

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や防護上の観点から公開できません。


※なお、本資料は抜粋版のため、公開できない箇所はありません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-5_改1
提出年月日	2021年 7月 19日

補足-600-5 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する 検討について

目 次

1. 検討の目的	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	1
2.1 女川原子力発電所の基準地震動	1
2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	4
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	4
3.1 建物・構築物	4
3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	4
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	7
3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出	12
3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果	33
3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	35
3.1.6 排気筒の検討	36
3.1.7 使用済燃料プールの壁の検討	47
3.1.8 原子炉建屋の基礎版の検討	65
3.2 機器・配管系	81
3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	81
3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	82
3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響評価方法	83
3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	86
3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出結果	88
3.2.6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	89
3.2.7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	90
3.2.8 まとめ	90
3.3 屋外重要土木構造物	106
3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	106
3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	109
3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	110
3.3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	113
3.3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	130
3.3.6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	141
3.3.7 まとめ	155

 : 今回提出範囲

3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	156
3.4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物	156
3.4.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	169
3.4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	170
3.4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	171
3.4.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	174
3.4.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	185
3.4.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価結果	188
3.4.8 機器・配管系への影響	245

別紙1 評価部位の抽出に関する説明資料


別紙2 3次元FEMモデルを用いた精査

別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析

別紙4 機器・配管系に関する説明資料

別紙5 方向性を考慮しない水平地震動における模擬地震波の作成方針

別紙6 原子炉建屋基礎版の応力解析における応力平均化の考え方

 : 今回提出範囲

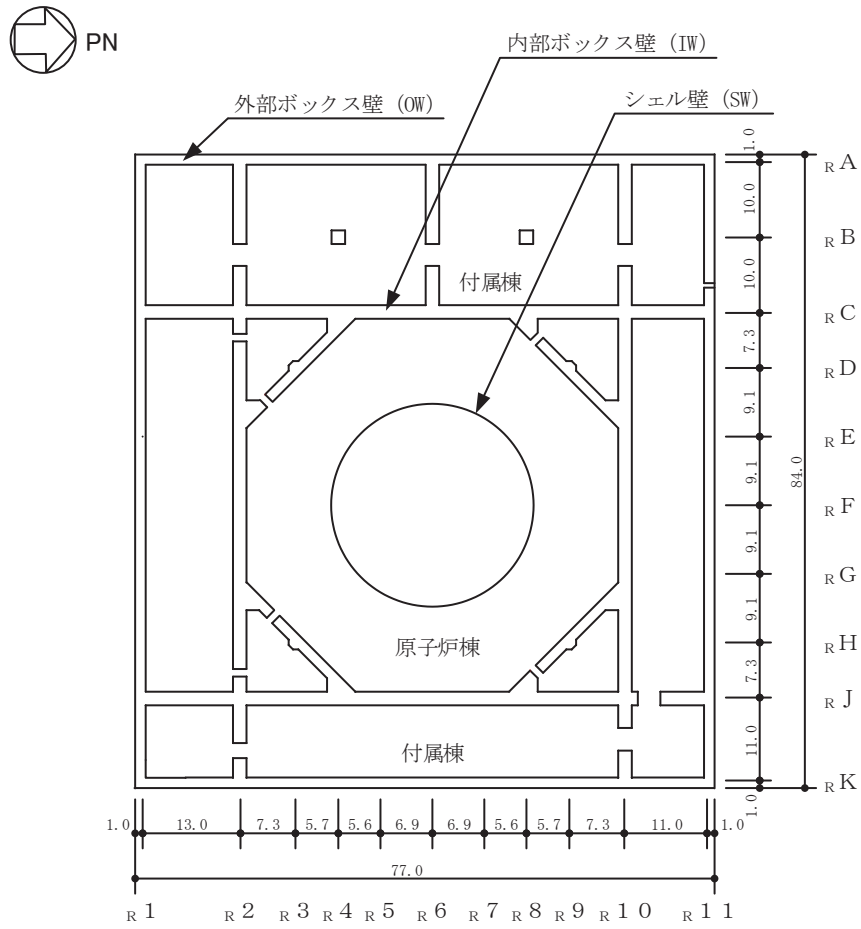
3.1.8 原子炉建屋の基礎版の検討

(1) 検討の概要

原子炉建屋基礎版は、矩形であり直交する水平 2 方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、 S_s 地震時を対象として水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を検討する。

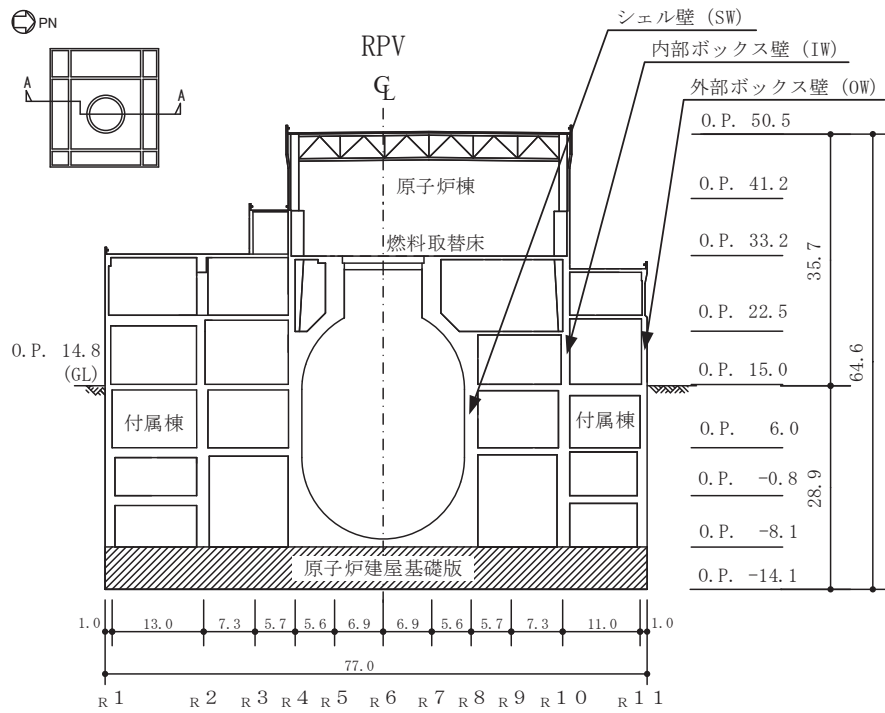
原子炉建屋基礎版は、付属棟基礎と一体となっており、付属棟基礎を含む平面の形状は、南北方向 77.0m、東西方向 84.0m の矩形であり、厚さは 6.0m である。

原子炉建屋基礎版の概略平面図及び概略断面図を図 3-1-18 及び図 3-1-19 に示す。



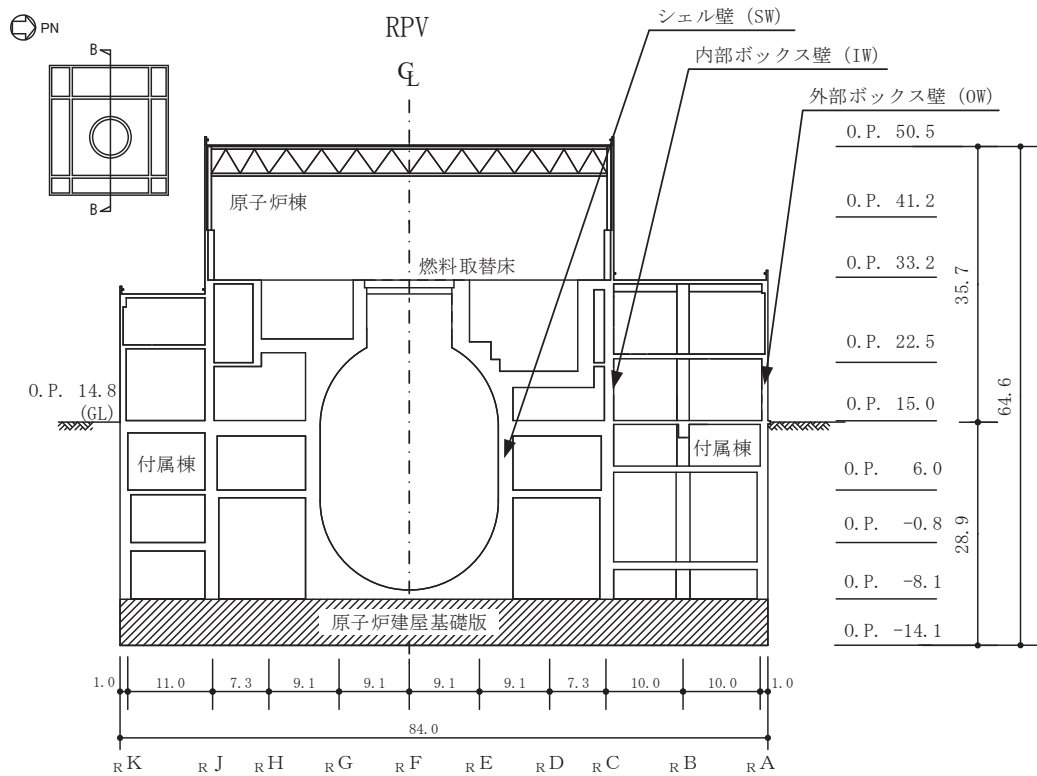
(単位 : m)

図 3-1-18 原子炉建屋基礎版の概略平面図 (0.P. -8.1 m)



(単位 : m)

図 3-1-19 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向) (1/2)



(単位 : m)

図 3-1-19 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向) (2/2)

(2) 検討方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である原子炉建屋基礎版について、評価を行う。

評価に当たっては、S s 地震時に対して、3 次元 FEM モデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」（以下「基礎版の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

また、荷重の組合せを表 3-1-19 に示す。荷重の詳細は、基礎版の耐震計算書に示す固定荷重（G）、積載荷重（P）及び地震荷重（S s）と同一である。

表 3-1-19 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	G + P + S s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S s : 地震荷重（地震時土圧を含む）

(4) 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎版の耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

(5) 応力解析

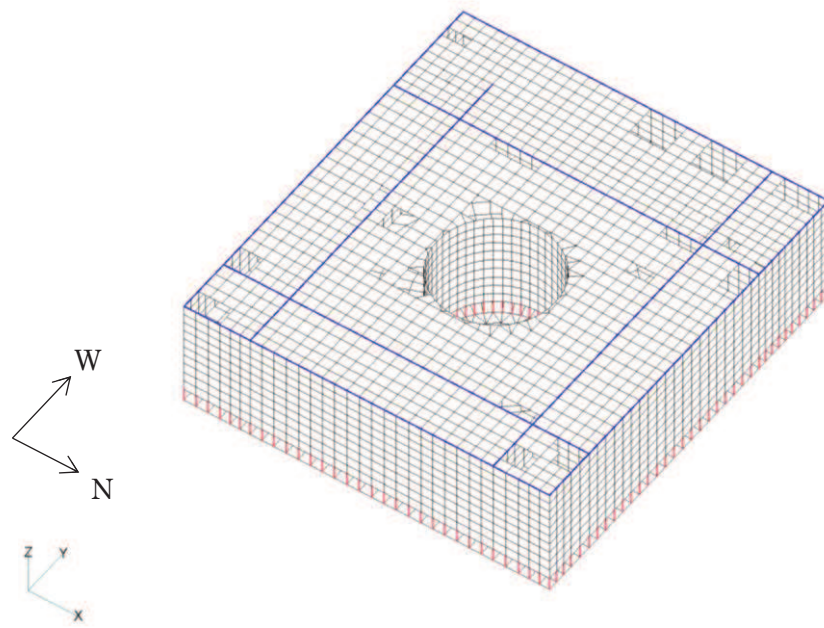
解析モデル図を図 3-1-20 に示す。解析モデルの詳細は、基礎版の耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s地震時の応力は、基礎版の耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

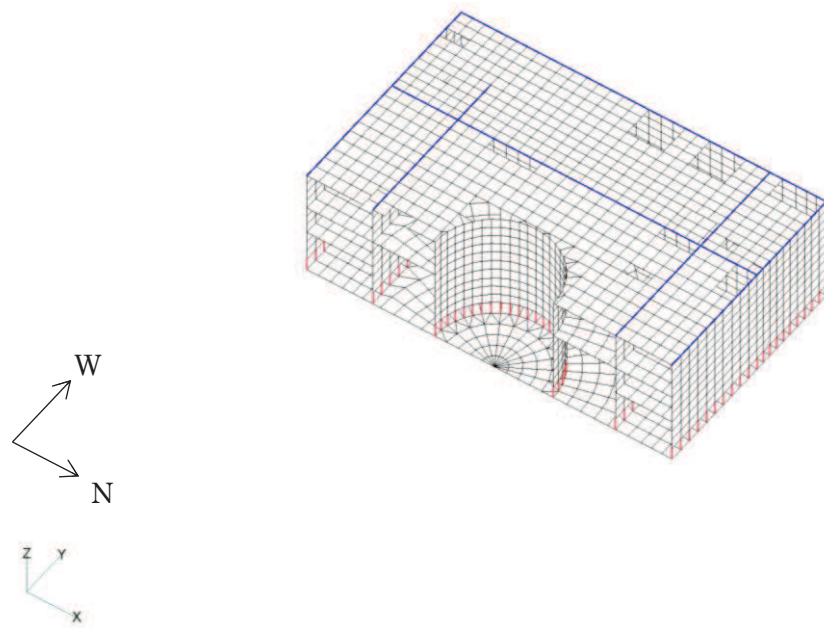
G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S _s S _N [*]	: S→N 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時土圧荷重を含む)
S _s S _{EW} [*]	: E→W 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時土圧荷重を含む)
S _s S _{UD} [*]	: 鉛直方向 S _s 地震荷重

注記* : 計算上の座標軸を基準として、NS 方向は S→N 方向の加力、EW 方向は E→W 方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

水平地震力と鉛直地震力による応力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。なお、水平 2 方向と鉛直方向の組合せにおいては、水平 1 方向と鉛直方向の組合せの結果を考慮して鉛直方向地震力に 0.4 を乗じるケースに対して実施する。荷重の組合せケースを表 3-1-20 及び表 3-1-21 に示す。

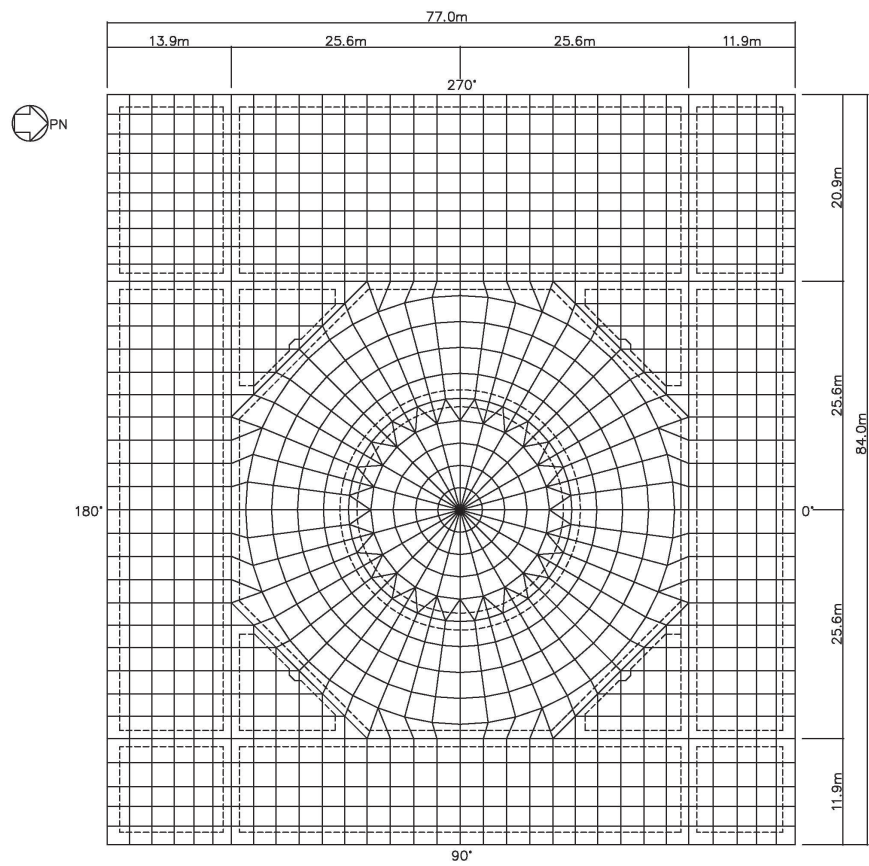


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図

図 3-1-20 解析モデル (1/2)



(c) 基礎版要素分割図

図 3-1-20 解析モデル (2/2)

表 3-1-20 荷重の組合せケース（水平 2 方向）

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	3-1	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-2	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-3	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-4	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-5	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-6	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-7	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-8	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-9	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-10	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-11	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-12	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-13	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-14	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-15	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-16	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$

表 3-1-21 荷重の組合せケース（水平 1 方向）

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	1-1	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-2	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-3	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-4	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-5	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-6	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-7	$G + P - 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-8	$G + P - 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-9	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-10	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ UD}$
	1-11	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-12	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ UD}$
	1-13	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-14	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} - 1.0 S_{s\ UD}$
	1-15	$G + P - 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-16	$G + P - 0.4 S_{s\ EW} - 1.0 S_{s\ UD}$

(6) 評価方法

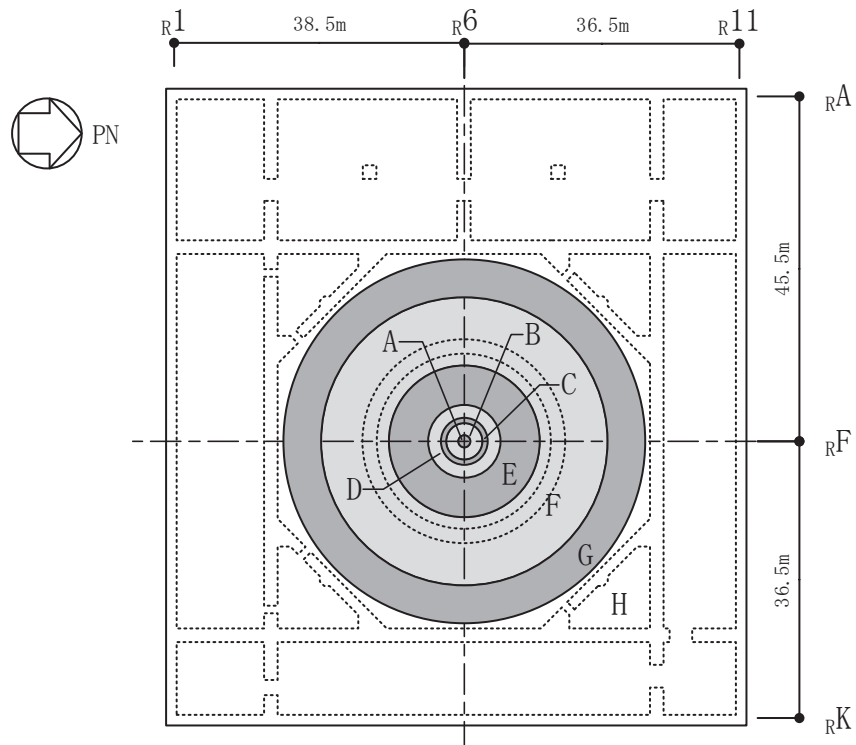
基礎の断面の評価は、基礎版の耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

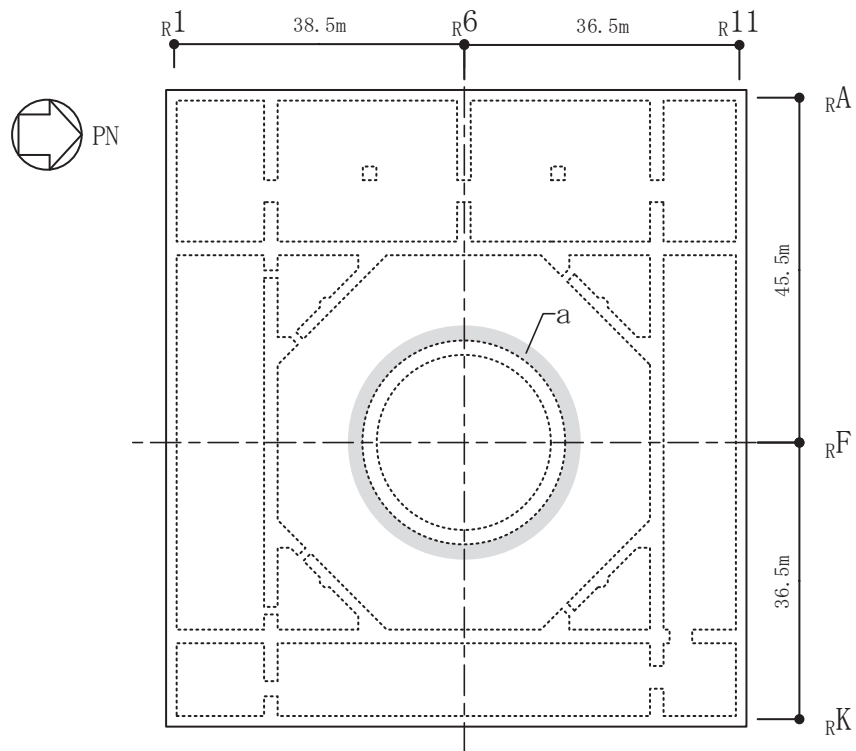
断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図及び配筋一覧を図 3-1-21 及び表 3-1-22 に示す。断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-22 に、評価結果を表 3-1-23 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、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応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

図 3-1-21 配筋領域図

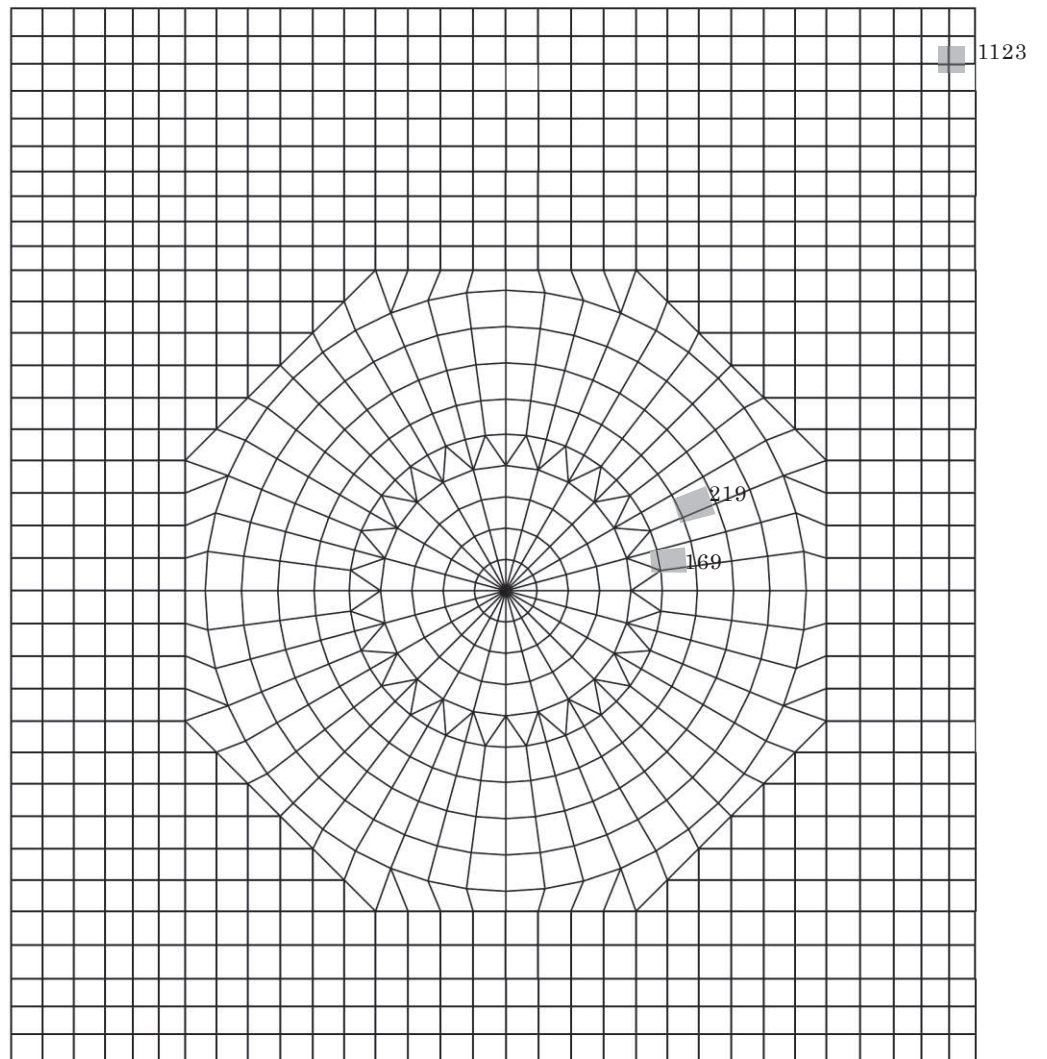
表 3-1-22 配筋一覧

(a) 主筋

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
B	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
C	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
D	放射	3×108-D38	放射	5×108-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
E	放射	3×216-D38	放射	5×216-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
F	放射	3×432-D38	放射	5×432-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
G	放射	3×864-D38	放射	5×864-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
H	NS	2-D38@200	NS	3-D38@200 + D38@400
	EW	2-D38@200	EW	3-D38@200 + D38@400

(b) せん断補強筋

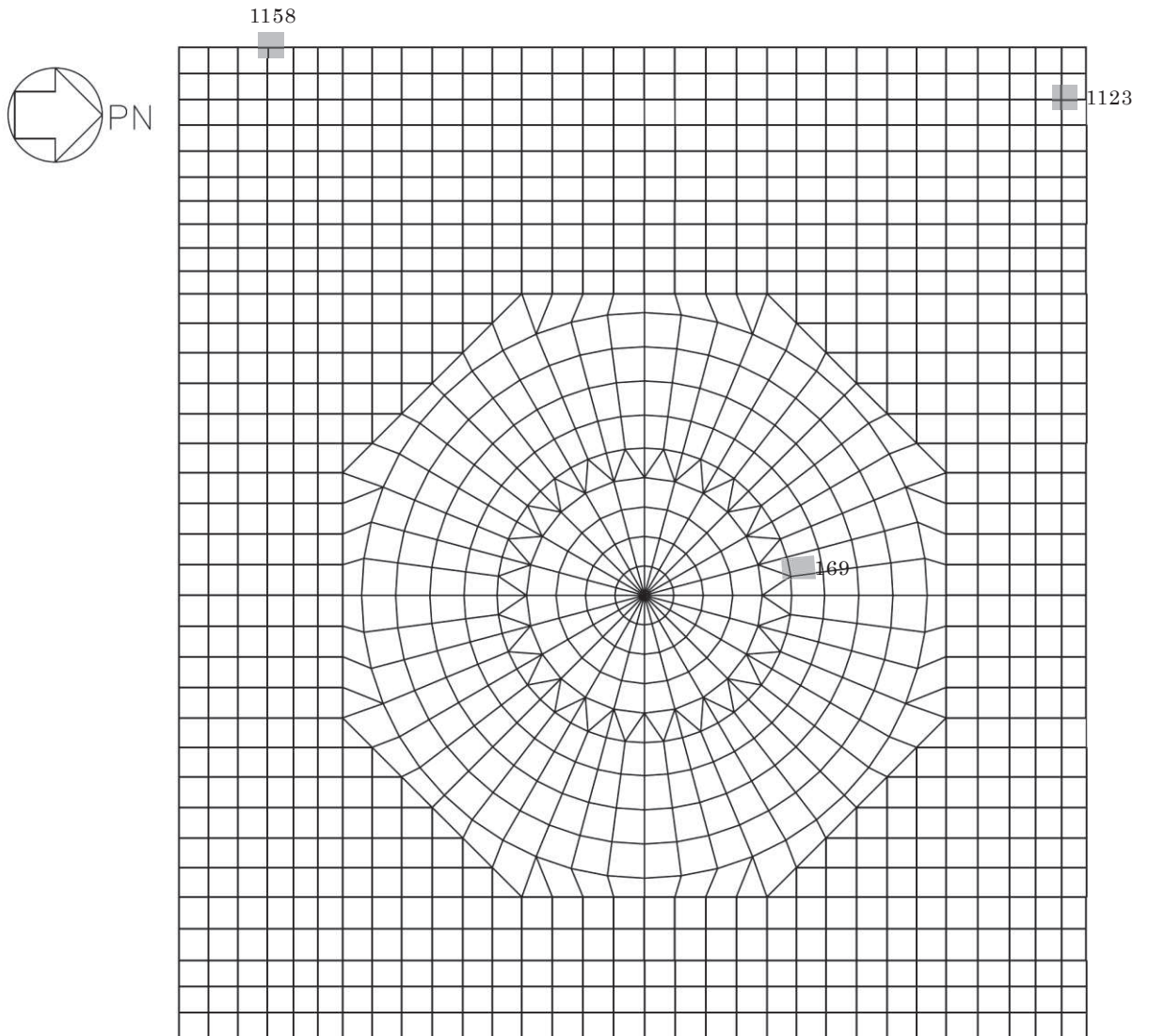
領域	配筋
a	D32@400×108/周



注：数字は要素番号を示す。

(a) 水平 2 方向

図 3-1-22 選定した要素の位置 S s 地震時 (1/2)



注：数字は要素番号を示す。

(b) 水平 1 方向

図 3-1-22 選定した要素の位置 S s 地震時 (2/2)

表 3-1-23 周辺部基礎の評価結果 S s 地震時

(a) 水平 2 方向

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 ($\times 10^{-3}$)	EW	1123	3-11	1.16	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	169	3-9	0.832	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	放射	219	3-9	2.12*	2.13

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

(b) 水平 1 方向

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 ($\times 10^{-3}$)	EW	1123	1-6	0.766	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	169	1-2	0.488	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1158	1-4	2.36	2.42

(8) 検討のまとめ

矩形の基礎は、直交する水平 2 方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、原子炉建屋基礎版について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3次元 FEM モデルを用いた応力解析を実施した。

検討の結果、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素位置が変わるものもあるが、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応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉建屋基礎版が有する耐震性への影響はないことを確認した。

別紙 6 原子炉建屋基礎版の応力解析における応力平均化の考え方

目 次

1. 概要	別紙 6-1
2. 応力平均化の考え方	別紙 6-2
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	別紙 6-2
2.2 応力平均化の方法	別紙 6-4
2.3 応力平均化の結果	別紙 6-35
2.4 断面の評価結果	別紙 6-42

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-12-1 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」に示す原子炉建屋基礎版の応力解析における応力平均化の考え方について示すものである。

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。

2. 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。

原子炉建屋基礎版では、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

評価項目	方向	要素番号	組合せケース	平均化前の検定値 (発生値/許容値)
面外せん断 応力度	放射	214	3-10	1.03
		218	3-9	1.02
		219	3-9	1.08
		220	3-9	1.08
		221	3-9	1.02
		237	3-13	1.03
		238	3-13	1.04
	NS	421	3-14	1.41
		442	3-16	1.02
		443	3-10	1.35
		1159	3-13	1.35
		1161	3-11	1.03
		1180	3-12	1.06
	EW	1181	3-9	1.39
		541	3-16	1.07
		571	3-15	1.09
		572	3-13	1.18
		594	3-9	1.28
		907	3-12	1.43
		937	3-11	1.45
	1098	3-11	1.17	

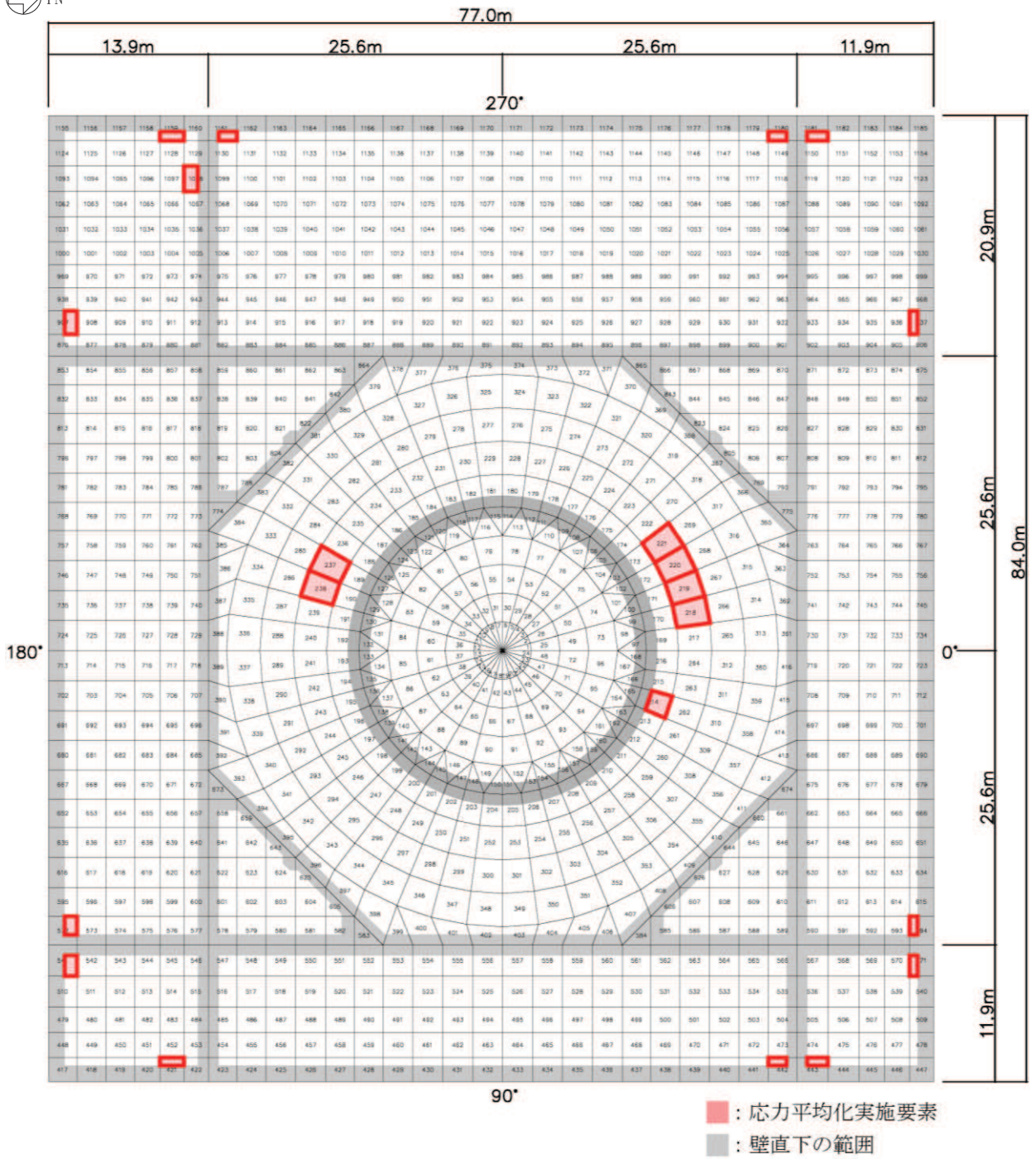


図 2-1 要素位置図

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。原子炉建屋基礎版の3次元 FEM モデルを用いた応力解析において、当該部は図 2-2 に示すようにシェル壁、耐震壁と隣接した要素であり、応力が集中しやすい。図 2-3 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分かる。

そこで、今回の原子炉建屋基礎版の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。なお、今回の原子炉建屋基礎版の応力解析には弾塑性解析を採用し、材料の非線形特性を設定しているが、面外せん断力に対しては非線形特性を考慮できないことから、算出された応力に対して平均化を行った。

RC-N 規準においては、「線材では、部材端に生じる斜めせん断ひび割れによって部材有効せい程度離れた断面の引張鉄筋の応力度が部材端と同じ大きさまで増大する現象（テンションシフト）が生じるが、面材では、斜めひび割れが発生した場合においても、材軸直交方向への応力再配分によって、線材におけるテンションシフトのような現象は生じにくいと考えられる。」とされており、耐震壁の面外せん断力について、「面材であるため、局所的に応力の集中があったとしても、応力の再配分を生じ、破壊に至ることはない。」とされている。また、基礎版のような大断面を有する面材の面外せん断力について、「通常の場合、FEM 解析の要素サイズは、基礎版厚より小さいため、付図 2.2 に模式的に示されるように設計用面外せん断力は想定されるひび割れ領域での平均面外せん断力に対して大きめの評価となっているといえる。また、基礎版においても、耐震壁と同様、面材における面外せん断力の再配分も期待できる。」とされている。RC-N 規準の付図 2.2 を図 2-4 に示す。

壁、床スラブ、基礎版のような面材については、RC-N 規準に示されるように、面材に荷重を作用させる直交部材からせん断破壊面が 45 度の角度で進展すると考えられることから、せん断破壊面が面材の表面から裏面まで貫通する範囲、すなわち部材厚の範囲に応力が再配分されると考えられる。原子炉建屋基礎版における面外せん断力に対する応力平均化の考え方を図 2-5 に示す。

以上より、応力の平均化は、応力コンター図及び基礎版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応力方向に位置する隣接要素に対して、壁面から基礎版の部材厚である 6.0m 分の範囲で行った。各要素について応力平均化範囲を図 2-6 に示す。

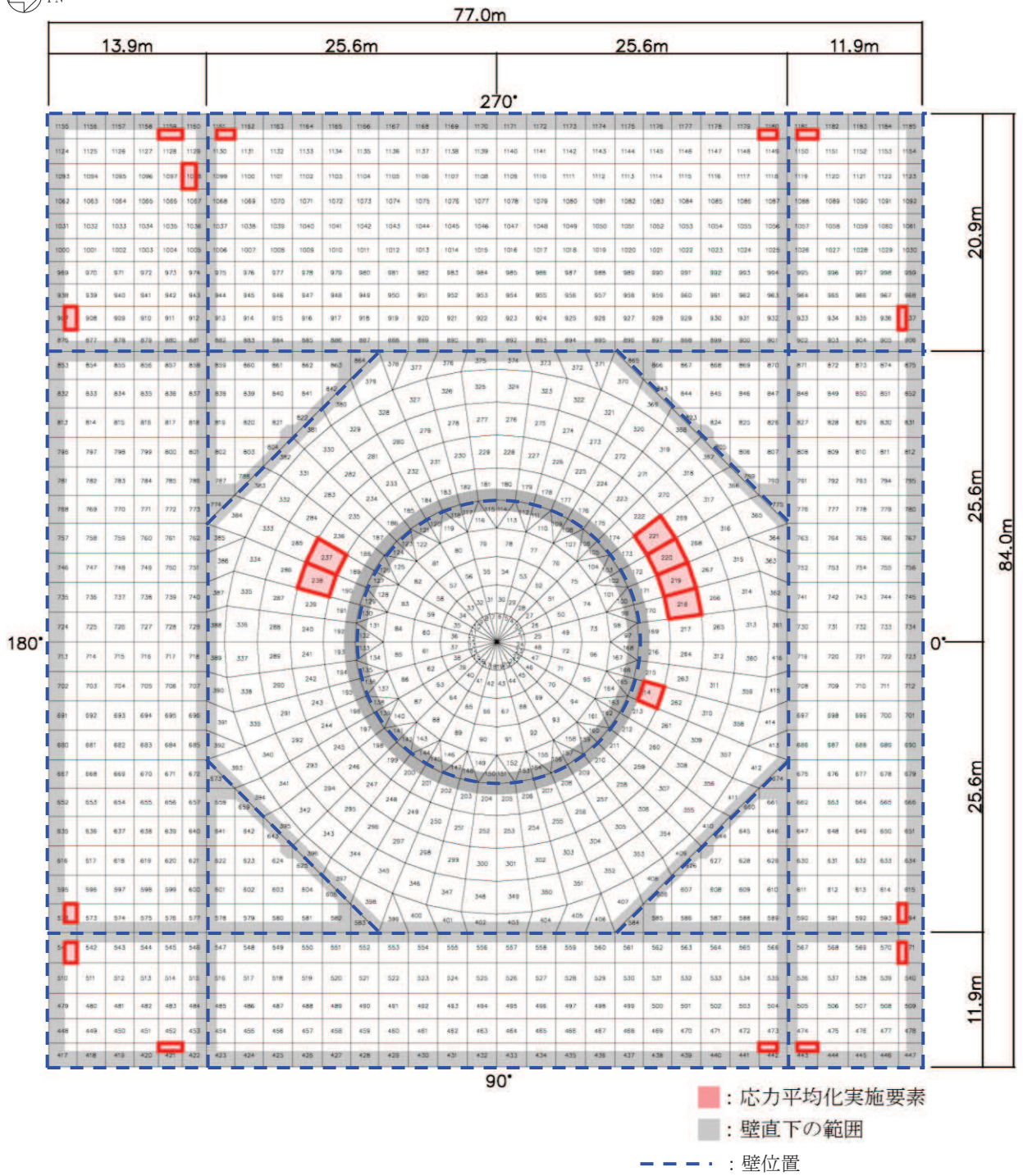
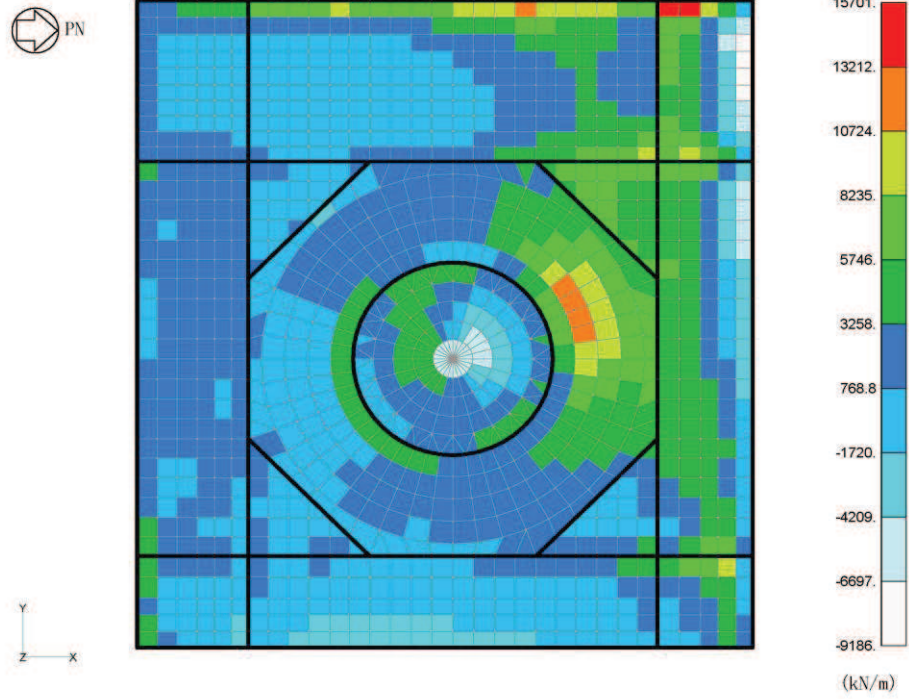


図 2-2 原子炉建屋基礎版に接続する壁の配置

c5009 Qx

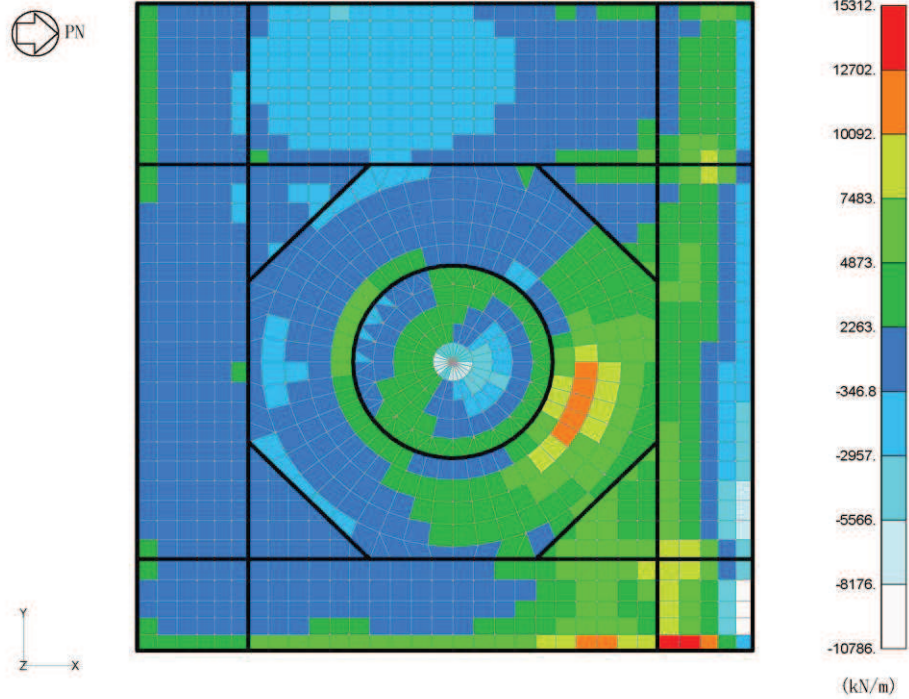


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-9 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (1/13)

c5010 Qx

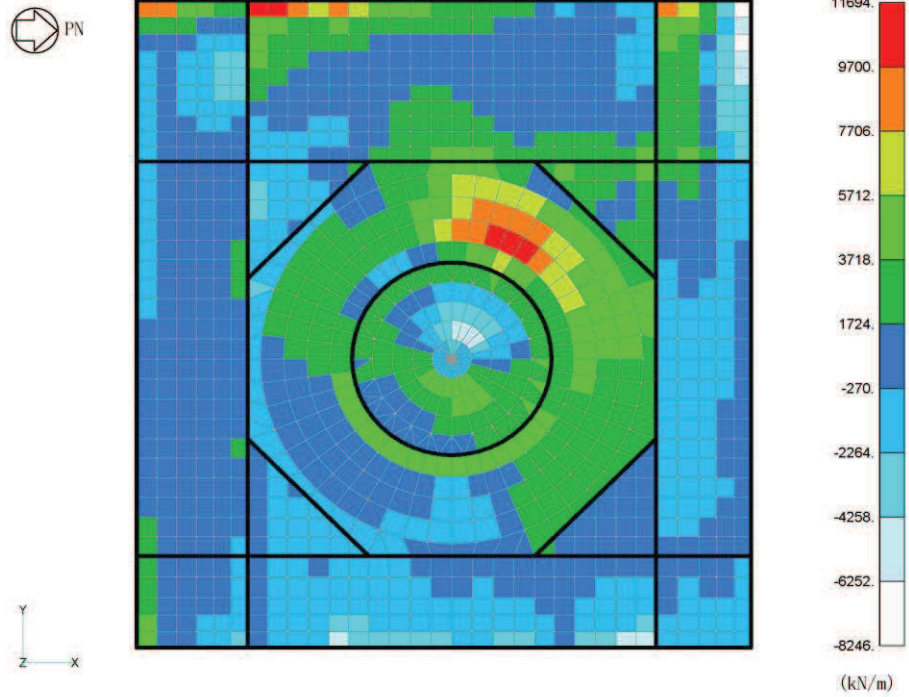


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-10 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (2/13)

c5011 Qx

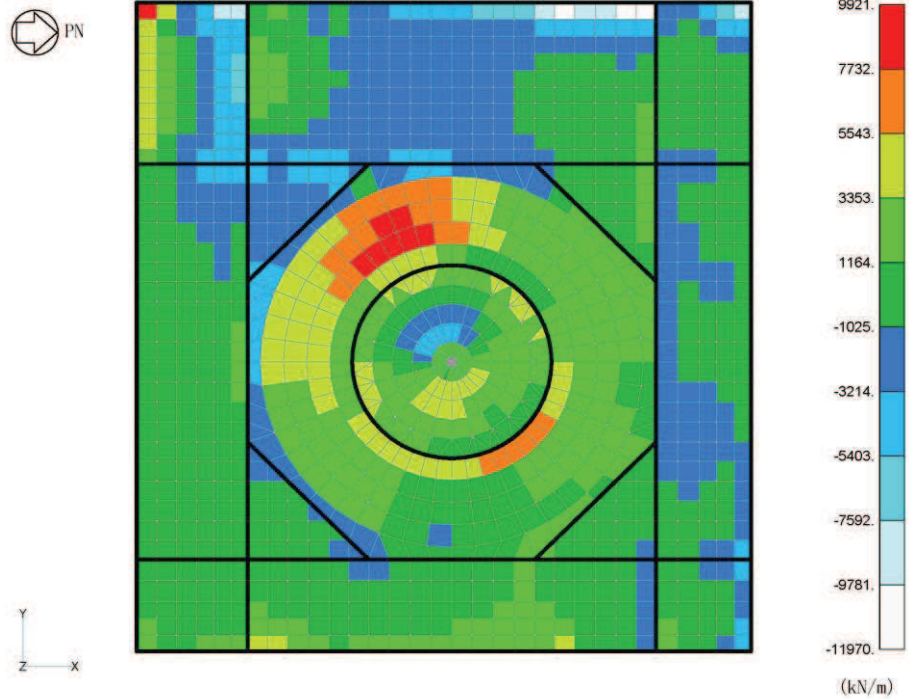


※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-11 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (3/13)

c5012 Qx

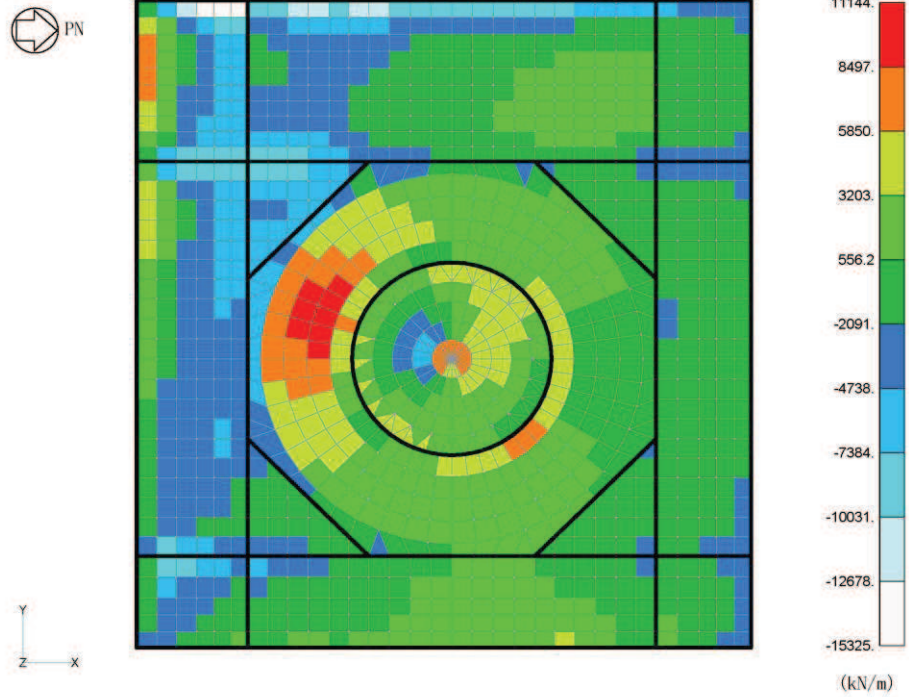


※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-12 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (4/13)

c5013 Qx

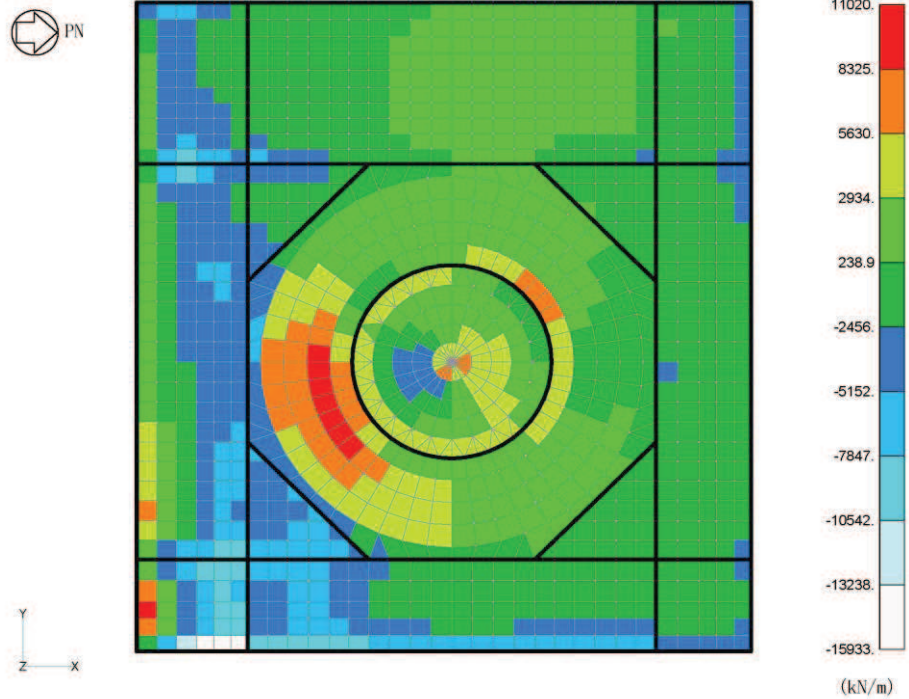


※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-13 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (5/13)

c5014 Qx

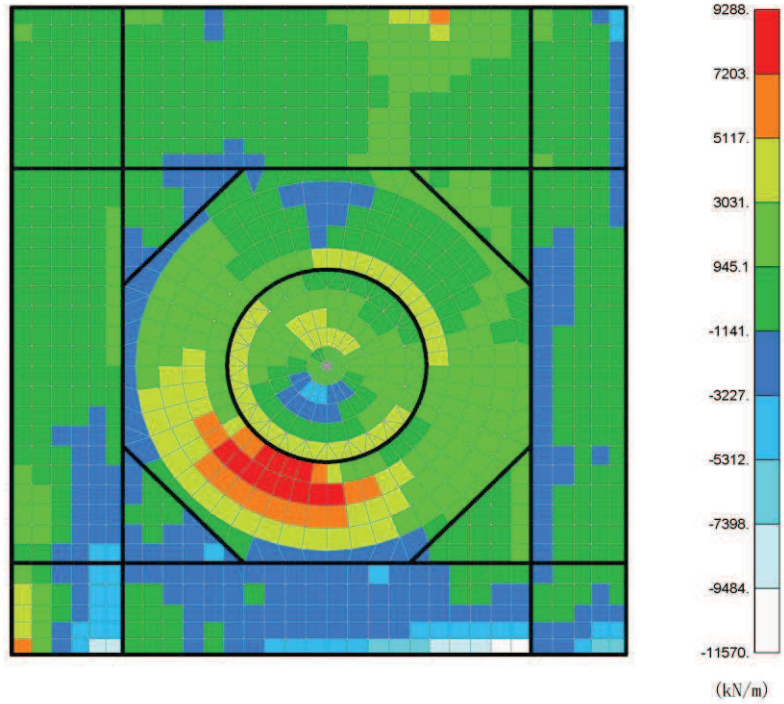


※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-14 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (6/13)

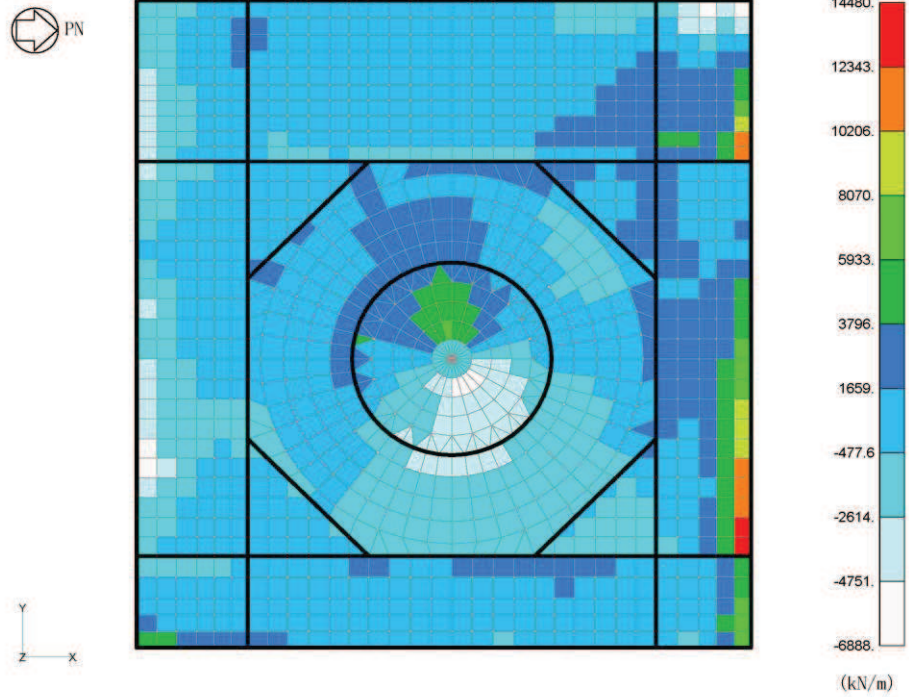
c5016 Qx



※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-16 (放射方向, NS 方向)
図 2-3 面外せん断力のコンター図 (7/13)

c5009 Qy

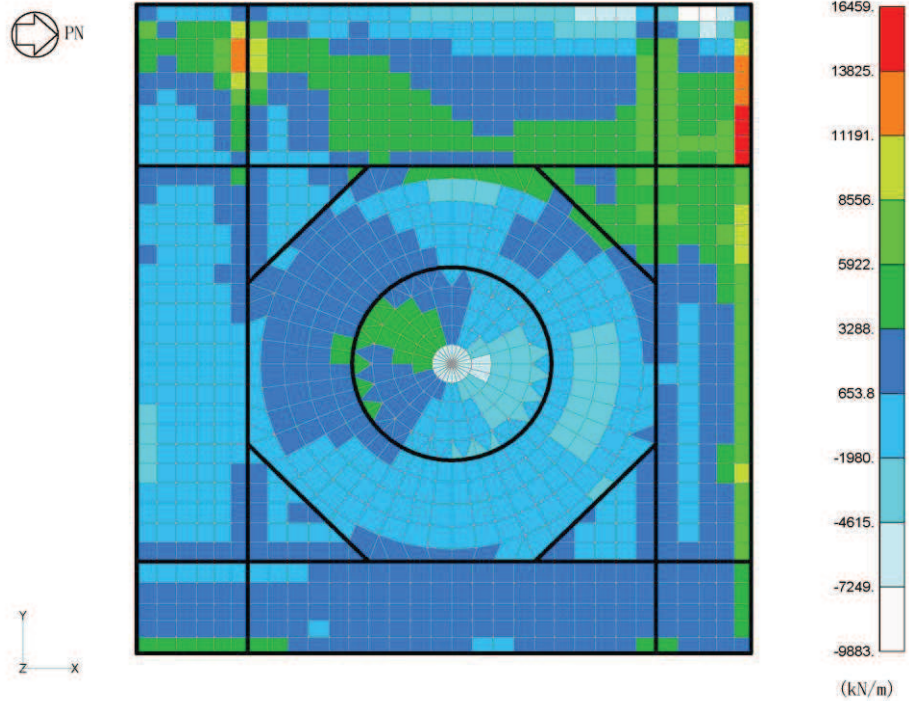


※要素25～360は円周方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-9 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (8/13)

c5011 Qy

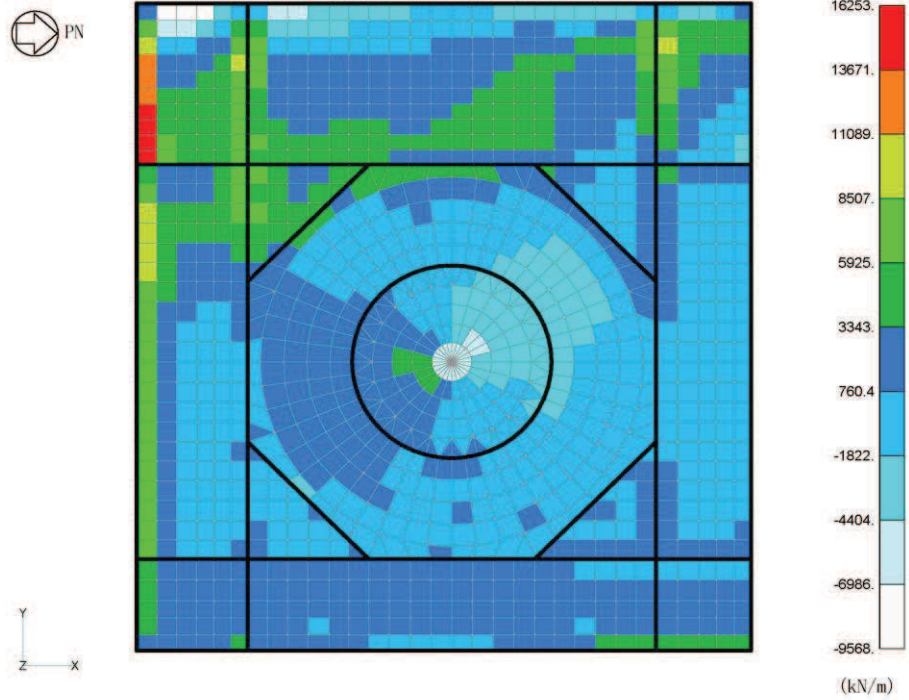


※要素25～360は円周方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-11 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 面外せん断力のコンター図 (9/13)

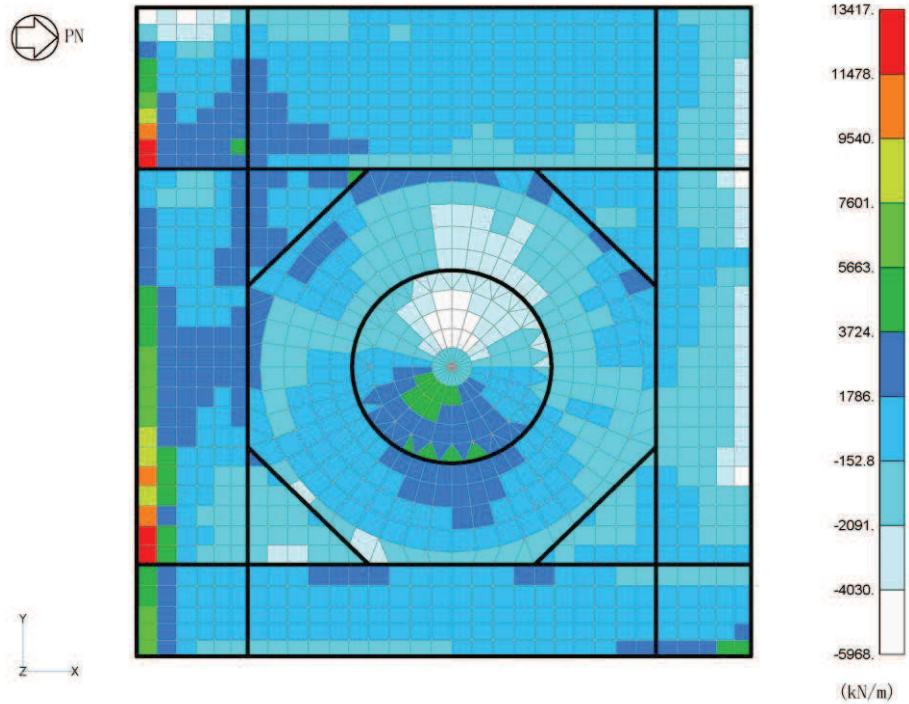
c5012 Qy



※要素25～360は円周方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-12 (円周方向, EW 方向)
図 2-3 面外せん断力のコンター図 (10/13)

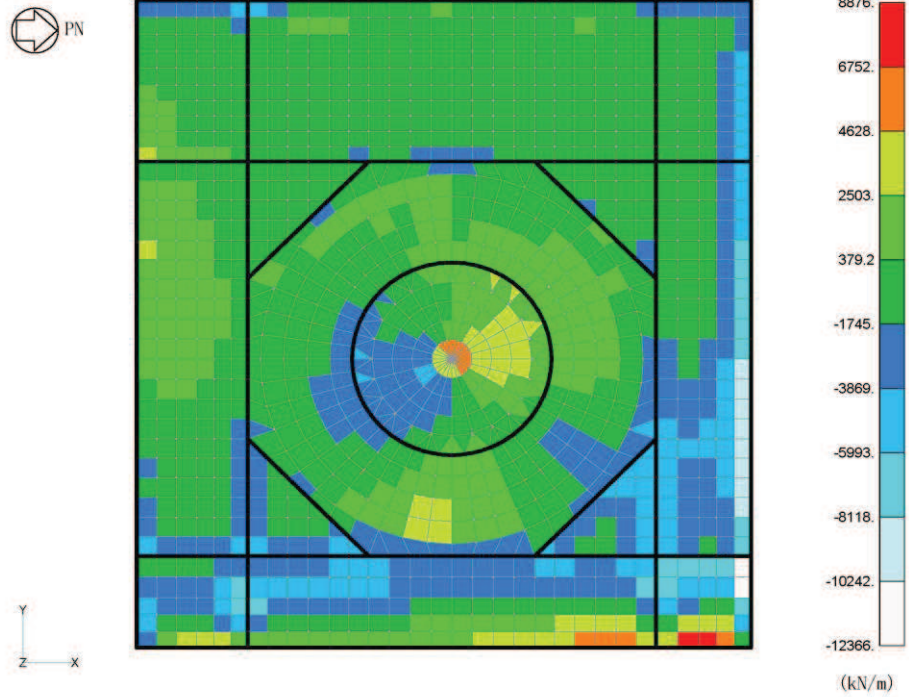
c5013 Qy



※要素25～360は円周方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

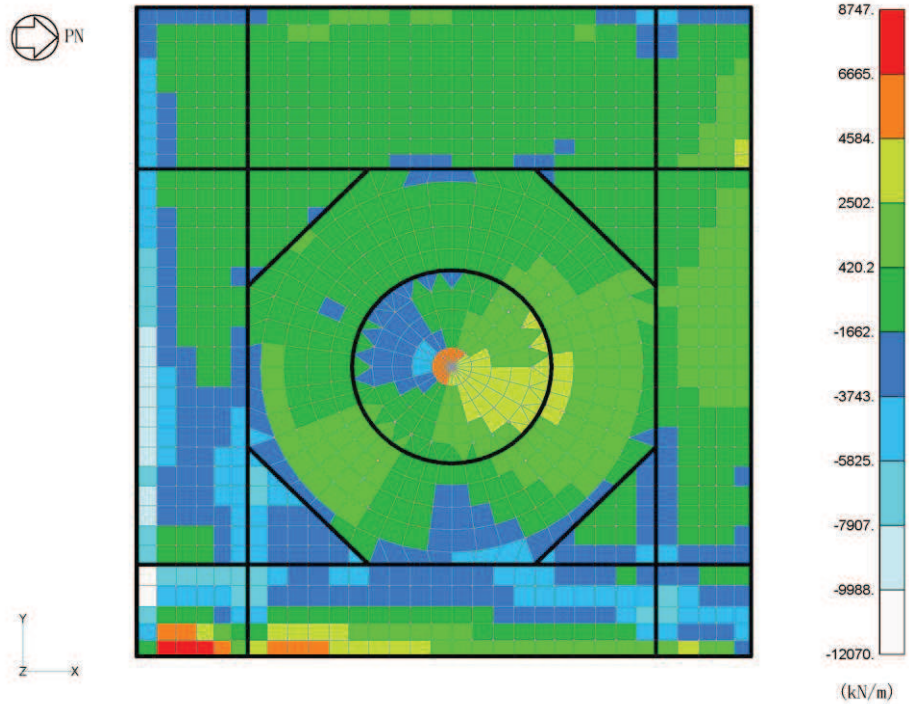
組合せケース 3-13 (円周方向, EW 方向)
図 2-3 面外せん断力のコンター図 (11/13)

c5015 Qy



組合せケース 3-15 (円周方向, EW 方向)
図 2-3 面外せん断力のコンター図 (12/13)

c5016 Qy



組合せケース 3-16 (円周方向, EW 方向)
図 2-3 面外せん断力のコンター図 (13/13)

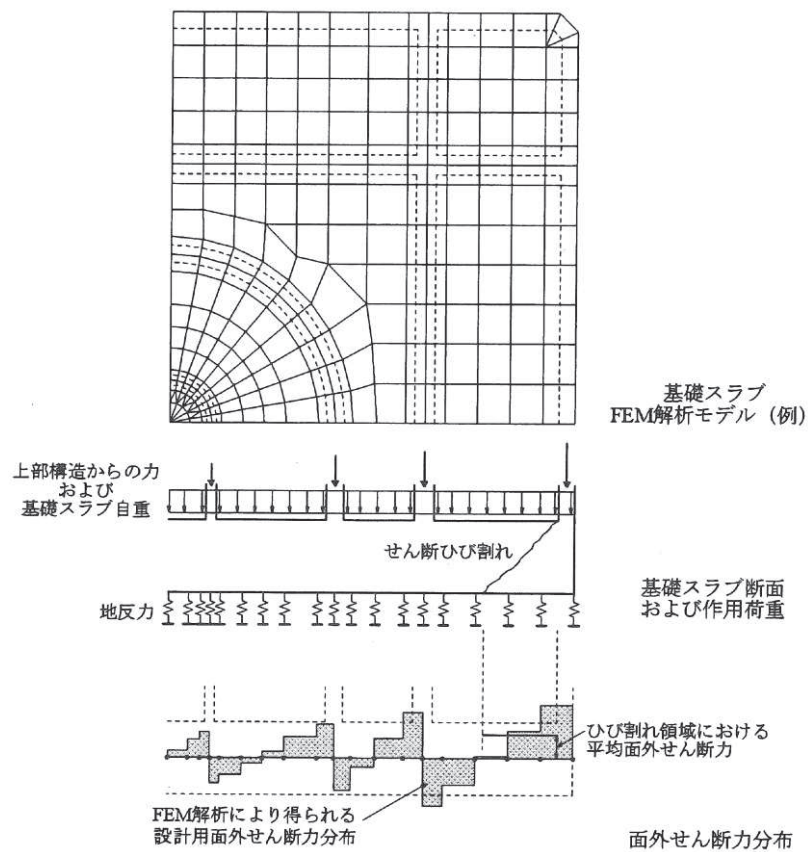


図 2-4 RC-N 規準の付図 2.2

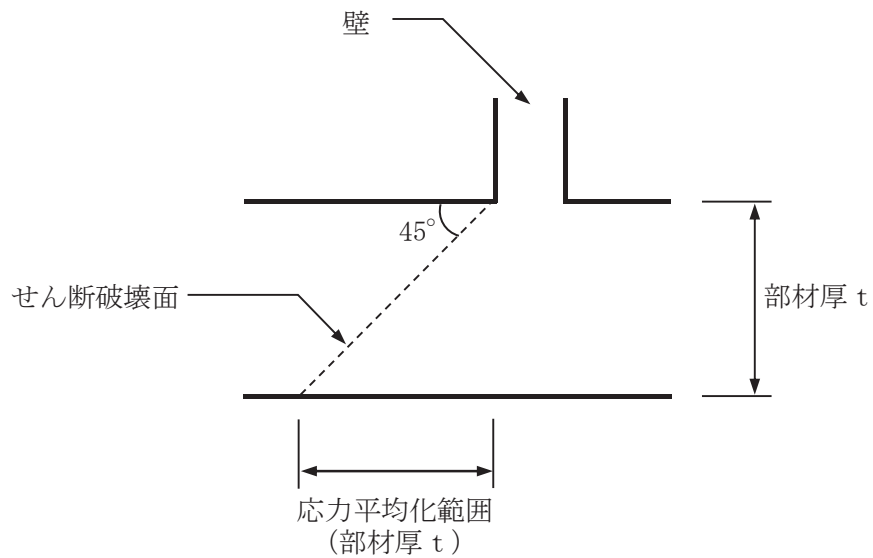
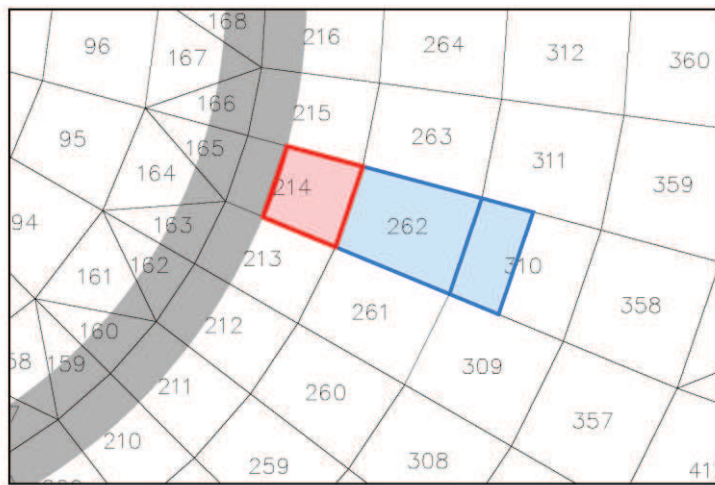
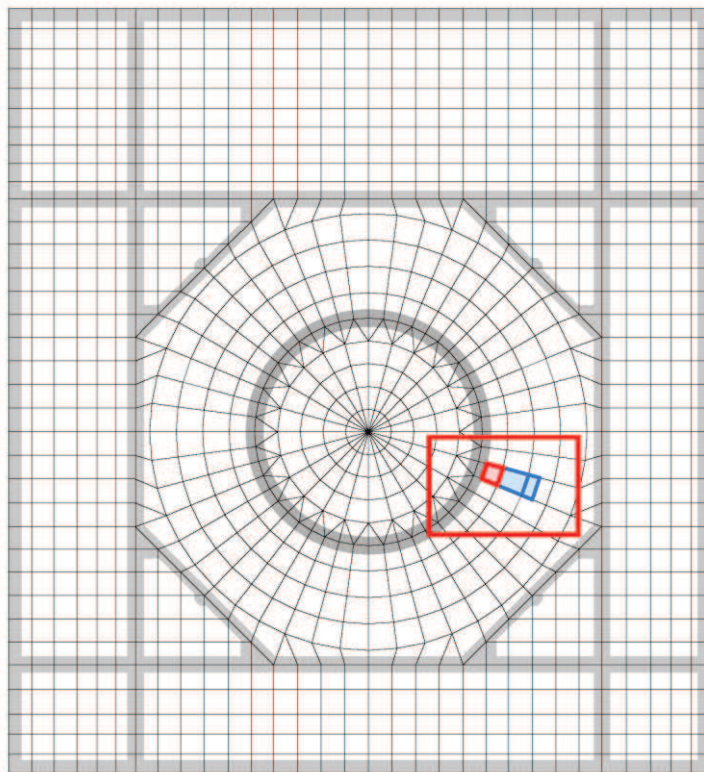


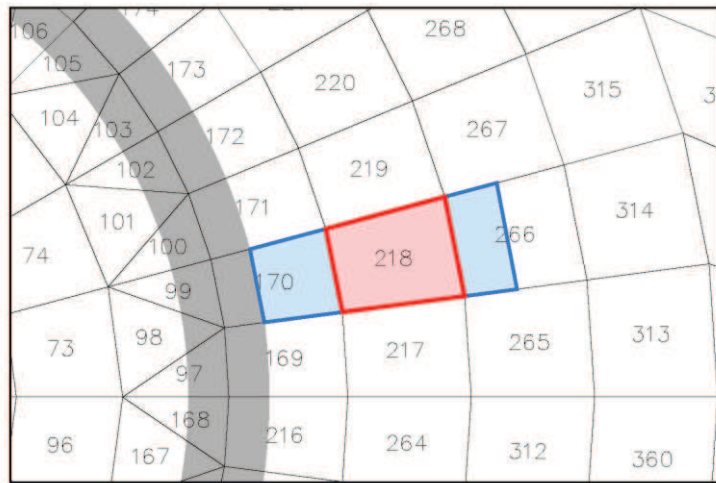
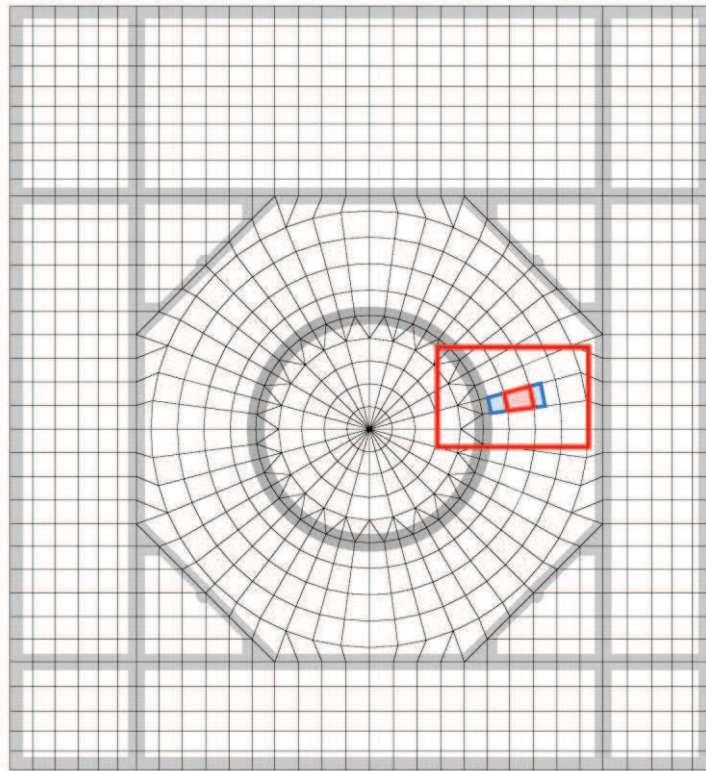
図 2-5 原子炉建屋基礎版における面外せん断力に対する応力平均化の考え方



- : 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)

(a) 放射方向 要素番号 214

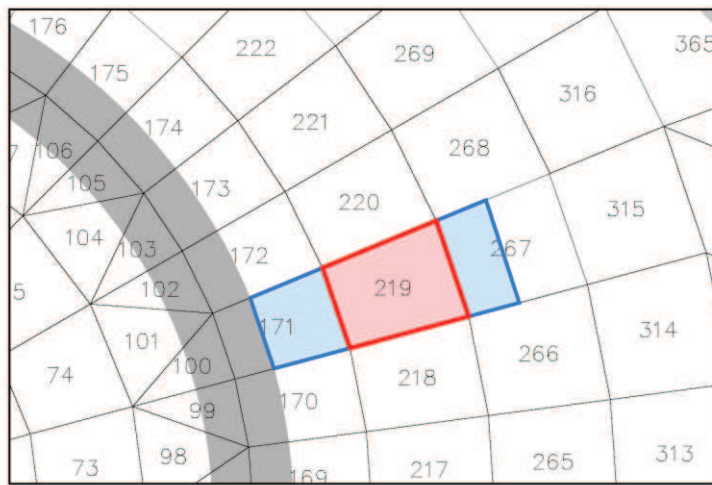
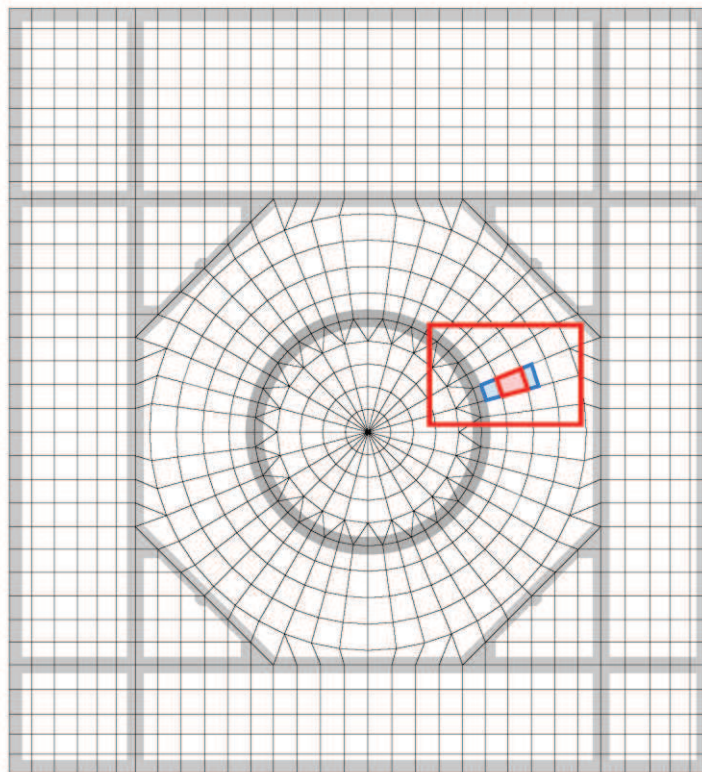
図 2-6 応力平均化範囲 (1/21)



- : 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)

(b) 放射方向 要素番号 218

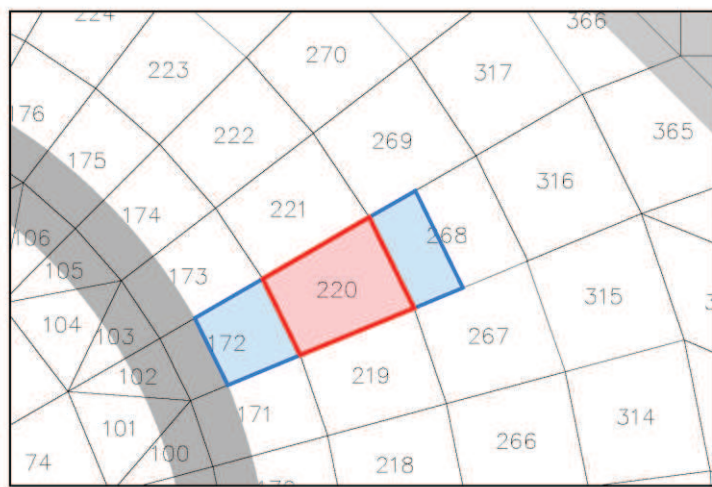
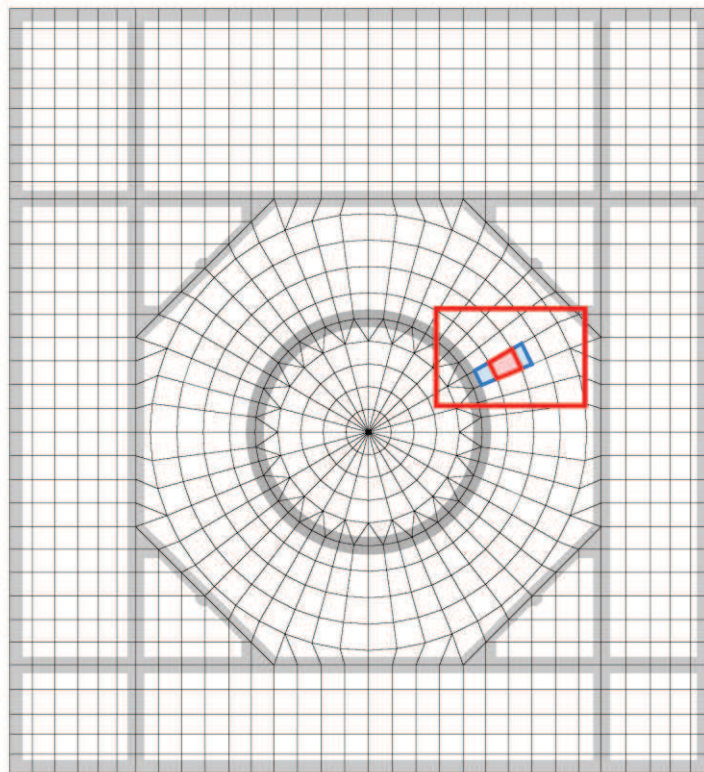
図 2-6 応力平均化範囲 (2/21)



- : 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)

(c) 放射方向 要素番号 219

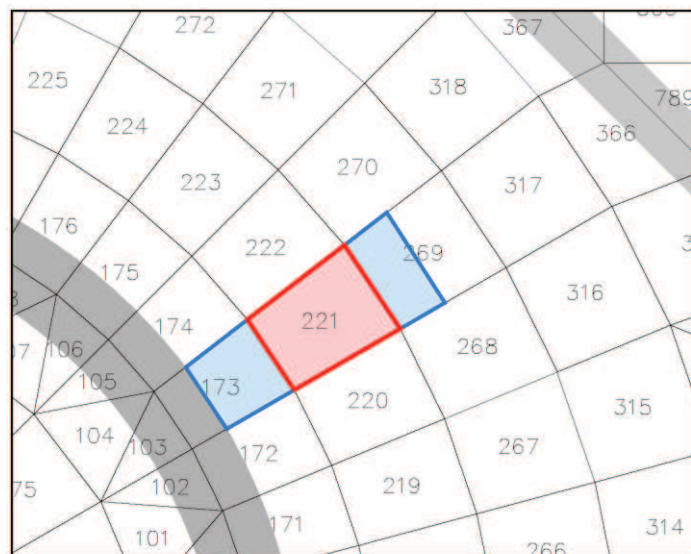
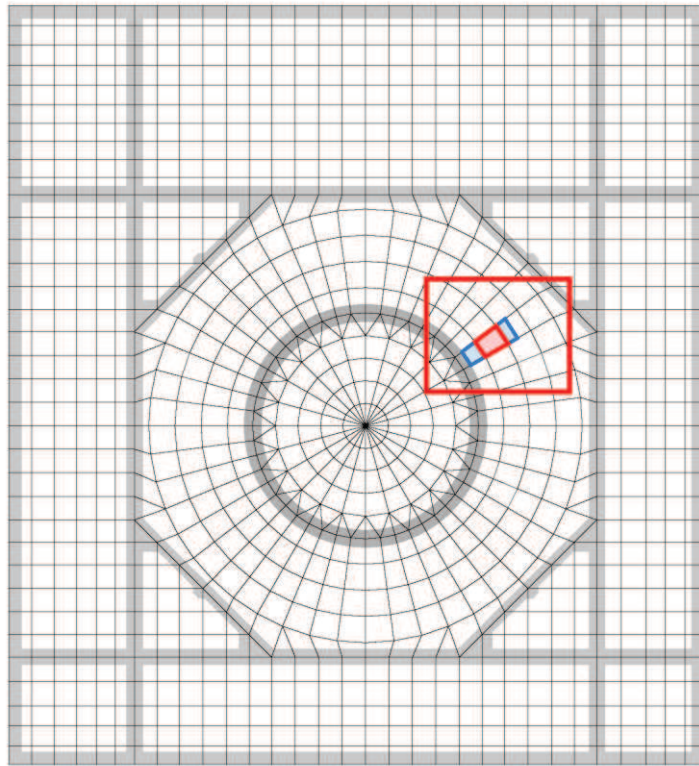
図 2-6 応力平均化範囲 (3/21)



- : 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)

(d) 放射方向 要素番号 220

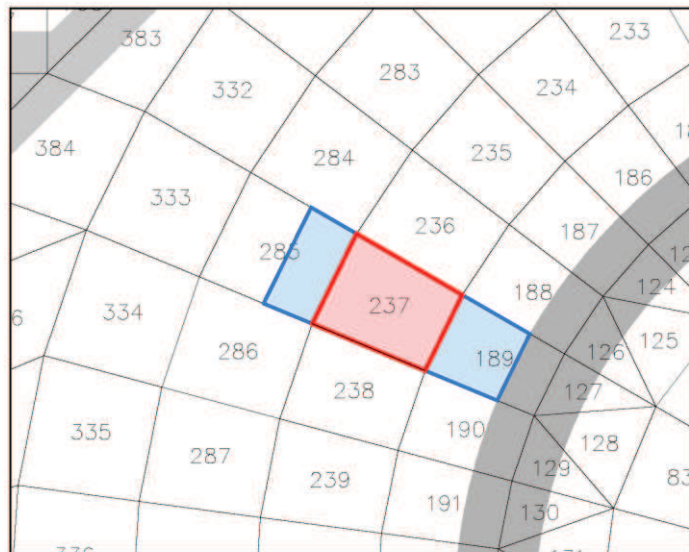
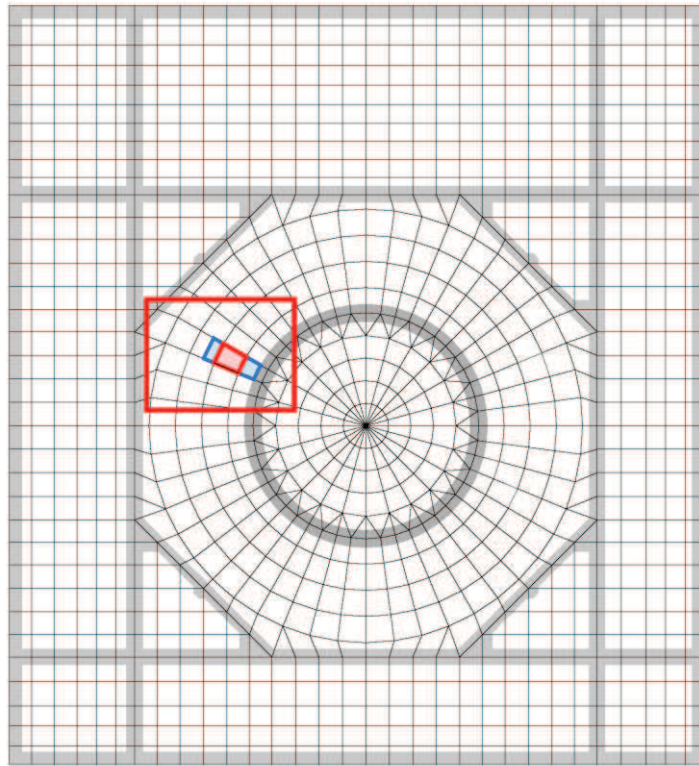
図 2-6 応力平均化範囲 (4/21)



- : 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)

(e) 放射方向 要素番号 221

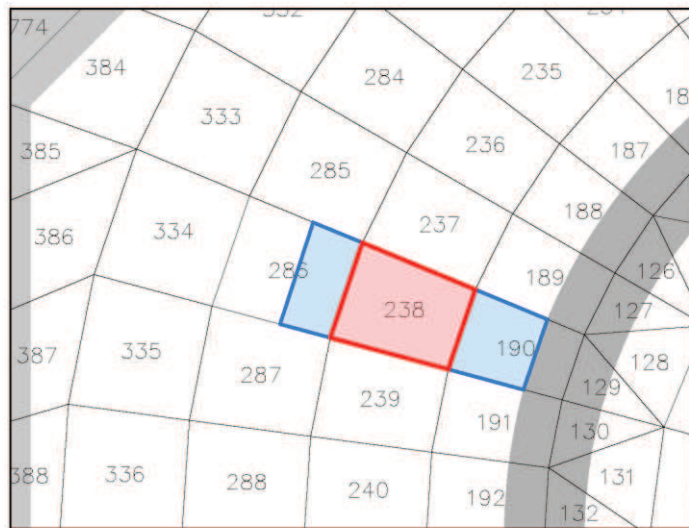
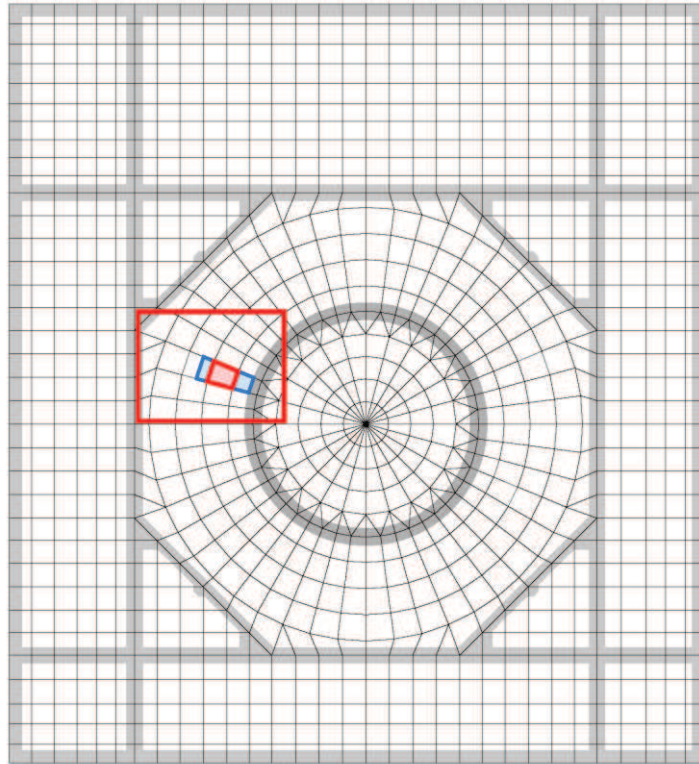
図 2-6 応力平均化範囲 (5/21)



- : 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)

(f) 放射方向 要素番号 237

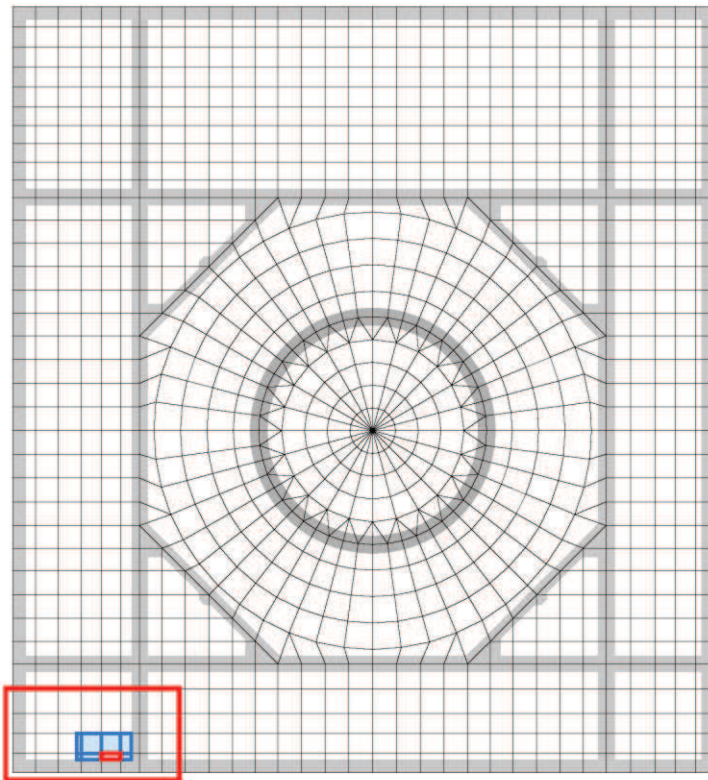
図 2-6 応力平均化範囲 (6/21)



- : 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)

(g) 放射方向 要素番号 238

図 2-6 応力平均化範囲 (7/21)

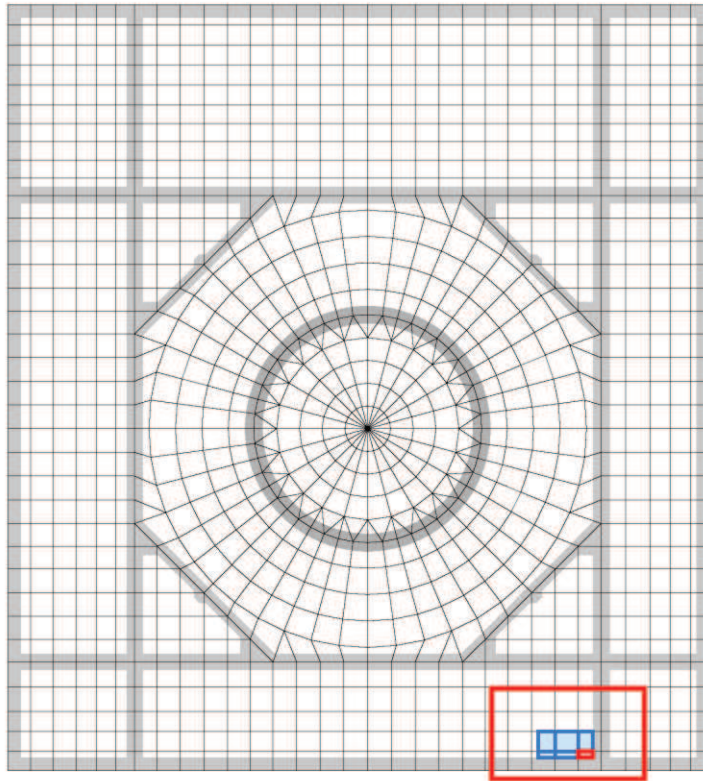


510	511	512	513	514	515	516	517
479	480	481	482	483	484	485	486
448	449	450	451	452	453	454	455
417	418	419	420	421	422	423	424

- : 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)

(h) NS 方向 要素番号 421

図 2-6 応力平均化範囲 (8/21)

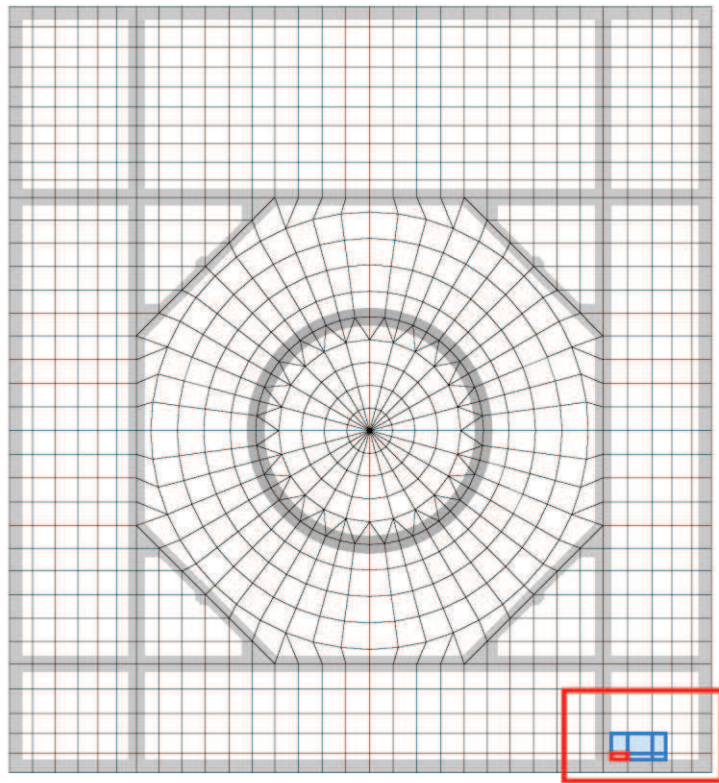


531	532	533	534	535	536	537
500	501	502	503	504	505	506
469	470	471	472	473	474	475
438	439	440	441	442	443	444

- : 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)

(i) NS 方向 要素番号 442

図 2-6 応力平均化範囲 (9/21)

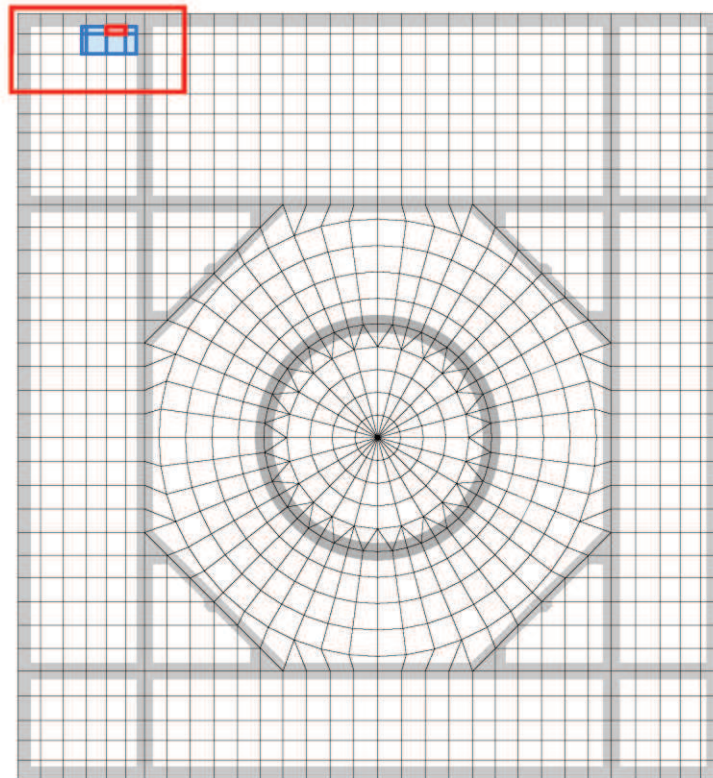


534	535	536	537	538	539	540
503	504	505	506	507	508	509
472	473	474	475	476	477	478
441	442	443	444	445	446	447

- : 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)

(j) NS 方向 要素番号 443

図 2-6 応力平均化範囲 (10/21)

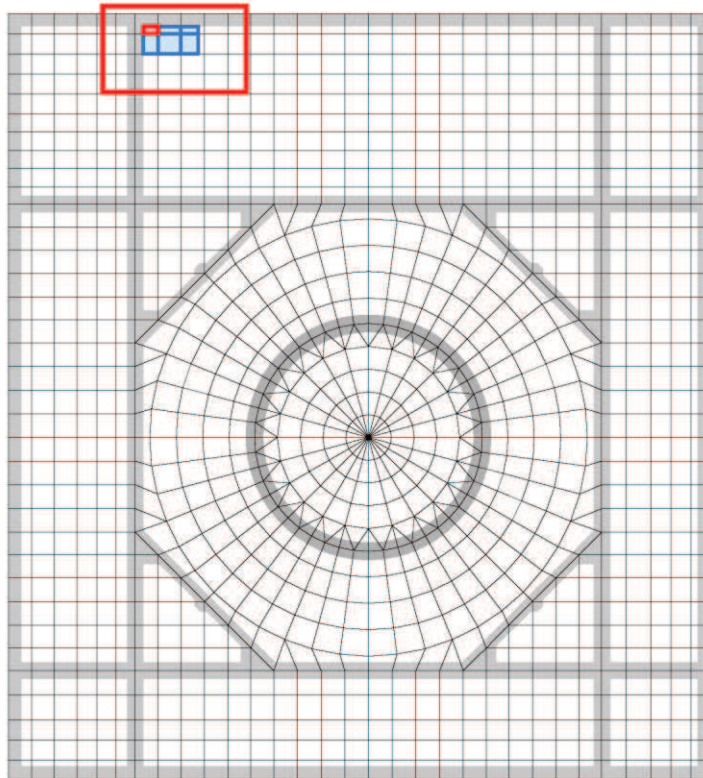


1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162
1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131
1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100
1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069

- : 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)

(k) NS 方向 要素番号 1159

図 2-6 応力平均化範囲 (11/21)

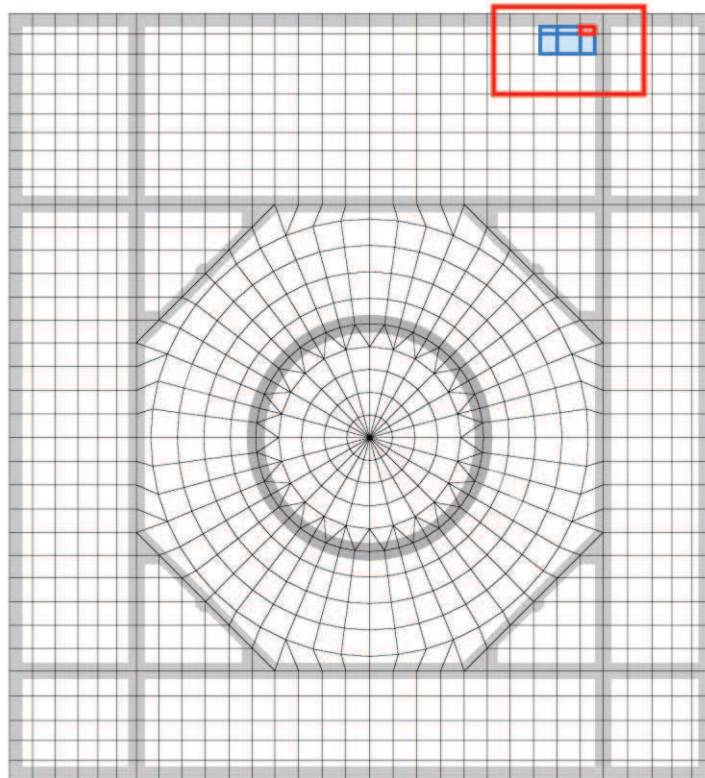


1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165
1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134
1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103
1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072

- : 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)

(1) NS 方向 要素番号 1161

図 2-6 応力平均化範囲 (12/21)

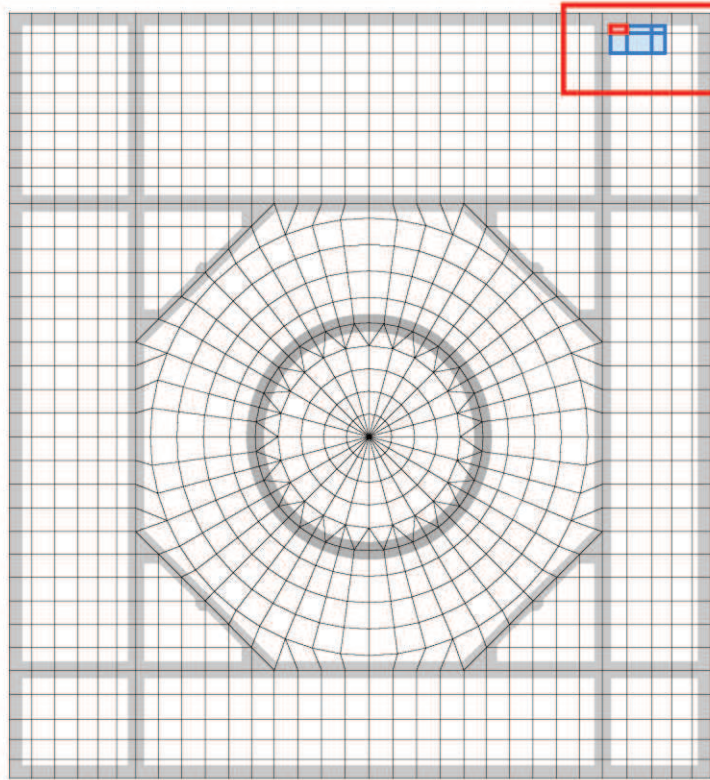


1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182
1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151
1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120
1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089

- : 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)

(m) NS 方向 要素番号 1180

図 2-6 応力平均化範囲 (13/21)

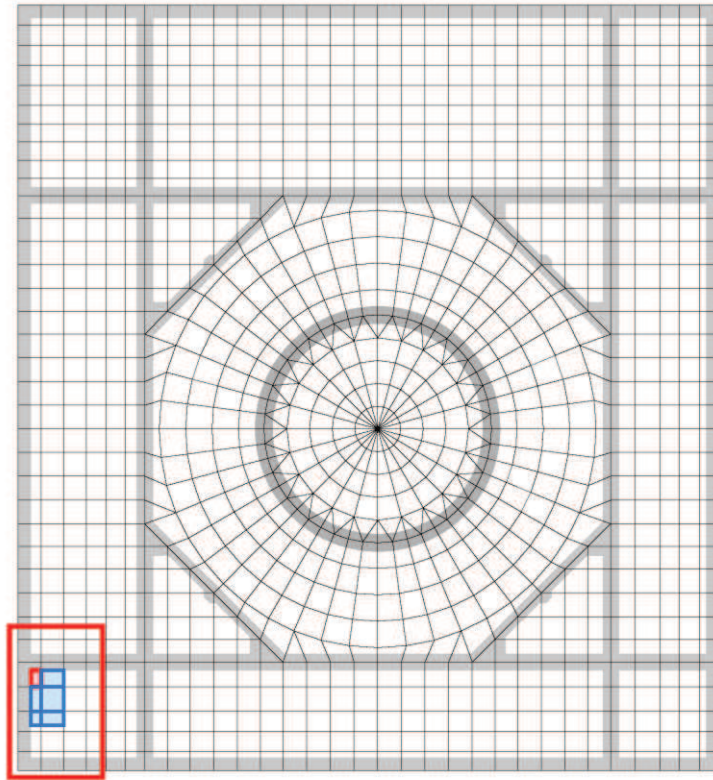


1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185
1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154
1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123
1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092

- : 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)

(n) NS 方向 要素番号 1181

図 2-6 応力平均化範囲 (14/21)

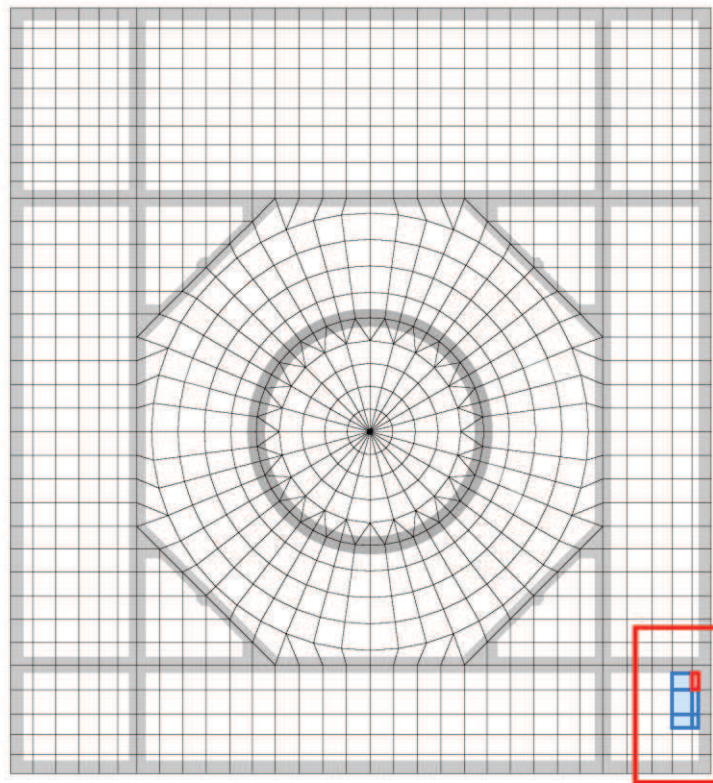


595	596	597	598
572	573	574	575
541	542	543	544
510	511	512	513
479	480	481	482
448	449	450	451
417	418	419	420

- : 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)

(o) EW 方向 要素番号 541

図 2-6 応力平均化範囲 (15/21)

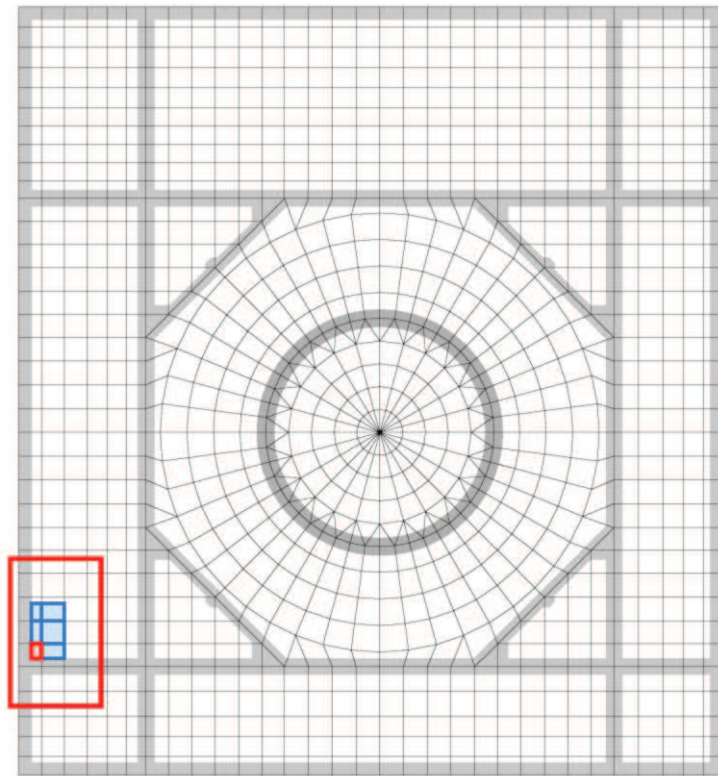


612	613	614	615
591	592	593	594
568	569	570	571
537	538	539	540
506	507	508	509
475	476	477	478
444	445	446	447

- : 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)

(p) EW 方向 要素番号 571

図 2-6 応力平均化範囲 (16/21)

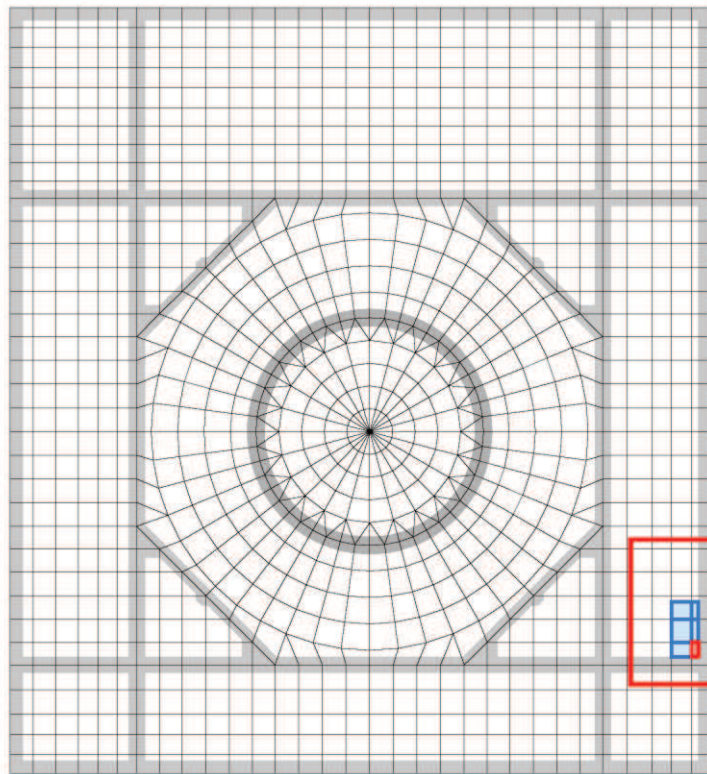


652	653	654	655
635	636	637	638
616	617	618	619
595	596	597	598
572	573	574	575
541	542	543	544
510	511	512	513

- : 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)

(q) EW 方向 要素番号 572

図 2-6 応力平均化範囲 (17/21)

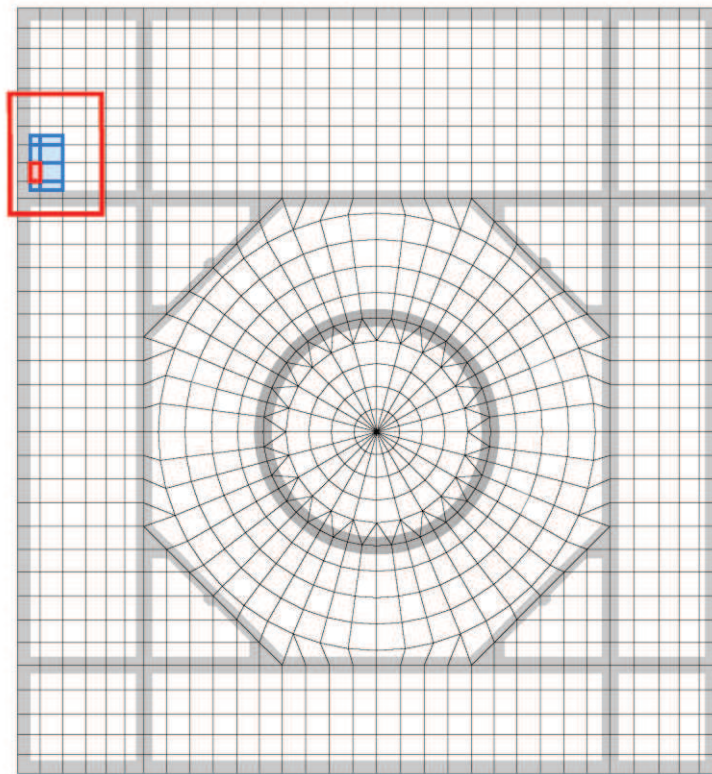


	676	677	678	679
	663	664	665	666
	648	649	650	651
	631	632	633	634
	612	613	614	615
	591	592	593	594
	568	569	570	571

- : 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)

(r) EW 方向 要素番号 594

図 2-6 応力平均化範囲 (18/21)

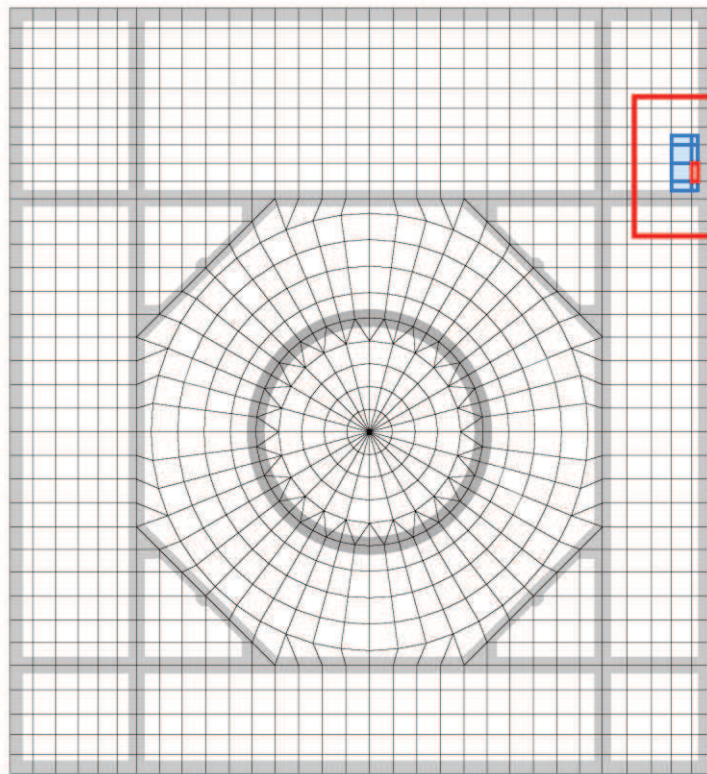


1031	1032	1033	1034
1000	1001	1002	1003
969	970	971	972
938	939	940	941
907	908	909	910
876	877	878	879
853	854	855	856

- : 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)

(s) EW 方向 要素番号 907

図 2-6 応力平均化範囲 (19/21)

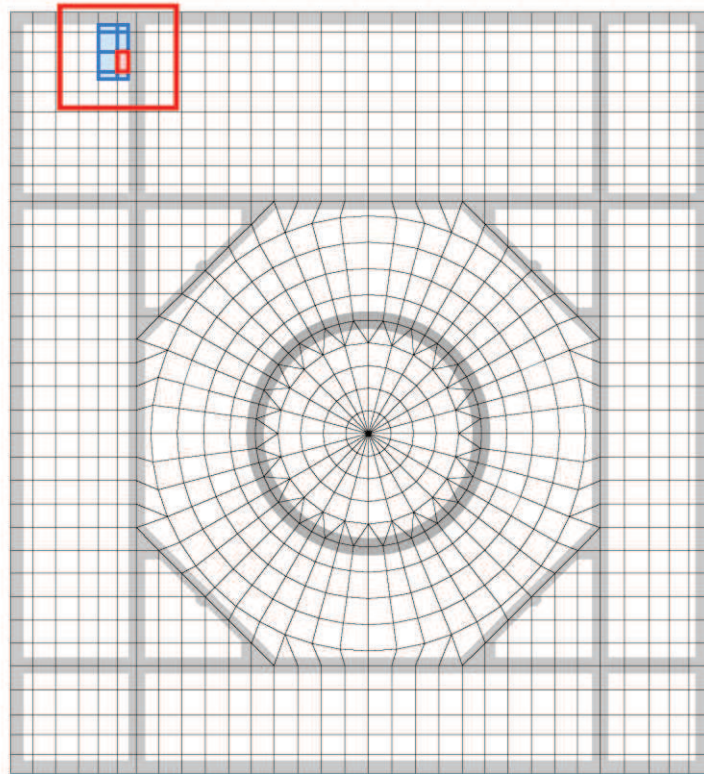


1058	1059	1060	1061
1027	1028	1029	1030
996	997	998	999
965	966	967	968
934	935	936	937
903	904	905	906
872	873	874	875
849	850	851	852

- : 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)

(t) EW 方向 要素番号 937

図 2-6 応力平均化範囲 (20/21)



1157	1158	1159	1160	1161	1162
1126	1127	1128	1129	1130	1131
1095	1096	1097	1098	1099	1100
1064	1065	1066	1067	1068	1069
1033	1034	1035	1036	1037	1038

- : 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)

(u) EW 方向 要素番号 1098

図 2-6 応力平均化範囲 (21/21)

2.3 応力平均化の結果

応力平均化の手法として、下式のとおり、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発生値、面積及び重み付け値を表2-2に示す。また、応力平均化の結果を表2-3に示す。

$$\tau_{ave} = \Sigma (\tau_i \times A_i) / \Sigma A_i$$

ここで、

τ_{ave} : 平均化後の面外せん断応力度

τ_i : 平均化前の各要素の面外せん断応力度 (発生値)

A_i : 応力平均化範囲における各要素の面積

表2-2 応力平均化に用いる各要素の発生値，面積及び重み付け値（1/5）

方向	応力平均化 対象要素	組合せ ケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
放射	214	3-10	214	1.94	3.47	6.72
			262	2.40	6.34	15.22
			310	1.69	3.07	5.19
合計					12.88	27.13
放射	218	3-9	170	1.31	3.47	4.56
			218	2.34	6.34	14.84
			266	1.96	3.07	6.03
合計					12.88	25.43
放射	219	3-9	171	1.46	3.47	5.05
			219	2.54	6.34	16.09
			267	2.02	3.07	6.21
合計					12.88	27.35
放射	220	3-9	172	1.44	3.47	4.99
			220	2.53	6.34	16.05
			268	1.97	3.07	6.06
合計					12.88	27.10
放射	221	3-9	173	1.26	3.47	4.36
			221	2.31	6.34	14.67
			269	1.84	3.07	5.67
合計					12.88	24.70
放射	237	3-13	189	1.22	3.47	4.25
			237	2.34	6.34	14.84
			285	1.89	3.07	5.81
合計					12.88	24.90
放射	238	3-13	190	1.26	3.47	4.37
			238	2.38	6.34	15.07
			286	1.95	3.07	5.98
合計					12.88	25.42

表2-2 応力平均化に用いる各要素の発生値，面積及び重み付け値 (2/5)

方向	応力平均化 対象要素	組合せ ケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
NS	421	3-14	419	2.52	0.35	0.89
			420	3.13	1.54	4.82
			421	3.39	1.47	4.99
			422	3.25	0.84	2.73
			450	0.72	1.10	0.80
			451	1.38	4.84	6.66
			452	1.92	4.62	8.87
			453	2.06	2.64	5.44
合計					17.40	35.20
NS	442	3-16	440	1.86	1.33	2.48
			441	2.25	1.75	3.95
			442	2.46	1.12	2.76
			471	0.84	4.18	3.51
			472	1.01	5.50	5.56
			473	1.03	3.52	3.63
合計					17.40	21.89
NS	443	3-10	443	3.26	1.26	4.11
			444	3.07	1.89	5.81
			445	2.16	1.05	2.27
			474	2.06	3.96	8.15
			475	1.56	5.94	9.26
			476	0.55	3.30	1.81
合計					17.40	31.41
NS	1159	3-13	1126	0.55	1.10	0.61
			1127	1.12	4.84	5.41
			1128	1.64	4.62	7.59
			1129	1.80	2.64	4.76
			1157	2.22	0.40	0.89
			1158	2.93	1.76	5.16
			1159	3.26	1.68	5.48
			1160	3.18	0.96	3.06
合計					18.00	32.96

表2-2 応力平均化に用いる各要素の発生値，面積及び重み付け値 (3/5)

方向	応力平均化 対象要素	組合せ ケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
NS	1161	3-11	1130	1.06	3.52	3.75
			1131	1.00	5.50	5.51
			1132	0.78	4.18	3.27
			1161	2.49	1.28	3.19
			1162	2.28	2.00	4.56
			1163	1.71	1.52	2.60
合計					18.00	22.88
NS	1180	3-12	1147	0.73	4.18	3.06
			1148	0.89	5.50	4.91
			1149	0.90	3.52	3.19
			1178	1.83	1.52	2.79
			1179	2.30	2.00	4.61
			1180	2.55	1.28	3.27
合計					18.00	21.83
NS	1181	3-9	1150	1.71	3.96	6.79
			1151	1.24	5.94	7.40
			1152	0.38	3.30	1.27
			1181	3.34	1.44	4.82
			1182	3.05	2.16	6.60
			1183	2.11	1.20	2.53
合計					18.00	29.41

表2-2 応力平均化に用いる各要素の発生値，面積及び重み付け値（4/5）

方向	応力平均化 対象要素	組合せ ケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
EW	541	3-16	479	1.48	1.65	2.44
			480	0.14	3.75	0.55
			510	2.34	2.97	6.96
			511	0.95	6.75	6.42
			541	2.57	1.98	5.09
			542	1.31	4.50	5.91
合計					21.60	27.37
EW	571	3-15	508	0.31	3.30	1.04
			509	1.48	1.05	1.56
			539	1.11	5.94	6.62
			540	2.39	1.89	4.53
			570	1.51	3.96	6.00
			571	2.63	1.26	3.32
合計					17.40	23.07
EW	572	3-13	572	2.86	1.76	5.03
			573	0.79	4.00	3.18
			595	2.64	2.75	7.27
			596	0.83	6.25	5.19
			616	2.21	2.09	4.63
			617	0.76	4.75	3.60
合計					21.60	28.90
EW	594	3-9	593	1.14	3.52	4.02
			594	3.08	1.12	3.46
			614	1.15	5.50	6.33
			615	2.86	1.75	5.01
			633	1.03	4.18	4.33
			634	2.44	1.33	3.26
合計					17.40	26.41

表2-2 応力平均化に用いる各要素の発生値，面積及び重み付け値 (5/5)

方向	応力平均化 対象要素	組合せ ケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
EW	907	3-12	876	3.21	1.10	3.53
			877	1.40	2.50	3.50
			907	3.46	2.20	7.61
			908	1.40	5.00	7.03
			938	3.23	2.20	7.12
			939	1.16	5.00	5.82
			969	2.97	1.10	3.27
			970	0.97	2.50	2.42
合計					21.60	40.30
EW	937	3-11	905	1.59	2.20	3.50
			906	3.18	0.70	2.23
			936	1.64	4.40	7.23
			937	3.50	1.40	4.91
			967	1.41	4.40	6.20
			968	3.26	1.40	4.56
			998	1.19	2.20	2.62
			999	2.99	0.70	2.10
合計					17.40	33.35
EW	1098	3-11	1066	1.45	1.68	2.44
			1067	2.57	0.96	2.47
			1097	1.79	4.62	8.25
			1098	2.82	2.64	7.45
			1128	1.15	4.62	5.33
			1129	2.07	2.64	5.47
			1159	0.11	1.68	0.19
			1160	0.44	0.96	0.43
合計					19.80	32.03

表2-3 応力平均化結果

方向	要素番号	組合せケース	面外せん断応力度 (N/mm ²)	
			平均化前	平均化後
放射	214	3-10	1.94	2.11
	218	3-9	2.34	1.97
	219	3-9	2.54	2.12
	220	3-9	2.53	2.10
	221	3-9	2.31	1.92
	237	3-13	2.34	1.93
	238	3-13	2.38	1.97
NS	421	3-14	3.39	2.02
	442	3-16	2.46	1.26
	443	3-10	3.26	1.81
	1159	3-13	3.26	1.83
	1161	3-11	2.49	1.27
	1180	3-12	2.55	1.21
	1181	3-9	3.34	1.63
EW	541	3-16	2.57	1.27
	571	3-15	2.63	1.33
	572	3-13	2.86	1.34
	594	3-9	3.08	1.52
	907	3-12	3.46	1.87
	937	3-11	3.50	1.92
	1098	3-11	2.82	1.62

2.4 断面の評価結果

2.4.1 断面の評価方法

断面の評価方法として、面外せん断力の発生値が許容値を超えないことを確認する。許容値は、「RC-N 規準」に基づき算出する。

2.4.2 断面の評価結果

応力平均化後の評価結果を表 2-4 に示す。表 2-4 より、応力平均化後の面外せん断応力度の発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 2-4 応力平均化後の評価結果

方向	要素番号	組合せケース	面外せん断応力度 (N/mm ²)		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
			発生値	許容値*	
放射	214	3-10	2.11	2.42	0.88
	218	3-9	1.97	2.09	0.95
	219	3-9	2.12	2.13	1.00
	220	3-9	2.10	2.13	0.99
	221	3-9	1.92	2.06	0.94
	237	3-13	1.93	2.05	0.95
	238	3-13	1.97	2.06	0.96
NS	421	3-14	2.02	2.42	0.84
	442	3-16	1.26	2.42	0.52
	443	3-10	1.81	2.42	0.75
	1159	3-13	1.83	2.42	0.76
	1161	3-11	1.27	2.42	0.53
	1180	3-12	1.21	2.42	0.51
	1181	3-9	1.63	2.42	0.68
EW	541	3-16	1.27	2.42	0.53
	571	3-15	1.33	2.42	0.55
	572	3-13	1.34	2.42	0.56
	594	3-9	1.52	2.42	0.63
	907	3-12	1.87	2.42	0.78
	937	3-11	1.92	2.42	0.80
	1098	3-11	1.62	2.42	0.67

注記*：応力平均化範囲に存在する面外せん断補強筋を考慮して許容値を算定