

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資 料 番 号	補足-370-20 改 0
提出年月日	平成 30 年 8 月 29 日

建物・構築物の地震応答解析についての補足説明資料

補足-370-20 【原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について】

平成 30 年 8 月

日本原子力発電株式会社



## 目次

1. 概要.....	1
2. 検討方針.....	2
3. 検討条件.....	3
4. 検討結果.....	10
5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響.....	21
6. まとめ.....	33

別紙1 応答増幅の影響について

別紙2 改造工事に伴う重量増加を踏まえた申請上の取扱いについて



## 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。



## 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  $S_s-D1$  に対して実施することとする。



### 3. 検討条件

#### (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に示す。

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

標高 EL. (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 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )	
			NS方向	EW方向			NS方向	EW方向
63.65	1	15870	35.7	31.5	0	15870	35.7	31.5
57.00	2	16160	51.2	44.7	1750	17910	56.7	49.5
46.50	3	67320	120.3	104.7	620	67940	121.4	105.6
38.80	4	97130	161.6	99.8	1330	98460	163.9	101.2
34.70	5	83270	113.0	68.7	1950	85220	115.6	70.3
29.00	6	122370	348.8	250.5	3010	125380	357.5	256.8
20.30	7	161820	488.7	543.9	3100	164920	498.0	554.2
14.00	8	234650	720.8	779.6	2470	237120	728.7	788.2
8.20	9	199260	893.0	886.8	3400	202660	908.2	901.9
2.00	10	220710	832.4	830.7	1540	222250	838.2	836.5
-4.00	11	439290	1724.6	1712.1	1620	440910	1731.5	1718.9
-9.00	12	275090	1081.4	1073.5	0	275090	1081.4	1073.5
総重量		1932940			20790	1953730		

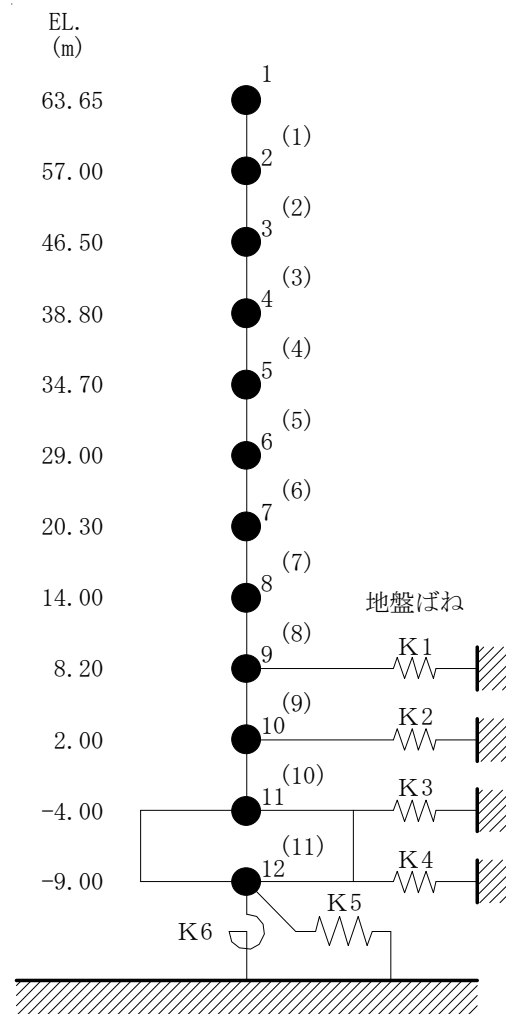


(2) 解析モデル

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3-2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3-3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。





- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ ( ) 内は要素番号を示す。

図 3-1 地震応答解析モデル（水平方向）



表 3-2 (1/2) 地盤ばね定数と減衰係数 (S<sub>s</sub>-D1, NS 方向)

(a) 補強反映モデル

ばね 番号	地盤ばね 成 分	ばね定数 K <sub>c</sub>	減衰係数 C <sub>c</sub>
K1	側面・水平	$5.46 \times 10^5$ (kN/m)	$2.48 \times 10^5$ (kN・S/m)
K2	側面・水平	$1.22 \times 10^6$ (kN/m)	$4.20 \times 10^5$ (kN・S/m)
K3	側面・水平	$6.64 \times 10^6$ (kN/m)	$9.07 \times 10^5$ (kN・S/m)
K4	側面・水平	$1.92 \times 10^7$ (kN/m)	$8.69 \times 10^5$ (kN・S/m)
K5	底面・水平	$6.41 \times 10^7$ (kN/m)	$3.44 \times 10^6$ (kN・S/m)
K6	底面・回転	$9.26 \times 10^{10}$ (kN・m/rad)	$1.58 \times 10^9$ (kN・m・s/rad)

(b) 今回工認モデル

ばね 番号	地盤ばね 成 分	ばね定数 K <sub>c</sub>	減衰係数 C <sub>c</sub>
K1	側面・水平	$5.46 \times 10^5$ (kN/m)	$2.50 \times 10^5$ (kN・s/m)
K2	側面・水平	$1.22 \times 10^6$ (kN/m)	$4.18 \times 10^5$ (kN・S/m)
K3	側面・水平	$6.64 \times 10^6$ (kN/m)	$9.11 \times 10^5$ (kN・S/m)
K4	側面・水平	$1.92 \times 10^7$ (kN/m)	$8.70 \times 10^5$ (kN・s/m)
K5	底面・水平	$6.41 \times 10^7$ (kN/m)	$3.45 \times 10^6$ (kN・s/m)
K6	底面・回転	$9.26 \times 10^{10}$ (kN・m/rad)	$1.59 \times 10^9$ (kN・m・s/rad)



表 3-2 (2/2) 地盤ばね定数と減衰係数 (S<sub>s</sub>-D1, EW 方向)

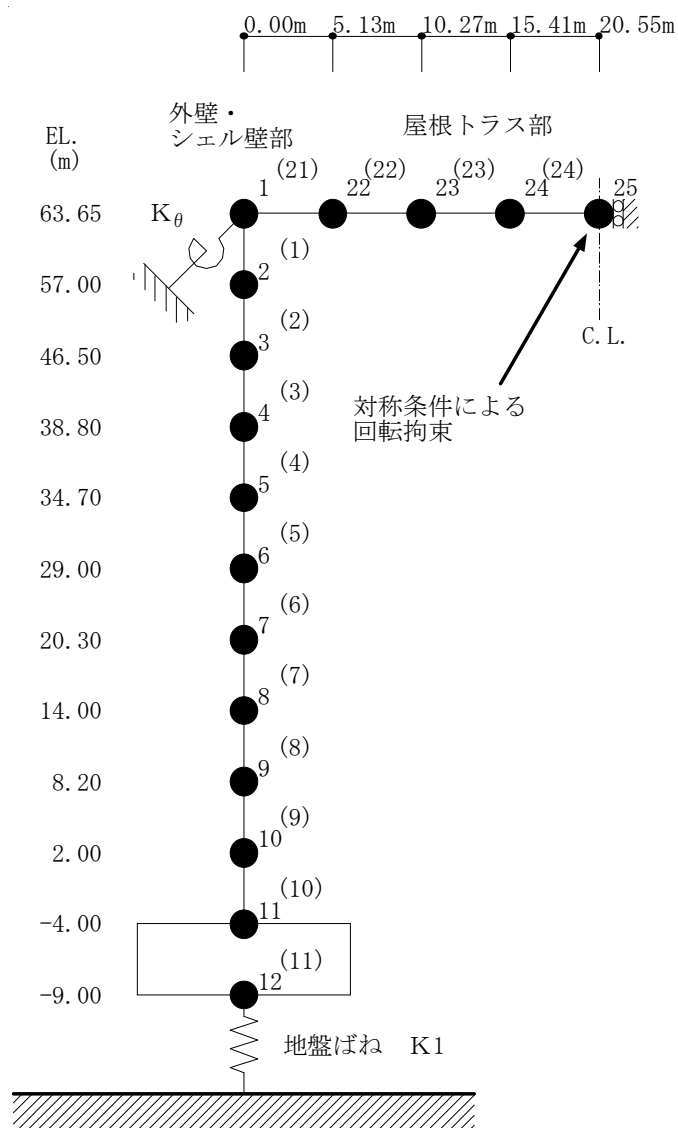
(c) 補強反映モデル

ばね 番号	地盤ばね 成 分	ばね定数 K <sub>c</sub>	減衰係数 C <sub>c</sub>
K1	側面・水平	$5.46 \times 10^5$ (kN/m)	$2.46 \times 10^5$ (kN・S/m)
K2	側面・水平	$1.22 \times 10^6$ (kN/m)	$4.21 \times 10^5$ (kN・S/m)
K3	側面・水平	$6.64 \times 10^6$ (kN/m)	$9.05 \times 10^5$ (kN・S/m)
K4	側面・水平	$1.92 \times 10^7$ (kN/m)	$8.68 \times 10^5$ (kN・S/m)
K5	底面・水平	$6.42 \times 10^7$ (kN/m)	$3.45 \times 10^6$ (kN・S/m)
K6	底面・回転	$9.17 \times 10^{10}$ (kN・m/rad)	$1.56 \times 10^9$ (kN・m・s/rad)

(d) 今回工認モデル

ばね 番号	地盤ばね 成 分	ばね定数 K <sub>c</sub>	減衰係数 C <sub>c</sub>
K1	側面・水平	$5.46 \times 10^5$ (kN/m)	$2.49 \times 10^5$ (kN・s/m)
K2	側面・水平	$1.22 \times 10^6$ (kN/m)	$4.19 \times 10^5$ (kN・S/m)
K3	側面・水平	$6.64 \times 10^6$ (kN/m)	$9.09 \times 10^5$ (kN・S/m)
K4	側面・水平	$1.92 \times 10^7$ (kN/m)	$8.69 \times 10^5$ (kN・s/m)
K5	底面・水平	$6.42 \times 10^7$ (kN/m)	$3.45 \times 10^6$ (kN・s/m)
K6	底面・回転	$9.17 \times 10^{10}$ (kN・m/rad)	$1.57 \times 10^9$ (kN・m・s/rad)





- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ ( ) 内は要素番号を示す。

図 3-2 地震応答解析モデル (UD 方向, 補強反映モデル)



表 3-3 地盤ばね定数と減衰係数 (UD 方向,  $S_s - D1$ )

(a) 補強反映モデル

ばね 番号	地盤ばね 成 分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K1	底面・鉛直	$1.08 \times 10^8$ (kN/m)	$8.20 \times 10^6$ (kN·s/m)

(b) 今回工認モデル

ばね 番号	地盤ばね 成 分	ばね定数 $K_c$	減衰係数 $C_c$
K1	底面・鉛直	$1.08 \times 10^8$ (kN/m)	$8.21 \times 10^6$ (kN·s/m)



#### 4. 検討結果

##### (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)	
	工認モデル	補強反映モデル	工認モデル	補強反映モデル
1	0.409	0.413	2.44	2.42
2	0.202	0.203	4.96	4.93
3	0.104	0.105	9.60	9.51
4	0.085	0.086	11.77	11.66
5	0.064	0.064	15.65	15.51
6	0.052	0.053	19.15	18.96

(b) EW 方向

次 数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)	
	工認モデル	補強反映モデル	工認モデル	補強反映モデル
1	0.411	0.415	2.43	2.41
2	0.202	0.203	4.96	4.93
3	0.107	0.108	9.32	9.22
4	0.086	0.087	11.59	11.49
5	0.064	0.065	15.53	15.40
6	0.051	0.051	19.76	19.52

(c) UD 方向

次 数	固有周期(s)		固有振動数(Hz)	
	工認モデル	補強反映モデル	工認モデル	補強反映モデル
1	0.399	0.399	2.50	2.50
2	0.274	0.275	3.65	3.63
3	0.093	0.093	10.79	10.79
4	0.060	0.060	16.72	16.58
5	0.057	0.057	17.64	17.64
6	0.048	0.048	20.70	20.70



(2) 最大応答値

基準地震動  $S_s-D1$  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 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。



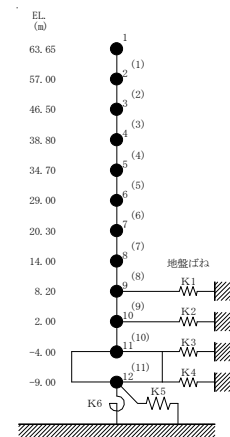
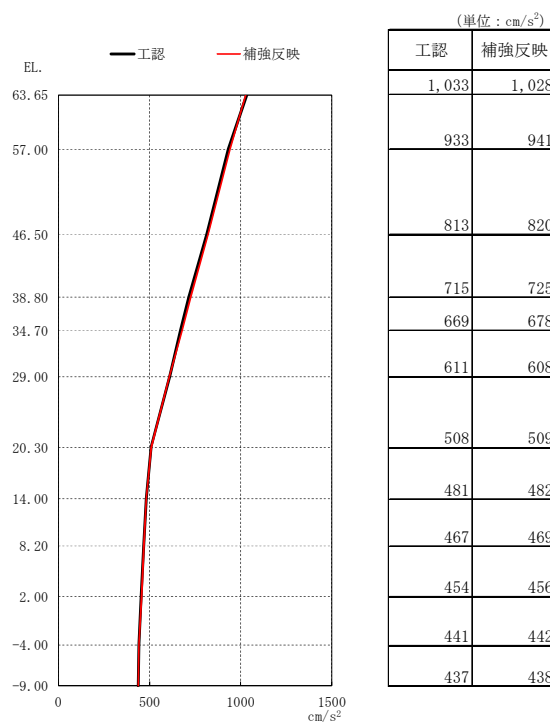


図 4-1 最大応答加速度 (S<sub>s</sub> - D 1, NS 方向)

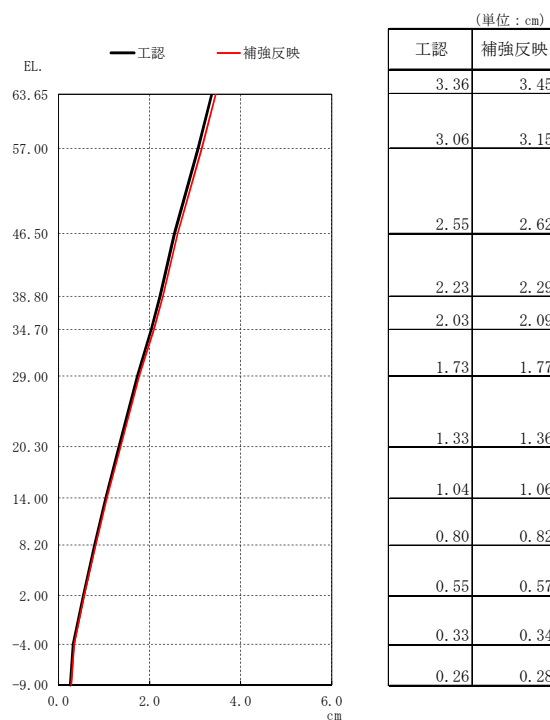
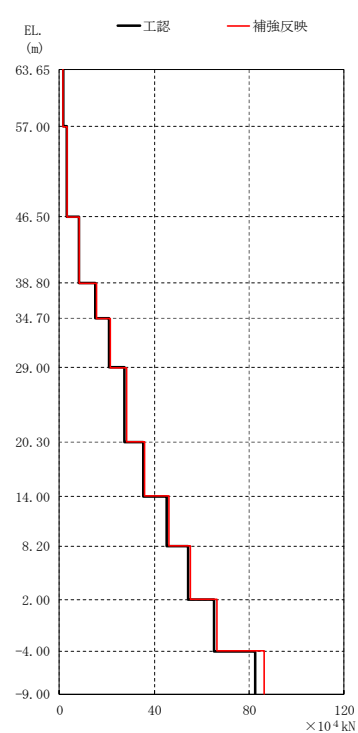


図 4-2 最大応答変位 (S<sub>s</sub> - D 1, NS 方向)





(単位:  $\times 10^4$  kN)

工認	補強反映
1.66	1.64
3.13	3.32
8.21	8.45
15.2	15.6
20.9	21.4
27.5	28.2
35.3	36.0
45.4	46.1
54.2	55.2
65.3	66.3
82.7	86.3

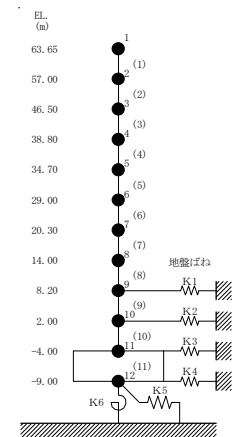
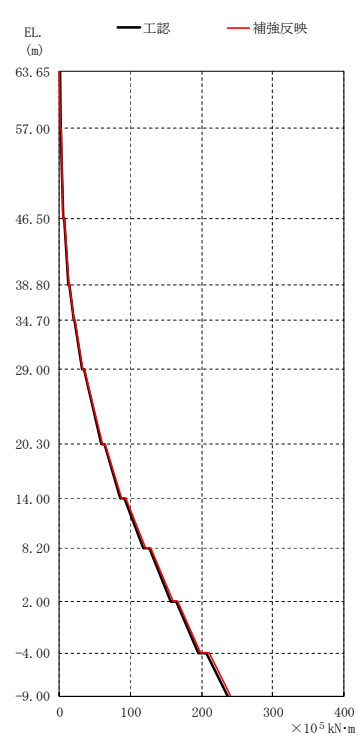


図 4-3 最大応答せん断力 ( $S_s - D 1$ , NS 方向)



(単位:  $\times 10^5$  kN·m)

工認	補強反映
0.572	0.575
1.48	1.50
2.29	2.40
5.24	5.50
6.77	7.08
12.5	13.0
14.3	14.8
19.9	20.5
21.0	21.7
32.1	33.0
35.0	35.8
58.9	60.3
63.3	64.6
85.5	87.2
92.1	94
118	121
126	128
157	160
164	166
195	198
207	211
237	241

図 4-4 最大応答曲げモーメント ( $S_s - D 1$ , NS 方向)



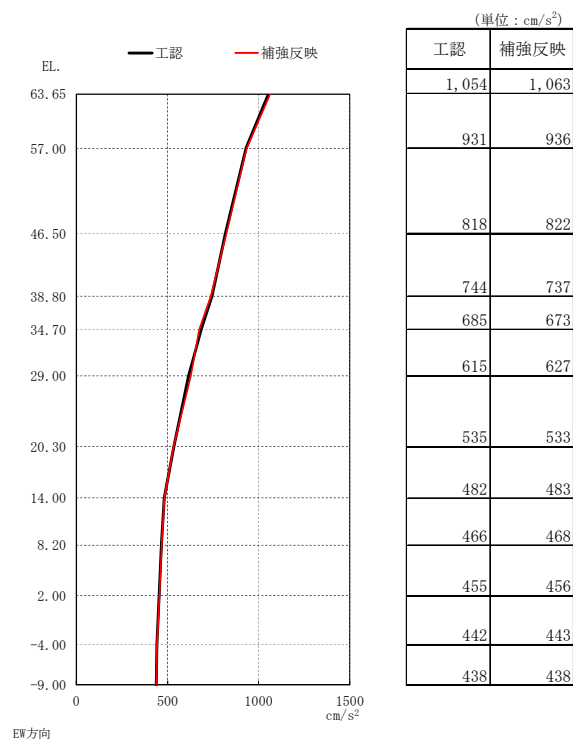


図 4-5 最大応答加速度 ( $S_s - D1$ , EW 方向)

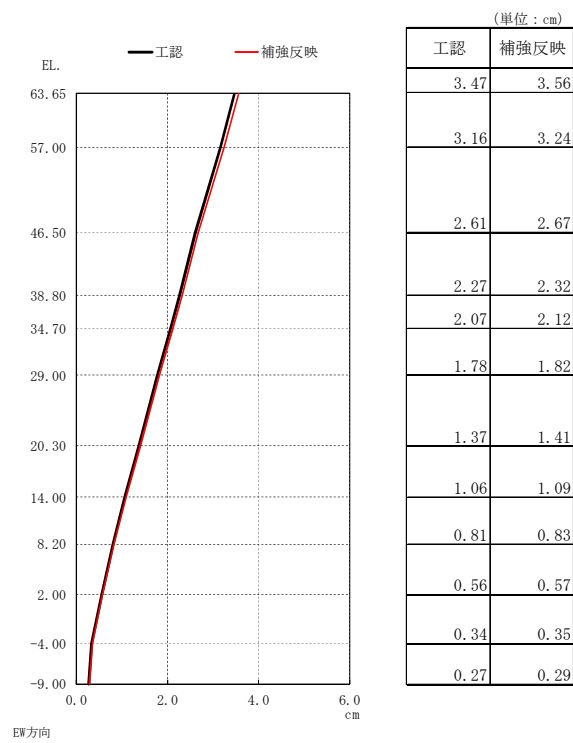
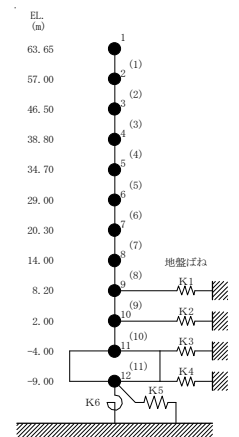
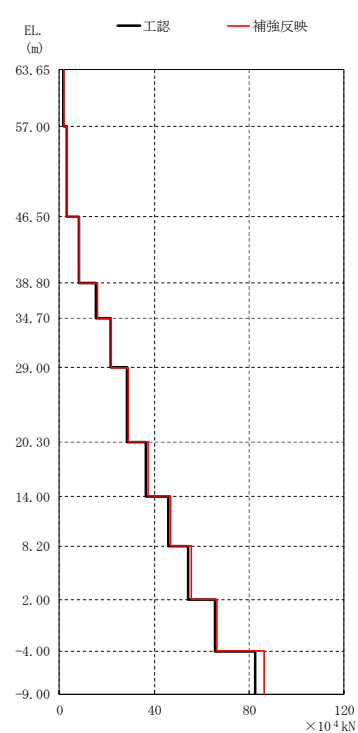


図 4-6 最大応答変位 ( $S_s - D1$ , EW 方向)





(単位:  $\times 10^4$  kN)

工認	補強反映
1.72	1.73
3.26	3.45
8.30	8.55
15.6	15.9
21.5	21.8
28.7	29.0
36.6	37.3
46.1	47.0
54.4	55.4
65.4	66.4
82.6	86.4

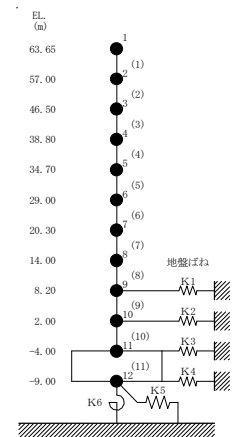
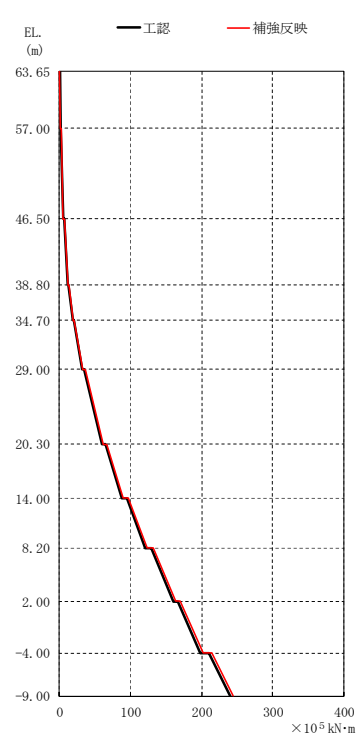


図 4-7 最大応答せん断力 ( $S_s$ -D 1, EW 方向)

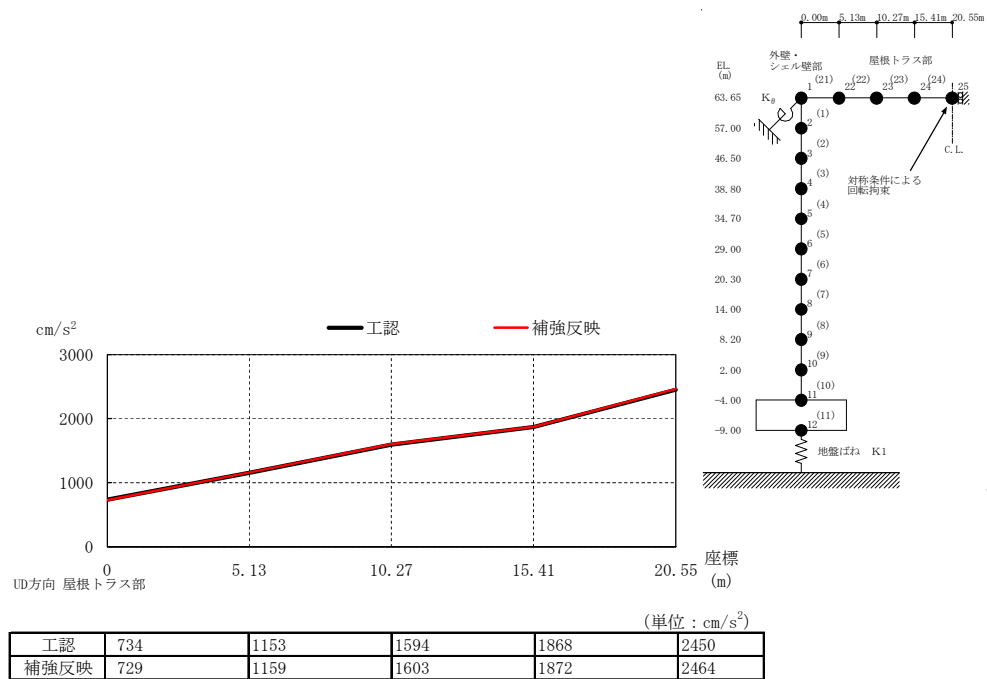


(単位:  $\times 10^5$  kN·m)

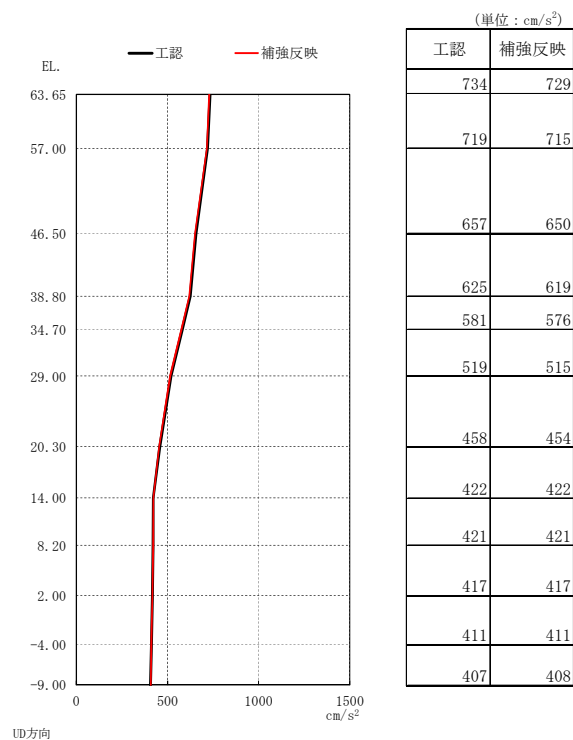
工認	補強反映
0.529	0.532
1.47	1.49
2.22	2.32
5.32	5.58
6.63	6.92
12.3	12.7
13.4	13.8
19.5	20.1
20.2	20.9
32.2	33.1
34.9	36.0
59.8	61.3
65.2	66.9
87.9	89.8
94.8	97
121	124
129	132
160	163
166	170
198	202
210	214
240	244

図 4-8 最大応答曲げモーメント ( $S_s$ -D 1, EW 方向)





(a) 屋根トラス部



(b) 外壁及びシェル壁

図 4-9 最大応答加速度 (S<sub>s</sub>-D 1, UD 方向)



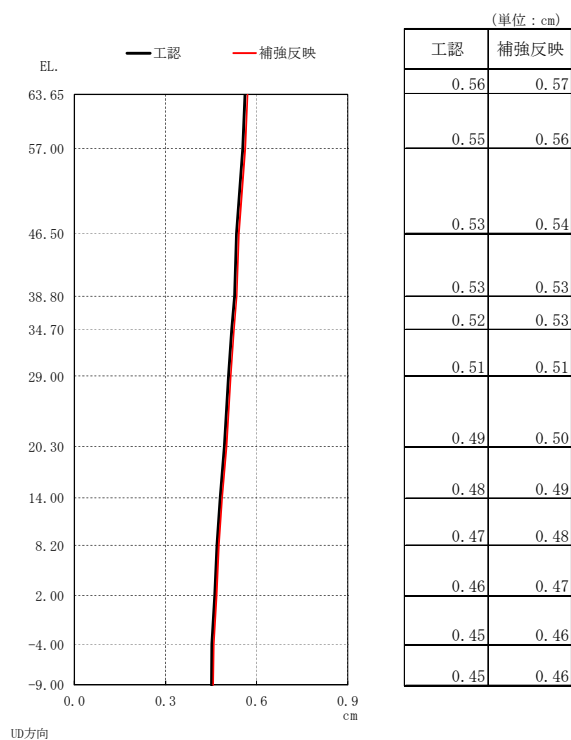
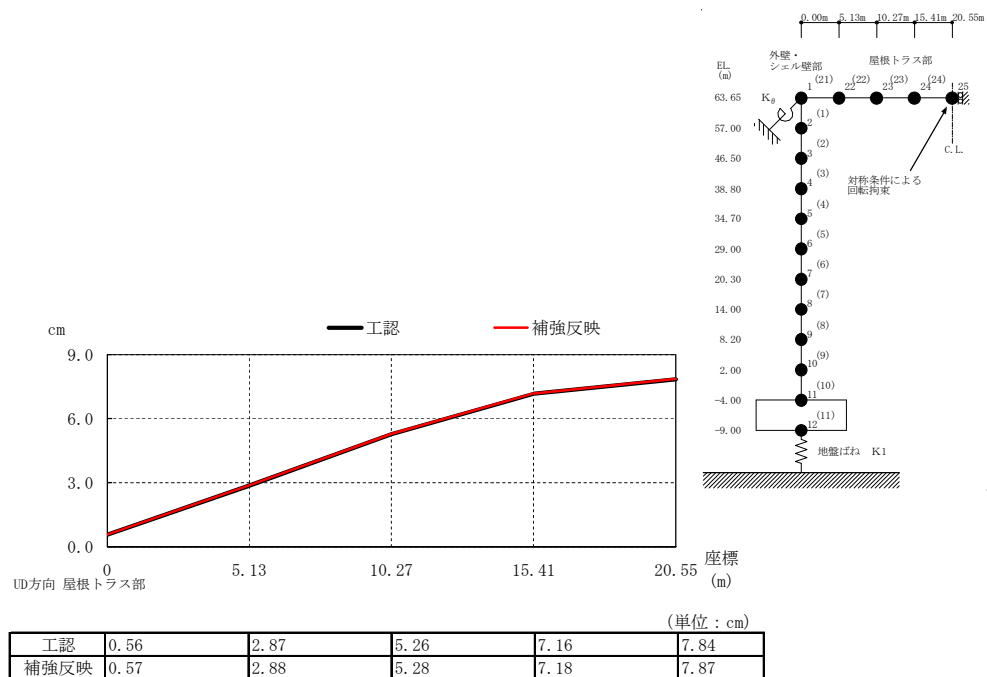


図 4-10 最大応答変位 ( $S_s - D1$ , UD 方向)



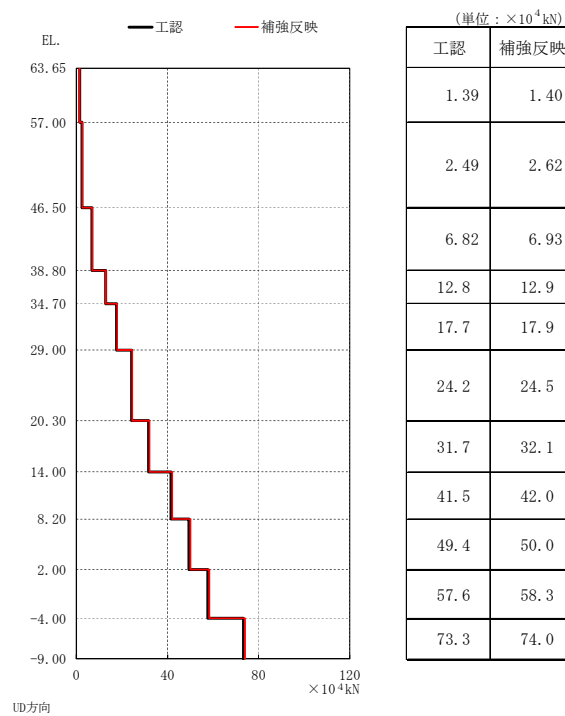
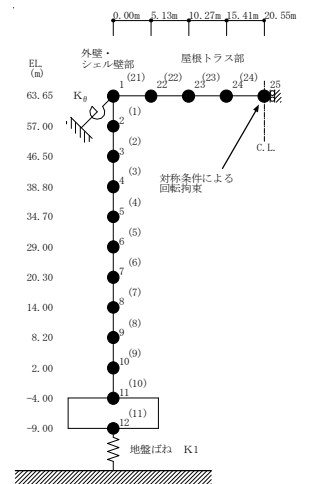


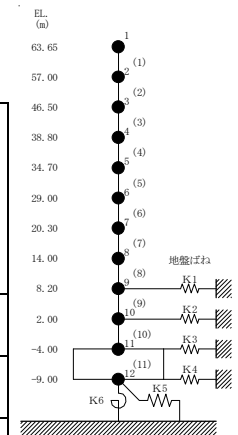
図 4-11 最大応答軸力 ( $S_s - D 1$ , UD 方向)



表4-2 最大せん断ひずみ

(a) NS方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) (S s - D 1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②補強反映 モデル	
(1)	0.07	0.07	1.00
(2)	0.13	0.14	1.08
(3)	0.05	0.05	1.00
(4)	0.13	0.13	1.00
(5)	0.25	0.28	1.12
(6)	0.14	0.15	1.08
(7)	0.16	0.17	1.07
(8)	0.13	0.13	1.00
(9)	0.13	0.13	1.00
(10)	0.16	0.16	1.00



(b) EW方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) (S s - D 1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②補強反映 モデル	
(1)	0.08	0.08	1.00
(2)	0.14	0.15	1.08
(3)	0.06	0.07	1.17
(4)	0.13	0.13	1.00
(5)	0.15	0.16	1.07
(6)	0.14	0.14	1.00
(7)	0.21	0.23	1.10
(8)	0.15	0.15	1.00
(9)	0.14	0.14	1.00
(10)	0.16	0.16	1.00



## 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

#### (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、地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみ（基準地震動  $S_{\text{e}}-D1 \sim S_{\text{e}}-31$  に対する包絡値）に、基準地震動  $S_{\text{e}}-D1$  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。

#### (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に示す。

表5-1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（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）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  $S_{\text{e}}-D1$  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4-12に示す。図4-12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 (1/2) 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

(a) NS方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) ( $S_s - D1$ )		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) ( $S_s - D1 \sim S_s - 31$ )	
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②補強反映 モデル		④地盤物性の ばらつき考慮 モデル	応答比を乗じた値 (③ $\times$ ④)
(1)	0.07	0.07	1.00	0.11	0.11
(2)	0.13	0.14	1.08	0.20	0.22
(3)	0.05	0.05	1.00	0.06	0.06
(4)	0.13	0.13	1.00	0.25	0.25
(5)	0.25	0.28	1.12	0.60	0.68
(6)	0.14	0.15	1.08	0.31	0.34
(7)	0.16	0.17	1.07	0.43	0.47
(8)	0.13	0.13	1.00	0.18	0.18
(9)	0.13	0.13	1.00	0.17	0.17
(10)	0.16	0.16	1.00	0.21	0.21

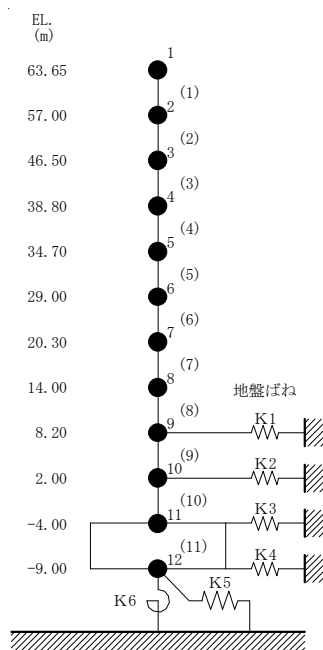
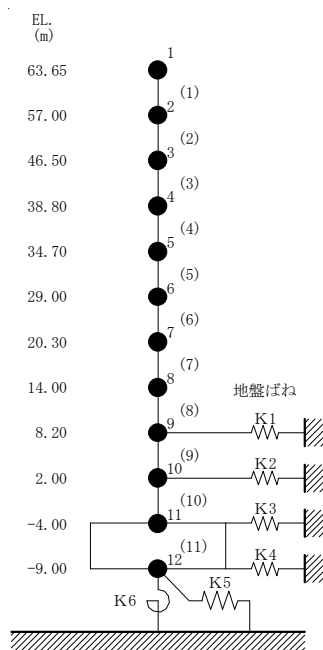




表5-1 (2/2) 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値

(b) EW方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) ( $S_s - D1$ )		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ ) ( $S_s - D1 \sim S_s - 31$ )	
	①今回工認 モデル (基本ケース)	②補強反映 モデル		④地盤物性の ばらつき考慮 モデル	応答比を乗じた値 (③ $\times$ ④)
(1)	0.08	0.08	1.00	0.11	0.11
(2)	0.14	0.15	1.08	0.21	0.23
(3)	0.06	0.07	1.17	0.08	0.10
(4)	0.13	0.13	1.00	0.15	0.15
(5)	0.15	0.16	1.07	0.36	0.39
(6)	0.14	0.14	1.00	0.31	0.31
(7)	0.21	0.23	1.10	0.56	0.62
(8)	0.15	0.15	1.00	0.30	0.30
(9)	0.14	0.14	1.00	0.18	0.18
(10)	0.16	0.16	1.00	0.22	0.22





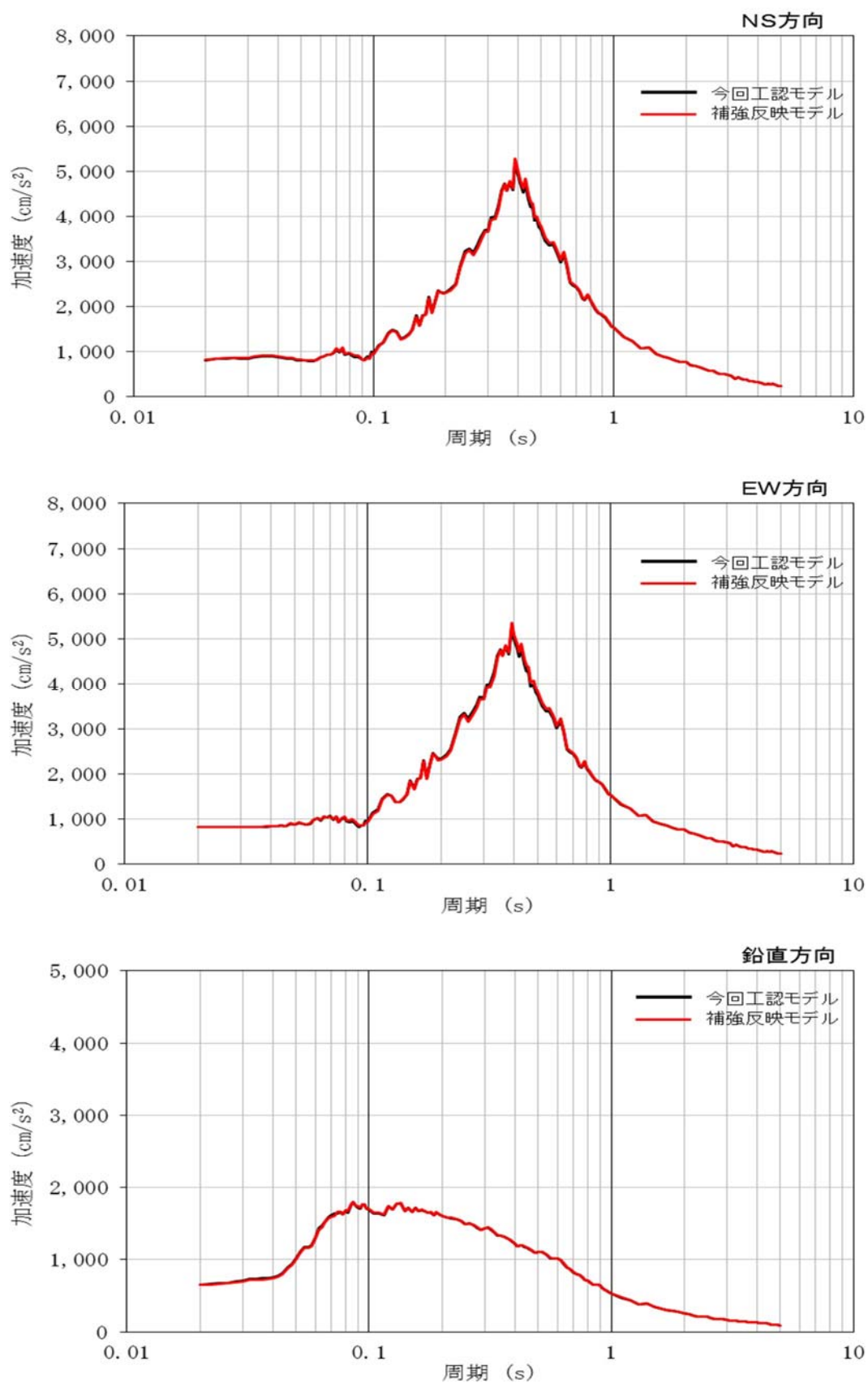


図 4-12(1) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +46.5m  $h=1.0\%$ )



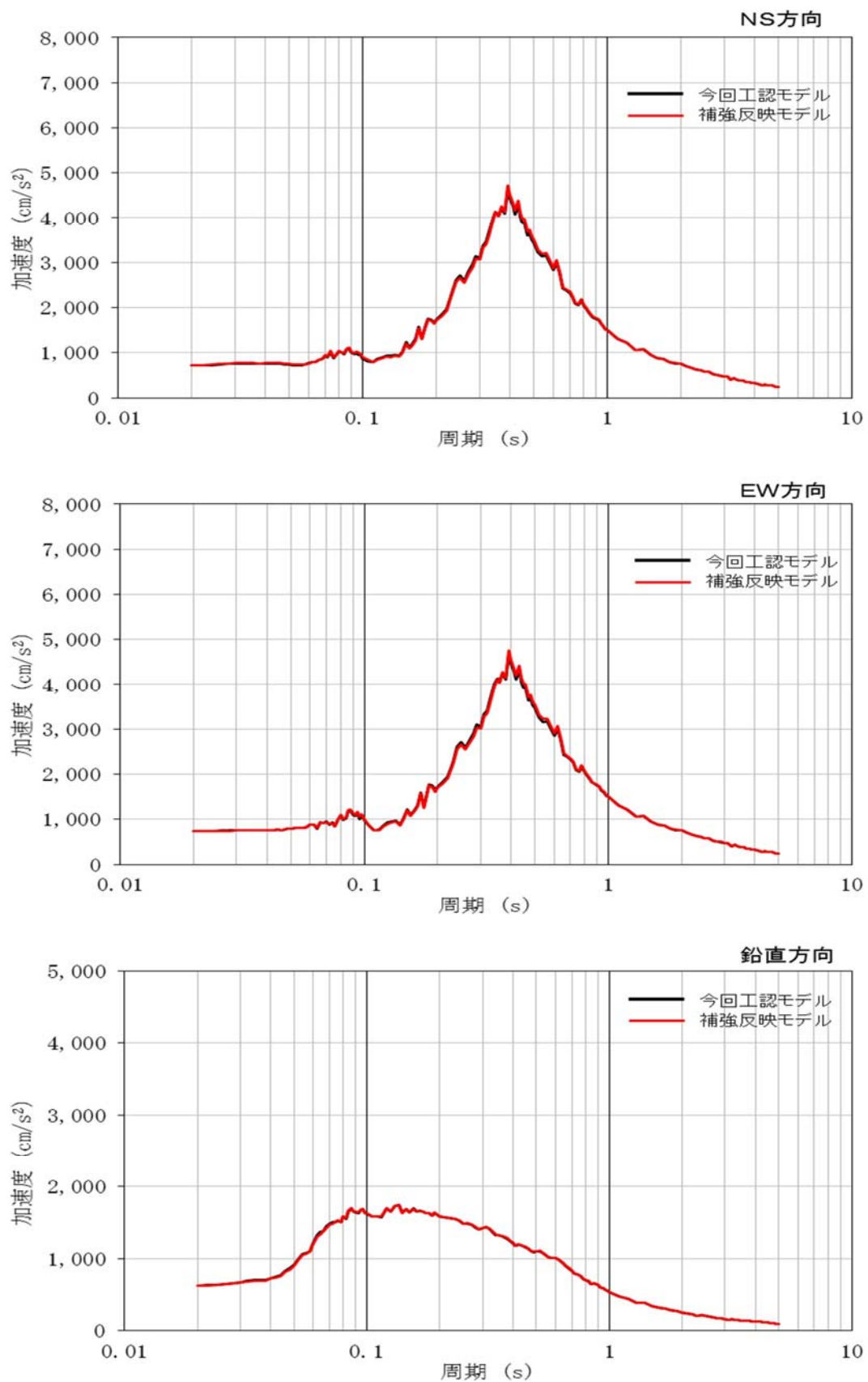


図 4-12(2) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +38.8m  $h=1.0\%$ )



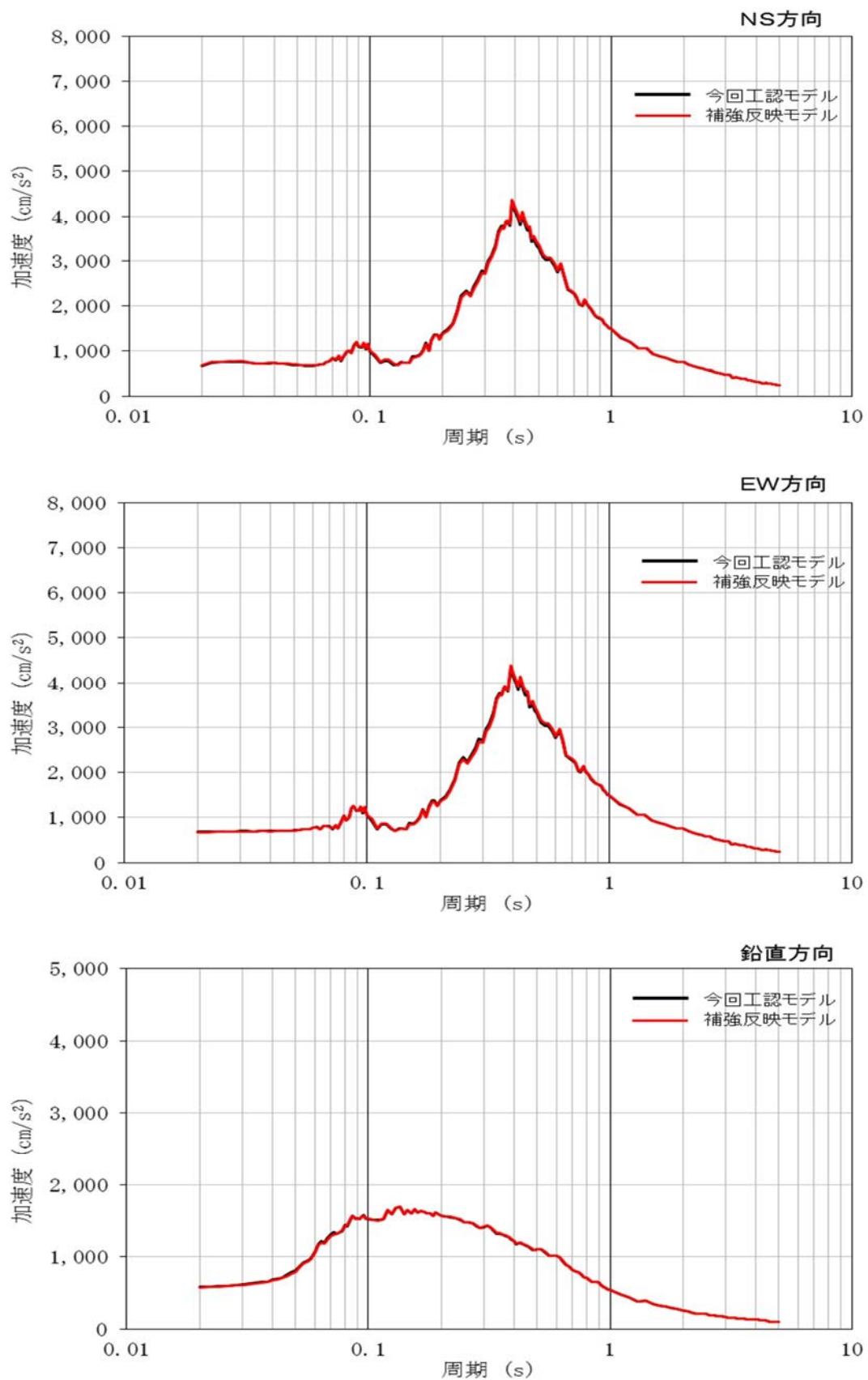


図 4-12(3) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +34.7m  $h=1.0\%$ )



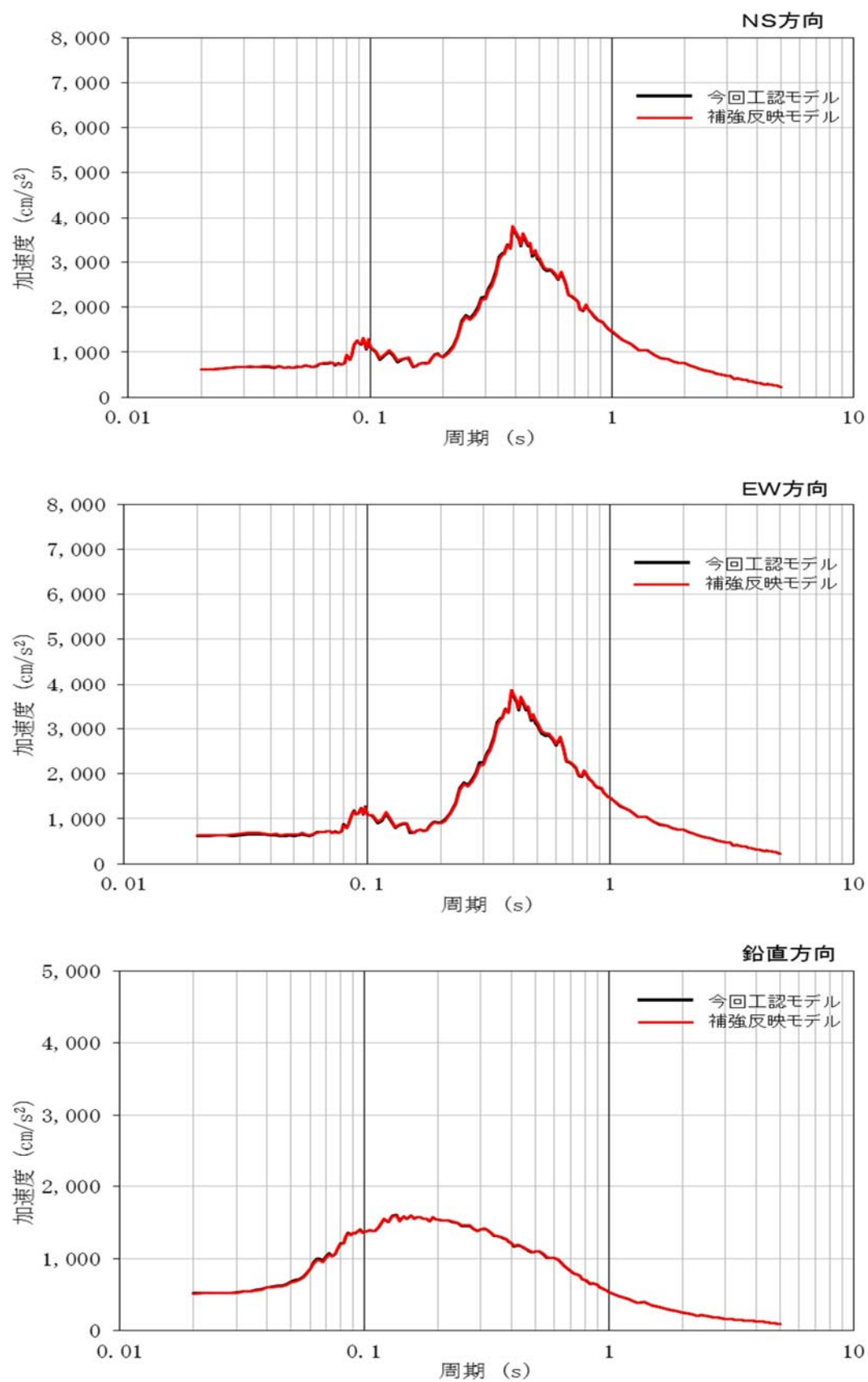


図 4-12(4) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +29.0m  $h=1.0\%$ )



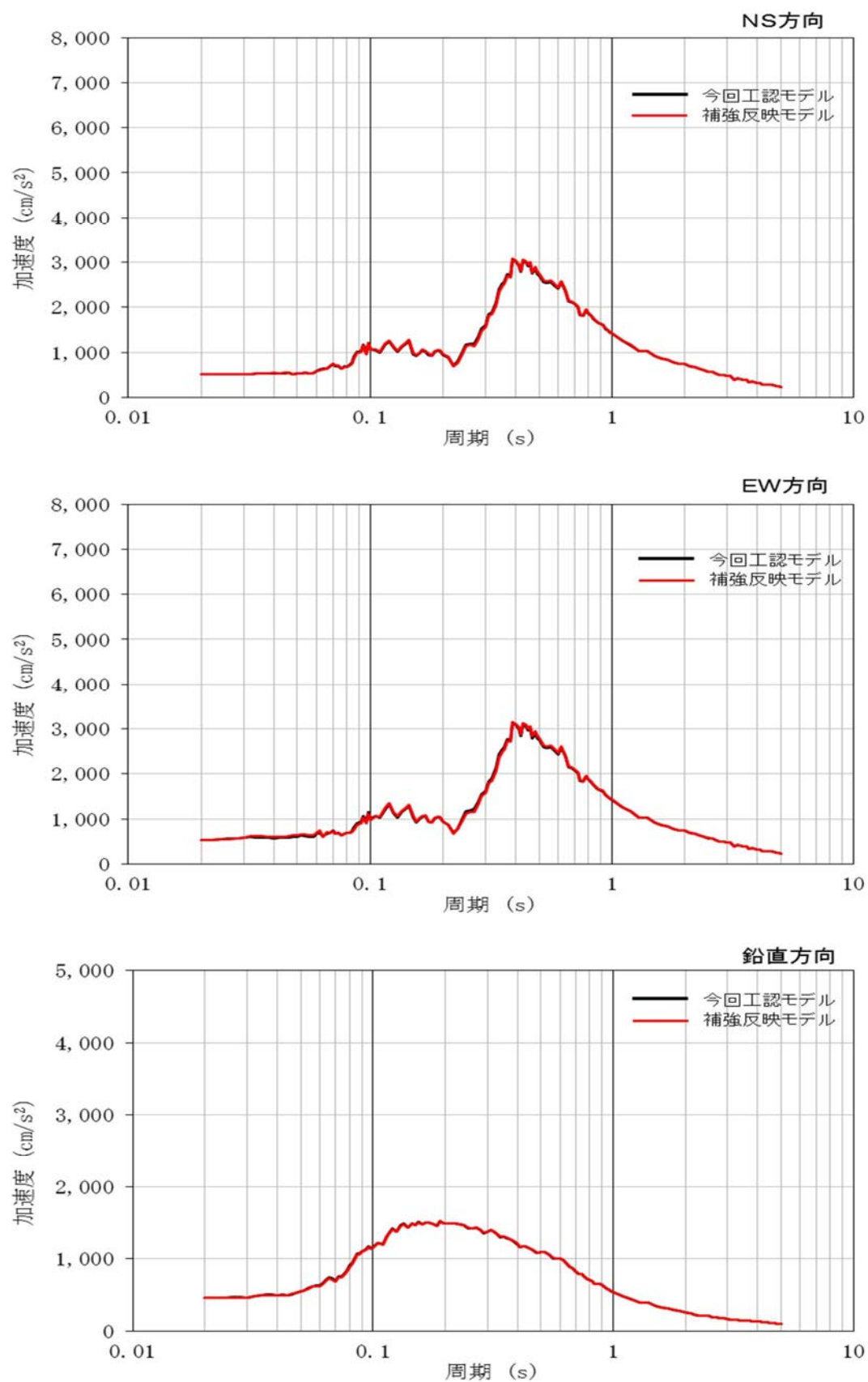


図 4-12(5) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +20.3m  $h=1.0\%$ )



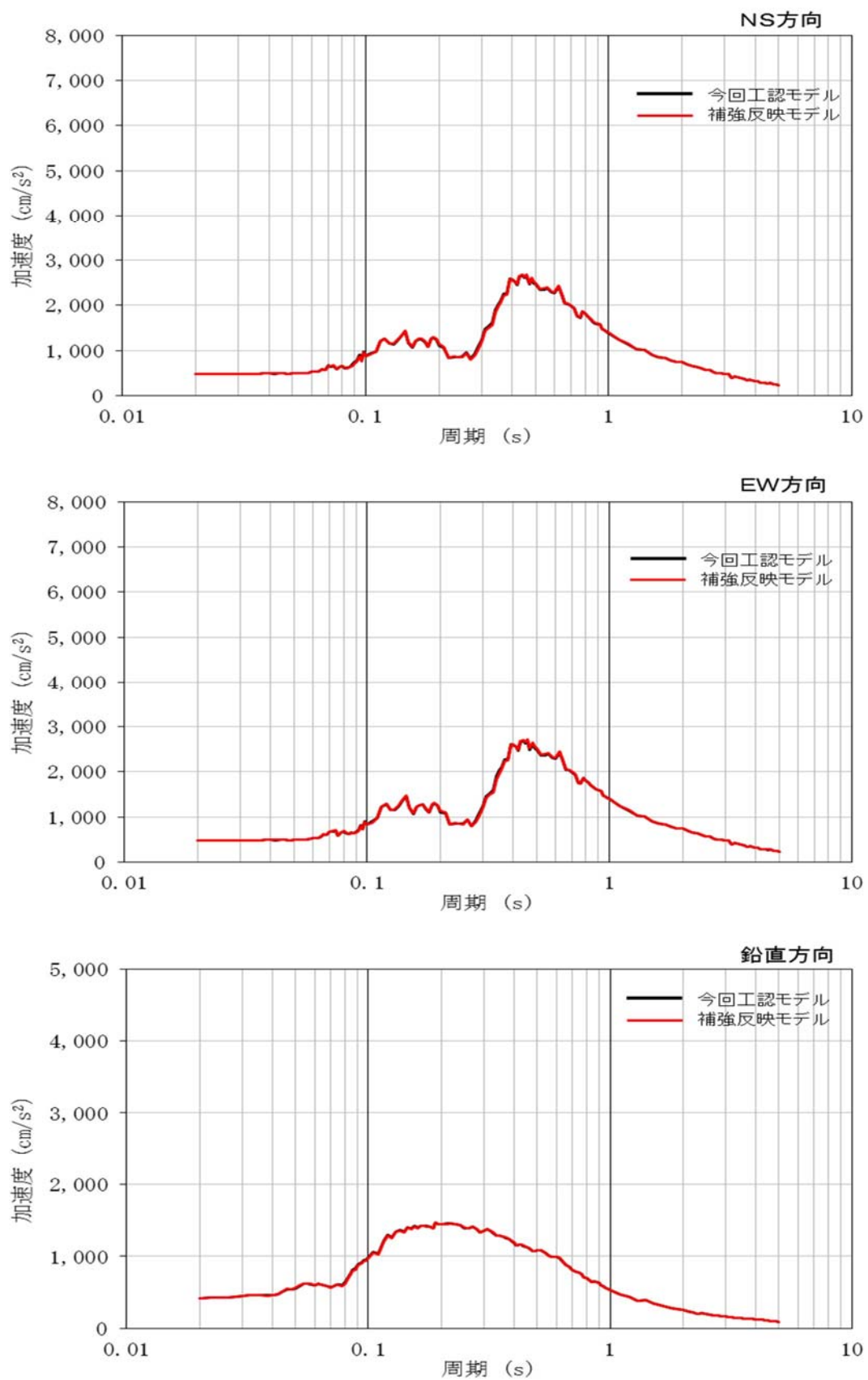


図 4-12(6) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +14.0m  $h=1.0\%$ )



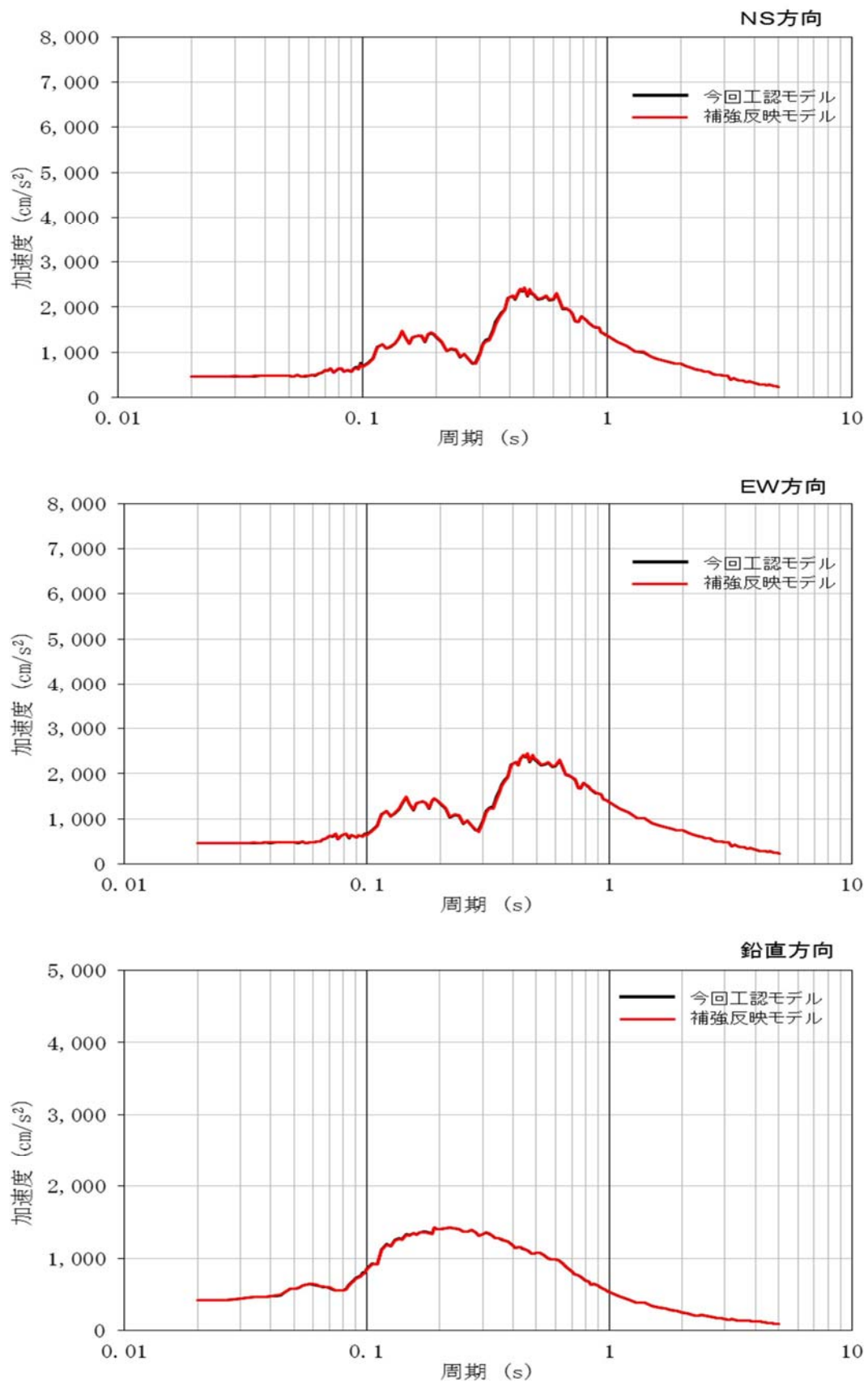


図 4-12(7) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +8.2m  $h=1.0\%$ )



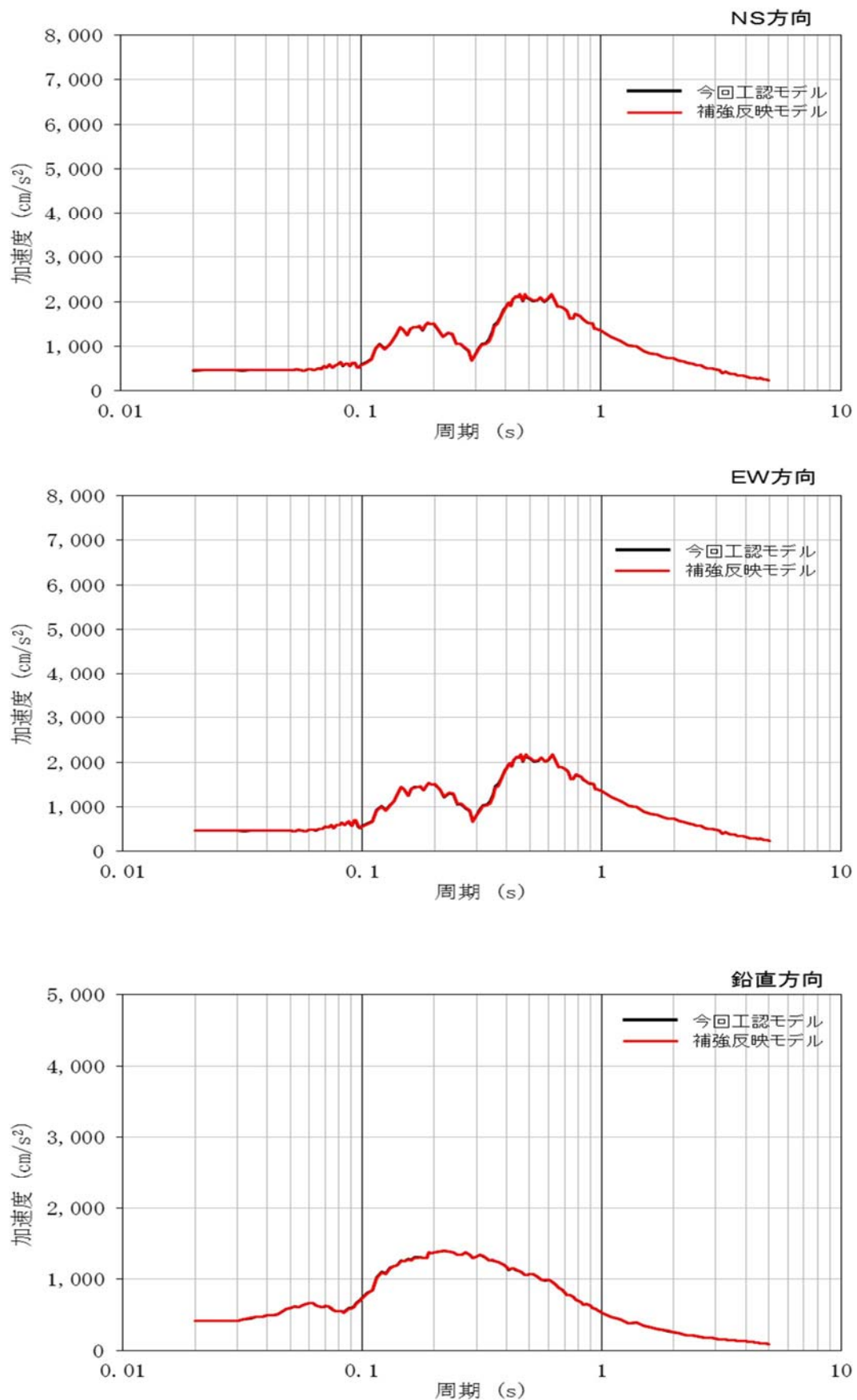


図 4-12(8) 基準地震動  $S_s - D 1$  の床応答スペクトル比較 (EL. +2.0m  $h=1.0\%$ )



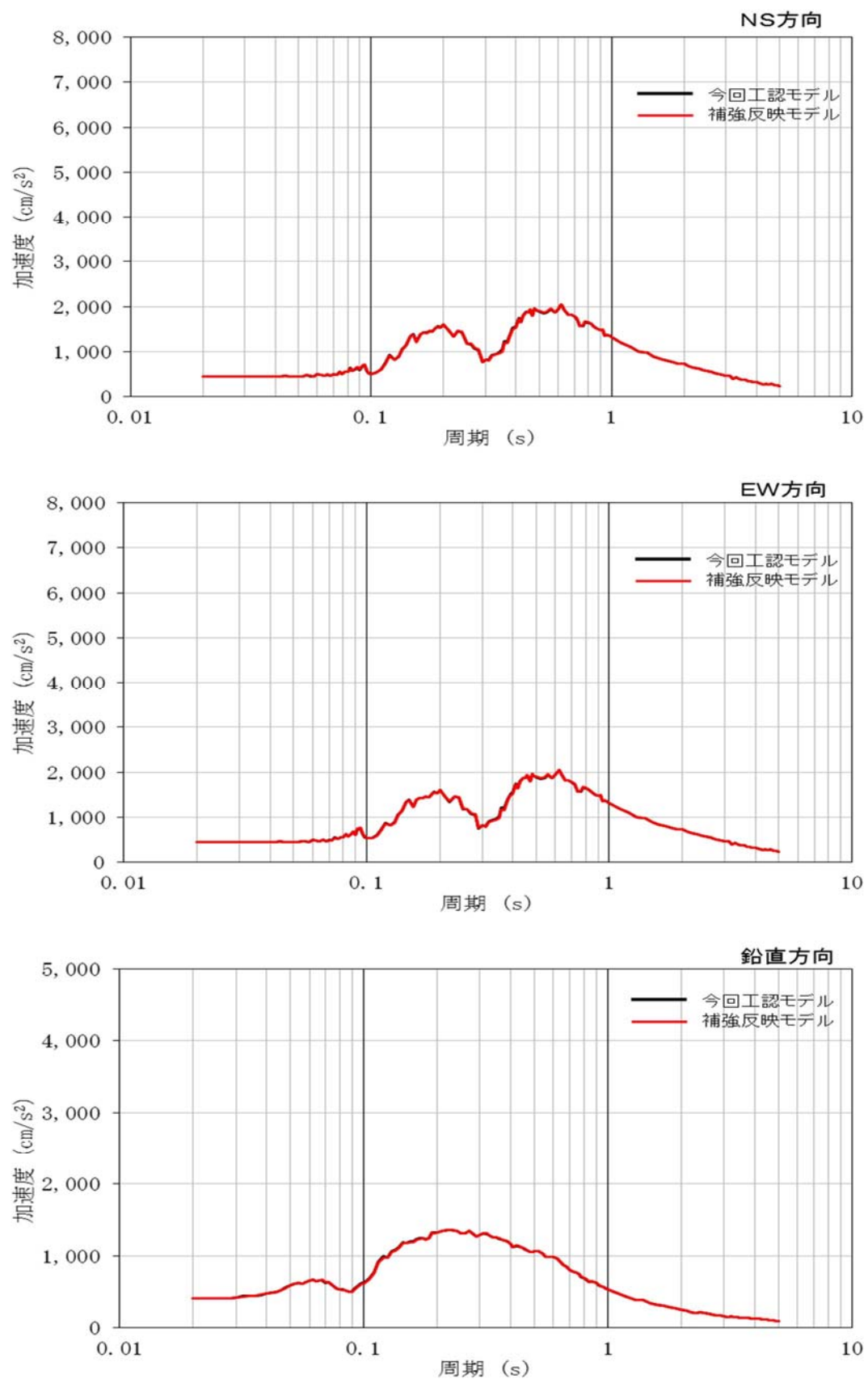


図 4-12(9) 基準地震動  $S_s - D1$  の床応答スペクトル比較 (EL. -4.0m  $h=1.0\%$ )



## 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  $S_{s-D1}$  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（地盤物性のばらつきを考慮した基準地震動  $S_{s-D1} \sim S_{s-31}$  に対する包絡値）に、基準地震動  $S_{s-D1}$  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 1 応答増幅の影響について



## 目次

1. 概要.....	別紙 1-1
2. 検討方針.....	別紙 1-1
3. 検討結果.....	別紙 1-3
4. まとめ.....	別紙 1-13



## 1. 概要

本資料は、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応答増幅の影響検討を行うものである。

## 2. 検討方針

検討対象は、原子炉建屋、原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤、使用済燃料プールとする。

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応答倍率（補強反映モデル／今回工認モデル）と、各検討対象の評価結果より影響検討を行う。原子炉建屋の応答倍率を表 2-1 に示す。



表 2-1 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応答倍率

(a) NS 方向 最大応答せん断力

EL. (m)	要素 番号	最大応答せん断力 ( $\times 10^4 \text{kN}$ )		応答倍率 (補強反映モデル/ 今回工認モデル)
		今回工認モデル	補強反映モデル	
63.65 ~ 57.00	(1)	1.66	1.64	0.99
57.00 ~ 46.50	(2)	3.13	3.32	1.06
46.50 ~ 38.80	(3)	8.21	8.45	1.03
38.80 ~ 34.70	(4)	15.2	15.6	1.03
34.70 ~ 29.00	(5)	20.9	21.4	1.02
29.00 ~ 20.30	(6)	27.5	28.2	1.03
20.30 ~ 14.00	(7)	35.3	36.0	1.02
14.00 ~ 8.20	(8)	45.4	46.1	1.02
8.20 ~ 2.00	(9)	54.2	55.2	1.02
2.00 ~ -4.00	(10)	65.3	66.3	1.02

(b) EW 方向 最大応答せん断力

EL. (m)	要素 番号	最大応答せん断力 ( $\times 10^4 \text{kN}$ )		応答倍率 (補強反映モデル/ 今回工認モデル)
		今回工認モデル	補強反映モデル	
63.65 ~ 57.00	(1)	1.72	1.73	1.01
57.00 ~ 46.50	(2)	3.26	3.45	1.06
46.50 ~ 38.80	(3)	8.30	8.55	1.03
38.80 ~ 34.70	(4)	15.6	15.9	1.02
34.70 ~ 29.00	(5)	21.5	21.8	1.01
29.00 ~ 20.30	(6)	28.7	29.0	1.01
20.30 ~ 14.00	(7)	36.6	37.3	1.02
14.00 ~ 8.20	(8)	46.1	47.0	1.02
8.20 ~ 2.00	(9)	54.4	55.4	1.02
2.00 ~ -4.00	(10)	65.4	66.4	1.02

(c) UD 方向 最大応答軸力

EL. (m)	要素 番号	最大応答軸力 ( $\times 10^4 \text{kN}$ )		応答倍率 (補強反映モデル/ 今回工認モデル)
		工認モデル	改造考慮	
63.65 ~ 57.00	(1)	1.39	1.40	1.01
57.00 ~ 46.50	(2)	2.49	2.62	1.05
46.50 ~ 38.80	(3)	6.82	6.93	1.02
38.80 ~ 34.70	(4)	12.8	12.9	1.01
34.70 ~ 29.00	(5)	17.7	17.9	1.01
29.00 ~ 20.30	(6)	24.2	24.5	1.01
20.30 ~ 14.00	(7)	31.7	32.1	1.01
14.00 ~ 8.20	(8)	41.5	42.0	1.01
8.20 ~ 2.00	(9)	49.4	50.0	1.01
2.00 ~ -4.00	(10)	57.6	58.3	1.01



### 3. 検討結果

各検討対象の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影響検討結果を以下に示す。

#### (1) 原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽

原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽の構造強度については，地震応答解析による評価結果として最大せん断ひずみが許容限界（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）を超えないことを確認している。

地震応答解析によって評価された最大せん断ひずみに対して，補強等に伴う重量の増加分を考慮した応答倍率を乗じて，許容限界（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）以内であることを確認する。

表 3-1 に原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽に対する評価結果を示す。

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原子炉棟における最大せん断ひずみは  $0.68 \times 10^{-3}$ （要素番号(5)，NS 方向），中央制御室遮蔽における最大せん断ひずみは  $0.62 \times 10^{-3}$ （要素番号(7)，EW 方向）で，許容限界（ $2.0 \times 10^{-3}$ ）以内となり，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ても構造健全性に問題ないことを確認した。

表 3-1 補強等に伴う重量の増加分を考慮した最大せん断ひずみ

##### (a) 原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟

要素 番号	方向	最大せん断 ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	補強等に伴う重 量増を考慮した 応答倍率	影響考慮の 最大せん断 ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	備考
(5)	NS 方向	0.60	1.12	0.68	Ss-31, 地盤+ $\sigma$

##### (b) 中央制御室遮蔽

要素 番号	方向	最大せん断 ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	補強等に伴う重 量増を考慮した 応答倍率	影響考慮の 最大せん断 ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	備考
(7)	EW 方向	0.56	1.10	0.62	Ss-31, 地盤+ $\sigma$



(2) 原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤

原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤については、1 次遮蔽壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下、「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）からの基礎への地震時反力を地震荷重として考慮することから、原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)、EL. -4.0～EL. 2.0m）の応答倍率を用いる。

補強等に伴う重量の増加分を考慮したせん断力（UD 方向の倍率は軸力）の応答倍率を表 3-2 に示す。

原子炉格納容器底部コンクリートマットの断面評価結果一覧を表 3-3 に示す。最も検定値が大きいのは、荷重状態 V の（異常+地震）時(4)の面外せん断力 0.765 であり、応答倍率 1.02 を乗じると 0.780 となり、1.0 を下回る。

原子炉建屋基礎盤の断面評価結果一覧を表 3-4 に示す。最も検定値が大きいのは、Ss 地震時の軸力+曲げモーメント 0.894 であり、せん断力の応答倍率 1.02 を乗じると 0.912 となり、1.0 を下回る。

以上より、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ても構造健全性に影響はないことを確認した。

表 3-2 応答倍率：原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤

	NS 方向	EW 方向	EW 方向
要素番号 (10)	1.02	1.02	1.01
底部コンクリートマットへの応答倍率 ( $-1.0K_{sWE}-0.4K_{sDU}$ のケース 7-8)	1.02*		
基礎盤への応答倍率 ( $-1.0K_{sSN}-0.4K_{sDU}$ のケース 2-7)	1.02*		

※：荷重組合せ係数による加重平均



表 3-3 (1/3) 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧  
(補足説明資料「応力解析における断面の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(a) 荷重状態Ⅲ 地震時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	1-22	0.217
	鉄筋	円周	21	1-22	0.398
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	50	1-24	0.425

注 :      は、検定値が最大となる要素を示す。

(b) 荷重状態Ⅲ (異常＋地震) 時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート	半径	60	2-22	0.286
	鉄筋	円周	21	2-22	0.580
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	50	2-24	0.529

注 :      は、検定値が最大となる要素を示す。

(c) 荷重状態Ⅳ 地震時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	3-6	0.111
	鉄筋	円周	40	3-4	0.129
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	51	3-4	0.661

注 :      は、検定値が最大となる要素を示す。



表 3-3 (2/3) 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧  
(補足説明資料「応力解析における断面の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(d) 荷重状態Ⅳ (異常+地震) 時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	4-6	0.096
	鉄筋	半径	26	4-5	0.118
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	46	4-5	0.552

注：      は、検定値が最大となる要素を示す。

(e) 荷重状態Ⅴ (異常+地震) 時 (3)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	5-6	0.125
	鉄筋	円周	21	5-6	0.180
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	50	5-8	0.642

注：      は、検定値が最大となる要素を示す。

(f) 荷重状態Ⅴ (異常+地震) 時 (4)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	6-6	0.114
	鉄筋	円周	21	6-6	0.168
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	50	6-8	0.581

注：      は、検定値が最大となる要素を示す。



表 3-3 (3/3) 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧  
(補足説明資料「応力解析における断面の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(g) 荷重状態 V (異常+地震) 時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	7-6	0.142
	鉄筋	円周	21	7-6	0.163
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	50	7-8	0.765

注：      は、検定値が最大となる要素を示す。



表 3-4 原子炉建屋基礎盤の検定値一覧  
(補足説明資料「応力解析における断面の評価部位の選定」表 8-3 再掲)

(a)  $S_d$ 地震時

検討項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 ( $N/mm^2$ )	半径	280	1-22	0.446
	鉄筋引張応力度 ( $N/mm^2$ )	NS	851	1-19	0.702
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	半径	280	1-22	0.515

注：      は、検定値が最大となる要素を示す。

(b)  $S_s$ 地震時

検討項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 ＋ 曲げモーメント	曲げモーメント ( $\times 10^3 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ )	NS	851	2-7	0.894
		EW	626	2-6	0.717
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	NS	851	2-1	0.731
		EW	465	2-4	0.868

注：      は、検定値が最大となる要素を示す。



(3) 使用済燃料プール

使用済燃料プールへの地震荷重としては、内部ボックス壁（I/W）の EL. 46.5m～EL. 34.7m 位置での地震時反力を考慮することから、要素番号(3), (4)の応答倍率を用いる。

補強等に伴う重量の増加分を考慮したせん断力（UD 方向の倍率は軸力）の応答倍率の要素番号(3), (4)の平均値を表 3-5 に示す。

使用済燃料プールの断面評価結果一覧を表 3-6 に示す。壁で最も検定値が大きいのは、S d 地震時の軸力+曲げモーメント+面内せん断力の鉄筋 0.908 であり、応答倍率 1.03 を乗じると 0.935 となり、1.0 を下回る。また、床で最も検定値が大きいのは、S s 地震時の面外せん断力 0.716 であり、応答倍率 1.03 を乗じると 0.737 となり、1.0 を下回る。

以上より、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ても構造健全性に影響はないことを確認した。

表 3-5 応答倍率：(使用済燃料プール)

	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号(3), (4)の平均値	1.03	1.03	1.02
北側壁への応答倍率 ( $1.0S_{d_{WE}} - 0.4S_{d_{DU}}$ のケース 1-5)	1.03*		
床への応答倍率 ( $0.4S_{SSN} - 1.0S_{SDU}$ のケース 3-15)	1.03*		

※：荷重組合せ係数による加重平均



表 3-6 (1/3) 評価結果  
(補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 6-5 再掲)

部位	分類領域	荷重状態等	軸力+曲げモーメント+面内せん断力						面内せん断力			面外せん断力		
			コンクリート			鉄筋			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート		
			要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.
壁	北側壁	S <sub>d</sub> 地震時	2219	0.101	1-8	2272	0.908	1-5	2272	0.342	1-5	2228	0.533	1-8
		S <sub>d</sub> 地震時 +温度	2204	0.261	2-1	2272	0.869	2-21	2205	0.346	2-6	2228	0.554	2-8
	東側壁	S <sub>d</sub> 地震時	1535	0.107	1-5	1546	0.720	1-8	1586	0.552	1-7	1536	0.361	1-5
		S <sub>d</sub> 地震時 +温度	1582	0.365	2-3	1585	0.832	2-7	1586	0.603	2-7	1536	0.497	2-5
	南側壁	S <sub>d</sub> 地震時	3055	0.805	1-15	3037	0.805	1-5	1086	0.572	1-7	7801	0.627	1-6
		S <sub>d</sub> 地震時 +温度	3055	0.396	2-14	3031	0.770	2-18	3043	0.622	2-2	7801	0.768	2-6
	西側壁	S <sub>d</sub> 地震時	1035	0.113	1-6	1046	0.719	1-8	1086	0.572	1-7	1033	0.391	1-6
		S <sub>d</sub> 地震時 +温度	1082	0.364	2-3	1085	0.827	2-7	1086	0.621	2-23	1033	0.367	2-22
床	底版	S <sub>d</sub> 地震時	4054	0.381	1-7	4054	0.481	1-16				4053	0.544	1-15
		S <sub>d</sub> 地震時 +温度	4054	0.350	2-23	4054	0.476	2-32				4054	0.584	2-15



表 3-6 (2/3) 評価結果  
(補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 6-5 再掲)

部位	分類領域	荷重状態等	軸力+曲げモーメント+面内せん断力						軸力			面内せん断力			面外せん断力		
			コンクリート			鉄筋			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート		
			要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.
壁	北側壁	S <sub>s</sub> 地震時	2219	0.048	3-16	2272	0.354	3-5	2272	0.048	3-2	2268	0.329	3-13	2228	0.518	3-16
	東側壁	S <sub>s</sub> 地震時	1535	0.045	3-5	1590	0.356	3-7	1581	0.093	3-8	1590	0.705	3-7	1546	0.333	3-13
	南側壁	S <sub>s</sub> 地震時	3055	0.131	3-15	3037	0.293	3-5	3055	0.215	3-15	3037	0.529	3-5	7803	0.560	3-15
	西側壁	S <sub>s</sub> 地震時	1035	0.049	3-6	1046	0.316	3-8	1090	0.105	3-8	1087	0.576	3-7	1033	0.345	3-6
床	底版	S <sub>s</sub> 地震時	4054	0.181	3-15	4054	0.212	3-16							4054	0.716	3-15



表 3-6 (3/3) 評価結果

部位	分類領域	荷重状態等	軸力+曲げモーメント+面内せん断力						軸力			面内せん断力			面外せん断力		
			コンクリート			鉄筋			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート		
			要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.
壁	北側壁	S <sub>s</sub> 地震時 (水平 2 方向)	2219	0.045	4-9	2272	0.357	4-15	2272	0.049	4-3	2209	0.300	4-10	2228	0.476	4-9
	東側壁	S <sub>s</sub> 地震時 (水平 2 方向)	1590	0.050	4-4	1590	0.387	4-16	1581	0.093	4-12	1590	0.786	4-16	1536	0.320	4-15
	南側壁	S <sub>s</sub> 地震時 (水平 2 方向)	3055	0.113	4-16	3037	0.321	4-14	3043	0.220	4-10	3037	0.555	4-14	7801	0.541	4-11
	西側壁	S <sub>s</sub> 地震時 (水平 2 方向)	1090	0.053	4-1	1046	0.338	4-9	1090	0.106	4-9	1087	0.610	4-13	1033	0.355	4-10



#### 4. まとめ

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影響評価として、原子炉建屋、原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤、使用済燃料プールの応答増幅を考慮しても構造健全性に影響がないことを確認した。



## 別紙 2 改造工事に伴う重量増加を踏まえた申請上の取扱いについて



## 目次

1. 概要..... 別紙 2-1
2. 今回の工事計画認可申請における取扱いについて..... 別紙 2-1



## 1. 概要

本資料は、原子炉建屋の耐震性評価について、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応答増幅の影響検討用の地震応答解析モデル（以下、「補強反映モデル」という）を用いた検討結果の取扱いについて示すものである。

## 2. 今回の工事計画認可申請における取扱いについて

改造工事において、原子炉建屋の構造仕様の変更はなく、また改造工事に伴う重量の増加が建屋応答に及ぼす影響は小さいことから、今回工認の地震応答解析モデルは、建設工認の地震応答解析モデルの重量に基づき設定している。（詳細は、補足 400-1「地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較」を参照。）ただし、水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討における原子炉建屋基礎盤の評価については、重量の増加が建屋応答に及ぼす影響による評価結果の差異が無視できない（評価の計算過程が異なる）ことから、耐震計算書には補強反映モデルの地震応答解析結果を用いた評価結果を併記する。

建物・構築物ごとの補強反映モデルによる評価の位置づけについて表-1 に示す。

表-1 建物・構築物ごとの補強反映モデルによる評価の位置づけ

No.	建物・構築物	位置づけ	備考
1	原子炉建屋	補足説明資料で影響検討	
2	原子炉建屋の基礎	—	No. 8 に含む
3	使用済燃料プール	補足説明資料で影響検討	水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討についても、補足説明資料で影響検討
4	二次遮蔽	—	No. 7 に含む
5	中央制御室遮蔽	補足説明資料で影響検討	
6	原子炉格納容器底部 コンクリートマット	補足説明資料で影響検討	
7	原子炉建屋原子炉棟	補足説明資料で影響検討	
8	原子炉建屋基礎盤	補足説明資料で影響検討	水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討については、耐震計算書に反映