

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-370-6 改1
提出年月日	平成30年10月2日

建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料  
補足-370-6 【応力解析における応力平均化の考え方】

平成30年10月

日本原子力発電株式会社

## 目次

1. 概要	1
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力平均化の考え方	2
2.1 応力平均化を実施した領域における断面の評価要素	2
2.2 応力平均化の方法	3
2.3 応力平均化の結果	14
2.4 断面の評価結果	15
3. 原子炉建屋基礎盤の応力平均化の考え方	16
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	16
3.2 応力平均化の方法	18
3.3 応力の平均結果	27
3.4 断面の評価	29
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	30
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	30
4.2 応力平均化の方法	36
4.3 応力の平均結果	52
4.4 断面の評価	69

## 1. 概要

3次元FEMモデルを用いた応力の算定において、FEM要素に応力集中等が見られる場合については、「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。)に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行っている。この場合、当該要素における応力度ではなく、周囲の複数の要素で平均化した応力度に対して断面の評価を実施していることから、本資料では、複数の要素での応力平均化の考え方及びその結果を示す。

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-2-9-2-2 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-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の応力平均化の考え方

2.1 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、応力平均化前の断面力に対する検定値を元を選定している。

応力平均化前の応力分布において、局所的に大きな曲げモーメントが発生している要素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 2-1、要素位置図を図 2-1 に示す。

表 2-1 応力平均化要素 S<sub>s</sub>地震時

	方向	要素番号	荷重の 組合せ ケース	平均化前の 検定値 (発生値/許容値)
曲げ モーメント	EW方向	50203	101	1.06
	EW方向	50203	102	1.00
	EW方向	50204	103	1.04
	EW方向	50204	104	1.07
	EW方向	50230	101	1.05
	EW方向	50230	102	1.01
	EW方向	51503	103	1.01
	EW方向	51530	103	1.04
	EW方向	51530	104	1.00

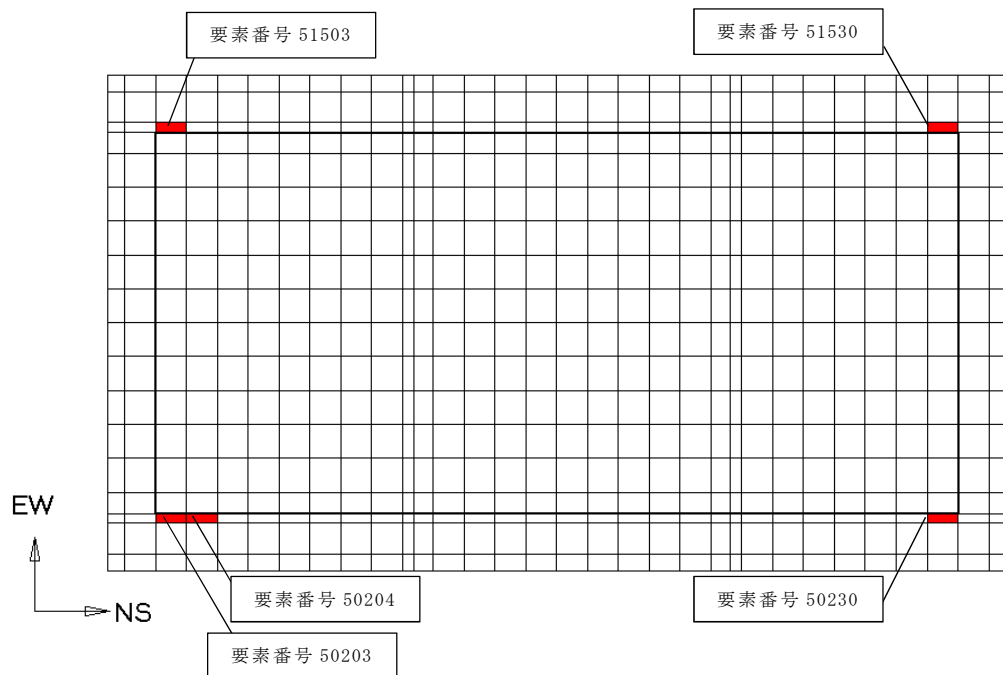


図 2-1 要素位置図

## 2.2 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。

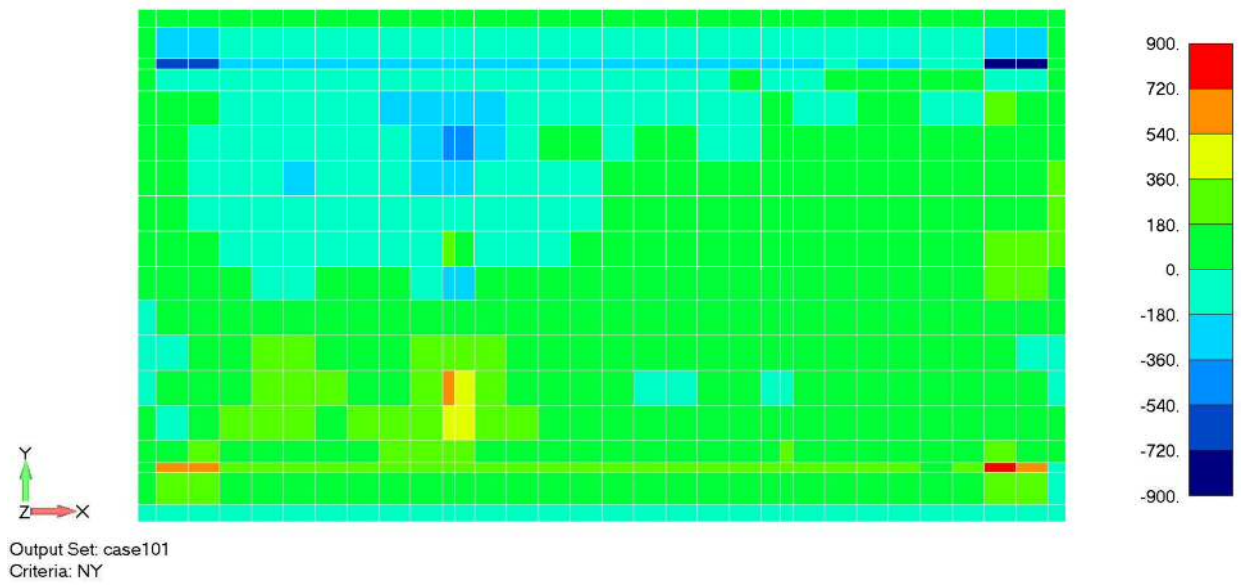
使用済燃料乾式貯蔵建屋の3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析において、耐震壁との接続部分の基礎において、局所的に大きな曲げモーメントが発生している。局所応力の発生部材周囲における拘束状況の代表例を図2-2に、軸力と曲げモーメントの断面力の例を図2-3に示す。

そこで、今回の使用済燃料乾式貯蔵建屋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、曲げモーメントが支配的であることを踏まえ、応力伝達を考慮できる範囲として、各応力コンター図及び基礎の直上の壁配置等を考慮し、不連続にならない範囲の要素に対して行った。

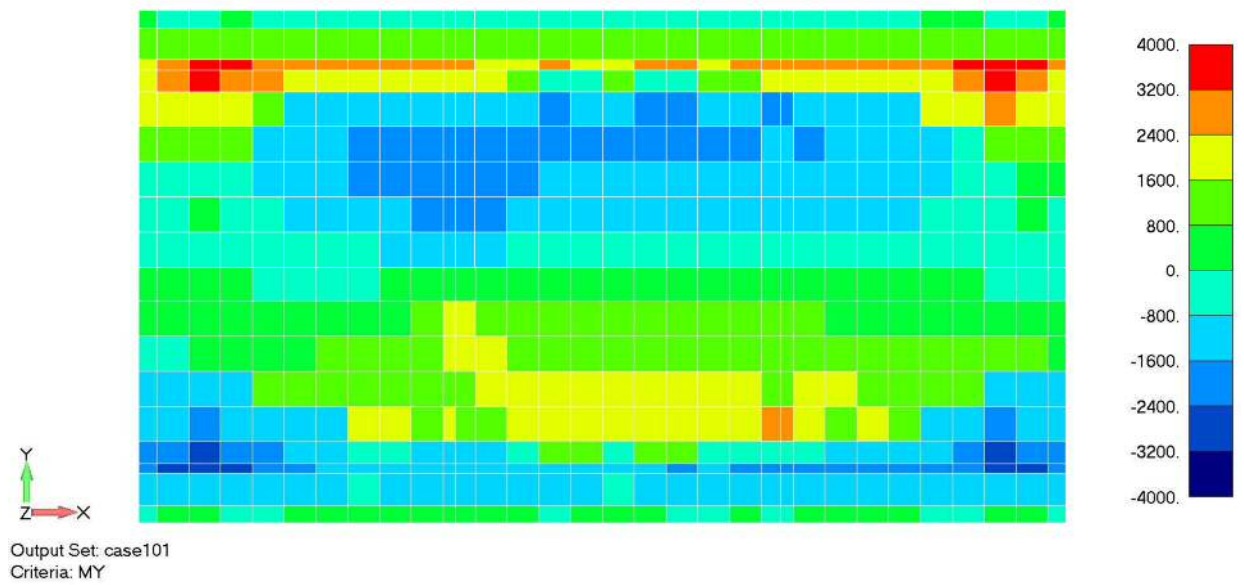
各要素について応力度の平均化範囲を図2-4に示す。



図2-2 局所応力の発生部材周囲における拘束状況

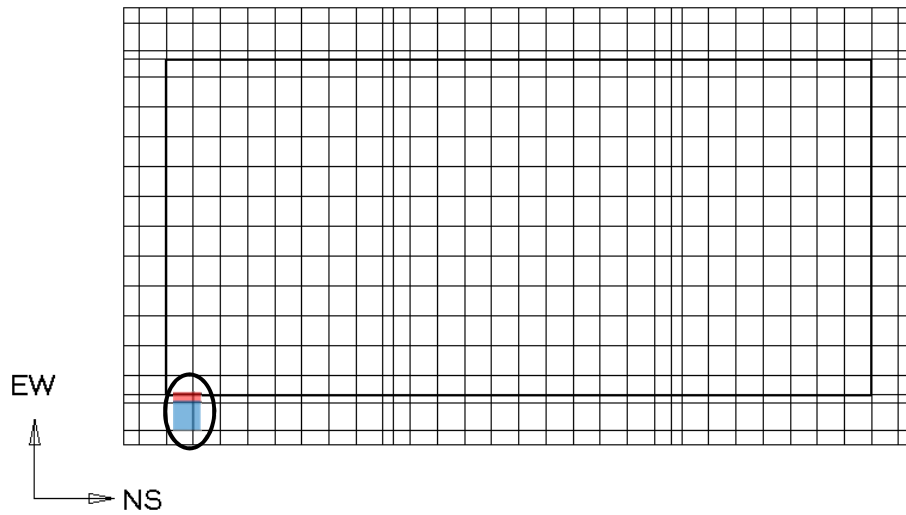


(a) EW 方向 軸力 (kN/m)



(b) EW 方向 曲げモーメント (kN・m/m)

図 2-3 基礎版断面力 (荷重組合せケース 101)



(a) 基礎版全体

(c) 曲げモーメント					要素番号 軸力 (kN/m)				
50401 22.8	50402 -35.1	50403 24.4	50404 214.9	50405 253.6	50401 -1573.6	50402 -1555.4	50403 -1731.6	50404 -1478.2	50405 -1206.3
50301 64.9	50302 126.3	50303 205.1	50304 142.1	50305 150.8	50301 -1652.	50302 -1889.2	50303 -2578.2	50304 -1985.4	50305 -1837.7
50201 67.7	50202 610.4	50203 643.9	50204 212.4	50205 230.7	50201 -2020.	50202 -2483.8	50203 -2898.4	50204 -2668.3	50205 -2391.4
50101 14.1	50102 251.4	50103 276.7	50104 92.	50105 85.5	50101 -1072.	50102 -1154.9	50103 -1297.7	50104 -1303.2	50105 -1147.9
50001 -34.8	50002 -47.	50003 -24.3	50004 -43.9	50005 -47.5	50001 -9.4	50002 17.5	50003 9.9	50004 -17.4	50005 -1.5

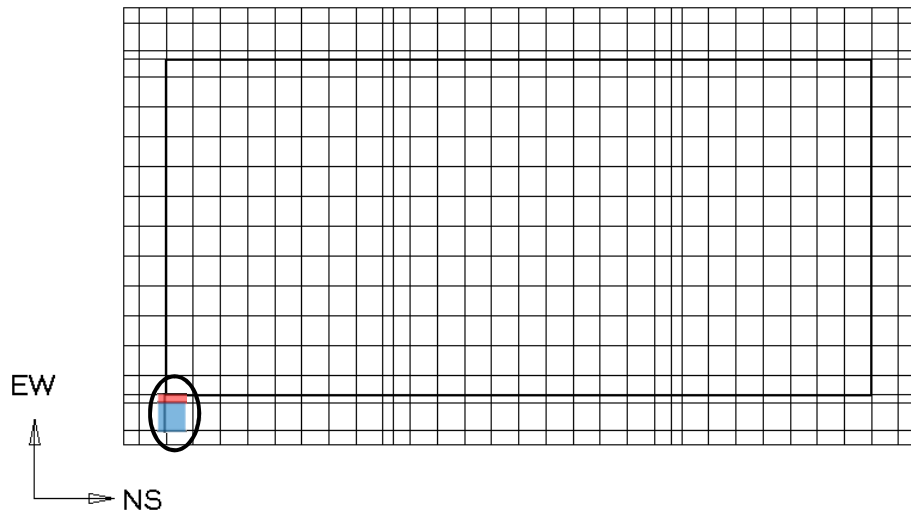
(b) 軸力

(b) 軸力

要素番号  
 曲げモーメント (kN・m/m)  
 : 平均化実施に用いた周辺要素

図 2-4 応力平均化範囲

(S<sub>s</sub>地震時 EW方向 要素番号 50203 荷重組合せケース 101) (1/9)



(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
-128.4	-8.5	101.	139.1	205.1	-1008.	-1005.6	-1003.3	-860.3	1040.1
50401 20.2	50402 -38.7	50403 19.4	50404 206.5	50405 250.6	50401 -1534.6	50402 -1508.8	50403 -1655.2	50404 -1414.6	50405 -1132.5
50301 78.5	50302 131.7	50303 206.9	50304 137.9	50305 162.8	50301 -1599.2	50302 -1806.	50303 -2416.2	50304 -1854.	50305 -1700.1
50201 87.5	50202 605.8	50203 633.1	50204 210.2	50205 235.7	50201 -1985.2	50202 -2399.6	50203 -2762.4	50204 -2542.7	50205 -2288.4
50101 24.9	50102 248.	50103 270.9	50104 91.8	50105 88.3	50101 -1073.	50102 -1149.9	50103 -1273.5	50104 -1274.8	50105 -1129.9
50001 -33.4	50002 -47.4	50003 -25.1	50004 -43.9	50005 -46.9	50001 -21.	50002 0.3	50003 -6.1	50004 -30.6	50005 -15.5

(b) 軸力

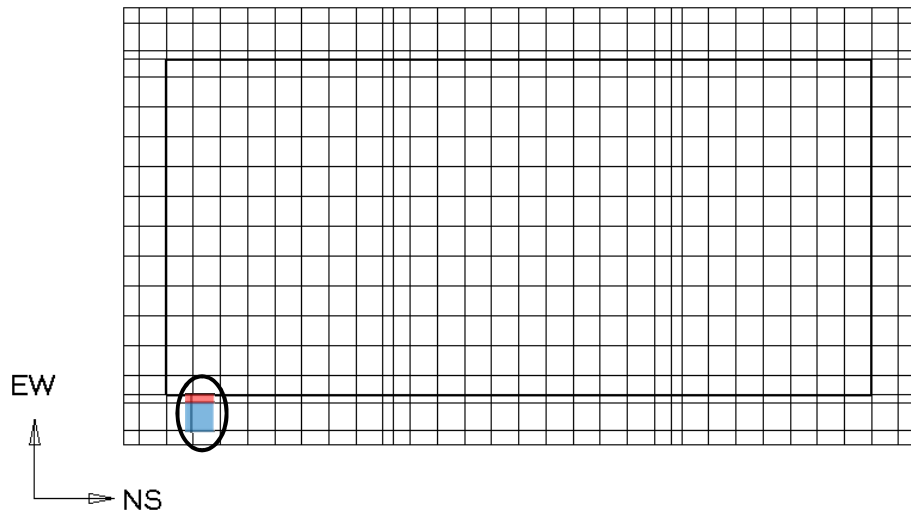
(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

( $S_s$ 地震時 EW 方向 要素番号 50203 荷重組合せケース 102) (2/9)





(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
215.4	110.7	7.2	-108.9	-254.5	1191.	1274.4	1410.3	1009.5	-978.5
50401 64.	50402 167.1	50403 123.2	50404 -162.1	50405 -209.	50401 1908.	50402 1939.	50403 2389.	50404 2099.4	50405 1903.9
50301 7.7	50302 -67.7	50303 -144.1	50304 -103.7	50305 -72.4	50301 2066.6	50302 2471.8	50303 3685.8	50304 2927.	50305 2894.1
50201 14.9	50202 -682.	50203 -734.5	50204 -170.6	50205 -184.9	50201 2345.4	50202 3098.8	50203 3830.4	50204 3582.3	50205 3229.8
50101 26.7	50102 -287.	50103 -317.9	50104 -73.4	50105 -63.1	50101 1205.2	50102 1344.5	50103 1605.1	50104 1657.2	50105 1447.3
50001 39.8	50002 43.	50003 20.1	50004 45.3	50005 50.7	50001 0.4	50002 -44.1	50003 -28.1	50004 17.	50005 -7.1

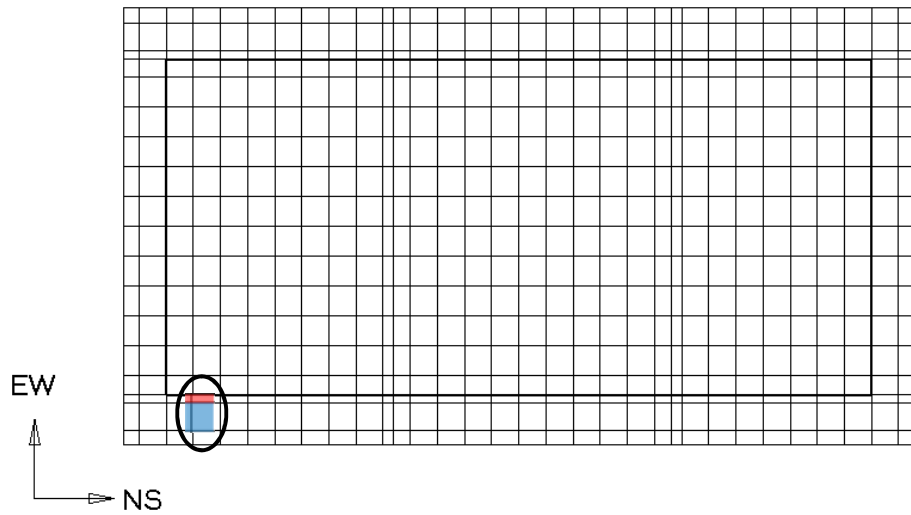
(b) 軸力

(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

( $S_s$ 地震時 EW 方向 要素番号 50204 荷重組合せケース 103) (3/9)



(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
193.	92.3	-12.8	-130.1	-285.3	1206.2	1299.8	1439.9	990.1	-1018.3
50401	50402	50403	50404	50405	50401	50402	50403	50404	50405
61.4	163.5	118.2	-170.5	-212.	1947.	1985.6	2465.4	2163.	1977.7
50301	50302	50303	50304	50305	50301	50302	50303	50304	50305
21.3	-62.3	-142.3	-107.9	-60.4	2119.4	2555.	3847.8	3058.4	3031.7
50201	50202	50203	50204	50205	50201	50202	50203	50204	50205
34.7	-686.6	-745.3	-172.8	-179.9	2380.2	3183.	3966.4	3707.9	3332.8
50101	50102	50103	50104	50105	50101	50102	50103	50104	50105
37.5	-290.4	-323.7	-73.6	-60.3	1204.2	1349.5	1629.3	1685.6	1465.3
50001	50002	50003	50004	50005	50001	50002	50003	50004	50005
41.2	42.6	19.3	45.3	51.3	-11.2	-61.3	-44.1	3.8	-21.1

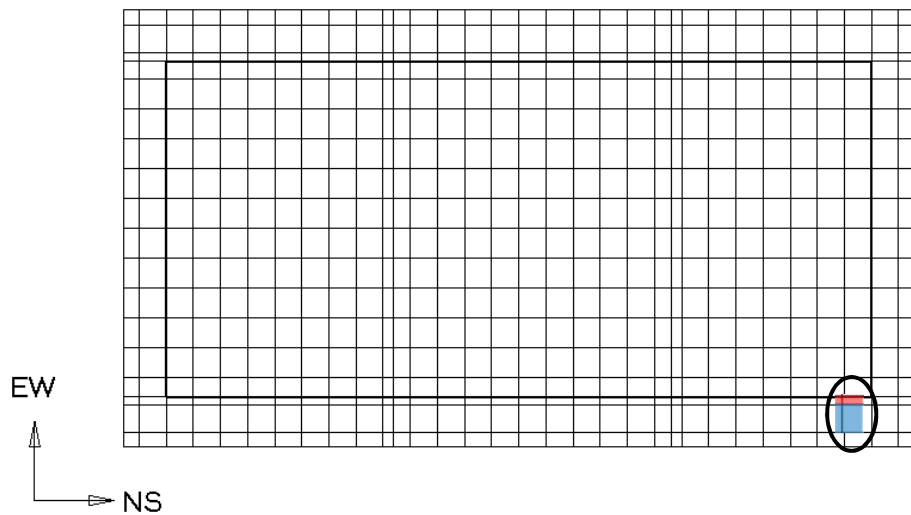
(b) 軸力

(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

( $S_s$ 地震時 EW 方向 要素番号 50204 荷重組合せケース 104) (4/9)



(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
50428 119.1	50429 126.7	50430 59.4	50431 24.3	50432 89.5	50428 -1096.	50429 -1393.6	50430 -1646.8	50431 -1504.1	50432 -1548.3
50328 44.8	50329 77.3	50330 242.4	50331 169.9	50332 35.2	50328 -1385.4	50329 -1723.	50330 -2437.9	50331 -1902.1	50332 -1659.5
50228 146.4	50229 230.8	50230 723.5	50231 661.5	50232 -11.1	50228 -2039.8	50229 -2379.5	50230 -2824.7	50231 -2548.1	50232 -2036.1
50128 48.4	50129 95.2	50130 320.9	50131 280.4	50132 -33.1	50128 -1042.4	50129 -1178.4	50130 -1251.	50131 -1162.7	50132 -1091.8
50028 -51.7	50029 -44.2	50030 -18.1	50031 -43.1	50032 -42.3	50028 -3.1	50029 -7.4	50030 20.9	50031 22.	50032 -13.5

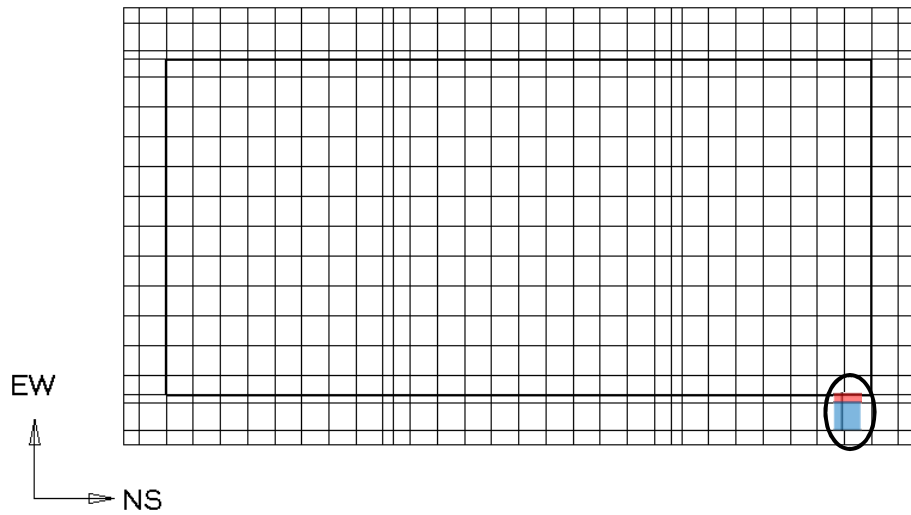
(b) 軸力

(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

( $S_s$ 地震時 EW 方向 要素番号 50230 荷重組合せケース 101) (5/9)



(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
50428 128.3	50429 136.7	50430 79.8	50431 38.7	50432 83.1	50428 -1067.	50429 -1352.	50430 -1571.2	50431 -1465.7	50432 -1518.7
50328 55.2	50329 88.3	50330 254.6	50331 176.7	50332 33.	50328 -1260.2	50329 -1614.	50330 -2305.7	50331 -1841.5	50332 -1626.7
50228 159.2	50229 241.6	50230 715.3	50231 651.5	50232 -5.9	50228 -1902.8	50229 -2264.3	50230 -2718.7	50231 -2490.7	50232 -2021.9
50128 53.6	50129 99.6	50130 317.1	50131 275.6	50132 -29.9	50128 -1003.6	50129 -1152.	50130 -1238.8	50131 -1171.9	50132 -1105.4
50028 -51.3	50029 -44.	50030 -18.5	50031 -43.7	50032 -41.7	50028 -13.3	50029 -19.6	50030 3.7	50031 2.4	50032 -27.5

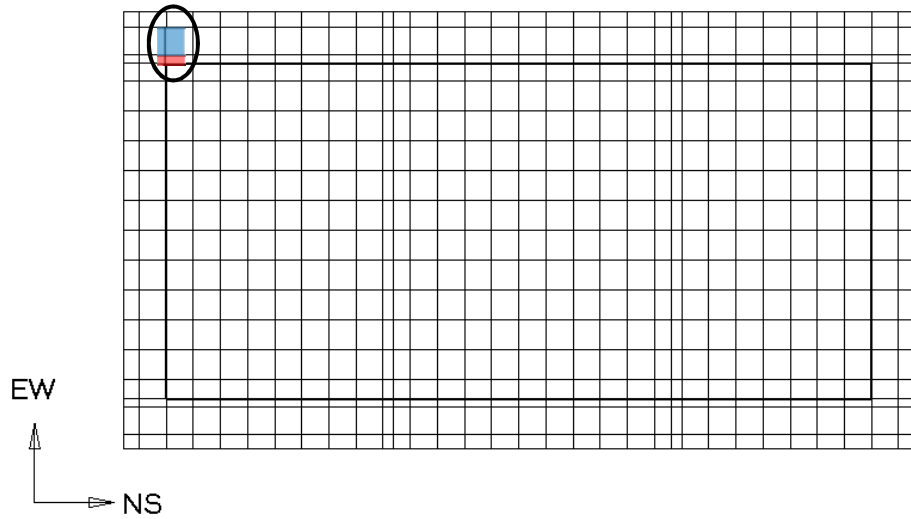
(b) 軸力

(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

( $S_s$ 地震時 EW 方向 要素番号 50230 荷重組合せケース 102) (6/9)



(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
51701 -39.	51702 -46.9	51703 -21.8	51704 -43.1	51705 -47.7	51701 -16.9	51702 14.9	51703 15.9	51704 -9.8	51705 0.5
51601 -19.7	51602 248.5	51603 286.	51604 109.2	51605 95.8	51601 -1103.2	51602 -1155.2	51603 -1230.9	51604 -1188.1	51605 -1070.
51501 4.1	51502 597.8	51503 652.9	51504 255.5	51505 261.3	51501 -2054.6	51502 -2497.8	51503 -2771.5	51504 -2388.4	51505 -2162.6
51401 16.3	51402 136.	51403 229.5	51404 159.8	51405 138.2	51401 -1679.6	51402 -1917.6	51403 -2467.3	51404 -1691.8	51405 -1360.7
51301 58.1	51302 26.7	51303 81.8	51304 199.9	51305 187.8	51301 -1568.7	51302 -1541.	51303 -1638.3	51304 -1292.2	51305 -854.8

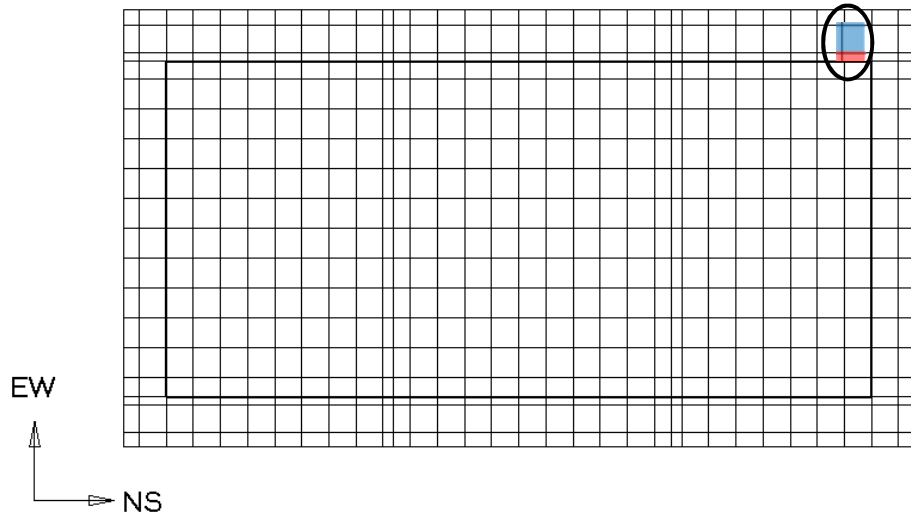
(b) 軸力

(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

( $S_s$ 地震時 EW 方向 要素番号 51503 荷重組合せケース 103) (7/9)



(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
51728 -51.3	51729 -43.4	51730 -18.5	51731 -43.9	51732 -40.8	51728 -3.4	51729 -6.	51730 20.6	51731 22.	51732 -11.4
51628 50.9	51629 104.5	51630 316.5	51631 274.7	51632 -20.7	51628 -1044.3	51629 -1173.4	51630 -1231.7	51631 -1142.1	51632 -1076.9
51528 146.9	51529 246.7	51530 719.7	51531 651.9	51532 11.2	51528 -2042.	51529 -2377.7	51530 -2794.1	51531 -2502.8	51532 -2001.8
51428 41.	51429 72.2	51430 231.2	51431 174.5	51432 60.2	51428 -1357.	51429 -1687.8	51430 -2376.2	51431 -1860.9	51432 -1628.9
51328 113.8	51329 128.6	51330 95.8	51331 62.6	51332 122.6	51328 -1082.9	51329 -1375.6	51330 -1632.7	51331 -1494.3	51332 -1540.1

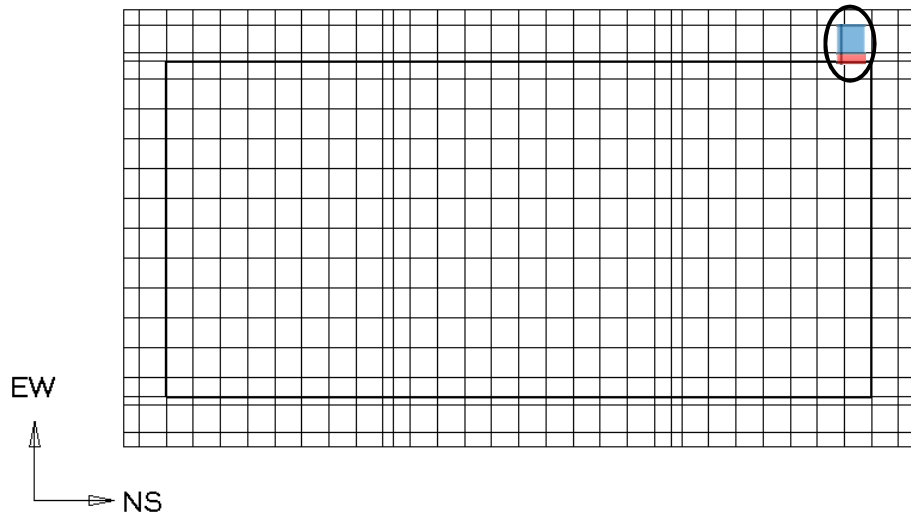
(b) 軸力

(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

(S<sub>s</sub>地震時 EW 方向 要素番号 51530 荷重組合せケース 103) (8/9)



(a) 基礎版全体

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/m)				
51728	51729	51730	51731	51732	51728	51729	51730	51731	51732
-50.9	-43.2	-18.9	-44.3	-40.2	-13.8	-18.4	3.4	2.4	-25.6
51628	51629	51630	51631	51632	51628	51629	51630	51631	51632
55.9	108.9	313.7	270.9	-17.5	-1005.9	-1147.6	-1221.3	-1153.1	-1091.9
51528	51529	51530	51531	51532	51528	51529	51530	51531	51532
159.5	258.1	713.7	643.5	16.4	-1902.2	-2260.9	-2689.7	-2447.8	-1989.2
51428	51429	51430	51431	51432	51428	51429	51430	51431	51432
52.6	83.6	243.4	181.3	58.2	-1229.8	-1577.4	-2246.2	-1802.3	-1597.9
51328	51329	51330	51331	51332	51328	51329	51330	51331	51332
123.6	138.4	114.8	76.	116.	-1054.1	-1335.6	-1559.1	-1457.7	-1513.1

(b) 軸力

(c) 曲げモーメント

- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁の位置

図 2-4 応力平均化範囲

( $S_s$ 地震時 EW 方向 要素番号 51530 荷重組合せケース 104) (9/9)

### 2.3 応力平均化の結果

応力平均化前と後の比較結果を表2-2に示す。

表 2-2 応力平均化の結果 (EW 方向)

(a) 軸力

要素番号	荷重の 組合せ ケース	軸力 (平均化前) [kN/m]	軸力 (平均化後) [kN/m]
50203	101	643.9	362.5
50203	102	633.1	355.5
50204	103	-170.6	-96.1
50204	104	-172.8	-96.8
50230	101	723.5	415.0
50230	102	715.3	410.1
51503	103	652.9	376.9
51530	103	719.7	416.4
51530	104	713.7	412.8

(b) 曲げモーメント

要素番号	荷重の 組合せ ケース	曲げモーメント (平均化前) [kN・m/m]	曲げモーメント (平均化後) [kN・m/m]
50203	101	-2898.4	-1671.7
50203	102	-2762.4	-1621.3
50204	103	3582.3	2107.0
50204	104	3707.9	2158.1
50230	101	-2824.7	-1618.7
50230	102	-2718.7	-1584.6
51503	103	-2771.5	-1612.5
51530	103	-2794.1	-1618.7
51530	104	-2689.7	-1585.1



## 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 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)

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

### 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を選定している。

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



(941)	(942)	(943)	(944)	(945)	(946)	(947)	(948)	(949)	(950)	(951)	(952)	(953)	(954)	(955)	(956)	(957)	(958)	(959)	(960)	(961)	(962)	(963)	(964)	(965)	(966)	(967)	(968)
(913)	(914)	(915)	(916)	(917)	(918)	(919)	(920)	(921)	(922)	(923)	(924)	(925)	(926)	(927)	(928)	(929)	(930)	(931)	(932)	(933)	(934)	(935)	(936)	(937)	(938)	(939)	(940)
(885)	(886)	(887)	(888)	(889)	(890)	(891)	(892)	(893)	(894)	(895)	(896)	(897)	(898)	(899)	(900)	(901)	(902)	(903)	(904)	(905)	(906)	(907)	(908)	(909)	(910)	(911)	(912)
(857)	(858)	(859)	(860)	(861)	(862)	(863)	(864)	(865)	(866)	(867)	(868)	(869)	(870)	(871)	(872)	(873)	(874)	(875)	(876)	(877)	(878)	(879)	(880)	(881)	(882)	(883)	(884)
(829)	(830)	(831)	(832)	(833)	(834)	(835)	(836)	(837)	(838)	(839)	(840)	(841)	(842)	(843)	(844)	(845)	(846)	(847)	(848)	(849)	(850)	(851)	(852)	(853)	(854)	(855)	(856)
(801)	(802)	(803)	(804)	(805)	(806)	(807)	(808)	(809)	(810)	(811)	(812)	(813)	(814)	(815)	(816)	(817)	(818)	(819)	(820)	(821)	(822)	(823)	(824)	(825)	(826)	(827)	(828)
(773)	(774)	(775)	(776)	(777)	(778)	(779)	(780)	(781)	(782)	(783)	(784)	(785)	(786)	(787)	(788)	(789)	(790)	(791)	(792)	(793)	(794)	(795)	(796)	(797)	(798)	(799)	(800)
(745)	(746)	(747)	(748)	(749)	(750)	(751)	(752)	(753)	(754)	(755)	(756)	(757)	(758)	(759)	(760)	(761)	(762)	(763)	(764)	(765)	(766)	(767)	(768)	(769)	(770)	(771)	(772)
(717)	(718)	(719)	(720)	(721)	(722)	(723)	(724)	(725)	(726)	(727)	(728)	(729)	(730)	(731)	(732)	(733)	(734)	(735)	(736)	(737)	(738)	(739)	(740)	(741)	(742)	(743)	(744)
(689)	(690)	(691)	(692)	(693)	(694)	(695)	(696)	(697)	(698)	(699)	(700)	(701)	(702)	(703)	(704)	(705)	(706)	(707)	(708)	(709)	(710)	(711)	(712)	(713)	(714)	(715)	(716)
(661)	(662)	(663)	(664)	(665)	(666)	(667)	(668)	(669)	(670)	(671)	(672)	(673)	(674)	(675)	(676)	(677)	(678)	(679)	(680)	(681)	(682)	(683)	(684)	(685)	(686)	(687)	(688)
(633)	(634)	(635)	(636)	(637)	(638)	(639)	(640)	(641)	(642)	(643)	(644)	(645)	(646)	(647)	(648)	(649)	(650)	(651)	(652)	(653)	(654)	(655)	(656)	(657)	(658)	(659)	(660)
(605)	(606)	(607)	(608)	(609)	(610)	(611)	(612)	(613)	(614)	(615)	(616)	(617)	(618)	(619)	(620)	(621)	(622)	(623)	(624)	(625)	(626)	(627)	(628)	(629)	(630)	(631)	(632)
(577)	(578)	(579)	(580)	(581)	(582)	(583)	(584)	(585)	(586)	(587)	(588)	(589)	(590)	(591)	(592)	(593)	(594)	(595)	(596)	(597)	(598)	(599)	(600)	(601)	(602)	(603)	(604)
(549)	(550)	(551)	(552)	(553)	(554)	(555)	(556)	(557)	(558)	(559)	(560)	(561)	(562)	(563)	(564)	(565)	(566)	(567)	(568)	(569)	(570)	(571)	(572)	(573)	(574)	(575)	(576)
(521)	(522)	(523)	(524)	(525)	(526)	(527)	(528)	(529)	(530)	(531)	(532)	(533)	(534)	(535)	(536)	(537)	(538)	(539)	(540)	(541)	(542)	(543)	(544)	(545)	(546)	(547)	(548)
(493)	(494)	(495)	(496)	(497)	(498)	(499)	(500)	(501)	(502)	(503)	(504)	(505)	(506)	(507)	(508)	(509)	(510)	(511)	(512)	(513)	(514)	(515)	(516)	(517)	(518)	(519)	(520)
(465)	(466)	(467)	(468)	(469)	(470)	(471)	(472)	(473)	(474)	(475)	(476)	(477)	(478)	(479)	(480)	(481)	(482)	(483)	(484)	(485)	(486)	(487)	(488)	(489)	(490)	(491)	(492)
(437)	(438)	(439)	(440)	(441)	(442)	(443)	(444)	(445)	(446)	(447)	(448)	(449)	(450)	(451)	(452)	(453)	(454)	(455)	(456)	(457)	(458)	(459)	(460)	(461)	(462)	(463)	(464)
(409)	(410)	(411)	(412)	(413)	(414)	(415)	(416)	(417)	(418)	(419)	(420)	(421)	(422)	(423)	(424)	(425)	(426)	(427)	(428)	(429)	(430)	(431)	(432)	(433)	(434)	(435)	(436)
(381)	(382)	(383)	(384)	(385)	(386)	(387)	(388)	(389)	(390)	(391)	(392)	(393)	(394)	(395)	(396)	(397)	(398)	(399)	(400)	(401)	(402)	(403)	(404)	(405)	(406)	(407)	(408)
(353)	(354)	(355)	(356)	(357)	(358)	(359)	(360)	(361)	(362)	(363)	(364)	(365)	(366)	(367)	(368)	(369)	(370)	(371)	(372)	(373)	(374)	(375)	(376)	(377)	(378)	(379)	(380)
(325)	(326)	(327)	(328)	(329)	(330)	(331)	(332)	(333)	(334)	(335)	(336)	(337)	(338)	(339)	(340)	(341)	(342)	(343)	(344)	(345)	(346)	(347)	(348)	(349)	(350)	(351)	(352)

図 3-1 要素位置図

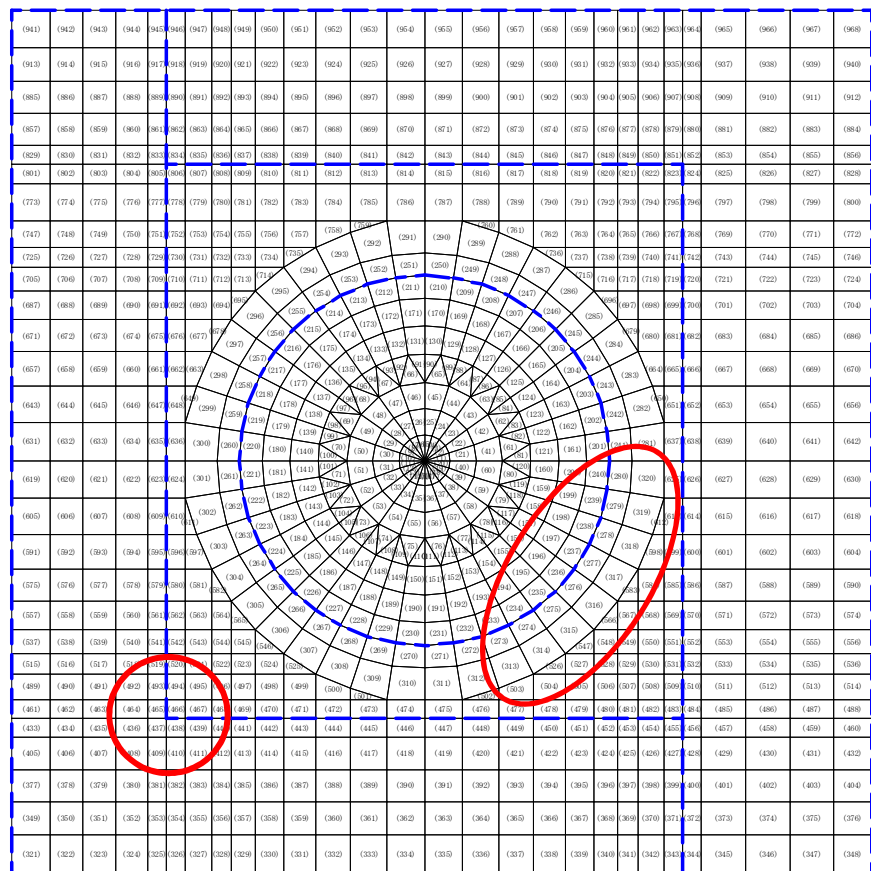
### 3.2 応力平均化の方法

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。

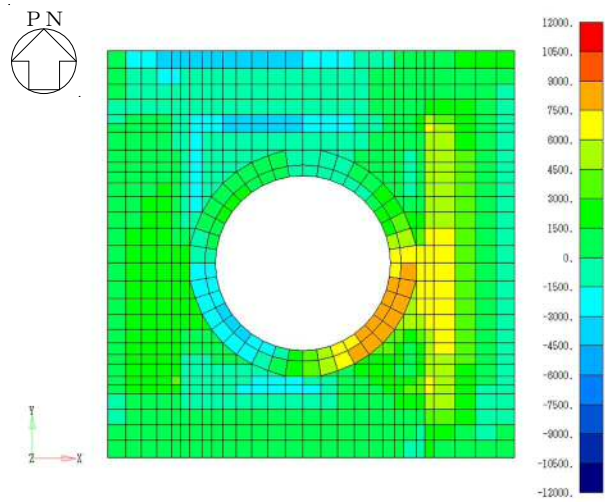
そこで、今回の原子炉建屋基礎盤の弾性応力解析においては、「RC-N規準」を参考に、コンクリートのひび割れによる応力の再配分を考慮し、応力の平均化を行った。

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。

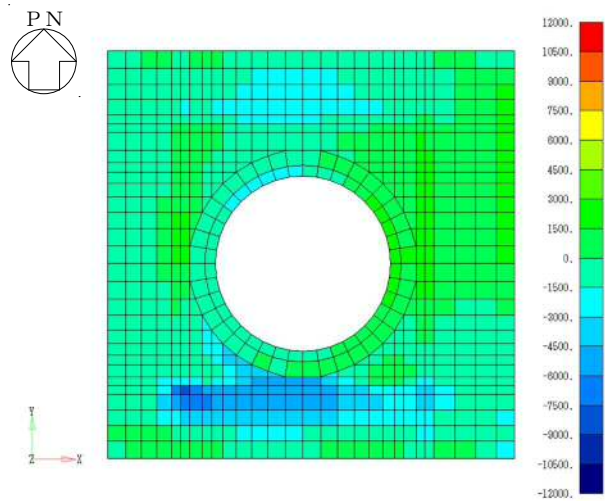


--- 壁位置

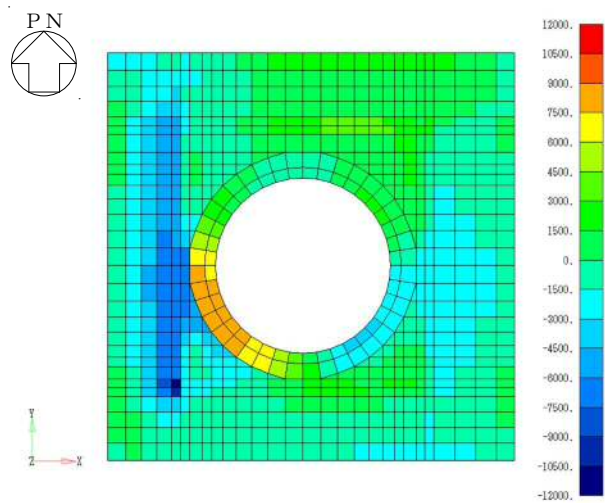
図3-2 原子炉建屋基礎盤の3次元 FEM モデル



(a) 組合せケース 2-3 (X 方向または半径方向)

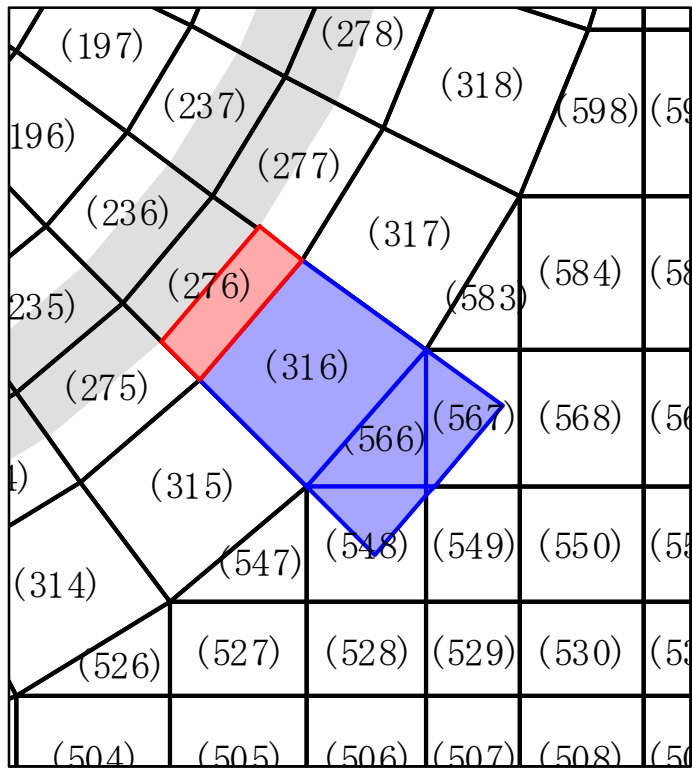
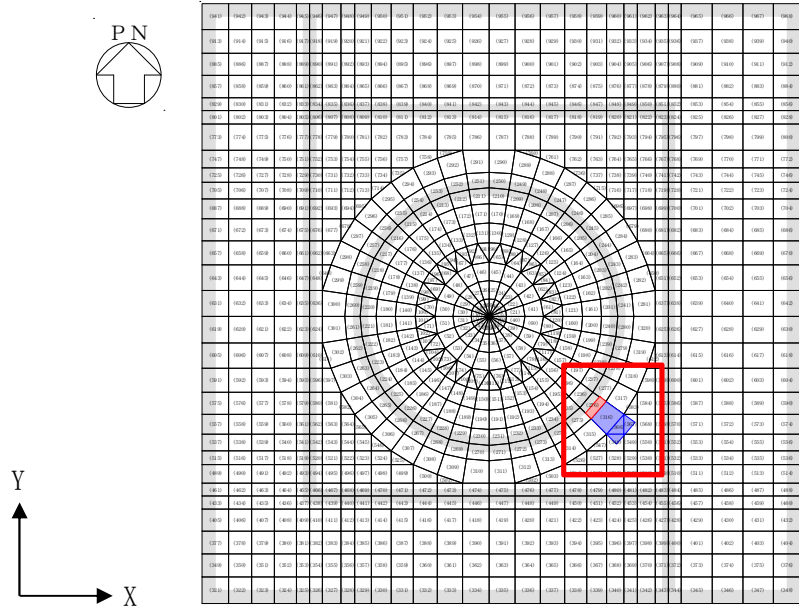


(b) 組合せケース 2-5 (Y 方向または円周方向)



(c) 組合せケース 2-6 (X 方向または半径方向)

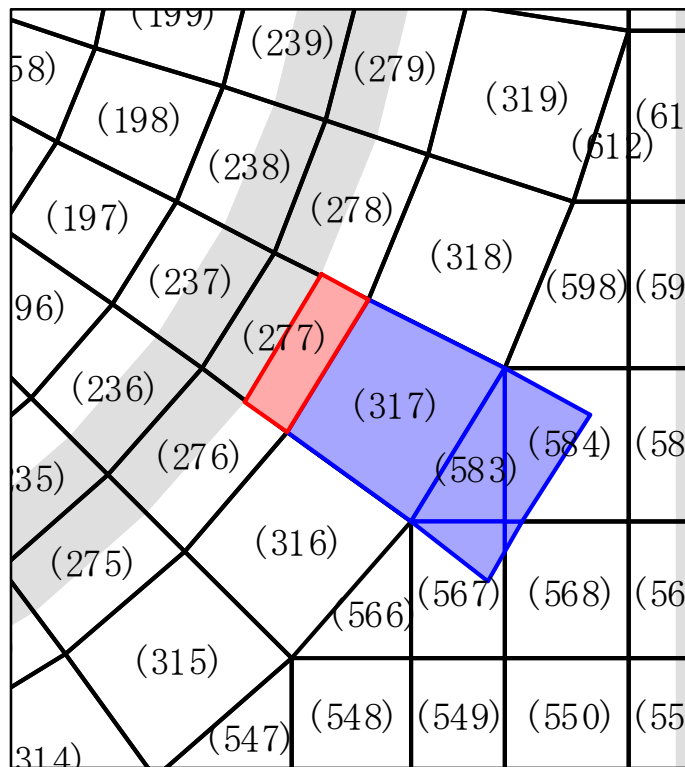
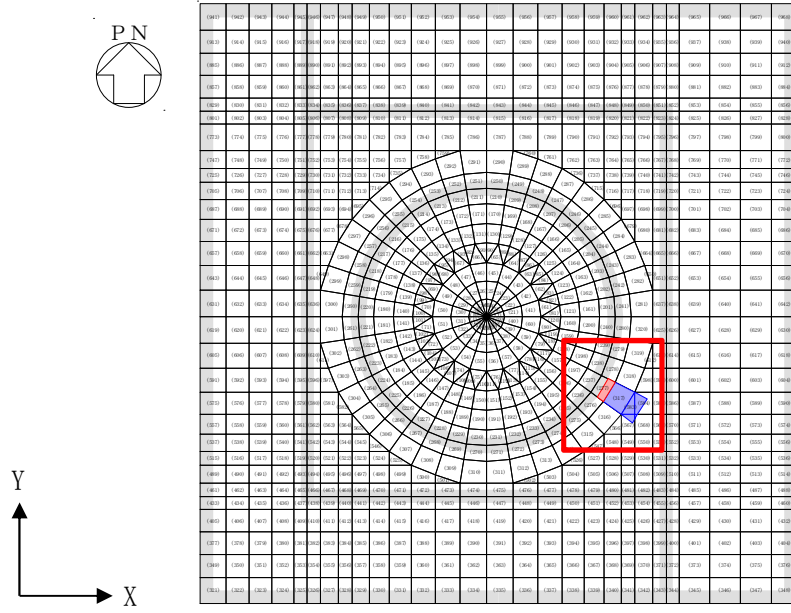
図 3-3 原子炉建屋基礎盤の応力コンター図 (面外せん断力 (単位: kN/m))



- 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

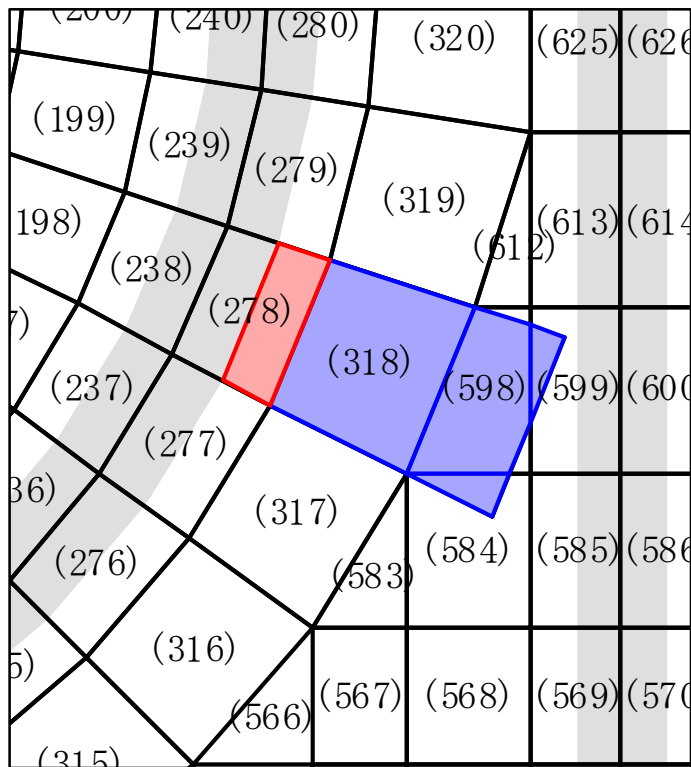
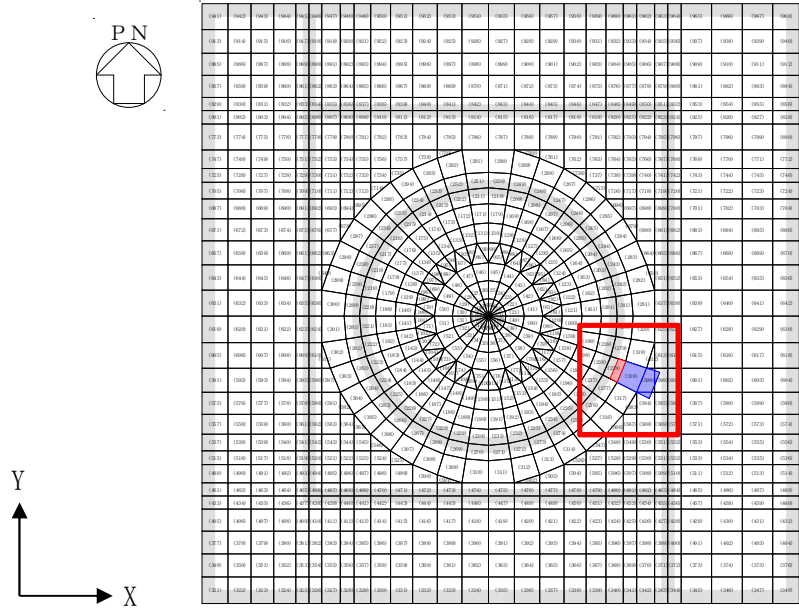
図 3-4 (1/7) 応力平均化範囲（面外せん断力， $S_s$ 地震時）



- 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）

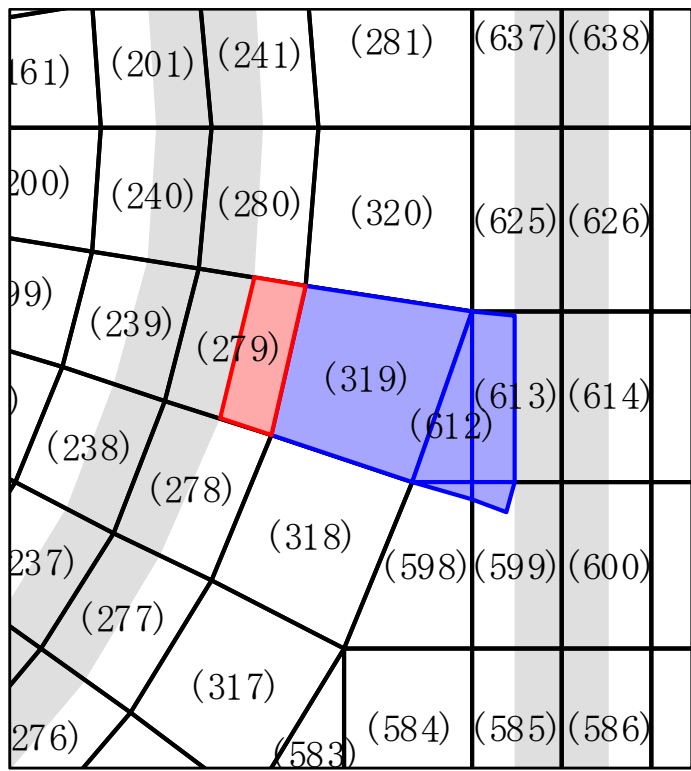
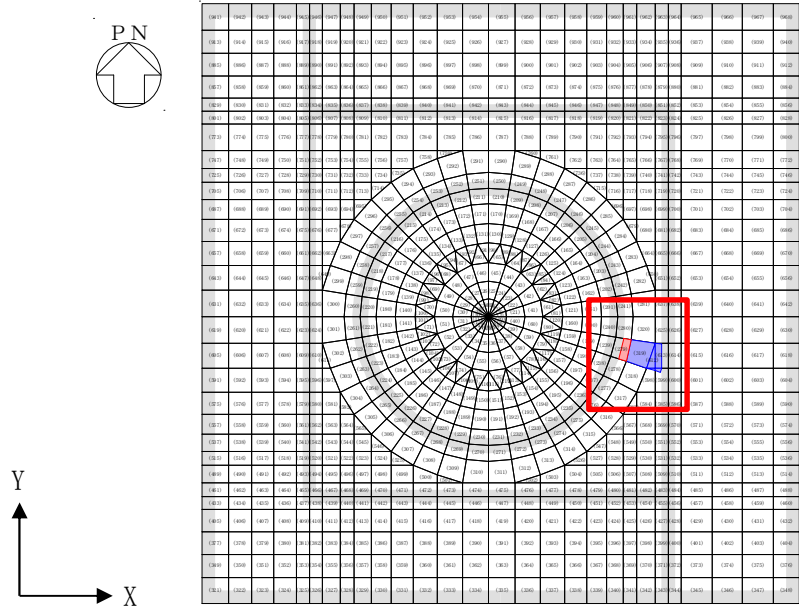


- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

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）

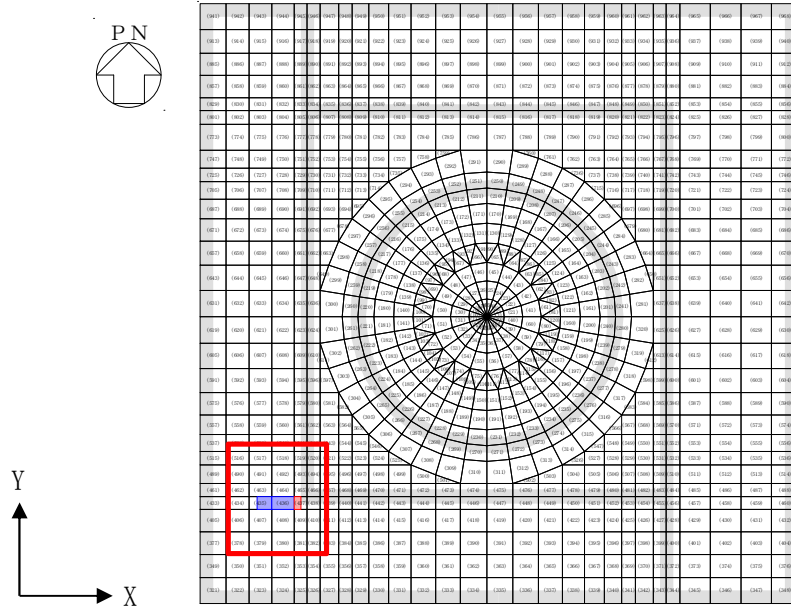




- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

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）

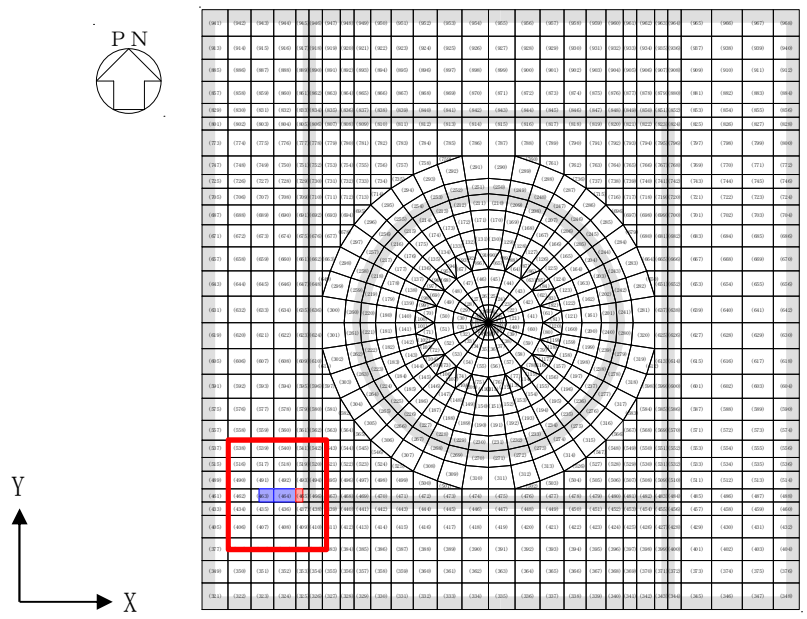


(500)	(501)	(502)	(503)	(504)	(505)
(516)	(517)	(518)	(519)	(520)	(521)
(490)	(491)	(492)	(493)	(494)	(495)
(462)	(463)	(464)	(465)	(466)	(467)
(434)	(435)	(436)	(437)	(438)	(439)
(406)	(407)	(408)	(409)	(410)	(411)
(378)	(379)	(380)	(381)	(382)	(383)

- 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）

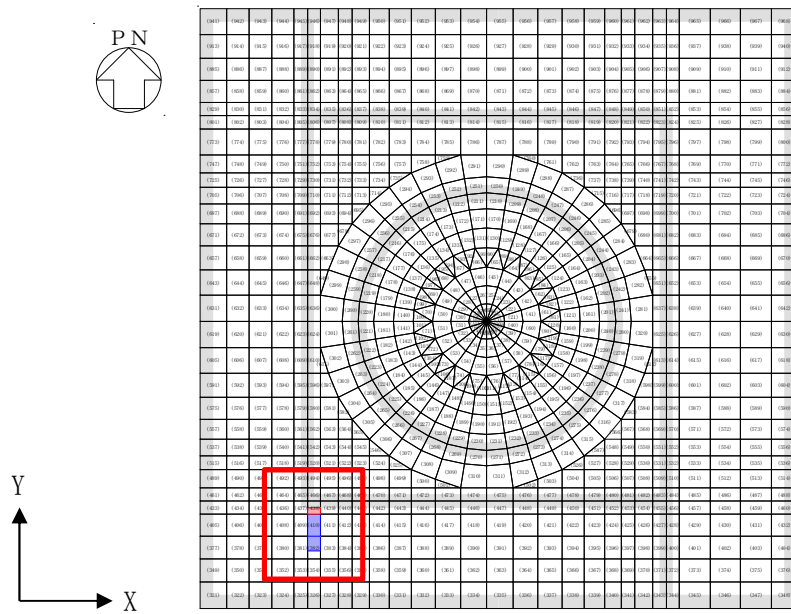


(538)	(539)	(540)	(541)	(542)	( )
(516)	(517)	(518)	(519)	(520)	( )
(490)	(491)	(492)	(493)	(494)	( )
(462)	(463)	(464)	(465)	(466)	( )
(434)	(435)	(436)	(437)	(438)	( )
(406)	(407)	(408)	(409)	(410)	( )
(378)	(379)	(380)	(381)	(382)	( )

- 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を選定している。

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>s</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

表 4-1 (2/4) 応力平均化要素 S<sub>s</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)
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>s</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

表 4-1 (4/4) 応力平均化要素 S<sub>s</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



## 4.2 応力平均化の方法

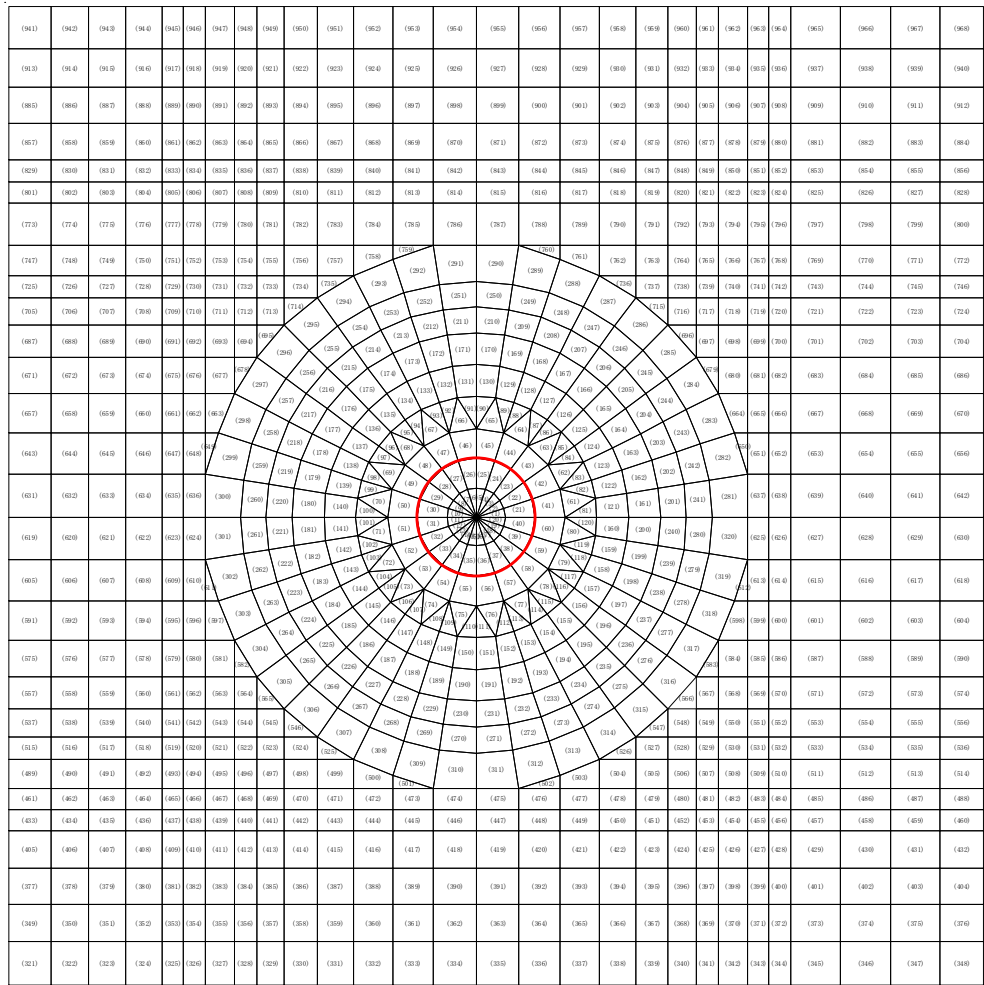
3次元 FEMモデルを用いた弾性応力解析においては、集中荷重等が作用する部位は、局所的な応力集中が発生しやすい。

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ペデスタル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。

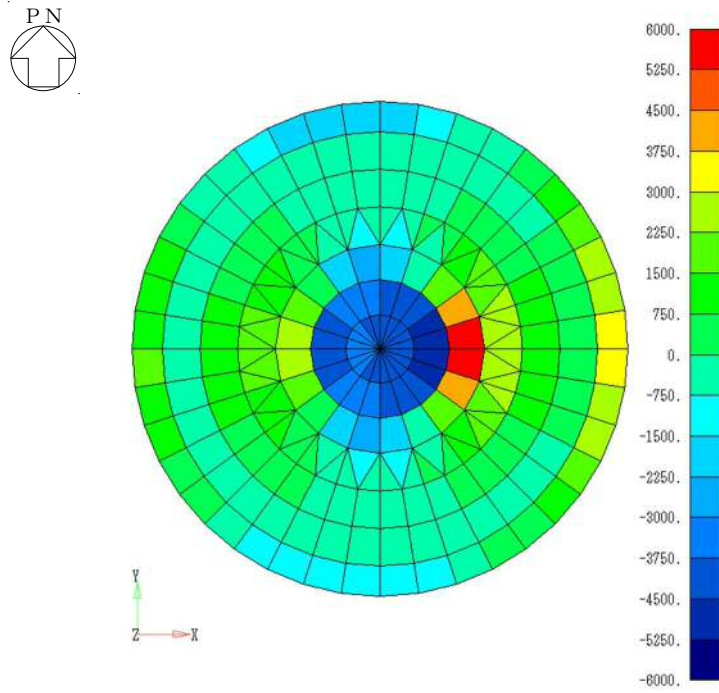
応力の平均化は、当該要素に隣接する要素に対し、不連続にならない範囲の要素に対して行った。

各要素についての応力度の平均化範囲を図4-4に示す。



RPV ペデスタルからの荷重入力位置

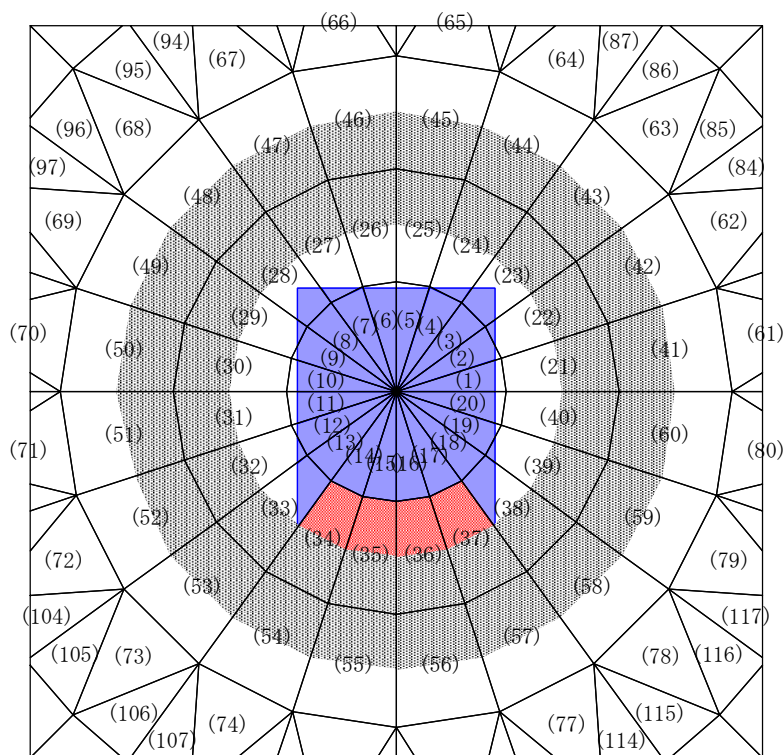
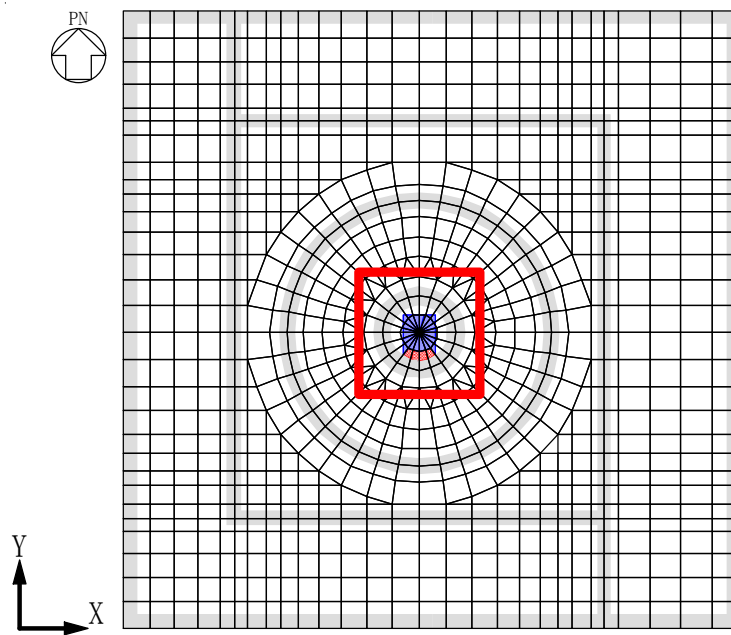
図 4-2 原子炉建屋基礎盤の 3 次元 FEM モデル



組合せケース 3-6 (X 方向)

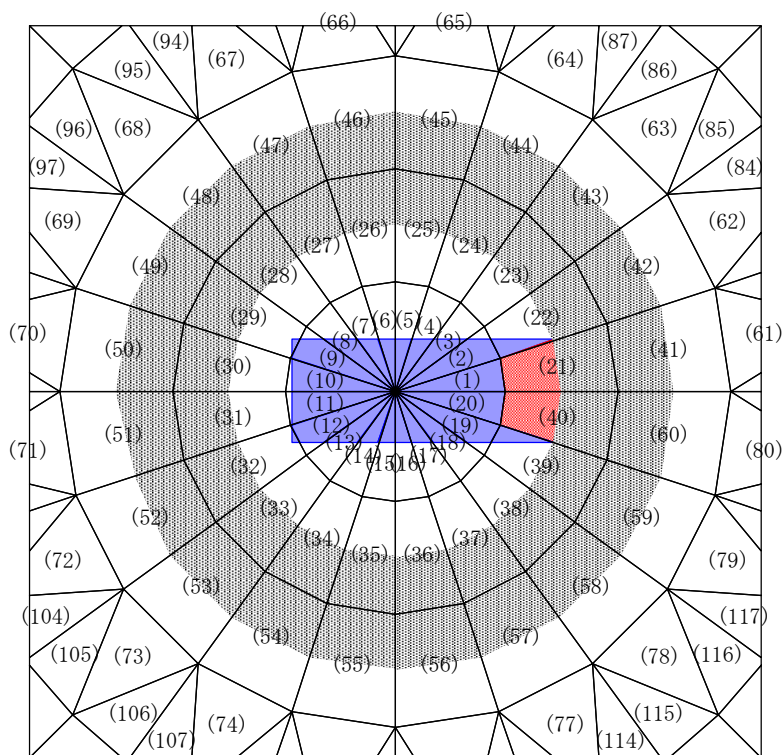
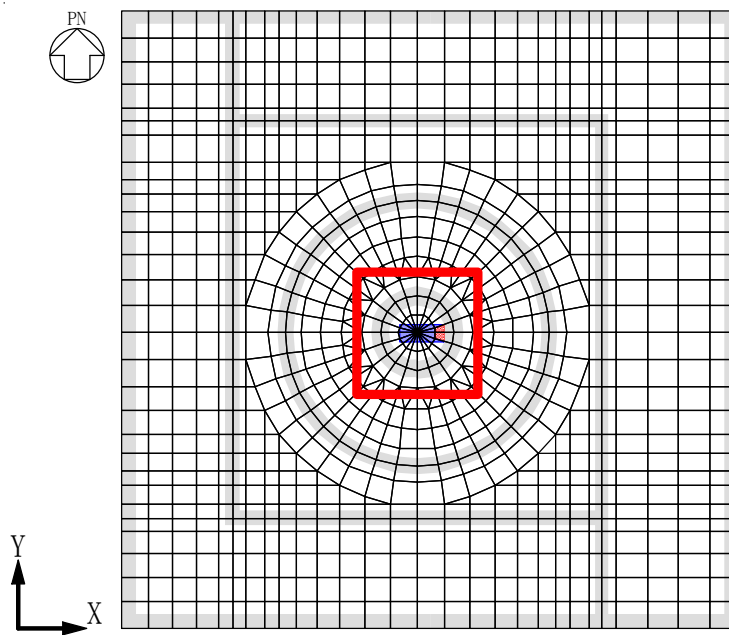
図 4-3 原子炉建屋基礎盤の応力コンター図の例 (面外せん断応力度 (単位: kN/m<sup>2</sup>))





- 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）

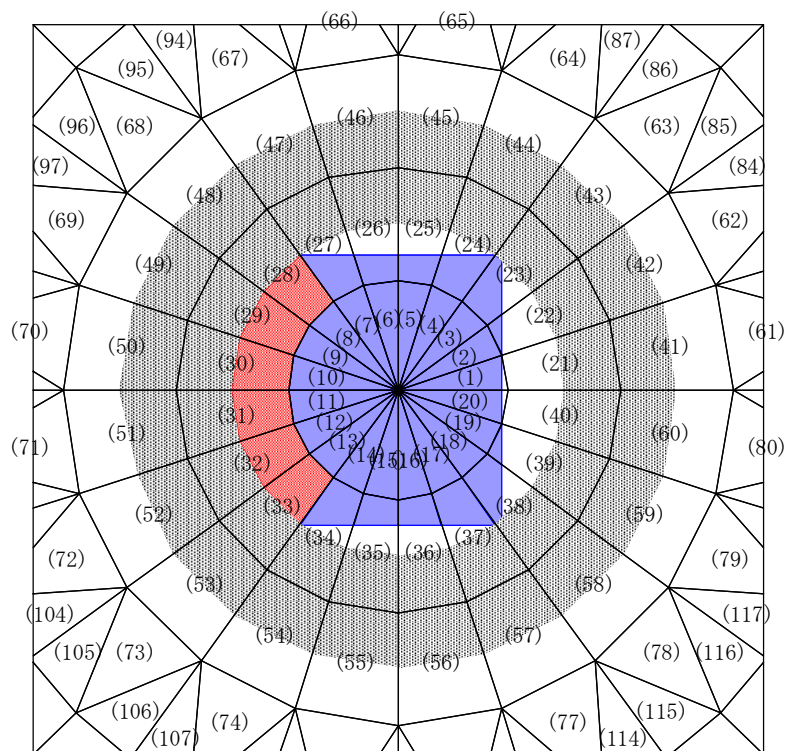
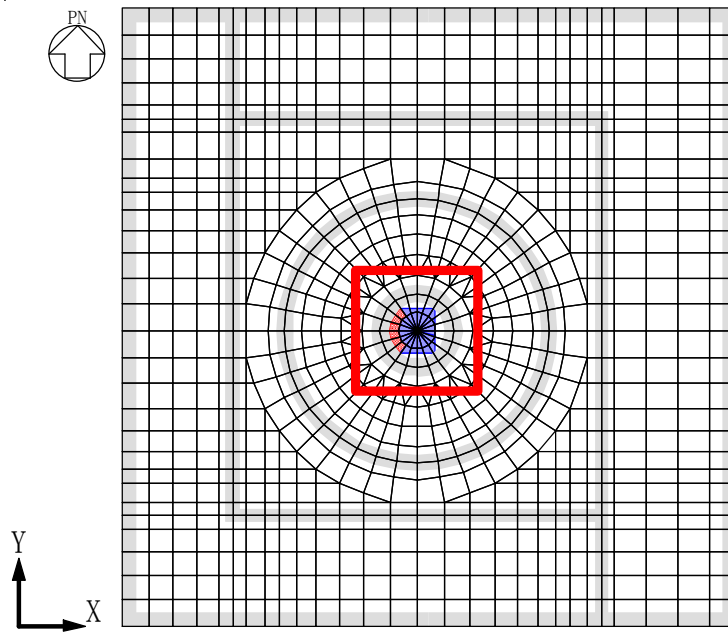
要素番号 34, 35, 36, 37 Y方向 ケース 3-1, 7-1, 7-5, 7-7  
 図 3-4 (1/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）



- 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）

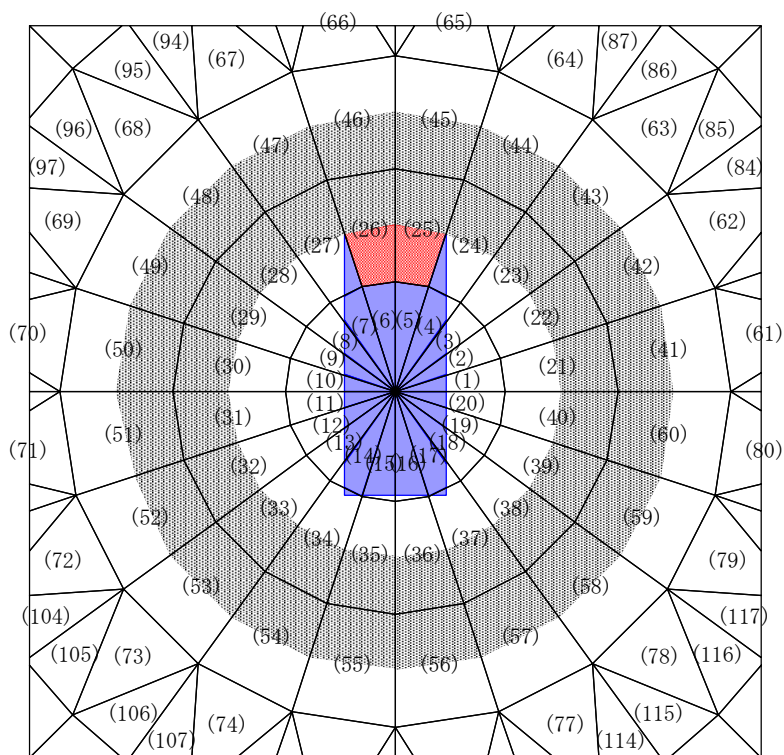
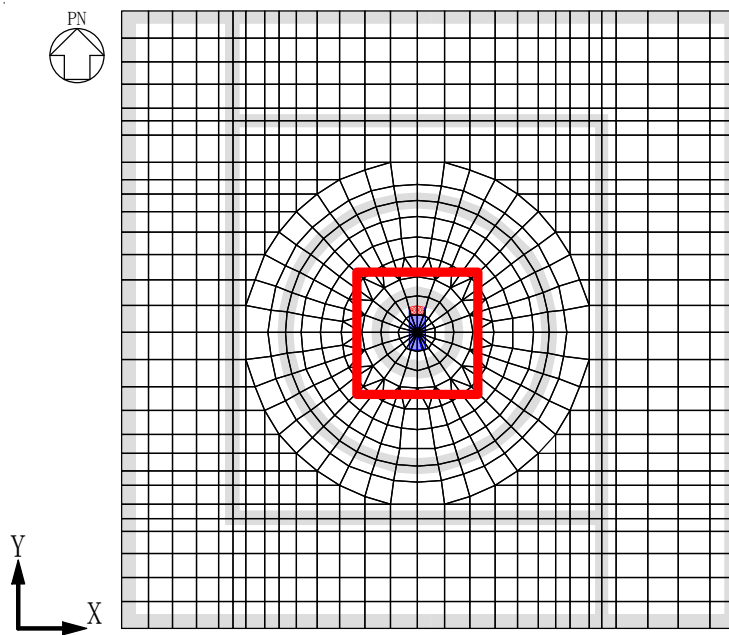
要素番号 21, 40 X方向 ケース 3-2

図 3-4 (2/13) 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）

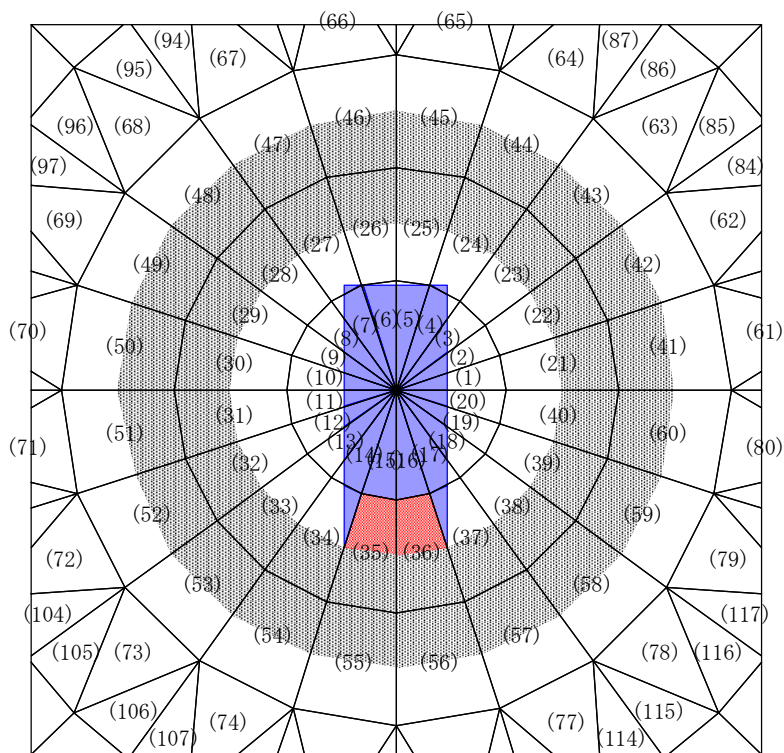
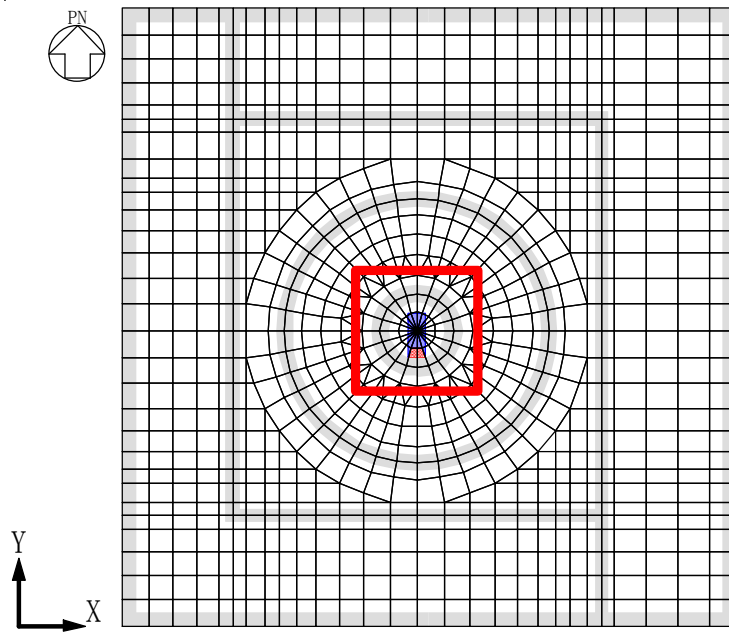
要素番号 28, 29, 30, 31, 32, 33 X方向 ケース 3-2, 7-2, 7-6  
 図 3-4 (3/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）



- 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

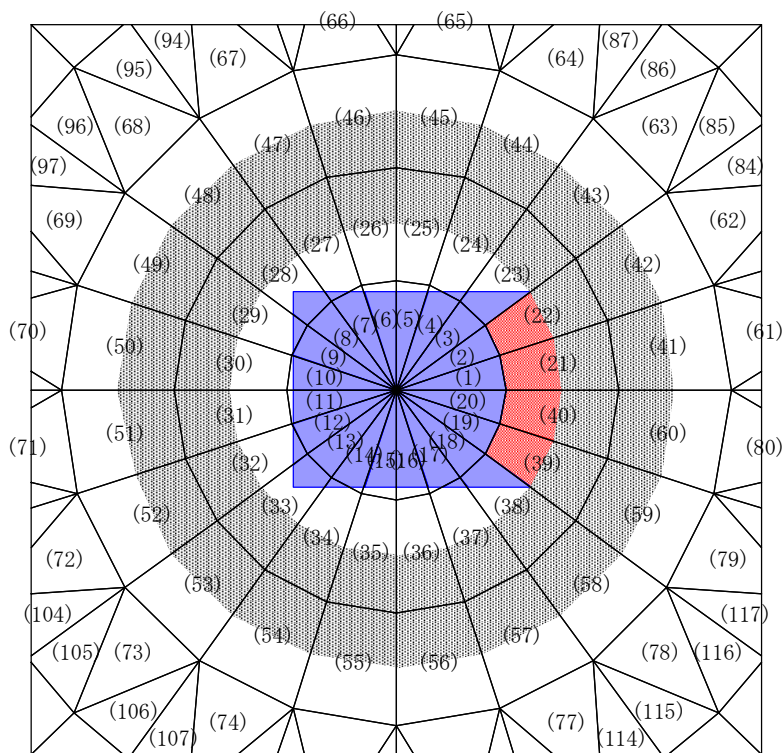
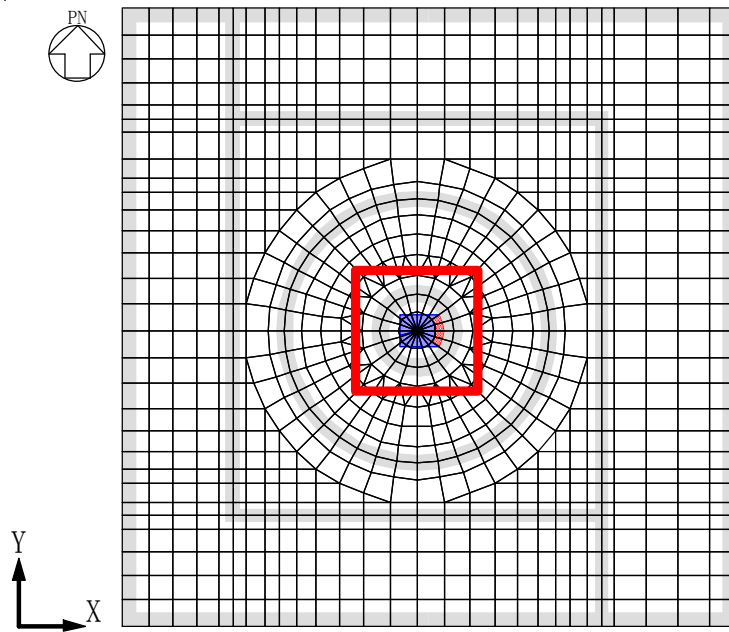
図 3-4 (4/13) 応力平均化範囲（面外せん断力,  $S_s$ 地震時）



- 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）

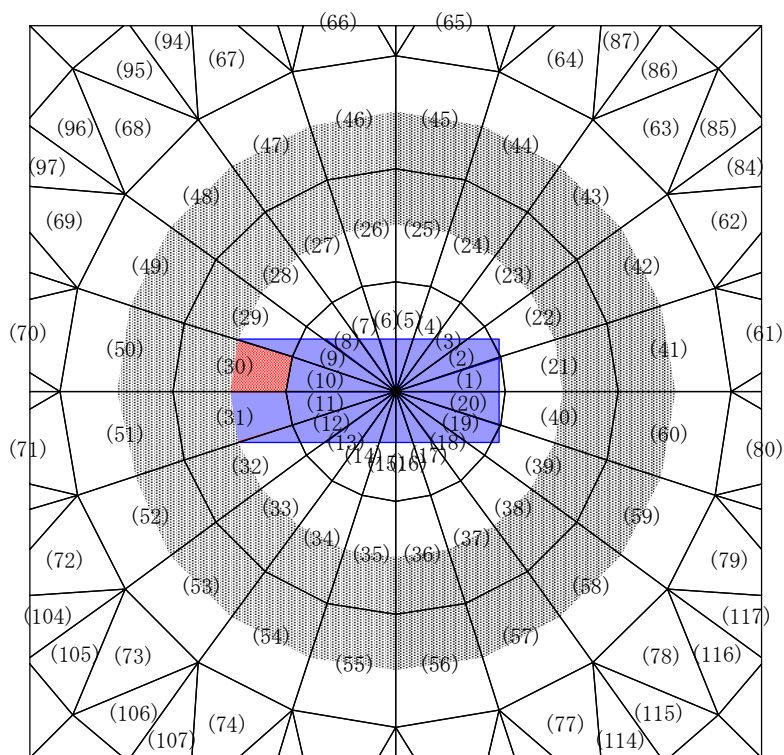
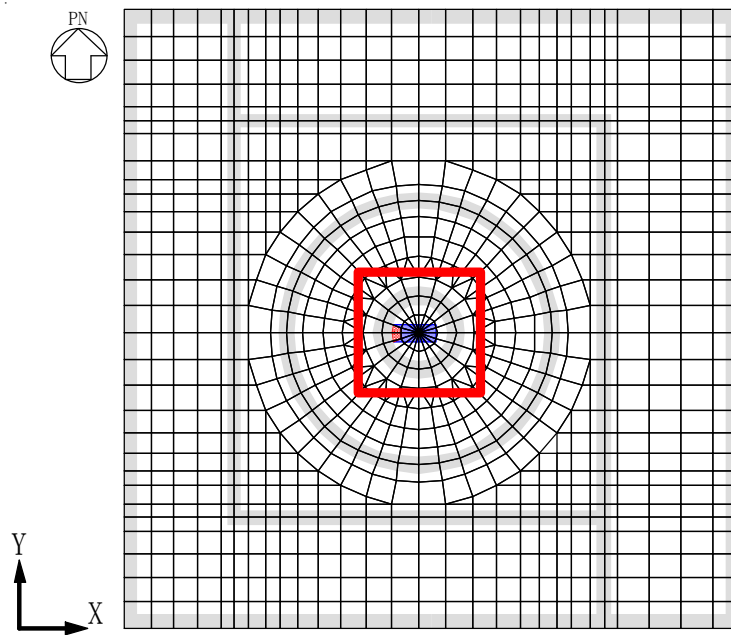
要素番号 35, 36 Y方向 ケース 3-3, 7-3

図 3-4 (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）

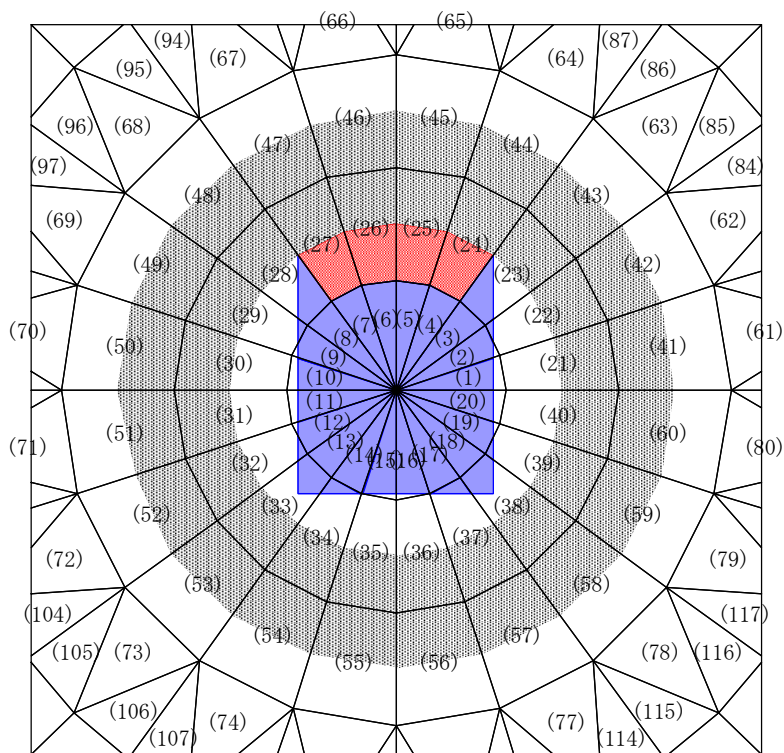
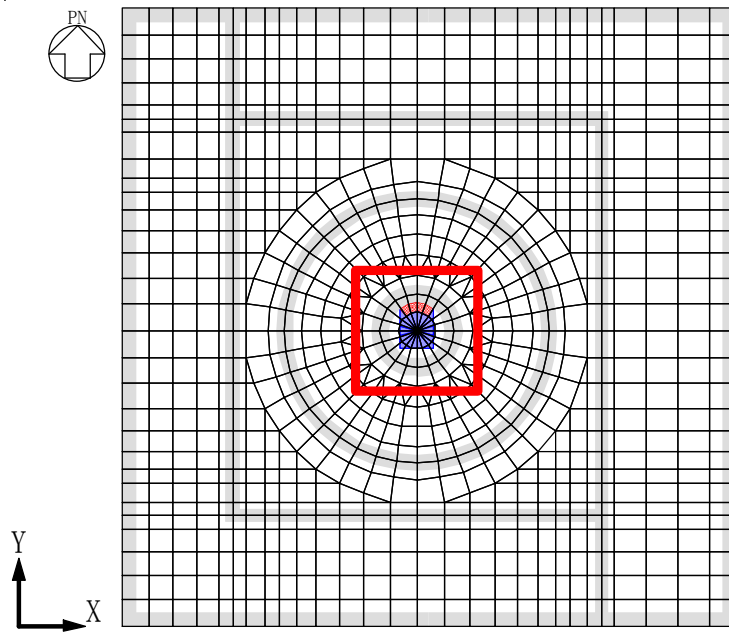
要素番号 21, 22, 39, 40 X方向 ケース 3-4, 7-4, 7-6, 7-8  
 図 3-4 (6/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）



- 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 3-4 (7/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）

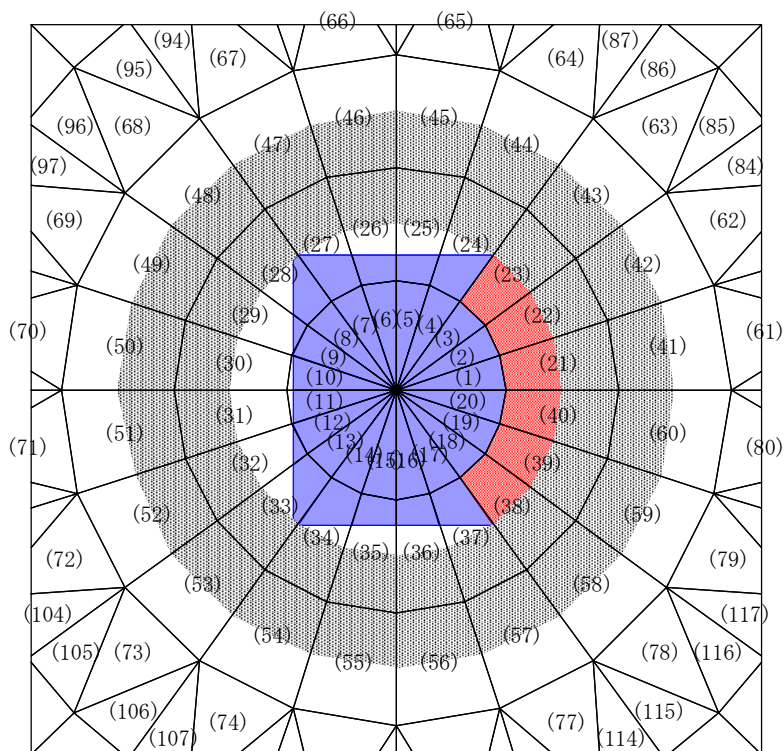
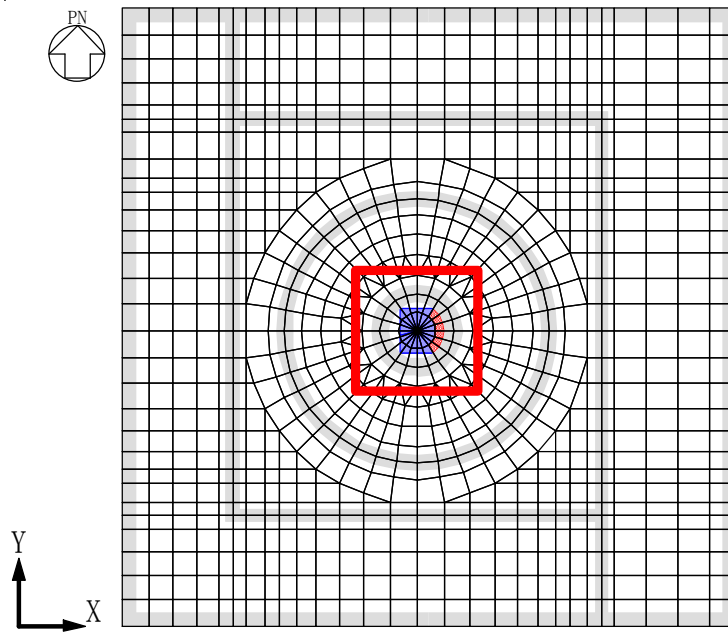


- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

要素番号 24, 25, 26, 27 Y方向 ケース 3-5, 7-3

図 3-4 (8/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）

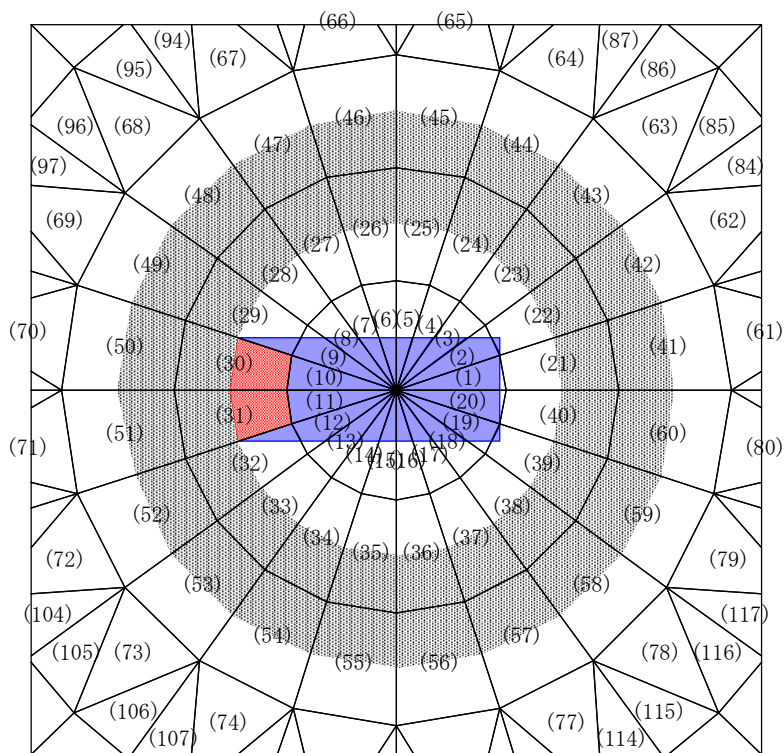
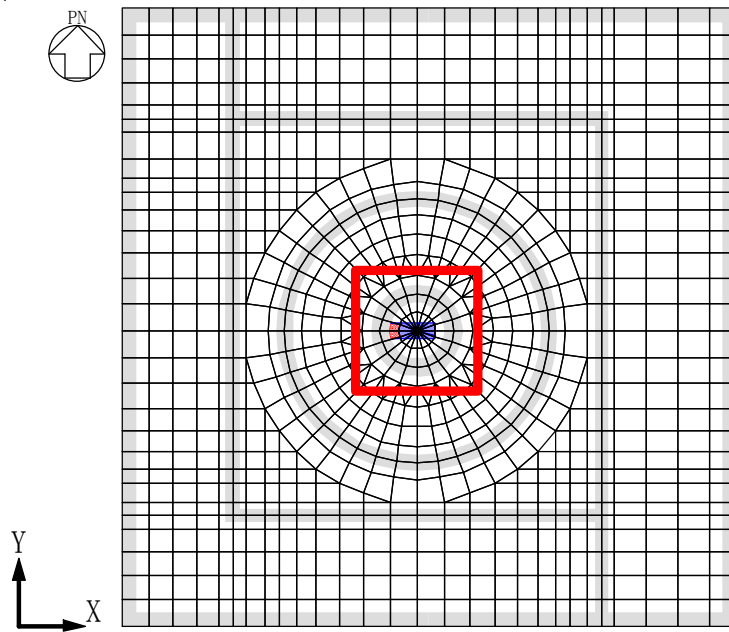




- 応力平均化実施要素
- 平均化実施に用いた周辺要素
- 壁直下の範囲（平均化対象外）

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

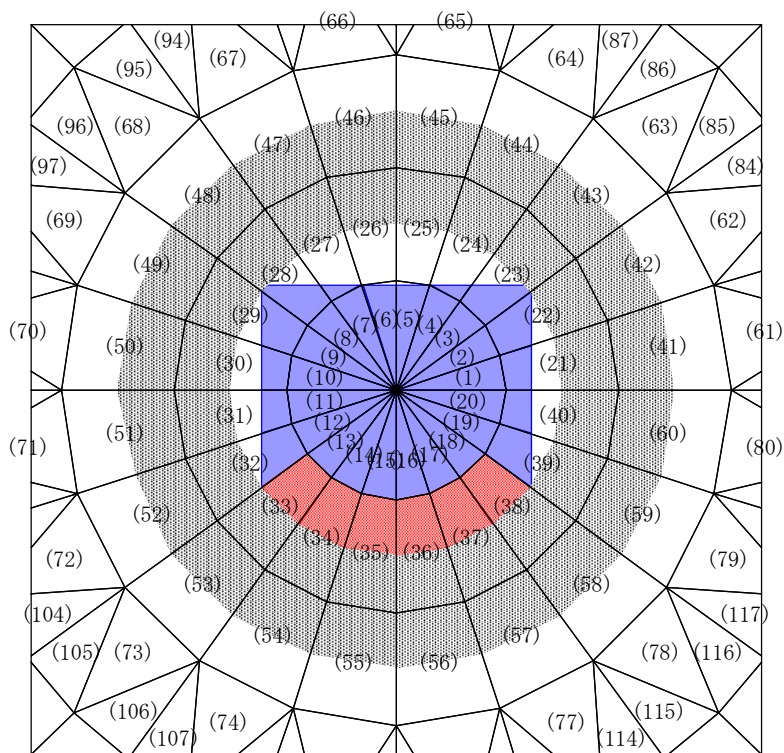
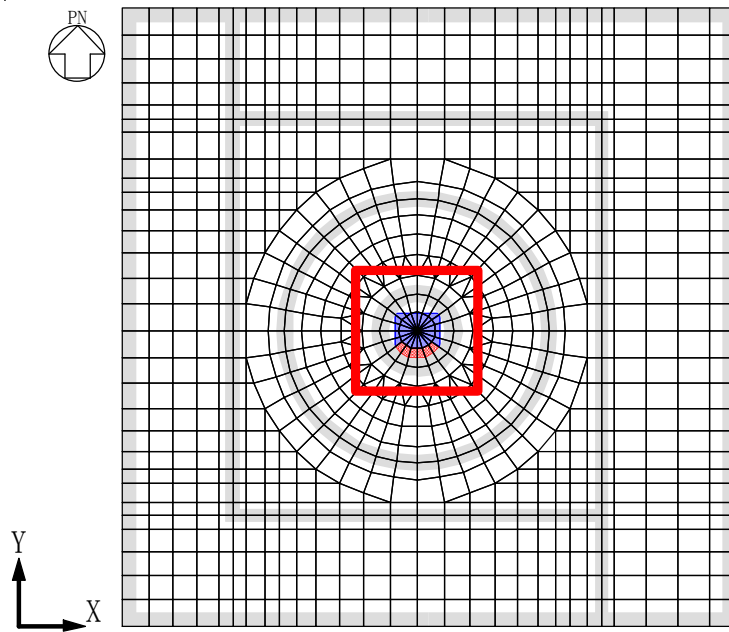
図 3-4 (9/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）



- 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

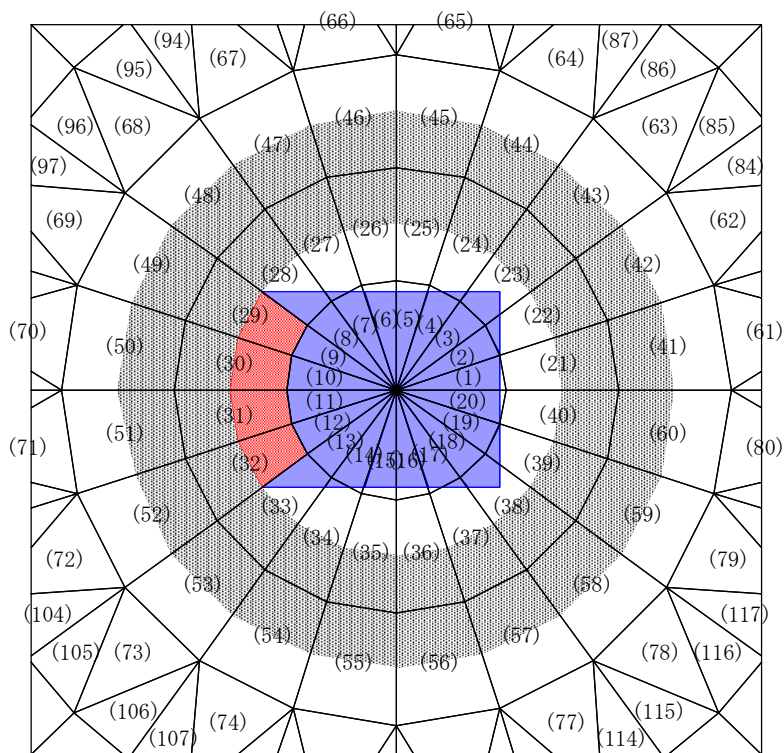
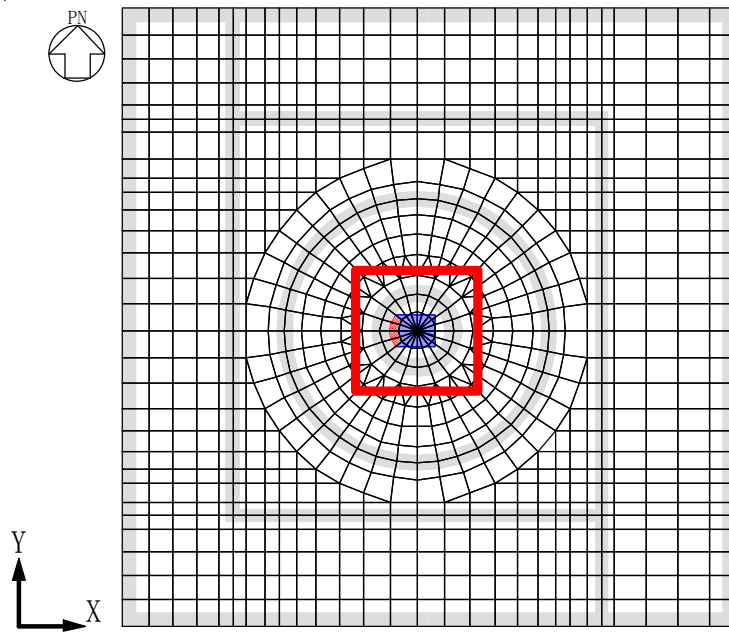
図 3-4 (10/13) 応力平均化範囲（面外せん断力,  $S_s$ 地震時）



- 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

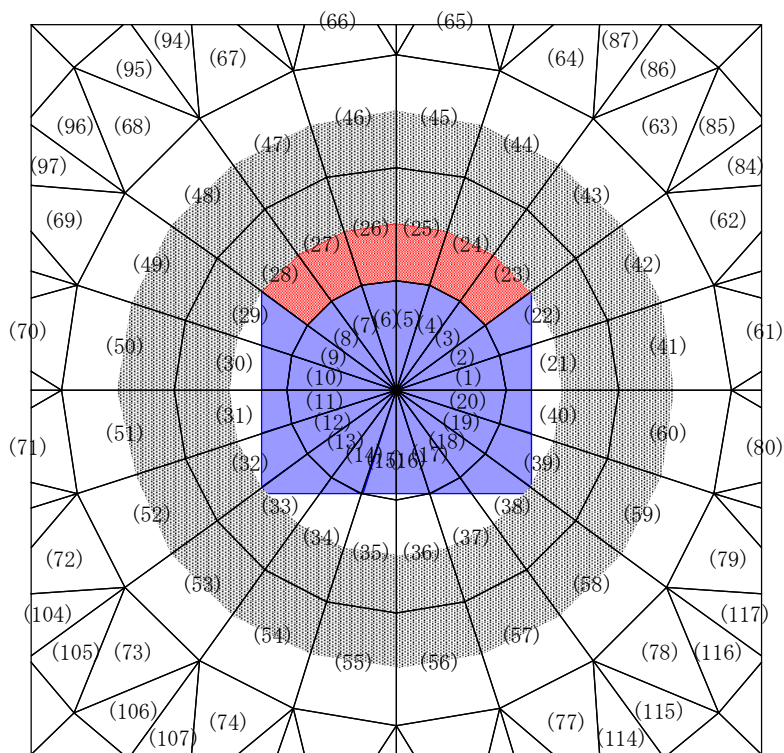
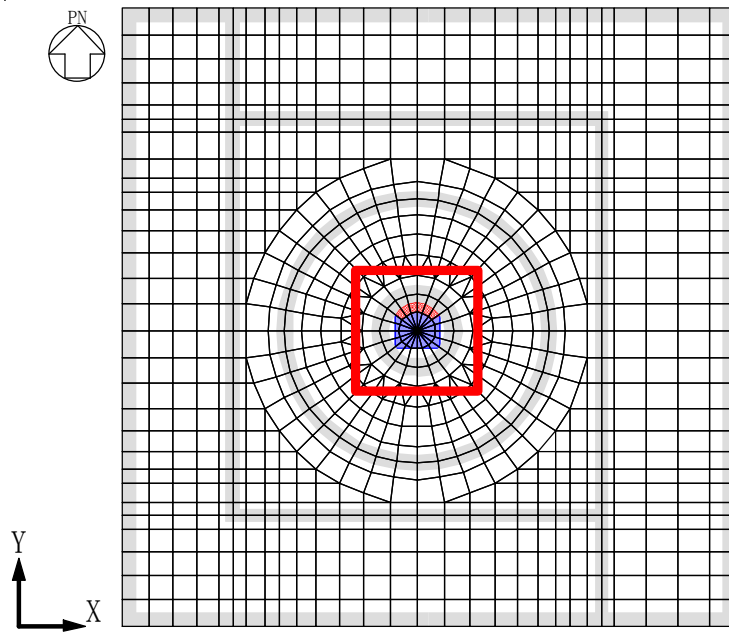
図 3-4 (11/13) 応力平均化範囲（面外せん断力、 $S_s$ 地震時）



- 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 3-4 (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 3-4 (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 (1/12) 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 (2/12) 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)  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 (3/12) 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 (4/12) 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 (5/12) 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 (6/12) 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 (7/12) 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 (8/12) 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 (9/12) 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 (10/12) 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 (11/12) 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 (12/12) 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	3727
		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、「C C V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。

表 3-4 (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	0.960	1.06	0.906
		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 3-4 (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 3-4 (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 3-4 (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