

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-025-3 改2
提出年月日	2020年5月14日

コントロール建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-2-9「コントロール建屋の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 2 地震応答解析における耐震壁のせん断スケルトン曲線の設定

別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

下線：今回ご提示資料

別紙1-2-2 側面回転ばねのEW方向への適用について

## 目 次

1. 概要 .....	別紙1-2-2-1
2. 検討方針 .....	別紙1-2-2-2
3. 確認事項に対する検討 .....	別紙1-2-2-6
3.1 解析モデル .....	別紙1-2-2-6
3.2 検討用地震動 .....	別紙1-2-2-14
3.3 検討結果 .....	別紙1-2-2-15
4. まとめ .....	別紙1-2-2-20

## 1. 概要

本資料は、「別紙1-2 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について」を補足し、コントロール建屋のEW方向の地震応答解析モデルにおいても側面地盤回転ばねを適用できることを示すものである。

## 2. 検討方針

今回工認のコントロール建屋の地震応答解析モデルでは、図2-1に示すようにEW方向についてもNS方向と同様に、Novakの側面水平ばねと側面回転ばねを採用している。また、表2-1に示すように側面回転ばねを考慮することにより、NS方向と同様に接地率が改善することを確認している。

しかし、EW方向については、図2-2及び図2-3に示すように西側には廃棄物処理建屋が東側にはサービス建屋があることから、側面回転ばねによる効果が南北方向と比較して小さいのではないかという懸念がある。そこで本資料では、周辺建屋や地盤状況を考慮した場合でも建屋拘束効果が得られ、埋込みSRモデルに側面回転ばねを適用することが妥当であることを確認する。なお、解析モデルはEW方向の断面に対して周辺建屋や地盤状況を適切に考慮することができる2次元FEMモデルを採用する。

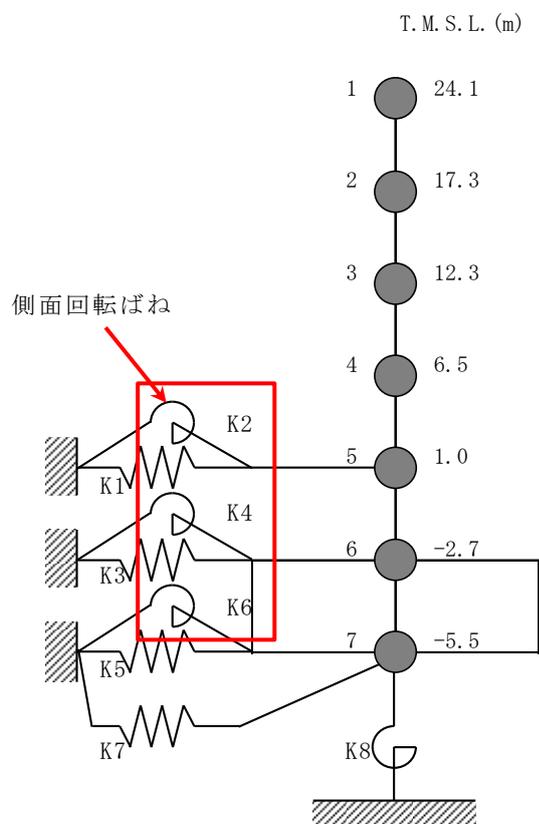


図2-1 コントロール建屋の地震応答解析モデル (EW方向)

表2-1 接地率 (Ss-1, EW方向)

解析ケース	接地率
①側面回転ばね非考慮モデル	68%
②側面回転ばね考慮モデル	76%

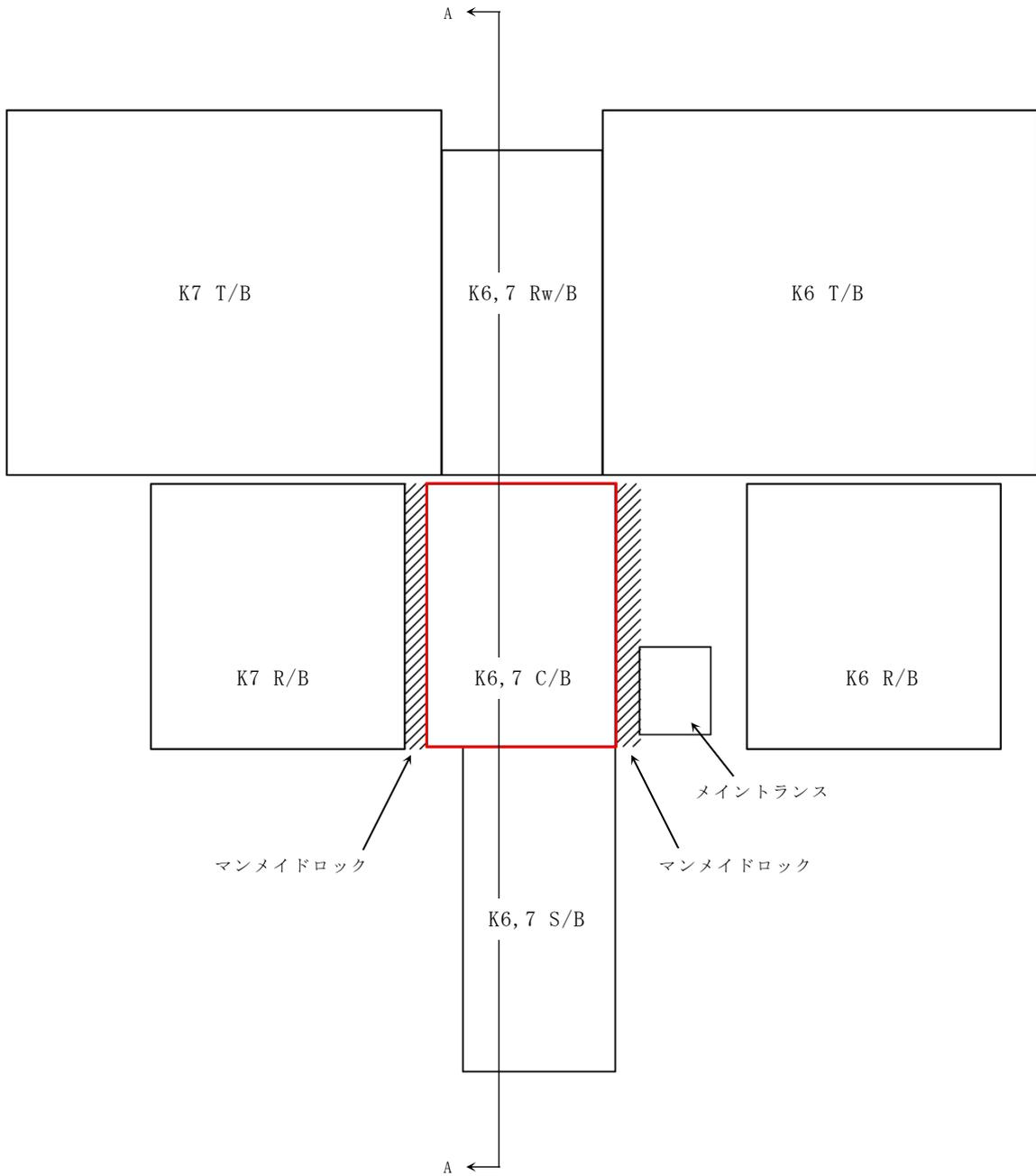


図2-2 コントロール建屋の設置状況（平面図）

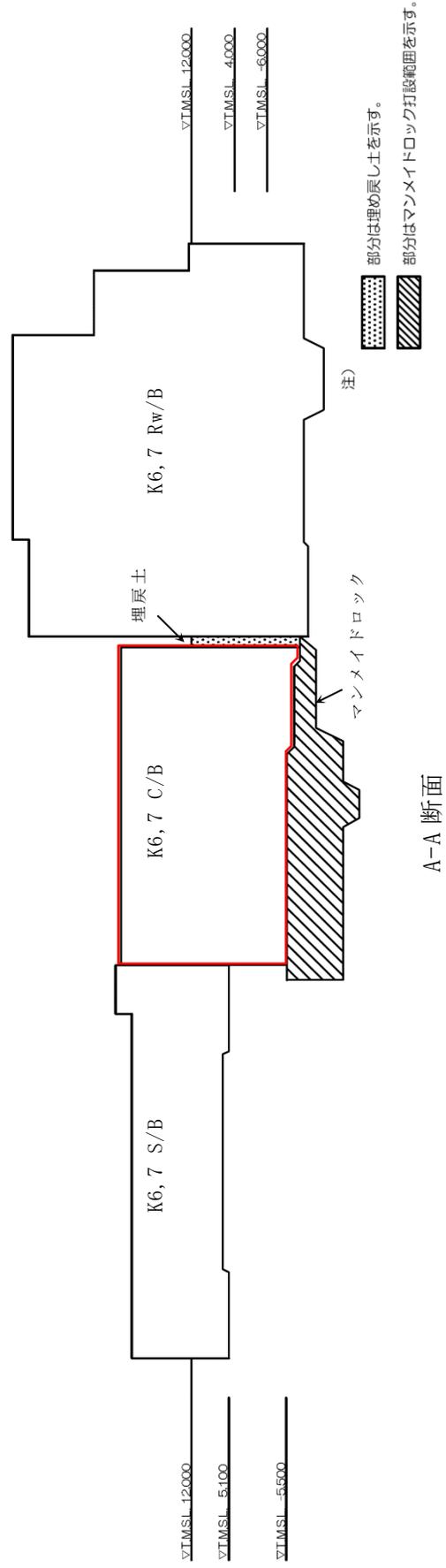


図 2-3 コントロール建屋の設置状況 (断面図) (単位 : mm)

### 3. 確認事項に対する検討

コントロール建屋に隣接する廃棄物処理建屋，サービス建屋及びコントロール建屋周辺にある地盤の影響について，それらを考慮した2次元FEMモデルを用いて地震応答解析を行い，EW方向についても埋込みSRモデルに側面回転ばねを適用することが妥当であることを確認する。

#### 3.1 解析モデル

##### (1) 地盤のモデル化

地盤は表3-1に示す水平成層地盤モデルとする。図3-1に地盤のメッシュ図を，図3-2に建屋周辺のメッシュの詳細を示す。

##### (2) 建屋地下外壁と側面地盤のジョイント部のモデル化

地下外壁と側面地盤の間に考慮する軸ばねの特性はNS方向モデルと同じである。地盤と接する部分には接触剥離を考慮する軸ばねを設置する（図3-3）。

##### (3) 建屋基礎底面と地盤のジョイント部のモデル化

NS方向モデルと同様である（図3-3）。

##### (4) コントロール建屋と廃棄物処理建屋とサービス建屋のモデル化

コントロール建屋は図2-1に示した質点系モデルであり，廃棄物処理建屋及びサービス建屋も同様の質点系モデルとした。コントロール建屋のモデル諸元を表3-2及び表3-3に示す。

表3-1 地盤物性

(a) コントロール建屋及び廃棄物処理建屋

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	減衰 定数 $h$ (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.0996	0.369	0.27	23
+8.0		200	16.1	0.308	0.0788	0.657	0.12	28
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.01	1.92	0.53	6
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.22	4.75	0.89	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.28	6.14	0.86	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
$\infty$								

表3-1 地盤物性

(b) サービス建屋

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 $V_s$ (m/s)	単体体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	初期せん断 弾性係数 $G_0$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	剛性 低下率 $G/G_0$	減衰 定数 $h$ (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.36	1.92	0.71	4
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.18	4.75	0.88	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.21	6.14	0.85	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
$\infty$		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00

注記\* : T. M. S. L. -6.0m以深の西山層についてはコントロール建屋及び廃棄物処理建屋の地盤物性を用いる。

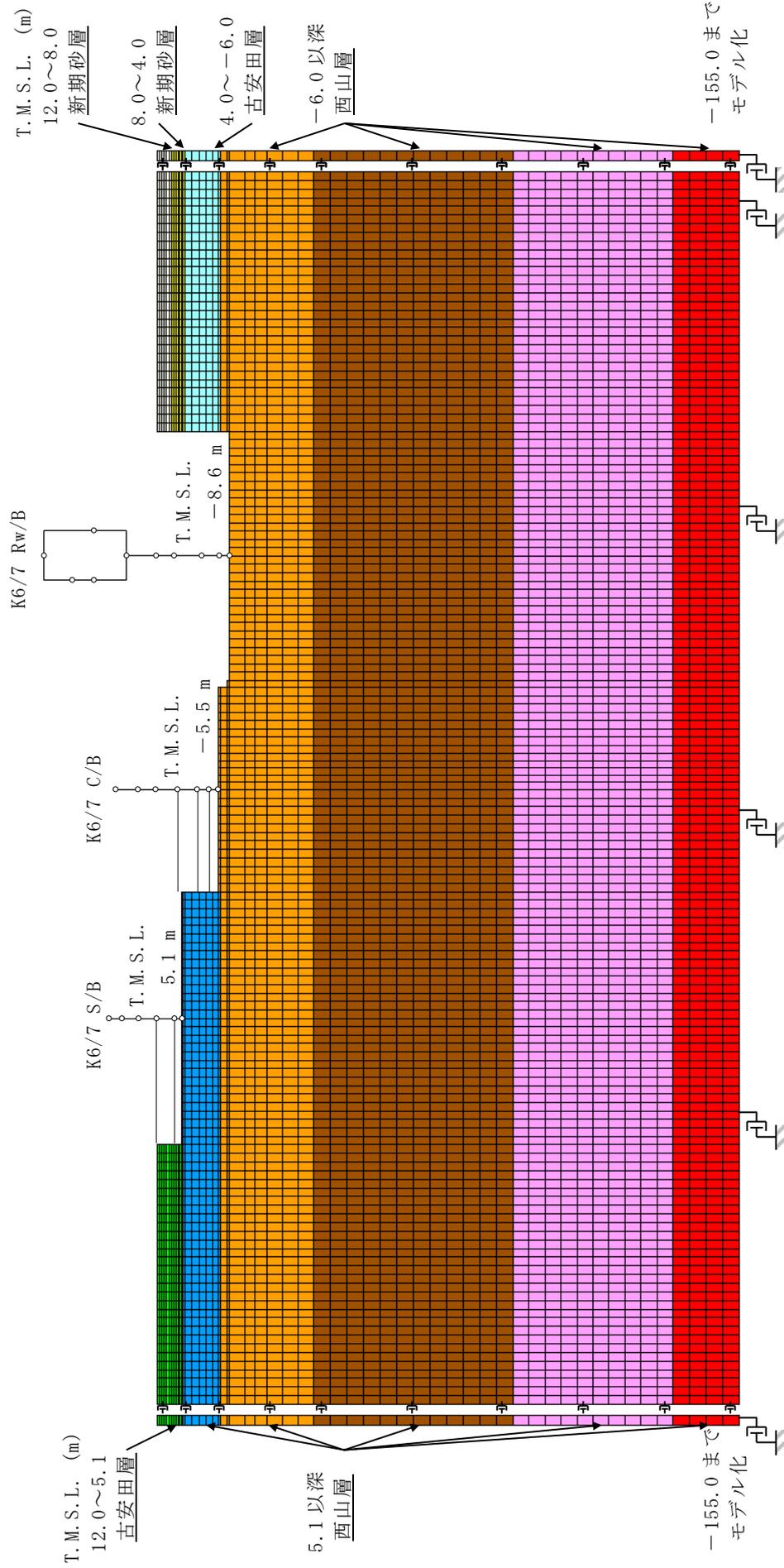


図 3-1 隣接建屋連成を考慮した 2 次元 FEM モデルのメッシュ図 (EW 方向)

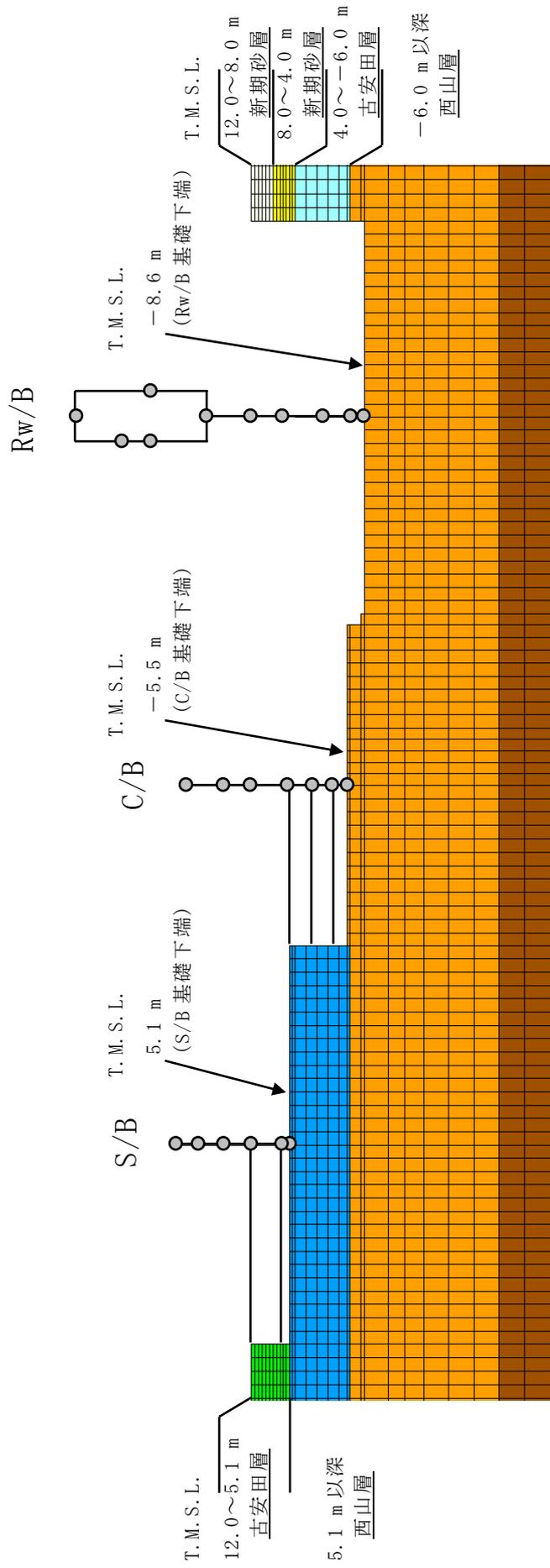


図 3-2 隣接建屋連成を考慮した 2 次元 FEM モデルの建屋周辺の拡大図 (EW 方向)

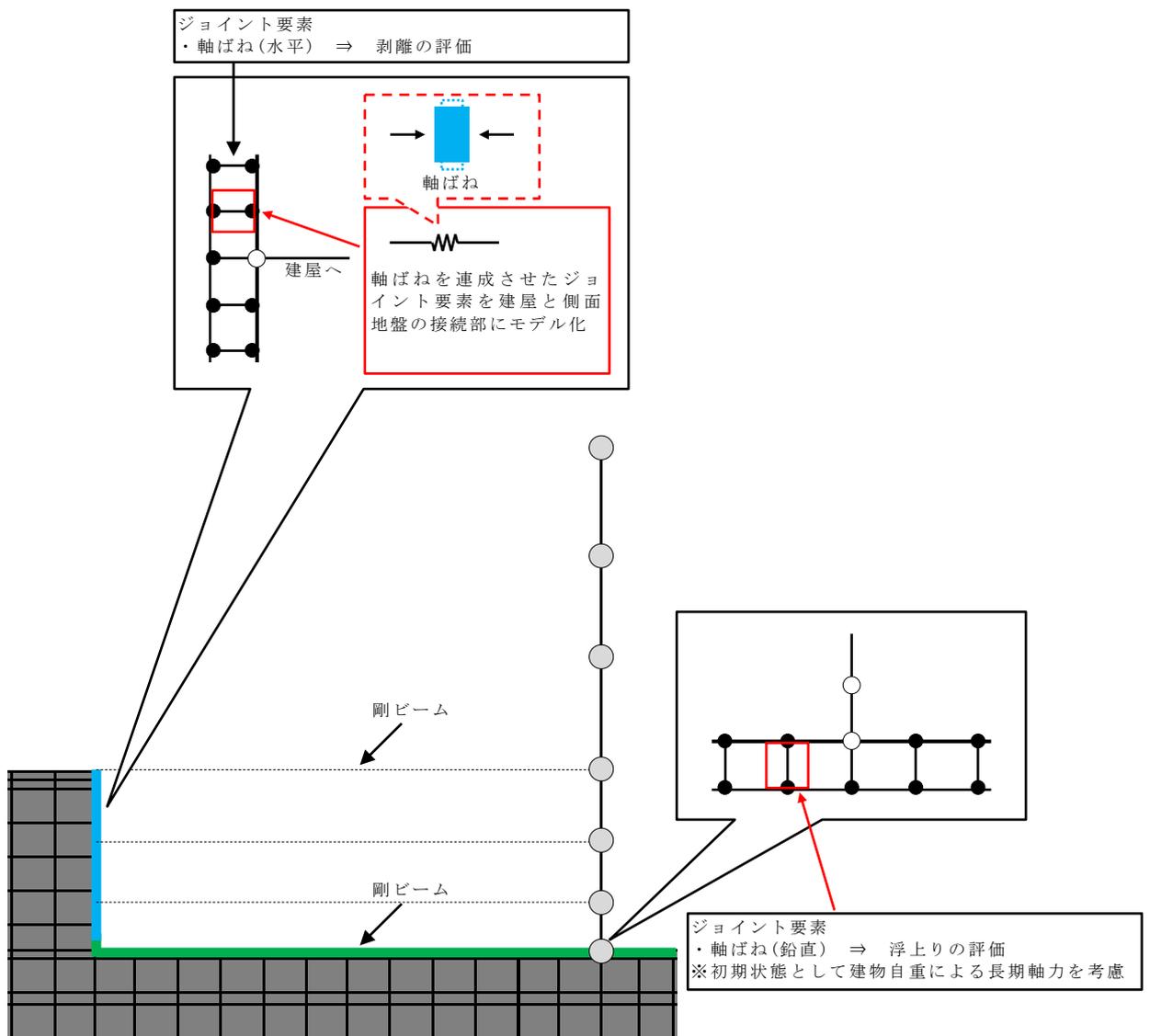


図3-3 建屋地下外壁と側面地盤要素及び建屋基礎と  
 底面地盤要素との接合部のモデル化概要

表3-2 埋込みSRモデルの諸元 (EW方向)

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G$ ( $\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	部材 番号	せん断断面積 $A_S$ (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (m <sup>4</sup> )
1	68160	22.6			
			①	68.9	38100
2	92410	30.1			
			②	129.8	61100
3	103900	33.2			
			③	151.7	84100
4	120780	37.4			
			④	204.1	109100
5	65170	24.9			
			⑤	202.3	107800
6	124330	38.7			
			⑥	2478.0	718800
7	81650	23.7			
合計	656400				

① 建屋部

ヤング係数 E  $2.88 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.20 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

② 基礎スラブ

ヤング係数 E  $2.79 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

せん断弾性係数 G  $1.16 \times 10^4$  (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比  $\nu$  0.20

減衰定数 h 5 %

基礎形状 42.0m(NS方向) × 59.0m(EW方向)

表3-3 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW方向)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	5	側面・並進	$2.12 \times 10^6$	$7.81 \times 10^5$
K2	5	側面・回転	$1.21 \times 10^9$	$1.37 \times 10^8$
K3	6	側面・並進	$1.42 \times 10^6$	$5.23 \times 10^5$
K4	6	側面・回転	$8.11 \times 10^8$	$9.19 \times 10^7$
K5	7	側面・並進	$6.12 \times 10^5$	$2.25 \times 10^5$
K6	7	側面・回転	$3.49 \times 10^8$	$3.96 \times 10^7$
K7	7	底面・並進	$6.00 \times 10^7$	$2.04 \times 10^6$
K8	7	底面・回転	$5.77 \times 10^{10}$	$7.79 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7はkN/m K2, K4, K6, K8はkN・m/rad

注記\*2 : K1, K3, K5, K7はkN・s/m K2, K4, K6, K8はkN・m・s/rad

### 3.2 検討用地震動

対象とする地震動はNS方向の解析と同様に基準地震動S<sub>S</sub>-1Hとする。

図3-4に基準地震動S<sub>S</sub>-1Hの加速度時刻歴波形を示す。

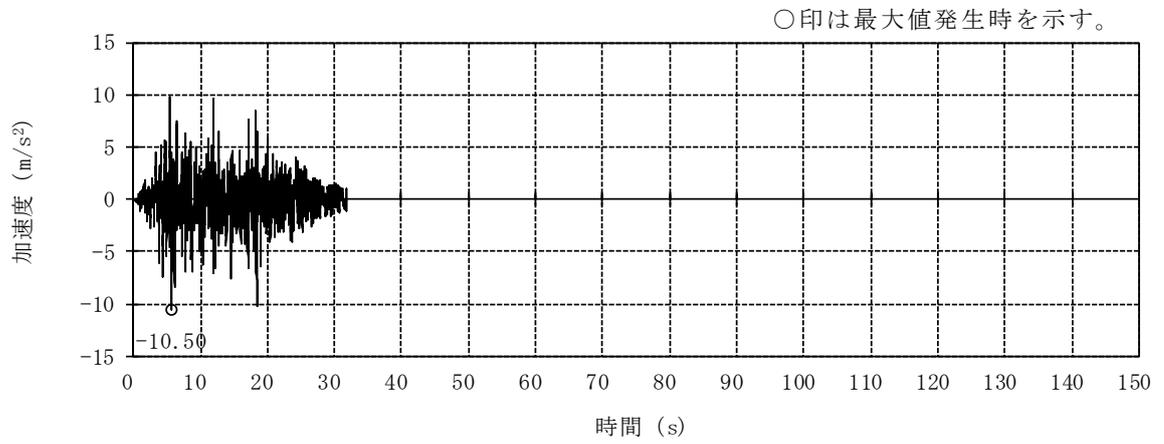


図3-4 基準地震動S<sub>S</sub>-1Hの加速度波形（解放基盤表面）

### 3.3 検討結果

#### (1) 建屋拘束効果の検討

EW方向の断面では、西側に廃棄物処理建屋が隣接していることから、西側地盤による拘束効果を見込めないため、東側の軸ばねのみを考慮している。東側の軸ばねから求めた軸圧の時刻歴を図3-5に示す。各領域の軸圧は埋込みSRモデルにおける各質点にとりつく側面ばねの支配領域に応じた値を算定している。

図3-5より、軸圧はごく短時間の剥離が生じた場合に0になることもあるが、大部分の時間帯で軸圧が作用した状態となっている。また、最大軸圧は500kN/m<sup>2</sup>程度である。これらの傾向はNS方向の結果と同様であり、鉛直方向の摩擦滑りを考えていないものの同等の拘束効果が期待できると考えられる。

#### (2) 建屋応答の比較

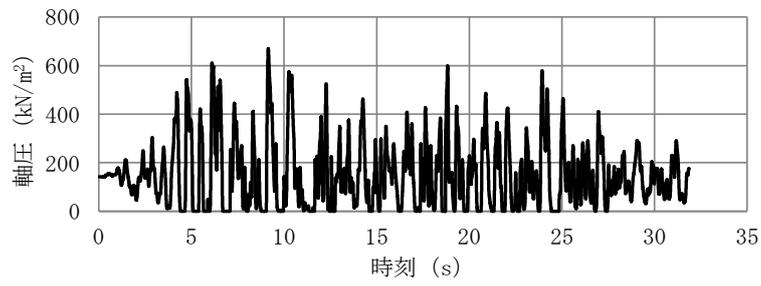
コントロール建屋に隣接する建屋と地盤状況を考慮した2次元FEMモデルによる建屋応答を、側面回転ばねを有する埋込みSRモデルの建屋応答を比較する。両者のモデルによる結果が同等であれば、埋込みSRモデルに側面回転ばねを考慮することは妥当であると考えられる。

図3-6に建屋の最大応答分布を、図3-7及び図3-8に床応答スペクトルをそれぞれ比較して示す。また、接地率の最小値を表3-4に比較して示す。

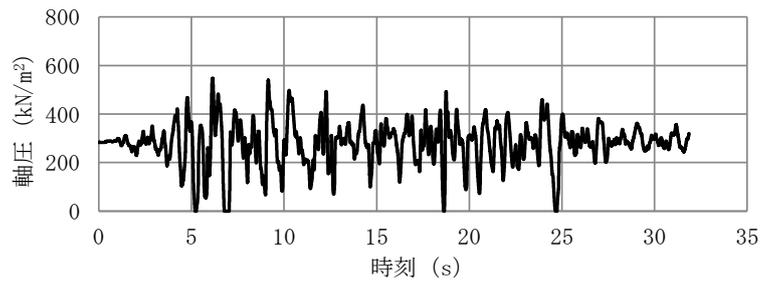
これらの結果から、埋込みSRモデルはおおむね同等の応答を与えることが分かる。

表3-4 接地率の最小値一覧

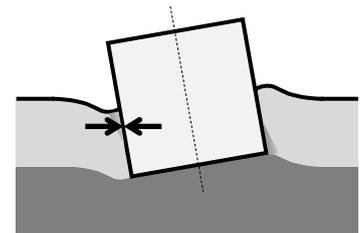
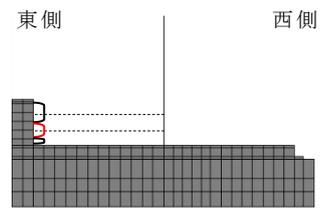
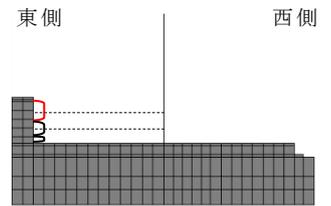
解析モデル	接地率
埋込みSRモデル	76 %
2次元FEMモデル	85 %



MB2F床位置 (T. M. S. L. 1.0m)

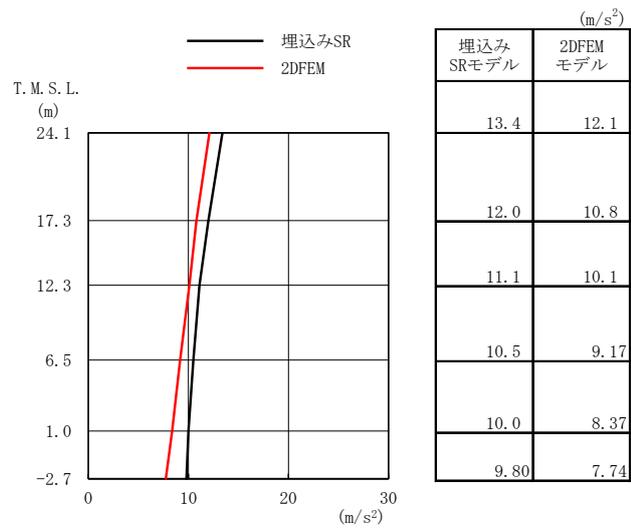


B2F床位置 (T. M. S. L. -2.7m)

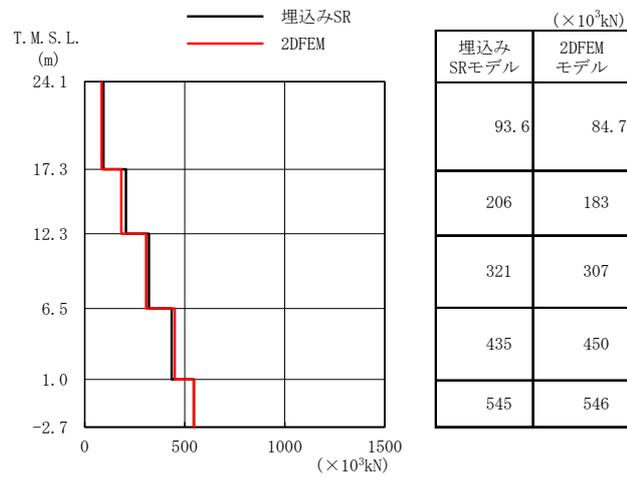


軸圧は、地盤を圧縮する方向を正とする

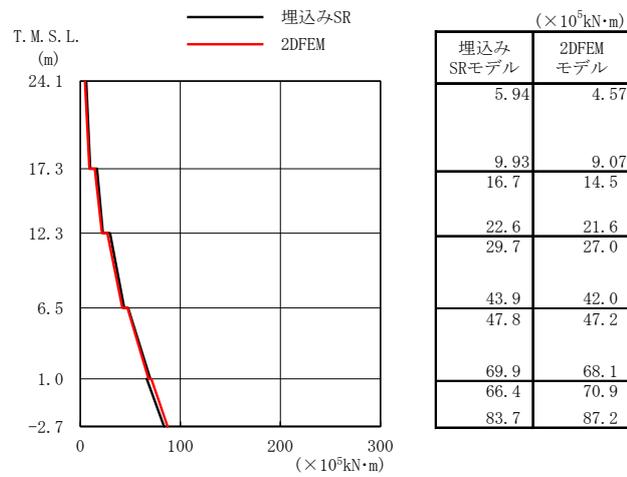
図3-5 軸ばねの軸圧の時刻歴 (EW方向, 東側)  
(隣接建屋を考慮したモデル)



(a) 加速度

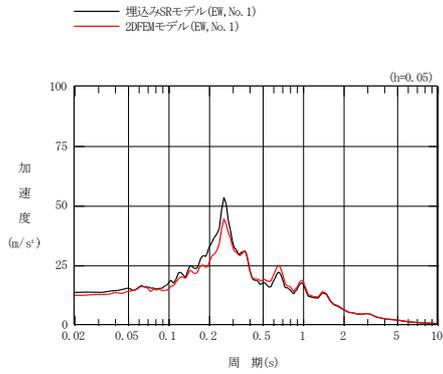


(b) せん断力

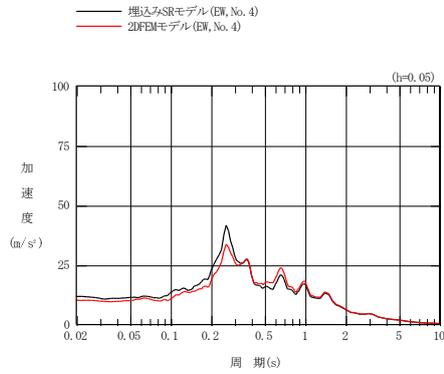


(c) 曲げモーメント

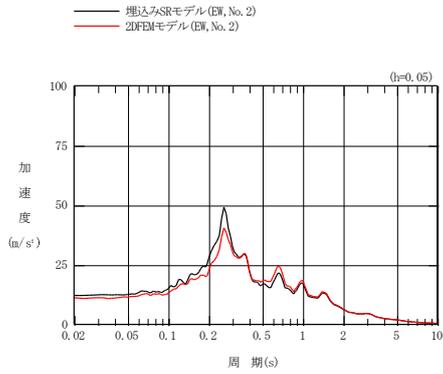
図3-6 建屋の最大応答分布の比較 (EW方向)



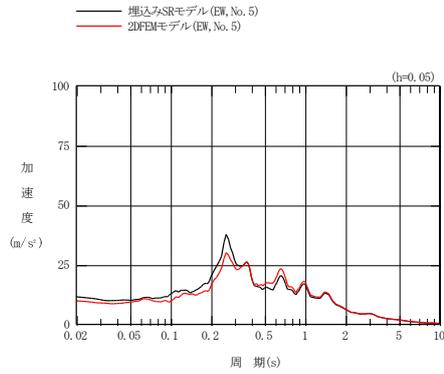
質点番号① ( 24.1 m)



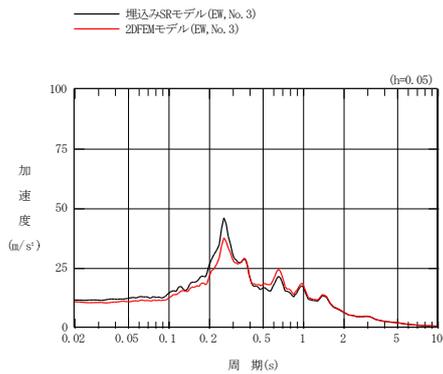
質点番号④ ( 6.5 m)



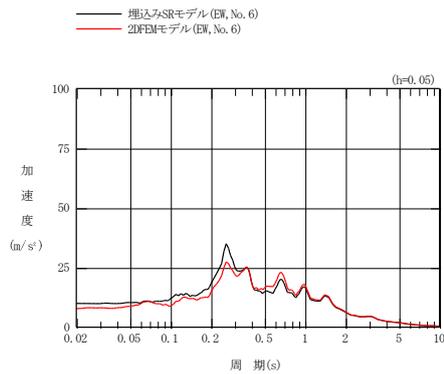
質点番号② ( 17.3 m)



質点番号⑤ ( 1.0 m)



質点番号③ ( 12.3 m)



質点番号⑥ ( -2.7 m)

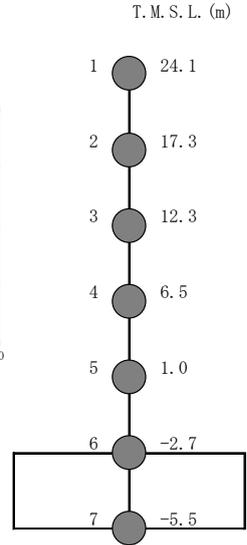
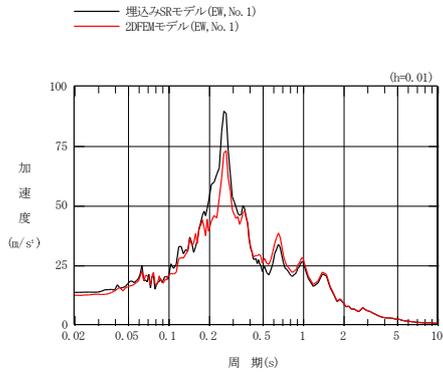
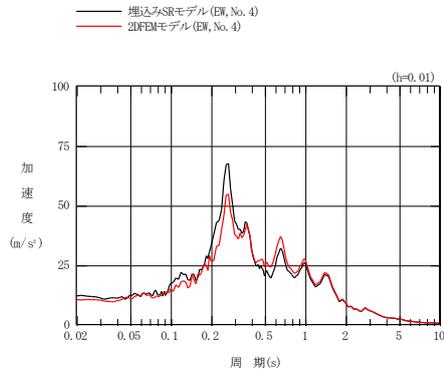


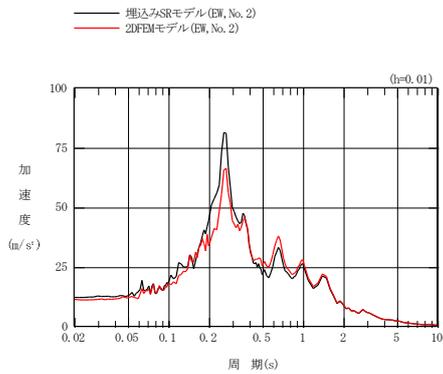
図3-7 床応答スペクトルの比較 (EW方向, 減衰5%)



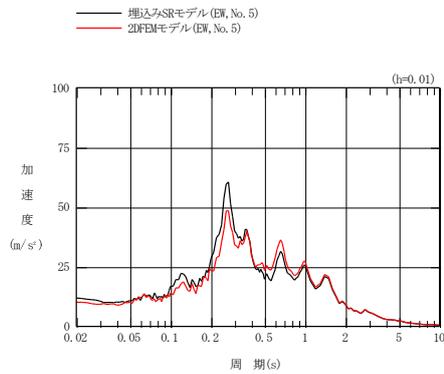
質点番号① ( 24.1 m)



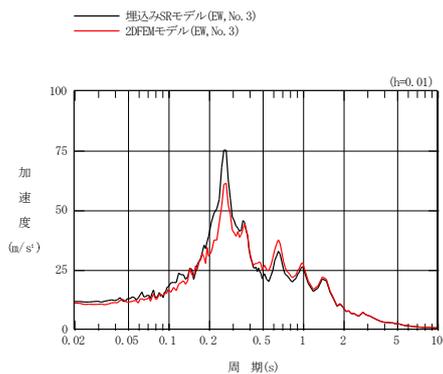
質点番号④ ( 6.5 m)



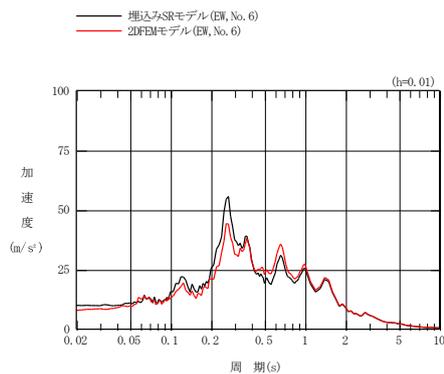
質点番号② ( 17.3 m)



質点番号⑤ ( 1.0 m)



質点番号③ ( 12.3 m)



質点番号⑥ ( -2.7 m)

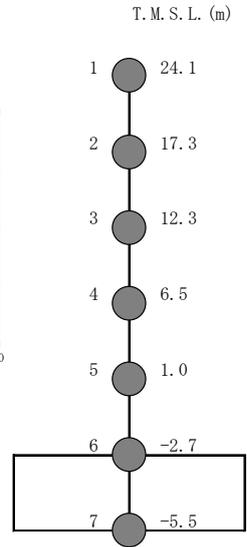


図3-8 床応答スペクトルの比較 (EW方向, 減衰1%)

#### 4. まとめ

##### (1) 建屋拘束効果の検討

コントロール建屋に隣接する建屋と地盤状況を考慮した2次元FEMモデルによる解析を行い、建屋の拘束効果について検討した。

この結果、建屋－側面地盤間に剥離が生じる場合でも、地震継続中の大半の時間において地下外壁には土圧が作用し、側面地盤による拘束効果が得られることを確認した。

##### (2) 建屋応答の比較

コントロール建屋に隣接する建屋と地盤状況を考慮した2次元FEMモデルによる建屋応答と側面回転ばねを有する埋込みSRモデルの建屋応答を比較した。この結果、埋込みSRモデルによる建屋応答や床応答スペクトルは、2次元FEMモデルの結果と同等であることを確認した。

以上より、EW方向に対しても埋込みSRモデルに側面回転ばねを考慮することは妥当であると考えられる。