

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-024-4-1改4
提出年月日	2020年7月22日

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について
(建物・構築物)

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 検討の目的	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	1
2.1 柏崎刈羽 7 号機原子力発電所の基準地震動	1
2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	4
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	4
3.1 建物・構築物	4
3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	4
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	6
3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出	11
3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価部位の抽出結果	26
3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針	28
3.1.6 主排気筒の検討	30
3.1.7 使用済燃料貯蔵プールの壁の検討	40
3.1.8 原子炉建屋の基礎スラブの検討	61
3.2 機器・配管系	
3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	
3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	
3.3 屋外重要土木構造物	
3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	
3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	
3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	
3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備	
3.4.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	

別紙 1 評価部位の抽出に関する説明資料

別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査

別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析

別紙 4 機器・配管系に関する説明資料

別紙 5 方向性を考慮しない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針

: 今回提出範囲

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 基礎のロックイン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

: 今回提出範囲

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であると考えられる。

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

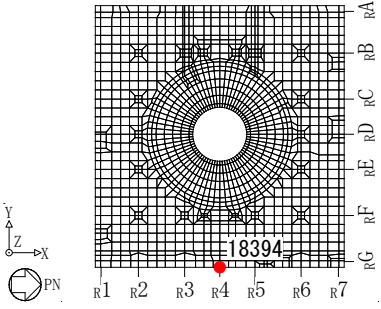
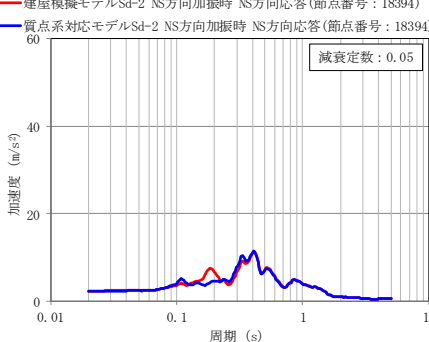
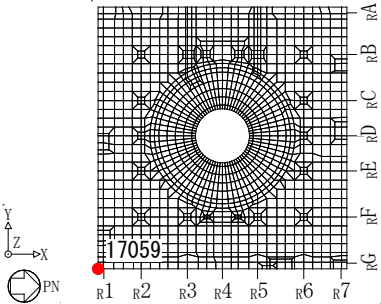
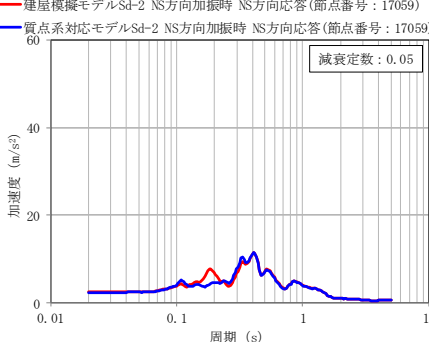
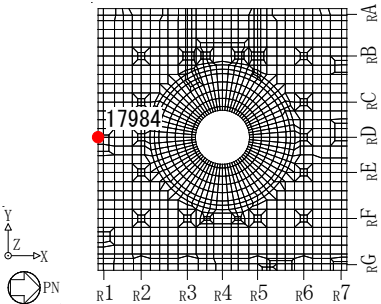
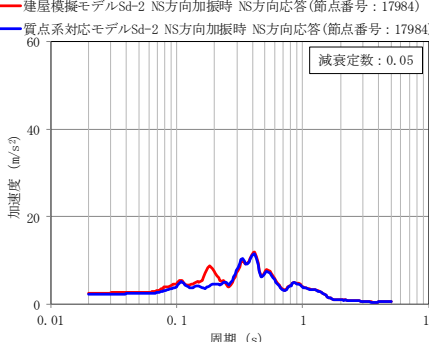
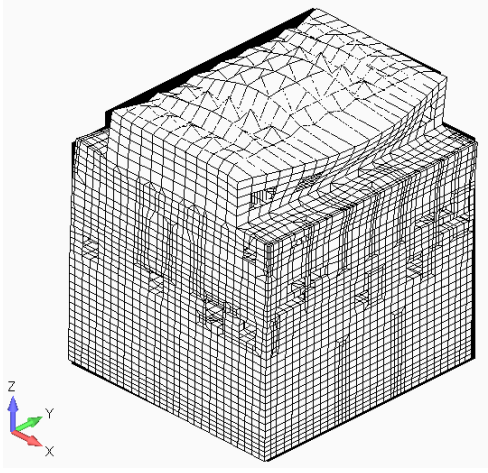
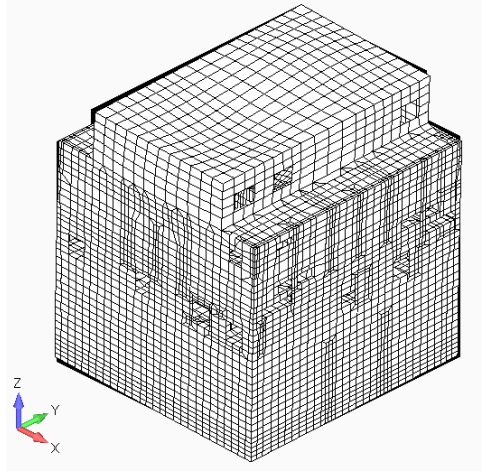
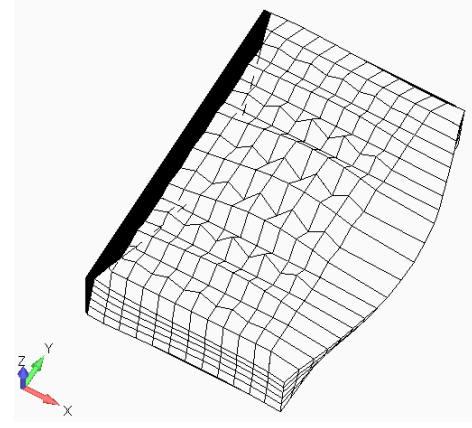
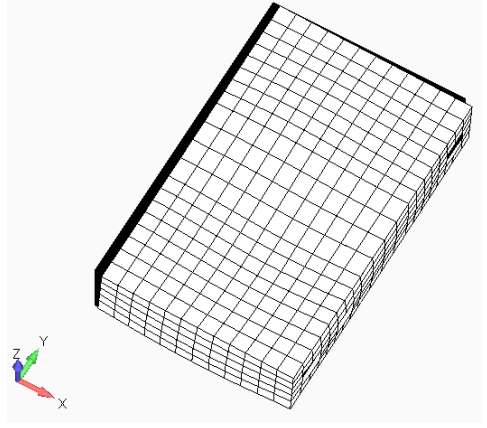
評価点 (外壁部)	Sd-2 NS 方向加振時 NS 応答
 <p>T. M. S. L. 12.3m No. 18394</p>	 <p>— 建屋模擬モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 18394) — 質点系対応モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 18394)</p> <p>減衰定数: 0.05</p>
 <p>T. M. S. L. 12.3m No. 17059</p>	 <p>— 建屋模擬モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17059) — 質点系対応モデルSd-2 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17059)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

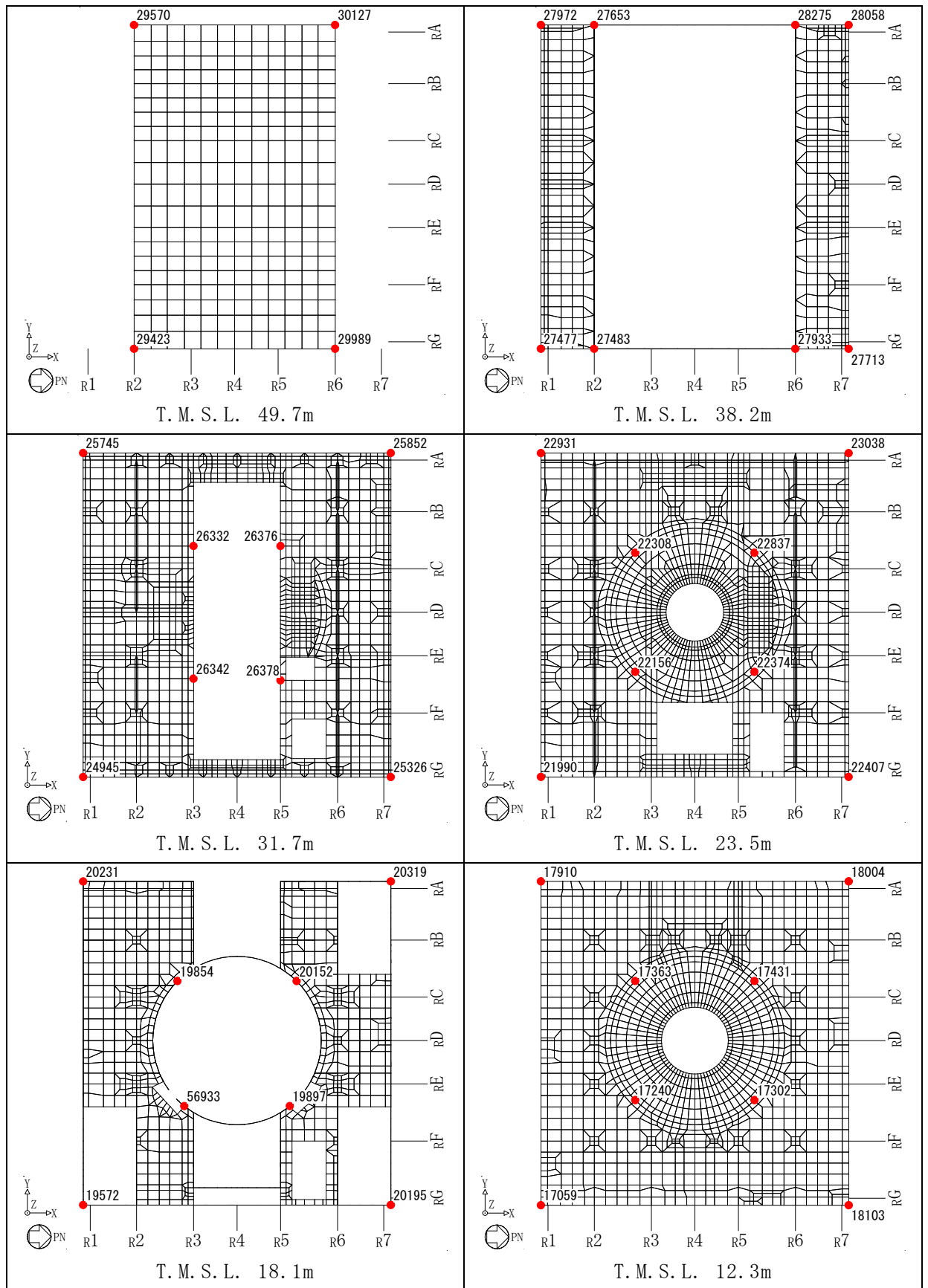


図 2-1 応答評価位置 (1/2)

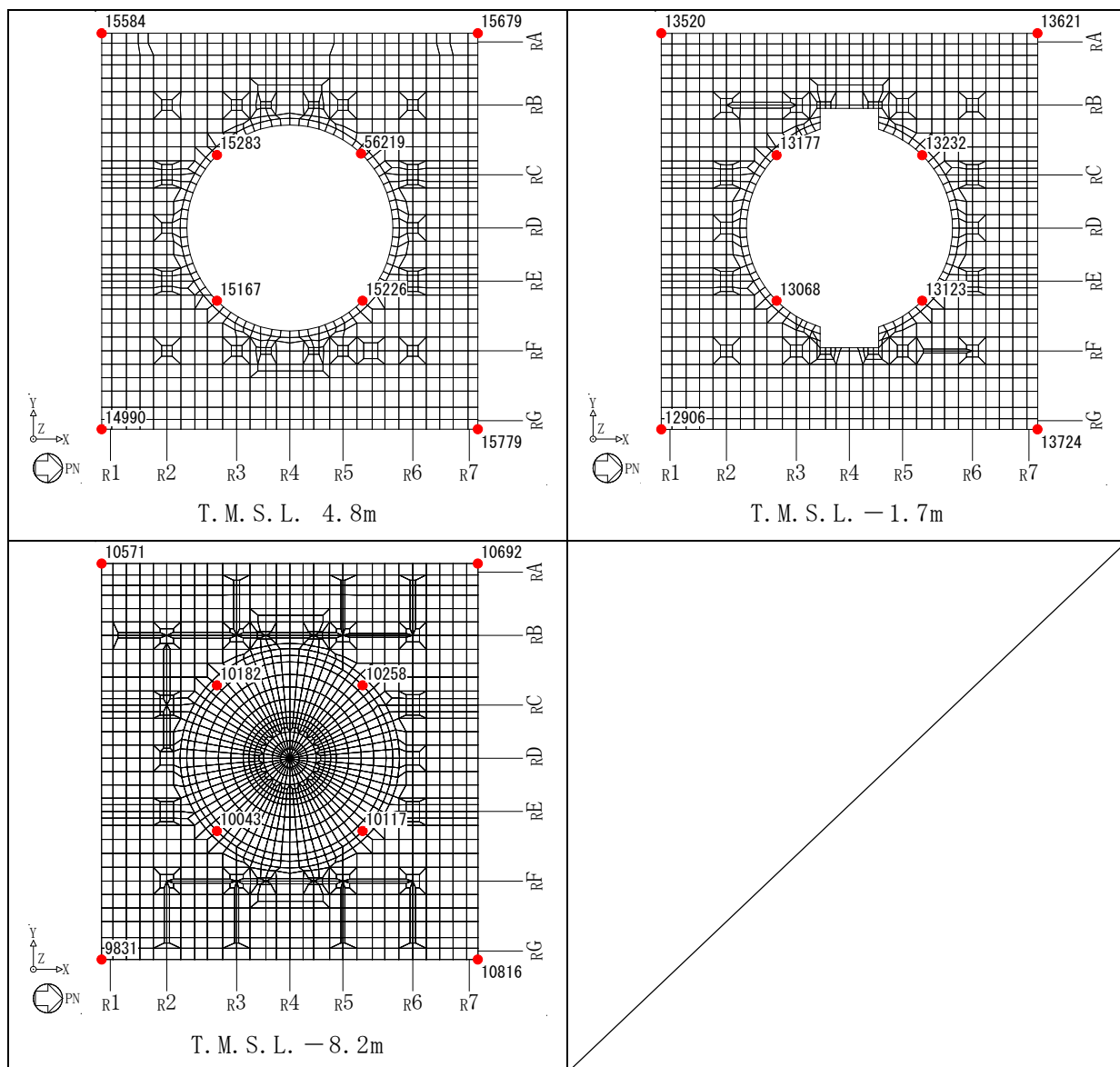
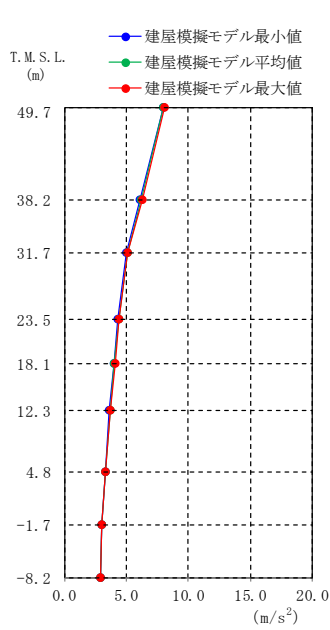
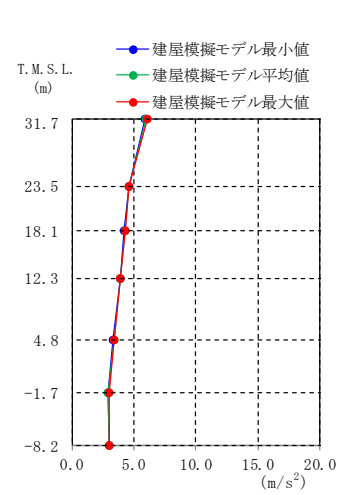


図 2-1 応答評価位置 (2/2)



Sd-1 NS方向 外壁部 (m/s²)

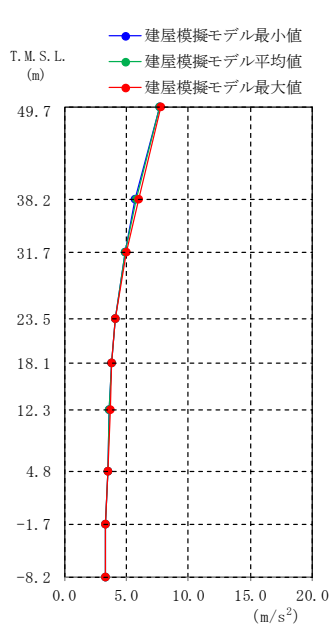
建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
7.99	8.02	8.07
6.11	6.18	6.29
5.04	5.09	5.11
4.33	4.39	4.43
4.01	4.04	4.06
3.65	3.68	3.70
3.26	3.28	3.29
2.98	2.99	3.00
2.92	2.93	2.95



Sd-1 NS方向 RCCV部 (m/s²)

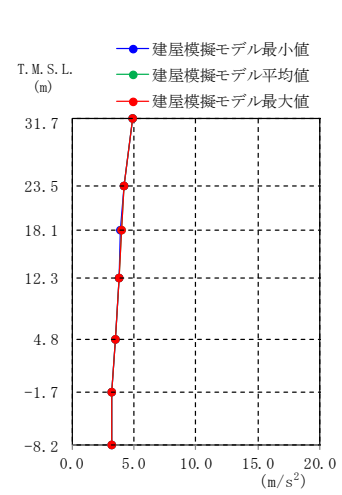
建屋模擬モデル		
最小値	平均値	最大値
5.87	5.97	6.08
4.56	4.59	4.62
4.22	4.25	4.27
3.87	3.90	3.92
3.32	3.37	3.41
2.93	2.95	2.96
2.97	2.97	2.98

(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/s²)

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



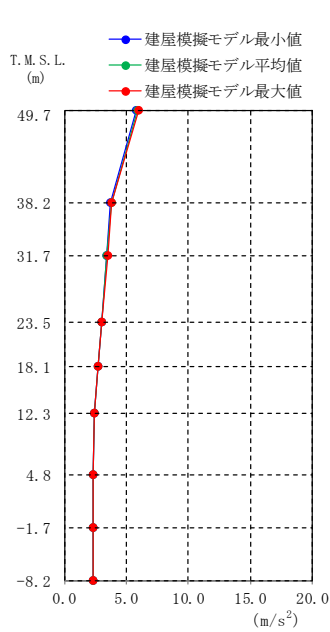
Sd-1 EW方向 RCCV部 (m/s²)

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

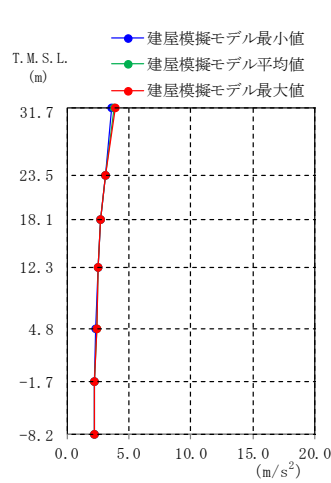
注：建屋模擬モデルは3次元FEMモデルである。

図2-2 最大応答加速度の比較 (Sd-1)



Sd-2 NS方向 外壁部 (m/s²)

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

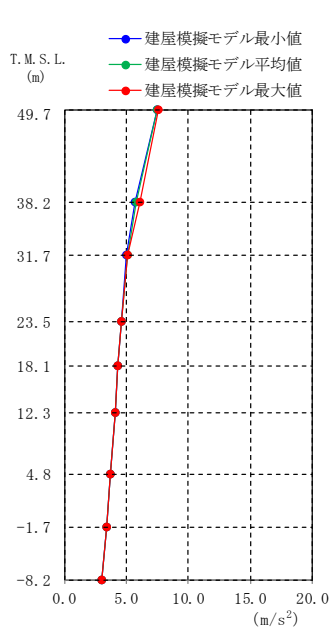


Sd-2 NS方向 RCCV部 (m/s²)

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

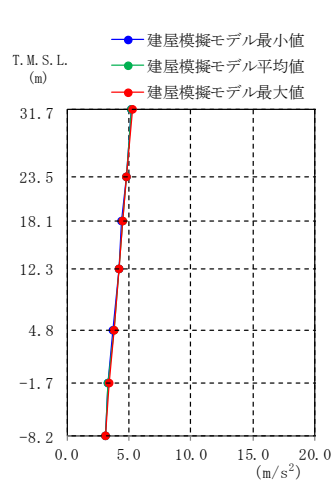
(1) 外壁部 (2) RCCV部

(a) Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答



Sd-2 EW方向 外壁部 (m/s²)

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/s²)

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)

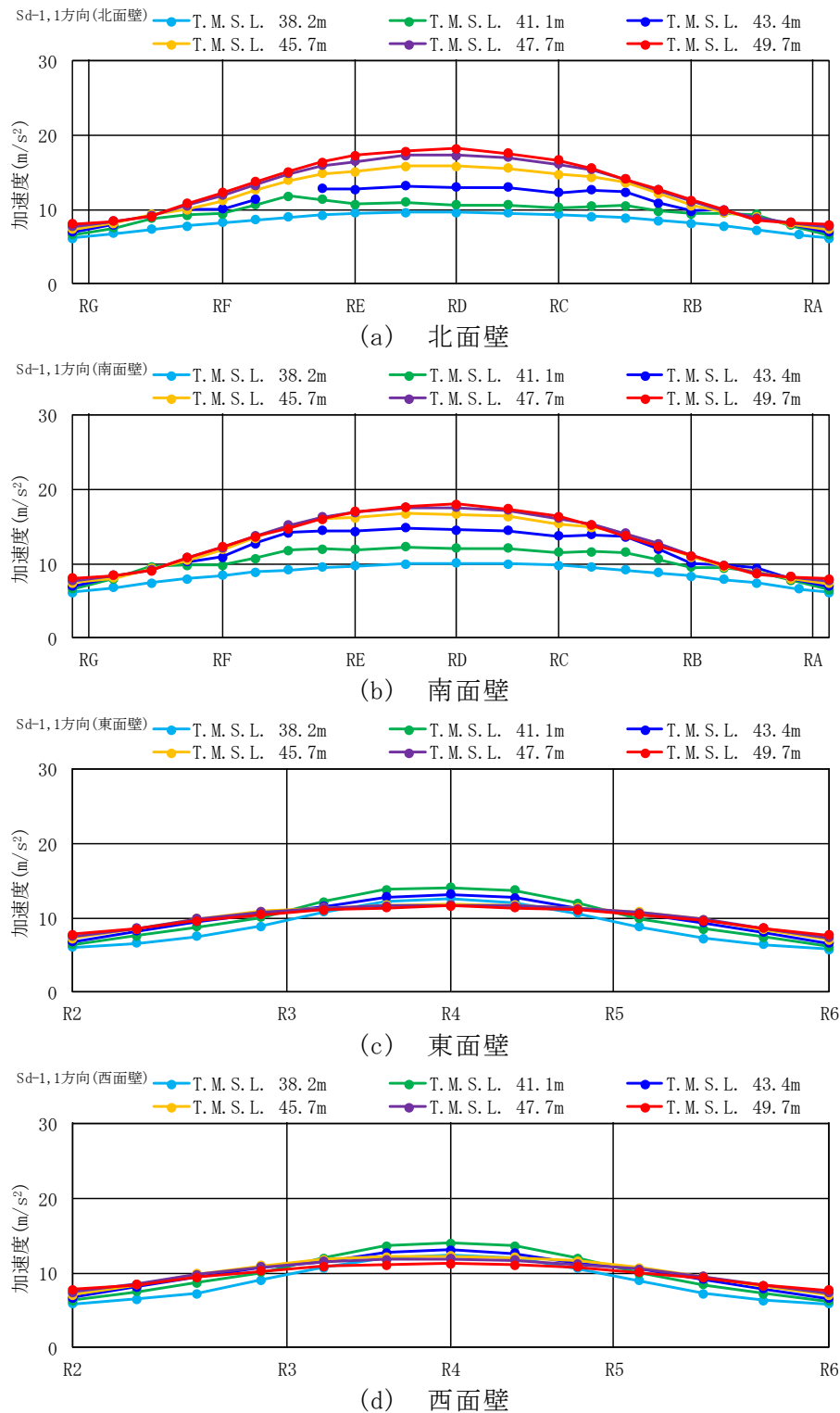


図 2-4 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-1, 平面分布)

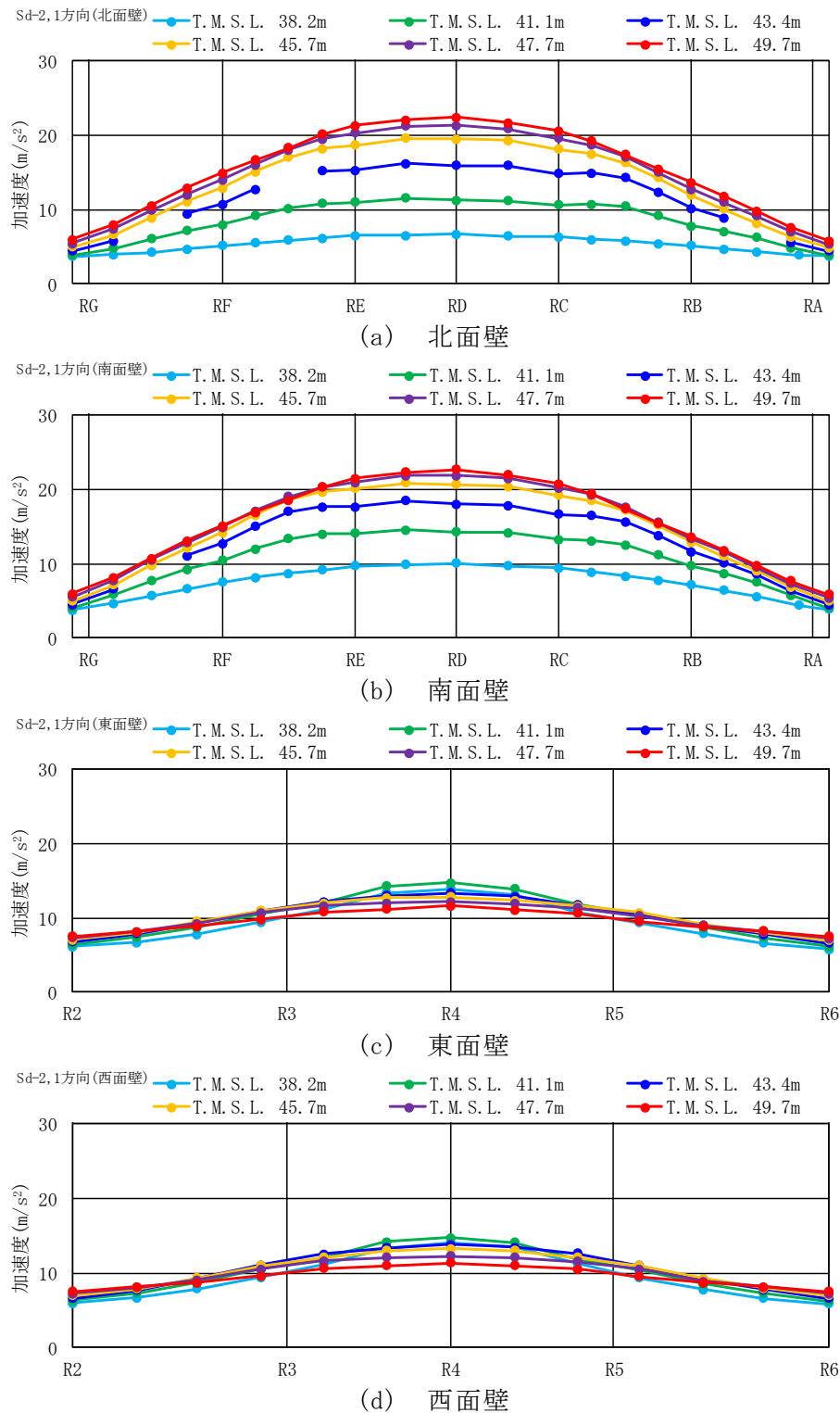


図 2-5 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-2, 平面分布)

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。

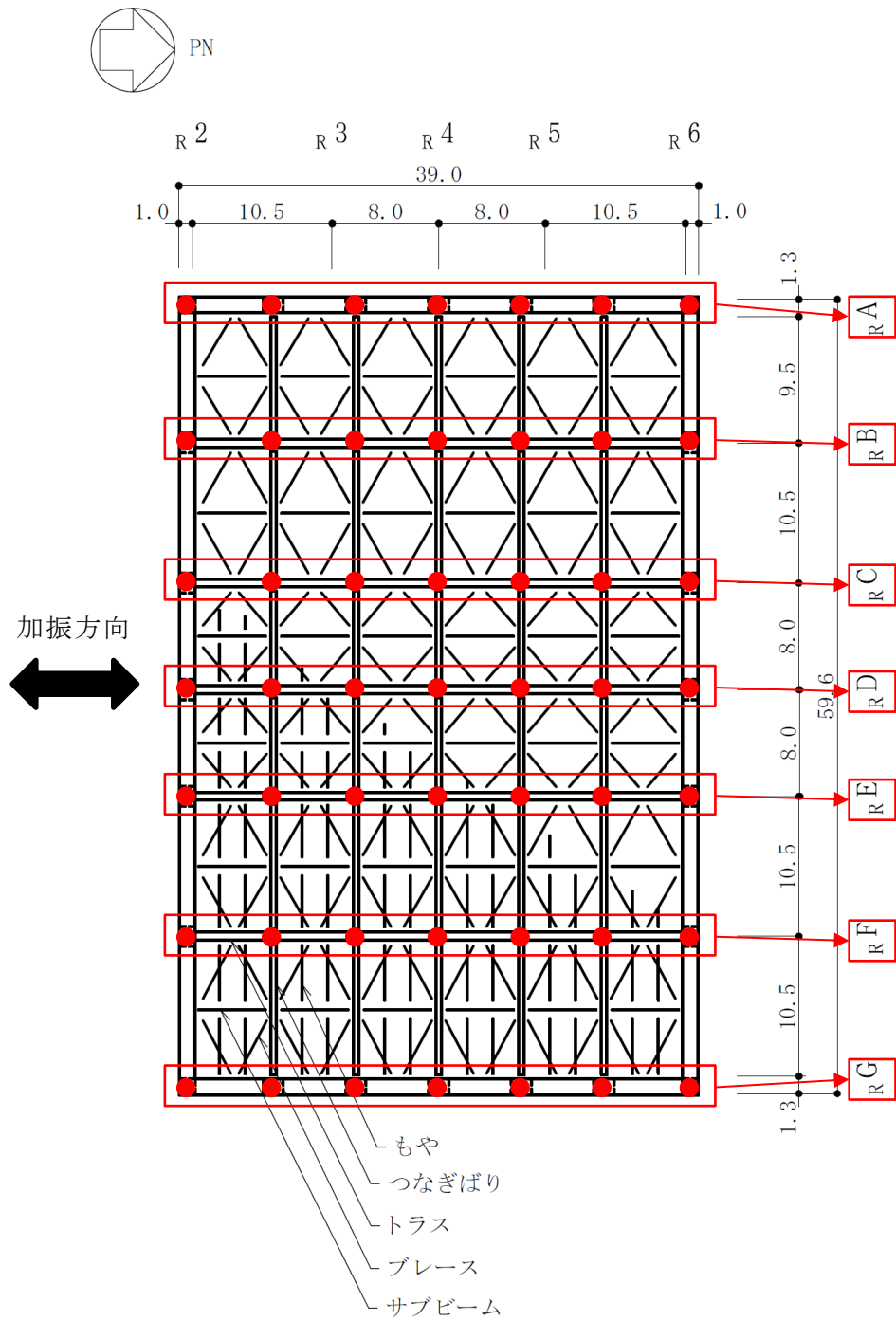


図 2-6 NS 方向加振時における屋根スラブの代表節点

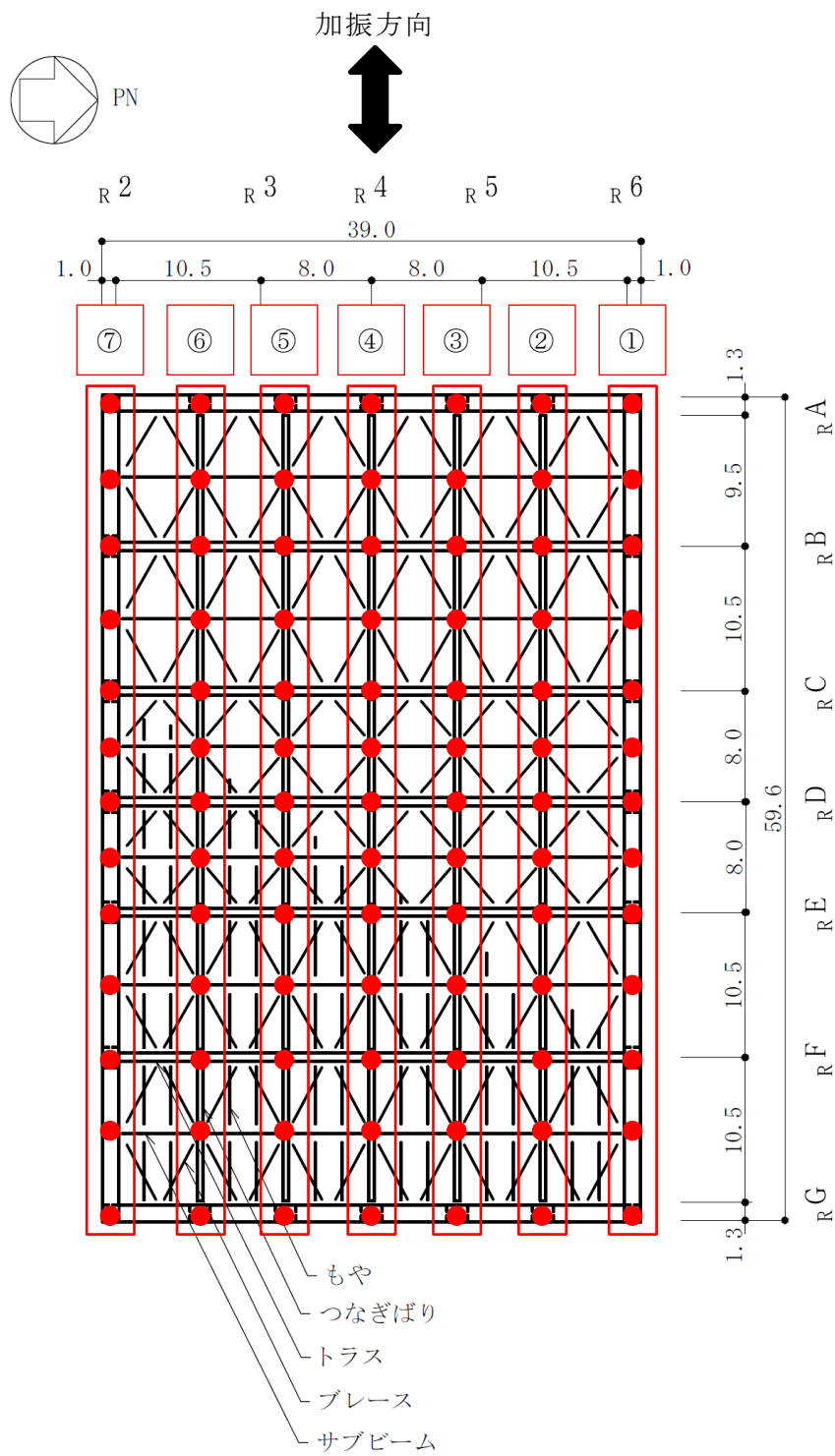
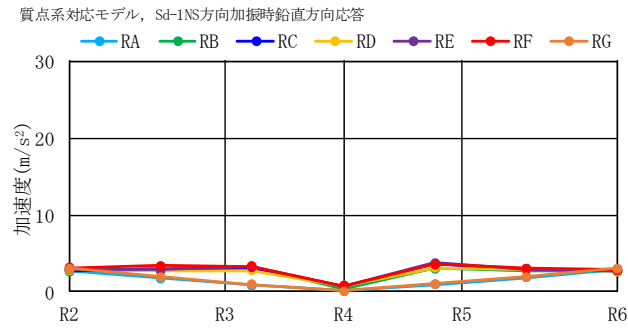
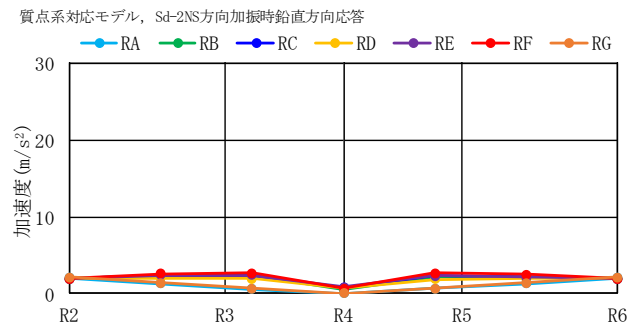


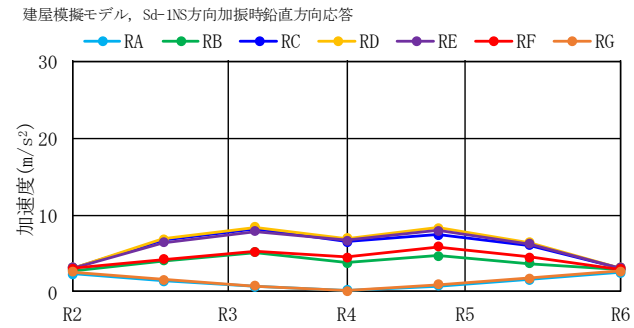
図 2-7 EW 方向加振時における屋根スラブの代表節点



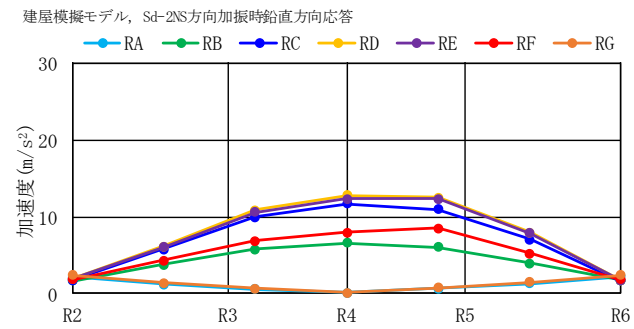
(a) 質点系対応モデル Sd-1



(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

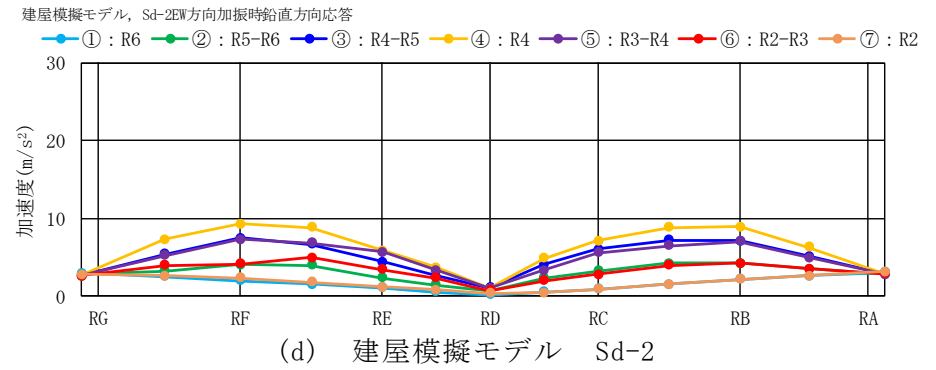
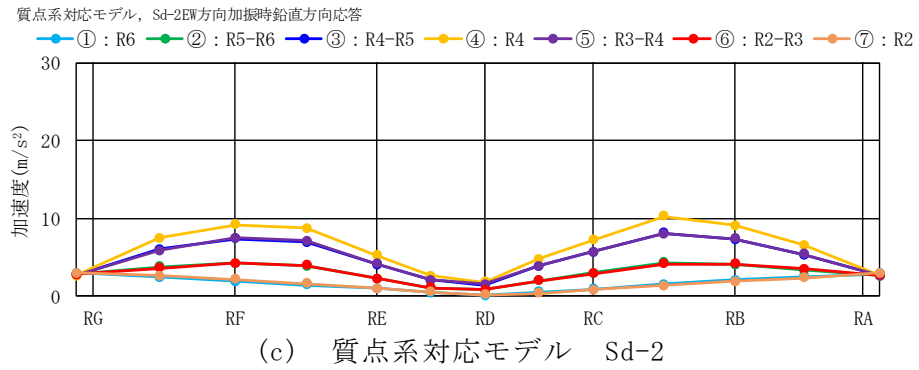
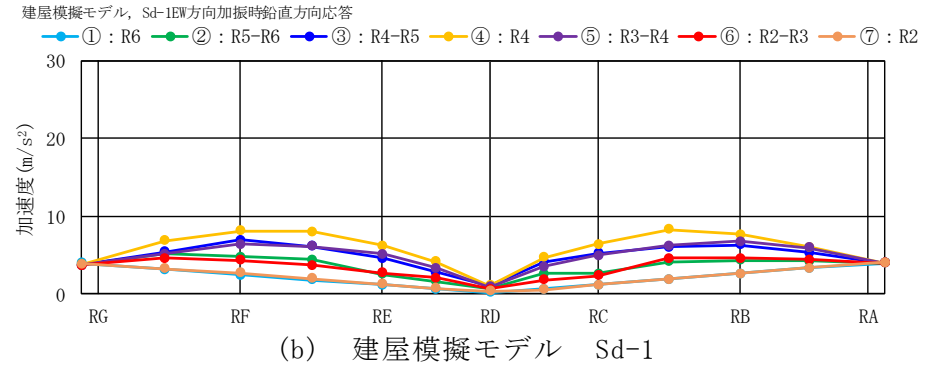
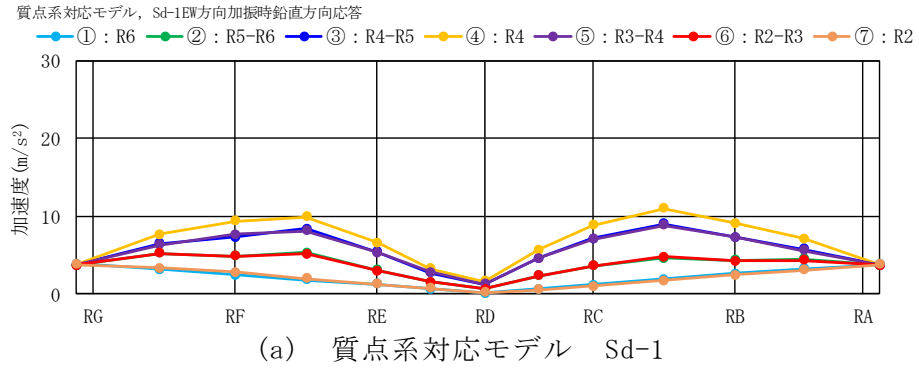


図 2-9 EW 方向加振時における鉛直方向の最大応答加速度の分布図