

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 15 <u>R4</u>
提出年月日	<u>令和 4 年 1 月 19 日</u>

設工認に係る補足説明資料

耐震計算書に関する

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

- 1：文中の下線部は R3 から R4 への変更箇所を示す
- 2：本資料（R4）は，令和 3 年 8 月 31 日に提示した「耐震建物 15 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」に対し，ヒアリングにおける指摘事項を踏まえ，記載内容を見直したものである

目 次

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

別紙 1 安全冷却水 B 冷却塔基礎の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 2 燃料加工建屋の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 前処理建屋の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 4 分離建屋の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 5 精製建屋の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 6 ハル・エンドピース貯蔵建屋の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 7 制御建屋の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 8 緊急時対策建屋の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 9 主排気筒（基礎）の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 10 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の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 11 ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の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 12 チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の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 13 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の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 14 安全冷却水系冷却塔 A（基礎）の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 15 安全冷却水系冷却塔 B（基礎）の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 16 第 1 非常用ディーゼル発電設備重油タンク室（基礎）の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 17 高レベル廃液ガラス固化建屋の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 18 第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟の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 19 第 1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟の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 20 非常用電源建屋の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 21 燃料油貯蔵タンク基礎の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 22 冷却塔 A、B (基礎) の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 23 第 1 保管庫・貯水所の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 24 第 2 保管庫・貯水所の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 25 第 1 軽油貯蔵所 (基礎) の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 26 第 2 軽油貯蔵所 (基礎) の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 27 重油貯蔵所 (基礎) の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 28 ガラス固化体貯蔵建屋の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 29 ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の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

後次回で示す範囲

 : 商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設及び MOX 燃料加工施設に対する、第 1 回設工認申請（令和 2 年 12 月 24 日申請）のうち、以下に示す添付書類に示す建物・構築物（本資料においては、建物及び屋外機械基礎とし、洞道、竜巻防護対策設備及び排気筒は含まない。*）の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を補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-1 安全冷却水 B 冷却塔の耐震性に関する計算書」のうち「b. 安全冷却水 B 冷却塔基礎の耐震計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-3-1-1-2 燃料加工建屋の耐震計算書」

本資料では、応力解析に用いる FEM モデルを構築するにあたって各建物・構築物に共通するモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方を示すとともに、各建物・構築物の FEM モデルの詳細な内容を別紙に示すことで、その解析のエビデンスを補強するものとする。

なお、本資料で示す内容については、今回申請対象以外の再処理施設、MOX 燃料加工施設、廃棄物管理施設に係る建物・構築物に対しても適用するものである。

※：本資料に示す内容において、適用範囲外とした施設についてはそれぞれの資料において説明を行う。また、本資料の引用で他の資料の説明に代える場合には、引用範囲を明らかに記すこととする。

2. 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件

添付書類の耐震計算書において，応力解析時に FEM モデルを用いて断面を評価する部位としては，基礎スラブ，貯蔵区域壁，プール壁及びプール床がある。

建物・構築物の FEM モデルを構築するにあたって，各建物・構築物に共通するモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方を以下に示す。

また，各建物・構築物の FEM モデルの詳細な内容については，別紙に示す。

各建物・構築物の FEM モデルは，シェル要素及び梁要素でモデル化している。各要素のモデル化における要素分割の考え方を以下に示す。

・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。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。

・梁要素

はり要素の場合は，曲げの変位関数が 3 次で精度が高いため，基本的に要素分割の細分化は不要であるが，部材の接合点間で変位情報出力や荷重入力がある場合には複数要素に細分することが一般的である。また，分布荷重がある場合や分布質量が関係する自重荷重などの計算では，要素分割することにより質量分布がより正確になり，解析結果の精度が向上する。更に，要素分割の細分化により，変形図やモード図で構造物の変形状態を容易に把握することが可能となる。

参考：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）

当社の S クラス施設の間接支持構造物となる各建物・構築物には、直接基礎を採用している。基礎スラブの応力解析における地盤ばね及び上部構造の拘束の設定について、基本的な考え方を以下に示す。

(1)底面地盤ばね

基礎スラブの節点には、基礎浮上りを考慮したばね要素を設ける。ばね要素は、原則として振動アドミッタンス理論に基づき算出し、より精緻に求める場合は、薄層法または境界要素法に基づき算出する。ばね要素の算出方法は、以下のとおりとする。

- ・振動アドミッタンス理論に基づく場合

水平ばねは、振動アドミッタンス理論に基づく地震応答解析モデルの水平ばねを節点支配面積に応じて離散化する。鉛直ばねは、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、振動アドミッタンス理論に基づく地震応答解析モデルの回転ばねを節点支配面積に応じて離散化する。

- ・薄層法または境界要素法に基づく場合

薄層法または境界要素法に基づく場合は、加振点と任意点応答の関係から得られる剛性マトリクスを用いて、地盤の連続体としての連成効果を考慮した方向毎のばねとする。

(2)側面地盤ばね

基礎スラブのモデル化には、側面地盤ばねは設定しない。なお、基礎スラブに入力する地震荷重は地震応答解析結果に基づいており、地震応答解析モデルで側面地盤ばねを設定している場合は、側面地盤ばねからの入力も考慮した地震荷重となっている。

(3)上部構造の拘束

基礎スラブのモデル化にあたっては、上部構造を弾性の梁要素またはシェル要素にてモデル化することで、上部構造の拘束効果を考慮する。なお、上部構造が塑性化した際の影響については、必要に応じて各建物・構築物の別紙にて、影響検討の結果を示す。

別紙

別紙リスト 耐震建物 15【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】(1/2)

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙-1	安全冷却水B冷却塔基礎の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	1/19	0	
別紙-2	燃料加工建屋の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	1/19	0	
別紙-3	前処理建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-4	分離建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-5	精製建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-6	ハル・エンドピース貯蔵建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-7	制御建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-8	緊急時対策建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-9	主排気筒(基礎)の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			後次回で示す範囲
別紙-10	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-11	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-12	チャンネルボックス・バーナブルボイゾン処理建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-13	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-14	安全冷却水系冷却塔A(基礎)の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			後次回で示す範囲
別紙-15	安全冷却水系冷却塔B(基礎)の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			後次回で示す範囲
別紙-16	第1非常用ディーゼル発電設備重油タンク室(基礎)の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			後次回で示す範囲
別紙-17	高レベル廃液ガラス固化建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-18	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟の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			後次回で示す範囲

別紙リスト 耐震建物 15【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】(2/2)

別紙				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
別紙-19	第1ガラス固化体貯蔵建屋西棟の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			後次回で示す範囲
別紙-20	非常用電源建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-21	燃料油貯蔵タンク基礎の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			後次回で示す範囲
別紙-22	冷却塔A、B（基礎）の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			後次回で示す範囲
別紙-23	第1保管庫・貯水所の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			後次回で示す範囲
別紙-24	第2保管庫・貯水所の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			後次回で示す範囲
別紙-25	第1軽油貯蔵所（基礎）の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			後次回で示す範囲
別紙-26	第2軽油貯蔵所（基礎）の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			後次回で示す範囲
別紙-27	重油貯蔵所（基礎）の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			後次回で示す範囲
別紙-28	ガラス固化体貯蔵建屋の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			後次回で示す範囲
別紙-29	ガラス固化体貯蔵建屋B棟の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			後次回で示す範囲

別紙 1

安全冷却水 B 冷却塔基礎の応力解析における
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 1-1
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 1-1

1. 概要

本資料は、安全冷却水 B 冷却塔基礎の応力解析による評価のうち、基礎スラブについて、モデル化、境界条件及び拘束条件の詳細を示すものである。

2. 応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件

安全冷却水 B 冷却塔基礎の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第2.-1表に示す。

第2.-1表 (1/2) 安全冷却水B冷却塔基礎の基礎スラブ

モデル概要

○モデル化範囲

- ・基礎スラブとして、図1の範囲をモデル化する。

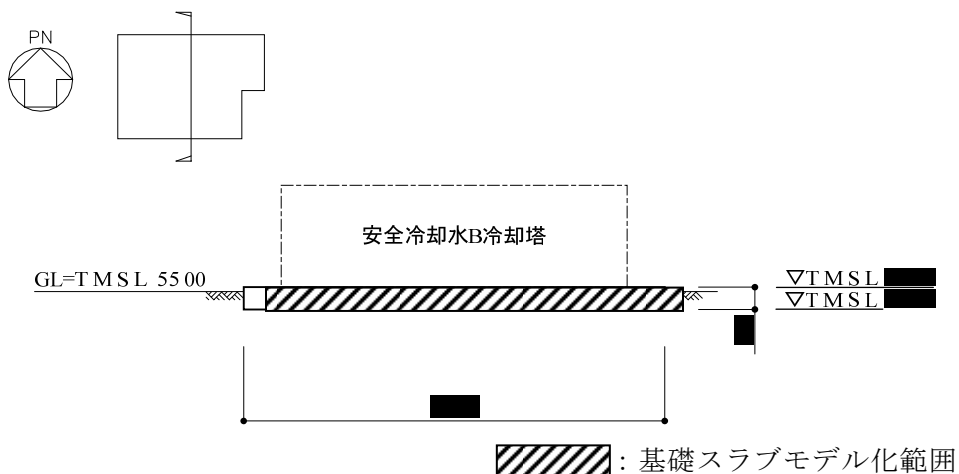


図1 モデル化範囲 (単位：m)

○使用要素

- ・基礎スラブ : シェル要素

○要素分割

- ・冷却塔の支持架構の柱位置に従い分割を行うものとし、基本的にEW方向は柱スパンに合わせ、NS方向は柱間を2分割とする。要素の一边の長さは2.0~4.0m程度とする。

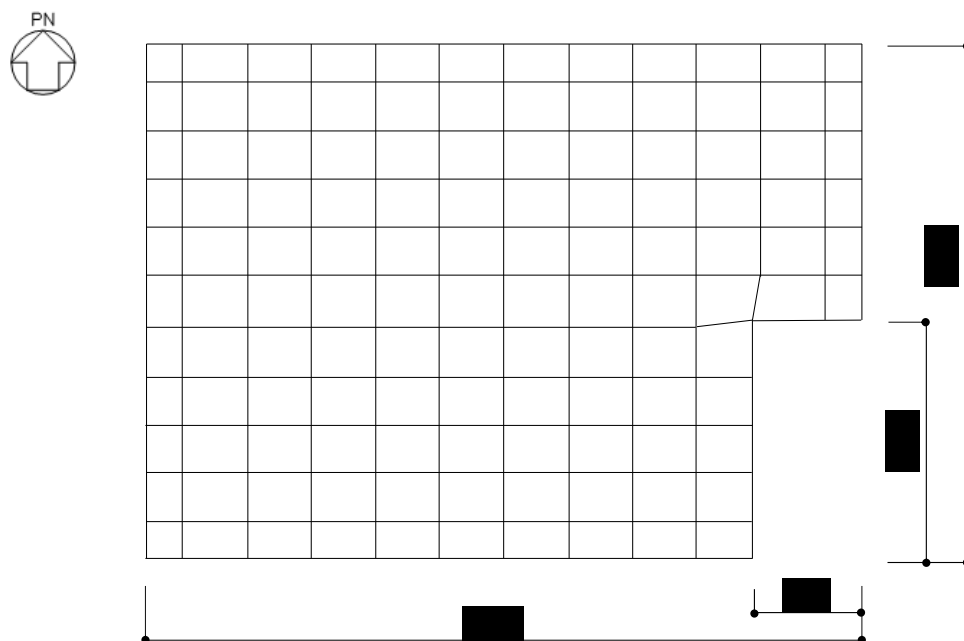
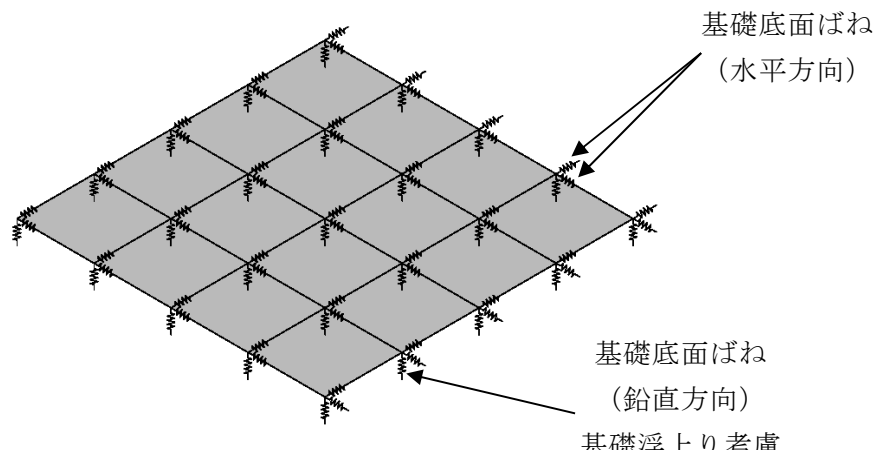


図2 FEMモデル (単位：mm)

第2.-1表 (2/2) 安全冷却水B冷却塔基礎の基礎スラブ

境界条件, 拘束条件	
上部構造物と基礎スラブの境界	
<ul style="list-style-type: none"> 基礎スラブの剛性に対して上部冷却塔の剛性が十分に小さいと考えられることから, 基礎スラブの応力評価において上部冷却塔による拘束効果は考慮しない。 	
基礎スラブと地盤の境界	
<ul style="list-style-type: none"> 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通り設定する。 水平剛性K_{Hi} 振動アドミタンス理論による水平ばねK_Hを節点支配面積A_iで離散化する。 $K_{Hi \ NS(EW)} = (K_{H \ NS(EW)} / A) \times A_i$ A : 基礎の底面積 鉛直剛性K_{Vi} 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で離散化する。 $K_{Vi} = (K_{R \ NS} / I_{NS} + K_{R \ EW} / I_{EW}) / 2 \times A_i$ I : 基礎の断面二次モーメント 	
	
図3 ばね要素拡大図	

別紙 2

燃料加工建屋の応力解析における
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 2-1

付録 1 燃料加工建屋 基礎スラブの応力解析における壁開口の反映方法

付録 2 燃料加工建屋 地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討

1. 概要

本資料は燃料加工建屋の応力解析による評価のうち、FEM モデルを用いている基礎スラブについて、モデル化、境界条件及び拘束条件の詳細を示すものである。

なお、重要区域の壁については、せん断力分配解析によって各耐震壁に振り分けた応力に対して、重要区域の床については、床の支持条件に応じた理論解による応力に対して断面の評価を行っており、FEMモデルを用いていない。そのため、本資料での説明の対象外とする。

2. 応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件

燃料加工建屋の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第2. -1表に示す。

第2.-1表 (1/4) 燃料加工建屋の基礎スラブ

モデル概要

○モデル化範囲

- ・基礎スラブ及び基礎スラブより立ち上がる耐震壁(図1に示す範囲)をモデル化する。
- ・基礎スラブは、図2に示す基礎上端レベル以下を、段差がない平板としてモデル化する。
- ・上部構造については地震応答解析と同様に耐震壁のみ考慮し、梁要素としてモデル化を行う。なお、地下3階の同位置に壁が存在しない束壁は、壁高さ(内法で170mm)が基礎スラブ厚(2,700mm以上)に比べて十分小さく、基礎スラブへの拘束効果は小さいと考えられるためモデル化は行わない。また、独立柱は基礎スラブへの拘束効果は小さいと考えられるためモデル化は行わない。

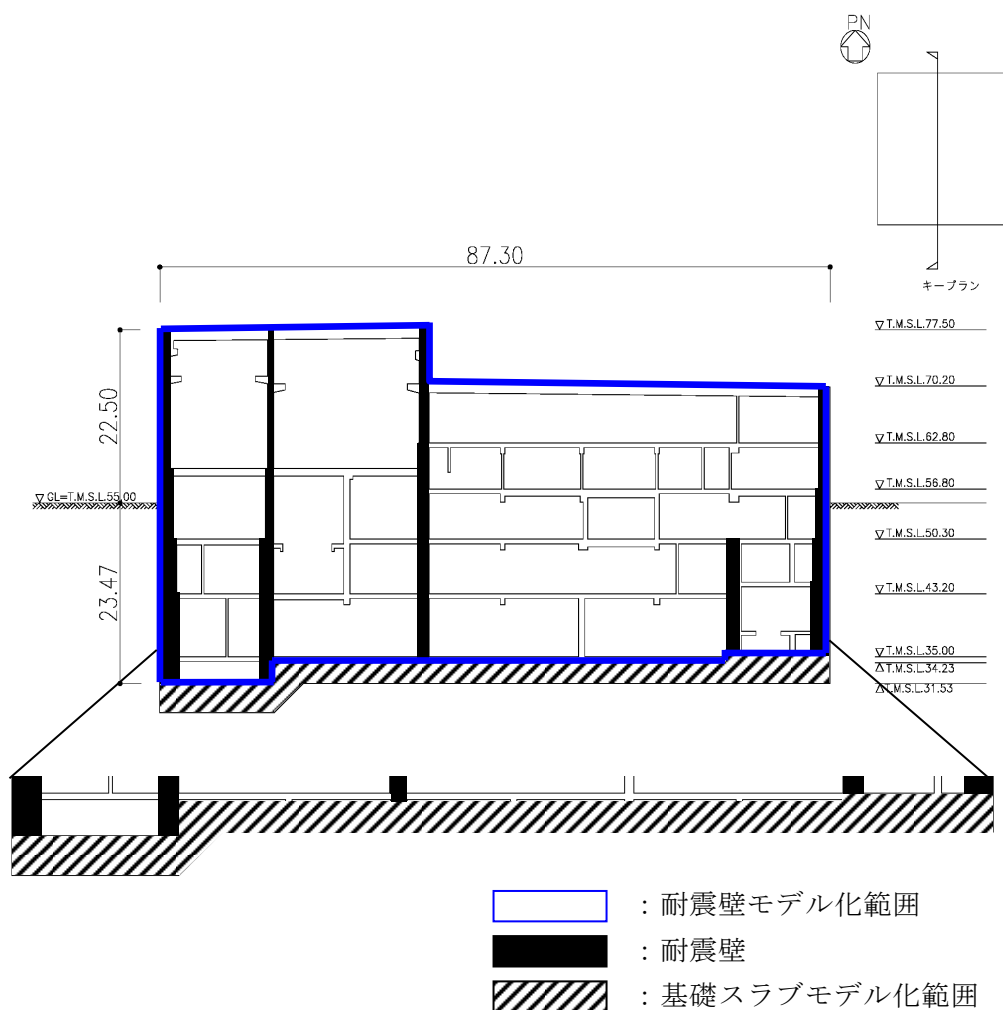


図1 モデル化範囲 (NS方向断面図) (単位:m)

第2.-1表 (2/4) 燃料加工建屋の基礎スラブ

モデル概要

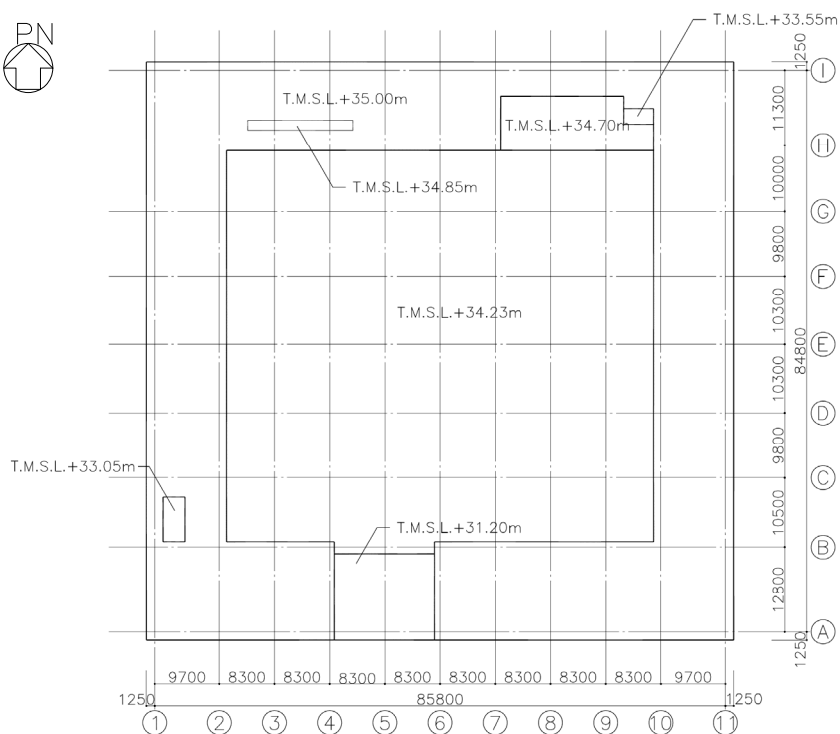


図2 基礎スラブ上端レベル (単位 : mm)

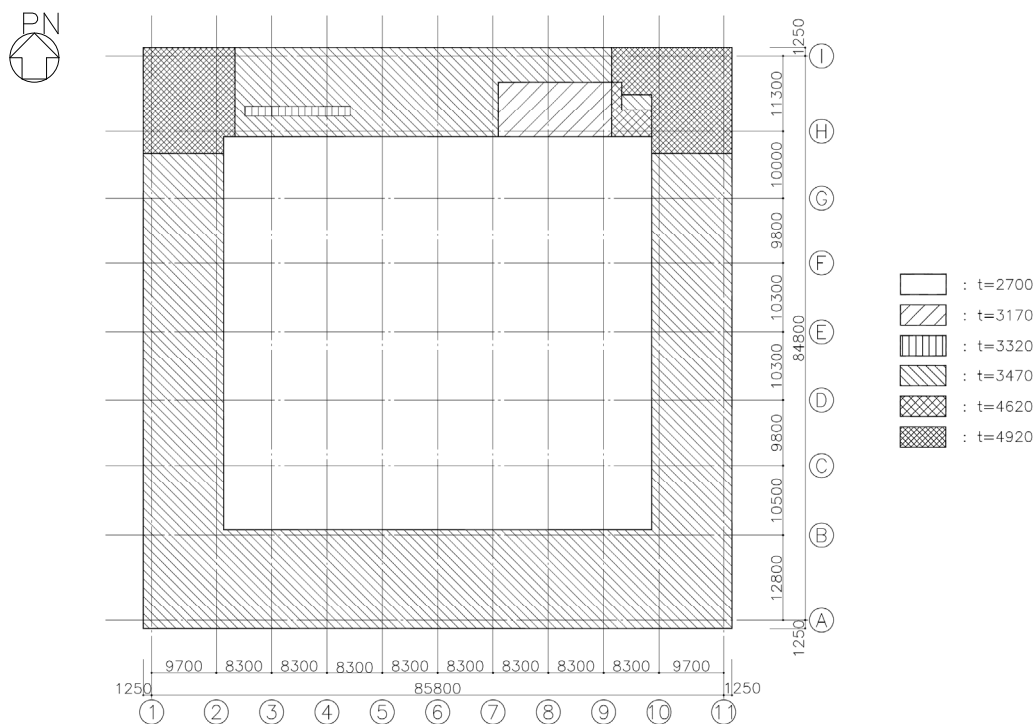


図3 基礎スラブ厚 (単位 : mm)

第2.-1表 (3/4) 燃料加工建屋の基礎スラブ

モデル概要

○使用要素

- ・基礎スラブ : シェル要素
- ・耐震壁 : 梁要素

○要素分割

- ・要素の一辺の長さを2.4~3.5m程度とし, 上部構造物の配置を考慮して分割する。

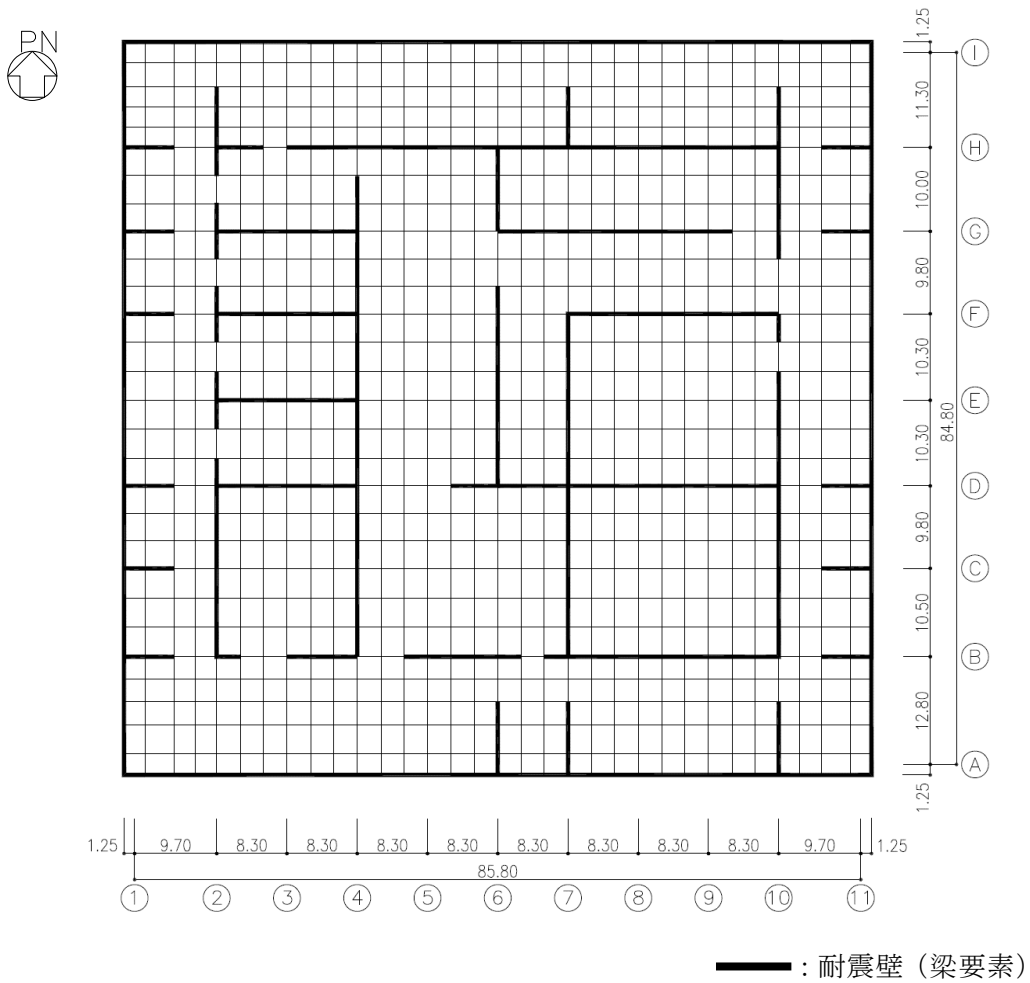


図4 モデル概要 (単位 : m)

第2.-1表 (4/4) 燃料加工建屋の基礎スラブ

境界条件, 拘束条件	
上部構造物と基礎の境界	
<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, 上部構造物の剛性による拘束を考慮するため各耐震壁の脚部に梁要素を設ける。 	
梁要素の剛性 (断面性能)	
<ul style="list-style-type: none"> 軸剛性 (軸断面積) $A = t \times h$ 曲げ剛性 (断面二次モーメント) $I = t \times h^3 / 12 + A \times (h / 2 + D / 2)^2$ せん断剛性 (せん断断面積) $A_s = t \times h$ 	<ul style="list-style-type: none"> t : 壁厚 h : モデル化する壁の高さ D : 基礎スラブ厚
<ul style="list-style-type: none"> 壁開口については, 梁要素を設定しない, あるいは梁要素の剛性を低減することで考慮する。具体的な反映方法は, 付録 1「燃料加工建屋基礎スラブの応力解析における壁開口の反映方法」にて示す。 	
基礎スラブと地盤の境界	
<ul style="list-style-type: none"> 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通り設定する。 水平剛性K_{Hi} 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で離散化する。 $K_{Hi \text{ NS(EW)}} = (K_{H \text{ NS(EW)}} / A) \times A_i$ A : 基礎の底面積 鉛直剛性K_{Vi} 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で離散化する。 $K_{Vi} = (K_{R \text{ NS}} / I_{\text{NS}} + K_{R \text{ EW}} / I_{\text{EW}}) / 2 \times A_i$ I : 基礎の断面二次モーメント 	

付録 1

燃料加工建屋

基礎スラブの応力解析における壁開口の反映方法

目 次

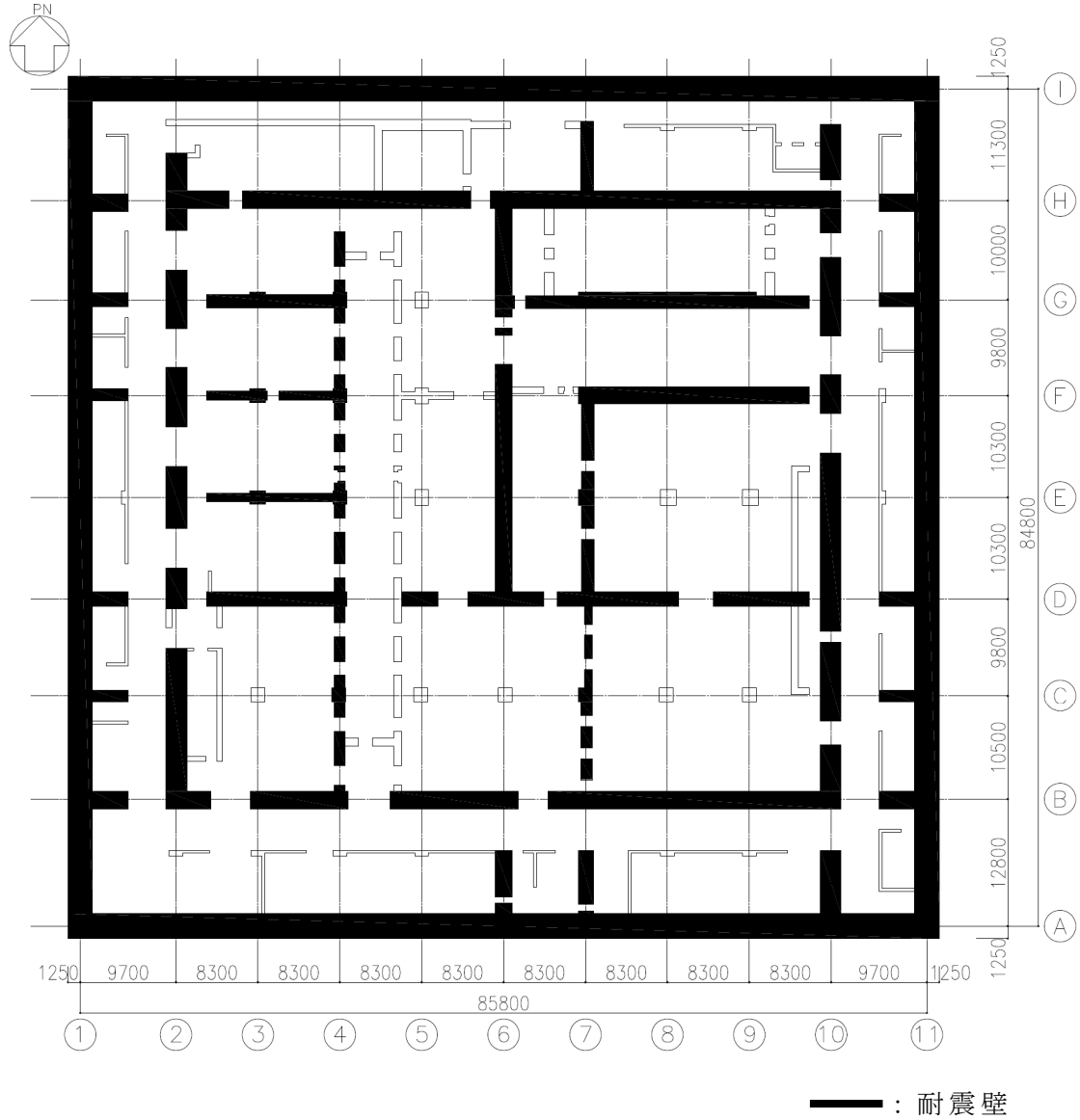
1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・付録 1-1
2. 基礎スラブの上部構造による拘束の設定・・・・・・・・付録 1-2
 - 2.1 拘束条件設定における壁開口の反映方法・・・・・・・・付録 1-4

1. 概要

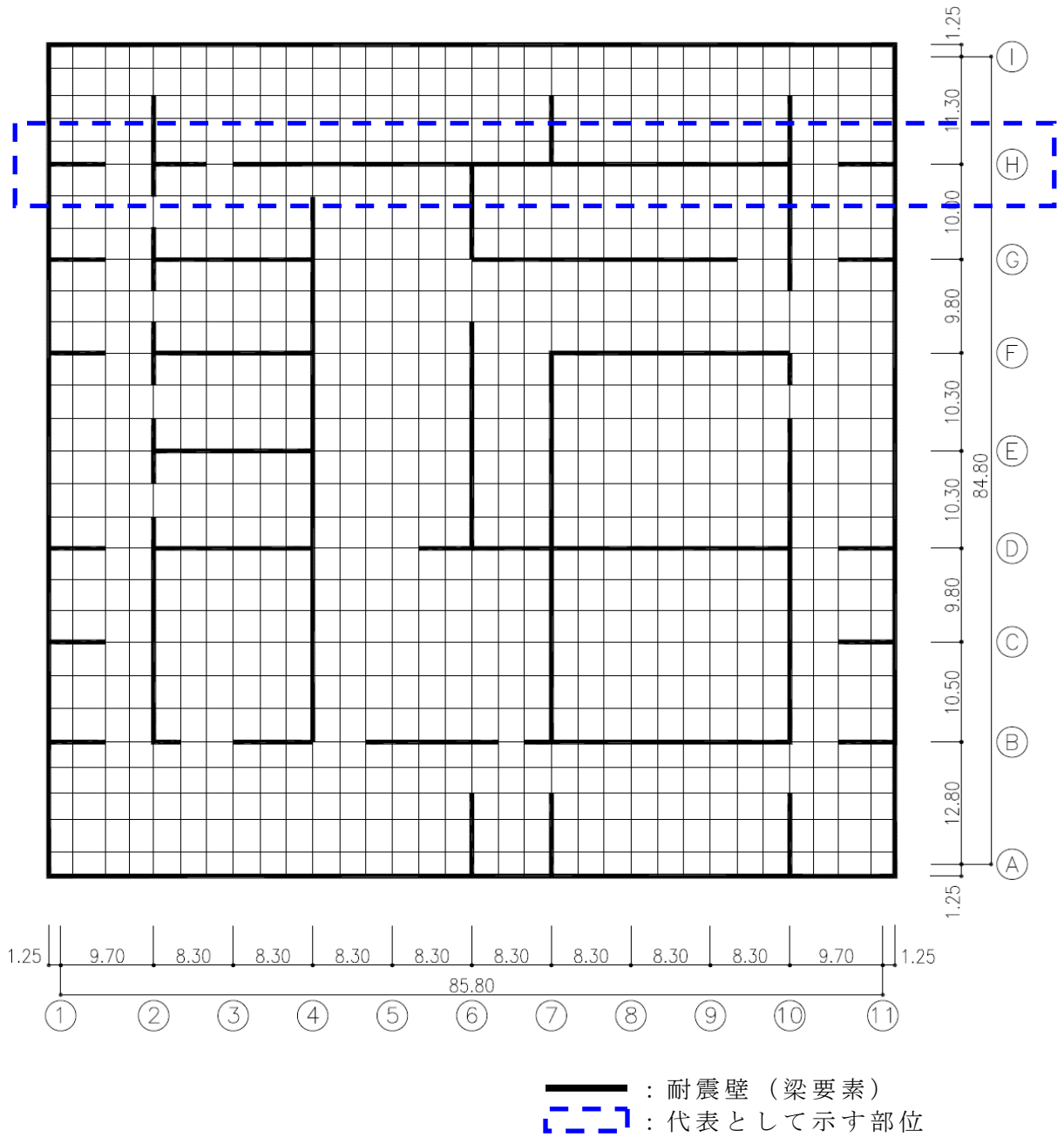
本資料は、燃料加工建屋の基礎スラブの FEM モデルについて、耐震壁のモデル化における壁開口の反映方法を示すものである。

2. 基礎スラブの上部構造による拘束の設定

燃料加工建屋の基礎スラブでは，応力解析におけるモデル化にあたって，上部構造の影響を考慮するため，地下3階の耐震壁位置（第2.-1図）に上部構造の剛性を考慮した梁要素を設けている。モデル概要と代表として示す部位を第2.-2図に示す。



第2.-1図 地下3階の耐震壁平面図



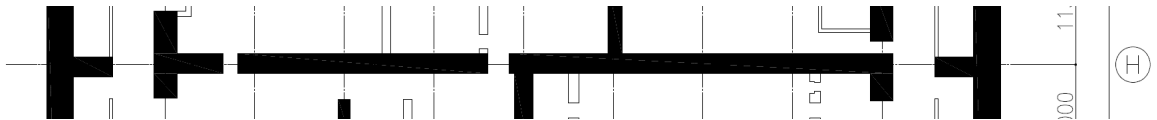
第 2.-2 図 モデル概要 (単位 : m)

2.1 拘束条件設定における壁開口の反映方法

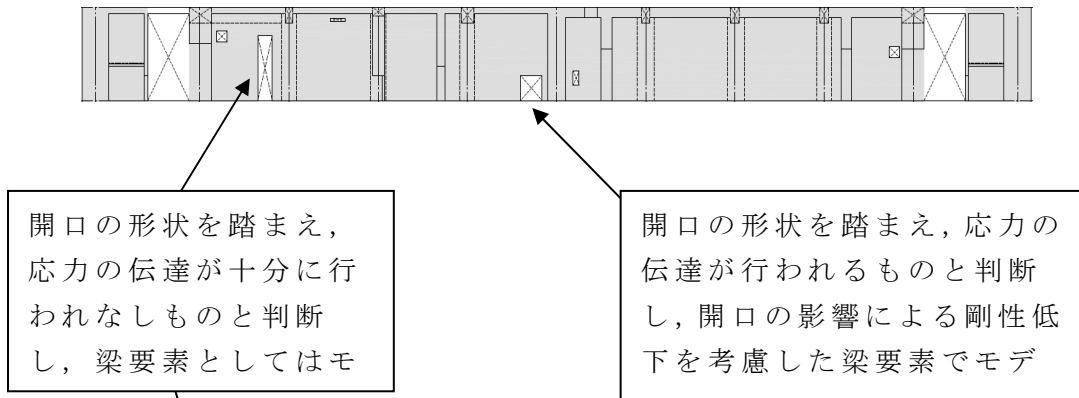
梁要素(耐震壁)は、実状の耐震壁の配置通りにモデル化することを基本とし、基礎スラブのメッシュ分割に合わせて配置する。梁要素(耐震壁)の設定における壁開口の反映方法を下記に示す。

- ① 基礎スラブ直上の耐震壁に主要な壁開口が存在し、応力の伝達が十分に行われないと判断される部位については、基礎スラブに対する拘束効果が期待できないものとして、梁要素を設定しない。
- ② 設定する梁要素の剛性には、各階における壁開口の影響を考慮する。

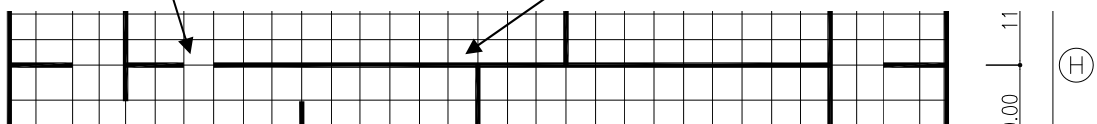
例として、H通りにおける基礎スラブの梁要素の設定方法を第2.-3図に示す。



地下3階、H通り平面図



地下3階、H通り壁開口図



基礎スラブ、H通りモデル図

第2.-3図 基礎スラブ梁要素の設定例 (H通り)

付録 2

燃料加工建屋

地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討

目 次

1. <u>概要</u>	付録 2-1
2. <u>壁の塑性化に対する影響検討</u>	付録 2-2
2.1 検討方針.....	付録 2-2
2.2 検討モデル.....	付録 2-3
2.3 入力荷重.....	付録 2-5
2.4 剛性低下率の算定.....	付録 2-6
2.5 検討結果.....	付録 2-8
3. <u>まとめ</u>	付録 2-10
<u>参考 1 検討モデルの適用性確認</u>	参考 1-1

1. 概要

Ⅲ-3-1-1-1「燃料加工建屋の地震応答計算書」及び「耐震建物 11 設工認に係る補足説明資料 地震応答計算書に関する地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」に示すように、燃料加工建屋は基準地震動 S_s について弾塑性時刻歴応答解析を実施しており、せん断スケルトン曲線上の最大応答が第 2 折点を超え、塑性化する結果となっている。

一方、基礎スラブの応力解析では、Ⅲ-3-1-1-2「燃料加工建屋の耐震計算書」(以下、「耐震計算書」という。)及び「耐震建物 15 設工認に係る補足説明資料 耐震計算書に関する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」に示すように、基礎スラブへの拘束効果を考慮するためにモデル化した耐震壁については、弾性部材としており塑性化を考慮していない。

本資料は、基礎スラブの応力解析において、地震時の耐震壁の塑性化が基礎スラブの応力に及ぼす影響を検討するものである。

2. 壁の塑性化に対する影響検討

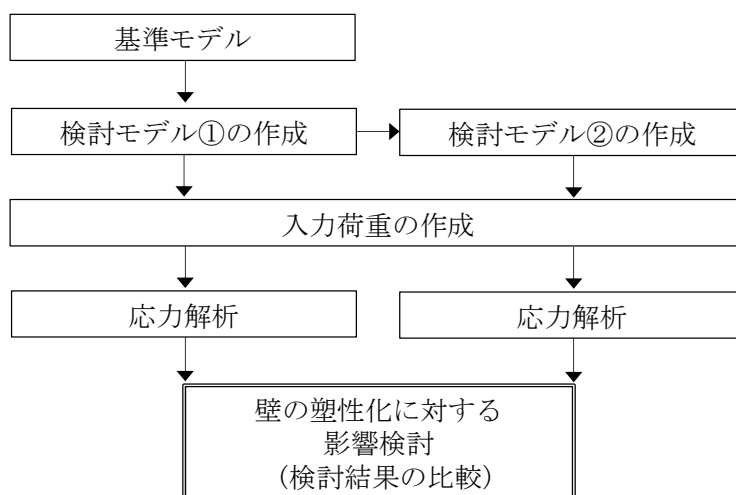
2.1 検討方針

耐震計算書に示す基礎スラブの応力解析モデル（以下、「基準モデル」という）においては、基礎スラブに対する耐震壁の拘束効果を梁要素として考慮している。耐震壁を梁要素としてモデル化した場合、壁の塑性化に対する影響を考慮する方法として、各階の内、最も塑性化の影響が大きい階の剛性低下率を梁要素の剛性に乗じるといった方法が考えられるが、本方法では、壁の塑性化の程度が各階で異なる場合に、塑性化の影響を過剰に評価することとなる。

そのため、本検討においては、耐震壁における剛性低下の影響を各階で適切に反映するため、基礎スラブに対する上部構造の拘束効果をシェル要素として考慮したモデル（以下、「検討モデル」）を用いた解析を実施する。

第 2.1-1 図に壁の塑性化に対する影響検討フローを示す。検討においては、基準モデルと同様に塑性化を考慮しない条件の検討モデル（以下、「検討モデル①」という。）と、地震応答解析に基づく壁の塑性化を考慮したモデル（以下「検討モデル②」という。）を用いた S_s 地震荷重による応力解析を行い、応力解析結果の比較を行うことで、壁の塑性化に対する影響を検討する。

検討項目は、基準モデルにおいて、許容限界に対する発生応力の割合（以下、「検定比」という。）が最も大きくなる面外せん断力とする。



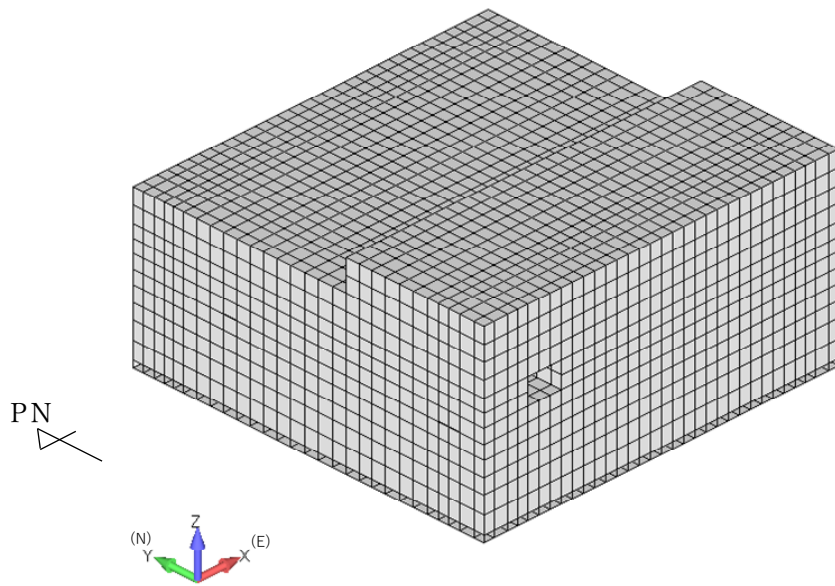
第 2.1-1 図 壁の塑性化に対する影響検討フロー

2.2 検討モデル

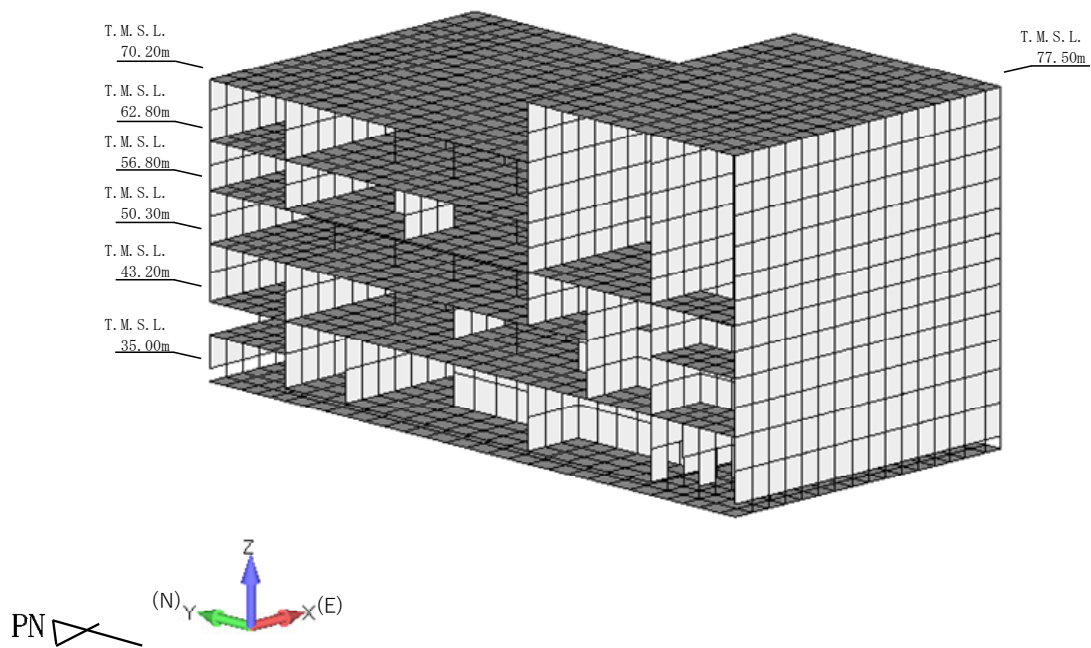
検討モデル①及び検討モデル②の解析モデル図を第 2.2-1 図に示す。ここで、検討モデル①は、基準モデルに下記の変更を加えたモデルとする。

- ・耐震壁を、シェル要素でモデル化する。
- ・各階の床スラブ及び補助壁を、シェル要素でモデル化する。
- ・各階の柱を梁要素でモデル化する。
- ・モデル化範囲の部材の材料物性は全て弾性とする。なお、基礎スラブの浮上り非線形は考慮する。

また、検討モデル②は、検討モデル①における耐震壁のシェル要素のヤング係数に対し、「2.4 剛性低下率の算定」に示す地震応答解析結果に基づき算定した各階の剛性低下率を乗じたものとする。



(a) 全体鳥観図



(b) 断面図

第 2.2-1 図 検討モデル①の解析モデル図

2.3 入力荷重

入力荷重は、基礎スラブの評価において最大検定比をもたらす荷重組合せケース*を参考に、加力方向が水平方向 E→W、鉛直方向上向きの S_s 地震荷重とする。ここで、入力荷重は燃料加工建屋の耐震計算書と同じである。

*：「耐震建物 18 設工認に係る補足説明資料 耐震計算書に関する応力解析における断面の評価部位の選定」の別紙 2 「燃料加工建屋の応力解析における検定比が最大となる断面力及び方向の応力コンター図」参照。

2.4 剛性低下率の算定

剛性低下率の算定においては、まず、基礎スラブ直上の壁部材の剛性が、基礎スラブに対する拘束効果に最も影響すると考えられることから、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果のうち、加力方向である EW 方向において、基礎スラブ直上の壁部材の剛性が最も低下するケース及び地震動を選定する。

第 2.4-1 表に各解析ケースにおける剛性低下率の算定結果を示す。なお、剛性低下率は、初期剛性に対するせん断スケルトン曲線の最大応答値と原点を結んだ割線剛性の比として算定する。剛性低下率の最小値は、応答が最も大きくなる S_s -C1 ケース 2 (地盤物性のばらつきを考慮したケース (-1σ)) の地震動により生じている。

次に、選定した地震動に対する地震応答解析結果に基づき、各壁部材の剛性低下率を算定する。第 2.4-2 表に各壁部材の剛性低下率の算定結果を示す。ここで、検討モデル②は、検討モデル①における耐震壁のシェル要素のヤング係数に対し、算定した剛性低下率を乗じたものとする。

注記* : 「耐震建物 11 設工認に係る補足説明資料 地震応答計算書に関する地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」の別紙 2 「燃料加工建屋における材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果」参照。

第 2.4-1 表 各解析ケースにおける剛性低下率の算定結果

検討ケース	地震動	剛性低下率
ケース 0	Ss-C1	0.87
ケース 1	Ss-C1	1.00
ケース 2	Ss-C1	<u>0.46</u>

注：下線部は，剛性低下率の最小値を示す。

第 2.4-2 表 各壁部材の剛性低下率の算定結果 (Ss-C1 ケース 2)

方向	T. M. S. L. (m)	剛性低下率
NS	77.50～70.20	0.99
	70.20～62.80	—
	62.80～56.80	—
	56.80～50.30	—
	50.30～43.20	0.79
	43.20～35.00	0.31
EW	77.50～70.20	—
	70.20～62.80	—
	62.80～56.80	—
	56.80～50.30	0.90
	50.30～43.20	0.82
	43.20～35.00	0.46

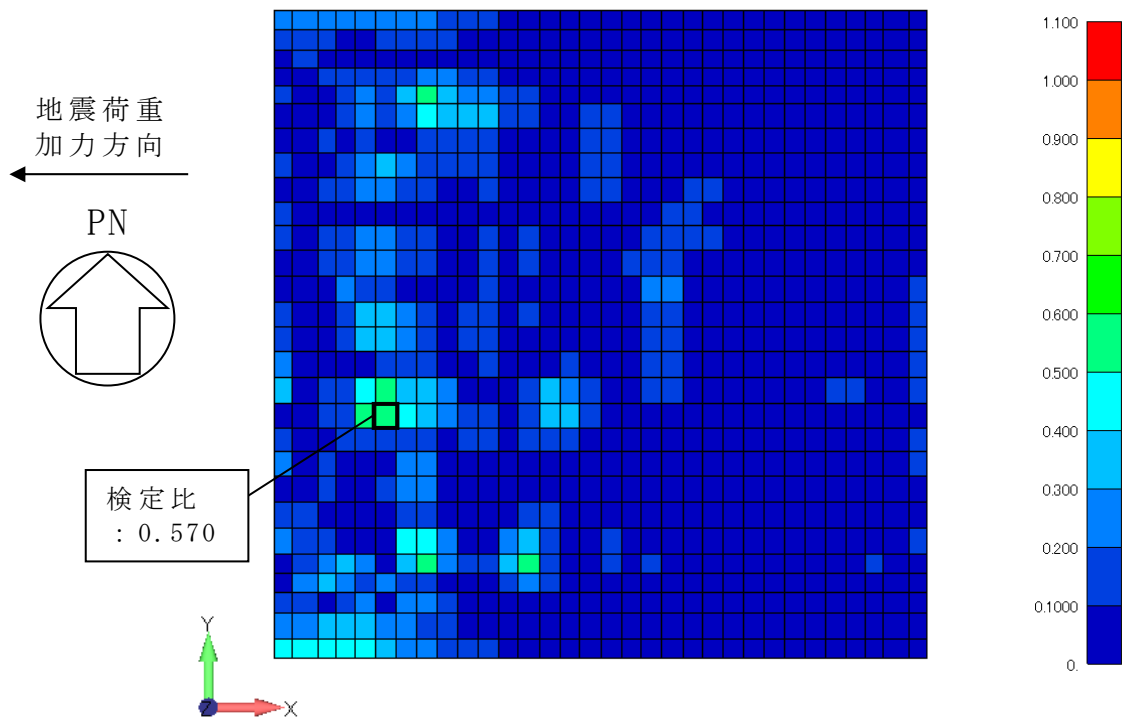
注：「—」は，塑性化していないことを示す。

2.5 検討結果

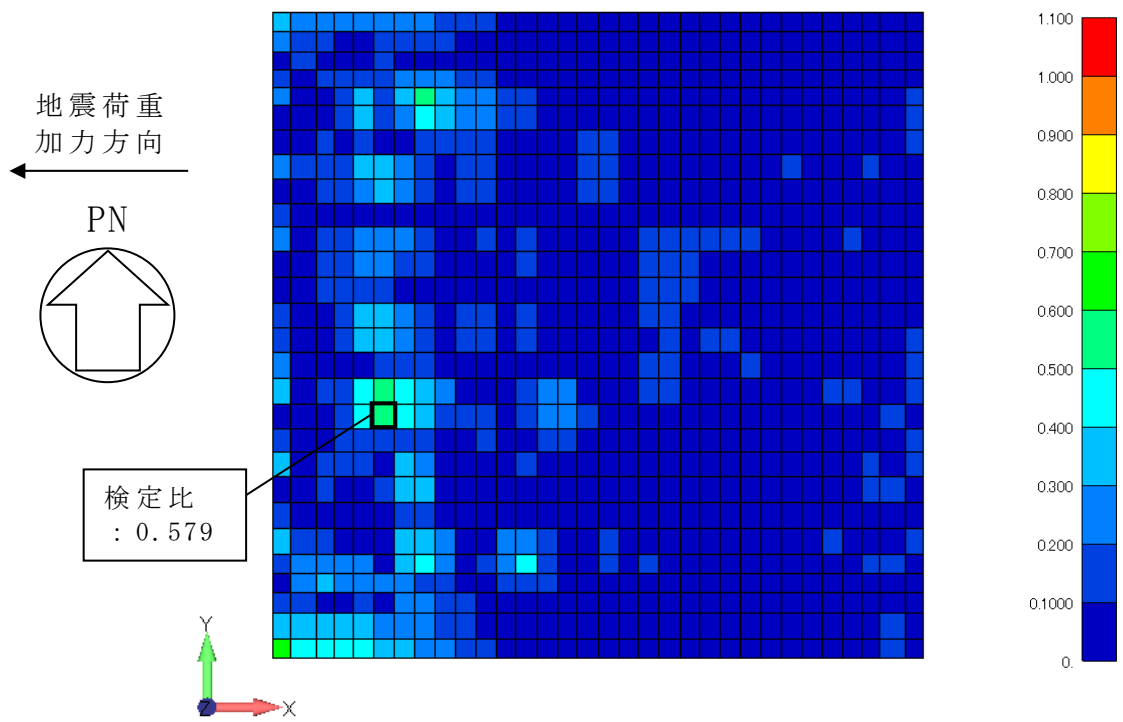
基礎スラブの面外せん断力における検定比コンター図について、剛性低下を考慮した検討モデル②の算定結果を、剛性低下を考慮していない検討モデル①の算定結果と比較して第 2.5-1 図に示す。

壁の塑性化の影響の有無により、基礎スラブ全体で検定比は概ね同程度であり、明確な傾向の違いは見られない。また、検討モデル①で最大検定比(0.570)を示した要素について、検討モデル②における検定比の値は0.579であり、僅かに増加する傾向であるものの、壁の塑性化の影響が検定比に与える影響が全体的に軽微であることを確認した。これは、基礎スラブ及び地盤の剛性が上部構造物である耐震壁の剛性と比べて高いことから、これらが負担する応力の割合が大きく、壁の塑性化の影響を考慮した場合でも、基礎スラブの応力状態に顕著な違いが現れなかったものと考えられる。

また、検討モデル②における基礎スラブの検定比が1.0を下回っていることから、燃料加工建屋の基礎スラブについて、壁の塑性化の影響を考慮した場合でも、発生する応力が許容限界を超えないことが確認された。



(b) 検討モデル①



(b) 検討モデル②

第 2.5-1 図 基礎スラブの検定比 (面外せん断力 NS 方向)コンター図

3. まとめ

基礎スラブの応力解析において、地震時の耐震壁の塑性化が基礎スラブの応力に及ぼす影響を検討した。その結果、壁の塑性化が基礎スラブの検定比に与える影響は軽微であることを確認するとともに、壁の塑性化の影響を考慮した場合の基礎スラブの検定比が 1.0 を下回ることを確認した。

参考 1 検討モデルの適用性確認

1. 概要

「付録 2 燃料加工建屋 地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討」における検討では、基礎スラブに対する上部構造の拘束効果をシェル要素として考慮した検討モデルを用いて解析を実施している。ここでは、基準モデルと同様に塑性化を考慮しない条件でモデル化した検討モデル①と、基準モデルとの解析結果の比較、分析を行うことで、壁の塑性化に対する影響検討に検討モデルを用いることの適用性を確認する。

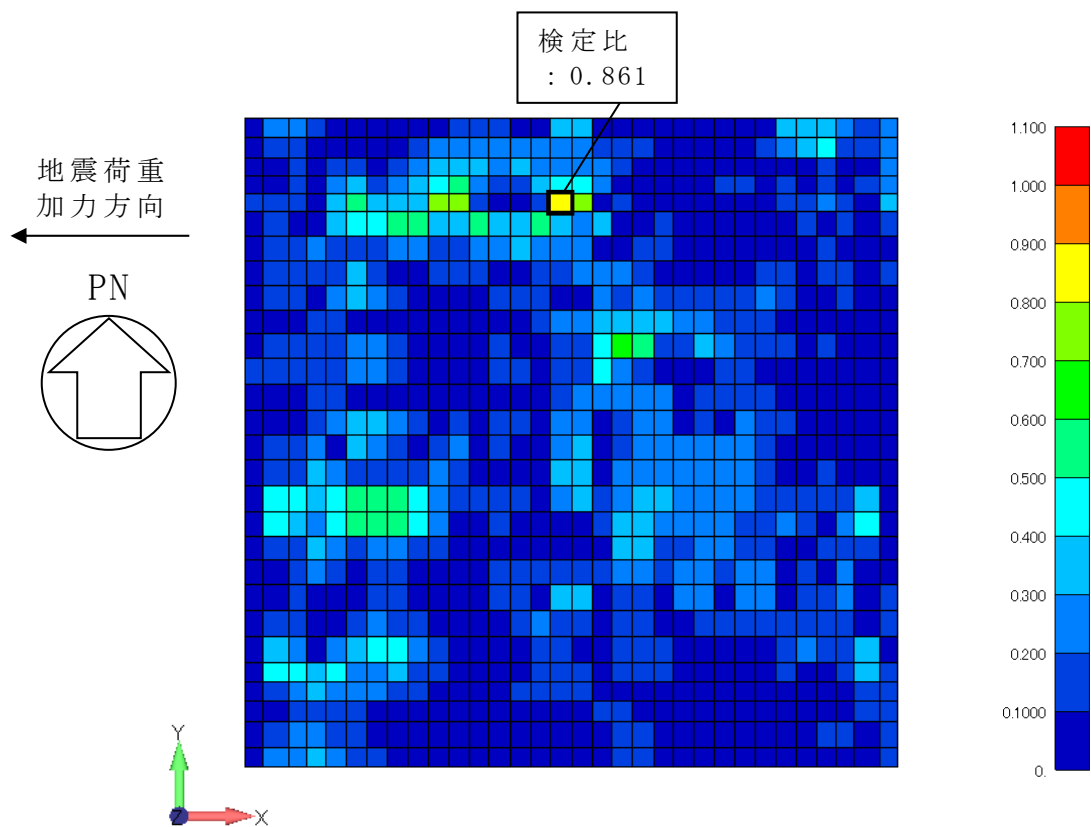
2. 入力荷重

入力荷重は、「2. 壁の塑性化に対する影響検討」での検討と同様に、加力方向が水平方向 E→W、鉛直方向上向きの S_s 地震荷重とする。ここで、入力荷重は燃料加工建屋の耐震計算書と同じである。

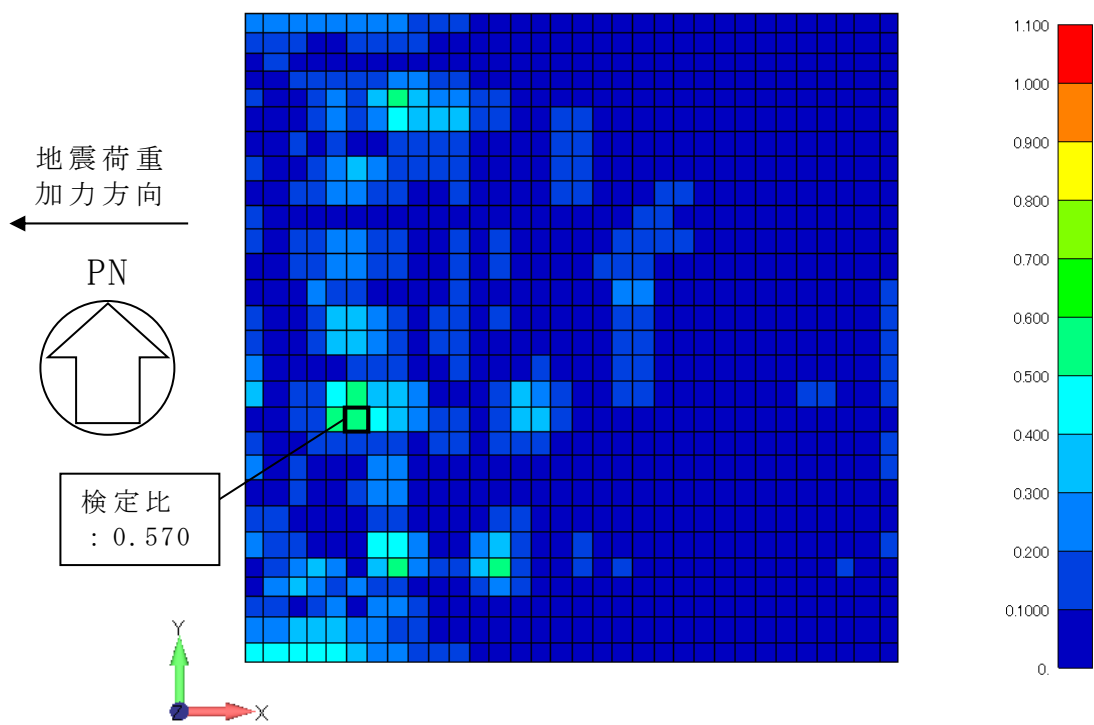
3. 検討結果

第 3.-1 図に基準モデルと検討モデル①の基礎スラブの面外せん断力における検定比コンター図を比較して示す。基準モデルにおいて最大検定比(0.861)を示した部位を含め、検討モデル①では基準モデルと比べて一部で検定比の低減が確認できる。これは、基準モデルにおいてモデル化上考慮していない上部構造の床スラブ及び補助壁を検討モデル①においてモデル化していることから、これらの部材が応力を負担し、基礎スラブが負担する面外せん断力が軽減されたことにより、検定比が低減したものと考えられる。また、検討モデル①で検定比が大きくなる部位については、基準モデルでも概ね同等の検定比の分布になっていると考えられる。

以上より、基準モデルと検討モデル①の検定比の違いが、解析モデルを精緻化した影響であることを確認するとともに、壁の塑性化に対する影響検討への検討モデルの適用性を確認した。



(a) 基準モデル



(b) 検討モデル①

第 3.-1 図 基礎スラブの検定比（面外せん断力 NS 方向）コンター図