

応力平均化について

1. はじめに

MMRをモデル化しないモデルでの基礎版の応力解析結果において検定比が1を超える要素について、応力平均化を用いた検討を行う。

2. 平均化前の応力解析結果

MMRをモデル化しない場合でのSs地震時の2方向入力による原子炉棟基礎および附属棟基礎における結果を図2-1に示す。また、検定比が1を超える要素を図2-2に、応力平均化前の検定比を表2-1に示す。

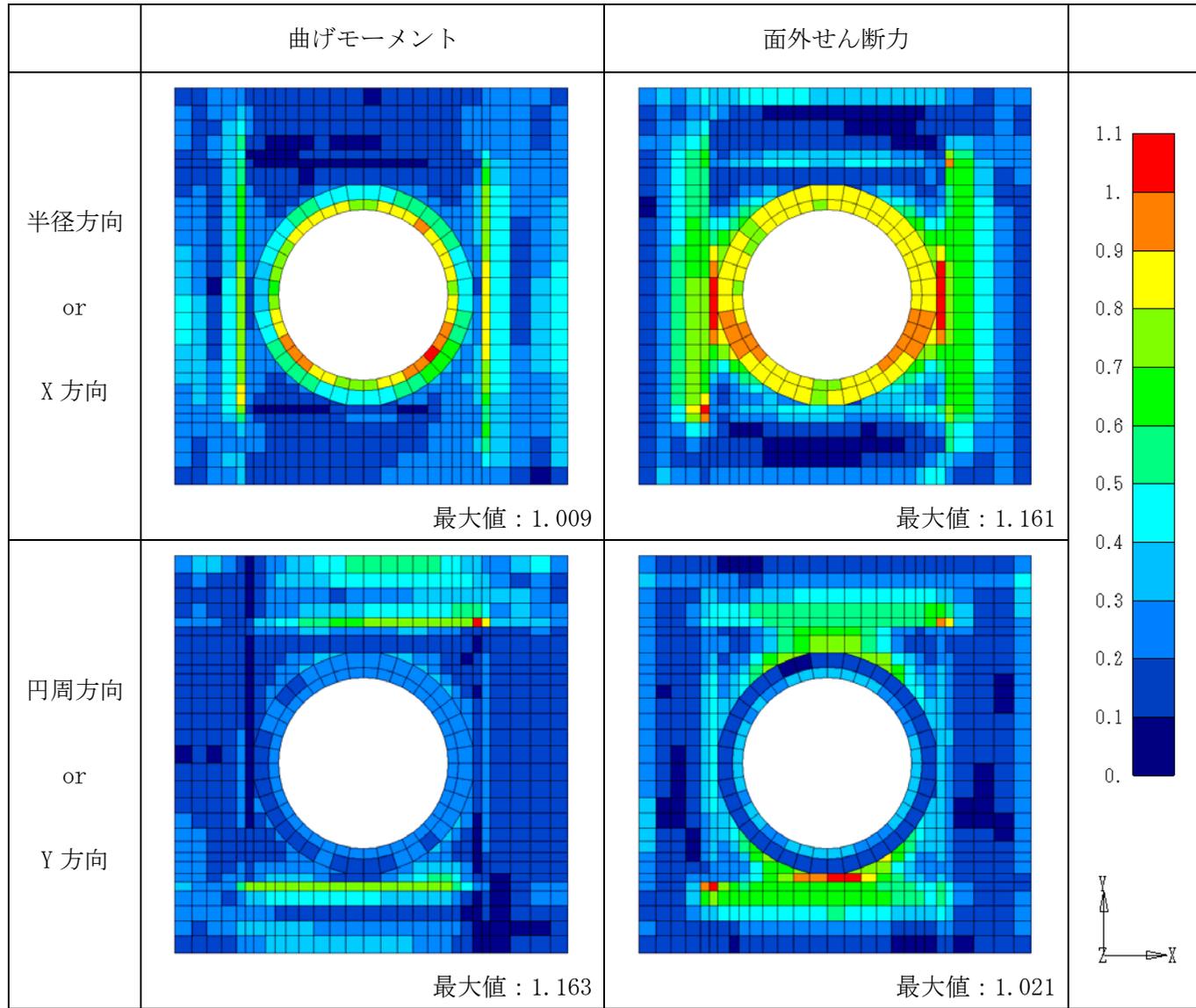
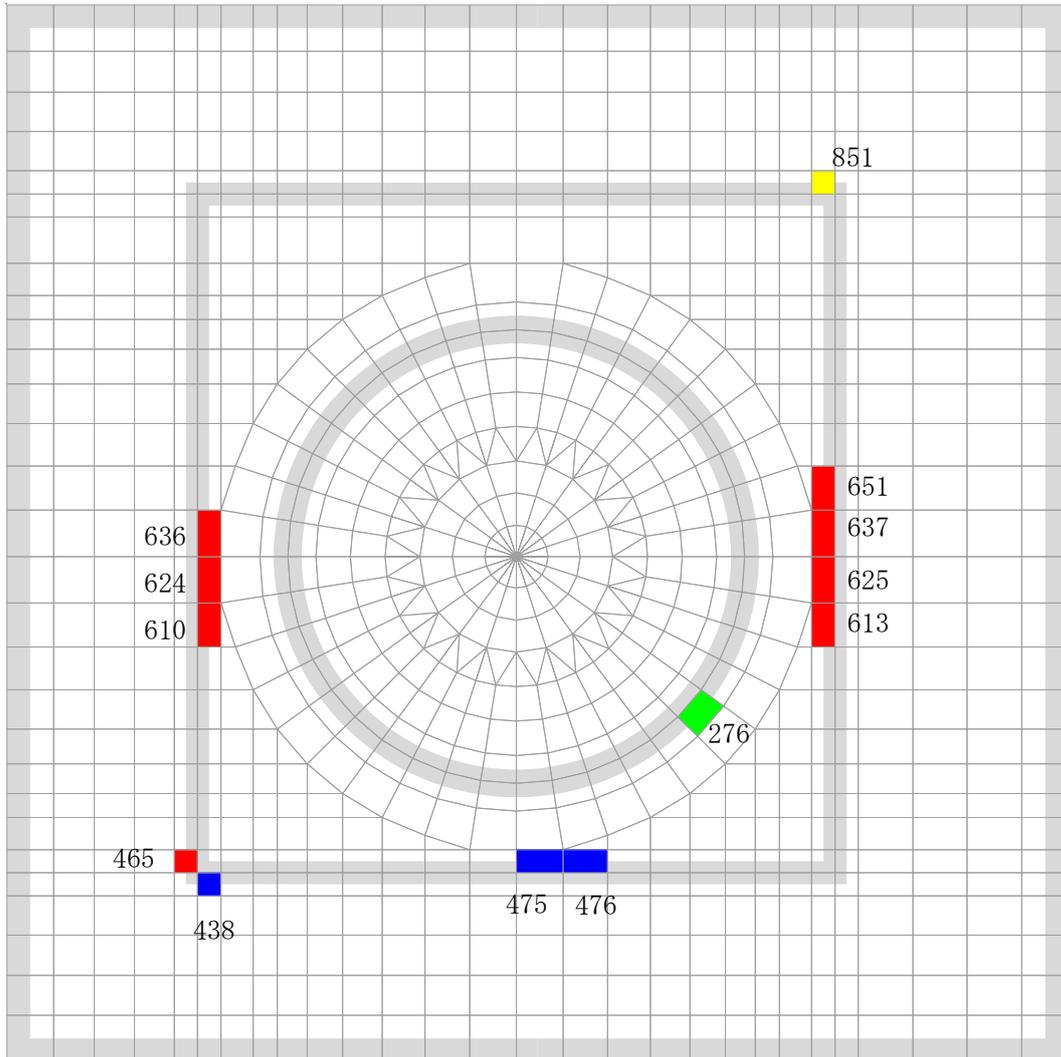


図 2-1 応力解析結果



- XorR 面外せん断力
- XorR 曲げモーメント
- Yor θ 面外せん断力
- Yor θ 曲げモーメント

図 2-2 検定比が 1 を超える要素

表 2-1 検定比 (応力平均化前)

要素 番号	応力 成分	方向	荷重組合せ				検定比
			S→N	W→E	D→U	地震動	
276	曲げモーメント	半径	-0.4	+1.0	+0.4	Ss-31	1.009
851		Y	-1.0	+0.4	-0.4	Ss-D1	1.163
465	面外せん断	X	-0.4	-1.0	+0.4	Ss-31	1.161
610			-0.4	-1.0	+0.4	Ss-31	1.064
613			+0.4	-1.0	+0.4	Ss-31	1.105
624			-0.4	-1.0	+0.4	Ss-31	1.086
625			+0.4	-1.0	+0.4	Ss-31	1.081
636			+0.4	-1.0	+0.4	Ss-31	1.018
637			+0.4	+1.0	+0.4	Ss-31	1.032
651			+0.4	+1.0	+0.4	Ss-31	1.014
438			Y	-0.4	-1.0	+0.4	Ss-31
475		-1.0		+0.4	+0.4	Ss-31	1.001
476		-1.0		+0.4	+0.4	Ss-31	1.021

3. 応力平均化

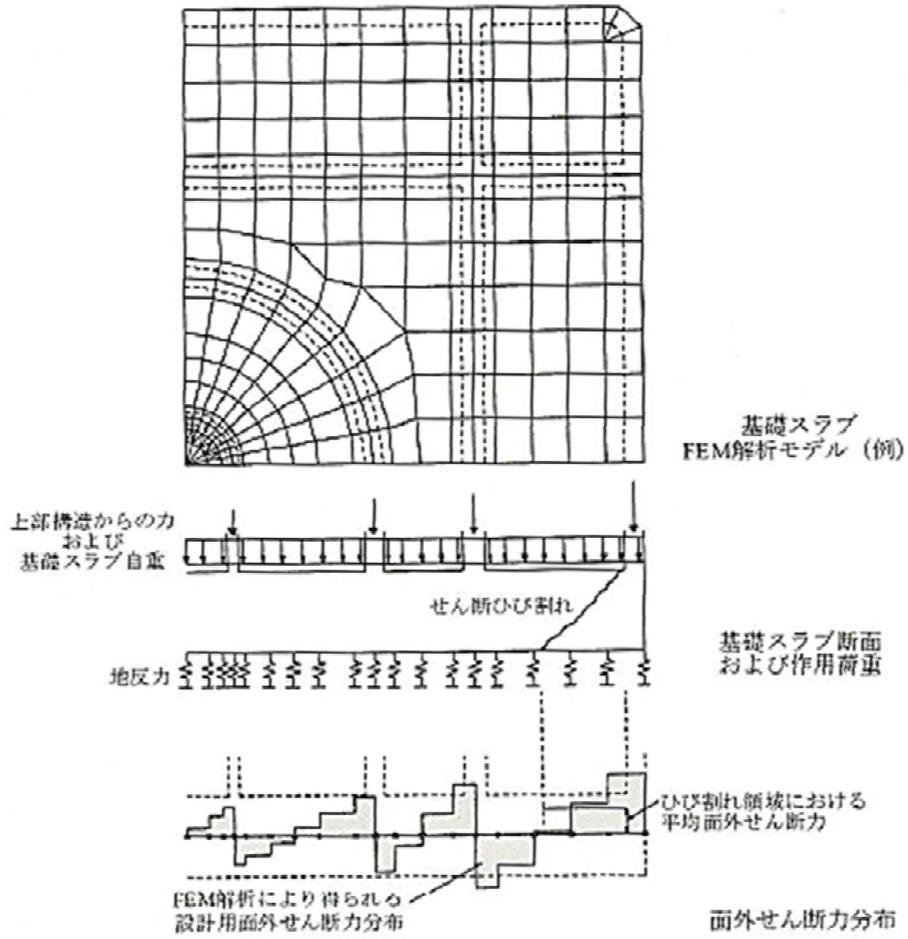
3.1 応力平均化範囲の考え方

(a) 面外せん断力

RC-N 規準には、基礎のような大断面を有する面材の面外せん断力について、「基礎スラブの設計用応力は FEM 解析により算定し、断面設計はその要素応力を用いて行うことが一般的である。通常の場合、FEM 解析の要素サイズは、基礎スラブ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になっているといえる。また、基礎スラブにおいても、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 規準に示される模式図を図 3-1 に示す。

原子炉建屋の基礎についても、壁面から 45 度の角度でせん断ひび割れが進展すると考えられることから、せん断破壊面が表面から裏面まで貫通する範囲、すなわち壁面から基礎厚分の範囲を応力平均化の範囲と設定する。なお、基礎厚の範囲に他の壁面がある場合には、壁面と壁面との間を平均化の範囲とする。面外せん断力に対する応力平均化の考え方を図 3-2 に示す。

また、応力方向のみに平均化した結果が耐力を超過する場合は、応力直交方向への応力再配分が生じることを考慮する。各方向の応力分布状態から、応力直交方向への荷重伝達ができることを確認したうえで、平均化範囲を設定する。



付図 2.2 基礎スラブにおける設計用面外せん断力

※RC-N 規準より抜粋

図 3-1 ひび割れ領域における平均面外せん断力

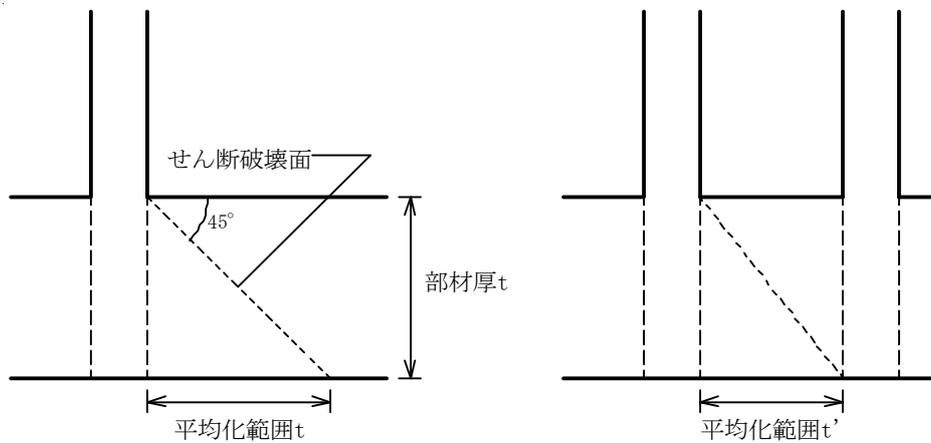
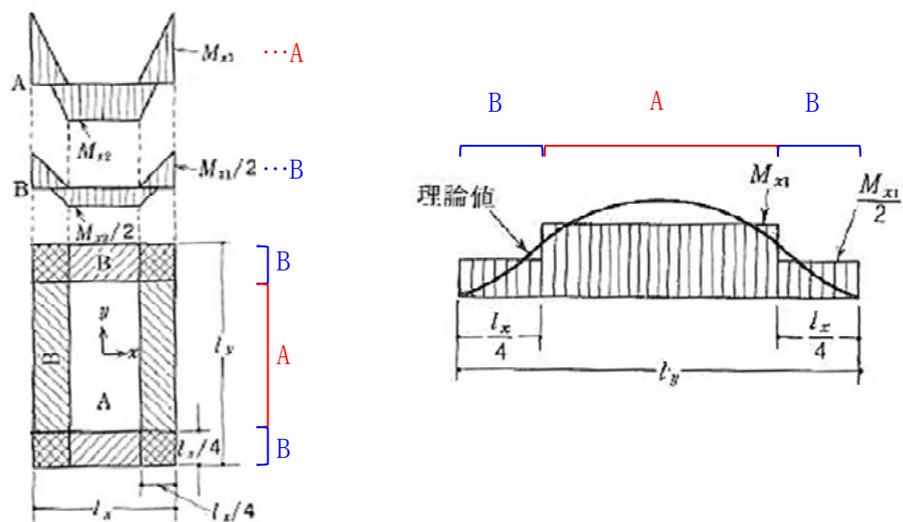


図 3-2 面外せん断力に対する応力平均化の考え方

(b) 曲げモーメント

RC 規準「9 条 長方形スラブ」解説では、面材の面外曲げについて「板の破損はある幅に対する平均曲げモーメントが、一定値に達したとき生じるといふ実験的事実（H. Marcus の解釈）があり、局部的に M_{s1} （注：設計用曲げモーメント）が不足しても全体としての耐力が与えられていればスラブの安全性は保たれる」とされており、設計用曲げモーメントは周辺部にならして設定されている。RC 規準に示される模式図を図 3-3 に示す。

原子炉建屋の基礎についても、RC 規準と同様に、ひび割れの発生やコンクリート・鉄筋の塑性化による部分的な剛性低下により、鉄筋に生じる局所的な応力は、連続して配置されている周辺部の鉄筋に応力が再配分されると考えられる。曲げモーメントに対する応力平均化の考え方を図 3-4 に示す。



※RC 規準より抜粋・加筆

(a) 周辺固定スラブの設計用曲げモーメント (b) 長辺に沿う固定辺モーメント分布

図 3-3 長方形スラブの設計用曲げモーメントの考え方

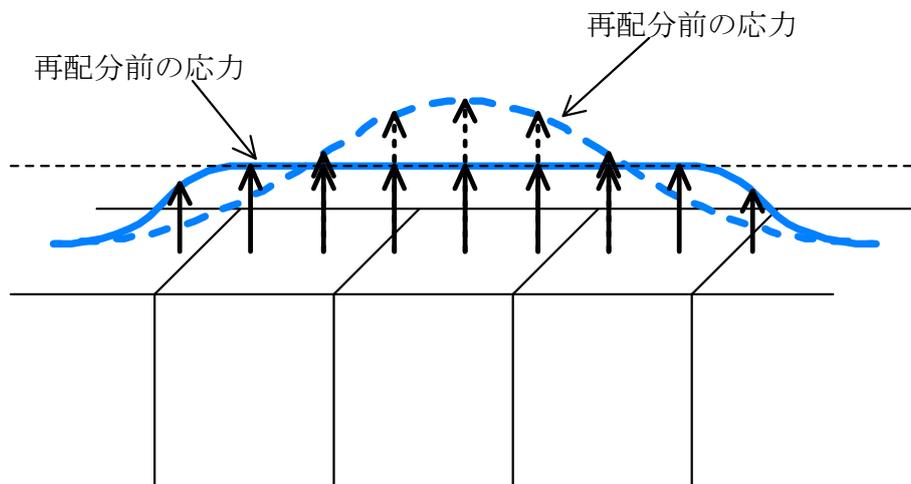


図 3-4 曲げモーメントに対する応力平均化の考え方

3.2 応力平均化結果

表 2-1 に示した、検定比が 1 を超える要素について、平均化の結果のまとめを表 3-1 に示す。また、応力の平均化を行った結果の代表例を以下の(a)～(d)に示す。

なお、面外せん断力において、応力方向に壁厚分の範囲を設定することで検定比が 1 を下回っており、応力直交方向への再配分は考慮していない。

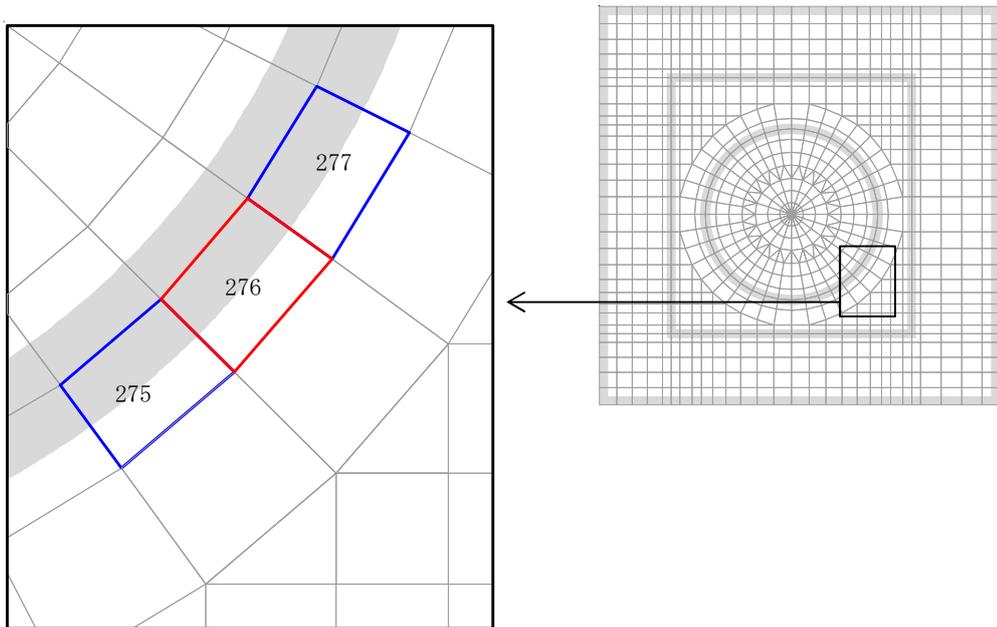
表 3-1 平均化の結果

要素番号	応力成分	方向	平均化前 検定比	平均化後 検定比	代表例	
276	曲げモーメント	半径	1.009	0.997	(a)	
851		Y	1.163	0.935	(b)	
465	面外せん断	X	1.161	0.721	(c)	
610			1.064	0.950	(d)	
613			1.105	0.939		
624			1.086	0.922		
625			1.081	0.913		
636			1.018	0.869		
637			1.032	0.877		
651			1.014	0.869		
438			Y	1.009	0.627	
475				1.001	0.851	
476		1.021		0.874		

(a) 要素番号 276 (曲げモーメント, 半径方向)

シェル壁の外側の要素であり, シェル壁に沿って円周方向の両隣の要素 275 および 277 と平均化を行う。

平均化前の曲げモーメント	平均化後の曲げモーメント	平均化後の検定比
$5.21 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$5.15 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$	0.997

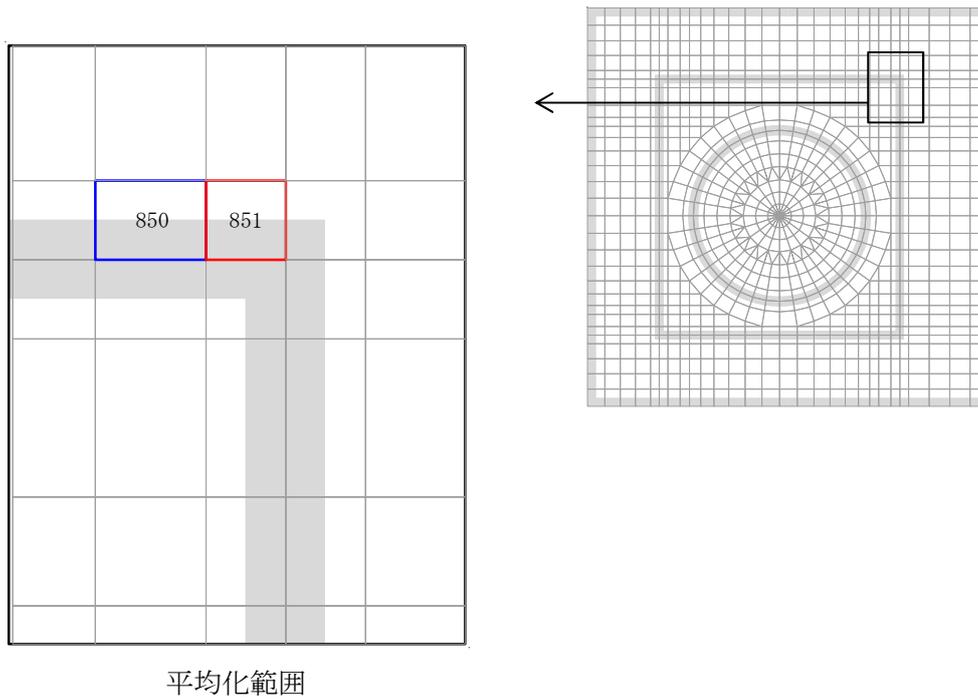


平均化範囲

(b) 要素番号 851 (曲げモーメント, Y 方向)

I/W の外側角部の要素であり, I/W に沿った隣の要素と平均化を行う。隣の要素 850 と平均化を行うことで, 許容値以内となる。

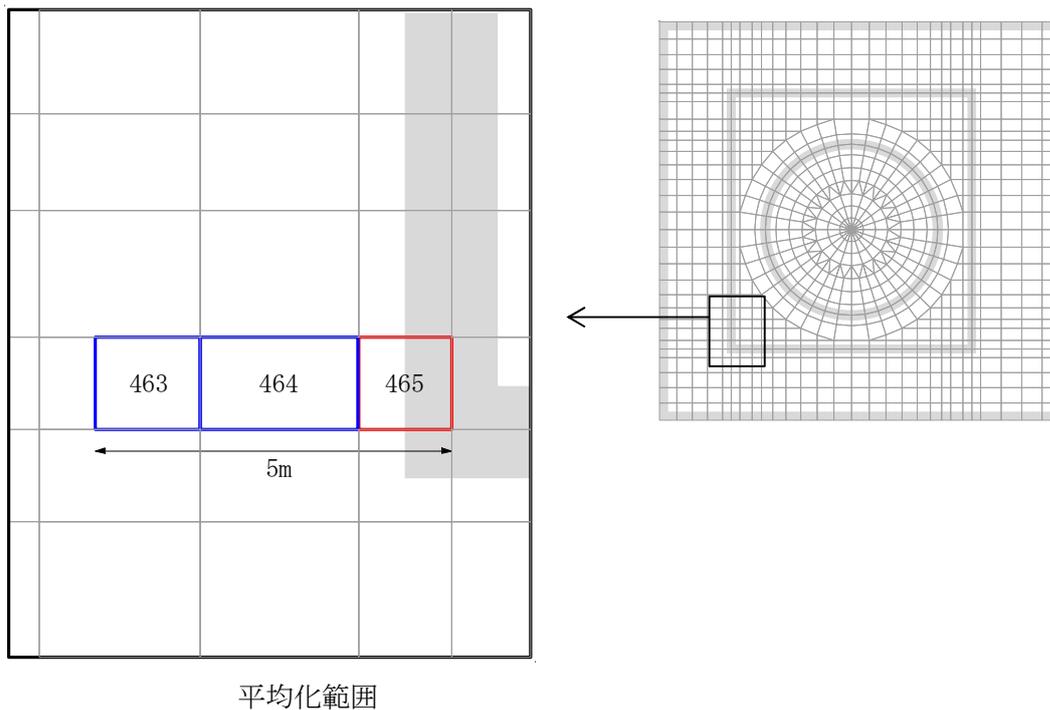
平均化前の曲げモーメント	平均化後の曲げモーメント	平均化後の検定比
$1.28 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$1.14 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m}$	0.935



(c) 要素番号 465 (面外せん断力, X 方向)

I/W の外側角部の要素であり, I/W の壁面から基礎版厚さ 5.0m の範囲の要素 464 および 463 について平均化を行う。基礎版厚さ 5.0m の範囲の要素と平均化を行うことで, 許容値以内となる。

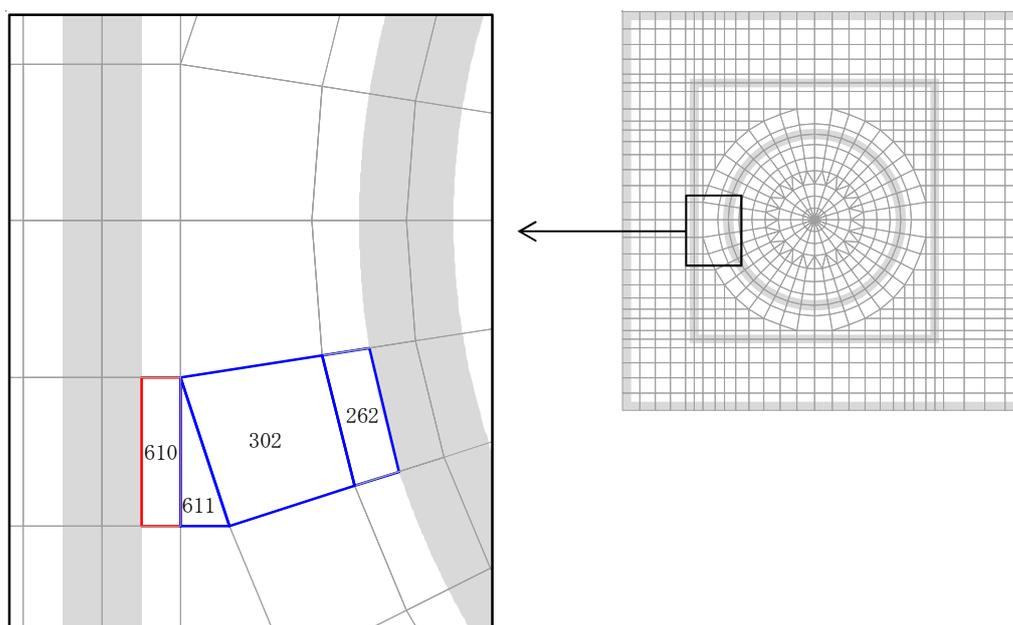
平均化前の面外せん断力	平均化後の面外せん断力	平均化後の検定比
1.17×10^4 kN	0.736×10^4 kN	0.764



(d) 要素番号 610 (面外せん断力, X 方向)

I/W の内側の要素であり, I/W と S/W に挟まれた範囲の要素 611, 302 および 262 で平均化を行う。

	面外せん断力	許容せん断力	検定比
平均化前	0.934×10^4 kN	0.878×10^4 kN	1.064
平均化後	0.984×10^4 kN	1.04×10^4 kN	0.950



平均化範囲