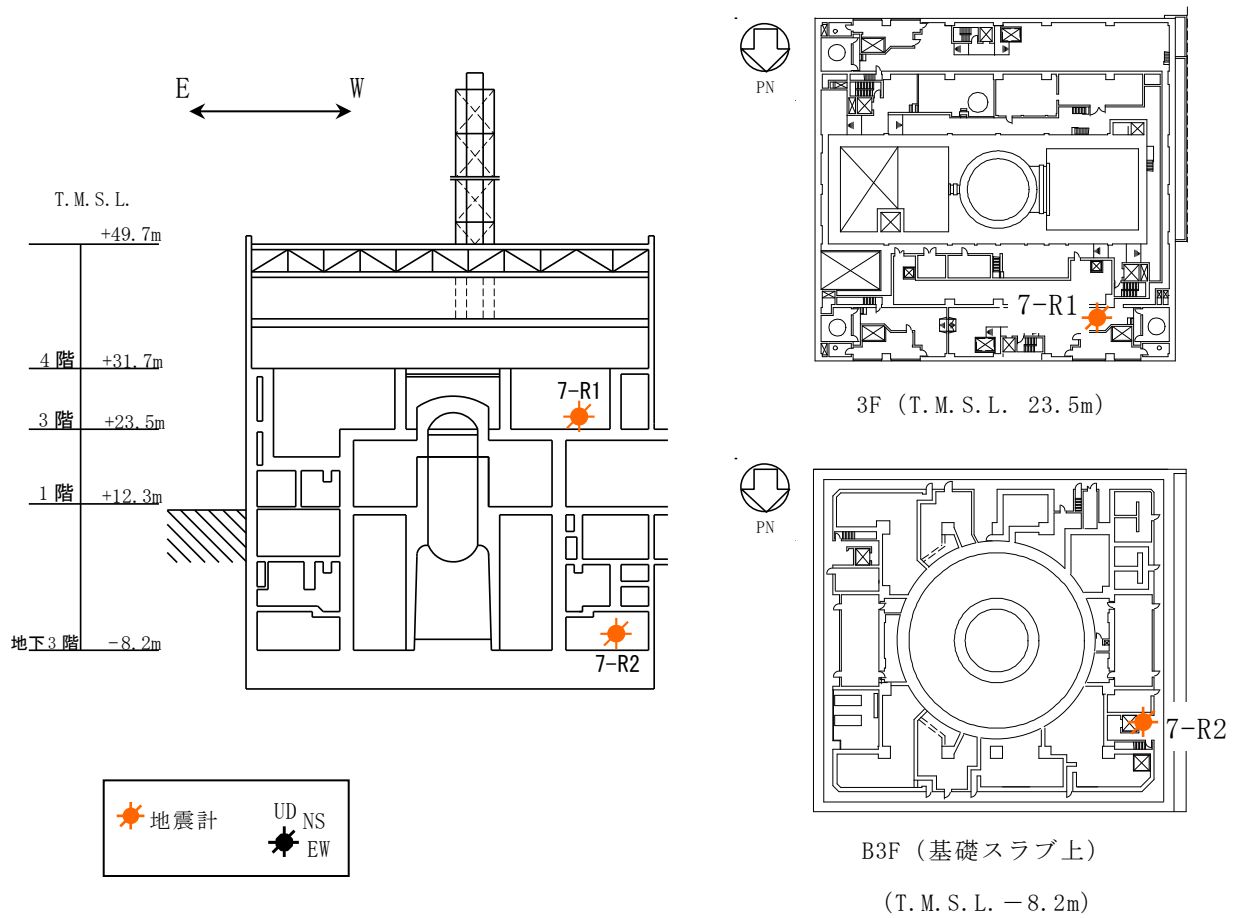


図 2-6 地震計位置

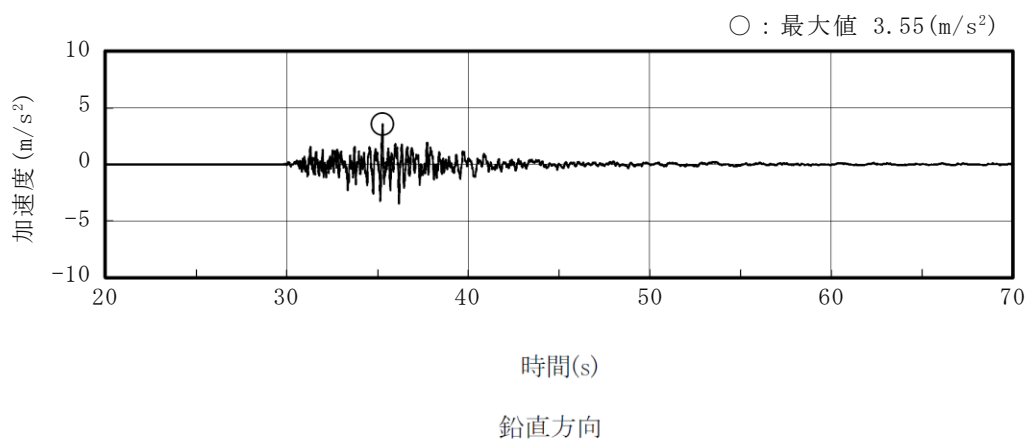
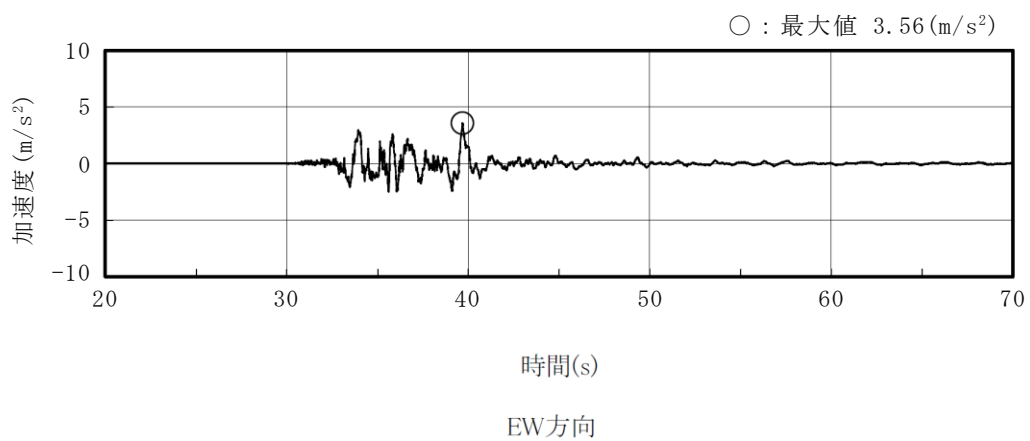
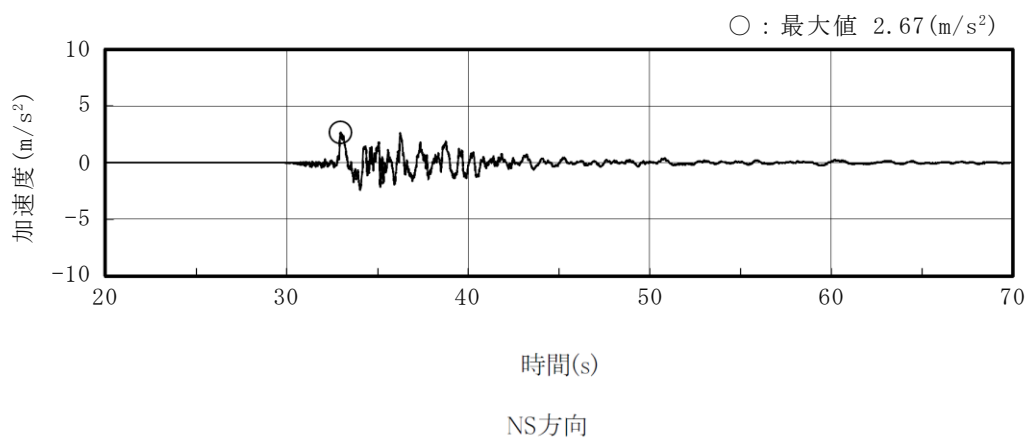


図 2-7 原子炉建屋の基礎 (T. M. S. L. - 8.2m) の観測記録  
(2007年新潟県中越沖地震)



### 2.3.2 観測記録による解析結果

2007年新潟県中越沖地震の観測記録を用いて3次元FEMモデルによる解析を実施する。

T.M.S.L. 23.5m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図2-8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。

### 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を比較すると、やや3次元FEMモデルの解析結果が観測記録よりも大きくなる傾向にあるが、観測記録のスペクトル形状とおおむね対応している。

### 2.3.4 結論

以上から、3次元FEM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、観測記録とおおむね対応しており、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、3次元FEMモデルを用いることとする。

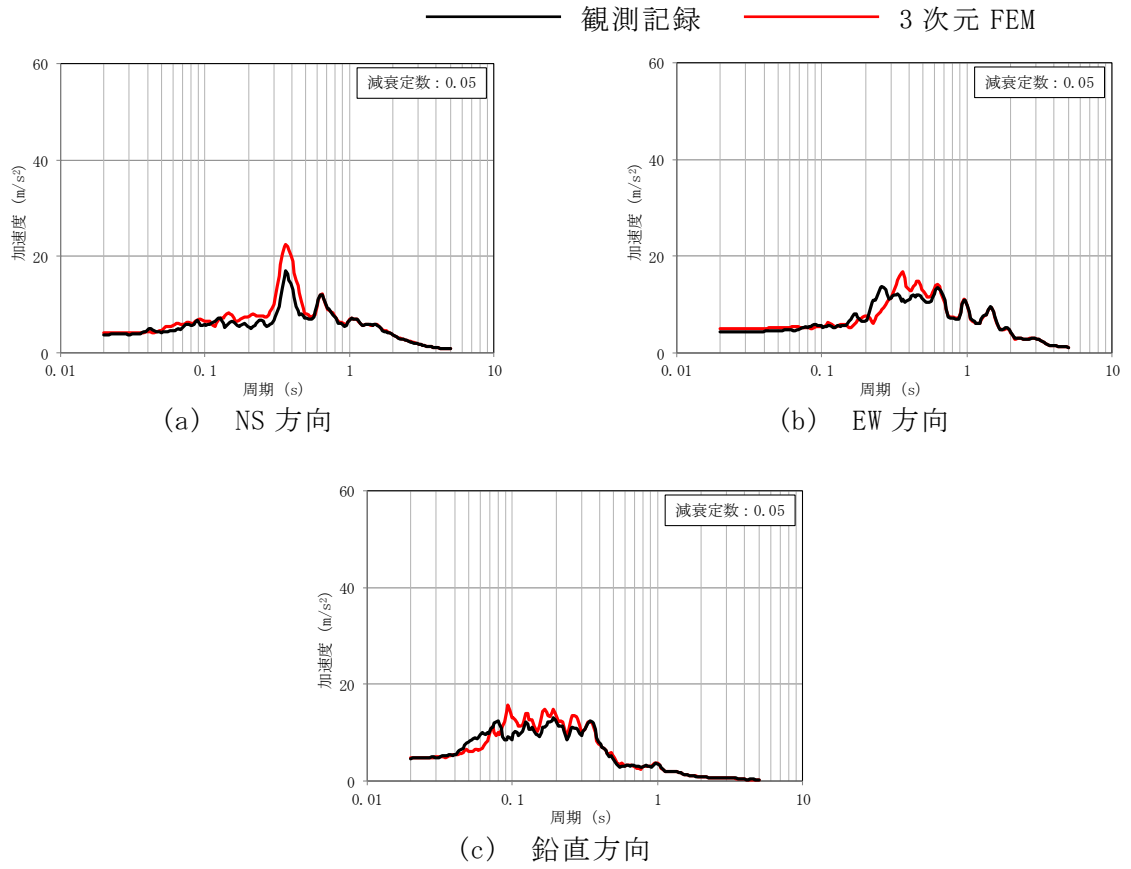


図 2-8 観測記録 (T.M.S.L. 23.5m 観測点:7-R1) と解析結果の比較

### 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、それらが建屋耐震性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）及び質点系対応モデル（床剛、相互作用考慮）の 2 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、地震動は弾性設計用地震動 S d とし、全周期帯の応答が大きく、建屋への影響も大きい Sd-1 及び断層モデルを用いた手法による地震動として NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の方向性を持つ Sd-2 を用いる。（V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」参照）

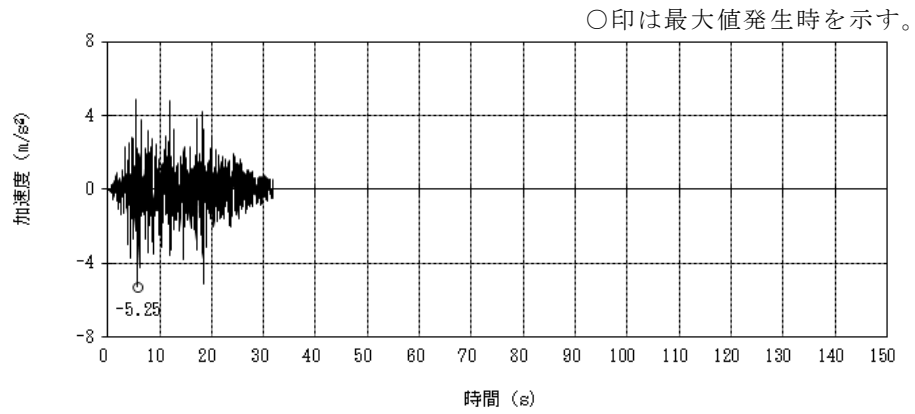
弾性設計用地震動 S d に対する建屋基礎底面及び側面地盤ばねレベルでの地盤の応答を、地盤ばねを介して入力し、3 次元応答性状の把握を行う。

入力地震動 Sd-1 及び Sd-2 を図 3-1 に示す。

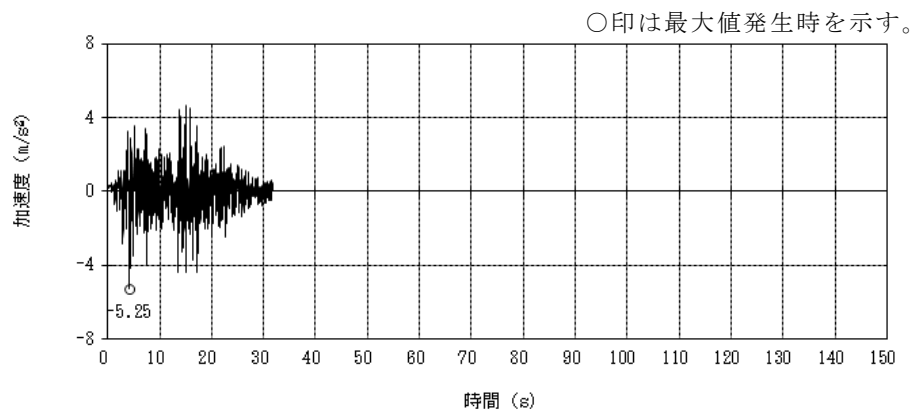
3 次元 FEM モデルによる地震応答解析は、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

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。

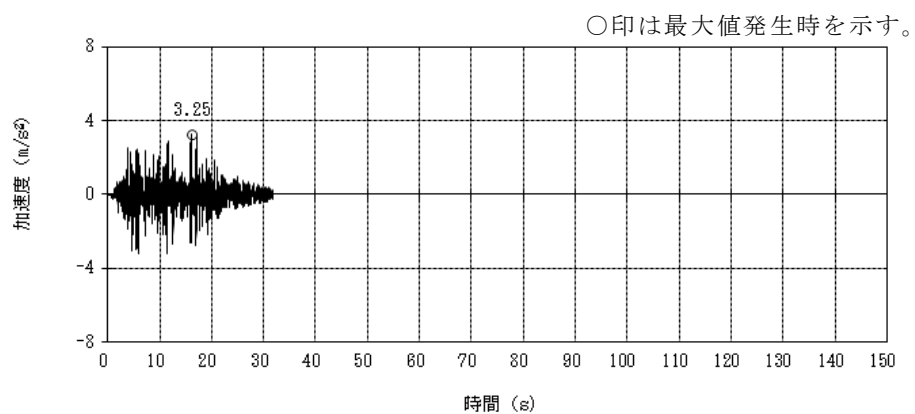
3 次元 FEM モデルの応答評価位置について、地震計設置階である B3F、3F（T.M.S.L. -8.2m, T.M.S.L. 23.5m）に加え、1F（T.M.S.L. 12.3m）及び 4F（燃料取替床、T.M.S.L. 31.7m）に対応する床において、対称性及び建屋形状を考慮し、RCCV 部は円筒壁近傍の 7 点、外壁部は 12 点を抽出した。



(1) NS 方向 (Sd-1H)



(2) EW 方向 (Sd-1p\*)

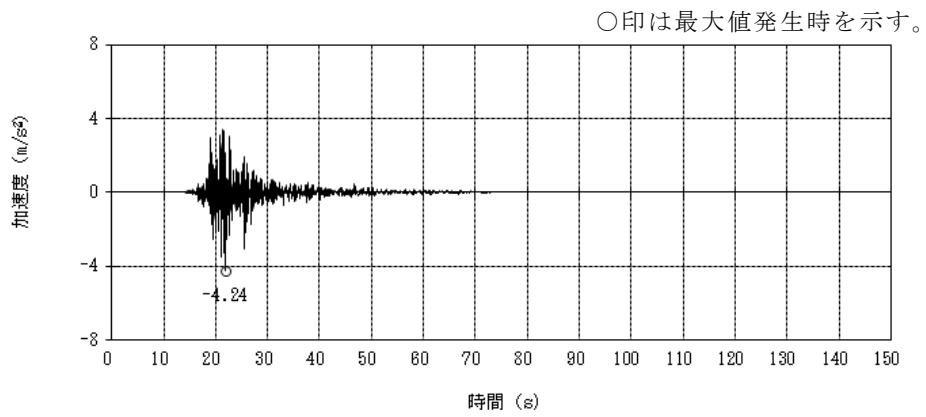


(3) 鉛直方向 (Sd-1V)

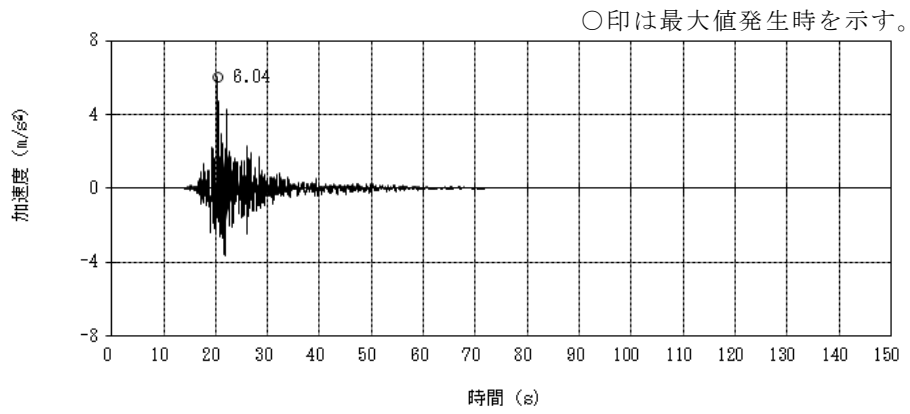
(a) 加速度波形 (Sd-1)

注記\*：弾性設計用地震動 Sd-1 の設計用応答スペクトルに適合するが、Sd-1 とは位相特性が異なる地震波。

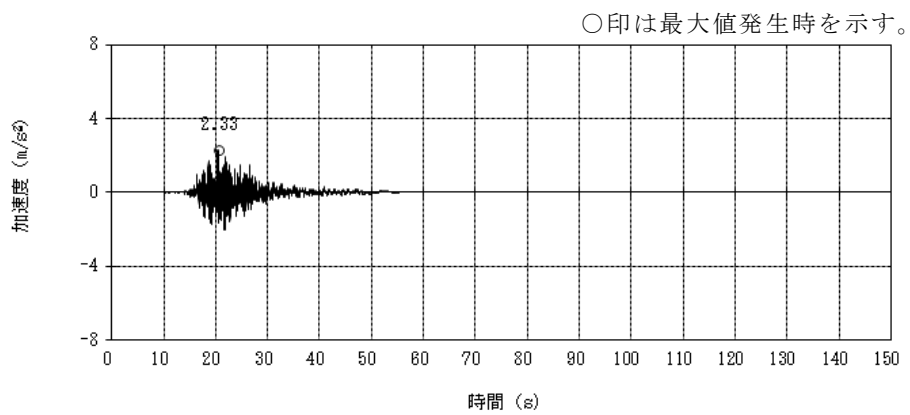
図 3-1 入力地震動 (1/3)



(1) NS 方向 (Sd-2NS)



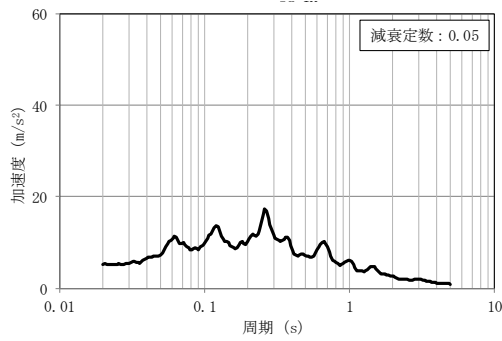
(2) EW 方向 (Sd-2EW)



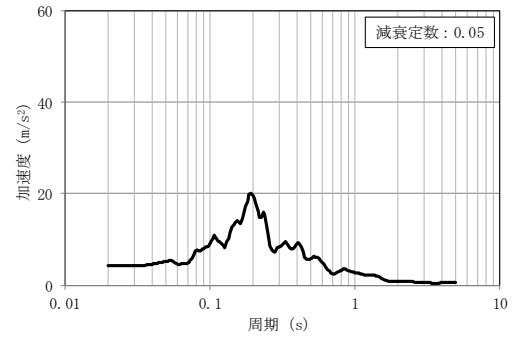
(3) 鉛直方向 (Sd-2UD)

(b) 加速度波形 (Sd-2)

図 3-1 入力地震動 (2/3)

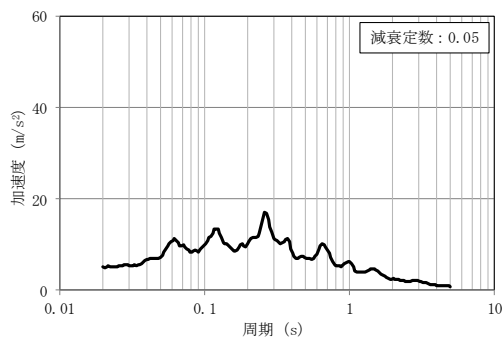


Sd-1H

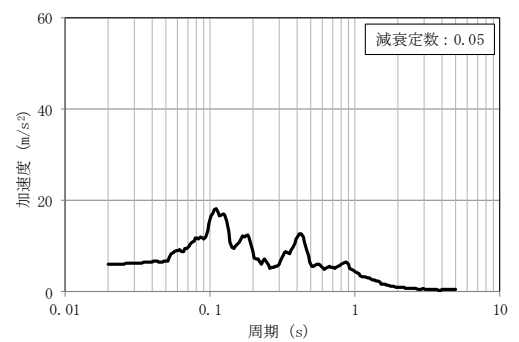


Sd-2NS

(1) NS 方向

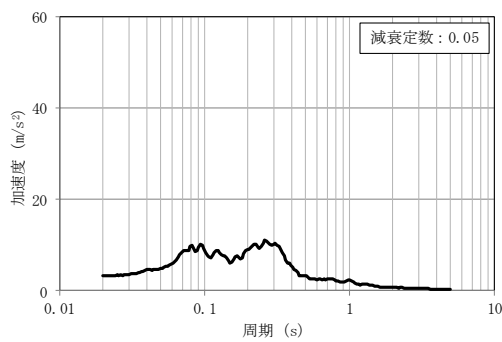


Sd-1p\*

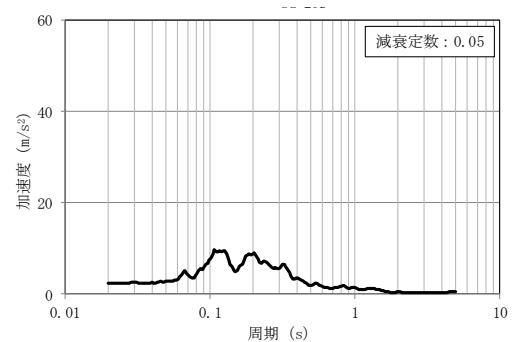


Sd-2EW

(2) EW 方向



Sd-1V



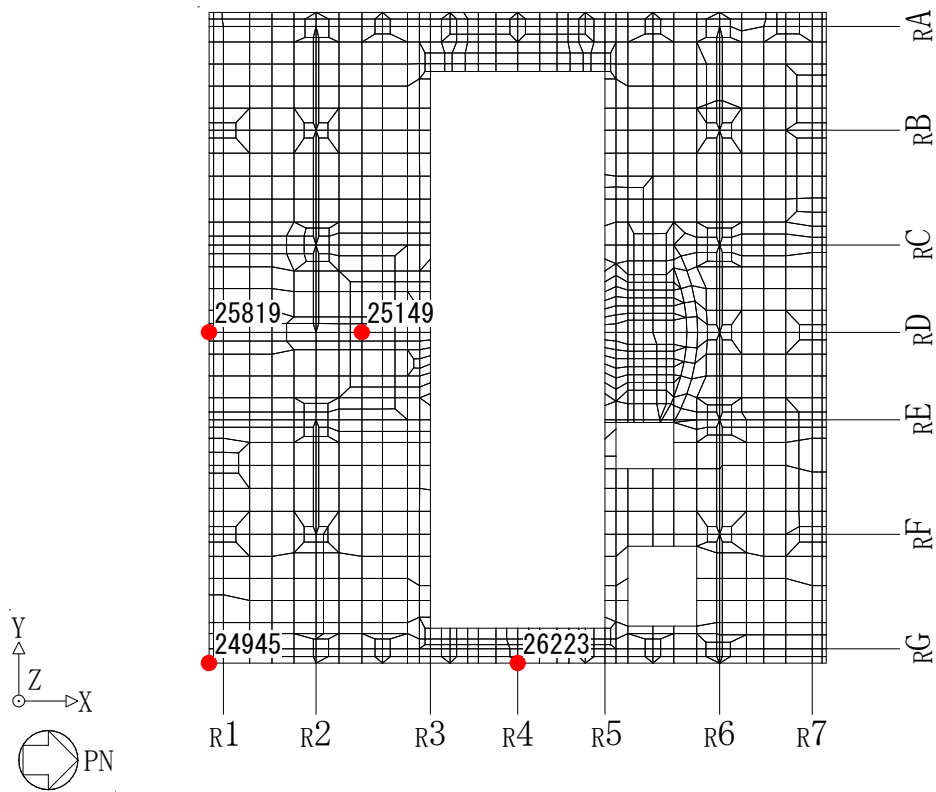
Sd-2UD

(3) 鉛直方向

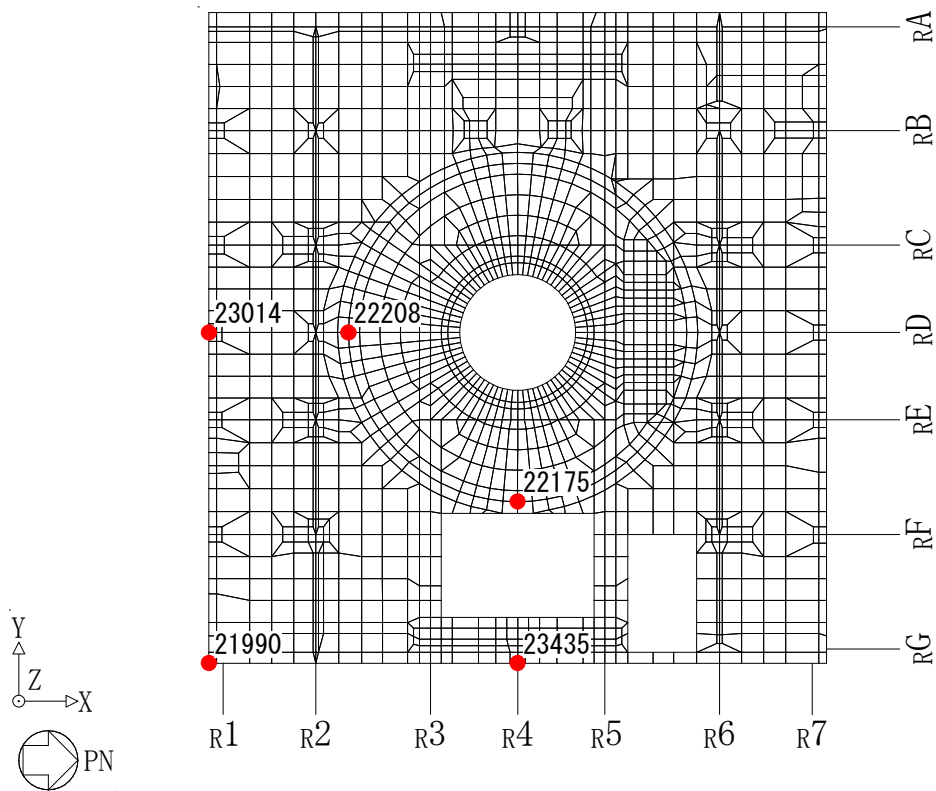
(c) 加速度応答スペクトル

注記\*：弾性設計用地震動 Sd-1 の設計用応答スペクトルに適合するが、Sd-1 とは位相特性が異なる地震波。

図 3-1 入力地震動 (3/3)

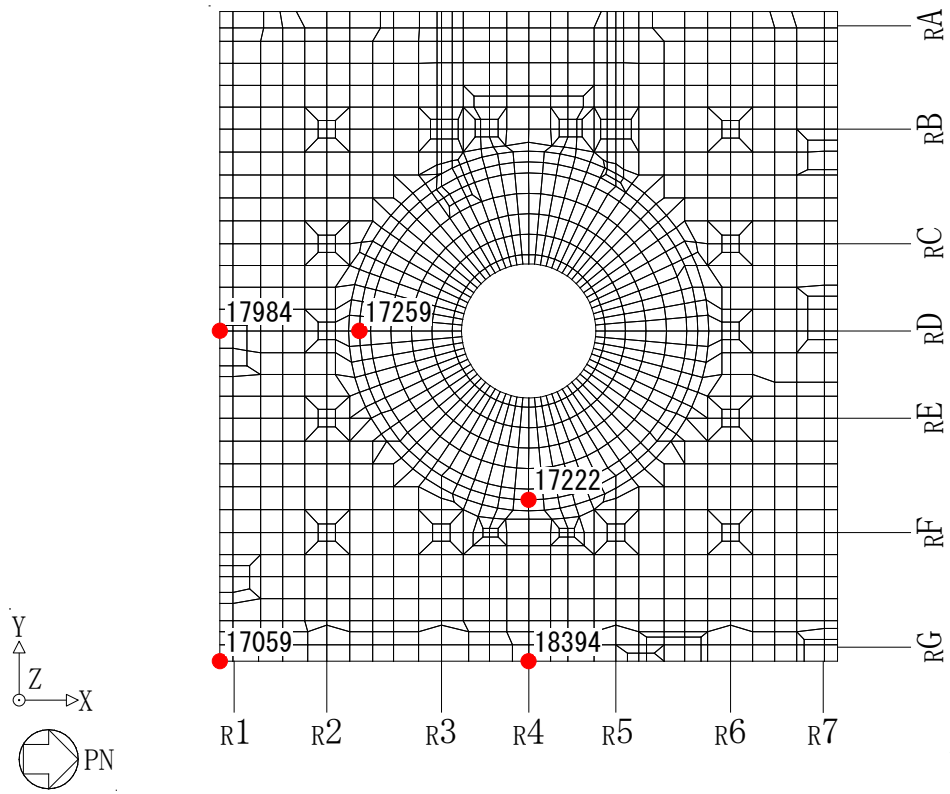


(a) 4F (T.M.S.L. 31.7m)

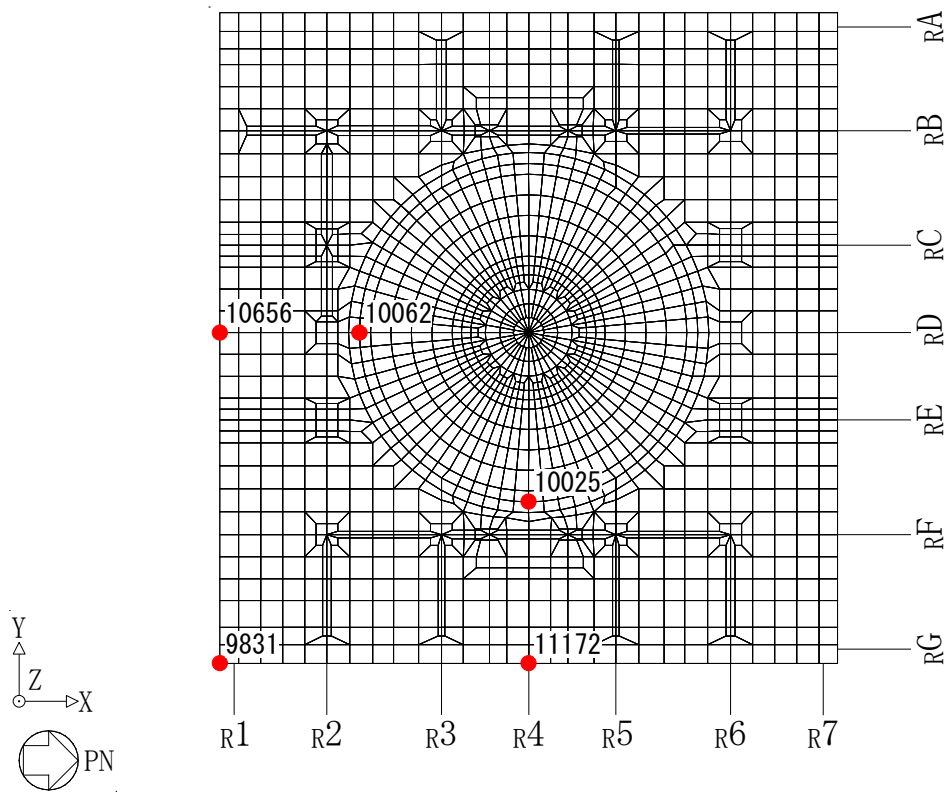


(b) 3F (T.M.S.L. 23.5m)

図 3-2 応答評価位置 (1/2)



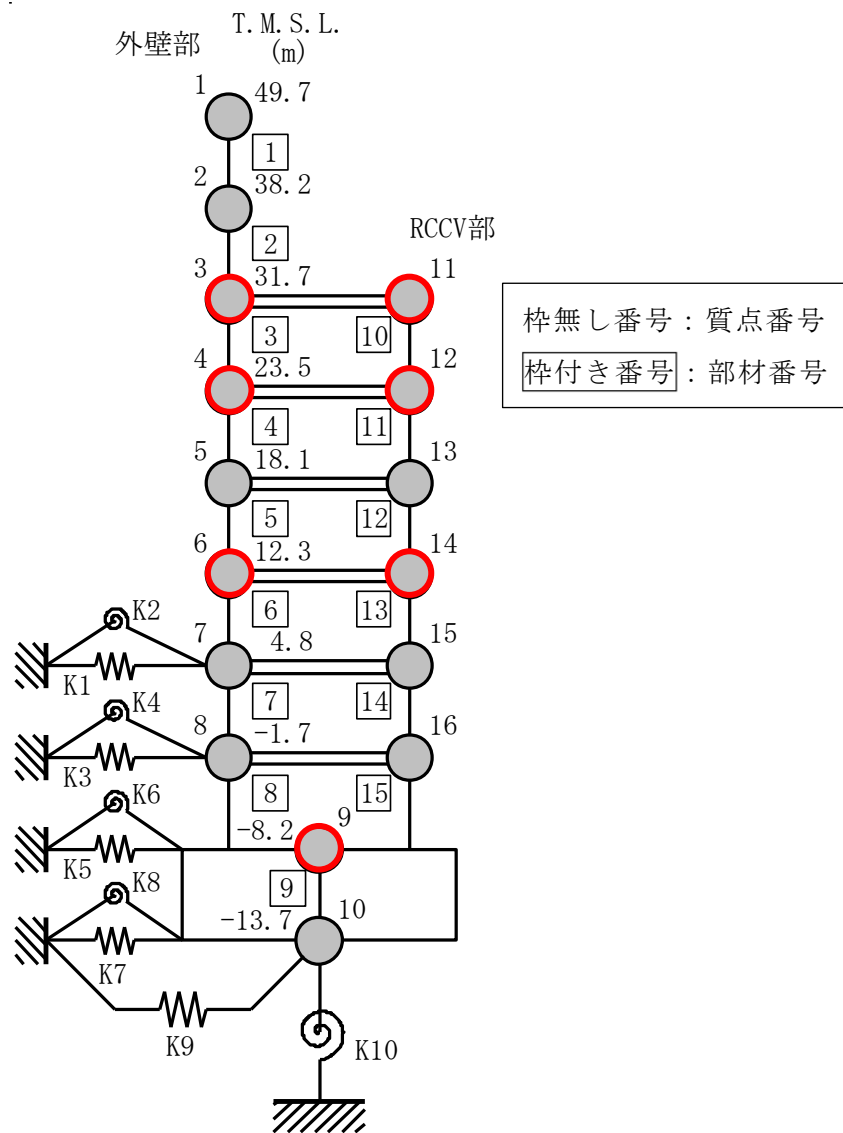
(c) 1F (T.M.S.L. 12.3m)



(d) B3F (T.M.S.L. -8.2m)

図 3-2 応答評価位置 (2/2)





注：○は応答評価レベル（対応質点）を示す。

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）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の2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4点の応答特性について，3次元FEMモデルを用いた分析・考察を行う。

- ・ 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－質点系対応モデル間で比較。
- ・ 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。
- ・ 床柔性の影響：建屋模擬モデル－質点系対応モデル間で比較。
- ・ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響：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。

#### 3.2.1 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，建屋模擬モデル（3次元FEM，床柔，相互作用考慮）及び質点系対応モデル（3次元FEM，床剛，相互作用考慮）の水平方向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。

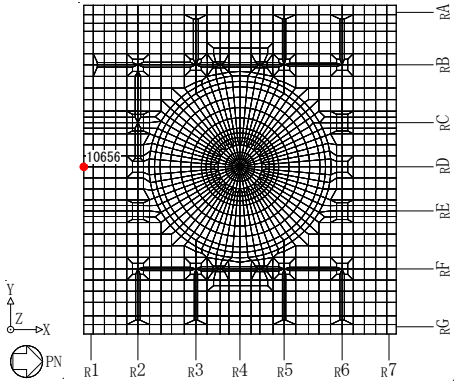
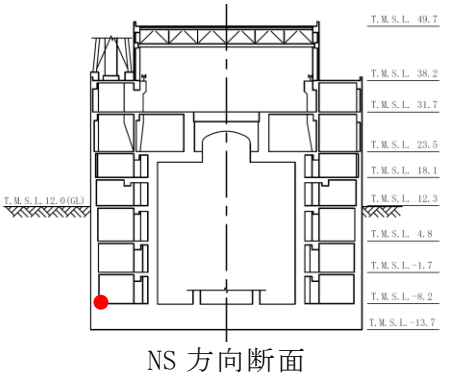
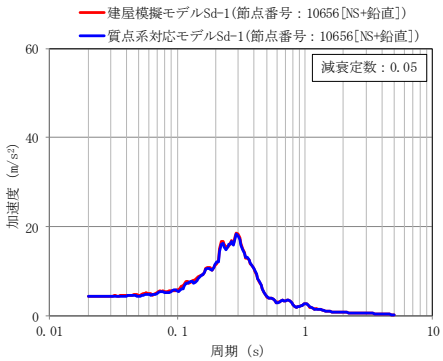
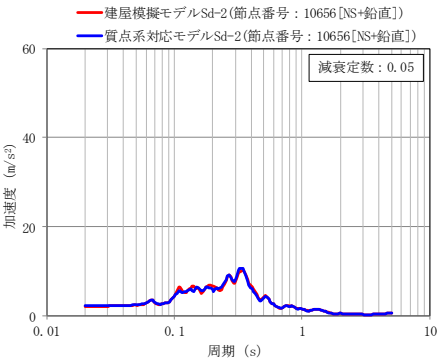
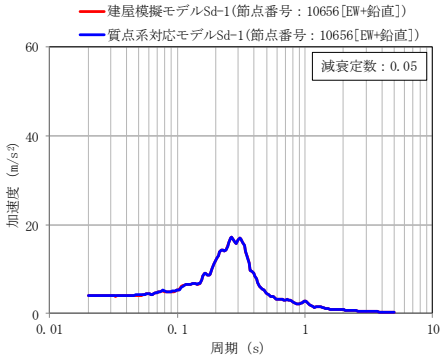
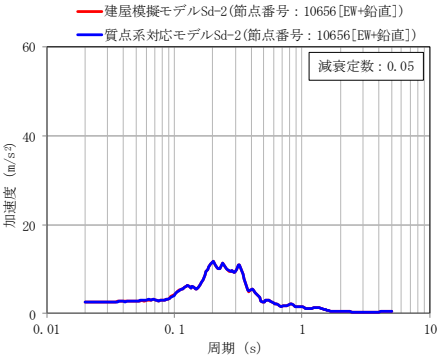
基礎のロッキング振動を確認するための応答の評価点は，ロッキング振動の影響が出やすいと考えられる建屋端部の評価点No. 10656及びNo. 11172（T. M. S. L. - 8.2m）を抽出した。

評価点No. 10656は，NS方向加振によりロッキング振動の影響が現れ，EW方向加振時はロッキングの振動の影響がない部位である。また，評価点No. 11172は，EW方向加振によりロッキング振動の影響が現れ，NS方向加振時はロッキングの振動の影響がない部位である。このため，NS方向加振時及びEW方向加振時を比較することにより基礎のロッキング振動の影響について検討する。

検討結果を表3-1に示す。

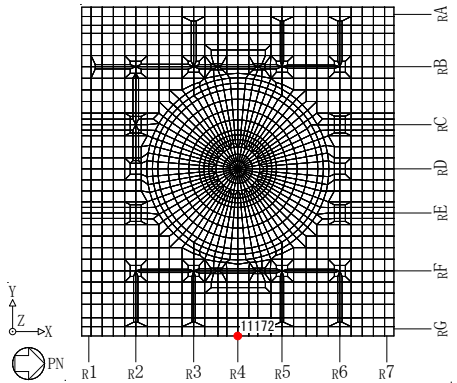
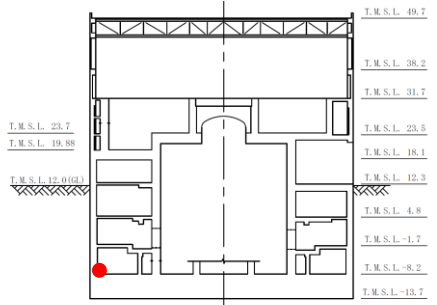
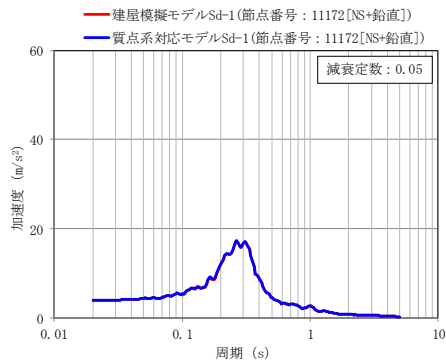
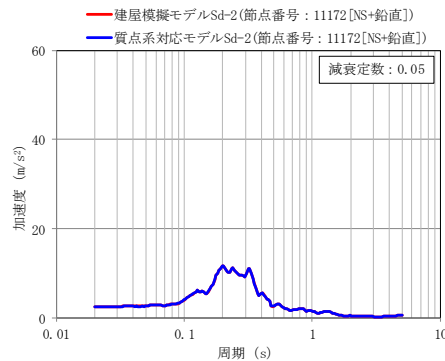
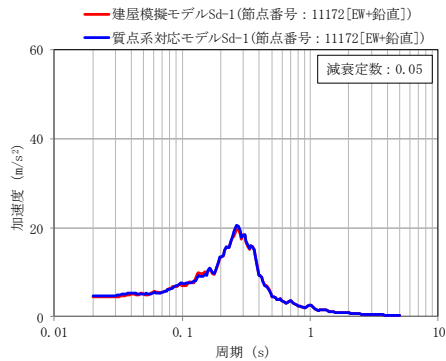
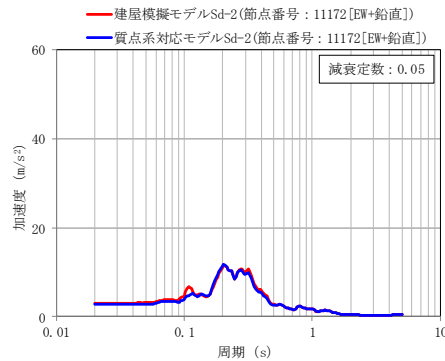
表3-1より，すべての評価点において，NS方向加振時及びEW方向加振時の応答にほとんど差は見られない。したがって，ロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。また基礎柔性を考慮した建屋模擬モデル及び基礎を剛床とした質点系対応モデルの応答の差は小さく，基礎柔性によるロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。

表 3-1 建屋模擬モデル及び質点系対応モデルの鉛直方向応答 (1/2)

<p>T. M. S. L. - 8.2m</p> <p>評価点 No. 10656</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>地震動</p>	<p>Sd-1</p>	<p>Sd-2</p>
<p>NS + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		
<p>EW + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		

注：建屋模擬モデル及び質点系対応モデルは 3 次元 FEM モデルである。

表 3-1 建屋模擬モデル及び質点系対応モデルの鉛直方向応答 (2/2)

<p>T. M. S. L. - 8.2m</p> <p>評価点 No. 11172</p>		 <p>EW 方向断面</p>
<p>地震動</p>	<p>Sd-1</p>	<p>Sd-2</p>
<p>NS + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		
<p>EW + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		

注：建屋模擬モデル及び質点系対応モデルは 3 次元 FEM モデルである。

### 3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響

鉛直軸回りのねじれ振動の影響は、建屋模擬モデル（3次元 FEM, 床柔, 相互作用考慮）の地震応答解析により確認する。

原子炉建屋は、整形な平面形状であるため、ねじれ振動の影響は受けにくいと考えられるが、その中でも隅部がねじれ振動の影響が出やすいと考えられるため、応答評価点は、No. 21990 (T.M.S.L. 23.5m) 及び No. 24945 (T.M.S.L. 31.7m) を抽出し、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、選定したすべての評価点において、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 方向の入力を考慮する場合、ねじれ振動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振動の影響は「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」において確認する。

表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (1/4)

(a) T. M. S. L. 23.5m Sd-1

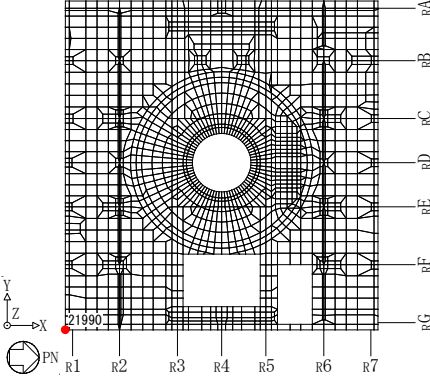
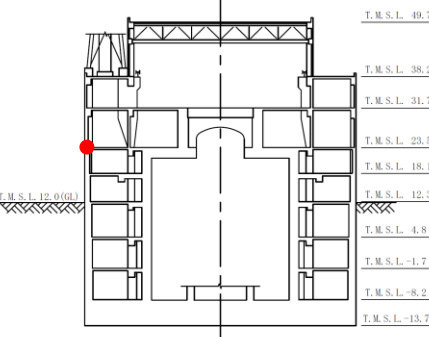
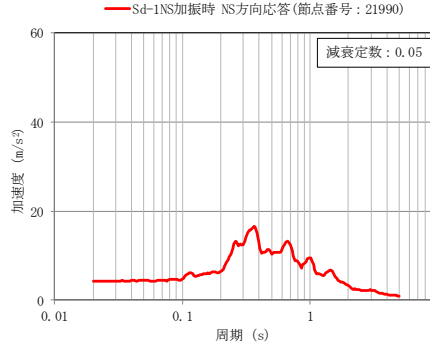
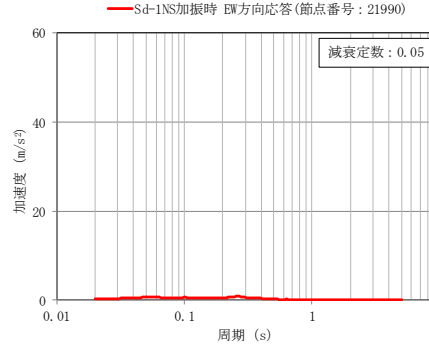
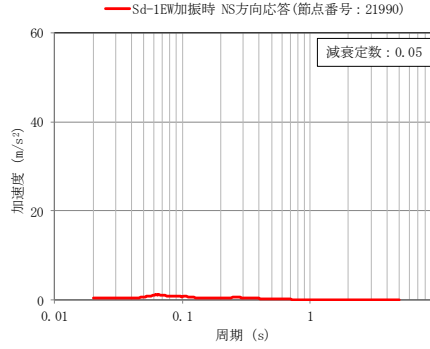
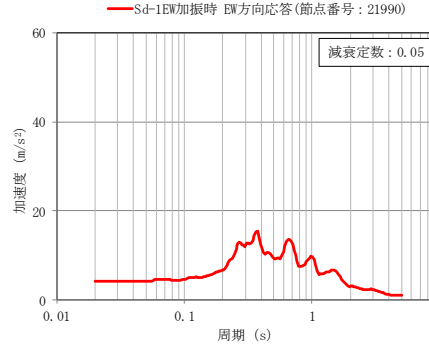
<p>T. M. S. L. 23.5m</p> <p>評価点 No. 21990</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-1 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-1 EW 方向 加振時</p>		

表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (2/4)

(b) T. M. S. L. 23.5m Sd-2

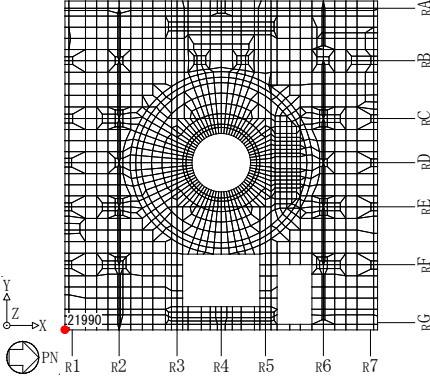
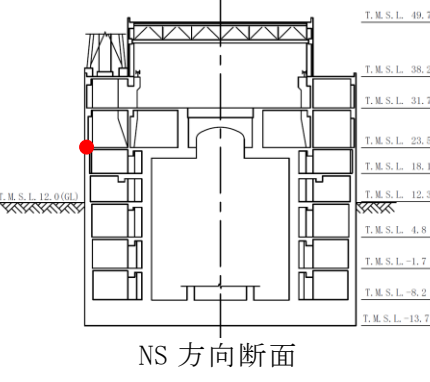
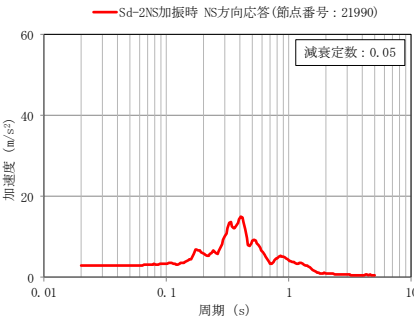
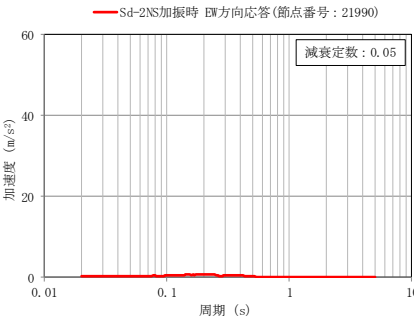
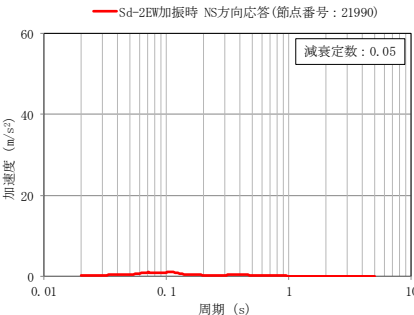
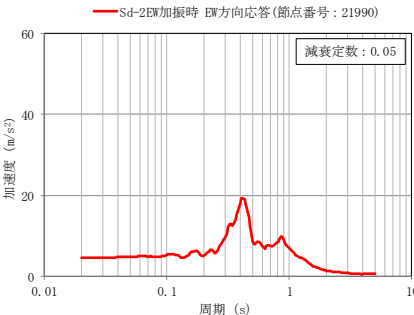
<p>T. M. S. L. 23.5m</p> <p>評価点 No. 21990</p>		
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-2 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-2 EW 方向 加振時</p>		

表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (3/4)

(c) T. M. S. L. 31.7m Sd-1

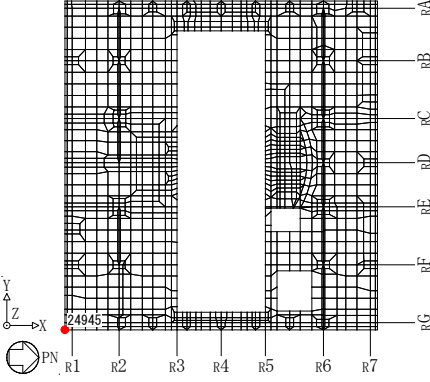
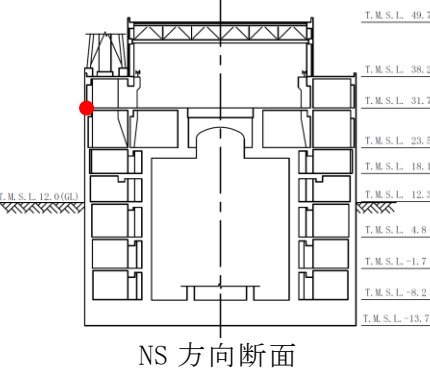
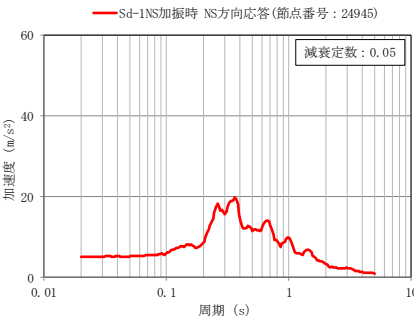
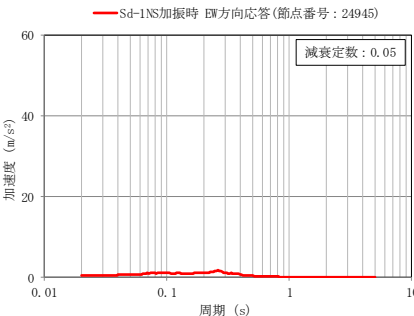
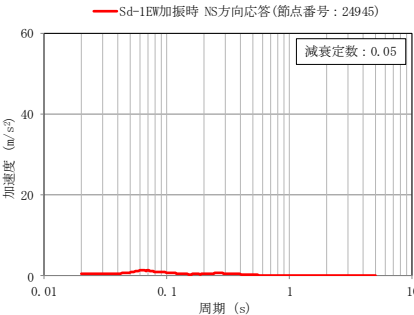
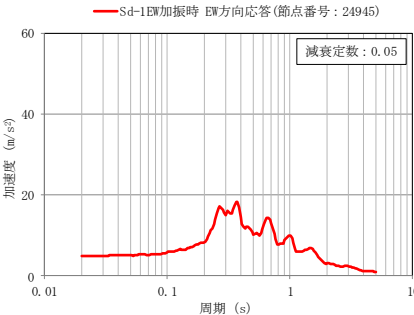
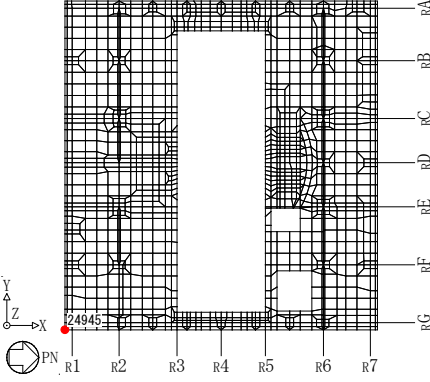
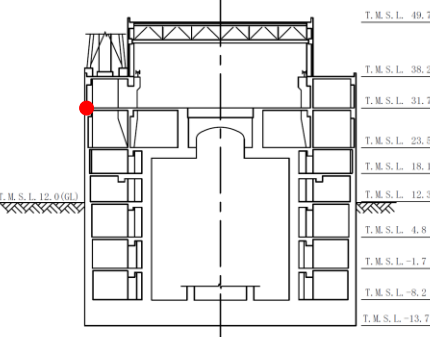
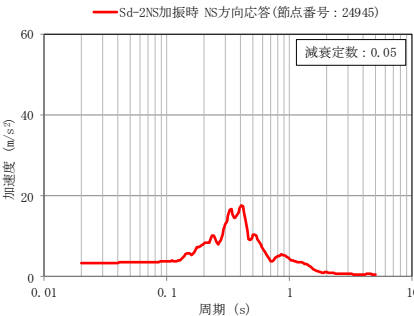
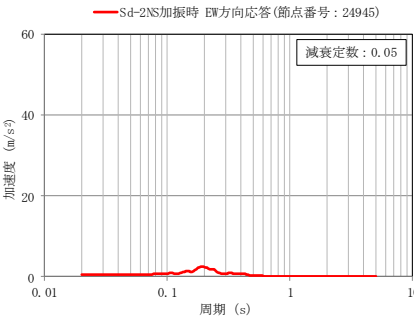
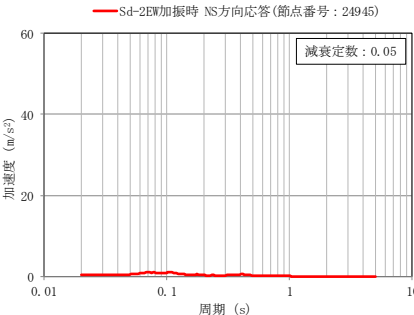
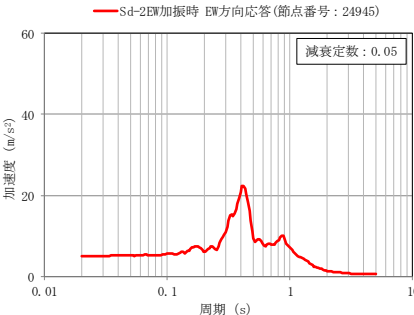
<p>T. M. S. L. 31.7m</p> <p>評価点 No. 24945</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-1 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-1 EW 方向 加振時</p>		



表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (4/4)

(d) T. M. S. L. 31.7m Sd-2

<p>T. M. S. L. 31.7m</p> <p>評価点 No. 24945</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-2 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-2 EW 方向 加振時</p>		

### 3.2.3 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（3次元 FEM，床柔，相互作用考慮）と床を剛とした質点系対応モデル（3次元 FEM，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、地上部－地下部の境界における外壁部及び RCCV 部相当位置として 1 階（T.M.S.L. 12.3m）の評価点 No.17059，No.17984 及び No.18394 並びに No.17222 及び No.17259 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、応答の差は小さく、床柔性の影響はほとんどないことを確認した。

なお、NS 方向加振時 NS 応答での周期 0.2s 付近における建屋模擬モデル及び質点系対応モデルによる応答の差については、別紙 3-2「3次元 FEM モデルによる応答結果の整理」に示す。

表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (1/4)

(a) Sd-1 外壁部

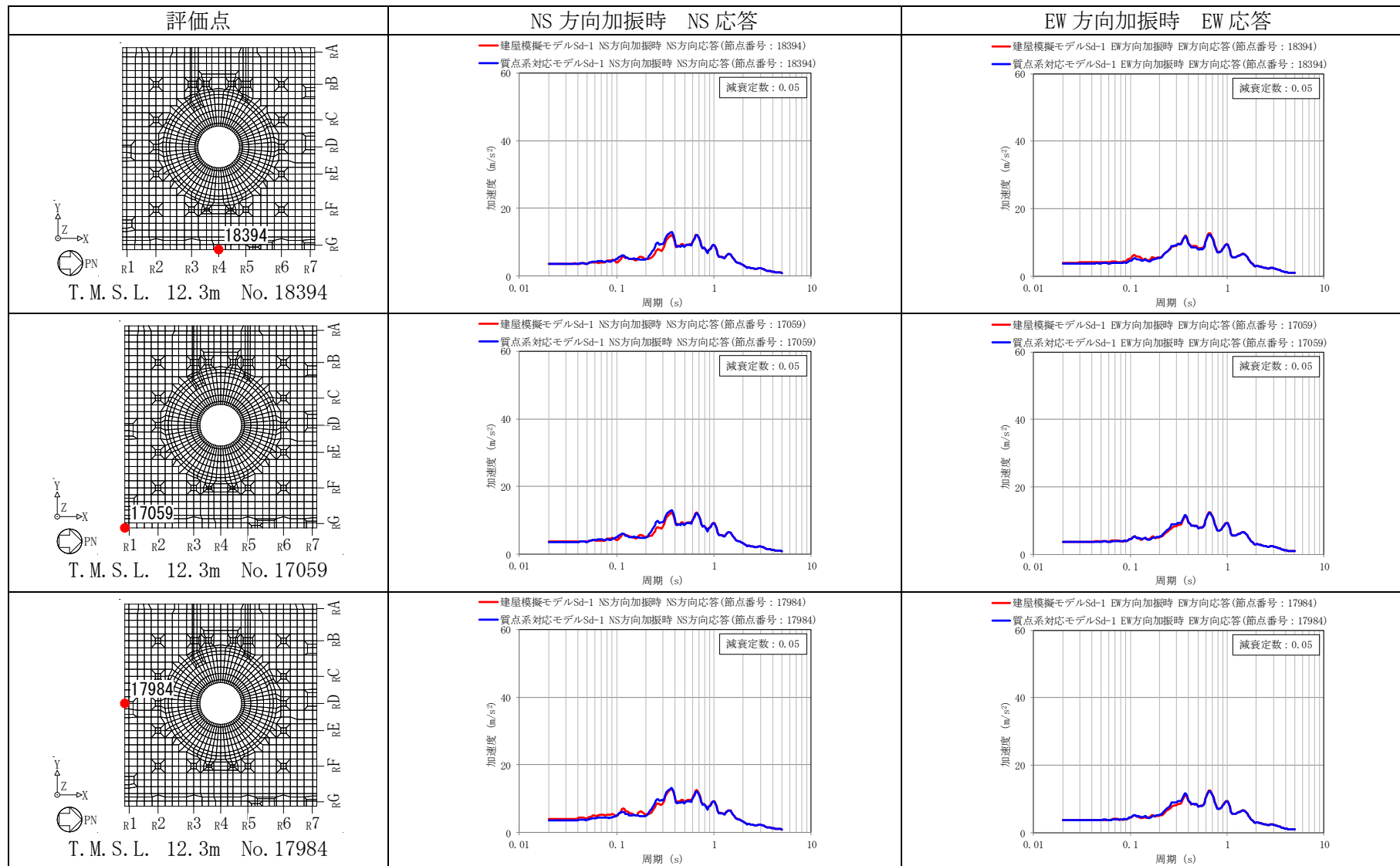


表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (2/4)

(b) Sd-1 RCCV 部

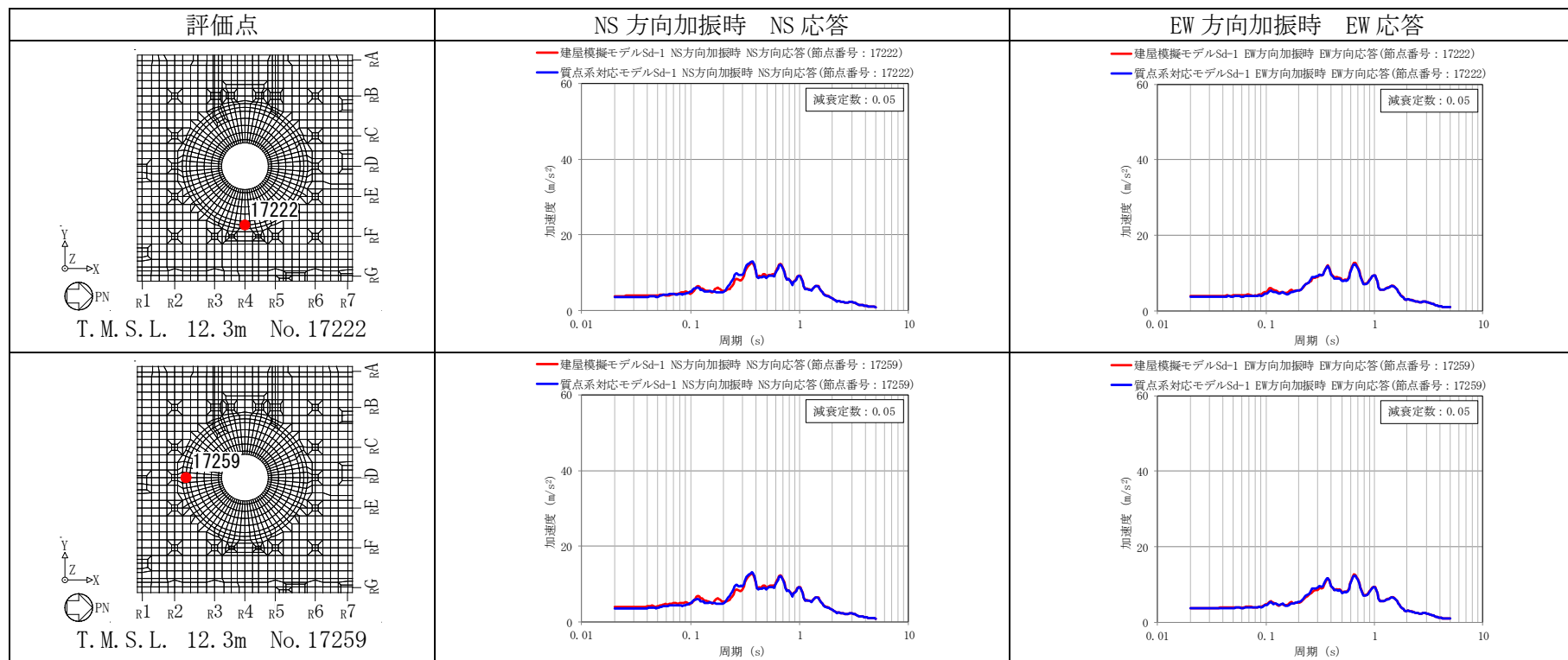


表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (3/4)

(c) Sd-2 外壁部

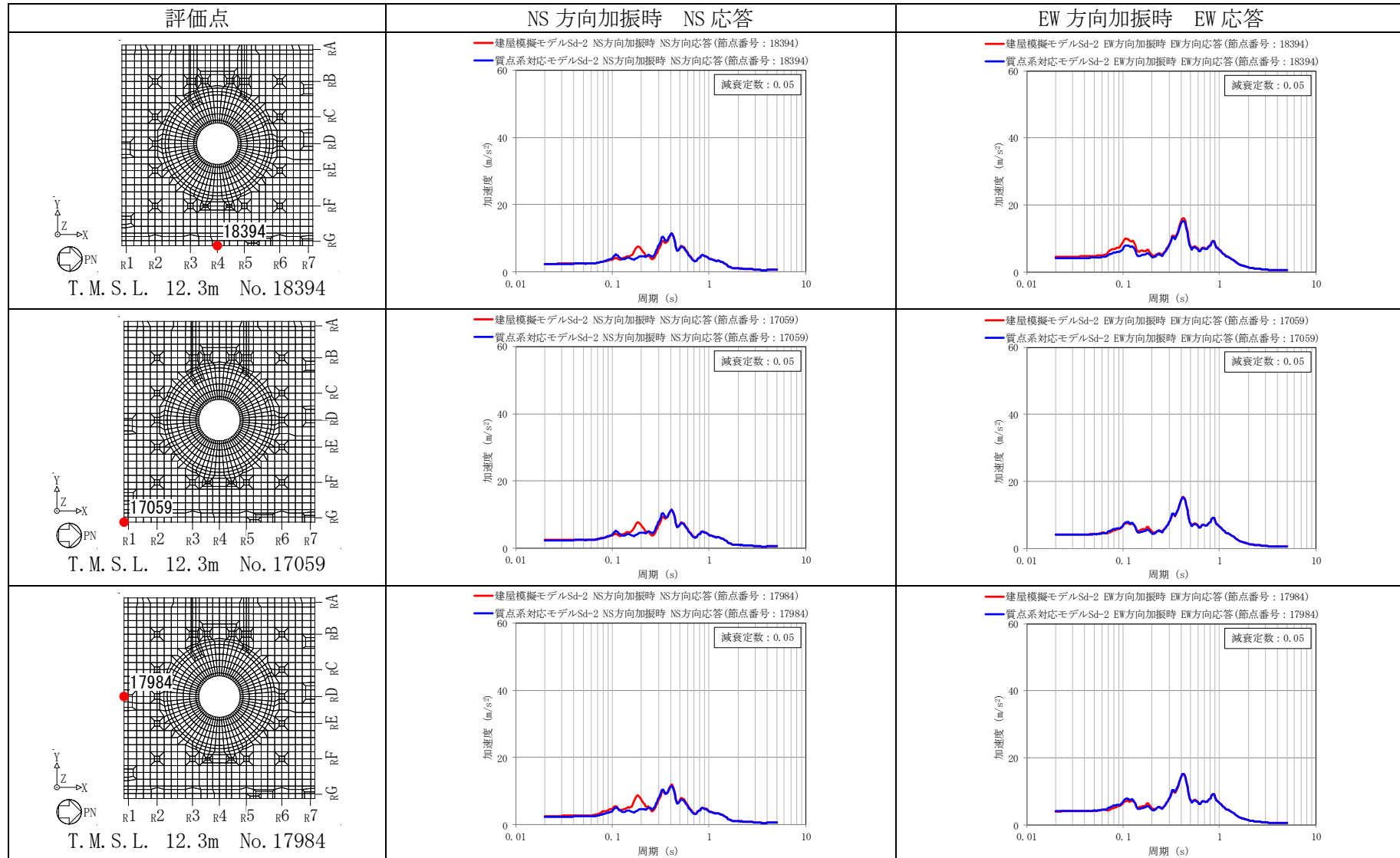
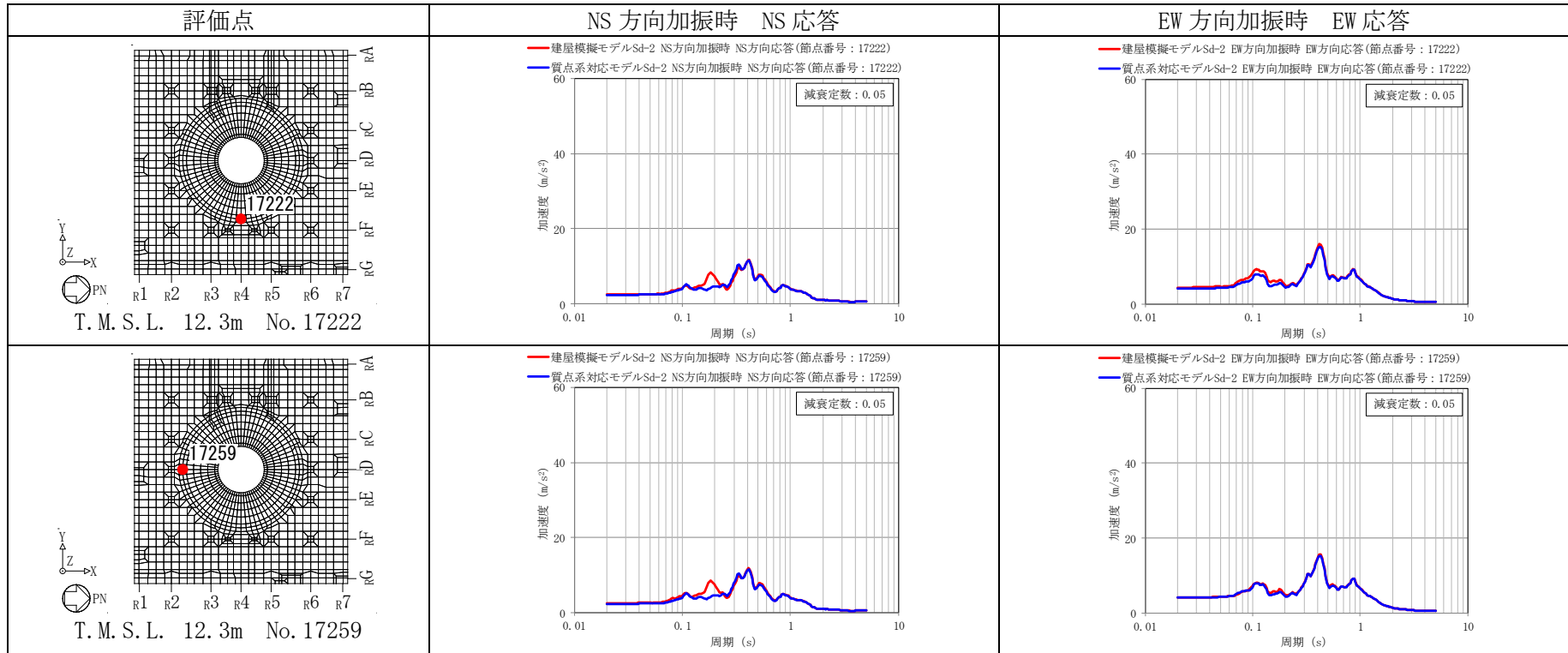


表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (4/4)

(d) Sd-2 RCCV 部



### 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

#### (1) 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（3次元 FEM）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合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み合わ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  $S_{d-1}$  及び  $S_{d-2}$  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  $S_{d-1}$  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  $S_{d-1}$  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  $S_{d-1}$  の設計用応答スペクトルに適合するが、 $S_{d-1}$  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  $S_{d-1}$  の鉛直方向成分を入力する。

したがって、 $S_{d-1}$  に対する本検討においては、NS 方向に対しては弾性設計用地震動  $S_{d-1}$  の水平成分 ( $S_{d-1H}$ ) を、EW 方向に対しては模擬地震波  $S_{d-1p}$  (弾性設計用地震動  $S_{d-1}$  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) をそれぞれ同時入力する。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動  $S_{d-1}$  の鉛直方向成分 ( $S_{d-1V}$ ) を水平 2 方向と同時に入力する。

3 方向同時入力による各方向の応答は、水平 2 方向及び鉛直方向の地震動を入力して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

(a) Sd-1

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	Sd-1H	—	—
	EW 方向	—	Sd-1p*	—
3 方向同時入力		Sd-1H	Sd-1p*	Sd-1V

注記\*：弾性設計用地震動 Sd-1 の設計用応答スペクトルに適合するが，Sd-1 とは位相特性が異なる地震波。

(b) Sd-2

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	Sd-2NS	—	—
	EW 方向	—	Sd-2EW	—
3 方向同時入力		Sd-2NS	Sd-2EW	Sd-2UD

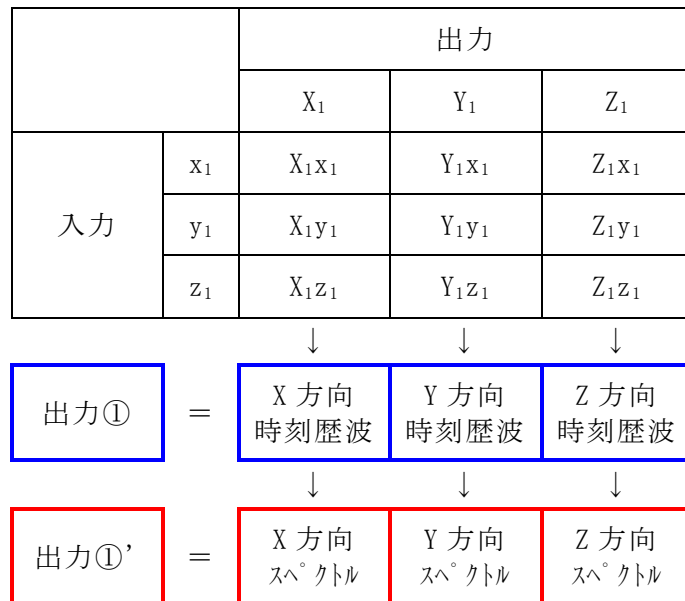


図 3-4 3次 FEM モデルによる応答算出の考え方



(2) 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。

応答は図 3-2 に示す評価点について比較するものとし、比較した結果を表 3-5 及び表 3-6 に示す。

表 3-5 及び表 3-6 より、いずれの地震動、いずれの評価点においても、1 方向入力時及び 3 方向同時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。

「3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響」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る。

表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (Sd-1) (1/8)

(a) T. M. S. L. -8.2m 外壁部

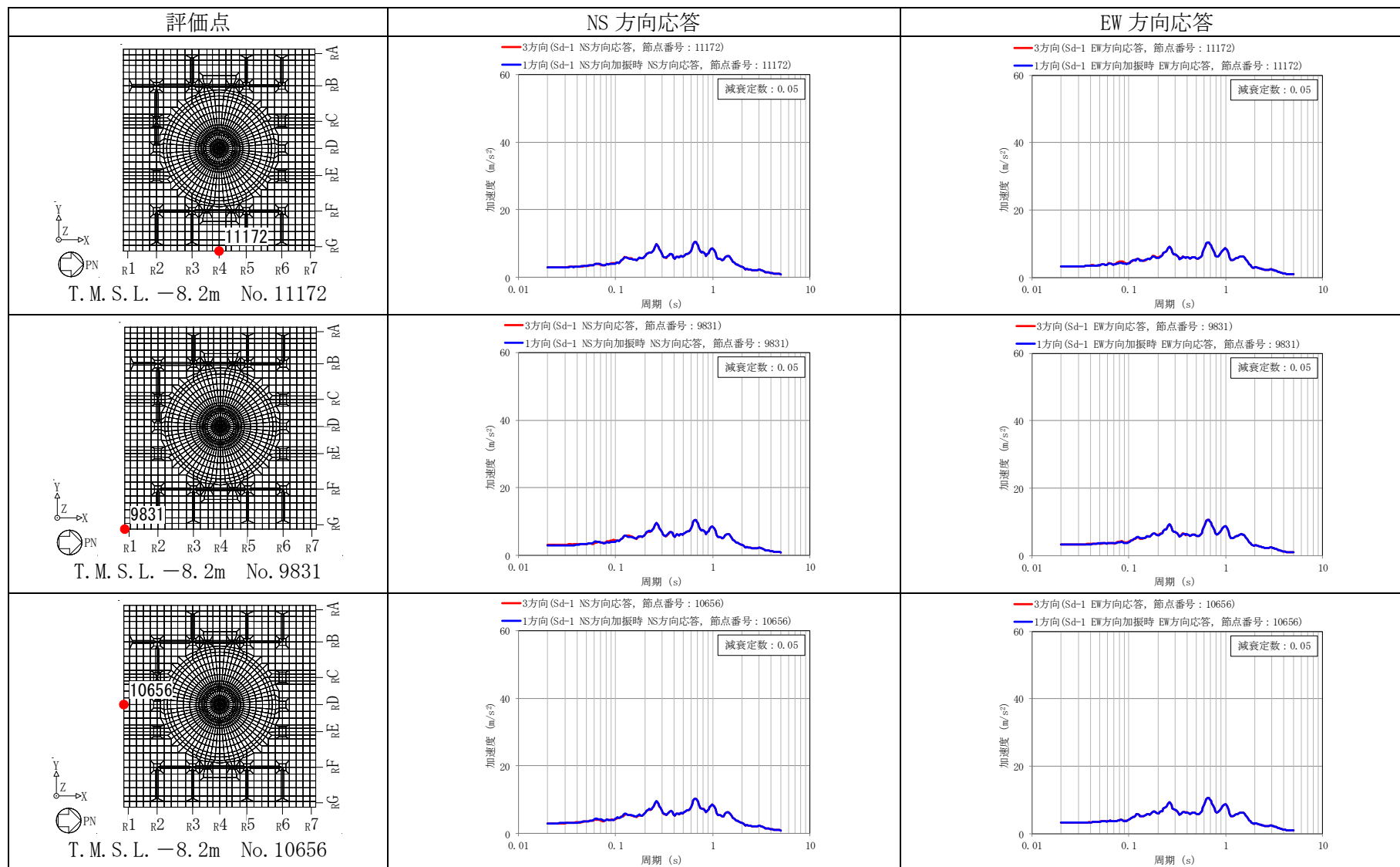


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-1) (2/8)

(b) T. M. S. L. -8.2m RCCV 部

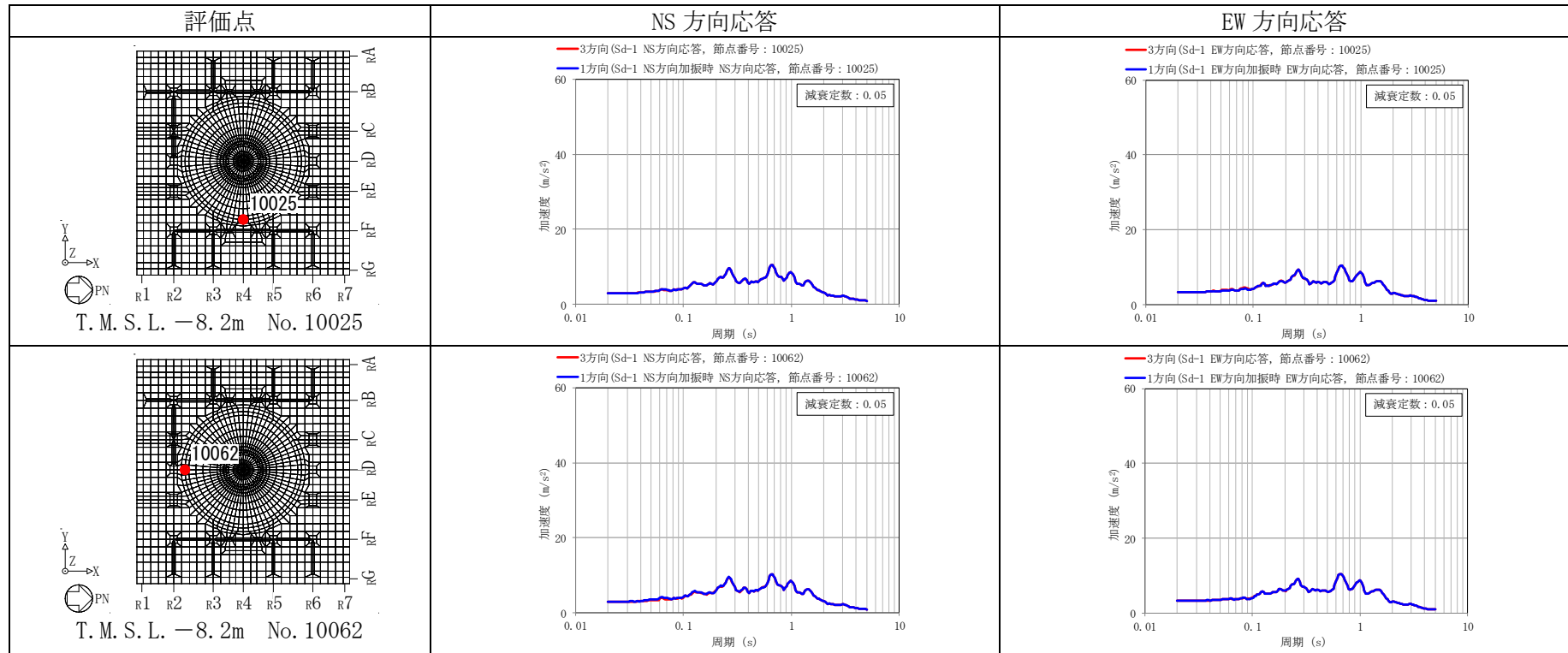


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-1) (3/8)

(c) T. M. S. L. 12.3m 外壁部

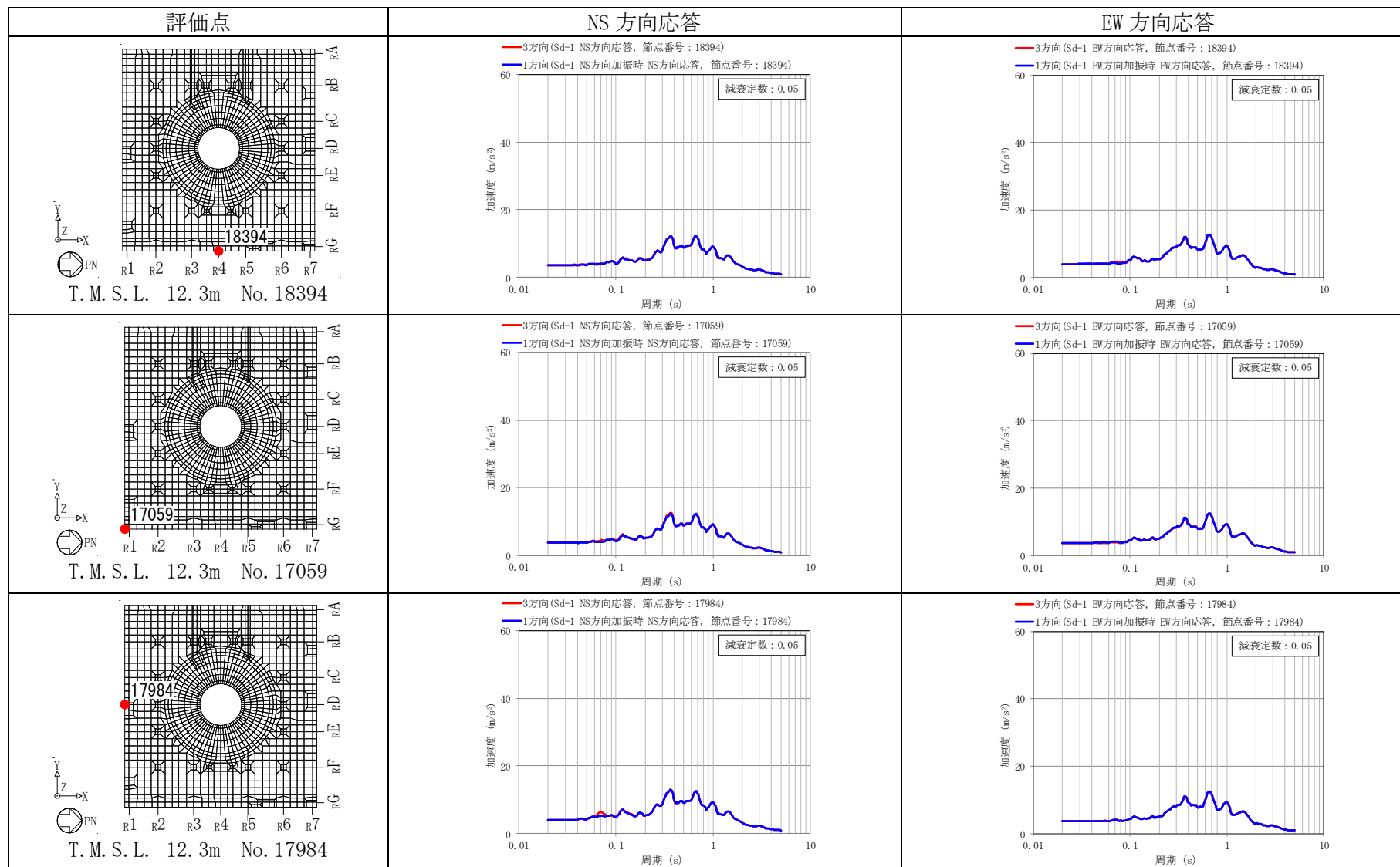


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-1) (4/8)

(d) T. M. S. L. 12.3m RCCV 部

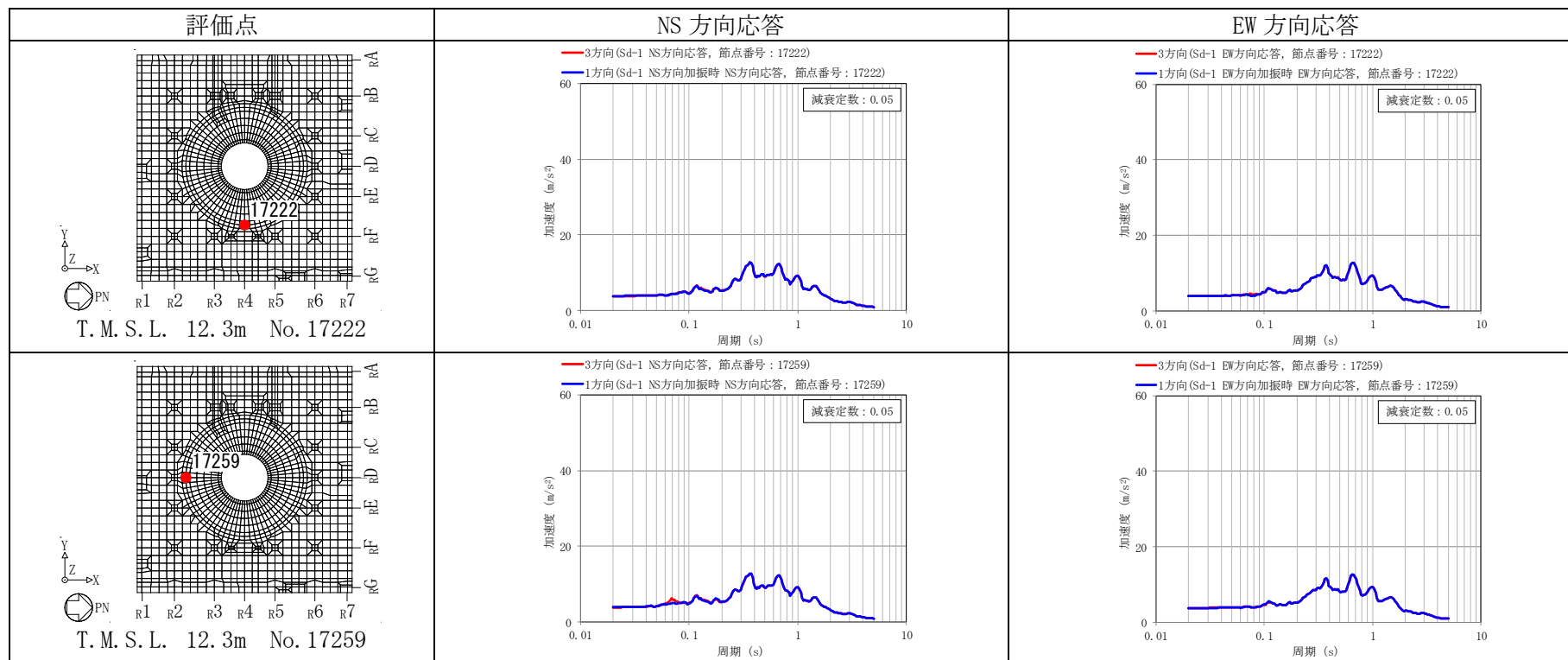


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-1) (5/8)

(e) T. M. S. L. 23.5m 外壁部

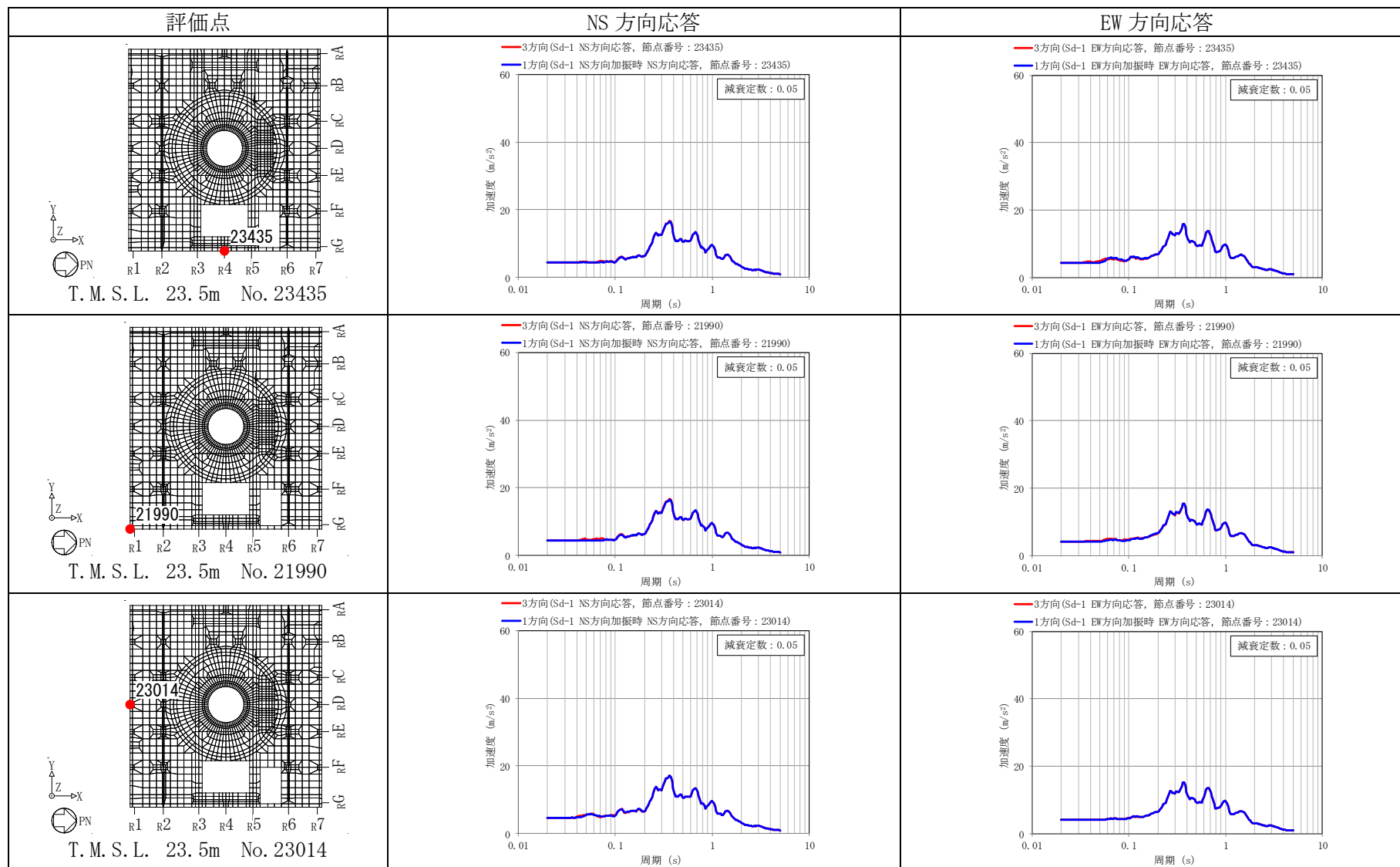


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-1) (6/8)

(f) T. M. S. L. 23.5m RCCV 部

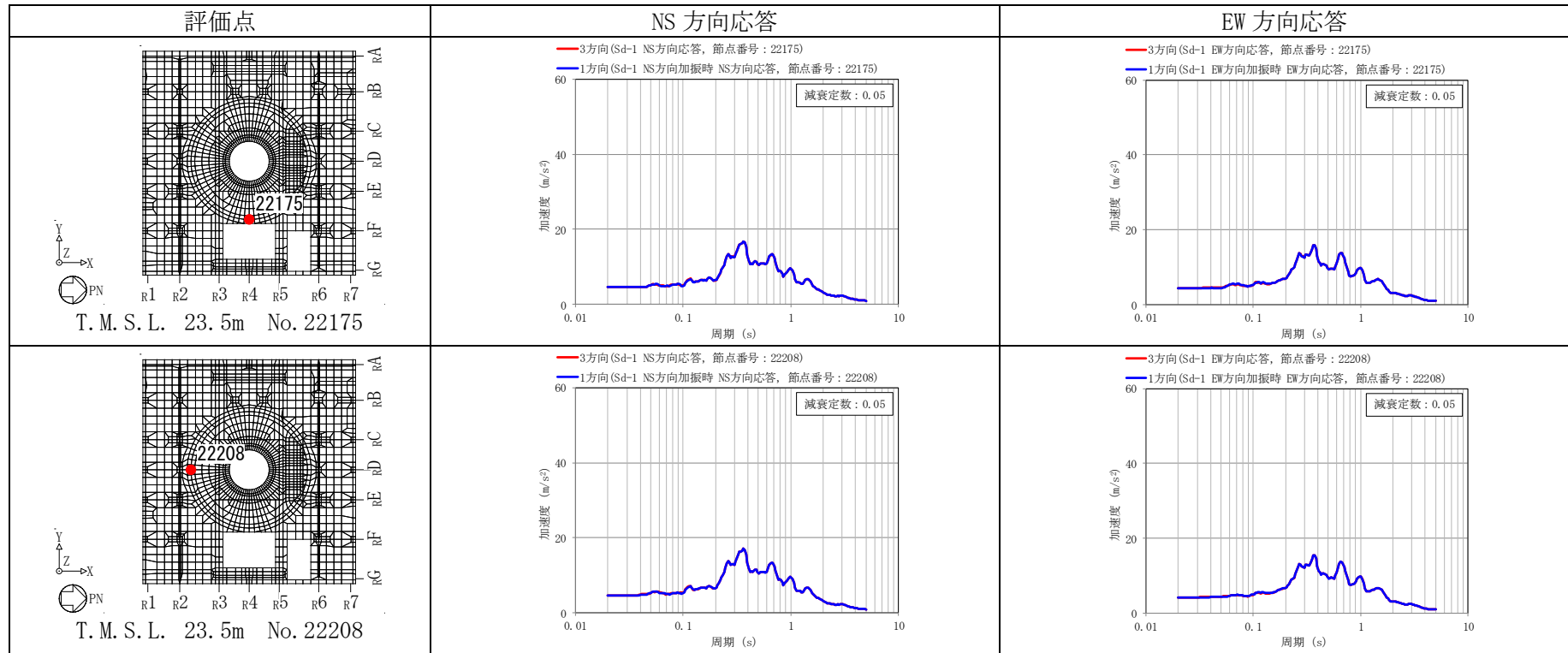


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-1) (7/8)

(g) T. M. S. L. 31.7m 外壁部

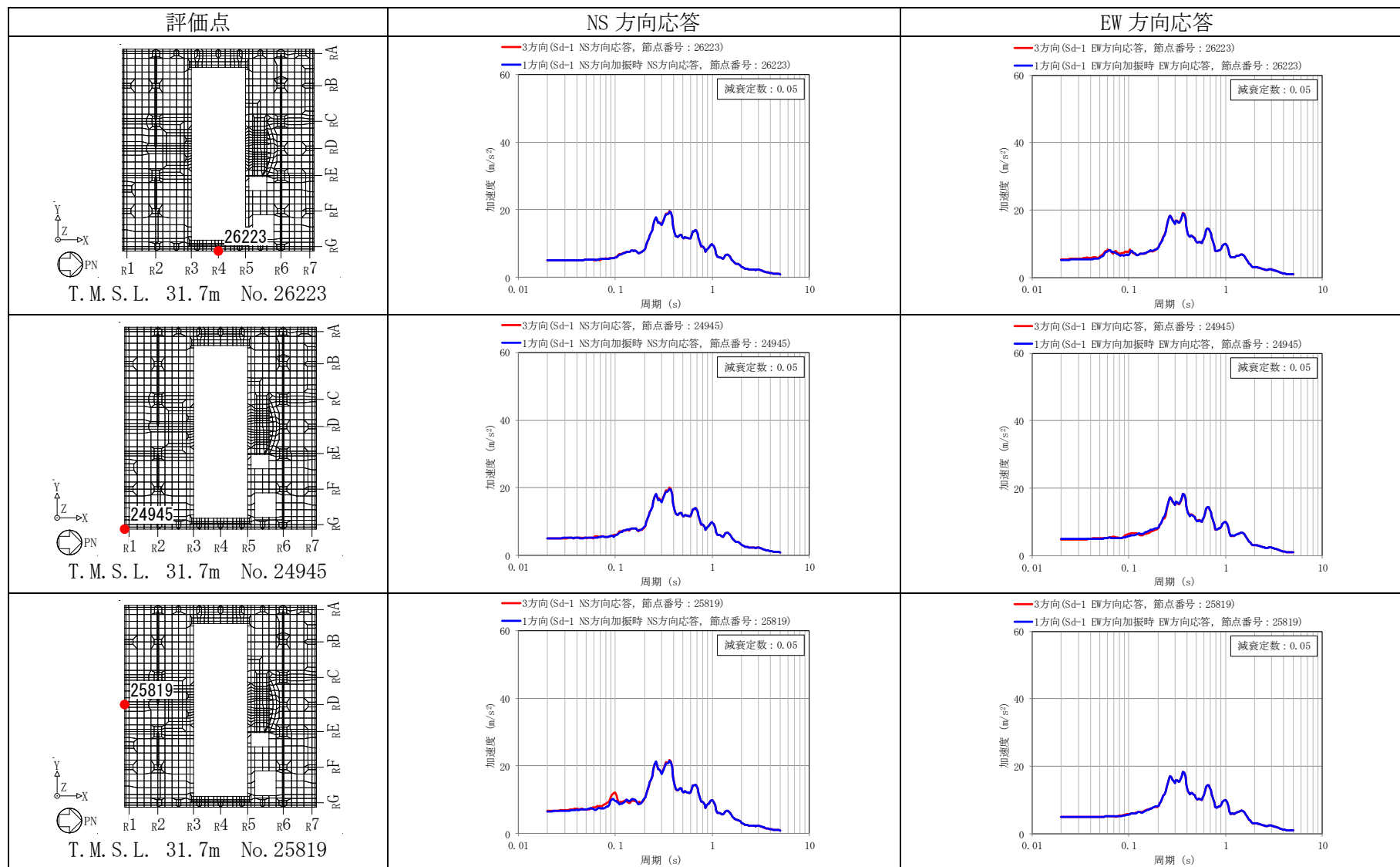




表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (Sd-1) (8/8)

(h) T.M.S.L. 31.7m RCCV 部

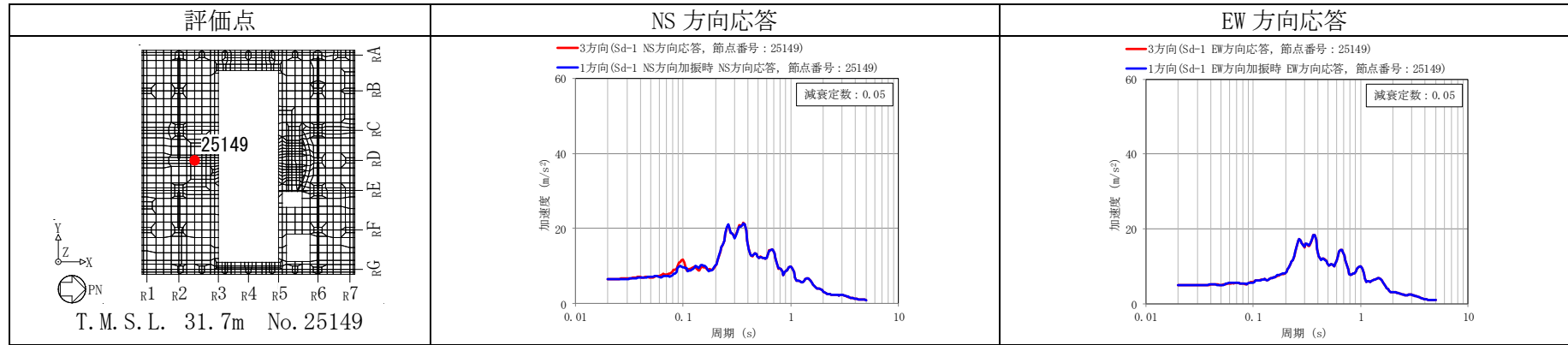


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-2) (1/8)

(a) T. M. S. L. -8.2m 外壁部

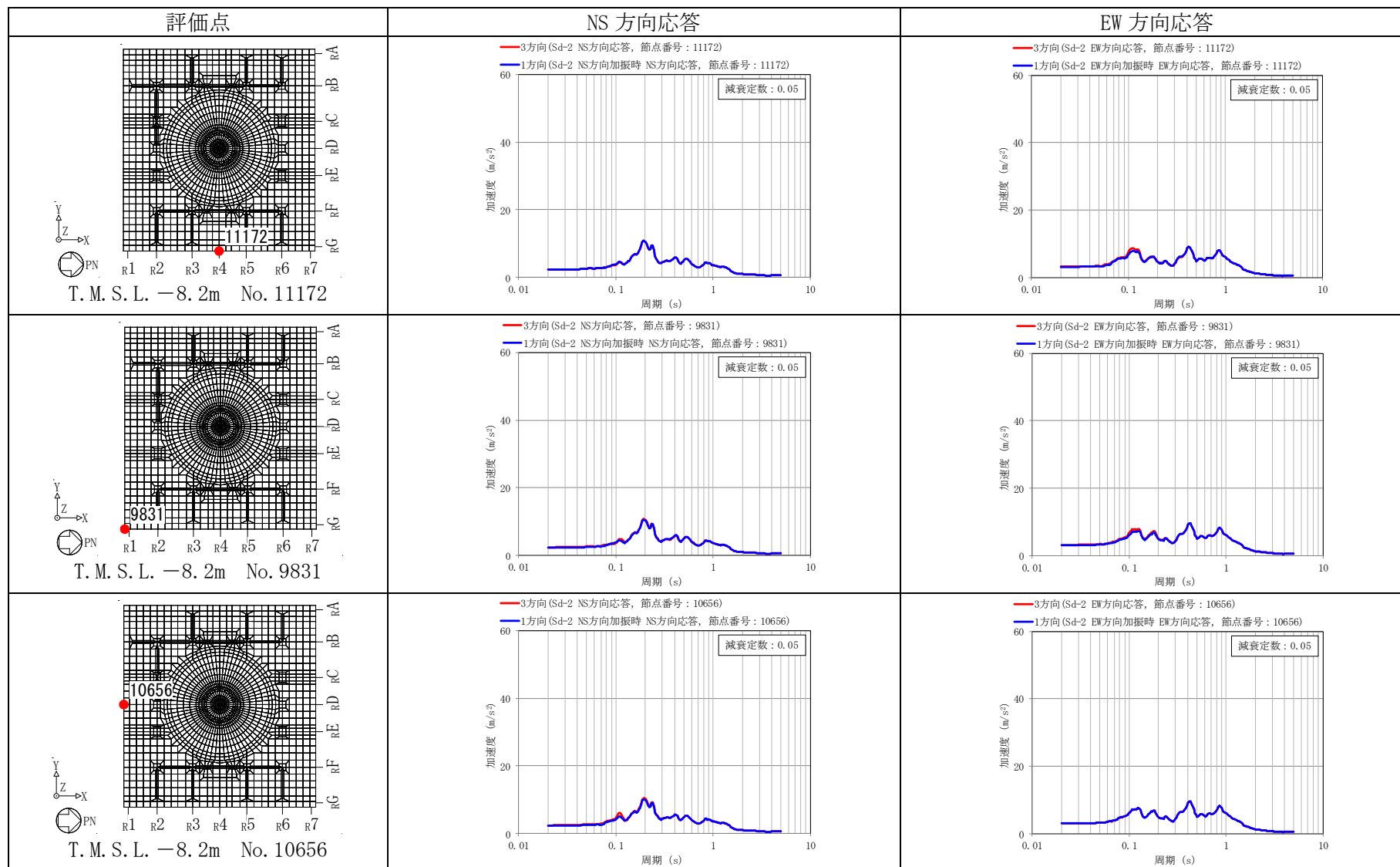


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-2) (2/8)

(b) T. M. S. L. -8.2m RCCV 部

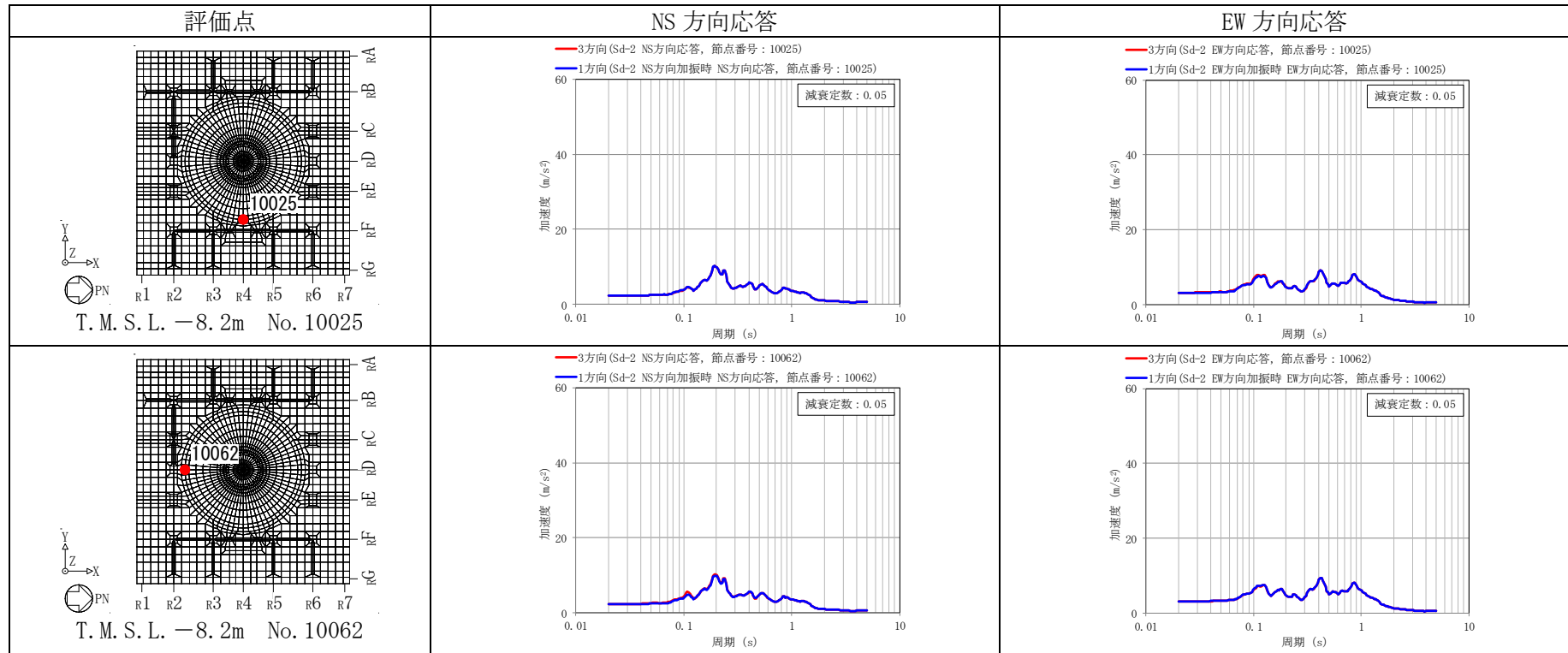


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-2) (3/8)

(c) T. M. S. L. 12.3m 外壁部

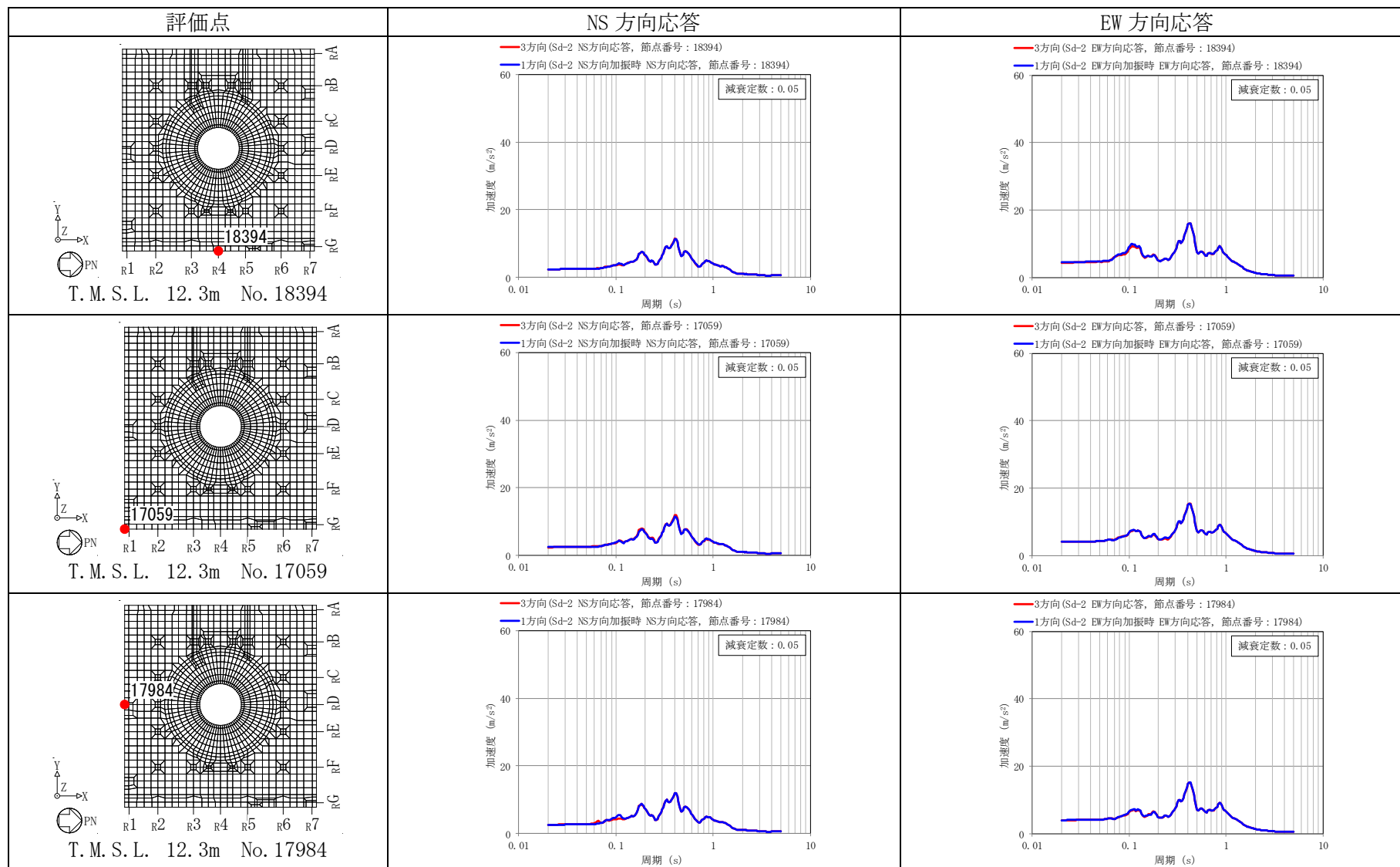


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (4/8)

(d) T. M. S. L. 12.3m RCCV 部

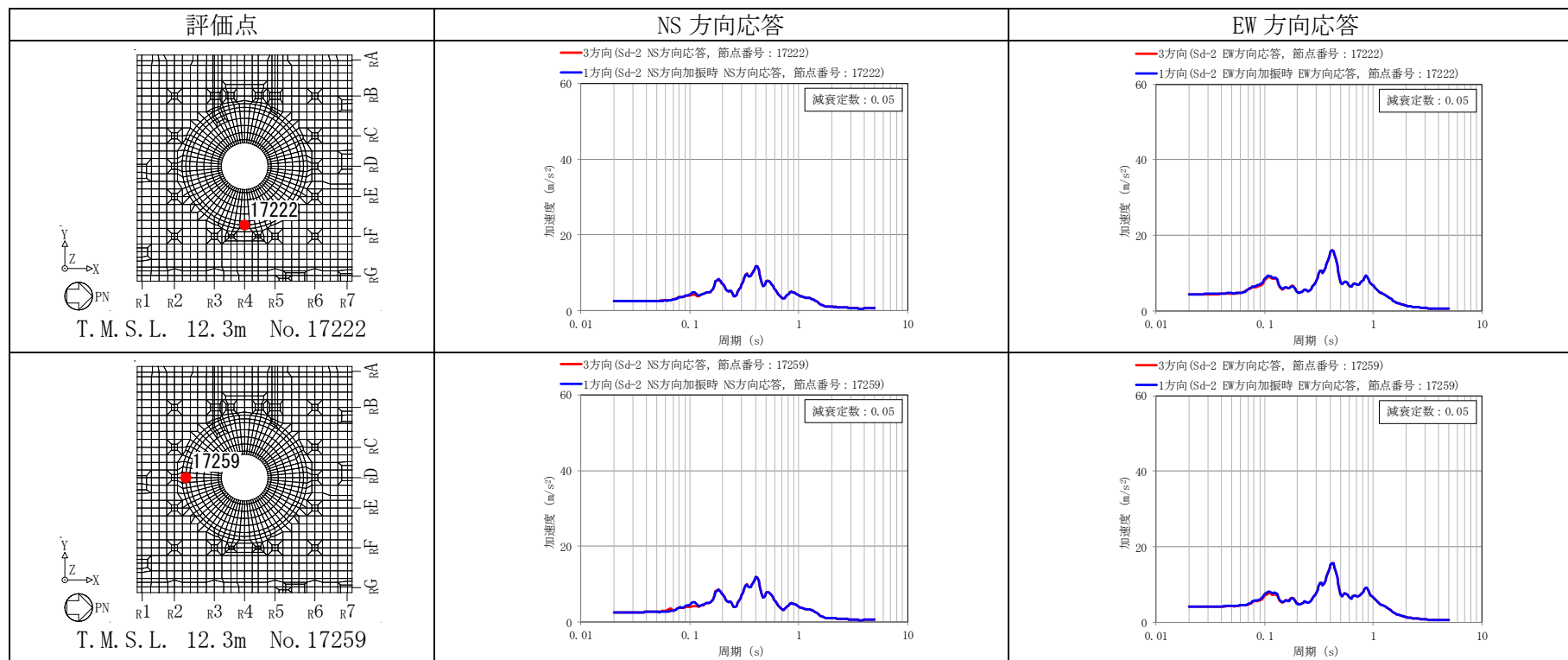


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-2) (5/8)

(e) T. M. S. L. 23.5m 外壁部

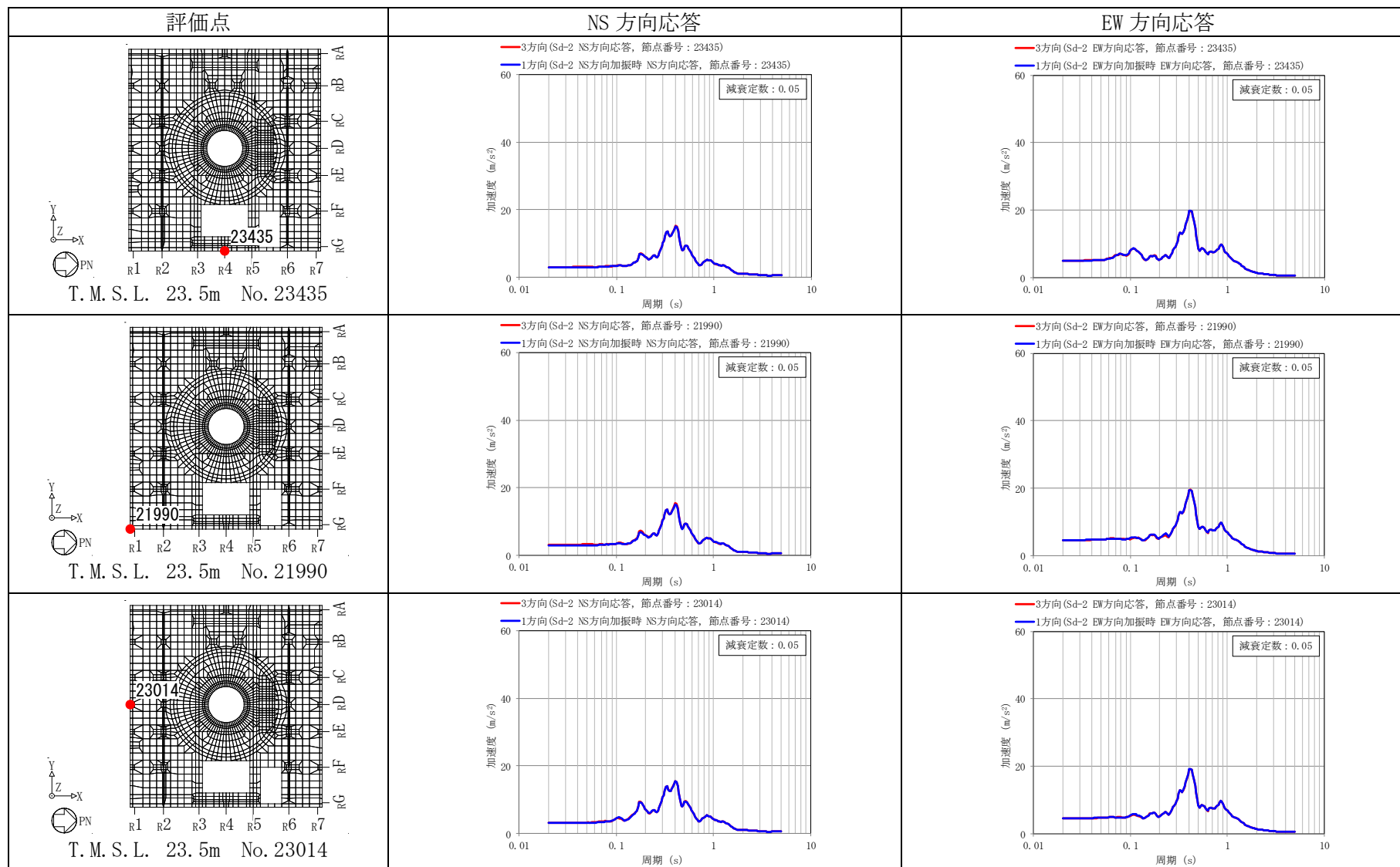


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-2) (6/8)

(f) T. M. S. L. 23.5m RCCV 部

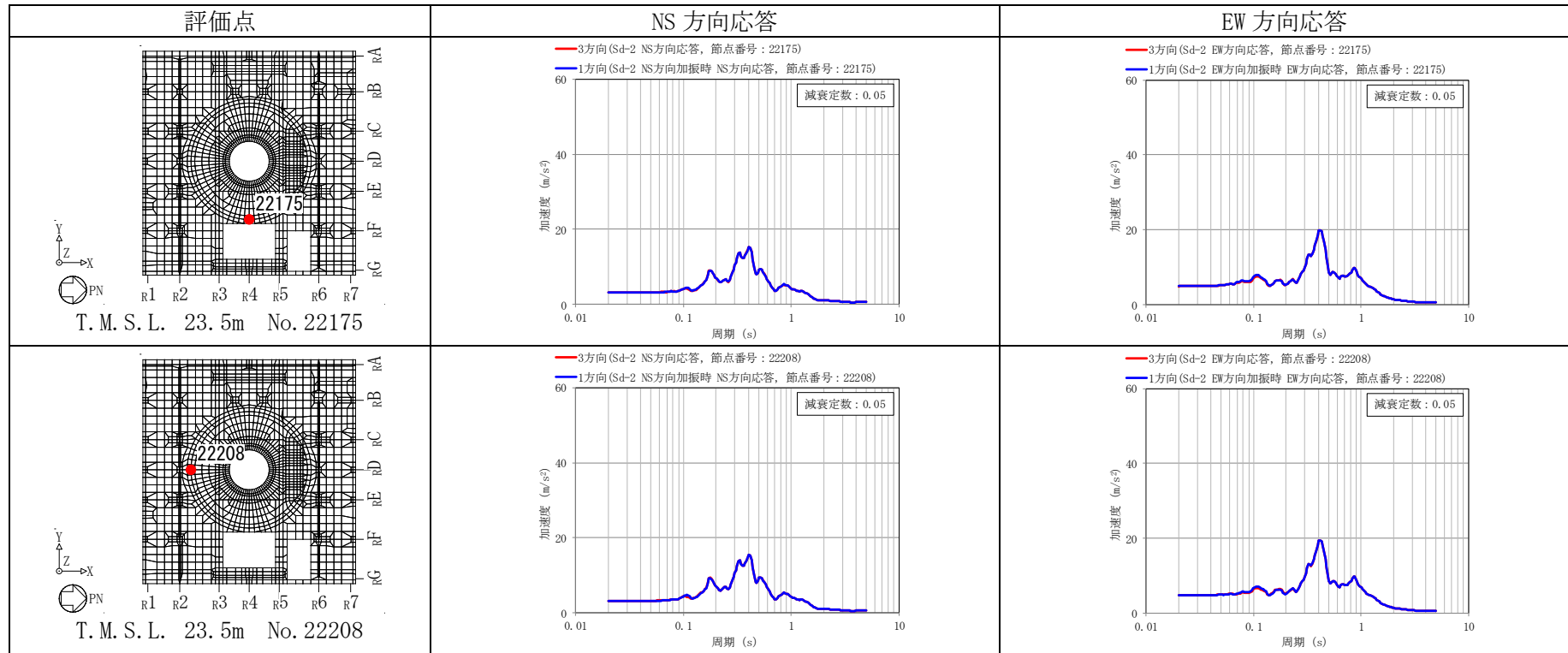


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (Sd-2) (7/8)

(g) T. M. S. L. 31.7m 外壁部

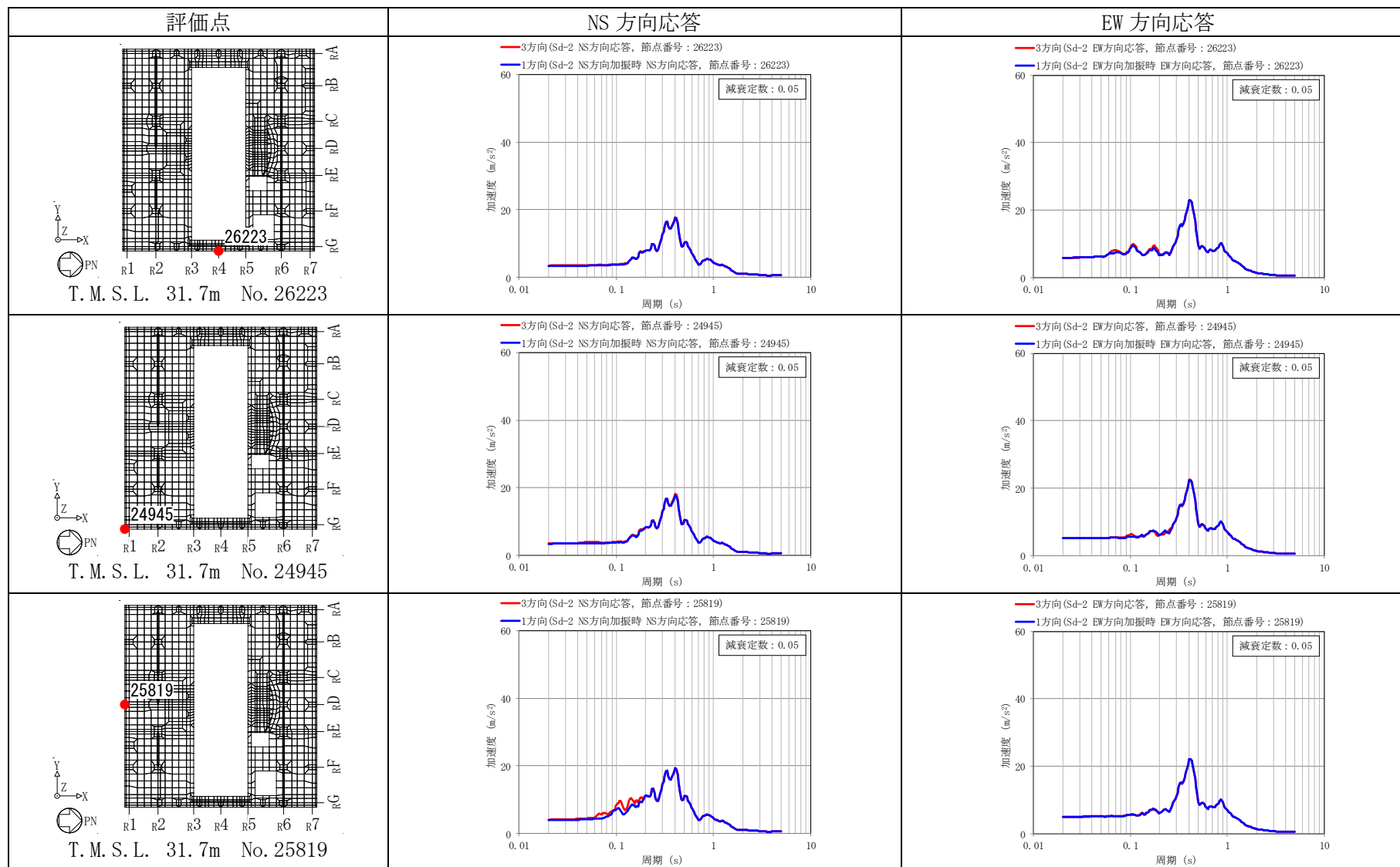
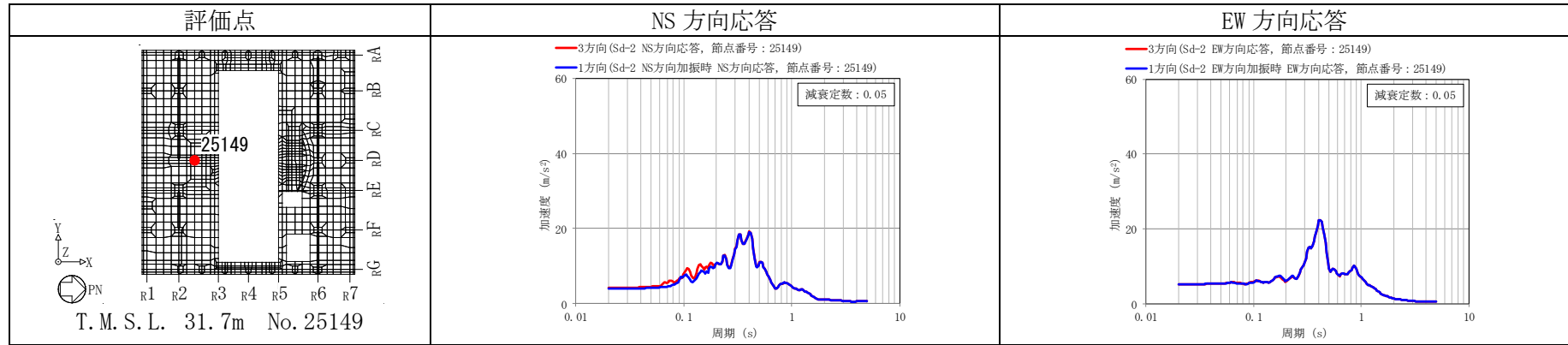




表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (Sd-2) (8/8)

(h) T. M. S. L. 31.7m RCCV 部



### 3.2.5 まとめ

建屋模擬モデル（3次元 FEM）及び質点系対応モデル（3次元 FEM）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、ロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。

床柔性の影響について、建屋模擬モデルと質点系対応モデルでの応答比較をした結果、応答の差は小さく、床柔性の影響がほとんどないことを確認した。

鉛直軸回りのねじれ振動の影響並びに水平 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。

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性評価及び床応答への影響を検討する。

### 3.3 建屋耐震性評価への影響検討

#### 3.3.1 検討方針

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

#### 3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討

建屋模擬モデル（3次元 FEM）及び質点系モデルの最大応答値（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。

評価に当たっては、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建屋模擬モデル（3次元 FEM）の節点としては、図 3-5 に示す節点とした。

比較した結果を図 3-6 に示す。なお、図 3-6 における建屋模擬モデルの最大応答加速度は、図 3-5 に示す節点における最大応答加速度をレベルごとに平均した値である。なお、各節点の最大応答値については別紙 3-2「3次元 FEM モデルによる応答結果の整理」に示す。

両モデル間で、最大応答加速度はおおむね対応しているが、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。

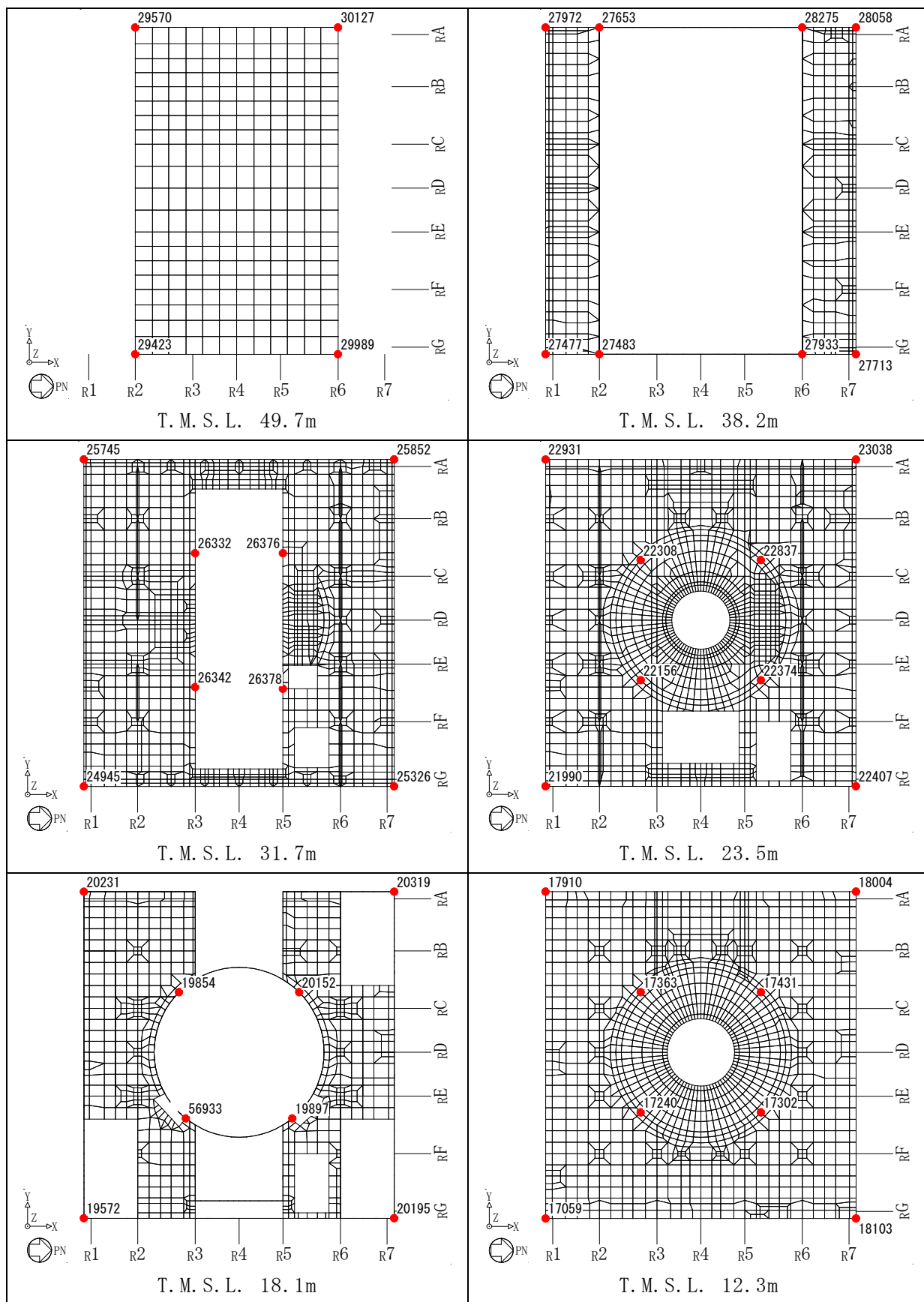


図 3-5 応答評価位置 (1/2)

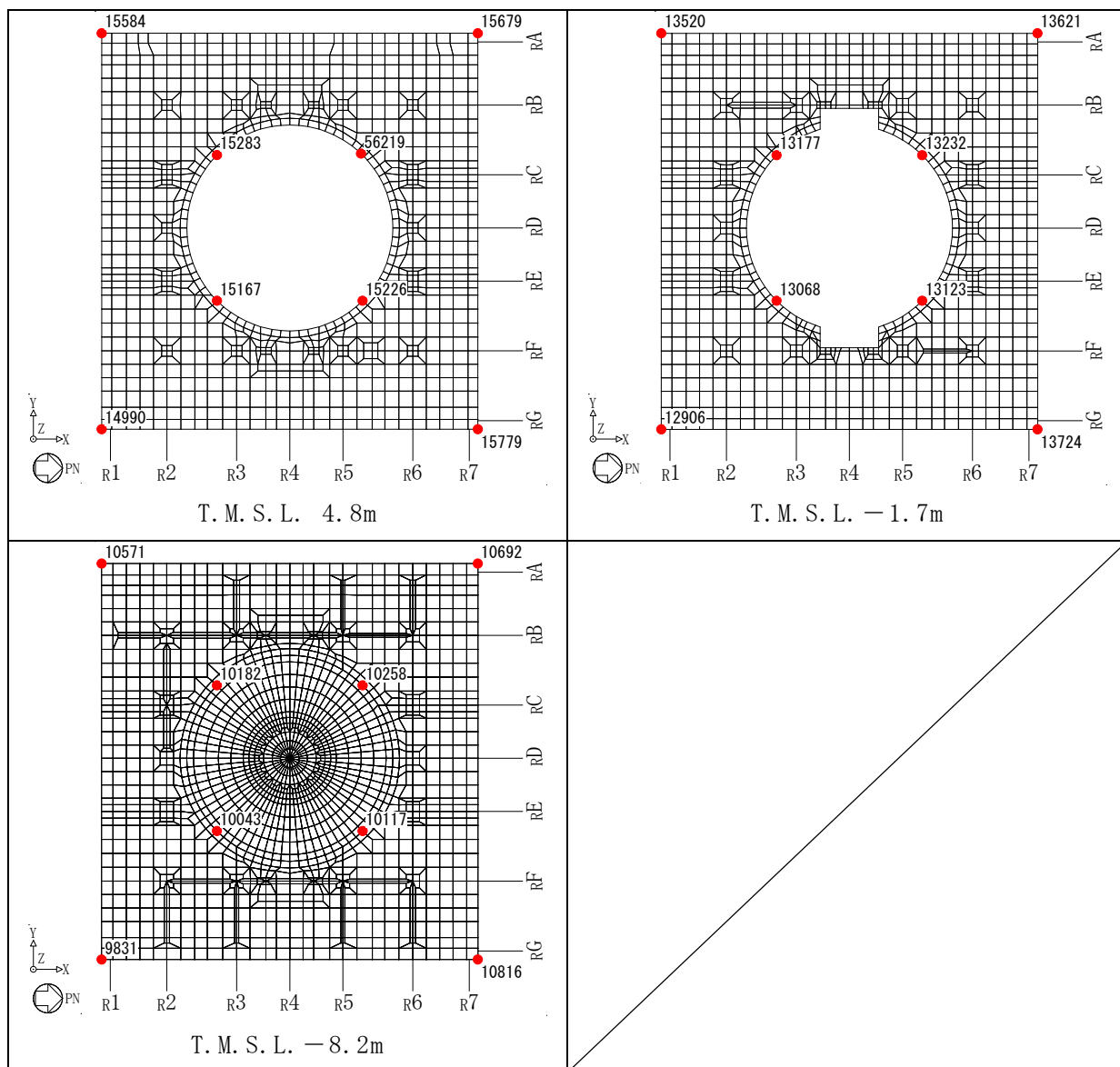
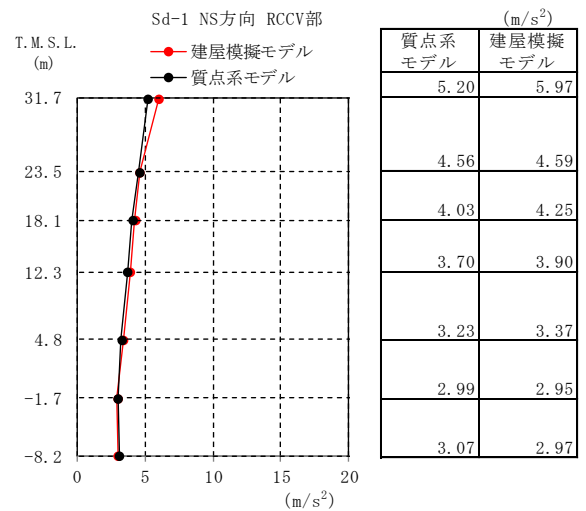
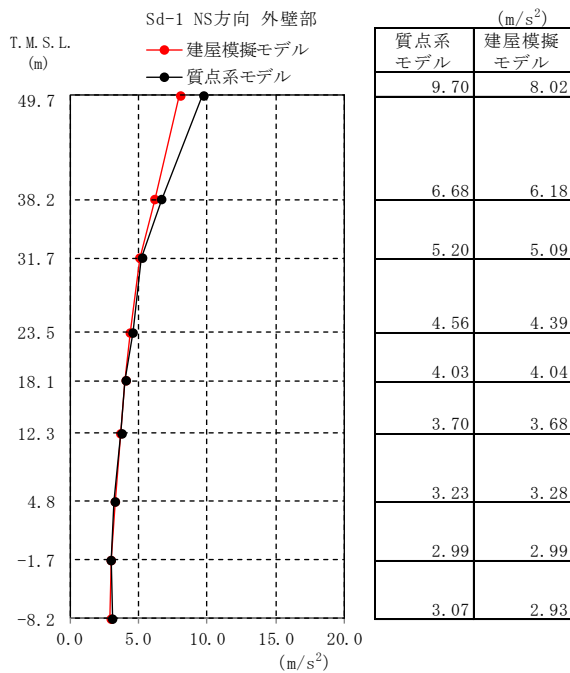


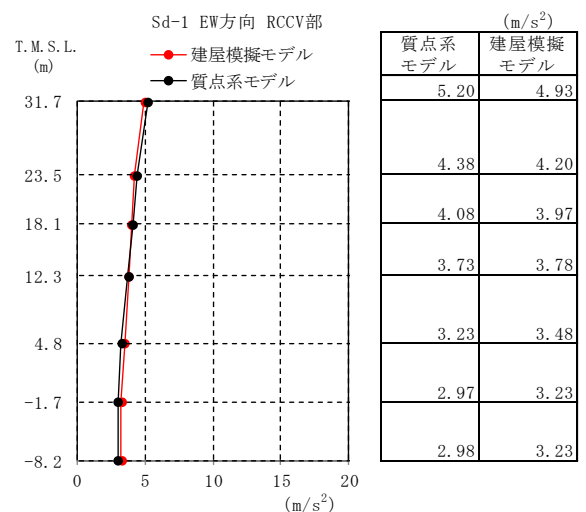
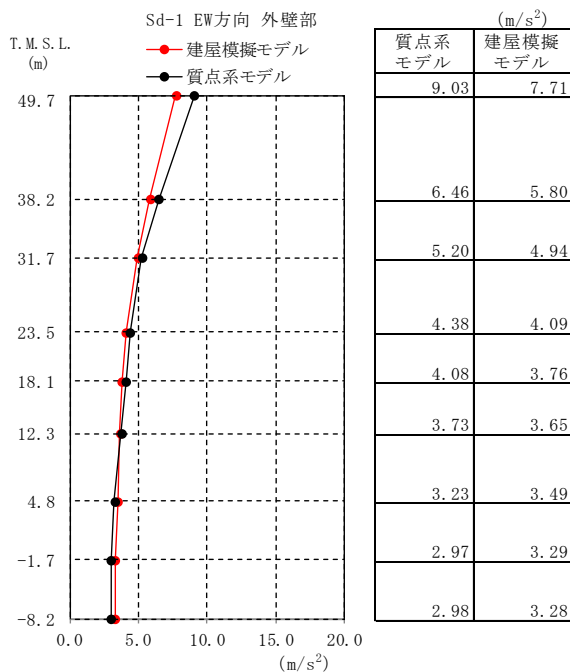
図 3-5 応答評価位置 (2/2)



(1) 外壁部

(2) RCCV部

(a) Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答



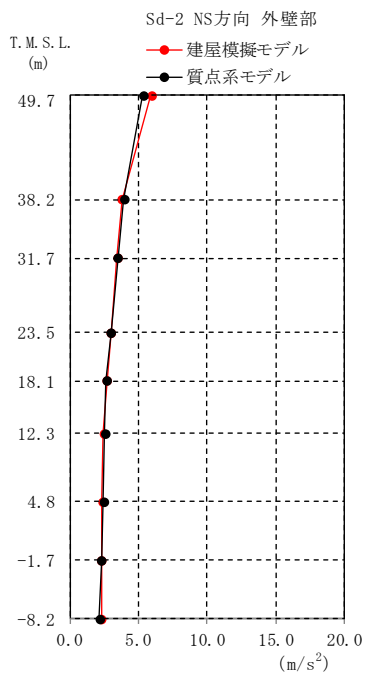
(1) 外壁部

(2) RCCV部

(b) Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答

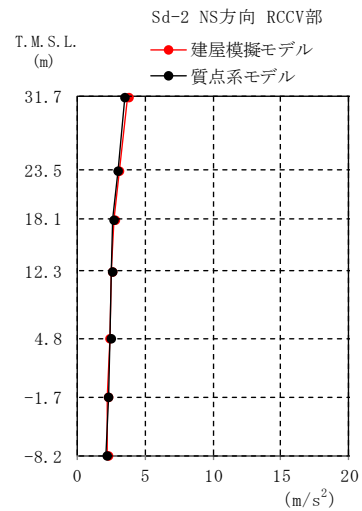
注：建屋模擬モデルは3次元FEMモデルである。

図3-6 最大応答加速度の比較 (1/2)



(m/s <sup>2</sup> )	
質点系モデル	建屋模擬モデル
5.33	5.89
3.91	3.77
3.46	3.44
2.97	2.98
2.65	2.68
2.55	2.43
2.45	2.34
2.26	2.26
2.12	2.27

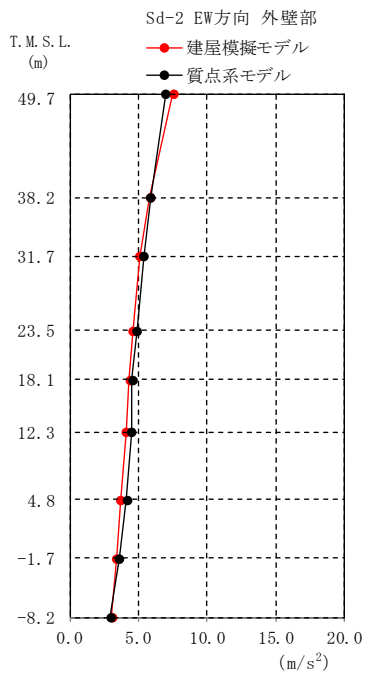
(1) 外壁部



(m/s <sup>2</sup> )	
質点系モデル	建屋模擬モデル
3.46	3.75
2.97	3.08
2.65	2.73
2.55	2.51
2.45	2.36
2.26	2.23
2.12	2.21

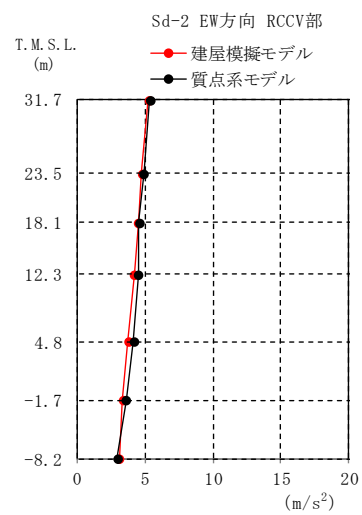
(2) RCCV部

(a) Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答



(m/s <sup>2</sup> )	
質点系モデル	建屋模擬モデル
6.96	7.52
5.84	5.82
5.36	5.08
4.88	4.58
4.54	4.30
4.49	4.06
4.13	3.68
3.58	3.37
2.95	3.04

(1) 外壁部



(m/s <sup>2</sup> )	
質点系モデル	建屋模擬モデル
5.36	5.23
4.88	4.76
4.54	4.49
4.49	4.18
4.13	3.75
3.58	3.35
2.95	3.08

(2) RCCV部

(b) Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答

注：建屋模擬モデルは3次元FEMモデルである。

図3-6 最大応答加速度の比較 (2/2)

### 3.3.3 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

「3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討」の結果を踏まえて、質点系モデルに対して、3次元FEMモデルを用いた3次元的な応答補正を考慮し、建屋耐震性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基に、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。

なお、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」では、基準地震動 $S_s$ による質点系モデルを用いた地震応答解析を行い、耐震壁のせん断ひずみを検討している。ここでは耐震壁のせん断ひずみについてのみ検討を行う。

具体的には、質点系モデルの基準地震動 $S_s$ に対する最大応答のうち、せん断応力度 $\tau$ 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応力度を算定する。得られたせん断応力度を質点系モデルの各層のせん断スケルトン曲線上にプロットし、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。

評価において選定した3次元FEMモデルにおける代表節点を図3-5に、質点系モデルでの評価部位を図3-9に示す。



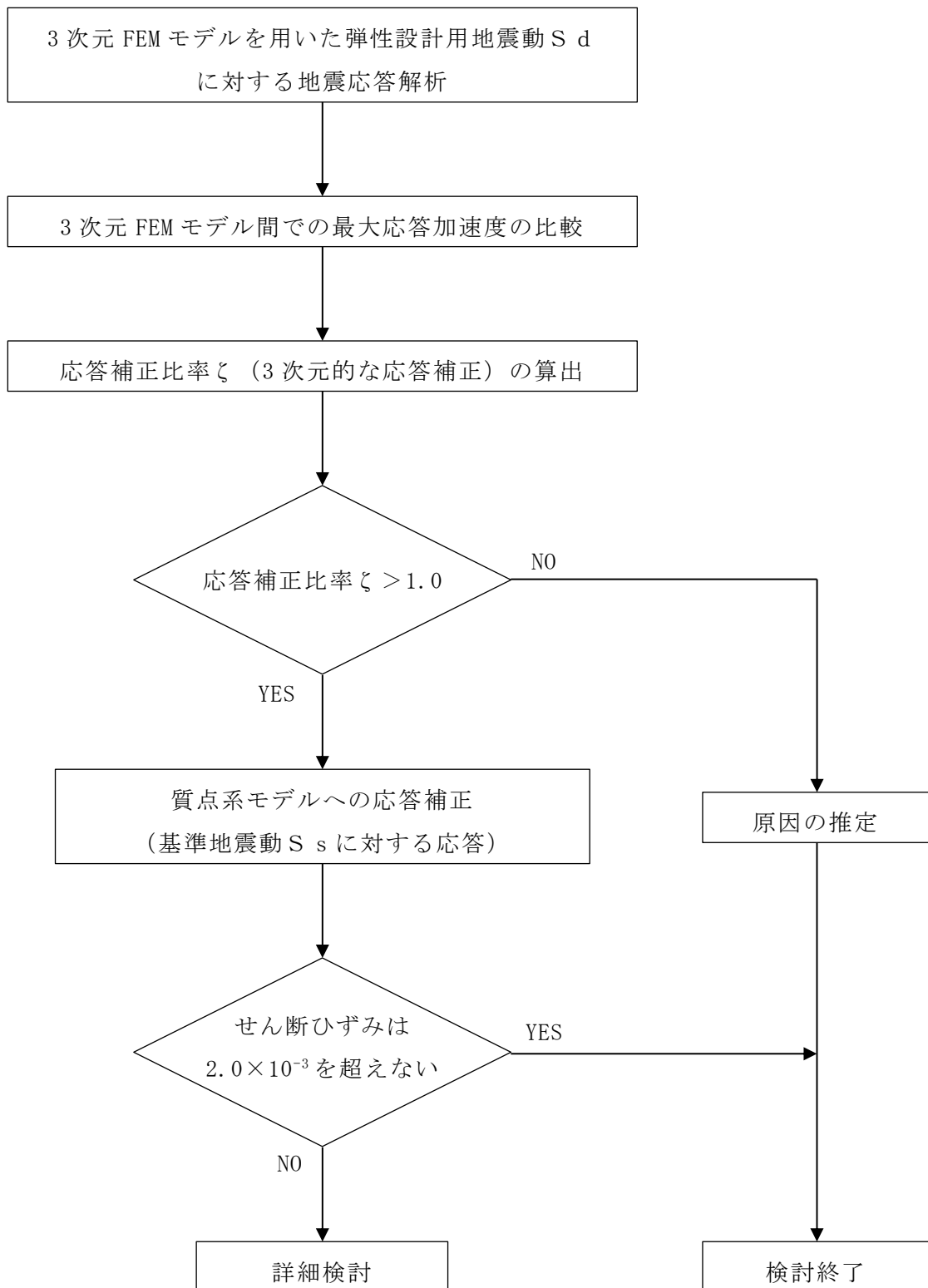


図 3-7 検討フロー

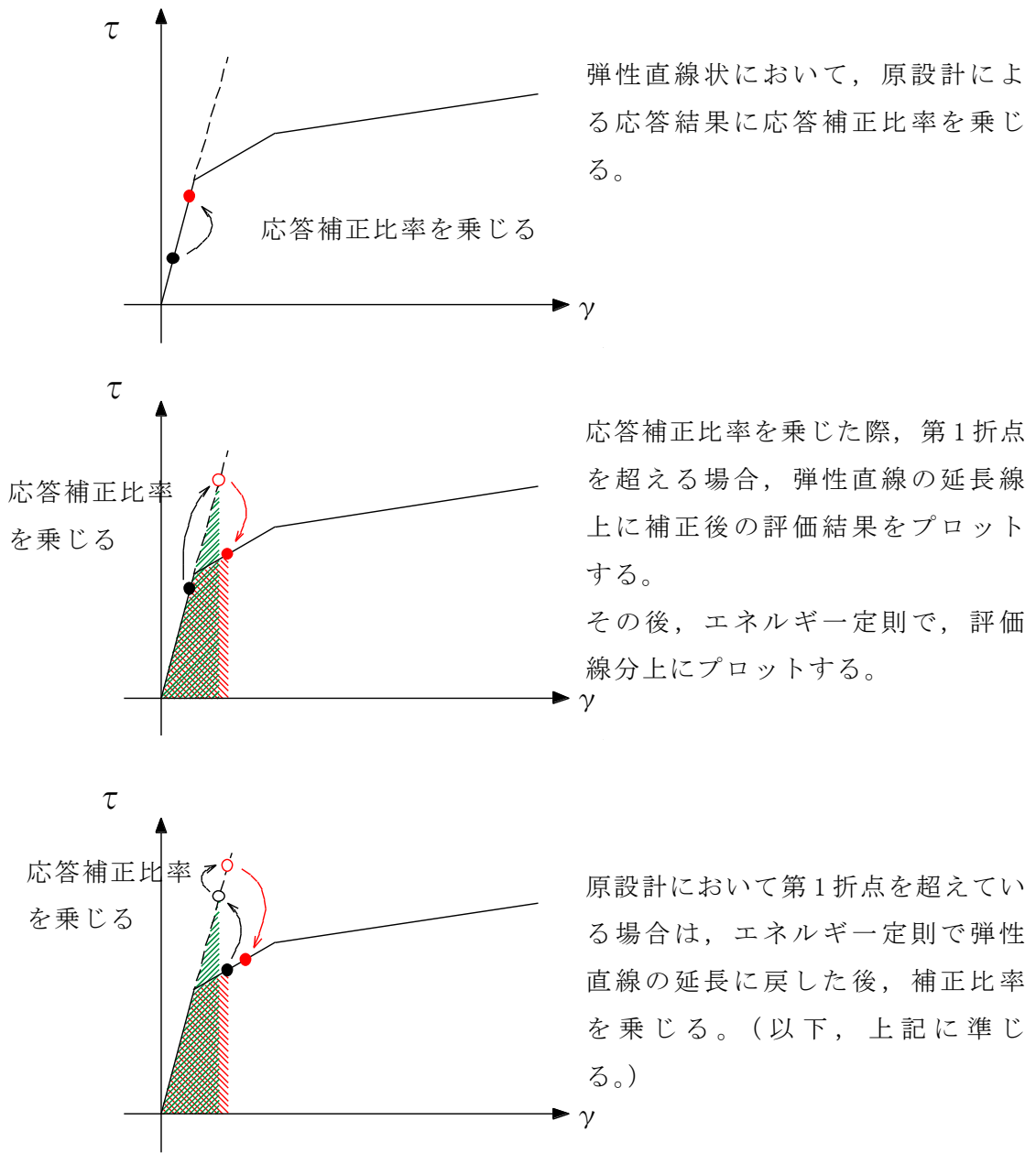


図 3-8 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

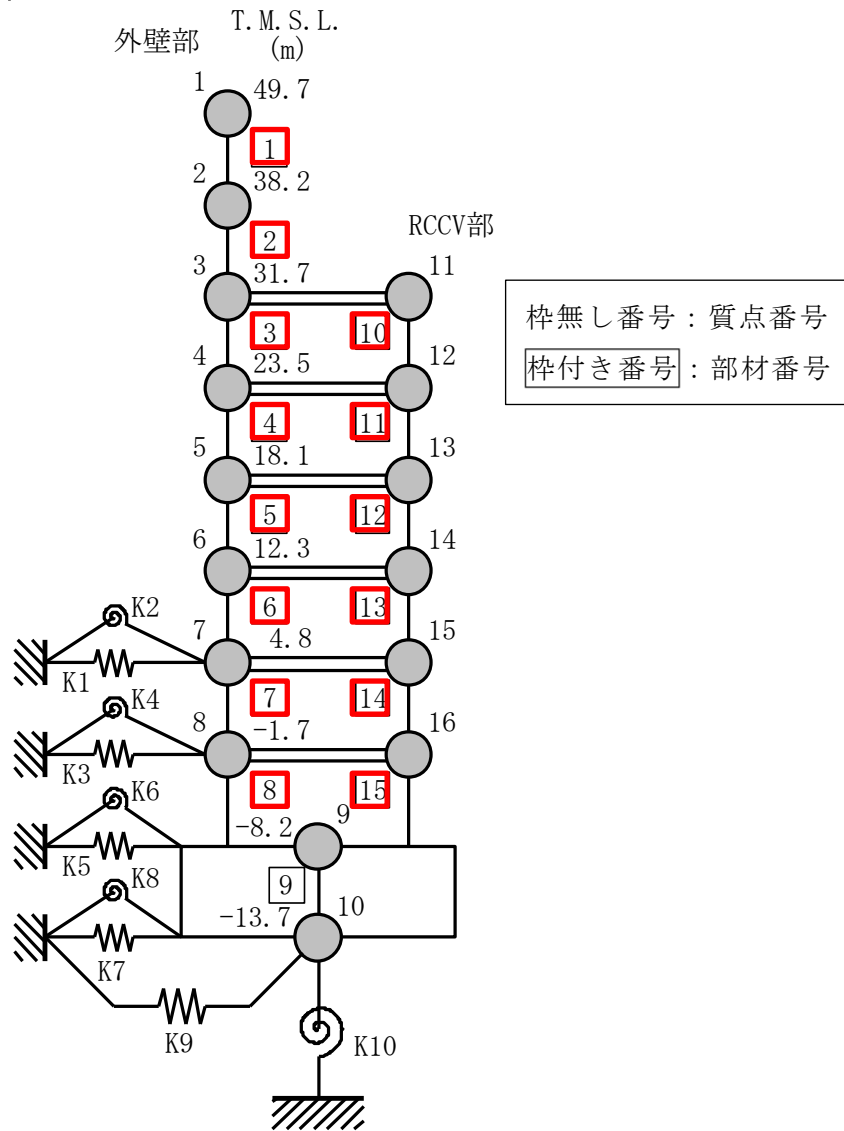


図 3-9 質点系モデルの評価部位

(1) 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(3次元FEM)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(3次元FEM)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(3次元FEM)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 $\alpha \times \beta$ の最大値を用いて定め、局所的な応答を踏まえたものとなるよう設定する。
- 応答補正比率 $\zeta$ の算出式を以下に示す。

$$\text{建屋評価用の応答補正比率 } \zeta = \text{Max}(\alpha \times \beta) \dots\dots\dots (3. 1)$$

(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 $\alpha$

$$= \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}} \dots\dots\dots (3. 2)$$

(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 $\beta$

$$= \frac{\text{建屋模擬モデル(3次元FEM)の最大応答加速度}}{\text{質点系対応モデル(3次元FEM)の最大応答加速度}} \dots\dots\dots (3. 3)$$

(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1.03～1.26の範囲にある。

表 3-7 建屋耐震性評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (NS 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 NS方向			Sd-2 NS方向			採用 $\alpha$	
			最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-2}$ ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
外 壁 部	49.7	1	29423	8.07	8.13	1.01	5.95	6.05	1.02	1.02
			29570	8.00	7.88	0.985	5.86	5.93	1.02	1.02
			29989	8.03	7.94	0.989	5.92	6.21	1.05	1.05
			30127	7.99	7.80	0.977	5.81	5.81	1.00	1.00
	38.2	2	27477	6.23	6.26	1.01	3.80	3.97	1.05	1.05
			27972	6.19	6.29	1.02	3.84	3.97	1.04	1.04
			27483	6.15	6.15	1.00	3.78	3.91	1.04	1.04
			27653	6.11	6.17	1.01	3.82	3.91	1.03	1.03
			27933	6.15	5.96	0.970	3.69	3.66	0.992	1.00
			28275	6.12	6.05	0.989	3.74	3.76	1.01	1.01
			27713	6.29	6.07	0.966	3.72	3.77	1.02	1.02
			28058	6.22	6.21	0.999	3.77	3.84	1.02	1.02
	31.7	3	24945	5.11	5.05	0.989	3.46	3.58	1.04	1.04
			25745	5.09	5.12	1.01	3.48	3.50	1.01	1.01
			25326	5.11	5.15	1.01	3.39	3.39	1.00	1.01
			25852	5.04	5.18	1.03	3.43	3.38	0.986	1.03
	23.5	4	21990	4.33	4.37	1.01	2.98	3.06	1.03	1.03
			22931	4.40	4.37	0.994	2.99	2.94	0.984	1.00
			22407	4.39	4.50	1.03	2.98	3.06	1.03	1.03
			23038	4.43	4.48	1.02	2.98	3.00	1.01	1.02
	18.1	5	19572	4.01	4.09	1.02	2.68	2.72	1.02	1.02
			20231	4.05	3.98	0.983	2.67	2.58	0.967	1.00
			20195	4.04	4.10	1.02	2.70	2.79	1.04	1.04
			20319	4.06	4.12	1.02	2.66	2.72	1.03	1.03
	12.3	6	17059	3.68	3.76	1.03	2.44	2.41	0.988	1.03
			17910	3.69	3.60	0.976	2.40	2.34	0.975	1.00
			18103	3.65	3.58	0.981	2.44	2.51	1.03	1.03
			18004	3.70	3.78	1.03	2.43	2.51	1.04	1.04
	4.8	7	14990	3.29	3.29	1.00	2.34	2.30	0.983	1.00
			15584	3.26	3.17	0.973	2.32	2.25	0.970	1.00
			15779	3.28	3.23	0.985	2.34	2.38	1.02	1.02
			15679	3.27	3.33	1.02	2.35	2.44	1.04	1.04
-1.7	8	12906	3.00	3.21	1.07	2.26	2.20	0.974	1.07	
		13520	2.98	3.05	1.03	2.26	2.25	0.996	1.03	
		13724	3.00	2.97	0.990	2.26	2.32	1.03	1.03	
		13621	3.00	2.95	0.984	2.26	2.35	1.04	1.04	

注 1：最大応答加速度（①～④）は、いずれも建屋模擬モデル（3次元 FEM）の応答である。

注 2：採用  $\alpha$  は、 $\alpha_{Sd-1}$ 、 $\alpha_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 NS方向			Sd-2 NS方向			採用 $\alpha$	
			最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-2}$ ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
R C C V 部	31.7	11	26342	5.87	5.85	0.997	3.84	3.98	1.04	1.04
			26332	6.08	6.16	1.02	3.87	3.88	1.01	1.02
			26378	5.97	6.11	1.03	3.64	3.67	1.01	1.03
			26376	5.98	6.13	1.03	3.65	3.77	1.04	1.04
	23.5	12	22156	4.57	4.53	0.992	3.08	3.07	0.997	1.00
			22308	4.56	4.51	0.990	3.07	3.04	0.991	1.00
			22374	4.62	4.60	0.996	3.09	3.14	1.02	1.02
			22837	4.59	4.59	1.00	3.07	3.11	1.02	1.02
	18.1	13	19854	4.22	4.17	0.989	2.73	2.65	0.971	1.00
			56933	4.25	4.21	0.991	2.73	2.69	0.986	1.00
			19897	4.27	4.24	0.993	2.74	2.79	1.02	1.02
			20152	4.27	4.27	1.00	2.74	2.81	1.03	1.03
	12.3	14	17240	3.91	3.87	0.990	2.53	2.53	1.00	1.00
			17363	3.87	3.81	0.985	2.47	2.47	1.00	1.00
			17302	3.92	3.92	1.00	2.53	2.58	1.02	1.02
			17431	3.91	3.93	1.01	2.50	2.52	1.01	1.01
	4.8	15	15167	3.40	3.38	0.995	2.39	2.38	0.996	1.00
			15283	3.32	3.28	0.988	2.33	2.30	0.988	1.00
			56219	3.35	3.36	1.01	2.34	2.37	1.02	1.02
			15226	3.41	3.38	0.992	2.39	2.41	1.01	1.01
-1.7	16	13068	2.95	3.12	1.06	2.23	2.21	0.992	1.06	
		13177	2.95	3.06	1.04	2.23	2.21	0.992	1.04	
		13123	2.96	2.89	0.977	2.23	2.28	1.03	1.03	
		13232	2.93	2.94	1.01	2.22	2.25	1.02	1.02	

注 1：最大応答加速度（①～④）は、いずれも建屋模擬モデル（3次元 FEM）の応答である。

注 2：採用  $\alpha$  は、 $\alpha_{Sd-1}$ 、 $\alpha_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

表 3-8 建屋耐震性評価用の応答補正比率  $\alpha$  の算定 (EW 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 EW方向			Sd-2 EW方向			採用 $\alpha$	
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-2}$ ④/③		
			① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
外 壁 部	49.7	1	29423	7.76	7.59	0.979	7.53	6.95	0.923	1.00
			29570	7.74	8.19	1.06	7.50	7.99	1.07	1.07
			29989	7.68	8.31	1.09	7.55	8.04	1.07	1.09
			30127	7.65	7.36	0.963	7.51	6.90	0.919	1.00
	38.2	2	27477	5.75	5.63	0.980	5.78	5.34	0.924	1.00
			27972	5.72	6.31	1.11	5.75	6.23	1.09	1.11
			27483	6.02	6.38	1.06	6.10	6.49	1.07	1.07
			27653	5.89	5.99	1.02	5.94	5.81	0.979	1.02
			27933	5.76	6.04	1.05	5.75	5.61	0.976	1.05
			28275	5.82	5.95	1.03	5.83	6.00	1.03	1.03
			27713	5.70	5.79	1.02	5.70	6.11	1.08	1.08
	31.7	3	28058	5.71	5.76	1.01	5.72	5.42	0.948	1.01
			24945	4.96	4.75	0.958	5.06	5.05	0.999	1.00
			25745	4.94	5.15	1.05	5.04	5.16	1.03	1.05
			25326	4.94	4.94	1.00	5.10	5.12	1.01	1.01
	23.5	4	25852	4.93	5.01	1.02	5.13	5.10	0.995	1.02
			21990	4.12	4.16	1.01	4.59	4.55	0.992	1.01
			22931	4.05	4.14	1.03	4.56	4.55	0.998	1.03
			22407	4.10	4.31	1.06	4.57	4.68	1.03	1.06
	18.1	5	23038	4.12	4.23	1.03	4.60	4.53	0.985	1.03
			19572	3.76	3.83	1.02	4.30	4.28	0.996	1.02
			20231	3.77	3.83	1.02	4.32	4.32	1.00	1.02
			20195	3.75	3.97	1.06	4.29	4.46	1.04	1.06
	12.3	6	20319	3.76	3.93	1.05	4.29	4.07	0.949	1.05
			17059	3.66	3.62	0.990	4.07	4.04	0.993	1.00
			17910	3.63	3.70	1.02	4.05	4.05	1.00	1.02
			18103	3.65	3.66	1.01	4.07	4.17	1.03	1.03
	4.8	7	18004	3.66	3.80	1.04	4.06	3.91	0.964	1.04
14990			3.49	3.39	0.972	3.68	3.66	0.995	1.00	
15584			3.48	3.61	1.04	3.68	3.67	0.998	1.04	
15779			3.49	3.40	0.975	3.68	3.75	1.02	1.02	
-1.7	8	15679	3.49	3.63	1.05	3.68	3.59	0.976	1.05	
		12906	3.28	3.32	1.02	3.37	3.47	1.03	1.03	
		13520	3.29	3.42	1.04	3.38	3.35	0.992	1.04	
		13724	3.29	3.38	1.03	3.36	3.43	1.03	1.03	
			13621	3.28	3.41	1.04	3.36	3.31	0.986	1.04

注 1：最大応答加速度（①～④）は、いずれも建屋模擬モデル（3次元 FEM）の応答である。

注 2：採用  $\alpha$  は、 $\alpha_{Sd-1}$ 、 $\alpha_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 EW方向			Sd-2 EW方向			採用 $\alpha$	
			最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\alpha_{Sd-2}$ ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
R C C V 部	31.7	11	26342	4.93	5.05	1.03	5.20	5.15	0.991	1.03
			26332	4.94	5.08	1.03	5.25	5.27	1.01	1.03
			26378	4.94	4.98	1.01	5.24	5.24	1.00	1.01
			26376	4.91	5.03	1.03	5.23	5.20	0.995	1.03
	23.5	12	22156	4.21	4.31	1.03	4.77	4.76	0.998	1.03
			22308	4.20	4.18	0.996	4.76	4.75	0.998	1.00
			22374	4.22	4.32	1.03	4.77	4.78	1.01	1.03
			22837	4.20	4.22	1.01	4.75	4.73	0.996	1.01
	18.1	13	19854	3.91	3.96	1.02	4.43	4.42	0.998	1.02
			56933	4.01	4.03	1.01	4.53	4.51	0.996	1.01
			19897	4.03	4.05	1.01	4.54	4.54	1.00	1.01
			20152	3.94	3.96	1.01	4.46	4.41	0.989	1.01
	12.3	14	17240	3.80	3.79	0.998	4.18	4.13	0.989	1.00
			17363	3.76	3.80	1.02	4.16	4.14	0.996	1.02
			17302	3.80	3.80	1.00	4.22	4.18	0.991	1.00
			17431	3.78	3.81	1.01	4.17	4.11	0.986	1.01
	4.8	15	15167	3.48	3.44	0.989	3.75	3.72	0.992	1.00
			15283	3.48	3.56	1.03	3.73	3.66	0.982	1.03
			56219	3.47	3.54	1.03	3.71	3.65	0.984	1.03
			15226	3.49	3.44	0.986	3.79	3.82	1.01	1.01
-1.7	16	13068	3.22	3.21	0.997	3.35	3.42	1.03	1.03	
		13177	3.24	3.32	1.03	3.39	3.28	0.968	1.03	
		13123	3.23	3.23	1.00	3.34	3.41	1.03	1.03	
		13232	3.23	3.31	1.03	3.33	3.27	0.982	1.03	

注 1：最大応答加速度（①～④）は、いずれも建屋模擬モデル（3次元 FEM）の応答である。

注 2：採用  $\alpha$  は、 $\alpha_{Sd-1}$ 、 $\alpha_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。



表 3-9 建屋耐震性評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (NS 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 NS方向加振時		NS方向応答	Sd-2 NS方向加振時		NS方向応答	採用 $\beta$	
			最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-2}$ ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル		④/③	
外 壁 部	49.7	1	29423	9.60	8.07	0.841	5.41	5.95	1.10	1.10
			29570	9.64	8.00	0.830	5.43	5.86	1.08	1.08
			29989	9.58	8.03	0.839	5.40	5.92	1.10	1.10
			30127	9.64	7.99	0.829	5.43	5.81	1.07	1.07
	38.2	2	27477	6.82	6.23	0.914	3.87	3.80	0.982	1.00
			27972	6.78	6.19	0.913	3.92	3.84	0.980	1.00
			27483	6.80	6.15	0.905	3.86	3.78	0.980	1.00
			27653	6.77	6.11	0.903	3.91	3.82	0.977	1.00
			27933	6.84	6.15	0.900	3.87	3.69	0.954	1.00
			28275	6.81	6.12	0.899	3.88	3.74	0.964	1.00
			27713	6.85	6.29	0.919	3.88	3.72	0.959	1.00
			28058	6.83	6.22	0.911	3.89	3.77	0.970	1.00
	31.7	3	24945	5.36	5.11	0.954	3.24	3.46	1.07	1.07
			25745	5.35	5.09	0.952	3.25	3.48	1.08	1.08
			25326	5.32	5.11	0.961	3.23	3.39	1.05	1.05
			25852	5.35	5.04	0.943	3.24	3.43	1.06	1.06
	23.5	4	21990	4.30	4.33	1.01	2.80	2.98	1.07	1.07
			22931	4.29	4.40	1.03	2.80	2.99	1.07	1.07
			22407	4.31	4.39	1.02	2.80	2.98	1.07	1.07
			23038	4.29	4.43	1.04	2.80	2.98	1.07	1.07
	18.1	5	19572	3.94	4.01	1.02	2.54	2.68	1.06	1.06
			20231	3.90	4.05	1.04	2.51	2.67	1.07	1.07
			20195	3.95	4.04	1.03	2.55	2.70	1.06	1.06
			20319	3.91	4.06	1.04	2.51	2.66	1.06	1.06
	12.3	6	17059	3.55	3.68	1.04	2.35	2.44	1.04	1.04
			17910	3.56	3.69	1.04	2.32	2.40	1.04	1.04
			18103	3.55	3.65	1.03	2.35	2.44	1.04	1.04
			18004	3.56	3.70	1.04	2.33	2.43	1.05	1.05
	4.8	7	14990	3.21	3.29	1.03	2.32	2.34	1.01	1.03
			15584	3.19	3.26	1.03	2.31	2.32	1.01	1.03
			15779	3.21	3.28	1.03	2.32	2.34	1.01	1.03
			15679	3.20	3.27	1.03	2.31	2.35	1.02	1.03
-1.7	8	12906	2.92	3.00	1.03	2.20	2.26	1.03	1.03	
		13520	2.91	2.98	1.03	2.20	2.26	1.03	1.03	
		13724	2.92	3.00	1.03	2.20	2.26	1.03	1.03	
		13621	2.91	3.00	1.04	2.20	2.26	1.03	1.04	

注 1 : 質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2 : 採用  $\beta$  は、 $\beta_{Sd-1}$ 、 $\beta_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 NS方向加振時		NS方向応答	Sd-2 NS方向加振時		NS方向応答	採用 $\beta$
			最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-2}$ ④/③	
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル		
R C C V 部	31.7	11	26342	5.48	5.87	1.08	3.26	3.84	1.18
			26332	5.48	6.08	1.11	3.26	3.87	1.19
			26378	5.42	5.97	1.11	3.24	3.64	1.13
			26376	5.43	5.98	1.11	3.24	3.65	1.13
	23.5	12	22156	4.31	4.57	1.07	2.80	3.08	1.10
			22308	4.30	4.56	1.07	2.80	3.07	1.10
			22374	4.31	4.62	1.08	2.81	3.09	1.10
			22837	4.30	4.59	1.07	2.80	3.07	1.10
	18.1	13	19854	3.91	4.22	1.08	2.52	2.73	1.09
			56933	3.93	4.25	1.09	2.53	2.73	1.08
			19897	3.94	4.27	1.09	2.53	2.74	1.09
			20152	3.93	4.27	1.09	2.53	2.74	1.09
	12.3	14	17240	3.57	3.91	1.10	2.35	2.53	1.08
			17363	3.57	3.87	1.09	2.34	2.47	1.06
			17302	3.57	3.92	1.10	2.35	2.53	1.08
			17431	3.57	3.91	1.10	2.34	2.50	1.07
	4.8	15	15167	3.22	3.40	1.06	2.33	2.39	1.03
			15283	3.20	3.32	1.04	2.32	2.33	1.01
			56219	3.21	3.35	1.05	2.32	2.34	1.01
			15226	3.22	3.41	1.06	2.33	2.39	1.03
-1.7	16	13068	2.92	2.95	1.02	2.20	2.23	1.02	
		13177	2.92	2.95	1.02	2.20	2.23	1.02	
		13123	2.92	2.96	1.02	2.20	2.23	1.02	
		13232	2.91	2.93	1.01	2.20	2.22	1.01	

注 1：質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2：採用  $\beta$  は、 $\beta_{Sd-1}$ 、 $\beta_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

表 3-10 建屋耐震性評価用の応答補正比率  $\beta$  の算定 (EW 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答			Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答			採用 $\beta$	
			最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-2}$ ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル		④/③	
外 壁 部	49.7	1	29423	7.21	7.76	1.08	6.56	7.53	1.15	1.15
			29570	7.21	7.74	1.08	6.55	7.50	1.15	1.15
			29989	7.27	7.68	1.06	6.60	7.55	1.15	1.15
			30127	7.26	7.65	1.06	6.60	7.51	1.14	1.14
	38.2	2	27477	5.75	5.75	1.00	5.53	5.78	1.05	1.05
			27972	5.77	5.72	0.992	5.53	5.75	1.04	1.04
			27483	5.80	6.02	1.04	5.54	6.10	1.11	1.11
			27653	5.77	5.89	1.03	5.53	5.94	1.08	1.08
			27933	5.69	5.76	1.02	5.55	5.75	1.04	1.04
			28275	5.69	5.82	1.03	5.55	5.83	1.06	1.06
			27713	5.66	5.70	1.01	5.56	5.70	1.03	1.03
			28058	5.66	5.71	1.01	5.56	5.72	1.03	1.03
	31.7	3	24945	5.11	4.96	0.971	5.14	5.06	0.985	1.00
			25745	5.10	4.94	0.969	5.13	5.04	0.983	1.00
			25326	5.10	4.94	0.969	5.17	5.10	0.987	1.00
			25852	5.10	4.93	0.967	5.18	5.13	0.991	1.00
	23.5	4	21990	4.35	4.12	0.948	4.69	4.59	0.979	1.00
			22931	4.35	4.05	0.932	4.69	4.56	0.973	1.00
			22407	4.36	4.10	0.941	4.70	4.57	0.973	1.00
			23038	4.36	4.12	0.945	4.71	4.60	0.977	1.00
	18.1	5	19572	3.76	3.76	1.00	4.31	4.30	0.998	1.00
			20231	3.78	3.77	0.998	4.34	4.32	0.996	1.00
			20195	3.78	3.75	0.993	4.33	4.29	0.991	1.00
			20319	3.79	3.76	0.993	4.34	4.29	0.989	1.00
	12.3	6	17059	3.61	3.66	1.02	4.04	4.07	1.01	1.02
			17910	3.61	3.63	1.01	4.04	4.05	1.01	1.01
			18103	3.62	3.65	1.01	4.05	4.07	1.01	1.01
			18004	3.63	3.66	1.01	4.05	4.06	1.01	1.01
	4.8	7	14990	3.41	3.49	1.03	3.81	3.68	0.966	1.03
			15584	3.40	3.48	1.03	3.80	3.68	0.969	1.03
			15779	3.41	3.49	1.03	3.80	3.68	0.969	1.03
			15679	3.41	3.49	1.03	3.80	3.68	0.969	1.03
-1.7	8	12906	3.26	3.28	1.01	3.53	3.37	0.955	1.01	
		13520	3.26	3.29	1.01	3.54	3.38	0.955	1.01	
		13724	3.25	3.29	1.02	3.50	3.36	0.960	1.02	
		13621	3.25	3.28	1.01	3.49	3.36	0.963	1.01	

注 1 : 質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2 : 採用  $\beta$  は、 $\beta_{Sd-1}$ 、 $\beta_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答				Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答				採用 $\beta$
			最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-1}$ ②/①	最大応答加速度 ( $m/s^2$ )		$\beta_{Sd-2}$ ④/③			
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル				
R C C V 部	31.7	11	26342	5.09	4.93	0.969	5.14	5.20	1.02	1.02	
			26332	5.10	4.94	0.969	5.14	5.25	1.03	1.03	
			26378	5.09	4.94	0.971	5.14	5.24	1.02	1.02	
			26376	5.10	4.91	0.963	5.15	5.23	1.02	1.02	
	23.5	12	22156	4.37	4.21	0.964	4.70	4.77	1.02	1.02	
			22308	4.37	4.20	0.962	4.70	4.76	1.02	1.02	
			22374	4.37	4.22	0.966	4.71	4.77	1.02	1.02	
			22837	4.37	4.20	0.962	4.71	4.75	1.01	1.01	
	18.1	13	19854	3.79	3.91	1.04	4.35	4.43	1.02	1.04	
			56933	3.82	4.01	1.05	4.38	4.53	1.04	1.05	
			19897	3.85	4.03	1.05	4.40	4.54	1.04	1.05	
			20152	3.81	3.94	1.04	4.37	4.46	1.03	1.04	
	12.3	14	17240	3.63	3.80	1.05	4.06	4.18	1.03	1.05	
			17363	3.63	3.76	1.04	4.06	4.16	1.03	1.04	
			17302	3.64	3.80	1.05	4.06	4.22	1.04	1.05	
			17431	3.63	3.78	1.05	4.06	4.17	1.03	1.05	
	4.8	15	15167	3.41	3.48	1.03	3.81	3.75	0.985	1.03	
			15283	3.40	3.48	1.03	3.80	3.73	0.982	1.03	
			56219	3.41	3.47	1.02	3.80	3.71	0.977	1.02	
			15226	3.41	3.49	1.03	3.81	3.79	0.995	1.03	
-1.7	16	13068	3.25	3.22	0.991	3.51	3.35	0.955	1.00		
		13177	3.26	3.24	0.994	3.53	3.39	0.961	1.00		
		13123	3.25	3.23	0.994	3.49	3.34	0.958	1.00		
		13232	3.25	3.23	0.994	3.50	3.33	0.952	1.00		

注 1 : 質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2 : 採用  $\beta$  は、 $\beta_{Sd-1}$ 、 $\beta_{Sd-2}$  の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

表 3-11 建屋耐震性評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (NS 方向) (1/2)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	NS方向 応答補正比率 $\zeta$	
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点					
外 壁 部	49.7	1	29423	1.02	1.10	1.13	1.16
			29570	1.02	1.08	1.11	
			29989	1.05	1.10	1.16	
			30127	1.00	1.07	1.07	
	38.2	2	27477	1.05	1.00	1.05	1.05
			27972	1.04	1.00	1.04	
			27483	1.04	1.00	1.04	
			27653	1.03	1.00	1.03	
			27933	1.00	1.00	1.00	
			28275	1.01	1.00	1.01	
			27713	1.02	1.00	1.02	
	31.7	3	28058	1.02	1.00	1.02	1.12
			24945	1.04	1.07	1.12	
			25745	1.01	1.08	1.10	
			25326	1.01	1.05	1.07	
	23.5	4	25852	1.03	1.06	1.10	1.11
			21990	1.03	1.07	1.11	
			22931	1.00	1.07	1.07	
			22407	1.03	1.07	1.11	
	18.1	5	23038	1.02	1.07	1.10	1.11
			19572	1.02	1.06	1.09	
			20231	1.00	1.07	1.07	
			20195	1.04	1.06	1.11	
	12.3	6	20319	1.03	1.06	1.10	1.10
			17059	1.03	1.04	1.08	
			17910	1.00	1.04	1.04	
			18103	1.03	1.04	1.08	
	4.8	7	18004	1.04	1.05	1.10	1.08
14990			1.00	1.03	1.03		
15584			1.00	1.03	1.03		
15779			1.02	1.03	1.06		
-1.7	8	15679	1.04	1.03	1.08	1.11	
		12906	1.07	1.03	1.11		
		13520	1.03	1.03	1.07		
		13724	1.03	1.03	1.07		
			13621	1.04	1.04	1.09	

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

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	NS方向 応答補正比率 $\zeta$
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点				
R C V 部	31.7	11	26342	1.04	1.18	1.23
			26332	1.02	1.19	1.22
			26378	1.03	1.13	1.17
			26376	1.04	1.13	1.18
	23.5	12	22156	1.00	1.10	1.10
			22308	1.00	1.10	1.10
			22374	1.02	1.10	1.13
	18.1	13	19854	1.00	1.09	1.09
			56933	1.00	1.09	1.09
			19897	1.02	1.09	1.12
			20152	1.03	1.09	1.13
	12.3	14	17240	1.00	1.10	1.10
			17363	1.00	1.09	1.09
			17302	1.02	1.10	1.13
			17431	1.01	1.10	1.12
	4.8	15	15167	1.00	1.06	1.06
			15283	1.00	1.04	1.04
			56219	1.02	1.05	1.08
			15226	1.01	1.06	1.08
	-1.7	16	13068	1.06	1.02	1.09
13177			1.04	1.02	1.07	
13123			1.03	1.02	1.06	
13232			1.02	1.01	1.04	

表 3-12 建屋耐震性評価用の応答補正比率 $\zeta$ の算定 (EW 方向) (1/2)

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	EW方向 応答補正比率 $\zeta$
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点				
外 壁 部	49.7	1	29423	1.00	1.15	1.26
			29570	1.07	1.15	
			29989	1.09	1.15	
			30127	1.00	1.14	
	38.2	2	27477	1.00	1.05	1.19
			27972	1.11	1.04	
			27483	1.07	1.11	
			27653	1.02	1.08	
			27933	1.05	1.04	
			28275	1.03	1.06	
			27713	1.08	1.03	
	31.7	3	24945	1.00	1.00	1.05
			25745	1.05	1.00	
			25326	1.01	1.00	
			25852	1.02	1.00	
	23.5	4	21990	1.01	1.00	1.06
			22931	1.03	1.00	
			22407	1.06	1.00	
			23038	1.03	1.00	
	18.1	5	19572	1.02	1.00	1.06
			20231	1.02	1.00	
			20195	1.06	1.00	
			20319	1.05	1.00	
	12.3	6	17059	1.00	1.02	1.06
			17910	1.02	1.01	
			18103	1.03	1.01	
			18004	1.04	1.01	
	4.8	7	14990	1.00	1.03	1.09
15584			1.04	1.03		
15779			1.02	1.03		
15679			1.05	1.03		
-1.7	8	12906	1.03	1.01	1.06	
		13520	1.04	1.01		
		13724	1.03	1.02		
		13621	1.04	1.01		

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

評価点			$\alpha$	$\beta$	$\alpha \times \beta$	EW方向 応答補正比率 $\zeta$
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点				
R C V 部	31.7	11	26342	1.03	1.02	1.06
			26332	1.03	1.03	1.07
			26378	1.01	1.02	1.04
			26376	1.03	1.02	1.06
	23.5	12	22156	1.03	1.02	1.06
			22308	1.00	1.02	1.02
			22374	1.03	1.02	1.06
	18.1	13	22837	1.01	1.01	1.03
			19854	1.02	1.04	1.07
			56933	1.01	1.05	1.07
			19897	1.01	1.05	1.07
	12.3	14	20152	1.01	1.04	1.06
			17240	1.00	1.05	1.05
			17363	1.02	1.04	1.07
			17302	1.00	1.05	1.05
	4.8	15	17431	1.01	1.05	1.07
			15167	1.00	1.03	1.03
			15283	1.03	1.03	1.07
			56219	1.03	1.02	1.06
	-1.7	16	15226	1.01	1.03	1.05
13068			1.03	1.00	1.03	
13177			1.03	1.00	1.03	
13123			1.03	1.00	1.03	
			13232	1.03	1.00	1.03



(2) 評価結果

各層の応答補正比率を乗じた最大せん断応力度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曲線を図 3-10 及び図 3-11 に示す。

質点系モデルの最大応答せん断応力度に応答補正比率 $\zeta$ 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 方向ともにすべての層において、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応力度及びせん断ひずみ

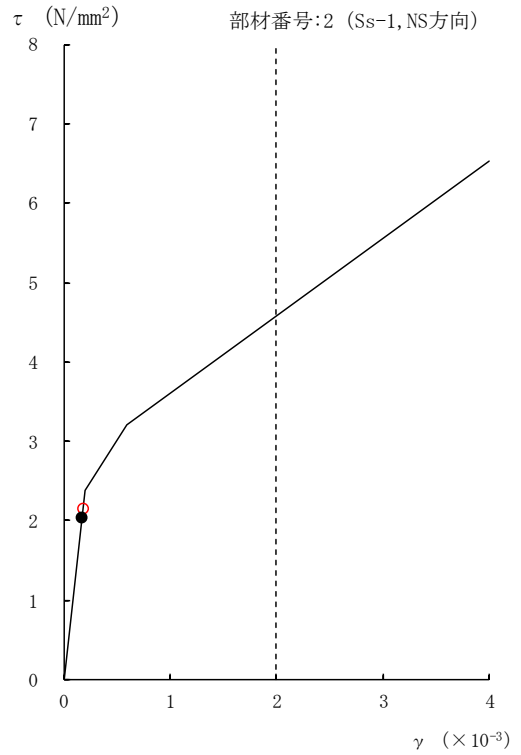
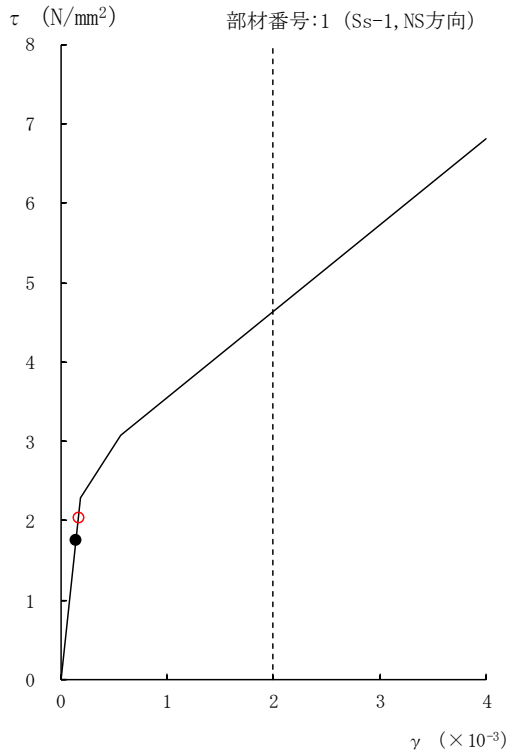
(a) NS 方向

部材 番号	質点系モデルの最大応答値 (基準地震動 $S_s$ , NS方向)			NS方向 応答補正比率 $\zeta$	応答補正後 (最大応答値 $\times\zeta$ )		
	$\tau$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	地震動		$\tau$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	
外 壁 部	1	1.75	0.147	Ss-1	1.16	2.03	0.171
	2	2.03	0.170	Ss-1	1.05	2.13	0.179
	3	2.04	0.171	Ss-1	1.12	2.28	0.192
	4	2.82	0.361	Ss-1	1.11	2.92	0.416
	5	2.84	0.388	Ss-1	1.11	2.94	0.448
	6	2.98	0.406	Ss-1	1.10	3.08	0.463
	7	3.33	0.529	Ss-8	1.08	3.46	0.589
	8	2.73	0.247	Ss-8	1.11	2.79	0.278
R C C V 部	10	0.596	0.0499	Ss-1	1.23	0.733	0.0614
	11	1.55	0.130	Ss-1	1.13	1.75	0.147
	12	1.77	0.149	Ss-1	1.13	2.00	0.169
	13	2.25	0.189	Ss-1	1.13	2.44	0.214
	14	2.80	0.388	Ss-1	1.08	2.89	0.431
	15	2.25	0.189	Ss-1	1.09	2.45	0.206

(b) EW 方向

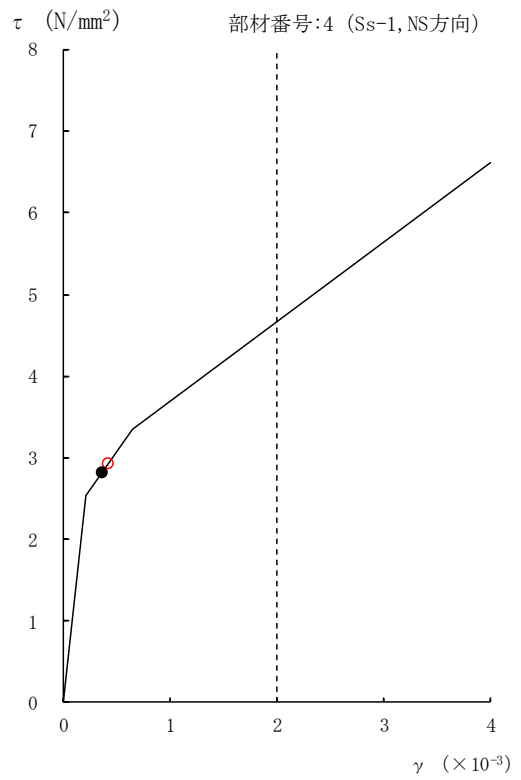
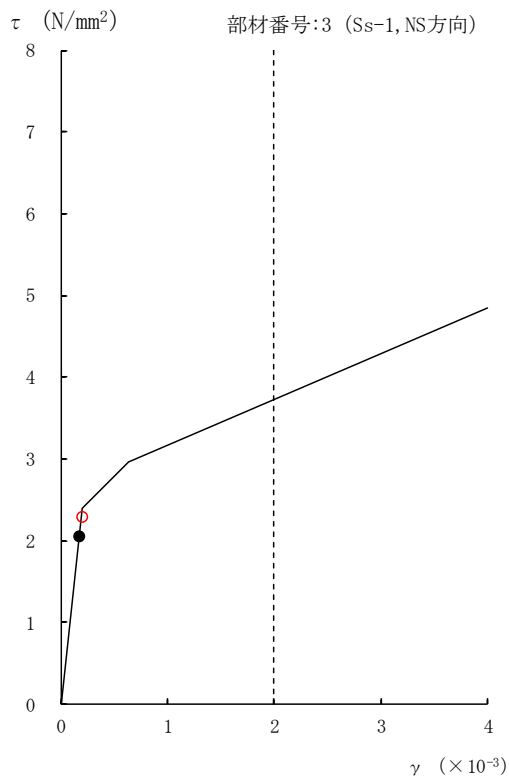
部材 番号	質点系モデルの最大応答値 (基準地震動 $S_s$ , EW方向)			EW方向 応答補正比率 $\zeta$	応答補正後 (最大応答値 $\times\zeta$ )		
	$\tau$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	地震動		$\tau$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	
外 壁 部	1	1.22	0.103	Ss-1	1.26	1.54	0.130
	2	1.39	0.116	Ss-1	1.19	1.65	0.139
	3	1.76	0.148	Ss-1	1.05	1.85	0.156
	4	2.50	0.225	Ss-2	1.06	2.53	0.240
	5	2.59	0.274	Ss-2	1.06	2.62	0.295
	6	3.02	0.441	Ss-2	1.06	3.10	0.478
	7	3.03	0.456	Ss-2	1.09	3.14	0.514
	8	2.76	0.328	Ss-2	1.06	2.80	0.354
R C C V 部	10	0.367	0.0308	Ss-2	1.07	0.393	0.0330
	11	1.08	0.0905	Ss-2	1.06	1.14	0.0960
	12	1.31	0.110	Ss-2	1.07	1.40	0.118
	13	2.49	0.264	Ss-2	1.07	2.52	0.287
	14	2.52	0.301	Ss-2	1.07	2.55	0.329
	15	2.59	0.265	Ss-2	1.03	2.60	0.275

● 補正前応答値      ○ 補正後応答値



部材番号 1 Ss-1

部材番号 2 Ss-1

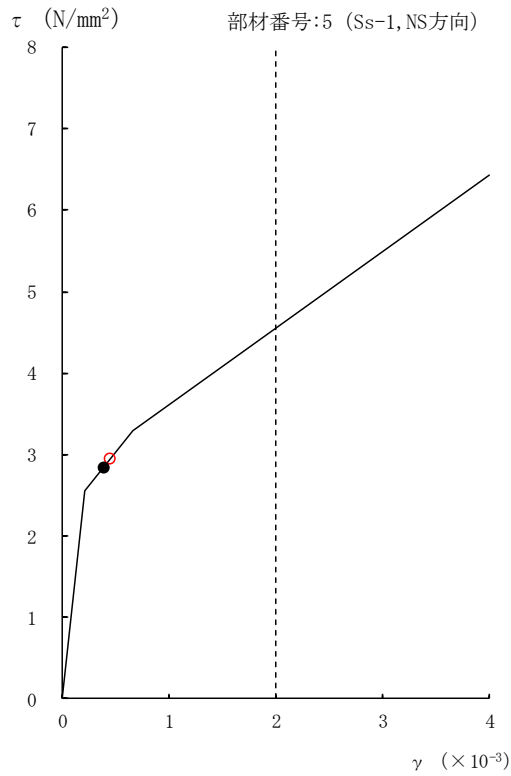


部材番号 3 Ss-1

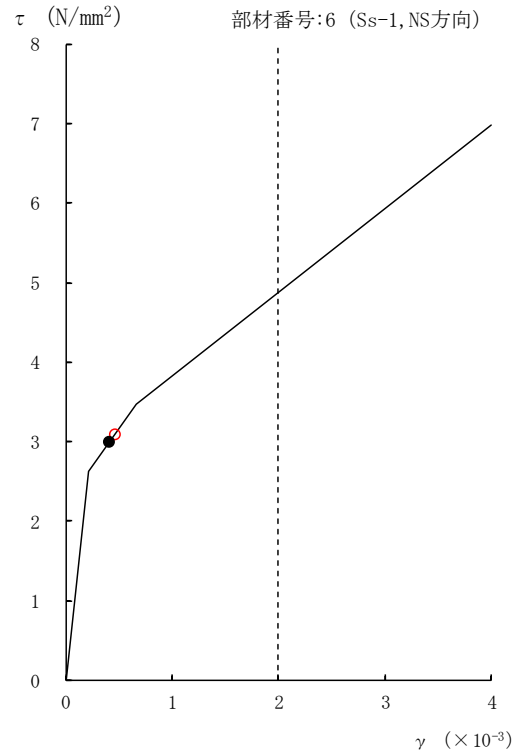
部材番号 4 Ss-1

図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (1/4)

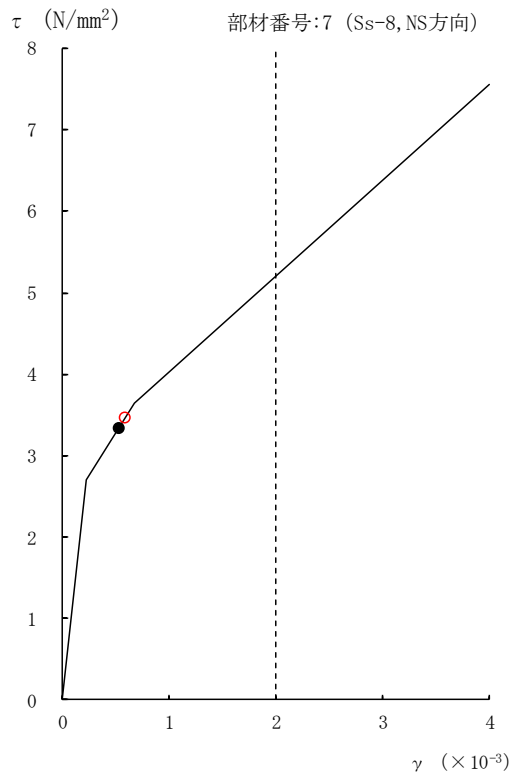
● 補正前応答値      ○ 補正後応答値



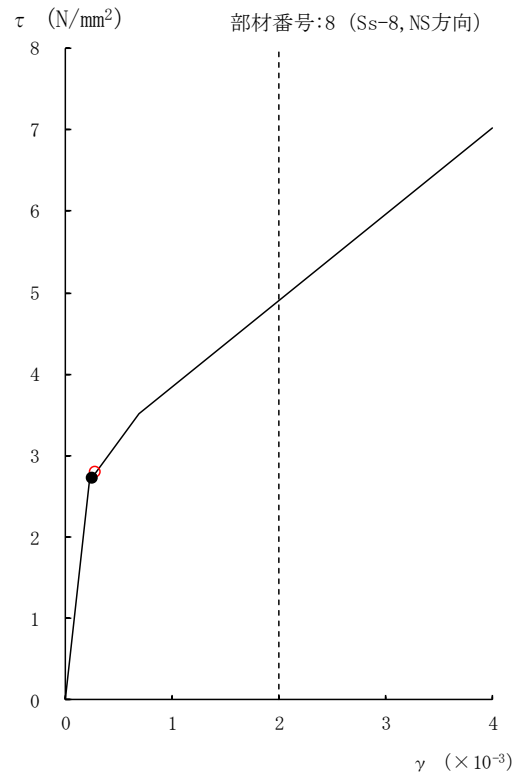
部材番号 5 Ss-1



部材番号 6 Ss-1



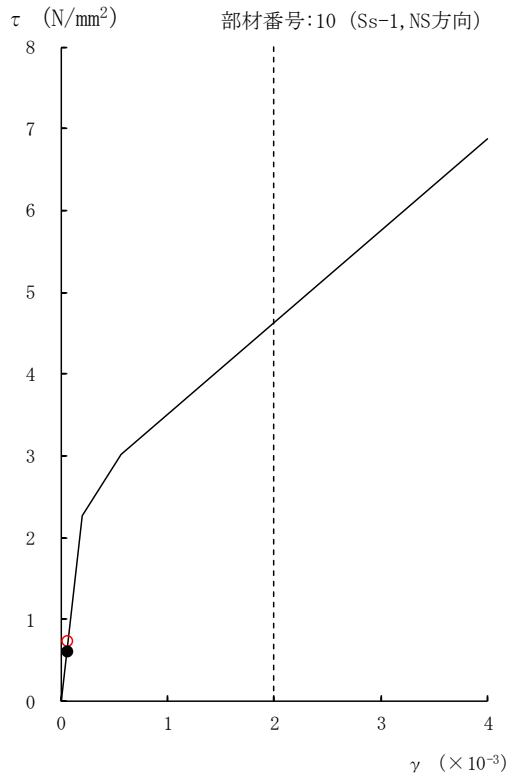
部材番号 7 Ss-8



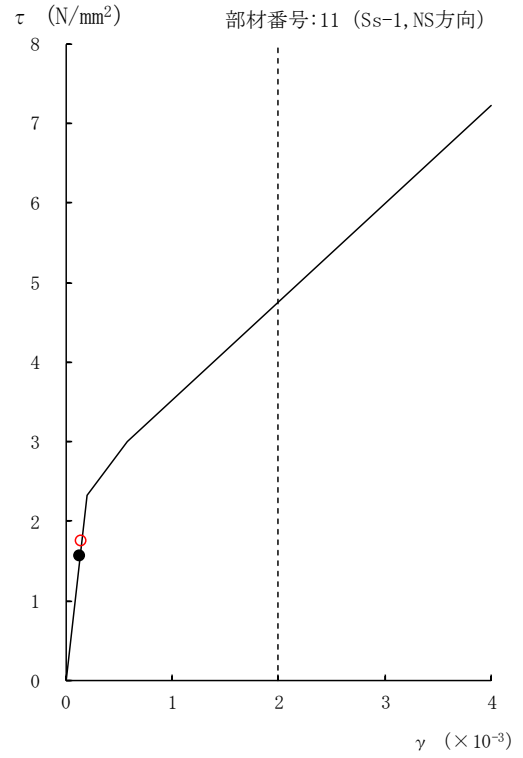
部材番号 8 Ss-8

図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (2/4)

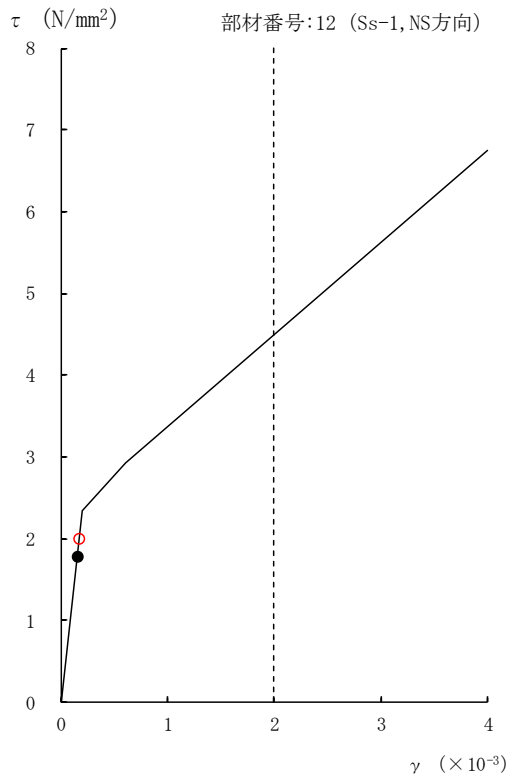
● 補正前応答値      ○ 補正後応答値



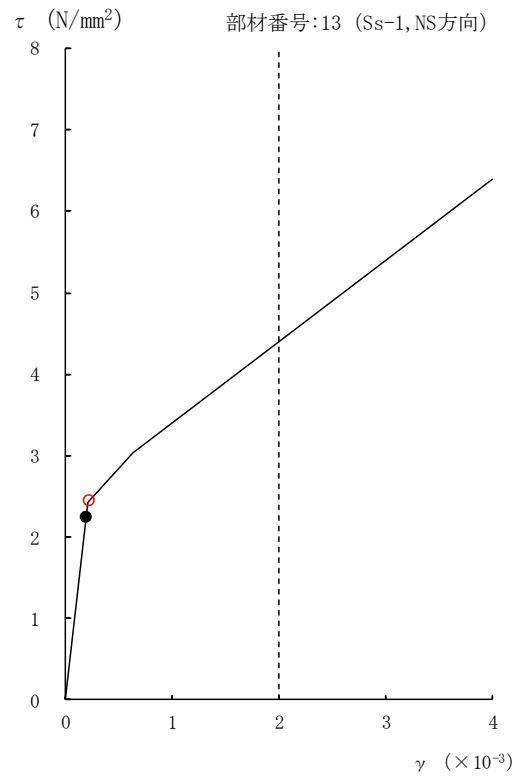
部材番号 10 Ss-1



部材番号 11 Ss-1



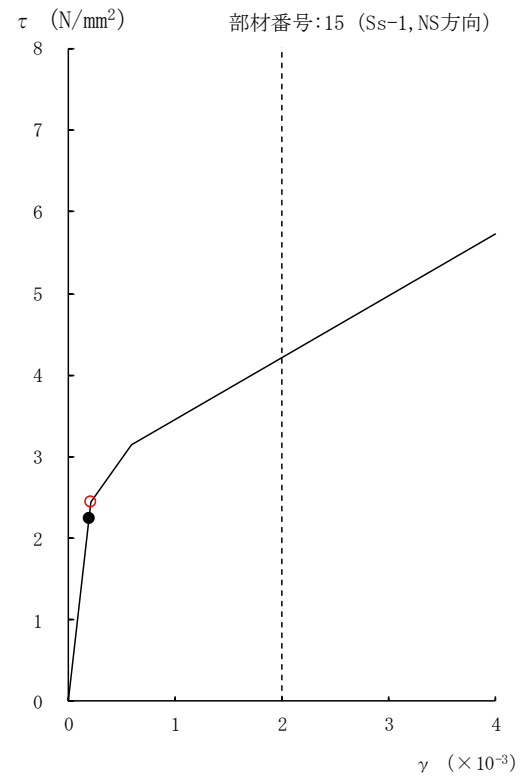
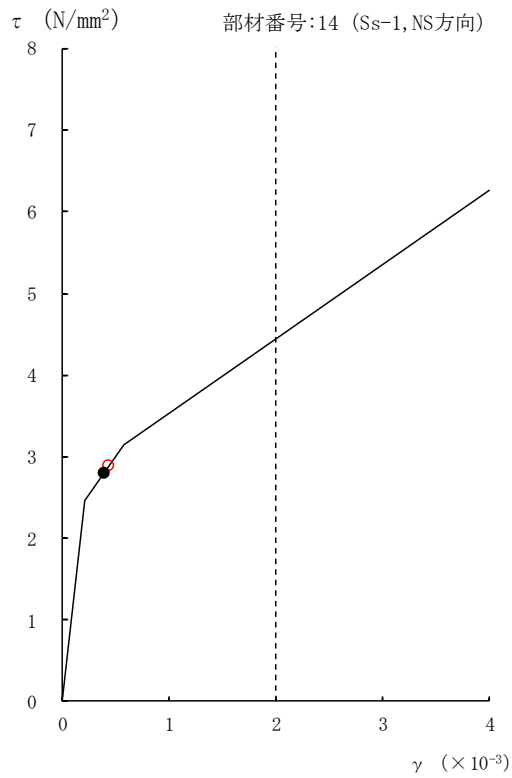
部材番号 12 Ss-1



部材番号 13 Ss-1

図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (3/4)

● 補正前応答値      ○ 補正後応答値

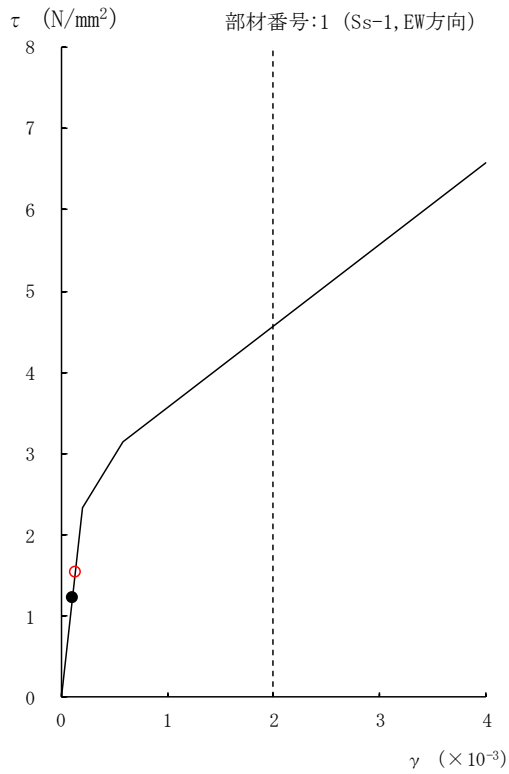


部材番号 14 Ss-1

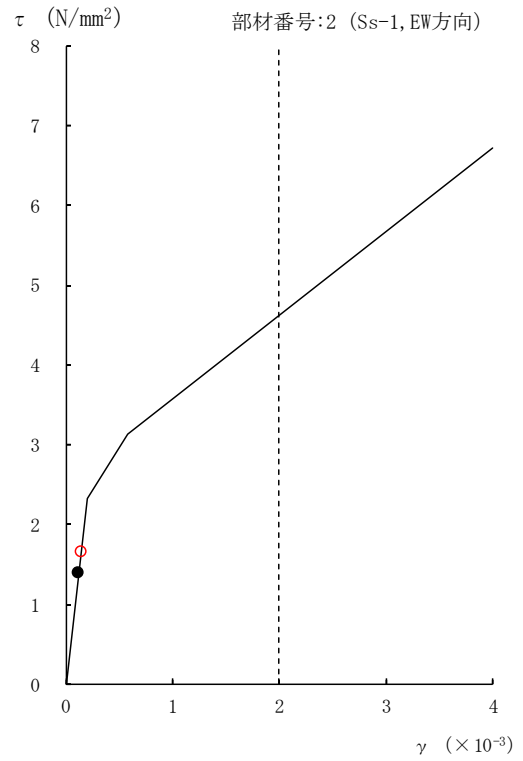
部材番号 15 Ss-1

図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (4/4)

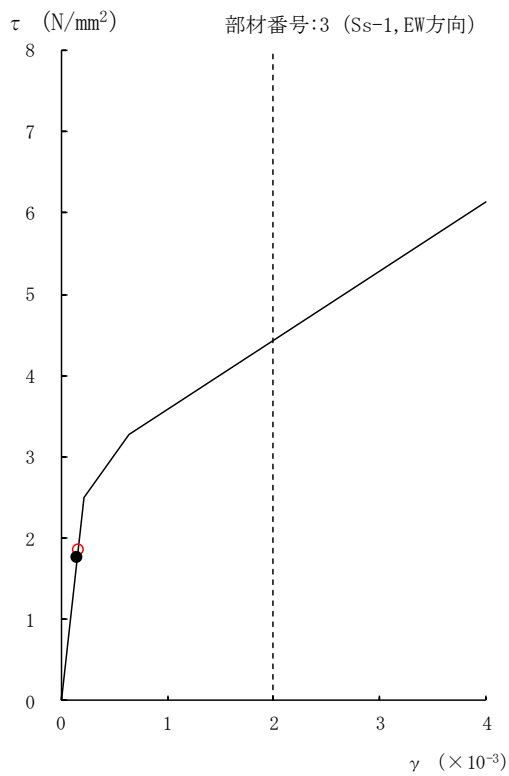
● 補正前応答値      ○ 補正後応答値



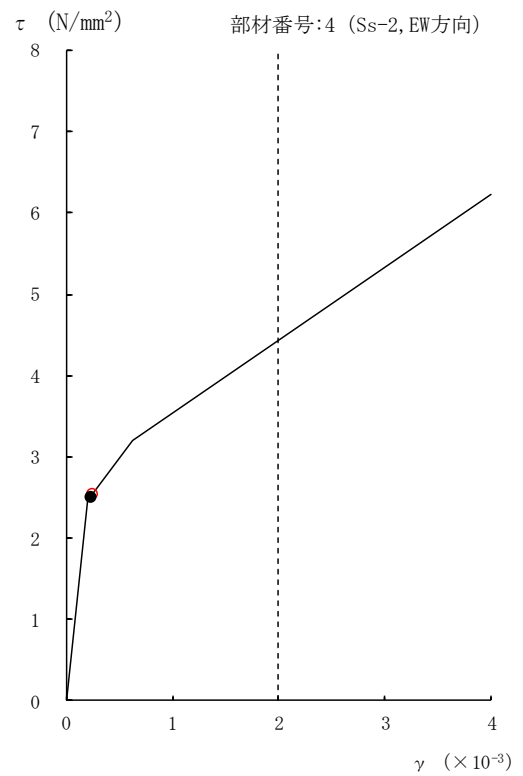
部材番号 1 Ss-1



部材番号 2 Ss-1



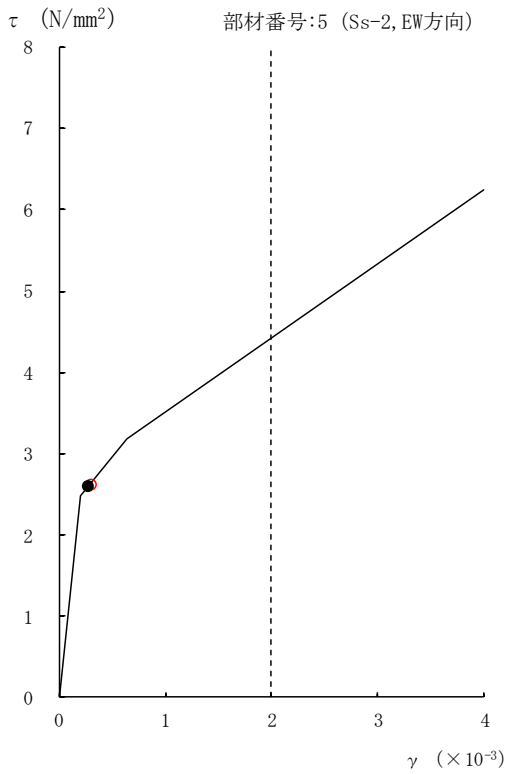
部材番号 3 Ss-1



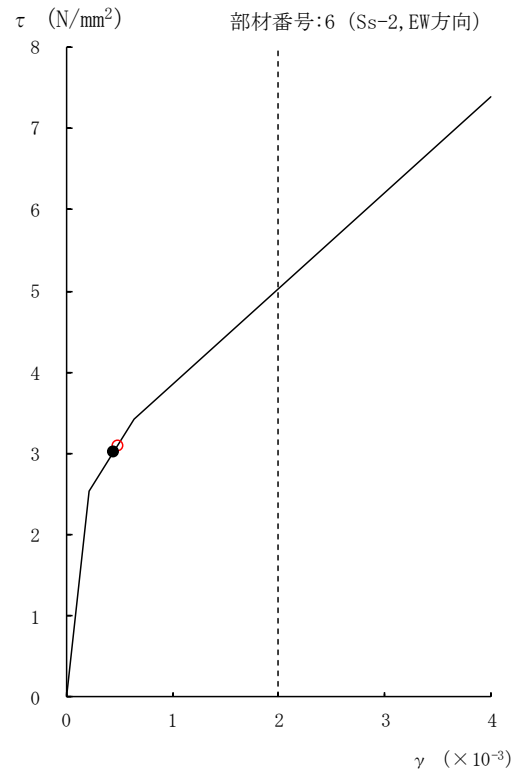
部材番号 4 Ss-2

図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (1/4)

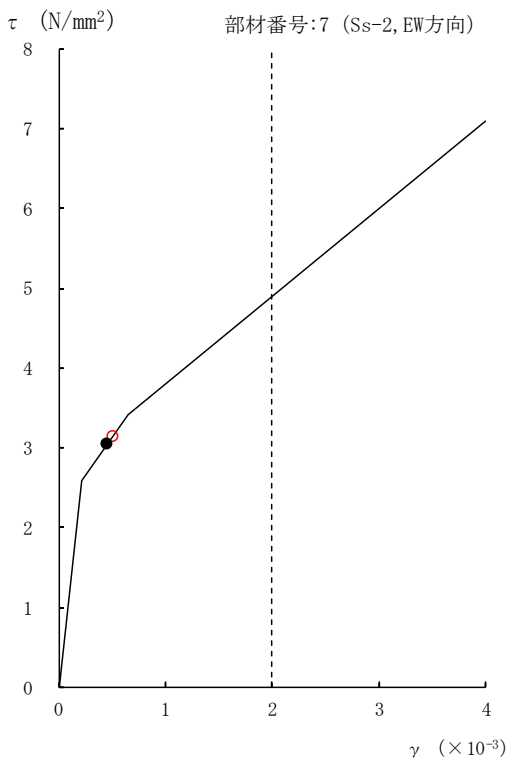
● 補正前応答値      ○ 補正後応答値



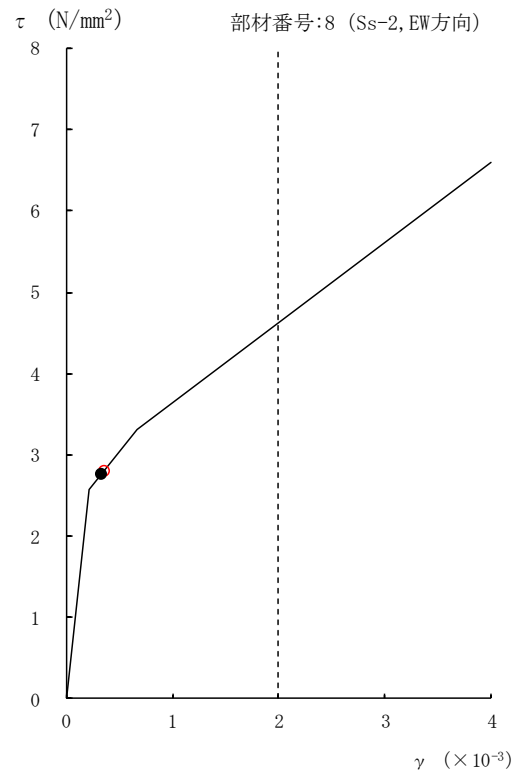
部材番号 5 Ss-2



部材番号 6 Ss-2



部材番号 7 Ss-2

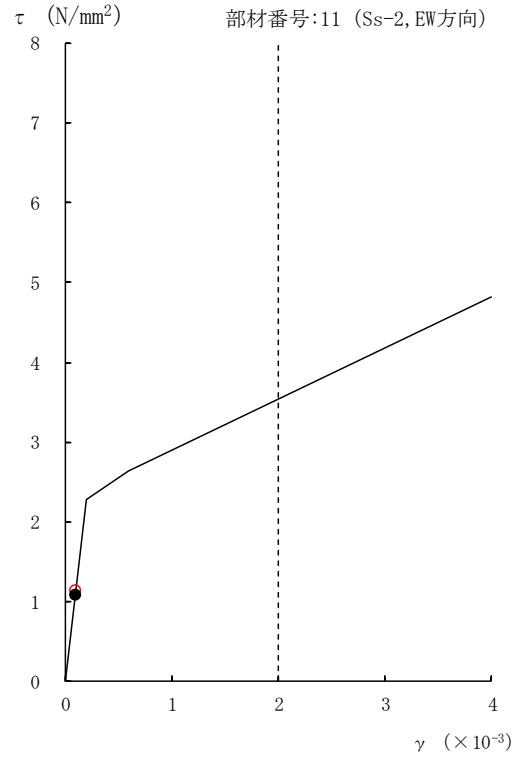
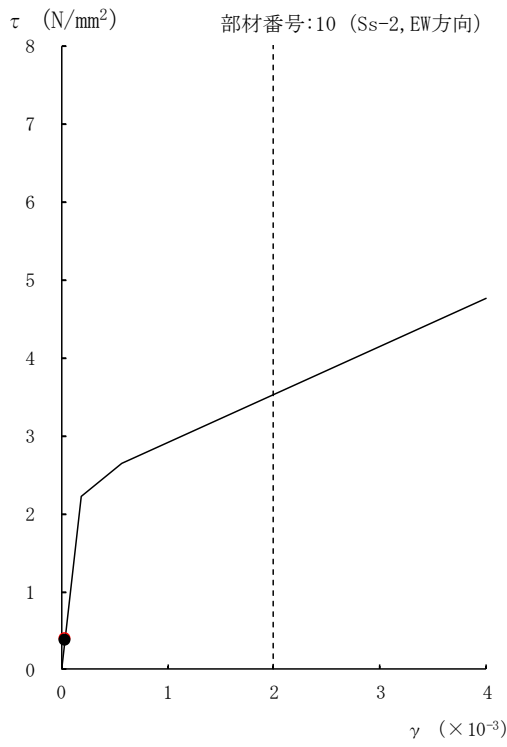


部材番号 8 Ss-2

図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (2/4)

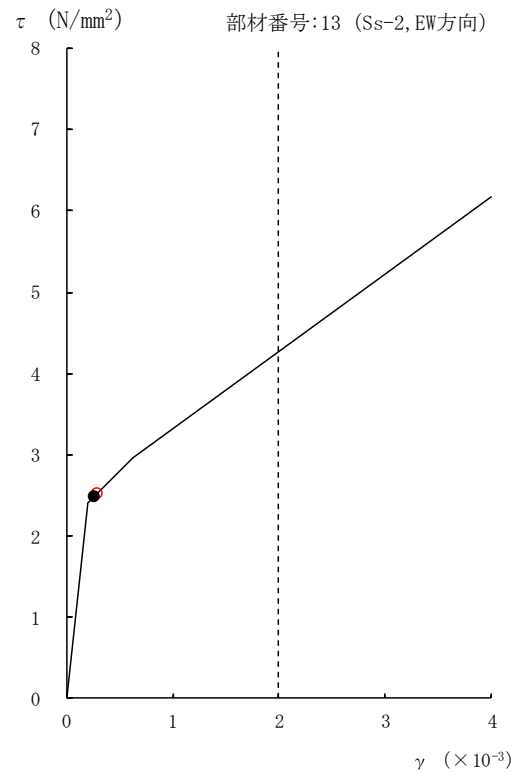
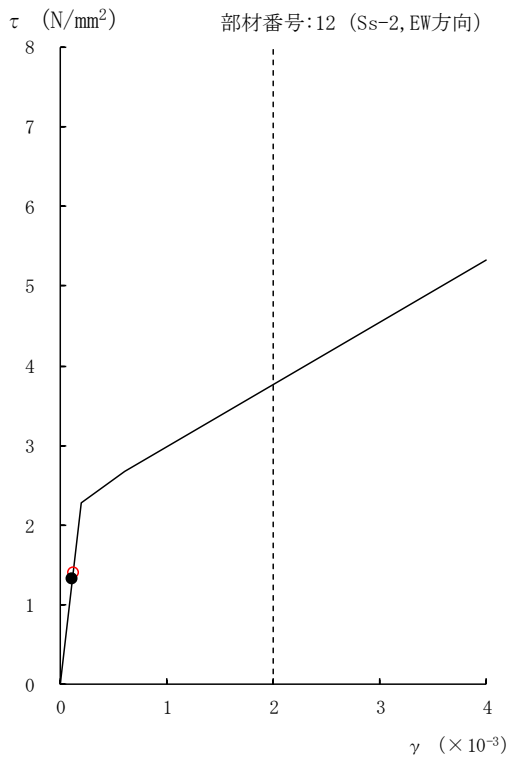


● 補正前応答値      ○ 補正後応答値



部材番号 10 Ss-2

部材番号 11 Ss-2

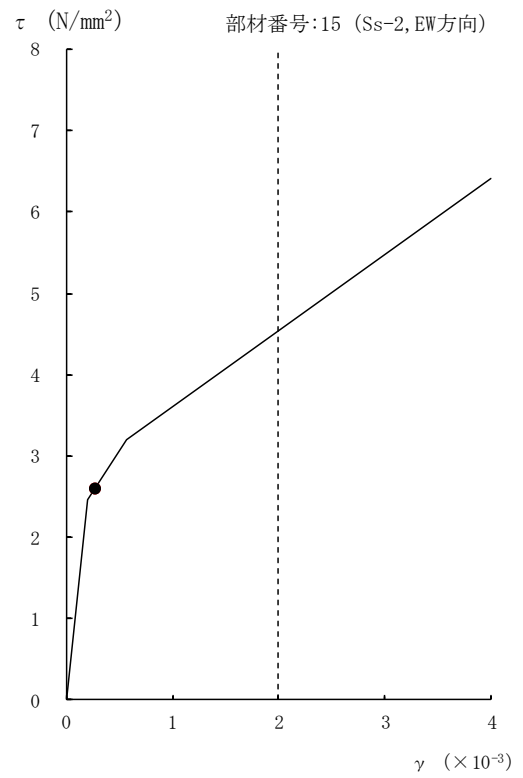
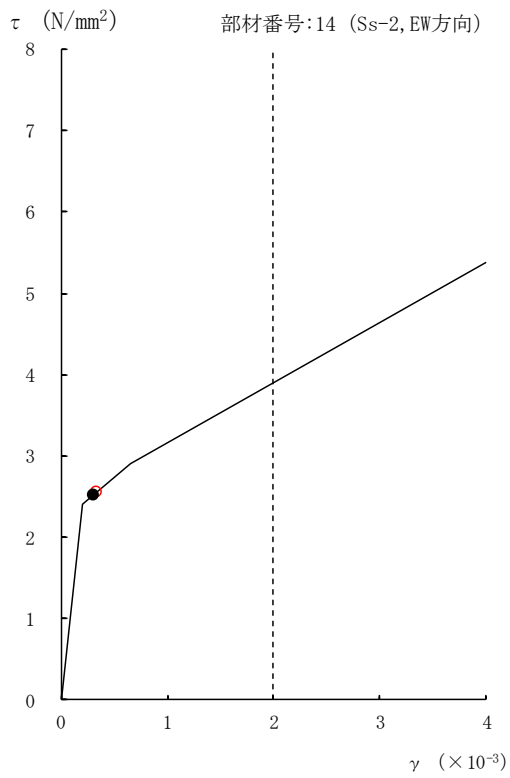


部材番号 12 Ss-2

部材番号 13 Ss-2

図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (3/4)

● 補正前応答値      ○ 補正後応答値



部材番号 14 Ss-2

部材番号 15 Ss-2

図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (4/4)

### 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 T. M. S. L. -8.2m~31.7m における南東の外壁部（R1 通り，RG 通り）とする。

評価に当たっては、3次元 FEM モデルである建屋模擬モデルにおける 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 及び表 3-15 に比較結果を示す。

建屋上部における NS 方向の 0.2 秒付近の応答において、3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルより大きくなる傾向を示したが、その他の周期帯においては、おおむ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、妥当であることが確認できた。

なお、NS 方向の 0.2 秒付近における、局所的な応答の機器・配管系への影響については、別紙 4「機器・配管系に関する説明資料」において検討を行う。

表 3-14 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 (Sd-1) (1/4)

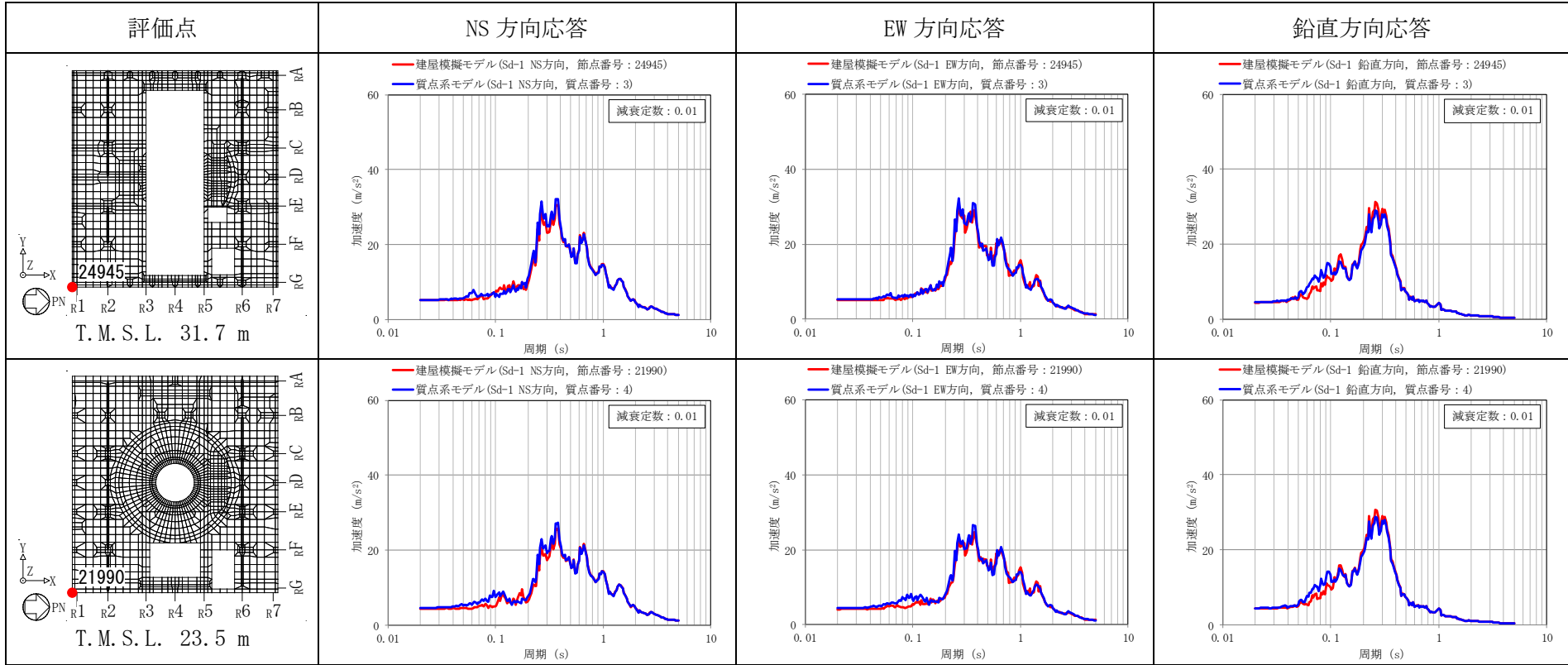


表 3-14 3次元 FEM モデル (建屋模擬モデル) 及び質点系モデルの応答比較 (Sd-1) (2/4)

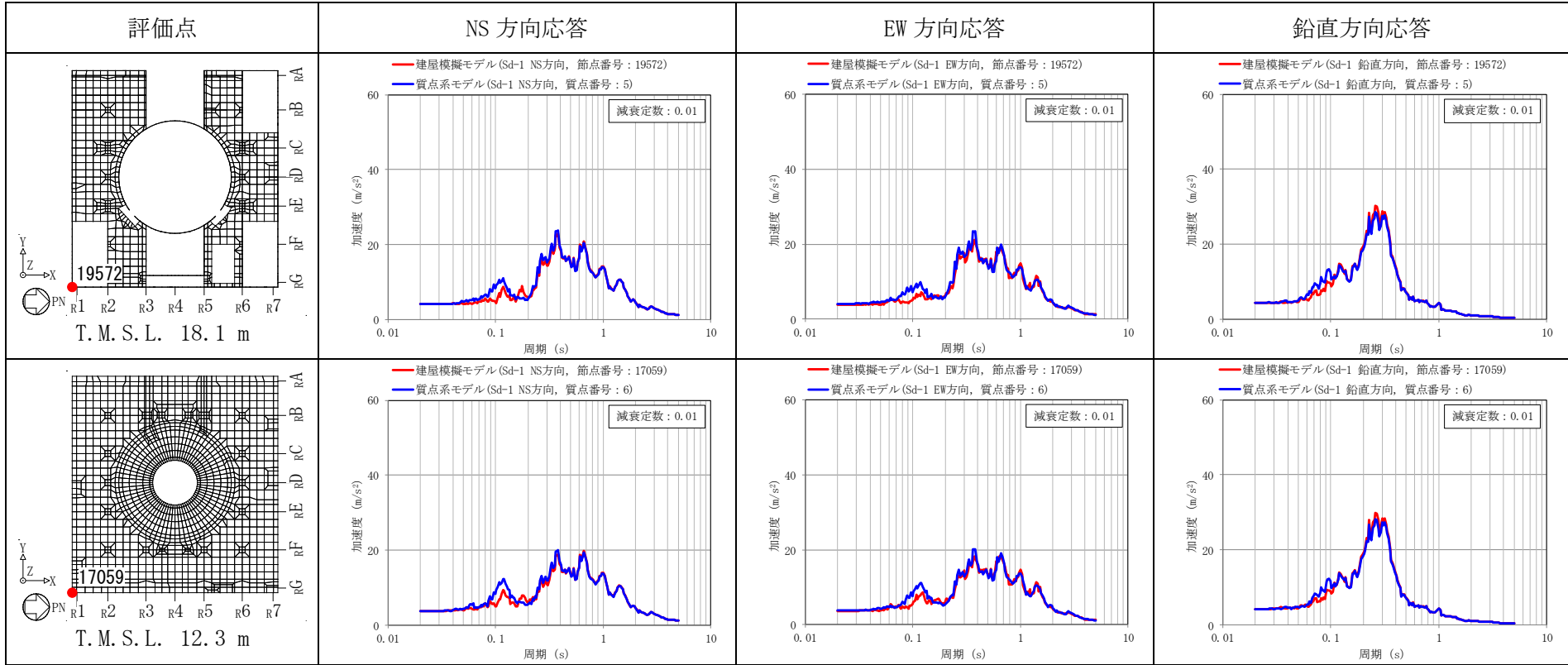


表 3-14 3次元 FEM モデル (建屋模擬モデル) 及び質点系モデルの応答比較 (Sd-1) (3/4)

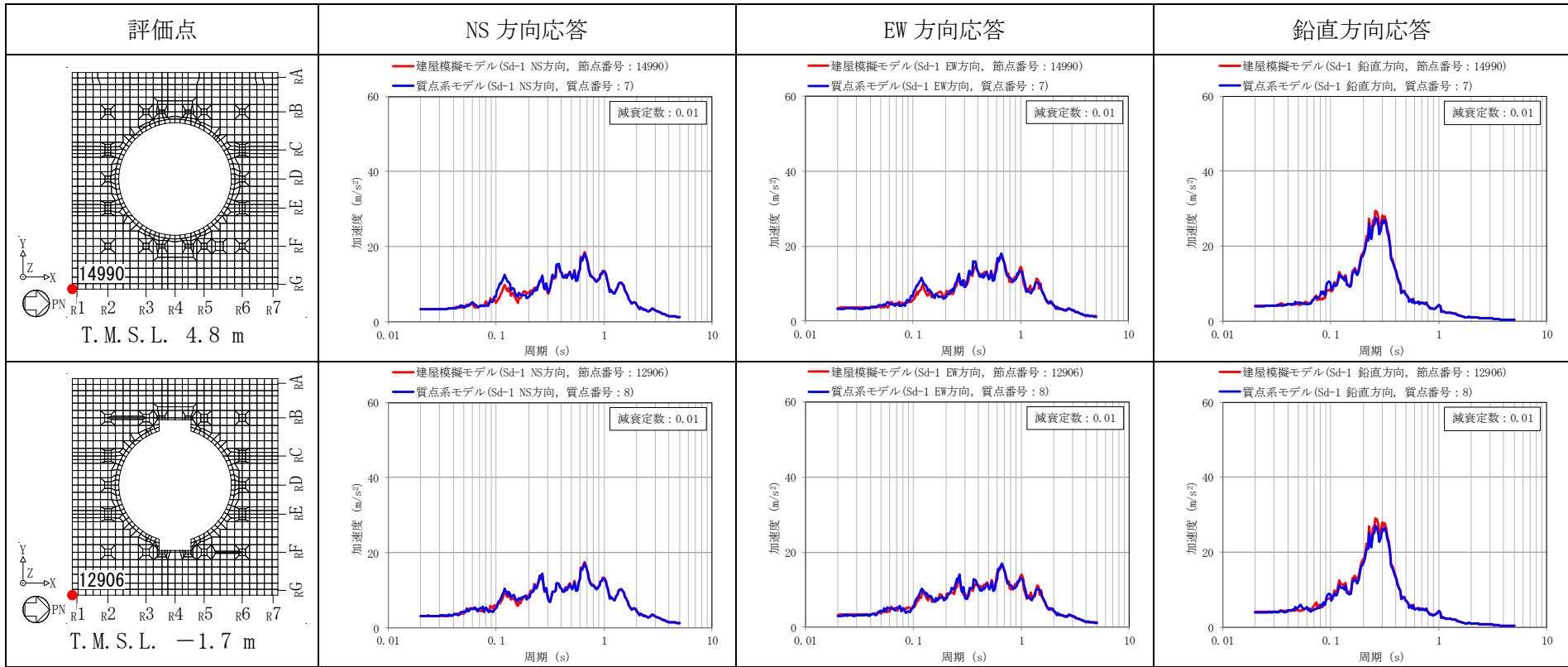


表 3-14 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-1）（4/4）

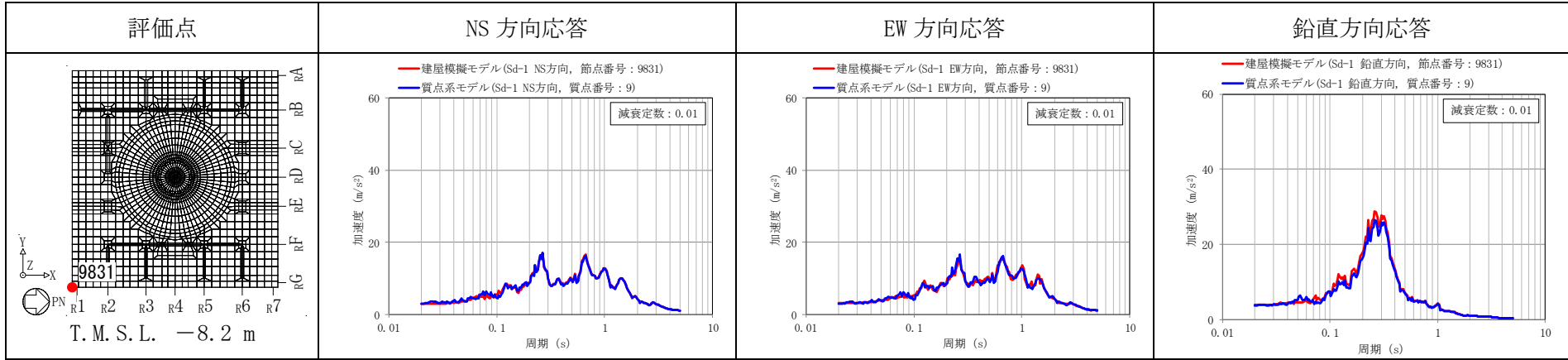


表 3-15 3次元 FEM モデル (建屋模擬モデル) 及び質点系モデルの応答比較 (Sd-2) (1/4)

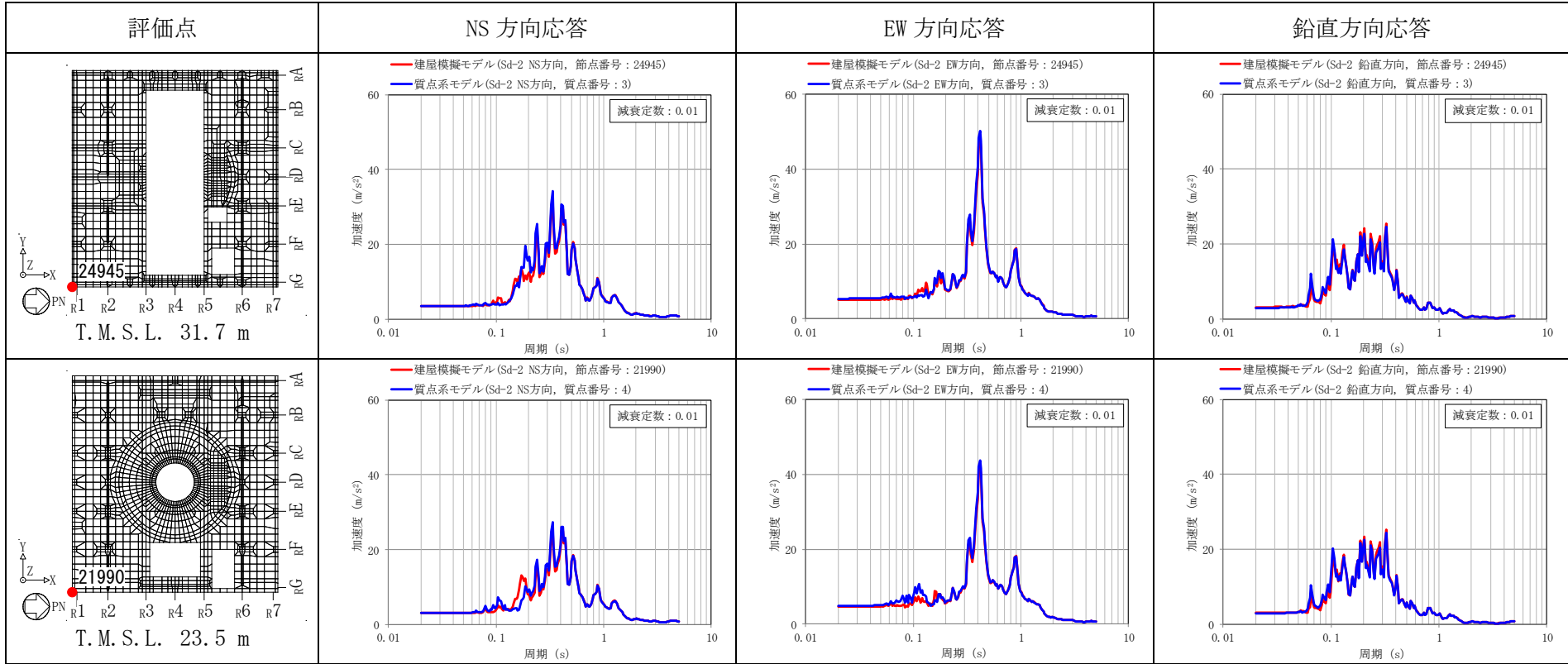




表 3-15 3次元 FEM モデル (建屋模擬モデル) 及び質点系モデルの応答比較 (Sd-2) (2/4)

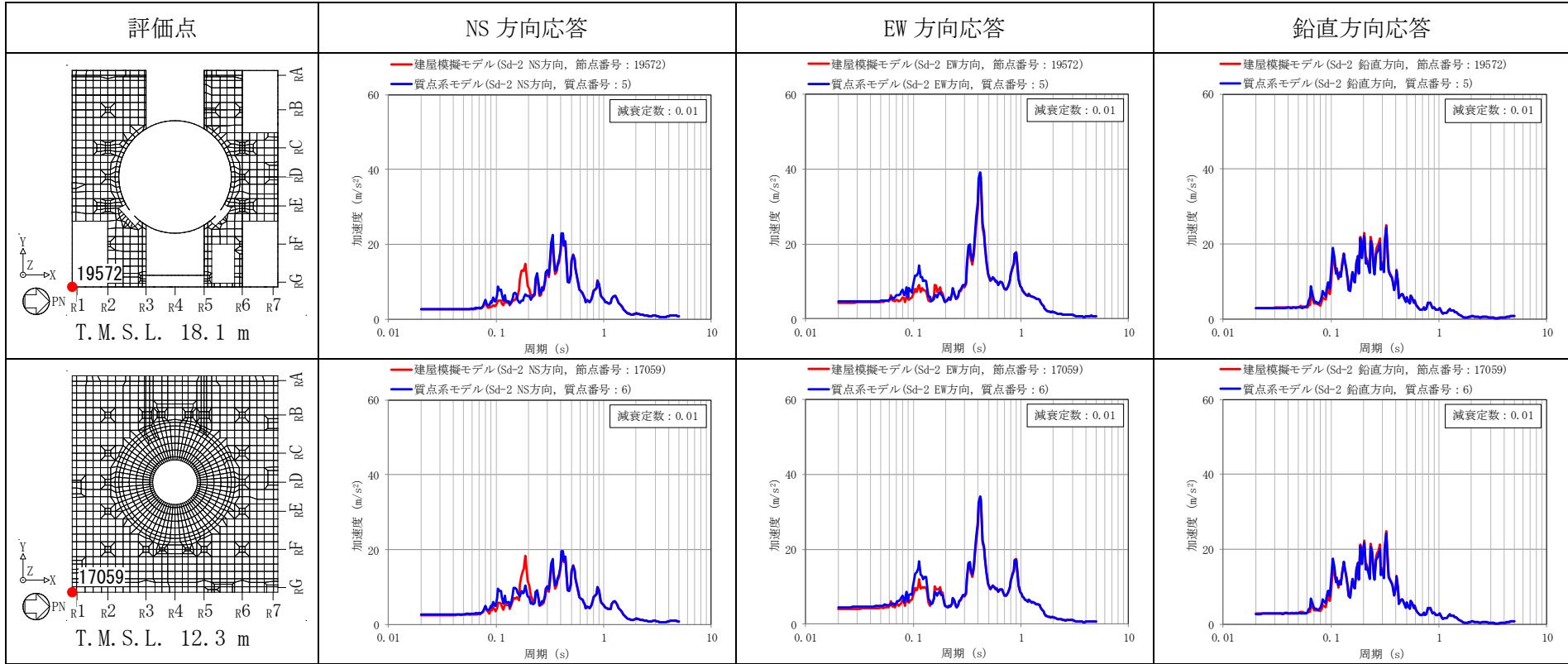


表 3-15 3次元 FEM モデル (建屋模擬モデル) 及び質点系モデルの応答比較 (Sd-2) (3/4)

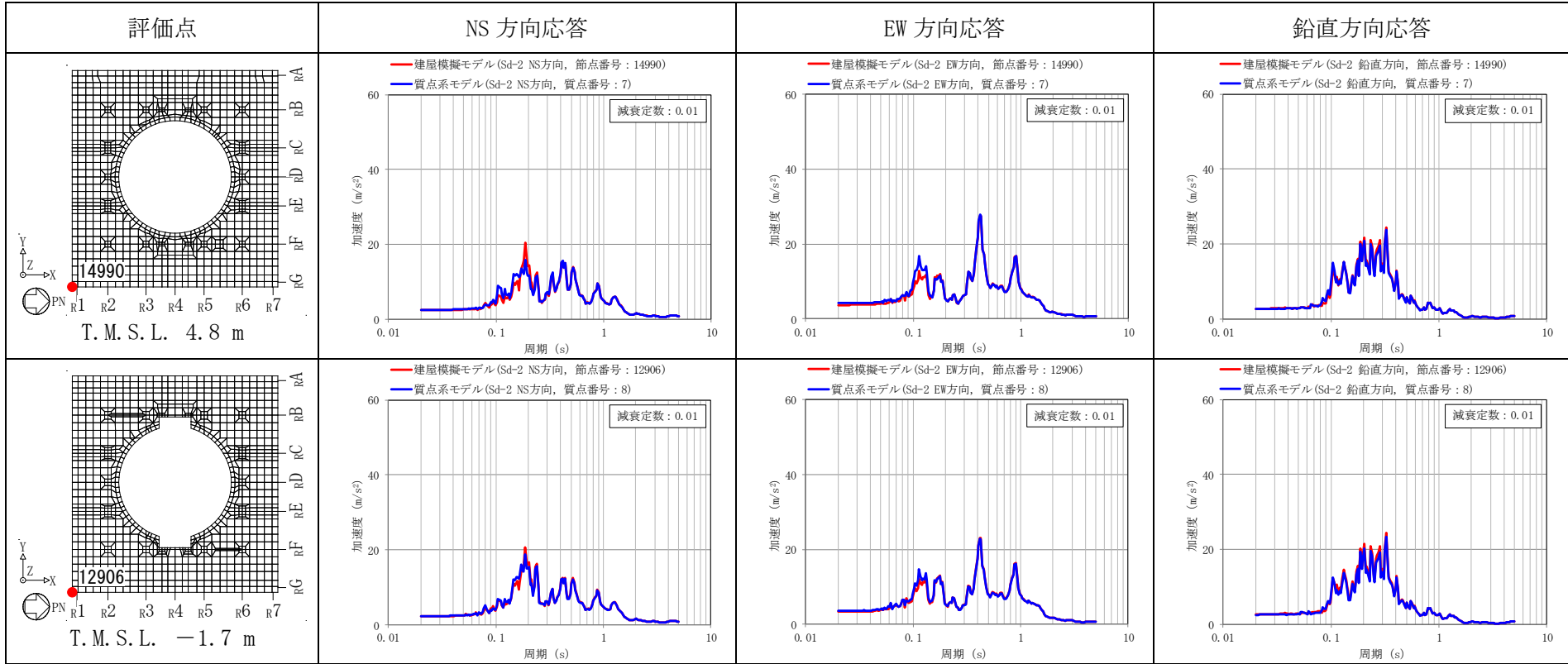
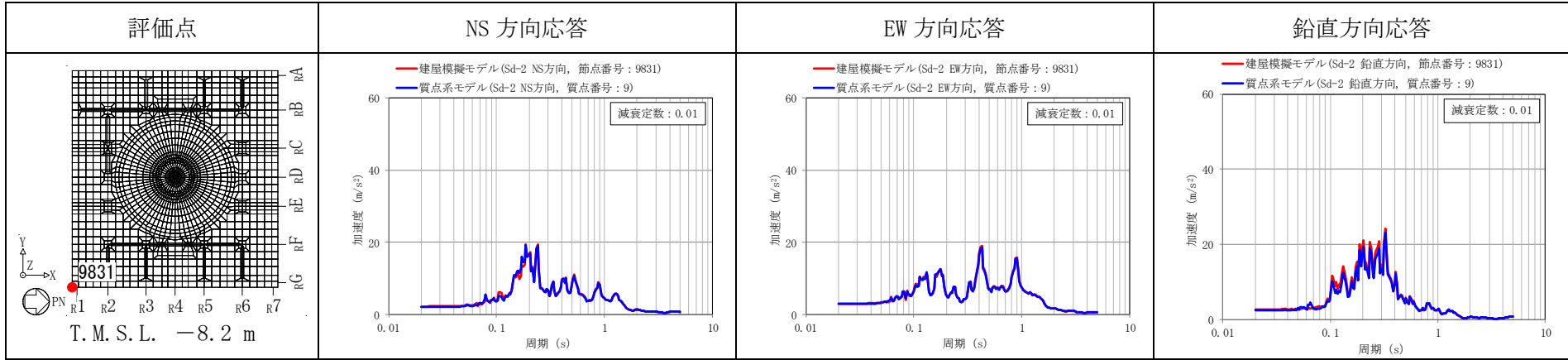


表 3-15 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-2）（4/4）



#### 4. まとめ

原子炉建屋について、建屋の 3 次元的な応答性状を確認し、質点系モデルの応答性状を検証するため、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について検討を行った。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について検討を行った。

建屋については、3次元FEMモデルにより得られた3次元的な応答性状を質点系モデルに考慮して応答補正を行った結果、建屋が有する耐震性への影響は無いことを確認した。

また、機器・配管系については、3次元FEMモデルにより得られた局所的な応答（床応答）と質点系モデルより得られた応答を比較した結果、機器・配管系が有する耐震性に及ぼす影響が無いことを確認した。

以上のことから、原子炉建屋の質点系モデルは、3次元的な応答特性による局所的な応答を考慮できないものの、3次元FEMモデルとの応答比較などの検証を踏まえて、保守的な解析モデルとなっている。

別紙 3-1 6号機原子炉建屋の観測記録を用いた  
シミュレーション解析

## 目 次

1. 検討概要	別紙 3-1-1
1.1 構造概要	別紙 3-1-1
1.2 3次元 FEM モデルによるシミュレーション解析の方針	別紙 3-1-13
2. 3次元 FEM モデルの構築	別紙 3-1-14
2.1 モデル化の基本方針	別紙 3-1-14
2.2 荷重	別紙 3-1-18
2.3 建屋-地盤の相互作用	別紙 3-1-18
3. 観測記録を用いたシミュレーション解析	別紙 3-1-23
3.1 観測記録を用いた検討の概要	別紙 3-1-23
3.2 観測記録によるシミュレーション解析結果	別紙 3-1-28
3.2.1 中越沖地震のシミュレーション解析結果	別紙 3-1-28
3.2.2 中越地震（余震）のシミュレーション解析結果	別紙 3-1-28
4. まとめ	別紙 3-1-31

## 1. 検討概要

別紙 3 において、7 号機原子炉建屋について、2007 年新潟県中越沖地震（以下「中越沖地震」という。）に対して、3 次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析を実施し、観測記録を再現できていることを確認した。

本資料では、6 号機原子炉建屋と 7 号機原子炉建屋の高さ及び平面形状が共通であることを踏まえ、代表として 6 号機原子炉建屋で地震観測を行ってきたことから、6 号機原子炉建屋について 3 次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析を実施し、観測記録が再現できているか確認する。シミュレーション解析は中越沖地震と中越沖地震以外の観測記録のうち最も大きい観測記録である 2004 年新潟県中越地震の最大余震（以下「中越地震（余震）」という。）に対して行う。

### 1.1 構造概要

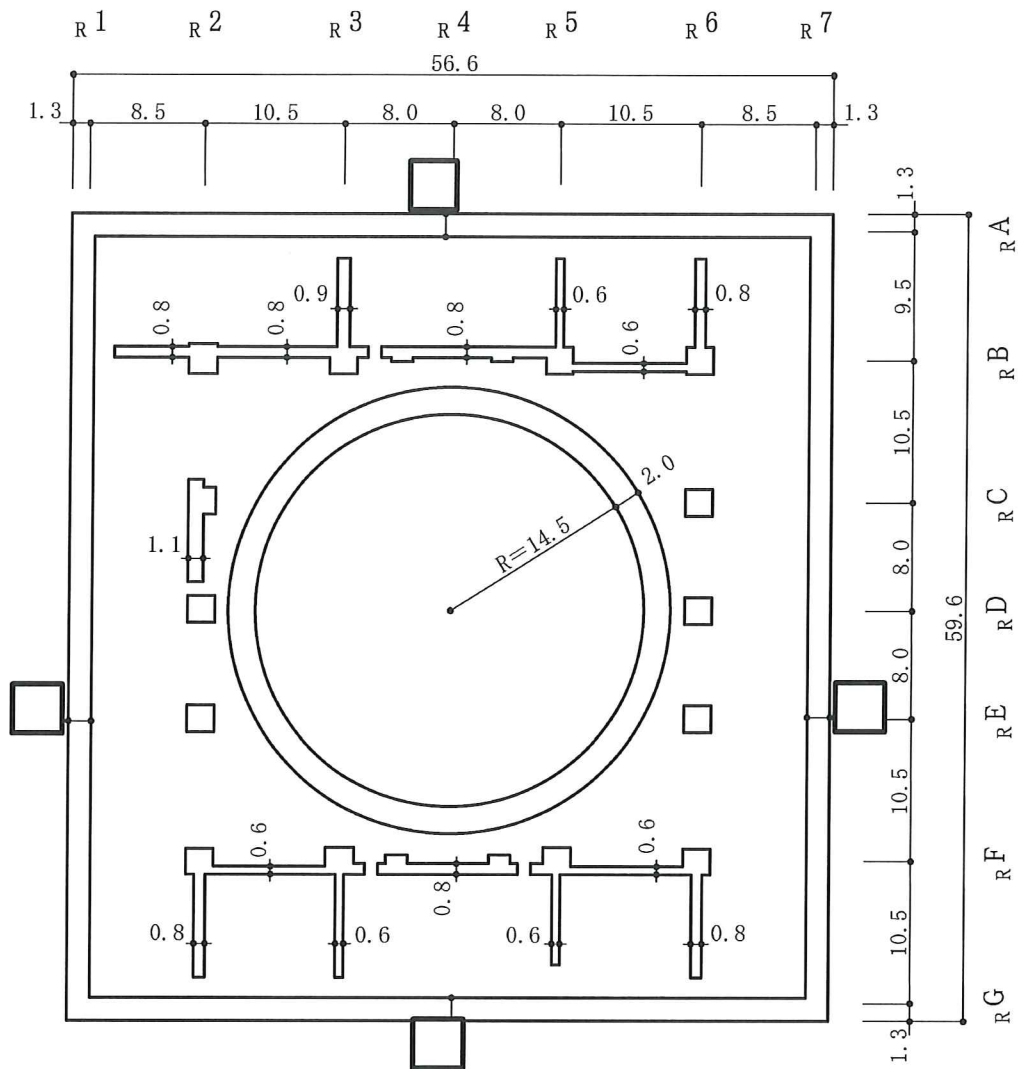
6 号機原子炉建屋は、地上 4 階、地下 3 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。6 号機原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

6 号機原子炉建屋の平面は、下部では 56.6m（NS 方向）× 59.6m（EW 方向）、最上階は 39.0m（NS 方向）× 59.6m（EW 方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 63.4m であり、地上高さは 37.7m である。なお、6 号機原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。また、6 号機原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

6 号機原子炉建屋の基礎は厚さ 5.5m のべた基礎で、支持地盤である泥岩上に直接設置している。

6 号機原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCV は円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって 6 号機原子炉建屋と一体構造になっている。この RCCV の高さは底部上端からトップスラブ部下端まで 29.5m、内径は 29.0m であり、壁厚は 2.0m である。

6 号機原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCV と外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



(単位 : m)

注 : 東京湾平均海面 (以下, 「T. M. S. L.」 という。)

図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T. M. S. L. -8.2m) (1/9)



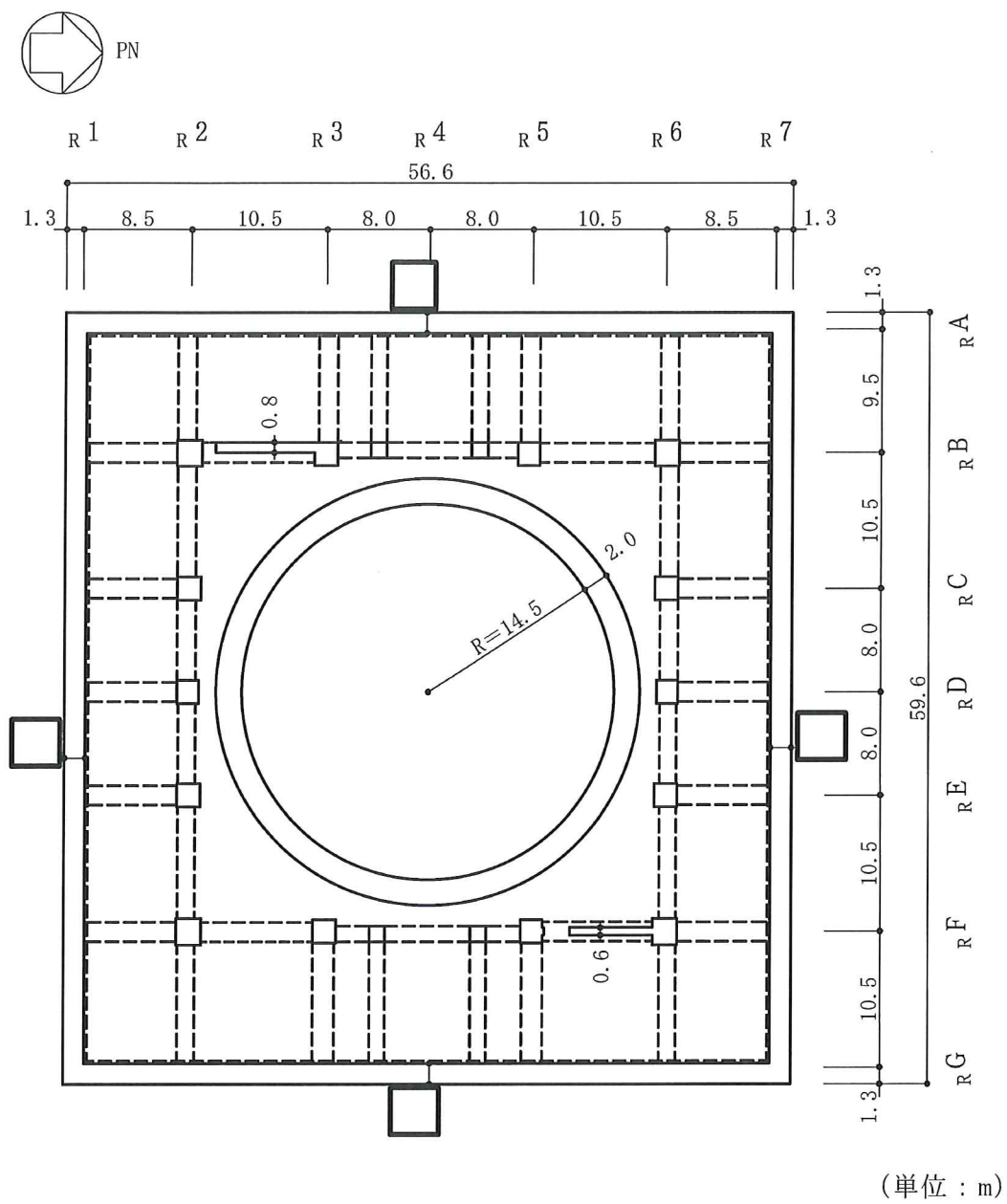


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T. M. S. L. -1.7m) (2/9)

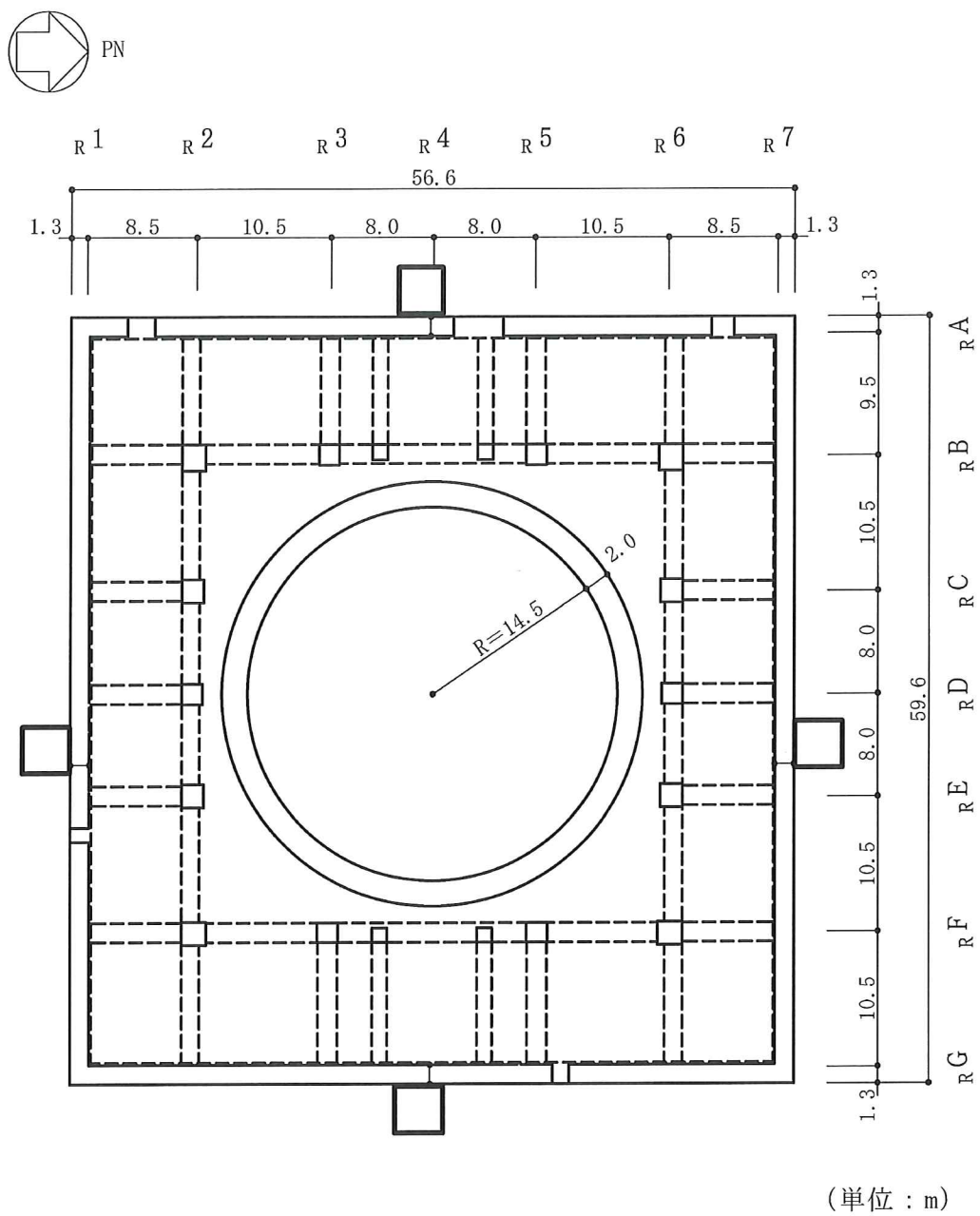


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.8m) (3/9)

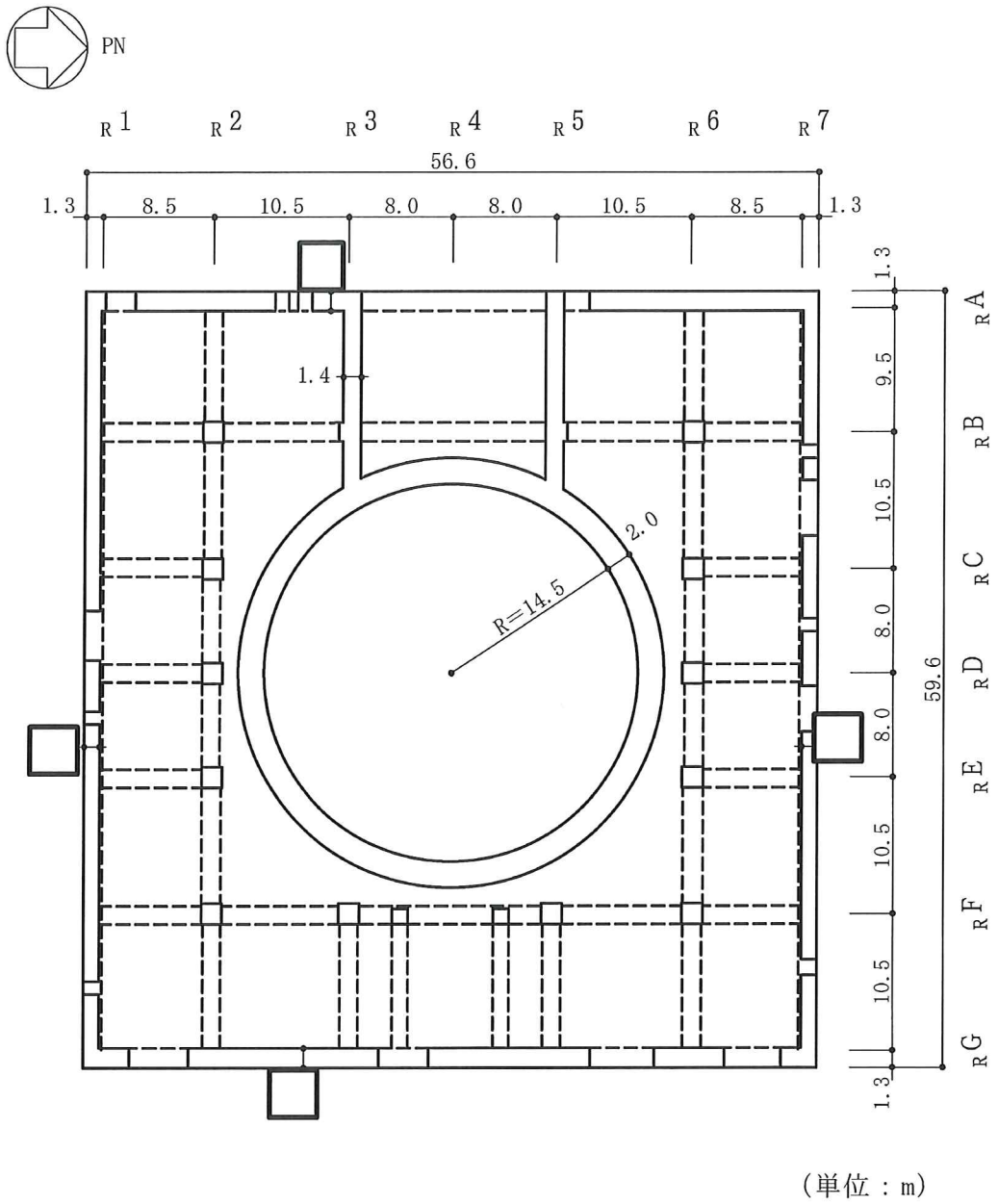


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/9)

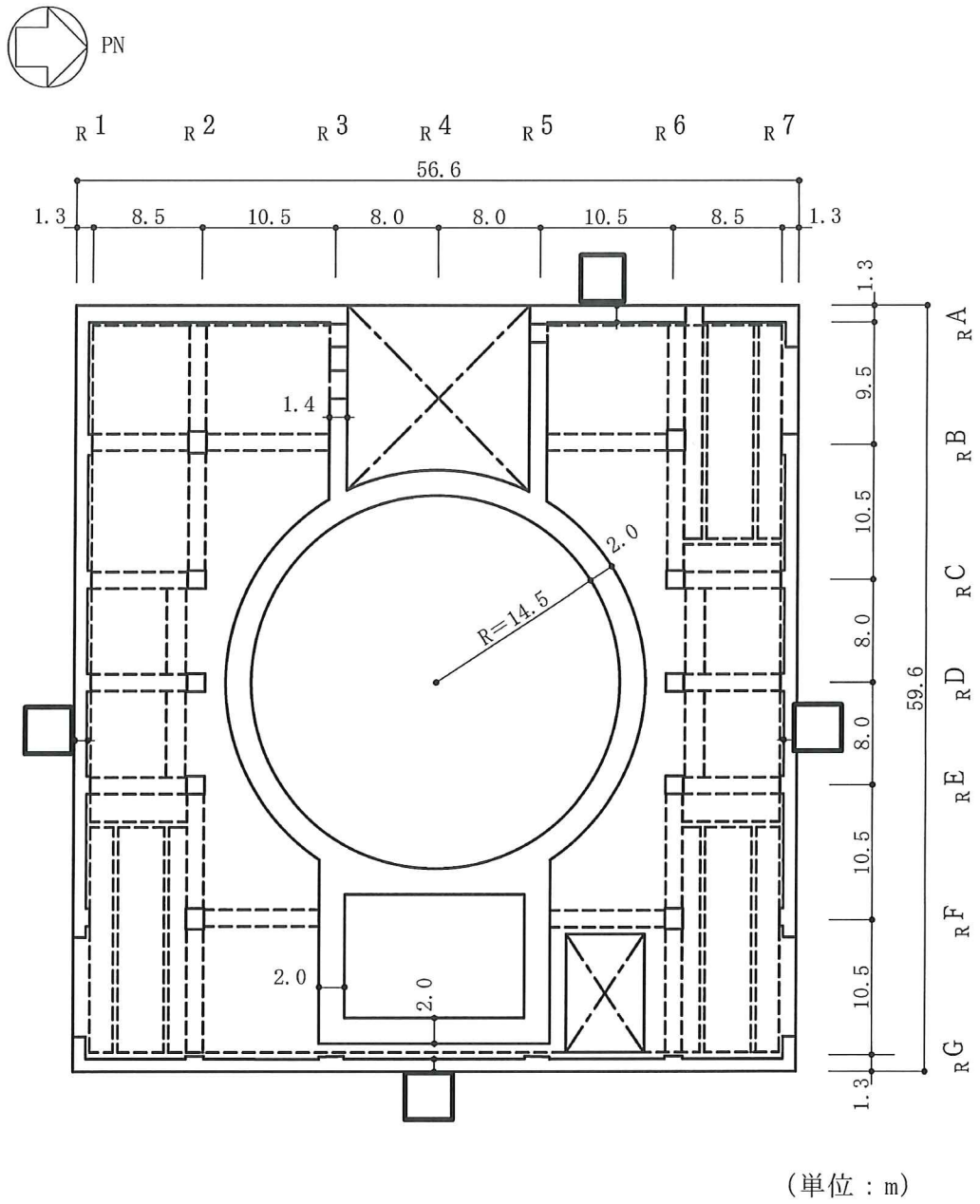


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 18.1m) (5/9)

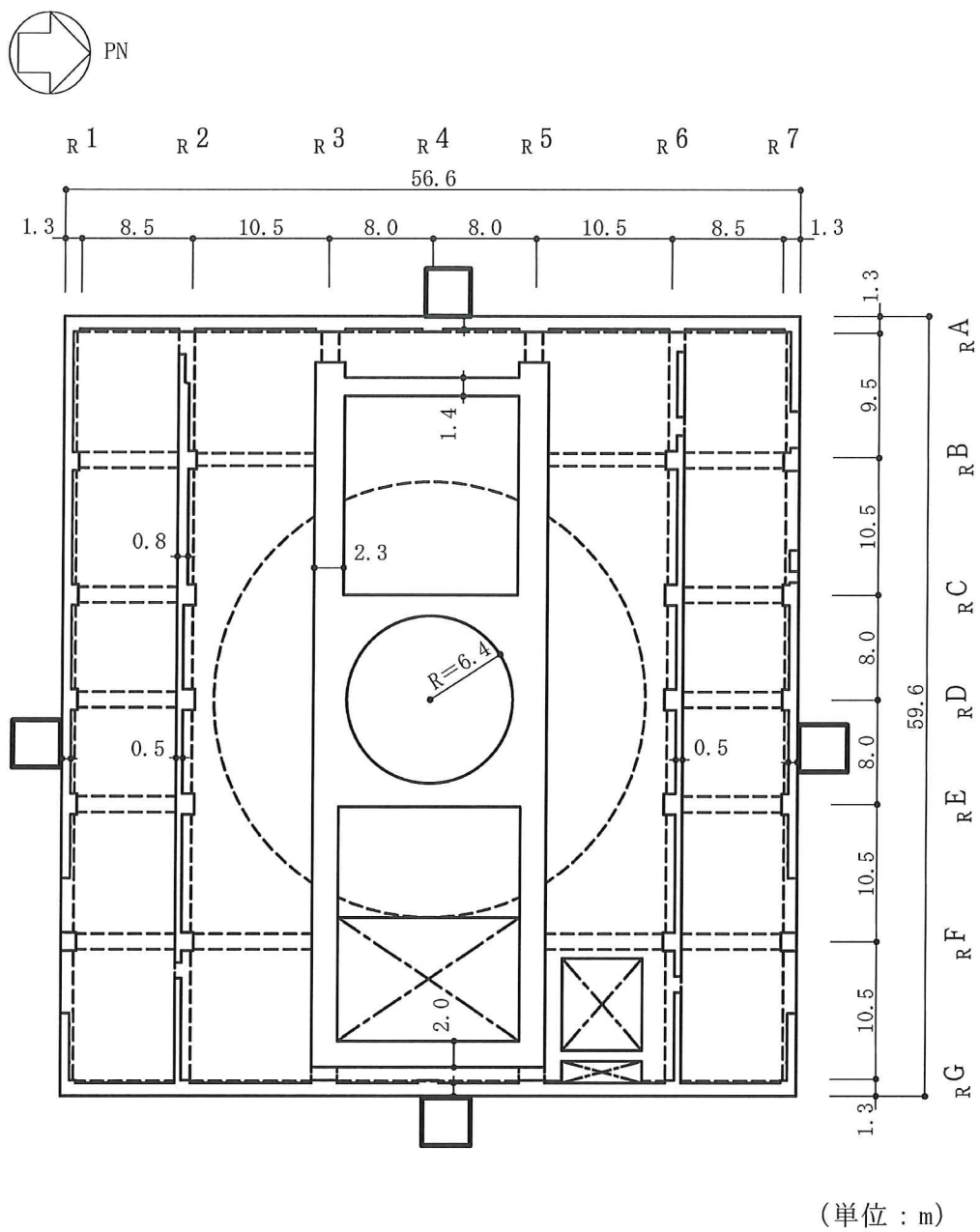
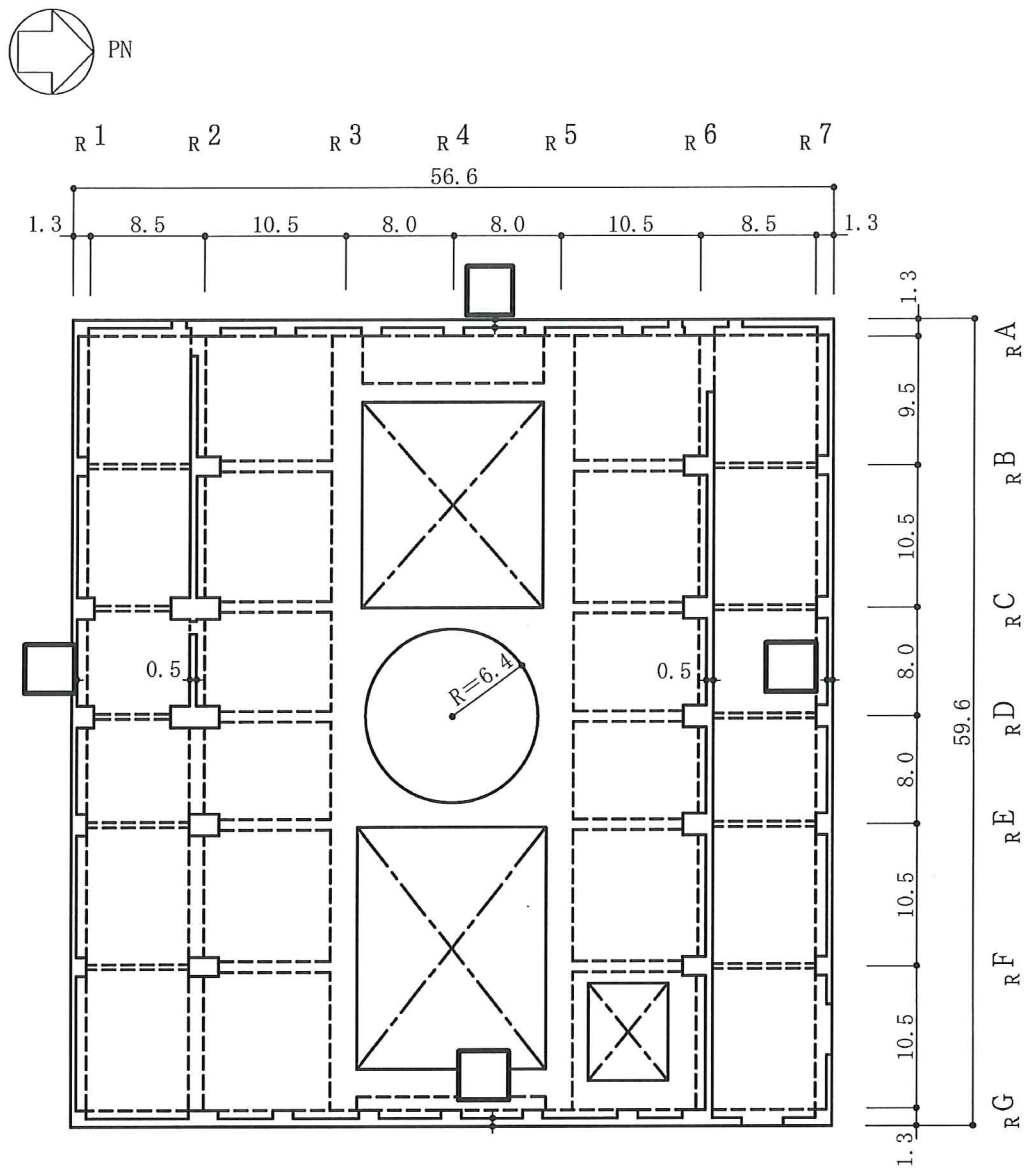


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 23.5m) (6/9)



(単位 : m)

図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 31.7m) (7/9)

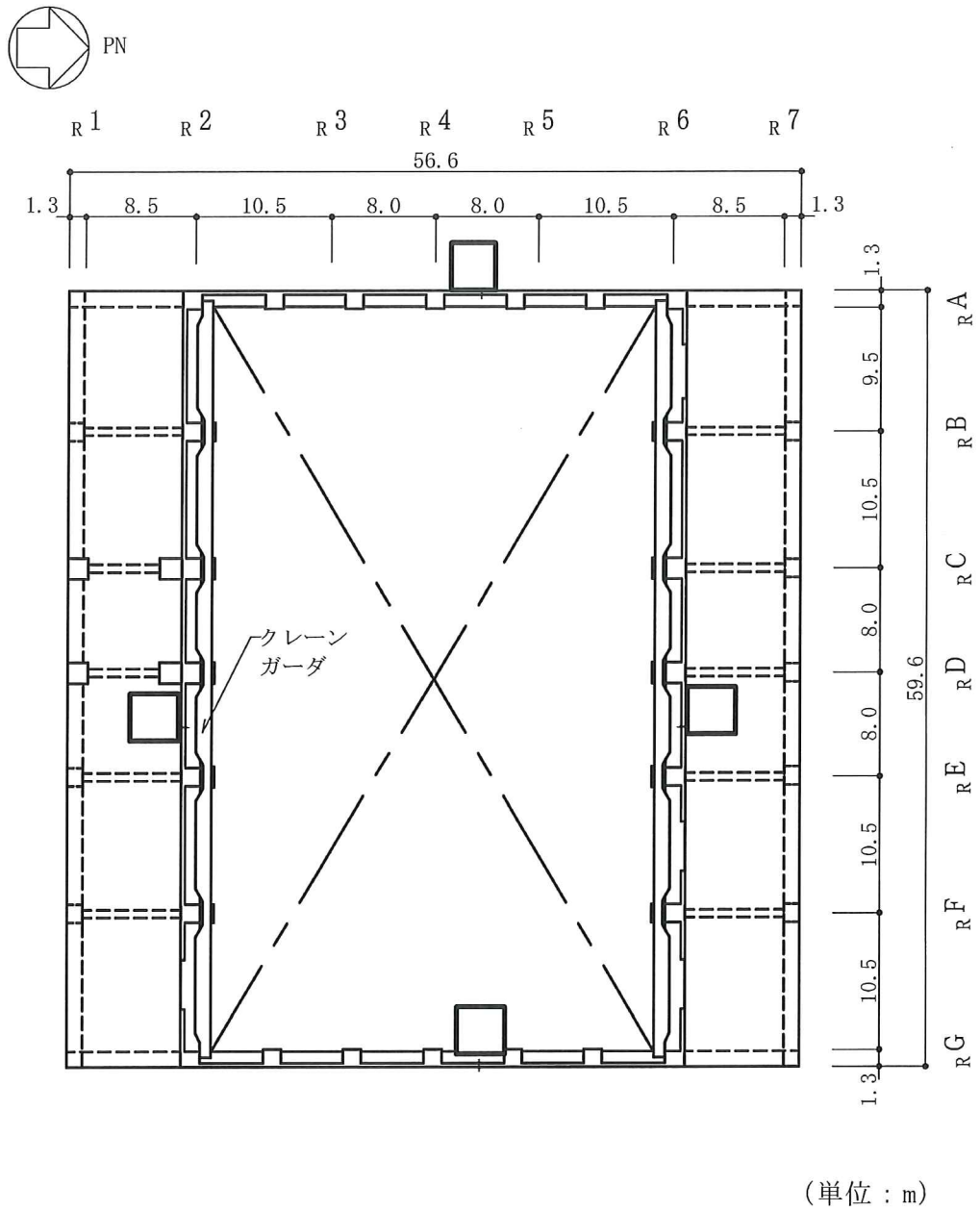
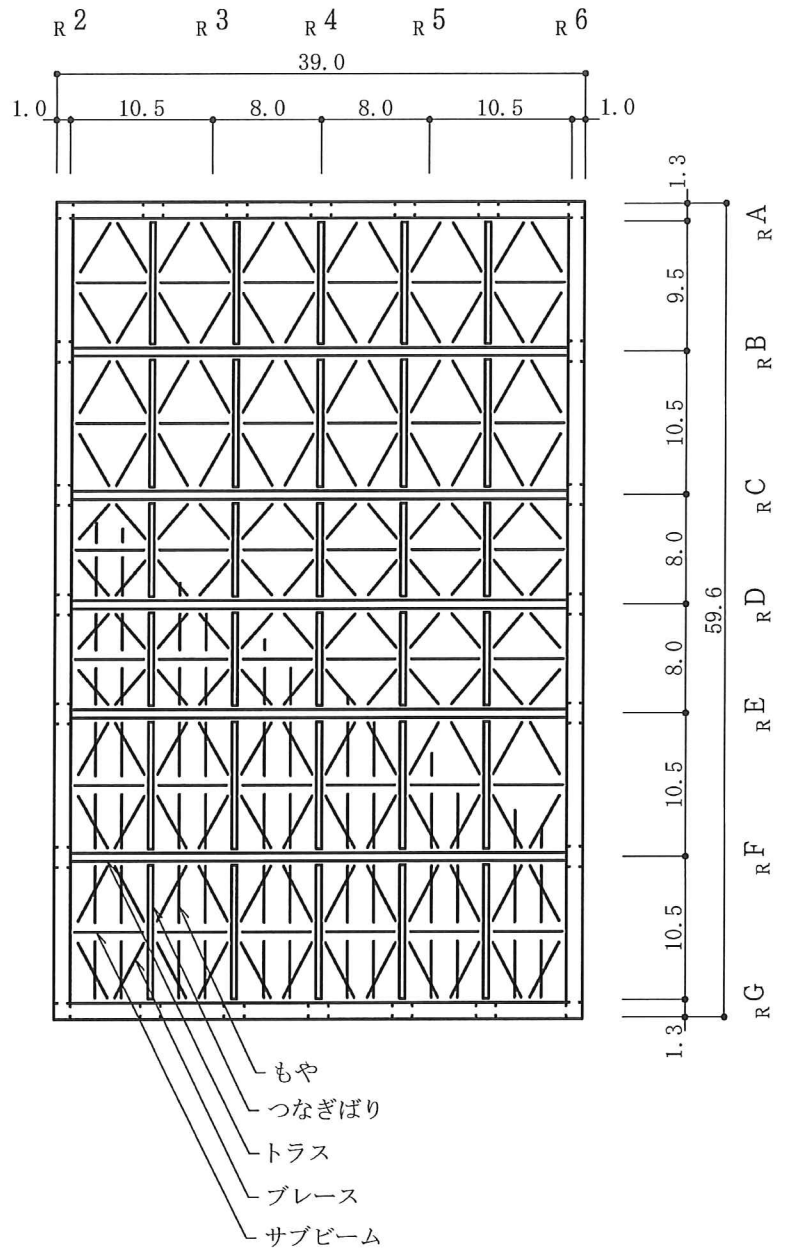


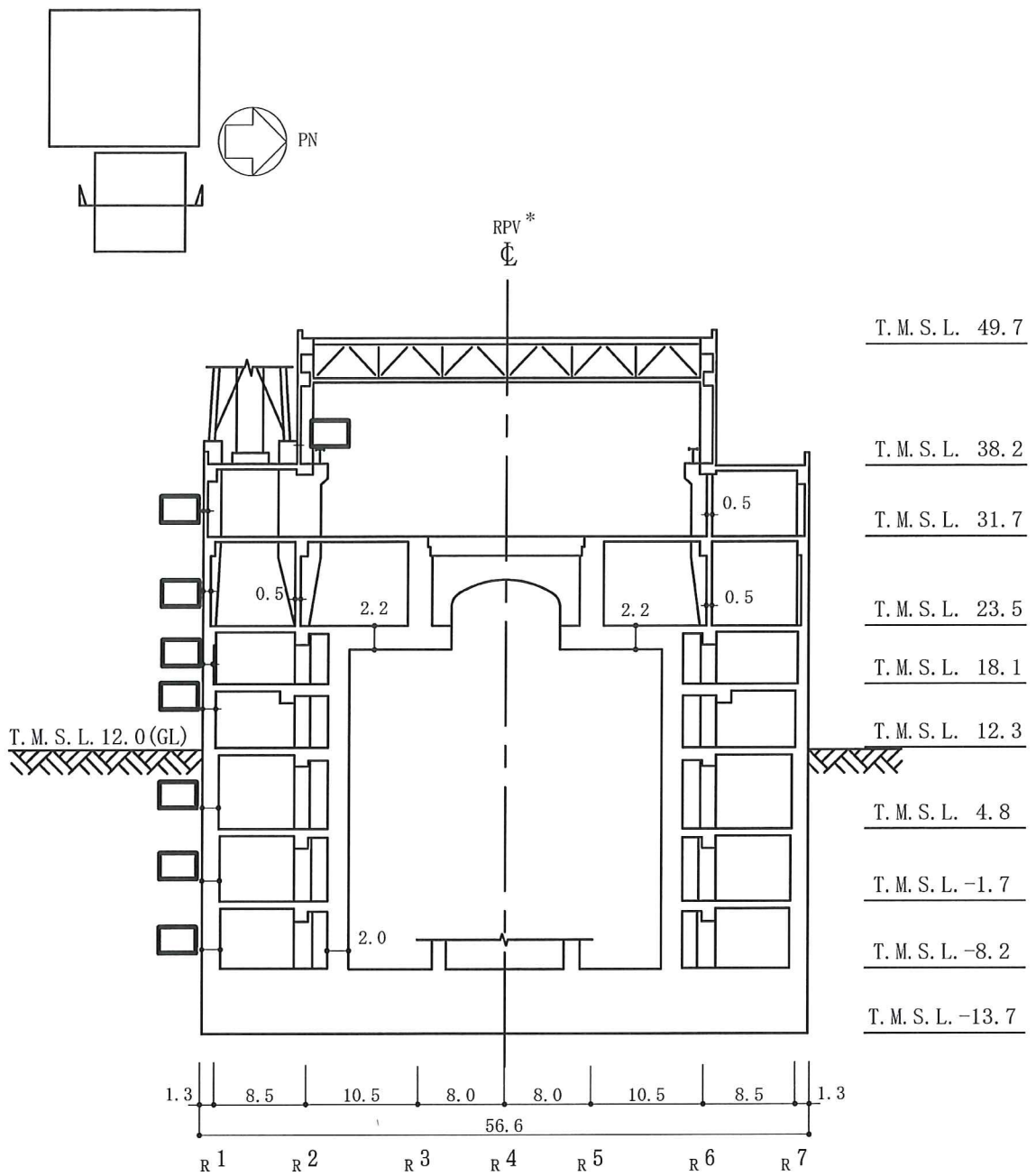
図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T.M.S.L. 38.2m) (8/9)



(単位 : m)

図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 49.7m) (9/9)

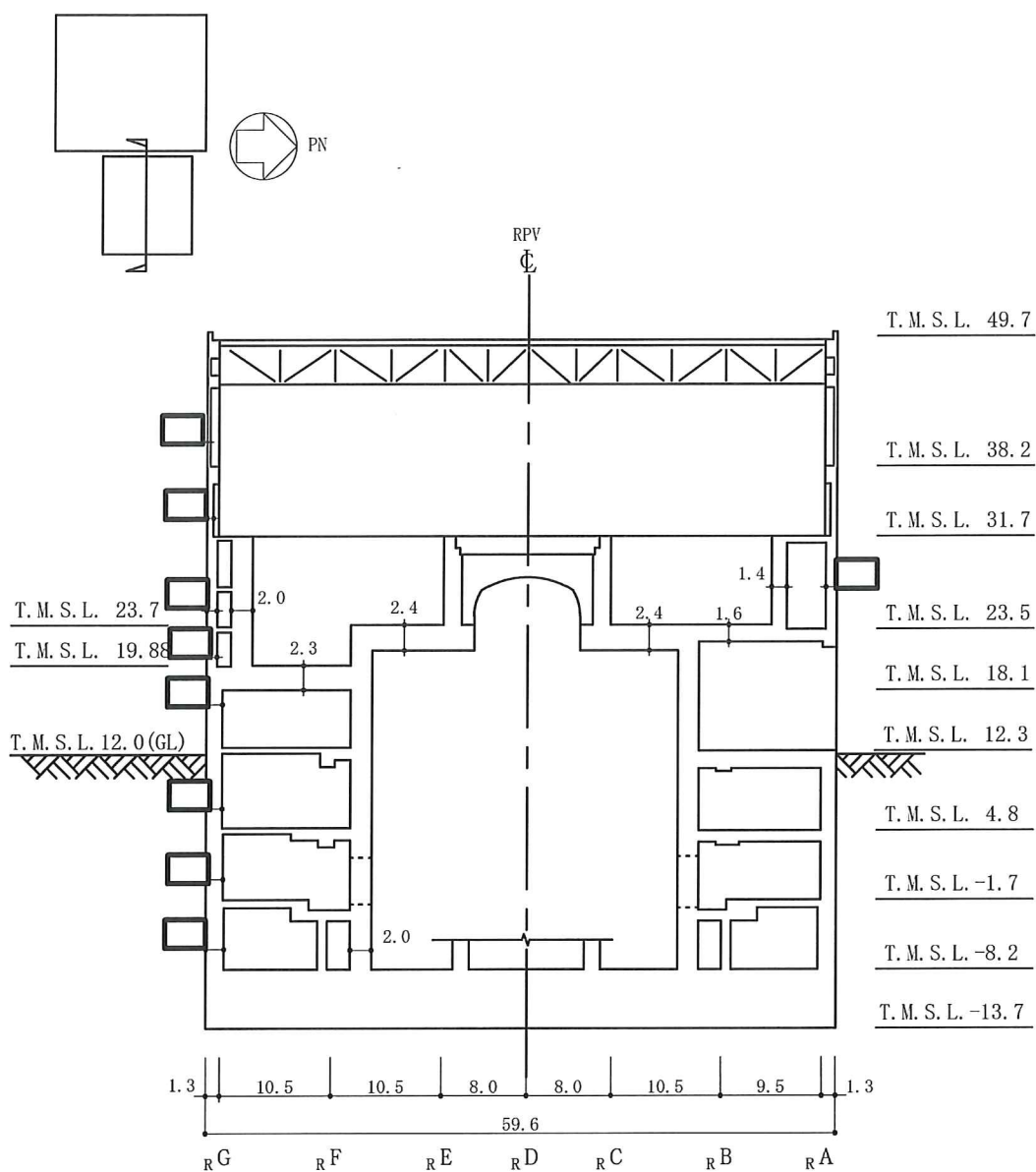




(単位：m)

注記\*：原子炉压力容器（以下「RPV」という。）

図1-2 6号機原子炉建屋の概略断面図（NS方向）（1/2）



(単位 : m)

図 1-2 6号機原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

## 1.2 3次元 FEM モデルによるシミュレーション解析の方針

6号機原子炉建屋について3次元 FEM モデルを構築し、観測記録を用いたシミュレーション解析結果から、同モデルの妥当性を確認する。

解析モデルのケースを表 1-1 に示す。

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	実強度

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。

解析には解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

## 2. 3次元 FEM モデルの構築

### 2.1 モデル化の基本方針

6号機原子炉建屋の3次元 FEM モデルを構築する。モデル図を図 2-1 に示す。

モデル化の範囲は、原子炉建屋、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器及び基礎とする。

3次元 FEM モデルで設定する各部材の要素タイプは、以下のとおりである。

床スラブ・壁はシェル要素（約 21000 要素）とする。基礎スラブは、ソリッド要素（約 5600 要素）とする。柱、はり、屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの上下弦材、サブビームについてはビーム要素（約 3700 要素）とする。屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの斜材・束材、水平ブレースはトラス要素（約 600 要素）とする。

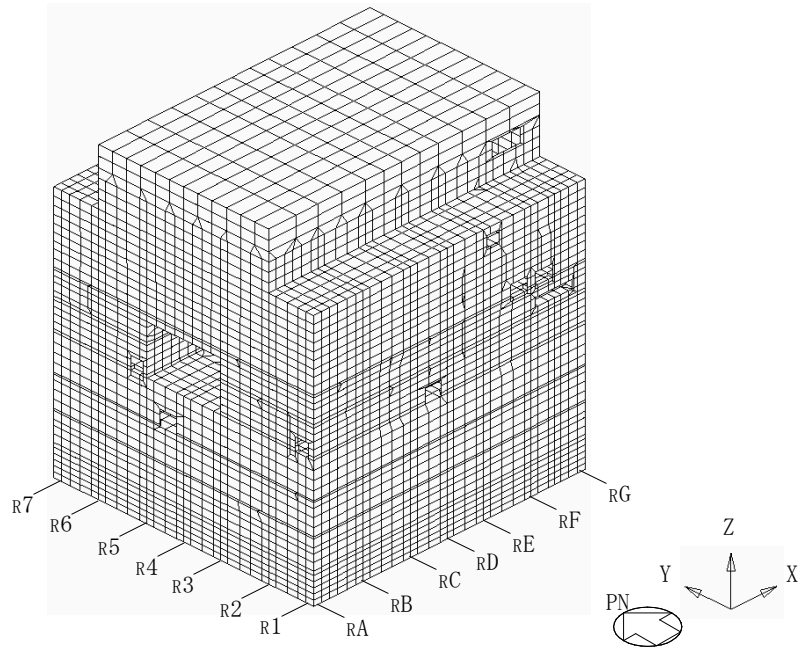
また、壁・床の開口部については、主要な開口部のみモデル化する。

要素の大きさは、各スラブレベルと対応する位置に節点を設け、水平方向には通り芯間を2分割以上、鉛直方向にはフロア間を2分割以上とする。

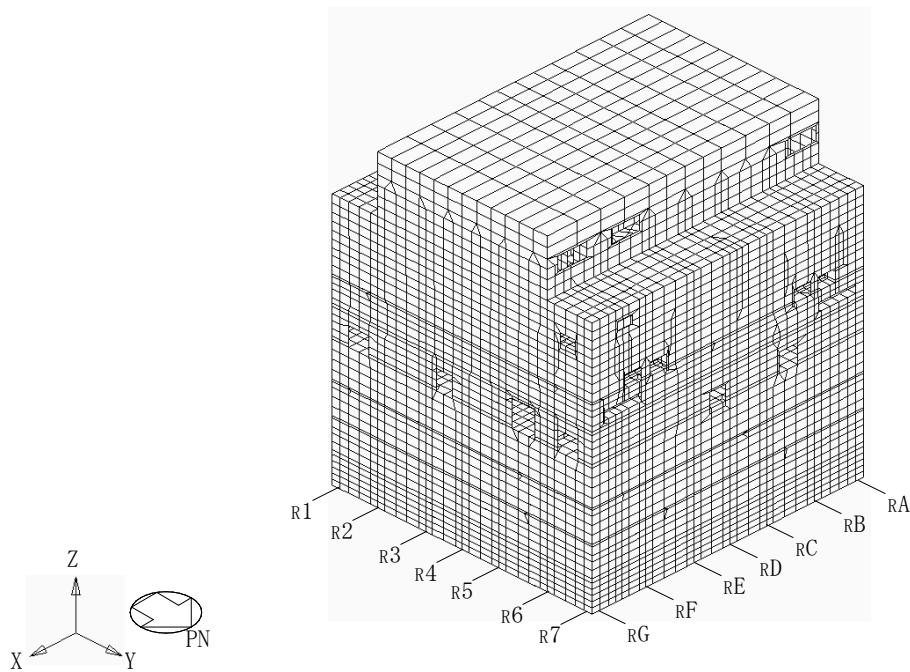
部材の接合部における剛域の設定は行わない。また、ビーム要素は柱・はりの壁・床と重複する部分の断面も含めて断面性能としてモデル化している。

使用材料の物性値を表 2-1 に示す。

コンクリートの実強度及びヤング係数並びに地盤物性については、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」における7号機原子炉建屋の設定値と同一である。

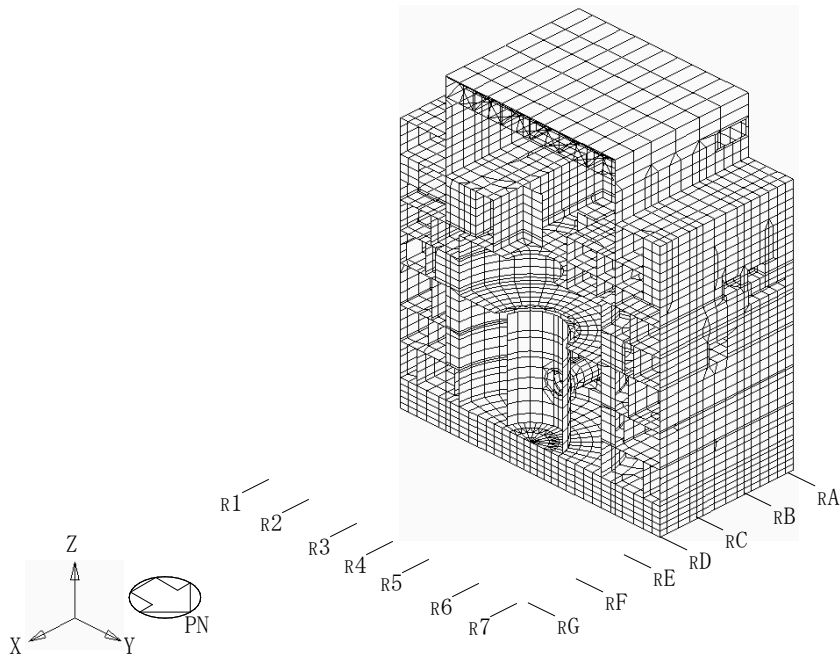


(a) 建屋全景（南西面）

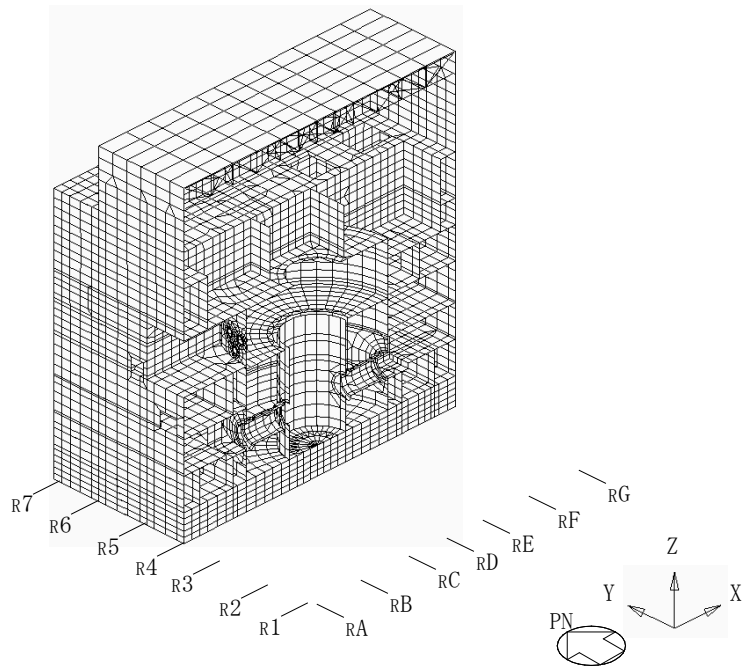


(b) 建屋全景（北東面）

図 2-1 モデル図 (1/2)



(c) NS 断面図



(d) EW 断面図

図 2-1 モデル図 (2/2)

表 2-1 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ( $\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$ ) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	$2.88 \times 10^4$	$1.20 \times 10^4$	5
基礎スラブ	コンクリート* : $\sigma_c = 39.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ( $\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$ ) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	$2.79 \times 10^4$	$1.16 \times 10^4$	5
屋根トラス部	鉄骨 : SS41 (SS400相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨 : SM41A (SM400A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2
	鉄骨 : SM50A (SM490A相当)	$2.05 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	2

注記\* : 実強度に基づくコンクリート強度。

## 2.2 荷重

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

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

## 2.3 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，質点系モデルの基礎底面地盤ばね及び側面地盤ばねと整合するよう，地盤をばね要素でそれぞれ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基に，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，基礎底面回転ばねを基に設定する。

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基に，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。

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



表 2-2 地盤ばね定数と減衰係数（底面・並進）

(a) 中越沖地震

NS 方向		EW 方向	
ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
$7.48 \times 10^7$	$2.87 \times 10^6$	$7.44 \times 10^7$	$2.84 \times 10^6$

(b) 中越地震（余震）

NS 方向		EW 方向	
ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
$7.94 \times 10^7$	$2.96 \times 10^6$	$7.91 \times 10^7$	$2.93 \times 10^6$

表 2-3 地盤ばね定数と減衰係数（底面・回転）

(a) 中越沖地震

	回転方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
NS 方向加振時	$7.32 \times 10^{10}$	$6.15 \times 10^8$
EW 方向加振時	$7.88 \times 10^{10}$	$7.21 \times 10^8$

注：底面回転ばねについては、鉛直ばねに置換してモデル化する。

(b) 中越地震（余震）

	回転方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
NS 方向加振時	$7.78 \times 10^{10}$	$6.36 \times 10^8$
EW 方向加振時	$8.38 \times 10^{10}$	$7.44 \times 10^8$

注：底面回転ばねについては、鉛直ばねに置換してモデル化する。

表 2-4 地盤ばね定数と減衰係数（底面・鉛直）

(a) 中越沖地震

	鉛直方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
鉛直方向加振時	$1.24 \times 10^8$	$6.61 \times 10^6$

(b) 中越地震（余震）

	鉛直方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
鉛直方向加振時	$1.32 \times 10^8$	$6.81 \times 10^6$

表 2-5 地盤ばね定数と減衰係数（側面・並進）

(a) 中越沖地震

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
4.8	$1.29 \times 10^6$	$4.60 \times 10^5$	$1.29 \times 10^6$	$4.62 \times 10^5$
-1.7	$3.42 \times 10^6$	$1.22 \times 10^6$	$3.42 \times 10^6$	$1.22 \times 10^6$
-8.2	$8.70 \times 10^6$	$1.75 \times 10^6$	$8.70 \times 10^6$	$1.75 \times 10^6$
-13.7	$4.56 \times 10^6$	$8.65 \times 10^5$	$4.56 \times 10^6$	$8.64 \times 10^5$

(b) 中越地震（余震）

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
4.8	$1.72 \times 10^6$	$5.26 \times 10^5$	$1.72 \times 10^6$	$5.27 \times 10^5$
-1.7	$4.57 \times 10^6$	$1.39 \times 10^6$	$4.57 \times 10^6$	$1.40 \times 10^6$
-8.2	$9.42 \times 10^6$	$1.83 \times 10^6$	$9.42 \times 10^6$	$1.83 \times 10^6$
-13.7	$4.85 \times 10^6$	$8.93 \times 10^5$	$4.85 \times 10^6$	$8.92 \times 10^5$

表 2-6 地盤ばね定数と減衰係数 (側面・回転)

(a) 中越沖地震

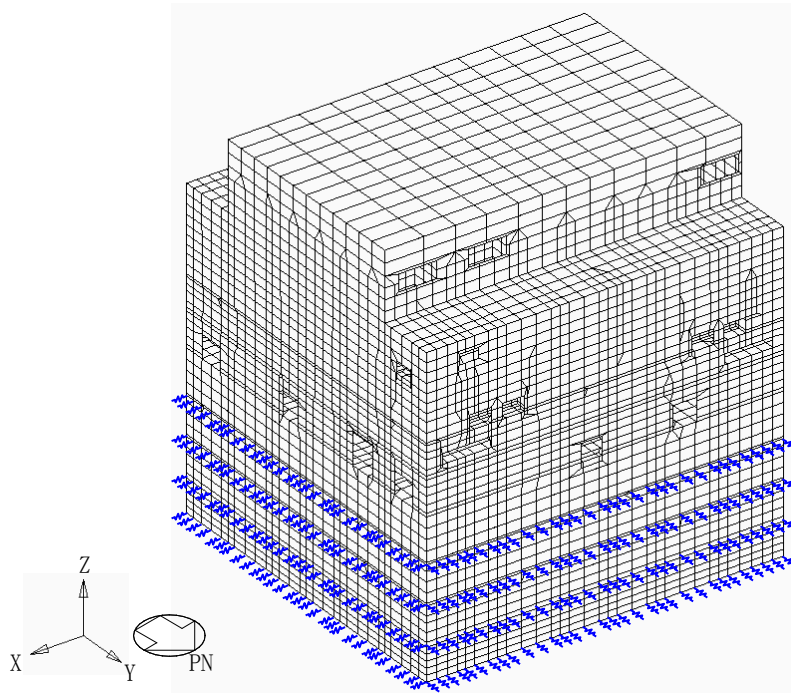
T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
4.8	$1.00 \times 10^9$	$1.14 \times 10^8$	$1.00 \times 10^9$	$1.15 \times 10^8$
-1.7	$2.65 \times 10^9$	$3.03 \times 10^8$	$2.65 \times 10^9$	$3.04 \times 10^8$
-8.2	$6.85 \times 10^9$	$4.04 \times 10^8$	$6.85 \times 10^9$	$4.07 \times 10^8$
-13.7	$3.57 \times 10^9$	$1.97 \times 10^8$	$3.57 \times 10^9$	$1.99 \times 10^8$

注：側面回転ばねについては，鉛直ばねに置換してモデル化する。

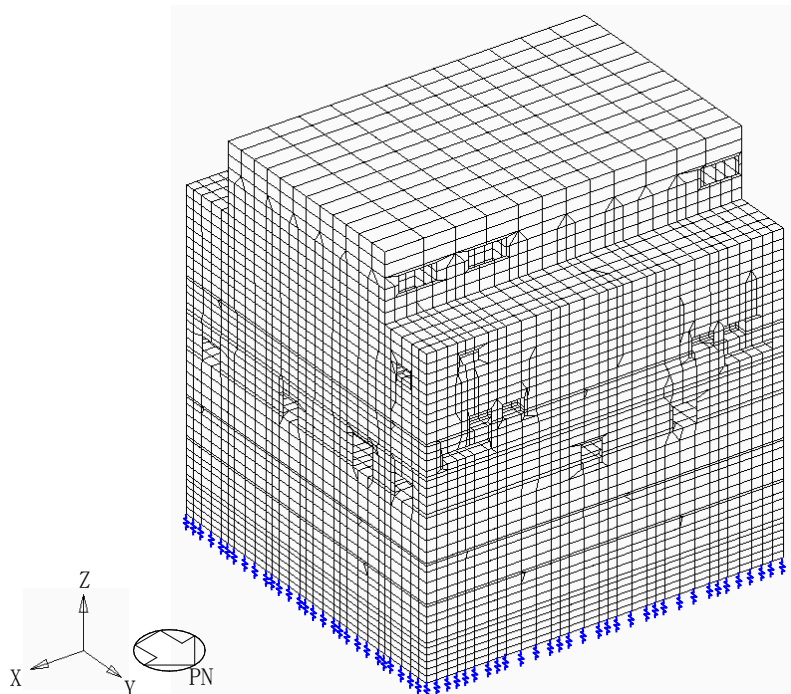
(b) 中越地震 (余震)

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
4.8	$1.34 \times 10^9$	$1.30 \times 10^8$	$1.34 \times 10^9$	$1.30 \times 10^8$
-1.7	$3.55 \times 10^9$	$3.44 \times 10^8$	$3.55 \times 10^9$	$3.45 \times 10^8$
-8.2	$7.41 \times 10^9$	$4.22 \times 10^8$	$7.41 \times 10^9$	$4.25 \times 10^8$
-13.7	$3.80 \times 10^9$	$2.04 \times 10^8$	$3.80 \times 10^9$	$2.05 \times 10^8$

注：側面回転ばねについては，鉛直ばねに置換してモデル化する。



青線：分散化した地盤ばね（NS・EWで異なるばね値，底面及び側面に対して考慮）  
 (a) 水平方向解析時



青線：分散化した地盤ばね（底面のみに考慮）  
 (b) 鉛直方向解析時

図 2-2 地盤ばねの設置図

### 3. 観測記録を用いたシミュレーション解析

#### 3.1 観測記録を用いた検討の概要

中越沖地震及び中越地震（余震）に対して、3次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析を実施する。解析は、建屋模擬モデルに対して中越沖地震及び中越地震（余震）発生時の実状を考慮する。

シミュレーション解析における地震応答解析の概略図を図 3-1 に示す。

シミュレーション解析は、地震時に観測した基礎スラブ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周波数応答解析による。建屋各部位の応答は、基礎スラブ上からの建屋各部の伝達関数に対して、6号機原子炉建屋の基礎スラブ上での観測地震波を用いて算定する。

検討に用いる観測記録は地震計が設置された時期及び配置等を考慮して、中越沖地震では 6R-2 (T.M.S.L. -8.2m) 及び 6R-1 (T.M.S.L. 23.5m) とし、中越地震（余震）では R64 (T.M.S.L. -8.2m) 及び R62 (T.M.S.L. 31.7m) とした。

本検討においては、6R-1 (T.M.S.L. 23.5m) 及び R62 (T.M.S.L. 31.7m) の位置での応答解析結果と観測記録とを比較し、傾向を確認する。

解析に用いる地震の諸元を表 3-1 に、地震計位置を図 3-2 に示す。また、6号機原子炉建屋の基礎上で得られた各観測記録を図 3-3 及び図 3-4 に示す。

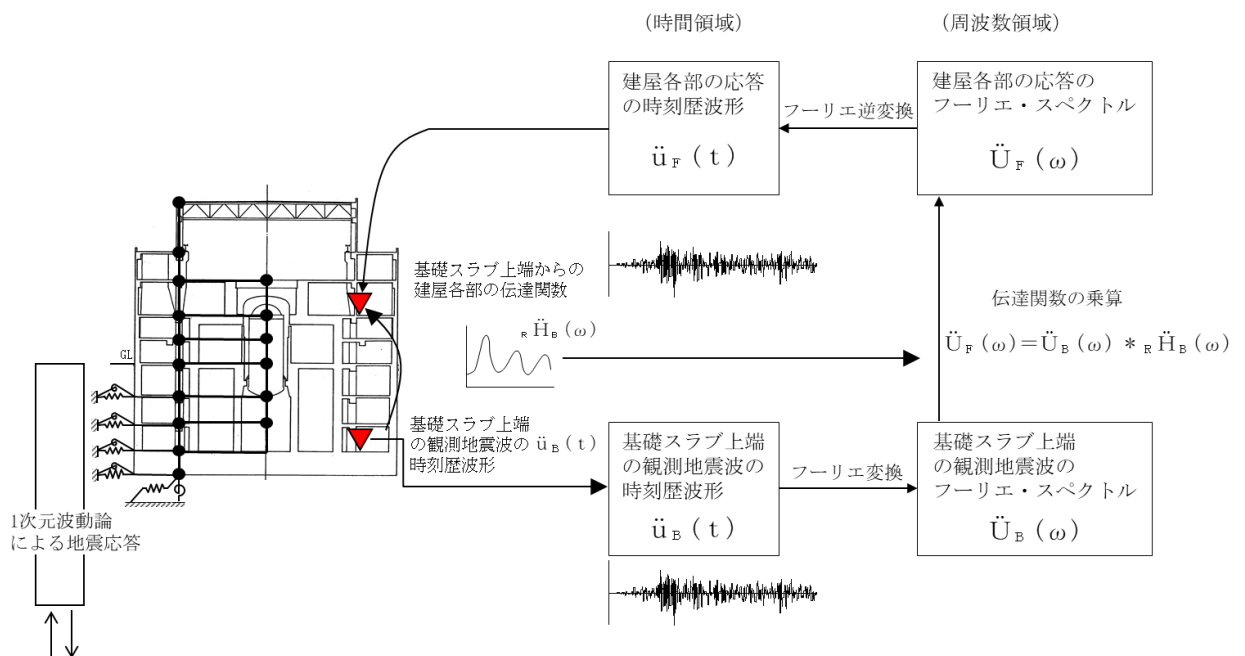


図 3-1 シミュレーション解析における地震応答解析の概略図

表 3-1 解析に用いる地震の諸元

地震名	新潟県中越沖地震	新潟県中越地震 (余震)
発生日時	2007年7月16日 午前10時13分頃	2004年11月4日 午前8時57分頃
マグニチュード	6.8	5.2
震源深さ	17km	18km
震央距離	16km	28km
震源距離	23km	33km

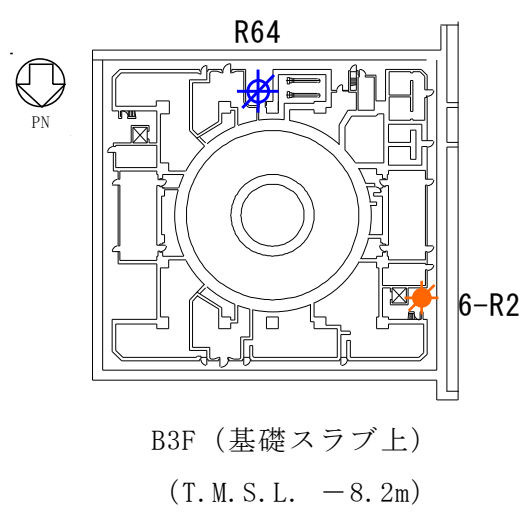
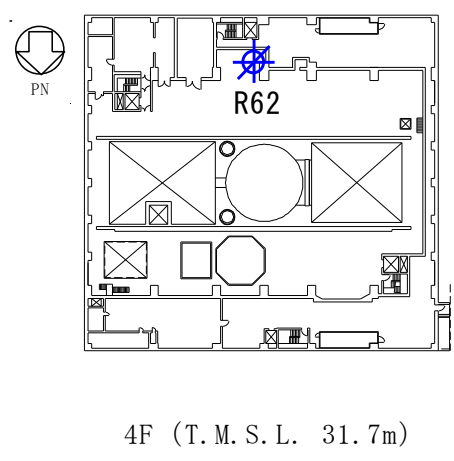
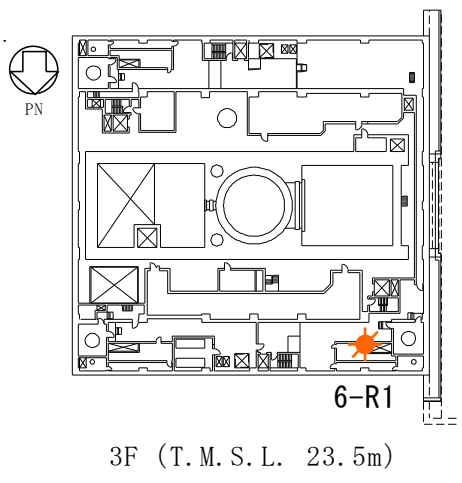
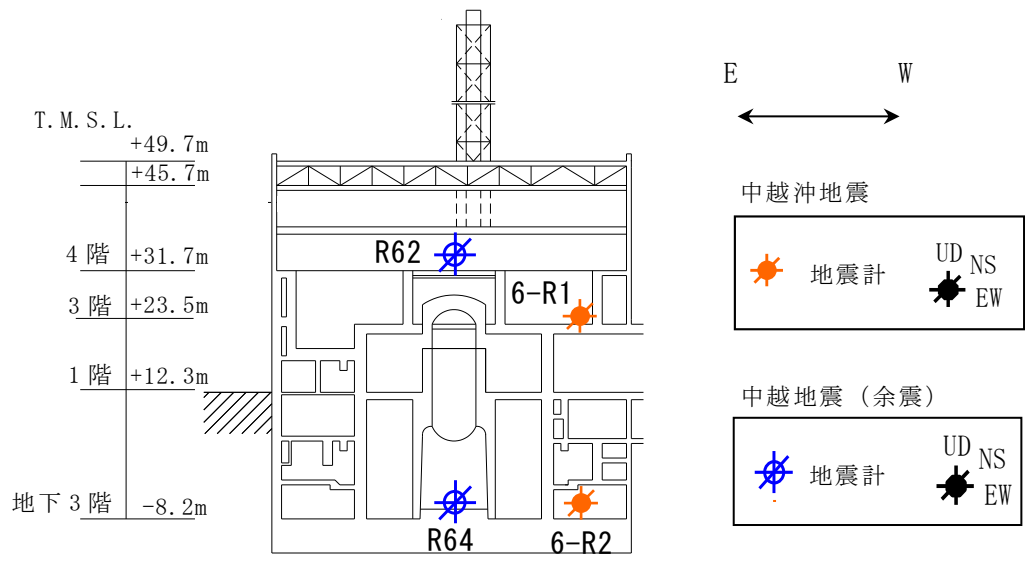
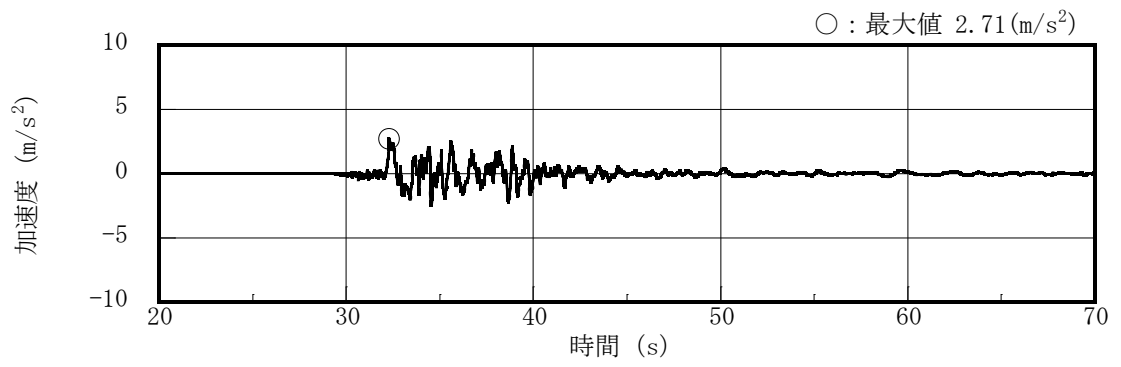
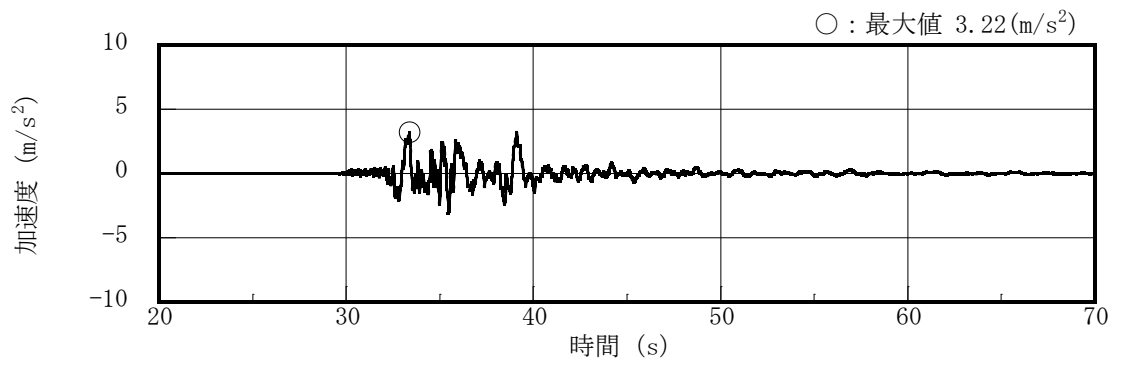


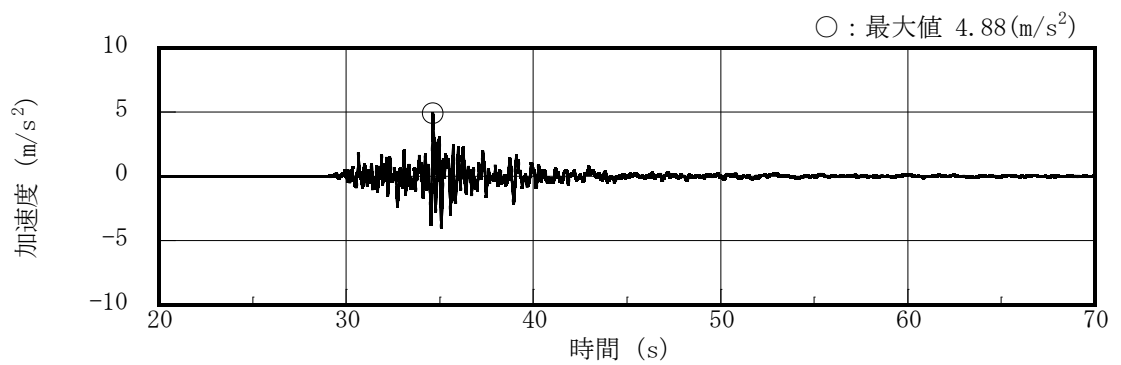
図 3-2 地震計位置



NS 方向



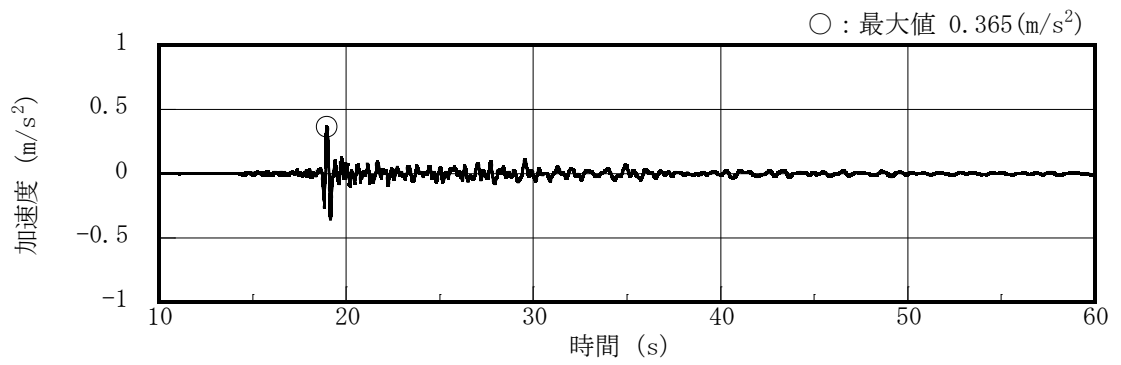
EW 方向



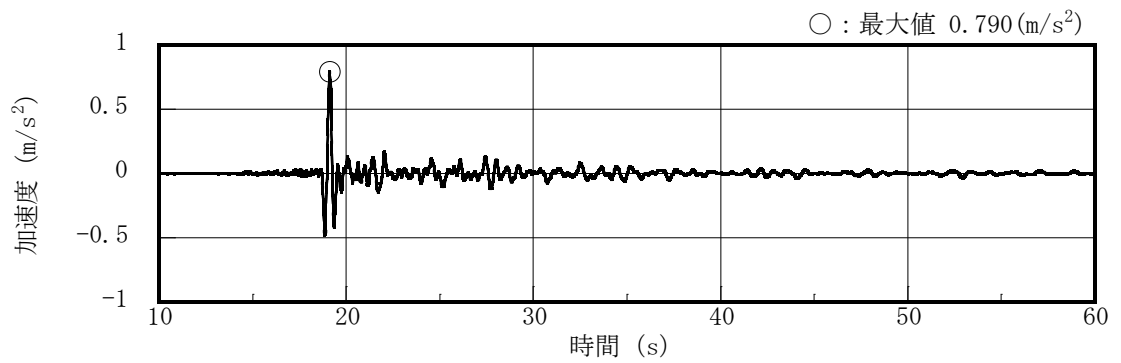
鉛直方向

図 3-3 中越沖地震 原子炉建屋の基礎上の観測記録  
 加速度時刻歴波形 (6-R2 : T. M. S. L. -8.2m)

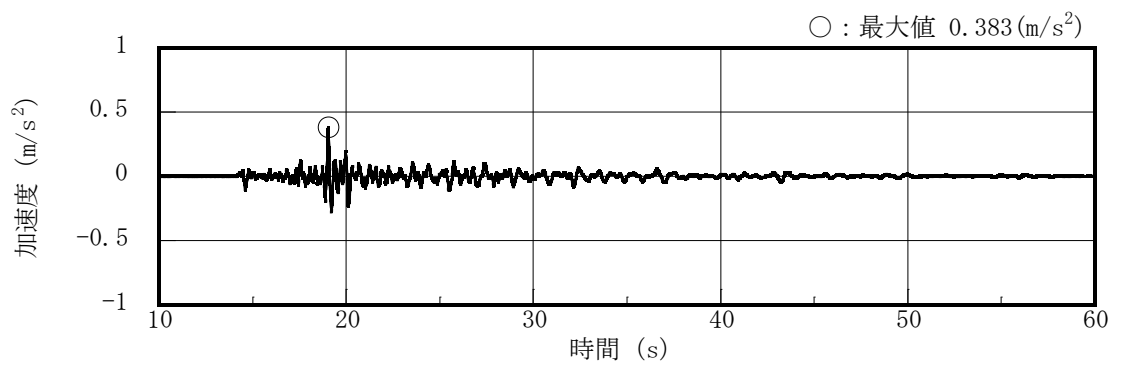




NS 方向



EW 方向



鉛直方向

図 3-4 中越地震（余震）原子炉建屋の基礎上の観測記録  
 加速度時刻歴波形（R64：T.M.S.L. -8.2m）

### 3.2 観測記録によるシミュレーション解析結果

#### 3.2.1 中越沖地震のシミュレーション解析結果

T. M. S. L. 23.5m の地震計位置での観測記録及び3次元 FEM モデルによる解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 3-5 に示す。観測記録と解析結果を比較すると、観測記録と解析結果のスペクトル形状はおおむね対応する結果となった。

#### 3.2.2 中越地震（余震）のシミュレーション解析結果

T. M. S. L. 31.7m の地震計位置での観測記録及び3次元 FEM モデルによる解析結果の加速度応答スペクトルの比較を図 3-6 に示す。観測記録と解析結果を比較すると、観測記録と解析結果のスペクトル形状はおおむね対応する結果となった。

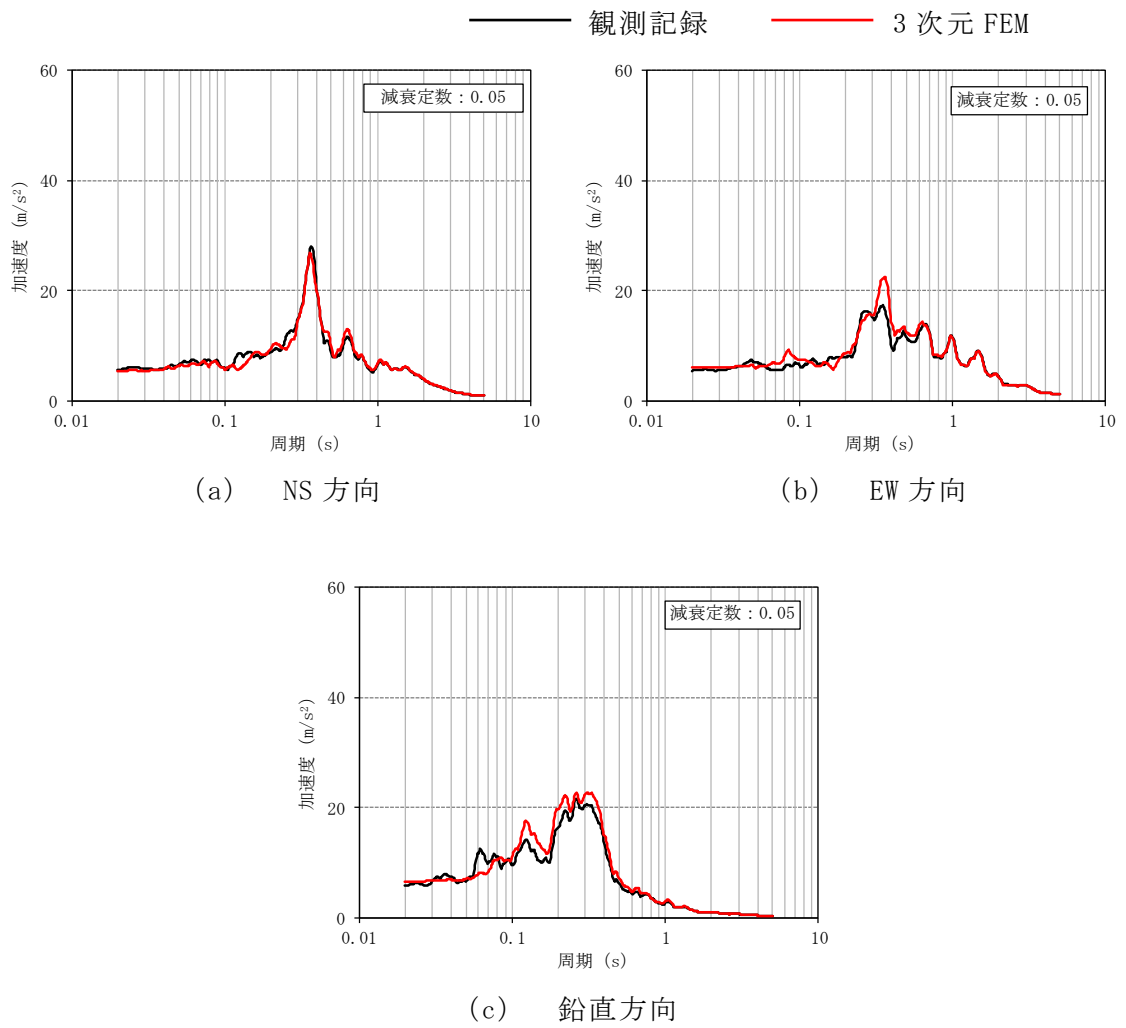


図 3-5 中越沖地震の観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較  
(6-R1 : T. M. S. L. 23.5m)

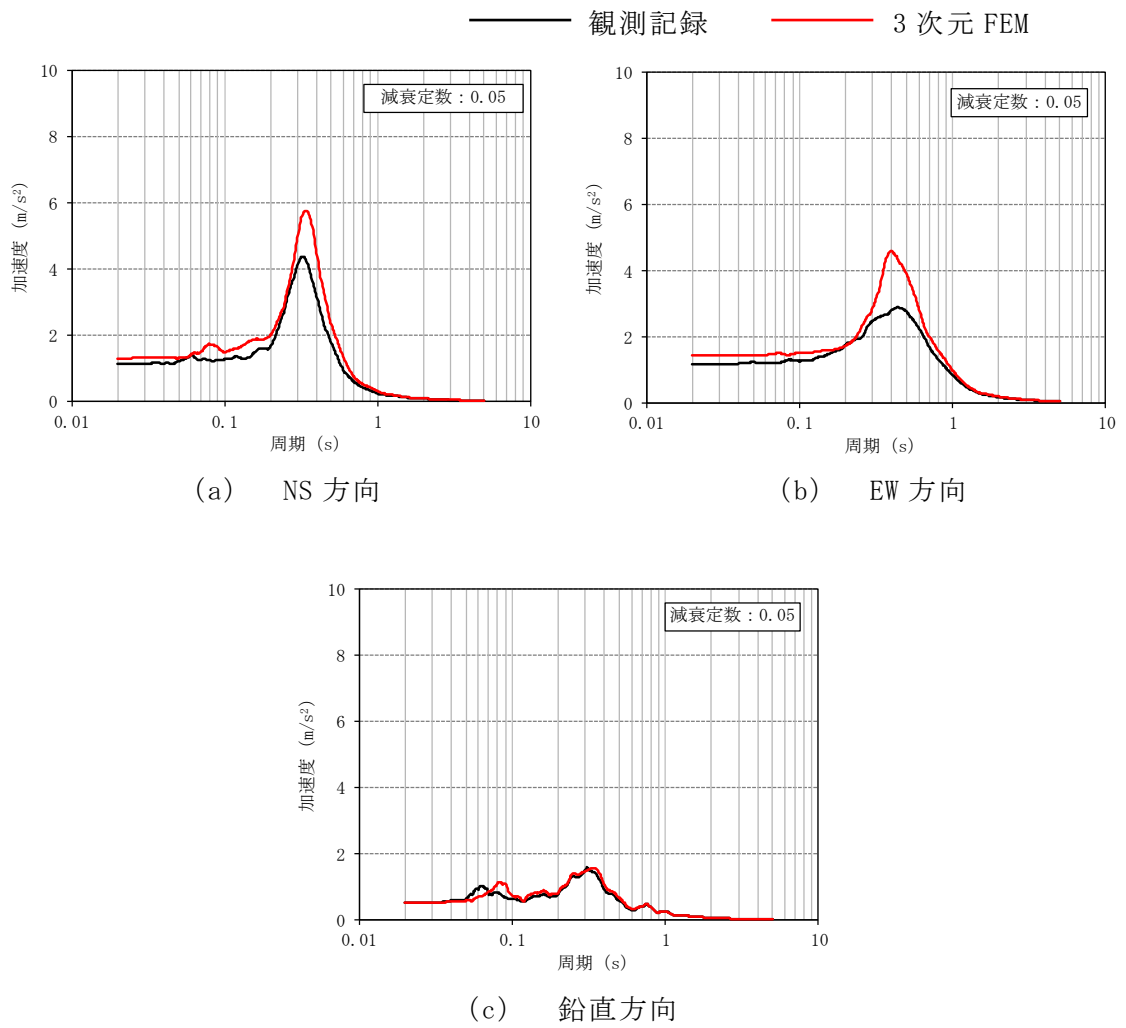


図 3-6 中越地震（余震）の観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較  
 (R62 : T. M. S. L. 31.7m)

#### 4. まとめ

本資料では、6号機原子炉建屋について、中越沖地震と中越地震（余震）に対して、3次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析を実施し、観測記録との比較を行った。

中越沖地震及び中越地震（余震）のシミュレーション解析による加速度応答スペクトルは観測記録のスペクトル形状とおおむね対応する結果となり、観測記録が再現できていることを確認した。

## 別紙 3-2 3次元 FEM モデルによる応答結果の整理

## 目 次

1. 3次元 FEM モデルによる応答結果の整理の概要	別紙 3-2-1
2. 3次元 FEM モデルによる応答結果の整理	別紙 3-2-2
2.1 建屋模擬モデルと質点系対応モデルの応答の整理	別紙 3-2-2
2.2 建屋全体応答の整理	別紙 3-2-5
2.3 水平方向加振時の屋根スラブにおける鉛直方向の最大応答加速度	別紙 3-2-12

## 1. 3次元 FEM モデルによる応答結果の整理の概要

別紙 3「3次元 FEM モデルによる地震応答解析」（以下「別紙 3」という。）では，原子炉建屋について，建屋の 3 次元的な応答性状を確認し，質点系モデルによる地震応答解析の妥当性を検証するため，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について検討を行った。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について検討を行った。

本資料では，別紙 3 に示した応答結果のうち，表 1-1 に示す応答結果について詳細を示す。

表 1-1 応答結果の整理の概要

	別紙 3 に示した応答結果*	本資料における整理方法
1	「3.2.3 床柔性の影響」	「2.1 建屋模擬モデルと質点系対応モデルの応答の整理」において，建屋模擬モデル（3次元 FEM）と質点系対応モデル（3次元 FEM）との応答の違いについて詳細を示す。
2	「3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討」	「2.2 建屋全体応答の整理」において，建屋模擬モデル（3次元 FEM）における代表節点の最大応答加速度を示す。
3	—	「2.3 水平加振時の屋根スラブにおける鉛直方向の最大応答加速度」において，応答整理を行う際の参考として，建屋模擬モデル（3次元 FEM）と質点系対応モデル（3次元 FEM）を対象に，屋根スラブにおける代表節点の水平加振時の鉛直方向の最大応答加速度を示す。

注記\*：別紙 3 における耐震性評価には用いない応答を「—」で示す。



## 2. 3次元 FEM モデルによる応答結果の整理

### 2.1 建屋模擬モデルと質点系対応モデルの応答の整理

別紙 3 における「3.2.3 床柔性の影響」では、以下の 2 つのモデルによる応答を比べることで床柔性の影響を確認している。

- ・床の柔性を考慮した建屋模擬モデル（3次元 FEM，床柔，相互作用考慮）
- ・床を剛とした質点系対応モデル（3次元 FEM，床剛，相互作用考慮）

表 2-1 に示す Sd-2 による NS 方向加振時 NS 方向応答では、周期 0.2s 付近において、建屋模擬モデル（3次元 FEM）と質点系対応モデル（3次元 FEM）による応答にわずかながら差がみられる。

両モデルの NS 方向固有値解析結果に基づき、2次モードにおける振動モードの比較を表 2-2 に示す。

建屋模擬モデル（3次元 FEM）は屋根スラブの剛性を非考慮としており、周期 0.2s 付近のモードである 2次モードにおいて屋根スラブ中央部の変形が NS 方向に大きくはらみ出すような分布となっている。一方で、質点系対応モデル（3次元 FEM）では屋根スラブの剛性を床スラブと同様に剛という条件としており、屋根スラブは NS 方向に一体となって挙動する分布となっている。

また、表 2-1 に示す周期 0.2s 付近における応答の差は中央部（No. 17984）において最も大きくなっており、屋根スラブの変形が建屋下部における全体挙動に影響を与えたことが推察される。

これらより、表 2-1 に示す周期 0.2s 付近における応答の差は、屋根スラブの剛性の設定条件の相違によるものと考えられる。

表 2-1 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較

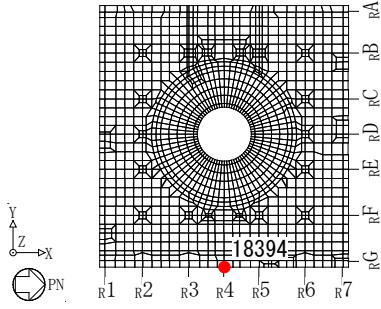
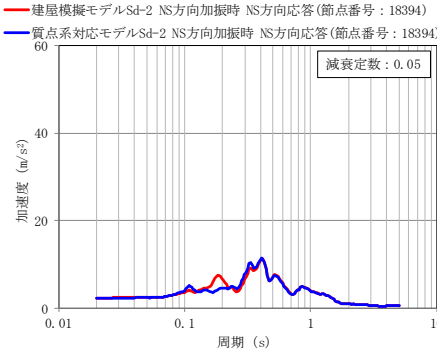
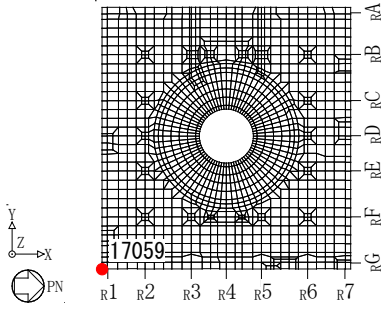
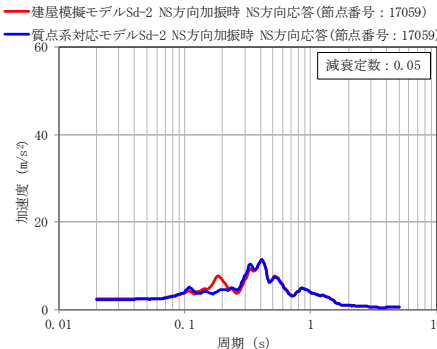
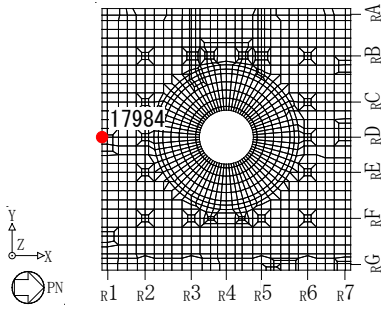
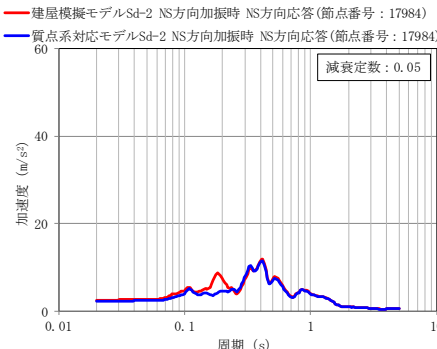
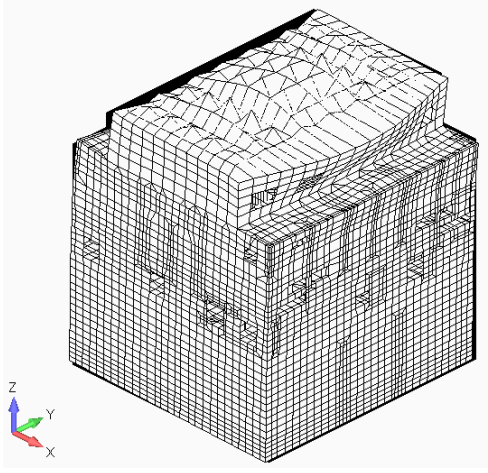
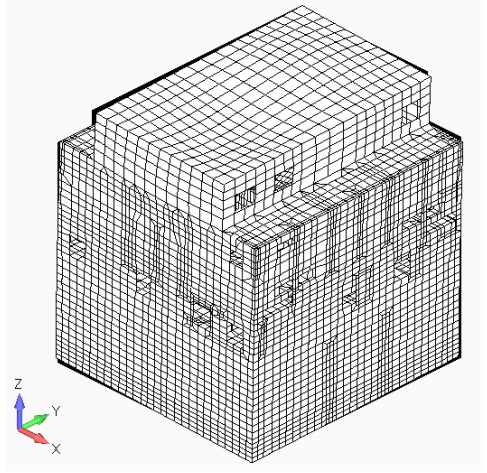
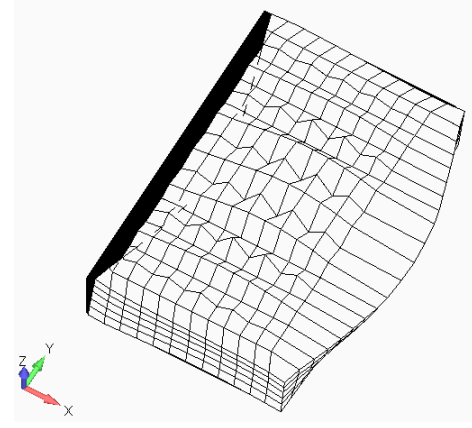
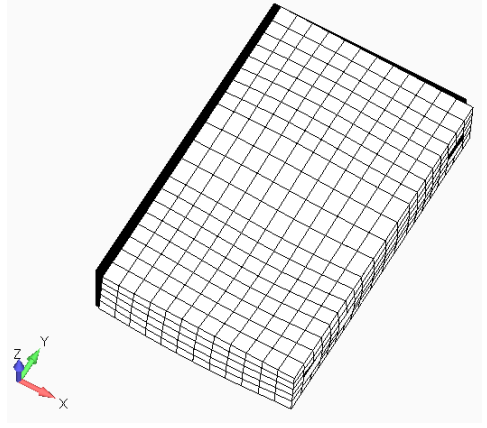
評価点 (外壁部)	Sd-2 NS 方向加振時 NS 応答
 <p>T. M. S. L. 12.3m No. 18394</p>	 <p>— 建屋模擬モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 18394) — 質点系対応モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 18394)</p> <p>減衰定数: 0.05</p>
 <p>T. M. S. L. 12.3m No. 17059</p>	 <p>— 建屋模擬モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17059) — 質点系対応モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17059)</p> <p>減衰定数: 0.05</p>
 <p>T. M. S. L. 12.3m No. 17984</p>	 <p>— 建屋模擬モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17984) — 質点系対応モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17984)</p> <p>減衰定数: 0.05</p>

表 2-2 振動モードの比較 (NS 方向 2 次モード)

3次元 FEM	建屋模擬モデル 屋根スラブ剛性 非考慮	質点系対応モデル 屋根スラブ剛性 考慮*
振動数 (周期)	5.12Hz (0.20s)	5.57Hz (0.18s)
建屋 全景		
屋根 スラブ		

注記\* : 床スラブと同様に剛としている。

## 2.2 建屋全体応答の整理

別紙 3 における「3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討」では、建屋耐震性評価への影響検討として、建屋模擬モデル（3次元 FEM）及び質点系モデルの最大応答値（最大応答加速度）の比較を行っている。なお、当該比較の際には、建屋模擬モデル（3次元 FEM）の図 2-1 に示す節点の最大応答加速度をレベルごとに平均した値を用いている。ただし、別紙 3 における「3.3.3 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」での応答補正比率算定の際は、各節点の最大応答加速度を用いて評価している。

ここでは、建屋模擬モデル（3次元 FEM）の図 2-1 に示す節点における応答の平均化が妥当であることを、以下の 2つと比較することで確認する。

- ・ 図 2-1 に示す節点の最大応答加速度のレベルごとの最大値
- ・ 図 2-1 に示す節点の最大応答加速度のレベルごとの最小値

建屋模擬モデル（3次元 FEM）の各節点の最大応答加速度の比較を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

いずれのレベルについても建屋模擬モデル（3次元 FEM）の各節点の最大応答加速度のばらつきは小さい。その中でも最もばらつきがあるのは T.M.S.L. 38.2m であるが、別紙 2「3次元 FEM モデルを用いた精査」において壁の面外方向の最大応答加速度分布（図 2-4 及び図 2-5 参照）を示すとともに、ばらつきは壁の面外慣性力による影響であること、面外慣性力による原子炉建屋の壁が有する耐震性への影響は無いことを確認している。

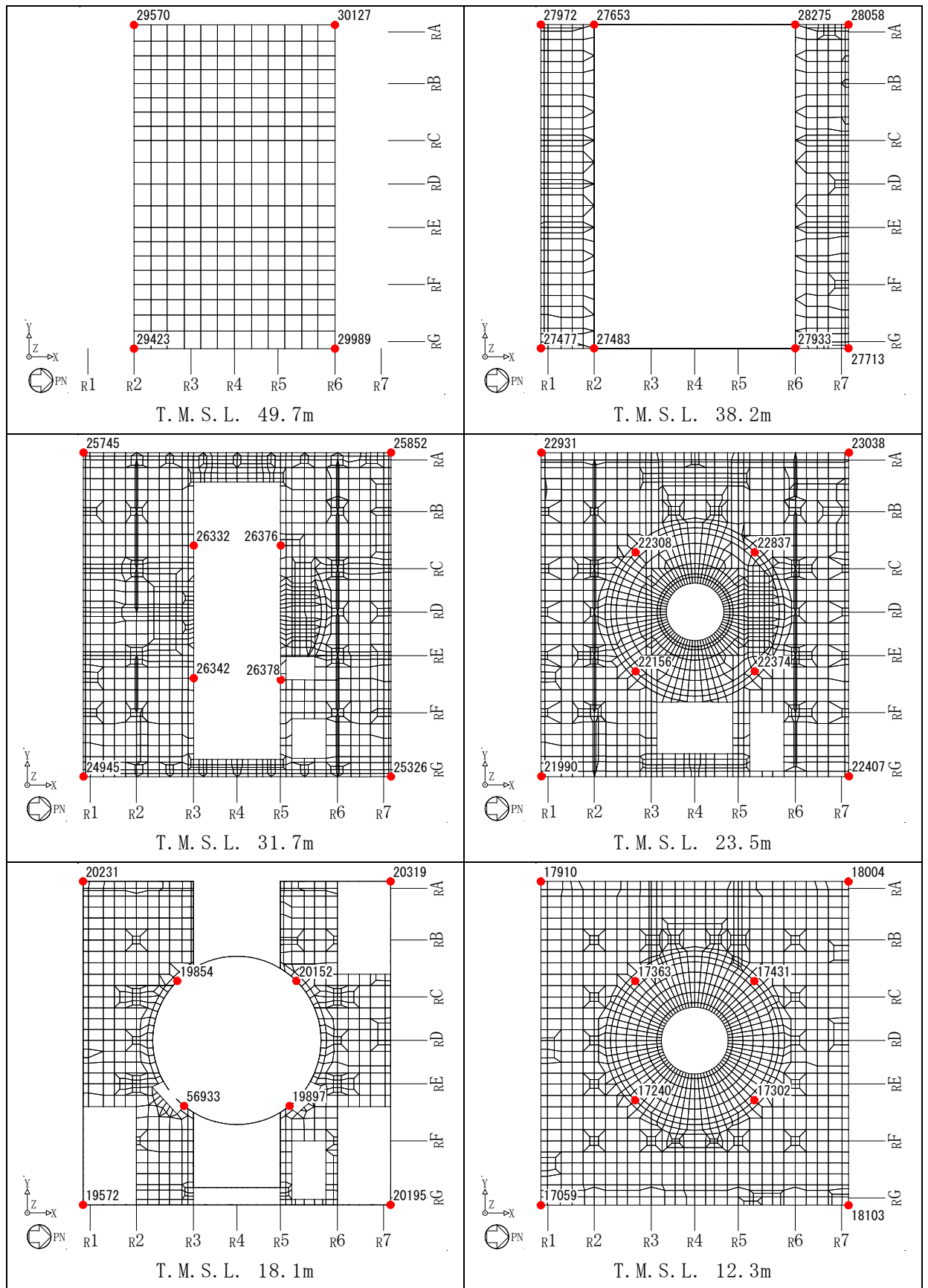


図 2-1 応答評価位置 (1/2)

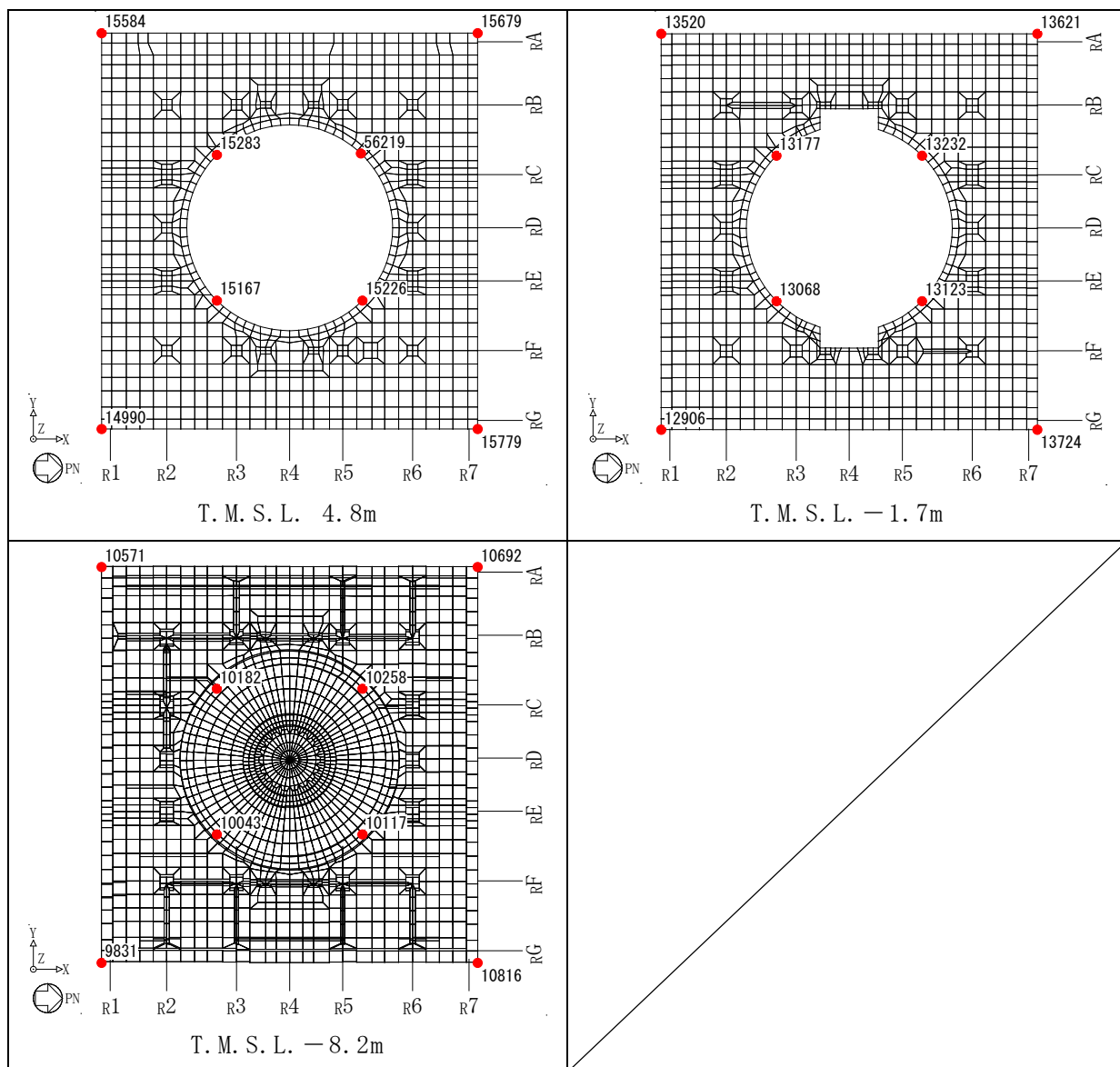
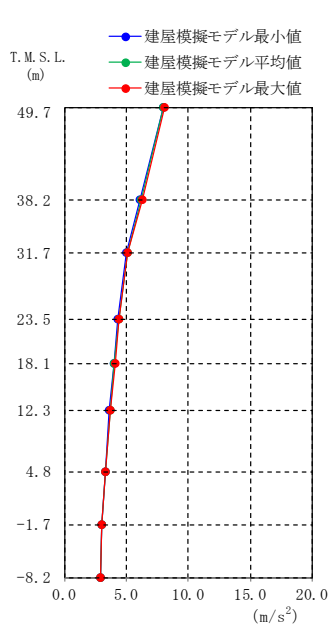
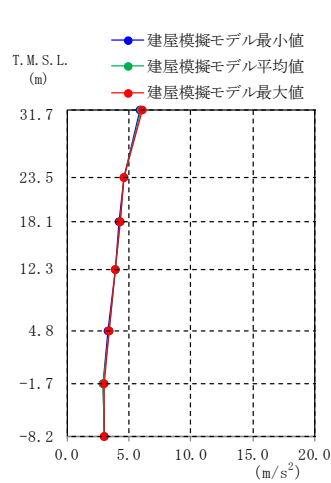


図 2-1 応答評価位置 (2/2)



Sd-1 NS方向 外壁部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
7.99	8.02	8.07
6.11	6.18	6.29
5.04	5.09	5.11
4.33	4.39	4.43
4.01	4.04	4.06
3.65	3.68	3.70
3.26	3.28	3.29
2.98	2.99	3.00
2.92	2.93	2.95



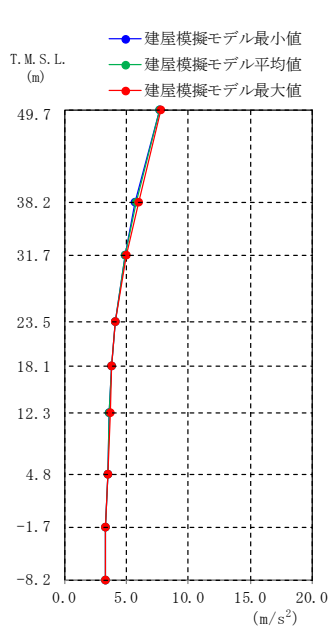
Sd-1 NS方向 RCCV部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
5.87	5.97	6.08
4.56	4.59	4.62
4.22	4.25	4.27
3.87	3.90	3.92
3.32	3.37	3.41
2.93	2.95	2.96
2.97	2.97	2.98

(1) 外壁部

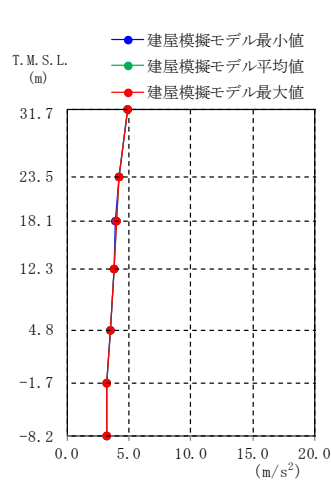
(2) RCCV部

(a) Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答



Sd-1 EW方向 外壁部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
7.65	7.71	7.76
5.70	5.80	6.02
4.93	4.94	4.96
4.05	4.09	4.12
3.75	3.76	3.77
3.63	3.65	3.66
3.48	3.49	3.49
3.28	3.29	3.29
3.28	3.28	3.28



Sd-1 EW方向 RCCV部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
4.91	4.93	4.94
4.20	4.20	4.22
3.91	3.97	4.03
3.76	3.78	3.80
3.47	3.48	3.49
3.22	3.23	3.24
3.22	3.23	3.24

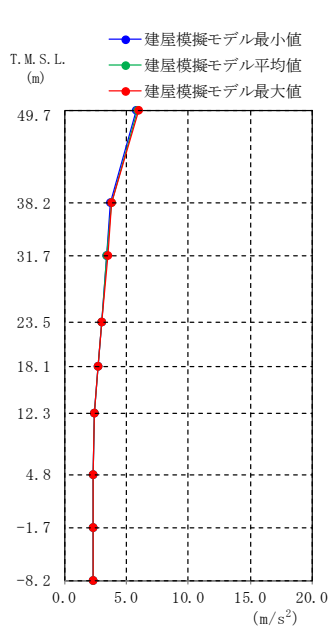
(1) 外壁部

(2) RCCV部

(b) Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答

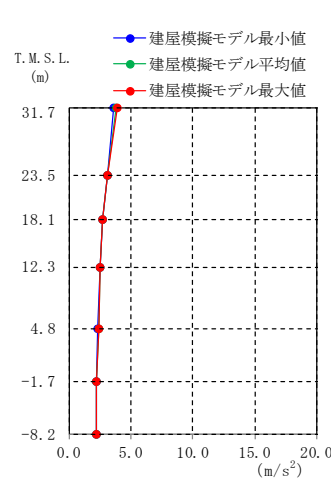
注：建屋模擬モデルは3次元FEMモデルである。

図2-2 最大応答加速度の比較 (Sd-1)



Sd-2 NS方向 外壁部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
5.81	5.89	5.95
3.69	3.77	3.84
3.39	3.44	3.48
2.98	2.98	2.99
2.66	2.68	2.70
2.40	2.43	2.44
2.32	2.34	2.35
2.26	2.26	2.26
2.26	2.27	2.28

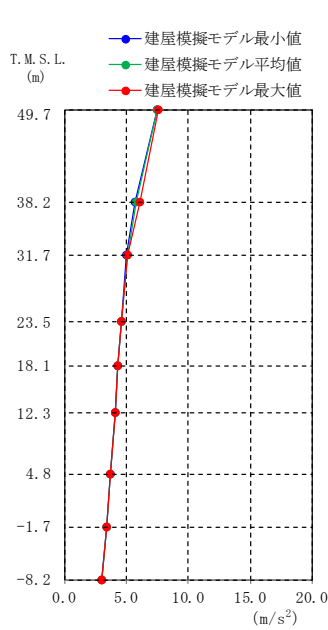


Sd-2 NS方向 RCCV部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
3.64	3.75	3.87
3.07	3.08	3.09
2.73	2.73	2.74
2.47	2.51	2.53
2.33	2.36	2.39
2.22	2.23	2.23
2.21	2.21	2.22

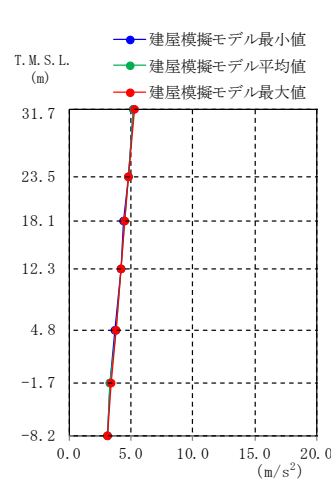
(1) 外壁部 (2) RCCV部

(a) Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答



Sd-2 EW方向 外壁部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
7.50	7.52	7.55
5.70	5.82	6.10
5.04	5.08	5.13
4.56	4.58	4.60
4.29	4.30	4.32
4.05	4.06	4.07
3.68	3.68	3.68
3.36	3.37	3.38
3.03	3.04	3.04



Sd-2 EW方向 RCCV部 (m/s<sup>2</sup>)

建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
5.20	5.23	5.25
4.75	4.76	4.77
4.43	4.49	4.54
4.16	4.18	4.22
3.71	3.75	3.79
3.33	3.35	3.39
3.07	3.08	3.08

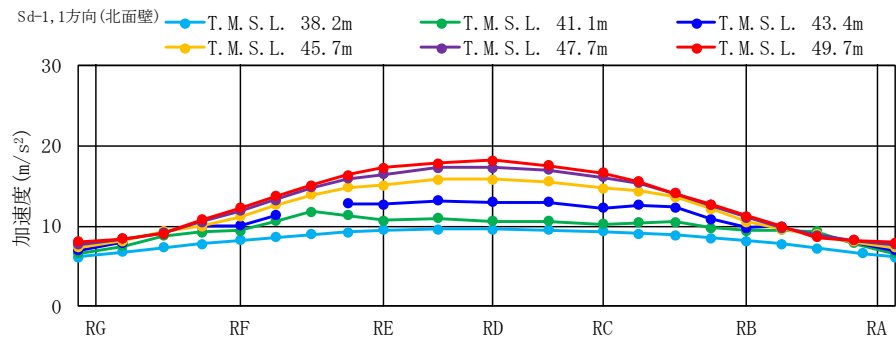
(1) 外壁部 (2) RCCV部

(b) Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答

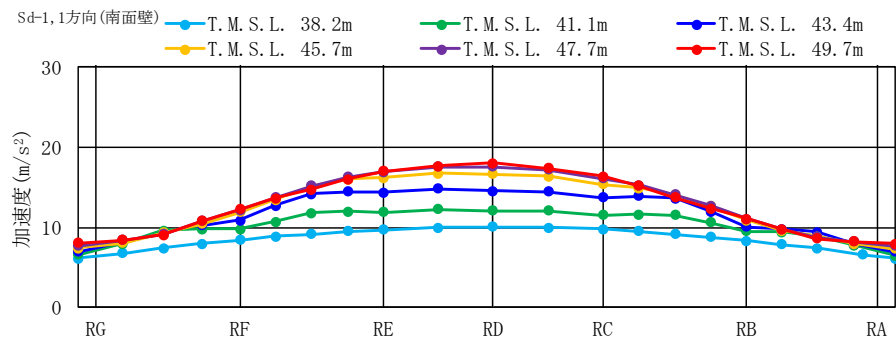
注：建屋模擬モデルは3次元FEMモデルである。

図2-3 最大応答加速度の比較 (Sd-2)

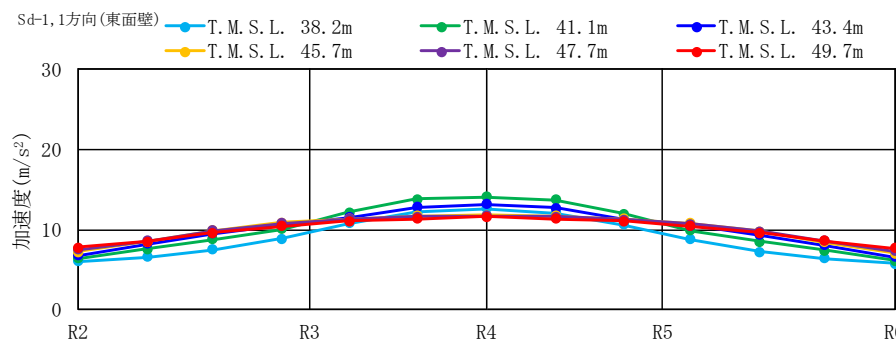




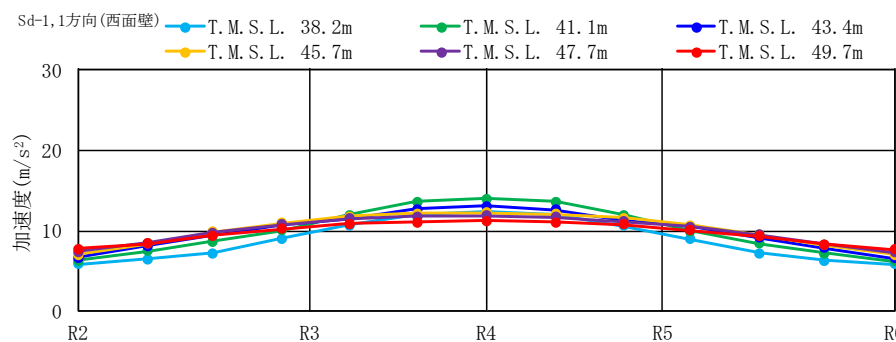
(a) 北面壁



(b) 南面壁

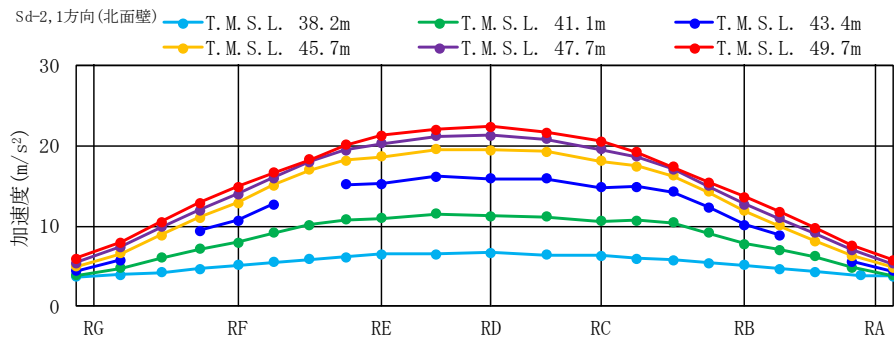


(c) 東面壁

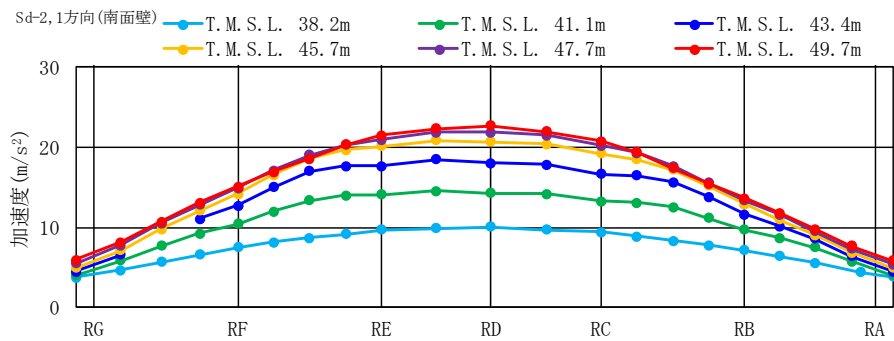


(d) 西面壁

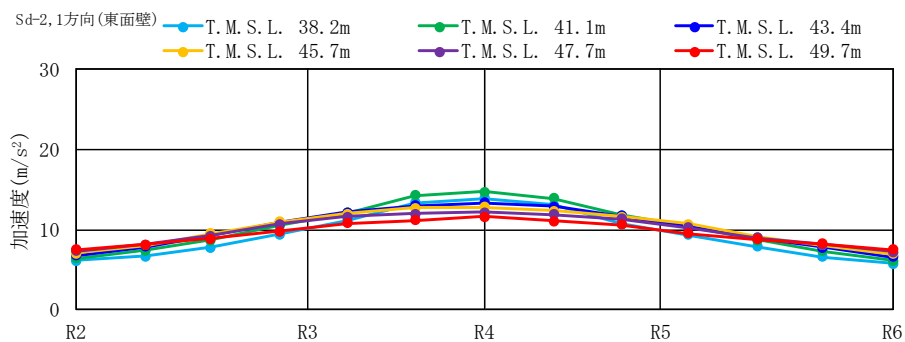
図 2-4 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-1, 平面分布)



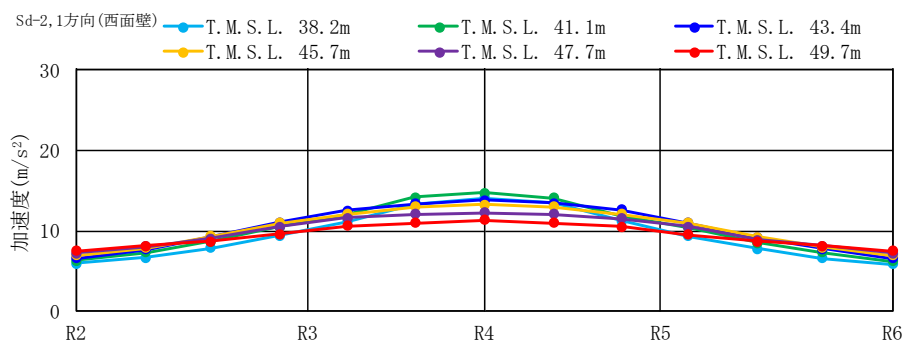
(a) 北面壁



(b) 南面壁



(c) 東面壁



(d) 西面壁

図 2-5 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-2, 平面分布)

### 2.3 水平方向加振時の屋根スラブにおける鉛直方向の最大応答加速度

ここでは、応答整理を行う際の参考として、以下の 2 つのモデルを対象に、屋根スラブの代表節点における水平方向加振時の鉛直方向の最大応答加速度を示す。

- ・床の柔性を考慮した建屋模擬モデル（3次元 FEM，床柔，相互作用考慮）
- ・床を剛とした質点系対応モデル（3次元 FEM，床剛，相互作用考慮）

なお、建屋模擬モデルは屋根スラブの剛性を非考慮としており、質点系対応モデルでは屋根スラブの剛性を床スラブと同様に剛としている。

最大応答加速度を示す屋根スラブの代表節点を図 2-6 及び図 2-7 に示す。

代表節点は加振方向ごとに設定するものとし、NS 方向加振時は、各通り（トラス）で分布を確認するため、つなぎばり及び外壁との交点を選定する。EW 方向加振時は、各つなぎばりで分布を確認するため、トラス、サブビーム及び外壁との交点を選定する。

水平方向加振時の鉛直方向の最大応答加速度を図 2-8 及び図 2-9 に示す。

水平方向加振時の鉛直方向応答は、いずれのモデルについても加振方向の応答に比べ小さい。また、NS 加振時の鉛直方向応答について、建屋模擬モデルは NS 軸に対し鉛直方向 1 次に類似した分布、質点系対応モデルは NS 軸に対し鉛直方向 2 次に類似した分布となっており、建屋模擬モデルは質点系対応モデルに比べ応答が増大している。一方で、EW 方向加振時ではいずれのモデルも EW 軸に対し鉛直方向 2 次モードに類似した分布であり、同程度の応答となっている。

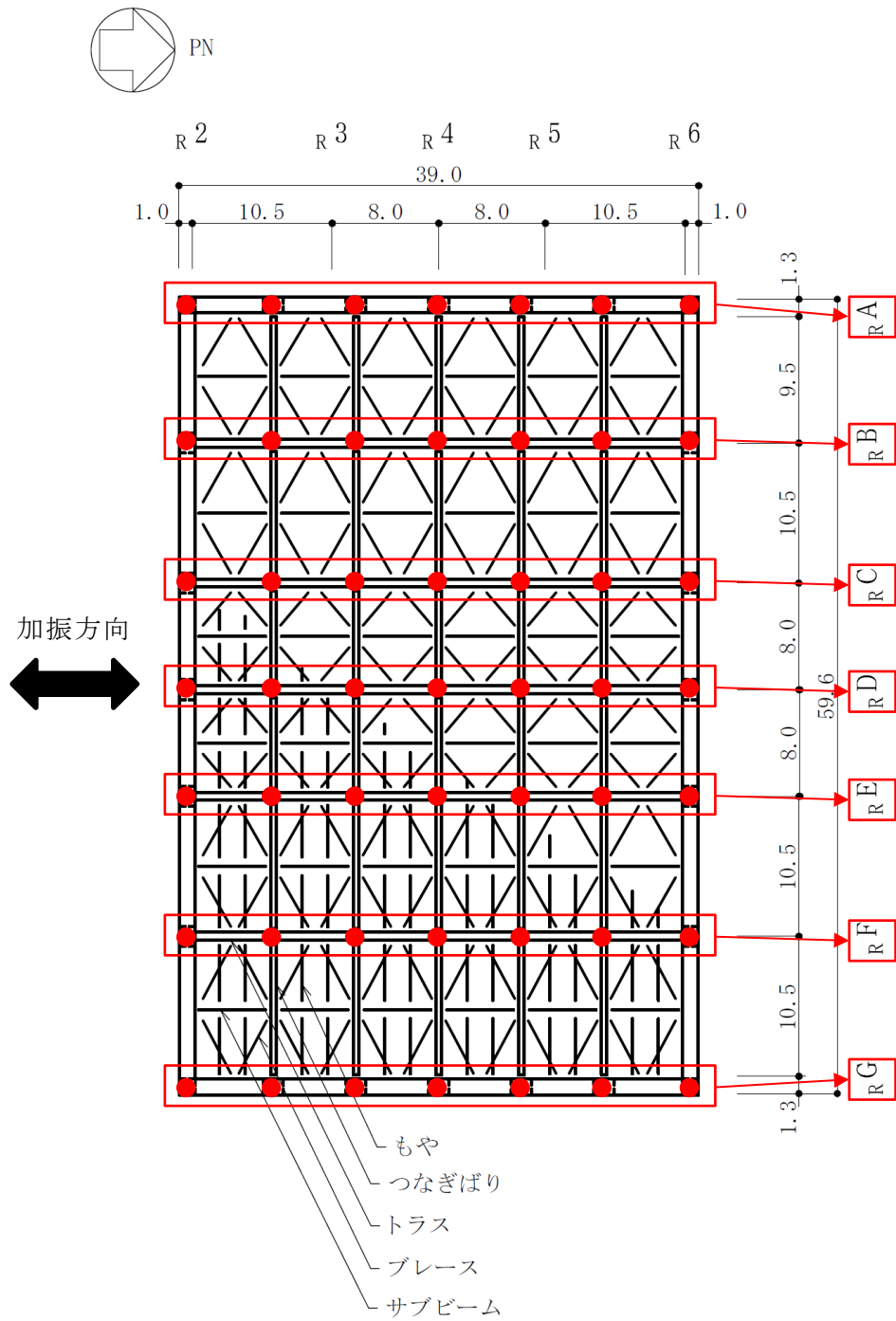


図 2-6 NS 方向加振時における屋根スラブの代表節点

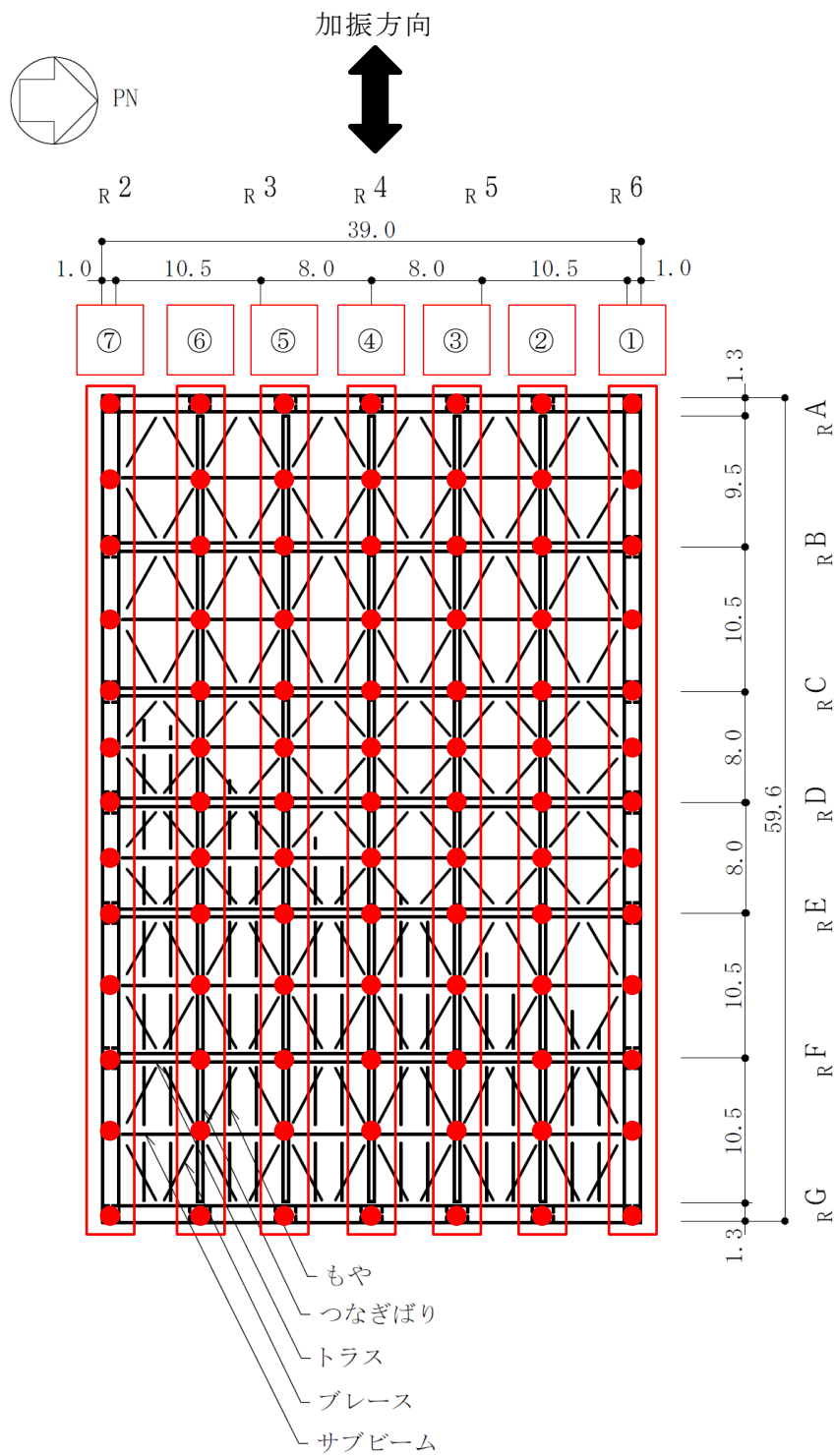
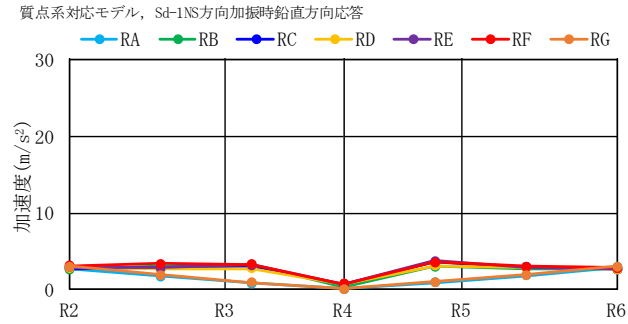
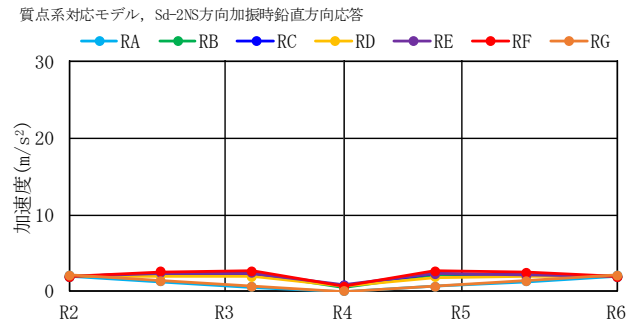


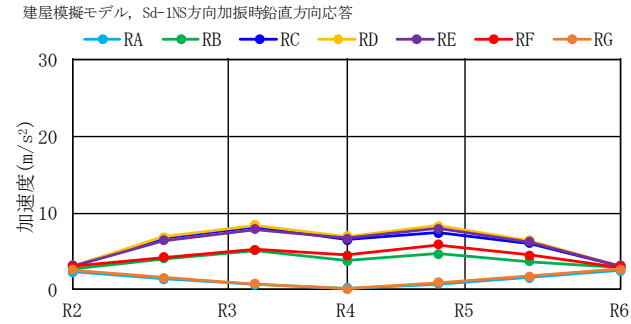
図 2-7 EW 方向加振時における屋根スラブの代表節点



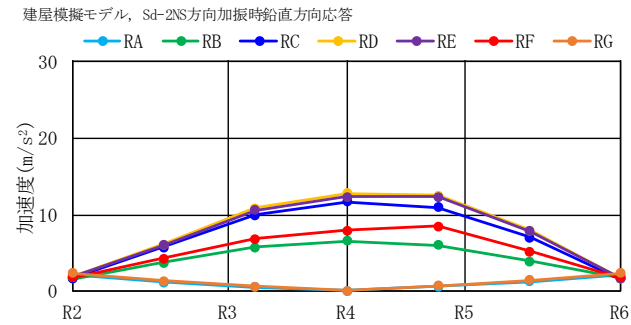
(a) 質点系対応モデル Sd-1



(c) 質点系対応モデル Sd-2



(b) 建屋模擬モデル Sd-1



(d) 建屋模擬モデル Sd-2

図 2-8 NS 方向加振時における鉛直方向の最大応答加速度の分布図

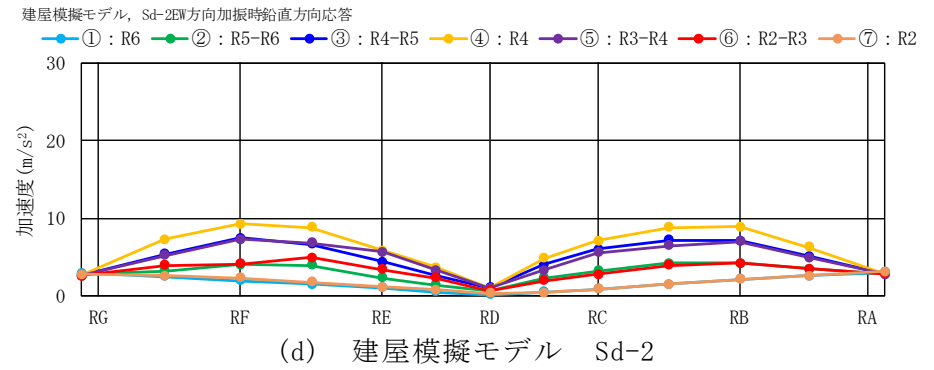
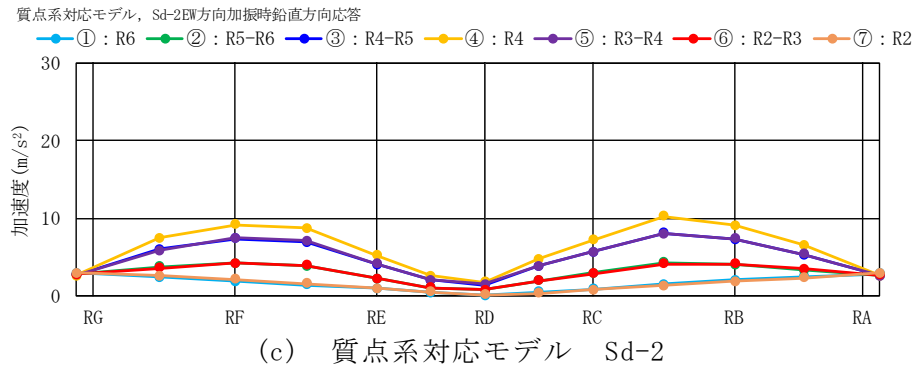
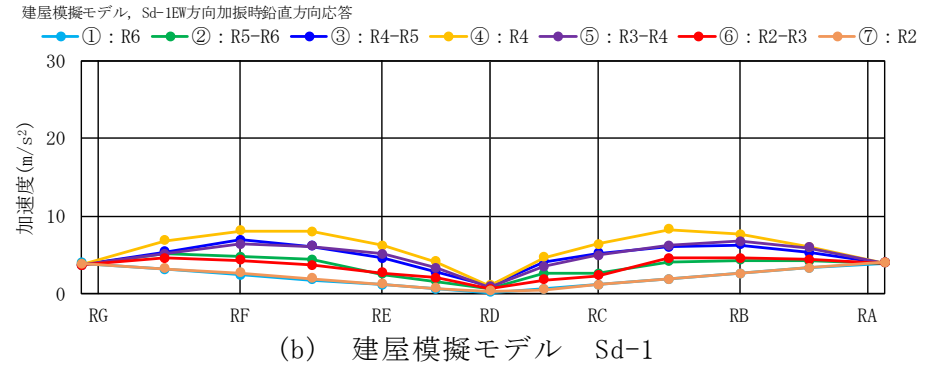
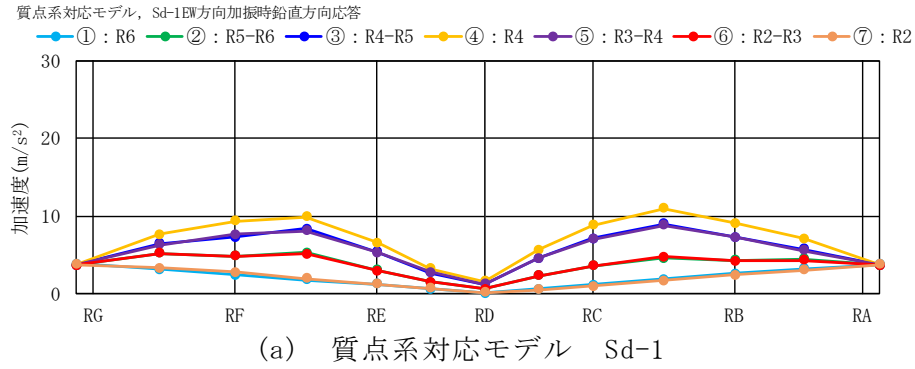


図 2-9 EW 方向加振時における鉛直方向の最大応答加速度の分布図

## 別紙 4 機器・配管系に関する説明資料



## 目 次

別紙 4.1	機器・配管系の耐震評価における水平 2 方向入力の影響有無整理結果……	別紙 4.1-1
別紙 4.2	水平 2 方向の地震による代表設備の増分影響結果……………	別紙 4.2-1
別紙 4.3	水平 2 方向の地震による発生値と許容値の比較……………	別紙 4.3-1
別紙 4.4	個別設備に関する補足説明……………	別紙 4.4-1
別紙 4.5	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価における代表性について……	別紙 4.5-1
別紙 4.6	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ方法の検討について……………	別紙 4.6-1
別紙 4.7	原子炉建屋 3 次元 FEM モデルの応答解析結果に係る機器・配管系への 影響について……………	別紙 4.7-1
別紙 4.8	原子炉建屋 3 次元 FEM モデルの面外加速度に係る機器・配管系への 影響について……………	別紙 4.8-1

②機器・配管系の耐震評価における水平2方向入力の影響有無整理結果  
表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の 地震力の重畳 による影響の 有無 (3.2.4項(1) に対応) ○:影響あり △:影響軽微	影響軽微とした分類 A:水平2方向の地震力を受けた場合でも、 構造により水平1方向の地震力しか負担 しないもの B:水平2方向の地震力を受けた場合、構造 により最大応力の発生箇所が異なるもの C:水平2方向の地震を組み合わせても1方 向の地震による応力と同等といえるもの D:従来評価にて、水平2方向の地震力を考 慮しているもの(考慮方法を表3に示す。)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関 する振動モード(ねじれ振動等)が生じ る観点 (3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び 新たな応力成分 の発生有無 ×:発生しない ○:発生する	左記の振動モードの 影響がないこと、新た な応力成分が発生し ないことの理由
燃料集合体	燃料被覆管	一次応力	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—
		一次+二次応力	○	—	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	○	—	同上。		
炉心シュラウド	上部胴上端 上部胴下端 下部胴上端	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 4章】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	炉心支持板支持面	支圧応力	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平2方向入力の影響はない。		
シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円周配置であるため水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
		座屈	△	B	同上。		
	シリンダ プレート 下部胴	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 4章】		
一次膜応力+一次曲げ応力		△	B	同上。			
炉心支持構造物 上部格子板	リム胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 4章】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	グリッドプレート	一次一般膜応力	△	B	評価部位は格子構造であるため水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
炉心支持板	補強ビーム 支持板	一次一般膜応力	△	B	水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 4章】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 4章】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由	
原子炉圧力容器本体	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向ごとにその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 1 章】	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
	蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力	△	D	従来より水平 2 方向入力時の地震力を 4 つのブラケットのうち 2 つで分担した荷重を方向ごとに考慮した評価を行っている。したがって、水平 2 方向入力による影響はない。【別紙 4.4 2 章】			
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。			
	給水スパージャブラケット 低圧注水スパージャブラケット	一次一般膜応力	○	—	評価においては 3 次的に配置されている原子炉内配管の応答を使用しており、原子炉内配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。			
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。			
純せん断応力		○	—	同上。				
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈	△	B	同上。		
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 8 章】	×	—	
		一次応力(せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】			
原子炉圧力容器本体	胴板 下部鏡板	胴板 スカート付根部 球殻部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
	球殻部と円錐部の接続部 ナックル部 ナックル部と円筒胴部の接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】			
		一次+二次応力	△	B	同上。			
	一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。				

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の 地震力の重畳 による影響の 有無 (3.2.4 項(1) に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、 構造により水平 1 方向の地震力しか負担 しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造 により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方 向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考 慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関 する振動モード(ねじれ振動等)が生じ る観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び 新たな応力成分 の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの 影響がないこと、新た な応力成分が発生し ないことの理由
制御棒駆動機構ハウジン グ貫通孔	スタブチューブ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
		一次+二次応力	△	B	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
		座屈	△	B	同上。		
	ハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】		
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
		一次+二次応力	△	B	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
		座屈	△	B	同上。		
原子炉冷却材再循環ポン プ貫通孔(N1)	ケーシング側付根 R 部 RIP ノズル溶接部 スタブと下部鏡板の接続部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
		一次+二次応力	△	B	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
	貫通孔スタブ	座屈	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】		
主蒸気ノズル(N3) 給水ノズル(N4) 低圧注水ノズル(N6) 上蓋スプレイ・ベントノ ズル(N7) 原子炉停止時冷却材出口 ノズル(N8, N10) 計装ノズル(N12) 計装ノズル(N13) 計装ノズル(N14) ドレンノズル(N15) 高圧炉心注水ノズル (N16)	各部位	一次一般膜応力	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3 次元はりモデルの応 答解析結果(配管反 力)を用い、耐震評価 を実施している。
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。		
		一次+二次応力	○	—	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	○	—	同上。		
		座屈	○	—	同上。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
原子炉圧力容器本体	ノズル	一次一般膜応力	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。		
		一次+二次応力	○	—	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	○	—	同上。		
	肉盛溶接部	一次一般膜応力	○	—	評価においては 3 次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平 2 方向入力の影響がある。		
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。		
		一次+二次応力	○	—	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	○	—	同上。		
		座屈	○	—	同上。		
	原子炉圧力容器付属構造物	ケーシング	一次一般膜応力	△	B		
一次膜応力+一次曲げ応力			△	B	同上。		
一次+二次応力			△	B	同上。		
一次+二次+ピーク応力			△	B	同上。		
支圧応力			△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。		
座屈		△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせただけでも水平 2 方向入力の影響は軽微である。			
原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	一次応力(引張)	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向ごとにその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 1 章】	×	—
	ブラケット	一次応力(せん断)	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向ごとにその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 1 章】		
		一次応力(曲げ)	△	C	同上。		
制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力(せん断)	△	B	水平方向地震力が作用する際に、加振軸上に最大応力が発生する。水平 2 方向の地震力が同時に作用した場合においても、それぞれの方向の加振軸上に最大応力が発生する。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次応力(圧縮)	△	B	同上。		
		一次応力(曲げ)	△	B	同上。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由	
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート	一次一般膜応力	△	C	従来評価で評価が厳しくなる方向に地震荷重を与えているため、水平 2 方向の地震力が作用した場合において、水平 1 方向の地震荷重と同等となる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
	耐震用ブロックせん断面 A	純せん断応力	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。			
	耐震用ブロック支圧面 A	支圧応力	△	C	同上。			
	耐震用ブロック支圧面 B	支圧応力	△	C	地震の水平力は 4 箇所の耐震用ブロックのうち相対する 2 箇所で受けるものとして評価しているが、水平 2 方向入力では 4 箇所の耐震用ブロックに荷重が分担されるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。			
気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。			
給水スパージャ 高圧炉心注水スパージャ 低圧注水スパージャ 高圧炉心注水系配管 (原子炉圧力容器内部)	各部位	一次一般膜応力	○	—	3 次元的に配置されているため、水平それぞれの方向の地震力に対し、各方向で応力が発生する。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	従来より、3 次元はりモデルの応答解析結果を用い、耐震評価を実施しており、ねじれる状態についても耐震評価に用いる同種の荷重として算出される。	
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上。			
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック	一次応力 (引張)	○	—	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の一様断面でないため、発生応力は積算される。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	×	—	
		一次応力 (せん断)	○	—	同上。			
		一次応力 (組合せ)	○	—	同上。			
	サポート 基礎ボルト (サポート部)	一次応力 (引張)	△	C	水平 1 方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平 2 方向の地震力が作用した場合においても水平 1 方向の応答が支配的となる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 3 章】			
		一次応力 (せん断)	△	A	水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。【別紙 4.4 3 章】			
	基礎ボルト (底部)	一次応力 (引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】			
一次応力 (せん断)		△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】				

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力 (引張 x 方向)	○	—	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の様断面でないため、発生応力は積算される。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3次元 FEM モデルを作成し、耐震評価を実施している。
		一次応力 (引張 y 方向)	○	—	同上。		
		一次応力 (せん断)	○	—	同上。		
		一次応力 (組合せ)	○	—	同上。		
	基礎ボルト	一次応力 (引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
		一次応力 (せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA)	架構	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
		一次応力 (曲げ)	△	D	同上。		
		一次応力 (組合せ)	△	D	同上。		
	基礎ボルト	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
	サポート (上部)	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
		一次応力 (曲げ)	△	D	同上。		
		一次応力 (組合せ)	△	D	同上。		
	サポート (下部)	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
		一次応力 (曲げ)	△	D	同上。		
		一次応力 (組合せ)	△	D	同上。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○:影響あり △:影響軽微	影響軽微とした分類 A:水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B:水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C:水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D:従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表3に示す。)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×:発生しない ○:発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA 広域)	検出器	一次応力 (組合せ)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	検出器架台 (基礎ボルト)	一次応力 (引張)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
	検出器架台 (部材)	一次応力 (組合せ)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	検出器サポート (上部)	一次応力 (組合せ)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
検出器サポート (下部)	一次応力 (組合せ)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。	
使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA 広域) (スロッシングの影響を考慮した評価)	検出器	一次応力 (組合せ)	○	—	水平2方向の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	検出器架台 (基礎ボルト)	一次応力 (引張)	○	—	水平2方向の影響がある。		
		一次応力 (せん断)	○	—	同上。		
	検出器架台 (部材)	一次応力 (組合せ)	○	—	水平2方向の影響がある。		
監視カメラ	基礎ボルト	一次応力 (引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力 (せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平2方向入力の影響はない。		
	取付ボルト	一次応力 (引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】		
		一次応力 (せん断)	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】		
	カメラ架台	一次応力 (引張)	○	—	水平2方向の影響がある。		
		一次応力 (せん断)	○	—	同上。		
		一次応力 (曲げ)	○	—	同上。		
		一次応力 (組合せ)	○	—	同上。		
使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置	基礎ボルト	一次応力 (引張)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力 (せん断)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		



設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないことの理由	
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】	×	—	
		一次応力 (せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】			
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上。			
		一次+二次応力	△	A	同上。			
	脚	一次応力 (組合せ)	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。			
		基礎ボルト	一次応力 (引張)	△	A			水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。
			一次応力 (せん断)	△	C			水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】
横置円筒形容器 (原子炉補機冷却水系熱交換器)	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上。			
		一次+二次応力	△	A	同上。			
		一次+二次応力+ピーク応力	△	A	同上。			
	脚	一次応力 (組合せ)	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。			
	アンカボルト	一次応力 (せん断)	○	—	水平 2 方向が同時に作用した場合に、一部のアンカボルトで強軸側と弱軸側の荷重を併せて負担するため、水平 2 方向入力の影響がある。			
配管本体, サポート (多質点梁モデル解析)	配管本体	一次応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。	
		一次+二次応力	△	D	同上。			
	サポート	一次応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。			
		一次+二次応力	△	D	同上。			

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の 地震力の重畳 による影響の 有無 (3.2.4 項(1) に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、 構造により水平 1 方向の地震力しか負担 しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造 により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方 向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考 慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関 する振動モード(ねじれ振動等)が生じ る観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び 新たな応力成分 の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの 影響がないこと、新た な応力成分が発生し ないこと理由
ダクト本体, サポート	ダクト本体 (矩形)	座屈	△	A	弱軸の有効断面に対し, 最大応答を示す方向の地震力により評価を実施しており, 水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
	ダクト本体 (円形)	座屈	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
	サポート	一次応力 (組合せ)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー	一次一般膜応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため, 水平方向地震荷重は荷重条件として考慮していない。したがって, 水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		一次+二次応力	△	C	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	C	同上。		
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため, 水平方向地震荷重は荷重条件として考慮していない。したがって, 水平 2 方向入力の影響はない。		
アキュムレータ	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても, 強軸と弱軸の関係が明確であり, 斜め方向に変形するのではなく, 支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため, 最大応力発生部位は変わらない。したがって, 水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上。		
		一次+二次応力	△	A	同上。		
	脚	一次応力 (組合せ)	△	A	水平 2 方向が同時に作用した場合においても, 強軸と弱軸の関係が明確であり, 斜め方向に変形するのではなく, 支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため, 最大応力発生部位は変わらない。したがって, 水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
立形ポンプ (ピットバレル形 ポンプ)	コラムパイプ バレルケーシング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから, 水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって, 水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	○	X 又は Y 方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。水平 2 方向入力によって, ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが, 有意な応答ではないため, 影響がないと考えられる。
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され, 水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって, 水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 8 章】		
		一次応力 (せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果, 水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより, 影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
立形ポンプ (立形斜流ポンプ)	コラムパイプ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから, 水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって, 水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	○	X 又は Y 方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。水平 2 方向入力によって, ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが, 有意な応答ではないため, 影響がないと考えられる。
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され, 水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって, 水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 8 章】		
		一次応力 (せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果, 水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより, 影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
ECCS ストレーナ	各部位(フランジ, 取付ボルト以外)	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—
	フランジ	曲げ応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
	ストレーナ取付部ボルト	引張応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
ECCS ストレーナ部ティー	ティー	一次応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—
ECCS ストレーナ取付部コネクタ	コネクタ フランジ	一次応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	スカート	一次応力(組合せ)	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		座屈	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 8 章】		
		一次応力(せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
平底たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
		座屈	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 8 章】		
		一次応力(せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○:影響あり △:影響軽微	影響軽微とした分類 A:水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B:水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C:水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D:従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表3に示す。)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×:発生しない ○:発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
平底たて置円筒形容器 (第一ガスタービン発電機用燃料小出し槽)	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 4章】	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
		座屈	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	取付ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 8章】		
		一次応力(せん断)	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】		
	架台取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】		
一次応力(せん断)		△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】			
ラグ支持たて置き円筒容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。【別紙4.4 4章】	×	—
		一次応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		一次+二次応力	○	—	同上。		
	ラグ	組合せ	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
一次応力(せん断)		△	A	ラグの取付ボルト穴は長穴構造であり、水平2方向の地震力を受けた場合でも、水平1方向の地震力しか負担しない構造のため、水平2方向の地震力の影響はない。			
伝送器(矩形床置)	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】	×	—
		一次応力(せん断)	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】		
伝送器(矩形壁掛)	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力(せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平2方向入力の影響はない。		
伝送器(円形吊下)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平2方向入力の影響はない。	×	—
伝送器(円形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しない構造となっている。したがって、水平2方向入力の影響はない。	×	—

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
伝送器 (サポート鋼材固定)	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
	溶接部	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
		一次応力 (曲げ)	△	D	同上。		
一次応力 (組合せ)	△	D	同上。				
制御棒駆動機構	スプールピース最小断面	一次応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力 (引張)	○	—	非対象構造であるため 3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力 (圧縮)	○	—	同上。		
		一次応力 (せん断)	○	—	同上。		
		一次応力 (曲げ)	○	—	同上。		
		一次応力 (組合せ)	○	—	同上。		
	取付ボルト	一次応力 (引張)	○	—	非対象構造であるため 3 次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		
		一次応力 (せん断)	○	—	同上。		
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
電気盤 (矩形床置)	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】	×	—
		一次応力 (せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
電気盤 (矩形壁掛)	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力 (せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
通信連絡設備(床置アンテナ)	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】	×	—
		一次応力(せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
通信連絡設備(壁掛アンテナ)	基礎ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力(せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。		
通信連絡設備(パラボラアンテナ)	基礎ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している
		一次応力(せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している
		一次応力(せん断)	△	D	同上。		
配管遮蔽	架台	一次応力(引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		一次応力(せん断)	△	D	同上。		
		一次応力(圧縮)	△	D	同上。		
		一次応力(曲げ)	△	D	同上。		
		一次応力(組合せ)	△	D	同上。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
一次応力(せん断)		△	D	同上。			
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウ	ブレース	一次応力(圧縮)	△	A	ブレースはブロウの重心とサポートプレート設置位置のずれによる軸方向転倒防止のため設置している。そのためブレースが受けもつ荷重は現在評価対象としている軸方向の転倒モーメント分のみであり、軸直方向の水平地震荷重はベース溶接部のせん断で受けもつと考えられる。したがって、水平 2 方向入力の影響は受けない。	×	—
		ベース取付溶接部	一次応力(引張)	△	A		
	一次応力(せん断)		○	—	ベース溶接部で水平方向のそれぞれの水平荷重を負担する。したがって、水平 2 方向入力の影響がある。		
	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
一次応力(せん断)		△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】			

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート	圧縮ひずみ	△	C	建屋の地震応答解析より実施する格納容器コンクリートのひずみ評価の影響が軽微のため、ライナ部も影響は軽微となる。	×	—
		引張ひずみ	△	C	同上。		
	ライナアンカ	変位	△	C	建屋の地震応答解析より実施する格納容器コンクリートのひずみ評価の影響が軽微のため、ライナ部も影響は軽微となる。		
ドライウエル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	フランジプレート	せん断	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向荷重の影響が小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		曲げ	△	C	同上。		
	ガセットプレート	せん断	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向荷重の影響が小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	コンクリート部	圧縮	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向荷重の影響が小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
下部ドライウエルアクセス トンネルスリーブ及び鏡板	鏡板 鏡板のスリーブとの結合部 スリーブのフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	フランジプレート	せん断	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		曲げ	△	D	同上。		
	ガセットプレート	せん断	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
	コンクリート部	圧縮	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	配管反力に基づいて評価を実施しており、従来よりねじれを考慮した評価を実施している。
	下部サポートパイプ	せん断	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		圧縮	△	D	同上。		
	ガセットプレート ベアリングプレート	せん断	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		曲げ	△	D	同上。		
	基礎ボルト	引張	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
コンクリート部	圧縮	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。			

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○:影響あり △:影響軽微	影響軽微とした分類 A:水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B:水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C:水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D:従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表3に示す。)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×:発生しない ○:発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サブプレッションチェンバ 出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	円筒胴	一次一般膜応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	円筒胴のフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	フランジプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		曲げ	△	D	同上。		
ガセットプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。			
コンクリート部	圧縮	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。			
下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	円筒胴	一次一般膜応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	円筒胴の鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ	一次一般膜応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	スリーブのフランジプレートとの結合部 端板	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	フランジプレート ガセットプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		曲げ	△	D	同上。		
コンクリート部	圧縮	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。			
原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ	一次一般膜応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	スリーブのフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	フランジプレート ガセットプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		曲げ	△	D	同上。		
コンクリート部	圧縮	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。			
真空破壊弁	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		



設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の 地震力の重畳 による影響の 有無 (3.2.4 項(1) に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、 構造により水平 1 方向の地震力しか負担 しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造 により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方 向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考 慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関 する振動モード(ねじれ振動等)が生じ る観点 (3.2.4 項(2)に対応)		
						振動モード及び 新たな応力成分 の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの 影響がないこと、新た な応力成分が発生し ないことの理由	
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ放射 方向 鉄筋コンクリートスラブ円 周方向	コンクリート圧縮応力度	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向荷重の影響が小さい。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。			
		鉄筋引張応力度	△	C	同上。			
		鉄筋圧縮応力度	△	C	同上。			
		面外せん断力	△	C	同上。			
		コンクリート圧縮ひずみ	△	C	同上。			
		鉄筋引張ひずみ	△	C	同上。			
		鉄筋圧縮ひずみ	△	C	同上。			
	鉄筋コンクリート製原子炉 格納容器接合部(地震時水 平力伝達用シアプレート)	せん断	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向ごとにその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 5 章】	×	—	
	鉄筋コンクリート製原子炉 格納容器接合部(地震時鉛 直力伝達用シアプレート)	原子炉本体基礎接合部(地 震時水平力伝達用シアプレ ート)	曲げ	△	C	同上。		
	原子炉本体基礎接合部(半 径方向水平力伝達用頭付き スタッド)	せん断	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、水平 2 方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向ごとにその地震荷重は分担される。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 5 章】			
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結 合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。	
	水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との 結合部	一次+二次応力	△	D	同上。			
ドライウェルスプレイ管 サプレッションチェンバスプ レイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案 内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。	
		一次+二次応力	△	D	同上。			
静的触媒式水素再結合器	本体	一次応力(組合せ)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—	
	架台	一次応力(組合せ)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。			
	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。			
		一次応力(せん断)	○	—	同上。			
	基礎ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。			
一次応力(せん断)		△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。				
下部ドライウェルアクセス トンネル	各部位	組合せ	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—	

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表3に示す。)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
コリウムシールド	補強フレーム 縦材 水平材	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		曲げ	△	D	同上。		
		組合せ	△	D	同上。		
	ガセットプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		ベースプレート	曲げ	△	D		
	アンカーボルト	引張	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		せん断	△	D	同上。		
	水平プレート	引張	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		せん断	△	D	同上。		
	鋼棒	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
ボルト	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。			
遠隔手動操作設備	等速ジョイント	一次応力(せん断)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	○	—	同上。		
	ヘリカルパワードライブ取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
	ベアリングユニット取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
基礎ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。			
	一次応力(せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平2方向入力の影響はない。			
遠隔手動弁操作設備遮蔽	架台	引張	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		せん断	△	D	同上。		
		圧縮	△	D	同上。		
		曲げ	△	D	同上。		
		組合せ	△	D	同上。		
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力(せん断)	△	D	同上。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置	外梁	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3 次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
		一次応力 (組合せ)	△	D	同上。		
	ガイドレール 門ピン	一次応力 (引張)	△	A	面外荷重のみ作用し、面内荷重が作用しないため、水平 2 方向の影響はない。	×	—
		一次応力 (せん断)	△	A	同上。		
		一次応力 (組合せ)	△	A	同上。		
	ハンガーレール	一次応力 (引張)	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
		一次応力 (せん断)	△	C	同上。		
		一次応力 (組合せ)	△	C	同上。		
	テーパブロック取付ボルト	一次応力 (せん断)	△	A	面外荷重のみ作用し、面内荷重が作用しないため、水平 2 方向の影響はない。	×	—
チェーン	一次応力 (引張)	△	C	従来評価で評価が厳しくなる変位の最大値を用いているため、水平 2 方向の地震力が作用した場合において、水平 1 方向の地震荷重と同等となる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。			
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】	×	—
		一次応力 (せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
ガスタービン発電機	転倒評価	変位	△	C	車輛の転倒は、走行直角方向のみが対象となるため、水平 1 方向のみの地震力が支配的であり、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
	取付ボルト	一次応力 (引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
		一次応力 (せん断)	△	C	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙 4.4 7 章】		
	発電機車フレーム	一次応力 (組合せ)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
	制御車フレーム	一次応力 (組合せ)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
	取付部上部 (リンク機構)	荷重	△	C	車輛の転倒は、走行直角方向のみが対象となるため、水平 1 方向のみの地震力が支配的であり、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
	水平部材 (リンク機構)	引張	△	C	同上。		
圧縮		△	C	同上。			
下部取付ボルト (リンク機構)	一次応力 (引張)	△	C	同上。			
	一次応力 (せん断)	△	C	同上。			

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表3に示す。)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないことの理由
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】	×	—
		一次応力(せん断)	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【別紙4.4 7章】		
止水堰 (鋼板組合せ堰)	止水板	曲げ	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
		梁材	曲げ	○	—		
	せん断		○	—	同上。		
	組合せ		○	—	同上。		
	床アンカーボルト	引張	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断	○	—	同上。		
組合せ		○	—	同上。			
壁アンカーボルト	せん断	○	—	水平2方向入力の影響がある。			
止水堰 (L型鋼製堰, 鋼製落とし込み型堰)	鋼製板	曲げ	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
	アンカーボルト	引張り	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断	○	—	同上。		
		組合せ	○	—	同上。		
止水堰 (鉄筋コンクリート製堰)	アンカーボルト及びアンカー筋	引張り	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
		せん断	○	—	同上。		
		組合せ	○	—	同上。		
	縦筋	引張り	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断	○	—	同上。		
		組合せ	○	—	同上。		
	堰底部のコンクリート	せん断	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
圧縮		○	—	同上。			
床ドレンライン浸水防止治具 (フロート式治具)	弁本体	引張	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向入力の影響はない。	×	—
		曲げ	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		組合せ	○	—	同上。		
	フロートガイド	引張	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向入力の影響はない。		
		曲げ	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		組合せ	○	—	同上。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
床ドレンライン浸水防止治具 (スプリング式治具)	本体・ガイド	引張	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
		曲げ	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
		組合せ	○	—	同上。		
	ばねガイド	引張	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平 2 方向入力の影響はない。		
		曲げ	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
		組合せ	○	—	同上。		
	弁体	平板の曲げ	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平 2 方向入力の影響はない。		
		軸の曲げ	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
	貫通部止水処置 (モルタル)	モルタル	圧縮荷重	△	D		
		せん断荷重	△	D	同上。		
貫通部止水処置 (鉄板)	鉄板	引張応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		せん断応力	△	D	同上。		
		曲げ応力	△	D	同上。		
		組合せ応力	△	D	同上。		
	配管と鉄板との溶接部	引張応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		せん断応力	△	D	同上。		
		曲げ応力	△	D	同上。		
		組合せ応力	△	D	同上。		
鉄板とスリーブとの溶接部	引張応力	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。			
	せん断応力	△	D	同上。			
	曲げ応力	△	D	同上。			
	組合せ応力	△	D	同上。			
貫通部止水処置 (フラップゲート)	フラップゲートの固定ボルト	引張応力	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。		
貫通部止水処置 (ケーブルトレイ金属ボックス)	ケーブルトレイ金属ボックスの固定ボルト	引張応力	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。		
ボンベラック	ボンベラック	一次応力(組合せ)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
	溶接部	一次応力(せん断)	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
原子炉本体基礎	円筒部 (内筒) 円筒部 (外筒)	面内せん断応力度	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 4 章】	×	—
		組合せ応力度	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	たてリブ	面内せん断応力度	△	B	水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		組合せ応力度	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	アンカボルト	引張応力度	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 8 章】		
		引抜き力	△	B	同上		
	ベアリングプレート	曲げ応力度	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 8 章】		
	ブラケット部	曲げ応力度	△	B	円筒形状であり水平地震の方向ごとに最大応力発生箇所が異なるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		せん断応力度	△	B	最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		下面の水平プレートに局所的に生じる曲げ応力度	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
竜巻防護設備	アンカボルト	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
		一次応力 (組合せ)	△	D	同上。		
	鋼板	一次応力 (組合せ)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
	架構	一次応力 (引張)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力 (せん断)	△	D	同上。		
		一次応力 (圧縮)	△	D	同上。		
		一次応力 (曲げ)	△	D	同上。		
	一次応力 (組合せ)	△	D	同上。			

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表 3 に示す。)	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
中央制御室天井照明	溝形鋼	圧縮	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		せん断	△	D	同上。		
		曲げ	△	D	同上。		
		組合せ	△	D	同上。		
	ボックス鋼	圧縮	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		せん断	△	D	同上。		
		曲げ	△	D	同上。		
		組合せ	△	D	同上。		
	CS チャンネル	圧縮	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		せん断	△	D	同上。		
		曲げ	△	D	同上。		
		組合せ	△	D	同上。		
取付ボルト	引張	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。			
	せん断	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。			
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ	一次応力(せん断)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	△	D	同上。		
		浮上り量	△	D	同上。		
	脱線防止ラグ	一次応力(圧縮)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平 2 方向で異なる挙動を示すため、水平 2 方向の影響は軽微である。	×	—
	トロリストッパ	一次応力(せん断)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平 2 方向で異なる挙動を示すため、水平 2 方向の影響は軽微である。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力(組合せ)	△	D	同上。		
	トロリ	浮上り量	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。		
吊具	吊具荷重	△	D	水平 2 方向を考慮した評価を実施している。			
燃料取替機	構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール	一次応力(せん断)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では、それぞれの水平方向地震力を受けた場合の挙動が異なるため、方向ごとに発生応力が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 6 章】	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	△	A	同上。		
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。		
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)	一次応力(せん断)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では、それぞれの水平方向地震力を受けた場合の挙動が異なるため、方向ごとに発生応力が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 6 章】		
		吊具	吊具荷重	△	C		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの(考慮方法を表3に示す。)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 (3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、新たな応力成分が発生しないこと理由
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		圧縮	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない構造となっている。したがって、水平2方向入力の影響はない。		
		曲げ	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。		
		組合せ	△	B	同上。		
耐火隔壁	フレーム部材	引張	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	—
		せん断	△	D	同上。		
		圧縮	△	D	同上。		
		曲げ	△	D	同上。		
		組合せ	△	D	同上。		
		引張+曲げ	△	D	同上。		
		圧縮+曲げ	△	D	同上。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		一次応力(せん断)	△	D	同上。		



表 2 動的／電氣的機能維持評価

機種	①-1 水平 2 方向の地震力の重量による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて保守性を考慮しており水平 2 方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
				振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
立形ポンプ	○	—	軸受は円周に均等に地震力を受け持つため、水平 2 方向入力の影響を受ける。	○	X 又は Y 方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。水平 2 方向入力によって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
横形ポンプ	△	A	現行の機能確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
ポンプ駆動用タービン	△	B	現行の機能確認済加速度における詳細評価*で最弱部である弁箱(主蒸気止め弁ヨーク部 (立置き)) に対して、水平 2 方向による最大応力の発生箇所が異なるため影響は軽微である。	×	—
立形機器用電動機	△	D	最弱部であるフレームに対し、現行の機能確認済加速度における詳細評価*において十分な裕度が確認されており、水平 2 方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
横形機器用電動機	△	D	最弱部である軸受に対し、現行の機能確認済加速度における詳細評価*において十分な裕度が確認されており、水平 2 方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
空調ファン	△	A	現行の機能確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機 (機関本体)	△	A	現行の機能確認済加速度における詳細評価*で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機 (ガバナ)	○	—	ガバナについては水平 2 方向合成による応答増加の影響がある。	×	—
弁	△	D	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であることを確認している。	×	—
制御棒駆動系スクラム弁	○	—	制御棒駆動系スクラム弁については水平 2 方向合成による影響があるが、2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であれば問題ない。	×	—
制御棒挿入性	○	—	制御棒挿入性については水平 2 方向合成による応答増加の影響があるが、2 方向合成応答変位が制御棒地震時挿入性試験にて確認した相対変位以下であれば問題ない。	×	—
電気盤	△	A	電気盤、制御盤等に取付けられているリレー、遮断器等の電気品は、基本的に 1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。【別紙 4.4 9 章】	×	—
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の掃引試験結果において、X、Y 各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2 方向同時入力においても共振点はないと考えられる。よって、X、Y2 方向同時入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—

※JEAG4601 で定められた評価部位の裕度評価

機種	①-1 水平 2 方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて保守性を考慮しており水平 2 方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (3.2.4 項(2)に対応)	
				振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
取水槽水位計	△	A	水位計の掃引試験結果において、X、Y 各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2 方向同時入力においても共振点はないと考えられる。よって、X、Y2 方向同時入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA)	△	D	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であることを確認している。	×	—
使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA 広域)	△	D	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であることを確認している。	×	—
監視カメラ	△	A	監視カメラ本体の掃引試験結果において、X、Y 各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2 方向同時入力時においても共振点はないと考えられる。よって、X、Y2 方向同時入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
通信連絡設備 (衛星通信用パラボラアンテナ)	○	—	通信連絡設備 (衛星通信用パラボラアンテナ) については水平 2 方向合成による影響があるが、2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であれば問題ない。	×	—
ガスタービン発電機	△	D	従来評価で 2 方向同時加振試験による機能維持を確認している。	×	—
遠隔手動操作設備	○	—	遠隔手動操作設備については水平 2 方向合成による応答増加の影響がある。	×	—
真空破壊弁	○	—	真空破壊弁については水平 2 方向合成による影響があるが、2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であれば問題ない。	×	—
燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置	△	D	従来評価で 2 方向同時加振試験による機能維持を確認している。	×	—
床ドレンライン浸水防止治具	○	—	床ドレンライン浸水防止治具については水平 2 方向合成による応答増加の影響がある。	×	—
貫通部止水処置 (フラップゲート)	○	—	貫通部止水処置 (フラップゲート) については水平 2 方向合成による応答増加の影響がある。	×	—
二酸化炭素吸収装置	△	D	従来評価で 2 方向同時加振試験による機能維持を確認している。	×	—

表3 従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮している設備の整理結果

設備	部位	応力分類	水平2方向の考慮方法 ①：入力で組み合わせているもの ②-1：発生荷重を組み合わせているもの（SRSS法） ②-2：発生荷重を組み合わせているもの（絶対値和法） ②-3：発生荷重を組み合わせているもの（ベクトル和法） ③-1：発生応力を組み合わせているもの（SRSS法） ③-2：発生応力を組み合わせているもの（絶対値和法） ③-3：発生応力を組み合わせているもの（ベクトル和法） ④：その他	①又は④の設備の具体的な考慮方法	工認耐震計算書 図書番号
ブラケット類	蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力	③-2	—	V-2-3-3-1-2
		一次膜応力+一次曲げ応力	③-2	—	
使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA)	架構	一次応力(引張)	③-1	—	V-2-4-2-3
		一次応力(せん断)	③-1	—	
		一次応力(曲げ)	③-1	—	
		一次応力(組合せ)	③-1	—	
		基礎ボルト	一次応力(引張)	②-1	
	基礎ボルト(メカニカル)	一次応力(せん断)	②-1	—	
	サポート(上部)	一次応力(引張)	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	
		一次応力(せん断)	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	
		一次応力(曲げ)	③-1	—	
		一次応力(組合せ)	③-1	—	
	サポート(下部)	一次応力(引張)	③-1	—	
		一次応力(せん断)	③-1	—	
		一次応力(曲げ)	③-1	—	
		一次応力(組合せ)	③-1	—	
使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA広域)	検出器	一次応力(組合せ)	②-1	—	V-2-4-2-4
	検出器架台(基礎ボルト)	一次応力(引張)	②-1	—	
		一次応力(せん断)	②-1	—	
	検出器架台(部材)	一次応力(組合せ)	②-1	—	
	サポート(下部)	一次応力(組合せ)	②-1	—	
監視カメラ	基礎ボルト	一次応力(引張)	②-1	—	V-2-4-2-5
		一次応力(せん断)	②-1	—	
使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置	基礎ボルト	一次応力(引張)	②-1	—	V-2-4-2-6
配管本体, サポート(多質点梁モデル解析)	配管本体	一次応力	②-1又は②-2	—	V-2-4-3-1-3 V-2-4-3-2-1 V-2-5-1 V-2-5-2-1-2 V-2-5-3-1-6 V-2-5-4-1-5 V-2-5-4-2-5 V-2-5-4-3-2 V-2-5-4-4-1 V-2-5-4-5-1
		一次+二次応力	②-1又は②-2	—	V-2-5-5-1-3 V-2-5-6-1-6 V-2-5-6-2-1 V-2-6-3-2-1-2

設備	部位	応力分類	水平2方向の考慮方法 ①：入力で組み合わせているもの ②-1：発生荷重を組み合わせているもの（SRSS法） ②-2：発生荷重を組み合わせているもの（絶対値和法） ②-3：発生荷重を組み合わせているもの（ベクトル和法） ③-1：発生応力を組み合わせているもの（SRSS法） ③-2：発生応力を組み合わせているもの（絶対値和法） ③-3：発生応力を組み合わせているもの（ベクトル和法） ④：その他	①又は④の設備の具体的な考慮方法	工認耐震計算書 図書番号
	サポート	一次応力	④	・入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。 ・出力（発生荷重）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。	V-2-6-4-1-3 V-2-6-6-1-1 V-2-6-6-2-1 V-2-7-1 V-2-8-3-1-2-1 V-2-8-3-2-1 V-2-9-1 V-2-9-4-4-2-1 V-2-9-4-4-3-1 V-2-9-4-5-1-2 V-2-9-4-5-2-1 V-2-9-4-5-4-1 V-2-9-4-6-1-1 V-2-9-4-7-1-2 V-2-9-5-2 V-2-10-1-2-1-7 V-2-10-1-2-2-6 V-2-10-2-4-3 V-2-10-2-4-3(2)
		一次＋二次応力	④	・入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。 ・出力（発生荷重）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。	
ダクト本体, サポート	ダクト本体（円形）	座屈	①	入力（震度）をベクトル和法で組み合わせる。	V-2-8-3-1-1-1
	サポート	一次応力（組合せ）	②-1	—	V-2-8-5-1
ECCS ストレーナ	各部位（フランジ, 取付ボルト以外）	一次膜応力＋一次曲げ応力	③-2	—	V-2-5-3-1-3
	フランジ	曲げ応力	②-3	—	V-2-5-4-1-2
	ストレーナ取付部ボルト	引張応力	②-3	—	V-2-5-4-2-3
ECCS ストレーナ部ティー	ティー	一次応力	②-3	—	V-2-5-3-1-4 V-2-5-4-1-3 V-2-5-4-2-4
ECCS ストレーナ取付部コネクタ	コネクタ フランジ	一次応力	②-3	—	V-2-5-3-1-5 V-2-5-4-1-4

設備	部位	応力分類	水平2方向の考慮方法 ①：入力で組み合わせているもの ②-1：発生荷重を組み合わせているもの（SRSS法） ②-2：発生荷重を組み合わせているもの（絶対値和法） ②-3：発生荷重を組み合わせているもの（ベクトル和法） ③-1：発生応力を組み合わせているもの（SRSS法） ③-2：発生応力を組み合わせているもの（絶対値和法） ③-3：発生応力を組み合わせているもの（ベクトル和法） ④：その他	①又は④の設備の具体的な考慮方法	工認耐震計算書 図書番号	
伝送器（サポート鋼材固定）	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	V-2-6-1(9)	
		一次応力（せん断）	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	V-2-6-5-21	
	溶接部	一次応力（引張）	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	V-2-6-5-22	
		一次応力（せん断）	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	V-2-6-5-23	
		一次応力（曲げ）	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	V-2-6-5-26	
		一次応力（組合せ）	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	V-2-6-5-30	
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置	基礎ボルト	一次応力（引張） 一次応力（せん断）	②-1 ②-1	— —	V-2-6-7-26	
配管遮蔽	架台	一次応力（引張）	②-1	—	V-2-8-4-7	
		一次応力（せん断）	②-1	—		
		一次応力（圧縮）	②-1	—		
		一次応力（曲げ）	②-1	—		
		一次応力（組合せ）	②-1	—		
	基礎ボルト	一次応力（引張）	②-1	—		
		一次応力（せん断）	②-1	—		
下部ドライウェルアクセス トンネルスリーブ及び鏡板 （機器搬入用ハッチ付） 下部ドライウェルアクセス トンネルスリーブ及び鏡板 （所員用エアロック付）	鏡板 鏡板のスリーブとの結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。	V-2-9-2-4 V-2-9-2-5	
		スリーブのフランジプレートとの結合部	一次＋二次応力	④		発生応力を代数和法で組み合わせる。
	フランジプレート	せん断	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		曲げ	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		ガセットプレート	せん断	④		発生応力を代数和法で組み合わせる。
		コンクリート部	圧縮	④		発生応力を代数和法で組み合わせる。
クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張	①	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。	V-2-9-2-6	
	下部サポートパイプ	せん断	①	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
		圧縮	①	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
	ガセットプレート	せん断	①	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
	ベアリングプレート	曲げ	①	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
	基礎ボルト	引張	①	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
コンクリート部	圧縮	①	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。			
上部ドライウェル機器搬入 用ハッチ サブプレッジョンチェンバ 出入口 上部ドライウェル所員用エ アロック	円筒胴	一次一般膜応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。	V-2-9-2-7 V-2-9-2-9 V-2-9-2-10	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
	円筒胴のフランジプレートとの結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
	フランジプレート	せん断	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		曲げ	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
	ガセットプレート	せん断	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
コンクリート部	圧縮	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。			
下部ドライウェル機器搬入 用ハッチ 下部ドライウェル所員用エ アロック	円筒胴	一次一般膜応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。	V-2-9-2-8 V-2-9-2-11	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
	円筒胴のフランジプレートとの結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		

設備	部位	応力分類	水平2方向の考慮方法 ①：入力で組み合わせているもの ②-1：発生荷重を組み合わせているもの（SRSS法） ②-2：発生荷重を組み合わせているもの（絶対値和法） ②-3：発生荷重を組み合わせているもの（ベクトル和法） ③-1：発生応力を組み合わせているもの（SRSS法） ③-2：発生応力を組み合わせているもの（絶対値和法） ③-3：発生応力を組み合わせているもの（ベクトル和法） ④：その他	①又は④の設備の具体的な考慮方法	工認耐震計算書 図書番号	
原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ	一次一般膜応力	④	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。	V-2-9-2-12	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	④	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
	スリーブのフランジプレートとの結合部 端板	一次膜応力＋一次曲げ応力	④	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
	フランジプレート ガセットプレート	せん断	④	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
	コンクリート部	曲げ	④	入力（配管反力）をSRSS法又は絶対値和法で組み合わせる。		
原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ	一次一般膜応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。	V-2-9-2-13	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
	スリーブのフランジプレートとの結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
	フランジプレート ガセットプレート	せん断	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
	コンクリート部	曲げ	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
真空破壊弁	真空破壊弁パイプ	一次一般膜応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。	V-2-9-4-1	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
		一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。	V-2-9-4-3	
	水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次＋二次応力	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		
ドライウエルスプレイ管 サブプレッションチェンバス プレイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管 案内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力＋一次曲げ応力	②-2	—	V-2-9-4-4-1-1	
		一次＋二次応力	②-2	—	V-2-9-4-4-1-2	
下部ドライウエルアクセス トンネル	各部位	組合せ	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。	V-2-9-4-8-1	
コリウムシールド	補強フレーム	せん断	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。	V-2-9-5-1	
		縦材	曲げ	④		発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。
		水平材	組合せ	④		発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。
	ガセットプレート	せん断	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。		
		ベースプレート	曲げ	④		発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。
	アンカーボルト	引張	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。		
		せん断	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。		
	水平プレート	引張	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。		
		せん断	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。		
鋼棒	せん断	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。			
ボルト	せん断	④	発生荷重に $\sqrt{2}$ を乗じる。			
燃料取替床ブローアウトパ ネル閉止装置	外梁	一次応力（引張）	②-1	—	V-2-9-5-5	
		一次応力（せん断）	②-1	—		
		一次応力（組合せ）	②-1	—		

設備	部位	応力分類	水平 2 方向の考慮方法 ①：入力で組み合わせているもの ②-1：発生荷重を組み合わせているもの (SRSS 法) ②-2：発生荷重を組み合わせているもの (絶対値和法) ②-3：発生荷重を組み合わせているもの (ベクトル和法) ③-1：発生応力を組み合わせているもの (SRSS 法) ③-2：発生応力を組み合わせているもの (絶対値和法) ③-3：発生応力を組み合わせているもの (ベクトル和法) ④：その他	①又は④の設備の具体的な考慮方法	工認耐震計算書 図書番号
貫通部止水処置 (モルタル)	モルタル	圧縮荷重	②-3	—	V-2-10-2-4-2
貫通部止水処置 (鉄板)	鉄板	せん断応力	③-3	—	V-2-10-2-4-2
		曲げ応力	③-3	—	
		組合せ応力	③-3	—	
	配管と鉄板との溶接部	せん断応力	③-3	—	
		曲げ応力	③-3	—	
		組合せ応力	③-3	—	
	鉄板とスリーブとの溶接部	せん断応力	③-3	—	
		曲げ応力	③-3	—	
		組合せ応力	③-3	—	
竜巻防護設備	アンカボルト	一次応力 (引張)	②-1	—	V-2-11-2-2-2 V-2-11-2-2-3 V-2-11-2-2-4 V-2-11-2-2-5
		一次応力 (せん断)	②-1	—	
		一次応力 (組合せ)	②-1	—	
	鋼板	一次応力 (組合せ)	②-1	—	
		一次応力 (引張)	②-1	—	
	架構	一次応力 (せん断)	②-1	—	
		一次応力 (圧縮)	②-1	—	
		一次応力 (曲げ)	②-1	—	
		一次応力 (組合せ)	②-1	—	
中央制御室天井照明	溝形鋼	圧縮	③-1	—	V-2-11-2-3
		せん断	③-1	—	
		曲げ	③-1	—	
		組合せ	③-1	—	
	ボックス鋼	圧縮	③-1	—	
		せん断	③-1	—	
		曲げ	③-1	—	
		組合せ	③-1	—	
	CS チャンネル	圧縮	③-1	—	
		せん断	③-1	—	
		曲げ	③-1	—	
		組合せ	③-1	—	
	取付ボルト	引張	①	水平 2 方向を考慮した応答解析を行い、ボルト取付箇所の加速度を求めている。 この加速度を用いて規格式によってボルトの発生応力を算出している。	
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ	一次応力 (せん断)	③-2	—	V-2-11-2-4
		一次応力 (曲げ)	③-2	—	
		浮上り量	④	応答変位を代数和法で組み合わせる。	
	トロリストッパ	一次応力 (曲げ)	③-2	—	
		一次応力 (組合せ)	③-2	—	
	トロリ	浮上り量	④	応答変位を代数和法で組み合わせる。	
吊具	吊具荷重	④	発生応力を代数和法で組み合わせる。		

設備	部位	応力分類	水平 2 方向の考慮方法 ①：入力で組み合わせているもの ②-1：発生荷重を組み合わせているもの (SRSS 法) ②-2：発生荷重を組み合わせているもの (絶対値和法) ②-3：発生荷重を組み合わせているもの (ベクトル和法) ③-1：発生応力を組み合わせているもの (SRSS 法) ③-2：発生応力を組み合わせているもの (絶対値和法) ③-3：発生応力を組み合わせているもの (ベクトル和法) ④：その他	①又は④の設備の具体的な考慮方法	工認耐震計算書 図書番号
耐火隔壁	フレーム部材	引張	②-1	—	V-2-11-2-8
		せん断	②-1	—	
		圧縮	②-1	—	
		曲げ	②-1	—	
		組合せ	②-1	—	
		引張+曲げ	②-1	—	
		圧縮+曲げ	②-1	—	
	基礎ボルト	一次応力 (引張)	②-1	—	
		一次応力 (せん断)	②-1	—	



③水平 2 方向の地震による代表設備の増分影響検討結果（基準地震動 S s）

表 1 構造強度評価

機種	応答軸が明確か(補足説明資料 3.2.4(3項)に対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	部位	応力分類	代表設備	水平 1 方向及び鉛直方向地震力における裕度が√2 以上か ○: √2 以上 ×: √2 未満	① 発生値 (水平 1 方向)	② 発生値 (水平 2 方向)	発生値の増分 =②÷①	増分の判定 ○: 影響が無視できない △: 影響が軽微	発生値(水平 2 方向)の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し, 地震による応力を SRSS ②: NS・EW 方向別々の応力を SRSS (地震・地震以外に分離せず) ③: 地震・地震以外に分離し, NS・EW 方向別々の地震による応力を SRSS ④: その他(算出方法を記載)
燃料集合体	×	燃料被覆管	一次応力	燃料集合体	○	—	—	—	—	—
			一次+二次応力		×	0.76 (設計比)	0.81 (設計比)	—	○	④NS・EW 方向別々の水平方向応答値(加速度, 変位)をベクトル和した入力条件を用いた応力解析により算定した設計比(発生応力/許容応力)。
			一次+二次+ピーク応力		○	—	—	—	—	—
ブラケット類	×	給水スパージャブ ラケット 低圧注水スパー ジャブラケット	一次一般膜応力	給水スパージャブ ラケット 低圧注水スパー ジャブラケット	○	—	—	—	—	—
			一次膜応力+一次曲げ応力							
			純せん断応力							
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	×	ケーシング側付根 R 部	一次+二次応力	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)*	×	532 (MPa)	0.692 (疲労累積係数)	—	○	④地震荷重を SRSS 法で組み合わせた水平 2 方向評価における一次+二次応力が許容応力を上回るため, 簡易弾塑性解析で評価される繰返しピーク応力により算定した疲労累積係数。
主蒸気ノズル(N3) 給水ノズル(N4) 低圧注水ノズル(N6) 上蓋スプレー・ベントノズル(N7) 原子炉停止時冷却材出口ノズル(N8, N10) 計装ノズル(N12) 計装ノズル(N13) 計装ノズル(N14) ドレンノズル(N15) 高圧炉心注水ノズル(N16)	×	各部位	一次一般膜応力	計装ノズル(N12)	○	—	—	—	—	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	低圧注水ノズル(N6)	×	297 (MPa)	297 (MPa)	1.0	△	④水平 1 方向評価における設計荷重が, 水平 2 方向の地震力を考慮した荷重を包絡する。
			一次+二次応力	原子炉停止時冷却材出口ノズル(N8)	×	371 (MPa)	371 (MPa)	1.0	△	④水平 1 方向評価における設計荷重が, 水平 2 方向の地震力を考慮した荷重を包絡する。
			一次+二次+ピーク応力	低圧注水ノズル(N6)	○	—	—	—	—	—
原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル(N9) 炉心支持板差圧検出ノズル(N11)	×	ノズル	一次一般膜応力	原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル(N9) 炉心支持板差圧検出ノズル(N11)	○	—	—	—	—	—
			一次膜応力+一次曲げ応力							
			一次+二次応力							
			一次+二次+ピーク応力							
		肉盛溶接部	一次一般膜応力							
			一次膜応力+一次曲げ応力							
			一次+二次応力							
座屈										
一次膜応力+一次曲げ応力										

注記\*: 水平 1 方向地震力及び鉛直方向地震力による裕度(許容応力/発生応力)が 1.1 未満の設備

機種	応答軸が明確か(補足説明資料3.2.4(3項)に対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	部位	応力分類	代表設備	水平1方向及び鉛直方向地震力における裕度が $\sqrt{2}$ 以上か ○: $\sqrt{2}$ 以上 ×: $\sqrt{2}$ 未満	① 発生値 (水平1方向)	② 発生値 (水平2方向)	発生値の増分 =②÷①	増分の判定 ○: 影響が無視できない △: 影響が軽微	発生値(水平2方向)の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し, 地震による応力をSRSS ②: NS・EW方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は分離せず) ③: 地震・地震以外に分離し, NS・EW方向別々の地震による応力をSRSS ④: その他(算出方法を記載)
給水スパーージャ 高圧炉心注水スパーージャ 低圧注水スパーージャ 高圧炉心注水系配管(原子炉圧力容器内部)	×	各部位	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力	給水スパーージャ 高圧炉心注水スパーージャ 低圧注水スパーージャ 高圧炉心注水系配管(原子炉圧力容器内部)	○	—	—	—	—	—
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	×	ラック	一次応力(引張) 一次応力(せん断) 一次応力(組合せ)	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	○	—	—	—	—	—
使用済燃料貯蔵ラック	×	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力(引張x方向) 一次応力(引張y方向) 一次応力(せん断) 一次応力(組合せ)	使用済燃料貯蔵ラック	○	—	—	—	—	—
使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA広域) (スロッシングの影響を考慮した評価)	×	検出器 検出器架台(基礎ボルト) 検出器架台(部材)	一次応力(組合せ) 一次応力(引張) 一次応力(せん断) 一次応力(組合せ)	使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA広域)	○	—	—	—	—	—
監視カメラ	×	基礎ボルト カメラ架台	一次応力(引張) 一次応力(引張) 一次応力(せん断) 一次応力(曲げ) 一次応力(組合せ)	津波監視カメラ	○	—	—	—	—	—
横置円筒形容器 (原子炉補機冷却水系熱交換器)	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ラグ支持たて置き円筒容器	×	胴板 ラグ 取付ボルト	一次応力 一次+二次応力 組合せ 一次応力(引張)	よう素フィルタ	○	—	—	—	—	—
伝送器(矩形壁掛)	×	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	フィルタ装置水位 フィルタ装置金属フィルタ差圧	○	—	—	—	—	—

注記\* : 水平1方向地震力及び鉛直方向地震力による裕度(許容応力/発生応力)が1.1未満の設備

機種	応答軸が明確か(補足説明資料3.2.4(3項)に対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	部位	応力分類	代表設備	水平1方向及び鉛直方向地震力における裕度が√2以上か ○: √2以上 ×: √2未満	① 発生値 (水平1方向)	② 発生値 (水平2方向)	発生値の増分 =②÷①	増分の判定 ○: 影響が無視できない △: 影響が軽微	発生値(水平2方向)の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し、地震による応力をSRSS ②: NS・EW方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は分離せず) ③: 地震・地震以外に分離し、NS・EW方向別々の地震による応力をSRSS ④: その他(算出方法を記載)
水圧制御ユニット	×	フレーム	一次応力(引張)	水圧制御ユニット	○	—	—	—	—	—
			一次応力(圧縮)							
			一次応力(せん断)							
			一次応力(曲げ)							
			一次応力(組合せ)							
		取付ボルト	一次応力(引張)							
			一次応力(せん断)							
電気盤(矩形壁掛)	×	基礎ボルト取付ボルト	一次応力(引張)	緊急用電源切替箱断路器	○	—	—	—	—	
通信連絡設備(壁掛アンテナ)	×	基礎ボルト	一次応力(引張)	衛星電話設備(常設)(6,7号機共用)	○	—	—	—	—	
通信連絡設備(パラボラアンテナ)	×	基礎ボルト	一次応力(引張)	統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備(テレビ会議システム, IP-電話機及びIP-FAX)	○	—	—	—	—	
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	×	ベース取付溶接部	一次応力(せん断)	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	—	—	—	—	
ダイヤフラムフロア	×	鉄筋コンクリートスラブ放射方向	面外せん断力	ダイヤフラムフロア*	×	1936(N/mm)	1945(N/mm)	1.01	○	④水平1方向地震荷重を√2倍し、鉛直地震荷重、配管荷重(2方向考慮済)及びその他荷重を組み合わせた値。
静的触媒式水素再結合器	×	本体	一次応力(組合せ)	静的触媒式水素再結合器	×	126(MPa)	157(MPa)	1.25	○	② 157=√(125 <sup>2</sup> +95 <sup>2</sup> ) NS方向の発生値: 125MPa EW方向の発生値: 95MPa
		架台	一次応力(組合せ)							
		取付ボルト	一次応力(引張)							
			一次応力(せん断)							
		基礎ボルト	一次応力(引張)							

注記\* : 水平1方向地震力及び鉛直方向地震力による裕度(許容応力/発生応力)が1.1未満の設備

機種	応答軸が明確か(補足説明資料3.2.4(3項)に対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	部位	応力分類	代表設備	水平1方向及び鉛直方向地震力における裕度が $\sqrt{2}$ 以上か ○: $\sqrt{2}$ 以上 ×: $\sqrt{2}$ 未満	① 発生値 (水平1方向)	② 発生値 (水平2方向)	発生値の増分 =②÷①	増分の判定 ○: 影響が無視できない △: 影響が軽微	発生値(水平2方向)の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し, 地震による応力をSRSS ②: NS・EW方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は分離せず) ③: 地震・地震以外に分離し, NS・EW方向別々の地震による応力をSRSS ④: その他(算出方法を記載)
遠隔手動操作設備	×	等速ジョイント	一次応力(せん断)	遠隔手動操作設備	○	—	—	—	—	—
			一次応力(曲げ)							
		ヘリカルパワードライブ取付ボルト	一次応力(引張)							
			一次応力(せん断)							
		ベアリングユニット取付ボルト	一次応力(引張)							
一次応力(せん断)										
基礎ボルト	一次応力(引張)									
ガスタービン発電機	○	—	—	—	—	—	—	—	—	
止水堰 (鋼板組合せ堰)	×	止水板	曲げ	止水堰 (鋼板組合せ堰)	○	—	—	—	—	—
			曲げ							
		梁材	せん断							
			組合せ							
		床アンカーボルト	引張							
			せん断							
壁アンカーボルト	組合せ									
止水堰 (L型鋼製堰, 鋼製落とし込み型堰)	×	鋼製板	曲げ	止水堰 (L型鋼製堰, 鋼製落とし込み型堰)	○	—	—	—	—	—
			引張り							
		アンカーボルト	せん断							
			組合せ							
止水堰 (鉄筋コンクリート製堰)	×	アンカーボルト及びアンカー筋	引張り	止水堰 (鉄筋コンクリート製堰)	○	—	—	—	—	—
			せん断							
			組合せ							
		縦筋	引張り							
			せん断							
			組合せ							
		堰底部のコンクリート	せん断							
			圧縮							

注記\* : 水平1方向地震力及び鉛直方向地震力による裕度(許容応力/発生応力)が1.1未満の設備

機種	応答軸が明確か(補足説明資料3.2.4(3項)に対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	部位	応力分類	代表設備	水平1方向及び鉛直方向地震力における裕度が $\sqrt{2}$ 以上か ○: $\sqrt{2}$ 以上 ×: $\sqrt{2}$ 未満	① 発生値 (水平1方向)	② 発生値 (水平2方向)	発生値の増分 =②÷①	増分の判定 ○: 影響が無視できない △: 影響が軽微	発生値(水平2方向)の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し、地震による応力をSRSS ②: NS・EW方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は分離せず) ③: 地震・地震以外に分離し、NS・EW方向別々の地震による応力をSRSS ④: その他(算出方法を記載)
床ドレンライン浸水防止治具(フロート式治具)	×	弁本体	曲げ	床ドレンライン浸水防止治具(フロート式治具)	○	—	—	—	—	
			組合せ							
		フロートガイド	曲げ							
			組合せ							
床ドレンライン浸水防止治具(スプリング式治具)	×	本体・ガイド	曲げ	床ドレンライン浸水防止治具(スプリング式治具)	○	—	—	—	—	
			組合せ							
		ばねガイド	曲げ							
			組合せ							
弁体	軸の曲げ									
貫通部止水処置(フラップゲート)	×	フラップゲートの固定ボルト	引張応力	貫通部止水処置	○	—	—	—	—	—
貫通部止水処置(ケーブルトレイ金属ボックス)	×	ケーブルトレイ金属ボックスの固定ボルト	引張応力	貫通部止水処置	○	—	—	—	—	—
ボンベラック	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
原子炉本体基礎	×	ブラケット部	下面の水平プレートに局所的に生じる曲げ応力度	原子炉本体基礎*	×	391.2	340.9	0.80	△	④水平1方向を考慮した地震力等により算定した原子炉圧力容器基礎ボルトの荷重を入力として、モーメントを計算式に基づき算定する従来評価に対して三次元有限要素法解析により算定し、断面係数で除した応力度を $\sqrt{2}$ 倍して得られた値。
中央制御室天井照明	×	取付ボルト	せん断	中央制御室天井照明	○	—	—	—	—	—

注記\* : 水平1方向地震力及び鉛直方向地震力による裕度(許容応力/発生応力)が1.1未満の設備

表 2 (1) 動的／電氣的機能維持評価

機種	応答軸が明確か（補足説明資料 3.2.4(3項)に対応） ○：応答軸が明確 ×：応答軸が明確でない	代表設備	水平1方向及び鉛直方向地震力における裕度が $\sqrt{2}$ 以上か ○： $\sqrt{2}$ 以上 ×： $\sqrt{2}$ 未満	応答加速度 (水平1方向) [G]	応答加速度 (水平2方向) [G]	発生値の増分 (=応答加速度(水平2方向) ÷応答加速度(水平1方向))	増分の判定 ○：影響が無視できない △：影響が軽微	応答加速度(水平2方向)の算出方法 ①：応答加速度(水平1方向)を $\sqrt{2}$ 倍 ②：NS・EW方向別々の応答加速度をベクトル和 ③：その他(算出方法を記載)
立形ポンプ	×	原子炉補機冷却海水ポンプ	○	—	—	—	—	—
非常用ディーゼル発電機	○	—	—	—	—	—	—	—
制御棒駆動系スクラム弁	×	制御棒駆動系スクラム弁	○	—	—	—	—	—
通信連絡設備 (衛星通信用パラボラアンテナ)	×	統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備 (テレビ会議システム, IP-電話機及びIP-FAX)	○	—	—	—	—	—
床ドレンライン浸水防止治具	×	フロート式治具	○	—	—	—	—	—
貫通部止水処置 (フラップゲート)	×	貫通部止水処置	○	—	—	—	—	—
遠隔手動操作設備	×	遠隔手動操作設備 (マイタギアボックス, 等速ジョイント(伸縮機構有り))	○	—	—	—	—	—
真空破壊弁	×	真空破壊弁	○	—	—	—	—	—

表 2 (2) 動的／電氣的機能維持評価

機種	応答軸が明確か（補足説明資料 3.2.4(3項)に対応） ○：応答軸が明確 ×：応答軸が明確でない	代表設備	水平1方向及び鉛直方向地震力における裕度が $\sqrt{2}$ 以上か ○： $\sqrt{2}$ 以上 ×： $\sqrt{2}$ 未満	相対変位 (水平1方向) [mm]	相対変位 (水平2方向) [mm]	発生値の増分 (=相対変位(水平2方向) ÷相対変位(水平1方向))	増分の判定 ○：影響が無視できない △：影響が軽微	相対変位(水平2方向)の算出方法 ①：相対変位(水平1方向)を $\sqrt{2}$ 倍 ②：NS・EW方向別々の相対変位をベクトル和 ③：その他(算出方法を記載)
制御棒挿入性	×	—	×	31.6	35.2	1.12	○	③基準地震動毎にNS・EW方向の最大相対変位をベクトル和で組み合わせた値。 35.2= $\sqrt{(25.4^2+24.4^2)}$ 【Ss-1】 NS方向の最大相対変位：25.4mm EW方向の最大相対変位：24.4mm

④水平 2 方向の地震による発生値と許容値の比較結果 (基準地震動 S s)

表 1 構造強度評価

機種	代表設備	部位	応力分類	発生値 (水平 1 方向)	発生値 (水平 2 方向)	許容値	判定	発生値 (水平 2 方向) の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し, 地震による 応力を SRSS ②: NS・EW 方向別々の応力を SRSS (地震・ 地震以外は分離せず) ③: 地震・地震以外に分離し, NS・EW 方向別々 の地震による応力を SRSS ④: その他 (算出方法を記載)
燃料集合体	—	燃料被覆管	一次+二次応力	0.76 (設計比)	0.81 (設計比)	1 (—)	○	④NS・EW 方向別々の水平方向応答値 (加速度, 変位) をベクトル和した入力条件を用いた応 力解析により算定した設計比 (発生応力/許 容応力)。 【入力条件 (加速度)】 水平 1 方向 (NS 方向): 26.52m/s <sup>2</sup> 水平 1 方向 (EW 方向): 19.05m/s <sup>2</sup> 水平 2 方向: <b>32.7m/s<sup>2</sup></b> ≒32.65=√(26.52 <sup>2</sup> +19.05 <sup>2</sup> ) 【入力条件 (変位)】 水平 1 方向 (NS 方向): 31.57mm 水平 1 方向 (EW 方向): 24.66mm 水平 2 方向: <b>40.1mm</b> ≒40.05=√(31.57 <sup>2</sup> +24.66 <sup>2</sup> )
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通 孔(N1)	—	ケーシング側付根 R 部	一次+二次応力	532 (MPa)	0.692 (疲労累積係数)	552 (MPa)	○	④地震荷重を SRSS 法で組み合わせた水平 2 方向評価における一次+二次応力が許容応力 を上回るため, 簡易弾塑性解析で評価される 繰返しピーク応力により算定した疲労累積係 数。 【繰返しピーク応力】 水平 1 方向: 514.1MPa 水平 2 方向: 893.8MPa
ダイヤフラムフロア	—	鉄筋コンクリートスラブ放射 方向	面外せん断力	1936 (N/mm)	1945 (N/mm)	2108 (N/mm)	○	④水平 1 方向地震荷重を√2 倍し, 鉛直地震 荷重, 配管荷重 (2 方向考慮済) 及びその他 荷重を組み合わせた値。 発生値 (水平 1 方向): <b>1936N/mm</b> ≒1935.3= -22.1-1913.2  水平地震荷重: -22.1N/mm その他荷重: -1913.2N/mm 発生値 (水平 2 方向): <b>1945N/mm</b> ≒1944.5= -31.3-1913.2  水平地震荷重: -31.3N/mm≒√2×(-22.1) その他荷重: -1913.2N/mm
静的触媒式水素再結合器	—	本体	一次応力 (組合せ)	126 (MPa)	157 (MPa)	171 (MPa)	○	② 157=√(125 <sup>2</sup> +95 <sup>2</sup> ) ・静的触媒式水素再結合器 (その 3) 発生値 (水平 1 方向 (NS 方向)): 125MPa 発生値 (水平 1 方向 (EW 方向)): 95MPa 発生値 (水平 2 方向): <b>157MPa</b> ≒157.0=√(125 <sup>2</sup> +95 <sup>2</sup> ) ・静的触媒式水素再結合器 (その 1, 2) 発生値 (水平 1 方向 (NS 方向)): <b>126MPa</b> 発生値 (水平 1 方向 (EW 方向)): 93MPa 発生値 (水平 2 方向): 157MPa≒156.6=√(126 <sup>2</sup> +93 <sup>2</sup> )

表 2 動的／電氣的機能維持評価

機種	代表設備	相対変位 (水平 1 方向) [mm]	相対変位 (水平 2 方向) [mm]	確認済相対変位 [mm]	判定	相対変位 (水平 2 方向) の算出方法 ① : 相対変位 (水平 1 方向) を $\sqrt{2}$ 倍 ② : NS・EW 方向別々の相対変位をベクトル和 ③ : その他 (算出方法を記載)
制御棒挿入性	—	31.6	35.2	約 40	○	③基準地震動毎に NS・EW 方向の最大相対変位をベクトル和で組み合わせた値。 ・基準地震動 Ss-1 相対変位 (水平 1 方向 (NS 方向)) : 25.4mm $\approx$ 25.34 (ケース 3) 相対変位 (水平 1 方向 (EW 方向)) : 24.4mm $\approx$ 24.37 (ケース 3) 相対変位 (水平 2 方向) : $35.2\text{mm} \approx 35.15 = \sqrt{(25.34^2 + 24.37^2)}$ ・基準地震動 Ss-2 相対変位 (水平 1 方向 (NS 方向)) : $31.6\text{mm} \approx 31.57$ (ケース 3) 相対変位 (水平 1 方向 (EW 方向)) : 15.0mm $\approx$ 14.99 (ケース 6) 相対変位 (水平 2 方向) : $35.0\text{mm} \approx 34.95 = \sqrt{(31.57^2 + 14.99^2)}$



## 個別設備に関する補足説明資料

## 目次

1. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ）	1
2. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）	4
3. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）	6
4. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）	8
5. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）	20
6. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）	24
7. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）	26
8. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円形配置されたボルト）	32
9. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（電気盤）	35
10. 水平 2 方向同時加振の影響について（動的機能維持）	58
11. 水平 2 方向同時加振の影響について（応答軸が明確である設備）	59
12. 水平 2 方向同時加振の影響について（疲労評価）	62

1. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ）

1.1 はじめに

本項は、原子炉圧力容器スタビライザ（以下「RPV スタビライザ」という。）に対する水平 2 方向同時加振の影響についてまとめたものである。

1.2 現行評価の手法

RPV スタビライザは、周方向 45° 間隔で 8 体配置されており、図 1-1 に地震荷重と各 RPV スタビライザが分担する荷重の関係を示す。

水平方向の地震荷重に関して現行評価では、RPV スタビライザ 6 体に各水平方向地震力（X 方向、Y 方向）の最大地震力が負荷されるものとしている。

$$f = \text{MAX} \left( \frac{F_X}{4}, \frac{F_Y}{4} \right)$$

ここで、

f : RPV スタビライザ 1 個が受けもつ最大地震荷重

F<sub>X</sub> : X 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

F<sub>Y</sub> : Y 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

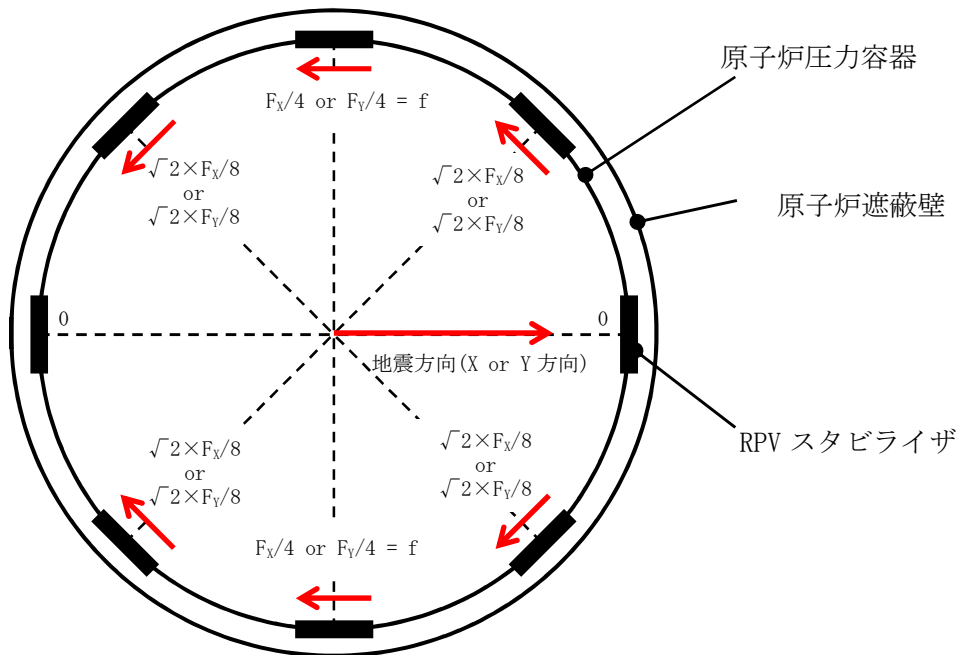


図 1-1 原子炉圧力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平 1 方向）

### 1.3 水平2方向同時加振の影響

RPVスタビライザは、水平2方向の地震力を受けた場合においても、図1-2及び表1-1に示すとおり方向別地震荷重  $F$  ( $F_x$  又は  $F_y$ ) に対する最大反力を受け持つ部位が異なる。

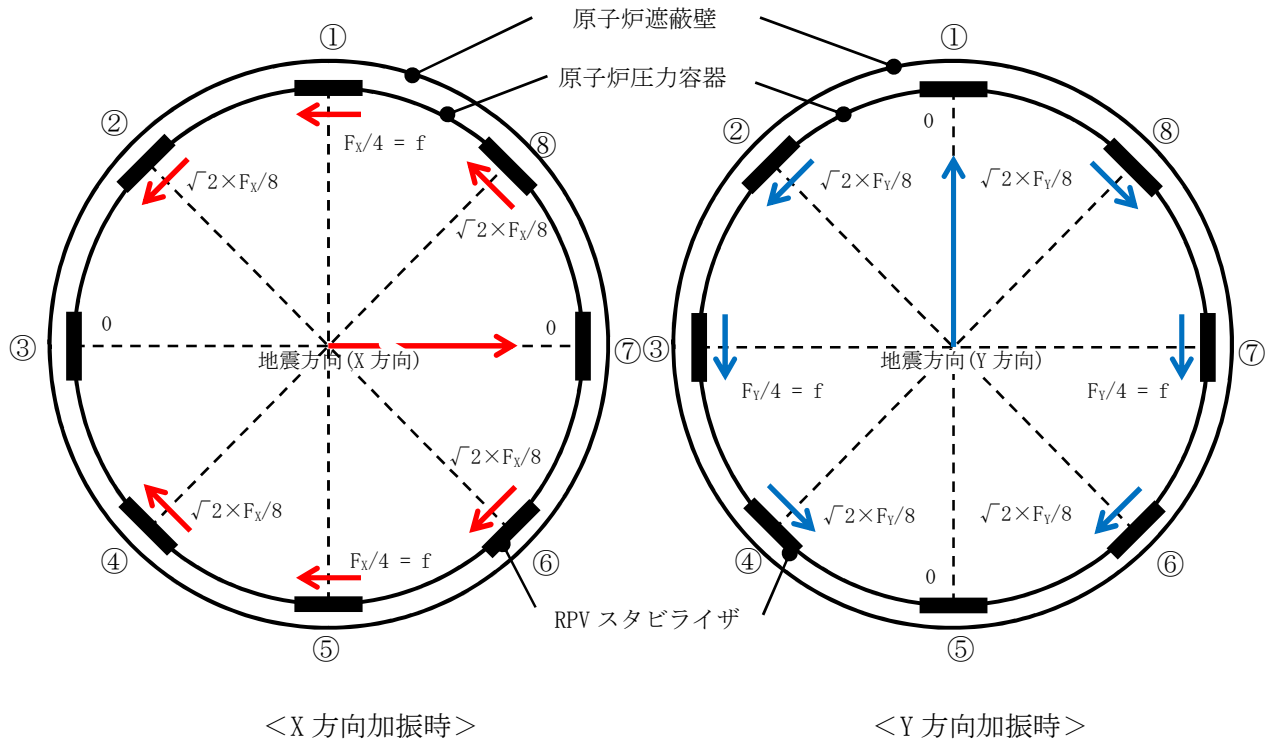


図1-2 原子炉压力容器スタビライザの水平地震荷重の分担

表1-1 原子炉压力容器スタビライザ各点での分担荷重

位置		方向別地震力 $F$ に対する反力	
		X 方向	Y 方向
①	0°	$F_x/4$	0
②	45°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$
③	90°	0	$F_y/4$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$
⑤	180°	$F_x/4$	0
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$
⑦	270°	0	$F_y/4$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$
最大		$F_x/4=f$	$F_y/4=f$

水平 2 方向地震力の組合せの考慮については、表 1-1 に示した水平 1 方向反力を用いて、X 方向・Y 方向同時には最大の地震力が発生しないと仮定し、以下の 2 つの方法にて検討を行った。

- ① 組合せ係数法： $F_Y=0.4F_X$  と仮定し、X 方向・Y 方向のそれぞれの水平 1 方向応答結果を算術和する
- ② 最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法： $F_Y=F_X$  と仮定し、X 方向・Y 方向のそれぞれの水平 1 方向応答結果を二乗和平方根にて合成する

上記検討の結果を表 1-2 に示す。いずれの検討方法を用いても、水平 2 方向反力の組合せ結果の最大値は  $f$  となり、これは水平 1 方向反力の最大値と同値である。

したがって、RPV スタビライザに対して水平 2 方向の影響はない。

表 1-2 原子炉圧力容器スタビライザ各点における水平 2 方向の考慮

位置		①組合せ係数法を用いた 水平 2 方向反力の組合せ ( $F_Y=0.4F_X$ )	②SRSS 法を用いた 水平 2 方向反力の組合せ ( $F_Y=F_X$ )
①	0°	$F_X/4=f$	$F_X/4=f$
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $=F_X/4=f$
③	90°	$F_Y/4=0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4=F_X/4=f$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $=F_X/4=f$
⑤	180°	$F_X/4=f$	$F_X/4=f$
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $=F_X/4=f$
⑦	270°	$F_Y/4=0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4=F_X/4=f$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $=0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $=F_X/4=f$
最大		$f$	$f$

## 2 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

### 2.1 はじめに

本項は、蒸気乾燥器支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

### 2.2 現行評価の手法

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体配置されており、位置関係は図2-1のとおりとなる。

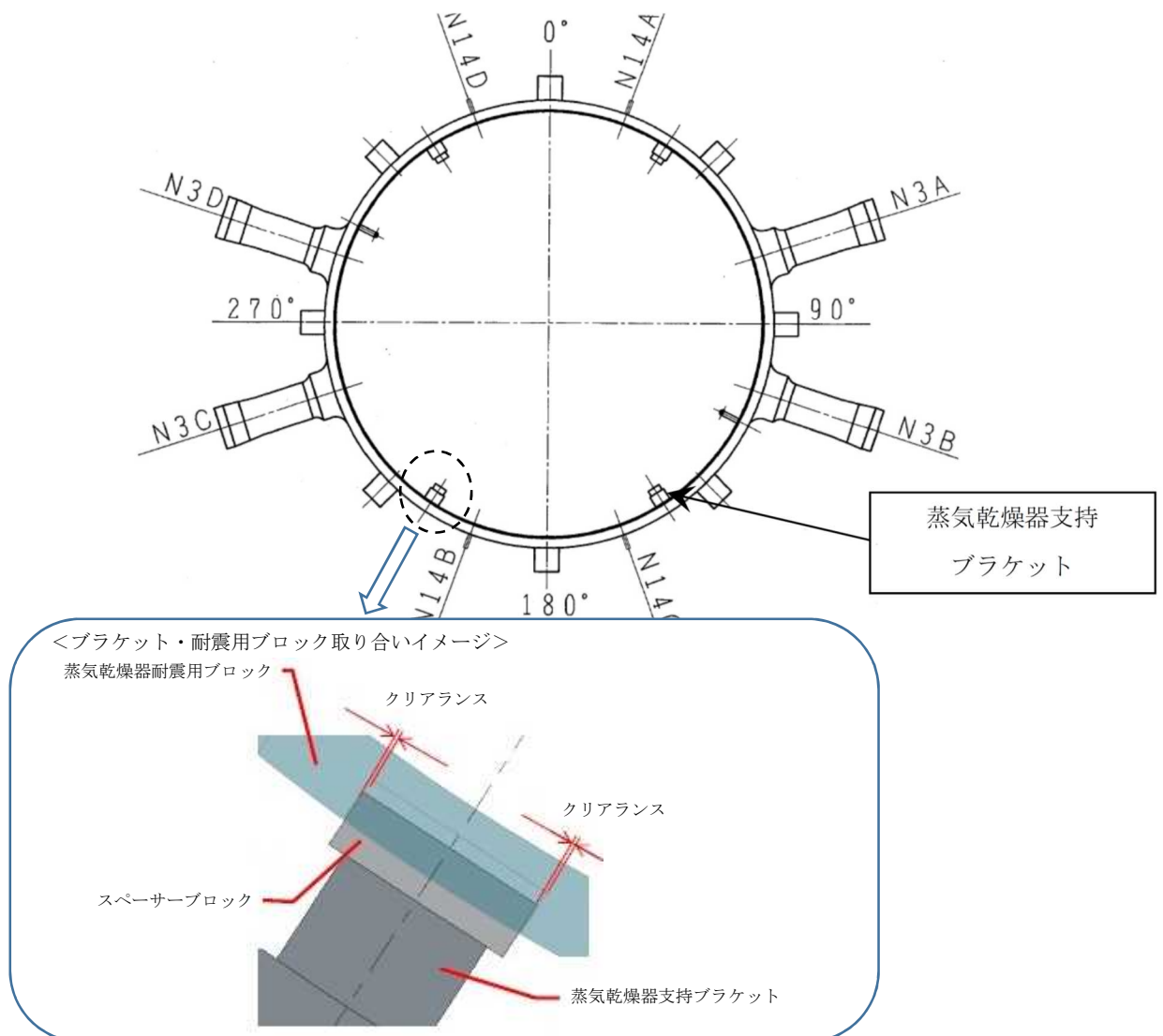


図2-1 蒸気乾燥器支持ブラケットの位置

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体で耐震用ブロックを介し蒸気乾燥器を支持する設計である。しかし、耐震用ブロックと蒸気乾燥器支持ブラケットの間にはクリアランスが存在し、水平地震動の入力方向によっては、4体のうち対角のブラケット2体のみがその荷重を負担する可能性があるため、現行評価では対角のブラケット2体により、水平2方向の地震荷重を支持するものとして評価している。

図 2-2 に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$F_x = F_y = \frac{F}{2}$$

F : 蒸気乾燥器から受ける地震時の水平方向荷重

F<sub>x</sub> : X 方向地震よりブラケットに発生する水平方向荷重

F<sub>y</sub> : Y 方向地震よりブラケットに発生する水平方向荷重

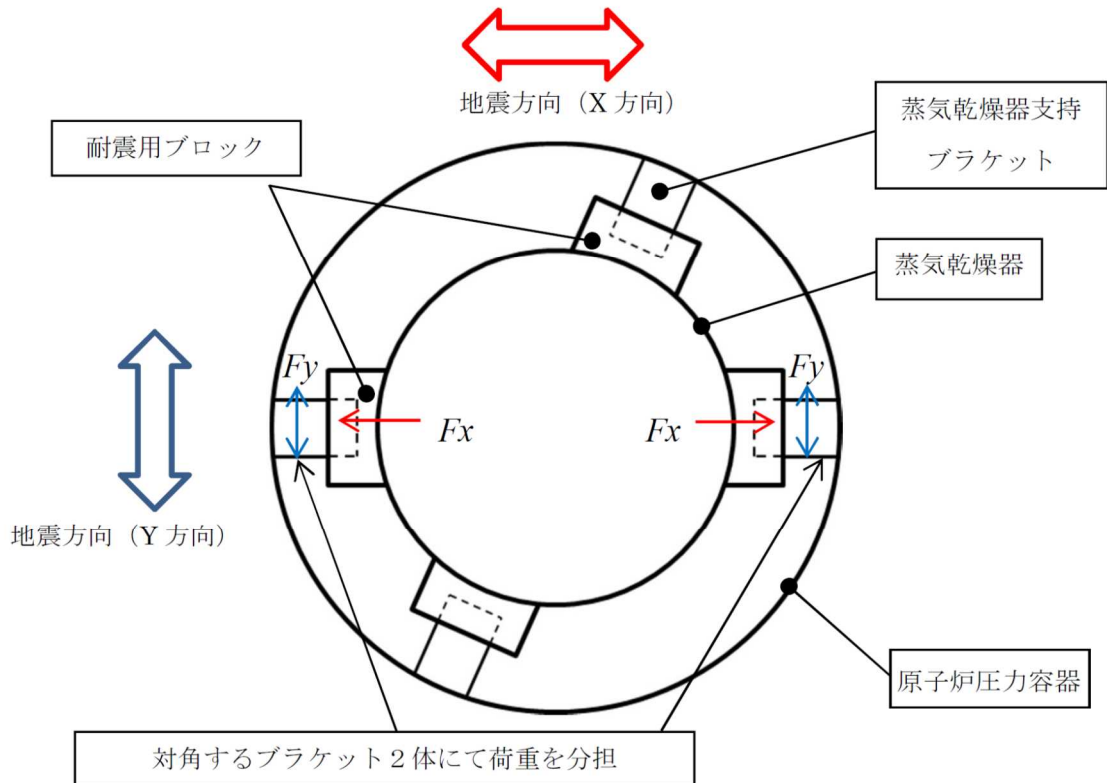


図 2-2 評価におけるブラケットの負荷荷重

### 2.3 水平 2 方向同時加振の影響

蒸気乾燥器支持ブラケットは、現行評価において、水平 2 方向の地震荷重を同時に考慮し、ブラケットと耐震用ブロックの接触状態として想定される最も厳しい状態として 4 体のブラケットのうち 2 体でその荷重を支持すると評価しており、水平 2 方向同時加振による現行の評価結果への影響はない。

### 3. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）

#### 3.1 はじめに

本項は、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）のサポートに対する水平 2 方向同時加振の影響についてまとめたものである。

#### 3.2 サポートの構造

本サポートは、ラックの耐震上弱軸方向となる短辺方向の転倒防止を目的として、使用済燃料貯蔵プール壁面から腕を張り出す形で設置されており、ラックの短辺方向側を支持し、長辺方向側は荷重を受けない構造となっている（図 3-1）。

#### 3.3 水平 2 方向の地震力による影響について

現行評価において、サポートの応力は、地震力によりラックから入力される荷重(反力)、サポート自身の荷重(自重及び自身の慣性力)と、部材の断面特性を用いて下記の地震条件時のそれぞれについて求めている。

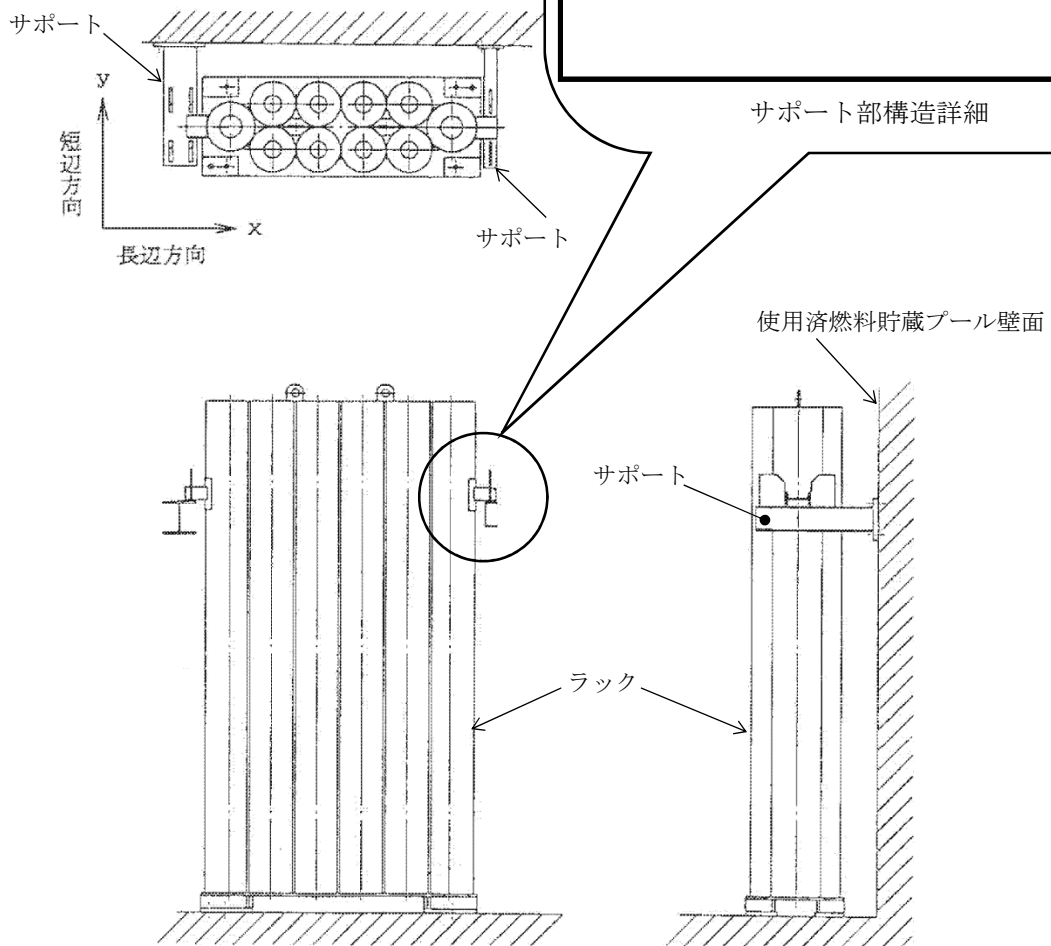
- ・長辺方向(水平 x 方向) + 鉛直方向
- ・短辺方向(水平 y 方向) + 鉛直方向

長辺方向(x 方向)の地震の場合、サポートはラックを支持していないため、ラックから入力される荷重(反力)は生じず、サポート自身の慣性力による応力のみが発生する。短辺方向(y 方向)の地震の場合、サポートには、ラックからの反力と自身の慣性力による応力が発生する。ラック自身の慣性力は、いずれの方向の地震においても、ラックからの反力と比較して小さい。

したがって、サポートの応力は、水平 1 方向（短辺方向(y 方向)）の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

[サポート取合部の説明]

- ・短辺方向側は, ラック付のサポート座を支持用プレートではさみ込むように拘束して支持されている。
- ・長辺方向側は, 拘束する構造となっていない。



全景

図 3-1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック設置状態



#### 4. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒容器）

##### 4.1 はじめに

本項は、水平地震動が水平 2 方向に作用した場合の円筒容器に対する影響を FEM で確認した結果をまとめたものである。

円筒容器については、別紙 4.1 にて記載しているとおおり、X 方向地震と Y 方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組み合わせても影響軽微としている。本項には、別紙 4.1 にて記載していることを解析にて確認することを目的として、円筒容器の FEM モデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は軸方向応力、周方向応力及びせん断応力の組合せに基づく胴の応力強さを対象としたものである。

具体的な確認項目として、以下 2 点を確認した。

- ① X 方向地震と Y 方向地震とで最大応力点が異なることの確認
- ② 最大応力点以外に、X 方向地震と Y 方向地震による応力を組み合わせた場合に影響のあるような点があるかを確認

##### 4.2 影響評価検討

評価検討モデル及び応力の定義について図 4-1 に示す。なお、応力については要素ごとの局部座標系として図 4-1 に示すように定義する。検討方法を以下に示す。

- ・ 検討方法 : 水平地震力 1G を X 方向へ入力し、周方向の  $0^\circ$  方向から  $90^\circ$  方向にかけて応力分布を確認する。また、水平 1 方向地震による応力を用いて水平 2 方向地震による応力を評価する。
- ・ 検討モデル : たて置き円筒容器をシェル要素にてモデル化
- ・ 拘束点 : 容器基部を拘束
- ・ 荷重条件 : モデル座標の X 方向に水平地震力 1G を負荷
- ・ 解析手法 : 静的解析
- ・ 対象部位及び応力 : 容器基部における応力強さ
- ・ 水平 2 方向同時加振時の考慮方法
  - 組合せ係数法（最大応答の非同時性を考慮）
  - SRSS 法（最大応答の非同時性を考慮）

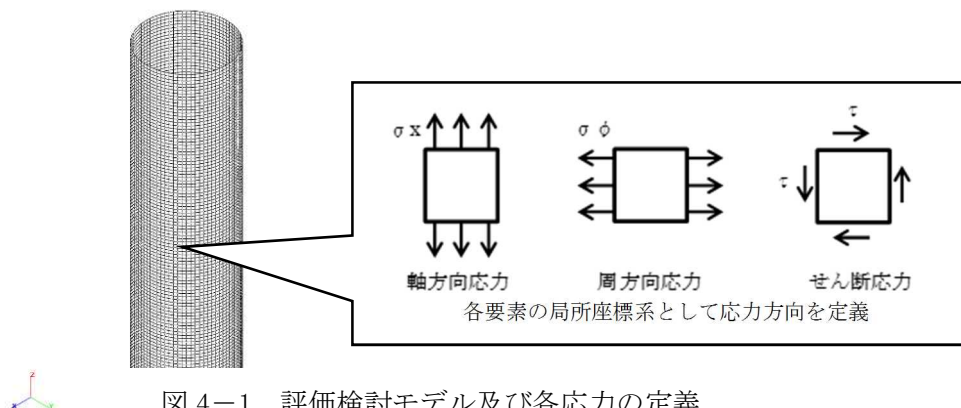


図 4-1 評価検討モデル及び各応力の定義

### 4.3 検討結果

#### 4.3.1 軸方向応力 $\sigma_x$

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンター図を図 4-2 に示す。

この結果より、最大応力点は  $0^\circ / 180^\circ$  位置に発生していることが分かる。円筒形容器のため評価部位が円形の一様断面であることから、Y 方向から水平地震力を入力した場合においても、最大応力点は  $90^\circ / 270^\circ$  位置に発生することは明白であるため、水平方向地震動の入力方向により最大応力点は異なる。

また、表 4-1 に X 方向、Y 方向、2 方向入力時の軸方向応力分布を示す。

中間部 ( $0^\circ / 90^\circ$  方向以外) において 2 方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及び SRSS 法のそれぞれを用いた水平 2 方向入力時の応力  $\sigma_{x,c}(\theta)$  及び  $\sigma_{x,s}(\theta)$  は、水平 1 方向入力時の軸方向応力解析結果 (X 方向入力時応力  $\sigma_{x,X}(\theta)$ 、Y 方向入力時応力  $\sigma_{x,Y}(\theta)$ ) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{x,c}(\theta) = \max(\sigma_{x,c(X)}(\theta), \sigma_{x,c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\sigma_{x,c(X)}(\theta)$  は  $\sigma_{x,X}(\theta)$  に 1、 $\sigma_{x,Y}(\theta)$  に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸方向応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{x,c(Y)}(\theta)$  は  $\sigma_{x,Y}(\theta)$  に 1、 $\sigma_{x,X}(\theta)$  に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{x,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{x,Y}(\theta)$$

<SRSS 法>

$$\sigma_{x,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{x,X}(\theta)^2 + \sigma_{x,Y}(\theta)^2}$$

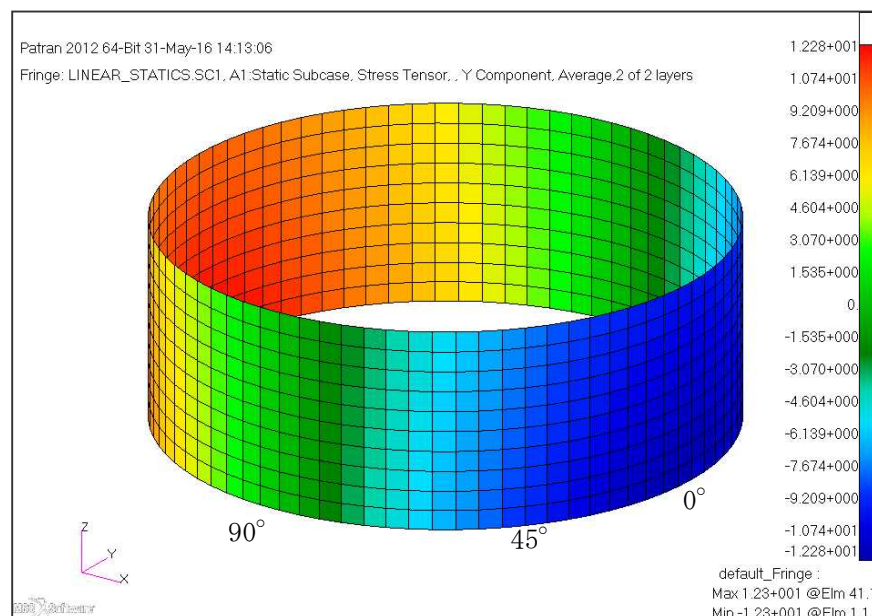


図 4-2 水平地震時軸方向応力コンター図

表 4-1 水平地震時の軸方向応力分布

角度	X 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,X}(\theta)$	Y 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,Y}(\theta)$	2 方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{x,c}(\theta)$	SRSS 法 $\sigma_{x,s}(\theta)$
0° 方向	12.28	0.00	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ)=12.28$ $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ)=4.91$	12.28
22.5° 方向	11.34	4.70	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(22.5^\circ)=13.22$ $\sigma_{x,c(Y)}(22.5^\circ)=9.24$	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.15 $\sigma_{x,c(X)}(45^\circ)=12.15$ $\sigma_{x,c(Y)}(45^\circ)=12.15$	12.28
67.5° 方向	4.70	11.34	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(67.5^\circ)=9.24$ $\sigma_{x,c(Y)}(67.5^\circ)=13.22$	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(90^\circ)=4.91$ $\sigma_{x,c(Y)}(90^\circ)=12.28$	12.28

#### 4.3.2 周方向応力 $\sigma_\phi$

容器基部における水平地震時の周方向応力コンター図を図 4-3 に、周方向応力分布を表 4-2 に示す。軸方向応力同様に最大応力点は 0° /180° 位置に発生しており、最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2 方向入力時の影響についても軸方向応力と同様に中間部 (0° /90° 方向以外) において 2 方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及び SRSS 法のそれぞれを用いた水平 2 方向入力時の応力  $\sigma_{\phi,c}(\theta)$  及び  $\sigma_{\phi,s}(\theta)$  は、水平 1 方向入力時の周方向応力解析結果 (X 方向入力時応力  $\sigma_{\phi,X}(\theta)$ 、Y 方向入力時応力  $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$ ) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{\phi,c}(\theta) = \max(\sigma_{\phi,c(X)}(\theta), \sigma_{\phi,c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\sigma_{\phi,c(X)}(\theta)$  は  $\sigma_{\phi,X}(\theta)$  に 1、 $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$  に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの周方向応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta)$  は  $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$  に 1、 $\sigma_{\phi,X}(\theta)$  に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

<SRSS 法>

$$\sigma_{\phi,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{\phi,X}(\theta)^2 + \sigma_{\phi,Y}(\theta)^2}$$

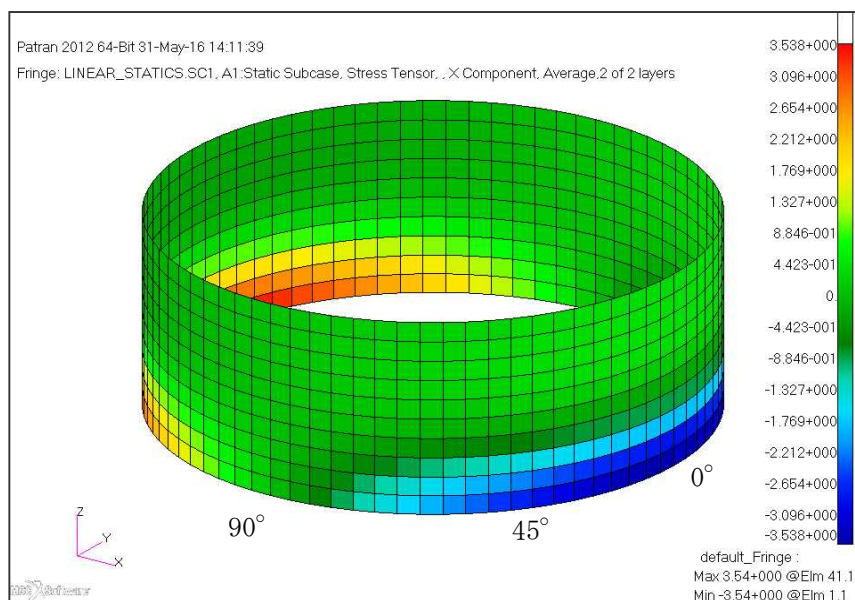


図 4-3 水平地震時周方向応力コンター図

表 4-2 水平地震時の周方向応力分布

角度	X 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi, X}(\theta)$	Y 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi, Y}(\theta)$	2 方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{\phi, c}(\theta)$	SRSS 法 $\sigma_{\phi, s}(\theta)$
0° 方向	3.54	0.00	3.54 $\sigma_{\phi, c(X)}(0^\circ)=3.54$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(0^\circ)=1.42$	3.54
22.5° 方向	3.27	1.35	3.81 $\sigma_{\phi, c(X)}(22.5^\circ)=3.81$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(22.5^\circ)=2.66$	3.54
45° 方向	2.50	2.50	3.50 $\sigma_{\phi, c(X)}(45^\circ)=3.50$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(45^\circ)=3.50$	3.54
67.5° 方向	1.35	3.27	3.81 $\sigma_{\phi, c(X)}(67.5^\circ)=2.66$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(67.5^\circ)=3.81$	3.54
90° 方向	0.00	3.54	3.54 $\sigma_{\phi, c(X)}(90^\circ)=1.42$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(90^\circ)=3.54$	3.54

#### 4.3.3 せん断応力 $\tau$

容器基部における水平地震時のせん断応力コンター図を図 4-4 に示し、せん断応力分布を表 4-3 に示す。せん断応力は軸方向及び周方向応力とは異なり、最大応力は 90°/270° 位置に生じているが、最大応力と最小応力の生じる点が回転しているのみで応力の傾向として最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2 方向入力時の影響についても軸方向応力、周方向応力と同様に中間部 (0°/90° 方向以外) において 2 方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及び SRSS 法のそれぞれを用いた水平 2 方向入力時の応力  $\tau_c(\theta)$  及び  $\tau_s(\theta)$  は、水平 1 方向入力時のせん断応力解析結果 (X 方向入力時応力  $\tau_X(\theta)$ 、Y 方向入力時応力  $\tau_Y(\theta)$ ) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\tau_c(\theta) = \max(\tau_{c(X)}(\theta), \tau_{c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$  は  $\tau_X(\theta)$  に 1、 $\tau_Y(\theta)$  に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれのせん断応力を組み合わせた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$  は  $\tau_Y(\theta)$  に 1、 $\tau_X(\theta)$  に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

$$\tau_{c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \tau_X(\theta) + \tau_Y(\theta)$$

< SRSS 法 >

$$\tau_s(\theta) = \sqrt{\tau_X(\theta)^2 + \tau_Y(\theta)^2}$$

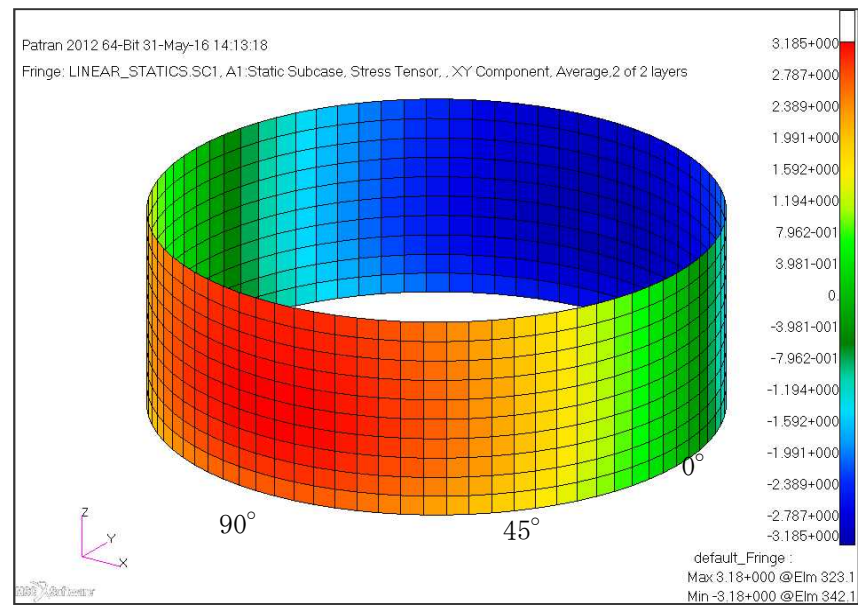


図 4-4 水平地震時せん断応力コンター図

表 4-3 水平地震時のせん断応力分布

角度	X 方向入力時 応力 (MPa) $\tau_x(\theta)$	Y 方向入力時 応力 (MPa) $\tau_y(\theta)$	2 方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\tau_c(\theta)$	SRSS 法 $\tau_s(\theta)$
0° 方向	0.00	2.70	2.70 $\tau_{c(X)}(0^\circ)=1.08$ $\tau_{c(Y)}(0^\circ)=2.70$	2.70
22.5° 方向	1.03	2.49	2.91 $\tau_{c(X)}(22.5^\circ)=2.03$ $\tau_{c(Y)}(22.5^\circ)=2.91$	2.70
45° 方向	1.91	1.91	2.67 $\tau_{c(X)}(45^\circ)=2.67$ $\tau_{c(Y)}(45^\circ)=2.67$	2.70
67.5° 方向	2.49	1.03	2.91 $\tau_{c(X)}(67.5^\circ)=2.91$ $\tau_{c(Y)}(67.5^\circ)=2.03$	2.70
90° 方向	2.70	0.00	2.70 $\tau_{c(X)}(90^\circ)=2.70$ $\tau_{c(Y)}(90^\circ)=1.08$	2.70

#### 4.3.4 応力強さ $\sigma$

胴の応力強さ  $\sigma$  は、表 4-1~3 に示した X 方向、Y 方向、2 方向入力時それぞれの軸方向応力  $\sigma_x$ 、周方向応力  $\sigma_\phi$  及びせん断応力  $\tau$  を組み合わせ、耐震評価結果として用いている。

<水平 1 方向のうち、X 方向入力時の組合せ応力強さ  $\sigma_X(\theta)$ >

主応力  $\sigma_{1,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,X}(\theta)$  は以下のとおりに表される。

$$\sigma_{1,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_X(\theta)^2} \right)$$

$$\sigma_{2,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_X(\theta)^2} \right)$$

$$\sigma_{3,X}(\theta) = 0$$

各主応力により、応力強さ  $\sigma_X(\theta)$  は以下のとおりとなる。

$$\sigma_X(\theta) = \max(|\sigma_{1,X}(\theta) - \sigma_{2,X}(\theta)|, |\sigma_{2,X}(\theta) - \sigma_{3,X}(\theta)|, |\sigma_{3,X}(\theta) - \sigma_{1,X}(\theta)|)$$

なお、Y 方向入力時の応力強さ  $\sigma_Y(\theta)$  は、上記の式における X を Y に置き換えた式により算出する。

ここで  $\theta = 0^\circ$  の場合、表 4-1 より  $\sigma_{x,X}(0^\circ) = 12.28$ 、表 4-2 より  $\sigma_{\phi,X}(0^\circ) = 3.54$ 、表 4-3 より  $\tau_X(0^\circ) = 0$  であるため

$$\sigma_{1,X}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left( 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2} \right) = 12.28$$

$$\sigma_{2,X}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left( 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2} \right) = 3.54$$

$$\sigma_{3,X}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_X(0^\circ) = \max(|12.28 - 3.54|, |3.54 - 0|, |0 - 12.28|) = 12.28$$

<組合せ係数法による水平 2 方向同時加振を考慮した応力強さ  $\sigma_c(\theta)$ >

$\sigma_c(\theta)$  の算出フローを図 4-5 に示す。



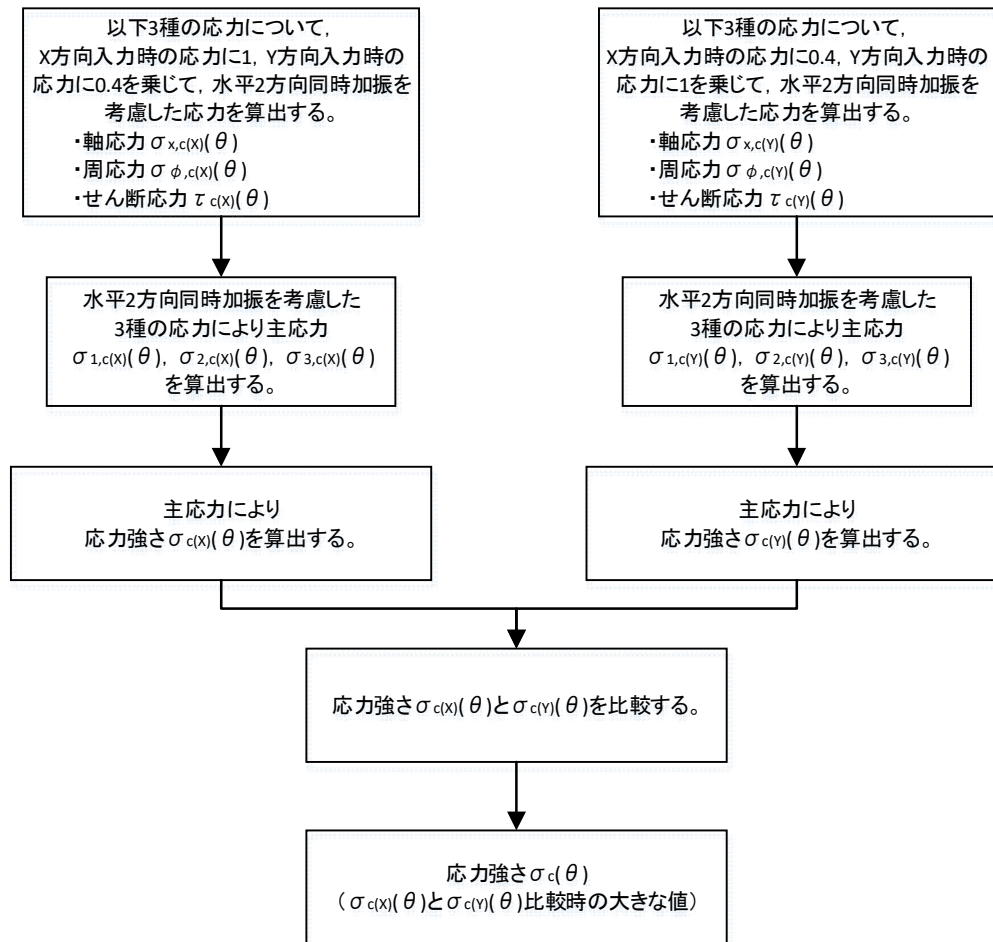


図 4-5 組合せ係数法による応力強さ算出フロー

X 方向入力時の応力に 1, Y 方向入力時の応力に 0.4 を乗じて組み合わせた水平 2 方向同時加振を考慮した応力は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}\sigma_{x,c(X)}(\theta) &= \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta) \\ \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) &= \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta) \\ \tau_{c(X)}(\theta) &= \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)\end{aligned}$$

水平 2 方向同時加振を考慮した各応力により, 主応力  $\sigma_{1,c(X)}(\theta)$ ,  $\sigma_{2,c(X)}(\theta)$ ,  $\sigma_{3,c(X)}(\theta)$  は以下のとおりに表される。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{2,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \right) \\ \sigma_{3,c(X)}(\theta) &= 0\end{aligned}$$

各主応力により, 応力強さ  $\sigma_{c(X)}(\theta)$  は以下のとおりとなる。

$$\sigma_{c(X)}(\theta) = \max(|\sigma_{1,c(X)}(\theta) - \sigma_{2,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{2,c(X)}(\theta) - \sigma_{3,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{3,c(X)}(\theta) - \sigma_{1,c(X)}(\theta)|)$$

同様に, Y 方向入力時の応力に 1, X 方向入力時の応力に 0.4 を乗じて組み合わせた水平 2 方向同時加振を考慮した応力により, 応力強さ  $\sigma_{c(Y)}(\theta)$  を算出する。

この応力強さ  $\sigma_{c(X)}(\theta)$  と  $\sigma_{c(Y)}(\theta)$  を比較し, 大きな値を  $\sigma_c(\theta)$  とする。

$$\sigma_c(\theta) = \max(\sigma_{c(X)}(\theta), \sigma_{c(Y)}(\theta))$$

ここで  $\theta = 0^\circ$  の場合, 第 4-1 表より  $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ) = 12.28$ , 第 4-2 表より  $\sigma_{\phi,c(X)}(0^\circ) = 3.54$ , 表 4-3 より  $\tau_{c(X)}(0^\circ) = 1.08$  であるため,

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left( 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \right) = 12.41 \\ \sigma_{2,c(X)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left( 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \right) = 3.41 \\ \sigma_{3,c(X)}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって, 応力強さ  $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$  は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(X)}(0^\circ) = \max(|12.41 - 3.41|, |3.41 - 0|, |0 - 12.41|) = 12.41$$

同様に, 表 4-1 より  $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ) = 4.91$ , 表 4-1 より  $\sigma_{\phi,c(Y)}(0^\circ) = 1.42$ , 表 4-3 より  $\tau_{c(Y)}(0^\circ) = 2.70$  であるため

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(Y)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left( 4.91 + 1.42 + \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \right) = 6.38 \\ \sigma_{2,c(Y)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \left( 4.91 + 1.42 - \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \right) = -0.05 \\ \sigma_{3,c(Y)}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって、応力強さ  $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$  は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(Y)}(0^\circ) = \max(|6.38 - (-0.05)|, |-0.05 - 0|, |0 - 6.38|) = 6.43$$

応力強さ  $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$  と  $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$  により、組合せ係数法による水平 2 方向同時加振時を考慮した応力強さ  $\sigma_c(0^\circ)$  は

$$\sigma_c(0^\circ) = \max(12.41, 6.43) = 12.41$$

となる。

<SRSS 法による水平 2 方向同時加振を考慮した応力強さ  $\sigma_s(\theta)$ >

主応力  $\sigma_{1,s}(\theta)$ ,  $\sigma_{2,s}(\theta)$ ,  $\sigma_{3,s}(\theta)$  は以下のとおりに表される。

$$\sigma_{1,s}(\theta) = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \right)$$

$$\sigma_{2,s}(\theta) = \frac{1}{2} \left( \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \right)$$

$$\sigma_{3,s} = 0$$

各主応力により、応力強さ  $\sigma_s(\theta)$  は以下のとおりとなる。

$$\sigma_s(\theta) = \max(|\sigma_{1,s}(\theta) - \sigma_{2,s}(\theta)|, |\sigma_{2,s}(\theta) - \sigma_{3,s}(\theta)|, |\sigma_{3,s}(\theta) - \sigma_{1,s}(\theta)|)$$

ここで  $\theta = 0^\circ$  の場合には、表 4-1 より  $\sigma_{x,s}(0^\circ) = 12.28$ , 表 4-2 より  $\sigma_{\phi,s}(0^\circ) = 3.54$ , 表 4-3 より  $\tau_s(0^\circ) = 2.70$  であるため、

$$\sigma_{1,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left( 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \right) = 13.05$$

$$\sigma_{2,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left( 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \right) = 2.77$$

$$\sigma_{3,s}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_s(0^\circ) = \max(|13.05 - 2.77|, |2.77 - 0|, |0 - 13.05|) = 13.05$$

$\theta = 0^\circ$  の場合に SRSS 法, 組合せ係数法を用いて算出した応力強さを第 4-4 表にまとめる。

表 4-4 SRSS 法, 組合せ係数法を用いて算出した応力強さ ( $\theta = 0^\circ$ )

	X	Y	SRSS 法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_x(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)} =$ 3.54	$3.54 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 3.54	$3.54 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 1.42
$\tau(\theta)$	0.00	2.70	$\sqrt{(0.00^2 + 2.70^2)} =$ 2.70	$0.00 \times 1.0 + 2.70 \times 0.4 =$ 1.08	$0.00 \times 0.4 + 2.70 \times 1.0 =$ 2.70
$\sigma_1(\theta)$	-	-	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 13.05	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 12.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 +$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 6.38
$\sigma_2(\theta)$	-	-	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 2.77	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 3.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 -$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ -0.05
$\sigma_3(\theta)$	-	-	0	0	0
$\sigma(\theta)$	-	-	MAX ( $ 13.05 - 2.77 $ , $ 2.77 - 0 $ , $ 0 - 13.05 $ ) = 13.05	MAX ( $ 12.41 - 3.41 $ , $ 3.41 - 0 $ , $ 0 - 12.41 $ ) = 12.41	MAX ( $ 6.38 - (-0.05) $ , $ -0.05 - 0 $ , $ 0 - 6.38 $ ) = 6.43
				Max(12.41, 6.43) = 12.41	

(注) 本表記載の数値は計算例を示すものであり, 実際の評価とは桁数処理の関係上, 一致しないことがある。

算出した応力強さの分布及び分布図を表 4-5 及び図 4-6 に示す。

表 4-5 水平地震時の応力強さ分布

角度	X 方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_x(\theta)$	Y 方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_y(\theta)$	2 方向入力時応力強さ (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_c(\theta)$	SRSS 法 $\sigma_s(\theta)$
0° 方向	12.28	5.40	12.41	13.04
22.5° 方向	11.47	6.03	13.64	13.04
45° 方向	9.22	9.22	12.91	13.04
67.5° 方向	6.03	11.47	13.64	13.04
90° 方向	5.40	12.28	12.41	13.04

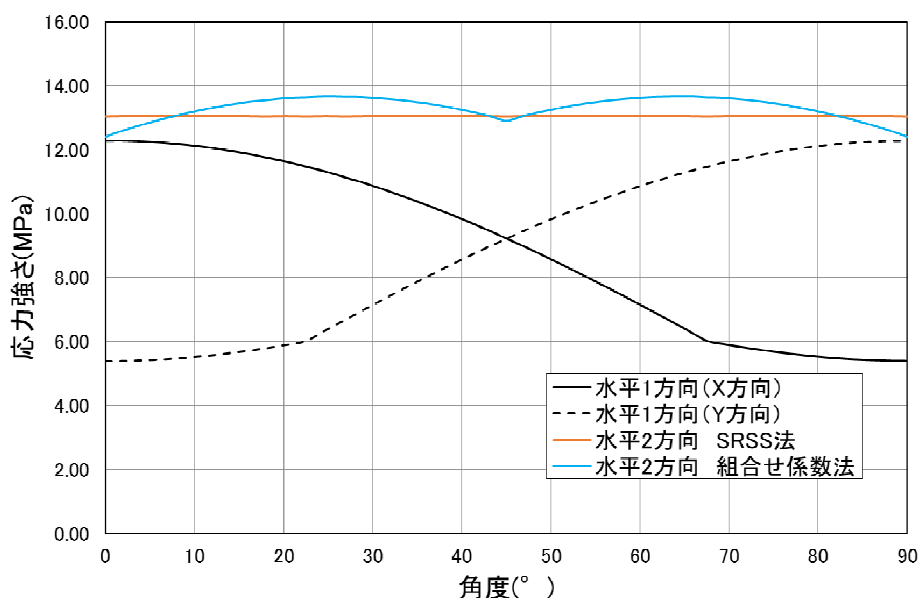


図 4-6 水平地震時応力強さ分布図

応力強さは SRSS 法では全方向において一定であるのに対して、組合せ係数法では 24.75° / 65.25° 方向に 2 つのピークをもつ分布となった。応力強さは 0° / 45° / 90° 方向付近では SRSS 法の方が組合せ係数法に比べ大きな値となるのに対して、組合せ係数法がピークを持つ 24.75° / 65.25° 方向付近では SRSS 法を約 5% 上回る結果となった。

水平 2 方向入力時の SRSS 法による最大応力強さは水平 1 方向入力時の最大応力強さに対して 6% 上回る程度であり (表 4-6 参照), 水平 2 方向による影響は軽微と言える。一方, 水平 2 方向入力時の組合せ係数法による最大応力強さについては, 水平 1 方向入力時の最大応力強さに対して 11% 上回る結果となった。これは水平 2 方向の影響軽微と判断する基準 (応力の増分が 1 割) を超えているが, 本検討においては水平地震力のみを考慮しており, 実際の耐震評価においては水平地震力以外に自重, 内圧及び鉛直地震力等を考慮して評価を実施することか

ら、水平2方向を考慮した際の応力強さの増分は小さくなる。このため、水平2方向による影響は軽微であると考えられる。

表 4-6 水平地震時の最大応力強さ及び水平2方向による影響

		最大応力強さ [MPa]	水平2方向／水平1方向 最大応力強さ比
水平1方向入力		12.28	—
水平2方向入力	SRSS法	13.05	1.06
	組合せ係数法	13.67	1.11

## 5. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）

### 5.1 はじめに

本項は、ダイヤフラムフロアに対する水平 2 方向同時加振の影響についてまとめたものである。

### 5.2 ダイヤフラムフロアの構造

ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製格納容器（以下「RCCV」という。）をドライウエルとサブプレッション・チェンバに仕切る構造物である。ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製のスラブであり、RCCV 及び原子炉本体基礎で支持されている。ダイヤフラムフロアと RCCV の接合部にはシアプレートが放射状に設置されており、円周方向及び鉛直方向の力の伝達を行う。原子炉本体基礎との接合部には、ダイヤフラムフロアが原子炉本体基礎に上載する構造とし、原子炉本体基礎上面にシアプレート及び頭付きスタッドが放射状に設置されており、円周・半径方向力の伝達を行う（図 5-1）。

### 5.3 現行評価の手法

ダイヤフラムフロアに作用する水平方向の地震力は、NS、EW 方向のうち最大となるものを用いる。

鉄筋コンクリートスラブは軸力、曲げ応力により発生する引張応力度、圧縮応力度及び面外せん断力について評価を実施している。

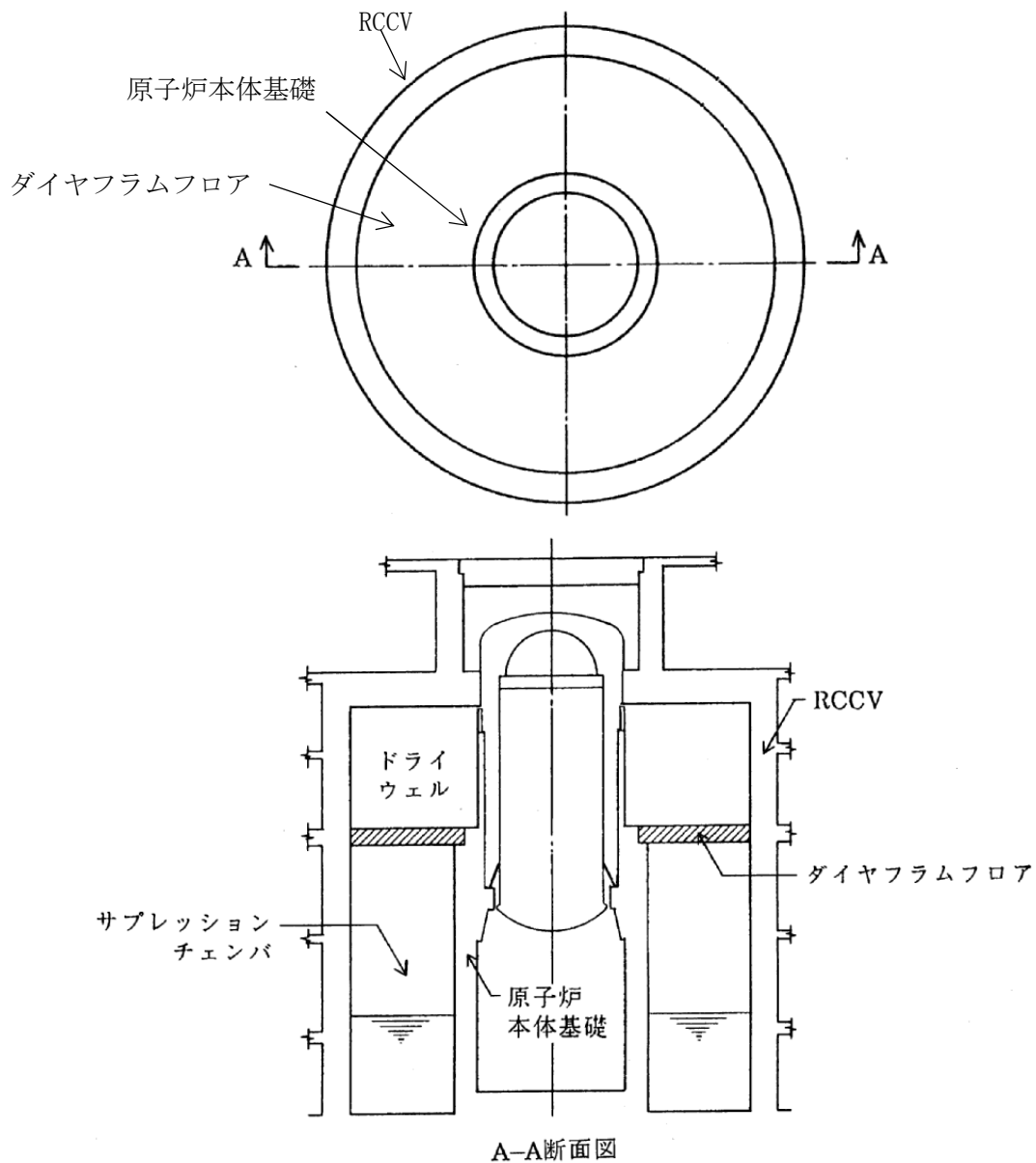
シアプレート及び頭付きスタッドは、地震時の水平力又は鉛直力によるせん断応力度と曲げモーメントによる曲げ応力度について評価を実施している。

### 5.4 水平 2 方向同時加振の影響

鉄筋コンクリートスラブに作用する荷重は鉛直方向の荷重が支配的であり、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合でも、引張応力度、圧縮応力度及び面外せん断力に与える影響は軽微である。

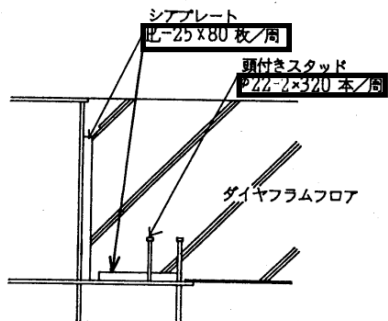
地震時にダイヤフラムフロア全体に加わる水平力  $Q$  とした場合、ダイヤフラムフロア端部に加わる水平力  $q$  は  $\sin$  分布として与えている（図 5-2）ため、地震方向との角度  $\theta$  が  $90^\circ$  の位置で最大となることから、NS、EW 方向で最大となる地震力の位置は異なる（図 5-3）。

さらに、水平 2 方向同時加振時の水平力の合力は、水平 1 方向加振時の最大の水平力と比較し、SRSS 法を用いた場合は同値、組合せ係数法を用いた場合は最大で約 1.08 倍の値となる（図 5-4）ため、水平 2 方向同時加振の影響は軽微である。



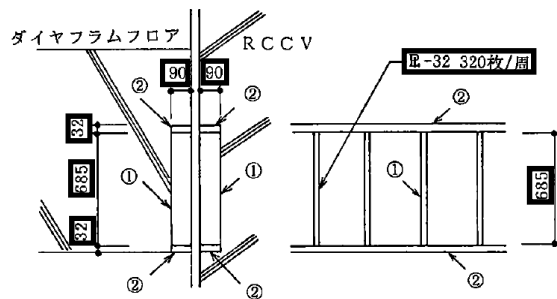
A-A断面図

(単位：mm)



断面図

B 部詳細



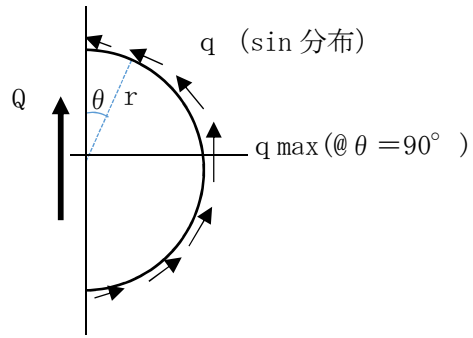
①地震時水平力伝達用シアプレート

②鉛直力伝達用シアプレート

C 部詳細

図 5-1 ダイヤフラムフロアの構造





Q:地震時にダイヤフラムフロア全体が受ける水平力  
 q:ダイヤフラム端部に作用する水平力  
 r:ダイヤフラムフロア半径

図 5-2 ダイヤフラムフロア端部における水平力の分布

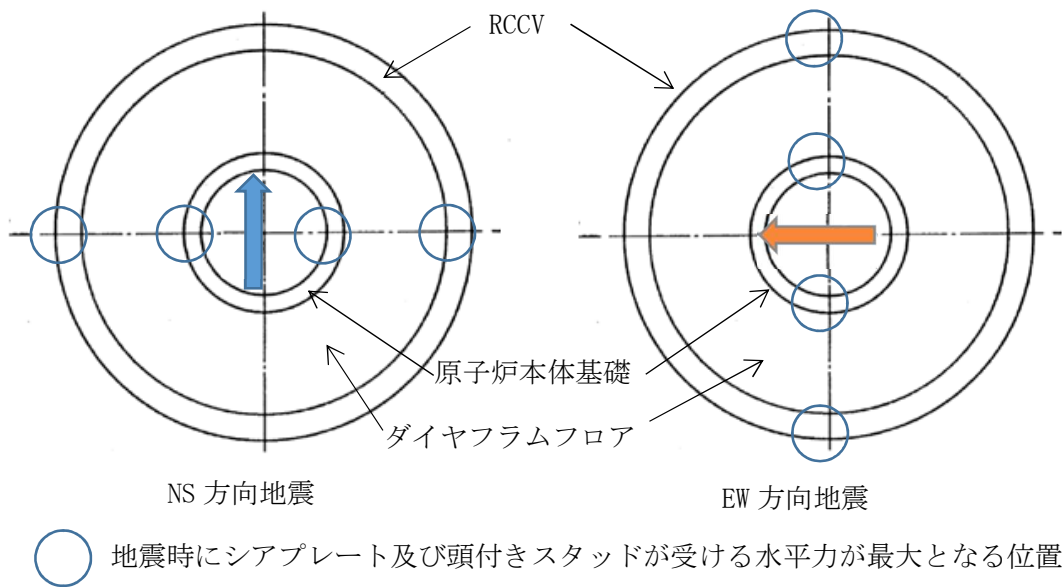
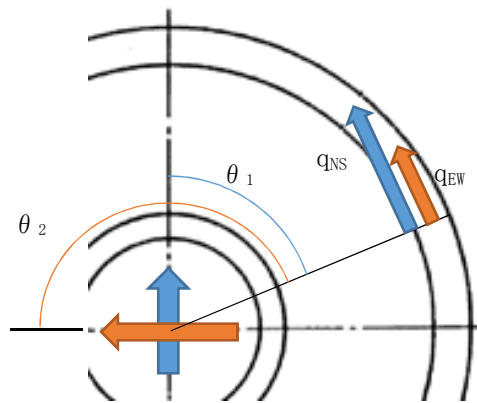


図 5-3 シアプレート及び頭付きスタッドに与える各方向地震による最大水平力発生点



NS 加振時水平力 :  $q_{NS} = Q / \pi r \times \sin \theta_1$   
 EW 加振時水平力 :  $q_{EW} = Q / \pi r \times \sin \theta_2$   
 $= Q / \pi r \times \sin(\pi/2 + \theta_1)$   
 $= Q / \pi r \times \cos \theta_1$

← : NS 方向加振時   ← : EW 方向加振時

< 組合せ係数法を用いた 2 方向加振時水平力 >

$$q = \max(q_{NS} + 0.4 \times q_{EW}, 0.4 \times q_{NS} + q_{EW})$$

$$= Q / \pi r \times \max(\sin \theta_1 + 0.4 \times \cos \theta_1, 0.4 \times \sin \theta_1 + \cos \theta_1)$$

< 最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法を用いた 2 方向加振時水平力 >

$$q = \sqrt{q_{NS}^2 + q_{EW}^2}$$

$$= \sqrt{(Q / \pi r \times \sin \theta_1)^2 + (Q / \pi r \times \cos \theta_1)^2}$$

$$= Q / \pi r$$

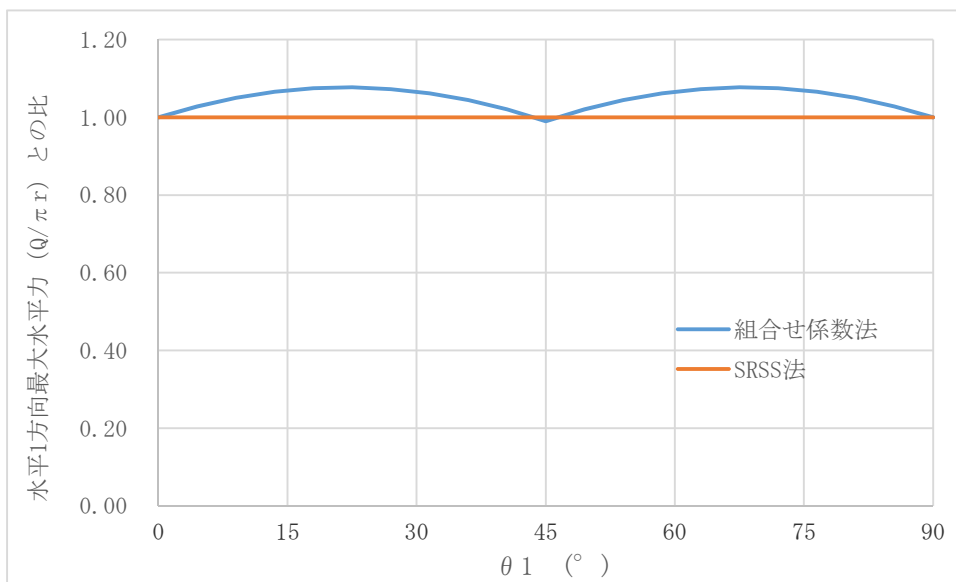


図 5-4 水平 2 方向同時加振時の水平力分布について

## 6. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）

### 6.1 はじめに

本項は、燃料取替機（以下「FHM」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。FHMについては、鉛直地震動が従来の静的地震力から動的地震力へ変更となっていることを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向同時加振を想定した場合の評価と現行評価の妥当性について、以下の通り従来の評価手法との差異を含めて説明する。

### 6.2 現行評価の手法

FHMはレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建屋との固定はないが、地震時に横行方向（走行レールに対し直角方向）にすべりが生じた場合は、レールに沿って取り付けられている脱線防止ラグがレールの側面と接触し、FHMのすべりを制限する構造となっている。つまり、ラグとレールが接触し、FHMが横行方向に建屋と固定された体系では、地震入力（FHM本体へそのまま伝達されることが想定される）。

一方、走行方向（走行レールの長手方向）については、FHMの車輪とレールの接触面（踏面）を介してFHM本体へと荷重が伝達される構造であり、その荷重は摩擦力により制限されるため、地震入力により生じる荷重は軽微（FHM本体への影響は軽微）と考えられる。

なお、FHMのすべり方向における応答評価に際しては、最大制止摩擦力に基づく震度での静解析を実施している。最大静止摩擦力の算出においては、地震時に平均的に作用していると考えられる自重を考慮している。

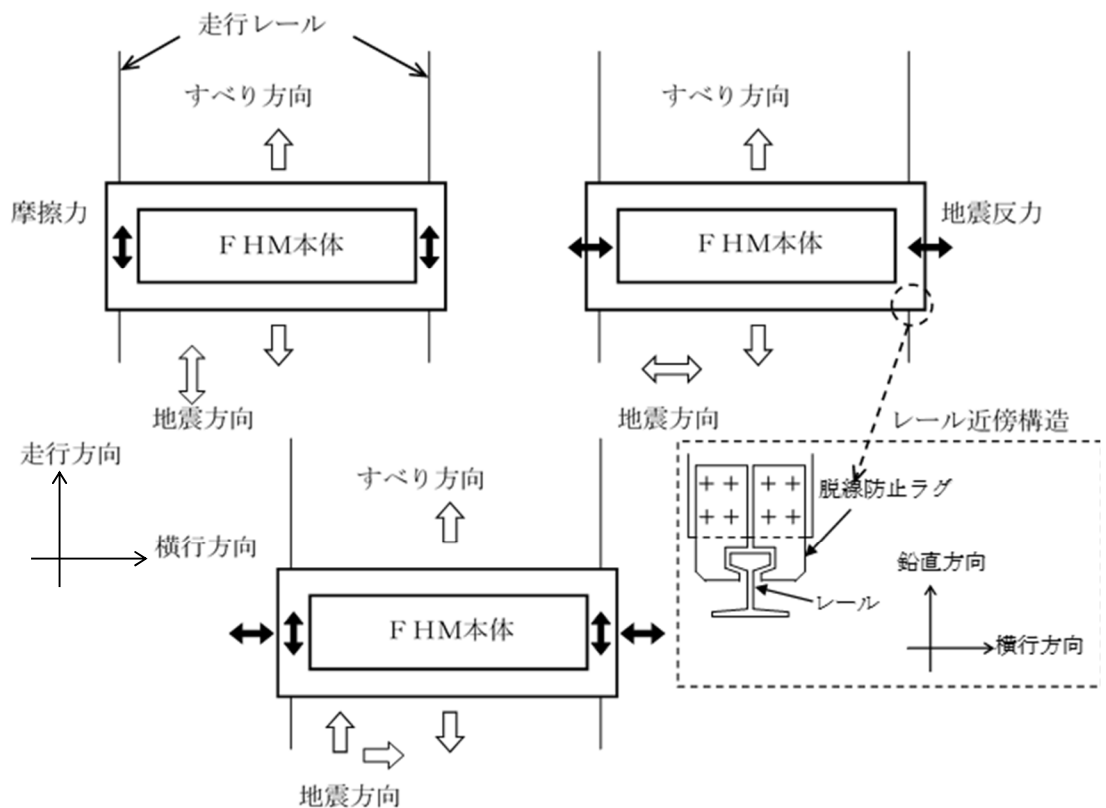


図6-1 燃料取替機の負担する水平地震荷重

### 6.3 今回工認の評価手法への適用について

今回工認における FHM の耐震評価では、水平方向については、従来評価と同様にスペクトルモード解析を基本とした評価を行っている。一方、鉛直方向については、FHM が柔構造であることを踏まえ、鉛直地震動についてもスペクトルモード解析を実施している。そこで、前述を踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向の同時加振を想定した場合の今回工認の妥当性を検討する。

### 6.4 水平 2 方向同時加振の影響

表 6-1 に今回工認における評価（現行評価）と水平 2 方向同時加振による評価（水平 2 方向）の比較結果を示す。なお、評価結果の比較は、評価上厳しくなるトロリが中央位置にある場合の評価結果により行う。

表 6-1 応力評価結果（トロリ中央位置）

評価部位	種類	評価値 (MPa)		許容値 (MPa)	応答増加率
		(現行評価)	(水平 2 方向)		
構造物フレーム	組合せ	235	231	275	0.98
ブリッジ 脱線防止ラグ	曲げ	23	23	253	1.00
	せん断	11	11	146	1.00
	組合せ	30	30	253	1.00
	取付ボルト	せん断	84	85	146
トロリ 脱線防止ラグ	曲げ	82	84	253	1.02
	せん断	32	32	146	1.00
	組合せ	99	101	253	1.02
	取付ボルト	せん断	111	114	158
走行レール	曲げ	142	144	546	1.01
	せん断	13	13	315	1.00
	組合せ	144	145	546	1.01
横行レール	曲げ	393	413	483	1.05
	せん断	16	17	278	1.06
	組合せ	393	414	483	1.05

### 6.5 結論

FHM の地震時評価に関し、鉛直地震動を動的地震力へ変更した場合について、水平 2 方向同時加振への影響検討を行った。現行評価と比較した結果、両者の差異は 10%未満という結果から、水平 2 方向を考慮しても影響としては軽微であると考えられ、現行評価は妥当であるといえる。

## 7. 水平2方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）

### 7.1 はじめに

本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討をおこなった。

### 7.2 引張応力への影響

水平1方向に地震力が作用する場合と水平2方向に地震力が作用する場合のボルトへの引張力の違いを考察する。なお、簡単のため機器の振動による影響は考えないこととする。

#### 7.2.1 水平1方向に地震力が作用する場合

図7-1のようにX方向に震度 $C_x$ が与えられる場合を考慮する。

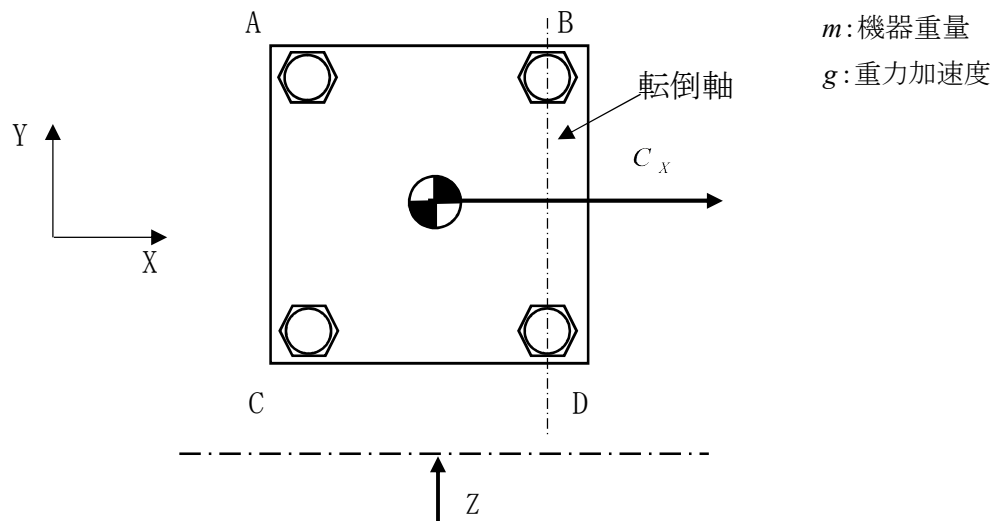


図7-1 水平1方向の地震力による応答（概要）

この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 $F_H$ は

$$F_H = mgC_x \quad (\text{式1})$$

と表せ、 $F_H$ によりボルトBとボルトDの中心を結んだ軸を中心に転倒モーメントを生じる。この転倒モーメントはボルトA、Cにより負担される。

このとき、系の重心に生じる力は、図 7-2 に示すとおりである。

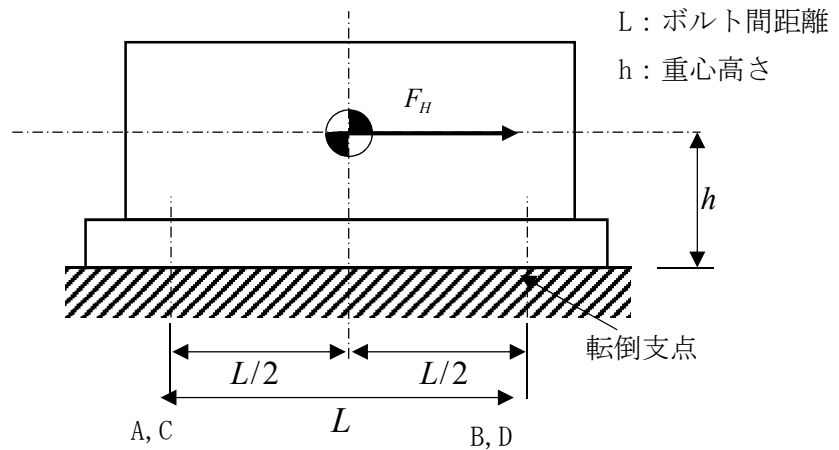


図 7-2 水平 1 方向の地震力による力 (Z 矢視図)

機器が転倒を起こさない場合、転倒支点まわりの転倒モーメントとボルトからの反力が釣り合うため、水平方向地震動によりボルトに発生する全引張力  $F_b$  は

$$F_b = \frac{1}{L} (mg C_x h) \quad (\text{式 2})$$

となる。

ボルトに掛かる引張応力  $\sigma_b$  は全引張力を断面積  $A_b$  のボルト  $n_f$  本で受けると考え、

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b} \quad (\text{式 3})$$

である。水平 1 方向地震力を考慮する場合、ボルト A, C で全引張力を負担することから、 $n_f = 2$  であり、ボルトに掛かる引張応力  $\sigma_b$  は

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{mg C_x h}{2A_b L} \quad (\text{式 4})$$

となる。

### 7.2.2 水平2方向に地震力が作用する場合

図7-3のようにX方向とY方向にそれぞれ震度 $C_X$ 、 $C_Y$ が作用する場合を考慮する。なお、本検討においては、X方向とY方向に同時に最大震度が発生する可能性は低いと考え、X方向の震度とY方向の震度を1:0.4 ( $0.4C_X = C_Y$ )と仮定する。

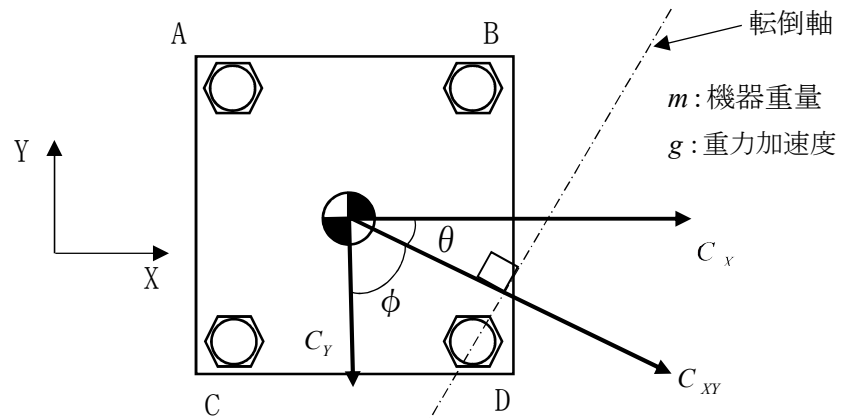


図7-3 水平2方向の地震力による応答（概要）

この時  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)$  であることから、水平方向の震度  $C_{XY}$  は

$$\begin{aligned} C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\ &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_X \\ &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \end{aligned} \quad (\text{式5})$$

と表せる。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力  $F_H$  は

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \quad (\text{式6})$$

となる。この  $F_H$  により、転倒軸を中心に転倒モーメントが生じ、ボルトA, B, Cにより負担される。

水平2方向の地震力を受けた場合、各ボルトにかかる引張力を  $F_A$ 、 $F_B$ 、 $F_C$  とし、図7-4に示すようにボルトDの中心を通り水平方向の震度  $C_{XY}$  と直交する直線を転倒軸とすると、

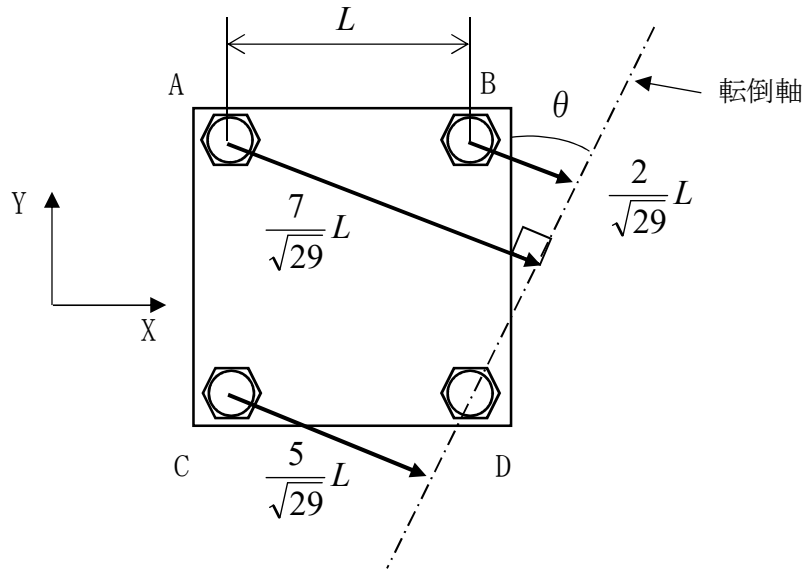


図 7-4 対角方向に応答する場合の転倒軸からの距離

ボルト A, B, C に発生する引張力は転倒軸からの距離に比例するため、

$$F_A : F_B : F_C = 7 : 2 : 5$$

であり、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M は、

$$\begin{aligned} M &= \frac{7}{\sqrt{29}} L F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L F_B + \frac{5}{\sqrt{29}} L F_C \\ &= \frac{7}{\sqrt{29}} L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L \times \frac{2}{7} F_A + \frac{5}{\sqrt{29}} L \times \frac{5}{7} F_A \\ &= \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A \quad (\text{式 7}) \end{aligned}$$

である。

転倒しない場合、ボルトの軸力により発生する転倒軸周りのモーメントと、水平方向地震力によるモーメントが釣り合っているため、(式 6) 及び (式 7) より、

$$mgC_{xy}h = \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A \quad (\text{式 8})$$

であり、引張力  $F_A$  は以下のとおりとなる。



$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L}(mgC_{XY}h) \quad (\text{式 9})$$

以上より、最も発生応力の大きいボルト A に発生する応力  $\sigma_b'$  は

$$\sigma_b' = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_bL}(mgC_{XY}h) \quad (\text{式 10})$$

であり、水平 1 方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力  $\sigma_b$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_bL}(mgC_Xh) \quad (\text{式 4 再掲})$$

に対して、(式 5) より震度  $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}}C_X$  であることから (式 10) は

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_bL}(mgC_{XY}h) \\ &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_bL} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}}(mgC_Xh) \\ &= \frac{7 \times 5.8}{39} \times \frac{mgC_Xh}{2A_bL} \\ &= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\ &\cong 1.04\sigma_b \end{aligned} \quad (\text{式 12})$$

となる。したがって、水平 2 方向地震を考慮した場合、ボルトに発生する引張応力は増加するが、その影響は軽微である。

### 7.3 せん断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するが、全ボルトに対するせん断力  $Q_b$  は、

$$Q_b = F_H \quad (\text{式 13})$$

であり、せん断応力  $\tau_b$  は断面積  $A_b$  のボルト全本数  $n$  でせん断力  $Q_b$  を受けるため、

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b} \quad (\text{式 14})$$

となる。

水平 1 方向の地震力を考慮した場合のせん断力  $Q_b$  及び水平 2 方向の地震力を考慮した場合のせん断力  $Q_b'$  は (式 5) より震度  $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$  であるため、

$$Q_b = mgC_X \quad (\text{式 15})$$

$$Q_b' = mgC_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \cong 1.08mgC_X \quad (\text{式 16})$$

となる。水平 1 方向及び水平 2 方向地震時に断面積  $A_b$  及びボルト全本数  $n$  は変わらないため、水平 2 方向地震を考慮した場合、ボルトに発生するせん断応力は増加するが、その影響は軽微である。

## 8. 水平2方向同時加振の影響評価について（円形配置されたボルト）

### 8.1 はじめに

本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の円形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。なお、せん断応力への影響は、円形／矩形の配置形状に依らず、7章に記載している矩形配置されたボルトと同様に影響軽微となるため、本章における検討では省略する。

円形配置されたボルトは、支持する構造物から伝達される地震力を受け持つことから、4章に記載している円筒容器の検討結果を踏まえた検討を行う。具体的には、図8-1に示す円筒容器基部における水平地震時の軸方向応力コンター図において、 $180^\circ$ 方向位置にて円筒容器の軸方向応力に算定されるZ方向荷重を1.00と規格化し、円形配置されたボルトに作用する引張荷重 $F_b$ と考慮した検討を行う。

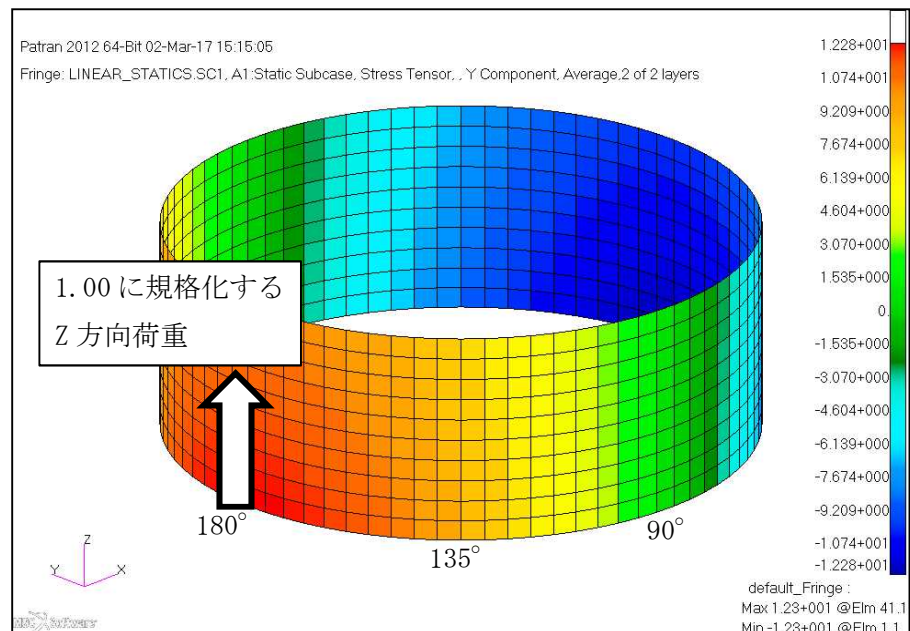


図8-1 水平地震時軸方向応力コンター図

## 8.2 引張応力への影響

円形配置されたボルトに作用する引張荷重  $F_b$  の分布を表 8-1 に示す。X 方向に水平地震動を入力した際には、最大荷重発生点は  $180^\circ$  方向位置に発生する。また、円筒形容器のため評価部位が円形の一様断面であることから、Y 方向に水平地震動を入力した際には、最大荷重発生点は  $90^\circ$  位置に発生し、水平地震動の入力方向により最大荷重発生点は異なる。

表 8-1 水平地震時の引張荷重分布

角度	X 方向入力時 引張荷重(-) $F_{b,x}(\theta)$	Y 方向入力時 引張荷重(-) $F_{b,y}(\theta)$	2 方向入力時荷重(-)	
			組合せ係数法 $F_{b,c}(\theta)$	SRSS 法 $F_{b,s}(\theta)$
$90^\circ$ 方向	0.00	1.00	1.00 $F_{b,c(X)}(90^\circ)=0.40$ $F_{b,c(Y)}(90^\circ)=1.00$	1.00
$112.5^\circ$ 方向	0.38	0.91	1.08 $F_{b,c(X)}(112.5^\circ)=0.75$ $F_{b,c(Y)}(112.5^\circ)=1.08$	1.00
$135^\circ$ 方向	0.71	0.71	0.99 $F_{b,c(X)}(135^\circ)=0.99$ $F_{b,c(Y)}(135^\circ)=0.99$	1.00
$157.5^\circ$ 方向	0.91	0.38	1.08 $F_{b,c(X)}(157.5^\circ)=1.08$ $F_{b,c(Y)}(157.5^\circ)=0.75$	1.00
$180^\circ$ 方向	1.00	0.00	1.00 $F_{b,c(X)}(180^\circ)=1.00$ $F_{b,c(Y)}(180^\circ)=0.40$	1.00

水平 2 方向同時加振時の引張荷重の合力は、水平 1 方向加振時の最大の引張荷重と比較し、SRSS 法を用いた場合は同値、組合せ係数法を用いた場合は最大で約 1.08 倍の値となる（図 8-2）ため、水平 2 方向同時加振の引張応力への影響は軽微である。

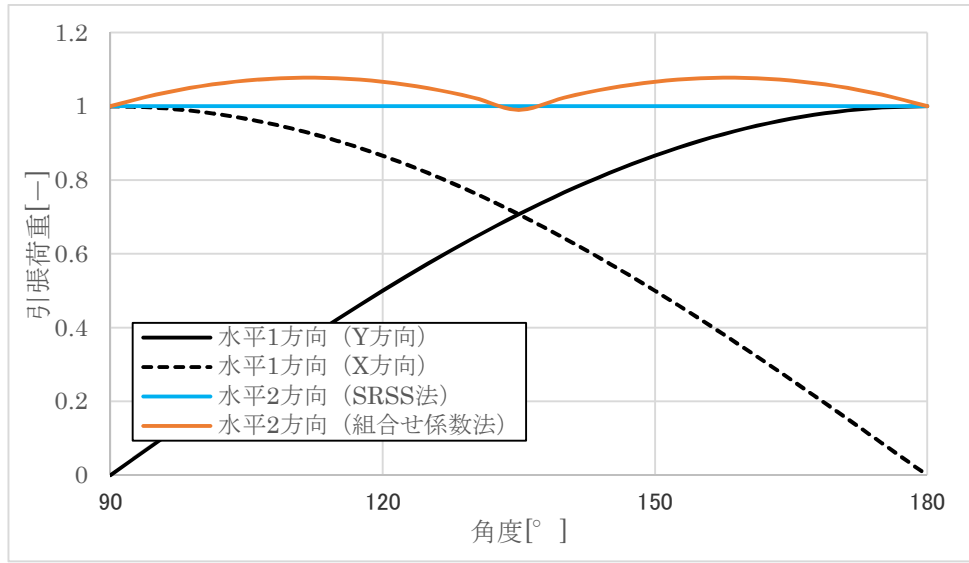


図 8-2 水平 2 方向同時加振時の水平力分布について

## 9. 水平2方向同時加振の影響評価について（電気盤）

### 9.1 はじめに

本項は、電気盤に取付られている器具に対する水平2方向入力の影響をまとめたものである。

### 9.2 水平2方向加振の影響について

器具への影響検討については器具の構造に着目した分類を行い、分類毎に影響検討を行う。影響検討の評価フローを図9-1に、器具の構造毎の分類結果を表9-1に示す。

電気盤に取り付けられている器具については、1次元的な接点のON-OFFに関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的にはすべて梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答もなく、水平2方向の加振に対しては独立に扱うことで問題ないものとする。さらに器具の誤動作モードは、水平1方向を起因としたモードであるため、水平2方向加振による影響は軽微であると考えられる。

次項より表9-1に示す分類毎に器具の構造から検討した結果を示す。

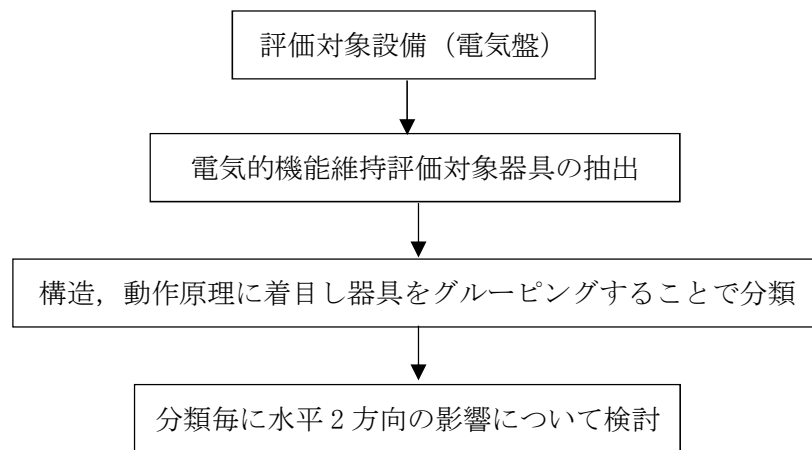


図9-1 電気盤に取付られる器具の影響検討フロー

表 9-1 電気盤に取り付けられる器具の分類

分類番号	分類名称	器具取付設備例
1	補助リレー	非常用ディーゼル発電機 7A 制御盤
2	ノーヒューズブレーカ	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ制御架
3	過電流リレー (保護リレー)	非常用ディーゼル発電機 7A 制御盤
4	真空遮断器	メタルクラッド開閉装置 7D
5	気中遮断器	パワーセンタ 7C-2
6	電磁接触器	モータコントロールセンタ 7C-1-6
7	操作スイッチ	格納容器圧力逃がし装置制御架
8	ロックアウトリレー	非常用ディーゼル発電機 7A 制御盤
9	カード類	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ制御架
10	指示計	直流 125V 充電器 7B

### 9.3 器具の構造に着目した影響検討結果

#### 9.3.1 補助リレー

##### (1) 構造，作動機構の概要

図9-2に補助リレーの構造及び作動機構を示す。補助リレーはコイルに通電されることにより生じる電磁力で可動鉄心部を動作させ，接点の開閉を行うものである。

補助リレーのうち，固定鉄心，固定接点はいずれも強固に固定されており，可動接点は前後方向にのみ動くことのできる構造になっている。

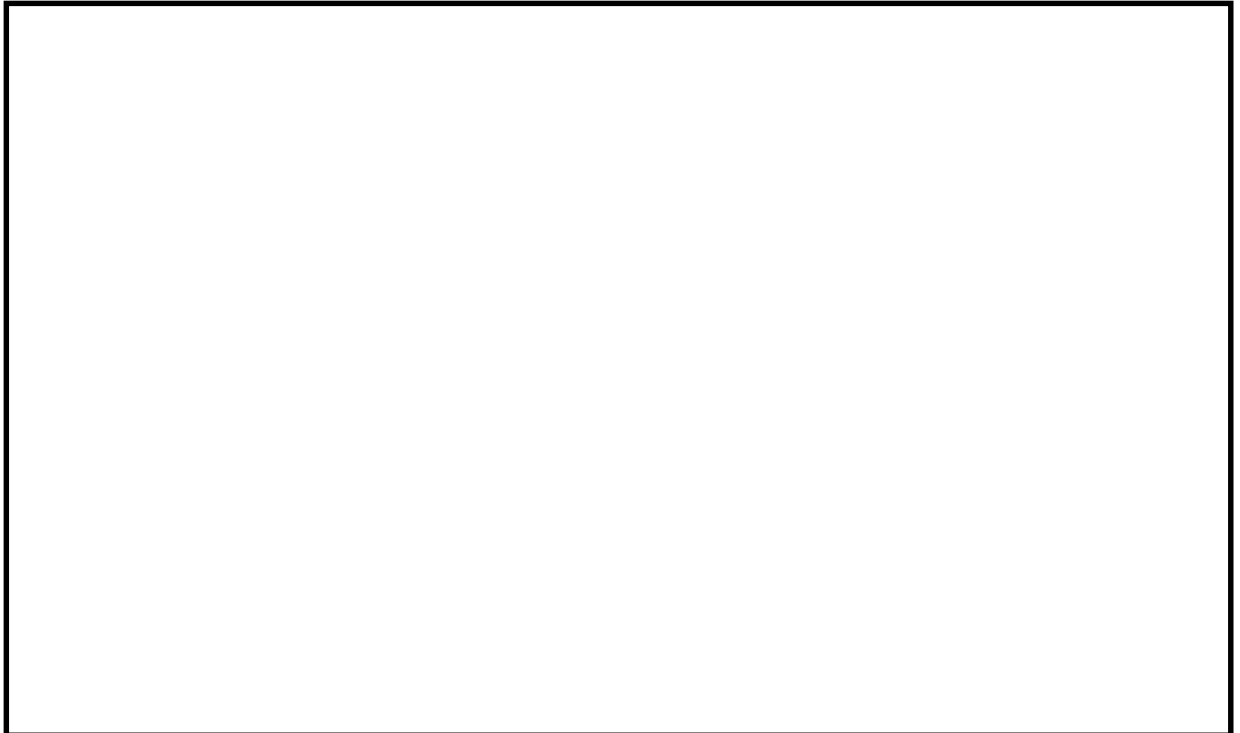


図9-2 補助リレー構造図

##### (2) 水平2方向地震力に対する影響検討

図9-2から，器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動接点が振動することにより，接点が誤接触，又は誤開放（前後方向）

ただし，補助リレーは取付部をボルト固定していること，また，器具の可動部は前後方向にのみ振動することから，誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考えられる。



(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と補助リレーの既往試験での確認済加速度を表 9-2 に示す。

表 9-2 補助リレーの発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度 ※1	1.27	1.15
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1 : 7 号機原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5m における V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度 II の値を記載。

### 9.3.2 ノーヒューズブレーカ

#### (1) 構造、作動機構の概要

図9-3にノーヒューズブレーカの構造及び作動機構を示す。ノーヒューズブレーカには熱動電磁式と完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の動作原理と内部構造を示す。

熱動電磁式は、過電流が流れるとバイメタルが彎曲し、トリップ桿によりラッチの掛け合いが外れ、キャッチがバネにより回転し、リンクに連結された可動接点が作動し回路を遮断する。また、短絡電流等の大電流が流れた場合は、固定鉄心の電磁力で可動鉄心が吸引されトリップ桿が作動し、以降は上述と同じ動作により回路を遮断する。

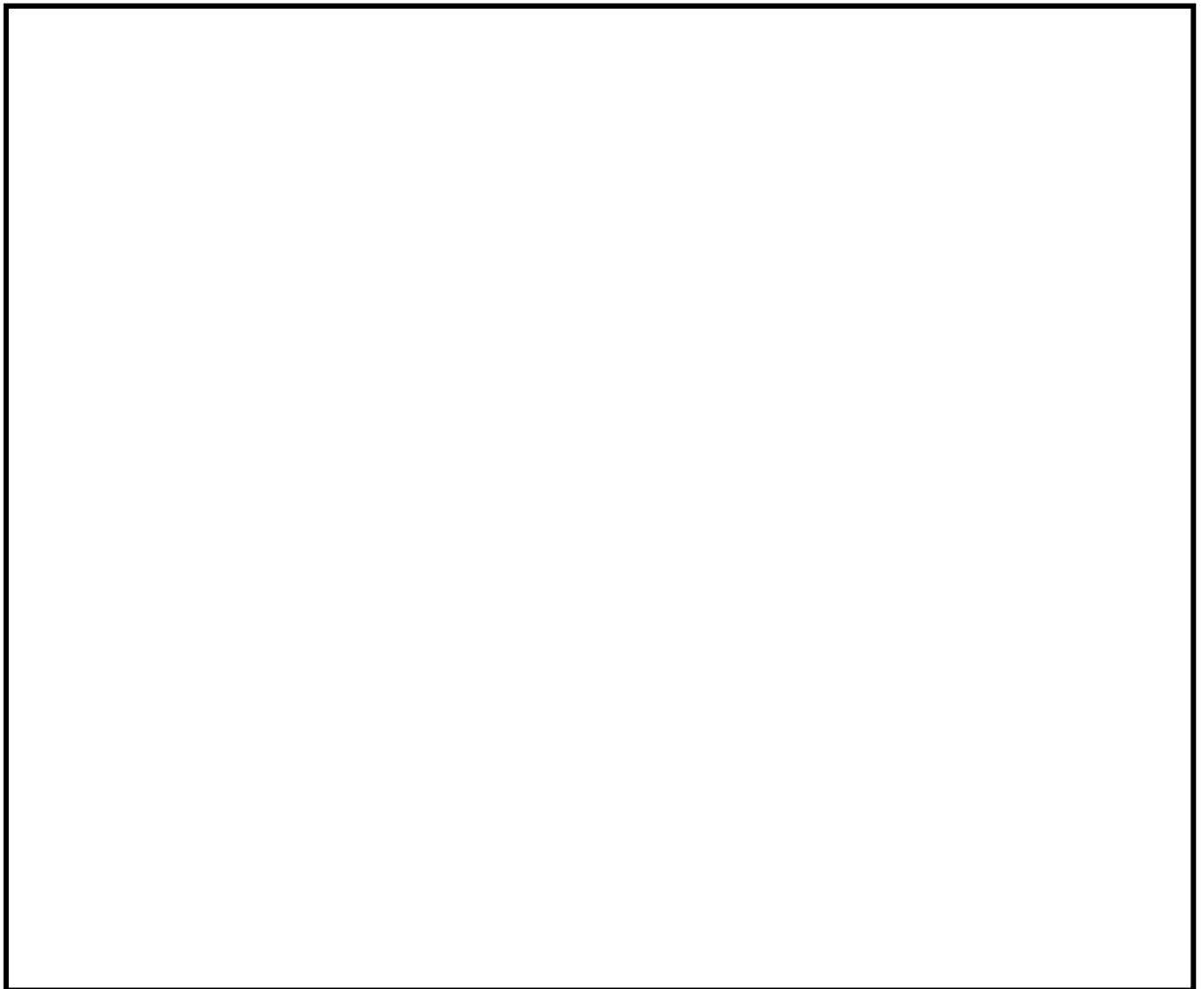


図9-3 ノーヒューズブレーカ構造図

(2) 水平2方向地震力に対する影響検討

図9-3から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・ハンドルが逆方向へ動作する（上下方向）
- ・接点が乖離する（前後方向，左右方向）
- ・ラッチが外れてトリップする（前後方向，上下方向）

上記より、ノーヒューズブレーカの誤動作として2方向の振動の影響が考えられる。ただし、ハンドルは1方向にしか振動できないこと、前後-左右の接点乖離は各々独立であること（前後方向は接触-非接触，左右方向はずれによる）から、これらについては誤動作に至る事象は多次元的な影響はないものと考えられる。

ラッチ外れについては2軸（前後方向，上下方向）の影響は無視できないと考えられるが、左右方向はラッチ外れに影響を与える誤動作モードではないため、水平2方向の影響はないものと考えられる。

なお、既往試験においては、ハンドルの移動に起因する誤動作事象は発生していない。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度とノーヒューズブレーカの既往試験での確認済加速度を表9-3に示す。

表9-3 ノーヒューズブレーカの発生加速度及び機能確認済加速度（×9.8m/s<sup>2</sup>）

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.98	1.23
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機コントロール建屋 T.M.S.L.24.1mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。

### 9.3.3 過電流リレー（保護リレー）

#### (1) 構造，作動機構の概要

図9-4に過電流リレー（保護リレー）の構造を示す。過電流リレーは，電流コイル1個を持つ電磁石が動作トルクを発生し，制動磁石の制動により限時特性を得る円板形リレーであり，タップ値以上の過電流が流れると接点が動作し，警報や遮断器引き外しを行う。なお，過電流リレーはボルトにて，盤の扉面に強固に取り付けられている。

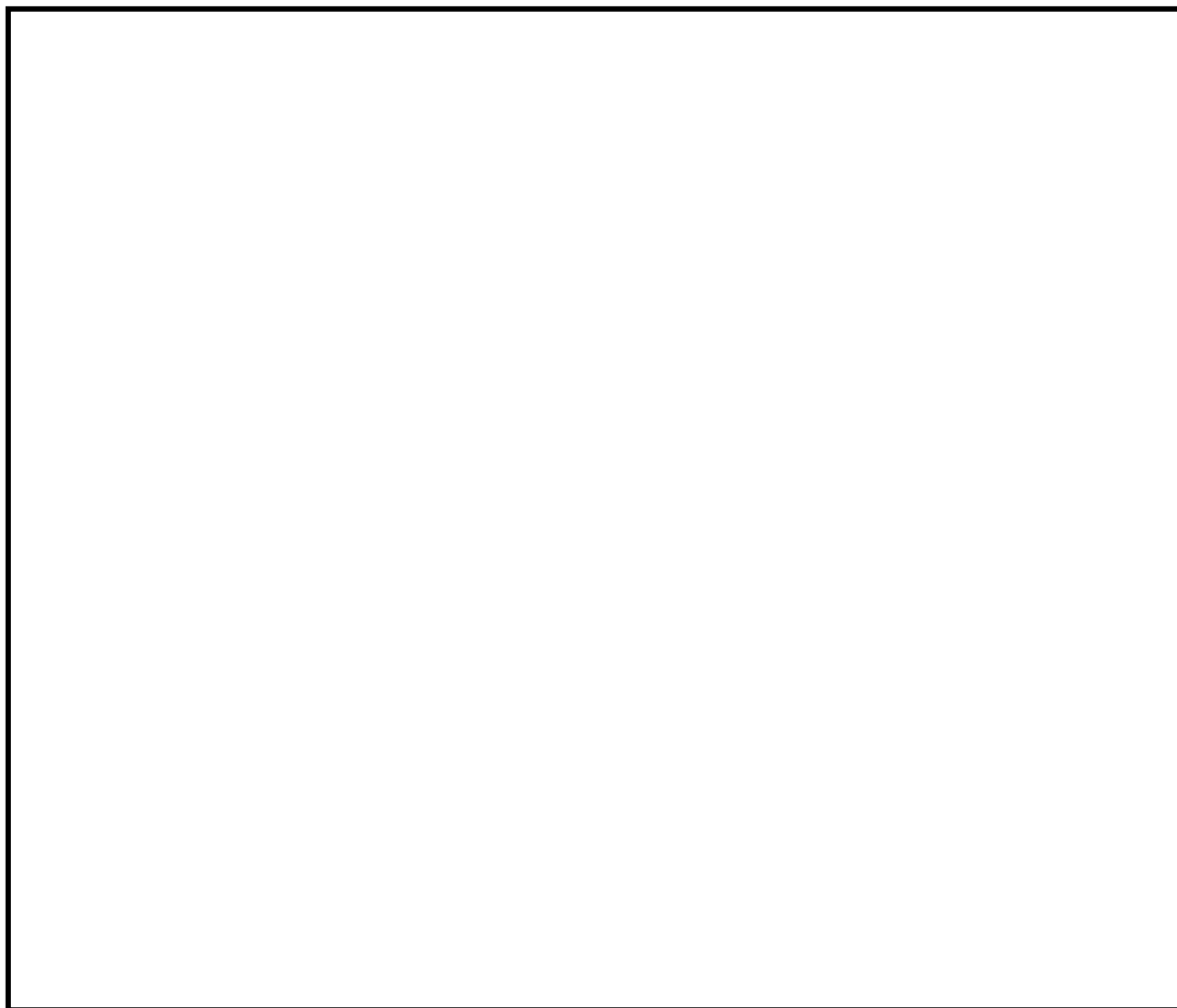


図9-4 過電流リレー構造図

(2) 水平2方向地震力に対する影響検討

図9-4から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・円板が接触し、固渋する（上下方向）
- ・可動接点が振動し、接点の誤接触が生じる（前後、左右方向）

円板の固渋については上下方向のため、水平2方向の影響はない。

接点の誤接触については、昭和56年の日本機械学会講演論文集「誘導円板型リレーの地震時誤動作に関する研究」において、円板が水平2方向入力により、回転し接点接触により、誤動作が生じることが報告されている。しかし、平成13年度に行われた電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」において、水平2方向加振時に鉛直方向加振を加えた試験を実施しており、正弦波加振試験では円板の回転挙動が発生したが、地震波加振試験では円板の回転挙動が発生しないことを確認している。したがって、地震波による水平2方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と過電流リレーの既往試験での確認済加速度を表9-4に示す。

表9-4 過電流リレーの発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.27	1.15
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。

#### 9.3.4 真空遮断器

##### (1) 構造, 作動機構の概要

図9-5に真空遮断器の構造を示す。真空遮断器は、遮断部、動作機構部から構成されており、投入コイル又は引外しコイルが励磁されると動作機構部が動作し遮断部（接触子）が開閉するものである。なお真空遮断器は出入ねじが盤側の出入ねじ受け口に固定され、一次断路部で盤側の母線に係合し固定されている。

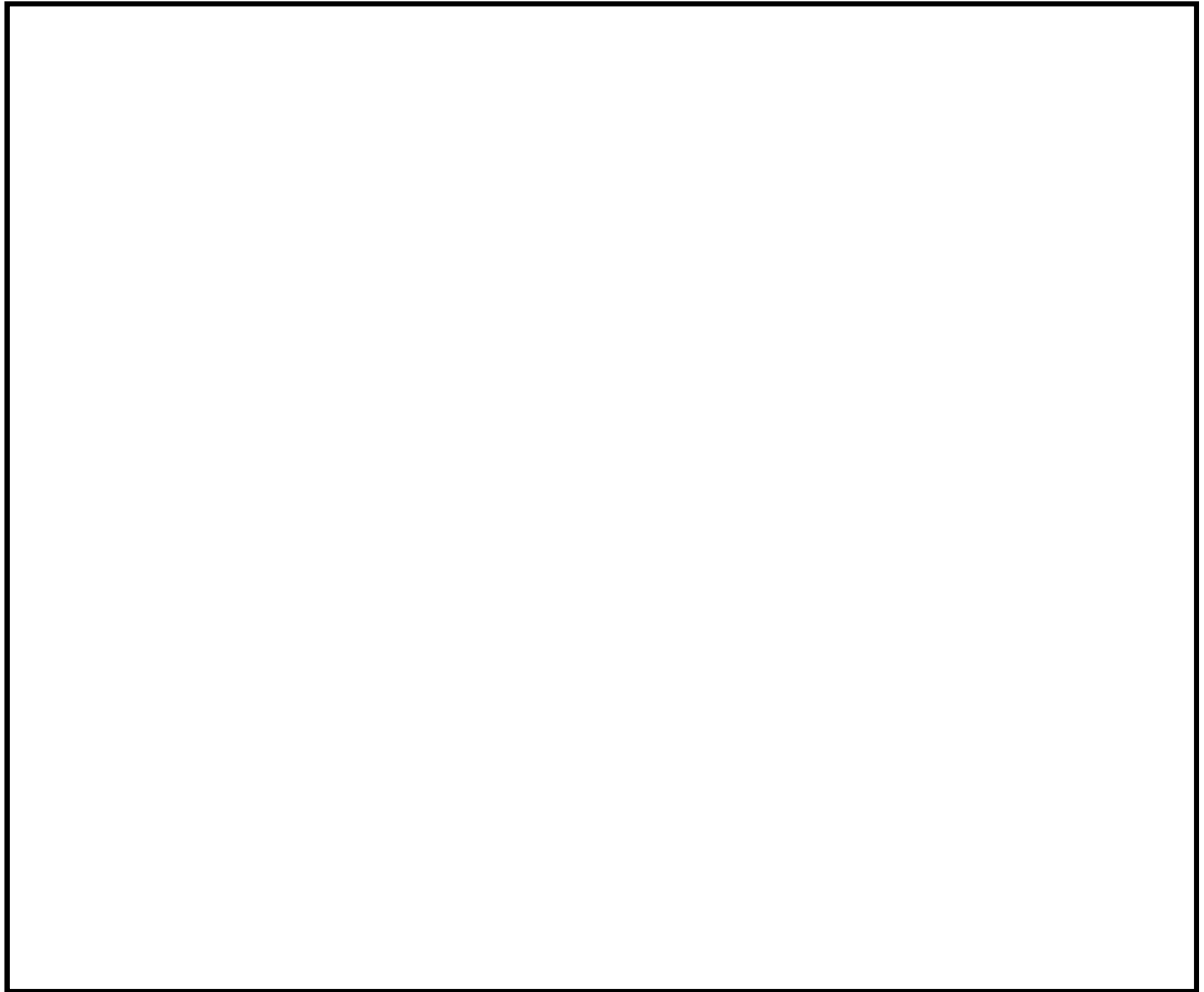


図9-5 真空遮断器構造図

次に図 9-6 に真空遮断器の動作機構を示す。投入時は投入コイルが励磁されるとプランジヤーがノッキングロッドを介してローラーを押し上げ補助レバー，ロッドを介して主レバーを回転させ，絶縁操作ロッドが上方向に押し上げられ，真空バルブ内の接触子が閉じる。解放時は引出しコイルが励磁されると，引き外しレバーがフックの係合を外し，遮断ばねの力で主レバーが反時計方向に回転し，接触子が開く。

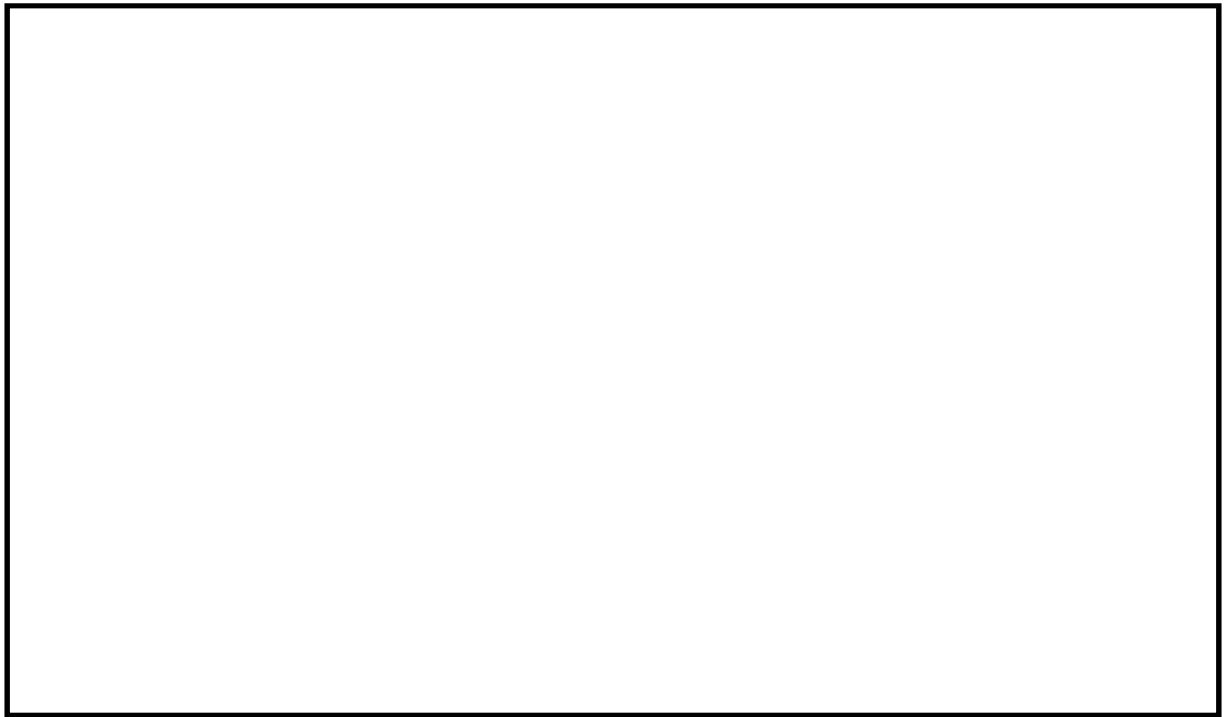


図 9-6 動作機構図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 9-5，9-6 から，器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・動作機構部が動作し，遮断器が誤投入する。(前後方向，上下方向)
- ・引外しボタンや動作機構部が動作し，遮断器投入状態を機械的に保持しているフックが外れ，遮断器が誤開放する。(前後方向，上下方向)

ただし動作機構部は前後方向及び上下方向にのみ可動するため，水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と過電流リレーの既往試験での確認済加速度を表 9-5 に示す。

表 9-5 真空遮断器の発生加速度及び機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.06	1.08
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。



### 9.3.5 気中遮断器

#### (1) 構造, 作動機構の概要

図9-7に気中遮断器の構造を示す。気中遮断器は、遮断部、動作機構部から構成されており、投入コイル又は引外しコイルが励磁されると動作機構部が動作し遮断部（接触子）が開閉する。なお気中遮断器は主端子が母線に係合し固定され、引出装置が盤側の固定ピンで固定されている。

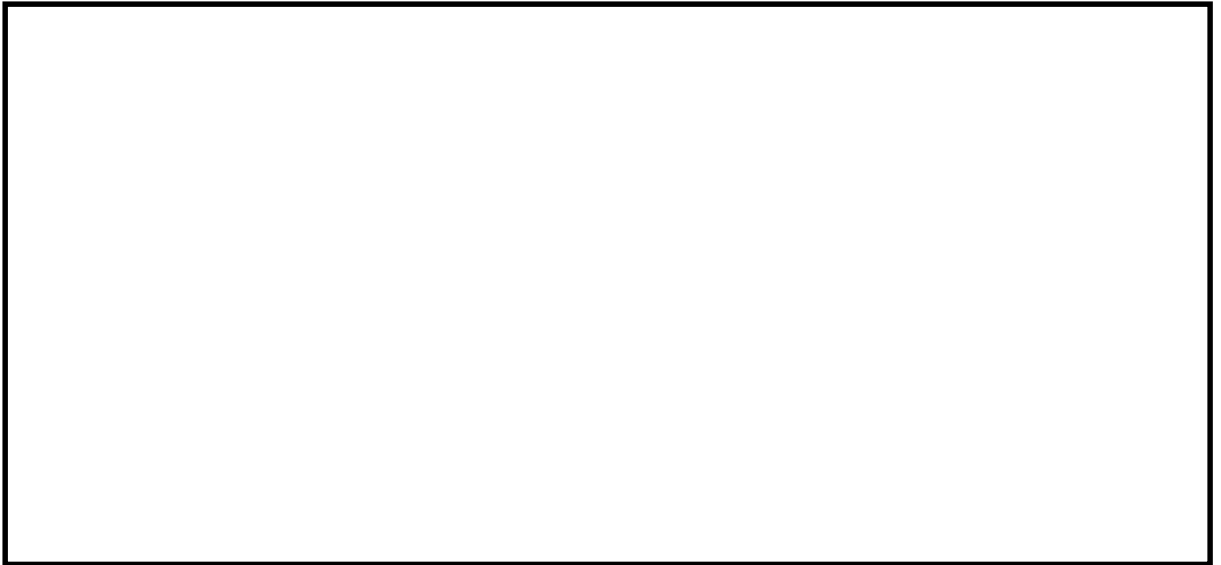


図9-7 気中遮断器構造図

次に図9-8に気中遮断器の動作機構を示す。投入動作は、投入コイルが励磁されるとプランジャーがロックロッドを介してローラーを押しあげ、主レバーを動かし接触子が閉じられる。また開放動作時は引外しコイルが励磁されると、フックの結合が外され、主レバーは早切りばねの力で動作し接触子が開く。



図9-8 動作機構図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 9-8 から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・動作機構部が動作し、遮断器が誤投入する。(前後方向, 上下方向)
- ・引外しボタンや動作機構部が動作し、遮断器投入状態を機械的に保持しているフックが外れ、遮断器が誤解放する。(前後方向, 上下方向)

ただし操作機構部は前後方向及び上下方向にのみ可動するため、水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と過電流リレーの既往試験での確認済加速度を表 9-6 に示す。

表 9-6 気中遮断器の発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.33	1.02
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機タービン建屋 T.M.S.L. 12.3mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。

### 9.3.6 電磁接触器

#### (1) 構造, 作動機構の概要

図9-9に電磁接触器の構造及び作動機構を示す。電磁接触器は、コイルに通電されることにより生じる電磁力により可動鉄心を動作させ、接点の開閉を行うものである。

電磁接触器のうち、固定鉄心、固定接点はいずれも強固に固定されており、可動鉄心、可動接点は器具の前後方向にのみ動くことができる構造になっている。

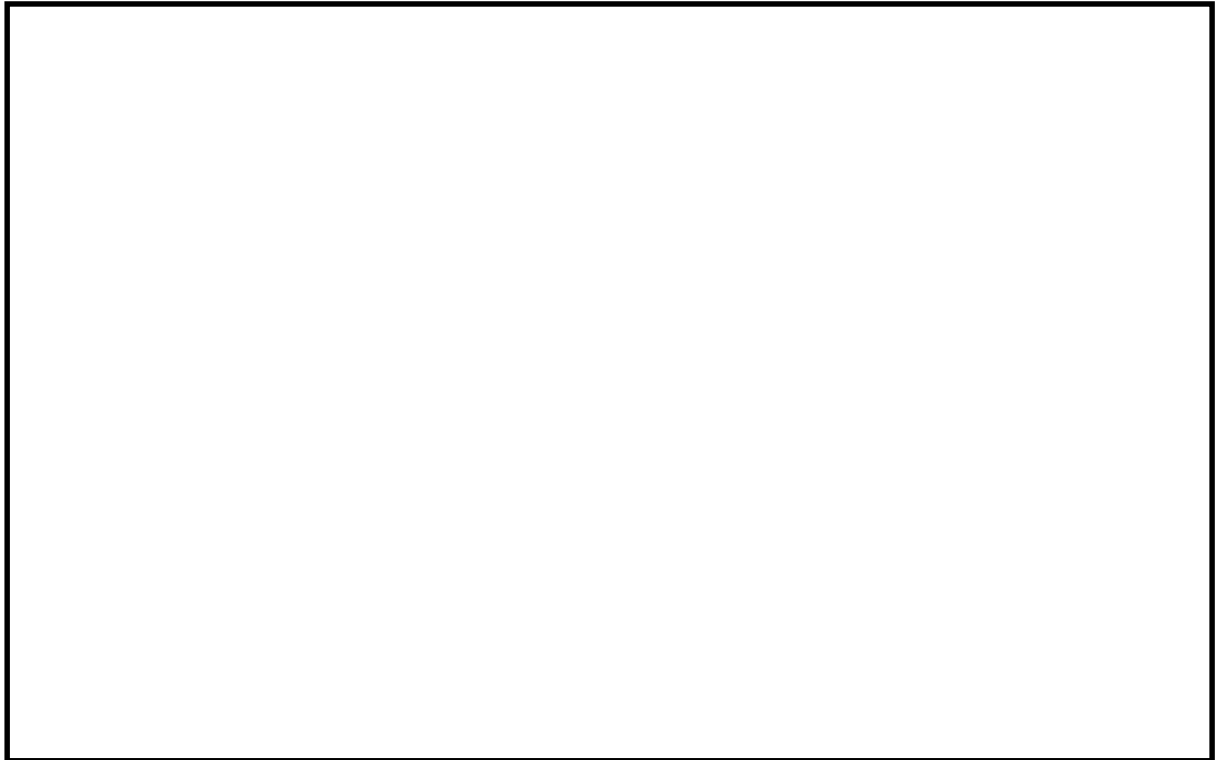


図9-9 電磁接触器構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 9-9 から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動鉄心（可動接点）が振動することにより、接点が誤接触又は誤開放する。（前後方向）

ただし、電磁接触器は取付部をボルトで固定していること、器具の可動部は前後方向にのみ振動することから、誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と電磁接触器の既往試験での確認済加速度を表 9-7 に示す。

表 9-7 電磁接触器の発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度※ <sup>1</sup>	1.55	1.11
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機コントロール建屋 T.M.S.L.6.5mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。

### 9.3.7 操作スイッチ

#### (1) 構造, 作動機構の概要

図9-10に操作スイッチの構造及び作動機構を示す。操作スイッチは、手動にてハンドルを回転させることで内部のカムが回転し、カムを切欠部としゅう動子が嵌め合うことで接点の開閉を行うものである。なお操作スイッチは、ボルトにより盤に強固に取付られている。

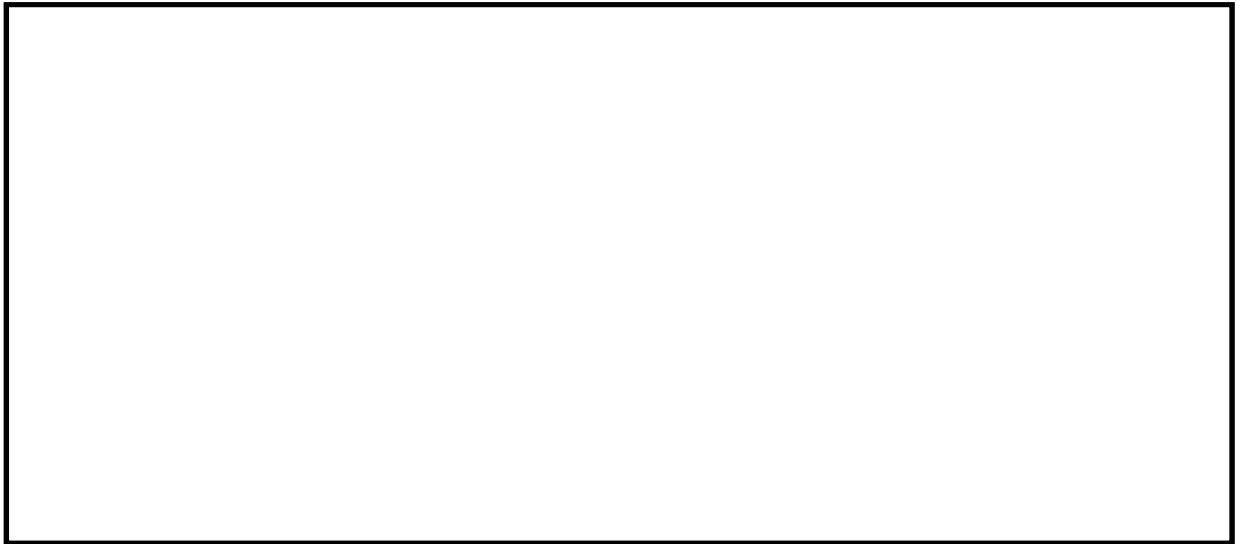


図9-10 操作スイッチ構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 9-10 から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動接点が振動することにより、接点が誤接触又は誤解放する。(上下方向)

ただし、可動接点の動作は上下方向であるため水平 2 方向の地震力による影響は無い。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と電磁接触器の既往試験での確認済加速度を表 9-8 に示す。

表 9-8 操作スイッチの発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.65	1.19
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機コントロール建屋 T.M.S.L.17.3mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。

### 9.3.8 ロックアウトリレー

#### (1) 構造, 作動機構の概要

図9-11にロックアウトリレーの構造及び作動機構を示す。ロックアウトリレーは、保護リレー等からの信号を受けた場合、ストッパーが解除され、動作バネの力でシャフトが回転し、盤外側のハンドルを倒れ、その状態が維持される。また、ロックアウトリレーはボルトにて盤に強固に取り付けられている。

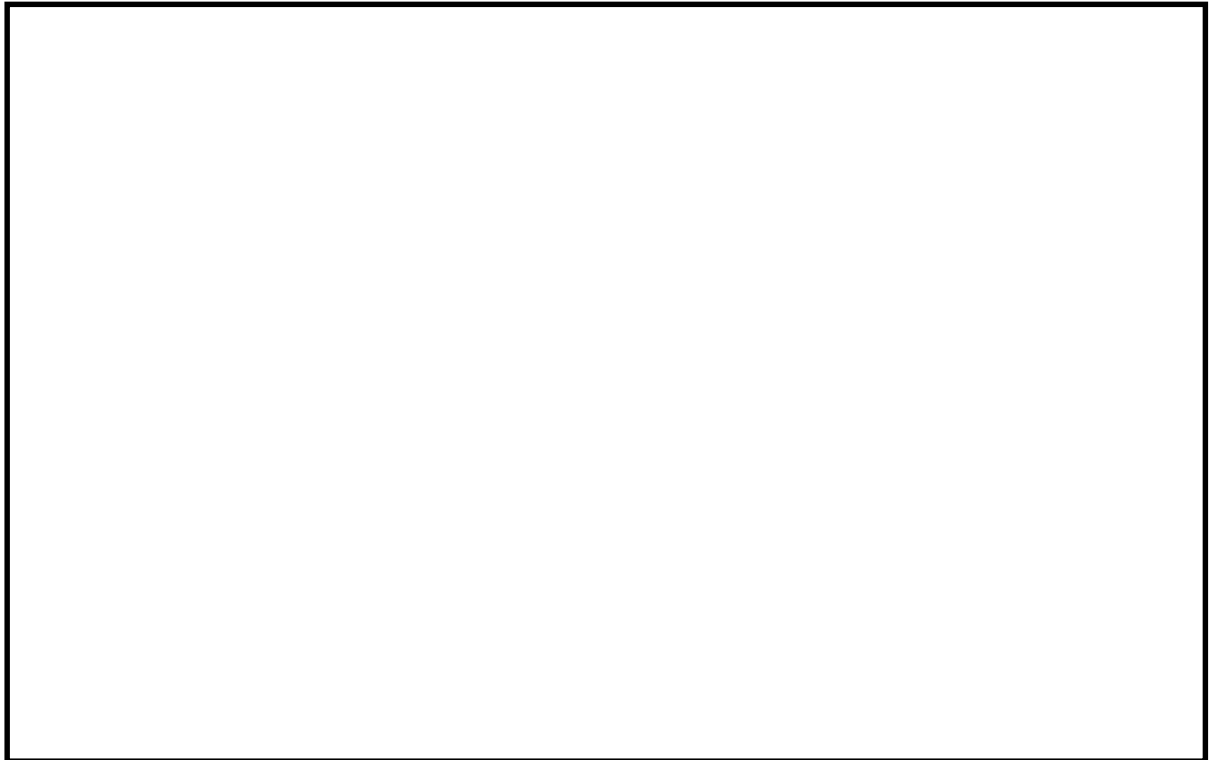


図9-11 ロックアウトリレー構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 9-11 から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動接点が振動又はストッパーが解除することにより、接点が誤接触、誤開放する。(上下方向)

ただし、ロックアウトリレーの可動接点は上下方向にのみ振動することから、誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考える。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と電磁接触器の既往試験での確認済加速度を表 9-9 に示す。

表 9-9 ロックアウトリレーの発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.27	1.15
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。



### 9.3.9 カード類

#### (1) 構造, 作動機構の概要

図 9-12 にカード類の構造及び作動機構を示す。カード類は、基板がカードフレームに実装された状態で盤に取付られており、カードフレームは盤にボルトで固定されている。

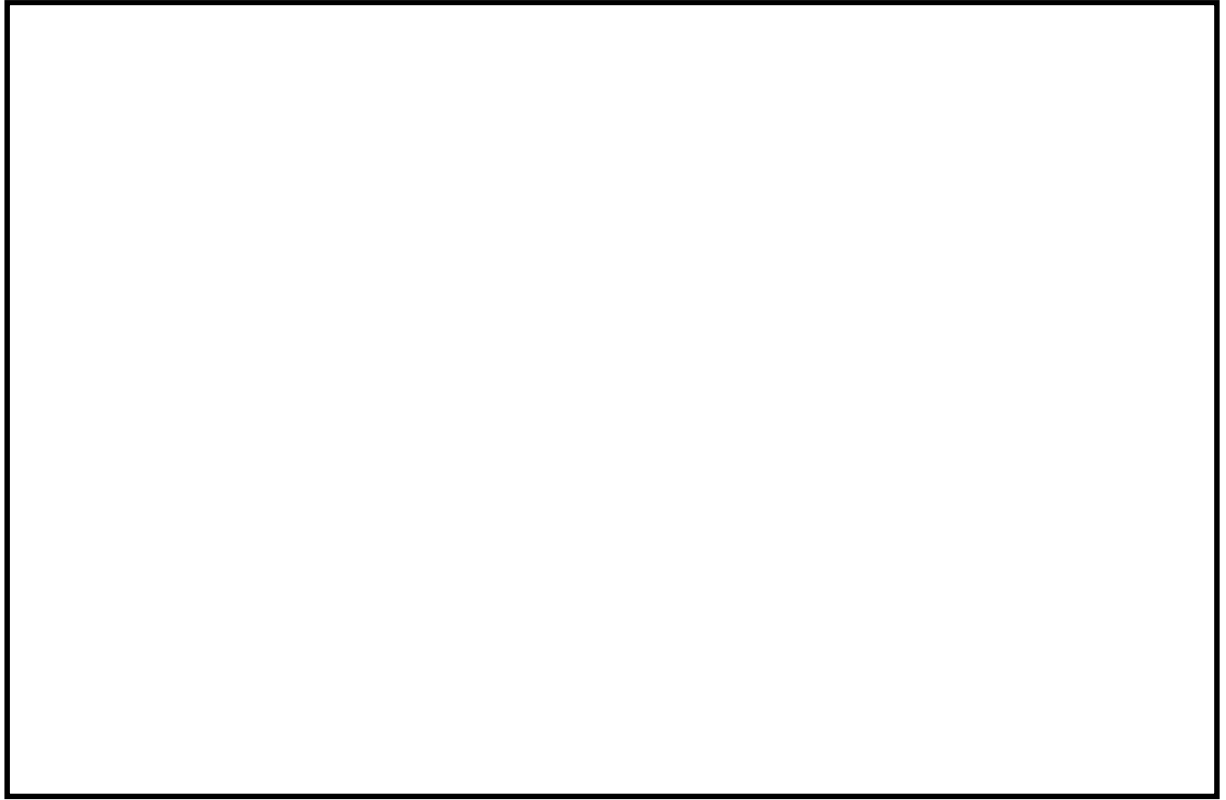


図 9-12 カード類構造図

(2) 水平2方向地震力に対する影響検討

図9-12から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力により基板がカードフレームから脱落する。(前後方向)

ただし、基板類の取付方向は前後方向であり、脱落防止金具により前後方向を抑える構造となっていることから水平2方向の地震力による影響はない。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と電磁接触器の既往試験での確認済加速度を表9-10に示す。

表9-10 カード類の発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.98	1.23
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1: 7号機コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。

### 9.3.10 指示計

#### (1) 構造, 作動機構の概要

図9-13に指示計の構造及び作動機構を示す。指示計は、圧力・水位・流量・電圧・電流等のプロセス値に相当する電気信号を入力し、目盛板に表示させるものである。また、指示計は取付ボルトにより盤に強固に取り付けられている。

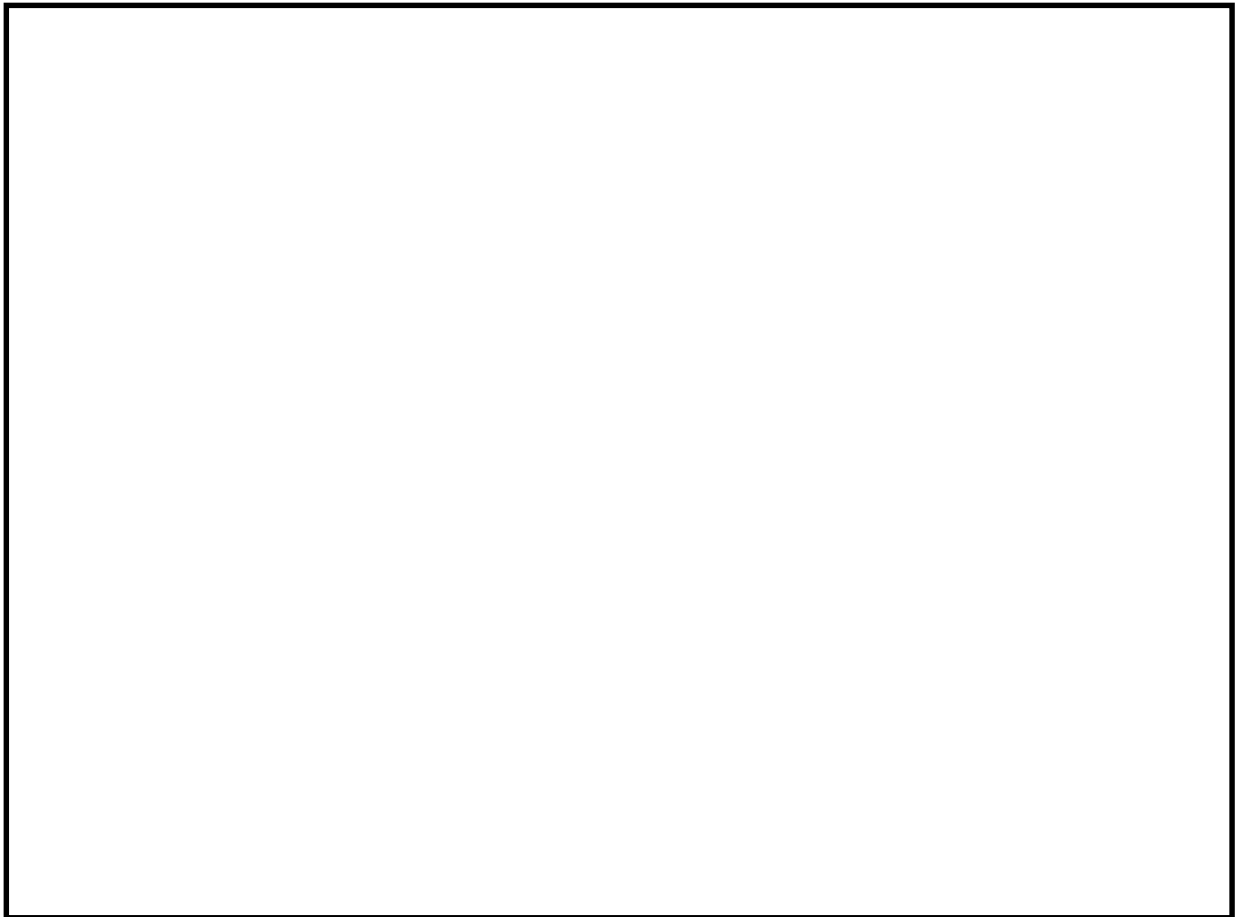


図9-13 指示計構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

図 9-13 から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力により指針が振動することにより、指針の指示に誤差が生じる。(上下、左右方向)

ただし、図 9-13 に示す指示計（縦形）については指針の可動方向は上下方向であるため、水平 2 方向入力による影響は軽微である。

また図 9-13 に示す指示計（横形）については器具の可動部は左右方向にのみ振動することから、誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考える。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と電磁接触器の既往試験での確認済加速度を表 9-11 に示す。

表 9-11 指示計の発生加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

方向	水平	鉛直
評価用加速度 <sup>※1</sup>	1.55	1.11
確認済加速度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

※1：7号機コントロール建屋 T.M.S.L.6.5mにおけるV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用最大応答加速度Ⅱの値を記載。

## 10. 水平2方向同時加振の影響について（動的機能維持）

### 10.1 はじめに

動的機器の機能維持評価における保守性の観点より、水平2方向同時入力を考慮した場合の影響をまとめたものである。

### 10.2 機能維持評価法について

動的機器の機能維持は、動的地震力を適用し、試験による評価、解析による評価により行う。試験による評価では実物モデル等の振動試験を、解析による評価では応力・変形の解析結果を用いて、要求される安全機能が維持されることを確認する。

機種毎の代表的な機器について、上記検討を実施した既往の試験・研究の成果から機能確認済加速度（以降  $A_t$ ）が定められ、これにより、地震動により生じる加速度レベルが  $A_t$  より小さいことを確認することで、安全機能が維持されることを確認できる。なお、この手法は全ての機器について、詳細評価を実施するまでもなく機能維持を確認するための合理的な方法として確立された手法である。

### 10.3 機能維持確認済加速度の保守性

動的機器の  $A_t$  については、加振台の加振限界及び機器仕様の多様性等の理由から、本来の機器の機能限界加速度ではなく、保守的な範囲内で定められている。その保守性については、代表機器の  $A_t$  での詳細評価において、機能維持に必要な各部位\*の裕度が十分に高いことから確認することができる。

#### \*：動的機器の評価項目について

解析評価における動的機器の機能維持に必要な基本評価項目（部位）は、振動特性試験により振動特性及び応答特性を把握し、機能試験の結果を踏まえ、異常要因分析に基づき抽出されている。前述のとおり  $A_t$  は保守的に定められており、地震応答加速度が  $A_t$  を上回ったとしても、個別に当該機器の基本評価項目を解析評価することで、機器の健全性が確認できる。

### 10.4 水平2方向同時入力（鉛直方向含む）の影響について

水平2方向同時入力による動的機能維持評価については、影響有無を整理の上、NS方向EW方向の応答加速度をSRSSした結果、 $A_t$  を満たしており耐震性に問題が無いことを確認することとしているが、保守的に水平1方向の応答加速度を $\sqrt{2}$ 倍したとしても、機能維持評価の保守性により、対象の動的機器の安全機能維持確認に問題はないと考えられる。

また、 $A_t$  は水平・鉛直の各方向に設定されるものであるが、水平・鉛直の相関が懸念されるものは、水平・鉛直同時入力による解析評価により機能維持を確認した上で各方向の加速度を設定している。そのため、水平・鉛直ごとの個別の評価とすることで問題ない。

## 11. 水平 2 方向同時加振の影響について（応答軸が明確である設備）

### 11.1 はじめに

本資料は、応答軸が明確である設備について、水平 2 方向の地震力を考慮した場合においても設備の有する耐震性に対して影響がないことを説明するものである。

### 11.2 設備の有する耐震性に対して影響がないことの説明

従来設計手法として、設備の応答軸の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きを有した設備があり、このような設備については解析上の地震力の入力を NS 方向・EW 方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いて X 方向及び Y 方向から入力し、最も大きな評価結果を用いる等、保守的な評価を実施している場合がある。このような応答軸が明確な設備については、水平 2 方向の地震力による従来設計手法への影響が懸念されるようなことはないと考えられる。その理由を以下に示す。

#### ● 設備の有する耐震性に対して影響がないことの理由

応答軸（設備の弱軸・強軸）の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備にて、建物・構築物の応答である NS・EW 方向の応答を機器の応答軸（図 11-1 X, Y 方向）へ入力している場合、水平 1 方向入力としては当然厳しい入力をうけた評価がなされていると考える。（さらに、機器の配置方向とは無関係に機器の応答軸へ地震力を入力している設備や水平方向を包絡した応答を用いるなどの保守性も考慮している。）

応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、水平 2 方向の地震力を想定した場合、2 方向の地震力が合成されるとすると、最大値が同時に発生する場合、最大で $\sqrt{2}$ 倍の大きさの入力となることが考えられるが、これらはそれぞれの応答軸方向に応答が分解され、強軸側の応答は十分に小さくなることから、実質的には弱軸方向に 1 方向を入力した評価で用いている応答レベルと同等となる。

さらに各方向における最大値の生起時刻の非同時性を考慮すると、さらにその影響は小さくなり、弱軸 1 方向入力による評価と大きく変わらない結果となる。

なお、11.2 項で述べたとおり、応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、設計手法として、地震力の入力を NS 方向・EW 方向を包絡した地震力（設計用床応答曲線など）を用いて保守的な評価を実施している場合も考えると、応答軸が明確な設備については、水平 2 方向の地震力を考慮した場合においても影響軽微であることが分かる。

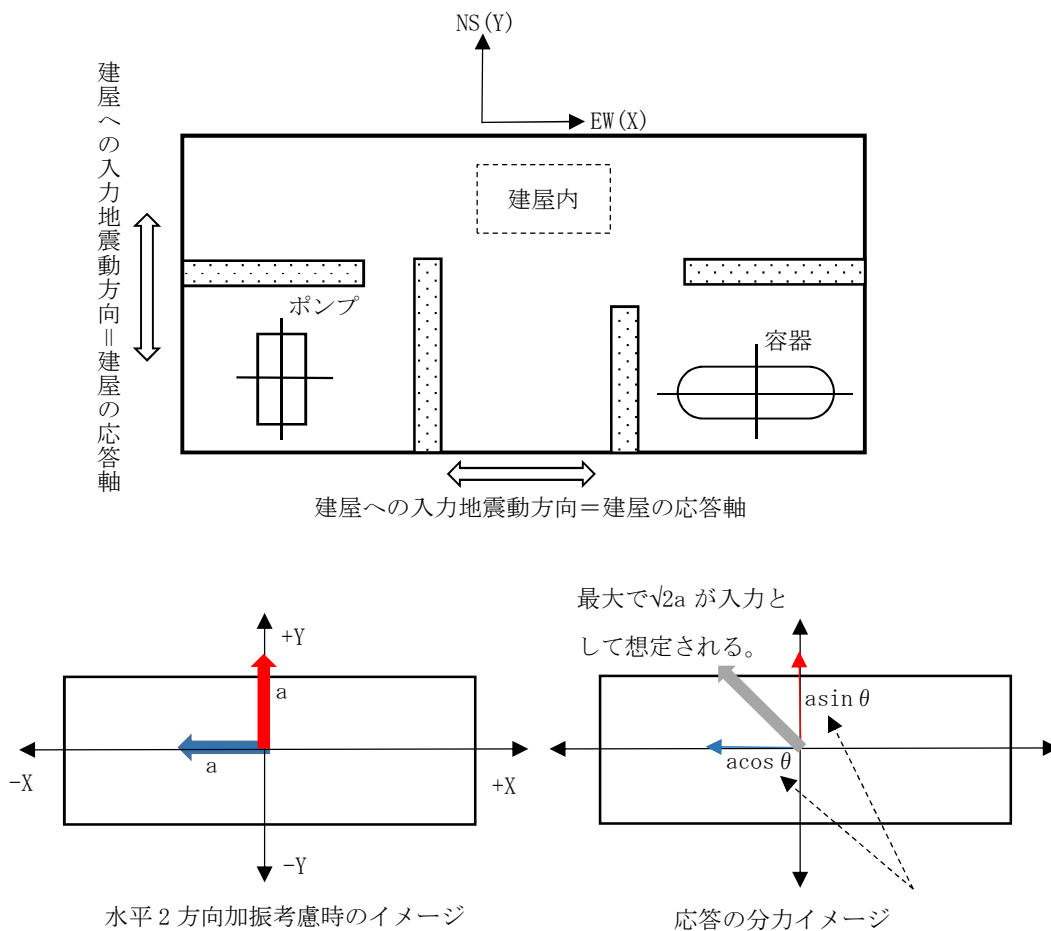
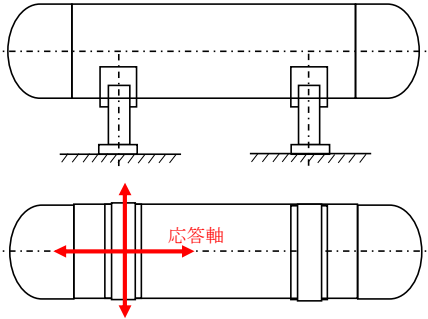
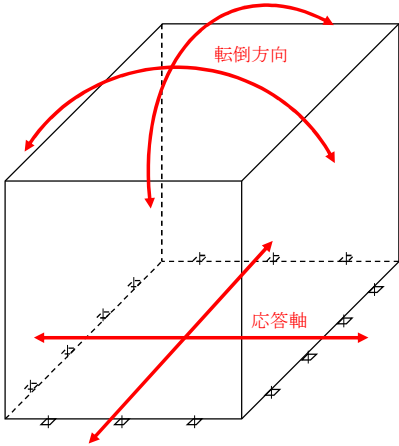


図 11-1 水平 2 方向加振考慮時の応答イメージ

● 本考え方が適用可能である設備（部位）例

本考え方は設備の応答軸の方向と入力方向の関係によるものであることから、部位・応力分類によらず、各設備の耐震評価における入力方法によって影響軽微か否かを判断できると考える。本考え方が適用可能である設備の例を表 11-1 に示す。

表 11-1 応答軸が明確な設備について

設備	構造図	説明	備考
横置き容器		<p>横置き円筒容器は矩形形状の支持脚により支持されており強軸と弱軸の関係が明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW 包絡FRS を用いている。</p>
空調ファン，空調ユニット，横形ポンプ，伝送器，制御盤・電気盤，非常用ディーゼル発電機（ガバナ），ポンベラック		<p>対象設備は矩形に配置されたボルトにて支持されている。対角方向の剛性が高く，水平地震力に対して斜め方向へ転倒することがなく，弱軸／強軸方向にしか応答せず，その方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW 包絡FRS を用いている。</p>
ガスタービン発電機		<p>ガスタービン発電機は，転倒防止装置により固定されており強軸と弱軸の関係が明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW 包絡FRS を用いている。</p>



## 12. 水平 2 方向同時加振の影響について（疲労評価）

疲労評価に用いる疲労累積係数は設計疲労線図に基づくため、一次＋二次＋ピーク応力強さの増分と、疲労累積係数の増分が比例しない。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合の疲労評価への影響を定量的に確認することを目的とし、以下の設備を対象に一次＋二次＋ピーク応力強さに水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した疲労評価を行った。

- ・水平 2 方向の地震力の重畳による影響軽微、かつ 1.1 以上の裕度を有する設備（別紙 4.1）
- ・水平 2 方向の地震力の重畳による影響あり（別紙 4.1）、かつ $\sqrt{2}$ 以上の裕度を有する設備（別紙 4.2）

表 12-1 に示す評価結果の通り、一次＋二次＋ピーク応力強さに水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合にも、設備が有する耐震性に影響がないことを確認した。

ここで、燃料集合体、クラス 1 容器、クラス MC 容器及びクラス 1 管の耐震評価に用いる疲労累積係数は、一次＋二次＋ピーク応力強さによる疲労累積係数と運転状態 I、II における疲労累積係数の和により算定している。そのため、運転状態 I、II における疲労累積係数が支配的な設備については、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合であっても、疲労累積係数が水平 1 方向及び鉛直方向地震力による疲労累積係数と同等となっている。

なお、一次＋二次＋ピーク応力強さについては、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮すると、最大 $\sqrt{2}$ 倍程度となる可能性がある。ここで、簡単に一次＋二次＋ピーク応力強さが 2 倍になると仮定すれば、疲労評価に用いる JSME に規定される設計疲労線図から求まる許容繰返し回数は、その特性から最小でも 1/10 倍程度になる（図 12-1 参照）。一方、設計で用いる許容繰返し回数については、設計用疲労線図が最適疲労線図に対して 20 倍の余裕があることから、設計疲労線図上で許容繰返し回数が 1/10 倍程度となったとしても、設計上の余裕の中に収まることがわかる（図 12-2 参照）。

また、疲労評価に用いる地震による等価繰返し回数についても実際の繰返し回数に対して余裕をもって設計上設定された回数である。

以上より、別紙 4.1 及び別紙 4.2 では、疲労評価（一次＋二次＋ピーク応力強さ）も他の応力分類と同様の整理で耐震性への影響を評価している。

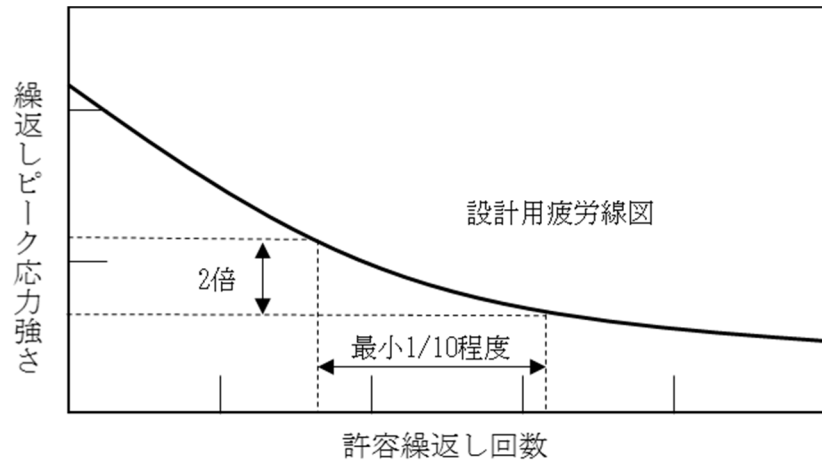


図 12-1 応力 2 倍に対する設計用疲労線図における許容繰返し回数のイメージ図

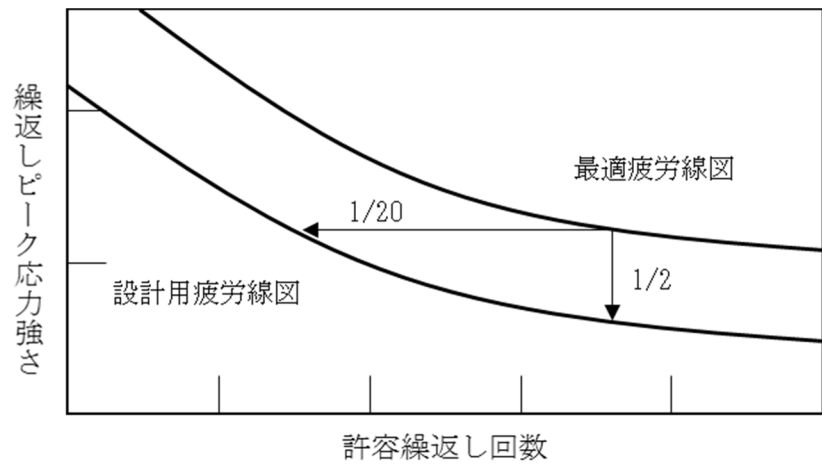


図 12-2 最適疲労線図と設計用疲労線図のイメージ図

表 12-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した一次+二次+ピーク応力強さの評価結果(1/3)

設備名称	評価部位	疲労累積係数※		水平 2 方向の考慮方法等
		水平 1 方向	水平 2 方向	
燃料集合体	燃料被覆管	0.004	0.007	NS・EW 方向の最大応答値（加速度，変位）をベクトル和した入力条件を適用。
原子炉圧力容器スカート	スカート	0.018	0.043	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。
胴板	胴板	0.007	0.011	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。
	スカート付根部	0.482	0.487	
下部鏡板	球殻部	0.007	0.007	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。
	球殻部と円錐部の接続部	0.002	0.002	
	ナックル部	0.008	0.008	
	ナックル部と円筒胴部の接続部	0.027	0.027	
制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ	0.051	0.054	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。
	ハウジング	0.013	0.013	
	下部鏡板リガメント	0.027	0.027	
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)	ケーシング側付根 R 部	0.178	0.692	水平 2 方向を考慮した荷重による簡易弾塑性解析で算定した繰返しピーク応力強さを適用。
	RIP ノズル溶接部	0.002	0.002	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。
	スタブと下部鏡板の接続部	0.084	0.087	
主蒸気ノズル (N3)	ノズルセーフエンド	0.041	0.041	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズルエンド	0.023	0.023	

※：燃料集合体，クラス 1 容器，クラス MC 容器及びクラス 1 管の疲労累積係数は，地震動のみによる疲労累積係数と運転状態 I，II における疲労累積係数の和。

表 12-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した一次+二次+ピーク応力強さの評価結果(2/3)

設備名称	評価部位	疲労累積係数※		水平 2 方向の考慮方法等
		水平 1 方向	水平 2 方向	
給水ノズル(N4)	ノズルセーフエンド	0.060	0.060	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズルエンド	0.004	0.004	
	サーマルスリーブ	0.096	0.096	
低圧注水ノズル(N6)	ノズルセーフエンド	0.416	0.416	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズルエンド	0.008	0.008	
	サーマルスリーブ	0.052	0.052	
上蓋スプレイ・ベントノズル(N7)	フランジ	0.047	0.047	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズルエンド	0.035	0.035	
原子炉停止時冷却材出口ノズル(N8)	ノズルセーフエンド	0.018	0.018	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズルエンド	0.022	0.022	
原子炉冷却材再循環ポンプ 差圧検出ノズル(N9)	肉盛溶接部	0.102	0.102	水平 2 方向を考慮した荷重による繰返しピーク応力強さを適用。
	ノズル	0.031	0.038	
原子炉停止時冷却材出口ノズル(N10)	ノズルセーフエンド	0.046	0.046	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズルエンド	0.032	0.032	
炉心支持板差圧検出ノズル(N11)	肉盛溶接部	0.102	0.102	水平 2 方向を考慮した荷重による繰返しピーク応力強さを適用。
	ノズル	0.031	0.038	
計装ノズル(N12)	ノズルセーフエンド	0.001	0.001	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズル	0.001	0.001	

※：燃料集合体，クラス 1 容器，クラス MC 容器及びクラス 1 管の疲労累積係数は，地震動のみによる疲労累積係数と運転状態 I，II における疲労累積係数の和。

表 12-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した一次+二次+ピーク応力強さの評価結果(3/3)

設備名称	評価部位	疲労累積係数※		水平 2 方向の考慮方法等
		水平 1 方向	水平 2 方向	
計装ノズル(N13)	ノズルセーフエンド	0.001	0.001	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズル	0.001	0.001	
計装ノズル(N14)	ノズルセーフエンド	0.002	0.002	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズル	0.009	0.009	
ドレンノズル(N15)	肉盛溶接部	0.044	0.044	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズル	0.008	0.008	
高圧炉心注水ノズル(N16)	ノズルセーフエンド	0.022	0.022	水平 1 方向評価に適用する荷重が水平 2 方向を考慮した荷重を包絡することを確認。
	ノズルエンド	0.002	0.002	
	ノズルセーフエンド (サーマルスリーブ付根部)	0.040	0.040	
原子炉冷却材再循環ポンプ モータケーシング	ケーシング	0.308	0.308	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー	0.0002	0.0002	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。
	補助カバー	0.0002	0.0002	
制御棒駆動機構	スプールピース最小断面	0.0000	0.0000	水平 1 方向評価の繰返しピーク応力強さを $\sqrt{2}$ 倍した繰返しピーク応力強さを適用。

※：燃料集合体，クラス 1 容器，クラス MC 容器及びクラス 1 管の疲労累積係数は，地震動のみによる疲労累積係数と運転状態 I，II における疲労累積係数の和。

## 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価における代表性について

## 1. はじめに

機器・配管系における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価において、水平 2 方向の影響を考慮した場合に発生値がどの程度増分するかを検討している。その際には、耐震重要施設、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）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備について、機種毎に裕度の小さい部位を代表して影響評価を実施している。

## 2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価における代表性について

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価にあたっては、機種毎に裕度の小さい部位を代表として選定しているが、その代表性について説明する。

各機種のうち一部の機種については、複数の応力分類や評価部位を有していたりするものがあり、それらについては評価結果に対する地震力の寄与度がそれぞれ変わる場合がある。従って、本影響評価においては、これらの設備について、耐震裕度が小さい部位を代表とした上で、地震以外の荷重成分を地震荷重とみなし、水平 1 方向及び鉛直方向の組合せによる評価値を水平各方向（それぞれ鉛直方向も含む）で用いるなどの簡易かつ保守的な方法（図 1 参照）を適用することを基本とする。

この方法を適用する機種は、耐震裕度の小さい部位や応力分類で代表することができる。

また、この簡易かつ保守的な方法を適用しない機種は、評価結果に対する地震力の寄与度に配慮した、影響評価を個別に行う場合もある。

本影響評価の代表部位一覧を別紙 4.1 表 1 に示す。

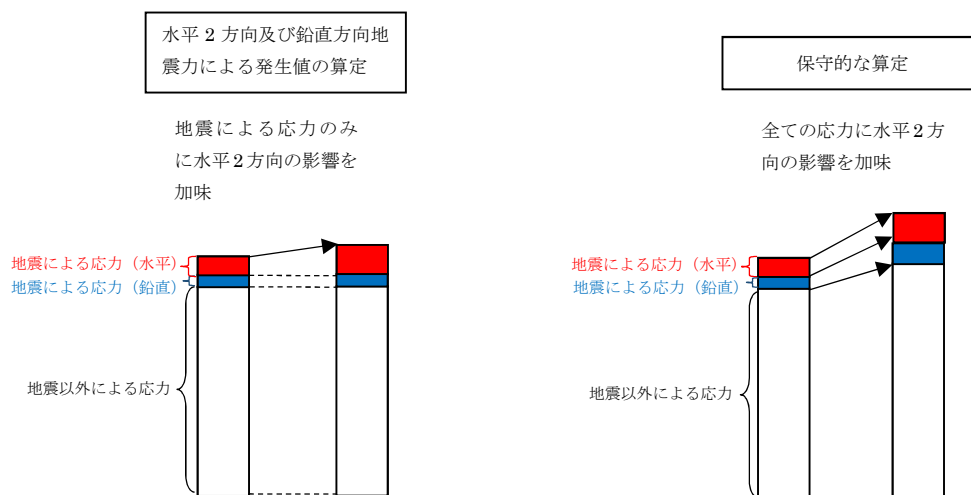


図 1 地震以外の荷重成分を地震荷重とみなす場合の保守的な算定イメージ

## 水平 2 方向地震動と鉛直方向地震動の組合せ方法の検討について

## 1. はじめに

本資料は水平 2 方向の地震動が作用する場合の荷重の組合せ方法についてまとめたものである。本内容は電共研「新規制基準対応を踏まえた機器・配管系評価法に関する研究 (Phase2)」(平成 31 年 3 月)にて検討されており、本成果により、水平 2 方向の地震動が作用する場合に最大値の発生時間の非同時性を考慮した場合の手法として SRSS 法を用いることは妥当であることを示すものである。

## 2. 電共研における検討内容

水平 2 方向の地震動が作用する場合の機器の応答は、2 次元挙動を模擬できるモデルに水平 2 方向の地震動を同時に時々刻々入力して推定することが望ましい。一方、既往の耐震設計においては、1 質点系の地震応答解析結果を用いたスペクトルモーダル解析が主流であり、各方向の地震動入力に対し、時間に依存しない機器の最大応答のみを取り扱っている。

しかし、水平 2 方向に対しても同様に、各 1 方向のスペクトルモーダル解析で得られる応答の絶対値和を適用すると、最大値の発生時間の非同時性は考慮されないことから、過渡に保守的な評価となる。このため、新規制基準対応では、より合理的な評価手法として Regulatory Guide 1.92 を引用して水平 2 方向地震動の荷重を SRSS 法により組合せている。

本研究では、最大値の発生時間の非同時性を考慮した手法として SRSS 法を用いることの妥当性について検討している。

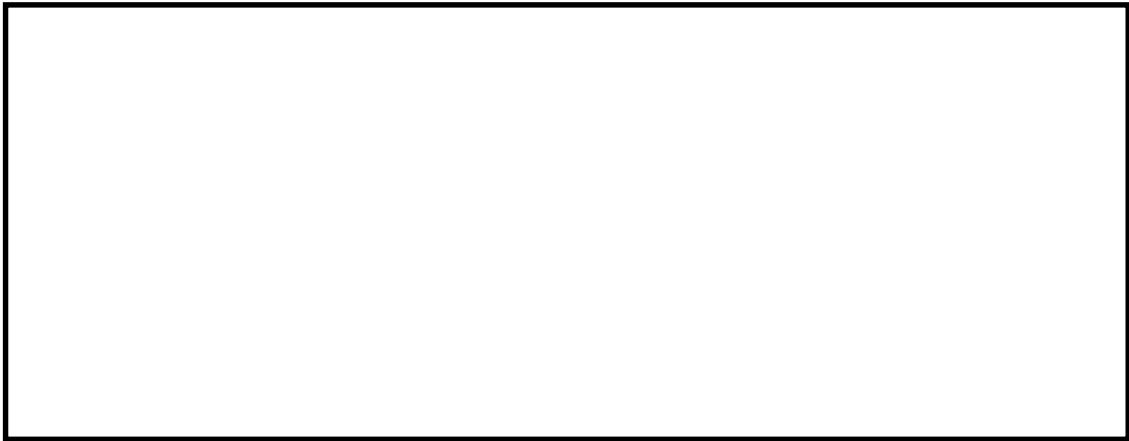
## 2.1 検討条件

## 2.1.1 入力波の選定

入力波は最大加速度が大きい断層波として「代表プラント断層モデル波」、配管の主要モードが卓越するような周期範囲に卓越ピークを有する観測波として「2011 年 4 月 7 日 宮城県沖の地震 (以下 4.07 地震と称す)」を選定した。入力地震波の波形図と加速度応答スペクトル図を図 1～図 4 に示す。入力波は、実機配管の設計に用いている荷重条件に近いものとして、建屋応答 (R/B 地下階) を適用した。



(a) NS 方向



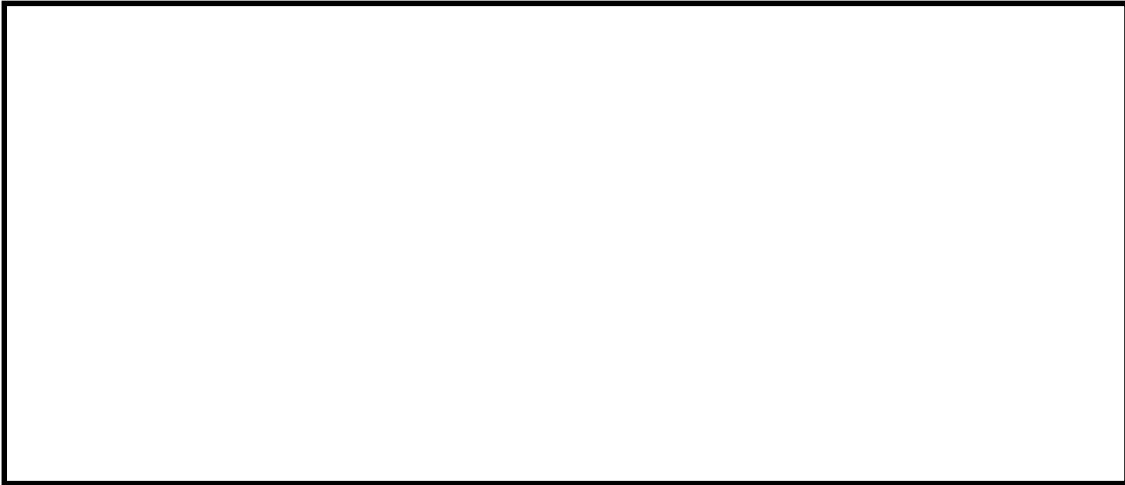
(b) EW 方向



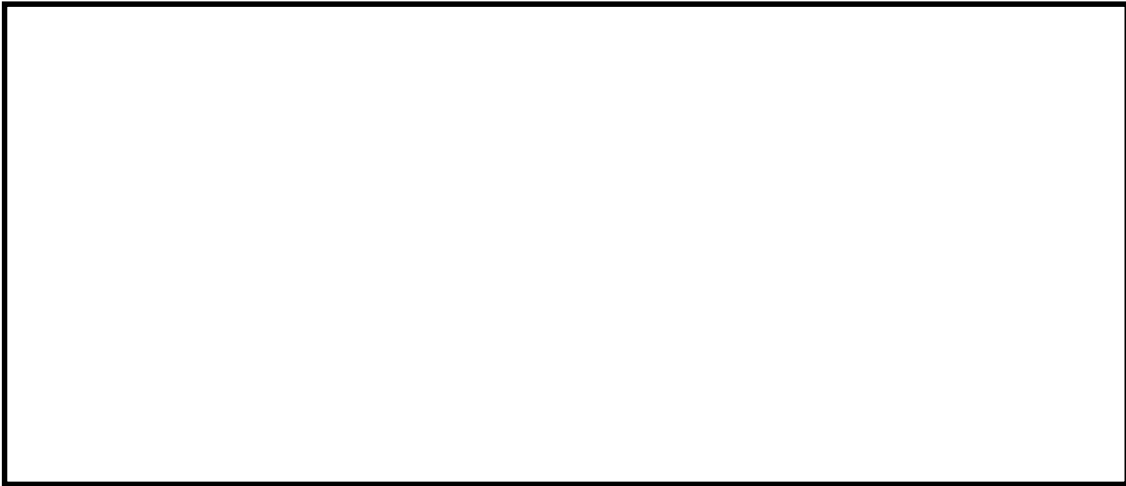
(c) UD 方向

図1 代表プラント 断層モデル波：波形図





(a) NS 方向



(b) EW 方向

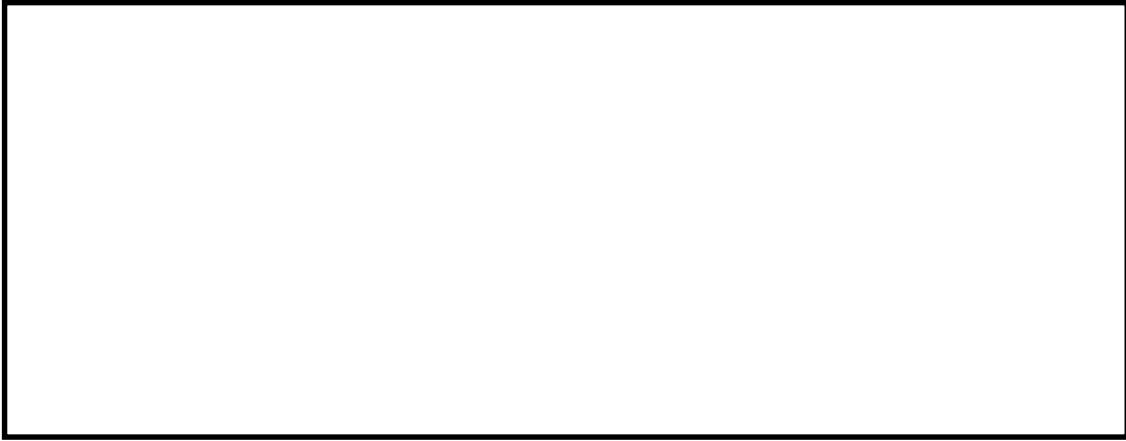


(c) UD 方向

図2 代表プラント 断層モデル波：加速度応答スペクトル図



(a) NS 方向

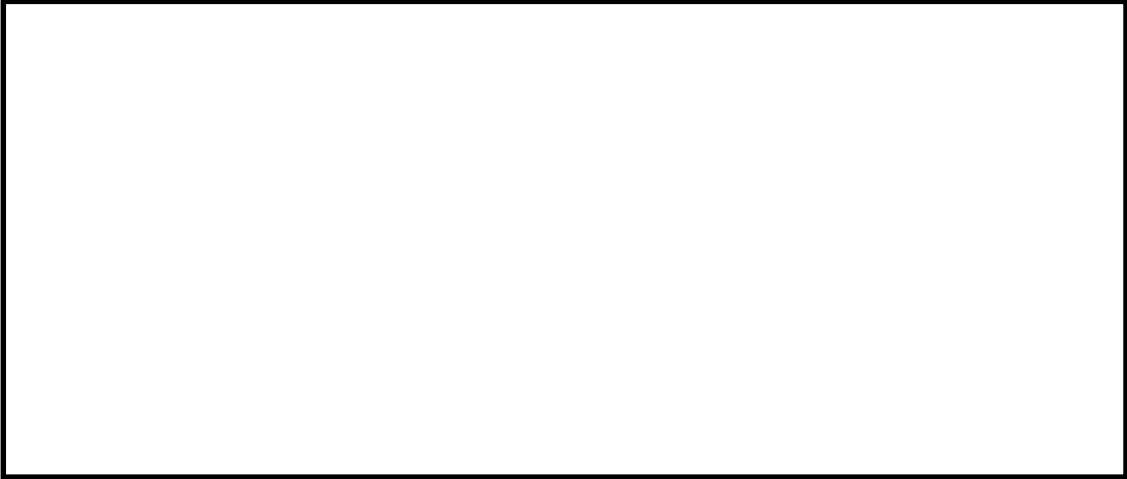


(b) EW 方向



(c) UD 方向

図 3 4.07 地震：波形図



(a) NS 方向



(b) EW 方向



(c) UD 方向

図4 4.07 地震：加速度応答スペクトル図

## 2.1.2 解析ケース

本検討で実施する解析ケース一覧を表1に示す。

表1 解析ケース一覧

配管モデル	入力地震動		解析手法	荷重組合せ※
実機配管 モデル	断層波	代表プラント 断層モデル波	時刻歴応答解析法	代数和法
			スペクトル モーダル解析	SRSS法
				絶対値和法
	観測波	4.07地震	時刻歴応答解析法	代数和法
			スペクトル モーダル解析	SRSS法
				絶対値和法

※ 代数和法：水平2方向地震動による荷重と鉛直方向地震動による荷重を計算時刻ステップ毎に代数和する方法。

SRSS法：水平2方向地震動による各方向最大荷重の二乗と鉛直方向地震動による最大荷重の二乗を加算し、その値の平方根を求める方法。

絶対値和法：水平2方向地震動による各方向最大荷重と鉛直方向地震動による最大荷重を絶対値和にて加算する方法。

### 2.1.3 対象

代表配管モデルは、3次元的な構造を持ち、主要な配管要素である直管、エルボ、ティ、サポート及び弁を含む配管系の中から、1モデル(600A/300A, h=2.0%)を選定した(図5)。

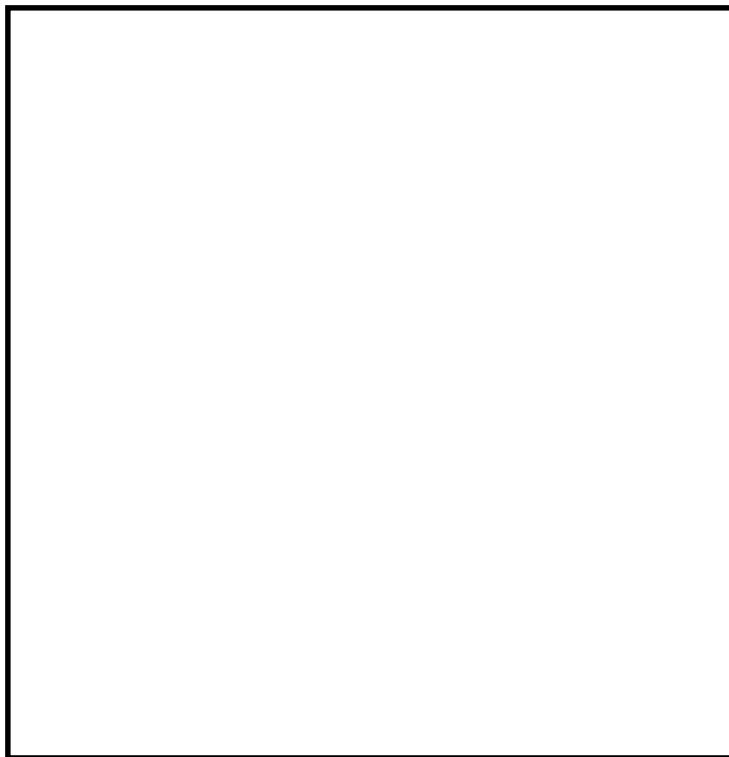


図5 実機配管モデル図(鳥瞰図)

## 2.2 検討結果

### 2.2.1 実機配管モデルの固有値解析結果

前項で選定した代表モデルに対して、固有値解析を実施した。固有値解析結果を表2に、主要モード図を図6～図9に示す。

表2 固有値解析結果

モード	固有周期 T (s)	刺激係数		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.079			
2 次	0.069			
3 次	0.057			
4 次	0.051			

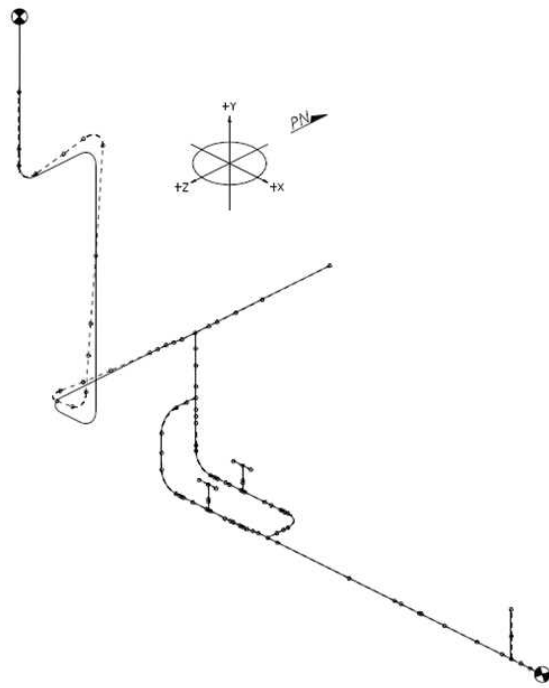


図 6 モード図 : 1 次モード :  $T=0.079s$

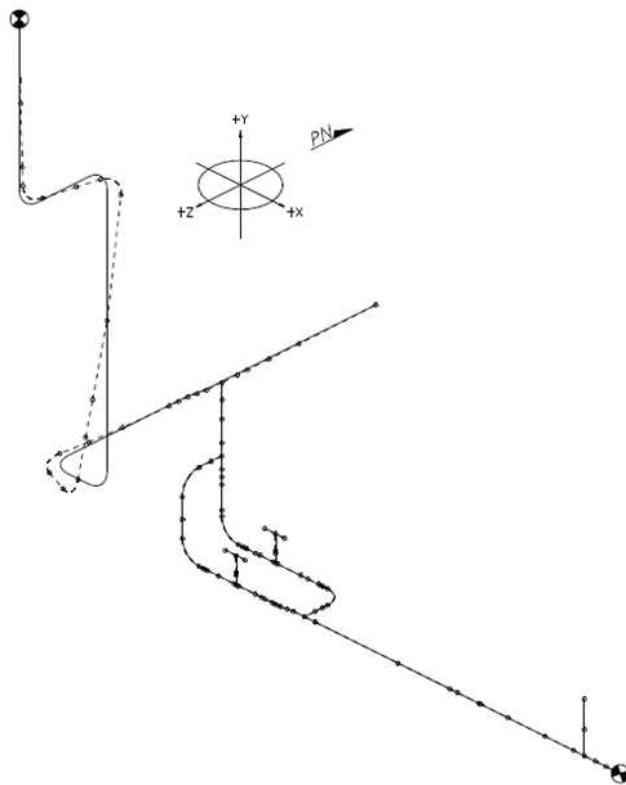


図 7 モード図 : 2 次モード :  $T=0.069s$

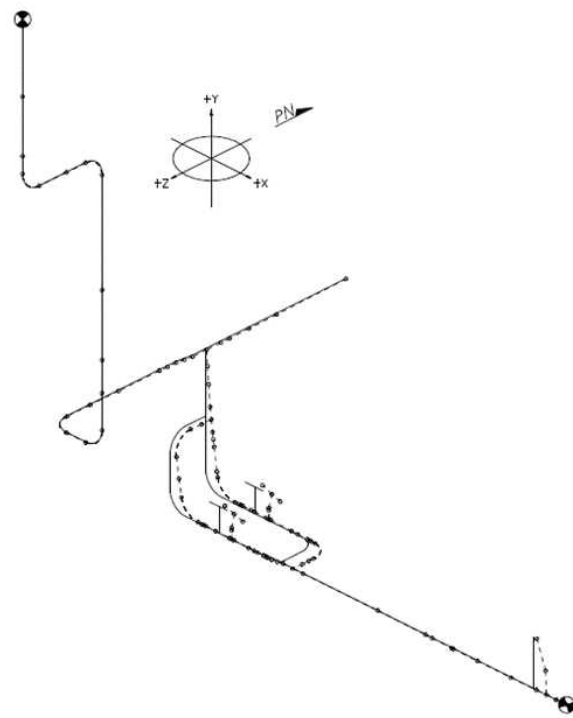


図 8 モード図 : 3 次モード :  $T=0.057s$

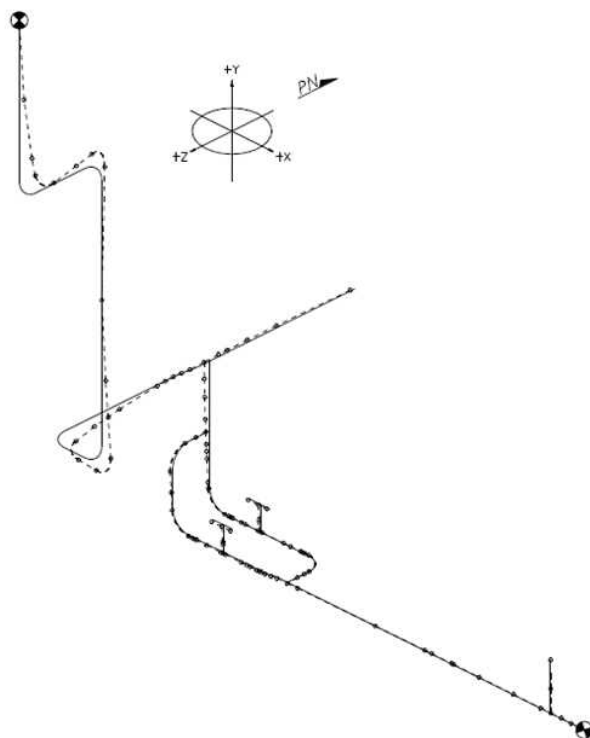


図 9 モード図 : 4 次モード :  $T=0.051s$

### 2.2.2 応答解析結果及び応力算出結果

断層モデル波を入力した各評価点の応答解析結果を表 3 に，応力算出結果を図 10 に示す。4.07 地震を入力した各評価点の応答解析結果を表 4 に，応力算出結果を図 11 に示す。表 3, 4 に示す応答解析結果においては，実機配管モデルを構成する標準的な部材であるエルボ（質点番号：8, 13），ティ（質点番号：3, 52）とアンカ（質点番号：19, 98）について，代数和法のケースを基準とした組合せ手法毎の地震荷重の比率を算定した。



表3 応答解析結果：断層モデル波（代数和法で正規化）

質点番号	組合せ	地震荷重比	部位
3	SRSS 法	1.25	ティ
	絶対値和法	1.75	
52	SRSS 法	1.20	ティ
	絶対値和法	1.80	
8	SRSS 法	1.10	エルボ
	絶対値和法	1.70	
13	SRSS 法	1.10	エルボ
	絶対値和法	1.40	
19	SRSS 法	1.00	アンカ
	絶対値和法	1.50	
98	SRSS 法	1.00	アンカ
	絶対値和法	1.50	

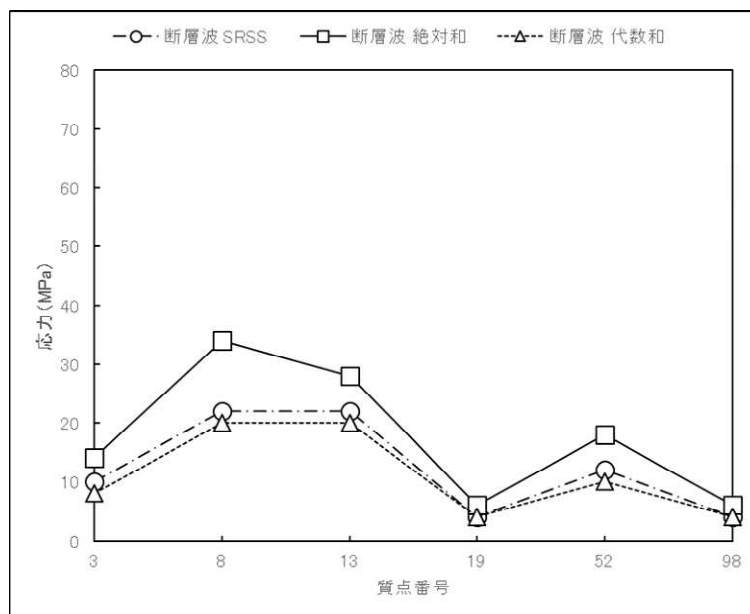


図10 応力算出結果：断層モデル波

表 4 応答解析結果：4.07 地震（代数和法で正規化）

質点番号	組合せ	地震荷重比	部位
3	SRSS 法	1.00	ティ
	絶対値和法	1.56	
52	SRSS 法	1.08	ティ
	絶対値和法	1.54	
8	SRSS 法	1.00	エルボ
	絶対値和法	1.76	
13	SRSS 法	1.05	エルボ
	絶対値和法	1.43	
19	SRSS 法	1.10	アンカ
	絶対値和法	1.75	
98	SRSS 法	1.25	アンカ
	絶対値和法	1.50	

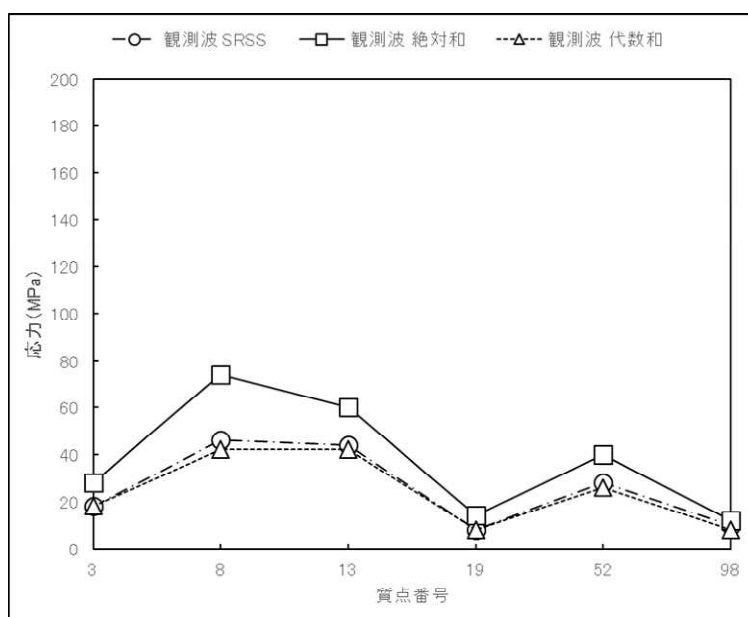


図 11 応力算出結果：観測波（4.07 地震）

### 2.2.3 実機配管モデルに対する SRSS 法の適用について

選定した実機配管モデルに対して、代表的な断層波及び観測波を用いて時刻歴応答解析法により算定した計算時刻ステップ毎の地震荷重を代数和法にて組み合わせた結果並びにスペクトルモーダル解析法により算定した最大地震荷重を SRSS 法及び絶対値和法にて組み合わせた結果の比較検討を実施した。

断層波及び観測波ともに、組合せ法の違いによる各評価点の応答解析結果の差異の傾向は同様の傾向を示し、SRSS 法は代数和法の結果に対して 1.00～1.25 倍、絶対値和法は代数和法の結果に対して 1.40～1.80 倍となった。SRSS 法は、水平 2 方向地震動と鉛直方向地震動の同時入力による応答を精度よく模擬できている。

以上から、実機配管モデルに対して、スペクトルモーダル解析法により算定した水平 2 方向地震動と鉛直地震動による最大地震荷重の組合せ法として、SRSS 法を用いて差し支えないと判断した。

原子炉建屋 3次元 FEM モデルの応答解析結果に係る機器・配管系への影響について

## 1. はじめに

「別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の結果より、NS 方向の固有周期 0.2 秒付近において 3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示したことから、機器・配管系への影響検討を実施する。なお、影響検討は、本文の「3.2 機器・配管系」の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果を基に実施する。

## 2. 検討方針

「2.1 検討対象」について、評価用応答比（詳細は 2.3.1 項にて説明）と各検討対象の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価及び 3次元影響評価用応答（詳細は 2.3.1 項にて説明）を用いた詳細評価を行う。影響検討フローを図 1 に示す。

### 2.1 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

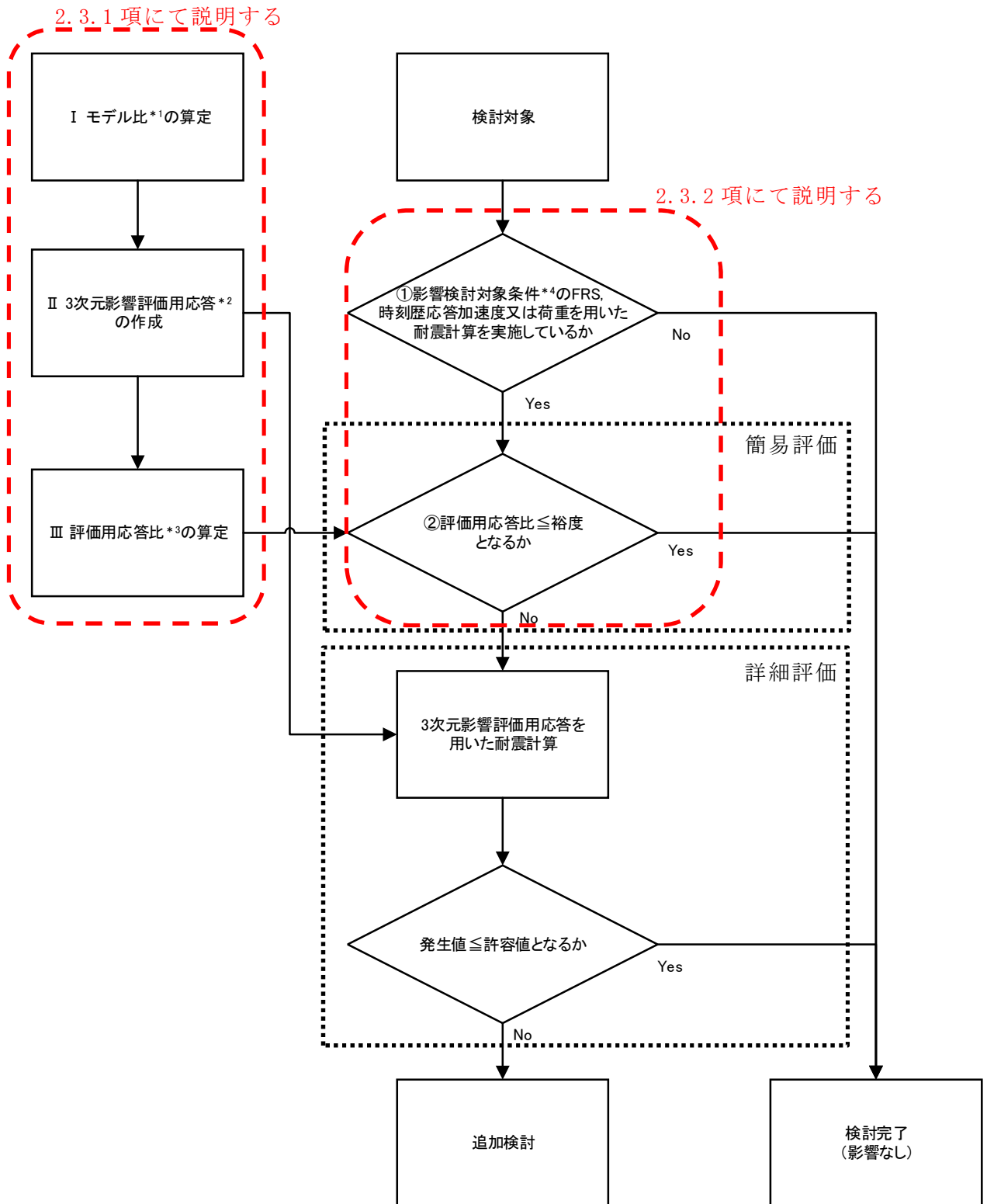
### 2.2 影響検討における耐震条件の考え方

機器・配管系の耐震計算に用いる耐震条件としては、設計用床応答曲線 I 及び設計用地震力 I（以下「設計用 I」という。）並びに設計用床応答曲線 II 及び設計用地震力 II（以下「設計用 II」という。）を設定している。なお、設計用床応答曲線 I 及び設計用床応答曲線 II は V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に、設計用地震力 I 及び設計用地震力 II は V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び V-2-3-1「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」に示される。

ここで、設計用 I 及び設計用 II は以下の通り作成したものである。

- ・設計用 I：建物・構築物の地震応答解析により得られた応答に材料物性の不確かさ等の影響を考慮して作成したもの
- ・設計用 II：設計用 I 以上となるように作成したもの

これを踏まえて本影響検討においては、設計用 I を用いた耐震計算の裕度とは設計用 I を基に作成した評価用応答比を、設計用 II を用いた耐震計算の裕度とは設計用 II を基に作成した評価用応答比をそれぞれ比較して簡易評価を実施する。



注記 \* 1: モデル比 = Sd に対する 3次元 FEM モデルの応答 / Sd に対する 質点系モデルの応答  
 \* 2: 3次元影響評価用応答 = 質点系モデル基本ケースの Ss に対する応答 × モデル比  
 \* 3: 評価用応答比 = 3次元影響評価用応答 / 耐震計算で使用している Ss に対する応答  
 \* 4: 3次元 FEM モデルの応答が 質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示した条件

図 1 影響検討フロー

## 2.3 検討内容

### 2.3.1 3次元 FEM モデルによる影響を評価するための応答の作成

3次元 FEM モデルでは、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析を行っていることから、質点系モデルの基準地震動  $S_s$  に対する応答を補正し、3次元 FEM モデルによる影響を評価できる応答を作成する。

I 弾性設計用地震動  $S_d$  に対する 3次元 FEM モデルの応答／弾性設計用地震動  $S_d$  に対する質点系モデルの応答の比（「モデル比」という。）を、全周期において算定する。モデル比の例を図 2 に示す。モデル比は、固有周期  $0.168s$  を例とすると、 $(b/a)$  となる。なお、建屋 3次元 FEM モデルの応答による機器・配管系の耐震評価結果へ与える影響を検討するものであるため、 $1.0$  を下回るモデル比についてもそのまま考慮する。

II 質点系モデル基本ケースの基準地震動  $S_s$  に対する固有周期毎の応答に、モデル比を乗算した応答（「3次元影響評価用応答」という。）を算定する。3次元影響評価用応答の例を図 3 に示す。3次元影響評価用応答は、固有周期  $0.168s$  を例とすると、 $0.168s$  の質点系モデル基本ケースの基準地震動  $S_s$  に対する応答に  $0.168s$  のモデル比を乗算した値となる。

III 3次元影響評価用応答／耐震計算で使用している基準地震動  $S_s$  に対する応答の比（「評価用応答比」という。）を算定する。評価用応答比の算定例を図 4 に示す。評価用応答比は、仮に固有周期が  $0.168s$  の機器・配管系とすると、設計用床応答曲線 I による耐震計算を実施している場合  $(d/c_1)$  となり、設計用床応答曲線 II による耐震計算を実施している場合  $(d/c_2)$  となる。なお、配管貫通部のように配管反力等を用いて評価している機器・配管系は、反力等を算定している配管の評価用応答比を考慮して評価する。

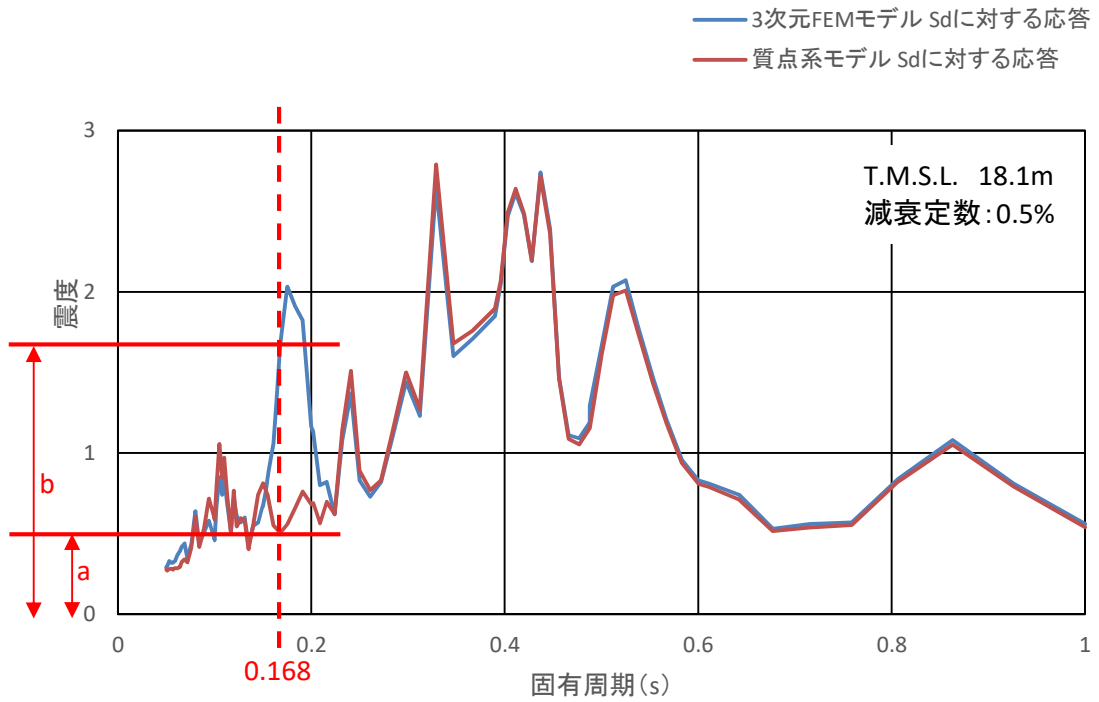


図2 モデル比の算定例

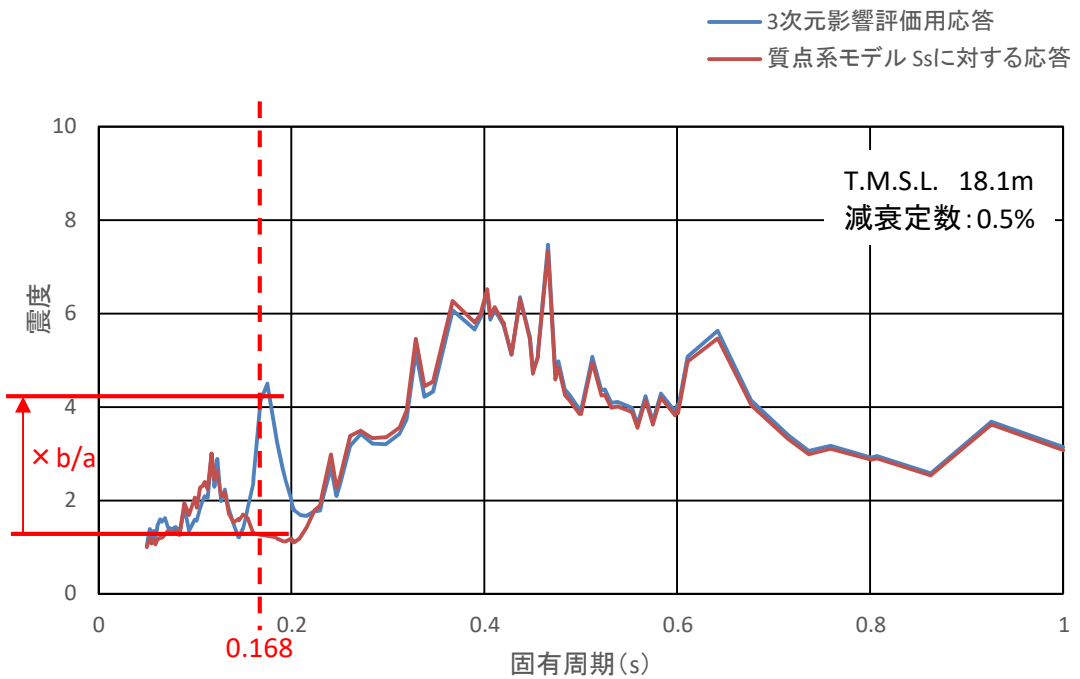
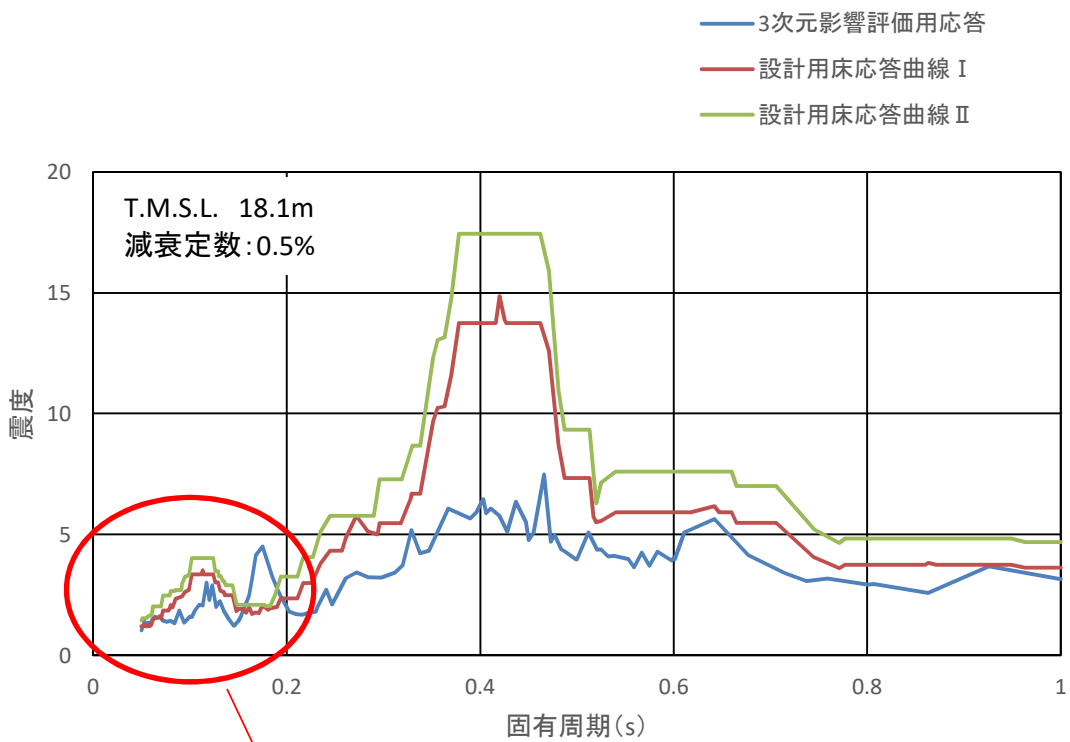
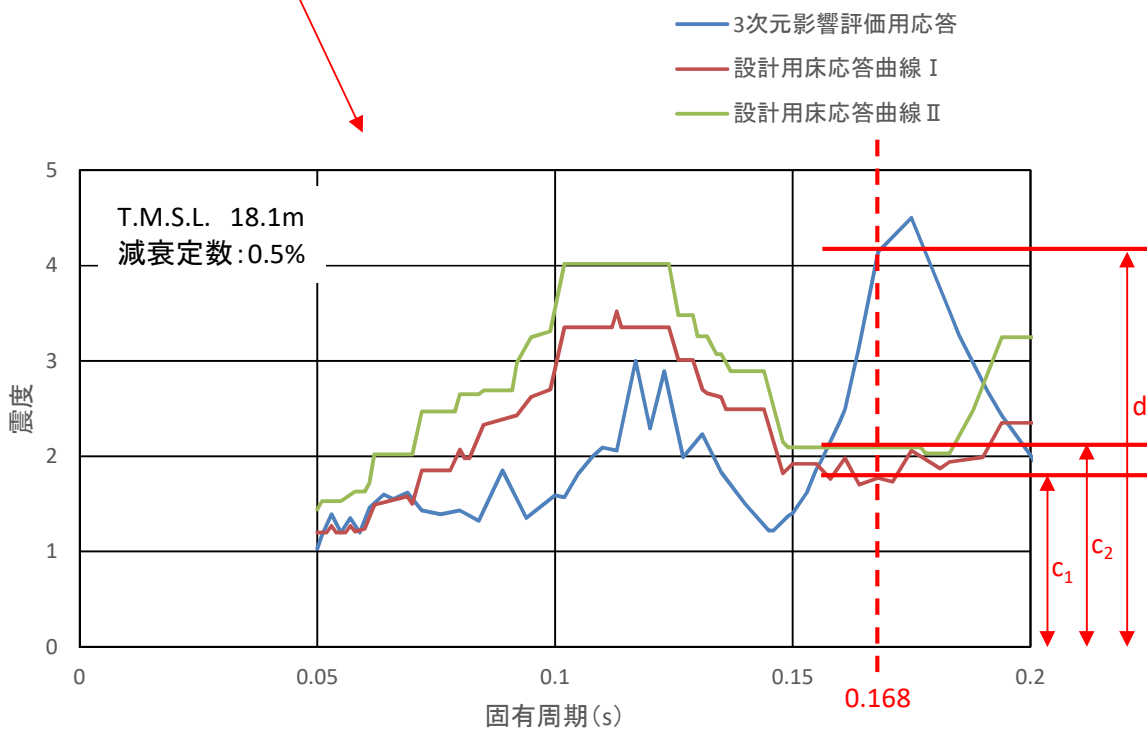


図3 3次元影響評価用応答の算定例



(全体図 (固有周期 0~1.0 s))



(拡大図 (固有周期 0~0.2 s))

図4 評価用応答比の算定例



### 2.3.2 3次元 FEM モデルによる影響の評価

① 3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示した条件（以下「影響検討対象条件」という。）の床応答曲線または時刻歴応答加速度を用いて耐震計算を実施している機器・配管系を抽出する。影響検討対象条件は、下記(a)～(d)の観点から、表1の通りとする。

- (a) 床応答曲線を用いて評価する機器・配管系については、「別紙3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の結果より、NS方向の固有周期0.2秒付近において3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示したことから、NS方向の影響を確認する。
- (b) 最大応答加速度を用いて評価する設備については、「別紙3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.3 建屋耐震性評価への影響検討」より、3次元 FEM モデルと質点系モデルの最大応答加速度に大きな差がないことから、本影響検討の対象外とする。
- (c) 「別紙3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の表3-15における3次元 FEM モデルのNS方向応答と弾性設計用地震動S<sub>d</sub>の設計用床応答曲線Iとの比較を図5に示す。18.1mと12.3m以外の標高については、3次元 FEM モデルの応答が設計用床応答曲線Iに概ね包絡されていることから、18.1mと12.3mの標高を影響検討の対象とする。
- (d) 原子炉圧力容器等の原子炉建屋と連成させた質点系モデル（以下「連成モデル」という。）により算定される耐震性評価条件を用いる設備については、原子炉建屋と結合している T.M.S.L. 23.5m, 12.3m 及び-8.2m の地震動が伝わる（図6）。図5より、原子炉建屋基礎版位置である T.M.S.L. -8.2m と燃料取替用ベローズ位置である T.M.S.L. 23.5m の標高については、3次元 FEM モデルの応答が設計用床応答曲線Iに概ね包絡されていること及び原子炉建屋と連成させる原子炉圧力容器等は3次元 FEM モデルではモデル化されておらず、3次元影響評価用応答を直接作成できないことから、連成モデルにより算定される耐震評価条件を用いる設備については、T.M.S.L. 12.3m のモデル比を用いて検討する。なお、連成モデルにモデル化されている設備は連成モデルの固有周期を考慮する。

② 評価用応答比が耐震計算の裕度を上回る機器・配管系を抽出する。なお、評価用応答比は0.05sを超える全ての固有周期を考慮する。具体的な考慮方法を図7及び図8に示す。

抽出された機器・配管系に対して詳細検討を実施する。

表 1 影響検討対象条件

地震動	方向	地震力	標高等
Sd-2	NS	床応答曲線, 時刻歴応答加速度, 荷重	18.1m
			12.3m
			連成モデルにモデル化*1 されている全質点

注記\*1 : T. M. S. L. 12.3m のモデル比を用いて検討する

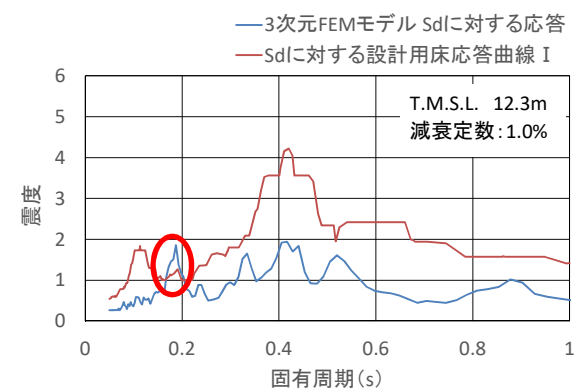
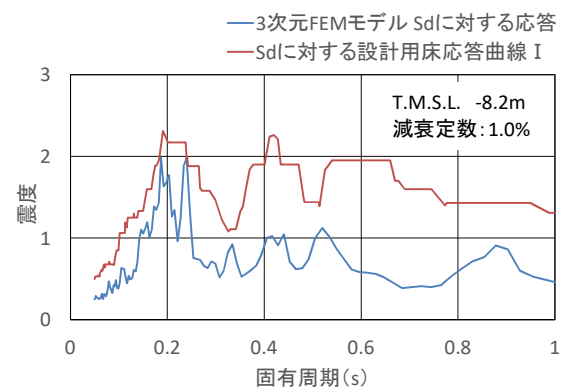
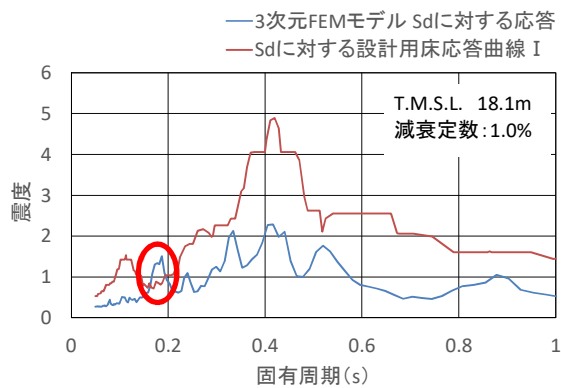
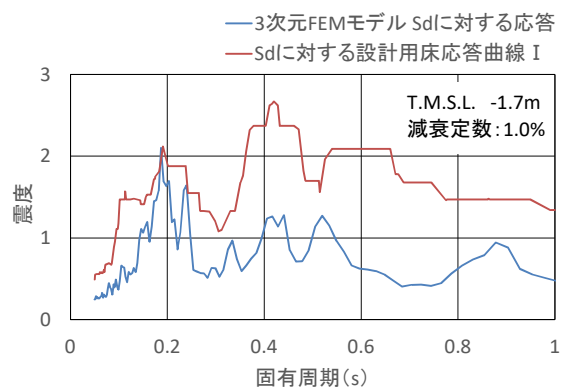
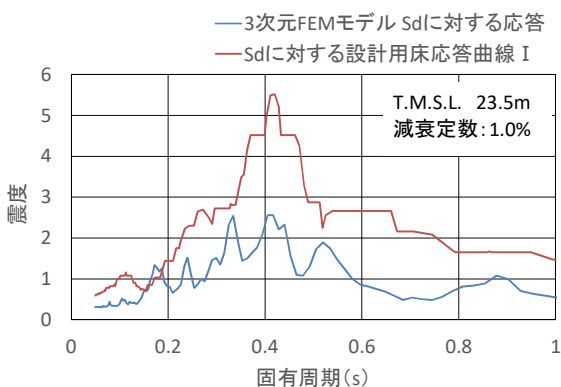
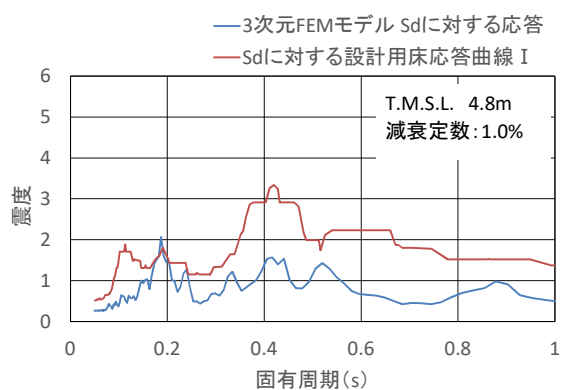
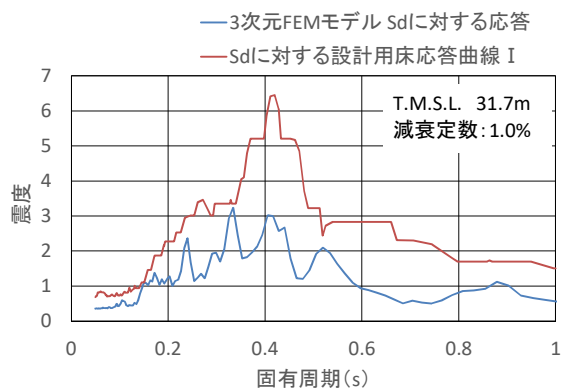


図5 3次元FEMモデルの応答と設計用床応答曲線Iとの比較



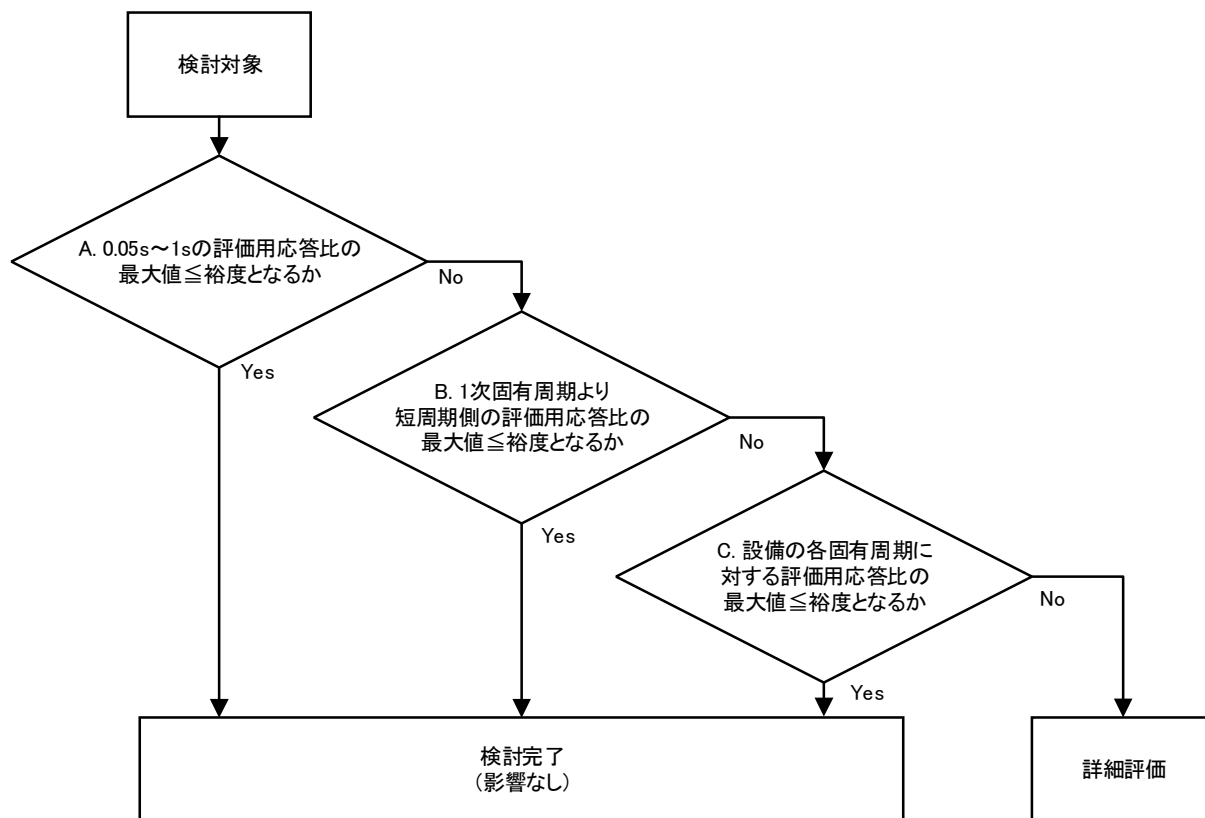
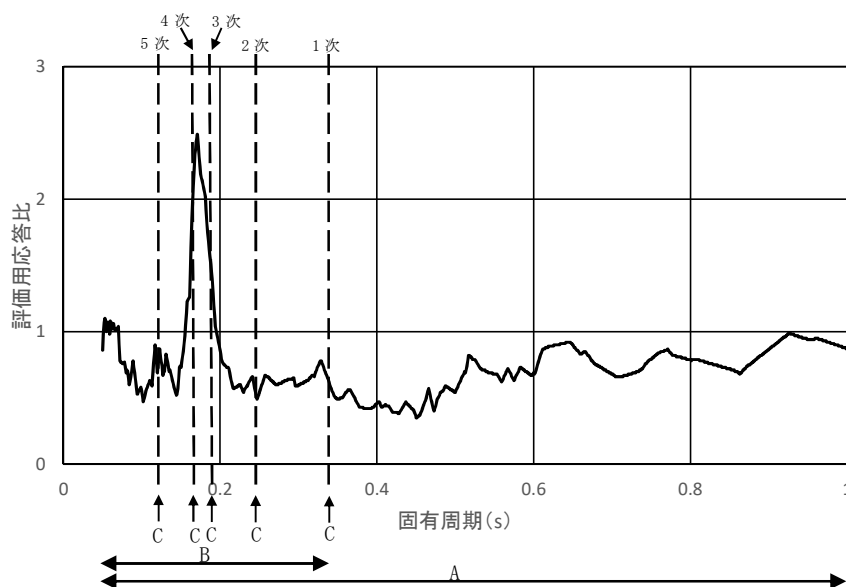


図7 機器・配管系の固有周期における評価用応答比の考慮方法



注：A, B, C は図7のフローと対応

図8 評価用応答比の算定例

### 3. 評価結果

#### 3.1 簡易評価結果

簡易評価の結果，詳細評価が必要となった機器・配管系について表2に示す。

表2 簡易評価結果でNGとなった設備

No	設備名称	耐震計算*1 条件の標高 (m)	減衰 (%)	固有周期*2 (s)	耐震 計算 条件	評価用 応答比	耐震*3 裕度
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	31.7, 23.5, 18.1	1.0		設計用 I	1.10	1.01
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-4)	38.2, 31.7, 23.5, 18.1, 12.3	2.0	0.181	設計用 I	2.13	1.81
3	主蒸気系配管 (MS-PD-28)	18.44	2.0	0.228	設計用 II	1.14	1.11
4	配管貫通部 (X-11)	18.1	2.0	0.350	設計用 I	1.73	1.22
5	配管貫通部 (X-30B, C)	23.5, 18.1, 12.3	2.0	0.164	設計用 I	1.35	1.03
6	配管貫通部 (X-63)	12.3	2.0	0.393	設計用 I	1.47	1.02
7	配管貫通部 (X-64)	12.3	2.0	0.307	設計用 I	1.36	1.02
8	配管貫通部 (X-200B, C)	12.3	2.0	0.186	設計用 I	1.26	1.12
9	耐圧強化ベント系配管 (HCVS-R-1)	31.7, 23.5, 18.1, 12.3	2.0	0.165	設計用 I	2.06	1.22
10	可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-R-1)	18.1	2.0	0.169	設計用 II	2.06	1.51
11	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-3)	23.5, 18.1	2.0	0.171	設計用 I	2.77	2.03
12	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-5)	31.7, 23.5, 18.1	2.0	0.164	設計用 I	1.90	1.40
13	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-6)	31.7, 23.5, 18.1	2.0	0.175	設計用 I	2.58	1.56

注記\*1：No.3以外は原子炉建屋，No.3は原子炉遮蔽壁の標高を記載

\*2：1次固有周期を代表して記載

\*3：耐震裕度は各設備の耐震計算書の全評価結果のうち，最小値を記載

### 3.2 詳細評価結果

詳細評価が必要となった機器・配管系について、NS 方向は 3 次元影響評価用応答を用いて、EW 及び UD 方向は、影響検討であることから、Ss-1～8 の基本ケースを包絡した床応答曲線を用いて、耐震計算を実施した。評価に用いた地震力を表 3 に、評価結果を表 4 に示す。また、評価に用いた 3 次元影響評価用応答を図 9 に、Ss-1～8 の基本ケースを包絡した床応答曲線を図 10 及び図 11 に示す。なお、床応答曲線以外の圧力、温度等の条件は、耐震計算書と同一の条件である。

表 3 詳細評価に用いた地震力

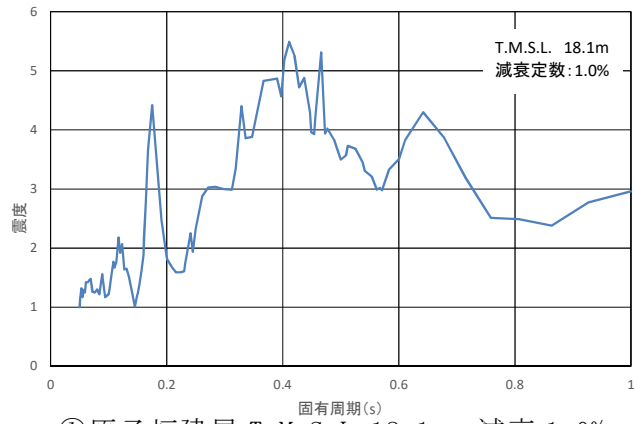
方向	地震動	解析ケース	拡幅	倍率
NS 方向	Ss-1～8	基本ケース	なし	モデル比
EW 方向 UD 方向	Ss-1～8	基本ケース	なし	1.0

表4 詳細評価結果

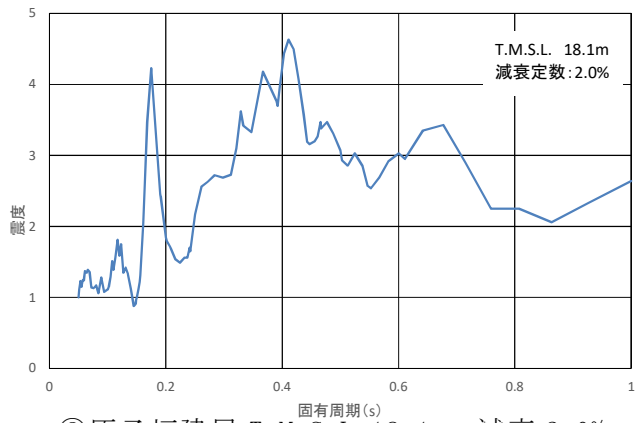
No	設備名称	適用*1 条件	評価部位等	応力 分類等	計算 応力等	許容 応力等
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	①	検出器架台	組合せ	145MPa	205MPa
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-4)	②, ③	—	一次＋二次応力	32MPa	410MPa
3	主蒸気系配管 (MS-PD-28)	④	—	一次＋二次応力	185MPa	300MPa
4	配管貫通部 (X-11)	②	端板	疲労評価	0.3419	1.0000
5	配管貫通部 (X-30B, C)	②, ③	スリーブ	一次＋二次応力	292MPa	393MPa
6	配管貫通部 (X-63)	③	スリーブ	一次＋二次応力	310MPa	393MPa
7	配管貫通部 (X-64)	③	スリーブ	一次＋二次応力	362MPa	393MPa
8	配管貫通部 (X-200B, C)	③	スリーブ	一次＋二次応力	254MPa	393MPa
9	耐圧強化ベント系配管 (HCVS-R-1)	②, ③	—	一次＋二次応力	273MPa	300MPa
10	可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-R-1)	②	—	一次＋二次応力	181MPa	422MPa
11	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-3)	②	—	一次＋二次応力	168MPa	342MPa
12	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-5)	②	—	疲労評価	0.1875	1.0000
13	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-6)	②	—	一次＋二次応力	284MPa	342MPa

注記\*1：図7～図9に示す番号と対応する

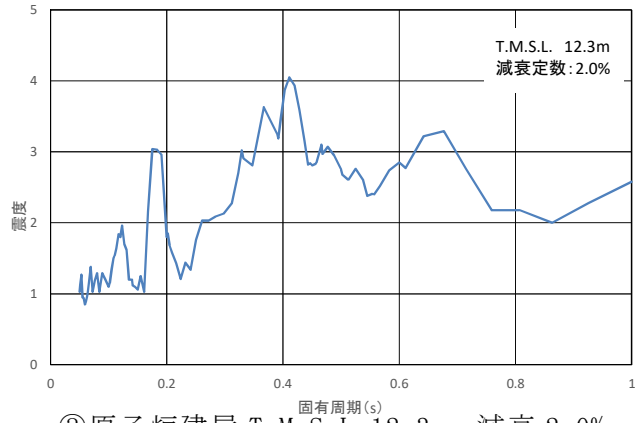




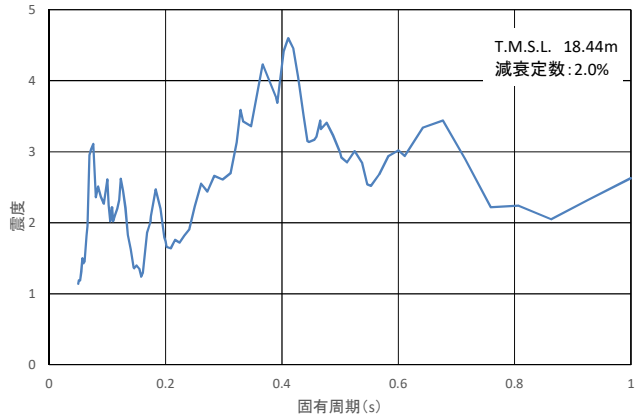
①原子炉建屋 T. M. S. L. 18. 1m 減衰 1. 0%



②原子炉建屋 T. M. S. L. 18. 1m 減衰 2. 0%

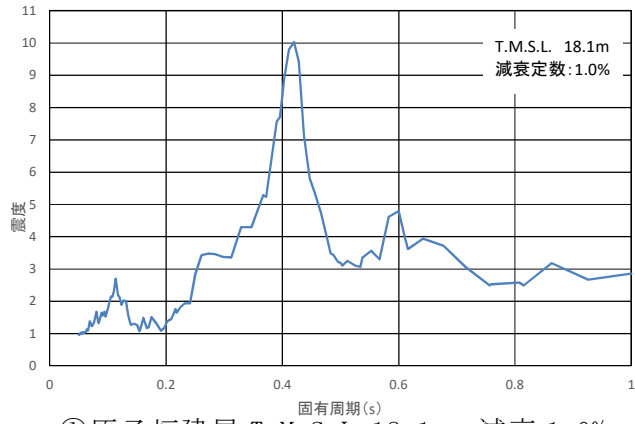


③原子炉建屋 T. M. S. L. 12. 3m 減衰 2. 0%

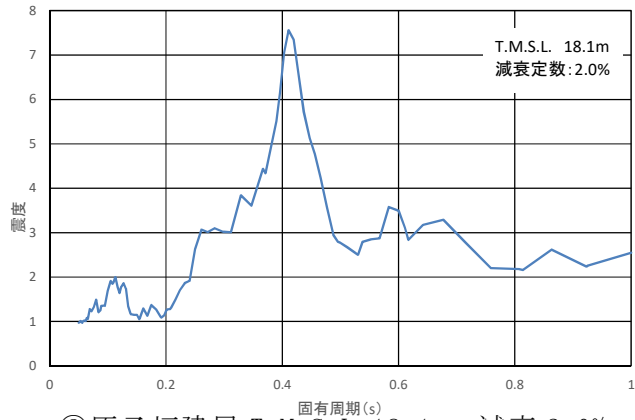


④原子炉遮蔽壁 T. M. S. L. 18. 44m 減衰 2. 0%

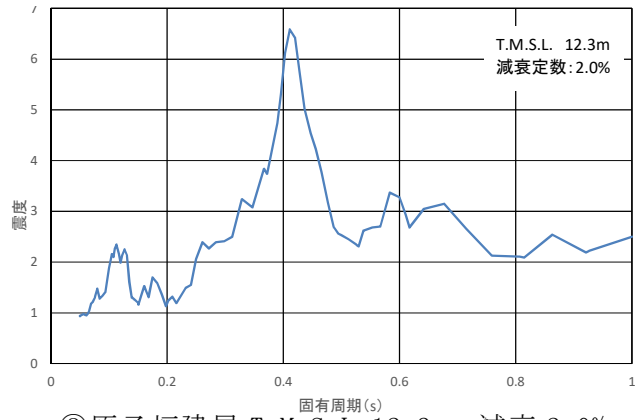
図9 3次元影響評価用応答 (NS方向)



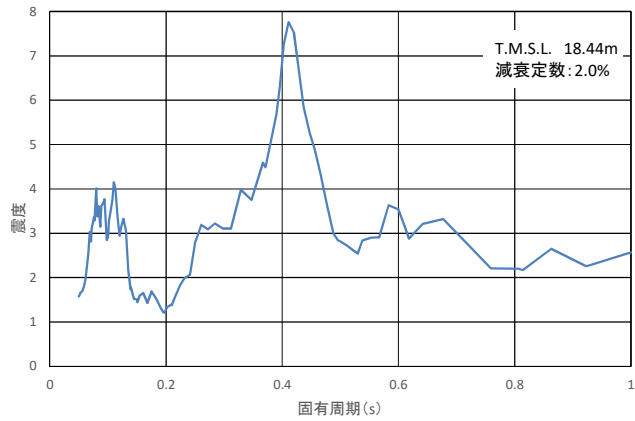
①原子炉建屋 T. M. S. L. 18.1m 減衰 1.0%



②原子炉建屋 T. M. S. L. 18.1m 減衰 2.0%

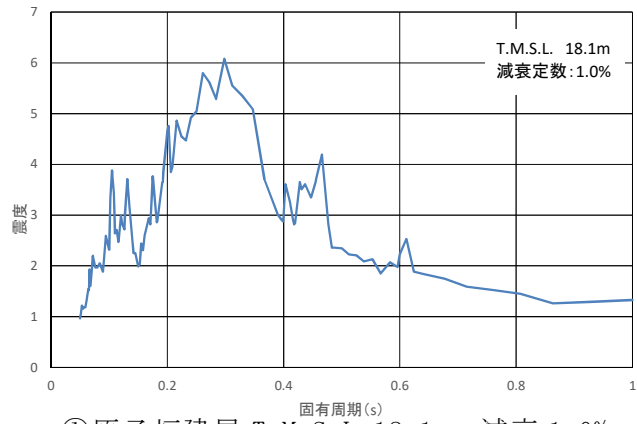


③原子炉建屋 T. M. S. L. 12.3m 減衰 2.0%

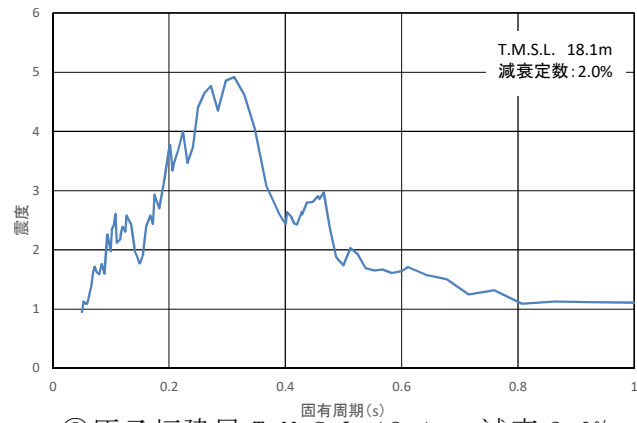


④原子炉遮蔽壁 T. M. S. L. 18.44m 減衰 2.0%

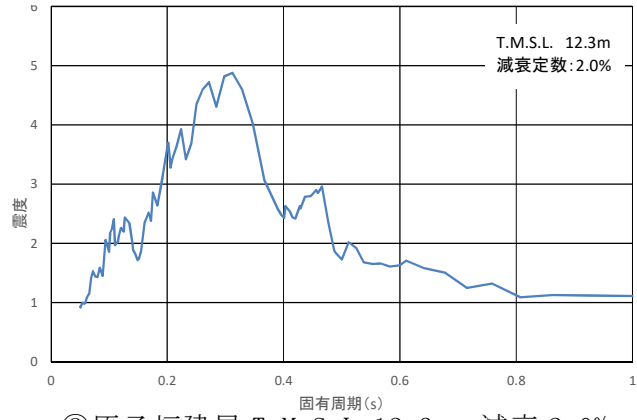
図 10 Ss-1~8 の基本ケースを包絡した床応答曲線 (EW 方向)



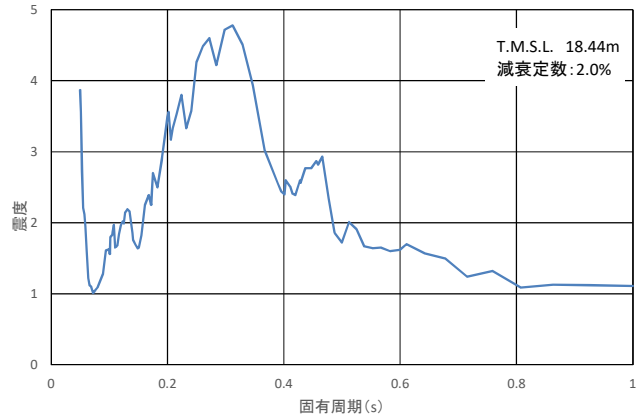
①原子炉建屋 T. M. S. L. 18.1m 減衰 1.0%



②原子炉建屋 T. M. S. L. 18.1m 減衰 2.0%



③原子炉建屋 T. M. S. L. 12.3m 減衰 2.0%



④原子炉遮蔽壁 T. M. S. L. 18.44m 減衰 2.0%

図 11 Ss-1~8 の基本ケースを包絡した床応答曲線 (UD 方向)

#### 4. まとめ

「別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の結果より、NS 方向の固有周期 0.2 秒付近において 3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示したことから、機器・配管系への影響検討を実施し、その結果、3次元 FEM モデルによる影響を考慮しても、機器・配管系の耐震性に影響がないことを確認した。

## 原子炉建屋 3次元 FEM モデルの面外加速度に係る機器・配管系への影響について

## 1. はじめに

「別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査」の「2.5 地震応答解析結果」より、壁の中央部で面外にはらむような最大応答加速度分布となっていることから、面外加速度の機器・配管系への影響検討を実施する。なお、影響検討は、本文の「3.2 機器・配管系」の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果を基に実施する。

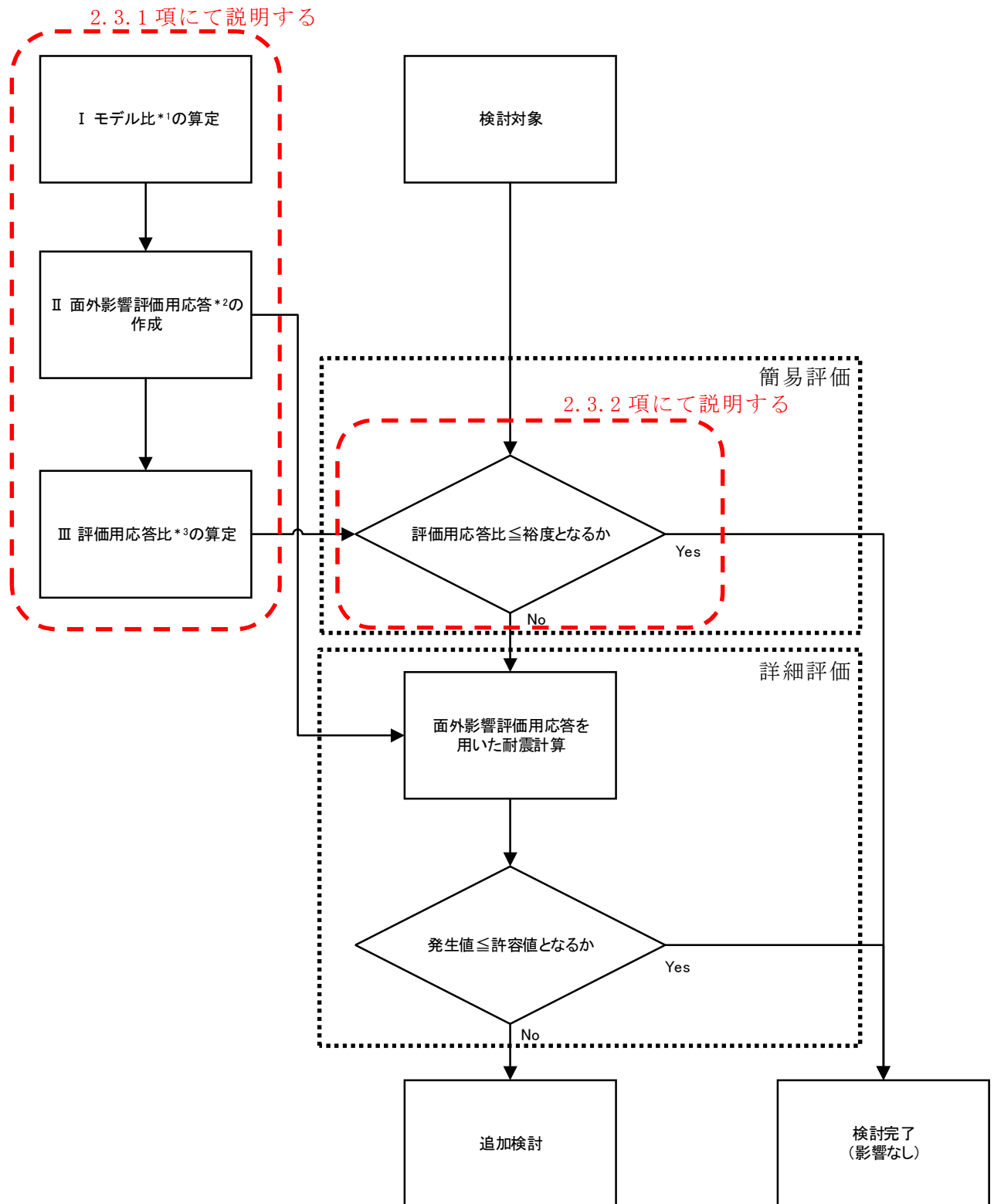
## 2. 検討方針

「2.1 検討対象」について、評価用応答比（詳細は 2.3.1 項にて説明）と各検討対象の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価及び 3次元影響評価用応答（詳細は 2.3.1 項にて説明）を用いた詳細評価を行う。影響検討フローを図 1 に示す。

## 2.1 検討対象

原子炉建屋に設置され、最大応答加速度、床応答曲線及び時刻歴応答加速度を用いて評価する以下の機器・配管系を影響検討の対象とする。なお、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床の無い連続した壁に対して、面外加速度の影響は大きいことから、オペフロに設置される設備を代表とする。また、オペフロの床についてもオペフロの壁と同様であることから、機器・配管系に対する面外加速度の影響を併せて検討する。影響検討対象の機器・配管系について表 1 に示す。

- ・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



注記 \* 1: モデル比 =  $S_d$  に対する 3次元 FEM モデルの応答 /  $S_d$  に対する 質点系モデルの応答  
 \* 2: 面外影響評価用応答 = 質点系モデル基本ケースの  $S_s$  に対する応答 × モデル比  
 \* 3: 評価用応答比 = 面外影響評価用応答 / 耐震計算で使用している  $S_s$  に対する応答

図 1 影響検討フロー

表 1 影響検討対象設備 (1/2)

No	設備名称
1	制御棒・破損燃料貯蔵ラック
2	使用済燃料貯蔵ラック
3	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA) (G41-TE-103-3)
4	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA) (G41-TE-102-1~8)
5	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)
6	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ
7	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用サポート
8	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置 (エアクーラ)
9	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-1)
10	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-2)
11	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-3)
12	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-4)
13	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-2)
14	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-3)
15	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-4)
16	燃料プール代替注水系配管サポート (SFPOP-67R)
17	原子炉建屋水素濃度 (P91-H2E-001A)
18	原子炉建屋水素濃度 (P91-H2E-001B)
19	原子炉建屋水素濃度 (P91-H2E-001C)
20	高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-R-6)
21	高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-R-9)
22	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001A)

表 1 影響検討対象設備 (2/2)

No	設備名称
23	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001B)
24	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A)
25	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002B)
26	燃料取替エリア排気放射線モニタ
27	フィルタ装置出口放射線モニタ (D11-RE-099A)
28	フィルタ装置出口放射線モニタ (D11-RE-099B)
29	耐圧強化ベント系放射線モニタ
30	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ)
31	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ)
32	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-1)
33	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)
34	静的触媒式水素再結合器
35	格納容器圧力逃がし装置配管 (FCVS-Y-6)
36	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置
37	止水堰
38	原子炉建屋クレーン
39	燃料取替機



## 2.2 影響検討における耐震条件の考え方

機器・配管系の耐震計算に用いる耐震条件としては、設計用最大応答加速度Ⅰ及び設計用床応答曲線Ⅰ（以下「設計用Ⅰ」という。）並びに設計用最大応答加速度Ⅱ及び設計用床応答曲線Ⅱ（以下「設計用Ⅱ」という。）を設定している。なお、設計用最大応答加速度Ⅰ及び設計用床応答曲線Ⅰ並びに設計用最大応答加速度Ⅱ及び設計用床応答曲線ⅡはV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示される。

ここで、設計用Ⅰ及び設計用Ⅱは以下の通り作成したものである。

- ・設計用Ⅰ：建物・構築物の地震応答解析により得られた応答に材料物性の不確かさ等の影響を考慮して作成したもの
- ・設計用Ⅱ：設計用Ⅰ以上となるように作成したもの

これを踏まえて本影響検討においては、設計用Ⅰを用いた耐震計算の裕度とは設計用Ⅰを基に作成した評価用応答比を、設計用Ⅱを用いた耐震計算の裕度とは設計用Ⅱを基に作成した評価用応答比をそれぞれ比較して簡易評価を実施する。

## 2.3 検討内容

### 2.3.1 面外加速度の影響を評価するための応答の作成

3次元 FEM モデルでは、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析を行っていることから、質点系モデルの基準地震動  $S_s$  に対する応答を補正し、面外加速度による影響を評価できる応答を作成する。

応答の作成については、「別紙 4.7 原子炉建屋 3次元 FEM モデルの応答解析結果に係る機器・配管系への影響について」の「2.3.1 3次元 FEM モデルによる影響を評価するための応答の作成」と同様の方法とし、「2.3.1 3次元 FEM モデルによる影響を評価するための応答の作成」における「3次元影響評価用応答」を「面外影響評価用応答」と読み替える。

ここで、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する 3次元 FEM モデルの応答は、機器・配管系の設置箇所に対応する節点の応答を用いる。図 2～11 に影響検討に用いた節点を示す。

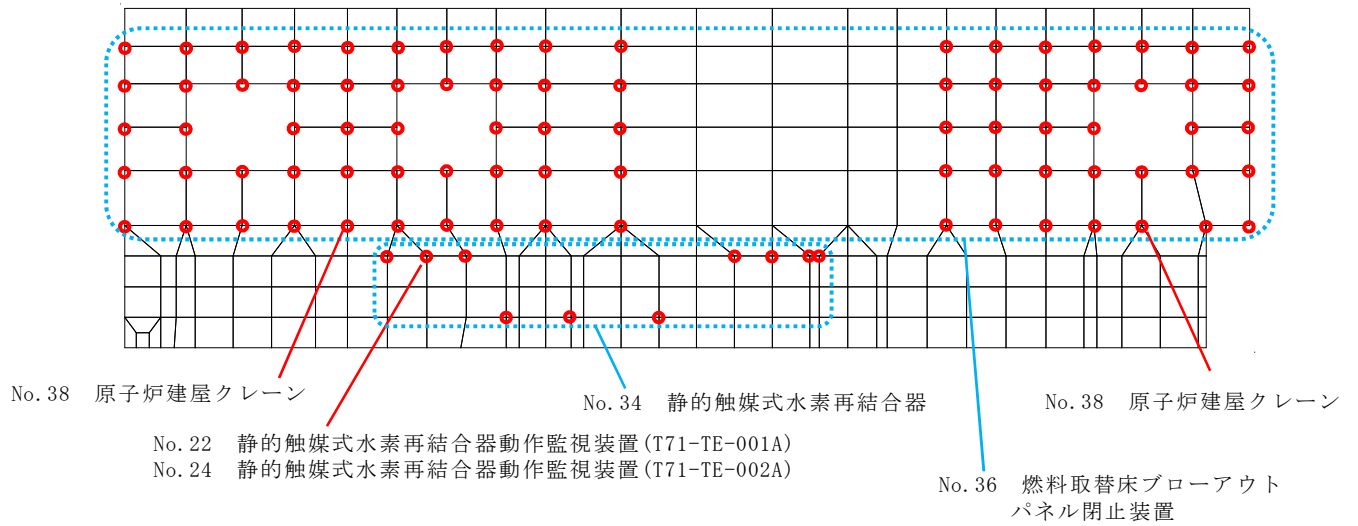


図2 オペフロ北面壁 (R6)

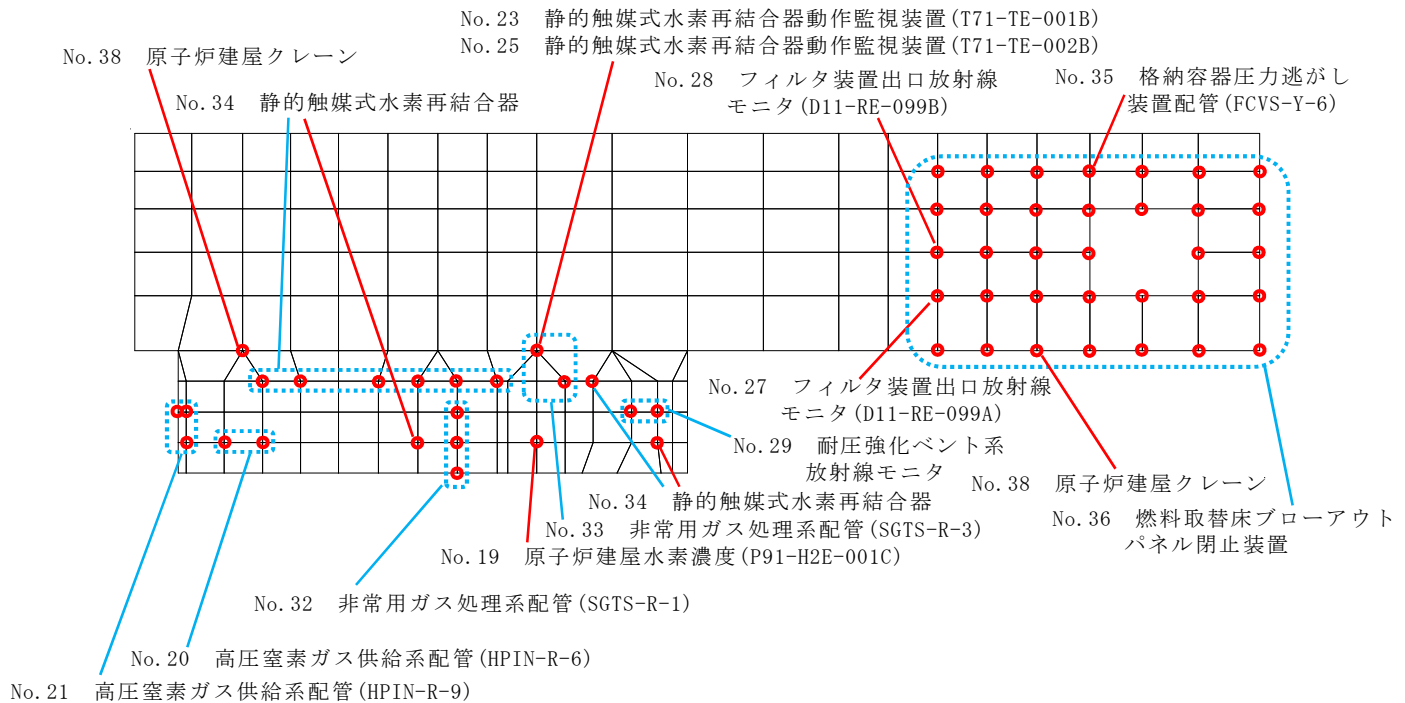


図3 オペフロ南面壁 (R2)

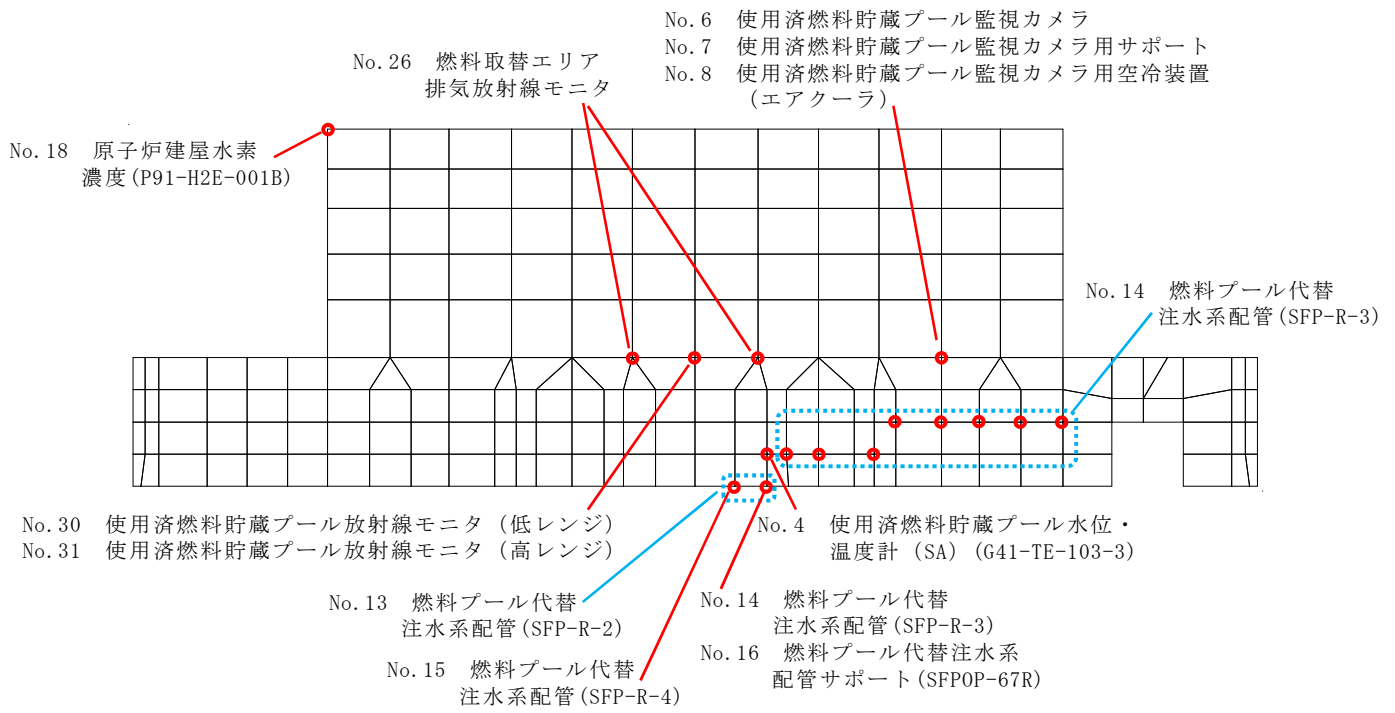


図4 オペフロ東面壁 (RG)

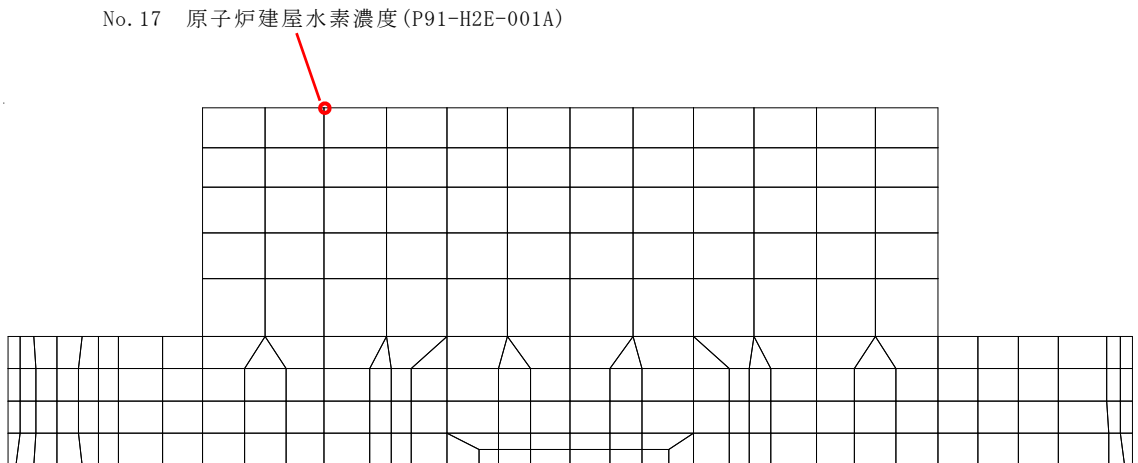


図5 オペフロ西面壁 (RA)

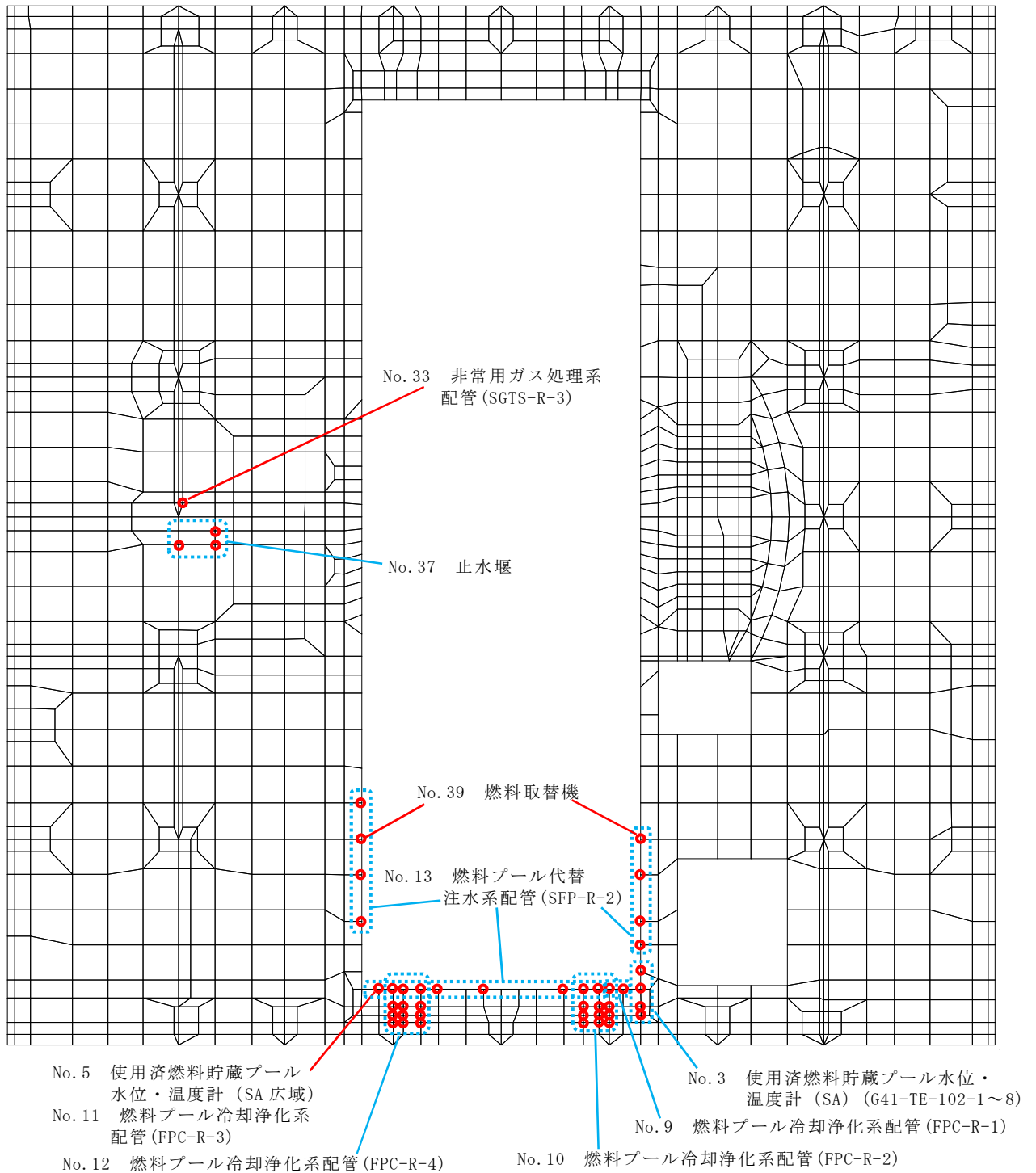
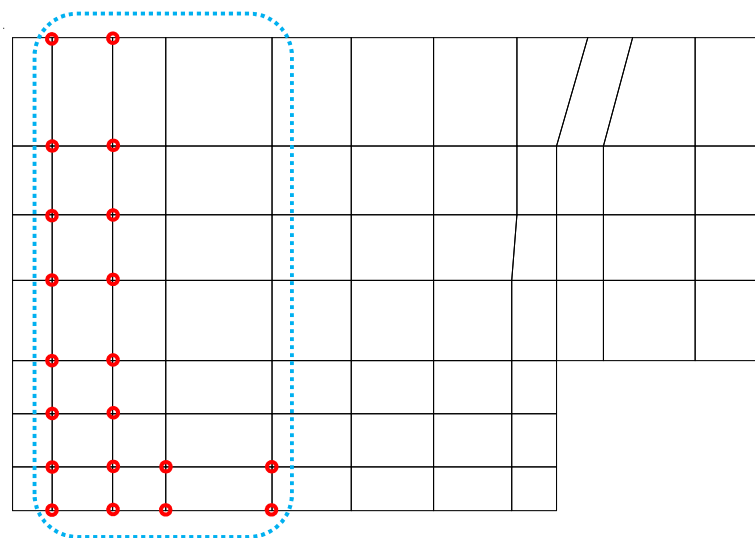
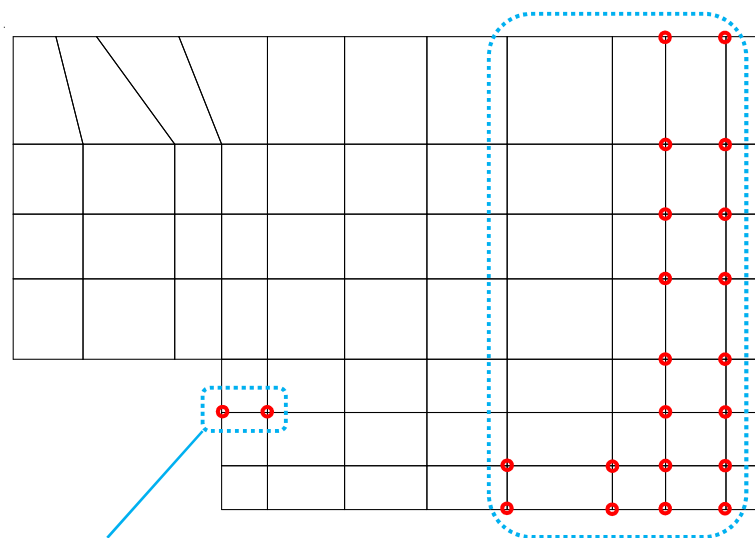


図 6 オペフロ床スラブ



No. 9 燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-1)

図 7 SFP 北面壁 (R5)



No. 1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック

No. 11 燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-3)

図 8 SFP 南面壁 (R3)

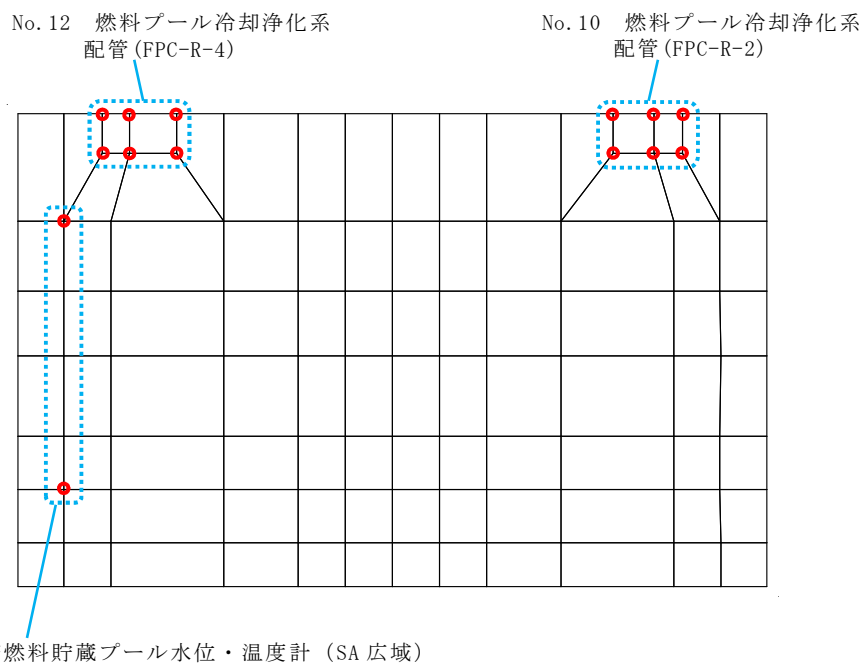


図 9 SFP 東面壁 (RG)

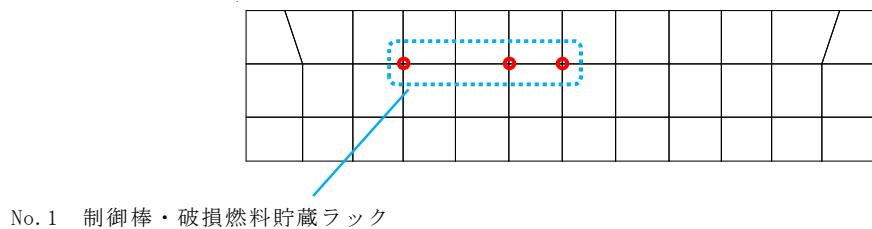
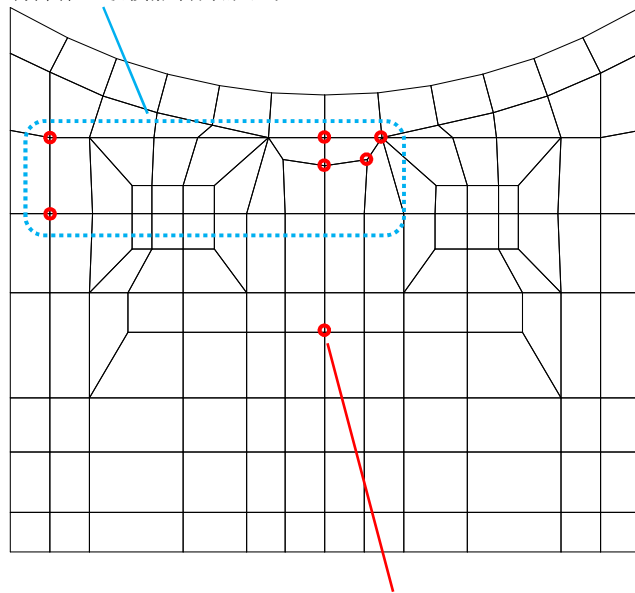


図 10 SFP 円筒壁 (RF)

No.1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック



No.2 使用済燃料貯蔵ラック

図 11 SFP19. 7m 床スラブ

### 2.3.2 面外加速度による影響の評価

評価用応答比が耐震計算の裕度を上回る機器・配管系を抽出する。なお、柔な設備については、評価用応答比は 0.05s を超える全ての固有周期を考慮する。具体的な考慮方法を図 12 及び図 13 に示す。

抽出された機器・配管系に対して詳細検討を実施する。

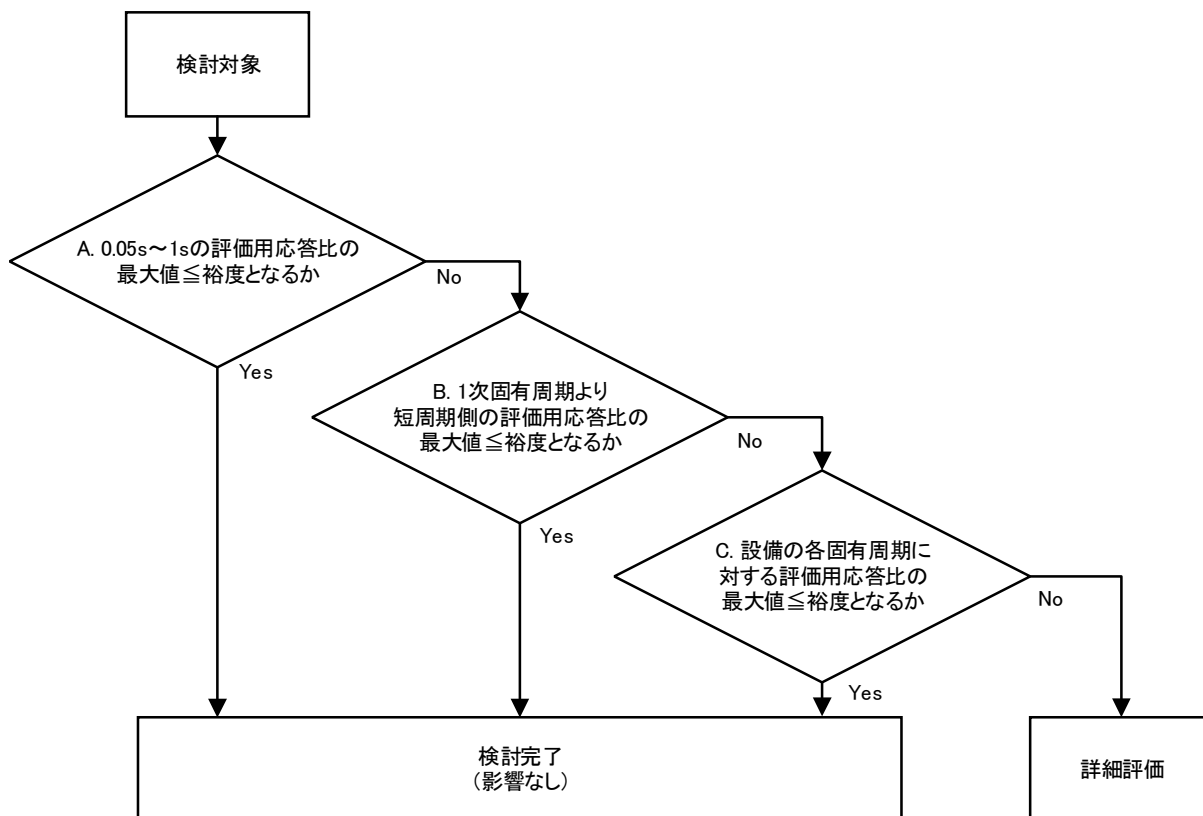
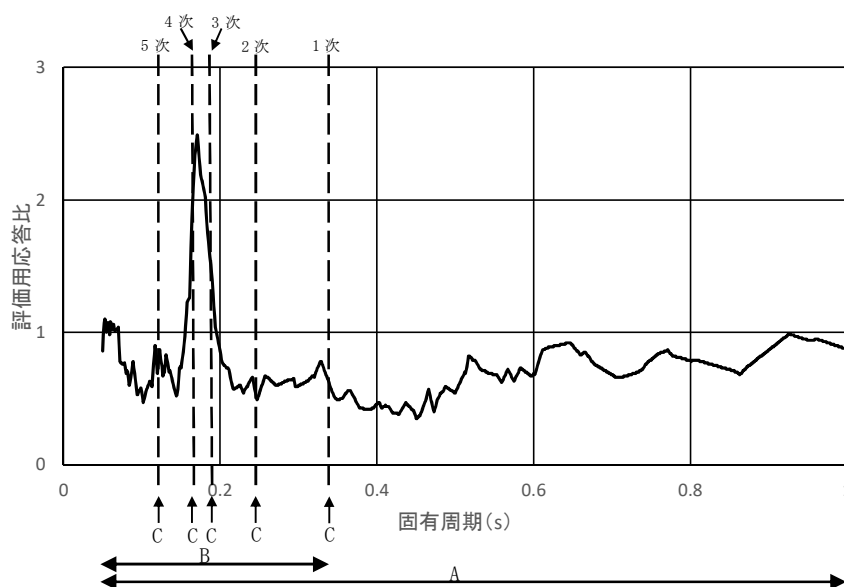


図 12 機器・配管系の固有周期における評価用応答比の考慮方法



注：A, B, C は図 12 のフローと対応

図 13 評価用応答比の算定例



### 3. 評価結果

#### 3.1 簡易評価結果

簡易評価の結果，詳細評価が必要となった機器・配管系について表 2 に示す。

表 2 簡易評価結果で NG となった設備

No	設備名称	減衰* <sup>1</sup> (%)	固有* <sup>1,2</sup> 周期 (s)	評価 項目	耐震計算 条件	評価用 応答比	耐震* <sup>3</sup> 裕度
1	使用済燃料貯蔵プール 水位・温度計 (SA 広 域)	1.0		構造 強度	設計用 I	1.37	1.01
2	燃料プール代替注水系 配管 (SFP-R-3)	2.0	0.189	構造 強度	設計用 I	2.81	1.88
3	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)	2.0	0.160	構造 強度	設計用 I	1.73	1.19
4	燃料取替床ブローアウ トパネル閉止装置	—	—	機能 維持	設計用 I	2.18	

注記\*1：剛な設備は「—」として記載

\*2：1次固有周期を代表して記載

\*3：耐震裕度は各設備の耐震計算書の全評価結果のうち，最小値を記載

### 3.2 詳細評価結果

詳細評価が必要となった機器・配管系について、面外方向は面外影響評価用応答を用いて、面内方向は、影響検討であることから Ss-1~8 の基本ケースを包絡した耐震条件を用いて、耐震計算を実施した。評価に用いた地震力を表 3 に、評価結果を表 4 に示す。また、評価に用いた面外評価用応答を図 14~17 及び表 5 に示す。なお、耐震条件以外の圧力、温度等の条件は、耐震計算書と同一の条件である。

表 3 詳細評価に用いた地震力

方向	地震動	解析ケース	拡張	倍率
面外方向	Ss-1~8	基本ケース	なし	モデル比
面内方向	Ss-1~8	基本ケース	なし	1.0

表 4 詳細評価結果

No	設備名称	評価部位等	応力分類等	計算応力等	許容応力等
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	検出器架台	組合せ	140MPa	205MPa
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-3)	—	一次＋二次応力	276MPa	410MPa
3	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)	—	一次＋二次応力	286MPa	422MPa
4	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置* <sup>1</sup>	電動機	機能維持評価		4.7G

注記\*1：別紙 4.8.1 にて詳細を示す

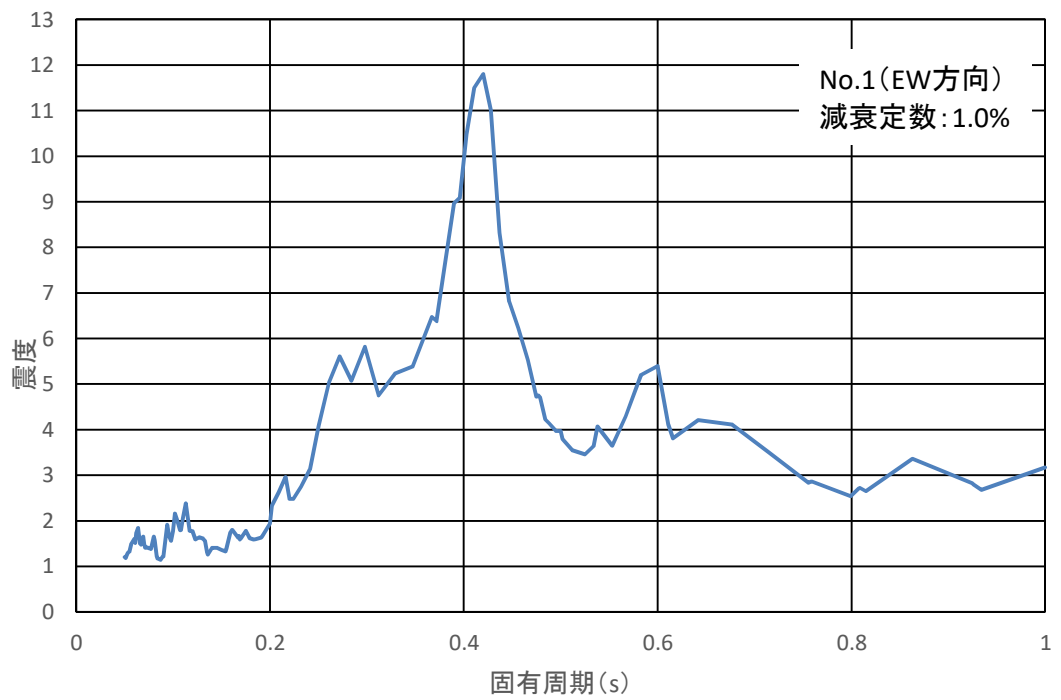


図 14 No. 1 面外影響評価用床応答曲線

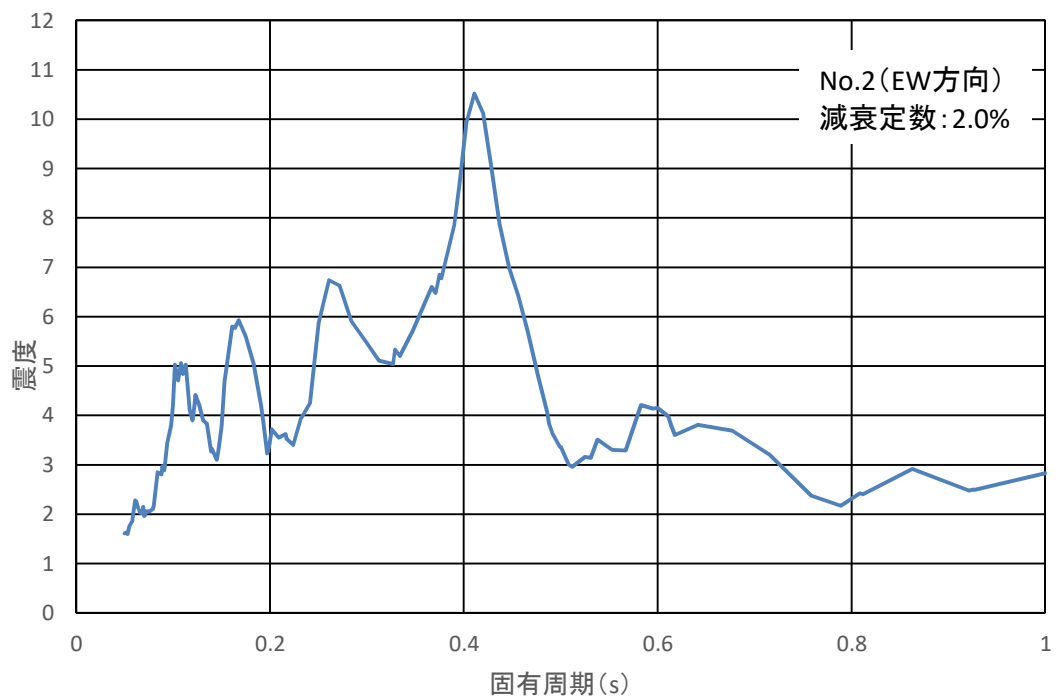


図 15 No. 2 面外影響評価用床応答曲線

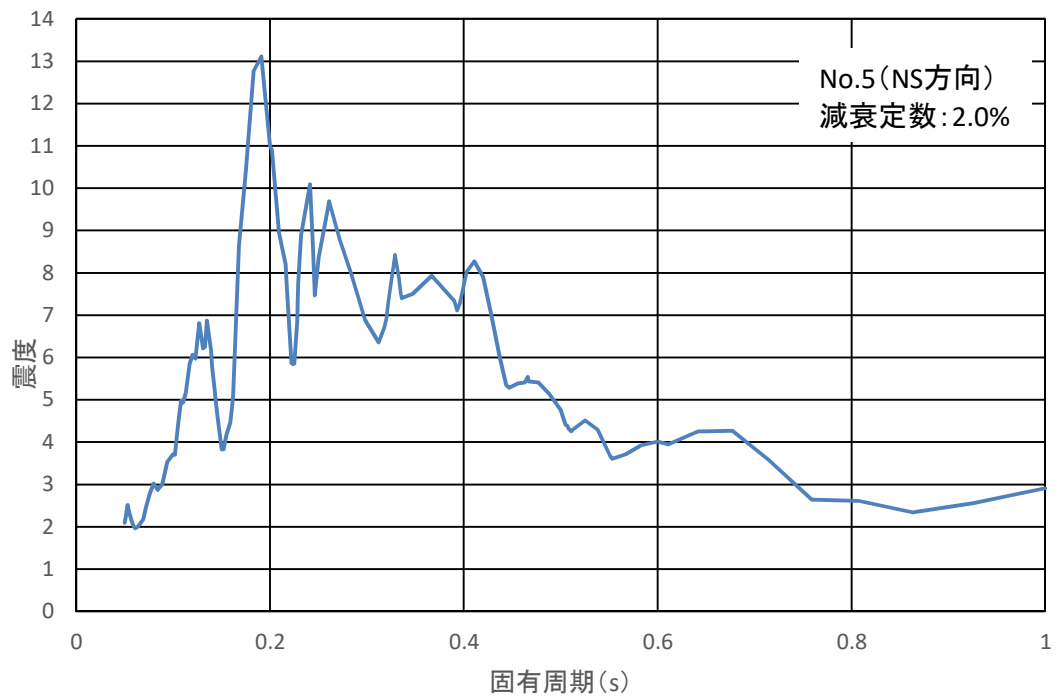


図 16 No. 3 面外影響評価用床応答曲線 (NS 方向)

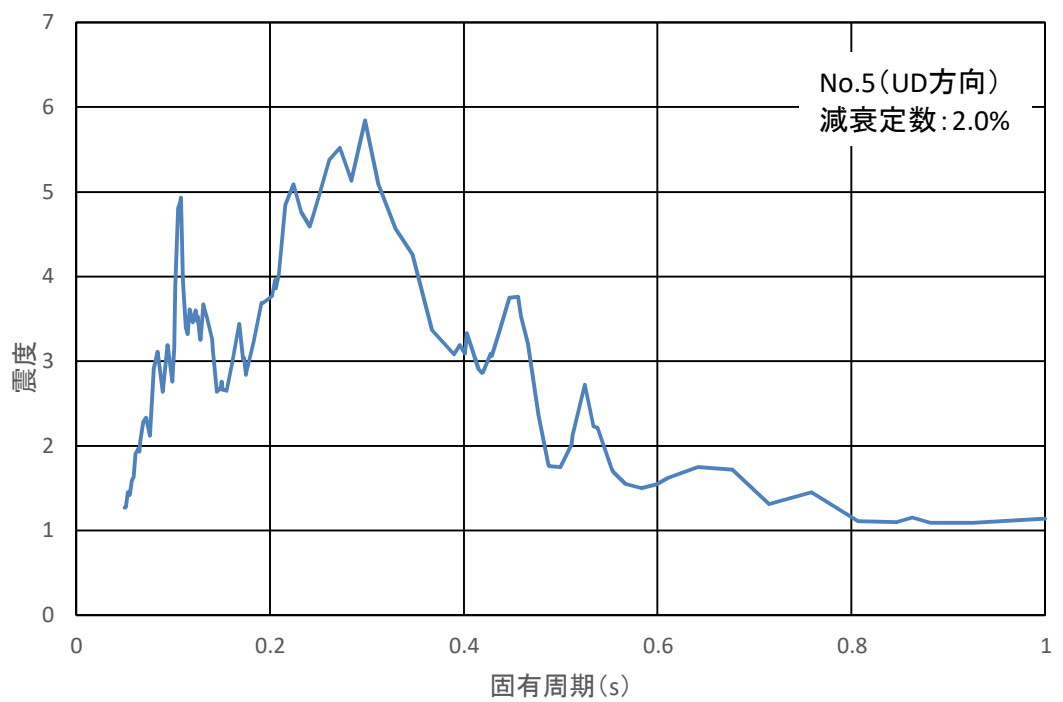


図 17 No. 3 面外影響評価用床応答曲線 (UD 方向)

表 5 面外影響評価用最大応答加速度

No	設備名称	面外方向	最大応答加速度 (G)
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	UD 方向	1.59
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-3)	EW 方向	1.85
3	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)	NS 方向	2.34
		UD 方向	1.34
4	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置*1	NS 方向	

注記\*1：別紙 4.8.1 にて詳細を示す。

#### 4. まとめ

「別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査」の「2.5 地震応答解析結果」より，壁の中央部で面外にはらむような最大応答加速度分布となっていることから，面外加速度の機器・配管系への影響検討を実施し，その結果，面外加速度による影響を考慮しても，機器・配管系の耐震性に影響がないことを確認した。

## 燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能維持評価について

## 1. はじめに

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の機能維持評価について、簡易検討による耐震性が確認できなかったことから、詳細検討を実施した。詳細検討で用いた面外評価用最大応答加速度と機能確認済加速度について示す。

## 2. 動的機能維持評価対象設備

BOP 閉止装置における動的機能維持評価対象は電動機であり、その設置位置を図 1 に示す。

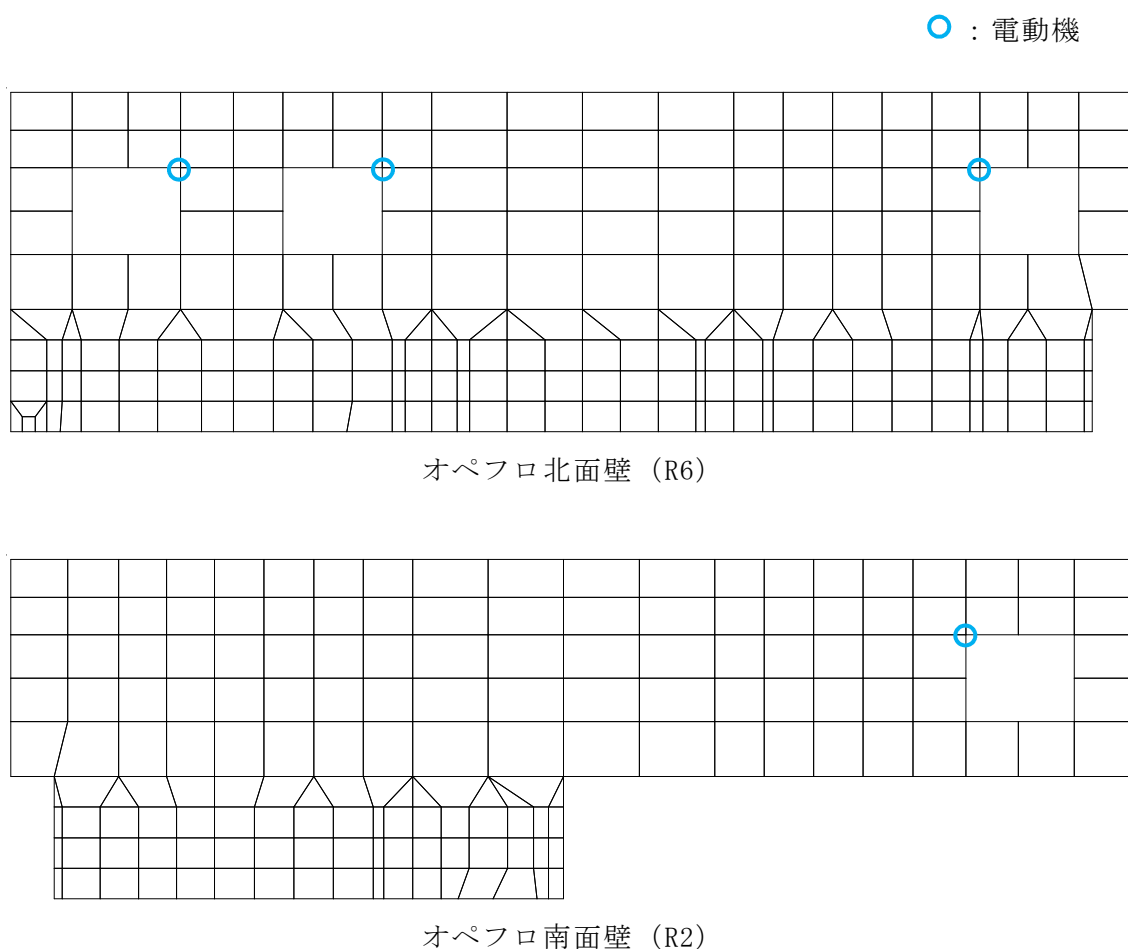


図 1 BOP 閉止装置における動的機能維持評価対象の設置位置

### 3. 面外評価用最大応答加速度による機能維持評価

#### 3.1 BOP 閉止装置の機能確認済加速度による評価

評価結果を表 1 に示す。電動機の面外評価用最大応答加速度は機能確認済加速度を超えており、耐震性が確認できなかったことから、「3.2 電動機の機能確認済加速度による評価」を実施する。

表 1 加振試験による機能確認済加速度を用いた評価結果

対象	面外評価用 最大応答加速度 (G)	機能確認済加速度*1 (G)
電動機	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*1：V-2-9-5-5「燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」から引用

#### 3.2 電動機の機能確認済加速度による評価

BOP 閉止装置の電動機は、出力  の横形ころがり軸受機であり、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」(以下「J E A G 4 6 0 1-1991」という。)の機能確認済加速度が適用できる。J E A G 4 6 0 1-1991 の機能確認済加速度を用いた電動機の評価結果を表 2 に示す。電動機の面外評価用最大応答加速度は機能確認済加速度以下であり、耐震性が確認できた。

表 2 J E A G 4 6 0 1-1991 の機能確認済加速度を用いた評価結果

対象	面外評価用 最大応答加速度 (G)	機能確認済加速度*1 (G)
電動機	<input type="text"/>	4.7

注記\*1：V-2-1-9「機能維持の基本方針」から引用

### 4. まとめ

面外加速度による影響を考慮しても、BOP 閉止装置の機能維持評価において、耐震性に影響がないことを確認した。



別紙5 方向性を考慮しない水平地震動における  
模擬地震波の作成方針

目 次

1. はじめに .....	別紙5-1
2. 模擬地震波の作成方針 .....	別紙5-1

## 1. はじめに

水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う際に、主排気筒及び軽油タンク基礎（6号機設備）の地震応答解析では基準地震動Ss-1、原子炉建屋の建屋3次元FEMによる地震応答解析では基準地震動Ss-1に係数0.5を乗じて設定した弾性設計用地震動Sd-1、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の地震応答解析では基準地震動Ss-3を代表波として用いている。この際、水平1方向にはSs-1HとSs-3Hを用いるが、その直交方向にはSs-1HとSs-3Hとは位相の異なる模擬地震波を用いている。本資料では、Ss-1HとSs-3Hとは位相の異なる模擬地震波の作成方針について示す。

## 2. 模擬地震波の作成方針

Ss-1HとSs-3Hについて、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討において、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に考えにくいことから、基準時地震動を作成した方法と同一の方法で、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を作成した。

Ss-1H及びSs-1Hとは位相の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形と、それぞれの地震波を2方向入力した場合のオービットを図2-1、図2-2及び図2-3に示す。また、Ss-3H及びSs-3Hとは位相の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形と、それぞれの地震波を2方向入力した場合のオービットを図2-4、図2-5及び図2-6に示す。

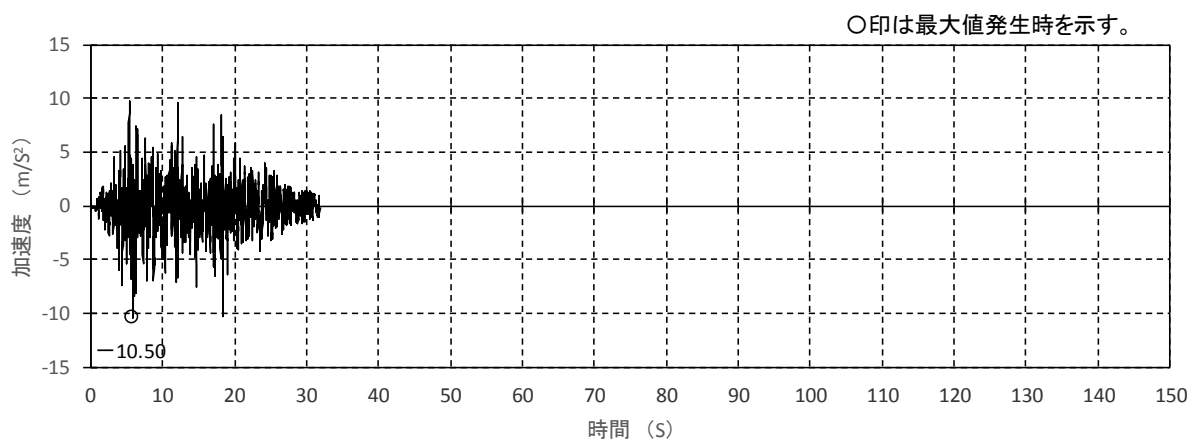


図 2-1 Ss-1H の加速度時刻歴波形

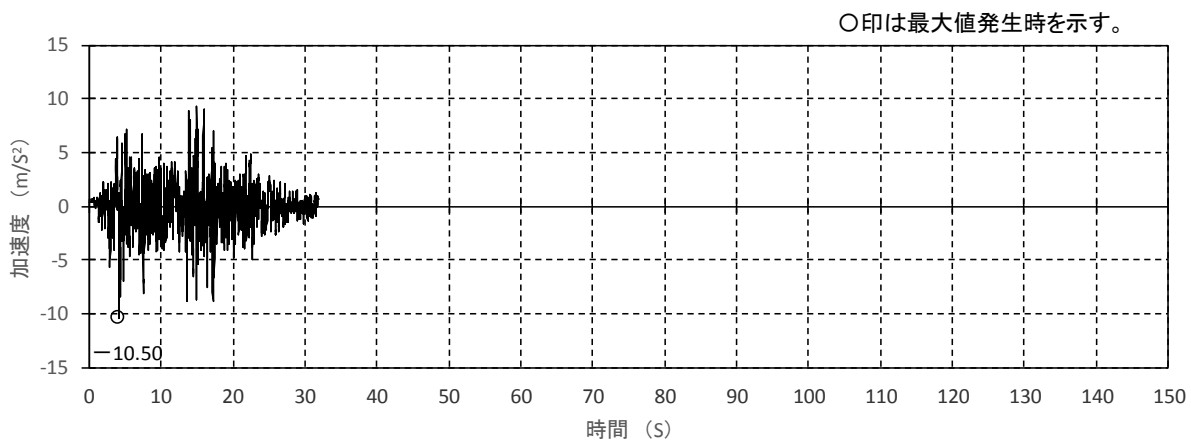


図 2-2 Ss-1H とは位相の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形

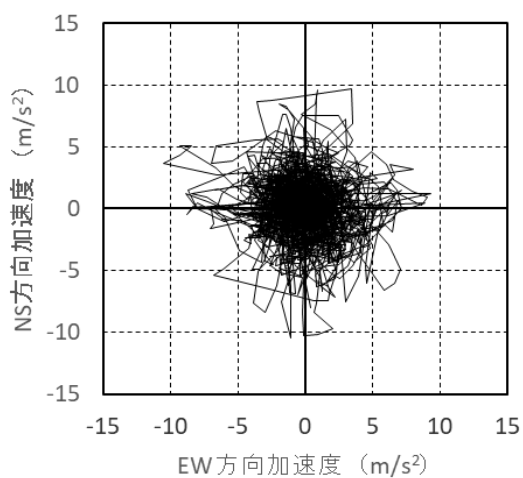


図 2-3 Ss-1H のオービット (位相の異なる地震波を 2 方向入力した場合)

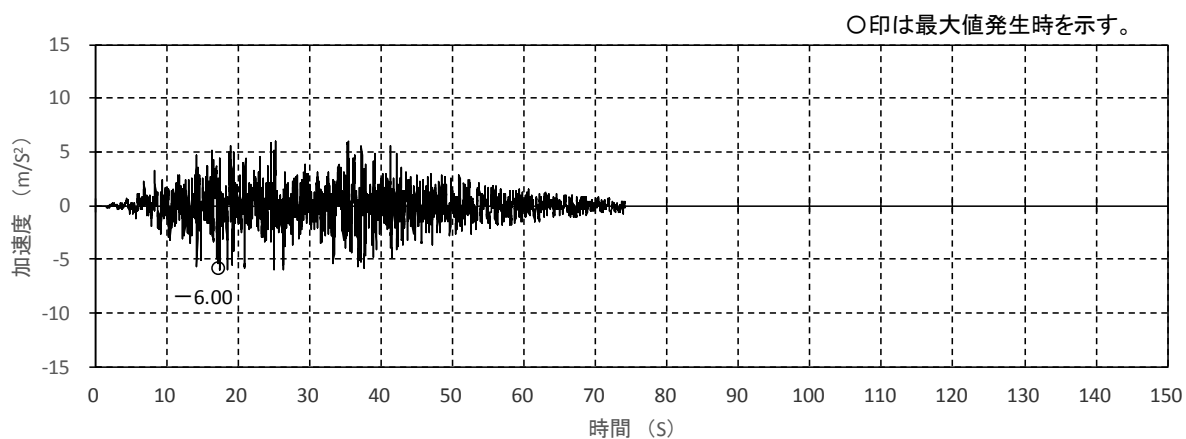


図 2-4 Ss-3H の加速度時刻歴波形

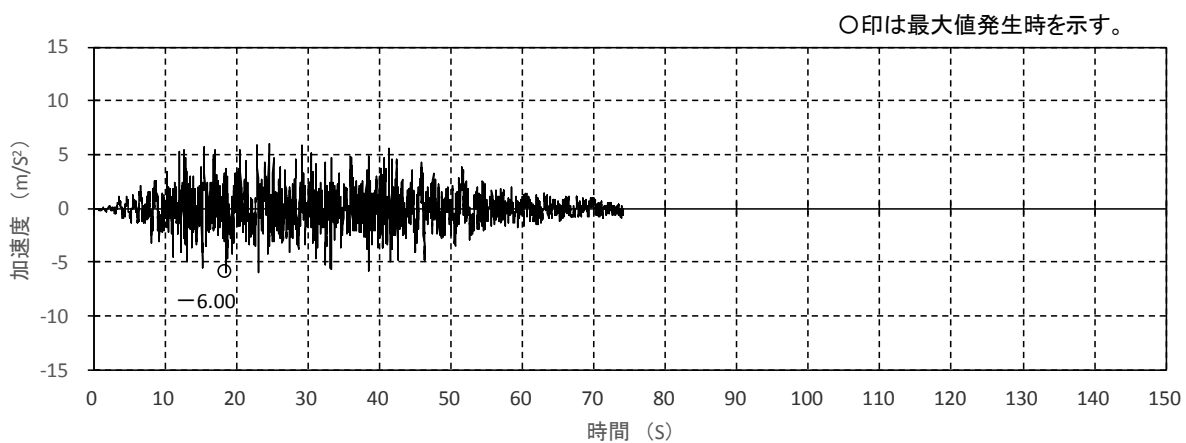


図 2-5 Ss-3H とは位相の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形

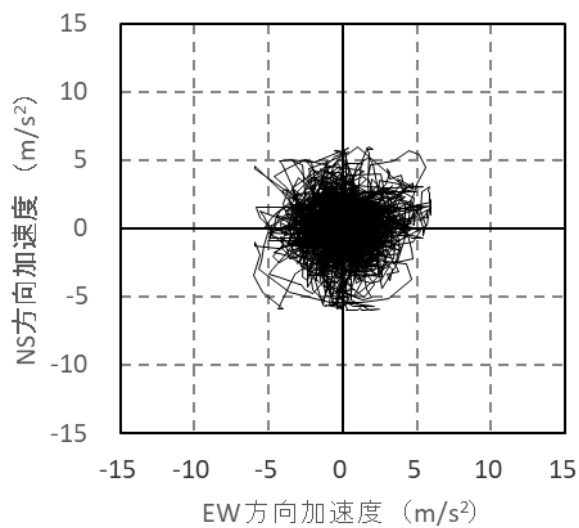


図 2-6 Ss-3H のオービット (位相の異なる地震波を 2 方向入力した場合)

(参考資料 1) 計算機プログラム (解析コード) の概要

N X N A S T R A N

1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
別紙 3	3次元 FEM モデルによる地震応答解析	Ver. 11.0

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析及び地震応答解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 11.0
コードの概要	<p>本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され、Siemens PLM Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり、MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル (主にははり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木など様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、原子炉建屋の3次元 FEM モデルに対する固有値解析及び周波数応答解析に使用している。</p> <p>本解析では、部材をはり要素, シェル要素及びソリッド要素でモデル化した固有値解析及び周波数応答解析を実施している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既工事計画において実績のある別コード (MSC NASTRAN) によるはり要素, シェル要素及びソリッド要素モデルでの固有値解析結果及び周波数応答解析結果と一致することを確認している。</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の内容のとおり, 各モデルによる固有値解析及び周波数応答解析について, 本解析コードによる解析結果が別コードによ</li> </ul>

	<p>る解析結果と一致していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 3次元 FEM モデルに使用する要素及び固有値解析, 周波数応答解析の使用目的に対し, 使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li></ul>
--	--



### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

NX NASTRANは、MSC NASTRANをベースに、UGS社（現Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.）が継承して開発したプログラムであり、航空宇宙、機械、建築、土木などの様々な分野の構造解析に適用可能な汎用3次元有限要素解析コードである。NX NASTRANは、原子炉建屋の3次元FEMモデルによる固有値解析及び地震応答解析（周波数応答解析）を行うために使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

NX NASTRANの主な特徴を以下に示す。

- ・ 多くの要素が用意されており、種々のタイプの構造物の解析を行うことができる。
- ・ 多自由度を有する大規模問題を効率よく解析することができる。
- ・ 大規模問題を取扱うために、入力データが簡素化されている。
- ・ プロットイングの機能が準備されており、モデルのチェック、解析結果の図形処理を簡単に行うことができる。
- ・ 解析する座標系、拘束方法は、取扱う問題にあったものを選ぶことができる。
- ・ リスタートを行うことができ、解析ケースを追加する場合には省力化できる。

### 3.3 解析手法

#### 3.3.1 有限要素法による剛性評価の手順

一般に、有限要素法による剛性評価は、次の手順で行われている。

- (1) 要素内の変位パターンを仮定し、節点変位を使って要素内任意点変位を表現する。

$$\{\mathbf{u}\} = [\mathbf{C}]\{\mathbf{u}_e\} \quad (3.1)$$

ここで、

- $\{\mathbf{u}\}$  : 要素内任意点の変位  
 $[\mathbf{C}]$  : 形状関数マトリックス  
 $\{\mathbf{u}_e\}$  : 節点変位

- (2) 上記の変位を微分して、要素内任意点のひずみを節点変位により表す。

$$\{\boldsymbol{\varepsilon}\} = [\mathbf{B}]\{\mathbf{u}_e\} \quad (3.2)$$

ここで、

- $\{\boldsymbol{\varepsilon}\}$  : 要素内任意点のひずみ  
 $[\mathbf{B}]$  : ひずみマトリックス

- (3) 材料物性から求められる応力とひずみの関係式((3.3)式参照)より定められる弾性係数マトリックスを用いて、剛性マトリックスを(3.4)式により計算する。

$$\{\boldsymbol{\sigma}\} = [\mathbf{D}]\{\boldsymbol{\varepsilon}\} \quad (3.3)$$

$$[\mathbf{K}] = \int [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] d\text{vol} \quad (3.4)$$

ここで、

- $\{\boldsymbol{\sigma}\}$  : 要素内任意点の応力  
 $[\mathbf{D}]$  : 弾性係数マトリックス  
 $[\mathbf{K}]$  : 剛性マトリックス

### 3.3.2 要素剛性マトリックス

設計で主として用いているものが四辺形要素であることから、本節での説明は四辺形要素についてのみ行うこととする。

設計で用いた四辺形要素は、平面応力（面内）と板の曲げ（面外）とを考慮したシェル要素であり、各節点における変位成分は面内2方向（ $u, v$ ）、面外1方向（ $w$ ）及び回転2方向（ $\alpha, \beta$ ）の合計5つである。

なお、部材剛性は面内方向及び面外方向をそれぞれ独立に加算して求めるとともに、算定にあたっては図3-1に示すような次の座標変換を行う。

$$\begin{aligned} x &= N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4 \\ y &= N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4 \end{aligned} \quad (3.5)$$

ここで、

$$N_1 = \frac{1}{4} (1 - \xi)(1 - \eta)$$

$$N_2 = \frac{1}{4} (1 + \xi)(1 - \eta)$$

$$N_3 = \frac{1}{4} (1 + \xi)(1 + \eta)$$

$$N_4 = \frac{1}{4} (1 - \xi)(1 + \eta)$$

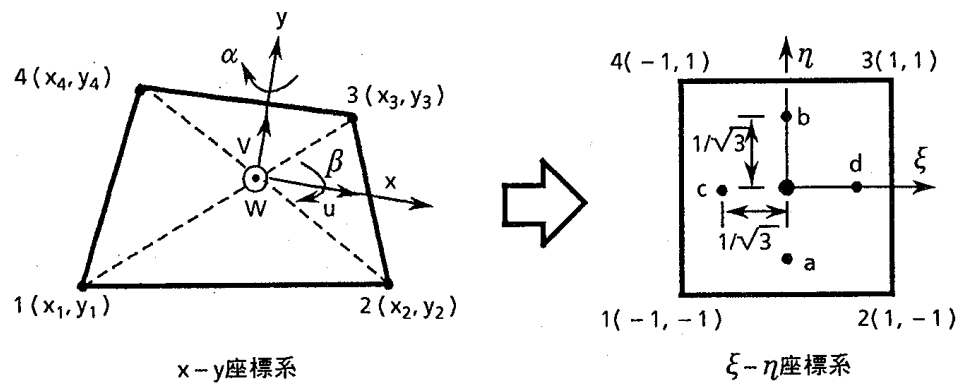


図3-1 座標系

(1) 面内剛性の計算

要素内任意点の変位を，図 3-1 で示した  $(\xi, \eta)$  と節点変位を使って次のように仮定する。

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= \mathbf{N}_1 \mathbf{u}_1 + \mathbf{N}_2 \mathbf{u}_2 + \mathbf{N}_3 \mathbf{u}_3 + \mathbf{N}_4 \mathbf{u}_4 \\ \mathbf{v} &= \mathbf{N}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{N}_2 \mathbf{v}_2 + \mathbf{N}_3 \mathbf{v}_3 + \mathbf{N}_4 \mathbf{v}_4 \end{aligned} \quad (3.6)$$

即ち，次のようになる。

$$\{\mathbf{u}^m\} = [\mathbf{C}^m] \{\mathbf{u}_e^m\}$$

(3.6) 式を  $x, y$  で微分してひずみマトリックスを定めるが，その際，(3.6) 式が  $\xi - \eta$  座標で表されているため，次のような変換を行う。

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{Bmatrix} = [\mathbf{J}] \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{Bmatrix}$$

即ち

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{Bmatrix} = [\mathbf{J}]^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (3.7)$$

ここで， $[\mathbf{J}]$  は (3.5) 式を  $\xi, \eta$  で微分して次のようになる。

$$[\mathbf{J}] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{4}(1-\eta) & \frac{1}{4}(1-\eta) & \frac{1}{4}(1+\eta) & -\frac{1}{4}(1+\eta) \\ -\frac{1}{4}(1-\xi) & -\frac{1}{4}(1+\xi) & \frac{1}{4}(1+\xi) & \frac{1}{4}(1-\xi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

(3.6) 式より要素内任意点のひずみを求める。

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial \xi} \cdot \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ &= \frac{1}{4} \{ -(1-\eta)u_1 + (1-\eta)u_2 + (1+\eta)u_3 - (1+\eta)u_4 \} \frac{\partial \xi}{\partial x} \\ &\quad + \frac{1}{4} \{ -(1-\xi)u_1 - (1+\xi)u_2 + (1+\xi)u_3 + (1-\xi)u_4 \} \frac{\partial \eta}{\partial x} \end{aligned} \quad (3.9)$$

(3.9) 式中の  $\frac{\partial \xi}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial x}$  は (3.7), (3.8) 式より定められる。他のひずみ成分に対しても同様な計算を行い，面内応力に対するひずみマトリックス  $[\mathbf{B}^m]$  を求める。

$$\{\varepsilon^m\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = [B^m] \{u_e^m\} \quad (3.10)$$

一方、面内応力に対する応力とひずみの関係は次のように表せる。

$$\{\sigma^m\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [D^m] \{\varepsilon^m\} \quad (3.11)$$

ここで、

$E$  : ヤング係数

$\nu$  : ポアソン比

したがって、面内応力に対する要素剛性マトリックスは次式で計算される。

$$[K^m] = \int [B^m]^T [D^m] [B^m] dvol \quad (3.12)$$

(2) 面外剛性の計算

面外剛性は、面外曲げに対するものと面外せん断に対するものをそれぞれ別個に計算して求める。

a. 面外曲げ剛性の計算

要素内任意点の面外方向変位(w)と回転角( $\alpha, \beta$ )を、図3-1に示す $\xi - \eta$ 系の座標で次のように仮定する。

$$\begin{aligned} w &= w_{00} + w_{10}\xi + w_{01}\eta + w_{11}\xi\eta \\ \alpha &= \alpha_{00} + \alpha_{10}\xi + \alpha_{01}\eta + \alpha_{11}\xi\eta \\ \beta &= \beta_{00} + \beta_{10}\xi + \beta_{01}\eta + \beta_{11}\xi\eta \end{aligned} \quad (3.13)$$

ここで、

$w_{00} \sim w_{11}, \alpha_{00} \sim \alpha_{11}, \beta_{00} \sim \beta_{11}$ : 未定係数

四辺形の各節点の( $\xi, \eta$ )を代入することによって、(3.13)式の未定係数は節点変位で表せることから、要素内任意点の面外方向変位及び回転角は、( $\xi, \eta$ )と節点変位を使って表せる。

(3.13)式を用いて「3.3.2 (1) 面内剛性の計算」と同様の計算を行うと、面外曲げに対する曲率から(3.14)式のようにひずみマトリックスが定められ、面外曲げ応力に対する要素剛性マトリックスが計算される。

$$\{\epsilon^b\} = \begin{Bmatrix} \chi_x \\ \chi_y \\ \chi_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial \alpha}{\partial x} \\ \frac{\partial \beta}{\partial y} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial y} + \frac{\partial \beta}{\partial x} \end{Bmatrix} = [B^b] \{u_e^b\} \quad (3.14)$$

b. 面外せん断剛性の計算

x方向のせん断ひずみを図3-1のa, b点で、y方向をc, d点で代表させることとする。せん断ひずみを(3.15)式で定義し、これに(3.13)式を代入すると節点変位によりせん断ひずみが表現でき、これがひずみマトリックスとなる。

$$\{\epsilon^s\} = \begin{Bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial w}{\partial x} - \alpha \\ \frac{\partial w}{\partial y} - \beta \end{Bmatrix} = [B^s] \{u_e^b\} \quad (3.15)$$

なお、ここで定義したせん断ひずみには、曲げによる部材角も含まれているため、面外せん断剛性算定時の弾性係数マトリックスには、曲げの影響を考慮する必要がある。

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

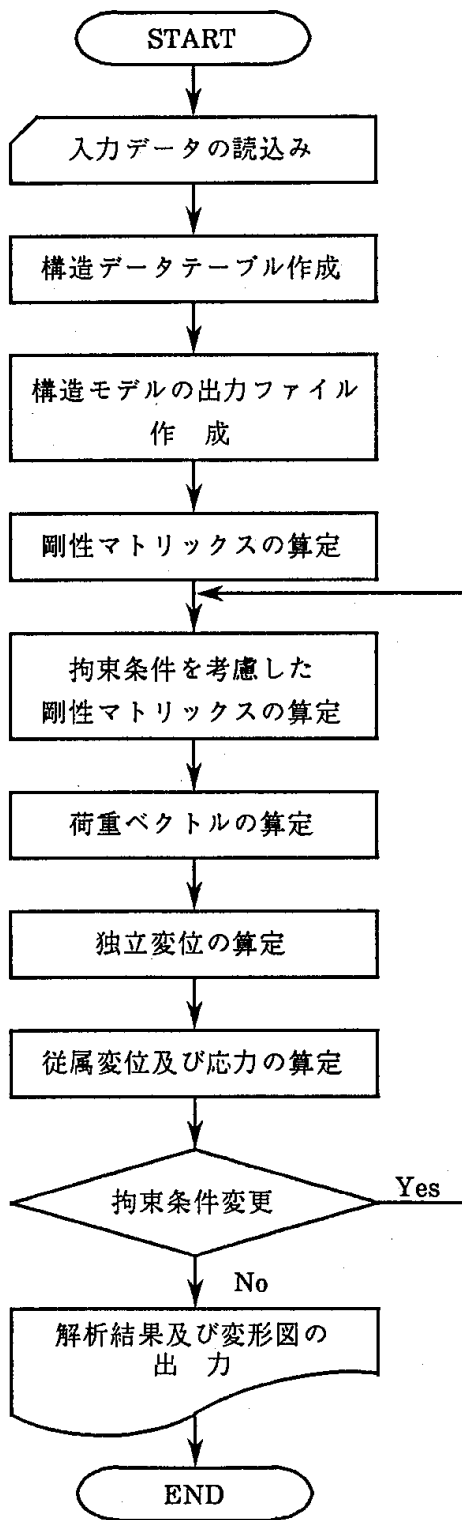


図3-2 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 他コードとの比較による検証

原子炉建屋の固有値解析及び周波数応答解析に使用したはり要素，シェル要素およびソリッド要素に対して，市販されている汎用構造計算機プログラム「MSC NASTRAN」(MSC. Software Corporation) との比較を行う。

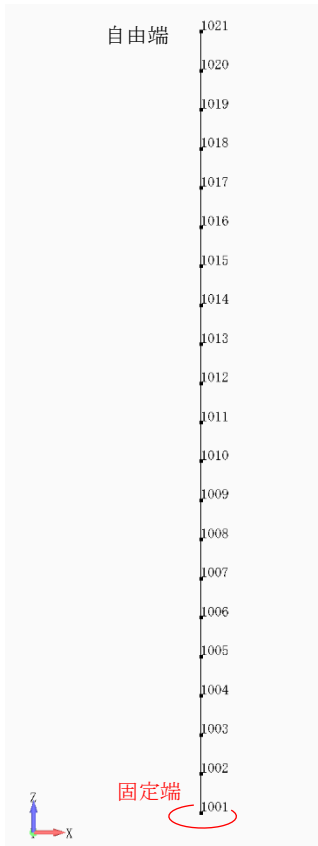
ここでは，はり要素，シェル要素およびソリッド要素を用いた解析モデルをそれぞれ構築し，固有値解析及び周波数応答解析を実施する。解析条件を表3-1に，解析モデルを図3-3に示す。

各モデルは，0.6m (X方向) ×0.5m (Y方向) ×4.0m (Z方向) のコンクリート部材 (弾性材料) としてモデル化するものとし，いずれも片端固定端，片端自由端とする。

表 3-1 解析条件

ヤング係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$ (-)	密度 $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	構造減衰 (%)
$2.88 \times 10^7$	0.2	24.0	5.0





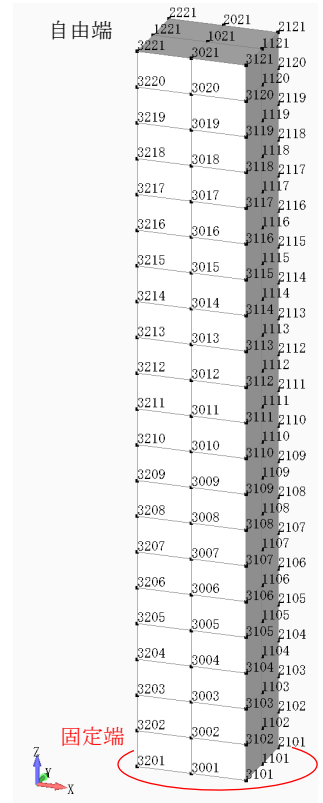
- ・節点数：21，要素数：20  
(はり要素：0.2m ピッチ)

(a) はり要素モデル



- ・節点数：63，要素数：40  
(シェル要素：0.3m×0.2m)

(b) シェル要素モデル



- ・節点数：189，要素数：80  
(ソリッド要素：  
0.3m×0.25m×0.2m)

(c) ソリッド要素モデル

図 3-3 解析モデル

固有値解析結果（X方向主要モードの比較）を表3-2～表3-4に示す。

いずれのモデルについても、「NX NASTRAN」と「MSC NASTRAN」は同一の振動数及びモード形状を示しており、整合している。

表3-2 X方向主要モードの比較 はり要素モデル

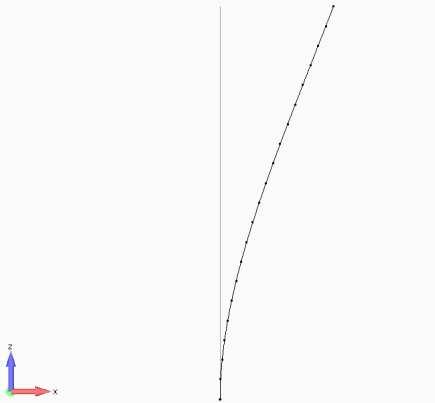
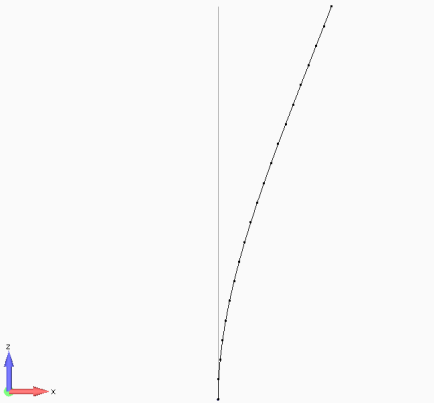
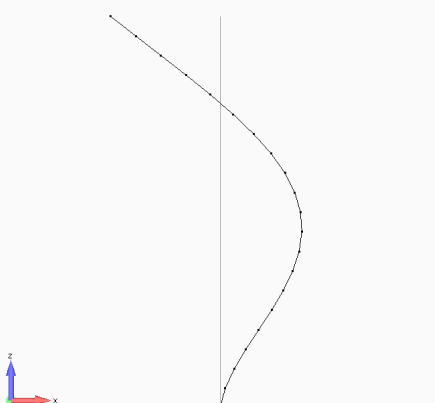
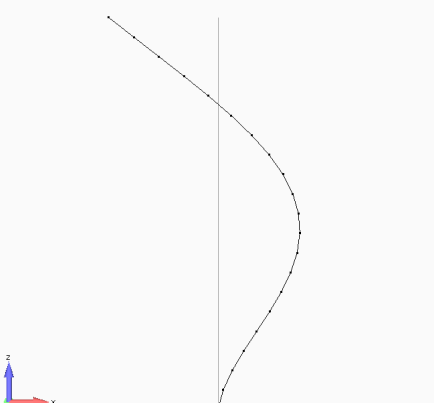
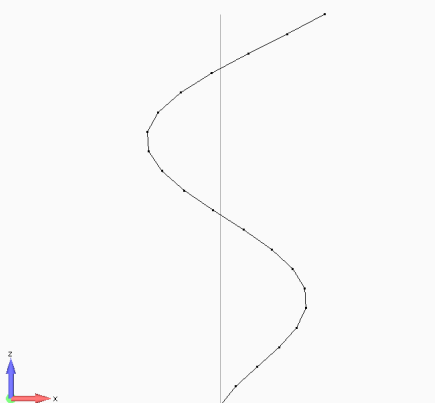
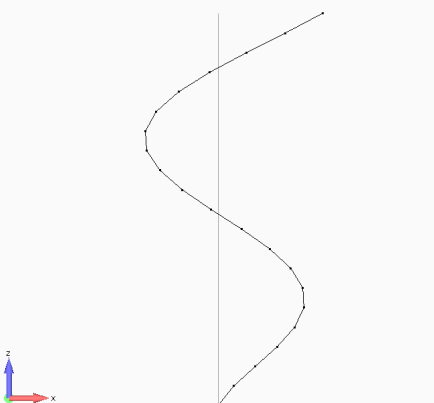
X方向	NX NASTRAN	MSC NASTRAN
1次 20.5Hz	 <p>The plot shows the first mode shape of a cantilever beam fixed at the bottom. The beam is represented by a vertical line with a curved deflection to the right. A small 3D coordinate system is shown at the bottom left with the z-axis pointing up, the x-axis pointing right, and the y-axis pointing out of the page.</p>	 <p>The plot shows the first mode shape of a cantilever beam fixed at the bottom. The beam is represented by a vertical line with a curved deflection to the right. A small 3D coordinate system is shown at the bottom left with the z-axis pointing up, the x-axis pointing right, and the y-axis pointing out of the page.</p>
2次 120Hz	 <p>The plot shows the second mode shape of a cantilever beam fixed at the bottom. The beam is represented by a vertical line with a curved deflection to the right, crossing the vertical axis once. A small 3D coordinate system is shown at the bottom left with the z-axis pointing up, the x-axis pointing right, and the y-axis pointing out of the page.</p>	 <p>The plot shows the second mode shape of a cantilever beam fixed at the bottom. The beam is represented by a vertical line with a curved deflection to the right, crossing the vertical axis once. A small 3D coordinate system is shown at the bottom left with the z-axis pointing up, the x-axis pointing right, and the y-axis pointing out of the page.</p>
3次 305Hz	 <p>The plot shows the third mode shape of a cantilever beam fixed at the bottom. The beam is represented by a vertical line with a curved deflection to the right, crossing the vertical axis twice. A small 3D coordinate system is shown at the bottom left with the z-axis pointing up, the x-axis pointing right, and the y-axis pointing out of the page.</p>	 <p>The plot shows the third mode shape of a cantilever beam fixed at the bottom. The beam is represented by a vertical line with a curved deflection to the right, crossing the vertical axis twice. A small 3D coordinate system is shown at the bottom left with the z-axis pointing up, the x-axis pointing right, and the y-axis pointing out of the page.</p>

表 3-3 X 方向主要モードの比較 シェル要素モデル

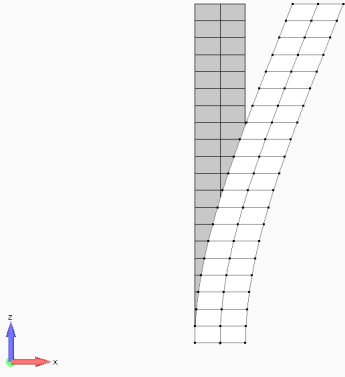
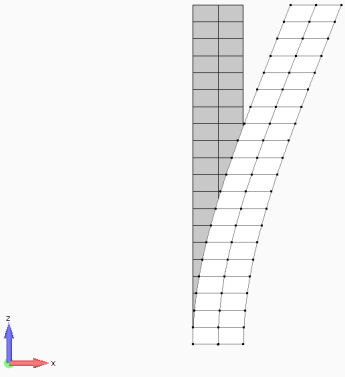
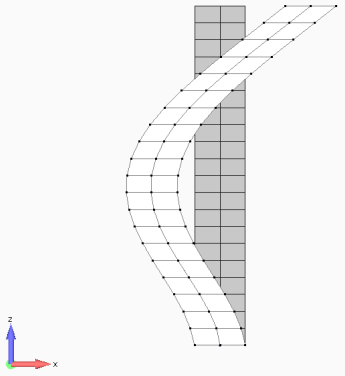
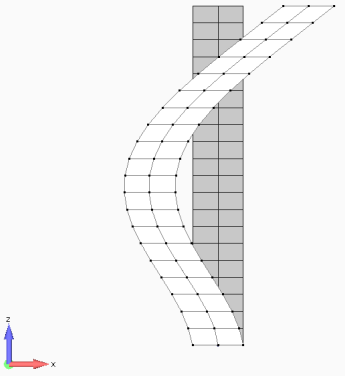
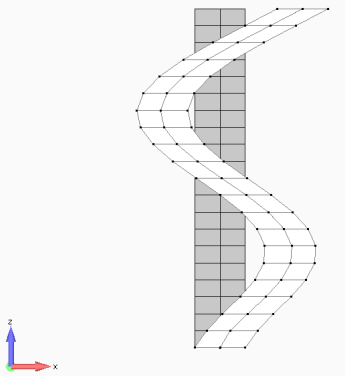
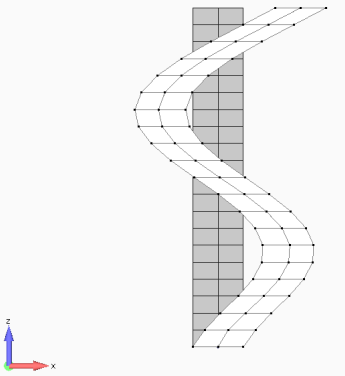
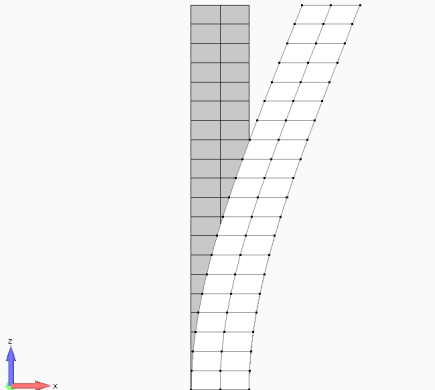
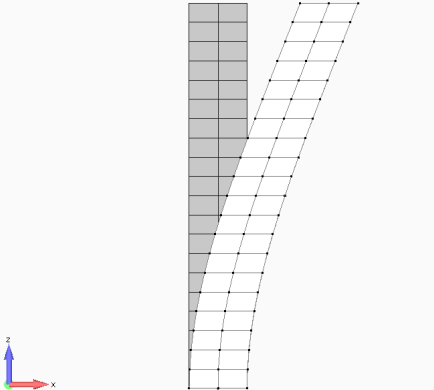
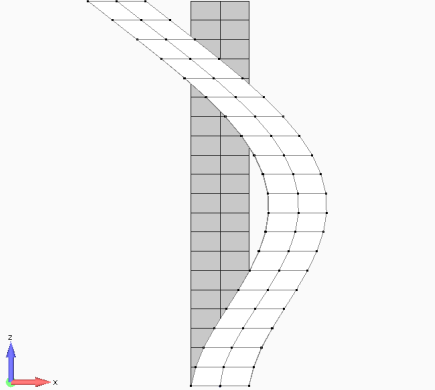
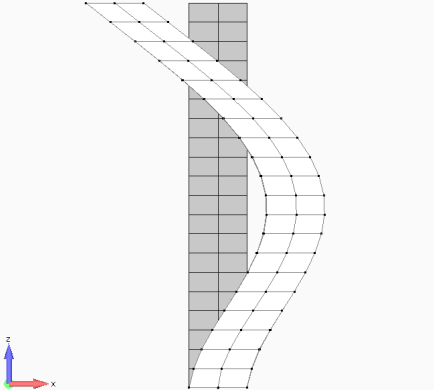
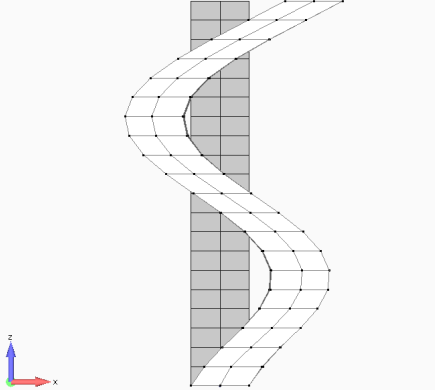
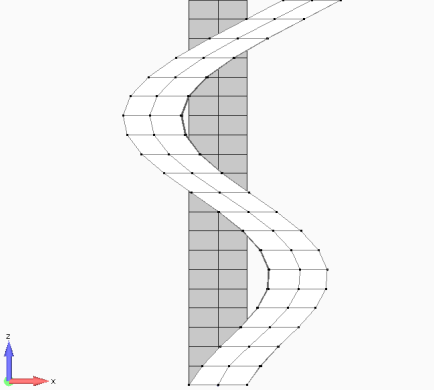
X 方向	NX NASTRAN	MSC NASTRAN
1 次 20.4Hz	 <p>The NX NASTRAN 1st mode shape shows a vertical plate with a grid. The right side of the plate is curved outwards, and the top edge is slightly curved. A coordinate system with x, y, and z axes is shown at the bottom left.</p>	 <p>The MSC NASTRAN 1st mode shape shows a vertical plate with a grid. The right side of the plate is curved outwards, and the top edge is slightly curved. A coordinate system with x, y, and z axes is shown at the bottom left.</p>
2 次 117Hz	 <p>The NX NASTRAN 2nd mode shape shows a vertical plate with a grid. The right side of the plate is curved inwards, and the top edge is slightly curved. A coordinate system with x, y, and z axes is shown at the bottom left.</p>	 <p>The MSC NASTRAN 2nd mode shape shows a vertical plate with a grid. The right side of the plate is curved inwards, and the top edge is slightly curved. A coordinate system with x, y, and z axes is shown at the bottom left.</p>
3 次 294Hz	 <p>The NX NASTRAN 3rd mode shape shows a vertical plate with a grid. The right side of the plate is curved inwards, and the top edge is slightly curved. A coordinate system with x, y, and z axes is shown at the bottom left.</p>	 <p>The MSC NASTRAN 3rd mode shape shows a vertical plate with a grid. The right side of the plate is curved inwards, and the top edge is slightly curved. A coordinate system with x, y, and z axes is shown at the bottom left.</p>

表 3-4 X 方向主要モードの比較 ソリッド要素モデル

X 方向	NX NASTRAN	MSC NASTRAN
1 次 20.5Hz	 NX NASTRAN 1st mode shape (20.5Hz). The structure is a vertical plate with a diagonal cutout. The mesh shows a smooth, single-curvature deformation in the X-direction. A coordinate system with Z (blue), X (red), and Y (green) axes is shown at the bottom left.	 MSC NASTRAN 1st mode shape (20.5Hz). The structure is a vertical plate with a diagonal cutout. The mesh shows a smooth, single-curvature deformation in the X-direction, matching the NX NASTRAN result. A coordinate system with Z (blue), X (red), and Y (green) axes is shown at the bottom left.
2 次 117Hz	 NX NASTRAN 2nd mode shape (117Hz). The structure is a vertical plate with a diagonal cutout. The mesh shows a double-curvature deformation in the X-direction. A coordinate system with Z (blue), X (red), and Y (green) axes is shown at the bottom left.	 MSC NASTRAN 2nd mode shape (117Hz). The structure is a vertical plate with a diagonal cutout. The mesh shows a double-curvature deformation in the X-direction, matching the NX NASTRAN result. A coordinate system with Z (blue), X (red), and Y (green) axes is shown at the bottom left.
3 次 295Hz	 NX NASTRAN 3rd mode shape (295Hz). The structure is a vertical plate with a diagonal cutout. The mesh shows a complex, triple-curvature deformation in the X-direction. A coordinate system with Z (blue), X (red), and Y (green) axes is shown at the bottom left.	 MSC NASTRAN 3rd mode shape (295Hz). The structure is a vertical plate with a diagonal cutout. The mesh shows a complex, triple-curvature deformation in the X-direction, matching the NX NASTRAN result. A coordinate system with Z (blue), X (red), and Y (green) axes is shown at the bottom left.

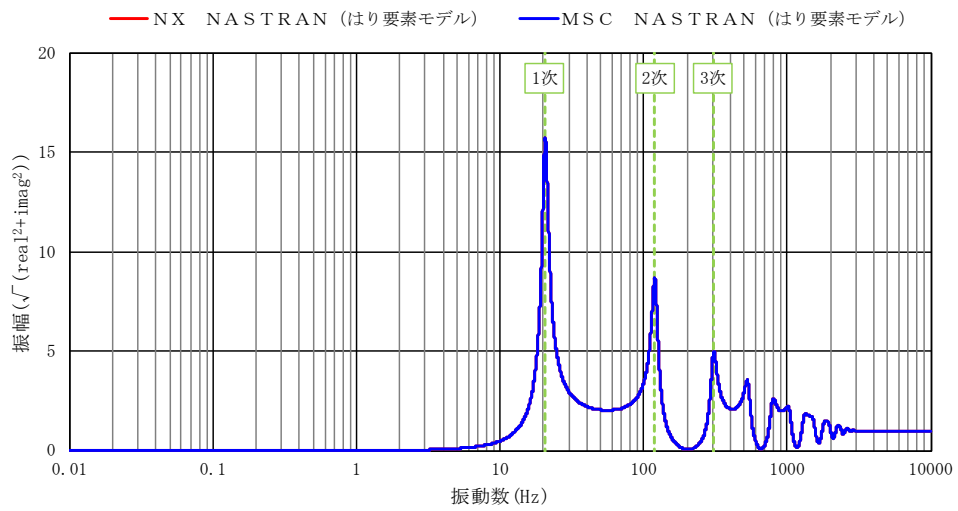
周波数応答解析については、0.01Hz～10000Hzにおいて、X方向に1Gにより基盤加振するものとする。

各周波数応答解析の結果は、各振動数に対する複素関数の実部 (real) と虚部 (imag) として得られる。ここでは、当該実部 (real) と虚部 (imag) の二乗和平方根をとった伝達関数について、「NX NASTRAN」と「MSC NASTRAN」を比較することで検証する。

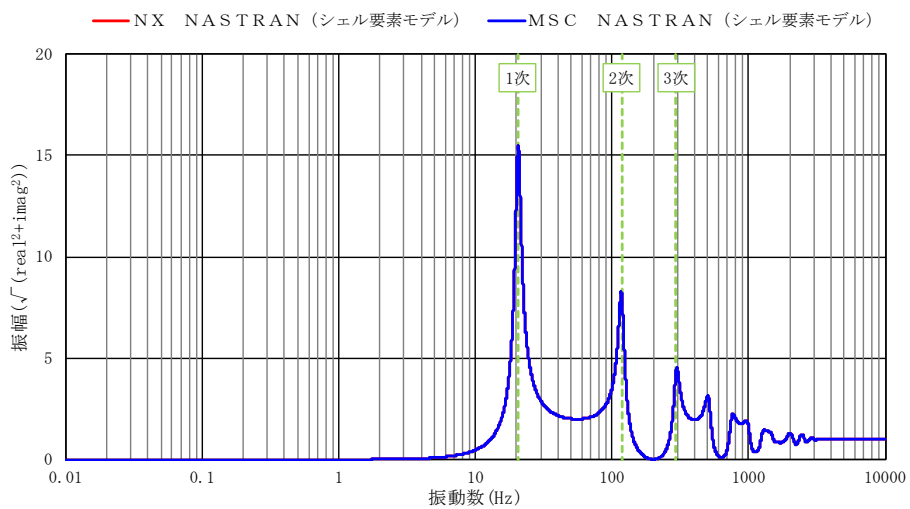
X方向の周波数応答解析結果（節点番号1021における伝達関数）を図3-4に示す。

なお、図3-4には、表3-2～表3-4に示した1次～3次までの固有振動数を併記している。

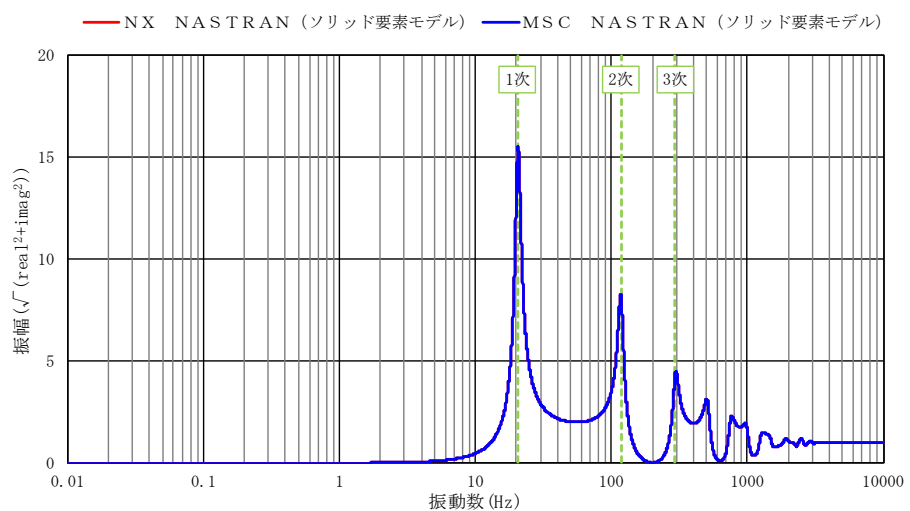
「NX NASTRAN」と「MSC NASTRAN」は、固有モードに対応した振動数においてピークが立ち、かつ同一の伝達関数を示している。



(a) はり要素モデル



(b) シェル要素モデル



(c) ソリッド要素モデル

図 3-4 X 方向の周波数応答解析結果 (節点番号 1021 における伝達関数)

### 3.5.2 使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の固有値解析及び周波数応答解析にNX NASTRANを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり、固有値解析及び周波数応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。