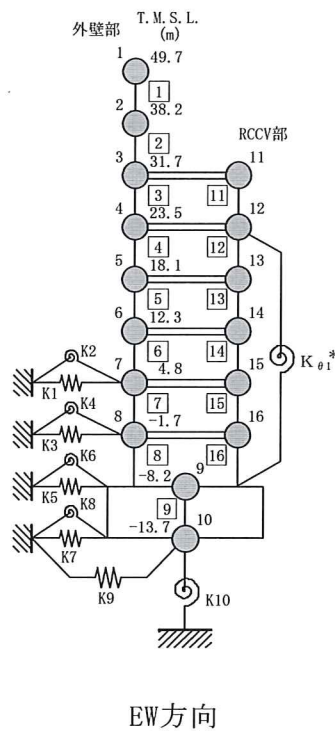


表 2-4 重量増加を考慮した割増係数 (主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル)

(S d 閉機能維持, T. M. S. L. 23.5m (質点番号 4))

方向	EW 方向
周期	EW 方向 1 次 <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></div> s
スペクトル図	<div style="border: 2px solid black; width: 300px; height: 150px; margin: 0 auto;"></div> <p>①今回工認モデル : 10.5 m/s² ②補強反映モデル : 10.5 m/s²</p>
応答比率 ②/①	1.00
割増係数	1.00



別紙 7 - 2 建屋 - 機器連成地震応答解析結果に与える影響

目 次

1. 概要	別紙 7-1
2. 検討方針	別紙 7-2
3. 検討条件	別紙 7-3
3.1 補強等に伴う増加質量	別紙 7-3
3.2 解析モデル	別紙 7-10
4. 解析結果	別紙 7-16

1. 概要

本資料は、建屋－機器連成地震応答解析モデルにおいて、補強等の改造工事に伴う質量の増加分を考慮した地震応答解析を実施し、「建屋－機器連成地震応答解析結果」に与える影響について確認するものである。

2. 検討方針

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，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」に示す今回工認評価に用いている質点系モデル（以下，「今回工認モデル」という。）では，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 1-1「原子炉建屋の地震応答解析モデルの変更点について」の2.5項に示す通り，既工認*の質点系モデルから屋根トラスの補強等，応答性状に影響を与える質量の変更を考慮している。

本検討では，上述した補強等の質量変更に加え，平成18年耐震設計審査指針改定及び平成25年新規制基準施行に伴う安全対策工事等による質量の増加分を考慮したモデル（以下，「補強反映モデル」という。）と今回工認モデルの応答値を比較することにより，質量変更による建屋－機器連成地震応答解析モデルの応答への影響を確認する。

なお，影響検討は別紙8「原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について」と同様に基準地震動 Ss-1 に対して実施することとする。

注記*：柏崎刈羽原子力発電所7号機

『既工事計画認可申請書 添付資料IV-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」
(3資庁第6675号平成3年8月23日認可)』

『既工事計画認可申請書 添付資料IV-2-2-1「炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」(4資庁第14562号平成5年6月17日認可)』

3. 検討条件

3.1 補強等に伴う増加質量

補強等に伴う増加質量の総質量は約 2,780t であり，そのうち建物・構築物の増加質量は約 350t，機器・配管系の増加質量は約 2,430t である。なお，地震応答解析モデルの諸元の変更箇所は原子炉建屋と原子炉格納容器の質点質量及び回転慣性質量並びに原子炉遮蔽壁と原子炉本体基礎の質点質量のみである。

補強等に伴う増加質量と補強後の変更となる補強反映モデルの振動諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。

表 3-1 (1/2) 原子炉建屋及び原子炉格納容器の振動諸元 (NS 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル		増加 質量 (t)	補強反映モデル	
		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 \text{t} \cdot \text{m}^2$)		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 \text{t} \cdot \text{m}^2$)
1	49.700		72	64		73
2	38.200		419	208		430
3	31.700		483	189		494
4	23.500		299	131		303
5	18.100		202	112		206
6	12.300		295	196		302
7	4.800		302	139		307
8	-1.700		304	90		307
9	-8.200		964	145		968
10	-13.700		593	0		593
11	31.700		33	237		34
12	23.500		379	298		386
13	18.100		311	206		318
14	12.300		417	339		424
15	4.800		395	242		403
16	-1.700		377	157		381
17	-8.200		—	—		—

表 3-1 (2/2) 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎の振動諸元 (NS 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
18	21.200		0	
19	18.440		17	
20	17.020		0	
21	15.600		0	
22	13.950		0	
23	12.300		6	
24	8.200		0	
25	7.000		0	
26	4.500		5	
27	3.500		0	
28	1.700		0	
29	-2.100		1	
30	-4.700		0	
31	-8.200		—	

表 3-2 (1/2) 原子炉建屋及び原子炉格納容器の振動諸元 (EW 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル		増加 質量 (t)	補強反映モデル	
		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 t \cdot m^2$)		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 t \cdot m^2$)
1	49.700		150	64		152
2	38.200		306	208		314
3	31.700		305	308		315
4	23.500		281	175		288
5	18.100		215	111		220
6	12.300		327	190		335
7	4.800		323	134		329
8	-1.700		331	87		335
9	-8.200		1060	145		1064
10	-13.700		657	0		657
11	31.700		273	118		277
12	23.500		484	254		491
13	18.100		347	207		354
14	12.300		462	345		470
15	4.800		441	248		450
16	-1.700		418	160		423
17	-8.200		—	—		—

表 3-2 (2/2) 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎の振動諸元 (EW 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
18	21.200		0	
19	18.440		17	
20	17.020		0	
21	15.600		0	
22	13.950		0	
23	12.300		6	
24	8.200		0	
25	7.000		0	
26	4.500		5	
27	3.500		0	
28	1.700		0	
29	-2.100		1	
30	-4.700		0	
31	-8.200		—	

表 3-3 (1/2) 原子炉建屋の振動諸元 (鉛直方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
90	49.700		65	
91	38.200		208	
92	31.700		426	
93	23.500		429	
94	18.100		319	
95	12.300		535	
96	4.800		381	
97	-1.700		247	
98	-8.200		85	
99	-13.700		0	
90	49.700		65	
100	49.700		0	
101	49.700		0	
102	49.700	0		

表 3-3 (2/2) 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎の振動諸元 (鉛直方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
76	21.200		0	
77	18.440		17	
78	17.020		0	
79	15.600		0	
80	13.950		0	
81	12.300		6	
82	8.200		0	
83	7.000		0	
84	4.500		5	
85	3.500		0	
86	1.700		0	
87	-2.100		1	
88	-4.700		34	
89	-8.200		—	

3.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1 及び図 3-2 に，鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-3 に示す。地盤ばね定数は別紙 8「原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について」に記載の値を使用する。

また，重量増分に伴うせん断及び曲げスケルトンへの影響は軽微であるため「今回工認モデル」の諸元を用いる。

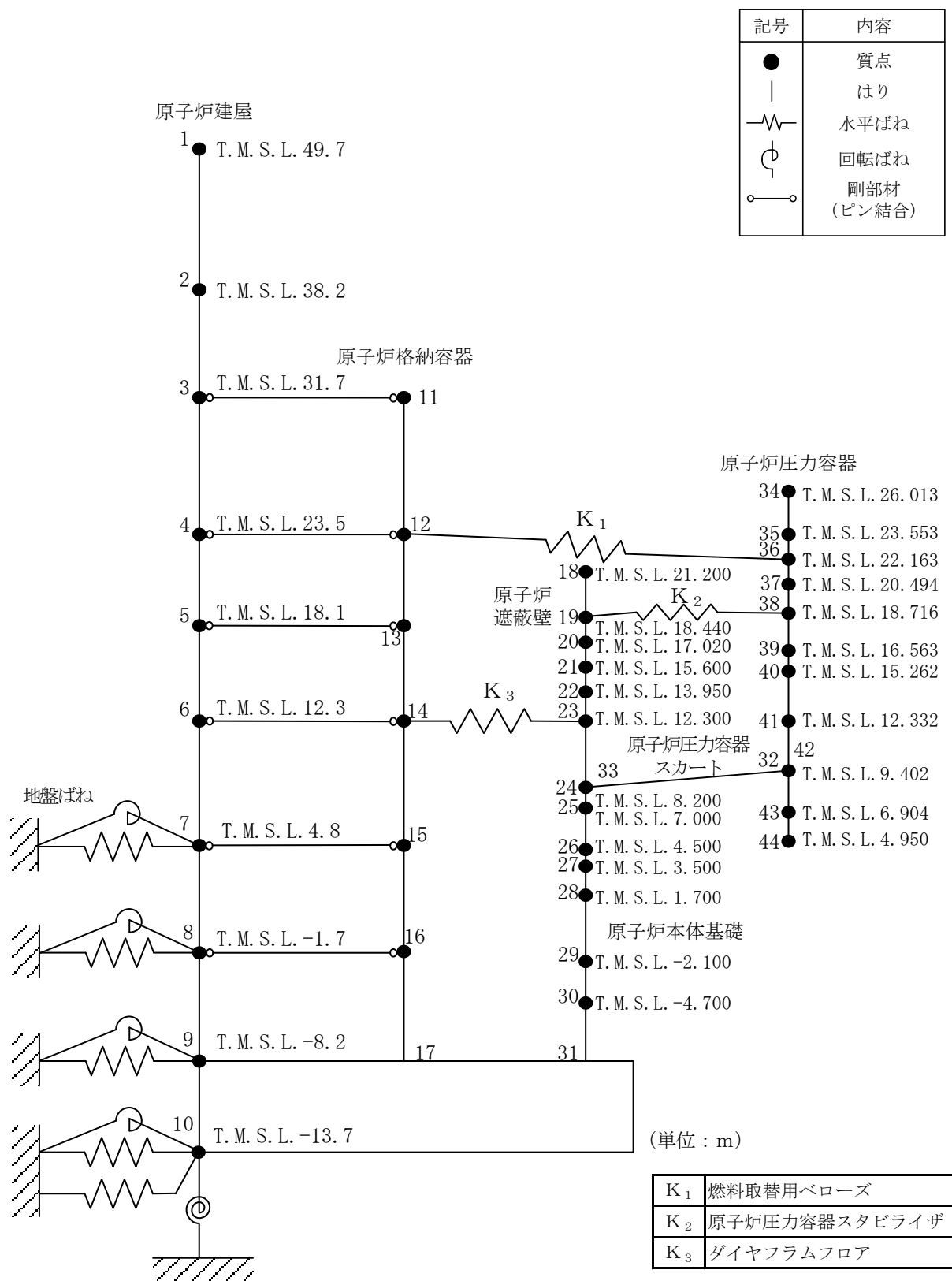




図 3-1 (1/2) 大型機器系地震応答解析モデル (NS 方向)

記号	内容
●	質点
	はり
— 	水平ばね
	回転ばね
○—○	剛部材 (ピン結合)

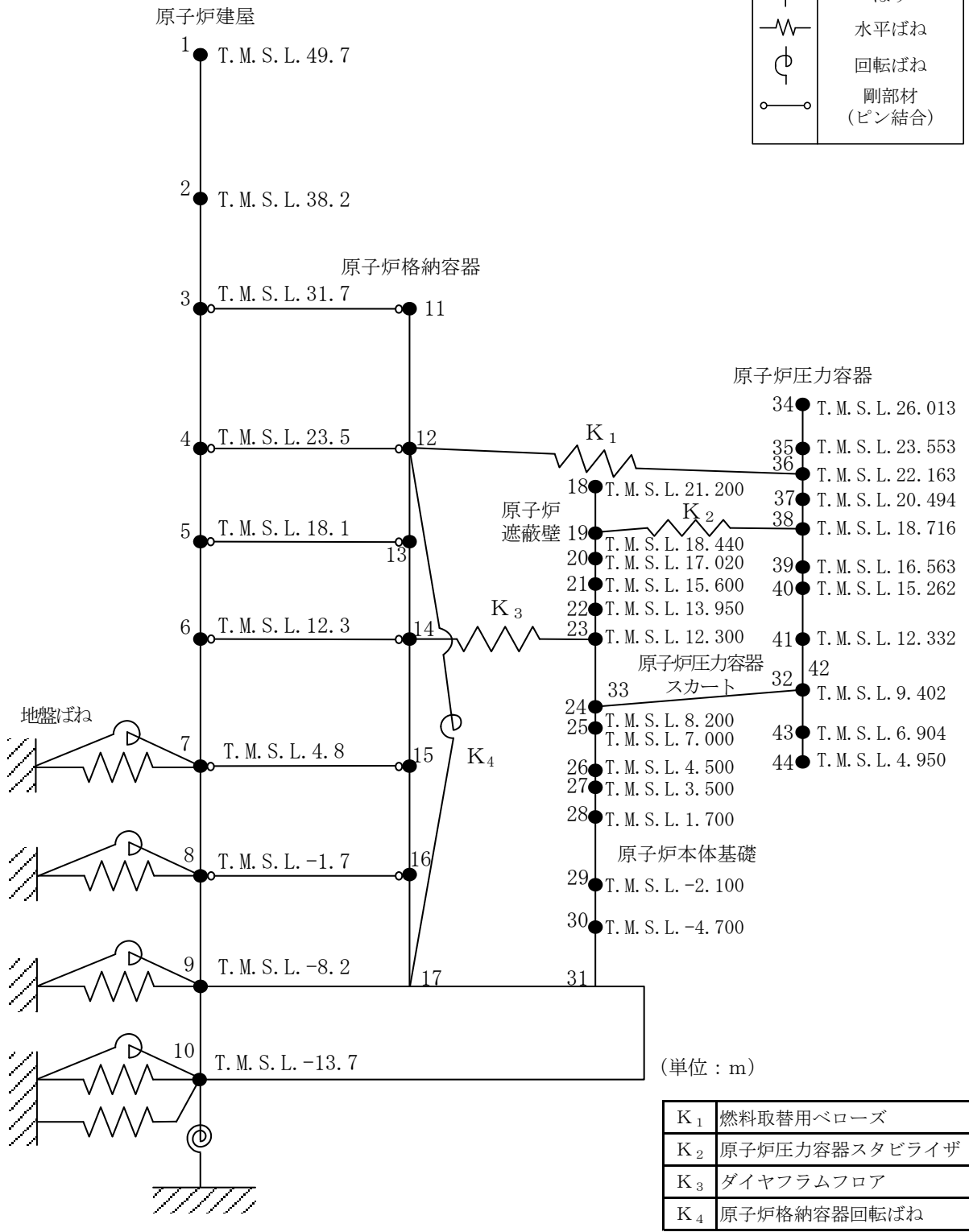


図 3-2 (1/2) 大型機器系地震応答解析モデル (EW 方向)

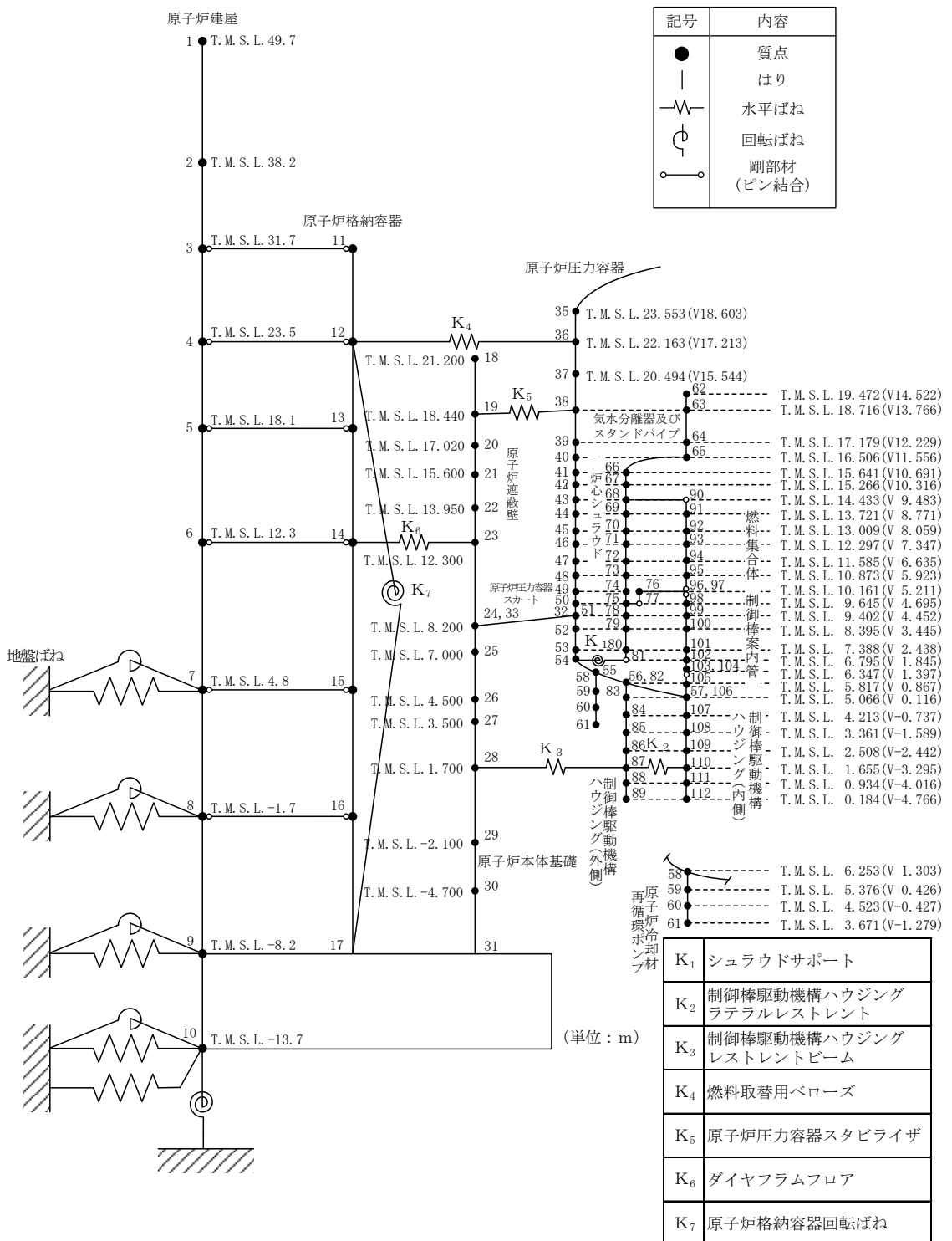


図 3-2 (2/2) 炉内構造物系地震応答解析モデル (EW 方向)

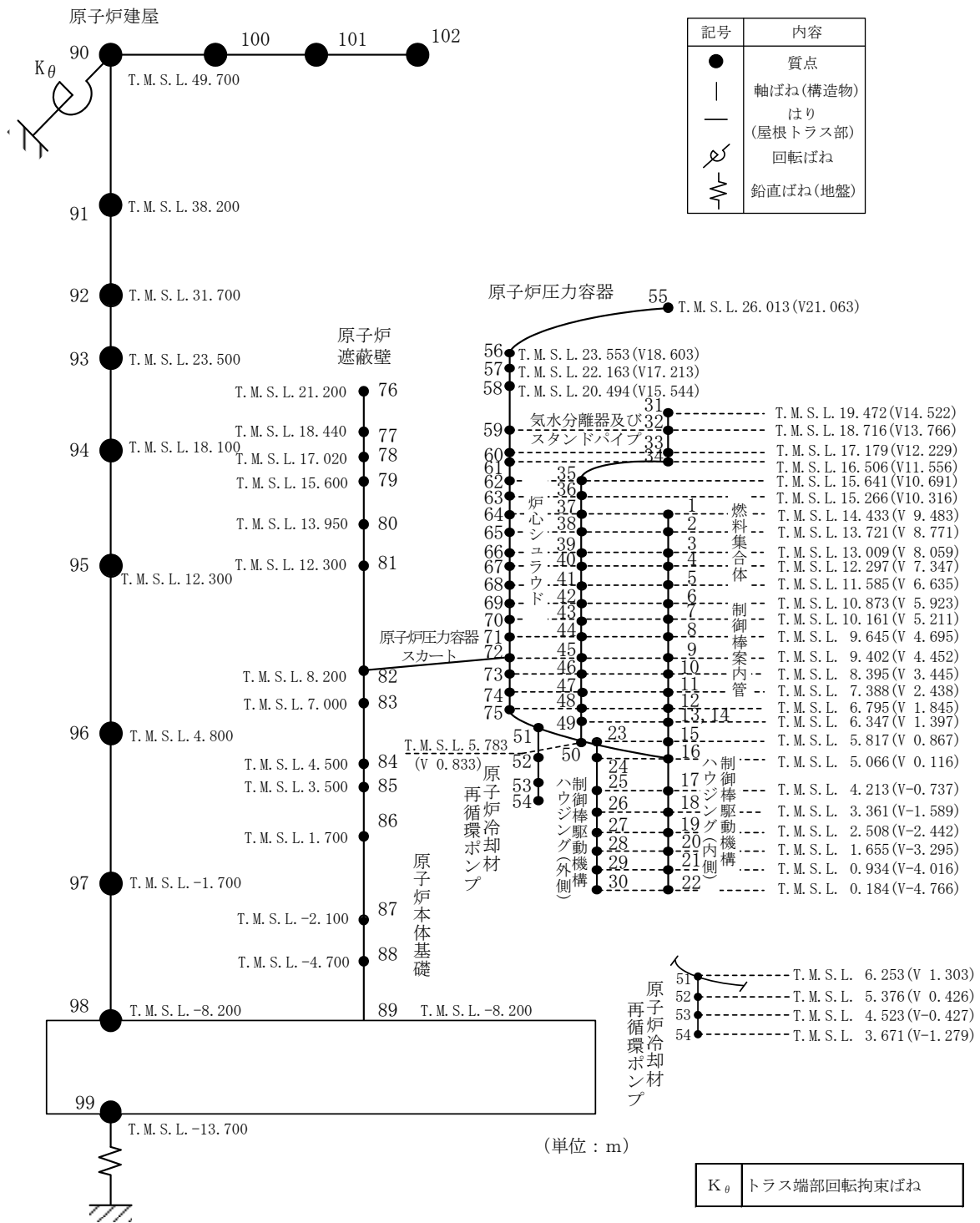


図 3-3 炉内構造物系地震応答解析モデル (鉛直方向)

4. 解析結果

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を表 4-1～表 4-7 に、床応答スペクトルを表 4-8 に示す。

「補強反映モデル」の最大応答値は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。

表 4-1 (1/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉遮蔽壁	18	21.200	1.10	1.26	1.26	1.17	1.26	1.26	1.00
	19	18.440	1.00	1.13	1.13	1.07	1.12	1.12	1.00
	20	17.020	0.95	1.04	1.04	1.00	1.04	1.04	1.00
	21	15.600	0.89	0.95	0.95	0.91	0.95	0.95	1.00
	22	13.950	0.82	0.84	0.84	0.81	0.84	0.84	1.00
原子炉本体基礎	23	12.300	0.77	0.80	0.80	0.76	0.79	0.79	0.99
	24	8.200	0.74	0.73	0.74	0.73	0.73	0.73	0.99
	25	7.000	0.73	0.73	0.73	0.71	0.71	0.71	0.98
	26	4.500	0.70	0.70	0.70	0.69	0.70	0.70	1.00
	27	3.500	0.68	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.99
	28	1.700	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.66	1.00
	29	-2.100	0.67	0.64	0.67	0.67	0.64	0.67	1.00
	30	-4.700	0.64	0.61	0.64	0.63	0.61	0.63	0.99
原子炉压力容器	9	-8.200	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	1.00
	34	26.013	1.42	1.56	1.56	1.39	1.53	1.53	0.98
	35	23.553	1.27	1.41	1.41	1.27	1.38	1.38	0.98
	36	22.163	1.20	1.33	1.33	1.21	1.31	1.31	0.99
	37	20.494	1.12	1.26	1.26	1.14	1.23	1.23	0.98
	38	18.716	1.04	1.16	1.16	1.06	1.14	1.14	0.99
	39	16.563	0.97	1.04	1.04	0.95	1.02	1.02	0.98
	40	15.262	0.91	0.97	0.97	0.89	0.95	0.95	0.98
	41	12.332	0.78	0.83	0.83	0.77	0.83	0.83	1.00
	42	9.402	0.74	0.76	0.76	0.74	0.76	0.76	1.00
43	6.904	0.72	0.77	0.77	0.71	0.77	0.77	1.00	
44	4.950	0.70	0.75	0.75	0.70	0.75	0.75	1.00	

表 4-1 (2/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	62	19.472	2.15	2.04	2.15	2.17	2.03	2.17	1.01
	63	18.716	1.55	1.50	1.55	1.54	1.49	1.54	1.00
	64	17.179	1.10	1.08	1.10	1.10	1.07	1.10	1.00
	65	16.506	1.03	1.01	1.03	1.01	1.00	1.01	0.98
	66	15.641	0.98	0.97	0.98	0.96	0.96	0.96	0.98
	67	15.266	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.99
	68	14.433	0.89	0.92	0.92	0.88	0.90	0.90	0.98
	69	13.721	0.85	0.90	0.90	0.84	0.89	0.89	0.99
	70	13.009	0.82	0.87	0.87	0.81	0.87	0.87	1.00
	71	12.297	0.81	0.84	0.84	0.79	0.84	0.84	1.00
	72	11.585	0.81	0.83	0.83	0.79	0.83	0.83	1.00
	73	10.873	0.81	0.82	0.82	0.79	0.82	0.82	1.00
	74	10.161	0.79	0.80	0.80	0.78	0.80	0.80	1.00
	75	9.645	0.78	0.79	0.79	0.77	0.78	0.78	0.99
	76	10.161	0.79	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	1.00
	78	9.402	0.77	0.78	0.78	0.76	0.77	0.77	0.99
79	8.395	0.74	0.78	0.78	0.73	0.77	0.77	0.99	
80	7.388	0.73	0.77	0.77	0.71	0.76	0.76	0.99	
81	6.795	0.72	0.76	0.76	0.70	0.75	0.75	0.99	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	0.72	0.76	0.76	0.70	0.75	0.75	0.99
原子炉圧力容器	56	5.817	0.71	0.76	0.76	0.71	0.75	0.75	0.99
	57	5.066	0.71	0.75	0.75	0.70	0.75	0.75	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	110	1.655	0.89	0.89	0.89	0.86	0.88	0.88	0.99
	111	0.934	1.08	1.03	1.08	1.06	1.01	1.06	0.99
	112	0.184	1.60	1.19	1.60	1.62	1.23	1.62	1.02
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	87	1.655	0.89	0.89	0.89	0.86	0.88	0.88	0.99
	88	0.934	1.15	1.05	1.15	1.13	1.07	1.13	0.99
	89	0.184	1.56	1.36	1.56	1.53	1.36	1.53	0.98
燃料集合体	90	14.433	0.89	0.92	0.92	0.88	0.90	0.90	0.98
	91	13.721	0.99	1.03	1.03	0.97	1.03	1.03	1.00
	92	13.009	1.12	1.23	1.23	1.12	1.22	1.22	1.00
	93	12.297	1.29	1.34	1.34	1.30	1.34	1.34	1.00
	94	11.585	1.11	1.17	1.17	1.12	1.17	1.17	1.00
	95	10.873	0.94	0.91	0.94	0.94	0.91	0.94	1.00
96	10.161	0.79	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	1.00	

表 4-1 (3/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉遮蔽壁	18	21.200	1.32	1.51	1.51	1.40	1.51	1.51	1.00
	19	18.440	1.20	1.35	1.35	1.28	1.34	1.34	1.00
	20	17.020	1.14	1.25	1.25	1.20	1.24	1.24	1.00
	21	15.600	1.07	1.14	1.14	1.10	1.14	1.14	1.00
	22	13.950	0.99	1.01	1.01	0.97	1.01	1.01	1.00
原子炉本体基礎	23	12.300	0.93	0.95	0.95	0.91	0.95	0.95	1.00
	24	8.200	0.89	0.88	0.89	0.87	0.87	0.87	0.98
	25	7.000	0.87	0.87	0.87	0.86	0.85	0.86	0.99
	26	4.500	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.99
	27	3.500	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.99
	28	1.700	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.79	1.00
	29	-2.100	0.80	0.77	0.80	0.80	0.76	0.80	1.00
	30	-4.700	0.77	0.73	0.77	0.75	0.73	0.75	0.98
原子炉压力容器	9	-8.200	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	1.00
	34	26.013	1.70	1.87	1.87	1.67	1.84	1.84	0.99
	35	23.553	1.53	1.69	1.69	1.52	1.66	1.66	0.99
	36	22.163	1.44	1.60	1.60	1.45	1.57	1.57	0.99
	37	20.494	1.34	1.51	1.51	1.37	1.48	1.48	0.98
	38	18.716	1.25	1.40	1.40	1.27	1.37	1.37	0.98
	39	16.563	1.16	1.25	1.25	1.14	1.23	1.23	0.99
	40	15.262	1.09	1.16	1.16	1.07	1.14	1.14	0.99
	41	12.332	0.93	1.00	1.00	0.92	0.99	0.99	0.99
	42	9.402	0.88	0.91	0.91	0.89	0.91	0.91	1.00
	43	6.904	0.87	0.92	0.92	0.85	0.92	0.92	1.00
44	4.950	0.84	0.90	0.90	0.84	0.90	0.90	1.00	

表 4-1 (4/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	62	19.472	2.57	2.45	2.57	2.60	2.44	2.60	1.02
	63	18.716	1.87	1.80	1.87	1.85	1.78	1.85	0.99
	64	17.179	1.32	1.30	1.32	1.31	1.29	1.31	1.00
	65	16.506	1.23	1.21	1.23	1.21	1.20	1.21	0.99
	66	15.641	1.17	1.16	1.17	1.16	1.15	1.16	1.00
	67	15.266	1.14	1.14	1.14	1.12	1.13	1.13	1.00
	68	14.433	1.07	1.11	1.11	1.05	1.08	1.08	0.98
	69	13.721	1.02	1.08	1.08	1.01	1.06	1.06	0.99
	70	13.009	0.98	1.04	1.04	0.97	1.04	1.04	1.00
	71	12.297	0.97	1.01	1.01	0.94	1.00	1.00	0.99
	72	11.585	0.97	0.99	0.99	0.95	0.99	0.99	1.00
	73	10.873	0.97	0.99	0.99	0.95	0.98	0.98	0.99
	74	10.161	0.95	0.96	0.96	0.93	0.96	0.96	1.00
	75	9.645	0.93	0.94	0.94	0.92	0.94	0.94	1.00
	76	10.161	0.94	0.95	0.95	0.93	0.94	0.94	0.99
78	9.402	0.92	0.94	0.94	0.91	0.93	0.93	0.99	
79	8.395	0.89	0.93	0.93	0.88	0.92	0.92	0.99	
80	7.388	0.87	0.92	0.92	0.85	0.91	0.91	0.99	
81	6.795	0.86	0.91	0.91	0.84	0.90	0.90	0.99	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	0.86	0.91	0.91	0.84	0.90	0.90	0.99
原子炉圧力容器	56	5.817	0.85	0.91	0.91	0.85	0.90	0.90	0.99
	57	5.066	0.86	0.90	0.90	0.84	0.90	0.90	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	110	1.655	1.07	1.07	1.07	1.03	1.05	1.05	0.99
	111	0.934	1.30	1.24	1.30	1.27	1.21	1.27	0.98
	112	0.184	1.92	1.43	1.92	1.95	1.47	1.95	1.02
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	87	1.655	1.06	1.07	1.07	1.03	1.05	1.05	0.99
	88	0.934	1.38	1.26	1.38	1.36	1.28	1.36	0.99
	89	0.184	1.87	1.63	1.87	1.84	1.63	1.84	0.99
燃料集合体	90	14.433	1.07	1.11	1.11	1.05	1.08	1.08	0.98
	91	13.721	1.18	1.24	1.24	1.17	1.23	1.23	1.00
	92	13.009	1.34	1.48	1.48	1.34	1.46	1.46	0.99
	93	12.297	1.54	1.60	1.60	1.56	1.61	1.61	1.01
	94	11.585	1.34	1.40	1.40	1.35	1.40	1.40	1.00
	95	10.873	1.13	1.10	1.13	1.13	1.09	1.13	1.00
96	10.161	0.94	0.95	0.95	0.93	0.94	0.94	0.99	

表 4-2 (1/3) せん断力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	せん断力 (kN)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉压力容器	34	26.013	317	356	356	309	349	349	0.98
	35	23.553	1340	1510	1510	1330	1480	1480	0.98
	36	22.163	2570	2320	2570	2610	2270	2610	1.02
	37	20.494	4370	4370	4370	4440	4270	4440	1.02
	38	18.716	3290	3390	3390	3550	3410	3550	1.05
	39	16.563	4880	5170	5170	5120	5130	5130	1.00
	40	15.262	6350	6770	6770	6560	6700	6700	0.99
	41	12.332	9110	9740	9740	9370	9630	9630	0.99
	42	9.402	3680	3980	3980	3640	3990	3990	1.01
	43	6.904	1710	1830	1830	1690	1830	1830	1.00
	44	4.950							
原子炉压力容器 スカート	32	9.402	14000	14700	14700	14100	14500	14500	0.99
	33	8.200							
原子炉遮蔽壁	18	21.200	802	883	883	805	880	880	1.00
	19	18.440	6040	6640	6640	6270	6680	6680	1.01
	20	17.020	6870	7540	7540	7110	7580	7580	1.01
	21	15.600	10100	11100	11100	10400	11100	11100	1.00
	22	13.950	10900	12000	12000	11200	12000	12000	1.00
	23	12.300	17400	13400	17400	17500	13700	17500	1.01
原子炉本体基礎	24	8.200	29300	23700	29300	30300	24400	30300	1.04
	25	7.000	31500	26200	31500	32500	26800	32500	1.04
	26	4.500	33500	28000	33500	34200	28600	34200	1.02
	27	3.500	34800	29100	34800	35400	29800	35400	1.02
	28	1.700	37700	31600	37700	38300	32300	38300	1.02
	29	-2.100	40100	33900	40100	40700	34600	40700	1.02
	30	-4.700	42000	36100	42000	42600	36700	42600	1.02
	31	-8.200							

表 4-2 (2/3) せん断力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	せん断力(kN)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
燃料集合体	90	14.433	1580	1590	1590	1600	1610	1610	1.02
	91	13.721	1030	1040	1040	1050	1050	1050	1.01
	92	13.009	350	359	359	358	359	359	1.00
	93	12.297	386	385	386	394	391	394	1.02
	94	11.585	1030	1040	1040	1060	1060	1060	1.02
	95	10.873	1520	1540	1540	1550	1560	1560	1.02
	96	10.161	236	227	236	256	230	256	1.09
制御棒案内管	97	10.161	189	176	189	203	181	203	1.08
	98	9.645	112	97.9	112	113	98.3	113	1.01
	99	9.402	62.0	65.0	65.0	71.6	69.8	71.6	1.11
	100	8.395	183	167	183	187	168	187	1.03
	101	7.388	264	237	264	262	233	262	1.00
	102	6.795	351	319	351	351	308	351	1.00
	103	6.347	453	411	453	456	399	456	1.01
制御棒駆動機構 ハウジング	104	6.347	154	121	154	145	123	145	0.95
	105	5.817	87.1	62.5	87.1	79.3	65.8	79.3	0.91
	106	5.066	47.5	38.2	47.5	46.6	38.9	46.6	0.99
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	107	4.213	103	109	109	102	108	108	0.99
	108	3.361	177	164	177	173	160	173	0.98
	109	2.508	35.6	27.7	35.6	34.9	27.6	34.9	0.98
	110	1.655	165	152	165	163	148	163	0.99
	111	0.934	108	89.1	108	107	87.8	107	0.99
	112	0.184	45.4	33.7	45.4	43.6	33.6	43.6	0.96
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	82	5.817	58.6	56.6	58.6	57.2	55.7	57.2	0.98
	83	5.066	126	130	130	123	127	127	0.98
	84	4.213	185	166	185	182	168	182	0.99
	85	3.361	35.1	29.9	35.1	34.3	30.0	34.3	0.98
	86	2.508							
	87	1.655							
	88	0.934							
	89	0.184							

表 4-2 (3/3) せん断力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	せん断力 (kN)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器及び スタンドパイプ	62	19.472	224	220	224	224	219	224	1.00
	63	18.716	633	612	633	628	610	628	1.00
	64	17.179	850	822	850	852	815	852	1.01
	65	16.506	908	873	908	923	874	923	1.02
炉心シュラウド	66	15.641	1010	955	1010	1020	957	1020	1.01
	67	15.266	1220	1120	1220	1190	1120	1190	0.98
	68	14.433	3250	3100	3250	3200	3120	3200	0.99
	69	13.721	3280	3110	3280	3210	3120	3210	0.98
	70	13.009	3260	3060	3260	3170	3080	3170	0.98
	71	12.297	3220	3020	3220	3110	3030	3110	0.97
	72	11.585	3180	2980	3180	3060	2990	3060	0.97
	73	10.873	3180	2970	3180	3050	2980	3050	0.96
	74	10.161	3200	2980	3200	3070	3000	3070	0.96
	75	9.645	3200	2980	3200	3070	3000	3070	0.96
	76	10.161	1920	1960	1960	1950	1970	1970	1.01
	75(77)	9.645	5270	5090	5270	5150	5110	5150	0.98
	78	9.402	5320	5130	5320	5190	5160	5190	0.98
	79	8.395	5380	5180	5380	5230	5210	5230	0.98
	80	7.388	5400	5200	5400	5260	5230	5260	0.98
	81	6.795	5400	5200	5400	5260	5230	5260	0.98
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	626	645	645	620	635	635	0.99
	59	5.376	466	481	481	455	472	472	0.99
	60	4.523	373	384	384	364	376	376	0.98
	61	3.671	373	384	384	364	376	376	0.98

表 4-3 (1/3) モーメント

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	モーメント (kN・m)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉压力容器	34	26.013	0	0	0	0	0	0	—
	35	23.553	779	876	876	761	859	859	0.98
	36	22.163	2640	2980	2980	2600	2920	2920	0.98
	37	20.494	6930	6850	6930	6950	6710	6950	1.01
	38	18.716	14700	14600	14700	14800	14300	14800	1.01
	39	16.563	21700	21800	21800	22400	21500	22400	1.03
	40	15.262	27900	28500	28500	29100	28200	29100	1.03
	41	12.332	46300	48300	48300	48300	47700	48300	1.00
	42	9.402	73000	76800	76800	75700	75900	75900	0.99
			12500	13500	13500	12400	13500	13500	1.00
43	6.904	3340	3580	3580	3300	3580	3580	1.00	
44	4.950	0	0	0	0	0	0	—	
原子炉压力容器 スカート	32	9.402	64500	67900	67900	66800	66900	66900	0.99
	33	8.200	80600	84900	84900	83400	83800	83800	0.99
原子炉遮蔽壁	18	21.200	0	0	0	0	0	0	—
	19	18.440	2210	2440	2440	2220	2430	2430	1.00
	20	17.020	10800	11800	11800	11100	11900	11891	1.01
	21	15.600	20500	22500	22500	21200	22700	22653	1.01
	22	13.950	37100	40800	40800	38400	41000	40989	1.01
23	12.300	55100	60600	60600	56900	60800	60797	1.01	
原子炉本体基礎	24	8.200	109000	79100	109000	114000	83000	113779	1.05
			184000	156000	184000	190000	159000	189801	1.04
	25	7.000	217000	180000	217000	225000	184000	224909	1.04
	26	4.500	293000	237000	293000	303000	243000	303149	1.04
	27	3.500	325000	261000	325000	336000	268000	335871	1.04
	28	1.700	384000	310000	384000	396000	320000	396370	1.04
	29	-2.100	516000	428000	516000	530000	439000	530261	1.03
	30	-4.700	611000	515000	611000	625000	528000	625322	1.03
31	-8.200	756000	640000	770555	771000	654000	770555	1.00	

表 4-3 (2/3) モーメント

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	モーメント (kN・m)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
燃料集合体	90	14.433	0	0	0	0	0	0	—
	91	13.721	1120	1130	1130	1140	1150	1150	1.02
	92	13.009	1850	1870	1870	1890	1890	1890	1.01
	93	12.297	2090	2120	2120	2140	2140	2140	1.01
	94	11.585	1820	1840	1840	1860	1860	1860	1.01
	95	10.873	1080	1100	1100	1110	1110	1110	1.01
	96	10.161	0	0	0	0	0	0	—
制御棒案内管	97	10.161	0	0	0	0	0	0	—
	98	9.645	122	117	122	132	119	132	1.09
	99	9.402	168	159	168	181	163	181	1.08
	100	8.395	274	253	274	290	255	290	1.06
	101	7.388	226	205	226	227	204	227	1.01
	102	6.795	118	106	118	117	104	117	1.00
	103	6.347	0	0	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構 ハウジング	104	6.347	0	0	0	0	0	0	—
	105	5.817	186	169	186	186	163	186	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	106	5.066	523	474	523	525	459	525	1.01
	106		149	151	151	142	155	155	1.03
	107	4.213	49.8	50.7	50.7	46.9	49.9	49.9	0.99
	108	3.361	70.5	61.1	70.5	68.1	64.1	68.1	0.97
	109	2.508	89.3	76.0	89.3	83.5	80.2	83.5	0.94
	110	1.655	154	138	154	150	136	150	0.98
	111	0.934	26.7	20.8	26.7	26.2	20.7	26.2	0.99
	112	0.184	0	0	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	82	5.817	162	169	169	164	165	165	0.98
	83	5.066	54.8	55.2	55.2	53.5	53.7	53.7	0.98
	84	4.213	63.6	47.2	63.6	62.0	48.4	62.0	0.98
	85	3.361	97.2	71.2	97.2	95.0	72.6	95.0	0.98
	86	2.508	74.2	58.5	74.2	71.2	60.4	71.2	0.96
	87	1.655	160	142	160	157	143	157	0.99
	88	0.934	26.3	22.4	26.3	25.7	22.5	25.7	0.98
89	0.184	0	0	0	0	0	0	—	

表 4-3 (3/3) モーメント

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	モーメント (kN・m)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器及び スタンドパイプ	62	19.472	0	0	0	0	0	0	—
	63	18.716	169	166	169	169	166	169	1.00
	64	17.179	1140	1110	1140	1130	1100	1130	1.00
	65	16.506	1700	1640	1700	1700	1640	1700	1.00
炉心シュラウド	66	15.641	2470	2390	2470	2480	2380	2480	1.01
	67	15.266	2840	2750	2840	2850	2740	2850	1.01
	68	14.433	3820	3680	3820	3840	3660	3840	1.01
	69	13.721	6020	5740	6020	6060	5770	6060	1.01
	70	13.009	8360	7950	8360	8350	7990	8350	1.00
	71	12.297	10700	10100	10700	10600	10200	10600	0.99
	72	11.585	13000	12300	13000	12800	12300	12800	0.99
	73	10.873	15200	14400	15200	15000	14400	15000	0.99
	74	10.161	17500	16500	17500	17100	16500	17100	0.98
	75	9.645	19100	18000	19100	18700	18100	18700	0.98
	76	10.161	0	0	0	0	0	0	—
	75(77)	9.645	991	1010	1010	1000	1020	1020	1.01
			20100	19000	20100	19700	19100	19700	0.98
	78	9.402	21400	20200	21400	21000	20300	21000	0.99
	79	8.395	26700	25400	26700	26200	25500	26200	0.99
80	7.388	32200	30600	32200	31400	30700	31400	0.98	
81	6.795	35400	33700	35400	34600	33800	34600	0.98	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	1260	1300	1300	1230	1280	1280	0.99
	59	5.376	715	737	737	697	724	724	0.99
	60	4.523	318	327	327	310	321	321	0.99
	61	3.671	0	0	0	0	0	0	—

表 4-4 (1/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
原子炉遮蔽壁	76	21.200	0.86	0.86	1.00
	77	18.440	0.86	0.86	1.00
	78	17.020	0.86	0.85	0.99
	79	15.600	0.85	0.85	1.00
	80	13.950	0.84	0.84	1.00
原子炉本体基礎	81	12.300	0.83	0.83	1.00
	82	8.200	0.83	0.83	1.00
	83	7.000	0.82	0.83	1.02
	84	4.500	0.81	0.82	1.02
	85	3.500	0.81	0.81	1.00
	86	1.700	0.81	0.81	1.00
	87	-2.100	0.80	0.80	1.00
	88	-4.700	0.79	0.80	1.02
	9	-8.200	0.79	0.80	1.02
原子炉压力容器	55	26.013	0.85	0.85	1.00
	56	23.553	0.85	0.85	1.00
	57	22.163	0.85	0.85	1.00
	58	20.494	0.85	0.85	1.00
	59	18.716	0.85	0.85	1.00
	61	16.506	0.84	0.84	1.00
	63	15.266	0.84	0.84	1.00
	67	12.297	0.84	0.84	1.00
	72	9.402	0.83	0.83	1.00
	75	6.795	0.84	0.84	1.00
	16	5.066	0.85	0.85	1.00

表 4-4 (2/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$		
			今回工認モデル		応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	補強反映モデル ②鉛直方向	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	31	19.472	0.89	0.88	0.99
	32	18.716	0.89	0.88	0.99
	33	17.179	0.89	0.88	0.99
	34	16.506	0.89	0.88	0.99
	35	15.641	0.87	0.87	1.00
	36	15.266	0.87	0.87	1.00
	37	14.433	0.87	0.86	0.99
	38	13.721	0.87	0.86	0.99
	39	13.009	0.86	0.86	1.00
	40	12.297	0.86	0.86	1.00
	41	11.585	0.86	0.86	1.00
	42	10.873	0.86	0.85	0.99
	43	10.161	0.86	0.85	0.99
	44	9.645	0.85	0.85	1.00
	45	9.402	0.85	0.85	1.00
	46	8.395	0.85	0.85	1.00
	47	7.388	0.85	0.84	0.99
	48	6.795	0.84	0.84	1.00
49	6.347	0.84	0.84	1.00	
50	5.783	0.84	0.84	1.00	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	51	6.253	0.84	0.84	1.00
原子炉圧力容器	23	5.817	0.84	0.84	1.00
	16	5.066	0.85	0.85	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	20	1.655	0.86	0.85	0.99
	21	0.934	0.86	0.86	1.00
	22	0.184	0.86	0.86	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	28	1.655	0.85	0.84	0.99
	29	0.934	0.85	0.84	0.99
	30	0.184	0.85	0.84	0.99
燃料集合体	1	14.433	0.88	0.88	1.00
	2	13.721	0.88	0.88	1.00
	3	13.009	0.88	0.88	1.00
	4	12.297	0.88	0.88	1.00
	5	11.585	0.88	0.87	0.99
	6	10.873	0.88	0.87	0.99
	7	10.161	0.87	0.87	1.00

表 4-4 (3/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
原子炉遮蔽壁	76	21.200	1.03	1.03	1.00
	77	18.440	1.03	1.03	1.00
	78	17.020	1.03	1.02	0.99
	79	15.600	1.02	1.01	0.99
	80	13.950	1.01	1.01	1.00
原子炉本体基礎	81	12.300	1.00	1.00	1.00
	82	8.200	0.99	0.99	1.00
	83	7.000	0.99	0.99	1.00
	84	4.500	0.98	0.98	1.00
	85	3.500	0.97	0.97	1.00
	86	1.700	0.97	0.97	1.00
	87	-2.100	0.96	0.96	1.00
	88	-4.700	0.95	0.95	1.00
	9	-8.200	0.95	0.95	1.00
原子炉压力容器	55	26.013	1.02	1.02	1.00
	56	23.553	1.02	1.02	1.00
	57	22.163	1.02	1.02	1.00
	58	20.494	1.02	1.02	1.00
	59	18.716	1.02	1.01	0.99
	61	16.506	1.01	1.01	1.00
	63	15.266	1.01	1.01	1.00
	67	12.297	1.00	1.00	1.00
	72	9.402	1.00	1.00	1.00
	75	6.795	1.01	1.01	1.00
	16	5.066	1.02	1.02	1.00

表 4-4 (4/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$		
			今回工認モデル		応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	補強反映モデル ②鉛直方向	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	31	19.472	1.06	1.06	1.00
	32	18.716	1.06	1.06	1.00
	33	17.179	1.06	1.06	1.00
	34	16.506	1.06	1.06	1.00
	35	15.641	1.04	1.04	1.00
	36	15.266	1.04	1.04	1.00
	37	14.433	1.04	1.04	1.00
	38	13.721	1.04	1.03	0.99
	39	13.009	1.04	1.03	0.99
	40	12.297	1.03	1.03	1.00
	41	11.585	1.03	1.03	1.00
	42	10.873	1.03	1.03	1.00
	43	10.161	1.03	1.02	0.99
	44	9.645	1.02	1.02	1.00
	45	9.402	1.02	1.02	1.00
	46	8.395	1.02	1.02	1.00
	47	7.388	1.01	1.01	1.00
	48	6.795	1.01	1.01	1.00
49	6.347	1.01	1.01	1.00	
50	5.783	1.01	1.01	1.00	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	51	6.253	1.01	1.01	1.00
原子炉圧力容器	23	5.817	1.01	1.01	1.00
	16	5.066	1.02	1.02	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	20	1.655	1.03	1.03	1.00
	21	0.934	1.03	1.03	1.00
	22	0.184	1.03	1.03	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	28	1.655	1.02	1.01	0.99
	29	0.934	1.02	1.01	0.99
	30	0.184	1.02	1.01	0.99
燃料集合体	1	14.433	1.06	1.06	1.00
	2	13.721	1.06	1.05	0.99
	3	13.009	1.06	1.05	0.99
	4	12.297	1.06	1.05	0.99
	5	11.585	1.05	1.05	1.00
	6	10.873	1.05	1.05	1.00
	7	10.161	1.05	1.04	0.99

表 4-5 (1/3) 軸力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	軸力 (kN)		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
原子炉压力容器	55	26.013	183	182	1.00
	56	23.553	852	848	1.00
	57	22.163		1560	1550
	58	20.494	2940	2930	1.00
	59	18.716	3480	3460	1.00
	60	17.179	3780	3760	1.00
	61	16.506	4200	4180	1.00
	62	15.641	4390	4370	1.00
	63	15.266	4650	4630	1.00
	64	14.433	4850	4830	1.00
	65	13.721	5050	5030	1.00
	66	13.009	5240	5220	1.00
	67	12.297	5430	5410	1.00
	68	11.585	5620	5590	1.00
	69	10.873	5810	5780	1.00
	70	10.161	5970	5950	1.00
	71	9.645	6090	6070	1.00
	72	9.402	10400	10400	1.00
	73	8.395	10200	10100	0.99
	74	7.388	9970	9910	1.00
75	6.795	8860	8820	1.00	
51	6.253	8000	7950	1.00	
23	5.817	4380	4350	1.00	
16	5.066				
原子炉压力容器 スカート	72	9.402	16900	16800	1.00
	82	8.200			
原子炉遮蔽壁	76	21.200	604	603	1.00
	77	18.440	3390	3510	1.04
	78	17.020		4130	4250
	79	15.600	7270	7380	1.02
	80	13.950	8160	8270	1.02
	81	12.300	19200	19300	1.01
原子炉本体基礎	82	8.200	40200	40200	1.00
	83	7.000	43200	43300	1.01
	84	4.500	45600	45800	1.01
	85	3.500	47200	47400	1.01
	86	1.700	50800	51100	1.01
	87	-2.100	54500	54800	1.01
	88	-4.700	57800	58100	1.01
	89	-8.200			

表 4-5 (2/3) 軸力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	軸力 (kN)		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
燃料集合体	1	14.433	177	177	1.00
	2	13.721	532	530	1.00
	3	13.009	886	882	1.00
	4	12.297	1240	1230	1.00
	5	11.585	1590	1580	1.00
	6	10.873	1940	1930	1.00
	7	10.161	2390	2370	1.00
制御棒案内管	8	9.645	2410	2400	1.00
	9	9.402	2460	2450	1.00
	10	8.395	2530	2520	1.00
	11	7.388	2590	2580	1.00
	12	6.795	2630	2610	1.00
	13	6.347	2690	2680	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング	14	6.347	2690	2680	1.00
	15	5.817	2740	2730	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	16	5.066	703	699	1.00
	17	4.213	665	662	1.00
	18	3.361	626	622	1.00
	19	2.508	588	585	1.00
	20	1.655	130	129	1.00
	21	0.934	18.9	18.8	1.00
	22	0.184			
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	23	5.817	721	717	1.00
	24	5.066	688	684	1.00
	25	4.213	651	648	1.00
	26	3.361	612	609	1.00
	27	2.508	575	572	1.00
	28	1.655	127	126	1.00
	29	0.934	18.5	18.4	1.00
	30	0.184			

表 4-5 (3/3) 軸力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	軸力 (kN)			
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)	
			①鉛直方向	②鉛直方向		
気水分離器及び スタンドパイプ	31	19.472	68.8	68.5	1.00	
	32	18.716	210	209	1.00	
	33	17.179	405	403	1.00	
	34	16.506	571	569	1.00	
炉心シュラウド	35	15.641	947	942	1.00	
	36	15.266	1040	1040	1.00	
	37	14.433	1300	1300	1.00	
	38	13.721	1350	1340	1.00	
	39	13.009	1390	1380	1.00	
	40	12.297	1430	1430	1.00	
	41	11.585	1470	1470	1.00	
	42	10.873	1520	1510	1.00	
	43	10.161	1560	1550	1.00	
	44	9.645	2160	2140	0.99	
	45	9.402	2210	2200	1.00	
	46	8.395	2290	2280	1.00	
	47	7.388	2360	2350	1.00	
	48	6.795	2450	2430	1.00	
	49	6.347	2500	2480	1.00	
	原子炉冷却材 再循環ポンプ	51	6.253	546	545	1.00
		52	5.376	492	491	1.00
53		4.523	423	422	1.00	
54		3.671				

表 4-6 ばね反力

機器	ばね反力 (kN)						応答比率 (②/①)
	今回工認モデル			補強反映モデル			
	NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉圧力容器 スタビライザ	2130	2180	2180	2070	2060	2070	0.95
ダイヤフラムフロア	19400	19100	19400	19900	18800	19900	1.03
制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	813	830	830	783	814	814	0.98

表 4-7 相対変位

機器	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	相対変位 (mm)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
燃料集合体	90	14.433	—	—	—	—	—	—	—
	91	13.721	7.23	7.31	7.31	7.39	7.40	7.40	1.02
	92	13.009	12.5	12.6	12.6	12.7	12.7	12.7	1.01
	93	12.297	14.3	14.5	14.5	14.6	14.7	14.7	1.02
	94	11.585	12.4	12.5	12.5	12.7	12.7	12.7	1.02
	95	10.873	7.15	7.24	7.24	7.32	7.33	7.33	1.02
	96	10.161	—	—	—	—	—	—	—

表 4-8 (1/2) 床応答スペクトル

方向	地震応答解析モデル	構造物名	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	図番	
						床応答スペクトル	応答比率
水平	大型機器系	原子炉遮蔽壁	18	21.200	1.0	図4-1 (1/22)	図4-2 (1/22)
			19	18.440		図4-1 (2/22)	図4-2 (2/22)
			20	17.020		図4-1 (3/22)	図4-2 (3/22)
			21	15.600		図4-1 (4/22)	図4-2 (4/22)
			22	13.950		図4-1 (5/22)	図4-2 (5/22)
		原子炉本体基礎	23	12.300		図4-1 (6/22)	図4-2 (6/22)
			24	8.200		図4-1 (7/22)	図4-2 (7/22)
			25	7.000		図4-1 (8/22)	図4-2 (8/22)
			26	4.500		図4-1 (9/22)	図4-2 (9/22)
			27	3.500		図4-1 (10/22)	図4-2 (10/22)
			28	1.700		図4-1 (11/22)	図4-2 (11/22)
			29	-2.100		図4-1 (12/22)	図4-2 (12/22)
		原子炉圧力容器	30	-4.700		図4-1 (13/22)	図4-2 (13/22)
			34	26.013		図4-1 (14/22)	図4-2 (14/22)
			37	20.494		図4-1 (15/22)	図4-2 (15/22)
			39	16.563		図4-1 (16/22)	図4-2 (16/22)
			40	15.262		図4-1 (17/22)	図4-2 (17/22)
		炉内構造物系	炉心シュラウド	44		4.950	図4-1 (18/22)
	68			14.433		図4-1 (19/22)	図4-2 (19/22)
	76		10.161	図4-1 (20/22)		図4-2 (20/22)	
	原子炉圧力容器		57	5.066		図4-1 (21/22)	図4-2 (21/22)
	原子炉冷却材再循環ポンプ		58	6.253		図4-1 (22/22)	図4-2 (22/22)

表 4-8 (2/2) 床応答スペクトル

方向	地震応答解析モデル	構造物名	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	図番	
						床応答スペクトル	応答比率
鉛直	大型機器系	原子炉遮蔽壁	76	21.200	1.0	図4-3 (1/22)	図4-4 (1/22)
			77	18.440		図4-3 (2/22)	図4-4 (2/22)
			78	17.020		図4-3 (3/22)	図4-4 (3/22)
			79	15.600		図4-3 (4/22)	図4-4 (4/22)
			80	13.950		図4-3 (5/22)	図4-4 (5/22)
		原子炉本体基礎	81	12.300		図4-3 (6/22)	図4-4 (6/22)
			82	8.200		図4-3 (7/22)	図4-4 (7/22)
			83	7.000		図4-3 (8/22)	図4-4 (8/22)
			84	4.500		図4-3 (9/22)	図4-4 (9/22)
			85	3.500		図4-3 (10/22)	図4-4 (10/22)
			86	1.700		図4-3 (11/22)	図4-4 (11/22)
			87	-2.100		図4-3 (12/22)	図4-4 (12/22)
		原子炉圧力容器	88	-4.700		図4-3 (13/22)	図4-4 (13/22)
			55	26.013		図4-3 (14/22)	図4-4 (14/22)
			58	20.494		図4-3 (15/22)	図4-4 (15/22)
			61	16.506		図4-3 (16/22)	図4-4 (16/22)
			63	15.262		図4-3 (17/22)	図4-4 (17/22)
		炉内構造物系	炉心シュラウド	16		5.066	図4-3 (18/22)
	37			14.433		図4-3 (19/22)	図4-4 (19/22)
	44		9.645	図4-3 (20/22)		図4-4 (20/22)	
	原子炉圧力容器		16	5.066		図4-3 (21/22)	図4-4 (21/22)
			51	6.253		図4-3 (22/22)	図4-4 (22/22)

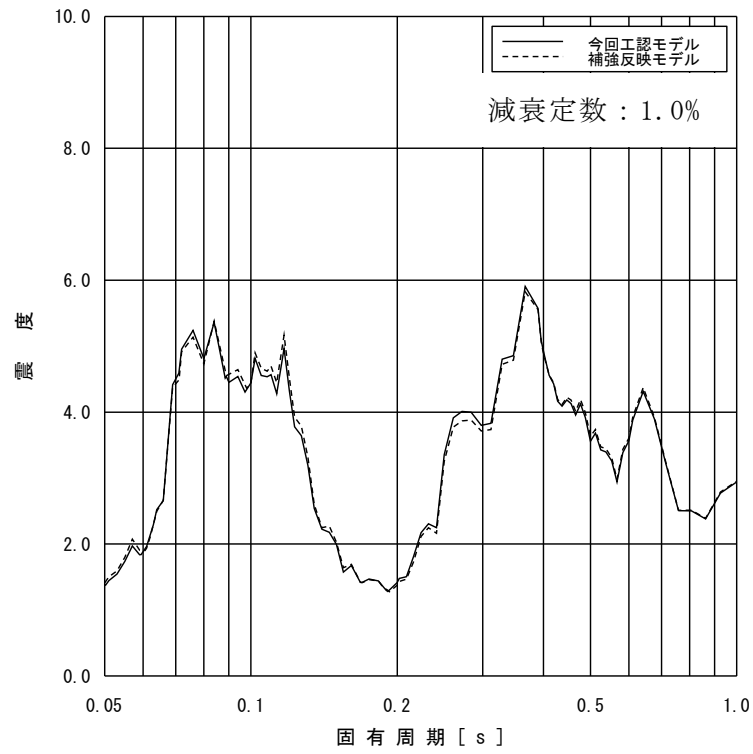


図 4-1 (1/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 21.200m)

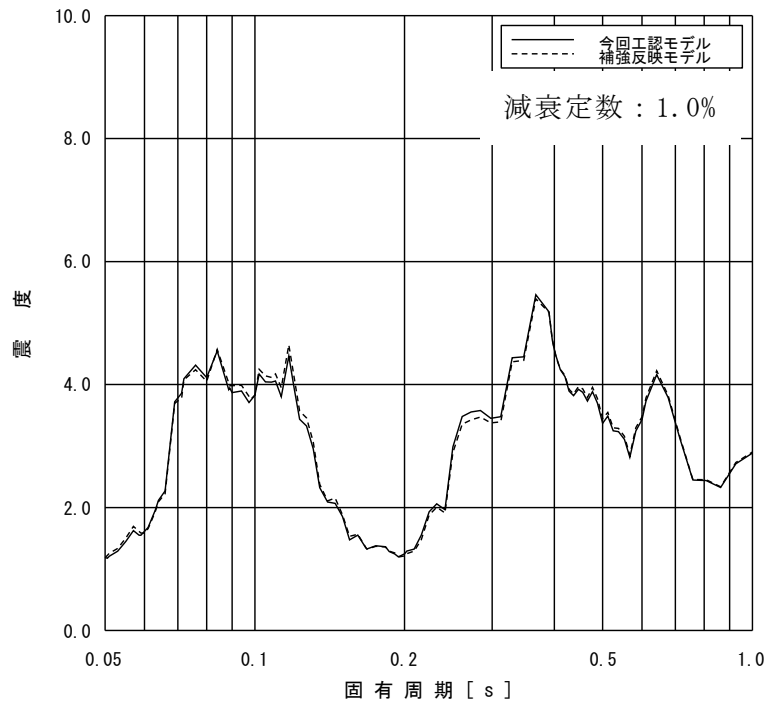


図 4-1 (2/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 18.440m)

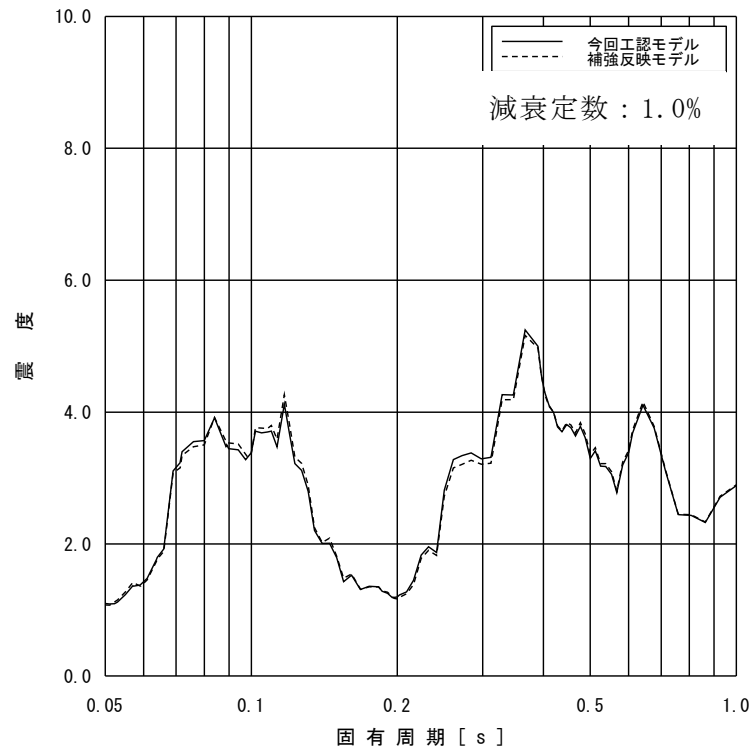


図 4-1 (3/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 17.020m)

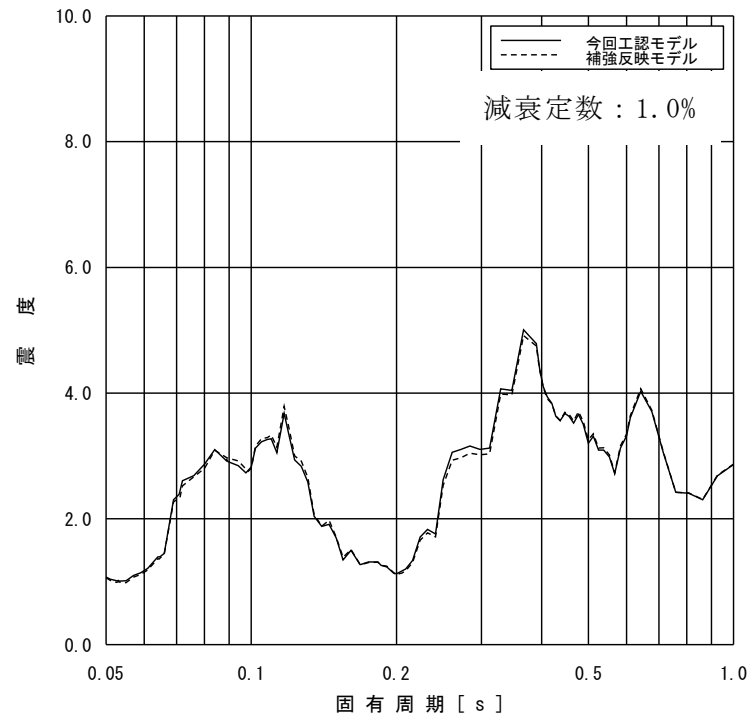


図 4-1 (4/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.600m)

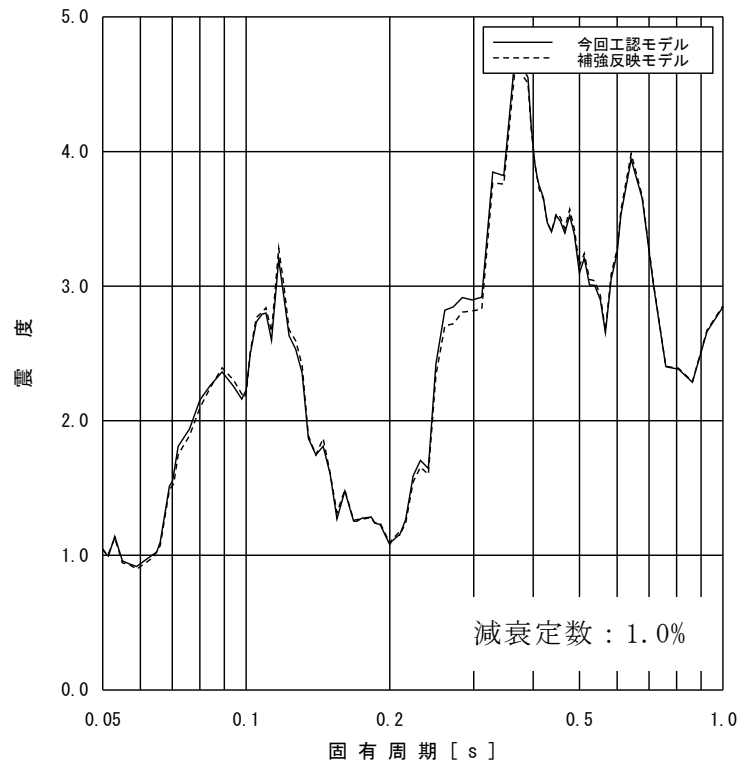


図 4-1 (5/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 13.950m)

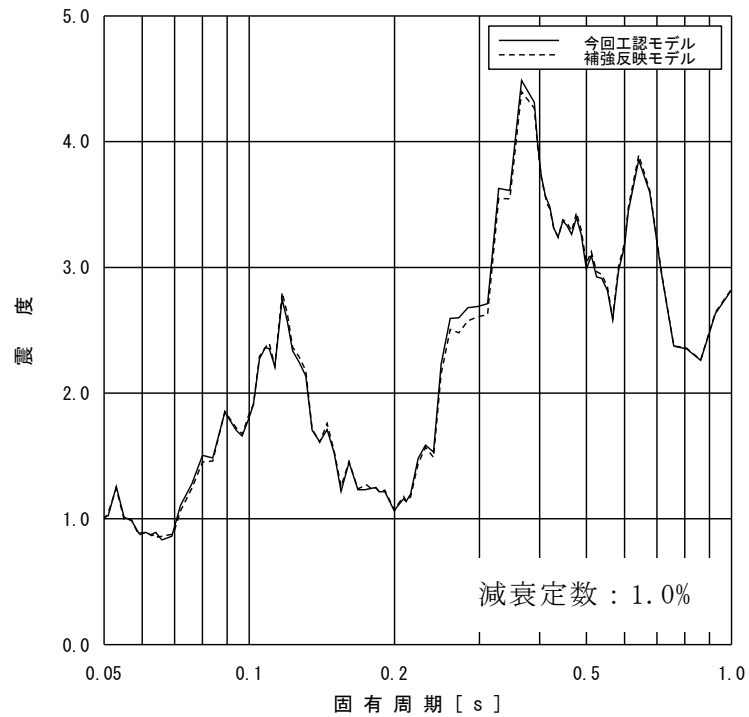


図 4-1 (6/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 12.300m)

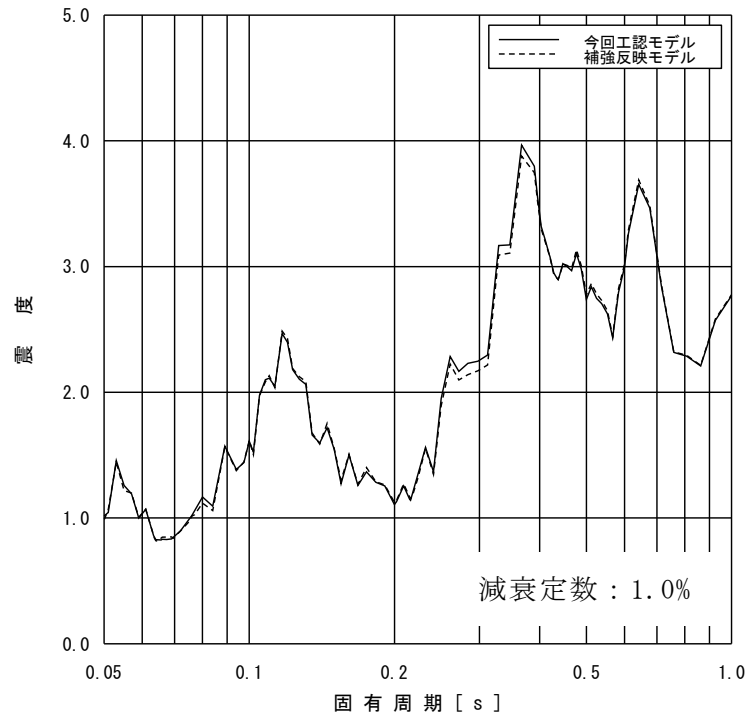


図 4-1 (7/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 8.200m)

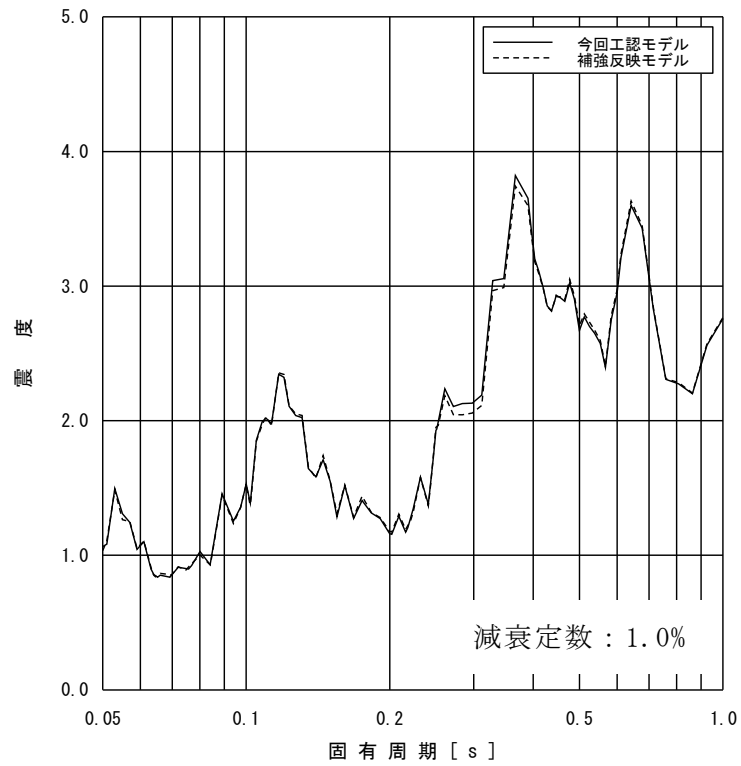


図 4-1 (8/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 7.000m)

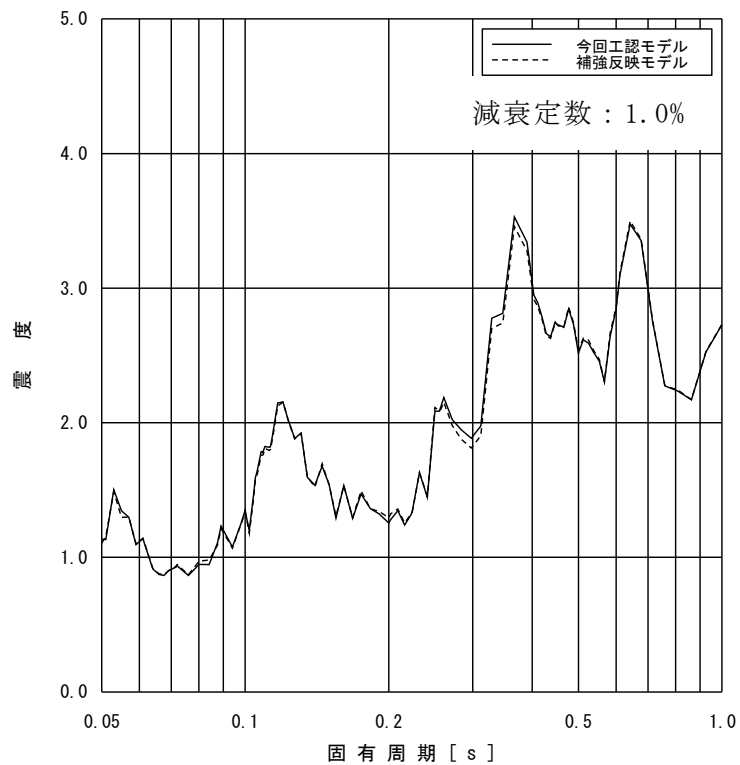


図 4-1 (9/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.500m)

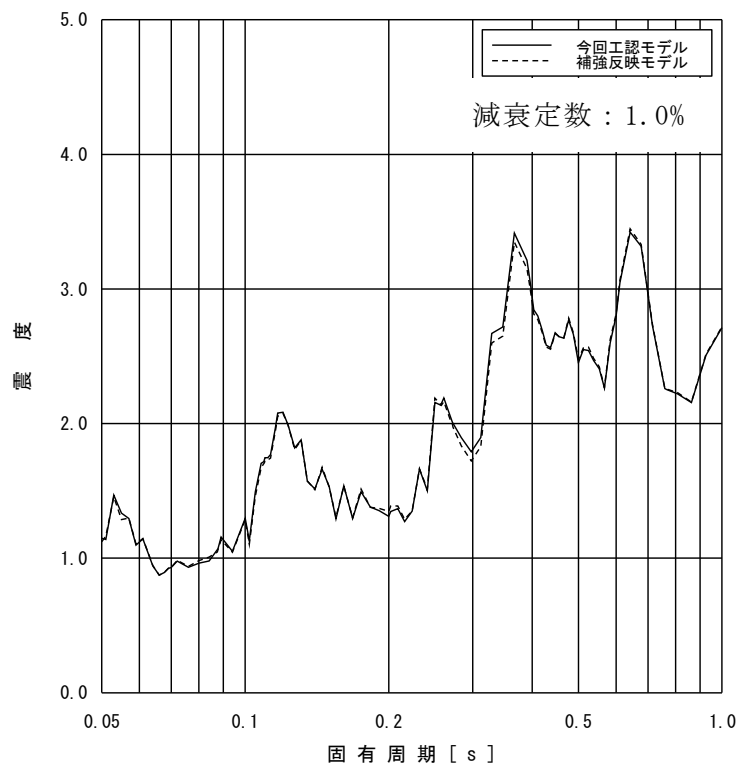


図 4-1 (10/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 3.500m)

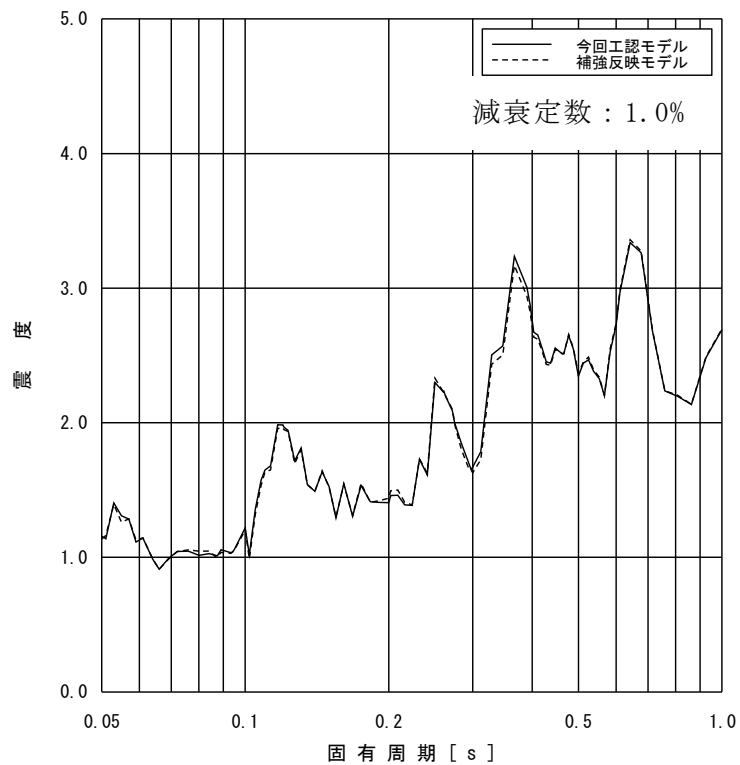


図 4-1 (11/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 1.700m)

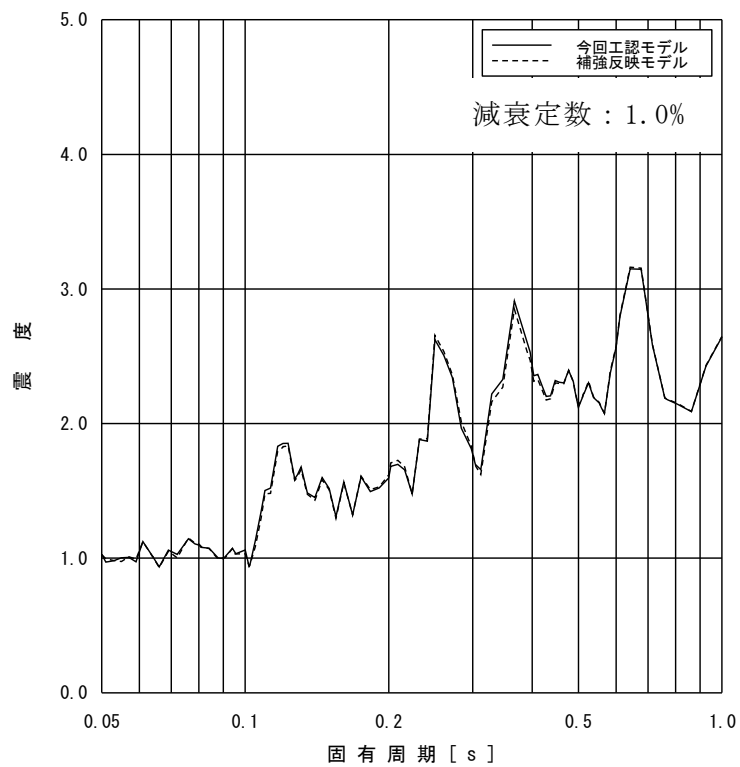


図 4-1 (12/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -2.100m)

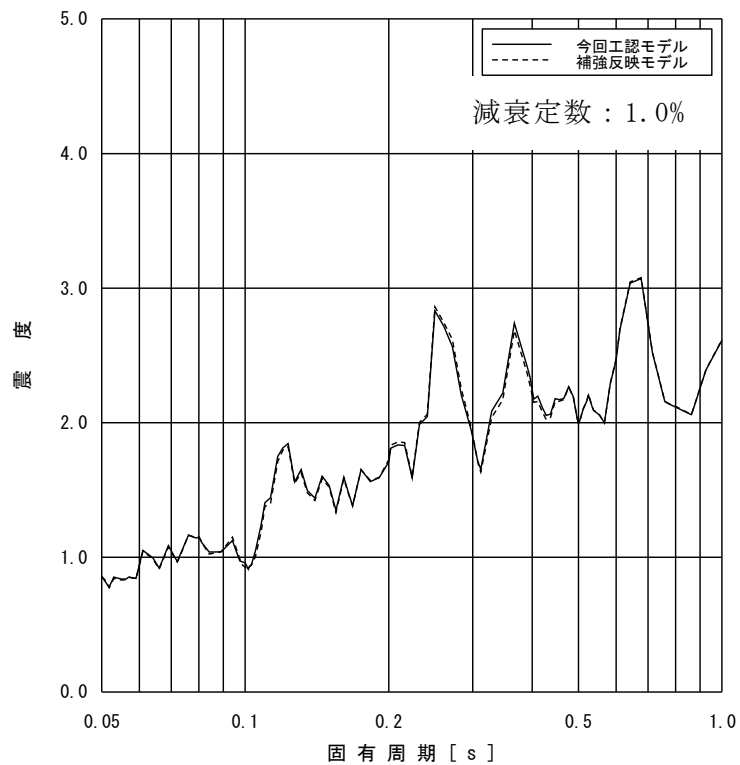


図 4-1 (13/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -4.700m)

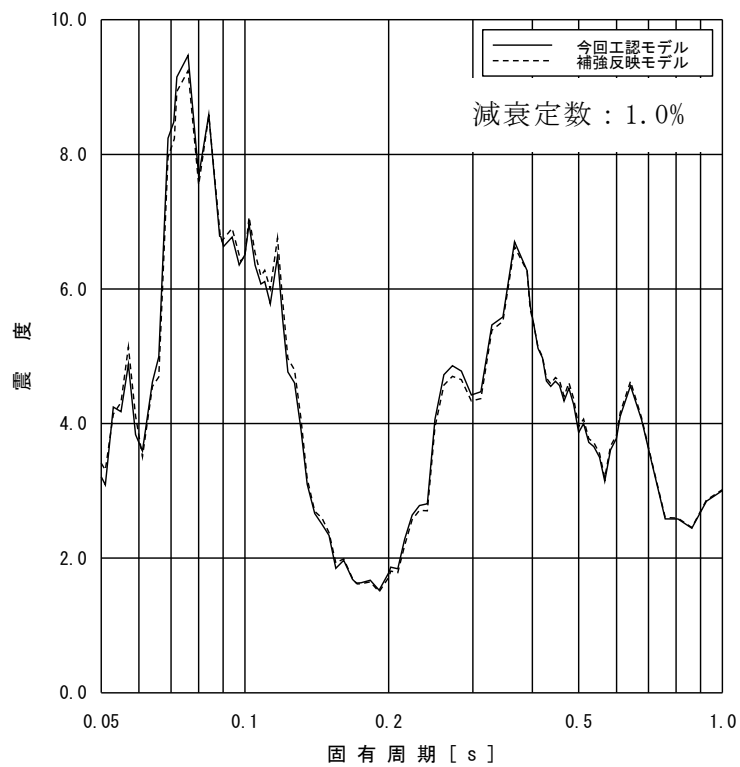


図 4-1 (14/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 26.013m)

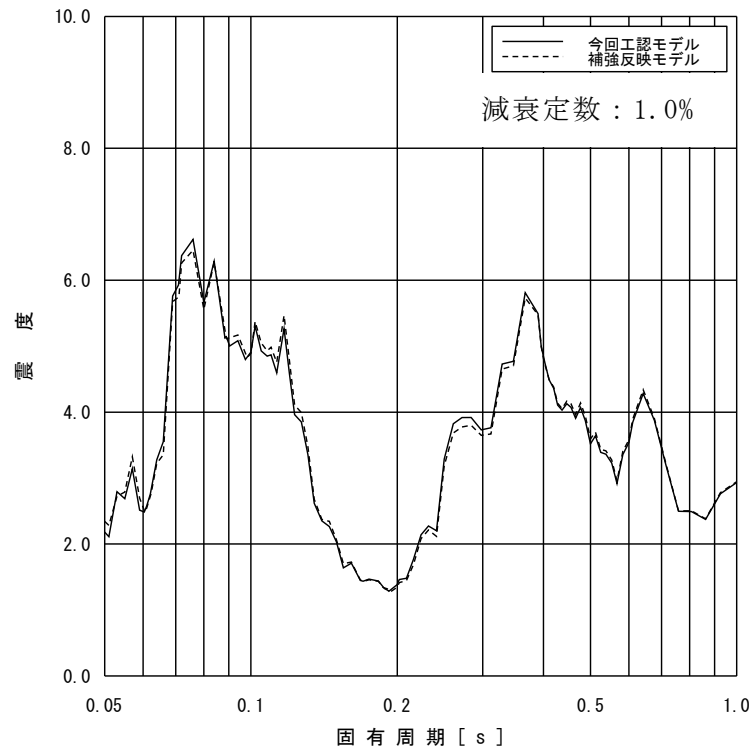


図 4-1 (15/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 20.494m)

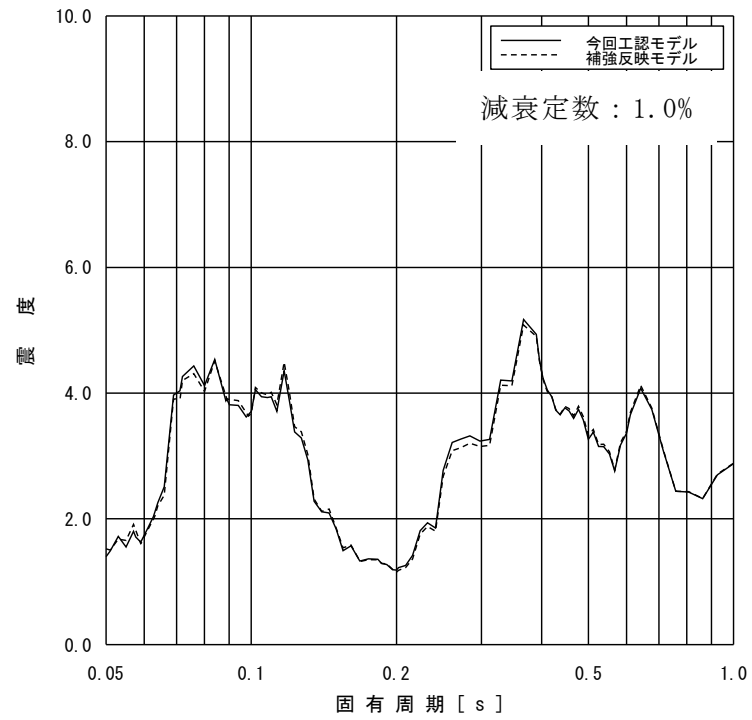


図 4-1 (16/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 16.563m)

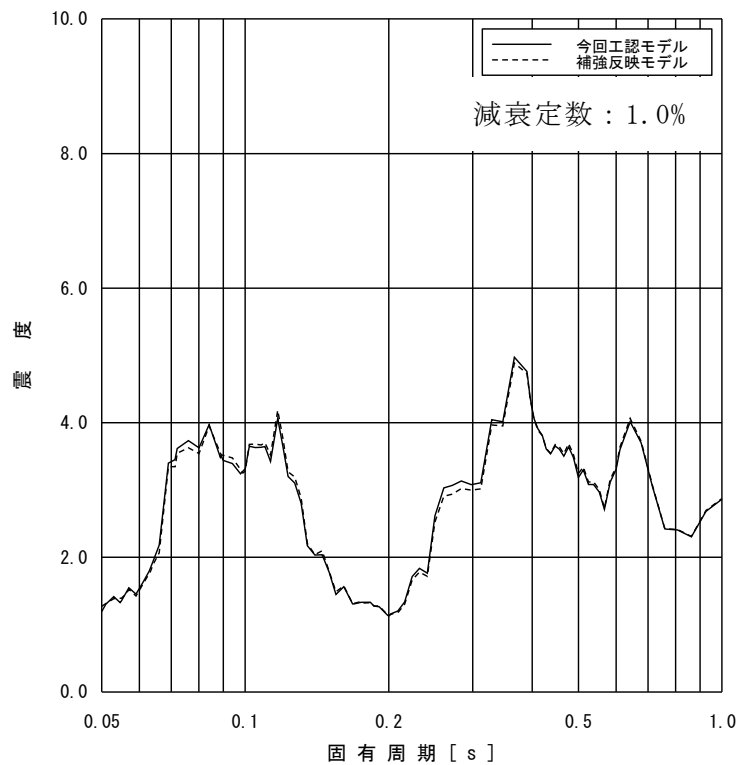


図 4-1 (17/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.262m)

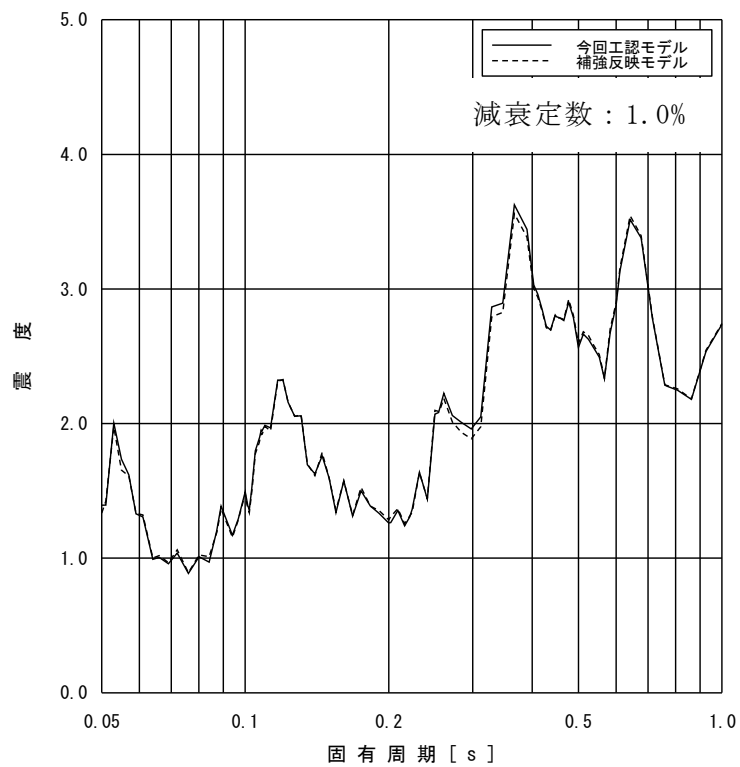


図 4-1 (18/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.950m)

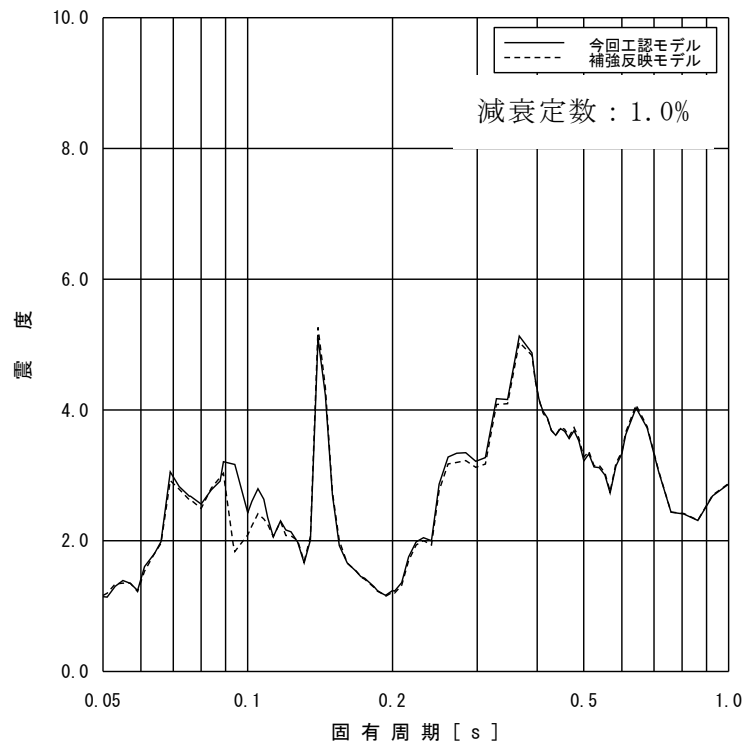


図 4-1 (19/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 14.433m)

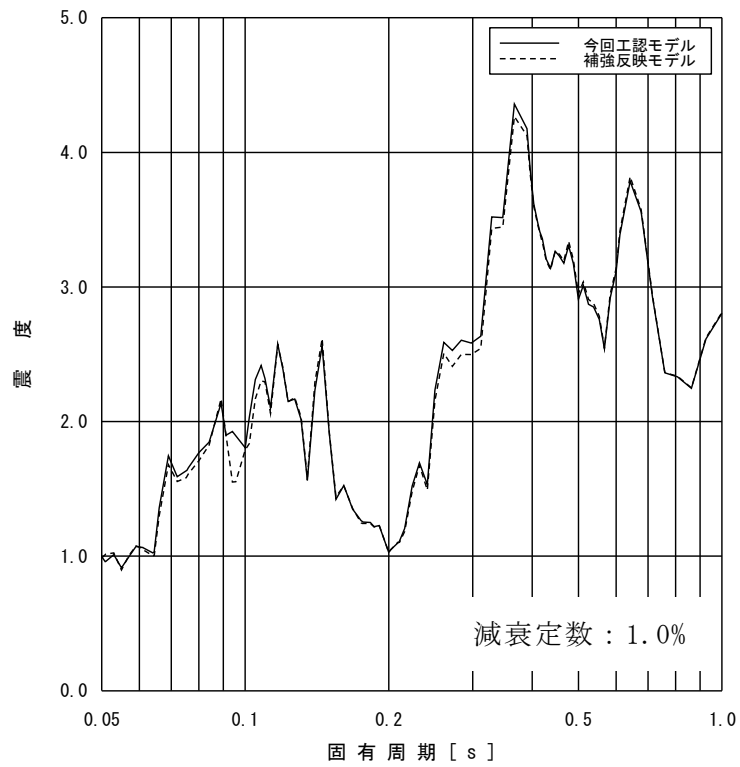


図 4-1 (20/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 10.161m)

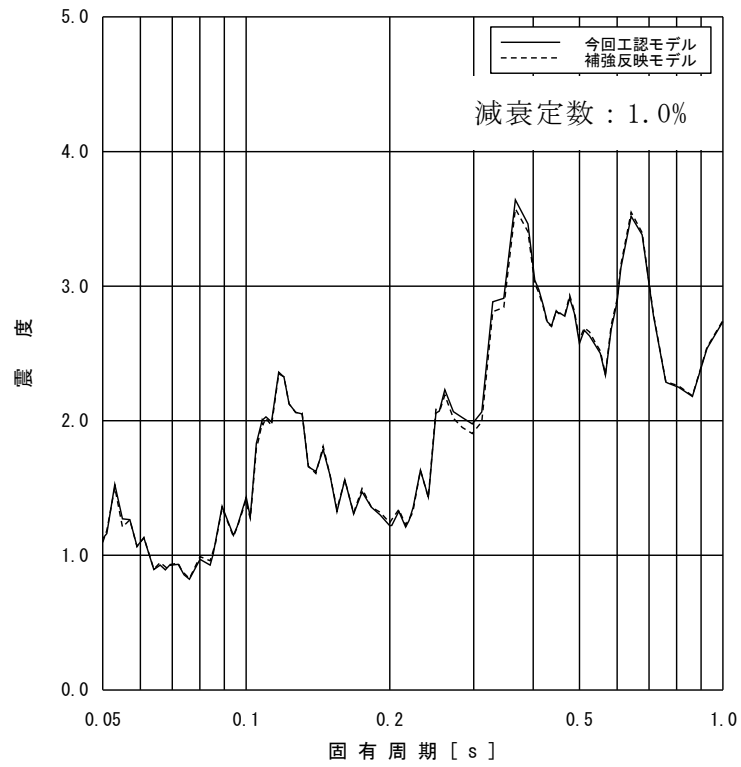


図 4-1 (21/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 5.066m)

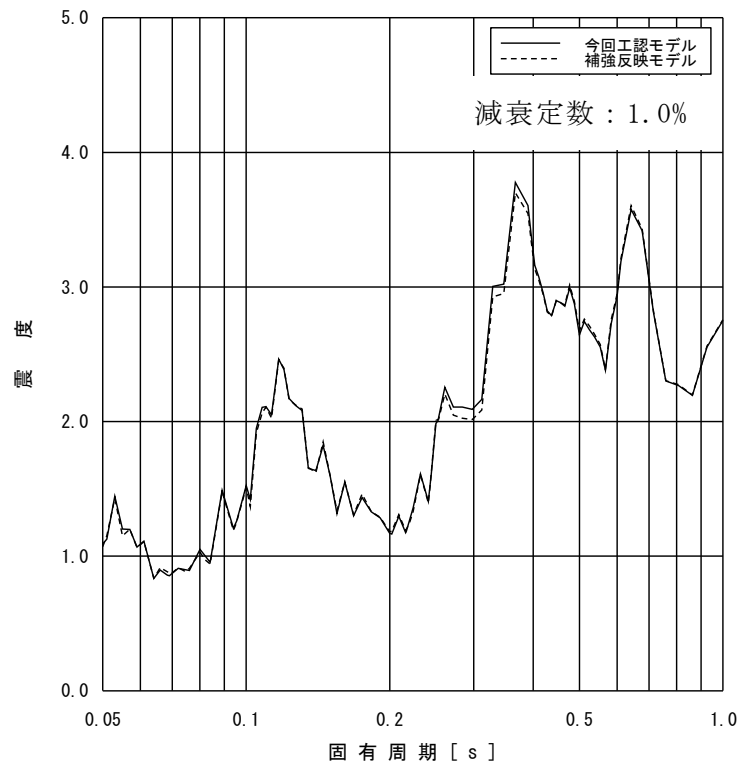


図 4-1 (22/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 6.253m)

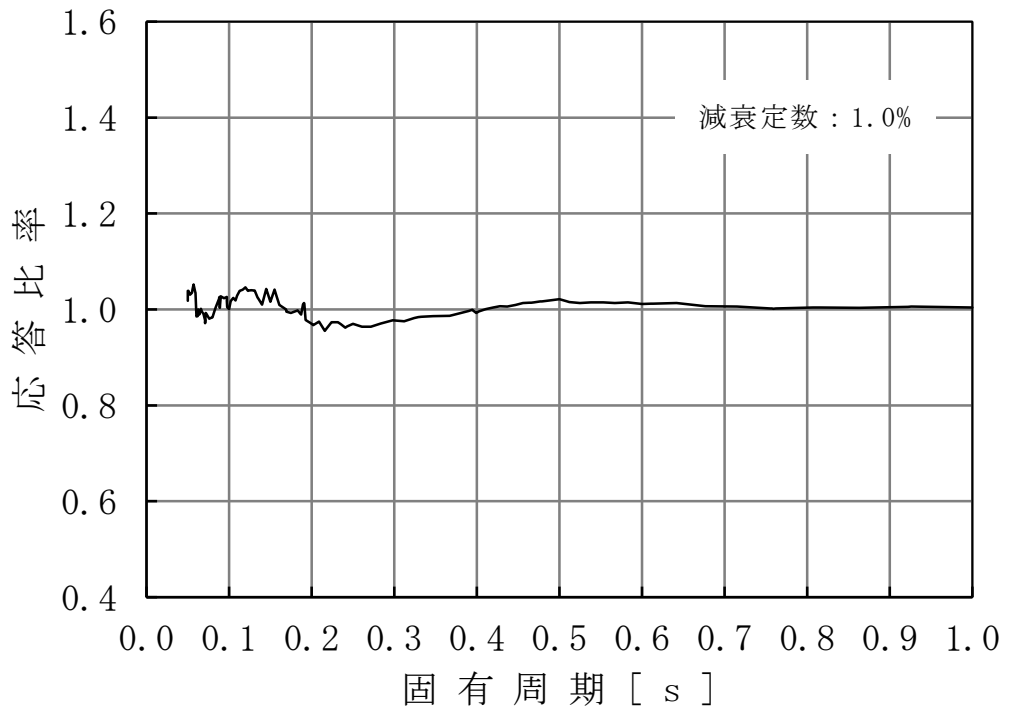


図 4-2 (1/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 21.200m)

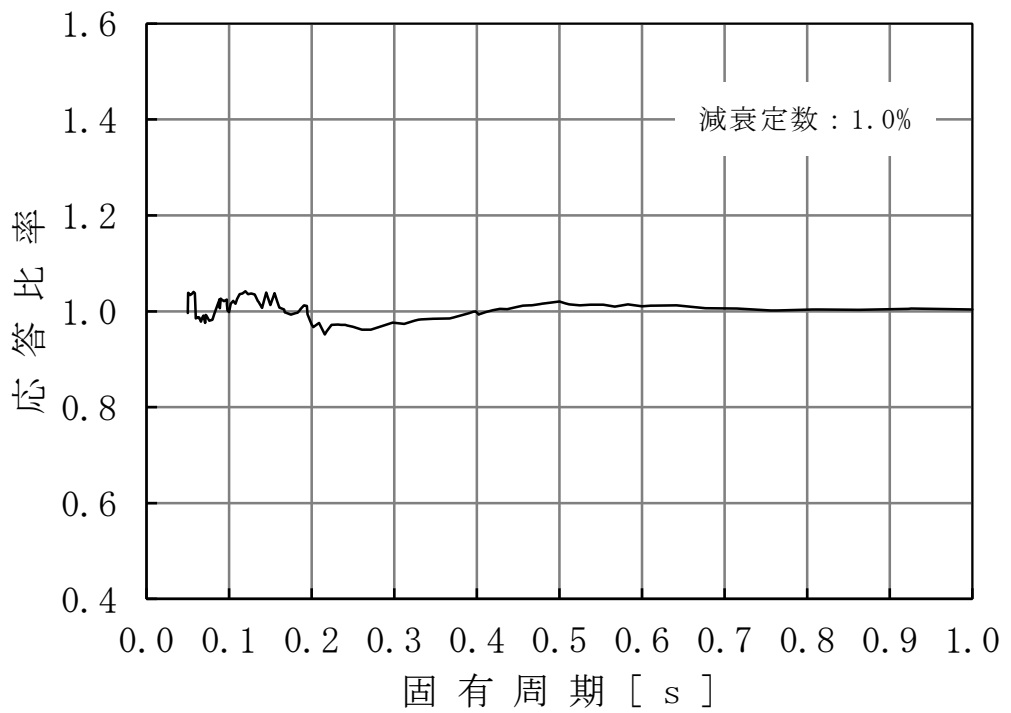


図 4-2 (2/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 18.440m)

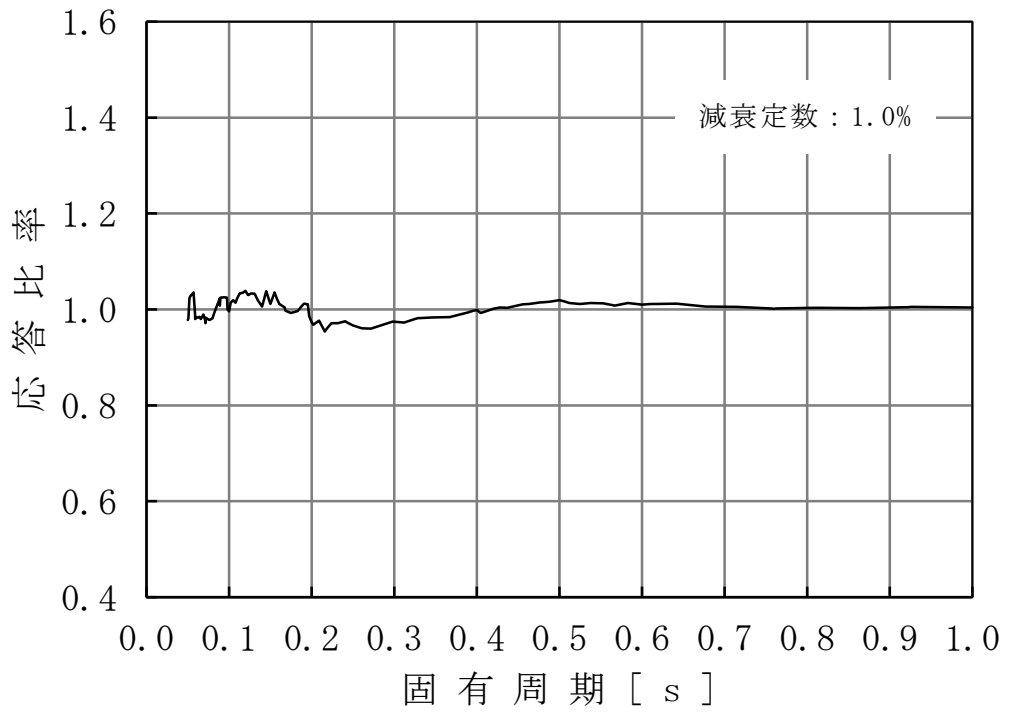


図 4-2 (3/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 17.020m)

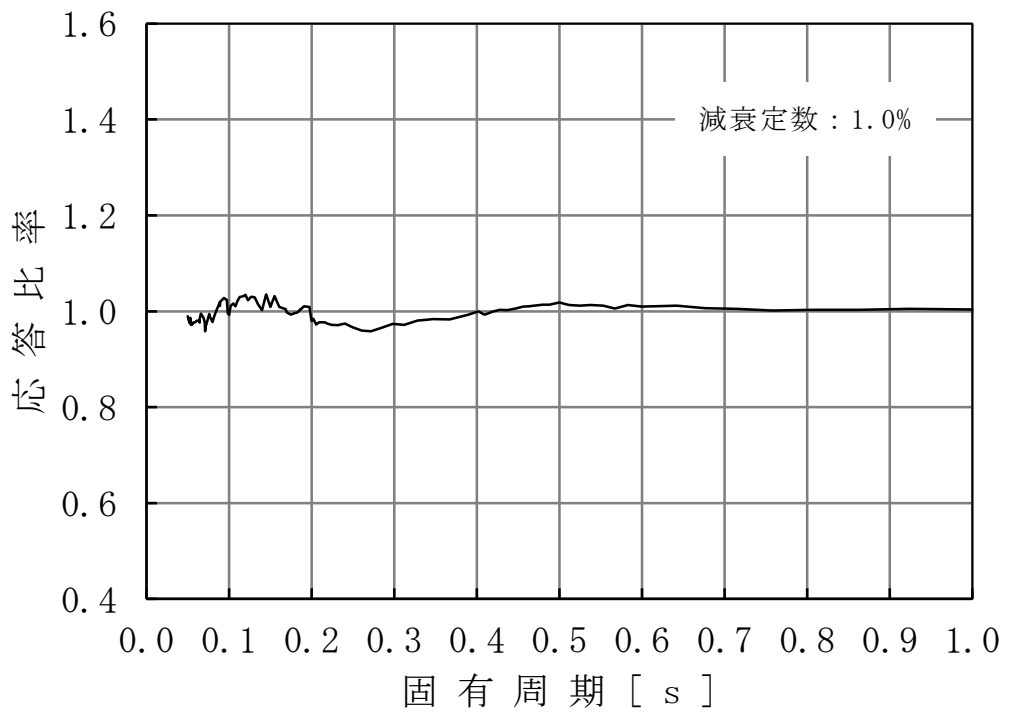


図 4-2 (4/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.600m)

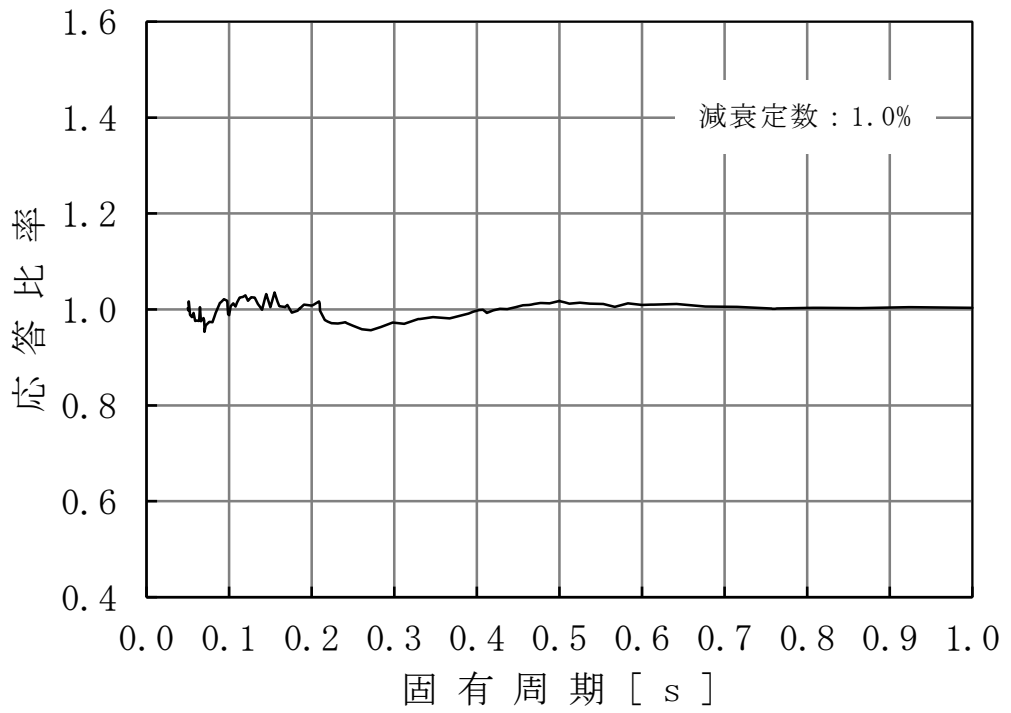


図 4-2 (5/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 13.950m)

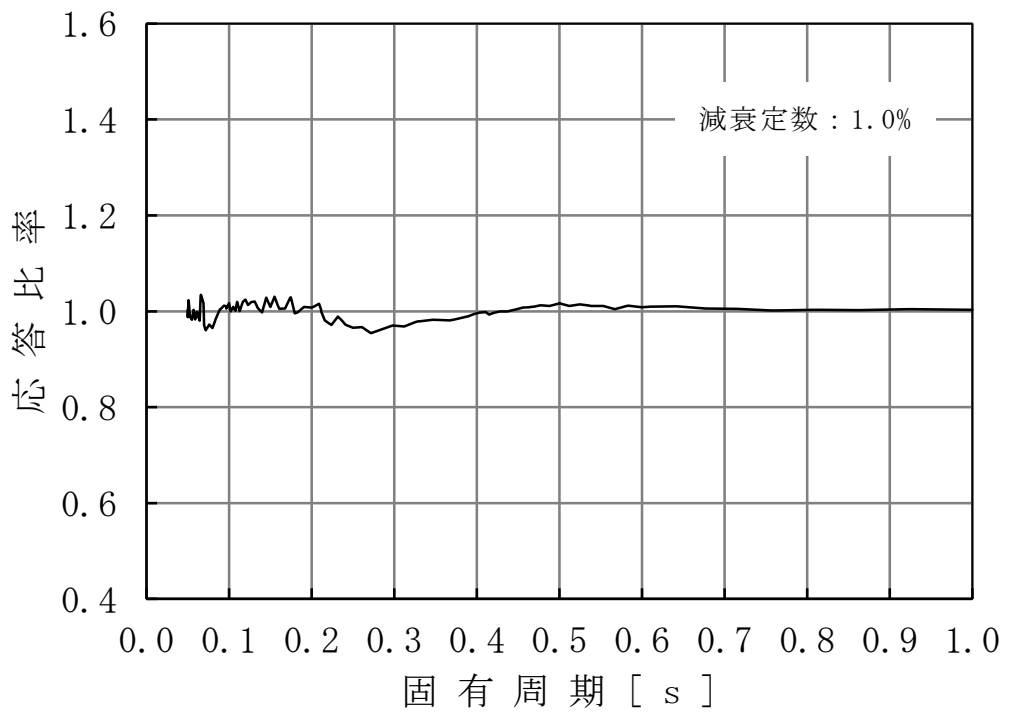


図 4-2 (6/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 12.300m)

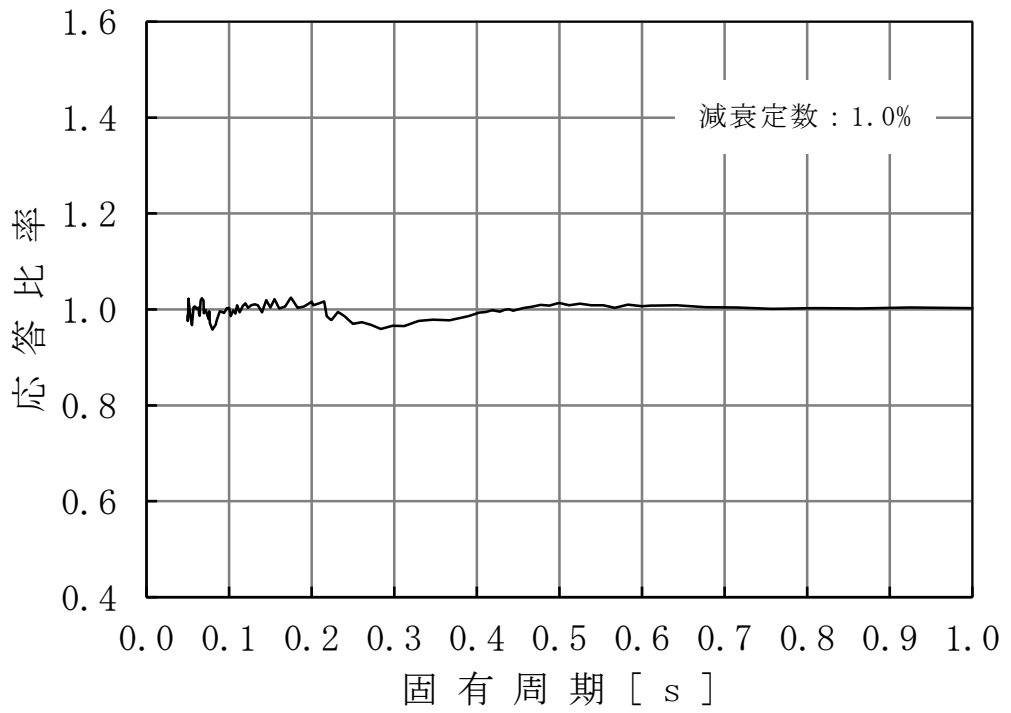


図 4-2 (7/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 8.200m)

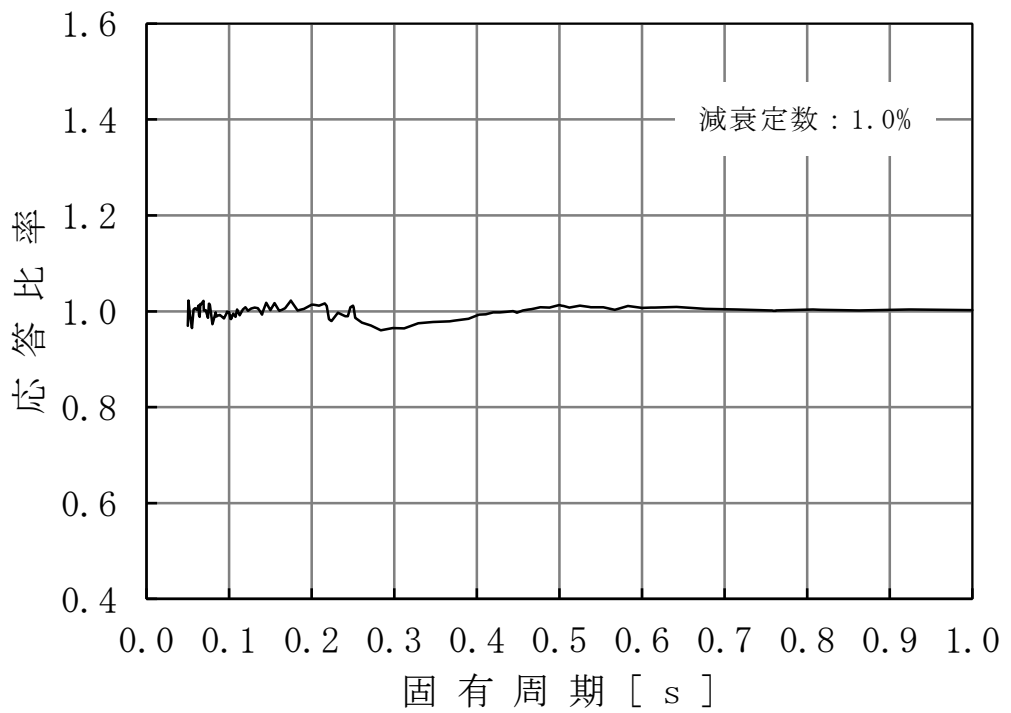


図 4-2 (8/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 7.000m)

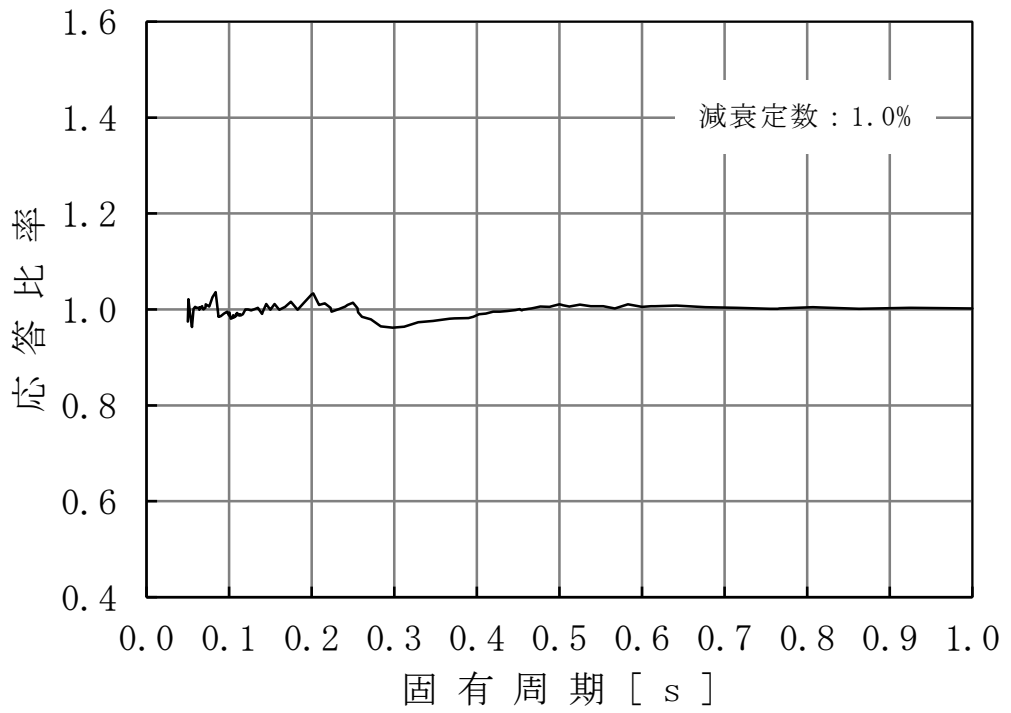


図 4-2 (9/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.500m)

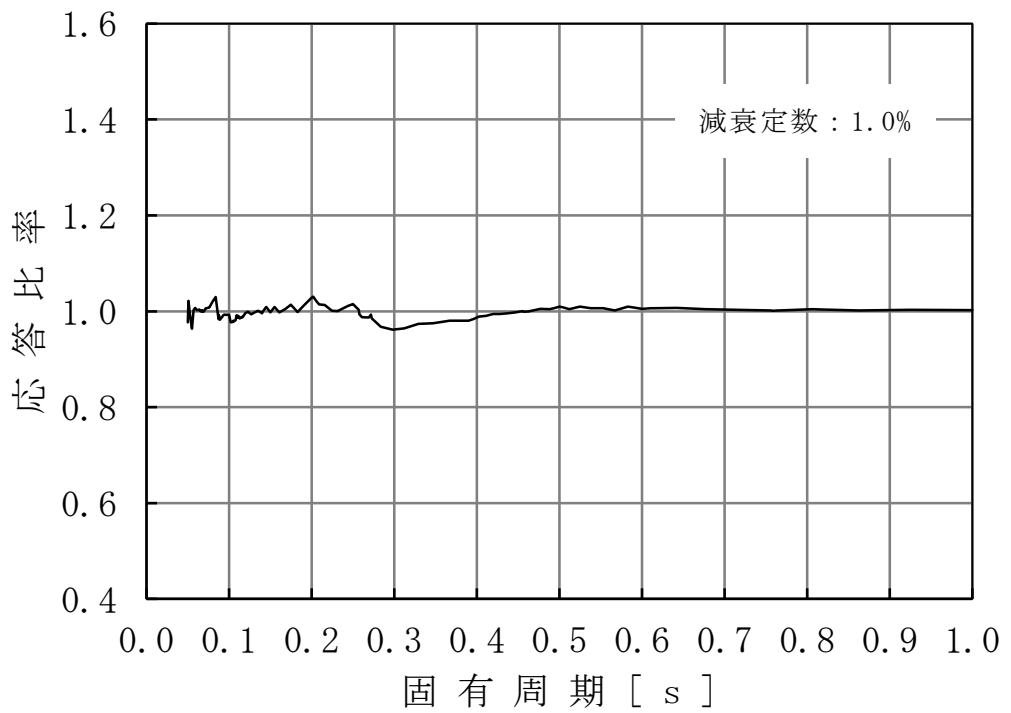


図 4-2 (10/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 3.500m)

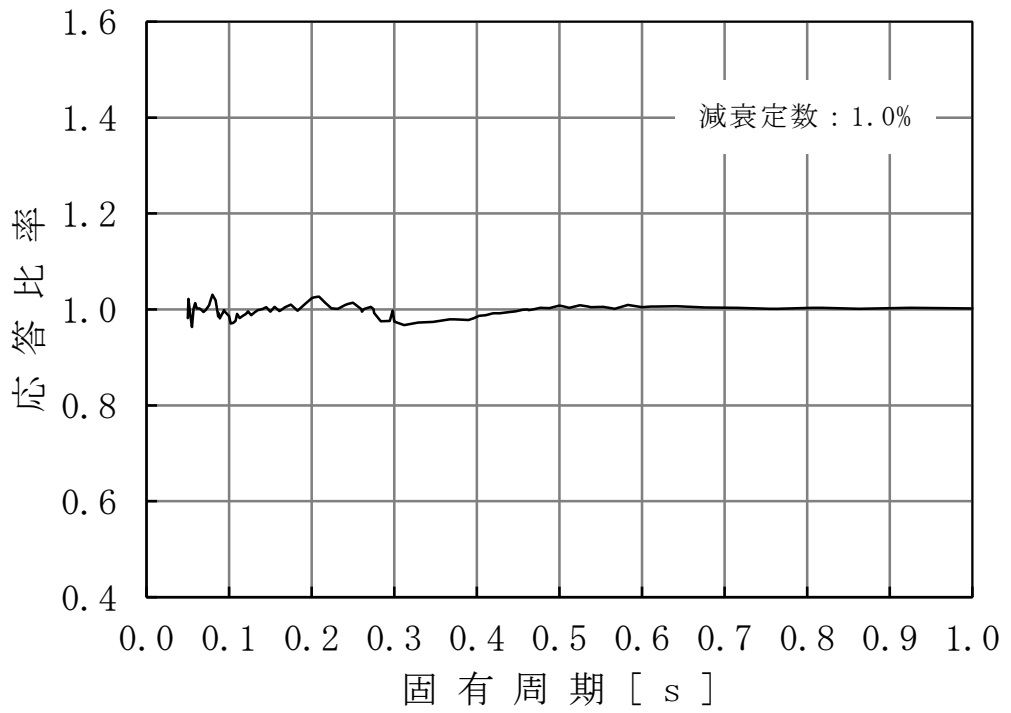


図 4-2 (11/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 1.700m)

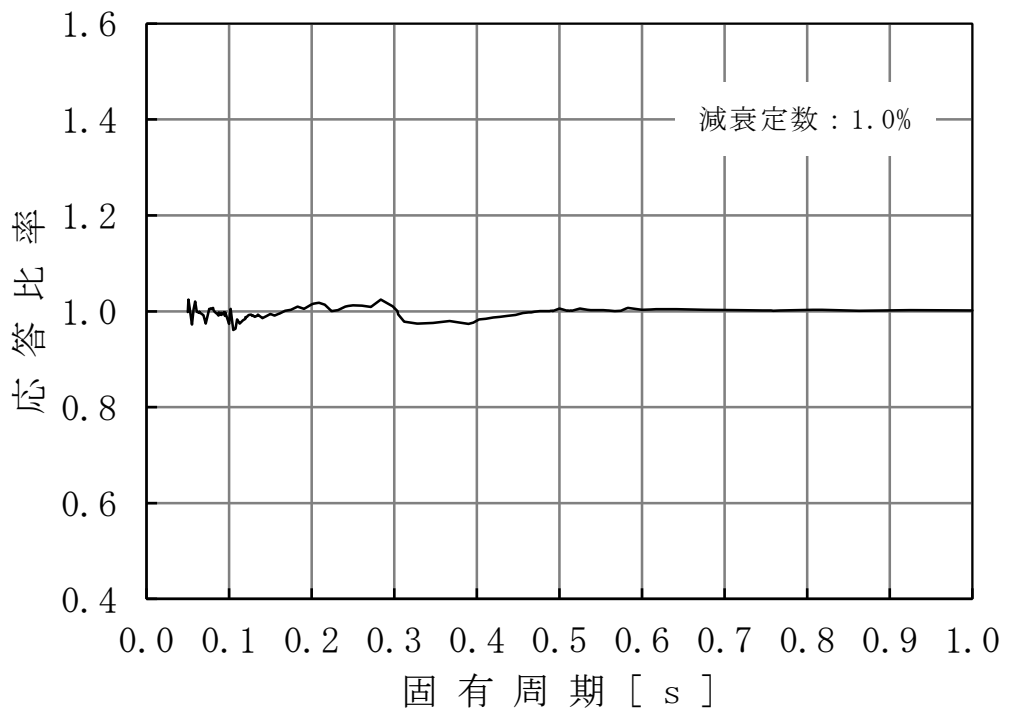


図 4-2 (12/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -2.100m)

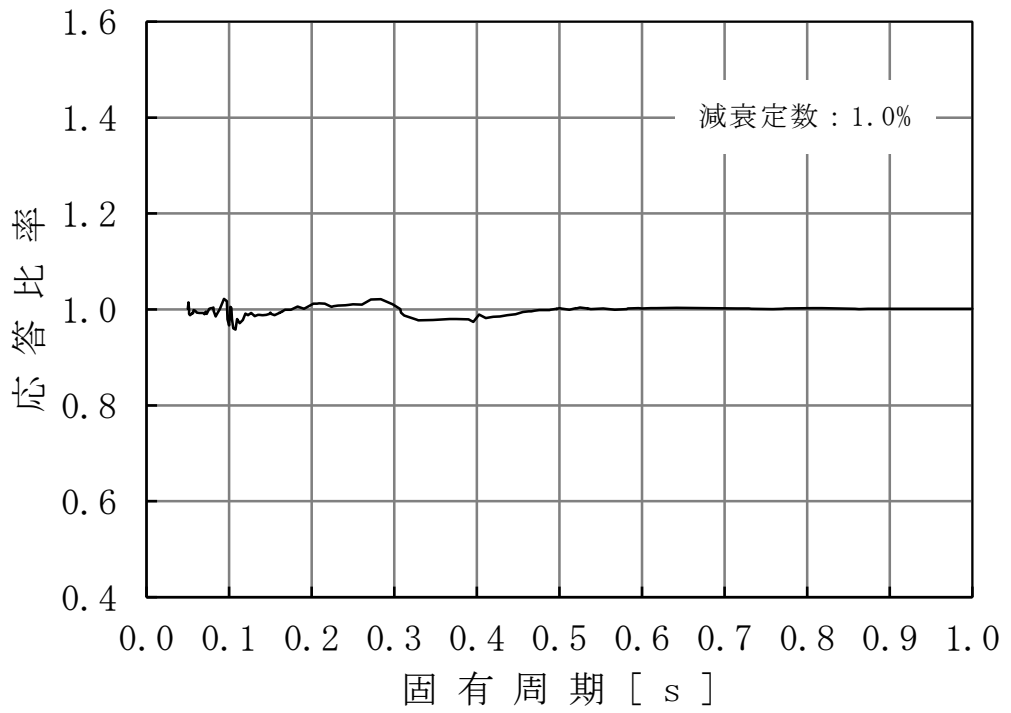


図 4-2 (13/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -4.700m)

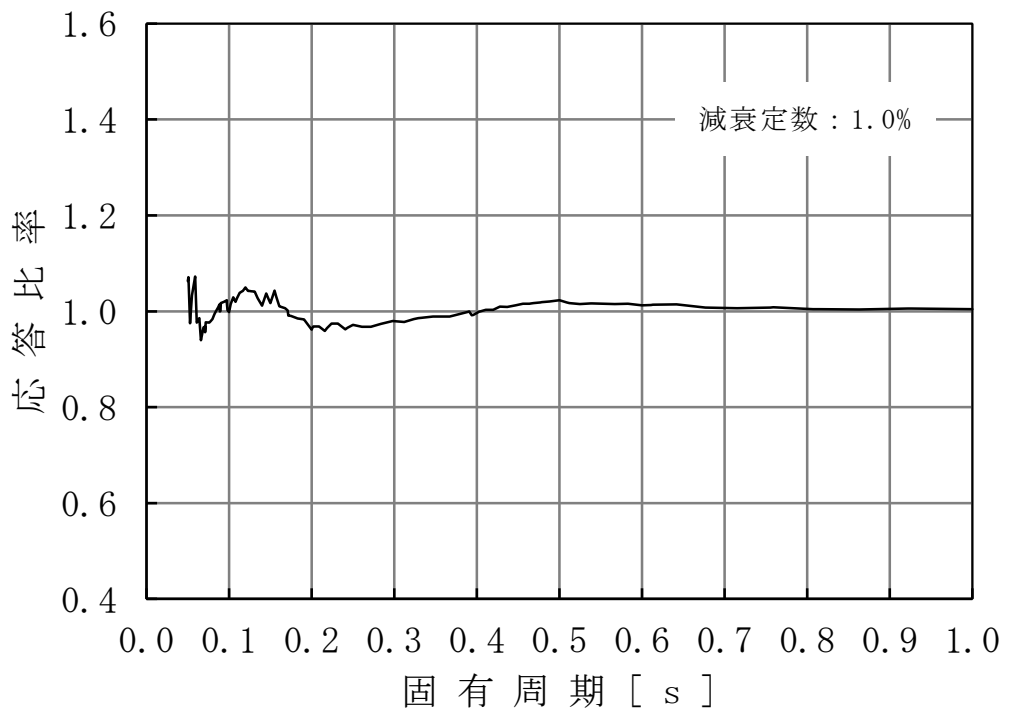


図 4-2 (14/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 26.013m)

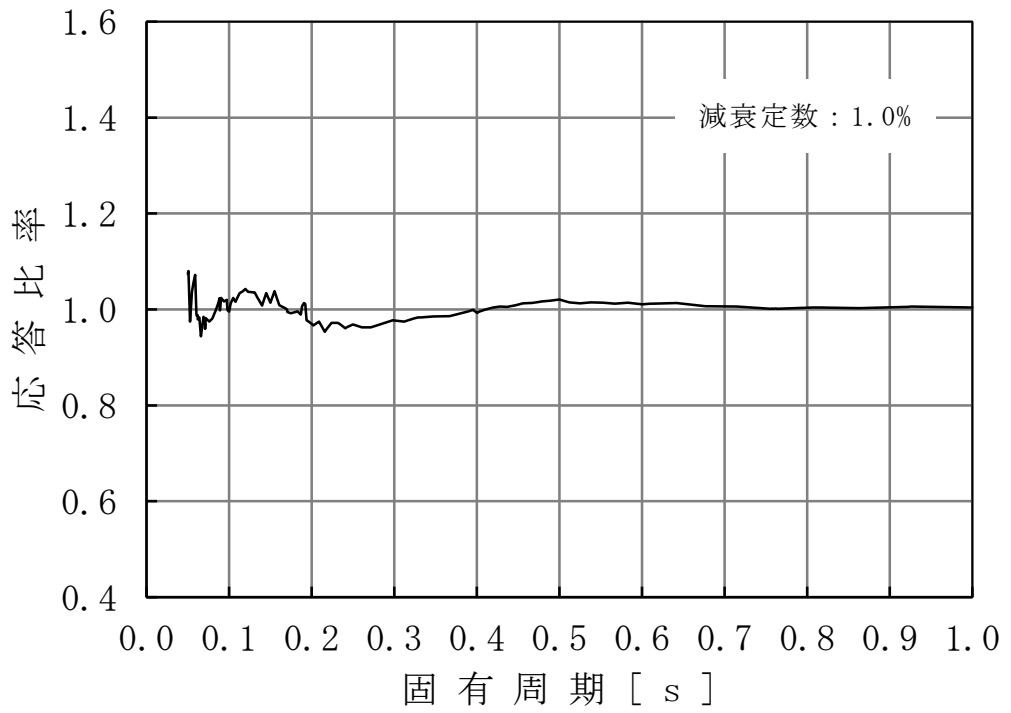


図 4-2 (15/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 20.494m)

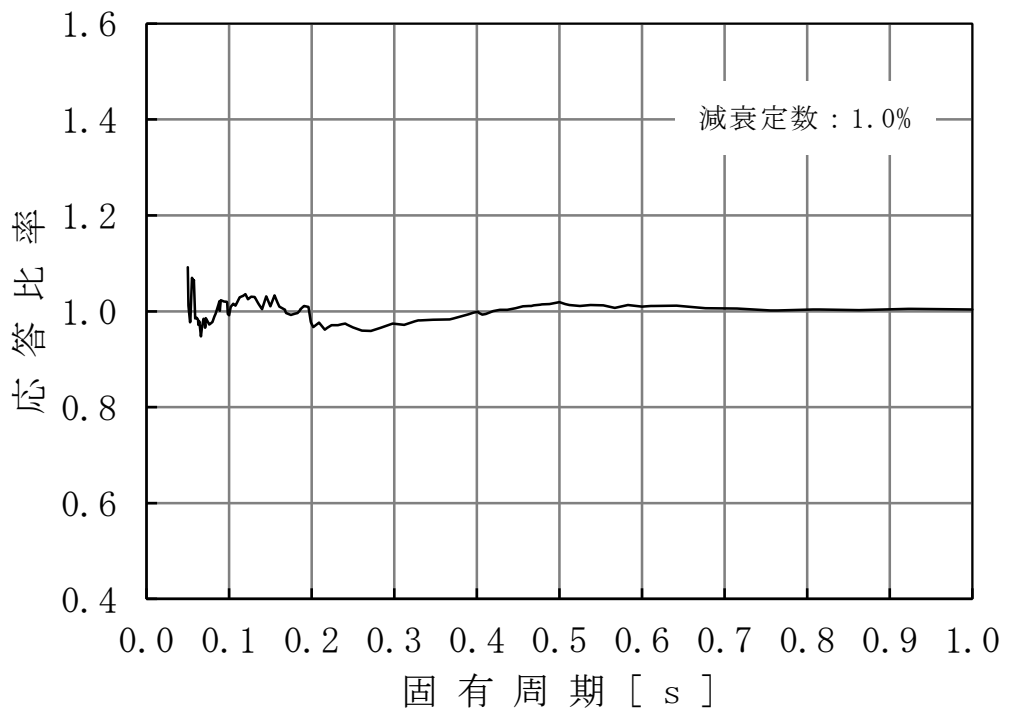


図 4-2 (16/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 16.563m)

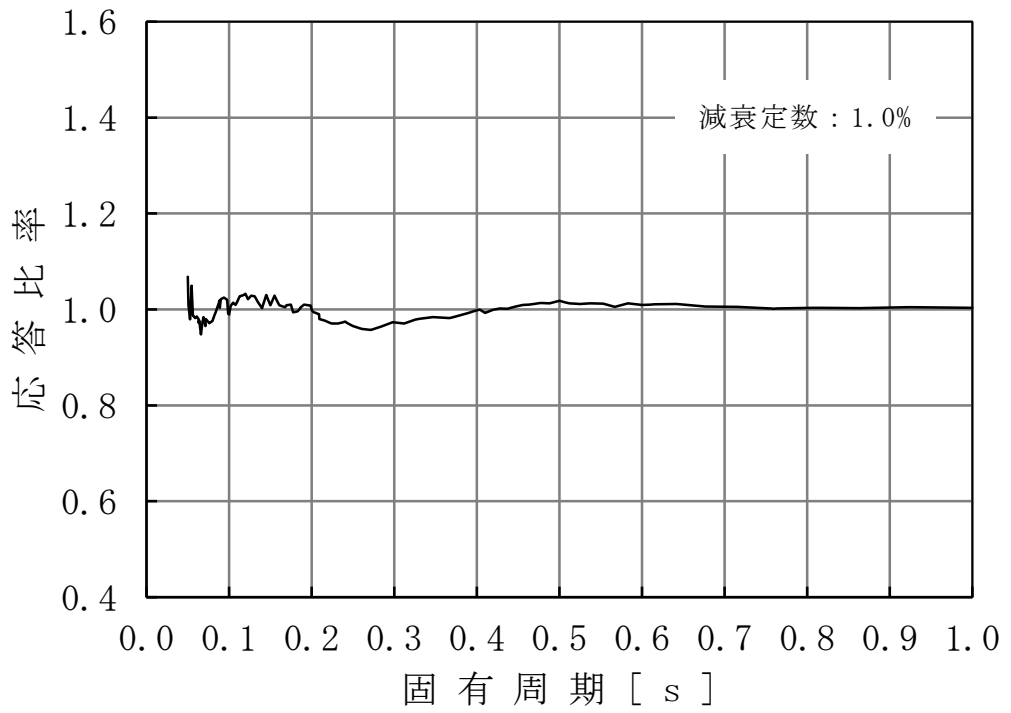


図 4-2 (17/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.262m)

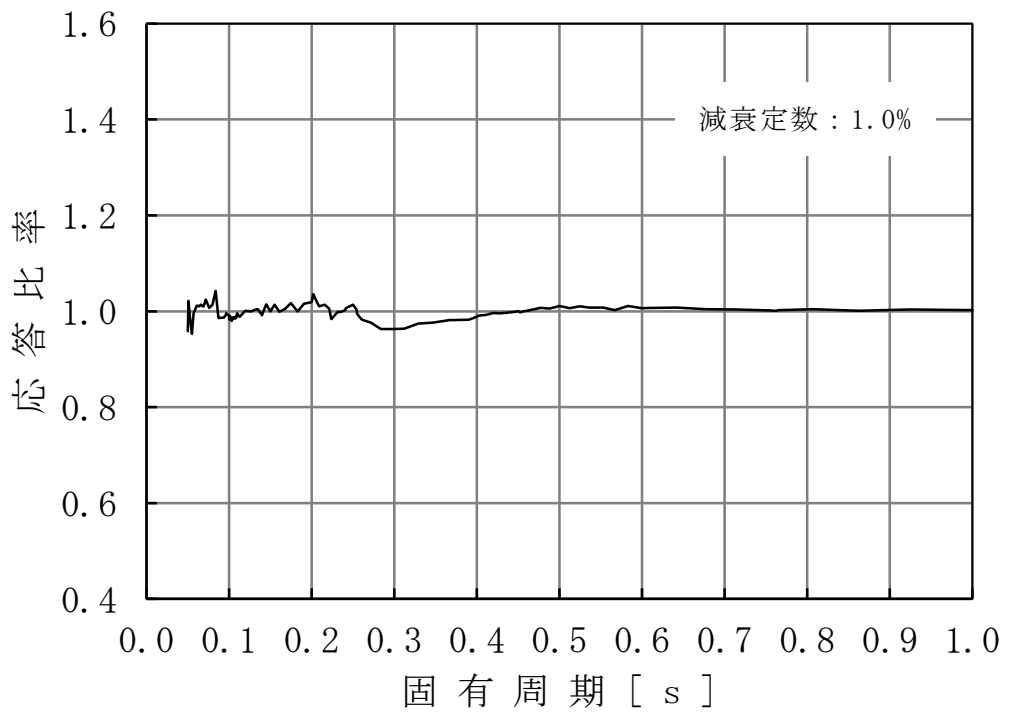


図 4-2 (18/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.950m)

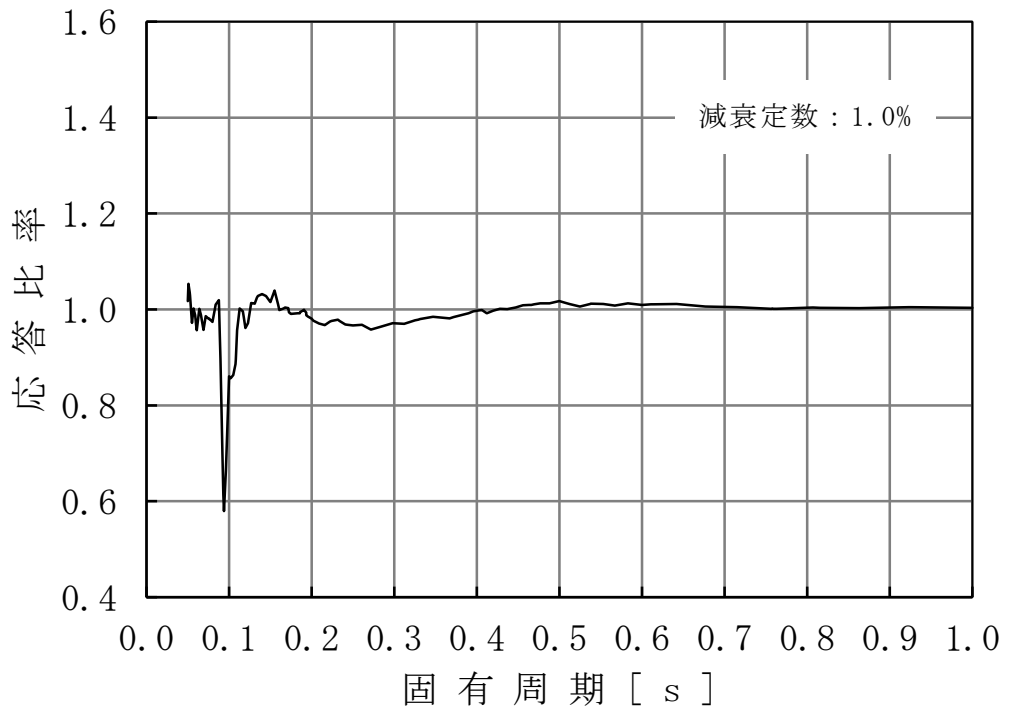


図 4-2 (19/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 14.433m)

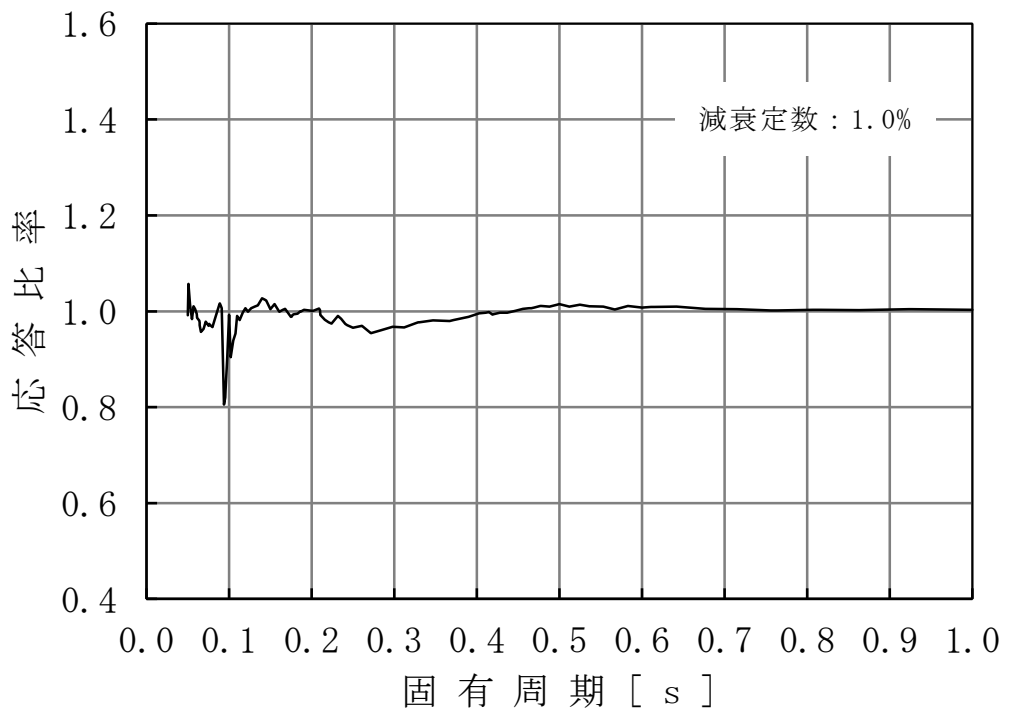


図 4-2 (20/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 10.161m)

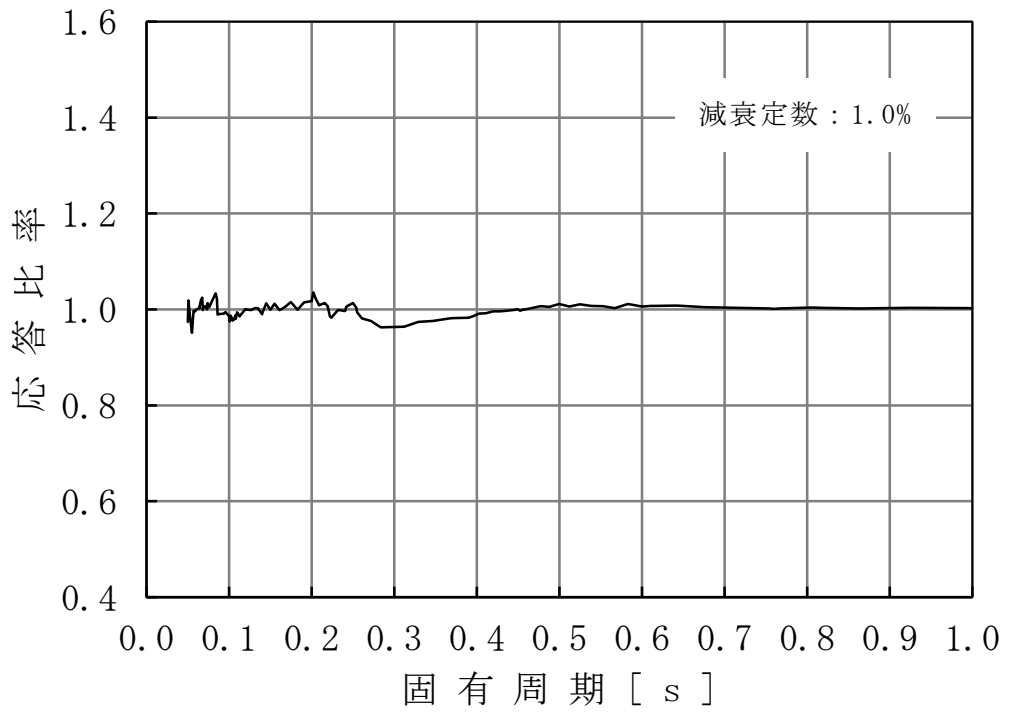


図 4-2 (21/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 5.066m)

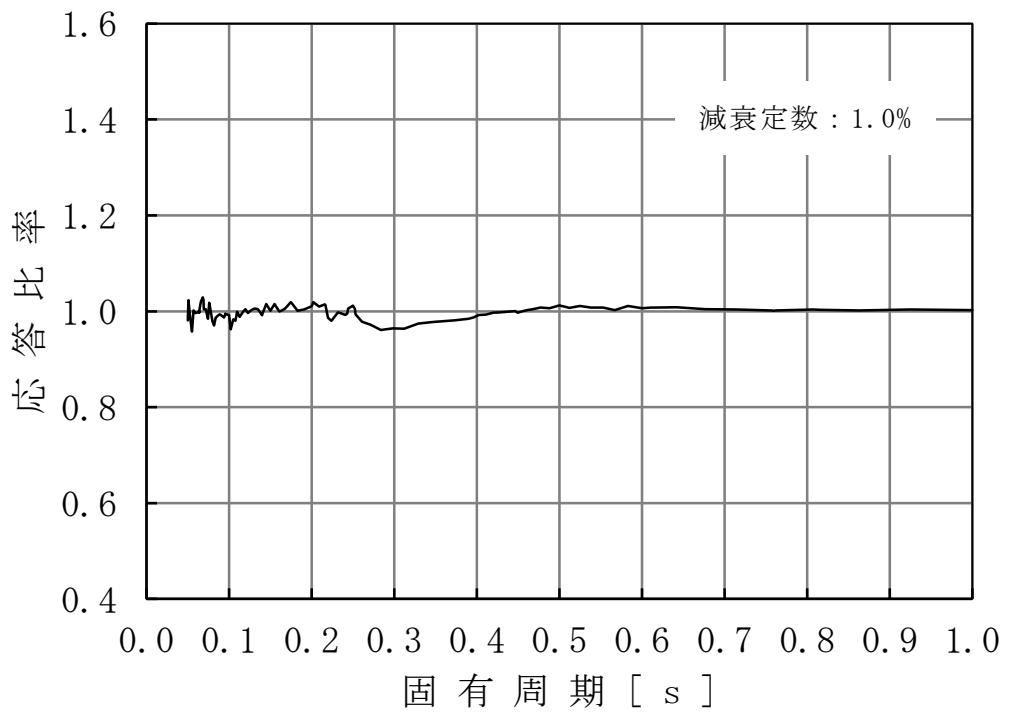


図 4-2 (22/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 6.253m)

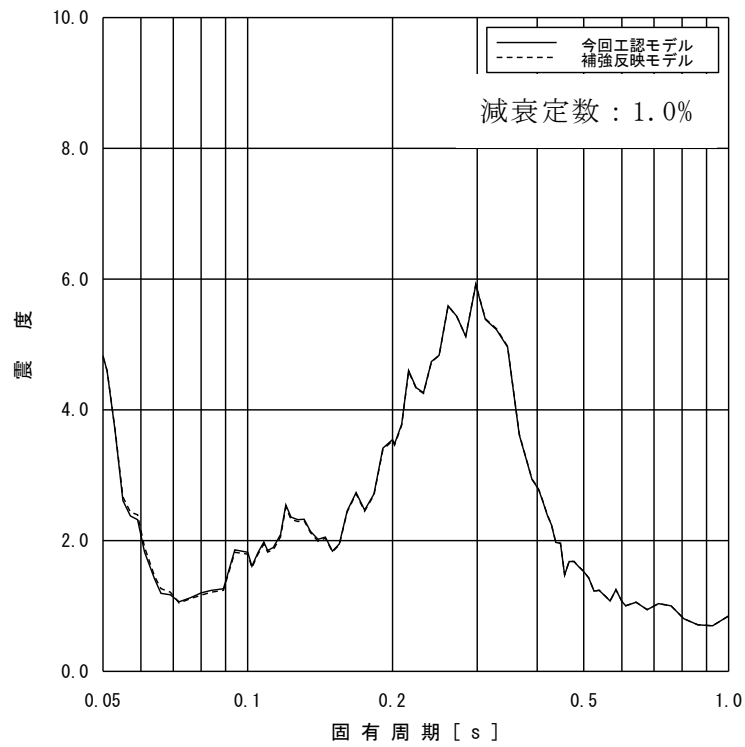


図 4-3 (1/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 21.200m)

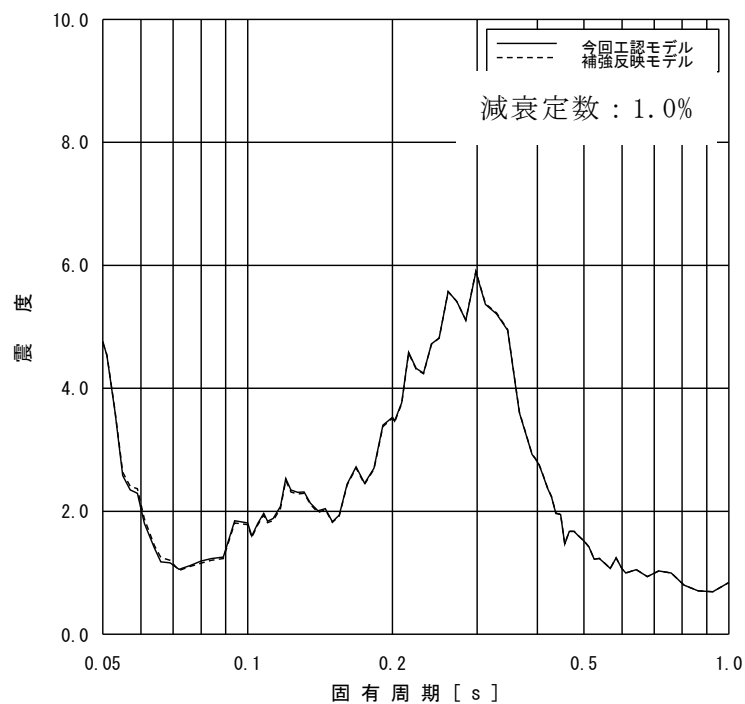


図 4-3 (2/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 18.440m)

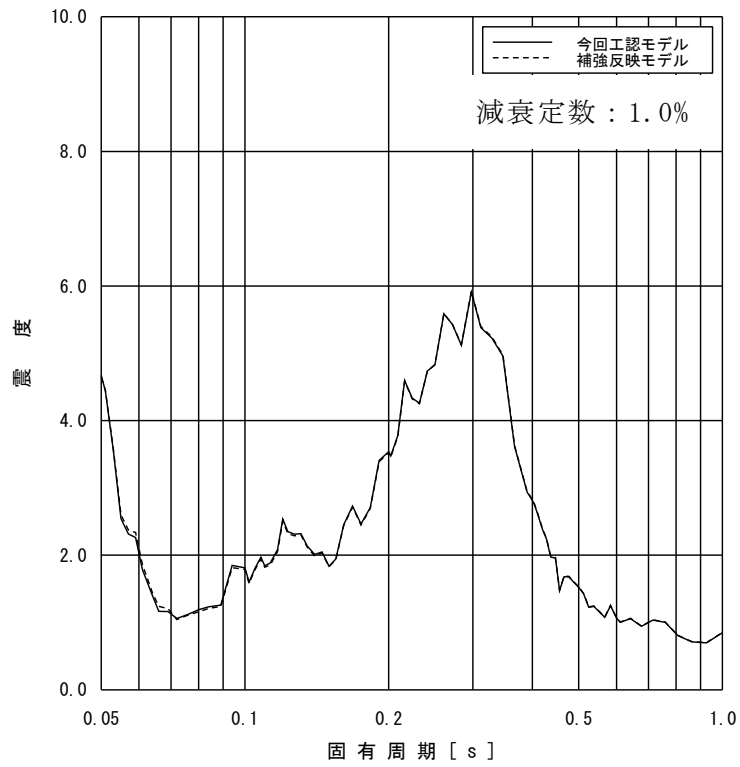


図 4-3 (3/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 17.020m)

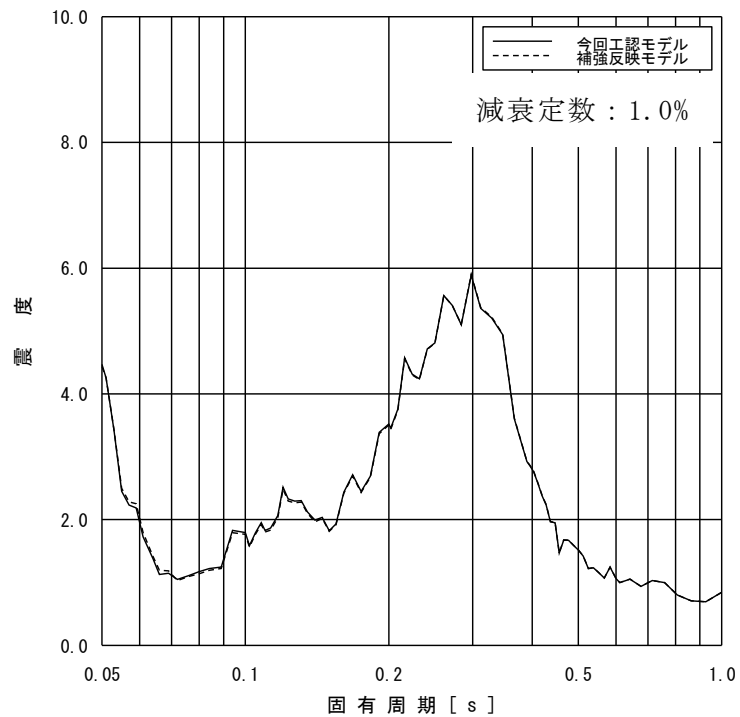


図 4-3 (4/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.600m)

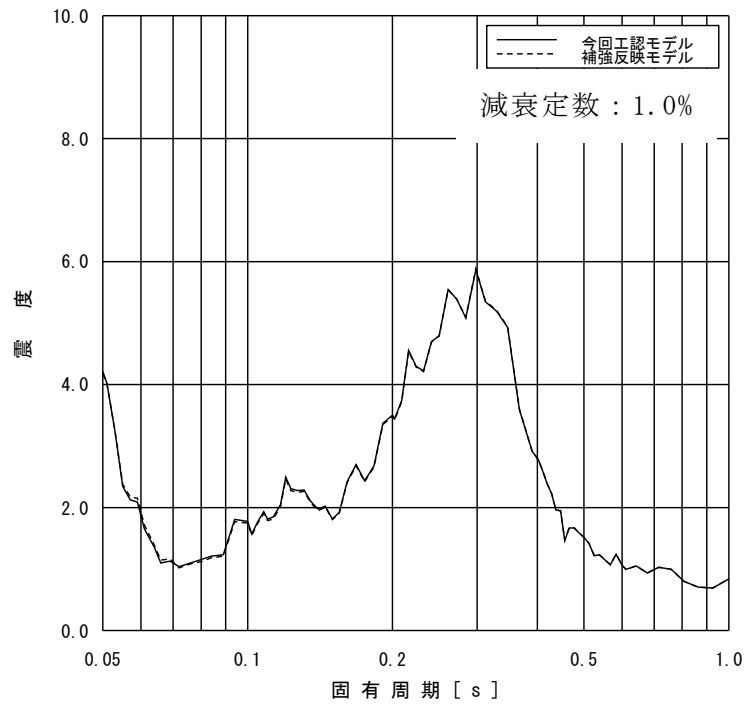


図 4-3 (5/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 13.950m)

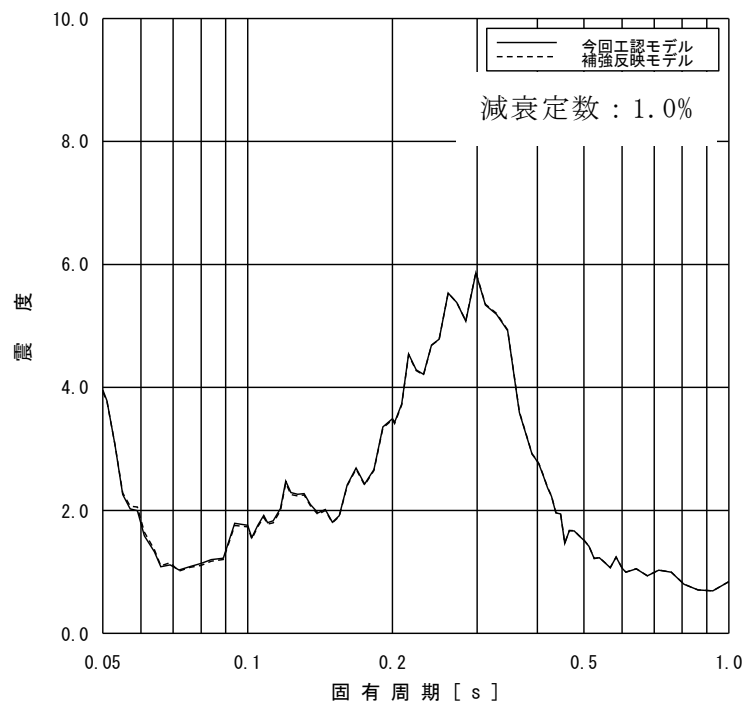


図 4-3 (6/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 12.300m)

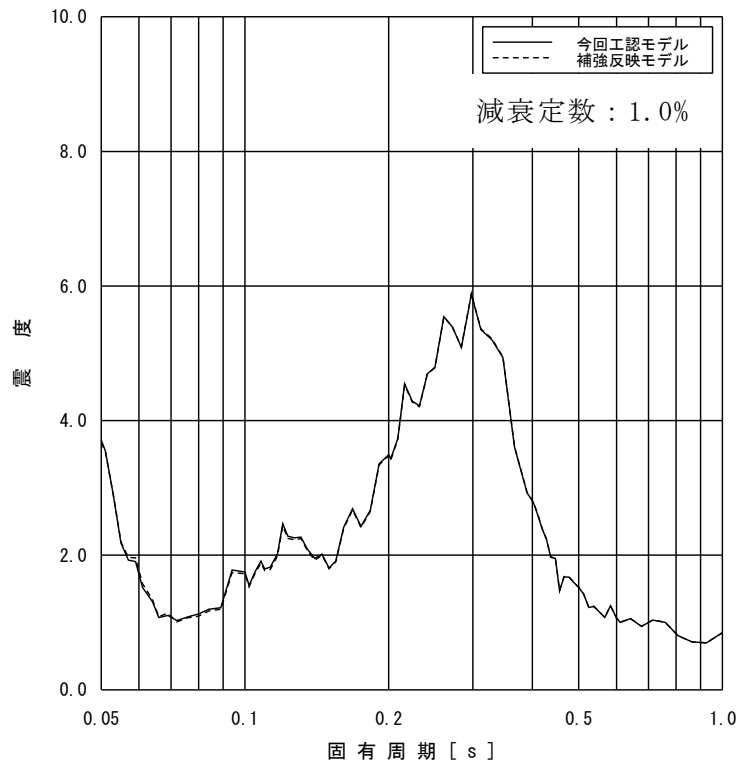


図 4-3 (7/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 8.200m)

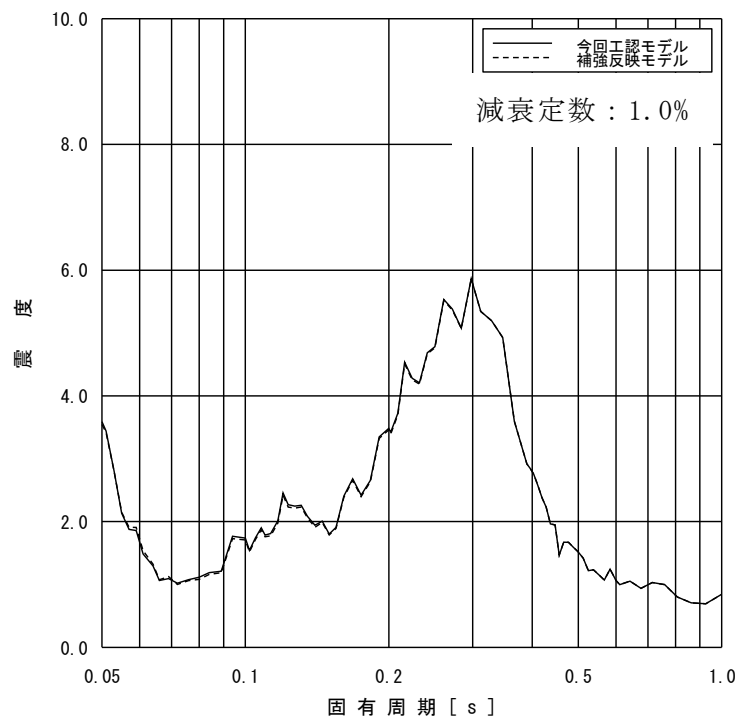


図 4-3 (8/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 7.000m)

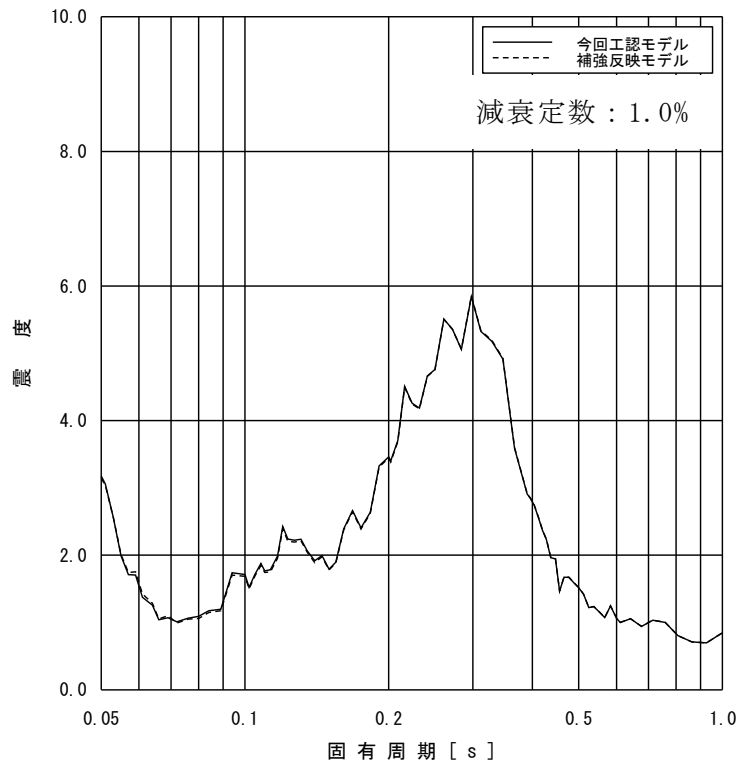


図 4-3 (9/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 4.500m)

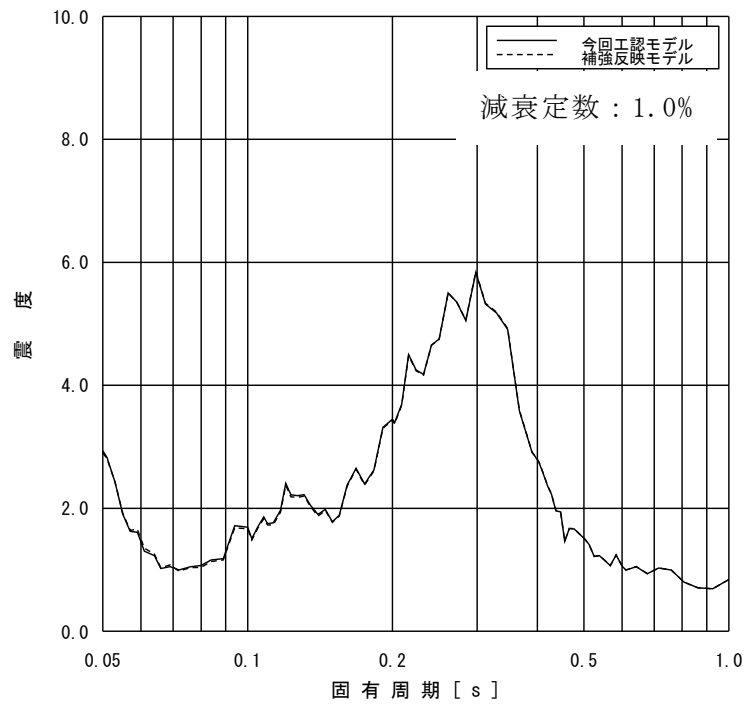


図 4-3 (10/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 3.500m)

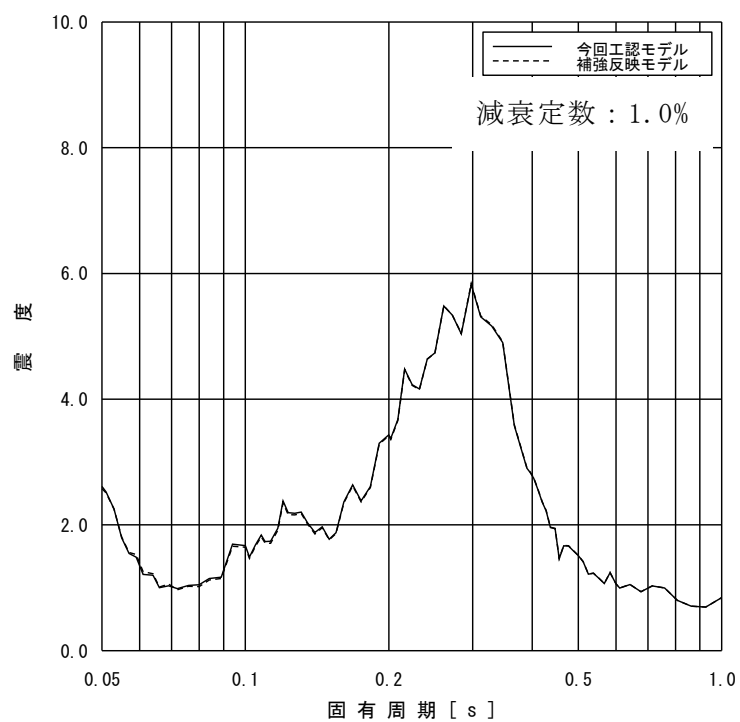


図 4-3 (11/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 1.700m)

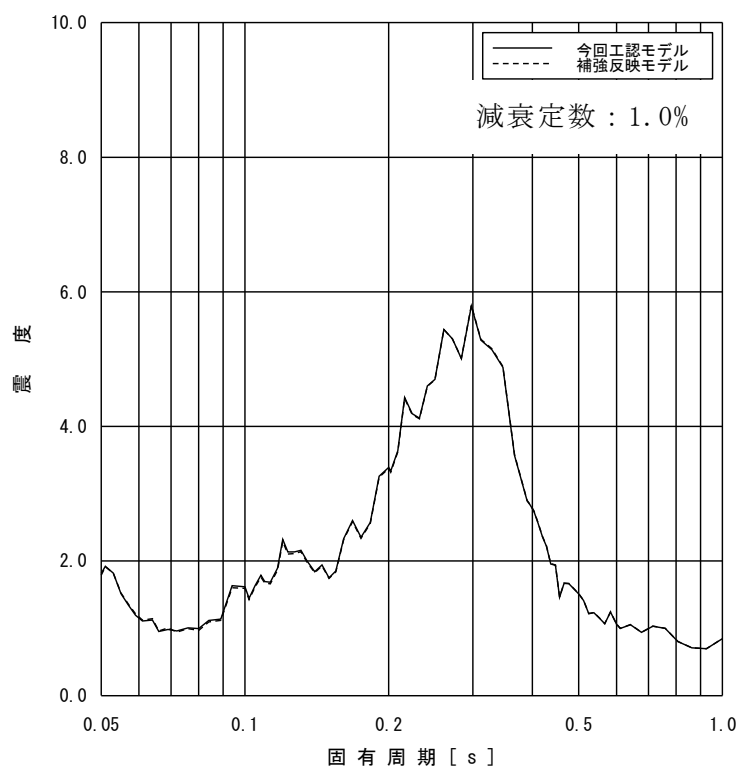


図 4-3 (12/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -2.100m)

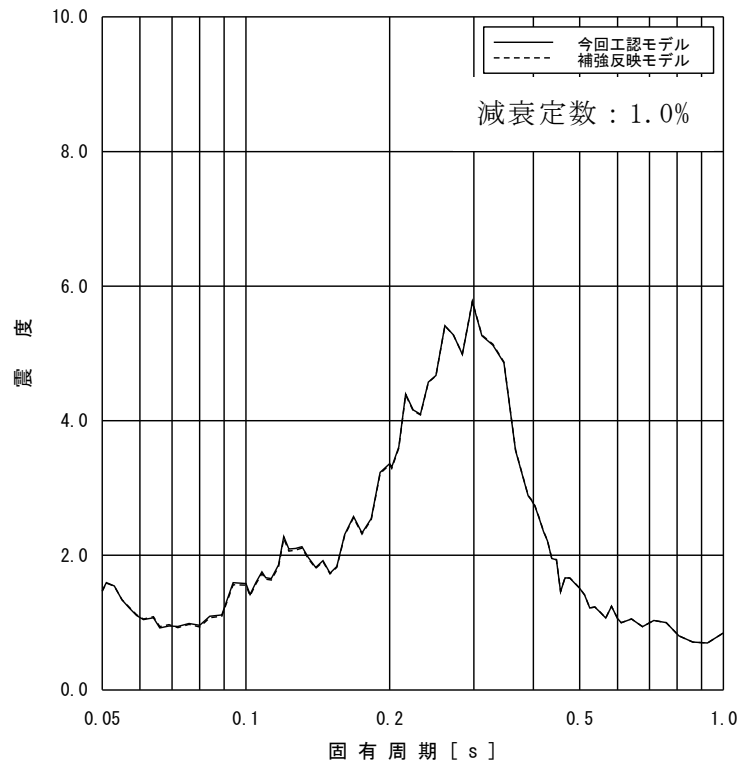


図 4-3 (13/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -4.700m)

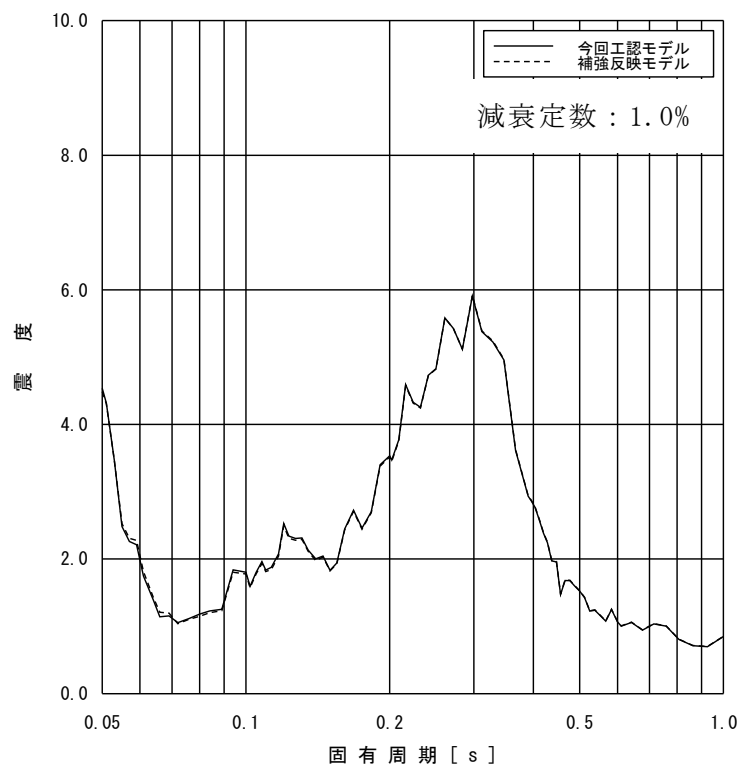


図 4-3 (14/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 26.013m)

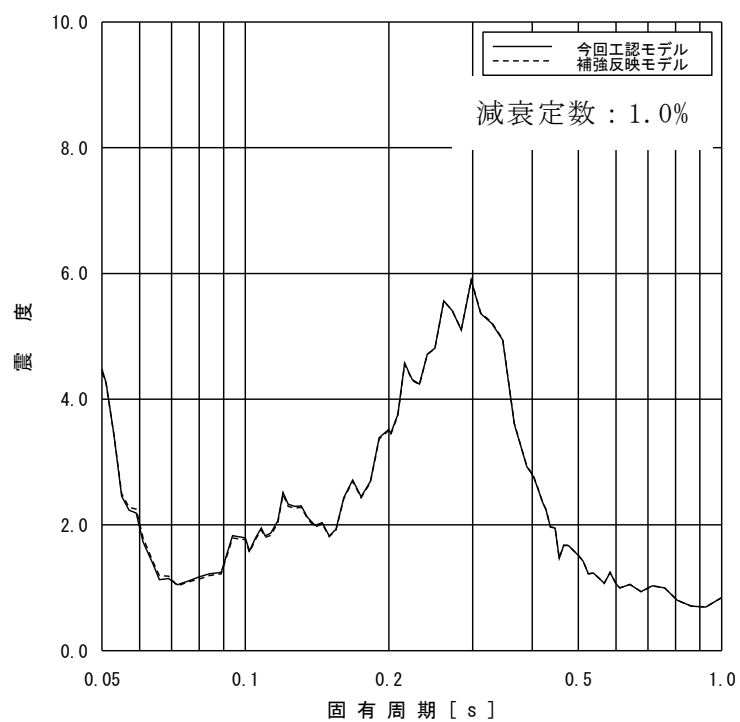


図 4-3 (15/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 20.494m)

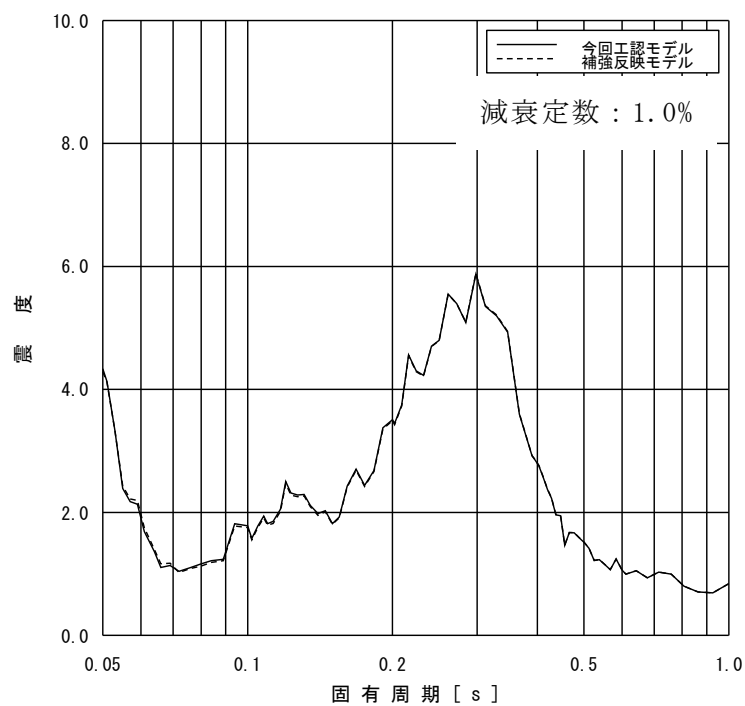


図 4-3 (16/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 16.506m)

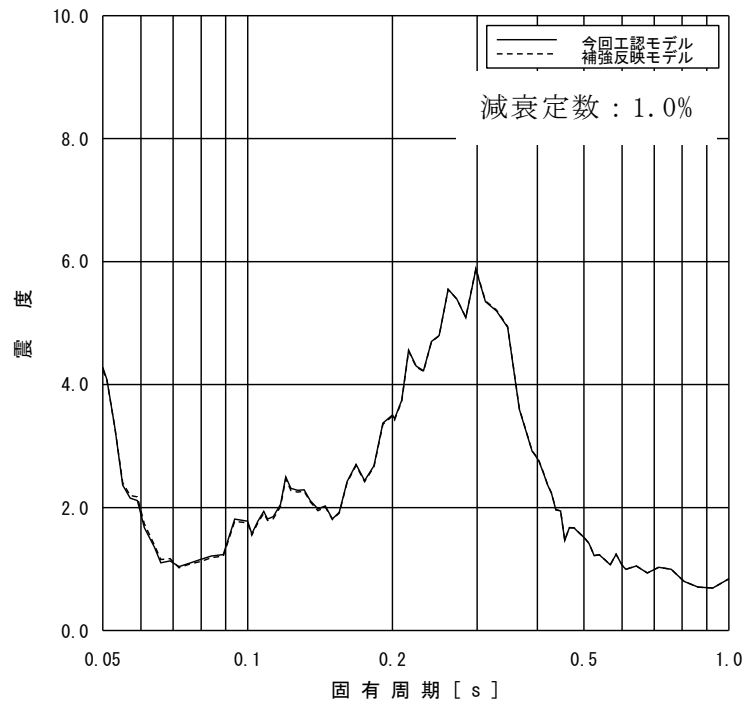


図 4-3 (17/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.262m)

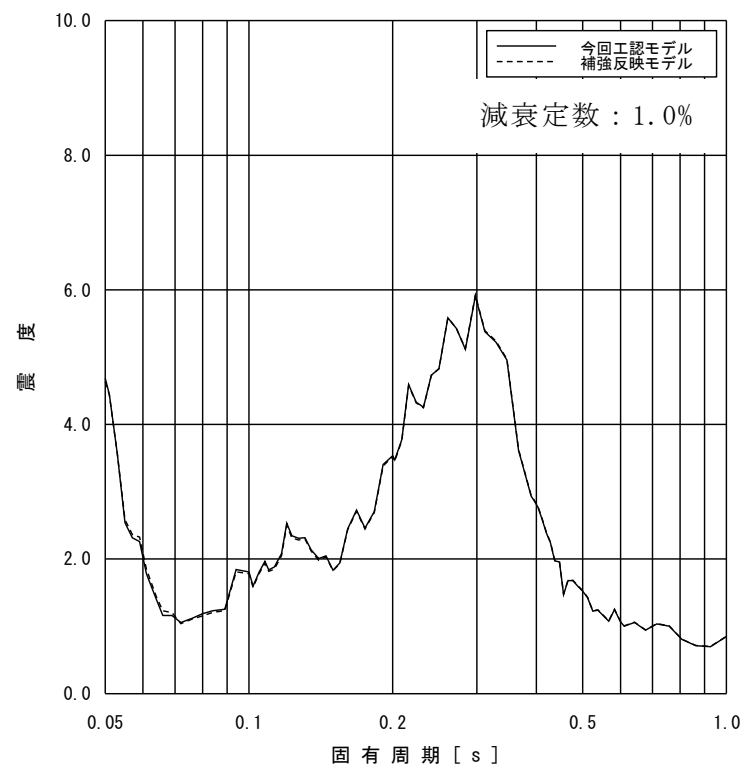


図 4-3 (18/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

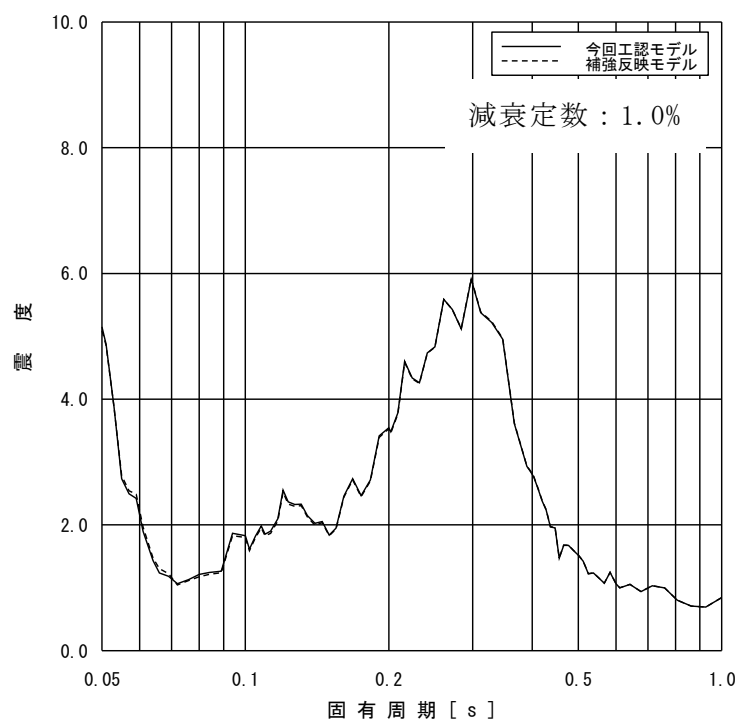


図 4-3 (19/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 14.433m)

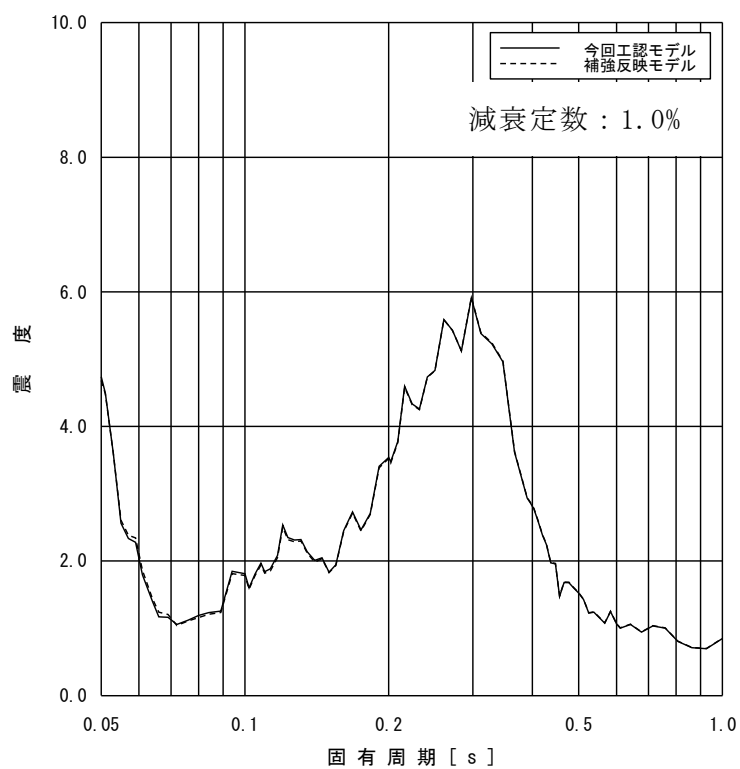


図 4-3 (20/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 9.645m)

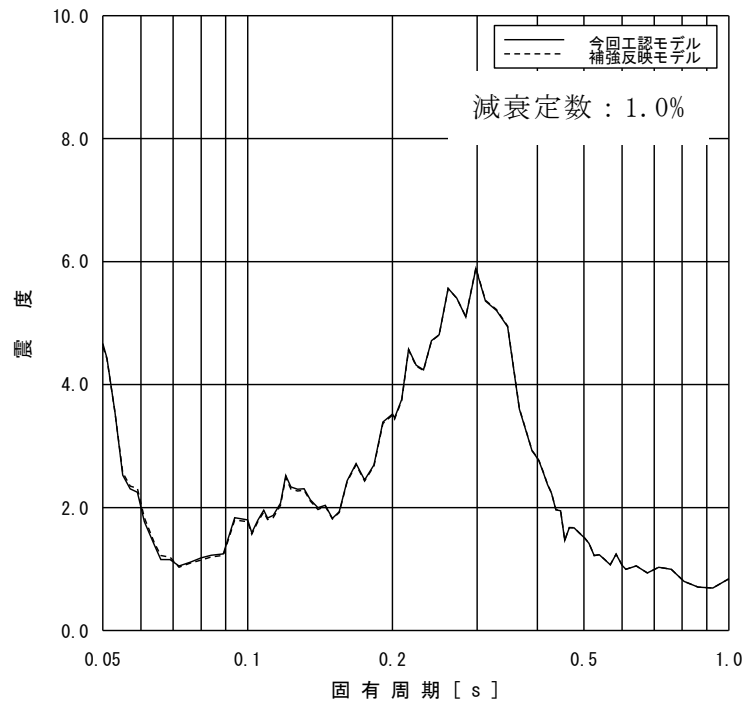


図 4-3 (21/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

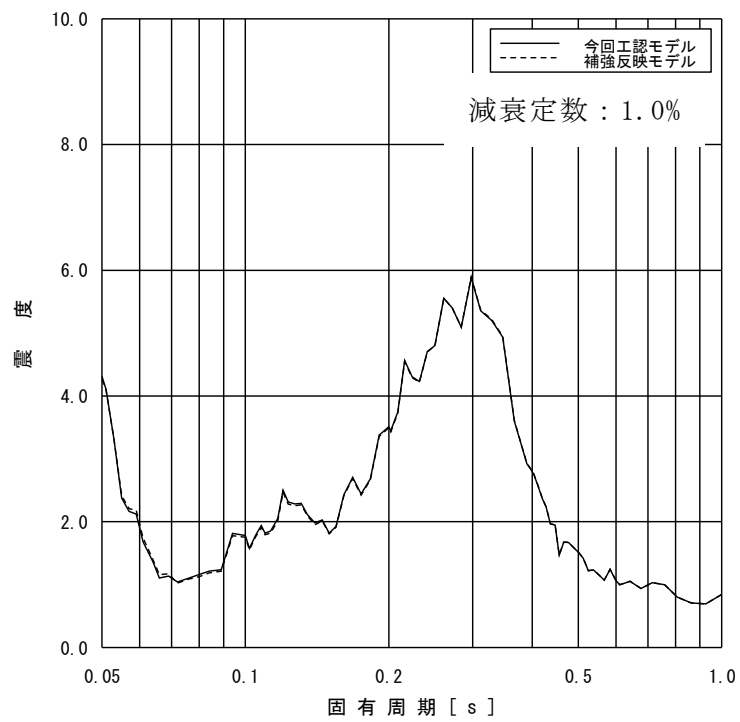


図 4-3 (22/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 6.253m)

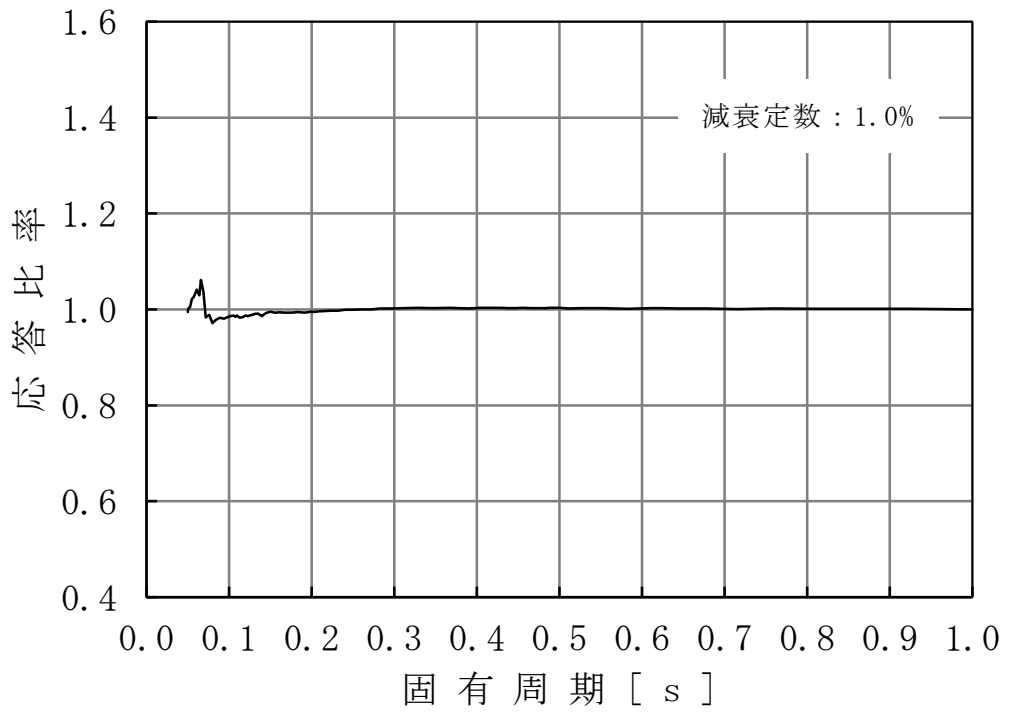


図 4-4 (1/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 21.200m)

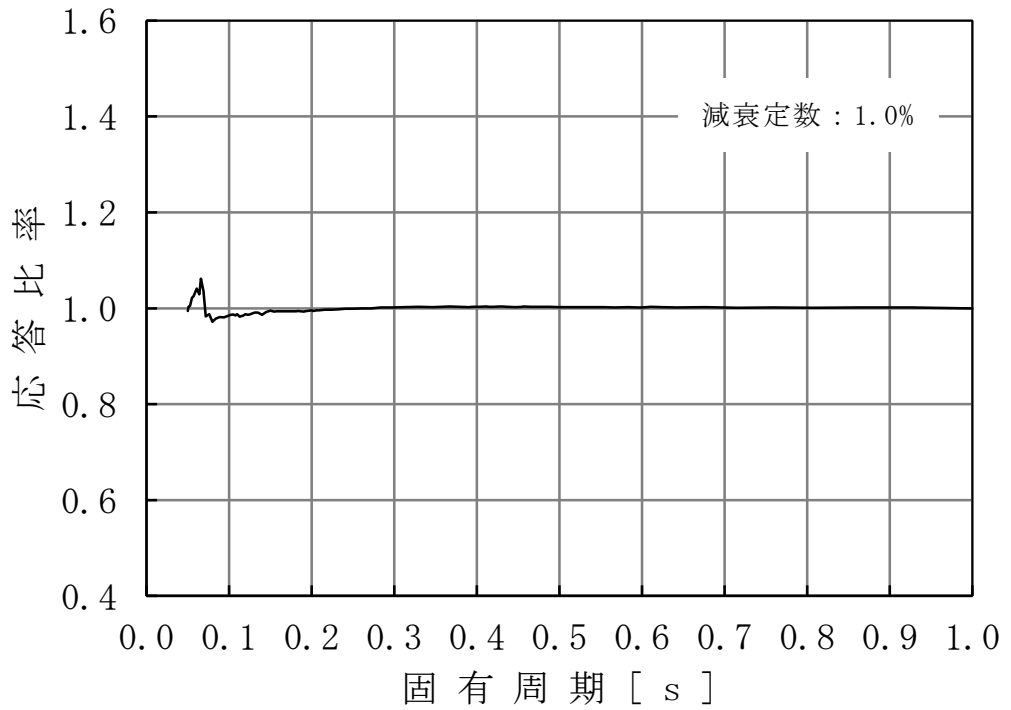


図 4-4 (2/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 18.440m)

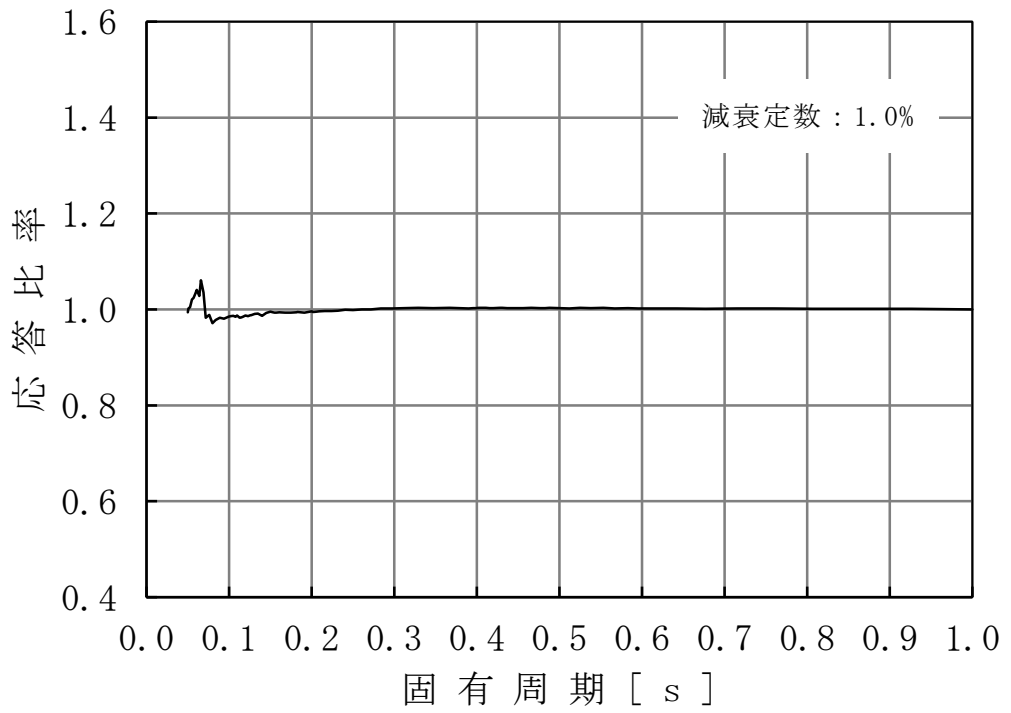


図 4-4 (3/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 17.020m)

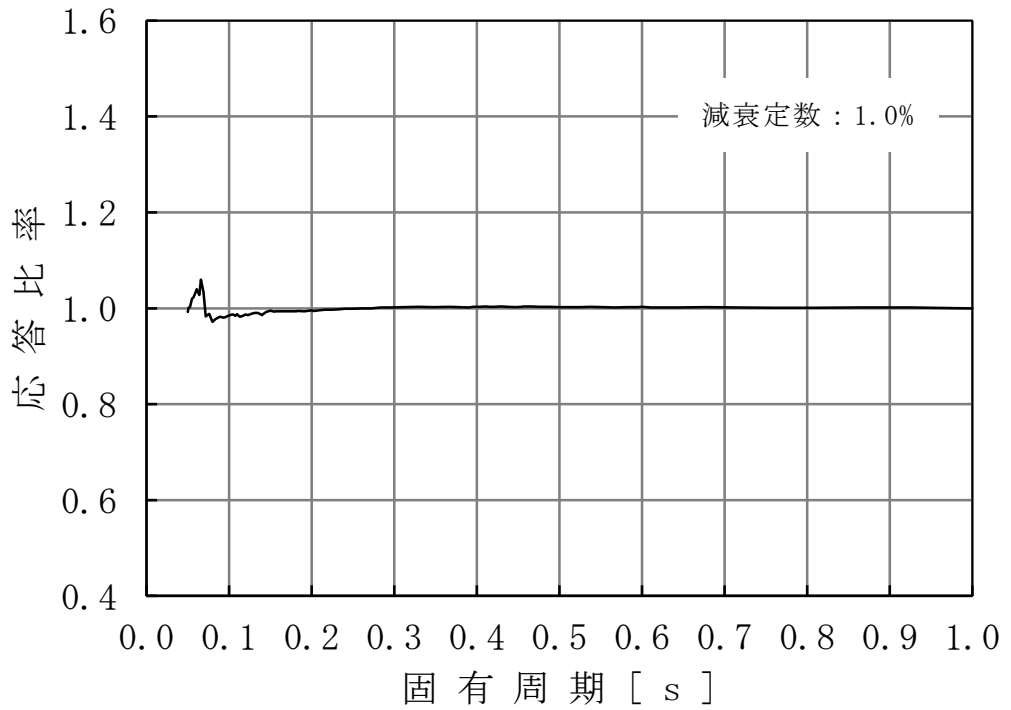


図 4-4 (4/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.600m)

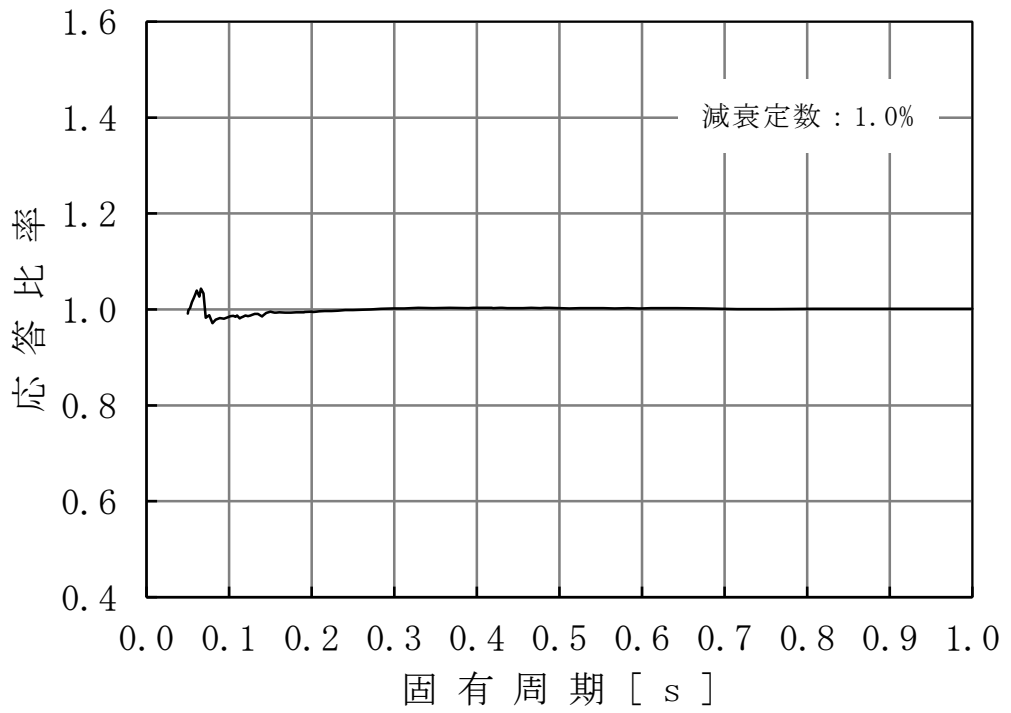


図 4-4 (5/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 13.950m)

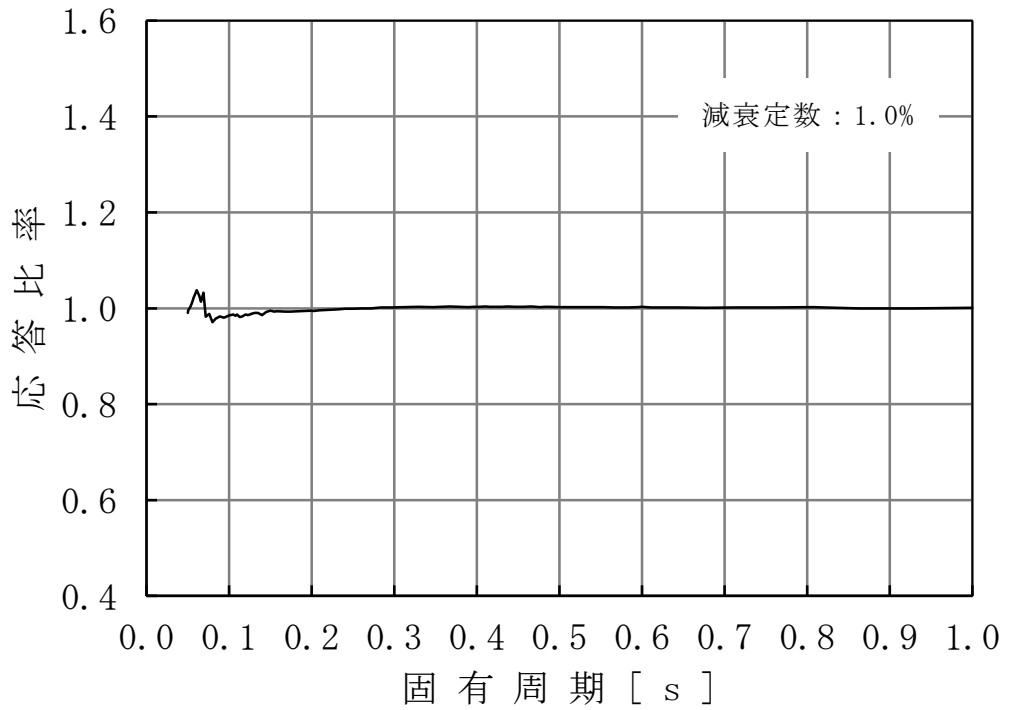


図 4-4 (6/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 12.300m)

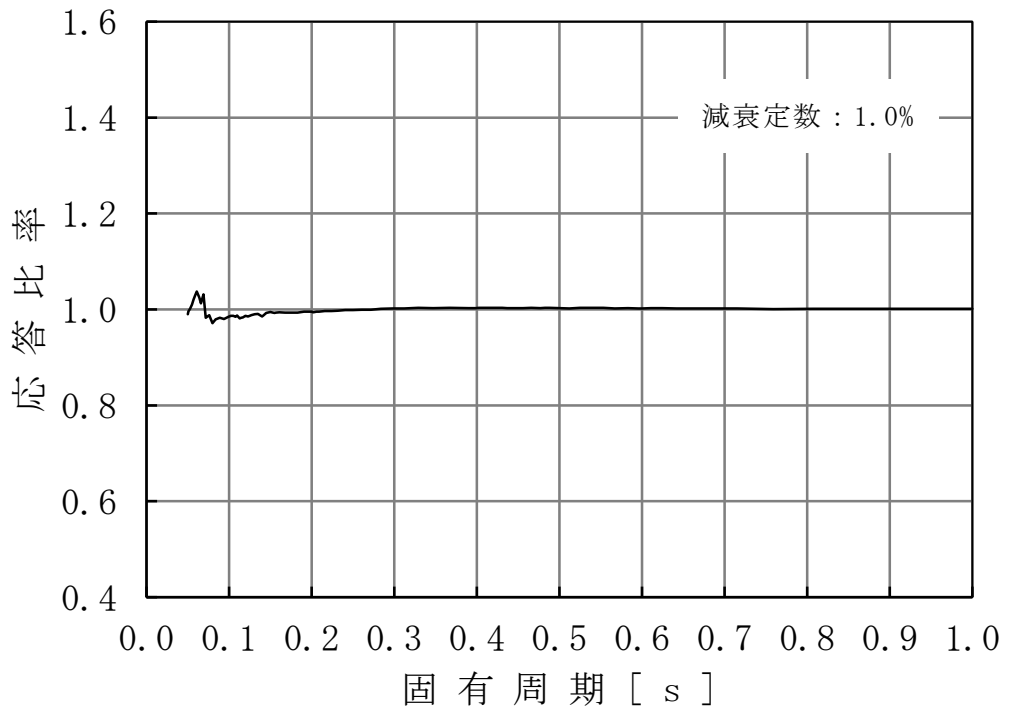


図 4-4 (7/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 8.200m)

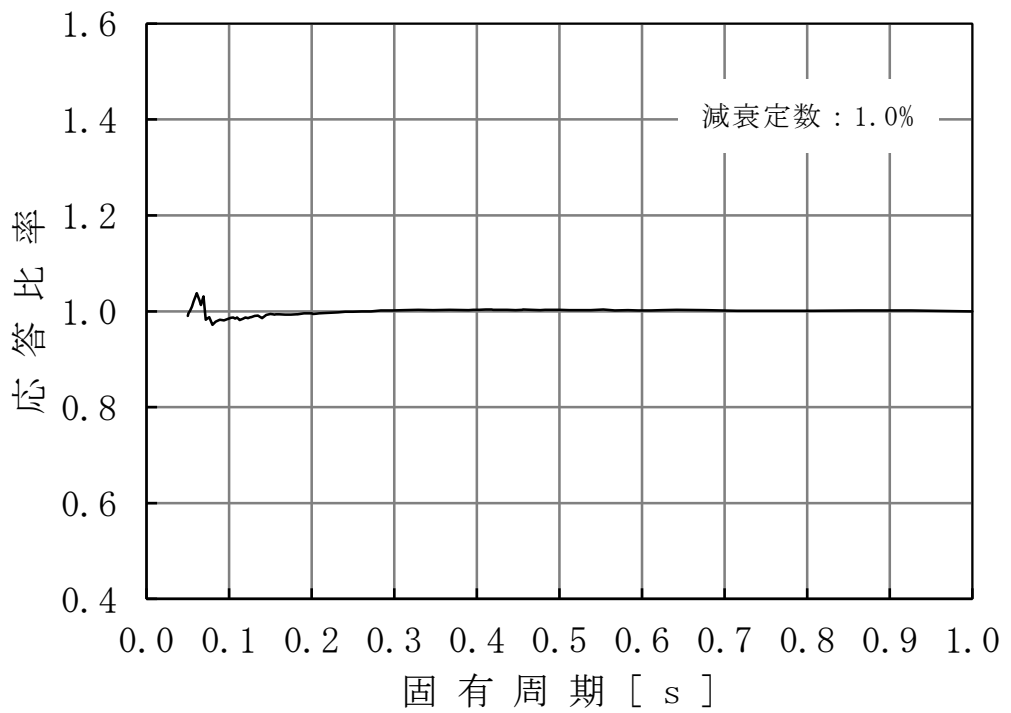


図 4-4 (8/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 7.000m)

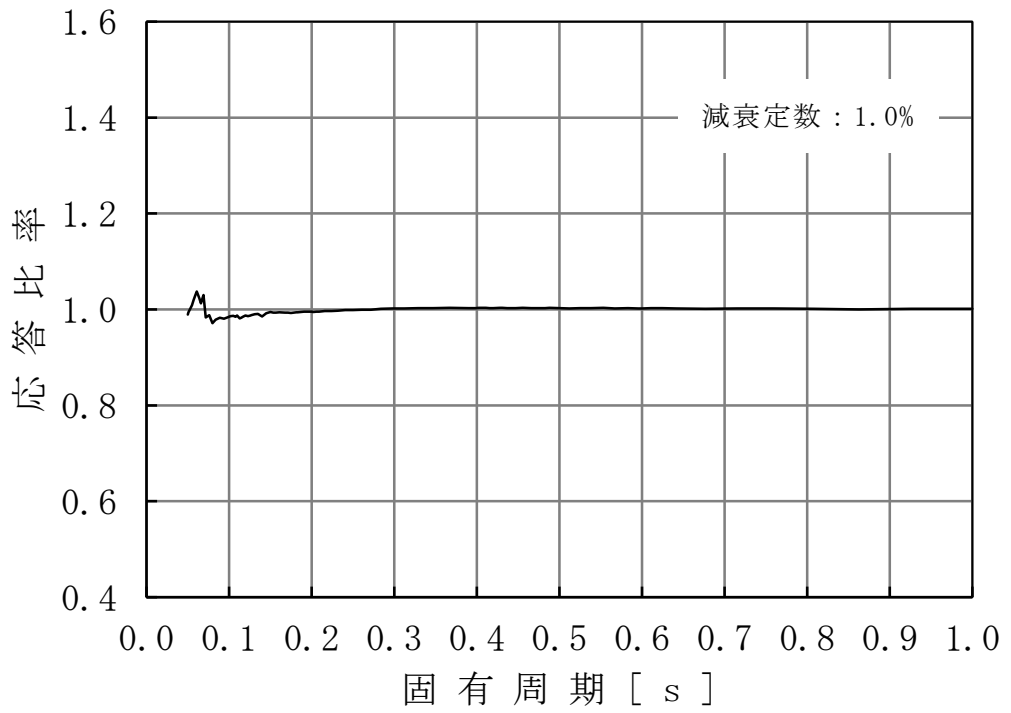


図 4-4 (9/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 4.500m)

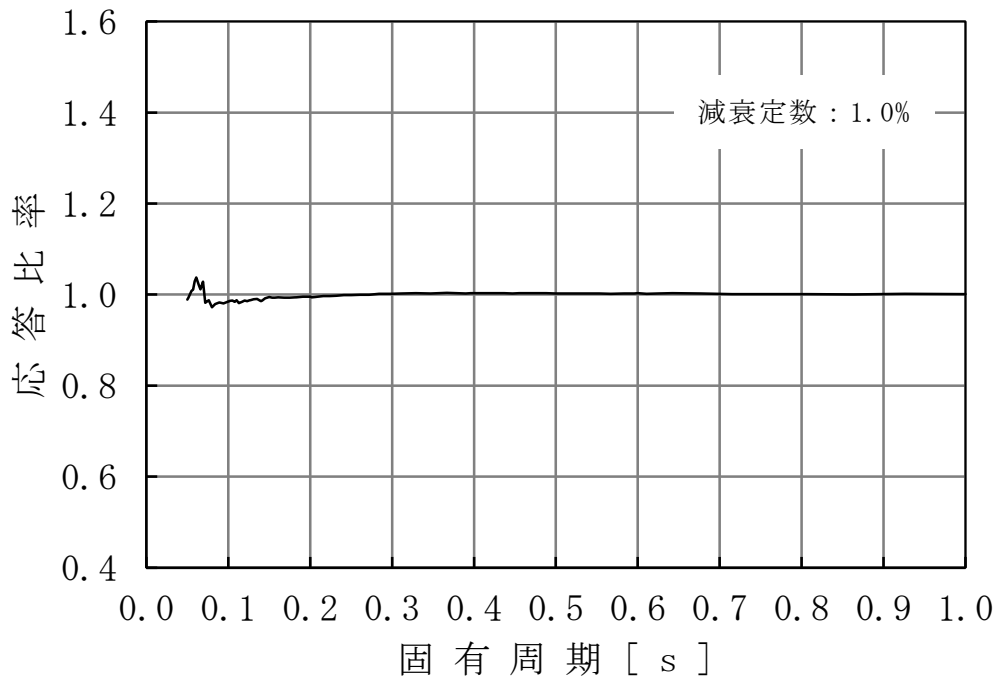


図 4-4 (10/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 3.500m)

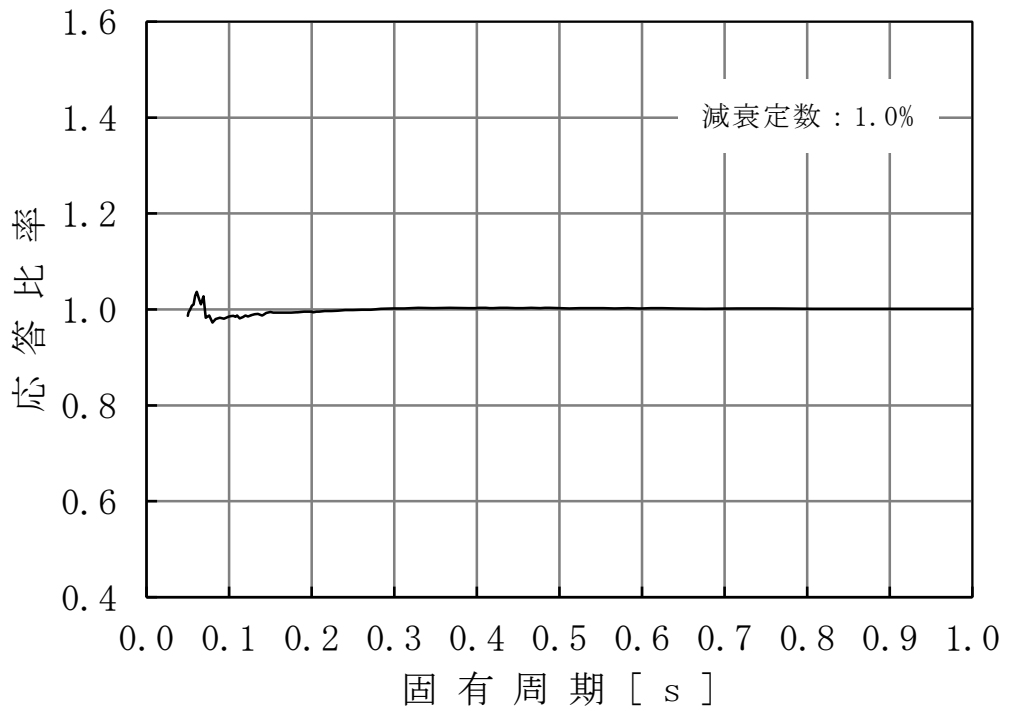


図 4-4 (11/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 1.700m)

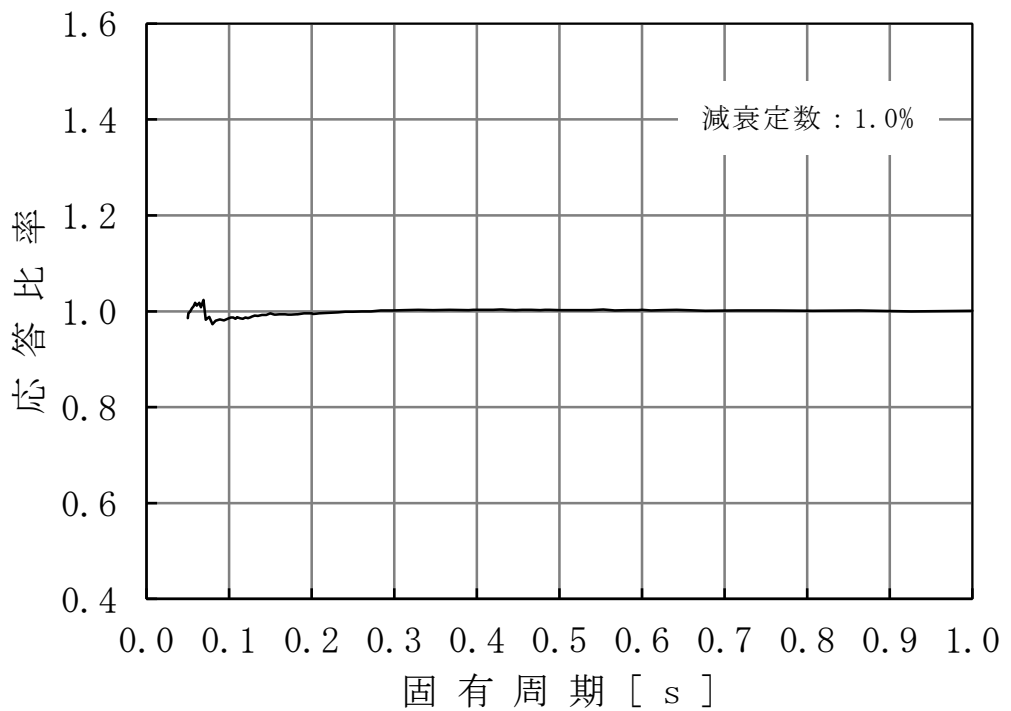


図 4-4 (12/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -2.100m)

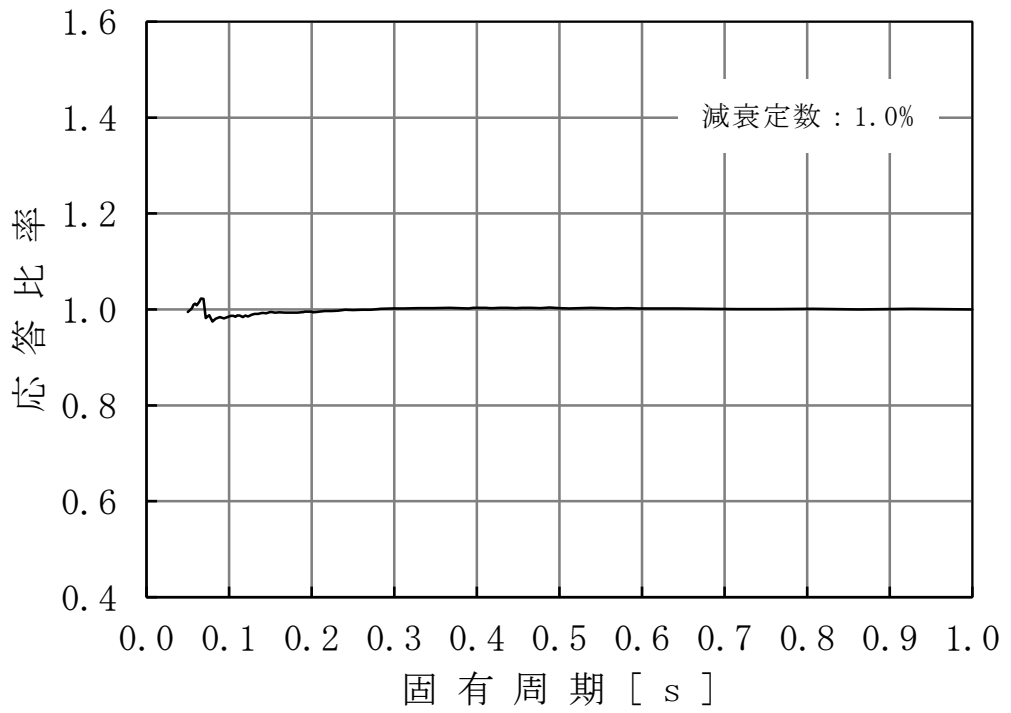


図 4-4 (13/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -4.700m)

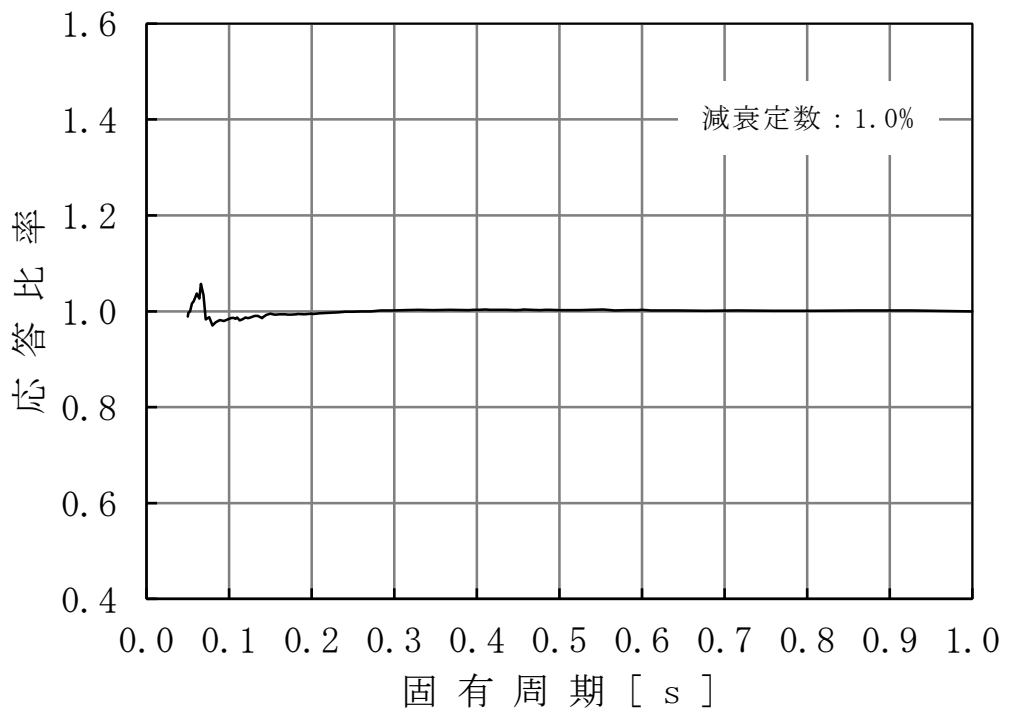


図 4-4 (14/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 26.013m)

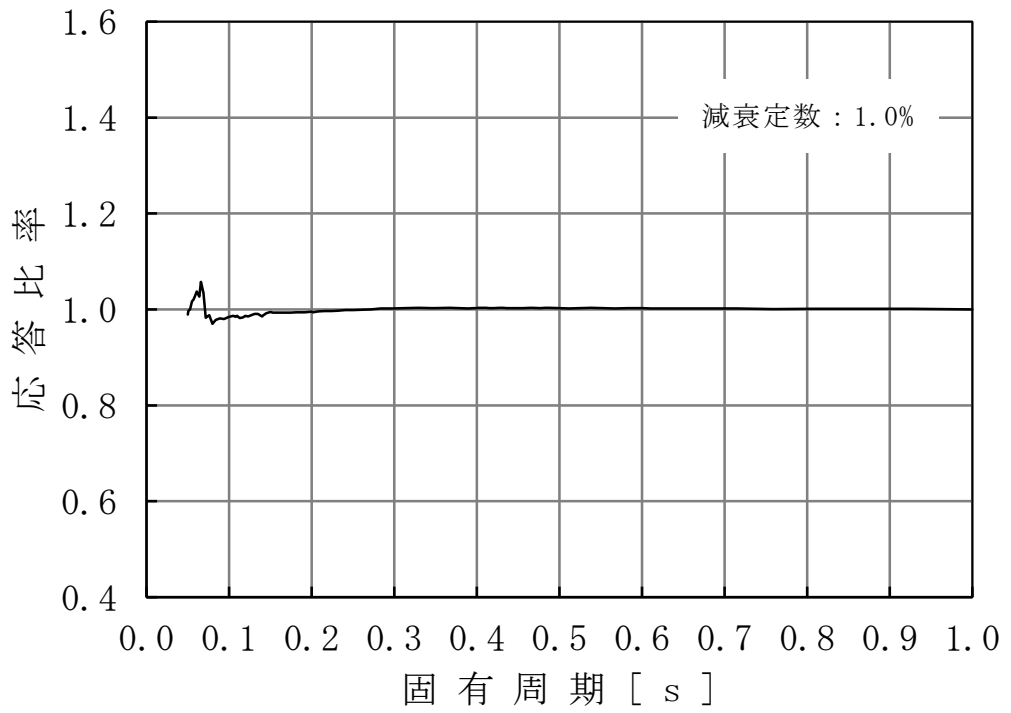


図 4-4 (15/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 20.494m)

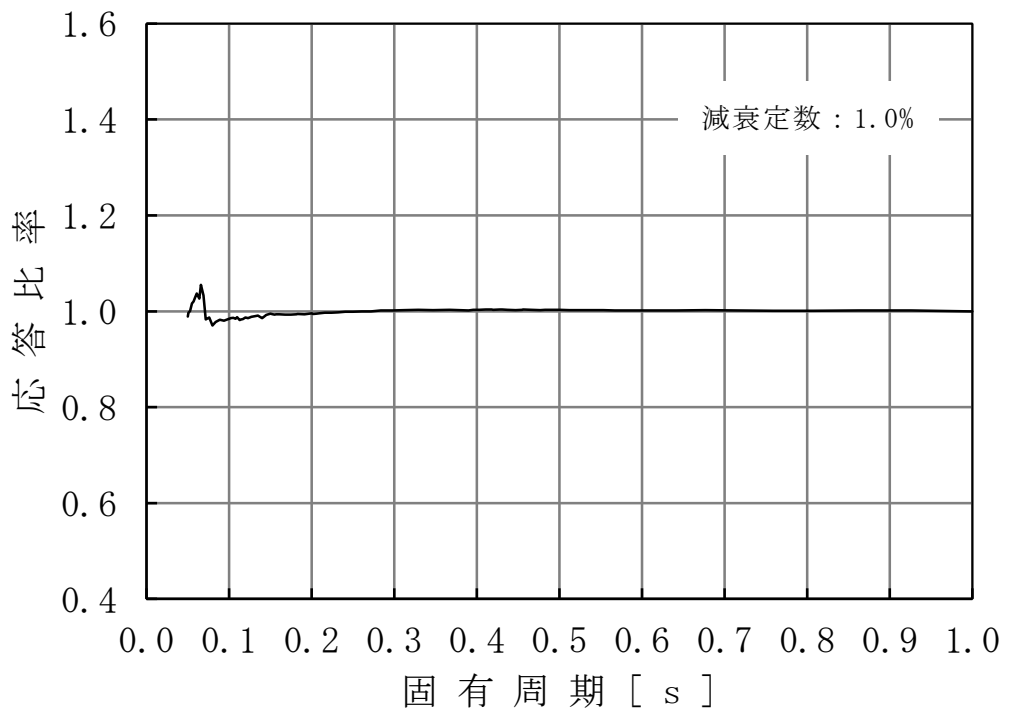


図 4-4 (16/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 16.506m)

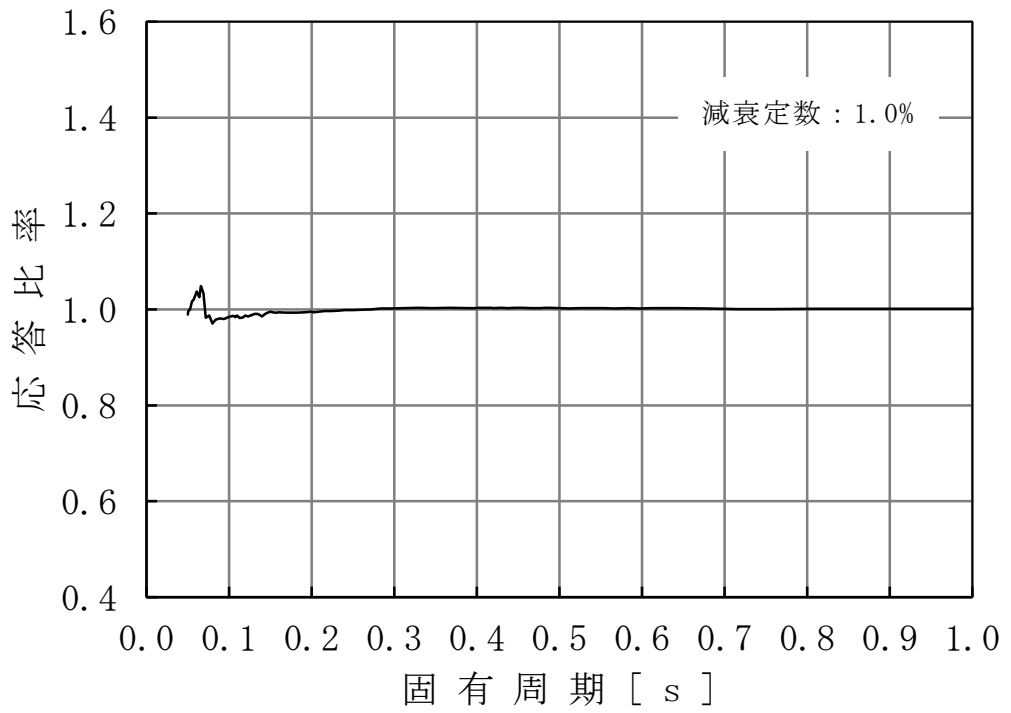


図 4-4 (17/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.262m)

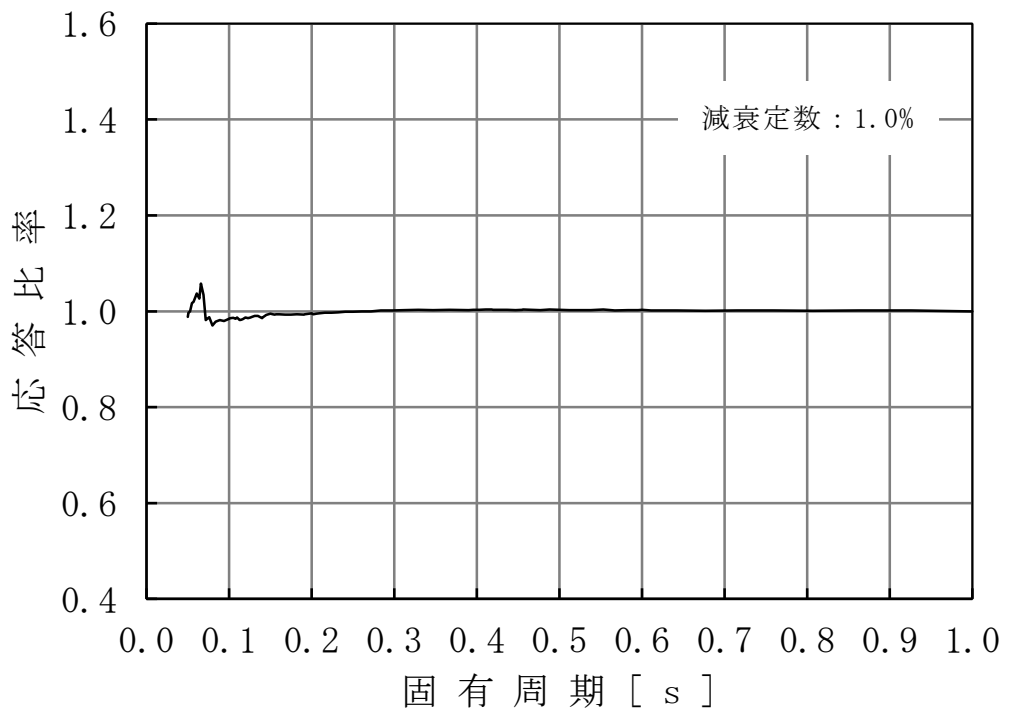


図 4-4 (18/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

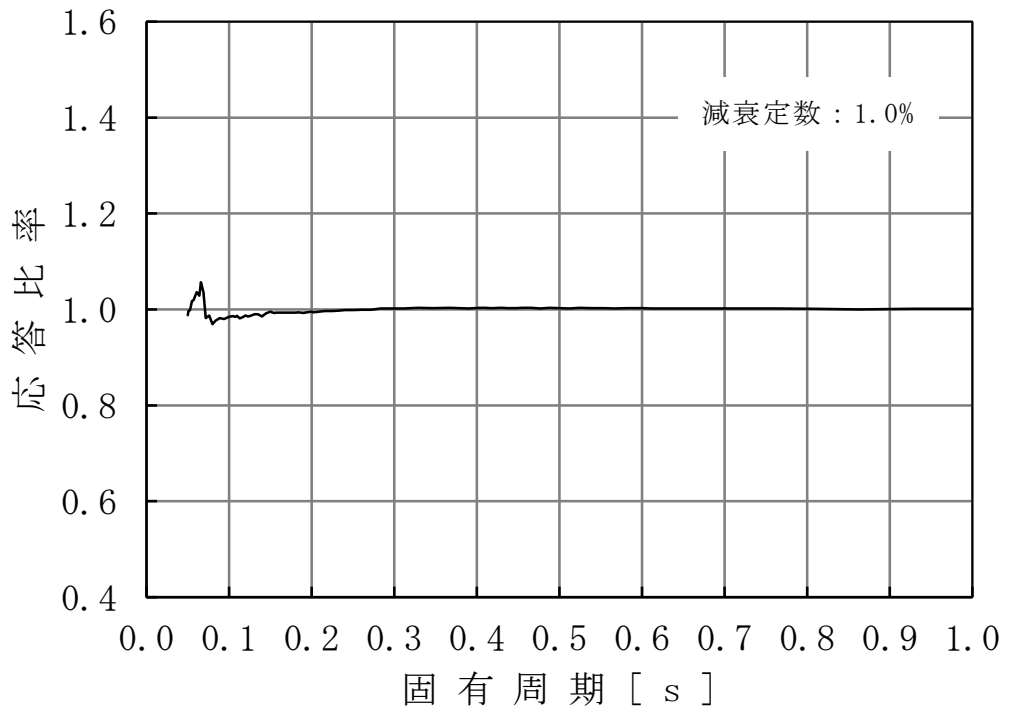


図 4-4 (19/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 14.433m)

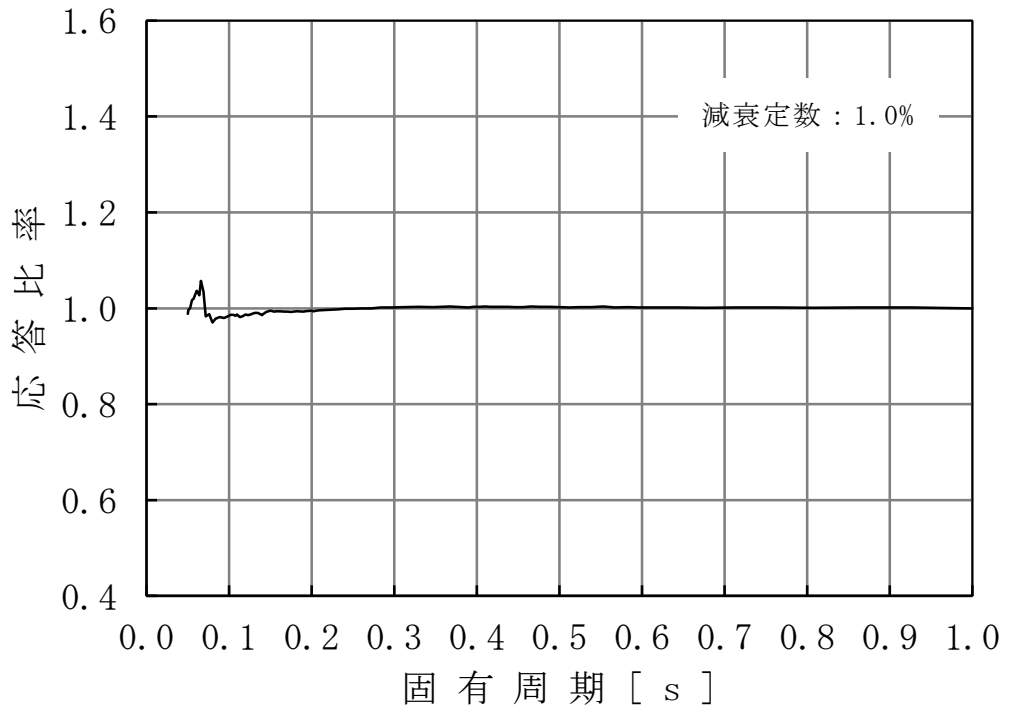


図 4-4 (20/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 9.645m)

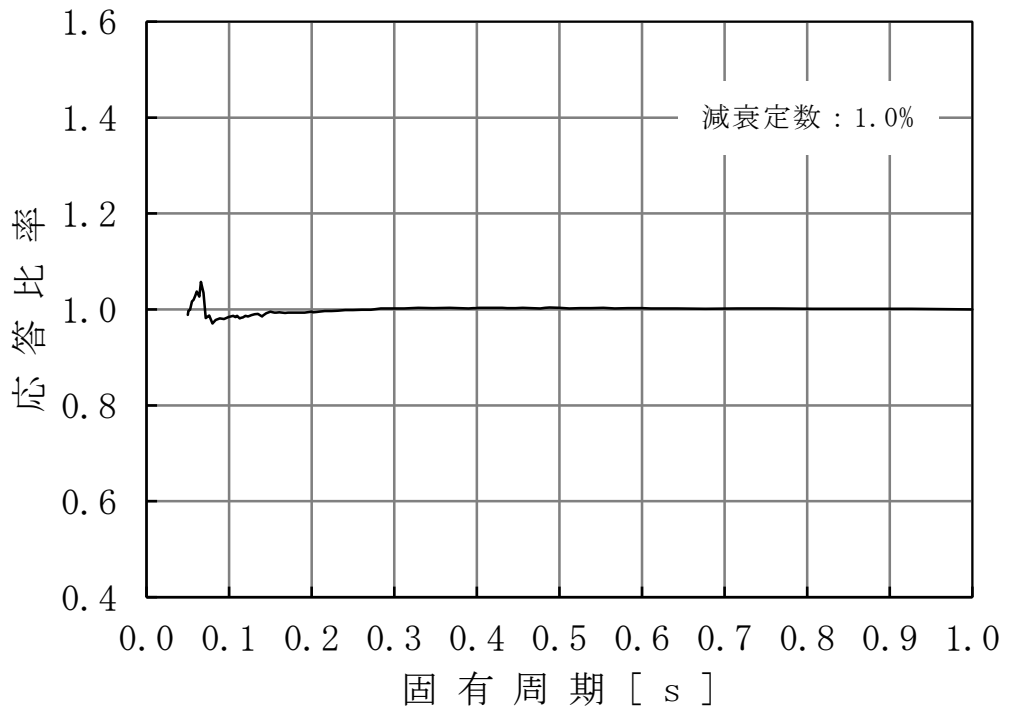


図 4-4 (21/22) 応答比率 (基準地震動 S s, 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

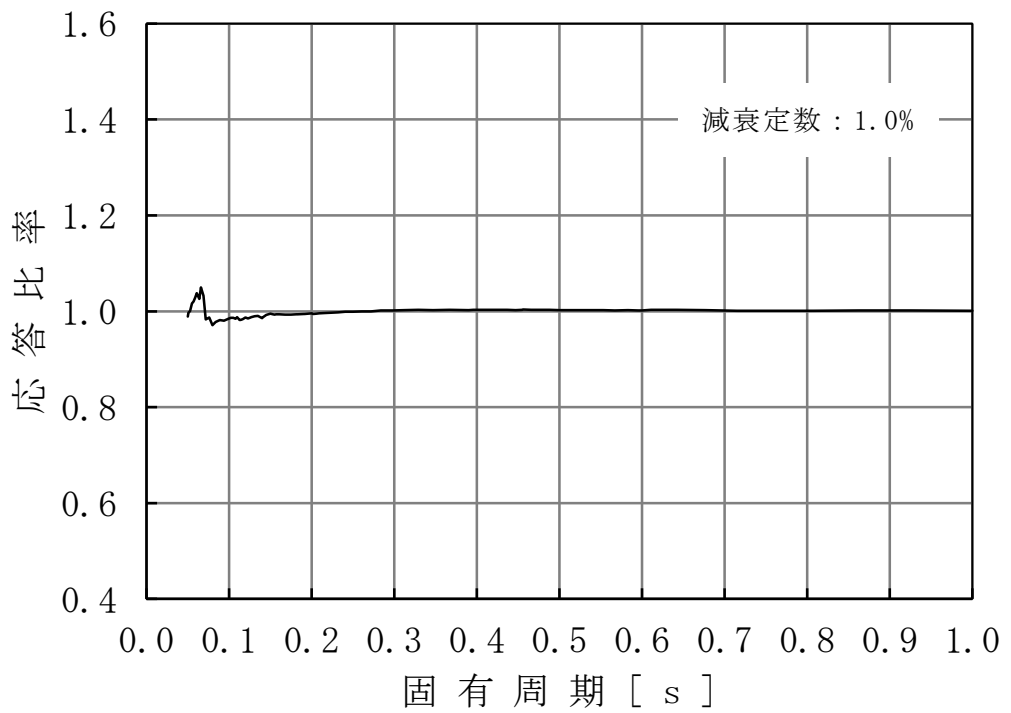


図 4-4 (22/22) 応答比率 (基準地震動 S s, 鉛直方向, T.M.S.L. 6.253m)

別紙8 原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について

目 次

1. 概要	別紙 8-1
2. 検討方針	別紙 8-2
3. 検討条件	別紙 8-3
3.1 補強等に伴う増加重量	別紙 8-3
3.2 解析モデル	別紙 8-7
4. 検討結果	別紙 8-13
4.1 固有値解析結果	別紙 8-13
4.2 最大応答値	別紙 8-15
5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響	別紙 8-28
5.1 せん断ひずみに対する影響	別紙 8-28
5.1.1 検討方法	別紙 8-28
5.1.2 検討結果	別紙 8-28
5.2 床応答に対する影響	別紙 8-28
6. まとめ	別紙 8-40

1. 概要

本資料は、原子炉建屋において、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した地震応答解析を実施し、「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響について確認するものである。

また、本資料は、以下の資料の補足説明をするものである。

V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析

2. 検討方針

今回工認評価に用いている質点系モデル（以下、「今回工認モデル」という。）と補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮したモデル（以下、「補強反映モデル」という。）を比較することにより、重量変更による建屋応答への影響を確認する。

なお、影響検討は、応答倍率を用いた手法により行うことから、応答倍率の算出のための「補強反映モデル」を用いた地震応答解析は、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 S_s-1 に対して実施することとする。

3. 検討条件

3.1 補強等に伴う増加重量

補強等に伴う増加重量と補強後の変更となる補強反映モデルの振動諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。補強等に伴う増加重量の総重量は 27290kN であり，そのうち建物・構築物の増加重量は 3470kN，機器・配管系の増加重量は 23820kN である。なお，補強等の変更箇所は耐震壁の変更を伴わないことより，地震応答解析モデルの諸元の変更箇所は質点重量と回転慣性重量のみである。

表 3-1 増加重量と補強後の振動諸元 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
49.7	1	39490	70.6	630	40120	71.7
38.2	2	80520	410.9	2040	82560	421.3
31.7	3	84470	473.7	1860	86330	484.1
23.5	4	84770	293.2	1280	86050	297.6
18.1	5	55380	198.1	1100	56480	202.0
12.3	6	81140	289.3	1920	83060	296.1
4.8	7	80120	296.2	1360	81480	301.2
-1.7	8	81300	298.1	880	82180	301.3
-8.2	9	342450	945.4	1420	343870	949.3
-13.7	10	216040	581.5	0	216040	581.5
総重量		1145680	—	12490	1158170	—

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
31.7	11	91400	32.4	2320	93720	33.2
23.5	12	155040	371.7	2930	157970	378.7
18.1	13	102870	305.0	2190	105060	311.5
12.3	14	199270	408.9	3390	202660	415.9
4.8	15	124050	387.4	2420	126470	395.0
-1.7	16	136800	369.7	1550	138350	373.9
総重量		809430	—	14800	824230	—

表 3-2 増加重量と補強後の振動諸元 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
49.7	1	39490	147.1	630	40120	149.4
38.2	2	80520	300.1	2040	82560	307.7
31.7	3	89570	299.1	3020	92590	309.2
23.5	4	67270	275.6	1720	68990	282.6
18.1	5	50210	210.8	1090	51300	215.4
12.3	6	78630	320.7	1860	80490	328.3
4.8	7	76690	316.8	1310	78000	322.2
-1.7	8	79240	324.6	850	80090	328.1
-8.2	9	342450	1039.5	1420	343870	1043.8
-13.7	10	216040	644.3	0	216040	644.3
総重量		1120110	—	13940	1134050	—

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
31.7	11	86300	267.7	1160	87460	271.3
23.5	12	172540	474.6	2490	175030	481.4
18.1	13	108040	340.3	2200	110240	347.2
12.3	14	201780	453.1	3450	205230	460.8
4.8	15	127480	432.5	2470	129950	440.9
-1.7	16	138860	409.9	1580	140440	414.6
総重量		835000	—	13350	848350	—

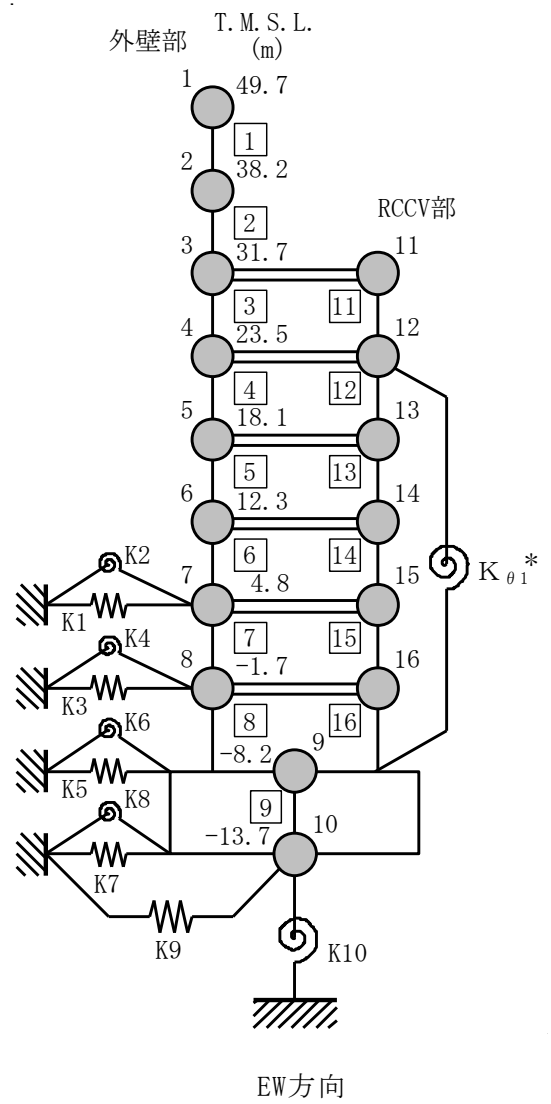
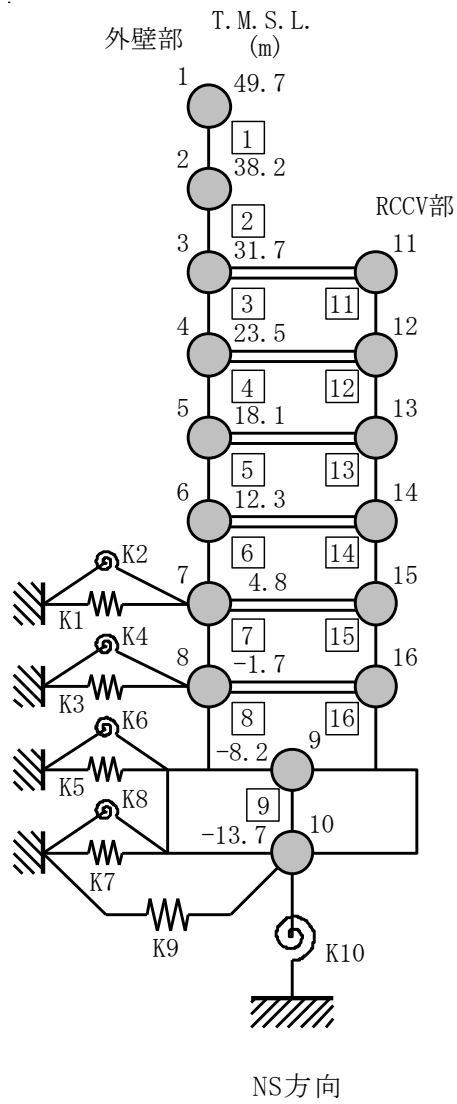
表 3-3 増加重量と補強後の振動諸元（鉛直方向）

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル	増加重量 (kN)	補強反映モデル
		質点重量 (kN)		質点重量 (kN)
49.7	21	1770	0	1770
	22	3540	0	3540
	23	3540	0	3540
	1	30640	630	31270
38.2	2	80520	2040	82560
31.7	3	175870	4180	180050
23.5	4	239810	4210	244020
18.1	5	158250	3290	161540
12.3	6	280410	5310	285720
4.8	7	204170	3780	207950
-1.7	8	218100	2430	220530
-8.2	9	342450	1420	343870
-13.7	10	216040	0	216040
総重量		1955110	27290	1982400

3.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1 に，地盤ばね定数を表 3-4 及び表 3-5 に示す。また，鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-2 に，地盤ばね定数を表 3-6 に示す。

また，重量増分に伴うせん断及び曲げスケルトンへの影響は軽微であるため「今回工認モデル」の諸元を用いる。



注記* : RCCV 回転ばね

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-4 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

(a) 補強反映モデル

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	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.79×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.97×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.63×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.95×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	5.95×10^8

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

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

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 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW 方向)

(a) 補強反映モデル

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	1.07×10^6	4.25×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.99×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	6.94×10^8

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

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

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

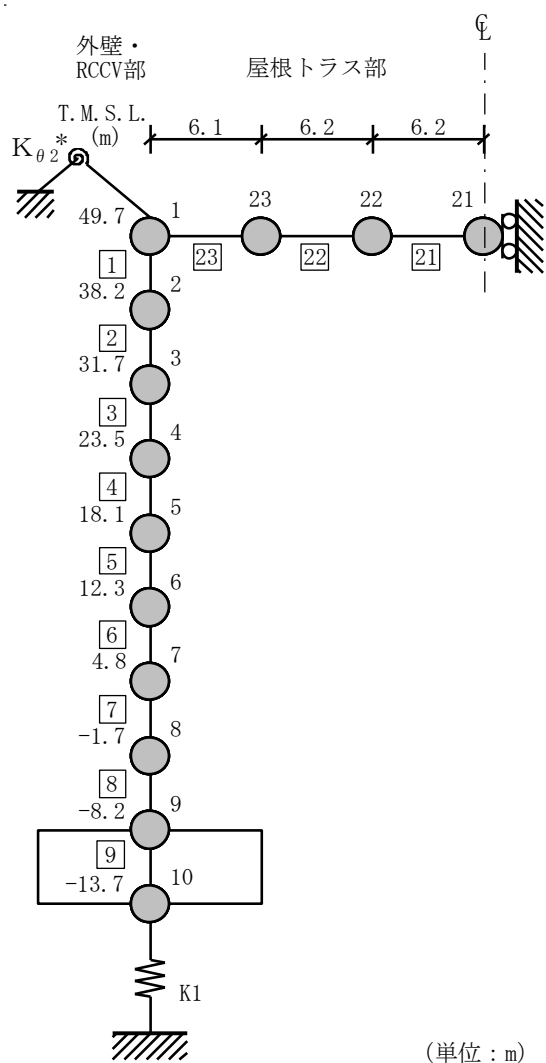


図 3-2 地震応答解析モデル (鉛直方向)

表 3-6 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, 鉛直方向)

(a) 補強反映モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	10	底面・鉛直	1.20×10^8	6.45×10^6

(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 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	10	底面・鉛直	1.20×10^8	6.46×10^6

4. 検討結果

4.1 固有値解析結果

「補強反映モデル」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 4-1 に示す。

「補強反映モデル」の固有周期は，補強による重量増加の影響により「今回工認モデル」の結果に比べてわずかに大きくなるものの，ほぼ同程度となることを確認した。

表 4-1 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	補強反映モデル	今回工認モデル	補強反映モデル
1	0.439	0.443	2.28	2.26
2	0.192	0.194	5.20	5.17
3	0.091	0.092	11.03	10.93
4	0.078	0.078	12.88	12.79
5	0.077	0.078	12.98	12.88

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	補強反映モデル	今回工認モデル	補強反映モデル
1	0.429	0.433	2.33	2.31
2	0.191	0.192	5.23	5.20
3	0.082	0.083	12.16	12.05
4	0.077	0.078	12.97	12.88
5	0.071	0.072	14.02	13.92

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	補強反映モデル	今回工認モデル	補強反映モデル
1	0.279	0.280	3.58	3.57
2	0.258	0.260	3.87	3.85
3	0.077	0.077	12.95	12.95
4	0.051	0.051	19.45	19.44
5	0.047	0.047	21.32	21.18

4.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 4-1～図 4-11 に、最大せん断ひずみを表 4-2 及び表 4-3 に示す。

「補強反映モデル」の最大応答値は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。

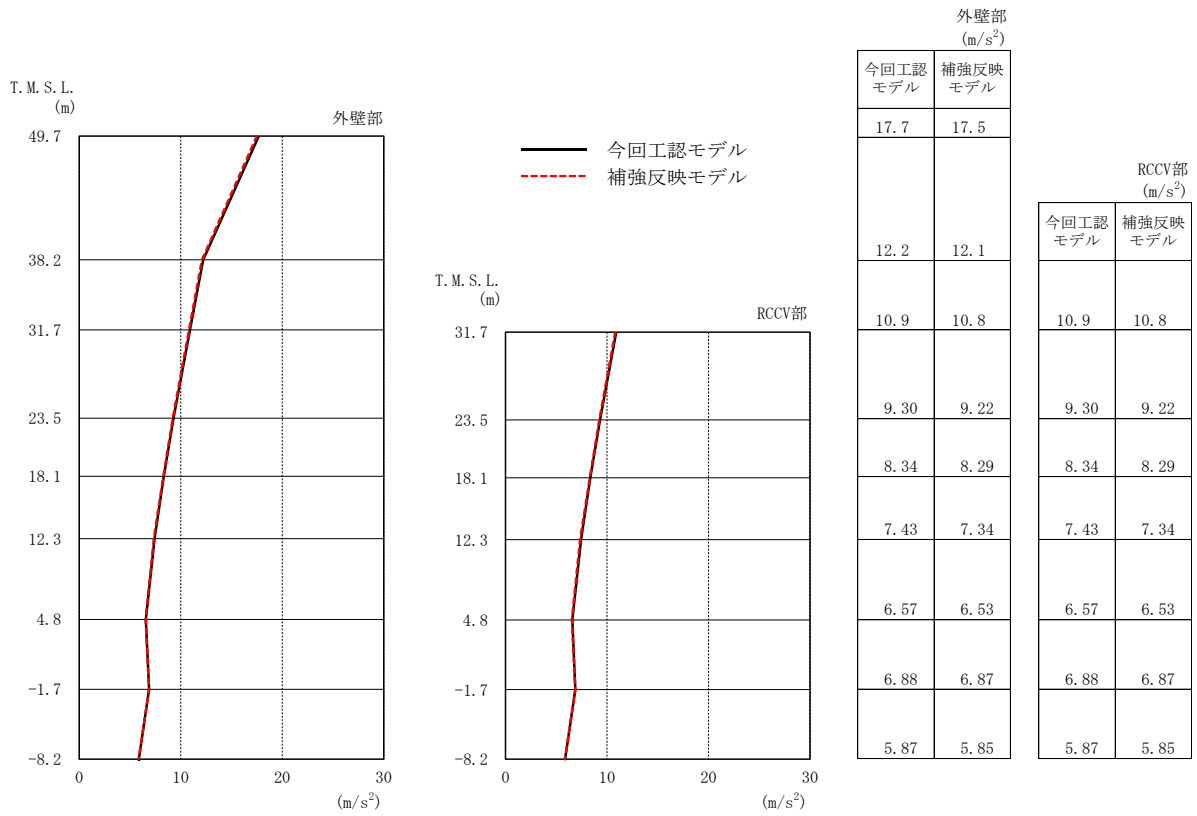
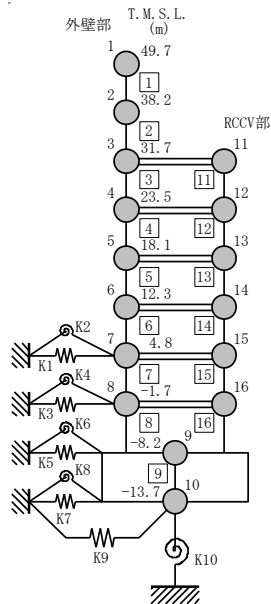


図 4-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



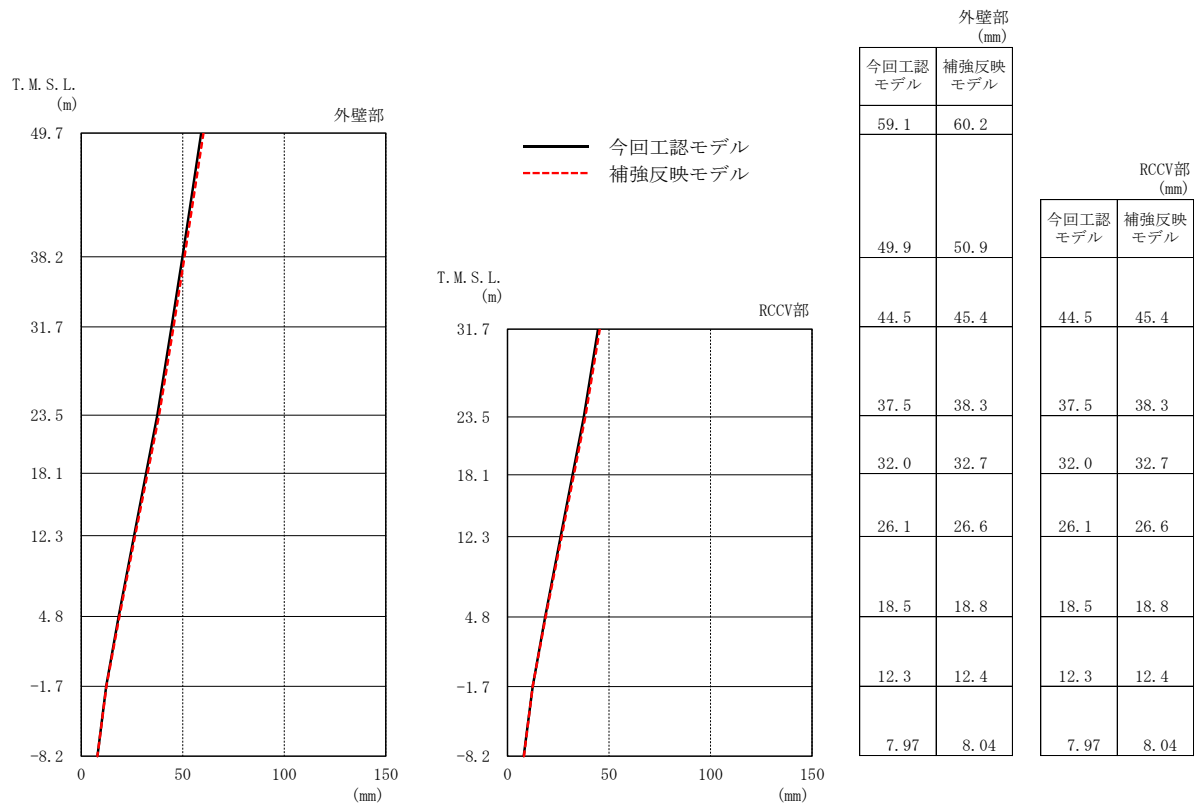
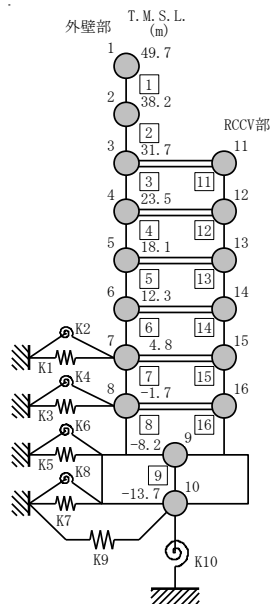


図 4-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



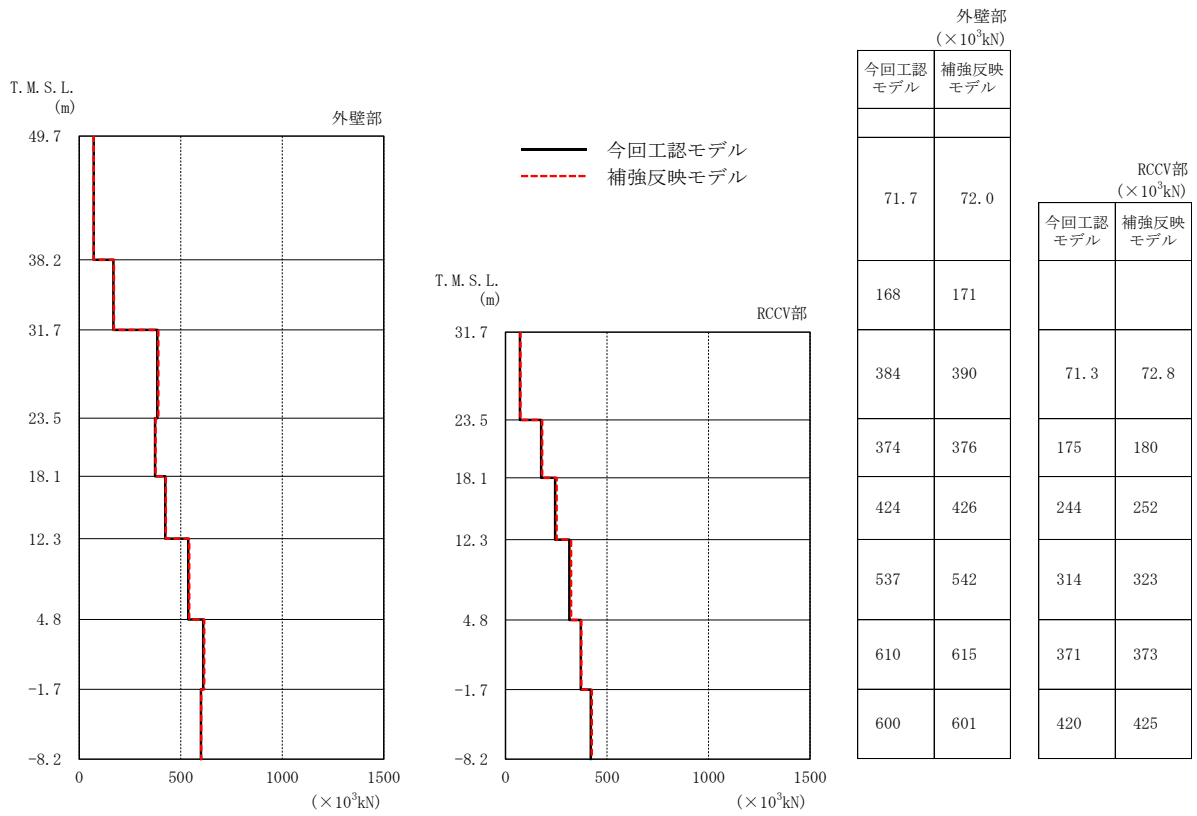
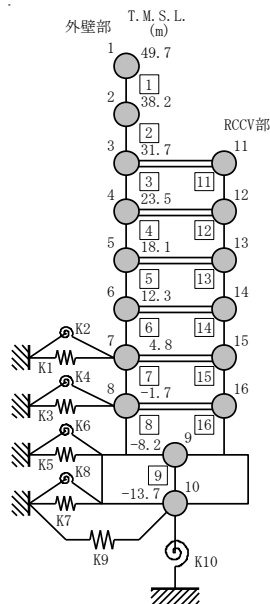


図 4-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



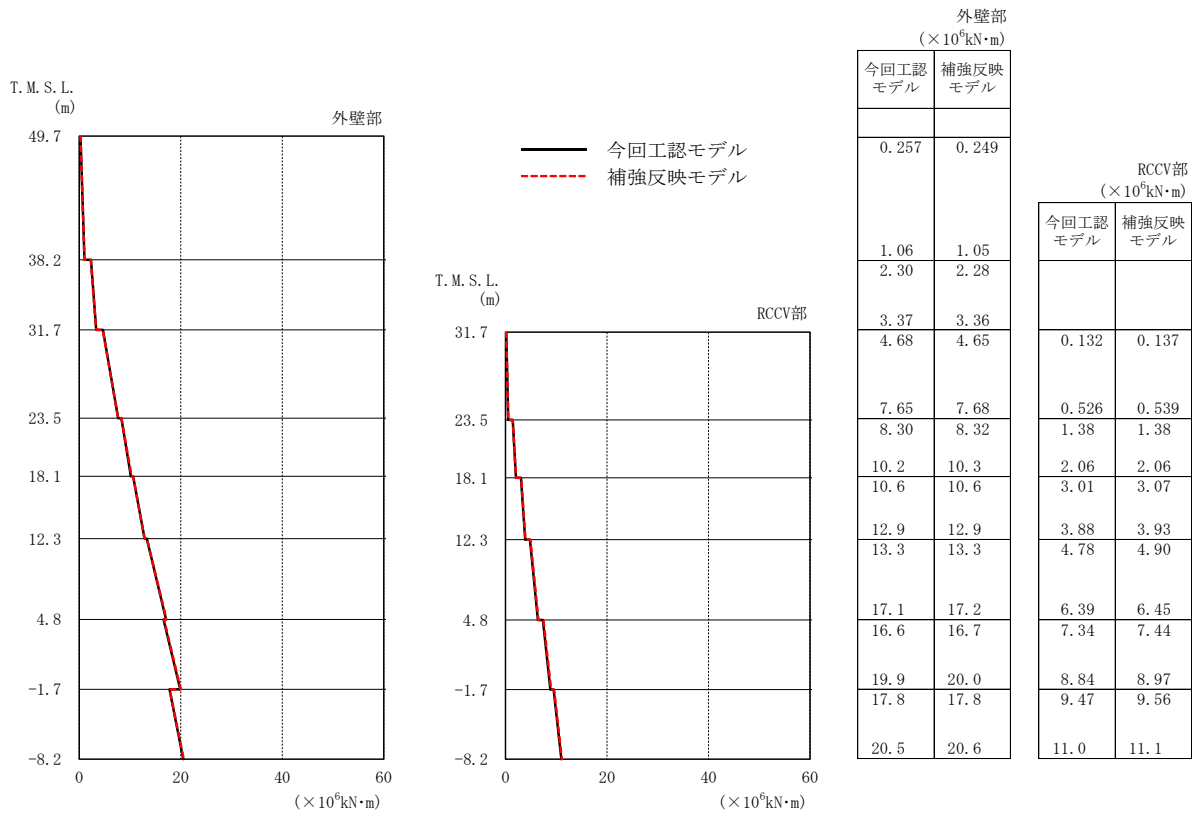
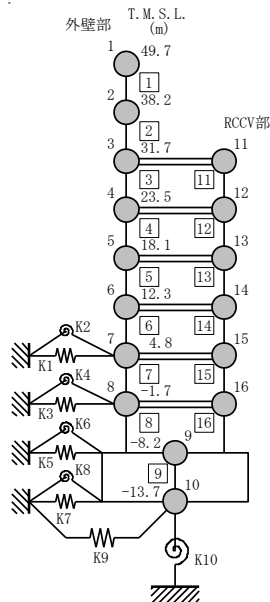


図 4-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



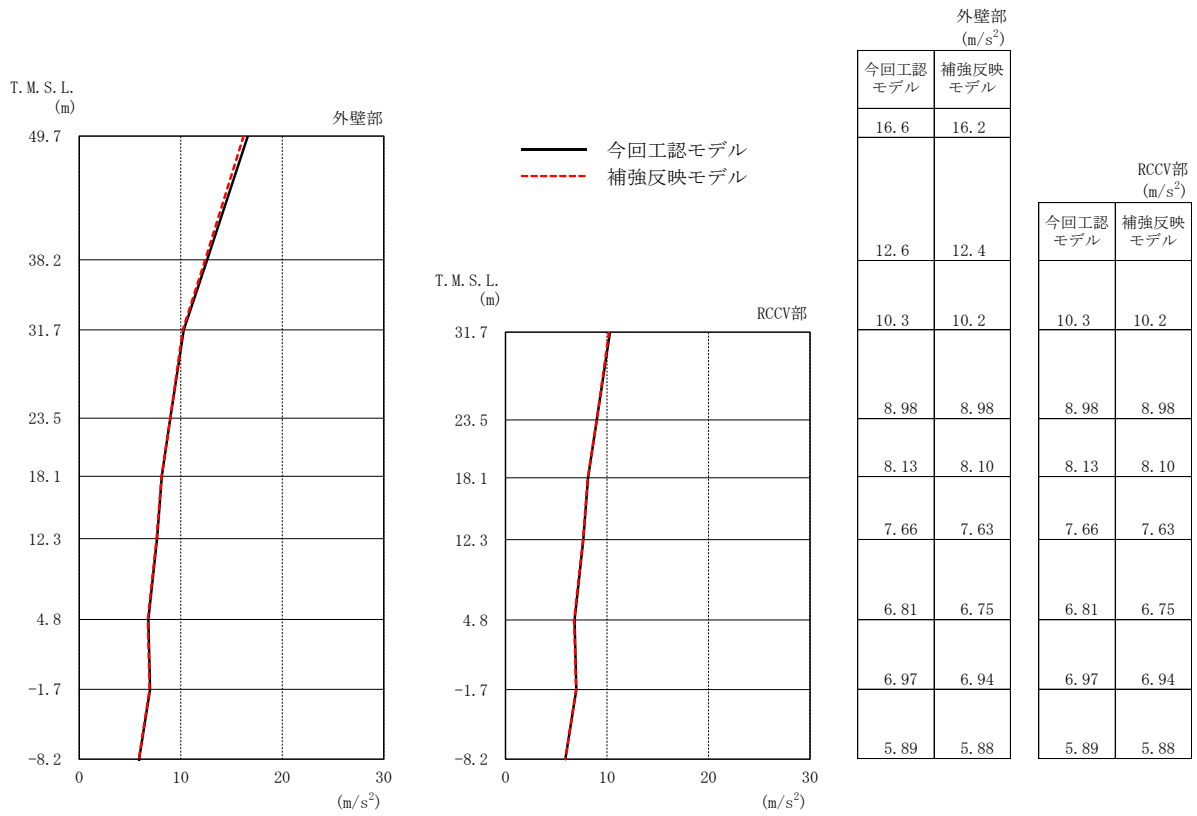
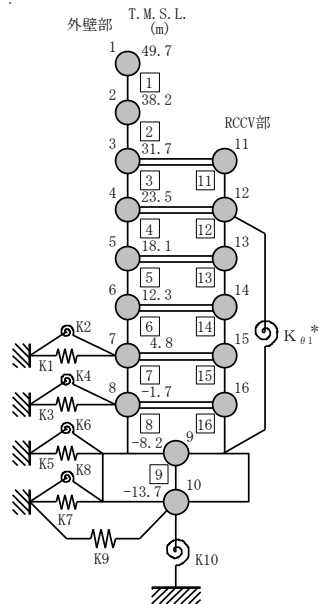


図 4-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



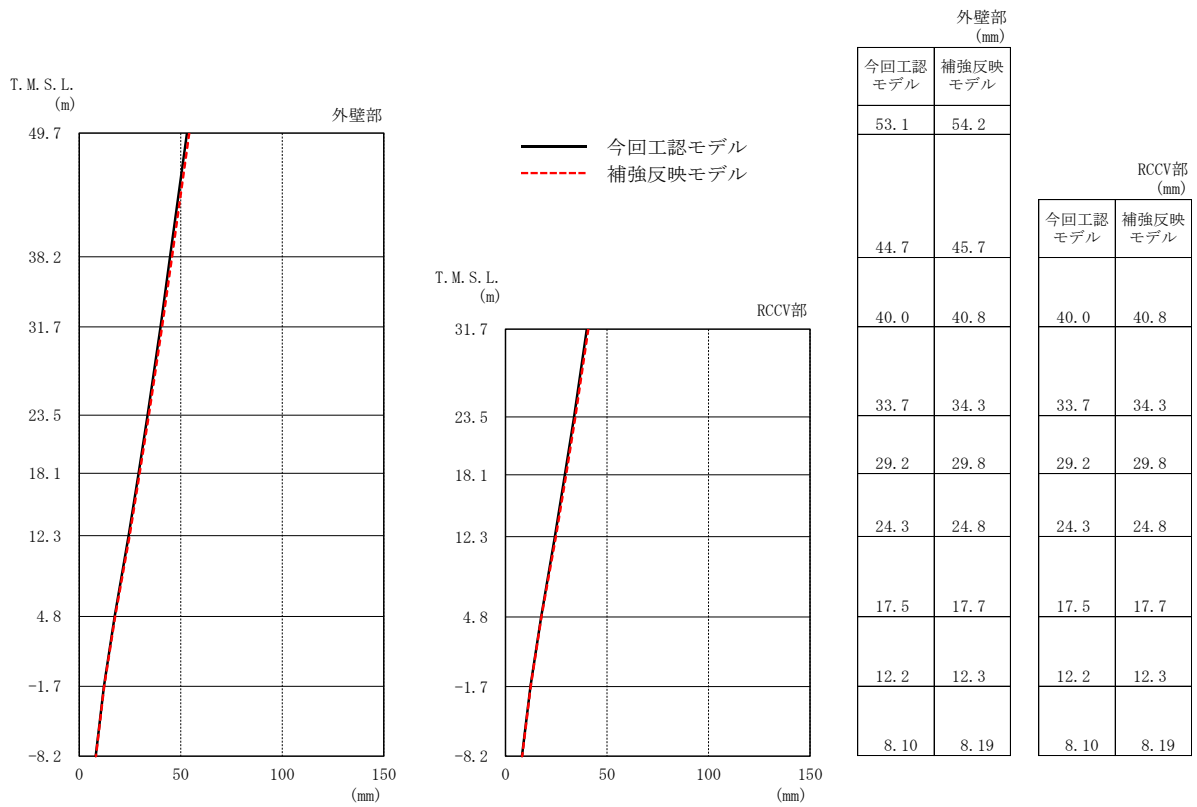
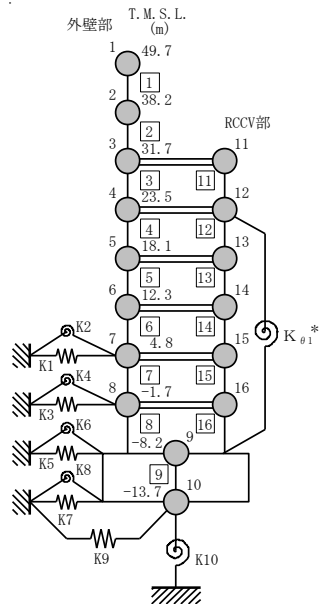


図 4-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



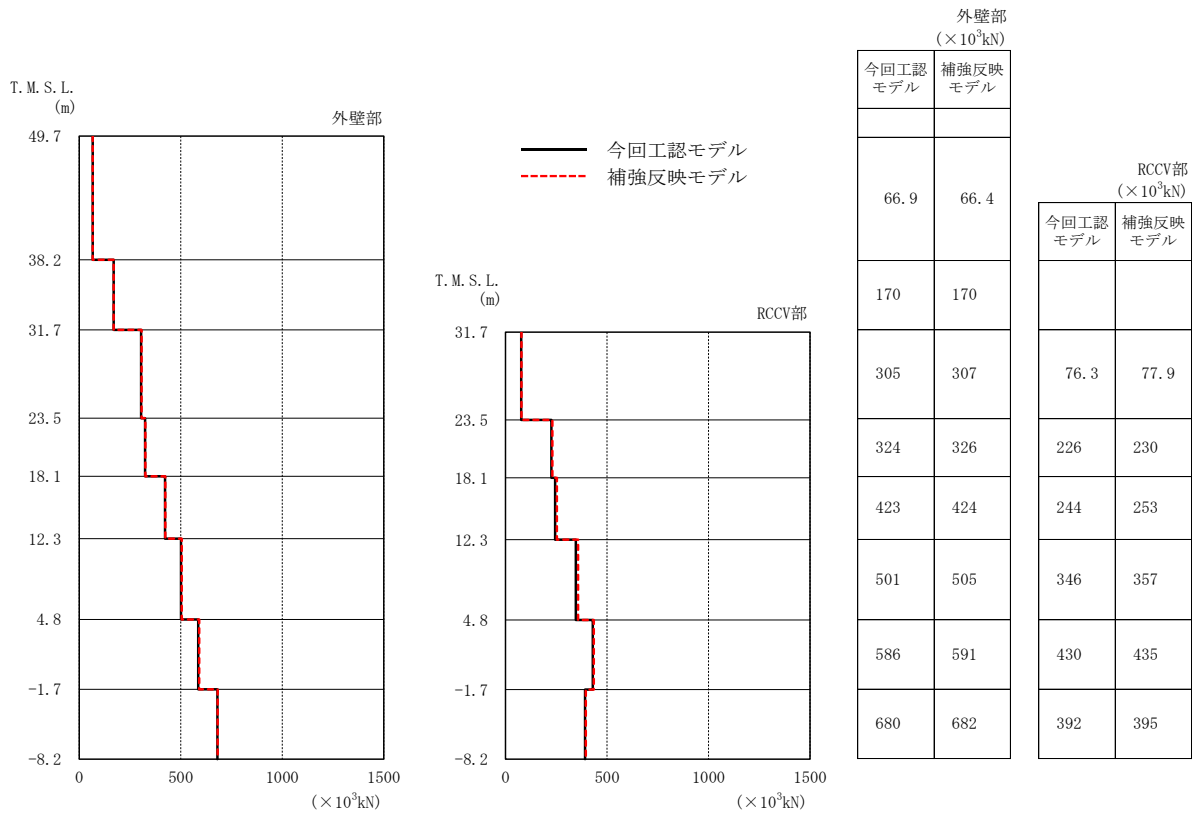
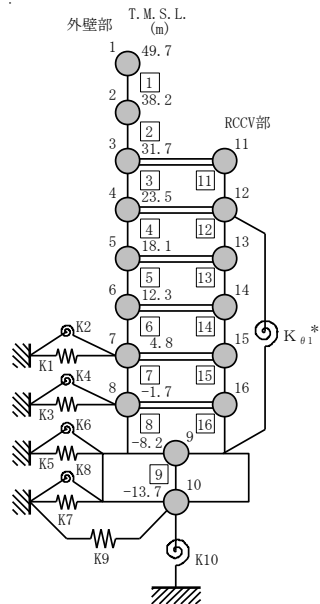


図 4-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



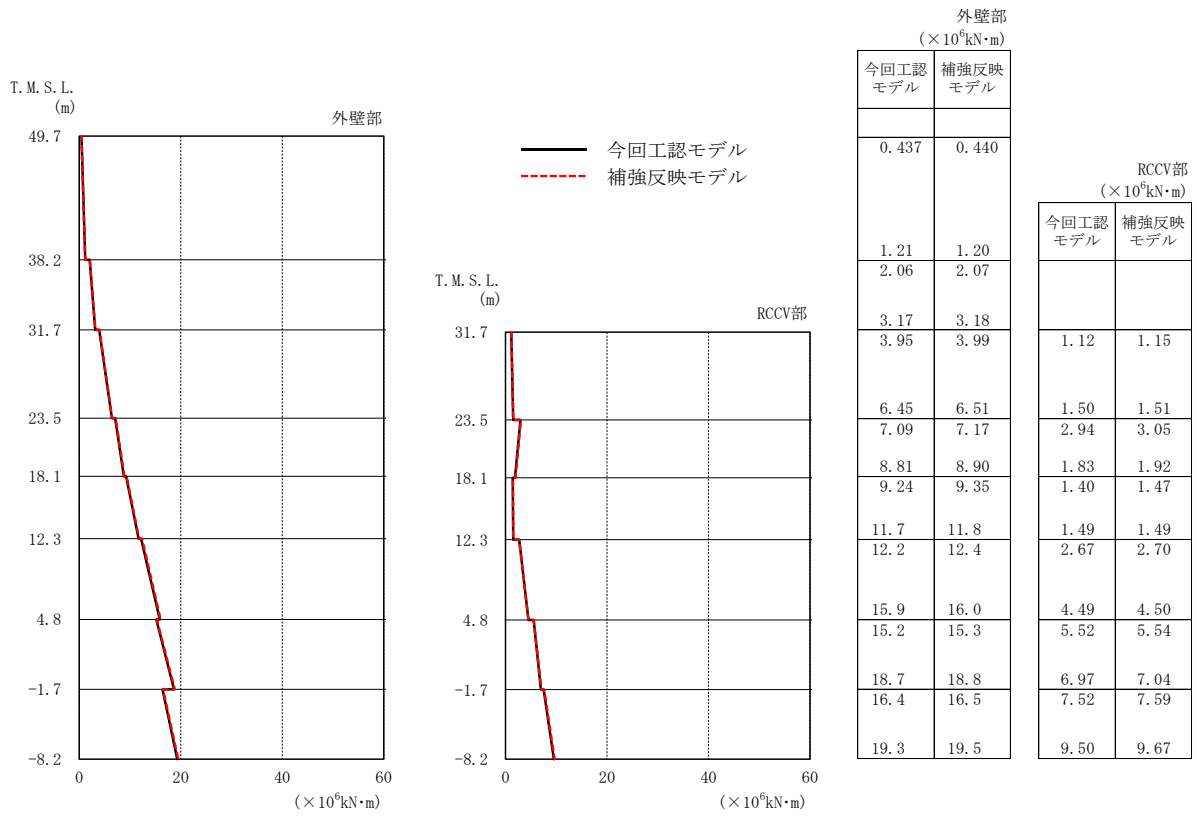
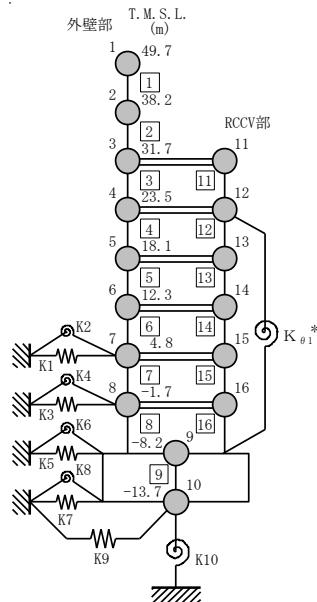


図 4-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)



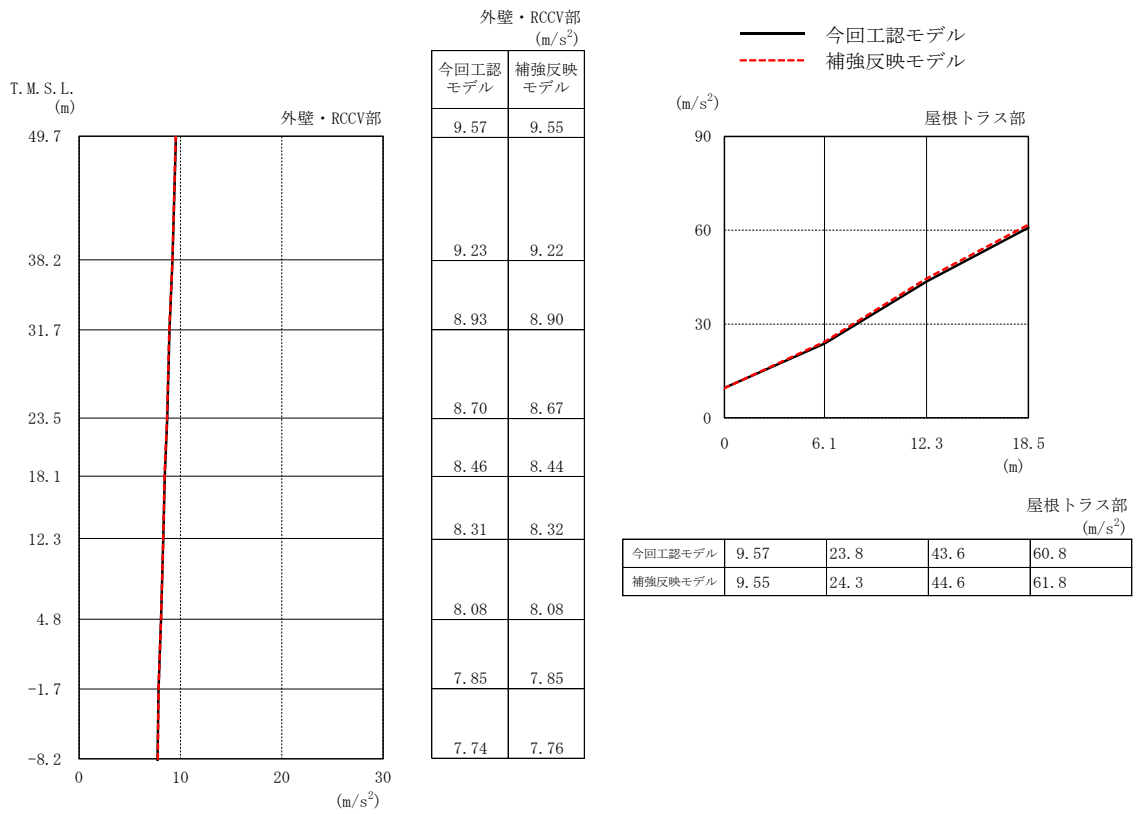
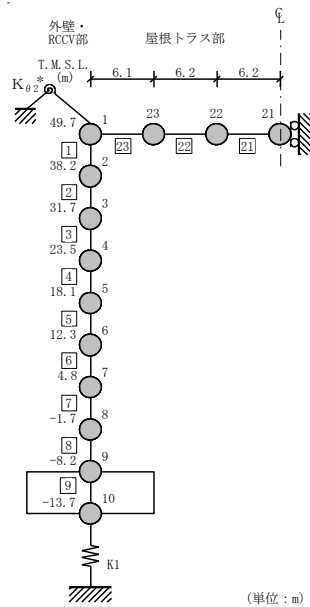


図 4-9 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)



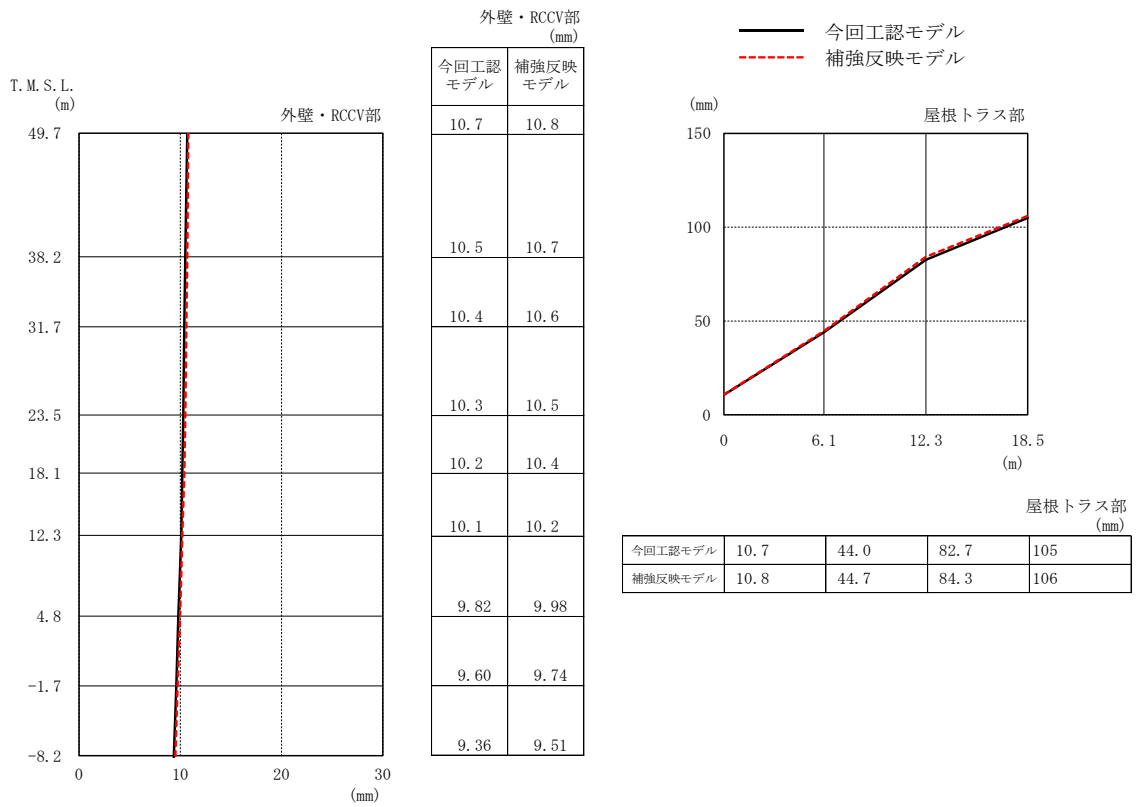
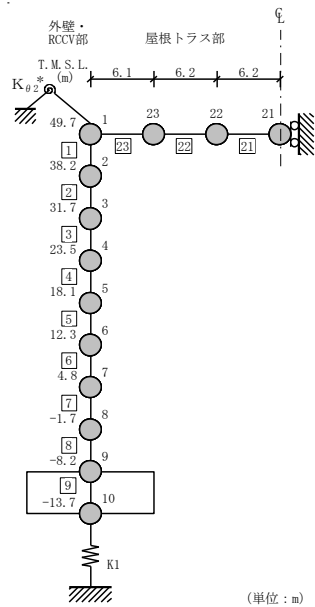


図 4-10 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)



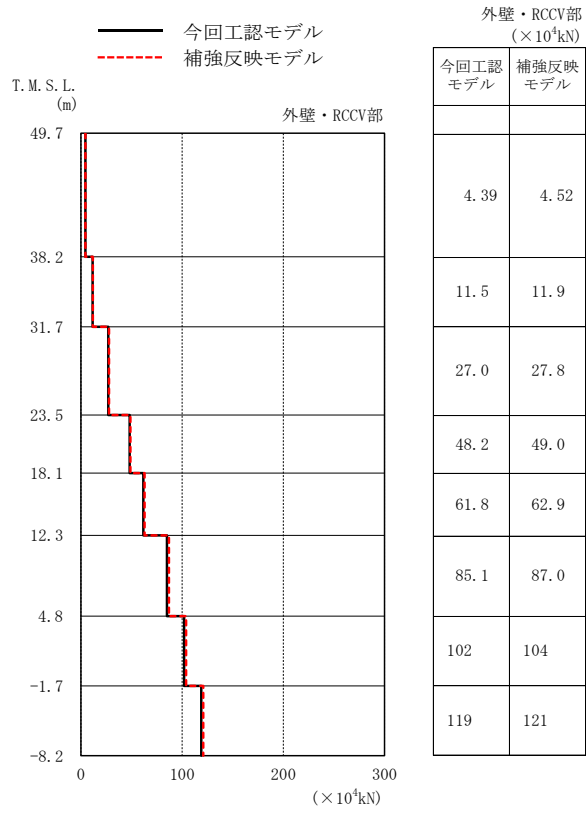


図 4-11 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

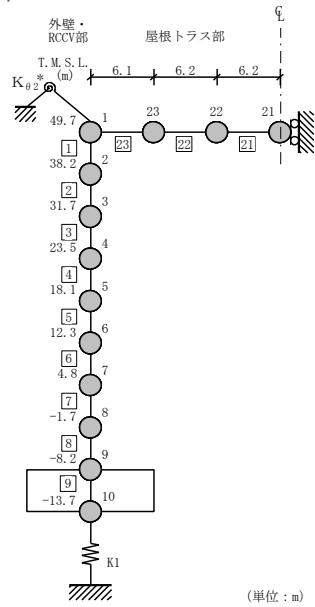


表 4-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
1	0.147	0.147	1.00
2	0.170	0.172	1.02
3	0.171	0.174	1.02
4	0.361	0.369	1.03
5	0.388	0.398	1.03
6	0.406	0.418	1.03
7	0.528	0.543	1.03
8	0.225	0.226	1.01

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
11	0.0499	0.0510	1.03
12	0.130	0.133	1.03
13	0.149	0.154	1.04
14	0.189	0.194	1.03
15	0.388	0.395	1.02
16	0.189	0.191	1.02

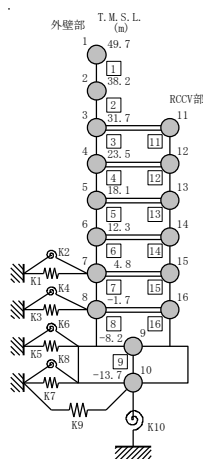
表 4-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

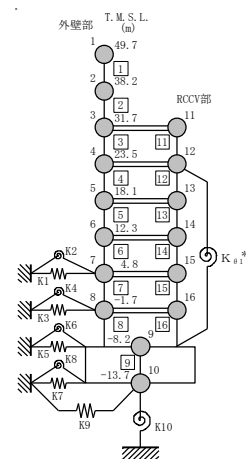
部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
1	0.103	0.102	1.00
2	0.116	0.116	1.00
3	0.148	0.149	1.01
4	0.206	0.210	1.02
5	0.243	0.250	1.03
6	0.334	0.344	1.03
7	0.318	0.332	1.05
8	0.244	0.247	1.02

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
11	0.0292	0.0298	1.03
12	0.0848	0.0863	1.02
13	0.0982	0.103	1.05
14	0.191	0.197	1.04
15	0.200	0.206	1.03
16	0.200	0.201	1.01



NS 方向



EW 方向

5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

補強等に伴う重量の増加分を考慮した地震応答解析結果を踏まえ、重量増加が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

5.1 せん断ひずみに対する影響

5.1.1 検討方法

検討は、以下の通り、保守的な評価とする。

最大せん断ひずみの検討として、材料物性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみ（基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する包絡値）に、基準地震動 Ss-1 に対する「補強反映モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「補強反映モデル」／「今回工認モデル」）を乗じた値の最大値が許容限界を超えないことを確認する。

5.1.2 検討結果

最大せん断ひずみの検討における原子炉建屋の応答比及び応答比を乗じた最大せん断ひずみを表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1 及び表 5-2 より、最大せん断ひずみに応答比を乗じた値の最大値が許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

5.2 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補強反映モデルの床応答スペクトルとの比較を図 5-1～図 5-3 に示す。

図 5-1～図 5-3 に示すとおり、補強反映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の応答を示すことを確認した。

表 5-1 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値 (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③×④)
1	0.147	0.147	1.00	0.155	0.155
2	0.170	0.172	1.02	0.182	0.186
3	0.171	0.174	1.02	0.185	0.189
4	0.361	0.369	1.03	0.404	0.417
5	0.388	0.398	1.03	0.437	0.451
6	0.406	0.418	1.03	0.525	0.541
7	0.528	0.543	1.03	0.679	0.700
8	0.225	0.226	1.01	0.278	0.281

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③×④)
11	0.0499	0.0510	1.03	0.0633	0.0652
12	0.130	0.133	1.03	0.145	0.150
13	0.149	0.154	1.04	0.167	0.174
14	0.189	0.194	1.03	0.267	0.276
15	0.388	0.395	1.02	0.475	0.485
16	0.189	0.191	1.02	0.213	0.218

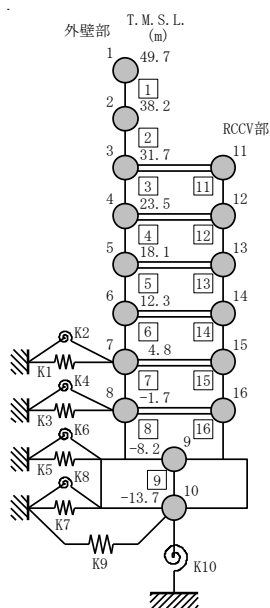


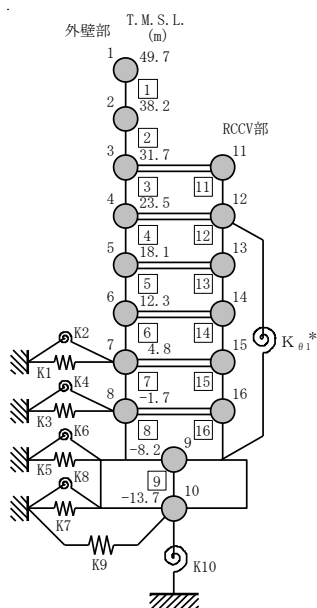
表 5-2 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値 (EW 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③ \times ④)
1	0.103	0.102	1.00	0.110	0.110
2	0.116	0.116	1.00	0.120	0.120
3	0.148	0.149	1.01	0.159	0.161
4	0.206	0.210	1.02	0.249	0.254
5	0.243	0.250	1.03	0.305	0.315
6	0.334	0.344	1.03	0.570	0.588
7	0.318	0.332	1.05	0.554	0.582
8	0.244	0.247	1.02	0.390	0.398

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③ \times ④)
11	0.0292	0.0298	1.03	0.0326	0.0336
12	0.0848	0.0863	1.02	0.103	0.106
13	0.0982	0.103	1.05	0.129	0.136
14	0.191	0.197	1.04	0.381	0.397
15	0.200	0.206	1.03	0.390	0.402
16	0.200	0.201	1.01	0.327	0.331



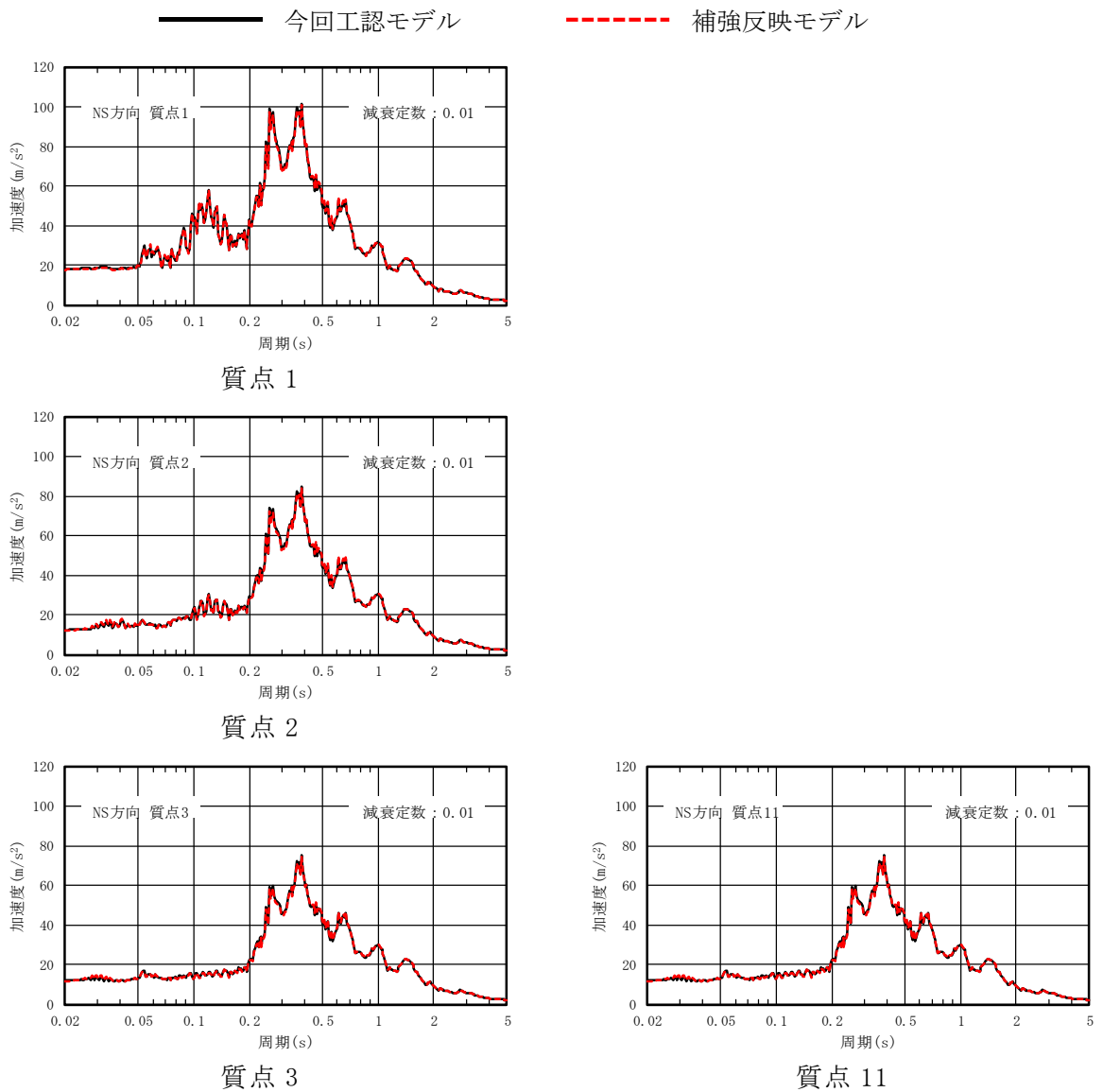
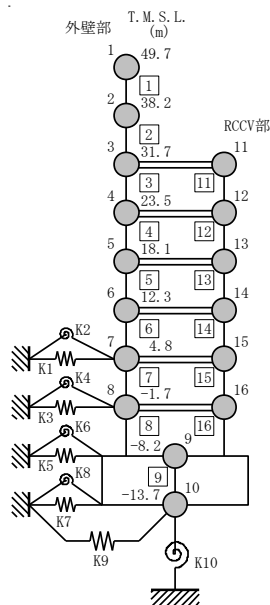


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



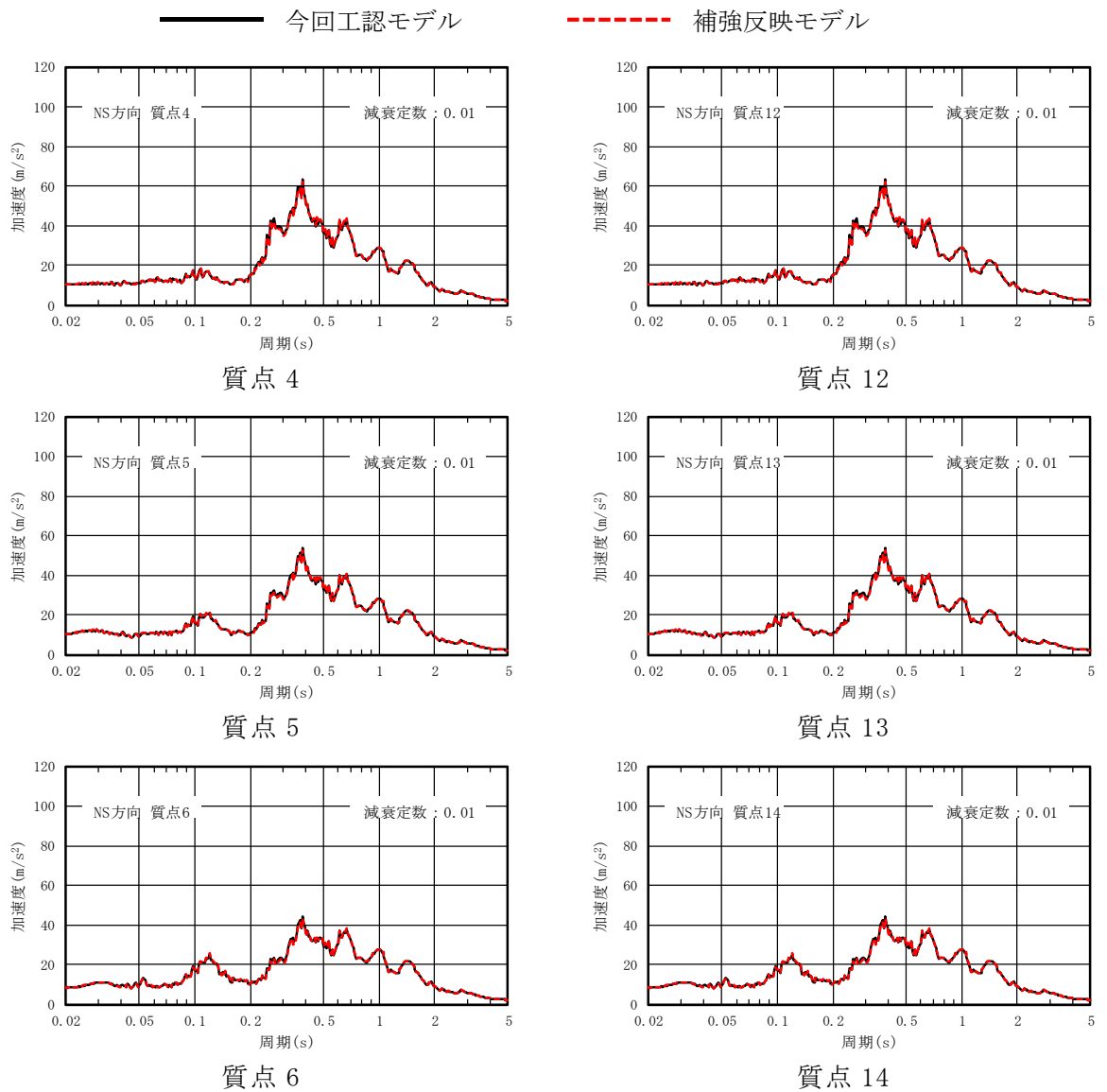
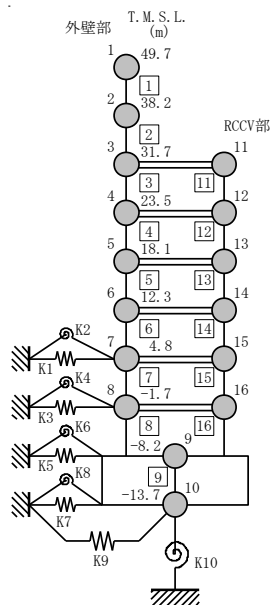


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



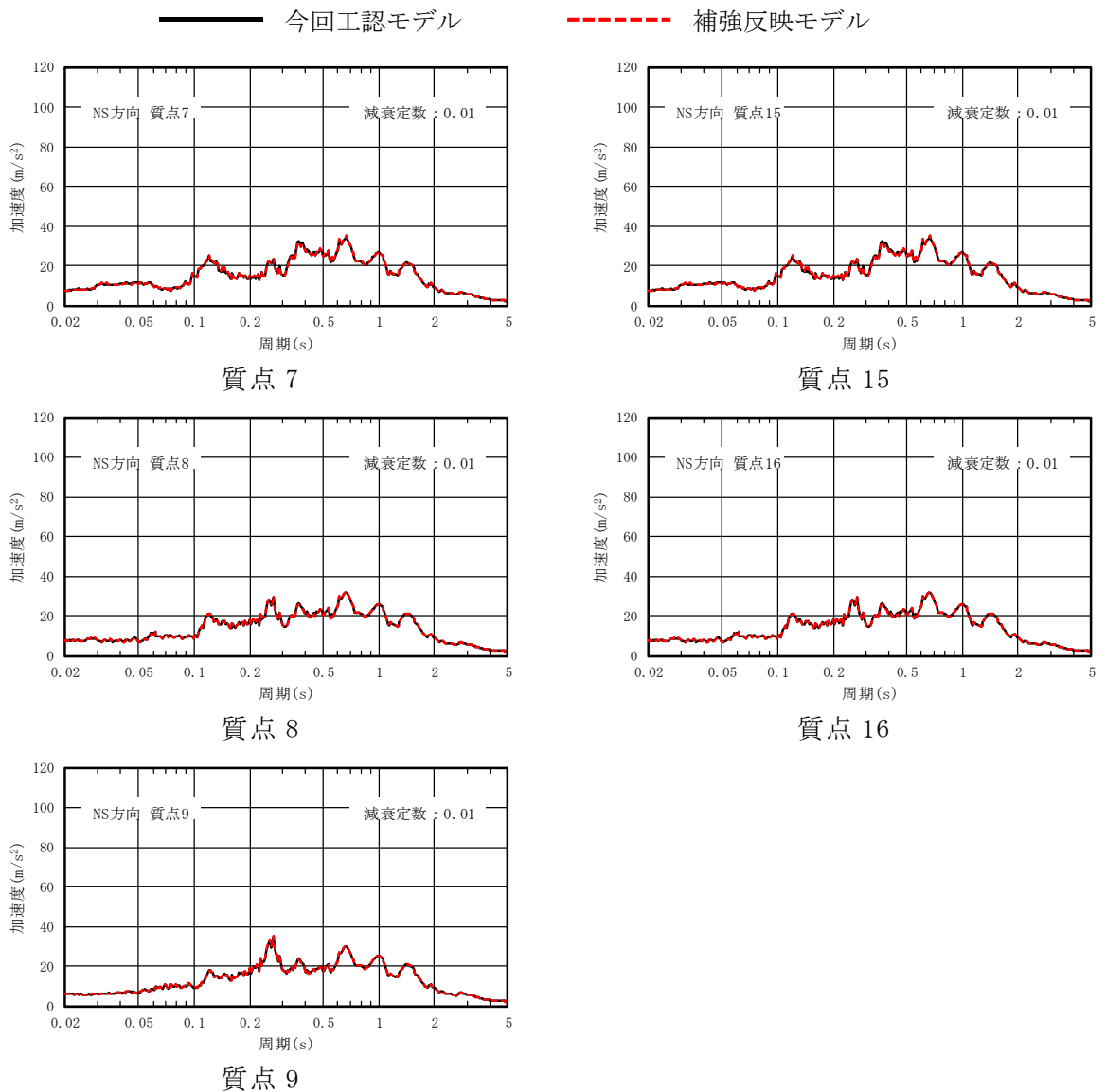
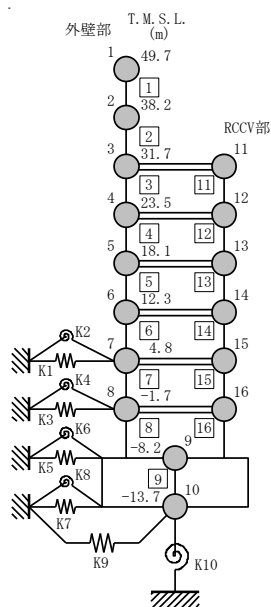


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



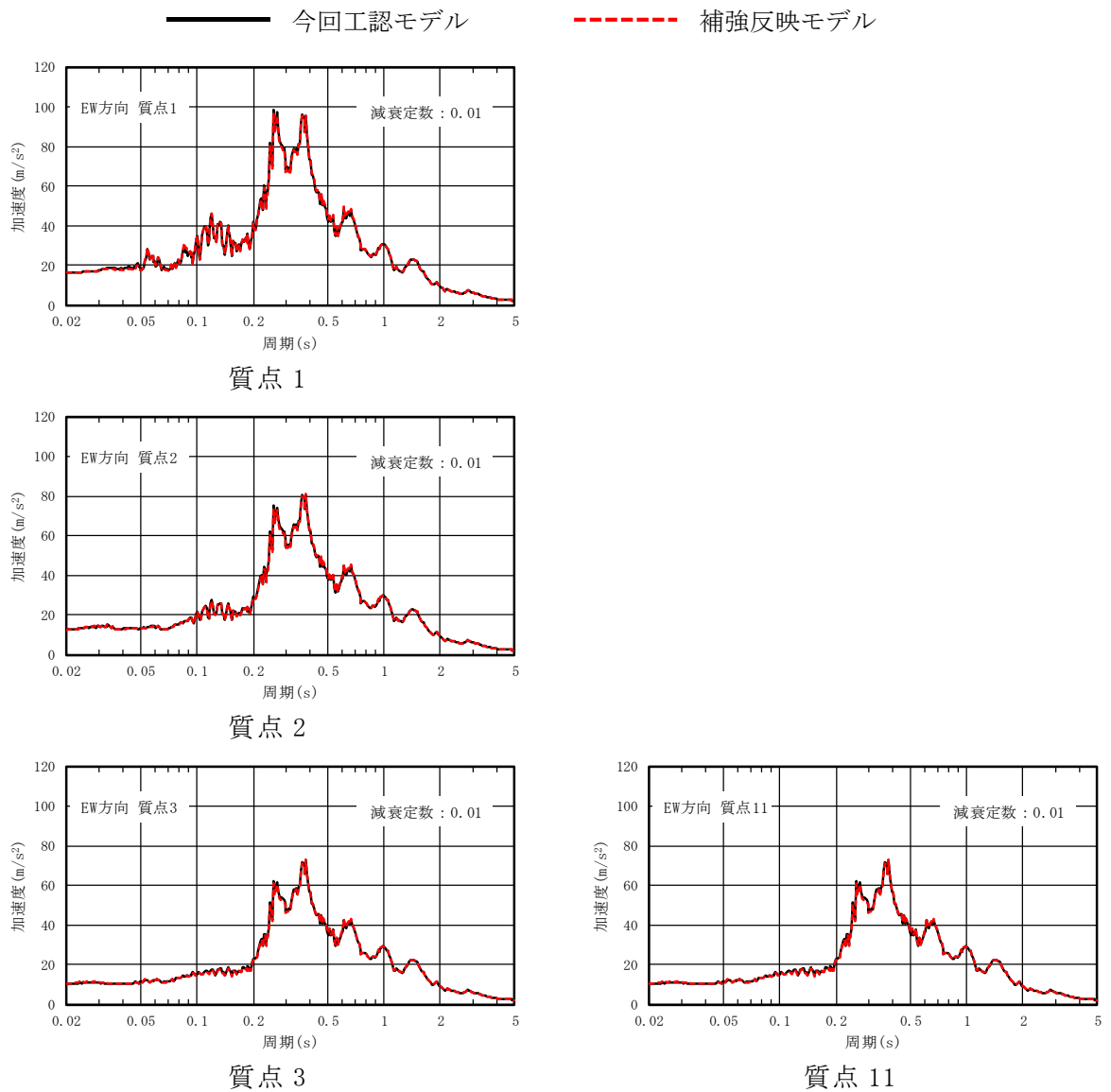
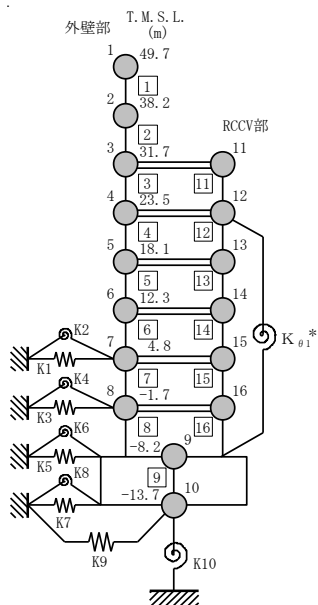


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



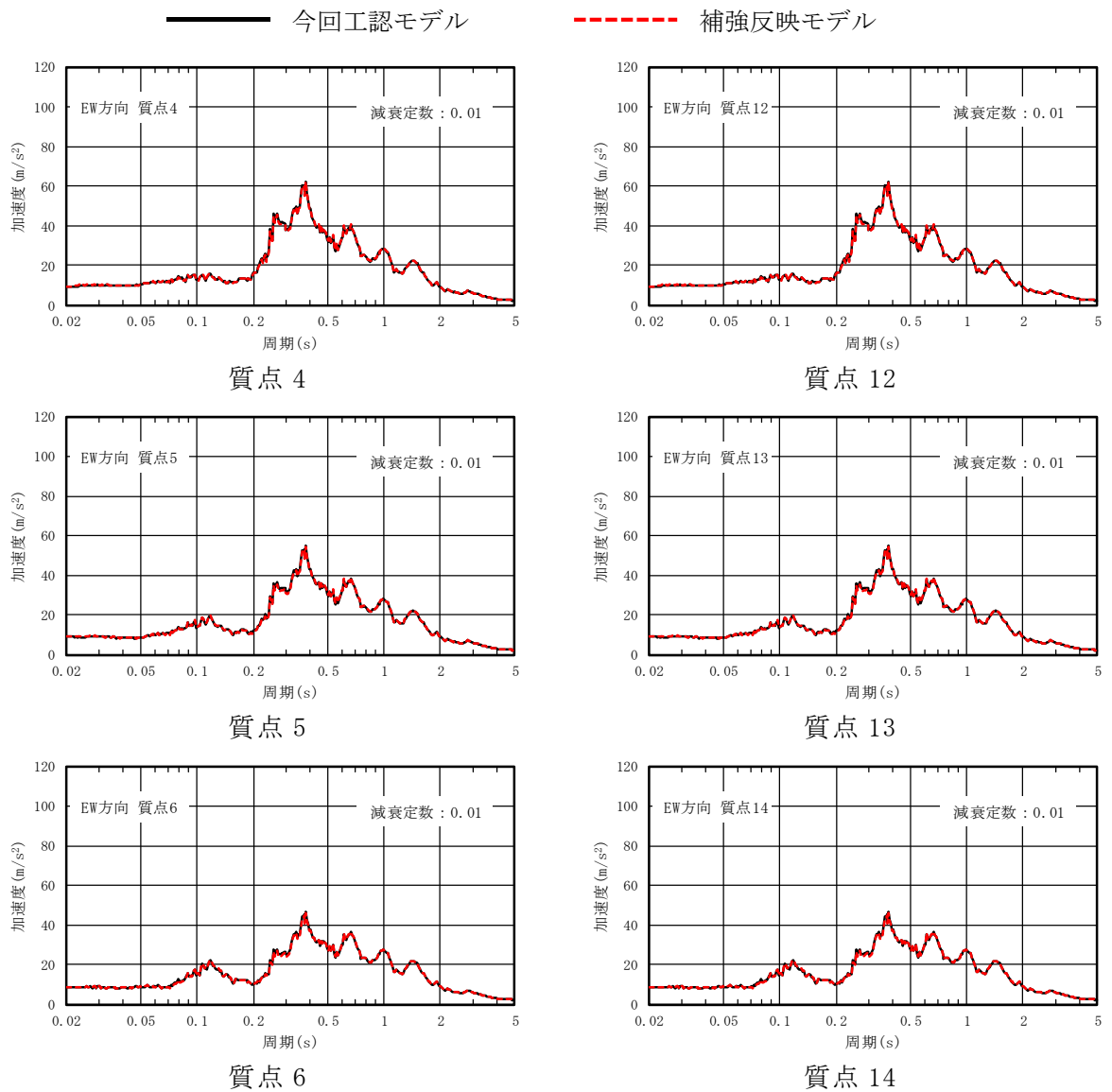
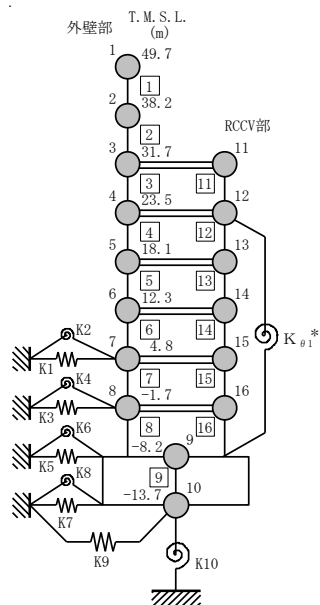


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



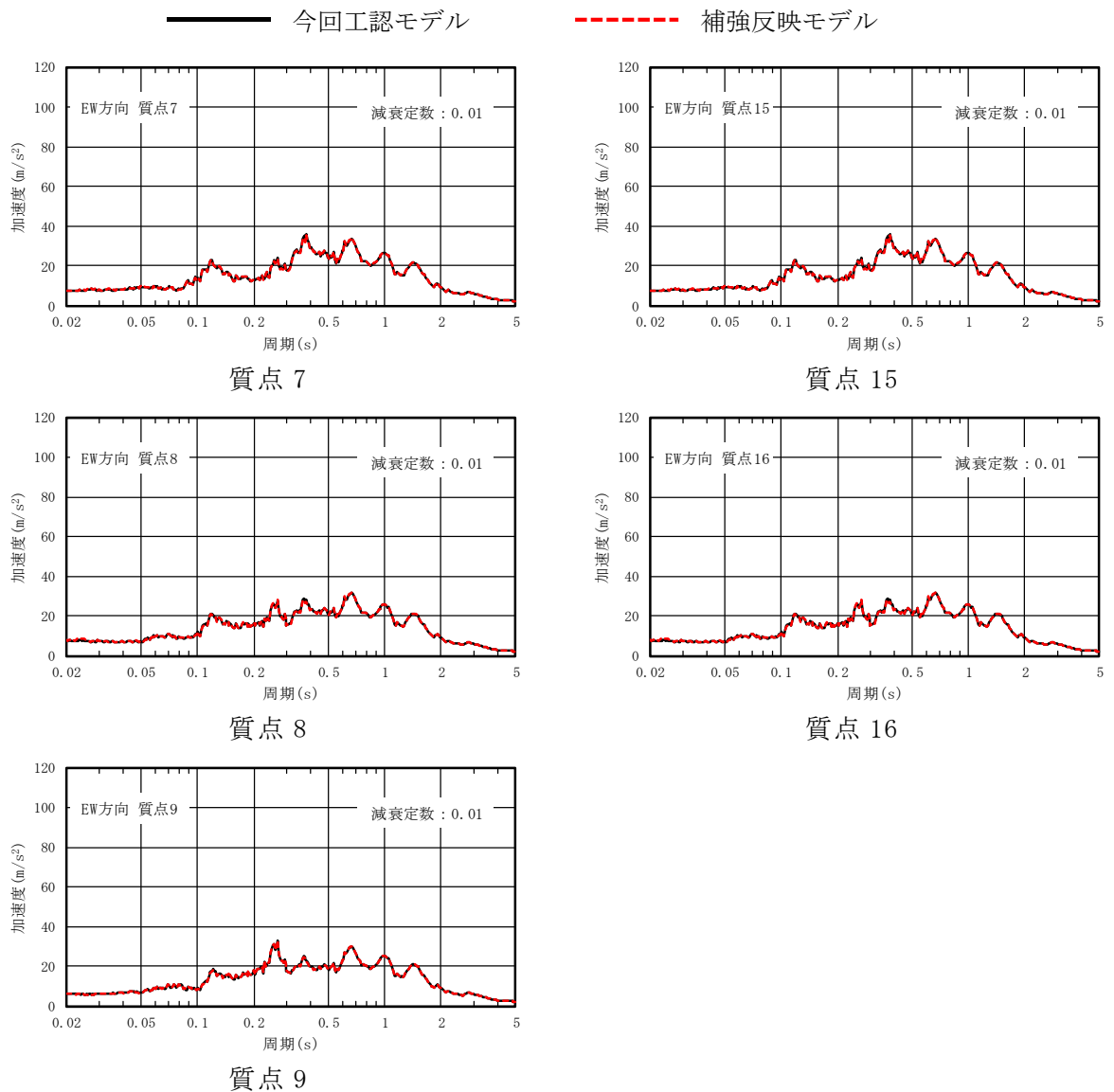
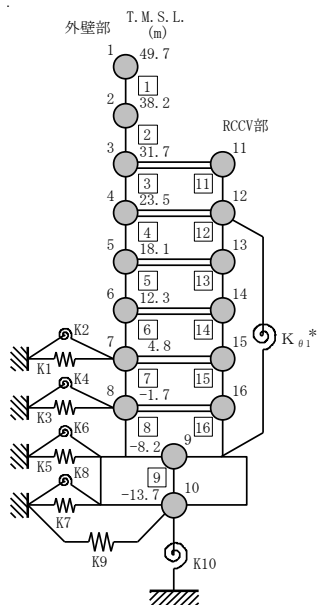
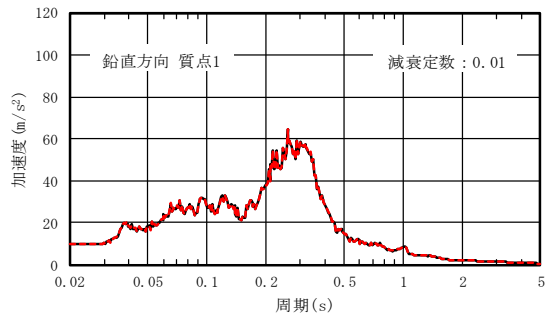


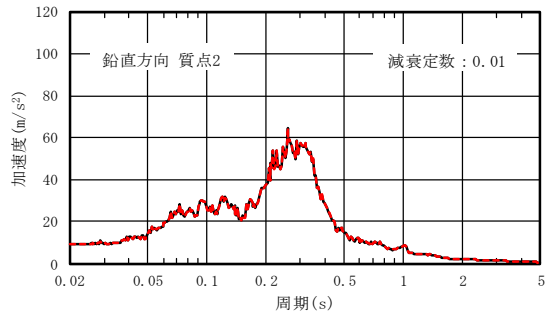
図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



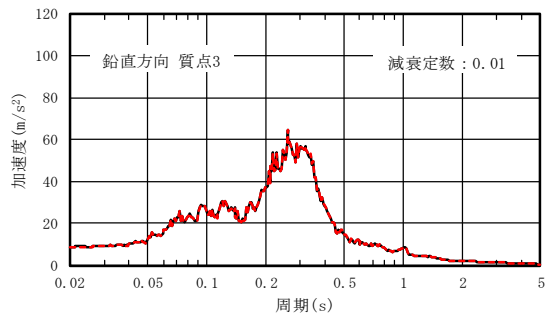
—— 今回工認モデル - - - - 補強反映モデル



質点 1

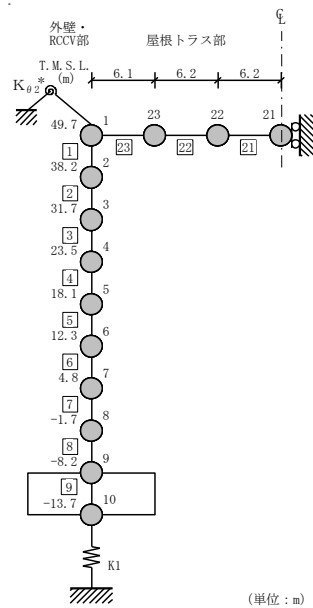


質点 2

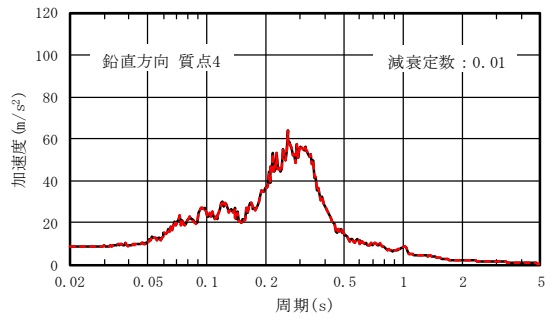


質点 3

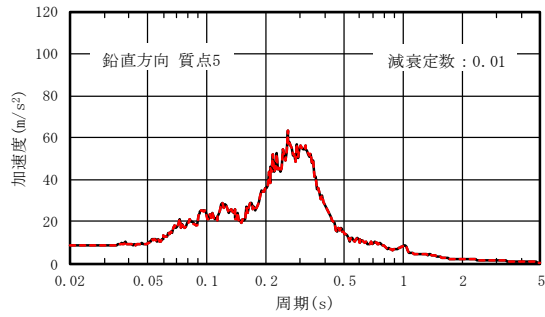
図 5-3 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, 鉛直方向, h=0.01) (1/3)



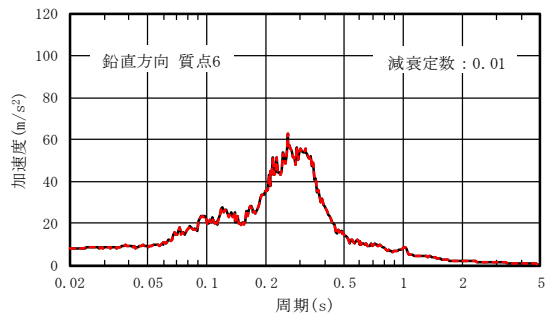
—— 今回工認モデル - - - - 補強反映モデル



質点 4

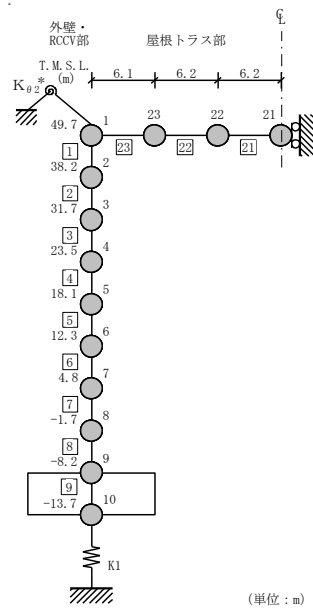


質点 5

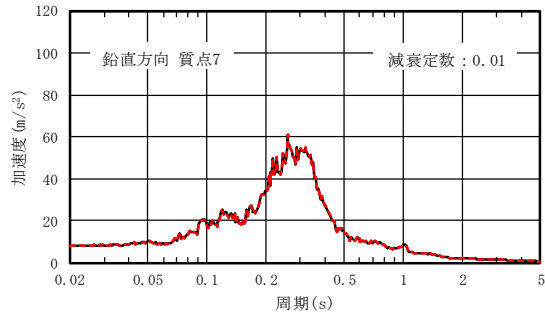


質点 6

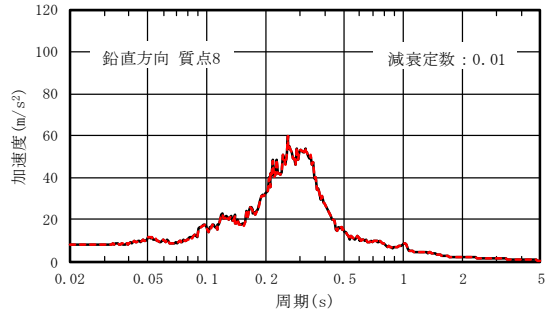
図 5-3 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, 鉛直方向, h=0.01) (2/3)



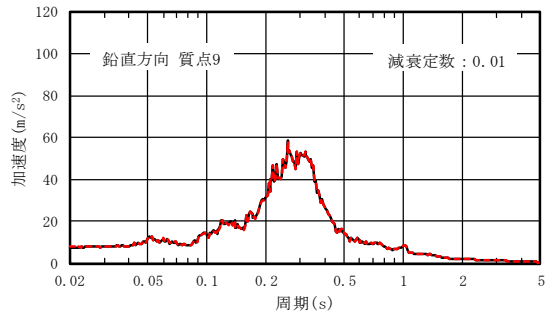
—— 今回工認モデル - - - - 補強反映モデル



質点 7

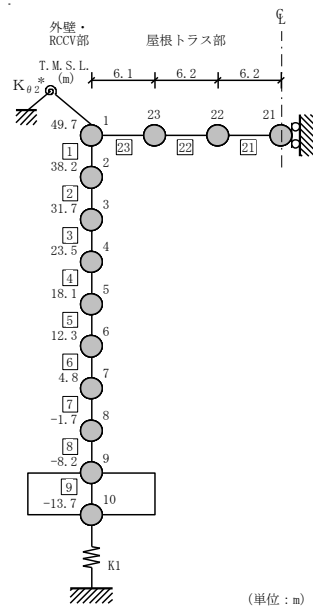


質点 8



質点 9

図 5-3 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, 鉛直方向, h=0.01) (3/3)



6. まとめ

補強等に伴う重量の増加分を考慮し、「補強反映モデル」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、「補強反映モデル」の固有周期は、重量を増加させた影響により「今回工認モデル」の結果に比べてわずかに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認し、最大応答値は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。さらに、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみ（材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する包絡値）に、基準地震動 Ss-1 に対する「補強反映モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「補強反映モデル」／「今回工認モデル」）の最大値を乗じた値が許容限界を超えないことを確認した。

別紙9 原子炉建屋の地震応答解析における
補助壁の曲げ変形について

目 次

1. 概要	別紙 9-1
2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認	別紙 9-2
3. 検討方針	別紙 9-6
4. 検討条件	別紙 9-7
4.1 補助壁の等価せん断剛性	別紙 9-7
4.2 解析モデル	別紙 9-10
5. 検討結果	別紙 9-16
5.1 固有値解析結果	別紙 9-16
5.2 最大応答値	別紙 9-18
6. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響	別紙 9-28
6.1 せん断ひずみに対する影響	別紙 9-28
6.2 床応答に対する影響	別紙 9-28
7. 補助壁の評価	別紙 9-35
8. まとめ	別紙 9-40

別紙 9-1 補助壁個材の曲げ剛性を考慮した地震応答解析

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析における補助壁の曲げ変形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。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に対し補助壁の剛性を考慮したモデルでの地震応答解析結果と観測記録を比較している。この補助壁の剛性を考慮したモデルにおいては、補助壁の曲げ変形は考慮していない。図2-1及び図2-2に示すとおり、補助壁の剛性を考慮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。

以上のことから、補助壁の曲げ変形を考慮していない状態で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。

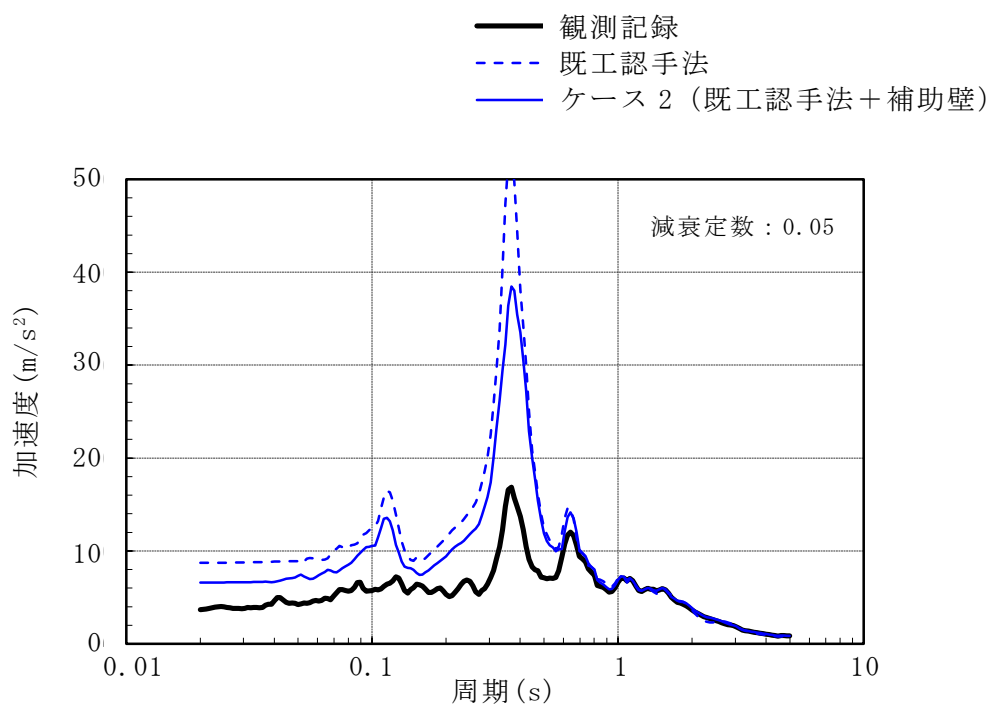
なお、次章以降で仮に今回工認モデルに対して補助壁の曲げ変形を考慮した場合の影響について確認する。

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）

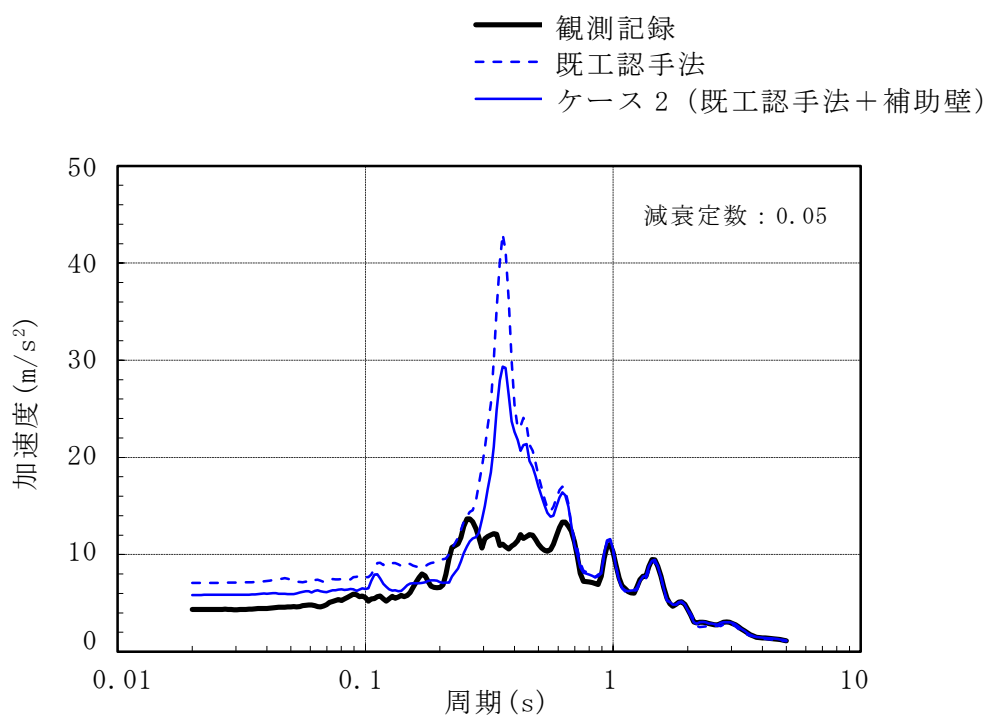
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

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/mm²（500kgf/cm²））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/mm²（440kgf/cm²））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。

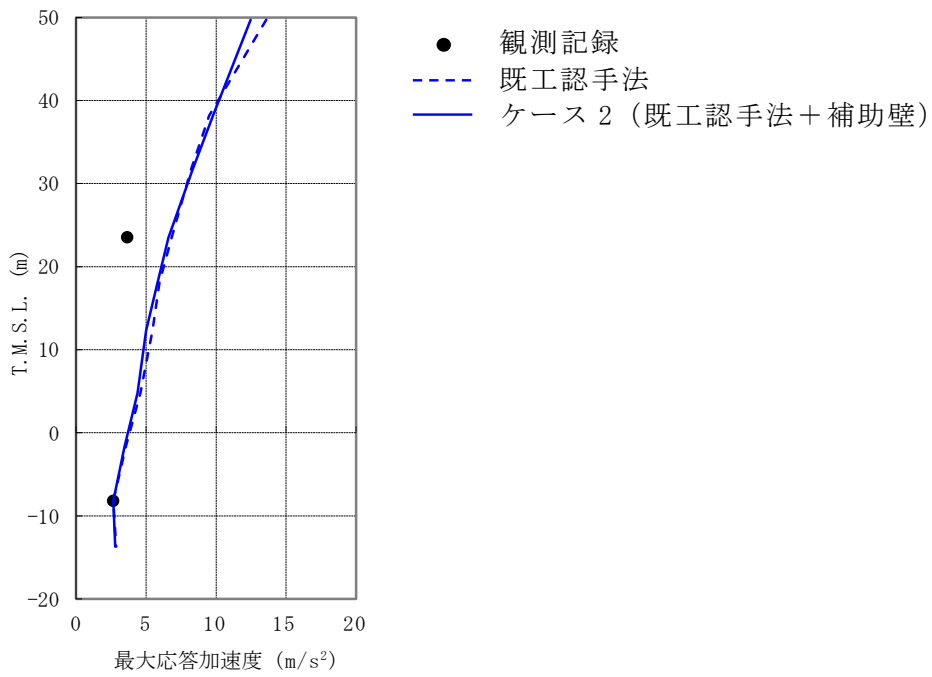


(a) NS方向

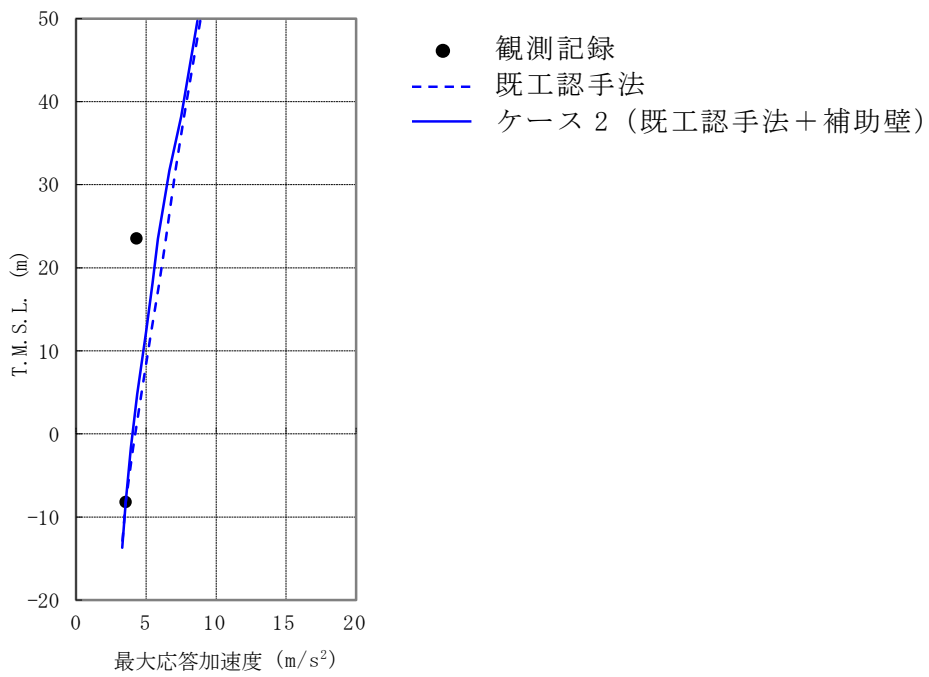


(b) EW方向

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 3-7 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 3-8 再掲)

3. 検討方針

今回工認モデルと補助壁のせん断剛性に曲げ変形を考慮した等価せん断剛性を用いたモデル（以下、「等価剛性モデル」という。）を比較することにより、補助壁の曲げ変形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 S_s-1 に対して実施することとする。

4. 検討条件

4.1 補助壁の等価せん断剛性

補助壁の等価せん断剛性は、下式のとおり算定する。補助壁に曲げ変形を考慮することで変更となる等価剛性モデルのせん断断面積を表 4-1 及び表 4-2 に示す。なお、補助壁に曲げ変形を考慮することにより今回工認モデルから変更となる諸元はせん断断面積のみである。

$$K_e = \frac{G \cdot A_e}{h} = \frac{1}{\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_I}}$$

$$K_s = \frac{G \cdot A_s}{h}$$

$$K_I = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3}$$

$$I = \sum \left(\frac{t \cdot L^3}{12} + t \cdot L \cdot e^2 \right)$$

- ここで、 K_e : 層全体の補助壁の等価せん断剛性
 K_s : 層全体の補助壁のせん断剛性
 K_I : 層全体の補助壁の曲げ剛性
 A_e : 層全体の補助壁の等価せん断断面積
 A_s : 層全体の補助壁のせん断断面積
 I : 層全体の補助壁の建屋中心軸回りの断面二次モーメント
 E : ヤング係数
 G : せん断弾性係数
 h : 階高
 t : 補助壁個材の壁厚
 L : 補助壁個材の長さ
 e : 補助壁個材の図心の建屋中心軸からの距離

表 4-1 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	41.0	0.0	41.0	41.0	0.0	41.0
38.2 ~ 31.7	83.0	0.0	83.0	83.0	0.0	83.0
31.7 ~ 23.5	117.4	70.6	188.0	117.4	67.7	185.1
23.5 ~ 18.1	119.0	13.5	132.5	119.0	13.5	132.5
18.1 ~ 12.3	120.2	29.2	149.4	120.2	29.0	149.2
12.3 ~ 4.8	164.9	15.6	180.5	164.9	15.4	180.3
4.8 ~ -1.7	181.2	2.0	183.2	181.2	2.0	183.2
-1.7 ~ -8.2	192.4	31.1	223.5	192.4	30.9	223.3

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	5.2	119.6	114.4	5.1	119.5
23.5 ~ 18.1	95.5	17.5	113.0	95.5	17.5	113.0
18.1 ~ 12.3	95.6	42.0	137.6	95.6	41.9	137.5
12.3 ~ 4.8	97.0	42.2	139.2	97.0	41.8	138.8
4.8 ~ -1.7	100.4	32.0	132.4	100.4	31.9	132.3
-1.7 ~ -8.2	144.8	41.6	186.4	144.8	41.4	186.2

表 4-2 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	54.7	0.0	54.7	54.7	0.0	54.7
38.2 ~ 31.7	122.9	0.0	122.9	122.9	0.0	122.9
31.7 ~ 23.5	153.3	19.4	172.7	153.3	19.2	172.5
23.5 ~ 18.1	111.8	20.0	131.8	111.8	19.9	131.7
18.1 ~ 12.3	131.5	35.2	166.7	131.5	35.1	166.6
12.3 ~ 4.8	178.8	0.5	179.3	178.8	0.5	179.3
4.8 ~ -1.7	190.8	20.7	211.5	190.8	20.5	211.3
-1.7 ~ -8.2	202.6	56.9	259.5	202.6	56.6	259.2

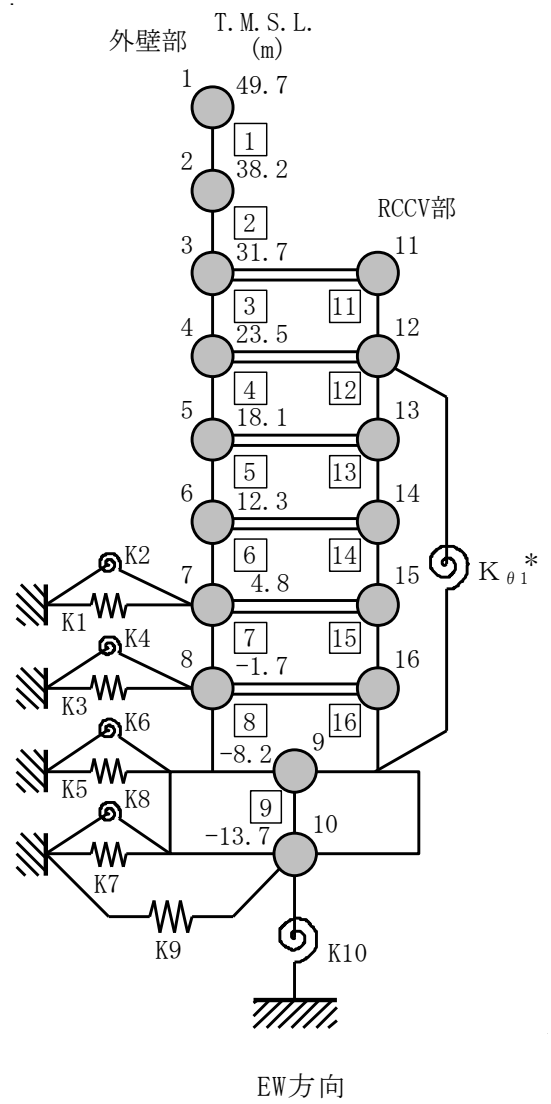
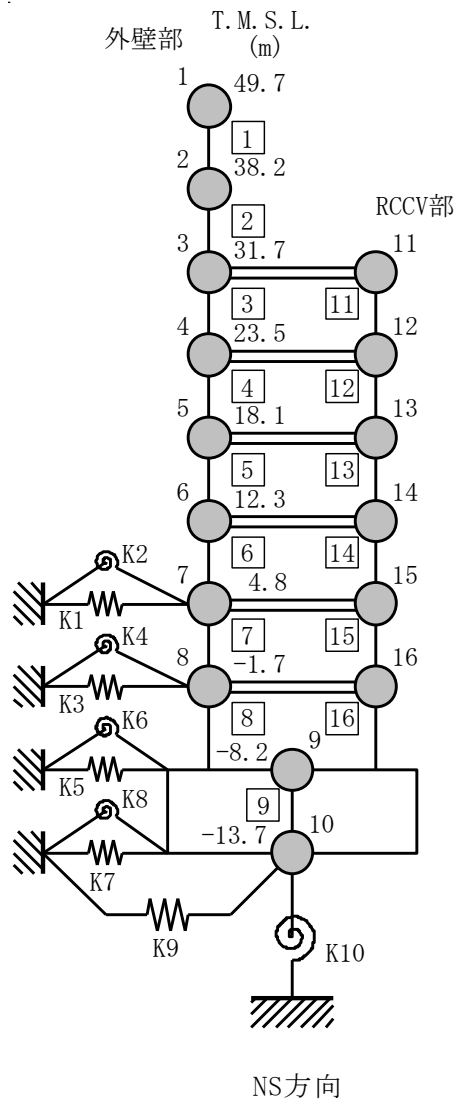
(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	104.6	219.0	114.4	104.0	218.4
23.5 ~ 18.1	95.5	127.3	222.8	95.5	127.0	222.5
18.1 ~ 12.3	97.4	110.0	207.4	97.4	109.5	206.9
12.3 ~ 4.8	97.0	55.1	152.1	97.0	54.7	151.7
4.8 ~ -1.7	97.4	82.7	180.1	97.4	82.2	179.6
-1.7 ~ -8.2	141.0	23.4	164.4	141.0	23.3	164.3

4.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図4-1に、せん断スケルトンを表4-3及び表4-4に示す。

なお、補助壁の曲げ変形を考慮することにより「5.1 固有値解析結果」で示す固有値解析結果へ与える影響は小さく、地盤ばねの定数化振動数への影響がないため、地盤ばねは今回工認モデルと同一とする。また、補助壁の曲げ変形を考慮することによる曲げスケルトンへの影響はないため、曲げスケルトンは今回工認モデルと同一とする。



注記* : RCCV 回転ばね

図 4-1 地震応答解析モデル

表 4-3 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) 等価剛性モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.44	0.204	3.00	0.630	4.92	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.45	4.00
B1F	2.62	0.219	3.48	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.225	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.02	0.567	6.89	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.43	0.203	3.04	0.626	6.42	4.00
B2F	2.47	0.207	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.46	0.205	3.15	0.589	5.74	4.00

表 4-3 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.42	0.202	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.47	0.206	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.45	0.205	3.14	0.589	5.73	4.00

表 4-4 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) 等価剛性モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.29	0.634	6.14	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.24	4.00
1F	2.48	0.207	3.19	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.216	3.31	0.673	6.61	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.24	0.187	2.65	0.567	4.77	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.83	4.00
1F	2.29	0.191	2.69	0.605	5.33	4.00
B1F	2.41	0.202	2.97	0.626	6.18	4.00
B2F	2.42	0.202	2.91	0.650	5.40	4.00
B3F	2.46	0.206	3.22	0.563	6.43	4.00

表 4-4 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.23	0.187	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.28	0.191	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.41	0.201	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.41	0.201	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.46	0.206	3.21	0.563	6.42	4.00

5. 検討結果

5.1 固有値解析結果

等価剛性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。

等価剛性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	等価剛性モデル	今回工認モデル	等価剛性モデル
1	0.439	0.439	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	12.96

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	等価剛性モデル	今回工認モデル	等価剛性モデル
1	0.429	0.429	2.33	2.33
2	0.191	0.191	5.23	5.23
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。

等価剛性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。

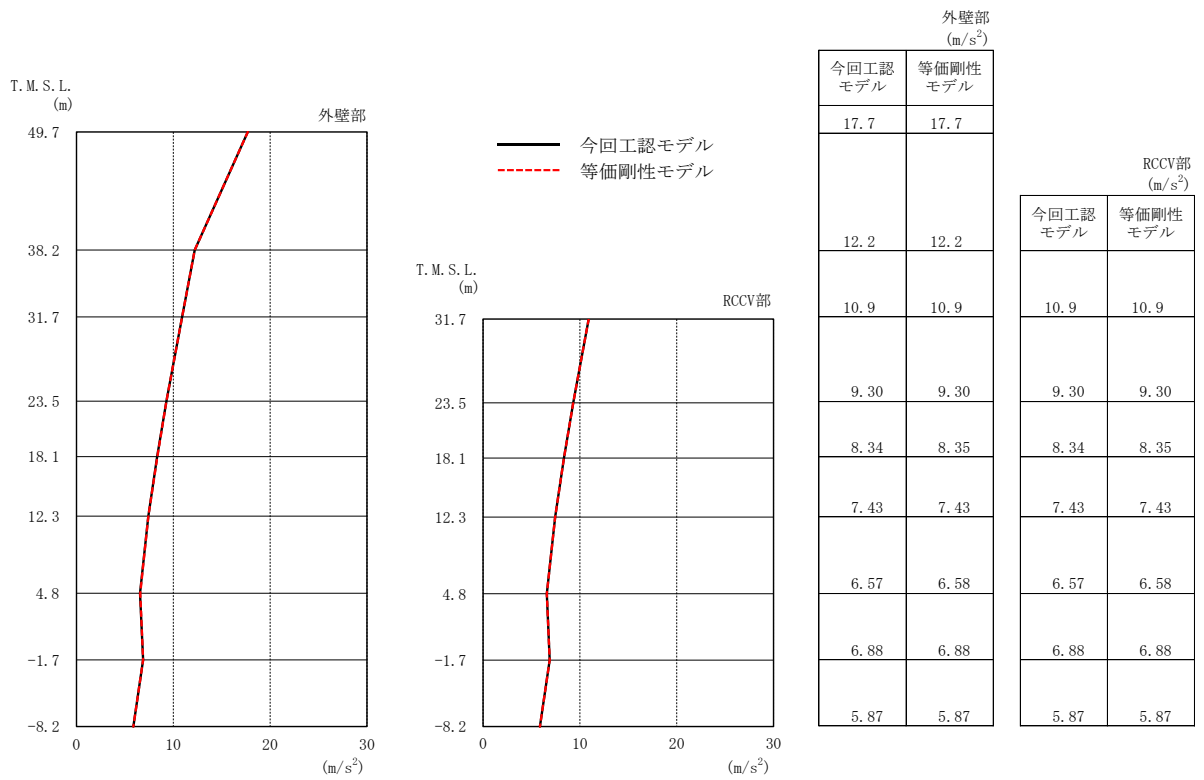
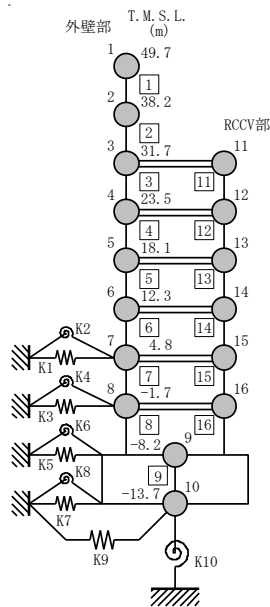


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



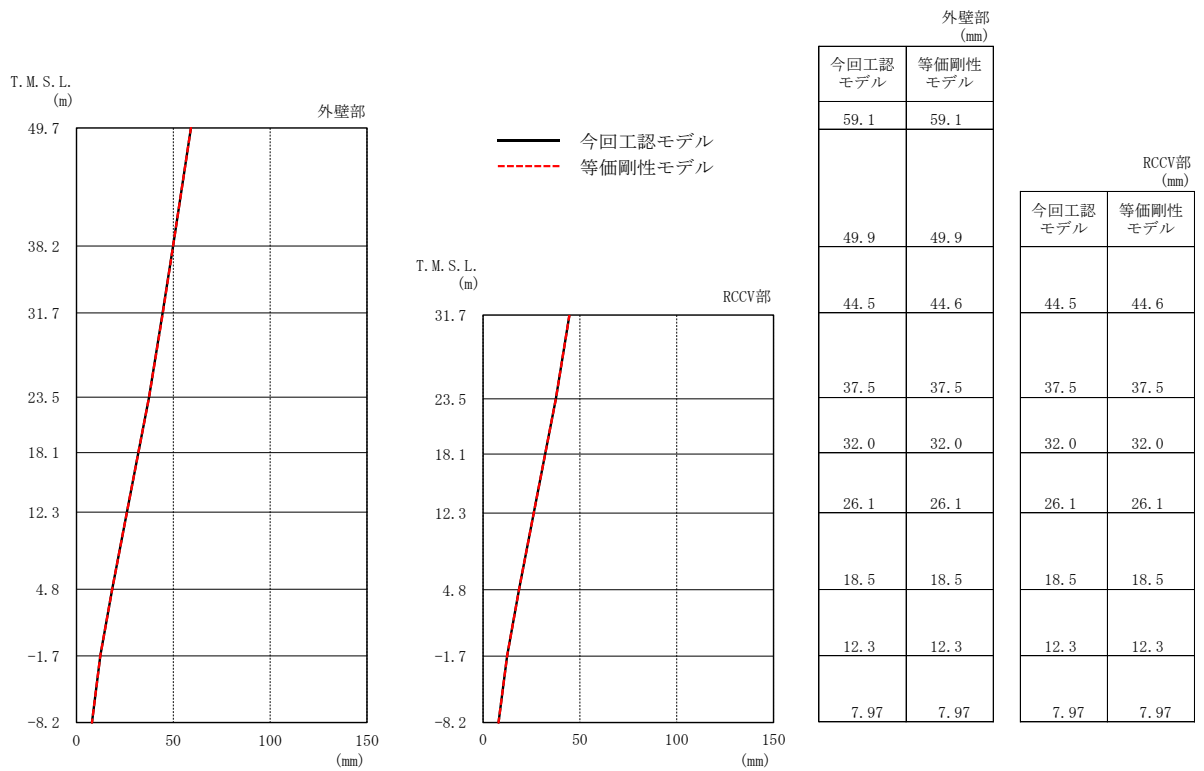
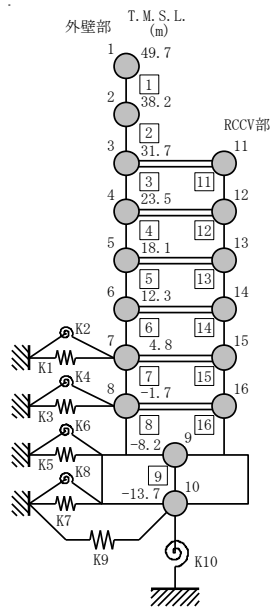


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



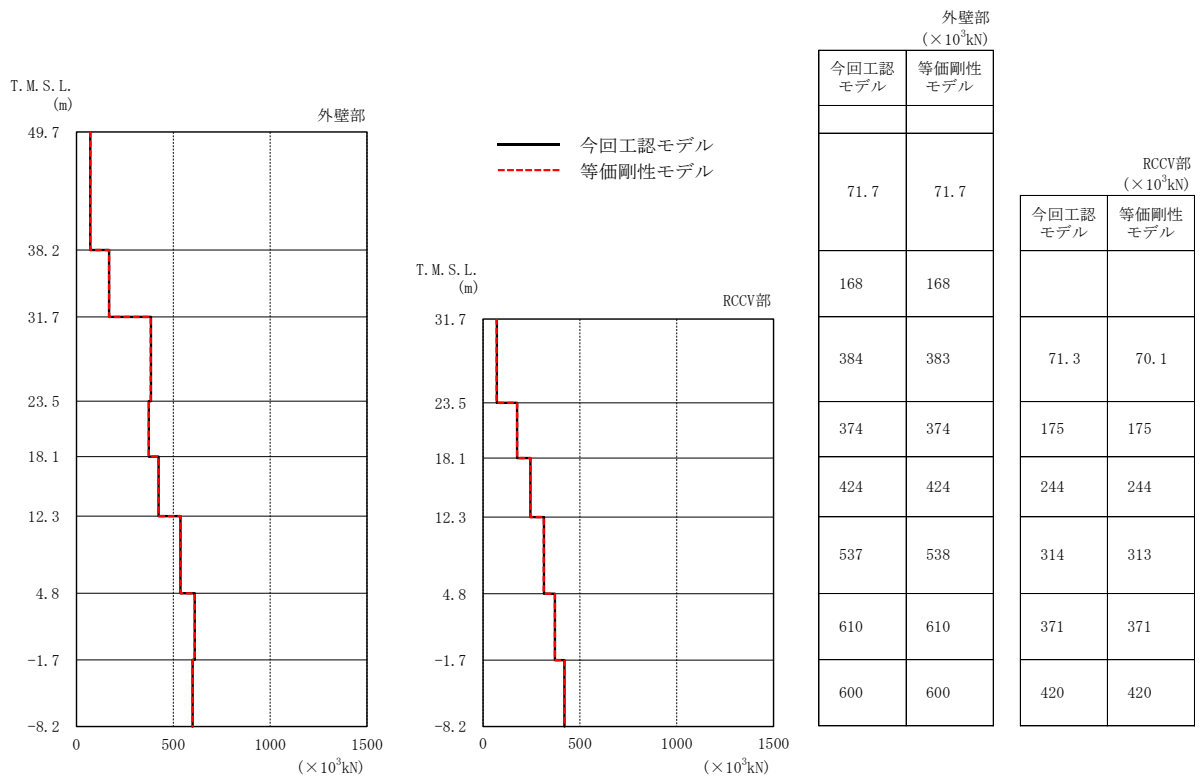
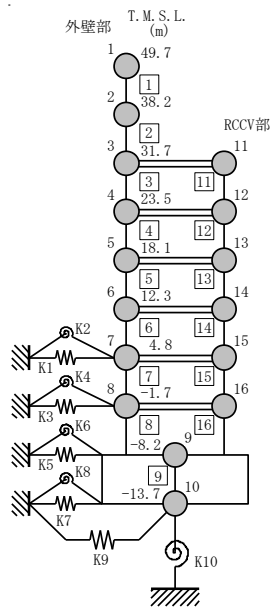


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



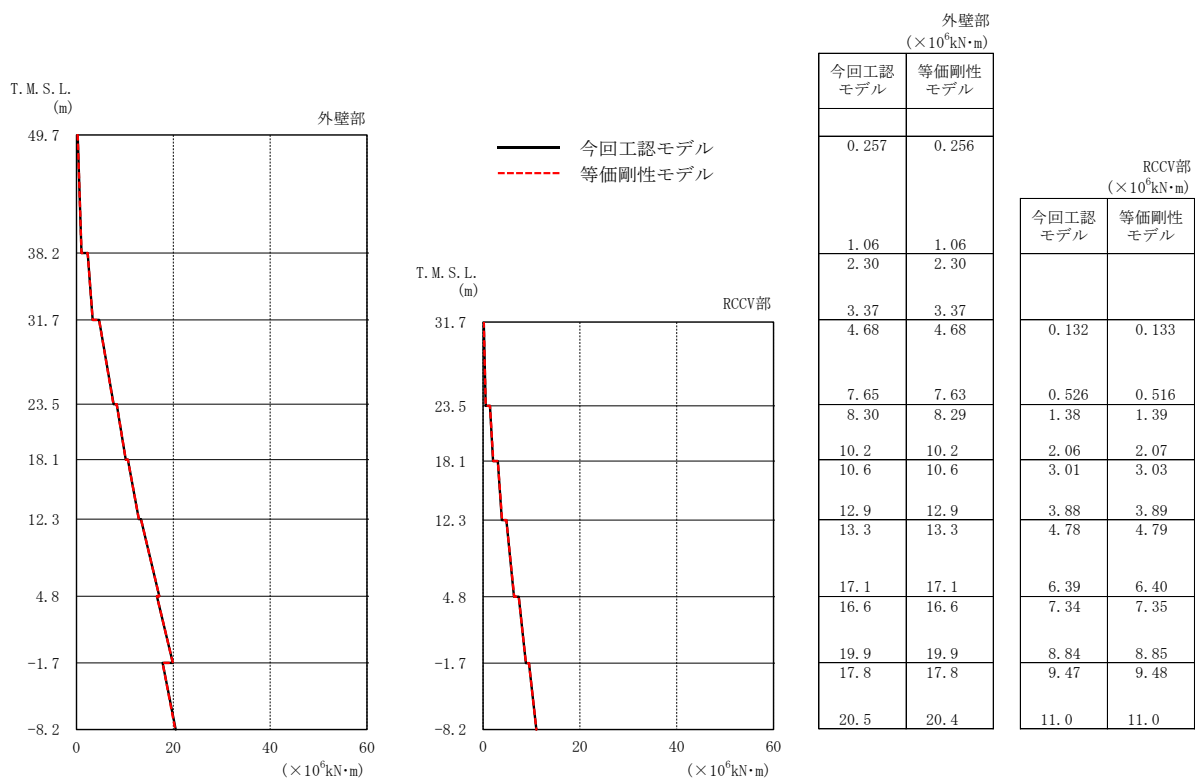
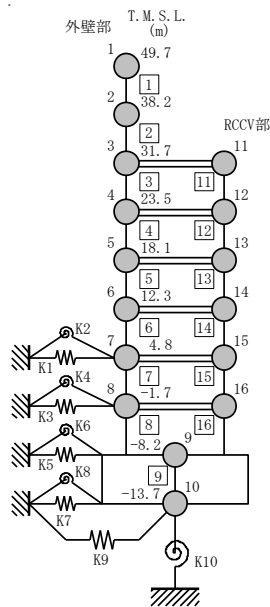


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



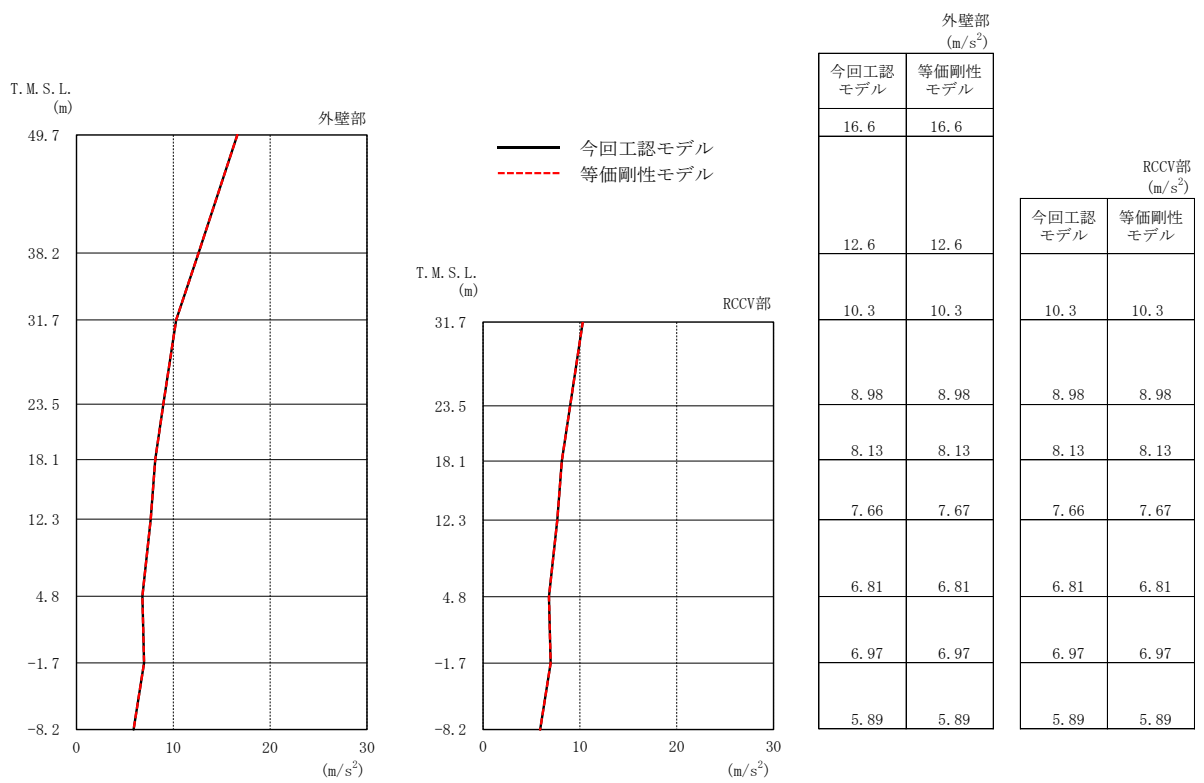
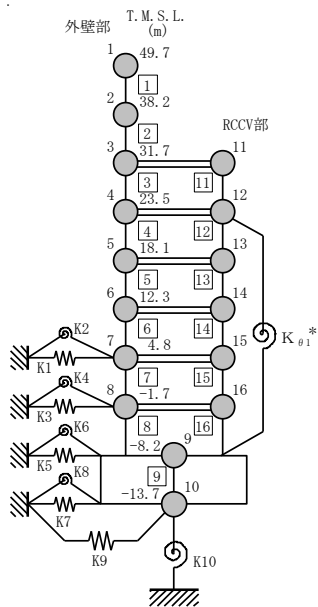


図 5-5 最大応答加速度 (S_{s-1} , EW 方向)



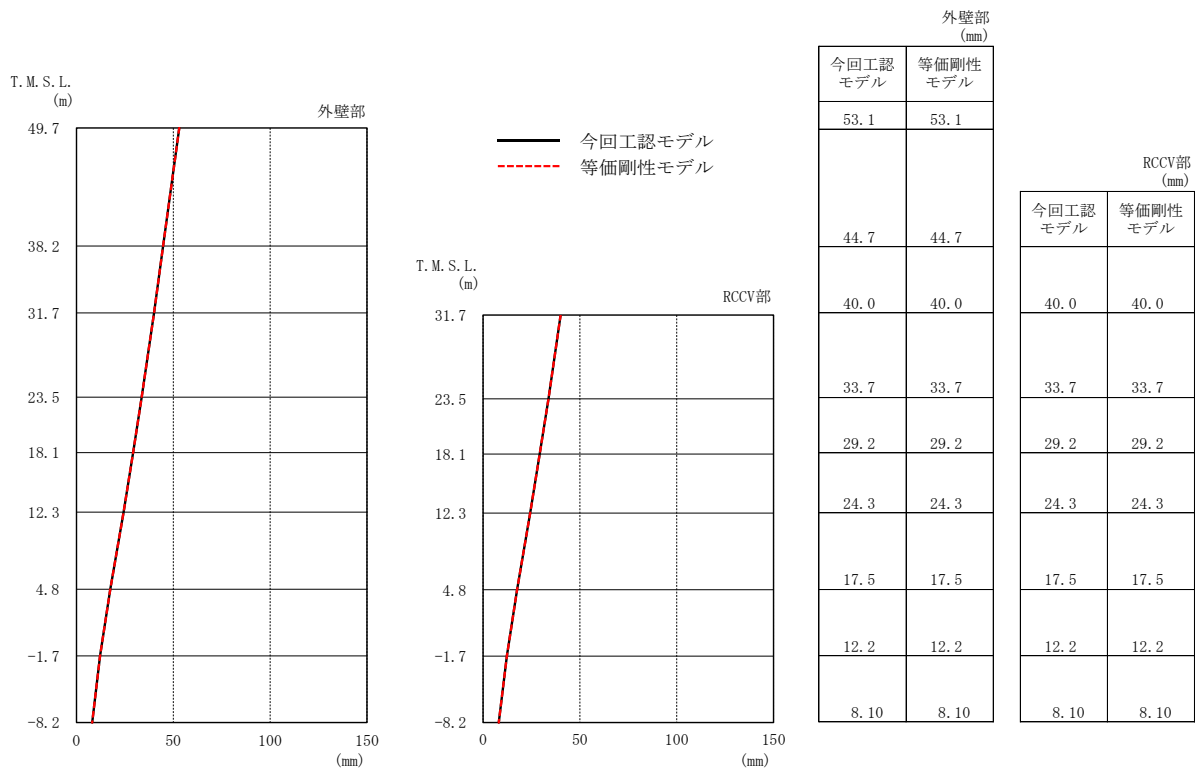
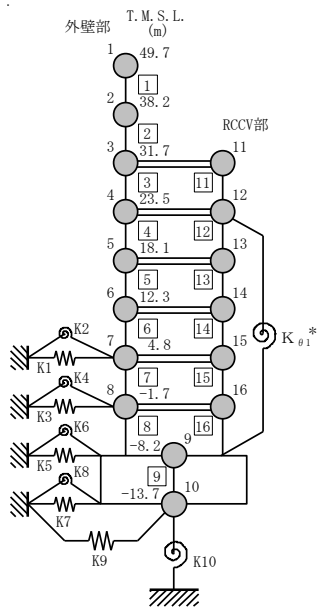


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



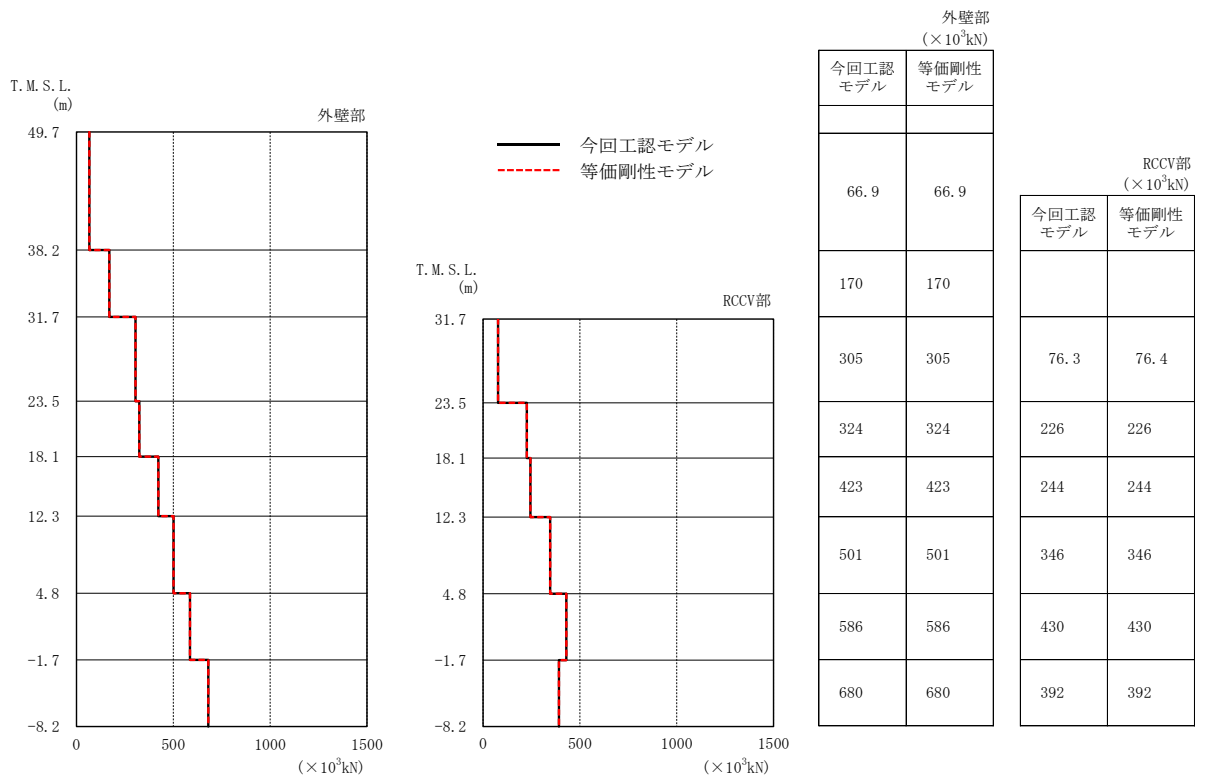
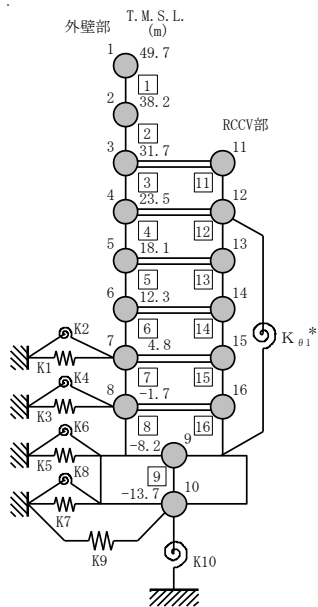


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



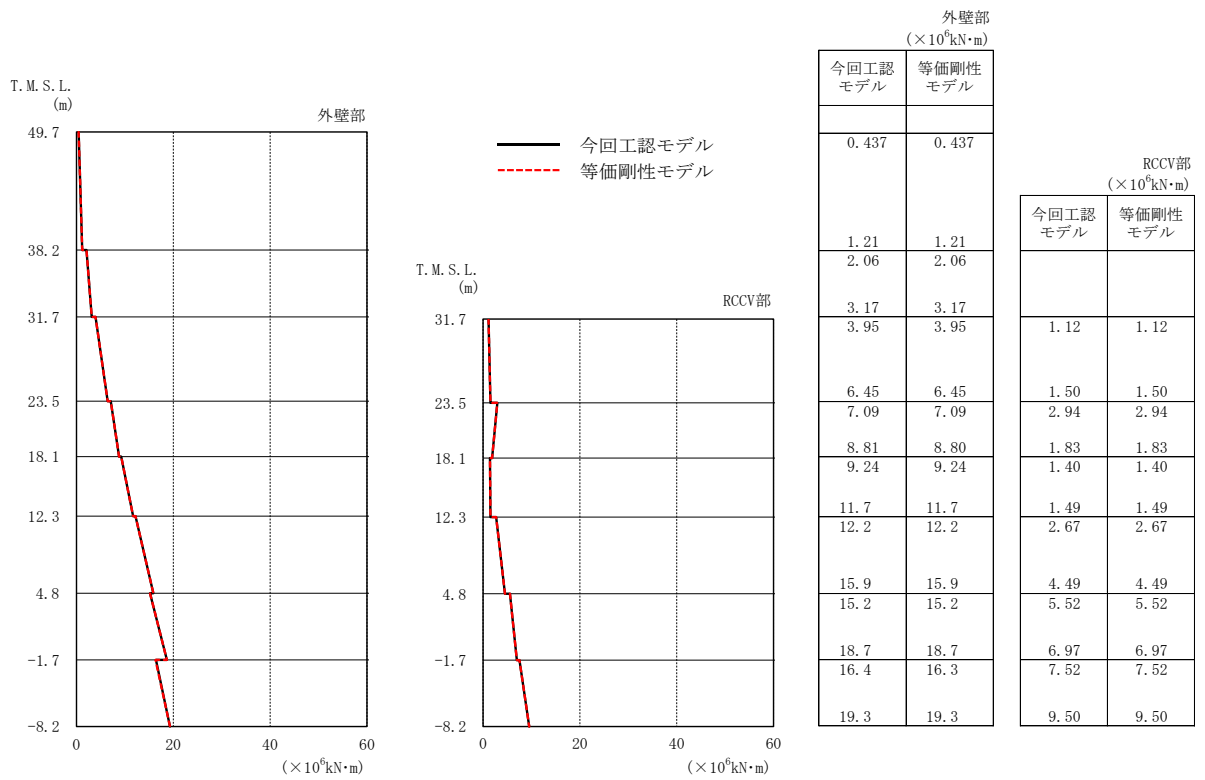


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

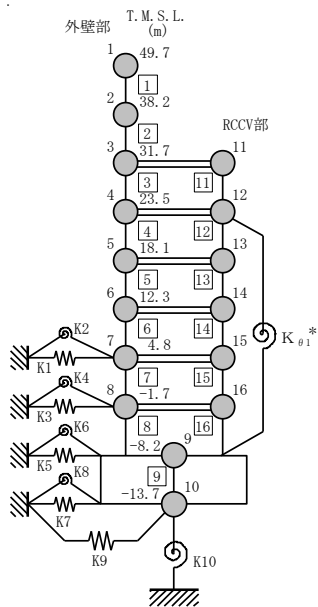


表 5-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(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	等価剛性 モデル
1	0.147	0.147
2	0.170	0.170
3	0.171	0.173
4	0.361	0.362
5	0.388	0.389
6	0.406	0.407
7	0.528	0.528
8	0.225	0.225

(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	等価剛性 モデル
11	0.0499	0.0491
12	0.130	0.130
13	0.149	0.149
14	0.189	0.189
15	0.388	0.388
16	0.189	0.189

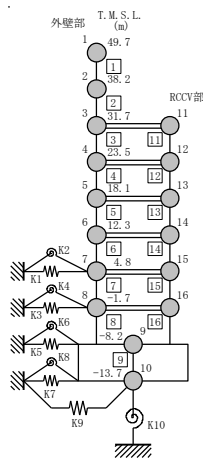
表 5-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

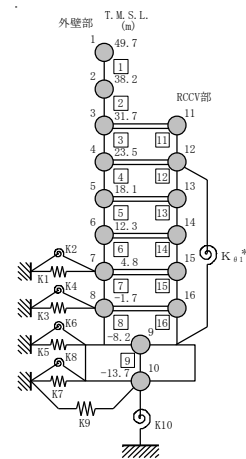
部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認 モデル	等価剛性 モデル
1	0.103	0.103
2	0.116	0.116
3	0.148	0.148
4	0.206	0.206
5	0.243	0.244
6	0.334	0.334
7	0.318	0.319
8	0.244	0.244

(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	等価剛性 モデル
11	0.0292	0.0293
12	0.0848	0.0849
13	0.0982	0.0985
14	0.191	0.191
15	0.200	0.200
16	0.200	0.200



NS 方向



EW 方向

6. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

等価剛性モデルの地震応答解析結果を踏まえ、補助壁の曲げ変形が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

6.1 せん断ひずみに対する影響

表 5-2 及び表 5-3 に示すとおり、等価剛性モデルの最大せん断ひずみは 0.528×10^{-3} (NS 方向, 外壁部) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

6.2 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等価剛性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、等価剛性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。

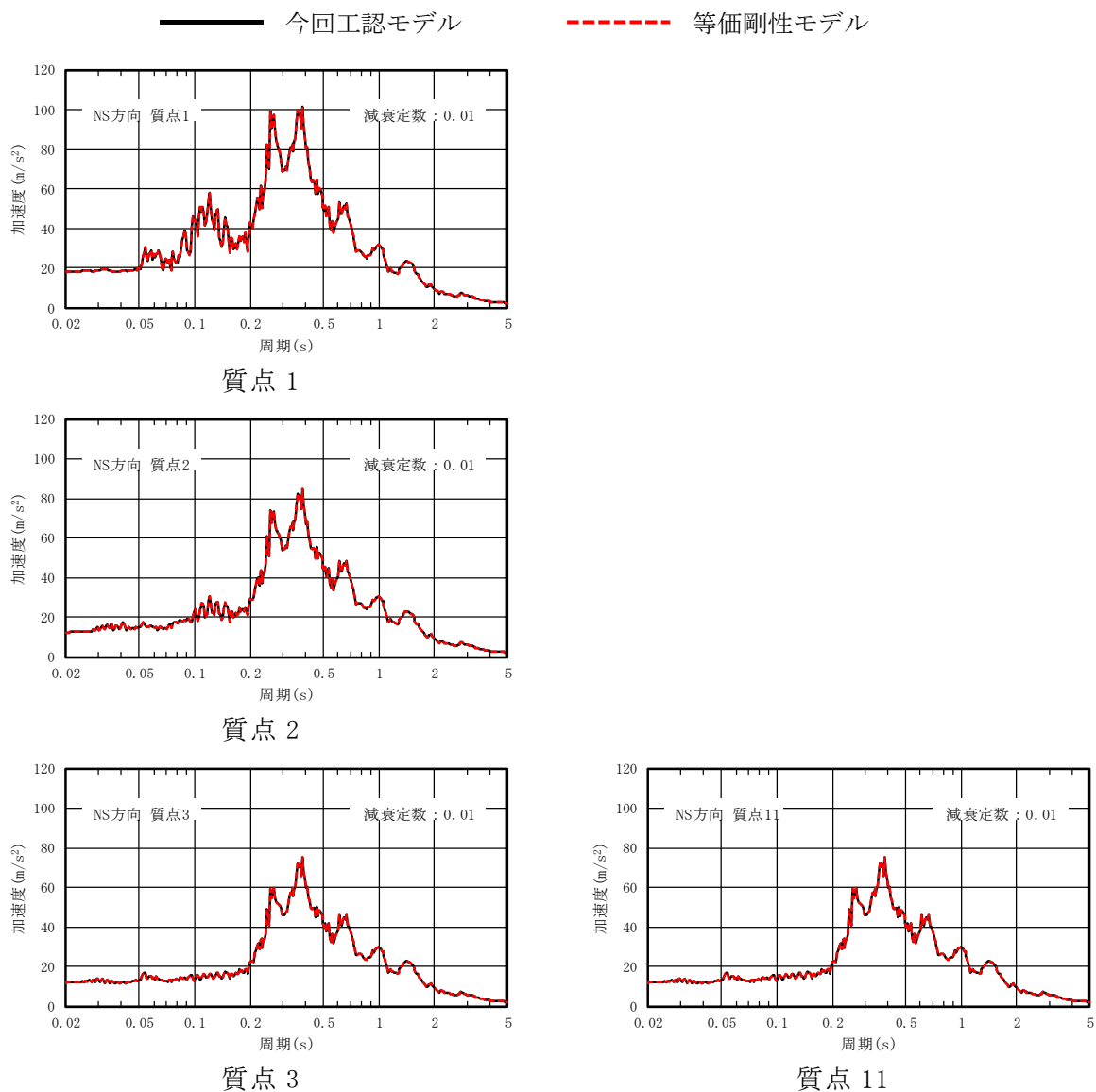
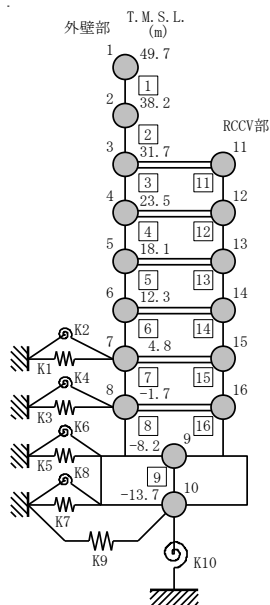


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



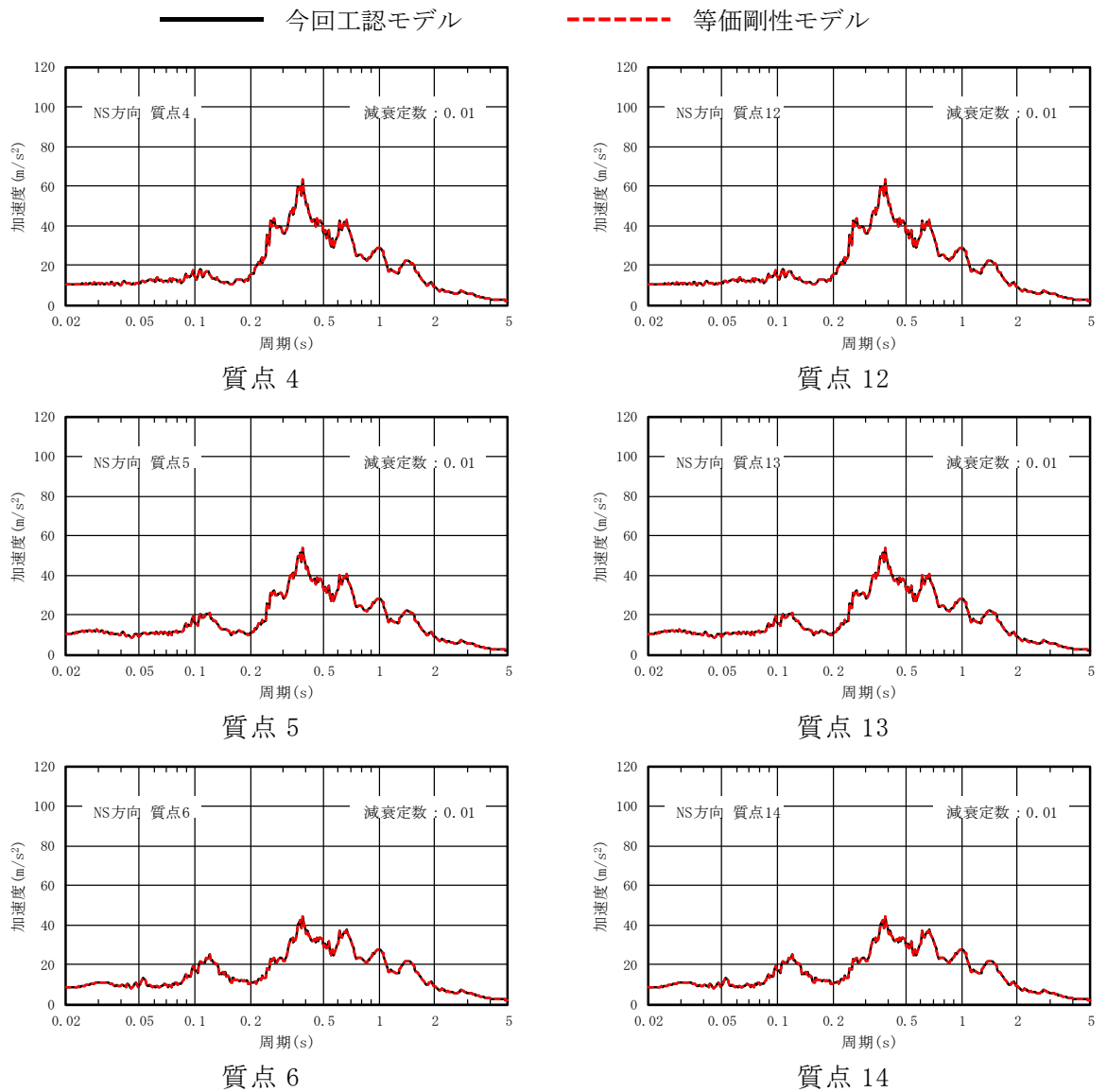
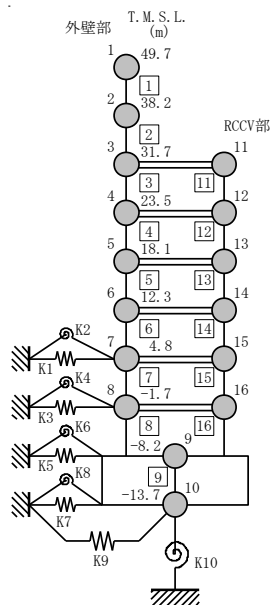


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



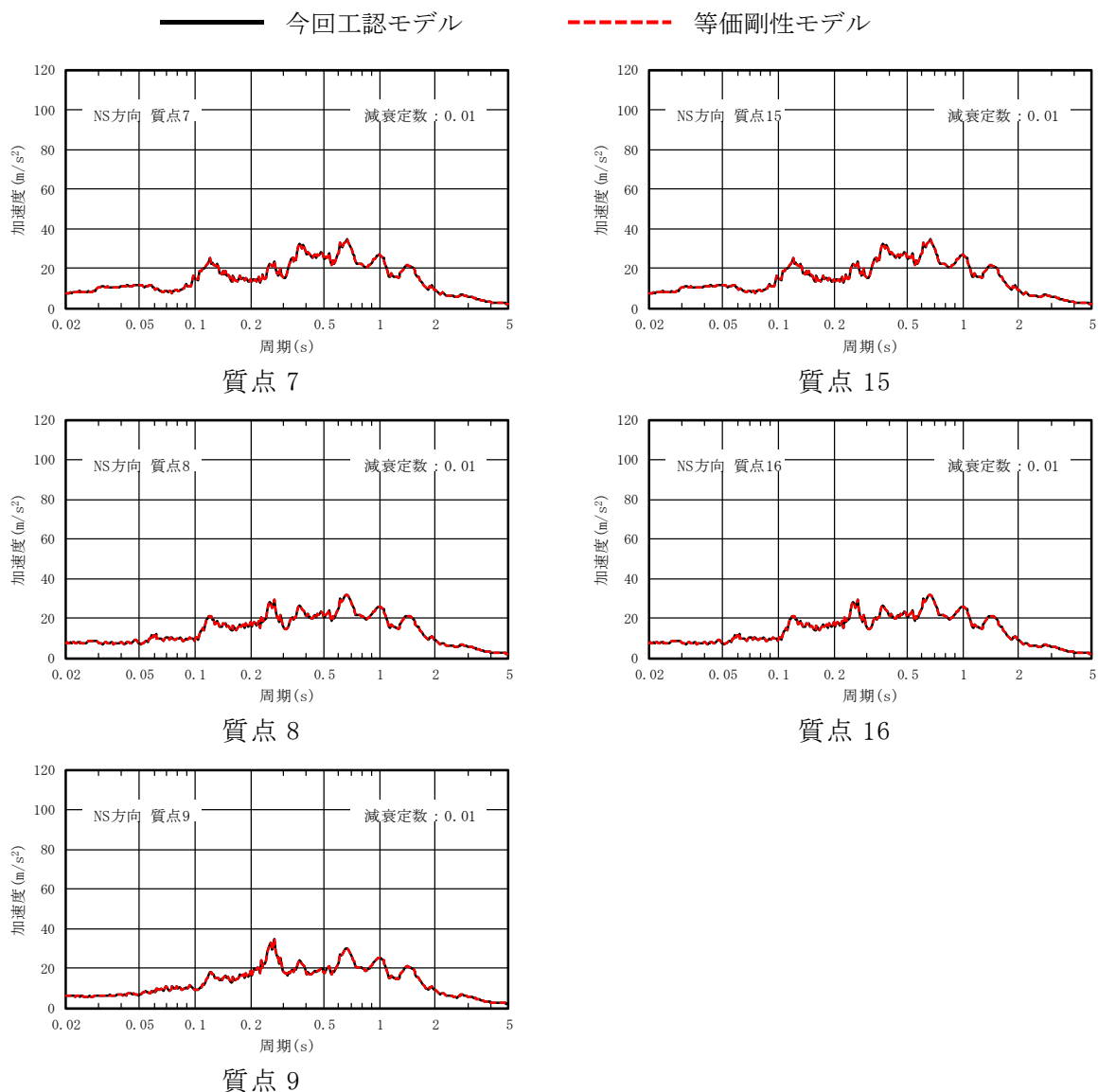
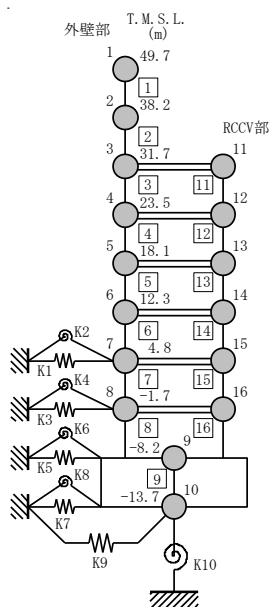


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



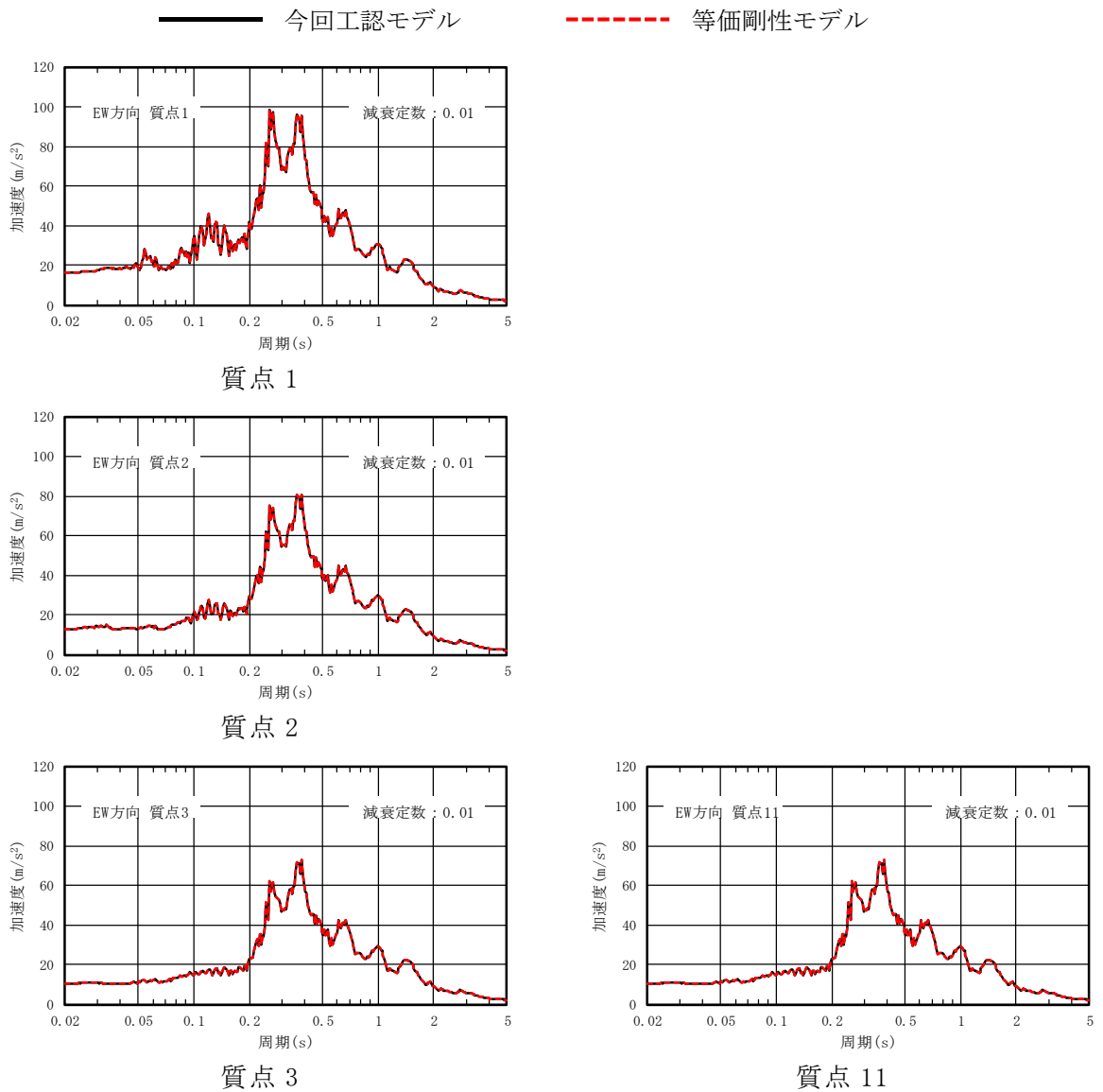
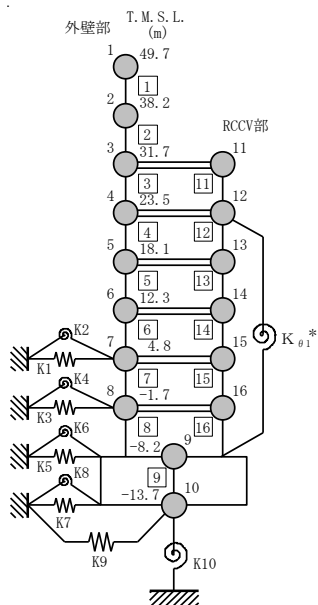


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



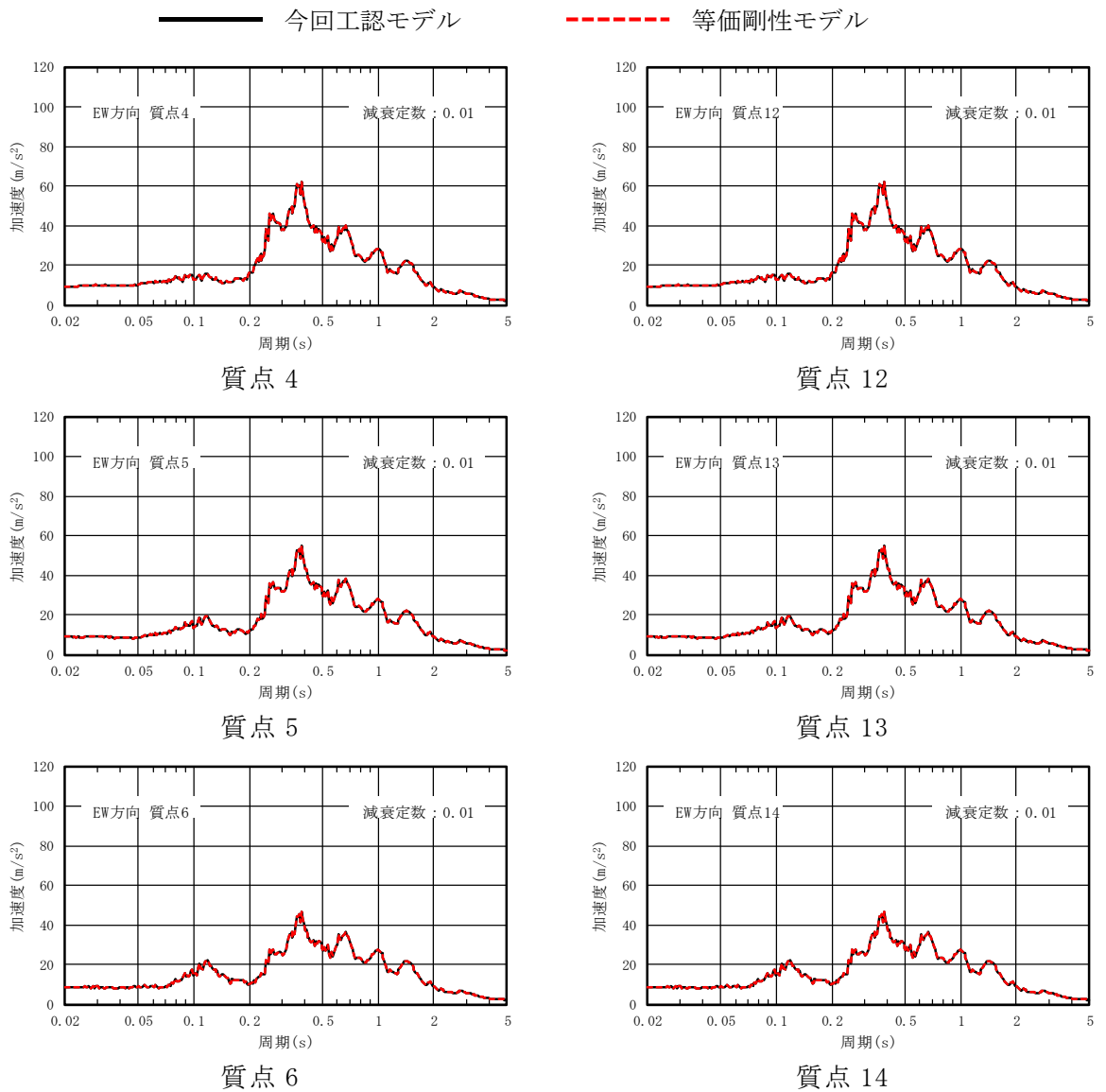
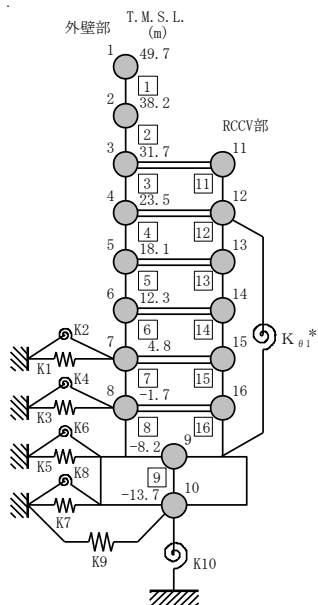


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



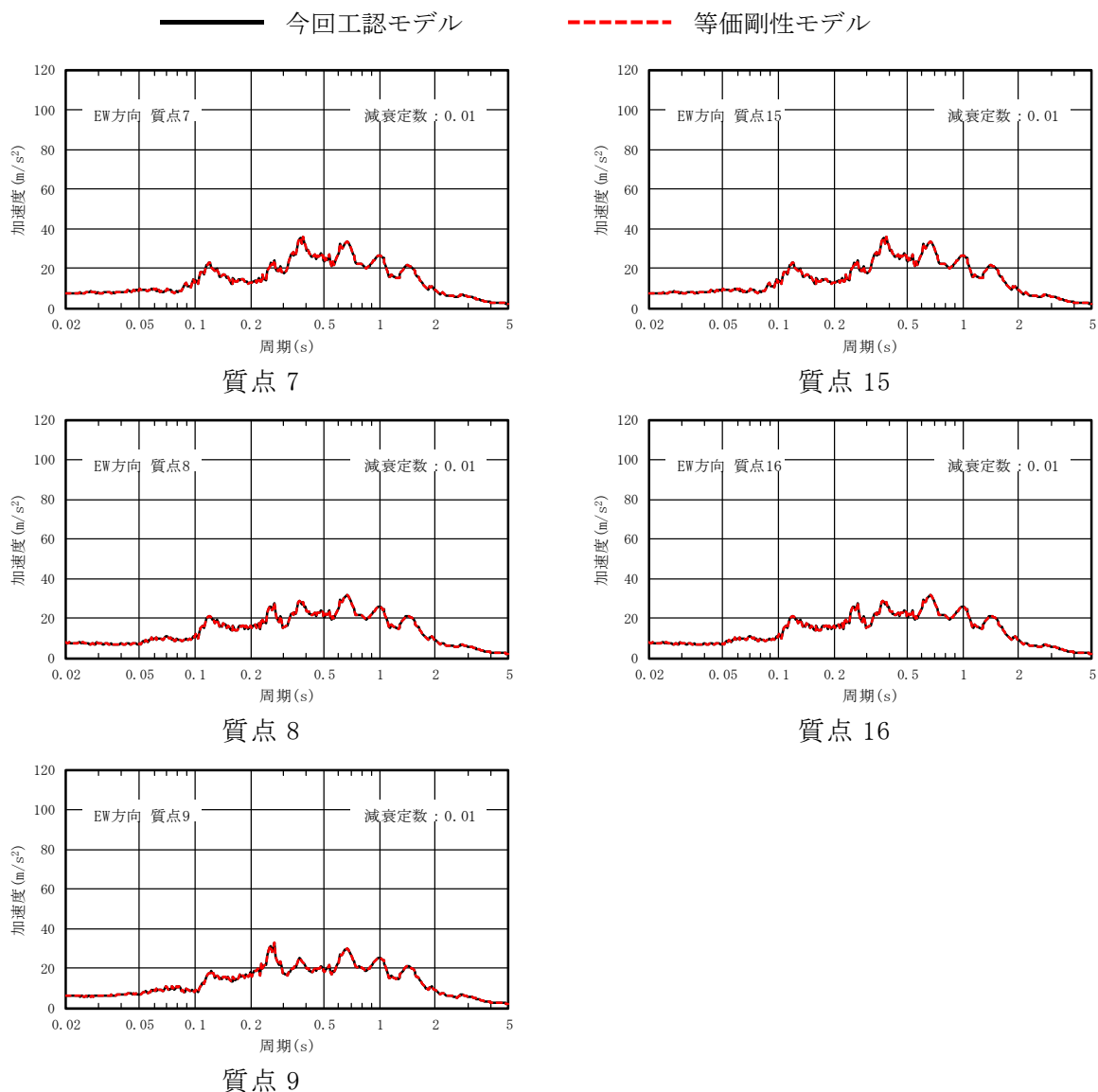
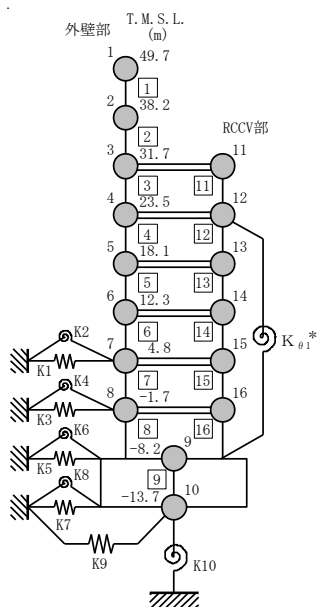


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



7. 補助壁の評価

等価剛性モデルの地震応答解析において補助壁の負担するせん断力が、「2015年版建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」を参考に、次式をもとに算定したせん断終局強度 Q_{wsu} 以下であることを確認する。

$$Q_{wsu} = \left\{ \frac{0.068 \cdot p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh} + 0.1 \cdot \sigma_0} \right\} t_e \cdot j$$

ここで、

- t_e : I型断面を長さ t_e と断面 t_e とが等しい等価長方形断面に置き換えた時の幅 (mm)。ただし、 t_e は壁厚 t の1.5倍以下とする
- D : 補助壁の全長 (mm)
- j : $7d/8$
- p_{te} : 等価引張鉄筋比 (%) ($=100 \cdot a_t / (t_e \cdot d)$)
- a_t : I型断面の場合は引張側柱内の主筋断面積、長方形断面の場合は端部の曲げ補強筋の断面積 (mm^2)
- d : I型断面の場合 $D - D_c / 2$ (D_c は圧縮側柱のせい)、長方形断面の場合は $0.95 \cdot D$ (mm)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
- $M/(Q \cdot D)$: シアスパン比
- p_{wh} : t_e を厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比 (小数)
- σ_{wh} : 水平せん断補強筋の降伏強度 (N/mm^2)
- σ_0 : 全断面積に対する平均軸方向応力度 (N/mm^2)

補助壁の負担せん断力は、等価剛性モデルの地震応答解析による最大応答せん断力にせん断断面積比（補助壁の等価せん断断面積／耐震壁のせん断断面積及び補助壁の等価せん断断面積）を乗じることにより算出した値と、補助壁のせん断スケルトンの第1折点における値のうちいずれか小さい方の値とする。

補助壁の負担せん断力の算出結果を表7-1及び表7-2に、補助壁の負担せん断力に対する評価結果を表7-3及び表7-4に示す。

表7-3及び表7-4に示すとおり、補助壁の負担せん断力はせん断終局強度以下となることを確認した。

表 7-1 補助壁の負担せん断力 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	383	0.37	142	156	142
23.5 ~ 18.1	374	0.11	41.2	30.3	30.3
18.1 ~ 12.3	424	0.20	84.8	63.4	63.4
12.3 ~ 4.8	538	0.09	48.5	35.0	35.0
4.8 ~ -1.7	610	0.02	12.2	5.27	5.27
-1.7 ~ -8.2	600	0.14	84.0	68.0	68.0

注記*1：表 4-1 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-3 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-1 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	70.1	0.05	3.51	11.4	3.51
23.5 ~ 18.1	175	0.16	28.0	39.3	28.0
18.1 ~ 12.3	244	0.31	75.7	91.2	75.7
12.3 ~ 4.8	313	0.31	97.1	95.0	95.0
4.8 ~ -1.7	371	0.25	92.8	70.3	70.3
-1.7 ~ -8.2	420	0.23	96.6	90.8	90.8

注記*1：表 4-1 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-3 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-1 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 7-2 補助壁の負担せん断力 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	305	0.12	36.6	42.7	36.6
23.5 ~ 18.1	324	0.16	51.9	44.9	44.9
18.1 ~ 12.3	423	0.22	93.1	76.4	76.4
12.3 ~ 4.8	501	0.01	5.01	1.22	1.22
4.8 ~ -1.7	586	0.10	58.6	45.4	45.4
-1.7 ~ -8.2	680	0.22	150	124	124

注記*1：表 4-2 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-4 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-2 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	76.4	0.48	36.7	230	36.7
23.5 ~ 18.1	226	0.58	132	286	132
18.1 ~ 12.3	244	0.53	130	239	130
12.3 ~ 4.8	346	0.37	129	124	124
4.8 ~ -1.7	430	0.46	198	181	181
-1.7 ~ -8.2	392	0.15	58.8	51.1	51.1

注記*1：表 4-2 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-4 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-2 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 7-3 補助壁の評価結果 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	142	240
23.5 ~ 18.1	30.3	46.0
18.1 ~ 12.3	63.4	99.9
12.3 ~ 4.8	35.0	53.4
4.8 ~ -1.7	5.27	8.31
-1.7 ~ -8.2	68.0	107

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	3.51	17.9
23.5 ~ 18.1	28.0	59.9
18.1 ~ 12.3	75.7	143
12.3 ~ 4.8	95.0	144
4.8 ~ -1.7	70.3	109
-1.7 ~ -8.2	90.8	142

表 7-4 補助壁の評価結果 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	36.6	66.4
23.5 ~ 18.1	44.9	68.1
18.1 ~ 12.3	76.4	120
12.3 ~ 4.8	1.22	1.83
4.8 ~ -1.7	45.4	69.3
-1.7 ~ -8.2	124	194

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	36.7	353
23.5 ~ 18.1	132	434
18.1 ~ 12.3	130	376
12.3 ~ 4.8	124	187
4.8 ~ -1.7	181	281
-1.7 ~ -8.2	51.1	79.5

8. まとめ

補助壁の曲げ変形を考慮していない状態で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に対して、仮に補助壁の曲げ変形を考慮した等価剛性モデルを用いて、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、等価剛性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。

また、等価剛性モデルにおいて、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

さらに、等価剛性モデルにおいて、補助壁の負担するせん断力がせん断終局強度以下となることを確認した。

別紙9-1 補助壁個材の曲げ剛性を考慮した地震応答解析

目 次

1. 概要	別紙 9-1-1
2. 検討方針	別紙 9-1-2
3. 検討条件	別紙 9-1-3
3.1 補助壁の等価せん断剛性	別紙 9-1-3
3.2 解析モデル	別紙 9-1-6
4. 検討結果	別紙 9-1-14
4.1 固有値解析結果	別紙 9-1-14
4.2 最大応答値	別紙 9-1-16
5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響	別紙 9-1-26
5.1 せん断ひずみに対する影響	別紙 9-1-26
5.2 床応答に対する影響	別紙 9-1-26
6. 補助壁の評価	別紙 9-1-33
7. まとめ	別紙 9-1-38

1. 概要

本資料は、補助壁の曲げ変形を考慮した等価剛性モデルを用いた地震応答解析について、補助壁の曲げ変形を考慮した等価せん断剛性を算出する際の補助壁の断面二次モーメントを補助壁個材の図心回りとした場合の地震応答解析結果を示すものである。

2. 検討方針

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。）と補助壁のせん断剛性を、補助壁個材の図心回りの断面二次モーメントを用いて算出した等価せん断剛性としたモデル（以下、「個材曲げモデル」）を比較することにより、補助壁の曲げ変形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 S_s-1 に対して実施することとする。

3. 検討条件

3.1 補助壁の等価せん断剛性

補助壁の等価せん断剛性は、下式のとおり算定する。補助壁に曲げ変形を考慮することで変更となる個材曲げモデルのせん断断面積を表 3-1 及び表 3-2 に示す。なお、補助壁に曲げ変形を考慮することにより今回工認モデルから変更となる諸元はせん断断面積のみである。

$$K_e = \frac{G \cdot A_e}{h} = \sum \frac{1}{\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_I}}$$

$$K_s = \frac{G \cdot A_s}{h}$$

$$K_I = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3}$$

$$I = \frac{t \cdot L^3}{12}$$

- ここで、 K_e : 層全体の補助壁の等価せん断剛性
 K_s : 補助壁個材のせん断剛性
 K_I : 補助壁個材の曲げ剛性
 A_e : 層全体の補助壁の等価せん断断面積
 A_s : 補助壁個材のせん断断面積
 I : 補助壁個材の図心回りの断面二次モーメント
 E : ヤング係数
 G : せん断弾性係数
 h : 階高
 t : 補助壁個材の壁厚
 L : 補助壁個材の長さ

表 3-1 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	41.0	0.0	41.0	41.0	0.0	41.0
38.2 ~ 31.7	83.0	0.0	83.0	83.0	0.0	83.0
31.7 ~ 23.5	117.4	70.6	188.0	117.4	62.4	179.8
23.5 ~ 18.1	119.0	13.5	132.5	119.0	8.4	127.4
18.1 ~ 12.3	120.2	29.2	149.4	120.2	23.6	143.8
12.3 ~ 4.8	164.9	15.6	180.5	164.9	12.2	177.1
4.8 ~ -1.7	181.2	2.0	183.2	181.2	1.4	182.6
-1.7 ~ -8.2	192.4	31.1	223.5	192.4	23.1	215.5

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	5.2	119.6	114.4	2.1	116.5
23.5 ~ 18.1	95.5	17.5	113.0	95.5	10.0	105.5
18.1 ~ 12.3	95.6	42.0	137.6	95.6	25.5	121.1
12.3 ~ 4.8	97.0	42.2	139.2	97.0	28.2	125.2
4.8 ~ -1.7	100.4	32.0	132.4	100.4	20.2	120.6
-1.7 ~ -8.2	144.8	41.6	186.4	144.8	32.3	177.1

表 3-2 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	54.7	0.0	54.7	54.7	0.0	54.7
38.2 ~ 31.7	122.9	0.0	122.9	122.9	0.0	122.9
31.7 ~ 23.5	153.3	19.4	172.7	153.3	16.1	169.4
23.5 ~ 18.1	111.8	20.0	131.8	111.8	16.6	128.4
18.1 ~ 12.3	131.5	35.2	166.7	131.5	28.3	159.8
12.3 ~ 4.8	178.8	0.5	179.3	178.8	0.1	178.9
4.8 ~ -1.7	190.8	20.7	211.5	190.8	17.0	207.8
-1.7 ~ -8.2	202.6	56.9	259.5	202.6	48.7	251.3

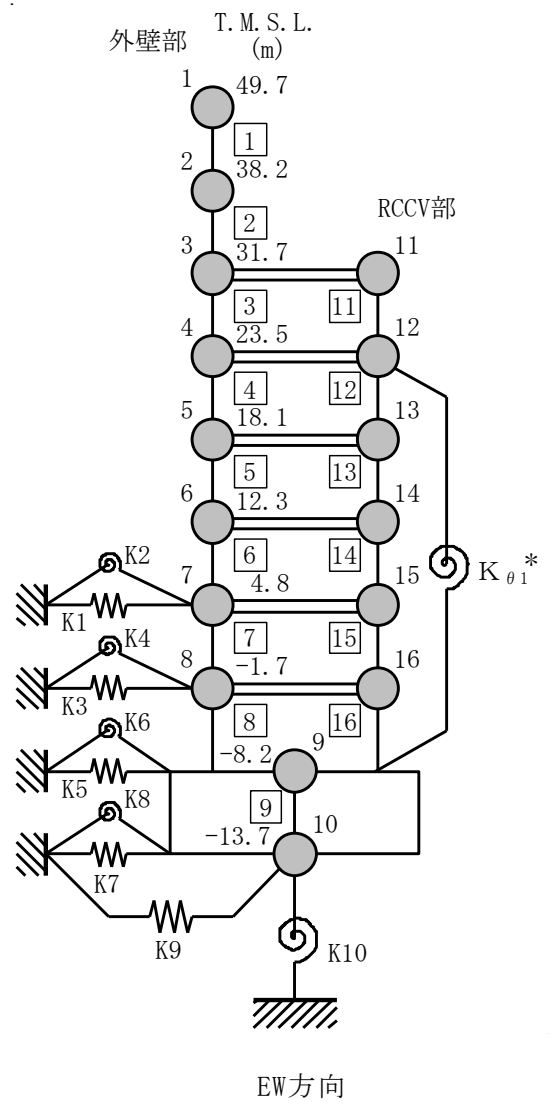
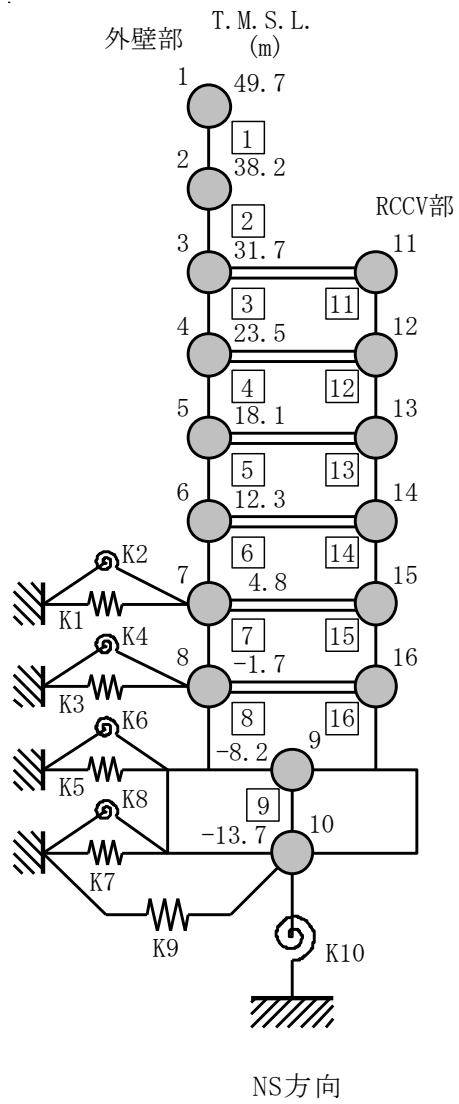
(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	104.6	219.0	114.4	104.0	218.4
23.5 ~ 18.1	95.5	127.3	222.8	95.5	123.7	219.2
18.1 ~ 12.3	97.4	110.0	207.4	97.4	94.3	191.7
12.3 ~ 4.8	97.0	55.1	152.1	97.0	41.6	138.6
4.8 ~ -1.7	97.4	82.7	180.1	97.4	51.3	148.7
-1.7 ~ -8.2	141.0	23.4	164.4	141.0	13.8	154.8

3.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1 に、地盤ばね定数を表 3-3 及び表 3-4 に、せん断スケルトンを表 3-5 及び表 3-6 に示す。

なお、補助壁の曲げ変形を考慮することによる曲げスケルトンへの影響はないため、曲げスケルトンは今回工認モデルと同一とする。



注記* : RCCV 回転ばね

図 3-1 地震応答解析モデル

表 3-3 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

(a) 個材曲げモデル

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	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.97×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	5.98×10^8

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

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

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 3-4 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW 方向)

(a) 個材曲げモデル

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	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	6.98×10^8

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

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

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 3-5 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) 個材曲げモデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.51	0.210	3.09	0.630	5.06	4.00
2F	2.65	0.221	3.49	0.644	6.88	4.00
1F	2.65	0.221	3.42	0.660	6.69	4.00
B1F	2.67	0.223	3.54	0.665	7.11	4.00
B2F	2.71	0.226	3.65	0.674	7.58	4.00
B3F	2.79	0.233	3.65	0.691	7.29	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.32	0.194	3.09	0.567	7.06	4.00
2F	2.48	0.207	3.22	0.584	7.75	4.00
1F	2.66	0.222	3.33	0.605	7.67	4.00
B1F	2.69	0.225	3.37	0.626	7.12	4.00
B2F	2.71	0.227	3.46	0.573	6.87	4.00
B3F	2.58	0.216	3.31	0.589	6.04	4.00

表 3-5 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.42	0.202	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.47	0.206	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.45	0.205	3.14	0.589	5.73	4.00

表 3-6 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) 個材曲げモデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.54	0.213	3.35	0.634	6.25	4.00
2F	2.53	0.212	3.29	0.626	6.40	4.00
1F	2.58	0.216	3.32	0.642	6.51	4.00
B1F	2.55	0.213	3.44	0.636	7.41	4.00
B2F	2.63	0.219	3.47	0.656	7.22	4.00
B3F	2.66	0.222	3.42	0.673	6.82	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.24	0.187	2.65	0.567	4.77	4.00
2F	2.32	0.194	2.67	0.584	4.90	4.00
1F	2.47	0.207	2.90	0.605	5.75	4.00
B1F	2.64	0.221	3.25	0.626	6.77	4.00
B2F	2.92	0.244	3.51	0.650	6.52	4.00
B3F	2.61	0.219	3.41	0.563	6.82	4.00

表 3-6 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.23	0.187	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.28	0.191	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.41	0.201	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.41	0.201	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.46	0.206	3.21	0.563	6.42	4.00

4. 検討結果

4.1 固有値解析結果

個材曲げ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 4-1 に示す。

個材曲げ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 4-1 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	個材曲げモデル	今回工認モデル	個材曲げモデル
1	0.439	0.440	2.28	2.27
2	0.192	0.193	5.20	5.19
3	0.091	0.091	11.03	10.96
4	0.078	0.080	12.88	12.57
5	0.077	0.078	12.98	12.89

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	個材曲げモデル	今回工認モデル	個材曲げモデル
1	0.429	0.430	2.33	2.32
2	0.191	0.191	5.23	5.23
3	0.082	0.083	12.16	12.09
4	0.077	0.078	12.97	12.87
5	0.071	0.072	14.02	13.83

4.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 4-1～図 4-8 に，最大せん断ひずみを表 4-2 及び表 4-3 に示す。

個材曲げ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。

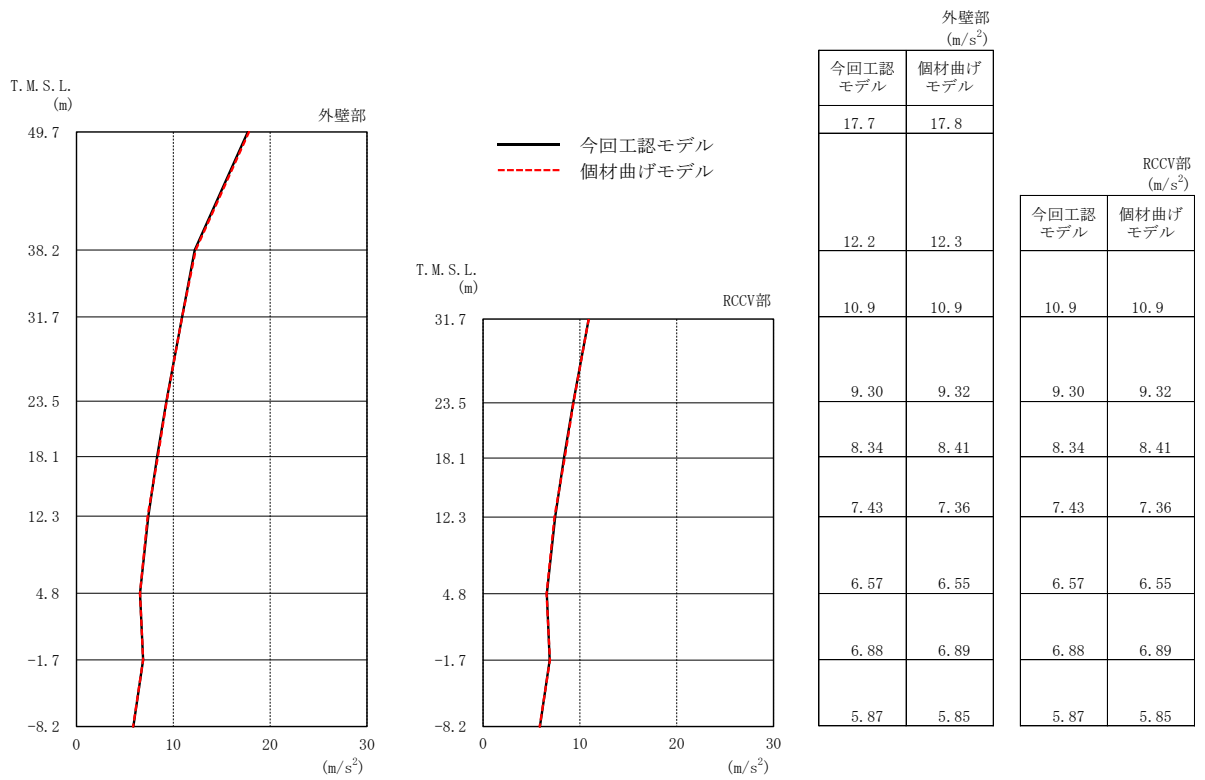
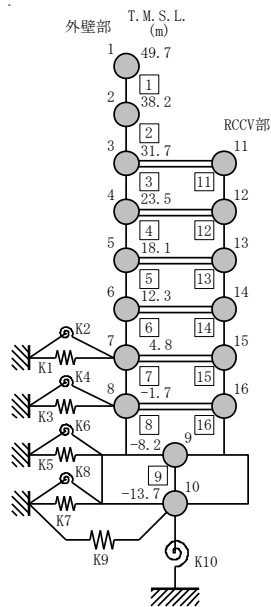


図 4-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



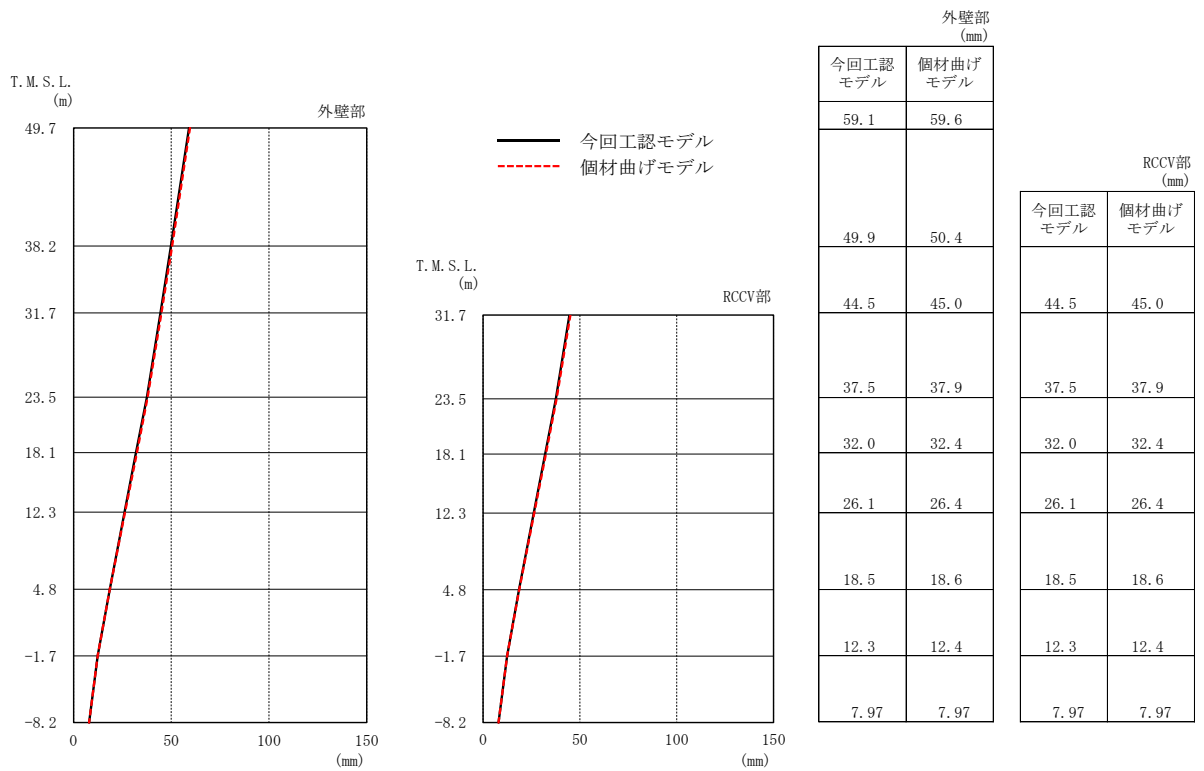
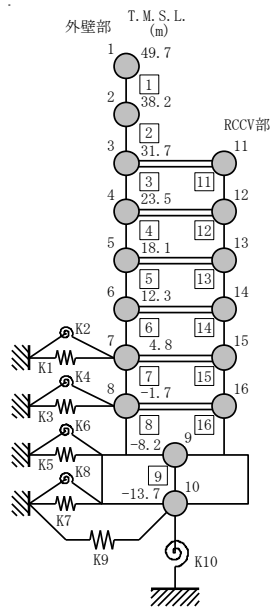


図 4-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



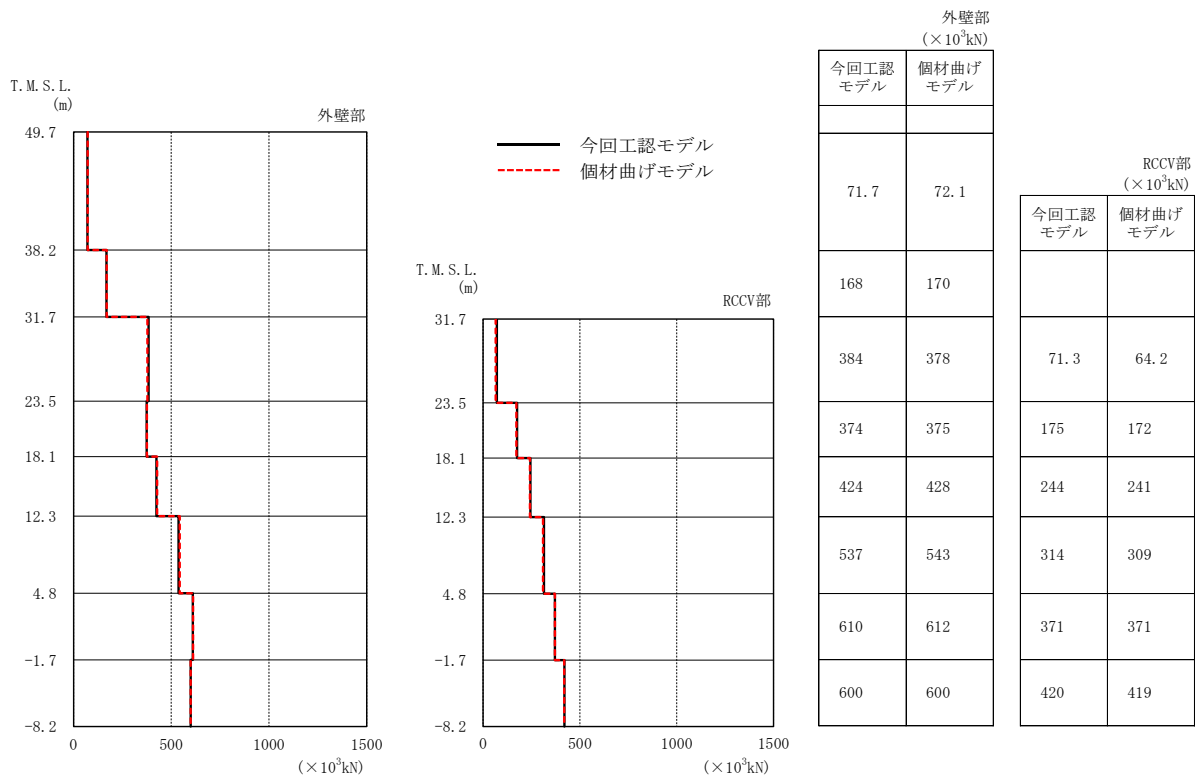
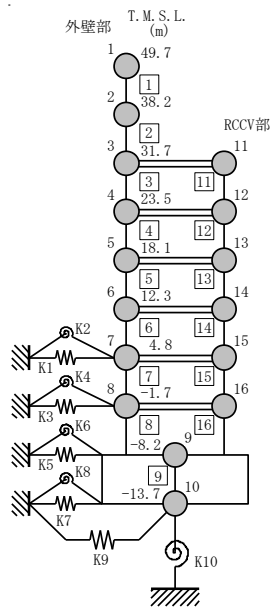


図 4-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



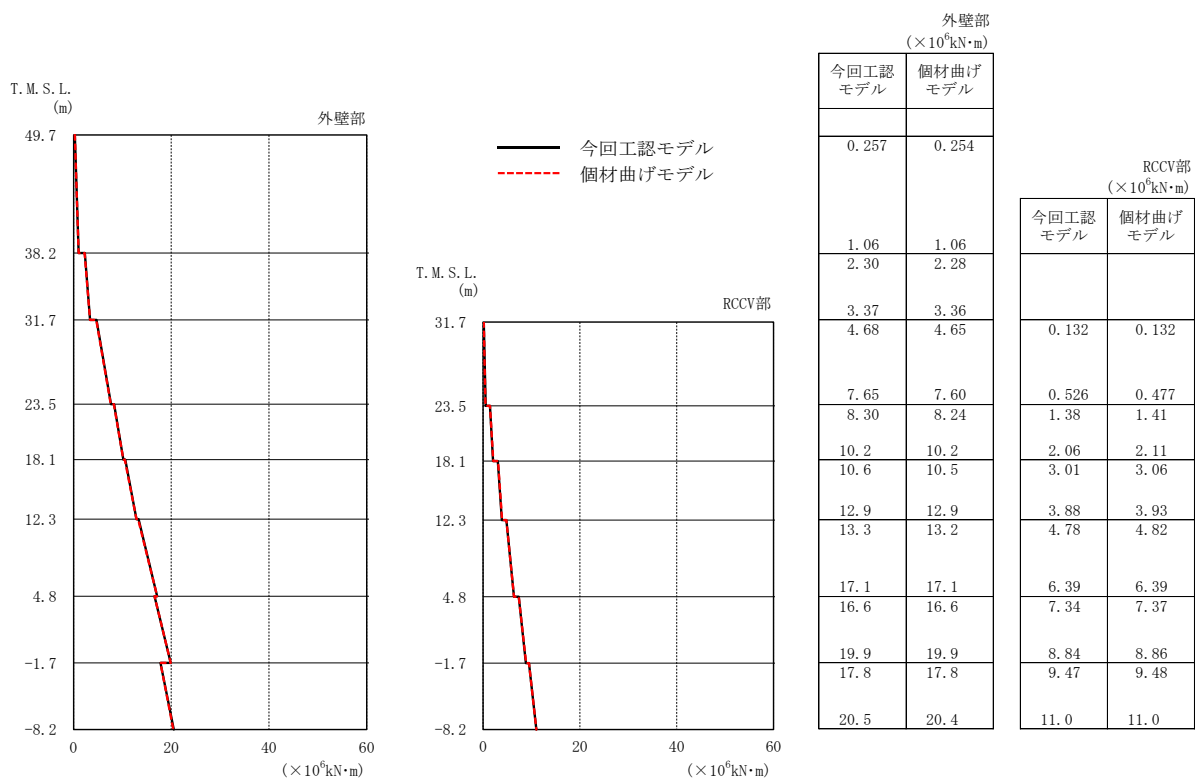
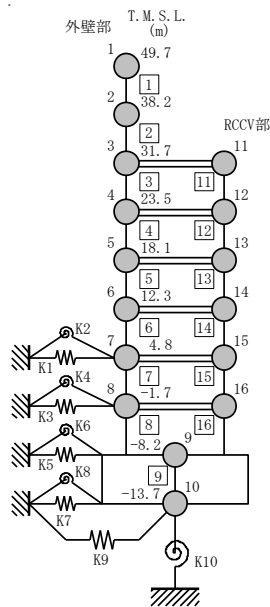


図 4-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



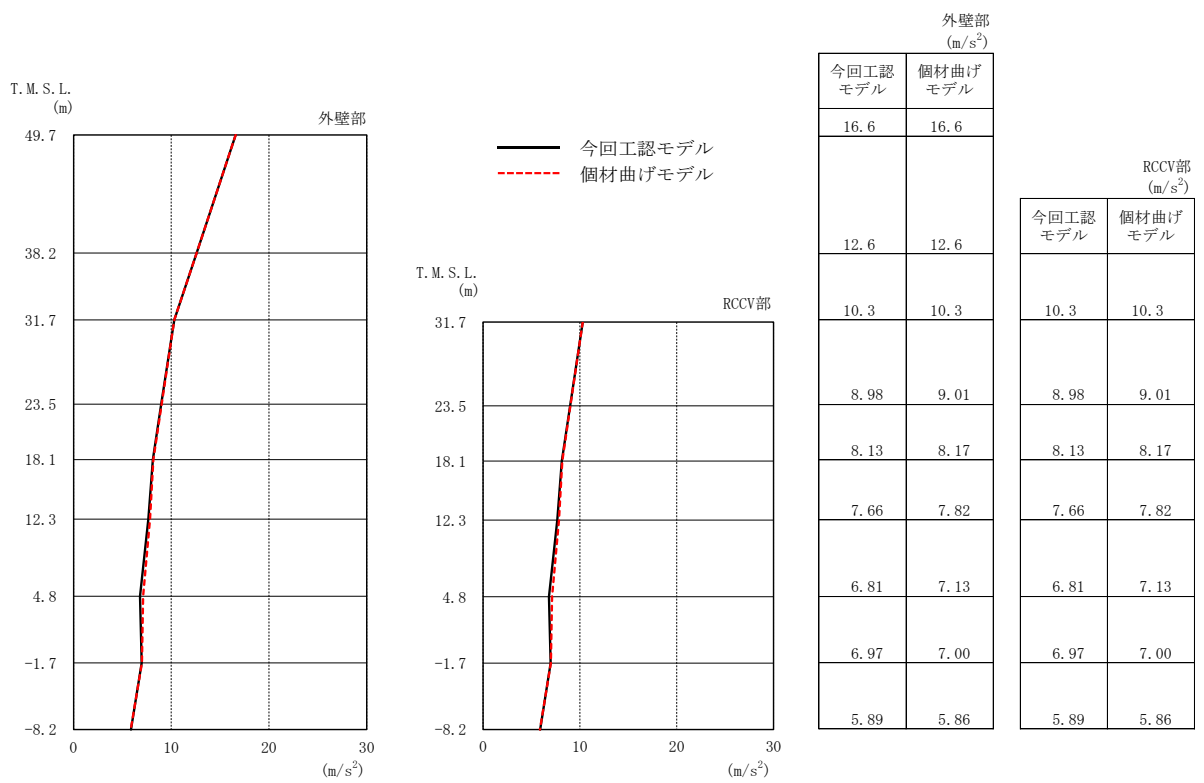
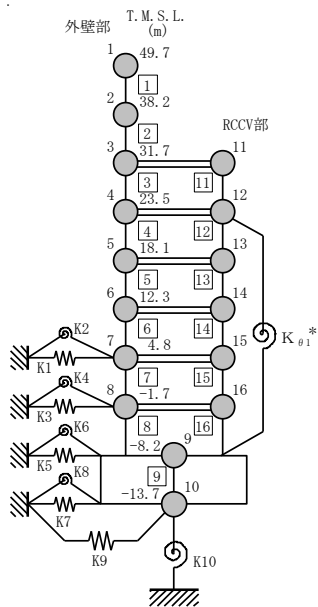


図 4-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



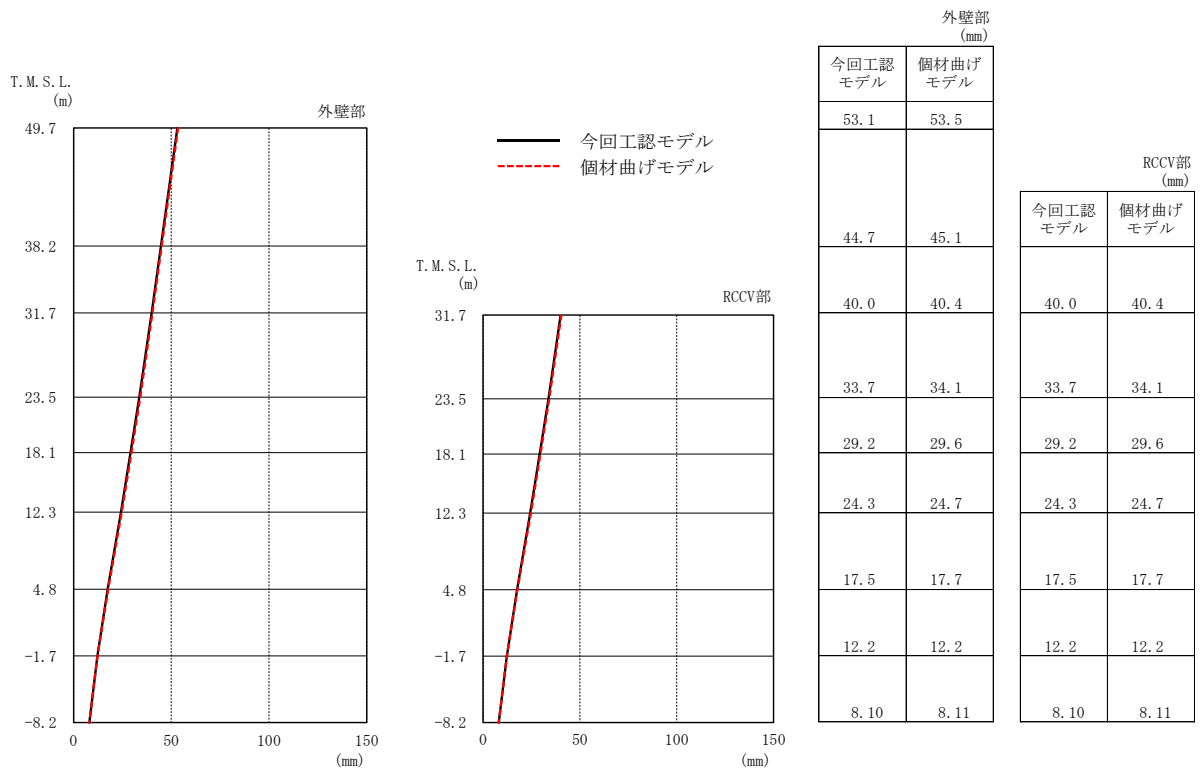
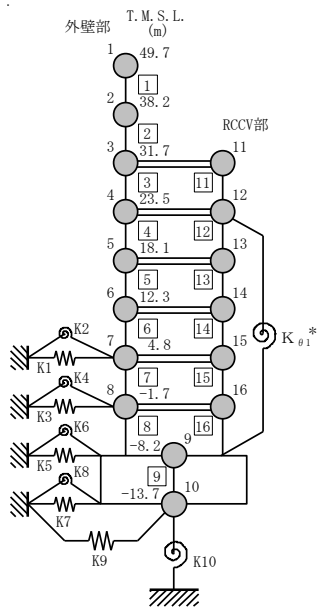


図 4-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



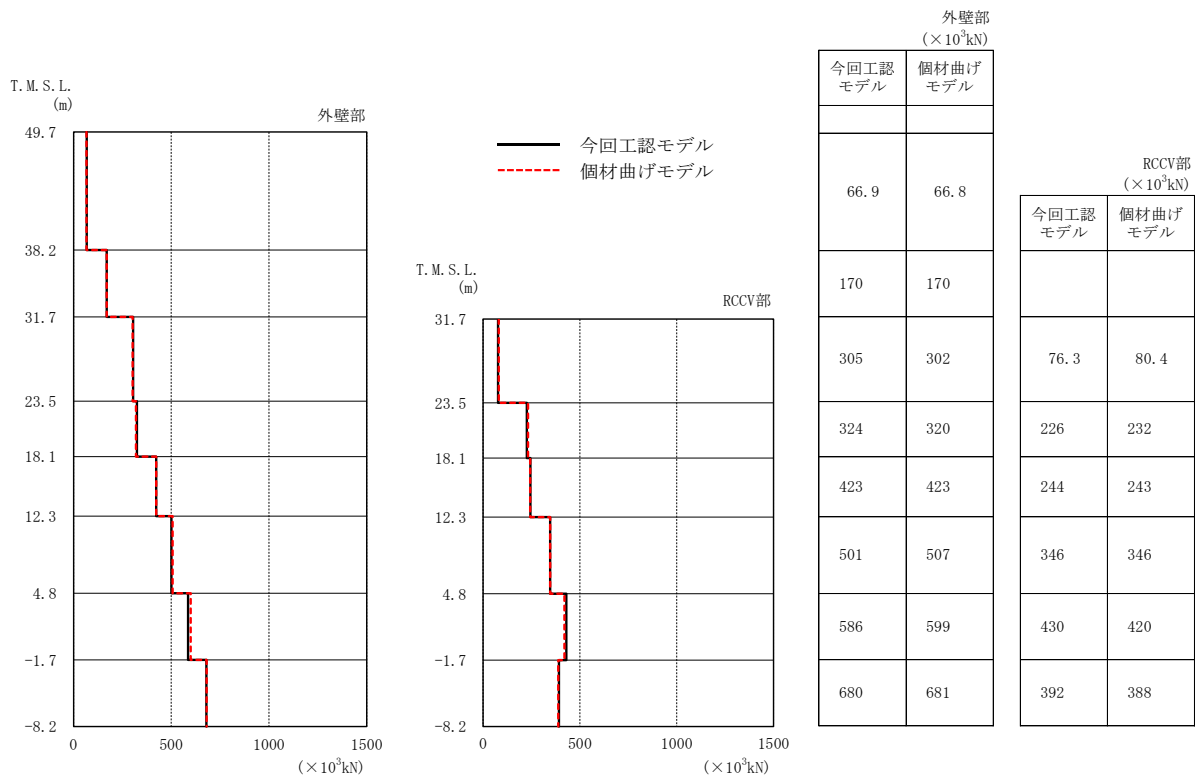
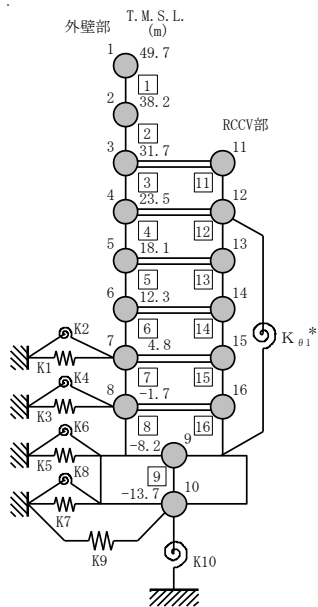


図 4-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



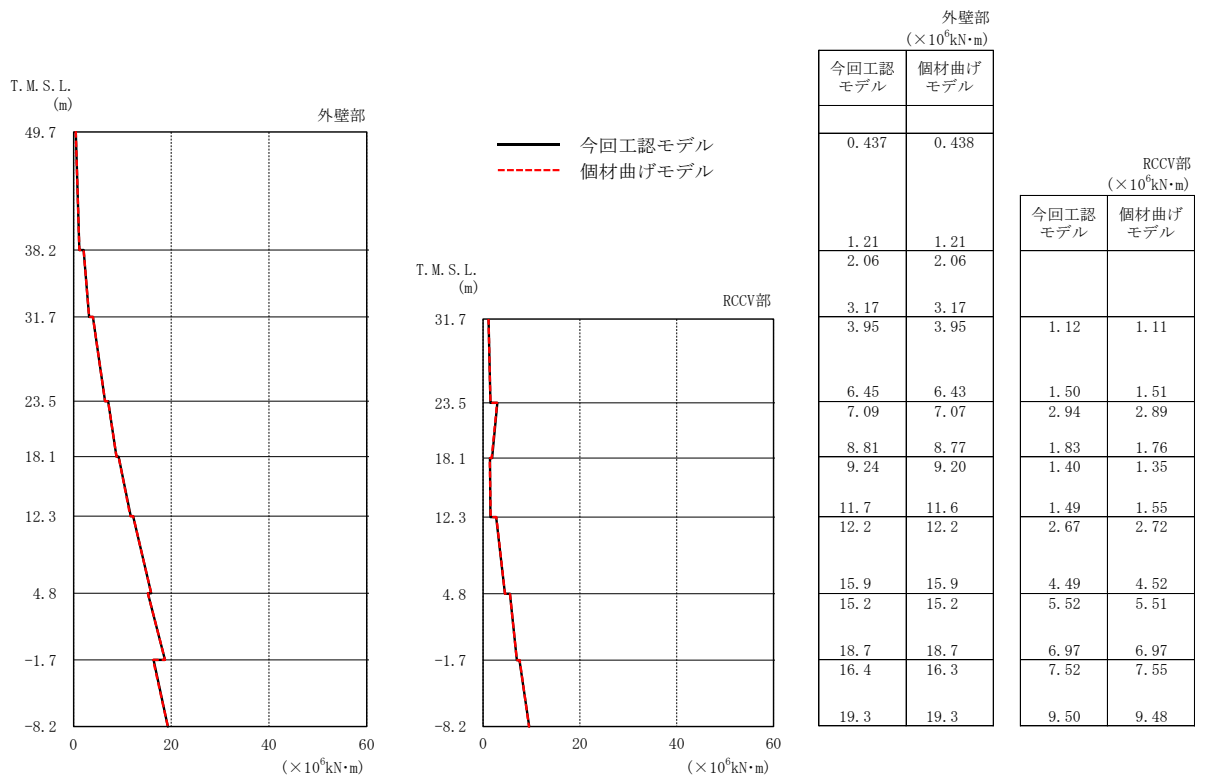


図 4-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

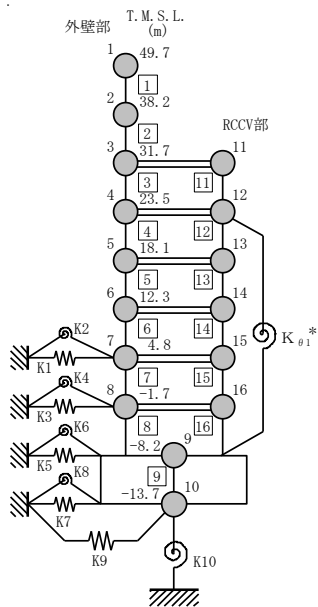


表 4-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(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	個材曲げモデル
1	0.147	0.148
2	0.170	0.172
3	0.171	0.176
4	0.361	0.370
5	0.388	0.407
6	0.406	0.425
7	0.528	0.535
8	0.225	0.234

(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	個材曲げモデル
11	0.0499	0.0461
12	0.130	0.137
13	0.149	0.167
14	0.189	0.207
15	0.388	0.396
16	0.189	0.198

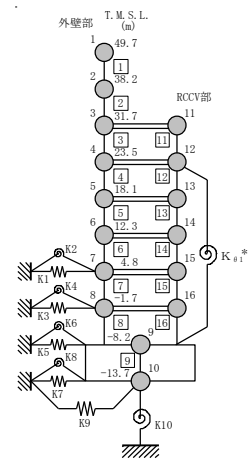
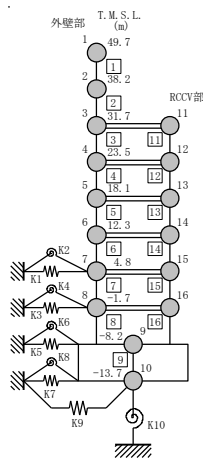
表 4-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(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	個材曲げモデル
1	0.103	0.103
2	0.116	0.116
3	0.148	0.150
4	0.206	0.209
5	0.243	0.252
6	0.334	0.349
7	0.318	0.354
8	0.244	0.253

(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	個材曲げモデル
11	0.0292	0.0308
12	0.0848	0.0886
13	0.0982	0.107
14	0.191	0.209
15	0.200	0.237
16	0.200	0.210



5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

個材曲げモデルの地震応答解析結果を踏まえ、補助壁の曲げ変形が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

5.1 せん断ひずみに対する影響

表 4-2 及び表 4-3 に示すとおり、個材曲げモデルの最大せん断ひずみは 0.535×10^{-3} (NS 方向, 外壁部) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

5.2 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個材曲げモデルの床応答スペクトルの比較を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

図 5-1 及び図 5-2 に示すとおり、個材曲げ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。

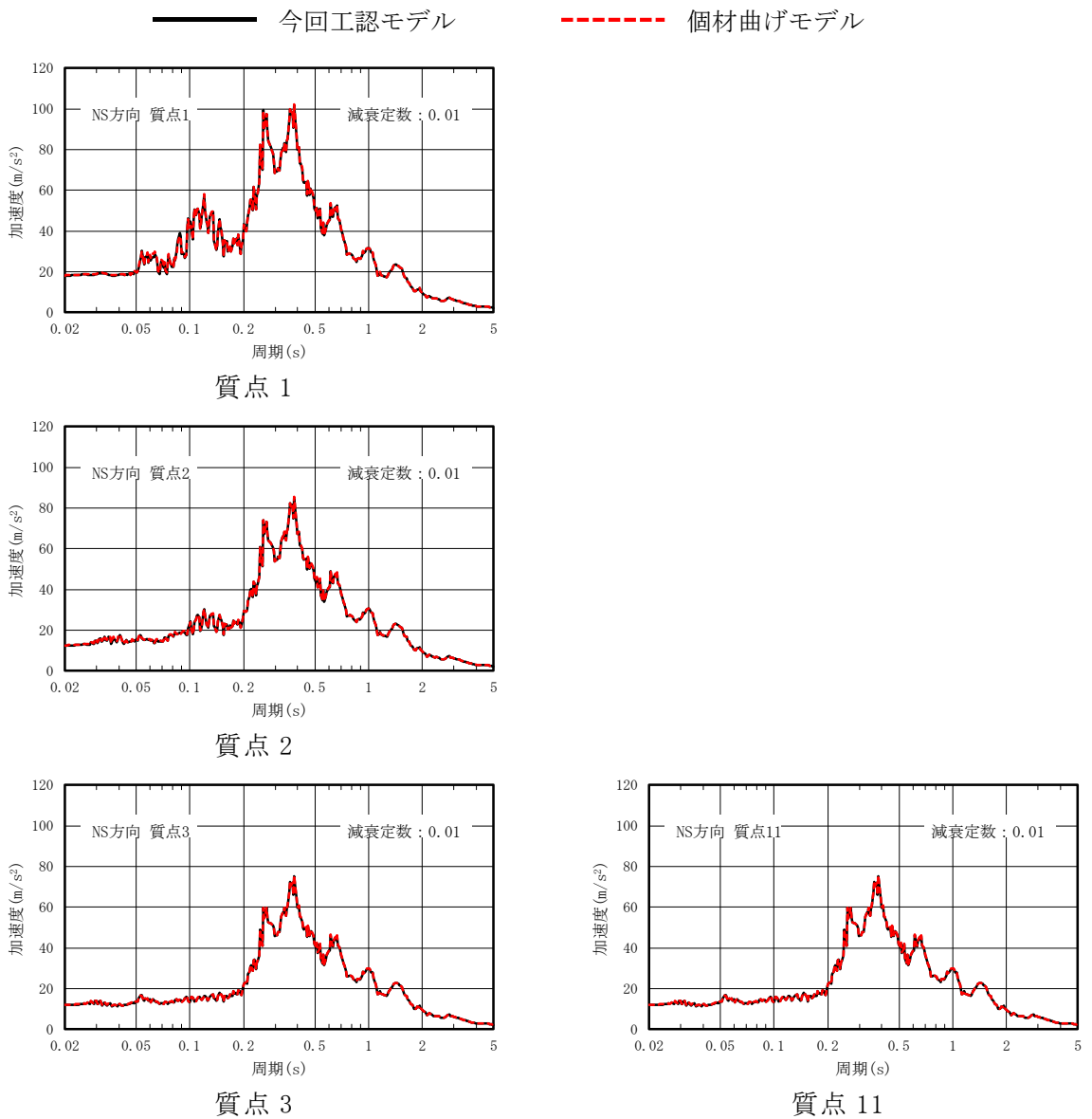
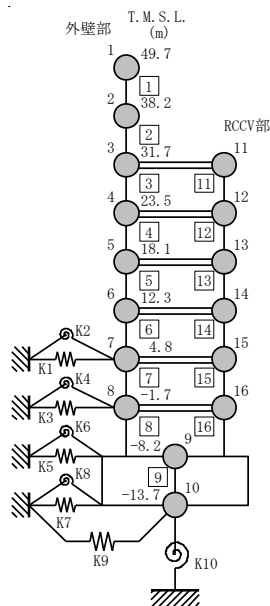


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



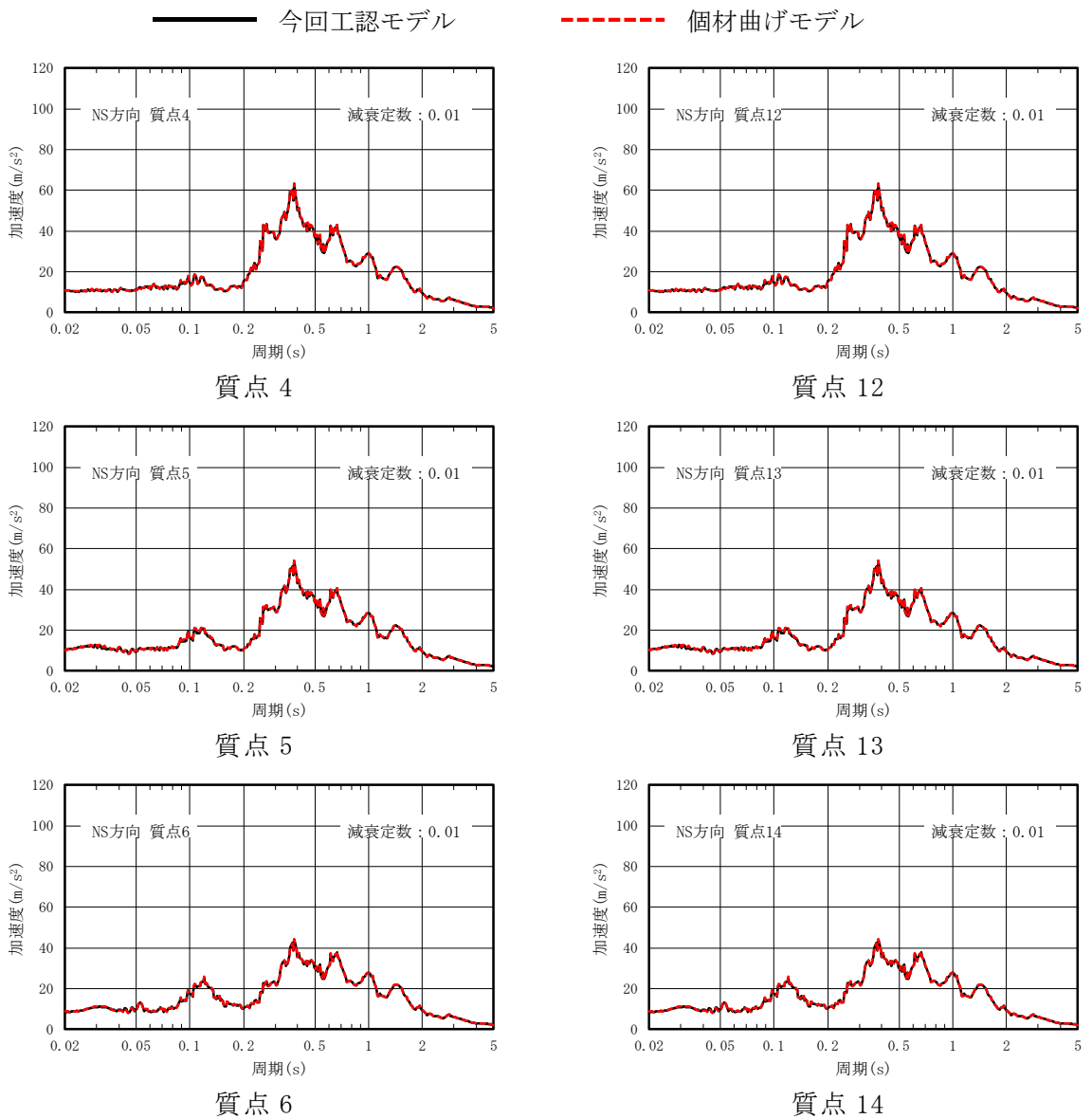
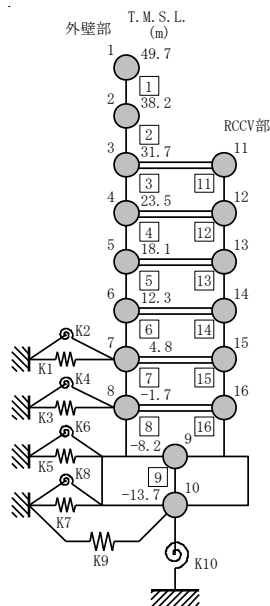


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



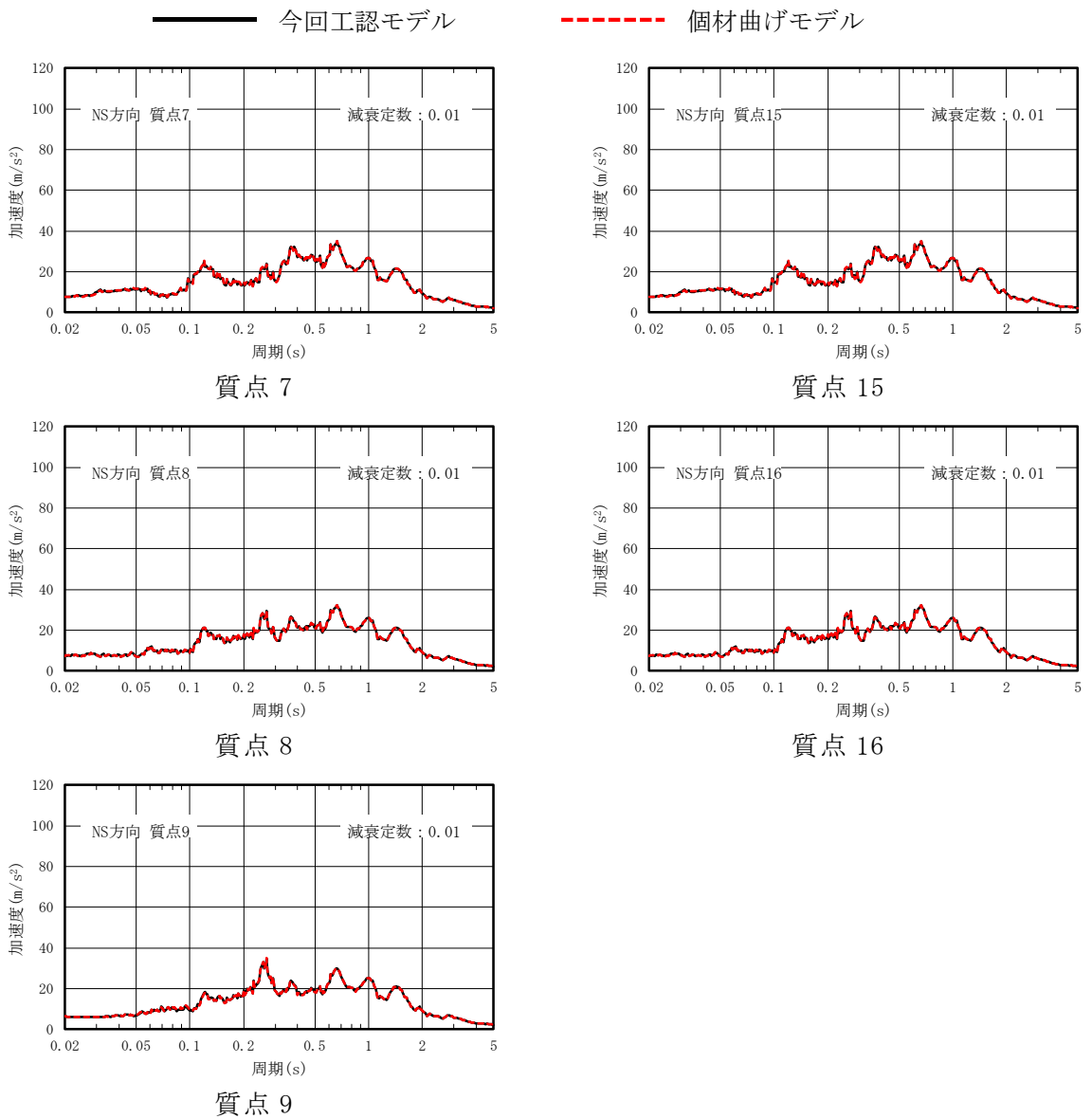
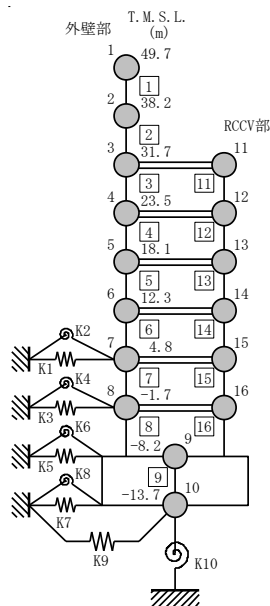


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



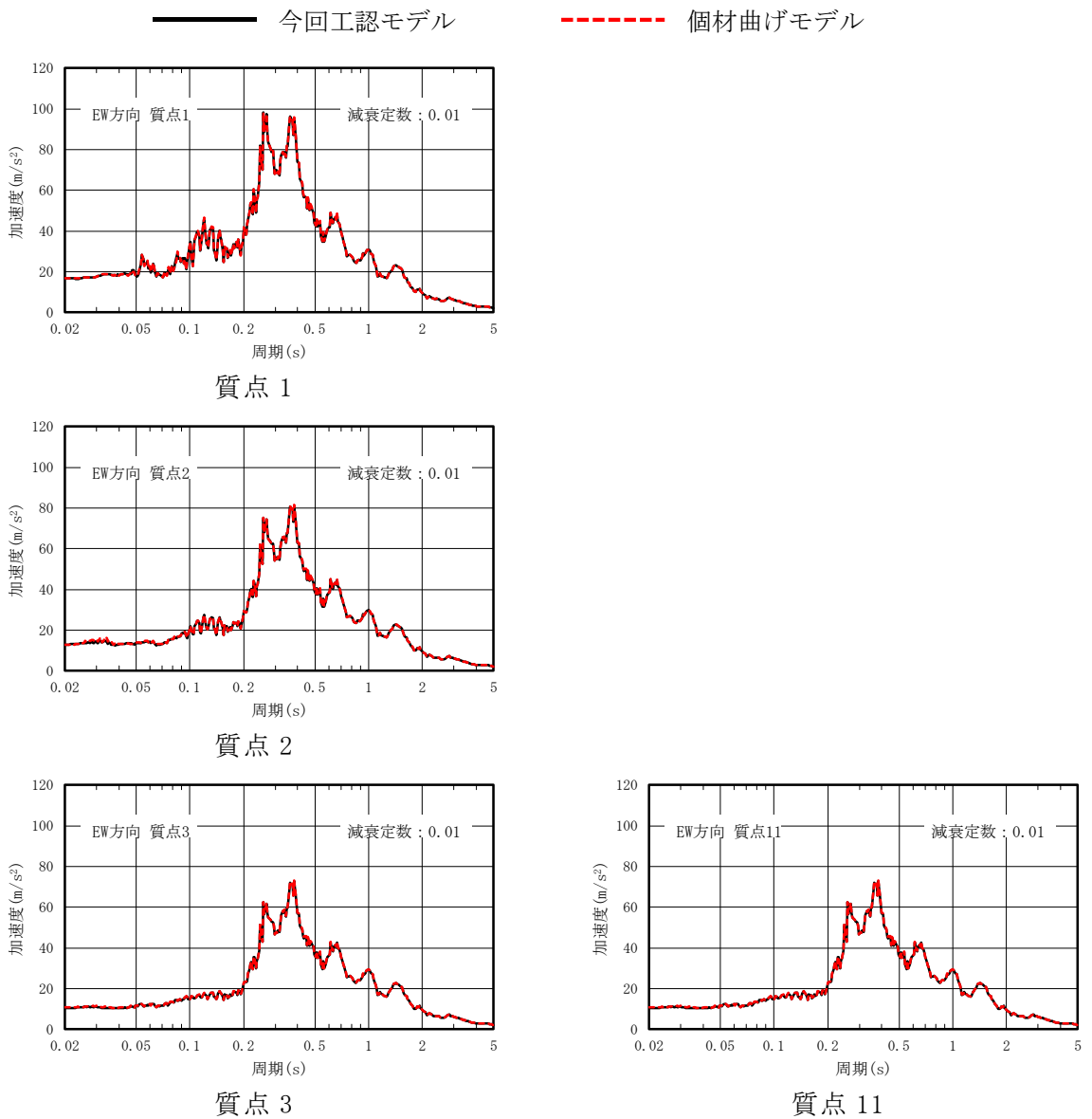
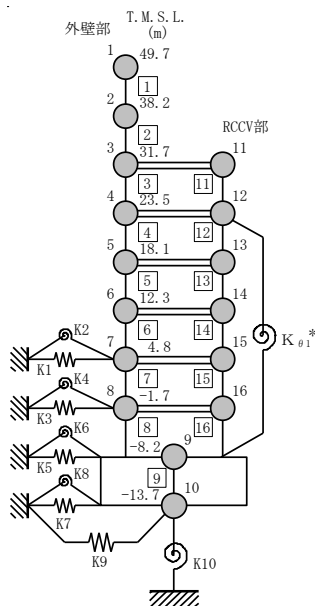


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



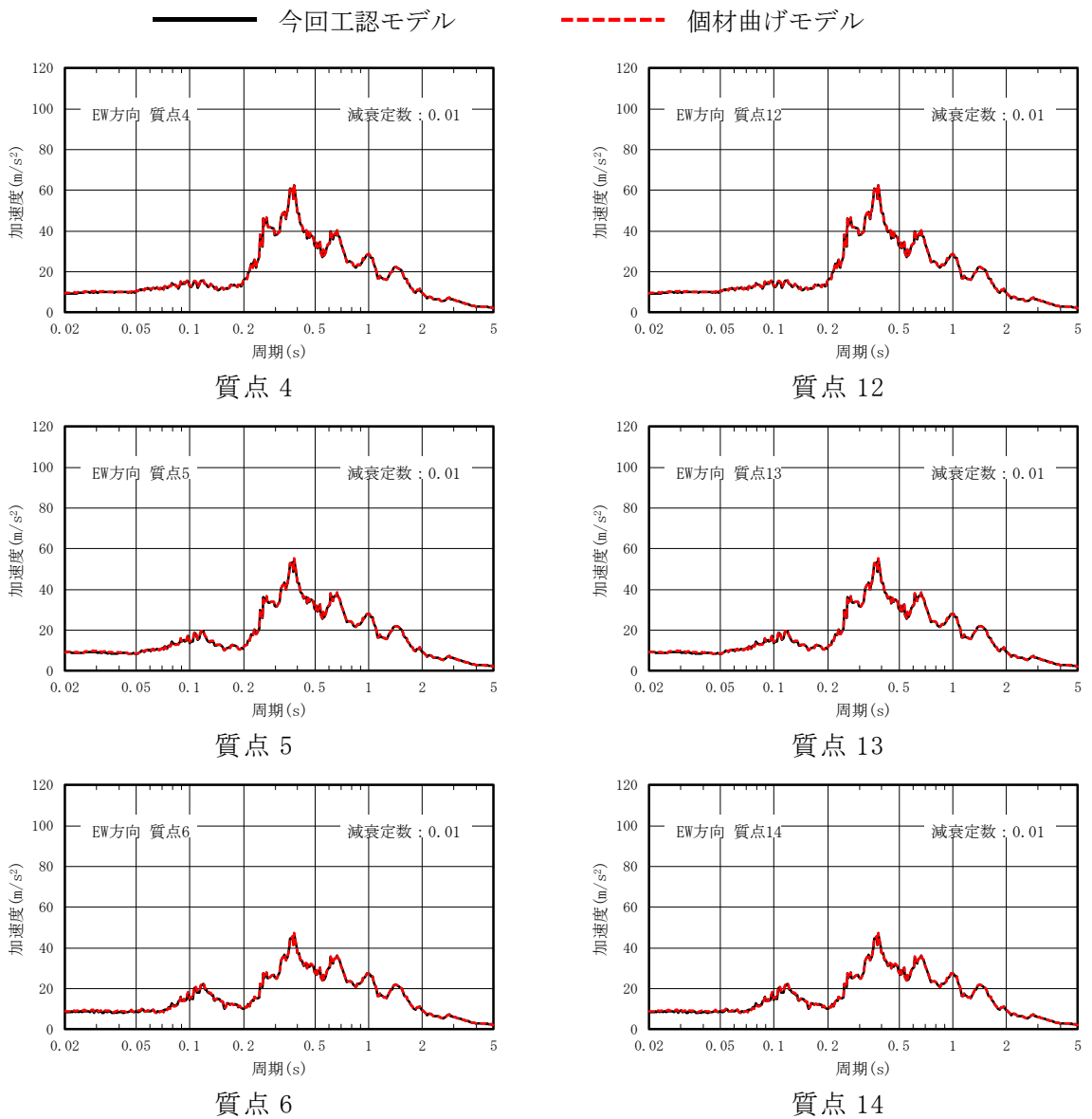
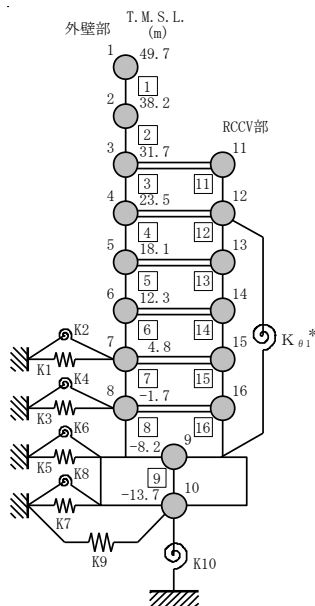


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



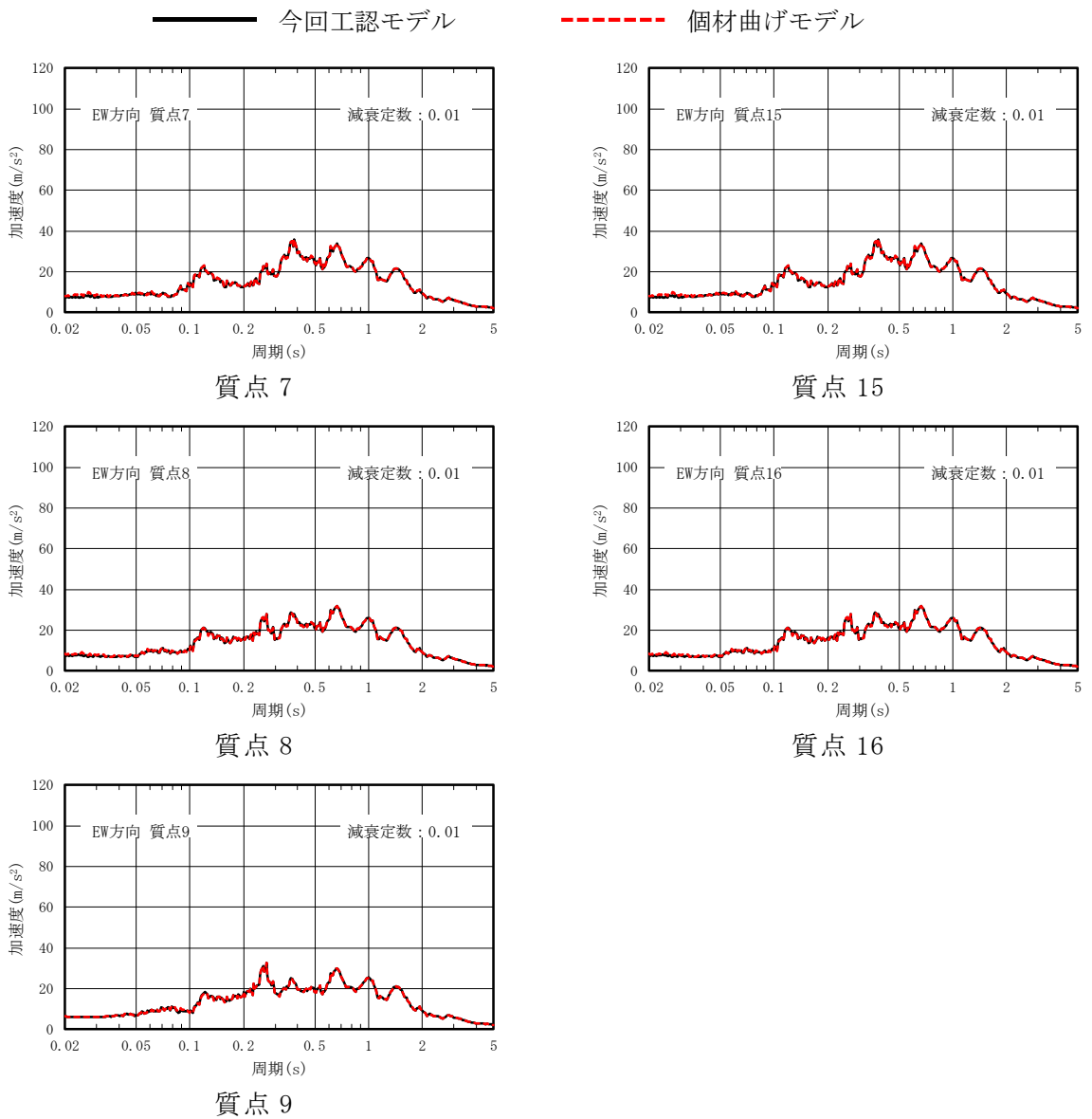
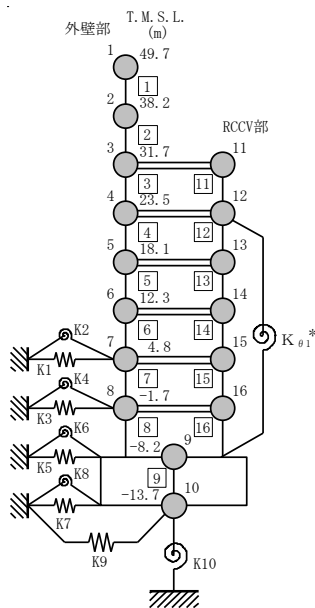


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



6. 補助壁の評価

個材曲げモデルの地震応答解析において補助壁の負担するせん断力が、「2015年版建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」を参考に、次式をもとに算定したせん断終局強度 Q_{wsu} 以下であることを確認する。

$$Q_{wsu} = \left\{ \frac{0.068 \cdot p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh} + 0.1 \cdot \sigma_0} \right\} t_e \cdot j$$

ここで、

- t_e : I型断面を長さ t_e と断面 t_e とが等しい等価長方形断面に置き換えた時の幅 (mm)。ただし、 t_e は壁厚 t の1.5倍以下とする
- D : 補助壁の全長 (mm)
- j : $7d/8$
- p_{te} : 等価引張鉄筋比 (%) ($=100 \cdot a_t / (t_e \cdot d)$)
- a_t : I型断面の場合は引張側柱内の主筋断面積、長方形断面の場合は端部の曲げ補強筋の断面積 (mm^2)
- d : I型断面の場合 $D - D_c / 2$ (D_c は圧縮側柱のせい)、長方形断面の場合は $0.95 \cdot D$ (mm)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
- $M/(Q \cdot D)$: シアスパン比
- p_{wh} : t_e を厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比 (小数)
- σ_{wh} : 水平せん断補強筋の降伏強度 (N/mm^2)
- σ_0 : 全断面積に対する平均軸方向応力度 (N/mm^2)

補助壁の負担せん断力は、個材曲げモデルの地震応答解析による最大応答せん断力にせん断断面積比（補助壁の等価せん断断面積／耐震壁のせん断断面積及び補助壁の等価せん断断面積）を乗じることにより算出した値と、補助壁のせん断スケルトンの第1折点における値のうちいずれか小さい方の値とする。

補助壁の負担せん断力の算出結果を表6-1及び表6-2に、補助壁の負担せん断力に対する評価結果を表6-3及び表6-4に示す。

表6-3及び表6-4に示すとおり、補助壁の負担せん断力はせん断終局強度以下となることを確認した。

表 6-1 補助壁の負担せん断力 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	378	0.35	133	156	133
23.5 ~ 18.1	375	0.07	26.3	30.3	26.3
18.1 ~ 12.3	428	0.17	72.8	63.4	63.4
12.3 ~ 4.8	543	0.07	38.1	35.0	35.0
4.8 ~ -1.7	612	0.01	6.12	5.27	5.27
-1.7 ~ -8.2	600	0.11	66.0	68.0	66.0

注記*1：表 3-1 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-5 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-1 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	64.2	0.02	1.29	11.4	1.29
23.5 ~ 18.1	172	0.10	17.2	39.3	17.2
18.1 ~ 12.3	241	0.22	53.1	91.2	53.1
12.3 ~ 4.8	309	0.23	71.1	95.0	71.1
4.8 ~ -1.7	371	0.17	63.1	70.3	63.1
-1.7 ~ -8.2	419	0.19	79.7	90.8	79.7

注記*1：表 3-1 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-5 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-1 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 6-2 補助壁の負担せん断力 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	302	0.10	30.2	42.7	30.2
23.5 ~ 18.1	320	0.13	41.6	44.9	41.6
18.1 ~ 12.3	423	0.18	76.2	76.4	76.2
12.3 ~ 4.8	507	0.01	5.07	1.22	1.22
4.8 ~ -1.7	599	0.09	54.0	45.4	45.4
-1.7 ~ -8.2	681	0.20	137	124	124

注記*1：表 3-2 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-6 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-2 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	80.4	0.48	38.6	230	38.6
23.5 ~ 18.1	232	0.57	133	286	133
18.1 ~ 12.3	243	0.50	122	239	122
12.3 ~ 4.8	346	0.31	108	124	108
4.8 ~ -1.7	420	0.35	147	181	147
-1.7 ~ -8.2	388	0.09	35.0	51.1	35.0

注記*1：表 3-2 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-6 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-2 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 6-3 補助壁の評価結果 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	133	240
23.5 ~ 18.1	26.3	46.0
18.1 ~ 12.3	63.4	99.9
12.3 ~ 4.8	35.0	53.4
4.8 ~ -1.7	5.27	8.31
-1.7 ~ -8.2	66.0	107

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	1.29	17.9
23.5 ~ 18.1	17.2	59.9
18.1 ~ 12.3	53.1	143
12.3 ~ 4.8	71.1	144
4.8 ~ -1.7	63.1	109
-1.7 ~ -8.2	79.7	142

表 6-4 補助壁の評価結果 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	30.2	66.4
23.5 ~ 18.1	41.6	68.1
18.1 ~ 12.3	76.2	120
12.3 ~ 4.8	1.22	1.83
4.8 ~ -1.7	45.4	69.3
-1.7 ~ -8.2	124	194

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	38.6	353
23.5 ~ 18.1	133	434
18.1 ~ 12.3	122	376
12.3 ~ 4.8	108	187
4.8 ~ -1.7	147	281
-1.7 ~ -8.2	35.0	79.5

7. まとめ

補助壁の曲げ変形を考慮した等価剛性を算出する際の補助壁の断面二次モーメントを補助壁個材の図心回りとした個材曲げモデルを用いた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、個材曲げモデルの固有周期、最大応答値及び床応答は、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。

また、個材曲げモデルにおいて、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

さらに、個材曲げモデルにおいて、補助壁の負担するせん断力がせん断終局強度以下となることを確認した。

別紙10 原子炉建屋の地震応答解析における
側面地盤からの回転入力について

目 次

1. 概要	別紙 10-1
2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認	別紙 10-2
3. 検討方針	別紙 10-12
4. 検討条件	別紙 10-15
4.1 側面地盤からの回転入力方法	別紙 10-15
4.2 解析モデル	別紙 10-19
5. 検討結果	別紙 10-27
5.1 最大応答値	別紙 10-27
6. 床応答に対する影響	別紙 10-37
7. まとめ	別紙 10-44

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析における側面地盤からの回転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。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に側面回転地盤ばねを考慮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、側面回転地盤ばねを考慮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1-5「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」では、建屋を質点系モデル、地盤を2次元FEMモデルとした詳細なモデルを用いて地震応答解析を実施しており、この解析においては側面地盤からの回転入力が考慮されている。図2-3～図2-8に示すとおり、地盤を2次元FEMとしたモデルと今回工認モデルである埋込SRモデルを比較すると、応答は概ね同等ではあるが若干埋込SRモデルの方が大きくなる傾向にあることを確認した。

以上に示すとおり、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価でき、周辺地盤をより詳細に表現したモデルよりも保守的な応答を示すことから、今回工認モデルは保守的な設定となっており、基本モデルとして妥当であると考えられる。

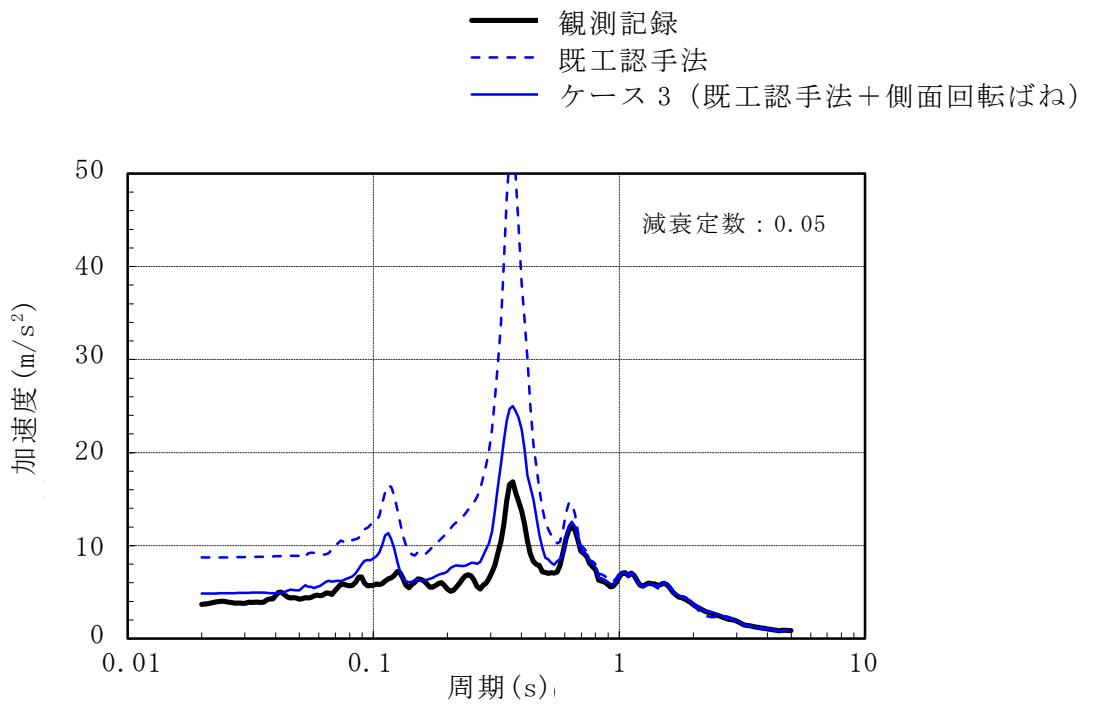
なお、次章以降で今回工認モデルに対してさらに側面地盤からの回転入力を考慮した場合の影響について確認する。

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）

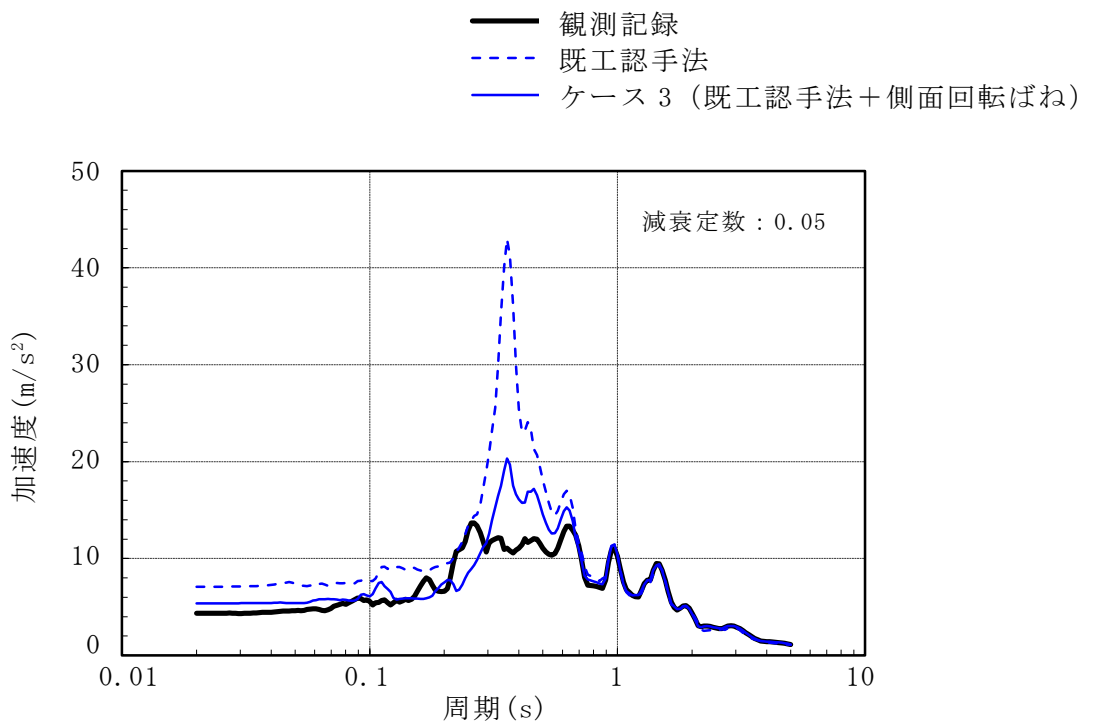
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

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/mm²（500kgf/cm²））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/mm²（440kgf/cm²））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。

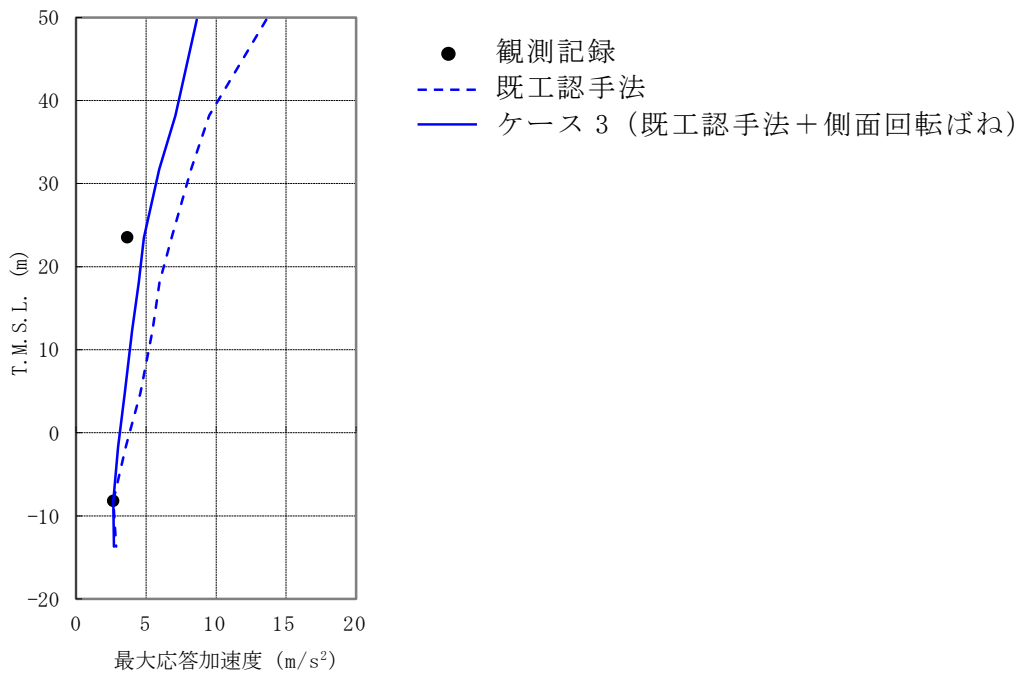


(a) NS方向

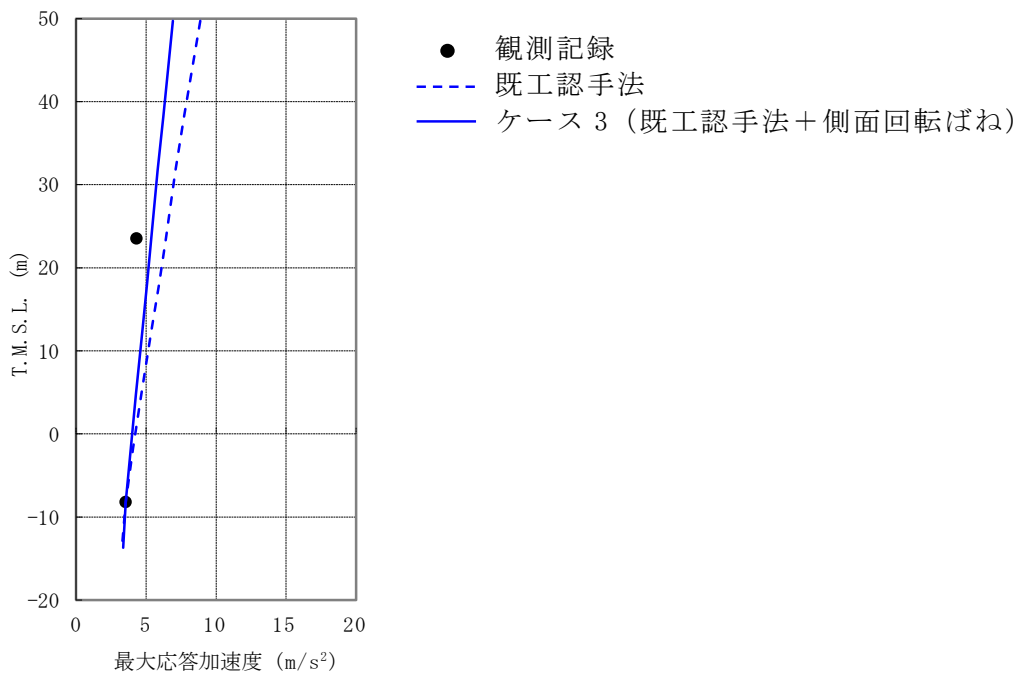


(b) EW方向

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 3-9 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 3-10 再掲)

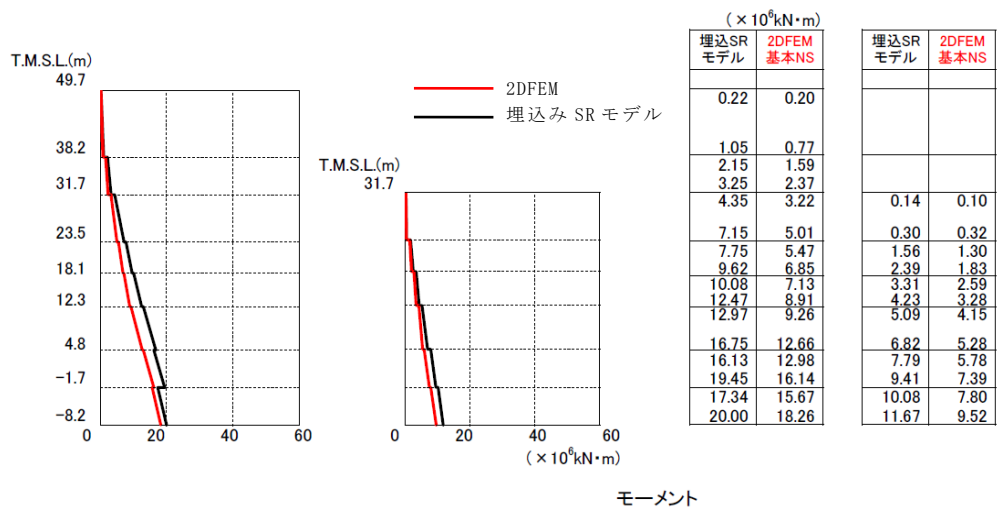
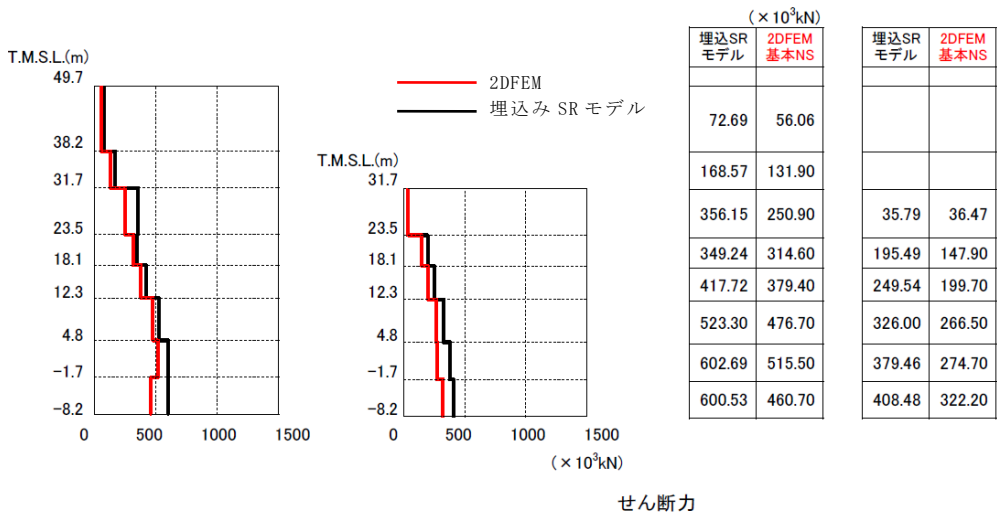
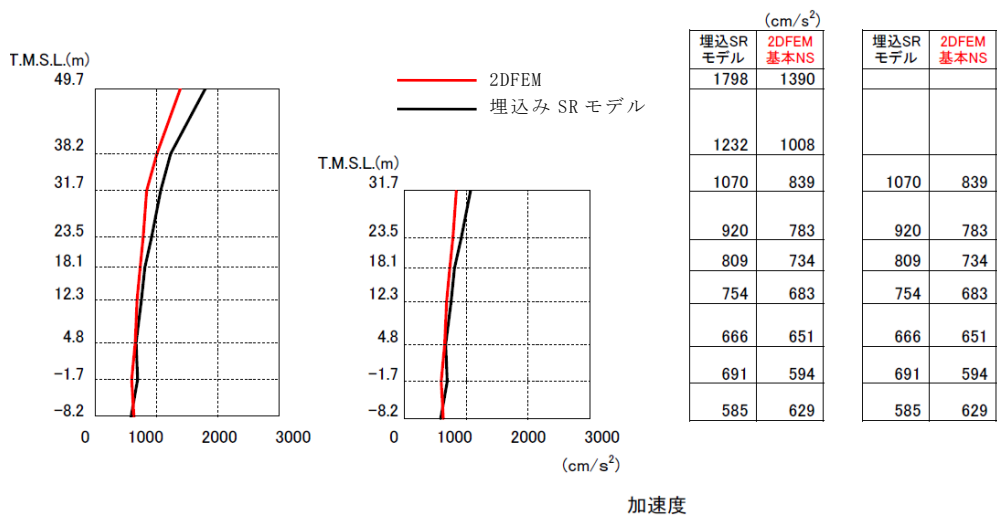


図 2-3 建屋の最大応答分布の比較 (NS 方向) (別紙 1-5 図 4-33 再掲)

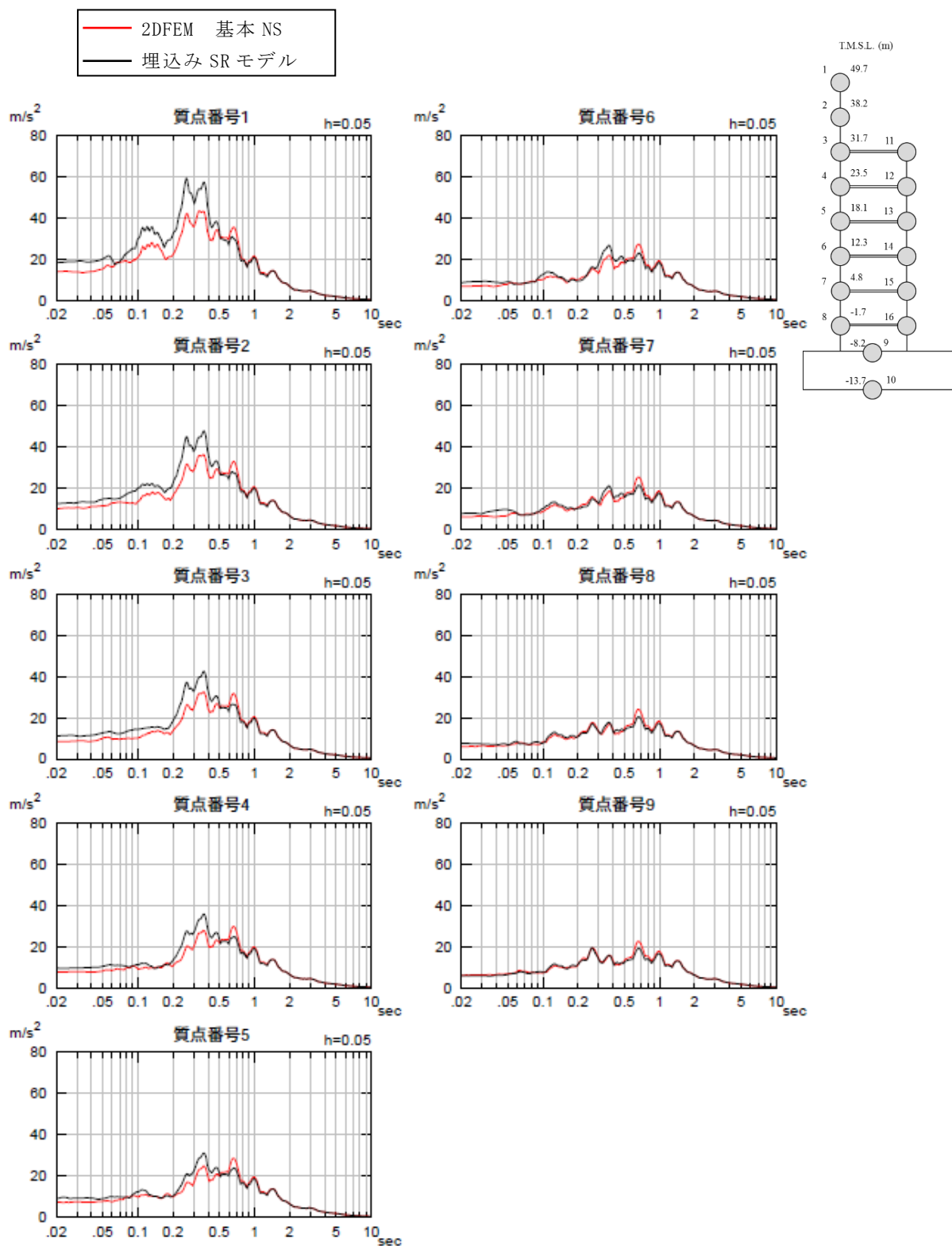


図 2-4 床応答スペクトルの比較 (NS 方向) h=5% (別紙 1-5 図 4-34 再掲)

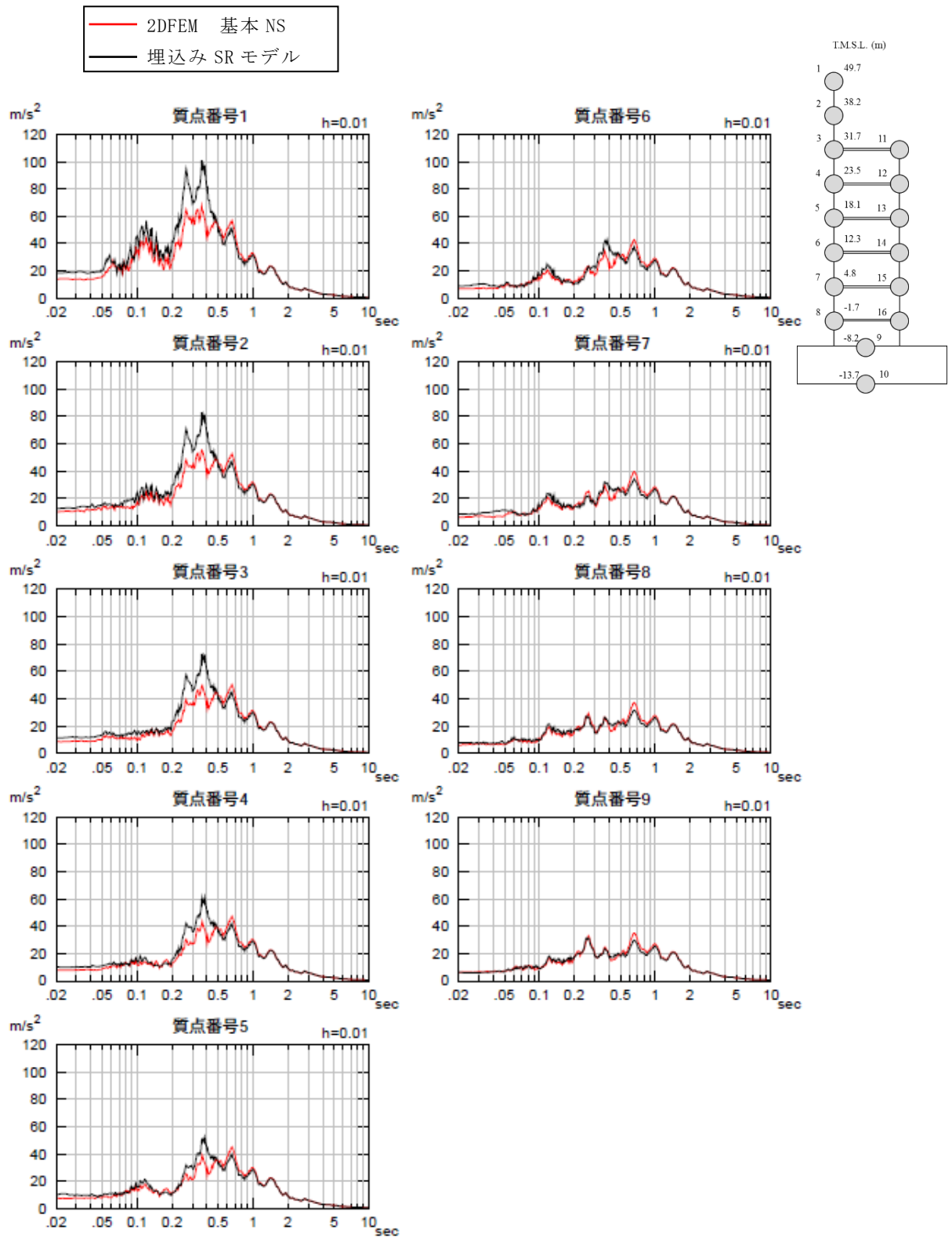
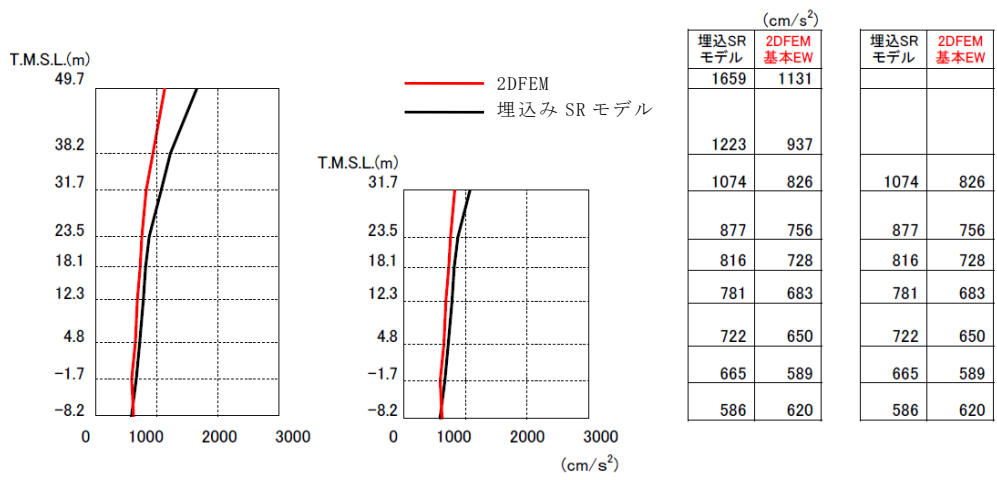
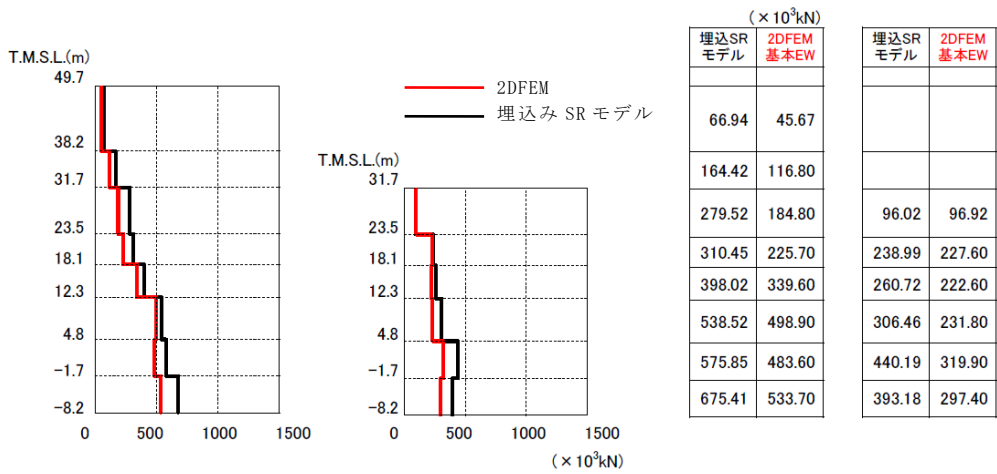


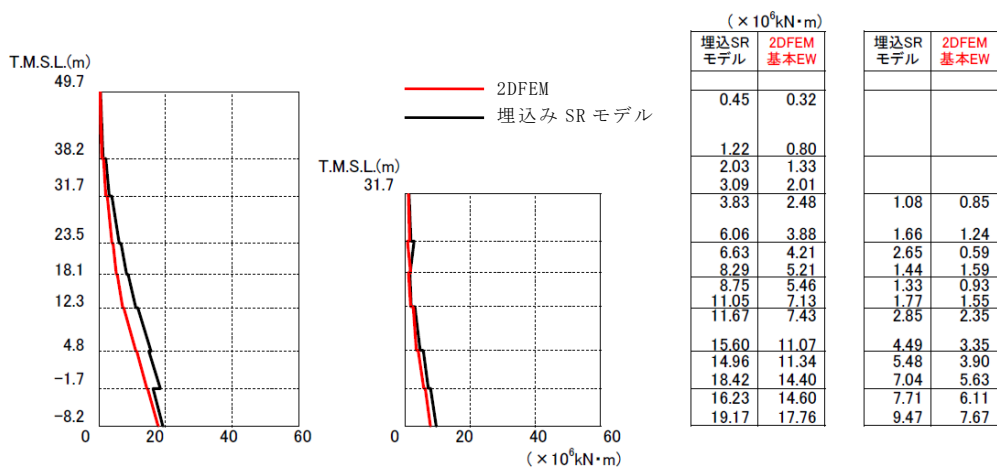
図 2-5 床応答スペクトルの比較 (NS 方向) $h=1\%$ (別紙 1-5 図 4-35 再掲)



加速度



せん断力



モーメント

図 2-6 建屋の最大応答分布の比較 (EW 方向) (別紙 1-5 図 4-36 再掲)

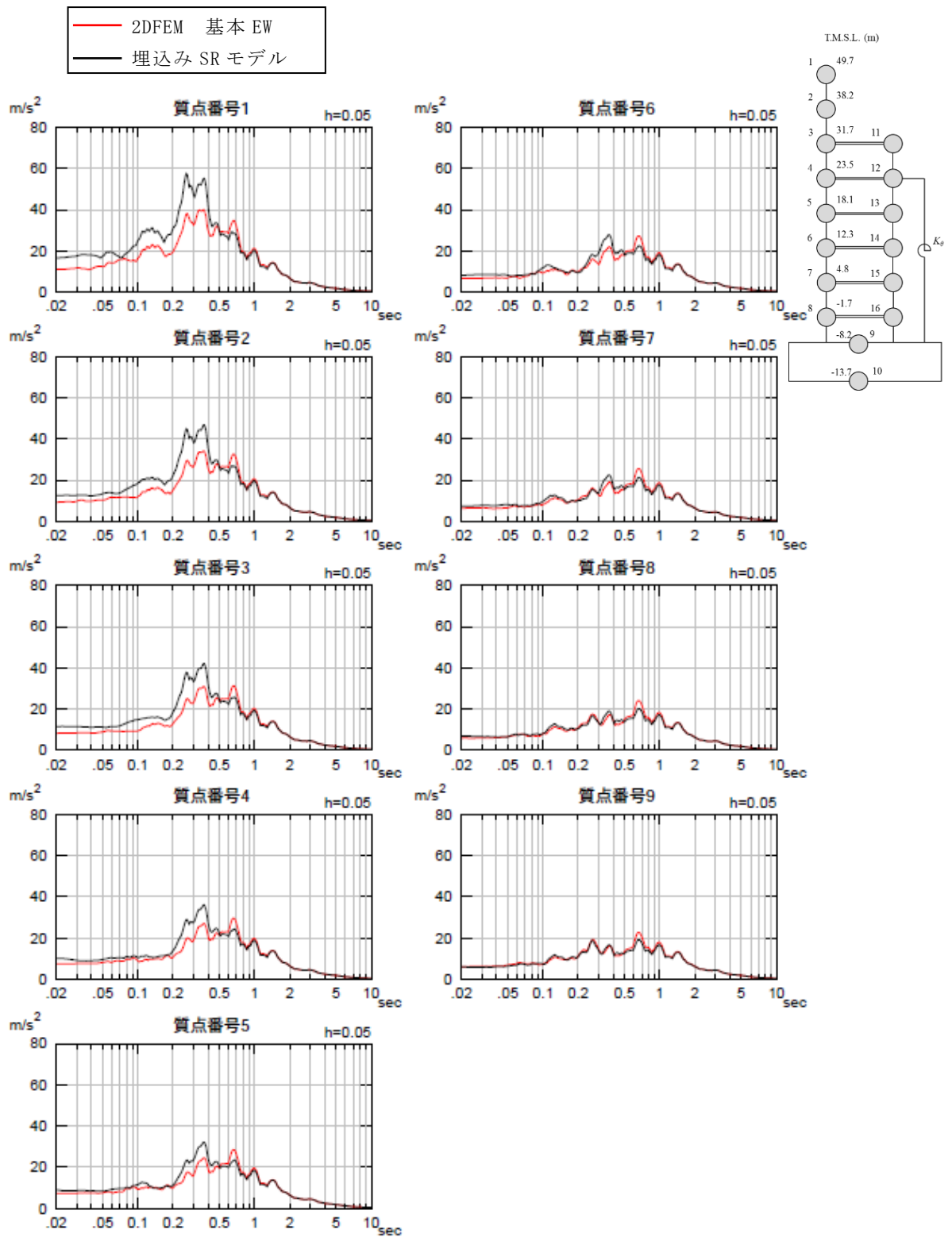


図 2-7 床応答スペクトルの比較 (EW 方向) h=5% (別紙 1-5 図 4-37 再掲)

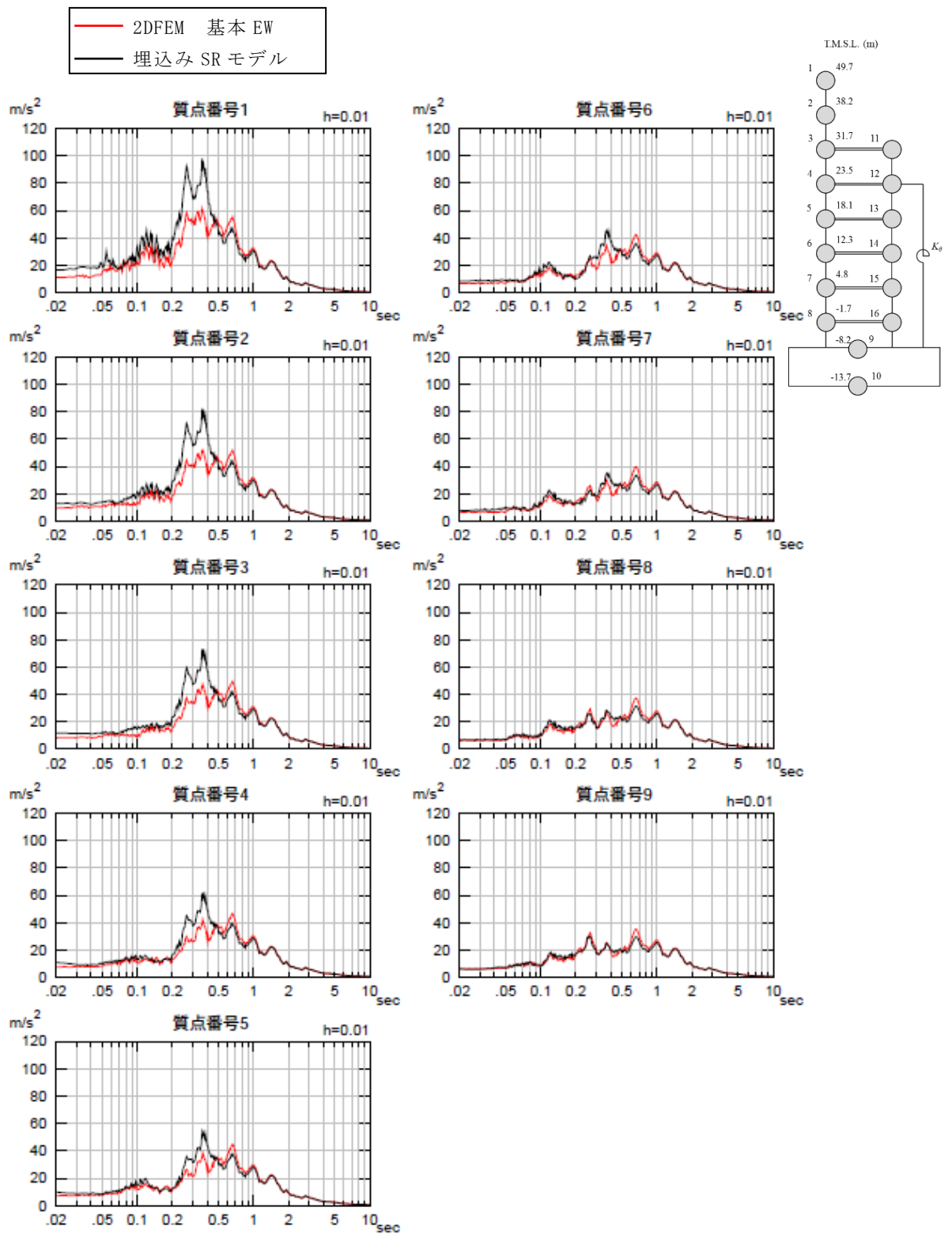


図 2-8 床応答スペクトルの比較 (EW 方向) $h=1\%$ (別紙 1-5 図 4-38 再掲)

3. 検討方針

今回工認モデルと側面地盤からの回転入力を考慮したモデル（以下、「回転入力モデル」という。）を比較することにより、側面地盤からの回転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。

3.1 側面地盤からの回転入力を考慮した運動方程式

地震応答解析モデルに関する運動方程式は、地震動規定点に対する相対座標系において、次式で表せる。

$$[m] \cdot \{\ddot{u}\} + [c] \cdot \{\dot{u}\} + [k] \cdot \{u\} = -[m] \cdot \{H\} \cdot \ddot{\alpha} + \{f\} \quad (3.1)$$

ここで、 $[m]$: 質量マトリックス
 $[c]$: 減衰マトリックス
 $[k]$: 剛性マトリックス
 $\{u\}$: 相対変位ベクトル
 $\{H\}$: 入力ベクトル (入力のある自由度 : 1, 他 : 0)
 $\ddot{\alpha}$: 地震加速度
 $\{f\}$: 地震外力ベクトル (水平方向の解析に用いる。)

また、建屋-地盤連成系における建屋部分の運動方程式は、地盤ばねの取り付く質点を添字 c で、それ以外の質点を添字 s で表すと絶対座標系において次式となる。

$$\begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s^t \\ \ddot{u}_c^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \dot{u}_s^t \\ \dot{u}_c^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_s^t \\ u_c^t \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ f_c^* \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

ここで、 $\{u^t\} = \{u_0\} + \{u\}$

$\{u\}$: 地震動規定点との相対変位

$\{u_0\}$: 地震動規定点の変位

$\{f_c^*\}$: 地盤からの力 (反力)

$\begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix}$: 質量マトリックス

$\begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} \end{bmatrix}$: ひずみエネルギー比例型の建屋の減衰マトリックス

$\begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} \end{bmatrix}$: 建屋の剛性マトリックス

(3.2)式を地震動規定点との相対変位 $\{u\}$ についての式に書き換えると、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s \\ \ddot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \dot{u}_s \\ \dot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_s \\ u_c \end{Bmatrix} \\ = - \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \{H\} \cdot \ddot{\alpha}_0 + \begin{Bmatrix} 0 \\ f_c^* \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (3.3)$$

ここで、 $\ddot{\alpha}_0$: 地震加速度（地震動規定点加速度）

$\{H\}$: 水平方向のみ 1, 他は 0 のベクトルである。なお、側面地盤からの回転入力进行考慮する場合は回転方向も 1 とする。

また、建屋からの力 $\{f_c^*\}$ は、次式で表される。

$$-\{f_c^*\} + \{p_c\} = [K_c] \cdot (\{u_c\} - \{\widetilde{u}_c\}) + [C_c] \cdot (\{\dot{u}_c\} - \{\dot{\widetilde{u}}_c\}) \quad (3.4)$$

ただし、 $[K_c]$, $[C_c]$: 地盤ばねの剛性及び減衰マトリックス

$\{\widetilde{u}_c\}$, $\{\dot{\widetilde{u}}_c\}$: 一次元波動解析における地震動規定点に対する地盤の相対変位及び相対速度（側面地盤からの回転入力进行考慮する場合は、側面回転地盤ばねの取り付く質点位置の地震動規定点に対する地盤の回転角及び回転角速度を含む）

$\{p_c\}$: 一次元波動解析における切欠き面の地盤のせん断力（切欠き力）

(3.4)式を(3.3)式に代入すれば、運動方程式は次式になる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s \\ \ddot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} + C_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \dot{u}_s \\ \dot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} + K_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_s \\ u_c \end{Bmatrix} \\ = - \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \{H\} \cdot \ddot{\alpha}_0 + \begin{Bmatrix} 0 \\ f_c \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (3.5)$$

ここで、 $\{f_c\}$ は次式で表される相互作用力である。

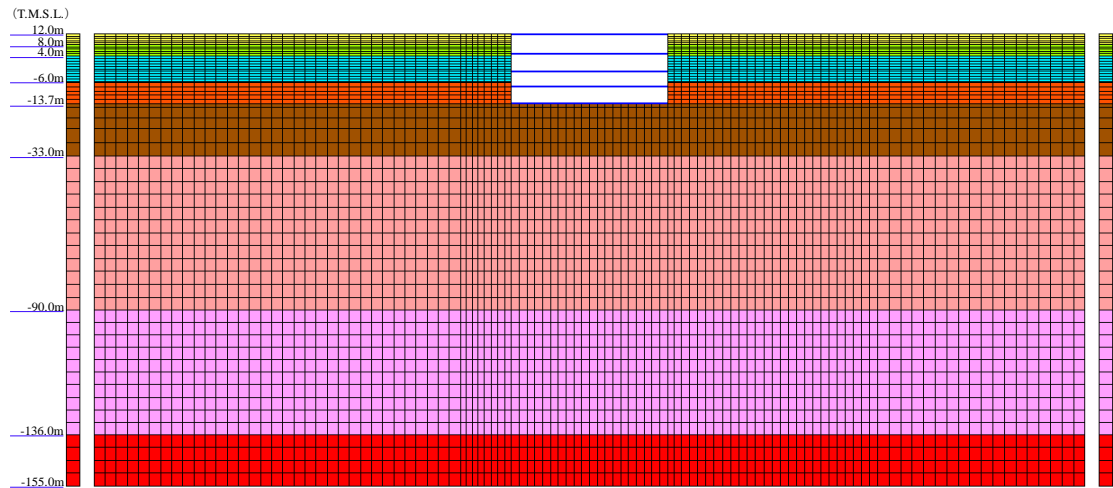
$$\{f_c\} = [K_c] \cdot \{\widetilde{u}_c\} + [C_c] \cdot \{\dot{\widetilde{u}}_c\} + \{p_c\} \quad (3.6)$$

4. 検討条件

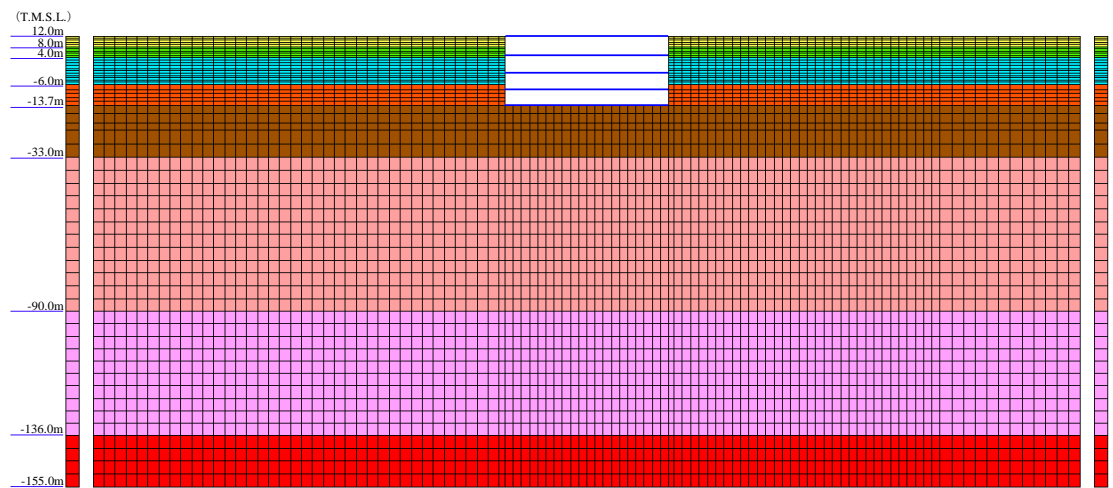
4.1 側面地盤からの回転入力方法

側面地盤からの回転入力は、側面回転地盤ばねの取り付く質点に地盤の回転応答を入力することで考慮する。地盤の回転応答は、一次元波動論に基づく入力地震動評価における水平成層地盤と等価な擬似 3 次元 FEM モデルを作成し、地震応答解析を実施することで求める。地盤の回転応答算出用モデルを図 4-1 に示す。建屋質点系モデルの質点と対応する位置に剛ばりを設定し、剛ばりに発生する回転角及び回転角速度を算出する。算出した回転角及び回転角速度の時刻歴を図 4-2 に示す。

	新期砂層①
	新期砂層②
	古安田層
	西山層1
	西山層2
	西山層3
	西山層4
	剛ばり

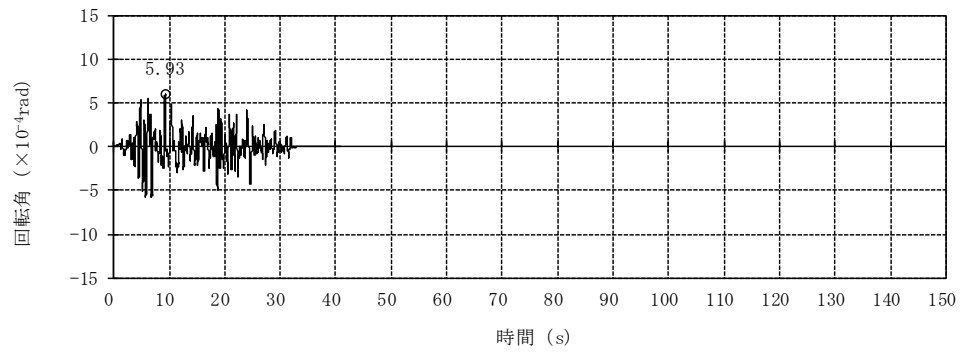


(a) NS 方向

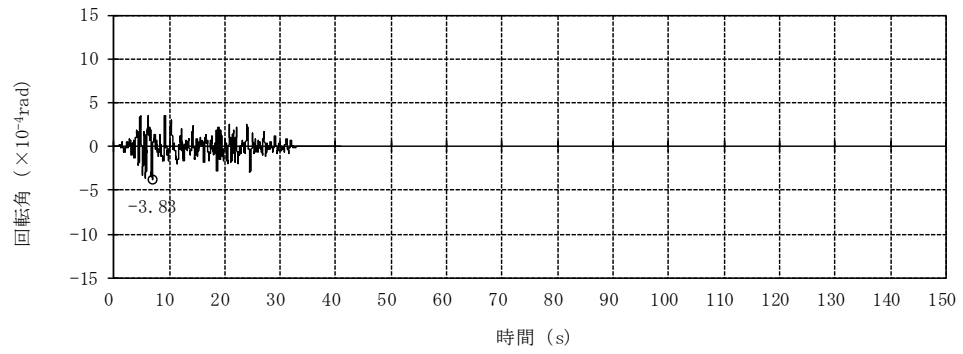


(b) EW 方向

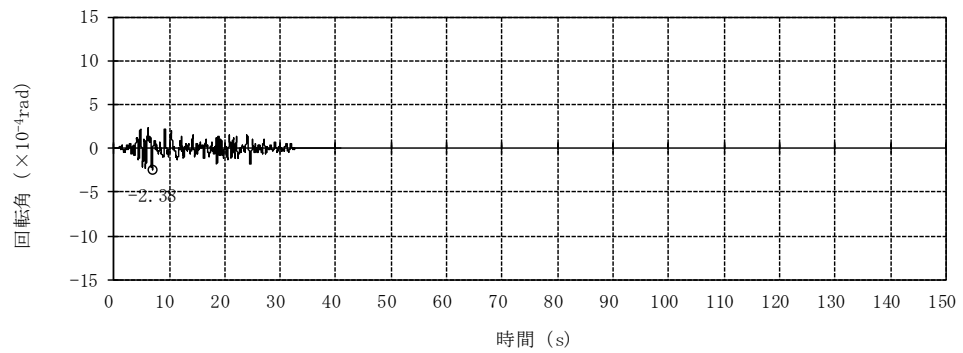
図 4-1 地盤の回転応答算出用モデル



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

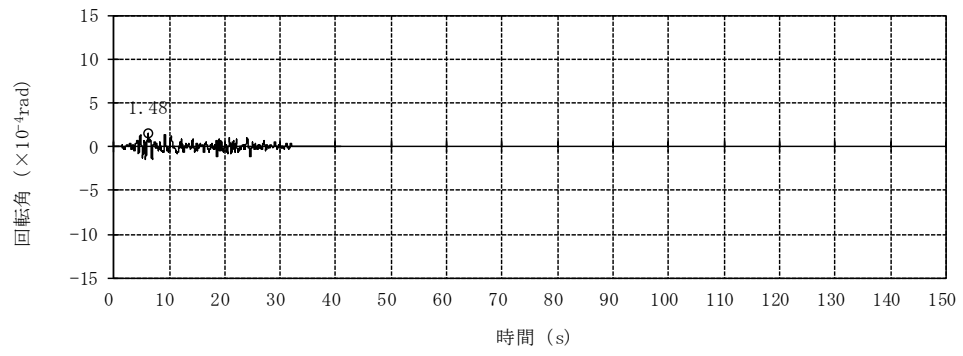


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



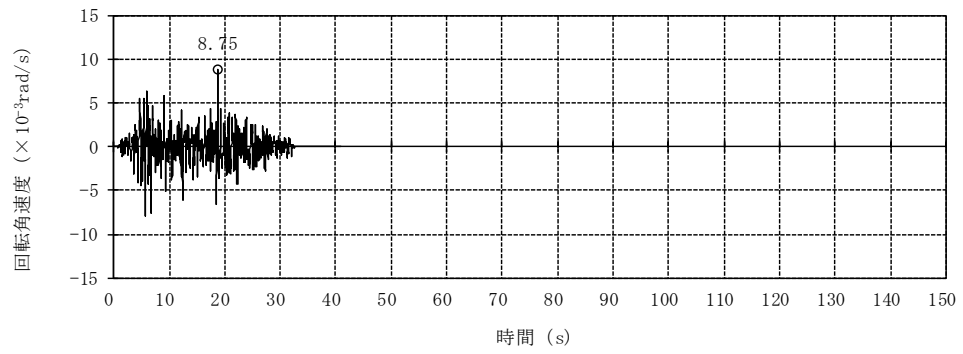
(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角) (1/8)

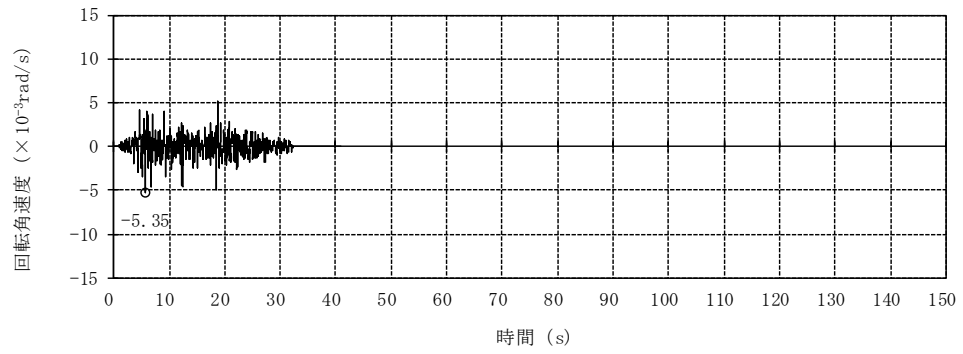


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

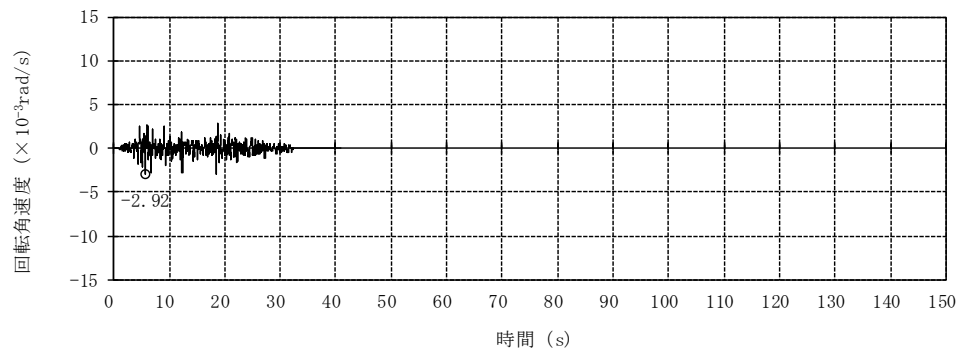
図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角) (2/8)



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

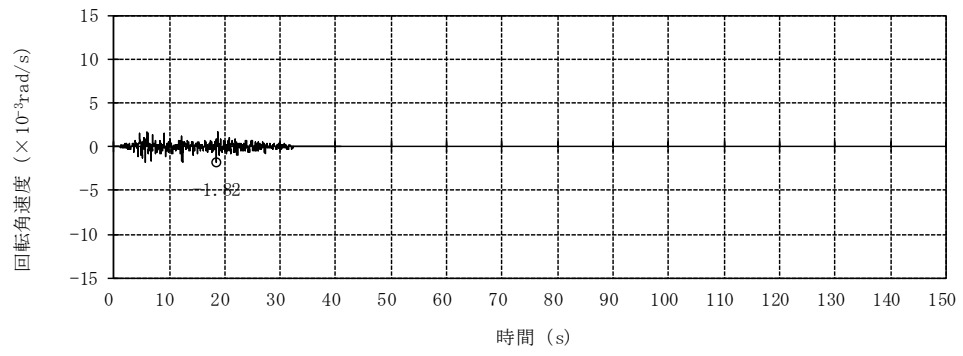


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



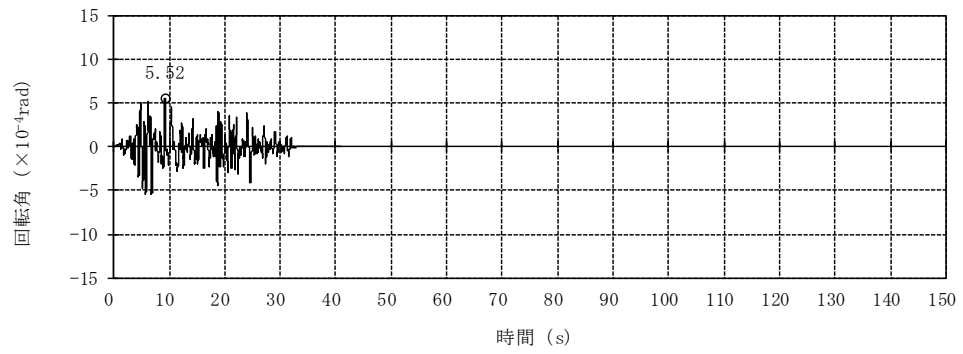
(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角速度) (3/8)

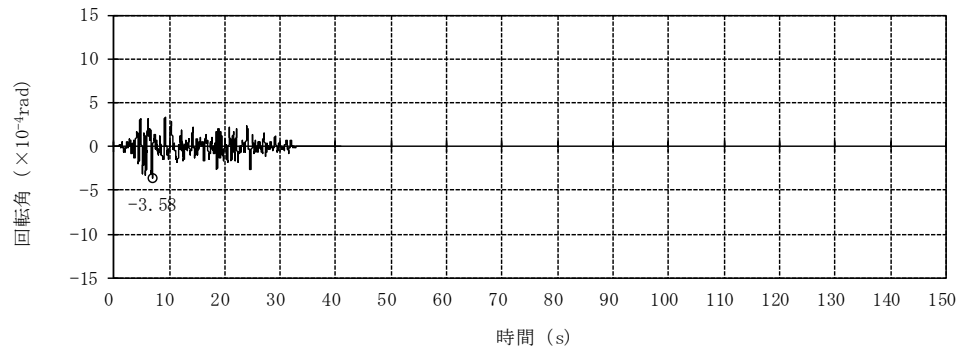


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

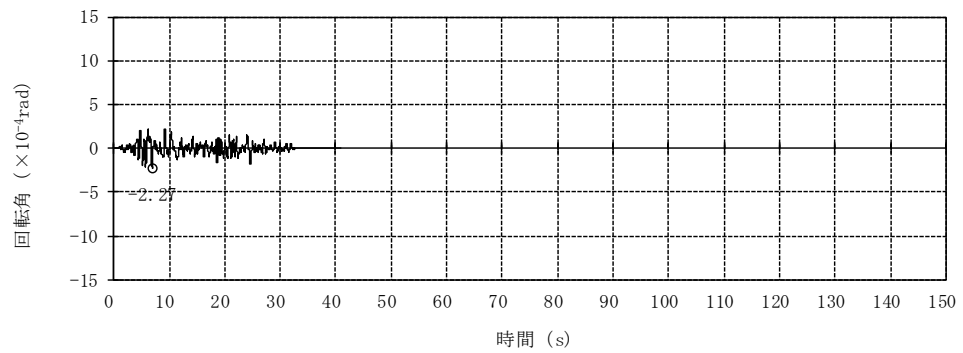
図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角速度) (4/8)



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

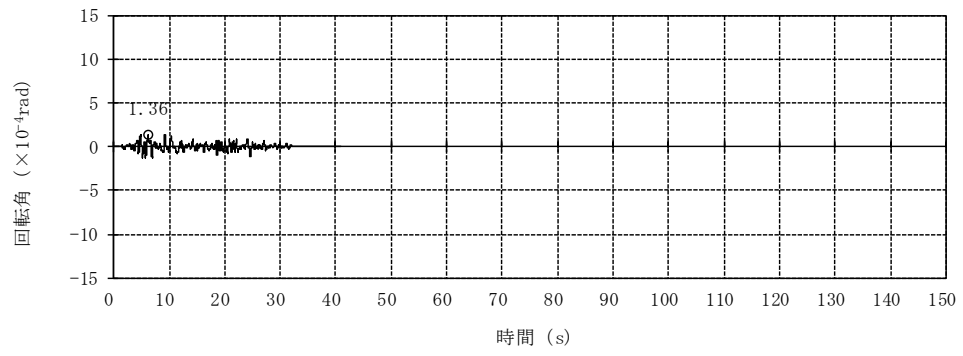


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



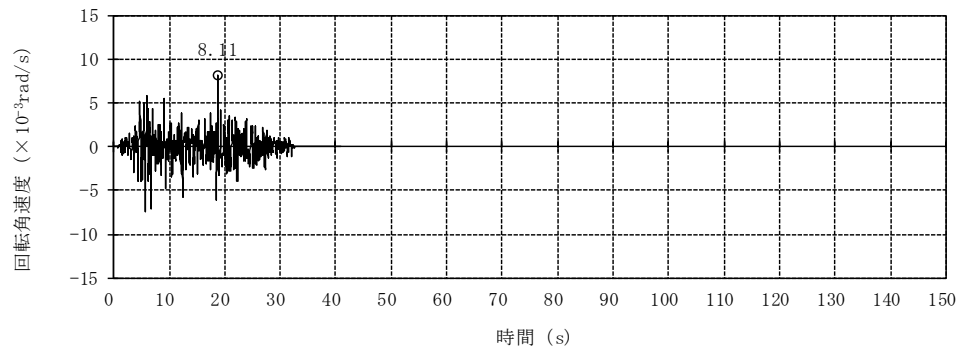
(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角) (5/8)

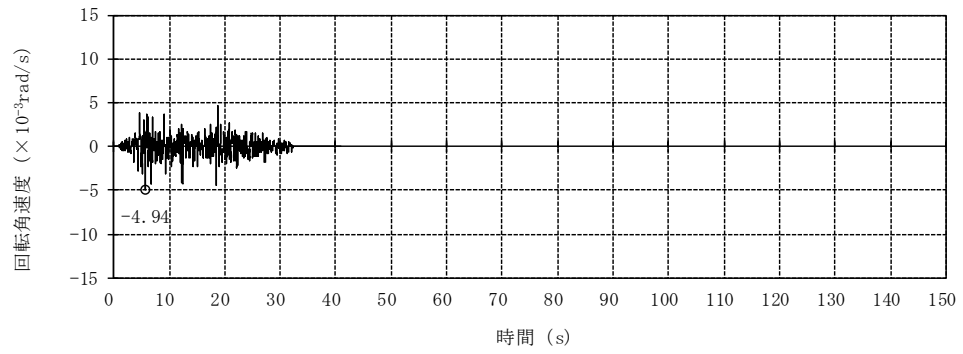


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

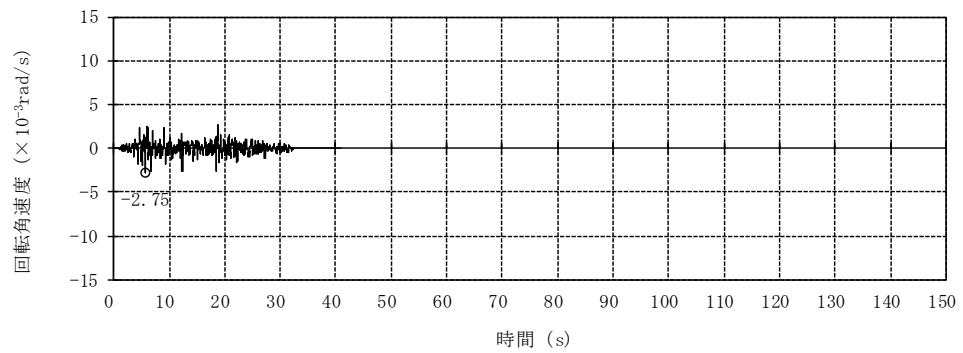
図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角) (6/8)



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

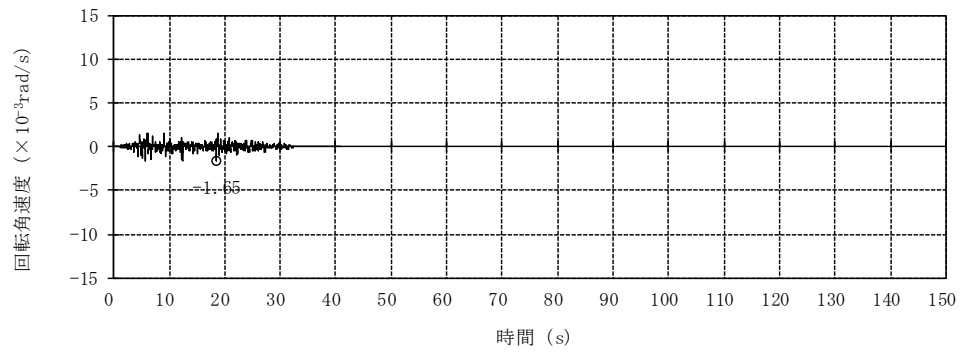


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角速度) (7/8)

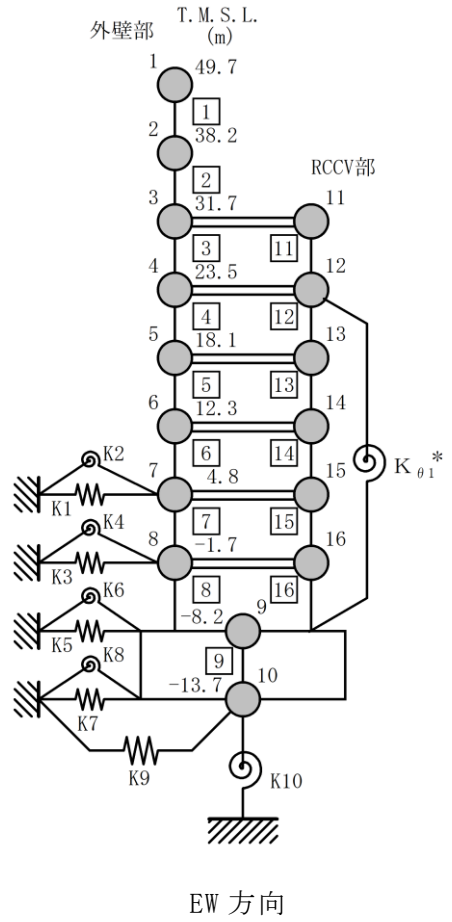
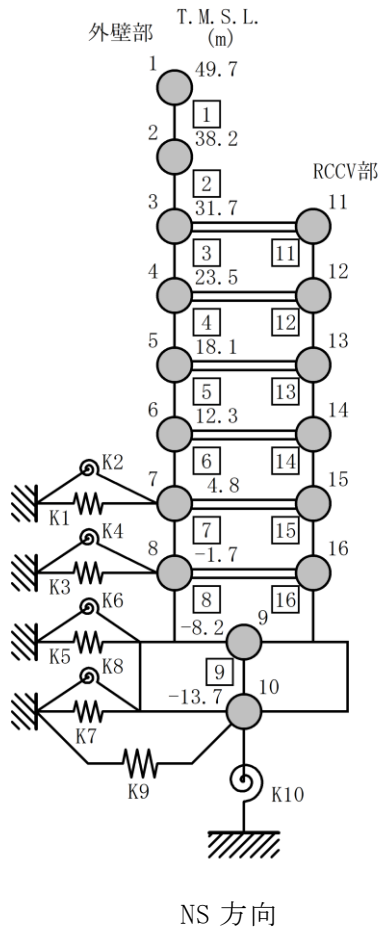


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角速度) (8/8)

4.2 解析モデル

地震応答解析モデルを図 4-3 に示す。



注記* : RCCV 回転ばね

図 4-3 地震応答解析モデル

5. 検討結果

5.1 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 5-1 及び表 5-2 に示す。

回転入力モデルの最大応答値のうち、最大応答変位については、側面地盤からの回転入力により入力位置の回転が抑えられるため、今回工認モデルと比べ小さくなる傾向であることを確認した。その他の最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

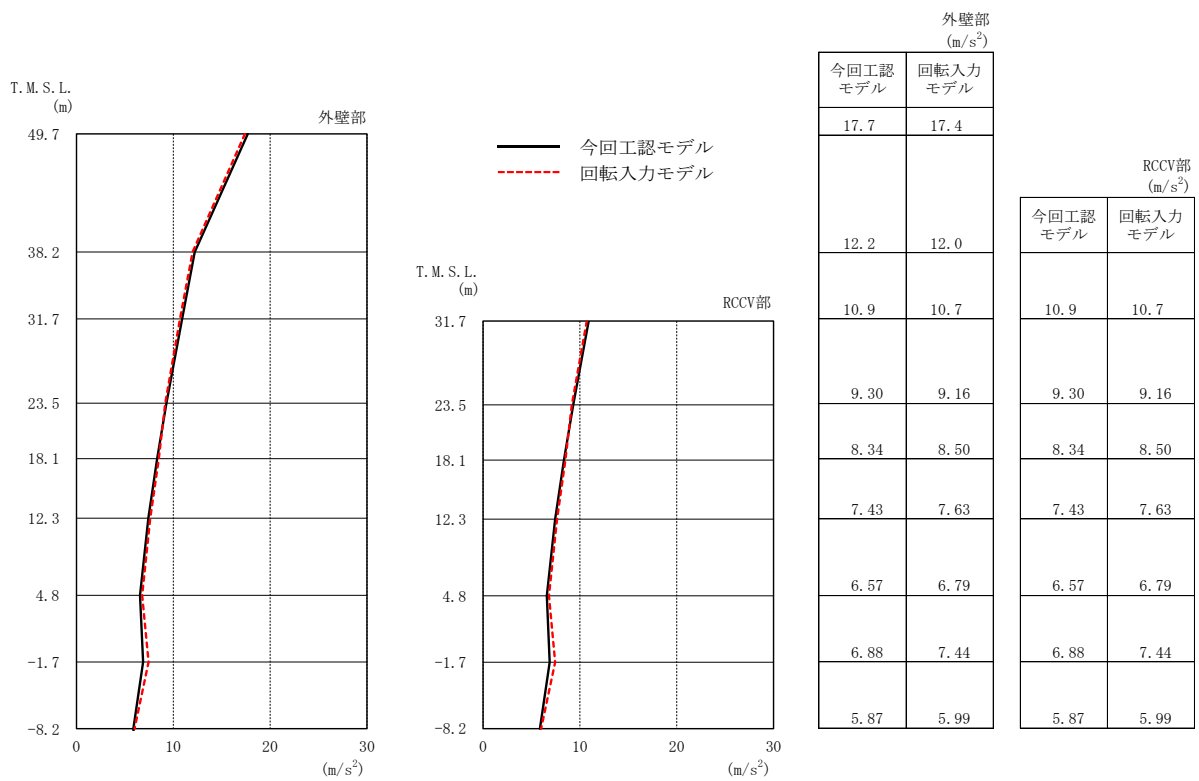
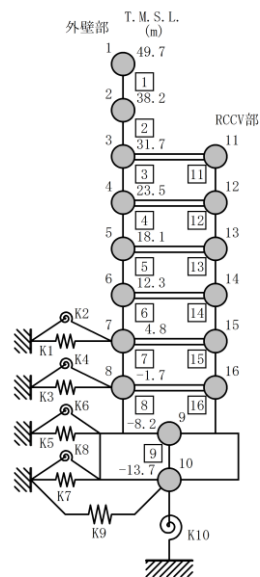


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



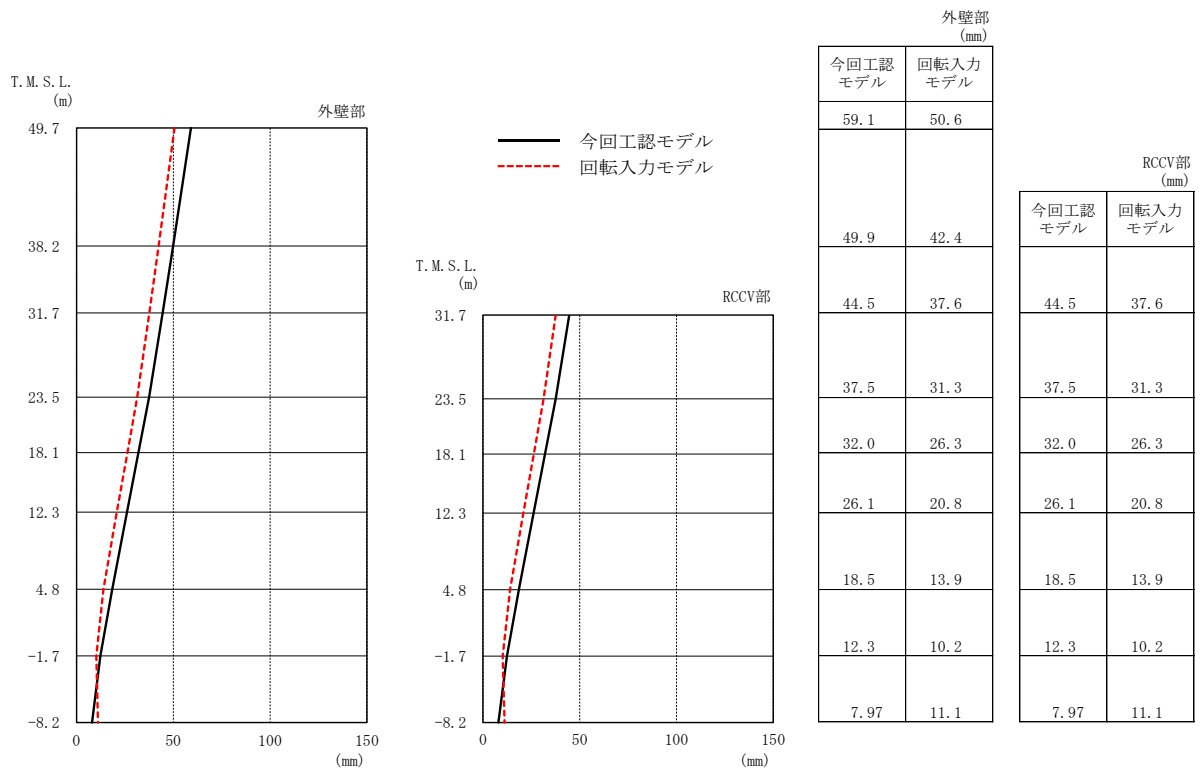
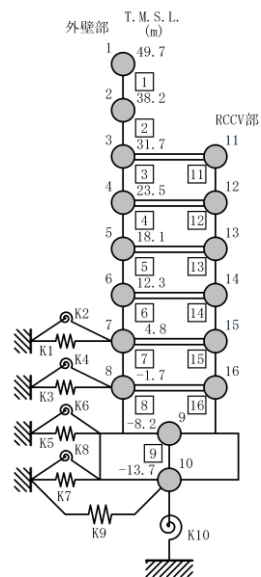


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



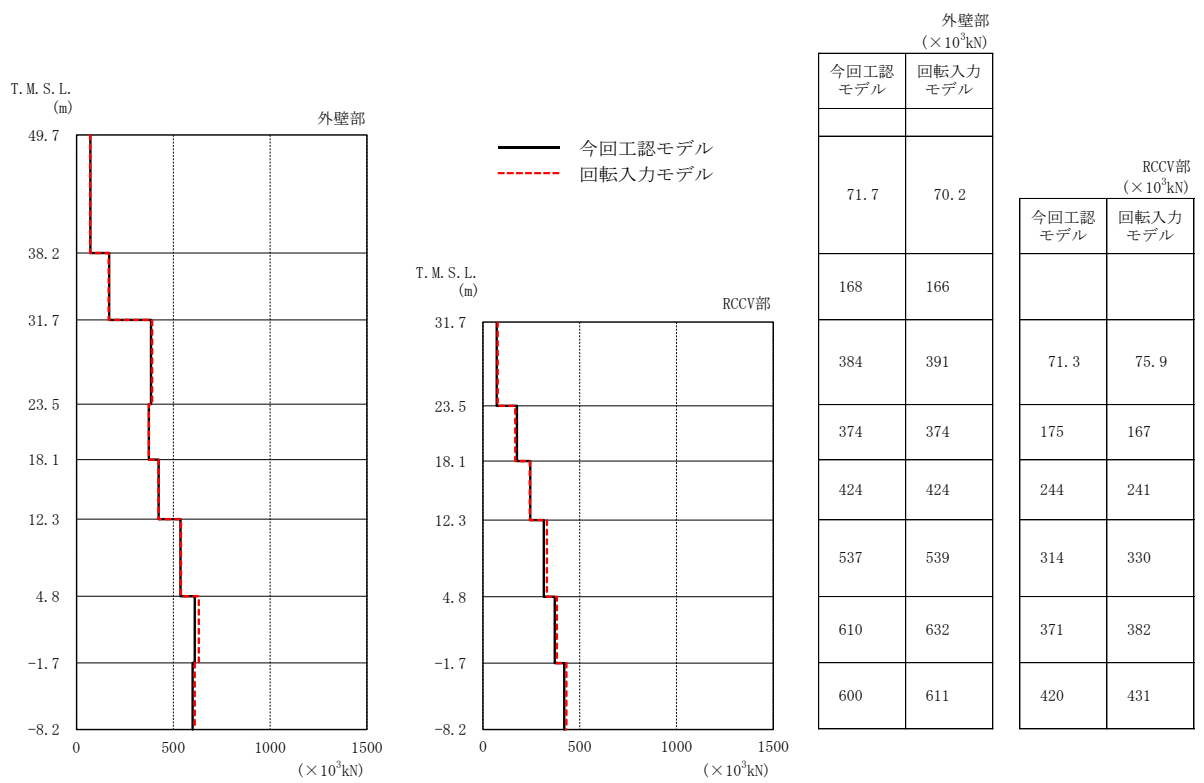
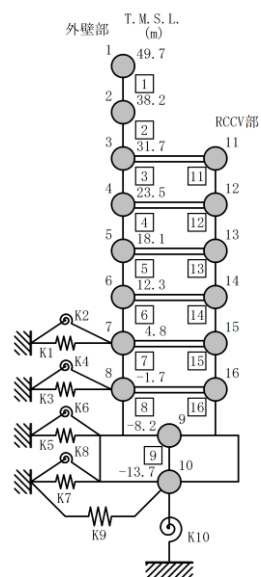


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



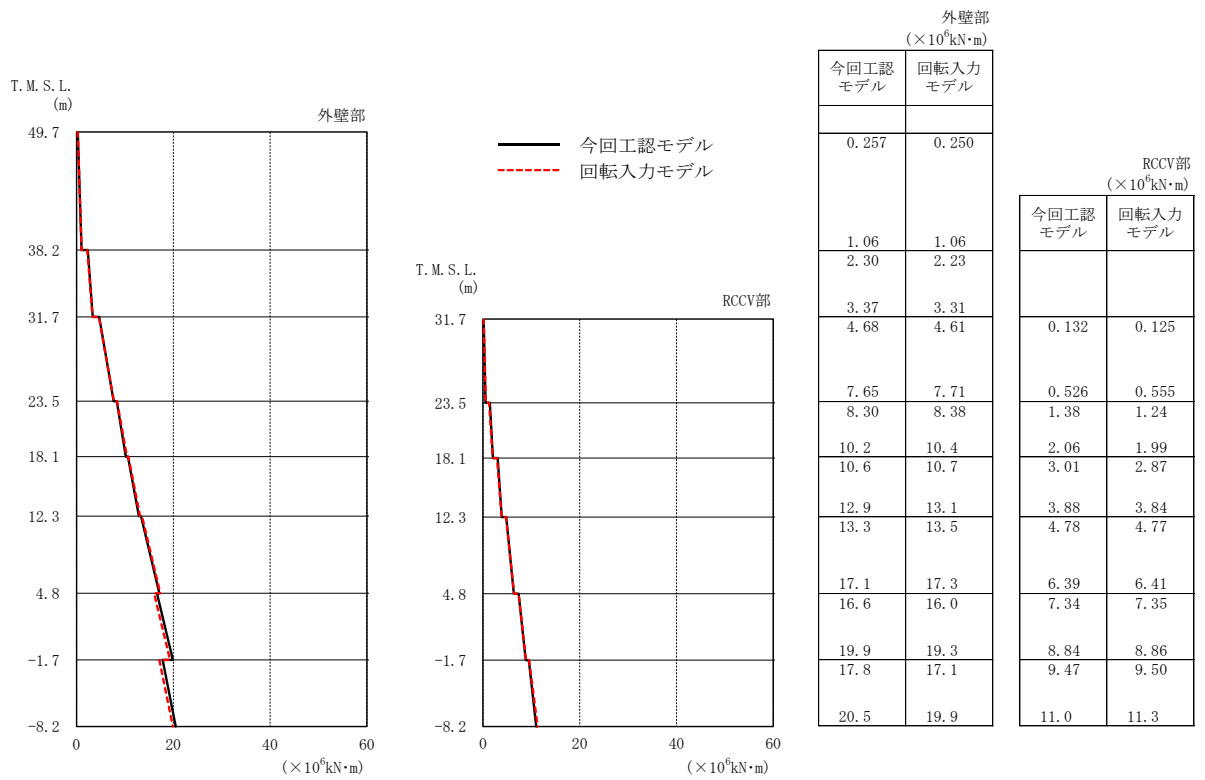
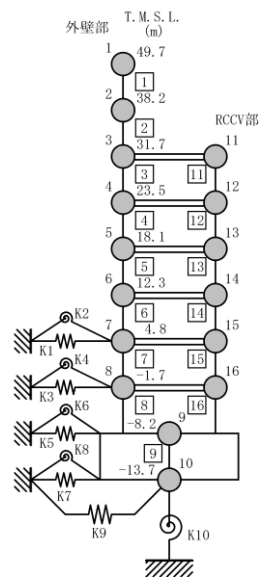


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



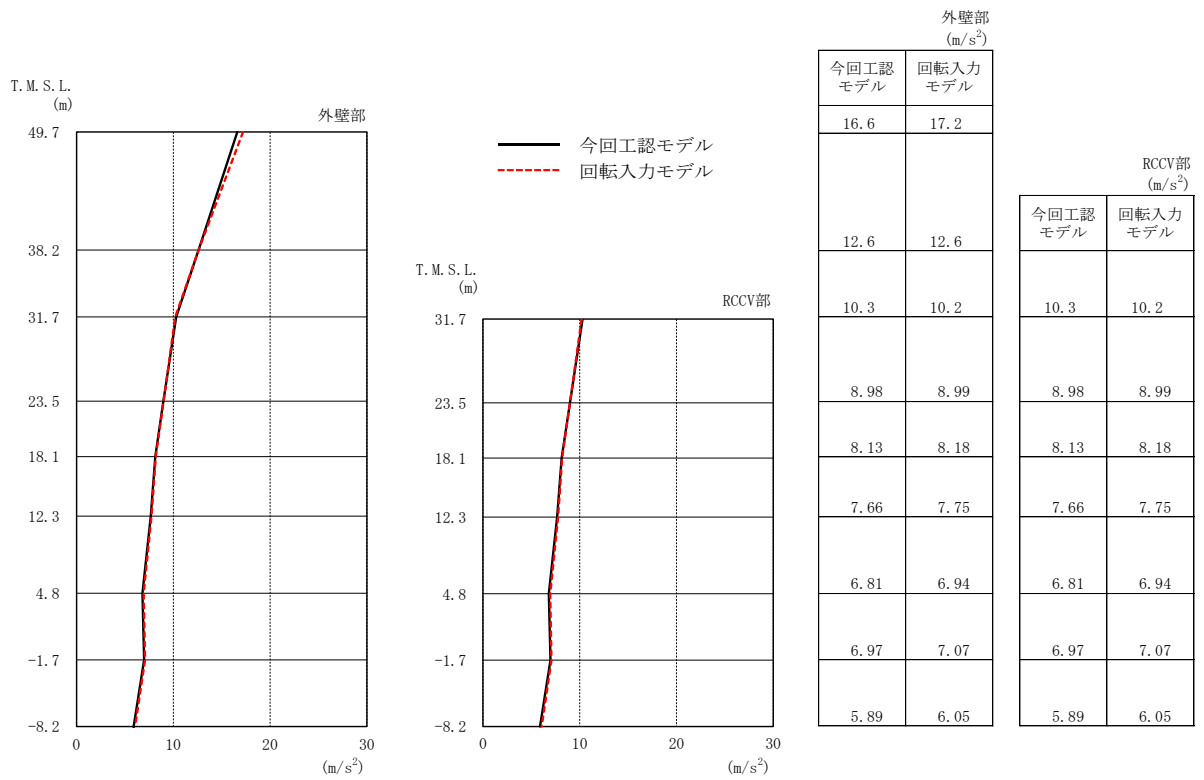
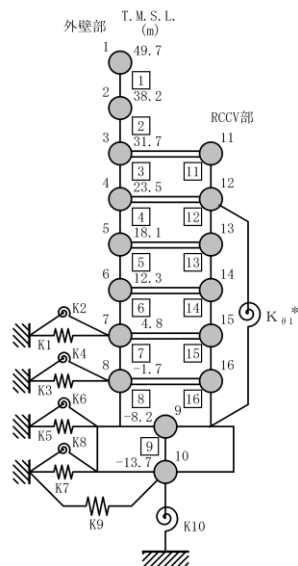


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



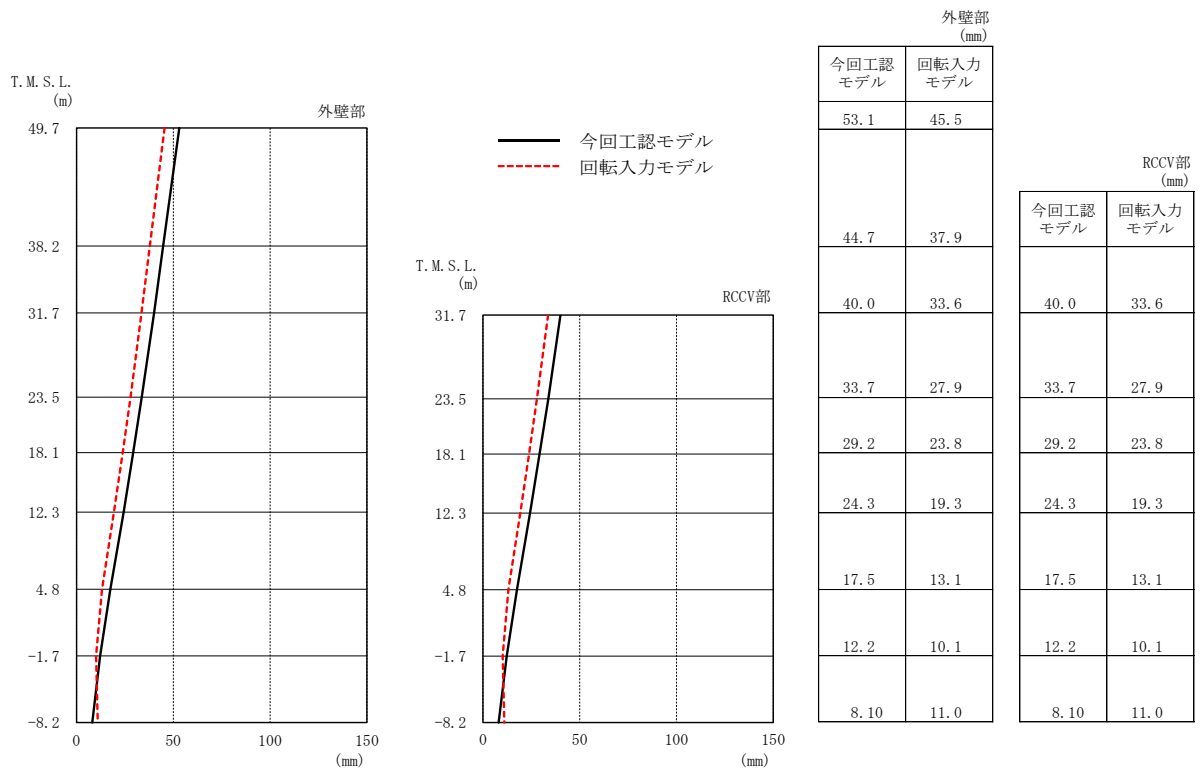
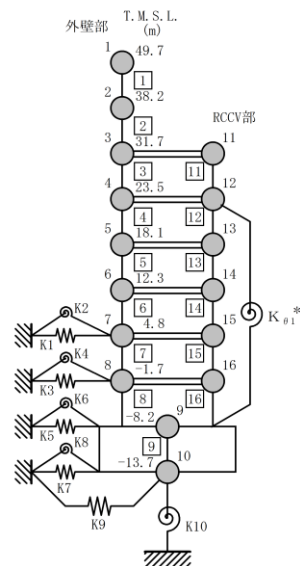


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



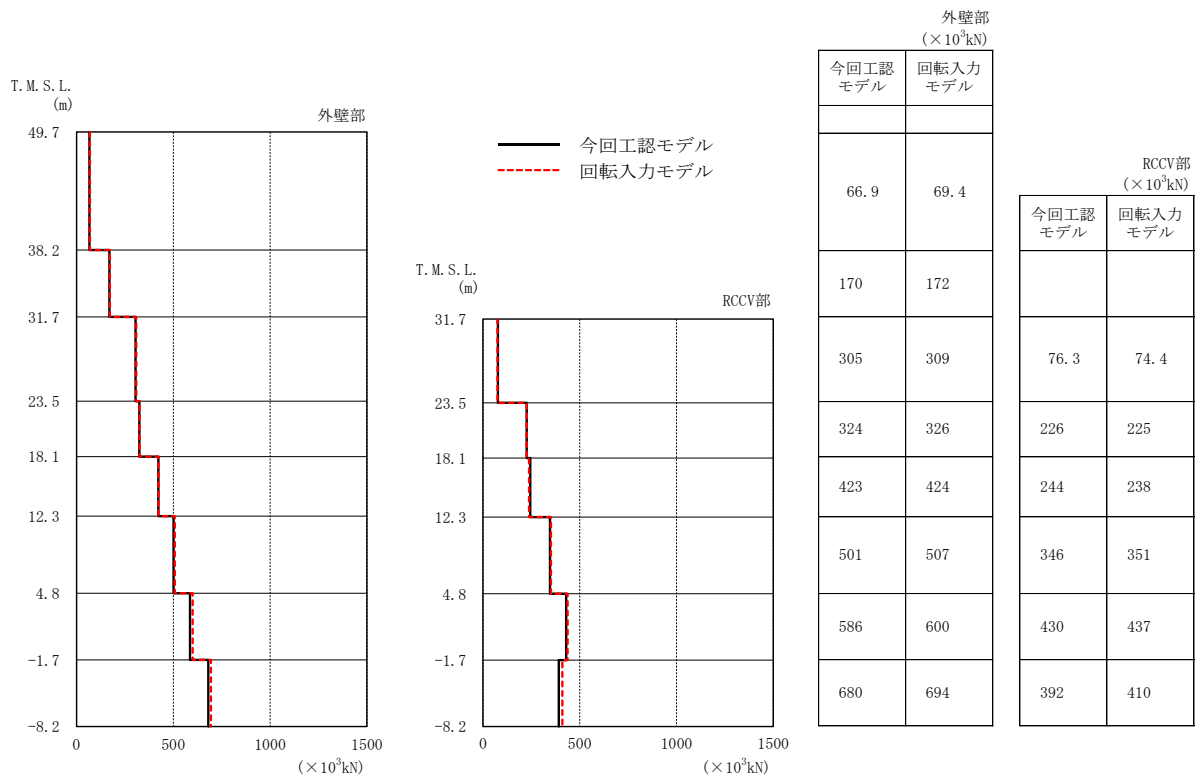
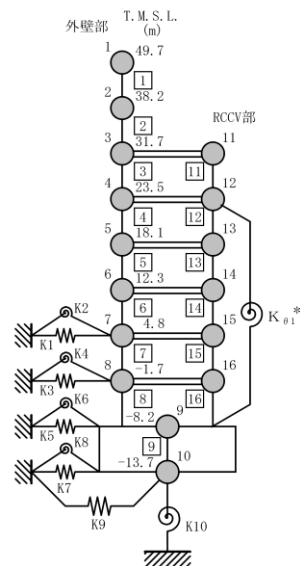


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



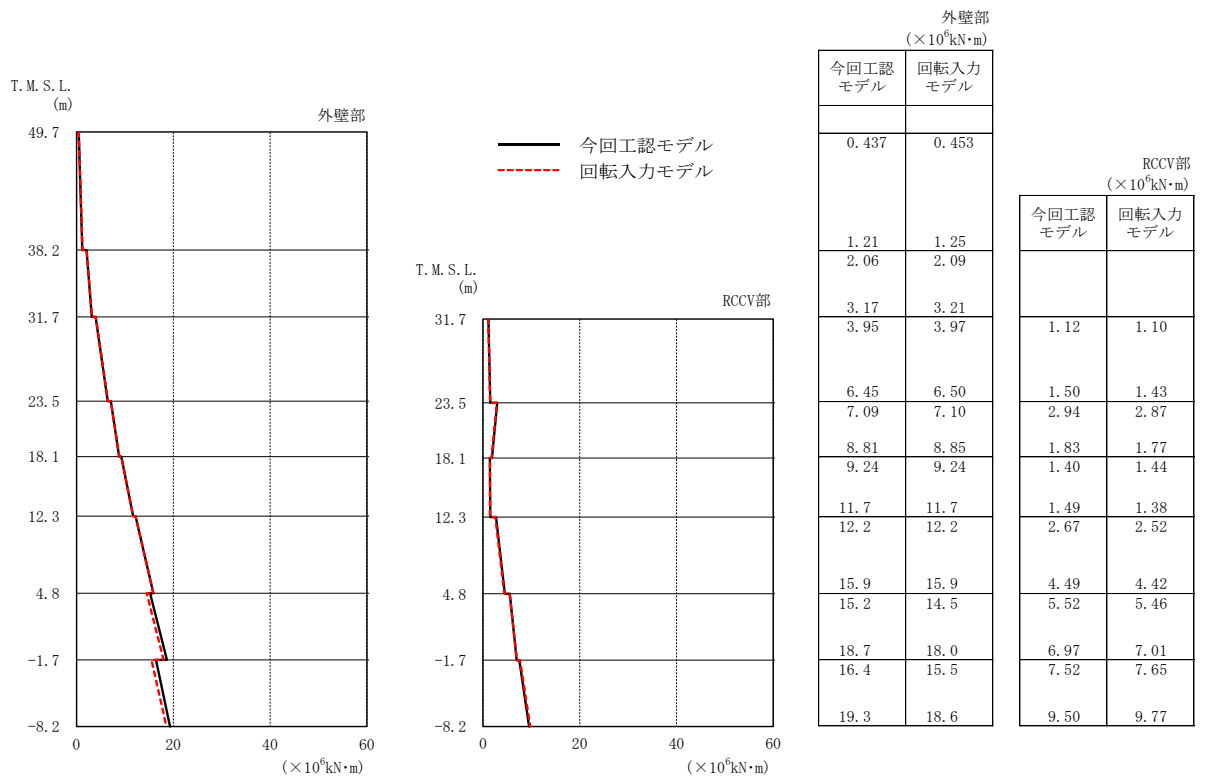


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

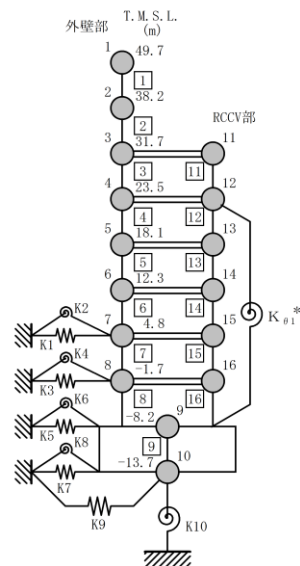


表 5-1 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	回転入力 モデル
1	0.147	0.144
2	0.170	0.168
3	0.171	0.174
4	0.361	0.363
5	0.388	0.389
6	0.406	0.410
7	0.528	0.587
8	0.225	0.251

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	回転入力 モデル
11	0.0499	0.0531
12	0.130	0.124
13	0.149	0.147
14	0.189	0.199
15	0.388	0.430
16	0.189	0.194

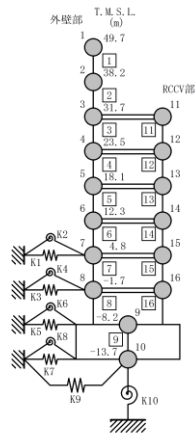
表 5-2 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

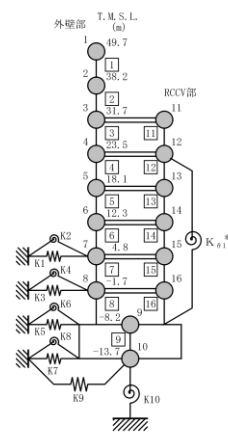
部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	回転入力 モデル
1	0.103	0.107
2	0.116	0.118
3	0.148	0.150
4	0.206	0.212
5	0.243	0.248
6	0.334	0.349
7	0.318	0.352
8	0.244	0.276

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	回転入力 モデル
11	0.0292	0.0285
12	0.0848	0.0844
13	0.0982	0.0961
14	0.191	0.193
15	0.200	0.216
16	0.200	0.222



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回転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，回転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。

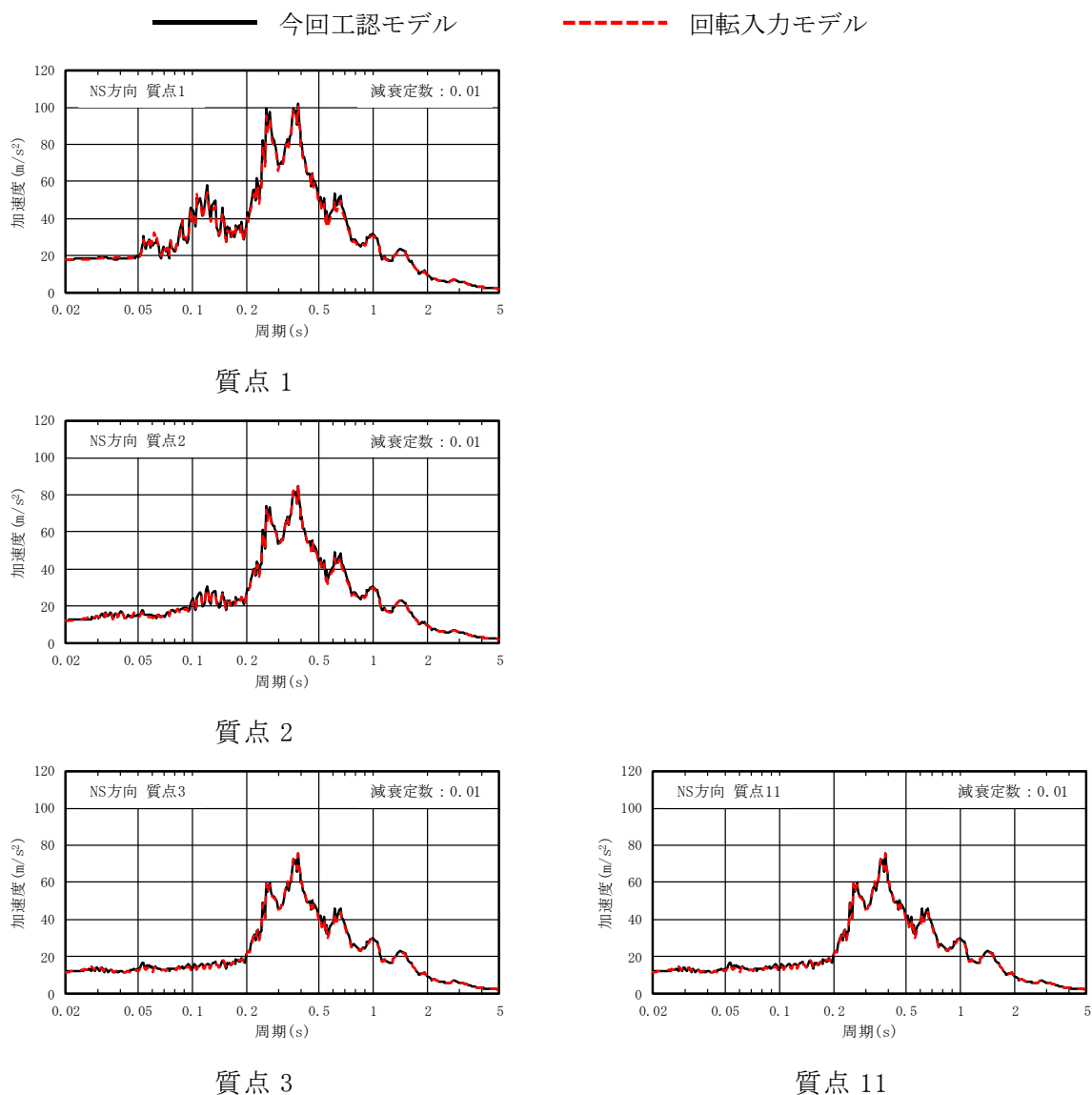
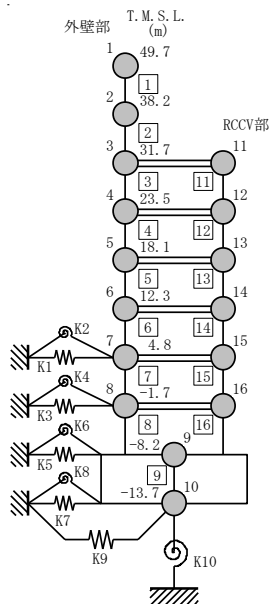


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



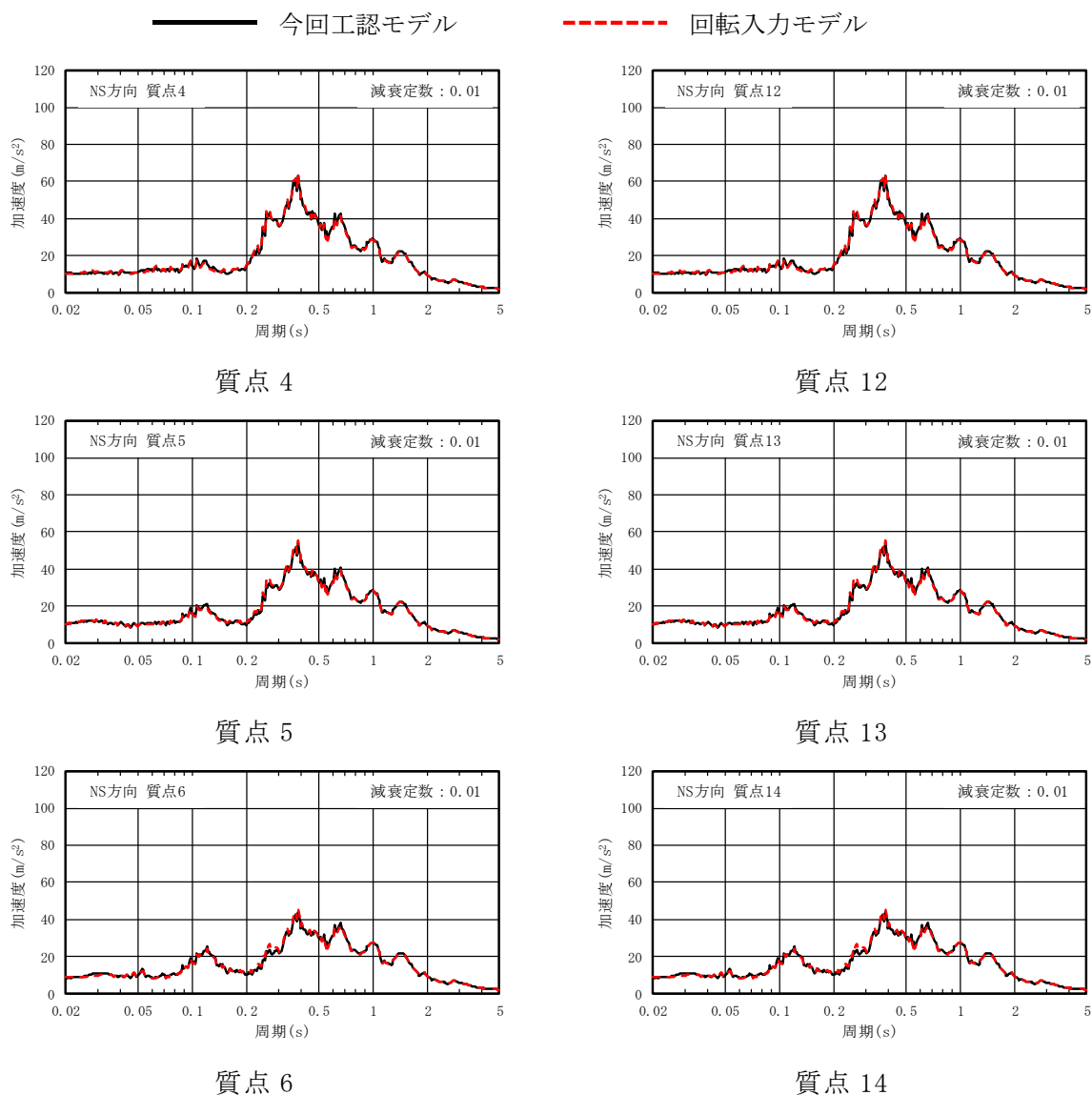
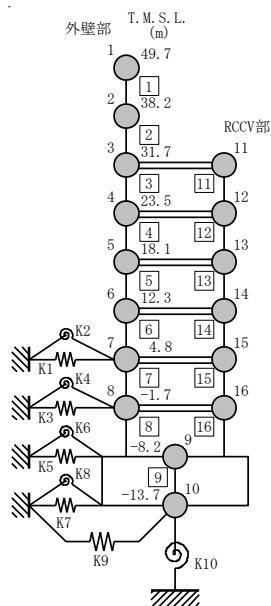


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



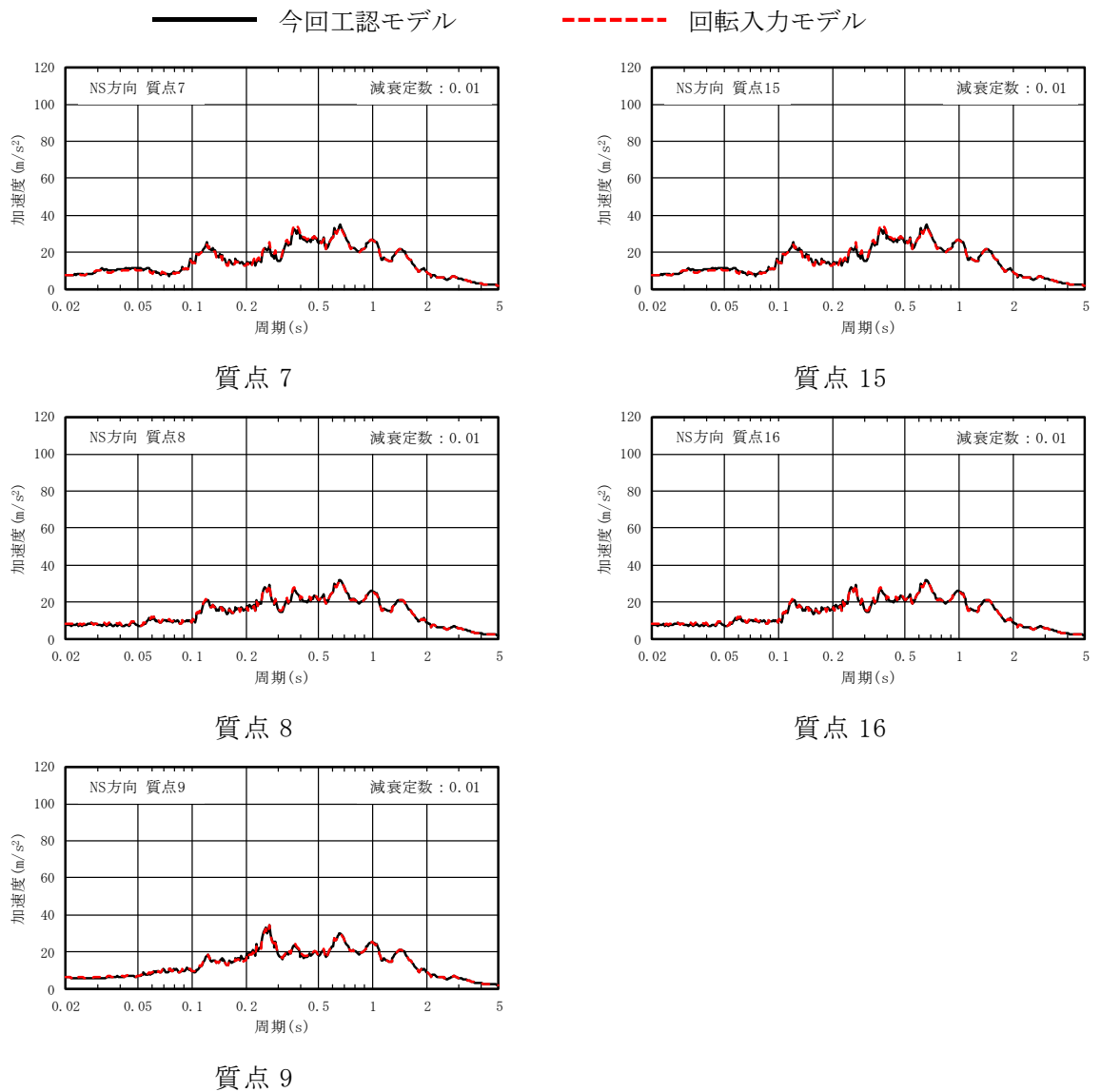
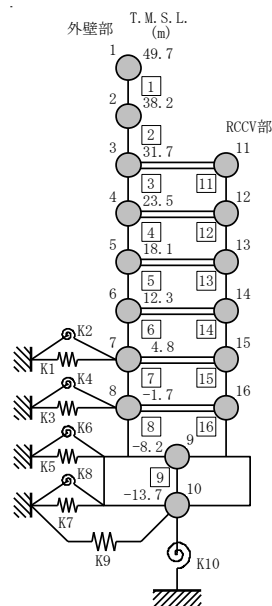


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



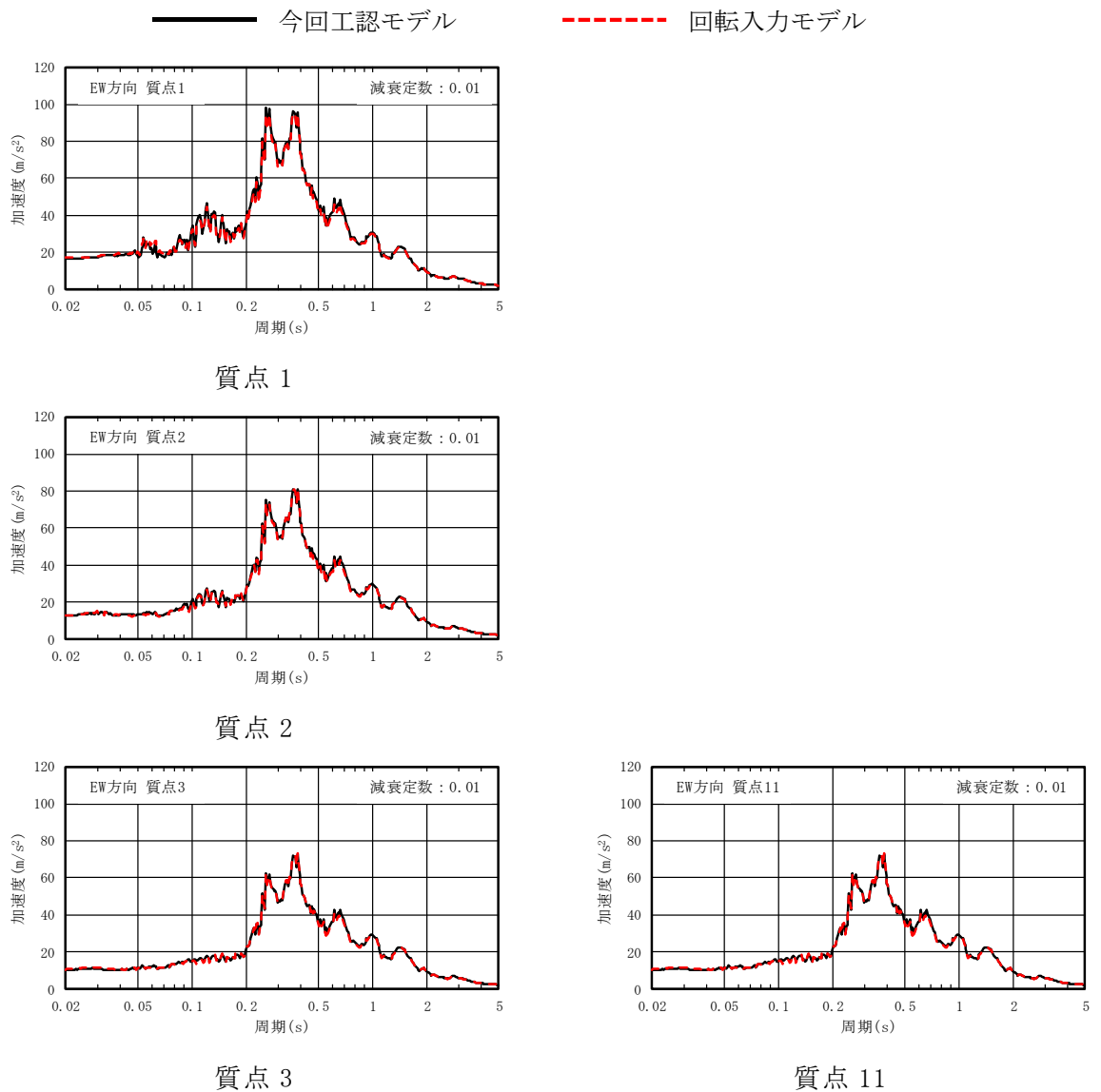
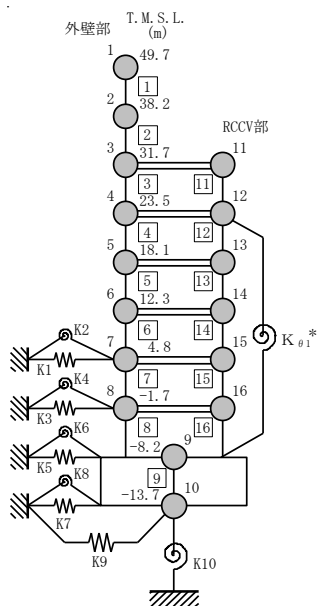


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



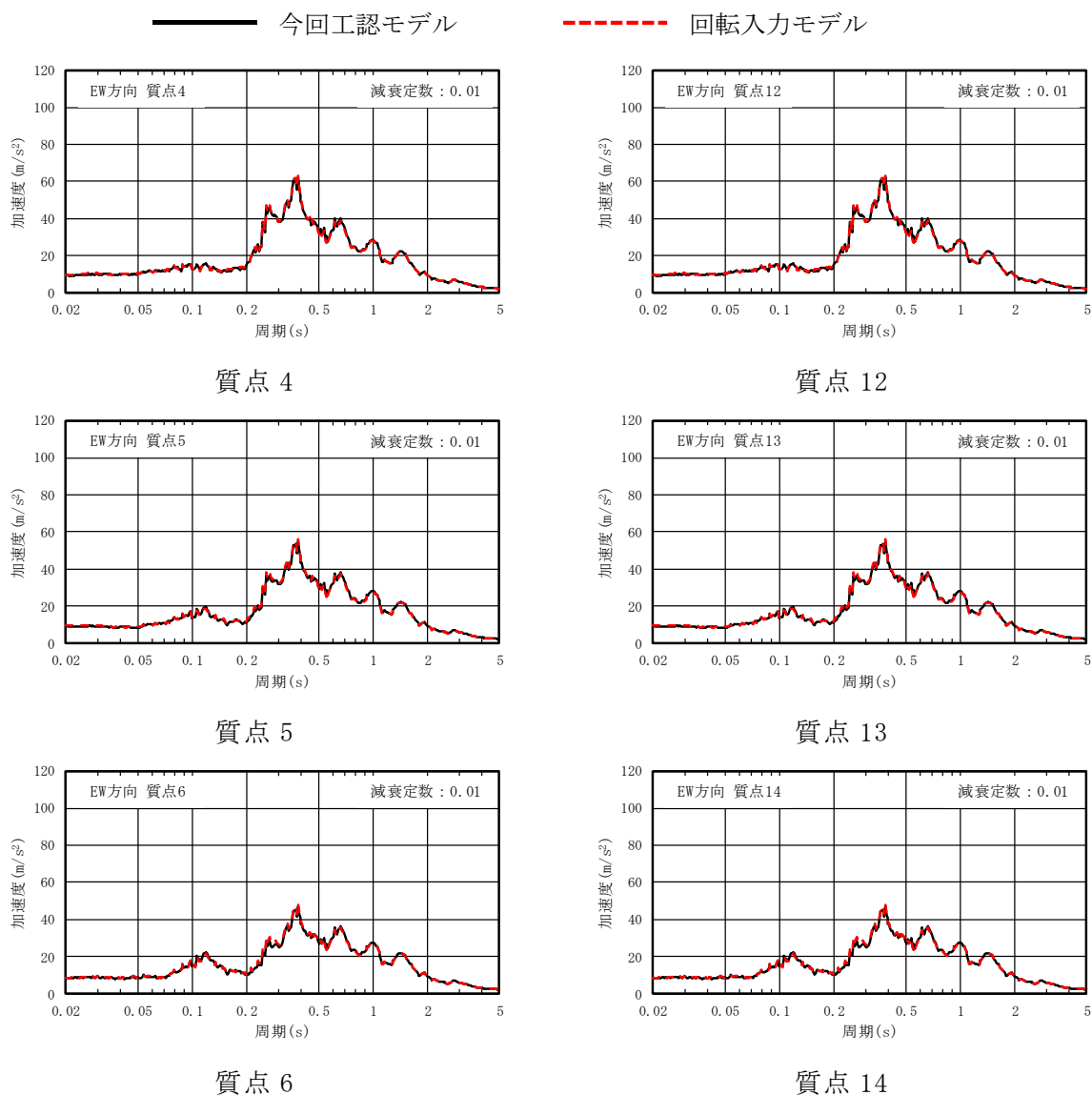
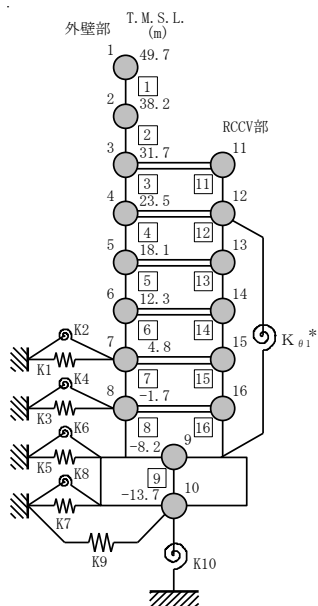


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



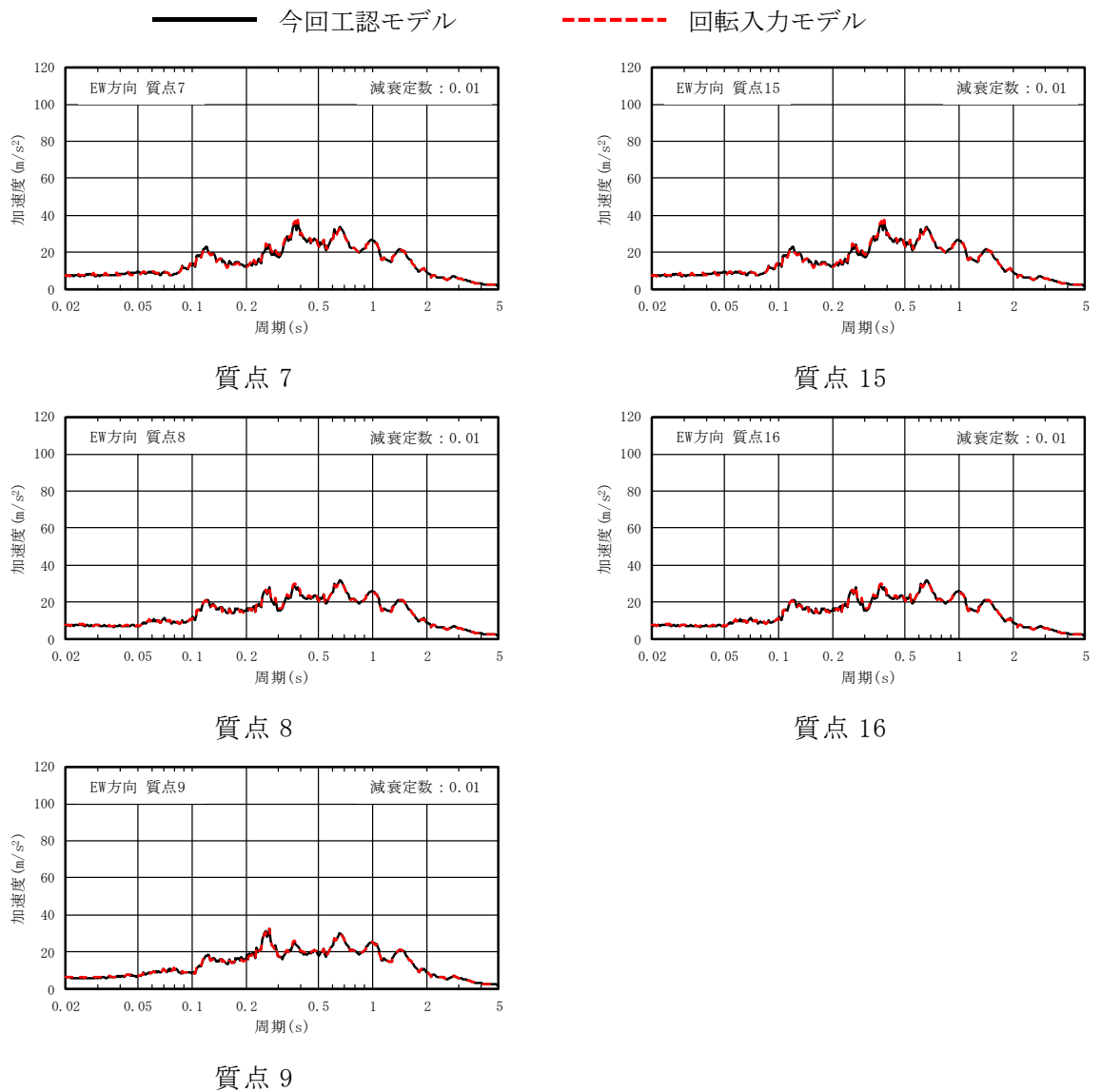
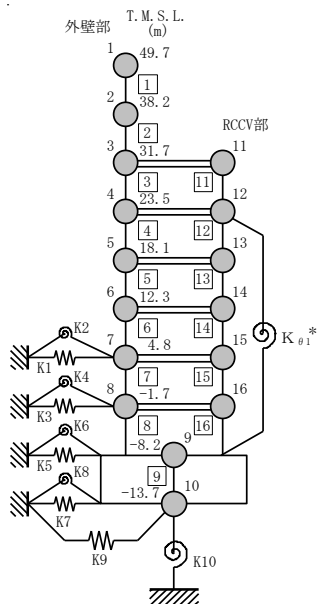


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



7. まとめ

今回工認モデルは、周辺地盤を詳細に表現して側面地盤からの回転入力も考慮されるモデルよりも保守的な設定となっていることを確認した。

また、保守的なモデルである今回工認モデルに、さらに側面地盤からの回転入力を考慮した回転入力モデルを用いて、基準地震動 S_s-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、回転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の応答を示すことから、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。

別紙11 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

目 次

1. 概要	別紙 11-1
2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認	別紙 11-2
3. 検討方針	別紙 11-7
4. 検討条件	別紙 11-8
4.1 表層地盤からの入力方法	別紙 11-8
4.2 解析モデル	別紙 11-9
5. 検討結果	別紙 11-13
5.1 固有値解析結果	別紙 11-13
5.2 最大応答値	別紙 11-15
6. 床応答に対する影響	別紙 11-25
7. まとめ	別紙 11-32

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。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 S_s-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。

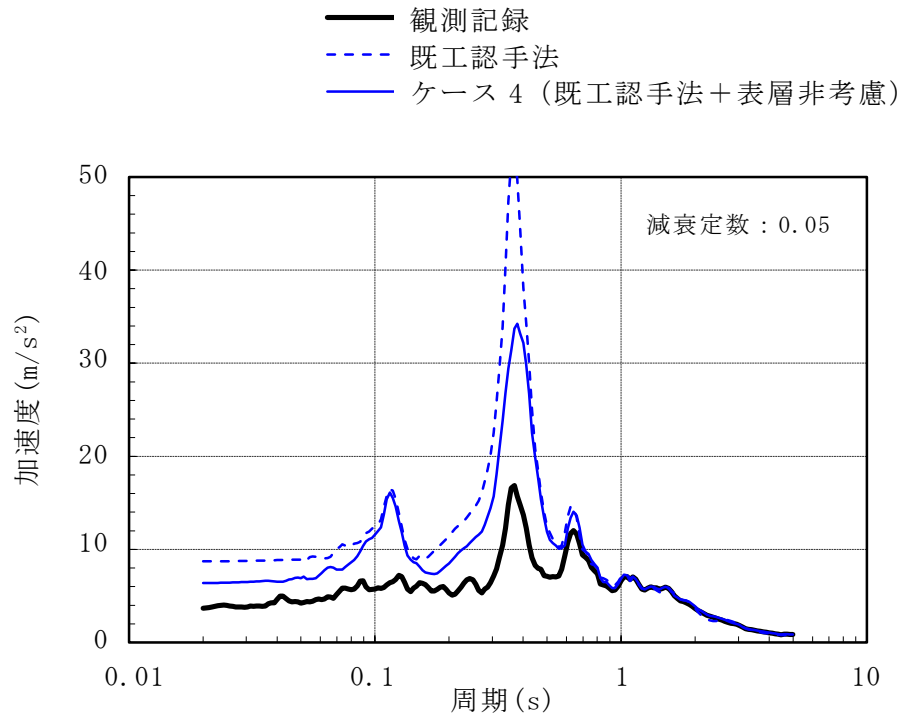
なお、次章以降で表層地盤では建屋－地盤連成効果を考慮しないことが適切である今回工認モデルに対して仮に表層地盤からの入力を考慮した場合の影響について確認する。

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）

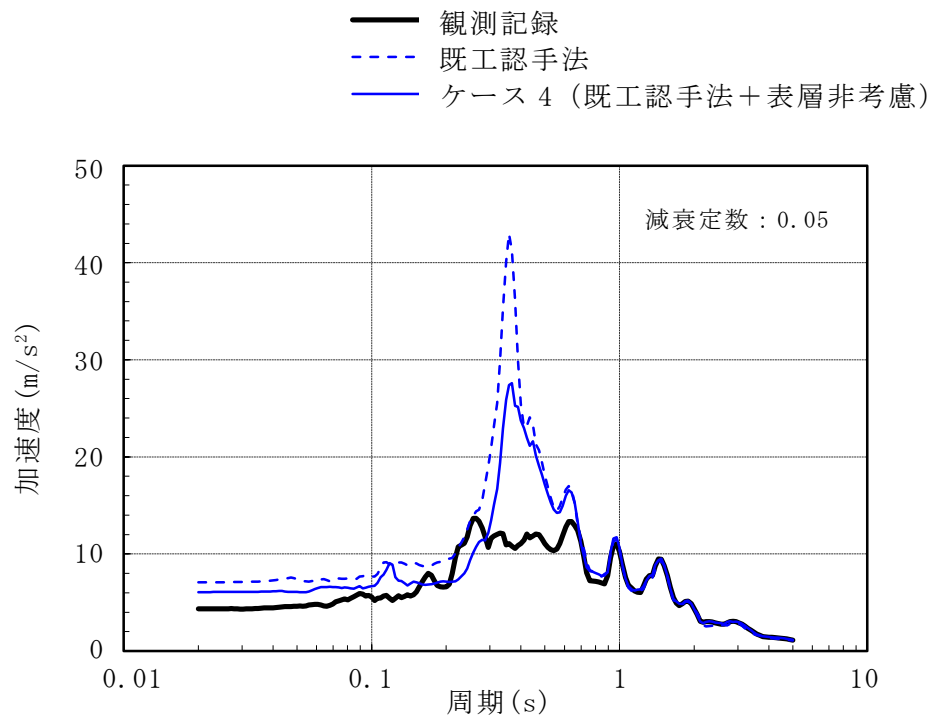
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

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/mm²（500kgf/cm²））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/mm²（440kgf/cm²））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。

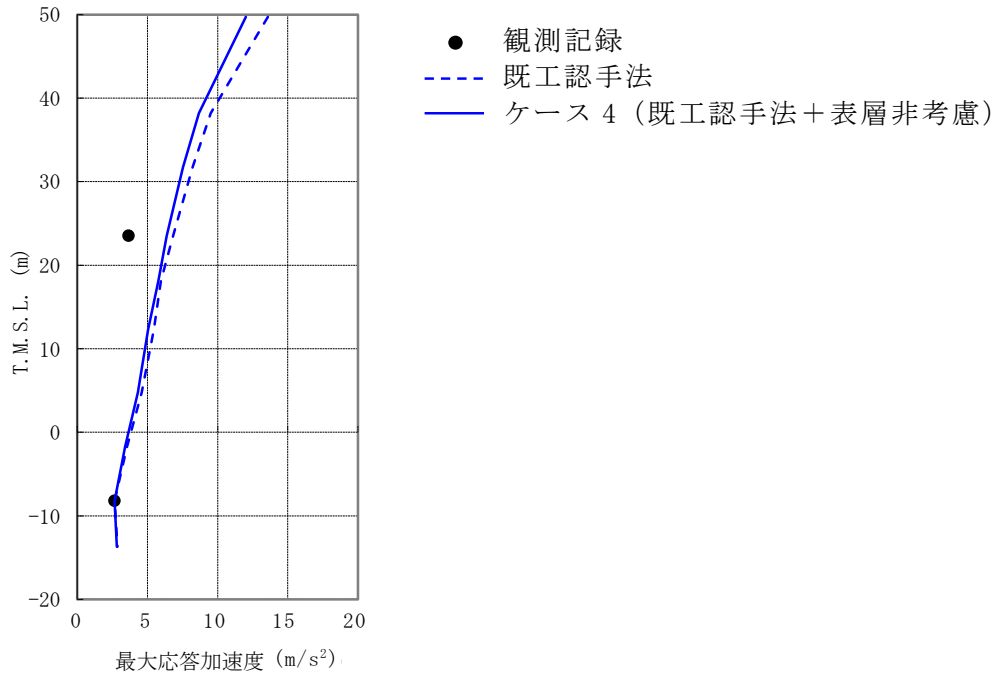


(a) NS方向

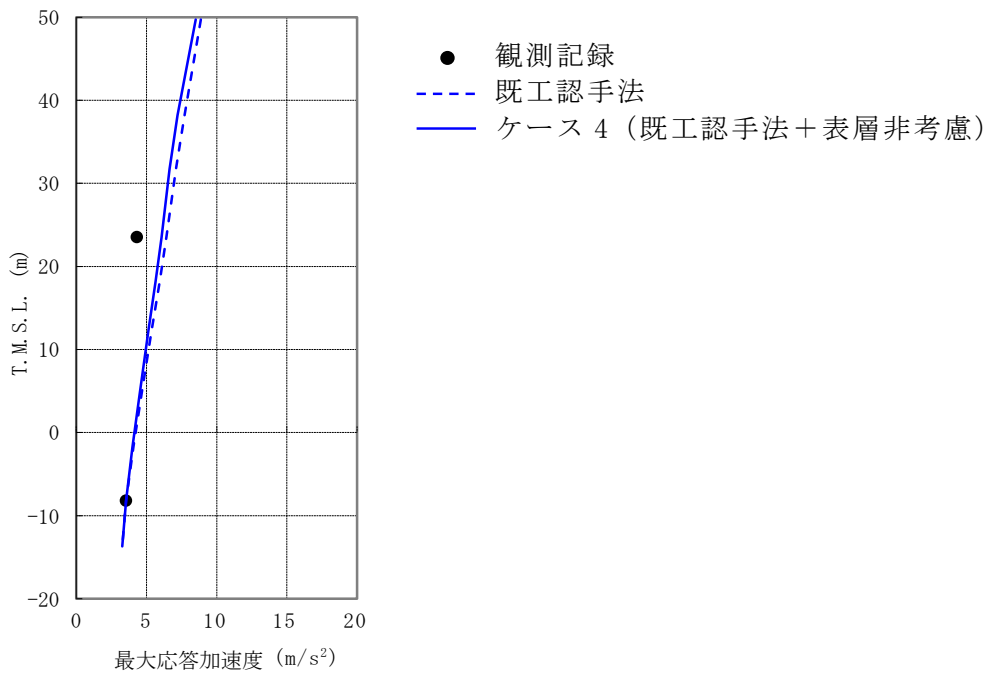


(b) EW方向

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)

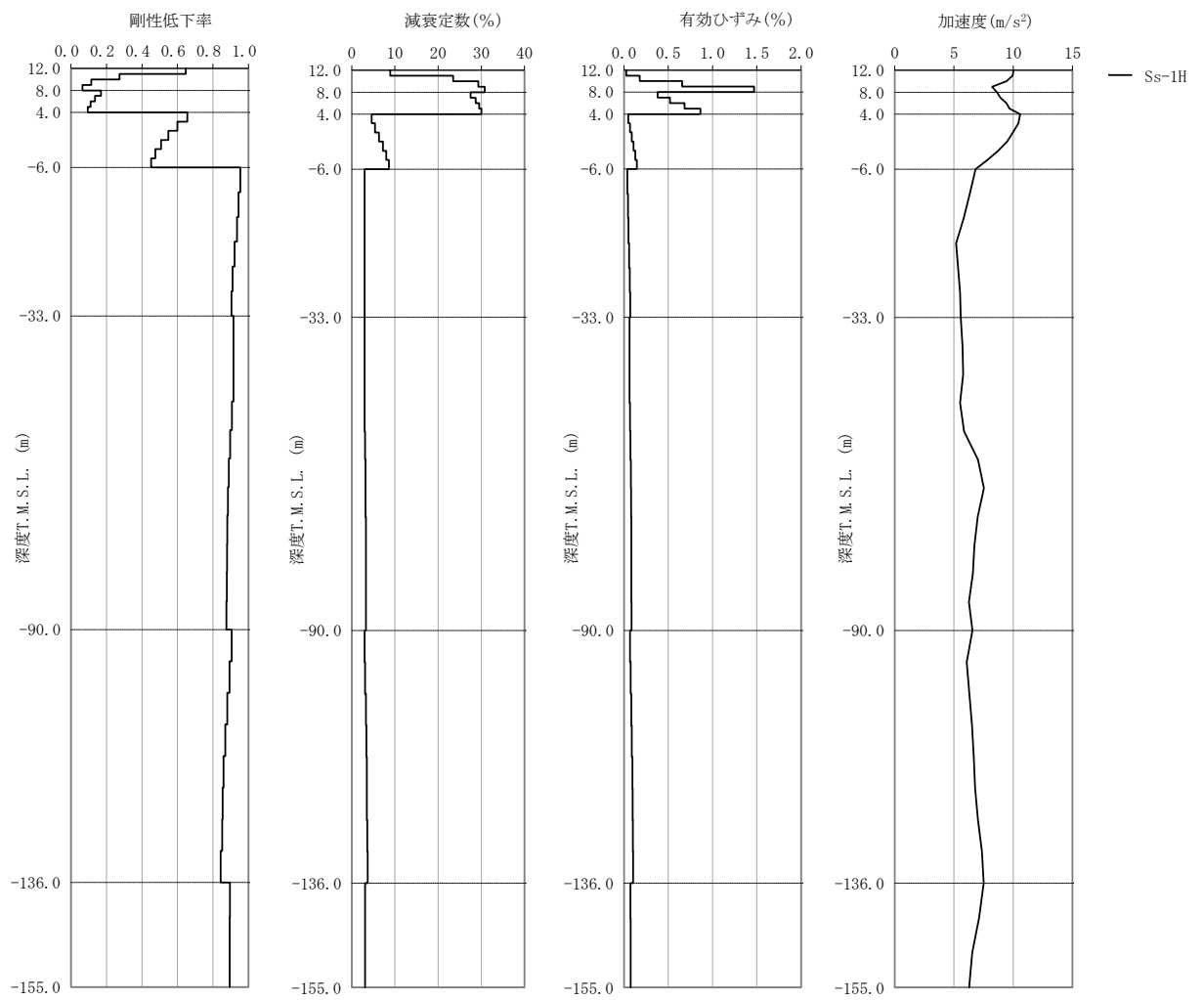


(a) NS方向



(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。

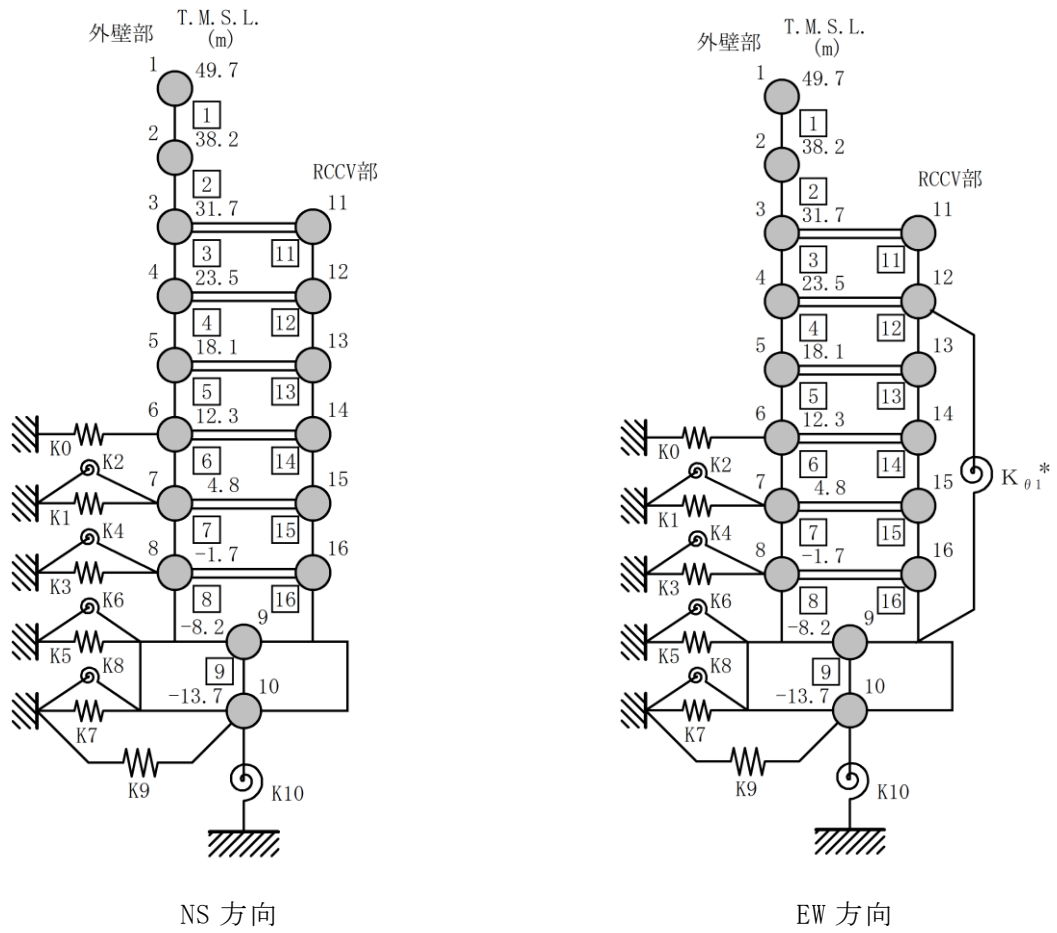
4. 検討条件

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、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	1.38×10^5	1.39×10^5
K1	7	側面・並進	1.22×10^6	5.83×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.98×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	6.02×10^8

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

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	1.38×10^5	1.39×10^5
K1	7	側面・並進	1.22×10^6	5.85×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.81×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.01×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.61×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.98×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	7.05×10^8

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

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。

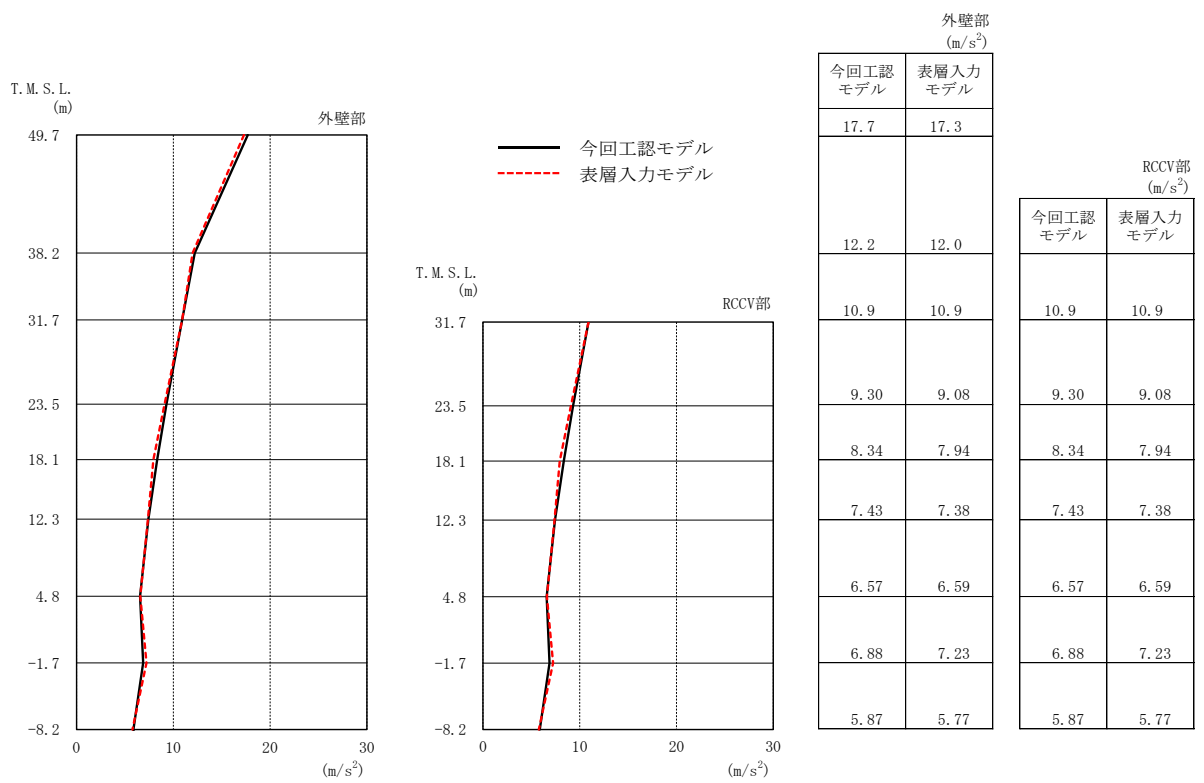
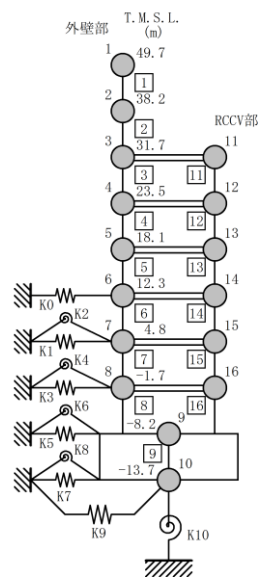


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



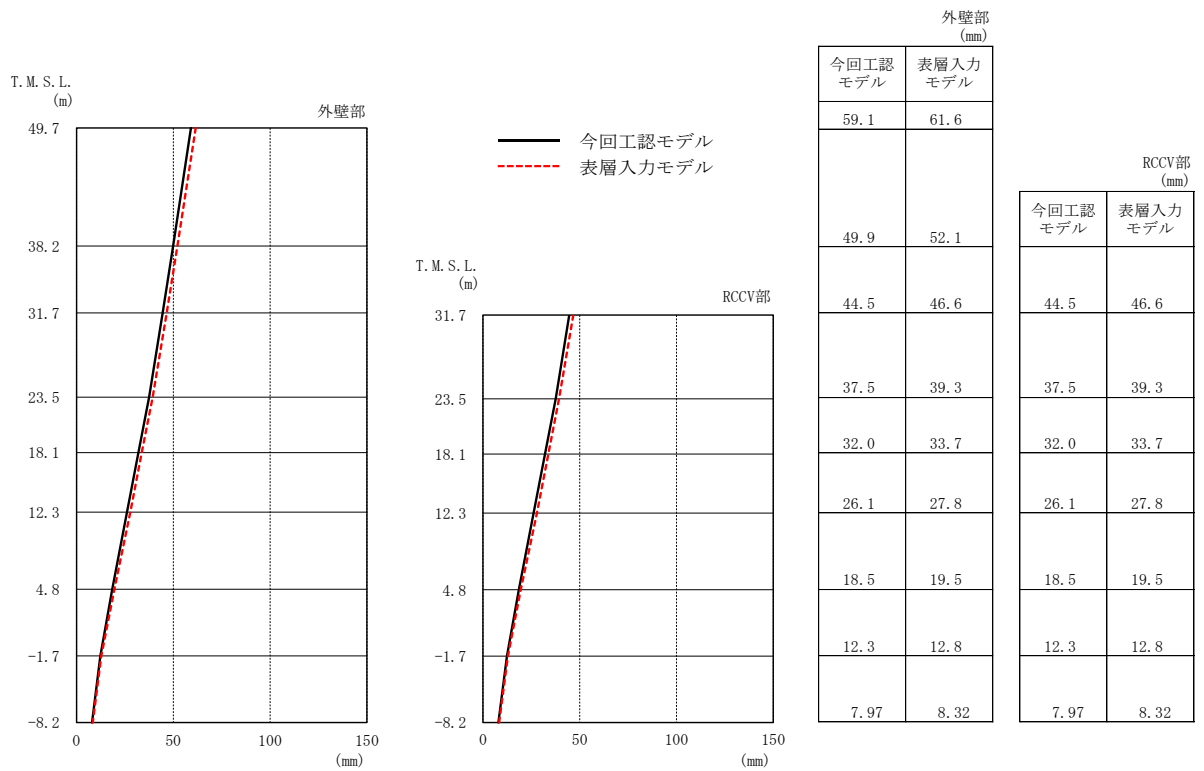
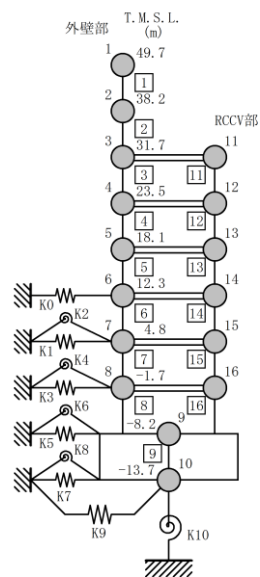


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



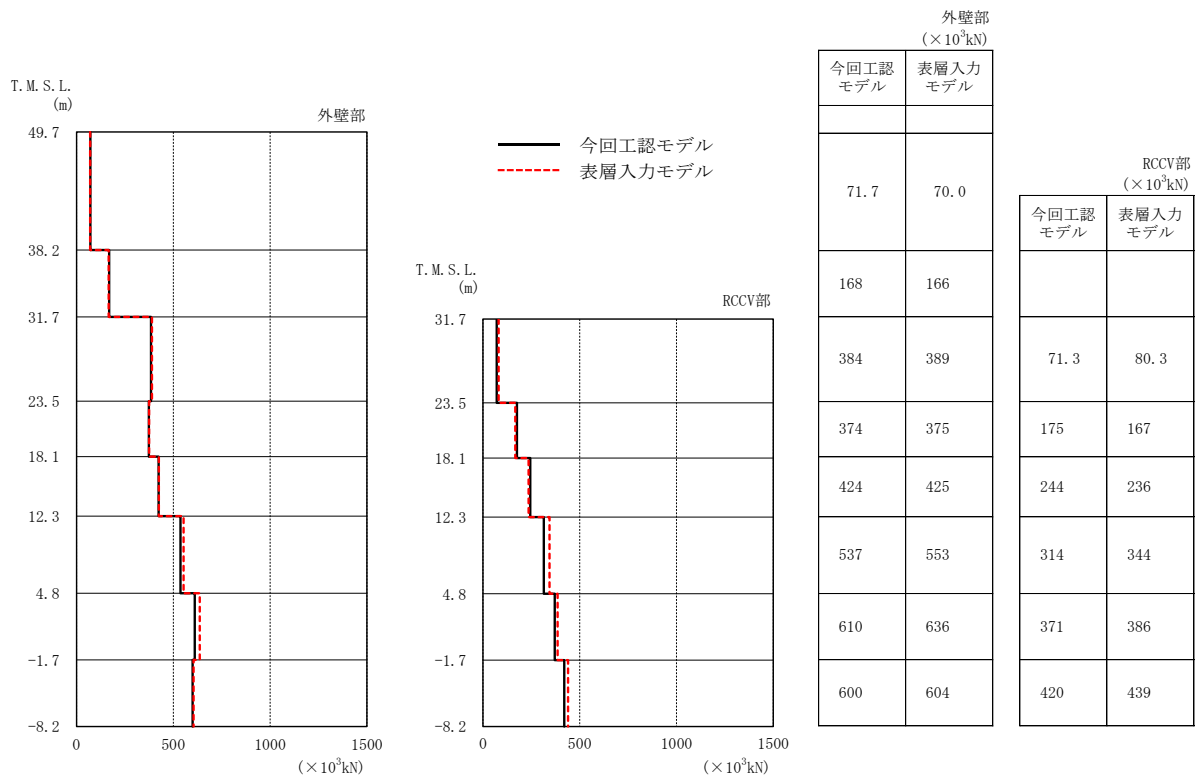
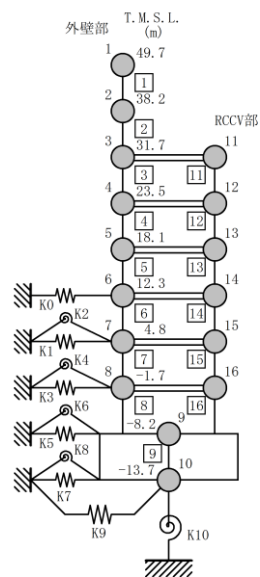


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



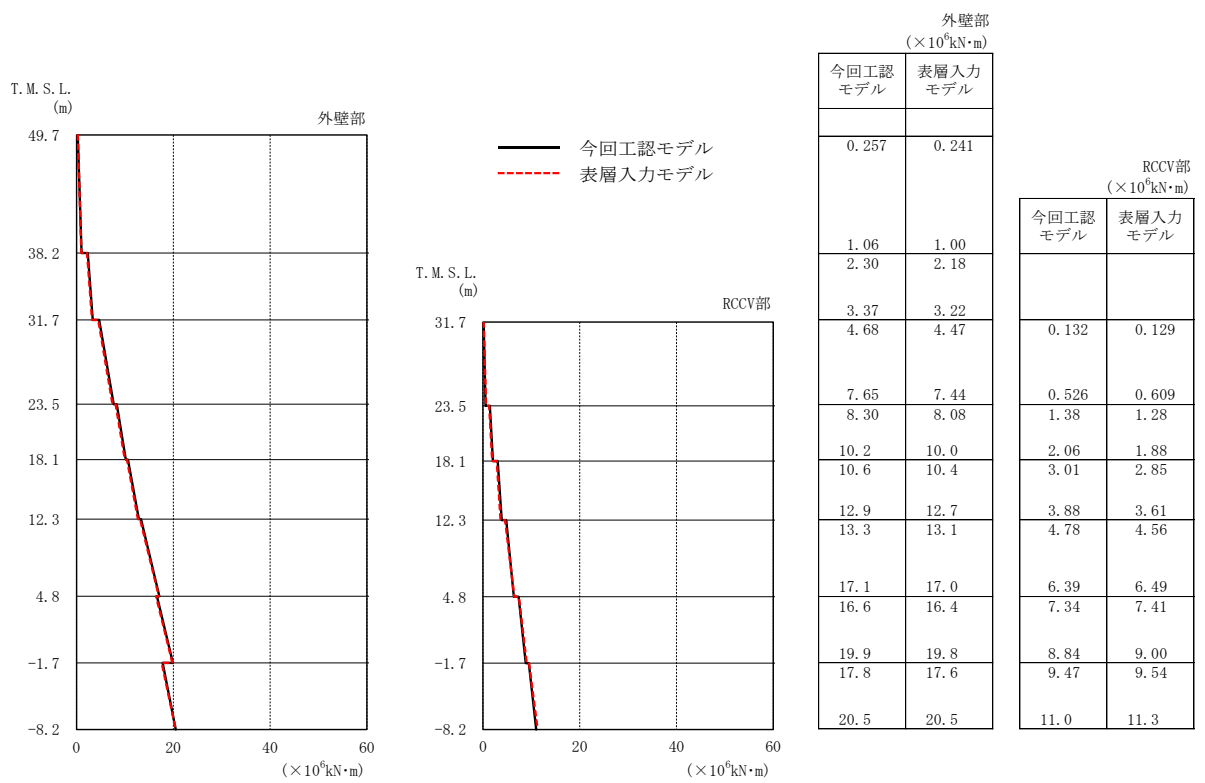
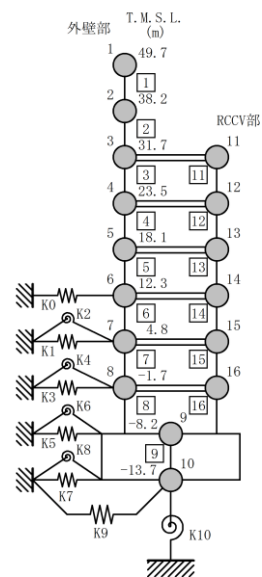


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



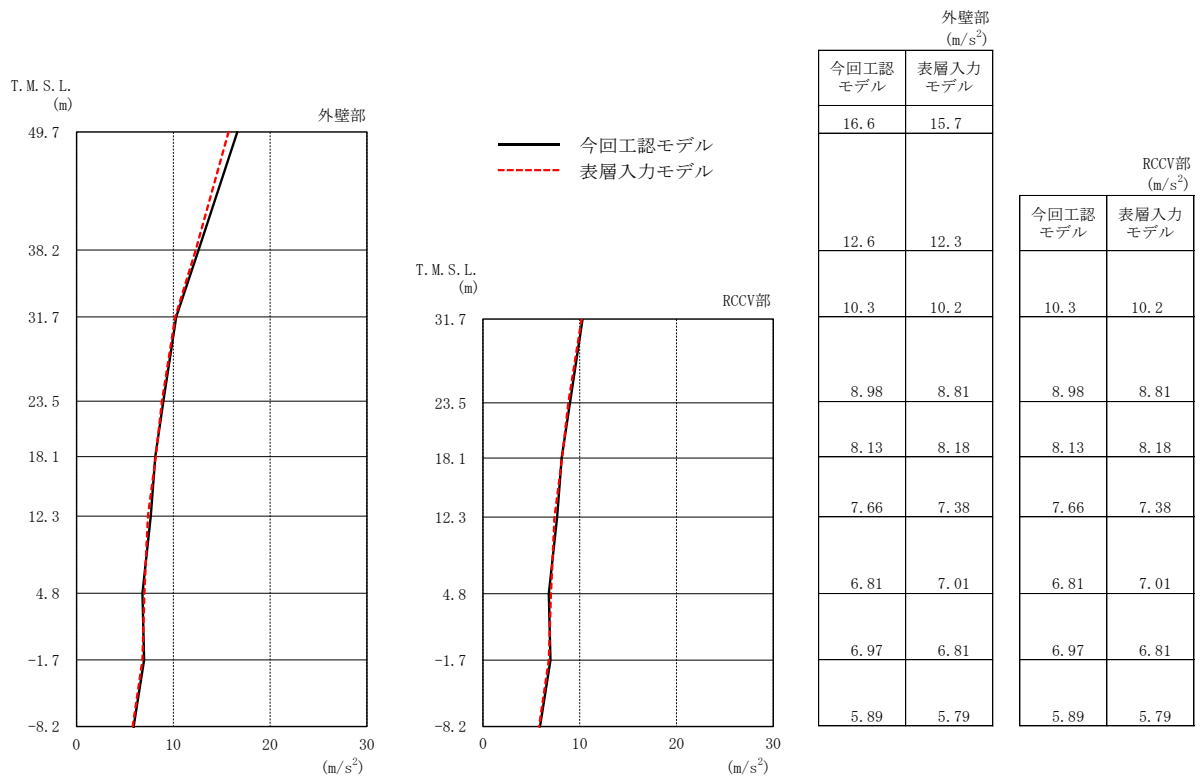
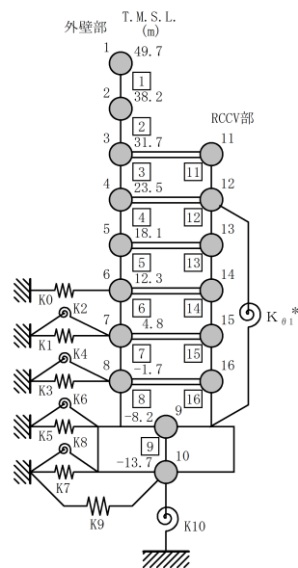


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



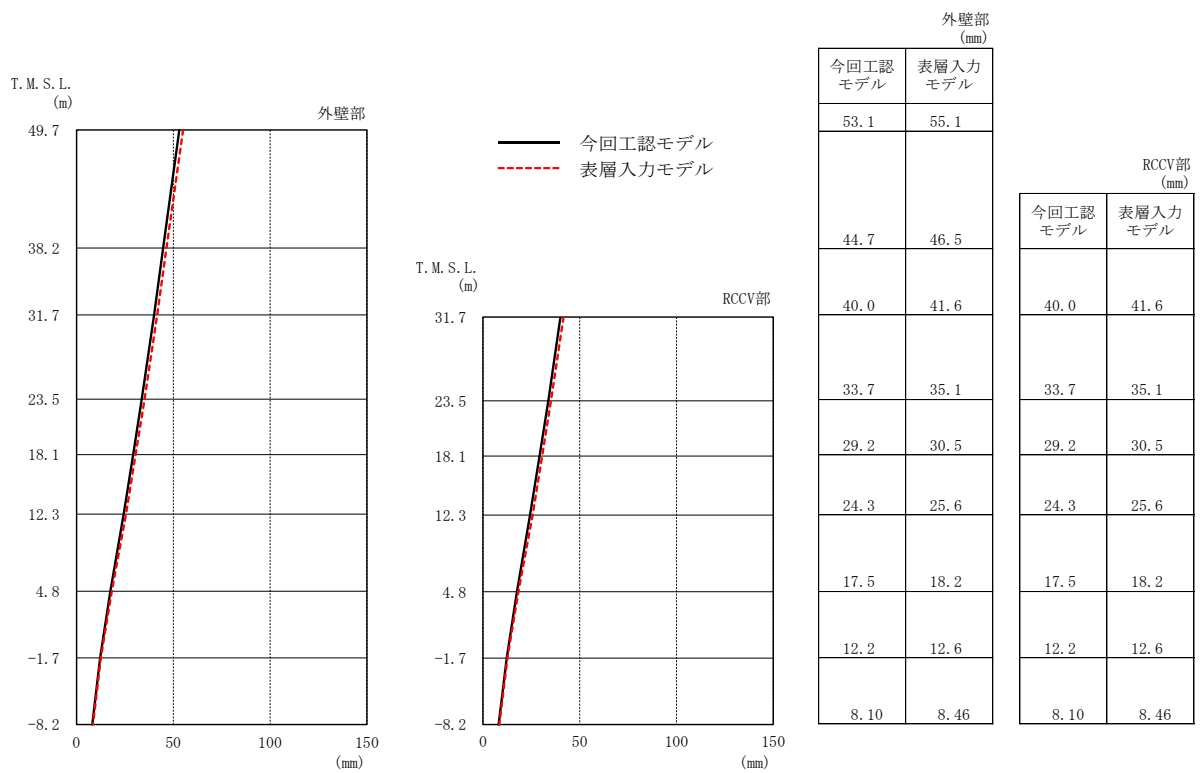
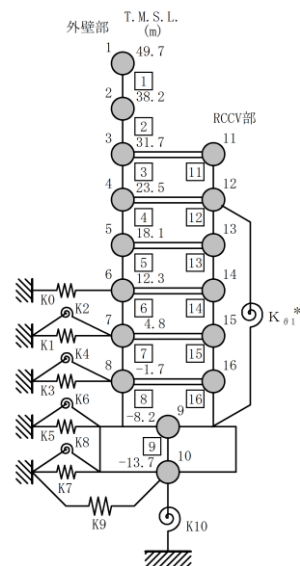


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



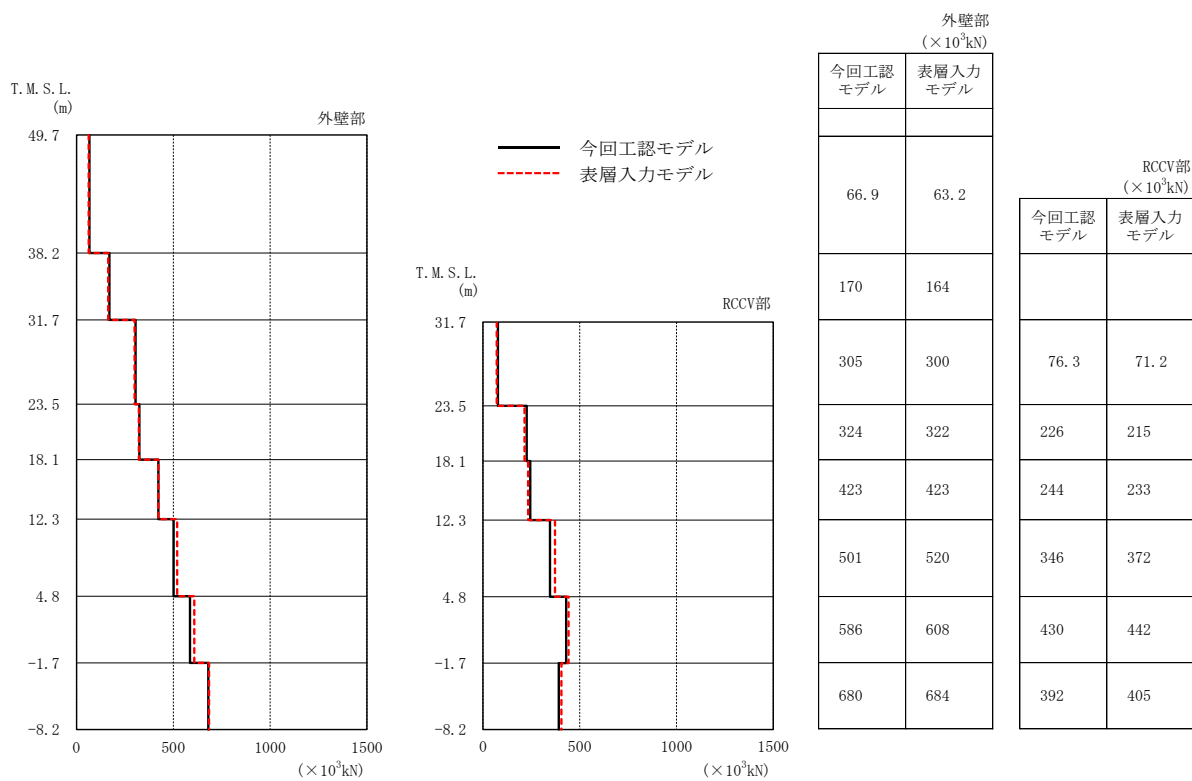
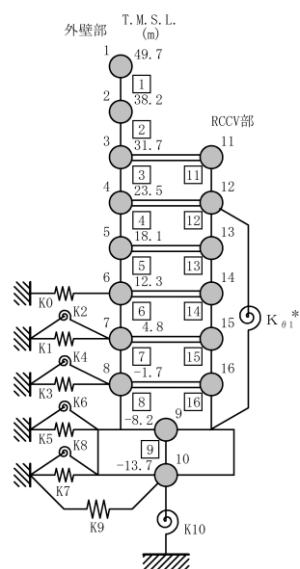


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



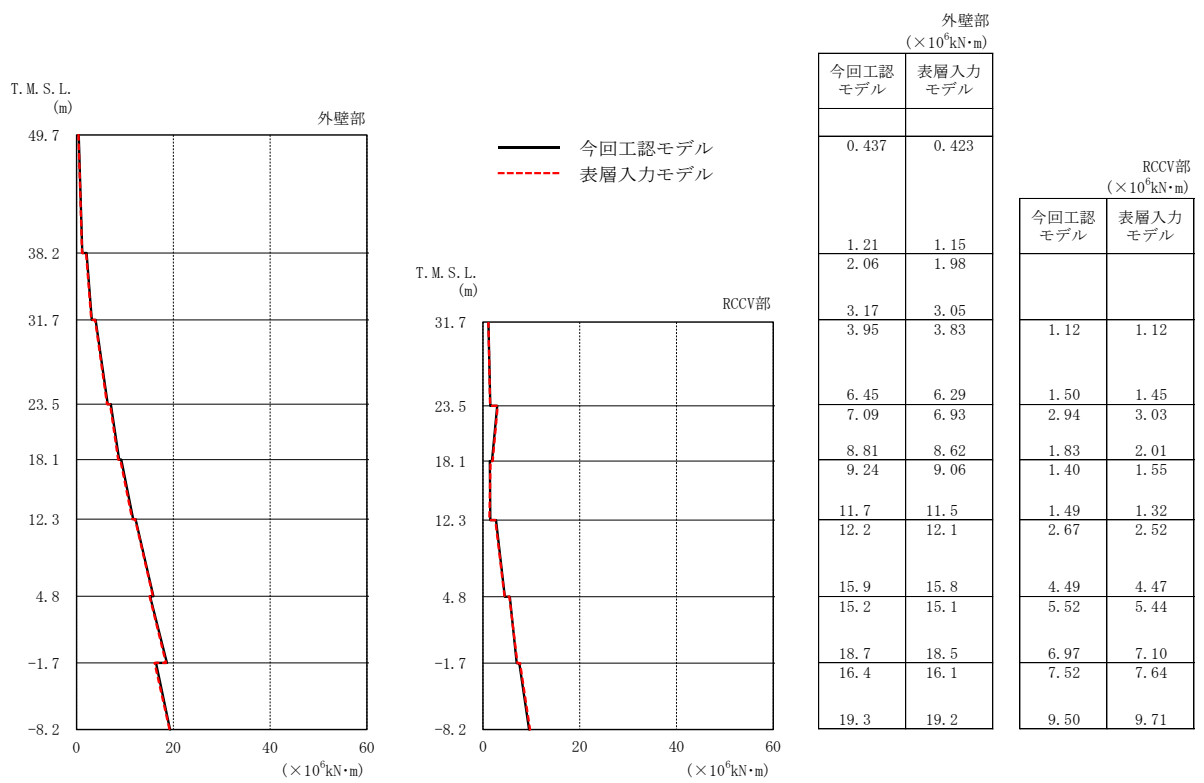


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

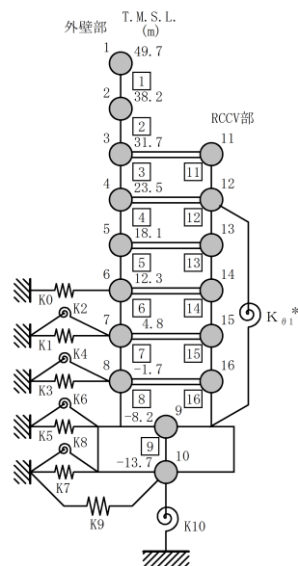


表 5-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-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 ($\times 10^{-3}$) (S_s-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

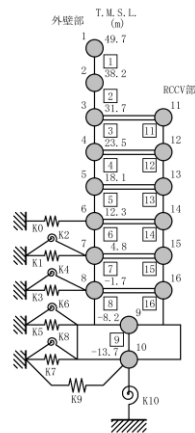
表 5-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

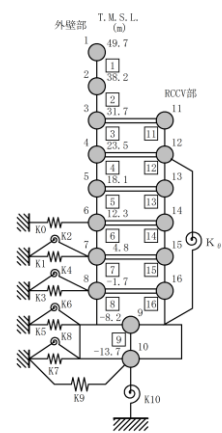
部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
1	0.103	0.0966
2	0.116	0.112
3	0.148	0.146
4	0.206	0.205
5	0.243	0.244
6	0.334	0.384
7	0.318	0.374
8	0.244	0.252

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-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。

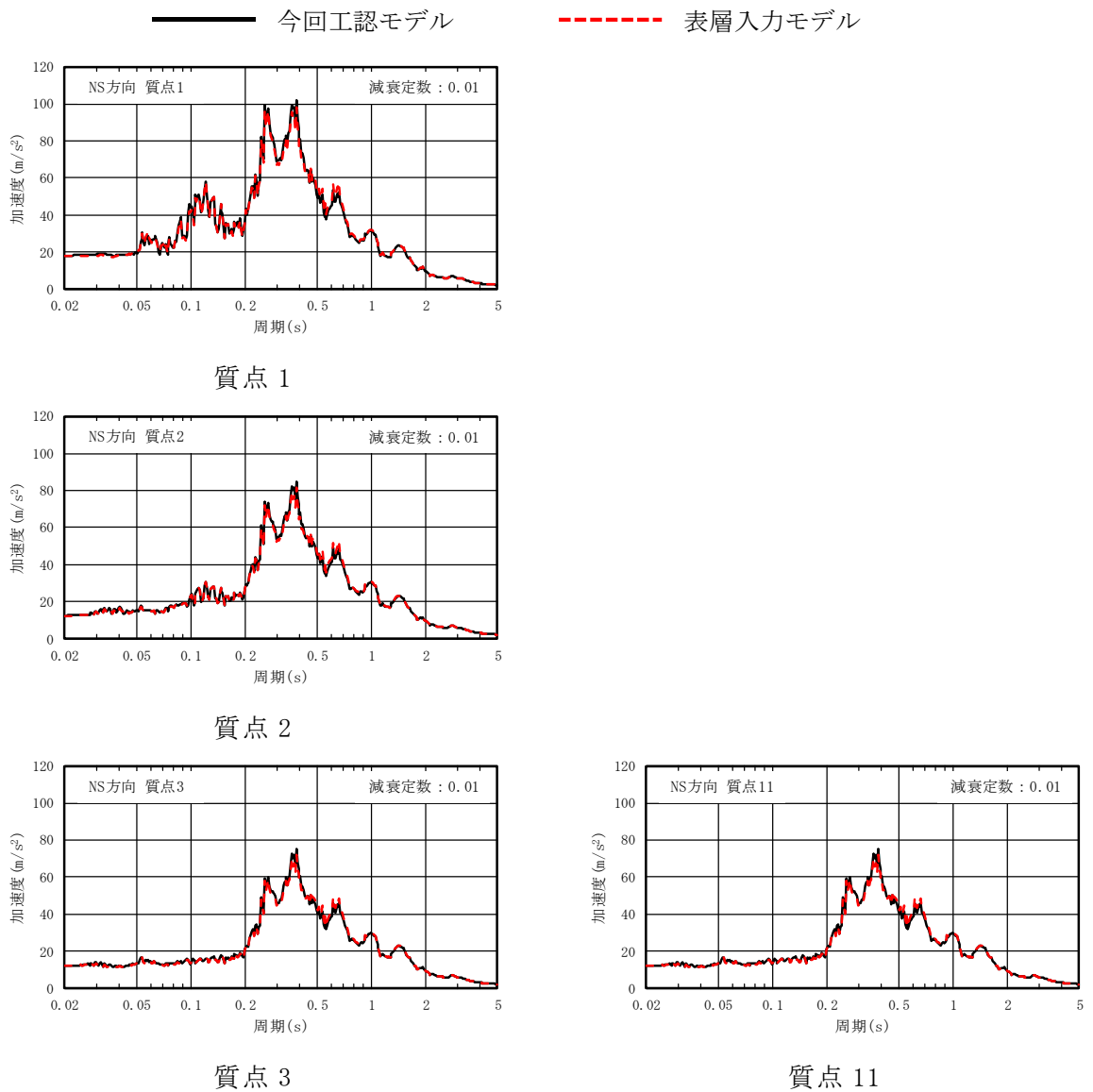
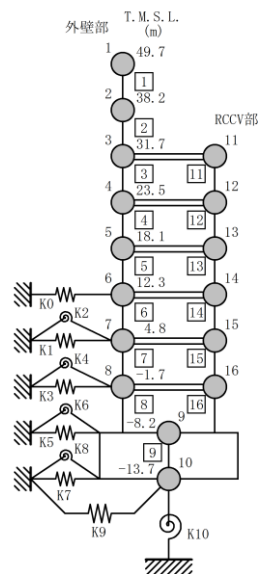


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



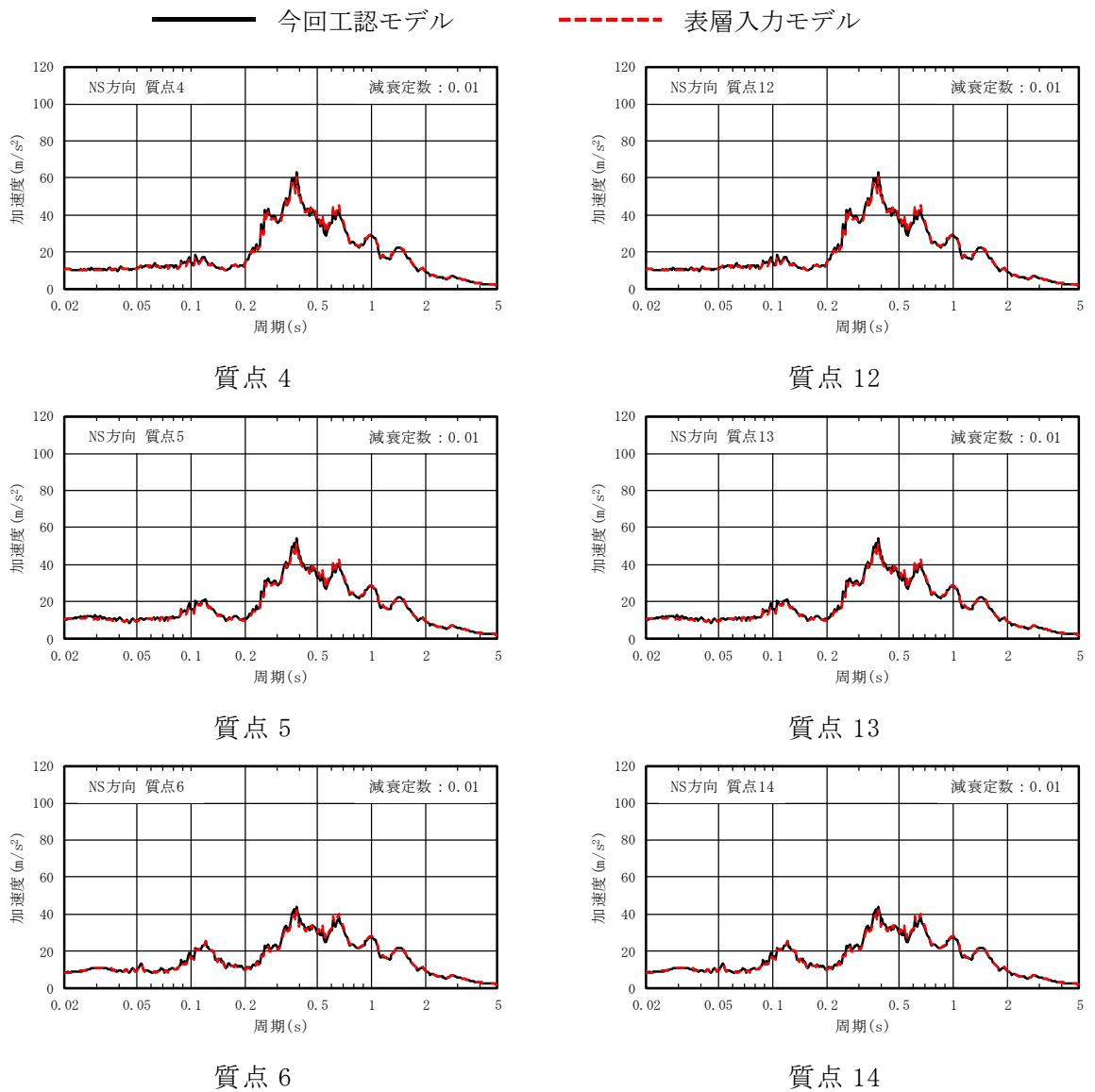
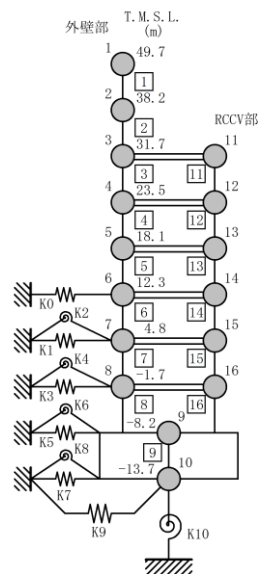


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



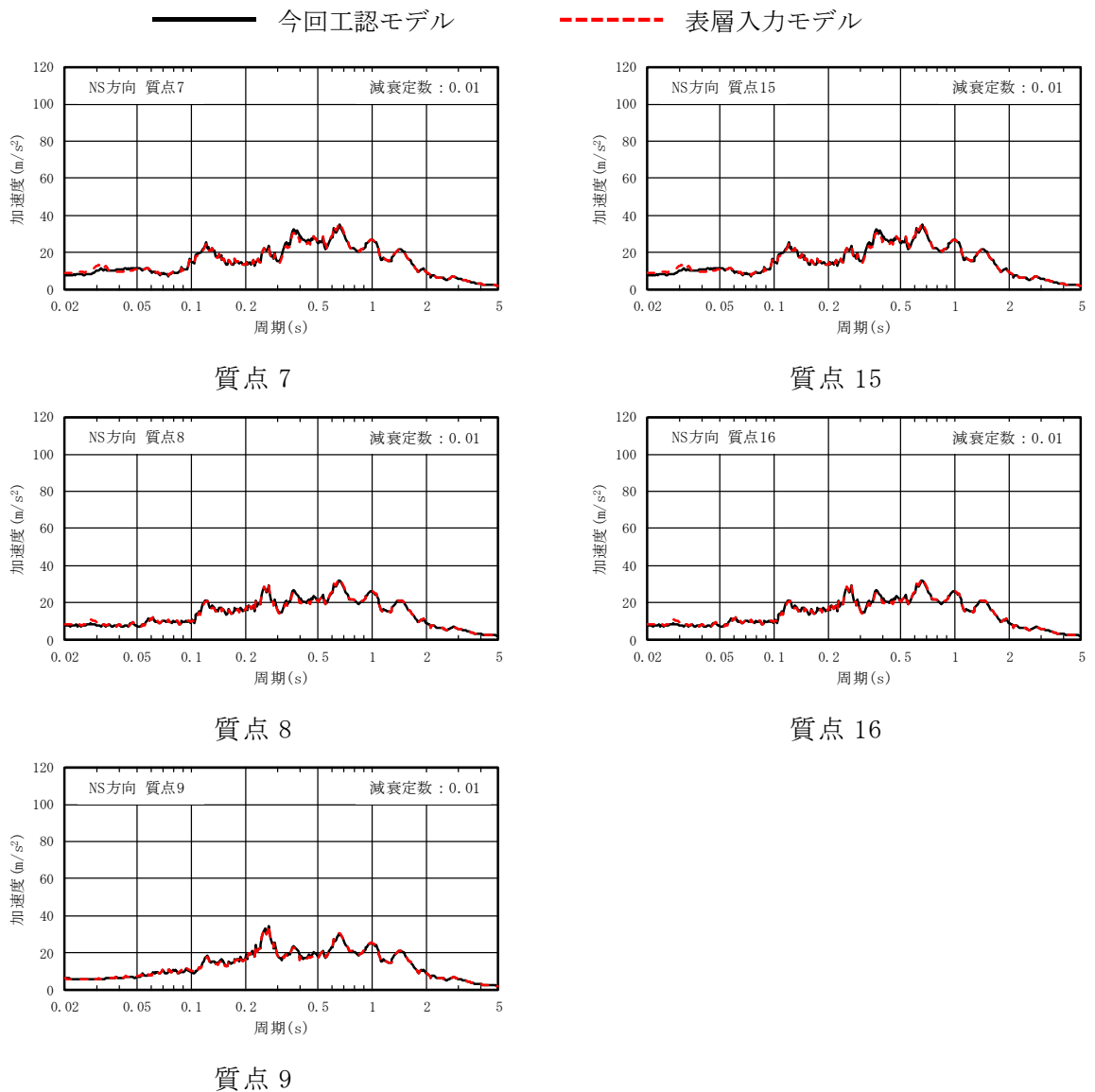
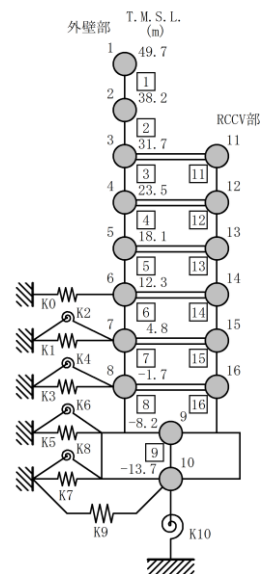


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



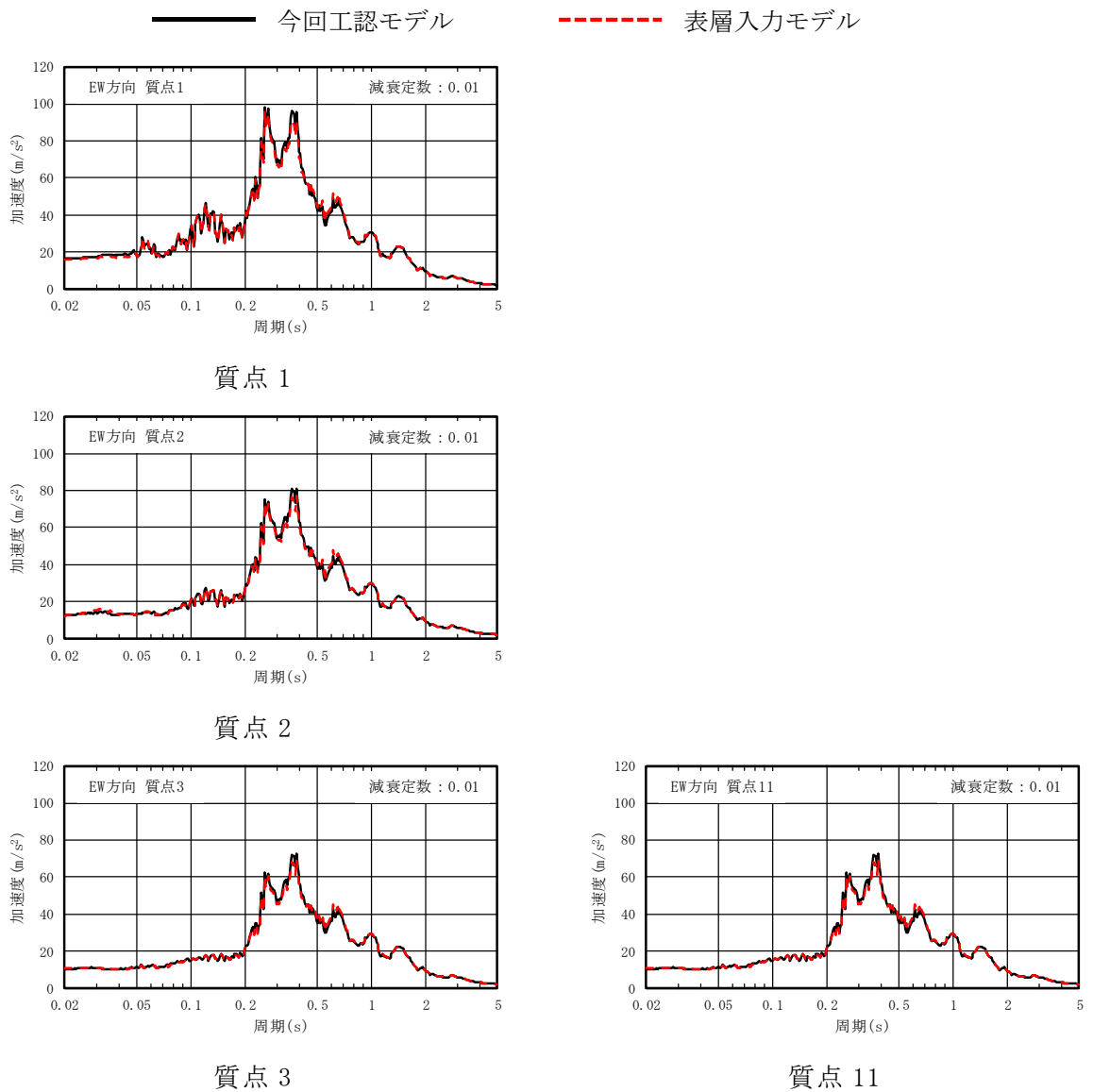
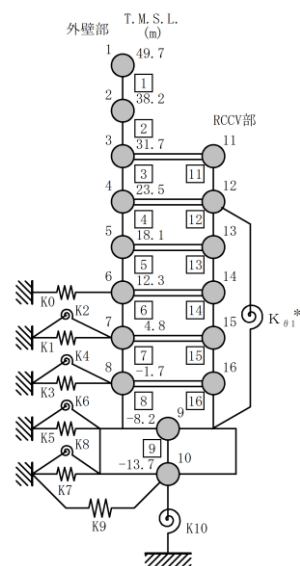


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



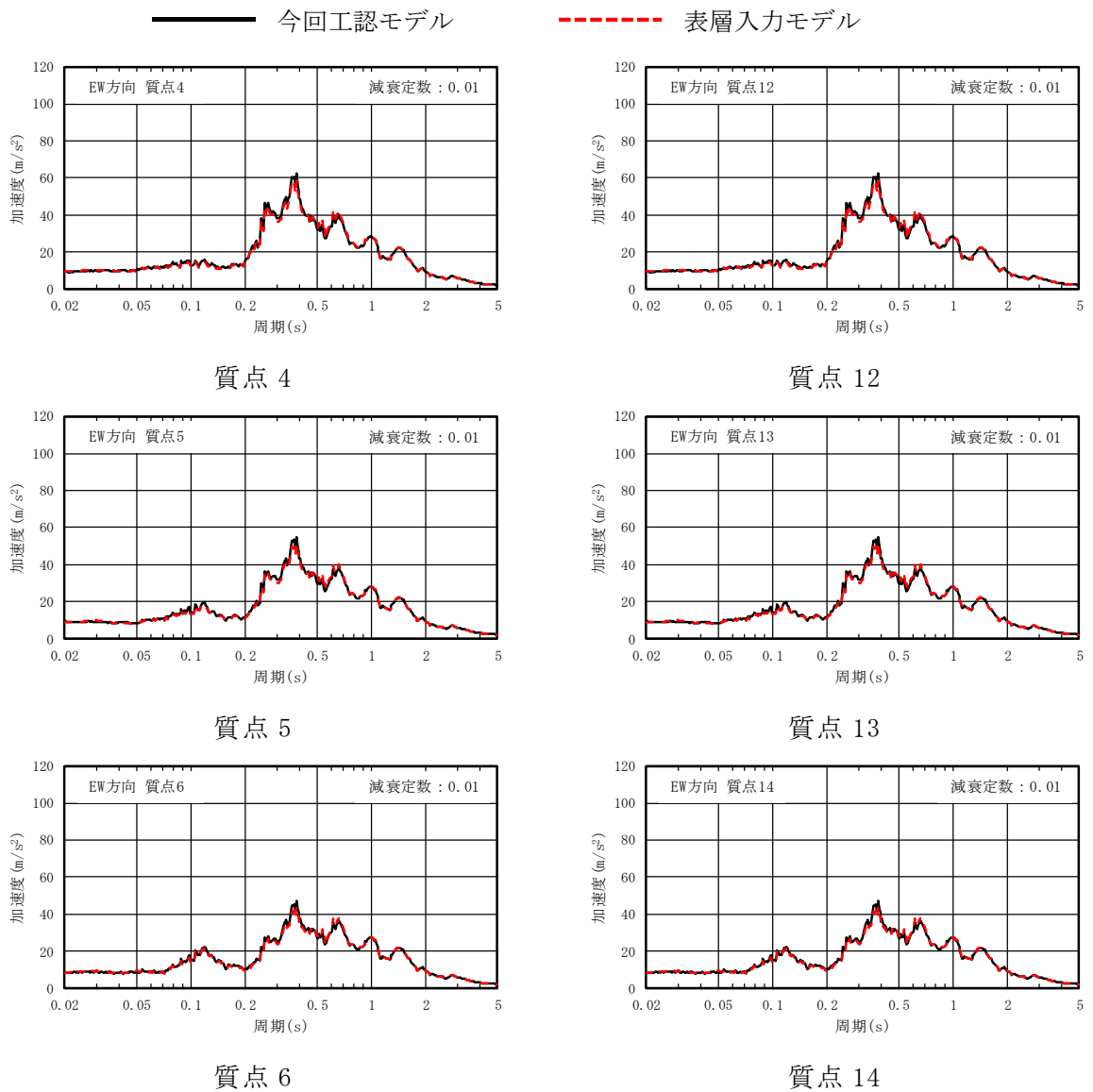
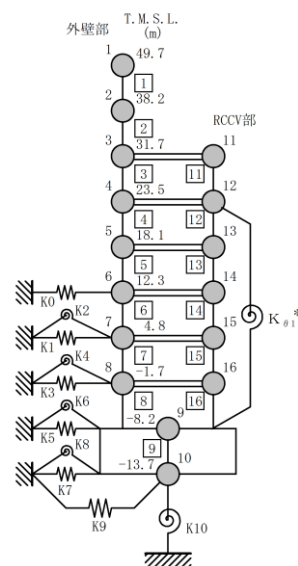


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



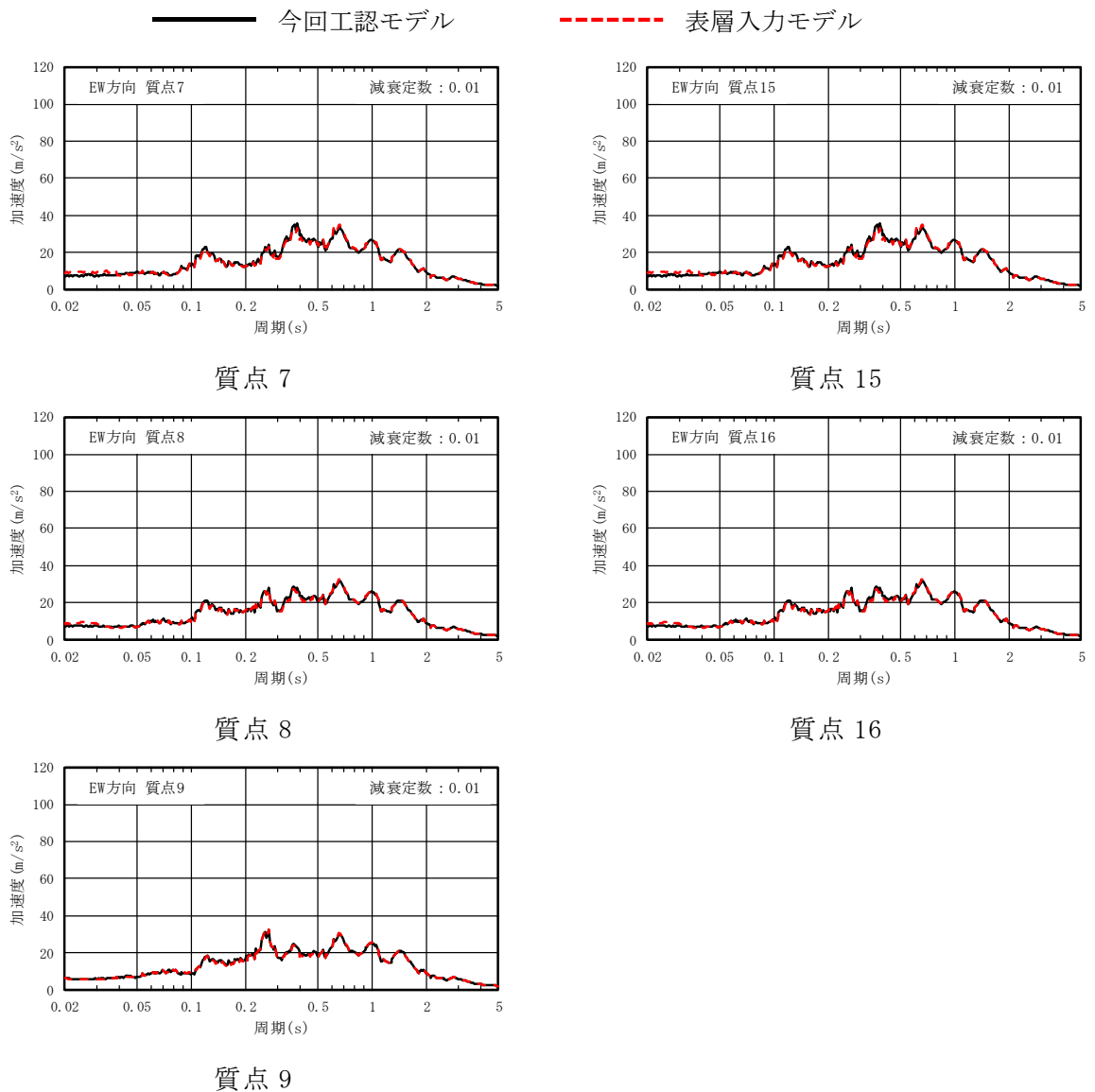
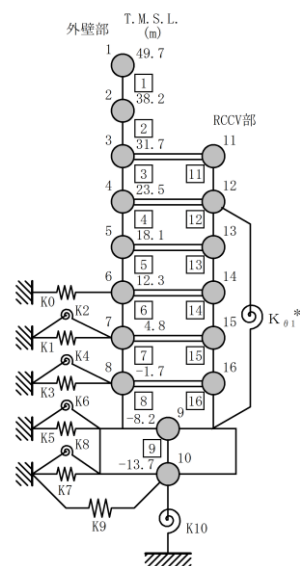


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



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。

別紙12 原子炉建屋の地震応答解析における
構造性能確認試験の影響について

目 次

1. 概要	別紙 12-1
2. SIT が水平剛性に与える影響	別紙 12-2
2.1 既往実験と実機との差異による影響についての考察	別紙 12-6
2.2 実機における SIT の結果に基づく考察	別紙 12-9
2.3 今回工認における RCCV 部の水平剛性の取扱いについて	別紙 12-17
3. 検討方針	別紙 12-18
4. 検討条件	別紙 12-19
4.1 復元力特性の算定	別紙 12-19
4.1.1 せん断力のスケルトン曲線	別紙 12-19
4.1.2 曲げモーメントのスケルトン曲線	別紙 12-20
4.2 解析モデル	別紙 12-21
5. 検討結果	別紙 12-34
5.1 固有値解析結果	別紙 12-34
5.2 最大応答値	別紙 12-36
6. 床応答に対する影響	別紙 12-55
7. まとめ	別紙 12-62
8. 引用文献	別紙 12-63

1. 概要

原子炉建屋においては、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）について、内圧に対する挙動を把握し、その健全性を確認することを目的とした構造的な性能確認試験（以下「SIT」という。）を建設時に実施している。

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析におけるSITの影響について説明するものである。

2. SIT が水平剛性に与える影響

SITがRCCVに与える影響検討として、最新プラントである大間原子力発電所1号機の審査においては、大型全体モデルによる水平加力実験（以下「既往実験」という。）の結果（引用文献(1)参照）を参考に、地震応答解析モデルにおけるRCCV部のせん断剛性及び曲げ剛性の初期剛性が、設計モデルの70%に低減すると仮定した場合の影響を検討している。

一方で、SIT後のRCCV部の実際の水平剛性としては、「既往実験と実機での条件との差異」と「実機におけるSITの結果」を踏まえると、ほとんど低下していないと考えられる。また、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。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、既工認手法及びシミュレーション解析モデルでの地震応答解析結果と観測記録を比較している。このシミュレーション解析モデルにおいては、SITの影響は考慮していない。図2-1及び図2-2に示すとおり、RCCV部の剛性低下を考慮していないシミュレーション解析モデルによる解析結果が観測記録とよく整合し、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。

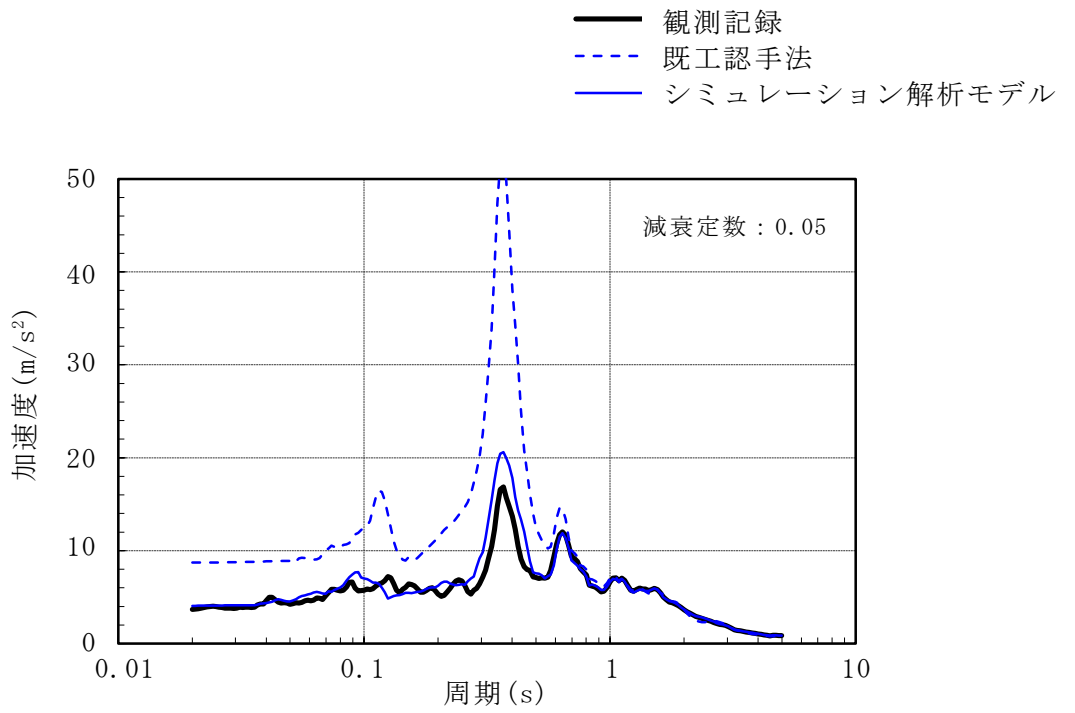
以降では、上記に記載した項目を踏まえて、実機のSIT後のRCCV部の水平剛性について詳しく考察する。なお、この考察はSITの影響のみについて考慮しており、2007年中越沖地震との関連性はない。

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）

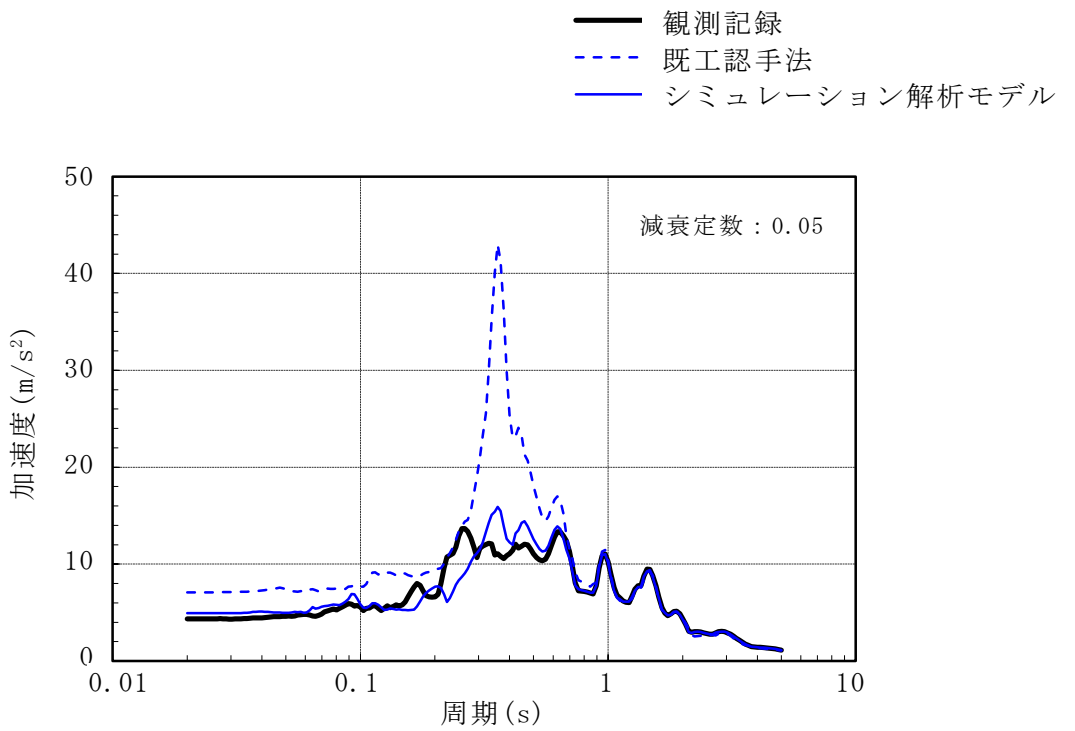
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

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/mm²（500kgf/cm²））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/mm²（440kgf/cm²））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。

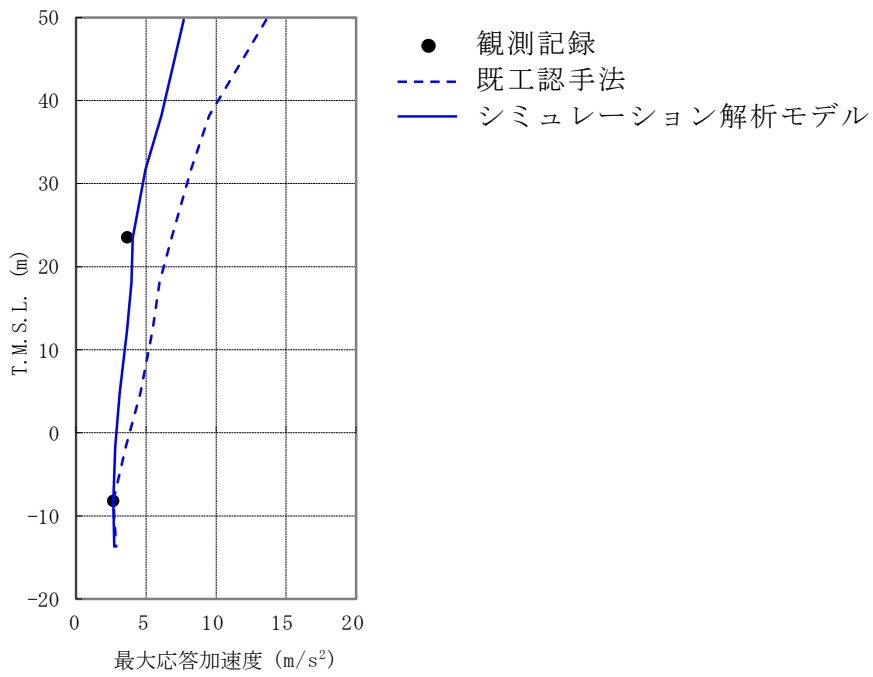


(a) NS方向

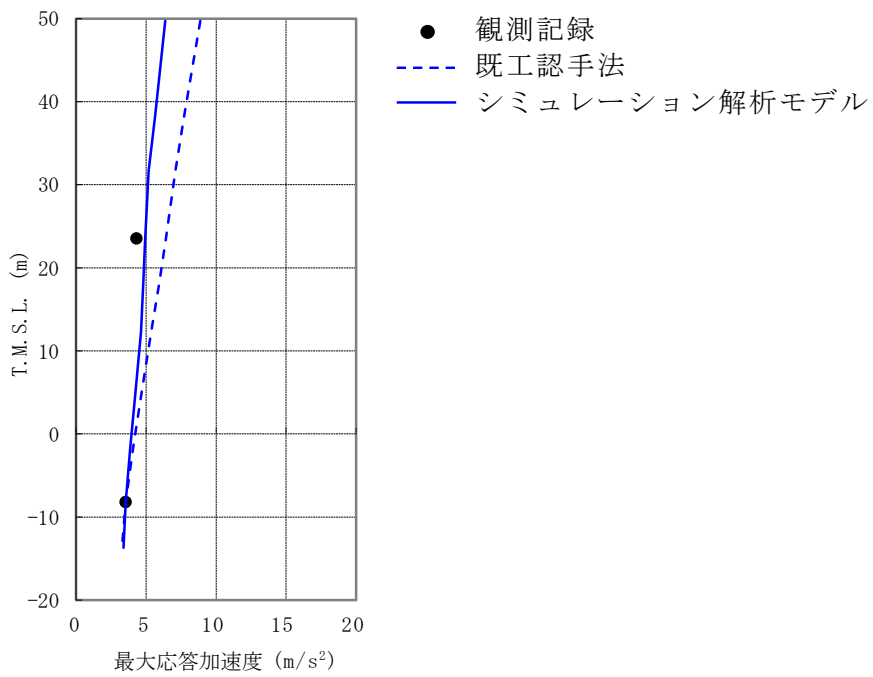


(b) EW方向

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 3-13 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 3-14 再掲)

2.1 既往実験と実機との差異による影響についての考察

剛性低下に影響する条件の既往実験と実機の違いを表 2-2 に示す。

表 2-2 より、定性的には、軸力及びコンクリート強度の違いを踏まえると、実機でのひび割れは発生しにくいと考えられ、実機の方が既往実験よりも剛性の低下は小さいものと考えられる。

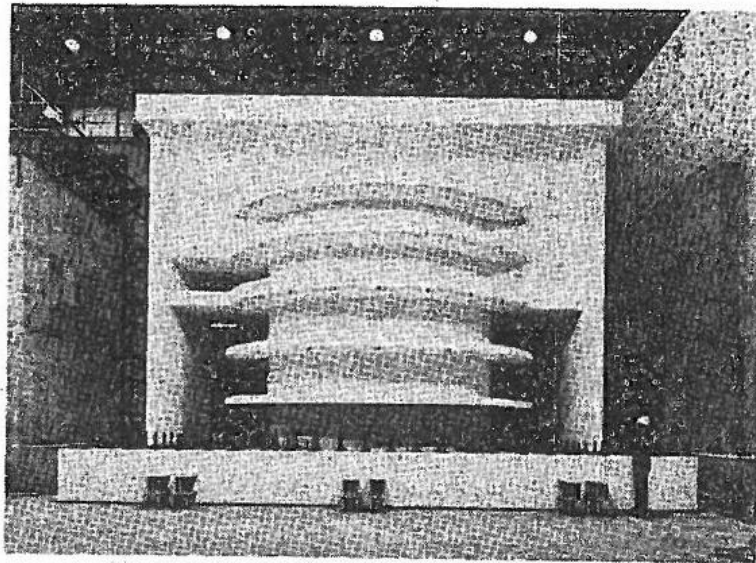
引用文献(1)に示される既往実験の試験体形状を図 2-3 に、既往実験の内圧試験における内圧荷重－変位関係を図 2-4 に、設計内圧 P_D の 1.15 倍の内圧加力終了後の円筒部のひび割れ状況を図 2-5 に示す。

図 2-5 によると、B2F 部分を中心に多数のひび割れが発生しており、このようなひび割れの発生が、剛性低下につながったものと考えられる。

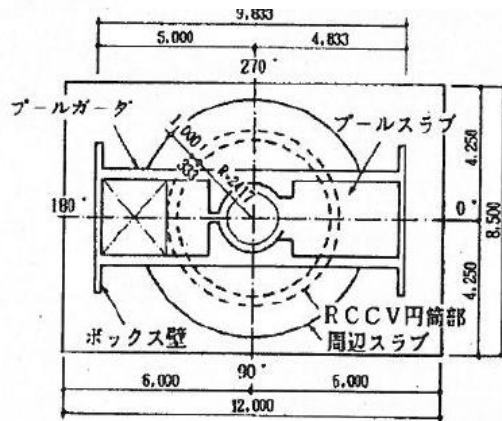
表 2-2 既往実験と実機との差異

条件	既往実験	実機	備考
軸力	4kg/cm ² 【0.39N/mm ² 】	15kg/cm ² 【1.47N/mm ² 】 (平均値)	圧縮軸力が大きい方が、内圧によるひび割れ発生が少ない。
コンクリート 圧縮強度	299kg/cm ² 【29.3N/mm ² 】 (実測値)	330kg/cm ² 【32.3N/mm ² 】 (設計基準強度)	コンクリート圧縮強度が大きい方が内圧によるひび割れ発生が少ない。*
		440kg/cm ² 【43.1N/mm ² 】 (実強度)	
円筒部周辺 スラブ	円筒部壁面から 1m の範囲のみ 試験体を作成	各階の床スラブ が壁と接合し 建屋と一体化	建屋と一体化している方が拘束効果が高く、内圧によるひび割れ発生が少ない。

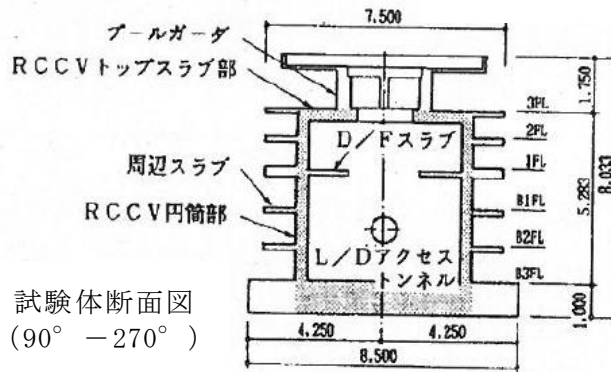
注記*：ひび割れの発生に直接関係するのはコンクリートの引張強度であるが、一般的にコンクリートの引張強度は圧縮強度のおよそ 1/10 となる関係があることから、圧縮強度で比較している。



試験体全体 (90° 側)



試験体平面図
(3FL)



試験体断面図
(90° - 270°)

図 2-3 既往実験の試験体形状

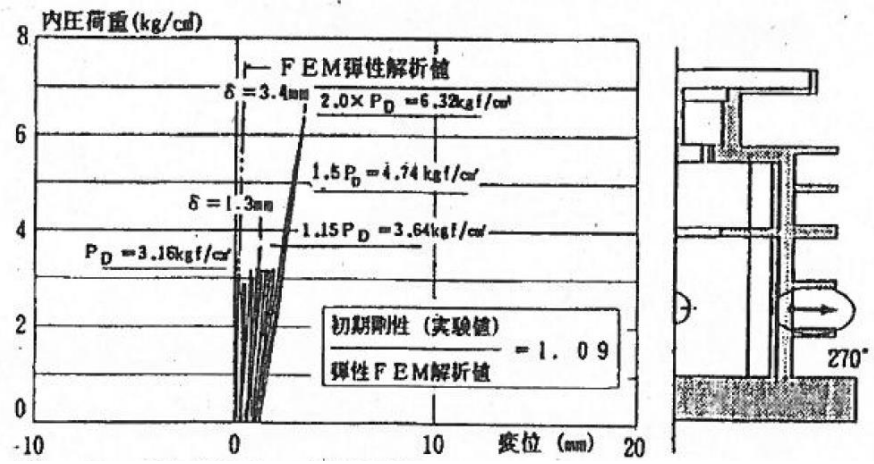


図 2-4 既往実験の内圧荷重—変位関係 (RCCV 円筒部 B2F, 半径方向, 270° 側)

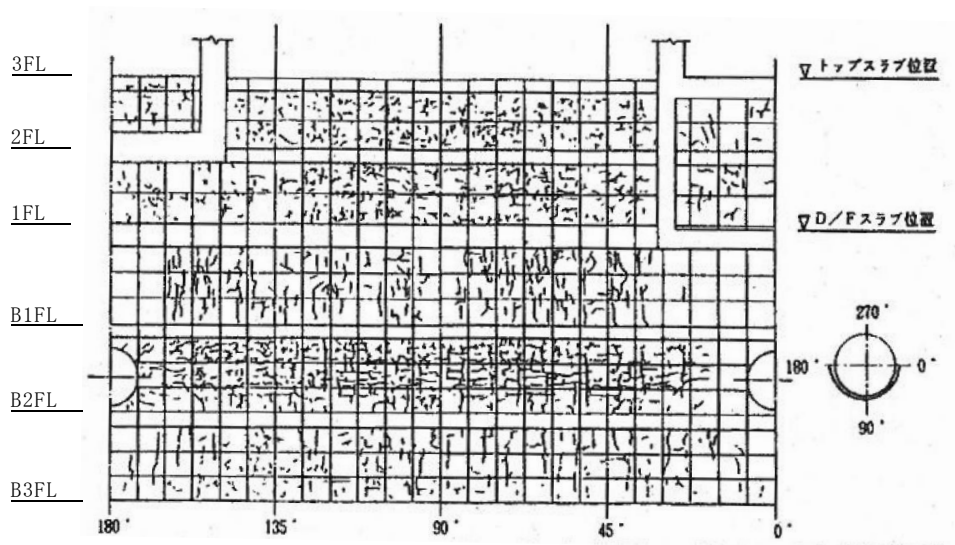


図 2-5 既往実験の RCCV 円筒部ひび割れ状況 (1.15P_D 加力終了後)

2.2 実機における SIT の結果に基づく考察

実機における SIT の結果（引用文献(2)参照）について以下で概要を説明し、SIT が剛性に与える影響を考察する。

SIT においては予め設定された加圧・減圧曲線に基づき、最高使用圧力の 1.125 倍の内圧（試験時の実測値：3.69kg/cm²（最高使用圧力の 1.168 倍相当））で RCCV を加圧し、主要部位の外観、ひび割れ、変位及び温度を測定しており、試験後に 3 次元 FEM モデルによる解析での評価を実施している。加えて、SIT 後に全体漏洩率試験（以下「ILRT」という。）を最高使用圧力の 0.9 倍の圧力で実施している。

試験及び解析の結果より確認できたことは下記のとおりであり、RCCV は最高使用圧力に対して十分健全であることが確認されている。

- ・外観についてはひび割れの進展はほとんどなく構造上の問題となる損傷は認められなかったこと。
- ・内圧-変位関係は線形関係を保ち、残留変位も少なく、試験圧力に対して弾性的挙動と認められること。
- ・SIT 直後の ILRT による内圧の繰り返しに対して剛性の低下は認められないこと。
- ・3 次元 FEM モデルによる弾性解析により RCCV の SIT 時構造挙動を良く把握出来ること。

上記の結果について、以下に詳述する。

SIT 及び ILRT の圧力履歴を図 2-6 に示す。SIT の圧力載荷前には、計測器の作動確認等を目的とした予備加圧試験が実施され、ILRT は SIT の減圧完了後、ベースライン計測の期間において実施されている。なお、SIT における減圧の途中において、ドライウェル（以下「D/W」という。）の圧力を保持したままサプレッションチェンバ（以下「S/C」という。）の圧力を低下させている。

SIT においては、RCCV の外表面全体を目視確認する外観検査を実施しているが、加圧試験によって新規に発生したひび割れは、幅が 0.05mm 程度の微細なひび割れが極めてわずかに発生した程度であり、減圧完了後に新規に発生したひび割れが閉じていることを確認している。

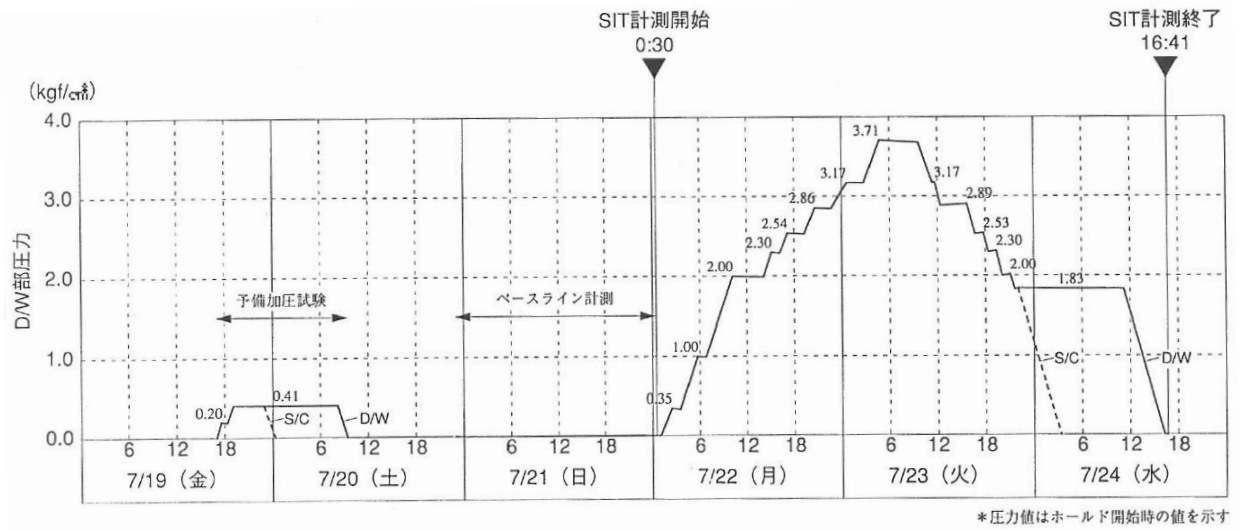
また、図 2-7 に示す位置において変位計測を実施しており、そのうちの代表的な変位として、トップスラブ鉛直方向変位及び S/C 中段部半径方向変位の圧力-変形関係を図 2-8 に示す。いずれもほぼ直線的な圧力-変形関係を示しており、残留変形も小さかった。なお、S/C 中段部半径方向変位における圧力 2kg/cm² 付近での一定圧力下での変位の減少は、SIT の減圧途中で S/C 部のみ減圧した影響によるものである。

圧力載荷の繰り返しの影響に関して、SIT と ILRT のそれぞれの最大内圧時における剛性を比較したものを表 2-3 に示すが、その剛性の相違は 2% 程度であり、剛性低下

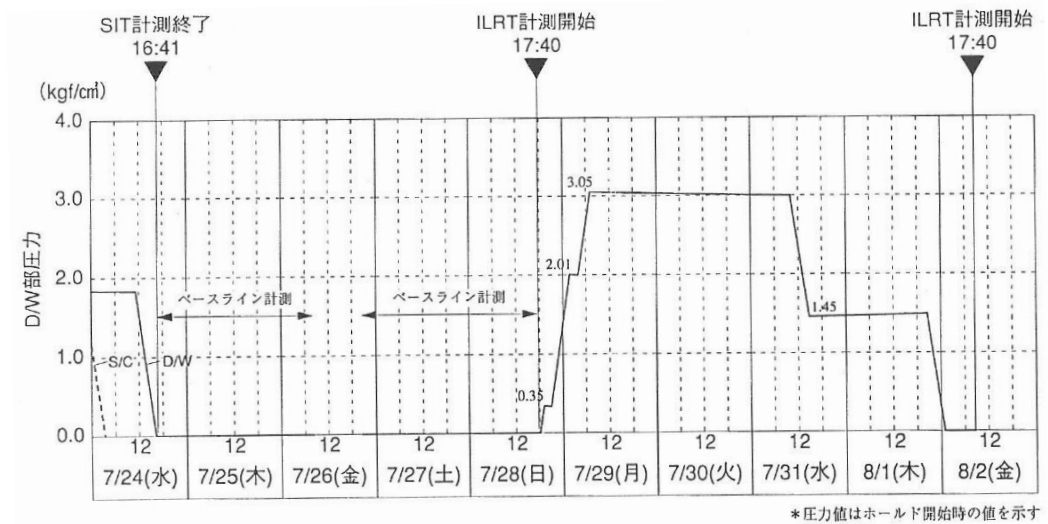
はほとんどなかった。

解析検討については、図 2-9 に示す解析モデルを用いた弾性解析を実施した。解析におけるコンクリートの材料定数は、SIT と同時期に実施した材料試験結果を用いている。変位について計測結果と解析結果を比較したものを図 2-10 に示すが、解析結果は計測結果をよく再現しており、SIT における RCCV の挙動は弾性解析により評価できている。

上記の試験結果を踏まえると、SIT における RCCV の挙動は概ね弾性範囲であったと考えられ、SIT の実施による RCCV 部の剛性低下はなかったものと判断できる。



(a) SIT



(b) ILRT

図 2-6 圧力履歴曲線

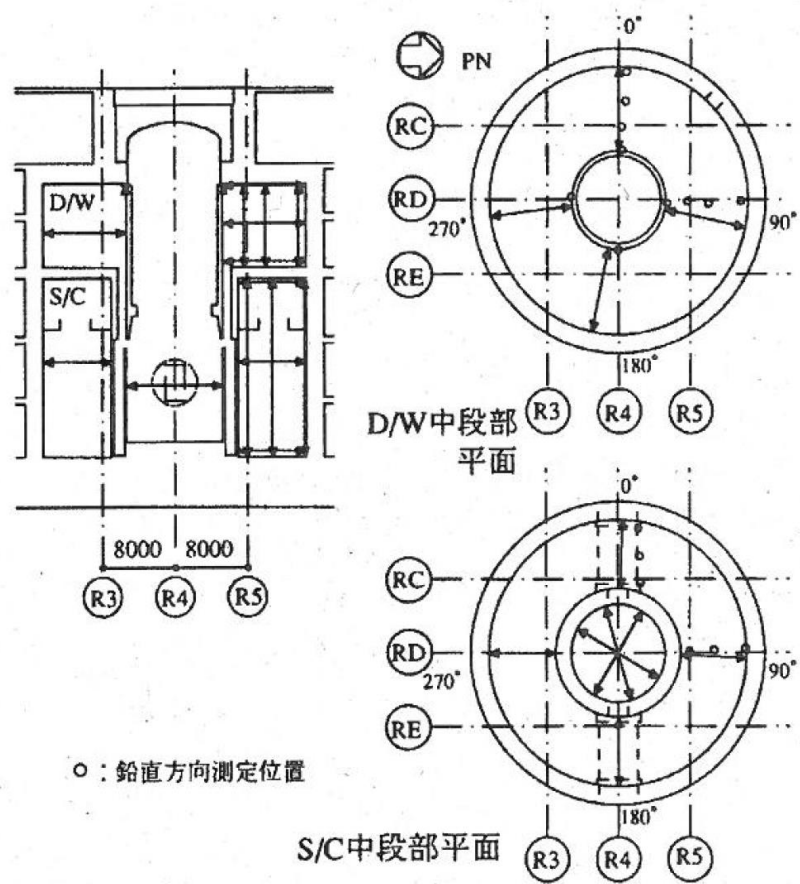
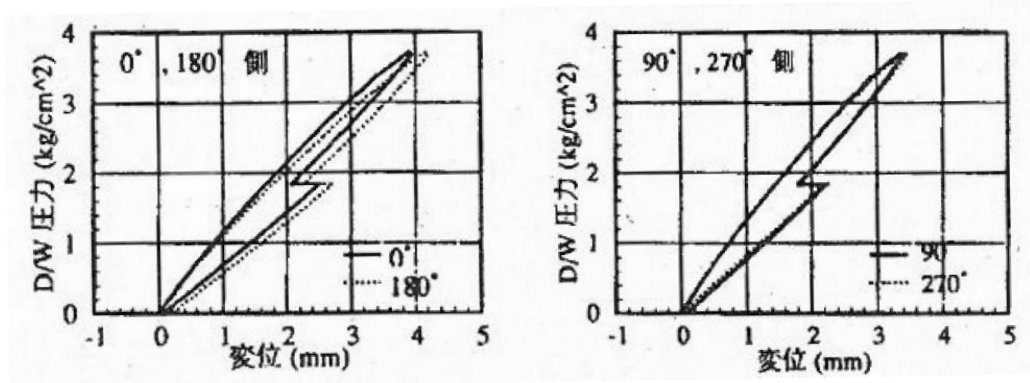
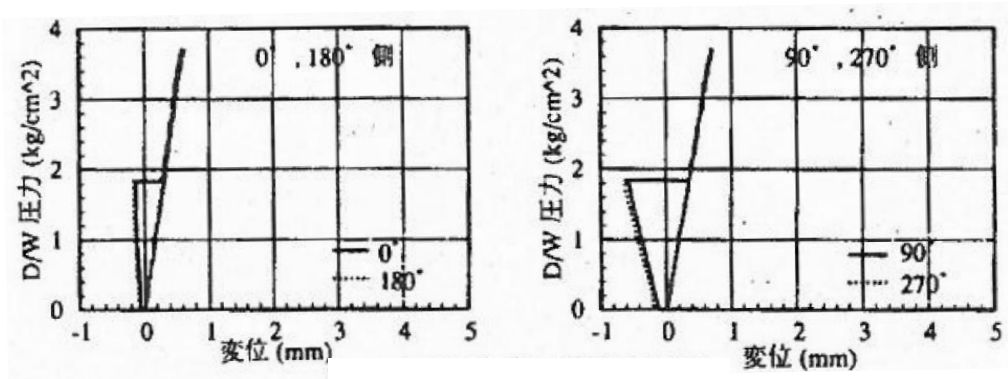


図 2-7 RCCV 変位測定箇所



(a) トップスラブ部鉛直方向変位



(b) S/C 中段半径方向変位

図 2-8 圧力-変位関係

表 2-3 SIT と ILRT の剛性比較

計測項目	剛性* (kg/cm ² /cm)		剛性比 ILRT/SIT
	SIT 時	ILRT 時	
トップスラブ鉛直方向変位	12.9	13.0	1.01
S/C 中段半径方向変位	55.2	54.2	0.98

注記*：剛性は最大内圧を最大内圧時変位で除したものであり、それぞれ 4 箇所での計測結果の平均値としている。

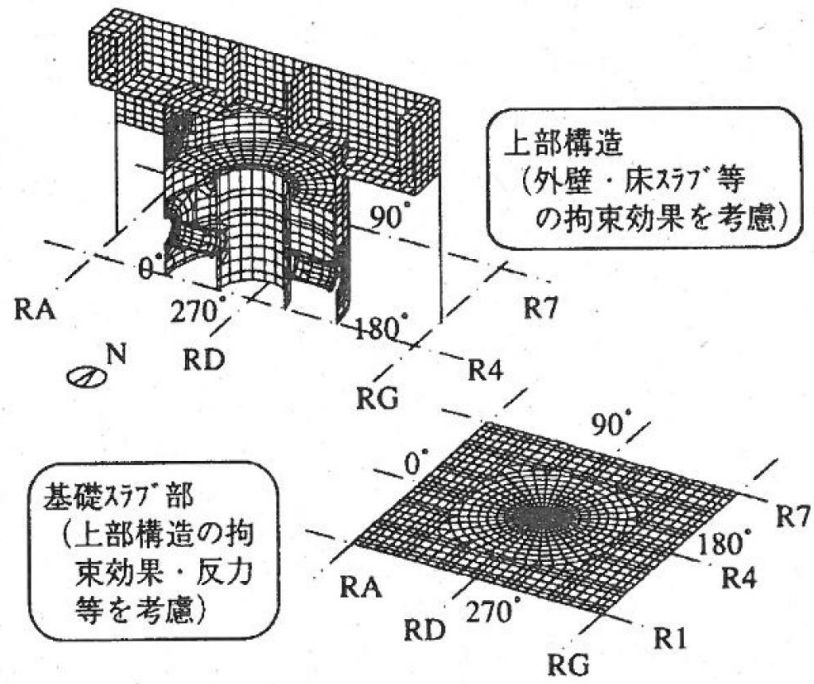
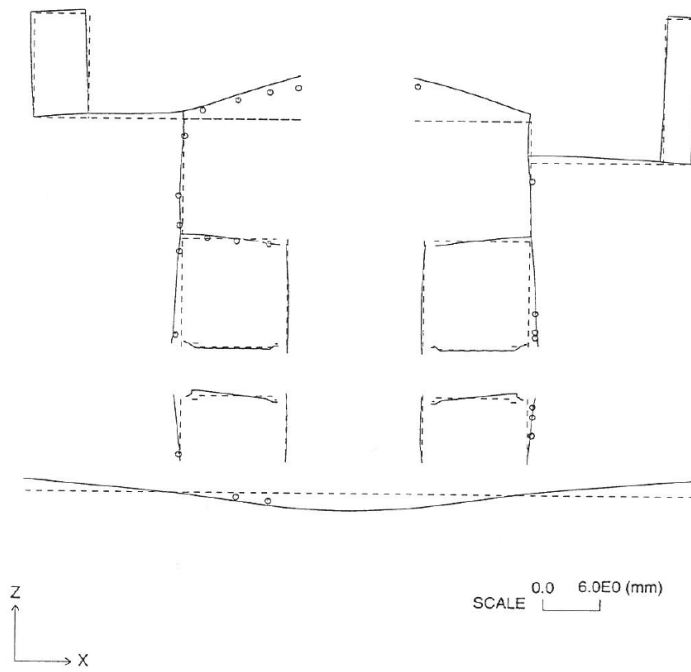
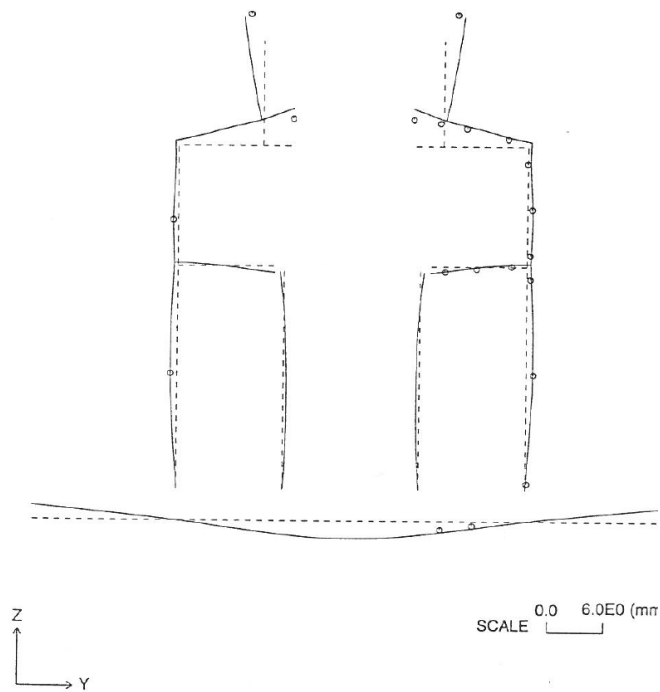


図 2-9 解析モデル



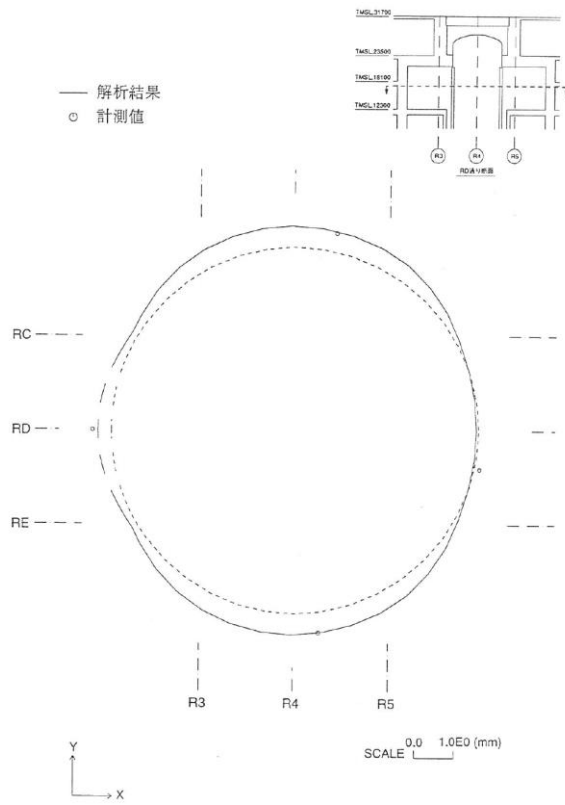
(a) 鉛直断面 ($0^\circ - 180^\circ$ 断面)

— 解析結果
 ○ 計測値

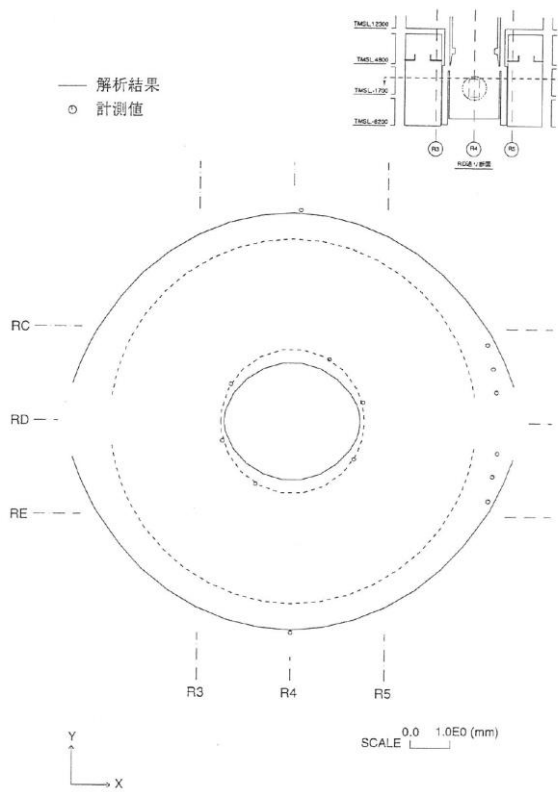


(b) 鉛直断面 ($90^\circ - 270^\circ$ 断面)

図 2-10 計測結果と解析結果の変位比較 (1/2)



(c) 水平断面 (D/W 中段部断面)



(d) 水平断面 (S/C 中段部断面)

図 2-10 計測結果と解析結果の変位比較 (2/2)

2.3 今回工認における RCCV 部の水平剛性の取扱いについて

2.1 及び 2.2 で示したとおり，原子炉建屋の地震応答解析モデルにおける RCCV 部において，SIT においても弾性挙動を示し剛性は低下していないことから，今回工認においては RCCV 部の剛性低下を考慮しないことを基本とする。

ただし，次章以降で大間原子力発電所 1 号機での検討事例も踏まえて，仮に RCCV 部の水平剛性を 90% に低下させた地震応答解析を実施し，RCCV 部の剛性変動が原子炉建屋及び機器・配管系の耐震評価に与える影響について確認する。

3. 検討方針

今回工認モデル及び SIT による剛性低下を考慮したモデル（以下「SIT 考慮モデル」という。）の地震応答解析結果を比較することにより，SIT による剛性低下による建屋応答への影響を確認する。また，SIT による剛性低下を考慮する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，SIT 考慮モデルに考慮する。

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 S_s-1 の基本ケースに対して実施することとする。

4. 検討条件

4.1 復元力特性の算定

4.1.1 せん断力のスケルトン曲線

図4-1にSIT考慮モデルのせん断力のスケルトン曲線の概念図を示す。

RCCV部のせん断力のスケルトン曲線は、今回工認モデルのスケルトン曲線を基に、以下の手順に従って設定する。なお、今回工認モデルのスケルトン曲線には補助壁を考慮しているが、補助壁にはSITによる圧力等が作用しないことから、補助壁については剛性低下を考慮しないこととする。

- ① 下式より、剛性低下を考慮したせん断剛性 G' を算定する。

$$G' = G \times \left\{ (0.9 \times \text{RCCV} A_s + \text{補助壁} A_s) / \Sigma A_s \right\}$$

ここで、

G : 今回工認モデルのせん断剛性

$\text{RCCV} A_s$: RCCV壁のせん断断面積

補助壁 A_s : 補助壁のせん断断面積

ΣA_s : 今回工認モデルのせん断断面積

- ② 初期剛性を①で算定したせん断剛性 G' として第1勾配を設定する。
③ ②で設定した第1勾配と今回工認モデルの第2勾配の交点を第1折点とする。
④ ③で設定した第1折点以降は、今回工認モデルのスケルトン曲線と同一とする。

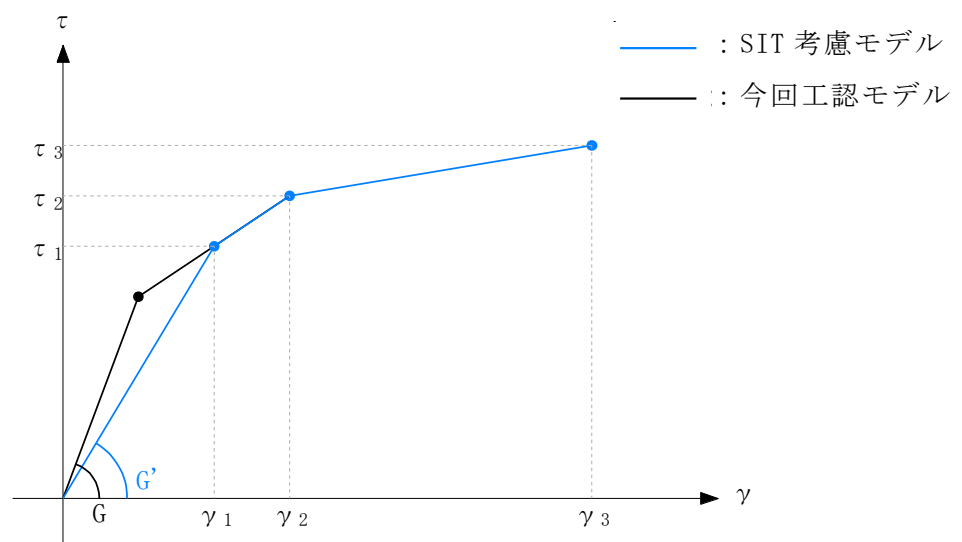


図4-1 SIT考慮モデルのせん断力のスケルトン曲線の概念図

4.1.2 曲げモーメントのスケルトン曲線

図 4-2 に SIT 考慮モデルの曲げモーメントのスケルトン曲線の概念図を示す。

RCCV 部の曲げモーメントのスケルトン曲線は，今回工認モデルのスケルトン曲線を基に，以下の手順に従って算定する。

- ① 今回工認モデルの RCCV 壁の曲げ剛性 $E I$ を 0.9 倍することにより，剛性低下を考慮した曲げ剛性 $E I'$ を算定する。
- ② 初期剛性を①で算定した曲げ剛性 $E I'$ として第 1 勾配を設定する。
- ③ ②で算定した第 1 勾配と今回工認モデルの第 2 勾配の交点を第 1 折点とする。
- ④ ③で設定した第 1 折点以降は，今回工認モデルのスケルトン曲線と同一とする。

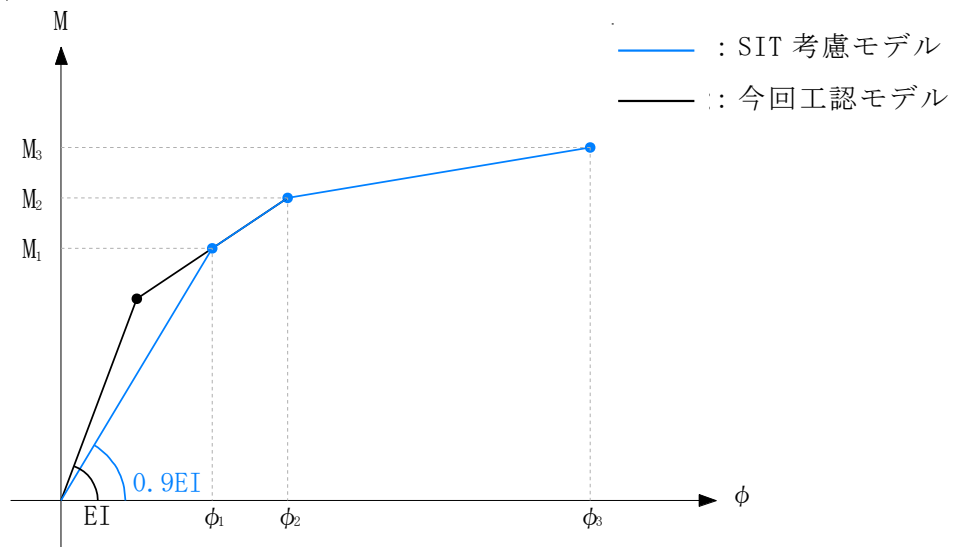
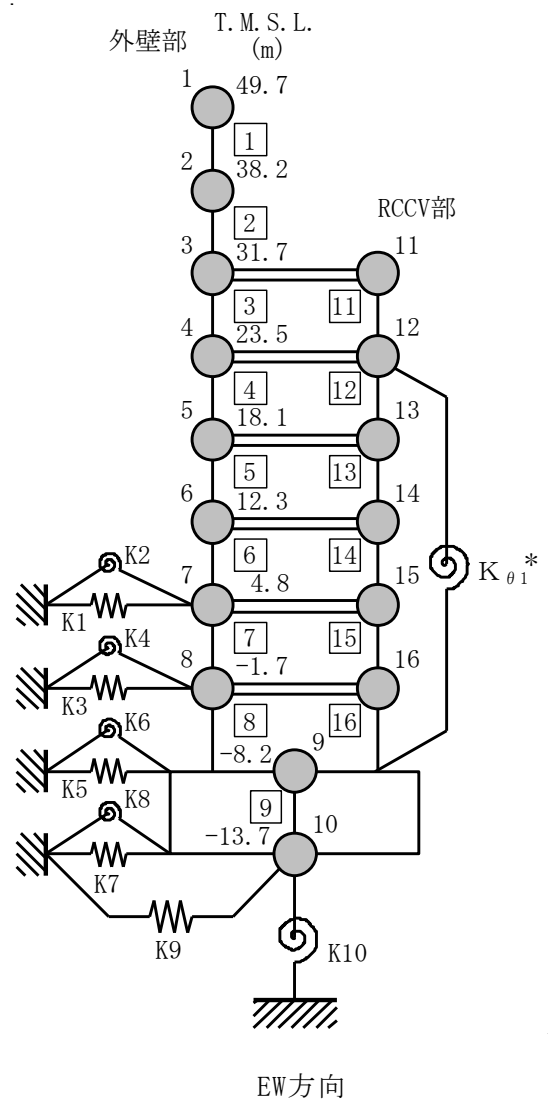
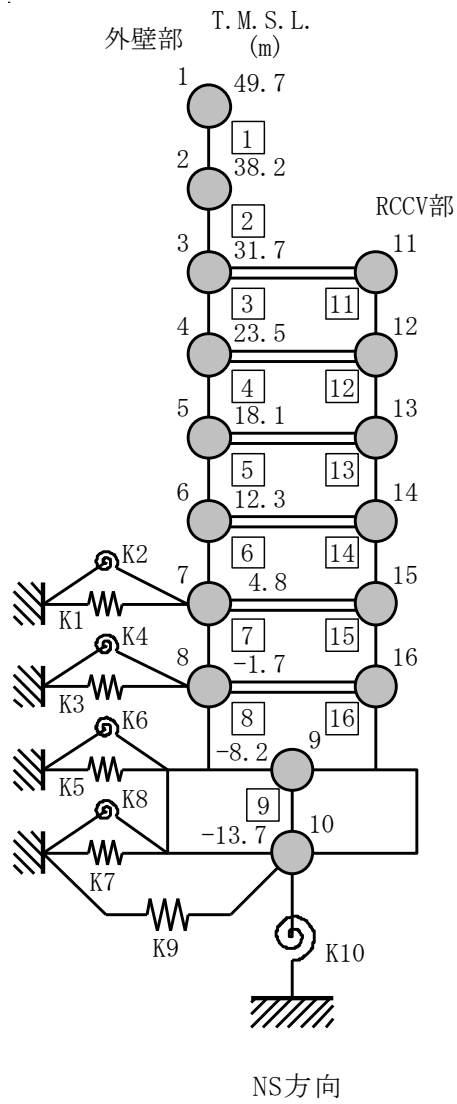


図 4-2 SIT 考慮モデルの曲げモーメントのスケルトン曲線の概念図

4.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 4-3 に，せん断力及び曲げモーメントのスケルトン曲線の諸数値を表 4-1～表 4-4 に，スケルトン曲線の今回工認モデルと SIT 考慮モデルの比較の例を図 4-4 に，地盤ばね定数を表 4-5 に示す。



注記* : RCCV 回転ばね

図 4-3 地震応答解析モデル

表 4-1 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.31	0.213	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.35	0.215	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.36	0.212	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.45	0.220	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.50	0.224	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.48	0.219	3.14	0.589	5.73	4.00

表 4-1 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.42	0.202	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.47	0.206	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.45	0.205	3.14	0.589	5.73	4.00

表 4-2 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.25	0.198	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.29	0.200	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.29	0.201	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.43	0.217	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.42	0.214	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.50	0.222	3.21	0.563	6.42	4.00

表 4-2 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.23	0.187	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.28	0.191	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.41	0.201	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.41	0.201	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.46	0.206	3.21	0.563	6.42	4.00

表 4-3 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M-φ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
CRF	2.02	5.11	2.17	61.0	5.28	1220
4F	5.95	4.04	6.73	40.4	9.49	809
3F	9.10	4.47	11.8	40.7	15.4	815
2F	9.44	4.75	18.7	42.0	18.9	840
1F	12.2	5.02	28.6	42.6	29.8	853
B1F	15.4	5.08	30.3	43.1	40.9	863
B2F	17.2	5.30	35.9	43.8	49.3	876
B3F	19.1	5.56	41.6	44.3	59.2	887

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
3F	1.74	9.27	3.86	117	4.42	2340
2F	5.34	8.83	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.73	9.40	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.94	9.79	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	6.46	10.5	18.3	88.1	25.9	1250
B3F	7.48	9.74	21.0	88.3	30.1	1240

表 4-3 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M-φ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
CRF	2.02	5.11	2.17	61.0	5.28	1220
4F	5.95	4.04	6.73	40.4	9.49	809
3F	9.10	4.47	11.8	40.7	15.4	815
2F	9.44	4.75	18.7	42.0	18.9	840
1F	12.2	5.02	28.6	42.6	29.8	853
B1F	15.4	5.08	30.3	43.1	40.9	863
B2F	17.2	5.30	35.9	43.8	49.3	876
B3F	19.1	5.56	41.6	44.3	59.2	887

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
3F	1.72	8.25	3.86	117	4.42	2340
2F	5.14	7.65	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.52	8.15	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.75	8.53	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	6.26	9.19	18.3	88.1	25.9	1250
B3F	7.27	8.52	21.0	88.3	30.1	1240

表 4-4 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M- ϕ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
CRF	3.20	3.70	3.81	38.8	4.54	776
4F	6.69	3.71	6.94	39.7	12.1	793
3F	10.6	4.16	10.9	41.0	19.3	819
2F	10.1	4.27	17.0	39.7	23.0	795
1F	12.0	4.49	24.3	40.5	31.4	809
B1F	14.7	4.46	32.3	40.7	41.8	814
B2F	17.0	4.75	38.3	41.3	52.6	826
B3F	18.9	5.01	44.6	41.8	61.7	837

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
3F	1.74	9.29	3.61	90.3	5.99	1430
2F	5.34	8.83	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.64	9.41	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.94	9.79	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	5.80	10.6	18.1	88.1	25.5	1250
B3F	6.69	10.8	18.8	88.3	26.5	1240

表 4-4 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M-φ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
CRF	3.20	3.70	3.81	38.8	4.54	776
4F	6.69	3.71	6.94	39.7	12.1	793
3F	10.6	4.16	10.9	41.0	19.3	819
2F	10.1	4.27	17.0	39.7	23.0	795
1F	12.0	4.49	24.3	40.5	31.4	809
B1F	14.7	4.46	32.3	40.7	41.8	814
B2F	17.0	4.75	38.3	41.3	52.6	826
B3F	18.9	5.01	44.6	41.8	61.7	837

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
3F	1.72	8.25	3.61	90.3	5.99	1430
2F	5.14	7.65	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.43	8.15	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.75	8.53	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	5.58	9.13	18.1	88.1	25.5	1250
B3F	6.48	9.43	18.8	88.3	26.5	1240

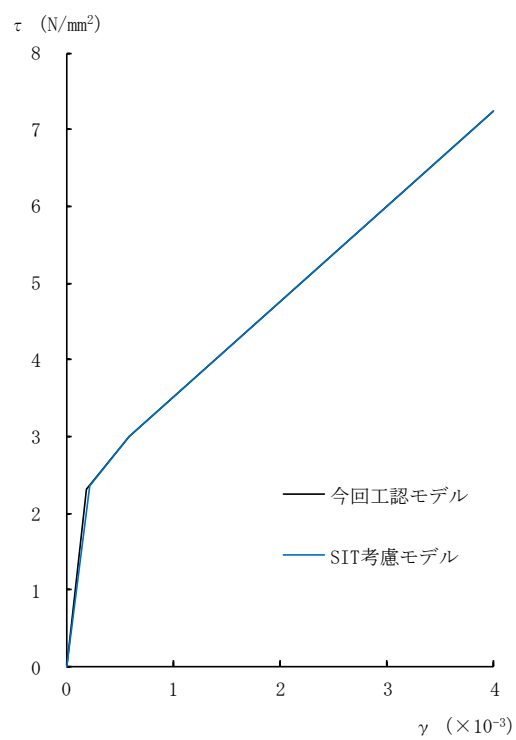


図 4-4 スケルトン曲線の今回工認モデルと SIT 考慮モデルの比較の例
 (2F, RCCV 部, NS 方向のせん断力のスケルトン曲線)

表4-5 地盤ばね定数と減衰係数 (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

NS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	7	側面・並進	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.97×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	5.98×10^8

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

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

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	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	6.98×10^8

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

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

表4-5 地盤ばね定数と減衰係数 (2/2)

(b) 今回工認モデル

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

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

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

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

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

注記*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

SIT 考慮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。

SIT 考慮モデルの固有周期は，今回工認モデルの結果とほぼ同程度となることを確認した。

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	SIT 考慮 モデル	今回工認 モデル	SIT 考慮 モデル
1	0.439	0.441	2.28	2.27
2	0.192	0.193	5.20	5.18
3	0.091	0.093	11.03	10.80
4	0.078	0.079	12.88	12.59
5	0.077	0.078	12.98	12.86

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認 モデル	SIT 考慮 モデル	今回工認 モデル	SIT 考慮 モデル
1	0.429	0.430	2.33	2.32
2	0.191	0.192	5.23	5.22
3	0.082	0.084	12.16	11.94
4	0.077	0.078	12.97	12.74
5	0.071	0.072	14.02	13.88

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。

SIT 考慮モデルの最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等の応答を示すことを確認した。

また、SIT 考慮モデルの最大応答値と基準地震動 Ss-1～Ss-8 について材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果*の包絡値（以下「パラスタケース包絡値」という。）の比較を図 5-9～図 5-16 に、最大せん断ひずみの比較を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

SIT 考慮モデルの最大応答値は、パラスタケース包絡値を下回ることを確認した。

注記*：別紙 3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」参照。

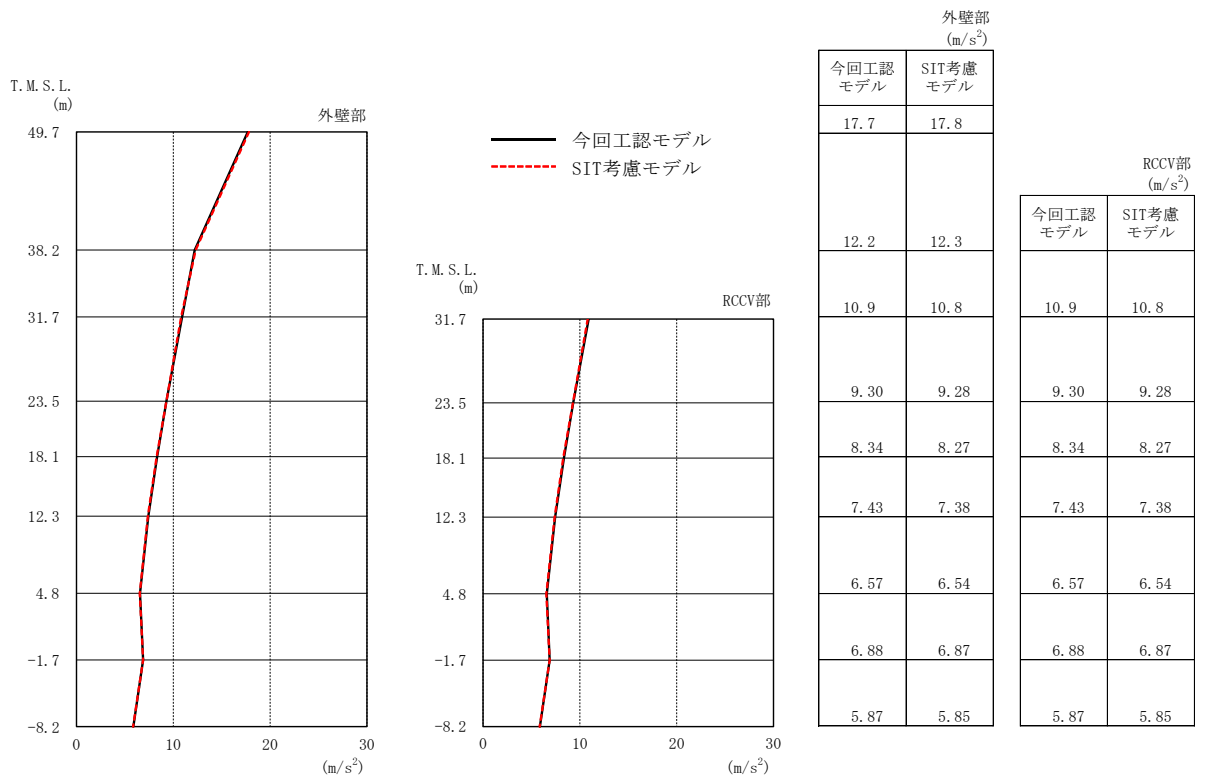
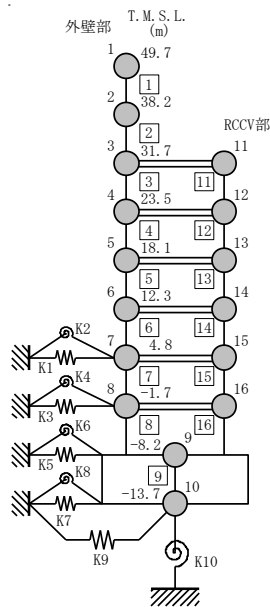


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



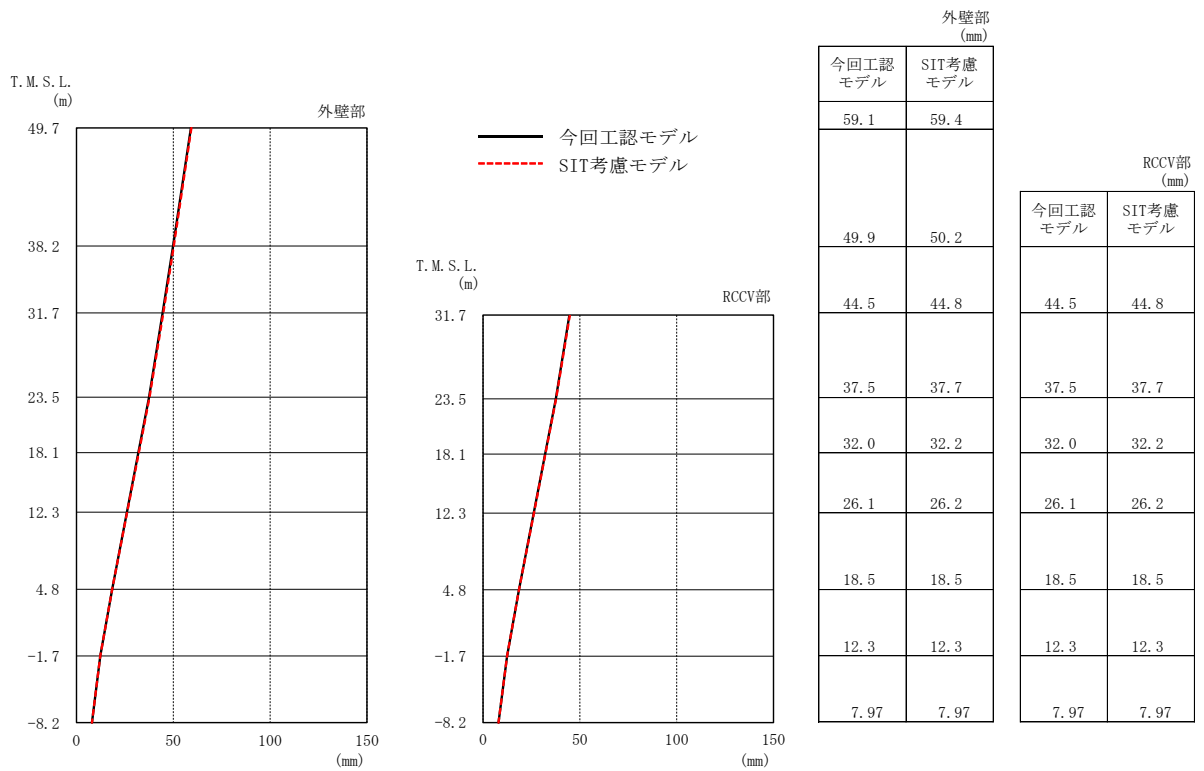
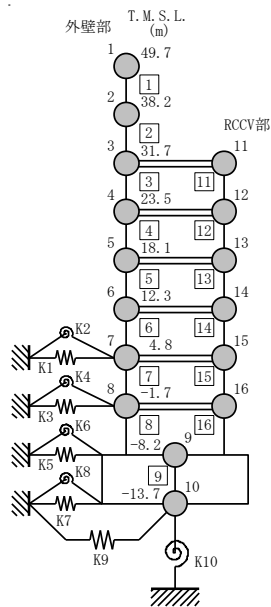


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



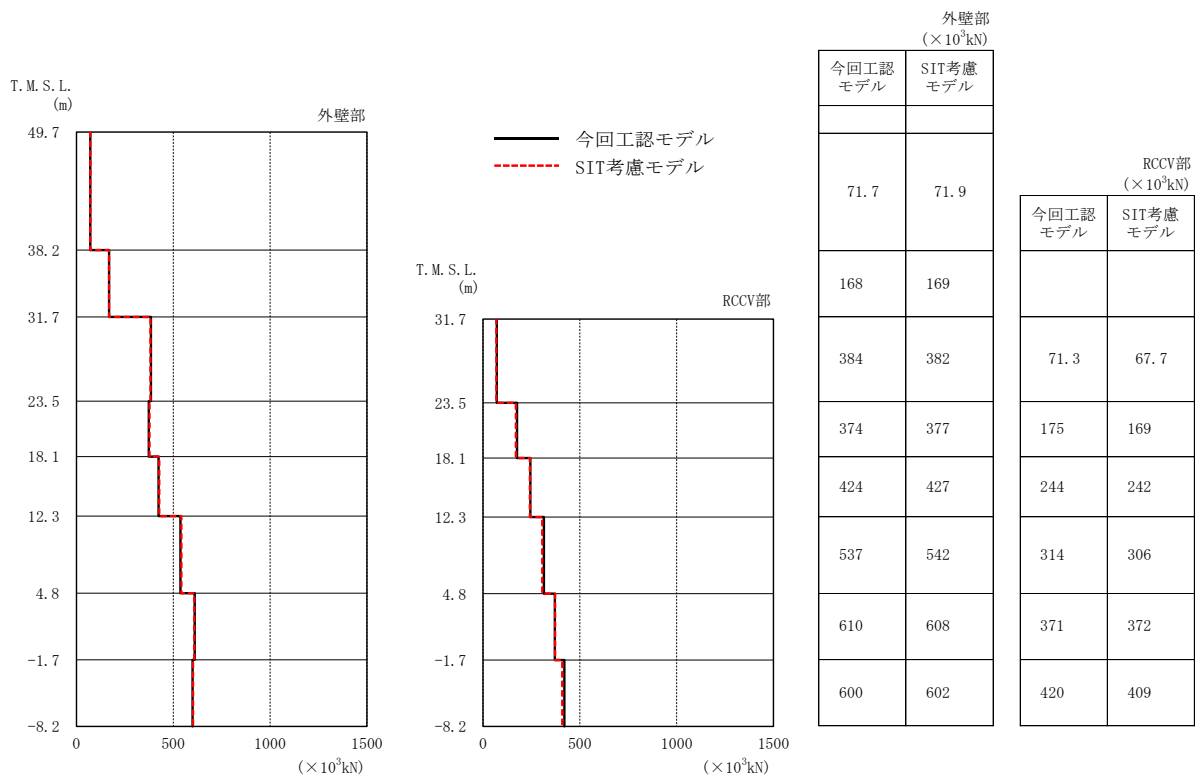
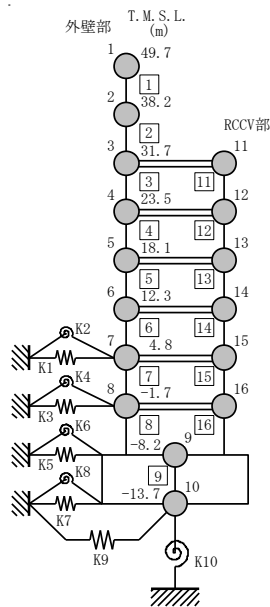


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



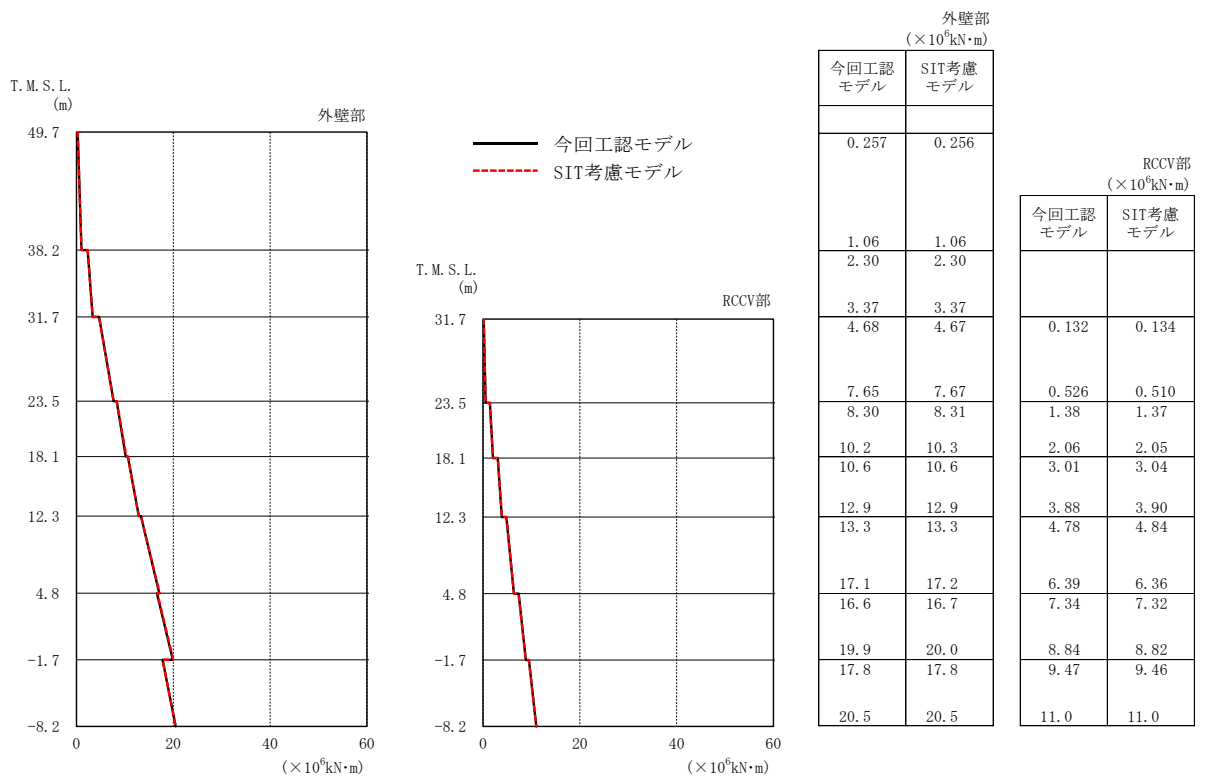
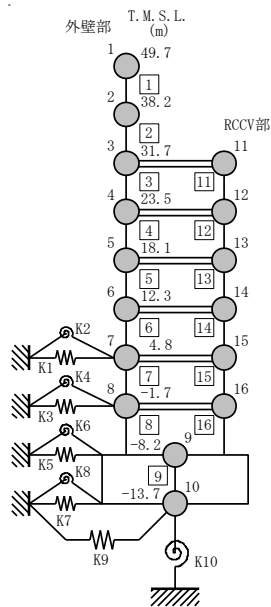


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



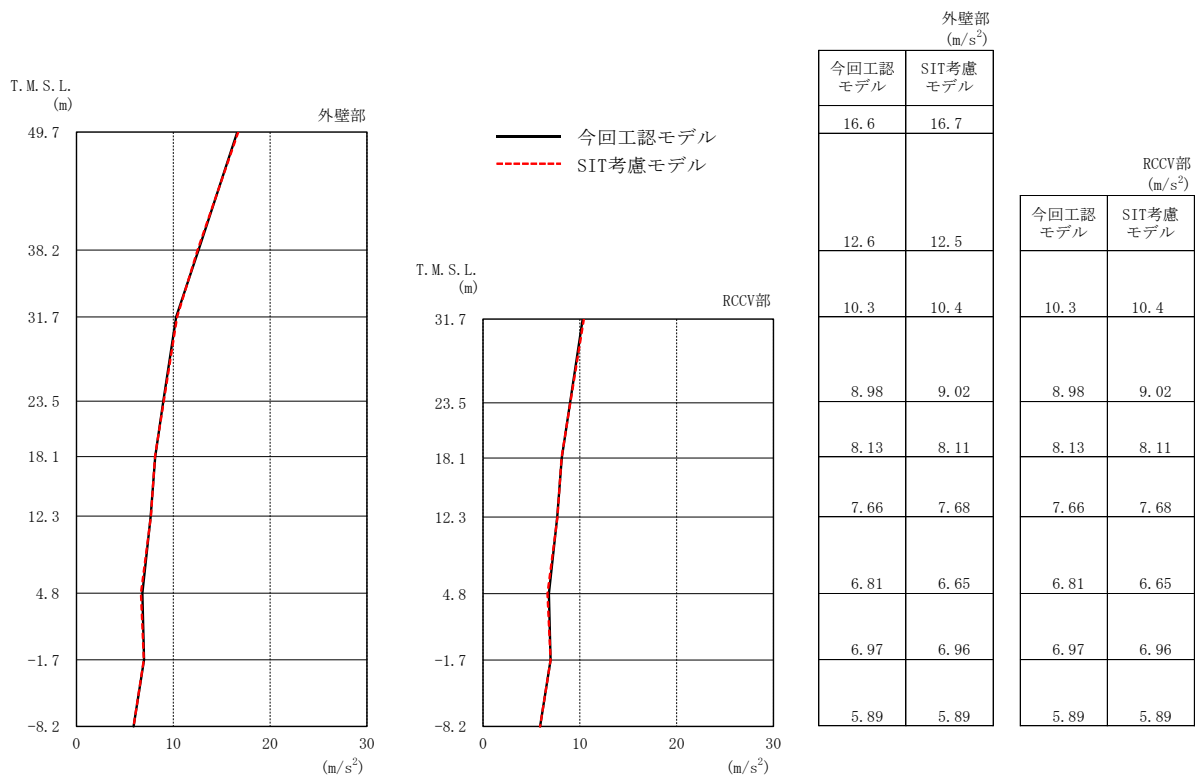
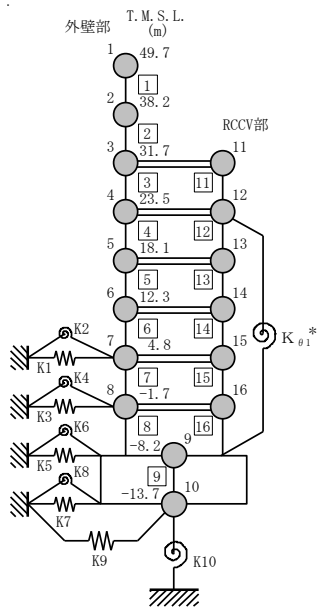


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



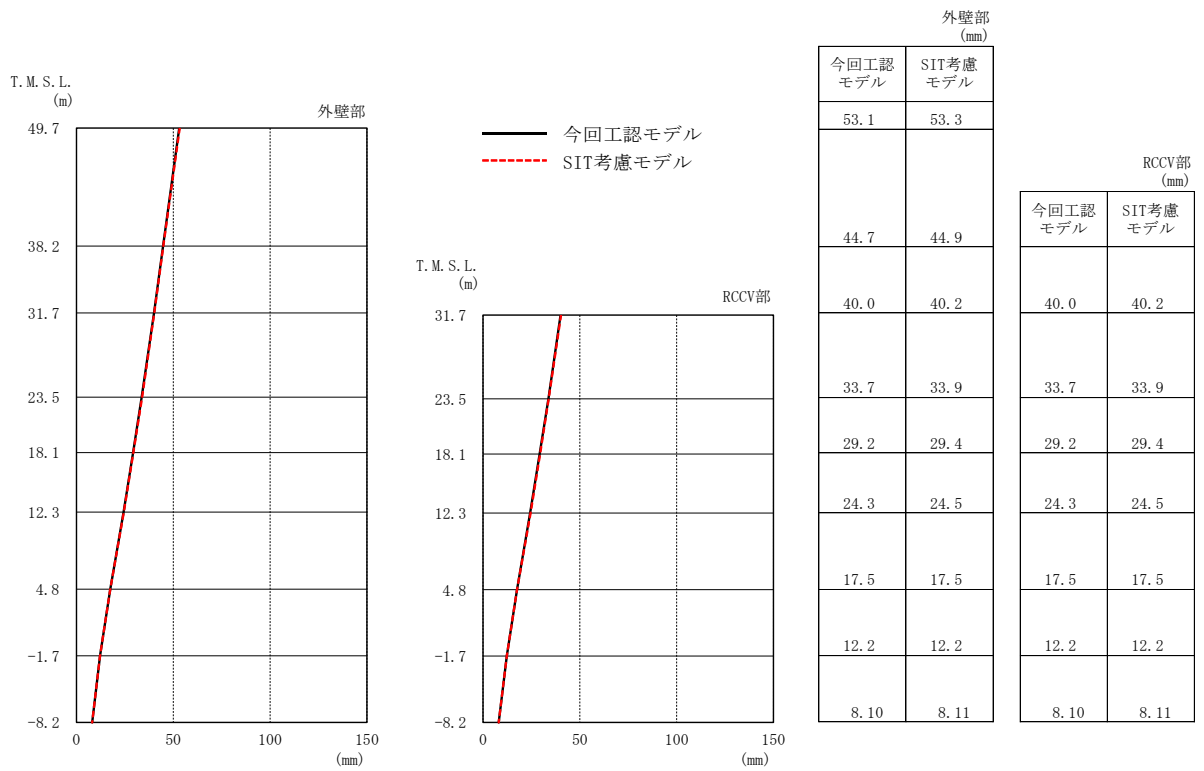
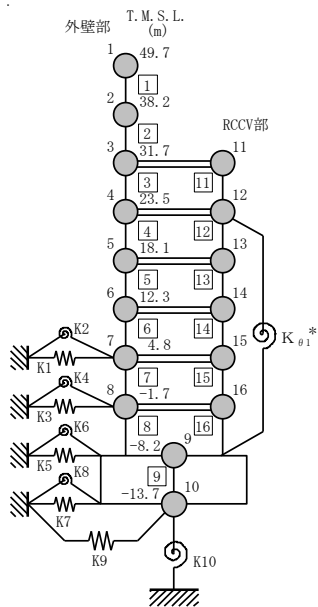


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



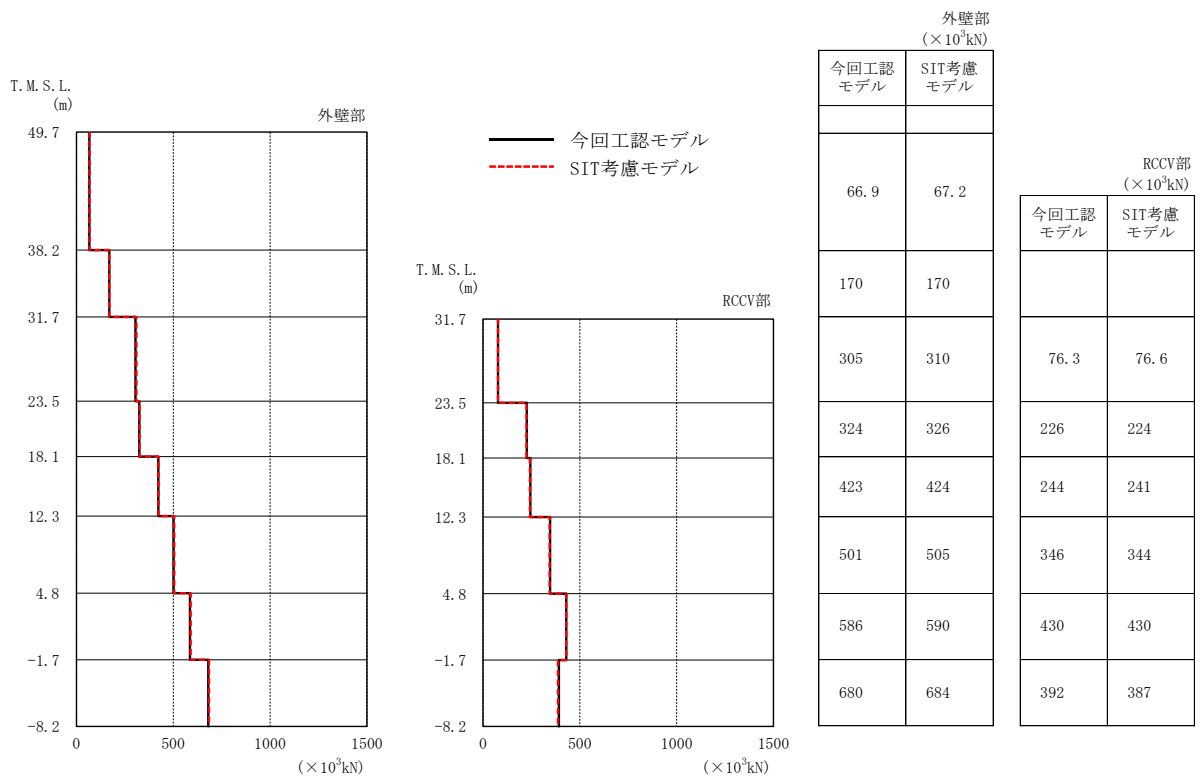
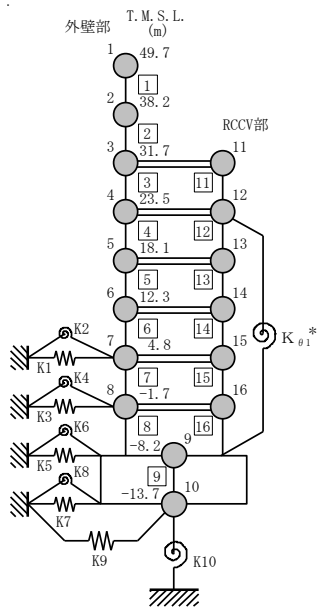


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



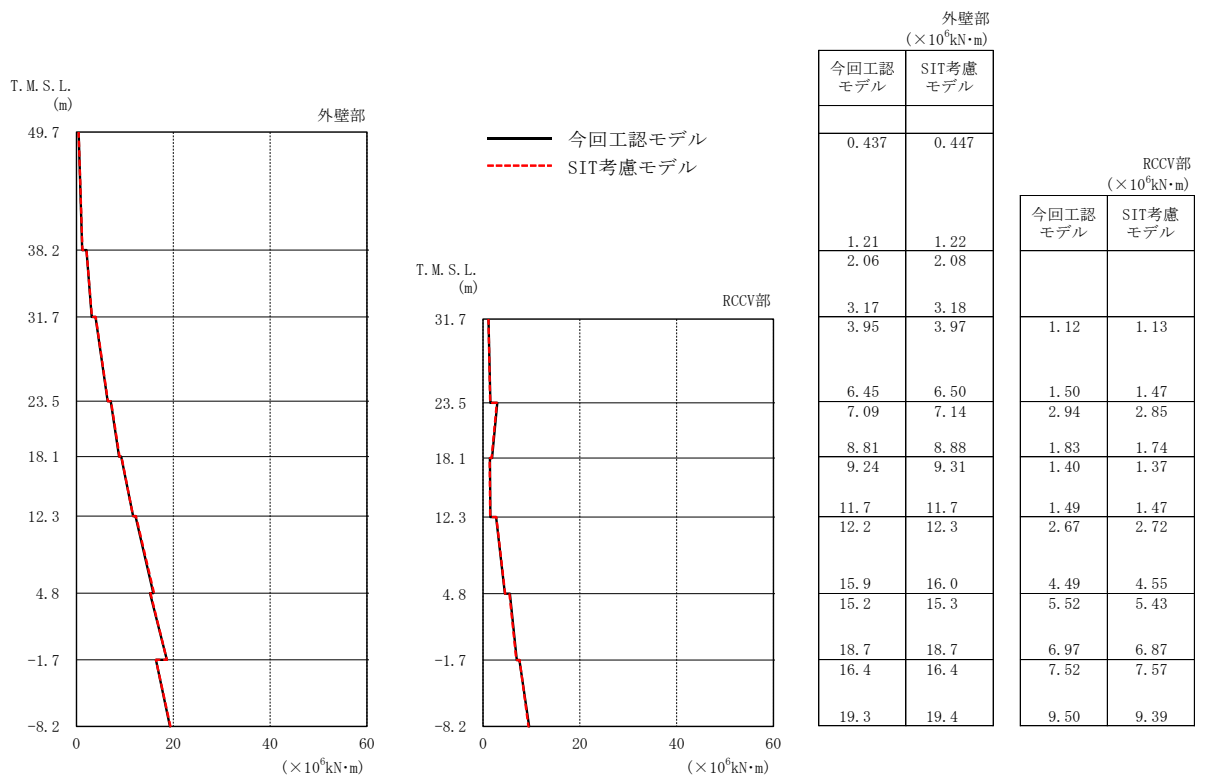


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

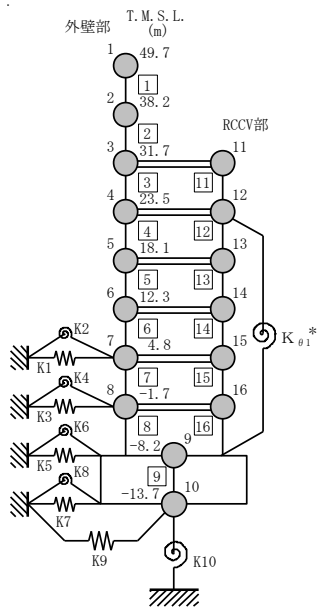


表 5-2 最大せん断ひずみ (Ss-1, NS 方向)

(a) 外壁部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
1	0.147	0.147
2	0.170	0.171
3	0.171	0.170
4	0.361	0.372
5	0.388	0.399
6	0.406	0.419
7	0.528	0.524
8	0.225	0.230

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
11	0.0499	0.0525
12	0.130	0.137
13	0.149	0.158
14	0.189	0.199
15	0.388	0.388
16	0.189	0.193

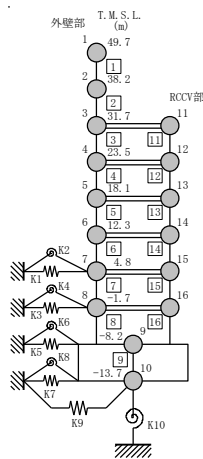
表 5-3 最大せん断ひずみ (Ss-1, EW 方向)

(a) 外壁部

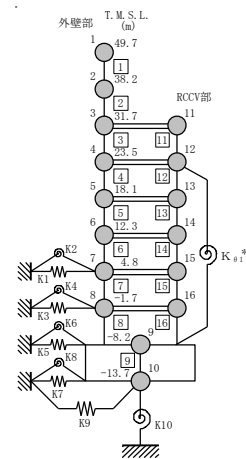
部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
1	0.103	0.103
2	0.116	0.116
3	0.148	0.150
4	0.206	0.211
5	0.243	0.247
6	0.334	0.344
7	0.318	0.327
8	0.244	0.252

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
11	0.0292	0.0308
12	0.0848	0.0878
13	0.0982	0.103
14	0.191	0.203
15	0.200	0.212
16	0.200	0.209



NS 方向



EW 方向

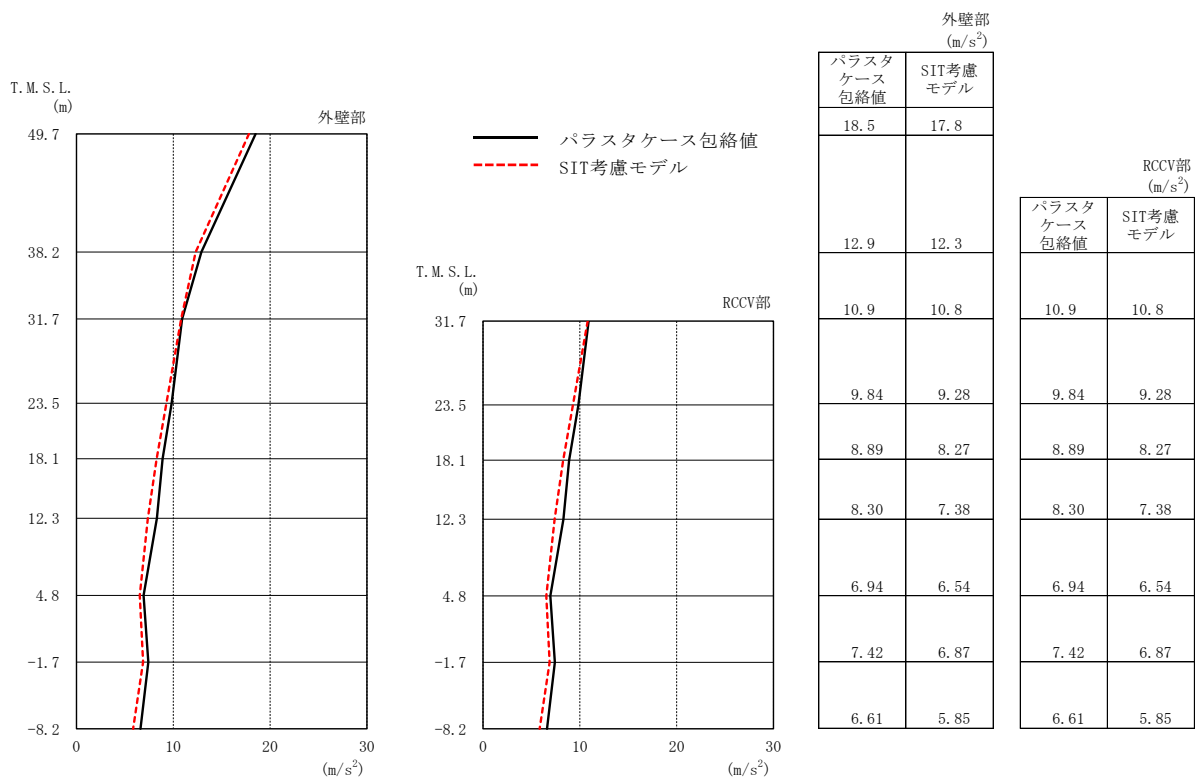
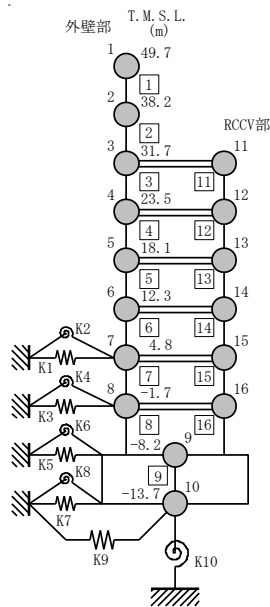


図 5-9 最大応答加速度 (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)



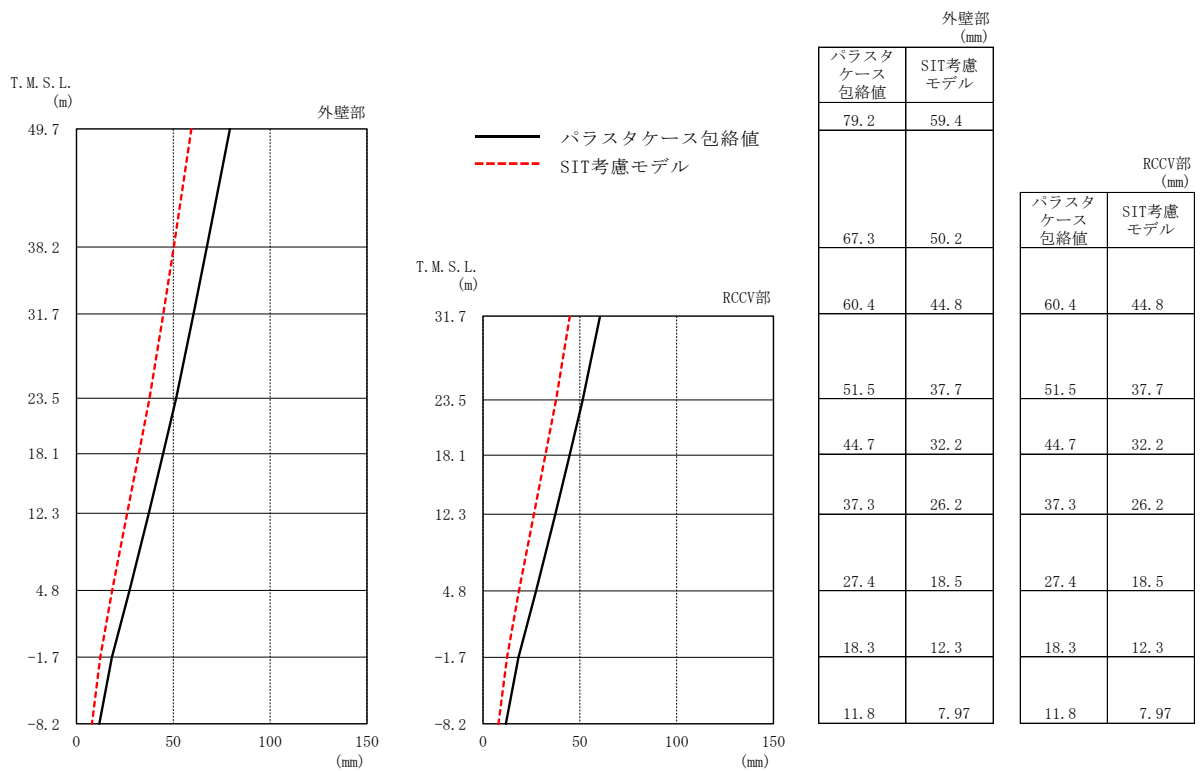
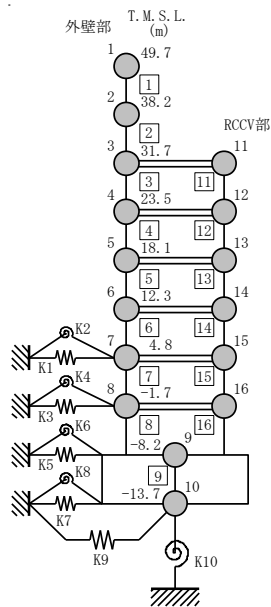


図 5-10 最大応答変位 (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)



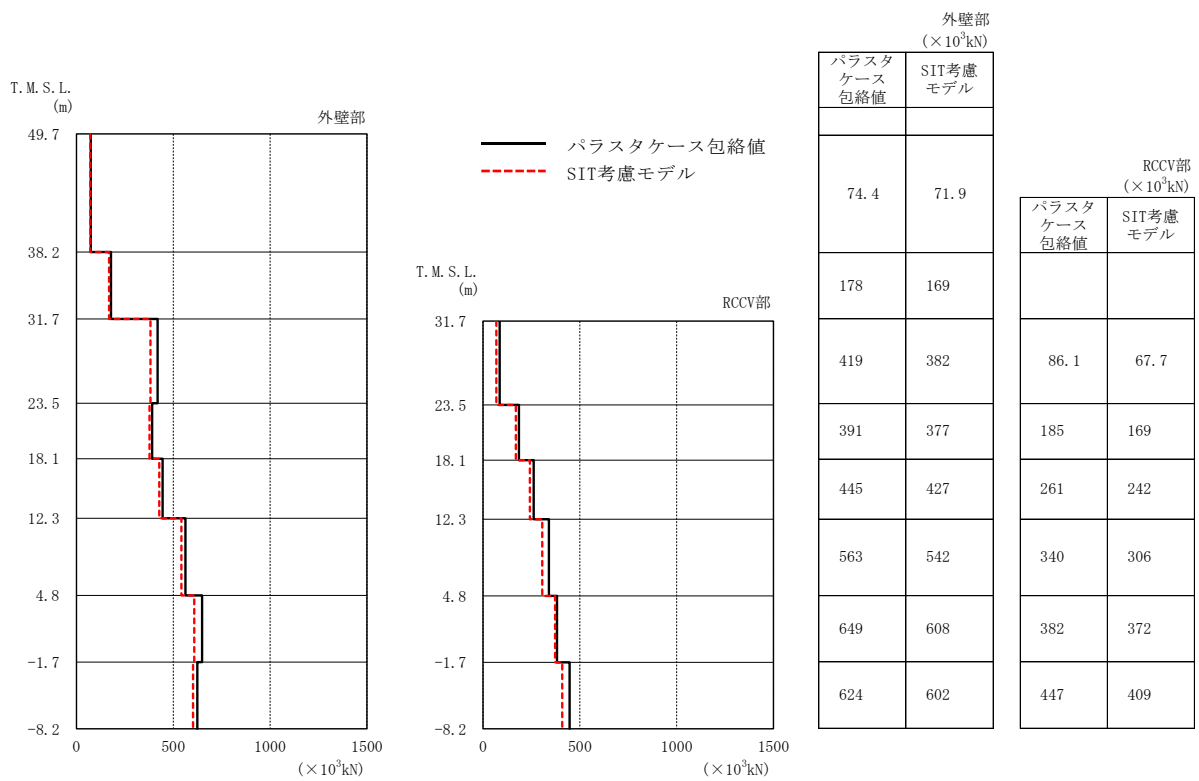
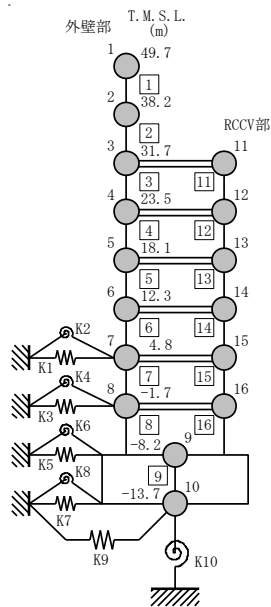


図 5-11 最大応答せん断力 (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)



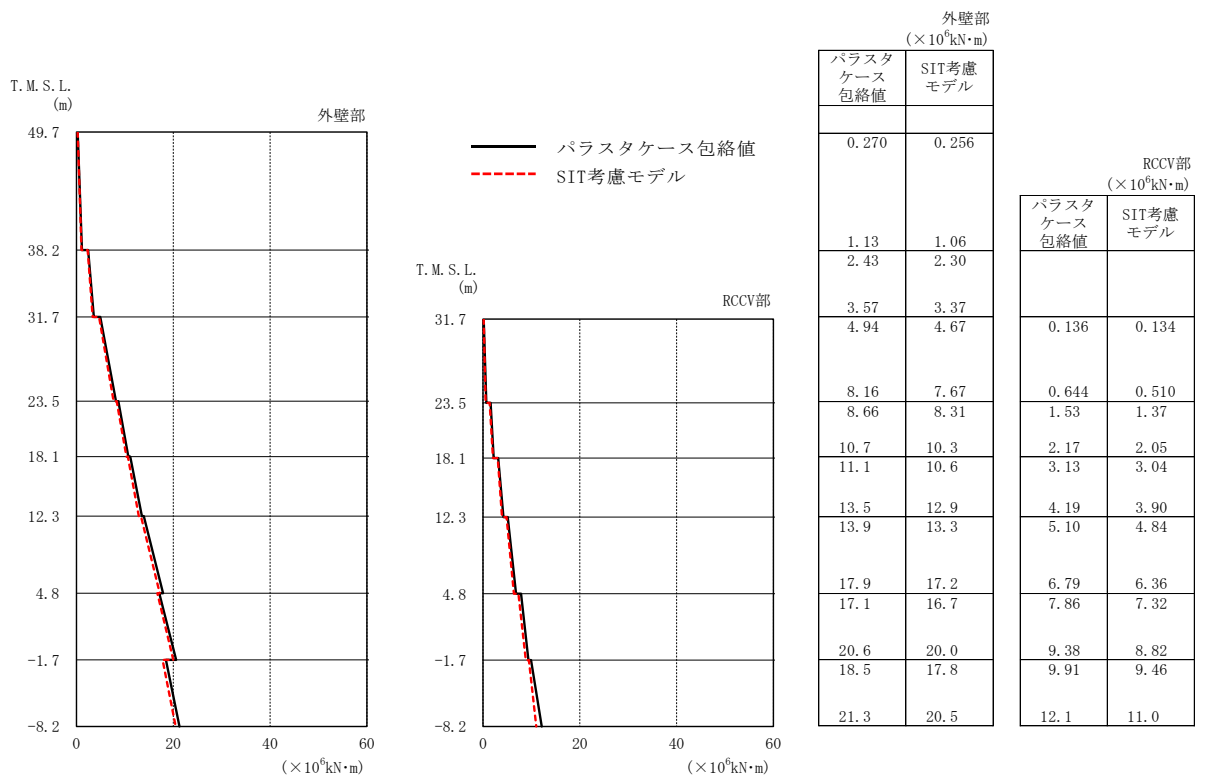
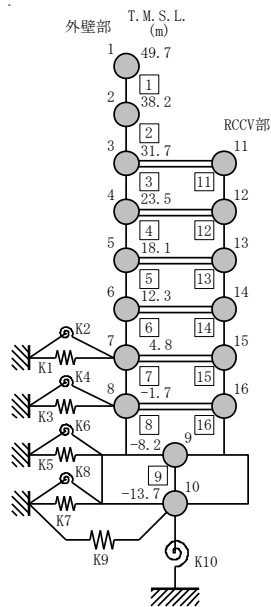


図 5-12 最大応答曲げモーメント (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)



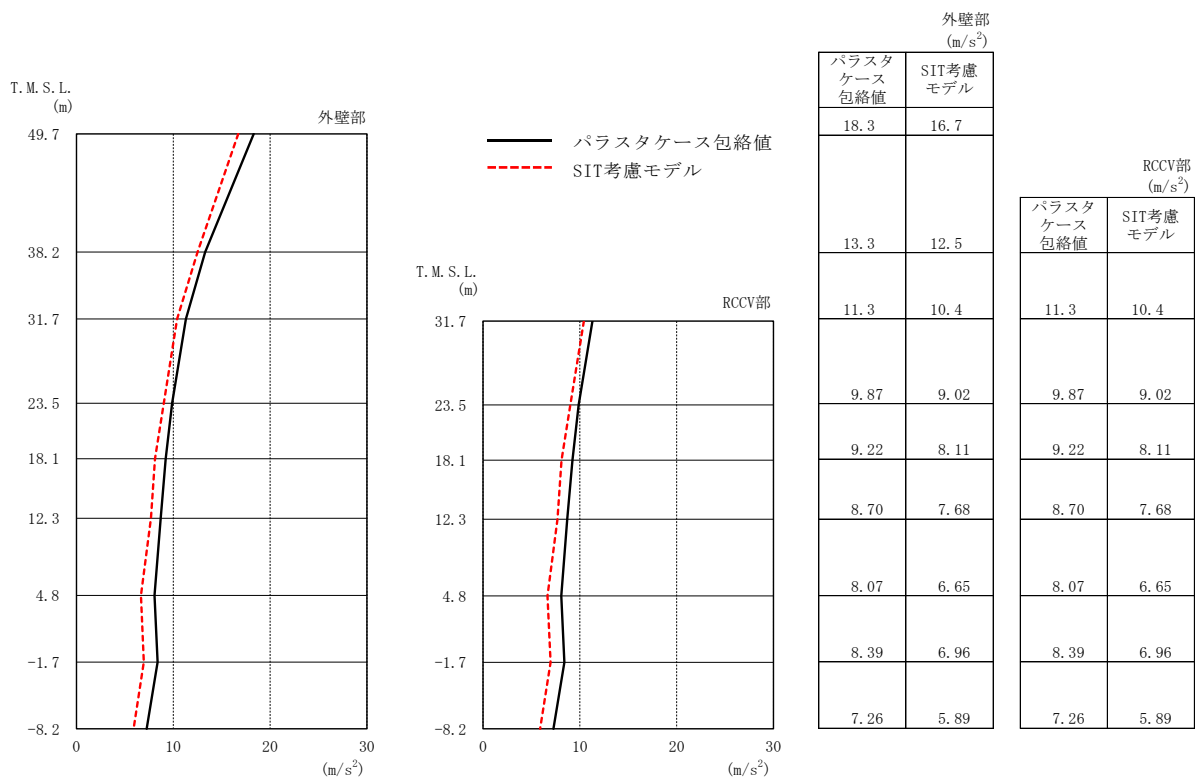
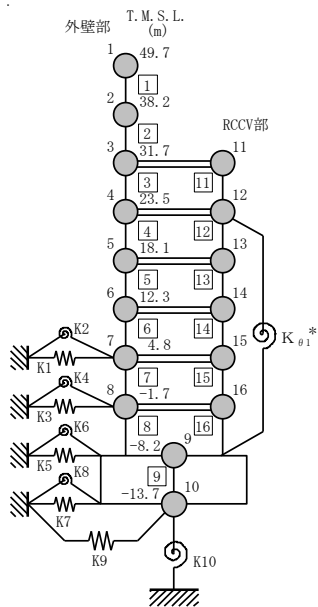


図 5-13 最大応答加速度 (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)



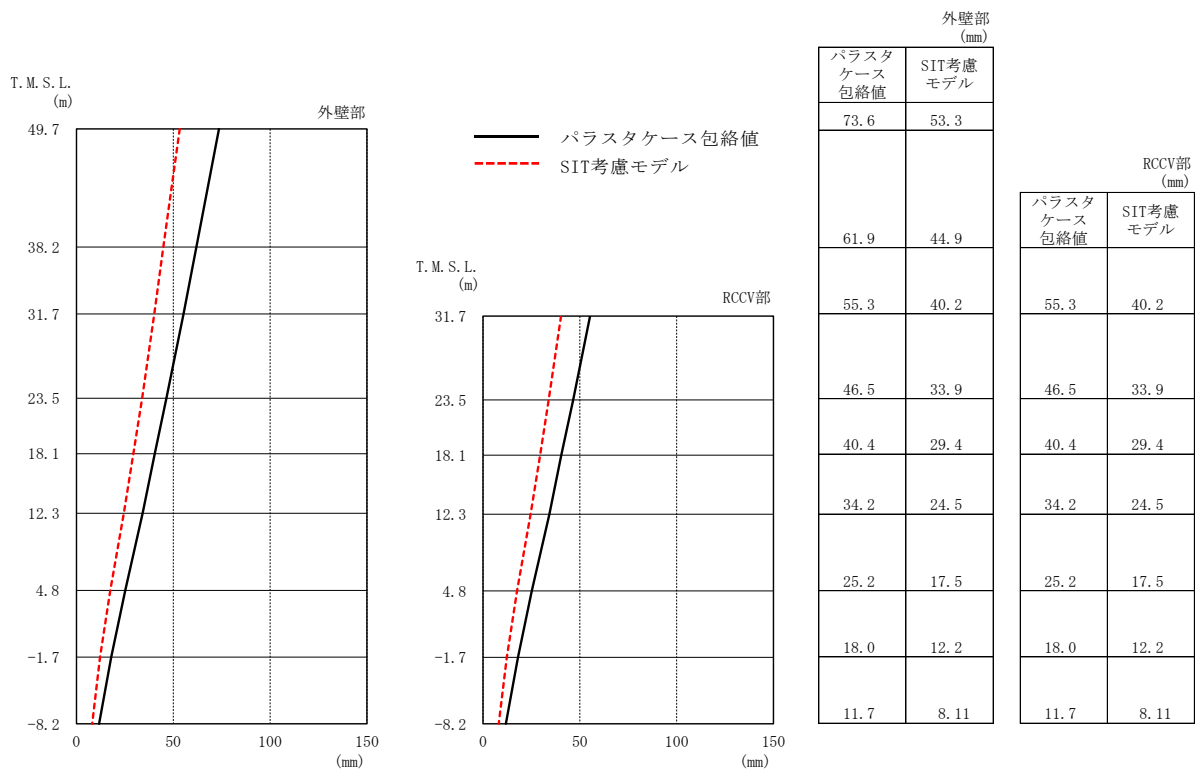
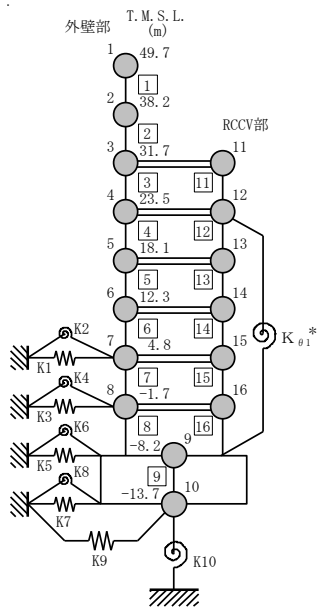


図 5-14 最大応答変位 (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)



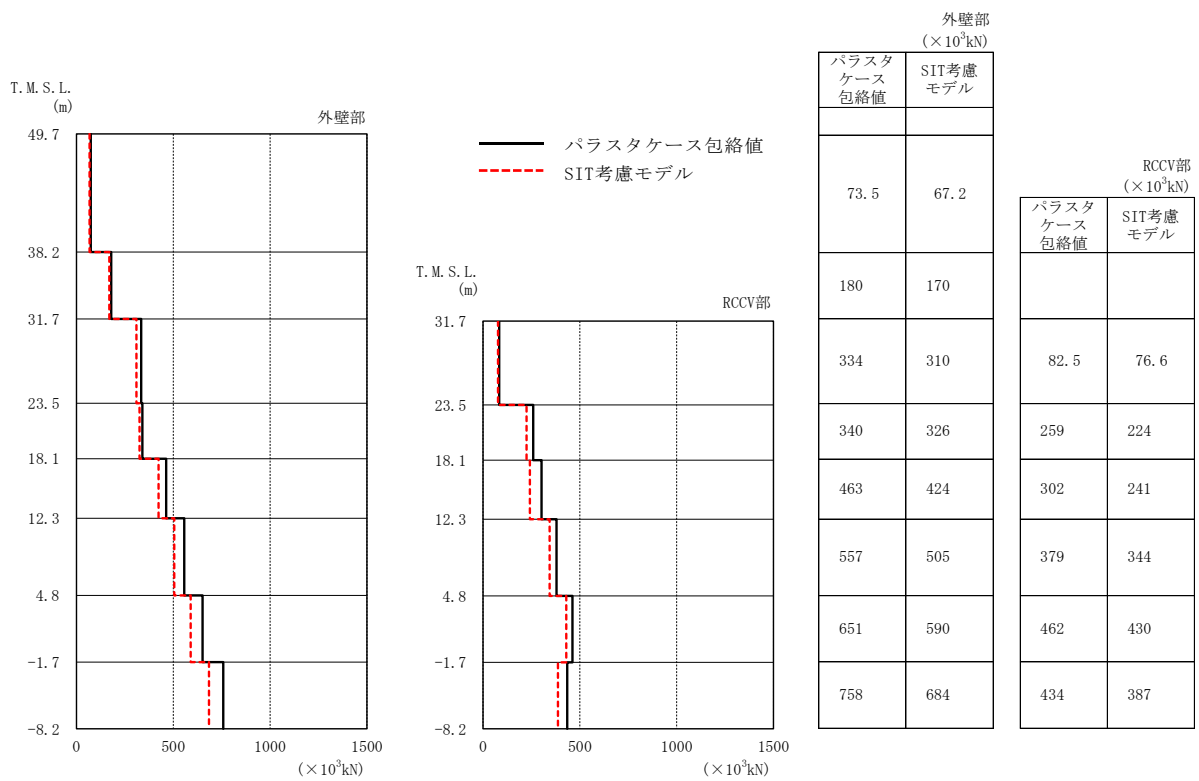
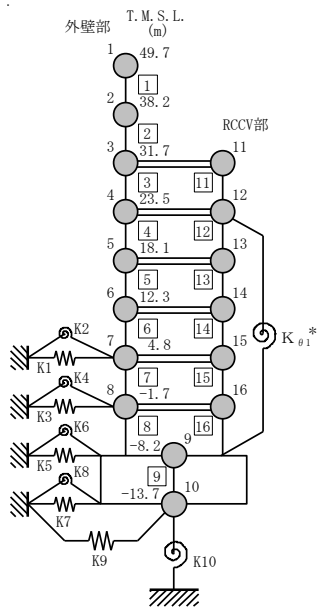


図 5-15 最大応答せん断力 (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)



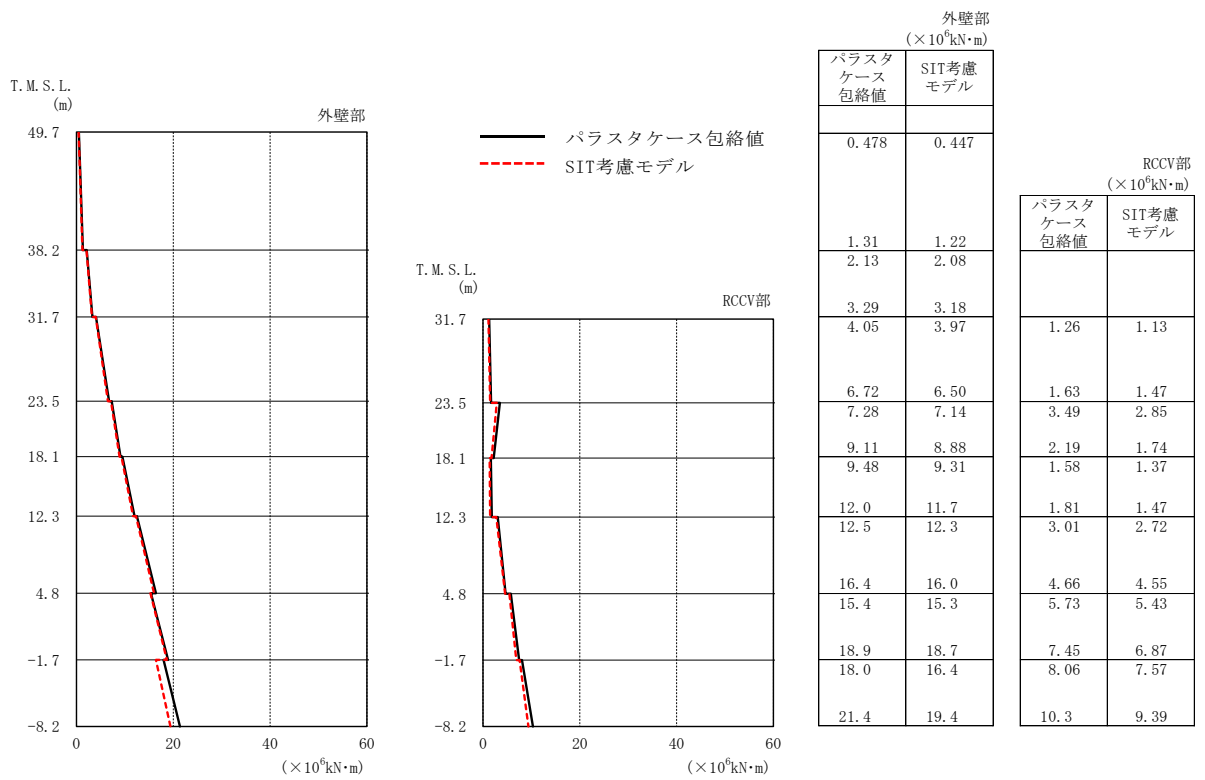


図 5-16 最大応答曲げモーメント (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)

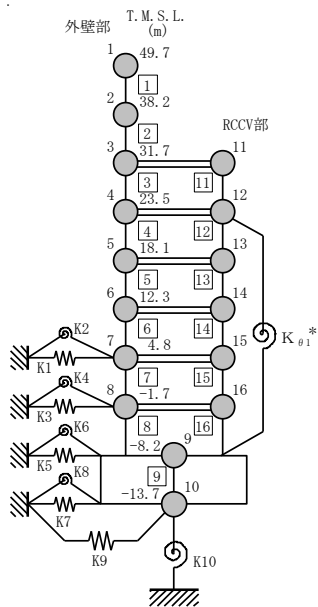


表 5-4 最大せん断ひずみ (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)

(a) 外壁部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
1	0.155	0.147
2	0.182	0.171
3	0.185	0.170
4	0.404	0.372
5	0.437	0.399
6	0.525	0.419
7	0.679	0.524
8	0.278	0.230

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
11	0.0633	0.0525
12	0.145	0.137
13	0.167	0.158
14	0.267	0.199
15	0.475	0.388
16	0.213	0.193

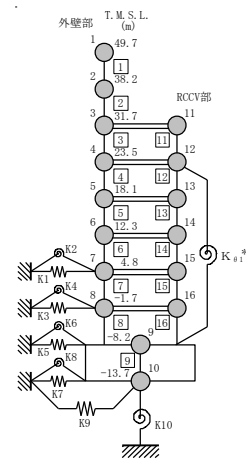
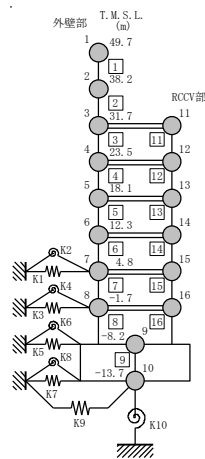
表 5-5 最大せん断ひずみ (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)

(a) 外壁部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
1	0.110	0.103
2	0.120	0.116
3	0.159	0.150
4	0.249	0.211
5	0.305	0.247
6	0.570	0.344
7	0.554	0.327
8	0.390	0.252

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
11	0.0326	0.0308
12	0.103	0.0878
13	0.129	0.103
14	0.381	0.203
15	0.390	0.212
16	0.327	0.209



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 SIT 考慮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、SIT 考慮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の応答を示すことを確認した。

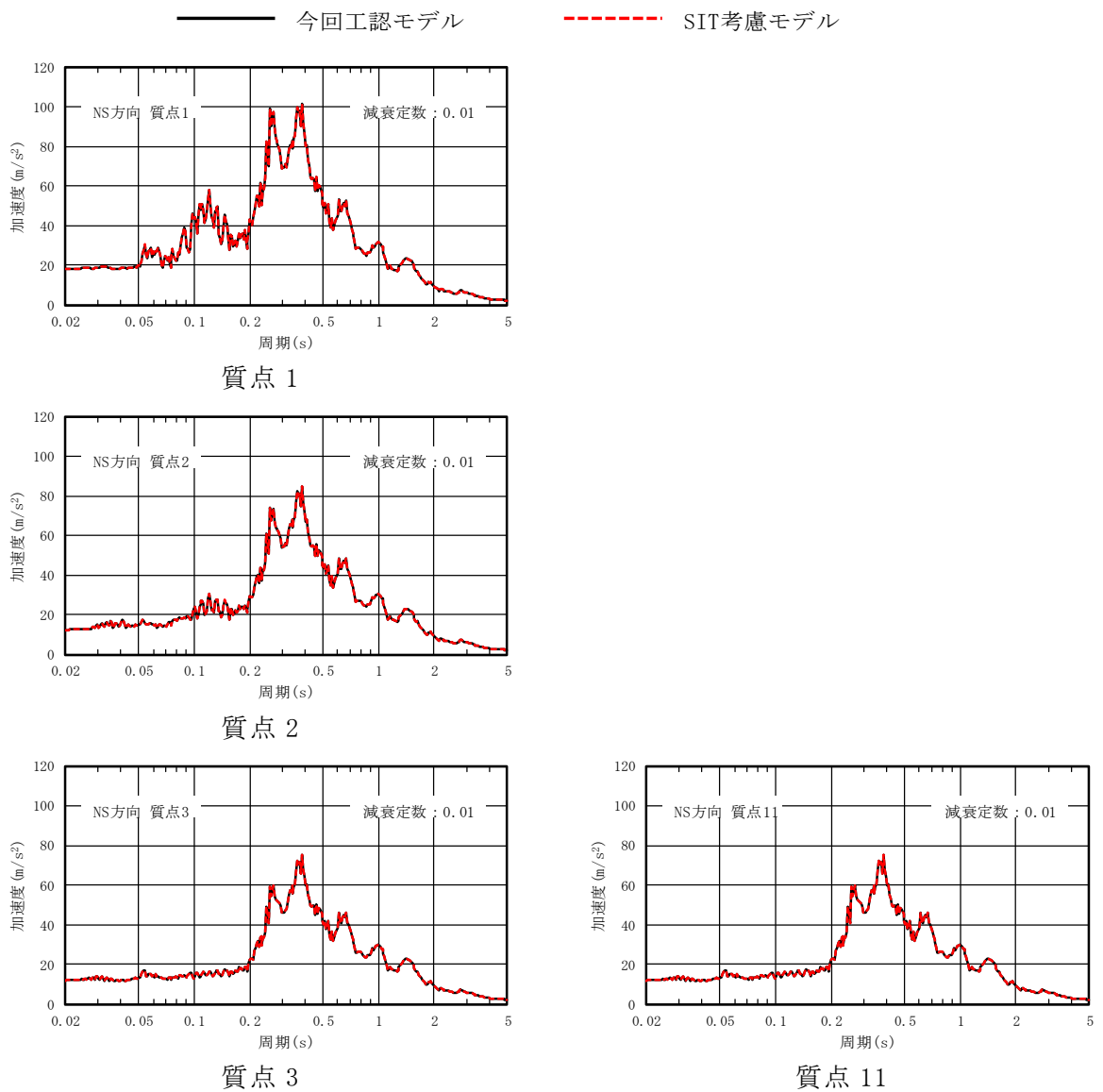
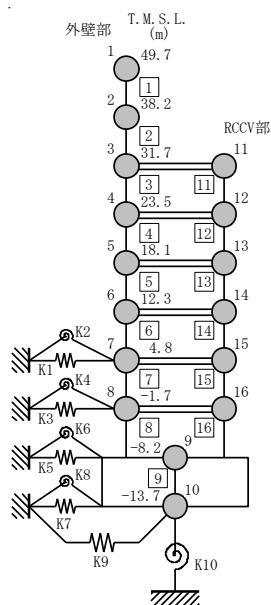


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



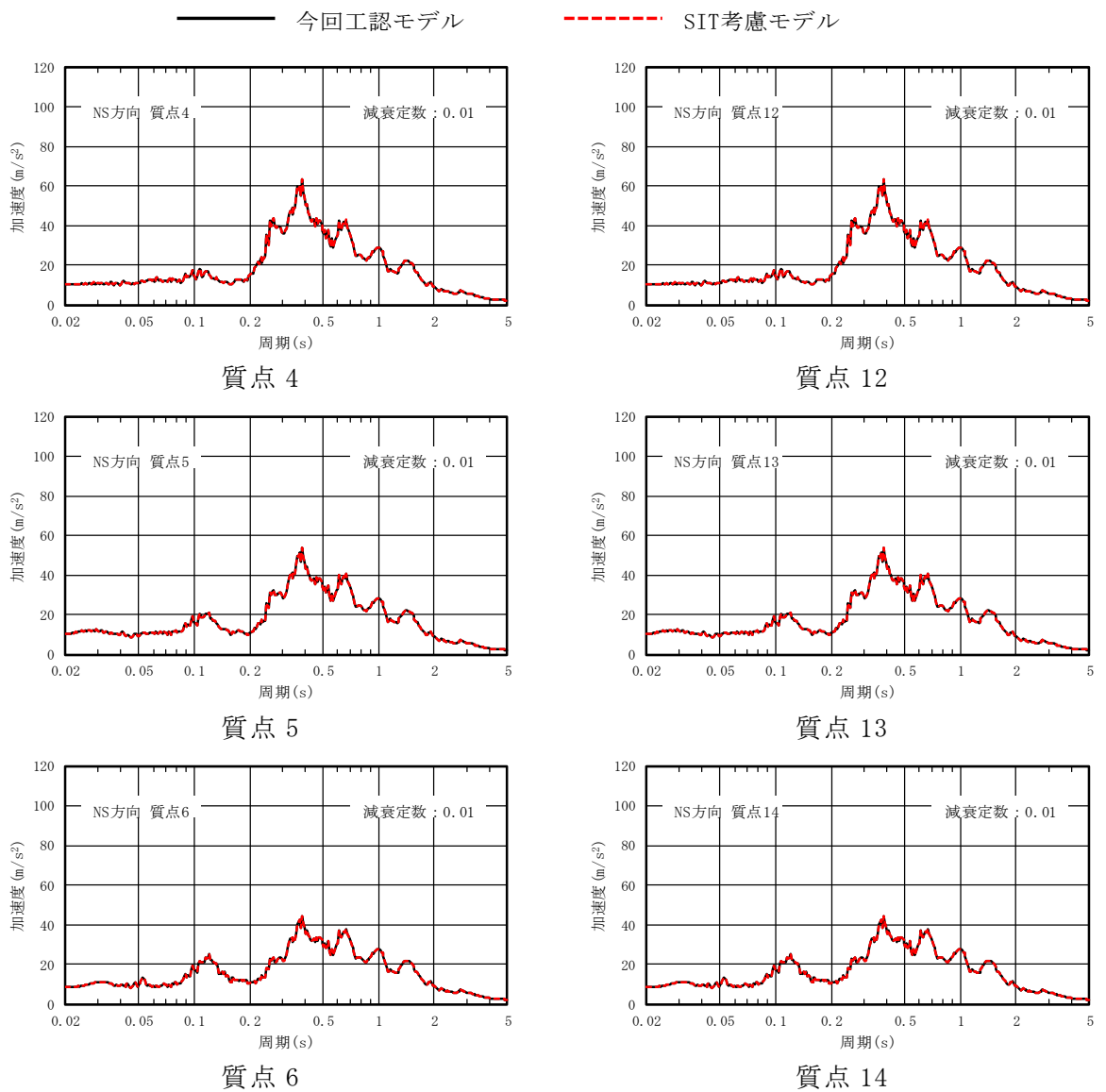
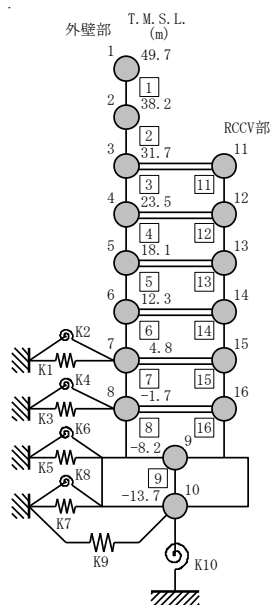


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, $h=0.01$) (2/3)



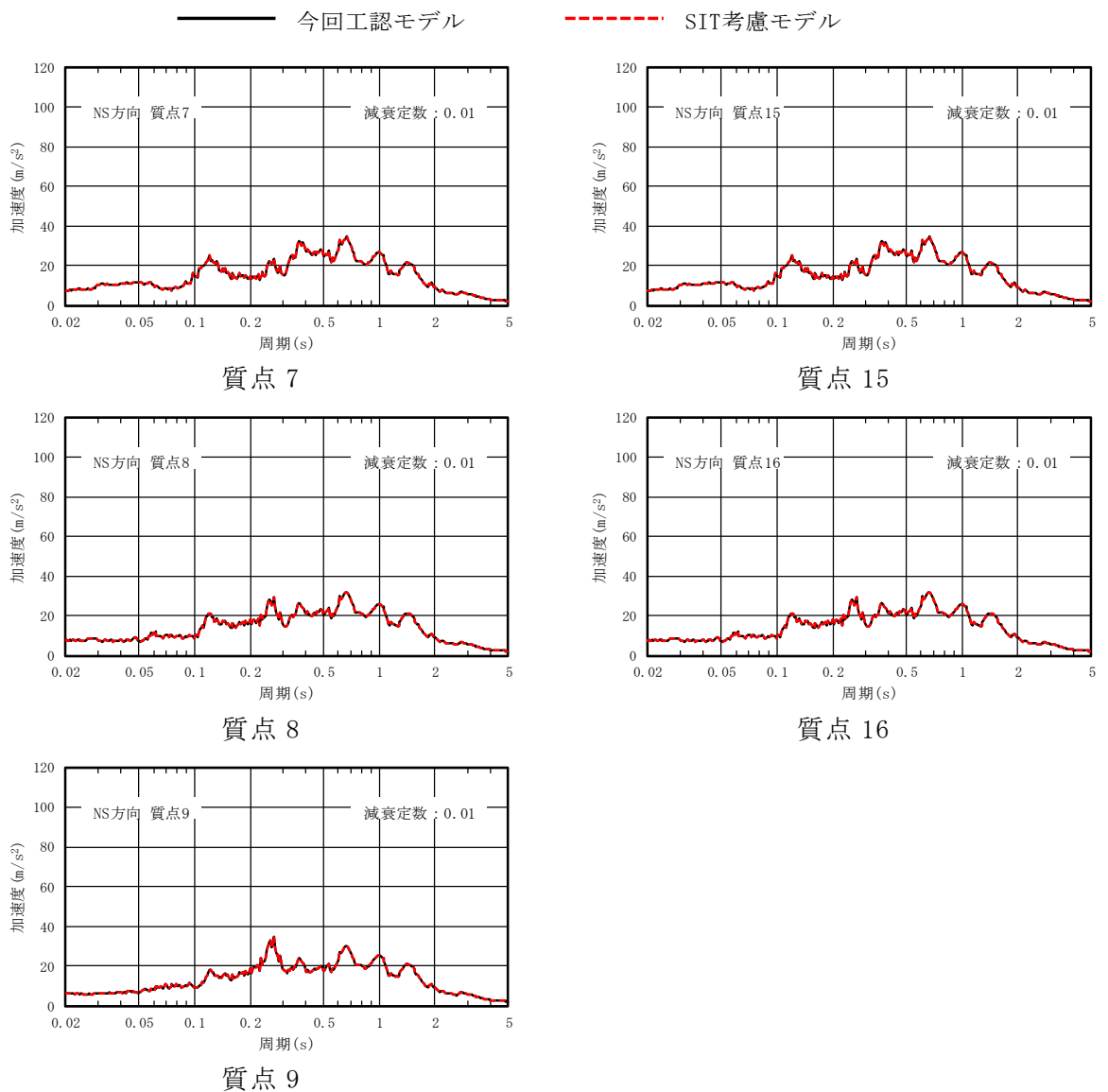
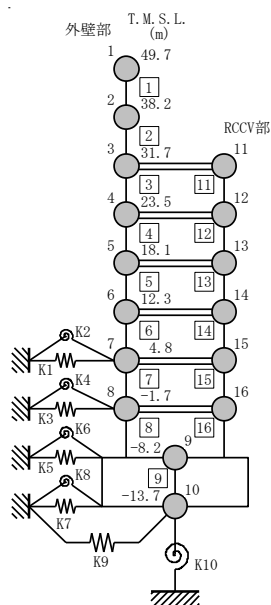


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



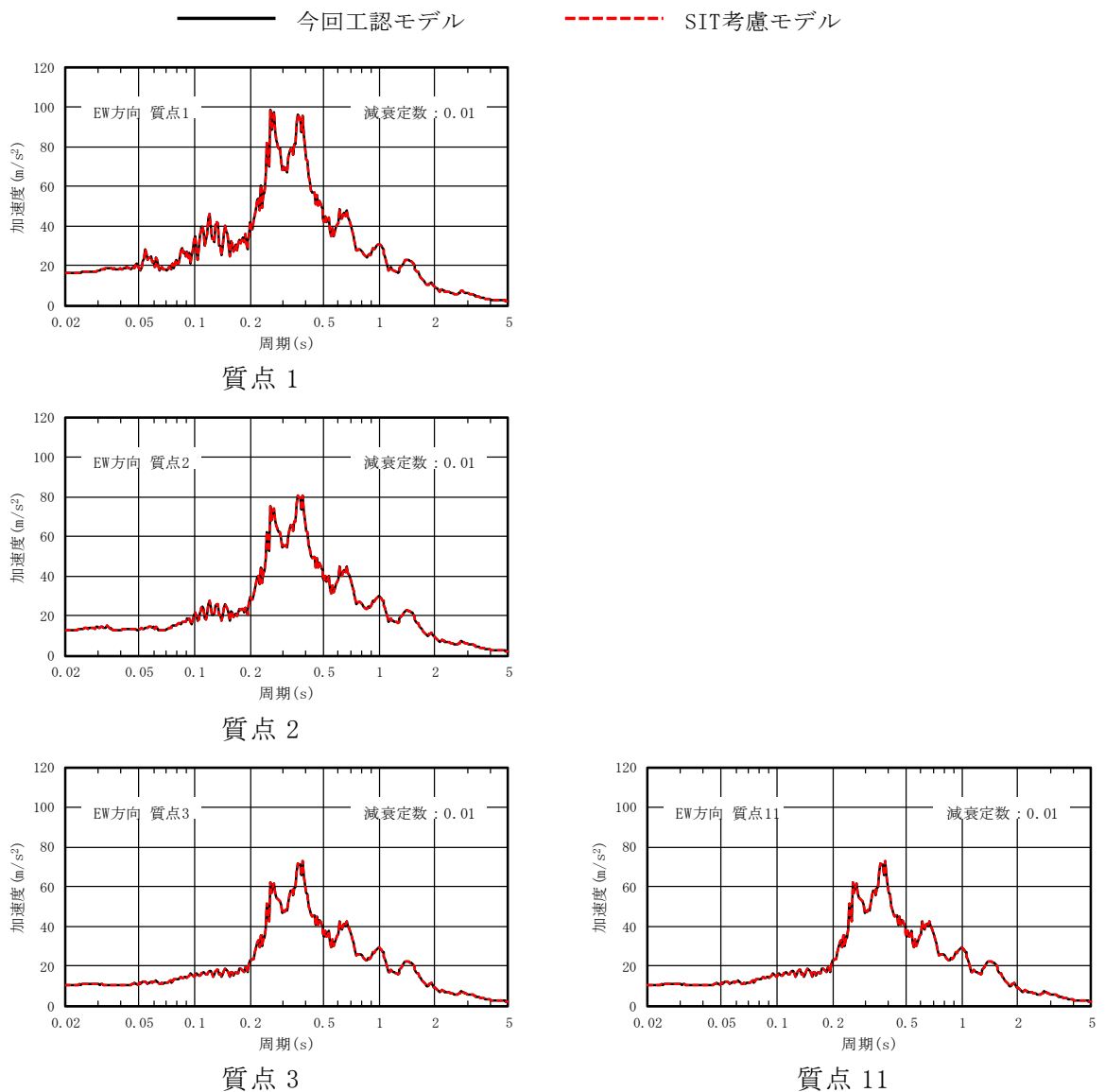
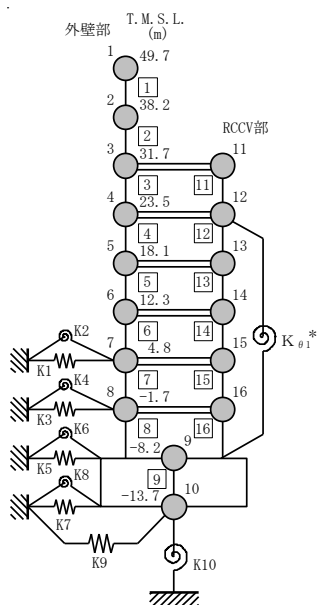


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



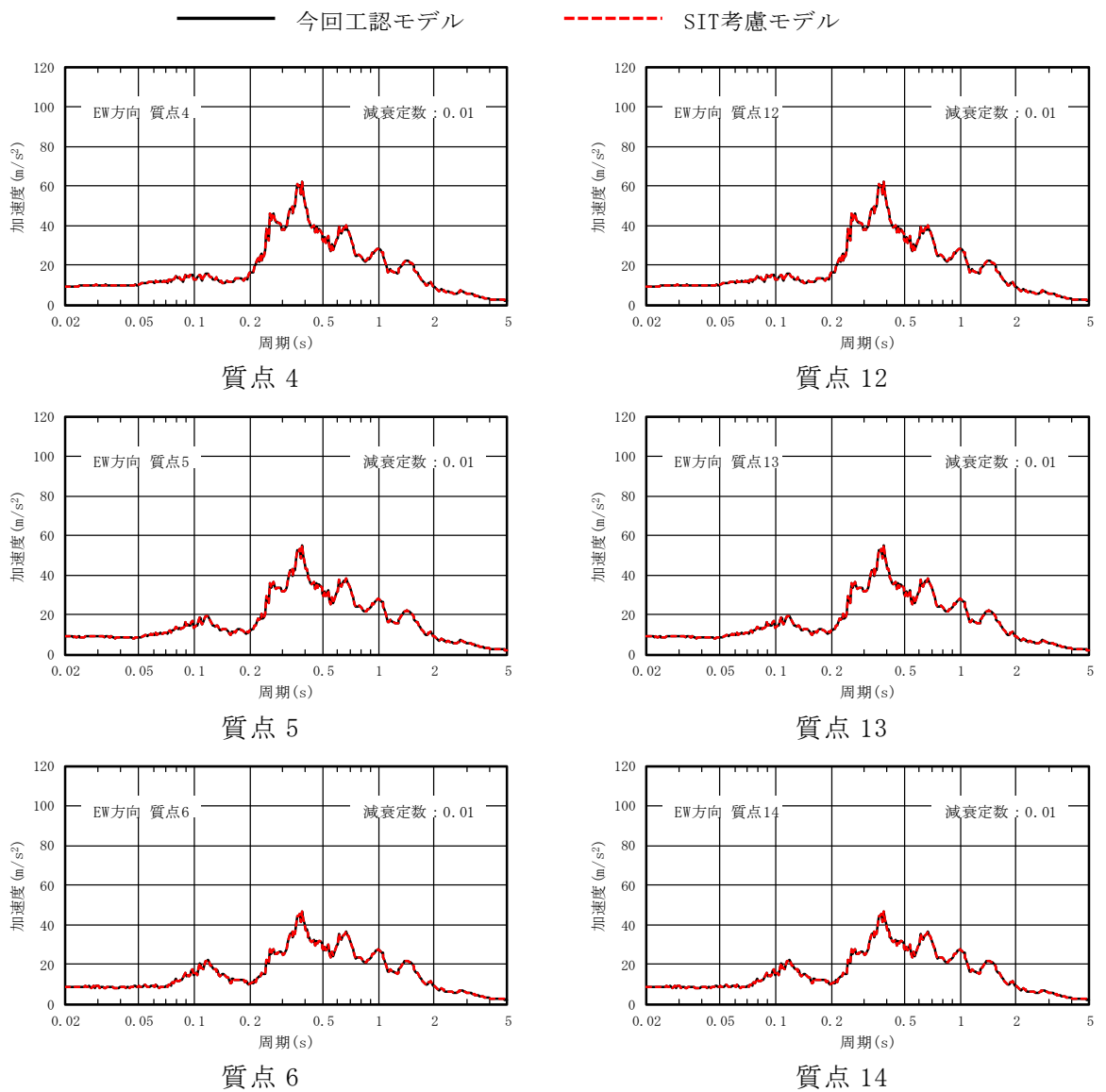
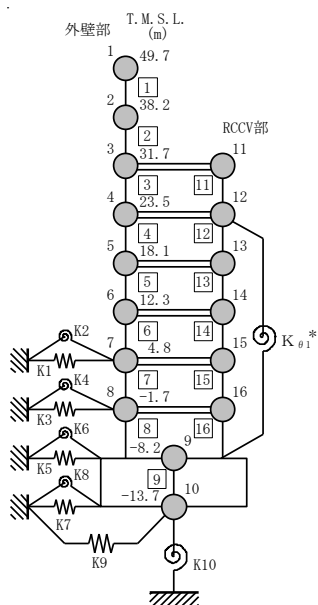


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



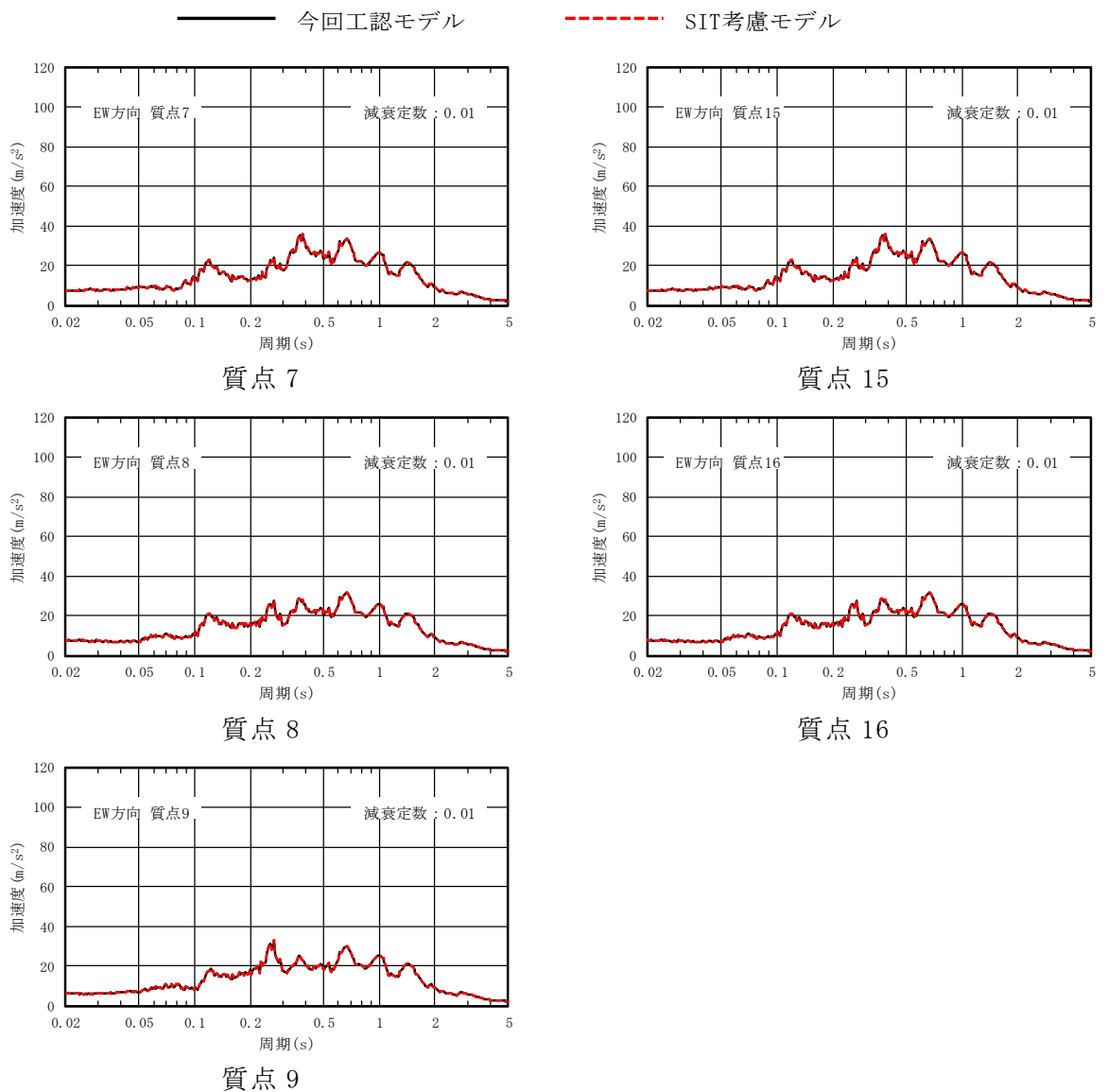
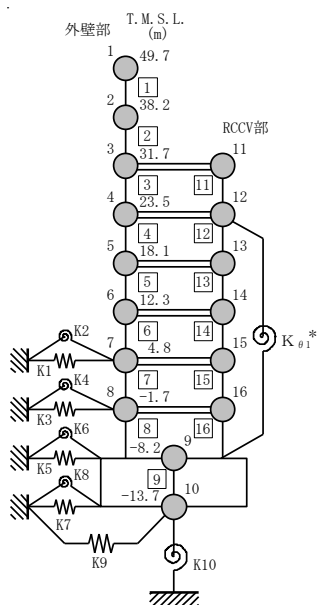


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



7. まとめ

SIT による影響を考慮していない状態で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に対して、仮に RCCV 部の水平剛性を 90% に低下させた SIT 考慮モデルを用いて、基準地震動 S_s-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、SIT 考慮モデルの固有周期、最大応答値及び床応答スペクトルは、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。

また、SIT 考慮モデルの最大応答値は、パラスタケース包絡値を下回ることを確認した。

8. 引用文献

- (1) 齋藤ほか：「鉄筋コンクリート製格納容器（RCCV）の開発」，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1241-1250，1988年10月
- (2) 笹沼ほか：「鉄筋コンクリート製原子炉格納容器の構造性能確認試験（K7号機）」，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1019-1022，1997年9月

別紙13 建屋側面地盤ばねの適用性について

目 次

1. 概要	別紙13-1
2. 側面地盤との接地状況	別紙13-2
3. まとめ	別紙13-10

別紙13-1 タービン建屋のNovakばねの適用性について

1. 概要

建屋の地下部分の埋込みを考慮した水平方向の地震応答解析モデル（以下「埋込みSRモデル」という。）は、側面地盤との接触状況等を確認したうえで、側面地盤ばねとして、Novakばねを採用している。

Novakばねを用いた埋込みSRモデルの適用性については、「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 -2008（(社)日本電気協会）」（以下「J E A C」という。）において、室内振動実験や解析的検討の結果をもとに、地下部分の大部分（3面又は面積で75%以上）が周辺地盤と接している場合には、全面埋め込みと同様な埋込み効果が期待できるものとし、それ以外の場合には薄層法、境界要素法、3次元FEM等により妥当性を確認するものとしている。

本資料では、側面地盤との接触状況に着目し、建屋側面の地盤ばねとして、Novakばねを採用する建屋の適用性について説明する。

2. 建屋と側面地盤との接地状況

表2-1に建屋と側面地盤の接触面積比率を，図2-1に建屋の配置図を，図2-2に建屋と側面地盤との接地状況を示す地質断面図を示す。

原子炉建屋，コントロール建屋，5号機原子炉建屋，サービス建屋及び5号機タービン建屋については側面地盤と3面又は75%以上接しており，J E A Cに記載されている適用条件の範囲内である。

タービン建屋については側面地盤との接触面積比が62.9%とJ E A Cに記載されている適用条件の範囲外であるが，別紙13-1において二次元境界要素法（BEM）によりNovakばねの適用性を確認している。

表2-1 建屋と側面地盤の接触面積比率

建屋	地下部表面積 (m ²)	接地表面積 (m ²)	接触面積比 (%)
原子炉建屋	4113	3440	83.6
タービン建屋	4747	2990	62.9
コントロール建屋	1919	1520	79.2
5号機原子炉建屋	7968	7416	93.0
サービス建屋	1477	1242	84.0
5号機タービン建屋	1655	1306	78.9

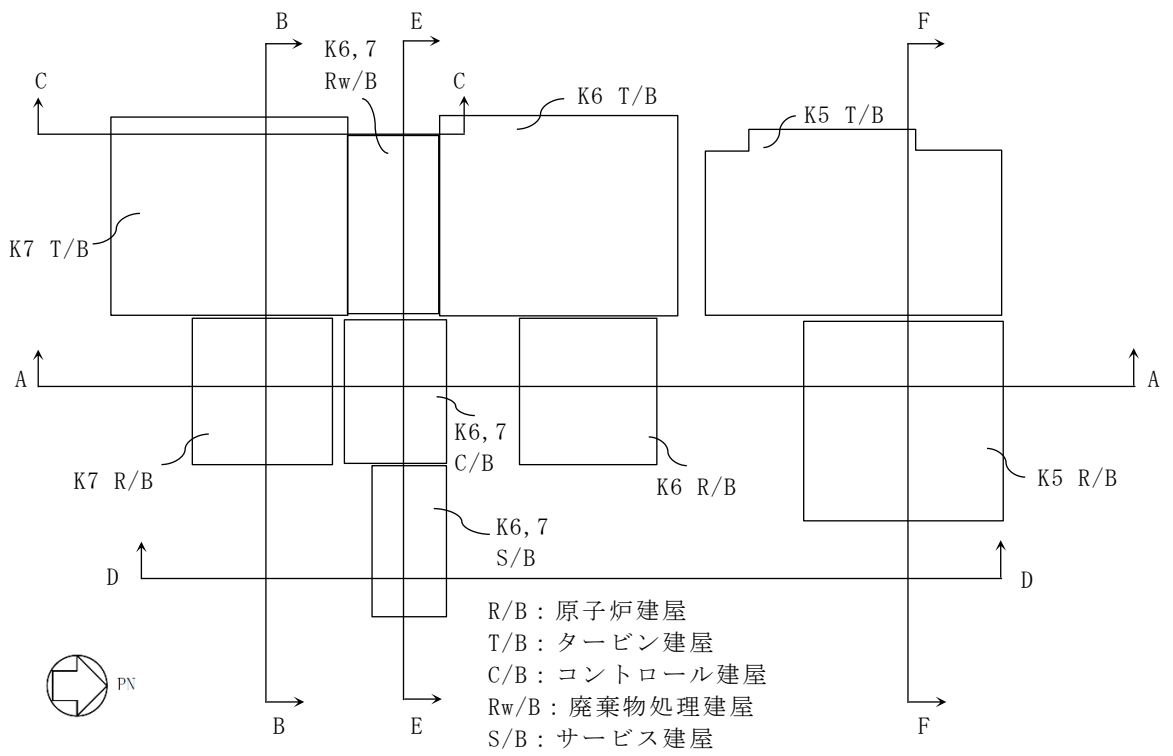


図 2-1 配置図

凡例

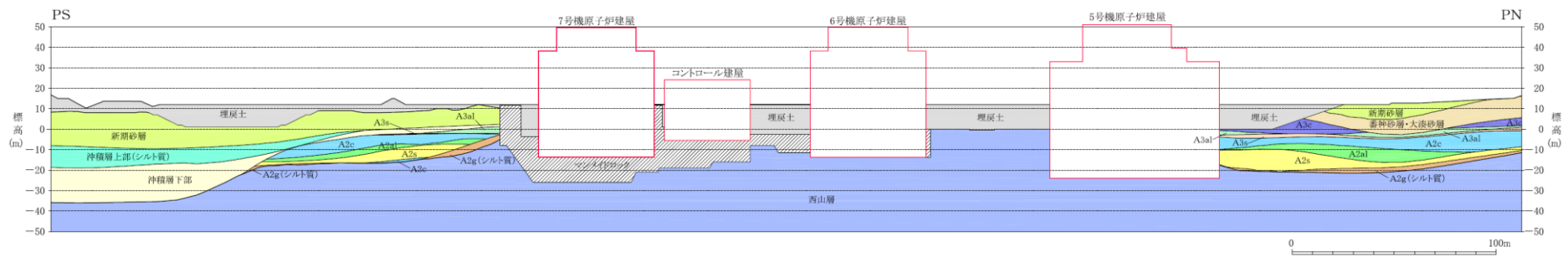
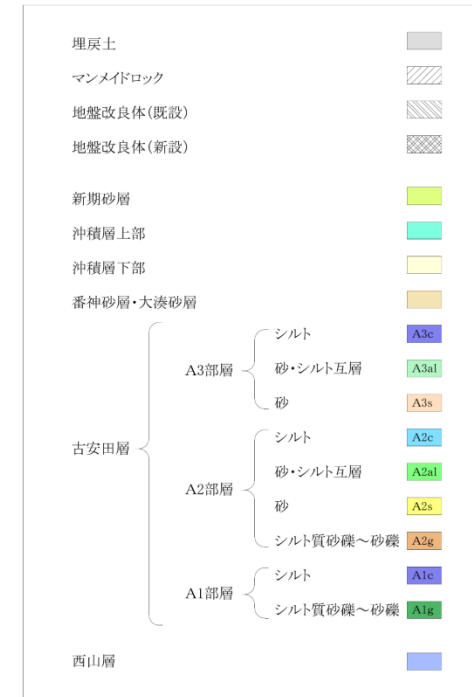


図 2-2 地質断面図 (A-A 断面)

凡例

埋戻土				
マンメイドロック				
地盤改良体(既設)				
地盤改良体(新設)				
新期砂層				
沖積層上部				
沖積層下部				
番神砂層・大湊砂層				
古安田層	A3部層	シルト		A3c
		砂・シルト互層		A3al
		砂		A3s
	A2部層	シルト		A2c
		砂・シルト互層		A2al
		砂		A2s
	A1部層	シルト質砂礫～砂礫		A2g
		シルト		A1c
		シルト質砂礫～砂礫		A1g
西山層				

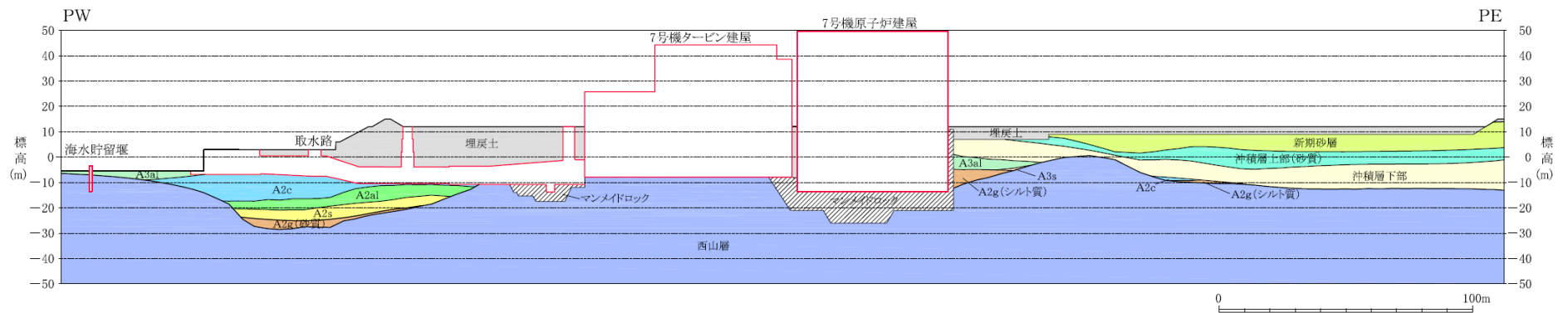


図 2-2 地質断面図 (B-B 断面)

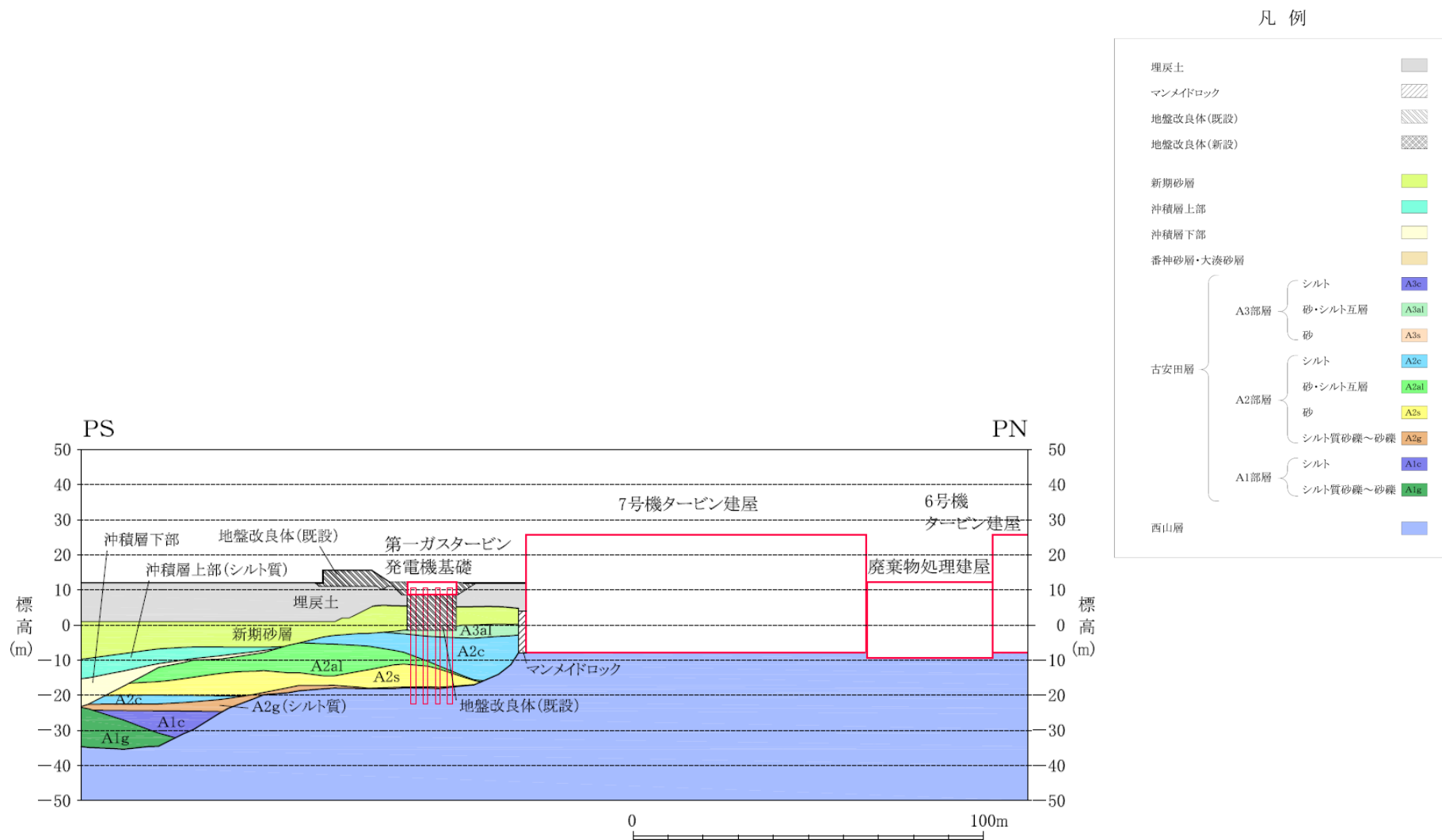


図 2-2 地質断面図(C-C 断面)

凡例

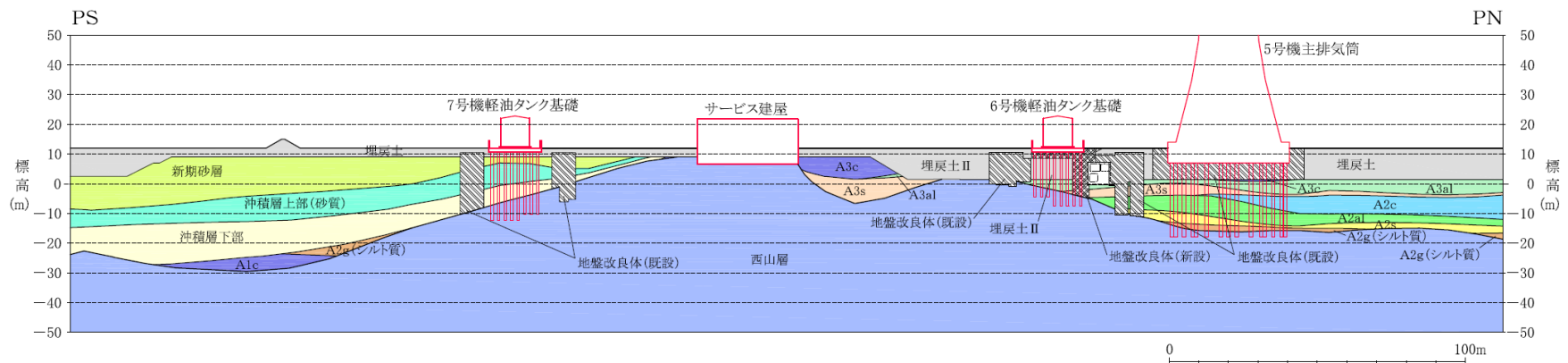


図 2-2 地質断面図(D-D 断面)

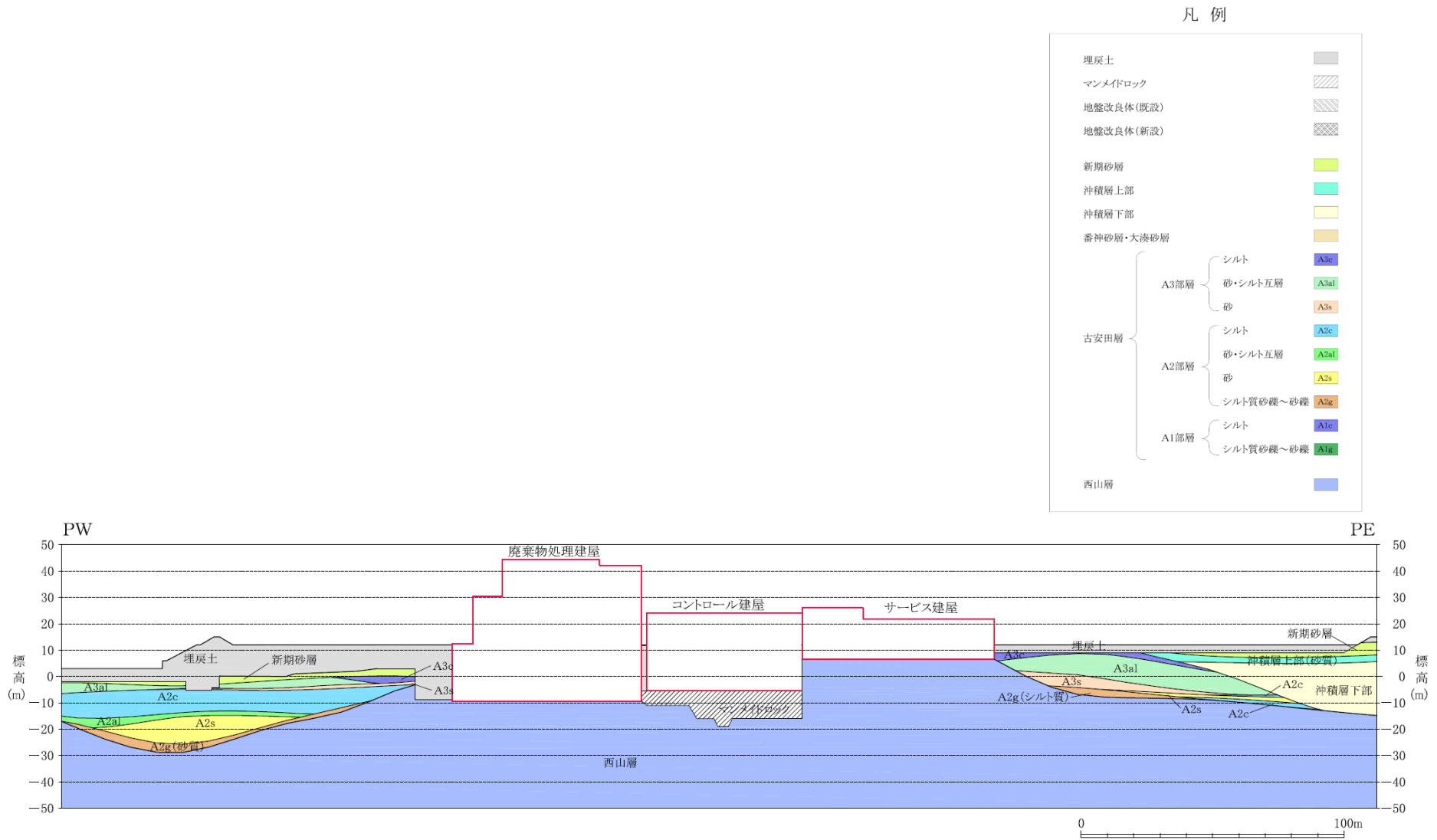


図 2-2 地質断面図(E-E 断面)

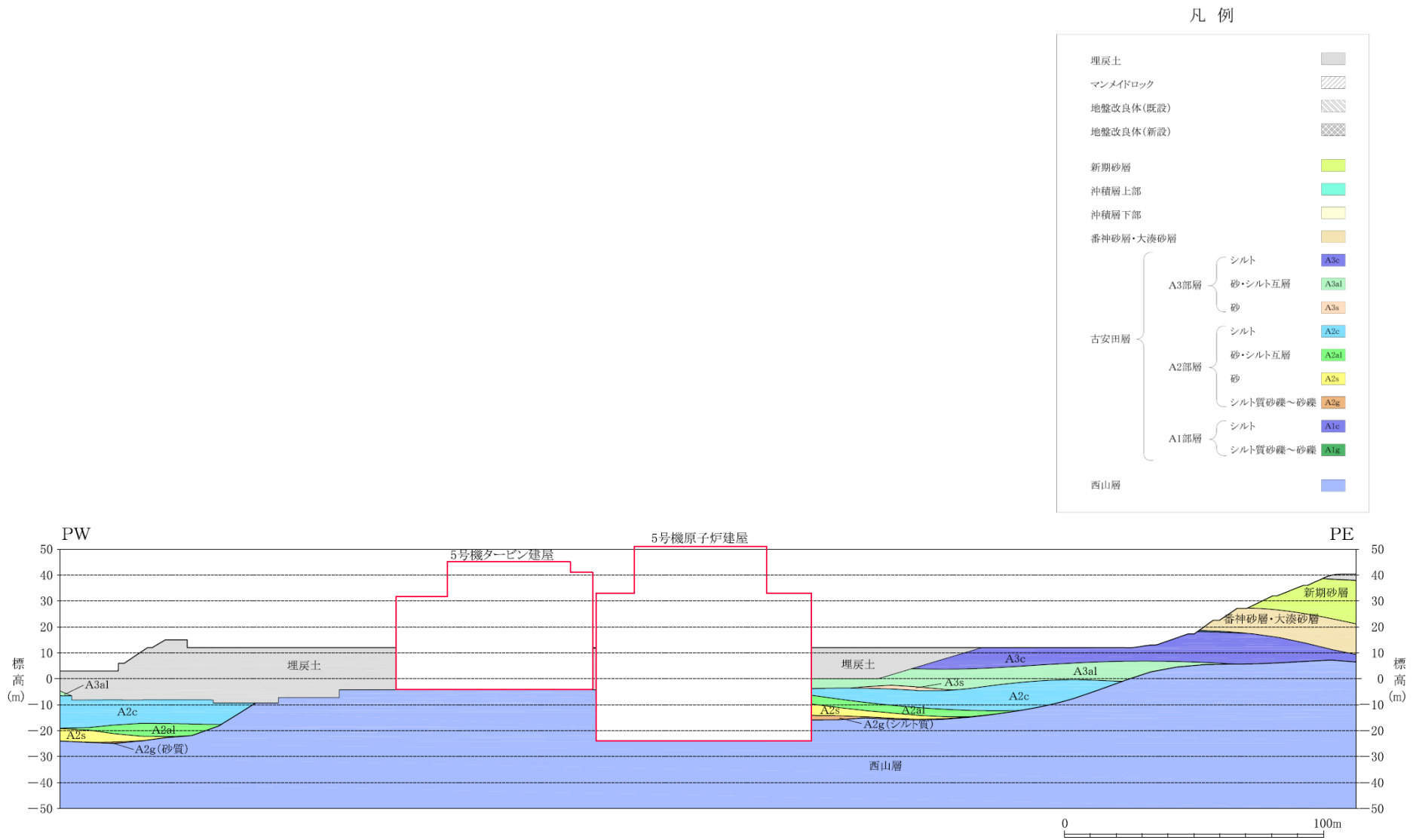


図 2-2 地質断面図(F-F 断面)

3. まとめ

本資料では、建屋側面の地盤ばねとして、Novakばねを採用する建屋の適用性について、建屋と側面地盤との接触面積比率及びBEMによる検討により確認した。

別紙13-1 タービン建屋のNovakばねの適用性について

目 次

1. 概要	別紙13-1-1
2. 検討方針	別紙13-1-1
3. BEMによる地盤ばねの算定	別紙13-1-2
3.1 解析条件	別紙13-1-2
3.2 解析結果	別紙13-1-3
4. 地震応答解析	別紙13-1-4
4.1 解析モデル	別紙13-1-4
4.2 解析結果	別紙13-1-6
5. まとめ	別紙13-1-10

1. 概要

タービン建屋は地盤に埋め込まれていることから、周辺の地盤状況を考慮した上で側面地盤ばねとして、Novakばねを採用している。タービン建屋は別紙13で示した通り、北側に廃棄物処理建屋、東側には原子炉建屋が位置しており、建屋と地盤の接触面積比率は62.9%である。建屋と地盤の接地状況に関するNovakばねの適用性については、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会)」において、室内振動実験や解析的検討の結果をもとに、地下部分の大部分(3面または面積で75%以上)が周辺地盤と接している場合には、全面埋め込みと同様な埋込み効果が期待できるものとしている。

このことから、本資料ではタービン建屋と地盤の接触面積比率に着目し、タービン建屋へのNovakばねの適用性について検討する。

2. 検討方針

タービン建屋の平面形状及び地盤条件に対して、Novakばねと二次元境界要素法(BEM)による地盤ばねを計算し比較検討する。

上述した通り、タービン建屋は北側に廃棄物処理建屋、東側には原子炉建屋が位置し、NS方向及びEW方向それぞれ一面ずつの接触面積比率が小さいことを踏まえ、建屋側面の地盤ばねの剛性が単純に62.9%に低減すると仮定し、低減した地盤ばねを考慮した地震応答解析を行い、Novakばね(今回工認モデル)の地震応答解析結果と比較する。

なお、地盤ばねの剛性の低減については、建屋と周辺地盤が全面接地した条件で評価したBEMの地盤ばねを62.9%に低減したものを近似法により定数化したばねとする。

3. BEMによる地盤ばねの算定

3.1 解析条件

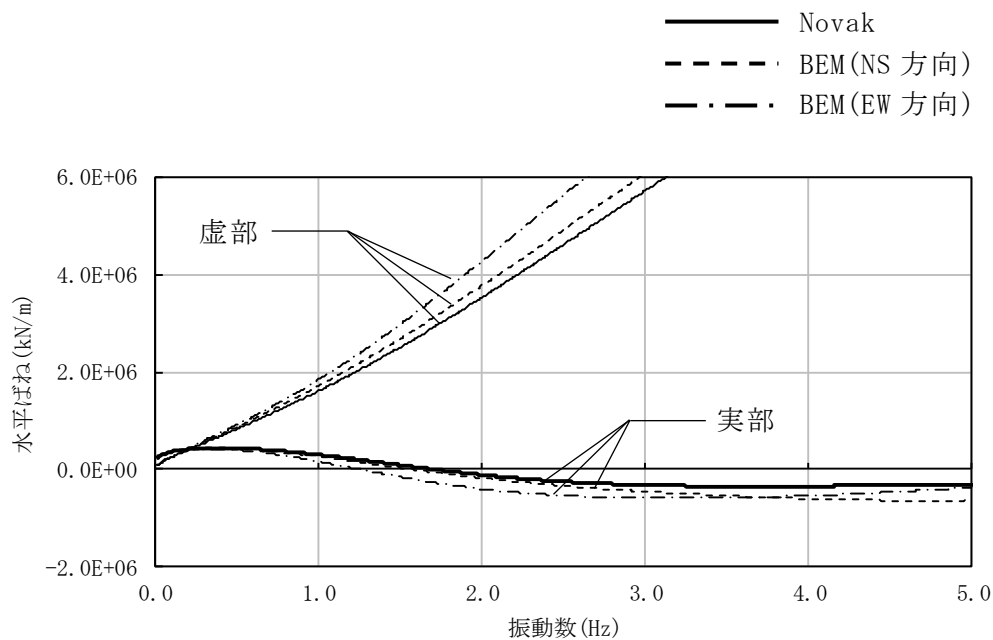
表 3-1 に BEM の解析で用いた地盤物性と矩形孔寸法を示す。なお、入力地震動は基準地震動 Ss-1 とする。

表 3-1 BEM の解析で用いた地盤物性と矩形孔寸法

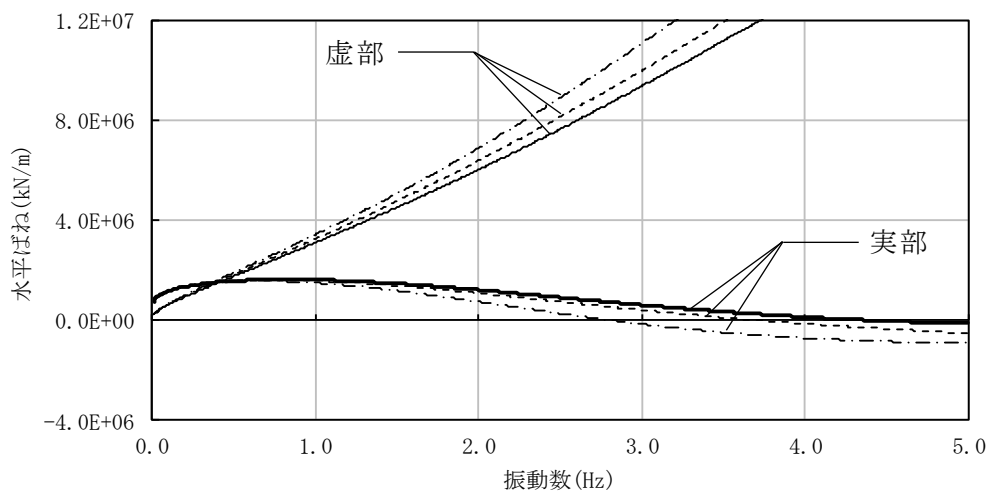
地層 T.M.S.L. (m)	単位体積 重量 (kN/m ³)	S 波速度 (m/s)	ポアソン 比	単位層厚 (m)	矩形孔寸法 (m)
古安田層 (T.M.S.L. 4.0~-6.0)	17.3	239	0.462	1.0	97.0(NS)×82.0(EW) タービン建屋の平面
西山層 (T.M.S.L. -6.0~-33.0)	17.0	469	0.451	1.0	97.0(NS)×82.0(EW) タービン建屋の平面

3.2 解析結果

Novak と BEM の地盤ばねの比較を図 3-1 に示す。BEM の地盤ばねは、Novak の地盤ばねと概ね同等となっている。



(a) 古安田層



(b) 西山層

図 3-1 Novak と BEM の側面地盤ばねの比較

4. 地震応答解析

タービン建屋は、北面の接触面積比率が最も小さくなっていることから、北面に直交するNS方向を代表に地震応答解析を実施する。

4.1 解析モデル

NovakとBEMの近似法により定数化した地盤ばねを表4-1、解析モデルの概要を図4-1に示す。なお、BEMの地盤ばねは62.9%に低減して近似法により定数化した地盤ばねとする。

表 4-1 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	Novak (今回工認)		BEM	
			ばね定数*1	減衰係数*2	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	13	側面・並進	3.92×10^5	2.68×10^5	2.44×10^5	1.79×10^5
Ks2	14	側面・並進	5.26×10^5	3.60×10^5	3.28×10^5	2.40×10^5
Ks3	15	側面・並進	9.34×10^5	6.38×10^5	5.82×10^5	4.26×10^5
Ks4	16	側面・並進	1.25×10^6	8.56×10^5	7.81×10^5	5.72×10^5
Ks5	17	側面・並進	2.05×10^6	1.11×10^6	1.27×10^6	7.44×10^5
Ks6	18	側面・並進	2.30×10^6	6.90×10^5	1.43×10^6	4.62×10^5
Ks7	18	底面・並進	1.14×10^8	6.89×10^6	1.14×10^8	6.89×10^6
Kr7	18	底面・回転	3.15×10^{11}	7.66×10^9	3.15×10^{11}	7.63×10^9

注記*1 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6, Ks7はkN/m Kr7はkN・m/rad

注記*2 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6, Ks7はkN・s/m Kr7はkN・m・s/rad

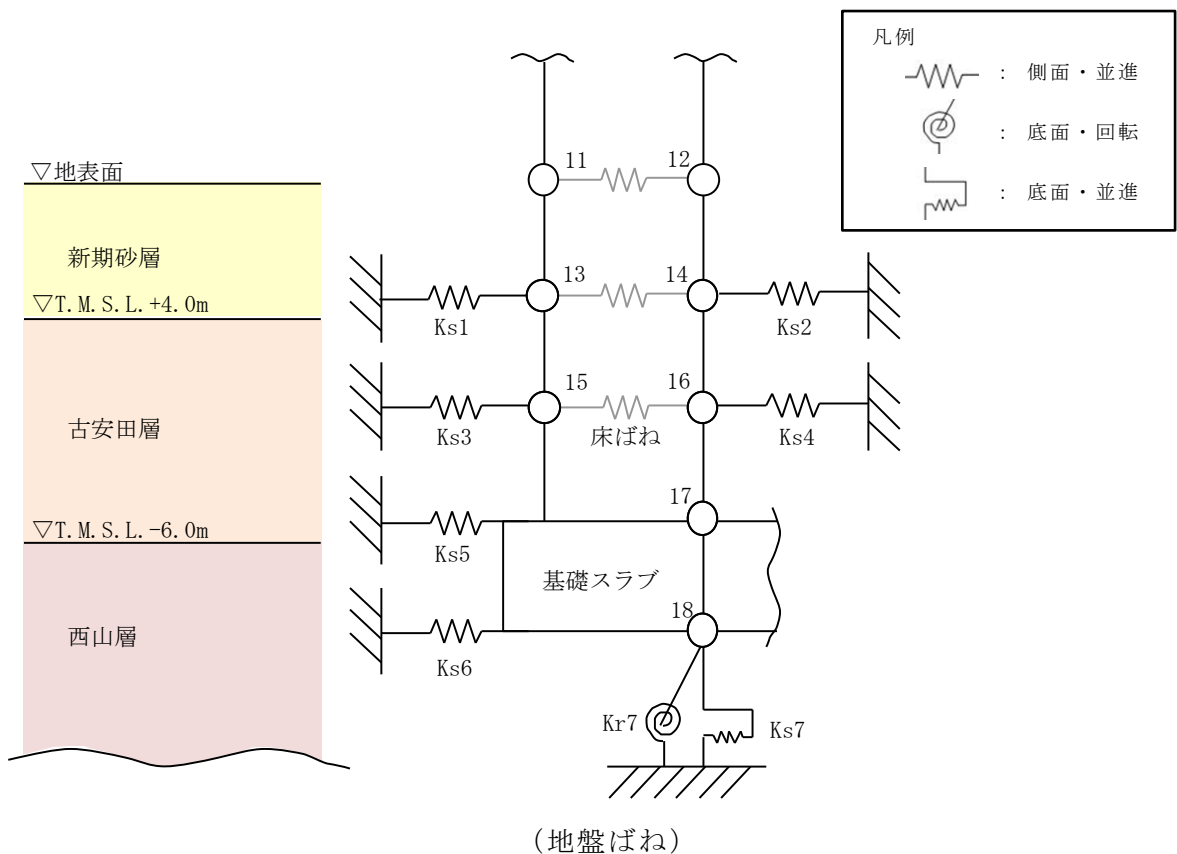
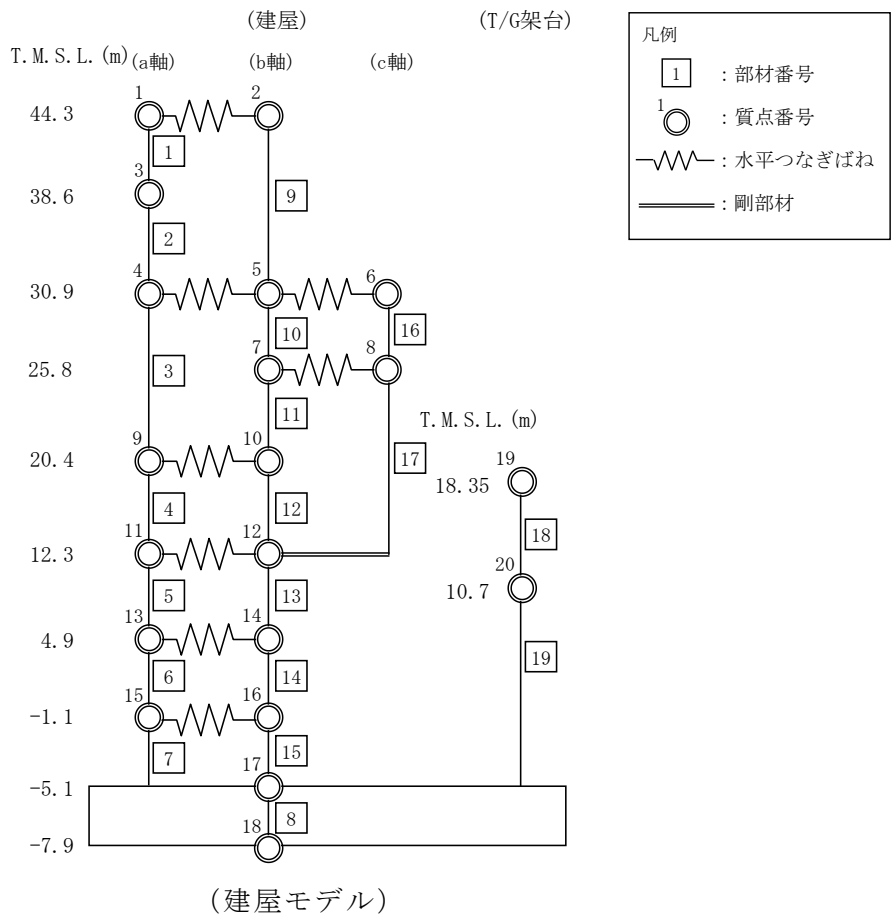
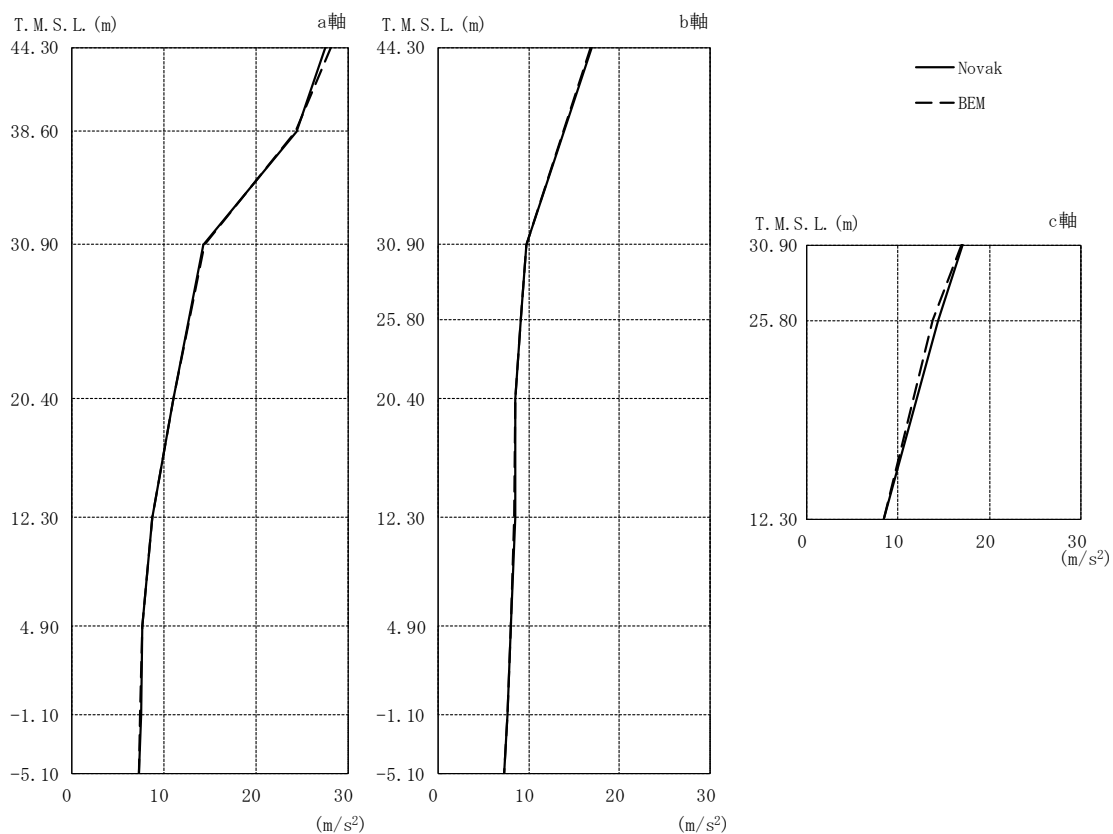


図 4-1 解析モデルの概要 (NS 方向)

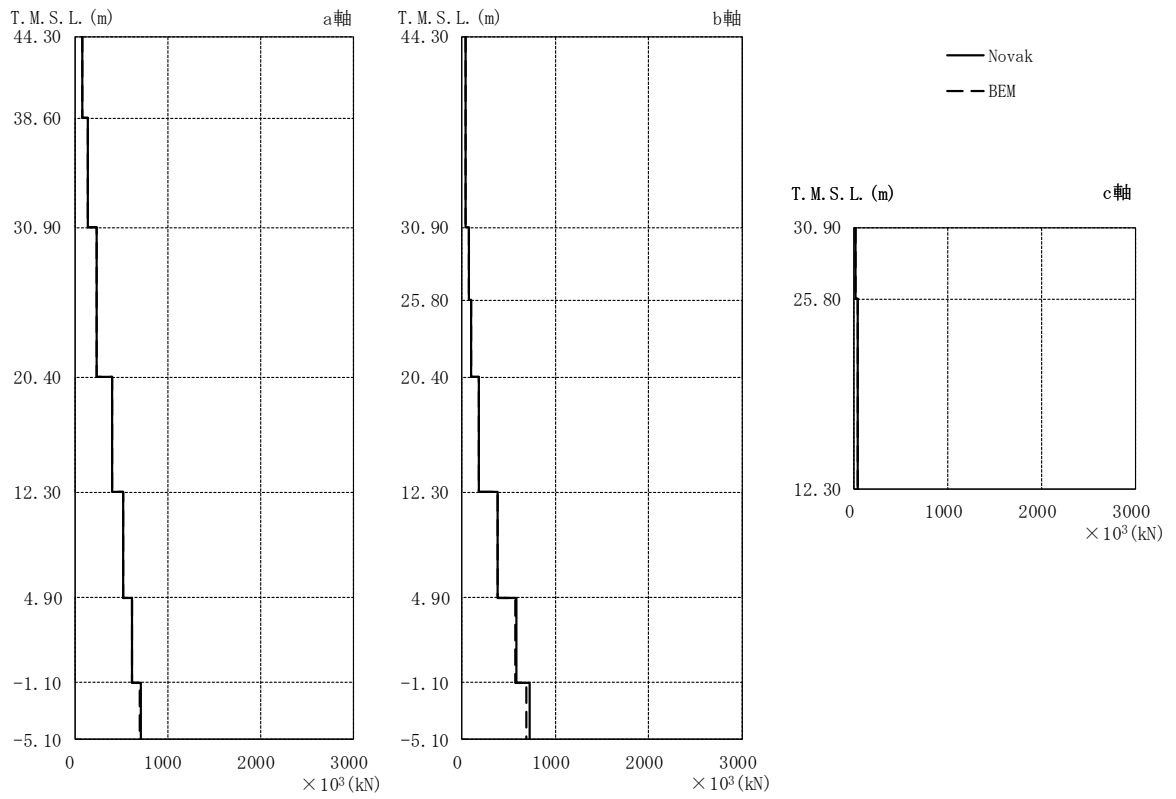
4.2 解析結果

基準地震動 Ss-1H に対する地震応答解析結果の比較を図 4-2～図 4-4 に示す。これらの図より Novak の側面地盤ばねと接触面積比率に応じて低減させた BEM の側面地盤ばねによる建屋応答の差はほとんどないことが分かる。



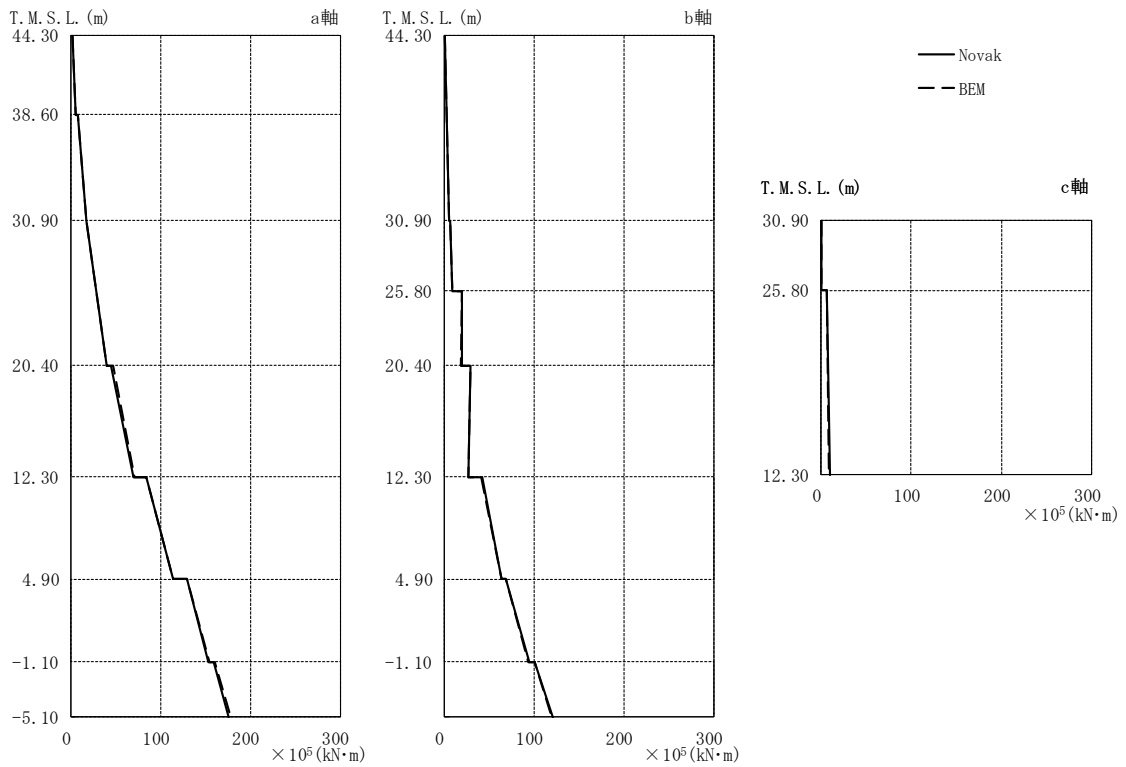
部位	質点番号	最大応答加速度 一覧表 (m/s^2)	
		Novak	BEM
a 軸	1	27.6	28.1
	3	24.4	24.3
	4	14.3	14.4
	9	11.0	11.1
	11	8.73	8.77
	13	7.69	7.63
	15	7.51	7.45
b 軸	2	16.9	16.8
	5	9.77	9.78
	7	9.18	9.19
	10	8.55	8.57
	12	8.48	8.42
	14	8.07	8.03
	16	7.66	7.63
c 軸	6	17.1	17.0
	8	14.4	13.8

図4-2 タービン建屋の地震応答解析結果
(加速度, 基準地震動 S_s -1H_NS方向)



部位	部材番号	最大応答せん断力 一覧表 ($\times 10^3$ kN)	
		Novak	BEM
a 軸	1	86.3	87.8
	2	145	145
	3	241	242
	4	401	402
	5	519	523
	6	617	617
	7	716	704
b 軸	9	41.2	41.2
	10	70.4	69.4
	11	99.4	97.2
	12	180	180
	13	384	381
	14	581	565
c 軸	15	718	691
	16	10.8	10.8
	17	38.0	37.1

図4-3 タービン建屋の地震応答解析結果
(せん断力, 基準地震動 S_s -1H_NS方向)



部位	部材番号	最大応答 曲げモーメント 一覧表 ($\times 10^5$ kN·m)	
		Novak	BEM
a軸	1	1.27	1.28
		5.18	5.24
	2	7.18	7.00
		16.4	16.5
	3	16.7	16.8
		39.8	39.8
	4	44.8	46.2
69.7		70.1	
5	84.3	84.2	
	114	114	
6	129	129	
	153	154	
7	159	160	
	176	178	
b軸	9	0.673	0.666
		5.54	5.54
	10	6.44	6.24
		9.14	9.13
	11	19.5	19.3
		19.3	19.2
	12	29.3	29.1
26.8		26.8	
13	41.9	41.4	
	63.4	63.4	
14	68.9	68.6	
	94.7	94.1	
15	101	101	
	121	120	
c軸	16	0.272	0.242
		0.638	0.616
	17	6.30	6.21
		9.76	9.53

図4-4 タービン建屋の地震応答解析結果
(曲げモーメント, 基準地震動Ss-1H_NS方向)

5. まとめ

Novak の側面地盤ばね及び接触面積比率に応じて低減させた BEM の側面地盤ばねを用いた地震応答解析結果を比較したところ、建屋応答の差は僅かであり、タービン建屋に対し Novak の側面地盤ばねを適用することは妥当であることを確認した。

(参考資料 1) 計算機プログラム (解析コード) の概要

KANDYN_2N

1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
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	Ver. 4.06

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	K A N D Y N _ 2 N
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2005年
使用したバージョン	Ver. 4.06
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発されたFEMを用いる解析計算機コードである。 ・低接地率時の建屋の浮き上がり挙動等に関する研究において使用実績がある。 ・本解析コードは動荷重（節点加振力，地震入力）を扱うことができる。 ・地震応答解析は，線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行う。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	<p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証は以下のとおり実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コード及び汎用コードである「S o i l P l u s ver.2015」を用いて，建屋質点系－地盤2次元FEM解析を行い，両コードによる応答結果が概ね一致していることを確認している。 ・本申請における用途及び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。

3. KANDYN_2Nの解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、鹿島建設株式会社で開発した原子力発電所建屋を対象としたプログラムであり、時間領域における質点系はりモデル及びFEMによる動的応答解析プログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・ 3次元問題を対象として、はり要素、ばね要素、ダンパー要素、ソリッド要素等が用意されており、原子力発電所建屋他の地盤を含めた構造物の動的解析を行うことができる。
- ・ 離散化した構造物－地盤間に非線形地盤ばねを考慮することができ、接地率の小さな構造物の応答計算に使用できる。
- ・ 大規模問題も取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- ・ 自由度の拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

3.3 解析理論

3.3.1 運動方程式

多自由度系の運動方程式は一般に(3.1)式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで、

- $[M]$: 質量マトリックス
- $[C]$: 減衰マトリックス
- $[K]$: 剛性マトリックス
- $\{\ddot{u}\}$: 加速度ベクトル
- $\{\dot{u}\}$: 速度ベクトル
- $\{u\}$: 変位ベクトル
- $\{F\}$: 荷重ベクトル

3.3.2 減衰項の策定

減衰項として、系の粘性減衰はレーリー減衰を用いており、レーリー減衰の定義は以下で表される。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ただし,

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(h_1\omega_2 - h_2\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

$$\beta = \frac{2(h_2\omega_2 - h_1\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

ここで,

ω_1 : 減衰定数 h_1 を定義する円振動数

ω_2 : 減衰定数 h_2 を定義する円振動数

3.3.3 直接積分法による解法

直接積分法は、連立の微分方程式を直接積分するもので、時間を Δt 毎に分割し、時間ステップごとに、順次解を求めていく方法である。今回の解析で用いた Newmark- β 法 ($\beta=1/4$) について以下に示す。

(3.1) 式の運動方程式を増分形式で表すと (3.3) 式となる

$$M\{\Delta\ddot{u}\} + C\{\Delta\dot{u}\} + K\{\Delta u\} = -M\{1\}\Delta\alpha \dots\dots\dots (3.3)$$

n ステップの変位 $\{u_n\}$, 速度 $\{\dot{u}_n\}$, 加速度 $\{\ddot{u}_n\}$ が既知の場合, 次の $n+1$ ステップの変位増分, 速度増分は以下の様に表せる。

$$\begin{aligned} \{\Delta u_{n+1}\} &= \{u_{n+1}\} - \{u_n\} = \Delta t \left(\frac{\{\dot{u}_{n+1}\} + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) \\ &= \Delta t \left(\frac{(\{\dot{u}_n\} + \{\Delta\dot{u}_{n+1}\}) + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) = \Delta t \left(\{\dot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\dot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \dots\dots\dots (3.4) \end{aligned}$$

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \Delta t \left(\{\ddot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \dots\dots\dots (3.5)$$

(3.4) 式, (3.5) 式より

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\} = \frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \dots\dots\dots (3.7)$$

(3.6) 式, (3.7) 式を (3.3) 式に代入し, $\{\Delta u_{n+1}\}$ に関して解く。

$$\begin{aligned}
M \left(\frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C \left(\frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \right) + K\{\Delta u_{n+1}\} &= -M\{1\}\Delta\alpha \\
\Rightarrow \left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right) \{\Delta u_{n+1}\} &= -M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \\
\Rightarrow \{\Delta u_{n+1}\} &= \left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right)^{-1} \left(-M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \right) \\
&\dots\dots\dots (3.8)
\end{aligned}$$

(3.8)式を解くと、n+1 ステップの変位増分が得られる。また、(3.6)式、(3.7)式を用いて n+1 ステップの速度増分および加速度増分が得られる。

3.4 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 3-1 に示す。

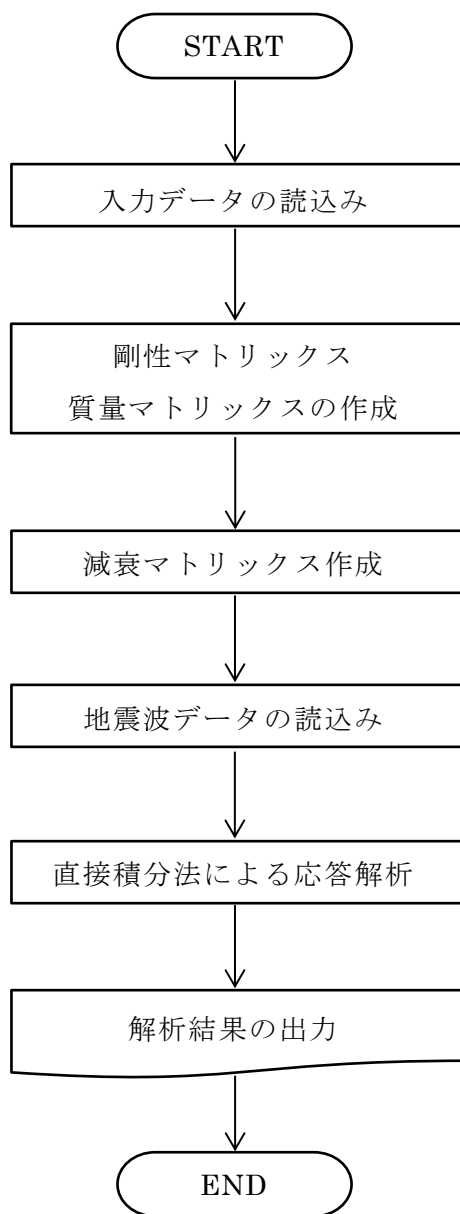


図 3-1 解析フローチャート

4. 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、「3.3 解析理論」に示した一般性のある理論モデルに基づき構築された解析コードであり、「3.4 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。本解析コードは、主に原子力発電所建築物における接地率の小さな場合の研究に使用実績を有しており、解析機能全般について十分な妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ、「建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性」の検討において解析モデルに考慮した側面地盤の接触剥離や摩擦滑りに特化して、本解析コードによる下記の解析を実施し、本解析コードの適切さを確認している。

- ・ 建屋地下側面地盤の接触剥離及び摩擦滑りを考慮した地震応答解析結果を汎用コード「Soil Plus ver.2015」(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)と比較

4.1 検証(Verification)

本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。

4.2 妥当性確認(Validation)

4.2.1 他コードとの比較による検証

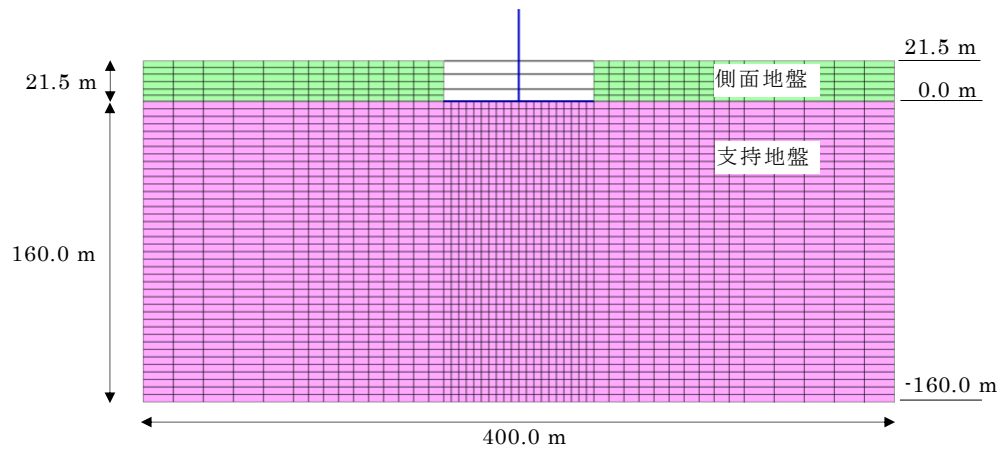
(1)妥当性確認方法

本解析コード及び汎用コードである「Soil Plus ver.2015」(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)により、建屋地下側面地盤の接触剥離及び摩擦滑りを考慮した建屋質点系一地盤2次元FEMモデルを用いて地震応答解析を行い、両コードによる応答結果が概ね一致することを確認する。

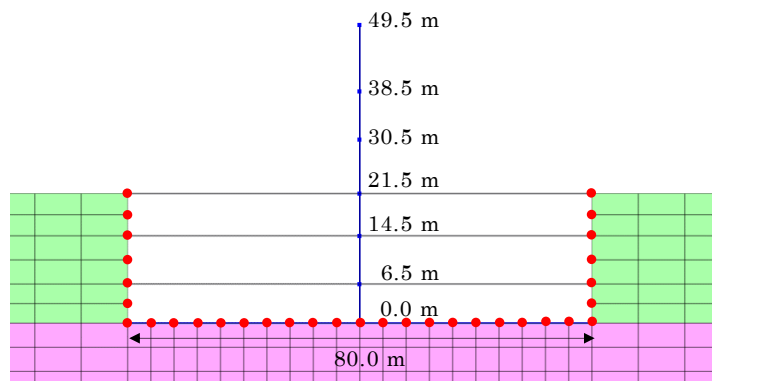
(2)解析条件

1) 解析モデル

解析モデルを図4-1に示す。地盤は2次元FEMモデル、建屋は埋込みを考慮した質点系モデルである。建屋地下側面は側面地盤との接触剥離及び摩擦滑りを考慮できるようにジョイント要素(非線形の軸ばねとせん断ばね)を設置している。また、建屋基礎底面には浮き上がりを考慮できるようにジョイント要素(非線形の軸ばね)を設置している。建屋モデルの諸元を表4-1に、地盤物性を表4-2に示す。



(a) モデル全体



(b) 建屋周辺 ●: ジョイント要素の位置

図 4-1 解析モデル

表 4-1 建屋モデルの諸元

質点 番号	標高 (m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 (kN・m ²)	部材 番号	せん断 断面積 (m ²)	断面2次 モーメント (m ⁴)
7	49.5	500,000	3.00E+08			
6	38.5	500,000	3.00E+08	6	600	6.00E+05
5	30.5	500,000	3.00E+08	5	600	6.00E+05
4	21.5	500,000	3.00E+08	4	600	6.00E+05
3	14.5	500,000	3.00E+08	3	600	6.00E+05
2	6.5	500,000	3.00E+08	2	600	6.00E+05
1	0.0	500,000	3.00E+08	1	100,000	1.00E+07
合計		3,500,000				

G. L. =21.5m

ヤング係数E : 27447(N/mm²)
 せん断弾性係数G : 11436(N/mm²)
 ポアソン比ν : 0.2
 減衰定数h : 0.05

表 4-2 地盤物性

	標高 (m)	S波 速度 (m/s)	P波 速度 (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 (kN/m ²)	減衰定数
側面地盤	21.5 ~ 0.0	300	1000	20	0.451	183,549	0.03
支持地盤	0.0 ~ -160.0	600	2000	20	0.451	734,196	0.03

2) 入力地震動

入力地震動の加速度時刻歴波形を図 4-2 に示す。最大加速度は 1000cm/s² であり、地盤 2 次元 F E Mモデルの底面に入力する。

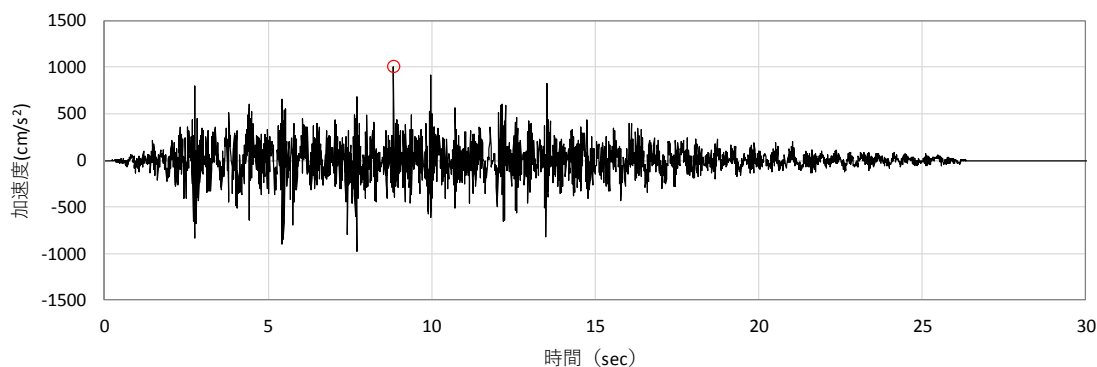
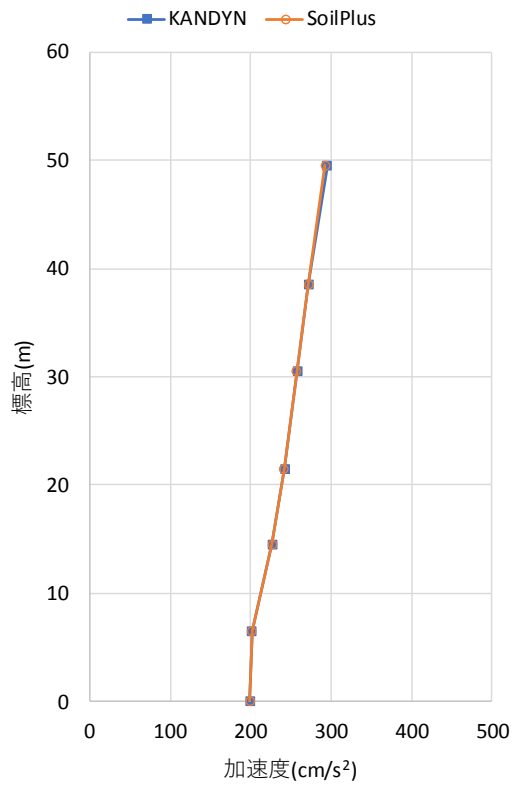


図 4-2 入力地震動の加速度時刻歴波形

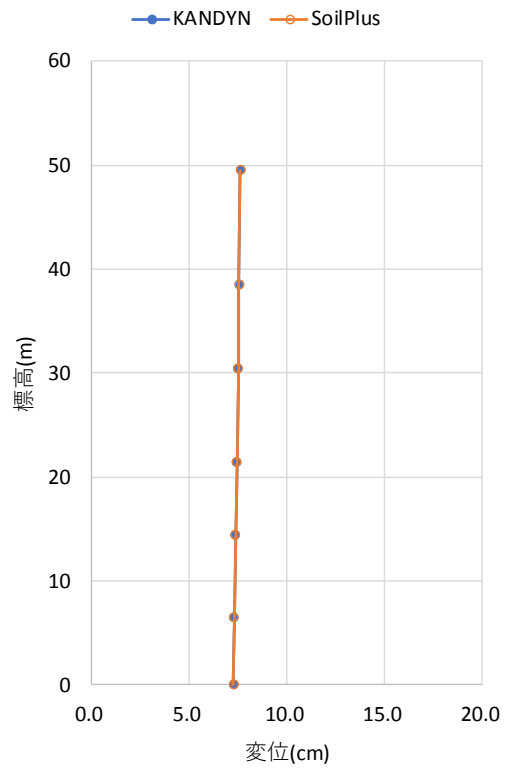
(3) 妥当性確認結果

建屋の最大応答（加速度，変位，せん断力，曲げモーメント）の分布について，両解析コードの結果を比較して図 4-3 に示す。また，建屋地下側面全体のジョイント要素の平均的な軸応力及びせん断応力の時刻歴について，両解析コードの結果を比較して図 4-4，図 4-5 に示す。建屋の最大応答分布および側面地盤ジョイント要素の時刻歴は両解析コードで概ね一致している。

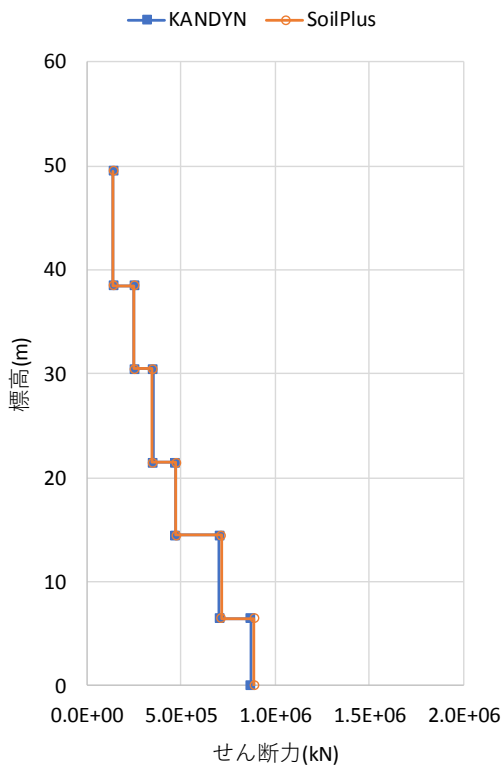
建屋の加速度応答スペクトルを比較して図 4-6 に示す。両者は概ね一致している。



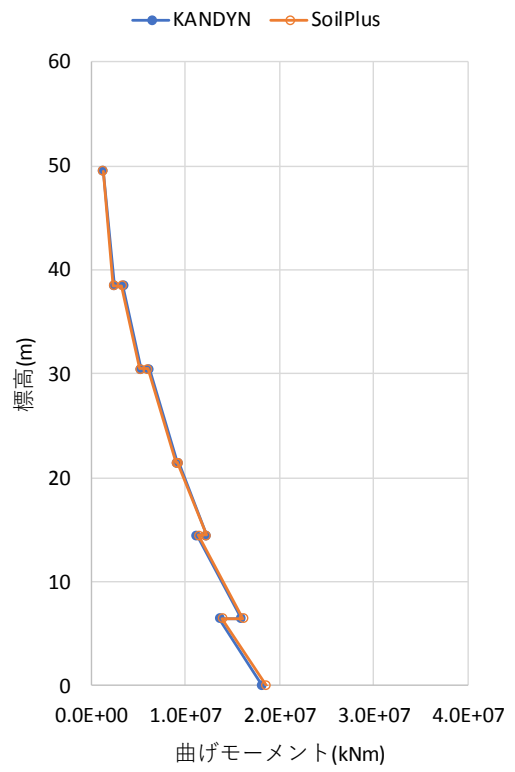
(a) 加速度



(b) 変位

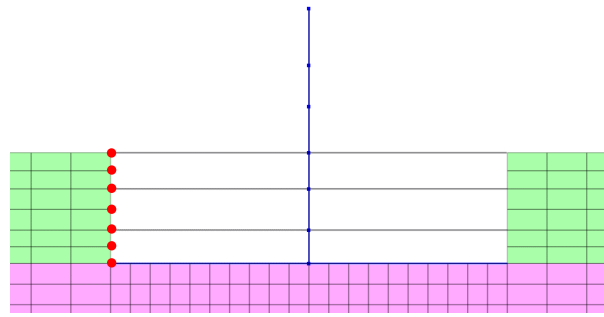


(c) せん断力

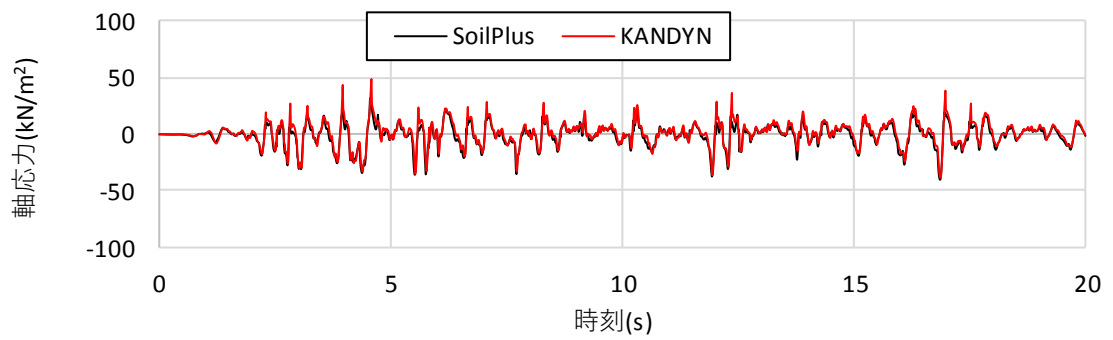


(d) 曲げモーメント

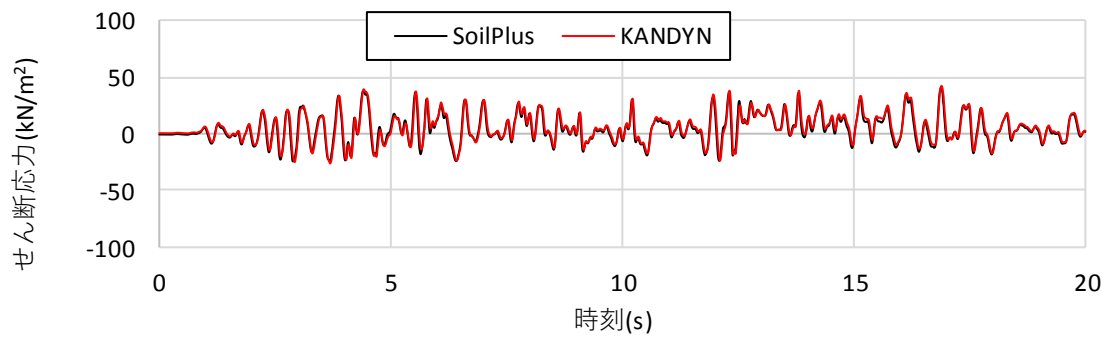
図 4-3 建屋の最大応答分布の比較



(a) ジョイント要素の出力位置

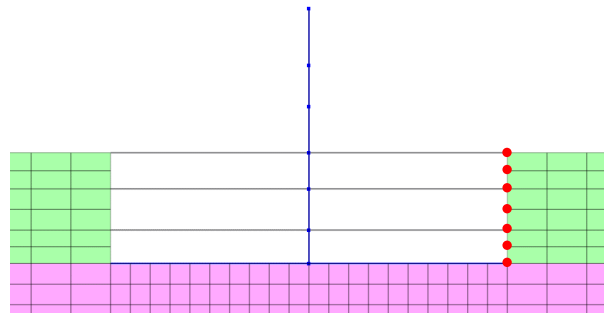


(b) 軸応力

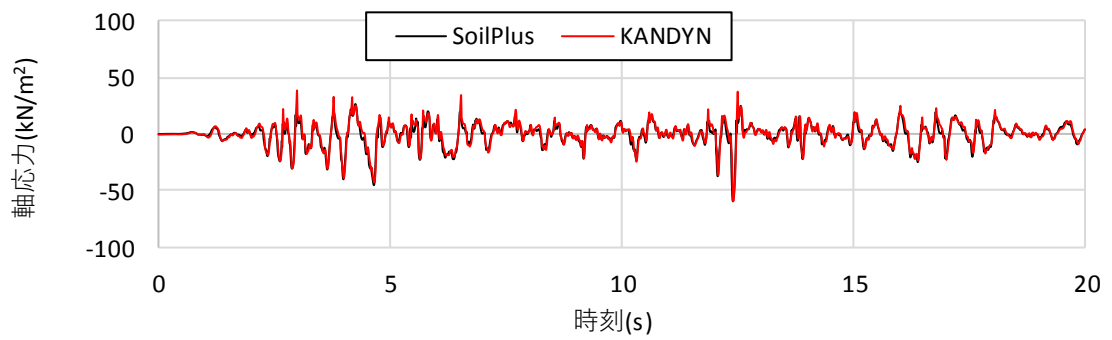


(c) せん断応力

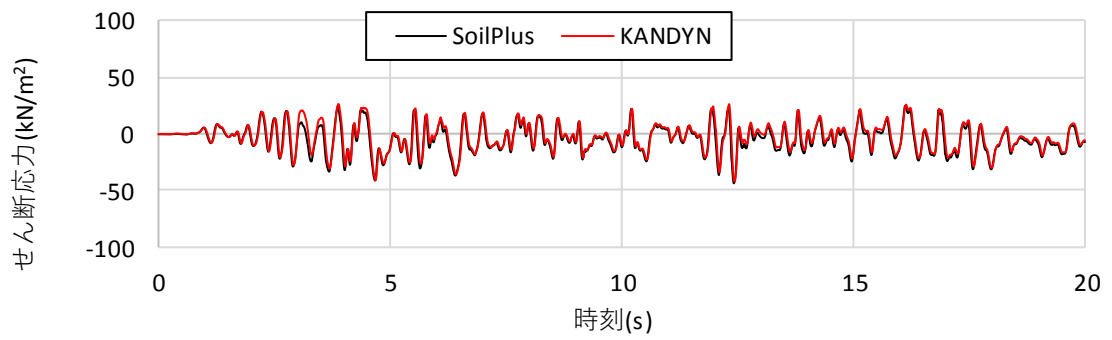
図 4-4 建屋地下側面全体のジョイント要素の平均応力時刻歴の比較 (左側面)



(a) ジョイント要素の出力位置



(b) 軸応力



(c) せん断応力

図 4-5 建屋地下側面全体のジョイント要素の平均応力時刻歴の比較 (右側面)

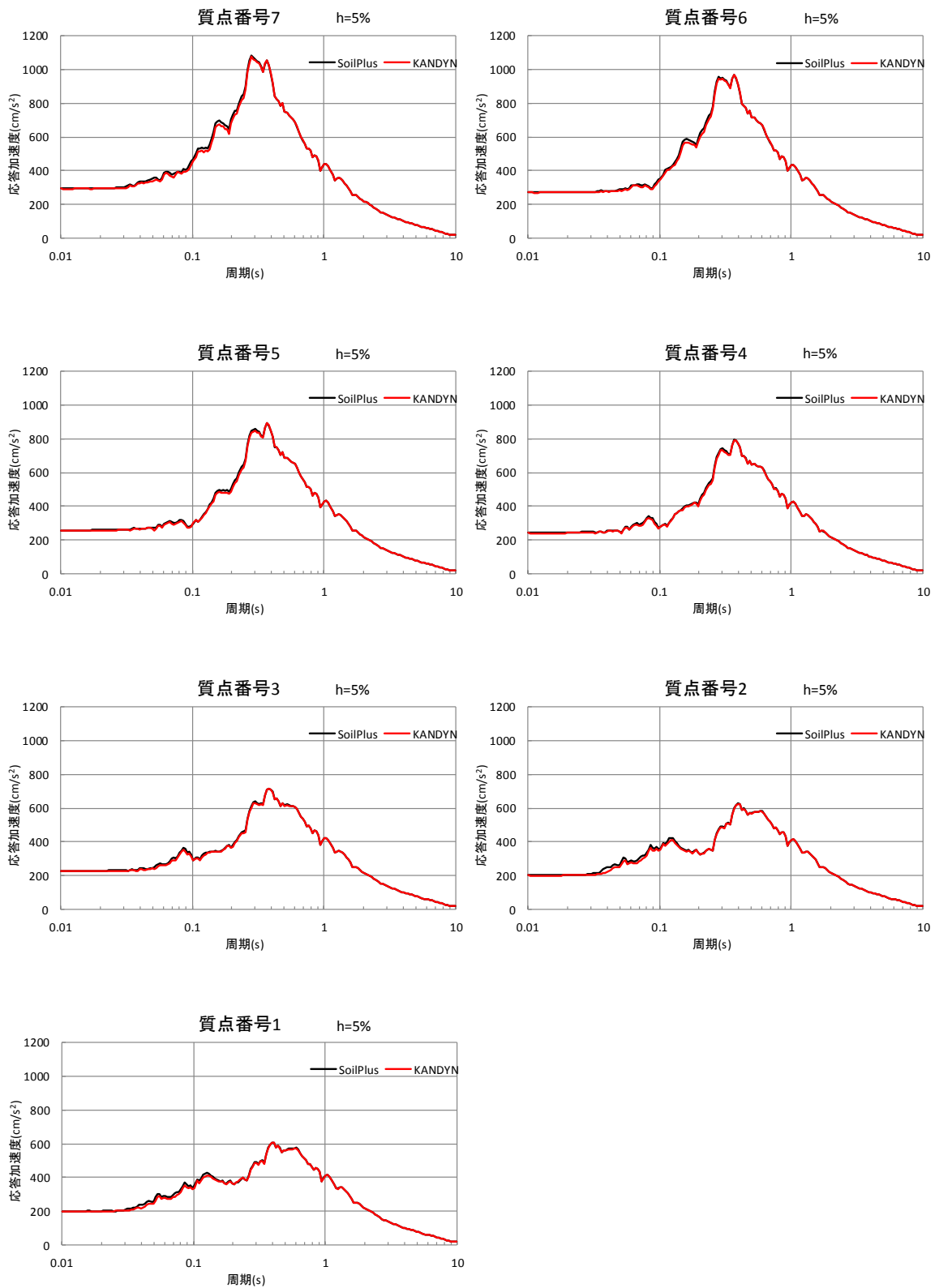


図 4-6 建屋の加速度応答スペクトルの比較 (h=5%)

4.2.2 評価結果

以下の評価結果から，本解析コードを対象とする検討に用いることは妥当である。

- ・本解析コード及び汎用コードである「Soil Plus ver.2015」により，建屋質点系－地盤2次元FEMモデルを用いて建屋地下側面地盤の接触剥離や摩擦滑りを考慮した地震応答解析を行い，建屋及び側面地盤のジョイント要素の応答について両解析コードで概ね同一の結果が得られた。

A R X

1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
別紙 6	原子炉建屋のコンクリート剛性に対する地震観測記録による傾向分析	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	A R X
使用目的	システム同定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2011 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	<p>本解析コードは、建物の地震観測記録を用いて、A R X (Auto-Regressive with eXogenous) によるシステム同定を適用し、建物の固有振動数および減衰定数を評価するために開発された。</p> <p>本解析コードは、多数の原子炉建屋に対してシステム同定を行った使用実績を有する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードを適用し、地震観測記録を用いて原子炉建屋の固有振動数の評価を行い、固有振動数の経年変化の検討を実施した。</p> <p>【検証 (Verification)】</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"> ・数値シミュレーション解析により、本解析コードによる同定結果は理論値に一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールし適用している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</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"> ・本解析コードは、多数の原子炉建屋を含む建物の固有振動数および減衰定数のシステム同定に使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・今回の工事計画認可申請における用途及び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。

3. A R Xの解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、建物内の複数地点の地震観測記録を用いて、A R X (Auto-Regressive with eXogenous) により、建物の固有振動数及び減衰定数を同定するプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・入出力の時刻歴波形の対象範囲，サンプリングの設定変更，A R Xモデルの次数設定が可能である。
- ・A R Xモデルによる解(振動数と減衰定数)と共に，モデルに基づく伝達関数およびモデル誤差も出力される。

3.3 解析手法

ARXモデルは、パラメトリック同定で一般的に使用される最も簡単なパラメトリックモデルであり、最小二乗法により計算される方法である。ARXモデルは以下の式で定義される。

$$\begin{aligned} y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) \\ = b_1 u(t-1) + b_2 u(t-2) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

ここで、 $y(t)$ は時刻 t の出力、 $u(t)$ は時刻 t の入力、 $e(t)$ は残差項、 $n_a \cdot n_b$ は多項式の次数である。ここで、 q^{-1} という時間遅れ演算子を(3.2)式のように定義すると、(3.1)式は(3.3)式のように表される。

$$\begin{aligned} qy(t) &= y(t+1), \quad q^{-1}y(t) = y(t-1), \dots, \quad q^{-n_a}y(t) = y(t-n_a) \\ qu(t) &= u(t+1), \quad q^{-1}u(t) = u(t-1), \dots, \quad q^{-n_b}u(t) = u(t-n_b) \\ (1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a})y(t) \\ &= (b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b})u(t) + e(t) \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} \therefore A(q)y(t) &= B(q)u(t) + e(t) \\ A(q) &= 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \\ B(q) &= b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b} \end{aligned} \quad (3.3)$$

これらより、ARXモデルのブロック線図は図 3-1 のように表され、 $B(q)/A(q)$ は離散時間の伝達関数に対応することになる。

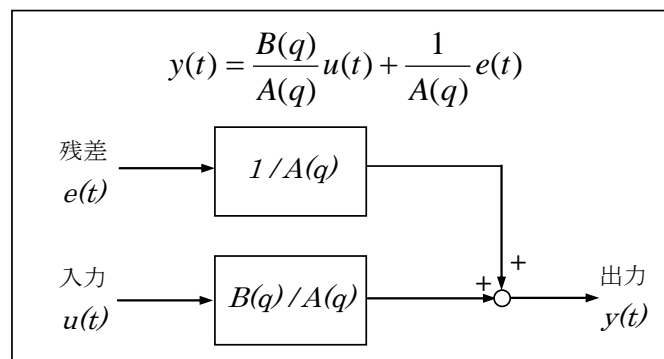


図 3-1 ARXモデルのブロック線図

線形最小二乗法によりARXモデルのパラメータ $a_1 \sim a_{n_a}$, $b_1 \sim b_{n_b}$ を推定可能である。(3.3)式より、

$$\begin{aligned}
y(t) &= -\sum_{j=1}^{n_a} a_j y(t-j) + \sum_{j=1}^{n_b} b_j u(t-j) + e(t) \\
&= [-y(t-1), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), \dots, u(t-n_b)] [a_1, \dots, a_{n_a}, b_1, \dots, b_{n_b}]^T + e(t) \quad (3.4) \\
&= \varphi(t)\theta + e(t)
\end{aligned}$$

時刻 $t=1 \square N$ を考えれば,

$$\begin{aligned}
Y &= \Phi\theta + E \\
Y &= [y(1), \dots, y(N)]^T \\
\Phi &= \begin{bmatrix} \varphi(1) \\ \vdots \\ \varphi(N) \end{bmatrix} = [\varphi(1)^T, \dots, \varphi(N)^T]^T \quad (3.5) \\
E &= [e(1), \dots, e(N)]^T
\end{aligned}$$

となり、最小二乗推定値は、下式により求められる。

$$\hat{\theta} = [\Phi^T \Phi]^{-1} \Phi^T Y \quad (3.6)$$

なお、伝達関数 $H(Z) = B(Z)/A(Z)$ は、フーリエ変換と Z 変換との関係より、下式のように伝達関数に変換される。

$$H_f(f) = H(\exp(i \cdot \Delta t \omega)) \quad (3.7)$$

また、ピーク振動数 f_j と減衰定数 h_j は、 $A(Z)=0$ の根 ${}_z p_j$ を用いて、下式により求められる。

$$f_j = \frac{|\log_z p_j|}{2\pi \Delta t}, \quad h_j = \frac{-\log |{}_z p_j|}{2\pi f_j \Delta t} \quad (3.8)$$

3.4 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図3-2に示す。

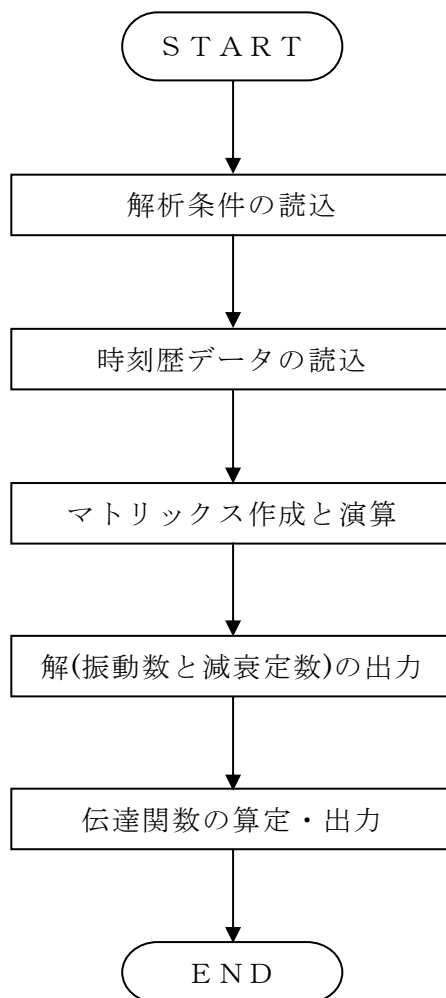


図 3-2 解析フローチャート

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

3.5.1 検証

(1) 検証概要

数値シミュレーション解析により,本解析コードによるシステム同定結果が理論値に一致することを検証する。

具体的には, 加速度時刻歴の入力波と調和地動に対する定常応答解により出力応答波を作成し, 入力波と出力応答波を用いてARXによるシステム同定を行い固有振動数と減衰定数を評価する。その評価結果が出力応答波作成時の与条件 (理論値) に一致することを確認する。

検討フローを図 3-3 に示す。

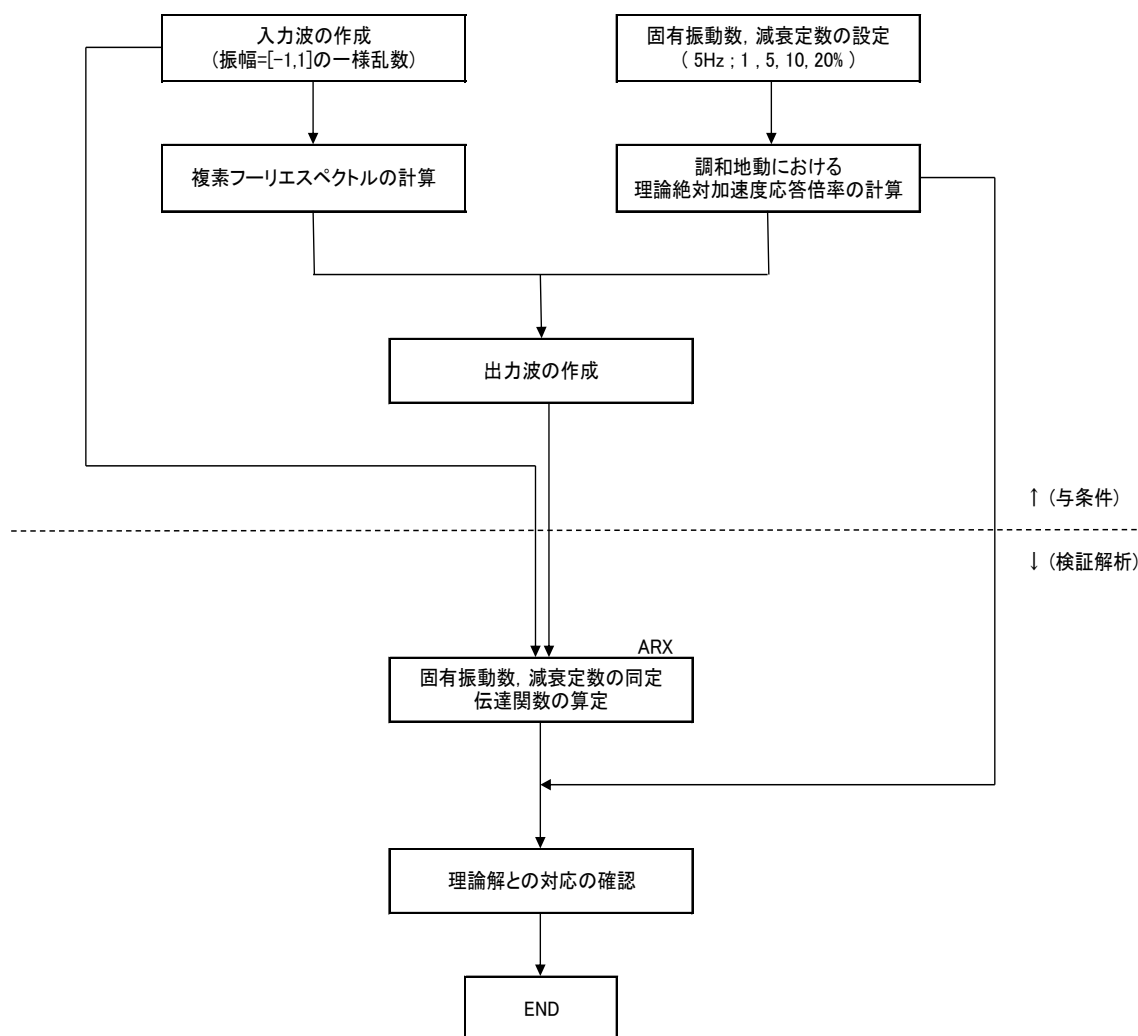


図 3-3 検討フロー

(2) 検証モデル

固有振動数を 5Hz, 減衰定数を 1, 5, 10, 20%とした場合の, 調和地動に対する定常応答解(理論解)の伝達関数(振幅比と位相)を図 3-4 に示す。

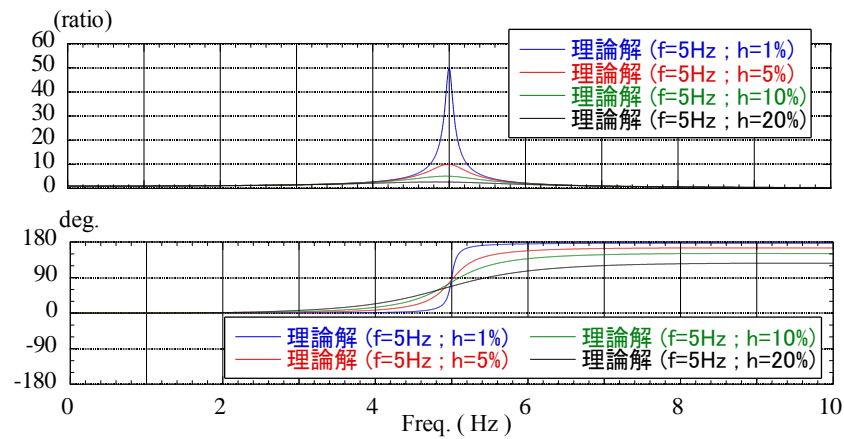


図 3-4 調和地動に対する定常応答解(理論解)の伝達関数(振幅比と位相)

(3) 入力波および出力波

図 3-5 に入力波を示す。振幅 $-1\sim 1$ の一様乱数による波である。

図 3-6 に入力波と定常応答の理論解に基づき作成した出力応答波を示す。

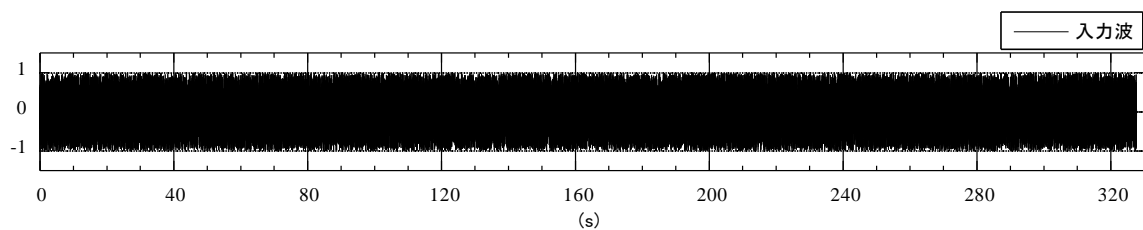


図 3-5 入力波 ($\Delta t=0.01s$, 継続時間=327.68s)

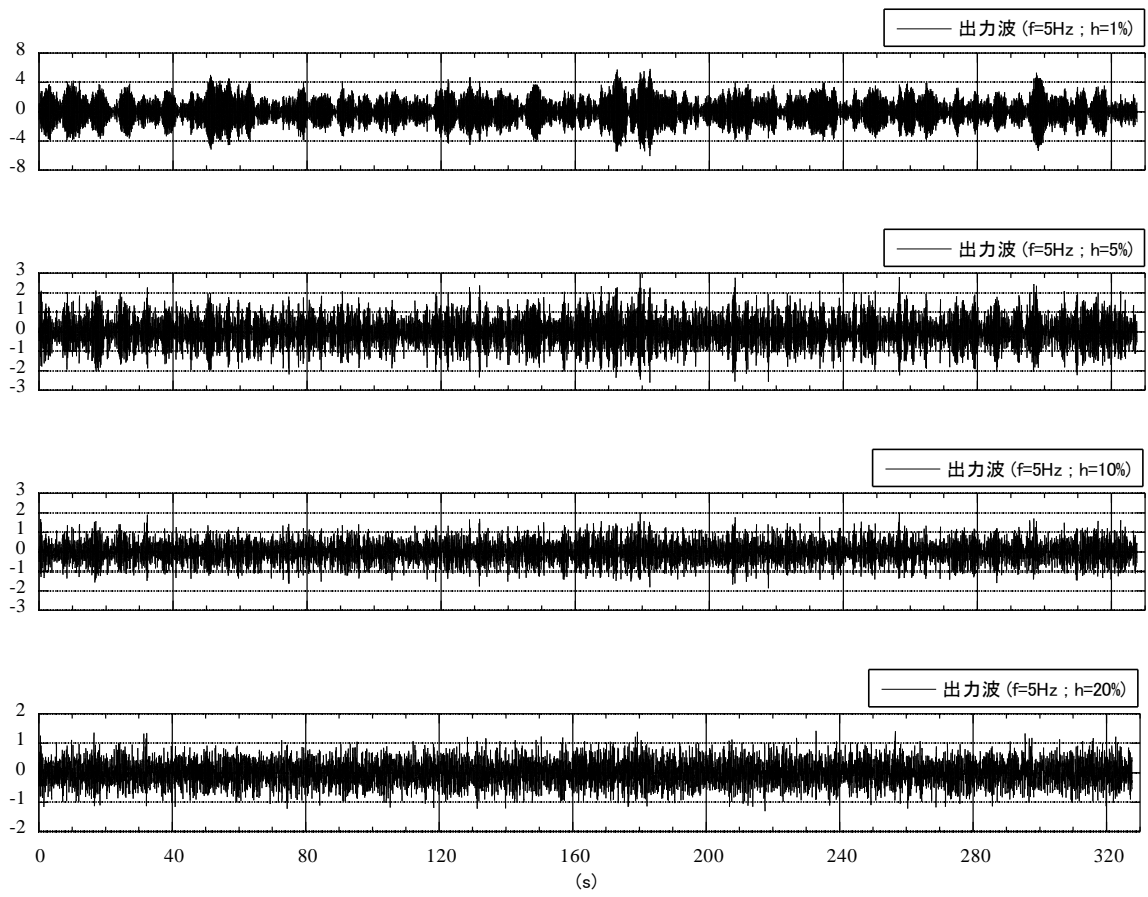
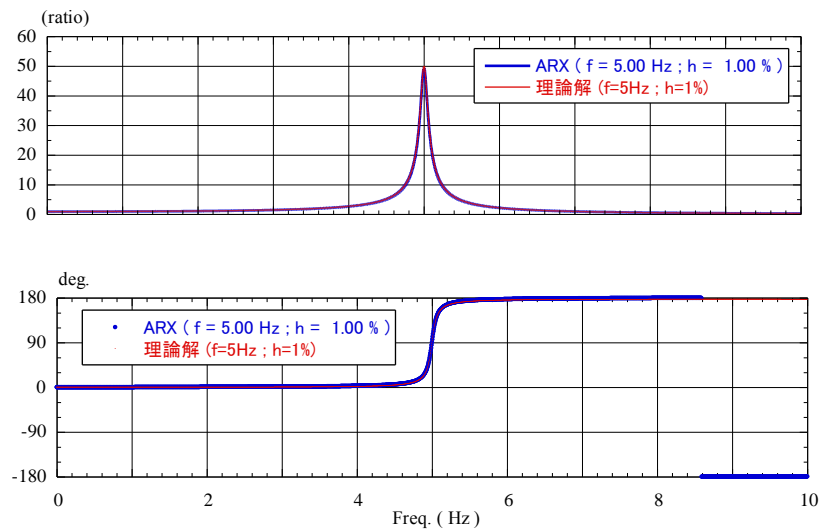


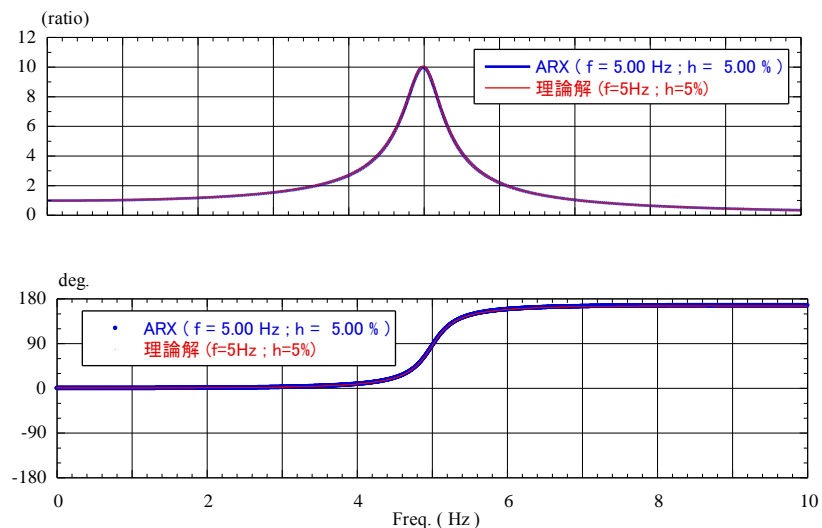
図 3-6 入力波と 1 自由度系の理論解に基づき作成した出力波

(4) システム同定結果

図 3-7 に A R X により求めた伝達関数(振幅比および位相)を理論解のそれと比較して示す。また、表 3-1 に固有振動数と減衰定数の同定結果を設定値(理論値)と比較して示す。A R X による同定結果は理論解と一致することが確認される。

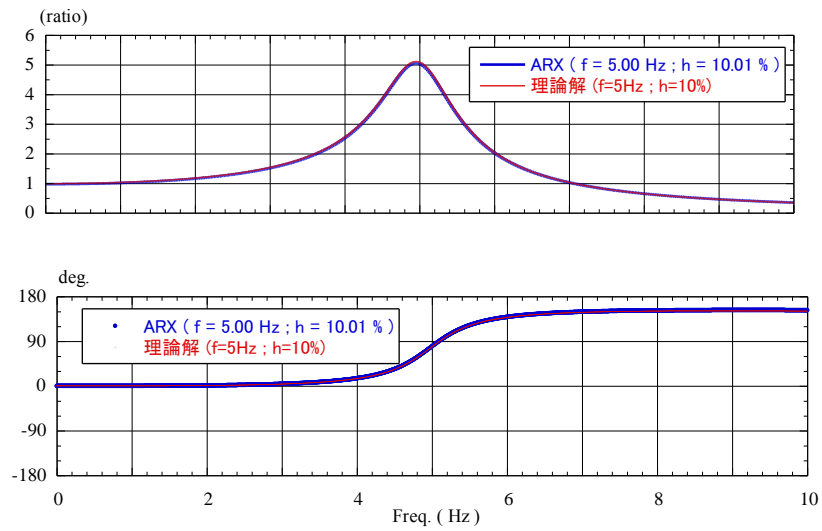


(1) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=1\%$ (理論解)

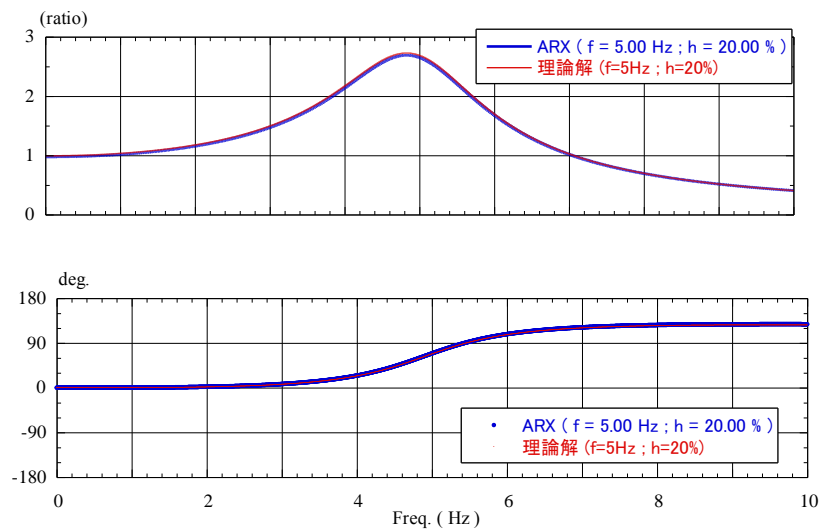


(2) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=5\%$ (理論解)

図 3-7 A R X による同定結果と理論解との比較 (1)



(3) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=10\%$ (理論解)



(4) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=20\%$ (理論解)

図 3-7 ARXによる同定結果と理論解との比較 (2)

表 3-1 固有振動数と減衰定数の比較

設定値(理論)		同定値		同定値 / 設定値	
固有振動数	減衰定数	固有振動数	減衰定数	固有振動数	減衰定数
5 Hz	1 %	5.00 Hz	1.00 %	1.000	1.000
5 Hz	5 %	5.00 Hz	5.00 %	1.000	1.000
5 Hz	10 %	5.00 Hz	10.01 %	1.000	1.001
5 Hz	20 %	5.00 Hz	20.00 %	1.000	1.000

3.5.2 妥当性確認

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・数値解析により、ARXによるシステム同定結果は理論値と一致することを確認している。
- ・地震観測記録を用いた原子炉建屋のシステム同定の使用実績が豊富である。
- ・今回の工事計画認可申請における用途及び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。

3.5.3 評価結果

3.5.1及び3.5.2より、本解析コードを使用状況一覧に示す検討に用いることは妥当である。

4. 参考文献

- (1) 尾形芳博，熊谷周治，井上範夫，野澤貴：ARXモデルによる地震時の建屋剛性の経時変化に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1093-1094，2010.9.
- (2) 尾形芳博，広谷浄，相澤直之，井上範夫，野澤貴：ARXモデルによる中小地震時の建屋初期剛性の経年的変化に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.983-984，2011.8.
- (3) 野澤貴，島本龍，成田忠祥，紺谷修，市川禎和，高橋容之：地震動履歴が建築物の動的特性に及ぼす影響－性能曲線およびARXモデルに基づくSRC造建築物の固有振動数評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1021-1022，2019.7.