

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0610-15_改3
提出年月日	2021年8月23日

補足-610-15 第1号機制御建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-11-2-5 第1号機制御建屋の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

- 別紙 1 第1号機制御建屋に対する平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震等の影響
- 別紙 1-1 第1号機制御建屋の東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価（点検結果）
- 別紙 1-2 東北地方太平洋沖地震等に対する第1号機制御建屋のシミュレーション解析
- 別紙 2 第1号機制御建屋の地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較
- 別紙 3 第1号機制御建屋の地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定
- 別紙 4 第1号機制御建屋の地震応答解析結果について
- 別紙 5 第1号機制御建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討
  - 別紙 5-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について
  - 別紙 5-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果
- 別紙 6 第1号機制御建屋のNS方向の地震応答解析結果について
- 別紙 7 第1号機制御建屋と制御建屋の振動特性について
- 別紙 8 建屋間に配置された押出し発泡ポリスチレン板の影響について
- 別紙 9 床ばねの諸元及び非線形性を考慮した解析

┌──────────┐ 本日の説明範囲

## 別紙 9 床ばねの諸元及び非線形性を考慮した解析

## 目 次

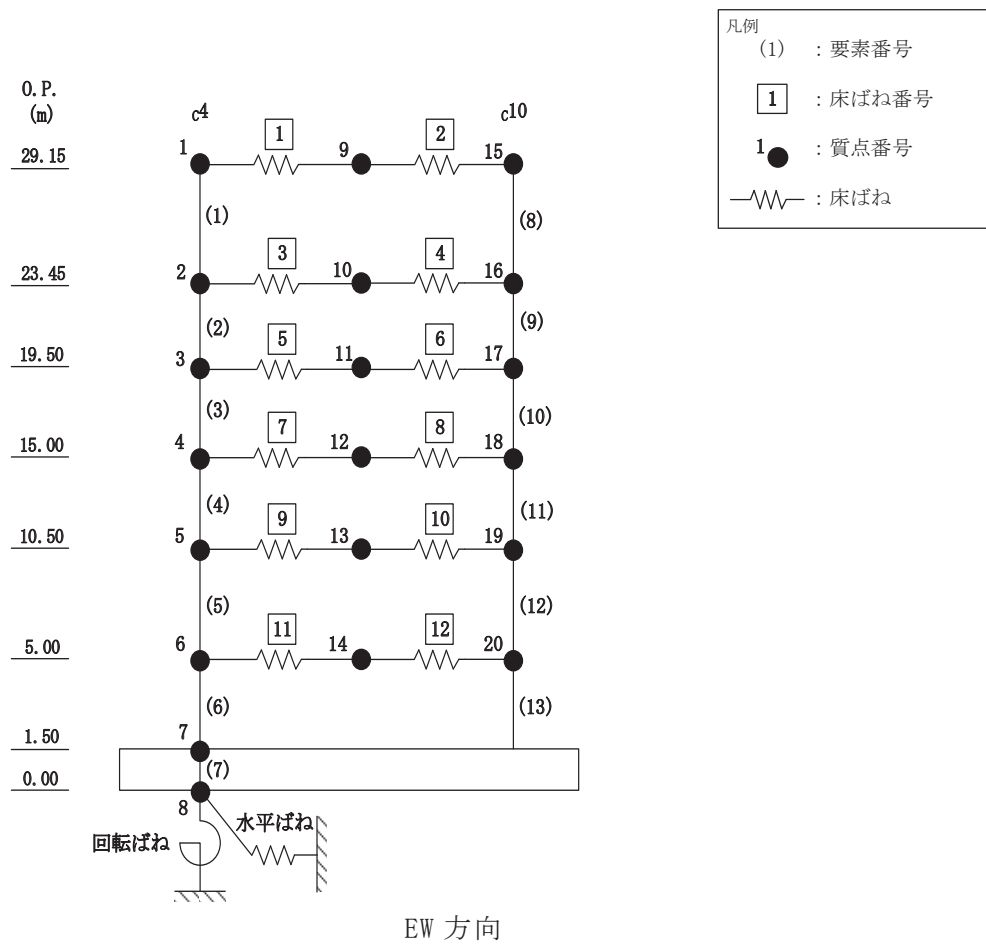
1. 概要.....	別紙 9-1
1.1 床ばねの諸元について.....	別紙 9-1
1.2 床ばねの応答結果.....	別紙 9-4
2. 床ばねを非線形ばねとした場合の検討.....	別紙 9-6
2.1 概要.....	別紙 9-6
2.2 検討に用いる地震波及び地震応答解析モデル.....	別紙 9-6
2.3 非線形特性の設定.....	別紙 9-6
2.4 床ばねを非線形ばねとした場合の解析結果.....	別紙 9-8

## 1. 概要

第1号機制御建屋の波及的影響評価における地震応答解析モデルでは、床ばねを線形でモデル化していることから、その適用性について確認する。

### 1.1 床ばねの諸元について

第1号機制御建屋の地震応答解析モデル（水平方向）を図1-1に示す。床ばねのせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau$ － $\gamma$ 関係）は線形でモデル化しており、表1-1のとおり設定している。



注：O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面 (T.P.) -0.74m である。

図 1-1 地震応答解析モデル (水平方向)

表 1-1 床ばねのばね定数

EW 方向

O. P. (m)	床ばね 番号	せん断ばね ( $\times 10^5$ kN/m)
29.15	1	66.2
	2	66.2
23.45	3	44.1
	4	44.1
19.50	5	44.1
	6	44.1
15.00	7	44.1
	8	44.1
10.50	9	66.2
	10	66.2
5.00	11	44.1
	12	44.1

## 1.2 床ばねの応答結果

「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）に基づきせん断スケルトンカーブの第1折点を算出し、基準地震動  $S_s - D 1 \sim S_s - N 1$  の基本ケースにおける最大応答せん断ひずみと比較を行った結果を表 1-2 に示す。

表 1-2 より、半数の床ばねにおいて、 $\gamma_1$  ( $0.167 \times 10^{-3}$ ) を上回るせん断ひずみが生じていることを確認した。



表 1-2 セン断スケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係, 第 1 折点) との比較

EW 方向

0. P. (m)	床ばね 番号	コンクリート 設計基準強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	せん断 弾性係数 $G$ ( $\times 10^4 N/mm^2$ )	せん断 断面積 $A_s$ ( $m^2$ )	$\tau_1$ ( $N/mm^2$ )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$S_s - D 1 \sim S_s - N 1$ 基本ケースの 最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15	1	22.1	0.88	12.0	1.47	0.167	0.136
	2			12.0			0.070
23.45	3			8.0			0.221
	4			8.0			0.131
19.50	5			8.0			0.137
	6			8.0			0.226
15.00	7			8.0			0.142
	8			8.0			0.255
10.50	9			12.0			0.100
	10			12.0			0.178
5.00	11			8.0			0.188
	12			8.0			0.186

注：網掛け部分は、 $\gamma_1$  を上回る値を示す。

## 2. 床ばねを非線形ばねとした場合の検討

### 2.1 概要

今回工認モデルにおける床ばねの設定の妥当性を確認する目的で、非線形性を考慮した床ばねを用いた地震応答解析を行い、その結果を確認する。

### 2.2 検討に用いる地震波及び地震応答解析モデル

表 1-2 より、一部の床ばねにおいて第 1 折れ点を超える最大応答せん断ひずみが生じていることを確認した。添付書類「VI-2-11-2-5 第 1 号機制御建屋の耐震性についての計算書」から、波及的影響評価においては、基準地震動  $S_s - D 1$ 、ケース 6 が最大相対変位による評価で最も厳しくなり、基準地震動  $S_s - F 3$ 、ケース 3 が時刻歴相対変位による評価で最も厳しくなることから、非線形ばねを用いた地震応答解析での検討ケースは基準地震動  $S_s - D 1$ 、ケース 6 及び基準地震動  $S_s - F 3$ 、ケース 3 とする。このとき、すべての床ばねを非線形ばねとする。

### 2.3 非線形特性の設定

鉄筋コンクリート造スラブの非線形特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」の鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断スケルトンの評価式を基に設定し、評価結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 せん断スケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係, EW 方向)

0. P. (m)	床ばね 番号	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15	1	1.47	0.167	1.99	0.500	2.83	4.00
	2						
23.45	3						
	4						
19.50	5						
	6						
15.00	7						
	8						
10.50	9						
	10						
5.00	11						
	12						

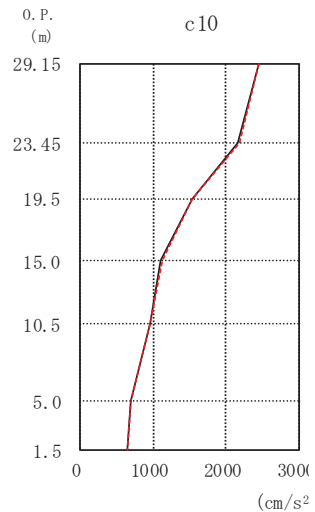
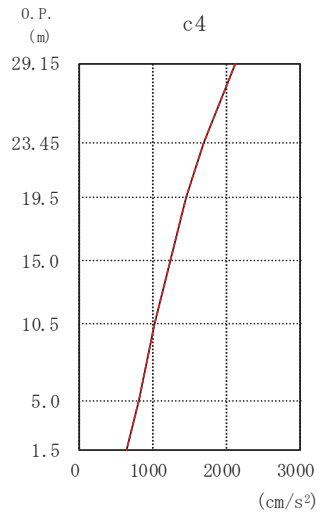
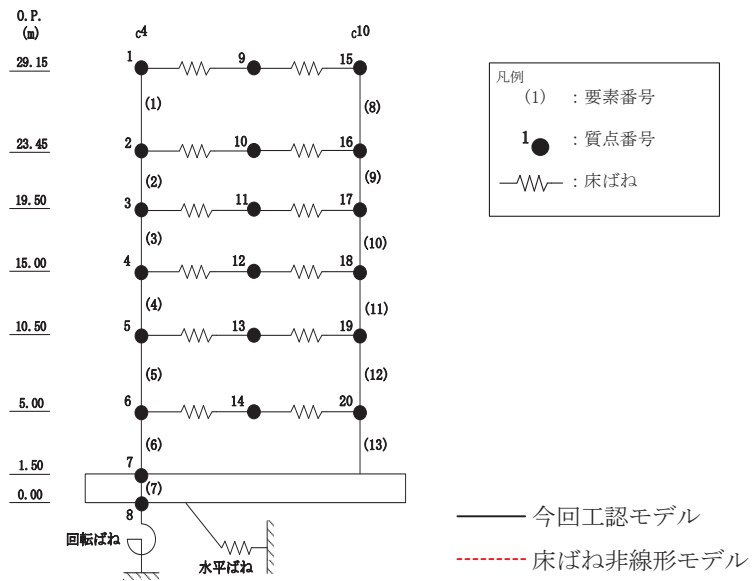
## 2.4 床ばねを非線形ばねとした場合の解析結果

今回工認モデル及び床ばね非線形モデルの応答値の比較結果を示す。最大応答加速度，最大応答変位，最大応答せん断力，最大応答曲げモーメント及び床ばねの最大応答せん断ひずみを図 2-1～図 2-4 及び表 2-2 に示す。最大応答せん断ひずみが最大となる床ばね(床ばね番号 3)のスケルトンプロットを図 2-5 に示し，最大応答せん断ひずみが最大となる耐震壁のスケルトンプロットを図 2-6 に示す。第 1 号機制御建屋と隣接する制御建屋との最大応答変位の絶対値和(最大相対変位)を表 2-3 に，時刻歴相対変位の最大値を表 2-4 に，時刻歴相対変位が最大となる第 1 号機制御建屋(質点番号 15)と制御建屋(質点番号 10)の応答変位時刻歴波形を図 2-7 に示す。

各応答成分の比較から，床ばね非線形モデルは今回工認モデルと概ね同等の応答であり，第 1 号機制御建屋の耐震性に与える影響は小さいことを確認した。

第 1 号機制御建屋の波及的影響評価の観点では，図 2-6 より耐震壁の最大応答せん断ひずみは， $1.65 \times 10^{-3}$  (要素番号(10))であり，許容限界(せん断ひずみ  $4.0 \times 10^{-3}$ )を下回ることを確認した。また，制御建屋との絶対値和での最大相対変位は表 2-3 より制御建屋質点レベル O.P. 29.15m で 68.0mm となり，許容限界(建屋間の離隔距離 50mm)を超える。

制御建屋と時刻歴での最大応答変位は表 2-4 より制御建屋質点レベル O.P. 29.15m で 16.4mm となり，許容限界(建屋間の離隔距離 50mm)を超えないことを確認した。

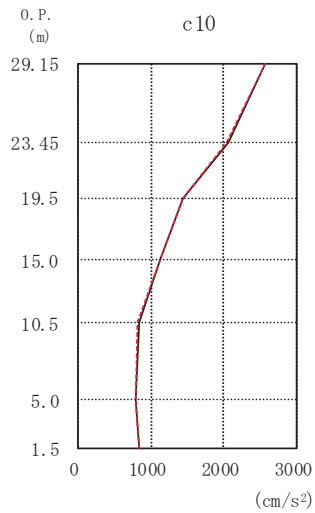
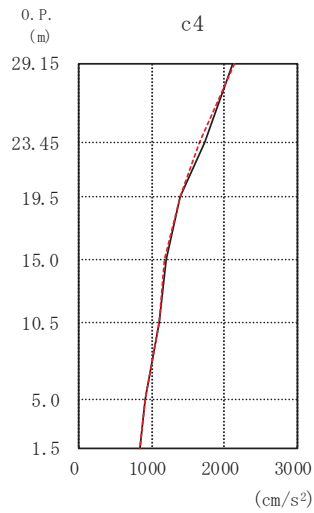
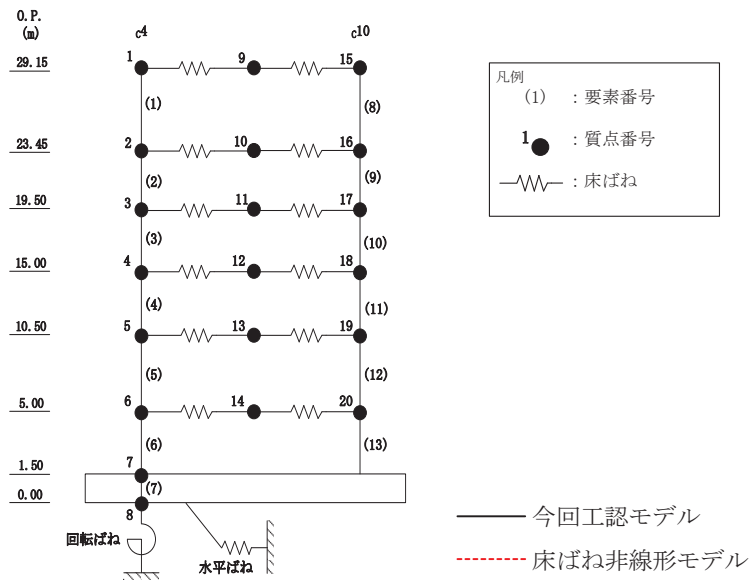


O. P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	2131	2130
23.45	1691	1683
19.5	1447	1446
15.0	1238	1241
10.5	1024	1022
5.0	809	807
1.5	644	644

O. P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	2459	2456
23.45	2165	2174
19.5	1540	1542
15.0	1115	1121
10.5	967	969
5.0	707	705
1.5	644	644

(a) EW 方向, S s - D 1 (ケース 6)

図 2-1(1) 最大応答加速度

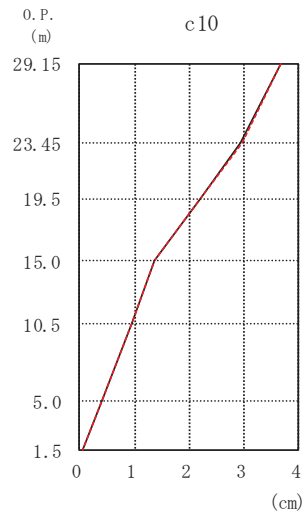
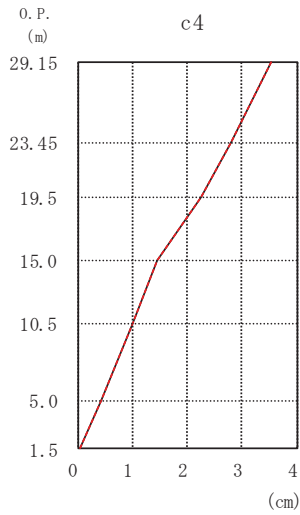
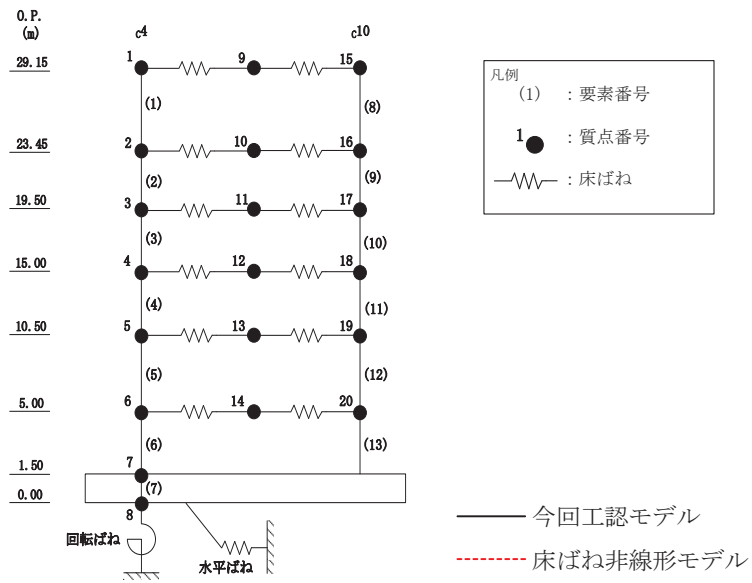


O. P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	2125	2126
23.45	1717	1654
19.5	1391	1388
15.0	1186	1184
10.5	1093	1094
5.0	911	911
1.5	833	833

O. P. (m)	(cm/s <sup>2</sup> )	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	2565	2561
23.45	2062	2051
19.5	1449	1437
15.0	1125	1118
10.5	831	829
5.0	803	803
1.5	833	833

(b) EW方向, S<sub>s</sub>-F3 (ケース3)

図 2-1(2) 最大応答加速度

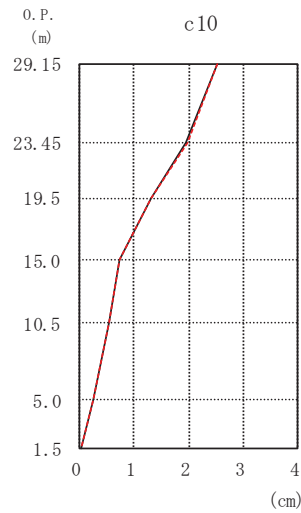
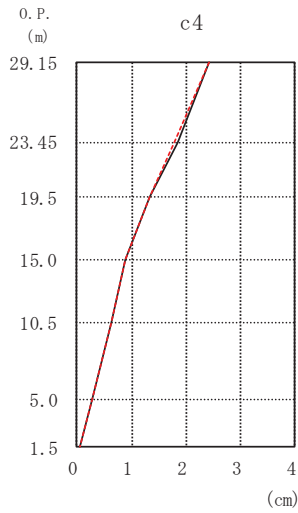
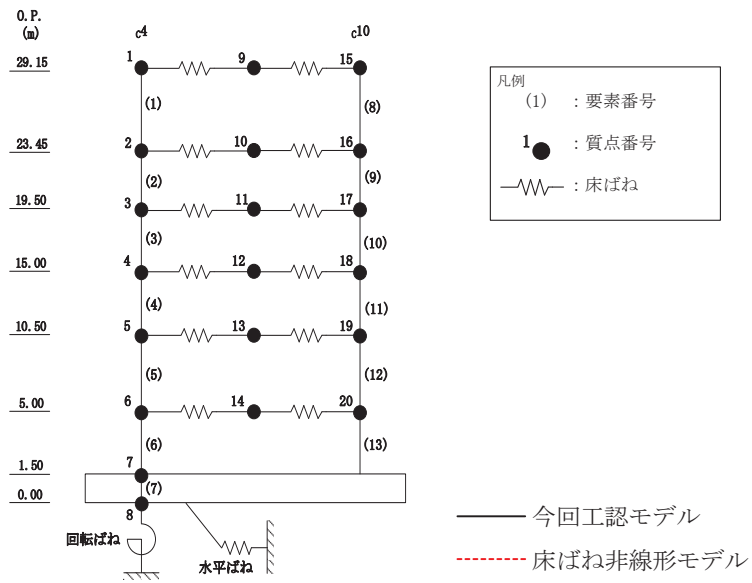


O. P. (m)	(cm)	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	3.54	3.54
23.45	2.80	2.79
19.5	2.24	2.24
15.0	1.44	1.44
10.5	1.00	1.00
5.0	0.44	0.44
1.5	0.05	0.05

O. P. (m)	(cm)	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	3.67	3.67
23.45	2.94	2.94
19.5	2.20	2.20
15.0	1.35	1.35
10.5	0.93	0.93
5.0	0.39	0.39
1.5	0.05	0.05

(a) EW 方向, S s - D 1 (ケース 6)

図 2-2(1) 最大応答変位



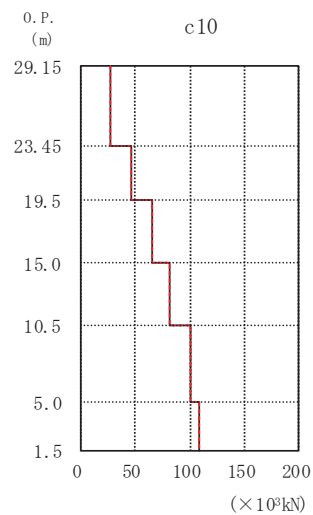
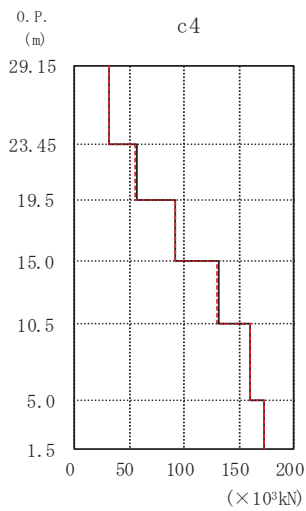
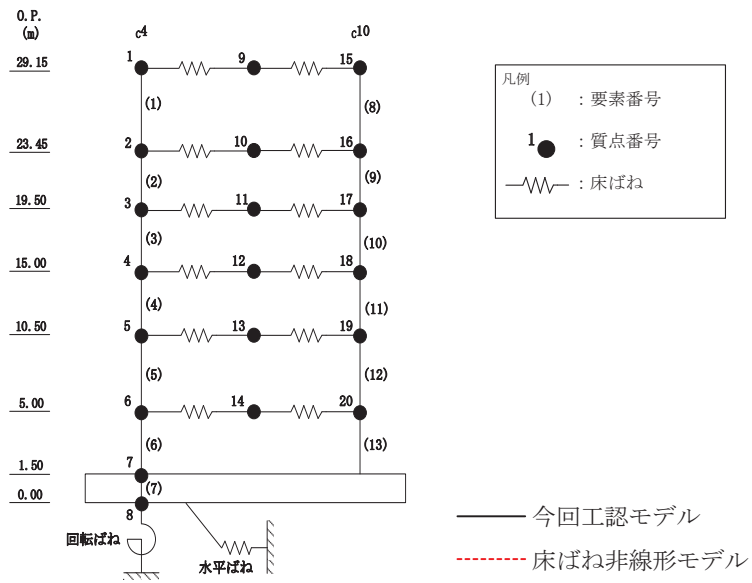
O.P. (m)	(cm)	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	2.43	2.42
23.45	1.83	1.78
19.5	1.34	1.32
15.0	0.87	0.87
10.5	0.62	0.62
5.0	0.27	0.27
1.5	0.04	0.04

O.P. (m)	(cm)	
	今回工認 モデル	床ばね非線 形モデル
29.15	2.53	2.54
23.45	1.95	1.96
19.5	1.31	1.31
15.0	0.74	0.74
10.5	0.53	0.53
5.0	0.24	0.24
1.5	0.04	0.04

(b) EW 方向,  $S_s - F_3$  (ケース 3)

図 2-2(2) 最大応答変位



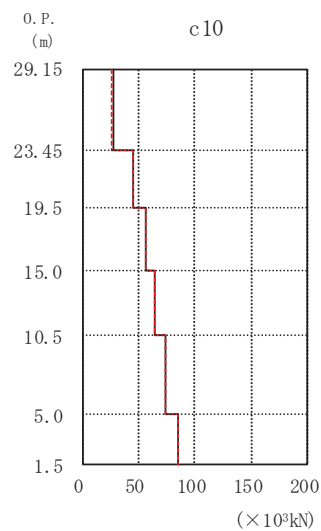
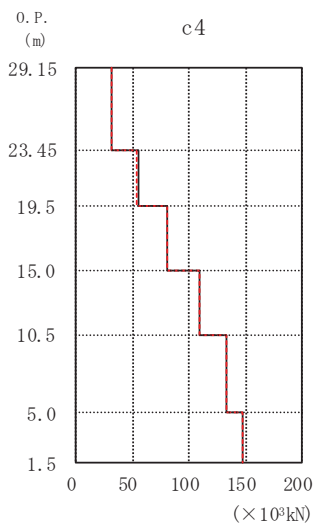
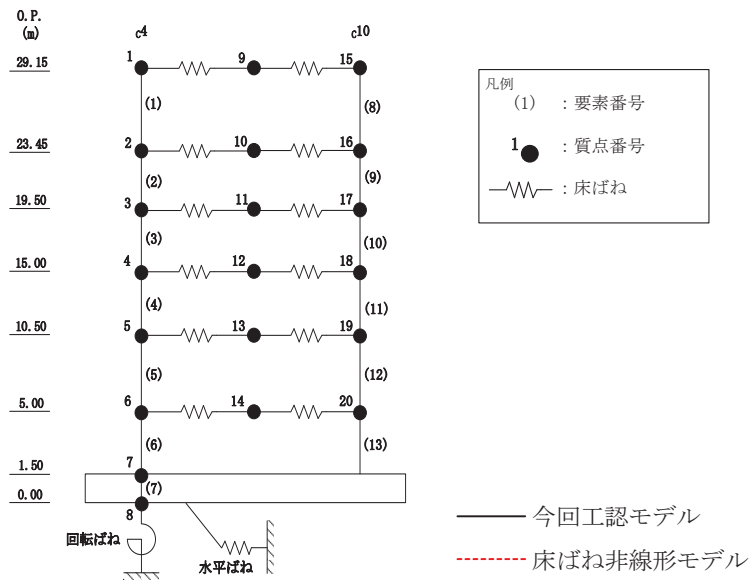


0. P. (m)	( $\times 10^3 \text{kN}$ )	
	今回工認モデル	床ばね非線形モデル
29.15	31.8	32.0
23.45	56.0	55.4
19.5	91.3	91.1
15.0	131	131
10.5	161	161
5.0	173	173
1.5		

0. P. (m)	( $\times 10^3 \text{kN}$ )	
	今回工認モデル	床ばね非線形モデル
29.15	28.0	27.9
23.45	46.2	46.3
19.5	65.1	65.2
15.0	81.9	82.0
10.5	101	101
5.0	108	108
1.5		

(a) EW 方向, S s - D 1 (ケース 6)

図 2-3(1) 最大応答せん断力

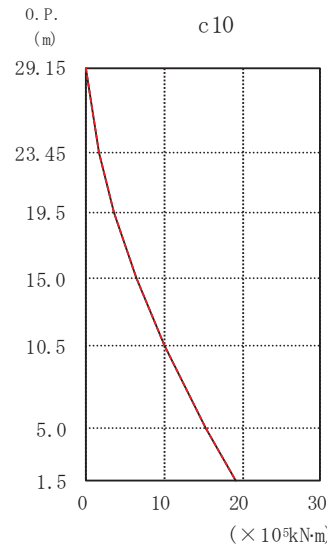
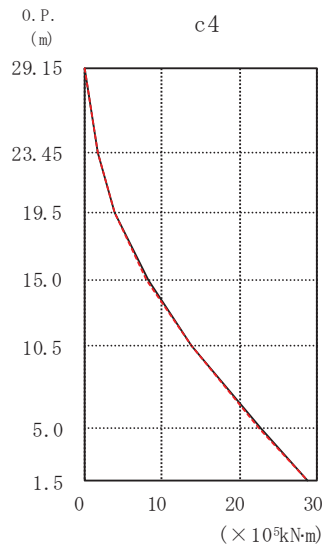
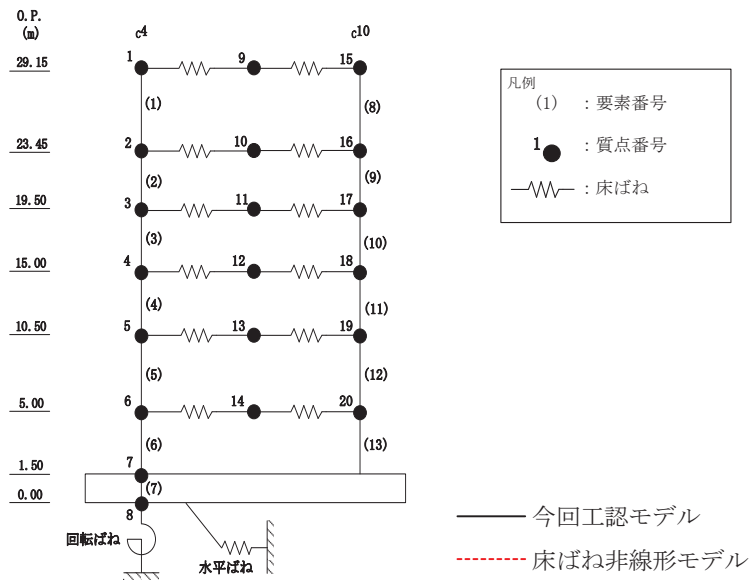


O. P. (m)	( $\times 10^3 \text{kN}$ )	
	今回工認 モデル	床ばね非線形 モデル
29.15	31.3	31.6
23.45	55.0	53.2
19.5	80.5	79.9
15.0	110	110
10.5	134	134
5.0	148	148
1.5		

O. P. (m)	( $\times 10^3 \text{kN}$ )	
	今回工認 モデル	床ばね非線形 モデル
29.15	27.0	26.5
23.45	44.9	45.4
19.5	55.9	55.9
15.0	64.2	64.2
10.5	74.4	74.4
5.0	85.5	85.4
1.5		

(b) EW 方向, S s - F 3 (ケース 3)

図 2-3(2) 最大応答せん断力

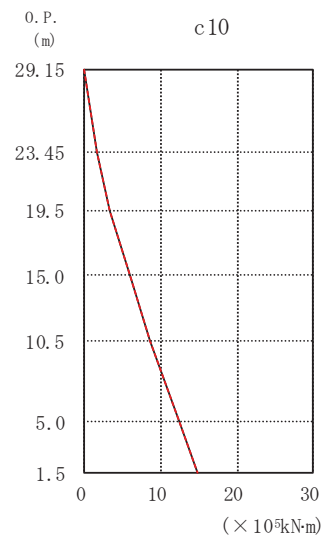
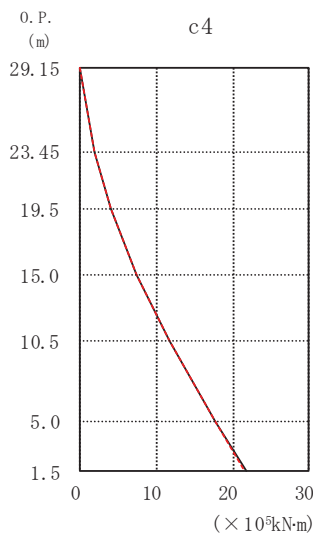
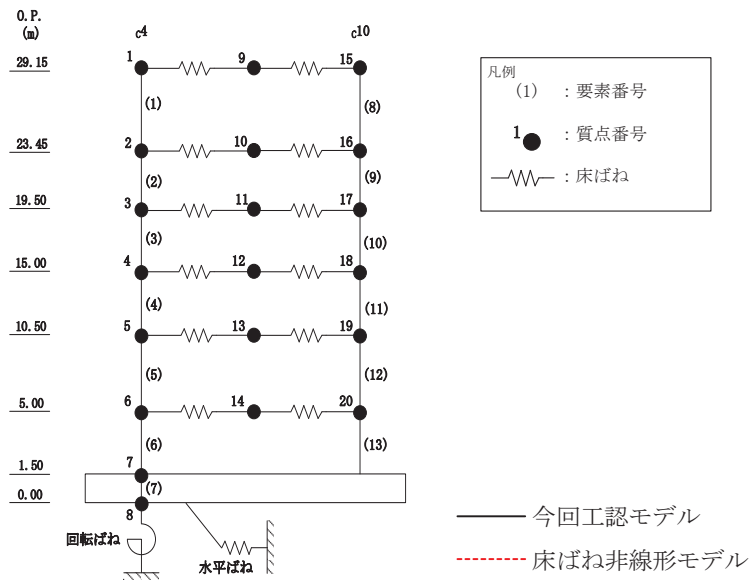


O. P. (m)	(× 10 <sup>5</sup> kN·m)	
	今回工認モデル	床ばね非線形モデル
29.15	0.000	0.000
23.45	1.84	1.85
19.5	4.07	4.07
15.0	8.16	8.14
10.5	13.8	13.8
5.0	22.6	22.5
1.5	28.6	28.6

O. P. (m)	(× 10 <sup>5</sup> kN·m)	
	今回工認モデル	床ばね非線形モデル
29.15	0.000	0.000
23.45	1.63	1.63
19.5	3.44	3.45
15.0	6.34	6.35
10.5	9.97	9.98
5.0	15.4	15.4
1.5	19.2	19.2

(a) EW方向, S s - D 1 (ケース 6)

図 2-4(1) 最大応答曲げモーメント



O. P. (m)	( $\times 10^5$ kN·m)	
	今回工認 モデル	床ばね非線形 モデル
29.15	0.000	0.000
23.45	1.81	1.82
	1.81	1.82
19.5	3.92	3.91
	3.92	3.91
15.0	7.39	7.34
	7.39	7.34
10.5	11.6	11.6
	11.6	11.6
5.0	17.8	17.7
	17.8	17.7
1.5	21.7	21.6

O. P. (m)	( $\times 10^5$ kN·m)	
	今回工認 モデル	床ばね非線形 モデル
29.15	0.000	0.000
23.45	1.56	1.54
	1.56	1.54
19.5	3.35	3.33
	3.35	3.33
15.0	5.87	5.86
	5.87	5.86
10.5	8.58	8.60
	8.58	8.60
5.0	12.4	12.4
	12.4	12.4
1.5	14.9	14.9

(b) EW方向, S<sub>s</sub>-F3 (ケース3)

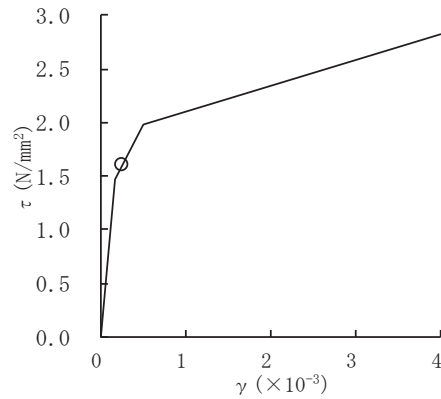
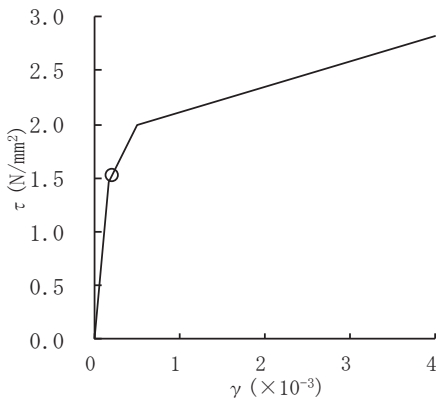
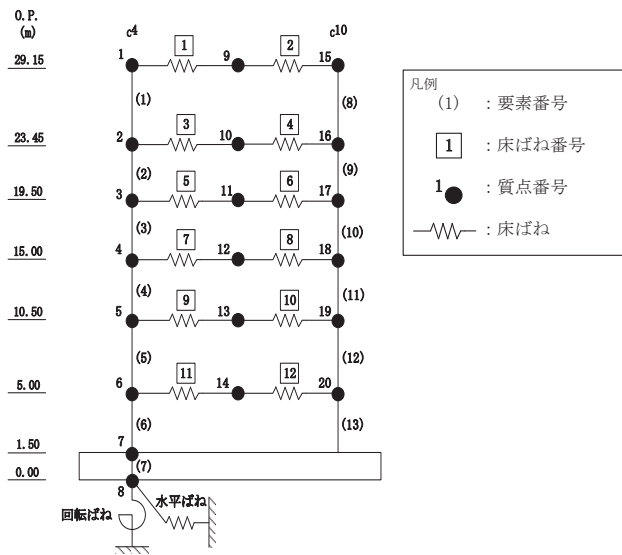
図2-4(2) 最大応答曲げモーメント

表 2-2 床ばねの最大応答せん断ひずみ (EW 方向)

O.P. (m)	床ばね 番号	最大応答せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	
		S s - D 1 (ケース 6)	S s - F 3 (ケース 3)
29.15	<u>1</u>	0.109	0.124
	<u>2</u>	0.042	0.049
23.45	<u>3</u>	<u>0.198</u>	<u>0.250</u>
	<u>4</u>	0.109	0.101
19.50	<u>5</u>	0.101	0.111
	<u>6</u>	0.157	0.145
15.00	<u>7</u>	0.088	0.088
	<u>8</u>	<u>0.177</u>	0.154
10.50	<u>9</u>	0.088	0.083
	<u>10</u>	0.129	0.132
5.00	<u>11</u>	<u>0.167</u>	0.137
	<u>12</u>	<u>0.179</u>	0.145

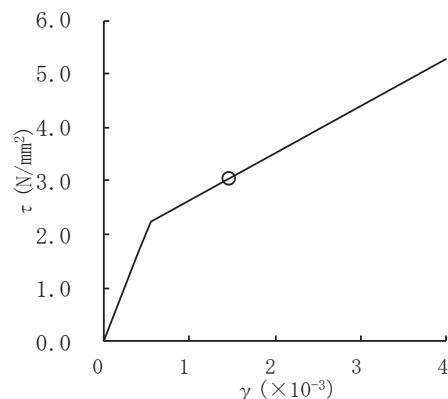
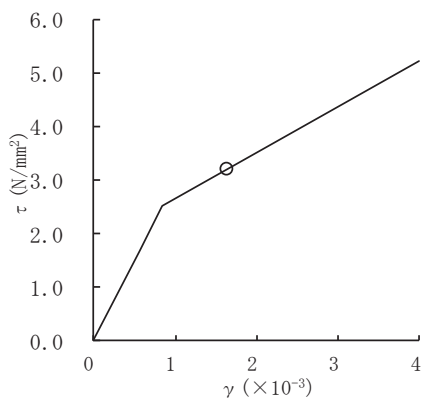
注 1 : 網掛け部分は,  $\gamma_1$  を上回る値を示す。

注 2 : 下線部は, 最大値を示す。



(a) S s - D 1 (ケース 6) 床ばね ③ (b) S s - F 3 (ケース 3) 床ばね ③

図 2-5 床ばねの最大応答せん断ひずみプロット (EW 方向)



(a) S s - D 1 (ケース 6) 要素番号(10) (b) S s - F 3 (ケース 3) 要素番号(9)

図 2-6 耐震壁のせん断スケルトンプロット (EW 方向)

表 2-3 最大相対変位（絶対値和）

（単位：mm）

第 1 号機 制御建屋		制御建屋		S s - D 1 (ケース 6)	S s - F 3 (ケース 3)	許容 限界
質点 番号	O. P. (m)	質点 番号	O. P. (m)			
1, 9, 15	29.15	1, 9, 10	29.15	68.0 (68.0)	47.8 (47.8)	50
2, 10, 16	23.45	2, 11	22.95	56.3 (56.1)	39.2 (38.8)	
3, 11, 17	19.50	3, 12	19.50	44.9 (44.9)	29.1 (29.1)	
4, 12, 18	15.00	4, 13	15.00	30.0 (30.0)	19.1 (19.1)	

注 1：網掛け部分は、許容限界を上回る値を示す。

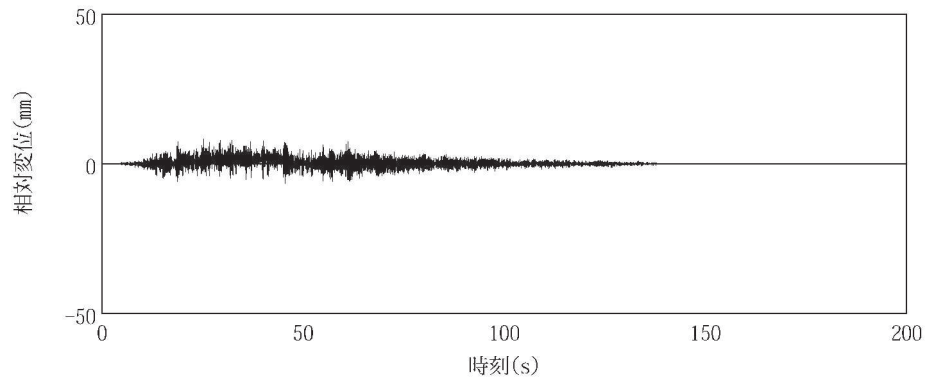
注 2：（ ）内は今回工認モデル（床ばね線形）での結果を示す。

表 2-4 時刻歴相対変位の最大値

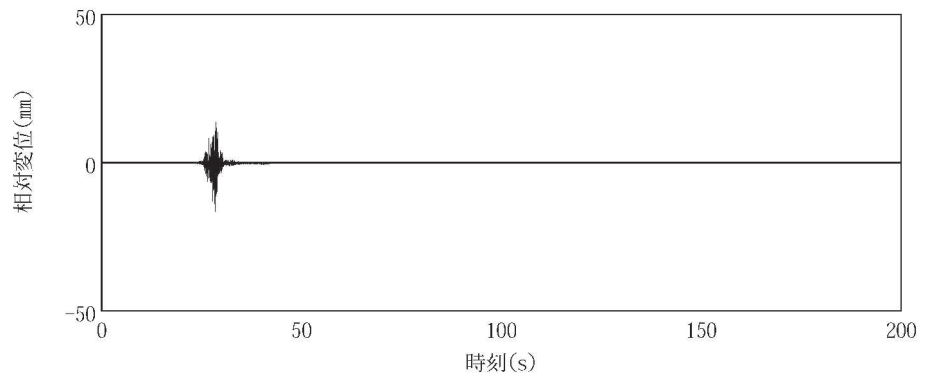
（単位：mm）

第 1 号機 制御建屋	制御建屋	S s - D 1 (ケース 6)	S s - F 3 (ケース 3)	許容 限界
O. P. (m)	O. P. (m)			
29.15	29.15	8.4 (8.4)	16.4 (16.3)	50

注：（ ）内は今回工認モデル（床ばね線形）での結果を示す。



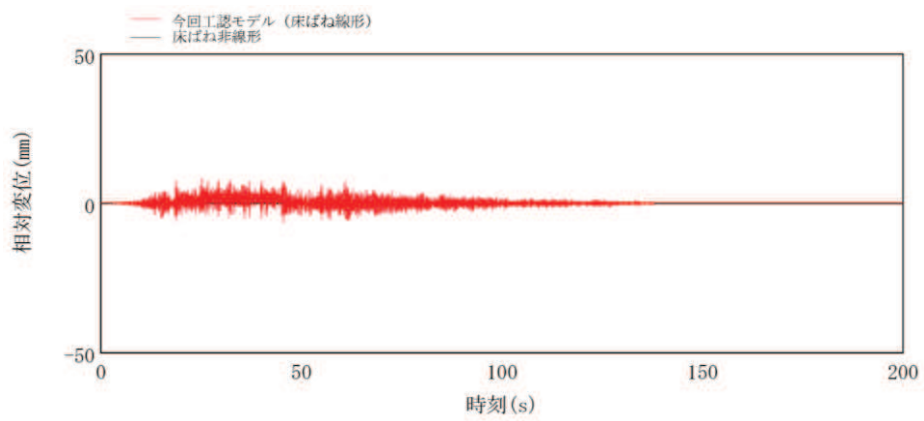
(a) EW 方向,  $S_s - D1$  (ケース 6)



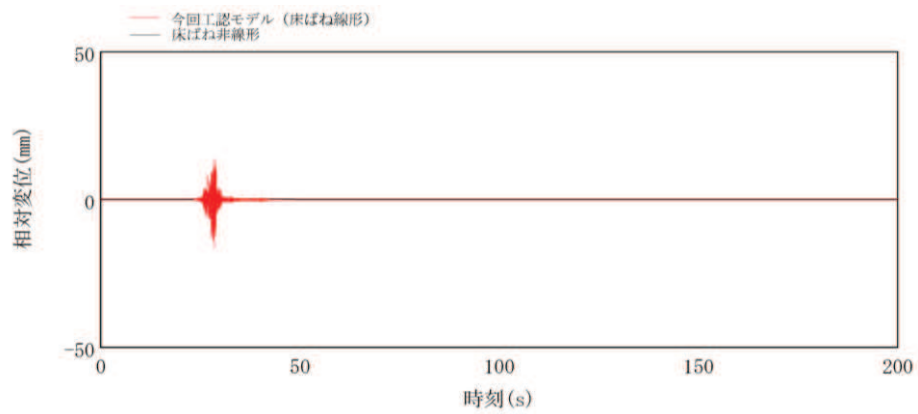
(b) EW 方向,  $S_s - F3$  (ケース 3)

図 2-7(1) 第 1 号機制御建屋と制御建屋の応答変位時刻歴波形





(a) EW 方向, S s - D 1 (ケース 6)



(b) EW 方向, S s - F 3 (ケース 3)

図 2-7(2) 第 1 号機制御建屋と制御建屋の応答変位時刻歴波形  
(今回工認モデルとの比較)