

## 2.4 断面の評価結果

### 2.4.1 断面の評価方法

S<sub>s</sub>地震時の曲げモーメントについて、発生曲げモーメントが終局曲げモーメントを超えないことを確認する。

### 2.4.2 断面の評価結果

断面の評価結果を表 2-3 に示す。応力平均化後の発生曲げモーメントが終局曲げモーメントを超えないことを確認した。

表 2-3(1) 応力平均化後の評価結果 (S<sub>s</sub>地震時 曲げモーメント、応力平均化①)

要素番号	方向	荷重の 組合せ ケース	曲げモーメント [kN・m/m]	終局 曲げモーメント [kN・m/m]	平均化後の 検定値 (発生値/許容値)
50203	EW方向	101	1671.7	2982.0	0.56
50203	EW方向	102	1621.3	2987.8	0.54
50204	EW方向	103	2107.0	3382.4	0.62
50204	EW方向	104	2158.1	3383.1	0.64
50230	EW方向	101	1618.7	2937.9	0.55
50230	EW方向	102	1584.6	2942.0	0.54
51503	EW方向	103	1612.5	2969.9	0.54
51530	EW方向	103	1618.7	2936.7	0.55
51530	EW方向	104	1585.1	2939.7	0.54

表 2-3(2) 応力平均化後の評価結果 (S<sub>s</sub>地震時 曲げモーメント、応力平均化②)

要素番号	方向	荷重の 組合せ ケース	曲げモーメント [kN・m/m]	終局 曲げモーメント [kN・m/m]	平均化後の 検定値 (発生値/許容値)
50203	EW方向	101	2683.5	2875.8	0.93
50203	EW方向	102	2568.2	2880.7	0.89
50204	EW方向	103	3547.5	3647.0	0.97
50204	EW方向	104	3412.7	3607.0	0.95
50230	EW方向	101	2584.1	2834.1	0.91
50230	EW方向	102	2491.2	2836.1	0.88
51503	EW方向	103	2552.6	2864.7	0.89
51530	EW方向	103	2558.2	2833.4	0.90
51530	EW方向	104	2466.2	2834.2	0.87

### 3. 原子炉建屋基礎盤の応力平均化の考え方

#### 3.1 応力平均化を実施した領域における断面の評価要素

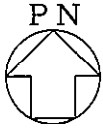
断面の評価要素は、応力平均化を行うことによって、応力が変わることから、応力平均化前の応力度に対する検定値を元に選定している。

応力平均化前の応力分布において、局所的に大きな面外せん断力が発生している要素番号 276, 277, 278, 279, 437, 438, 465 を断面の評価要素とし、応力平均化を行い、応力平均化後の値に対する断面の評価を実施した。

応力平均化を実施した要素を表 3-1, 要素位置図を図 3-1 に示す。

表 3-1 応力平均化要素 S<sub>0</sub>地震時 面外せん断力

要素番号	応力成分	方向	荷重の 組合せケース	平均化前の検定値 (発生値/許容値)
276	面外せん断力	半径方向	2-3	1.01
277		半径方向	2-3	1.03
278		半径方向	2-3	1.04
279		半径方向	2-3	1.01
437		EW 方向	2-6	1.04
465		EW 方向	2-6	1.22
438		NS 方向	2-5	1.02
438		NS 方向	2-6	1.07



NT2 補② V-2-9-2-2 R1

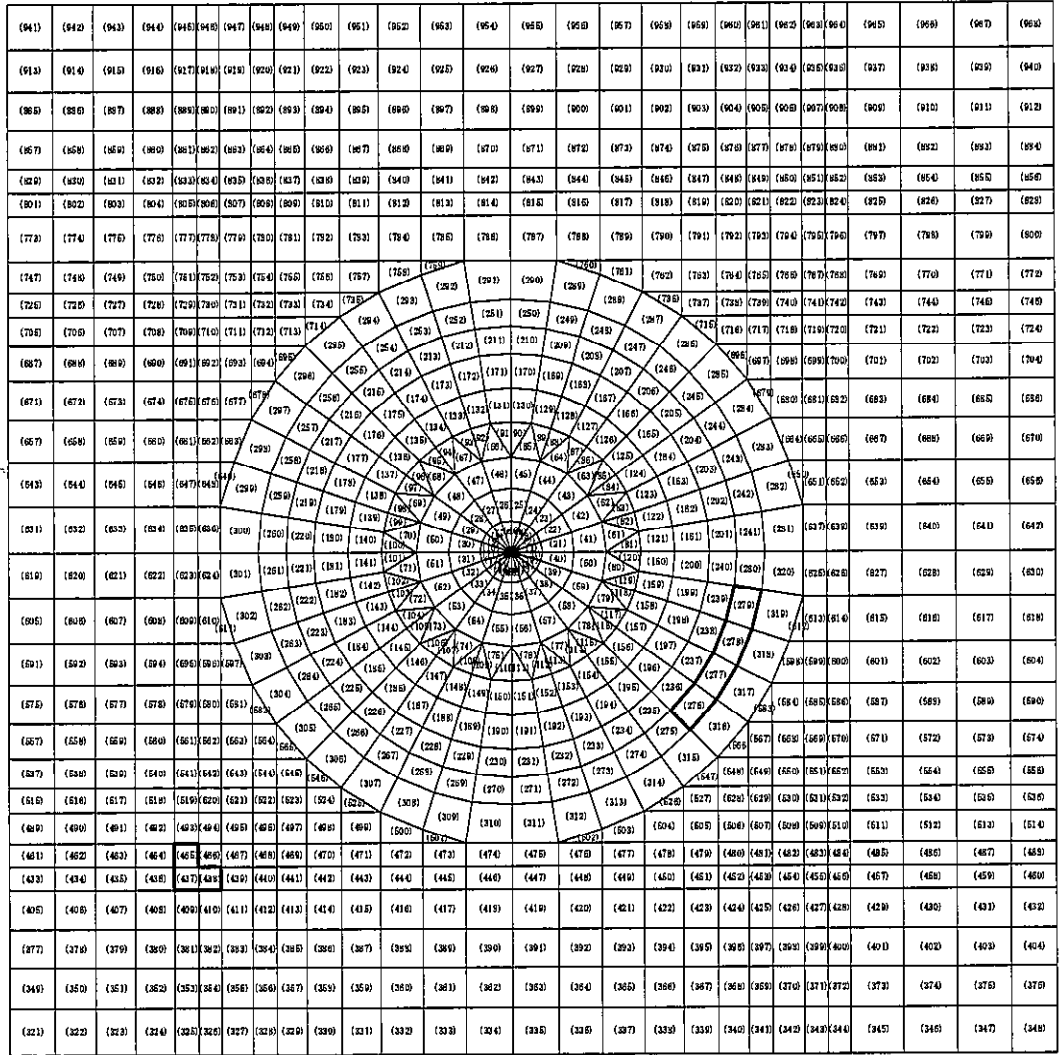


図 3-1 要素位置図

### 3.2 応力平均化の方法

3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析においては、部材断面やモデル形状が大きく変化して不連続になっている箇所は、局所的な応力集中が発生しやすい。

原子炉建屋基礎盤の3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析において、当該部は、図 3-2 に示すように壁による拘束を考慮するためのはり要素と隣接した要素であり、応力が集中しやすい。図 3-3 に示す面外せん断力のコンター図を見ると、当該要素周辺では大きな面外せん断力が発生していることがわかる。

そこで、今回の原子炉建屋基礎盤の弾性応力解析においては、「RC-N規準」を参考に、コンクリートのひび割れによる応力の再配分を考慮し、応力の平均化を行った。

応力の平均化は、各応力コンター図及び基礎の直上の壁配置等を考慮し、当該要素の壁から離れる側の要素に対し、壁面から基礎盤の部材厚である 5m 分の範囲で行った。

各要素についての応力度の平均化範囲を図 3-4 に示す。

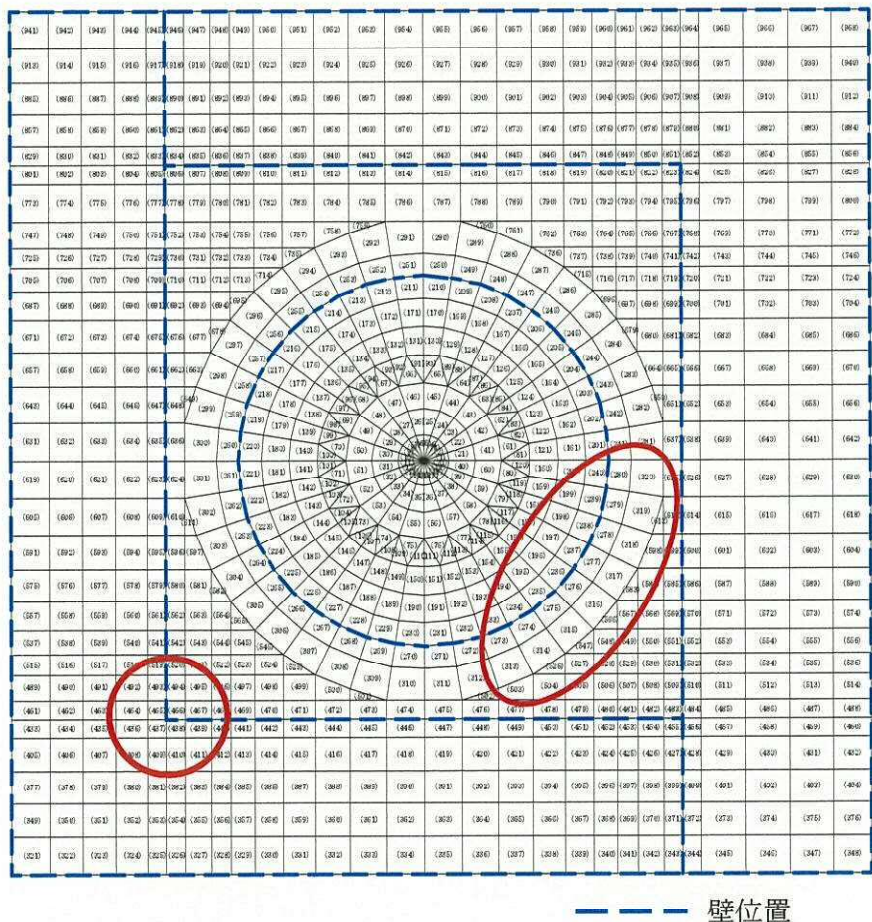
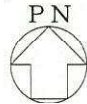
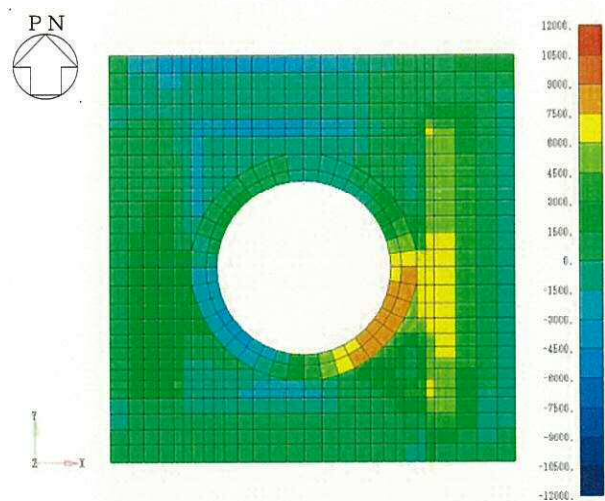
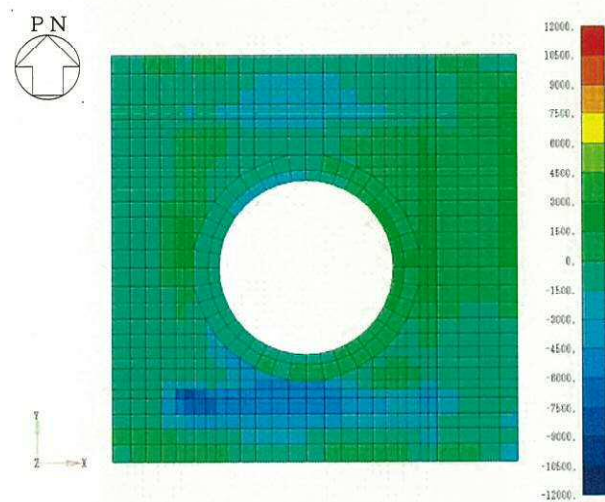


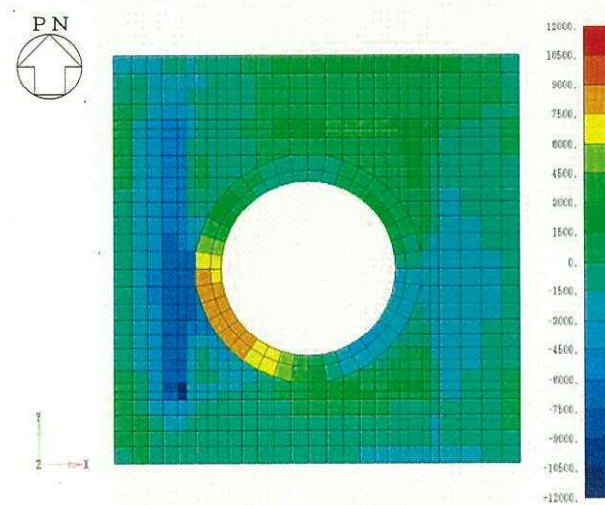
図 3-2 原子炉建屋基礎盤の 3 次元 FEM モデル



(a) 組合せケース 2-3 (X 方向または半径方向)

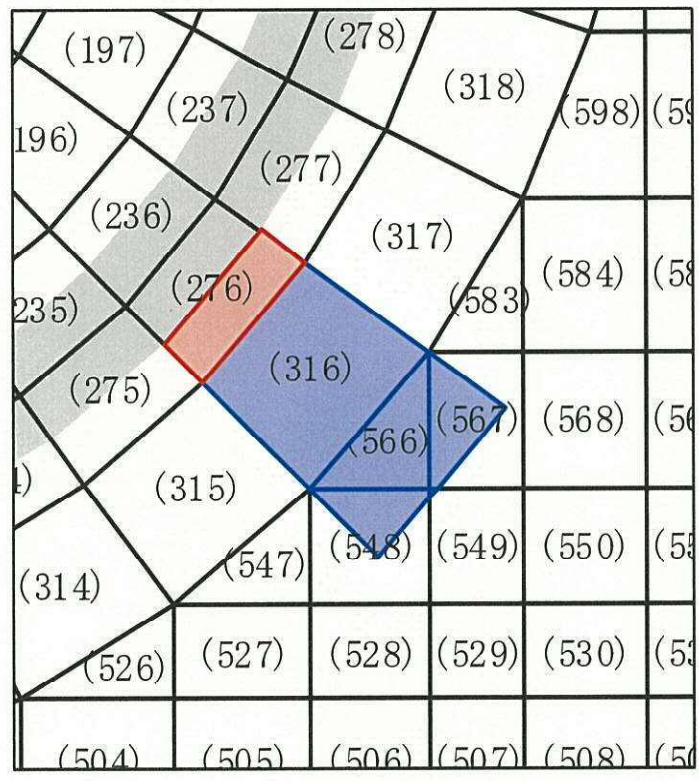
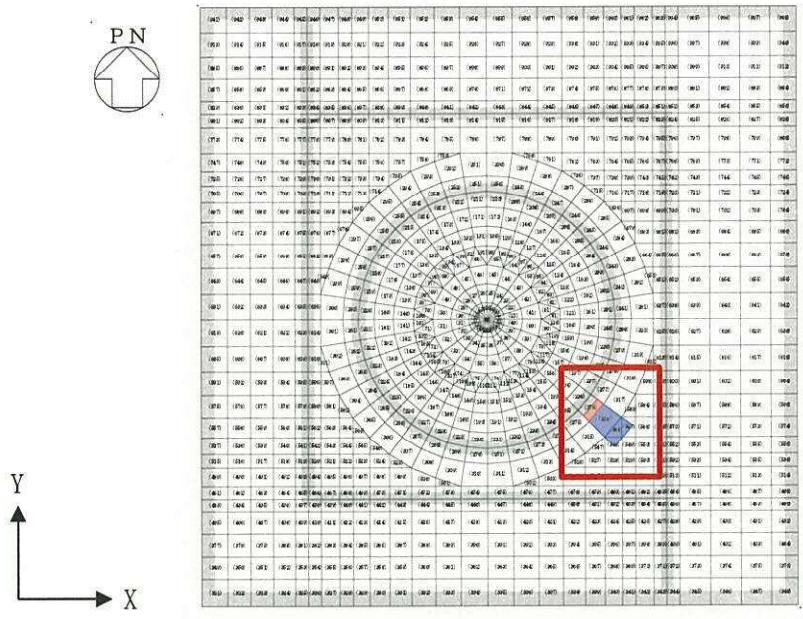


(b) 組合せケース 2-5 (Y 方向または円周方向)



(c) 組合せケース 2-6 (X 方向または半径方向)

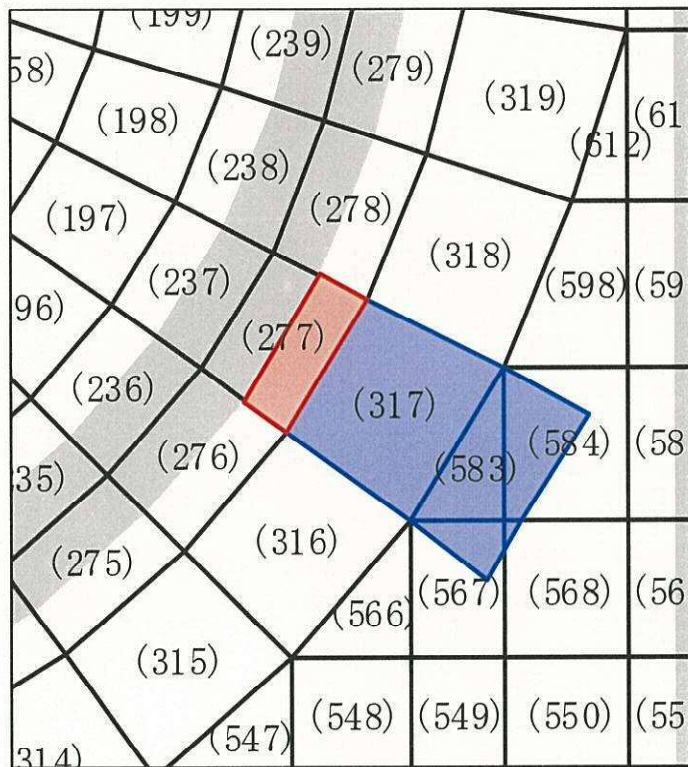
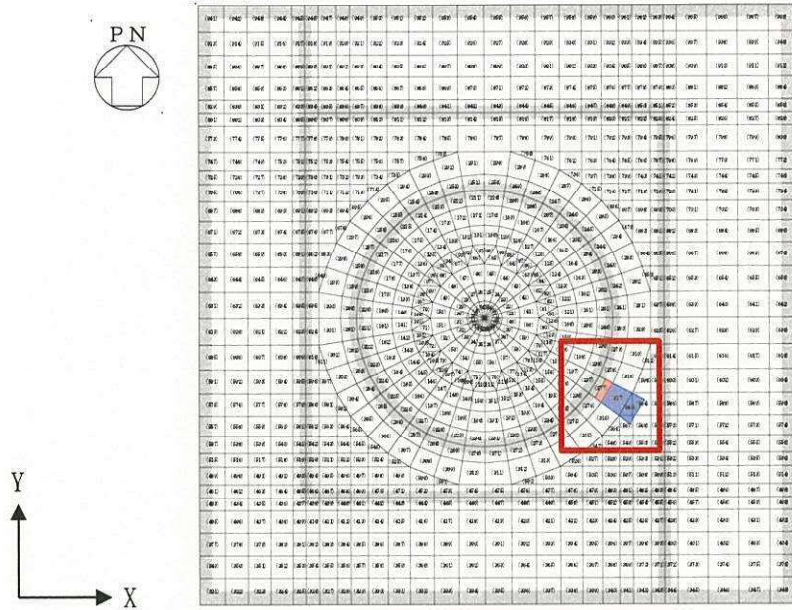
図 3-3 原子炉建屋基礎盤の応力コンター図 (面外せん断力 (単位: kN/m))



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 276 半径方向

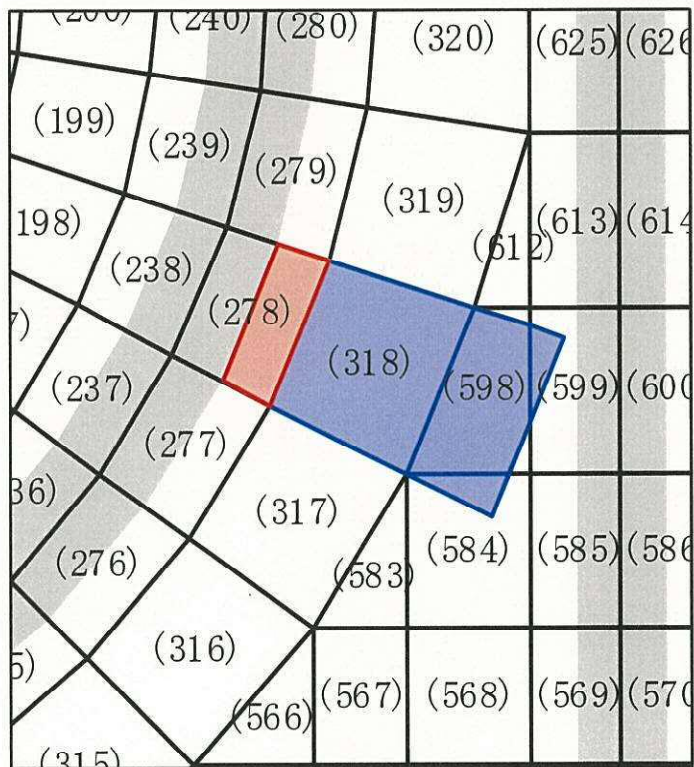
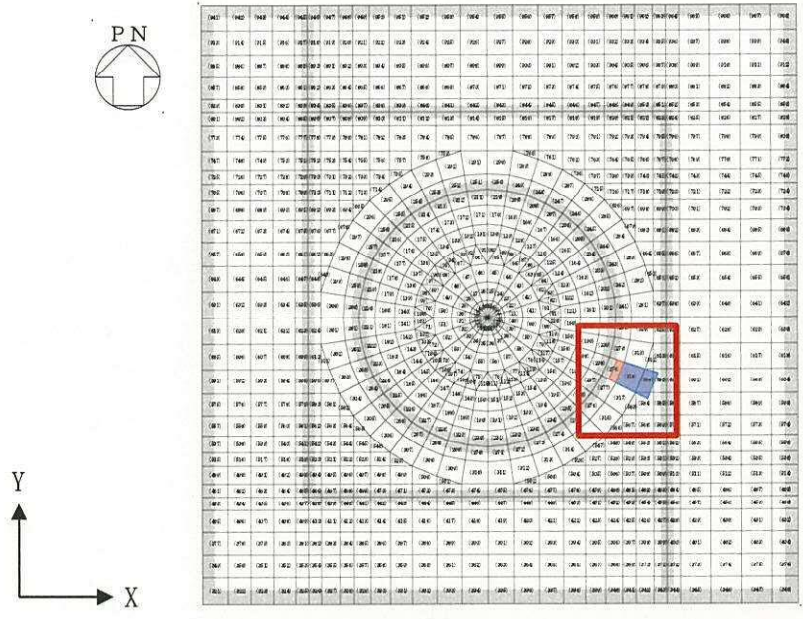
図 3-4 (1/7) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 277 半径方向

図 3-4 (2/7) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)

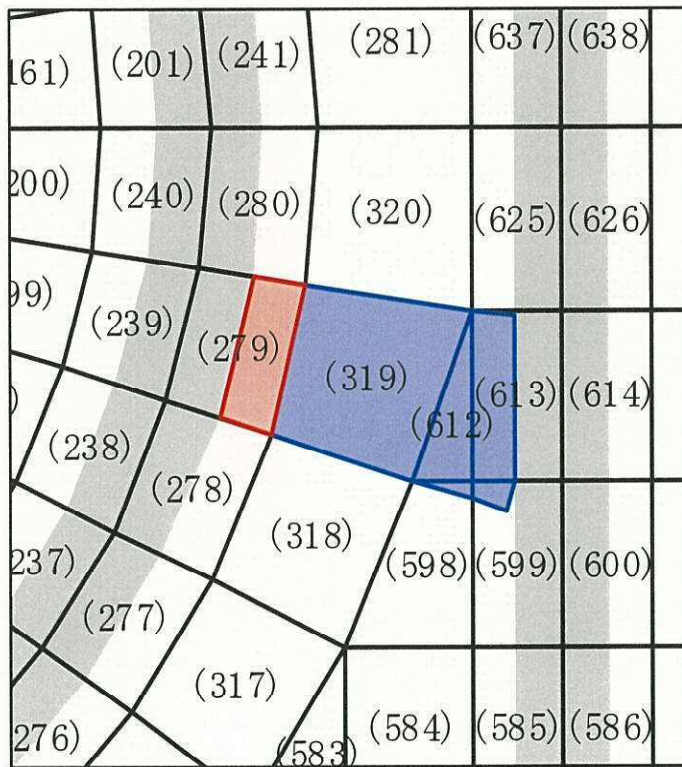
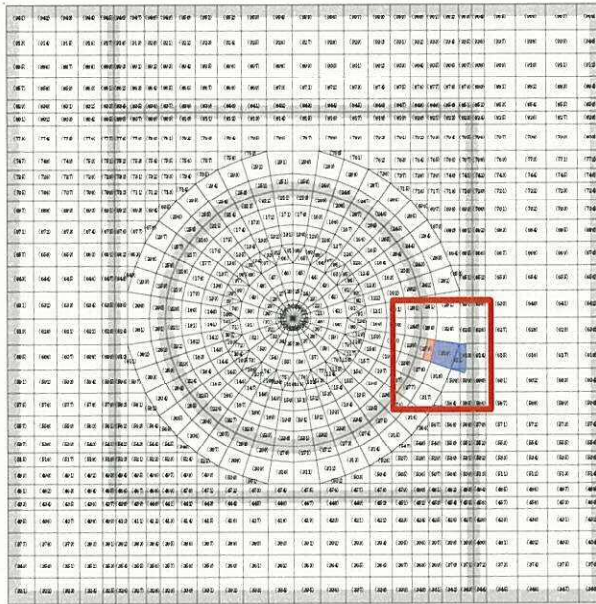
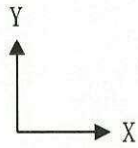


- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 278 半径方向

図 3-4 (3/7) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)

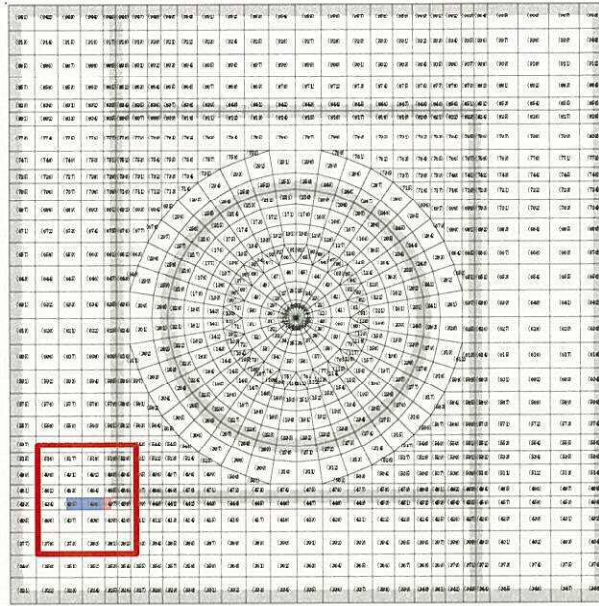
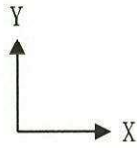




- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 279 半径方向

図 3-4 (4/7) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)

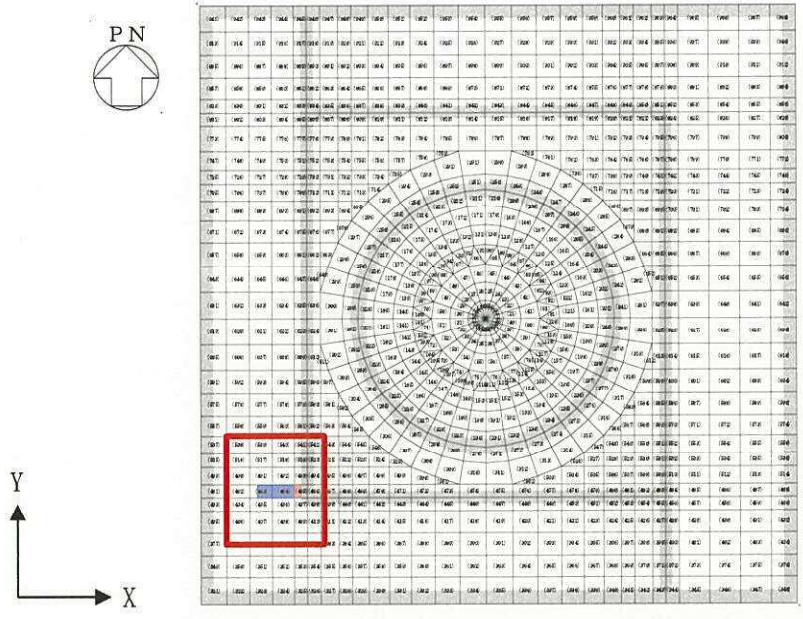


(516)	(517)	(518)	(519)	(520)	(521)
(490)	(491)	(492)	(493)	(494)	(495)
(462)	(463)	(464)	(465)	(466)	(467)
(434)	(435)	(436)	(437)	(438)	(439)
(406)	(407)	(408)	(409)	(410)	(411)
(378)	(379)	(380)	(381)	(382)	(383)

- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 437 EW 方向

図 3-4 (5/7) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)

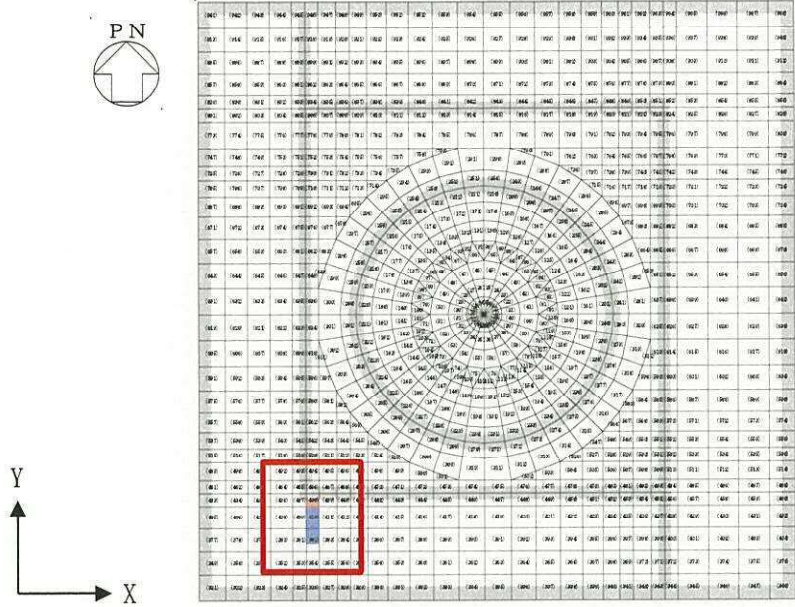


(538)	(539)	(540)	(541)	(542)	( )
(516)	(517)	(518)	(519)	(520)	( )
(490)	(491)	(492)	(493)	(494)	( )
(462)	(463)	(464)	(465)	(466)	( )
(434)	(435)	(436)	(437)	(438)	( )
(406)	(407)	(408)	(409)	(410)	( )
(378)	(379)	(380)	(381)	(382)	( )

- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 465 EW 方向

図 3-4 (6/7) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)



)	(492)	(493)	(494)	(495)	(496)	(497)
)	(464)	(465)	(466)	(467)	(468)	(469)
)	(436)	(437)	(438)	(439)	(440)	(441)
)	(408)	(409)	(410)	(411)	(412)	(413)
)	(380)	(381)	(382)	(383)	(384)	(385)
)	(352)	(353)	(354)	(355)	(356)	(357)

- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 438 NS 方向

図 3-4 (7/7) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)

### 3.3 応力の平均結果

応力平均化の手法として、要素面積を考慮した重み付け平均で平均化を行っている。せん断補強筋については、応力平均化範囲内に存在するせん断補強筋量を応力平均化範囲内の全要素面積の和で除したせん断補強筋比を用いる。

応力平均化に用いる各要素の面積を表 3-2 に示す。

また、応力平均化の結果を表 3-3 に示す。

表 3-2 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化対象要素	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
276	半径方向	276	2.260
		316	6.942
		566	2.194
		567	1.574
		548	1.171
		549	0.015
277	半径方向	277	2.259
		317	6.940
		583	1.980
		584	2.097
		567	0.800
		568	0.080
278	半径方向	278	2.259
		318	6.941
		598	3.850
		599	0.480
		584	0.627
279	半径方向	279	2.259
		319	7.294
		612	1.331
		613	2.099
		598	0.141
		599	0.266
437	EW 方向	437	1.125
		436	3.825
		435	2.550
465	EW 方向	465	1.125
		464	3.825
		463	2.550
438	NS 方向	438	1.125
		410	3.825
		382	2.550

表 3-3 応力平均化結果

要素番号	方向	荷重の 組合せケース	面外せん断力 (kN/m)	
			平均化前	平均化後
276	半径方向	2-3	7991	7089
277	半径方向	2-3	8160	7239
278	半径方向	2-3	8286	7425
279	半径方向	2-3	8041	7769
437	EW 方向	2-6	9133	5869
465	EW 方向	2-6	10695	6847
438	NS 方向	2-5	8936	5816
438	NS 方向	2-6	9403	5705

### 3.4 断面の評価

#### 3.4.1 断面の評価方法

S<sub>0</sub>地震時の面外せん断力については、発生面外せん断応力度が、許容面外せん断応力度を超えないことを確認する。許容面外せん断応力度は、「RC-N規準」に基づき算出する。

#### 3.4.2 断面の評価結果

応力平均化後の評価結果を表 3-4 に示す。

表 3-4 より、応力平均化後の発生面外せん断応力度が、それぞれ許容面外せん断応力度を超えないことを確認した。

表 3-4 応力平均化後の断面の評価結果

要素番号	方向	荷重の 組合せ ケース	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
			発生値	許容値	
276	半径方向	2-3	1.78	2.12	0.840
277	半径方向	2-3	1.82	2.12	0.859
278	半径方向	2-3	1.87	2.12	0.883
279	半径方向	2-3	1.96	2.12	0.925
437	EW 方向	2-6	1.46	2.12	0.689
465	EW 方向	2-6	1.70	2.12	0.802
438	NS 方向	2-5	1.45	2.12	0.684
438	NS 方向	2-6	1.42	2.12	0.670

#### 4. 原子炉格納容器底部コンクリートマットの応力平均化の考え方

##### 4.1 応力平均化を実施した領域における断面の評価要素

断面の評価要素は、応力平均化を行うことによって、応力が変わることから、応力平均化前の応力度に対する検定値を元に選定している。

応力平均化前の応力分布において、局所的に大きな面外せん断力が発生している要素番号 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 を断面の評価要素とし、応力平均化を行い、応力平均化後の値に対する断面の評価を実施した。

応力平均化を実施した要素を表 4-1, 要素位置図を図 4-1 に示す。



表 4-1 (1/4) 応力平均化要素 S<sub>0</sub>地震時 面外せん断力

要素番号	応力成分	方向	荷重の 組合せケース	平均化前の検定値 (発生値/許容値)
21	面外せん断力	X 方向	3-2	1.03
			3-4	1.07
			3-6	1.13
22	面外せん断力	X 方向	3-4	1.04
			3-6	1.09
23	面外せん断力	X 方向	3-6	1.03
28	面外せん断力	X 方向	3-2	1.02
29	面外せん断力	X 方向	3-2	1.07
			3-8	1.07
30	面外せん断力	X 方向	3-2	1.10
			3-4	1.00
			3-6	1.01
			3-8	1.11
31	面外せん断力	X 方向	3-2	1.10
			3-6	1.01
			3-8	1.11
32	面外せん断力	X 方向	3-2	1.06
			3-8	1.07
33	面外せん断力	X 方向	3-2	1.01
38	面外せん断力	X 方向	3-6	1.03
39	面外せん断力	X 方向	3-4	1.03
			3-6	1.10
40	面外せん断力	X 方向	3-2	1.03
			3-4	1.07
			3-6	1.14

NT2 補② V-2-9-2-2 R1

表 4-1 (2/4) 応力平均化要素 S。地震時 面外せん断力

要素番号	応力成分	方向	荷重の 組合せケース	平均化前の検定値 (発生値/許容値)
24	面外せん断力	Y 方向	3-5	1.05
25	面外せん断力	Y 方向	3-3	1.03
			3-5	1.09
26	面外せん断力	Y 方向	3-3	1.03
			3-5	1.09
27	面外せん断力	Y 方向	3-5	1.05
33	面外せん断力	Y 方向	3-7	1.02
34	面外せん断力	Y 方向	3-1	1.03
			3-7	1.09
35	面外せん断力	Y 方向	3-1	1.06
			3-3	1.04
			3-7	1.13
36	面外せん断力	Y 方向	3-1	1.06
			3-3	1.04
			3-7	1.13
37	面外せん断力	Y 方向	3-1	1.03
			3-7	1.09
38	面外せん断力	Y 方向	3-7	1.02

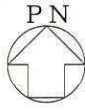
表 4-1 (3/4) 応力平均化要素 S<sub>0</sub>地震時 面外せん断力

要素番号	応力成分	方向	荷重の 組合せケース	平均化前の検定値 (発生値/許容値)
21	面外せん断力	X方向	7-4	1.07
			7-6	1.05
			7-8	1.08
22	面外せん断力	X方向	7-4	1.04
			7-6	1.02
			7-8	1.05
28	面外せん断力	X方向	7-2	1.02
			7-6	1.03
29	面外せん断力	X方向	7-2	1.07
			7-6	1.07
30	面外せん断力	X方向	7-2	1.10
			7-6	1.10
			7-8	1.03
31	面外せん断力	X方向	7-2	1.10
			7-6	1.10
			7-8	1.03
32	面外せん断力	X方向	7-2	1.07
			7-6	1.07
33	面外せん断力	X方向	7-2	1.01
			7-6	1.03
39	面外せん断力	X方向	7-4	1.04
			7-6	1.02
			7-8	1.05
40	面外せん断力	X方向	7-4	1.07
			7-6	1.05
			7-8	1.08

NT2 補② V-2-9-2-2 R1

表 4-1 (4/4) 応力平均化要素 S<sub>3</sub>地震時 面外せん断力

要素番号	応力成分	方向	荷重の 組合せケース	平均化前の検定値 (発生値/許容値)
23	面外せん断力	Y 方向	7-7	1.01
24	面外せん断力	Y 方向	7-3	1.04
			7-7	1.05
25	面外せん断力	Y 方向	7-3	1.07
			7-5	1.01
			7-7	1.08
26	面外せん断力	Y 方向	7-3	1.07
			7-5	1.01
			7-7	1.08
27	面外せん断力	Y 方向	7-3	1.04
			7-7	1.05
28	面外せん断力	Y 方向	7-7	1.01
34	面外せん断力	Y 方向	7-1	1.03
			7-5	1.04
			7-7	1.02
35	面外せん断力	Y 方向	7-1	1.06
			7-3	1.01
			7-5	1.07
			7-7	1.05
36	面外せん断力	Y 方向	7-1	1.06
			7-3	1.01
			7-5	1.07
			7-7	1.05
37	面外せん断力	Y 方向	7-1	1.03
			7-5	1.04
			7-7	1.02



NT2 補② V-2-9-2-2 R1

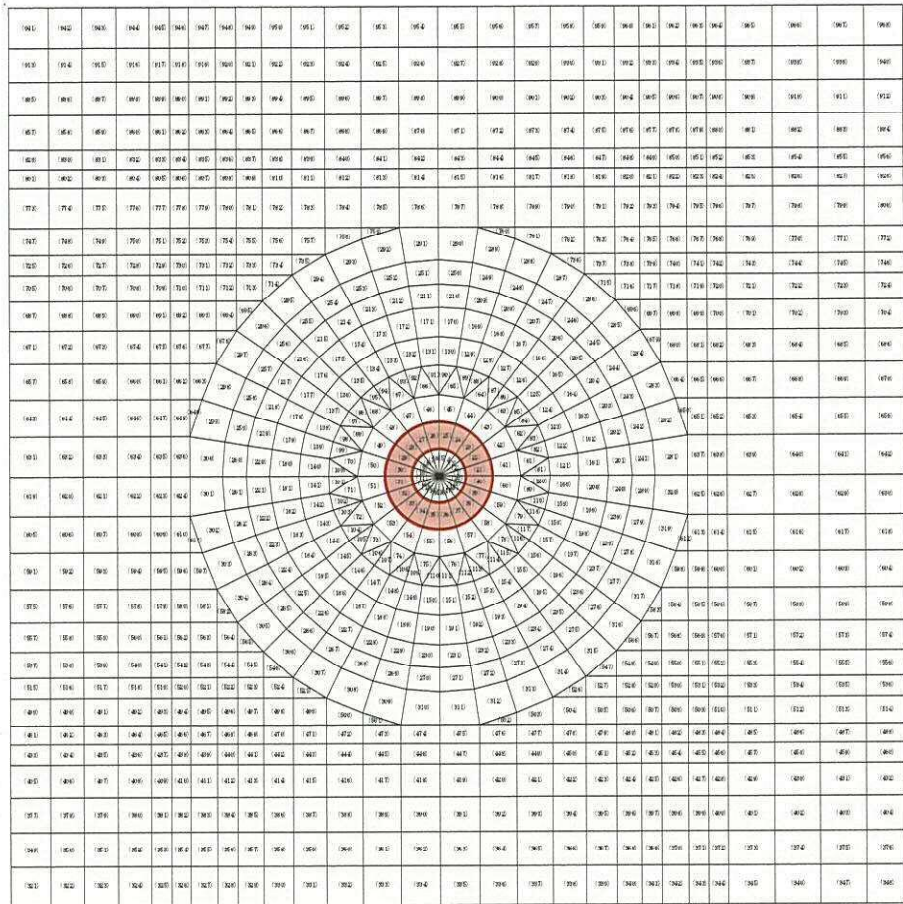


図 4-1 要素位置図

#### 4.2 応力平均化の方法

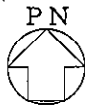
3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析においては、集中荷重等が作用する部位は、局所的な応力集中が発生しやすい。

原子炉建屋基礎盤の3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析において、当該部は、図 4-2 に示すように RPV ペDESTAL の脚部反力を入力している節点を含んだ要素であり、応力が集中しやすい。図 4-3 に示す面外せん断力のコンター図を見ると、当該要素周辺では大きな面外せん断力が発生していることがわかる。

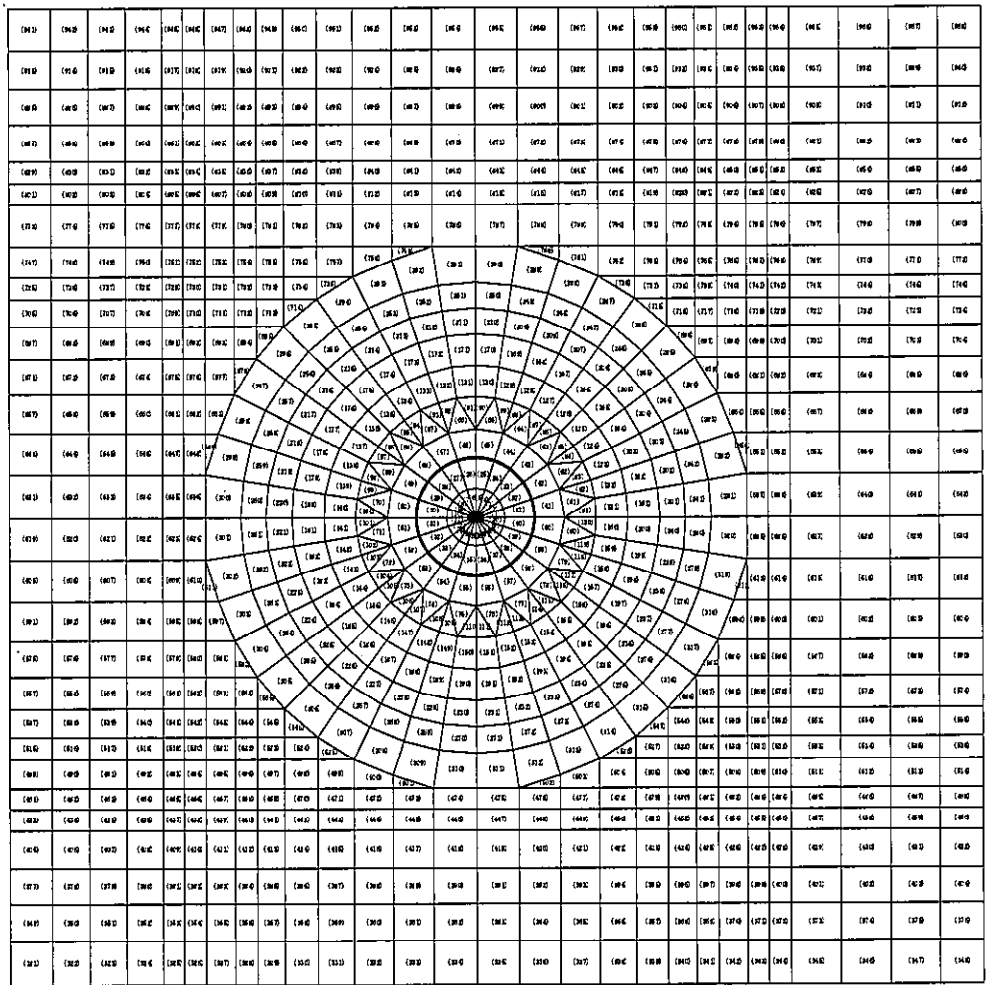
そこで、今回の原子炉建屋基礎盤の弾性応力解析においては、「RC-N 規準」を参考に、コンクリートのひび割れによる応力の再配分を考慮し、応力の平均化を行った。

応力の平均化は、当該要素に隣接する要素に対し、不連続にならない範囲の要素に対して行った。

各要素についての応力度の平均化範囲を図 4-4 に示す。

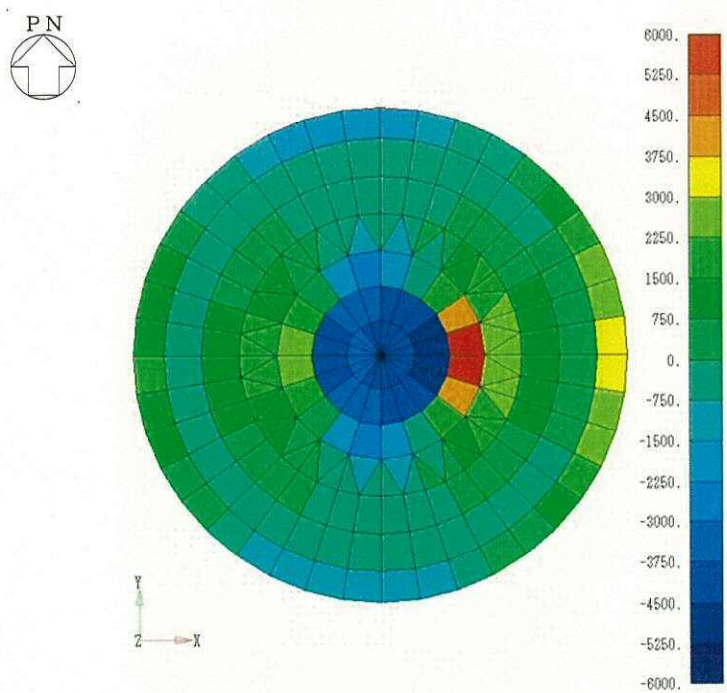


NT2 補② V-2-9-2-2 R1



RPV ペデスタルからの荷重入力位置

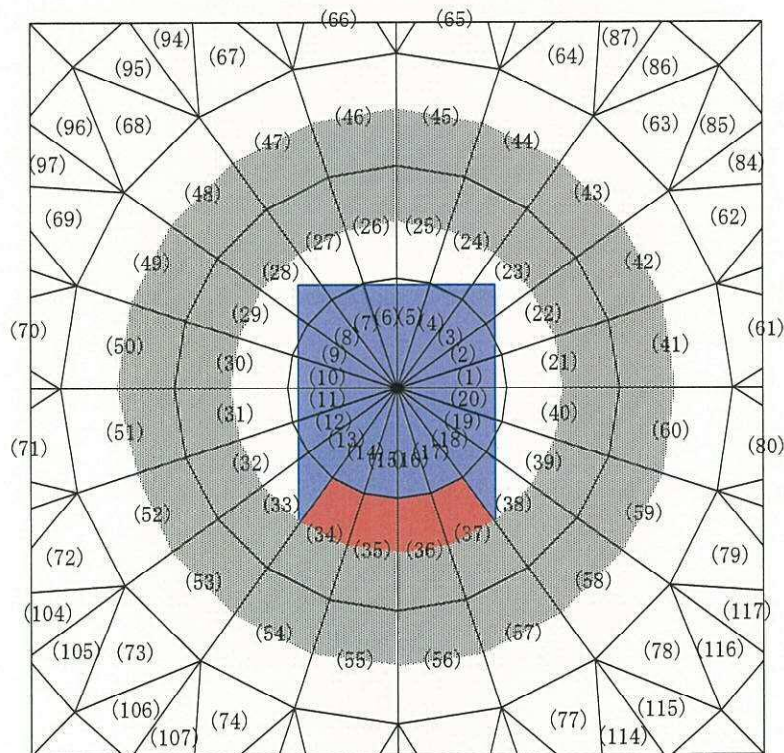
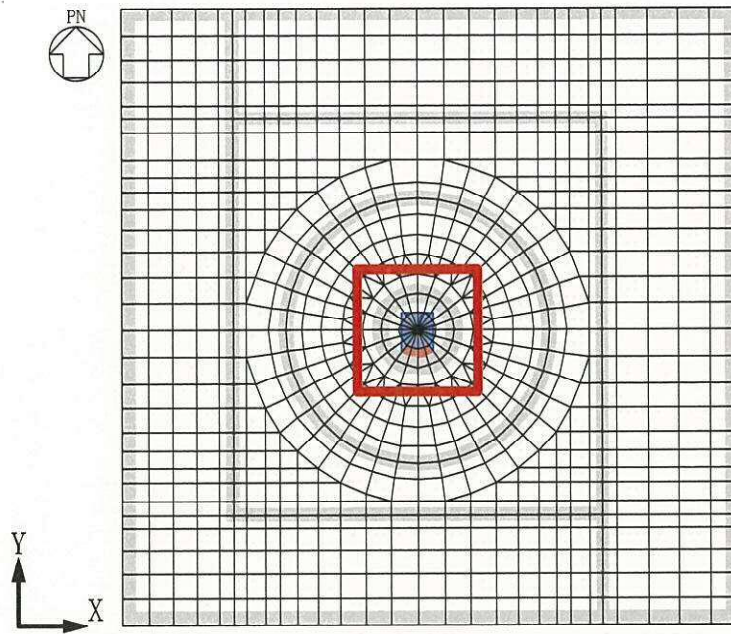
図 4-2 原子炉建屋基礎盤の 3 次元 FEM モデル



組合せケース 3-6 (X 方向)

図 4-3 原子炉建屋基礎盤の応力コンター図の例 (面外せん断応力度 (単位 : kN/m<sup>2</sup>))

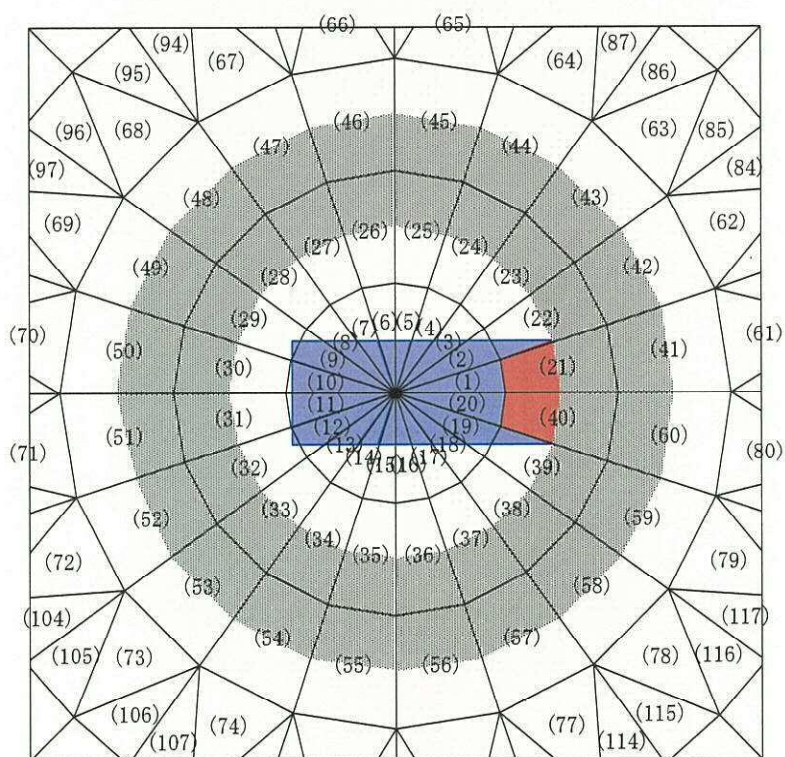
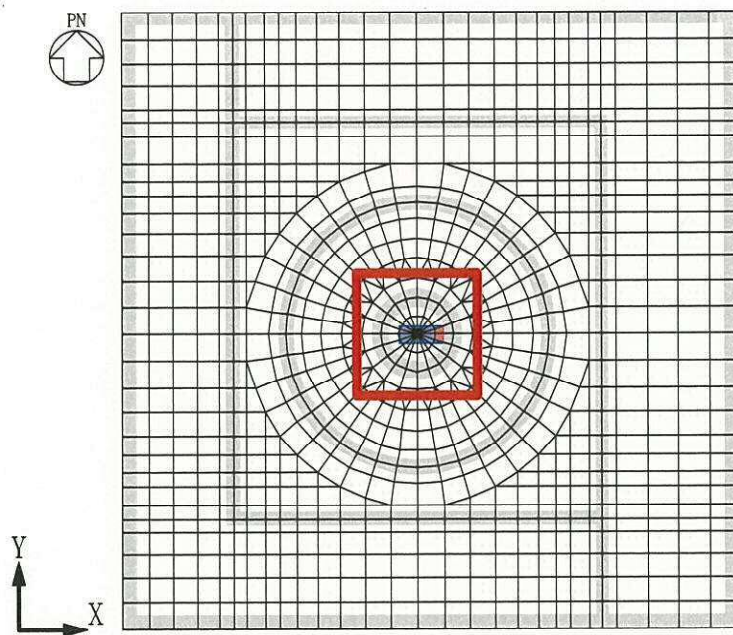




- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 34, 35, 36, 37 Y方向 ケース 3-1, 7-1, 7-5, 7-7

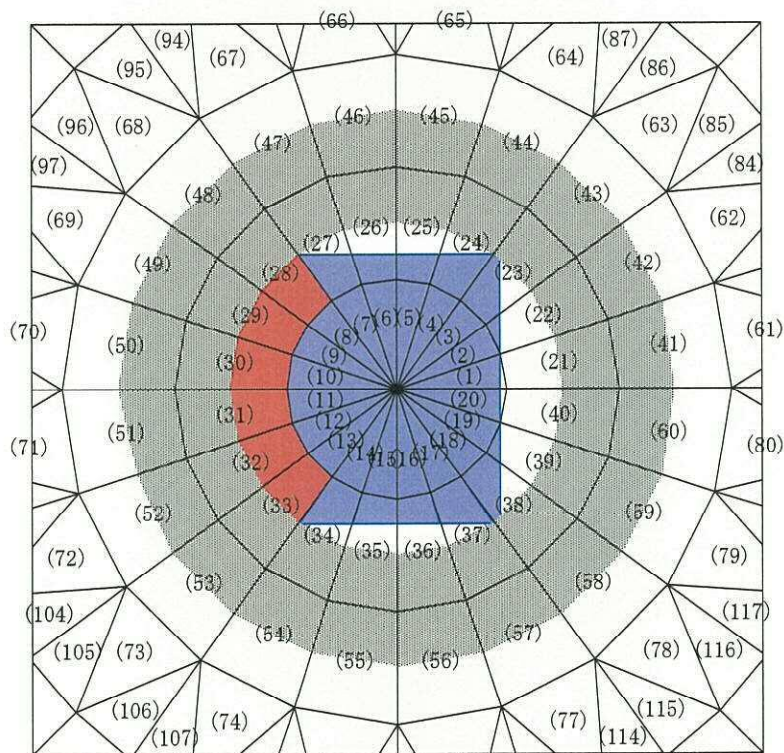
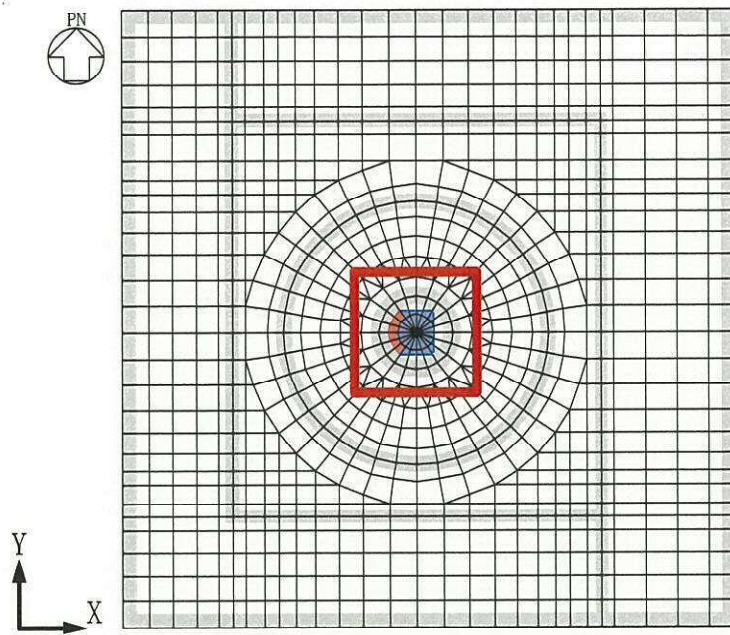
図 4-4 (1/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 21, 40 X方向 ケース 3-2

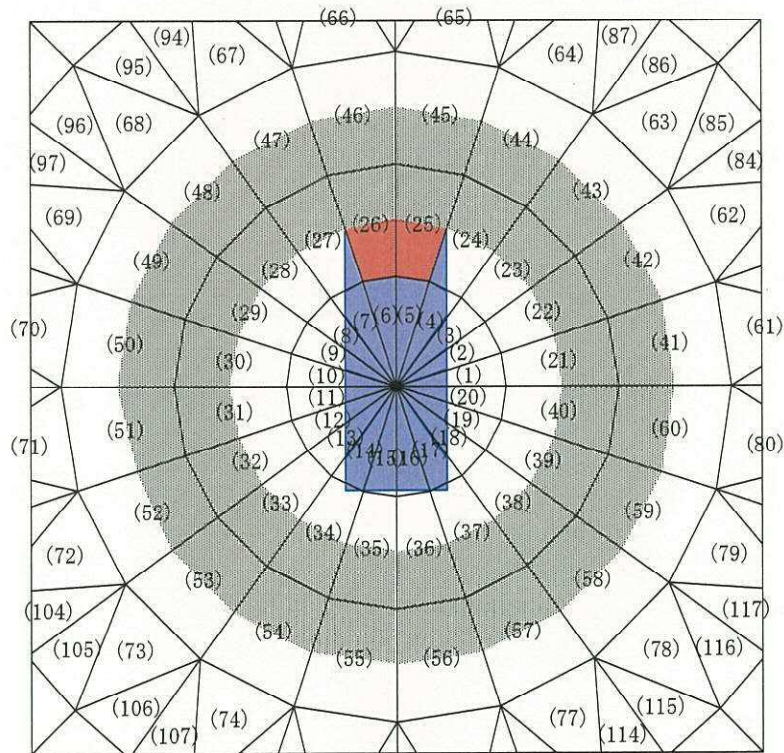
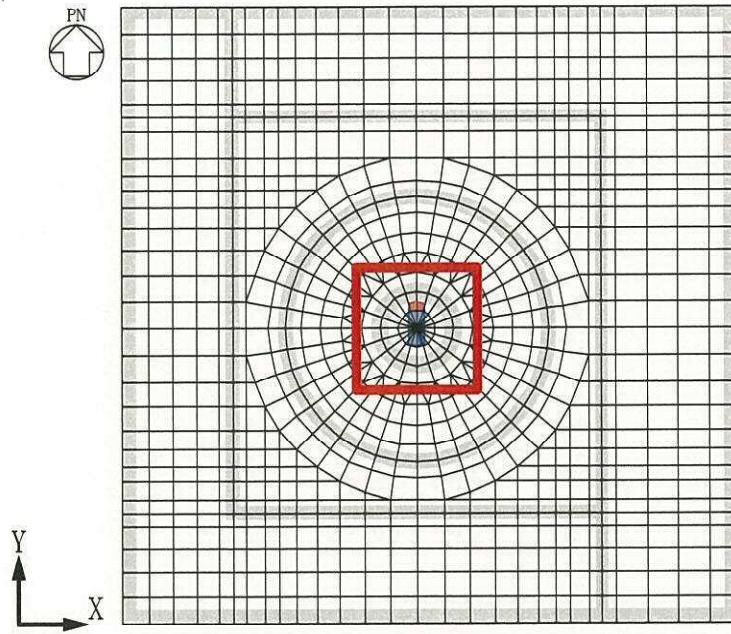
図 4-4 (2/13) 応力平均化範囲（面外せん断力, S<sub>z</sub>地震時）



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 28, 29, 30, 31, 32, 33 X方向 ケース 3-2, 7-2, 7-6

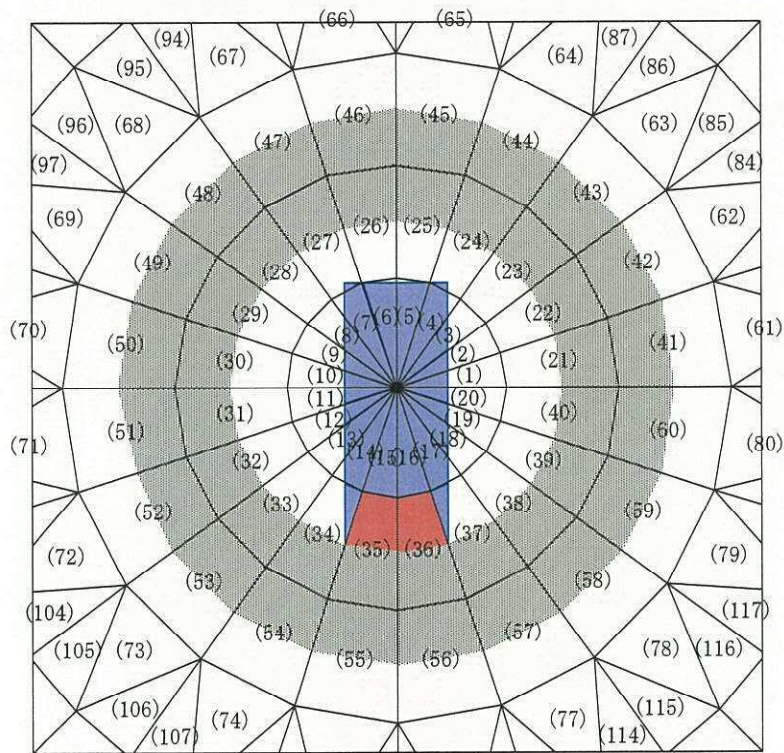
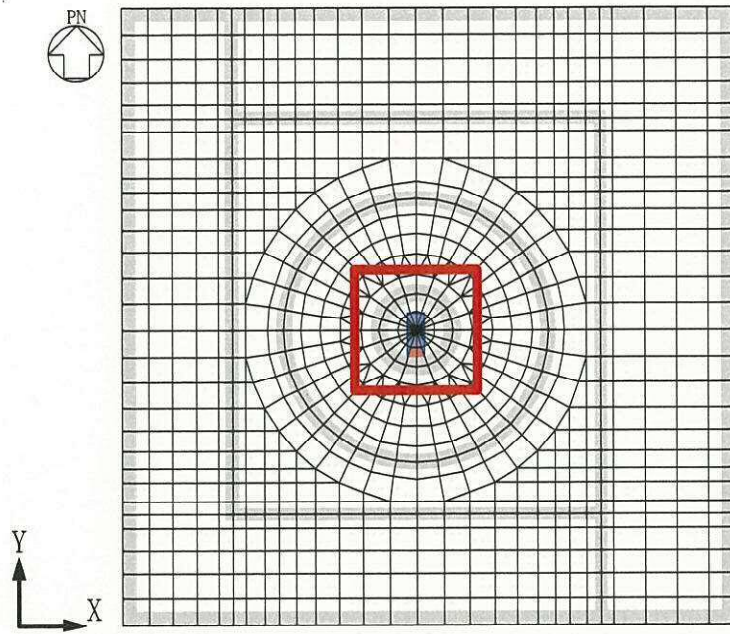
図 4-4 (3/13) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 25, 26 Y方向 ケース 3-3, 7-5

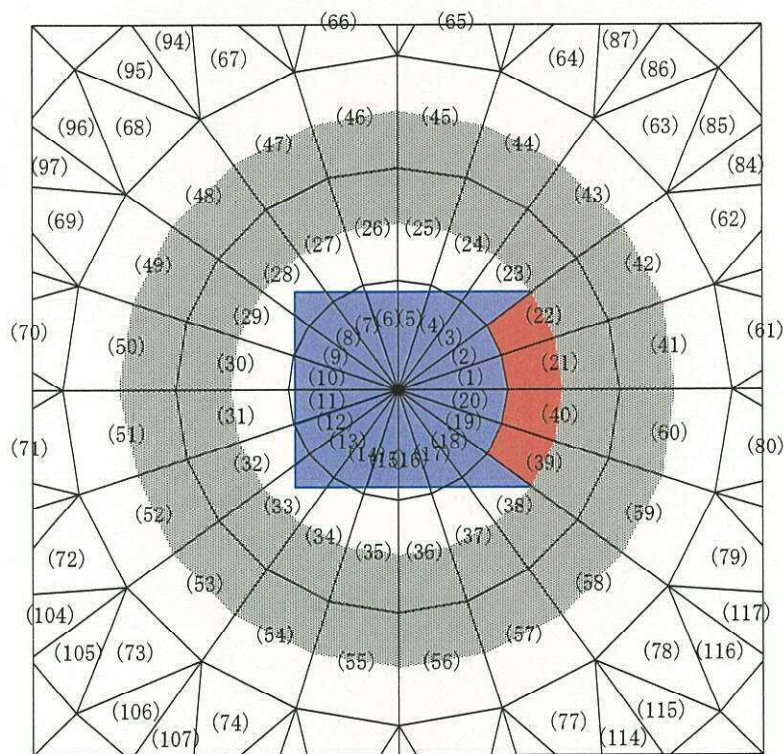
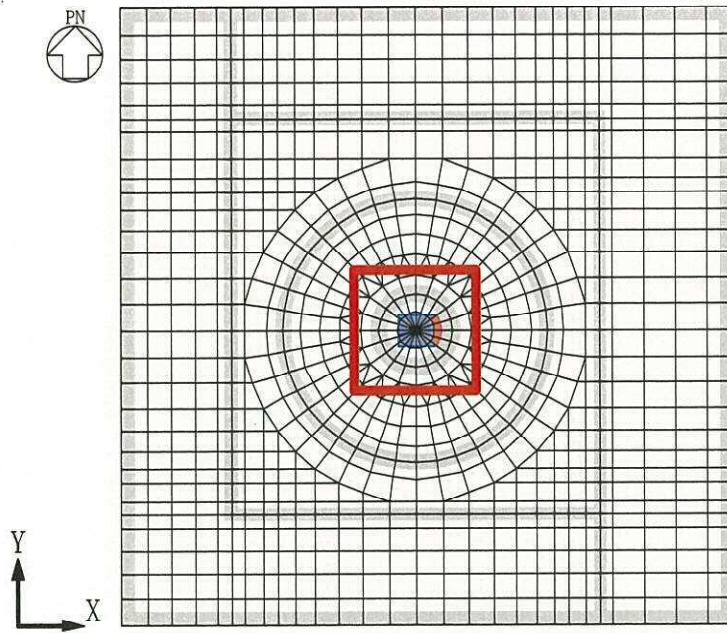
図 4-4 (4/13) 応力平均化範囲（面外せん断力,  $S_s$ 地震時）



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

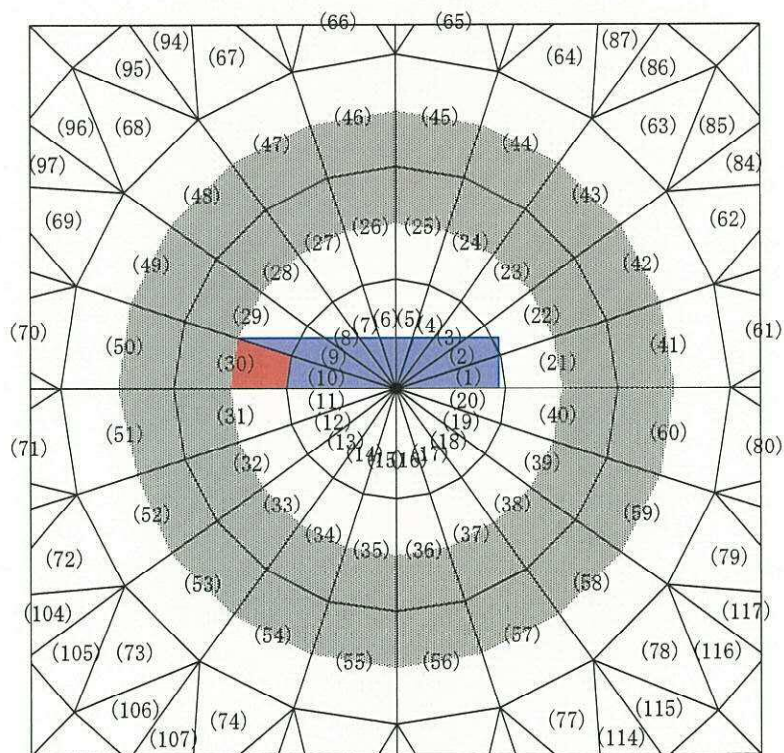
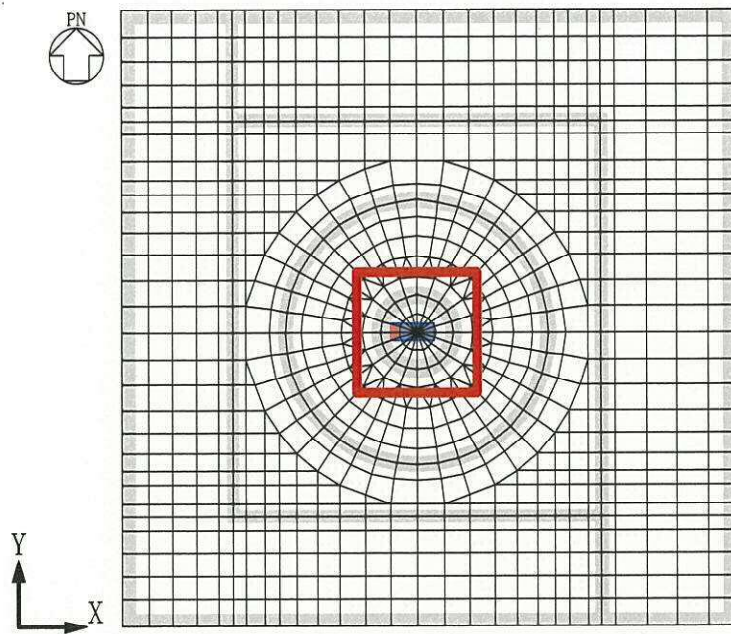
要素番号 35, 36 Y方向 ケース 3-3, 7-3

図 4-4 (5/13) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

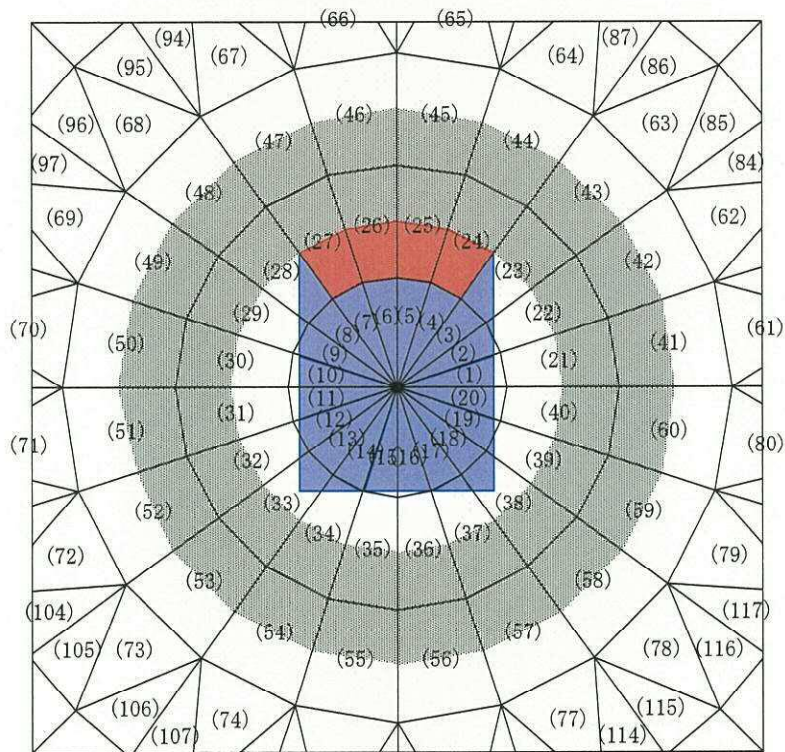
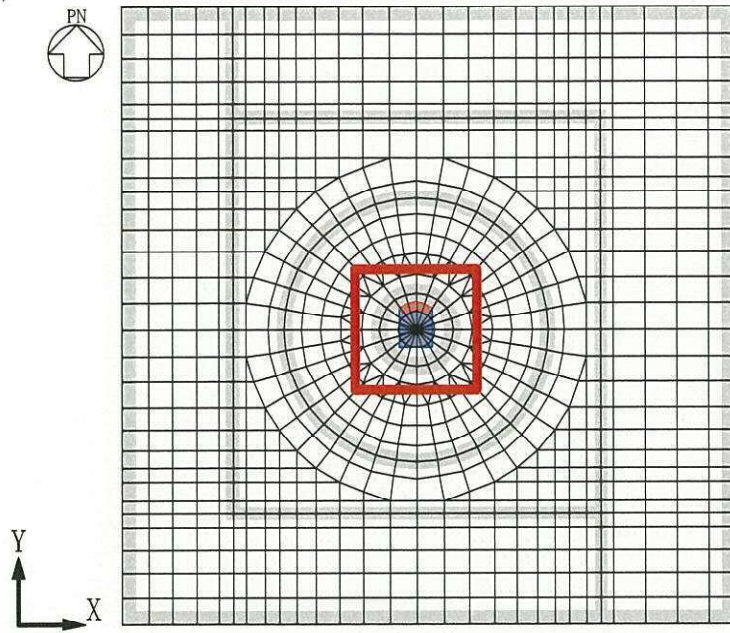
要素番号 21, 22, 39, 40 X方向 ケース 3-4, 7-4, 7-6, 7-8  
 図 4-4 (6/13) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 30 X方向 ケース 3-4

図 4-4 (7/13) 応力平均化範囲 (面外せん断力, S<sub>z</sub>地震時)

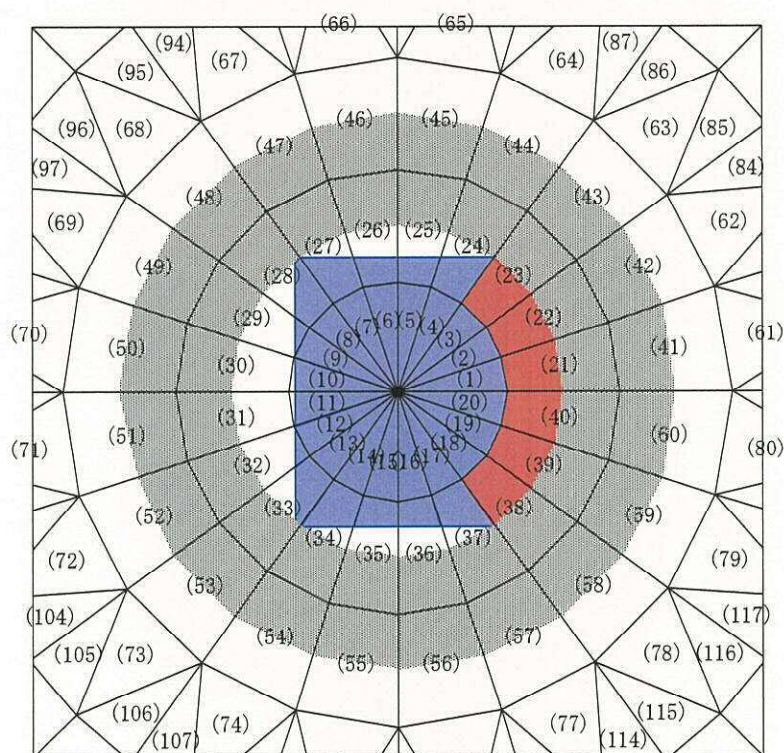
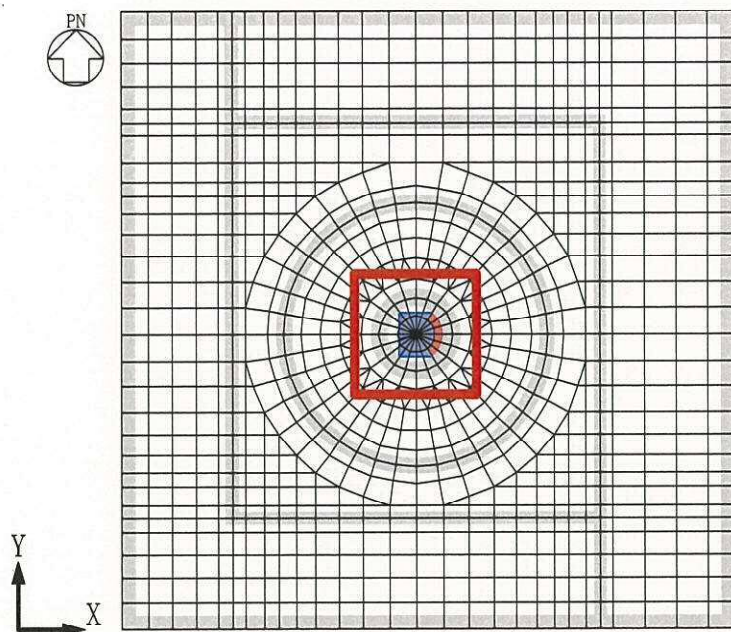


- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 24, 25, 26, 27 Y方向 ケース 3-5, 7-3

図 4-4 (8/13) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)

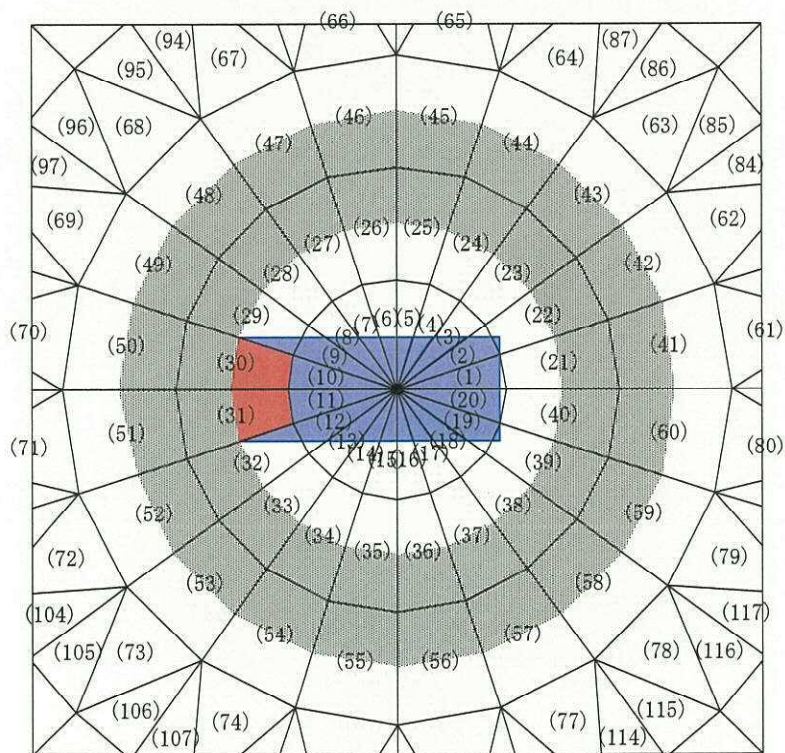
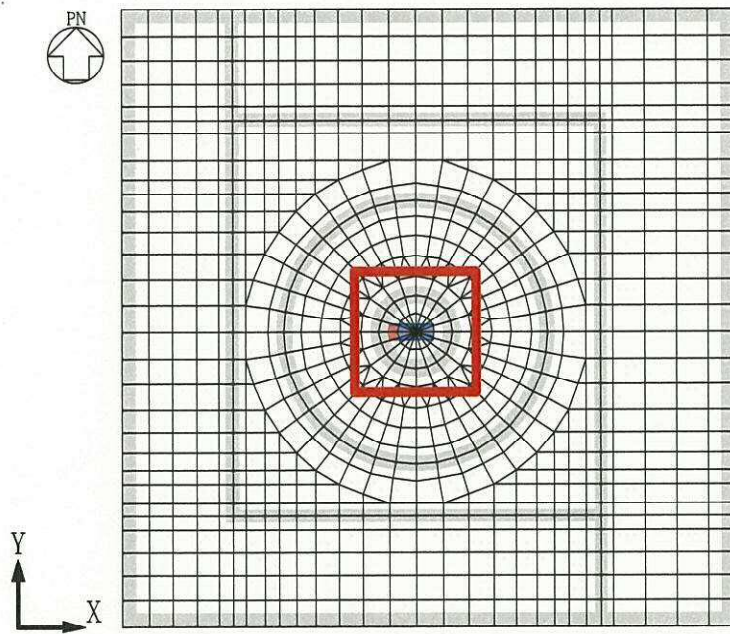




- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲 (平均化対象外)

要素番号 21, 22, 23, 38, 39, 40 X方向 ケース 3-6

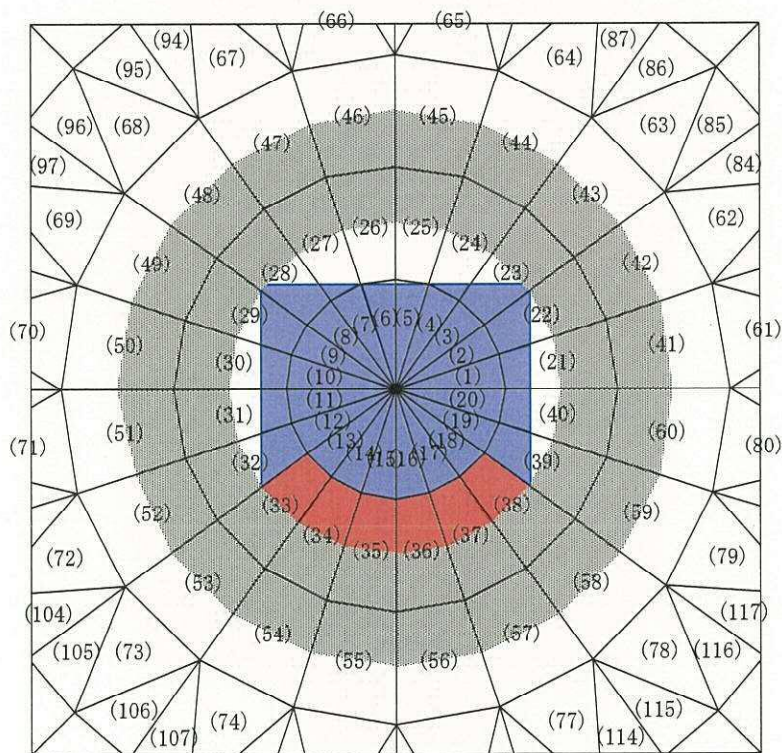
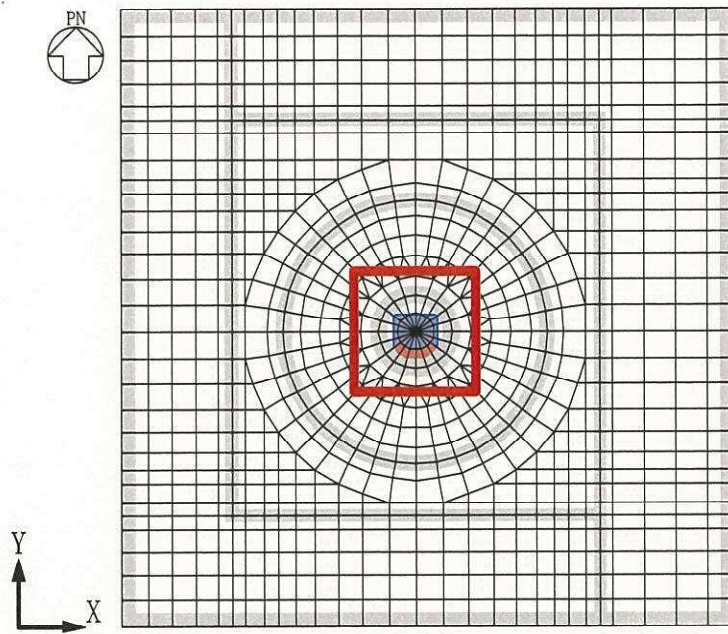
図 4-4 (9/13) 応力平均化範囲 (面外せん断力,  $S_s$ 地震時)



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 30, 31 X方向 ケース 3-6, 7-8

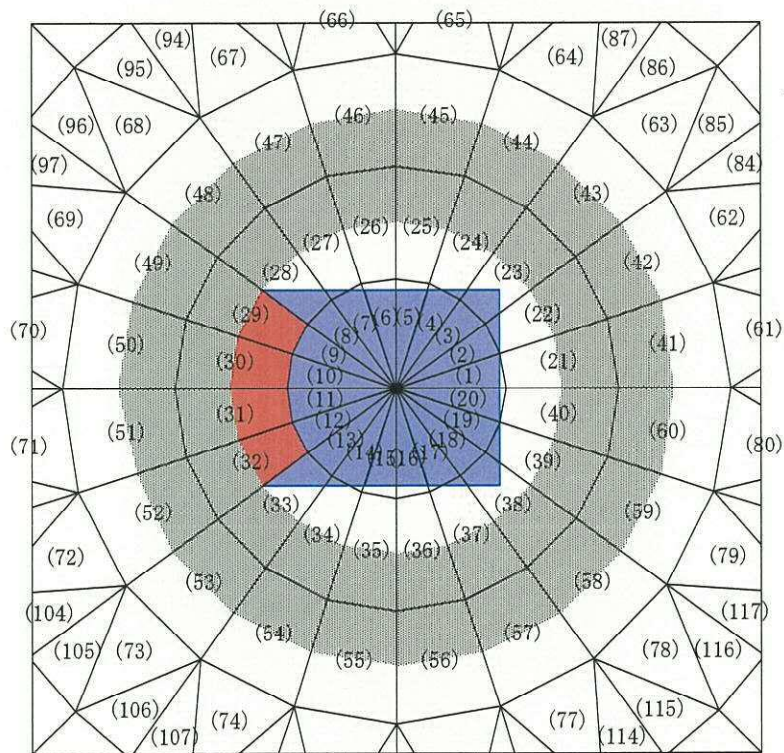
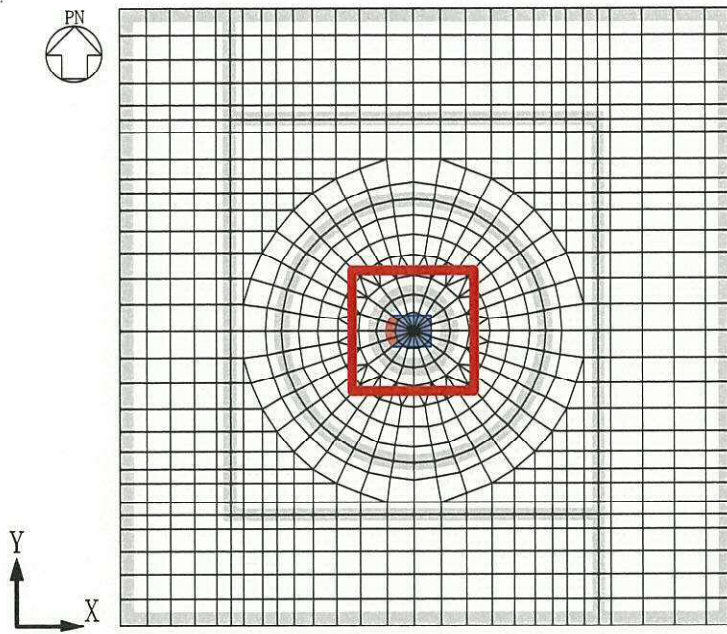
図 4-4 (10/13) 応力平均化範囲（面外せん断力,  $S_s$ 地震時）



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 33, 34, 35, 36, 37, 38 X方向 ケース 3-7

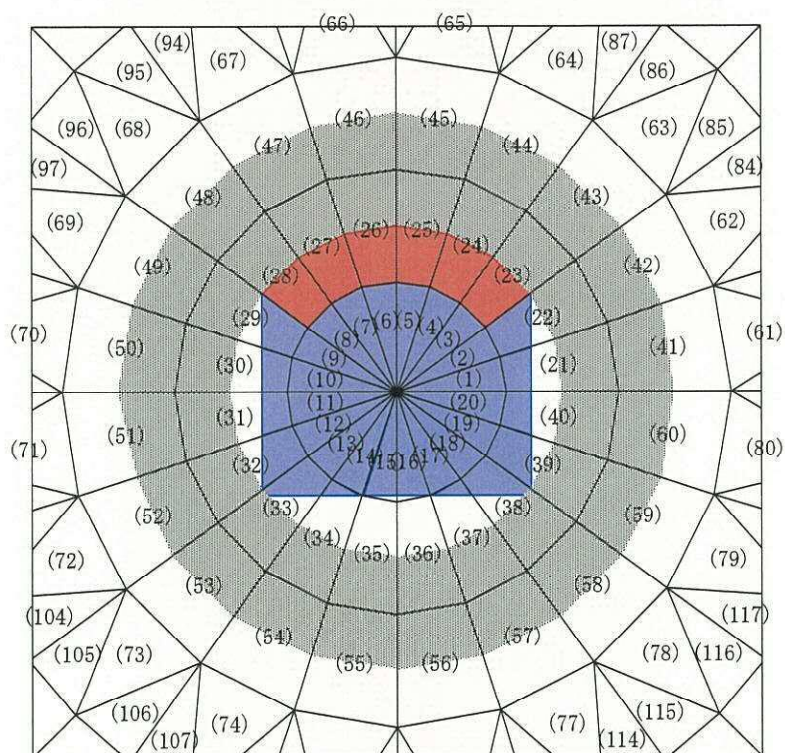
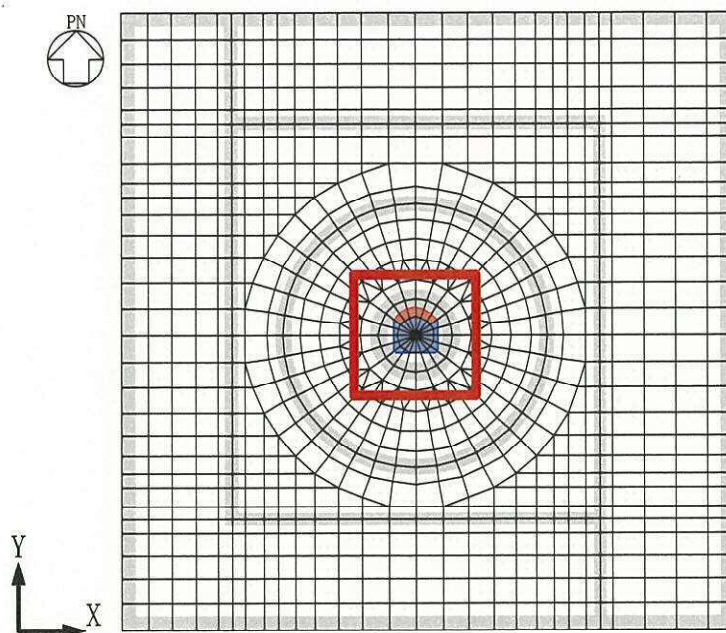
図 4-4 (11/13) 応力平均化範囲（面外せん断力,  $S_s$ 地震時）



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 29, 30, 31, 32 X方向 ケース3-8

図 4-4 (12/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）



- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 23, 24, 25, 26, 27, 28 Y方向 ケース 7-7

図 4-4 (13/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）

#### 4.3 応力の平均結果

応力平均化の手法として、要素面積を考慮した重み付け平均で平均化を行っている。  
応力平均化に用いる各要素の面積を表 4-2 に示す。  
また、応力平均化の結果を表 4-3 に示す。

表 4-2 (1/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-2 (21, 40)	X 方向	1	0.636
		2	0.582
		3	0.296
		4	0.182
		5	0.148
		6	0.148
		7	0.182
		8	0.296
		9	0.581
		10	0.595
		11	0.595
		12	0.581
		13	0.296
		14	0.182
		15	0.148
		16	0.148
		17	0.182
		18	0.296
		19	0.582
		20	0.636
		21	0.836
22	0.191		
29	0.023		
32	0.023		
39	0.191		
40	0.836		

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (2/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-4 (30)	X 方向	1	0.595
		2	0.581
		3	0.296
		4	0.182
		5	0.148
		6	0.148
		7	0.182
		8	0.296
		9	0.582
		22	0.023
		29	0.191
		30	0.836

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。



表 4-2 (3/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-6 7-8 (30, 31)	X 方向	1	0.595
		2	0.581
		3	0.296
		4	0.182
		5	0.148
		6	0.148
		7	0.182
		8	0.296
		9	0.582
		10	0.636
		11	0.636
		12	0.582
		13	0.296
		14	0.182
		15	0.148
		16	0.148
		17	0.182
		18	0.296
		19	0.581
		20	0.595
22	0.023		
29	0.191		
30	0.836		
31	0.836		
32	0.191		
39	0.023		

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (4/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-3 7-5 (25, 26)	Y 方向	1	0.148
		2	0.182
		3	0.296
		4	0.582
		5	0.636
		6	0.636
		7	0.582
		8	0.296
		9	0.182
		10	0.148
		11	0.148
		12	0.182
		13	0.296
		14	0.581
		15	0.595
		16	0.595
		17	0.581
		18	0.296
		19	0.182
		20	0.148
24	0.191		
25	0.836		
26	0.836		
27	0.191		
34	0.023		
37	0.023		

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (5/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-3 7-3 (35, 36)	Y 方向	1	0.148
		2	0.182
		3	0.296
		4	0.581
		5	0.595
		6	0.595
		7	0.581
		8	0.296
		9	0.182
		10	0.148
		11	0.148
		12	0.182
		13	0.296
		14	0.582
		15	0.636
		16	0.636
		17	0.582
		18	0.296
		19	0.182
		20	0.148
		24	0.023
		27	0.023
		34	0.191
		35	0.836
		36	0.836
		37	0.191

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (6/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-4 7-4 7-6 7-8 (21, 22, 39, 40)	X 方向	1	0.636
		2	0.635
		3	0.636
		4	0.620
		5	0.535
		6	0.535
		7	0.620
		8	0.636
		9	0.635
		10	0.595
		11	0.595
		12	0.635
		13	0.636
		14	0.620
		15	0.535
		16	0.535
		17	0.620
		18	0.636
		19	0.635
		20	0.636
		21	0.836
		22	0.836
		23	0.434
		24	0.040
		27	0.040
		28	0.310
		29	0.100
		32	0.100
		33	0.310
		34	0.040
		37	0.040
		38	0.434
		39	0.836
		40	0.836

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (7/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-8 (29, 30, 31, 32)	X 方向	1	0.595
		2	0.635
		3	0.636
		4	0.620
		5	0.535
		6	0.535
		7	0.620
		8	0.636
		9	0.635
		10	0.636
		11	0.636
		12	0.635
		13	0.636
		14	0.620
		15	0.535
		16	0.535
		17	0.620
		18	0.636
		19	0.635
		20	0.595
		22	0.100
		23	0.310
		24	0.040
		27	0.040
		28	0.434
		29	0.836
		30	0.836
		31	0.836
		32	0.836
		33	0.434
		34	0.040
		37	0.040
		38	0.310
		39	0.100

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (8/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-5 7-3 (24, 25, 26, 27)	Y 方向	1	0.535
		2	0.620
		3	0.636
		4	0.635
		5	0.636
		6	0.636
		7	0.635
		8	0.636
		9	0.620
		10	0.535
		11	0.535
		12	0.620
		13	0.636
		14	0.635
		15	0.595
		16	0.595
		17	0.635
		18	0.636
		19	0.620
		20	0.535
		22	0.040
		23	0.434
		24	0.836
		25	0.836
		26	0.836
		27	0.836
		28	0.434
		29	0.040
		32	0.040
		33	0.310
		34	0.100
		37	0.100
		38	0.310
		39	0.040

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (9/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-1 7-1 7-5 7-7 (34, 35, 36, 37)	Y 方向	1	0.535
		2	0.620
		3	0.636
		4	0.635
		5	0.595
		6	0.595
		7	0.635
		8	0.636
		9	0.620
		10	0.535
		11	0.535
		12	0.620
		13	0.636
		14	0.635
		15	0.636
		16	0.636
		17	0.635
		18	0.636
		19	0.620
		20	0.535
		22	0.040
		23	0.310
		24	0.100
		27	0.100
		28	0.310
		29	0.040
		32	0.040
		33	0.434
		34	0.836
		35	0.836
		36	0.836
		37	0.836
		38	0.434
		39	0.040

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (10/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-6 (21, 22, 23, 38, 39, 40)	X 方向	1	0.636
		2	0.635
		3	0.636
		4	0.635
		5	0.636
		6	0.377
		7	0.595
		8	0.545
		9	0.635
		10	0.595
		11	0.595
		12	0.635
		13	0.636
		14	0.620
		15	0.535
		16	0.636
		17	0.635
		18	0.636
		19	0.635
		20	0.636
		21	0.836
		22	0.836
		23	0.836
		24	0.616
		25	0.377
		26	0.377
		27	0.616
		28	0.543
		29	0.100
		32	0.100
		33	0.543
		34	0.630
		35	0.377
		36	0.377
		37	0.616
		38	0.836
		39	0.836
		40	0.836

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。



表 4-2 (11/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-2 7-2 7-6 (28, 29, 30, 31, 32, 33)	X 方向	1	0.595
		2	0.635
		3	0.545
		4	0.595
		5	0.377
		6	0.636
		7	0.635
		8	0.636
		9	0.635
		10	0.636
		11	0.636
		12	0.635
		13	0.636
		14	0.635
		15	0.636
		16	0.535
		17	0.620
		18	0.636
		19	0.635
		20	0.595
		22	0.100
		23	0.543
		24	0.616
		25	0.377
		26	0.377
		27	0.616
		28	0.836
		29	0.836
		30	0.836
		31	0.836
		32	0.836
		33	0.836
		34	0.616
		35	0.377
		36	0.377
		37	0.630
		38	0.543
		39	0.100

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (12/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
7-7 (23, 24, 25, 26, 27, 28)	Y 方向	1	0.636
		2	0.635
		3	0.636
		4	0.635
		5	0.636
		6	0.636
		7	0.635
		8	0.636
		9	0.635
		10	0.636
		11	0.535
		12	0.620
		13	0.636
		14	0.635
		15	0.595
		16	0.595
		17	0.635
		18	0.545
		19	0.595
		20	0.377
		21	0.377
		22	0.616
		23	0.836
		24	0.836
		25	0.836
		26	0.836
		27	0.836
		28	0.836
		29	0.616
		30	0.377
		31	0.377
		32	0.630
		33	0.543
		34	0.100
		37	0.100
		38	0.543
		39	0.616
		40	0.377

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-2 (13/13) 応力平均化に用いる各要素の面積

応力平均化* 対象ケース	方向	要素番号	要素面積 (m <sup>2</sup> )
3-7 (33, 34, 35, 36, 37, 38)	Y 方向	1	0.377
		2	0.595
		3	0.545
		4	0.635
		5	0.595
		6	0.595
		7	0.635
		8	0.636
		9	0.620
		10	0.535
		11	0.636
		12	0.635
		13	0.636
		14	0.635
		15	0.636
		16	0.636
		17	0.635
		18	0.636
		19	0.635
		20	0.636
		21	0.377
		22	0.616
		23	0.543
		24	0.100
		27	0.100
		28	0.543
		29	0.630
		30	0.377
		31	0.377
		32	0.616
		33	0.836
		34	0.836
		35	0.836
		36	0.836
		37	0.836
		38	0.836
		39	0.616
		40	0.377

注記 \* : ( ) 内は応力平均化対象要素を示す。

表 4-3 (1/4) 応力平均化結果

要素番号	方向	荷重の 組合せケース	面外せん断力 (kN/m)	
			平均化前	平均化後
21	X 方向	3-2	4452	3857
		3-4	4167	3738
		3-6	4886	4000
22	X 方向	3-4	4051	3738
		3-6	4709	4000
23	X 方向	3-6	4411	4000
28	X 方向	3-2	3962	3842
29	X 方向	3-2	4156	3842
		3-8	4607	3928
30	X 方向	3-2	4275	3842
		3-4	4322	3742
		3-6	3931	3806
		3-8	4782	3928
31	X 方向	3-2	4269	3842
		3-6	3930	3806
		3-8	4784	3928
32	X 方向	3-2	4139	3842
		3-8	4611	3928
33	X 方向	3-2	3937	3842
38	X 方向	3-6	4417	4000
39	X 方向	3-4	4017	3738
		3-6	4713	4000
40	X 方向	3-2	4452	3857
		3-4	4154	3738
		3-6	4888	4000

表 4-3 (2/4) 応力平均化結果

要素番号	方向	荷重の 組合せケース	面外せん断力 (kN/m)	
			平均化前	平均化後
24	Y 方向	3-5	4531	3877
25	Y 方向	3-3	4016	3857
		3-5	4699	3877
26	Y 方向	3-3	4017	3857
		3-5	4698	3877
27	Y 方向	3-5	4528	3877
33	Y 方向	3-7	4397	3969
34	Y 方向	3-1	4015	3712
		3-7	4699	3969
35	Y 方向	3-1	4135	3712
		3-3	4464	3790
		3-7	4878	3969
36	Y 方向	3-1	4133	3712
		3-3	4466	3790
		3-7	4880	3969
37	Y 方向	3-1	4009	3712
		3-7	4704	3969
38	Y 方向	3-7	4403	3969

表 4-3 (3/4) 応力平均化結果

要素番号	方向	荷重の 組合せケース	面外せん断力 (kN/m)	
			平均化前	平均化後
21	X 方向	7-4	4177	3714
		7-6	4529	3967
		7-8	4191	3824
22	X 方向	7-4	4053	3714
		7-6	4388	3967
		7-8	4076	3824
28	X 方向	7-2	3961	3811
		7-6	3998	3914
29	X 方向	7-2	4169	3811
		7-6	4185	3914
30	X 方向	7-2	4296	3811
		7-6	4302	3914
		7-8	4425	3841
31	X 方向	7-2	4293	3811
		7-6	4302	3914
		7-8	4427	3841
32	X 方向	7-2	4161	3811
		7-6	4184	3914
33	X 方向	7-2	3951	3811
		7-6	3997	3914
39	X 方向	7-4	4044	3714
		7-6	4392	3967
		7-8	4074	3824
40	X 方向	7-4	4174	3714
		7-6	4531	3967
		7-8	4190	3824

表 4-3 (4/4) 応力平均化結果

要素番号	方向	荷重の 組合せケース	面外せん断力 (kN/m)	
			平均化前	平均化後
23	Y 方向	7-7	3930	3869
24	Y 方向	7-3	4046	3772
		7-7	4107	3869
25	Y 方向	7-3	4164	3772
		7-5	4349	3796
		7-7	4219	3869
26	Y 方向	7-3	4163	3772
		7-5	4348	3796
		7-7	4219	3869
27	Y 方向	7-3	4045	3772
		7-7	4106	3869
28	Y 方向	7-7	3928	3869
34	Y 方向	7-1	4020	3678
		7-5	4048	3788
		7-7	4374	3914
35	Y 方向	7-1	4145	3678
		7-3	4328	3776
		7-5	4163	3788
		7-7	4517	3914
36	Y 方向	7-1	4144	3678
		7-3	4330	3776
		7-5	4163	3788
		7-7	4519	3914
37	Y 方向	7-1	4017	3678
		7-5	4048	3788
		7-7	4378	3914

#### 4.4 断面の評価

##### 4.4.1 断面の評価方法

荷重状態IV及びVの面外せん断力については、発生面外せん断応力度が、許容面外せん断応力度を超えないことを確認する。許容面外せん断応力度は、「CCV規格」に基づき算出する。

##### 4.4.2 断面の評価結果

応力平均化後の評価結果を表4-4に示す。

表4-4より、応力平均化後の発生面外せん断応力度が、それぞれ許容面外せん断応力度を超えないことを確認した。

なお、「RC-N規準」に基づき $\alpha$ を考慮した各荷重状態の評価結果を記載する要素位置を図4-5～図4-11に、各評価結果を表4-5～表4-11に参考に示す。



表 4-4 (1/4) 応力平均化後の断面の評価結果

要素番号	方向	荷重の 組合せ ケース	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
			発生値	許容値	
21	X 方向	3-2	0.975	1.06	0.920
		3-4	0.966	1.06	0.912
		3-6	1.01	1.06	0.953
22	X 方向	3-4	0.966	1.06	0.912
		3-6	1.01	1.06	0.953
23	X 方向	3-6	1.01	1.06	0.953
28	X 方向	3-2	0.984	1.06	0.929
29	X 方向	3-2	0.984	1.06	0.929
		3-8	0.988	1.06	0.933
30	X 方向	3-2	0.984	1.06	0.929
		3-4	0.949	1.06	0.896
		3-6	0.984	1.06	0.929
		3-8	0.988	1.06	0.933
31	X 方向	3-2	0.984	1.06	0.929
		3-6	0.984	1.06	0.929
		3-8	0.988	1.06	0.933
32	X 方向	3-2	0.984	1.06	0.929
		3-8	0.988	1.06	0.933
33	X 方向	3-2	0.984	1.06	0.929
38	X 方向	3-6	1.01	1.06	0.953
39	X 方向	3-4	0.966	1.06	0.912
		3-6	1.01	1.06	0.953
40	X 方向	3-2	0.975	1.06	0.920
		3-4	0.966	1.06	0.912
		3-6	1.01	1.06	0.953

表 4-4 (2/4) 応力平均化後の断面の評価結果

要素 番号	方向	荷重の 組合せ ケース	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
			発生値	許容値	
24	Y 方向	3-5	0.975	1.06	0.920
25	Y 方向	3-3	0.958	1.06	0.904
		3-5	0.975	1.06	0.920
26	Y 方向	3-3	0.958	1.06	0.904
		3-5	0.975	1.06	0.920
27	Y 方向	3-5	0.975	1.06	0.920
33	Y 方向	3-7	1.01	1.06	0.953
34	Y 方向	3-1	0.952	1.06	0.899
		3-7	1.01	1.06	0.953
35	Y 方向	3-1	0.952	1.06	0.899
		3-3	0.962	1.06	0.908
		3-7	1.01	1.06	0.953
36	Y 方向	3-1	0.952	1.06	0.899
		3-3	0.962	1.06	0.908
		3-7	1.01	1.06	0.953
37	Y 方向	3-1	0.952	1.06	0.899
		3-7	1.01	1.06	0.953
38	Y 方向	3-7	1.01	1.06	0.953

表 4-4 (3/4) 応力平均化後の断面の評価結果

要素 番号	方向	荷重の 組合せ ケース	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
			発生値	許容値	
21	X 方向	7-4	0.932	1.06	0.880
		7-6	0.977	1.06	0.922
		7-8	0.960	1.06	0.906
22	X 方向	7-4	0.932	1.06	0.880
		7-6	0.977	1.06	0.922
		7-8	0.960	1.06	0.906
28	X 方向	7-2	0.955	1.06	0.901
		7-6	0.981	1.06	0.926
29	X 方向	7-2	0.955	1.06	0.901
		7-6	0.981	1.06	0.926
30	X 方向	7-2	0.955	1.06	0.901
		7-6	0.981	1.06	0.926
		7-8	0.942	1.06	0.889
31	X 方向	7-2	0.955	1.06	0.901
		7-6	0.981	1.06	0.926
		7-8	0.942	1.06	0.889
32	X 方向	7-2	0.955	1.06	0.901
		7-6	0.981	1.06	0.926
33	X 方向	7-2	0.955	1.06	0.901
		7-6	0.981	1.06	0.926
39	X 方向	7-4	0.932	1.06	0.880
		7-6	0.977	1.06	0.922
		7-8	0.960	1.06	0.906
40	X 方向	7-4	0.932	1.06	0.880
		7-6	0.977	1.06	0.922
		7-8	0.960	1.06	0.906

表 4-4 (4/4) 応力平均化後の断面の評価結果

要素番号	方向	荷重の 組合せ ケース	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
			発生値	許容値	
23	Y 方向	7-7	0.969	1.06	0.915
24	Y 方向	7-3	0.947	1.06	0.894
		7-7	0.969	1.06	0.915
25	Y 方向	7-3	0.947	1.06	0.894
		7-5	0.931	1.06	0.879
		7-7	0.969	1.06	0.915
26	Y 方向	7-3	0.947	1.06	0.894
		7-5	0.931	1.06	0.879
		7-7	0.969	1.06	0.915
27	Y 方向	7-3	0.947	1.06	0.894
		7-7	0.969	1.06	0.915
28	Y 方向	7-7	0.969	1.06	0.915
34	Y 方向	7-1	0.923	1.06	0.871
		7-5	0.951	1.06	0.898
		7-7	0.969	1.06	0.915
35	Y 方向	7-1	0.923	1.06	0.871
		7-3	0.926	1.06	0.874
		7-5	0.951	1.06	0.898
		7-7	0.969	1.06	0.915
36	Y 方向	7-1	0.923	1.06	0.871
		7-3	0.926	1.06	0.874
		7-5	0.951	1.06	0.898
		7-7	0.969	1.06	0.915
37	Y 方向	7-1	0.923	1.06	0.871
		7-5	0.951	1.06	0.898
		7-7	0.969	1.06	0.915

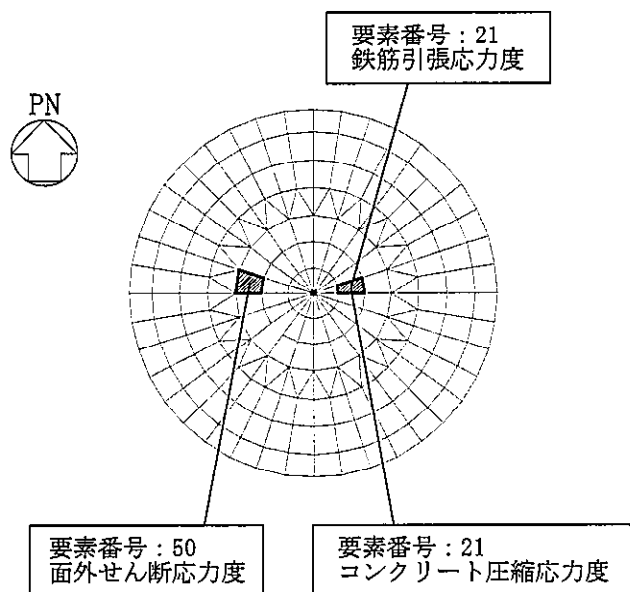


図 4-5 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

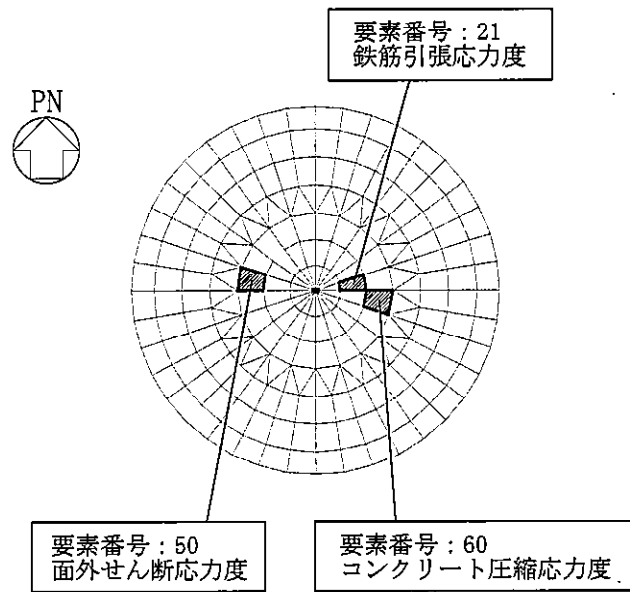


図 4-6 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

表 4-5 評価結果 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	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	半径	21	1-22	3.59	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	円周	21	1-22	137	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	半径	50	1-24	0.898	2.12

表 4-6 評価結果 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	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	半径	60	2-22	4.71	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	円周	21	2-22	200	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	半径	50	2-24	1.12	2.12

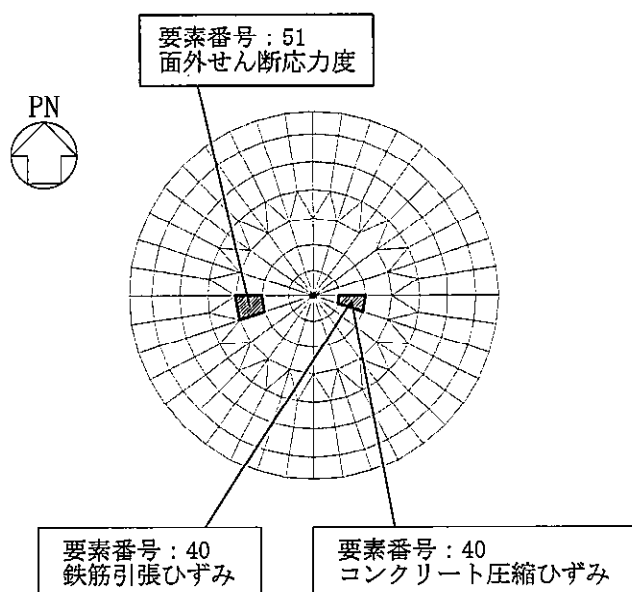


図 4-7 結果を記載する要素の位置 荷重状態IV・地震時 (2)

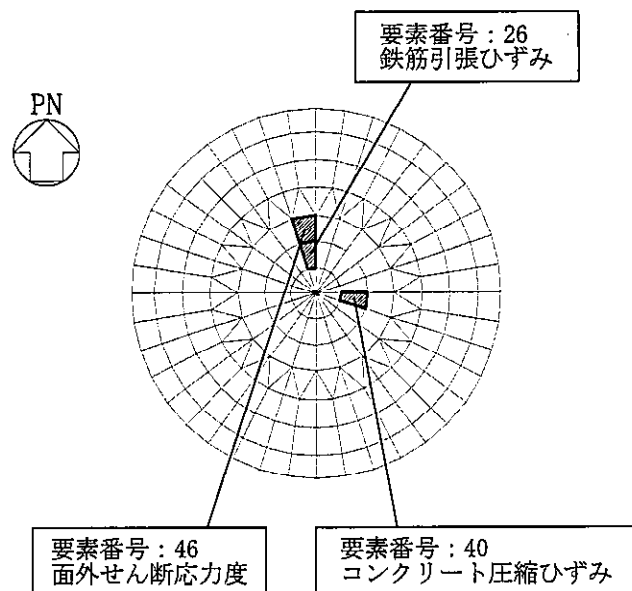


図 4-8 結果を記載する要素の位置 荷重状態IV・(異常+地震)時 (2)



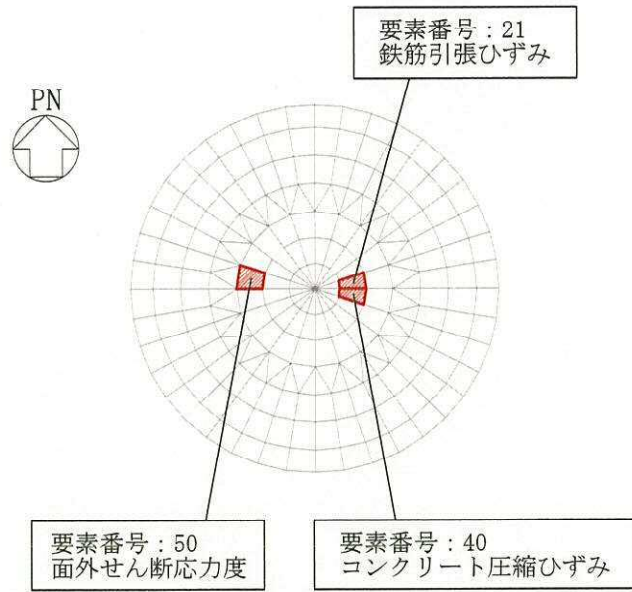


図 4-9 結果を記載する要素の位置 荷重状態V・(異常+地震)時 (3)

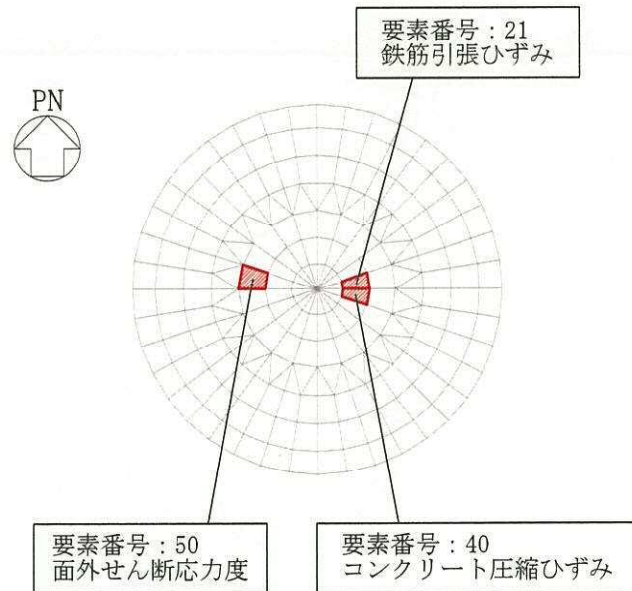


図 4-10 結果を記載する要素の位置 荷重状態V・(異常+地震)時 (4)

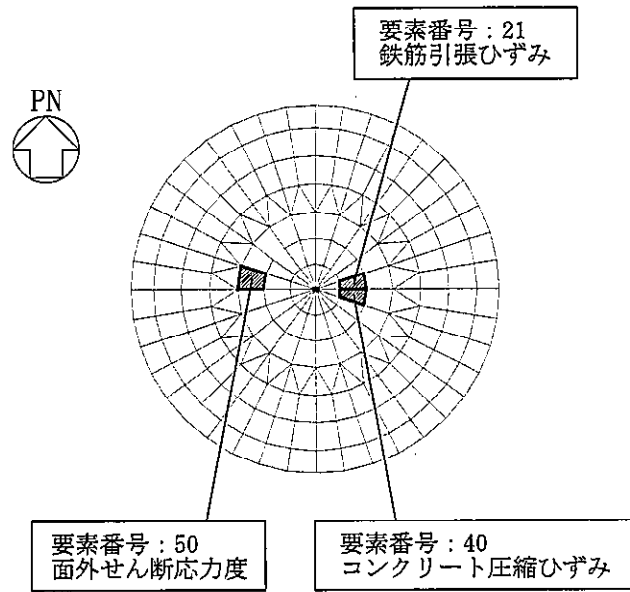


図 4-11 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震)時 (5)

表 4-7 評価結果 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	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	半径	40	3-6	0.333	3.00
	鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	円周	40	3-4	0.642	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	半径	51	3-4	1.40	2.12

表 4-8 評価結果 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	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	半径	40	4-6	0.288	3.00
	鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	半径	26	4-5	0.589	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	半径	46	4-5	1.17	2.12

表 4-9 評価結果 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	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	半径	40	5-6	0.375	3.00
	鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	円周	21	5-6	0.895	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	半径	50	5-8	1.36	2.12

表 4-10 評価結果 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	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	半径	40	6-6	0.341	3.00
	鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	円周	21	6-6	0.840	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	半径	50	6-8	1.23	2.12

表 4-11 評価結果 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	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	半径	40	7-6	0.426	3.00
	鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	円周	21	7-6	0.814	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	半径	50	7-8	1.62	2.12

補足-370-7【建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用】

## 目次

1. 概要	1
1.1 検討概要	1
1.2 評価対象部位及び検討方針	2
2. 検討結果	19
2.1 地盤の検討	19
2.1.1 検討内容	19
2.1.2 検討結果	22
2.2 杭の検討	28
2.2.1 検討内容	28
2.2.2 検討結果	31
2.3 基礎の検討	35
2.3.1 検討内容	35
2.3.2 検討結果	37
2.4 上部構造物の検討	42
2.4.1 検討内容	42
2.4.2 検討結果	45
3. まとめ	56

別紙 時刻歴による評価値

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料は、東海第二発電所の建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性について説明するものである。

建物・構築物の耐震評価として行う水平及び鉛直方向の荷重の組合せを考慮した評価において、水平及び鉛直方向のそれぞれの最大値をもとに組合せ係数法を適用した評価値（以下、「組合せ係数法による評価値」という）と水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴を時々刻々組合せて算定した時刻歴の最大値をもとにした評価値（以下「時刻歴和による評価値」という。）の比較を行うことで、組合せ係数法の適用性を確認する。

また、本資料は、以下の添付書類の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-2-5 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-15-2 主排気筒の基礎の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-17 非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-11 緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-11-2-15 使用済燃料乾式貯蔵建屋上屋の耐震性についての計算書」

## 1.2 評価対象部位及び検討方針

建物・構築物の耐震評価に考慮する荷重の組合せにおいては、以下に示す組合せ係数法を適用し、水平及び鉛直方向の地震力が同時に不利な方向に作用するものとして評価を実施している。

①： $1.0 \times$ 水平地震力による荷重 $+0.4 \times$ 鉛直地震力による荷重

②： $0.4 \times$ 水平地震力による荷重 $+1.0 \times$ 鉛直地震力による荷重

耐震評価に組合せ係数法を用いている建物・構築物及び評価対象部位を表 1-1 に示す。評価対象部位のうち、地盤については地震応答解析に基づいて接地圧の評価を、杭については応力解析に基づいて杭の鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面の評価（以下「杭の評価」という。）を、その他の部位については地震応答解析または応力解析に基づいて断面の評価を実施している。



表 1-1 耐震評価に組合せ係数法を用いている建物・構築物及び評価対象部位

建物・構築物	評価対象部位	評価方法	地震動
原子炉建屋	使用済燃料 プール躯体	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$ 弾性設計用地震動 $S_d$
	底部コンクリート マット	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$ 弾性設計用地震動 $S_d$
	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$ 弾性設計用地震動 $S_d$
	地盤	地震応答解析による評価 (接地圧の評価)	基準地震動 $S_s$ 弾性設計用地震動 $S_d$
主排気筒	筒身	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	鉄塔	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	基礎	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	杭	応力解析による評価 (杭の評価)	基準地震動 $S_s$
非常用ガス処理系配管 支持架構	上部構造物	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	杭	応力解析による評価 (杭の評価)	基準地震動 $S_s$
使用済燃料乾式貯蔵建屋	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	杭	応力解析による評価 (杭の評価)	基準地震動 $S_s$
格納容器圧力逃がし装置格 納槽	上版	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	耐震壁 (地下外壁)	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	地盤	地震応答解析による評価 (接地圧の評価)	基準地震動 $S_s$
緊急時対策所建屋	基礎スラブ	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 $S_s$
	杭	応力解析による評価 (杭の評価)	基準地震動 $S_s$

建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性を検討するにあたっては、まず、組合せ係数法による評価値が、時刻歴和による評価値と同等又は保守的であることを確認する。その結果、同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による評価値に基づいた評価が及ぼす各部への影響を検討する。その結果、許容限界に対して十分な余裕を有することを確認することにより、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。検討のフローを図1-1に示す。

組合せ係数法を用いて評価している部位は、大きく地盤、杭、基礎、上部構造物に分類される。以下に、分類された評価部位に対して、具体的な検討方針を示す。

地盤については、原子炉建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽に対して実施する接地圧の評価について組合せ係数法の適用性を検討する。検討は、原子炉建屋については弾性設計用地震動 $S_d$ 及び基準地震動 $S_b$ に対して、格納容器圧力逃がし装置格納槽については基準地震動 $S_b$ に対して実施することとし、断層モデルに基づく地震動のうち最大接地圧が最も大きくなるもの及び応答スペクトルに基づく地震動並びに震源を特定せず策定する地震動に対して実施する。検討においては、まず組合せ係数法による最大接地圧が、時刻歴和による最大接地圧と同等または保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による最大接地圧を用いた場合の接地圧の評価への影響検討を行う。

杭については、主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋に対して実施する杭の評価について、組合せ係数法の適用性を検討する。検討は基準地震動 $S_b$ に対して実施することとし、断層モデルに基づく地震動のうち、杭の評価で検定比が最も大きくなる地震動、及び応答スペクトルに基づく地震動、並びに震源を特定せず策定する地震動に対して実施する。検討においては、まず組合せ係数法による杭の評価での検定比が、時刻歴和による杭の評価での検定比と同等または保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による杭の評価での検定比が及ぼす、杭の評価への影響検討を行う。

基礎については、基礎への地震荷重の入力と関連が深い接地圧もしくは杭の評価での検定比において、組合せ係数法による評価値が、時刻歴和による評価値を下回る建物・構築物に対して検討を行う。検討は、断層モデルに基づく地震動及び応答スペクトルに基づく地震動、並びに震源を特定せず策定する地震動に対して実施する。ここで、基礎の評価に与える影響が最も大きい地震動がこれらの地震動と異なる場合はその影響を確認する。検討においては、基礎への地震荷重の入力という観点で、基準地震動 $S_b$ （原子炉建屋については弾性設計用地震動 $S_d$ 及び基準地震動 $S_b$ ）を包絡した上で算定する組合せ係数法による断面に関する評価値が、時刻歴和による評価値と同等または保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による断面の評価が及ぼす、基礎の評価への影響検討を行う。

上部構造物については、上部構造の検討に荷重組合せ係数法を用いている建物・構築物（原子炉建屋、主排気塔、非常用ガス処理系配管支持架構、格納容器圧力逃がし装置格納槽）から、水平地震力の影響を受けやすい、アスペクト比の大きい主排気筒を代表として検討することとする。ただし、対象となる建物のうち、地上階を有する建物として、原子炉建屋の使用済燃料

プールについても検討を実施する。各建物・構築物のアスペクト比を表 1-2 に示す。なお、表 1-2 には、上部構造の検討に荷重組合せ係数法を用いていない使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所建屋についても参考としてアスペクト比を記載している。検討は、原子炉建屋については弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_b$ 、主排気筒については基準地震動  $S_b$  に対して実施することとする。

原子炉建屋の使用済燃料プールについては、質点系モデルによる地震応答解析から求めたプール部に該当する要素の最大応答せん断力、曲げモーメント、鉛直加速度に基づく鉛直震度を応力解析モデルに地震荷重として考慮していることから、係数 1.0 用いて組合せる方向（以下「主方向」という。）の最大応答値発生時刻における係数 0.4 を用いて組合せる方向（以下「副方向」という。）の応答と最大応答値の比率を算定し、組合せ係数 0.4 と同等又は保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による断面の評価が及ばず、上部構造物の評価への影響検討を行う。

主排気筒について、鉄塔の支柱材の軸圧縮応力度と曲げ応力度の合成応力度の検定比が最も厳しいため鉄塔の支柱材を代表として検討する。検討は、基準地震動  $S_b$  全波を包絡した上で組合せ係数法を適用して算定した評価値が、時刻歴和による評価値と同等または保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による断面の評価が及ばず、上部構造物の評価への影響検討を行う。

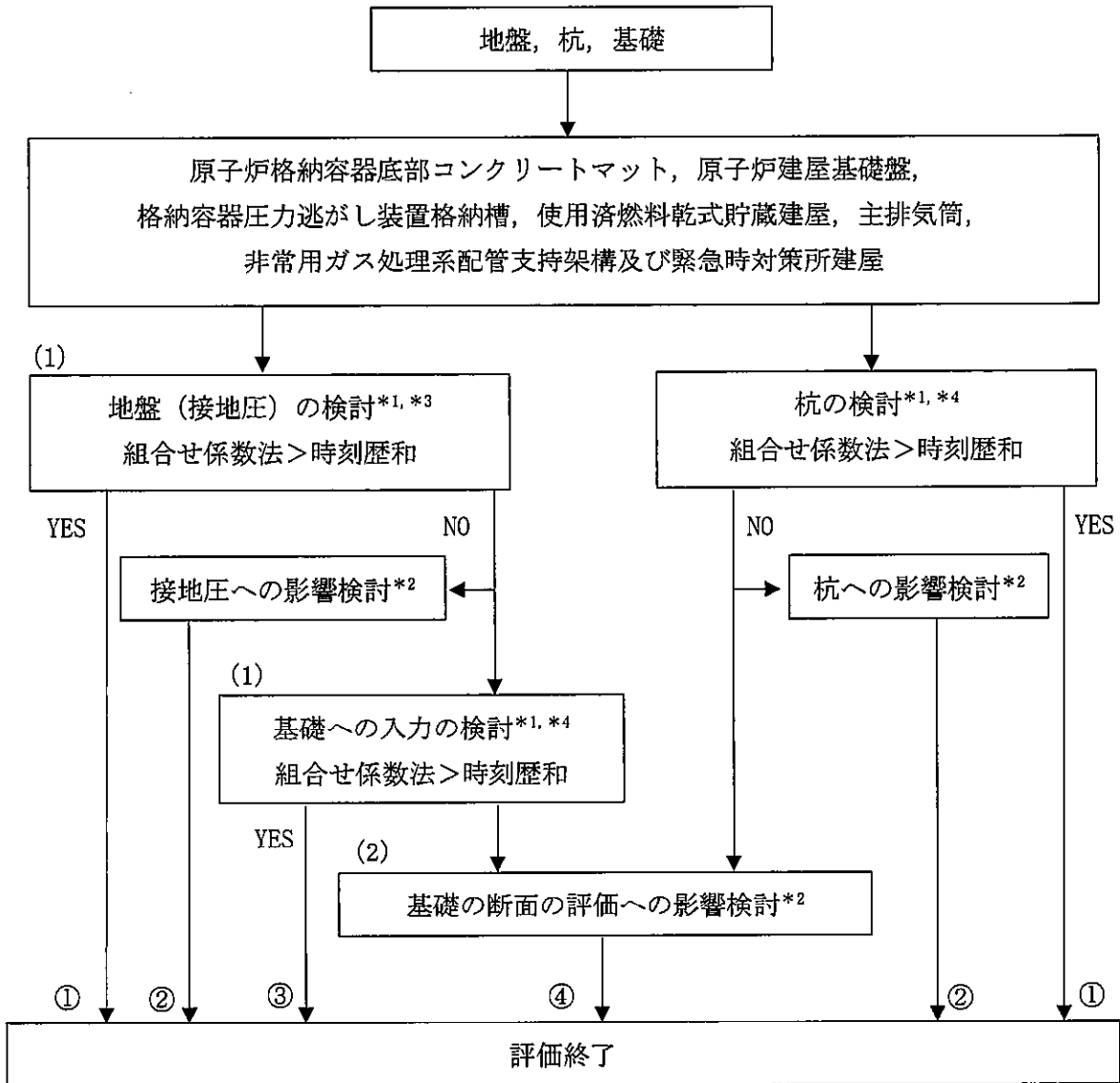
組合せ係数法による評価値と、水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴和による評価値の比較は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」、添付書類「V-2-2-4 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」、添付書類「V-2-2-14 主排気筒の地震応答計算書」、添付書類「V-2-2-16 非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答計算書」、添付書類「V-2-2-10 緊急時対策所建屋の地震応答計算書」、添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」に示す基本ケースの結果に基づく。

上述の組合せ係数法による評価値が、水平及び鉛直方向の地震応答の時刻歴和による評価値と同等または保守的と言えない場合に実施する影響検討を行う際には、基本ケースの結果を用いて算出した割増係数を乗じて、材料物性（地盤物性）のばらつきを考慮する。

原子炉建屋、主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋、格納容器圧力逃がし装置格納槽及び緊急時対策所建屋の地震応答解析モデルを図 1-2～図 1-12 に示す。

表 1-2 各建物・構築物のアスペクト比（高さ／短辺幅）

原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス処理系配管支持架構	使用済燃料乾式貯蔵建屋	格納容器圧力逃がし装置格納槽	緊急時対策所建屋
1.1	5.0	2.7	0.71	1.7	0.90



- (1) 断層モデルに基づく地震動のうち、最大接地圧が最も大きくなるもの及び応答スペクトルに基づく地震動並びに震源を特定せず策定する地震動に対して検討
- (2) 断層モデルに基づく地震動のうち、最大接地圧が最も大きくなるもの及び応答スペクトルに基づく地震動並びに震源を特定せず策定する地震動に対して検討(基礎の応力評価に与える影響が最も大きい地震動の影響を確認する)。

●使用済燃料乾式貯蔵建屋・・・①

●原子炉格納容器底部コンクリートマット・・・②, ③

●原子炉建屋基礎盤・・・②, ③

●格納容器圧力逃がし装置格納槽・・・②, ③

●主排気筒・・・①, ⑤

●非常用ガス処理系配管支持架構・・・①

●緊急時対策所建屋・・・①

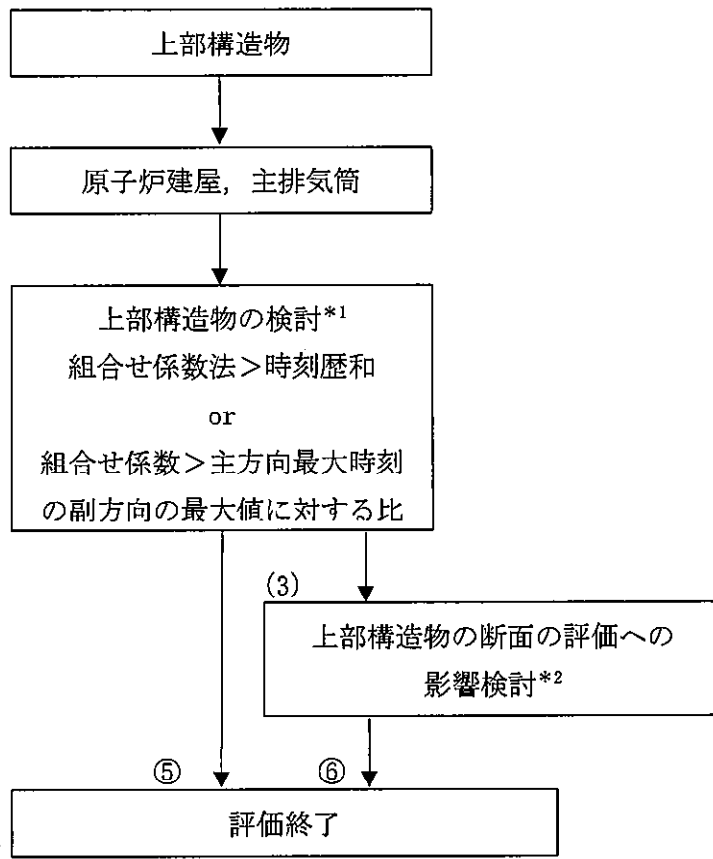
注記 \*1: 基本ケースによる検討

\*2: 材料物性のばらつきを考慮した検討

\*3:  $S_s$ ,  $S_d$ 各波に対する検討

\*4:  $S_s$ ,  $S_d$ 各波の地震荷重を包絡した検討

図 1-1 (1/2) 検討フロー



(3) 断層モデルに基づく地震動のうち水平方向の地震力による応答曲げモーメントが最大となるもの及び応答スペクトルに基づく地震動並びに震源を特定せず策定する地震動に対して実施する検討

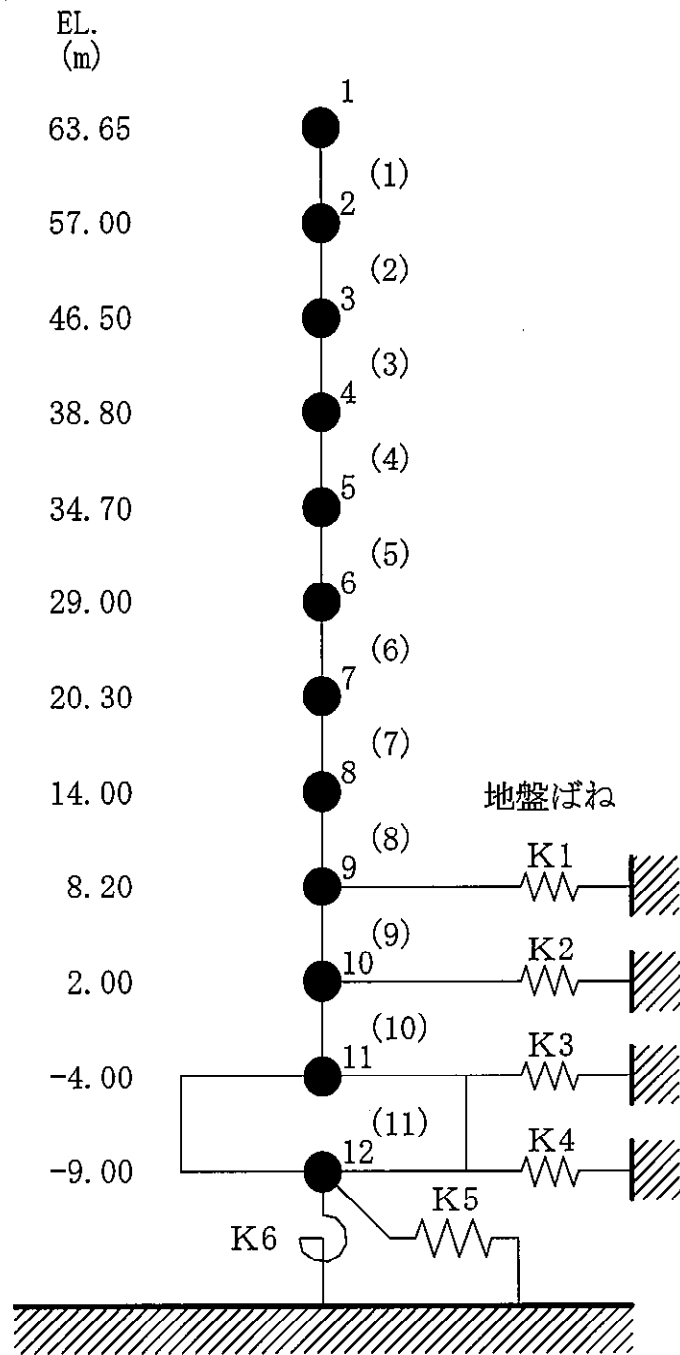
●主排気筒・・・⑤

●使用済燃料プール・・・⑥

注記 \*1:  $S_s$ ,  $S_d$ 各波に対するした検討

\*2:  $S_s$ ,  $S_d$ 各波の地震力を包絡した検討

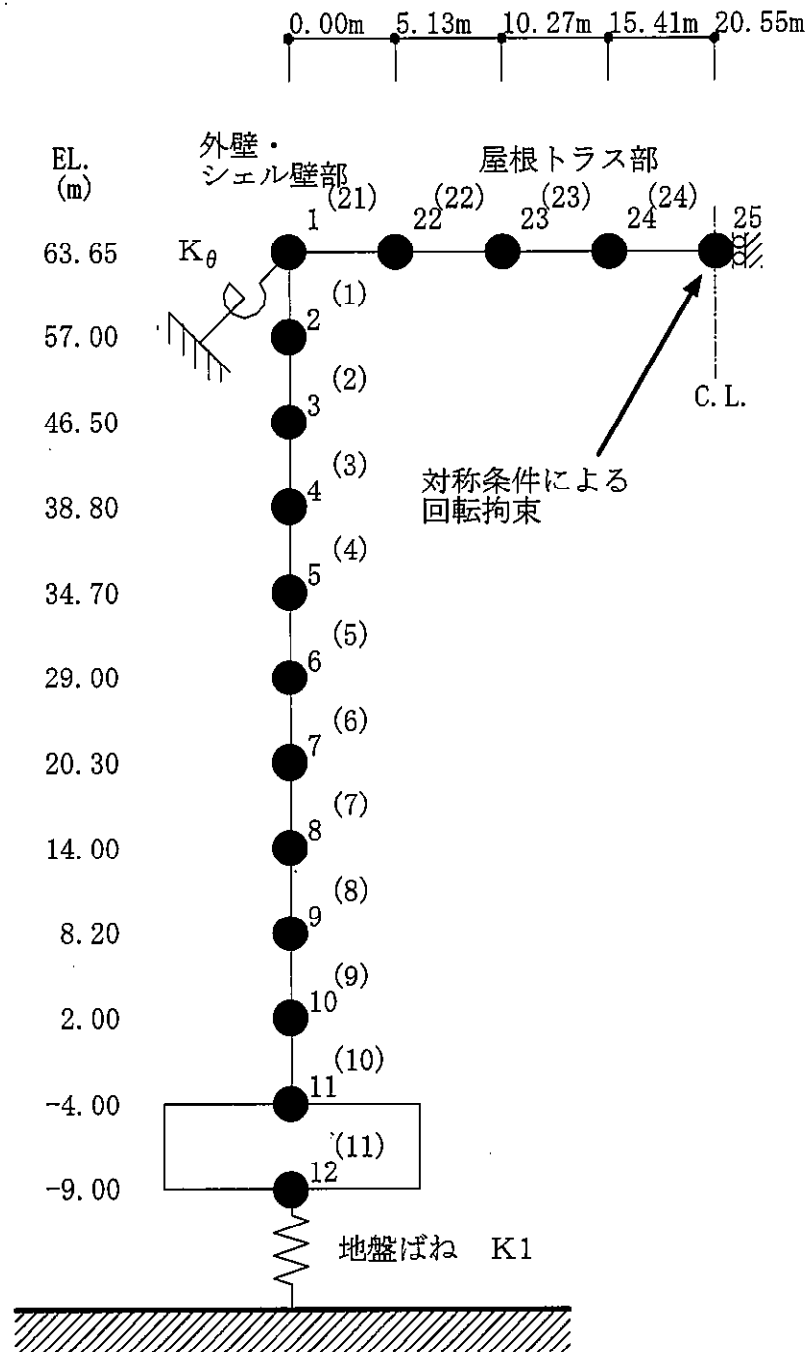
図 1-1 (2/2) 検討フロー



注 1 : 数字は質点番号を示す。

注 2 : ( ) 内は要素番号を示す。

図 1-2  の地震応答解析モデル (水平方向)



注1 : 数字は質点番号を示す。

注2 : ( ) 内は要素番号を示す。

図 1-3  の地震応答解析モデル (鉛直方向)

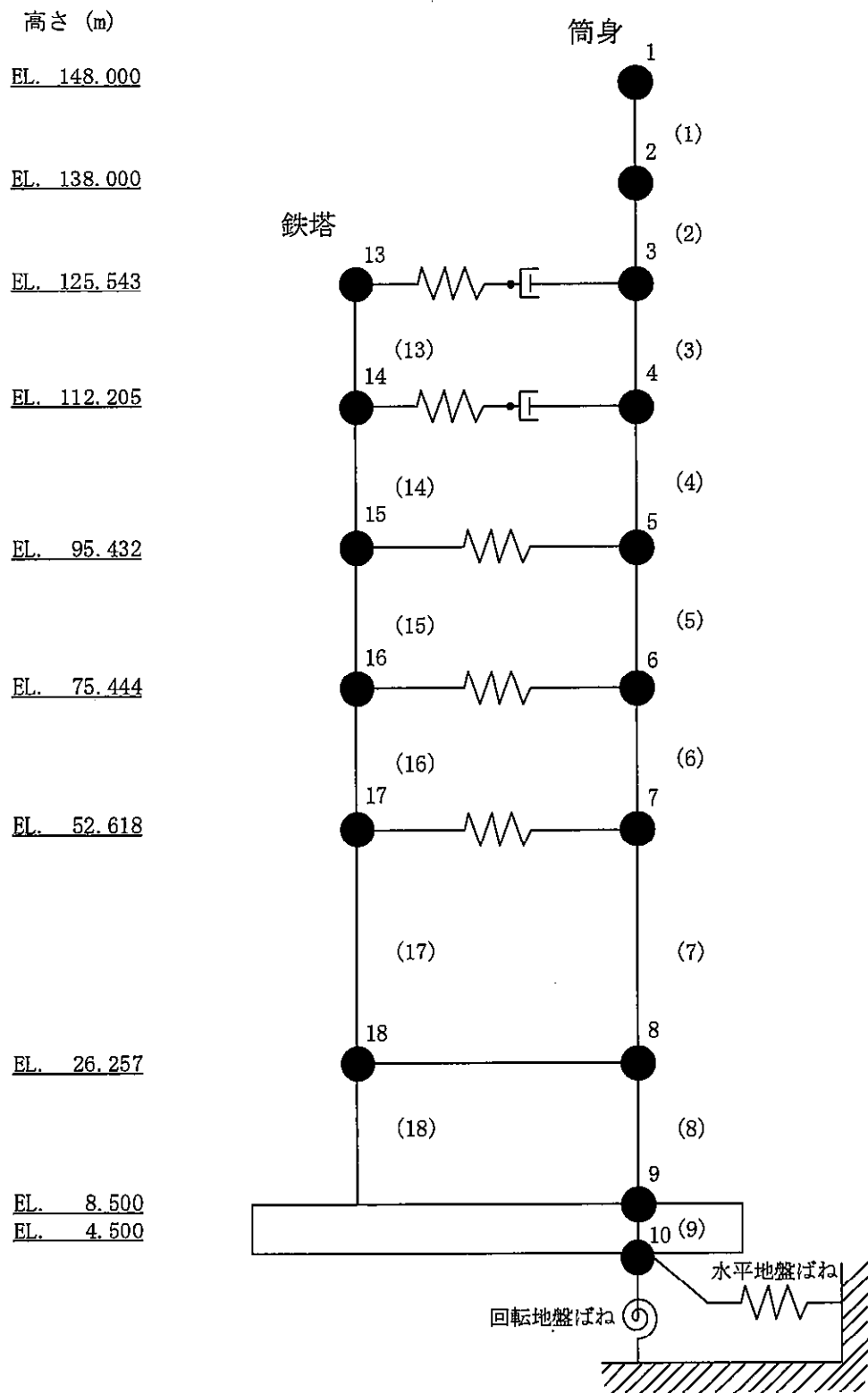


図 1-4 主排気筒の地震応答解析モデル (水平方向 :  $0^\circ$  ,  $45^\circ$  )



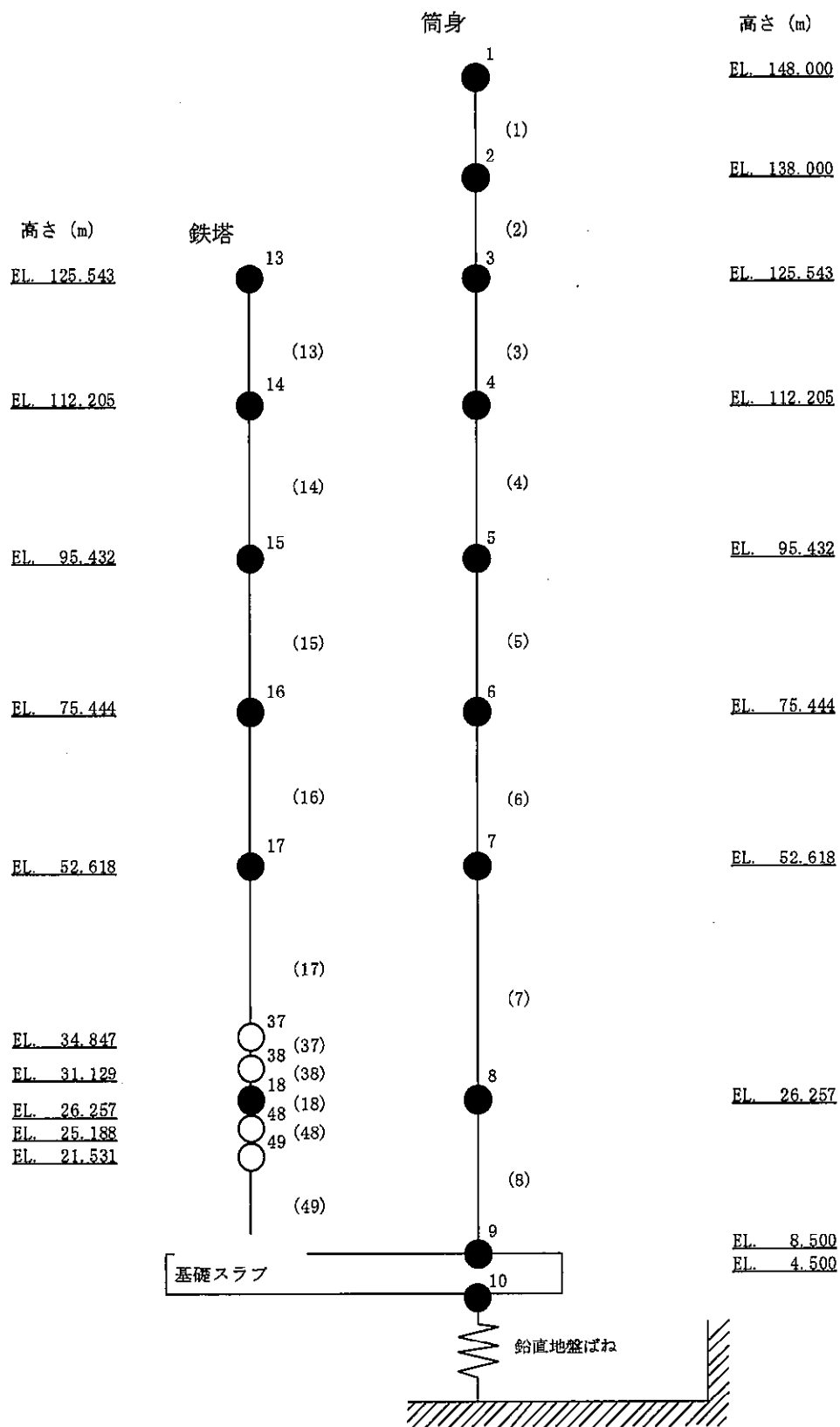


図 1-5 主排気筒の地震応答解析モデル (鉛直方向)

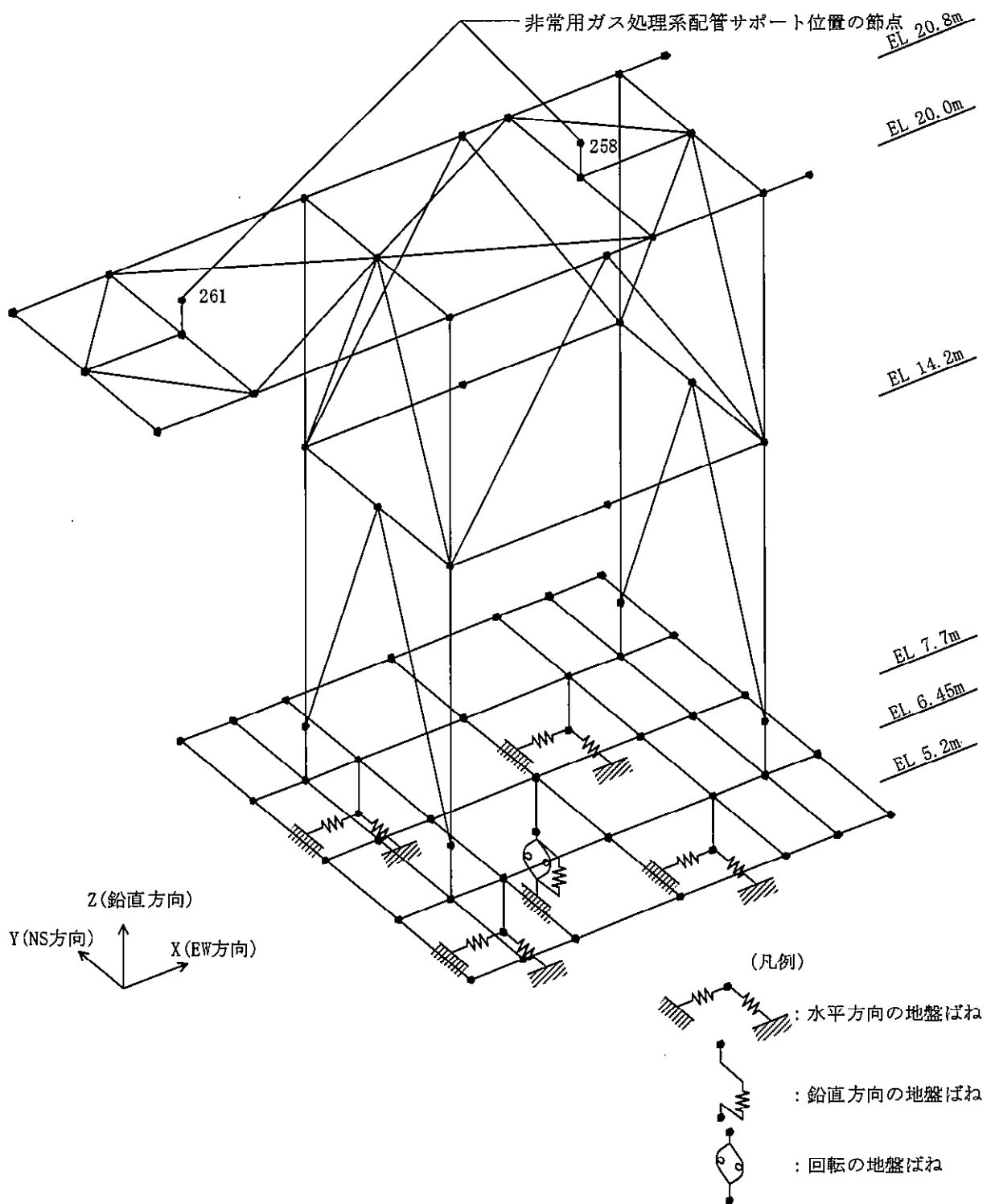


図 1-6 非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答解析モデル

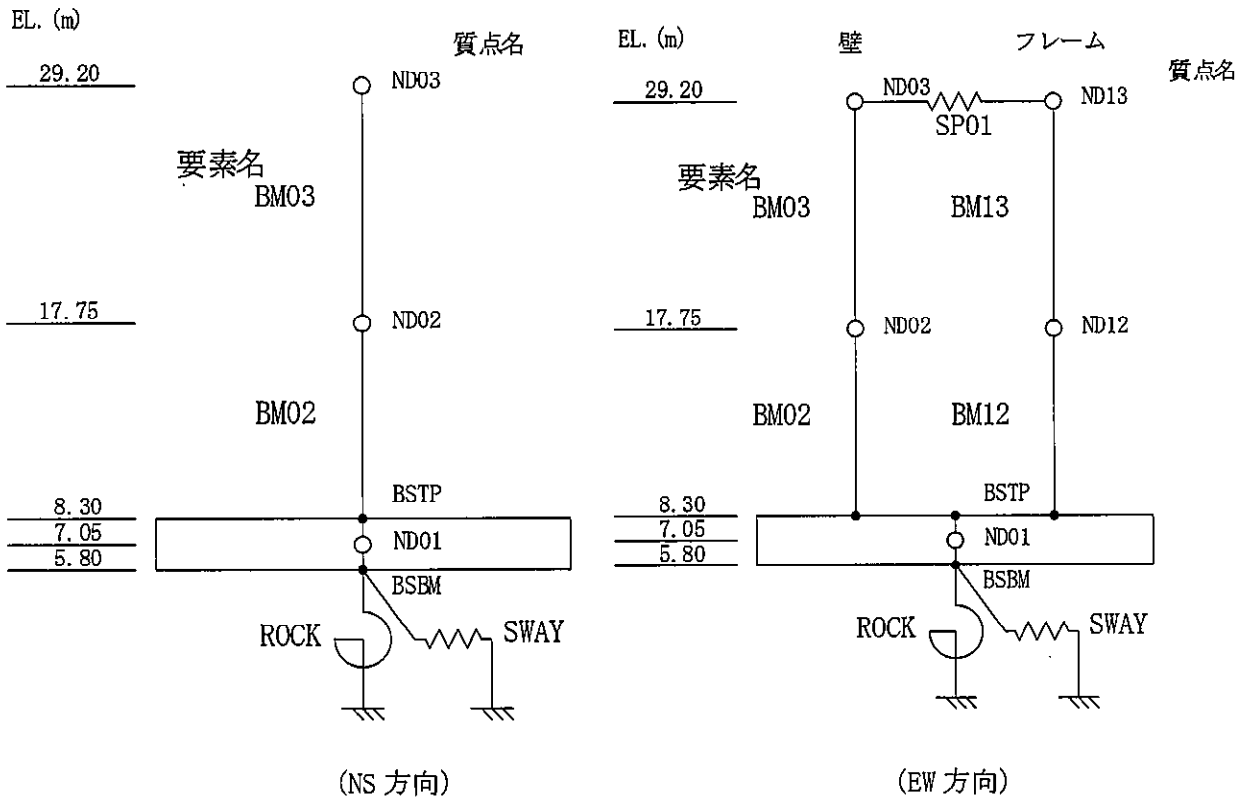


図 1-7 [ ] の地震応答解析モデル (水平方向)

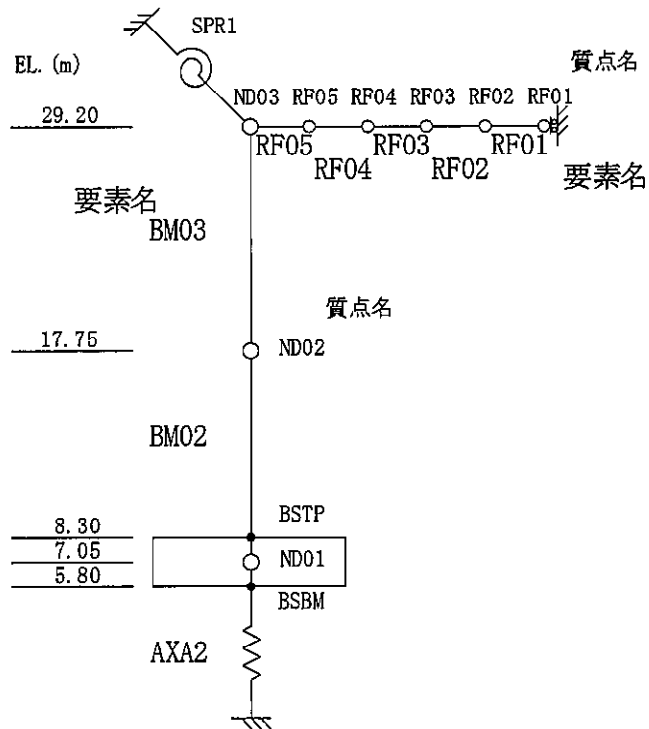


図 1-8 [ ] の地震応答解析モデル (鉛直方向)

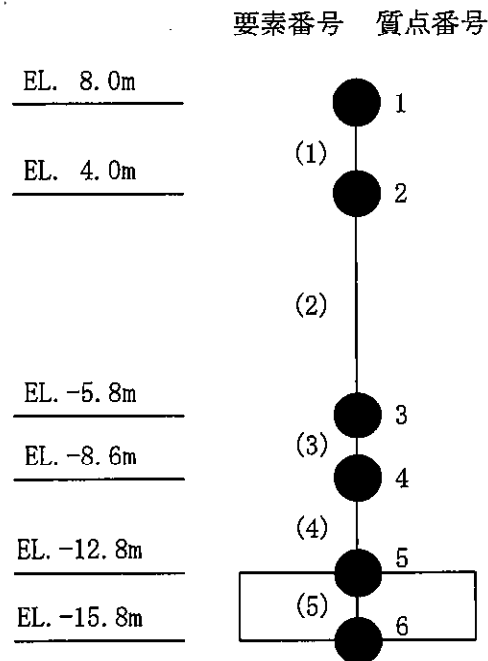


図 1-9 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答解析モデル（水平方向）

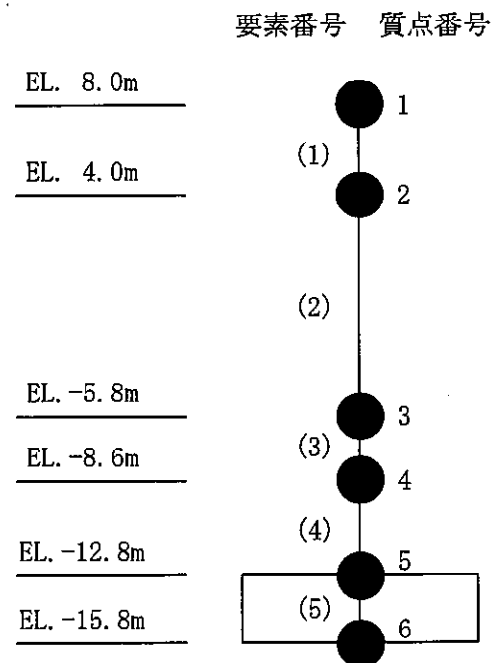
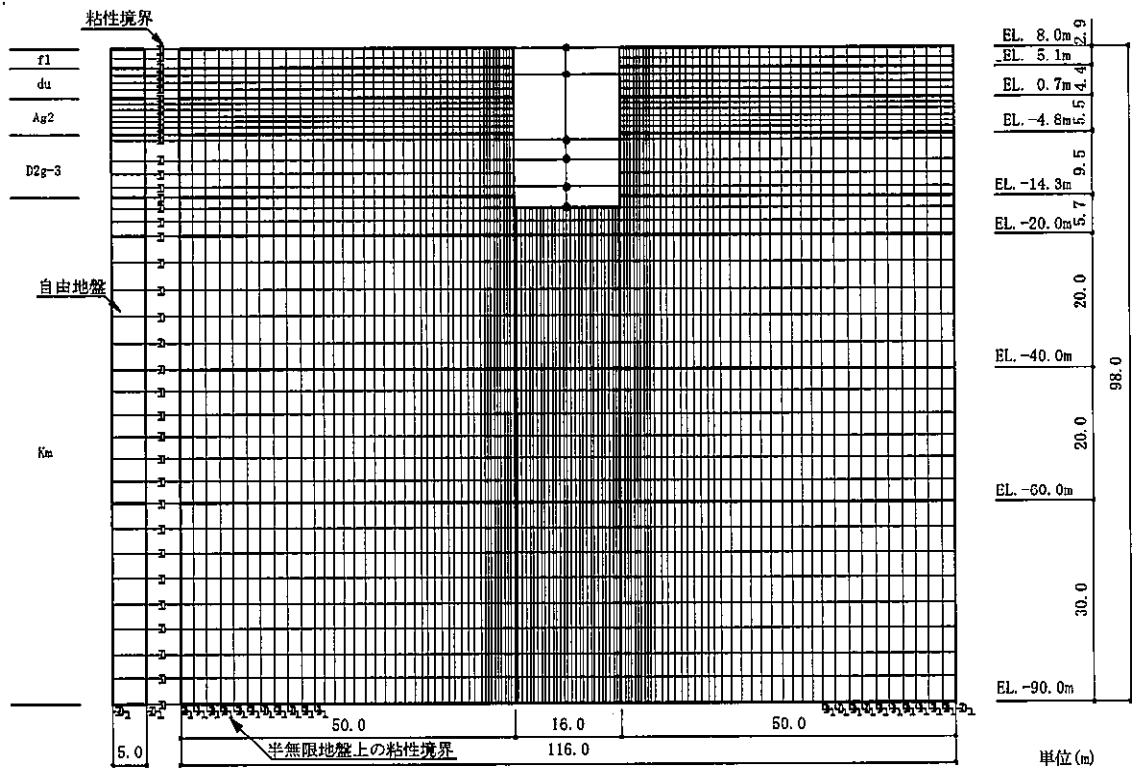
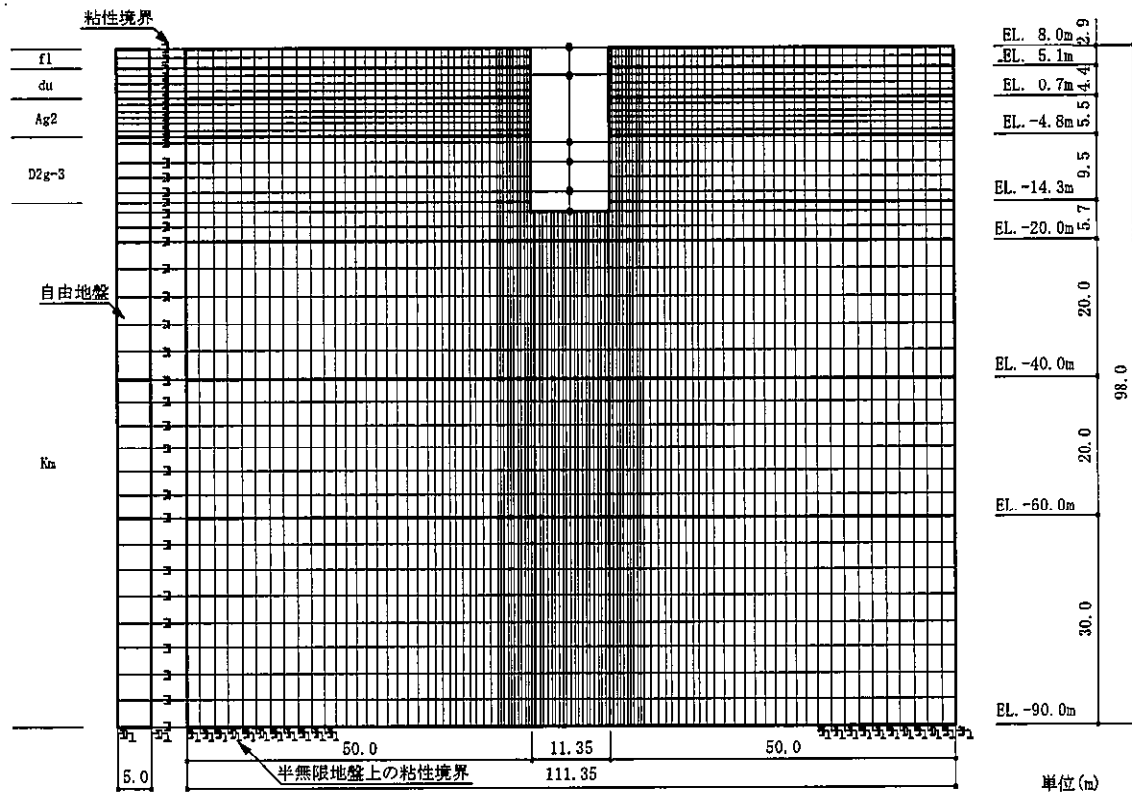


図 1-10 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答解析モデル（鉛直方向）



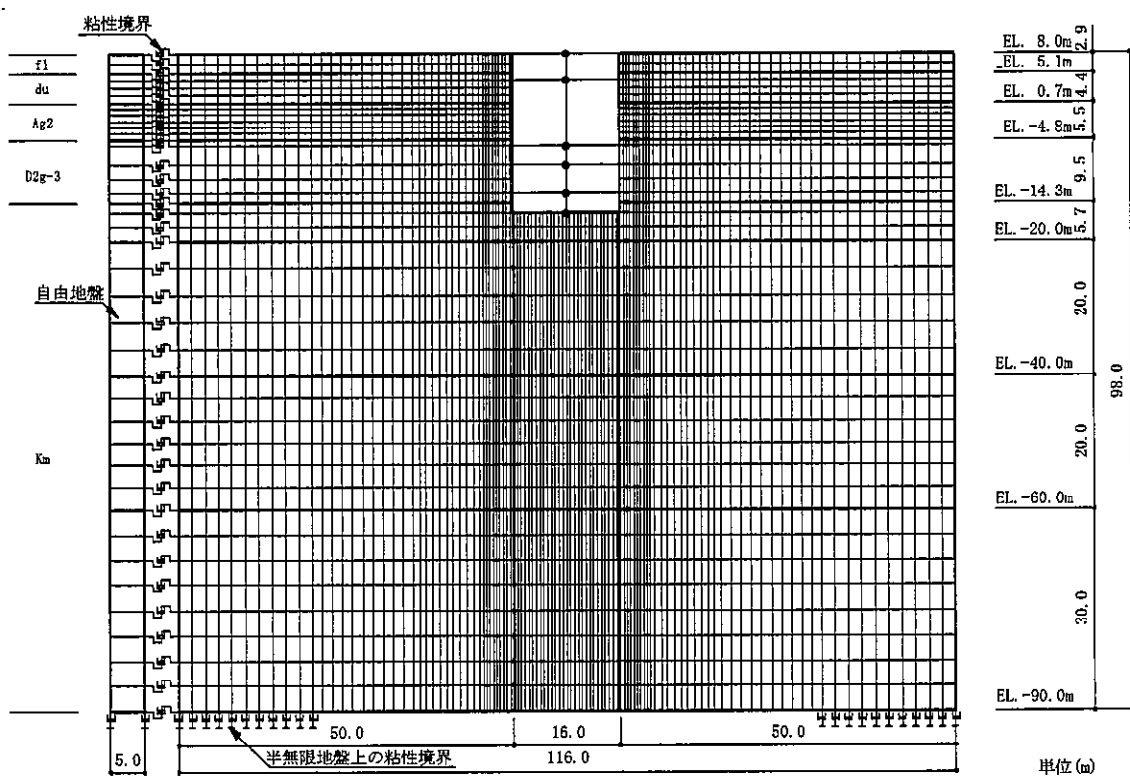
(a) NS方向

図 1-11 (1/3) 格納容器圧力逃がし装置格納層の地震応答解析モデル



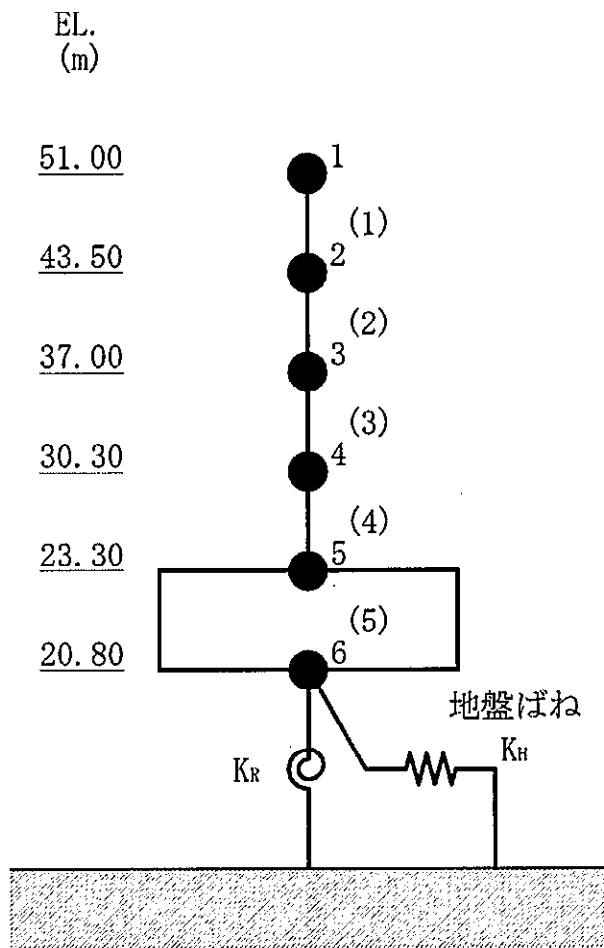
(b) EW方向

図 1-11 (2/3) 格納容器圧力逃がし装置格納層の地震応答解析モデル



(c) 鉛直方向

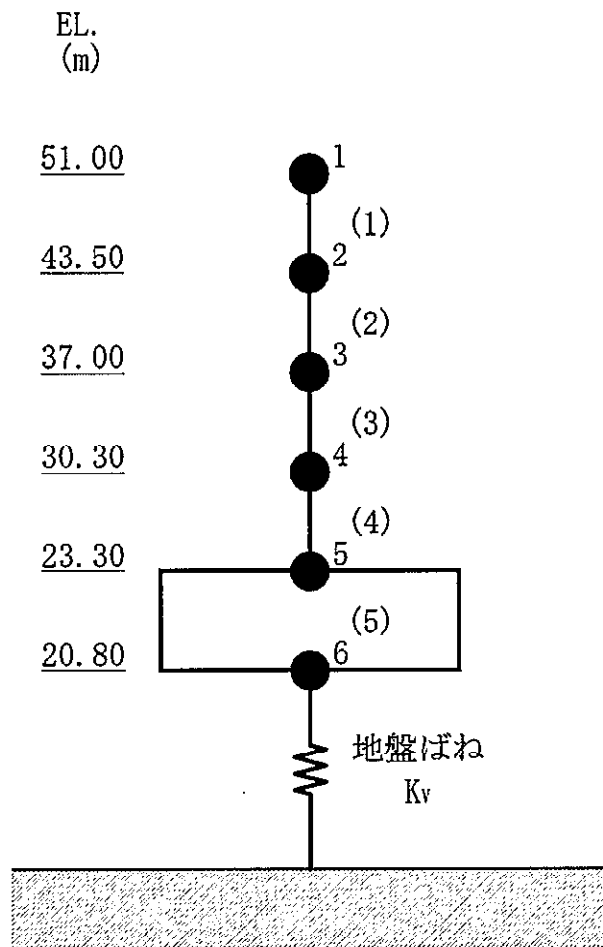
図 1-11 (3/3) 格納容器圧力逃がし装置格納層の地震応答解析モデル



注1 : 数字は質点番号を示す。

注2 : ( ) 内は要素番号を示す。

図 1-12 (1/2) 緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル (水平方向)



注1 : 数字は質点番号を示す。

注2 : ( ) 内は要素番号を示す。

図 1-12 (2/2) 緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル (鉛直方向)



## 2. 検討結果

### 2.1 地盤の検討

#### 2.1.1 検討内容

原子炉建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽について、組合せ係数法による最大接地圧と、時刻歴和による最大接地圧を比較して、組合せ係数法による最大接地圧が、時刻歴和による最大接地圧と同等又は保守的であることを確認すること、同等又は保守的と言えない場合には時刻歴和による最大接地圧を用いた場合でも許容限界に対して十分な余裕を有することを確認することにより、接地圧評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

#### (1) 原子炉建屋

検討は、添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」に示す原子炉建屋の接地圧の評価に合わせて、弾性設計用地震動 $S_d$ 及び基準地震動 $S_s$ に対して実施することとし、断層モデルに基づく地震動のうち最大接地圧が最も大きくなるもの( $S_d-D2$ ,  $S_s-D1$ )及び応答スペクトルに基づく地震動( $S_d-D1$ ,  $S_s-D1$ )並びに震源を特定せず策定する地震動( $S_d-31$ ,  $S_s-31$ )に対して実施する。

組合せ係数法による最大接地圧は、自重、水平方向の地震応答解析による最大転倒モーメント及び鉛直方向の地震応答解析による最大応答軸力に0.4(組合せ係数)を乗じた鉛直力から算定する。

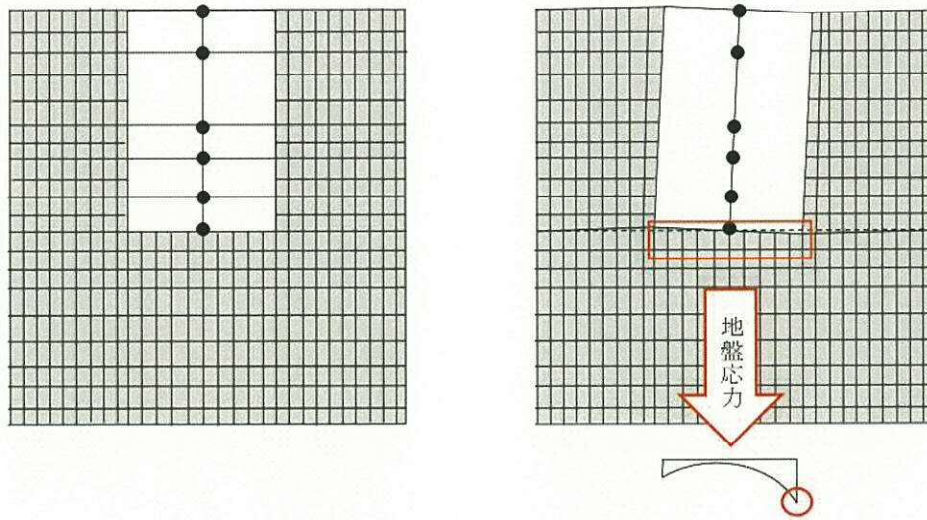
これに対して、時刻歴和による最大接地圧は、自重、水平方向の地震応答解析による時刻歴転倒モーメント及び鉛直方向の地震応答解析による時刻歴応答軸力から時刻毎に算定した接地圧の最大値とする。

#### (2) 格納容器圧力逃がし装置格納槽

検討は、添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」に示す接地圧の評価に合わせて、基準地震動 $S_s$ に対して実施することとし、断層モデルに基づく地震動のうち接地圧が最も大きくなるもの( $S_s-D2$ )及び応答スペクトルに基づく地震動( $S_s-D1$ )並びに震源を特定せず策定する地震動( $S_s-31$ )に対して実施する。

なお、格納容器圧力逃がし装置格納槽は地盤を2次元FEMでモデル化している。2次元FEMモデルを用いた接地圧の算出方法を図2-1に示す。接地圧は、水平・鉛直それぞれの解析により算出した基礎直下の地盤要素に発生する鉛直応力より算出する。組合せ係数法による最大接地圧は、水平・鉛直それぞれの解析による鉛直応力の最大値を組合せ係数法を用いて組合せて算出する。一方、時刻歴和による最大接地圧は、水平・鉛直それぞれの解析による時刻歴鉛直応力を時々刻々組合せて算定した接地圧の最大値とする。

図2-1に接地圧の算出方法を示す。図2-2に地盤の検討フローを示す。



(格納容器圧力逃がし装置格納槽)

図 2-1 地盤 FEMモデルにおける接地圧の算出方法

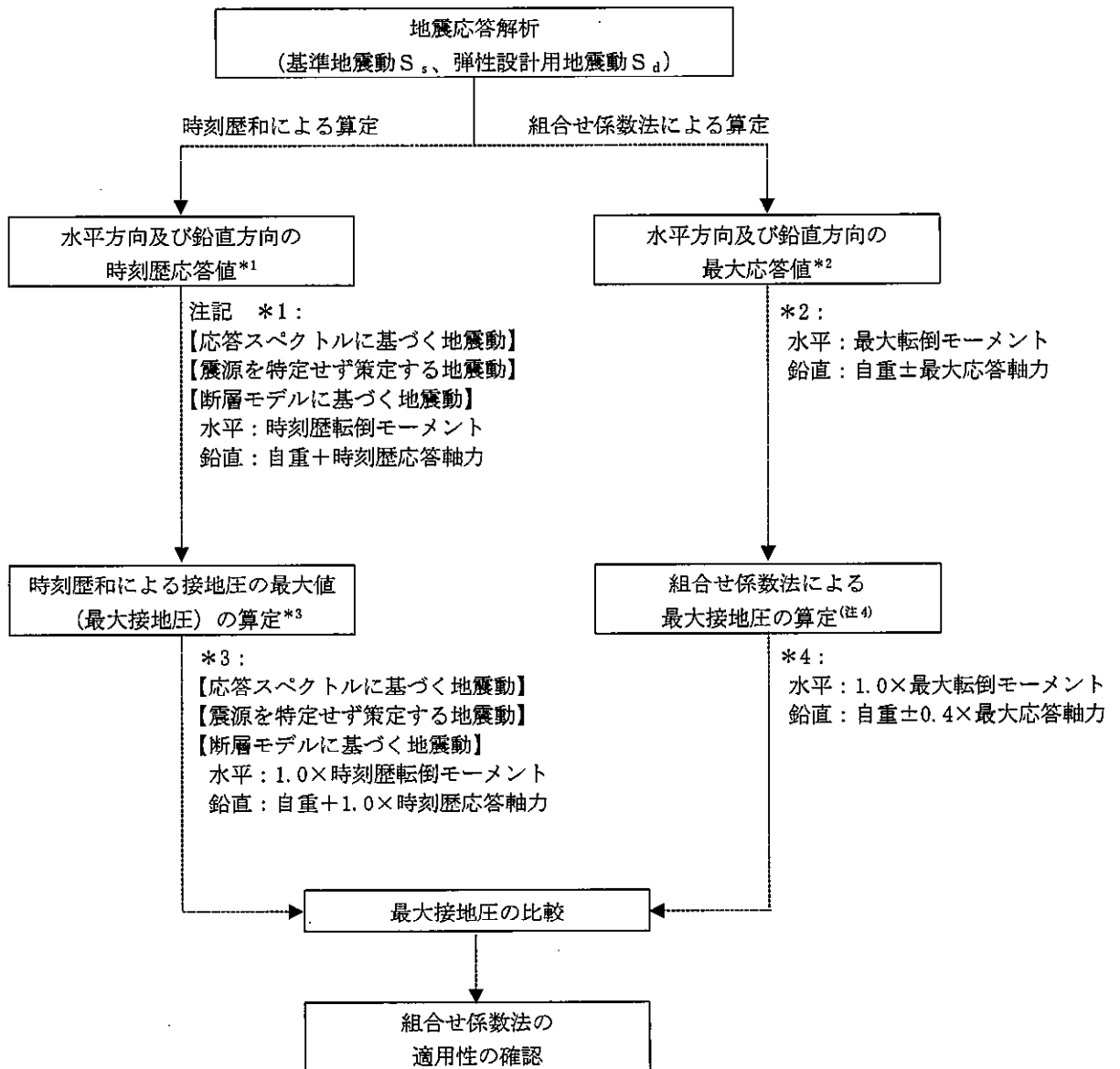


図 2-2 地盤の検討フロー

## 2.1.2 検討結果

### (1) 原子炉建屋

組合せ係数法による最大接地圧(①)、時刻歴和による最大接地圧(②)及び両者の比(①/②)を表 2-1～表 2-6 に示す。なお、参考として時刻歴和による最大接地圧の算定詳細を、別紙「時刻歴和による評価値」に示す。

組合せ係数法による最大接地圧は、時刻歴和による最大接地圧と比べて小さい値(基準地震動 $S_B$ において最小で約 92 %、弾性設計用地震動 $S_d$ で最小で約 98 %)となっている場合があるため、接地圧評価への影響検討を行う。

接地圧評価への影響検討結果を表 2-7 に示す。

時刻歴和による最大接地圧を用い評価する場合でも、許容限界に対して十分な余裕を有する。

以上より、接地圧評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-1 最大接地圧の比較（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-2 2）\*1

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	692	644
②時刻歴和による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	703	650
最大接地圧の比 (①/②)	0.98	0.99

注記 \*1：基本ケースの結果での比較

\*2：4桁目を切り上げ

表 2-2 最大接地圧の比較（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-3 1）\*1

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	745	748
②時刻歴和による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	726	729
最大接地圧の比 (①/②)	1.03	1.03

注記 \*1：基本ケースの結果での比較

\*2：4桁目を切り上げ

表 2-3 最大接地圧の比較（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D 1）\*1

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	714	717
②時刻歴和による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	692	695
最大接地圧の比 (①/②)	1.03	1.03

注記 \*1：基本ケースの結果での比較

\*2：4桁目を切り上げ

表 2-4 最大接地圧の比較（基準地震動 S<sub>1</sub>-2 1）\*<sup>1</sup>

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧* <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	932	714
②時刻歴和による最大接地圧* <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	878	775
最大接地圧の比 (①/②)	1.06	0.92

注記 \*1：基本ケースの結果での比較

\*2：4桁目を切り上げ

表 2-5 最大接地圧の比較（基準地震動 S<sub>1</sub>-3 1）\*<sup>1</sup>

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧* <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	1034	1039
②時刻歴和による最大接地圧* <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	1019	1025
最大接地圧の比 (①/②)	1.01	1.01

注記 \*1：基本ケースの結果での比較

\*2：4桁目を切り上げ

表 2-6 最大接地圧の比較（基準地震動 S<sub>1</sub>-D 1）\*<sup>1</sup>

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧* <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	944	951
②時刻歴和による最大接地圧* <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	898	902
最大接地圧の比 (①/②)	1.05	1.05

注記 \*1：基本ケースの結果での比較

\*2：4桁目を切り上げ

表 2-7 接地圧評価への影響検討（原子炉建屋）

(a) 弾性設計用地震動  $S_d$

	基準地震動 $S_d$
①最大接地圧の比の最小値 (組合せ係数法による最大接地圧/ 時刻歴接地圧の最大値)	0.98
②割増係数 (=1/①)	1.02
③材料物性のばらつきを考慮した 最大接地圧	764
影響検討結果* (=②×③)	780
許容限界 (kN/m <sup>2</sup> )	1650

注記 \* : 4桁目を切り上げ

(b) 基準地震動  $S_s$

	基準地震動 $S_s$
①最大接地圧の比の最小値 (組合せ係数法による最大接地圧/ 時刻歴接地圧の最大値)	0.92
②割増係数 (=1/①)	1.09
③材料物性のばらつきを考慮した 最大接地圧	1087
影響検討結果* (=②×③)	1190
許容限界 (kN/m <sup>2</sup> )	2480

注記 \* : 4桁目を切り上げ

(2) 格納容器圧力逃がし装置格納槽

組合せ係数法による最大接地圧 (①), 時刻歴和による最大接地圧 (②) 及び両者の比 (①/②) を表 2-8~表 2-10 に示す。なお, 参考として時刻歴和による最大接地圧の算定詳細を, 別紙「時刻歴による評価値」に示す。

組合せ係数法による最大接地圧は, 時刻歴和による最大接地圧と比べて小さい値 (基準地震動  $S_s$  において最小で約 95 %) となっている場合があるため, 接地圧評価への影響検討を行う。

接地圧評価への影響検討結果を表 2-11 に示す。

時刻歴和による最大接地圧を用いた場合でも, 許容限界に対して十分な余裕を有することから, 接地圧評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-8 最大接地圧の比較 ( $S_s-22$ ) \*1

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	709	727
②時刻歴和による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	748	742
最大接地圧の比 (①/②)	0.948	0.980

注記 \*1: 基本ケースの結果での比較

\*2: 4桁目を切り上げ

表 2-9 最大接地圧の比較 ( $S_s-31$ ) \*1

	NS 方向	EW 方向
①組合せ係数法による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	872	914
②時刻歴和による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	833	876
最大接地圧の比 (①/②)	1.05	1.04

注記 \*1: 基本ケースの結果での比較

\*2: 4桁目を切り上げ



表 2-10 最大接地圧の比較 (S<sub>s</sub>-D1) \*1

	NS 方向	EW 方向
① 組合せ係数法による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	824	862
② 時刻歴和による最大接地圧*2 (kN/m <sup>2</sup> )	765	800
最大接地圧の比 (①/②)	1.08	1.08

注記 \*1: 基本ケースの結果での比較

\*2: 4 桁目を切り上げ

表 2-11 接地圧評価への影響検討 (格納容器圧力逃がし装置格納槽)

① 最大接地圧の比の最小値 (組合せ係数法による最大接地圧/ 時刻歴和による最大接地圧)	0.948
② 割り増し係数 (=1/①)	1.05
③ 材料物性のばらつきを考慮した 最大接地圧	960
影響検討結果 (=②×③)	1008
許容限界 【極限支持力度 (kN/m <sup>2</sup> )】	2450

## 2.2 杭の検討

### 2.2.1 検討内容

主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋に対する杭の鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面について、組合せ係数法による検定比、時刻歴和による検定比を比較して、組合せ係数法による検定比が、時刻歴和による検定比と同等又は保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による検定比の杭の評価への影響検討を行う。その結果、許容限界に対して十分な余裕を有することを確認することにより、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

#### (1) 主排気筒

検討は、添付書類「V-2-2-15-2 主排気筒の基礎の耐震性についての計算書」に示す主排気筒の杭の評価に合わせて、上部構造の地盤ばねの水平方向と鉛直方向の曲げモーメント、せん断力及び軸力より算定した鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面について評価する。ここで、杭の鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面について、組合せ係数法による検定比は地震応答の最大値に基づく。一方、時刻歴和による検定比は地震応答の時刻歴データの時々刻々の重ね合わせに基づく。検討は、改良地盤のせん断波速度を  $V_s=800$  m/s,  $500$  m/s とする基本ケースについて、断層モデルに基づく地震動 ( $S_s-21$ ) 及び応答スペクトルに基づく地震動 ( $S_s-D1$ ) 及び震源を特定せず策定する地震動 ( $S_s-31$ ) に対して行う。これらの地震動は、添付書類「V-2-2-14 主排気筒の地震応答計算書」において応答値が支配的となる地震動である。

なお、主排気筒においては、風荷重の重畳を考慮して検定比を算定する。

#### (2) 非常用ガス処理系配管支持架構

検討は、添付書類「V-2-2-17 非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性についての計算書」に示す非常用ガス処理系配管支持架構の杭の評価に合わせて、上部構造の地盤ばねの水平方向と鉛直方向の曲げモーメント、せん断力及び軸力より算定した鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面について評価する。ここで、杭の鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面について、組合せ係数法による検定比は地震応答の最大値に基づく。一方、時刻歴和による検定比は地震応答の時刻歴データの時々刻々の重ね合わせに基づく。検討は、改良地盤のせん断波速度を  $V_s=800$  m/s,  $500$  m/s とする基本ケースについて、断層モデルに基づく地震動 ( $S_s-22$ ) 及び応答スペクトルに基づく地震動 ( $S_s-D1$ ) に対して行う。これらの地震動は、添付書類「V-2-2-16 非常用ガス処理系配管支持架構の地震応答計算書」において応答値が支配的となる地震動である。

なお、非常用ガス処理系配管支持架構においては、風荷重の重畳を考慮して検定比を算定する。

### (3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

検討は、添付書類「V-2-2-5 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書」に示す使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価に合わせて、上部構造の地盤ばねの水平方向と鉛直方向の曲げモーメント、せん断力及び軸力の時刻歴データを用いて、最大値の荷重組合せ係数法より算定した杭の鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面応力との比較検討を行う。断面応力の時刻歴データは、梁と地盤ばねによる非線形応力解析より算定し、解析には、解析コード「TDAPⅢ Ver. 3.07」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付資料「V-5-45 計算機プログラム（解析コード）の概要・TDAPⅢ」に示す。これらの検討は、基準地震動 $S_s$ に対して実施することとし、添付書類「V-2-2-4 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」より、断層モデルに基づく地震動( $S_s-22$ )及び応答スペクトルに基づく地震動( $S_s-D1$ )及び震源を特定せず策定する地震動( $S_s-31$ )に対して評価する。

なお、添付書類「V-2-2-5 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書」より、基礎の検討に用いる $S_s$ 地震荷重は、上記の3波により決まることから、本検討ではこれら3波を対象とした。

### (4) 緊急時対策所建屋

検討は、添付書類「V-2-2-11 緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書」に示す杭の評価に合わせて、上部構造の地盤ばねの水平方向と鉛直方向の曲げモーメント、せん断力及び軸力の時刻歴データを用いて、組合せ係数法の最大値から算定した杭の鉛直支持力、引抜抵抗力及び断面応力との比較検討を行う。また、これらの検討は、基準地震動 $S_s$ に対する工認基本モデルの検討ケースのうち、杭支持力等及び断面応力が最も大きくなるケース( $S_s-21$ )、応答スペクトルに基づく地震動( $S_s-D1$ )並びに震源を特定せず策定する地震動( $S_s-31$ )に対して評価する。

杭の検討フローを図2-3に示す。

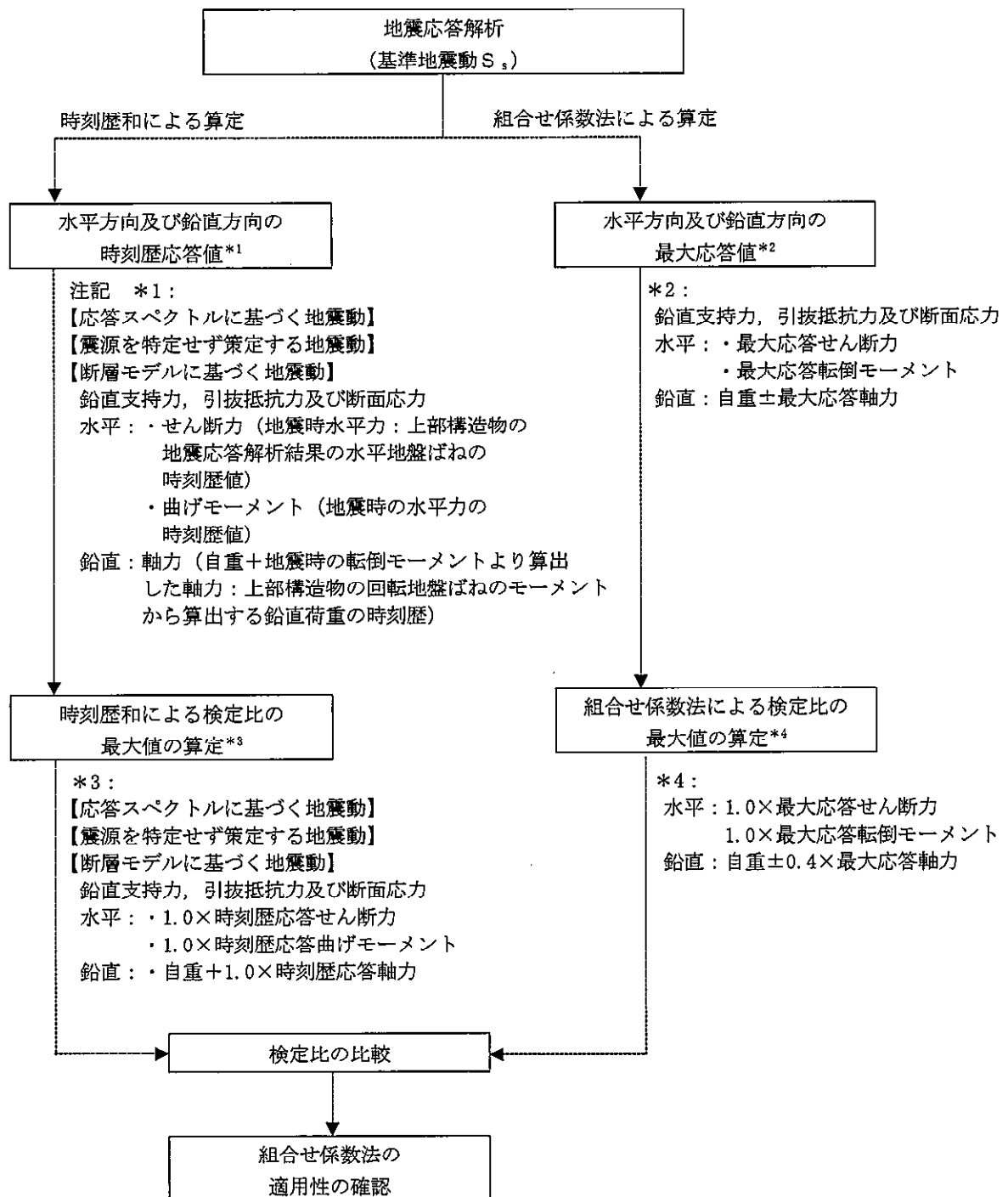


図 2-3 杭の検討フロー

## 2.2.2 検討結果

### (1) 主排気筒

主排気筒の杭の評価として、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭の曲げに対する組合せ係数法による検定比 (①)、時刻歴和による検定比 (②) 及び両者の比 (①/②) を表 2-12 及び表 2-13 に示す。なお、参考として時刻歴和の検定比の根拠となる時刻歴和の評価値の詳細は、別紙「時刻歴による評価値」に示す。

組合せ係数法による各検定比は、時刻歴和による検定比と比べて保守的な値となっている。

上記の通り、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-12 検討結果 (既存杭) \*1

	検定比		
	鉛直支持力	引抜抵抗力	曲げ
①組合せ係数法による検定比	0.65	0.27	0.54
②時刻歴和による検定比*2	0.60	0.15	0.37
両者の比 (①/②)	1.08	1.80	1.46

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 3桁目を切り上げ

表 2-13 検討結果 (増設杭) \*1

	検定比		
	鉛直支持力	引抜抵抗力	曲げ
①組合せ係数法による検定比	0.63	0.23	0.34
②時刻歴和による検定比*2	0.58	0.12	0.28
両者の比 (①/②)	1.09	1.92	1.21

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 3桁目を切り上げ

(2) 非常用ガス処理系配管支持架構

非常用ガス処理系配管支持架構の杭の評価として、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭の曲げに対する組合せ係数法による検定比(①)、時刻歴和による検定比(②)及び両者の比(①/②)を表2-14に示す。なお、参考として時刻歴和の検定比の根拠となる時刻歴和の評価値の詳細は、別紙「時刻歴による評価値」に示す。

組合せ係数法による各検定比は、時刻歴和による検定比と比べて保守的な値となっている。

上記の通り、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-14 検討結果\*1

	検定比		
	鉛直支持力	引抜抵抗力	曲げ
①組合せ係数法による検定比	0.16	0.06	0.09
②時刻歴和による検定比*2	0.14	0.01	0.07
両者の比(①/②)	1.14	6.33	1.38

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 3桁目を切り上げ

(3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の評価として、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭の曲げに対する組合せ係数法による検定比 (①)、時刻歴和による検定比 (②) 及び両者の比 (①/②) を表 2-15 に示す。なお、参考として時刻歴和の検定比の根拠となる時刻歴和の評価値の詳細は、別紙「時刻歴による評価値」に示す。

組合せ係数法による各検定比は、時刻歴和による検定比と比べて保守的な値となっている。

上記の通り、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-15 評価結果\*1

	検定比		
	鉛直支持力	引抜抵抗力	曲げ モーメント
①組合せ係数法による検定比	0.49	0.49	1.00
②時刻歴和による検定比*2	0.48	0.43	0.88
両者の比 (①/②)	1.03	1.14	1.14

注記 \*1：基本ケースの結果

\*2：3桁目を切り上げ

(4) 緊急時対策所建屋

緊急時対策所建屋の杭の評価として、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭の曲げに対する組合せ係数法による検定比 (①)、時刻歴和による検定比 (②) 及び両者の比 (①/②) を表 2-16 に示す。なお、参考として時刻歴和の検定比の根拠となる時刻歴和の評価値の詳細は、別紙「時刻歴による評価値」に示す。

組合せ係数法による各検定比は、時刻歴和による検定比と比べて保守的な値となっている。

上記の通り、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-16 評価結果\*1

	検定比		
	鉛直支持力	引抜抵抗力	曲げ モーメント
①組合せ係数法による検定比	0.63	0.27	0.33
②時刻歴和による検定比*2	0.54	0.15	0.23
両者の比 (①/②)	1.17	1.80	1.44

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 3桁目を切り上げ



## 2.3 基礎の検討

### 2.3.1 検討内容

「2.1 地盤の検討」において、組合せ係数法による最大接地圧が時刻歴接地圧の最大値を下回る原子炉建屋について、基礎への地震荷重の入力という観点で、基準地震動 $S_b$ 又は弾性設計用地震動 $S_d$ を包絡し組合せ係数法を適用して算出した接地圧が時刻歴接地圧の最大値と同等または保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴接地圧の最大値を用いた場合でも許容限界に対して十分な余裕を有することを確認することにより、基礎（原子炉格納容器（コンクリート部）底部及び原子炉建屋の基礎）の応力評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。検討は、添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」及び添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に示す基礎の応力評価に合わせて、原子炉格納容器底部コンクリートマットについては弾性設計用地震動 $S_d$ 及び基準地震動 $S_b$ 、原子炉棟基礎及び付属棟基礎については基準地震動 $S_b$ に対して実施することとする。

また、格納容器圧力逃がし装置格納槽について、基礎への地震荷重の入力という観点で、基準地震動 $S_b$ を包絡し組合せ係数法を適用して算出した接地圧が時刻歴接地圧の最大値と同等または保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴接地圧の最大値を用いた場合でも許容限界に対して十分な余裕を有することを確認することにより、基礎の応力評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。検討は、添付書類「V-2-9-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」に示す基礎の応力評価に合わせて、基準地震動 $S_b$ に対して実施することとする。

基礎の検討フローを図 2-4 に示す。

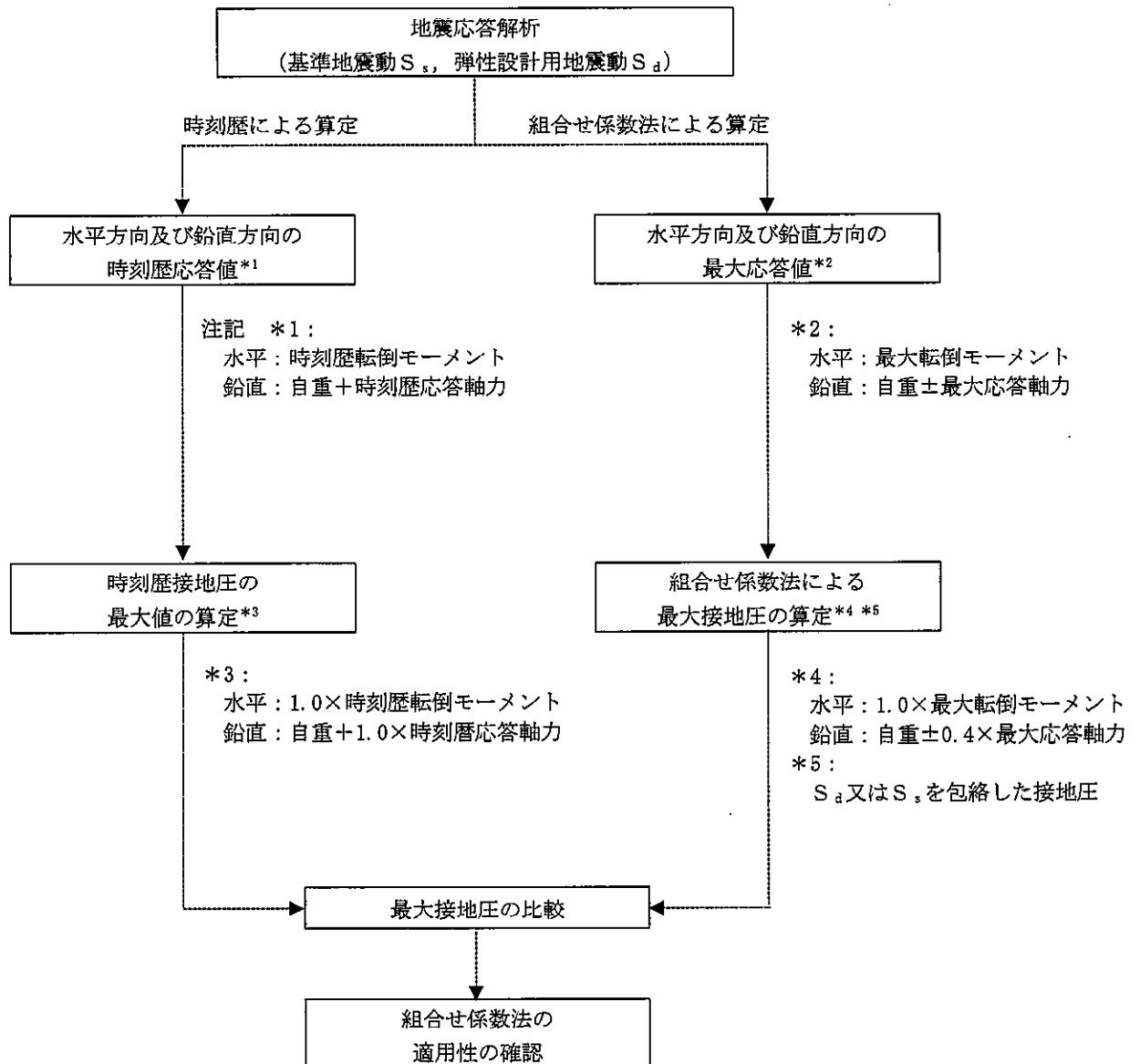


図 2-4 基礎の検討フロー

## 2.3.2 検討結果

### (1) 原子炉建屋

波ごとに組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧 (①),  $S_d$  又は  $S_s$  を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧 (②), 時刻歴接地圧の最大値 (③), 接地圧の最大値の比 (①/③, ②/③) を表 2-17~表 2-22 に示す。なお, ②については, 基礎へ入力する地震荷重の設定に基づき, 弾性設計用地震動  $S_d$  については, 8 波を包絡した接地圧, 基準地震動  $S_s$  については, 応答スペクトルに基づく地震動 ( $S_{s-D1}$ ), 断層モデルに基づく地震動 ( $S_{s-11} \sim S_{s-22}$  の包絡) 及び震源を特定せず策定する地震動 ( $S_{s-31}$ ) のそれぞれについて算出する。

弾性設計用地震動  $S_d$  については, 組合せ係数法による最大接地圧は時刻歴接地圧の最大値より小さい値 (①/③が約 98 %) となっている場合もあるが, 基礎への地震荷重の入力という観点で, 弾性設計用地震動  $S_d$  を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧が時刻歴接地圧の最大値より大きい値 (②/③が 1.0 以上) となっていることから, 基礎の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

基準地震動  $S_s$  については, 組合せ係数法による最大接地圧は時刻歴接地圧の最大値より小さい値 (①/③が最小で約 92 %) となっている場合もあるが, 基礎への地震荷重の入力という観点で, 基準地震動  $S_s$  については, 応答スペクトルに基づく地震動 ( $S_{s-D1}$ ), 断層モデルに基づく地震動 ( $S_{s-11} \sim S_{s-22}$  の包絡) 及び震源を特定せず策定する地震動 ( $S_{s-31}$ ) のそれぞれについて組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧が時刻歴接地圧の最大値より大きい値 (②/③が 1.0 以上) となっていることから, 基礎の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-17 最大接地圧の比較 (S<sub>d</sub>-2 2) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>d</sub> -2 2	② S <sub>d</sub> 包絡			
NS	692	772	703	0.98	1.10
EW	644	775	650	0.99	1.19

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 4桁目を切り上げ

表 2-18 最大接地圧の比較 (S<sub>d</sub>-3 1) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>d</sub> -3 1	② S <sub>d</sub> 包絡			
NS	745	772	726	1.03	1.06
EW	748	775	729	1.03	1.06

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 4桁目を切り上げ

表 2-19 最大接地圧の比較 (S<sub>d</sub>-D 1) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>d</sub> -D 1	② S <sub>d</sub> 包絡			
NS	714	772	692	1.03	1.12
EW	717	775	695	1.03	1.12

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 4桁目を切り上げ

表 2-20 最大接地圧の比較 (S<sub>s</sub>-2 1) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -2 1	② S <sub>s</sub> 断層波包絡			
NS	932	935	878	1.06	1.06
EW	714	845	775	0.92	1.09

注記 \*1 : 基本ケースの結果

\*2 : 4桁目を切り上げ

表 2-21 最大接地圧の比較 (S<sub>s</sub>-3 1) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -3 1	② S <sub>s</sub> -3 1			
NS	1034	1034	1019	1.01	1.01
EW	1039	1039	1025	1.01	1.01

注記 \*1 : 基本ケースの結果

\*2 : 4桁目を切り上げ

表 2-22 最大接地圧の比較 (S<sub>s</sub>-D 1) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -D 1	② S <sub>s</sub> -D 1			
NS	944	944	898	1.05	1.05
EW	951	951	902	1.05	1.05

注記 \*1 : 基本ケースの結果

\*2 : 4桁目を切り上げ

(2) 格納容器圧力逃がし装置格納槽

波ごとに組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧 (①), 基準地震動  $S_0$  を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧 (②), 時刻歴接地圧の最大値 (③), 接地圧の最大値の比 (①/③, ②/③) を表 2-23~表 2-25 に示す。

組合せ係数法による最大接地圧は時刻歴接地圧の最大値より小さい値 (①/③が最小で約 95 %) となっている場合もあるが, 基礎への地震荷重の入力という観点で, 基準地震動  $S_0$  を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧が時刻歴接地圧の最大値より大きい値 (②/③が 1.0 以上) となっていることから, 基礎の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-23 最大接地圧の比較 (S<sub>s</sub>-22) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -22	② S <sub>s</sub> 包絡			
NS	709	936	748	0.948	1.25
EW	727	960	742	0.980	1.29

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 4桁目を切り上げ

表 2-24 最大接地圧の比較 (S<sub>s</sub>-31) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -31	② S <sub>s</sub> 包絡			
NS	872	936	833	1.05	1.12
EW	914	960	876	1.04	1.10

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 4桁目を切り上げ

表 2-25 最大接地圧の比較 (S<sub>s</sub>-D1) \*1

方向	組合せ係数法における 最大接地圧*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴接地圧 の最大値*2 (N/mm <sup>2</sup> )	接地圧の 最大値の比 (①/③)	接地圧の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -D1	② S <sub>s</sub> 包絡			
NS	824	936	765	1.08	1.22
EW	862	960	800	1.08	1.20

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2: 4桁目を切り上げ

## 2.4 上部構造物の検討

### 2.4.1 検討内容

原子炉建屋の上部構造物の使用済燃料プール及び主排気筒の上部構造物の支柱材について、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

原子炉建屋の上部構造物の使用済燃料プールについては、質点系モデルのプール部に該当する要素の主方向の最大応答値発生時刻における副方向の応答と最大応答値の比率を算定し、組合せ係数0.4と同等又は保守的であることを確認する。同等または保守的と言えない場合は、時刻歴和による断面の評価が及ぼす、上部構造物の評価への影響検討を行う。

主排気筒の上部構造物の支柱材については、組合せ係数法による応力度と時刻歴応力度の最大値を比較して、組合せ係数法による応力度が時刻歴応力度の最大値と同等又は保守的であることを確認する。

#### (1) 原子炉建屋

検討は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に示す原子炉建屋の使用済燃料プールの地震時の応力解析による評価に合わせて、弾性設計用地震動 $S_d$ 及び基準地震動 $S_b$ に対して実施することとし、断層モデルに基づく地震動のうち水平方向の地震力による応答せん断力及び応答曲げモーメントが最大となる地震動(NS方向については弾性設計用地震動では $S_d-21$ 、基準地震動では $S_b-21$ 、EW方向については弾性設計用地震動では $S_d-22$ 、基準地震動では $S_b-22$ )、鉛直方向の地震力による軸力が最大となる地震動(弾性設計用地震動では $S_d-21$ 、基準地震動では $S_b-21$ )、応答スペクトルに基づく地震動( $S_d-D1$ 及び $S_b-D1$ )、震源を特定せず策定する地震動( $S_d-31$ 及び $S_b-31$ )に対して実施する。

組合せ係数法で用いる主方向と副方向の組合せ係数0.4に対して、地震応答解析における主方向の最大値発生時刻における副方向の応答値と最大応答値の比率を算定する。時刻歴応答解析については、解析コード「DAC3N V97」を使用する。検討フローを図2-5に示す。

#### (2) 主排気塔

検討は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に示す主排気筒の上部構造物の支柱材の地震時の応力解析による評価に合わせて、基準地震動 $S_b$ に対して実施することとし、断層モデルに基づく地震動のうち水平方向の地震力による応答曲げモーメントが最大となる地震動(基準地震動では $S_b-21$ )、鉛直方向の地震力による軸力が最大となる地震動(基準地震動では $S_b-21$ )、応答スペクトルに基づく地震動( $S_b-D1$ )、震源を特定せず策定する地震動( $S_b-31$ )に対して実施する。

主排気筒の上部構造物の支柱材の応力度は水平方向の地震応答解析による支柱材の最大応答曲げモーメントによる応力度及び鉛直方向の地震応答解析による最大応答軸力に0.4(組合せ係数)を乗じた鉛直力から算定している。

これに対して、時刻歴応答応力度の最大値は、選定した地震波を用い、時刻毎に水平方



向の地震応答解析による時刻歴応答曲げモーメントによる応力度と鉛直方向の地震応答解析による時刻歴応答軸応力度の和を算定し、応力度の最大値とする。時刻歴応答解析については、解析コード「SNAP Ver. 7.0.0.1」を使用する。

検討フローを図 2-6 に示す。

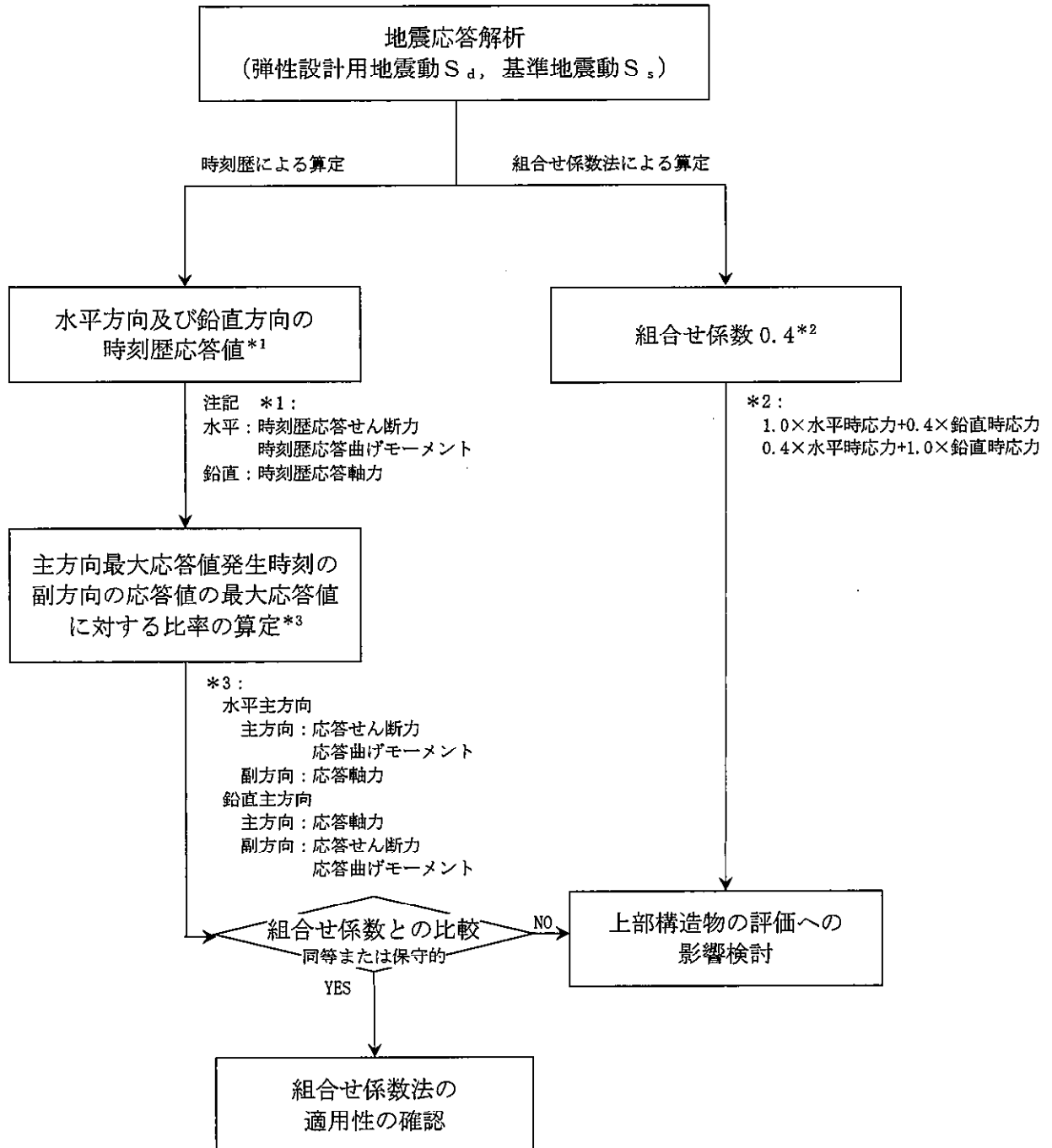


図 2-5 上部構造の検討フロー (使用済燃料プール)

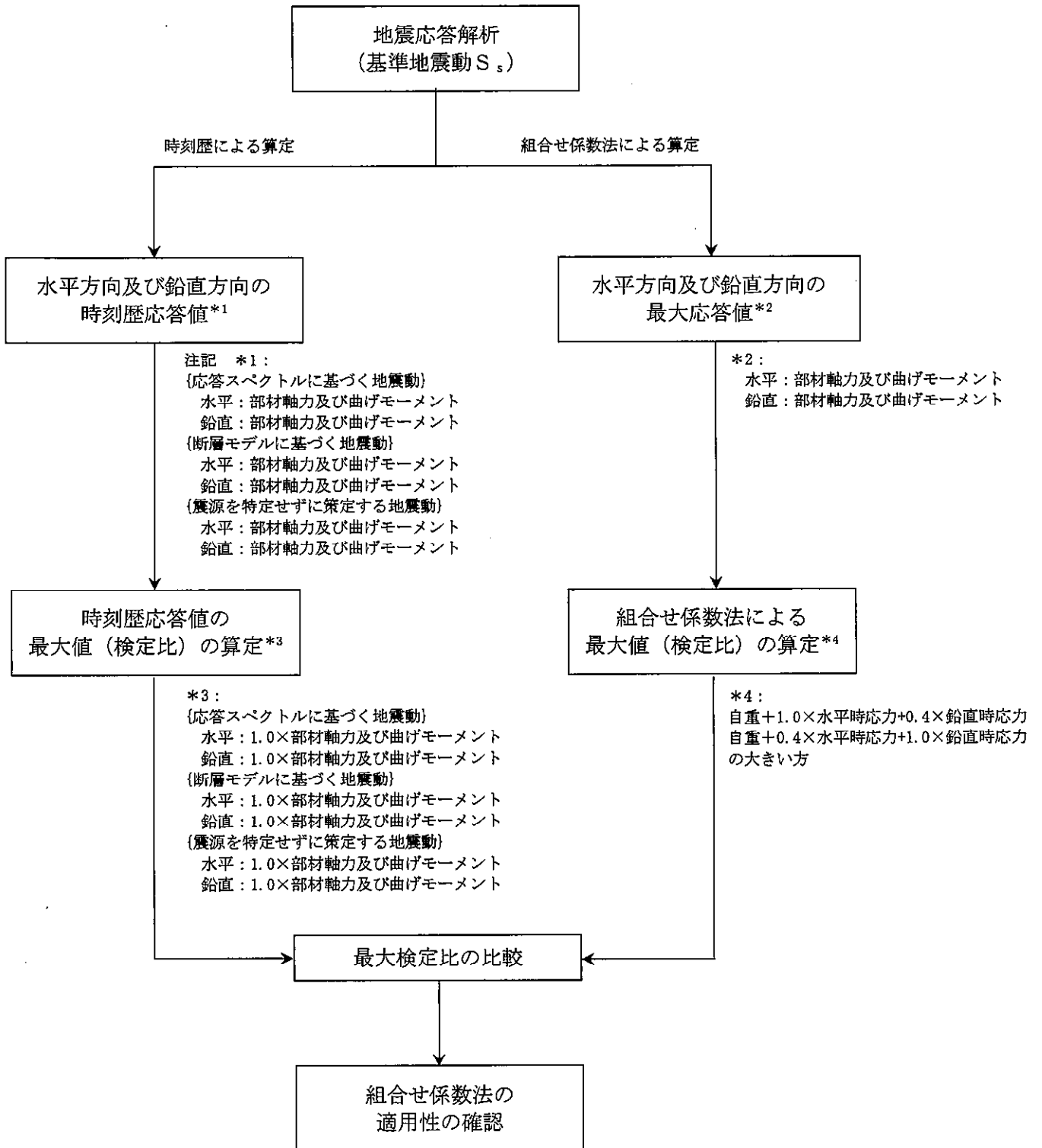


図 2-6 上部構造物の検討フロー (主排気筒)

## 2.4.2 検討結果

### (3) 原子炉建屋

使用済燃料プールの応力解析への入力評価において、組合せ係数法による評価では、NS方向とEW方向のそれぞれの結果の最大値を採用するため、NS及びEW方向について比較を行う。

波ごとに時刻歴応答解析により算出した主方向の最大値発生時刻における副方向の応答値(①)、副方向の最大応答値(②)、 $S_d$ 又は $S_s$ を包絡して算出した副方向の最大応答値(③)、副方向の応答値の最大値の比(①/②、①/③)を表2-26～表2-34に示す。

基準地震動 $S_s$ については、主方向の最大値発生時刻における副方向の応答値の全地震動の最大応答値に対する比率(①/③)は0.4以下となる。

一方、弾性設計用地震動 $S_d$ に対しては、水平方向が主方向の場合の鉛直方向の比率(①/③)は最大で0.47、鉛直方向が主方向の場合の水平方向の比率(①/③)は最大で0.60となり、組合せ係数0.4に対する比を取ると鉛直方向で $0.47/0.40=1.175$ 倍、水平方向で $0.60/0.40=1.5$ 倍となる。

使用済燃料プールの評価に用いる入力という観点で、基準地震動 $S_d$ を包絡して算出した主方向の最大応答値発生時刻の副方向の応答値と最大応答値の比率が組合せ係数より大きい値(①/③が0.4以上)となっていることから、使用済燃料プールについて検定値の割増を考慮した検討を実施する。

表2-38に $S_d$ 地震力(動的地震力)に対する水平と鉛直の組合せ係数を1.0と0.4とした場合の検定比を、表2-39に $S_d$ 地震力(動的地震力)に対する水平と鉛直の組合せ係数を0.4と1.0とした場合の検定比をに示す。また、これら検定比に前述の組合せ係数0.4に対する副方向の比率(水平0.4に対し1.175倍、鉛直0.4に対し1.5倍)を乗じた結果も表2-38、及び表2-39に併せて示す。表2-38及び表2-39に示すように、主方向の最大地震力が発生する時刻の副方向の最大値に対する比率を考慮しても、検定比は1.0以下となる事を確認した。なお、本評価では、検定比に倍率を乗じているため、主方向の地震力にも倍率を乗じている結果となっており、検定比が1.0以下となれば十分余裕があると判断できる。

以上より、使用済燃料プールの評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-26 最大水平地震力発生時の軸力比の比較 (S<sub>d</sub>-D1) \*

EL. (m)	水平地震力	方向	① 時刻歴軸力 (kN)	最大応答軸力 (kN)		軸力の 最大値の比 (①/②)	軸力の 最大値の比 (①/③)
				② S <sub>d</sub> -D1	③ S <sub>d</sub> 包絡		
46.5~ 38.8	最大 せん断力 発生時刻	NS	563	37800	42300	0.01	0.01
		EW	563			0.01	0.01
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	4050			0.11	0.10
		EW	4050			0.11	0.10
38.8~ 34.7	最大 せん断力 発生時刻	NS	7890	71700	83700	0.11	0.09
		EW	7890			0.11	0.09
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	7690			0.11	0.09
		EW	938			0.01	0.01

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-27 最大軸力発生時の水平地震力比の比較 (S<sub>d</sub>-D1) \*<sup>1</sup>

(a) せん断力比

EL. (m)	方向	① 時刻歴 せん断力 (kN)	最大応答せん断力 (kN)		せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
			② S <sub>d</sub> -D1	③ S <sub>d</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	11400	50200	58000	0.23	0.20
	EW	11800	52500	59000	0.22	0.20
38.8~34.7	NS	54800	92500	107000	0.59	0.51
	EW	54200	95300	108000	0.57	0.50

(b) 曲げモーメント比

EL. (m)	方向	① 時刻歴曲げ モーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)		曲げモーメントの 最大値の比 (③/①)	曲げモーメントの 最大値の比 (③/②)
			② S <sub>d</sub> -D1	③ S <sub>d</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	25700	81600	97600	0.32	0.26
	EW	25500	84700	88100	0.30	0.29
38.8~34.7	NS	87900	125000	153000	0.70* <sup>2</sup>	0.57
	EW	81300	126000	136000	0.65	0.60* <sup>2</sup>

注記 \*1 : 基本ケースの結果

\*2 : 最大軸力発生時の水平地震力比の最大値

表 2-28 最大水平地震力発生時の軸力比の比較 (S<sub>d</sub>断層波) \*<sup>1</sup>

EL. (m)	水平地震力	方向	地震波	① 時刻歴 軸力 (kN)	② 最大 軸力 (kN)	③ 最大軸力 (S <sub>d</sub> 包絡) (kN)	軸力の 最大値の比 (①/②)	軸力の 最大値の比 (①/③)
46.5~ 38.8	最大 せん断力 発生時刻	NS	S <sub>d</sub> -2 1	3820	42300	42300	0.09	0.09
		EW	S <sub>d</sub> -2 2	19800	39600		0.50* <sup>2</sup>	0.47* <sup>2</sup>
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	S <sub>d</sub> -2 1	3820	42300		0.09	0.09
		EW	S <sub>d</sub> -2 2	17000	39600		0.43	0.40
38.8~ 34.7	最大 せん断力 発生時刻	NS	S <sub>d</sub> -2 1	7210	83700	83700	0.09	0.09
		EW	S <sub>d</sub> -2 2	35900	76500		0.47	0.43
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	S <sub>d</sub> -2 1	7210	83700		0.09	0.09
		EW	S <sub>d</sub> -2 2	35900	76500		0.47	0.43

注記 \*<sup>1</sup>: 基本ケースの結果

\*<sup>2</sup>: 最大水平地震力発生時の軸力比の最大値

表 2-29 最大軸力発生時の水平地震力比の比較 (S<sub>d</sub>断層波) \*

(a) せん断力比

EL. (m)	方向	地震波	① 時刻歴 せん断力 (kN)	② 最大 せん断力 (kN)	③ 最大 せん断力 (S <sub>d</sub> 包絡) (kN)	せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
46.5~38.8	NS	S <sub>d</sub> -2 1	16100	54900	58000	0.29	0.28
	EW	S <sub>d</sub> -2 2	2760	49800	59000	0.06	0.05
38.8~34.7	NS	S <sub>d</sub> -2 1	18500	93300	107000	0.20	0.17
	EW	S <sub>d</sub> -2 2	16400	79400	108000	0.21	0.15

(b) 曲げモーメント比

EL. (m)	方向	地震波	① 時刻歴 曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN· m)	② 最大 曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN· m)	③ 最大曲げモーメント (S <sub>d</sub> 包絡) (×10 <sup>3</sup> kN· m)	せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
46.5~38.8	NS	S <sub>d</sub> -2 1	40100	94600	97600	0.42	0.41
	EW	S <sub>d</sub> -2 2	4450	88100	88100	0.05	0.05
38.8~34.7	NS	S <sub>d</sub> -2 1	55700	148000	153000	0.38	0.36
	EW	S <sub>d</sub> -2 2	19600	129000	136000	0.15	0.14

注記 \*: 基本ケースの結果

表 2-30 最大水平地震力発生時の軸力比の比較 (S<sub>d</sub>-31) \*

EL. (m)	水平地震力	方向	① 時刻歴軸力 (kN)	最大応答軸力 (kN)		軸力の 最大値の比 (①/②)	軸力の 最大値の比 (①/③)
				② S <sub>d</sub> -31	③ S <sub>d</sub> 包絡		
46.5~ 38.8	最大 せん断力 発生時刻	NS	1630	16900	42300	0.10	0.04
		EW	1630			0.10	0.04
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	1630			0.10	0.04
		EW	1630			0.10	0.04
38.8~ 34.7	最大 せん断力 発生時刻	NS	1480	33400	83700	0.04	0.02
		EW	1480			0.04	0.02
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	1480			0.04	0.02
		EW	1480			0.04	0.02

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-31 最大軸力発生時の水平地震力比の比較 (S<sub>d</sub>-31) \*

(a) せん断力比

EL. (m)	方向	① 時刻歴 せん断力 (kN)	最大応答せん断力 (kN)		せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
			② S <sub>d</sub> -31	③ S <sub>d</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	22100	58000	58000	0.38	0.38
	EW	22400	59000	59000	0.38	0.38
38.8~34.7	NS	41500	107000	107000	0.39	0.39
	EW	41900	108000	108000	0.39	0.39

(b) 曲げモーメント比

EL. (m)	方向	① 時刻歴曲げ モーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)		曲げモーメ ントの 最大値の比 (③/①)	曲げモーメ ントの 最大値の比 (③/②)
			② S <sub>d</sub> -31	③ S <sub>d</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	30900	85400	97600	0.36	0.32
	EW	31200	85600	88100	0.36	0.35
38.8~34.7	NS	50400	138000	153000	0.37	0.33
	EW	50000	136000	136000	0.37	0.37

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-32 最大水平地震力発生時の軸力比の比較 (S<sub>s</sub>-D1) \*

EL. (m)	水平地震力	方向	① 時刻歴軸力 (kN)	最大応答軸力 (kN)		軸力の 最大値の比 (①/②)	軸力の 最大値の比 (①/③)
				② S <sub>s</sub> -D1	③ S <sub>s</sub> 包絡		
46.5~ 38.8	最大 せん断力 発生時刻	NS	7340	68200	79500	0.11	0.09
		EW	5160			0.08	0.07
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	13400			0.20	0.17
		EW	13400			0.20	0.17
38.8~ 34.7	最大 せん断力 発生時刻	NS	7080	128000	158000	0.06	0.04
		EW	16300			0.13	0.10
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	25500			0.20	0.16
		EW	14800			0.12	0.09

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-33 最大軸力発生時の水平地震力比の比較 (S<sub>s</sub>-D1) \*

(a) せん断力比

EL. (m)	方向	① 時刻歴 せん断力 (kN)	最大応答せん断力 (kN)		せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
			② S <sub>s</sub> -D1	③ S <sub>s</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	4090	82100	98900	0.05	0.04
	EW	3830	83000	98900	0.05	0.04
38.8~34.7	NS	45300	152000	183000	0.30	0.25
	EW	44500	156000	179000	0.29	0.25

(b) 曲げモーメント比

EL. (m)	方向	① 時刻歴曲げ モーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)		曲げモーメ ントの 最大値の比 (③/①)	曲げモーメ ントの 最大値の比 (③/②)
			② S <sub>s</sub> -D1	③ S <sub>s</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	6110	125000	168000	0.05	0.04
	EW	5120	123000	157000	0.04	0.03
38.8~34.7	NS	44500	199000	260000	0.22	0.17
	EW	39800	195000	239000	0.20	0.17

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-34 最大水平地震力発生時の軸力比の比較 (S<sub>s</sub>断層波) \*

EL. (m)	水平地震力	方向	地震波	① 時刻歴 軸力 (kN)	② 最大 軸力 (kN)	③ 最大軸力 (S <sub>s</sub> 包絡) (kN)	軸力の 最大値の比 (①/②)	軸力の 最大値の比 (①/③)
46.5~ 38.8	最大 せん断力 発生時刻	NS	S <sub>s</sub> -2 1	12300	79500	79500	0.15	0.15
		EW	S <sub>s</sub> -2 2	3980	73700		0.05	0.05
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	S <sub>s</sub> -2 1	3520	79500		0.04	0.04
		EW	S <sub>s</sub> -2 2	3980	73700		0.05	0.05
38.8~ 34.7	最大 せん断力 発生時刻	NS	S <sub>s</sub> -2 1	40100	158000	158000	0.25	0.25
		EW	S <sub>s</sub> -2 2	8180	142000		0.06	0.05
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	S <sub>s</sub> -2 1	7980	158000		0.05	0.05
		EW	S <sub>s</sub> -2 2	8180	142000		0.06	0.05

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-35 最大軸力発生時の水平地震力比の比較 (S<sub>d</sub>断層波) \*

(a) せん断力比

EL. (m)	方向	地震波	① 時刻歴 せん断力 (kN)	② 最大 せん断力 (kN)	③ 最大 せん断力 (S <sub>s</sub> 包絡) (kN)	せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
46.5~38.8	NS	S <sub>s</sub> -2 1	15200	95400	98900	0.16	0.15
	EW	S <sub>s</sub> -2 2	7520	87400	98900	0.09	0.08
38.8~34.7	NS	S <sub>s</sub> -2 1	16600	167000	183000	0.10	0.09
	EW	S <sub>s</sub> -2 2	20000	140000	179000	0.14	0.11

(b) 曲げモーメント比

EL. (m)	方向	地震波	① 時刻歴 曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN· m)	② 最大 曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN· m)	③ 最大曲げモーメント (S <sub>s</sub> 包絡) (×10 <sup>3</sup> kN· m)	せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
46.5~38.8	NS	S <sub>s</sub> -2 1	42600	168000	168000	0.25	0.25
	EW	S <sub>s</sub> -2 2	31800	155000	157000	0.21	0.20
38.8~34.7	NS	S <sub>s</sub> -2 1	61600	260000	260000	0.24	0.24
	EW	S <sub>s</sub> -2 2	31000	228000	239000	0.14	0.13

注記 \* : 基本ケースの結果



表 2-36 最大水平地震力発生時の軸力比の比較 (S<sub>d</sub>-31) \*

EL. (m)	水平地震力	方向	① 時刻歴軸力 (kN)	最大応答軸力 (kN)		軸力の 最大値の比 (①/②)	軸力の 最大値の比 (①/③)
				② S <sub>s</sub> -31	③ S <sub>s</sub> 包絡		
46.5~ 38.8	最大 せん断力 発生時刻	NS	5110	30000	79500	0.17	0.06
		EW	6210			0.21	0.08
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	5110			0.17	0.06
		EW	5110			0.17	0.06
38.8~ 34.7	最大 せん断力 発生時刻	NS	4860	59500	158000	0.08	0.03
		EW	5200			0.09	0.03
	最大 曲げモーメント 発生時刻	NS	5640			0.09	0.04
		EW	5640			0.09	0.04

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-37 最大軸力発生時の水平地震力比の比較 (S<sub>d</sub>-31) \*

(a) せん断力比

EL. (m)	方向	① 時刻歴 せん断力 (kN)	最大応答せん断力 (kN)		せん断力の 最大値の比 (①/②)	せん断力の 最大値の比 (①/③)
			② S <sub>s</sub> -31	③ S <sub>s</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	37500	98900	98900	0.38	0.38
	EW	37800	98900	98900	0.38	0.38
38.8~34.7	NS	71800	183000	183000	0.39	0.39
	EW	72000	179000	179000	0.40	0.40

(b) 曲げモーメント比

EL. (m)	方向	① 時刻歴曲げ モーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>3</sup> kN・m)		曲げモーメ ントの 最大値の比 (③/①)	曲げモーメ ントの 最大値の比 (③/②)
			② S <sub>s</sub> -31	③ S <sub>s</sub> 包絡		
46.5~38.8	NS	50500	144000	168000	0.35	0.30
	EW	50800	157000	157000	0.32	0.32
38.8~34.7	NS	83100	233000	260000	0.36	0.32
	EW	82400	239000	239000	0.34	0.34

注記 \* : 基本ケースの結果

表 2-38 断面評価結果 (S<sub>d</sub>地震時/動的地震力/水平×1.0+鉛直×0.4)

		評価項目	要素位置	解析結果	許容値	検定比	検定比 ×1.175
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	北側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	2219	1.38	14.7	0.094	0.111
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	2272	258	345	0.748	0.879
	東側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1582	1.30	14.7	0.089	0.105
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1537	234	345	0.679	0.798
	南側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	3055	3.58	14.7	0.244	0.287
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	3037	233	345	0.676	0.795
	西側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1035	1.38	14.7	0.094	0.111
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1037	233	345	0.676	0.795
	底版	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	4054	5.03	14.7	0.343	0.404
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	4057	148	345	0.429	0.505
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2272	0.384	1.31	0.294	0.346
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1590	0.724	1.34	0.541	0.636
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3037	1.41	3.07	0.460	0.541
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1087	0.816	1.50	0.544	0.640
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2228	0.477	0.990	0.482	0.567
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1546	0.295	0.985	0.300	0.353
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7801	0.849	1.52	0.559	0.657
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1033	0.323	0.995	0.325	0.382
	底版	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	4054	1.40	3.01	0.466	0.548

表 2-39 断面評価結果 (S<sub>d</sub>地震時/動的地震力/水平×0.4+鉛直×1.0)

		評価項目	要素位置	解析結果	許容値	検定比	検定比 ×1.5
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	北側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	2219	1.44	14.7	0.098	0.147
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	2272	199	345	0.577	0.866
	東側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1582	1.25	14.7	0.086	0.129
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1528	225	345	0.653	0.980
	南側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	3055	4.05	14.7	0.276	0.414
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	3037	208	345	0.603	0.905
	西側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1070	1.27	14.7	0.087	0.131
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1028	222	345	0.644	0.966
	底版	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	4054	5.56	14.7	0.379	0.569
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	4054	166	345	0.482	0.723
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2268	0.494	1.52	0.325	0.488
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1586	0.861	1.69	0.510	0.765
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3037	0.634	3.10	0.205	0.308
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1086	0.851	1.64	0.519	0.779
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2228	0.495	0.982	0.505	0.758
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1546	0.318	0.963	0.331	0.497
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7803	0.675	1.20	0.563	0.845
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1046	0.311	0.950	0.328	0.492
	底版	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	4053	1.64	3.01	0.545	0.818

#### (4) 主排気塔

主排気筒の上部構造物の主柱材の評価において、組合せ係数法による応力度は、 $0^\circ$  方向と  $45^\circ$  方向の結果の最大値を採用するが、主排気筒の鉄塔の形状から、 $45^\circ$  方向の時刻歴応力度が大きくなることから、 $45^\circ$  方向の結果に対して組合せ係数法による応力度と比較を行う。

波ごとに組合せ係数法を適用して算出した検定比 (①)、 $S_s$  を包絡し組合せ係数法を適用して算出した検定比 (②)、時刻歴検定比の最大値 (③)、検定比の最大値の比 (①/③)、②/③) を表 2-40～表 2-42 に示す。なお、参考として時刻歴検定比の詳細を、「別紙 時刻歴による評価値」に示す。

基準地震動  $S_s$  については、組合せ係数法による応力度の最大値は時刻歴応力度の最大値より小さい値 (①/③が最小で約 73 %) となっている場合もあるが、主排気筒の上部構造物の主柱材の評価に用いる入力という観点で、基準地震動  $S_s$  を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大検定比が時刻歴の最大値より大きい値 (②/③が 1.0 以上) となっていることから、上部構造物の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

表 2-40 最大応力度比の比較 (S<sub>s</sub>-D1)

EL.	組合せ係数法における 検定比*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴 検定比*1*2*3 (N/mm <sup>2</sup> )	検定比の最 大値の比 (①/③)	検定比の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -D1*1	② S <sub>s</sub> 包絡			
112.205	0.43	0.63	0.46	0.94	1.37
95.432	0.48	0.69	0.49	0.98	1.41
75.444	0.67	0.92	0.75	0.90	1.23
52.618	0.63	0.88	0.70	0.90	1.26
26.257	0.51	0.64	0.56	0.92	1.15

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2:  $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$  3桁目目を切り上げ

\*3: 斜め方向

表 2-41 最大軸応力度の比較 (S<sub>s</sub>-21)

EL.	組合せ係数法における 検定比*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴 検定比*1*2*3 (N/mm <sup>2</sup> )	検定比の最 大値の比 (①/③)	検定比の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -21*1	② S <sub>s</sub> 包絡			
112.205	0.43	0.63	0.48	0.90	1.32
95.432	0.47	0.69	0.55	0.86	1.26
75.444	0.67	0.92	0.78	0.86	1.18
52.618	0.54	0.88	0.74	0.73	1.19
26.257	0.45	0.64	0.60	0.75	1.07

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2:  $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$  3桁目目を切り上げ

\*3: 斜め方向

表 2-42 最大軸応力度の比較 (S<sub>s</sub>-31)

EL.	組合せ係数法における 検定比*2 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴 検定比*1*2*3 (N/mm <sup>2</sup> )	検定比の最 大値の比 (①/③)	検定比の 最大値の比 (②/③)
	① S <sub>s</sub> -31*1	② S <sub>s</sub> 包絡			
112.205	0.38	0.63	0.34	1.12	1.86
95.432	0.50	0.69	0.40	1.25	1.73
75.444	0.67	0.92	0.55	1.22	1.68
52.618	0.57	0.88	0.50	1.14	1.76
26.257	0.47	0.64	0.42	1.12	1.53

注記 \*1: 基本ケースの結果

\*2:  $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$  3桁目目を切り上げ

\*3: 斜め方向

### 3. まとめ

建物・構築物の耐震評価において、組合せ係数法の適用性を確認する目的で、水平及び鉛直方向の荷重の組合せに組合せ係数法を適用した場合と水平及び鉛直方向の地震応答を時々刻々重ね合わせた場合の評価結果の比較を行い、以下の結果が得られた。

#### (1) 地盤の検討結果

地盤（接地圧）の検討において、原子炉建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽を対象として検討を行った。

原子炉建屋については、組合せ係数法による最大接地圧は、時刻歴接地圧の最大値と比べて小さい値（最小で約 92 %）となっている場合もあるが、仮に時刻歴接地圧の最大値を用いた場合でも、許容限界に対して十分な余裕を有することから、接地圧評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

格納容器逃がし圧力装置格納槽については、組合せ係数法による最大接地圧は、時刻歴接地圧の最大値と比べて小さい値（最小で約 95 %）となっている場合もあるが、仮に時刻歴接地圧の最大値を用いた場合でも、許容限界に対して十分な余裕を有することから、接地圧評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

#### (2) 杭の検討結果

杭の検討について、主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋に対して実施する杭支持力等及び断面の評価について、組合せ係数法の適用性の検討を行った。

主排気筒については、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭頭断面の曲げに対する組合せ係数法による検定比は、時刻歴和の検定比と比べて保守的な値となっているため、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

非常用ガス処理系配管支持架構については、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭の軸曲げに対する組合せ係数法による検定比は、時刻歴和の検定比と比べて保守的な値となっているため、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

使用済燃料乾式貯蔵建屋については、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭の軸曲げに対する組合せ係数法による検定比は、時刻歴和の検定比と比べて保守的な値となっているため、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

緊急時対策所建屋については、鉛直支持力、引抜抵抗力、杭の軸曲げに対する組合せ係数法による検定比は、時刻歴和の検定比と比べて保守的な値となっているため、杭の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

#### (3) 基礎の検討結果

基礎については、原子炉建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽に対して検討を行った。

原子炉建屋については、弾性設計用地震動  $S_a$  については、組合せ係数法による最大接地圧は時刻歴接地圧の最大値より小さい値（最小で約 98 %）となっている場合もあるが、基礎への地震荷重の入力という観点で、弾性設計用地震動  $S_a$  を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧が時刻歴接地圧の最大値より大きい値となっていることから、基礎の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

また、基準地震動 $S_0$ については、組合せ係数法による最大接地圧は時刻歴接地圧の最大値より小さい値（最小で約92%）となっている場合もあるが、基礎への地震荷重の入力という観点で、基準地震動 $S_0$ については、応答スペクトルに基づく地震動、断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動のそれぞれについて組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧が時刻歴接地圧の最大値より大きい値となっていることから、基礎の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

格納容器圧力逃がし装置格納槽については、各地震動における組合せ係数法による最大接地圧は時刻歴接地圧の最大値より小さい値（最小で約95%）となっている場合もあるが、基礎への地震荷重の入力という観点で、基準地震動 $S_0$ を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大接地圧が時刻歴接地圧の最大値より保守的となっていることから、基礎の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

#### (4) 上部構造物の検討結果

水平地震力の影響を受けやすい、アスペクト比の大きい主排気筒及び上部構造物に対して組合せ係数法を適用している建物である原子炉建屋の使用済燃料プールに対して検討を行った。

使用済燃料プールの評価において、基準地震動 $S_0$ について各地震における主方向の最大値発生時刻における副方向の応答値と最大応答値の比率が組合せ係数0.4以下となることから、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。また、弾性設計用地震動 $S_d$ について各地震における主方向の最大値発生時刻における副方向の応答値と最大応答値の比率は組合せ係数0.4より大きいものの、仮に副方向の応答値と最大応答値の比率を用いた場合でも、許容限界に対して十分な余裕を有することから、使用済燃料プールの評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

主排気筒の上部構造物の支柱材の評価において、各地震動における組合せ係数法による検定比の最大値は時刻歴検定比の最大値より小さい値（最小で約73%）となっている場合もあるが、主排気筒の上部構造物の支柱材の評価に用いる入力という観点で、基準地震動 $S_0$ を包絡し組合せ係数法を適用して算出した最大検定比が時刻歴の最大値より保守的となっていることから、上部構造物の評価において組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

別紙 時刻歴による評価値



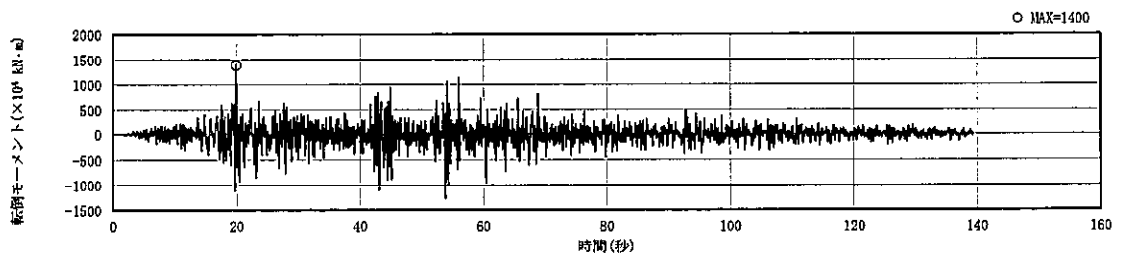
## 目次

別紙 時刻歴による評価値 .....	1
1. 時刻歴接地圧の算定結果 .....	1
1.1 原子炉建屋 .....	1
2. 時刻歴の杭における算定結果 .....	17
2.1 主排気筒 .....	17
2.2 非常用ガス処理系配管支持架構 .....	30
2.3 使用済燃料乾式貯蔵建屋 .....	35
2.4 緊急時対策所建屋 .....	39
3. 主排気筒の時刻歴検定比の算定結果 .....	46

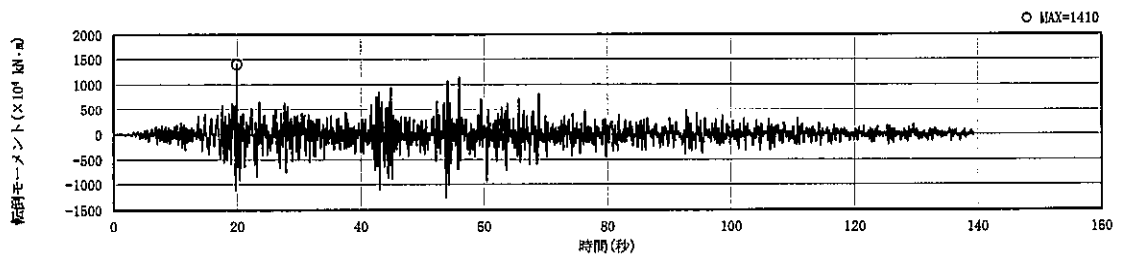
## 1. 時刻歴接地圧の算定結果

### 1.1 原子炉建屋

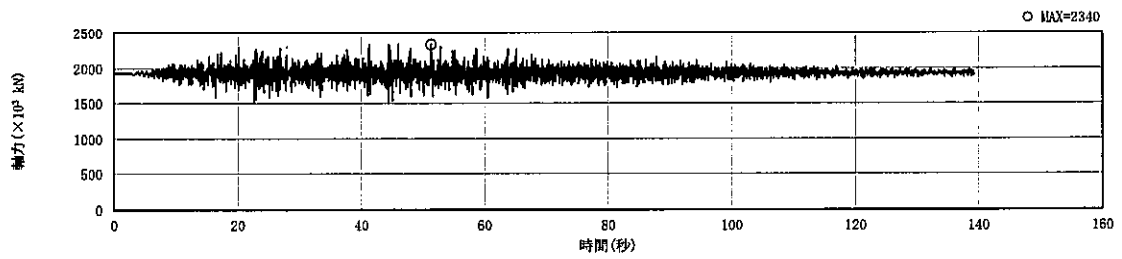
原子炉建屋について、弾性設計用地震動  $S_a$  及び基準地震動  $S_b$  に対する時刻歴接地圧の算定に用いる時刻歴転倒モーメント及び自重＋時刻歴応答軸力を図 1-1～図 1-6 に示す。ここで、応答スペクトルに基づく地震動  $S_a-D1$  及び  $S_b-D1$  並びに震源を特定せず策定する地震動  $S_a-31$  及び  $S_b-31$  では自重±時刻歴応答軸力とする。また、時刻歴接地圧の算定結果を図 1-7～図 1-12 に示す。



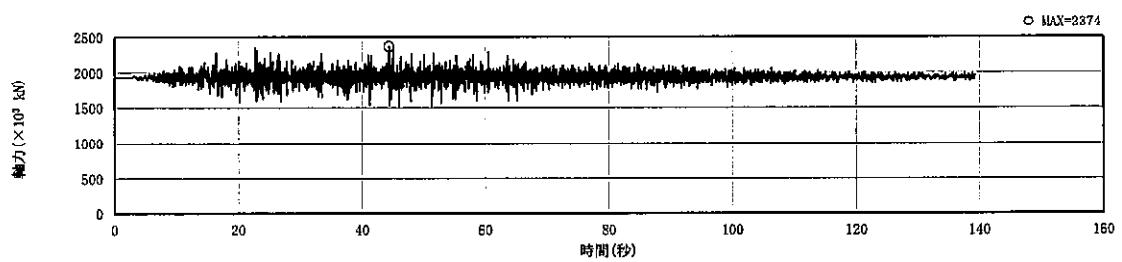
(a) 時刻歴転倒モーメント (NS 方向)



(b) 時刻歴転倒モーメント (EW 方向)

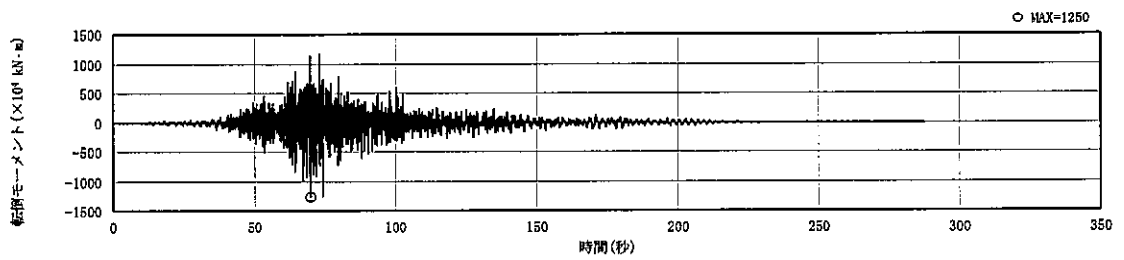


(c) 自重+時刻歴応答軸力

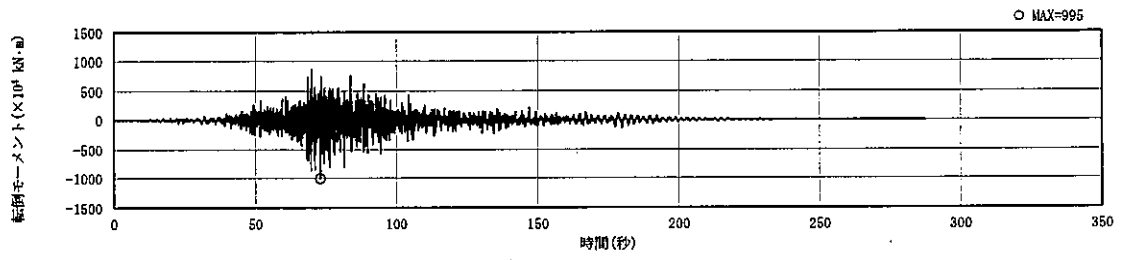


(d) 自重-時刻歴応答軸力

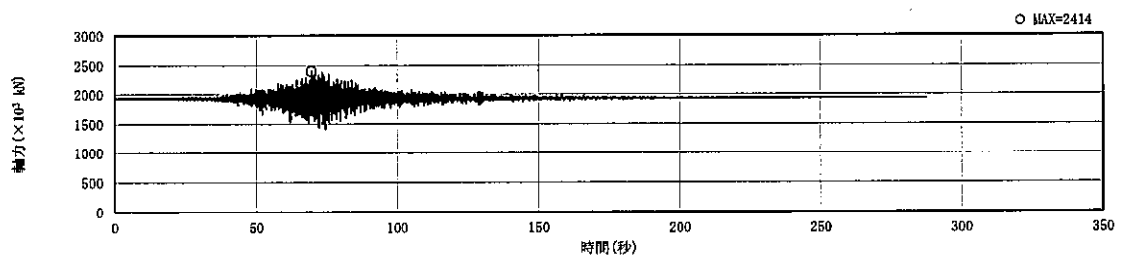
図 1-1 時刻歴転倒モーメント及び自重+時刻歴応答軸力 (原子炉建屋 S<sub>d</sub>-D1)



(a) 時刻歴転倒モーメント (NS 方向)

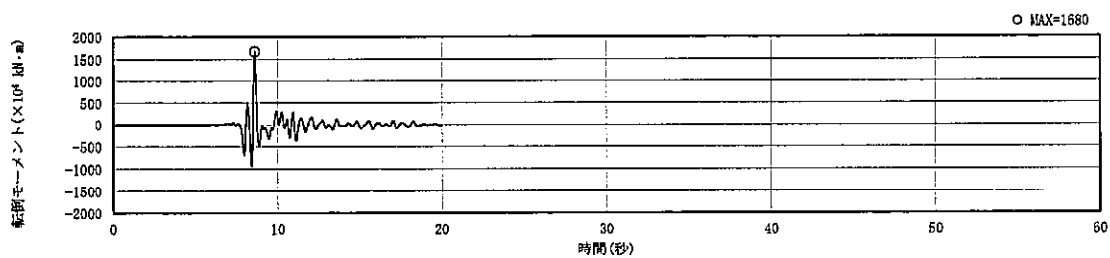


(b) 時刻歴転倒モーメント (EW 方向)

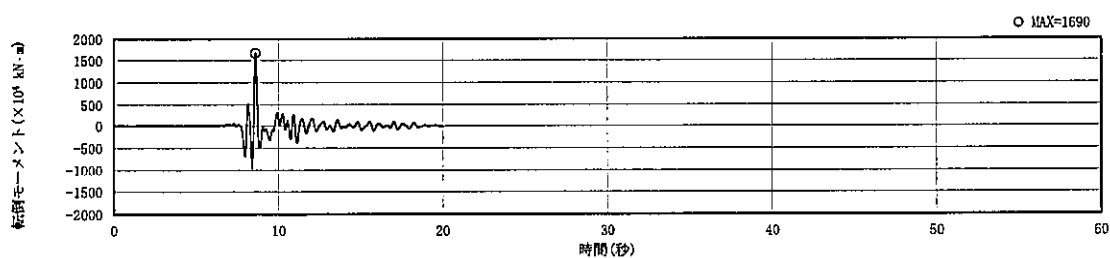


(c) 自重+時刻歴応答軸力

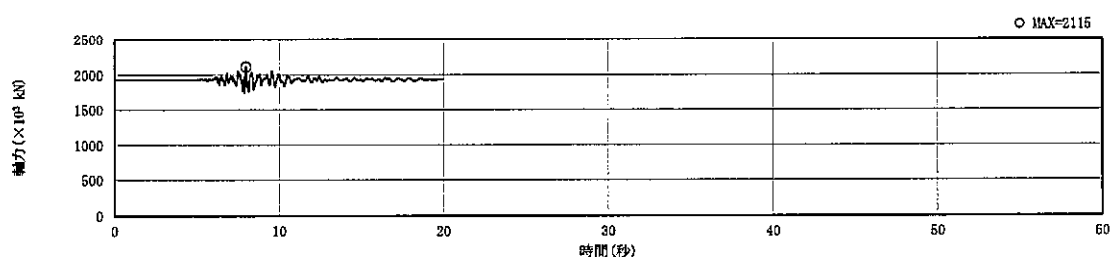
図 1-2 時刻歴転倒モーメント及び自重+時刻歴応答軸力 (原子炉建屋 S<sub>d</sub>-22)



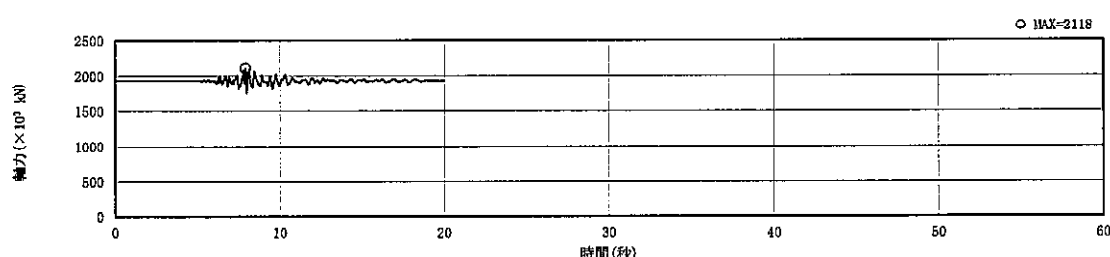
(a) 時刻歴転倒モーメント (NS 方向)



(b) 時刻歴転倒モーメント (EW 方向)

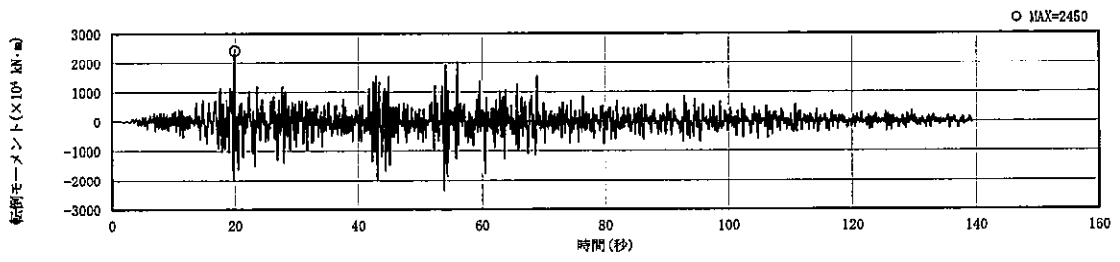


(c) 自重+時刻歴応答軸力

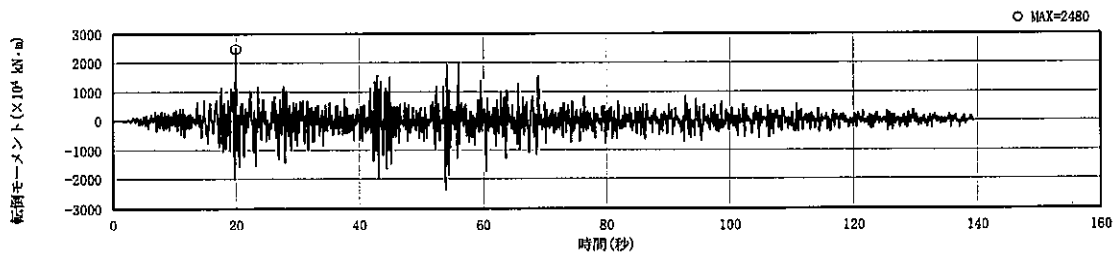


(d) 自重-時刻歴応答軸力

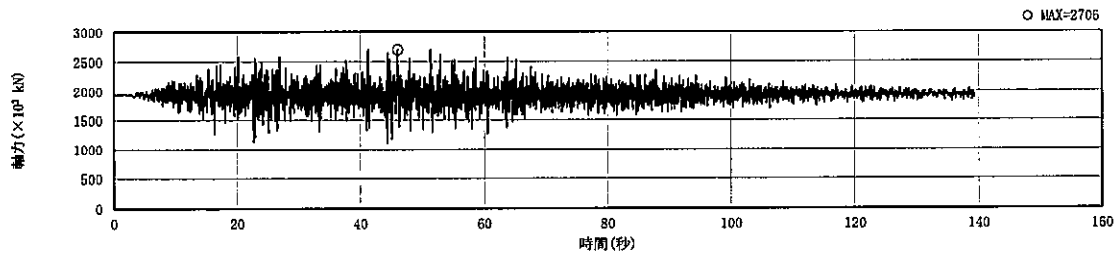
図 1-3 時刻歴転倒モーメント及び自重+時刻歴応答軸力 (原子炉建屋 S<sub>d</sub>-31)



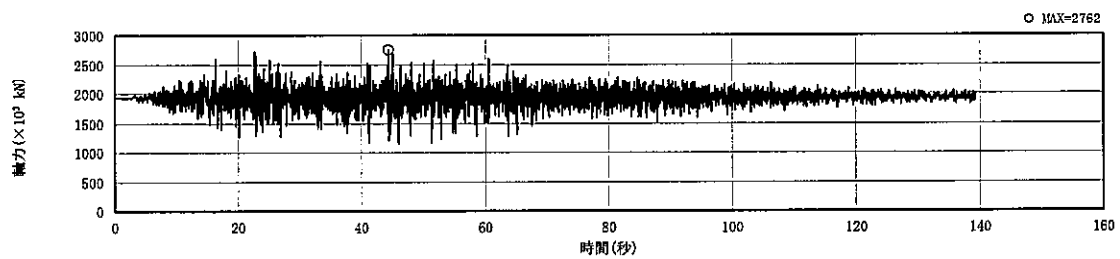
(a) 時刻歴転倒モーメント (NS 方向)



(b) 時刻歴転倒モーメント (EW 方向)

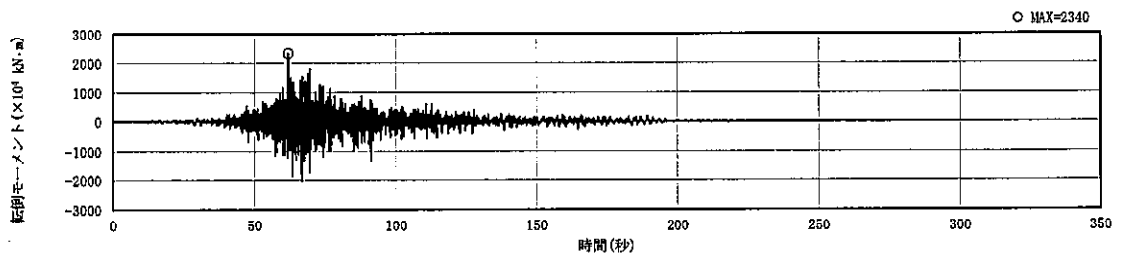


(c) 自重+時刻歴応答軸力

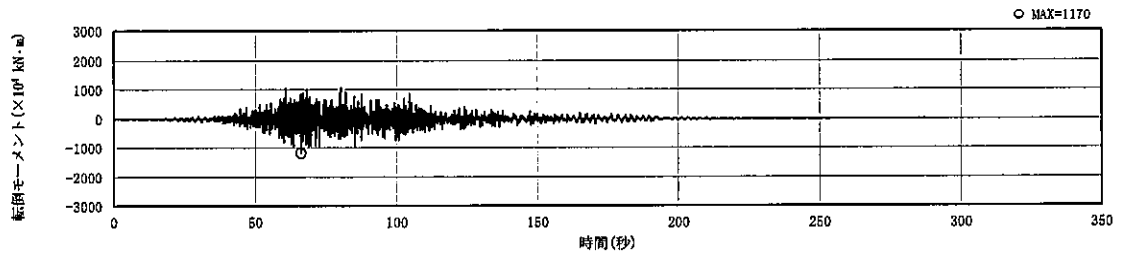


(d) 自重-時刻歴応答軸力

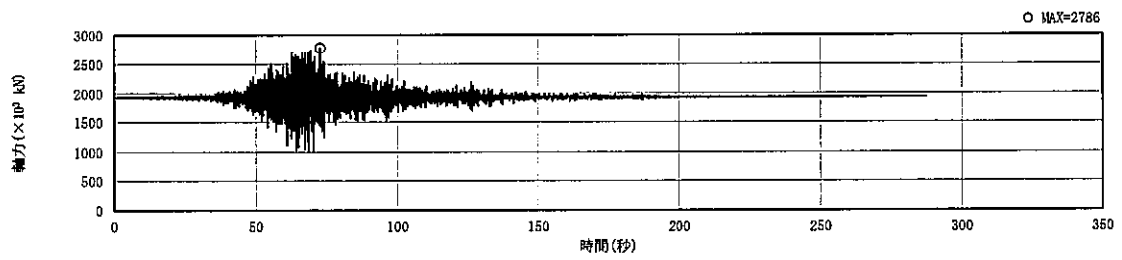
図 1-4 時刻歴転倒モーメント及び自重+時刻歴応答軸力 (原子炉建屋 S<sub>s</sub>-D1)



(a) 時刻歴転倒モーメント (NS 方向)

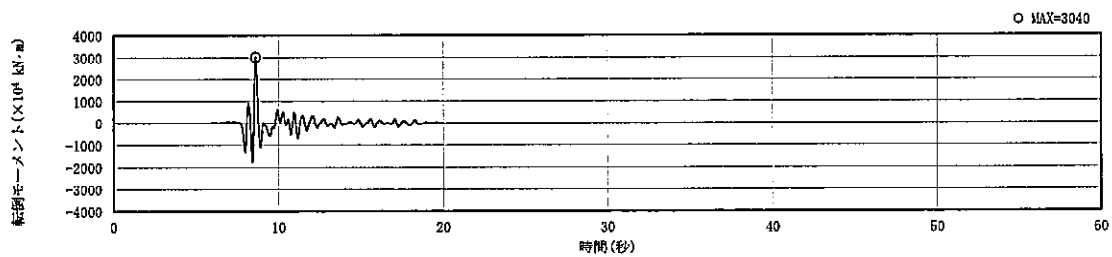


(b) 時刻歴転倒モーメント (EW 方向)

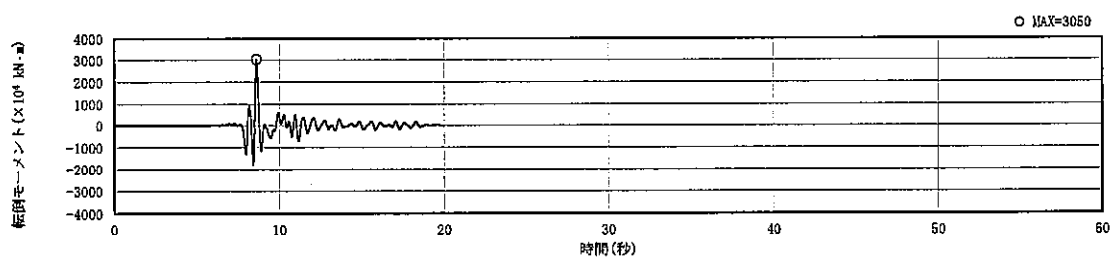


(c) 自重+時刻歴応答軸力

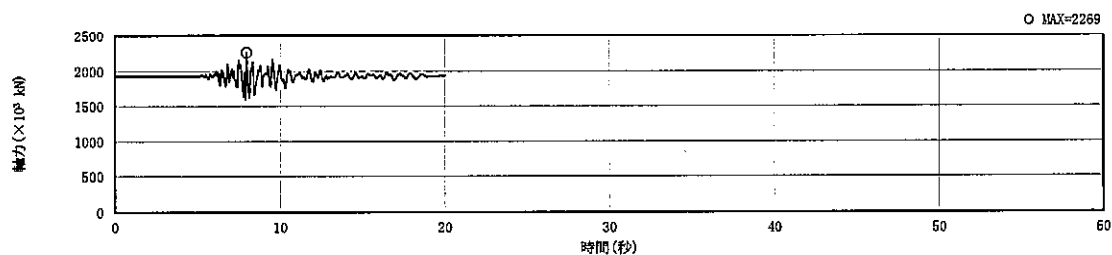
図 1-5 時刻歴転倒モーメント及び自重+時刻歴応答軸力 (原子炉建屋 S<sub>s</sub>-21)



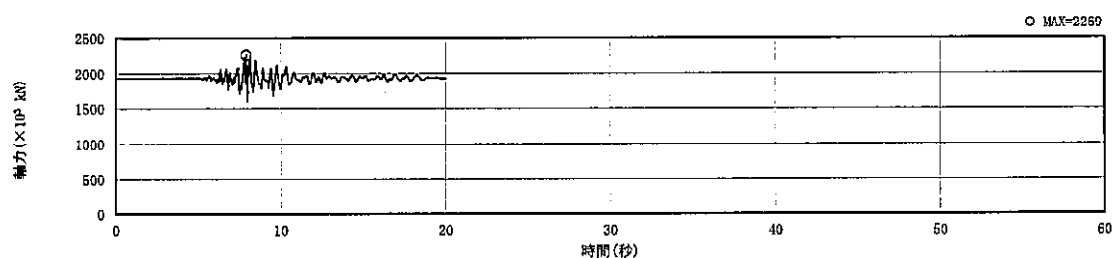
(a) 時刻歴転倒モーメント (NS 方向)



(b) 時刻歴転倒モーメント (EW 方向)



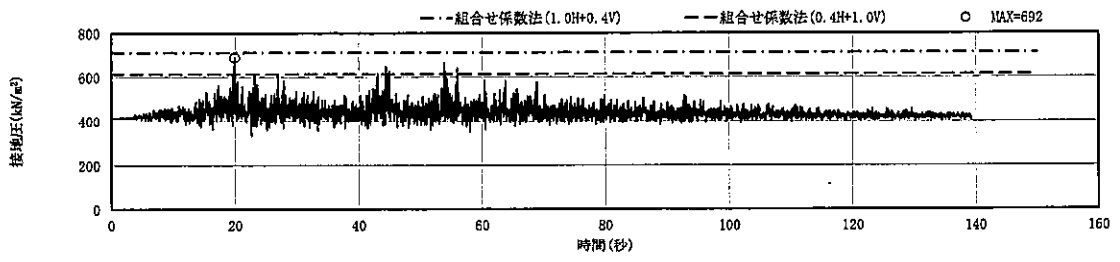
(c) 自重+時刻歴応答軸力



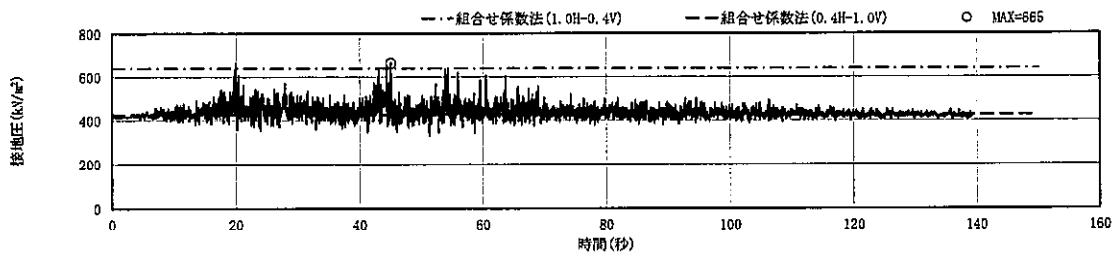
(d) 自重-時刻歴応答軸力

図 1-6 時刻歴転倒モーメント及び自重+時刻歴応答軸力 (原子炉建屋 S<sub>s</sub>-31)

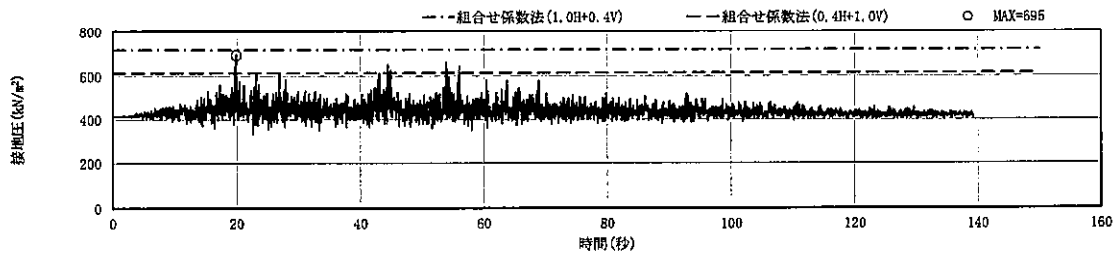




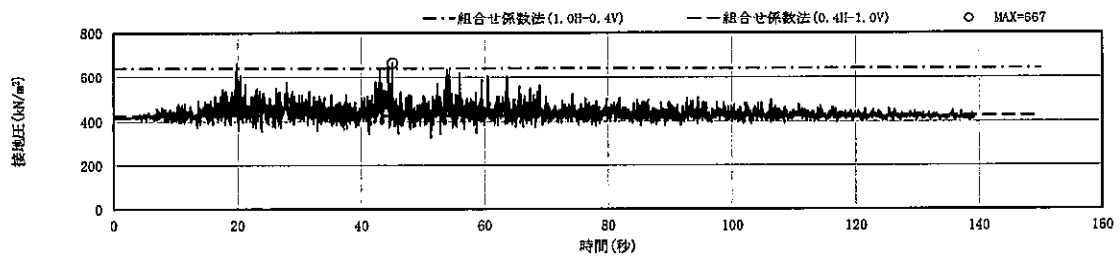
(a) 自重+NS方向+鉛直方向



(b) 自重+NS方向-鉛直方向

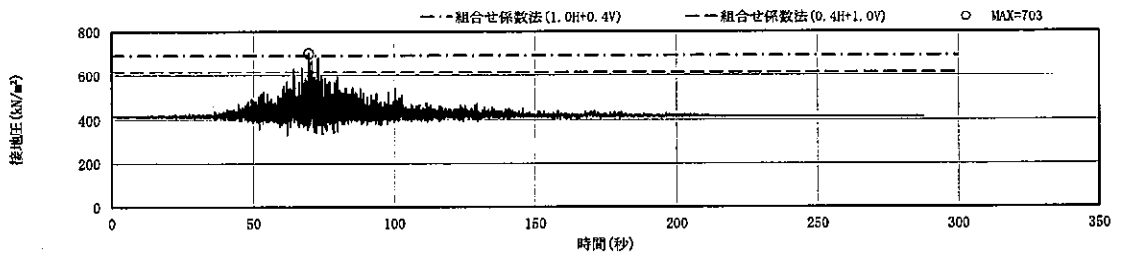


(c) 自重+EW方向+鉛直方向

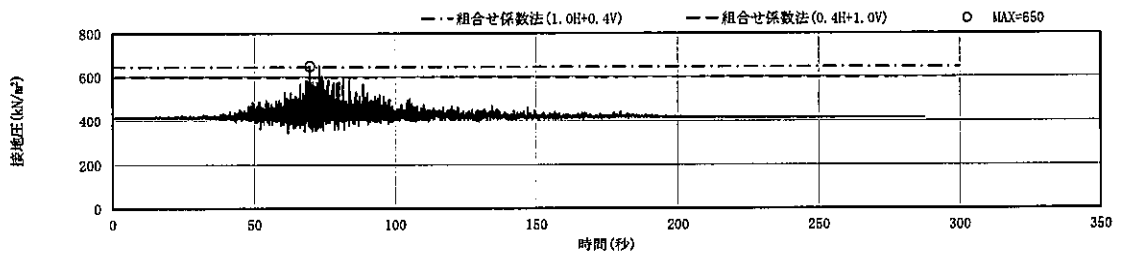


(d) 自重+EW方向-鉛直方向

図 1-7 時刻歴接地圧の算定結果 (原子炉建屋 S<sub>a</sub>-D1)

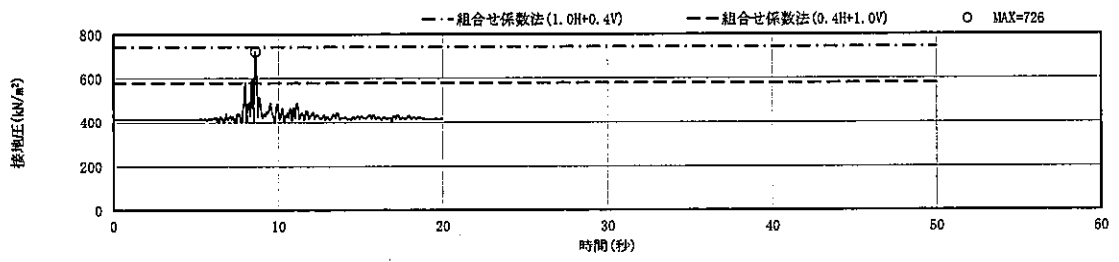


(a) 自重+NS 方向+鉛直方向

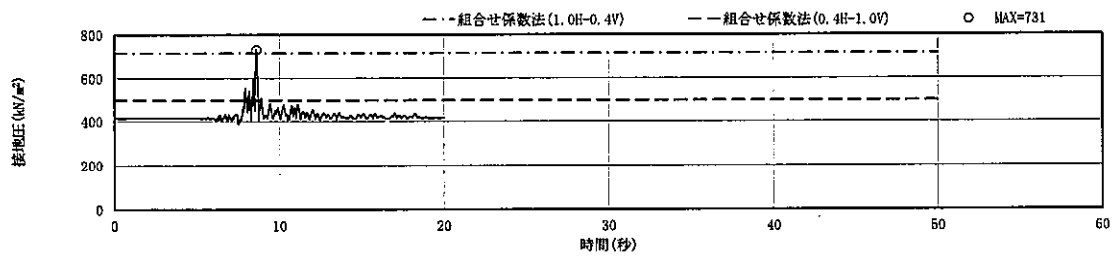


(b) 自重+EW 方向+鉛直方向

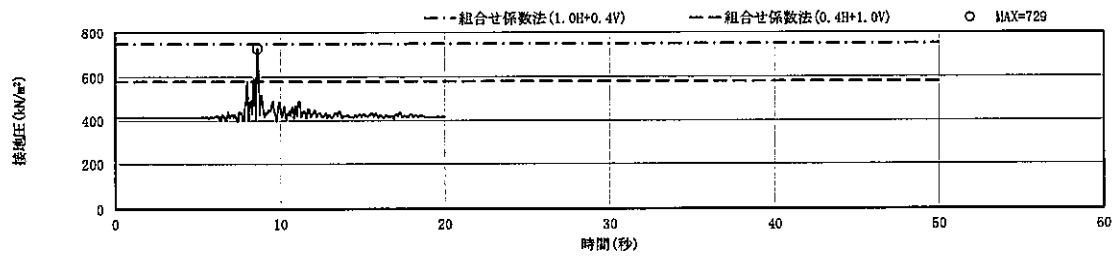
図 1-8 時刻歴接地圧の算定結果 (原子炉建屋 S<sub>d</sub>-22)



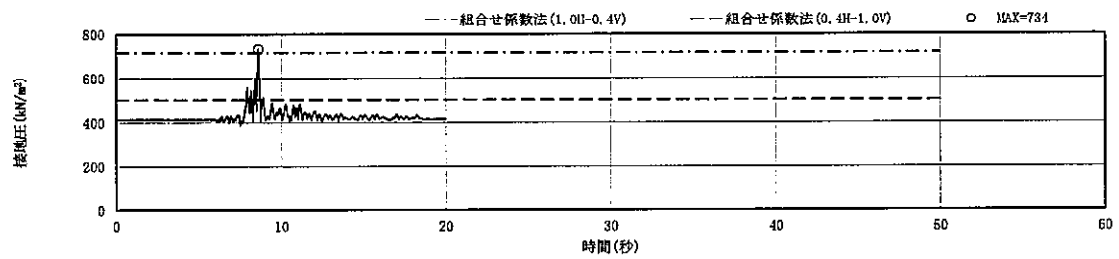
(a) 自重+NS方向+鉛直方向



(b) 自重+NS方向-鉛直方向

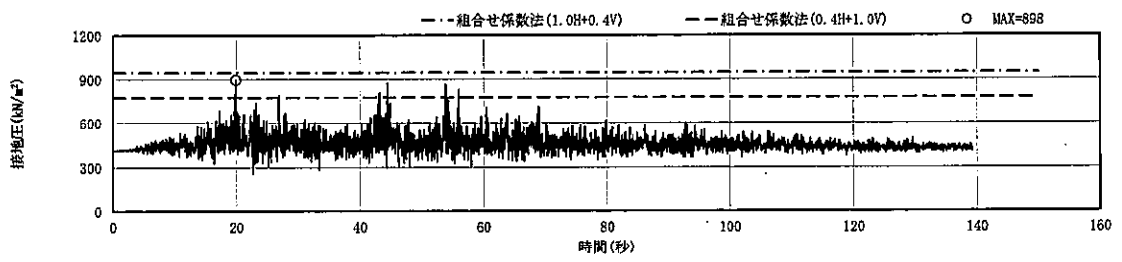


(c) 自重+EW方向+鉛直方向

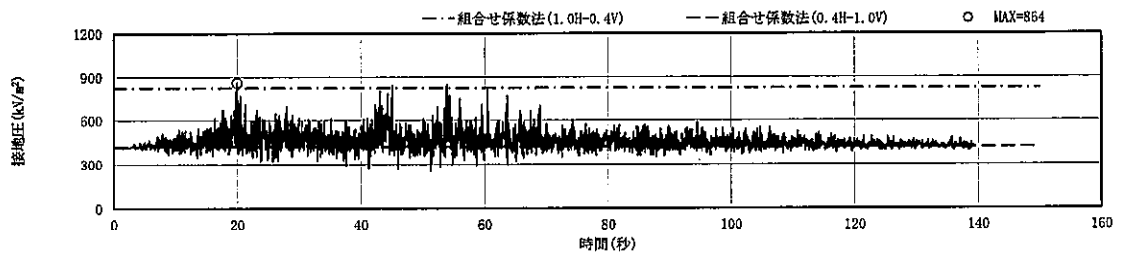


(d) 自重+EW方向-鉛直方向

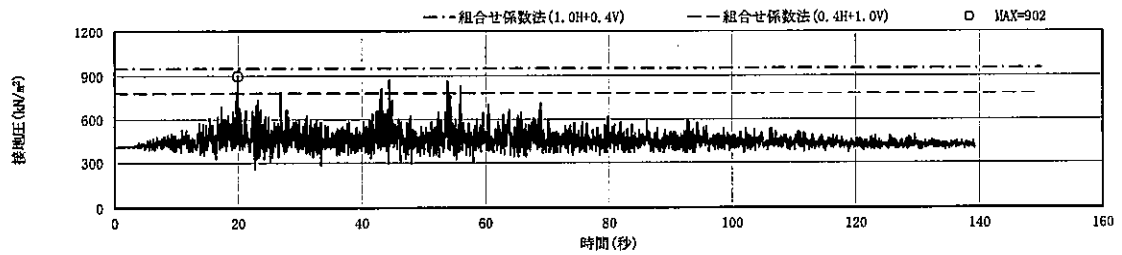
図 1-9 時刻歴接地圧の算定結果 (原子炉建屋 S<sub>d</sub>-31)



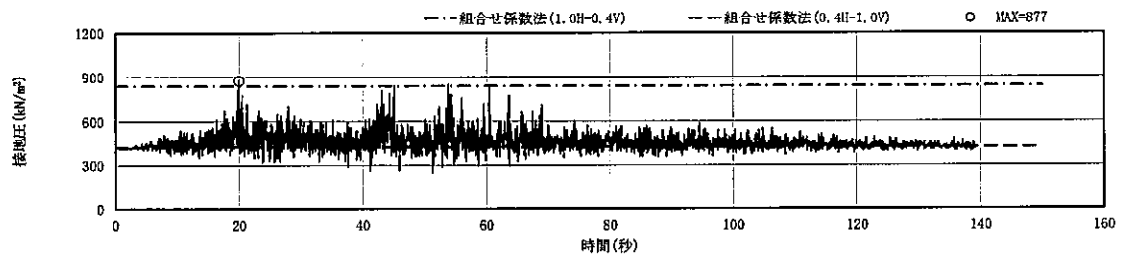
(a) 自重+NS方向+鉛直方向



(b) 自重+NS方向-鉛直方向

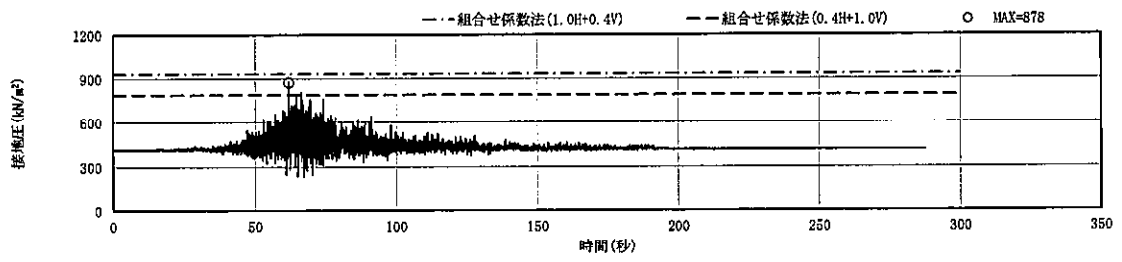


(c) 自重+EW方向+鉛直方向

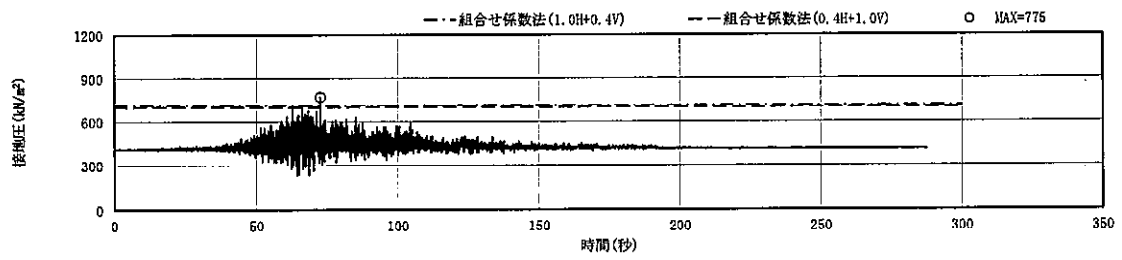


(d) 自重+EW方向-鉛直方向

図 1-10 時刻歴接地圧の算定結果 (原子炉建屋 S<sub>s</sub>-D1)

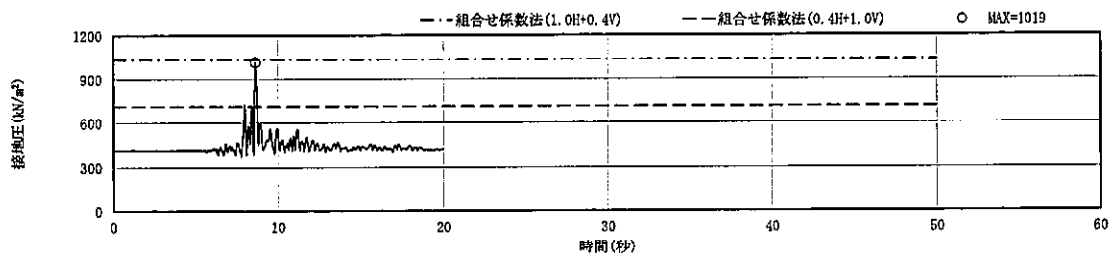


(a) 自重+NS 方向+鉛直方向

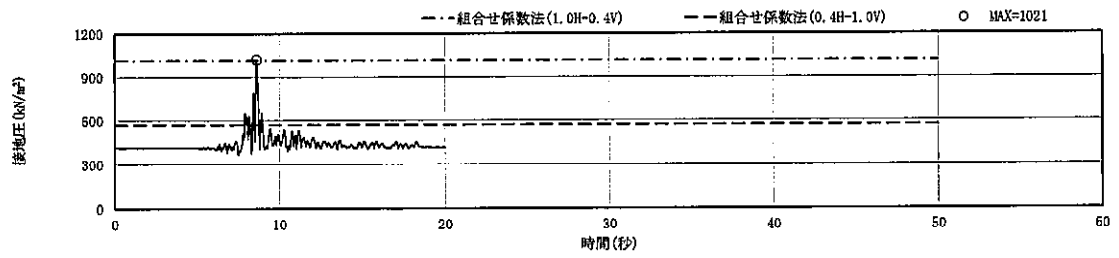


(b) 自重+EW 方向+鉛直方向

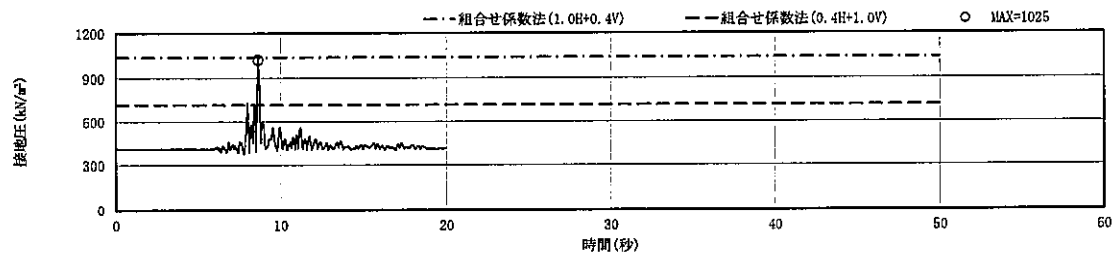
図 1-11 時刻歴接地圧の算定結果 (原子炉建屋 S<sub>s</sub>-21)



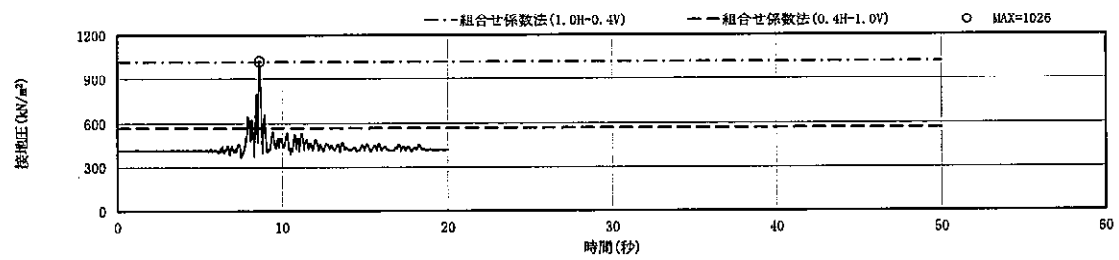
(a) 自重+NS 方向+鉛直方向



(b) 自重+NS 方向-鉛直方向



(c) 自重+EW 方向+鉛直方向



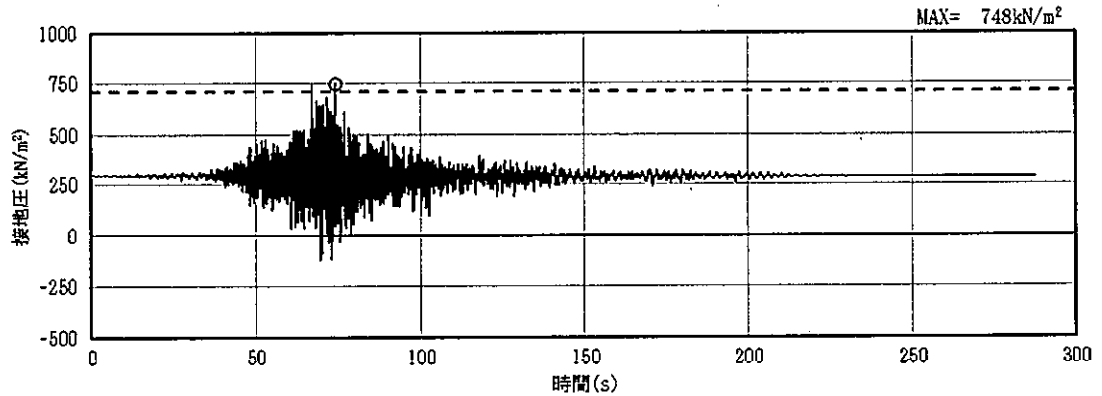
(d) 自重+EW 方向-鉛直方向

図 1-12 時刻歴接地圧の算定結果 (原子炉建屋 S<sub>s</sub>-31)

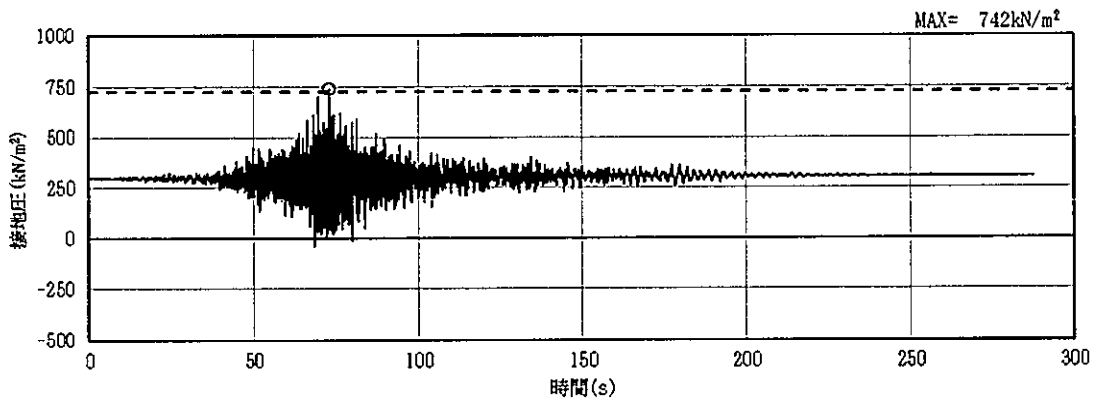
## 1.2 格納容器圧力逃がし装置格納槽

格納容器圧力逃がし装置格納槽について、基準地震動  $S_s-21$  及び  $S_s-31$  並びに  $S_s-D1$  に対する時刻歴接地圧の算定結果を図 1-13～図 1-15 に示す。

なお、格納容器圧力逃がし装置格納槽は地盤を 2 次元 FEM でモデル化していることから、基礎スラブ直下の地盤要素に生じる鉛直応力を用いて接地圧を算出している。



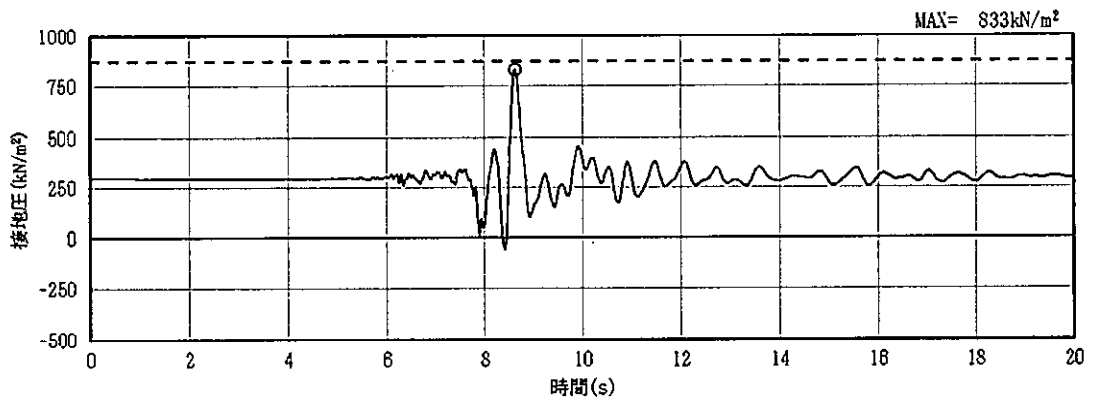
(a) 自重+NS 方向+鉛直方向



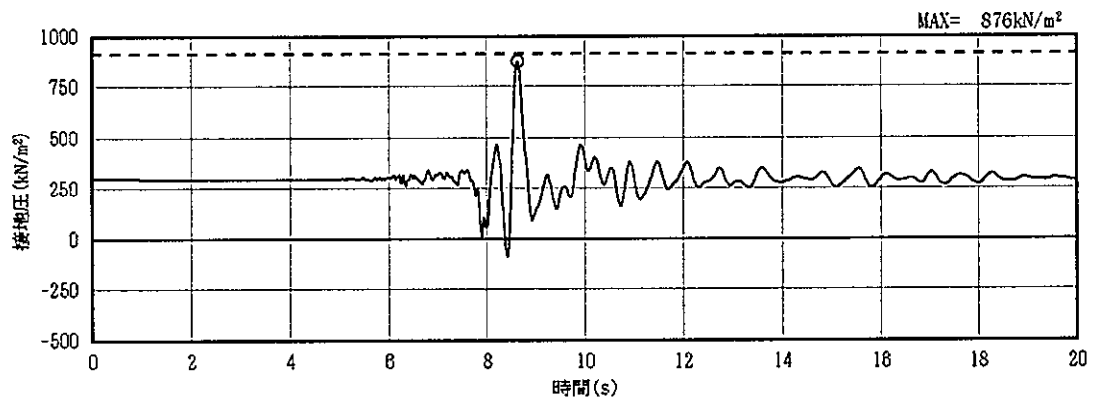
(b) 自重+EW 方向+鉛直方向

【参考】 -- : 組合せ係数法による最大接地圧

図 1-13 時刻歴接地圧 (格納容器圧力逃がし装置格納槽  $S_s-31$ )



(a) 自重+NS方向+鉛直方向

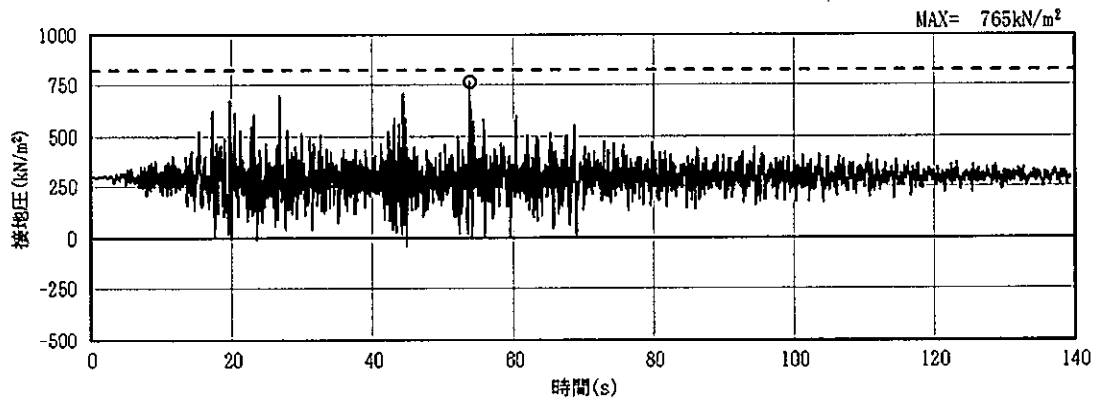


(b) 自重+EW方向+鉛直方向

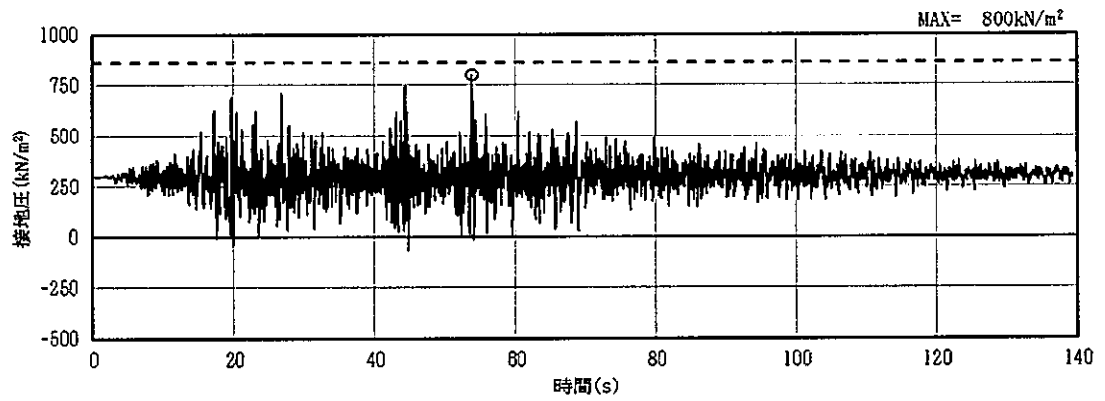
【参考】-- : 組合せ係数法による最大接地圧

図 1-14 時刻歴接地圧 (格納容器圧力逃がし装置格納槽 S<sub>s</sub>-31)





(a) 自重+NS方向+鉛直方向



(b) 自重+EW方向+鉛直方向

【参考】-- : 組合せ係数法による最大接地圧

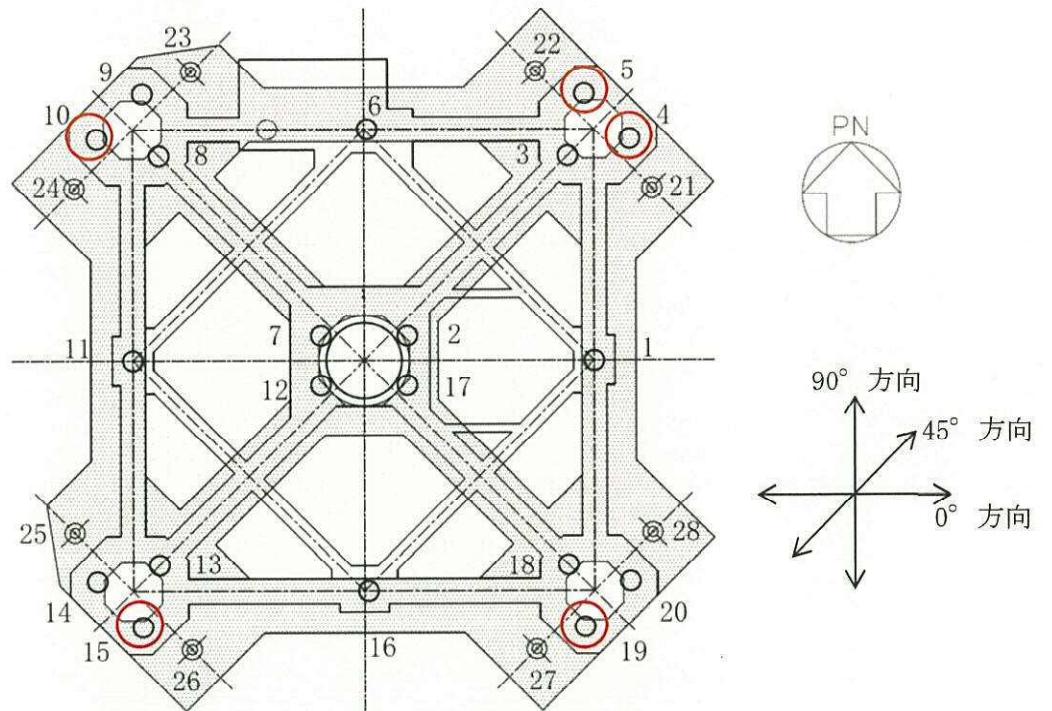
図 1-15 時刻歴接地圧 (格納容器圧力逃がし装置格納槽 S<sub>s</sub>-D1)

## 2. 時刻歴の杭における算定結果

### 2.1 主排気筒

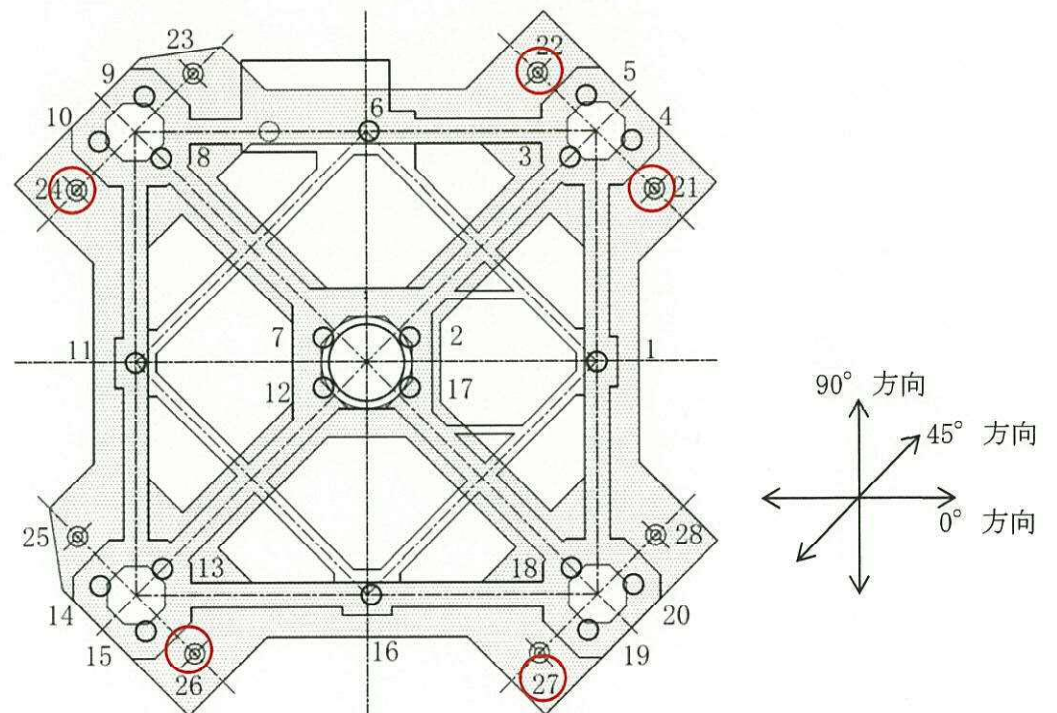
既存杭及び増設杭の検討ケースを表 2-1 に、各ケースの評価結果の一覧を表 2-2 に、杭の評価位置を図 2-1～図 2-2 に示す。

主排気筒の杭について、基準地震動  $S_0$  に対する検討結果の厳しいケースにおける時刻歴の杭の軸力、せん断力、曲げモーメント及び軸力を考慮した曲げモーメントの検定比 ( $M/\mu$ ) を図 2-3～図 2-10 に示す。



既存杭の 0° 方向では 4 及び 10 の杭, 90° 方向では 5 及び 19 の杭, 45° 方向では 4 及び 15 の杭を検討する。

図 2-1 評価する杭位置 (既存杭)



増設杭の 0° 方向では 21 及び 24 の杭, 90° 方向では 22 及び 27 の杭, 45° 方向では 21 及び 26 の杭を検討する。

図 2-2 評価する杭位置 (増設杭)

表 2-1 (1/2) 検討ケース (既存杭)

ケース	地震動	加力方向				杭番号
		地震		風		
101	Ss-21 NS	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4
102						10
103		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5
104						19
105		45°	—	45°	—	4
106						15
201	Ss-21 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4
202						10
203		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5
204						19
205		45°	—	45°	—	4
206						15
301	Ss-31 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4
302						10
303		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5
304						19
305		45°	—	45°	—	4
306						15
401	Ss-D1	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4
402						10
403		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5
404						19
405		45°	—	45°	—	4
406						15

表 2-1 (2/2) 検討ケース (増設杭)

ケース	地震動	加力方向				杭番号
		地震		風		
111	Ss-21 NS	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21
112						24
113		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22
114						27
115		45°	—	45°	—	21
116						26
211	Ss-21 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21
212						24
213		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22
214						27
215		45°	—	45°	—	21
216						26
311	Ss-31 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21
312						24
313		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22
314						27
315		45°	—	45°	—	21
316						26
411	Ss-DI	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21
412						24
413		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22
414						27
415		45°	—	45°	—	21
416						26

表 2-2 (1/2) 既存杭 評価結果

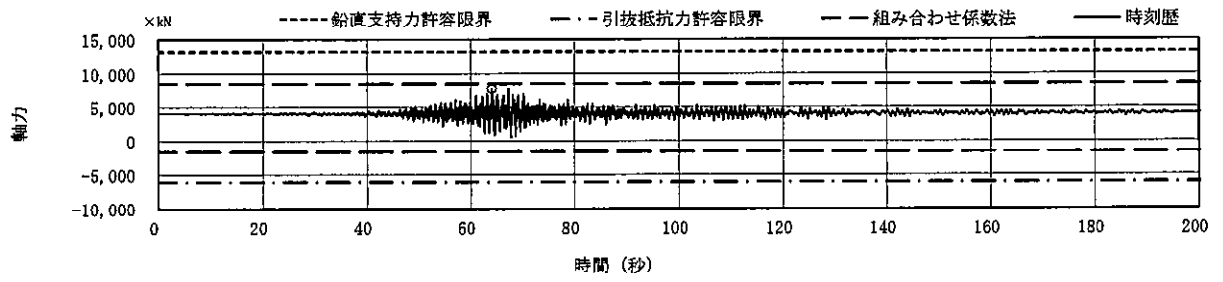
既存杭

ケース	地震動	加力方向				杭番号	検定比			
		地震		風			曲げ	せん断	鉛直支持方向	引抜き方向
101	Ss-21 NS	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4	0.34	0.37	0.56	-
102						10	0.32	0.37	0.54	0.05
103		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5	0.34	0.37	0.56	-
104						19	0.32	0.37	0.54	0.05
105		45°	-	45°	-	4	0.35	0.37	0.60	-
106						15	0.31	0.37	0.57	0.15
201	Ss-21 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4	0.23	0.27	0.53	-
202						10	0.23	0.27	0.47	-
203		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5	0.23	0.27	0.53	-
204						19	0.23	0.27	0.47	-
205		45°	-	45°	-	4	0.23	0.27	0.55	-
206						15	0.23	0.27	0.49	-
301	Ss-31 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4	0.37	0.40	0.44	-
302						10	0.33	0.40	0.36	-
303		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5	0.37	0.40	0.44	-
304						19	0.33	0.40	0.36	-
305		45°	-	45°	-	4	0.37	0.40	0.49	-
306						15	0.32	0.40	0.39	-
401	Ss-D1	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	4	0.30	0.35	0.46	-
402						10	0.29	0.35	0.42	-
403		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	5	0.30	0.35	0.46	-
404						19	0.29	0.35	0.42	-
405		45°	-	45°	-	4	0.30	0.35	0.49	-
406						15	0.29	0.35	0.43	-
						①MAX	0.37	0.40	0.60	0.15
						② 設計値	0.54	0.43	0.65	0.27
						②/①	1.46	1.08	1.08	1.80

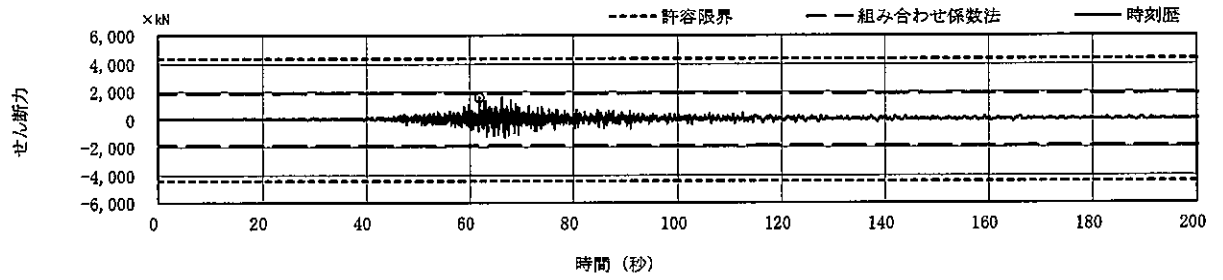
表 2-2 (2/2) 増設杭 評価結果

増設杭

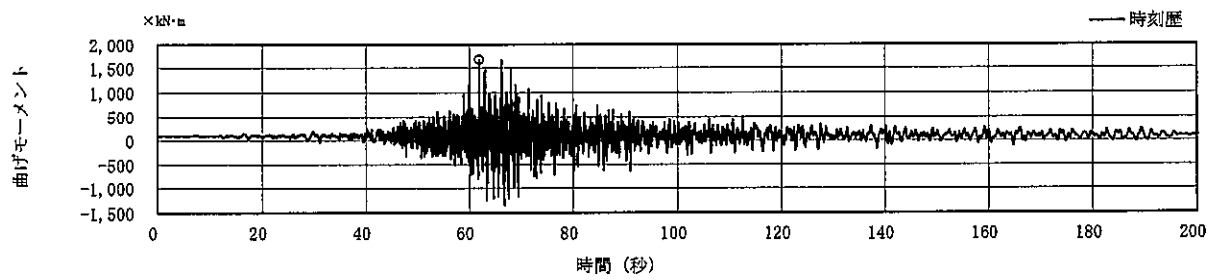
ケース	地震動	加力方向				杭番号	検定比			
		地震		風			曲げ	せん断	鉛直支持方向	引抜き方向
111	Ss-21 NS	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21	0.26	0.28	0.56	-
112						24	0.25	0.28	0.54	0.08
113		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22	0.26	0.28	0.56	-
114						27	0.25	0.28	0.54	0.08
115		45°	-	45°	-	21	0.26	0.28	0.58	-
116						26	0.25	0.28	0.55	0.12
211	Ss-21 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21	0.18	0.20	0.53	-
212						24	0.18	0.20	0.47	-
213		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22	0.18	0.20	0.53	-
214						27	0.18	0.20	0.47	-
215		45°	-	45°	-	21	0.18	0.20	0.54	-
216						26	0.18	0.20	0.48	-
311	Ss-31 EW	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21	0.28	0.30	0.45	-
312						24	0.26	0.30	0.36	-
313		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22	0.28	0.30	0.45	-
314						27	0.26	0.30	0.36	-
315		45°	-	45°	-	21	0.28	0.30	0.47	-
316						26	0.26	0.30	0.38	-
411	Ss-D1	0°	[X(EW)]	0°	[X(EW)]	21	0.24	0.26	0.46	-
412						24	0.23	0.26	0.42	-
413		90°	[Y(NS)]	90°	[Y(NS)]	22	0.24	0.26	0.46	-
414						27	0.23	0.26	0.42	-
415		45°	-	45°	-	21	0.24	0.26	0.47	-
416						26	0.23	0.26	0.42	-
						①MAX	0.28	0.30	0.58	0.12
						② 設計値	0.34	0.32	0.63	0.23
						②/①	1.21	1.07	1.09	1.92



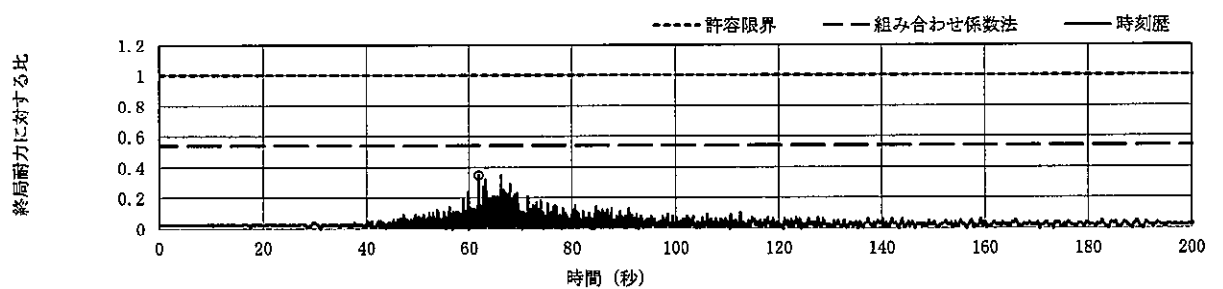
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴

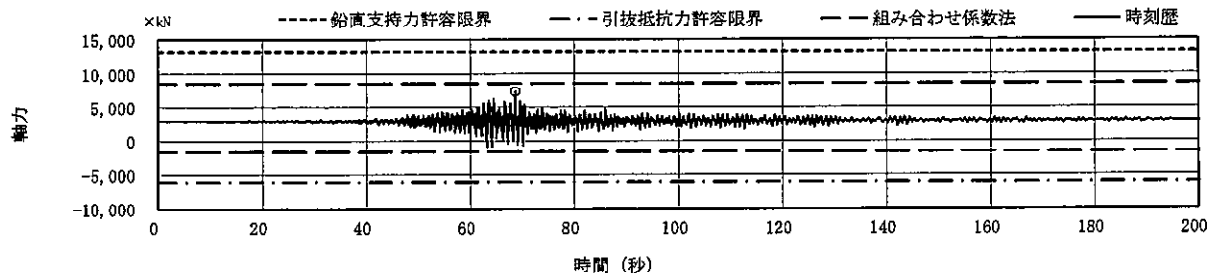


(c) 曲げモーメント 時刻歴

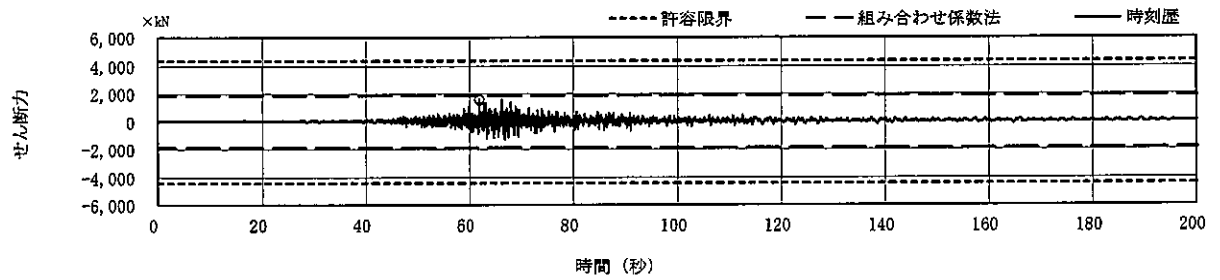


(d)  $M/M_u$  時刻歴

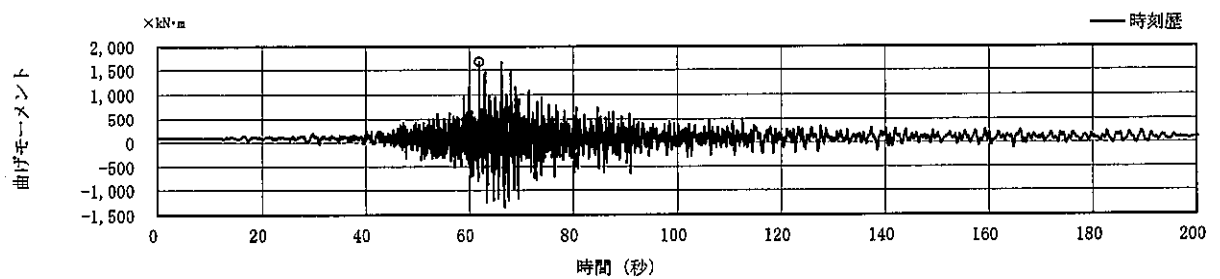
図 2-3 時刻歴の算定結果  $S_s-21$ , 既存杭  
(杭番号 4,  $45^\circ$  NS 方向) (ケース 105)



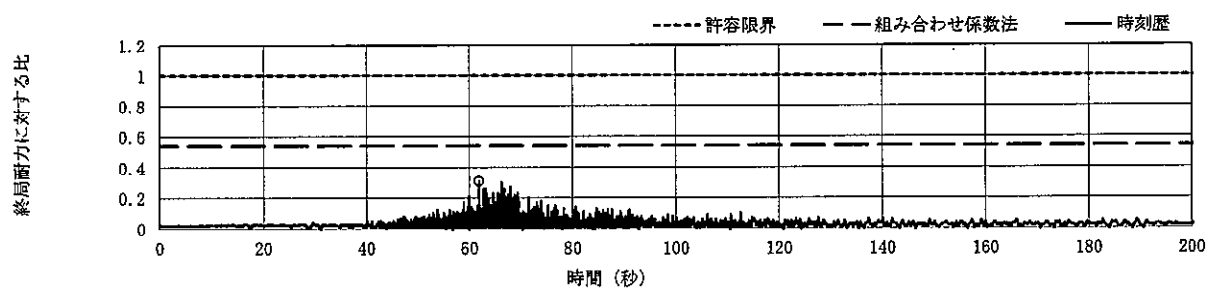
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴



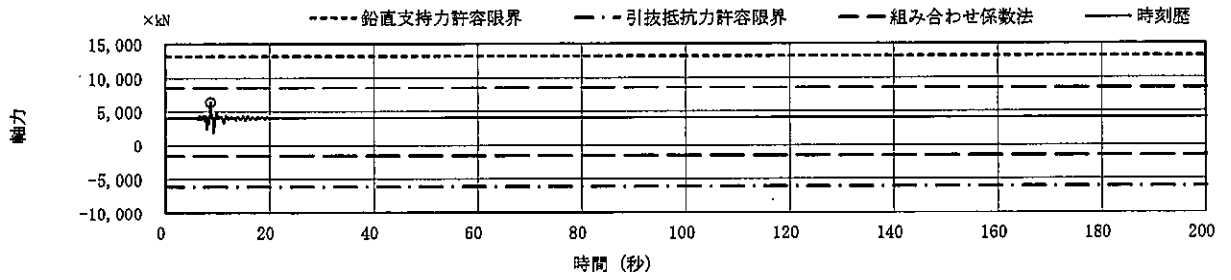
(c) 曲げモーメント 時刻歴



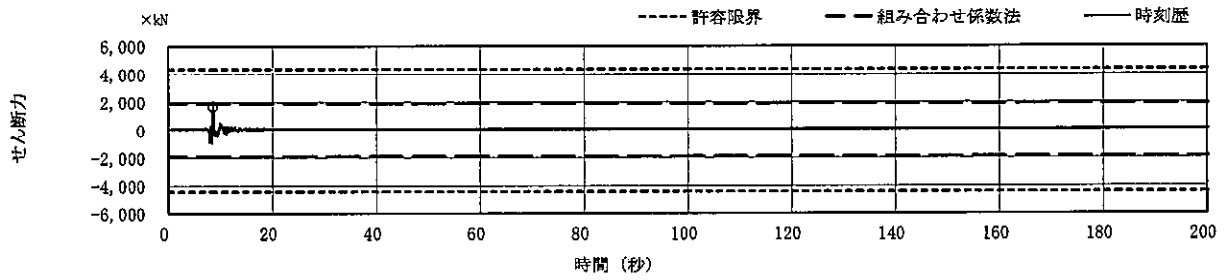
(d)  $M/M_u$  時刻歴

図 2-4 時刻歴の算定結果  $S_s - 21$ , 既存杭  
(杭番号 15,  $45^\circ$  NS 方向) (ケース 106)

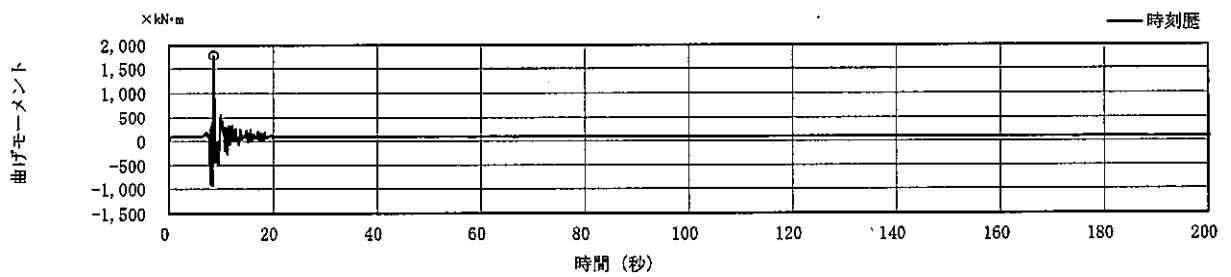




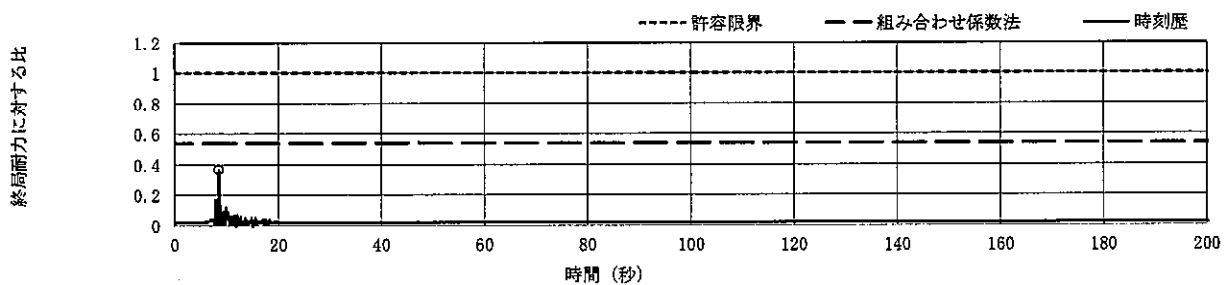
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴

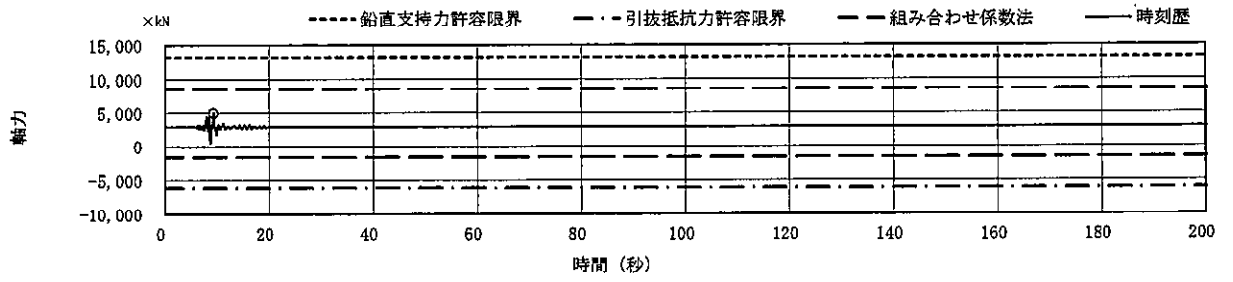


(c) 曲げモーメント 時刻歴

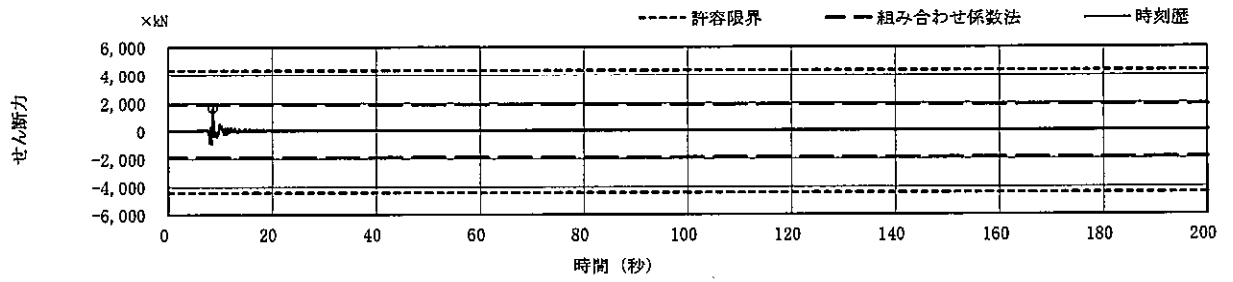


(d)  $M/M_u$  時刻歴

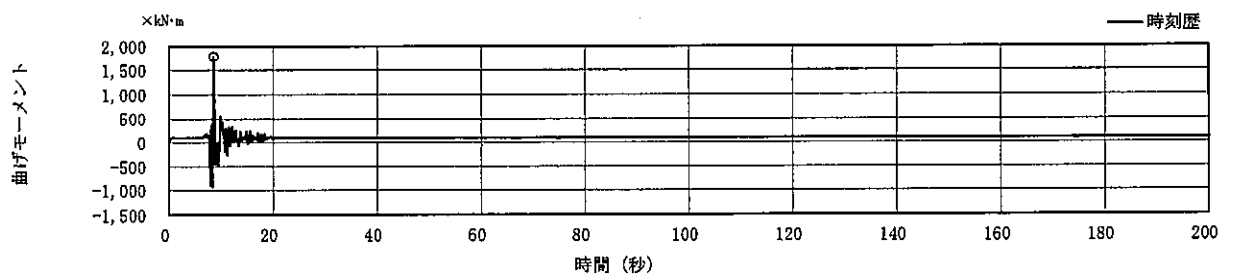
図 2-5 時刻歴の算定結果  $S_s-31$ , 既存杭  
(杭番号 4,  $45^\circ$  EW 方向) (ケース 305)



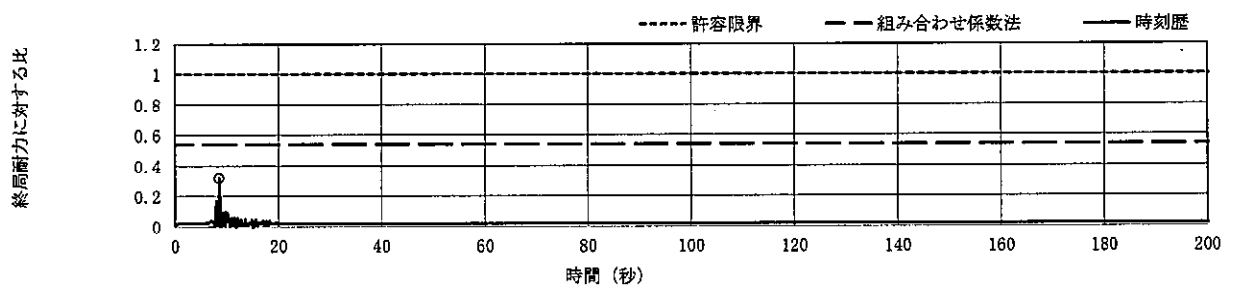
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴

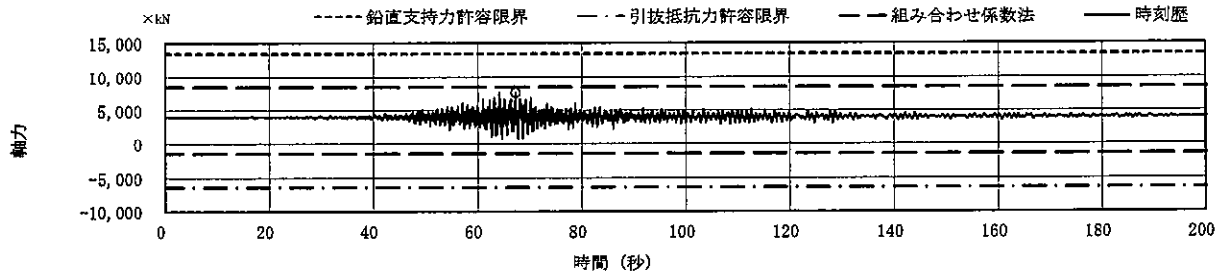


(c) 曲げモーメント 時刻歴

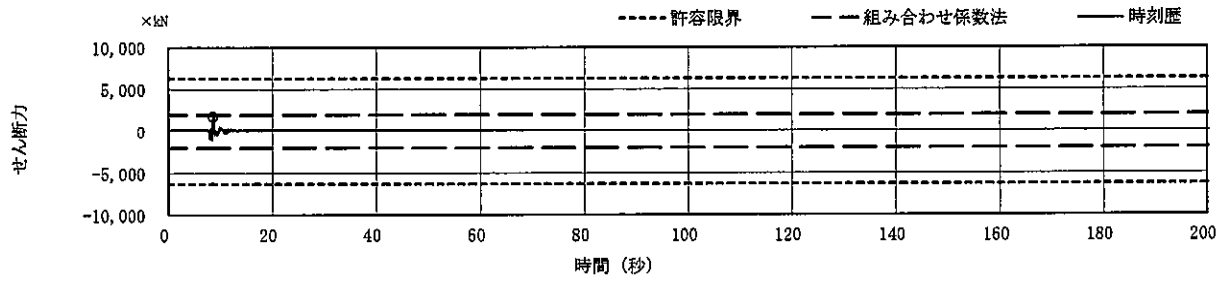


(d)  $M/M_u$  時刻歴

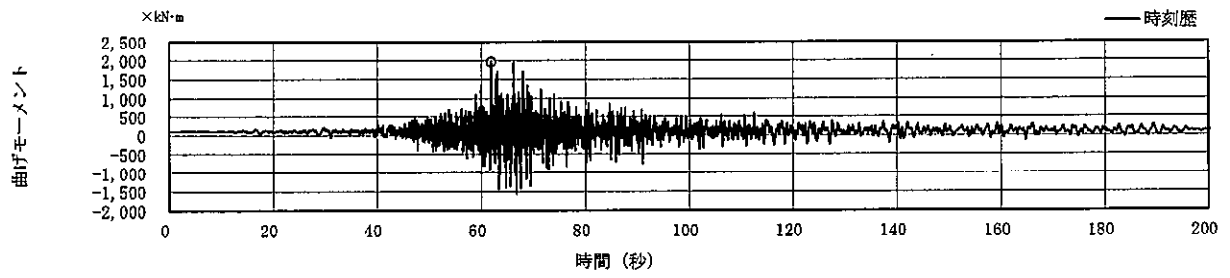
図 2-6 時刻歴の算定結果  $S_s-31$ , 既存杭  
(杭番号 15,  $45^\circ$  EW 方向) (ケース 306)



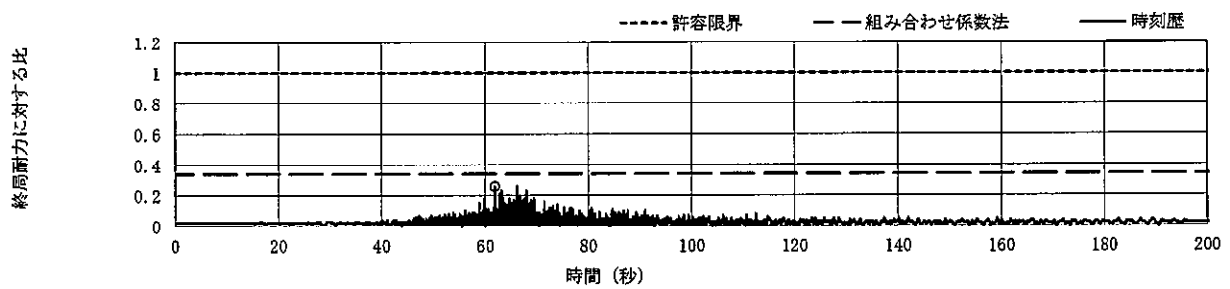
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴

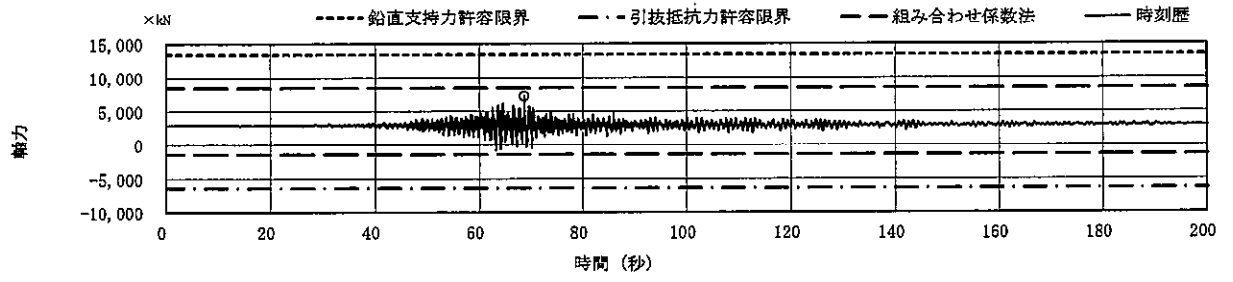


(c) 曲げモーメント 時刻歴

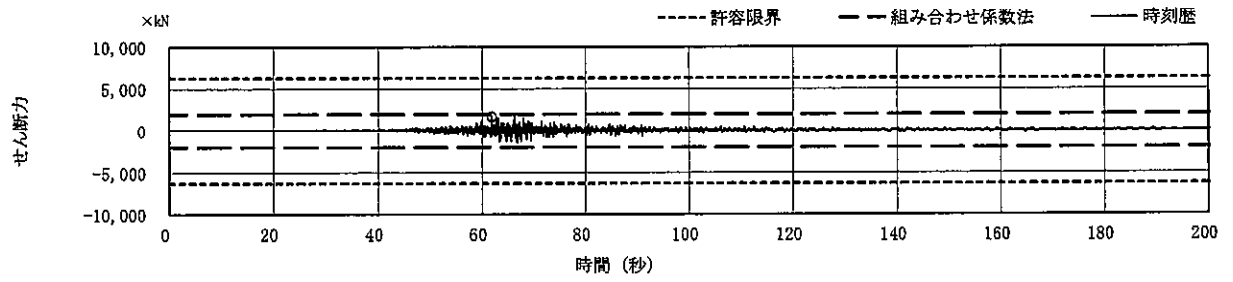


(d)  $M/M_u$  時刻歴

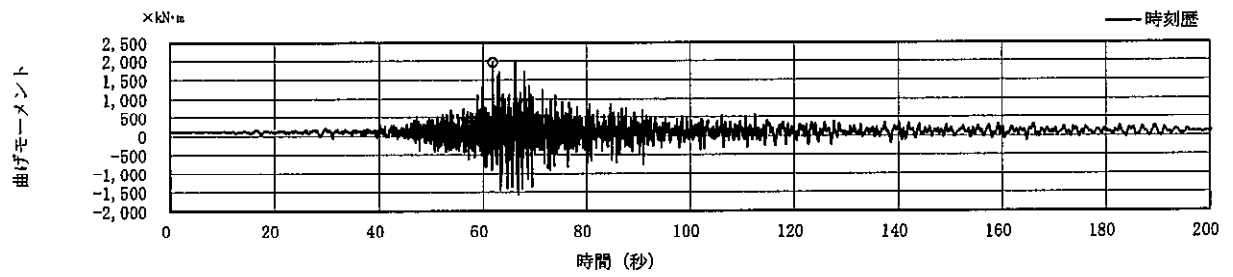
図 2-7 時刻歴の算定結果  $S_s-21$ , 増設杭  
(杭番号 21,  $45^\circ$  NS 方向) (ケース 115)



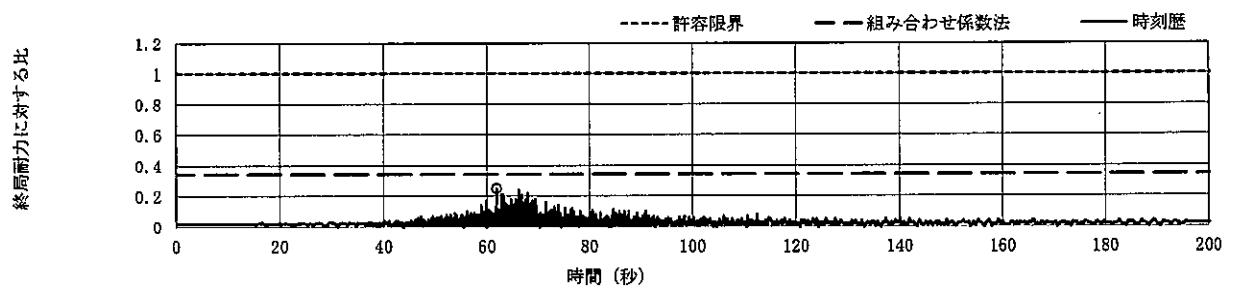
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴

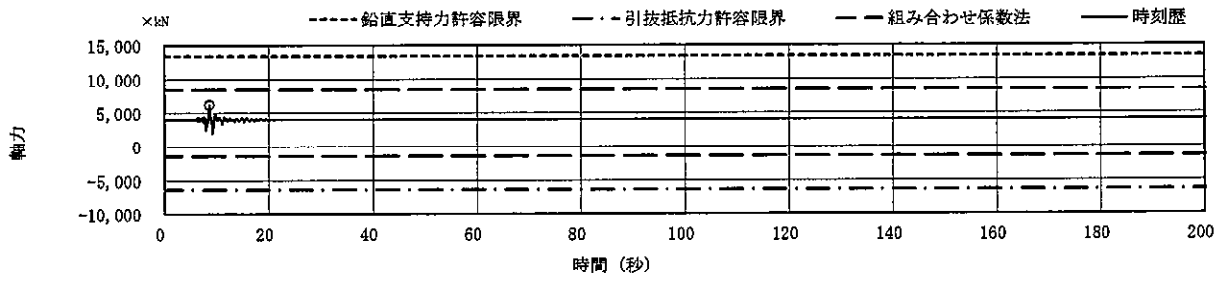


(c) 曲げモーメント 時刻歴

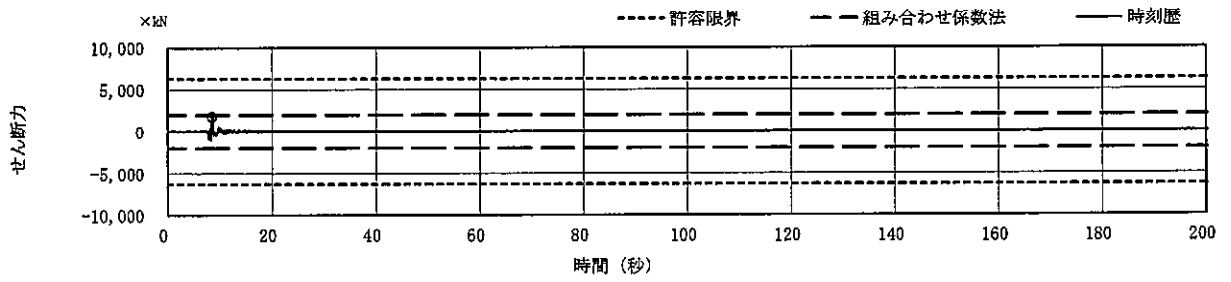


(d)  $M/M_u$  時刻歴

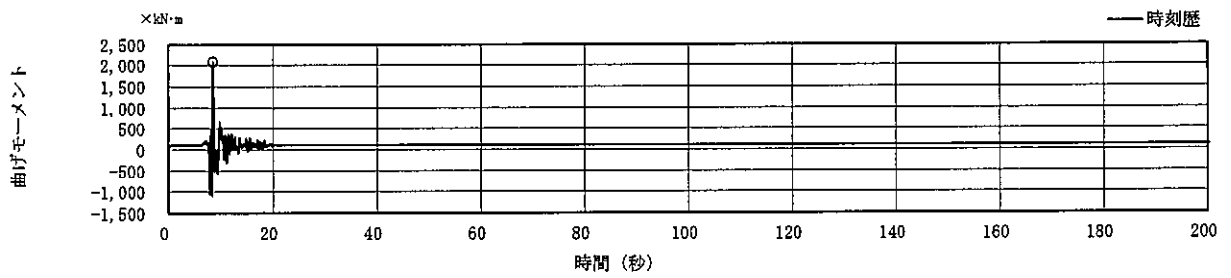
図 2-8 時刻歴の算定結果  $S_s-21$ , 増設杭  
(杭番号 26,  $45^\circ$  NS 方向) (ケース 116)



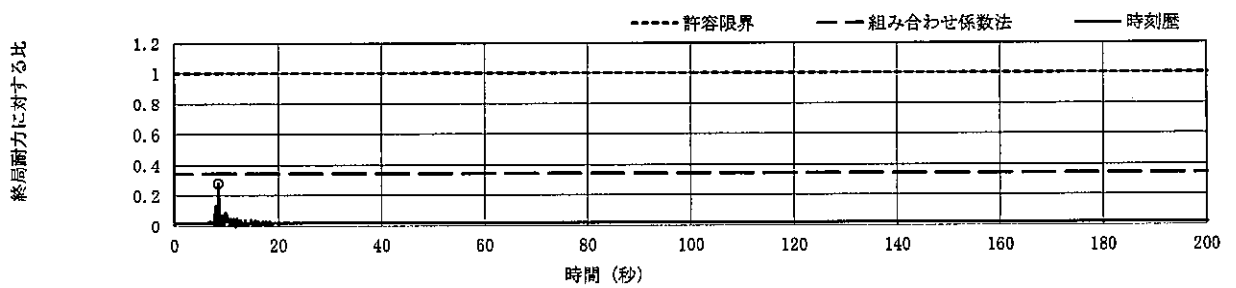
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴

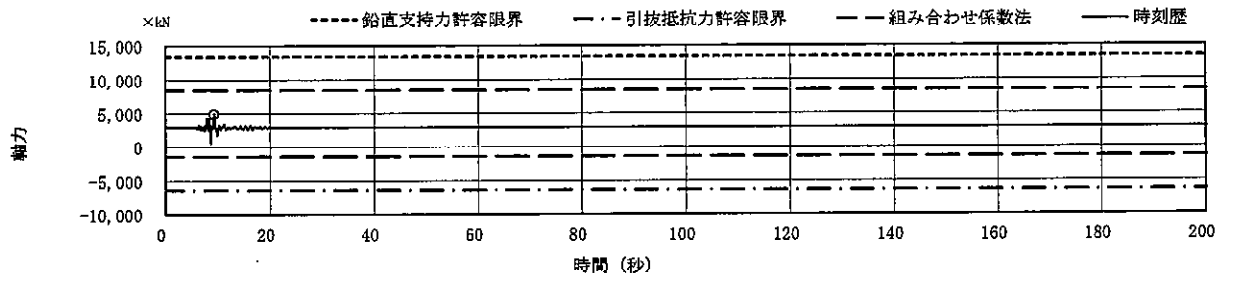


(c) 曲げモーメント 時刻歴

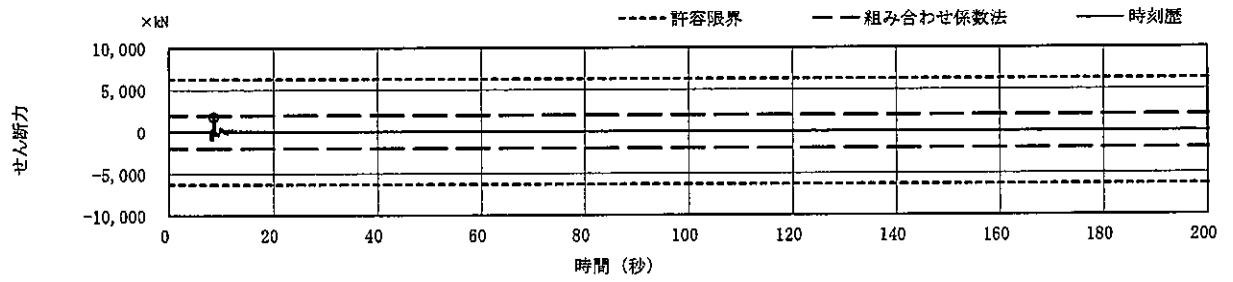


(d)  $M/M_u$  時刻歴

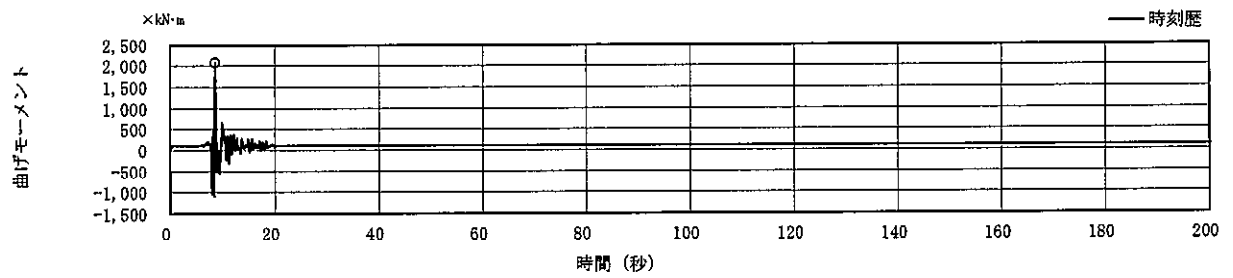
図 2-9 時刻歴の算定結果  $S_s-31$ , 増設杭  
(杭番号 21,  $45^\circ$  EW 方向) (ケース 315)



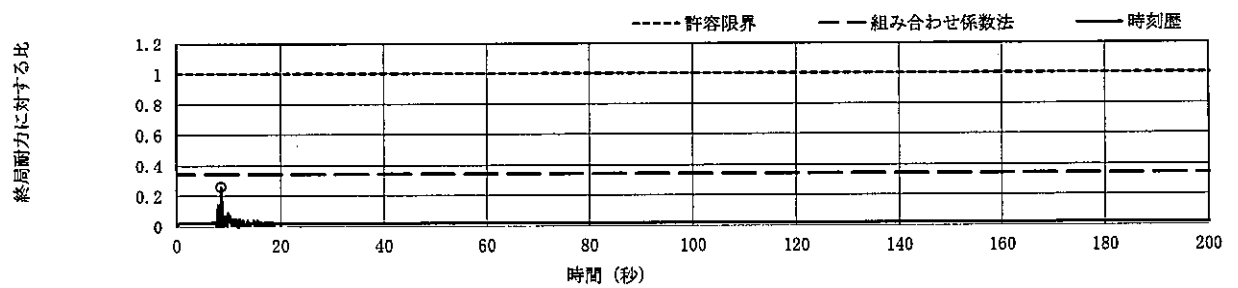
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴



(c) 曲げモーメント 時刻歴



(d)  $M/M_u$  時刻歴

図 2-10 時刻歴の算定結果  $S_s - 31$ , 増設杭  
(杭番号 26,  $45^\circ$  EW 方向) (ケース 316)

## 2.2 非常用ガス処理系配管支持架構

杭の検討ケースを表 2-3 に、各ケースの評価結果の一覧を表 2-4 に示す。

非常用ガス処理系配管支持架構の杭について、基準地震動  $S_s$  に対する検討結果の厳しいケースにおける時刻歴の杭の軸力、せん断力、曲げモーメント及び軸力を考慮した曲げモーメントの検定比 ( $M/M_u$ ) を図 2-11～図 2-14 に示す。

表 2-3 荷重組合せケース

ケース No.	地震動	地震動 水平方向	風荷重	鉛直ばねの位相	杭位置
101	$S_s - 2.2$	Y(NS)	Y(NS)	正	Rp
102					-Rp
103				逆	Rp
104					-Rp
105		X(EW)	X(EW)	正	Rp
106					-Rp
107				逆	Rp
108					-Rp
201	$S_s - D.1$	Y(NS)	Y(NS)	正	Rp
202					-Rp
203				逆	Rp
204					-Rp
205		X(EW)	X(EW)	正	Rp
206					-Rp
207				逆	Rp
208					-Rp

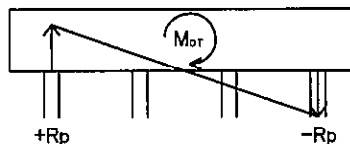


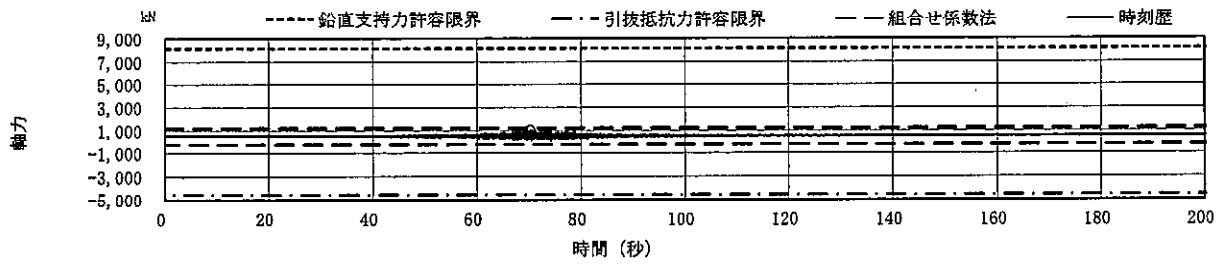
図 2-11 評価する杭位置

表 2-4 評価結果

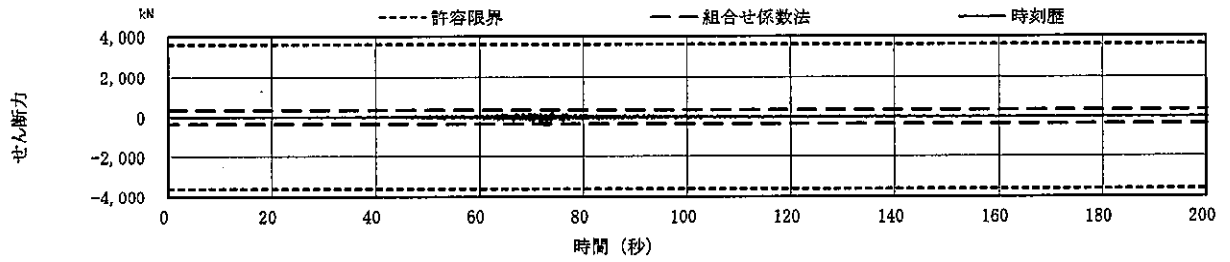
ケース No.	地震動	方向		鉛直 ばね の位相	杭位置	検定比			
		地震	風			鉛直 支持	引抜き 抵抗	曲げ 応力	せん断 応力
101	S <sub>s</sub> -22	Y(NS)	Y(NS)	正	Rp	0.132	-	0.048	0.056
102					-Rp	0.109	-	0.048	0.056
103				逆	Rp	0.115	-	0.049	0.056
104					-Rp	0.119	0.009	0.048	0.056
105		X(EW)	X(EW)	正	Rp	0.115	0.007	0.044	0.052
106					-Rp	0.113	-	0.044	0.052
107				逆	Rp	0.114	-	0.044	0.052
108					-Rp	0.131	-	0.044	0.052
201	S <sub>s</sub> -D1	Y(NS)	Y(NS)	正	Rp	0.105	-	0.054	0.063
202					-Rp	0.107	-	0.054	0.063
203				逆	Rp	0.102	-	0.054	0.063
204					-Rp	0.111	-	0.054	0.063
205		X(EW)	X(EW)	正	Rp	0.130	-	0.060	0.069
206					-Rp	0.113	-	0.059	0.069
207				逆	Rp	0.126	-	0.059	0.069
208					-Rp	0.118	0.005	0.059	0.069
① 最大値						0.132	0.009	0.060	0.069
②(参考)設計値						0.151	0.057	0.083	0.096
②/①						1.14	6.33	1.38	1.39

注：■は最大値を示す。

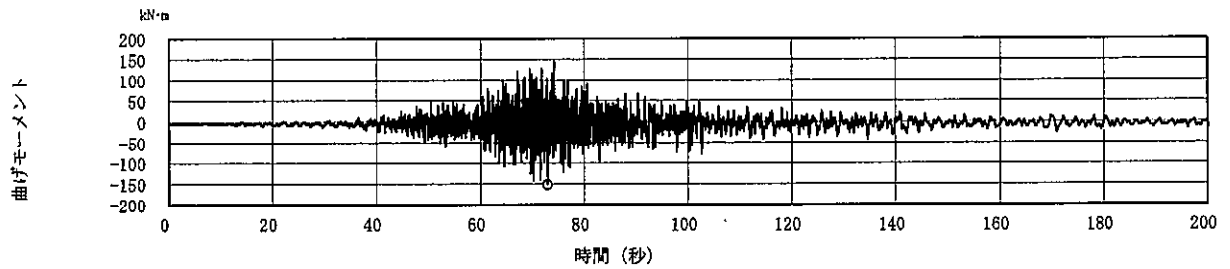




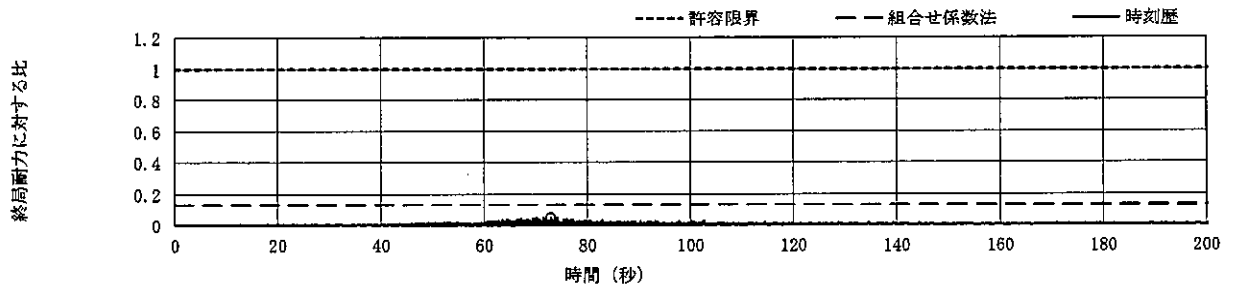
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴



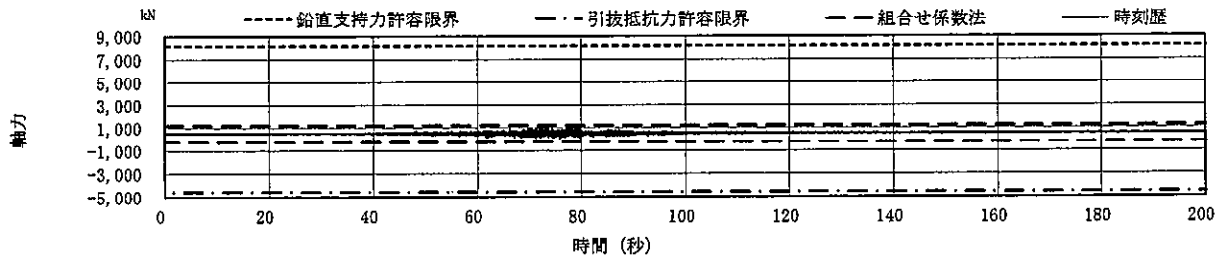
(c) 曲げモーメント 時刻歴



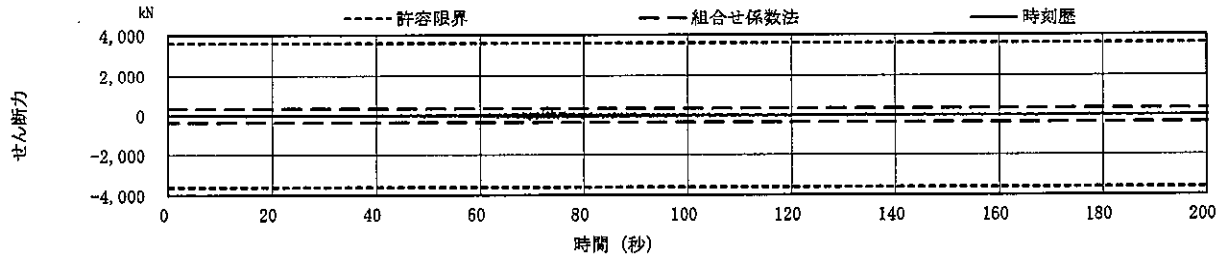
(d)  $M/M_u$  時刻歴

注 : 杭の鉛直支持力及び引抜き抵抗力の許容限界は、埋込み杭の許容値の場合を示す。

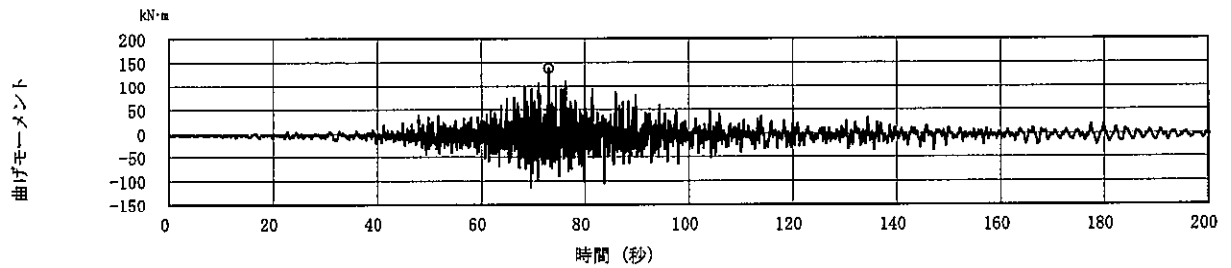
図 2-12 時刻歴の算定結果  $S_s - 2.2$  (ケース 101)



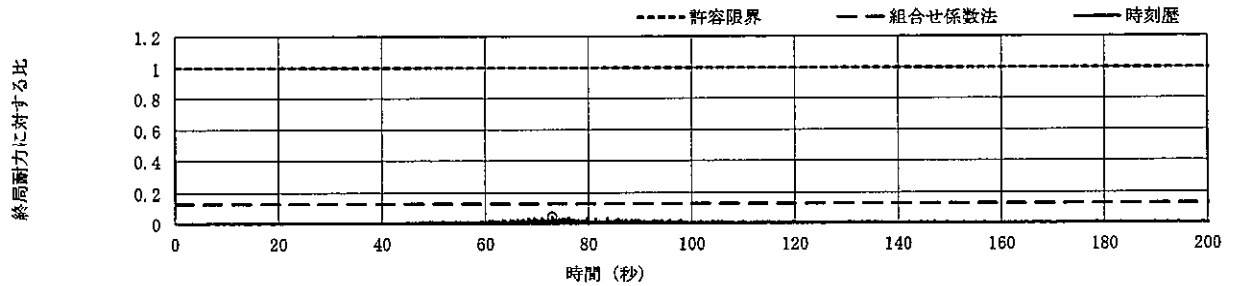
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴



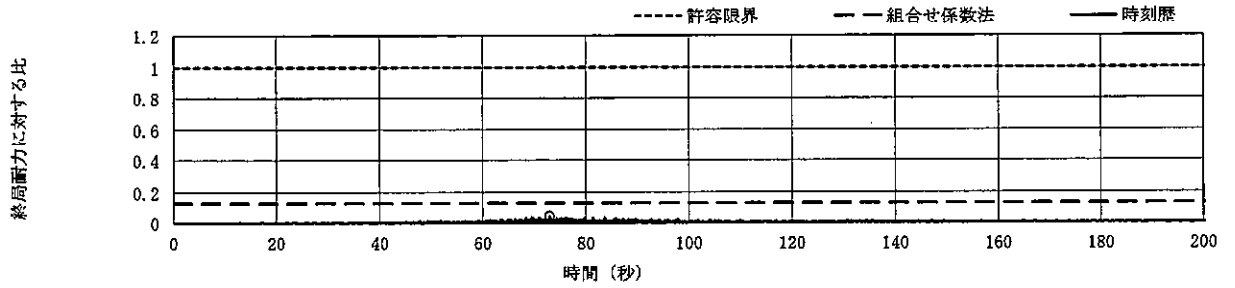
(c) 曲げモーメント 時刻歴



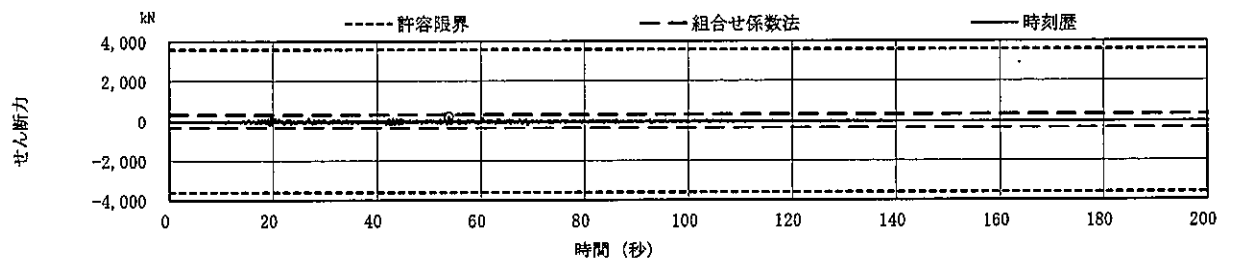
(d)  $M/M_u$  時刻歴

注 : 杭の鉛直支持力及び引抜き抵抗力の許容限界は、埋込み杭の許容値の場合を示す。

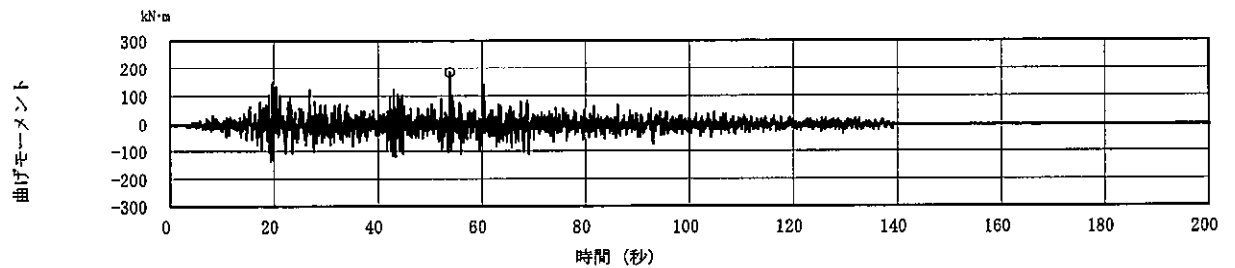
図 2-13 時刻歴の算定結果  $S_s - 22$  (ケース 105)



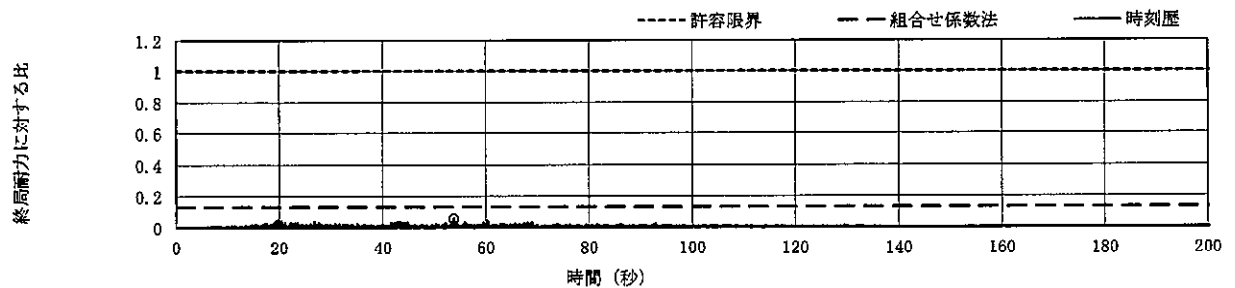
(a) 軸力 時刻歴



(b) せん断力 時刻歴



(c) 曲げモーメント 時刻歴



(d)  $M/M_u$  時刻歴

注 : 杭の鉛直支持力及び引抜き抵抗力の許容限界は、埋込み杭の許容値の場合を示す。

図 2-14 時刻歴の算定結果  $S_s-D1$  (ケース 205)

### 2.3 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭について、検討ケースを表 2-5 に、各検討ケースの評価結果の一覧を表 2-6 に、軸力を評価する杭位置を図 2-15 に示す。

また、基準地震動  $S_s$  に対する検討結果の厳しいケースにおける時刻歴の杭の鉛直支持力、引抜き抵抗力、せん断力、曲げモーメント及び軸力を考慮した曲げモーメントの検定比 ( $M/\mu$ ) を図 2-16～図 2-17 に示す。

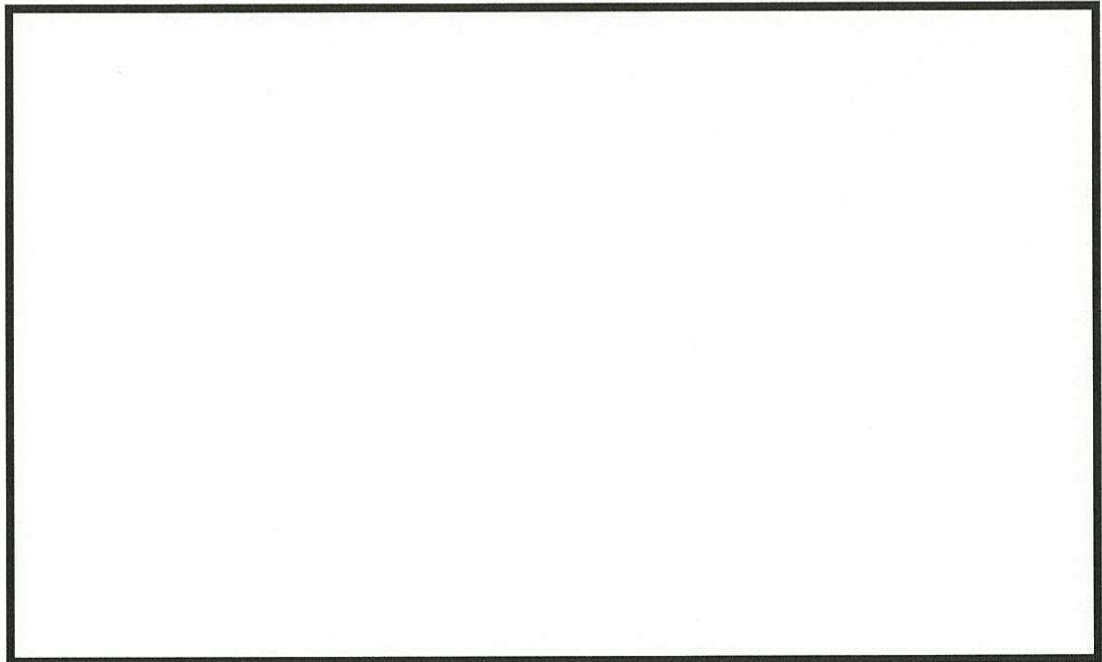
表 2-5 検討ケース

ケース	地震動	水平方向	鉛直方向	備考
101	$S_s-D 1$	NS	UD	
102		EW	UD	
201	$S_s-2 2$	NS	UD	
202		EW	UD	
301	$S_s-3 1$	NS	UD	
302		EW	UD	

表 2-6 各検討ケースの評価結果

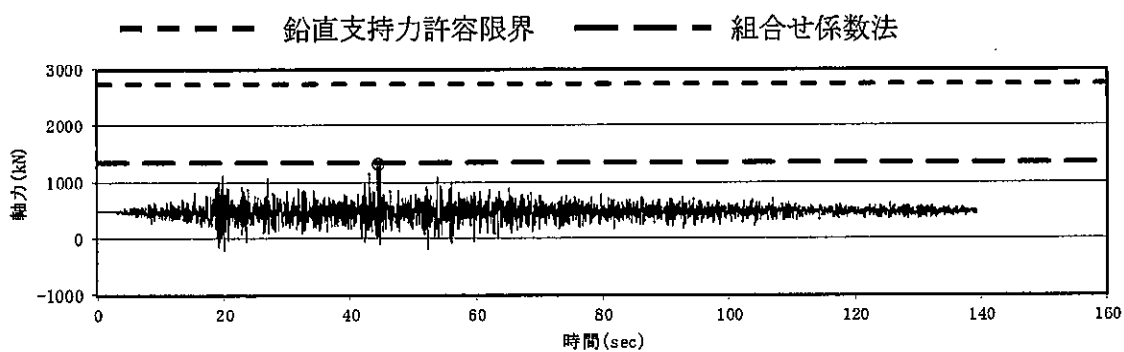
ケース	地震動	方向	検定比			
			曲げ	せん断	鉛直支持力	引抜き抵抗力
101	S <sub>s</sub> -D1	NS	0.469	0.183	0.393	0.169
102		EW	0.626	0.186	0.473	0.428
201	S <sub>s</sub> -22	NS	0.567	0.212	0.424	0.268
202		EW	0.588	0.177	0.431	0.291
301	S <sub>s</sub> -31	NS	0.587	0.227	0.320	-
302		EW	0.879	0.242	0.444	0.336
		①最大値	0.879	0.242	0.473	0.428
		②設計値	0.996	0.243	0.490	0.481
		②/①	1.13	1.00	1.04	1.12

※設計値：組合せ係数法による値

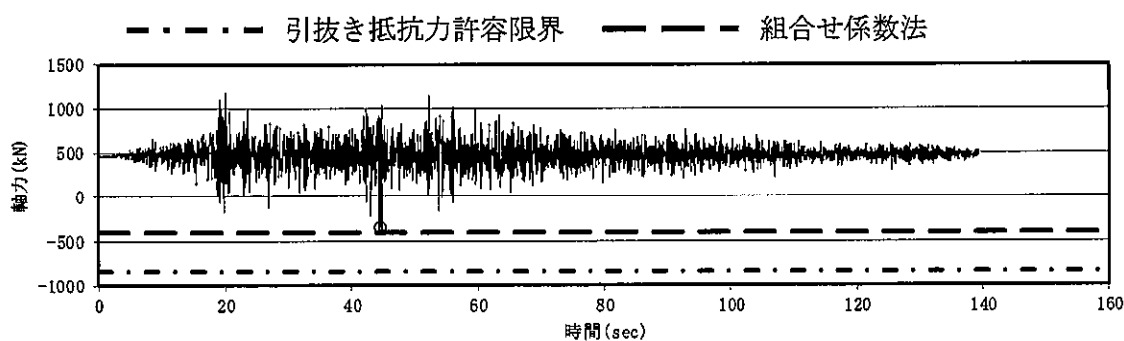


※青枠：NS 方向+鉛直方向地震力による杭軸力検討部位  
 ※赤枠：EW 方向+鉛直方向地震力による杭軸力検討部位

図 2-15 軸力を評価する杭位置

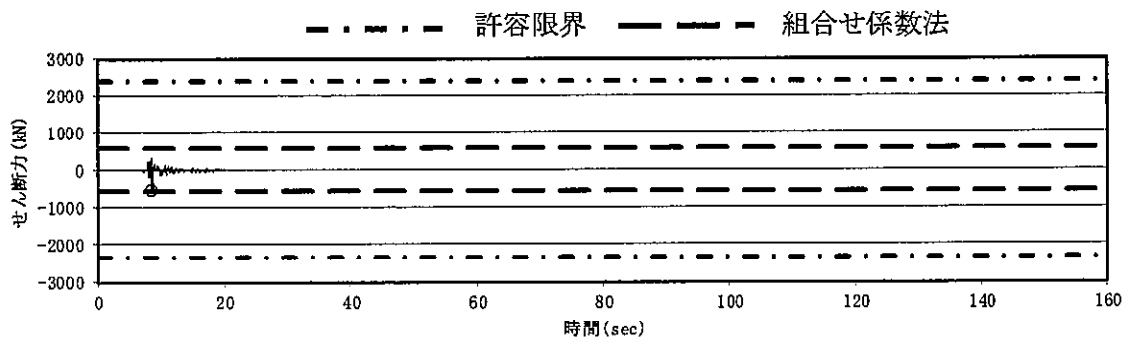


(a) 軸力時刻歴 (鉛直支持力)

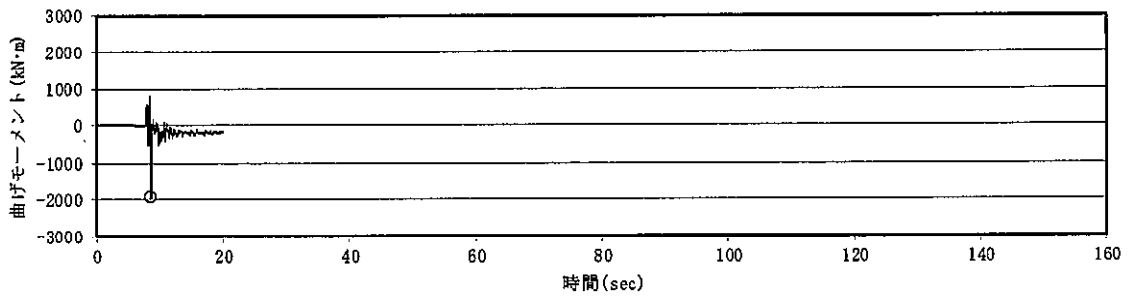


(b) 軸力時刻歴 (引抜き抵抗力)

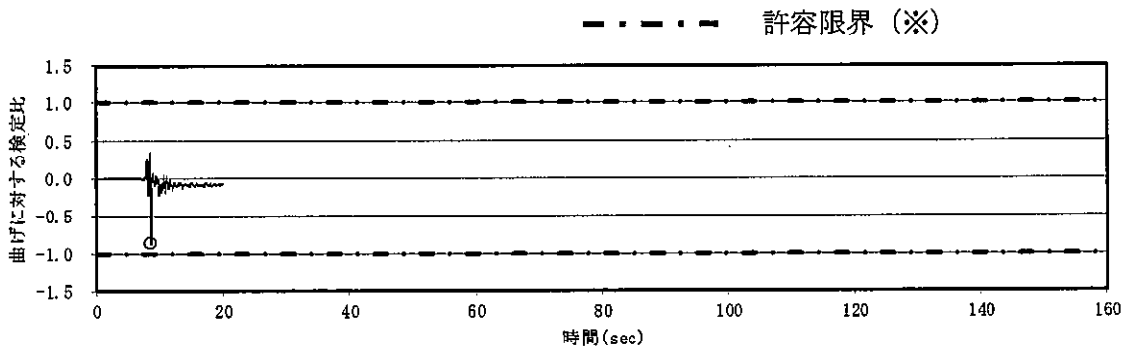
図 2-16 時刻歴の算定結果  $S_s-D 1$   
(EW 方向, ケース 102)



(a) せん断力 時刻歴



(b) 曲げモーメント 時刻歴



注 : 組合せ係数法による検定比 : 0.996

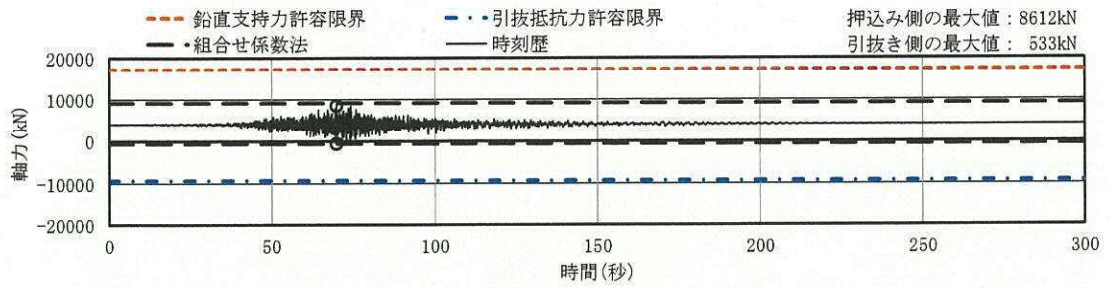
(c)  $M/M_u$  時刻歴

図 2-17 時刻歴の算定結果  $S_s = 3.1$   
(EW 方向, ケース 302)

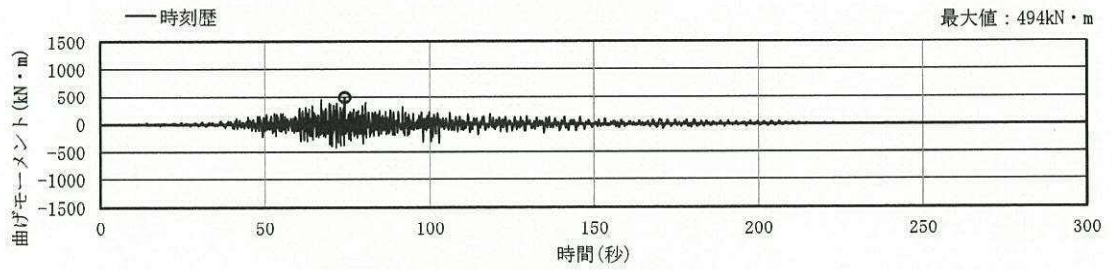
#### 2.4 緊急時対策所建屋

杭支持力等及び断面応力の時刻歴波形を図 2-18～図 2-23 示す。

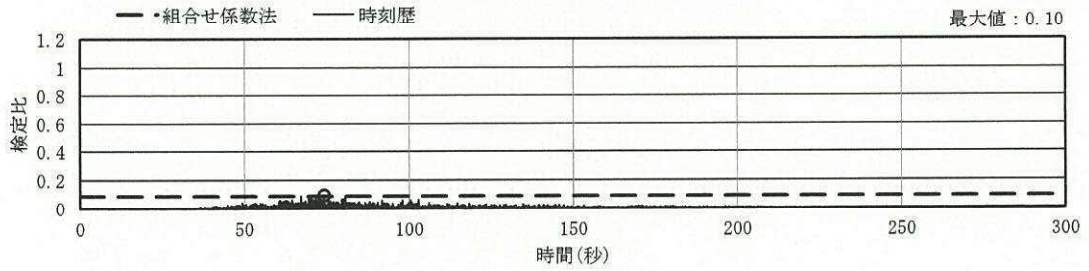




(a) 軸力 時刻歴

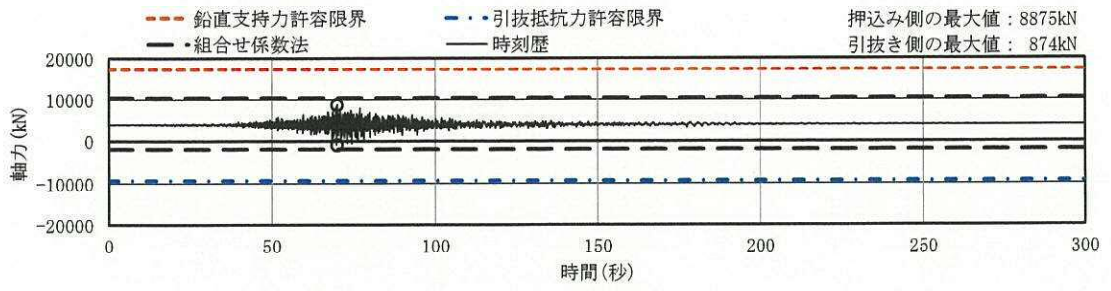


(b) 曲げモーメント 時刻歴

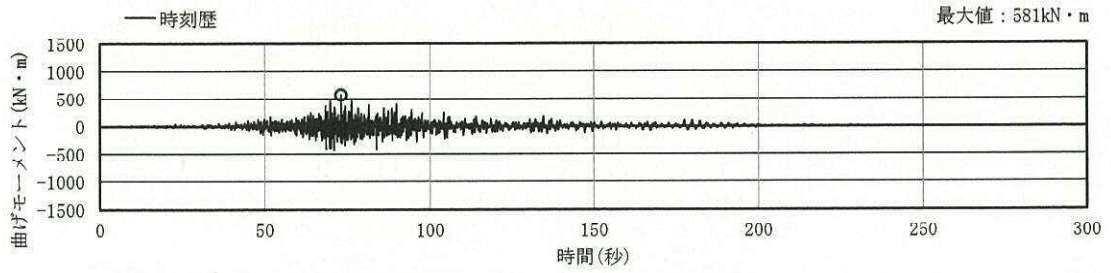


(c) 曲げモーメントの検定比 時刻歴

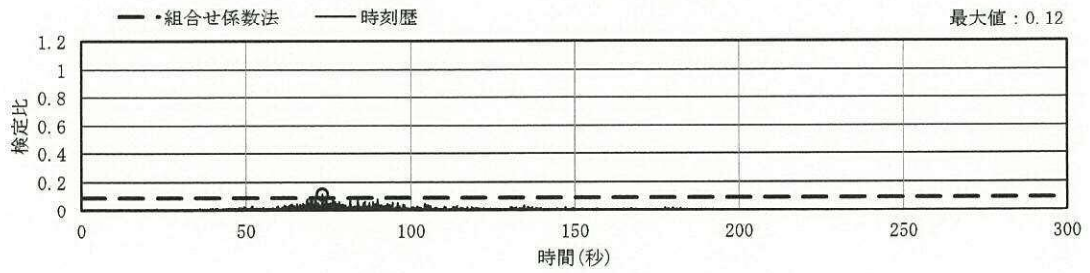
図 2-18 杭支持力等及び断面応力の時刻歴波形 (S<sub>s</sub>-22, NS 方向)



(a) 軸力 時刻歴

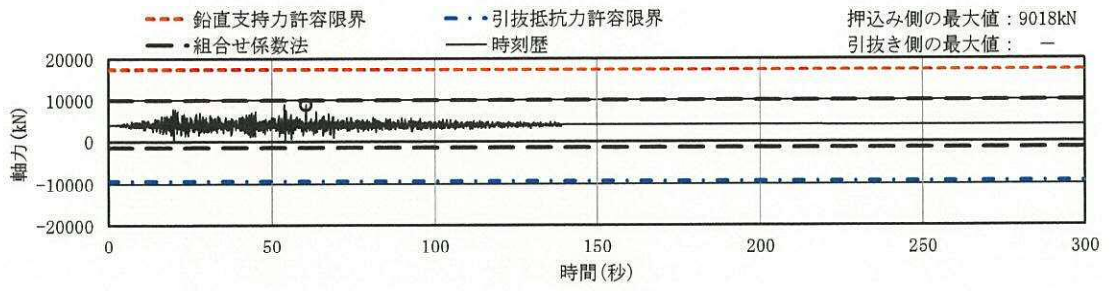


(b) 曲げモーメント 時刻歴

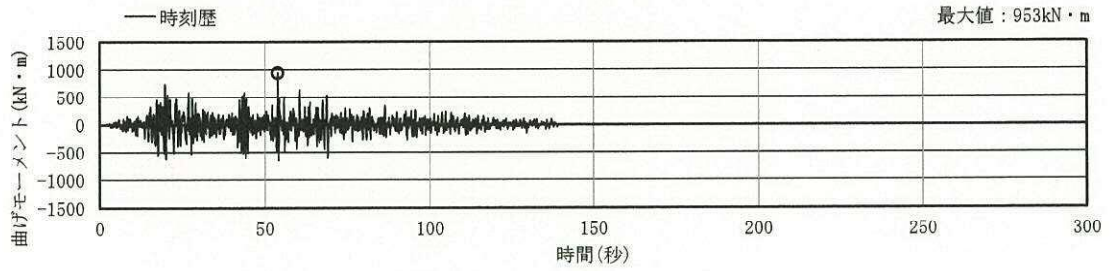


(c) 曲げモーメントの検定比 時刻歴

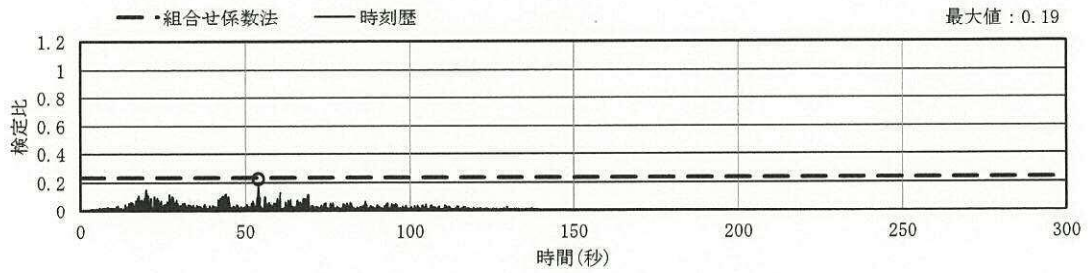
図 2-19 杭支持力等及び断面応力の時刻歴波形 (S<sub>s</sub>-22, EW 方向)



(a) 軸力 時刻歴

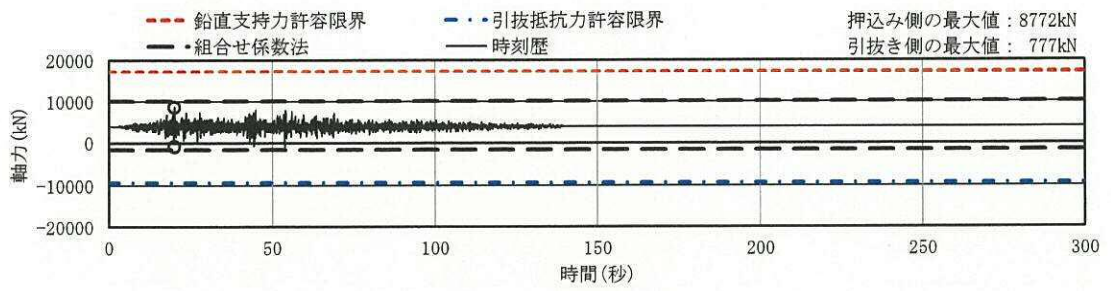


(b) 曲げモーメント 時刻歴

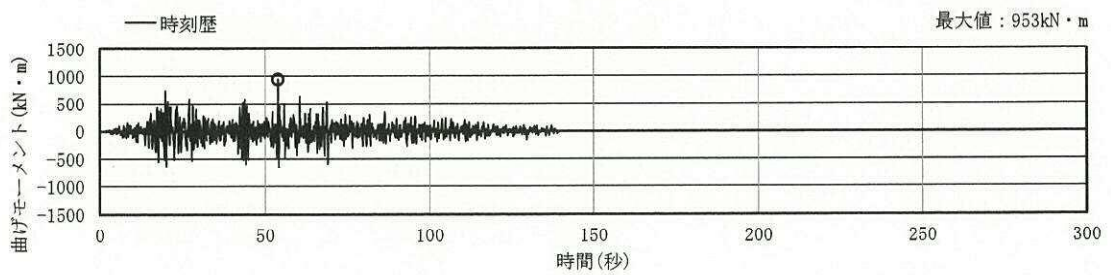


(c) 曲げモーメントの検定比 時刻歴

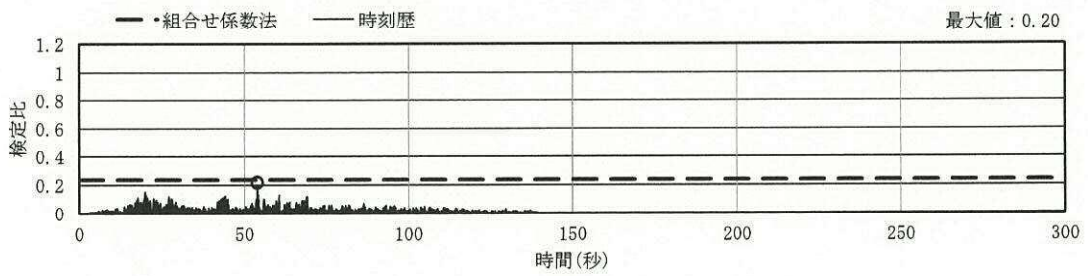
図 2-20 杭支持力等及び断面応力の時刻歴波形 (S<sub>s</sub>-D 1, NS 方向)



(a) 軸力 時刻歴

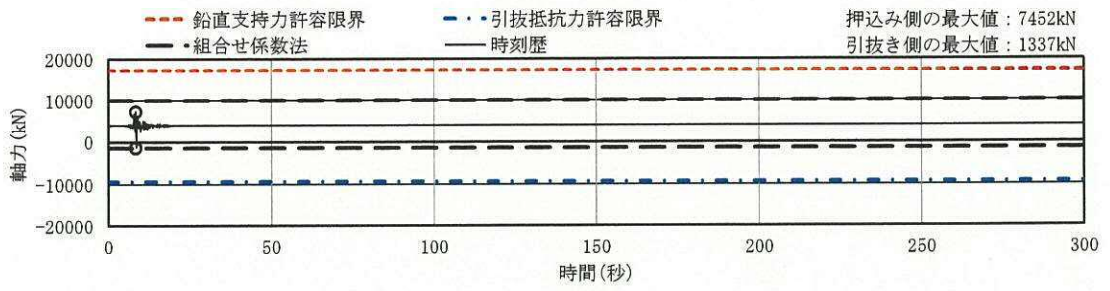


(b) 曲げモーメント 時刻歴

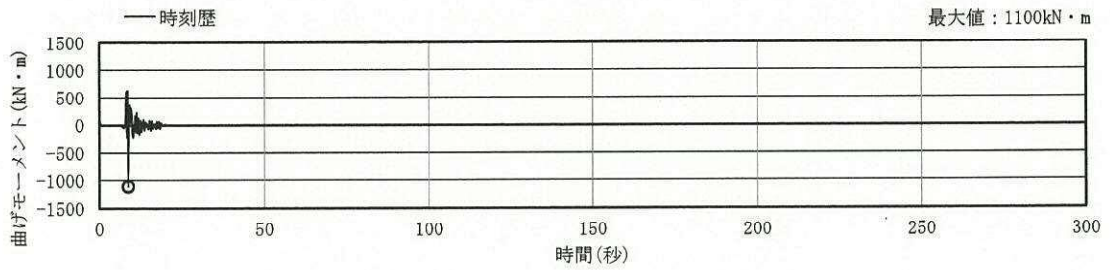


(c) 曲げモーメントの検定比 時刻歴

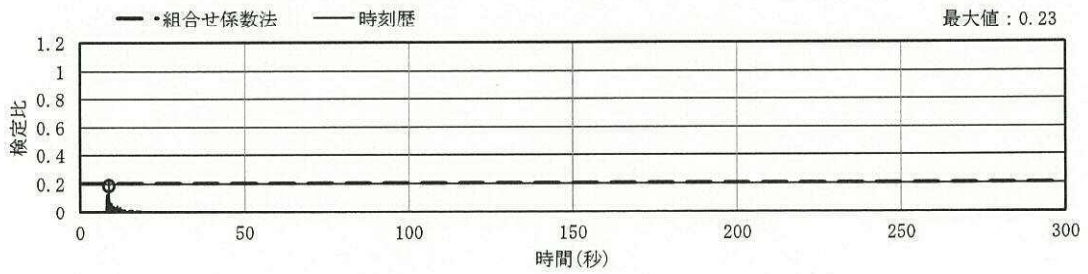
図 2-21 杭支持力等及び断面応力の時刻歴波形 (S<sub>s</sub>-D 1, EW 方向)



(a) 軸力 時刻歴

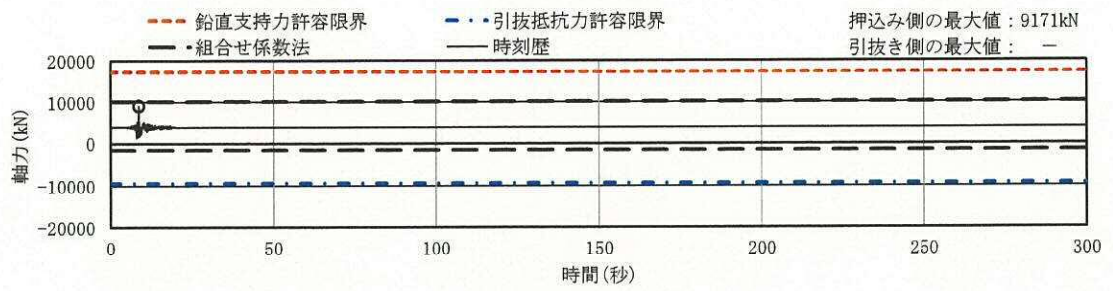


(b) 曲げモーメント 時刻歴

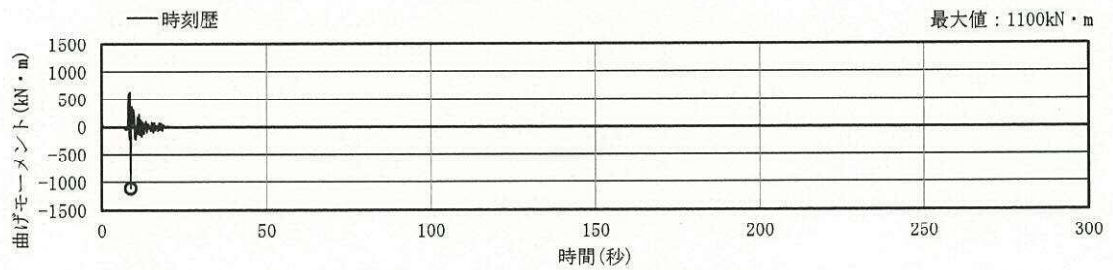


(c) 曲げモーメントの検定比 時刻歴

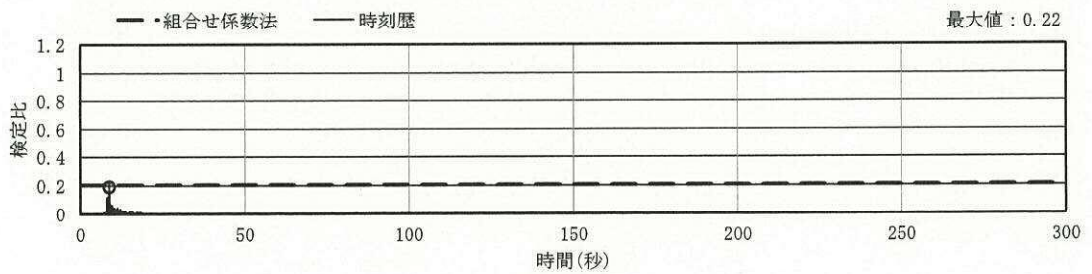
図 2-22 杭支持力等及び断面応力の時刻歴波形 (S<sub>s</sub>-3 1, NS 方向)



(a) 軸力 時刻歴



(b) 曲げモーメント 時刻歴

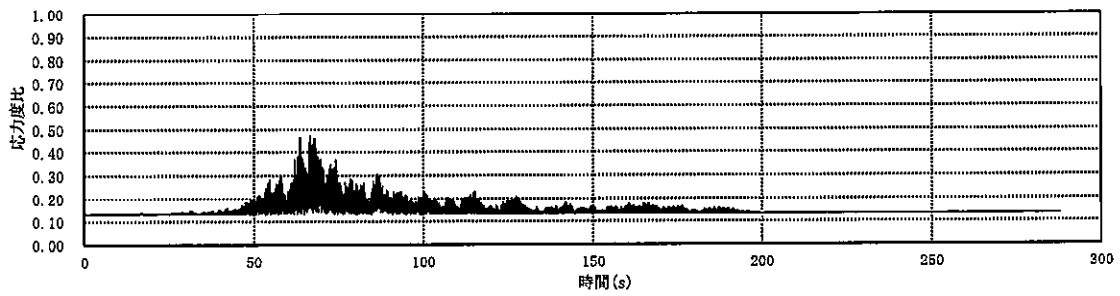


(c) 曲げモーメントの検定比 時刻歴

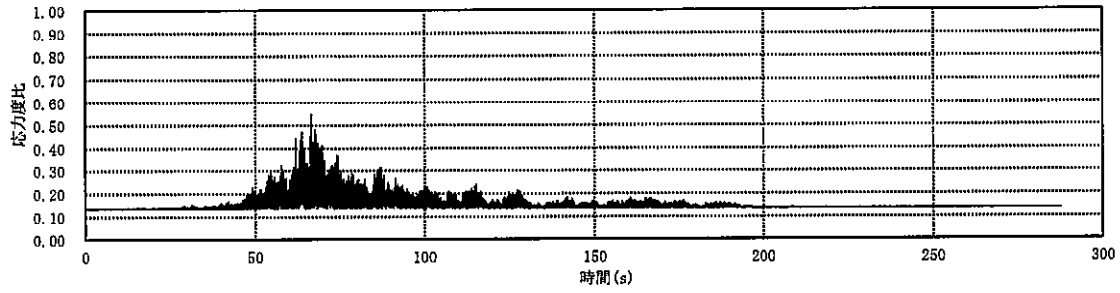
図 2-23 杭支持力等及び断面応力の時刻歴波形 (S<sub>s</sub>-3 1, EW 方向)

3. 主排気筒の時刻歴検定比の算定結果

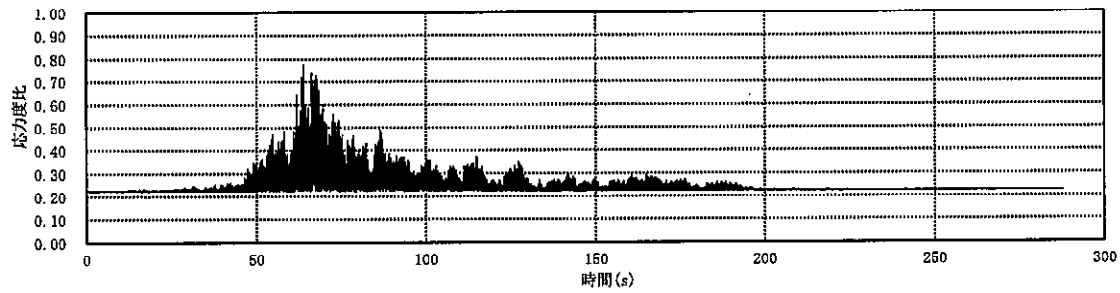
主排気筒の鉄塔（主柱材）について、基準地震動 $S_{e-D1}$ 、 $S_{e-21}$ 及び $S_{e-31}$ に対する主排気筒の時刻歴検定比の算定結果を図3-1～図3-3に示す。



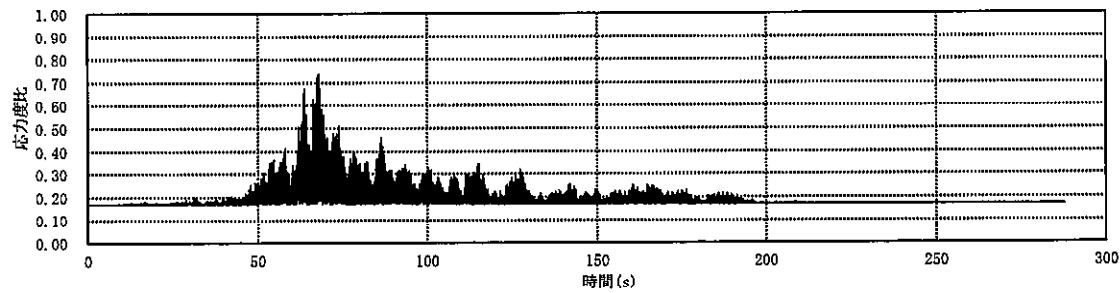
(a) 主柱材 (EL. 112.205 m) に生じる検定比 (斜め方向)



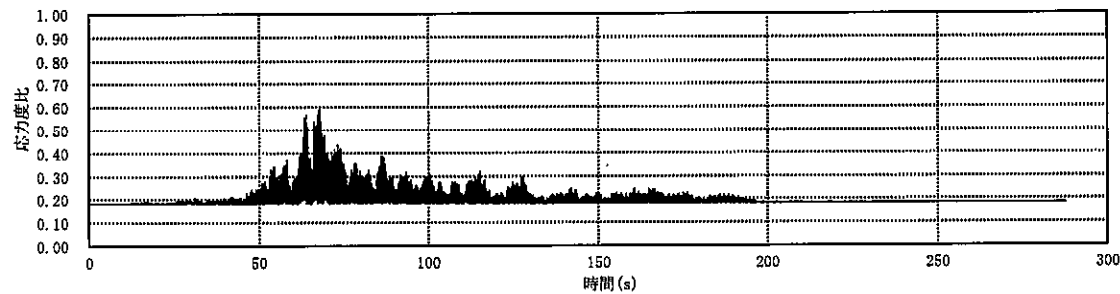
(b) 主柱材 (EL. 95.432 m) に生じる検定比 (斜め方向)



(c) 主柱材 (EL. 75.444 m) に生じる検定比 (斜め方向)



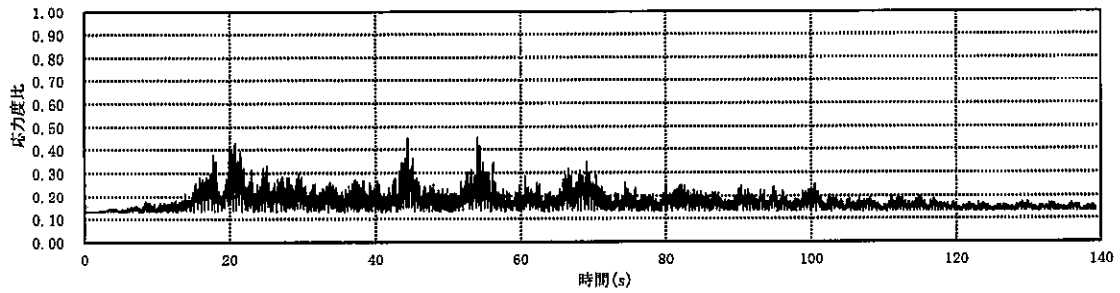
(d) 主柱材 (EL. 52.618 m) に生じる検定比 (斜め方向)



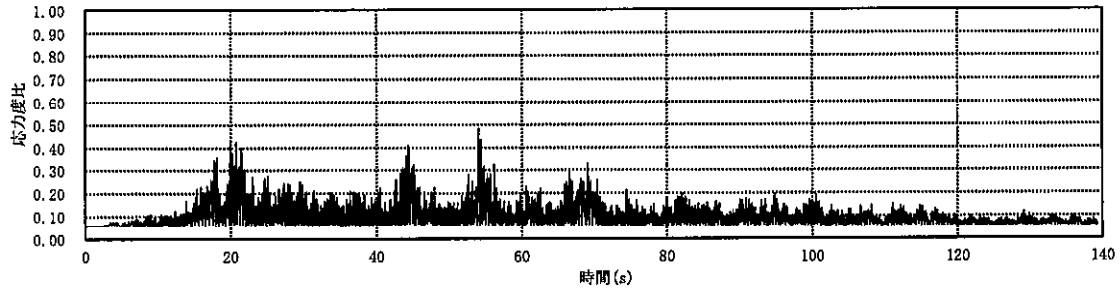
(e) 主柱材 (EL. 26.527 m) に生じる検定比 (斜め方向)

図 3-1 主排気筒の時刻歴検定比の算定結果 (S<sub>s</sub>-D1)

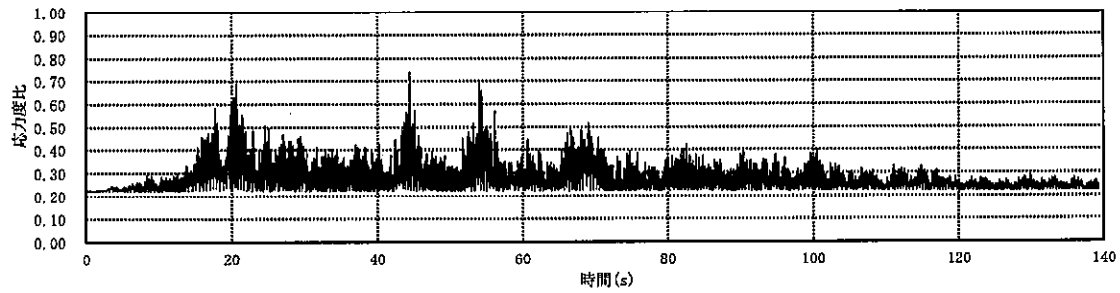




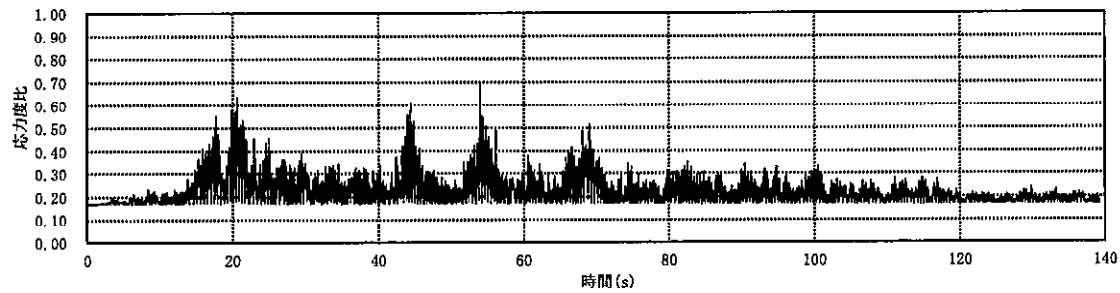
(a) 主柱材 (EL. 112.205 m) に生じる検定比 (斜め方向)



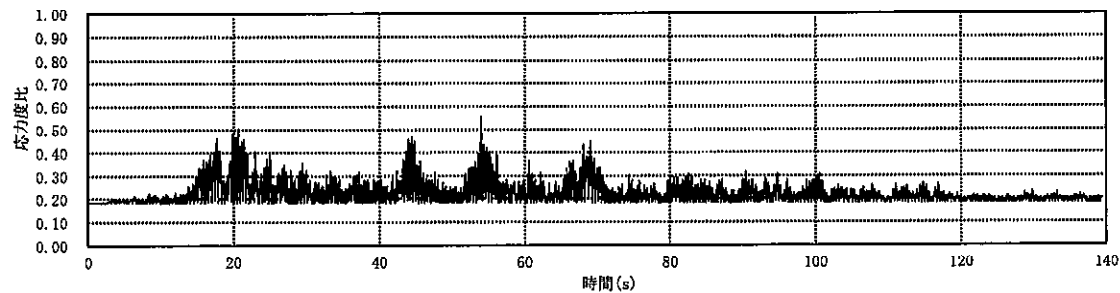
(b) 主柱材 (EL. 95.432 m) に生じる検定比 (斜め方向)



(c) 主柱材 (EL. 75.444 m) に生じる検定比 (斜め方向)

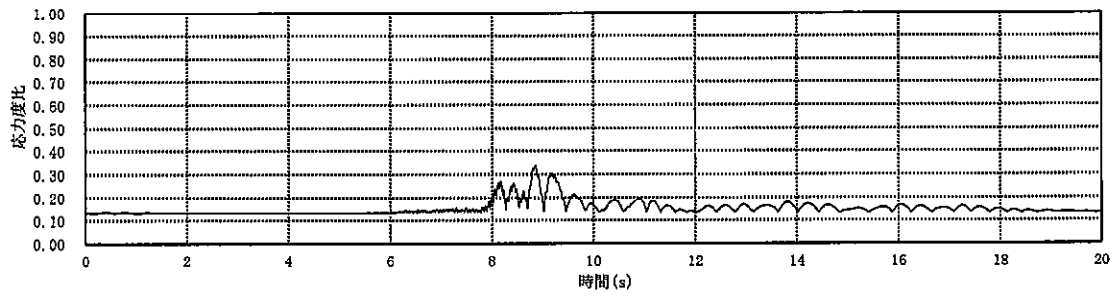


(d) 主柱材 (EL. 52.618 m) に生じる検定比 (斜め方向)

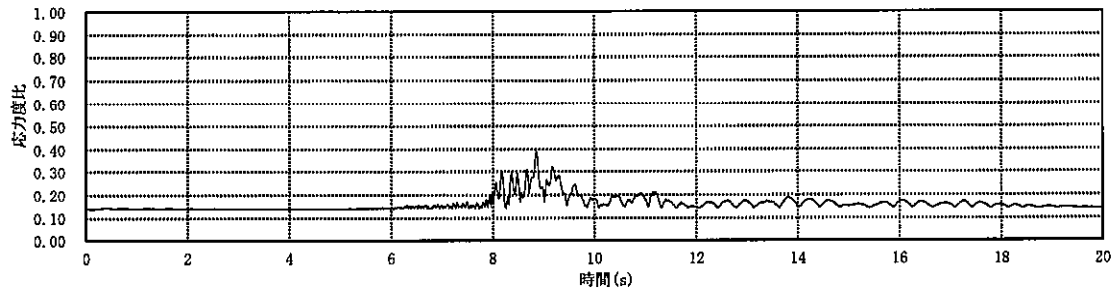


(e) 主柱材 (EL. 26.527 m) に生じる検定比 (斜め方向)

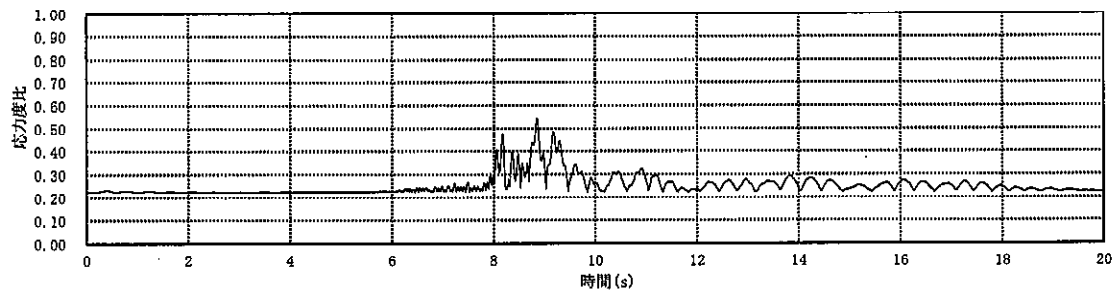
図 3-2 主排気筒の時刻歴検定比の算定結果 (S<sub>s</sub>-21)



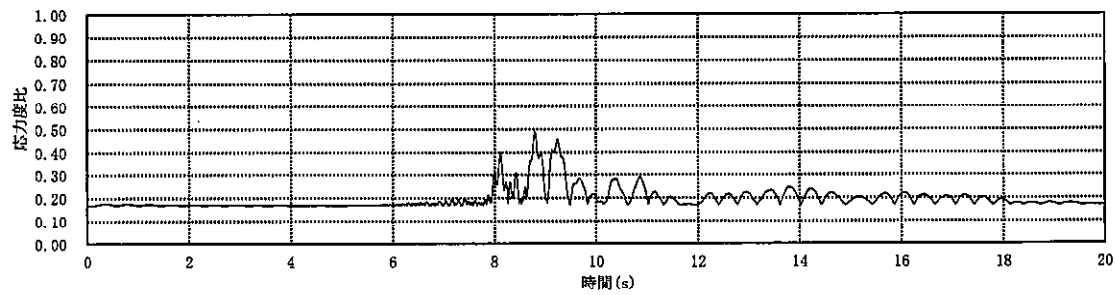
(a) 主柱材 (EL. 112.205 m) に生じる検定比 (斜め方向)



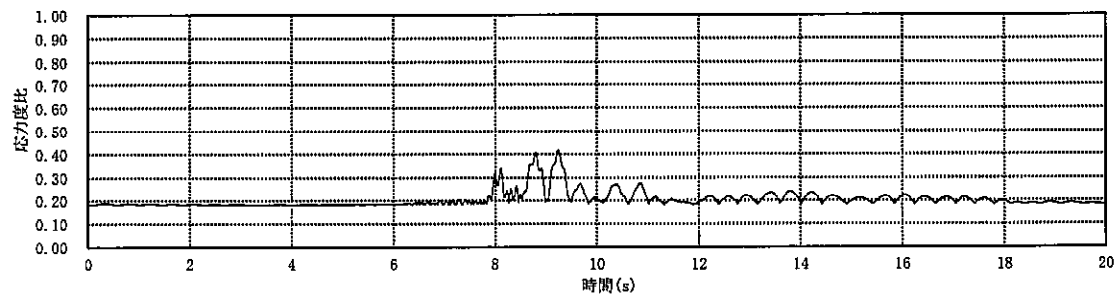
(b) 主柱材 (EL. 95.432 m) に生じる検定比 (斜め方向)



(c) 主柱材 (EL. 75.444 m) に生じる検定比 (斜め方向)



(d) 主柱材 (EL. 52.618 m) に生じる検定比 (斜め方向)



(e) 主柱材 (EL. 26.527 m) に生じる検定比 (斜め方向)

図 3-3 主排気筒の時刻歴検定比の算定結果 (S<sub>s</sub>-31)

補足-370-8【使用済燃料プールの耐震性評価に関する補足説明】

## 目次

1. 概要	1
2. 地震荷重以外の荷重組合せに対する検討	3
2.1 荷重の設定方針	3
2.2 荷重の組合せ及び許容限界	4
2.3 荷重及び荷重組合せ	8
2.4 解析モデル及び諸元	16
2.5 評価方法	16
2.6 評価結果	22
3. 水平地震力の算定について	32
3.1 評価方針	32
3.2 評価方法	32
3.3 算定結果	39
4. 使用済燃料プール周辺部の検討	41
4.1 評価部位	41
4.2 検討条件及び断面の評価方法	42
4.3 評価結果	42
5. 温度によるシェル壁の伸びの影響検討	45
5.1 検討概要	45
5.2 シェル壁の伸び評価	45
5.3 プール部の検討	49
6. 使用済燃料プール底版の面内せん断について	54
7. 鋼製ライナの評価について	55
8. 使用済燃料の稠密化による重量変更による原子炉建屋の応答への影響検討	56
8.1 概要	56
8.2 建設工認時からの稠密化による使用済燃料等の重量変遷	56
8.3 稠密化による重量増分が建屋応答に与える影響検討	57
8.4 検討結果	62
8.5 まとめ	72
9. 使用済燃料プール壁における面内せん断力及び面外せん断力の許容値について	73
9.1 概要	73
9.2 面内せん断力について	73
9.3 面外せん断力について	76

## 1. 概要

本資料は、使用済燃料プールの耐震性評価についての補足説明資料であり、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」

以下、本資料の概要を示す。

第2章「地震荷重以外の荷重組合せに対する検討」では、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」にて実施した地震時に関する荷重の組合せ以外に対する評価（地震荷重と組み合わせないケース）について評価を行うことを目的とし、CCV規格に基づき、使用済燃料プールにおける壁及び底板の健全性評価を行い、各許容値を超えないことを確認した。

第3章「水平地震力の算定について」では、使用済燃料プールに作用する水平地震力について、せん断力分配解析によりプール部に分配されたせん断力及び曲げモーメントを用いて算定した結果を示す。また、せん断力分配解析モデルの詳細を説明し、分配解析モデルに基づき設定されるせん断力及び変形量の応力解析モデルへの入力方法について記載した。

第4章「使用済燃料プール周辺部の検討」では、使用済燃料プールが周辺部の壁と一体となって地震時の荷重伝達を担っていることから、使用済燃料プールを支持する周辺部（使用済燃料プールの北側壁、ウェル壁及び蒸気発生器・気水分離器ピットの壁）の耐震健全性について確認することを目的とし、CCV規格に基づく各許容値を超えないことを確認した。

第5章「温度によるシェル壁の伸びの影響検討」では、温度による影響が最も大きい格納容器内部における重大事故等時の温度上昇に伴うシェル壁の伸びに対する使用済燃料プール壁の検討を実施することを目的とし、使用済燃料プールの壁及び底板について、CCV規格に基づく各許容値を超えないことを確認した。

第6章「使用済燃料プール底板の面内せん断について」では、Ss地震時に生じる使用済燃料プールの床部の面内せん断応力について算出しており、その結果、底板に生じる各要素の最大面内せん断応力が0.565(N/mm<sup>2</sup>)であり、コンクリートの長期許容応力度以下となり、底板に生じる面内せん断応力は十分小さいことを確認した。

第7章「鋼製ライナの評価について」では、使用済燃料プール内面の鋼製ライナについて、鋼製ライナは躯体に追従するため、鉄筋コンクリートのひずみを鋼製ライナに生じるひずみと見做して、ひずみの評価を行った。その結果、最大ひずみは572 $\mu$ であり、許容値5000 $\mu$ に対して十分小さいことを確認した。

第8章「使用済燃料の稠密化による重量変更による原子炉建屋の応答への影響検討」では、建設工認時からの使用済燃料の稠密化による重量の変遷及び重量変更（重量増分）を示している。また、その増分を原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響を考慮した「補強反映モデル」に重量を更に加算した「稠密化反映モデル」による地震応答解析を実施し、原子炉建屋の応答への影響について検

討した。その結果、「補強反映モデル」の建屋応答に及ぼす影響が無いこと確認した。

第9章「使用済燃料プール壁における面内せん断力及び面外せん断力の許容値について」では、使用済燃料プールの壁の面内せん断力及び面外せん断力に対する評価において、CCV規格のシェル部評価式を用いることの妥当性について確認している。妥当性の確認は、CCV規格のシェル部評価式とRC-N規準に基づく評価式の許容値の比較により行い、その結果、面内せん断については、 $S_0$ 地震時及び $S_1$ 地震時の検定比がCCV規格の許容値に対するRC-N規準の許容値の比率以上の裕度を有していることを確認した。また、面外せん断については、CCV規格のシェル部評価式による許容値はRC-N規準による許容値以下となり、CCV規格の方が保守的な評価となることを確認した。

## 2. 地震荷重以外の荷重組合せに対する検討

使用済燃料プールは、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」にて、CCV 規格に基づく荷重組合せのうち、地震時に関する荷重の組合せに対する評価を実施している。しかしながら、地震荷重と組み合わせないケースについて建設工認の記載が不足しているため、今回工認において地震荷重と組み合わせない部分について、その差分を補うこととした。

本資料では、東海第二発電所の使用済燃料プールの応力解析に考慮する荷重の組合せに対する評価を実施する。

### 2.1 荷重の設定方針

#### (1) 固定荷重及び積載荷重

解析モデルに考慮する固定荷重のうち、躯体重量については、鉄筋コンクリートの単位体積重量による。

また、床に作用する積載荷重のうち、使用済燃料プールの機器荷重については、使用済燃料の稠密化による重量変更を考慮し、その他の部位の積載荷重及び配管荷重については、建設時の設計値による。

#### (2) 静水圧荷重

各部位の水位は、添付書類「V-1-3-1 使用済燃料貯蔵槽の温度、水位及び漏えいを監視する装置の構成に関する説明書並びに計測範囲及び警報動作範囲に関する説明書」に基づき設定する。

#### (3) 長期ラック荷重

解析モデルに考慮する使用済燃料プール底版に作用する長期ラック荷重は、使用済燃料の稠密化による重量変更を考慮して設定する。

#### (4) 地震荷重

地震荷重は、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」で設定した建屋全体としての動的地震力及び静的地震力から、せん断力分配解析によりプール部に分配されたせん断力及び曲げモーメントを用いて算定する。

#### (5) 温度荷重

温度条件は建設時の設計条件に基づき設定し、1次元モデルを用いた定常温度分布解析により算出した温度分布解析結果から、各壁及び底版における表面の温度差とコンクリート基準温度からの差を設定する。

## 2.2 荷重の組合せ及び許容限界

### 2.2.1 荷重組合せケースの選定

使用済燃料プールの荷重の組合せ及び許容限界を表 2-1 に示す。

また、先行プラントにおける荷重の組合せに対する東海第二発電所の使用済燃料プールでの要否について表 2-2 表に示す。

先行 ABWR は、格納容器と一次遮蔽壁が一体的で、RCCV の円筒壁及びトップスラブが使用済燃料プールの一部の壁及び床を構成する。本資料においては、原子炉格納容器内において生じる圧力荷重、配管の熱膨張によって生じる配管荷重、逃がし安全弁作動時荷重、水学的動的荷重、ジェット力及びジェット力作用時配管荷重については、使用済燃料プールに直接作用しないため、これらを除いた荷重組合せケースについて実施することとした。原子炉格納容器内において生じる荷重については、添付書類「V-1-1-4-7-1 設定根拠に関する説明書（原子炉格納容器）」にて評価を実施する。

表 2-1 荷重の組合せ及び許容限界

荷重番号	荷重時名称	荷重の組合せ	許容値
1	通常運転時	$DL_1 + T_{11}$	長期許容応力度
2	燃料交換時	$DL_2 + T_{12}$	
3	地震時 (1)	$DL_1 + T_{11} + K_1 + KH_1$	短期許容応力度
4	故障時	$DL_1 + T_3$	
5	地震時 (2)	$DL_1 + K_2 + KH_2$	終局強度

注 1 : 荷重番号 1~4 については、温度荷重のない場合も考慮する。

注 2 : 温度荷重は、夏及び冬を考慮する。

注 3 : 地震荷重は、NS 方向及び EW 方向並びに鉛直方向を考慮する。

$DL_1$  : 死荷重及び活荷重 (通常時)

$DL_2$  : 死荷重及び活荷重 (燃料交換時)

$T_{11}$  : 運転時温度荷重

$T_{12}$  : 燃料交換時温度荷重

$T_3$  : 故障時温度荷重

$K_1$  :  $S_d$ 地震荷重

$K_2$  :  $S_s$ 地震荷重

$KH_1$  :  $S_d$ 地震荷重と同時に作用する動水圧

$KH_2$  :  $S_s$ 地震荷重と同時に作用する動水圧



表 2-2 荷重の組合せの要否

荷重番号	荷重時名称	荷重の組合せ	許容値	実施要否	要否
1	通常運転時	$DL_1 + T_{11}$	長期 許容 応力度	○	既工認に示されていないため実施（補足説明資料）
2	燃料交換時	$DL_2 + T_{12}$		○	既工認に示されていないため実施（補足説明資料）
3	逃がし安全弁作動時	$DL_1 + T_{11}$		×	格納容器に作用する荷重であり、東海第二発電所の使用済燃料プールには作用しない荷重のため不要
4	試験時	$DL_3$		×	格納容器に作用する荷重であり、東海第二発電所の使用済燃料プールには作用しない荷重のため不要
5	地震時(1)	$DL_1 + T_{11} + K_1 + KH_1$	短期 許容 応力度	◎	入力地震動の見直しにより実施
6	異常時(1)	$DL_1 + T_{21}$		×	格納容器に作用する荷重であり、東海第二発電所の使用済燃料プールには作用しない荷重のため不要
7	異常時(2)	$DL_1 + T_{22}$		×	格納容器に作用する荷重であり、東海第二発電所の使用済燃料プールには作用しない荷重のため不要
8	故障時	$DL_1 + T_3$		○	既工認に示されていないため実施（補足説明資料）
9	地震時(2)	$DL_1 + K_2 + KH_2$	終局 強度	◎	入力地震動の見直しにより実施
10	異常時(3)	$DL_1$		×	格納容器に作用する荷重であり、東海第二発電所の使用済燃料プールには作用しない荷重のため不要
11	ジェット力作用時	$DL_1$		×	格納容器に作用する荷重であり、東海第二発電所の使用済燃料プールには作用しない荷重のため不要
12	(異常 + 地震)時	$DL_1 + K_1 + KH_1$		×	格納容器に作用する荷重であり、東海第二発電所の使用済燃料プールには作用しない荷重のため不要

[凡例] ◎：添付資料「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に評価結果を記載する。

○：本補足説明資料に評価結果を記載する。

×：実施不要

注 1：荷重番号 1～3 及び 5～8 については、温度荷重のない場合も考慮する。

注 2：温度荷重は、夏及び冬を考慮する。

注 3：地震荷重は、NS 方向及び EW 方向並びに鉛直方向を考慮する。

注 4 : 荷重の組合せは、先行プラント (ABWR) から、圧力 (P)、配管荷重 (R) 及び格納容器内の水力学的動荷重 (H) を除いたものを示す。

- DL<sub>1</sub> : 死荷重及び活荷重 (通常時)
- DL<sub>2</sub> : 死荷重及び活荷重 (燃料交換時)
- DL<sub>3</sub> : 死荷重及び活荷重 (試験時)
- T<sub>11</sub> : 運転時温度荷重
- T<sub>12</sub> : 燃料交換時温度荷重
- T<sub>21</sub> : 異常時温度荷重 (30 分)
- T<sub>22</sub> : 異常時温度荷重 (24 時間)
- T<sub>3</sub> : 故障時温度荷重
- K<sub>1</sub> : S<sub>d</sub>地震荷重
- K<sub>2</sub> : S<sub>s</sub>地震荷重
- KH<sub>1</sub> : S<sub>d</sub>地震荷重と同時に作用する動水圧
- KH<sub>2</sub> : S<sub>s</sub>地震荷重と同時に作用する動水圧

参考

表-参考1 荷重の組合せ及び許容限界  
(大間原子力発電所 第1号機の使用済燃料貯蔵プール)

荷重番号	荷重時名称	荷重の組合せ	許容値
1	通常運転時	$DL_1 + P_1 + R_1 + T_{11}$	長期許容応力度
2	燃料交換時	$DL_2 + T_{12}$	
3	逃がし安全弁作動時	$DL_1 + P_1 + R_1 + T_{11} + H_1$	
4	試験時	$DL_3 + P_0$	
5	地震時(1)	$DL_1 + P_1 + T_{11} + H_1 + K_1 + KH_1 + R_{41}$	短期許容応力度
6	異常時(1)	$DL_1 + P_{21} + R_2 + T_{21} + H_2$	
7	異常時(2)	$DL_1 + P_{22} + R_2 + T_{22}$	
8	故障時	$DL_1 + P_1 + R_1 + T_3 + H_1$	終局強度
9	地震時(2)	$DL_1 + P_1 + H_1 + K_2 + KH_2 + R_{42}$	
10	異常時(3)	$DL_1 + 1.5 \cdot P_0 + R_2$	
11	ジェット力作用時	$DL_1 + R_3$	
12	(異常+地震)時	$DL_1 + P_{21} + K_1 + KH_1 + R_{41}$	

注1：荷重番号1～3及び5～8については、温度荷重のない場合も考慮する。

注2：温度荷重は、夏及び冬を考慮する。

注3：地震荷重は、NS方向及びEW方向並びに鉛直方向を考慮する。

## 2.3 荷重及び荷重組合せ

### 2.3.1 荷重

#### (1) 固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P)

解析モデルに考慮する固定荷重及び積載荷重は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.2.1 荷重」に記載の荷重に準ずるものとする。ただし、燃料交換時には蒸気乾燥機・気水分離機ピットには機器荷重としてに表 2-3 に示す荷重を考慮する。

表 2-3 蒸気乾燥機・気水分離機ピットの機器荷重

状態	通常運転時	燃料交換時	故障時
蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット	—	88.3 kN/m <sup>2</sup>	—

#### (2) 静水圧荷重 (H<sub>s</sub>)

各状態における使用済燃料プール，原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピット内の水の有無を表 2-4 表に示す。また，解析モデルに考慮するプール内の静水圧荷重の算定条件を表 2-5 表に示す。

表 2-4 各状態における水の有無

状態	通常運転時	燃料交換時	故障時
使用済燃料プール	○	○	○
原子炉ウェル	×	○	×
蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット	×	○	×

表 2-5 プールの静水圧荷重の算定条件

荷重	最大水位 (m)	底面レベル (m)	最大水深 (m)
<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	EL. +46.195	EL. +34.689	11.506
原子炉ウェル	EL. +46.195	—	7.315
蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット	EL. +46.195	EL. +38.880	7.315

(3) 長期ラック荷重 ( $R_0$ )

解析モデルに考慮する固定荷重及び積載荷重は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.2.1 荷重」に記載の荷重に準ずるものとする。

(4) 温度荷重 ( $T_0, T_1, T_2$ )

通常運転時 ( $T_0$ )、燃料交換時 ( $T_1$ ) 及び故障時 ( $T_2$ ) における雰囲気温度を表 2-6 表に示す。原子炉建屋内雰囲気温度は、冬季及び夏季においてそれぞれ 10 °C 及び 40 °C、外気温はそれぞれ 3 °C 及び 25.2 °C とする。

これらの条件より各部位の表面温度を一定とした定常温度分布解析を実施し、熱応力解析に用いる温度分布を算出する。

定常温度分布解析は、応力解析モデルの各部位の板厚方向に対する 1 次元モデルを用いて行う。また、熱応力解析は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に示す 3 次元 FEM モデルを用いた弾性応答解析とし、解析コード「MSC NASTRAN ver 2016.1.1」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム (解析コード) の概要・MSC NASTRAN」に示す。

壁及び底版の温度分布設定箇所を図 2-1 に、壁及び底版の設定温度分布を表 2-7 に示す。

表 2-6 各状態における雰囲気温度

荷重	通常運転時 (°C)	燃料交換時 (°C)	故障時 (°C)
ドライウエル	66	66	66
サプレッションプール	32	32	32
原子炉ウエル	66	52	66
使用済燃料プール	52	52	65
蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット	10 (40) *	52	10 (40) *

注記 \* : 蒸気乾燥器・気水分離器ピット内は原子炉建屋内の雰囲気温度と同一。カッコ内は夏季の温度を示す。

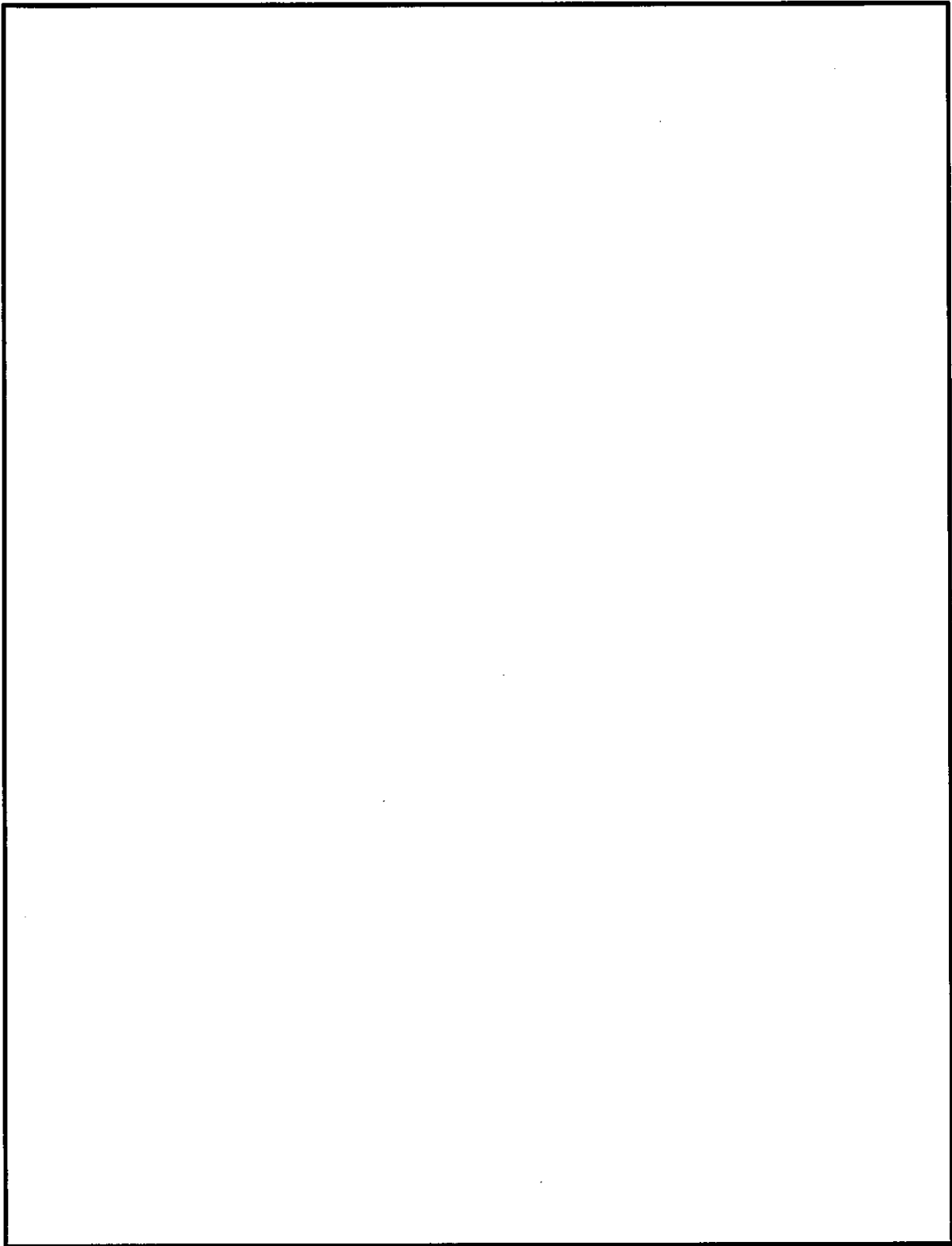
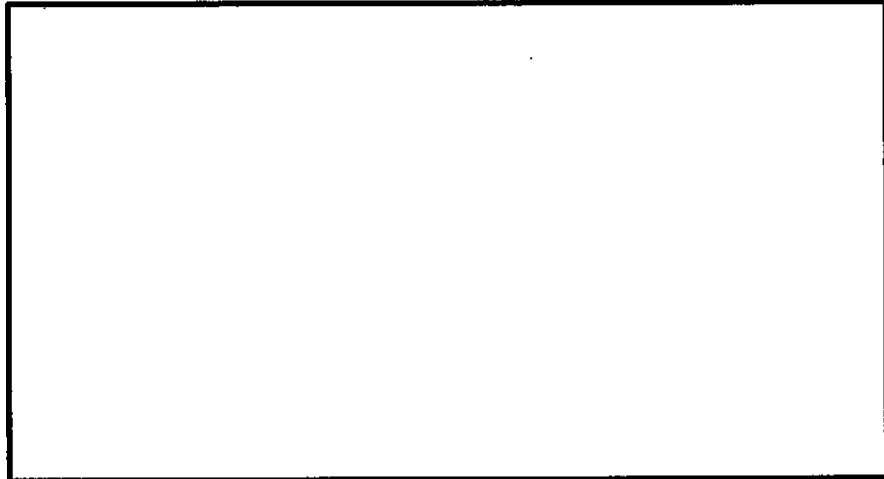
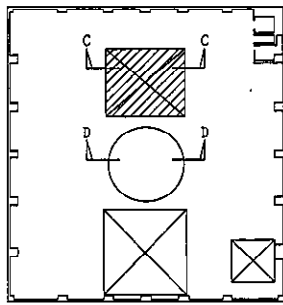
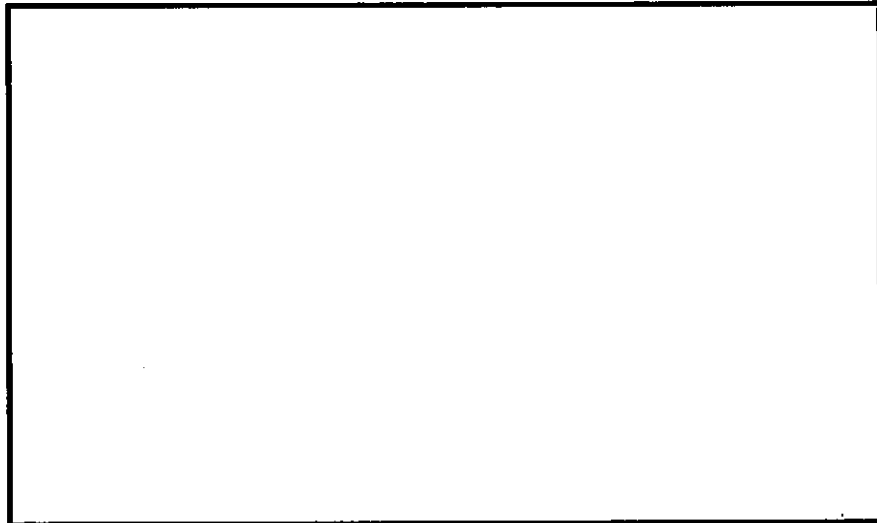


図 2-1 各壁及び底版の温度分布設定箇所 (1/3)

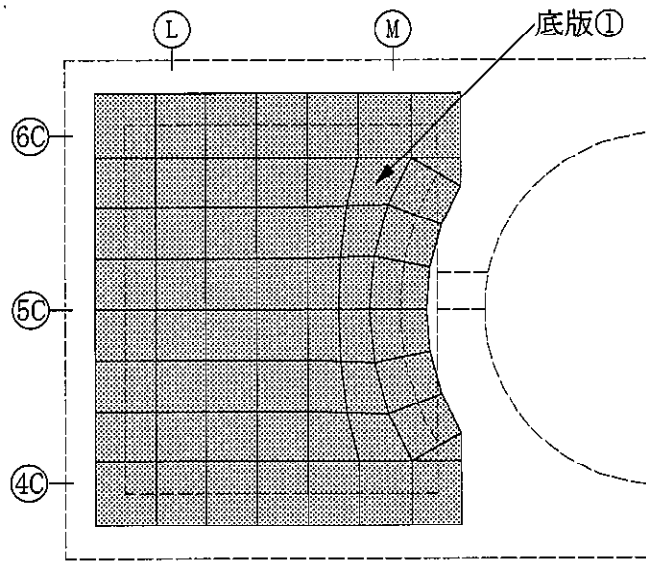


(c) 北側プール壁 (C-C 矢視)



(d) 南側ウェル壁 (D-D 矢視)

図 2-1 各壁及び底版の温度分布設定箇所 (2/3)



(e) プール底版

図 2-1 各壁及び底版の温度分布設定箇所 (3/3)



表 2-7 設定温度分布

表面温度 (°C)																
名称	通常運転時						燃料交換時						故障時			
	冬季		夏季		冬季		夏季		冬季		夏季		冬季		夏季	
	プール 内側	プール 外側	プール 内側	プール 外側	プール 内側	プール 外側	プール 内側	プール 外側	プール 内側	プール 外側	プール 内側	プール 外側	プール 内側	プール 外側	プール 内側	プール 外側
東側壁①	52.0	17.5	52.0	42.1	52.0	17.5	42.1	52.0	52.0	17.5	42.1	52.0	65.0	19.8	65.0	44.4
西側壁①	52.0	20.7	52.0	43.0	52.0	20.7	43.0	52.0	52.0	20.7	43.0	52.0	65.0	23.9	65.0	46.3
西側壁②	52.0	17.5	52.0	42.1	52.0	17.5	42.1	52.0	52.0	17.5	42.1	52.0	65.0	19.8	65.0	44.4
南側壁①	52.0	62.8	52.0	62.8	52.0	52.0	62.8	52.0	52.0	52.0	62.8	52.0	65.0	65.8	65.0	65.8
南側壁②	52.0	62.8	52.0	62.8	52.0	62.8	62.8	52.0	52.0	62.8	62.8	52.0	65.0	65.8	65.0	65.8
南側壁③	52.0	63.2	52.0	63.2	52.0	63.2	63.2	52.0	52.0	63.2	63.2	52.0	65.0	65.8	65.0	65.8
北側壁①	52.0	17.9	52.0	42.3	52.0	17.9	42.3	52.0	52.0	17.9	42.3	52.0	65.0	20.4	65.0	44.7
底版①	52.0	19.5	52.0	42.7	52.0	19.5	42.7	52.0	52.0	19.5	42.7	52.0	65.0	22.4	65.0	45.6

### 2.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 2-8 に示す。

表 2-8 荷重の組合せ

外力の状態		荷重の組合せ
長期	通常運転時	$GP + H_{s1} + R_0 + T_0$
	燃料交換時	$GP + H_{s2} + R_0 + T_1$
短期	故障時	$GP + H_{s3} + R_0 + T_2$

GP : 固定荷重及び積載荷重

$H_{s1}$  : 通常運転時静水圧荷重

$H_{s2}$  : 燃料交換時静水圧荷重

$H_{s3}$  : 故障時静水圧荷重

$R_0$  : 長期ラック荷重

$T_0$  : 通常運転時温度荷重

$T_1$  : 燃料交換時温度荷重

$T_2$  : 故障時温度荷重

### 2.3.3 許容限界

応力解析による評価における使用済燃料プールの許容限界は、表 2-9 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 2-10 及び表 2-11 に示す。

表 2-9 応力解析による評価における許容限界

外力の状態	部位	許容限界 (評価基準値)
通常運転時	使用済燃料 プール躯体	「CCV規格」に基づく 荷重状態Ⅰの許容値
燃料交換時	使用済燃料 プール躯体	
故障時	使用済燃料 プール躯体	「CCV規格」に基づく 荷重状態Ⅲの許容値

表 2-10 コンクリートの許容応力度

外力の状態	Fc=22.1 (N/mm <sup>2</sup> )			
	応力状態 1* <sup>1</sup>		応力状態 2* <sup>2</sup>	
	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )
通常運転時 燃料交換時	7.36	0.711	9.94	0.711
故障時	14.7	1.06	16.5	1.06

注記 \*1:「応力状態 1」とは、各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

\*2:「応力状態 2」とは、各荷重状態において温度荷重による応力が生じている状態をいう。

表 2-11 鉄筋の許容応力度

外力の状態	SD345*	
	引張及び圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	面外せん断 (N/mm <sup>2</sup> )
通常運転時 燃料交換時	195	195
故障時	345	345

注記 \*:建設当時の鉄筋の種類はSD35であるが現在の規格(SD345)に読み替えた応力度を示す。

## 2.4 解析モデル及び諸元

解析モデル及び諸元は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.4.1 モデル化の基本方針」に準ずるものとする。

## 2.5 評価方法

### 2.5.1 応力解析方法

使用済燃料プールについて、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

#### (1) 荷重ケース

通常運転時、燃料交換時及び故障時の応力は、単独荷重による解析で求まる応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。

- GP : 固定荷重及び積載荷重
- H<sub>s1</sub> : 通常運転時静水圧荷重
- H<sub>s2</sub> : 燃料交換時静水圧荷重
- R<sub>0</sub> : 長期ラック荷重
- T<sub>01</sub> : 通常運転時温度荷重 (冬)
- T<sub>02</sub> : 通常運転時温度荷重 (夏)
- T<sub>11</sub> : 燃料交換時温度荷重 (冬)
- T<sub>12</sub> : 燃料交換時温度荷重 (夏)
- T<sub>21</sub> : 故障時温度荷重 (冬)
- T<sub>22</sub> : 故障時温度荷重 (夏)

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 2-12 及び表 2-13 に示す。

表 2-12 荷重の組合せケース (通常運転時及び燃料交換時)

状態		ケース No.	荷重の組合せ
応力状態 1	通常運転時	0-1	$GP + H_{s1} + R_0$
	燃料交換時	0-2	$GP + H_{s2} + R_0$
応力状態 2	通常運転時	冬	$GP + H_{s1} + R_0 + T_{01}$
		夏	$GP + H_{s1} + R_0 + T_{02}$
	燃料交換時	冬	$GP + H_{s2} + R_0 + T_{11}$
		夏	$GP + H_{s2} + R_0 + T_{12}$

表 2-13 荷重の組合せケース (故障時)

状態		ケース No.	荷重の組合せ
応力状態 2	故障時	冬	$GP + H_{s1} + R_0 + T_{21}$
		夏	$GP + H_{s1} + R_0 + T_{22}$

(3) 荷重の入力方法

荷重の入力方法は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.5.1 応力解析方法」に準ずるものとする。

## 2.5.2断面の評価方法

使用済燃料プールの断面の評価に用いる応力は、3次元FEMモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による応力（軸力、曲げモーメント及びせん断力）とする。

### (1) 壁

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートの応力度、軸力による圧縮応力度、面内せん断力並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

#### 【軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する断面の評価方法】

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートの応力度の算定においては、「CCV規格」のCVE-3511に基づき次の2つの計算式に示す等価膜力を考慮した上で、「CCV規格」のCVE-3511.1に基づき、表2-10及び表2-11に示す各許容値を超えないことを確認する。膜力と面内せん断力の関係図を図2-2に示す。

$$\begin{aligned} N_{\phi}^* &= N_{\phi} \pm |N_{\phi\theta}| \\ N_{\theta}^* &= N_{\theta} \pm |N_{\phi\theta}| \end{aligned}$$

ここで、

$N_{\phi}^*$ ,  $N_{\theta}^*$  :  $\phi$ ,  $\theta$  方向の等価膜力

$N_{\phi}$ ,  $N_{\theta}$  :  $\phi$ ,  $\theta$  方向の膜力

$N_{\phi\theta}$  : 面内せん断力

( $\phi$  方向は子午線方向,  $\theta$  方向は円周方向とする)

上記の式のうち、「膜力」は「軸力」に読み替えることとする。また、「子午線方向」は「縦方向」に、「円周方向」は「横方向」にそれぞれ読み替えることとする。

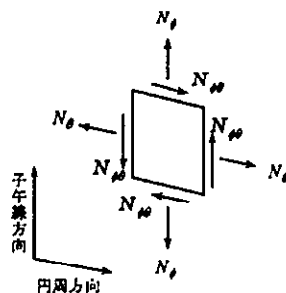


図 2-2 膜力と面内せん断力の関係図

【面内せん断力に対する断面の評価方法】

面内せん断力については、「CCV規格」の CVE-3512.1 に基づき、評価対象部位に生じる面内せん断応力度が、次の 2 つの計算式により計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値に対し、通常運転時及び燃料交換時においては 0.5 倍、故障時においては 0.75 倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_u = 0.5 \left\{ (p_{t\phi} \cdot f_y - \sigma_{0\phi}) + (p_{t\theta} \cdot f_y - \sigma_{0\theta}) \right\}$$

$$\tau_u = 1.10 \sqrt{F_c}$$

ここで、

$\tau_u$  : 終局面内せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_{t\phi}$  : 子午線方向主筋の鉄筋比

$p_{t\theta}$  : 円周方向主筋の鉄筋比

$\sigma_{0\phi}$  : 外力による子午線方向の膜応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
(引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)

$\sigma_{0\theta}$  : 外力による円周方向の膜応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
(引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)

$f_y$  : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、表 2-11 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度であり表 2-10 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)

上記の式のうち、「子午線方向主筋」は「縦方向主筋」に、「円周方向主筋」は「横方向主筋」にそれぞれ読み替えることとする。また、「子午線方向の膜応力度」は「縦方向の軸応力度」に、「円周方向の膜応力度」は「横方向の軸応力度」にそれぞれ読み替えることとする。

【面外せん断力に対する断面の評価方法】

面外せん断力については、「CCV規格」の CVE-3513.1 に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断応力度が、次の 2 式により計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値に対し、通常運転時及び燃料交換時においては 0.5 倍、故障時においては 0.75 倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_R = \Phi \left\{ 0.1(p_t \cdot f_y - \sigma_0) + 0.5p_w \cdot f_y + 0.235\sqrt{F_c} \right\}$$

$$\tau_R = 1.10\sqrt{F_c}$$

ここで、

$\tau_R$  : 終局面外せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_t$  : 主筋の鉄筋比

$\sigma_o$  : 外力による膜応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (引張の符号を正とする)  
 $p_w$  : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であって、次の計算式により計算した値

$$p_w = a_w / (b \cdot x)$$

$a_w$  : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$b$  : 断面の幅 (mm)

$x$  : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

$\Phi$  : 低減係数であり、次の計算式により計算した値

(1を超える場合は1, 0.58未満の場合は0.58とする)

$$\Phi = 1 / \sqrt{M / (Q \cdot d)}$$

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

なお、 $F_c$ は表 2-11 に、 $f_y$ は表 2-10 による。また、上記の式のうち、「外力による膜応力度」は「外力による軸応力度」に読み替えることとする。

## (2) 底版

軸力、曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートの応力度並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

### 【軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法】

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートの応力度の算定については、「CCV規格」の CVE-3521.1 に基づき、表 2-10 及び表 2-11 に示す各許容値を超えないことを確認する。

### 【面外せん断力に対する断面の評価方法】

面外せん断力については、「CCV規格」の CVE-3522 に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式により計算した値を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 p_w f_t (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

$Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)

$b$  : 断面の幅 (mm)

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

$f_s$  : コンクリートの許容せん断応力度で、表 2-10 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であり、次の計算式により計



算した値（0.002 以上とし，通常運転時及び燃料交換時において 0.006 を超える場合は 0.006 とし，故障時において 0.012 を超える場合は 0.012 とする）

$$p_w = a_w / (b \cdot x)$$

$a_w$  : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$x$  : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

$f_t$  : 面外せん断力に対する補強筋の許容引張応力度であり，表 2-12 に示す値 (N/mm<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 割増し係数であり，次式により計算した値（2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする）

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

## 2.6 評価結果

「2.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。使用済燃料プールの配筋一覧は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「4. 評価結果」に記載の配筋一覧に準ずるものとする。

### 2.6.1 通常運転時及び燃料交換時

断面の評価結果を記載する要素を、以下のとおり選定する。

#### (1) 壁

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートの応力度、面外せん断力並びに面外せん断力に対する評価については、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

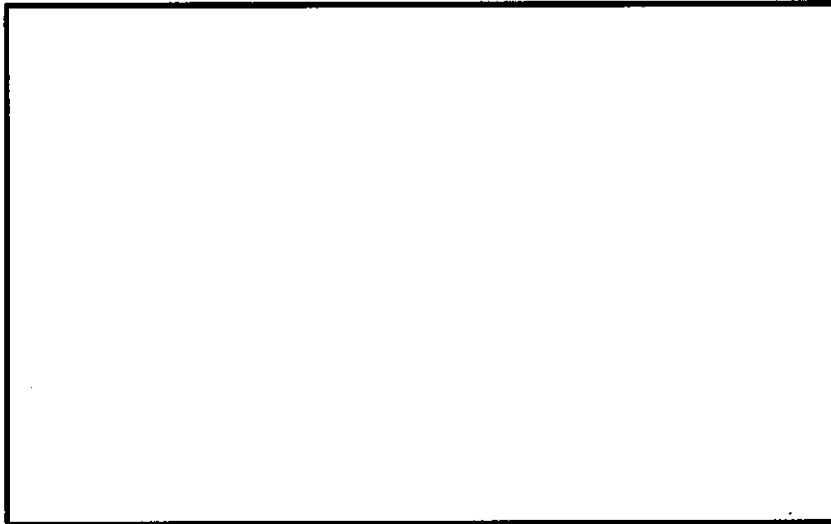
#### (2) 底版

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートの応力度並びに面外せん断力に対する評価については、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

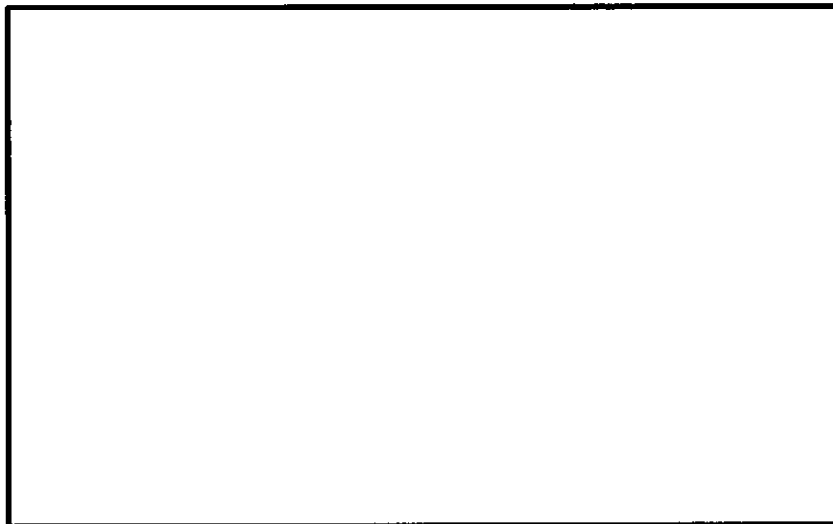
選定した要素の位置を図 2-3 に、評価結果を表 2-14 に示す。

通常運転時及び燃料交換時において、壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートの応力度、面内せん断力並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

また、底版については、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートの応力度並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

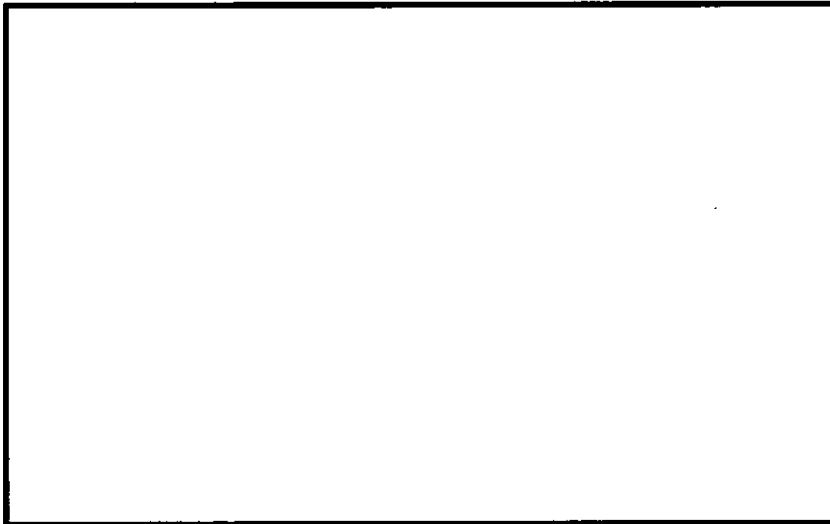


(a) 北側壁

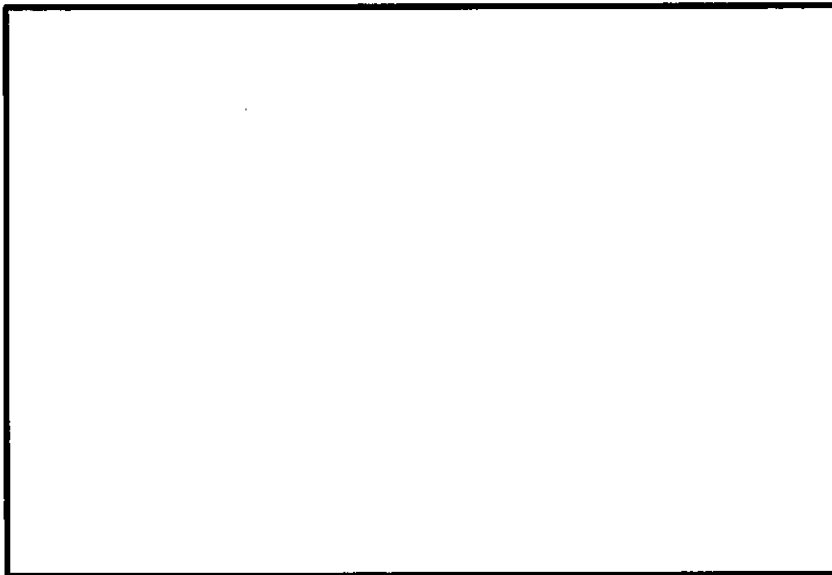


(b) 東側壁

図 2-3 結果を記載する要素の位置 通常運転時及び燃料交換時 (1/3)



(c) 南側壁



(d) 西側壁

図 2-3 結果を記載する要素の位置 通常運転時及び燃料交換時 (2/3)

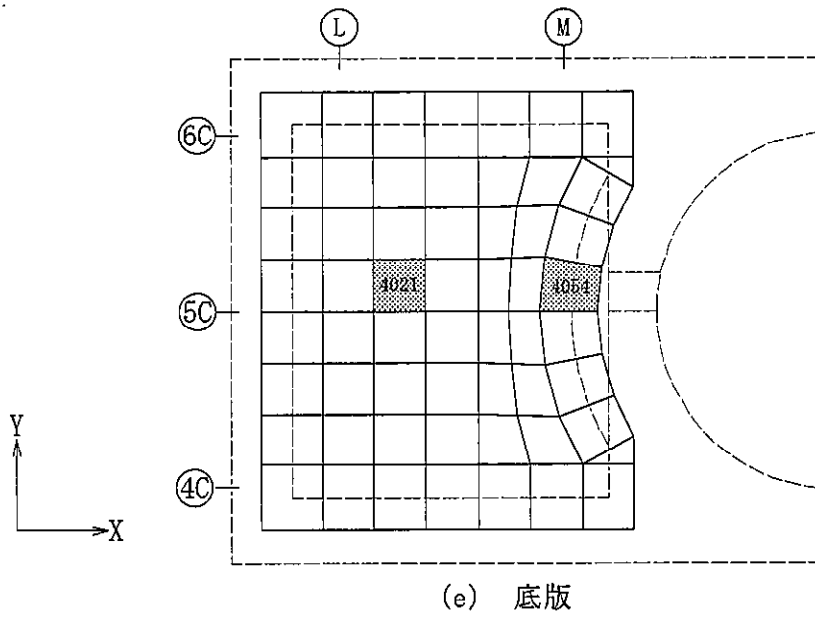


図 2-3 結果を記載する要素の位置 通常運転時及び燃料交換時 (3/3)

表 2-14 評価結果 通常運転時及び燃料交換時

		評価項目	要素位置	組合せケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	2204	0-3	4.48	9.94	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	2239	0-3	142	195	引張側
	東側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1586	0-5	4.87	9.94	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1528	0-3	169	195	引張側
	南側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	3055	0-3	4.83	9.94	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	3037	0-5	111	195	引張側
	西側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1084	0-3	4.56	9.94	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1028	0-3	168	195	引張側
	底版	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	4021	0-3	4.02	9.94	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	4021	0-5	116	195	引張側
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2205	0-3	0.445	1.20	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1586	0-3	0.587	1.08	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3058	0-3	1.23	2.58	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1084	0-5	0.656	1.23	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2228	0-3	0.320	0.667	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1536	0-5	0.221	0.459	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7801	0-3	0.763	1.04	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1083	0-3	0.231	0.447	
	底版	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	4054	0-3	1.18	1.81	

\* : 底版については、面内せん断力は考慮しない。

## 2.6.2 故障時

断面の評価結果を記載する要素を、以下のとおり選定する。

### (1) 壁

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートの応力度、面外せん断力並びに面外せん断力に対する評価については、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

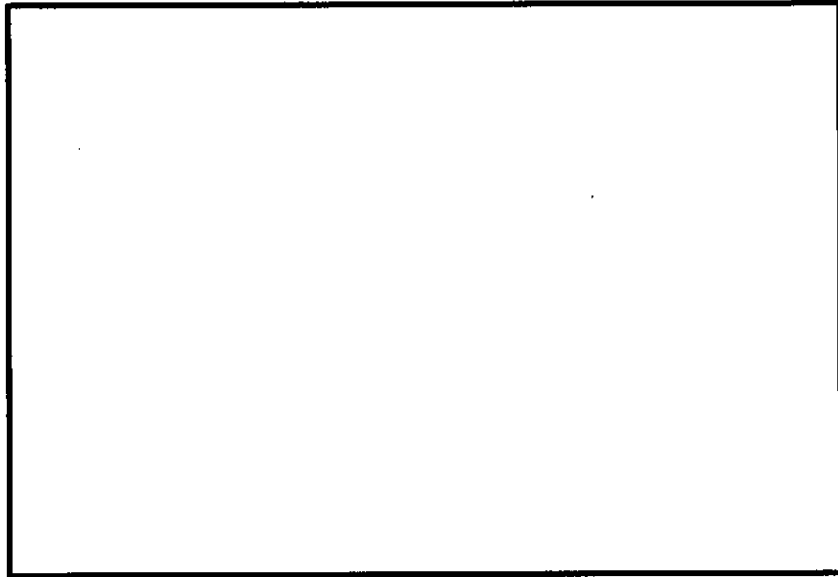
### (2) 底版

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートの応力度並びに面外せん断力に対する評価については、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

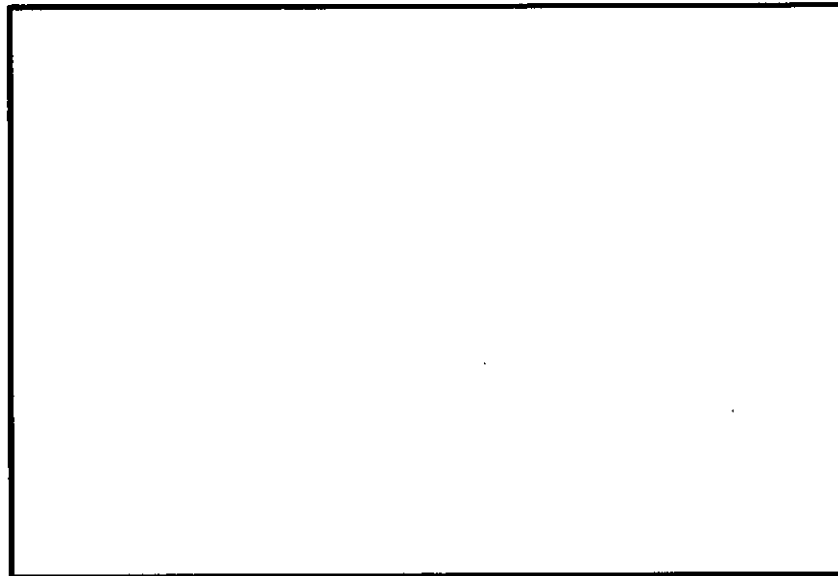
選定した要素の位置を図 2-4 に、評価結果を表 2-15 に示す。

故障時において、壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートの応力度、面内せん断力並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

また、底版については、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートの応力度並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。



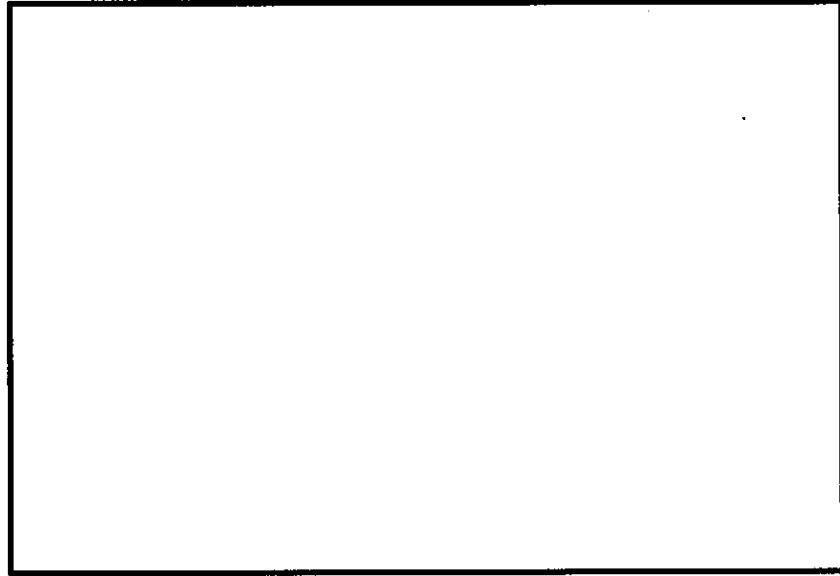
(a) 北側壁



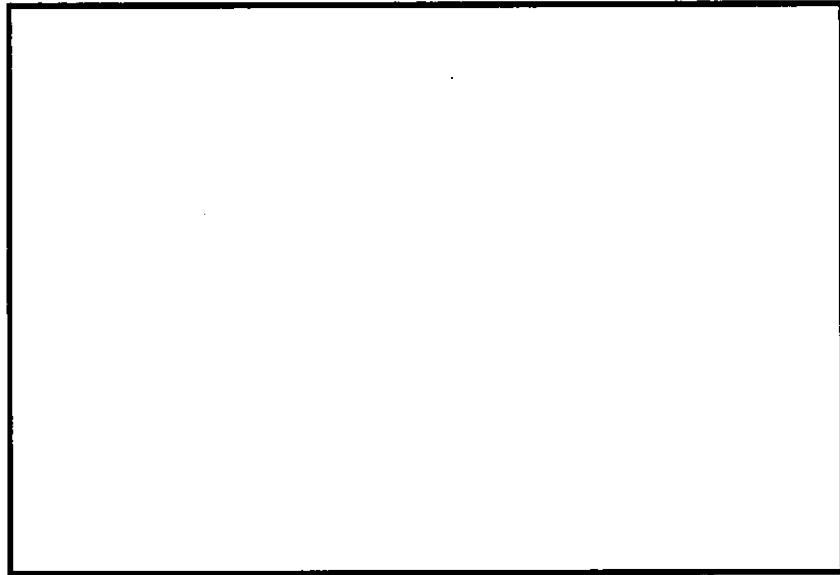
(b) 東側壁

図 2-4 結果を記載する要素の位置 故障時 (1/3)





(c) 南側壁



(d) 西側壁

図 2-4 結果を記載する要素の位置 故障時 (2/3)

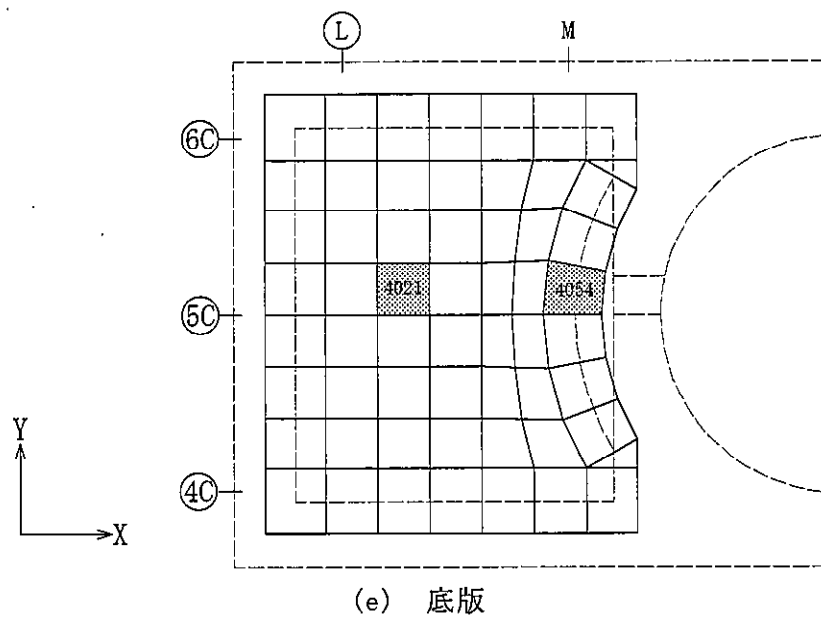


図 2-4 結果を記載する要素の位置 故障時 (3/3)

表 2-15 評価結果 故障時

		評価項目	要素位置	組合せケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	2250	2-33	3.98	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	2213	2-33	177	345	引張側
	東側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1534	2-33	4.44	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1586	2-33	237	345	引張側
	南側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	3055	2-33	4.90	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	3007	2-33	110	345	引張側
	西側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1034	2-33	4.33	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1087	2-33	234	345	引張側
	底版	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	4021	2-33	4.57	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	4021	2-33	129	345	引張側
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2205	2-33	0.505	1.89	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1586	2-33	0.597	1.68	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3058	2-33	1.57	3.87	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1086	2-33	0.565	1.64	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2272	2-33	0.347	1.01	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1583	2-33	0.214	0.590	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7801	2-33	0.990	1.60	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1083	2-33	0.252	0.639	
	底版	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	4054	2-33	1.20	3.01	

注 : 底版については、面内せん断力は考慮しない。

### 3. 水平地震力の算定について

#### 3.1 評価方針

使用済燃料プールに作用する水平地震力は、せん断力分配解析によりプール部に分配されたせん断力及び曲げモーメントを用いて算定する。解析には、「MSC NASTRAN ver 2016.1.1」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。対象とする水平地震力は、弾性設計用地震動 $S_d$ に対する地震応答解析より算定される動的地震力、層せん断力係数 3.0Ci より算定される静的地震力及び基準地震動 $S_s$ に対する地震応答解析より算定される動的地震力である。なお、動的地震力は添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づく応答値の最大値に地盤物性のばらつきを考慮して設定する。

#### 3.2 評価方法

##### 3.2.1 応力解析方法

原子炉建屋について、シェル壁、内部ボックス壁及び外部ボックス壁をそれぞれ曲げ及びせん断剛性を評価した梁要素としてモデル化し、弾性応力解析を実施する。

##### (1) 解析モデル

解析モデルは、シェル壁、内部ボックス壁及び外部ボックス壁をそれぞれ曲げ及びせん断剛性を評価した梁要素とする5軸モデルとし、NS方向及びEW方向についてそれぞれ設定する。

各軸の水平変位は、各階の床位置において同一とする。せん断力分配解析モデルを図3-1に、解析モデル諸元を表3-1に示す。

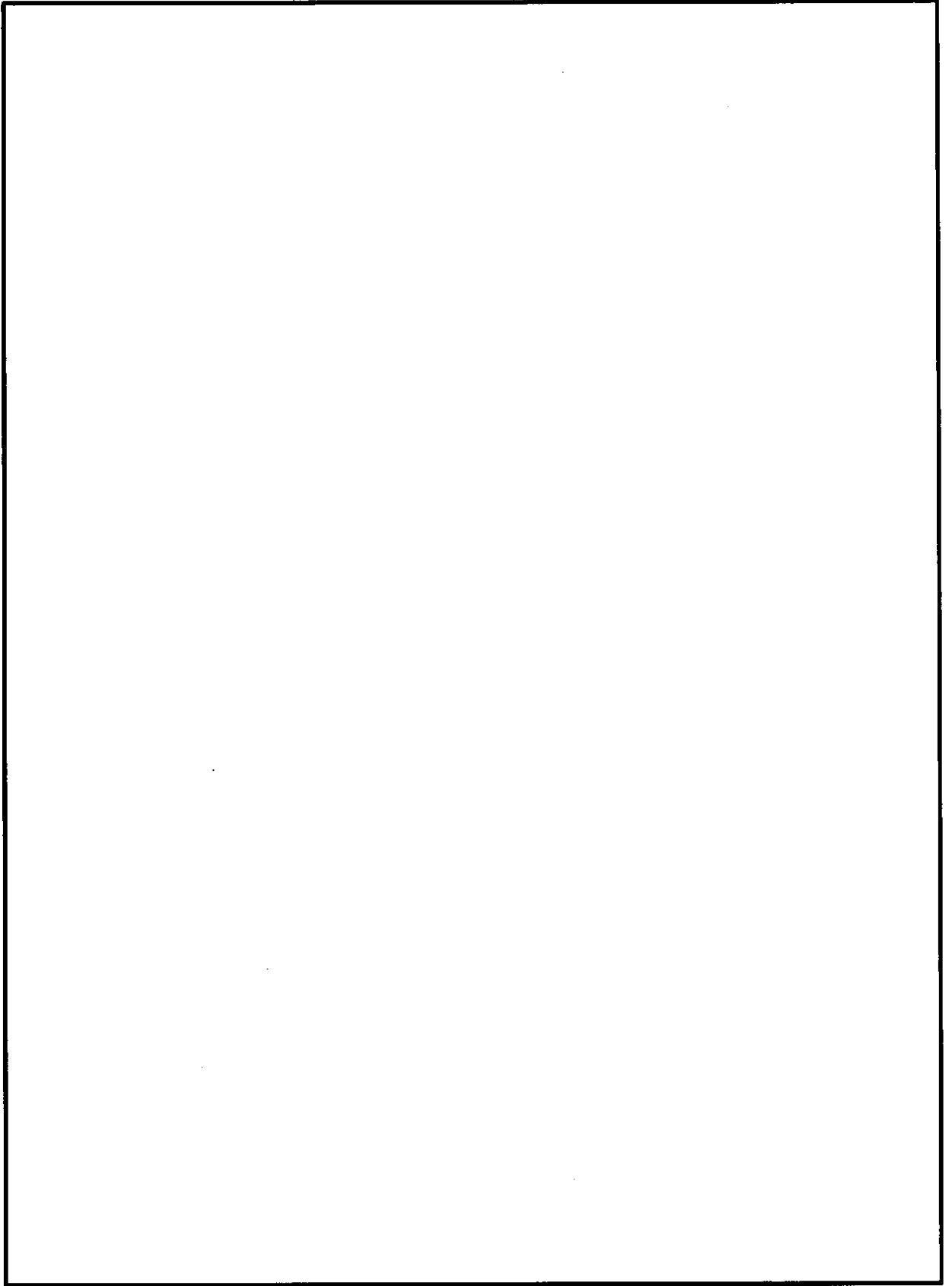
NS方向モデルについて、SFP及びDSPに相当する梁要素は、NS方向のEL. 42.65mの位置に設定する。それらの断面のモデル化では、SFP及びDSPの壁及び底板を含むコの字型状の断面のせん断断面積及び断面2次モーメントが等しい梁要素としてモデル化する。また、それらの拘束については、SFP及びDSPの内部ボックス壁側端部と両サイドに存在する内部ボックス壁の曲げ変形により生じる北端部及び南端部の鉛直変位が同一となるように拘束する。

梁要素に生じる鉛直方向のせん断力( $Q_{SFP}$ ,  $Q_{DSP}$ )は、シェル壁と内部ボックス壁の曲げ剛性の差に伴い生じるせん断力で、NS方向の地震荷重として応力解析に考慮する。

EW方向地震時には、SFP及びDSPの南北方向の材軸に対し、シェル壁と内部ボックス壁の曲げ剛性の差異に伴いねじりが生じる。このねじりを評価するために、せん断力分配解析により、EL. 34.7m～EL. 46.5mのシェル壁及び内部ボックス壁の曲げ変形に伴う回転角を算出する。

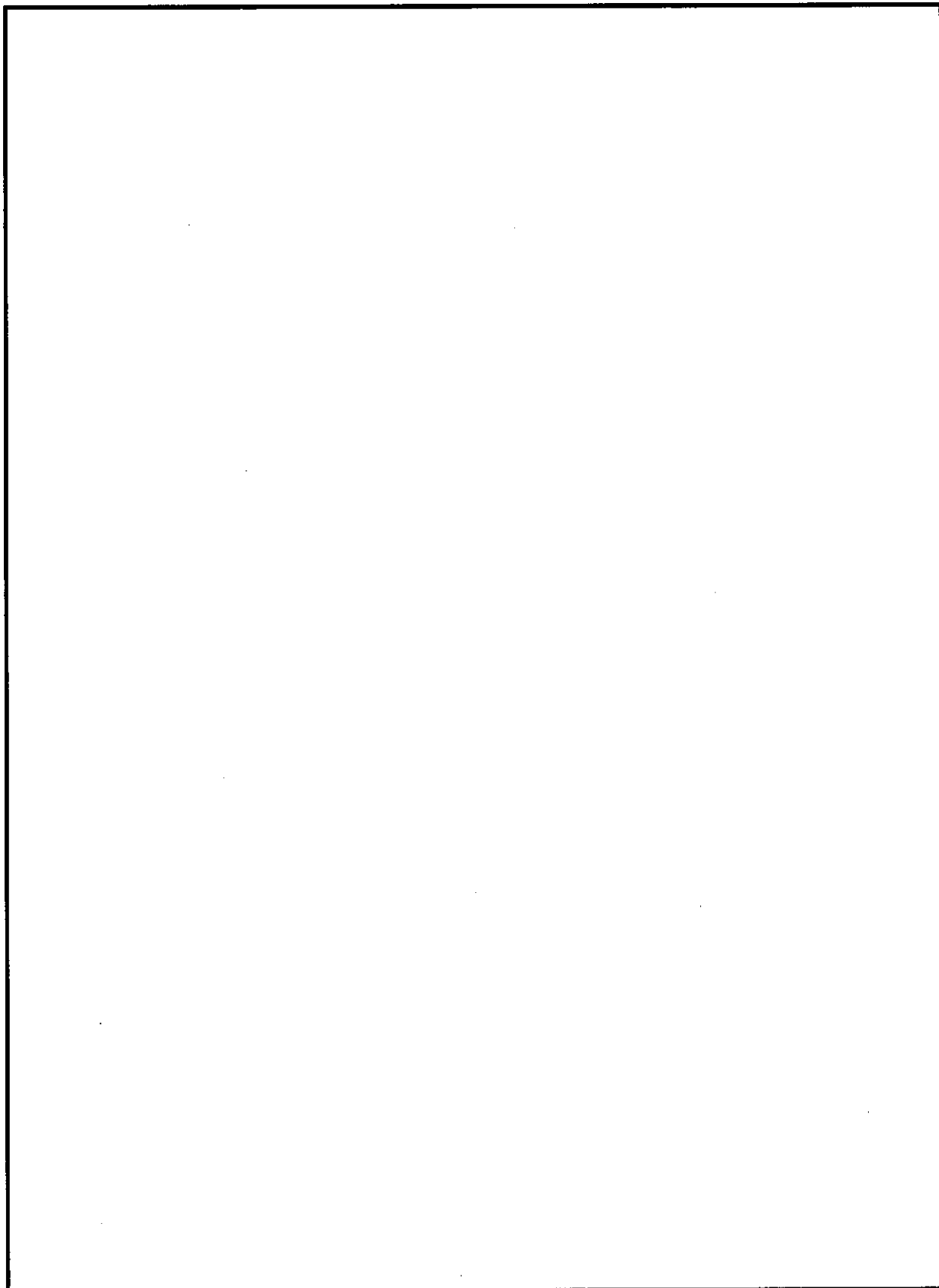
##### (2) 境界条件

せん断力分配解析モデルの各軸の下端を固定とする。



(a) NS 方向モデル

図 3-1 せん断力分配解析モデル (1/2)



(b) EW 方向モデル

図 3-1 せん断力分配解析モデル (2/2)

表 3-1 解析モデル諸元 (1/2)

(a) NS 方向

EL. (m)	せん断断面積 (m <sup>2</sup> )					断面二次モーメント (×10 <sup>3</sup> m <sup>4</sup> )				
	O/W-W	I/W-W	S/W	I/W-E	O/W-E	O/W-W	I/W-W	S/W	I/W-E	O/W-E
63.65										
57.0		13.65		13.65			10.2		10.2	
46.5		13.65		13.65			10.2		10.2	
38.8		21.0	170	21.0			13.3	37.8	13.3	
34.7		28.5	76.0	28.5			20.6	3.8	20.6	
29.0		28.5	86.0	28.5			20.6	4.2	20.6	
20.3	36.0	41.0	100	41.0		8.2	26.4	16.6	26.4	
14.0	36.0	45.5	115	45.5		8.2	27.9	22.3	27.9	
8.2	40.0	68.5	115	68.5	102	9.1	40.4	30.4	40.4	58.2
2.0	102	68.5	123	68.5	102	58.2	40.4	21.2	40.4	58.2
-4.0	102	68.5	123	68.5	102	58.2	40.4	21.6	40.4	58.2

(b) NS 方向 プール壁モデル諸元

	せん断断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (m <sup>4</sup> )
使用済燃料プール	57.8	1380
蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット	25.5	346

表 3-1 解析モデル諸元 (2/2)

(c) EW 方向

EL. (m)	せん断断面積 (m <sup>2</sup> )					断面二次モーメント (×10 <sup>3</sup> m <sup>4</sup> )				
	O/W-S	I/W-S	S/W	I/W-N	O/W-N	O/W-S	I/W-S	S/W	I/W-N	O/W-N
63.65										
57.0		12.75		12.75			9.2		9.2	
46.5		12.75		12.75			9.2		9.2	
38.8		19.5	115	19.5			12.0	10.7	12.0	
34.7		32.5	76.0	32.5			17.3	2.7	17.3	
29.0		32.5	91.0	32.5			17.3	4.1	17.3	
20.3		44.0	96.0	44.0	53.0		23.1	12.1	23.1	14.6
14.0		42.5	104	42.5	35.0		25.1	17.3	25.1	10.1
8.2		64.0	115	64.0	102		36.4	23.8	36.4	50.8
2.0	102	64.0	122	64.0	102	57.4	36.4	20.9	36.4	57.4
-4.0	102	64.0	122	64.0	102	57.4	36.4	21.3	36.4	57.4



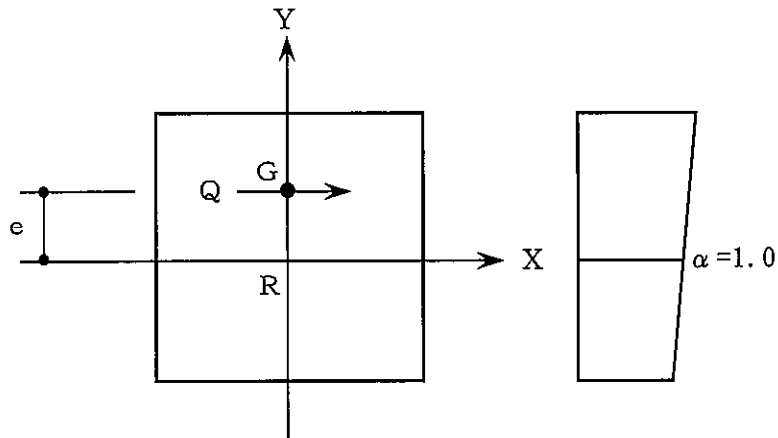
### 3.2.2 地震荷重の算定方法

せん断力分配解析より求まる層せん断力及び曲げモーメントに対し、ねじれ補正係数を乗じて建屋の各部の偏心を評価する。ねじれ補正係数は、次式により算定し、1.0以上とする。

$$\alpha = 1 + \frac{\sum D_x \cdot e}{J_x + J_y} \cdot Y$$

ここで、

- $\alpha$  : ねじれ補正係数
- $J_x$  :  $\sum(D_x \cdot y^2)$
- $J_y$  :  $\sum(D_y \cdot x^2)$
- $D_x$  : X方向の各耐震壁の剛性
- $D_y$  : Y方向の各耐震壁の剛性
- $e$  : 偏心距離
- $G$  : 重心 (層せん断力作用中心)
- $R$  : 剛心
- $Q$  : 層せん断力



NS 方向の地震力のうち、プール壁モデルに生じる応力は、NS 方向のせん断力分配解析モデルの使用済燃料プール及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットに作用する鉛直方向のせん断力として評価する。

EW 方向の地震力のうち、プール壁に生じるねじれは、S/W 軸に対する I/W 軸の相対変形角により評価する。相対変形角は、せん断力分配解析モデルにおけるシェル壁の EL. 34.7 m（応力解析モデルの下端相当）の変形角に対する内部ボックス壁の EL. 38.8 m 及び EL. 46.5 m の相対変形角を平均した値を用いる。相対変形角の算出の概念図を図 3-2 に示す。

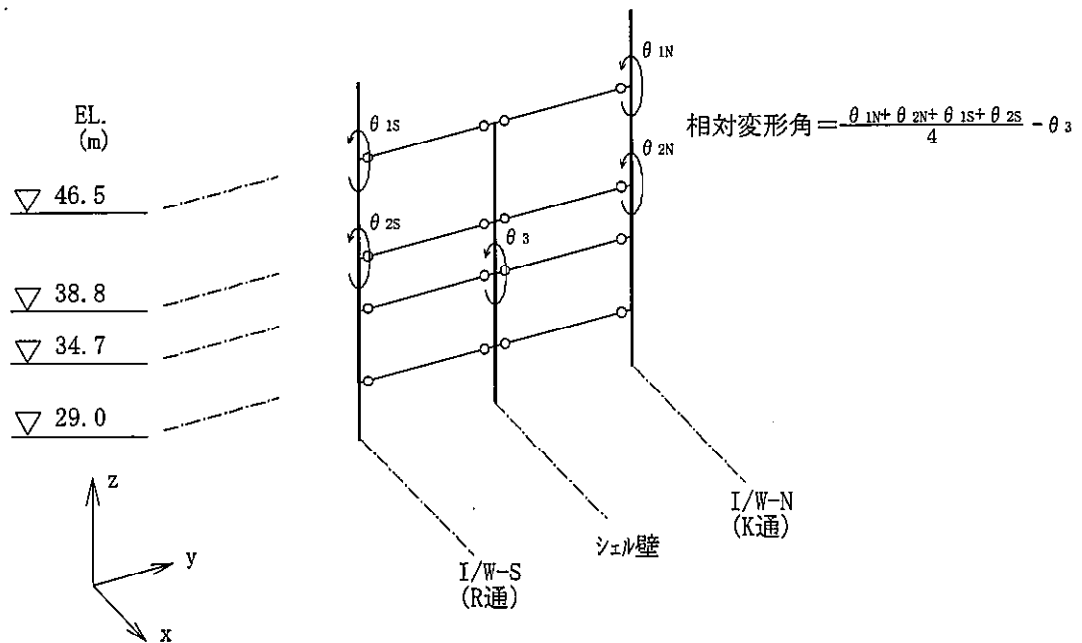


図 3-2 相対変形角の概念図

### 3.3 算定結果

「3.2 評価方法」に基づいて算定した使用済燃料プール部の地震荷重として、 $S_d$ 地震時及び $S_0$ 地震時について、せん断力、曲げモーメント、NS方向地震力によるプール側壁に作用するせん断力及びEW方向地震力によるプール壁に作用するねじりとしてシェル壁と内部ボックス壁の相対変形角を表3-2～表3-4に示す。

表3-3に示すせん断力は、NS方向の地震荷重として応力解析モデルの使用済燃料プール及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットの内部ボックス壁側端部に荷重として作用させる。また、表3-4に示す相対変形角は、EW方向の地震荷重として、応力解析モデルの使用済燃料プール及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットの内部ボックス壁側端部に強制変位として作用させる。

表 3-2 地震荷重 (せん断力及び曲げモーメント)

(a) NS 方向

EL. (m)	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	
	S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時	S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時
46.5	47400	65000	76300	151000
38.8	-1670	-2200	8010	15400

(b) EW 方向

EL. (m)	せん断力 (kN)		曲げモーメント (kN・m)	
	S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時	S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時
46.5	28000	31900	27000	66700
38.8	970	4850	3680	10500

表 3-3 NS 方向地震荷重 (プール壁に作用するせん断力)

部位	せん断力 (kN)	
	S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時
使用済燃料プール	16300	24600
蒸気乾燥器・ 気水分離器ピット	6660	10100

表 3-4 EW 方向地震荷重 (プール壁端部の相対変形角)

相対変形角 ( $\times 10^{-4}$ rad.)	
S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時
0.980	1.33

#### 4. 使用済燃料プール周辺部の検討

使用済燃料プールは、使用済燃料プールの東面及び西面のプール壁がウエル壁に直接支持されているとともに、東面及び西面のプール壁に連続する北側の壁により北側の内部ボックス壁(I/W)に支持されている。また、ウエル壁を挟んで、蒸気発生器・気水分離器ピット(以下「DSP」という。)の壁により南側の内部ボックス壁(I/W)に支持されている。ここでは、使用済燃料プールが周辺部の壁と一体となって地震時の荷重伝達を担っていることから、使用済燃料プールを支持する周辺部の耐震健全性について確認する。

##### 4.1 評価部位

評価部位は使用済燃料プールと一体となって地震時の荷重伝達を担うウエル壁、内南北方向の使用済燃料プールの壁に連続する北側壁及び DSP 壁とする。評価部位を図 4-1 に示す。

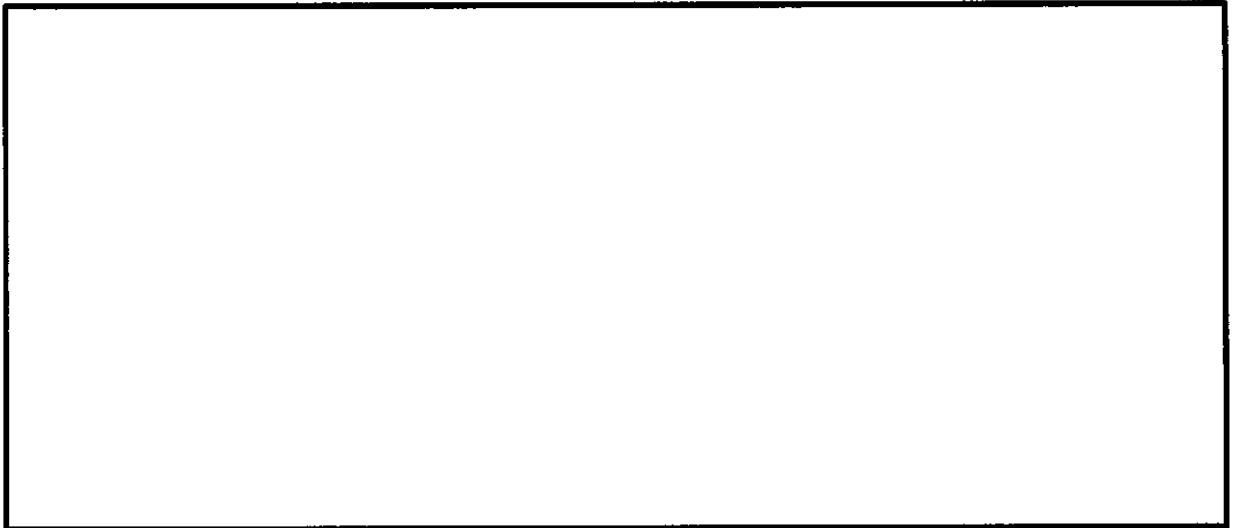


図 4-1 評価部位

#### 4.2 検討条件及び断面の評価方法

解析モデル、荷重及び荷重組合せ並びに断面の評価方法については、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に準ずるものとする。また、評価部位の配筋一覧を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価部位の配筋一覧

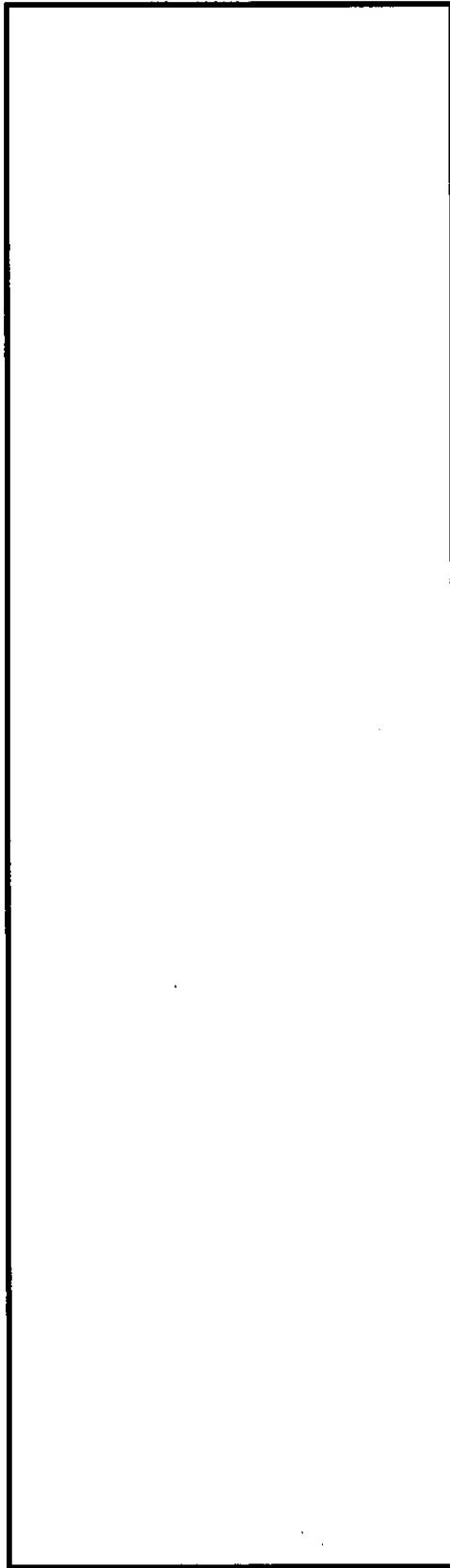
部位	レベル EL. (m)	壁厚 (cm)	配筋	
			縦筋	横筋
北側壁	34.689～ 46.5	215	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
ウェル壁	38.8～ 46.5	242.1	D38@200 2段 内外共	D38@200 2段 内外共
DSP 壁	38.88～ 46.5	140	D35@200 2段 内 D29@200 2段 外	D29@200 2段 内外共

#### 4.3 評価結果

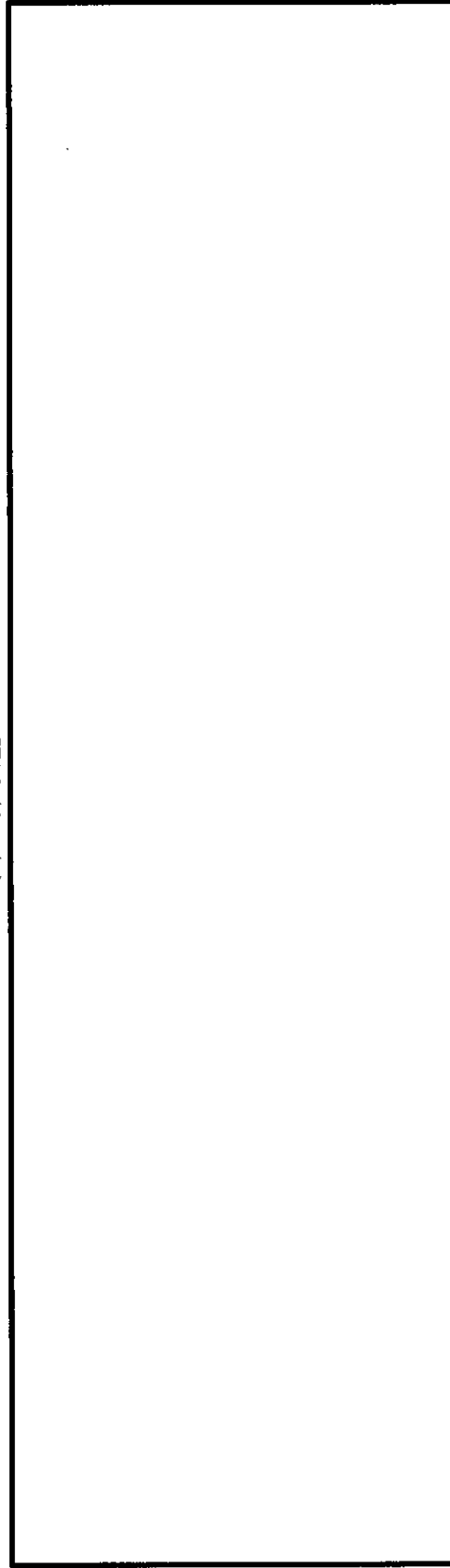
軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートの応力度、面内せん断力並びに面外せん断力に対する評価については、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図 4-2 に、評価結果を表 4-2 に示す。

地震時において、プール部の壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋、面内せん断力並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。



(a) 東側壁



(b) 西側壁

図 4-2 結果を記載する要素の位置

表 4-2 評価結果

		評価項目	要素位置	組合せケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	北側壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1501	2-21	4.32	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1519	1-16	336	345	引張側
	ウエル壁	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1601	2-13	3.86	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1606	2-7	169	345	引張側
	DSP	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )	1699	2-7	2.45	16.5	圧縮側
		鉄筋 (N/mm <sup>2</sup> )	1656	2-8	138	345	引張側
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1012	2-8	1.30	1.61	
	ウエル壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1599	3-7	0.707	2.78	
	DSP	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1699	2-7	1.47	3.37	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1022	2-7	0.524	0.998	
	ウエル壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1094	2-6	0.263	0.729	
	DSP	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1651	2-13	0.824	1.08	



## 5. 温度によるシェル壁の伸びの影響検討

### 5.1 検討概要

温度による影響が最も大きい格納容器内部における重大事故等時の温度上昇に伴うシェル壁の伸びに対する使用済燃料プール壁の検討を実施する。

### 5.2 シェル壁の伸び評価

#### 5.2.1 解析モデル

重大事故等時の温度上昇に伴うシェル壁の伸び量は 3 次元 FEM モデルによる熱応力解析により算定する。モデル化範囲は、原子炉棟の基礎版上端からオペフロまでとし、補足 470-7「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について 別紙 3 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析」に示す「建屋模擬モデル」から基礎盤、付属棟及びオペフロより上部のモデルを取り除いた解析モデルを用い、解析モデル下端 (EL-4.0m) を固定とする。解析モデルを図 5-1 に、材料定数を表 5-1 に示す。

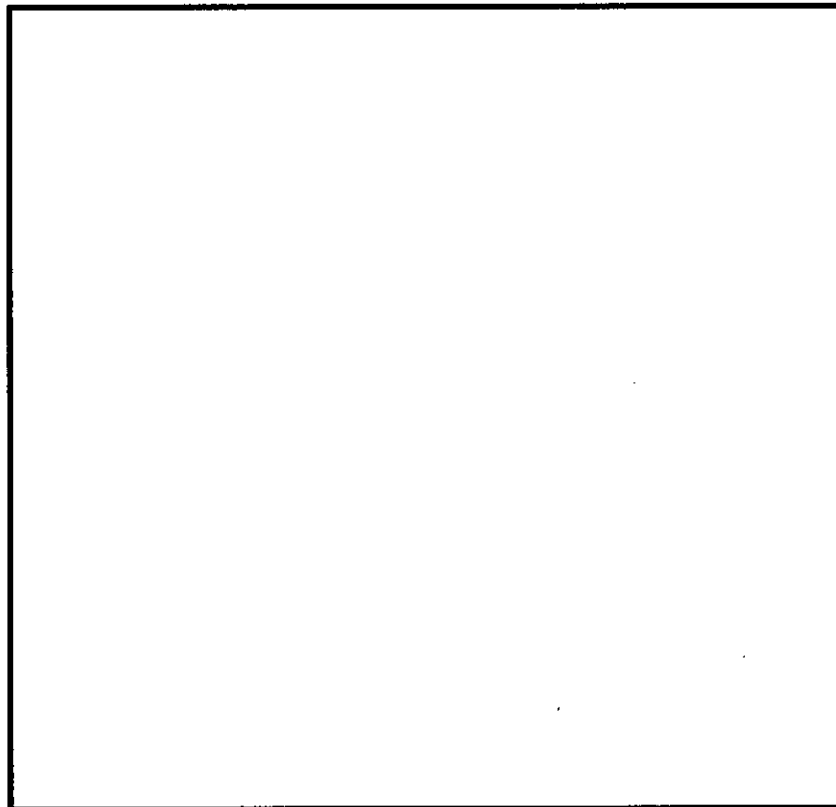


図 5-1 解析モデル (1/2 表示)

表 5-1 材料定数

ヤング係数	$2.21 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2
線膨張係数	$1.0 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$

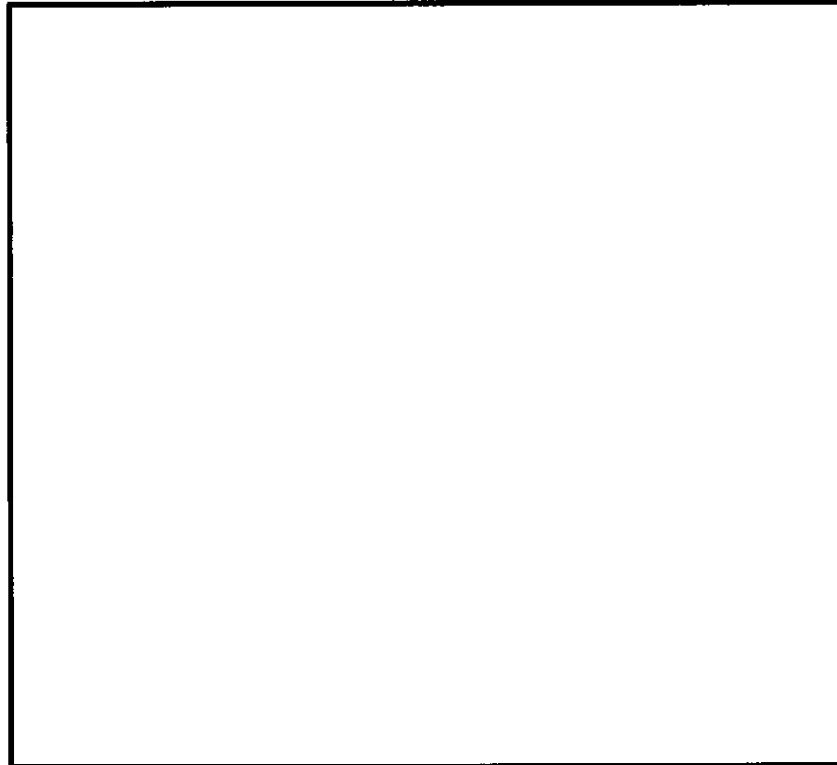
### 5.2.2 温度条件

温度条件はについて、ドライウエル及びサブプレッション・チェンバの温度は、添付書類「V-1-1-4-7-1 設定根拠に関する説明書（原子炉格納容器）」に基づき設定し、原子炉ウエルは、ドライウエルと同じ温度を用いる。その他の部位の温度は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に基づき、冬季及び夏季においてそれぞれ設定する。重大事故等時の雰囲気温度を表 5-2 及び図 5-2 に示す。なお、解析には各壁の平均温度を用いる。

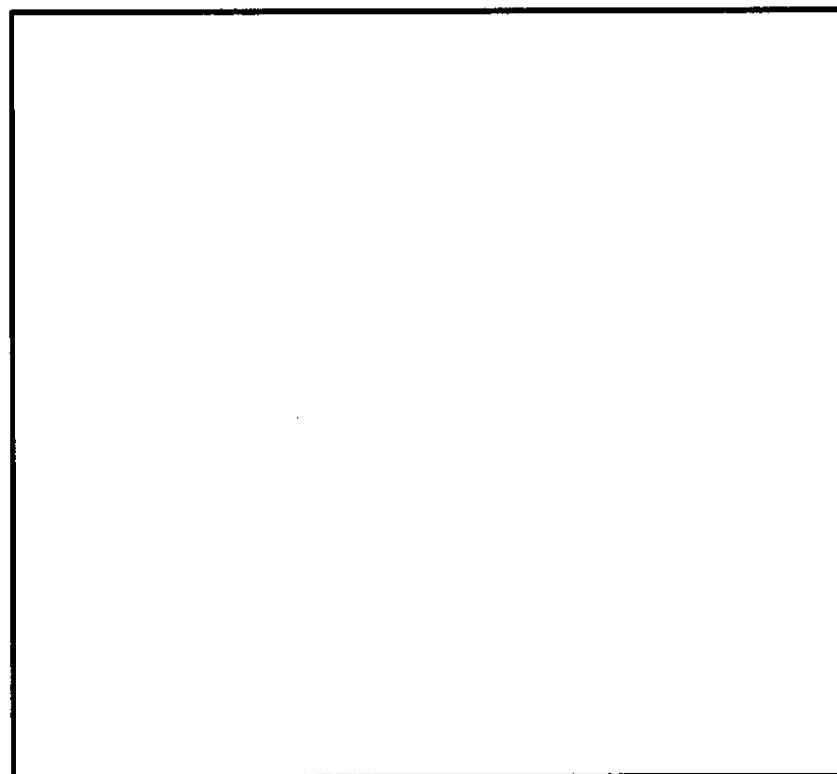
表 5-2 重大事故等時の雰囲気温度

部 位	雰囲気温度 (°C)
使用済燃料プール	52
蒸気乾燥器・気水分離機ピット	10 (40) *
原子炉ウエル	157
ドライウエル	157
サブプレッション・チェンバ	143
原子炉棟 (室温)	10 (40) *
外気温	10 (40) *

注記 \* : カッコ内は夏季の温度を示す。



(a) 冬季



(b) 夏季

図 5-2 重大事故等時の雰囲気温度

### 5.2.3 評価結果

熱応力解析より求めた使用済燃料プール及び蒸気乾燥器・気水分離機ピットに生じる鉛直方向の最大せん断力を表 5-3 に示す。なお、表 5-3 に示すせん断力は図 5-3 に示すように使用済燃料プール及び蒸気乾燥器・気水分離機ピット壁の同一断面上の要素に生じる面内せん断力を合計した値のうち最大値を示している。

表 5-3 最大せん断力

部 位	せん断力 (kN)	
	冬季	夏季
使用済燃料プール	128000	94100
蒸気乾燥器・気水分離機ピット	99900	75600

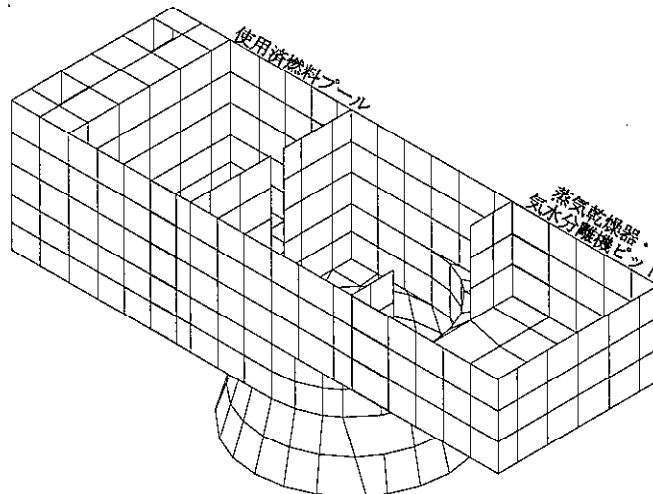


図 5-3 せん断力を合計する要素の例

### 5.3 プール部の検討

使用済燃料プール部の検討は、プール部の応力解析により実施する。応力解析は、プール部の応力解析モデルの端部にあたる内部ボックス壁に表 5-3 に示す鉛直方向のせん断力を作用させ実施する。境界条件及び荷重の入力方法を図 5-4 に示す。

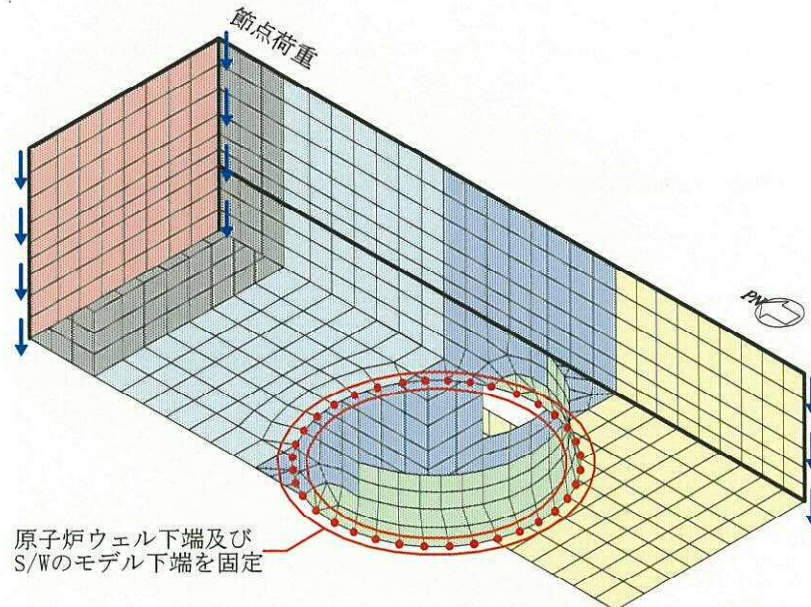


図 5-4 境界条件及び荷重の入力方法

#### 5.3.1 荷重組合せ

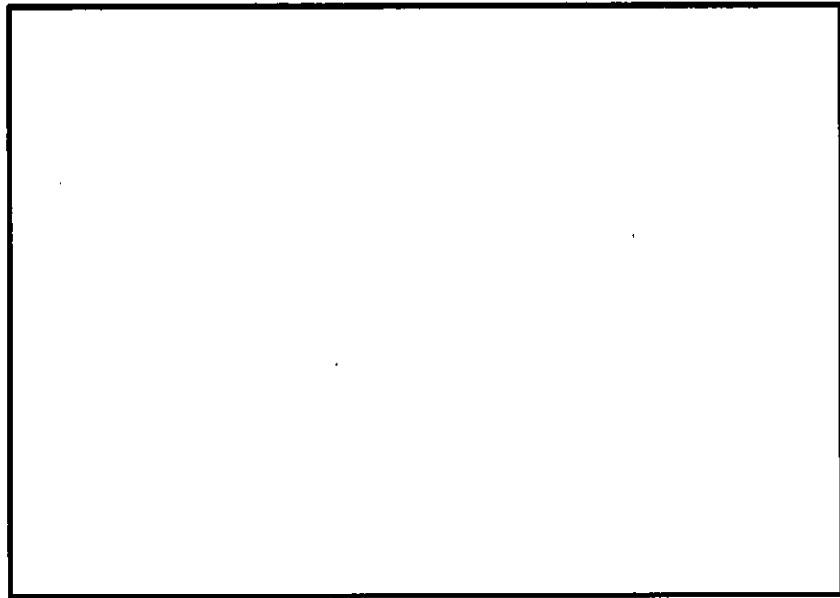
荷重の組合せは、冬季においては表 2-12 に示すケース No. 0-3（通常運転時／冬季）と、夏季においては表 2-12 に示すケース No. 0-4（通常運転時／夏季）と組合せる。なお、シェル壁の伸びに伴う応力は温度応力とし、ひび割れ断面法を用いて断面算定を実施する。

#### 5.3.2 評価結果

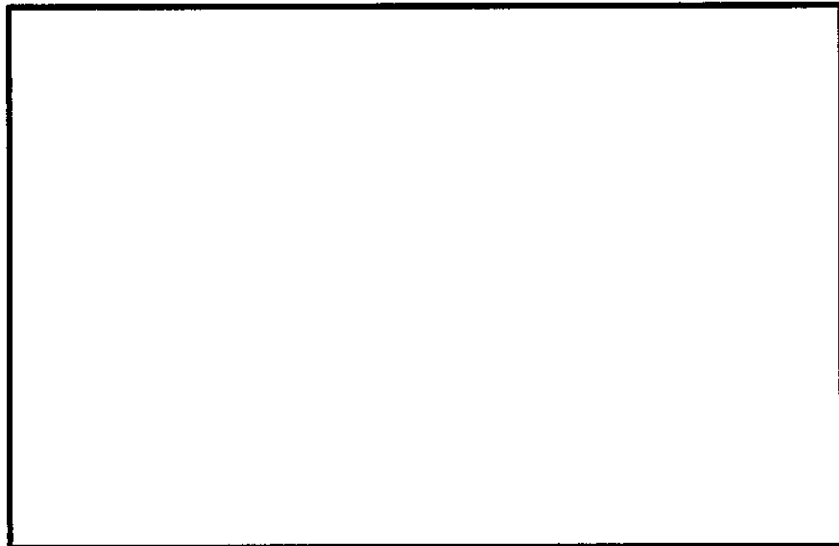
使用済燃料プールの評価結果を表 5-4 に示す。

重大事故等時の温度上昇に伴うシェル壁の伸びに対し、使用済燃料プールの壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、面内せん断力並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

また、底版については、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

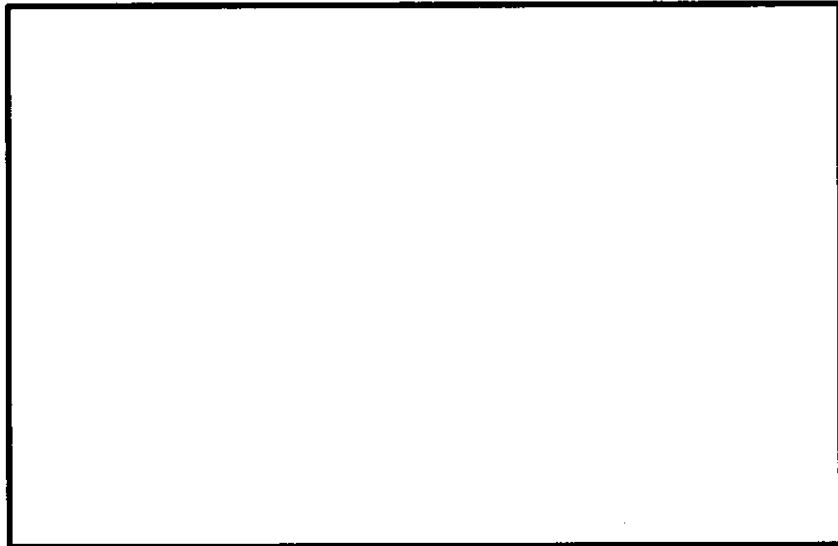


(a) 北側壁

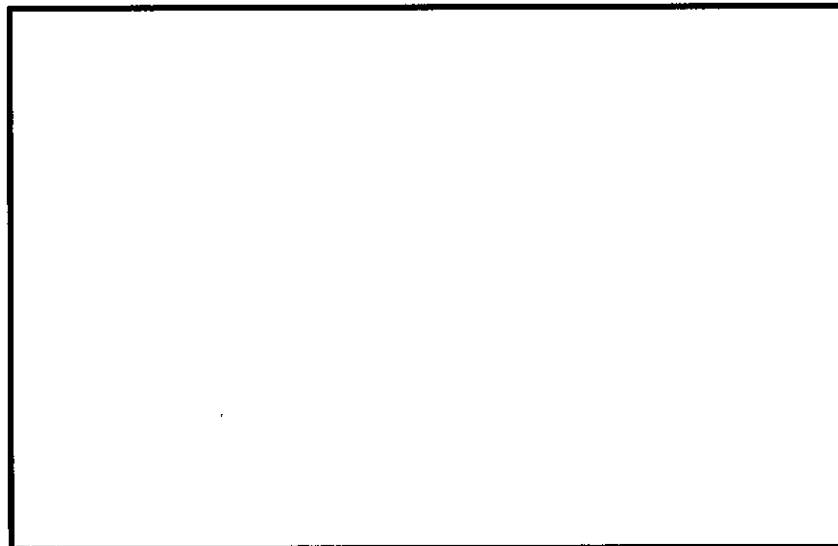


(b) 東側壁

図 5-5 結果を記載する要素の位置 重大事故等時 (1/3)



(c) 南側壁



(d) 西側壁

図 5-5 結果を記載する要素の位置 重大事故等時 (2/3)

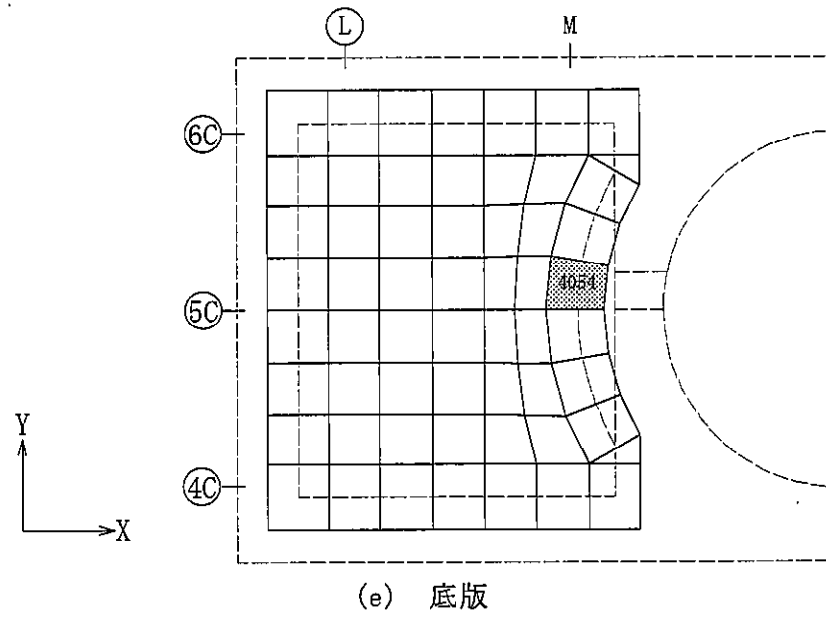


図 5-5 結果を記載する要素の位置 重大事故等時 (2/3)



表 5-4 使用済燃料プールの評価結果

		評価項目	要素位置	ケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート ( $\times 10^{-3}$ )	2250	冬季	0.208	3.00	圧縮側
		鉄筋 ( $\times 10^{-3}$ )	2213	冬季	0.710	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ( $\times 10^{-3}$ )	1582	冬季	0.557	3.00	圧縮側
		鉄筋 ( $\times 10^{-3}$ )	1582	冬季	1.46	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ( $\times 10^{-3}$ )	3056	冬季	0.510	3.00	圧縮側
		鉄筋 ( $\times 10^{-3}$ )	3058	冬季	0.795	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ( $\times 10^{-3}$ )	1082	冬季	0.552	3.00	圧縮側
		鉄筋 ( $\times 10^{-3}$ )	1082	冬季	1.43	5.00	引張側
底版	コンクリート ( $\times 10^{-3}$ )	4054	冬季	0.603	3.00	圧縮側	
	鉄筋 ( $\times 10^{-3}$ )	4054	夏季	0.596	5.00	引張側	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	2205	冬季	0.497	2.44	
	東側壁	面内せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	1577	冬季	1.03	2.23	
	南側壁	面内せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	3058	冬季	2.04	5.17	
	西側壁	面内せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	1077	冬季	1.01	2.12	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	2209	冬季	0.288	1.35	
	東側壁	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	1583	冬季	0.205	0.815	
	南側壁	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	7801	冬季	1.04	2.20	
	西側壁	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	1083	冬季	0.242	0.812	
	底版	面外せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	4054	冬季	1.49	2.55	

注記 \* : 底版については、面内せん断力は考慮しない。

6. 使用済燃料プール底版の面内せん断について

添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に示す使用済燃料プール底版の評価では、CCV 規格に基づき、応力解析モデルの要素に生じる面内せん断力は考慮していない。

ここでは、S s 地震時に生じる床部の面内せん断応力について確認する。底版に生じる各要素の最大面内せん断応力度を図 6-1 に示す。図 6-1 に示すように底版に生じる最大面内せん断応力度は  $0.565 \text{ N/mm}^2$  であり、表 2-10 に示すコンクリートの長期許容応力度 ( $0.711 \text{ N/mm}^2$ ) 以下となっており、S s 地震時に底版に生じる面内せん断応力は十分小さいことを確認した。

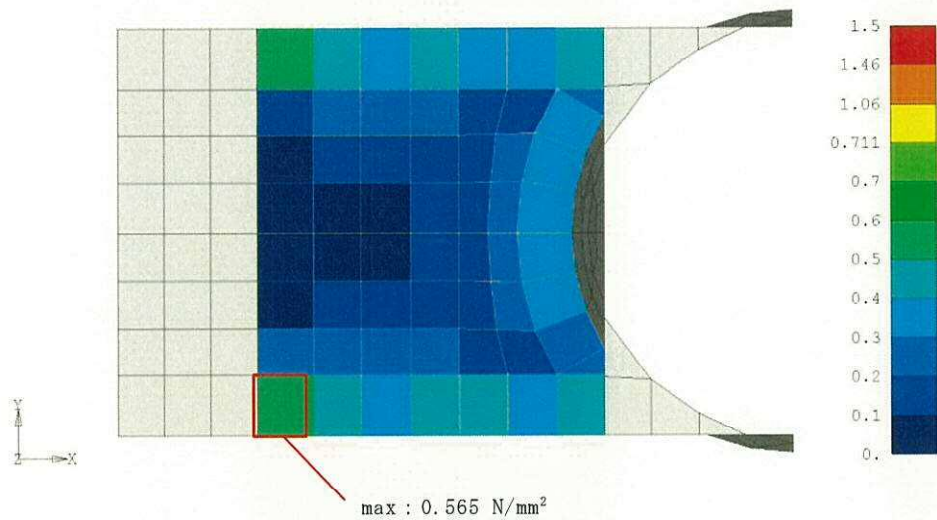


図 6-1 S s 地震時に底版に生じる最大面内せん断応力度

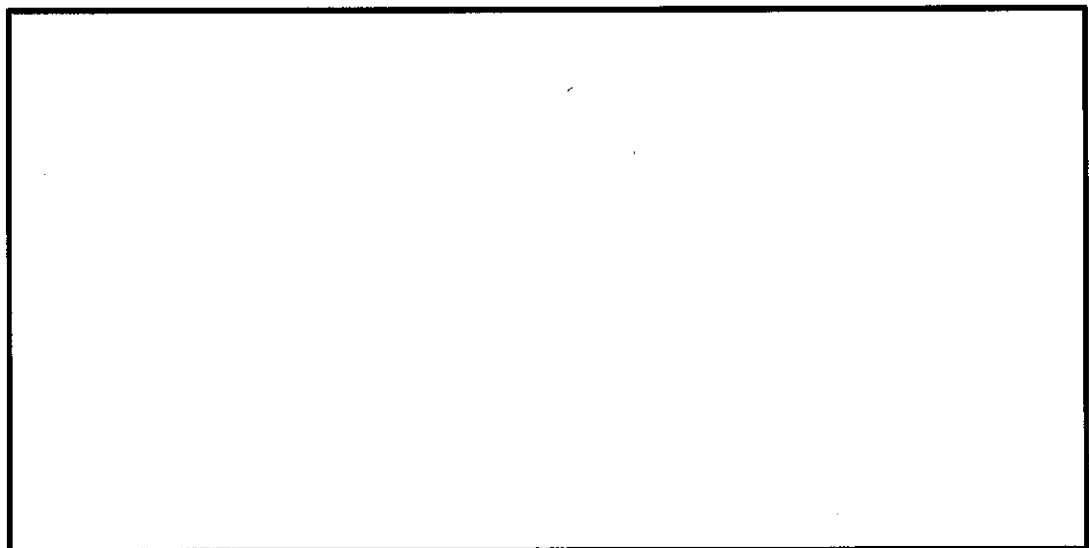
7. 鋼製ライナの評価について

使用済燃料プール内面の鋼製ライナについては、躯体に追従するため、鉄筋コンクリートのひずみを鋼製ライナに生じるひずみと見做して、ひずみの評価を行うことで、耐漏洩機能の確認を行う。

確認結果を表 7-1 に示す。

表 7-1 確認結果

評価項目	ひずみの 最大発生要素	解析結果	許容値
ひずみ	1087	$0.572 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$



8. 使用済燃料の稠密化による重量変更による原子炉建屋の応答への影響検討

8.1 概要

本検討では、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の補足説明として、建設工認時からの使用済燃料の稠密化による重量の変遷及び重量変更による原子炉建屋の応答への影響について確認したものである。

8.2 建設工認時からの稠密化による使用済燃料等の重量変遷

東海第二発電所 工事計画認可申請 第25回申請 (I. 工事計画)及び添付書類「IV-1-2 燃料および制御棒貯蔵設備の耐震性についての計算書」より、建設工認時のラック容量は、燃料集合体1740個分であり、ラック及びプール水を含めた重量は  である。

その後、使用済燃料の稠密化について以下の工事認可申請を行っている。

〔使用済燃料貯蔵ラックの容量等の変更〕

- ・工事計画認可申請：平成3年8月13日(平成3年8月20日認可)
- ・工事計画認可申請：平成5年2月3日(平成5年2月24日認可)
- ・工事計画認可申請：平成6年3月8日(平成6年4月19日認可)

表8-1 建設工認時から増量後の使用済燃料プールの床重量の比較

今回申請において燃料の変更申請はなく、燃料集合体2250個分、ラック及びプール水を含めた重量は2349 tとなる。

建設時からの重量増分は、70 tであり、建屋モデルの総重量の約0.04 %、使用済燃料を含む質点の重量に対し、約0.7 %と小さいことから、今回工認モデル重量には反映していない。

以下に稠密化による重量増分が建屋応答に与える影響について検討する。

表8-1 建設工認時から増量後の使用済燃料プールの床重量の比較

(単位：t)

機器名	建設工認時	増容量後
プール水		
使用済燃料ラック		
使用済燃料		
キャスクほか		
合計		

### 8.3 稠密化による重量増分が建屋応答に与える影響検討

#### 8.3.1 検討方針

使用済燃料の稠密化による重量増分が原子炉建屋の応答に与える影響を検討するため、原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響を考慮したモデル（以下「補強反映モデル」という。）と補強反映モデルにさらに使用済燃料の稠密化による重量増分を考慮したモデル（以下「稠密化反映モデル」という。）の諸元及び地震応答解析結果を比較する。

影響検討は、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。

#### 8.3.2 検討条件

##### (1) 燃料稠密化による増加重量

補強反映モデル及び稠密化反映モデルの振動諸元を表 8-2 に示す。なお、使用済燃料の稠密化による地震応答解析モデルの振動諸元の変更箇所は質点番号 4 の質点重量のみである。

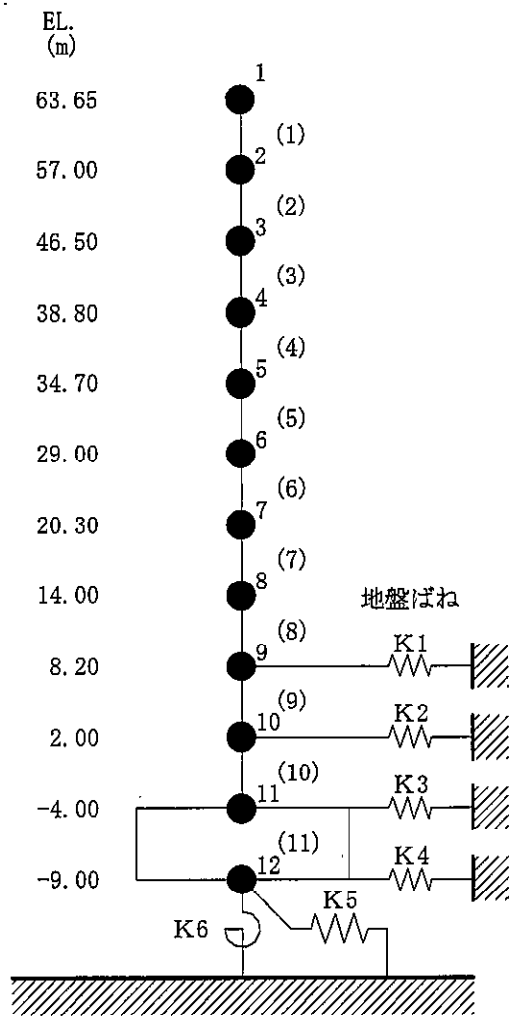
表 8-2 増加重量と使用済燃料の稠密化後の振動諸元

標高 EL. (m)	質点 番号	補強反映モデル			増加重量 (kN)	稠密化反映モデル		
		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	17910	56.7	49.5	0	17910	56.7	49.5
46.50	3	67940	121.4	105.6	0	67940	121.4	105.6
38.80	4	98460	163.9	101.2	690	99150	163.9	101.2
34.70	5	85220	115.6	70.3	0	85220	115.6	70.3
29.00	6	125380	357.5	256.8	0	125380	357.5	256.8
20.30	7	164920	498.0	554.2	0	164920	498.0	554.2
14.00	8	237120	728.7	788.2	0	237120	728.7	788.2
8.20	9	202660	908.2	901.9	0	202660	908.2	901.9
2.00	10	222250	838.2	836.5	0	222250	838.2	836.5
-4.00	11	440910	1731.5	1718.9	0	440910	1731.5	1718.9
-9.00	12	275090	1081.4	1073.5	0	275090	1081.4	1073.5
総重量		1953730			690	1954420		

## (2) 燃料稠密化による増加重量

水平方向の地震応答解析モデルを図 8-1 に、地盤ばね定数を表 8-3 及び表 8-4 に示す。鉛直方向の地震応答解析モデルを図 8-2 に、地盤ばね定数を表 8-5 に示す。地盤ばね定数については、重量の増加が小さく、地盤-建屋連成系の 1 次固有振動数に有意な差が生じないため、補強反映モデル及び稠密化反映モデルで同値を用いる。

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、今回工認評価に用いている質点系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 8-1 地震応答解析モデル (水平方向)

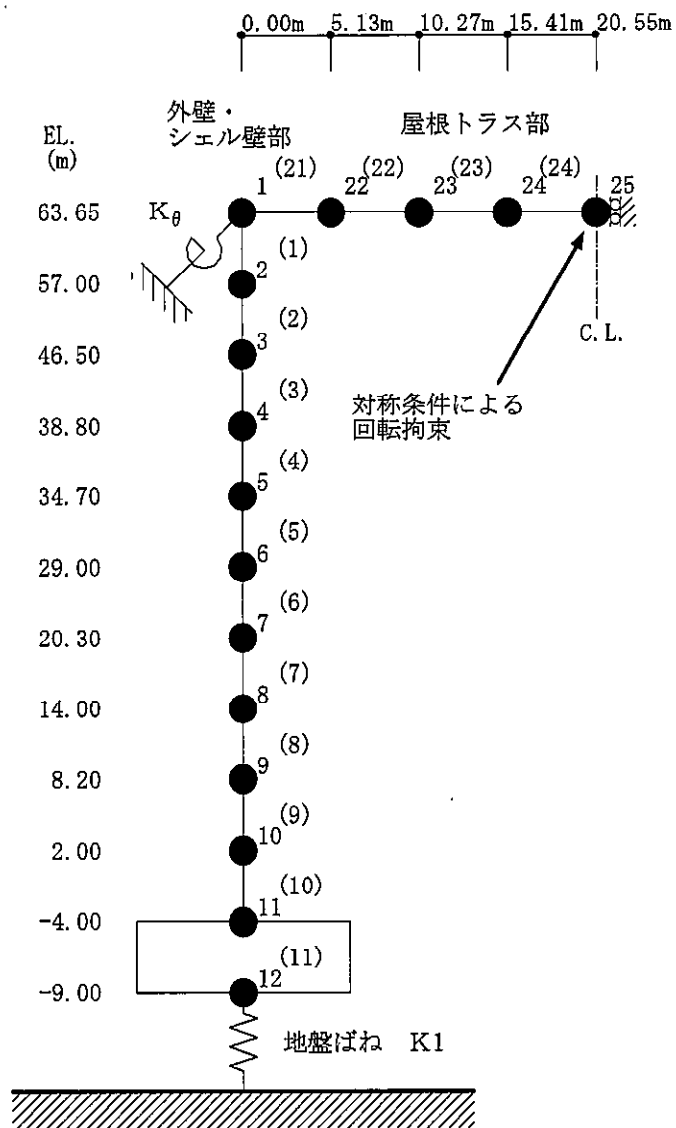
表 8-3 地盤ばね定数と減衰係数 (S<sub>s</sub>-D1, NS 方向)

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	5.46×10 <sup>5</sup> (kN/m)	2.48×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K2	側面・水平	1.22×10 <sup>6</sup> (kN/m)	4.20×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64×10 <sup>6</sup> (kN/m)	9.07×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92×10 <sup>7</sup> (kN/m)	8.69×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K5	底面・水平	6.41×10 <sup>7</sup> (kN/m)	3.44×10 <sup>6</sup> (kN・S/m)
K6	底面・回転	9.26×10 <sup>10</sup> (kN・m/rad)	1.58×10 <sup>9</sup> (kN・m・s/rad)

表 8-4 地盤ばね定数と減衰係数 (S<sub>s</sub>-D1, EW 方向)

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	5.46×10 <sup>5</sup> (kN/m)	2.46×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K2	側面・水平	1.22×10 <sup>6</sup> (kN/m)	4.21×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64×10 <sup>6</sup> (kN/m)	9.05×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92×10 <sup>7</sup> (kN/m)	8.68×10 <sup>5</sup> (kN・S/m)
K5	底面・水平	6.42×10 <sup>7</sup> (kN/m)	3.45×10 <sup>6</sup> (kN・S/m)
K6	底面・回転	9.17×10 <sup>10</sup> (kN・m/rad)	1.56×10 <sup>9</sup> (kN・m・s/rad)





- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ ( ) 内は要素番号を示す。

図 8-2 地震応答解析モデル (UD 方向)

表 8-5 地盤ばね定数と減衰係数 (UD 方向,  $S_s - D1$ )

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)

## 8.4 検討結果

### 8.4.1 固有値解析結果

「稠密化考慮モデル」及び「補強反映モデル」の固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 8-6 に示す。

使用済燃料の稠密化による重量増の影響は微小であり，固有値解析結果は「補強反映モデル」とほぼ同程度となることを確認した。

表 8-6 固有値解析結果 (S s - D 1)

(a) NS 方向

次 数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	補強反映モデル	稠密化 反映モデル	補強反映モデル	稠密化 反映モデル
1	0.413	0.413	2.42	2.42
2	0.203	0.203	4.93	4.93
3	0.105	0.105	9.51	9.50
4	0.086	0.086	11.66	11.65
5	0.064	0.064	15.51	15.51
6	0.053	0.053	18.96	18.95

(b) EW 方向

次 数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	補強反映モデル	稠密化 反映モデル	補強反映モデル	稠密化 反映モデル
1	0.415	0.415	2.41	2.4
2	0.203	0.203	4.93	4.93
3	0.108	0.108	9.22	9.22
4	0.087	0.087	11.49	11.48
5	0.065	0.065	15.40	15.40
6	0.051	0.051	19.52	19.52

(c) UD 方向

次 数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	補強反映モデル	稠密化 反映モデル	補強反映モデル	稠密化 反映モデル
1	0.399	0.399	2.50	2.50
2	0.275	0.275	3.63	3.63
3	0.093	0.093	10.79	10.79
4	0.060	0.060	16.58	16.56
5	0.057	0.057	17.64	17.64
6	0.048	0.048	20.70	20.70

#### 8.4.2 最大応答値

基準地震動 S s - D 1 による最大応答値図を図 8-3～図 8-13 に示す。

「稠密化反映モデル」の最大値は、「補強反映モデル」の結果とほぼ同程度であることを確認した。

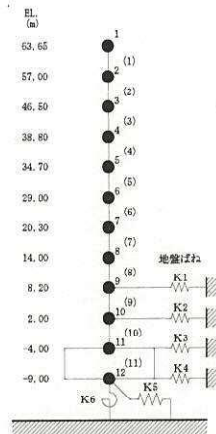
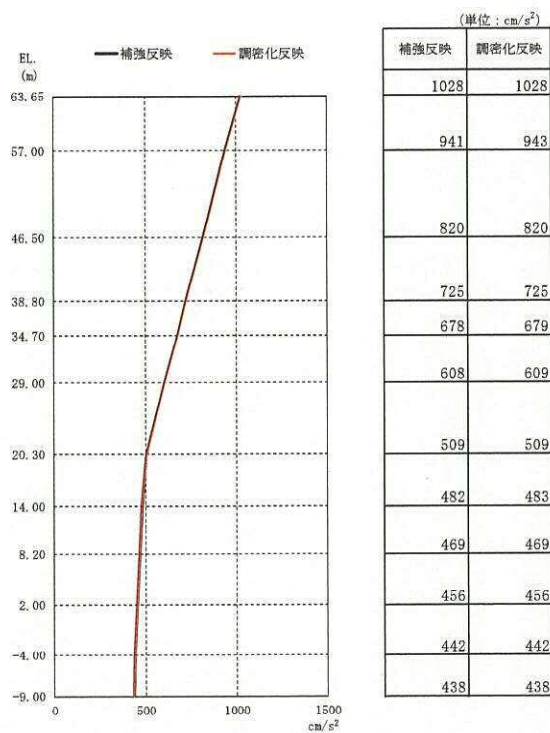


图 8-3 最大応答加速度 (S s - D 1, NS 方向)

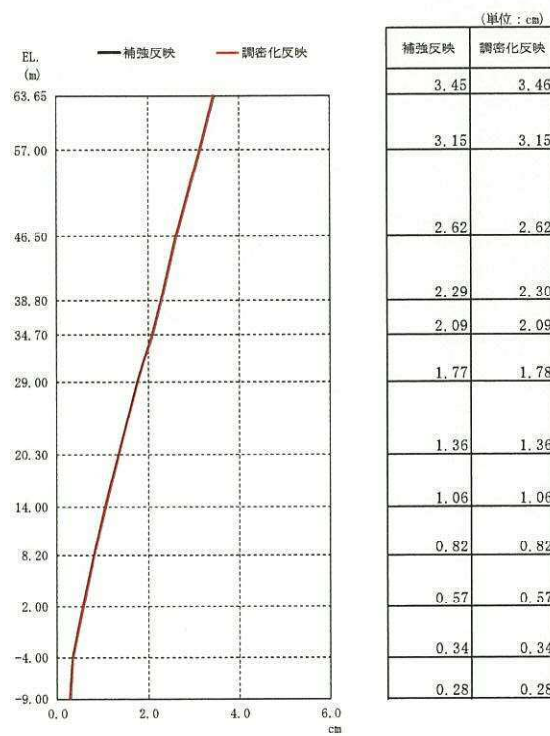
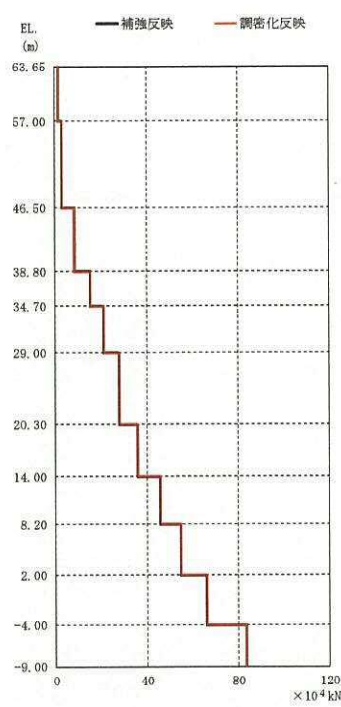


图 8-4 最大応答変位 (S s - D 1, NS 方向)



(単位:  $\times 10^4$  kN)

補強反映	調査化反映
1.64	1.64
3.32	3.33
8.45	8.47
15.6	15.6
21.4	21.5
28.2	28.3
36.0	36.0
46.1	46.2
55.2	55.3
66.3	66.4
83.6	83.6

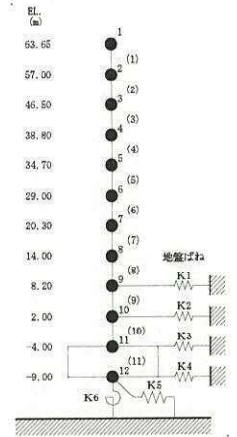
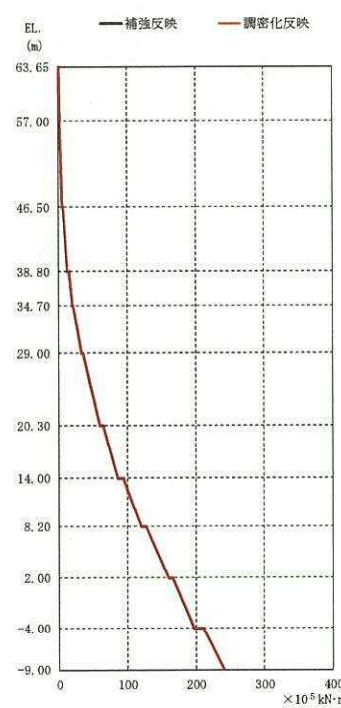


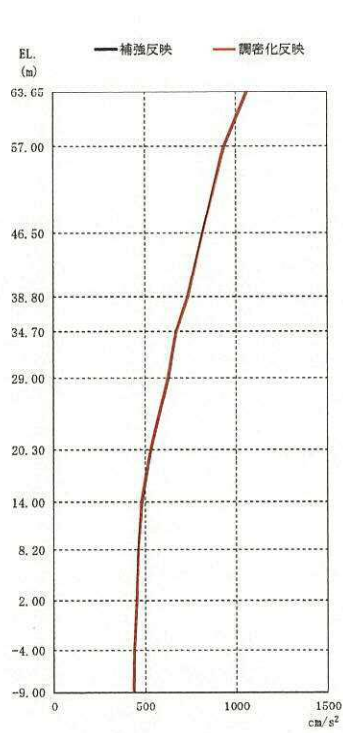
図 8-5 最大応答せん断力 (S s - D 1, NS 方向)



(単位:  $\times 10^5$  kN-m)

補強反映	調査化反映
0.575	0.575
1.50	1.50
2.40	2.40
5.50	5.51
7.08	7.08
13.0	13.0
14.8	14.8
20.5	20.5
21.7	21.8
33.0	33.0
35.8	35.9
60.3	60.4
64.6	64.6
87.2	87.2
93.8	93.9
121	121
128	128
160	160
166	167
198	198
211	211
241	241

図 8-6 最大応答曲げモーメント (S s - D 1, NS 方向)



(單位:  $\text{cm/s}^2$ )

補強反映	調密化反映
1063	1062
936	935
822	821
737	735
673	672
627	629
533	532
483	483
468	468
456	456
443	443
438	438

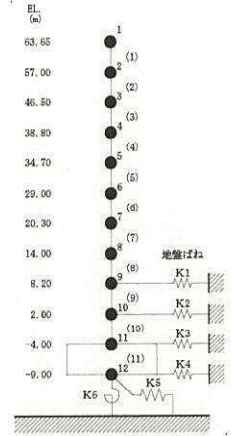
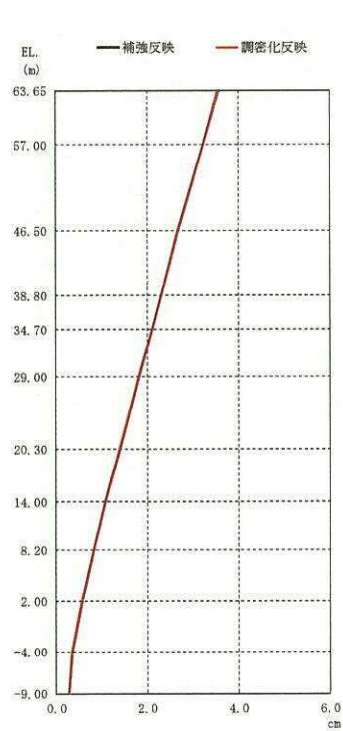


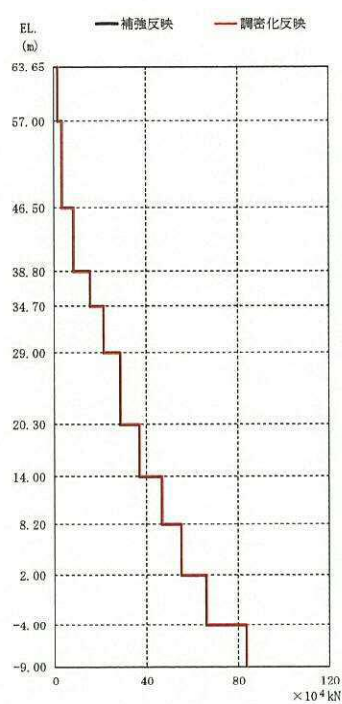
图 8-7 最大応答加速度 (S s - D 1, EW 方向)



(單位: cm)

補強反映	調密化反映
3.56	3.57
3.24	3.25
2.67	2.68
2.32	2.32
2.12	2.12
1.82	1.82
1.41	1.41
1.09	1.09
0.83	0.83
0.57	0.57
0.35	0.36
0.29	0.29

图 8-8 最大応答変位 (S s - D 1, EW 方向)



(単位:  $\times 10^4$  kN)

補強反映	調密化反映
1.73	1.73
3.45	3.44
8.55	8.54
15.9	15.9
21.8	21.8
29.0	29.1
37.3	37.4
47.0	47.0
55.4	55.5
66.4	66.5
83.6	83.7

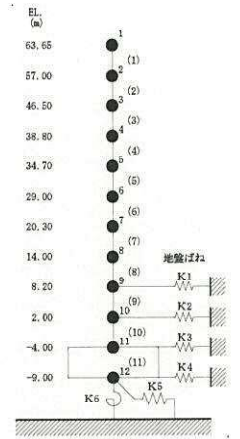
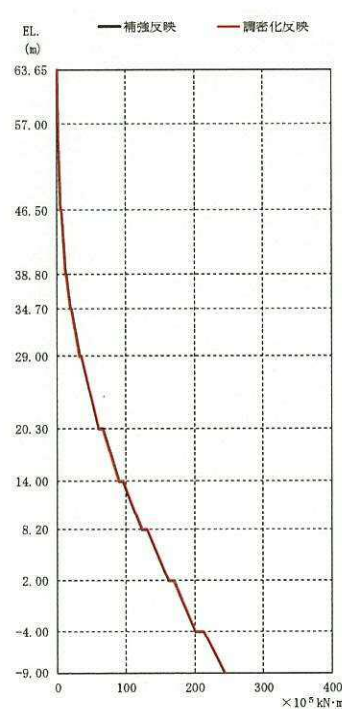


図 8-9 最大応答せん断力 (S s - D 1, EW 方向)

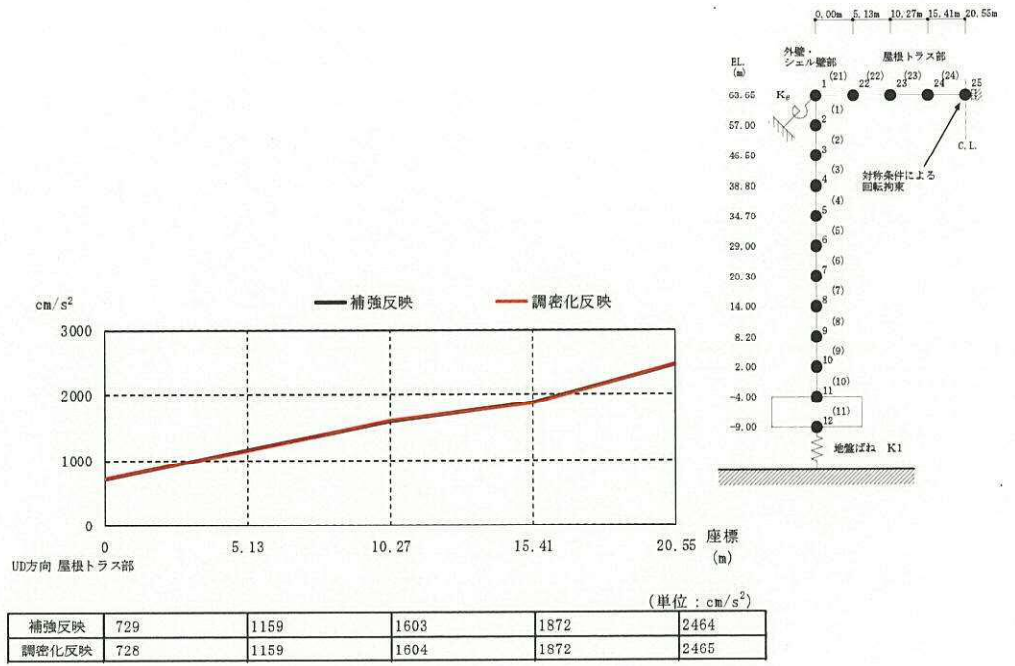


(単位:  $\times 10^5$  kN·m)

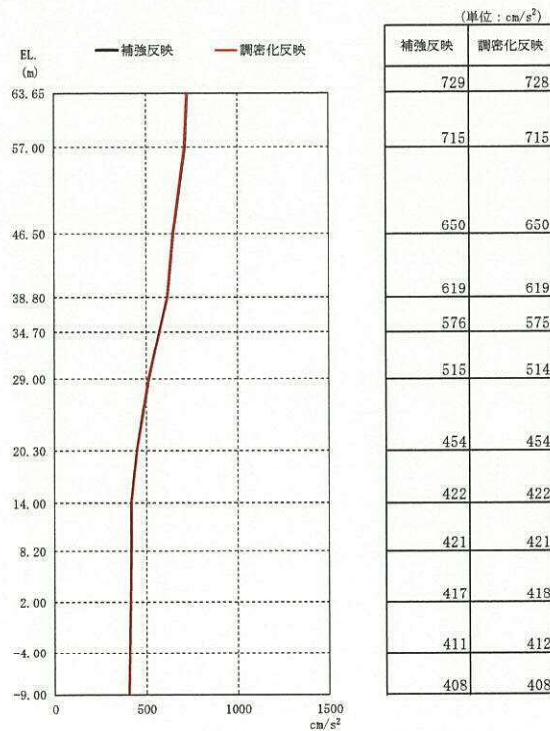
補強反映	調密化反映
0.532	0.532
1.49	1.49
2.32	2.32
5.58	5.57
6.92	6.92
12.7	12.7
13.8	13.8
20.1	20.1
20.9	20.9
33.1	33.2
36.0	36.0
61.3	61.3
66.9	67.0
89.8	89.8
96.8	96.9
124	124
132	132
163	163
170	170
202	202
214	214
244	244

図 8-10 最大応答曲げモーメント (S s - D 1, EW 方向)



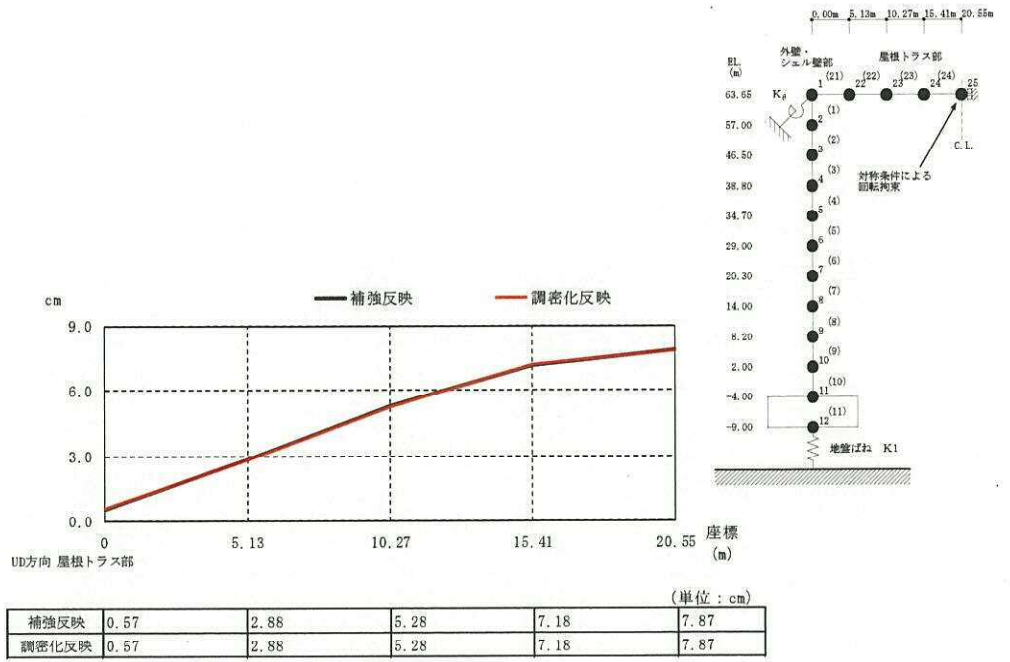


(a) 屋根トラス部

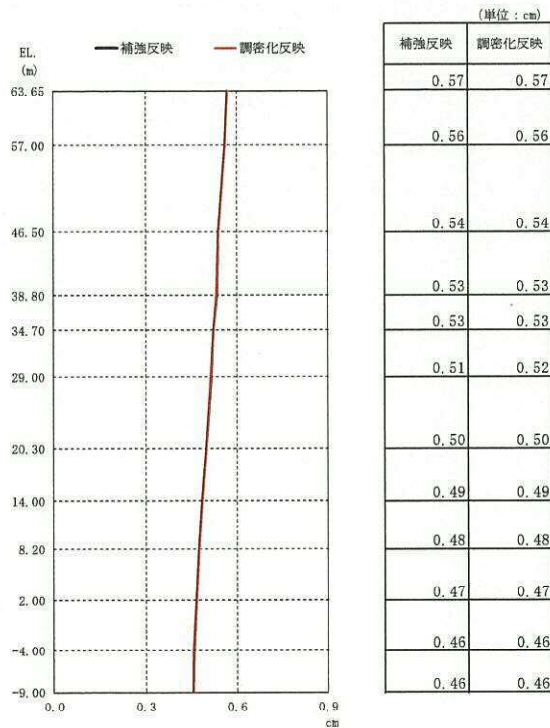


(b) 外壁及びシェル部

図 8-11 最大応答加速度 ( $S_s - D1$ , UD 方向)



(a) 屋根トラス部



(b) 外壁及びシェル部

図 8-12 最大応答変位 ( $S_s - D 1$ , UD 方向)

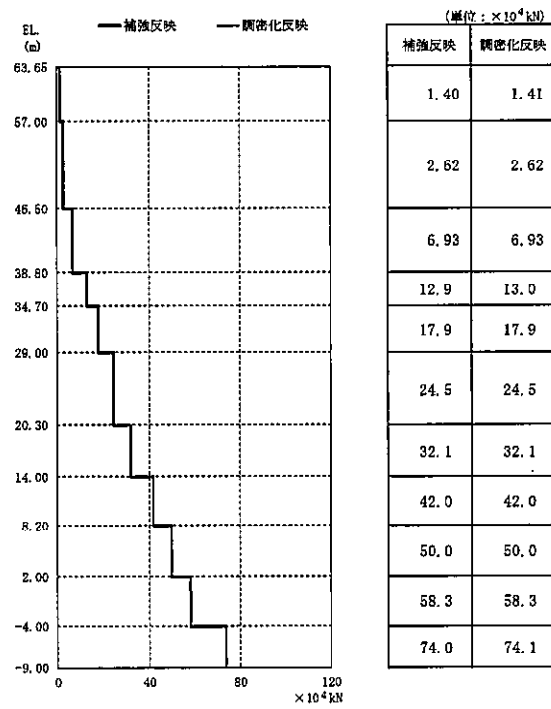
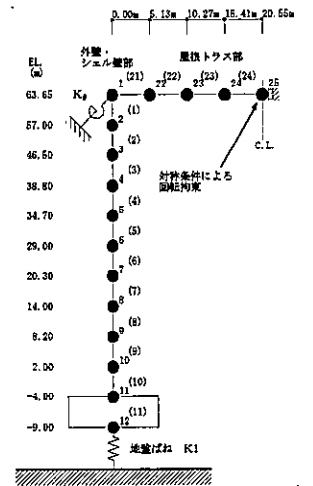


図 8-13 最大応答軸力 ( $S_s - D 1$ , UD 方向)

## 8.5 まとめ

使用済燃料の稠密化による重量増分が原子炉建屋の応答に与える影響を検討するため、「補強反映モデル」と「稠密化反映モデル」の地震応答解析結果を比較した結果、補強反映モデルの建屋応答に及ぼす影響が無いことを確認した。

## 9. 使用済燃料プール壁における面内せん断力及び面外せん断力の許容値について

### 9.1 概要

添付書類「V-4-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」では、使用済燃料プールの壁の面内せん断力及び面外せん断力に対する評価において、発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（(社)日本機械学会，2003）（以下「CCV規格」という。）のシェル部評価式を用いることの妥当性について確認する。妥当性の確認は、CCV規格のシェル部評価式と原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社)日本建築学会，2005）（以下「RC-N規準」という。）に基づく評価式の許容値の比較により行う。

### 9.2 面内せん断力について

以下にRC-N規準とCCV規格の面内せん断に対する許容値の評価式を示す。両式を比較すると、直交する各方向のせん断補強筋比が異なるとき、RC-N規準については鉄筋比の小さい方向の値を用いるため、発生する膜応力度によっては、RC-N規準の許容値がCCV規格の許容値を下回る場合がある。

直交する各方向のせん断補強筋比が異なる断面について、膜応力度を無視した場合のCCV規格の許容値に対するRC-N規準の許容値の比率を求め、 $S_d$ 地震時及び $S_s$ 地震時の検定比がその比率以上の裕度を有していることを確認する。

鉄筋の許容応力度を表 9-1 に、各断面の配筋一覧を表 9-2 に、評価結果を表 9-3 に示す。 $S_d$ 地震時及び $S_s$ 地震時の検定比は、各壁における最大値を記載する。 $S_d$ 地震時及び $S_s$ 地震時の検定比がCCV規格の許容値に対するRC-N規準の許容値の比率以上の裕度を有していることを確認した。

なお、CCV規格における面内せん断力の扱いとして、トップスラブ部および底部は、平板スラブであるため、一般的には面内せん断力は小さい場合が多い。しかし、平板スラブと平板スラブ上の水平力を受ける鉛直部材が接合する部分のように、構造形態によっては部分的に大きな面内せん断力が生じる場合も考えられる。その場合は、日本建築学会 RC 規準(1999) (19条 耐震壁) の考え方を準用することができる。

#### 【RC-N規準における付帯ラーメンのない耐震壁の許容水平せん断力】

$$Q_A = r p_s A_e s f_t$$

ここで、

$r$  : 開口に対する低減率

$$r = \min \left( \begin{array}{l} 1 - \frac{l_0}{l_w} \\ 1 - \sqrt{\frac{h_0 l_0}{h_w l_w}} \end{array} \right)$$

$t$  : 壁板の厚さ

- $l_w$  : 壁板の長さ  
 $h_w$  : 壁板周辺のスラブ中心間距離  
 $l_0$  : 開口部の長さ  
 $h_0$  : 開口部の高さ  
 $p_s$  : 壁板の直交する各方向のせん断補強筋比のうち小さいほうの値  
 $A_e$  : 耐震壁のせん断力に対抗する有効な断面積でウェブ壁部分の断面積をとる。  
 $A_e = t l_w$   
 $f_t$  : 壁筋のせん断補強筋用短期許容引張応力度

【CCV規格における荷重状態IVの面内せん断応力度に対する許容値】

$$\tau_u = 0.5 \{ (p_{t\phi} \cdot f_y - \sigma_{0\phi}) + (p_{t\theta} \cdot f_y - \sigma_{0\theta}) \}$$

ここで、

- $p_{t\phi}$  : 子午線方向主筋の鉄筋比  
 $p_{t\theta}$  : 円周方向主筋の鉄筋比  
 $\sigma_{0\phi}$  : 外力による子午線方向の膜応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)  
 $\sigma_{0\theta}$  : 外力による円周方向の膜応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)  
 $f_y$  : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

表 9-1 鉄筋の許容応力度

外力の状態	SD345*
	引張及び圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )
S <sub>d</sub> 地震時 S <sub>d</sub> 地震時+温 度 S <sub>s</sub> 地震時	345

注記 \* : 建設当時の鉄筋の種類は SD35 である  
が現在の規格 (SD345) に読み替えた許  
容応力度を示す。

表 9-2 各断面の配筋一覧

部位	レベル EL. (m)	壁厚 (cm)	配筋				鉄筋量 (m <sup>2</sup> /m)	
			縦筋		横筋		縦筋	横筋
北側壁	34.689~ 39.191	200	D35@200 2段 内外	D29@200 2段 内外	共	0.01599	0.01285	
			D29@200 2段 内外					
東側壁	34.689~ 39.191	215.4	D35@200 2段 内外	D29@200 2段 内外	共	0.01599	0.01285	
			D29@200 2段 内外					
西側壁	34.689~ 39.191	215.4	D35@200 2段 内外	D29@200 2段 内外	共	0.01599	0.01285	
			D29@200 2段 内外					
西側壁	43.198~ 46.5	137.2	D29@200 2段 内外	D29@150 2段 内外	共	0.01285	0.01713	

表 9-3 各断面の評価結果

部位	レベル EL. (m)	RC-N規準		CCV規格			許容値 の比率*2	検定比	
		鉄筋比 (%)	許容値*1	鉄筋比 (%)		許容値		S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時
				縦筋	横筋				
北側壁	34.689 ~ 39.191	0.642	2.21	0.800	0.642	2.49	0.891	0.343	0.345
東側壁	34.689 ~ 39.191	0.596	2.06	0.742	0.596	2.31	0.892	0.553	0.605
西側壁	34.689 ~ 39.191	0.596	2.06	0.742	0.596	2.31	0.892	0.573	0.625
西側壁	43.198 ~ 46.5	0.936	3.23	0.936	1.249	3.77	0.857	0.573	0.625

注記 \*1 : RC-N規準の許容値は単位面積あたりの許容水平せん断力とする。

\*2 : CCV規格に対するRC-N規準の許容値の比率。

### 9.3 面外せん断力について

以下にRC-N規準とCCV規格の面外せん断に対する許容値の評価式を示す。

表 9-4 に示す主筋の鉄筋比が最小の断面及び最大の断面を代表断面として、各評価式による許容値の算定結果を図 9-1 に示す。なお、CCV規格による許容値算定では、膜応力度は無視する。また、RC-N規準及びCCV規格の許容値算定では、せん断補強筋による項は無視した。

図 9-1 に示すようにせん断スパン比が同一であれば、CCV規格のシェル部評価式による許容値はRC-N規準による許容値以下となり、CCV規格の方が保守的な評価となる。

なお、CCV規格 (CVE-3522) では、トップスラブ及び底部の面外せん断力が規定されている。荷重状態IVにおいては、CVE-3522-1 式および CVE-3522-2 式が用いられる。これらは、日本建築学会 RC 規準(1999) (15 条 梁・柱および柱梁接合部のせん断補強)に基づいている。CVE-3522-1 式は、各荷重状態においてコンクリートの許容せん断応力度から許容面外せん断力を定める式であり、日本建築学会 RC 規準(1999) (15 条 梁・柱および柱梁接合部のせん断補強) の  $\alpha$  を安全側に評価して 1 としたものである。CVE-3522-2 式は、各荷重状態の面外せん断力が CVE-3522-1 式を超えた場合に適用する式で、その超えた分のせん断力に対しコンクリートのせん断耐力割増し係数及び鉄筋補強を考慮した計算式である。この場合において、 $p_w$  の値については 0.002 を最小値としている。また、 $p_w$  の値が 0.012 を超える場合においては、日本建築学会 RC 規準(1999)では 0.012 として許容値を計算することとしている。

#### 【RC-N規準の許容せん断力】

$$Q_{AS} = b j \{ \alpha f_s + 0.5 p_w f_t (p_w - 0.002) \}$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1}, \quad 1 \leq \alpha \leq 2$$

$p_w$  の値が 1.2% を超える場合は、1.2% として許容せん断力を計算する。

ここで、

$b$  : 部材幅。

$j$  : 応力中心距離で、 $(7/8)d$  とすることができる。

$d$  : 有効せい

$p_w$  : せん断補強筋比

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度

$f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、 $390\text{N/mm}^2$  を超える場合は  $390\text{N/mm}^2$  として許容せん断力を計算する。

$\alpha$  : せん断スパン比に  $\frac{M}{Qd}$  による割増係数



- M : 設計する壁の最大面外曲げモーメント
- Q : 設計する壁のの最大面外せん断力

【CCV 規格における荷重状態Ⅲの面外せん断応力度に対する許容値】

荷重状態Ⅲのシェル部の面外せん断応力度に対する許容値は、荷重状態Ⅳに定める計算式により計算した終局面外せん断応力度の 0.75 倍の値とする。

【CCV 規格における荷重状態Ⅳの面外せん断応力度に対する許容値】

荷重状態Ⅳのシェル部の面外せん断応力度に対する許容値は、次の 2 式により計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値とする。

$$\tau_R = \Phi \{ 0.1(p_t \cdot f_y - \sigma_0) + 0.5p_w \cdot f_y + 0.235\sqrt{F_c} \}$$
$$\tau_R = 1.10\sqrt{F_c}$$

ここで、

$\tau_R$  : 終局面外せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_t$  : 主筋の鉄筋比

$\sigma_0$  : 外力による膜応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (引張の符号を正とする)

$p_w$  : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であって、次の計算式により計算した値

$$p_w = a_w / (b \cdot x)$$

$a_w$  : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$b$  : 断面の幅 (mm)

$x$  : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

$\Phi$  : 低減係数であり、次の計算式により計算した値

(1 を超える場合は 1, 0.58 未満の場合は 0.58 とする)

$$\Phi = 1 / \sqrt{M / (Q \cdot d)}$$

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

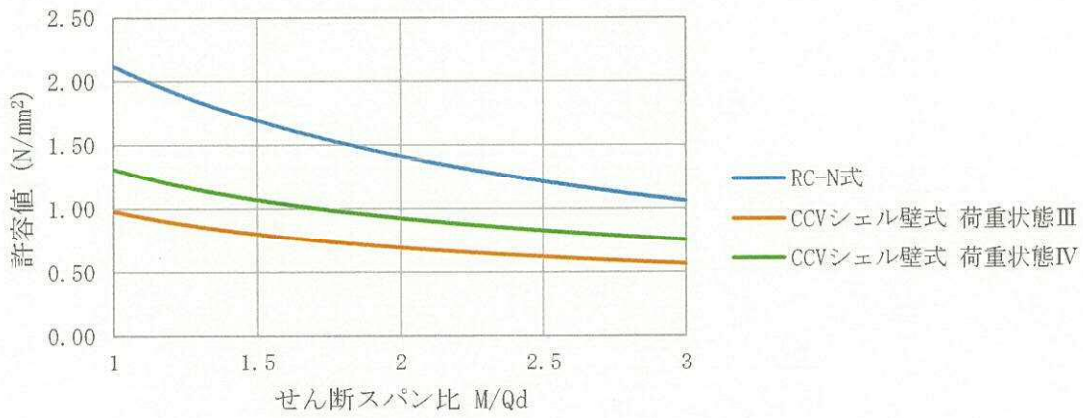
$d$  : 断面の有効せい (mm)

$f_y$  : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、CVE-3421 の規定に示す荷重状態Ⅲの値

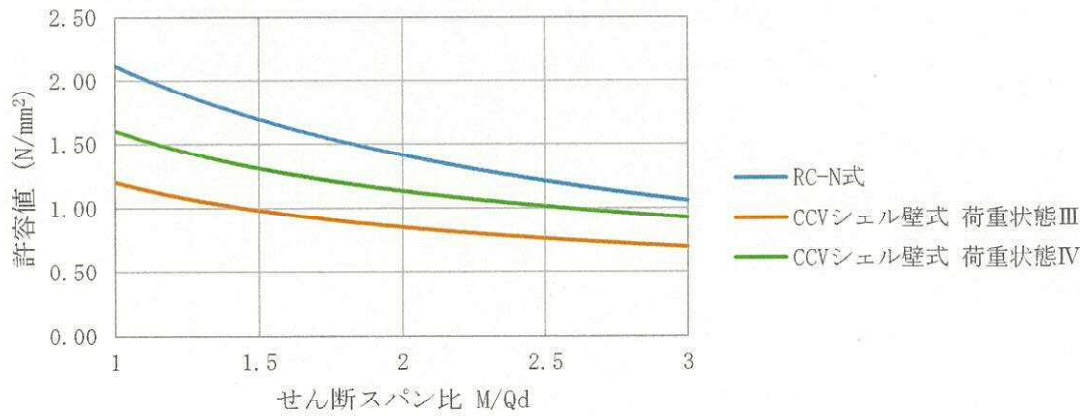
$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

表 9-4 代表断面の配筋

部位	レベル EL. (m)	壁厚 (cm)	方向	配筋	鉄筋比 (%)
西側壁	39.191 ～ 41.547	215.4	縦筋	D29@200 2段 内外 共	0.596
南側壁	34.689 ～ 46.5	157.6	縦筋	D38@200 2段 内外 共	1.45



(a) 鉄筋比が最小の断面 (西側壁, EL. 39.191~41.547 m)



(b) 鉄筋比が最大の断面 (南側壁, EL. 34.689~46.5 m)

図 9-1 面外せん断力の許容値

補足-370-9【原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性評価  
についての補足説明】

## 目次

1. 概要	1
2. 応力解析による評価方法	3
2.1 評価方針	3
2.2 荷重及び荷重の組合せ	4
2.3 許容限界	8
2.4 解析モデル及び諸元	10
2.5 評価方法	12
3. 応力解析による評価結果	14

## 1. 概要

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、Sクラス施設の一部であり、添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」にて、CCV規格に基づく荷重組合せのうち、地震時に関する荷重の組合せに対する評価を実施している。しかしながら、現在のCCV規格と建設工認を比較すると、水力学的動荷重等の扱いに差があるので、今回工認において地震荷重と組み合わせない部分について、その差分を補うこととした。

本資料では、表1-1に示す荷重組合せのうち、地震時に関する荷重の組合せ以外の組合せ（荷重状態Ⅱ逃がし安全弁作動時及び試験時、荷重状態Ⅲ異常時、荷重状態Ⅳ異常時及びジェット力作用時）に対する評価を実施する。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」

表 1-1 今回工認で実施する荷重組合せ

荷重状態	荷重時	記載資料*
I	通常運転時	①
II	逃がし安全弁作動時	②
	試験時	②
III	地震時	③
	異常時	②
	(異常+地震)時	③
IV	地震時	③
	異常時	②
	ジェット力作用時	②
	(異常+地震)時	③
V	異常時	④
	(異常+地震)時	③

注記 \* : 記載資料①～④について以下に示す。

- ① : 既工事計画認可申請書 第 1 回申請 添付資料Ⅲ-3-3-14「原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」及び添付資料Ⅲ-4「原子炉格納施設の基礎に関する説明書」(47 公第 12076 号 昭和 48 年 4 月 9 日認可)
- ② : 補足説明資料 370-9「原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性評価についての補足説明」(本資料)
- ③ : 添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」
- ④ : 添付書類「V-3-9-1 原子炉格納容器の強度計算書」

## 2. 応力解析による評価方法

### 2.1 評価方針

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析により評価を行うこととし、荷重状態Ⅱ～Ⅳに対して、以下の(1)及び(2)の方針に基づき断面の評価を行う。

#### (1) 荷重状態Ⅱ及びⅢ

荷重状態Ⅱ及びⅢに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、荷重の組合せの結果、発生する応力が、「CCV 規格」に基づいて設定した許容限界を超えないことを確認する。

#### (2) 荷重状態Ⅳ

荷重状態Ⅳに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、荷重の組合せの結果、発生する応力またはひずみが、「CCV 規格」に基づいて設定した許容限界を超えないことを確認する。



## 2.2 荷重及び荷重の組合せ

### 2.2.1 荷重

#### (1) 通常荷重及び運転時荷重

原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用する通常荷重及び運転時荷重は資料V-2-9-2-2「原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」の「4.2.1 荷重」の値と同一である。

#### (2) 異常時荷重

##### a. 事故時荷重

事故発生後、長時間継続する状態における荷重で、次のものとする。

事故時の圧力及び温度設定については、東海第二発電所原子炉設置変更許可 添付書類十 3.事故解析 3.5.1 原子炉冷却材喪失における評価結果（平成25年12月26日付け「総室第99号」）により、事故時の圧力及び温度変化に基づき、保守的に事故時荷重を設定する。

##### (a) 事故時圧力 ( $P_2$ , $P_b$ )

事故時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面との圧力差によって生じる荷重で、荷重の発生状況を考慮し、表2-1に示す。また、最高使用圧力は次の値とする。

$$P_b = 310 \text{ kPa}$$

表 2-1 事故時圧力 ( $P_2$ )

(単位：kPa)

異常発生後の経過時間	記号	サプレッションチェンバ
直後	$P_{21}$	
1.2 時間	$P_{22}$	
190 時間	$P_{24}$	

(b) 事故時温度荷重 ( $T_2$ )

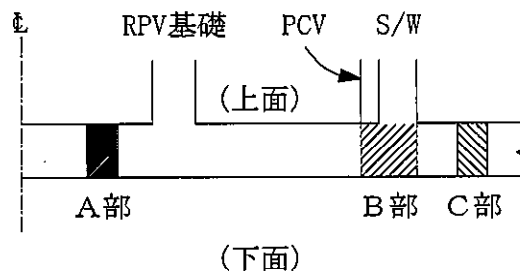
事故時において、原子炉建屋基礎盤に生じる温度変化による荷重及び原子炉建屋基礎盤の上面と下面の温度差によって生じる荷重で、上面と下面の温度を表 2-2 に示す。

なお、断面内の温度分布は等価な応力を与える直線分布に換算して扱う。また、荷重の発生状況を考慮して 3 ケースの温度条件を採用する。

表 2-2 事故時温度荷重 ( $T_2$ )

(単位: °C)

事故発生後の経過時間	記号		季節	A部		B部		C部	
				上面	下面	上面	下面	上面	下面
直後	$T_{21}$	$T_{21S}$	夏	35.60	14.70	37.8	14.85	40.00	15.00
		$T_{21W}$	冬	35.60	14.70	22.80	14.85	10.00	15.00
1.2 時間	$T_{22}$	$T_{22S}$	夏	38.21	13.43	39.11	14.22	40.00	15.00
		$T_{22W}$	冬	38.21	13.43	24.11	14.22	10.00	15.00
190 時間	$T_{24}$	$T_{24S}$	夏	54.78	8.09	47.39	11.54	40.00	15.00
		$T_{24W}$	冬	54.78	8.09	32.39	11.54	10.00	15.00



(c) 事故時水学的動荷重 ( $H_1, H_2$ )

事故時において、サプレッションプール部に考慮する水学的動荷重は、次の値とする。

- ・逃がし安全弁作動時荷重 ( $H_1$ )
- ・蒸気凝縮振動荷重 ( $H_{21}$ )
- ・チャギング荷重 ( $H_{22}$ )


b. ジェット力作用時荷重

事故発生後，短時間に収束する状態における荷重で，次のものとする。

サブレッションプール部に考慮する水力的動的荷重 ( $H_3$ ) は，次の値とする。

また，次の圧力 ( $P_3$ ) を同時に考慮する。

### 2.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 2-3 に示す。

表 2-3 荷重の組合せ

荷重状態	荷重時	荷重の組合せ	
		応力状態 1* <sup>1</sup>	応力状態 2* <sup>2</sup>
II	逃がし安全弁作動時	$D+L+E_0+P_1+H_1$	$D+L+E_0+P_1+H_1+T_1$
	試験時	$D+L+E_0+1.1 \cdot P_D$	—
III	異常時 (1)	$D+L+E_0+P_{21}+H_{21}$	$D+L+E_0+P_{21}+H_{21}+T_{21}$
	異常時 (2)	$D+L+E_0+P_{22}+H_{22}$	$D+L+E_0+P_{22}+H_{22}+T_{22}$
	異常時 (3)	$D+L+E_0+P_{24}$	$D+L+E_0+P_{24}+T_{24}$
IV	異常時 (4)	$D+L+E_0+1.5 \cdot P_D$	—
	ジェット力作用時	$D+L+E_0+P_3+H_3$	—

注記 \*1：応力状態 1 各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

\*2：応力状態 2 各荷重状態において応力が生じている状態をいう。

- D : 死荷重
- L : 活荷重 (地震時の積雪荷重  $S_{地震時}$  を含む)
- $E_0$  : 常時土圧荷重
- $T_1$  : 運転時温度荷重
- $T_{21}$  : 事故時温度荷重 (直後)
- $T_{22}$  : 事故時温度荷重 (1.2 時間後)
- $T_{24}$  : 事故時温度荷重 (190 時間後)
- $P_1$  : 運転時圧力
- $P_{21}$  : 事故時圧力 (直後)
- $P_{22}$  : 事故時圧力 (1.2 時間後)
- $P_{24}$  : 事故時圧力 (190 時間後)
- $P_3$  : ジェット力作用時圧力
- $P_D$  : 最高使用圧力
- $H_1$  : 逃がし安全弁作動時荷重
- $H_{21}$  : 蒸気凝縮振動荷重
- $H_{22}$  : チャギング荷重
- $H_3$  : ジェット力作用時荷重

### 2.3 許容限界

応力解析による評価における原子炉格納容器底部コンクリートマットの許容限界は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表2-4の通り設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表2-5及び表2-6に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表2-7に示す。

表2-4 応力解析による評価における許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	荷重状態	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	荷重状態Ⅳ	底部	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値
		荷重状態Ⅲ	底部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅲの許容値
		荷重状態Ⅱ	底部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅱの許容値
支持機能*	機器・配管系などの設備を支持する機能を損なわないこと	荷重状態Ⅳ	底部	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値

\*：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 2-5 コンクリートの許容応力度

荷重状態	設計基準強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	応力状態 1		応力状態 2	
		圧縮 ( $N/mm^2$ )	せん断 ( $N/mm^2$ )	圧縮 ( $N/mm^2$ )	せん断 ( $N/mm^2$ )
II	22.1	7.36	0.711	9.94	0.711
III	22.1	14.7	1.06	16.5	1.06
IV	22.1	—	1.06	—	—

表 2-6 鉄筋の許容応力度

荷重状態	引張及び圧縮 ( $N/mm^2$ )	面外せん断補強 ( $N/mm^2$ )
	SD345*	SD345*
II	195	195
III	345	345

\* : 既工事計画の鉄筋の種類は SD35 であるが現在の規格 (SD345) に読み替えた許容応力度を示す。

表 2-7 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

荷重状態	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
IV	0.003	0.005

#### 2.4 解析モデル及び諸元

解析モデルを図 2-1 に、使用材料の物性値を表 2-8 に示す。なお、解析モデル及び諸元は、資料 V-2-9-2-2 「原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」で用いたものと同ーである。

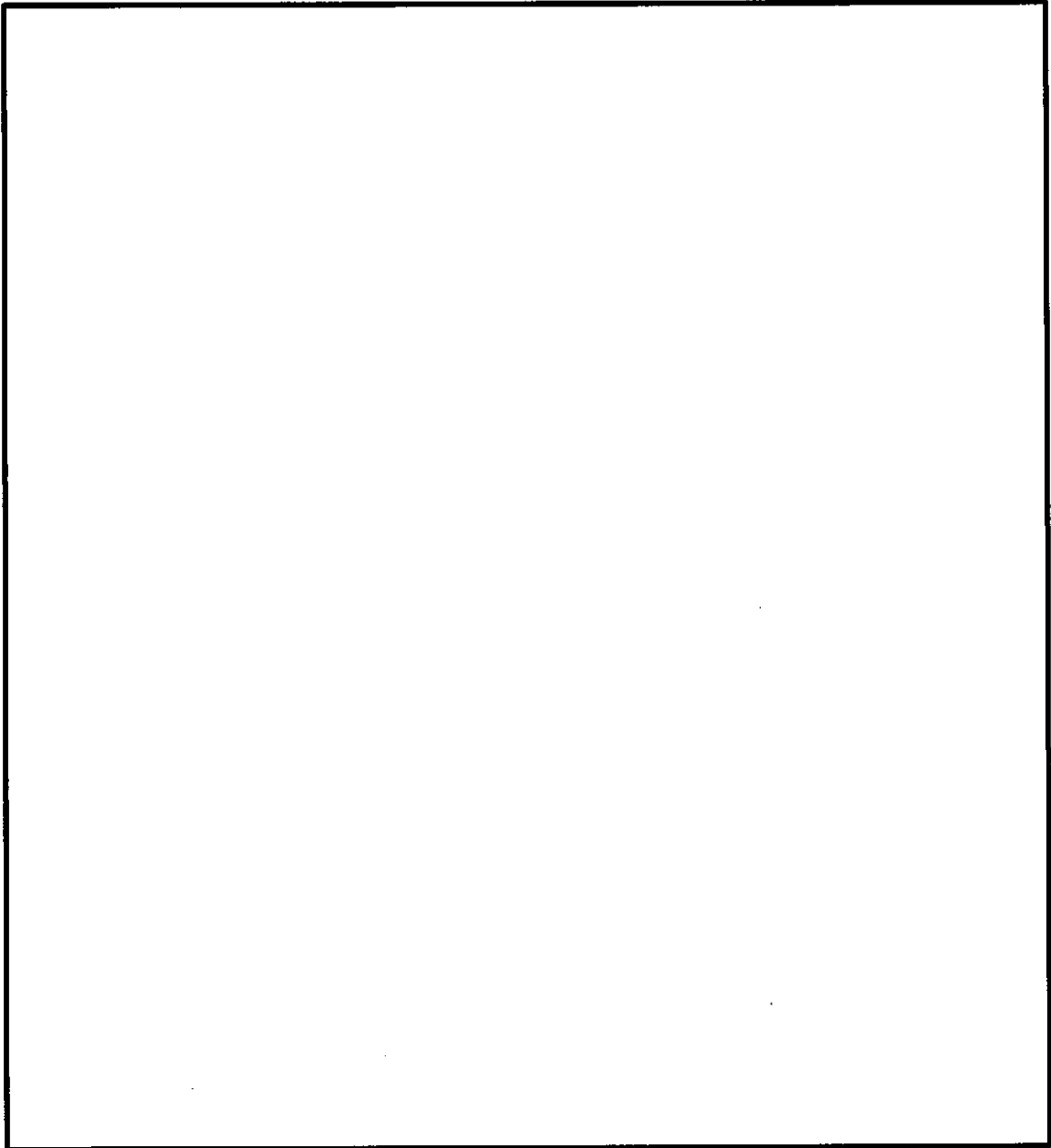


図 2-1 解析モデル

表 2-8 使用材料の物性値

部 位	コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
基礎盤	22.1	$2.21 \times 10^4$	0.2



## 2.5 評価方法

### 2.5.1 応力解析方法

原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、荷重状態ⅡからⅣに対して 3次元 FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

#### (1) 荷重ケース

各荷重状態で考慮する応力は次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

DL	: 死荷重+活荷重
E <sub>0</sub>	: 常時土圧荷重
T <sub>1</sub>	: 運転時温度荷重
T <sub>21</sub>	: 事故時温度荷重 (直後)
T <sub>22</sub>	: 事故時温度荷重 (1.2 時間後)
T <sub>24</sub>	: 事故時温度荷重 (190 時間後)
P <sub>1</sub>	: 運転時圧力
P <sub>21</sub>	: 事故時圧力 (直後)
P <sub>22</sub>	: 事故時圧力 (1.2 時間後)
P <sub>24</sub>	: 事故時圧力 (190 時間後)
P <sub>3</sub>	: ジェット力作用時圧力
P <sub>D</sub>	: 最高使用圧力
H <sub>1</sub>	: 逃がし安全弁作動時荷重
H <sub>21</sub>	: 蒸気凝縮振動荷重
H <sub>22</sub>	: チャギング荷重
H <sub>3</sub>	: ジェット力作用時荷重

#### (2) 荷重の入力方法

荷重はモデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

#### 2.5.2 断面の評価方法

断面の評価方法は、資料V-2-9-2-2「原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」の「4.5.2 断面の評価方法」に記載の評価方法に準ずるものとする。なお、荷重状態Ⅱについては、荷重状態Ⅲの評価方法と同様である。