

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1
提出年月日	2020年5月14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5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

下線：今回ご提示資料

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。

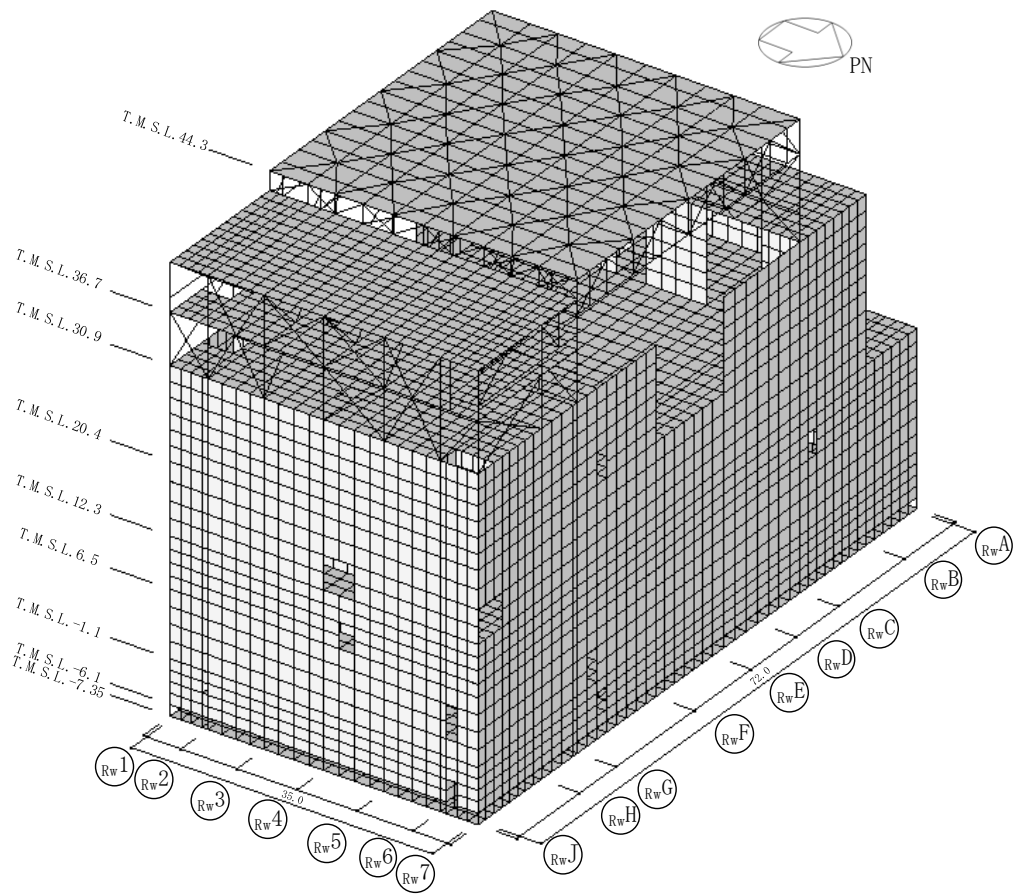
表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較 (廃棄物処理建屋基礎スラブ)

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	—
	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: $\nu = 0.3$	① ② ③ ④
	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	VL + S + SOE VL: 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 SOE: 地震時土圧	VL + S _s + SOE + BL VL: 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 SOE: 地震時土圧 BL: 浮力	⑤	
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	$P_a = 10.0 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ γ : 土の単位体積重量 (t/m ³) h : 地表面からの深度 (m)	常時土圧 $P_0 = 0.5 \cdot \gamma \cdot h$ γ : 土の単位体積重量 (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 ρ : 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) α_{\max} : 地表面の最大加速度 (m/s ²) β_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)	⑥

			H_i : i層の厚さ (m) 地震時土圧 $P = P_0 + \max(P_a + P_s)$	
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

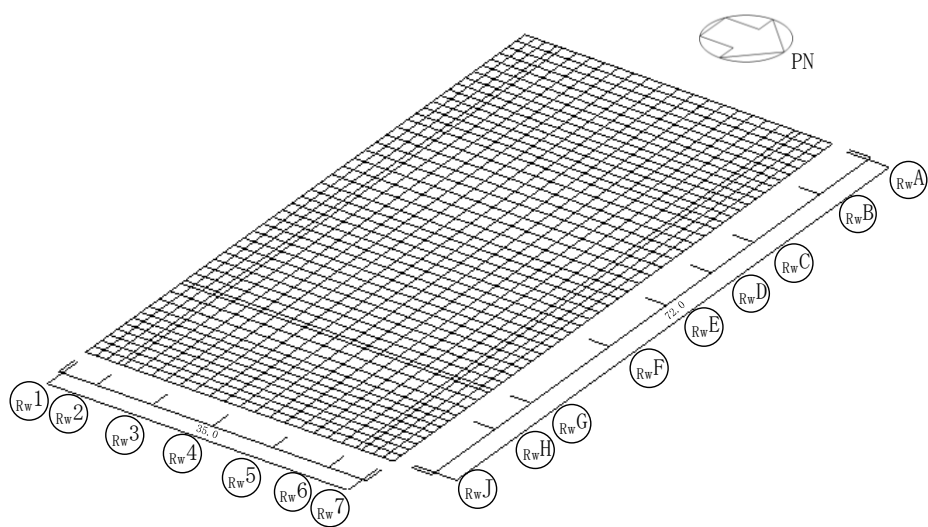
【具体的な反映事項】(表の備考欄に対応)

- ① 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
- ② 「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
- ③ 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
- ④ 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
- ⑤ 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
- ⑥ 「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
- ⑦ 「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)

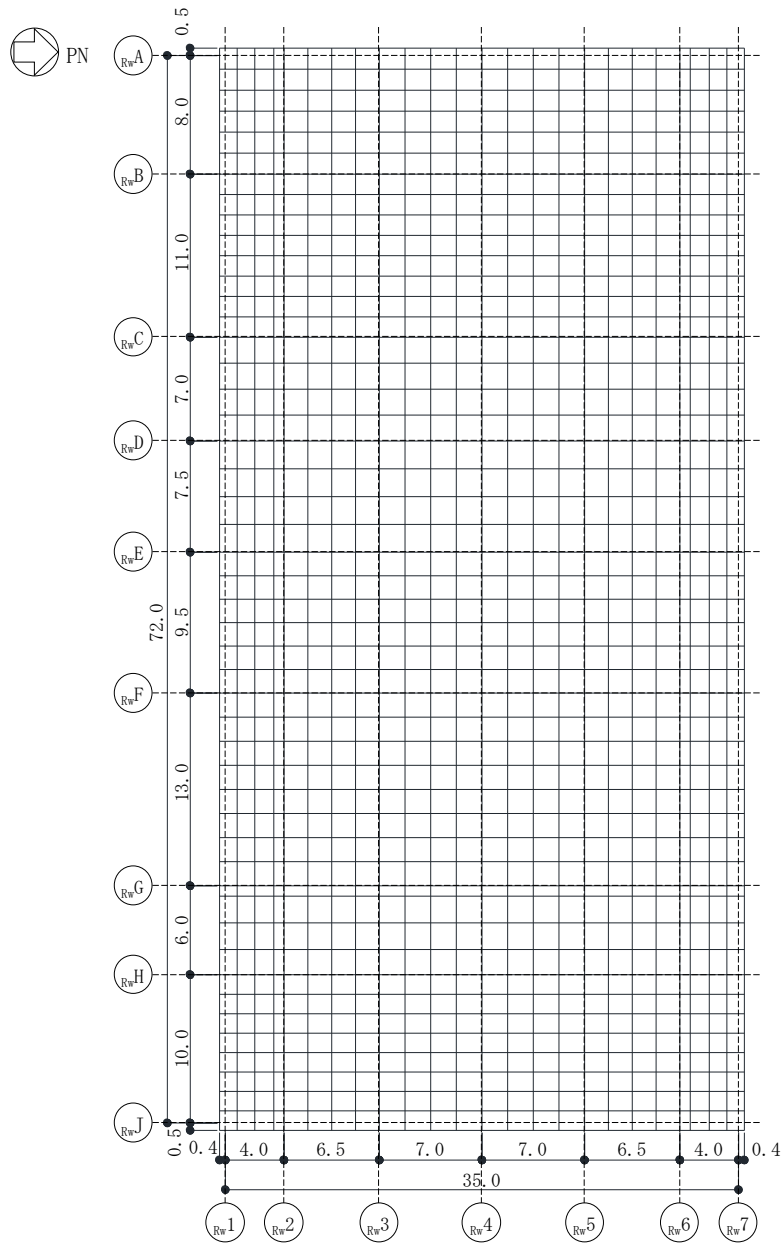
(a) 全体図



(単位 : m)

(b) 基礎スラブ

図 2-1 応力解析モデル図 (1/2)



(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)

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)

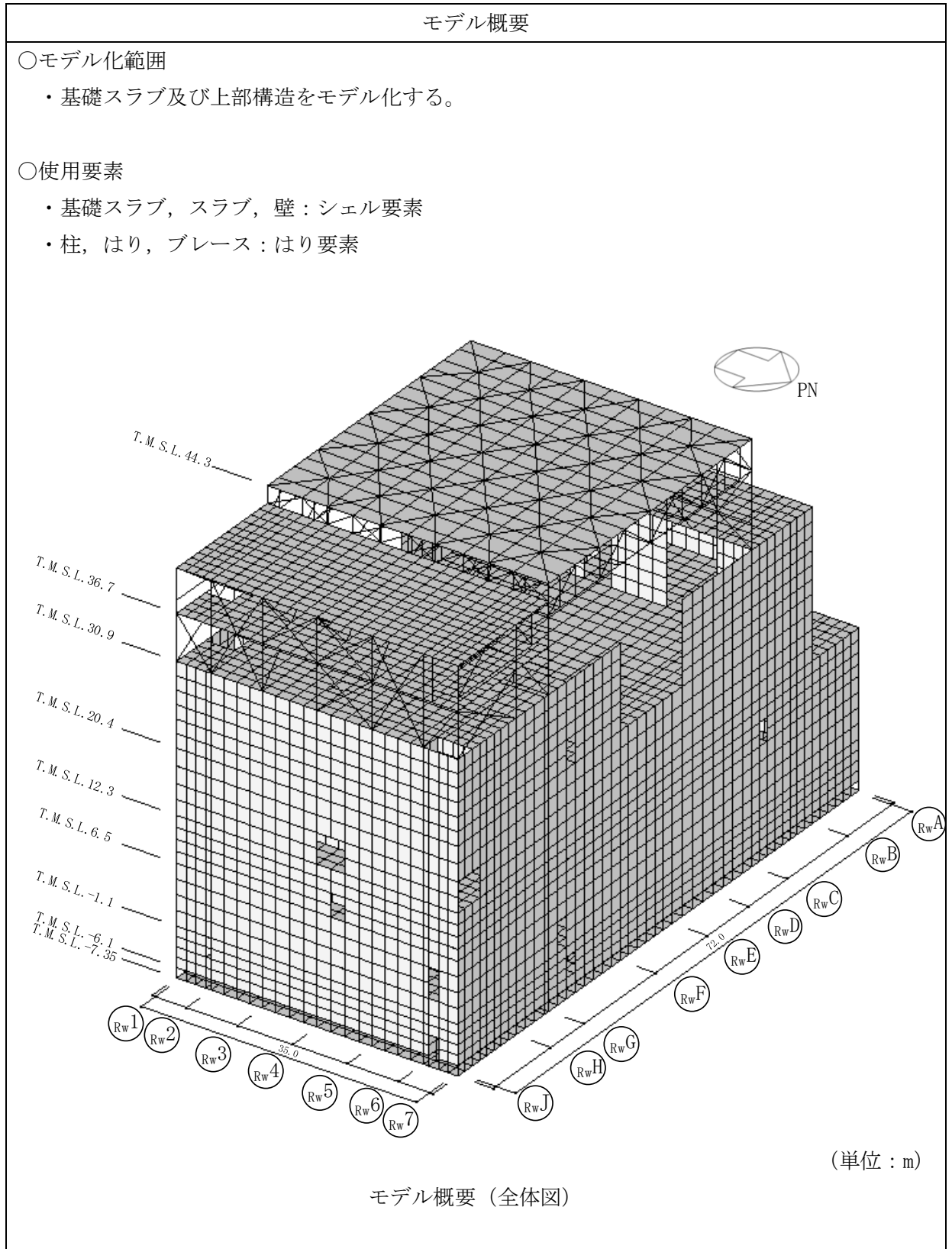
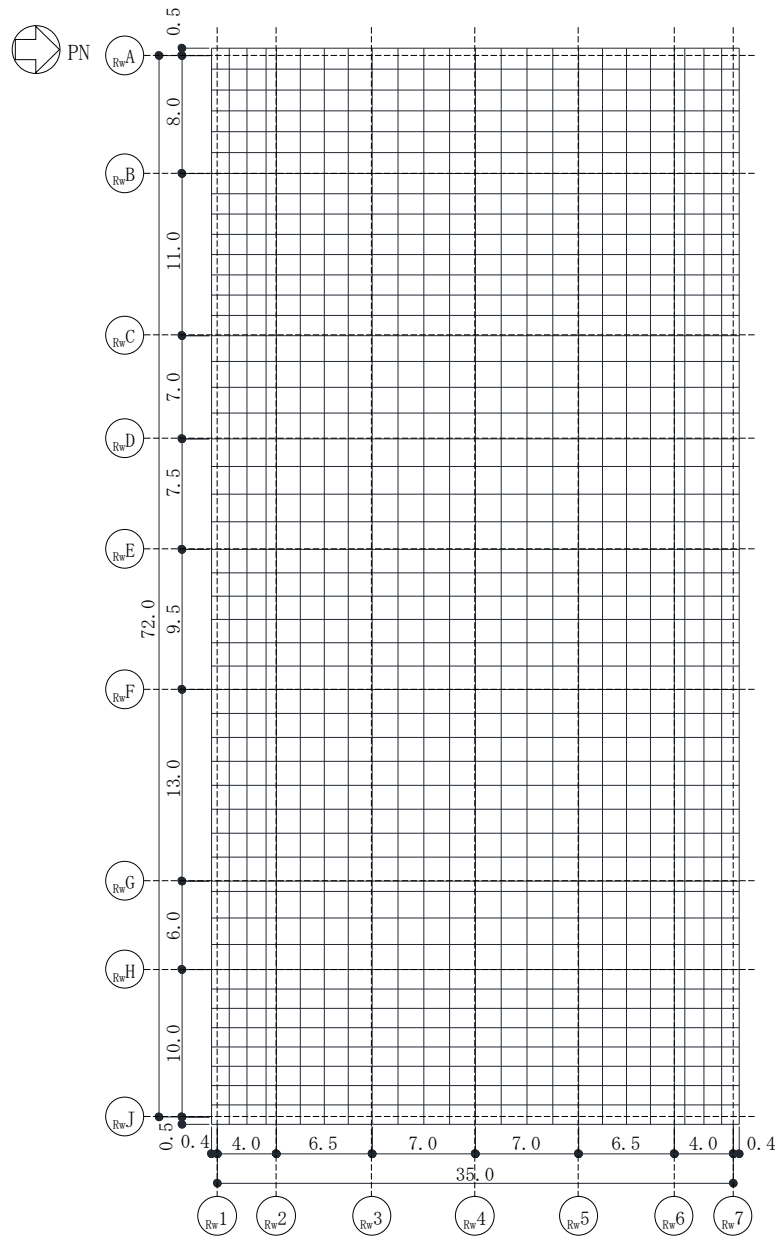


表 2-1 廃棄物処理建屋基礎スラブ(2/3)

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。



(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"> ・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。 ・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。 ・基礎スラブから立ち上がる独立柱については, その剛性を考慮する。
<p>基礎スラブと地盤の境界</p> <ul style="list-style-type: none"> ・側面地盤は無視する。 ・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。 ・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"> ・水平剛性: 振動アドミッタンス理論による水平ばねK_Hを節点支配面積A_iで離散化。 $K_{Hi} = (K_H / A) \times A_i \quad A: \text{基礎スラブの底面積}$ ・鉛直剛性: 地震時は, 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K_Rを節点支配面積A_iで離散化。 $K_{Vi} = (K_R / I) \times A_i \quad I: \text{基礎スラブの断面二次モーメント}$ <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">モデル概要</p> </div>

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、水平地震力及び鉛直地震力を考慮する。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、FEM モデルに入力する最大応答せん断力、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。

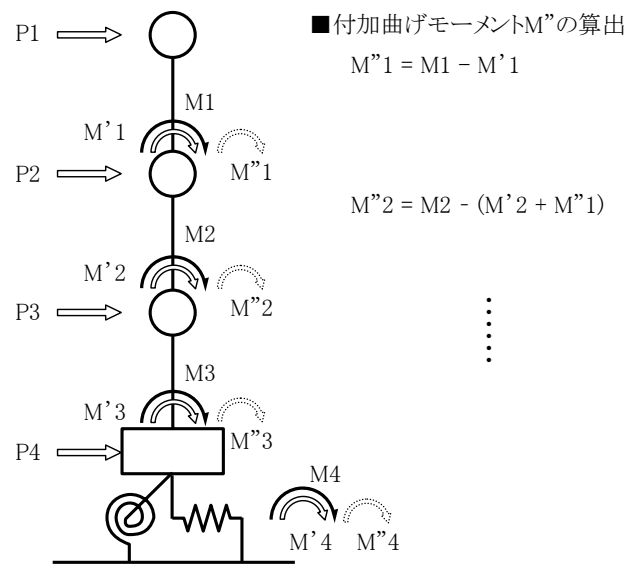
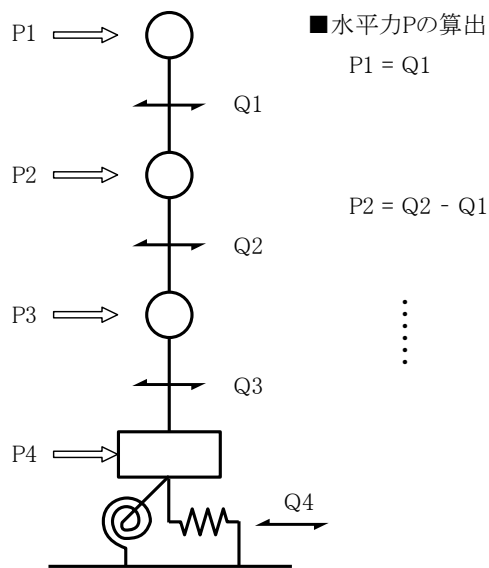
具体的には、FEM モデルに入力する水平地震力については、地震応答解析により求まる各層の最大応答せん断力に基づく水平力を、地震応答解析モデルの質点が支配する領域の床スラブに分配した面荷重として入力する。

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。

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及び鉛直地震力並びに地震時増分土圧荷重の概要を図 2-2～図 2-7 に示す。



- Q_i : 地震応答解析による最大応答せん断力
- M_i : 地震応答解析による最大応答曲げモーメント
- P_i : FEMに入力する水平力
- M'_i : FEMに入力した水平力により発生する曲げモーメント
- M''_i : 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_s : 水平の地盤ばね反力

Q_b : 基礎要素の応答せん断力

W_b : 基礎下端質点の質量

a_b : 基礎下端質点の水平応答加速度

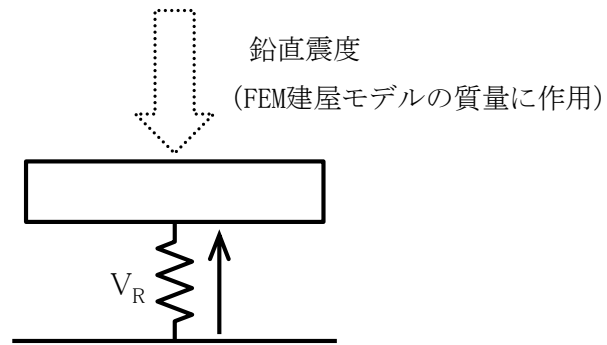
M_s : 回転の地盤ばね反力

M_b : 基礎要素下端の応答曲げモーメント

I_b : 基礎下端質点の回転慣性質量

θ_b : 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，

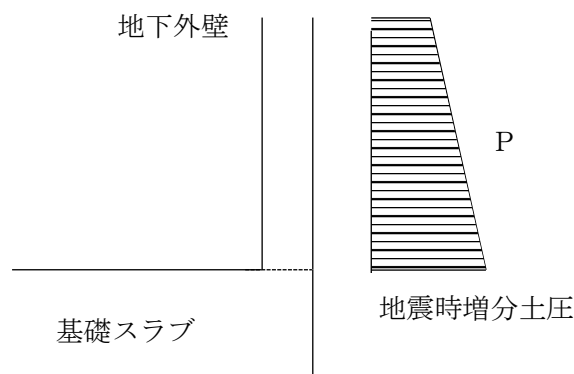
V_s : 鉛直の地盤ばね反力

V_b : 基礎要素の応答軸力

W_b : 基礎下端質点の質量

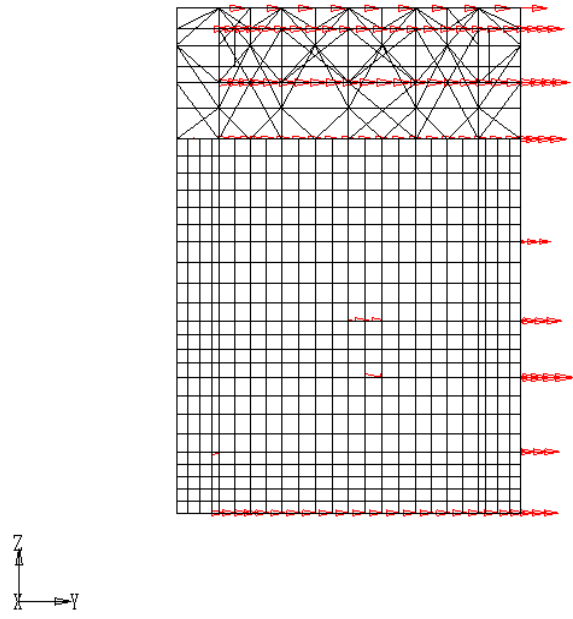
a_b : 基礎下端質点の鉛直応答加速度

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)

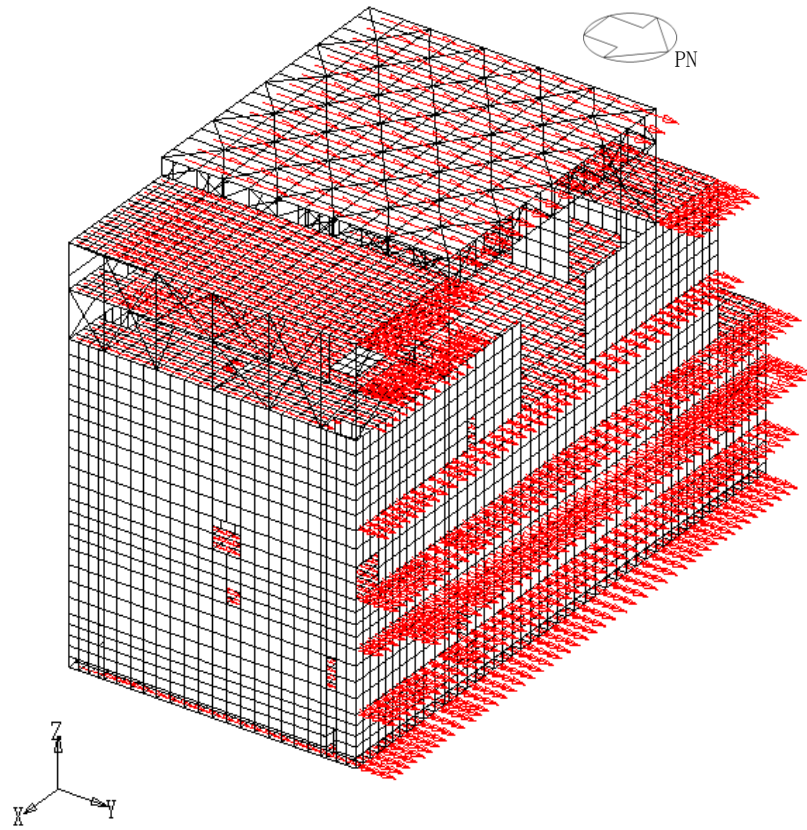


P : 地震時増分土圧

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)

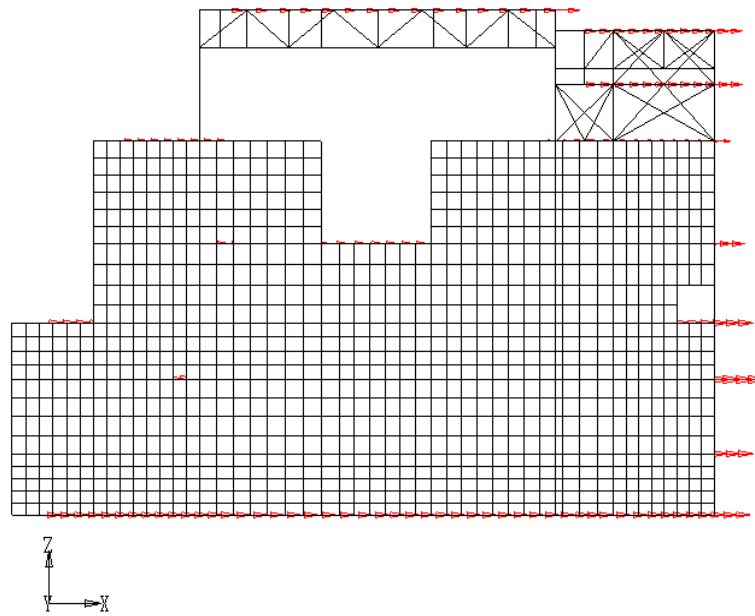


(a) 断面荷重図

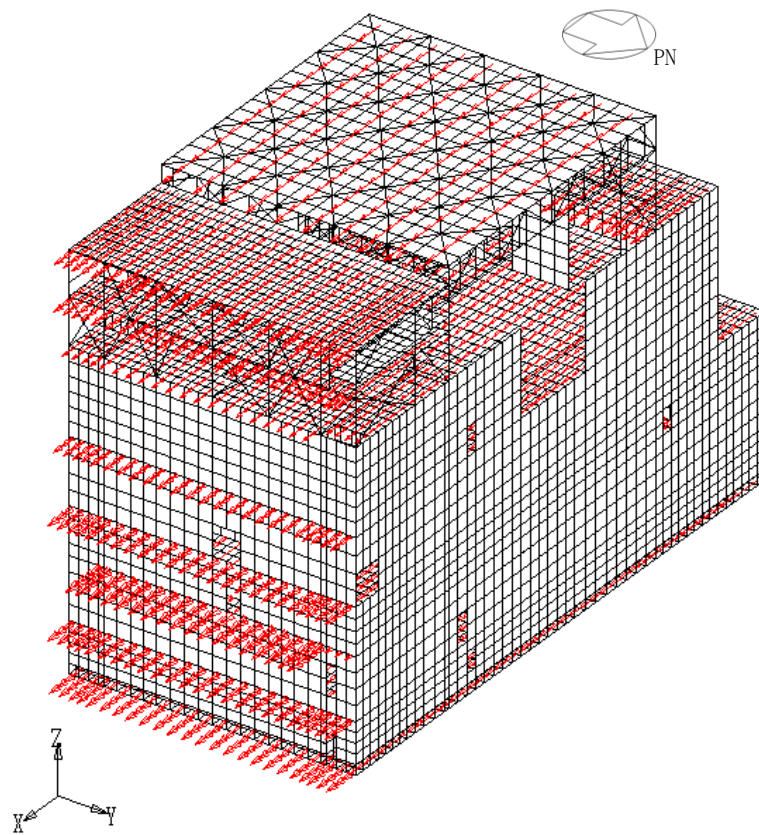


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-2 FEM モデルに入力する水平地震力 (NS 方向)

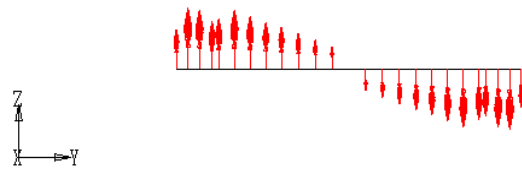


(a) 断面荷重図

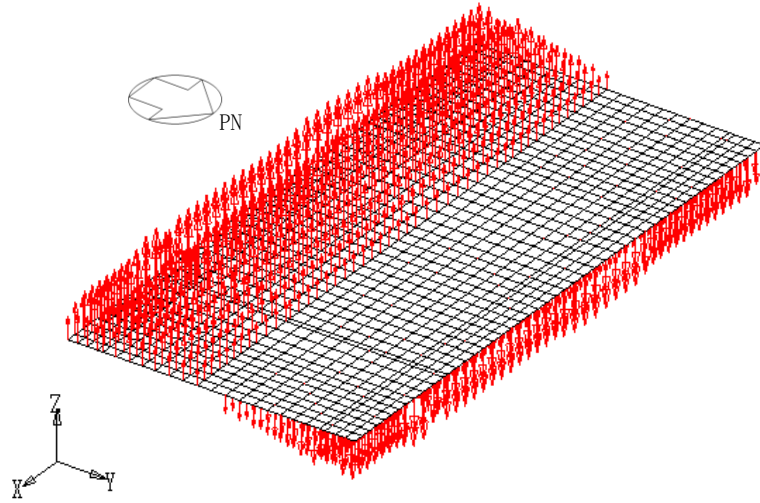


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-3 FEM モデルに入力する水平地震力 (EW 方向)

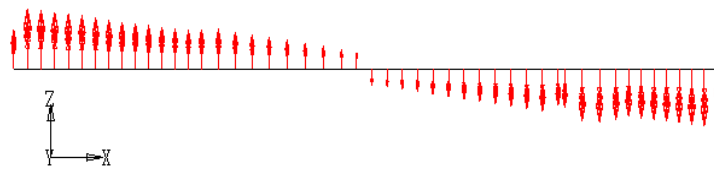


(a) 断面荷重図

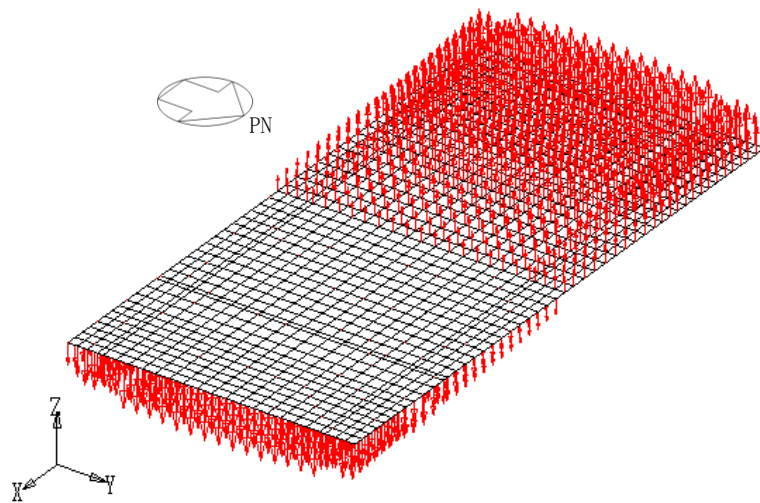


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-4 FEM モデルに入力する付加曲げモーメント (NS 方向)

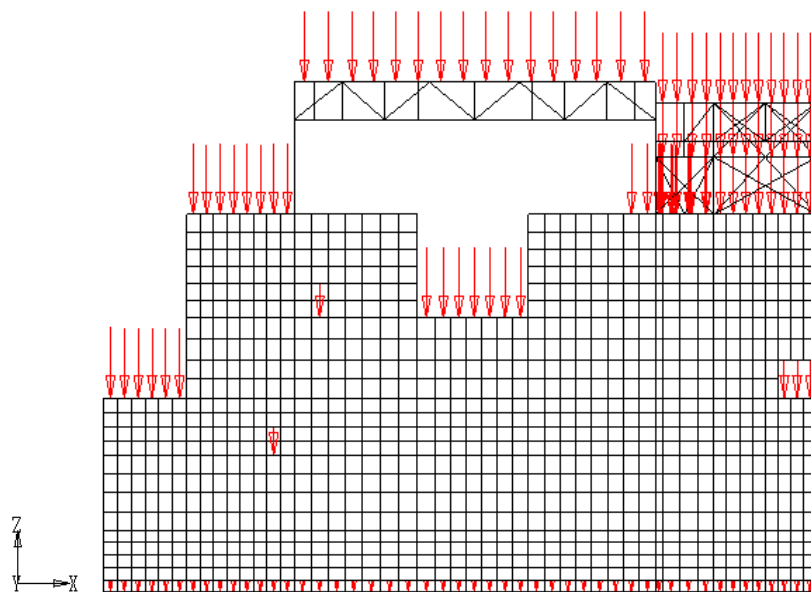


(a) 断面荷重図

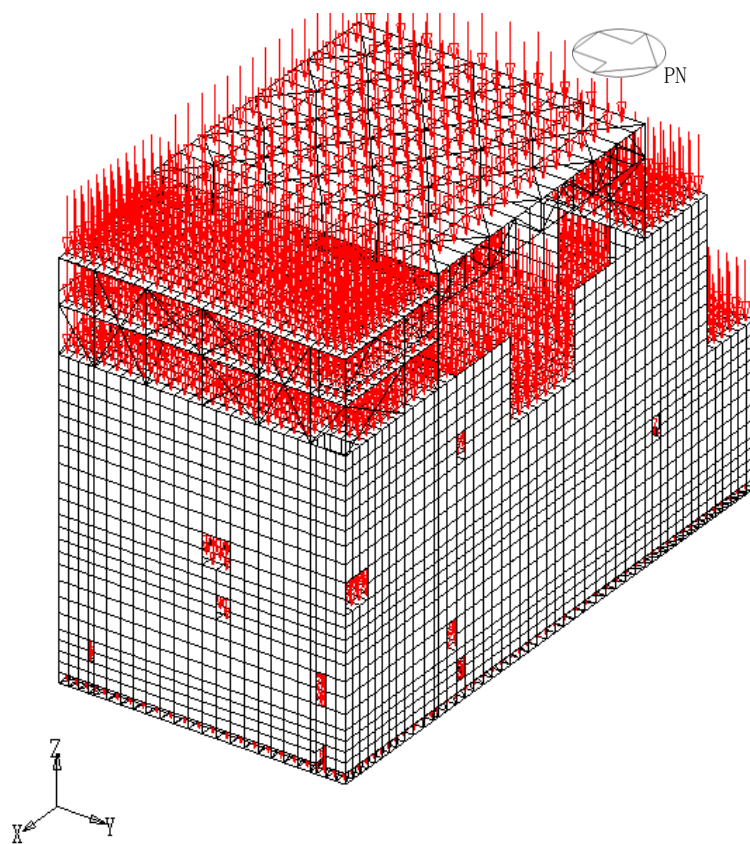


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-5 FEM モデルに入力する付加曲げモーメント (EW 方向)

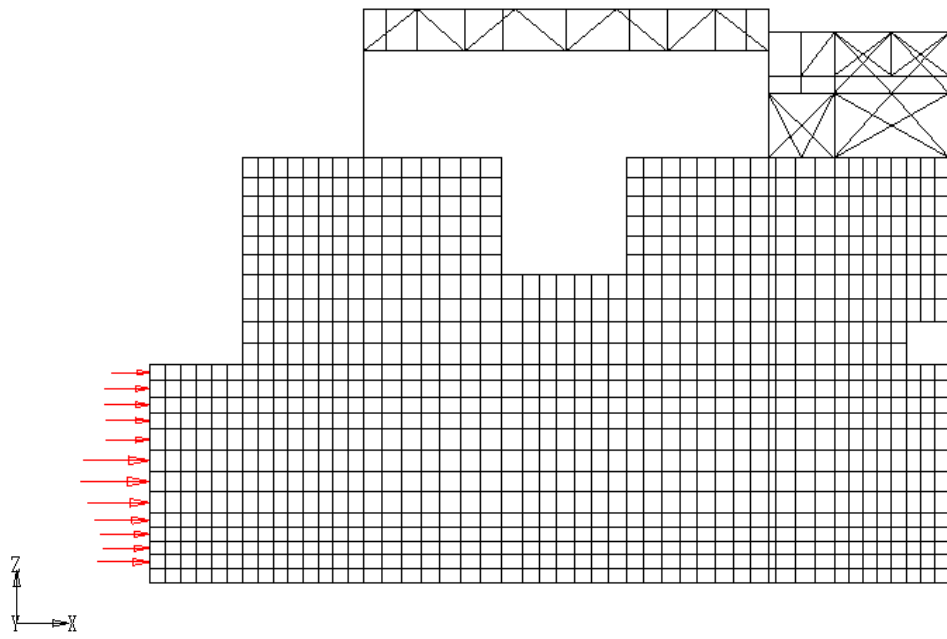


(a) 断面荷重図

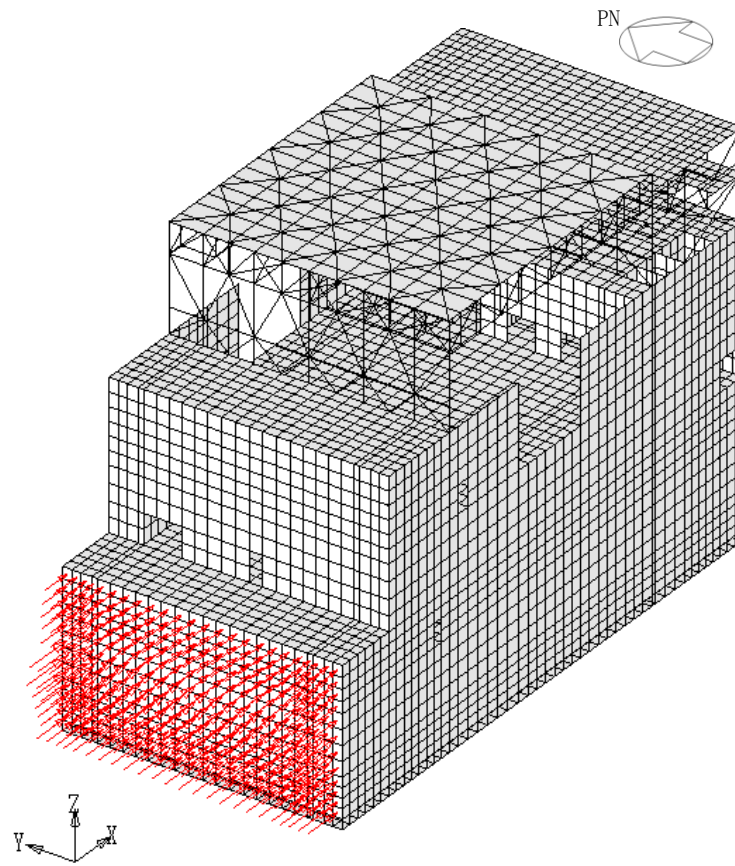


(b) 鳥瞰荷重図

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 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. 応力平均化を実施する要素 別紙 5-2
3. 応力平均化の方法 別紙 5-5
4. 応力の平均結果 別紙 5-34
5. 断面の評価 別紙 5-40

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 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. 応力平均化を実施する要素

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。

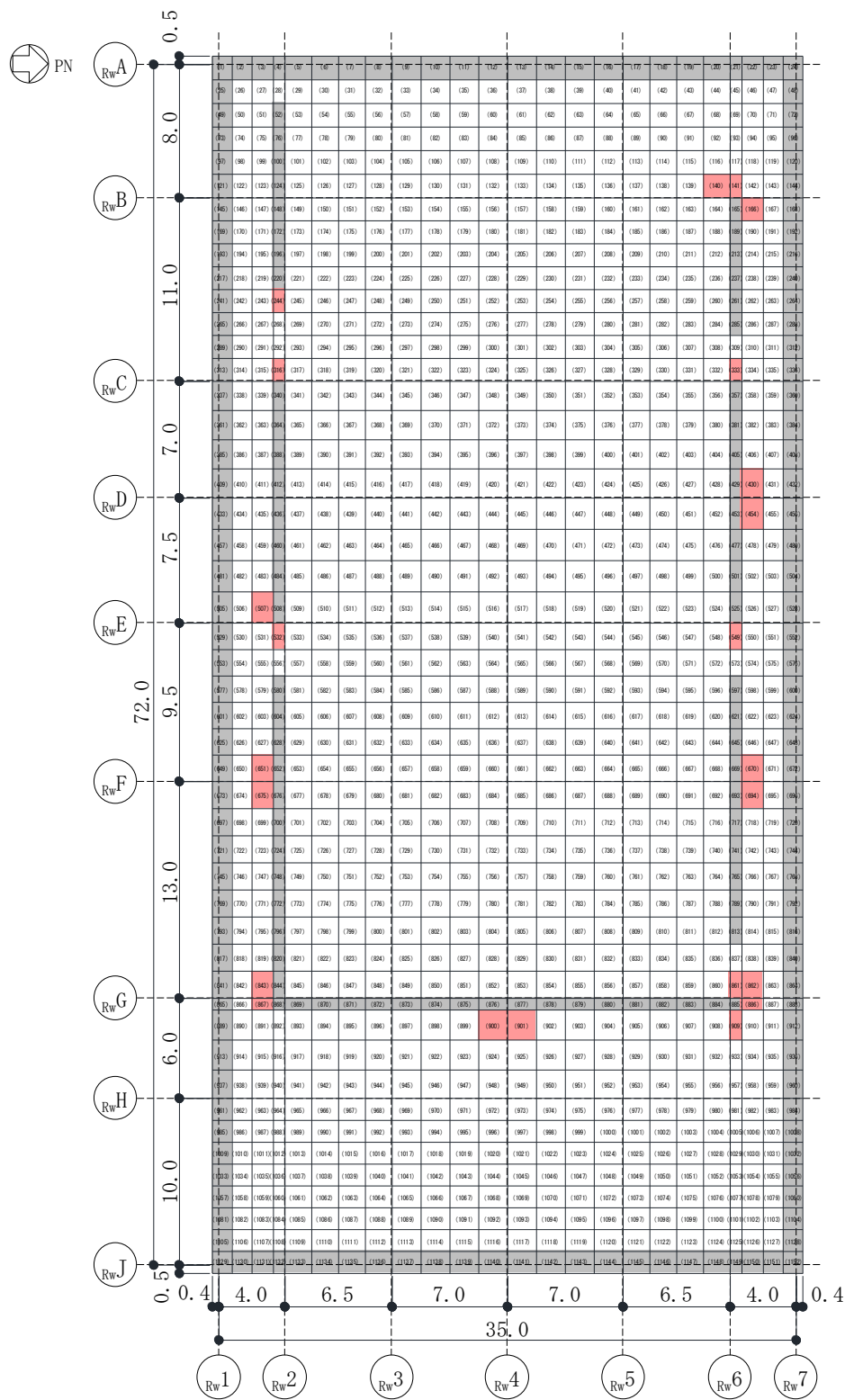
応力平均化を実施する要素を表 2-1 に、要素位置図を図 2-1 に示す。

表 2-1 応力平均化を実施する要素(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 応力平均化を実施する要素(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。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 3-3 に示す。

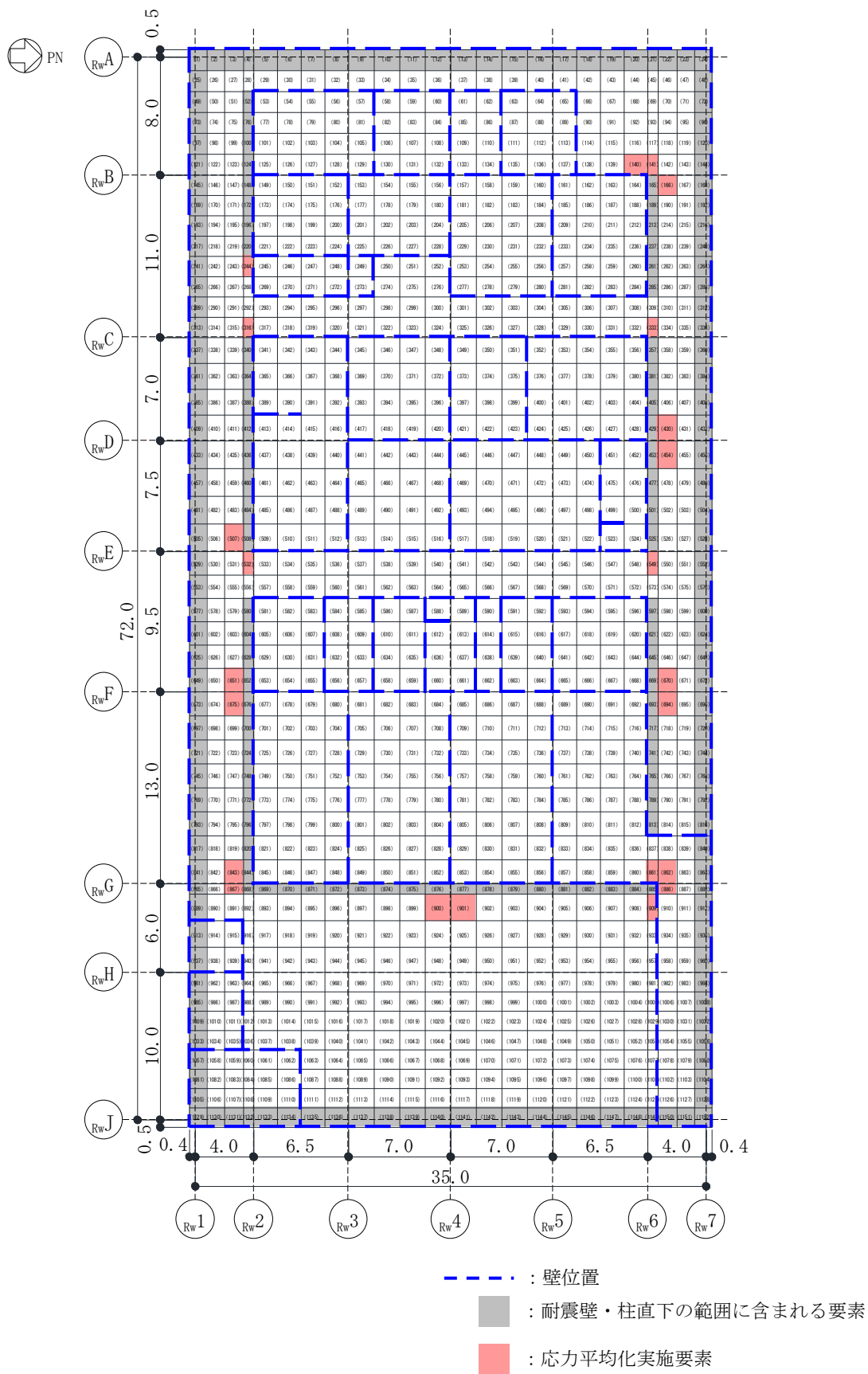
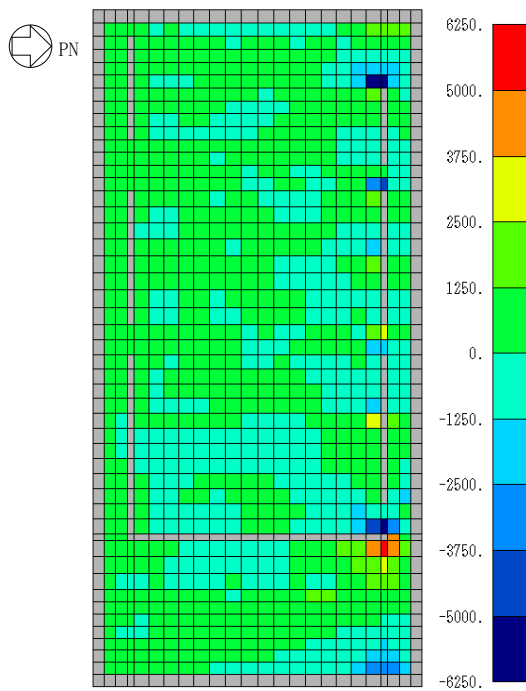
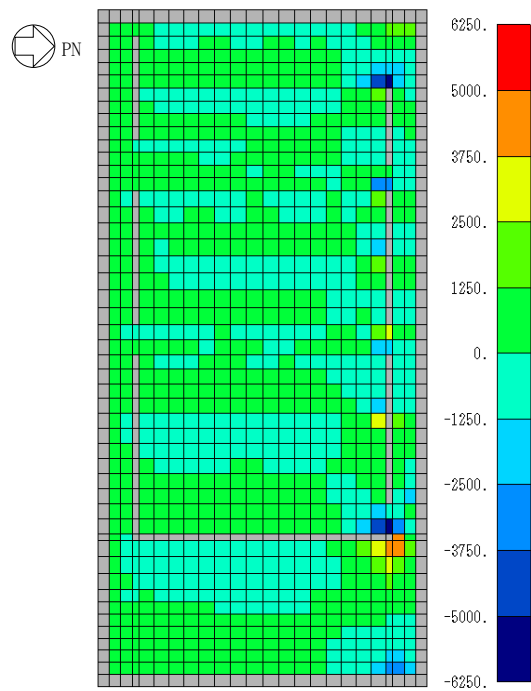


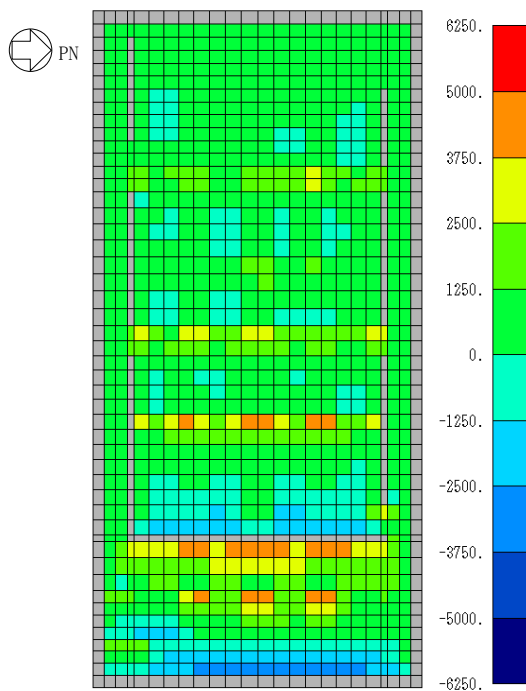
図3-1 廃棄物処理建屋基礎スラブに接続する壁の配置



(1) 組合せケース 1 (EW 方向)

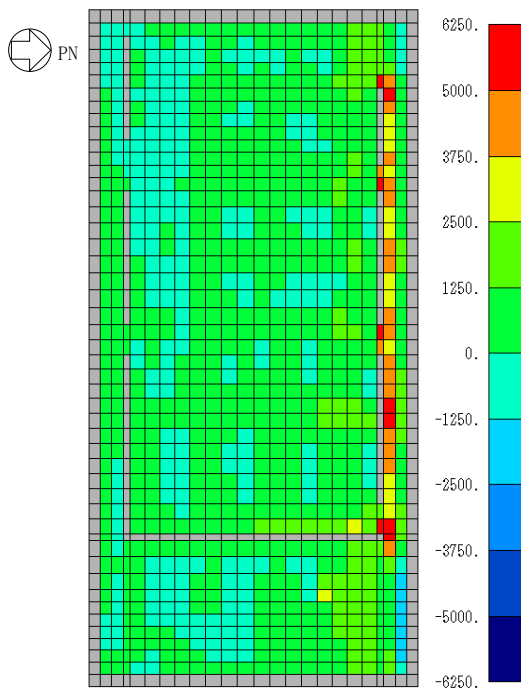


(2) 組合せケース 2 (EW 方向)

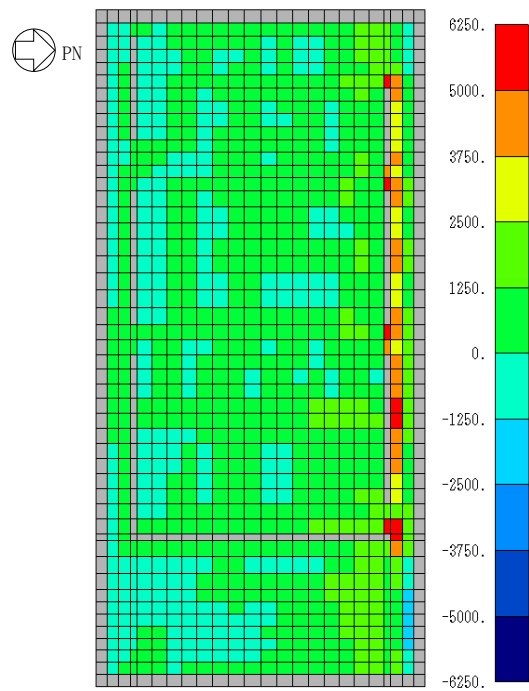


(3) 組合せケース 5 (EW 方向)

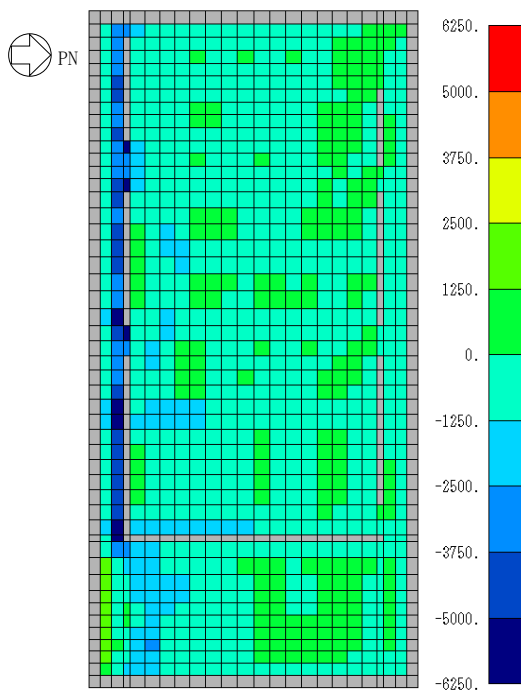
図 3-2 廃棄物処理建屋基礎スラブの応力コンター図 (面外せん断力 (単位: kN/m)) (1/2)



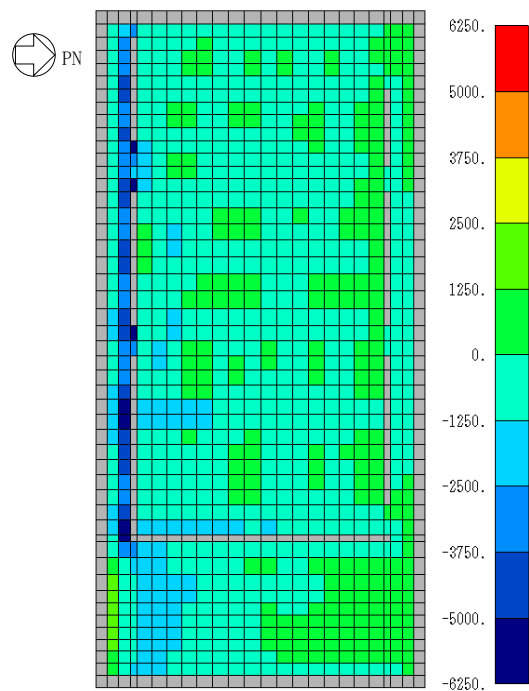
(4) 組合せケース 1 (NS 方向)



(5) 組合せケース 2 (NS 方向)

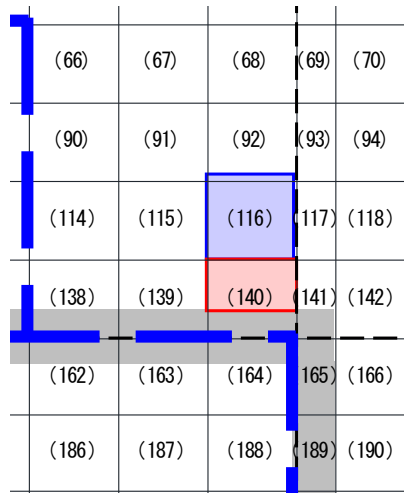
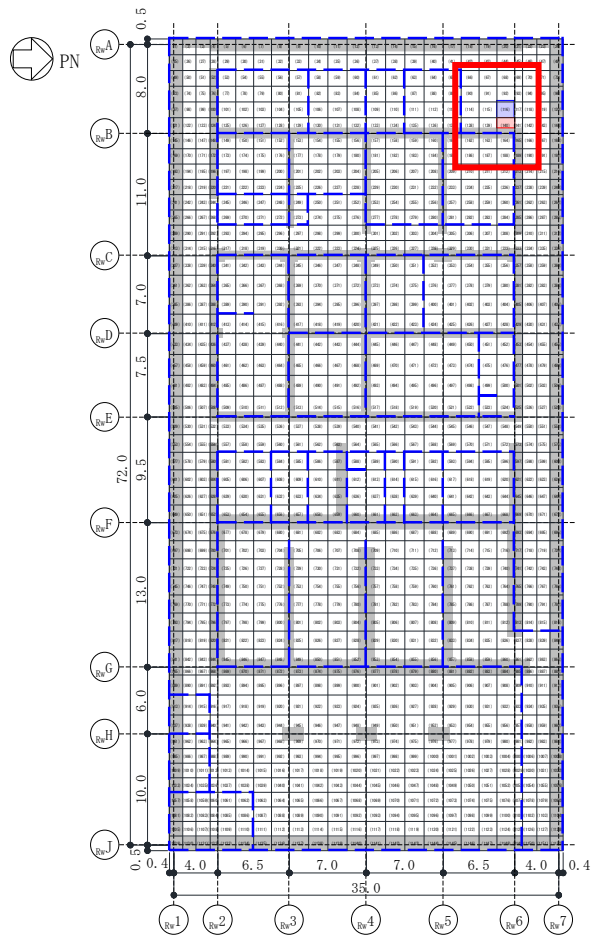


(6) 組合せケース 3 (NS 方向)



(7) 組合せケース 4 (NS 方向)

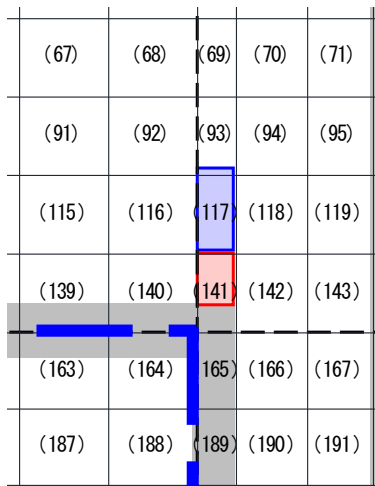
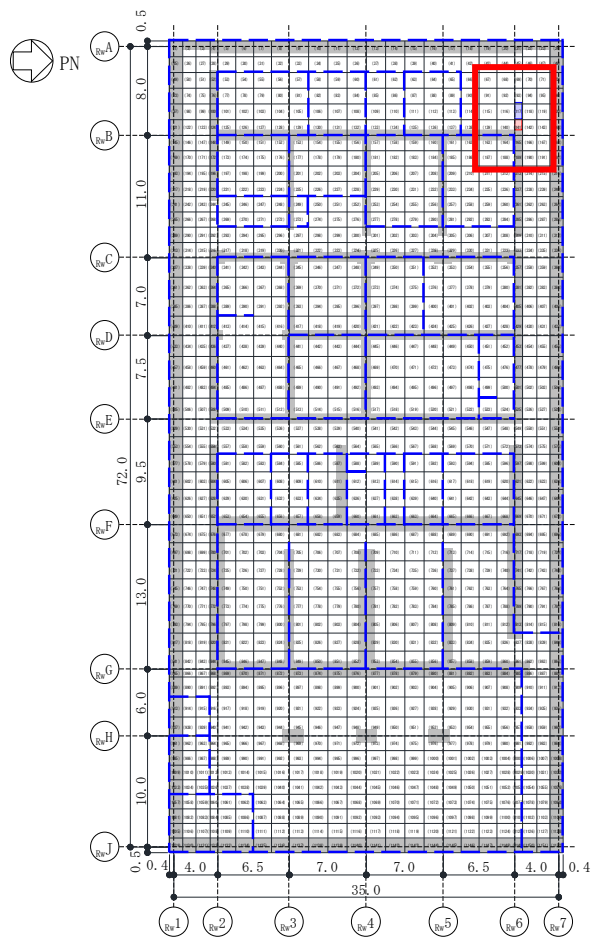
図 3-2 廃棄物処理建屋基礎スラブの応力コンター図 (面外せん断力 (単位: kN/m)) (2/2)



- - - : 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (1/25)



--- : 壁位置

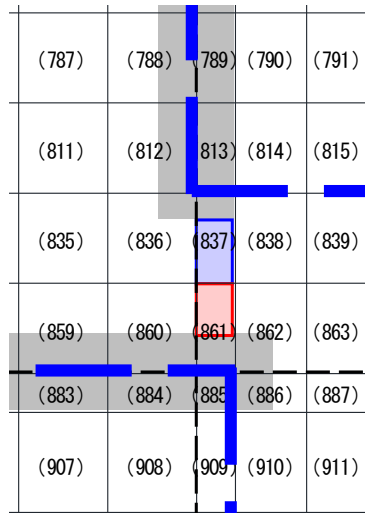
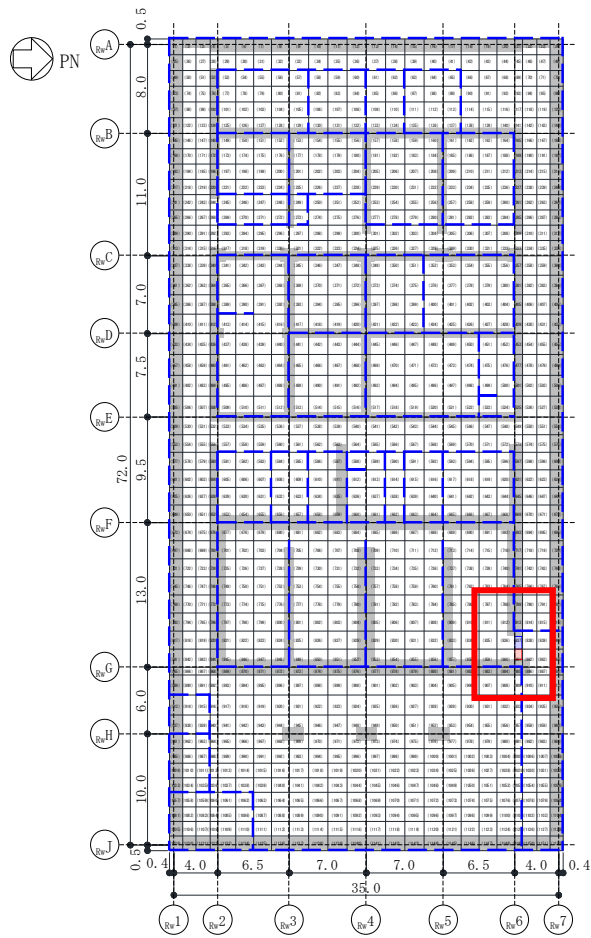
: 応力平均化実施要素

: 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (2/25)



--- : 壁位置

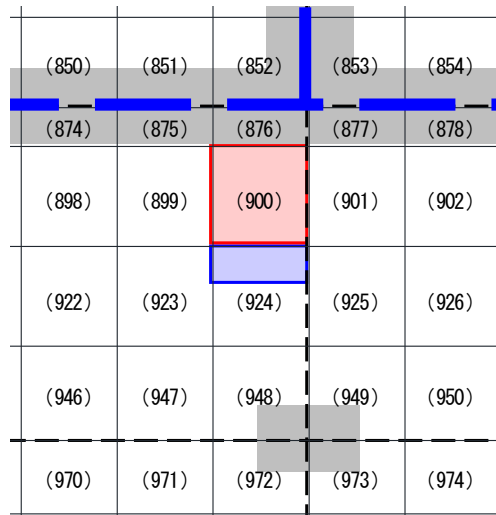
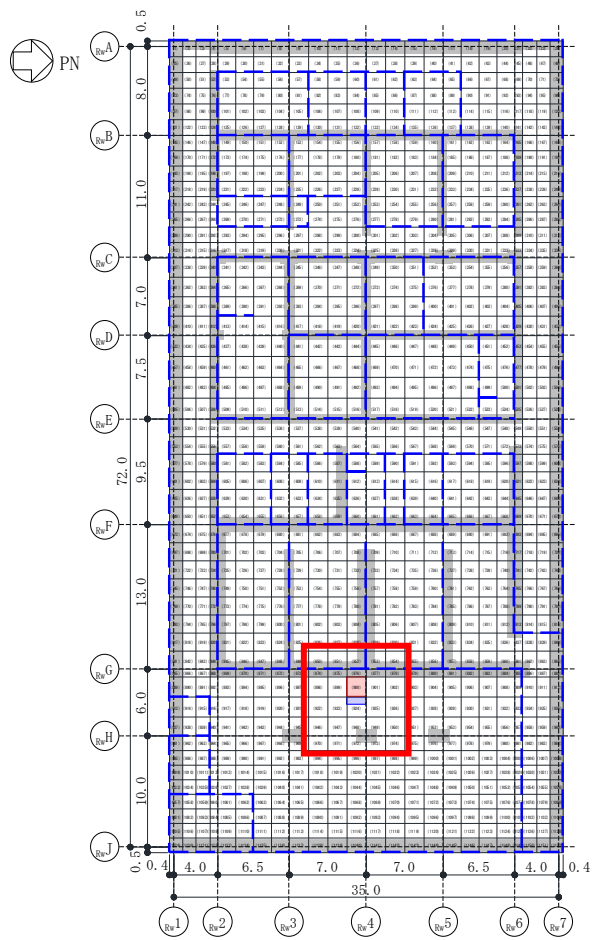
: 応力平均化実施要素

: 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

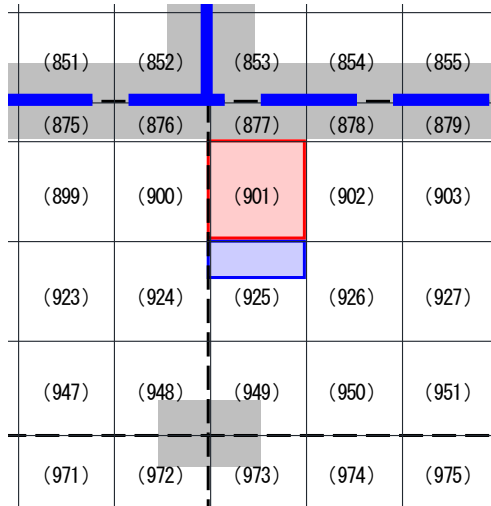
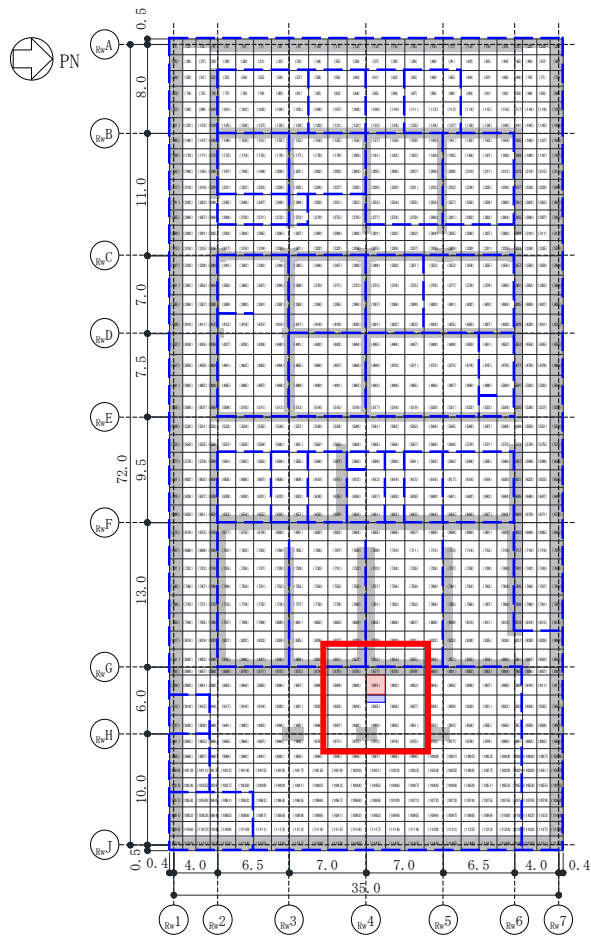
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (3/25)



- - - : 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)

EW 方向 要素番号 900

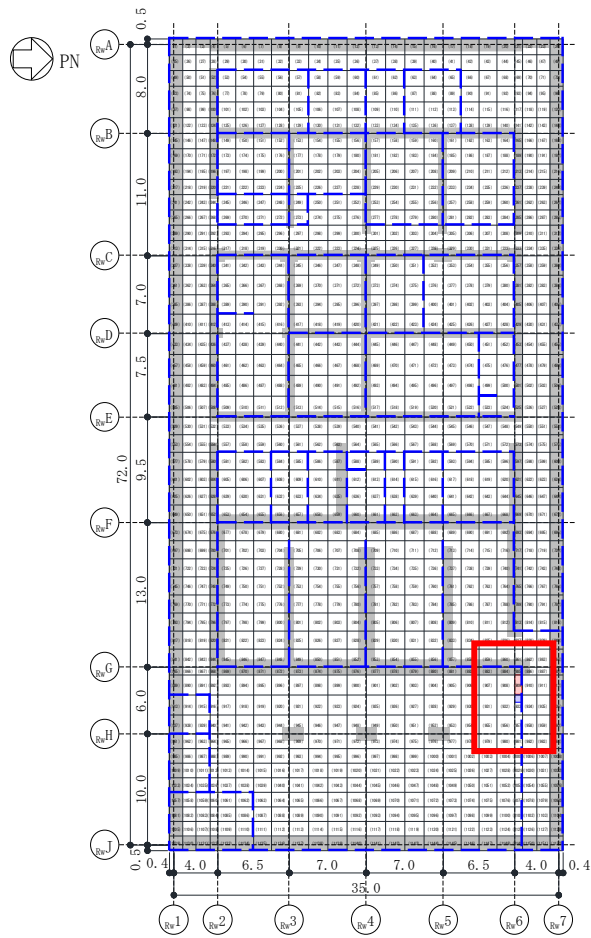
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (4/25)



- - - : 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (5/25)

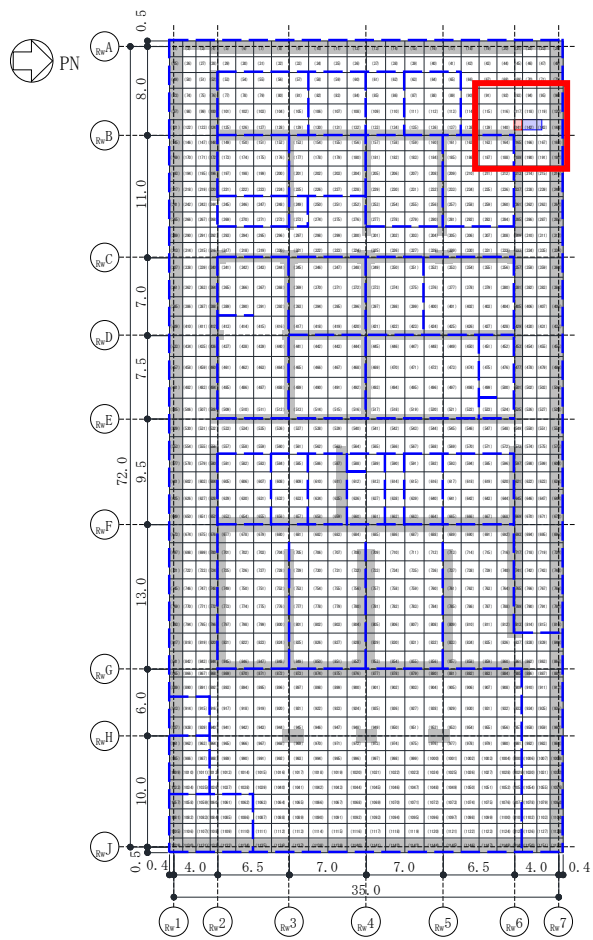


(859)	(860)	(861)	(862)	(863)
(883)	(884)	(885)	(886)	(887)
(907)	(908)	(909)	(910)	(911)
(931)	(932)	(933)	(934)	(935)
(955)	(956)	(957)	(958)	(959)
(979)	(980)	(981)	(982)	(983)

- - - : 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)

EW 方向 要素番号 909

図 3-3 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

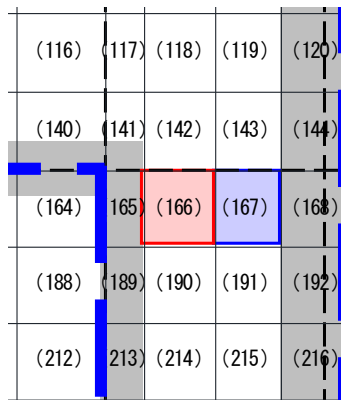
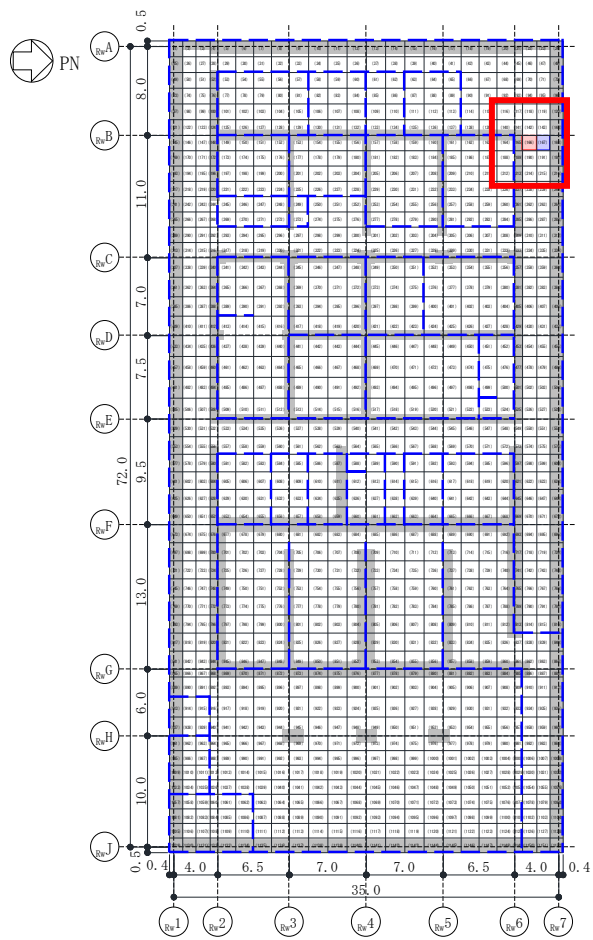
: 応力平均化実施要素

: 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

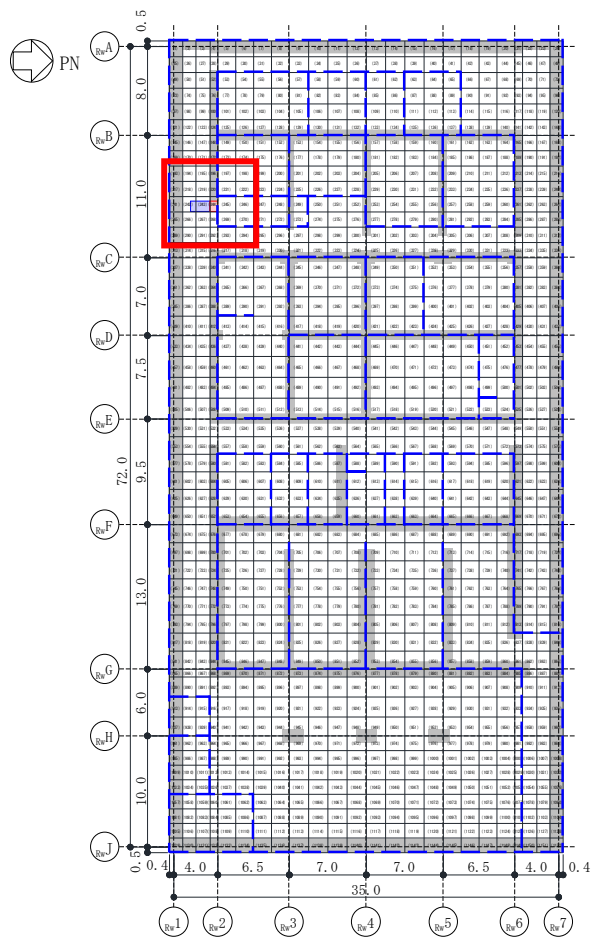
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (7/25)



- - - : 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 166

図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (8/25)



- - - : 壁位置

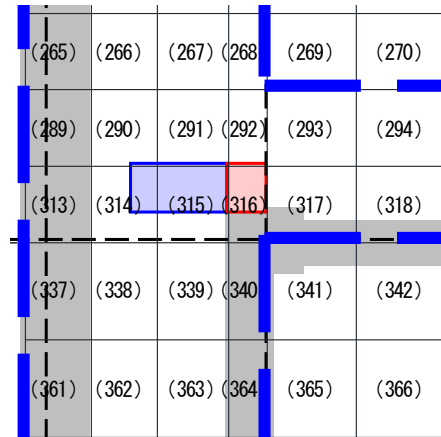
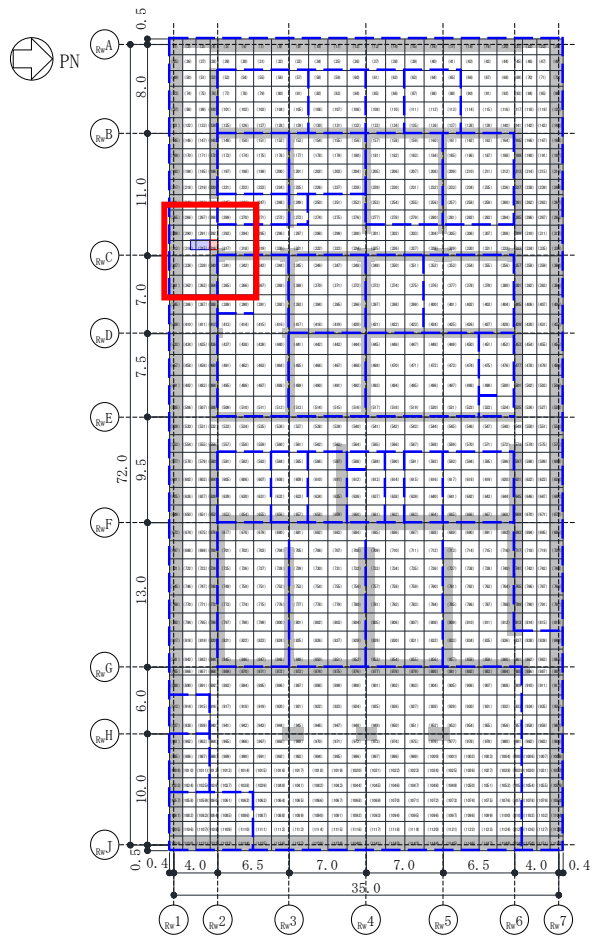
□ : 応力平均化実施要素

□ : 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (9/25)



- - - : 壁位置

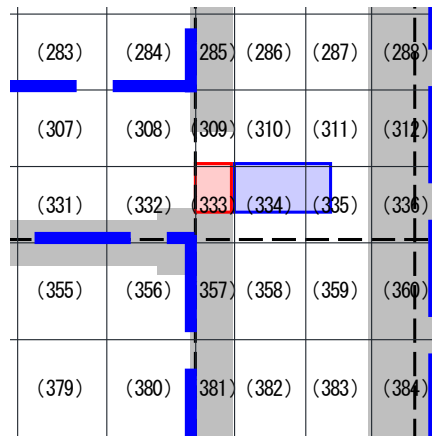
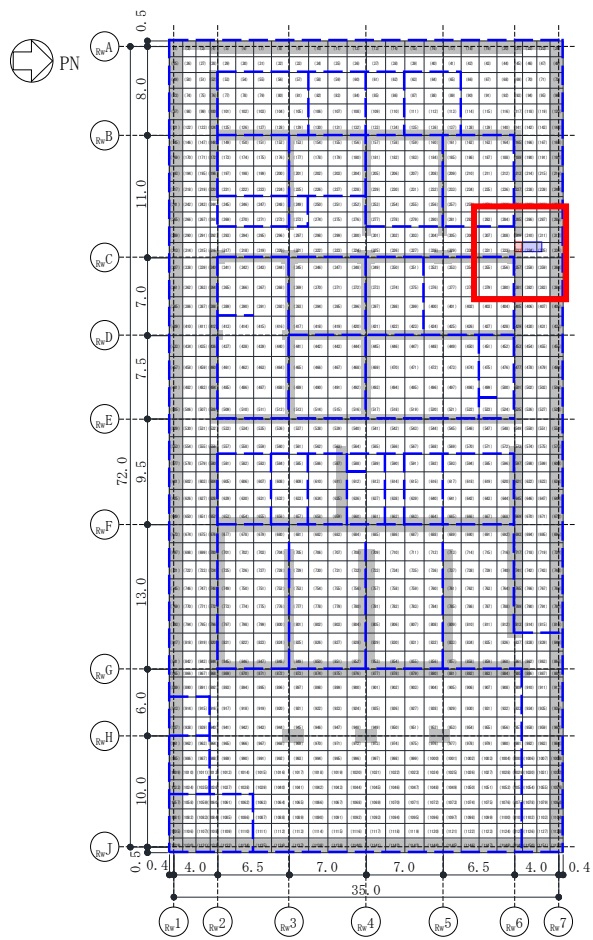
: 応力平均化実施要素

: 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

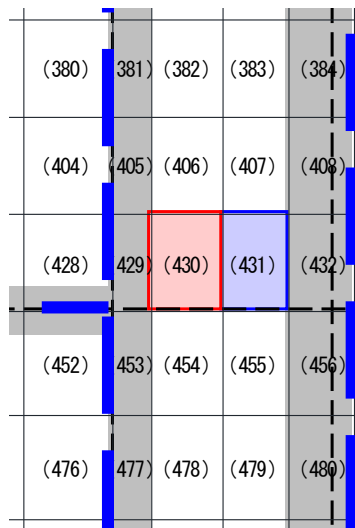
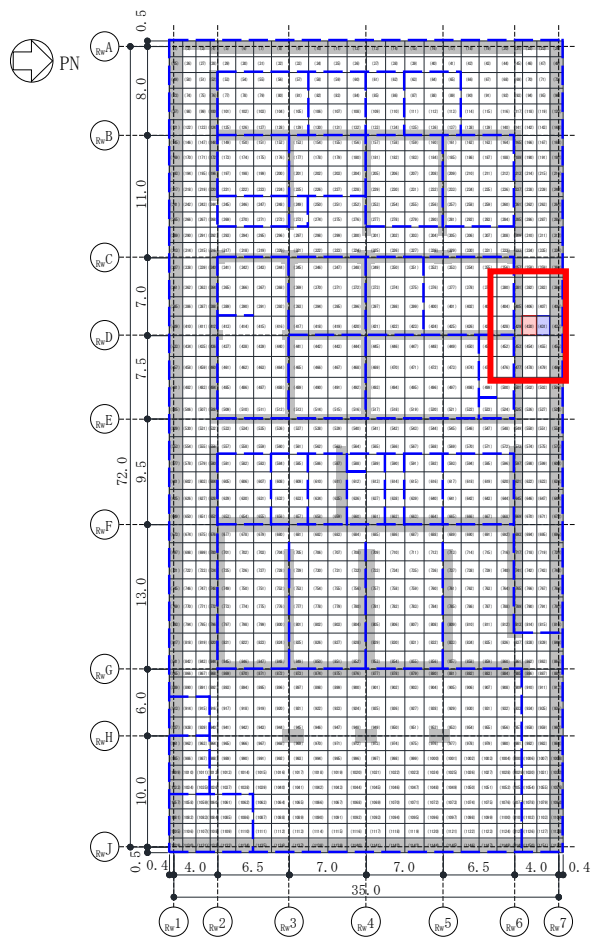
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (10/25)



- - - : 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

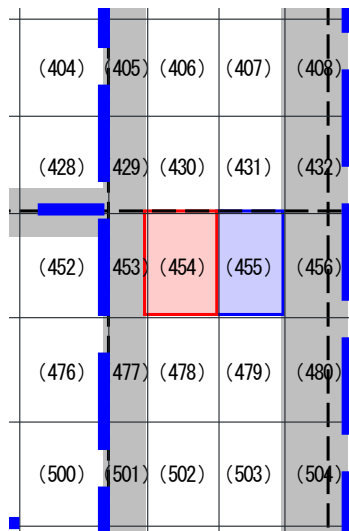
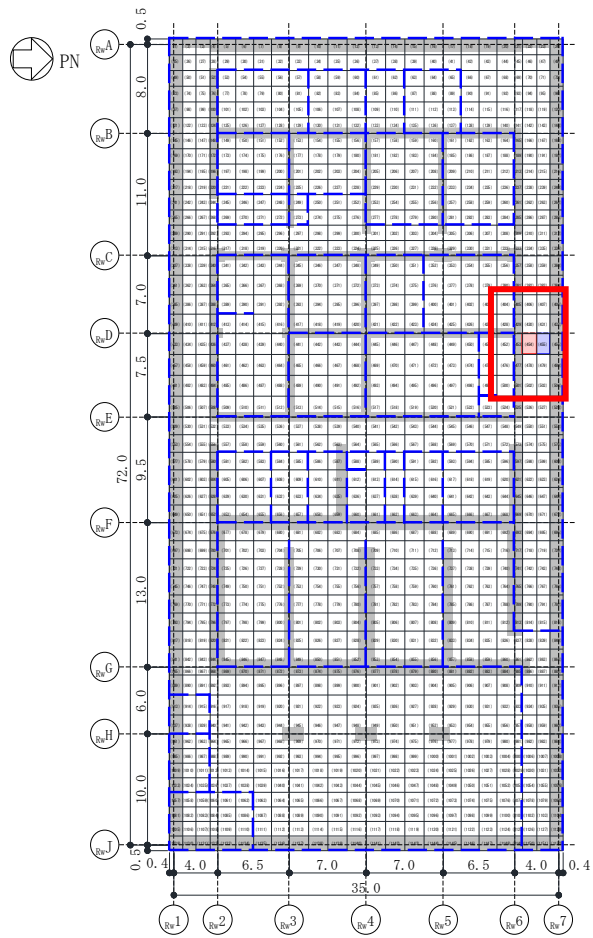
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (11/25)



- - - : 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

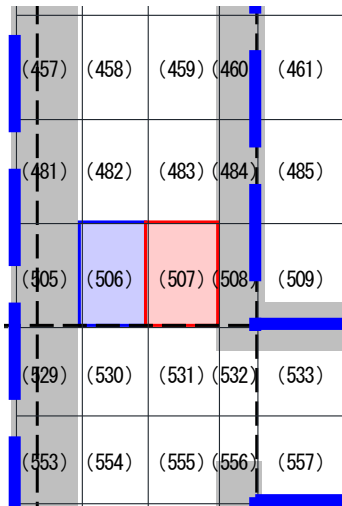
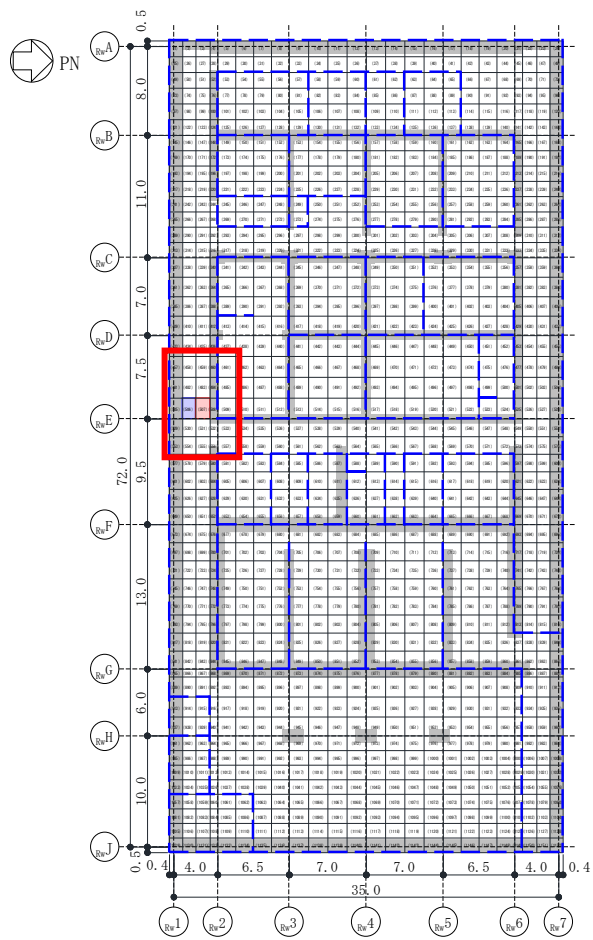
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (12/25)



- - - : 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 454

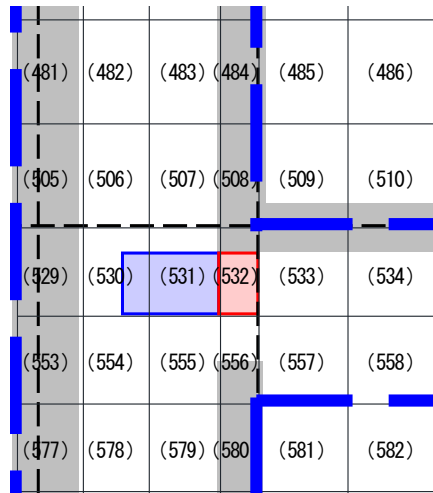
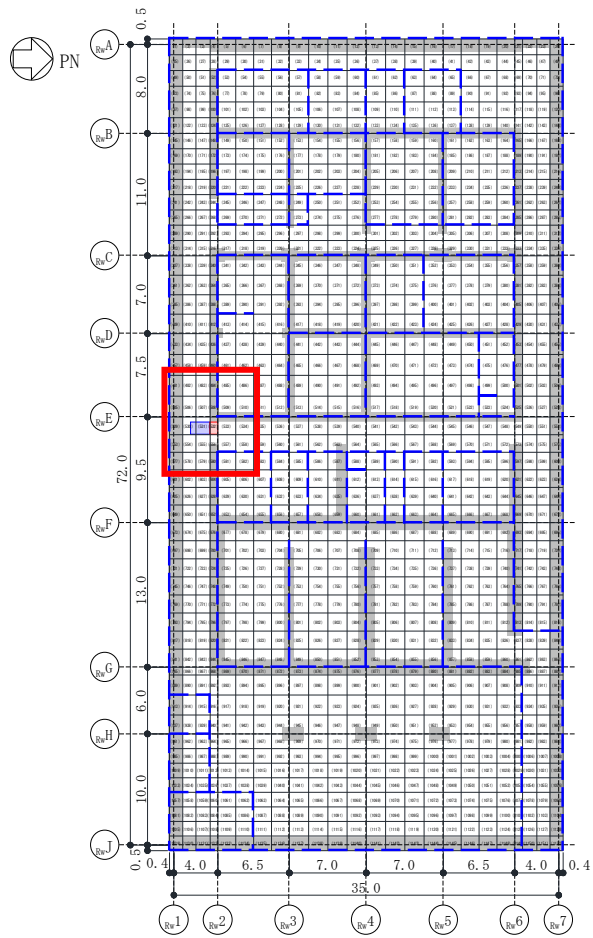
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (13/25)



- - - : 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 507

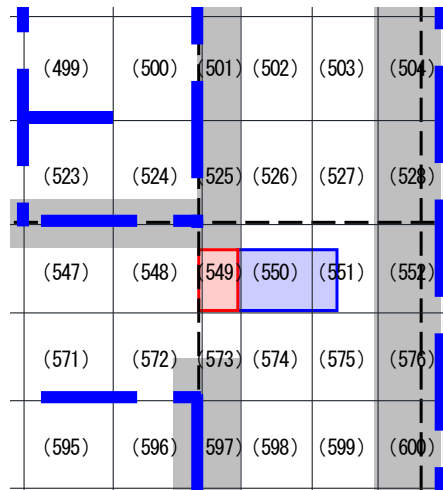
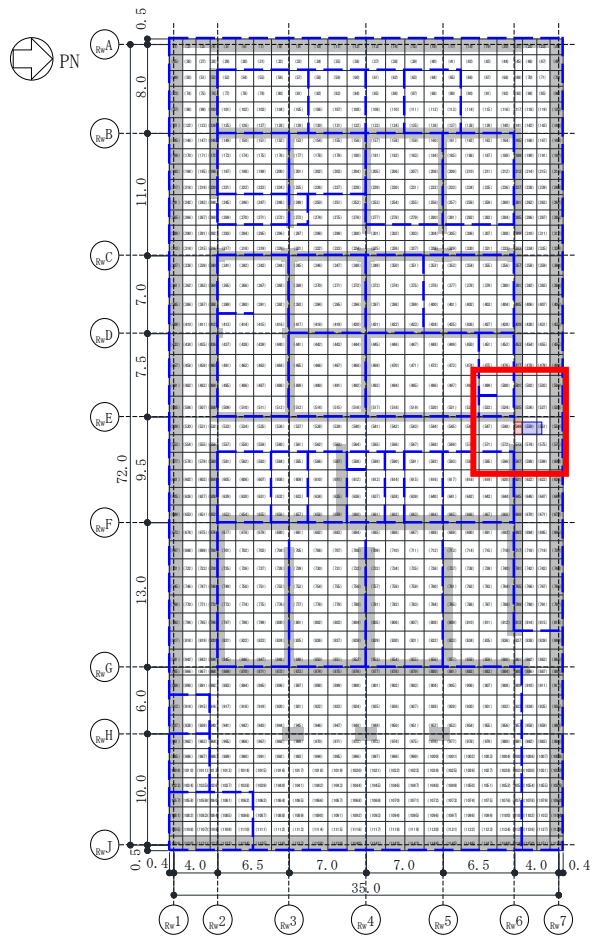
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (14/25)



- - - : 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (15/25)



- - - : 壁位置

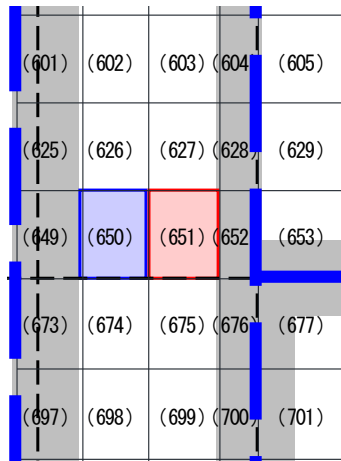
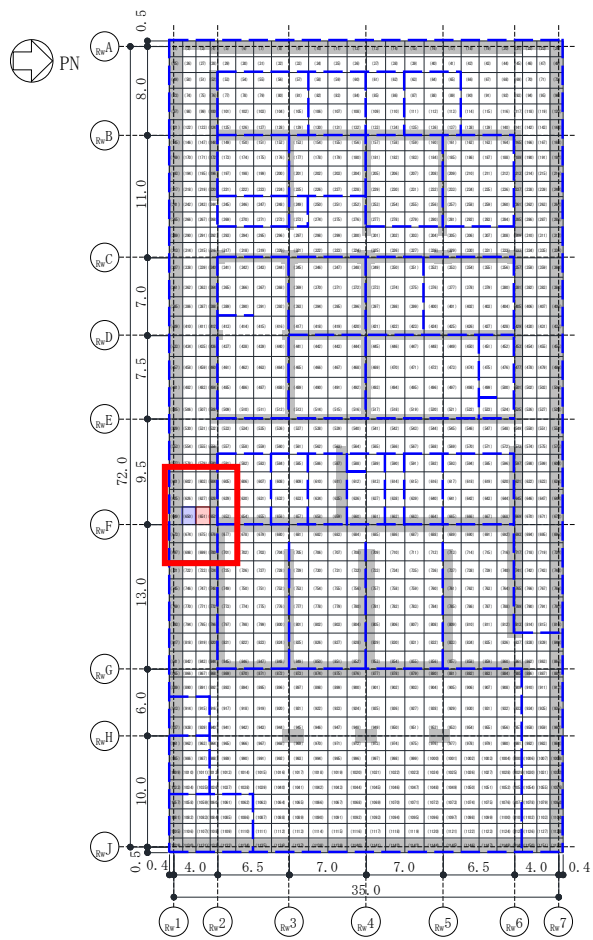
■ : 応力平均化実施要素

■ : 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

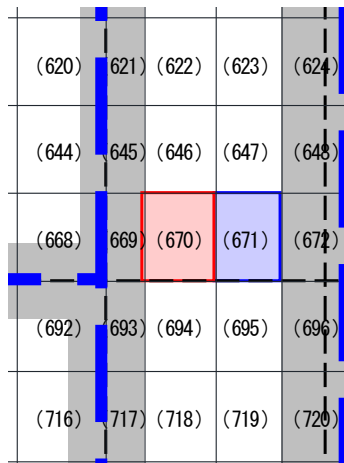
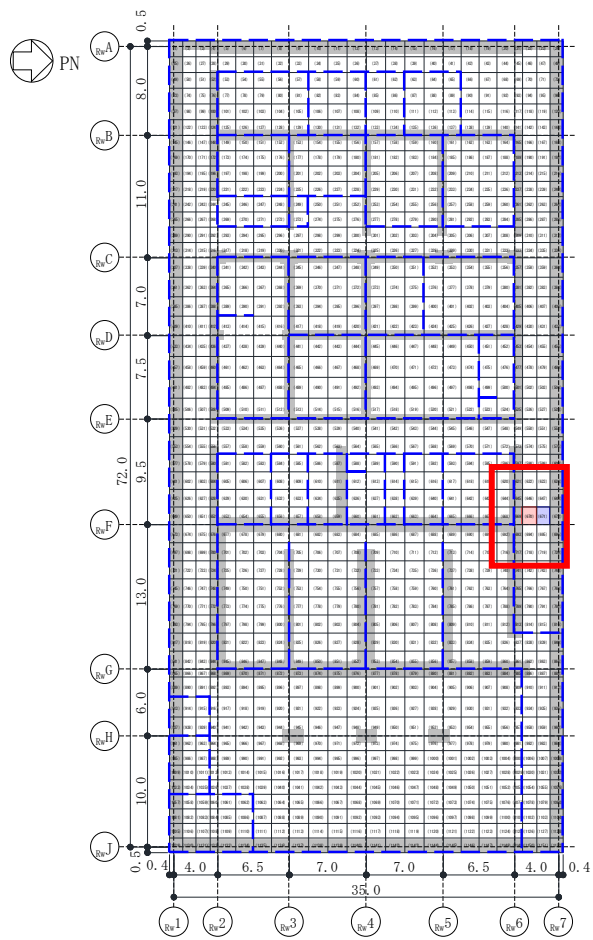
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (16/25)



- - - : 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

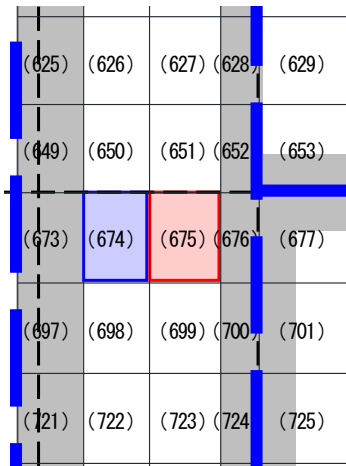
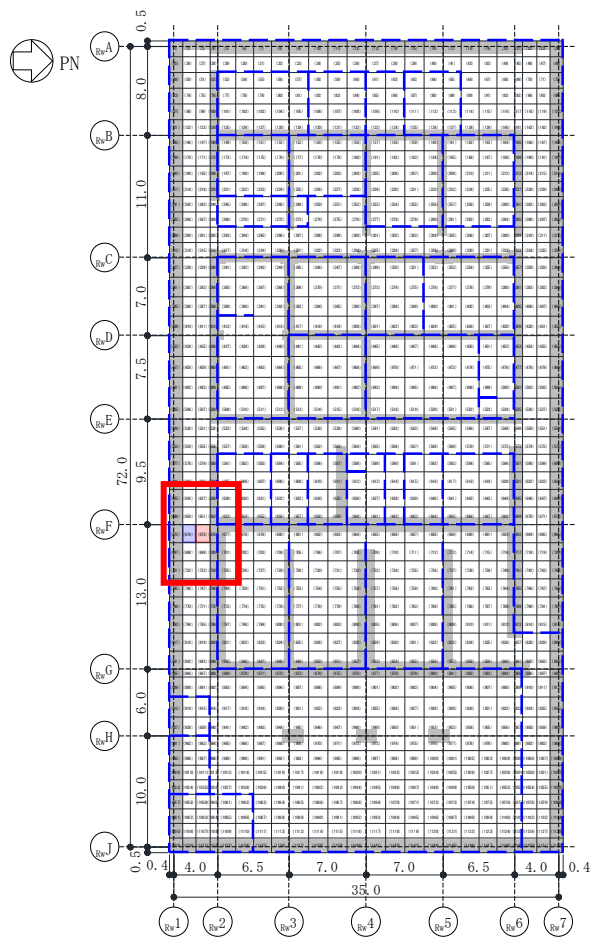
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (17/25)



- - - : 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

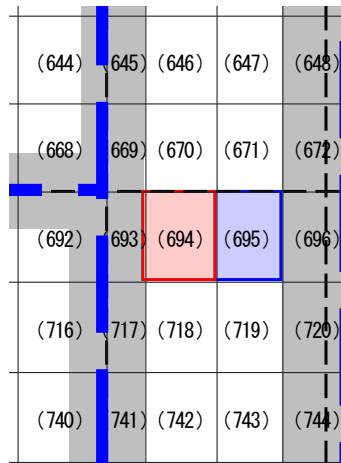
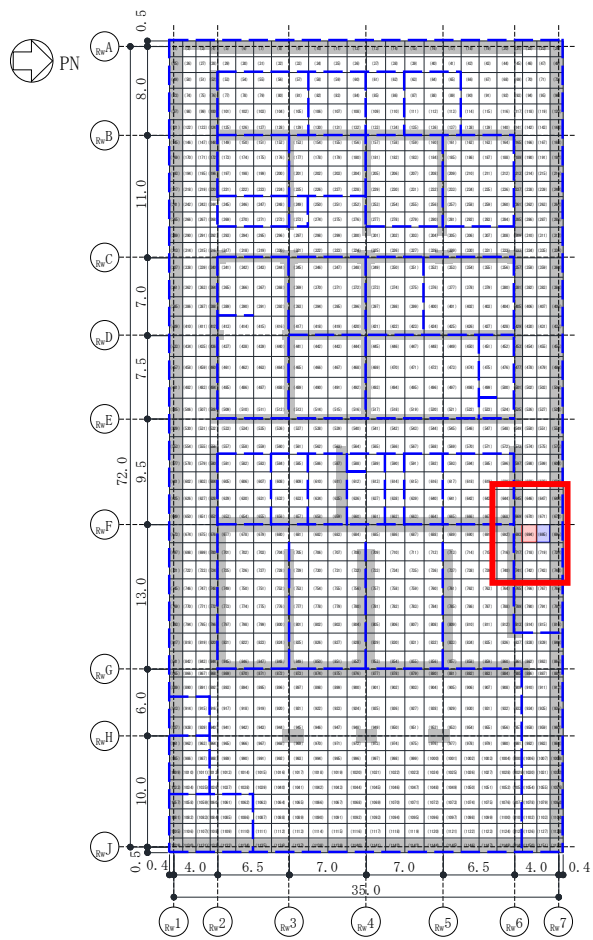
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (18/25)



- - - : 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

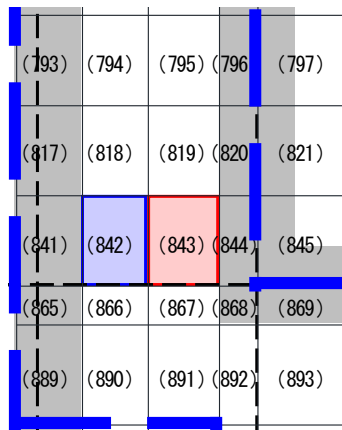
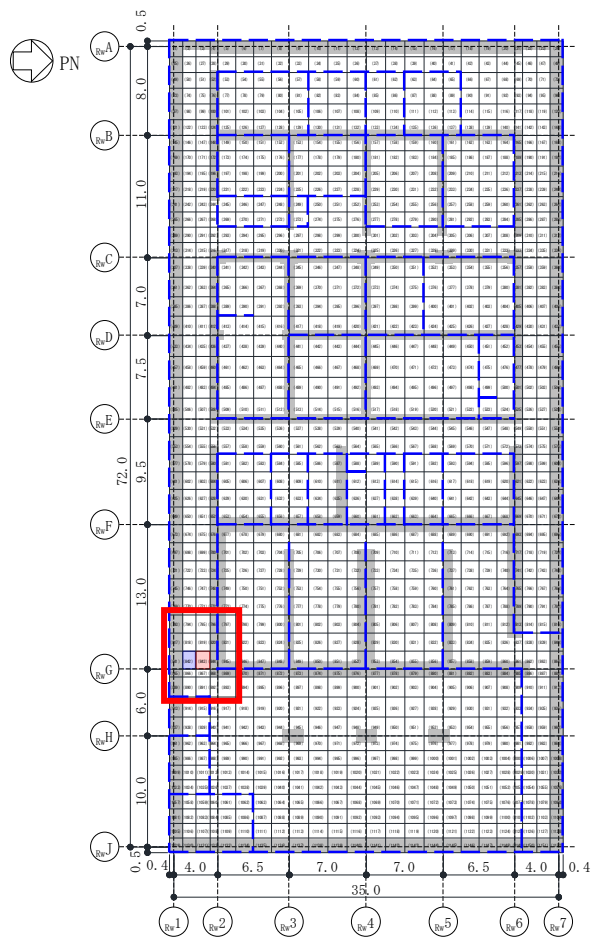
図 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (19/25)



- - - : 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (20/25)



--- : 壁位置

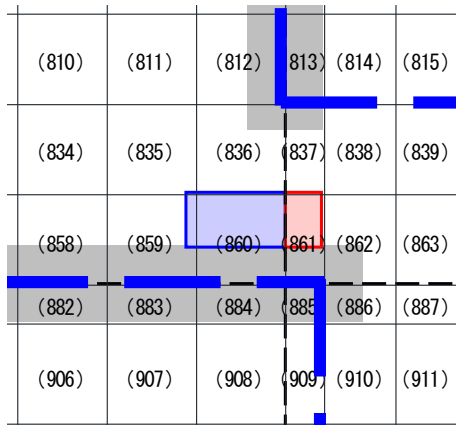
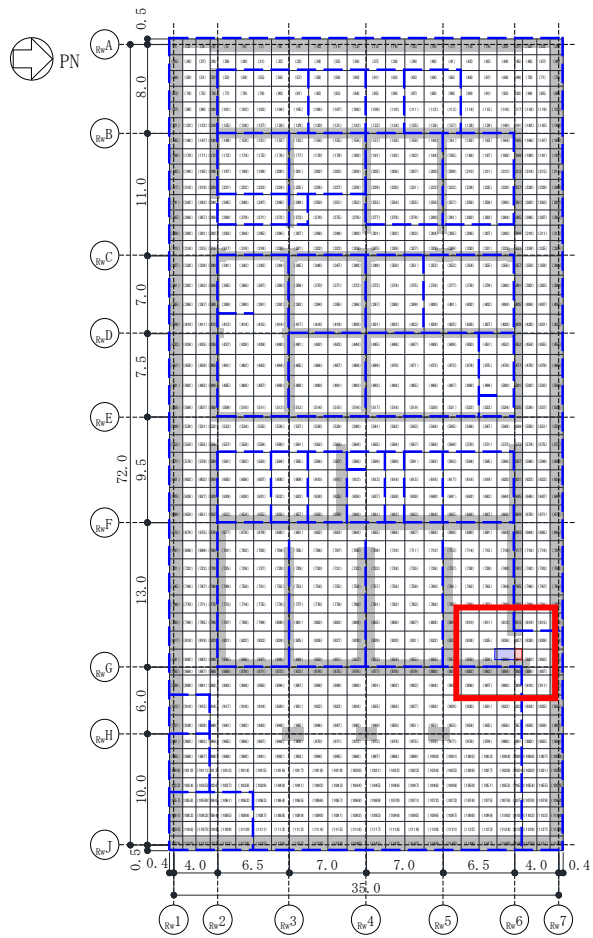
: 応力平均化実施要素

: 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (21/25)



--- : 壁位置

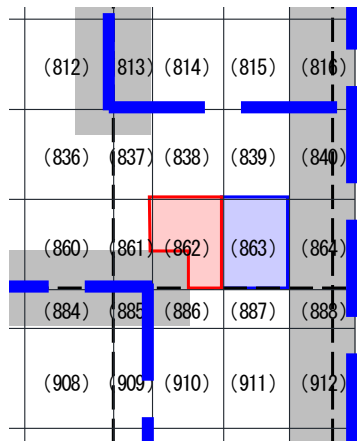
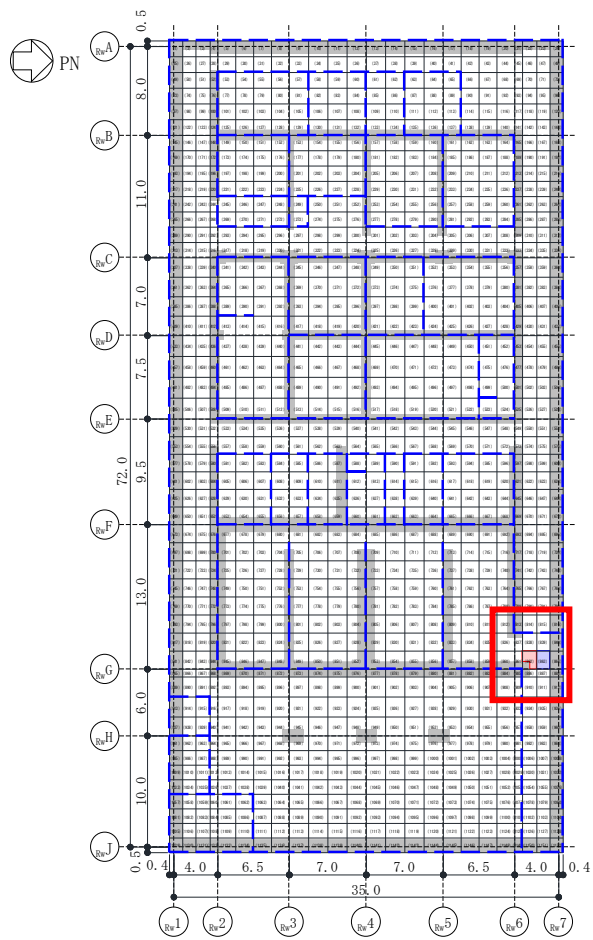
□ : 応力平均化実施要素

□ : 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (22/25)



--- : 壁位置

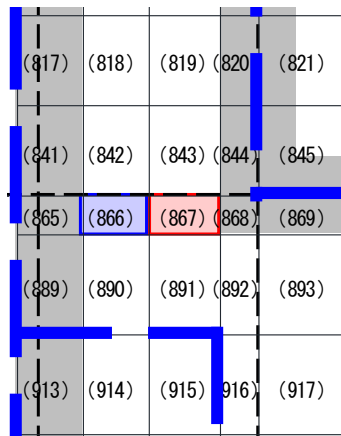
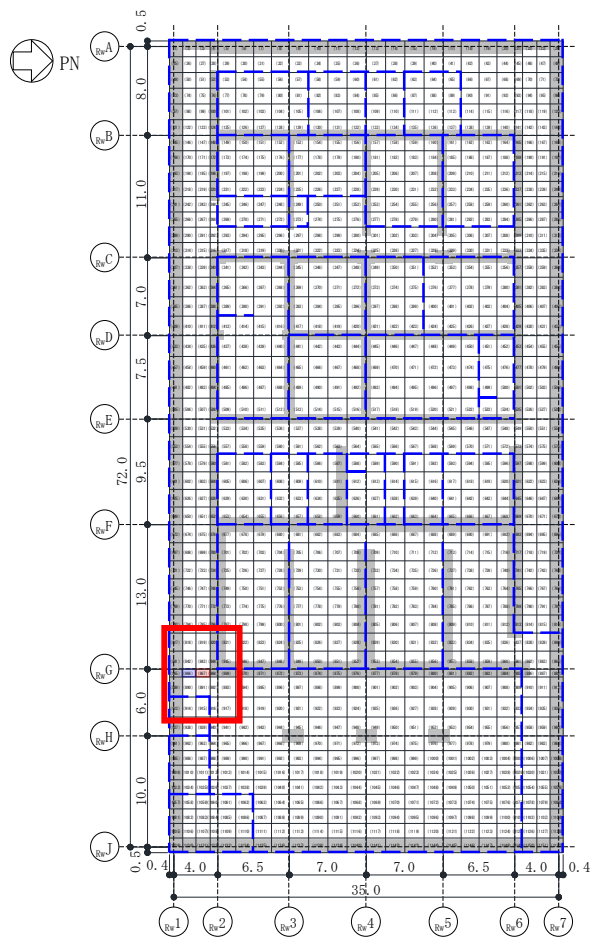
□ : 応力平均化実施要素

□ : 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (23/25)



--- : 壁位置

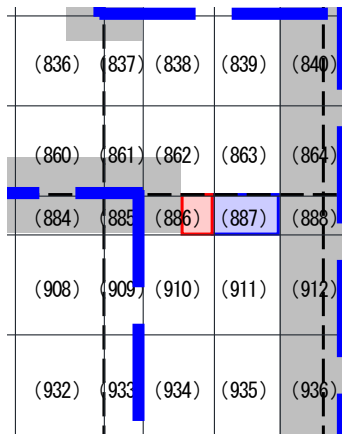
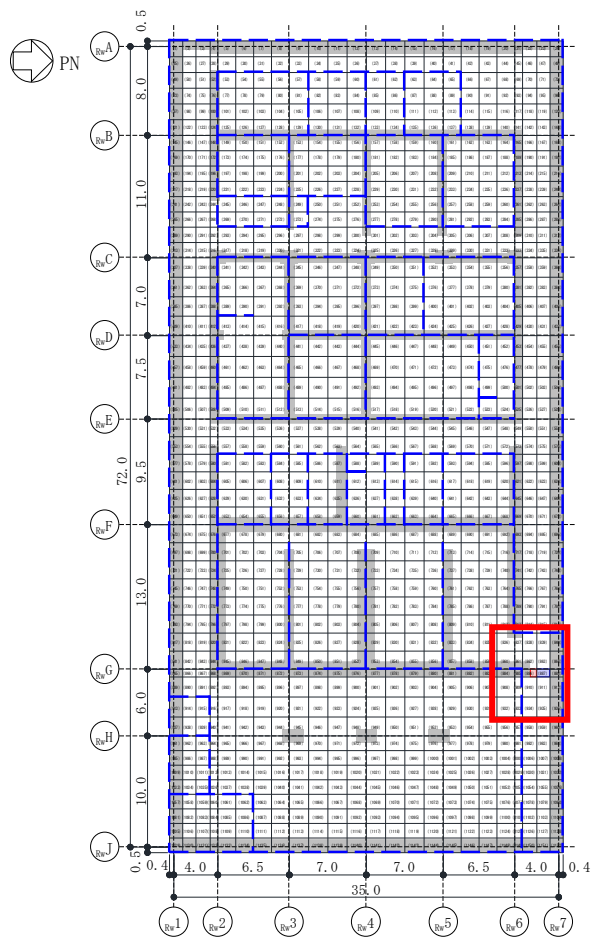
□ : 応力平均化実施要素

□ : 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 3-3 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 3-3 応力平均化範囲 (面外せん断力) (25/25)

4. 応力の平均結果

応力平均化の手法として、要素面積を考慮した重み付け平均で平均化を行っている。
応力平均化に用いる各要素の面積を表 4-1 に、応力平均化の結果を表 4-2 に示す。

表 4-1 応力平均化に用いる各要素の面積(1/3)

方向	応力平均化 対象要素	要素番号	要素面積 (m ²)
EW方向	140	140	1.495
		116	2.299
		92	0.268
	141	141	0.644
		117	0.991
		93	0.116
	861	861	0.648
		837	0.788
	900	900	3.150
		924	1.225
	901	901	3.150
		925	1.225
	909	909	1.260
		933	0.490

表 4-1 応力平均化に用いる各要素の面積(2/3)

方向	応力平均化 対象要素	要素番号	要素面積 (m ²)
NS方向	141	141	0.644
		142	1.196
		143	0.460
	166	166	1.788
		167	1.650
	244	244	0.683
		243	1.268
		242	0.488
	316	316	0.543
		315	1.008
		314	0.388
	333	333	0.543
		334	1.008
		335	0.388
	430	430	2.275
		431	2.100
	454	454	2.438
		455	2.250
	507	507	2.438
		506	2.250
	532	532	0.798
531		1.482	
530		0.570	
549	549	0.798	
	550	1.482	
	551	0.570	

表 4-1 応力平均化に用いる各要素の面積(3/3)

方向	応力平均化 対象要素	要素番号	要素面積 (m ²)
NS方向	651	651	2.067
		650	1.908
	670	670	2.067
		671	1.908
	675	675	2.113
		674	1.950
	694	694	2.113
		695	1.950
	843	843	2.113
		842	1.950
	861	861	0.648
		860	1.503
		859	0.162
	862	862	1.623
		863	1.950
	867	867	0.910
		866	0.840
	886	886	0.420
887		0.840	

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、発生面外せん断応力が許容面外せん断応力を超えないことを確認する。許容面外応力は、「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、応力平均化後の発生面外せん断応力がそれぞれ許容面外せん断応力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		

注記：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		

注記：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じよう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。

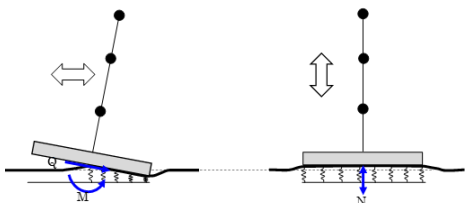
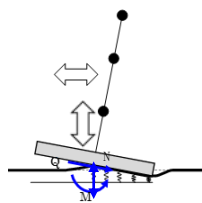
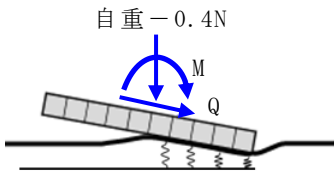
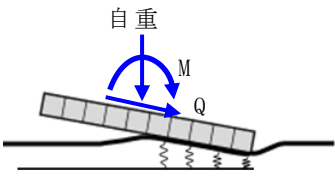
	従来の考え方	動的と静的な接地率の関係
動的解析	<p>水平方向 鉛直方向</p>  <p>接地率：${}_1\eta_A$ 水平方向の応答解析 鉛直方向の応答解析</p>	<p>水平方向</p>  <p>接地率：${}_2\eta_A$ 水平・鉛直同時入力の影響解析</p>
応力解析	<p>自重 - 0.4N</p>  <p>接地率：${}_1\eta_B$ 水平・鉛直同時加力による静的解析</p>	<p>自重</p>  <p>接地率：${}_2\eta_B$ 水平加力による静的解析</p>
	<p>上向きの鉛直地震荷重の場合は 動的解析よりも浮上りが大きくなり ${}_1\eta_B \leq {}_1\eta_A$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 ${}_2\eta_B \leq {}_2\eta_A$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。

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

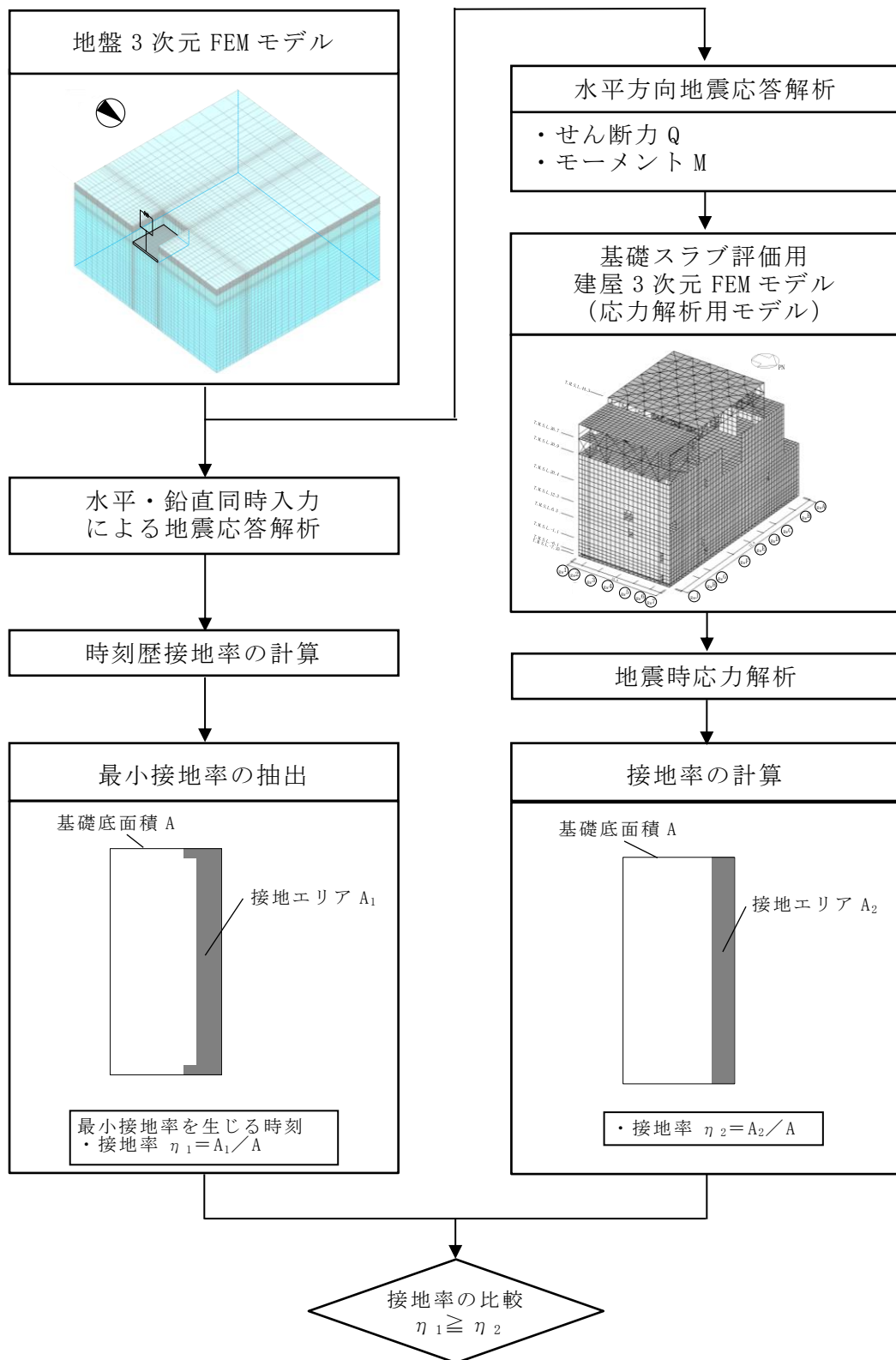


図 2-1 接地率の比較フロー

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。

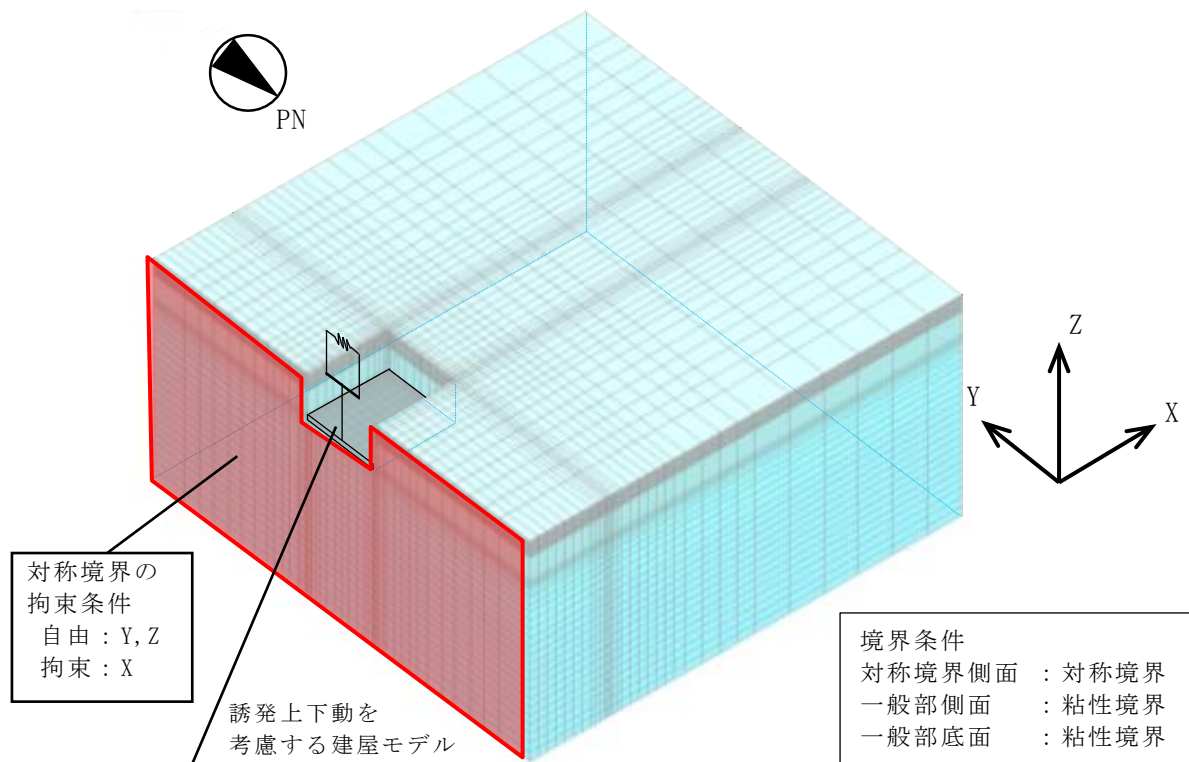


図 2-2 廃棄物処理建屋の地盤 3 次元 FEM モデルの地震応答解析モデル (NS 方向)

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 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 (kN/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

※：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。これによると、時刻歴最小接地率 η_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 η_2 は19.1%となっており、 η_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。

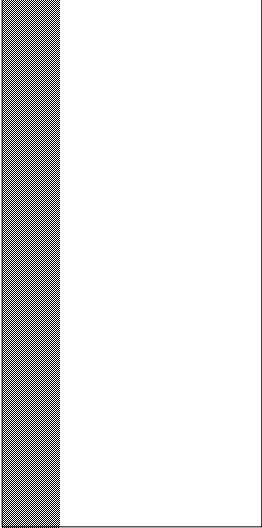
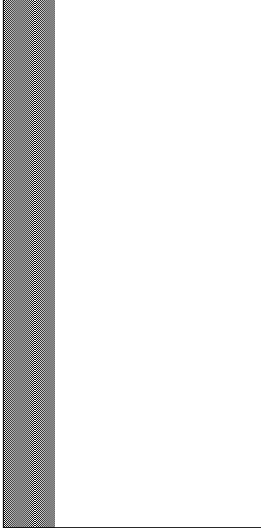
地震動	地盤 3 次元 FEM モデル 水平・鉛直同時入力による動的解析	建屋 3 次元 FEM モデル 水平荷重のみによる静的応力解析
Ss-8	 <div data-bbox="432 958 884 1043" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>最小接地率を生じる時刻：8.08 s ・ 接地率 η_1 : 22.2%</p> </div>	 <div data-bbox="975 958 1410 1043" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>加振方向：S←N ・ 接地率 η_2 : 19.1%</p> </div>

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。これより、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。

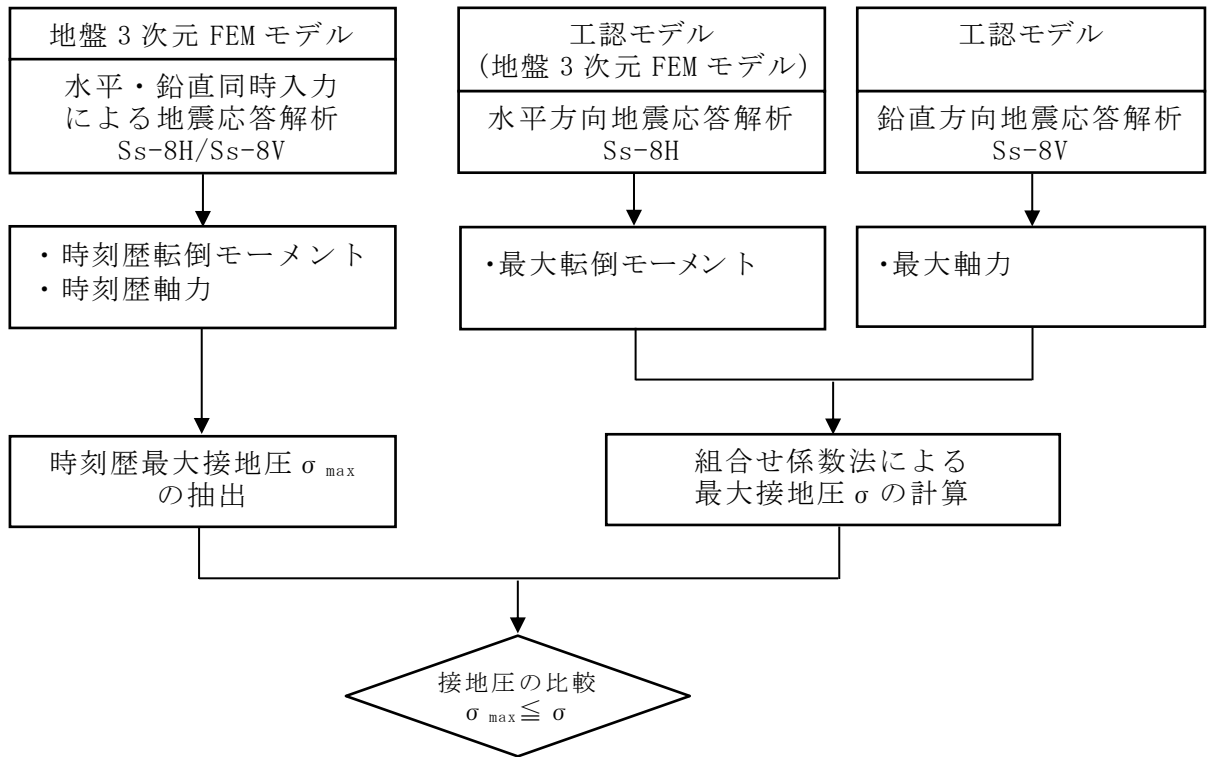


図 3-1 組合せ係数法の検討フロー

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 (kN/m ²)	組合せ係数法による接地圧 (kN/m ²)
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。