

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	KK7-020 改1
提出年月日	2020年5月14日

原子炉建屋の地震応答解析における  
表層地盤からの入力について

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目 次

1. 概要	1
2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認	2
3. 検討方針	7
4. 検討条件	8
4.1 表層地盤からの入力方法	8
4.2 解析モデル	9
5. 検討結果	13
5.1 固有値解析結果	13
5.2 最大応答値	15
6. 床応答に対する影響	25
7. まとめ	32

## 1. 概要

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析における表層地盤からの入力について説明するものである。

## 2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認

原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という。）は2007年新潟県中越沖地震時のシミュレーション解析結果を踏まえて設定している。「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の地震応答計算書）」のうち「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙 1-2「原子炉建屋の地震応答解析モデルについて」では、表 2-1 に示すとおり、既工認手法及び既工認手法の表層地盤ばねを無視したモデルでの地震応答解析結果と観測記録とを比較している。図 2-1 及び図 2-2 に示すとおり、表層地盤ばねを無視することで既工認手法と比べ、加速度応答スペクトル及び最大応答加速度の観測記録との整合性が向上し、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認している。

また、別紙 1-6「表層ばねの取扱いについて」では、図 2-3 に示すように、基準地震動 Ss-1 に対する地盤の等価線形解析を実施しており、表層地盤において剛性が急激に低下しており、有効ひずみが大きくなっていることから、表層地盤では建屋－地盤連成効果は見込めないことを確認している。

以上のことから、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できる今回工認モデルは基本モデルとして妥当であると考えられる。

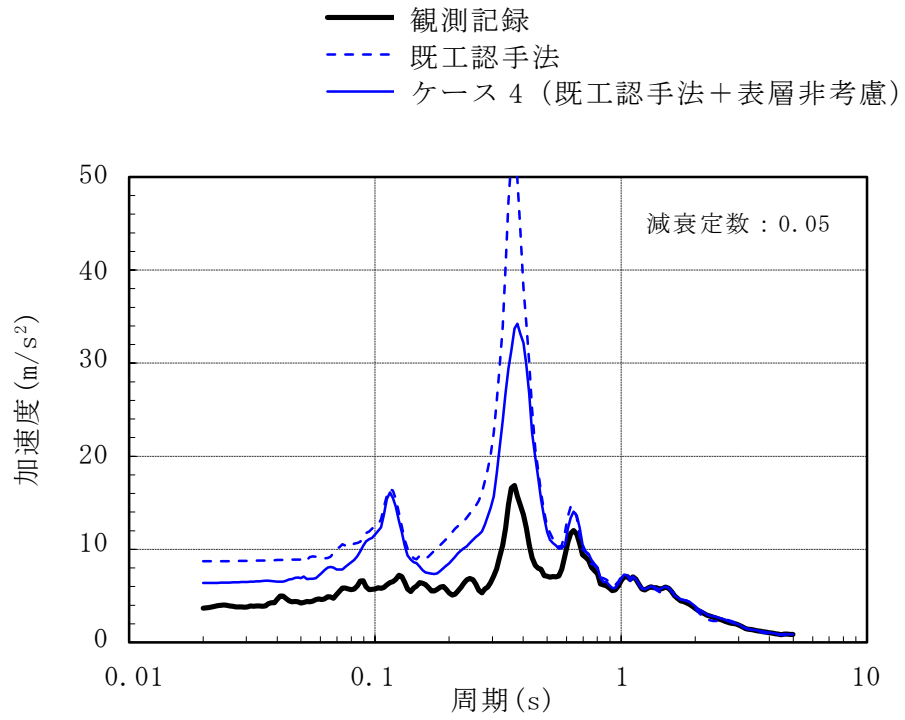
なお、次章以降で表層地盤では建屋－地盤連成効果を考慮しないことが適切である今回工認モデルに対して仮に表層地盤からの入力を考慮した場合の影響について確認する。

表 2-1 パラメータスタディケース（別紙 1-2 表 3-1 に一部追記）

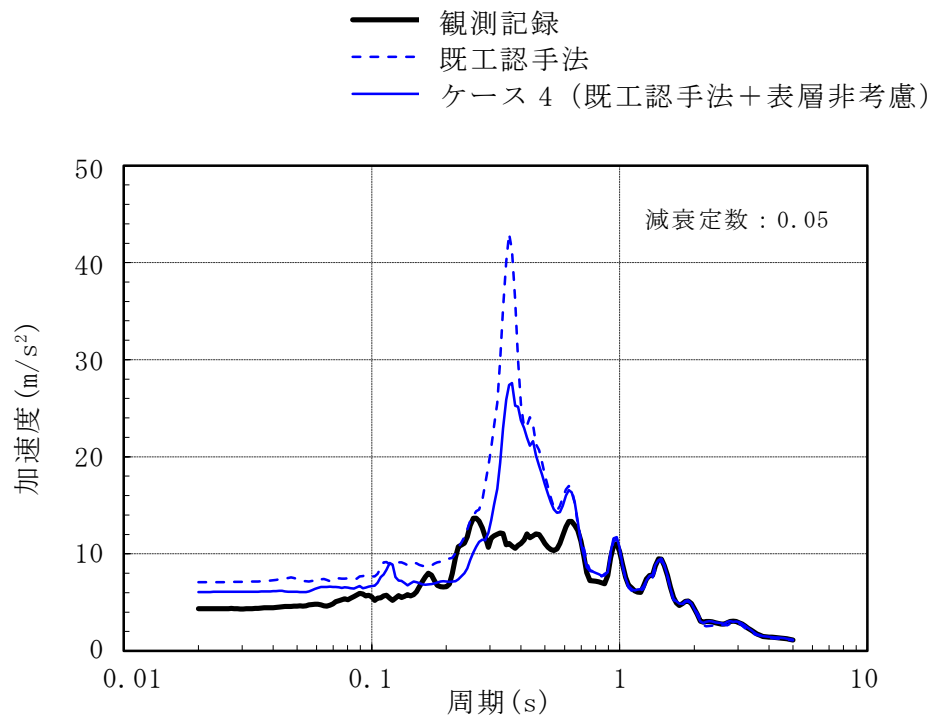
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	<b>実剛性*</b>	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	<b>耐震壁+補助壁</b>	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	<b>水平・回転</b>	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	<b>非考慮</b>
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	<b>実剛性*</b>	<b>耐震壁+補助壁</b>	<b>水平・回転 (表層無視)</b>	<b>非考慮</b>

注記\*：本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを基に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度（49.0N/mm<sup>2</sup>（500kgf/cm<sup>2</sup>））に基づく剛性を使用する。なお、今回工認では、妥当性、信頼性の観点から、建設時の91日強度の平均値に相当する値（43.1N/mm<sup>2</sup>（440kgf/cm<sup>2</sup>））をコンクリート実強度として剛性を算定する。

注：網掛け部は本資料の図2-1及び図2-2に結果を示すケースを示す。

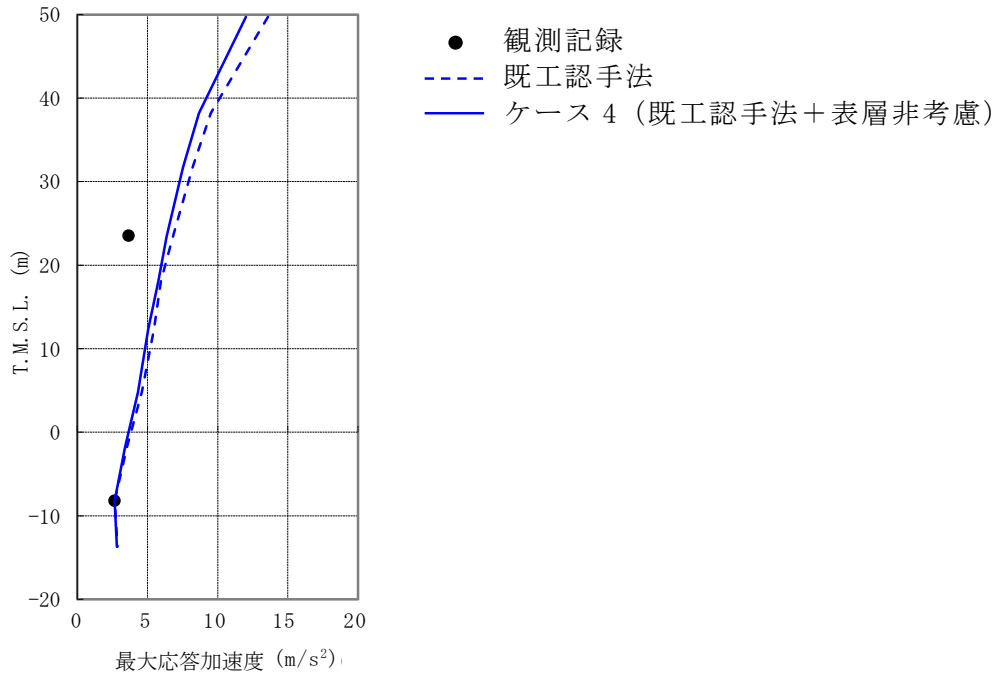


(a) NS方向

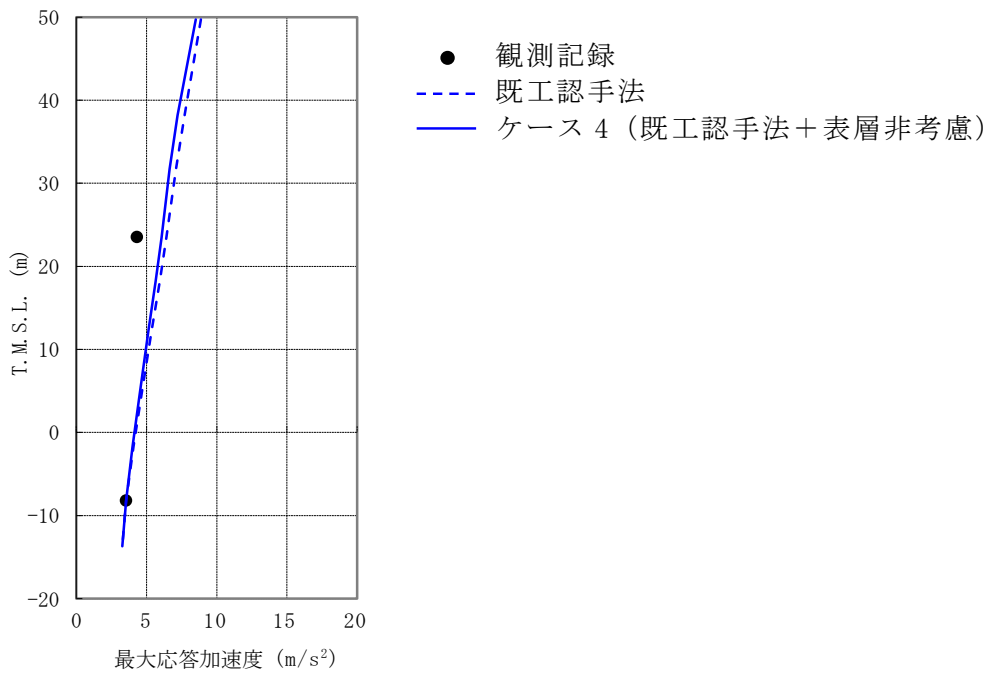


(b) EW方向

図 2-1 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L. 23.5m) (別紙 1-2 図 3-11 再掲)

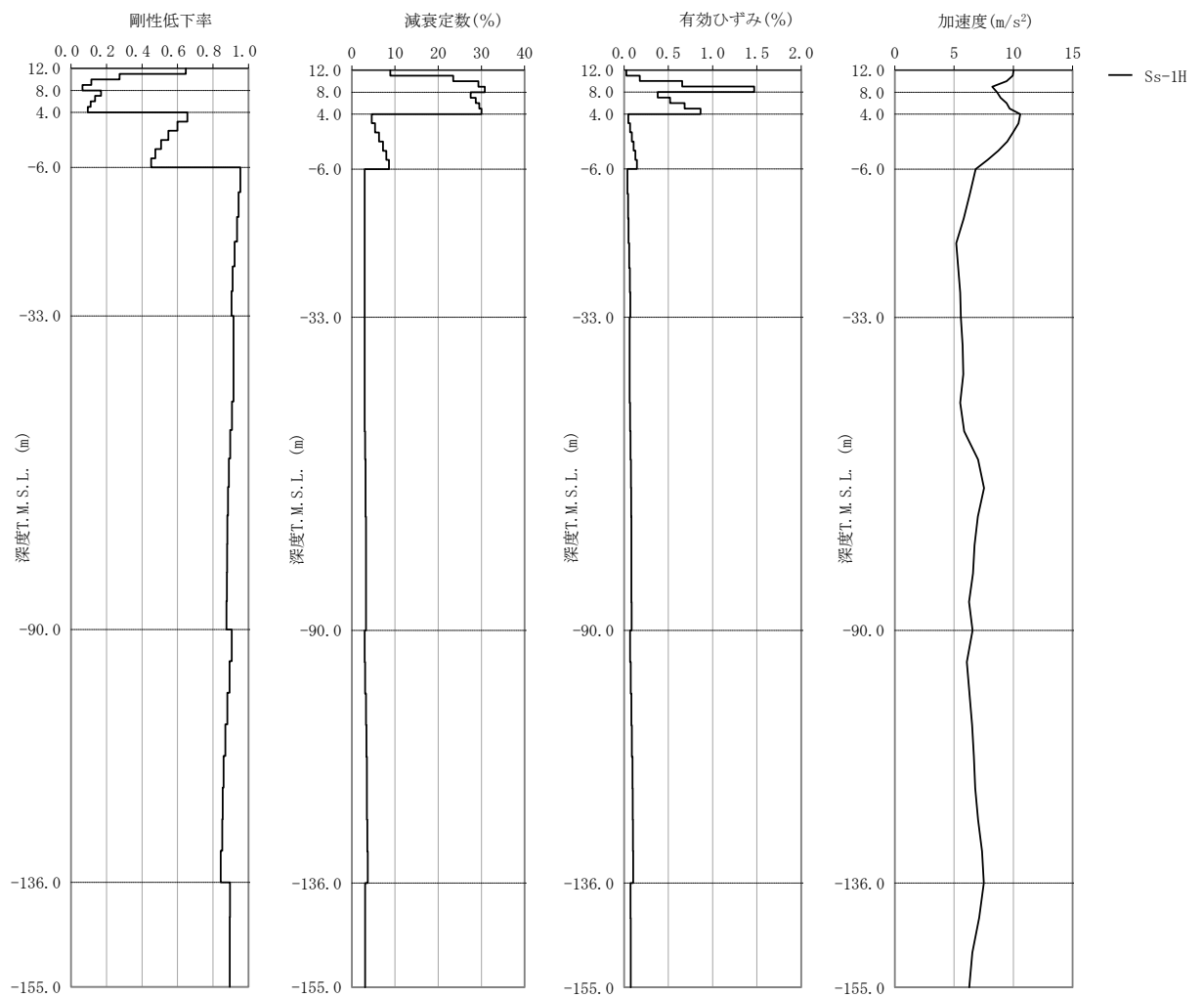


(a) NS方向



(b) EW方向

図 2-2 最大応答加速度の比較 (別紙 1-2 図 3-12 再掲)



注：T.M.S.L. 4.0m～12.0mが表層部に該当。

図 2-3 地盤の等価線形解析結果 (Ss-1) (別紙 1-6 図 3-1 再掲)



### 3. 検討方針

今回工認モデルと表層地盤からの入力を考慮したモデル（以下、「表層入力モデル」という。）を比較することにより、表層地盤からの入力による建屋応答への影響を確認する。

なお、地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 Ss-1 に対して実施することとする。

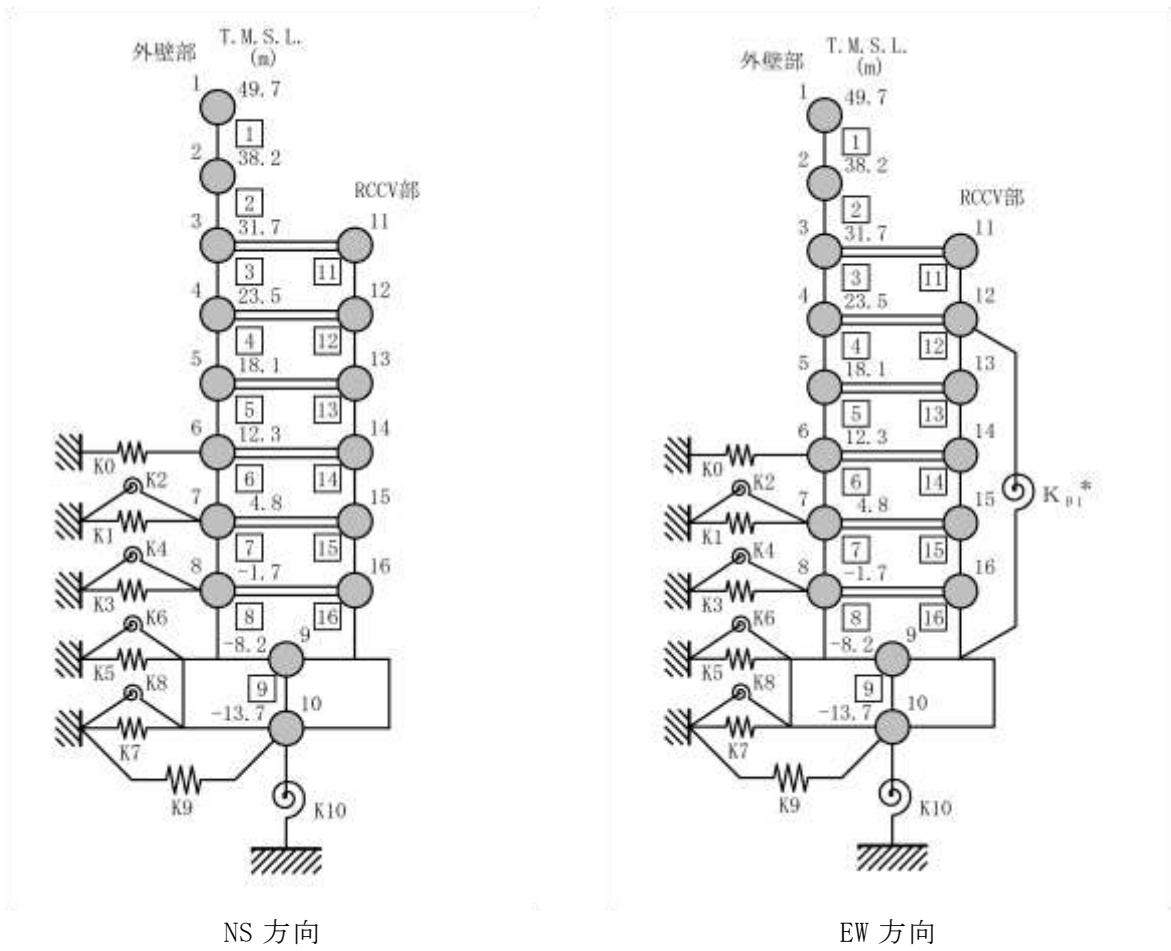
#### 4. 検討条件

##### 4.1 表層地盤からの入力方法

表層地盤からの入力は、今回工認モデルに表層地盤水平ばねを新たに取り付けた表層入力モデルを作成し、表層地盤水平ばねの取り付く質点に表層地盤の応答を入力することで考慮する。また、表層地盤水平ばねを取り付けたことによる固有値解析結果への影響を考慮した地盤ばね定数を算定し、表層入力モデルに考慮する。なお、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の地震応答計算書）」のうち「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙1-5「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」に示すとおり、側面地盤回転ばねは建屋地下外壁と地盤間のせん断力伝達による建屋拘束効果を模擬しているところ、別紙1-6「表層ばねの取扱いについて」に示すとおり、表層地盤では建屋－地盤連成効果は見込めないため、表層地盤回転ばねは取り付けない。

## 4.2 解析モデル

地震応答解析モデルを図 4-1 に，地盤ばね定数を表 4-1 及び表 4-2 に示す。



注記\* : RCCV 回転ばね

図 4-1 地震応答解析モデル

表 4-1 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

(a) 表層入力モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K0	6	側面・並進	$1.38 \times 10^5$	$1.39 \times 10^5$
K1	7	側面・並進	$1.22 \times 10^6$	$5.83 \times 10^5$
K2	7	側面・回転	$8.33 \times 10^8$	$1.05 \times 10^8$
K3	8	側面・並進	$2.85 \times 10^6$	$1.13 \times 10^6$
K4	8	側面・回転	$2.21 \times 10^9$	$2.80 \times 10^8$
K5	9	側面・並進	$8.53 \times 10^6$	$1.73 \times 10^6$
K6	9	側面・回転	$6.73 \times 10^9$	$3.98 \times 10^8$
K7	10	側面・並進	$4.52 \times 10^6$	$8.62 \times 10^5$
K8	10	側面・回転	$3.54 \times 10^9$	$1.96 \times 10^8$
K9	10	底面・並進	$7.28 \times 10^7$	$2.82 \times 10^6$
K10	10	底面・回転	$7.06 \times 10^{10}$	$6.02 \times 10^8$

注記\*1 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

\*2 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

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	7	側面・並進	$1.07 \times 10^6$	$4.25 \times 10^5$
K2	7	側面・回転	$8.33 \times 10^8$	$1.05 \times 10^8$
K3	8	側面・並進	$2.85 \times 10^6$	$1.13 \times 10^6$
K4	8	側面・回転	$2.21 \times 10^9$	$2.80 \times 10^8$
K5	9	側面・並進	$8.53 \times 10^6$	$1.73 \times 10^6$
K6	9	側面・回転	$6.73 \times 10^9$	$3.98 \times 10^8$
K7	10	側面・並進	$4.52 \times 10^6$	$8.62 \times 10^5$
K8	10	側面・回転	$3.54 \times 10^9$	$1.96 \times 10^8$
K9	10	底面・並進	$7.28 \times 10^7$	$2.82 \times 10^6$
K10	10	底面・回転	$7.06 \times 10^{10}$	$6.02 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表 4-2 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW 方向)

(a) 表層入力モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K0	6	側面・並進	$1.38 \times 10^5$	$1.39 \times 10^5$
K1	7	側面・並進	$1.22 \times 10^6$	$5.85 \times 10^5$
K2	7	側面・回転	$8.33 \times 10^8$	$1.06 \times 10^8$
K3	8	側面・並進	$2.85 \times 10^6$	$1.13 \times 10^6$
K4	8	側面・回転	$2.21 \times 10^9$	$2.81 \times 10^8$
K5	9	側面・並進	$8.53 \times 10^6$	$1.73 \times 10^6$
K6	9	側面・回転	$6.73 \times 10^9$	$4.01 \times 10^8$
K7	10	側面・並進	$4.52 \times 10^6$	$8.61 \times 10^5$
K8	10	側面・回転	$3.54 \times 10^9$	$1.98 \times 10^8$
K9	10	底面・並進	$7.25 \times 10^7$	$2.80 \times 10^6$
K10	10	底面・回転	$7.60 \times 10^{10}$	$7.05 \times 10^8$

注記\*1 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

\*2 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

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	7	側面・並進	$1.07 \times 10^6$	$4.26 \times 10^5$
K2	7	側面・回転	$8.33 \times 10^8$	$1.06 \times 10^8$
K3	8	側面・並進	$2.85 \times 10^6$	$1.13 \times 10^6$
K4	8	側面・回転	$2.21 \times 10^9$	$2.81 \times 10^8$
K5	9	側面・並進	$8.53 \times 10^6$	$1.73 \times 10^6$
K6	9	側面・回転	$6.73 \times 10^9$	$4.00 \times 10^8$
K7	10	側面・並進	$4.52 \times 10^6$	$8.62 \times 10^5$
K8	10	側面・回転	$3.54 \times 10^9$	$1.97 \times 10^8$
K9	10	底面・並進	$7.25 \times 10^7$	$2.80 \times 10^6$
K10	10	底面・回転	$7.60 \times 10^{10}$	$7.01 \times 10^8$

注記\*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

\*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

## 5. 検討結果

### 5.1 固有値解析結果

表層入力モデルと今回工認モデルの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 5-1 に示す。

表層入力モデルの固有周期は，今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

表 5-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	表層入力モデル	今回工認モデル	表層入力モデル
1	0.439	0.438	2.28	2.28
2	0.192	0.192	5.20	5.20
3	0.091	0.091	11.03	11.03
4	0.078	0.078	12.88	12.88
5	0.077	0.077	12.98	12.98

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	表層入力モデル	今回工認モデル	表層入力モデル
1	0.429	0.428	2.33	2.34
2	0.191	0.191	5.23	5.24
3	0.082	0.082	12.16	12.16
4	0.077	0.077	12.97	12.97
5	0.071	0.071	14.02	14.02



## 5.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 5-1～図 5-8 に、最大せん断ひずみを表 5-2 及び表 5-3 に示す。

表層入力モデルの最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

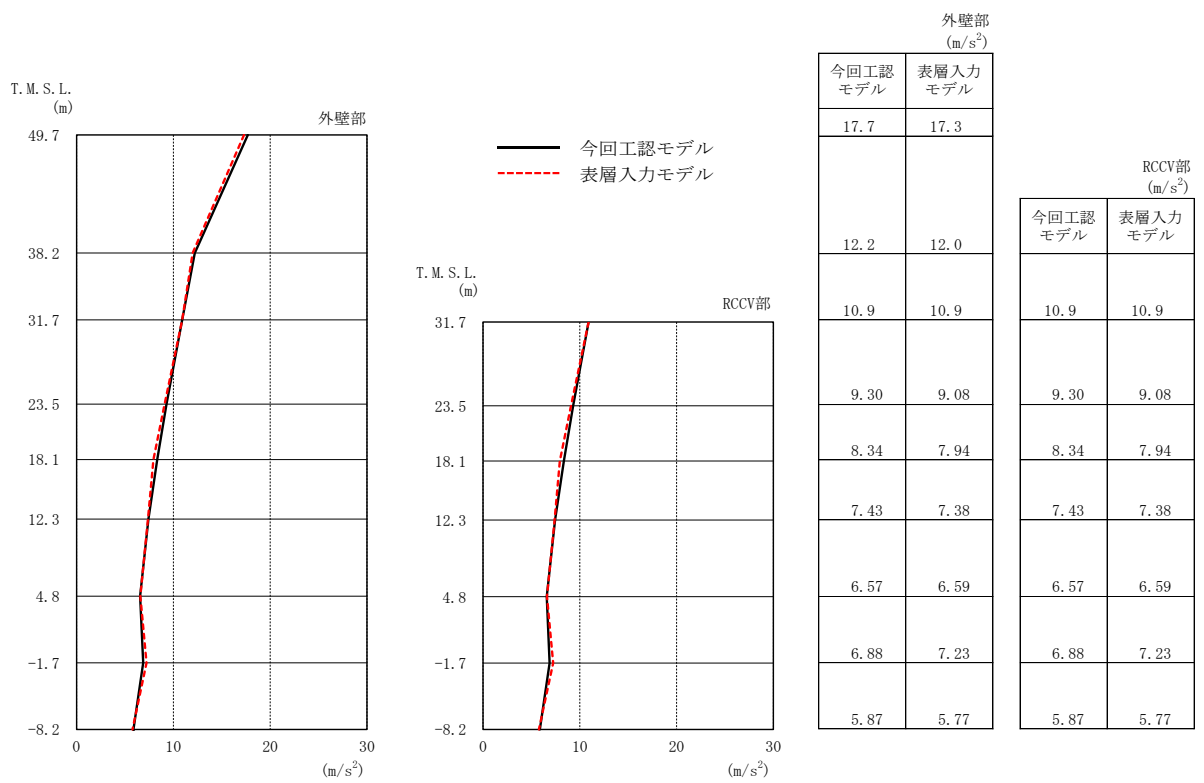
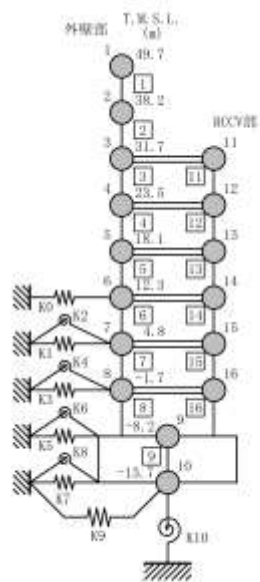


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



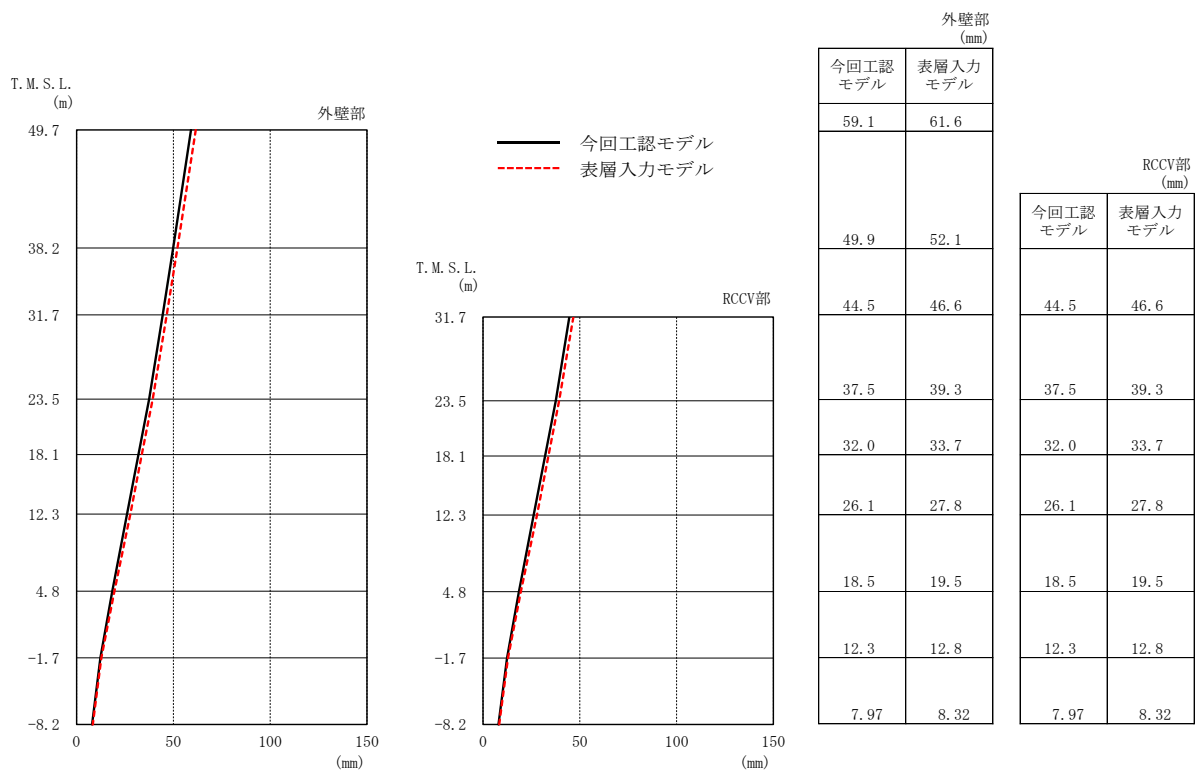
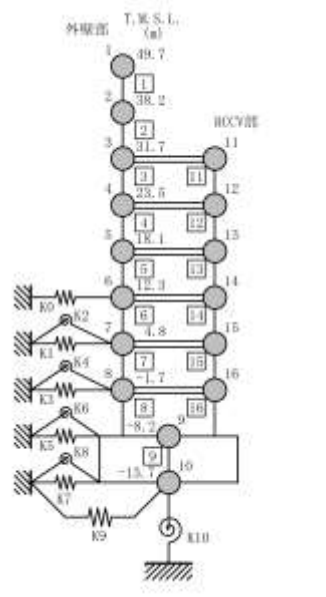


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



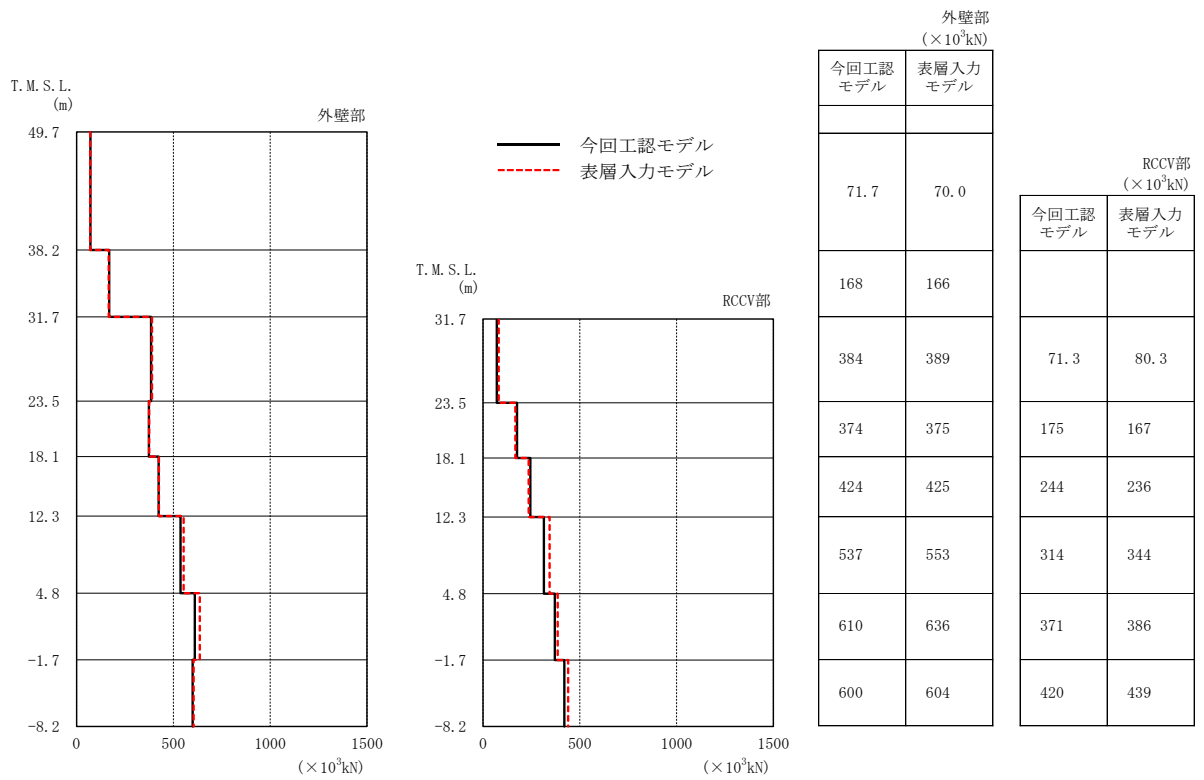
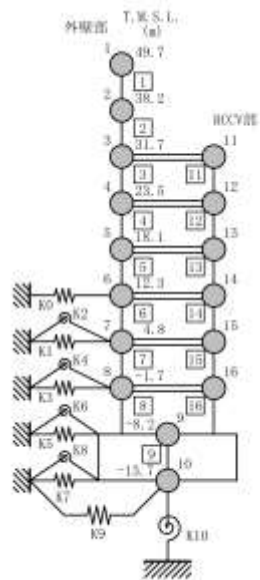


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



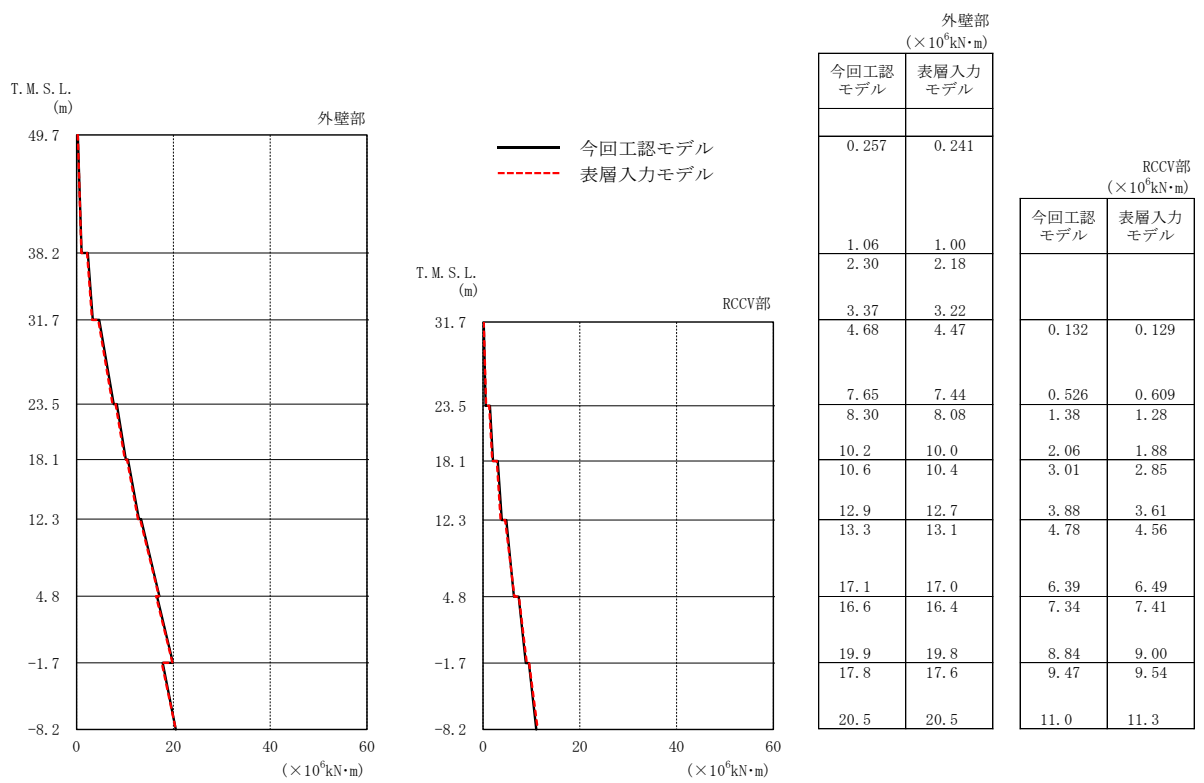
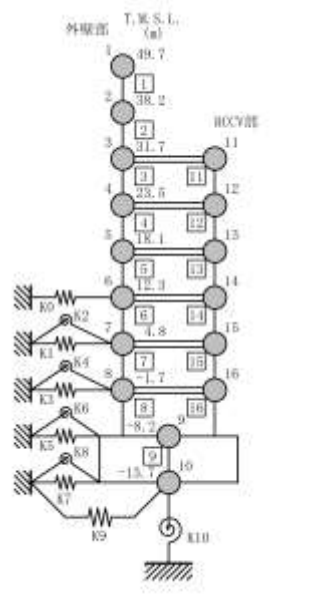


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



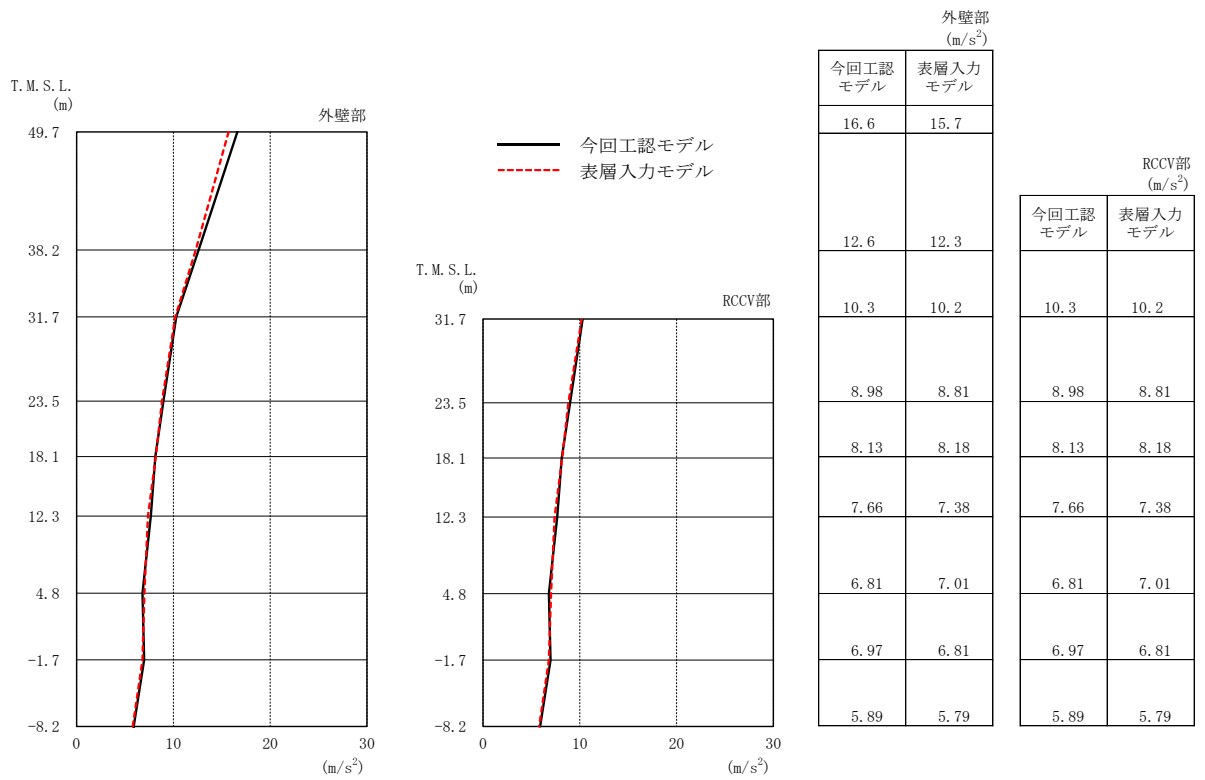
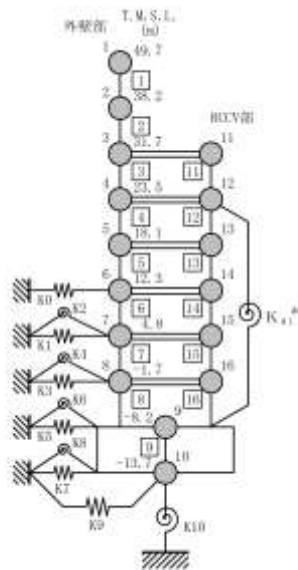


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



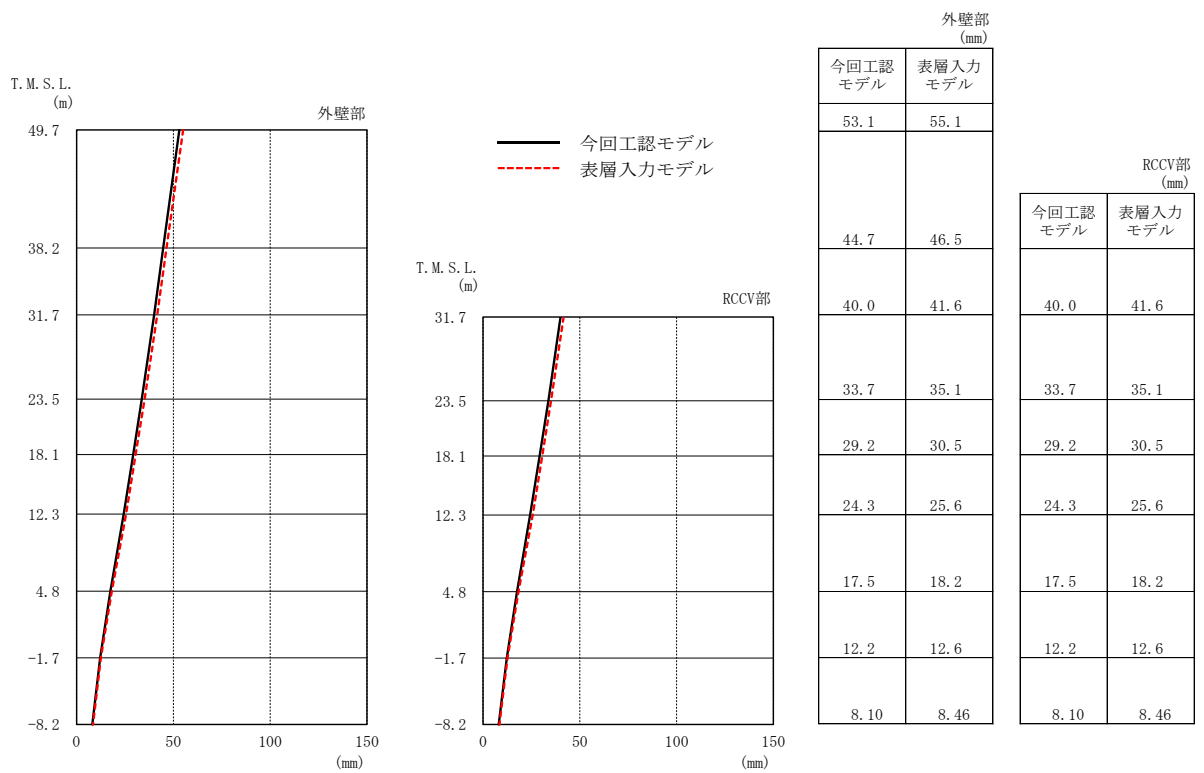
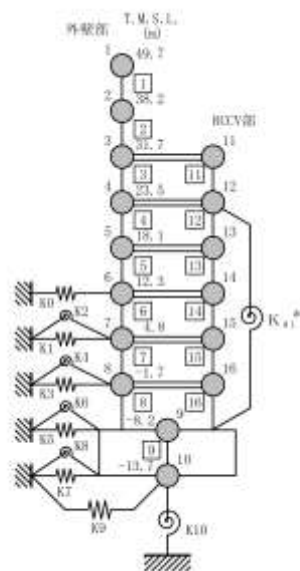


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



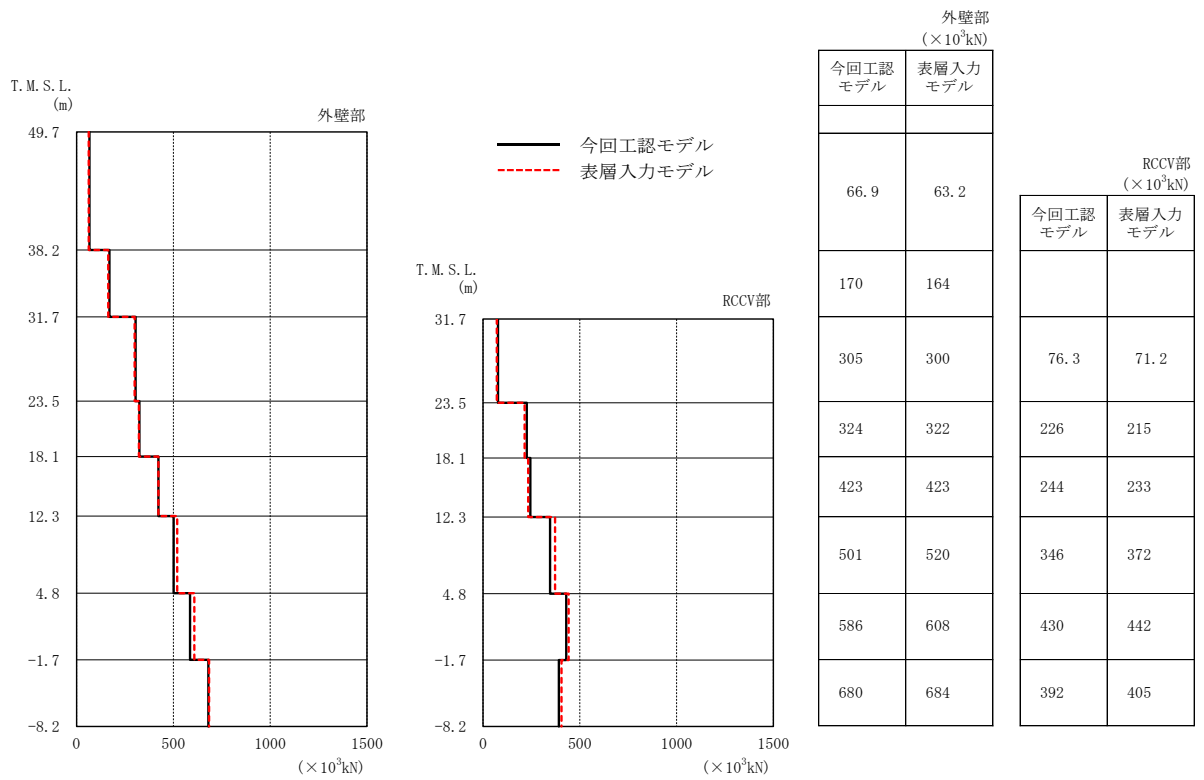
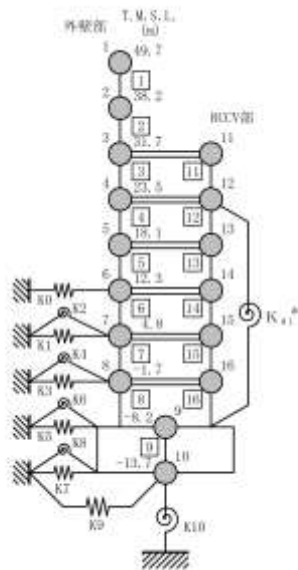


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)





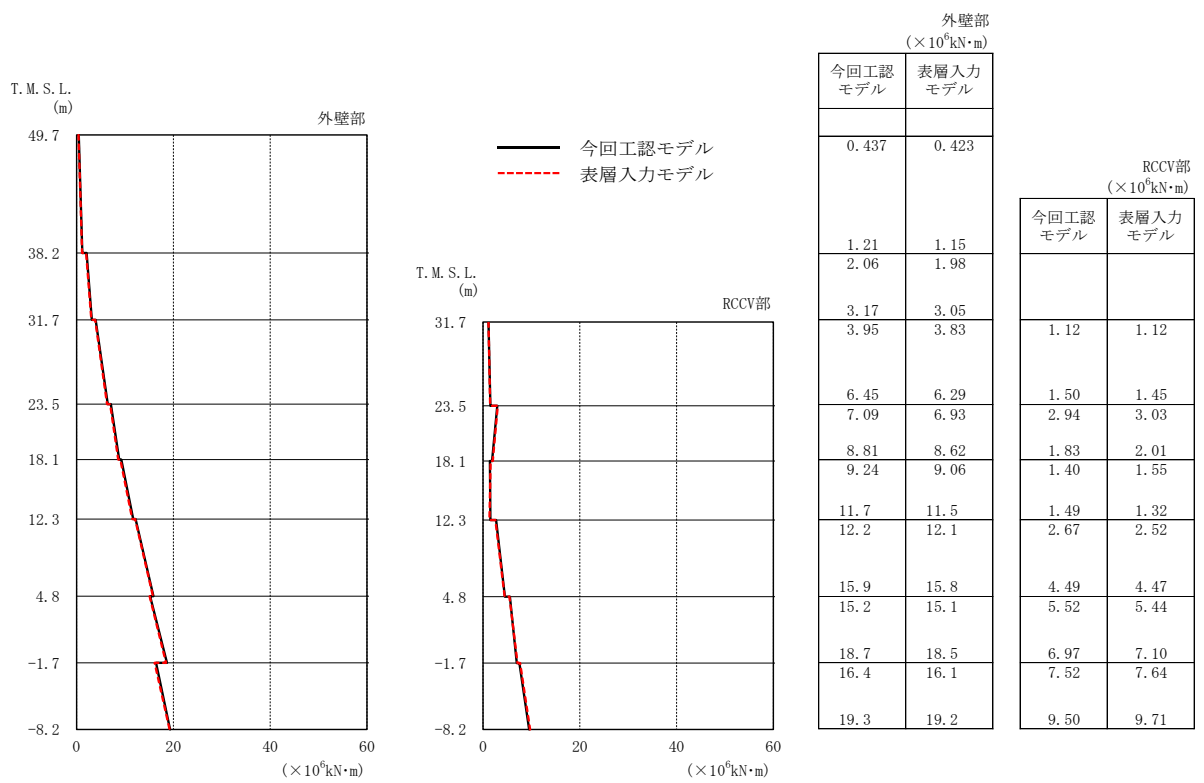


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

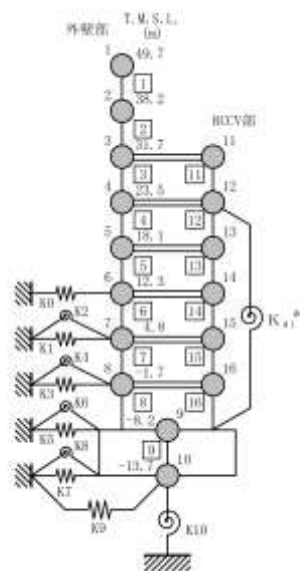


表 5-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) (Ss-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
1	0.147	0.143
2	0.170	0.168
3	0.171	0.174
4	0.361	0.364
5	0.388	0.393
6	0.406	0.452
7	0.528	0.597
8	0.225	0.235

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) (Ss-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
11	0.0499	0.0562
12	0.130	0.124
13	0.149	0.144
14	0.189	0.238
15	0.388	0.447
16	0.189	0.198

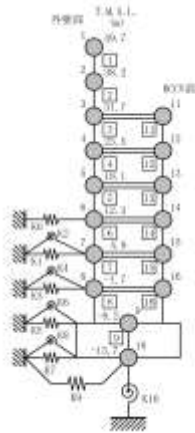
表 5-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

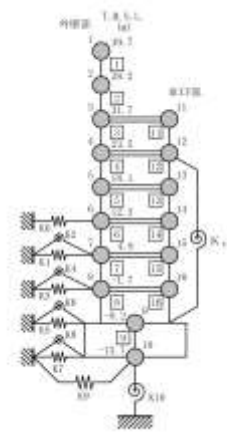
部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) (Ss-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
1	0.103	0.0966
2	0.116	0.112
3	0.148	0.146
4	0.206	0.205
5	0.243	0.244
6	0.334	0.384
7	0.318	0.374
8	0.244	0.252

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) (Ss-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
11	0.0292	0.0272
12	0.0848	0.0806
13	0.0982	0.0941
14	0.191	0.231
15	0.200	0.244
16	0.200	0.208



NS 方向



EW 方向

## 6. 床応答に対する影響

基準地震動 Ss-1 における今回工認モデルの床応答スペクトルと表層入力モデルの床応答スペクトルの比較を図 6-1 及び図 6-2 に示す。

図 6-1 及び図 6-2 に示すとおり，表層入力モデルの床応答スペクトルは，今回工認モデルの床応答スペクトルと同等であることを確認した。

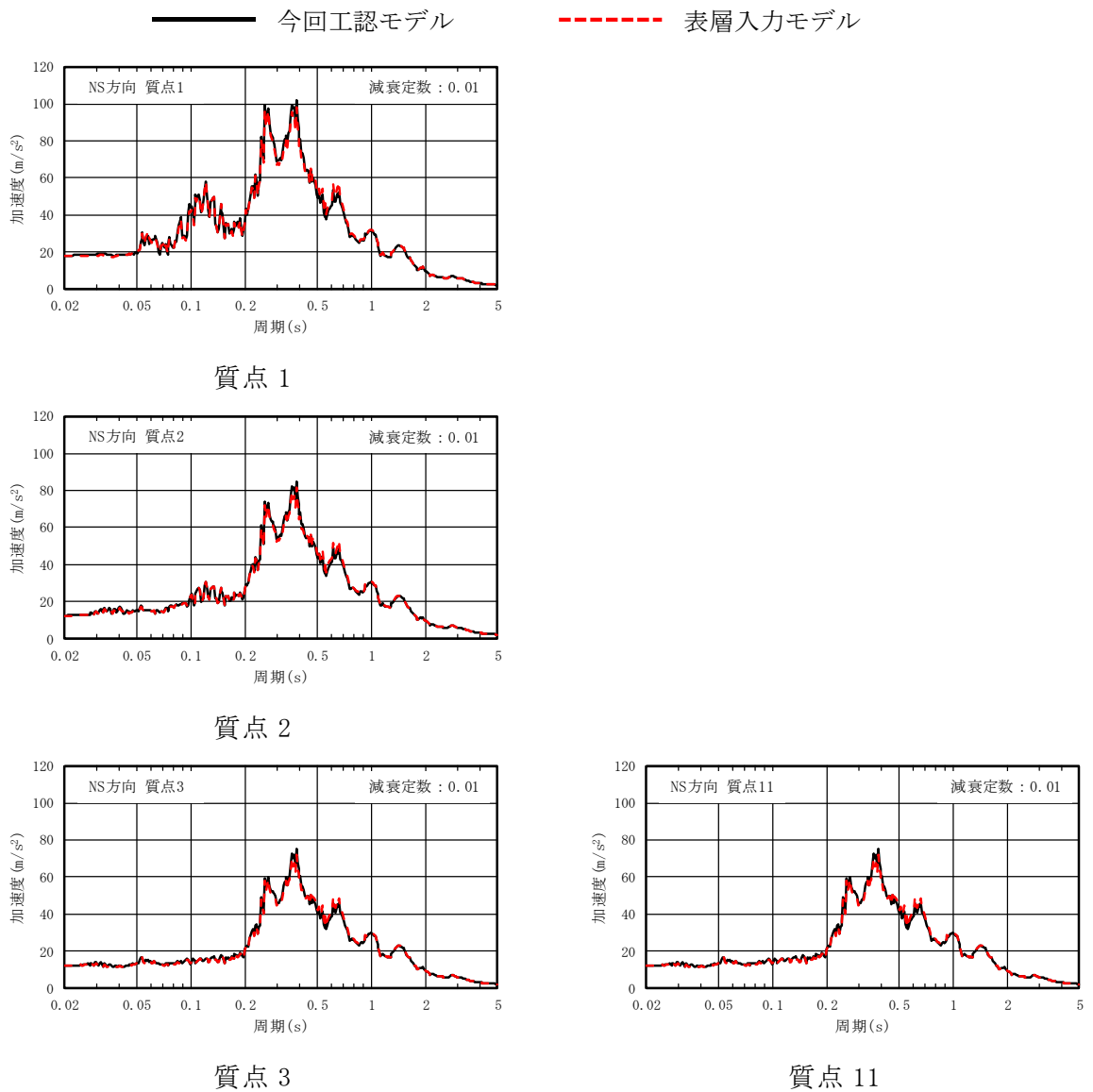
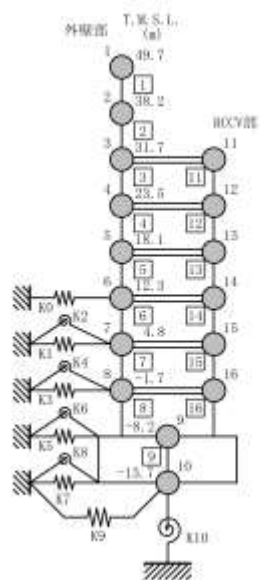


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



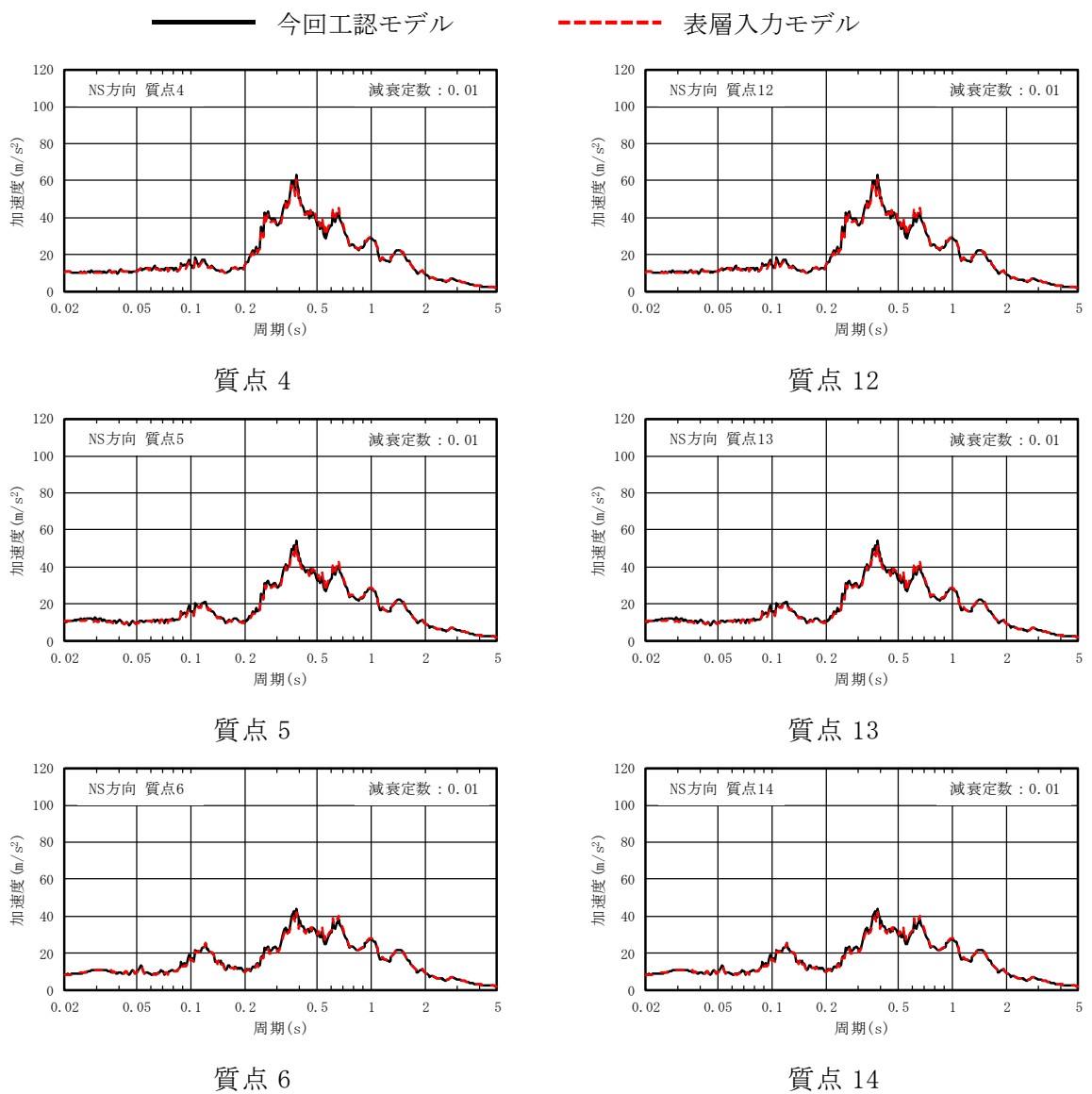
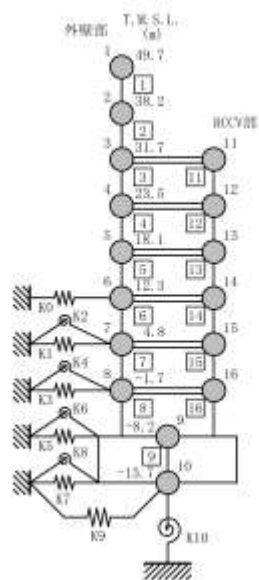


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



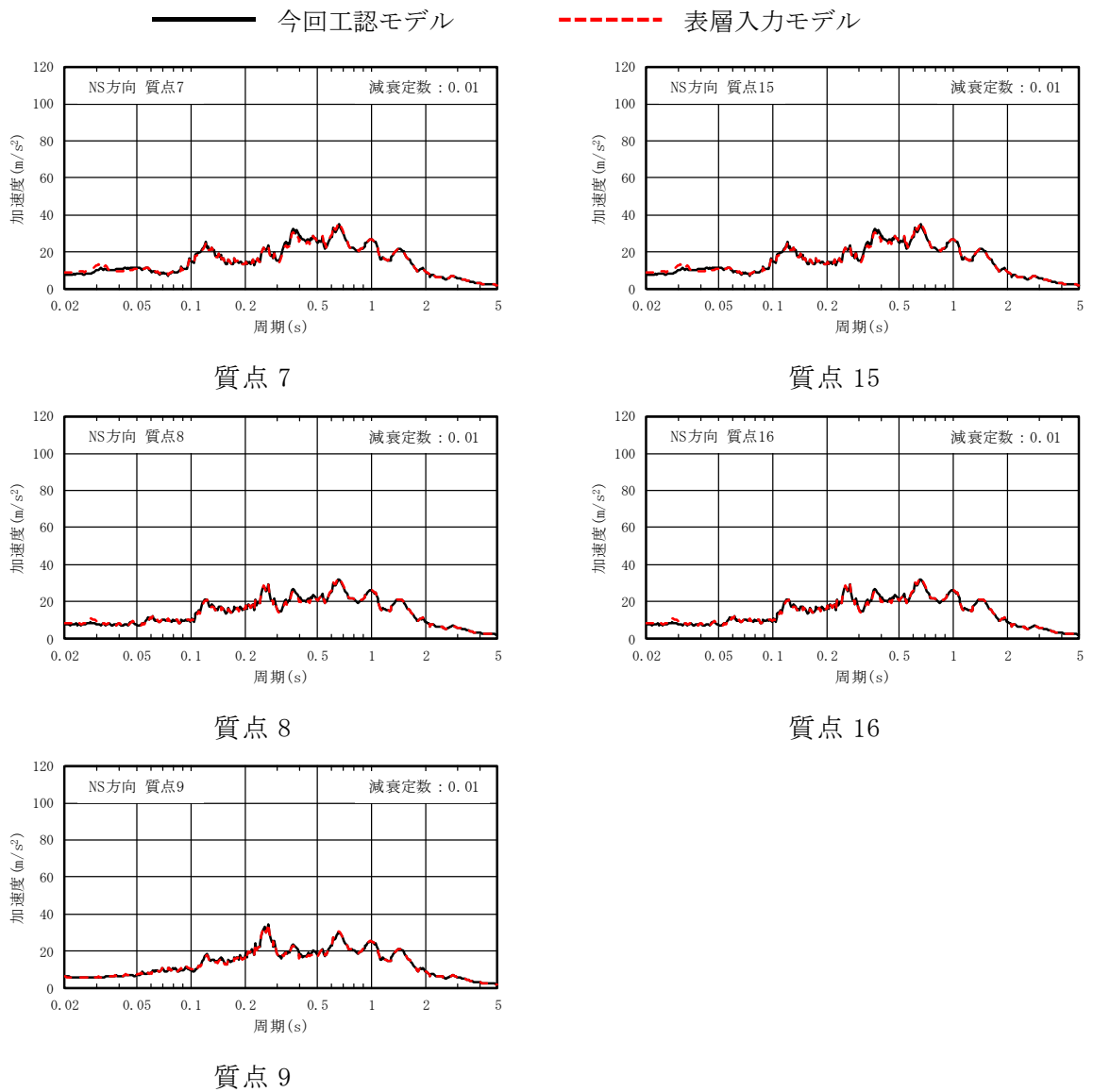
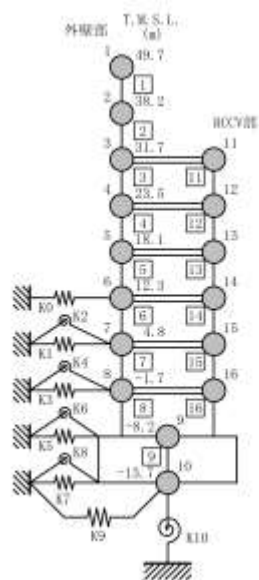


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



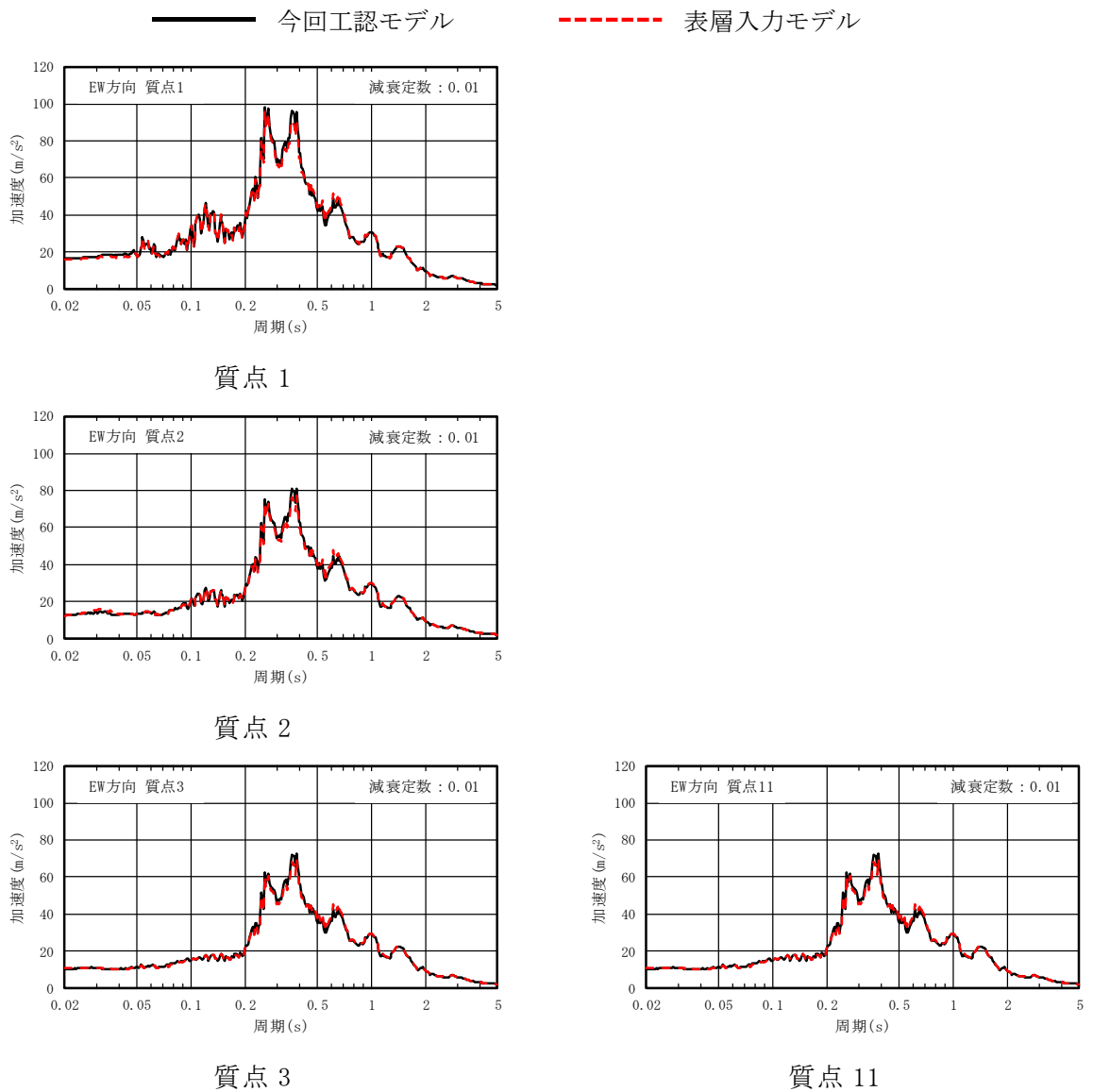
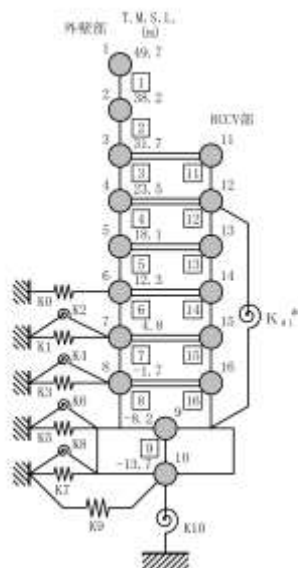


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



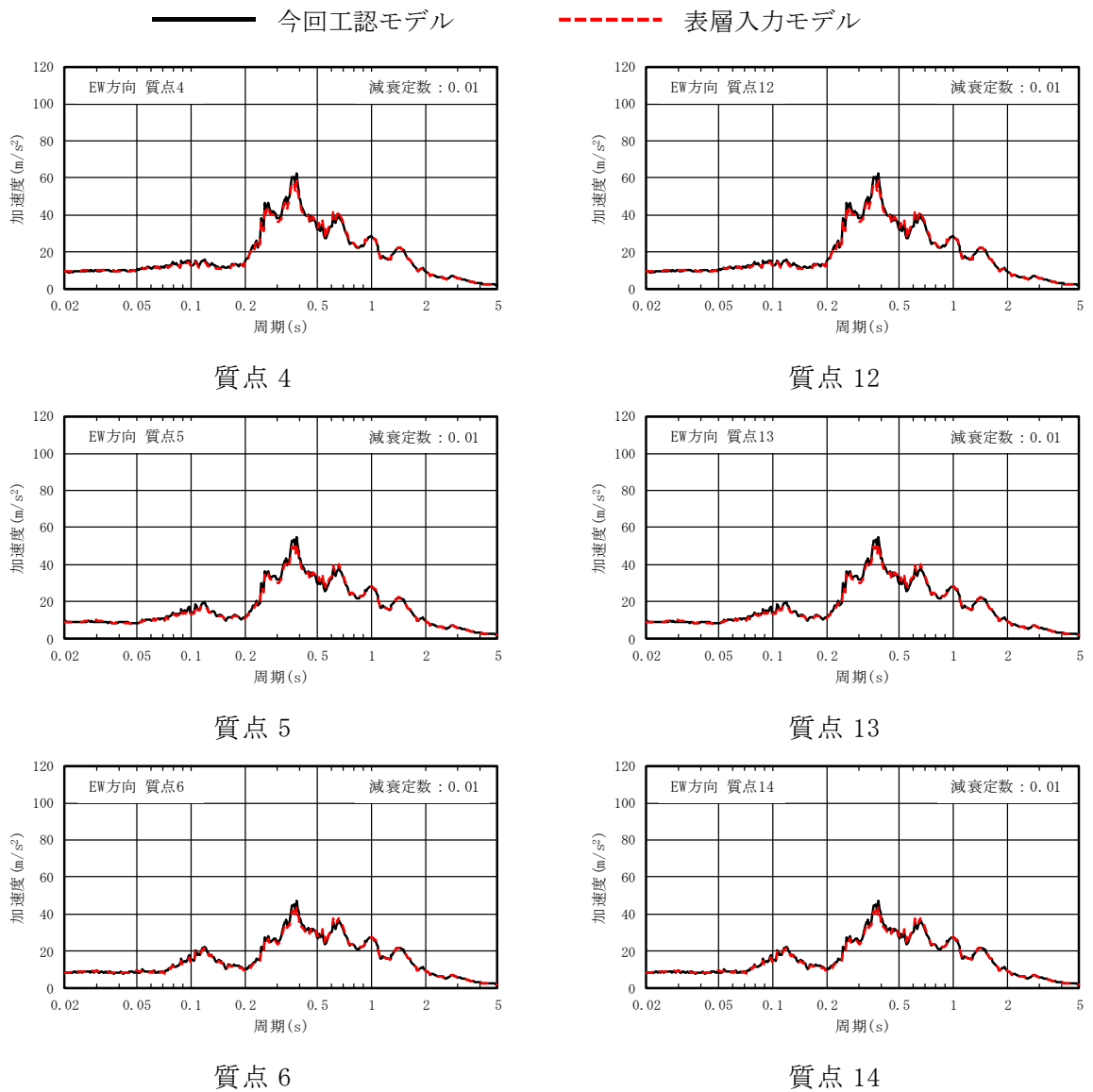
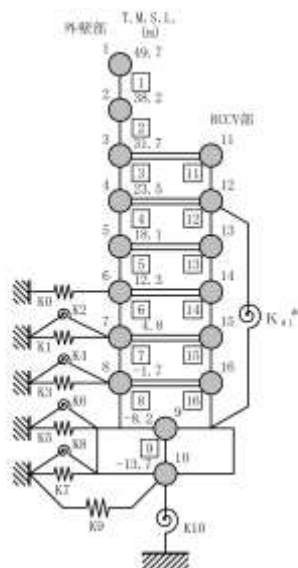


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)





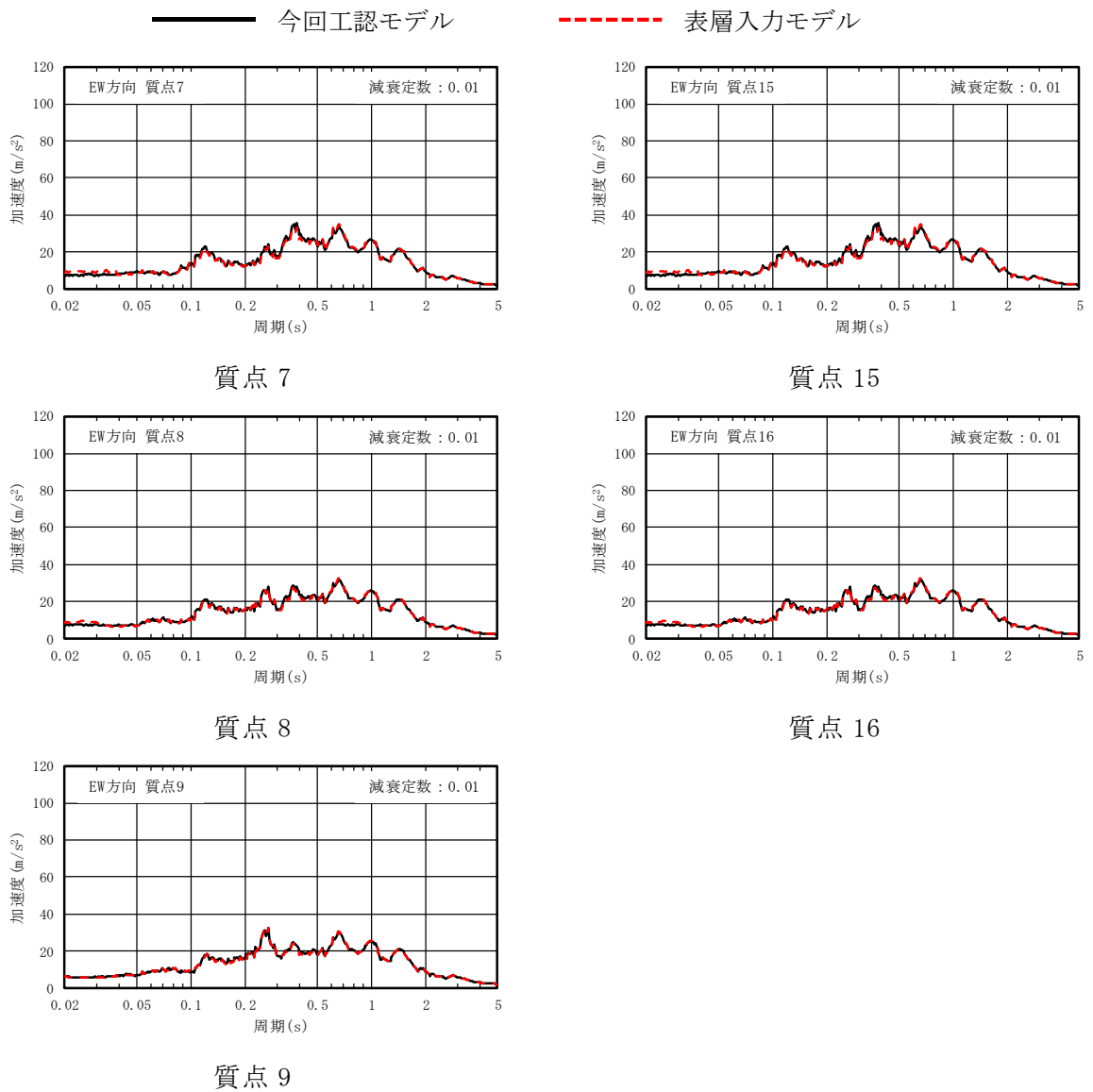
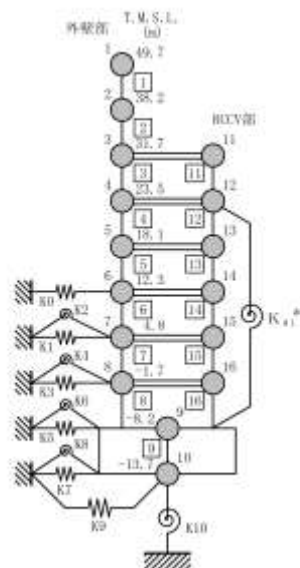


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



## 7. まとめ

表層地盤ばねを考慮しないことが適切である今回工認モデルに対して仮に表層地盤からの入力を考慮した表層入力モデルを用いて、基準地震動 Ss-1 に対する地震応答解析を実施し、今回工認モデルを用いた結果と比較した。

その結果、表層入力モデルの固有周期及び最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等となることから、今回工認モデルは基本モデルとして妥当であることを確認した。