

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-026-4 改6
提出年月日	2020年9月16日

廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2020年9月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-2-12「廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 2 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 3 地震荷重の入力方法

別紙 4 応力解析における断面の評価部位の選定

別紙 5 応力解析における応力平均化の考え方

別紙 6 水平・鉛直を分離した解析について

別紙 7 応力解析における壁の健全性評価

別紙 8 最大接地圧について

別紙 1 応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

## 目 次

1. 概要 ..... 別紙 1-1
2. 応力解析モデル及び手法の比較 ..... 別紙 1-2

## 1. 概要

本資料は、廃棄物処理建屋基礎スラブの既工認時及び今回工認時の応力解析モデル及び手法の比較を示すものである。

## 2. 応力解析モデル及び手法の比較

廃棄物処理建屋の応力解析モデル及び手法の比較を表 2-1 に示す。また、今回工認時の応力解析モデルを図 2-1 に示す。

比較に用いる既工認時の応力解析モデル及び手法は、平成 4 年 10 月 13 日付け 4 資庁第 8732 号にて認可された工事計画の添付資料「IV-2-2-2 廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」（以下「既工認」という。）のものである。

表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較 (廃棄物処理建屋基礎スラブ)

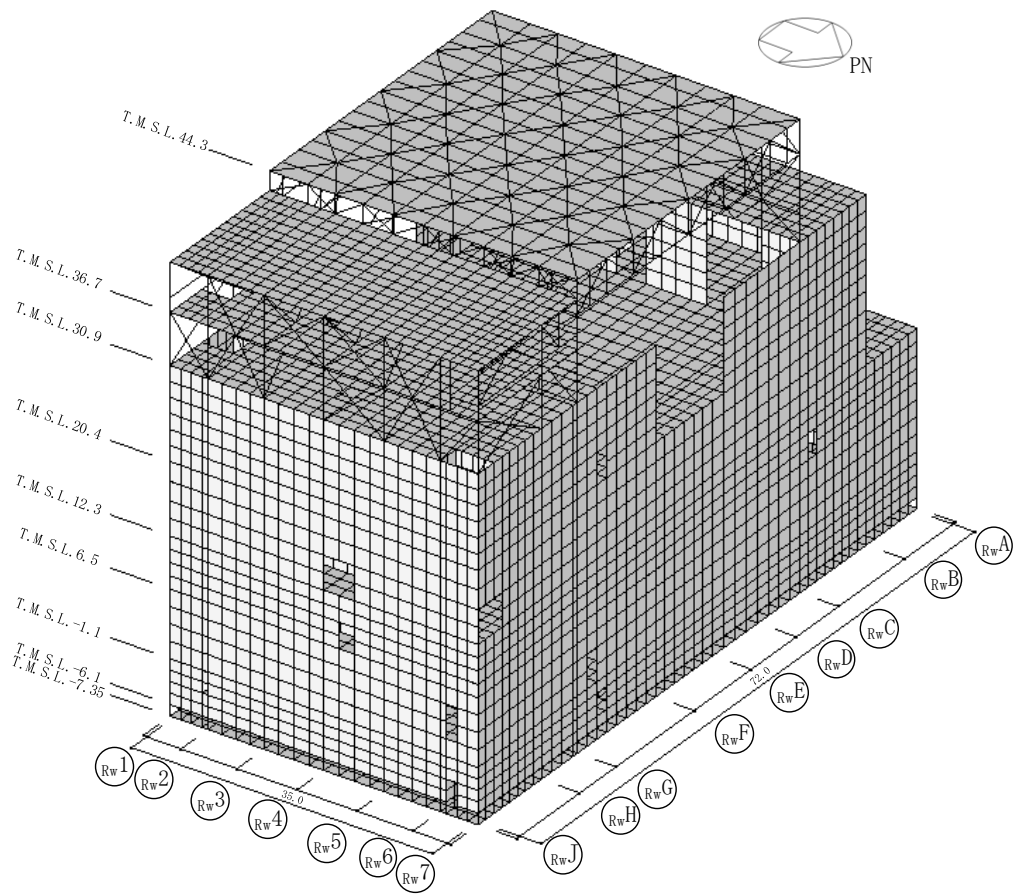
項目	内容	既工認	今回工認	備考
解析手法		・3次元 FEM モデルを用いた応力解析 (弾性解析)	・同左	—
解析コード		・ NASTRAN	・ MSC NASTRAN	—
モデル	モデル化範囲	・基礎スラブ	(基礎スラブモデル部分) ・同左 (上部構造モデル部分) ・建屋全体でモデル化	①
	材料物性	検討時の各規準, コンクリートの設計基準強度に基づき設定 ・コンクリートのヤング係数: $E = 2.55 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ (SI 換算) ・コンクリートのポアソン比: $\nu = 0.167$	適用規準等の見直しによる再設定 ・コンクリートのヤング係数: $E = 2.79 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比: $\nu = 0.2$ ・鋼材のヤング係数: $E = 2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ・鋼材のポアソン比: $\nu = 0.3$	② ③ ④ ⑤
	要素種別	・基礎スラブ: シェル要素 ・耐震壁: はり要素	・基礎スラブ, スラブ, 壁: シェル要素 ・柱, はり, プレース: はり要素	—
	境界条件	・底面を弾性地盤ばねにより支持 ・底面の弾性地盤ばねは, 浮上りを考慮	・同左	—
	非線形特性	・考慮しない	・同左	—
地震荷重との組合せ	V L + S + S O E V L : 鉛直荷重 (固定荷重, 機器荷重, 配管荷重, 積載荷重, 積雪荷重, クレーン荷重, 浮力) S : 地震荷重 S O E : 地震時土圧	V L + S s + S O E + B L V L : 鉛直荷重 (固定荷重, 機器荷重, 配管荷重, 積載荷重, 積雪荷重, クレーン荷重) S s : 地震荷重 S O E : 地震時土圧 B L : 浮力	⑥	
荷重の設定	固定荷重	・構造体の自重を考慮	・同左	—
	地震荷重	・基礎自体の物体力及び基礎上端面における上部構造からの地震力 (転倒モーメント, 水平力, 鉛直力を入力)	・上部構造の各階床位置に水平力, 付加曲げモーメントを入力 ・鉛直震度は地震応答解析モデルの基礎底面位置における鉛直力から算定	—
	地震時土圧荷重	$P_a = 10.0 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ $\gamma$ : 土の単位体積重量 ( $\text{t/m}^3$ ) $h$ : 地表面からの深度 (m)	常時土圧 $P_0 = 0.5 \cdot \gamma \cdot h$ $\gamma$ : 土の単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ ) $h$ : 地表面からの深度 (m) 地震時増分土圧 ・(加力側) $P_a = 0.6 \cdot r \cdot \rho \cdot H_a \cdot \alpha_{\max}$ ・(支持側) $P_{s_i} = \beta_i \cdot F / (B \cdot H_i)$ $r$ : 埋戻し土部分の補正係数 $\rho$ : 地盤一般部の密度 ( $\times 10^3 \text{kg/m}^3$ ) $H_a$ : 地盤一般部の厚さ (m) $\alpha_{\max}$ : 地表面の最大加速度 ( $\text{m/s}^2$ ) $\beta_i$ : 建物・構築物の慣性力に対する側方地盤部 i 層の分担率 $F$ : 建物・構築物の慣性力 (kN) $B$ : 建物・構築物の奥行幅 (m)	⑦

			$H_i$ : $i$ 層の厚さ (m) 地震時土圧 $P = P_0 + \max(P_a, P_{s i})$	
評価方法	応力解析	・発生応力が許容応力度を超えないことを確認	・発生応力が許容応力度を超えないこと、必要配筋量が設計配筋量を超えないことを確認	⑦

【具体的な反映事項】(表の備考欄に対応)

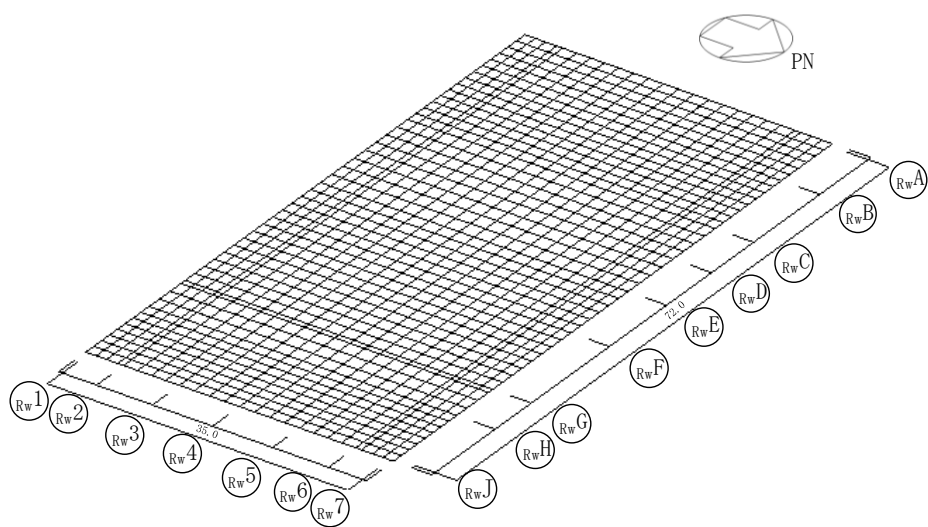
- ① 開口部等の扱いについては、別紙2「応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方」に示す。
- ② コンクリートのヤング係数及びポアソン比については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法」((社)日本建築学会, 1999 改定)に基づき再計算。
- ③ 「鋼構造設計規準－許容応力度設計法」((社)日本建築学会, 2005 改定)に基づき設定。
- ④ コンクリートのヤング係数を算出するための圧縮強度は実強度、断面の評価のための圧縮強度は設計基準強度を採用。
- ⑤ 建設工認時には耐震要素として考慮しなかったが、実際には耐震壁と考慮可能であると考えられる壁を補助壁として、その分の剛性を考慮。
- ⑥ 既工認と今回工認で凡例の記載が異なっているが、既工認から考慮している荷重は変更しておらず、浮力算定時の地下水位面の設定も変更していない。
- ⑦ 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」((社)日本電気協会)に基づき再計算し、詳細は図 2-2 に示す。
- ⑧ 「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 制定)に基づき評価。





(単位 : m)

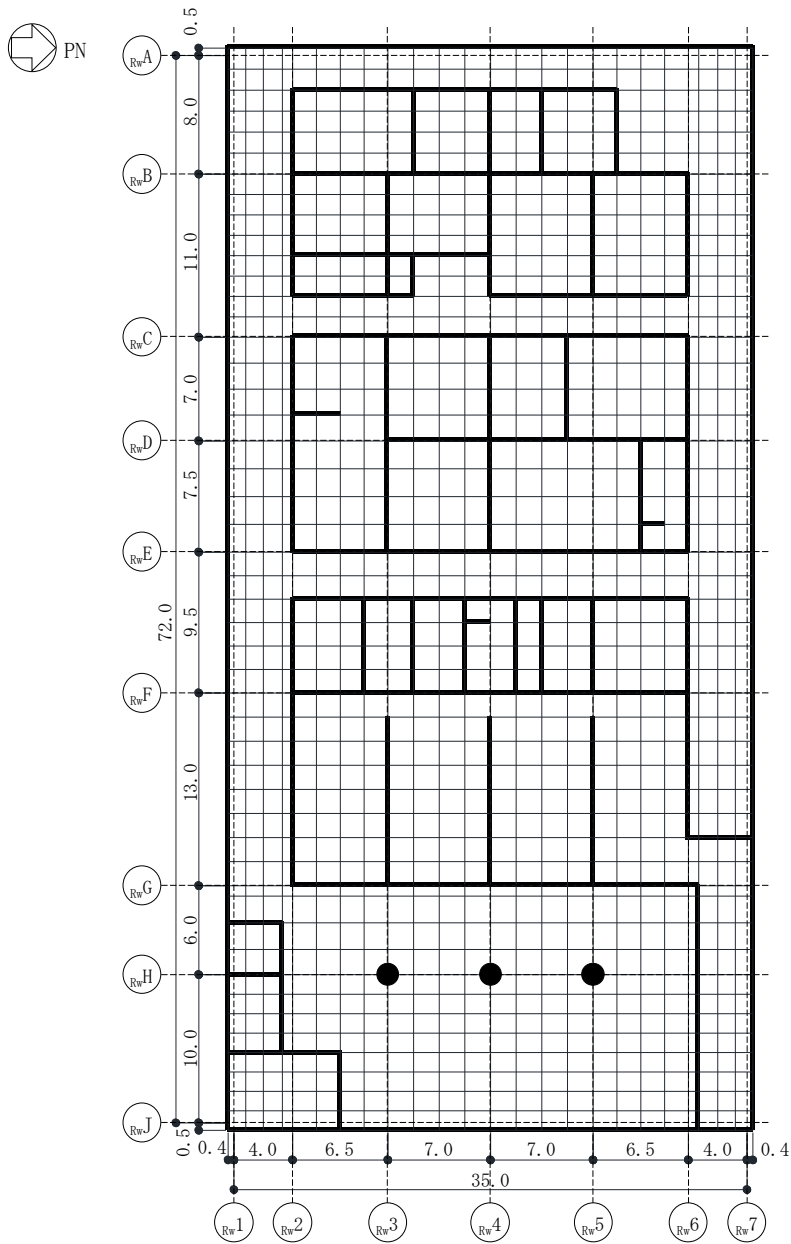
(a) 全体図



(単位 : m)

(b) 基礎スラブ

図 2-1 応力解析モデル図 (1/2)



注：太線部は耐震壁及び補助壁，黒丸は独立柱の位置を示す。 (単位：m)

(c) 基礎スラブ水平面投影図

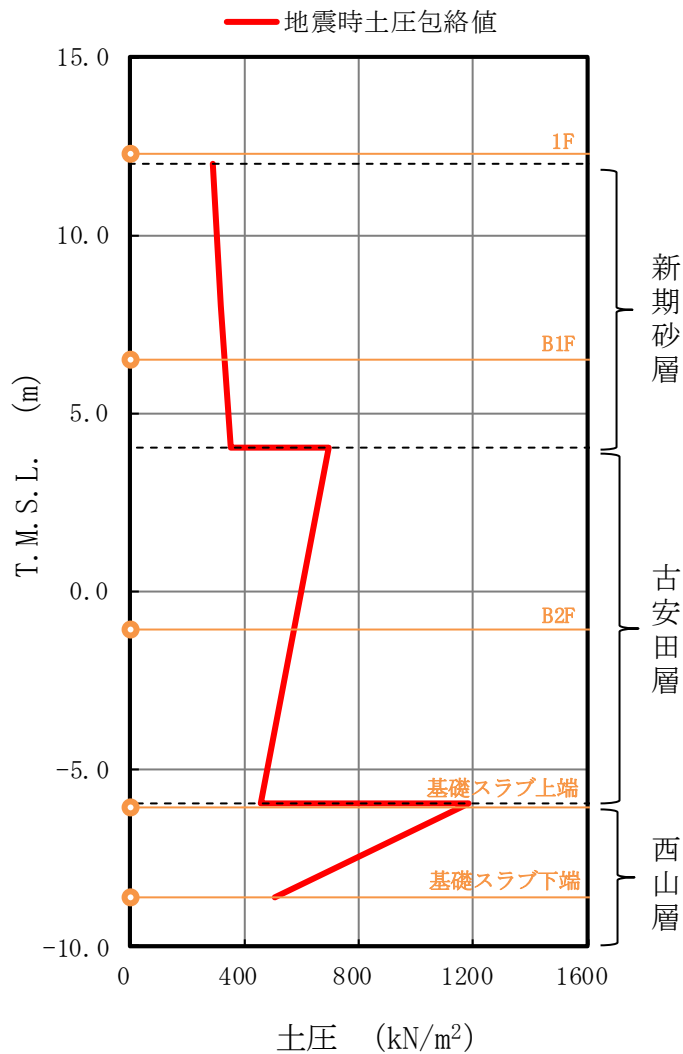
図 2-1 応力解析モデル図 (2/2)

(1) 地震時土圧荷重の算定方法

図 2-2 に地震時土圧荷重の算定方法を示す。地震時土圧荷重は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」に基づき、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を包絡させて設定する。

地震時増分土圧は、建物・構築物に対し加力側に作用する地震時増分土圧と建物・構築物を支える支持側の地震時増分土圧を算定し、加力側増分土圧及び支持側増分土圧を包絡した値とする。

地震時土圧荷重は、基本ケース及びパラスタケースごとに算定した地震時土圧を包絡するように設定する。



T. M. S. L. (m)	決定ケース
4.0~12.0	Ss-1 ケース2
	Ss-1 ケース2
-6.0~4.0	Ss-1 ケース2
	Ss-1 ケース2
-8.6~-6.0	Ss-1 ケース2
	Ss-1 ケース2

(a) EW 方向

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-2 地震時土圧荷重の算定方法

## 別紙2 応力解析におけるモデル化, 境界条件及び拘束条件の考え方

## 目 次

1. 概要 ..... 別紙 2-1
2. 応力解析におけるモデル化, 境界条件及び拘束条件 ..... 別紙 2-2

## 1. 概要

本資料は、廃棄物処理建屋基礎スラブの応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

## 2. 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件

廃棄物処理建屋基礎スラブの応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件を表 2-1 に示す。

直接基礎の底面地盤ばねの設定における基本的な考え方は，以下のとおり。

- ・ 水平ばね

振動アドミタンス理論に基づく水平ばねにより算出する。

- ・ 鉛直ばね

基礎浮上りを考慮し，回転ばね反力として生じる転倒モーメントを適切に評価するため，振動アドミタンス理論に基づく回転ばねより算出する。

有限要素法を用いた解析モデルにおける要素分割の考え方\*については，以下のとおり。

- ・ シェル要素

要素分割は，基本的には発生する応力状態によって決まり，構造形状と荷重状態より要素分割数を考慮する。要素形状の縦横比（アスペクト比）は，重要部分で 1:2 以下，その他の領域や応力変化が少ない領域では，1:3 程度までで，分割に際しては 4 角形要素を利用して格子状とするのが一般的である。曲面版構造の場合は，平板要素や軸対象シェル要素の大きさは，集中荷重や不連続部を含む曲面部近傍では  $2.5\sqrt{R/t}$  を 10~20 分割すると適切な応力分布が求められ，構造物の半径（R）と板厚（t）が考慮されている。また，面内曲げ・軸力及び面外のせん断や曲げを受ける部材のシェル要素の辺の長さは，シェルの広がり方向の応力分布の状態から決まり，応力変化が大きい領域は要素を小さくする必要がある。

注記\*：構造解析のための有限要素法実践ハンドブック（非線形 CAE 協会，2008 年）



表 2-1 廃棄物処理建屋基礎スラブ(1/3)

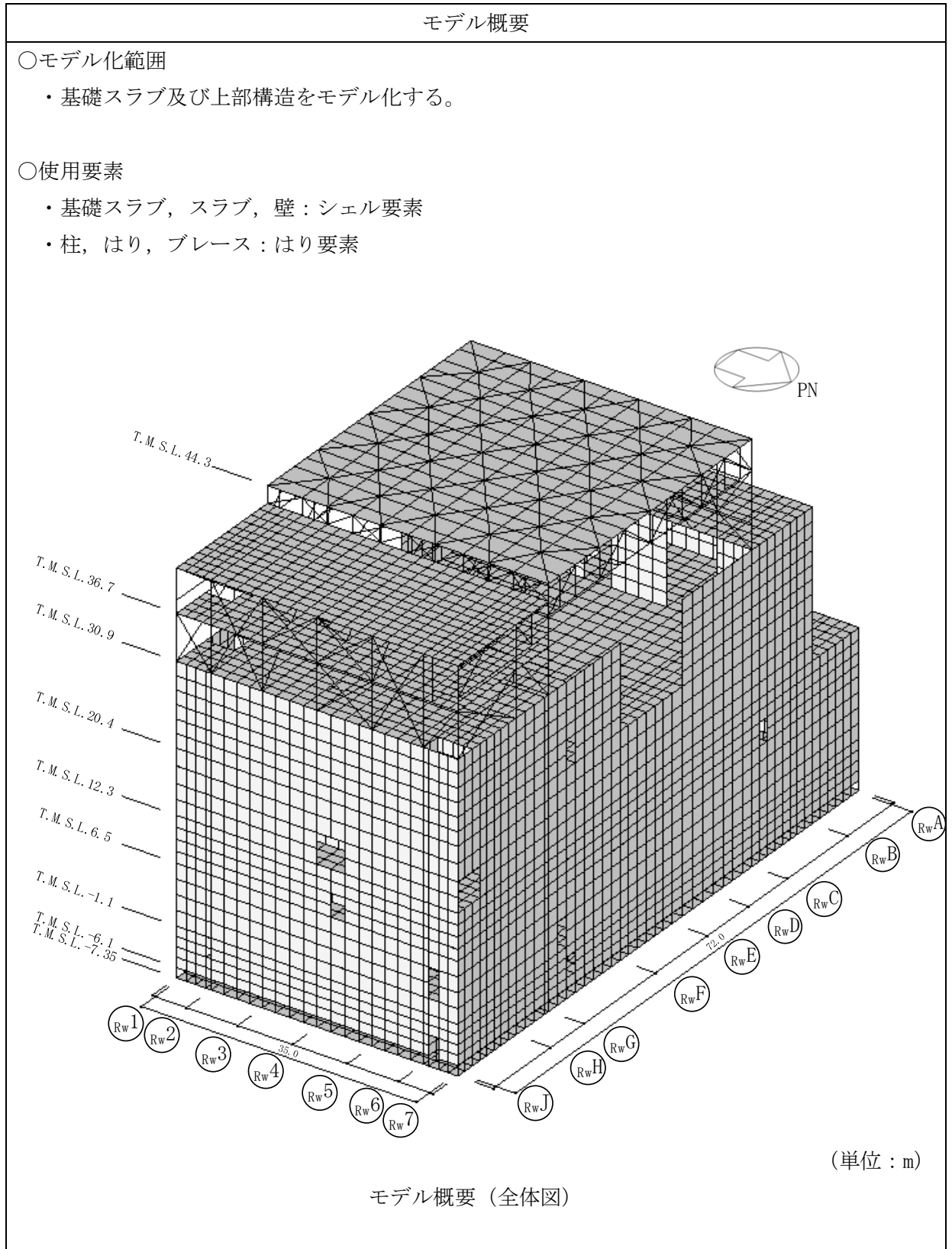
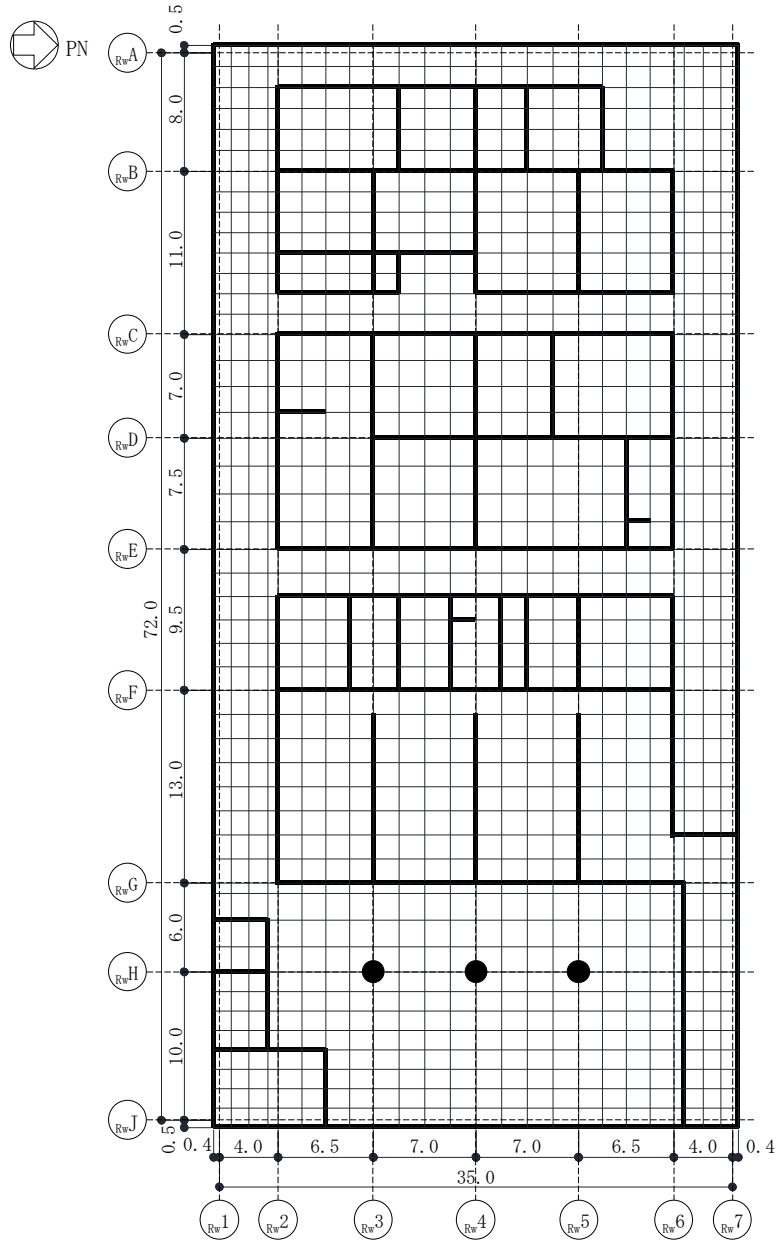


表 2-1 廃棄物処理建屋基礎スラブ(2/3)

モデル概要

○要素分割

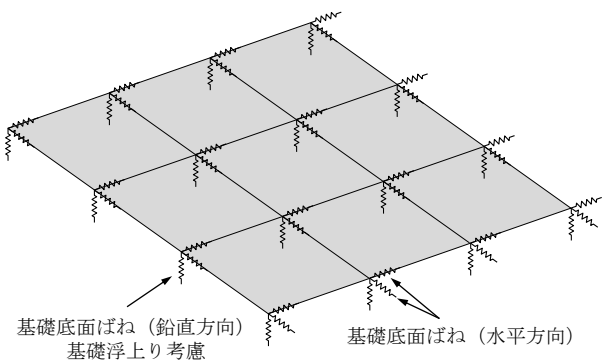
- ・要素の一辺の長さを 1~2m 程度とし、壁及び柱位置を考慮して分割する。



注：太線部は耐震壁及び補助壁，黒丸は独立柱の位置を示す。 (単位：m)

モデル概要 (基礎スラブ)

表 2-1 廃棄物処理建屋基礎スラブ(3/3)

境界条件, 拘束条件
<p>上部構造物と基礎スラブの境界</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎スラブと上部構造物との境界部においては, 上部構造物の剛性を考慮することで, 基礎スラブの応力・変形状態を評価する。</li> <li>・主要な開口部については, 要素を設置しないことで考慮する。</li> <li>・基礎スラブから立ち上がる独立柱については, 上部構造物から基礎スラブへの地震荷重を適切に入力する目的でその剛性を考慮する。</li> </ul>
<p>基礎スラブと地盤の境界</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・側面地盤は無視する。</li> <li>・基礎スラブの節点には, 底面地盤を表現するばね要素を設ける。解析では鉛直方向の底面地盤ばねに引張力が作用すると, 鉛直方向及び水平方向 (2 方向) の合計 3 つのばね剛性をゼロとすることにより, 基礎の浮上りを表現する。</li> <li>・水平剛性及び鉛直剛性は以下のとおり設定する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・水平剛性: 振動アドミッタンス理論による水平ばね <math>K_{HNS(EW)}</math> を節点支配面積 <math>A_i</math> で離散化。 <math display="block">K_{HiNS(EW)} = (K_{HNS(EW)} / A) \times A_i \quad A: \text{基礎スラブの底面積}</math> </li> <li>・鉛直剛性: 転倒モーメントが支配的となるため振動アドミッタンス理論による回転ばね <math>K_R</math> を節点支配面積 <math>A_i</math> で離散化。 <math display="block">K_{Vi} = (K_{RNS} / I_{NS} + K_{REW} / I_{EW}) / 2 \times A_i</math> <math display="block">I: \text{基礎スラブの断面二次モーメント}</math> </li> </ul> </li> </ul>
 <p>基礎底面ばね (鉛直方向) 基礎浮上り考慮</p> <p>基礎底面ばね (水平方向)</p>
<p>モデル概要</p>

## 別紙 3 地震荷重の入力方法

## 目 次

1. 概要 ..... 別紙 3-1
2. 地震荷重の入力方法 ..... 別紙 3-2

## 1. 概要

本資料は、廃棄物処理建屋基礎スラブに作用する地震荷重の入力方法について示すものである。

## 2. 地震荷重の入力方法

廃棄物処理建屋基礎スラブの応力解析に当たっては、FEM モデルに入力する地震荷重として、水平地震力、鉛直地震力及び地震時土圧荷重を考慮する。なお、FEM モデルについては、評価対象である基礎スラブに加え、基礎スラブに作用する上部構造物からの地震時反力を適切に評価するため、建屋全体をモデル化している。

地震荷重の入力は、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果を考慮し、最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力により算定した FEM モデルに入力する水平地震力及び鉛直地震力が、質点位置で地震応答解析結果と等価になるように設定する。

具体的には、FEM モデルに入力する水平地震力については、地震応答解析により求まる各層の最大応答せん断力に基づく水平力を、地震応答解析モデルの質点が支配する領域の床スラブに分配した面荷重として入力する。

曲げモーメントについては、地震応答解析により求まる各質点の最大応答曲げモーメントと FEM モデルに作用した水平力により発生する曲げモーメントの差分(以下「付加曲げモーメント」という。)を、地震応答解析モデルの質点が支配する領域の床スラブに偶力として分配した節点力として入力する。

鉛直地震力については、地震応答解析により求まる基礎底面地盤ばねの最大応答軸力から、地震時の鉛直震度を求め、FEM モデルの常時の鉛直荷重に荷重係数として乗じる。なお、常時の鉛直荷重は単位体積重量、面荷重として入力する。また、表 1-1 に示すとおり、誘発上下動を考慮しない組合せ係数法により求めた接地圧は、水平・鉛直同時入力解析により得られた時刻歴最大接地圧よりも大きな値を与えることから、基礎スラブの応力解析において誘発上下動を考慮しない組合せ係数法を採用することは、保守的な評価となる。なお、V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示すとおり、接地圧は誘発上下動を考慮するモデルを採用している NS 方向、 $S_s-8$  で最大となるため、表 1-1 には NS 方向、 $S_s-8$  による検討結果を示す。

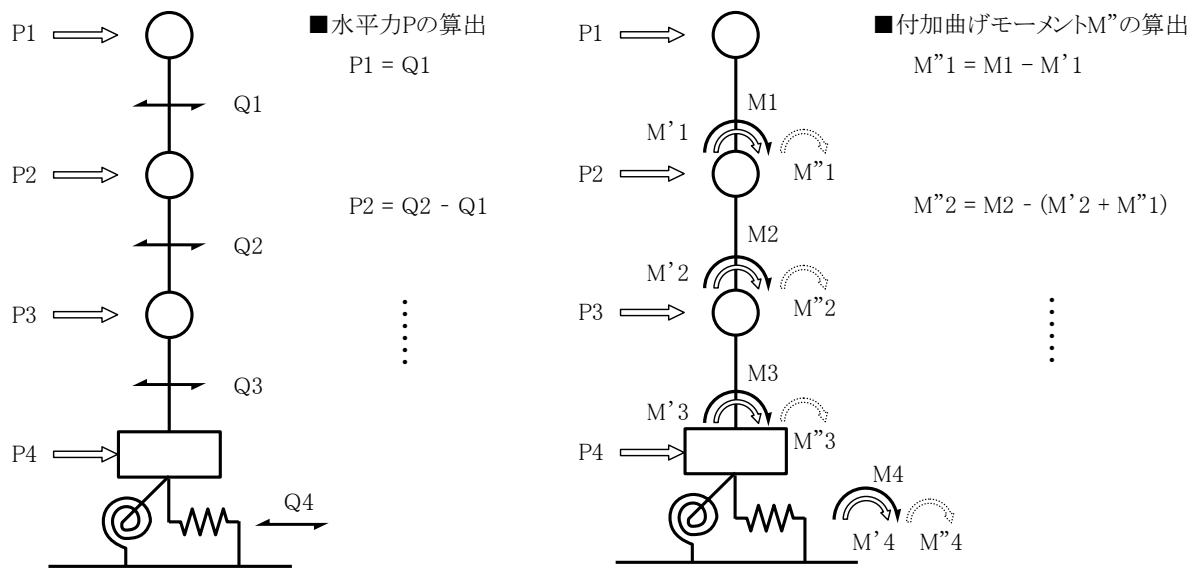
地震時土圧荷重は、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定する。地震時増分土圧荷重については、加力側、支持側の地震時増分土圧の包絡値を、FEM モデルの土と接する地下外壁(西側)に面荷重として入力する。

FEM モデルに入力する地震荷重の概念図を図 2-1 に示す。FEM モデルに入力する水平地震力、付加曲げモーメント、鉛直地震力及び地震時増分土圧荷重の概要を図 2-2～図 2-7 に示す。

表 1-1 水平・鉛直同時入力解析による時刻歴最大接地圧と組合せ係数法による接地圧の比較  
(NS 方向)

(kN/m <sup>2</sup> )		
基準地震動	組合せ係数法による接地圧 (誘発上下動を考慮しない)	水平・鉛直同時入力時 時刻歴最大接地圧*
$S_s-8$	3850	3230

注記\*：廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料別紙 6「水平・鉛直を分離した解析について」より抜粋。



- Q<sub>i</sub> : 地震応答解析による最大応答せん断力
- M<sub>i</sub> : 地震応答解析による最大応答曲げモーメント
- P<sub>i</sub> : FEMに入力する水平力
- M'<sub>i</sub> : FEMに入力した水平力により発生する曲げモーメント
- M''<sub>i</sub> : FEMに入力する付加曲げモーメント  
(最大応答曲げモーメントと水平力により発生する曲げモーメントの差分。)

地震応答解析モデルが地盤3次元FEMモデルの場合、最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントは、次式で示す地盤ばねに相当する反力の最大値とする。

$$Q_s = Q_b + W_b \cdot a_b$$

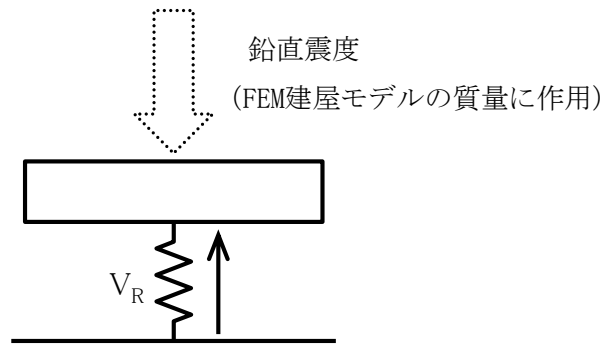
$$M_s = M_b + I_b \cdot \theta_b$$

ここで、

- Q<sub>s</sub> : 水平の地盤ばねに相当する反力
- Q<sub>b</sub> : 基礎要素の応答せん断力
- W<sub>b</sub> : 基礎下端質点の質量
- a<sub>b</sub> : 基礎下端質点の水平応答加速度
- M<sub>s</sub> : 回転の地盤ばねに相当する反力
- M<sub>b</sub> : 基礎要素下端の応答曲げモーメント
- I<sub>b</sub> : 基礎下端質点の回転慣性質量
- θ<sub>b</sub> : 基礎下端質点の回転応答角加速度

図2-1 FEMモデルに入力する地震荷重の概念図（水平地震力）





$V_R$  : 地震応答解析より設定した基礎スラブ底面に生じる軸力

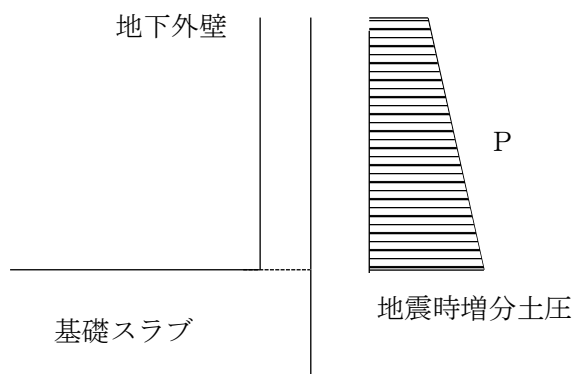
地震応答解析モデルが地盤 3 次元 FEM モデルの場合、最大応答軸力は、次式で示す地盤ばね反力の最大値とする。

$$V_s = V_b + W_b \cdot a_b$$

ここで、

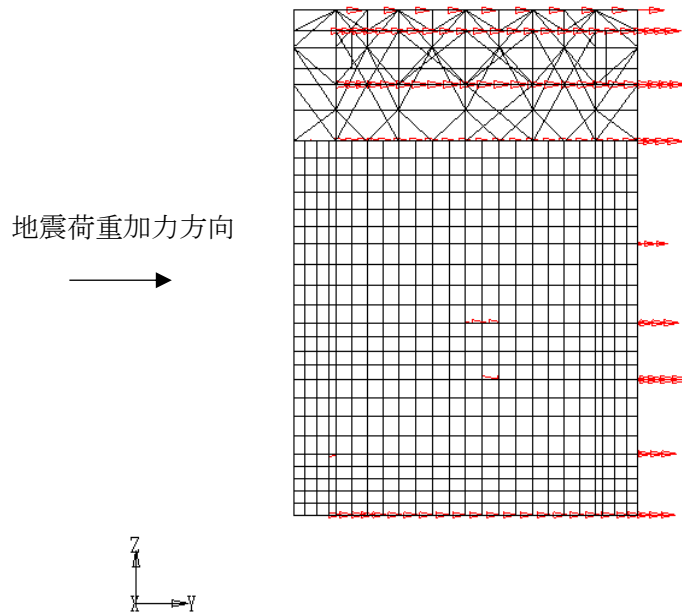
- $V_s$  : 鉛直の地盤ばねに相当する反力
- $V_b$  : 基礎要素の応答軸力
- $W_b$  : 基礎下端質点の質量
- $a_b$  : 基礎下端質点の鉛直応答加速度

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (鉛直地震力)

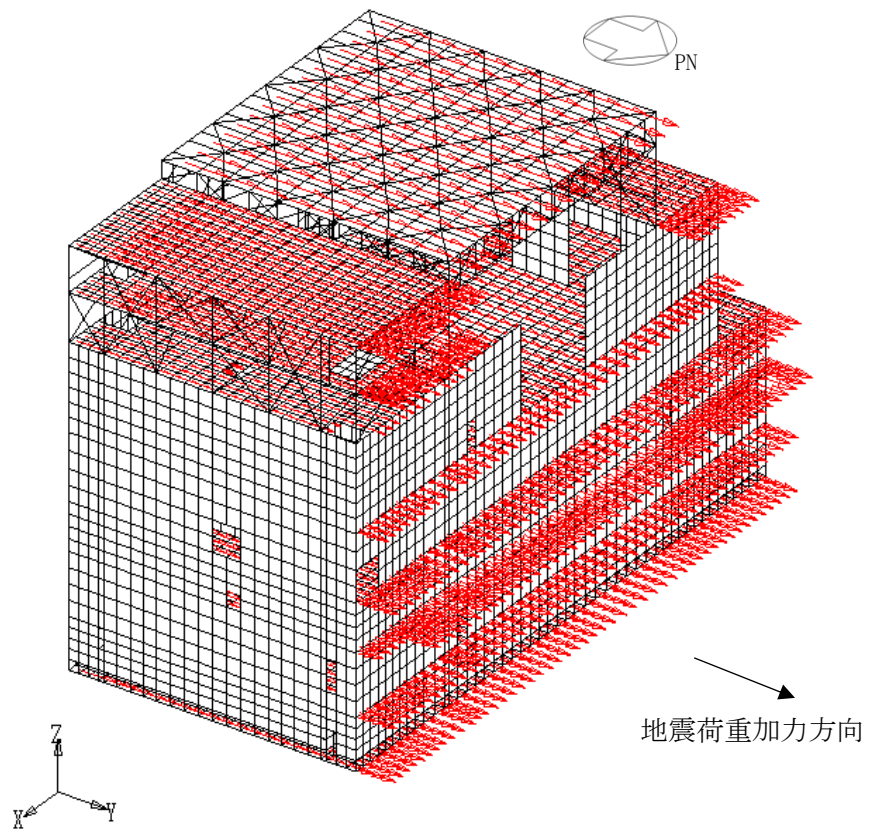


P : 地震時増分土圧

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (地震時増分土圧)

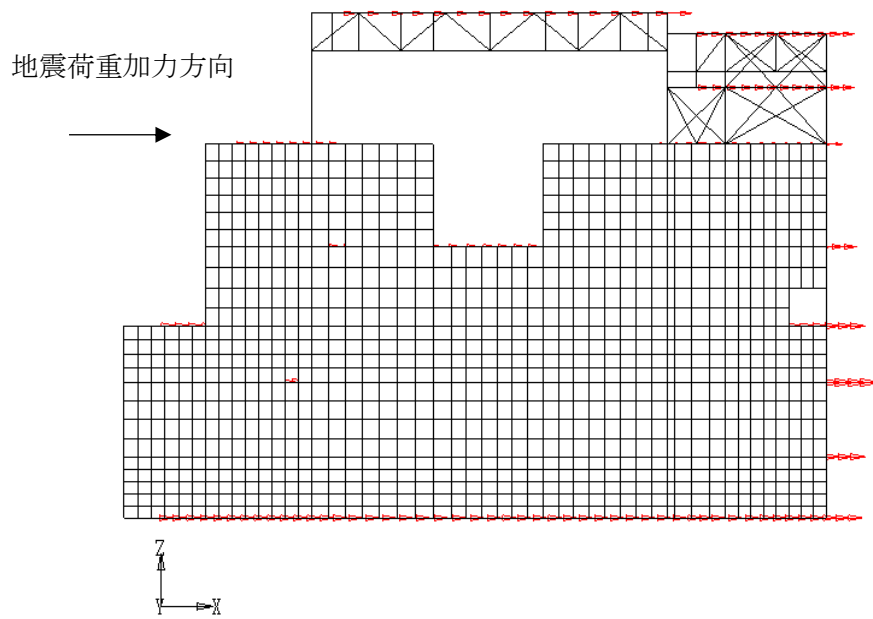


(a) 断面荷重図

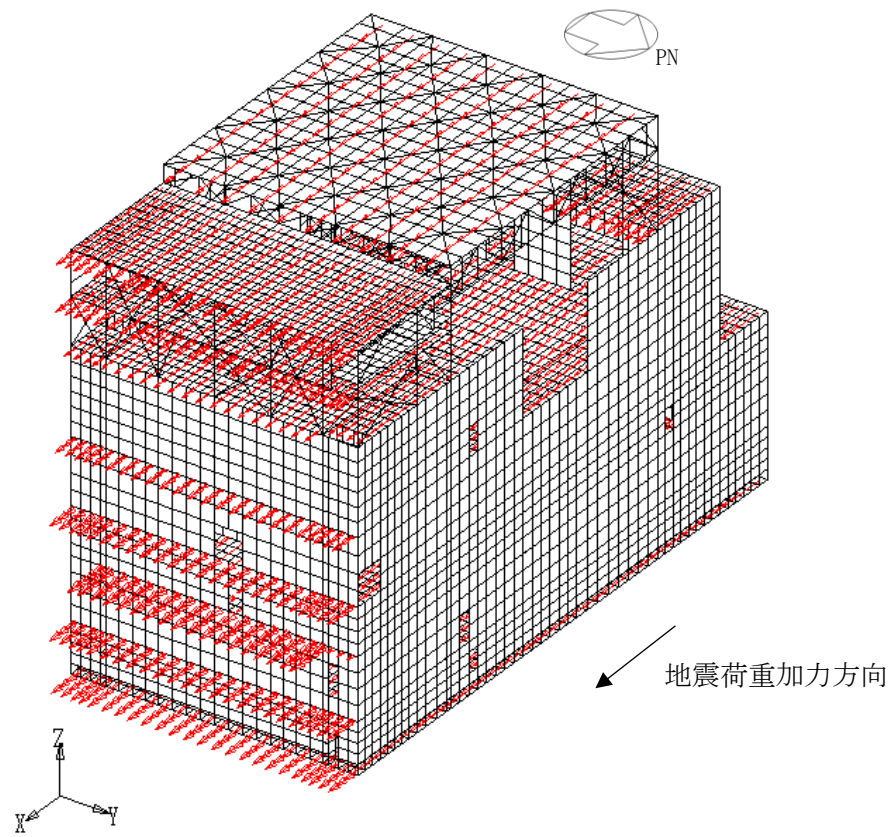


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-2 FEM モデルに入力する水平地震力 (NS 方向)



(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図 2-3 FEM モデルに入力する水平地震力 (EW 方向)

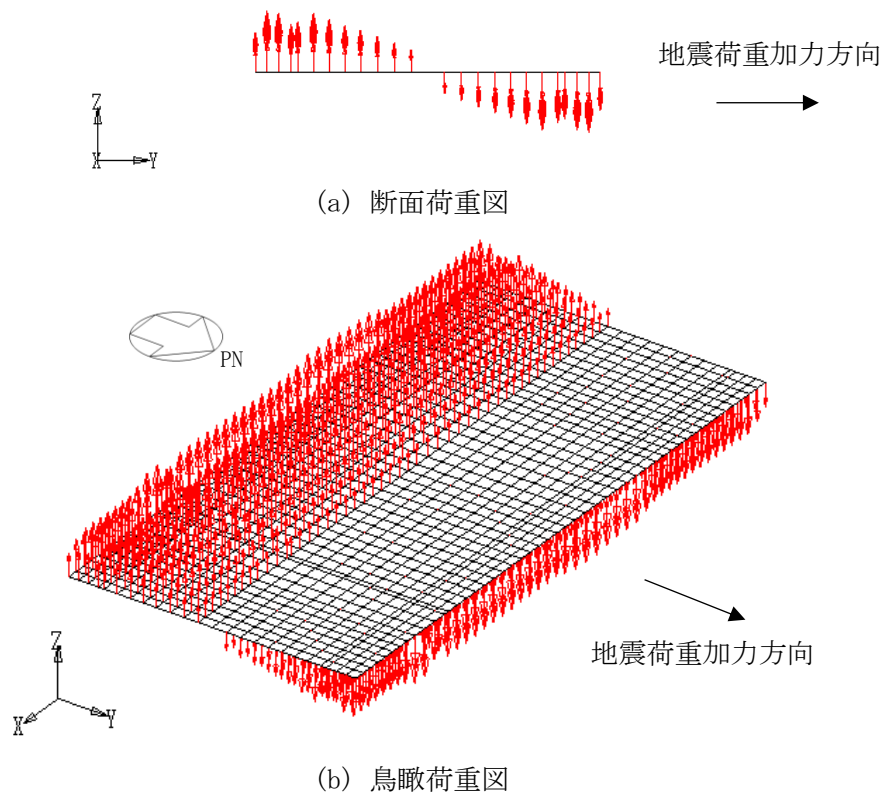


図 2-4 FEM モデルに入力する付加曲げモーメント (NS 方向)

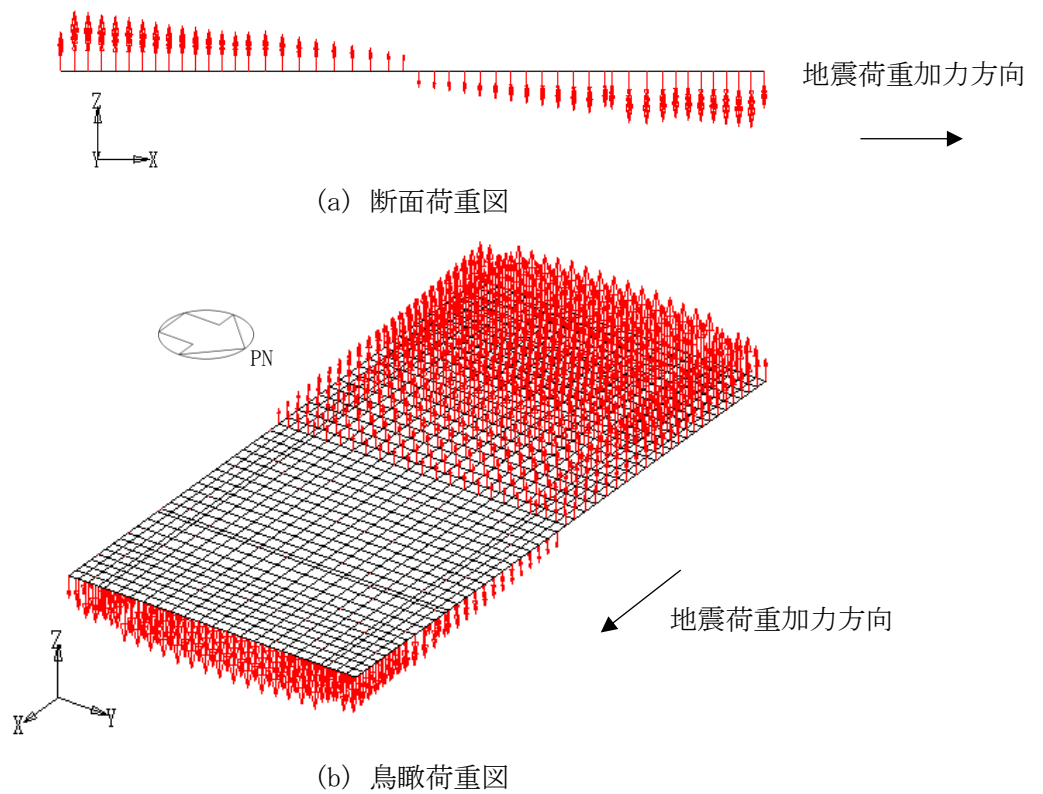
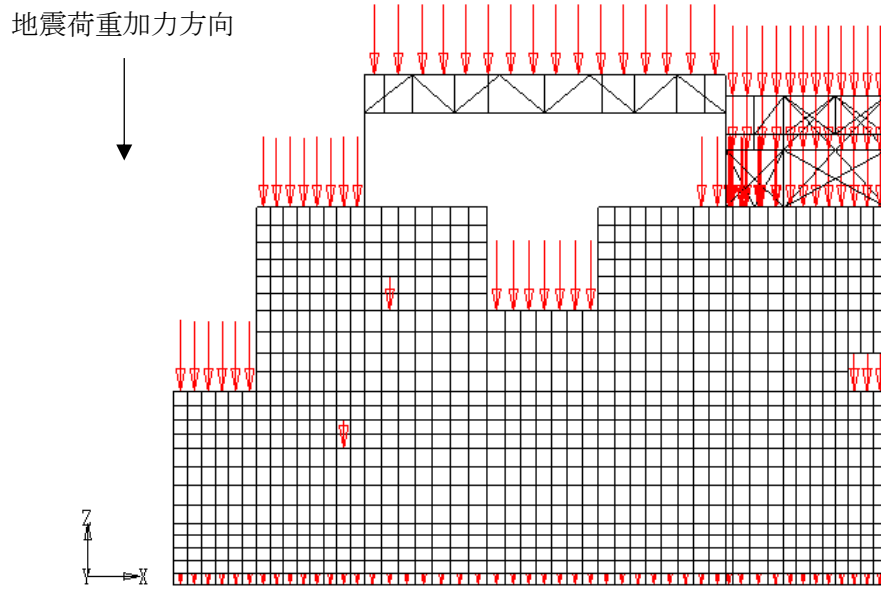
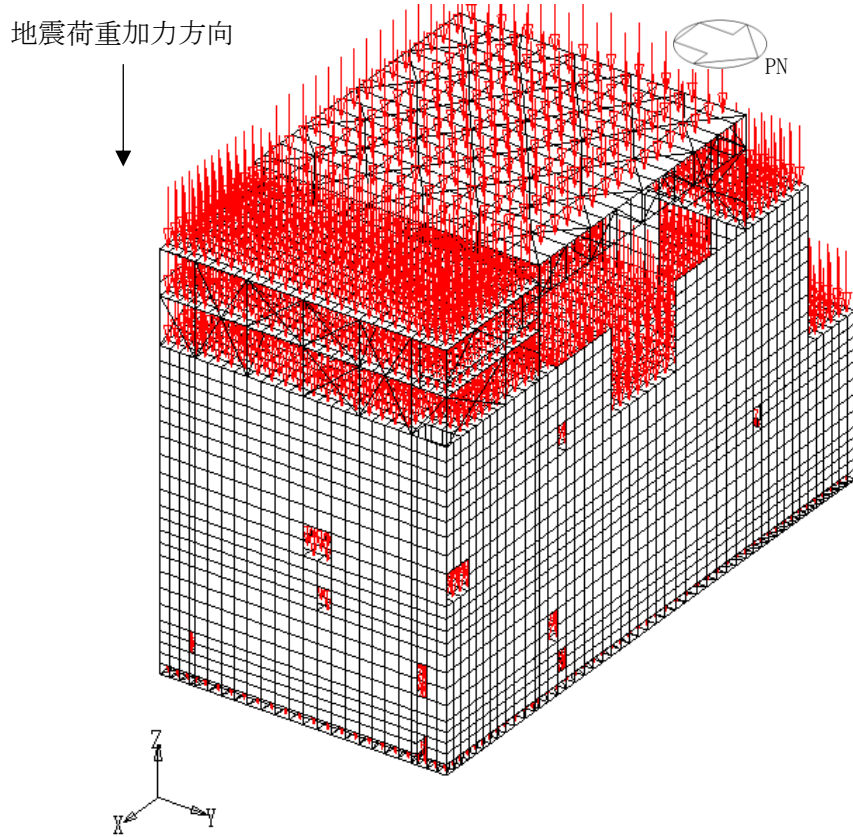


図 2-5 FEM モデルに入力する付加曲げモーメント (EW 方向)

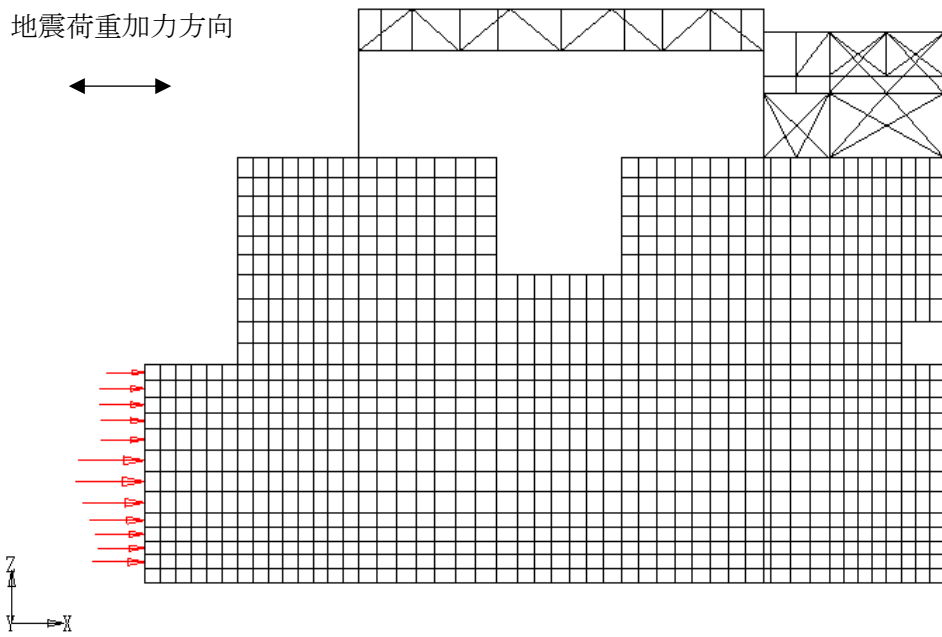


(a) 断面荷重図

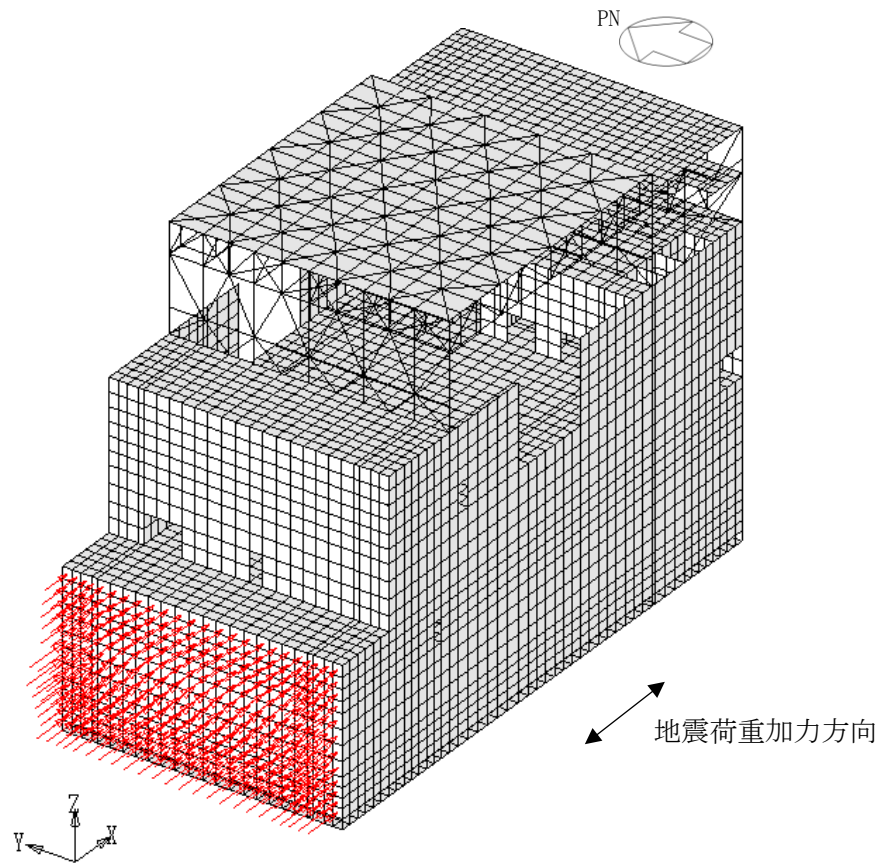


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-6 FEM モデルに入力する鉛直地震力



(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図 2-7 FEM モデルに入力する地震時増分土圧荷重

## 別紙 4 応力解析における断面の評価部位の選定

## 目 次

1. 概要 ..... 別紙 4-1
2. 断面の評価部位の選定 ..... 別紙 4-2



## 1. 概要

本資料は、廃棄物処理建屋基礎スラブの応力解析における断面の評価部位の選定に関し、工認記載の断面の評価要素の選定結果について示すものである。

## 2. 断面の評価部位の選定

廃棄物処理建屋基礎スラブの荷重の組合せケースを表 2-1 に、配筋領域図を図 2-1、図 2-2 に、配筋一覧を表 2-2、表 2-3 に示す。基礎スラブの板厚は 2.5m である。

各評価項目の検定値一覧を表 2-4、断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を図 2-3 に、断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図 2-4 に示す。

表 2-1 荷重の組合せケース

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0+0.4K_v) VL + S_{s_{SN}} + SOE + BL$
2		上向き	$(1.0-0.4K_v) VL + S_{s_{SN}} + SOE + BL$
3		下向き	$(1.0+0.4K_v) VL + S_{s_{NS}} + SOE + BL$
4		上向き	$(1.0-0.4K_v) VL + S_{s_{NS}} + SOE + BL$
5		下向き	$(1.0+0.4K_v) VL + S_{s_{WE}} + SOE + BL$
6		上向き	$(1.0-0.4K_v) VL + S_{s_{WE}} + SOE + BL$
7		下向き	$(1.0+0.4K_v) VL + S_{s_{EW}} + SOE + BL$
8		上向き	$(1.0-0.4K_v) VL + S_{s_{EW}} + SOE + BL$
9	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0+K_v) VL + 0.4S_{s_{SN}} + 0.4SOE + BL$
10		上向き	$(1.0-K_v) VL + 0.4S_{s_{SN}} + 0.4SOE + BL$
11		下向き	$(1.0+K_v) VL + 0.4S_{s_{NS}} + 0.4SOE + BL$
12		上向き	$(1.0-K_v) VL + 0.4S_{s_{NS}} + 0.4SOE + BL$
13		下向き	$(1.0+K_v) VL + 0.4S_{s_{WE}} + 0.4SOE + BL$
14		上向き	$(1.0-K_v) VL + 0.4S_{s_{WE}} + 0.4SOE + BL$
15		下向き	$(1.0+K_v) VL + 0.4S_{s_{EW}} + 0.4SOE + BL$
16		上向き	$(1.0-K_v) VL + 0.4S_{s_{EW}} + 0.4SOE + BL$

VL : 鉛直荷重

$S_{s_{SN}}$  : 水平地震荷重 (S→N 入力, NS 方向)

$S_{s_{NS}}$  : 水平地震荷重 (N→S 入力, NS 方向)

$S_{s_{EW}}$  : 水平地震荷重 (E→W 入力, EW 方向)

$S_{s_{WE}}$  : 水平地震荷重 (W→E 入力, EW 方向)

$K_v$  : 鉛直震度

SOE : 土圧荷重

BL : 浮力

表 2-2 基礎スラブの配筋一覧

	一段目	二段目	断面積 (mm <sup>2</sup> /m)
領域 A	D38@200	—	5700
領域 B	D38@200	D38@400	8550
領域 C	D38@200	D38@200	11400

注：NS 方向，EW 方向，上ば筋，下ば筋とも。

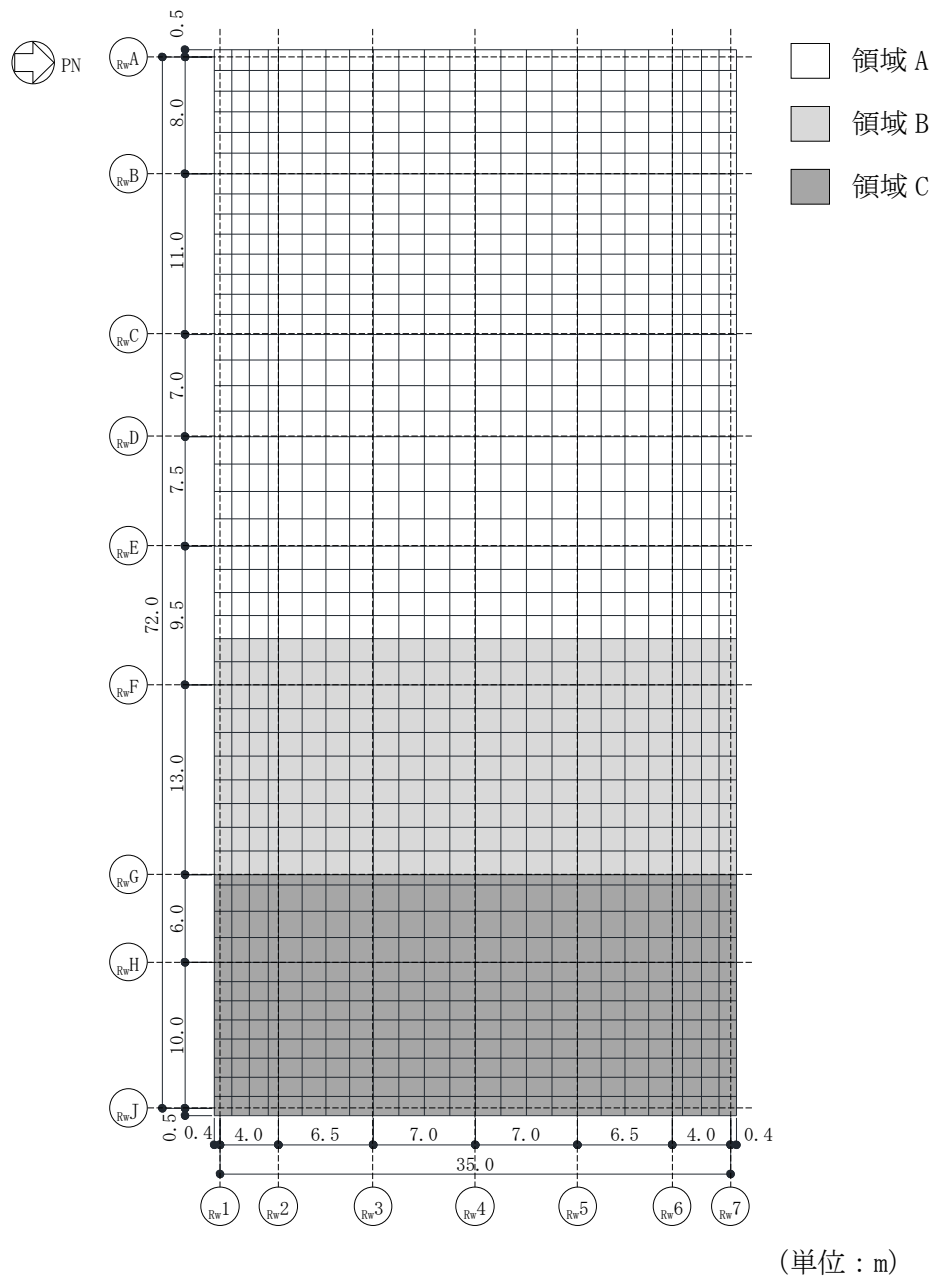


図 2-1 基礎スラブの配筋領域図

表 2-3 基礎スラブの配筋 (せん断補強筋)

	鉄筋	ピッチ	断面積 (mm <sup>2</sup> /m)
領域 A	D22	@400×@400	2419

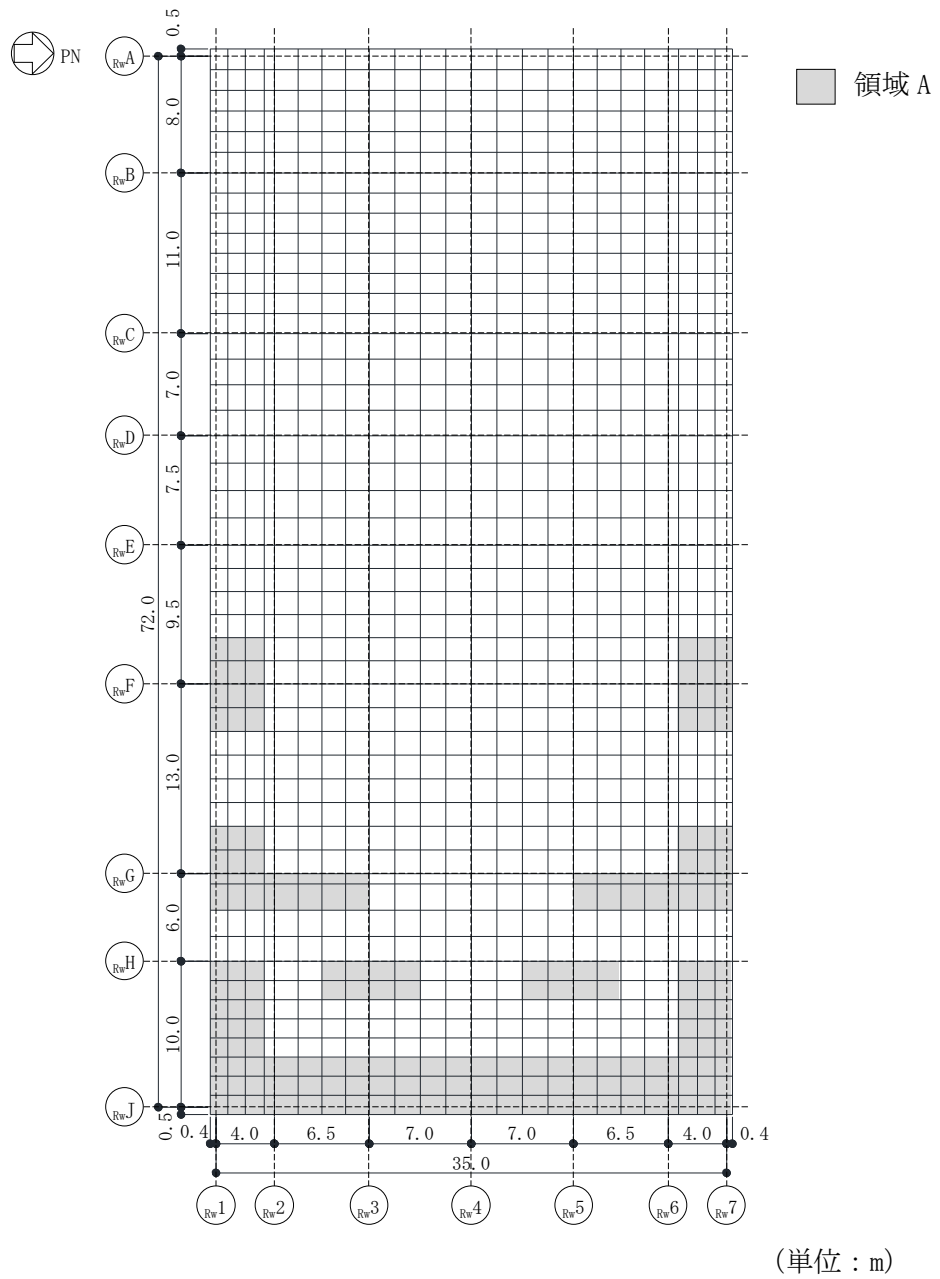


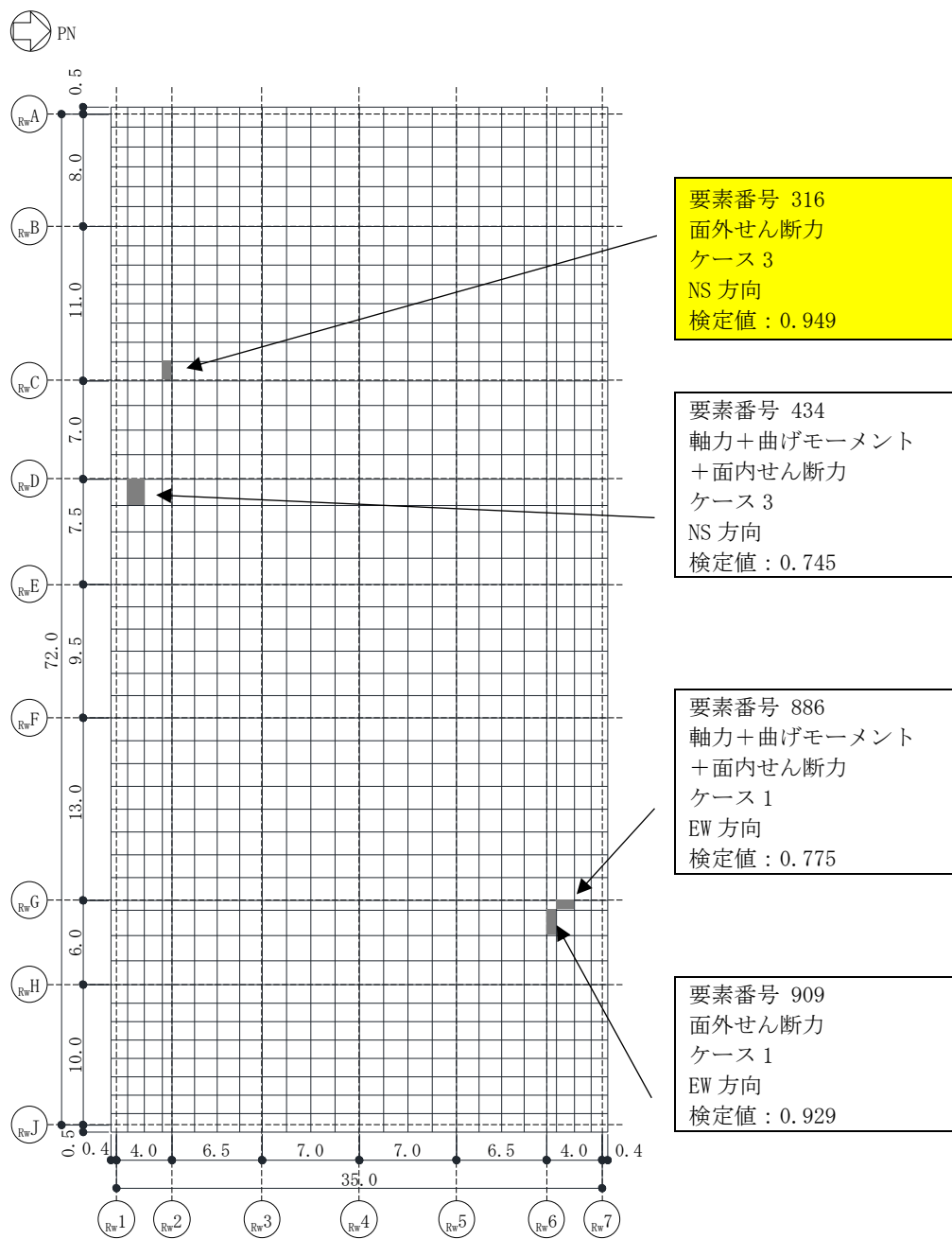
図 2-2 基礎スラブの配筋領域図 (せん断補強筋)

表 2-4 各評価項目の検定値一覧

項目	方向	要素番号	荷重 ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	NS	434	3	0.745
	EW	886	1	0.775
面外せん断力	NS	316	3	0.949 (1.53)
	EW	909	1	0.929 (1.07)

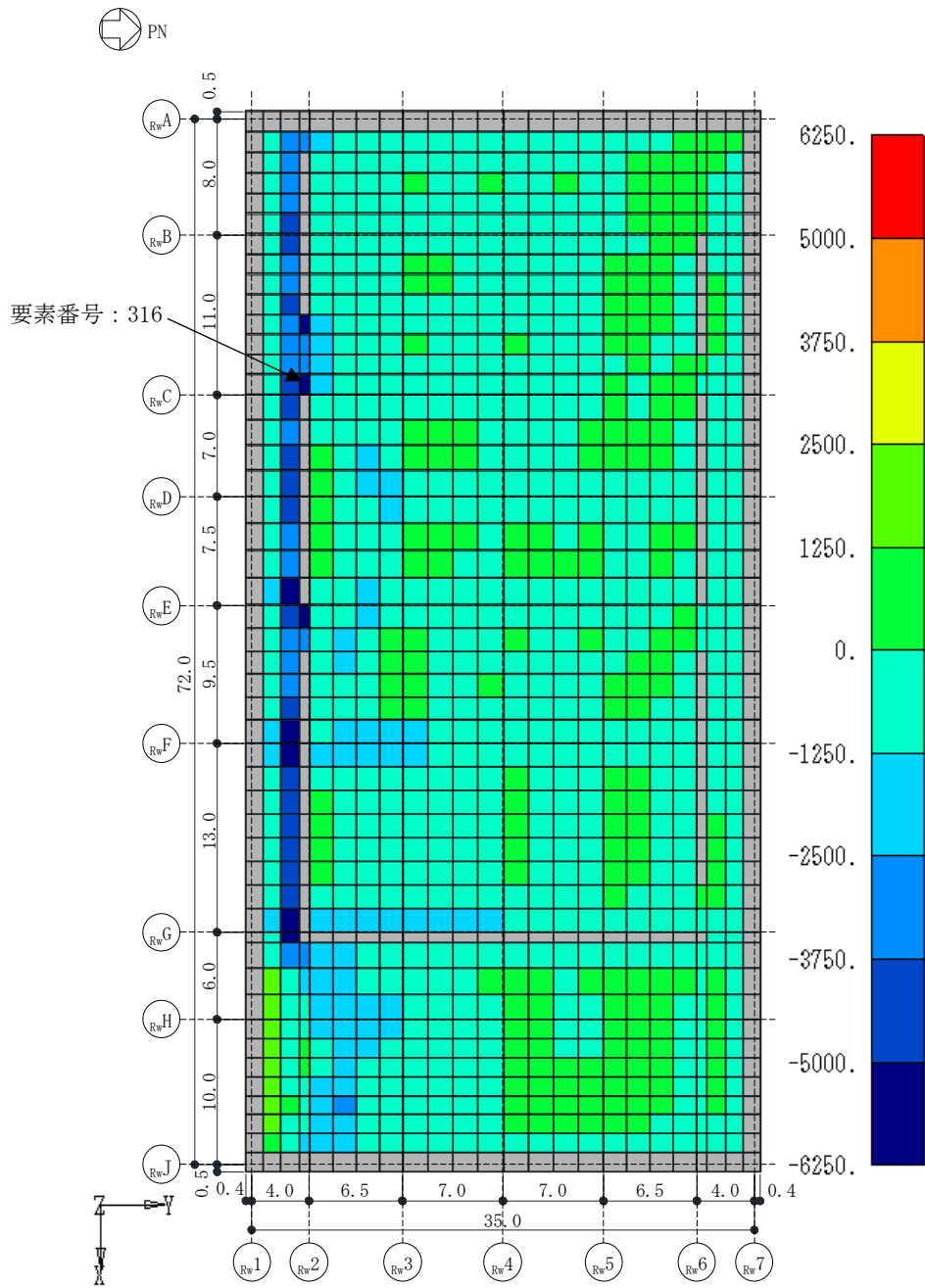
注 1 :      は、検定値が最大となる要素を示す。

注 2 : ( ) 内は、応力平均化前の値を示す。



(単位 : m)

図 2-3 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果



(単位 : kN/m)

■ : 耐震壁・柱直下の範囲に含まれる要素

面外せん断力 (NS 方向, ケース 3, 応力平均化前)

図 2-4 断面算定部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図



## 別紙 5 応力解析における応力平均化の考え方

## 目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 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 5-2
3. 応力平均化の方法	別紙 5-5
4. 応力平均化の結果	別紙 5-35
5. 断面の評価	別紙 5-42
5.1 断面の評価方法	別紙 5-42
5.2 断面の評価結果	別紙 5-42

## 1. 概要

本資料は、廃棄物処理建屋基礎スラブ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 制定）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づき、応力の再配分を考慮してある一定の領域の応力を平均化した上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ではなく、周囲の複数の要素で平均化した応力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について示す。

2. 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に選定している。

廃棄物処理建屋基礎スラブでは、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。

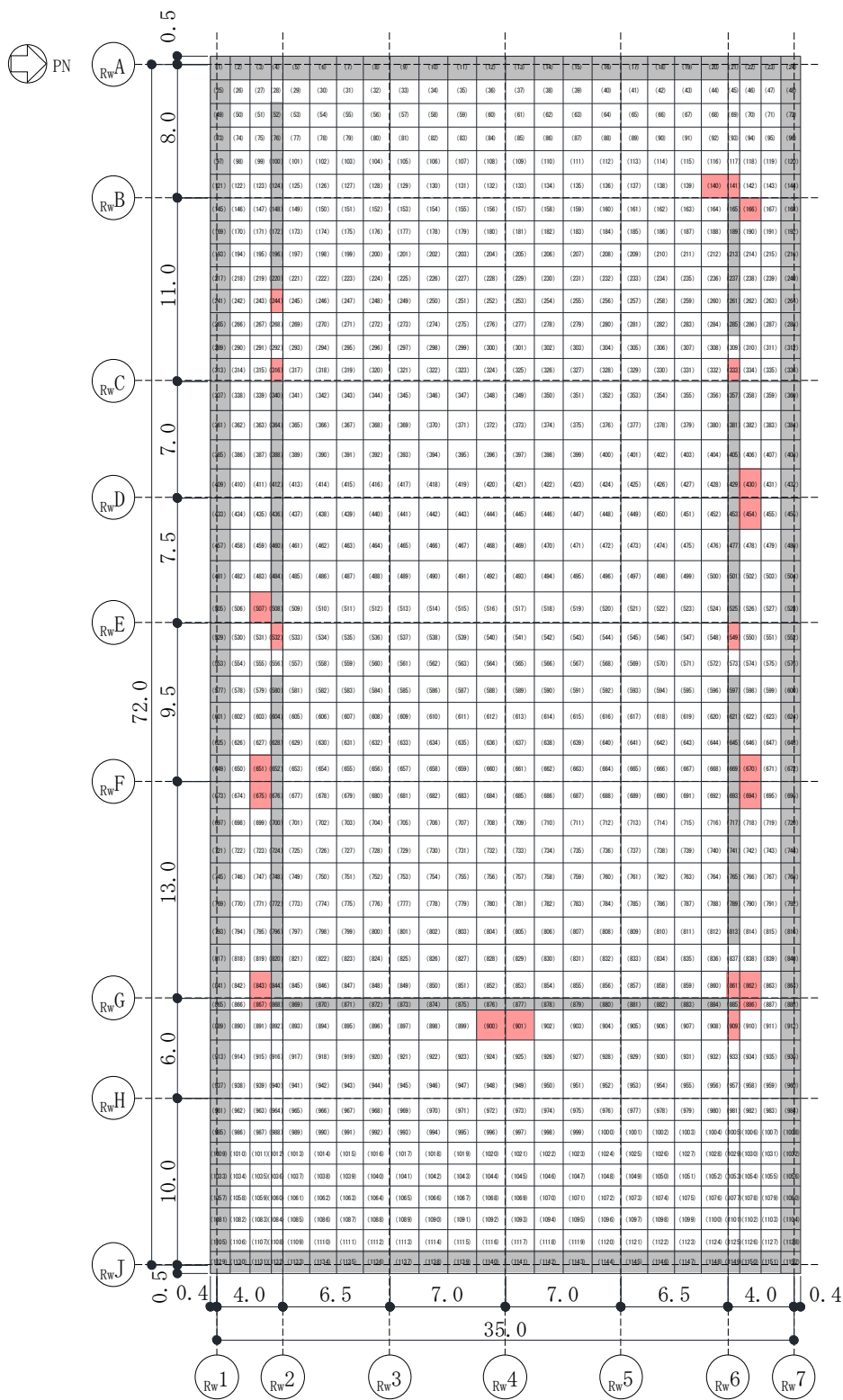
応力平均化を実施した要素を表 2-1 に、要素位置図を図 2-1 に示す。

表 2-1 応力平均化要素(1/2)

応力成分	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 せん断力	EW方向	140	1	1.07
		141	1	1.16
			2	1.06
		861	1	1.26
			2	1.20
		900	5	1.02
		901	5	1.02
909	1	1.07		

表 2-1 応力平均化要素(2/2)

応力成分	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 せん断力	NS方向	141	1	1.53
			2	1.46
		166	1	1.03
			2	1.01
		244	3	1.25
			4	1.19
		316	3	1.53
			4	1.47
		333	1	1.38
			2	1.32
		430	1	1.02
			2	1.00
		454	1	1.02
		507	3	1.05
			4	1.03
		532	3	1.40
			4	1.34
		549	1	1.22
			2	1.16
		651	3	1.16
			4	1.13
		670	1	1.24
			2	1.21
		675	3	1.12
			4	1.09
		694	1	1.14
			2	1.11
		843	3	1.17
			4	1.12
		861	1	1.42
			2	1.34
		862	1	1.34
2	1.31			
867	3	1.14		
	4	1.09		
886	1	1.75		
	2	1.72		



■ : 耐震壁・柱直下の範囲に含まれる要素  
 ■ : 応力平均化実施要素

図 2-1 要素位置図

### 3. 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。廃棄物処理建屋基礎スラブの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 3-1 に示すように壁と隣接した要素であり、応力が集中しやすい。図 3-2 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、今回の廃棄物処理建屋基礎スラブ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。

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、局部的に応力の集中があつたとしても、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、基礎スラブ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と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 規準の付図 2.2 を図 3-3 に示す。

壁、床スラブ、基礎スラブ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。廃棄物処理建屋基礎スラブ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 3-4 に示す。

以上より、応力の平均化は、各応力コンター図及び基礎スラブ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要素に対し、壁面から基礎スラブの部材厚である 2.5m 分の範囲で行った。

各要素についての応力の平均化範囲を図 3-5 に示す。

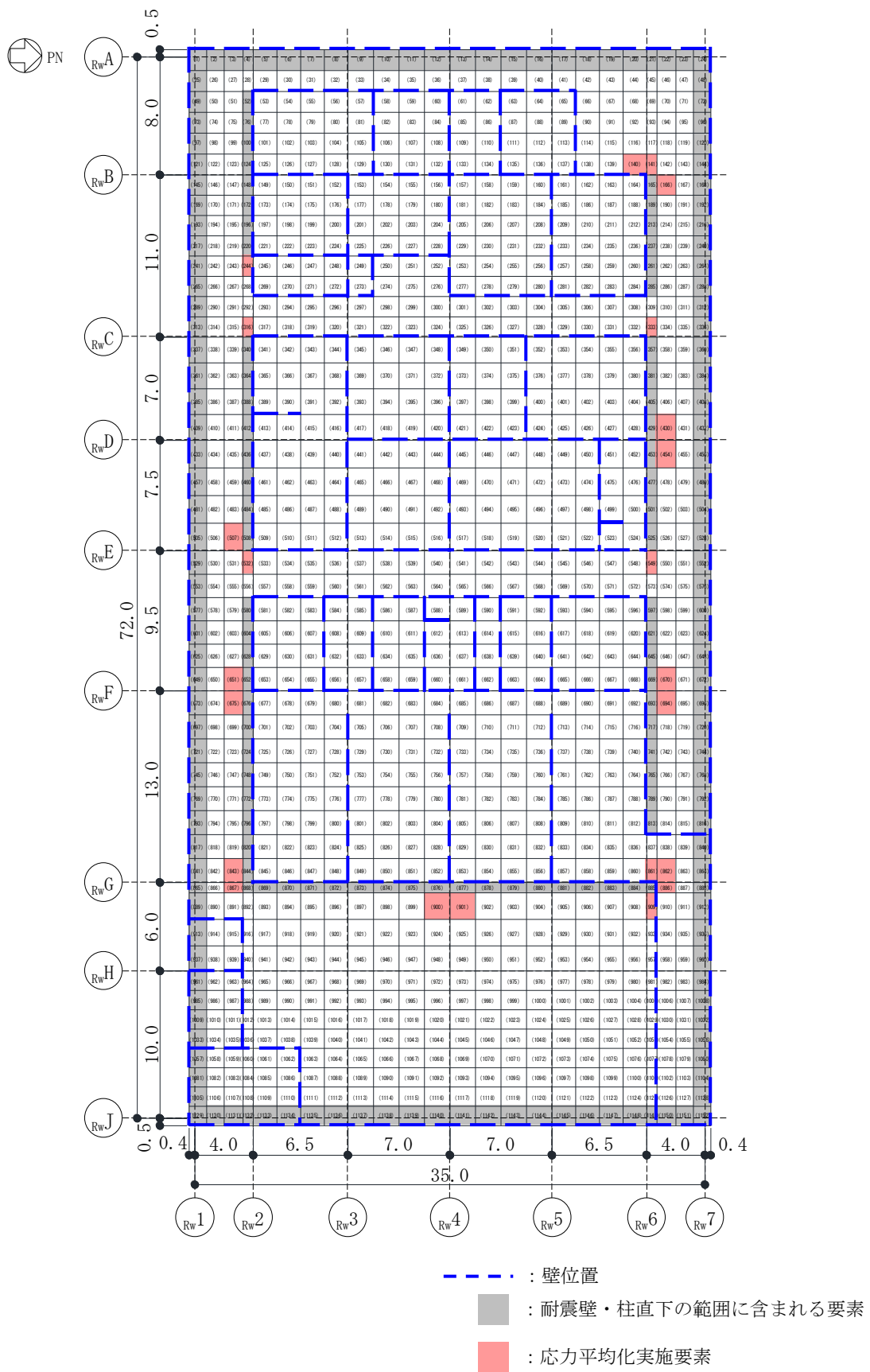
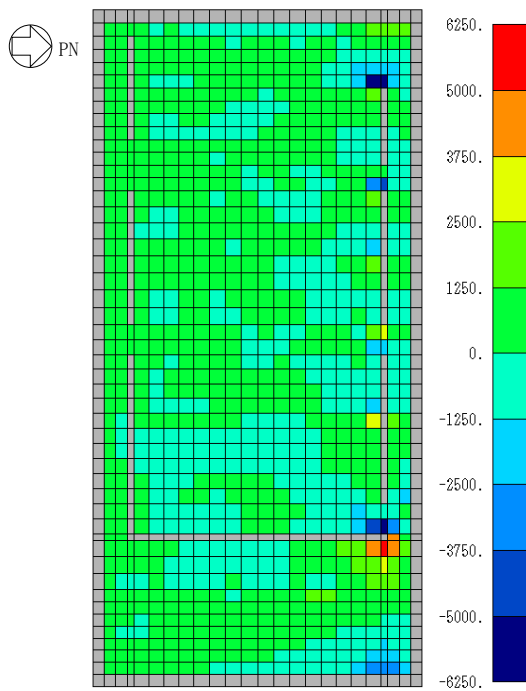
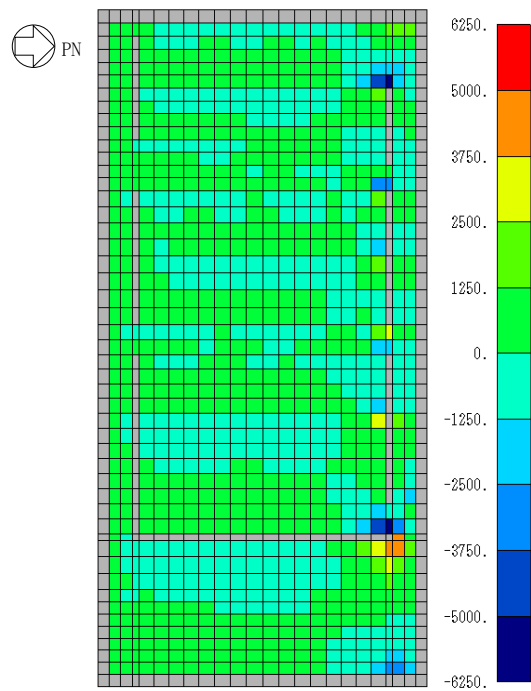


図3-1 廃棄物処理建屋基礎スラブに接続する壁の配置

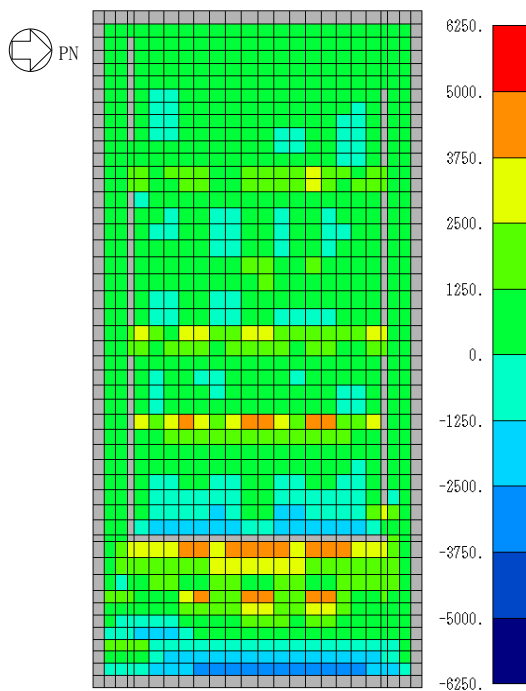




(1) 組合せケース 1 (EW 方向)

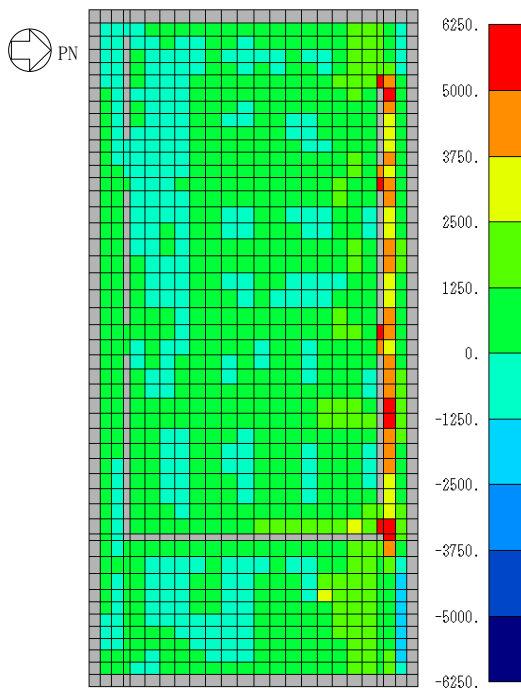


(2) 組合せケース 2 (EW 方向)

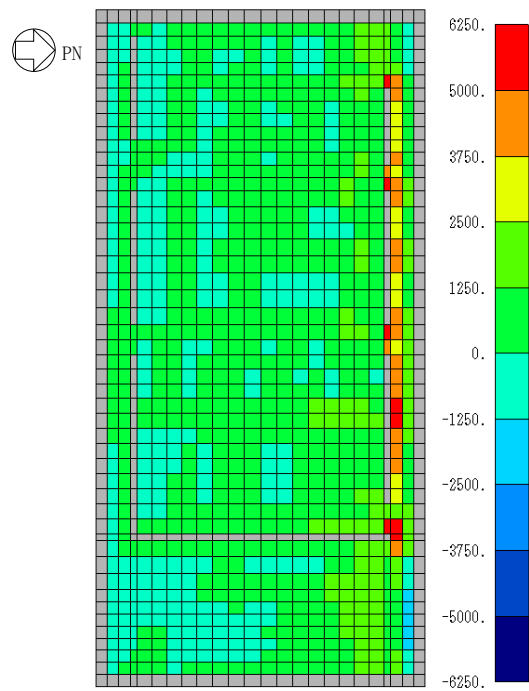


(3) 組合せケース 5 (EW 方向)

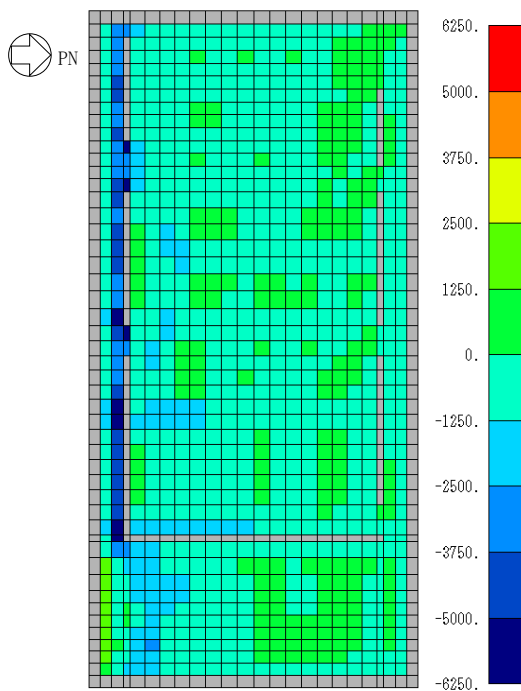
図 3-2 廃棄物処理建屋基礎スラブの応力コンター図 (面外せん断力 (単位: kN/m)) (1/2)



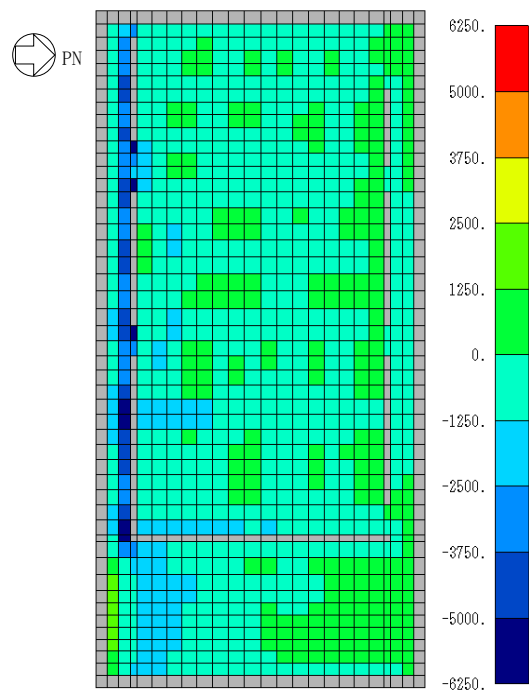
(4) 組合せケース 1 (NS 方向)



(5) 組合せケース 2 (NS 方向)



(6) 組合せケース 3 (NS 方向)



(7) 組合せケース 4 (NS 方向)

図 3-2 廃棄物処理建屋基礎スラブの応力コンター図 (面外せん断力 (単位: kN/m)) (2/2)

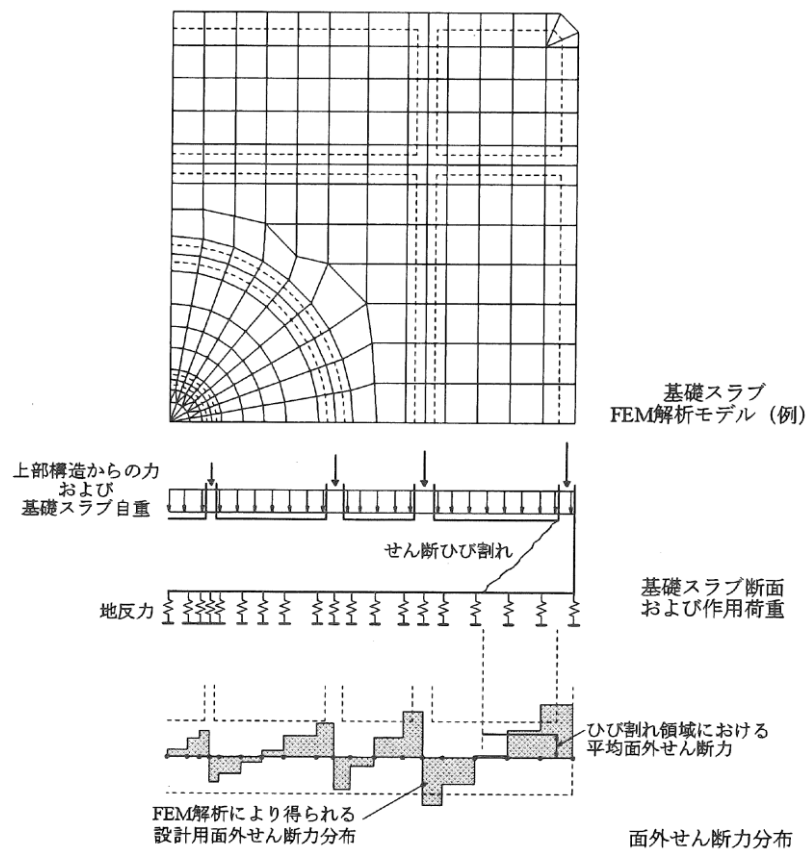


図 3-3 RC-N 規準の付図 2.2

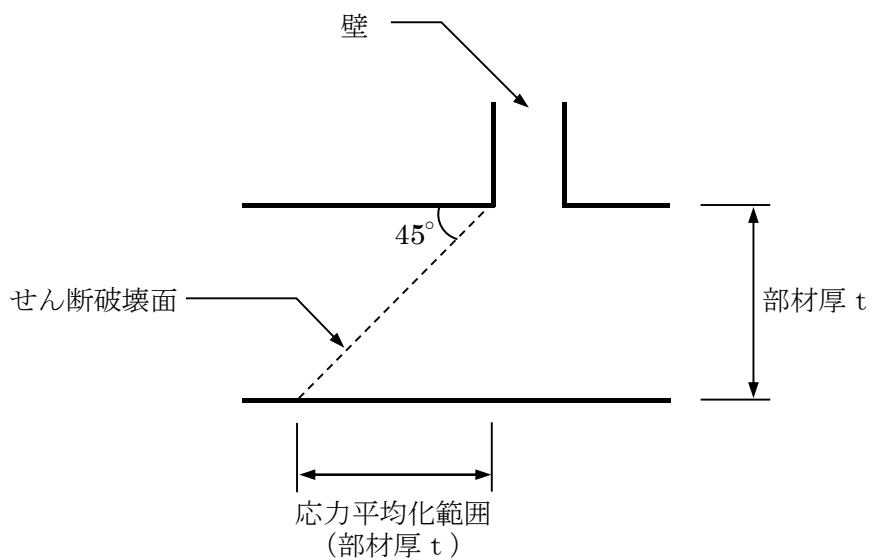
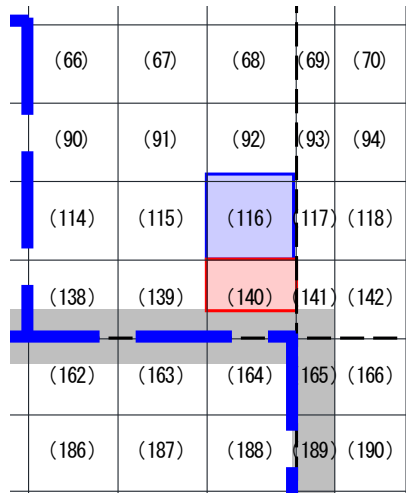
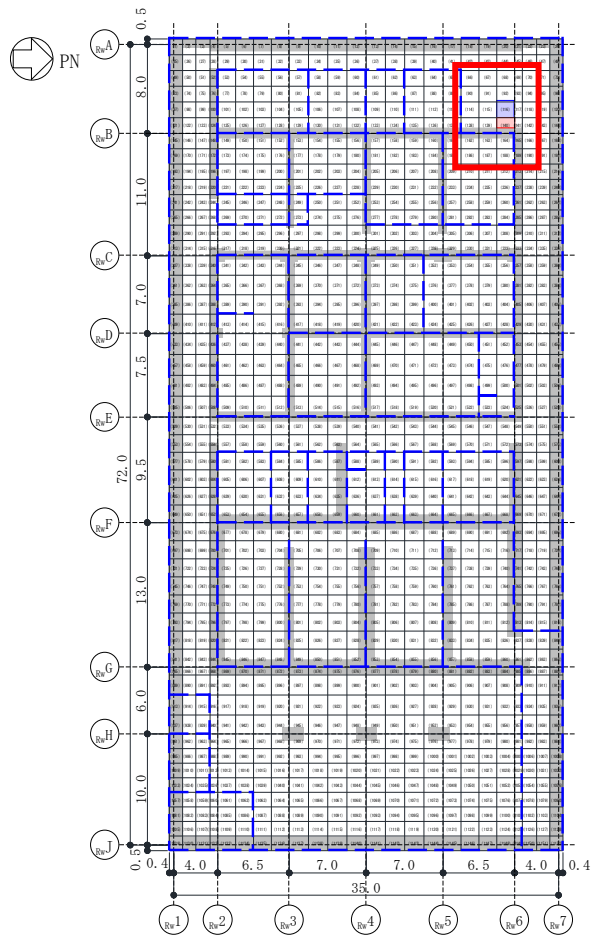


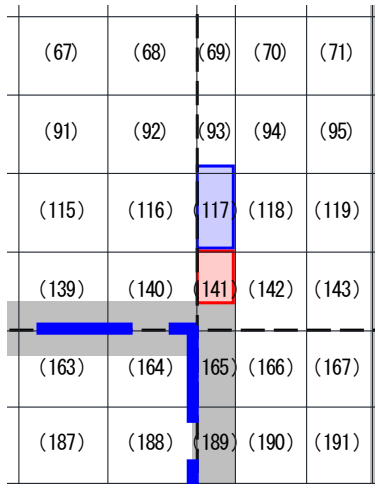
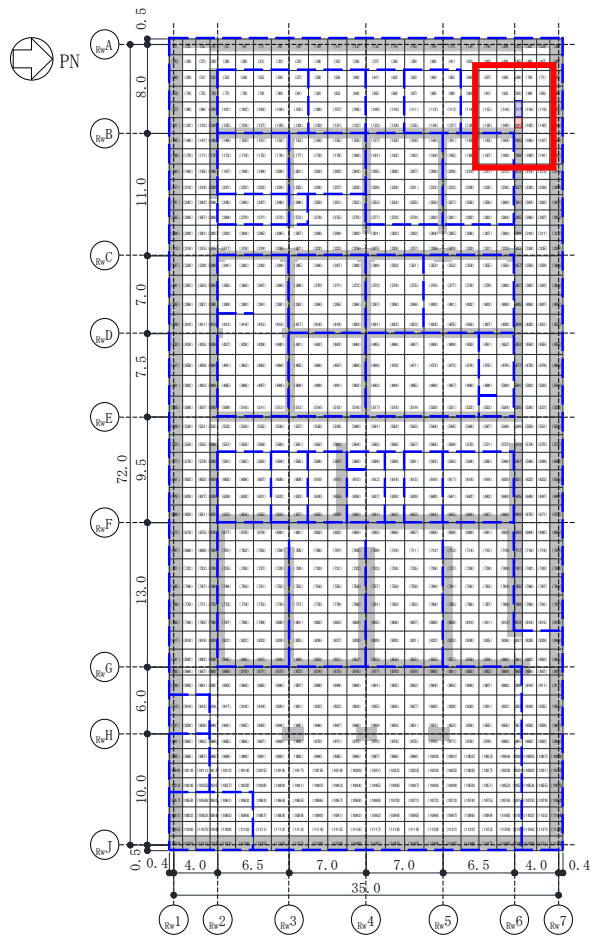
図 3-4 廃棄物処理建屋基礎スラブにおける面外せん断力に対する応力平均化の考え方



- - - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

EW 方向 要素番号 140

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (1/25)



--- : 壁位置

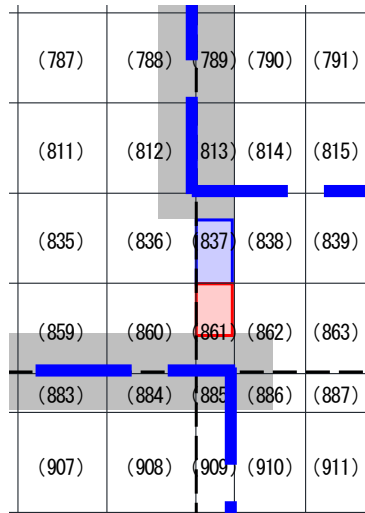
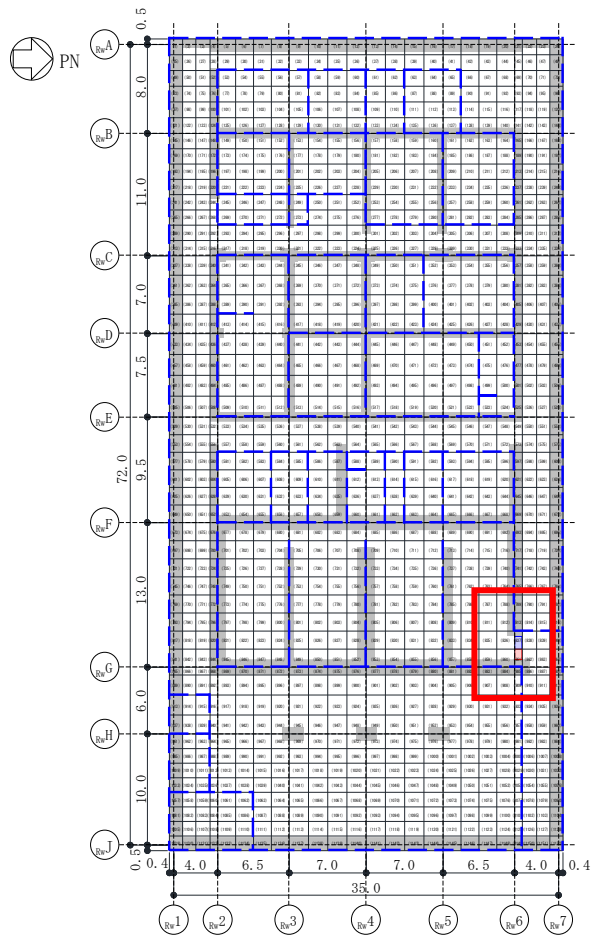
: 応力平均化実施要素

: 平均化実施に用いた周辺要素

: 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

EW 方向 要素番号 141

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (2/25)



--- : 壁位置

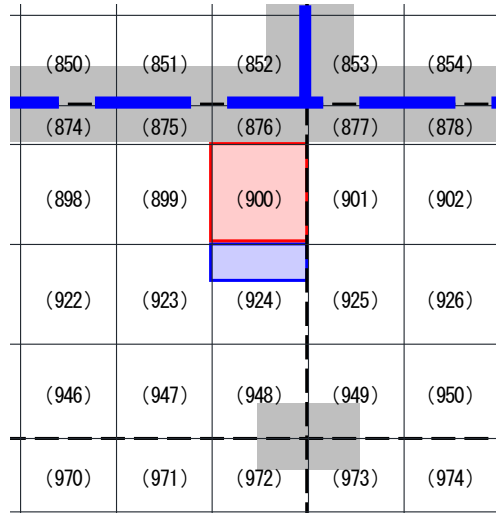
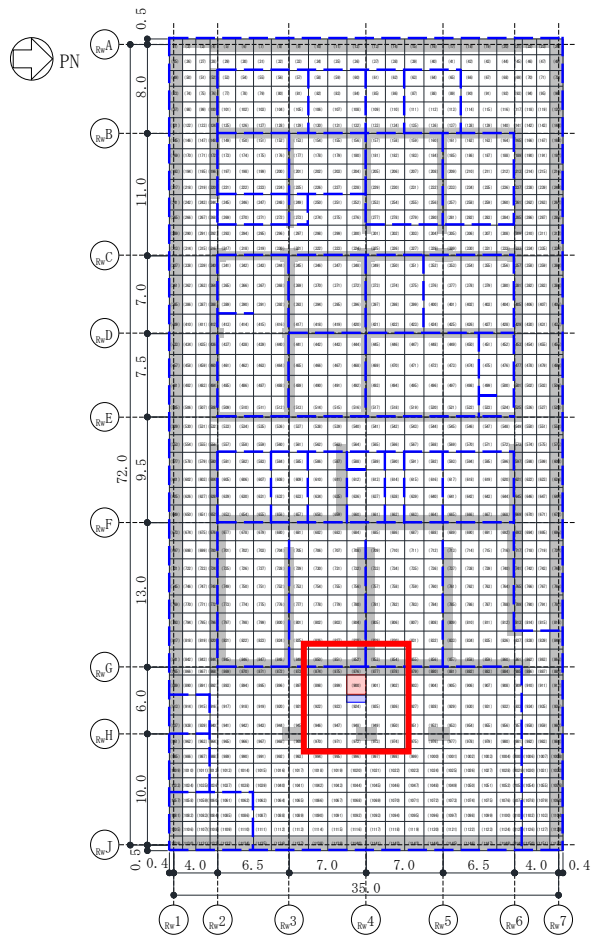
: 応力平均化実施要素

: 平均化実施に用いた周辺要素

: 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

EW 方向 要素番号 861

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (3/25)



- - - : 壁位置

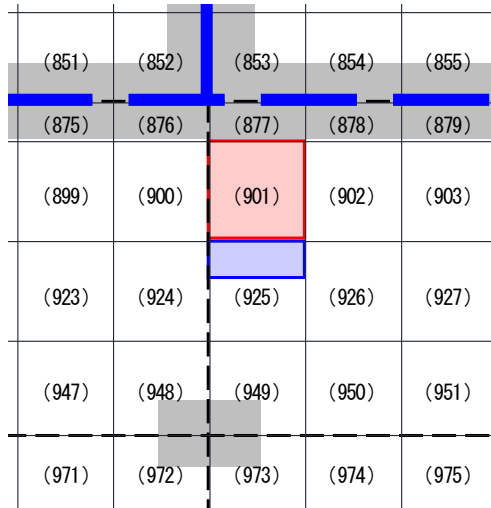
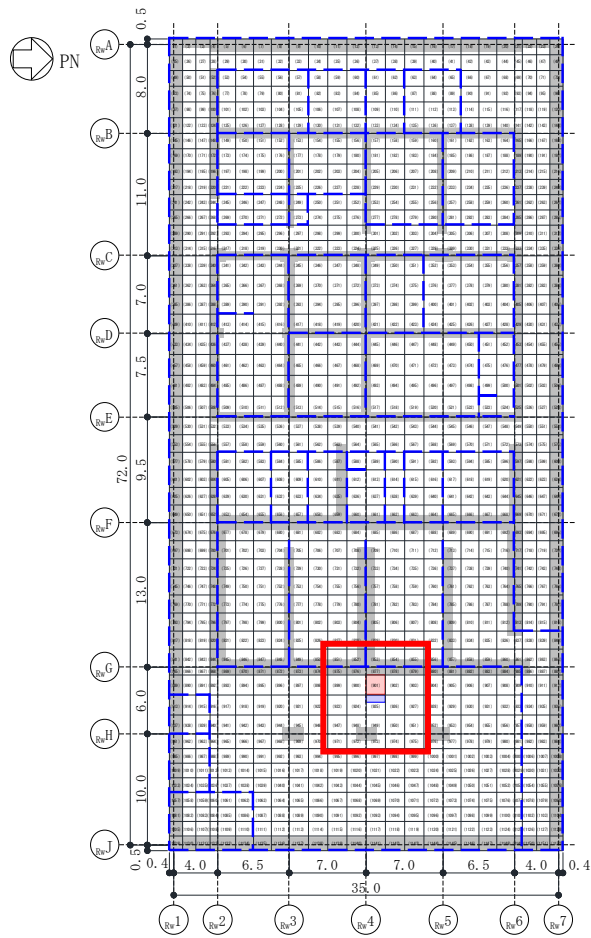
: 応力平均化実施要素

: 平均化実施に用いた周辺要素

: 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

EW 方向 要素番号 900

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (4/25)

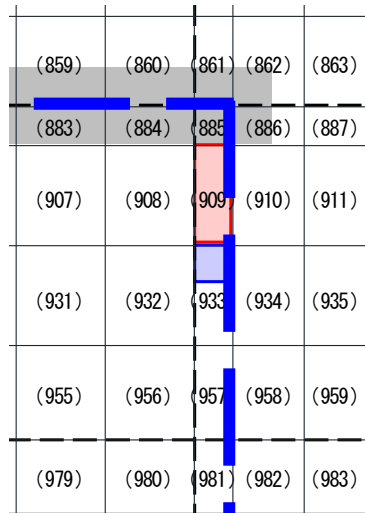
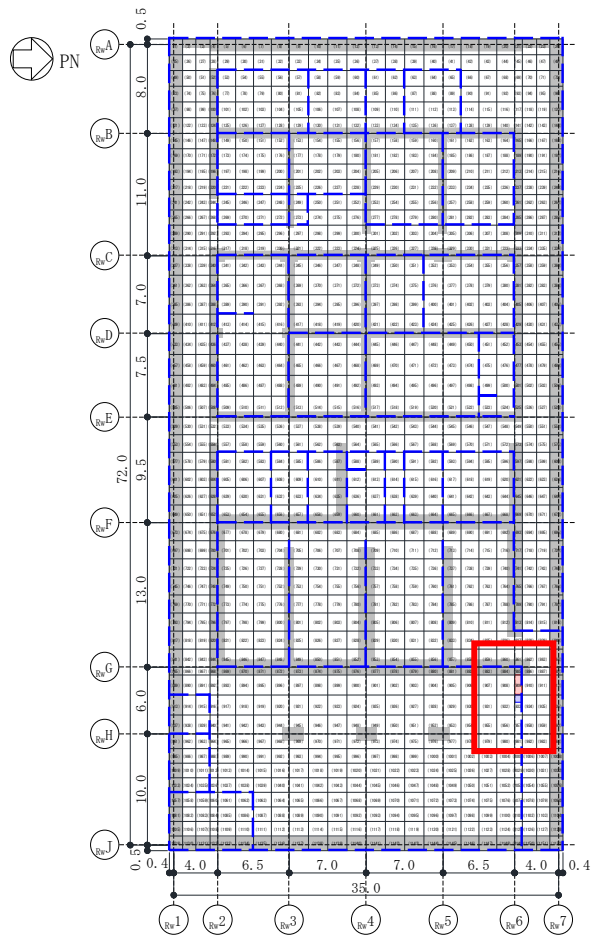


- - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

EW 方向 要素番号 901

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (5/25)

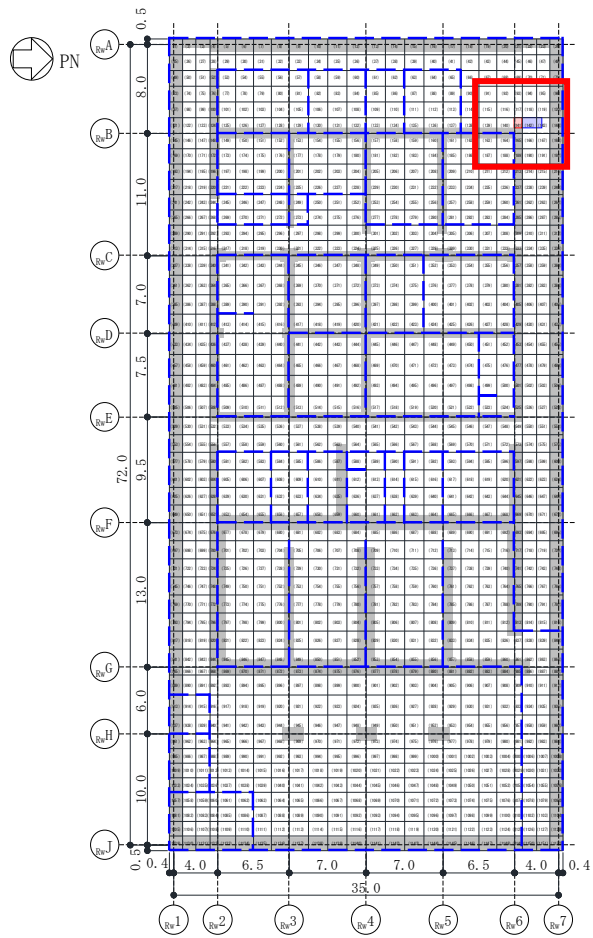




- - - : 壁位置
- (Red) : 応力平均化実施要素
- (Blue) : 平均化実施に用いた周辺要素
- (Grey) : 壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

EW 方向 要素番号 909

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (6/25)



(91)	(92)	(93)	(94)	(95)	(96)
(115)	(116)	(117)	(118)	(119)	(120)
(139)	(140)	(141)	(142)	(143)	(144)
(163)	(164)	(165)	(166)	(167)	(168)
(187)	(188)	(189)	(190)	(191)	(192)

- - - : 壁位置

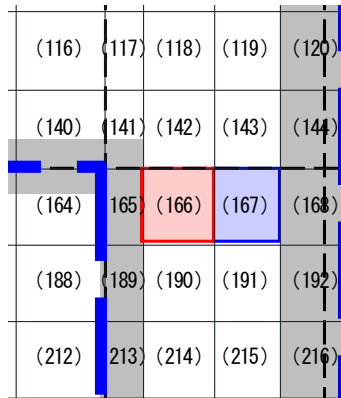
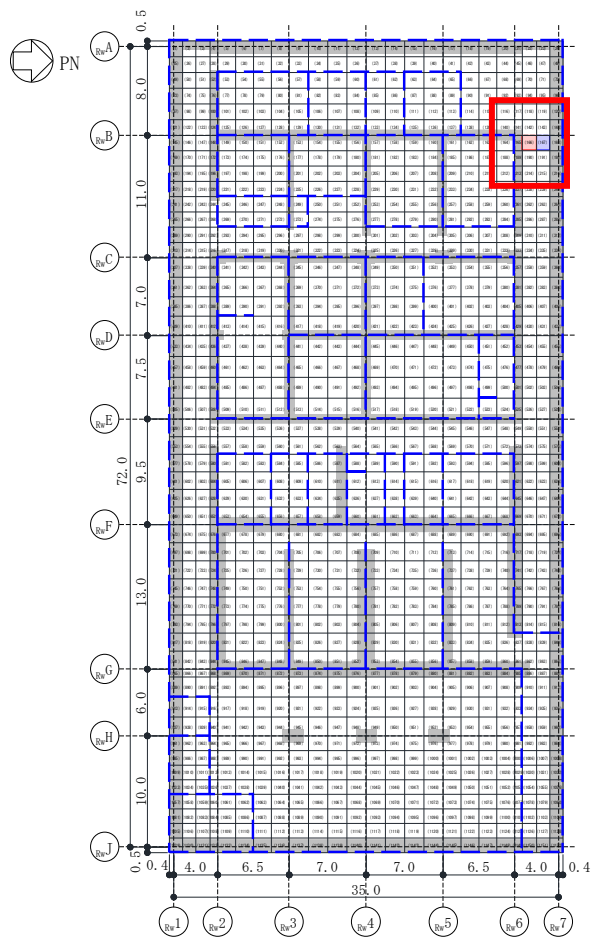
: 応力平均化実施要素

: 平均化実施に用いた周辺要素

: 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 141

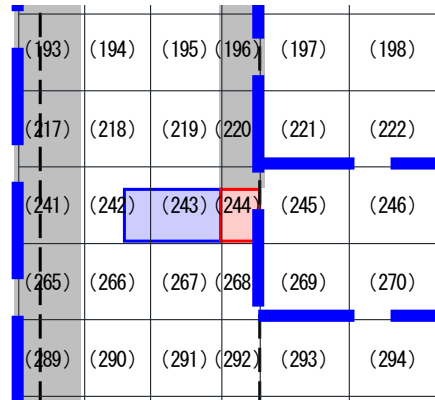
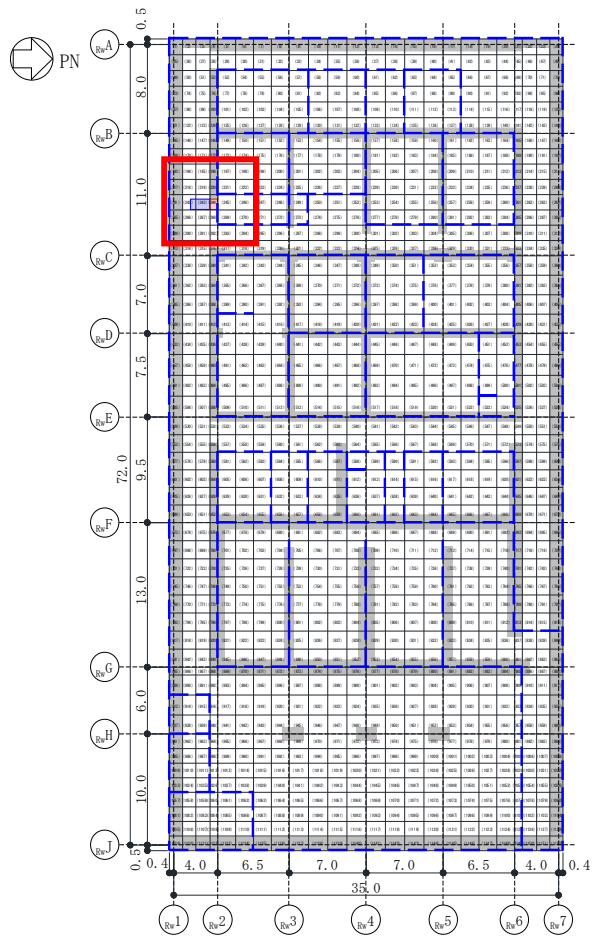
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (7/25)



- - - : 壁位置
- (Red) : 応力平均化実施要素
- (Blue) : 平均化実施に用いた周辺要素
- (Grey) : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 166

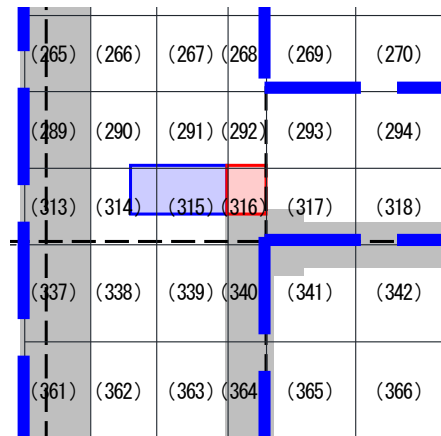
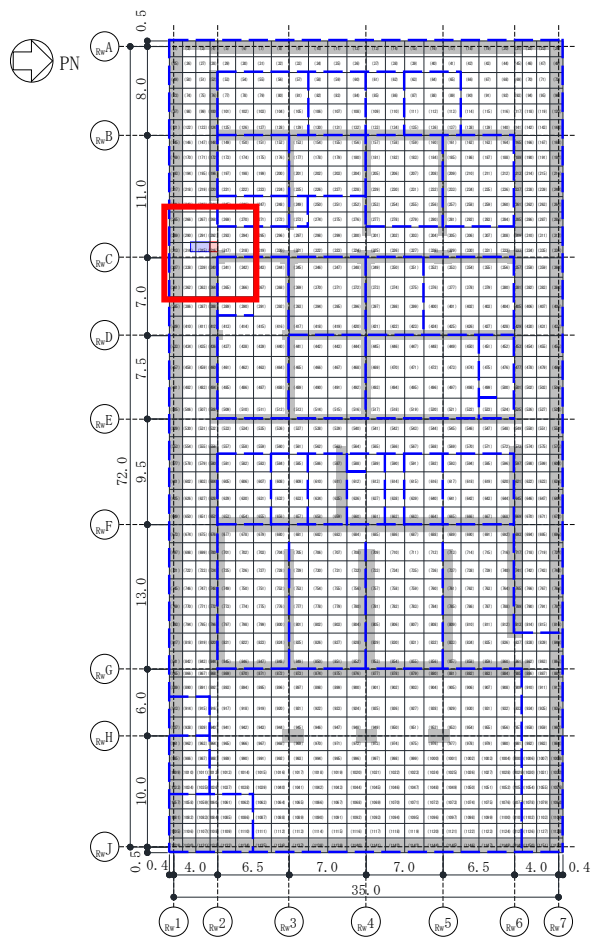
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (8/25)



- - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 244

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (9/25)



- - - : 壁位置

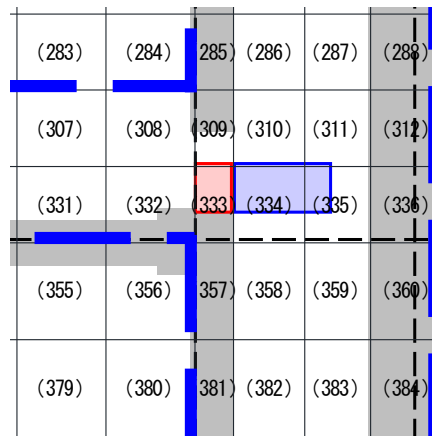
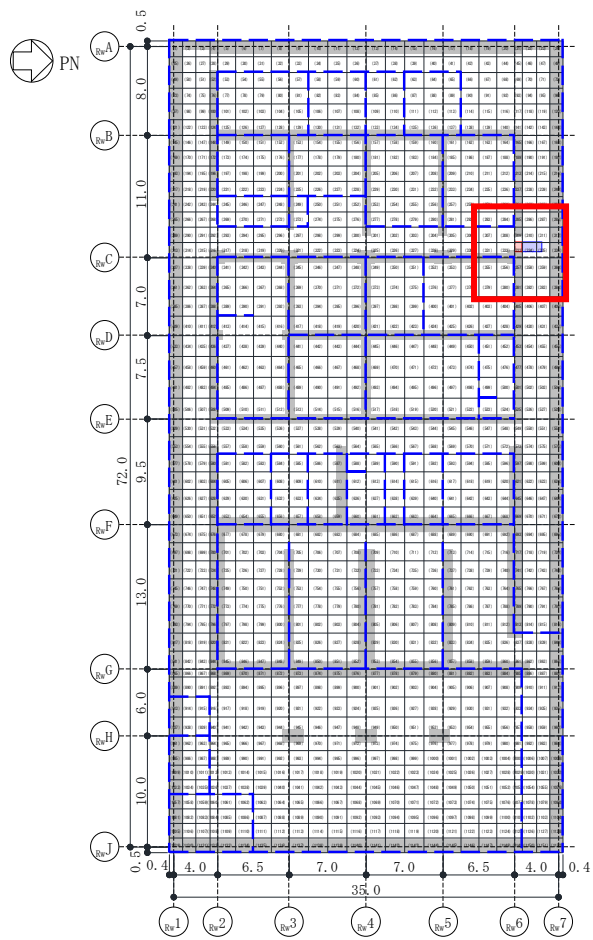
: 応力平均化実施要素

: 平均化実施に用いた周辺要素

: 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 316

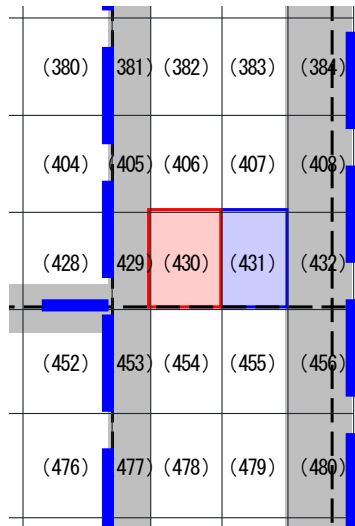
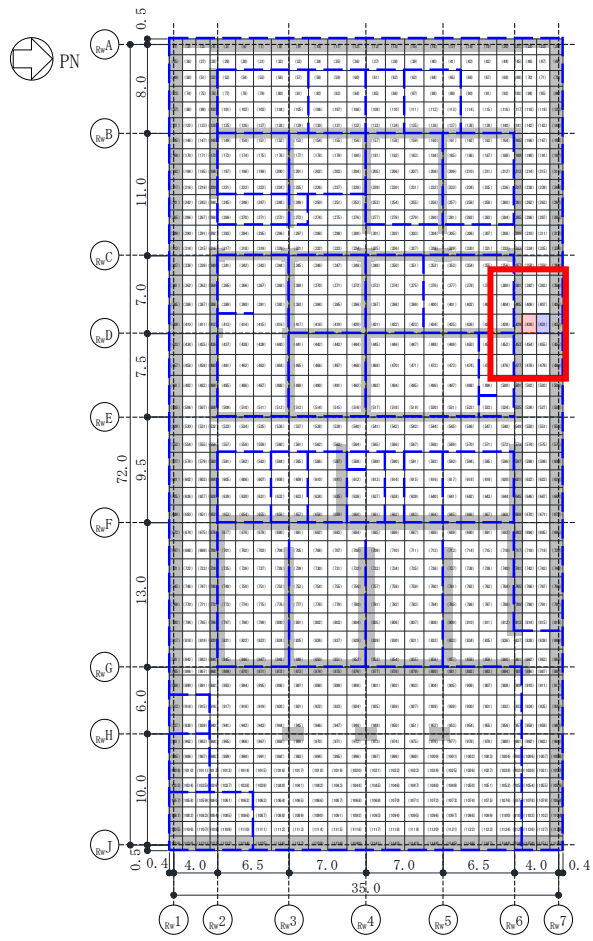
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (10/25)



- - - : 壁位置
- (Red) : 応力平均化実施要素
- (Blue) : 平均化実施に用いた周辺要素
- (Grey) : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 333

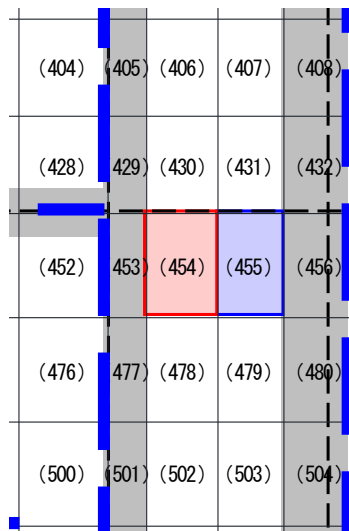
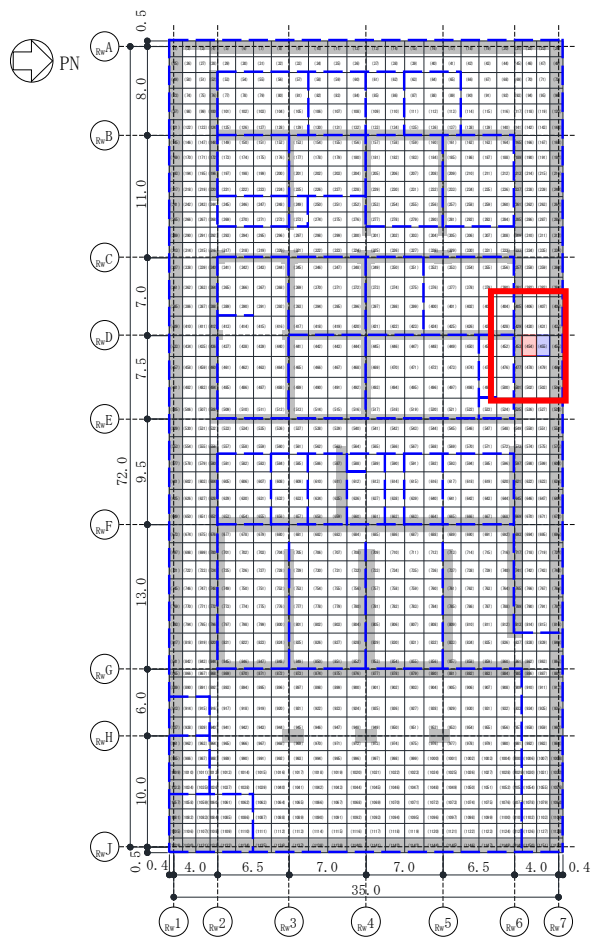
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (11/25)



- - - : 壁位置
- (Red) : 応力平均化実施要素
- (Blue) : 平均化実施に用いた周辺要素
- (Grey) : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 430

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (12/25)

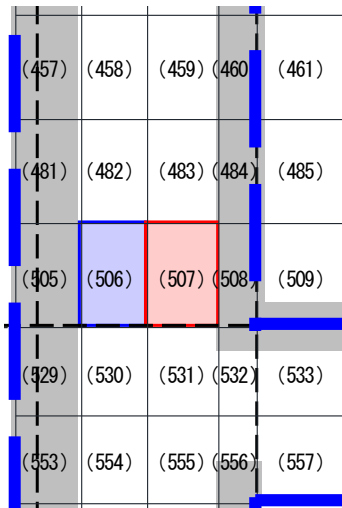
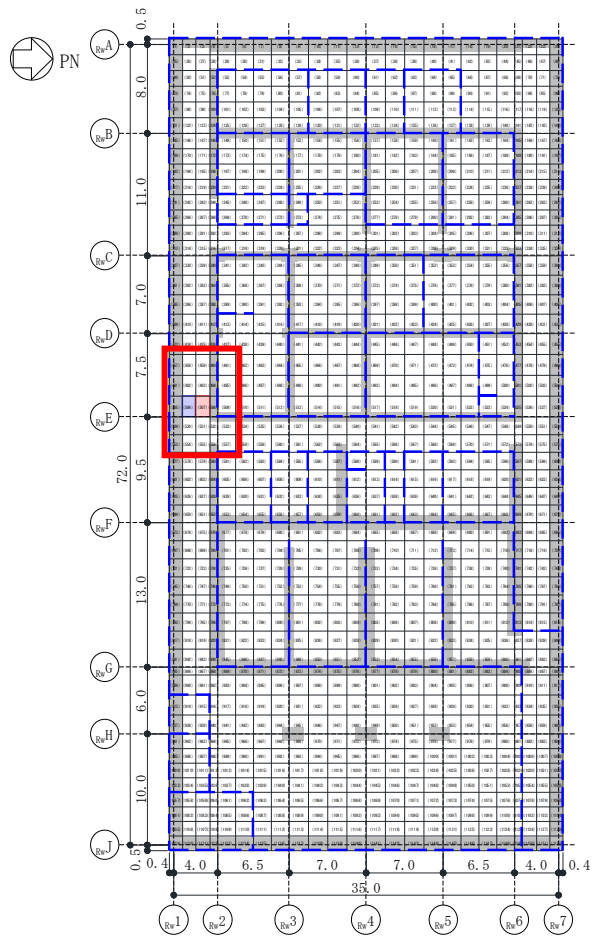


- - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 454

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (13/25)

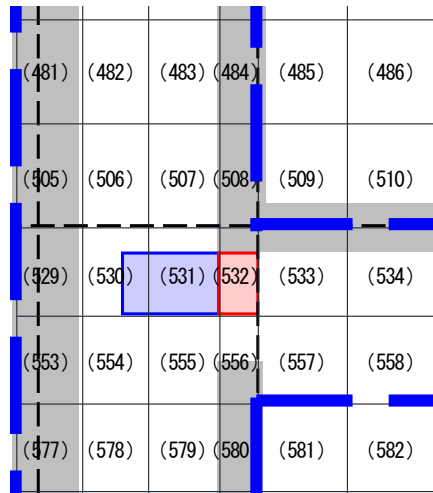
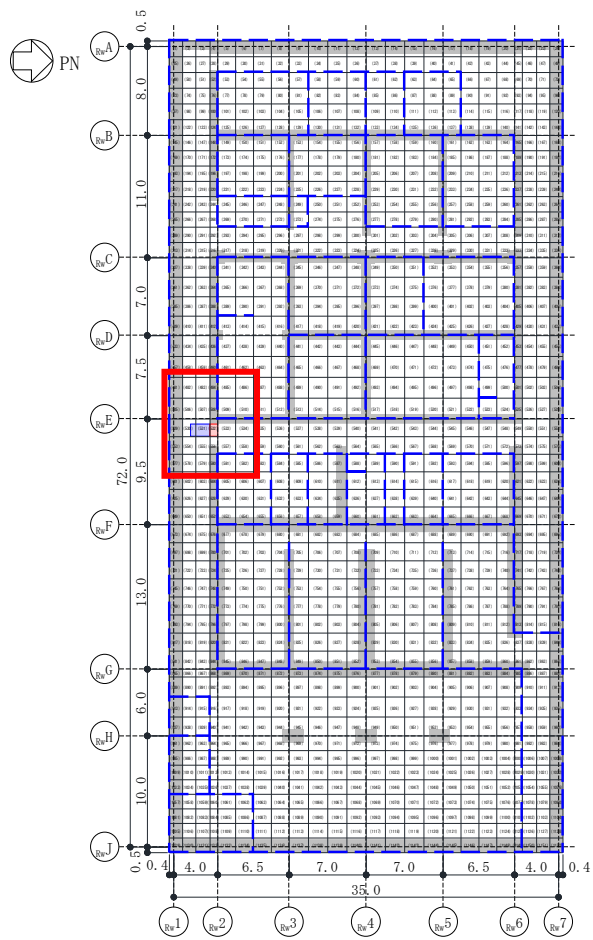




- - - : 壁位置
- (Red) : 応力平均化実施要素
- (Blue) : 平均化実施に用いた周辺要素
- (Gray) : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 507

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (14/25)



- - - : 壁位置

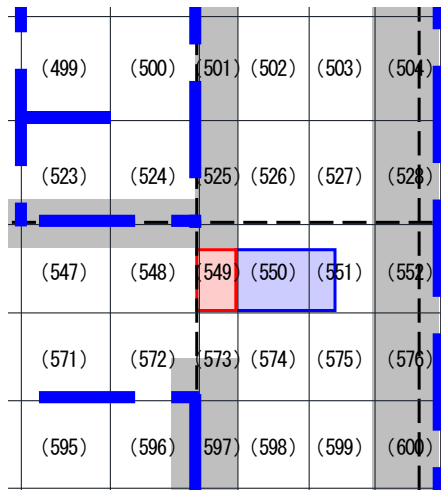
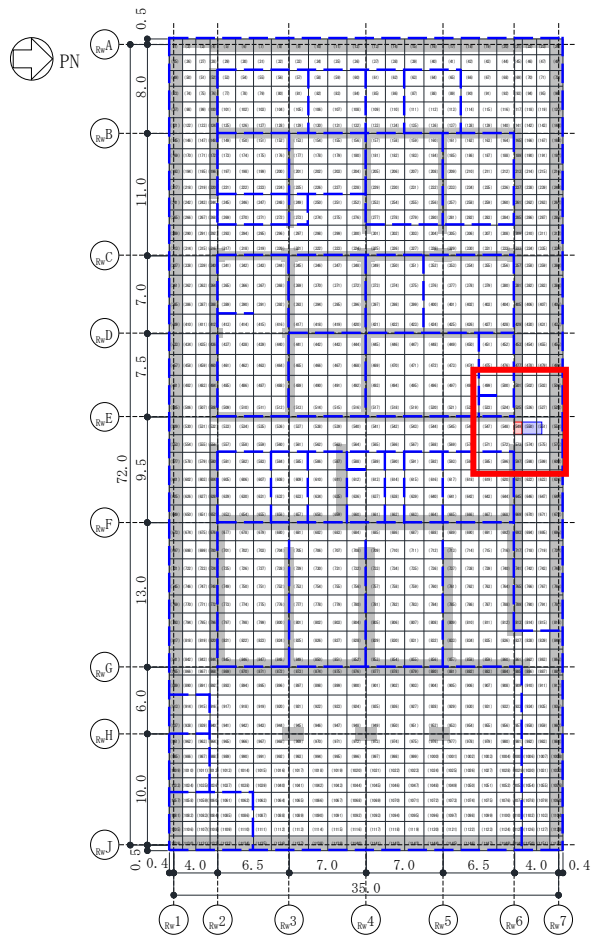
□ : 応力平均化実施要素

□ : 平均化実施に用いた周辺要素

■ : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 532

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (15/25)



- - - : 壁位置

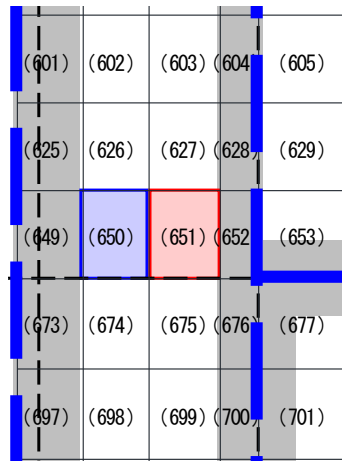
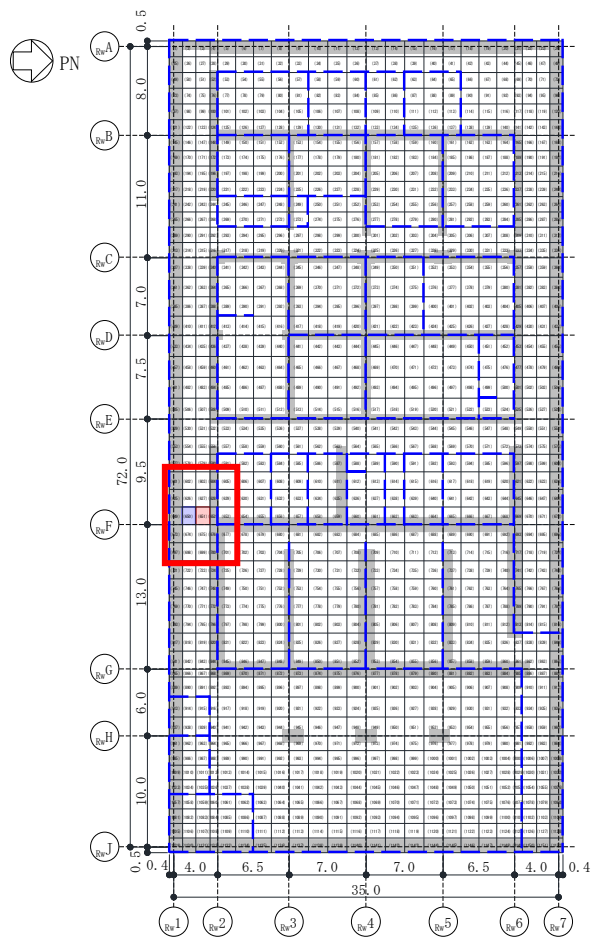
□ : 応力平均化実施要素

□ : 平均化実施に用いた周辺要素

■ : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 549

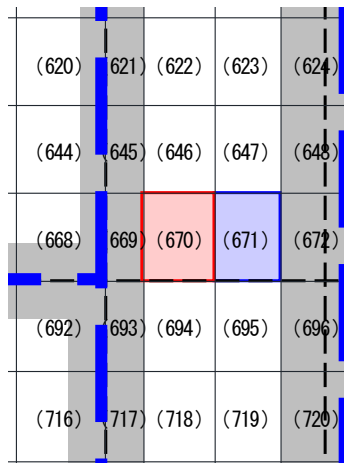
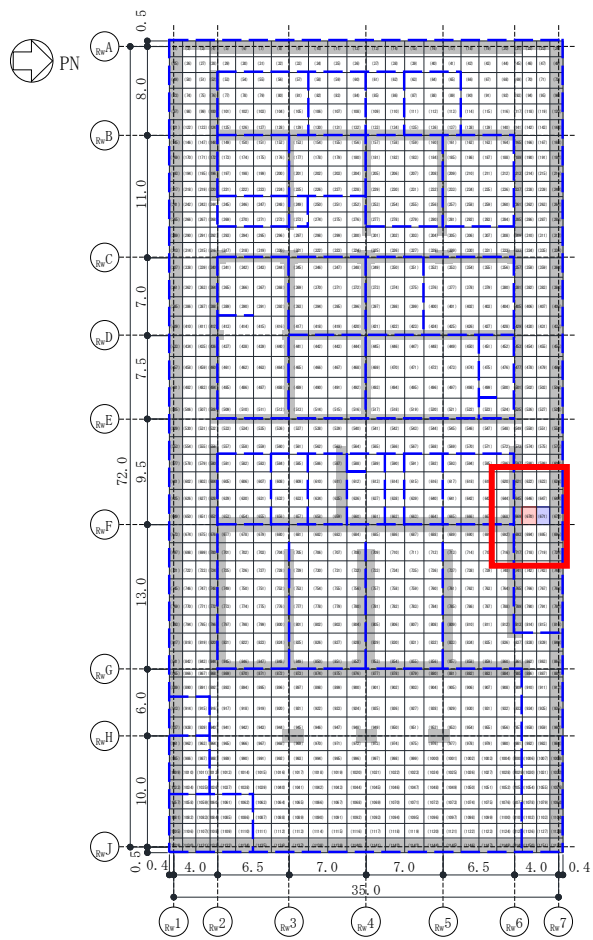
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (16/25)



- - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 651

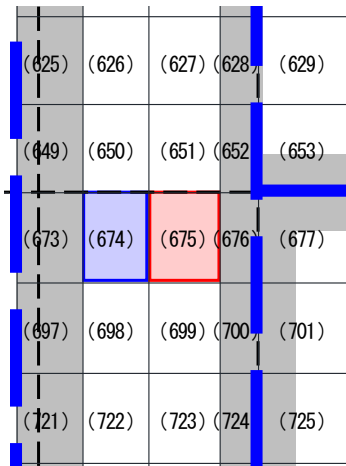
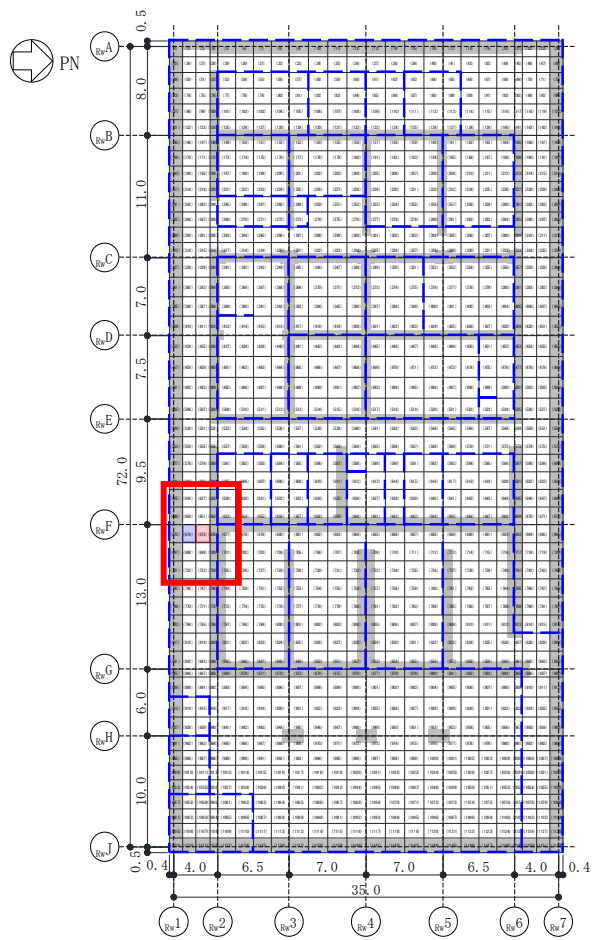
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (17/25)



- - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 670

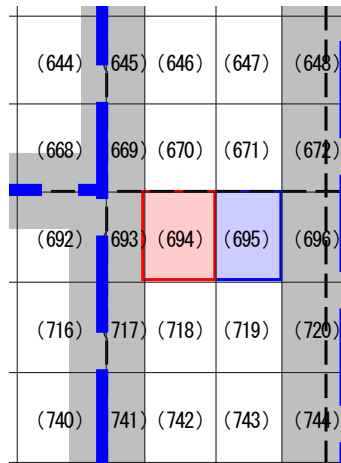
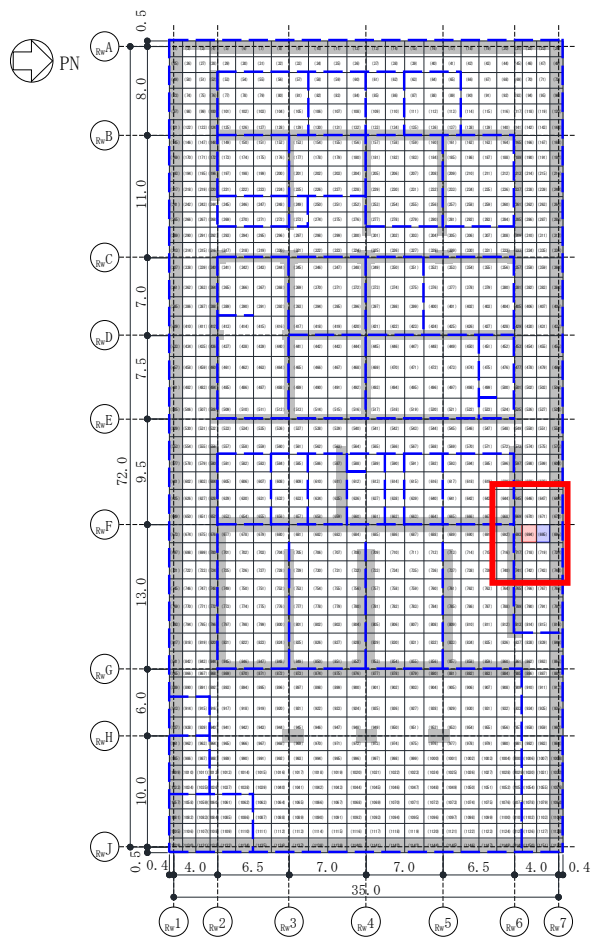
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (18/25)



- - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 675

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (19/25)



- - - : 壁位置

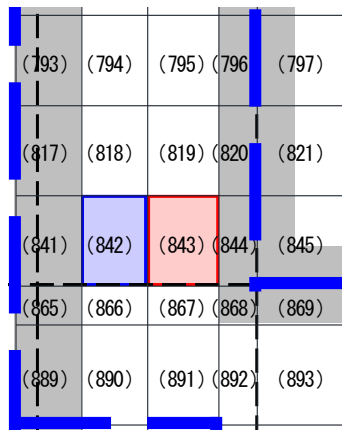
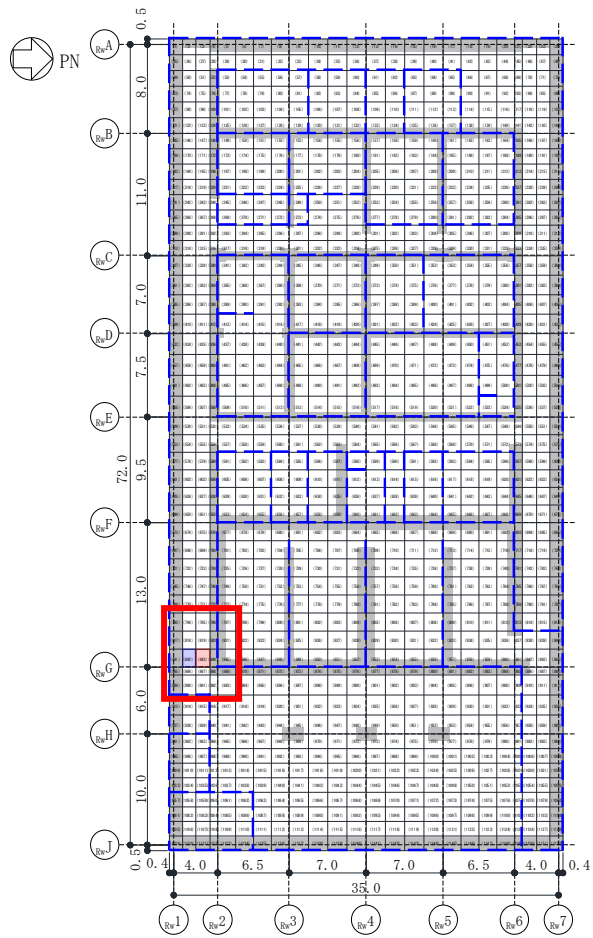
□ : 応力平均化実施要素

□ : 平均化実施に用いた周辺要素

■ : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 694

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (20/25)



--- : 壁位置

: 応力平均化実施要素

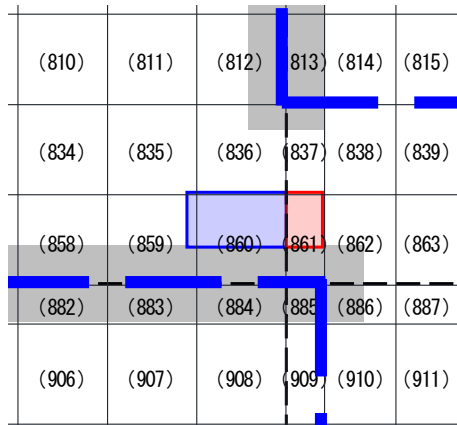
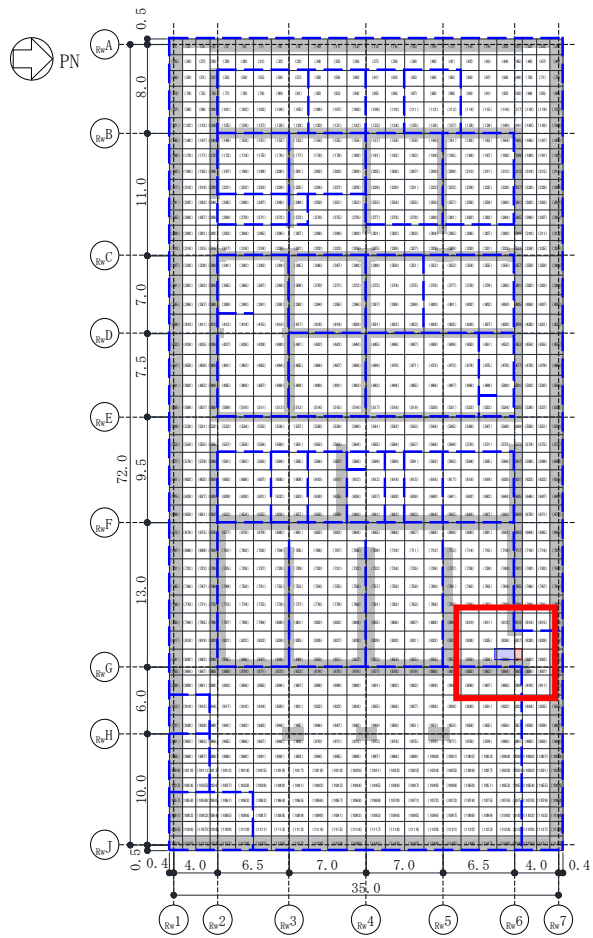
: 平均化実施に用いた周辺要素

: 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 843

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (21/25)





--- : 壁位置

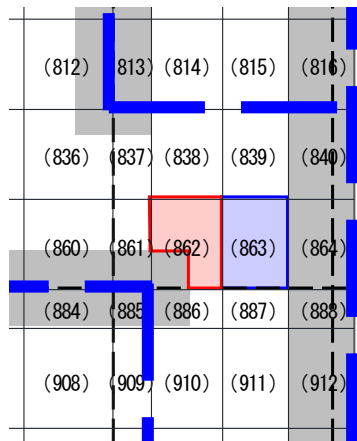
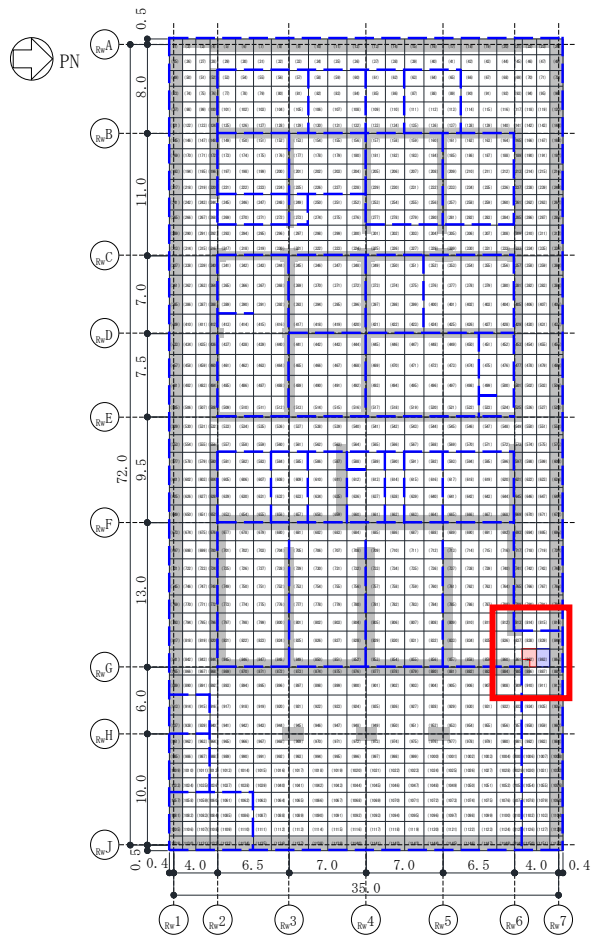
□ : 応力平均化実施要素

□ : 平均化実施に用いた周辺要素

■ : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 861

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (22/25)



- - - : 壁位置

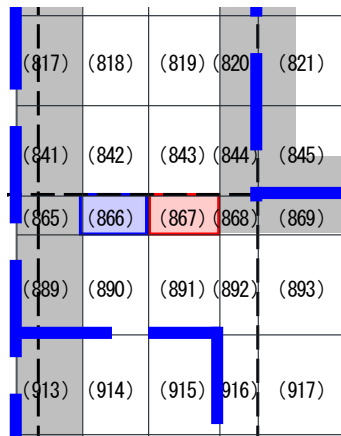
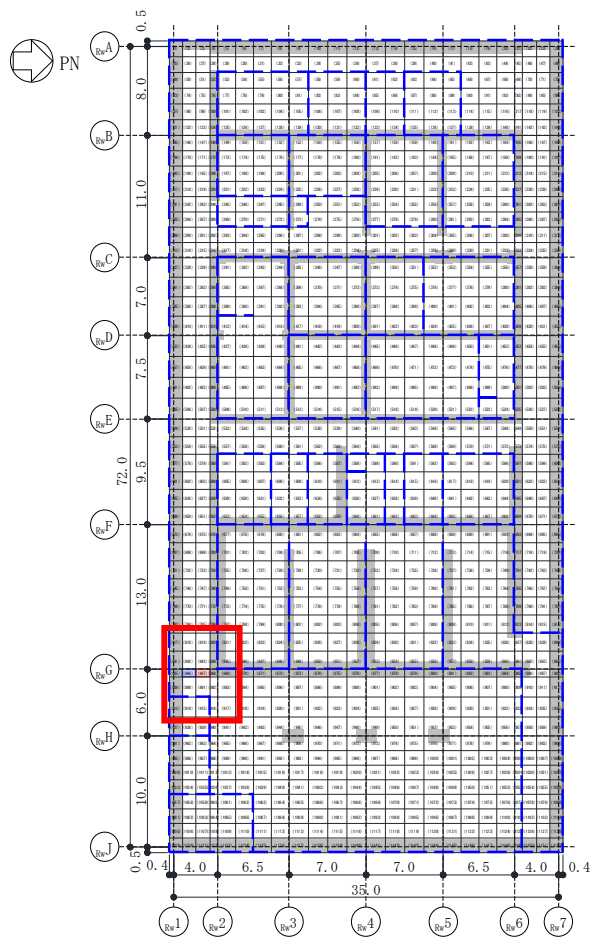
□ : 応力平均化実施要素

□ : 平均化実施に用いた周辺要素

■ : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 862

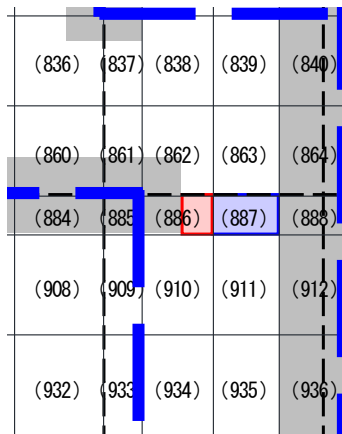
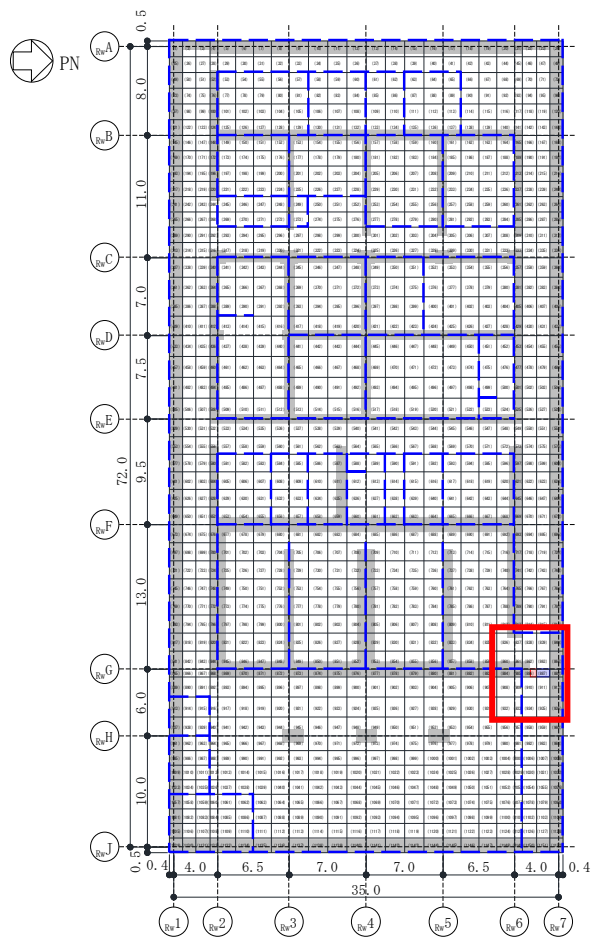
図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (23/25)



- - - : 壁位置
- : 応力平均化実施要素
- : 平均化実施に用いた周辺要素
- : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 867

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (24/25)



- - - : 壁位置
- (Red) : 応力平均化実施要素
- (Blue) : 平均化実施に用いた周辺要素
- (Grey) : 耐震壁・柱直下の範囲 (平均化対象外)

NS 方向 要素番号 886

図 3-5 応力平均化範囲 (面外せん断力) (25/25)

#### 4. 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 4-1 に、応力平均化の結果を表 4-2 に示す。

$$Q_{ave} = \Sigma (Q_i \times A_i) / \Sigma A_i$$

ここで、

$Q_{ave}$  : 平均化後の面外せん断力

$Q_i$  : 平均化前の各要素の面外せん断力（発生値）

$A_i$  : 応力平均化範囲における各要素の面積

表 4-1 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(1/4)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 $Q_i$ (kN/m)	要素面積 $A_i$ ( $m^2$ )	重み付け値 $Q_i \times A_i$ (kNm)
EW方向	140	1	92	-835	0.27	-224
			116	-2184	2.30	-5021
			140	-5184	1.50	-7751
			合計		4.06	-12996
EW方向	141	1	93	-806	0.12	-93
			117	-2422	0.99	-2399
			141	-5607	0.64	-3611
			合計		1.75	-6103
EW方向	141	2	93	-734	0.12	-85
			117	-2192	0.99	-2171
			141	-5145	0.64	-3313
			合計		1.75	-5569
EW方向	861	1	837	-712	0.79	-561
			861	-6093	0.65	-3945
			合計		1.44	-4506
EW方向	861	2	837	-973	0.79	-766
			861	-5821	0.65	-3769
			合計		1.44	-4535
EW方向	900	5	900	4912	3.15	15474
			924	2699	1.23	3307
			合計		4.38	18781
EW方向	901	5	901	4918	3.15	15492
			925	2712	1.23	3322
			合計		4.38	18813
EW方向	909	1	909	5323	1.26	6707
			933	2838	0.49	1391
			合計		1.75	8098

表 4-1 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 (2/4)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 $Q_i$ (kN/m)	要素面積 $A_i$ ( $m^2$ )	重み付け値 $Q_i \times A_i$ (kNm)
NS方向	141	1	141	7407	0.64	4770
			142	4167	1.20	4984
			143	389	0.46	179
			合計		2.30	9933
NS方向	141	2	141	7079	0.64	4559
			142	4118	1.20	4925
			143	635	0.46	292
			合計		2.30	9776
NS方向	166	1	166	5002	1.79	8941
			167	861	1.65	1421
			合計		3.44	10361
			NS方向	166	2	166
167	1070	1.65				1765
合計		3.44				10499
NS方向	244	3				242
			243	-3687	1.27	-4673
			244	-6031	0.68	-4116
			合計		2.44	-9022
NS方向	244	4	242	-668	0.49	-325
			243	-3620	1.27	-4588
			244	-5743	0.68	-3920
			合計		2.44	-8833
NS方向	316	3	314	-843	0.39	-327
			315	-4503	1.01	-4537
			316	-7411	0.54	-4021
			合計		1.94	-8884
NS方向	316	4	314	-1067	0.39	-414
			315	-4437	1.01	-4471
			316	-7086	0.54	-3844
			合計		1.94	-8728
NS方向	333	1	333	6664	0.54	3615
			334	4634	1.01	4669
			335	1238	0.39	480
			合計		1.94	8763
NS方向	333	2	333	6375	0.54	3459
			334	4555	1.01	4589
			335	1441	0.39	559
			合計		1.94	8606
NS方向	430	1	430	4933	2.28	11223
			431	1365	2.10	2866
			合計		4.38	14090
			NS方向	430	2	430
431	1563	2.10				3283
合計		4.38				14303
NS方向	454	1				454
			455	1361	2.25	3063
			合計		4.69	15052

表 4-1 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 (3/4)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 $Q_i$ (kN/m)	要素面積 $A_i$ ( $m^2$ )	重み付け値 $Q_i \times A_i$ (kNm)
NS方向	507	3	506	-1274	2.25	-2865
			507	-5074	2.44	-12369
			合計		4.69	-15234
NS方向	507	4	506	-1471	2.25	-3310
			507	-4968	2.44	-12109
			合計		4.69	-15420
NS方向	532	3	530	-1148	0.57	-654
			531	-4543	1.48	-6733
			532	-6751	0.80	-5387
合計		2.85	-12775			
NS方向	532	4	530	-1363	0.57	-777
			531	-4477	1.48	-6635
			532	-6473	0.80	-5165
合計		2.85	-12577			
NS方向	549	1	549	5891	0.80	4701
			550	4282	1.48	6345
			551	1177	0.57	671
合計		2.85	11717			
NS方向	549	2	549	5630	0.80	4493
			550	4220	1.48	6255
			551	1398	0.57	797
合計		2.85	11544			
NS方向	651	3	650	-1726	1.91	-3293
			651	-5762	2.07	-11911
			合計		3.98	-15204
NS方向	651	4	650	-1911	1.91	-3646
			651	-5641	2.07	-11661
			合計		3.98	-15307
NS方向	670	1	670	6178	2.07	12771
			671	2127	1.91	4057
			合計		3.98	16828
NS方向	670	2	670	6050	2.07	12506
			671	2313	1.91	4412
			合計		3.98	16918
NS方向	675	3	674	-1721	1.95	-3356
			675	-5586	2.11	-11799
			合計		4.06	-15155
NS方向	675	4	674	-1892	1.95	-3690
			675	-5452	2.11	-11518
			合計		4.06	-15208
NS方向	694	1	694	5685	2.11	12009
			695	1944	1.95	3790
			合計		4.06	15799
NS方向	694	2	694	5555	2.11	11734
			695	2123	1.95	4140
			合計		4.06	15874



表 4-1 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 (4/4)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 $Q_i$ (kN/m)	要素面積 $A_i$ ( $m^2$ )	重み付け値 $Q_i \times A_i$ (kNm)
NS方向	843	3	842	-1289	1.95	-2514
			843	-5848	2.11	-12354
			合計		4.06	-14868
NS方向	843	4	842	-1393	1.95	-2717
			843	-5596	2.11	-11823
			合計		4.06	-14539
NS方向	861	1	859	2522	0.16	408
			860	2152	1.50	3235
			861	6882	0.65	4456
		合計		2.31	8099	
NS方向	861	2	859	2478	0.16	401
			860	2183	1.50	3282
			861	6484	0.65	4198
		合計		2.31	7881	
NS方向	862	1	862	6675	1.62	10830
			863	1661	1.95	3239
			合計		3.57	14070
NS方向	862	2	862	6544	1.62	10618
			863	1849	1.95	3605
			合計		3.57	14223
NS方向	867	3	866	-962	0.84	-808
			867	-5696	0.91	-5183
			合計		1.75	-5991
NS方向	867	4	866	-1081	0.84	-908
			867	-5457	0.91	-4966
			合計		1.75	-5874
NS方向	886	1	886	8736	0.42	3669
			887	2051	0.84	1723
			合計		1.26	5392
NS方向	886	2	886	8552	0.42	3592
			887	2293	0.84	1926
			合計		1.26	5518

表 4-2 応力平均化結果(1/2)

応力成分	方向	要素番号	組合せ ケース	面外せん断力 (kN/m)	
				平均化前	平均化後
面外 せん断力	EW方向	140	1	-5184	-3199
		141	1	-5607	-3487
			2	-5145	-3182
		861	1	-6093	-3140
			2	-5821	-3160
		900	5	4912	4293
		901	5	4918	4300
909	1	5323	4627		

表 4-2 応力平均化結果(2/2)

応力成分	方向	要素番号	組合せ ケース	面外せん断力 (kN/m)	
				平均化前	平均化後
面外 せん断力	NS方向	141	1	7407	4319
			2	7079	4251
		166	1	5002	3014
			2	4886	3054
		244	3	-6031	-3701
			4	-5743	-3624
		316	3	-7411	-4585
			4	-7086	-4505
		333	1	6664	4523
			2	6375	4442
		430	1	4933	3220
			2	4844	3269
		454	1	4919	3211
		507	3	-5074	-3250
			4	-4968	-3289
		532	3	-6751	-4482
			4	-6473	-4413
		549	1	5891	4111
			2	5630	4051
		651	3	-5762	-3825
			4	-5641	-3851
		670	1	6178	4234
			2	6050	4256
		675	3	-5586	-3731
			4	-5452	-3744
		694	1	5685	3889
			2	5555	3907
		843	3	-5848	-3660
			4	-5596	-3579
		861	1	6882	3502
			2	6484	3408
		862	1	6675	3938
2	6544		3981		
867	3	-5696	-3424		
	4	-5457	-3357		
886	1	8736	4279		
	2	8552	4379		

## 5. 断面の評価

### 5.1 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。

### 5.2 断面の評価結果

応力平均化後の評価結果を表 5-1 に示す。表 5-1 より、応力平均化後の面外せん断力の発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 5-1 応力平均化後の断面の評価結果(1/2)

応力成分	方向	要素番号	組合せ ケース	面外せん断力(kN/m)		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
				発生値	許容値	
面外 せん断力	EW方向	140	1	-3199	4836	0.662
		141	1	-3487	4836	0.722
			2	-3182	4836	0.658
		861	1	-3140	4836	0.650
			2	-3160	4836	0.654
		900	5	4293	4836	0.888
		901	5	4300	4836	0.890
909	1	4627	4985	0.929		

注：網掛けは最大の検定値を示す。

表 5-1 応力平均化後の断面の評価結果(2/2)

応力成分	方向	要素番号	組合せ ケース	面外せん断力(kN/m)		平均化後の検定値 (発生値/許容値)
				発生値	許容値	
面外 せん断力	NS方向	141	1	4319	4836	0.894
			2	4251	4836	0.880
		166	1	3014	4836	0.624
			2	3054	4836	0.632
		244	3	-3701	4836	0.766
			4	-3624	4836	0.750
		316	3	-4585	4836	0.949
			4	-4505	4836	0.932
		333	1	4523	4836	0.936
			2	4442	4836	0.919
		430	1	3220	4836	0.666
			2	3269	4836	0.676
		454	1	3211	4836	0.664
		507	3	-3250	4836	0.673
			4	-3289	4836	0.681
		532	3	-4482	4836	0.927
			4	-4413	4836	0.913
		549	1	4111	4836	0.851
			2	4051	4836	0.838
		651	3	-3825	4985	0.768
			4	-3851	4985	0.773
		670	1	4234	4985	0.850
			2	4256	4985	0.854
		675	3	-3731	4985	0.749
			4	-3744	4985	0.752
		694	1	3889	4985	0.781
			2	3907	4985	0.784
		843	3	-3660	4985	0.735
			4	-3579	4985	0.718
		861	1	3502	4836	0.725
			2	3408	4836	0.705
		862	1	3938	4985	0.790
2	3981		4985	0.799		
867	3	-3424	4985	0.687		
	4	-3357	4985	0.674		
886	1	4279	4985	0.859		
	2	4379	4985	0.879		

注：網掛けは最大の検定値を示す。

## 別紙 6 水平・鉛直を分離した解析について

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 6-1
2. 水平・鉛直同時入力による地震応答解析に基づく接地率 .....	別紙 6-3
2.1 解析モデル .....	別紙 6-5
2.2 入力地震動 .....	別紙 6-6
2.3 接地率の比較 .....	別紙 6-7
3. 組合せ係数法の検討 .....	別紙 6-9
4. まとめ .....	別紙 6-11

## 1. 概要

水平方向の動的地震力と鉛直方向の動的地震力の算定に当たっては、それぞれ個別のモデルを用いて地震応答解析を行っている。また、V-2-2-12「廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」においては、基礎スラブの応力解析では水平方向の地震力に対して得られた基礎スラブ応力と鉛直方向の地震力に対して得られた基礎スラブ応力を個別に算定し、それらの応力を同時に不利な方向に作用させて組合せ応力を算定している。

本資料は、次の2点に着目した検討を行うことにより、基礎スラブの応力解析では水平方向と鉛直方向の地震荷重に対して、それぞれ分離して個別に解析できることを確認する。

- ①水平方向地震荷重に基づき算定した応力解析用モデルによる接地率は、水平・鉛直同時入力による動的解析で得られた時刻歴最小接地率と同等又は保守的な評価となることを確認する。これは、静的解析では水平地震荷重と鉛直地震荷重を同時に作用させると解けない解析が、動的解析では解けることを示すことになる。
- ②組合せ係数法による接地率は、水平・鉛直同時入力による動的解析で得られた時刻歴最大接地率と同等又は保守的な評価となることを確認する。

なお、①の検討の位置付けは、図 1-1 基礎スラブの応力解析における接地率に示すように、従来、水平方向の応答解析から得られた水平荷重 (M, Q) と鉛直方向の応答解析から得られた鉛直荷重 (N) を、適切な組み合わせにより基礎スラブの応力解析を行っていたものが、水平荷重だけによる応力解析でも水平・鉛直同時入力による接地率と同等又は保守的な接地率を与えることができることを示すものである。

一方、②の検討の位置付けは、接地率は基礎スラブに加わる地震力に対する反力に相当するため、接地率をみることで荷重の与え方の妥当性を確認するものである。



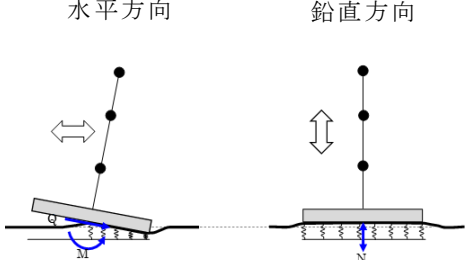
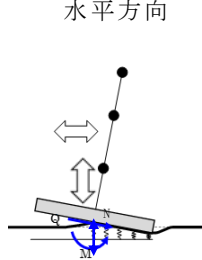
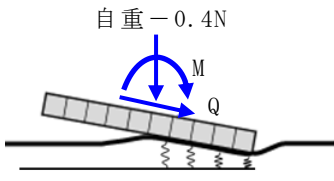
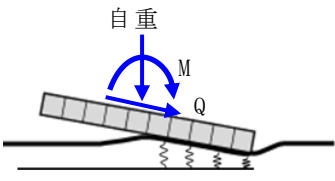
	従来の考え方	動的と静的な接地率の関係
動的解析	<p>水平方向      鉛直方向</p>  <p>接地率：<math>{}_1\eta_A</math>  水平方向の応答解析      鉛直方向の応答解析</p>	<p>水平方向</p>  <p>接地率：<math>{}_2\eta_A</math>  水平・鉛直同時入力の影響解析</p>
応力解析	<p>自重 - 0.4N</p>  <p>接地率：<math>{}_1\eta_B</math>  水平・鉛直同時加力による静的解析</p>	<p>自重</p>  <p>接地率：<math>{}_2\eta_B</math>  水平加力による静的解析</p>
	<p>上向きの鉛直地震荷重の場合は  動的解析よりも浮上りが大きくなり  <math>{}_1\eta_B \leq {}_1\eta_A</math>となる。  したがって、上向きの鉛直地震荷重が  大きい場合は解析できないことがある。</p>	<p>動的な鉛直地震荷重は  接地率には寄与しないため  <math>{}_2\eta_B \leq {}_2\eta_A</math>となる。  したがって、接地率の評価時の応力解析で  は鉛直地震荷重を考慮しなくても良い。</p>

図 1-1 基礎スラブの応力解析における接地率

2. 水平・鉛直同時入力による地震応答解析に基づく接地率

廃棄物処理建屋の基準地震動  $S_s$  に対する NS 方向の地震応答解析では、SR モデルを用いた解析で接地率が 50%以下になるケースがあるため、それらのケースに対しては地盤 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行っている。表 2-1 に地震応答解析に採用した解析モデルを示す。ここでは、この地盤 3 次元 FEM モデルを用いて、水平・鉛直同時入力による地震応答解析を実施し、動的地震時の接地率評価を行う。この動的な接地率を水平方向地震荷重に基づき算定した応力解析用モデルによる接地率と比較する。接地率の比較フローを図 2-1 に示す。なお、地盤 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析の接地率は、基礎底面のジョイント要素の支配面積に基づく接地面積の総和を基礎底面積で除した値とし、応力解析用モデルを用いた応力解析の接地率は、地盤ばね要素の接地面積を基礎底面積で除した値とする。

表 2-1 地震応答解析に採用した解析モデル

基本 ケース	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8
NS 方向	③	②	③	①	①	①	①	③
EW 方向	①	①	①	①	①	①	①	①

凡例

- ①：誘発上下動を考慮しないモデル  
(基礎浮上り非線形モデル)
- ②：誘発上下動を考慮するモデル
- ③：地盤 3 次元 FEM モデル

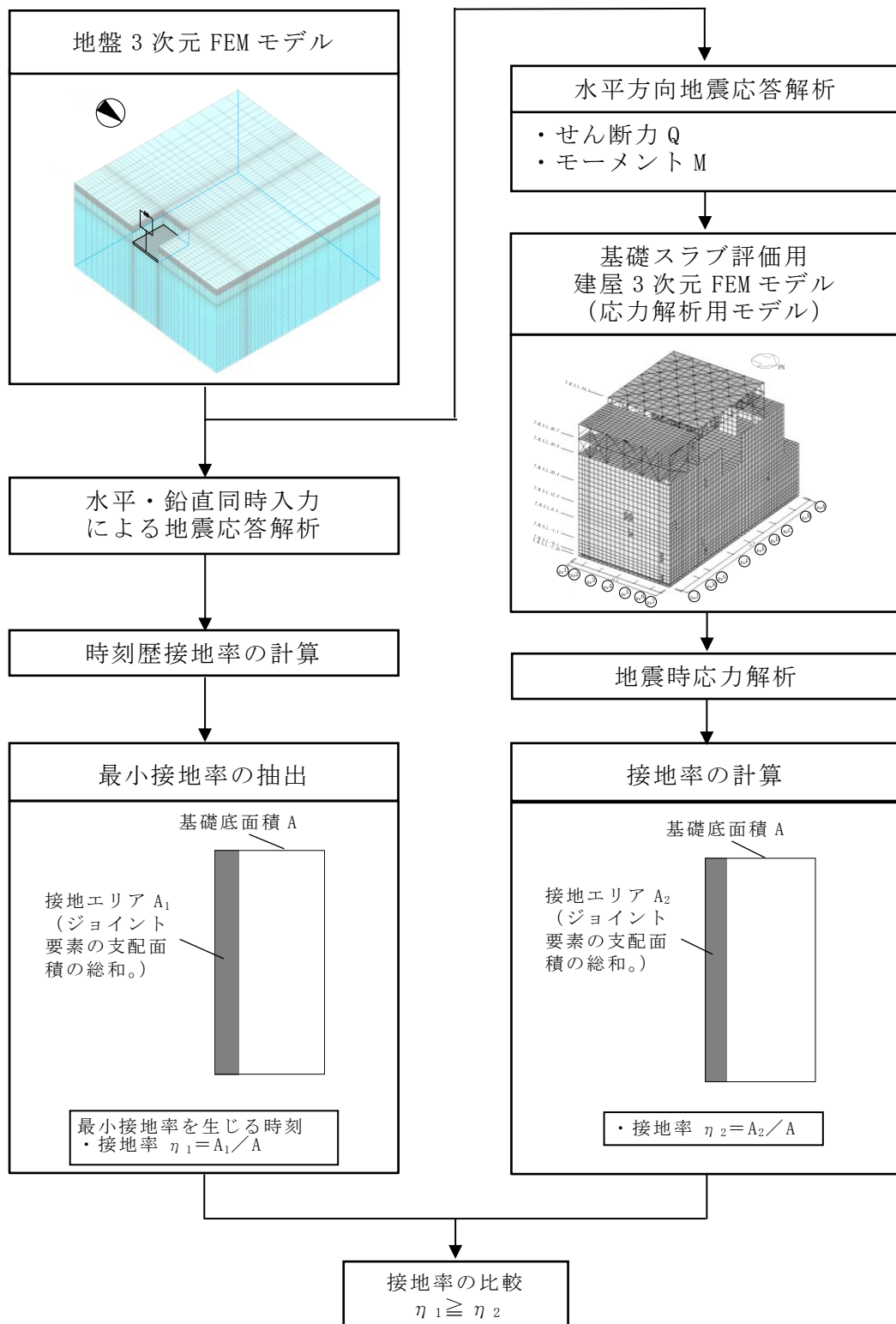


図 2-1 接地率の比較フロー

## 2.1 解析モデル

地盤 3 次元 FEM モデル (NS 方向) を図 2-2 に示す。建屋モデルの水平方向については、曲げ及びせん断剛性に対し非線形特性を考慮し、鉛直方向については、軸剛性に対し線形応答とする。

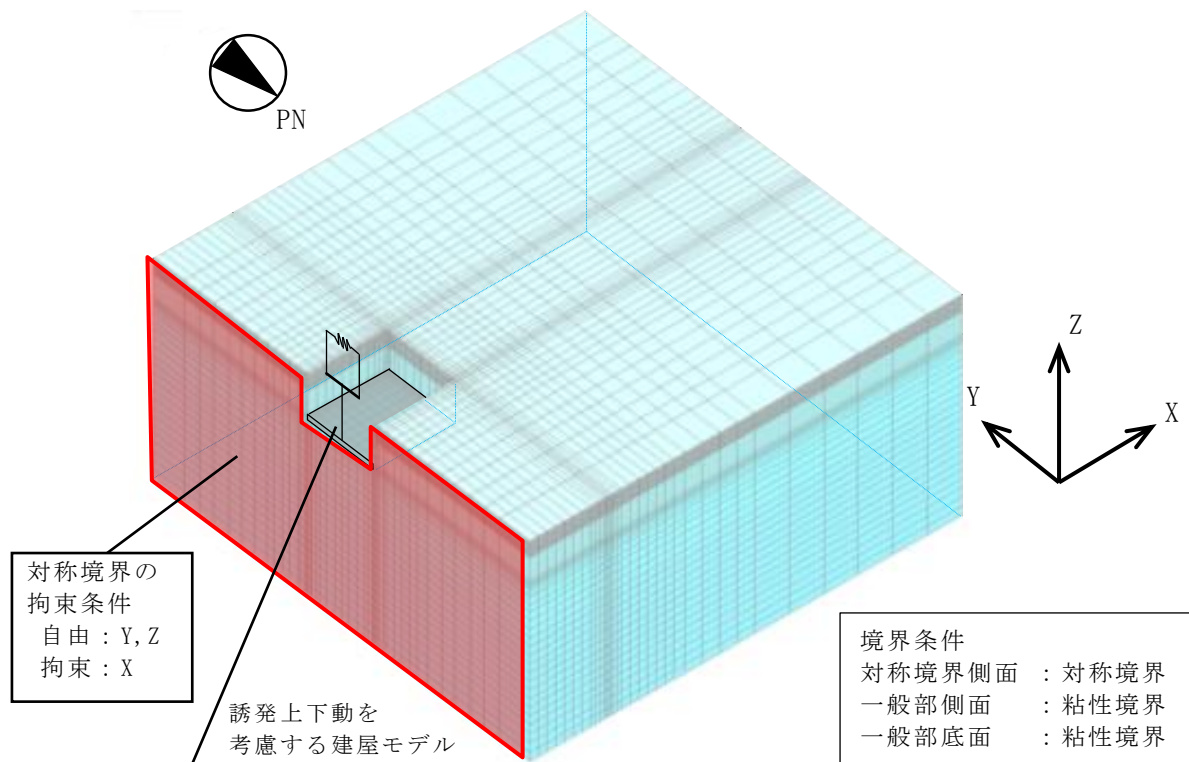


図 2-2 廃棄物処理建屋の地盤 3 次元 FEM モデルの地震応答解析モデル (NS 方向)

## 2.2 入力地震動

基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析（基本ケース）により算定された接地率を表 2-2 に示す。この表に基づき接地率が最も小さい  $S_s$ -8 と 2 番目に小さい  $S_s$ -3 を代表として選出する。

表 2-2 基準地震動  $S_s$  による地震応答解析結果に基づく接地率（NS 方向）\*

基準地震動 $S_s$	最大接地圧 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	最大転倒モーメント ( $\times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}$ )	最小接地率 (%)
$S_s$ -1	2730	14.4	30.7
$S_s$ -2	1380	10.7	62.7
$S_s$ -3	3030	14.8	27.2
$S_s$ -4	868	6.46	96.5
$S_s$ -5	1080	8.81	77.0
$S_s$ -6	890	6.78	93.9
$S_s$ -7	947	7.51	87.8
$S_s$ -8	4030	15.7	20.3

注記\*：V-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」より抜粋。

### 2.3 接地率の比較

水平・鉛直同時入力による地震応答解析で得られた「時刻歴最小接地率」を生ずる時刻における接地面及び接地率と、基礎スラブ評価用建屋 3 次元 FEM モデルに水平地震力のみを与えた時の接地面及び接地率を比較して図 2-3 に示す。なお、基礎スラブ評価用建屋 3 次元 FEM モデルに生じる転倒モーメントは、表 2-2 の Ss-3, Ss-8 の最大転倒モーメントと一致する。図 2-3 によると、Ss-3 では時刻歴最小接地率  $\eta_1$  は 41.3%であるのに対し、基礎スラブ評価用建屋 3 次元 FEM モデルによる接地率  $\eta_2$  は 28.2%となっている。Ss-8 では時刻歴最小接地率  $\eta_1$  は 22.2%であるのに対し、基礎スラブ評価用建屋 3 次元 FEM モデルによる接地率  $\eta_2$  は 19.1%となっている。Ss-3, Ss-8 とともに  $\eta_2$  の方が小さい評価結果となっている。

以上より、基礎スラブ評価用建屋 3 次元 FEM モデルに水平地震力のみを与えて求めた接地率は、保守的な評価となることを確認した。

なお、同じ鉛直荷重を考えた場合は、接地率が小さい方が接地圧が大きくなり基礎スラブの応力評価においては厳しい評価となるものと考えられる。上記の検討では鉛直動を考えていないため、鉛直動を考慮した検討については「3. 組合せ係数法の検討」において確認する。

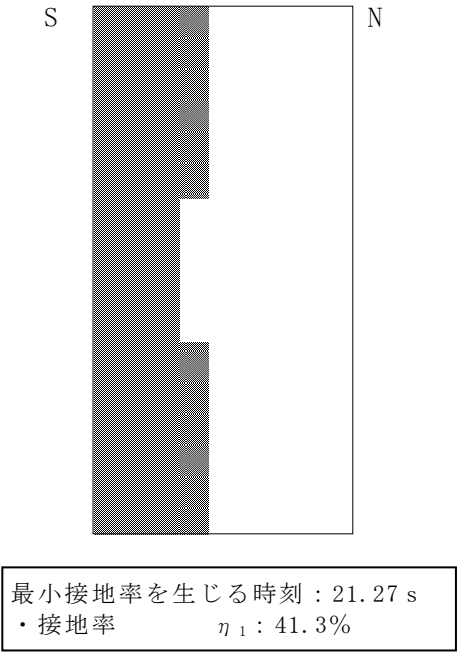
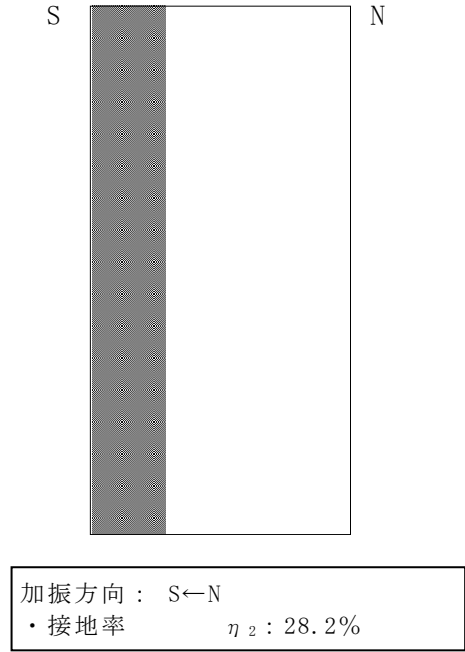
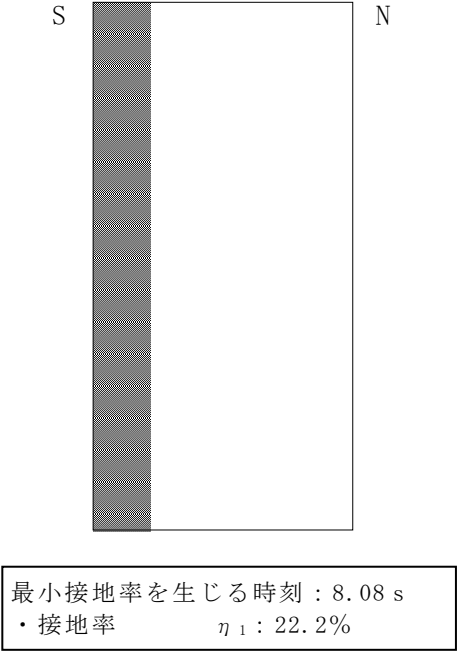
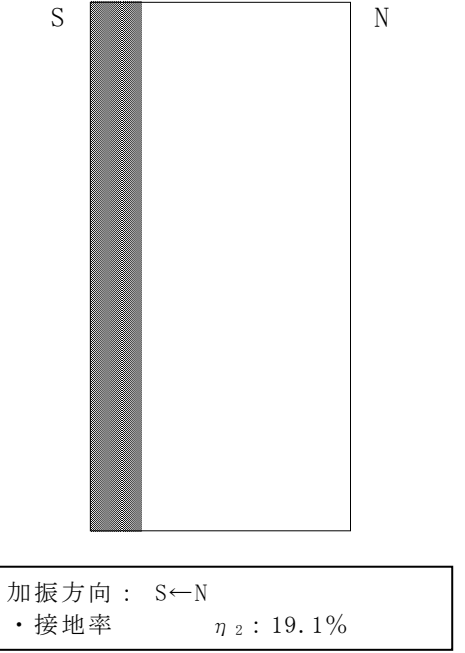
地震動	地盤 3 次元 FEM モデル 水平・鉛直同時入力による動的解析	建屋 3 次元 FEM モデル 水平荷重のみによる静的応力解析
Ss-3	 <p>最小接地率を生じる時刻 : 21.27 s ・ 接地率 <math>\eta_1</math> : 41.3%</p>	 <p>加振方向 : S←N ・ 接地率 <math>\eta_2</math> : 28.2%</p>
Ss-8	 <p>最小接地率を生じる時刻 : 8.08 s ・ 接地率 <math>\eta_1</math> : 22.2%</p>	 <p>加振方向 : S←N ・ 接地率 <math>\eta_2</math> : 19.1%</p>

図 2-3 接地面及び接地率の比較

### 3. 組合せ係数法の検討

廃棄物処理建屋の基礎スラブの応力解析では、水平地震荷重に対する応力と鉛直地震荷重による応力を別々に算定し、組合せ係数法を用いて応力解析を行っている。前章の検討によれば、基礎スラブ評価用建屋 3 次元 FEM モデルに水平地震力のみを与えて求めた接地率は、保守的な評価となることを確認したことから、この時の基礎応力も水平・鉛直同時入力時の応力よりも保守的な応力になっているものと考えられる。

しかし、地盤 3 次元 FEM 解析モデルでは直接的に基礎スラブ応力を評価することができないため、その代わりに接地圧を比較する。接地圧は基礎スラブに加わる地震力に対する反力に相当するため、接地圧をみることで応力評価の妥当性を判断することができる。

以上のことを踏まえて、図 3-1 組合せ係数法の検討フローに示すように接地圧評価における組合せ係数法の妥当性確認を行う。

水平・鉛直同時入力解析により得られた「時刻歴最大接地圧」と水平地震荷重に対する応力と鉛直地震荷重による応力を別々に算定し、組合せ係数法により求めた接地圧を比較して表 3-1 に示す。なお、水平・鉛直同時入力解析により得られた「時刻歴最大接地圧」は 3 次元地盤要素の接地圧の時刻歴における最大値とし、組合せ係数法により求めた接地圧は三角形の地盤反力分布を仮定し、自重と転倒モーメント及び鉛直地盤ばね反力をもとに組合せ係数法で合算した値とする。

表 3-1 より、Ss-3, Ss-8 とともに組合せ係数法により求めた接地圧は水平・鉛直同時入力解析により得られた時刻歴最大接地圧よりも大きな値を与えることから、基礎スラブの応力解析において組合せ係数法を採用することは保守的な評価となることを確認した。



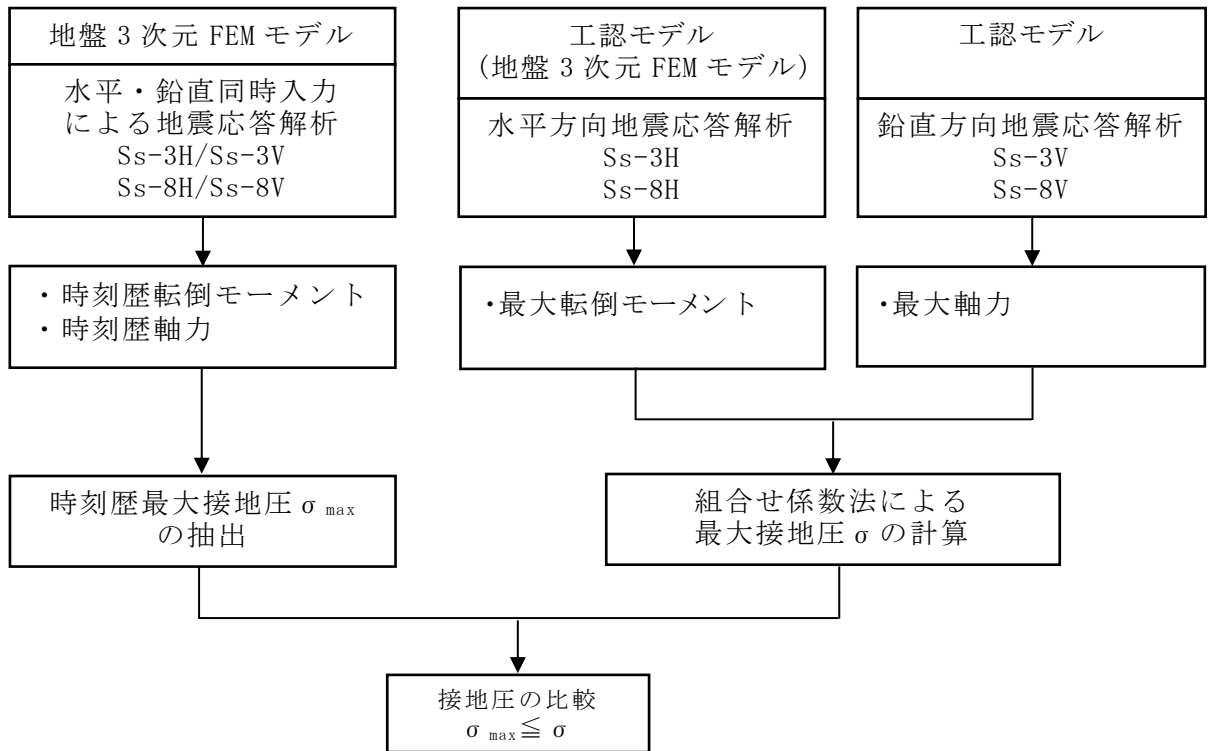


図 3-1 組合せ係数法の検討フロー

表 3-1 時刻歴最大接地圧と組合せ係数法による接地圧の比較

地震動	時刻歴最大接地圧	組合せ係数法による接地圧
	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-3	2630	3030
Ss-8	3230	4030

#### 4. まとめ

地盤 3 次元 FEM モデルを用いて水平・鉛直同時入力による地震応答解析を行い、接地率の検討及び組合せ係数法の検討を行い、次のことを確認した。

- ①基礎スラブ評価用建屋 3 次元 FEM モデルに水平地震力のみを与えて求めた接地率は、水平・鉛直同時入力による動的解析で得られた時刻歴最小接地率と比べ、保守的な評価となる。併せて、静的解析では水平地震荷重と鉛直地震荷重を同時に作用させると解けない解析が、動的解析では解けることを確認した。
- ②基礎スラブの応力解析において組合せ係数法による接地圧は、水平・鉛直同時入力による動的解析で得られた時刻歴最大接地圧と比べ、保守的な評価となる。

以上のことから、廃棄物処理建屋の基礎スラブの応力評価において、水平荷重と鉛直荷重を別々に評価することは妥当であることを確認した。

## 別紙 7 応力解析における壁の健全性評価

## 目 次

1. 概要	別紙 7-1
2. 検討内容	別紙 7-2
2.1 検討方針	別紙 7-2
2.2 解析ケース	別紙 7-3
3. 検討結果	別紙 7-4
4. まとめ	別紙 7-7

## 1. 概要

廃棄物処理建屋基礎スラブの応力解析では，上部構造からの荷重伝達を詳細に評価するために，上部構造を 3 次元 FEM でモデル化している。本資料では，上部構造のうち基礎スラブに直接接続する地下 3 階（T.M.S.L. -6.1m～T.M.S.L. -1.1m）の耐震壁が基礎スラブを拘束することにより生ずる応力状態においても，耐震健全性に問題がないことを示す。

## 2. 検討内容

### 2.1 検討方針

基礎スラブの応力解析に用いている 3 次元 FEM モデルを図 2-1 に示し、このモデルにおいて評価対象となる地下 3 階を赤色で示す。

耐震健全性評価としては、地下 3 階の層全体のせん断ひずみを評価し、地震応答解析で得られているせん断ひずみと比較する。なお、許容限界は基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析による評価と同様に、せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  とする。

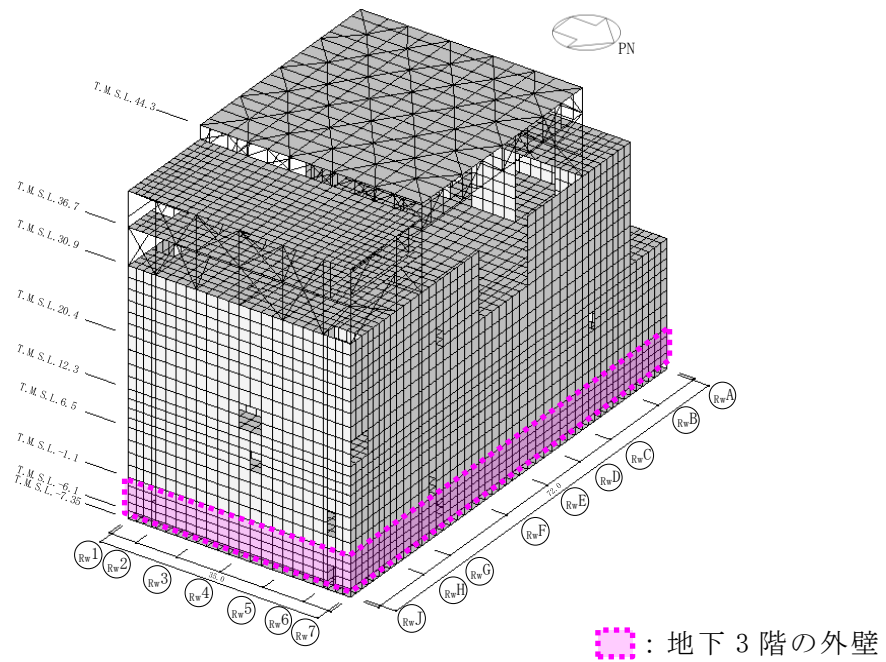


図 2-1 基礎スラブ応力解析モデル

## 2.2 解析ケース

基礎スラブの応力解析の荷重の組合せケースを表 2-1 に示す。表 2-1 の全ケースについて、せん断ひずみを算定する。なお、地震荷重は不確かさを考慮した全ての地震荷重の包絡値を採用している。

表 2-1 荷重の組合せケース

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_v) VL + S_{s_{SN}} + SOE + BL$
2		上向き	$(1.0 - 0.4K_v) VL + S_{s_{SN}} + SOE + BL$
3		下向き	$(1.0 + 0.4K_v) VL + S_{s_{NS}} + SOE + BL$
4		上向き	$(1.0 - 0.4K_v) VL + S_{s_{NS}} + SOE + BL$
5		下向き	$(1.0 + 0.4K_v) VL + S_{s_{WE}} + SOE + BL$
6		上向き	$(1.0 - 0.4K_v) VL + S_{s_{WE}} + SOE + BL$
7		下向き	$(1.0 + 0.4K_v) VL + S_{s_{EW}} + SOE + BL$
8		上向き	$(1.0 - 0.4K_v) VL + S_{s_{EW}} + SOE + BL$
9	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + K_v) VL + 0.4S_{s_{SN}} + 0.4SOE + BL$
10		上向き	$(1.0 - K_v) VL + 0.4S_{s_{SN}} + 0.4SOE + BL$
11		下向き	$(1.0 + K_v) VL + 0.4S_{s_{NS}} + 0.4SOE + BL$
12		上向き	$(1.0 - K_v) VL + 0.4S_{s_{NS}} + 0.4SOE + BL$
13		下向き	$(1.0 + K_v) VL + 0.4S_{s_{WE}} + 0.4SOE + BL$
14		上向き	$(1.0 - K_v) VL + 0.4S_{s_{WE}} + 0.4SOE + BL$
15		下向き	$(1.0 + K_v) VL + 0.4S_{s_{EW}} + 0.4SOE + BL$
16		上向き	$(1.0 - K_v) VL + 0.4S_{s_{EW}} + 0.4SOE + BL$

VL : 鉛直荷重

$S_{s_{SN}}$  : 水平地震荷重 (S→N 入力, NS 方向)

$S_{s_{NS}}$  : 水平地震荷重 (N→S 入力, NS 方向)

$S_{s_{EW}}$  : 水平地震荷重 (E→W 入力, EW 方向)

$S_{s_{WE}}$  : 水平地震荷重 (W→E 入力, EW 方向)

$K_v$  : 鉛直震度

SOE : 土圧荷重

BL : 浮力

### 3. 検討結果

#### (1) せん断ひずみ評価方法

層全体のせん断ひずみ評価は、各階床の節点のうち、地下3階の建屋外周部の壁に該当する節点を用いて求めた平均層間変位 ( ${}_{B_2}X - {}_{B_3}X$ ) を階高Hで除してせん断ひずみ  $\gamma$  (以下「平均せん断ひずみ」という。) を求める。図 3-1 に評価に用いる外周壁の節点を示す。なお、平均層間変位 ( ${}_{B_2}X - {}_{B_3}X$ ) には基礎浮上りによるロッキングの影響が含まれることから、建屋外周部の鉛直変位に基づく全体回転変形分の水平変位 ( $H \cdot \theta$ ) を除いて算定する。

$$\gamma = \left( {}_{B_2}X - {}_{B_3}X - H \cdot \theta \right) / H$$

ここで、

${}_{B_2}X$  : 基礎スラブに直接接続する壁に所属する上部節点の水平変位

$${}_{B_2}X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N {}_{B_2}X_i$$

N : 節点数

${}_{B_3}X$  : 基礎スラブに直接接続する壁に所属する下部節点の水平変位

$${}_{B_3}X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N {}_{B_3}X_i$$

N : 節点数

H : 階高 (5.0m)

$\theta$  : 建屋外周部の鉛直変位に基づく全体回転変形量

$$\theta = \left( {}_{B_3}Z_1 - {}_{B_3}Z_2 \right) / W$$

${}_{B_3}Z_1$  : 基礎スラブに直接接続する壁に所属する下部節点の鉛直変位 (負側)

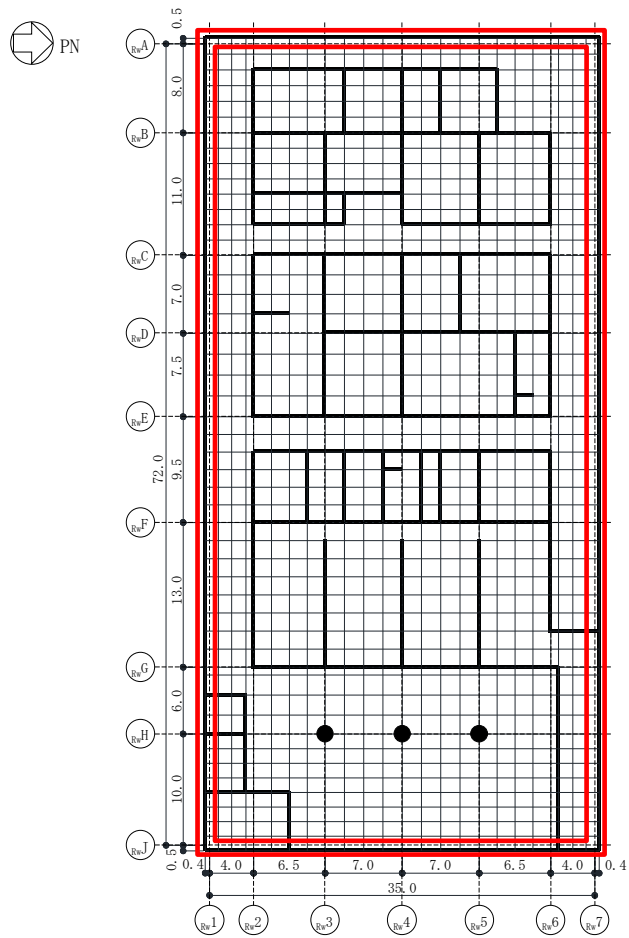
$${}_{B_3}Z_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N {}_{B_3}Z_{1i}$$

${}_{B_3}Z_2$  : 基礎スラブに直接接続する壁に所属する下部節点の鉛直変位 (正側)

$${}_{B_3}Z_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N {}_{B_3}Z_{2i}$$

W : 建屋寸法 (NS:35.8m, EW:73.0m)





□ : 平均層間変位を算定する節点。

図 3-1 地下 3 階の壁及び評価に用いる節点位置図

(2) 評価結果

NS 方向及び EW 方向の最大の平均せん断ひずみを表 3-1 に示す。最大の平均せん断ひずみは、NS 方向については  $0.249 \times 10^{-3}$  (ケース 2) であり、EW 方向については  $0.247 \times 10^{-3}$  (ケース 5) であり、どちらも許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認した。

なお、地震応答解析における不確かさを考慮した最大せん断ひずみは、NS 方向は  $0.178 \times 10^{-3}$ 、EW 方向は  $0.163 \times 10^{-3}$  であり、本検討にて算定した値の方がやや大きな値となっているが、この理由としては、不確かさを考慮した全ての地震荷重の包絡値を応力解析モデルに静的に作用させていることが考えられる。

表 3-1 層全体の平均せん断ひずみ

方向	ケース No.	平均せん断ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )
NS 方向	2	0.249
EW 方向	5	0.247

#### 4. まとめ

基礎スラブを拘束することにより生ずる応力状態に対し，基礎スラブ直上階である地下3階の耐震壁の耐震健全性を確認するために，3次元FEM応力解析結果を用いて得られた層全体の平均せん断ひずみを算定した。その結果，層全体の平均せん断ひずみは，地震応答解析における最大せん断ひずみよりもやや大きな値が得られたが，許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を大きく下回り，耐震健全性に問題がないことを確認した。

## 別紙 8 最大接地圧について

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 8-1
2. 接地圧 .....	別紙 8-2
2.1 S s 地震時 .....	別紙 8-2

## 1. 概要

本資料は、廃棄物処理建屋の基準地震動  $S_s$  による地震力(以下「 $S_s$  地震時」という。)に対する接地圧を示すものである。

## 2. 接地圧

### 2.1 S s 地震時

S s 地震時の最大接地圧が、地盤の極限支持力度（6170kN/m<sup>2</sup>）を超えないことを確認する。

S s 地震時の接地圧を表 2-1～表 2-10 に示す。材料特性の不確かさを考慮した S s 地震時の最大接地圧は 4090 kN/m<sup>2</sup> であることから、地盤の極限支持力度を超えないことを確認した。なお、鉛直力及び転倒モーメントは減衰力を含んだ反力とする。

表 2-1 S s 地震時の接地圧（基本ケース，NS 方向）

基準地震動 S s	鉛直力 N (×10 <sup>5</sup> kN)	転倒モーメント M(×10 <sup>6</sup> kN・m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1 *1,*2	15.5	14.4	2730
Ss-2 *1	12.8	10.8	1380
Ss-3 *1,*2	14.9	14.8	3030
Ss-4	11.8	6.50	868
Ss-5	11.8	8.82	1080
Ss-6	11.8	6.79	890
Ss-7	11.8	7.52	947
Ss-8 *1,*2	16.1	15.7	4030

注記\*1：誘発上下動を考慮。

\*2：地盤 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析結果による接地圧は、三角形の地盤反力分布を仮定して算定。

表 2-2 S s 地震時の接地圧（基本ケース，EW 方向）

基準地震動 S s	鉛直力 N (×10 <sup>5</sup> kN)	転倒モーメント M(×10 <sup>6</sup> kN・m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	13.4	14.4	972
Ss-2	12.3	19.4	1180
Ss-3	12.5	13.6	910
Ss-4	11.8	11.5	812
Ss-5	11.8	13.8	889
Ss-6	11.8	12.3	838
Ss-7	11.8	15.1	939
Ss-8	11.3	15.2	920

表 2-3 S s 地震時の接地圧 (ケース 2, NS 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1 *1, *2	15.7	13.7	2330
Ss-2 *1	12.7	11.0	1410
Ss-3 *1, *2	14.8	13.5	2220
Ss-8 *1, *2	13.7	14.4	2640

注記 \*1 : 誘発上下動を考慮。

\*2 : 地盤 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析結果による接地圧は, 三角形の地盤反力分布を仮定して算定。

表 2-4 S s 地震時の接地圧 (ケース 2, EW 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	13.5	14.7	986
Ss-2	12.3	16.0	995
Ss-3	12.4	12.5	870
Ss-8	11.3	12.3	819



表 2-5 S s 地震時の接地圧 (ケース 3, NS 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1 *1, *2	16.0	15.1	3310
Ss-2 *1	13.5	12.7	1850
Ss-3 *1, *2	14.8	14.8	2990
Ss-8 *1, *2	16.1	15.7	4090

注記 \*1 : 誘発上下動を考慮。

\*2 : 地盤 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析結果による接地圧は、三角形の地盤反力分布を仮定して算定。

表 2-6 S s 地震時の接地圧 (ケース 3, EW 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	13.4	15.6	1020
Ss-2	12.2	19.2	1160
Ss-3	12.5	15.3	972
Ss-8	11.2	17.2	1010

表 2-7 S s 地震時の接地圧 (ケース 4, NS 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1 *1, *2	15.7	15.0	3260
Ss-2 *1	12.9	11.4	1500
Ss-3 *1, *2	15.5	15.1	3360
Ss-8 *1, *2	16.1	15.7	4040

注記 \*1 : 誘発上下動を考慮。

\*2 : 地盤 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析結果による接地圧は、三角形の地盤反力分布を仮定して算定。

表 2-8 S s 地震時の接地圧 (ケース 4, EW 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	13.4	14.7	983
Ss-2	12.3	19.4	1180
Ss-3	12.5	13.6	909
Ss-8	11.2	15.0	915

表 2-9 S s 地震時の接地圧 (ケース 5, NS 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1 *1, *2	15.5	14.3	2650
Ss-2 *1	12.8	10.6	1350
Ss-3 *1, *2	14.6	14.6	2830
Ss-8 *1, *2	16.1	15.7	4060

注記 \*1 : 誘発上下動を考慮。

\*2 : 地盤 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析結果による接地圧は, 三角形の地盤反力分布を仮定して算定。

表 2-10 S s 地震時の接地圧 (ケース 5, EW 方向)

基準地震動 S s	鉛直力 N ( $\times 10^5$ kN)	転倒モーメント M ( $\times 10^6$ kN·m)	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )
Ss-1	13.4	14.3	970
Ss-2	12.4	19.3	1170
Ss-3	12.5	12.9	884
Ss-8	11.3	15.3	924