

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

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-026-3 改3
提出年月日	2020年7月22日

コントロール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7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-2-2-10「コントロール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 地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討

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、コントロール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

コントロール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-2-2-1 コントロール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。

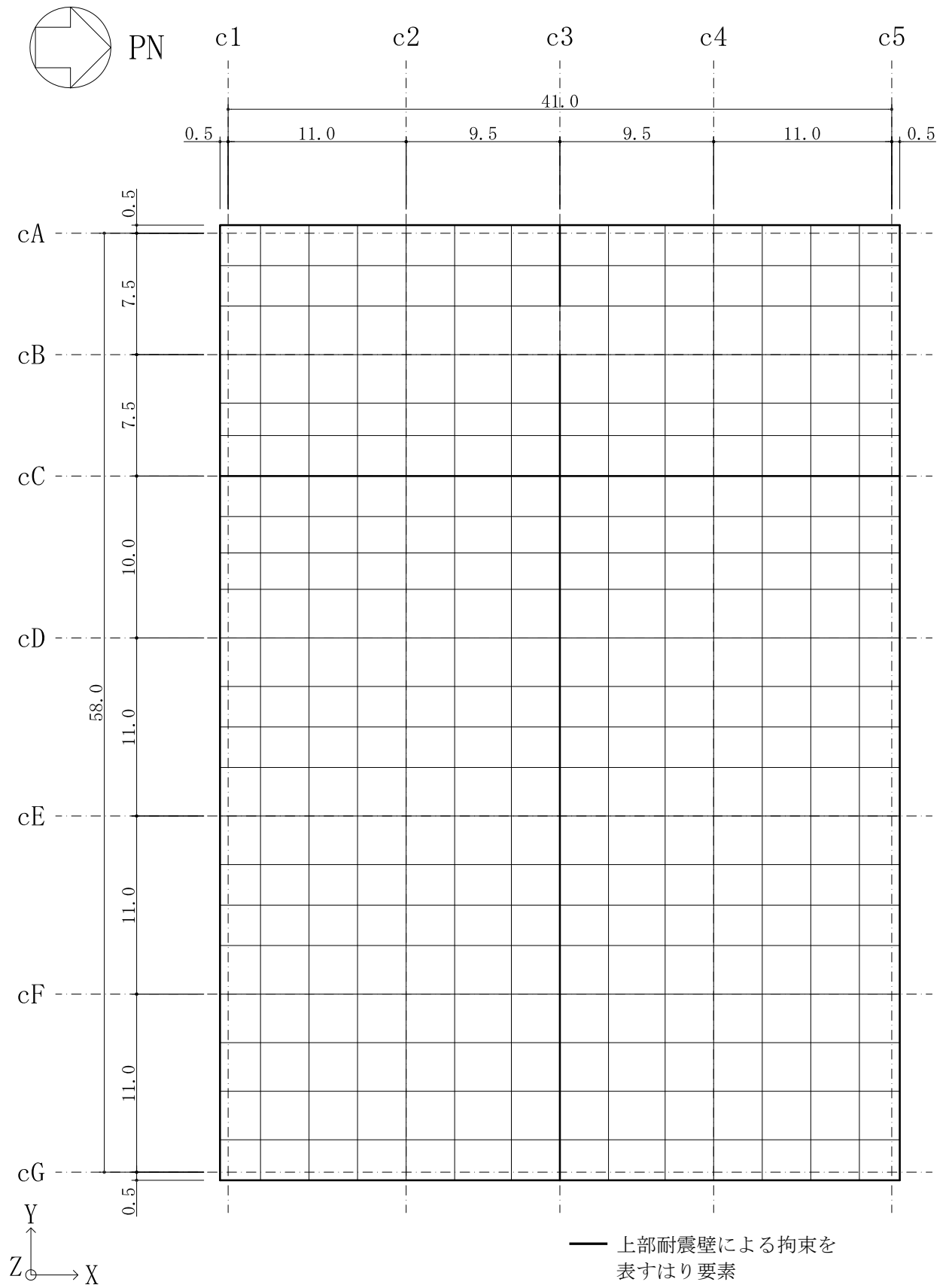
表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較 (コントロール建屋基礎スラブ)

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)	・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析 (弾塑性解析)	—
解析コード		・ N A S T R A N	・ D I A N A	—
モデル	モデル化範囲	(基礎スラブモデル部分) ・ 基礎スラブ (上部構造モデル部分) ・ 基礎スラブより立ち上がる耐震壁	・ 同左	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: $\nu=0.2$ ・ 鉄筋のヤング係数: $E=2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ・ 鉄筋のポアソン比: $\nu=0.3$	② ③ ④
	要素種別	・ 基礎スラブ: シェル要素 ・ 耐震壁: はり要素	・ 同左	—
	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 ・ 側面の水平ばね及び回転ばねは考慮せず	・ 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 ・ 側面の水平ばね及び回転ばねを考慮	⑤
	非線形特性	・ 考慮しない	コンクリート ・ 圧縮側のコンクリート構成則: CEB-FIP Model code に基づき設定 ・ ひび割れ発生後の引張軟化曲線: 出雲ほか (1987) による式 鉄筋 ・ バイリニア型	—
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, 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) S s: 地震荷重 S O E: 地震時土圧 B L: 浮力	⑥	

項目	内容	既工認	今回工認	備考
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	・同左	—
	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)	$P_a = 291 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ γ : 土の単位体積重量 (kN/m ³) h : 地表面からの深度 (m)	—
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	・鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が評価基準値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 壁のモデル化範囲、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せん断弾性係数については、「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 今回工認では地震応答解析モデルと整合させた境界条件を設定
- 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 「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」（（社）日本機械学会，2003），「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)

図 2-1 応力解析モデル図

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、コントロール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

コントロール建屋基礎スラブの応力解析に当たって、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。また、上部構造物の基礎スラブへの地震時反力を考慮する。

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 モデルの基礎スラブ底面ばねと基礎スラブ側面地盤ばね並びに基礎スラブ質点位置でせん断力、曲げモーメント及び軸力が地震応答解析結果と等価になるように設定する。

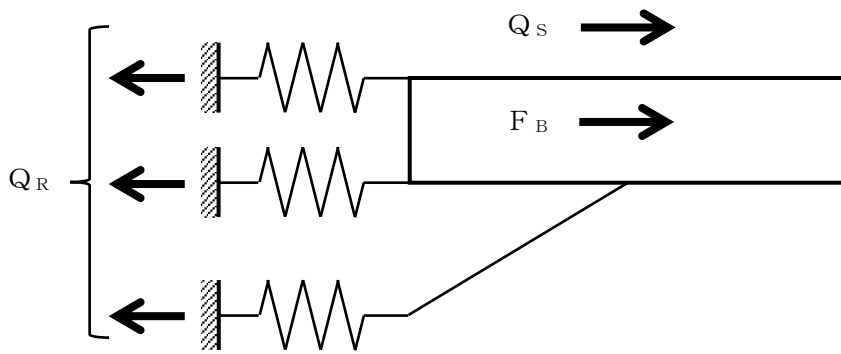
具体的には、水平地震力のうち、上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力は、FEM モデルにおける上部構造物脚部に対応する各節点に支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎スラブについては、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねと基礎スラブ側面地盤ばねに生じるそれぞれの最大水平力の合算値から、上部構造物から作用するせん断力を差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加せん断力」という。）を FEM モデルの基礎スラブの各節点に節点の支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。

また、曲げモーメントのうち、上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力は、地震応答解析モデルの曲げ剛性で評価した地震直交方向の耐震壁のフランジ部分と地震方向の耐震壁のウェブ部分を含めて平面保持を仮定し、偶力に置換して節点荷重として入力する。基礎スラブについては、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねと基礎スラブ側面地盤ばねに生じるそれぞれの最大曲げモーメントの合算値から上部構造物から作用する曲げモーメントを差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加曲げモーメント」という。）を FEM モデルの基礎スラブの各節点に節点の支配面積と中心位置からの距離に応じて鉛直方向の偶力に置換して分配し、節点荷重として入力する。

水平荷重のうち、地下外壁部に作用する地震時土圧荷重により基礎スラブに作用する荷重は、外壁を各階スラブ位置で支持した連続はりモデルを用いて算定する。算定した外壁脚部に生じる単位長さ当たりの曲げモーメント及びせん断力は、FEM モデルにおける地下外壁部に対応する各節点に支配長さに応じて分配し、節点荷重として入力する。

鉛直荷重のうち、上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力は、FEM モデルにおける上部構造物脚部に対応する各節点に支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎スラブについては、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねの鉛直力から上部構造物から作用する鉛直力を差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加軸力」という。）を入力する。

FEM モデルに入力する地震荷重の概念図を図 2-1 に示す。また FEM モデルに入力する地震荷重を図 2-2 に示す。なお、図 2-3 における地震時土圧荷重は、地震時増分土圧荷重として示す。



Q_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎スラブに作用するせん断力

F_B : FEM に入力する付加せん断力

Q_R : 地震応答解析より設定した地盤ばねに生じる水平力

$$F_B = Q_R - Q_S$$

地震応答解析モデルが FEM モデルの場合，最大応答せん断力は，次式で示す値の最大値とする。

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

ここで，

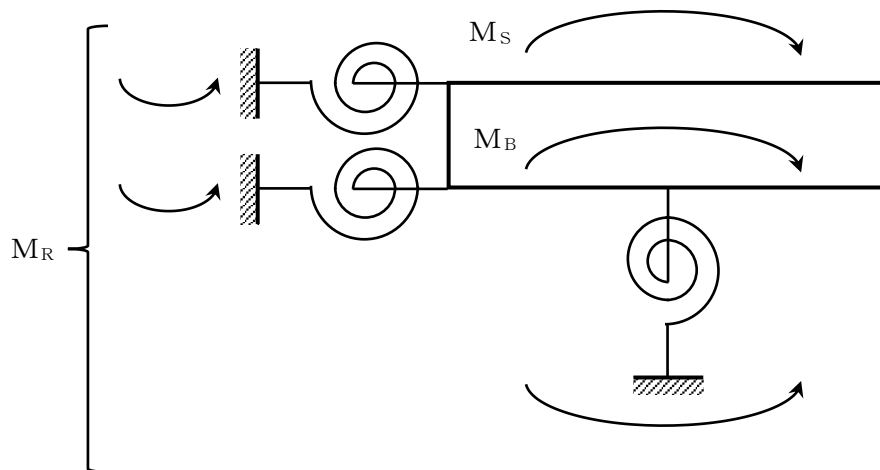
Q_b : 基礎要素の応答せん断力

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

(a) 水平地震力

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (1/4)



M_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎スラブに作用する曲げモーメント

M_B : FEM に入力する付加曲げモーメント

M_R : 地震応答解析より設定した地盤ばねに生じる曲げモーメント

$$M_B = M_R - M_S$$

地震応答解析モデルが FEM モデルの場合、最大応答曲げモーメントは、次式で示す値の最大値とする。

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

ここで、

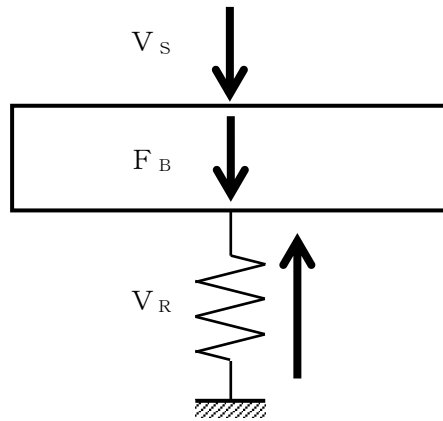
M_b : 基礎要素下端の応答曲げモーメント

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

(b) 曲げモーメント

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (2/4)



V_s : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎スラブに作用する軸力

F_B : FEM に入力する付加軸力

V_R : 地震応答解析より設定した地盤ばねに生じる鉛直力

$$F_B = V_R - V_s$$

地震応答解析モデルが FEM モデルの場合、最大応答軸力は、次式で示す値の最大値とする。

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

ここで、

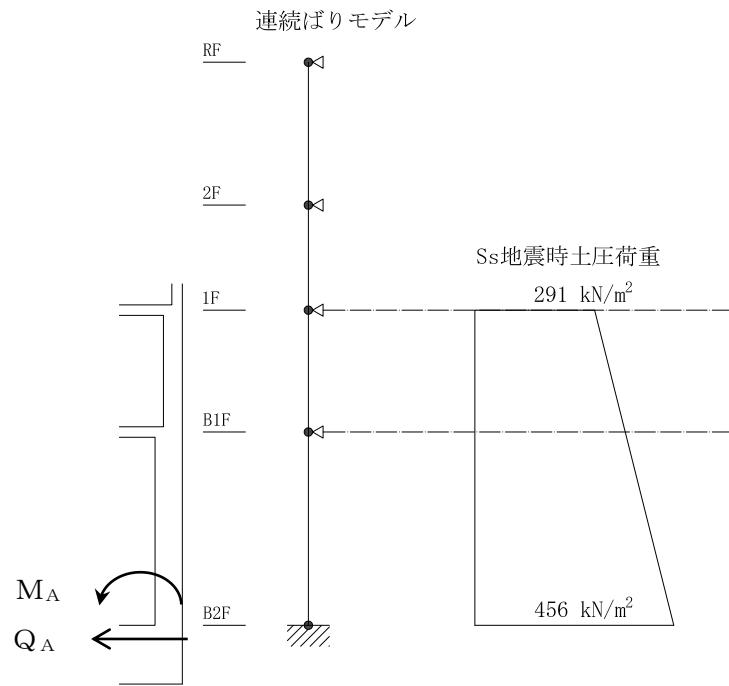
V_b : 基礎要素の応答軸力

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

(c) 鉛直地震力

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (3/4)

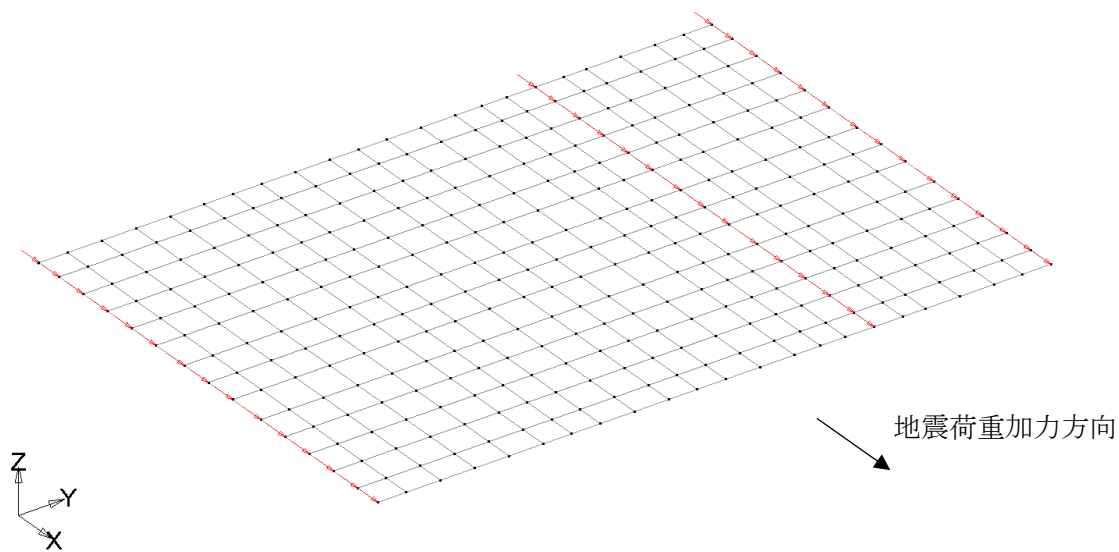


Q_A : 基礎スラブに入力するせん断力

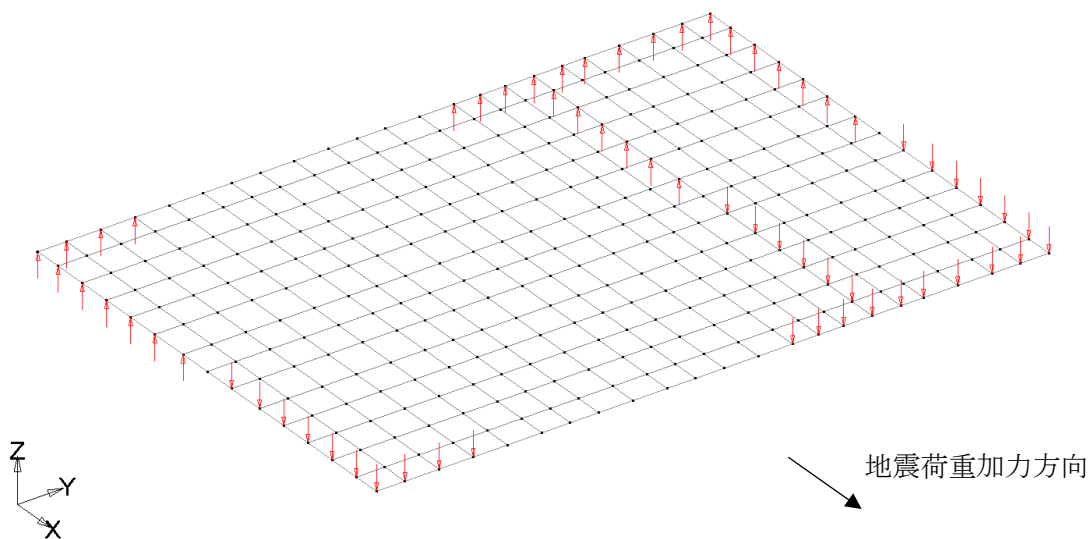
M_A : 基礎スラブに入力する曲げモーメント

(d) 地震時土圧荷重

図 2-1 FEM モデルに入力する地震荷重の概念図 (4/4)

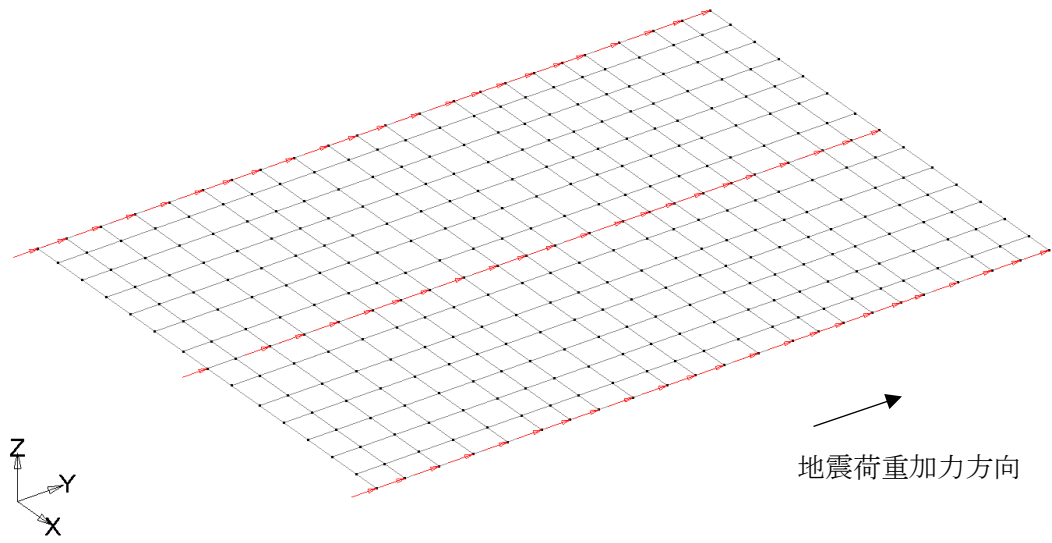


(a) せん断力 (NS 方向) 耐震壁

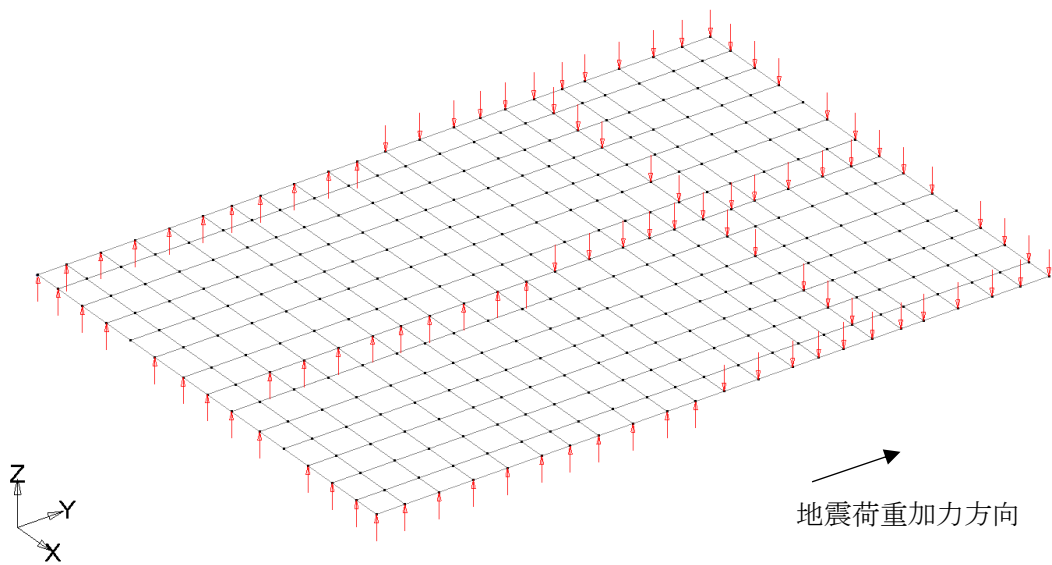


(b) 曲げモーメント (NS 方向) 耐震壁

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (1/7)

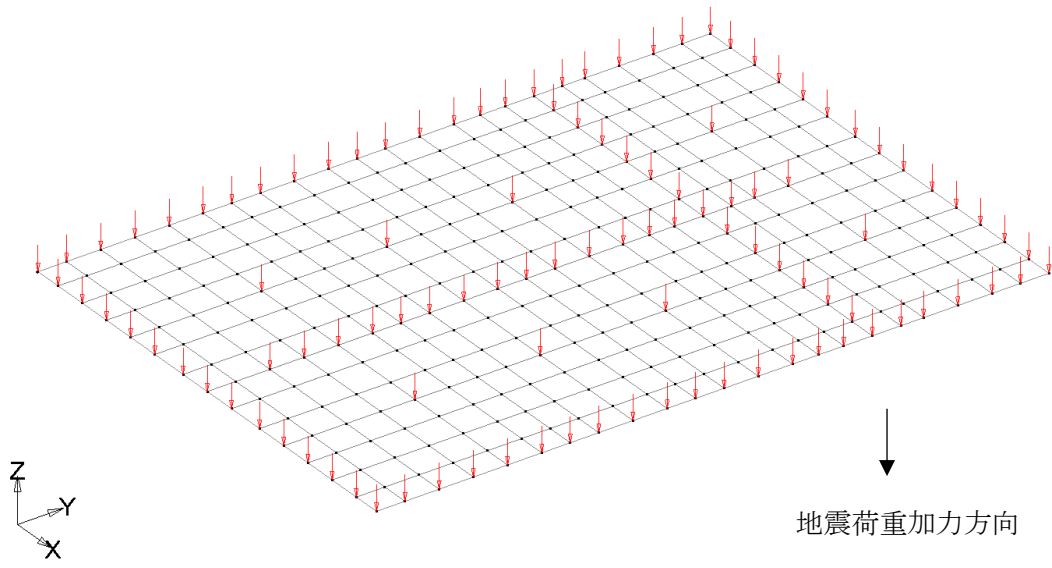


(c) せん断力 (EW 方向) 耐震壁



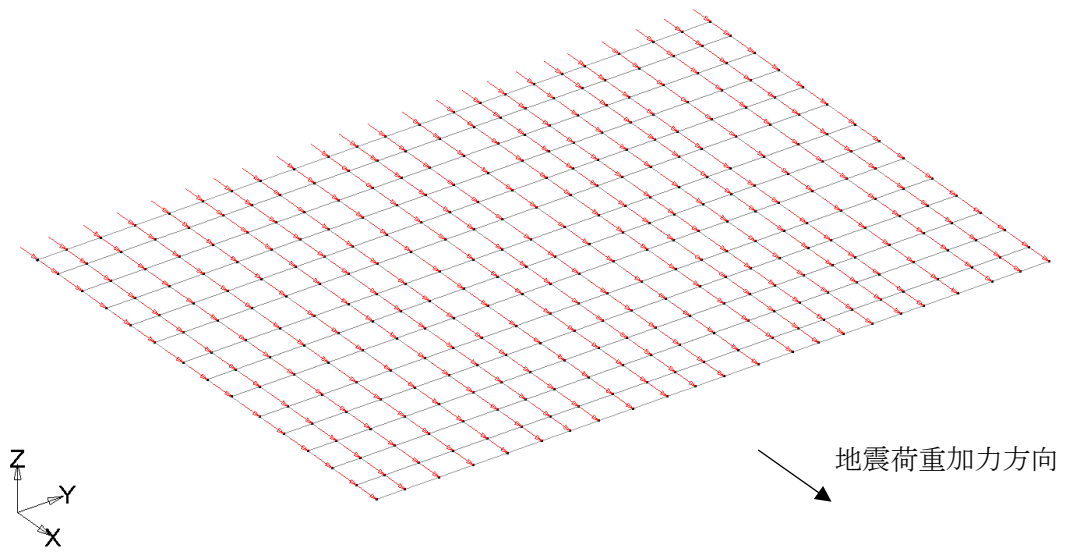
(d) 曲げモーメント (EW 方向) 耐震壁

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (2/7)

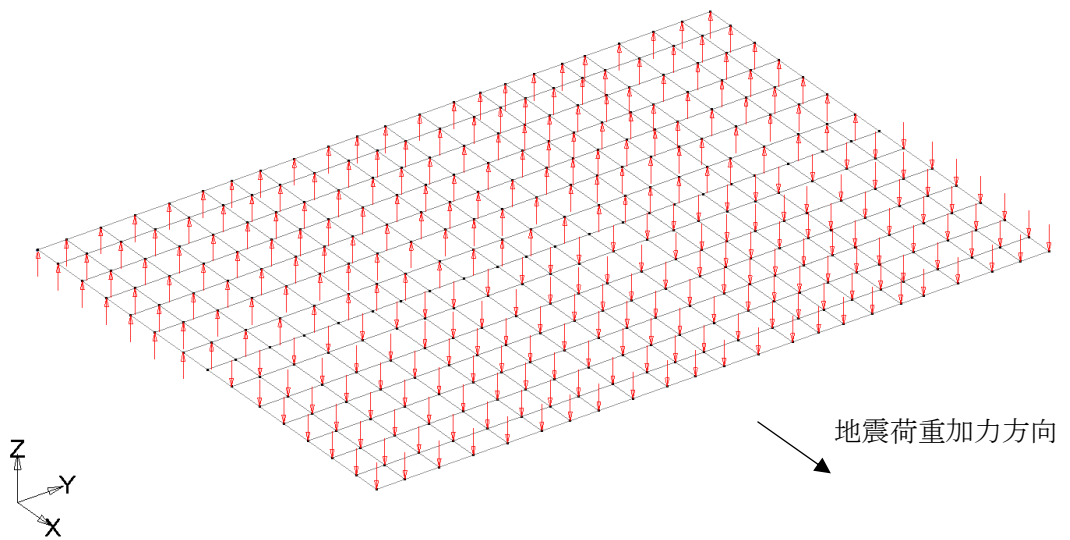


(e) 軸力

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (3/7)

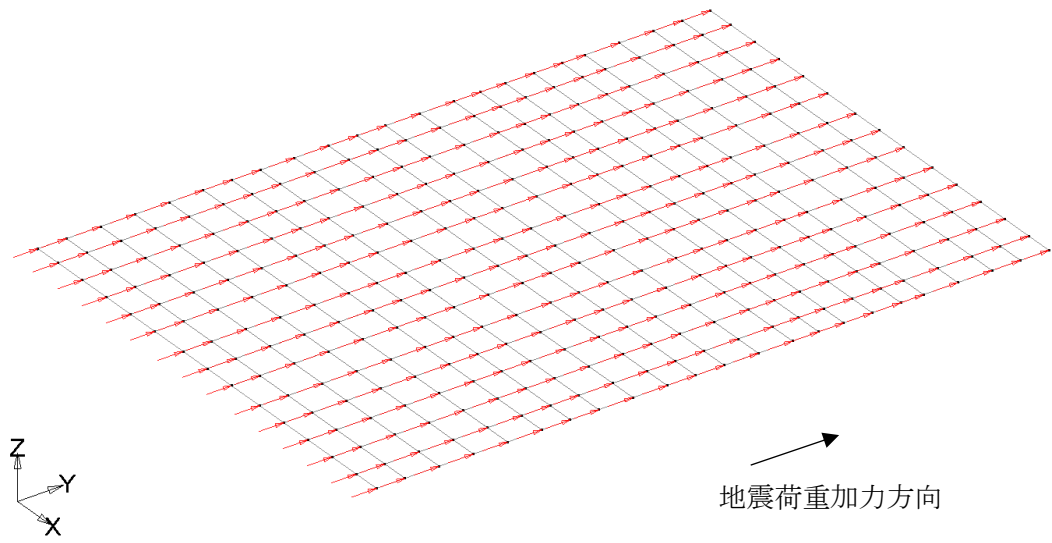


(f) 付加せん断力 (NS 方向)

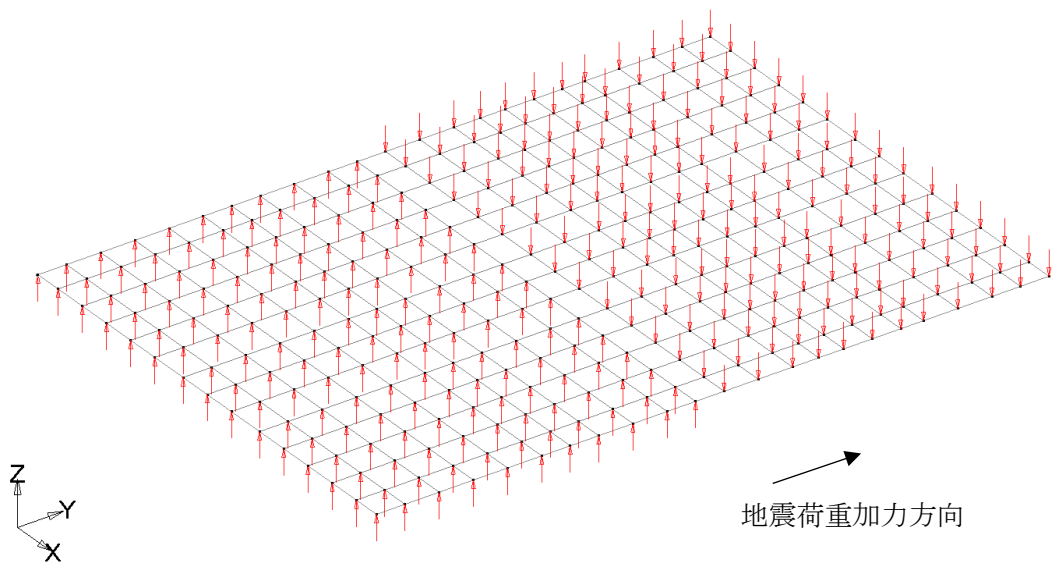


(g) 付加曲げモーメント (NS 方向)

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (4/7)

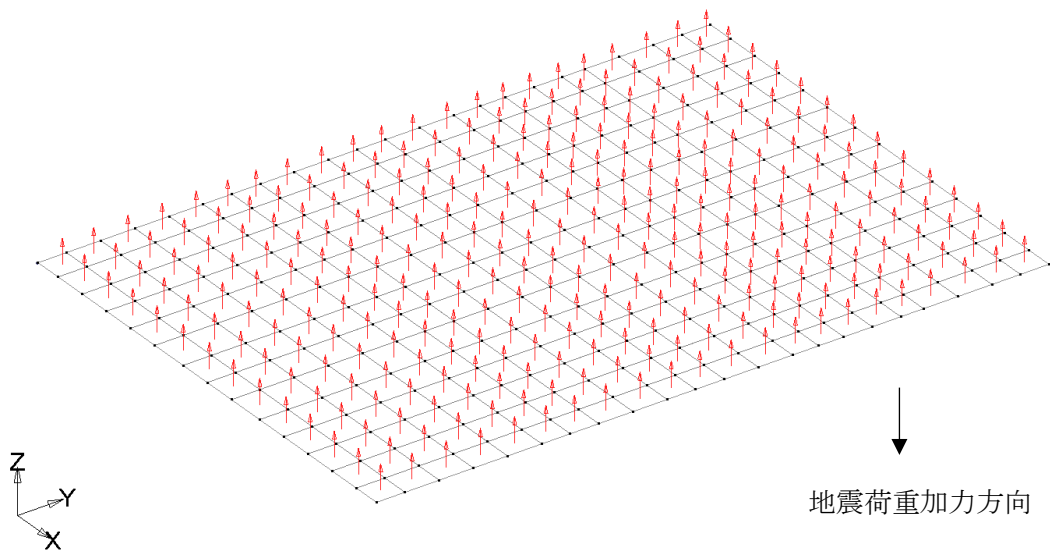


(h) 付加せん断力 (EW 方向)



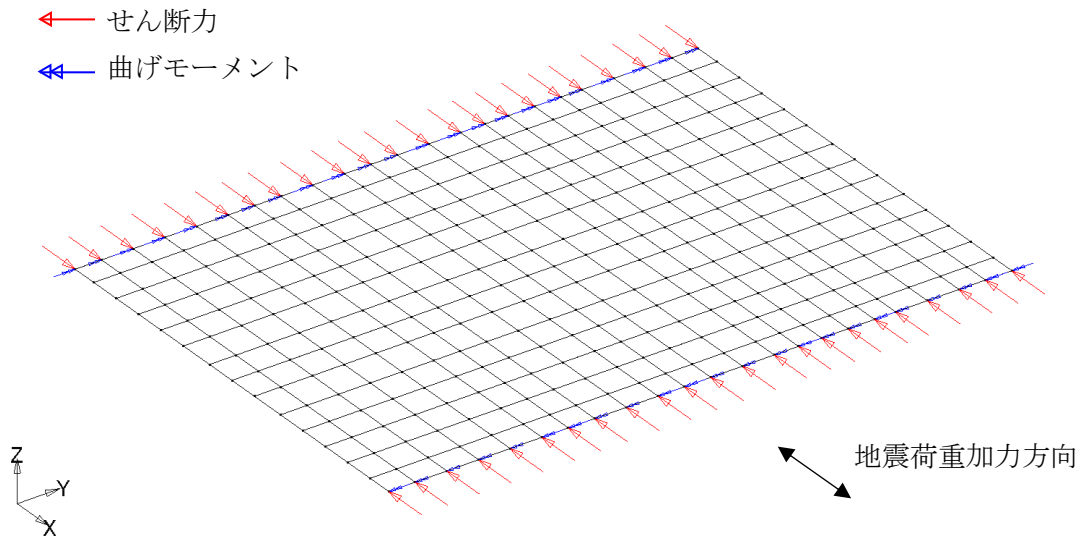
(i) 付加曲げモーメント (EW 方向)

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (5/7)

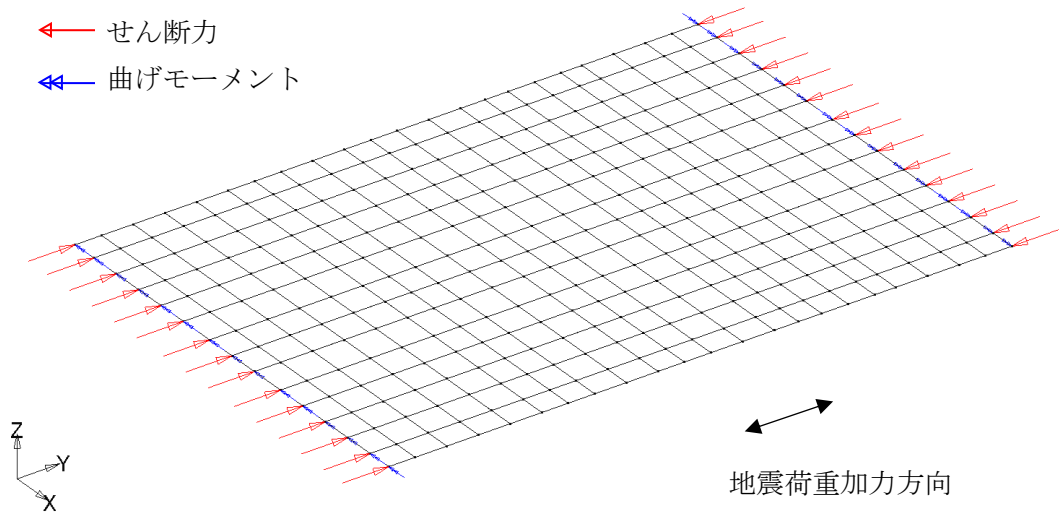


(j) 付加軸力

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (6/7)



(k) 地震時増分土圧荷重 (NS 方向)



(l) 地震時増分土圧荷重 (EW 方向)

図 2-2 FEM モデルに入力する地震荷重 (7/7)

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、コントロール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

コントロール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 から図 2-4 に、配筋一覧を表 2-2 から表 2-5 に示す。

各評価項目の検定値一覧を表 2-6、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 2-5 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 2-6 に示す。面外せん断力は基礎浮上りにより北側の外壁位置で大きくなっていることを確認した。また、コンクリートひずみ及び鉄筋ひずみは局所的に大きなひずみは発生しておらず、許容限界に対して十分小さいことを確認した。

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	$(1.0+0.4K_v)VL+S s_{EW}+SOE+BL$
6		上向き	$(1.0-0.4K_v)VL+S s_{EW}+SOE+BL$
7		下向き	$(1.0+0.4K_v)VL+S s_{WE}+SOE+BL$
8		上向き	$(1.0-0.4K_v)VL+S s_{WE}+SOE+BL$
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	$(1.0+K_v)VL+0.4S s_{EW}+0.4SOE+BL$
14		上向き	$(1.0-K_v)VL+0.4S s_{EW}+0.4SOE+BL$
15		下向き	$(1.0+K_v)VL+0.4S s_{WE}+0.4SOE+BL$
16		上向き	$(1.0-K_v)VL+0.4S s_{WE}+0.4SOE+BL$

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 (NS 方向, 上ば筋)

	一段目	二段目	断面積 (mm ² /m)
領域 A	D32@200	D32@400	5955
領域 B	D32@200	D32@200	7940

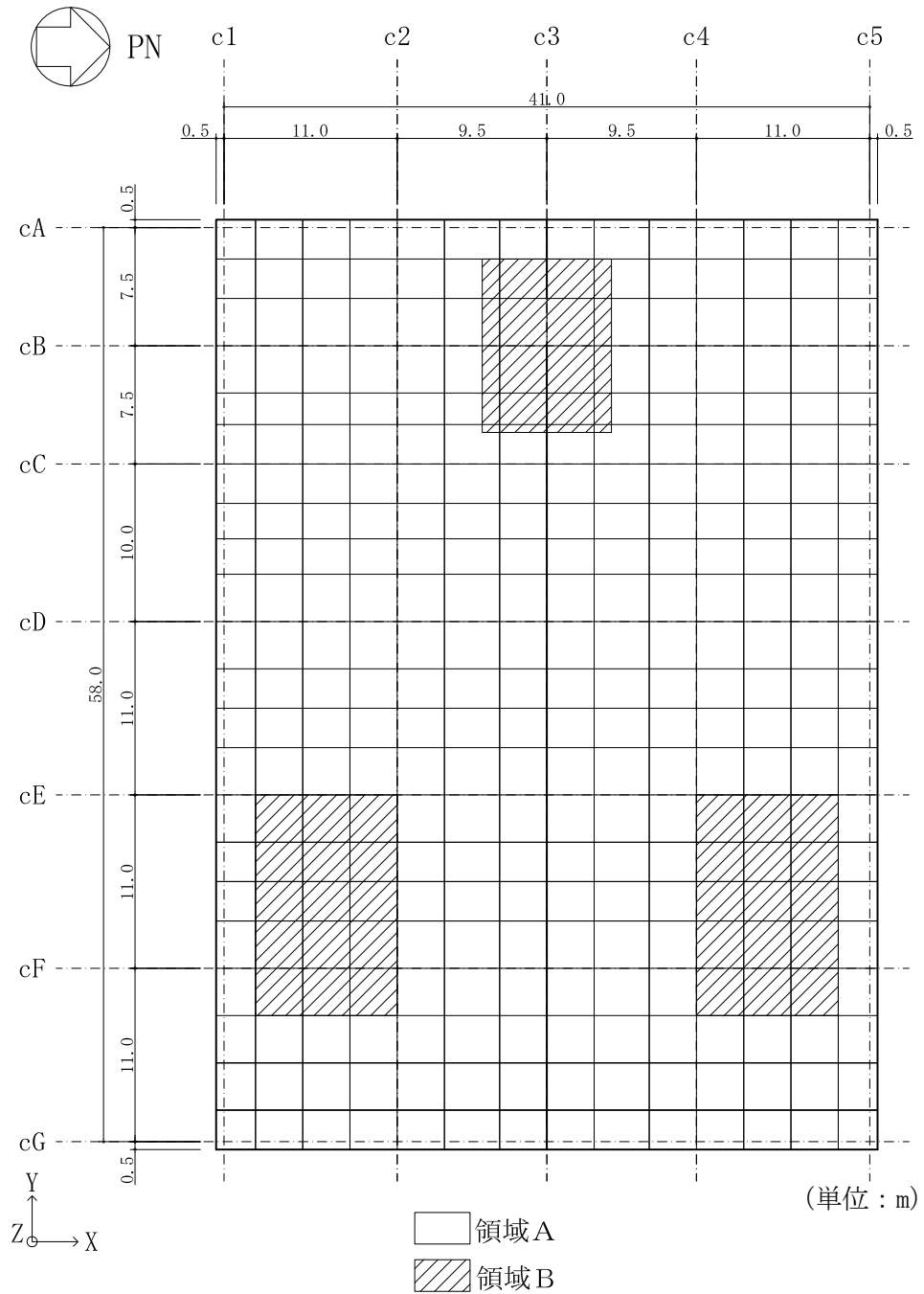


図 2-1 基礎スラブの配筋領域図 (NS 方向, 上ば筋)

表 2-3 基礎スラブの配筋一覧 (NS 方向, 下ば筋)

	一段目	二段目	断面積 (mm ² /m)
領域 A	D32@200	D32@400	5955
領域 B	D32@200	D32@200	7940

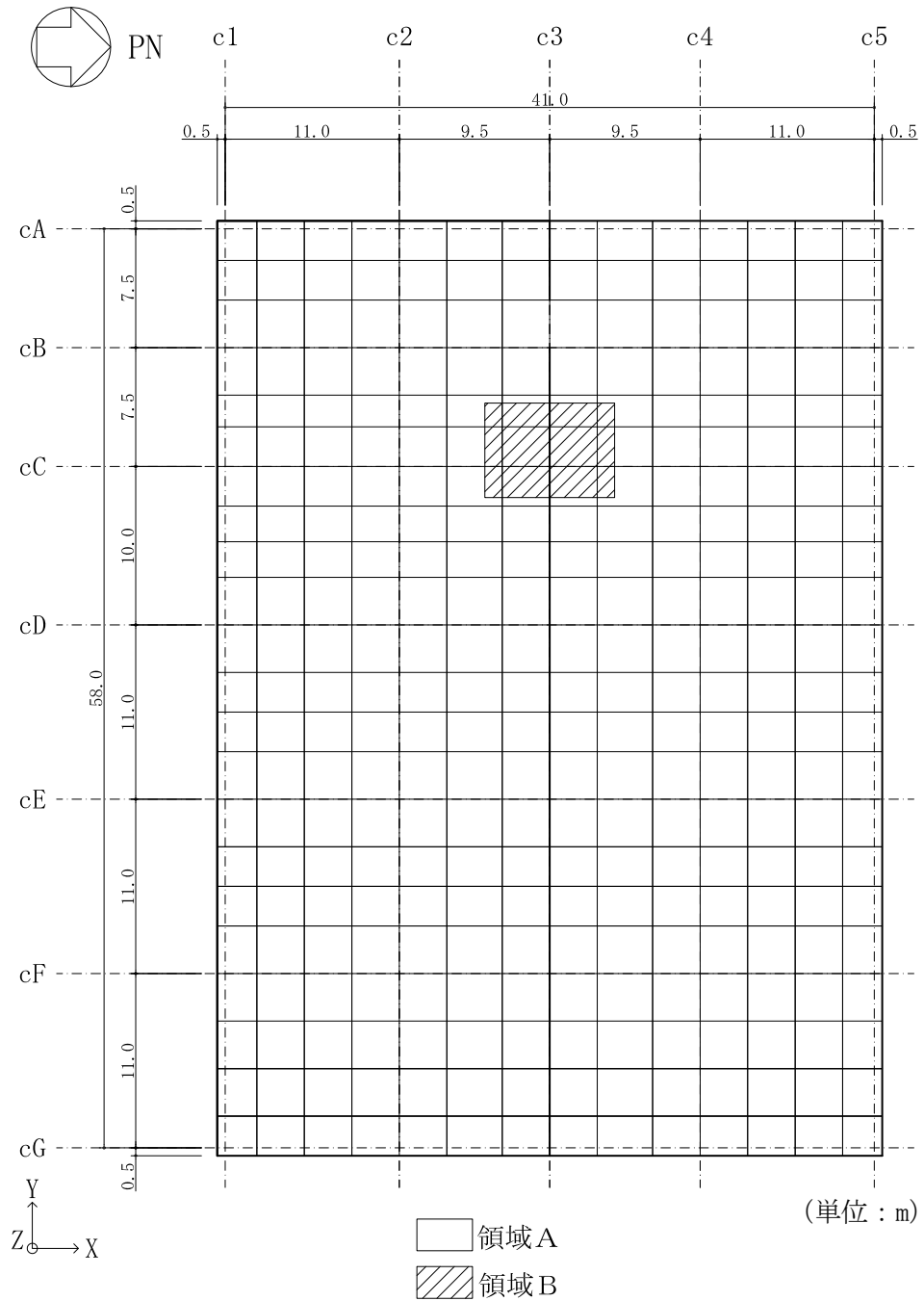


図 2-2 基礎スラブの配筋領域図 (NS 方向, 下ば筋)

表 2-4 基礎スラブの配筋一覧 (EW 方向, 上ば筋)

	一段目	二段目	断面積 (mm ² /m)
領域 A	D32@200	D32@400	5955
領域 B	D32@200	D32@200	7940

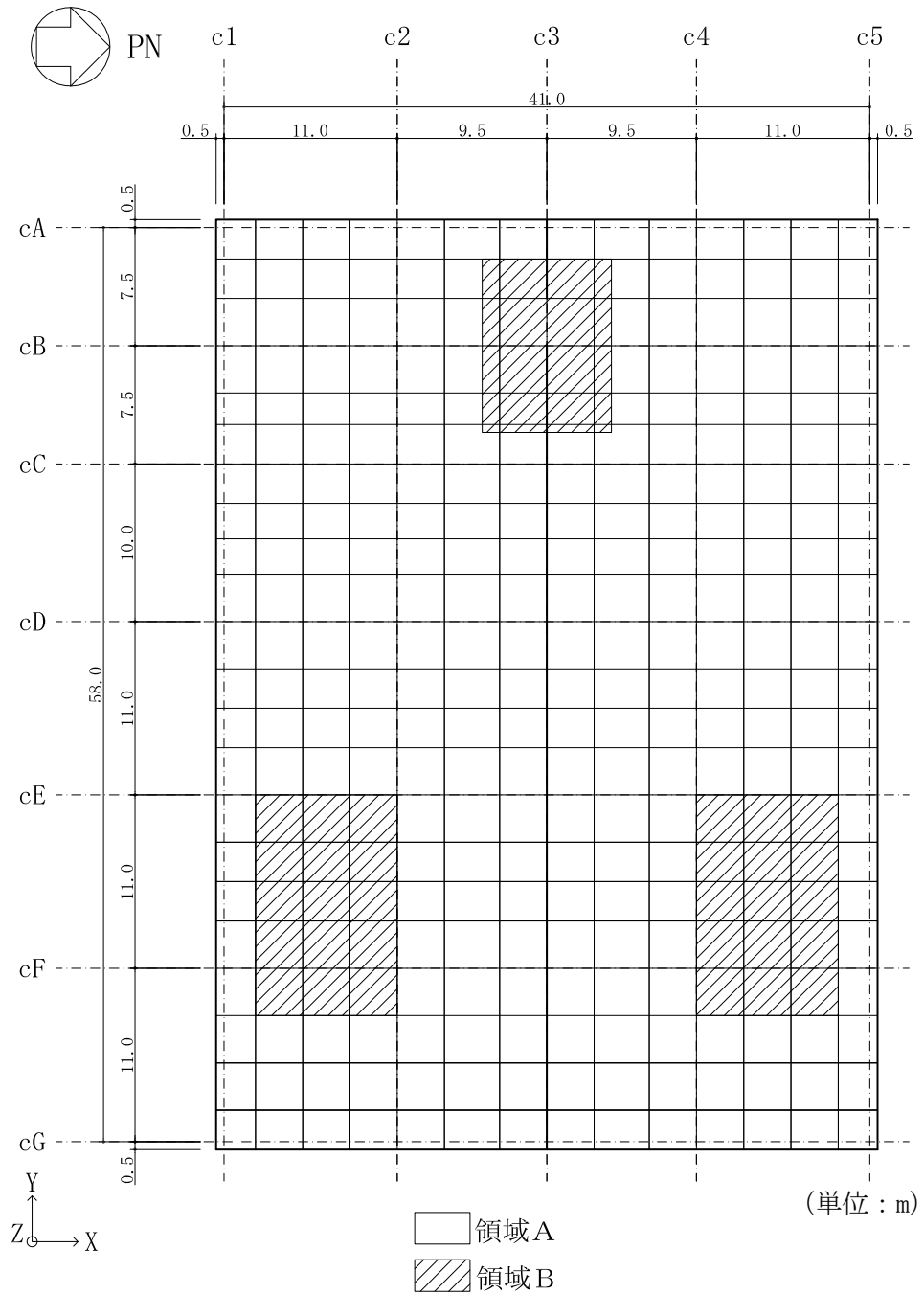


図 2-3 基礎スラブの配筋領域図 (EW 方向, 上ば筋)

表 2-5 基礎スラブの配筋一覧 (EW 方向, 下ば筋)

	一段目	二段目	断面積 (mm ² /m)
領域 A	D32@200	D32@400	5955
領域 B	D32@200	D32@200	7940

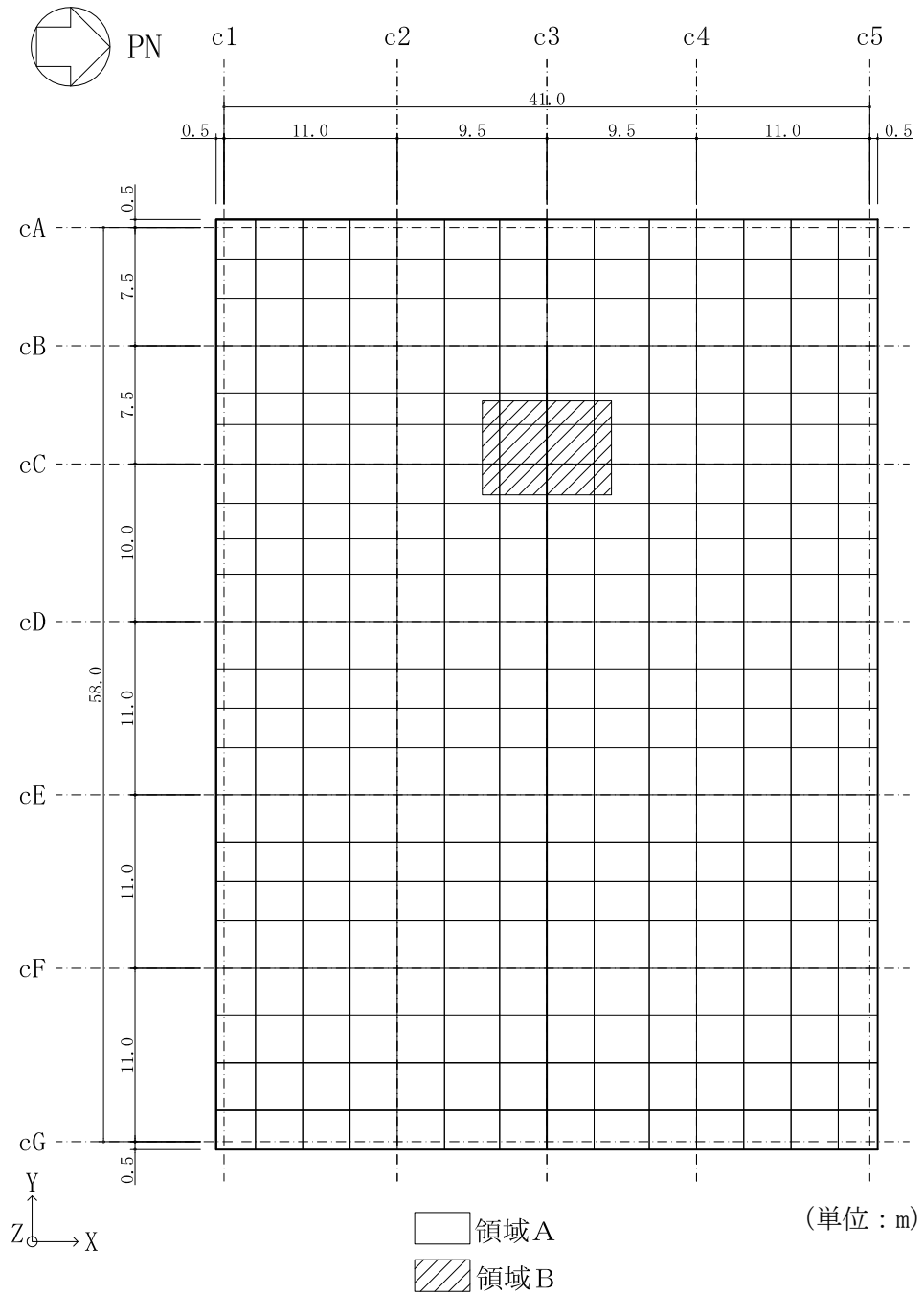


図 2-4 基礎スラブの配筋領域図 (EW 方向, 下ば筋)

表 2-6 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
コンクリート 最大圧縮ひずみ	NS	218	2	0.134
	EW	274	6	0.079
鉄筋最大ひずみ	NS	72	7	0.121
	EW	9	1	0.151
面外せん断力	NS	56	1	0.784
	EW	12	7	0.703

注：■は検定値が最大となる要素を示す。

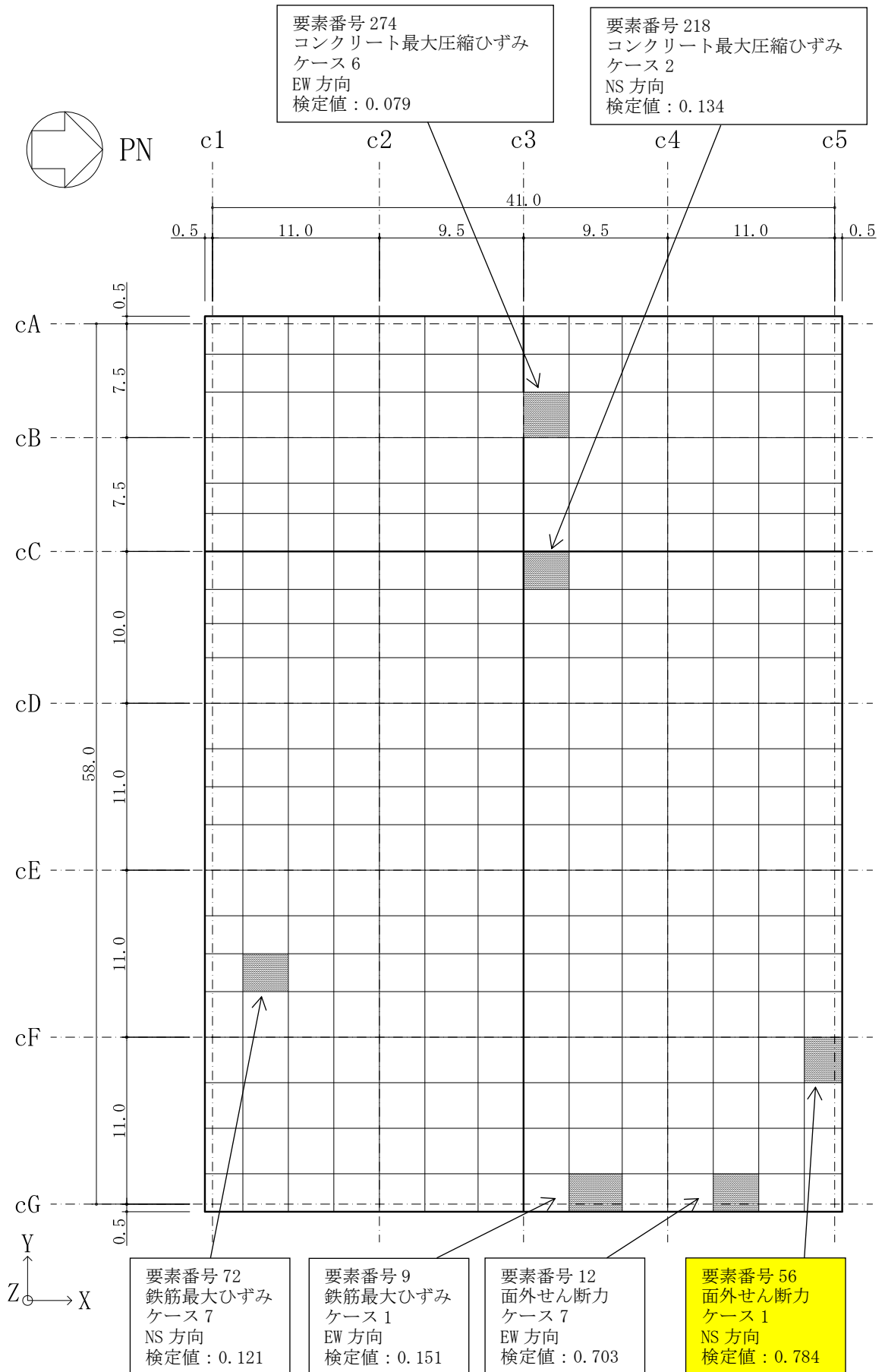
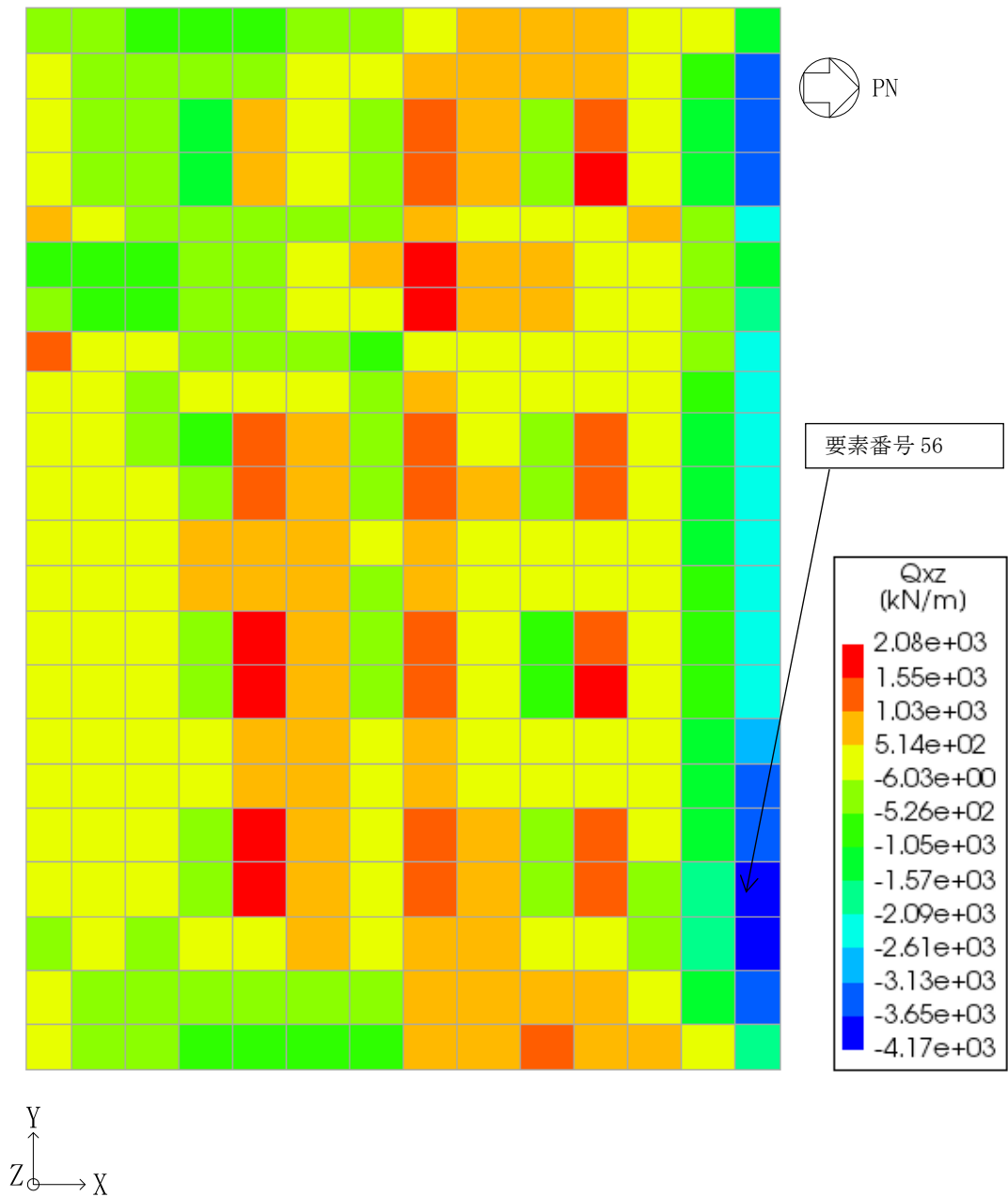
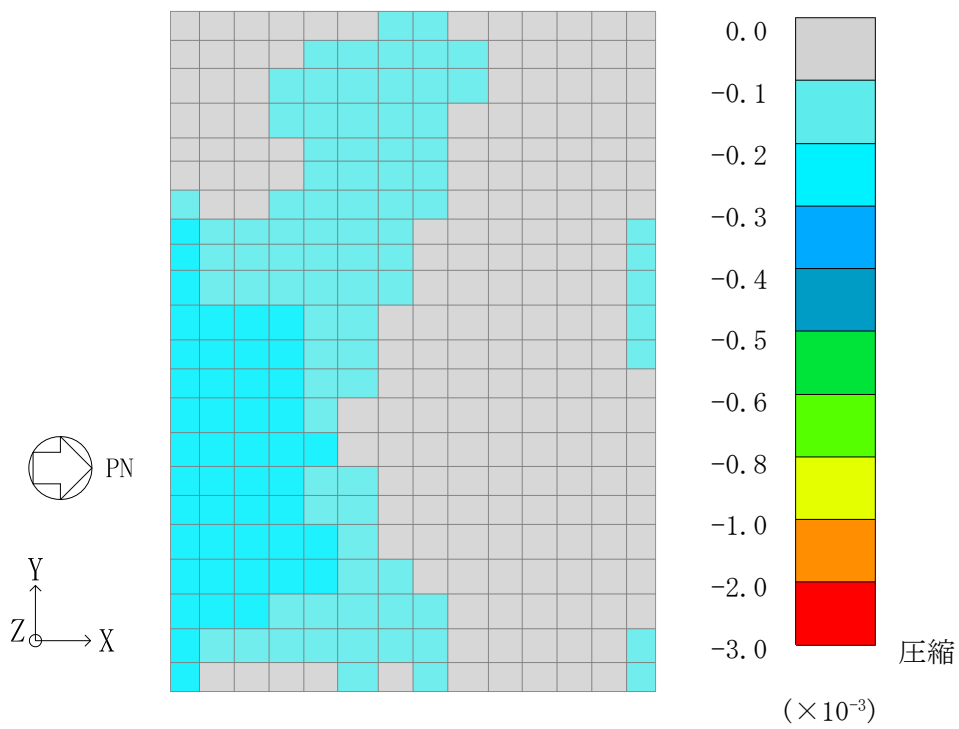


図 2-5 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果

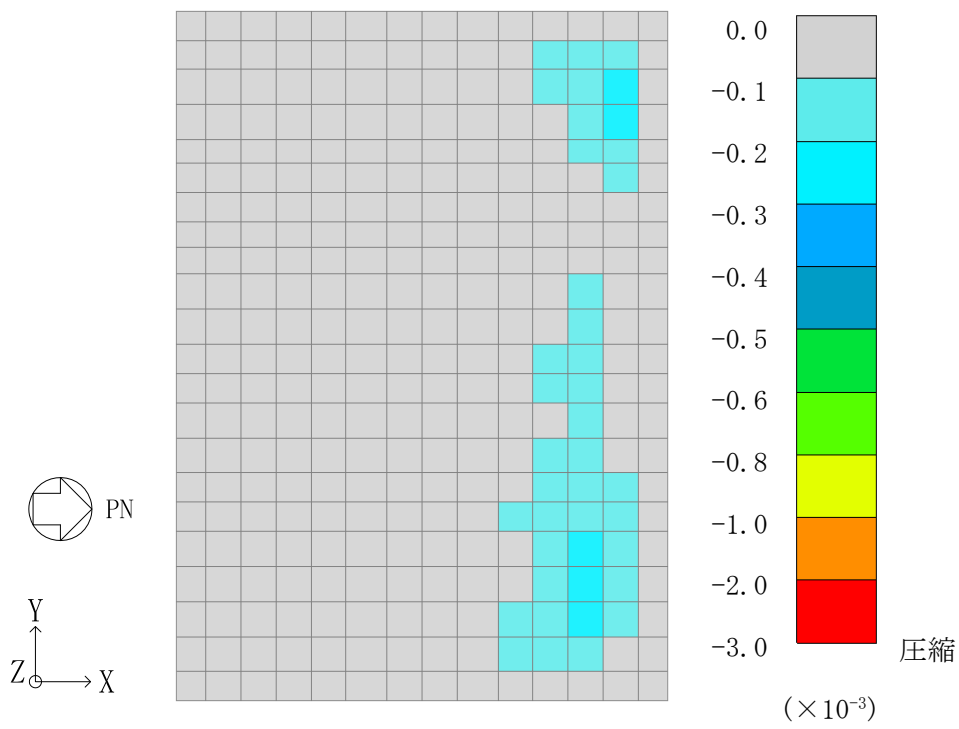


面外せん断力 (NS 方向, ケース 1)

図 2-6 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(1/3)

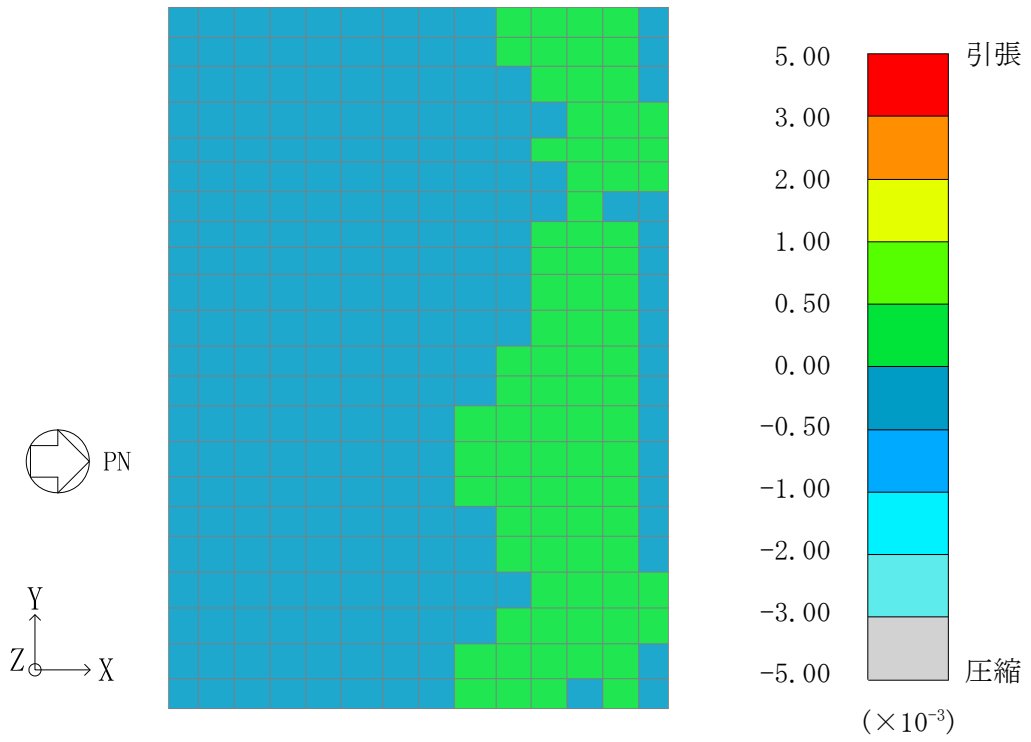


コンクリート最大圧縮ひずみ (NS 方向, 上端, ケース 1)

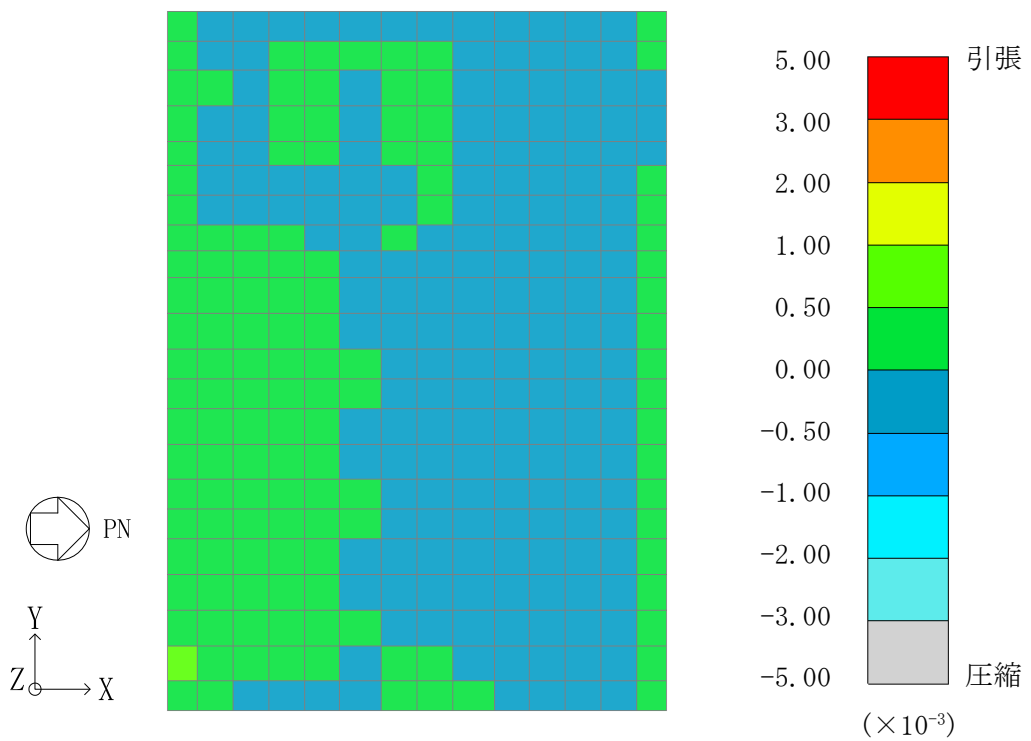


コンクリート最大圧縮ひずみ (NS 方向, 下端, ケース 1)

図 2-6 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(2/3)



鉄筋最大ひずみ (NS 方向, 上端, ケース 1)



鉄筋最大ひずみ (NS 方向, 下端, ケース 1)

図 2-6 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(3/3)