

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0
提出年月日	平成30年6月27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6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

## 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、以下の資料の補足説明をするものである。

- ・資料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」

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

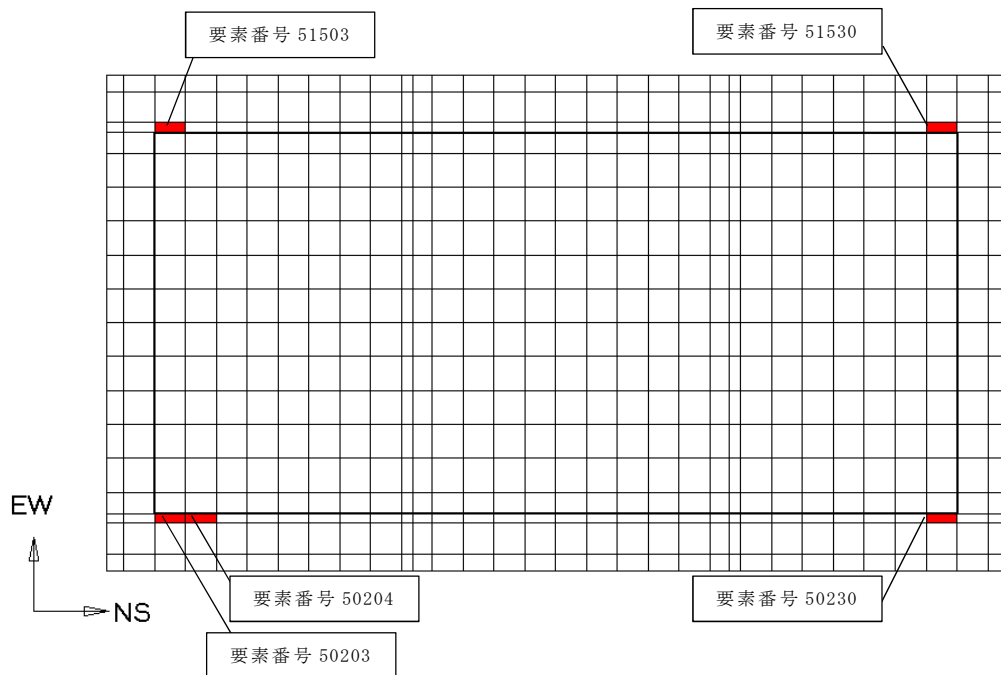


図 2-1 要素位置図

## 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。

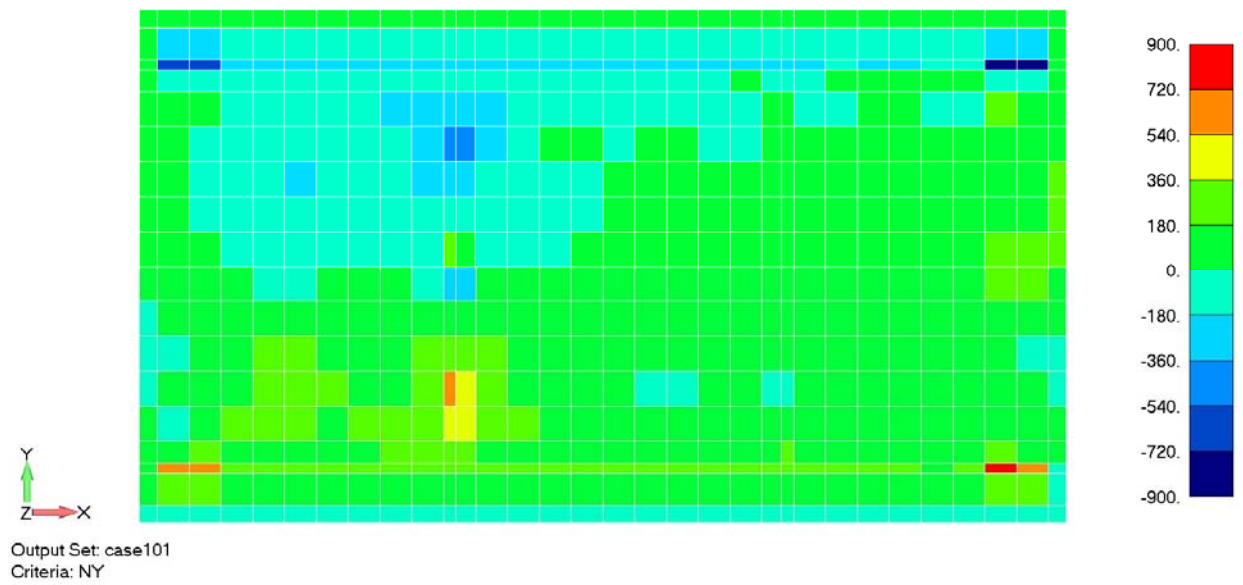
使用済燃料乾式貯蔵建屋の3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析において、耐震壁との接続部分の基礎において、局所的に大きな曲げモーメントが発生している。局所応力の発生部材周囲における拘束状況の代表例を図2-2に、軸力と曲げモーメントの断面力の例を図2-3に示す。

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。

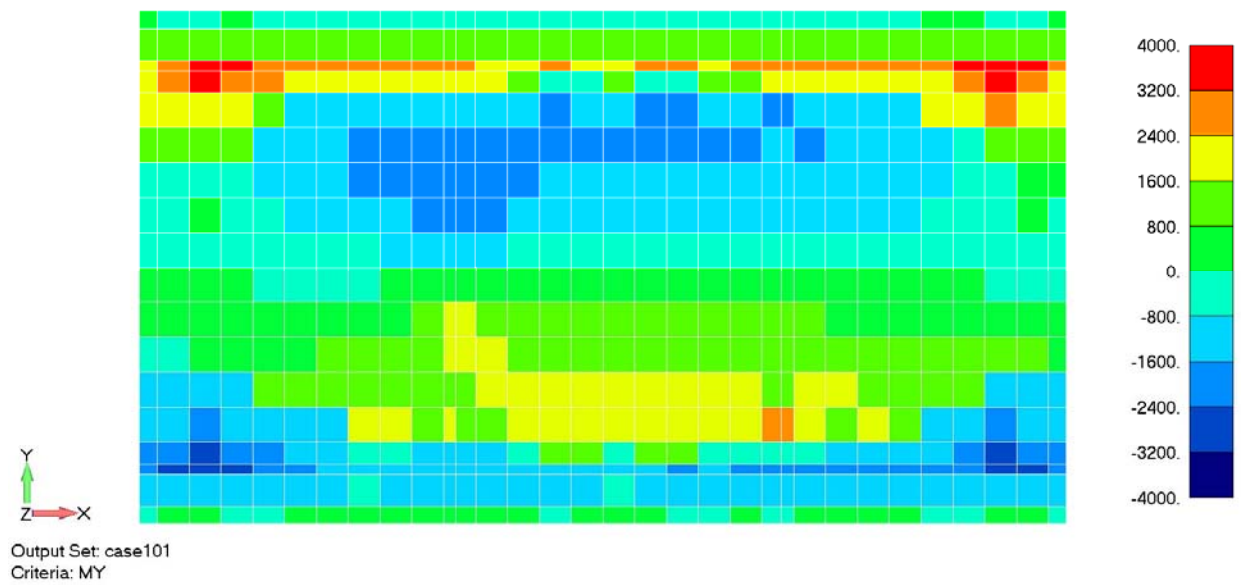
各要素について応力度の平均化範囲を図2-4に示す。



図2-2 局所応力の発生部材周囲における拘束状況

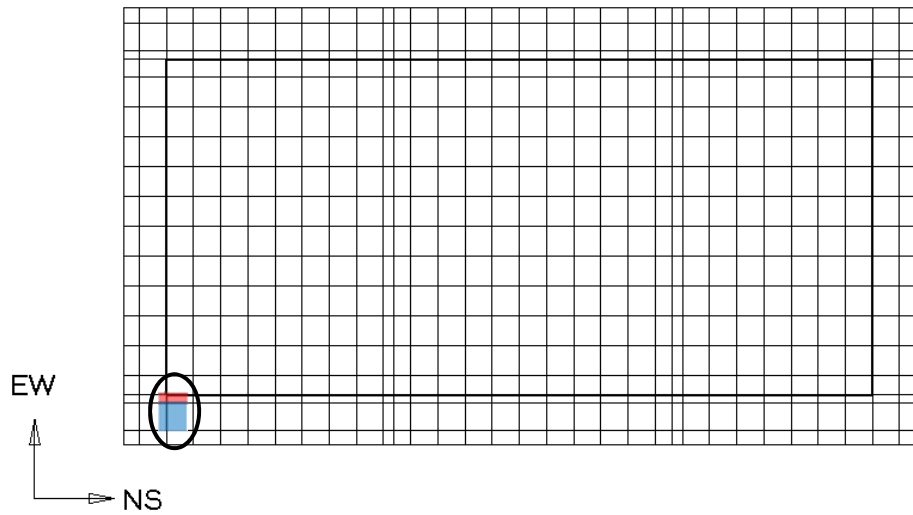


(a) EW 方向 軸力 (kN/m)



(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

要素番号 軸力 (kN/m)					要素番号 曲げモーメント (kN・m/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

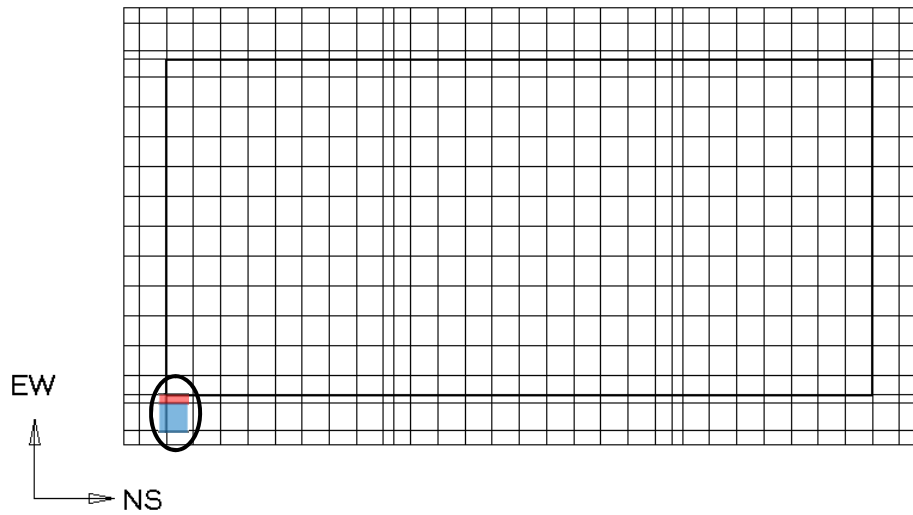
(b) 軸力

(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 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

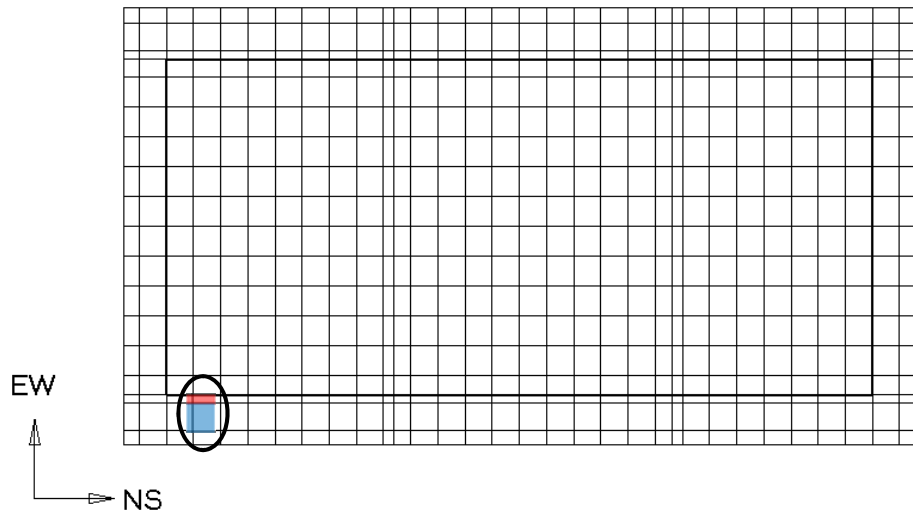
(c) 曲げモーメント

- : 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

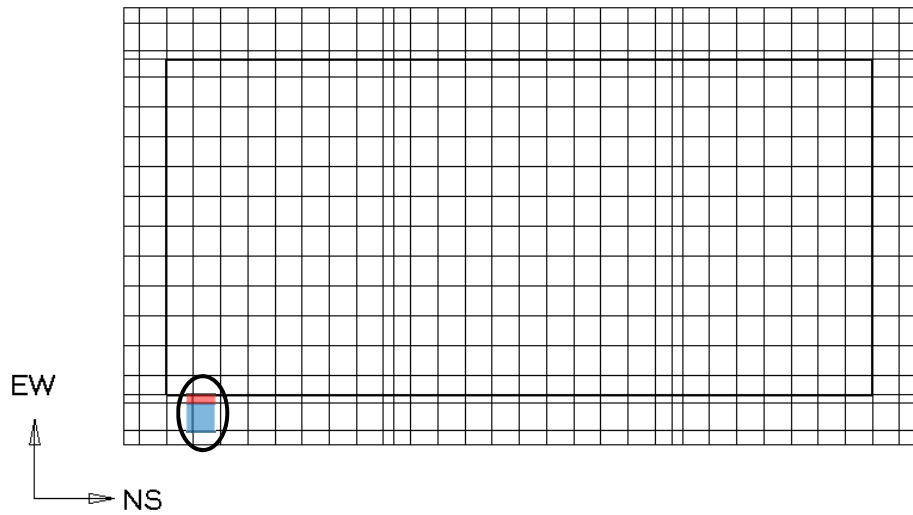
(b) 軸力

(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

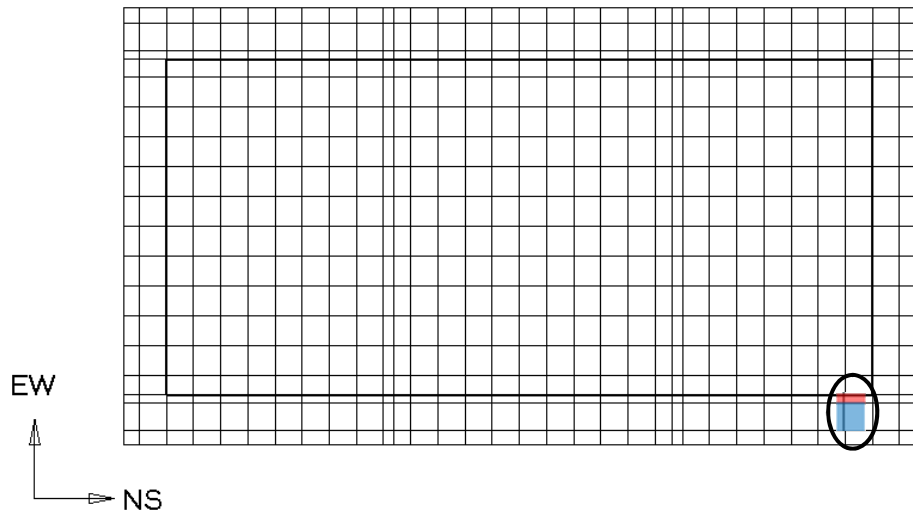
(b) 軸力

(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<sub>s</sub>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

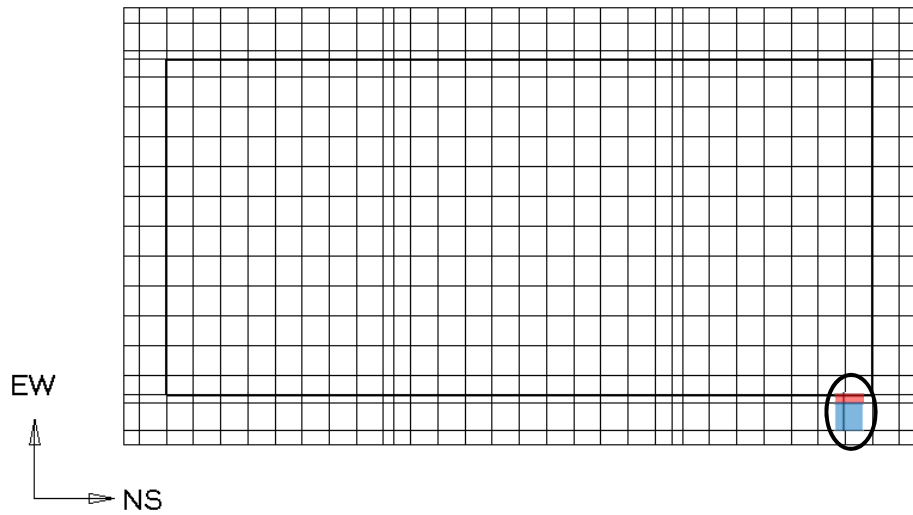
(b) 軸力

(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<sub>s</sub>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

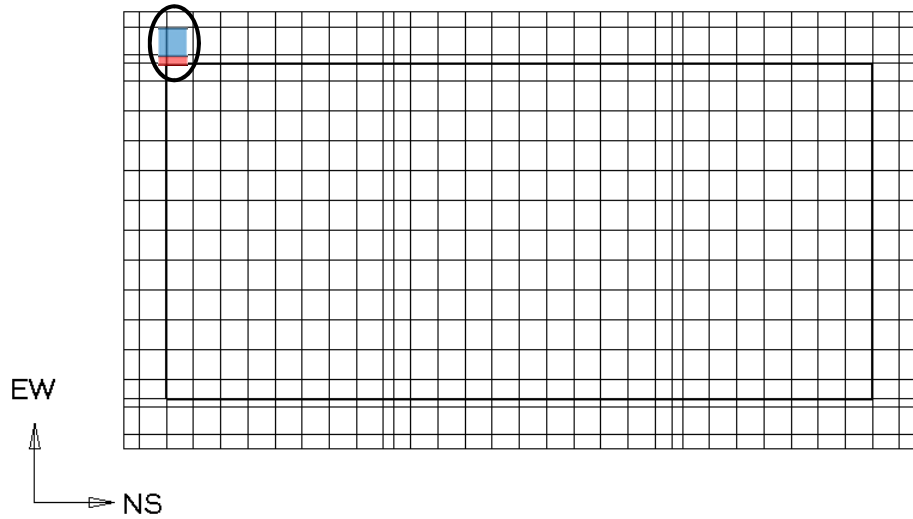
(b) 軸力

(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<sub>s</sub>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

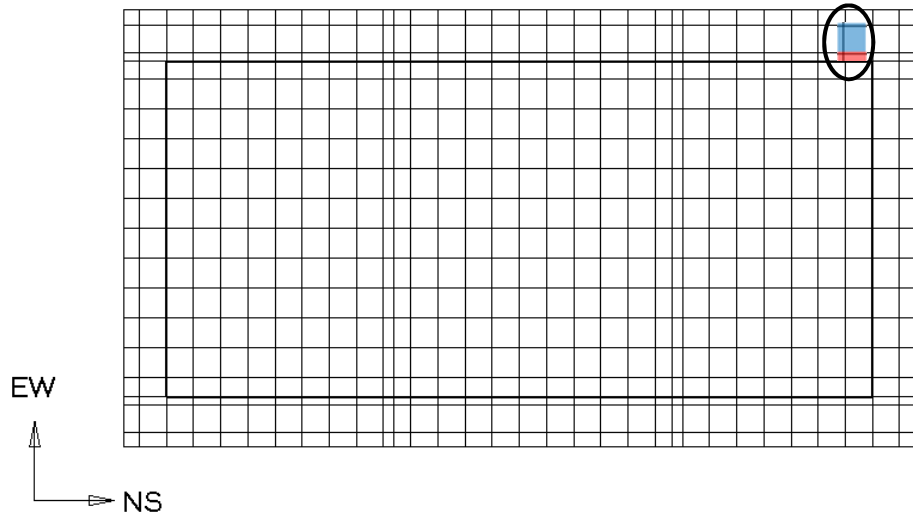
(b) 軸力

(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<sub>s</sub>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

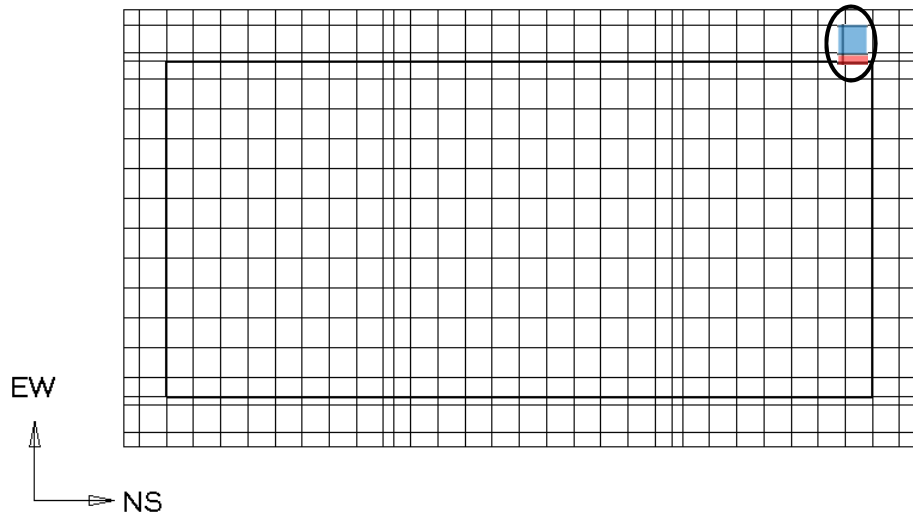
(b) 軸力

(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<sub>s</sub>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