

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や防護上の観点から公開できません。

※なお、本資料は抜粋版のため、公開できない箇所はありません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-5_改4
提出年月日	2021年 9月 6日

補足-600-5 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する
検討について


目 次

1. 検討の目的	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	1
2.1 女川原子力発電所の基準地震動	1
2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	4
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	4
3.1 建物・構築物	4
3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	4
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	7
3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出	12
3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果	33
3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	35
3.1.6 排気筒の検討	36
3.1.7 使用済燃料プールの壁の検討	47
3.1.8 原子炉建屋の基礎版の検討	65
3.2 機器・配管系	81
3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	81
3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	82
3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響評価方法	83
3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	86
3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出結果	88
3.2.6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	89
3.2.7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	90
3.2.8 まとめ	90
3.3 屋外重要土木構造物	106
3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	106
3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	109
3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	110
3.3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	113
3.3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	130
3.3.6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	141
3.3.7 まとめ	155

 : 今回提出範囲

3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	156
3.4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物	156
3.4.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	169
3.4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	170
3.4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	171
3.4.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	174
3.4.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	185
3.4.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価結果	188
3.4.8 機器・配管系への影響	245

別紙1	評価部位の抽出に関する説明資料
別紙2	3次元FEMモデルを用いた精査
別紙3	3次元FEMモデルによる地震応答解析
別紙4	機器・配管系に関する説明資料
別紙5	方向性を考慮しない水平地震動における模擬地震波の作成方針
別紙6	原子炉建屋基礎版の応力解析における応力平均化の考え方

 : 今回提出範囲

1. 検討の目的

平成25年に制定された「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）」（以下「技術基準」という。）は、従前の耐震設計審査指針から充実が図られている。

そのうち、新たに要求された水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せについて、耐震設計に係る工認審査ガイドにおいて、以下の内容が示されている。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

3.5.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ（4.5.2及び5.5.2も同様）

水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを適切に行っていることを確認する。

(1) 動的な地震力の組合せ

水平2方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを簡易的に行う際には、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の構造、応答特性に留意し、非安全側の評価にならない組合せ方法を適用していること。

なお、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の三次元応答特性により応答の同時性を考慮する必要がある場合は、各方向の各時刻歴での応答値を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性を考慮していること。

上記審査ガイドを踏まえ、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

2.1 女川原子力発電所の基準地震動

女川原子力発電所の基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、その結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 $S_s-D1\sim D3$ 、断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s-F1\sim F3$ を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として、震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s-N1 を策定している。

基準地震動 S_s のスペクトル図（水平方向）を図2-1-1に、基準地震動 S_s のスペクトル図（鉛直方向）を図2-1-2に示す。

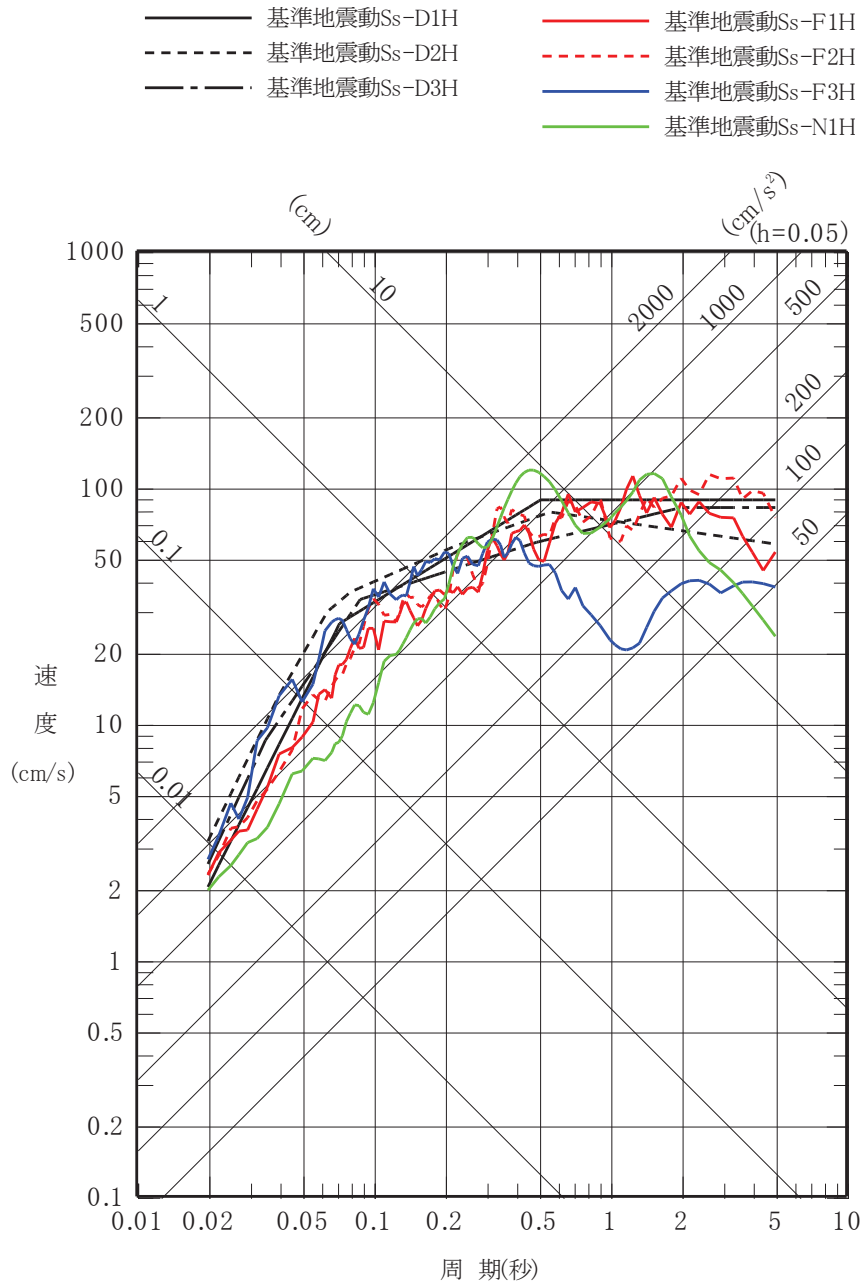


図 2-1-1 基準地震動 S s のスペクトル (水平方向)

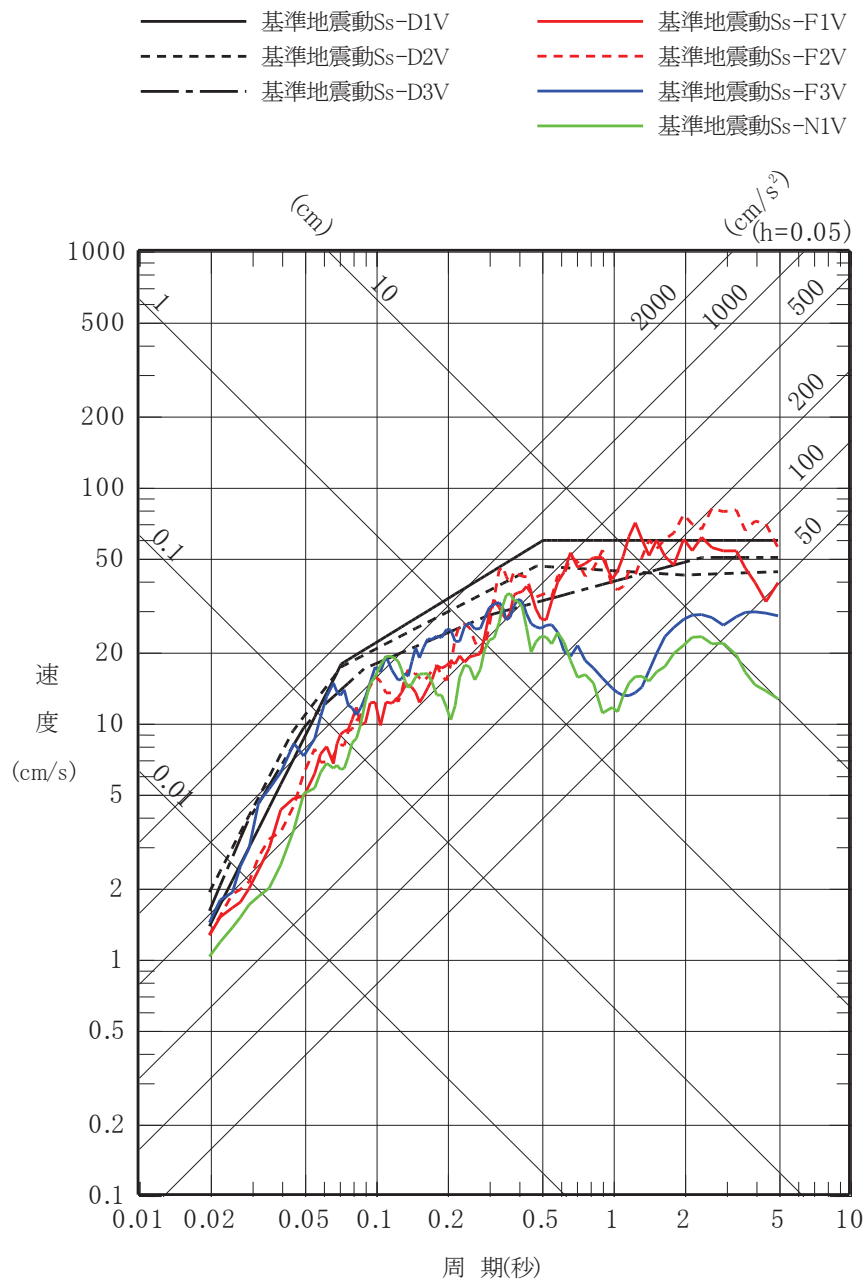


図 2-1-2 基準地震動 S s のスペクトル (鉛直方向)

2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果

本資料では添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「2.基本方針」に記載の対象について建物・構築物、機器・配管系、屋外重要土木構築物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備に分類し検討した結果を示す。

なお、VI-2「耐震性に関する説明書」の別添として整理している火災防護設備、溢水防護に関する施設及び可搬型重大事故等対処設備に係る施設については下記資料にて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討を行う。

- ・VI-2-別添1-8

「火災防護設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

- ・VI-2-別添2-3

「溢水防護に関する施設の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

- ・VI-2-別添3-6

「可搬型重大事故等対処設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、各水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルにそれぞれの方向ごとに入力し解析を行っている。また、原子力施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に作用するせん断力に対して、地震時に生じる力の流れが明解になるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。

したがって、建物・構築物に対し、水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に作用する軸力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、図3-1-1及び図3-1-2に示す。

また、添付書類「VI-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計

算書」，添付書類「VI-2-3～VI-2-10 の申請設備の耐震計算書」及び添付書類「VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書」のうち建物・構築物の局部評価は，地震応答解析により算出された応答を水平 1 方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

排気筒については，J E A C 4 6 0 1 -2015 に基づき，斜め方向に作用する地震力に対する隅柱（主柱材）の軸力変動に対する検討として，支持鉄塔の対角線方向に地震動を入力した検討を実施している。

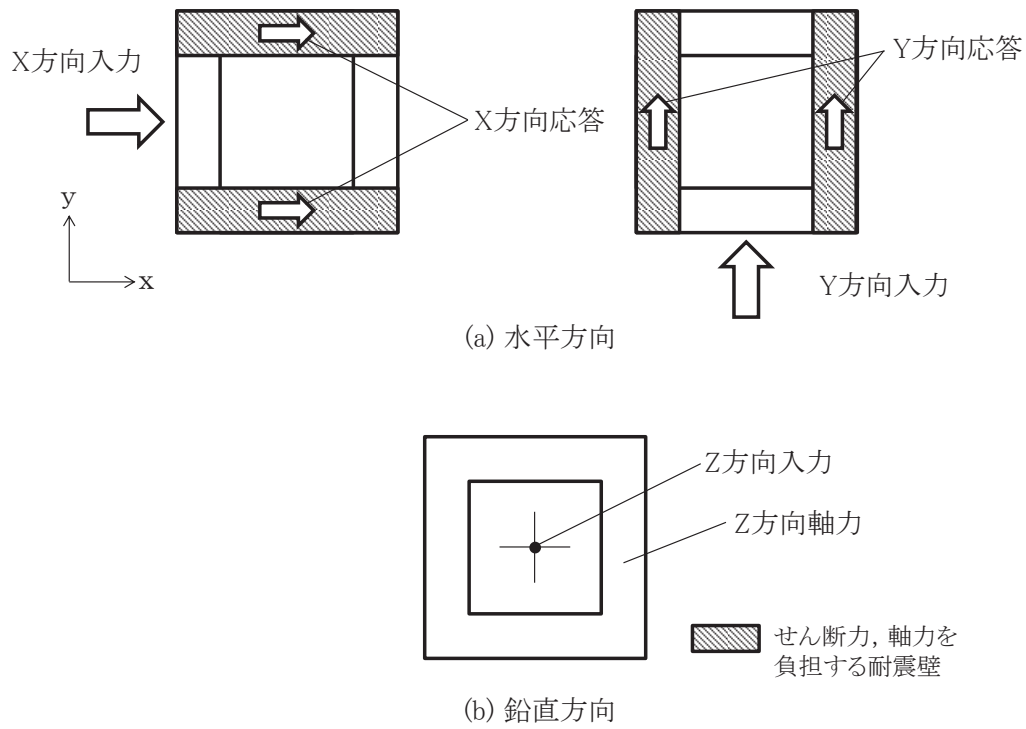


図 3-1-1 入力方向ごとの耐震要素（矩形）

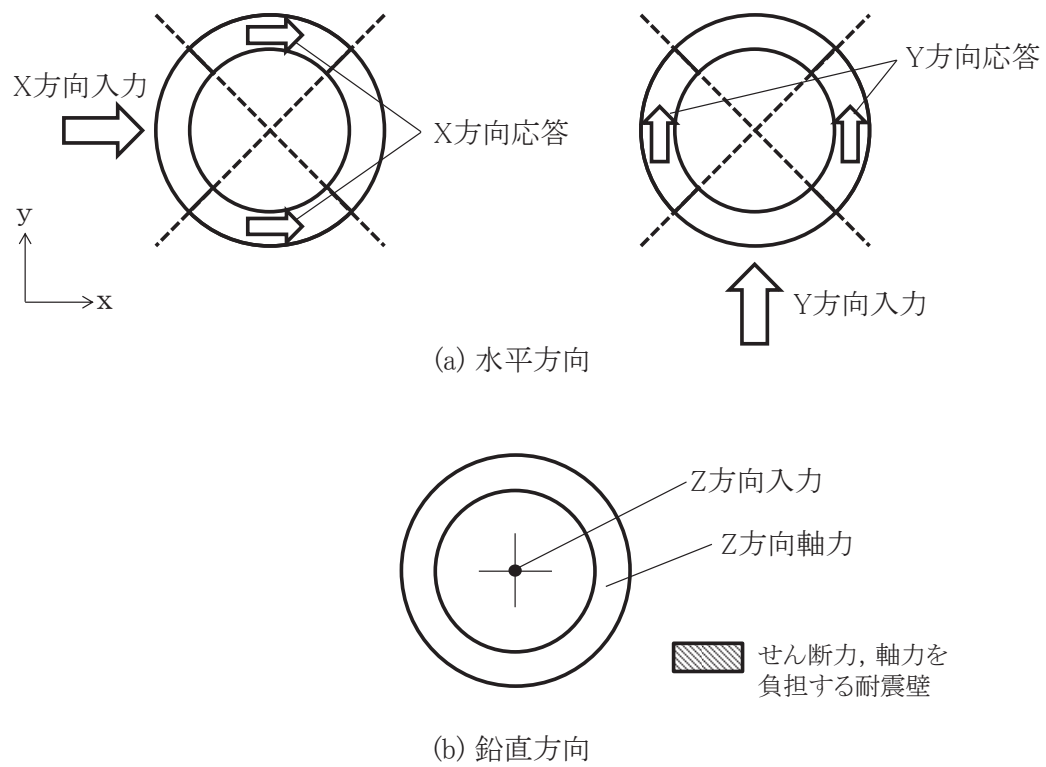


図 3-1-2 入力方向ごとの耐震要素（円筒形）

3.1.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する施設の部位とする。

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性がある部位を抽出する。

応答特性から抽出された水平2方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性がある部位は、従来の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平2方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

影響検討のフローを図3-1-3に示す。

(1) 影響評価部位の抽出

① 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

② 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理する。

なお、隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形等の評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁等（ラーメン構造では柱、梁）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力に対し、荷重の組合せによる応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

④ 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位のうち、3次元的な応答特性が想定される部位を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元的な応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

⑤ 3次元解析モデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元 FEM モデルを用いた精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3次元 FEM モデルによる精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する3次元 FEM モデルによる精査は、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、原子炉建屋について、地震応答解析を行う。

原子炉建屋の3次元 FEM モデルの概要図を図 3-1-4 に示す。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局所評価の荷重又は応力の算出結果を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)等の最大応答の非同時性を考慮した地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震性への影響を評価する。

注記* : REGULATORY GUIDE 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

⑦ 機器・配管系への影響検討

③及び⑤で、施設が有する耐震性への影響が想定され、評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの)又は常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・

配管系の影響評価に反映する。

なお、⑤の精査にて、建物・構築物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、3次元 FEM モデルによる地震応答解析結果から、機器・配管系への影響の可能性が想定される部位について検討対象として抽出する。

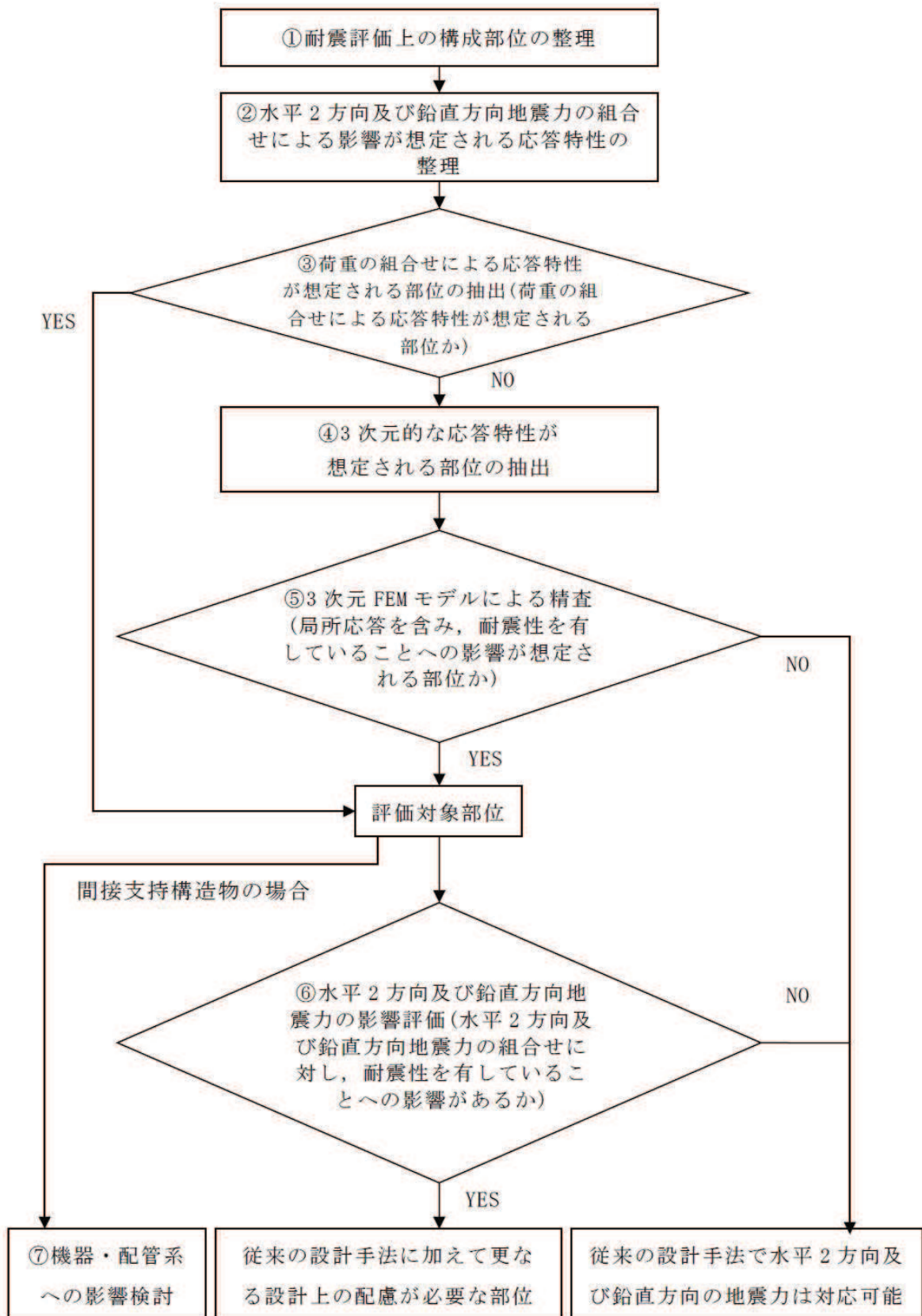


図 3-1-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響検討のフロー
(建物・構築物)

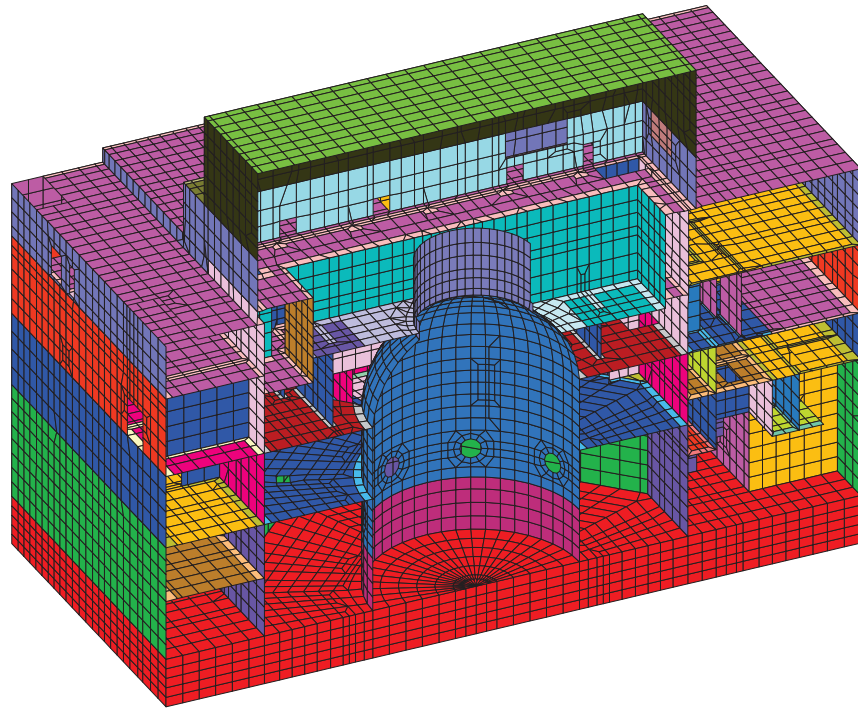


図 3-1-4 原子炉建屋の 3 次元 FEM モデルの概要図 (断面図)

3.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。影響評価部位の抽出の詳細について別紙1に示す。

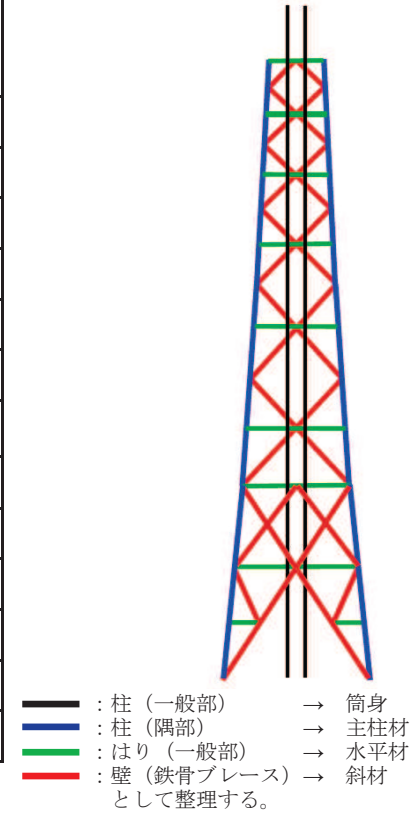
(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表3-1-1に示す。

表 3-1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (1/3)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
			使用済燃料 プール	上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	S 造, SRC 造		
柱	一般部	○	-	○	○	○
	隅部	○	-	○	○	○
	地下部	○	-	-	○	-
はり	一般部	○	-	○	○	○
	地下部	○	-	-	○	-
	鉄骨トラス	-	-	○	○	-
壁	一般部	○	○	-	○	-
	地下部	○	-	-	○	-
	鉄骨ブレース	-	-	○	-	○
床・屋根	一般部	○	○	-	○	-
基礎	矩形	○	-	-	○	○
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ○ : 対象の構造部材あり, - : 対象の構造部材なし



参考：排気筒構成部位概要図

表3-1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (2/3)

耐震性評価部位		第3号機海水熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC造	S造, RC造	S造, RC造, SRC造
柱	一般部	○	○	○
	隅部	○	○	-
	地下部	○	○	○
はり	一般部	○	○	○
	地下部	○	○	○
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	○	○	○
	地下部	○	○	○
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	○	○	○
基礎	矩形	○	○	○
	杭基礎	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の構造部材なし

表 3-1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (3/3)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第1号機 制御建屋	第1号機 排気筒
			上部鉄骨			
		RC造	S造, SRC造	S造, RC造, SRC造	S造, RC造	S造, RC造
柱	一般部	○	○	○	○	○
	隅部	○	○	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	-
はり	一般部	○	○	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	-
	鉄骨トラス	-	○	-	-	-
壁	一般部	○	-	○	○	-
	地下部	○	-	○	○	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	○
床・屋根	一般部	○	-	○	○	-
基礎	矩形	○	-	○	○	○
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり， -：対象の構造部材なし

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。

整理した結果を表3-1-2及び表3-1-3に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力のお考え方を表3-1-4に示す。

表 3-1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中	<p>応力が集中する隅柱等 (例)</p> <p>The diagrams illustrate stress concentration in four cases: 1. An L-shaped corner column where horizontal loads from two perpendicular directions and a vertical load concentrate stress at the corner. 2. A cylindrical wall where two perpendicular horizontal loads and a vertical load concentrate stress at a point on the wall. 3. A square column where two perpendicular horizontal loads and a vertical load concentrate stress at a corner. 4. A rectangular foundation where two perpendicular horizontal loads and a vertical load concentrate stress at a corner.</p>
①-2	面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向 の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等 (例)</p> <p>The diagram shows a wall labeled '耐震壁' (seismic wall) with an in-plane horizontal load '面内荷重' and an out-of-plane vertical load '面外荷重(土圧, 水圧等)' (out-of-plane load: soil pressure, water pressure, etc.). A coordinate system with x and y axes is shown.</p>

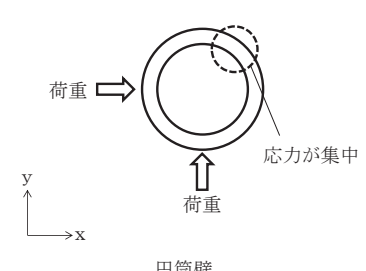
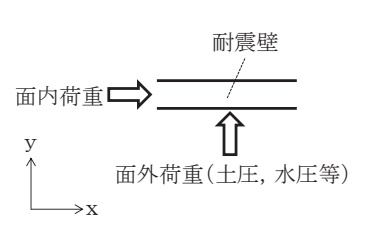
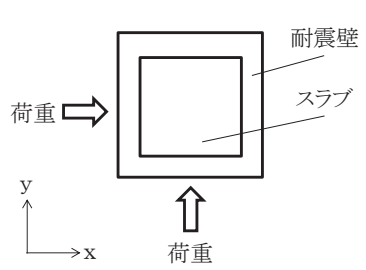
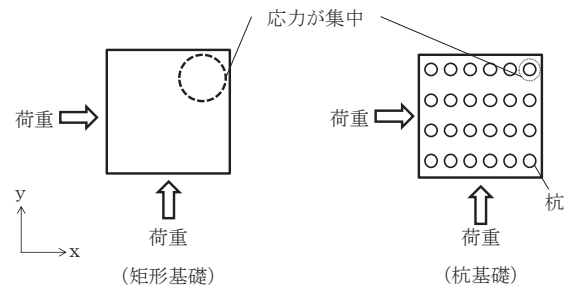
表 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>耐震構造部材</p> <p>鉄骨トラス</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物等含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>壁</p> <p>鉄骨架構</p> <p>柱</p> <p>ブレース</p> <p>面内荷重</p> <p>壁</p> <p>床・屋根</p> <p>スラブ</p> <p>ブレース</p>

表 3-1-4 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のかえ方(1/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p> <p>【平面図】 【立面図】</p>
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向の荷重（土圧）が作用する。ただし、外周部は耐震壁付きのため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にあるはり及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p>
はり	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床及び壁の拘束により面外荷重負担による影響は小さい。</p>
	地下部	<p>地下外周はりでは面内方向の荷重を負担しつつ面外方向の荷重（土圧）が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床及び壁の拘束により面外荷重負担による影響は小さい。</p>
	鉄骨トラス	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床による拘束があるため、面外荷重負担による影響は小さい。</p>

表 3-1-4 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のかえ方 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、円筒壁は直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p> 
	地下部 プール壁	<p>地下部分の耐震壁は直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。同様にプール部の壁については水圧を面外方向から受ける。</p> 
	鉄骨ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及びはりで拘束され、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。</p> 
基礎	矩形 杭基礎	<p>直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する。</p> 

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 3-1-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-5 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、排気筒、緊急用電気品建屋、第 1 号機排気筒の柱（隅部）、原子炉建屋、制御建屋、第 3 号機海水熱交換器建屋、緊急用電気品建屋、緊急時対策建屋の基礎（矩形）を抽出した。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として各建物・構築物の壁（地下部）並びに原子炉建屋（使用済燃料プール）の壁（一般部）を抽出した。

a. 柱

柱は、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、隅柱が考えられる。

対象の建物・構築物の鉄筋コンクリート造部（以下「RC 造部」という。）並びに原子炉建屋の上部鉄骨部の隅柱は、耐震壁又は鉄骨ブレース付き等の隅柱であり、軸力が耐震壁等に分散されることから応力が集中することはなく該当しない。また、タービン建屋の上部鉄骨部の隅柱については、下部に上位クラス施設がないため、抽出しない。

排気筒及び第 1 号機排気筒については、隅柱（支柱材）が①-1 に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧が作用する地下外周柱が考えられるが、対象の建物・構築物の地下外周柱は、耐震壁に囲まれており、面内の荷重を負担しないこと、また、地下外周柱はすべてはりに接続しており、土圧はそのままはりに伝達されることから、該当しない。

b. はり

はりの一般部、地下部及び鉄骨トラス部については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位に該当しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧が作用する地下外周はりが考えられるが、対象の建物・構築物の地下外周はりは直交する床及び壁が存在し、これらによる面外方向の拘束があるため、該当しない。

c. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位に該当しない。独立した円筒壁は応力の集中が考えられる。ただし、原子炉建屋の一次格納容器を囲む円型遮蔽壁の様に、建屋の中央付近に位置し、その外側にあるボックス型の壁とスラブで一体化されている場合は、①-

1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」の部位に該当しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧や水圧が作用する地下部やプール部が考えられ、対象の建物・構築物の地下外壁、原子炉建屋（使用済燃料プール）の壁（一般部）を、①-2に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、軸力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位及び①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位に該当しない。

e. 基礎

①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、矩形の基礎が考えられる。

排気筒基礎を除いた各建物・構築物の基礎（矩形）を①-1に該当するものとして抽出した。排気筒についてはマスコンクリート基礎であり、剛体とみなすことから該当しない。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、基礎は該当しない。

表 3-1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		RC 造	使用済燃料プール	上部鉄骨		
			RC 造	S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	-	該当なし	該当なし	要①-1
	地下部	該当なし	-	-	該当なし	-
はり	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	-	-	該当なし	-
	鉄骨トラス	-	-	該当なし	該当なし	-
壁	一般部	該当なし	要①-2	-	該当なし	-
	地下部	要①-2	-	-	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	該当なし	-	該当なし
床・屋根	一般部	該当なし	該当なし	-	該当なし	-
基礎	矩形	要①-1	-	-	要①-1	該当なし
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・要：評価必要
 - ・不要：評価不要
 - ・①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3-1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		第 3 号機海水熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造, SRC 造
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	要①-1	-
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	要①-2	要①-2	要①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	矩形	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	-	-	-

凡例 要：評価必要

不要：評価不要

①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」

表 3-1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第 1 号機制御建屋	第 1 号機排気筒
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造			
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	要①-1
	地下部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
	鉄骨トラス	-	該当なし	-	-	-
壁	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
	地下部	要①-2	-	要①-2	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	該当なし
床・屋根	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
基礎	矩形	不要*	-	不要*	不要*	不要*
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・要：評価必要
 - ・不要：評価不要
 - ・①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注記*：上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋及び第 1 号機排気筒は、衝突の有無の判断が基本となることから、上部躯体を対象に評価しており、評価対象建屋は耐震壁、第 1 号機排気筒は筒身及び鉄塔を主たる評価対象部位としている。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表 3-1-3 に示す 3 次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-6 に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁（一般部）を抽出した。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位として、抽出する部位はなかった。

a. 柱

(3)で抽出されている以外の各建屋の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済みであるため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位には該当しない。

また、排気筒及び第 1 号機排気筒以外の対象の建物・構築物は、鉄筋コンクリート造耐震壁又は鉄骨造ブレースを主な耐震要素として扱っており、地震力のほとんどを耐震壁又はブレースが負担する。ねじれ振動の影響が想定される部位についても、ねじれを加味した構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位にも関しても該当しない。

排気筒及び第 1 号機排気筒は地震力のほとんどを鉄塔が負担しており、筒身は②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位には該当しない。また、釣合いよく鉄塔に支持される構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位にも該当しない。

b. はり

対象の建物・構築物のはり一般部及び地下部は、剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位には該当しない。

鉄骨トラス部は、1 方向トラスの場合には、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられるが、各建屋の鉄骨トラスは直交方向にもトラスが存在し、面外慣性力を負担するため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位には該当しない。

排気筒及び第 1 号機排気筒の水平材は、軽量のトラス部材で構成されており、面外慣性力の影響が小さいことから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位には該当しない。

c. 壁

(3)で抽出されている以外の建物・構築物の壁について②-1「面内方向の荷重に加え、

面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位の検討を行う。原子炉建屋の上部階の壁は複数スパンにまたがって直交方向に壁及び大ばりがなく（以下「大スパン部」という。）、面内方向荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられることから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として抽出する。タービン建屋の上部階の大スパン部については、下部に上位クラス施設がないため、抽出しない。

d. 床及び屋根

各建物・構築物の床及び屋根については、釣合いよく壁が配置されているため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位に該当しない。

e. 基礎

矩形の基礎は、(3)の荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニングで抽出されている。

表 3-1-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		RC 造	使用済燃料プール	上部鉄骨		
			RC 造	S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	不要	-	不要	不要	不要
	隅部	不要	-	不要	不要	要①-1
	地下部	不要	-	-	不要	-
はり	一般部	不要	-	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	-	不要	-
	鉄骨トラス	-	-	不要	不要	-
壁	一般部	②-1	要①-2	-	不要	-
	地下部	要①-2	-	-	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	不要	-	不要
床・屋根	一般部	不要	不要	-	不要	-
基礎	矩形	要①-1	-	-	要①-1	不要
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 3-1-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		第 3 号機海水熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造, SRC 造
柱	一般部	不要	不要	不要
	隅部	不要	要①-1	-
	地下部	不要	不要	不要
はり	一般部	不要	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	不要	不要	不要
	地下部	要①-2	要①-2	要①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	不要	不要	不要
基礎	矩形	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	-	-	-

- 凡例
- ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 3-1-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第 1 号機 制御建屋	第 1 号機 排気筒
		上部鉄骨				
		RC 造	S 造, SRC 造	RC 造, S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	要①-1
	地下部	不要	-	不要	不要	-
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	不要	不要	-
	鉄骨トラス	-	不要	-	-	-
壁	一般部	不要	-	不要	不要	-
	地下部	要①-2	-	要①-2	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	不要
床・屋根	一般部	不要	-	不要	不要	-
基礎	矩形	不要*	-	不要*	不要*	不要*
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記*：上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋及び第 1 号機排気筒は、衝突の有無の判断が基本となることから、上部躯体を対象に評価しており、評価対象建屋は耐震壁、第 1 号機排気筒は筒身及び鉄塔を主たる評価対象部位としている。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

(5) 3次元 FEM モデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した部位について、3次元 FEM モデルにより精査を行った。

②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位については、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁に対して3次元 FEM モデルによる精査を行った。

また、原子炉建屋の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元 FEM モデルによる精査を行った。局所的な応答と併せてねじれ挙動についても確認を行った。精査は、地震応答解析により水平2方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行った。その結果、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁の応答が増幅する傾向が確認されたため、燃料取替床レベルの壁の面外応答増幅による影響検討を行った。応答増幅を考慮しても燃料取替床レベルの壁の耐震性への影響は小さい事を確認した。

3次元 FEM モデルを用いた精査の結果、有している耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する部位は抽出されなかった。

3次元 FEM モデルを用いた精査の結果を表 3-1-7 に示す。また、3次元 FEM モデルによる精査の詳細については別紙 2 に示す。

表 3-1-7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出

耐震評価部位		対象 建物・構築物	3次元的な応答特性	3次元モデルを用いた 精査方法	3次元モデルを用いた精査結果
壁	一般部	原子炉建屋 (燃料取替床レベル)	②-1 (面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい)	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	水平2方向及び鉛直方向地震力による左記の対象の耐震性への影響が想定されないため抽出しない。
耐震評価 部位全般		原子炉建屋	局所的な影響	同上	原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁では、面外方向に応答する傾向が確認されるものの、水平2方向及び鉛直方向地震力による左記の対象の耐震性への影響が想定されないため抽出しない。

3.1.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるとして抽出した部位を表3-1-8に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位のうち、排気筒の支柱材及び建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建屋（使用済燃料プール）の壁（一般部）を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

排気筒の支柱材については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

原子炉建屋の基礎については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建屋（使用済燃料プール）の壁（一般部）については、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

表3-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象 建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒</u> ・ 緊急用電気品建屋 ・ 第1号機排気筒 	排気筒の支柱材を代表として評価する。
	基礎	基礎版	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋</u> ・ 制御建屋 ・ 第3号機海水熱交換器建屋 ・ 緊急用電気品建屋 ・ 緊急時対策建屋 	建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	水圧作業部 ・ 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>使用済燃料プール</u> ・ 原子炉建屋 ・ 制御建屋 ・ タービン建屋 ・ 補助ボイラー建屋 ・ 第1号機制御建屋 ・ 第3号機海水熱交換器建屋 ・ 緊急用電気品建屋 ・ 緊急時対策建屋 	上部に床等の拘束がなく、面外荷重(水圧)が作用する使用済燃料プールの壁を評価する。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物。

3.1.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。評価に当たっては、従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を用いることとする。評価に用いる地震動を表3-1-9に示す。

また影響評価は、水平2方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価又は基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) 等の最大応答の非同時性を考慮した評価により実施した。

表 3-1-9 評価に用いる地震動

応答特性 耐震評価部位		対象建物・構築物	評価に用いる地震動
柱	隅部	・排気筒	VI-2-7-2-1において、主柱材に対して最も厳しい評価結果となった基準地震動 $S_s - N1$ 及び2番目に照査値が厳しい基準地震動 $S_s - F1$ を用いる。 直交方向の地震動は、基準地震動 $S_s - N1$ 及び $S_s - F1$ の模擬地震波を用いる。
基礎	矩形	・原子炉建屋	VI-2-9-3-4 の評価結果を用いるため、基準地震動 $S_s - D1 \sim S_s - N1$ による動的地震力を包絡した地震力とする。
壁	水圧作用部	・使用済燃料プール	VI-2-4-2-1 の評価結果を用いるため、基準地震動 $S_s - D1 \sim S_s - N1$ による動的地震力を包絡した地震力とする。

3.1.6 排気筒の検討

(1) 検討の概要

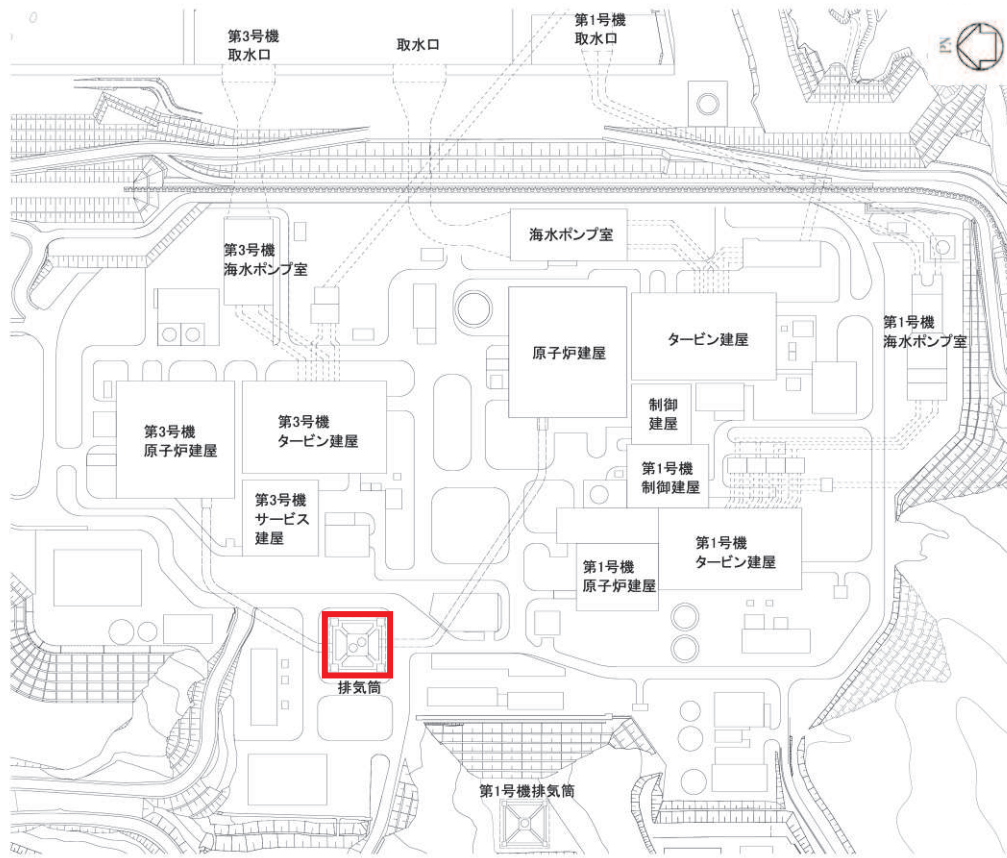
隅柱は、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である。排気筒の鉄塔部支柱材は、応力集中の影響が大きいと想定されるため、3次元 FEM モデルを用いて、基準地震動 S_s を水平 2 方向及び鉛直方向に同時入力した場合の検討を実施する。

排気筒は、地上からの高さ 160.0m、基部内径 3.7m、頂部内径 3.0m の鋼板製筒身 2 本を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた四角鉄塔支持形鋼管構造であり、第 2 号機排気筒と第 3 号機排気筒で支持構造物を共有する集合方式である。

筒身と鉄塔は O.P. *+41.8m, O.P. +74.8m, O.P. +161.8m の 3 つの高さで接続されており、更に O.P. +134.8m は制震オイルダンパで接続されている。

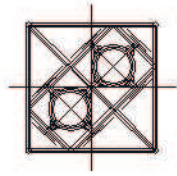
排気筒の設置位置を図 3-1-5 に、概要図を図 3-1-6 及び図 3-1-7 に示す。

注記* : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m である。

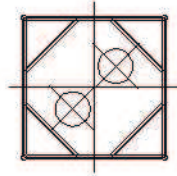


□ 排気筒

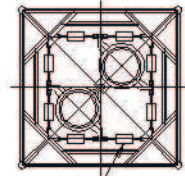
図 3-1-5 排気筒の設置位置



A-A断面 (第4支持点)

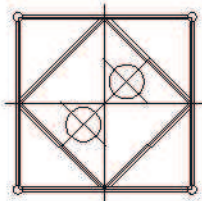


B-B断面

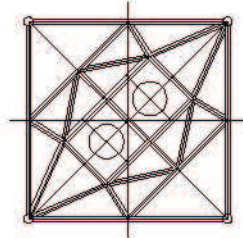


制震オイルダンパ設置

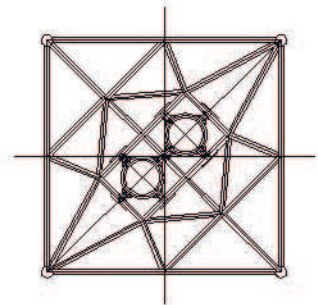
C-C断面 (第3支持点)



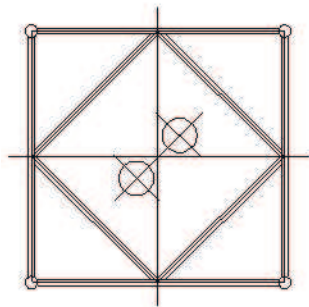
D-D断面



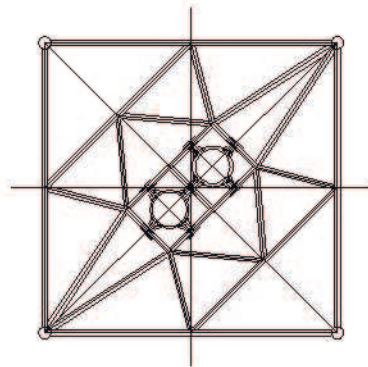
E-E断面



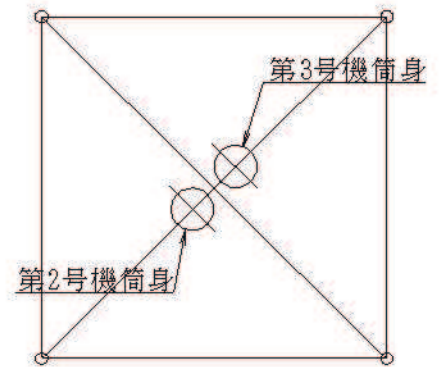
F-F断面 (第2支持点)



G-G断面



H-H断面 (第1支持点)



I-I断面 (基部)

図 3-1-7 排気筒の概略平面図

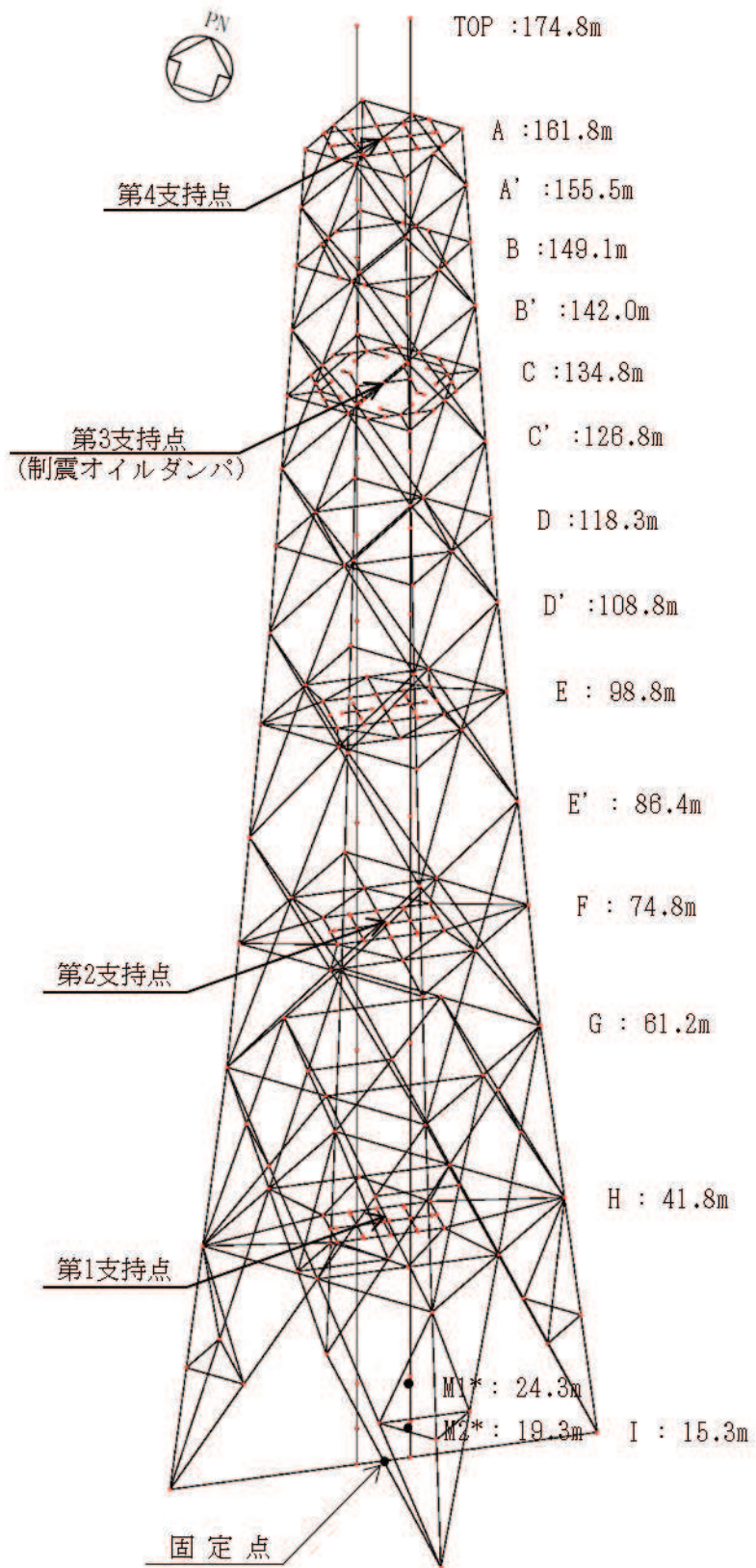
(2) 検討方針

排気筒の鉄塔のうち、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である鉄塔部支柱材を対象に評価を行う。

評価に当たっては、基準地震動 S_s を用い、水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力（以下「3 方向同時入力」という。）する時刻歴応答解析を行い、排気筒が有する耐震性に影響しないことを確認する。支柱材（鉄塔脚部含む）の耐震性への影響については、基準地震動 S_s を 3 方向同時入力した地震応答解析の結果による各断面算定結果（検定値）が、1.0 を超えないことにより確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」（以下「排気筒の耐震計算書」という。）に示すものと同様である。

解析モデルを図 3-1-8 に示す。



注記* : M1 は筒身の内径 3.0m, M2 は筒身の内径 3.7m の位置を示す。

図 3-1-8 排気筒の地震応答解析モデル

(3) 解析諸元

排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、基準地震動 $S_s - F1$ 及び基準地震動 $S_s - N1$ による「VI-2-2-25 排気筒基礎の地震応答計算書」から得られる基礎上端レベル (O.P. +15.3m) の応答加速度 (並進, 鉛直, 回転成分) を用いる。

加振方向を図 3-1-9 に、地震動の組合せを表 3-1-10 に示す。

排気筒の耐震計算書による評価では、3次元 FEM モデルを用いた上で、水平 1 方向及び鉛直同時入力を行っていて、基準地震動 S_s のうち基準地震動 $S_s - N1$ は支柱材に対して最も厳しい評価結果となった。そのため、排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、水平 1 方向及び鉛直同時入力において、支柱材に対して最も厳しい評価結果となった基準地震動 $S_s - N1$ を用いて評価を行う。

また、基準地震動 $S_s - N1$ は観測波に基づく地震動のため方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さい。基準地震動 $S_s - N1$ が水平 2 方向評価の地震波に選定されたことから、2 番目に照査値が厳しい基準地震動 $S_s - F1$ についても水平 2 方向評価を行う。

水平 1 方向及び鉛直同時入力による地震動の入力方法は、排気筒の耐震計算書に基づき、図 3-1-9 に示す I 方向～IV 方向加振の結果を示す。水平 2 方向及び鉛直同時入力による地震動の入力方法は、支柱材への軸力変動の影響を確認するため、図 3-1-9 に示す I 方向と III 方向の同時入力の評価を行う。

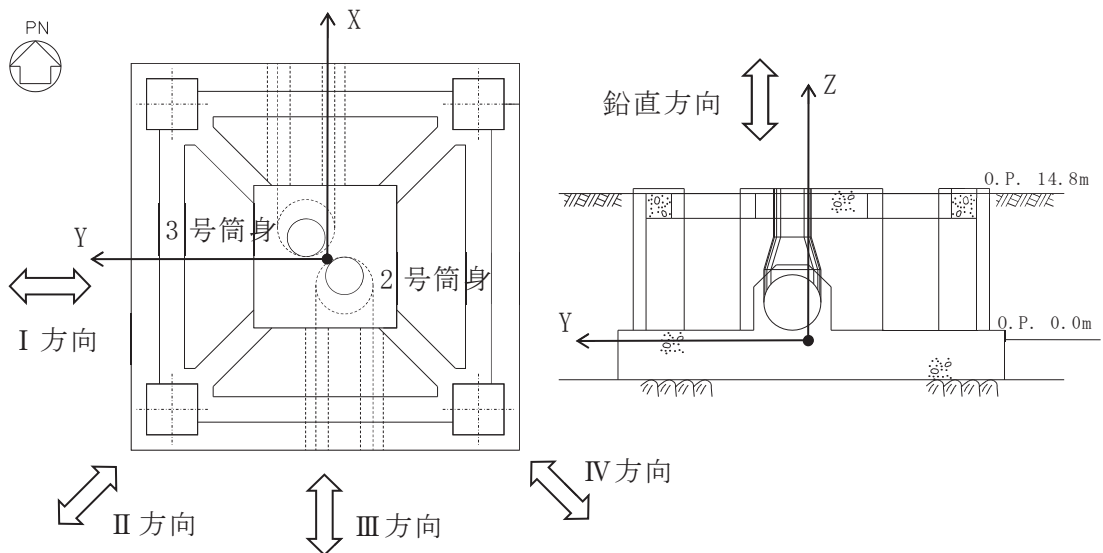


図 3-1-9 加振方向の説明

表 3-1-10 地震動の組合せ

地震動の 入力方法	水平方向		鉛直方向
	加振方向	入力地震動	入力地震動
2 方向 同時入力* ¹	I 方向	NS 断面地震動による S s 7 波の応答 (並進, 回転成分)	NS 断面地震動による S s 7 波の応答 (鉛直成分)
	II 方向	NS, EW 断面地震動による S s 7 波の応答 (並進, 回転成分)	NS, EW 断面地震動による S s 7 波の応答 (鉛直成分)
	III 方向	EW 断面地震動による S s 7 波の応答 (並進, 回転成分)	EW 断面地震動による S s 7 波の応答 (鉛直成分)
	IV 方向	NS, EW 断面地震動による S s 7 波の応答 (並進, 回転成分)	NS, EW 断面地震動による S s 7 波の応答 (鉛直成分)
3 方向 同時入力	I 方向 (主方向)	NS 断面地震動による S s - F 1, S s - N 1 の応答 (並進, 回転成分)	NS 断面地震動による S s - F 1, S s - N 1 の 応答 (鉛直成分)
	III 方向 (従方向)	直交方向は模擬地震波* ² による応答 (並進, 回転成分)	
	III 方向 (主方向)	EW 断面地震動による S s - F 1, S s - N 1 の応答 (並進, 回転成分)	EW 断面地震動による S s - F 1, S s - N 1 の 応答 (鉛直成分)
	I 方向 (従方向)	直交方向は模擬地震波* ² による応答 (並進, 回転成分)	

注記*1: 2 方向同時入力 (水平 1 方向及び鉛直方向同時入力) については, 排気筒の耐震計算書に示すものと同一である。

*2: 模擬地震波の作成方針については, 別紙 5 「方向性を考慮しない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針」に示す。

(4) 使用材料の許容応力度

鋼材，コンクリート及び鉄筋の許容応力度は，排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

(5) 解析諸元

使用材料の物性値は排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

(6) 評価方法

基準地震動 $S_s - F1$ 及び基準地震動 $S_s - N1$ を 3 方向同時入力した，3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行い，支柱材（鉄塔脚部含む）の断面算定結果（検定値）が 1.0 を超えないことを確認する。

断面算定の方法は，排気筒の耐震計算書に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

3 方向同時入力時及び 2 方向同時入力時における支柱材の評価結果を表 3-1-11 に，鉄塔脚部の評価結果を表 3-1-12 に示す。

2 方向同時入力時の評価結果は，排気筒の耐震計算書の I ～IV 方向における基本ケース（ケース①）で最も厳しい照査結果を示しており，3 方向同時入力時の評価結果は，主方向加振が I 方向（従方向加振が III 方向）と主方向加振が III 方向（従方向加振が I 方向）で最も厳しい照査結果を示している。

評価の結果，2 方向同時入力時の検定値と比較し，3 方向同時入力時の検定値は減少傾向であることを確認した。排気筒の 2 方向同時入力の評価においては，J E A C 4 6 0 1 -2015 に基づき，排気筒に対して斜め方向から加振を行っており，3 方向同時入力と同等の評価がなされていることを示す結果となった。

以上より，水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対し，排気筒の支柱材が有する耐震性への影響が無いことを確認した。

表3-1-11 主柱材の評価結果

高さ O.P. (m)	区間	使用部材 (mm)	2方向同時 入力	3方向同時 入力	
				S _s -N1	S _s -F1
161.8-155.5	A-A'	φ 457.2×7.9	<u>0.31</u>	0.29	0.24
155.5-149.1	A'-B	φ 457.2×7.9	<u>0.71</u>	0.70	0.51
149.1-142.0	B-B'	φ 457.2×7.9	<u>0.81</u>	0.80	0.60
142.0-134.8	B'-C	φ 609.6×9.5	<u>0.87</u>	<u>0.87</u>	0.61
134.8-126.8	C-C'	φ 609.6×9.5	<u>0.83</u>	0.81	0.61
126.8-118.3	C'-D	φ 711.2×12.7	<u>0.87</u>	0.85	0.59
118.3-108.8	D-D'	φ 711.2×12.7	<u>0.85</u>	0.84	0.56
108.8- 98.8	D'-E	φ 812.8×16.0	<u>0.88</u>	0.85	0.63
98.8- 86.4	E-E'	φ 812.8×16.0	<u>0.90</u>	0.88	0.66
86.4- 74.8	E'-F	φ 1000×18.0	<u>0.86</u>	0.84	0.70
74.8- 61.2	F-G	φ 1000×18.0	<u>0.89</u>	0.87	0.72
61.2- 41.8	G-H	φ 1100×18.0	0.65	0.60	<u>0.66</u>
41.8- 28.6	H-H'	φ 1100×20.0	<u>0.75</u>	0.70	0.74
28.6- 15.3	H'-I	φ 1100×20.0	0.74	<u>0.76</u>	0.75

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

表3-1-12 鉄塔脚部の評価結果

評価部位	応力分類	2方向同時 入力	3方向同時 入力	
			S _s -N1	S _s -F1
アンカーボルト	引張	0.57	<u>0.58</u>	<u>0.58</u>
	せん断	<u>0.28</u>	<u>0.28</u>	0.26
	組合せ	0.57	<u>0.58</u>	<u>0.58</u>
コンクリート (コーン状破壊)	引張	0.75	<u>0.76</u>	<u>0.76</u>
コンクリート (圧縮)	圧縮	<u>0.45</u>	<u>0.45</u>	<u>0.45</u>
ベースプレート	面外曲げ	0.63	<u>0.64</u>	<u>0.64</u>
フランジプレート	面外曲げ	<u>0.52</u>	<u>0.52</u>	<u>0.52</u>
リブプレート	圧縮	0.38	<u>0.39</u>	<u>0.39</u>
	せん断	0.73	<u>0.74</u>	<u>0.74</u>

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

(8) 検討のまとめ

隅柱は直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である。

応力集中の影響が大きいと考えられる排気筒の鉄塔部支柱材（鉄塔脚部含む）について、排気筒の 3 次元 FEM モデルに対し、基準地震動 S_s を水平 2 方向及び鉛直方向に同時入力した場合の検討を行った。

検討の結果、支柱材は、2 方向同時入力時の検定値と 3 方向同時入力時の検定値を比較すると減少傾向であることを確認した。排気筒の 2 方向同時入力の評価においては、J E A C 4 6 0 1 -2015 に基づき、排気筒に対して斜め方向から加振を行っており、3 方向同時入力と同等の評価がなされていることを示す結果となった。また、鉄塔脚部は、2 方向同時入力時の検定値と 3 方向同時入力時の検定値は同等であることを確認した。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、隅柱が有する耐震性への影響が無いことを確認した。

3.1.7 使用済燃料プールの壁の検討

(1) 検討の概要

使用済燃料プールの壁は、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の水圧等の荷重が作用する部位であり、水平 2 方向の地震力を受けることから、S s 地震時を対象として水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を検討する。

使用済燃料プールは、原子炉建屋の燃料取替床（O.P. 33.2m）付近に位置する鉄筋コンクリート構造物で、使用済燃料、制御棒及び使用済燃料輸送容器が収容される。使用済燃料プール内には、収容される機器の遮蔽及び冷却のため常時水が張られている。使用済燃料プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐとともに、保守、点検についても考慮されている。

使用済燃料プールの大きさは、内面寸法で平面 12.20m×14.035m、深さ 8.00～11.82m、主要な壁厚 2.10m、底面スラブ厚 2.10m である。

使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 3-1-10 及び図 3-1-11 に、使用済燃料プール周りの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-12 及び図 3-1-13 に示す。

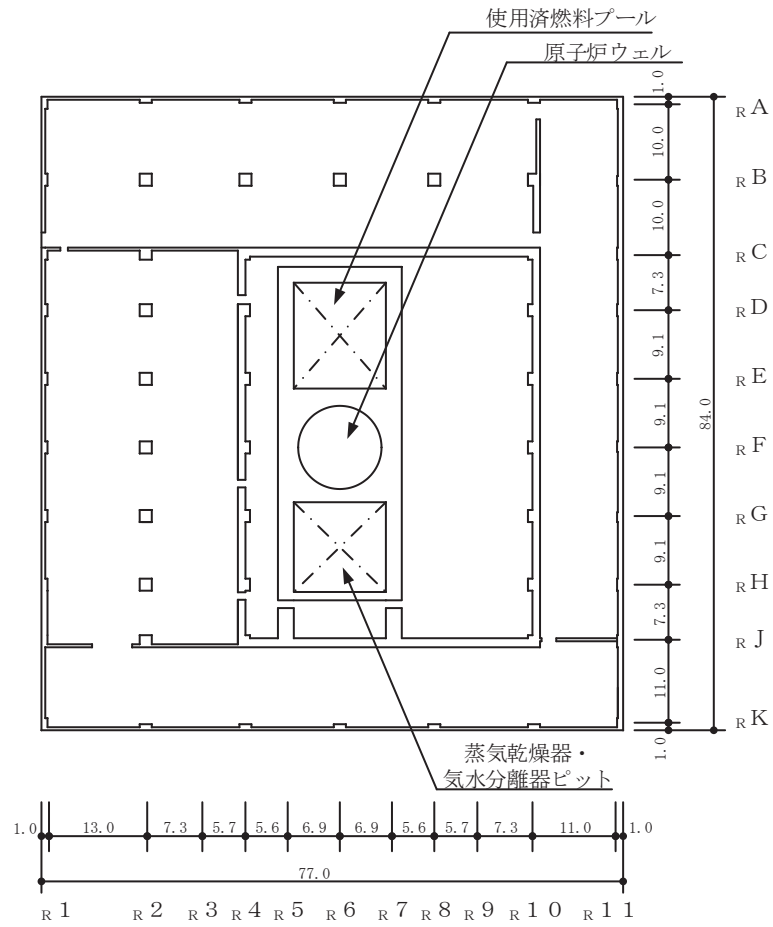


図 3-1-10 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 33. 2m)
(単位 : m)

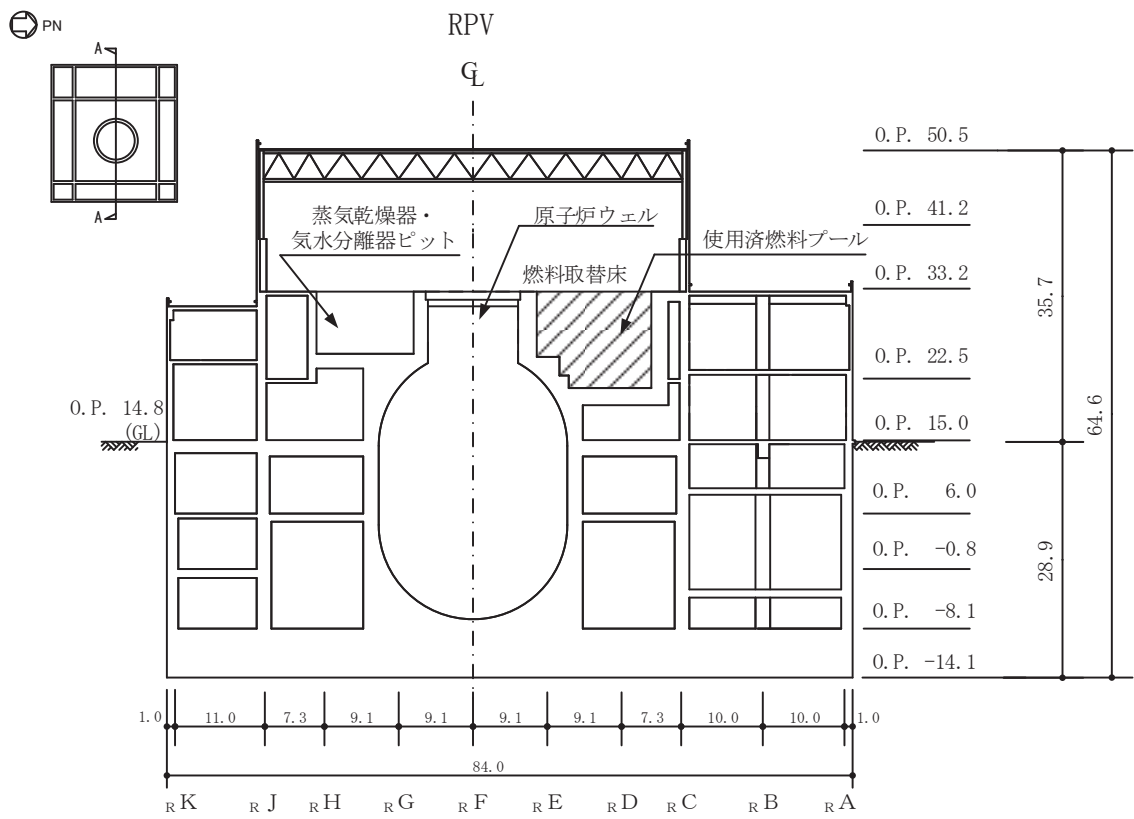


図 3-1-11 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図
(A-A 断面) (単位：m)

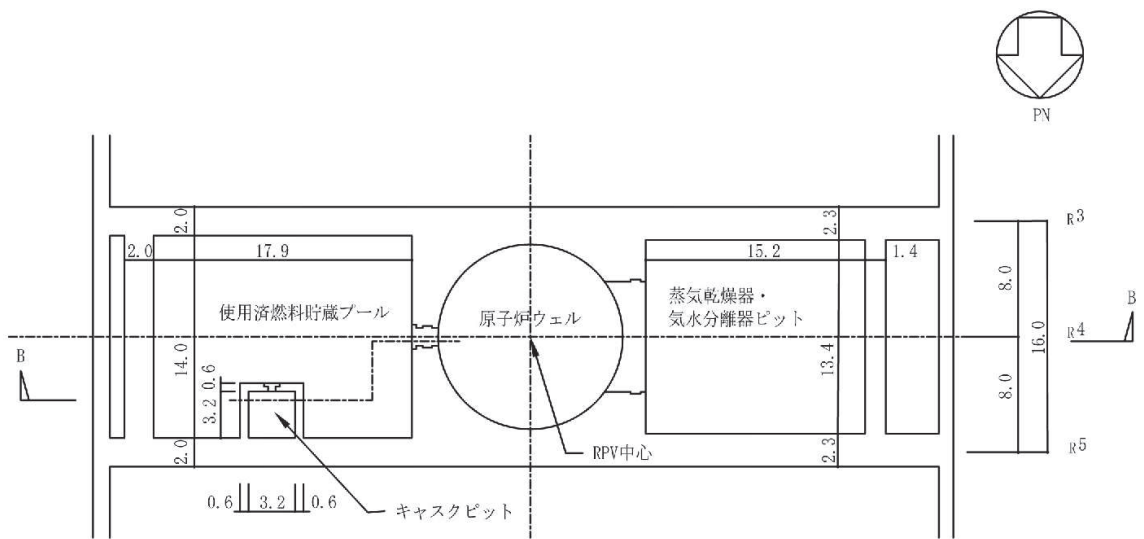


図 3-1-12 使用済燃料プール周りの概略平面図（単位：m）

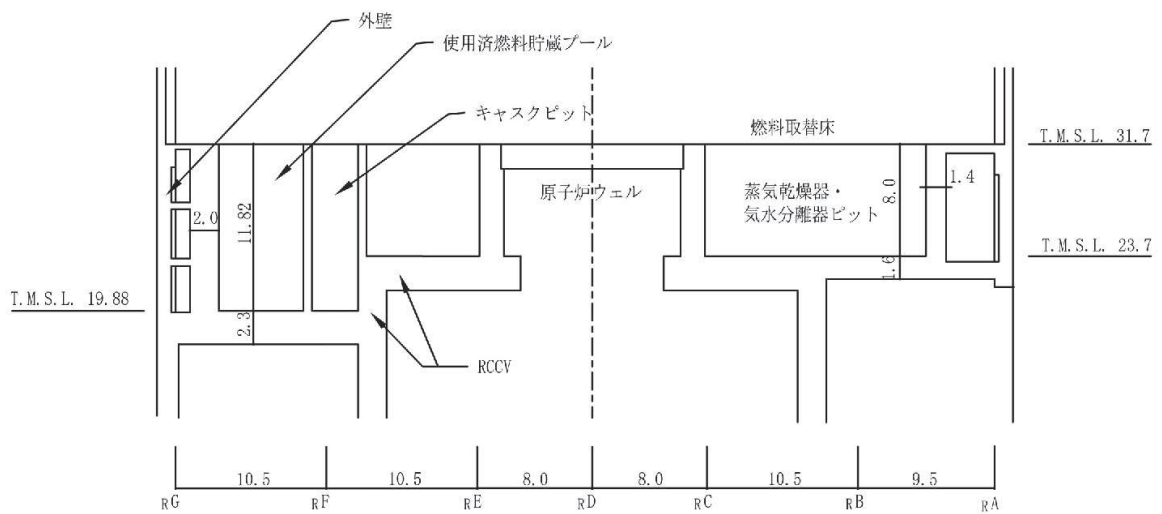


図 3-1-13 使用済燃料プール周りの概略断面図
(B-B 断面)（単位：m）

(2) 検討方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する使用済燃料プールの壁について、評価を行う。

評価に当たっては、 S_s 地震時に対して、3次元 FEM モデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付資料「VI-2-4-2-1 使用済燃料プール（キャスクピットを含む）（第 1, 2 号機共用）の耐震性についての計算書」（以下「SFP の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。荷重の組合せを表 3-1-13 に示す。荷重の詳細は、SFP の耐震計算書の「3.2.1 荷重」に示す固定荷重（G）、積載荷重（P）及び地震荷重（ S_s ）と同一である。

表 3-1-13 荷重の組合せケース（ S_s 地震時）

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重（地震時動水圧荷重を含む）

(4) 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、SFP の耐震計算書の「3.3 許容限界」に示す内容と同一である。

(5) 応力解析

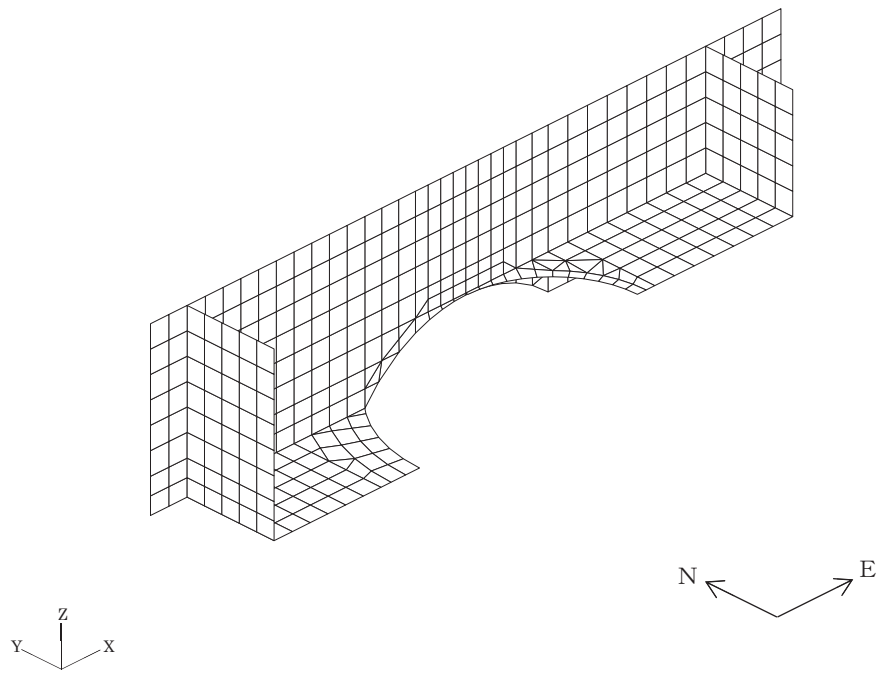
解析モデル概要図を図 3-1-14 に示す。解析モデルの詳細は、SFP の耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s地震時の応力は、SFP の耐震計算書の「3.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S _s S _N *	: S→N 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時動水圧荷重を含む)
S _s S _{WE} *	: W→E 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時動水圧荷重を含む)
S _s S _{UD} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重

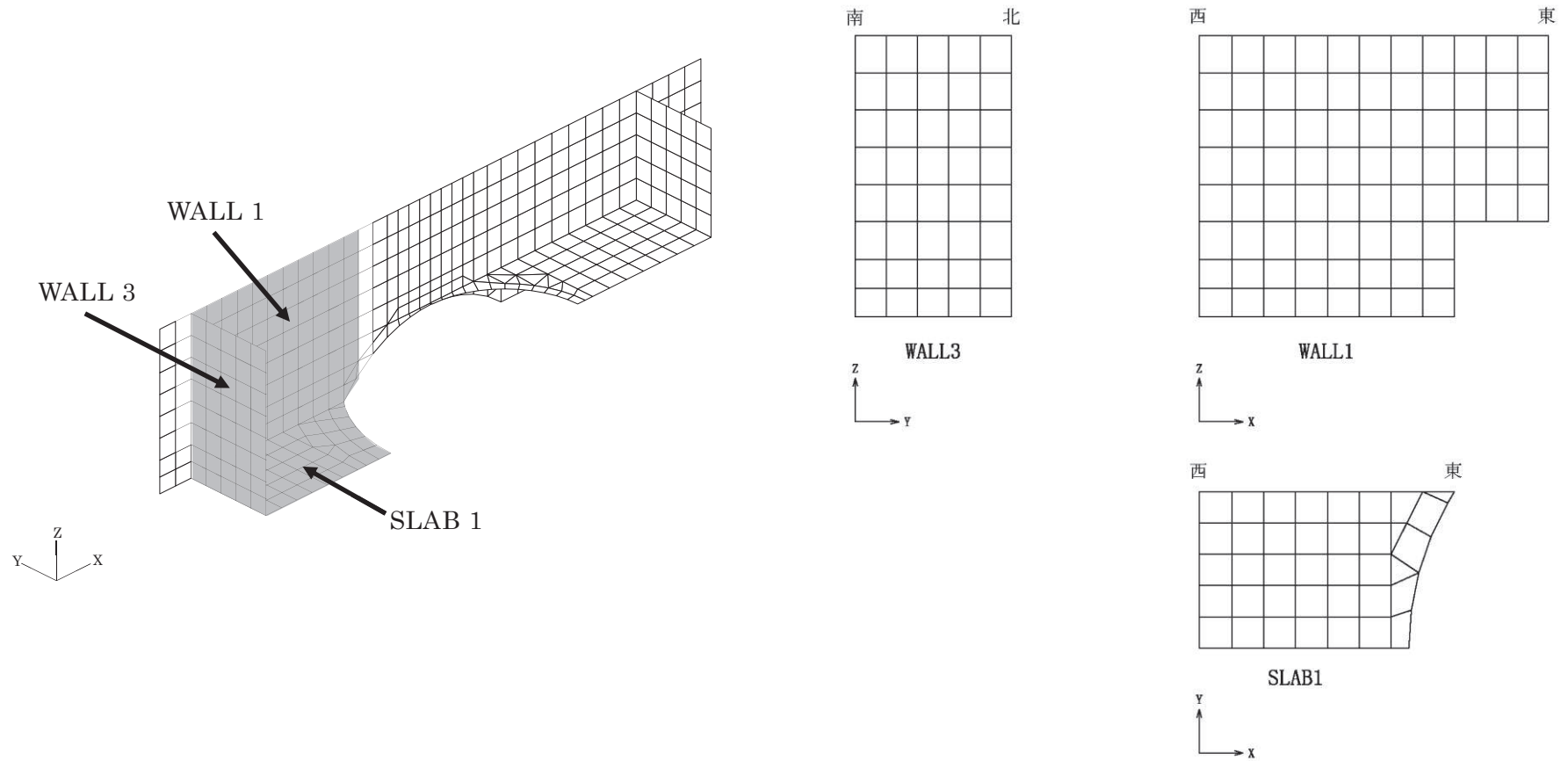
注記* : 計算上の座標軸を基準として、EW 方向は W→E 方向の加力、NS 方向は S→N 方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

水平地震力と鉛直地震力による応力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。荷重の組合せケースを表 3-1-14 及び表 3-1-15 に示す。



(a) 全体鳥瞰図

図 3-1-14 解析モデル概要図 (1/2)



注：X，Y，Zは全体座標系を示す。

(b) プール部要素分割図

図 3-1-14 解析モデル概要図 (2/2)

表 3-1-14 荷重の組合せケース（水平 2 方向）

外力の 状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	3-1	$G + P + 1.0 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-2	$G + P + 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-3	$G + P - 1.0 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-4	$G + P - 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-5	$G + P + 0.4 S_{sN} - 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-6	$G + P - 0.4 S_{sN} - 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-7	$G + P + 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-8	$G + P - 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	3-9	$G + P + 1.0 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-10	$G + P + 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-11	$G + P - 1.0 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-12	$G + P - 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-13	$G + P + 0.4 S_{sN} - 1.0 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-14	$G + P - 0.4 S_{sN} - 1.0 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-15	$G + P + 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-16	$G + P - 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	3-17	$G + P + 0.4 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	3-18	$G + P + 0.4 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	3-19	$G + P - 0.4 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	3-20	$G + P - 0.4 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	3-21	$G + P + 0.4 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} - 1.0 S_{sUD}$
	3-22	$G + P + 0.4 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} - 1.0 S_{sUD}$
	3-23	$G + P - 0.4 S_{sN} - 0.4 S_{sWE} - 1.0 S_{sUD}$
	3-24	$G + P - 0.4 S_{sN} + 0.4 S_{sWE} - 1.0 S_{sUD}$

表 3-1-15 荷重の組合せケース（水平 1 方向）

外力の 状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	2-1	$G + P + 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sUD}$
	2-2	$G + P - 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sUD}$
	2-3	$G + P - 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	2-4	$G + P + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	2-5	$G + P + 1.0 S_{sN} - 0.4 S_{sUD}$
	2-6	$G + P - 1.0 S_{sN} - 0.4 S_{sUD}$
	2-7	$G + P - 1.0 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	2-8	$G + P + 1.0 S_{sWE} - 0.4 S_{sUD}$
	2-9	$G + P + 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sUD}$
	2-10	$G + P - 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sUD}$
	2-11	$G + P - 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	2-12	$G + P + 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	2-13	$G + P + 0.4 S_{sN} - 1.0 S_{sUD}$
	2-14	$G + P - 0.4 S_{sN} - 1.0 S_{sUD}$
	2-15	$G + P - 0.4 S_{sWE} - 1.0 S_{sUD}$
	2-16	$G + P + 0.4 S_{sWE} - 1.0 S_{sUD}$

(6) 評価方法

使用済燃料プールの壁の評価は、SFPの耐震計算書の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

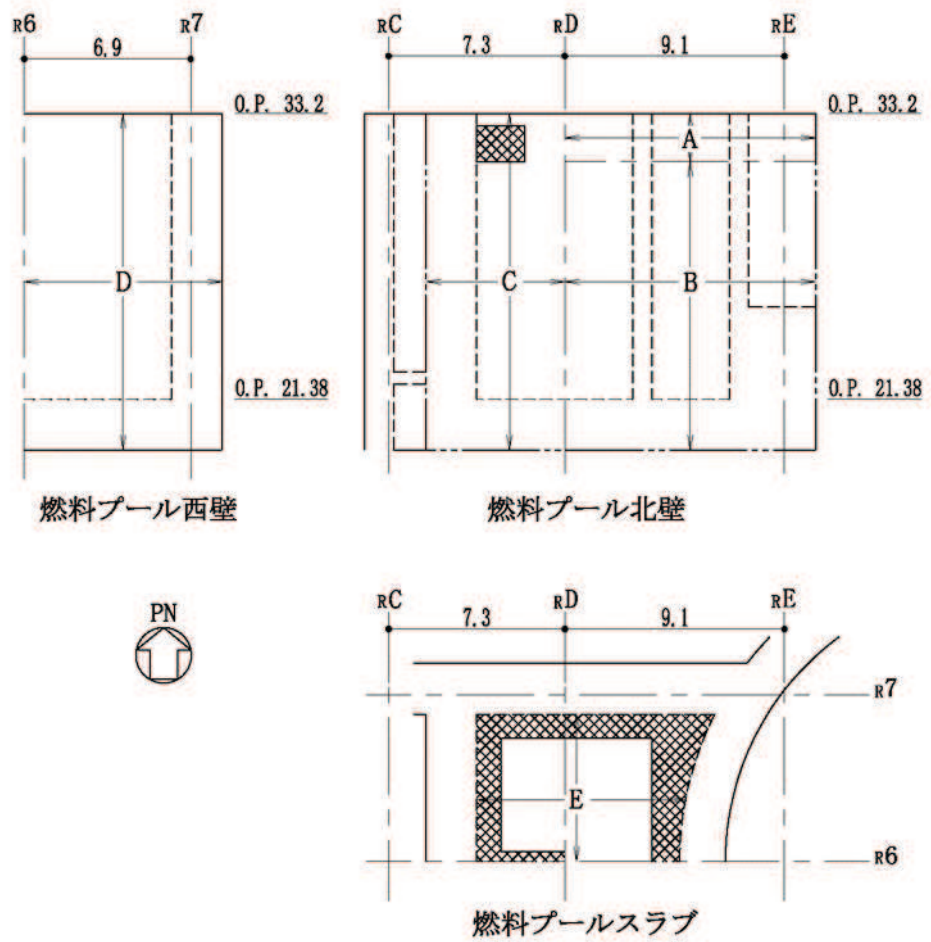
(7) 評価結果

断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図3-1-15に、配筋一覧を表3-1-16に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図3-1-16及び図3-1-17に、評価結果を表3-1-17及び表3-1-18に示す。

S s地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。




注：面外せん断補強筋  : D22@200×@400

図 3-1-15 配筋領域図

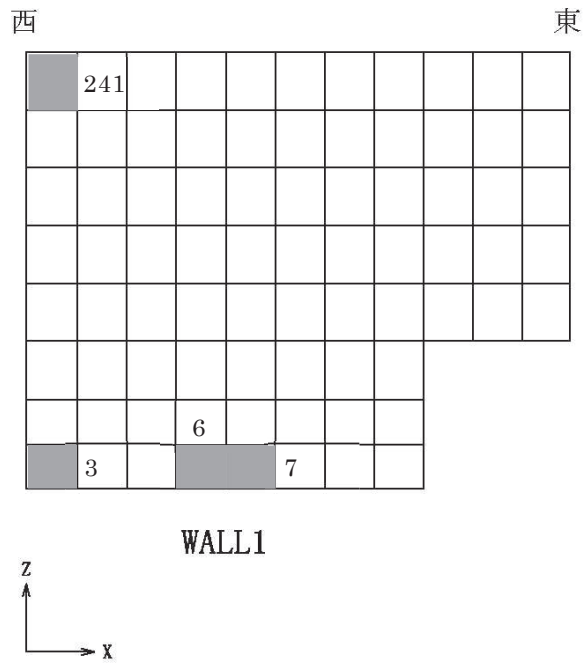
表 3-1-16 配筋一覧

(a) 北側壁

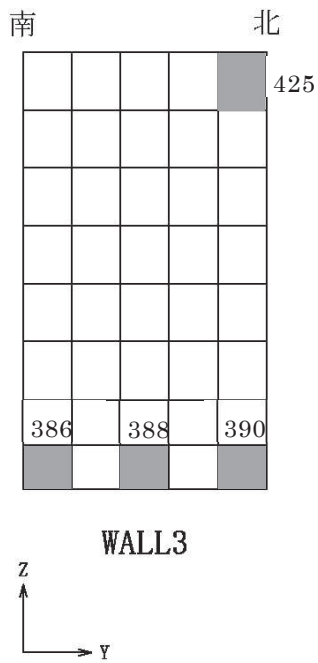
区分	タテ方向	ヨコ方向
A	(内側) 2-D38@200+D38@400 (外側) 2-D38@200+2-D38@400	(内側) 3-D38@200 (外側) 4-D38@200
B	(内側) 2-D38@200+D38@400 (外側) 2-D38@200+2-D38@400	(内側) 3-D38@200 (外側) 3-D38@200+D38@400
C	(内側) 3-D38@200+D38@400 (外側) 3-D38@200	(内側) 2-D38@200+2-D38@400 (外側) 3-D38@200

(b) 西側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
D	(内側) D38@200+D38@400 (外側) D38@200+2-D38@400	(内側) 2-D38@200 (外側) 2-D38@200+D38@400



(a) 北側壁



(b) 西側壁

注：数字は要素番号を示す。

図 3-1-17 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 1 方向)

表 3-1-17 使用済燃料プールの壁の評価結果 S s 地震時（水平 2 方向）

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	7	3-17	0.288	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	6	3-17	1.42	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	245	3-5	2.62	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	3	3-17	2.34	5.82
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	7	3-17	0.661	1.51
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	386	3-19	0.509	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	389	3-17	1.38	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	390	3-18	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	390	3-17	1.24	4.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	386	3-19	0.815	1.44

表 3-1-18 使用済燃料プールの壁の評価結果 S s 地震時 (水平 1 方向)

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 +	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	7	2-9	0.269	3.00
	曲げモーメント +	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	6	2-9	1.28	5.00
	面内せん断力						
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	3	2-10	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	3	2-11	2.21	5.99
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	241	2-1	0.892	2.08
西側壁	軸力 +	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	386	2-11	0.502	3.00
	曲げモーメント +	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	425	2-1	1.30	5.00
	面内せん断力						
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	390	2-12	2.40	21.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	388	2-10	1.14	4.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	386	2-11	0.808	1.44

(8) 検討のまとめ

使用済燃料プールの壁は、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の水圧等の荷重が作用する部位であるため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3 次元 FEM モデルを用いた応力解析を実施した。

検討の結果、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、使用済燃料プールの壁が有する耐震性への影響はないことを確認した。

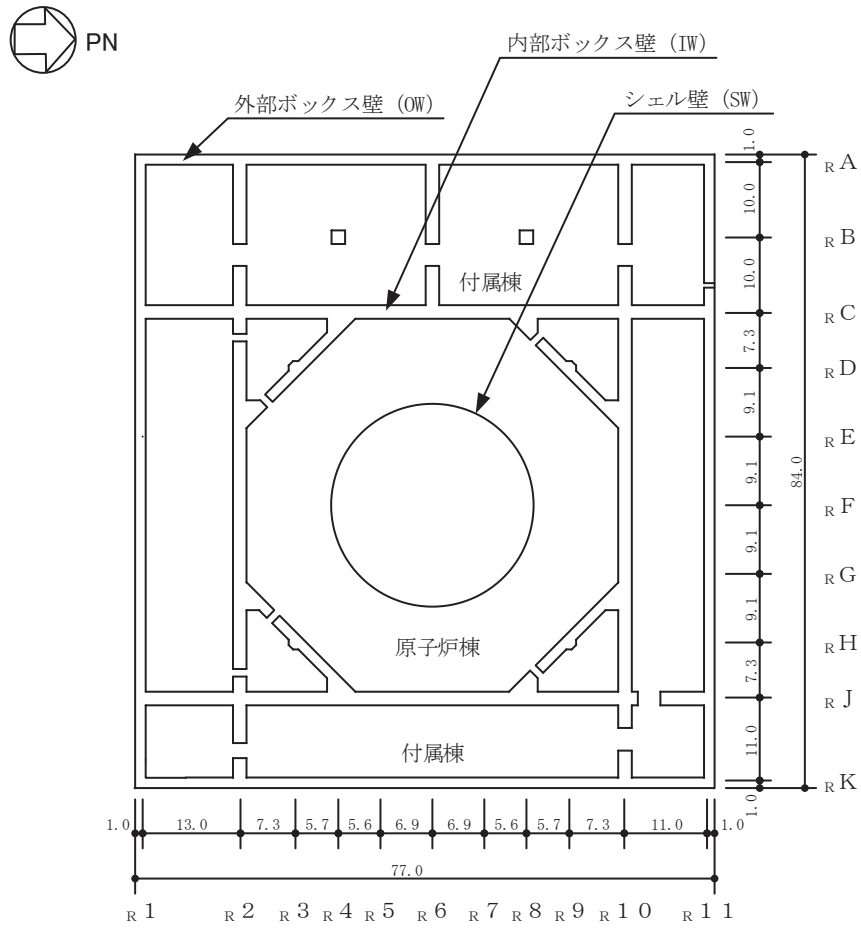
3.1.8 原子炉建屋の基礎版の検討

(1) 検討の概要

原子炉建屋基礎版は、矩形であり直交する水平2方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、 S_s 地震時を対象として水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を検討する。

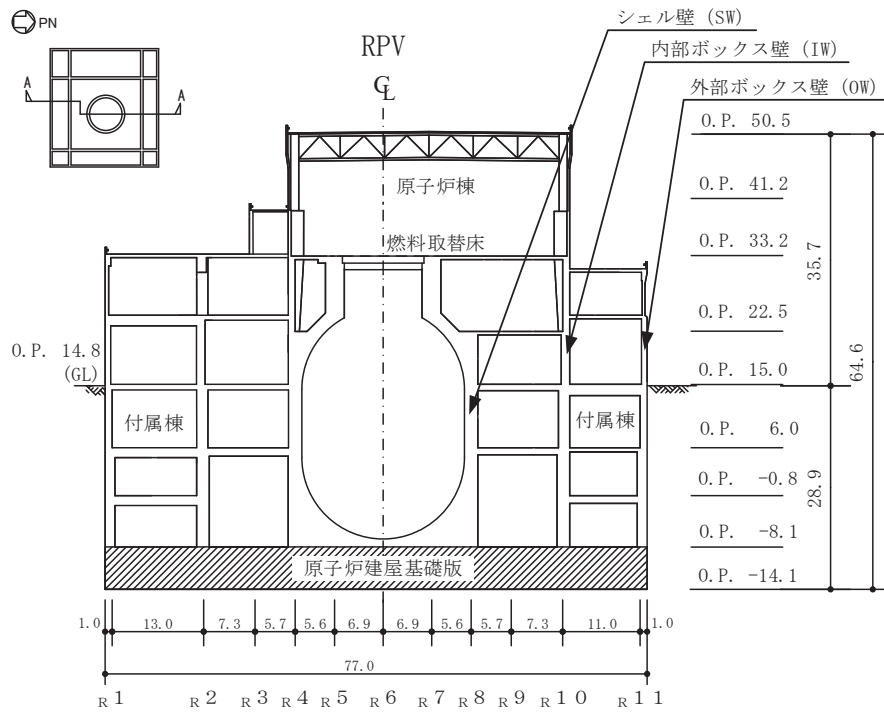
原子炉建屋基礎版は、付属棟基礎と一体となっており、付属棟基礎を含む平面の形状は、南北方向77.0m、東西方向84.0mの矩形であり、厚さは6.0mである。

原子炉建屋基礎版の概略平面図及び概略断面図を図3-1-18及び図3-1-19に示す。



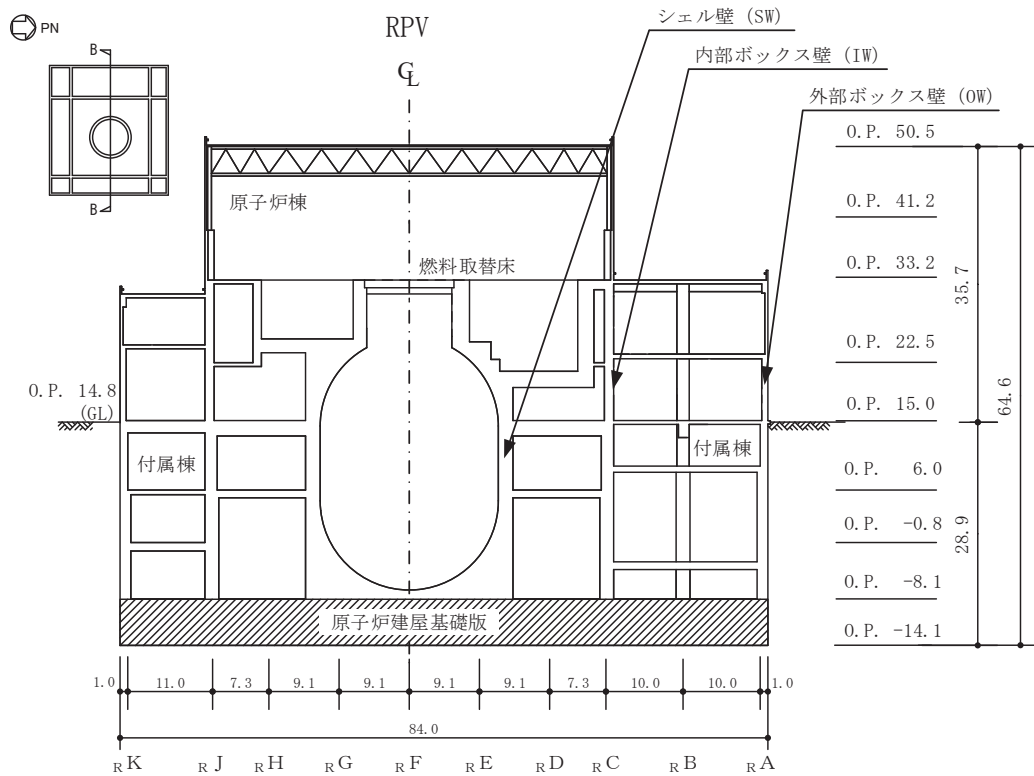
(単位 : m)

図 3-1-18 原子炉建屋基礎版の概略平面図 (0.P. -8.1 m)



(単位 : m)

図 3-1-19 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向) (1/2)



(単位 : m)

図 3-1-19 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向) (2/2)

(2) 検討方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である原子炉建屋基礎版について、評価を行う。

評価に当たっては、S s 地震時に対して、3 次元 FEM モデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」（以下「基礎版の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

また、荷重の組合せを表 3-1-19 に示す。荷重の詳細は、基礎版の耐震計算書に示す固定荷重（G）、積載荷重（P）及び地震荷重（S s）と同一である。

表 3-1-19 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	G + P + S s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S s : 地震荷重（地震時土圧を含む）

(4) 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎版の耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

(5) 応力解析

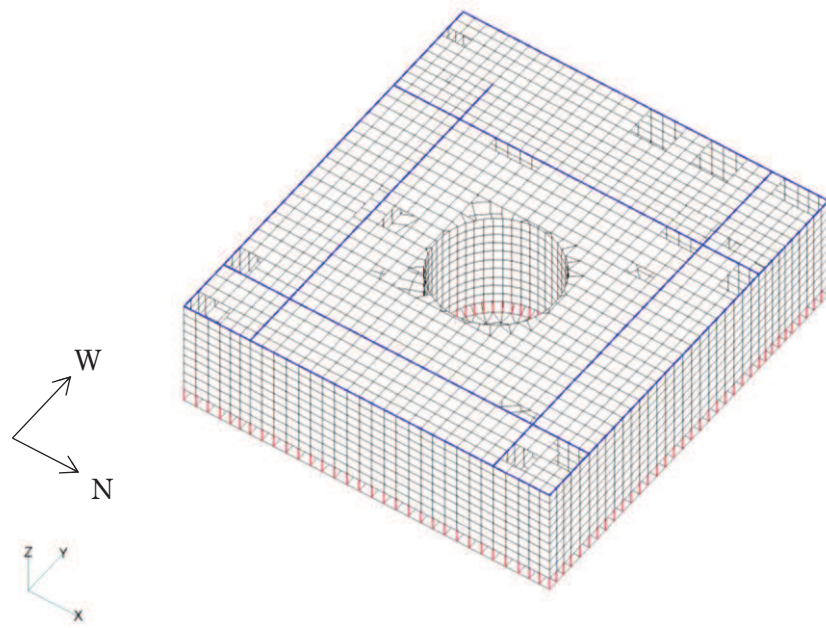
解析モデル図を図 3-1-20 に示す。解析モデルの詳細は、基礎版の耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s地震時の応力は、基礎版の耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

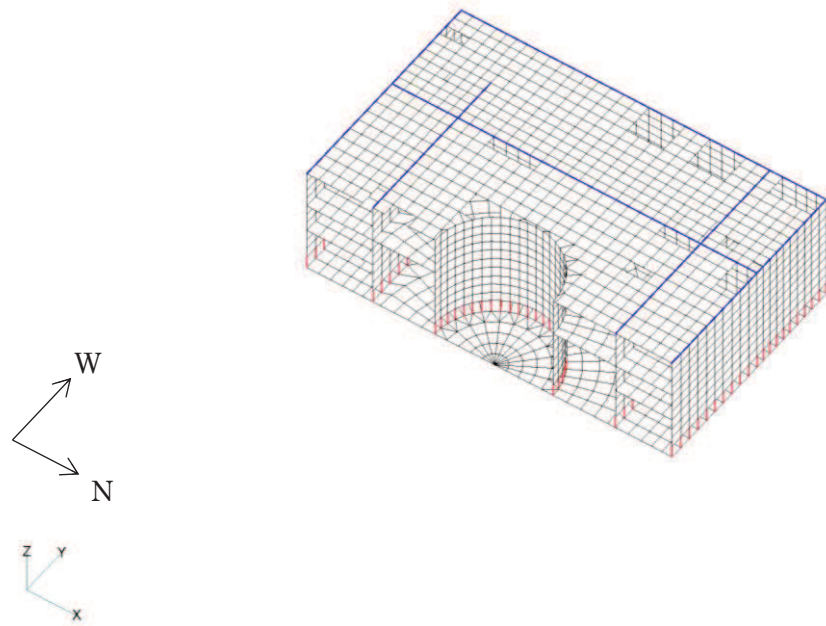
G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S _s S _N [*]	: S→N 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時土圧荷重を含む)
S _s S _{EW} [*]	: E→W 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時土圧荷重を含む)
S _s S _{UD} [*]	: 鉛直方向 S _s 地震荷重

注記* : 計算上の座標軸を基準として、NS 方向は S→N 方向の加力、EW 方向は E→W 方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

水平地震力と鉛直地震力による応力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。なお、水平 2 方向と鉛直方向の組合せにおいては、水平 1 方向と鉛直方向の組合せの結果を考慮して鉛直方向地震力に 0.4 を乗じるケースに対して実施する。荷重の組合せケースを表 3-1-20 及び表 3-1-21 に示す。

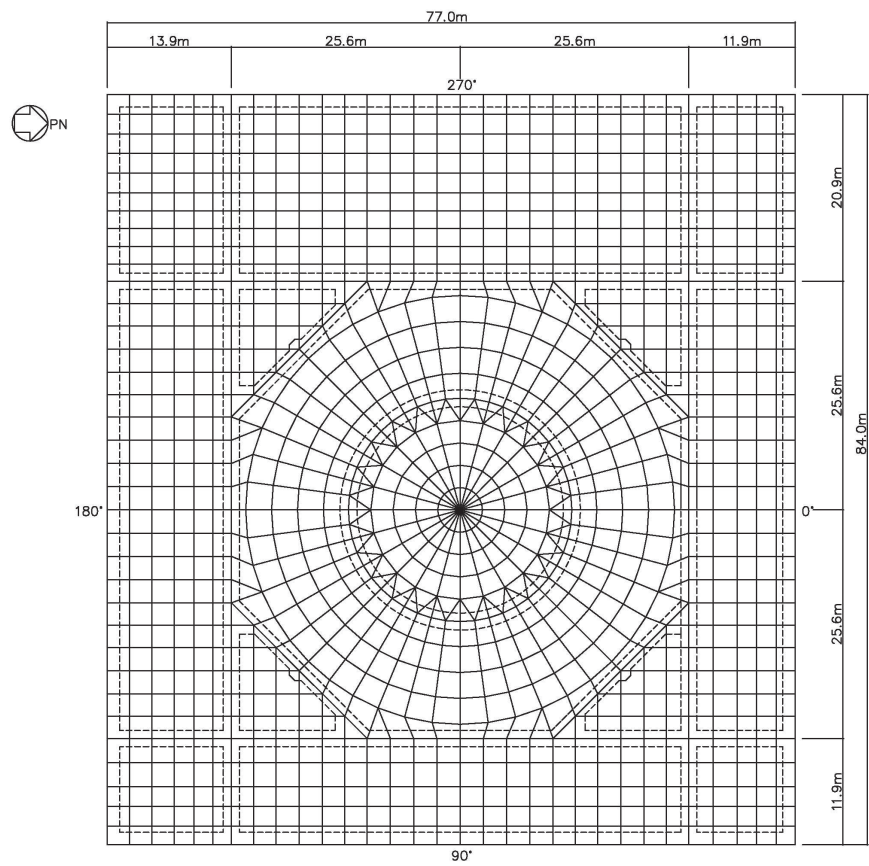


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図

図 3-1-20 解析モデル (1/2)



(c) 基礎版要素分割図

図 3-1-20 解析モデル (2/2)

表 3-1-20 荷重の組合せケース（水平 2 方向）

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	3-1	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-2	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-3	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-4	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-5	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-6	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-7	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-8	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	3-9	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-10	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-11	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-12	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-13	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-14	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-15	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	3-16	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$

表 3-1-21 荷重の組合せケース（水平 1 方向）

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	1-1	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-2	$G + P + 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-3	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-4	$G + P - 1.0 S_{s\ SN} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-5	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-6	$G + P + 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-7	$G + P - 1.0 S_{s\ EW} + 0.4 S_{s\ UD}$
	1-8	$G + P - 1.0 S_{s\ EW} - 0.4 S_{s\ UD}$
	1-9	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-10	$G + P + 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ UD}$
	1-11	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-12	$G + P - 0.4 S_{s\ SN} - 1.0 S_{s\ UD}$
	1-13	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-14	$G + P + 0.4 S_{s\ EW} - 1.0 S_{s\ UD}$
	1-15	$G + P - 0.4 S_{s\ EW} + 1.0 S_{s\ UD}$
	1-16	$G + P - 0.4 S_{s\ EW} - 1.0 S_{s\ UD}$

(6) 評価方法

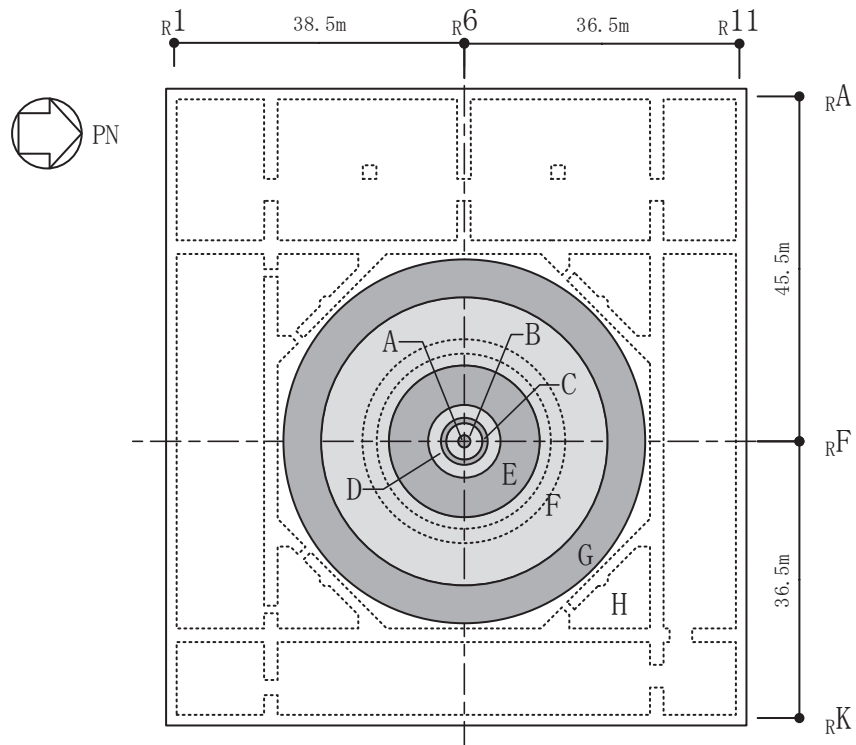
基礎の断面の評価は、基礎版の耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

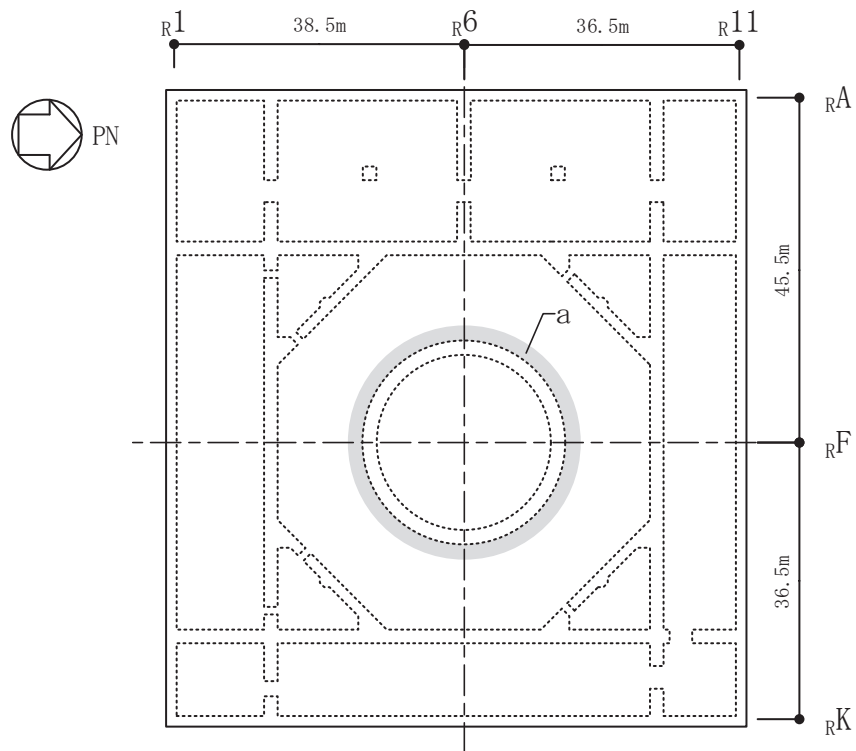
断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図及び配筋一覧を図 3-1-21 及び表 3-1-22 に示す。断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-22 に、評価結果を表 3-1-23 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

図 3-1-21 配筋領域図

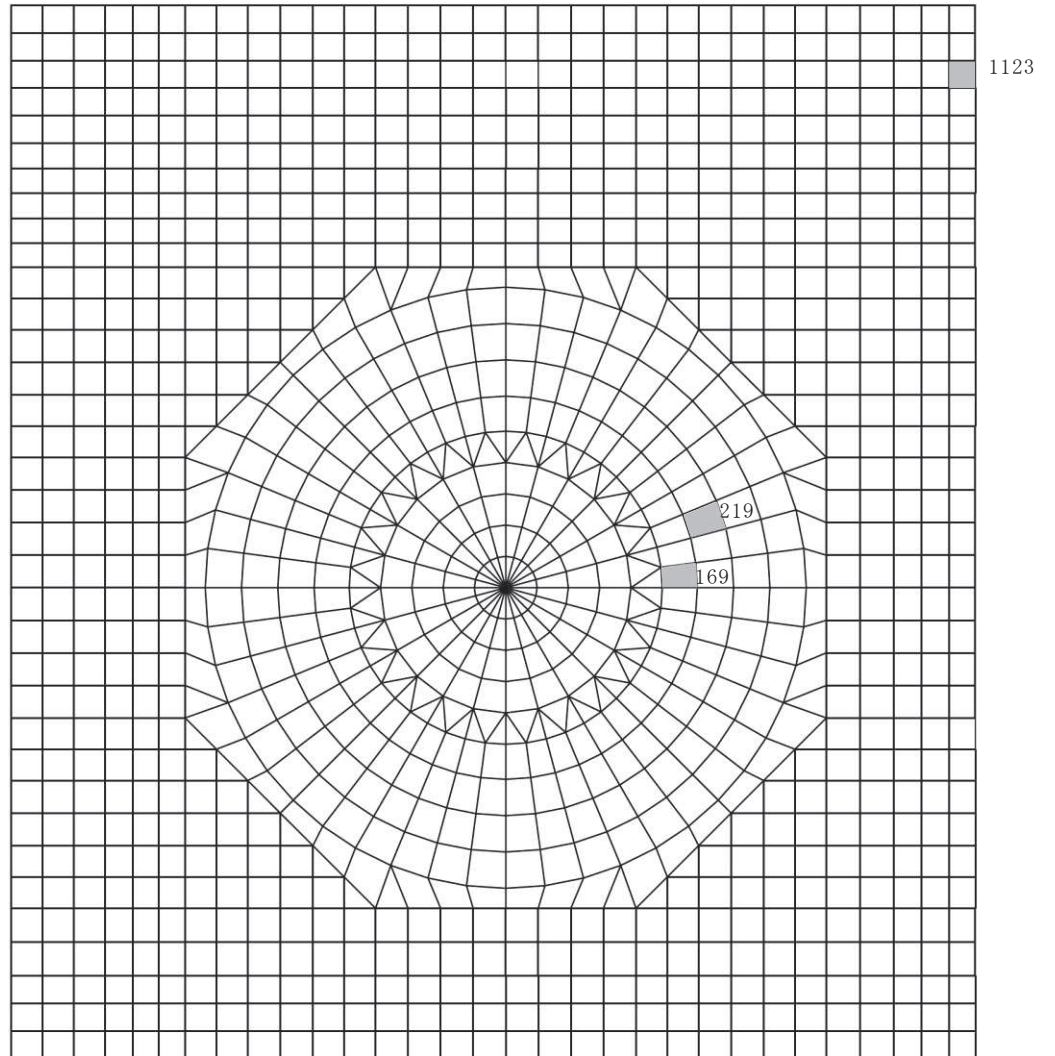
表 3-1-22 配筋一覧

(a) 主筋

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
B	NS	2-D38@200	NS	2-D38@200
	EW	2-D38@200	EW	2-D38@200
	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
C	放射	3×54-D38	放射	5×54-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
D	放射	3×108-D38	放射	5×108-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
E	放射	3×216-D38	放射	5×216-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
F	放射	3×432-D38	放射	5×432-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
G	放射	3×864-D38	放射	5×864-D38
	円周	2-D38@200 + D38@400	円周	2-D38@200 + 3-D38@400
H	NS	2-D38@200	NS	3-D38@200 + D38@400
	EW	2-D38@200	EW	3-D38@200 + D38@400

(b) せん断補強筋

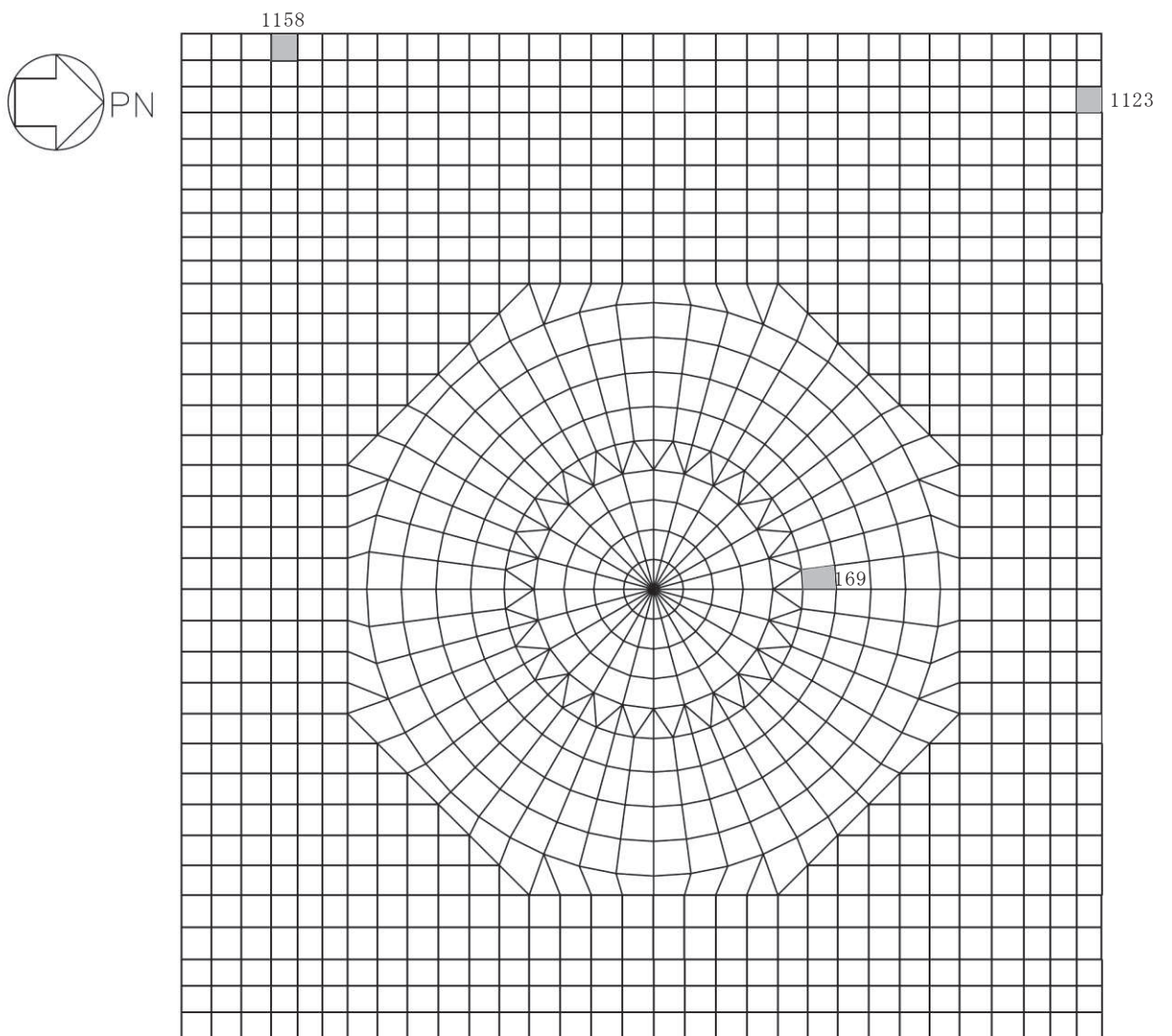
領域	配筋
a	D32@400×108/周



注：数字は要素番号を示す。

(a) 水平 2 方向

図 3-1-22 選定した要素の位置 S s 地震時 (1/2)



注：数字は要素番号を示す。

(b) 水平 1 方向

図 3-1-22 選定した要素の位置 S s 地震時 (2/2)

表 3-1-23 原子炉建屋基礎版の評価結果 S s 地震時

(a) 水平 2 方向

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1123	3-11	1.16	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	169	3-9	0.835	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	放射	219	3-9	2.12*	2.13

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

(b) 水平 1 方向

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1123	1-6	0.766	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	169	1-2	0.488	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1158	1-4	2.36	2.42

(8) 検討のまとめ

矩形の基礎は、直交する水平 2 方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、原子炉建屋基礎版について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3次元 FEM モデルを用いた応力解析を実施した。

検討の結果、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素位置が変わるものもあるが、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉建屋基礎版が有する耐震性への影響はないことを確認した。

別紙 1 評価部位の抽出に関する説明資料

目 次

1. 構成部位の整理及び水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せによる 影響確認が必要な部位の抽出に関する整理表	別紙 1- 1
2. 対象建屋の図面	別紙 1-11
2.1 原子炉建屋	別紙 1-12
2.2 制御建屋	別紙 1-21
2.3 排気筒	別紙 1-28
2.4 第 3 号機海水熱交換器建屋	別紙 1-29
2.5 緊急用電気品建屋	別紙 1-35
2.6 緊急時対策建屋	別紙 1-39
2.7 タービン建屋	別紙 1-45
2.8 補助ボイラー建屋	別紙 1-52
2.9 第 1 号機制御建屋	別紙 1-57
2.10 第 1 号機排気筒	別紙 1-65
3. 代表部位の選定プロセス	別紙 1-69
3.1 柱-隅部	別紙 1-69
3.2 基礎	別紙 1-69
3.3 壁 (面外荷重)	別紙 1-70

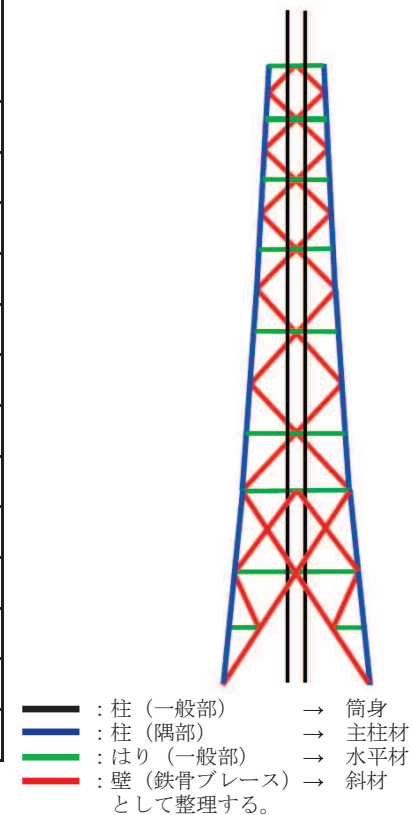
1. 構成部位の整理及び水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せによる影響確認が必要な部位の抽出に関する整理表

抽出に関する整理表を表 1-1～表 1-3 示す。

表 1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (1/3)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		使用済燃料プール		上部鉄骨		
		RC造	RC造			
柱	一般部	○	-	○	○	○
	隅部	○	-	○	○	○
	地下部	○	-	-	○	-
はり	一般部	○	-	○	○	○
	地下部	○	-	-	○	-
	鉄骨トラス	-	-	○	○	-
壁	一般部	○	○	-	○	-
	地下部	○	-	-	○	-
	鉄骨ブレース	-	-	○	-	○
床・屋根	一般部	○	○	-	○	-
基礎	矩形	○	-	-	○	○
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の構造部材なし



参考：排気筒構成部位概要図

表1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (2/3)

耐震性評価部位		第3号機海水熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC造	S造, RC造	S造, RC造, SRC造
柱	一般部	○	○	○
	隅部	○	○	-
	地下部	○	○	○
はり	一般部	○	○	○
	地下部	○	○	○
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	○	○	○
	地下部	○	○	○
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	○	○	○
基礎	矩形	○	○	○
	杭基礎	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の構造部材なし

表 1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (3/3)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第 1 号機 制御建屋	第 1 号機 排気筒
		上部鉄骨				
		RC 造	S 造, SRC 造	S 造, RC 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	○	○	○	○	○
	隅部	○	○	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	-
はり	一般部	○	○	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	-
	鉄骨トラス	-	○	-	-	-
壁	一般部	○	-	○	○	-
	地下部	○	-	○	○	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	○
床・屋根	一般部	○	-	○	○	-
基礎	矩形	○	-	○	○	○
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり， -：対象の構造部材なし

表 1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		RC 造	使用済燃料プール	上部鉄骨		
			RC 造	RC 造	S 造, SRC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	-	該当なし	該当なし	要①-1
	地下部	該当なし	-	-	該当なし	-
はり	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	-	-	該当なし	-
	鉄骨トラス	-	-	該当なし	該当なし	-
壁	一般部	該当なし	要①-2	-	該当なし	-
	地下部	要①-2	-	-	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	該当なし	-	該当なし
床・屋根	一般部	該当なし	該当なし	-	該当なし	-
基礎	矩形	要①-1	-	-	要①-1	該当なし
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 要：評価必要

不要：評価不要

①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		第 3 号機海水 熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造, SRC 造
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	要①-1	-
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	要①-2	要①-2	要①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	矩形	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	-	-	-

凡例 要：評価必要

不要：評価不要

①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第 1 号機制御建屋	第 1 号機排気筒
		上部鉄骨				
		RC 造	S 造, SRC 造	RC 造, S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	要①-1
	地下部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
	鉄骨トラス	-	該当なし	-	-	-
壁	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
	地下部	要①-2	-	要①-2	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	該当なし
床・屋根	一般部	該当なし	-	該当なし	該当なし	-
基礎	矩形	不要*	-	不要*	不要*	不要*
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 要：評価必要

不要：評価不要

①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注記＊：上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋及び第 1 号機排気筒は、衝突の有無の判断が基本となることから、上部躯体を対象に評価しており、評価対象建屋は耐震壁、第 1 号機排気筒は筒身及び鉄塔を主たる評価対象部位としている。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

表 1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋			制御建屋	排気筒
		RC 造	使用済燃料プール	上部鉄骨		
			RC 造	S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	不要	-	不要	不要	不要
	隅部	不要	-	不要	不要	要①-1
	地下部	不要	-	-	不要	-
はり	一般部	不要	-	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	-	不要	-
	鉄骨トラス	-	-	不要	不要	-
壁	一般部	②-1	要①-2	-	不要	-
	地下部	要①-2	-	-	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	不要	-	不要
床・屋根	一般部	不要	不要	-	不要	-
基礎	矩形	要①-1	-	-	要①-1	不要
	杭基礎	-	-	-	-	-

- 凡例
- ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		第 3 号機海水 熱交換器建屋	緊急用電気品建屋	緊急時対策建屋
		RC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造, SRC 造
柱	一般部	不要	不要	不要
	隅部	不要	要①-1	-
	地下部	不要	不要	不要
はり	一般部	不要	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要
	鉄骨トラス	-	-	-
壁	一般部	不要	不要	不要
	地下部	要①-2	要①-2	要①-2
	鉄骨ブレース	-	-	-
床・屋根	一般部	不要	不要	不要
基礎	矩形	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	-	-	-

- 凡例
- ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
 - ・不要：評価不要
 - ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」
 - ・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」
 - ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」
 - ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		タービン建屋		補助ボイラー建屋	第 1 号機 制御建屋	第 1 号機 排気筒
		上部鉄骨				
		RC 造	S 造, SRC 造	RC 造, S 造, SRC 造	S 造, RC 造	S 造, RC 造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	要①-1
	地下部	不要	-	不要	不要	-
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	不要	不要	-
	鉄骨トラス	-	不要	-	-	-
壁	一般部	不要	-	不要	不要	-
	地下部	要①-2	-	要①-2	要①-2	-
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	不要
床・屋根	一般部	不要	-	不要	不要	-
基礎	矩形	不要*	-	不要*	不要*	不要*
	杭基礎	-	-	-	-	-

凡例 ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み

・不要：評価不要

・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記*：上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋及び第 1 号機排気筒は、衝突の有無の判断が基本となることから、上部躯体を対象に評価しており、評価対象建屋は耐震壁、第 1 号機排気筒は筒身及び鉄塔を主たる評価対象部位としている。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

2. 対象建屋の図面

「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において、「建物・構築物における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出」のプロセスに用いた対象建屋の図面を図 2-1-1～図 2-10-1 に記載する。

なお、上記にて評価部位として抽出されなかった部位の考え方を表 2-1 に示す。

2.1 原子炉建屋

原子炉建屋の図面を図 2-1-1 及び図 2-1-2 に示す。

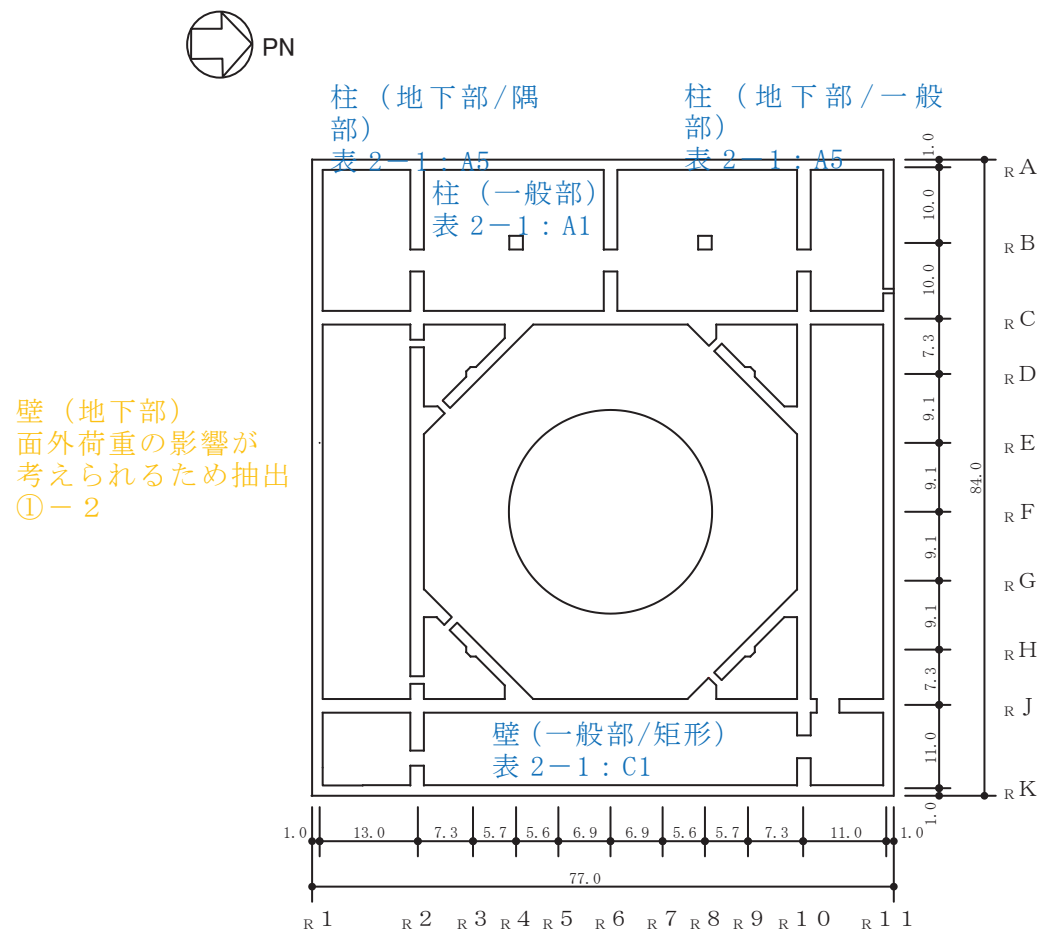
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

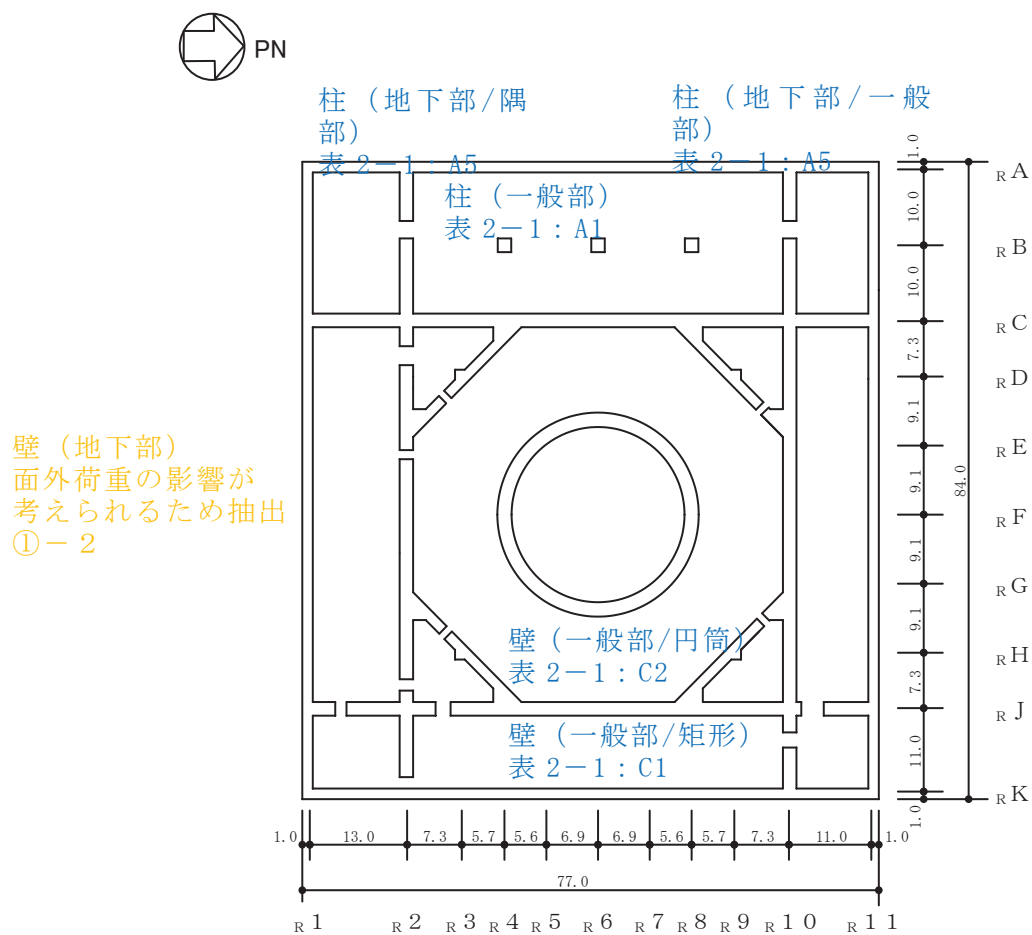
青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-1-1(1) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. -8.1m)

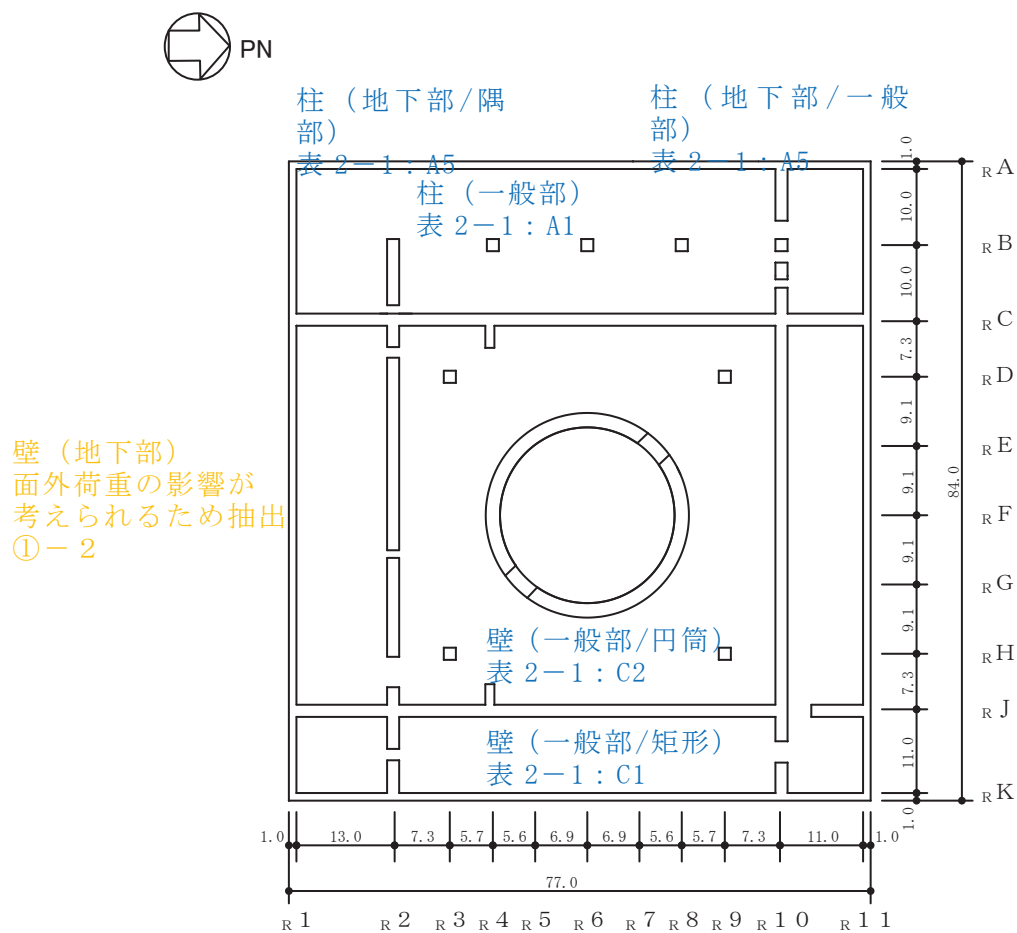
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-1-1(2) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. -0.8m)

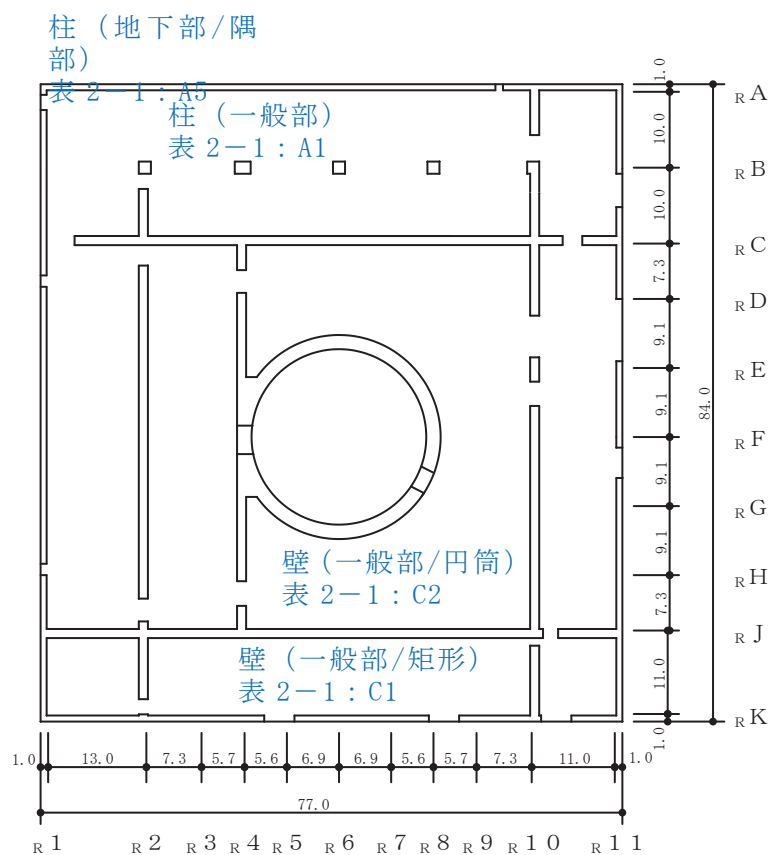
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-1-1(3) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P.6.0m)

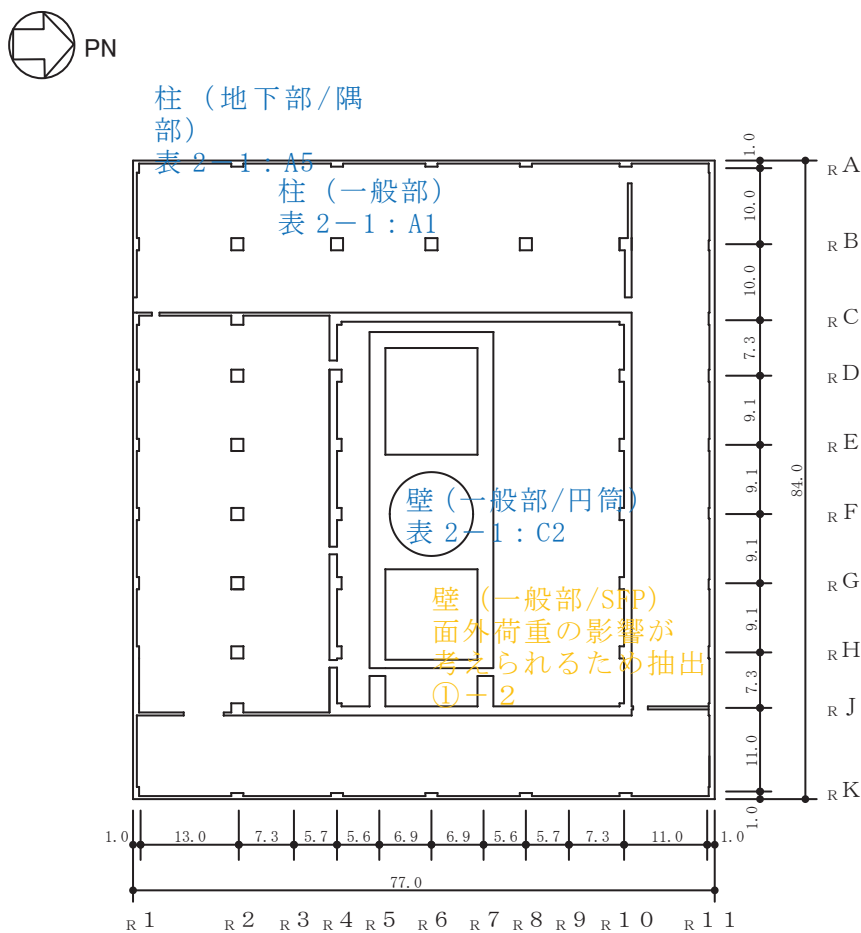
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-1-1(4) 原子炉建屋の概略平面図 (O.P. 15.0m)

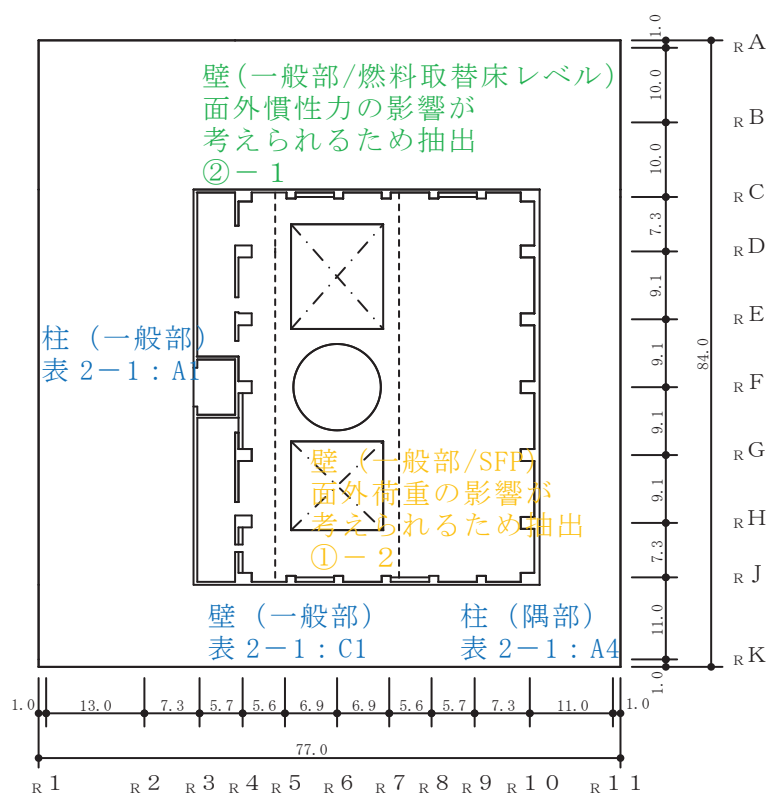
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-1-1(5) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 22.5m)

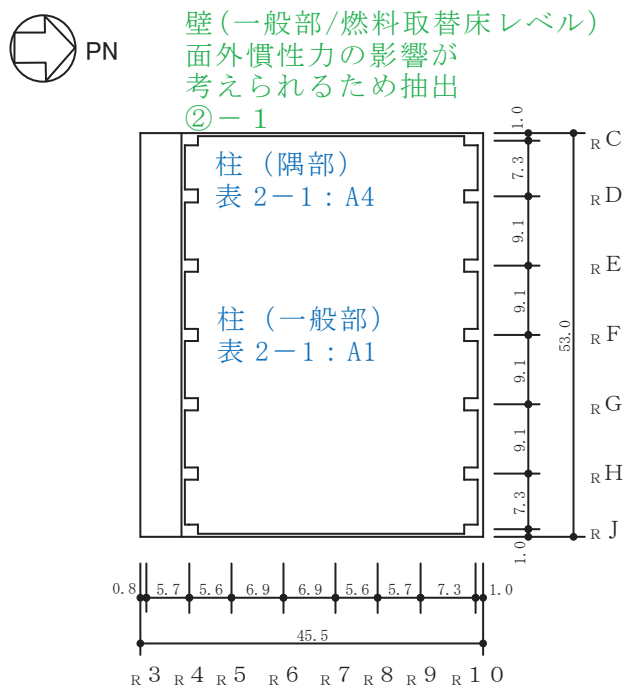
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-1-1(6) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 33. 2m)

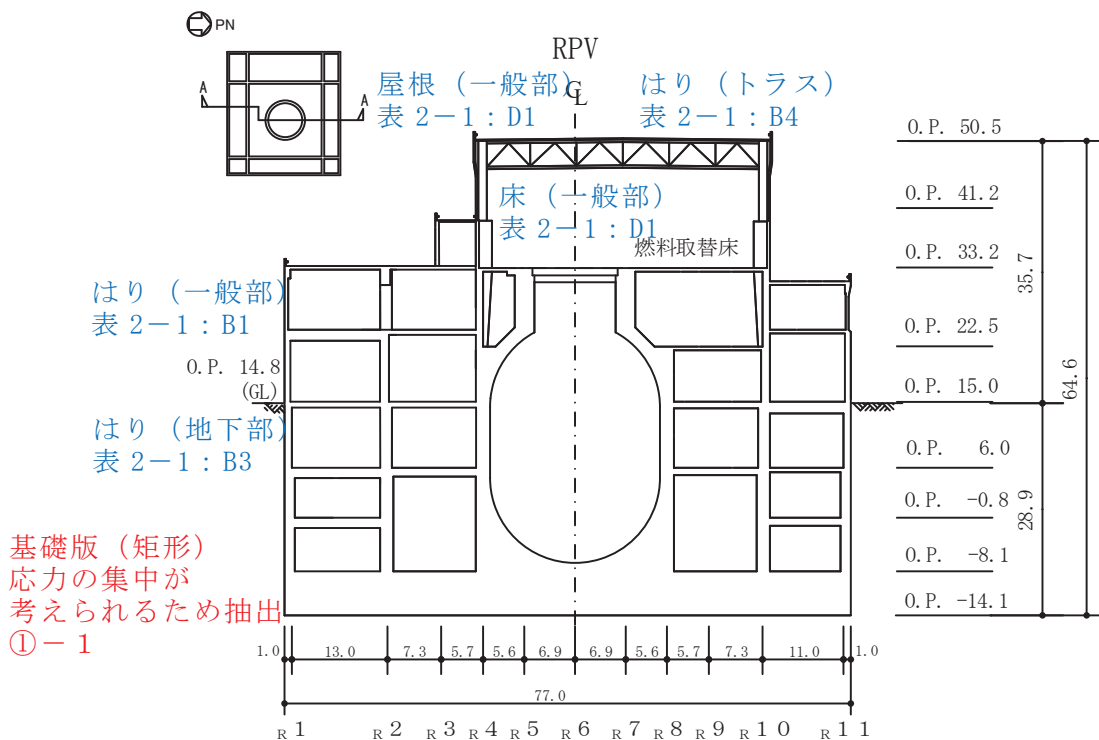
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-1-1(7) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 41.2m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-1-2(1) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

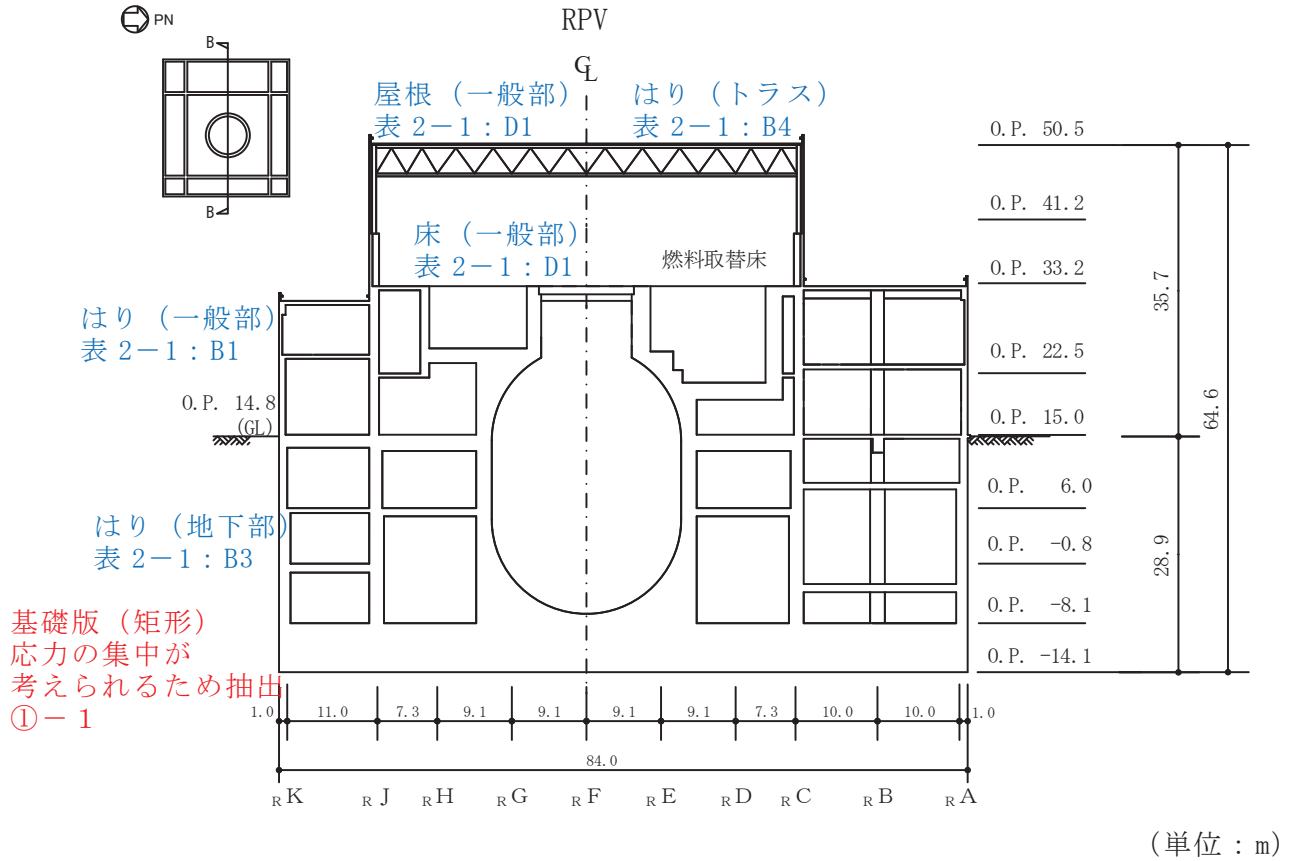
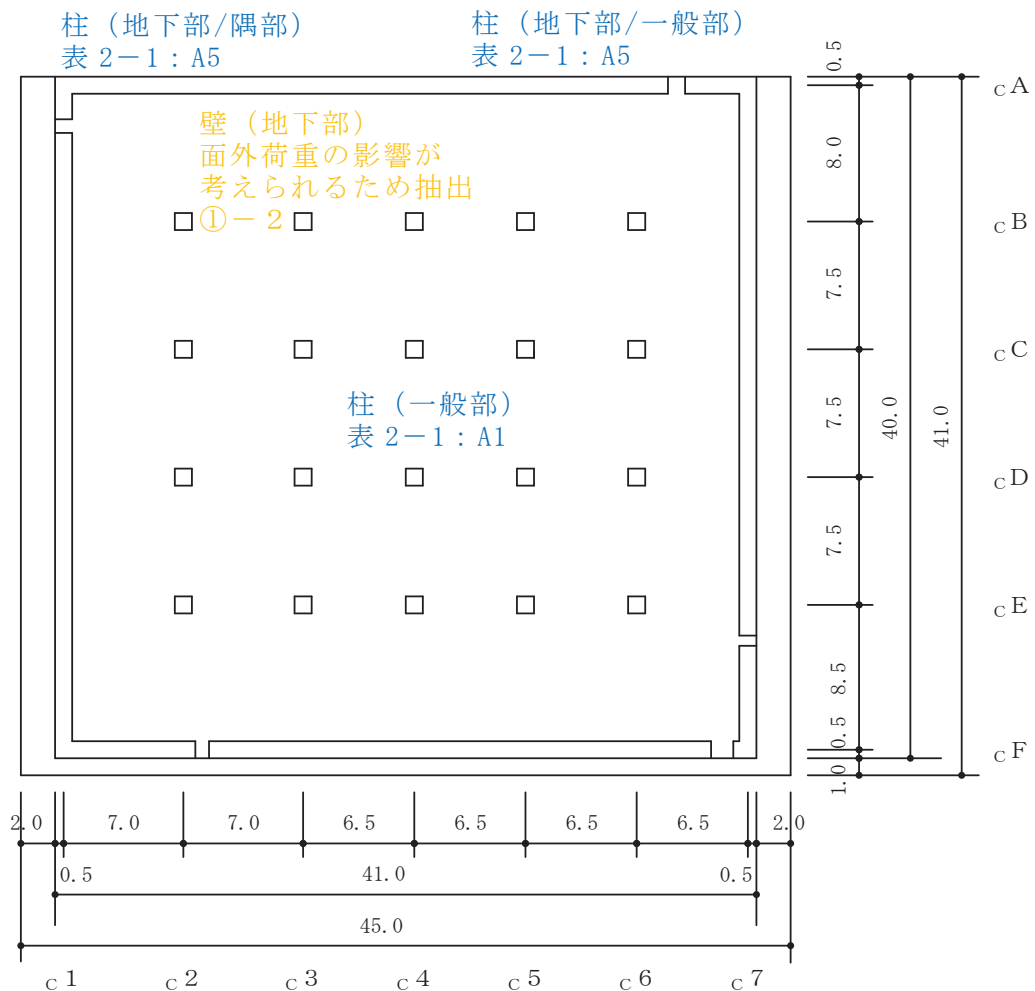


図 2-1-2(2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

2.2 制御建屋

制御建屋の図面を図 2-2-1 及び図 2-2-2 に示す。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-2-1(1) 制御建屋の概略平面図 (0.P. * 1.5m)

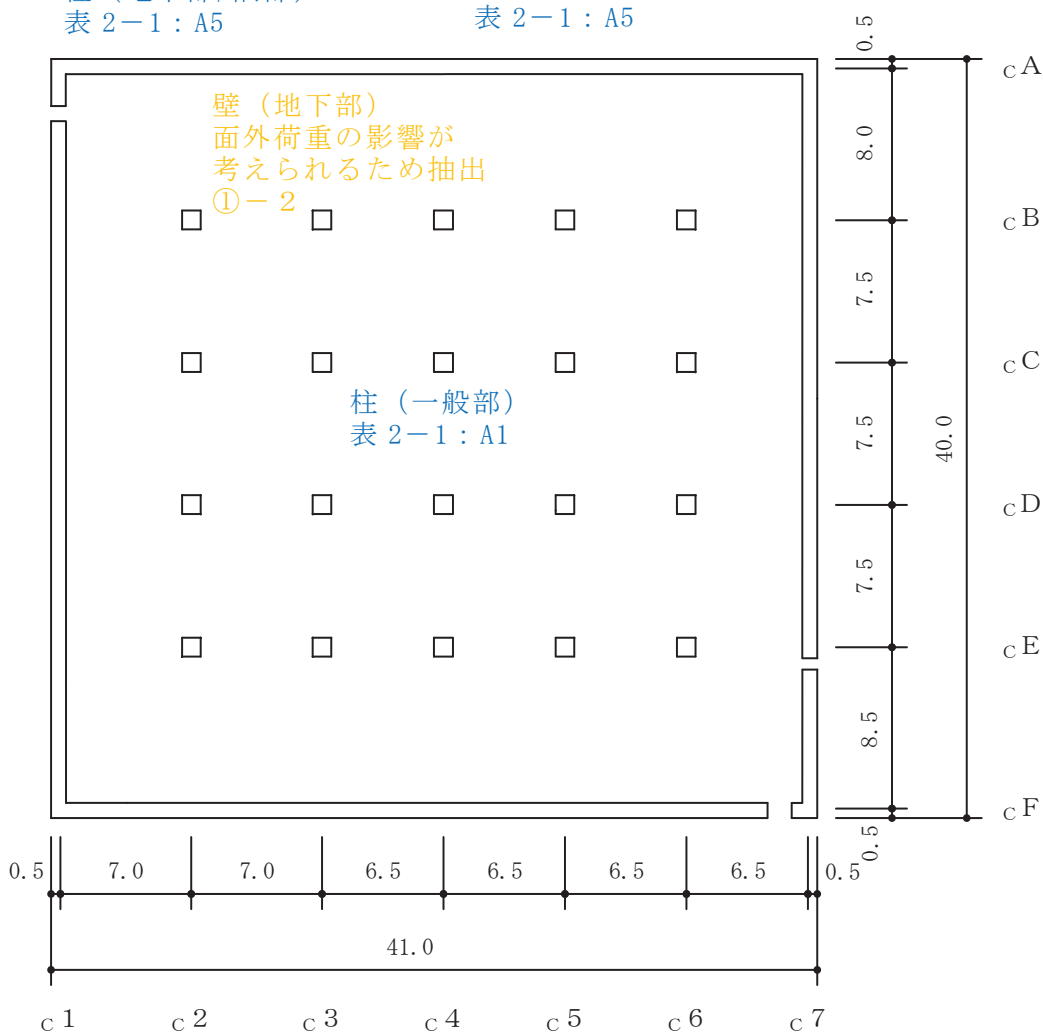
注記* : 0.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.) -0.74m である。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



柱（地下部/隅部）
表 2-1 : A5

柱（地下部/一般部）
表 2-1 : A5



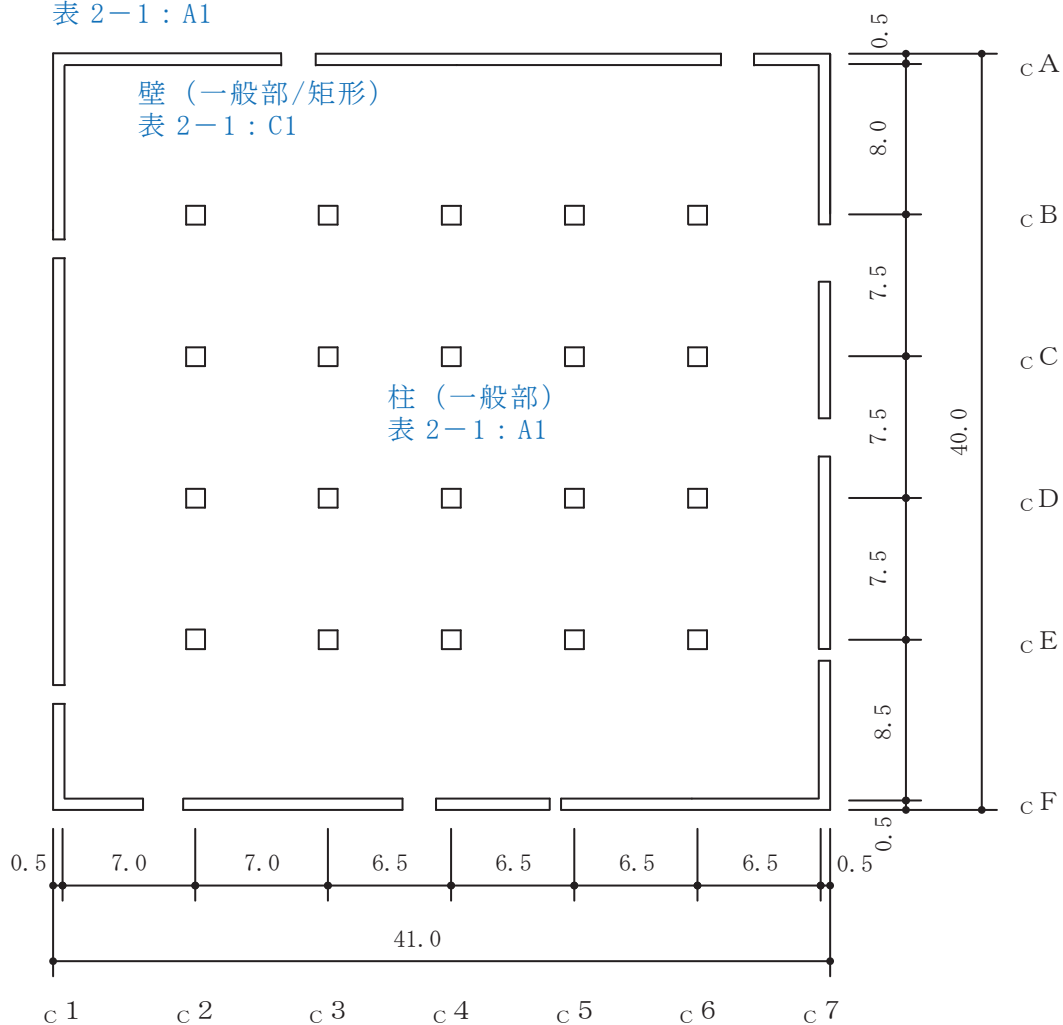
(単位 : m)

図 2-2-1(2) 制御建屋の概略平面図 (0.P. 8.0m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



柱（隅部）
表 2-1 : A1



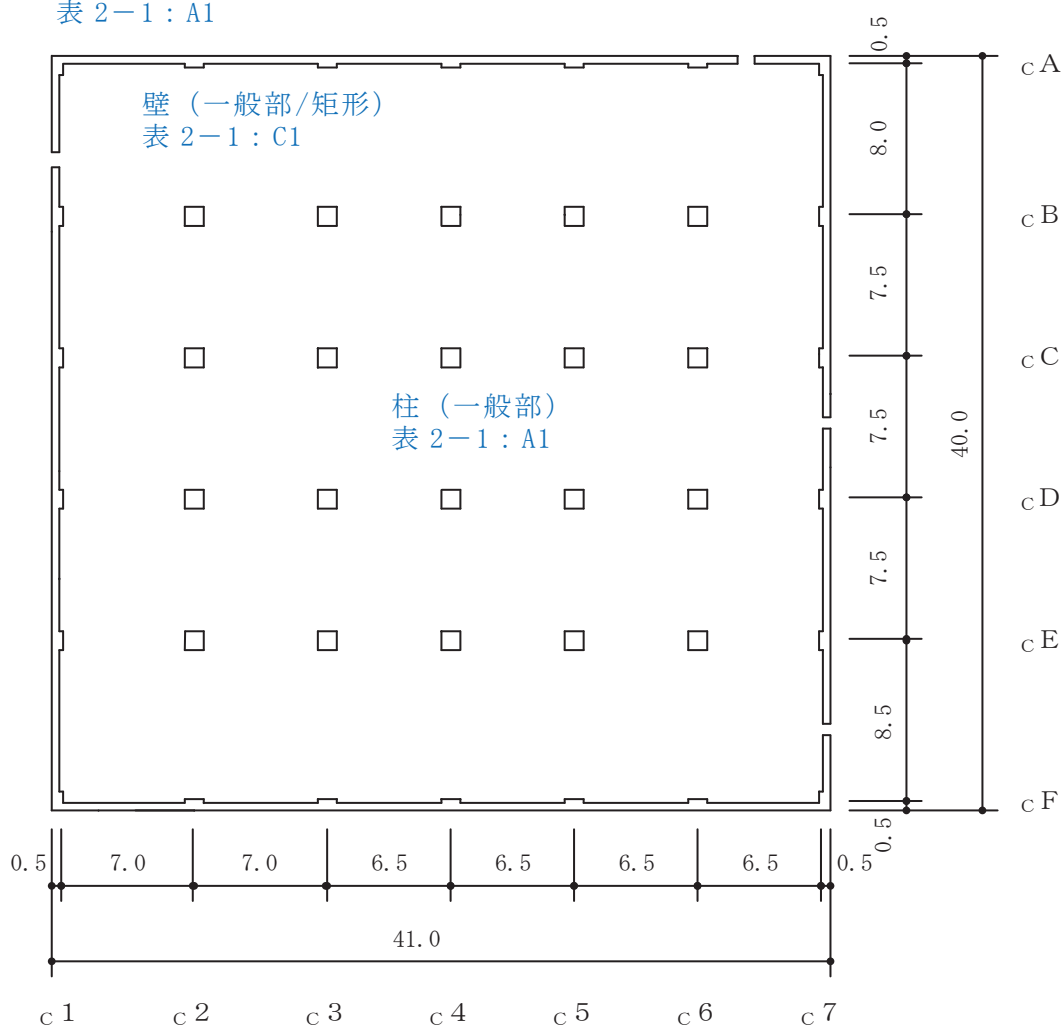
(単位 : m)

図 2-2-1(3) 制御建屋の概略平面図 (O.P. 15.0m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



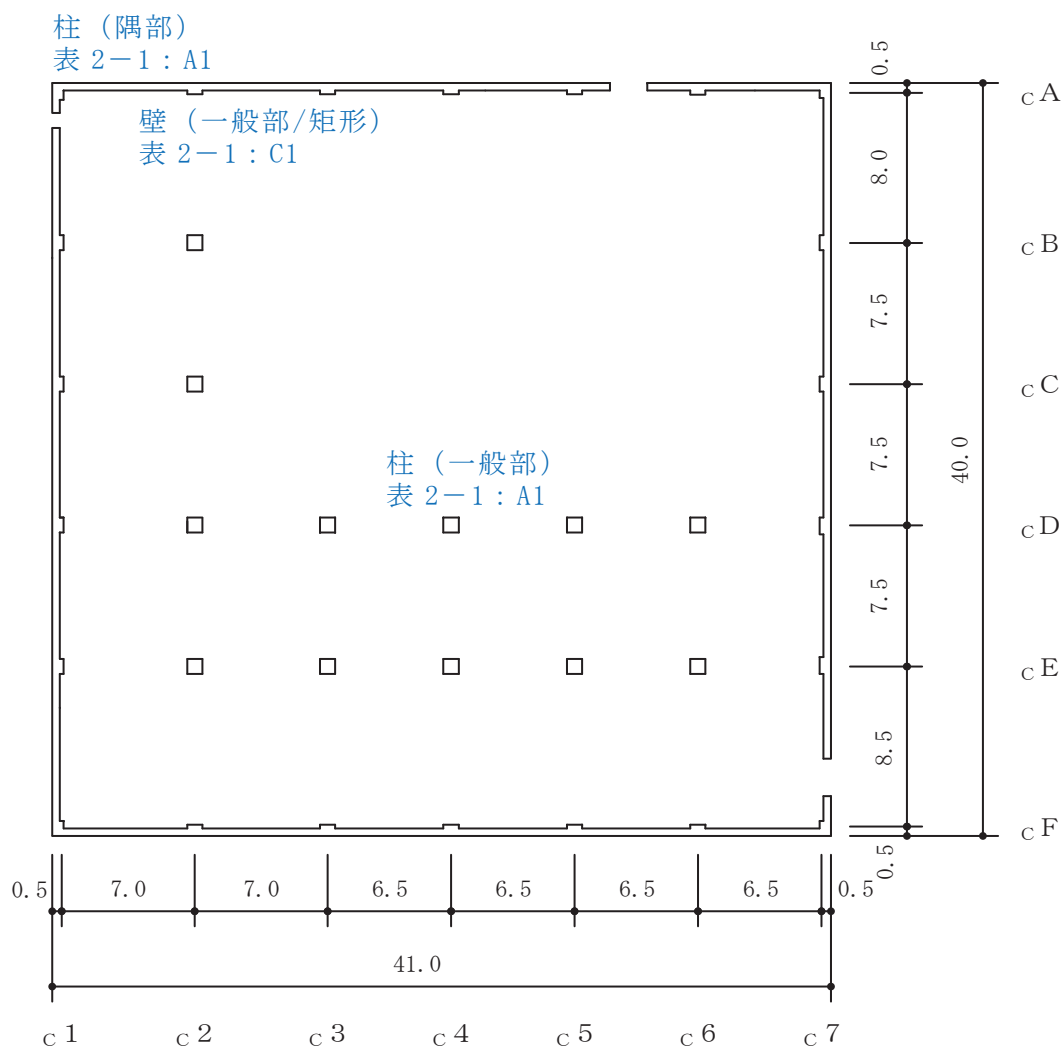
柱（隅部）
表 2-1：A1



(単位：m)

図 2-2-1(4) 制御建屋の概略平面図 (O.P. 19.5m)

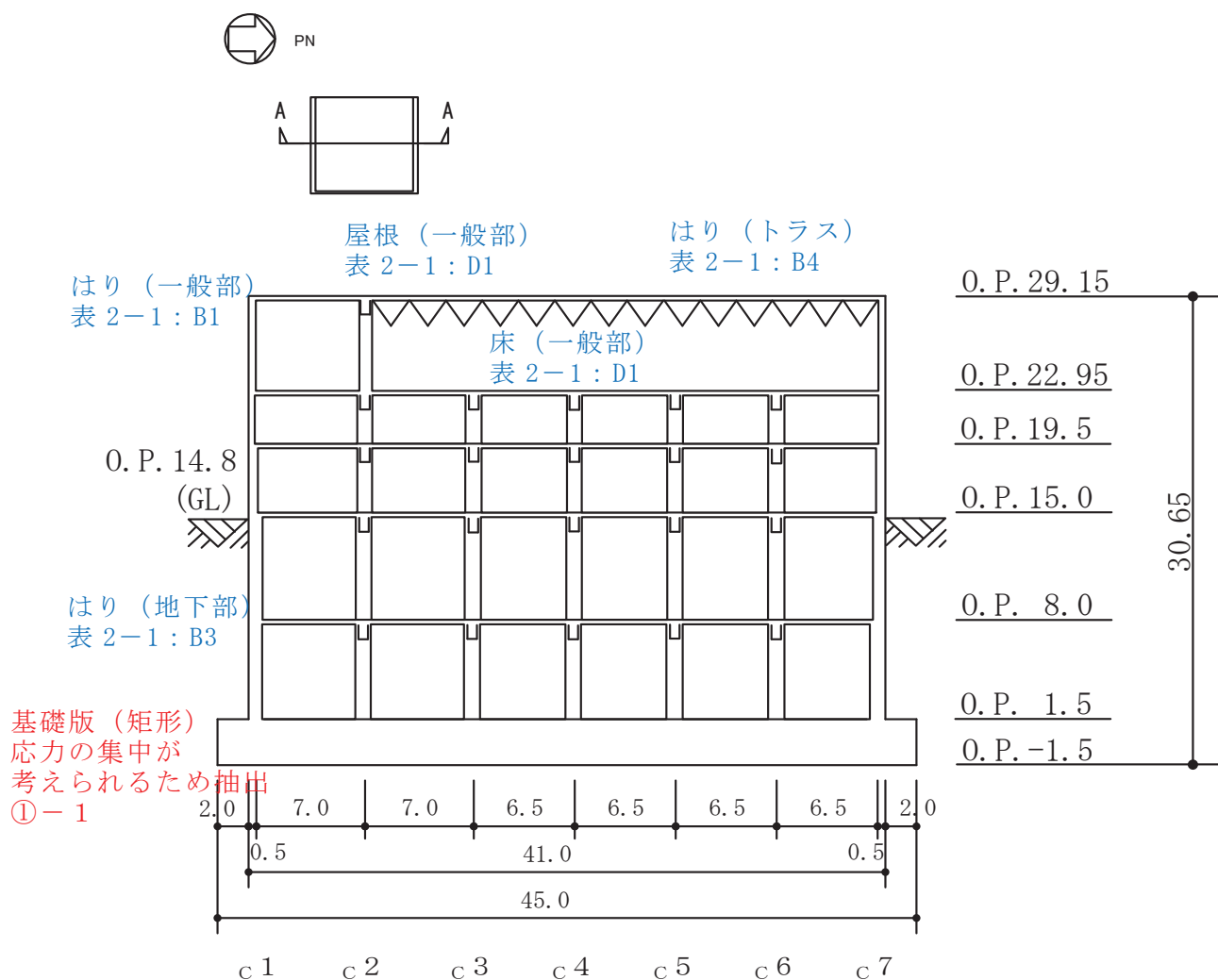
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-2-1(5) 制御建屋の概略平面図 (0. P. 22. 95m)

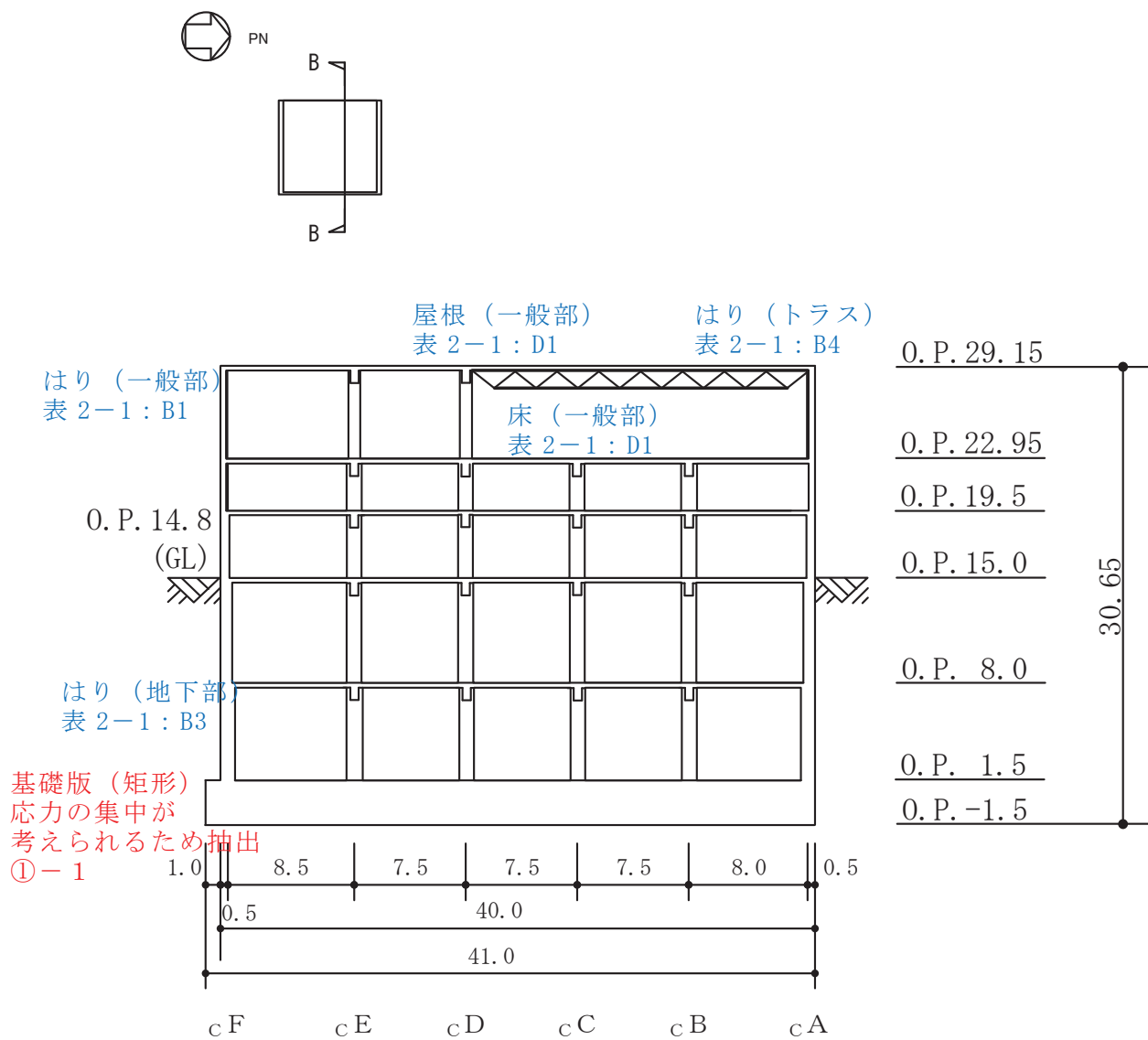
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-2-2(1) 制御建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-2-2(2) 制御建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

2.3 排気筒

排気筒の図面を図 2-3-1 に示す。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

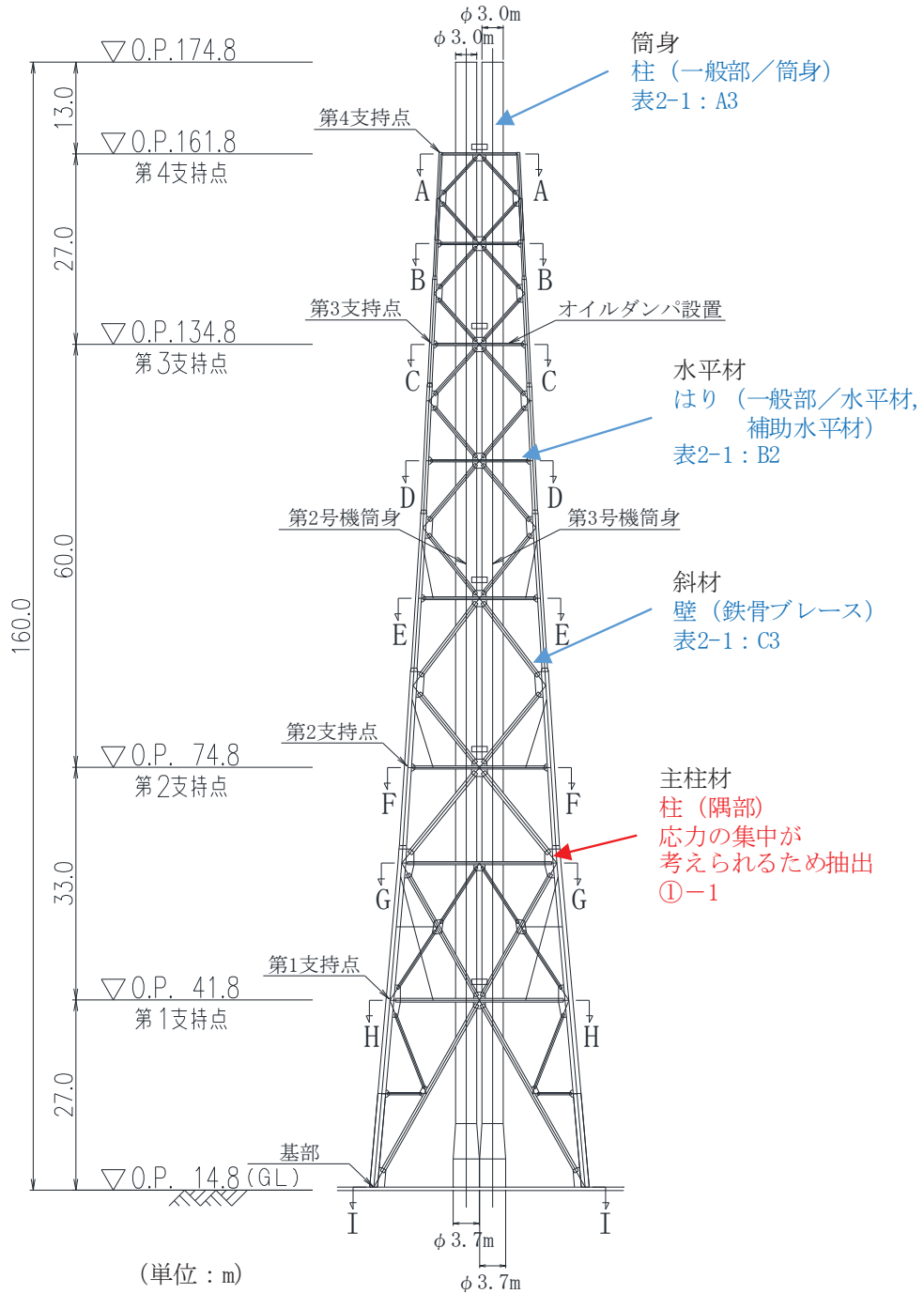
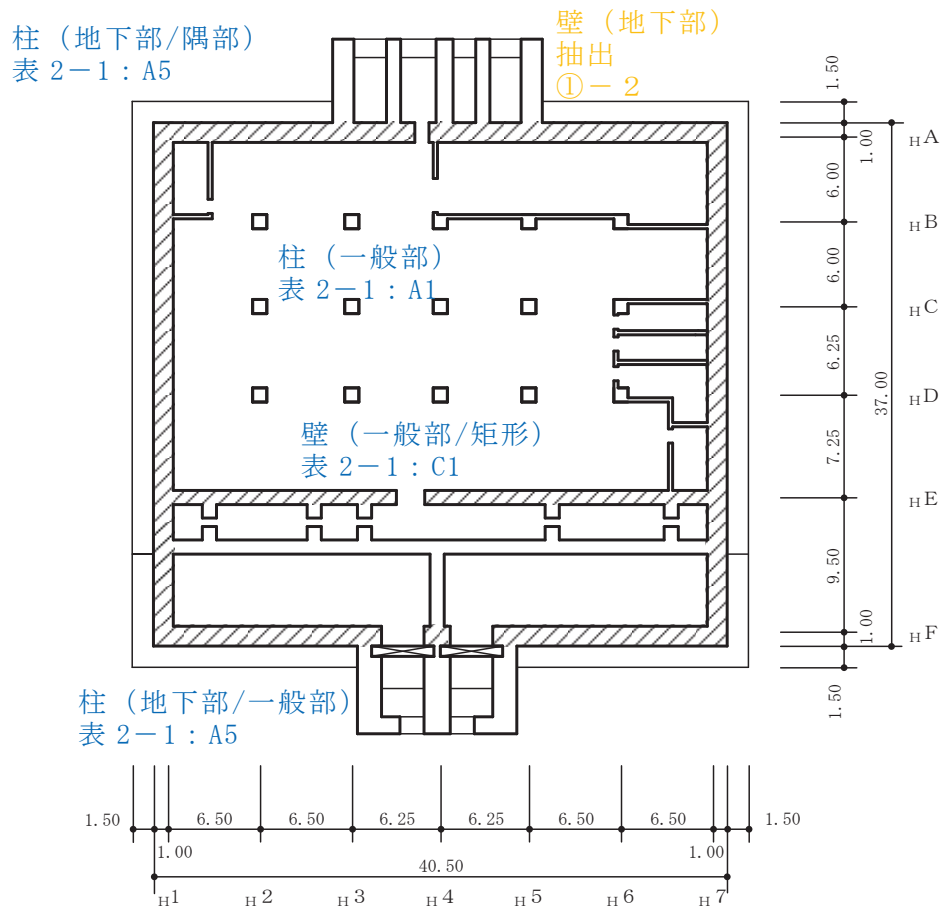


図 2-3-1 排気筒の概要図

2.4 第3号機海水熱交換器建屋

第3号機海水熱交換器建屋の図面を図2-4-1及び図2-4-2に示す。

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



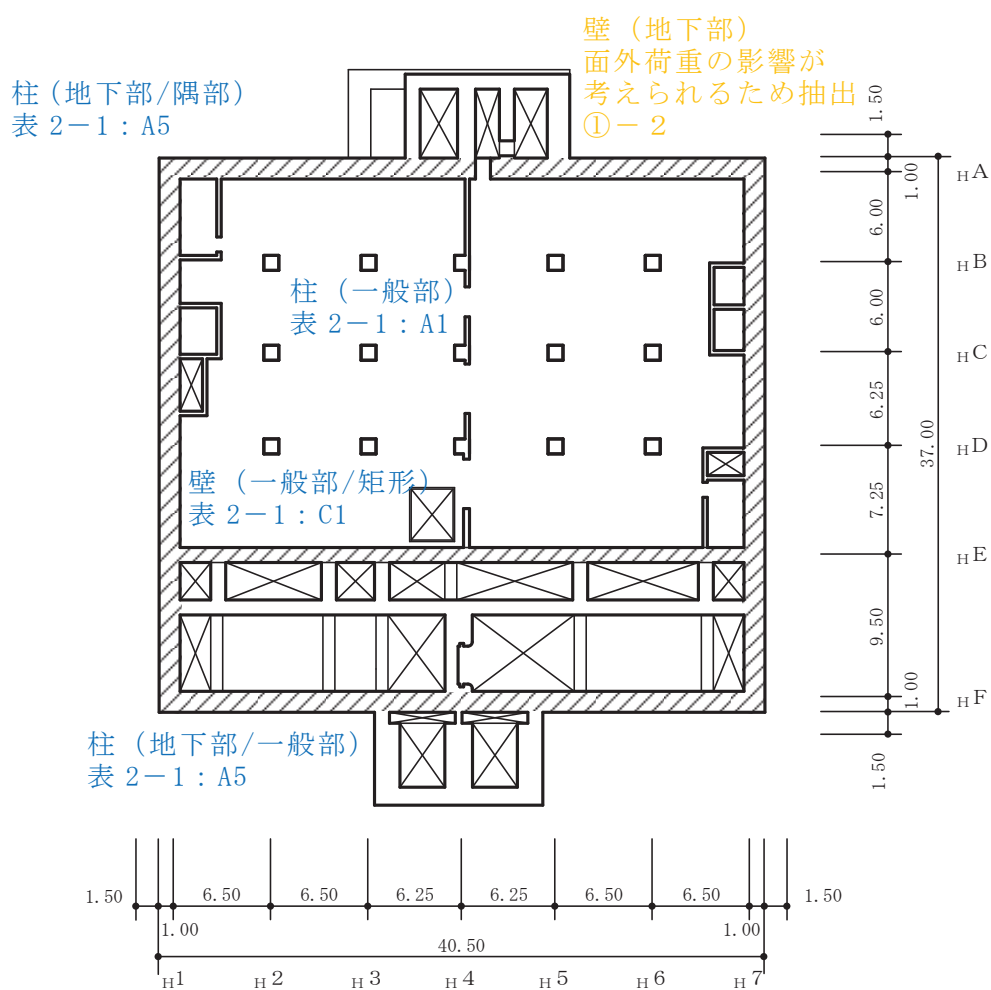
注：網掛けは耐震壁を示す

(単位：m)

図2-4-1(1) 第3号機海水熱交換器建屋の概略平面図 (O.P.*-9.5m)

注記* : O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面 (T.P.)-0.74mである。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

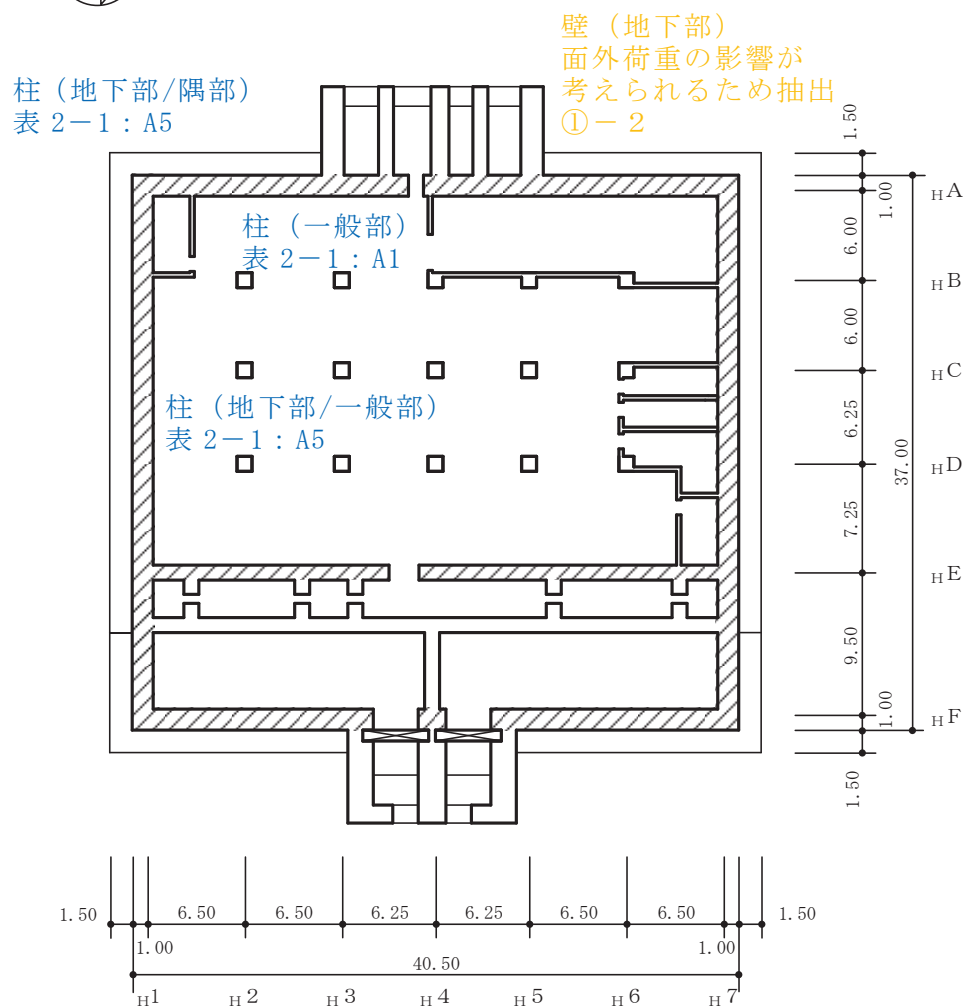


注：網掛けは耐震壁を示す

(単位：m)

図 2-4-1(2) 第 3 号機海水熱交換器建屋の概略平面図 (0.P. -1.1m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

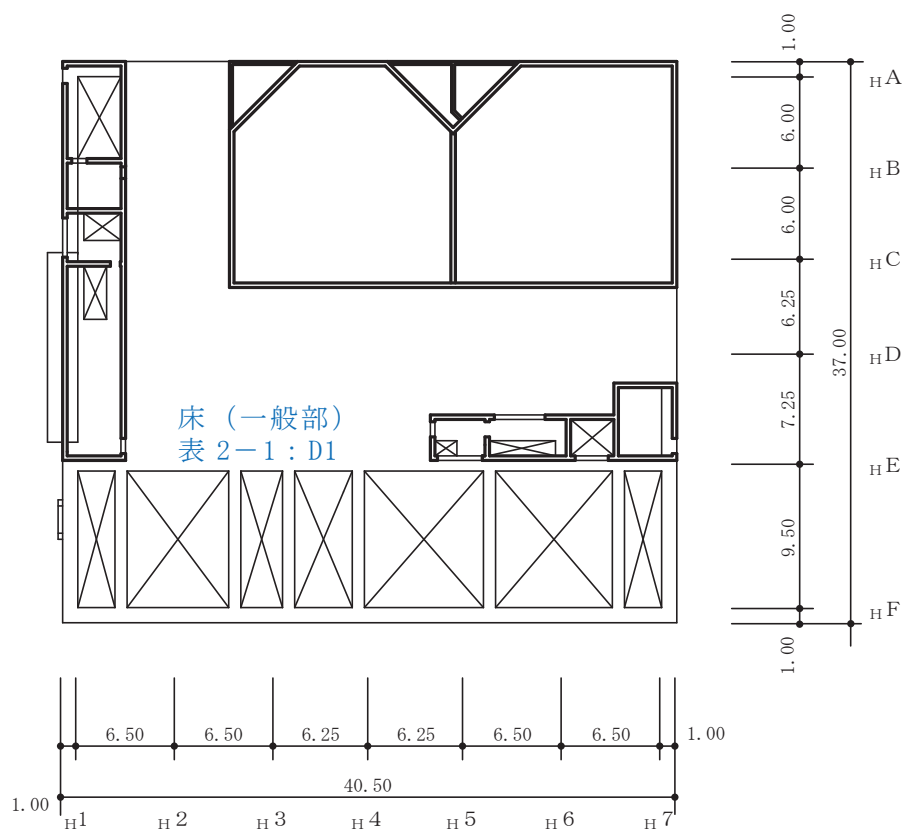


注：網掛けは耐震壁を示す

(単位：m)

図 2-4-1(3) 第 3 号機海水熱交換器建屋の概略平面図 (O.P. 8.0m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

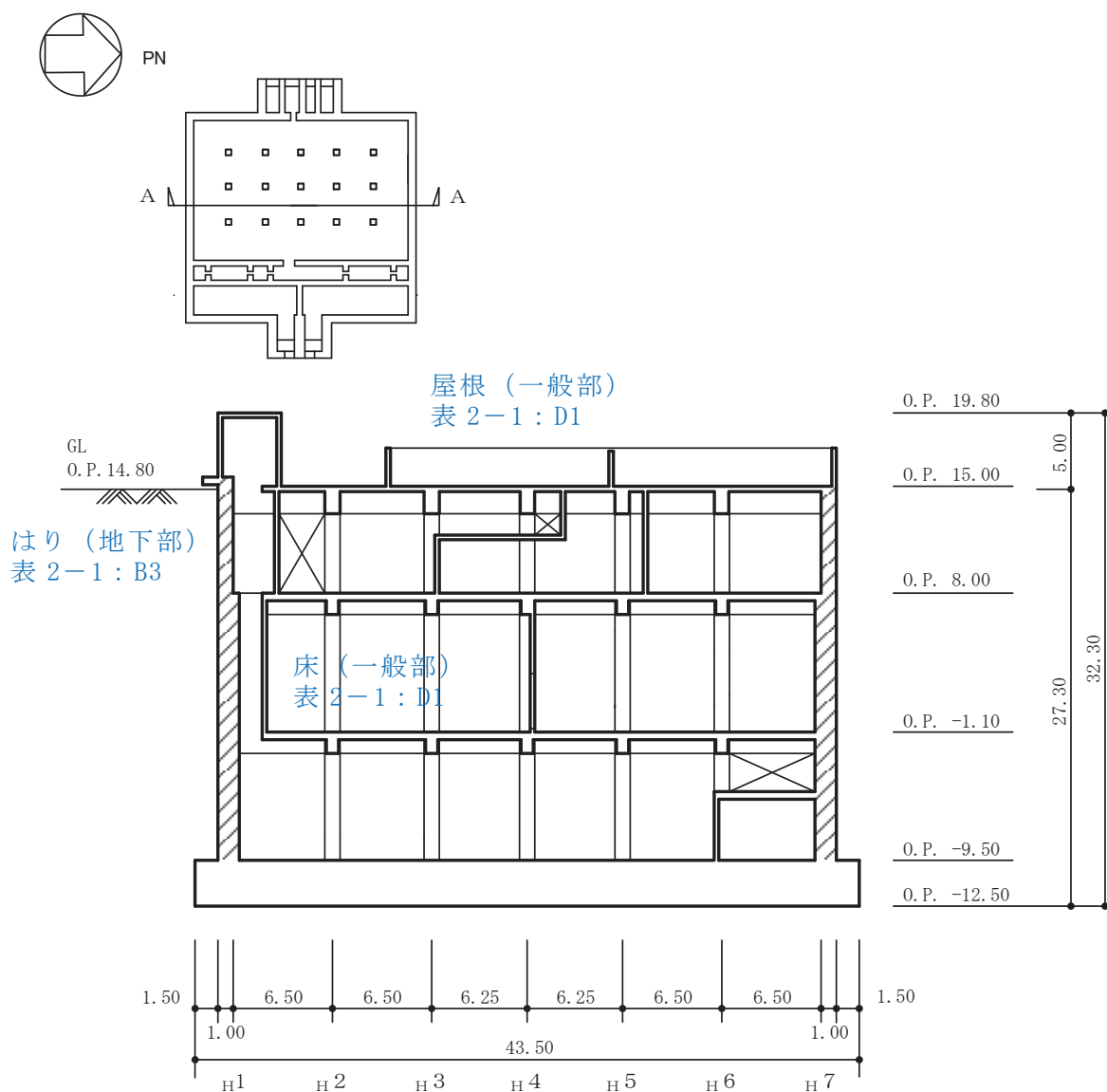


注：網掛けは耐震壁を示す

(単位：m)

図 2-4-1(4) 第 3 号機海水熱交換器建屋の概略平面図 (O.P. 15.0m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

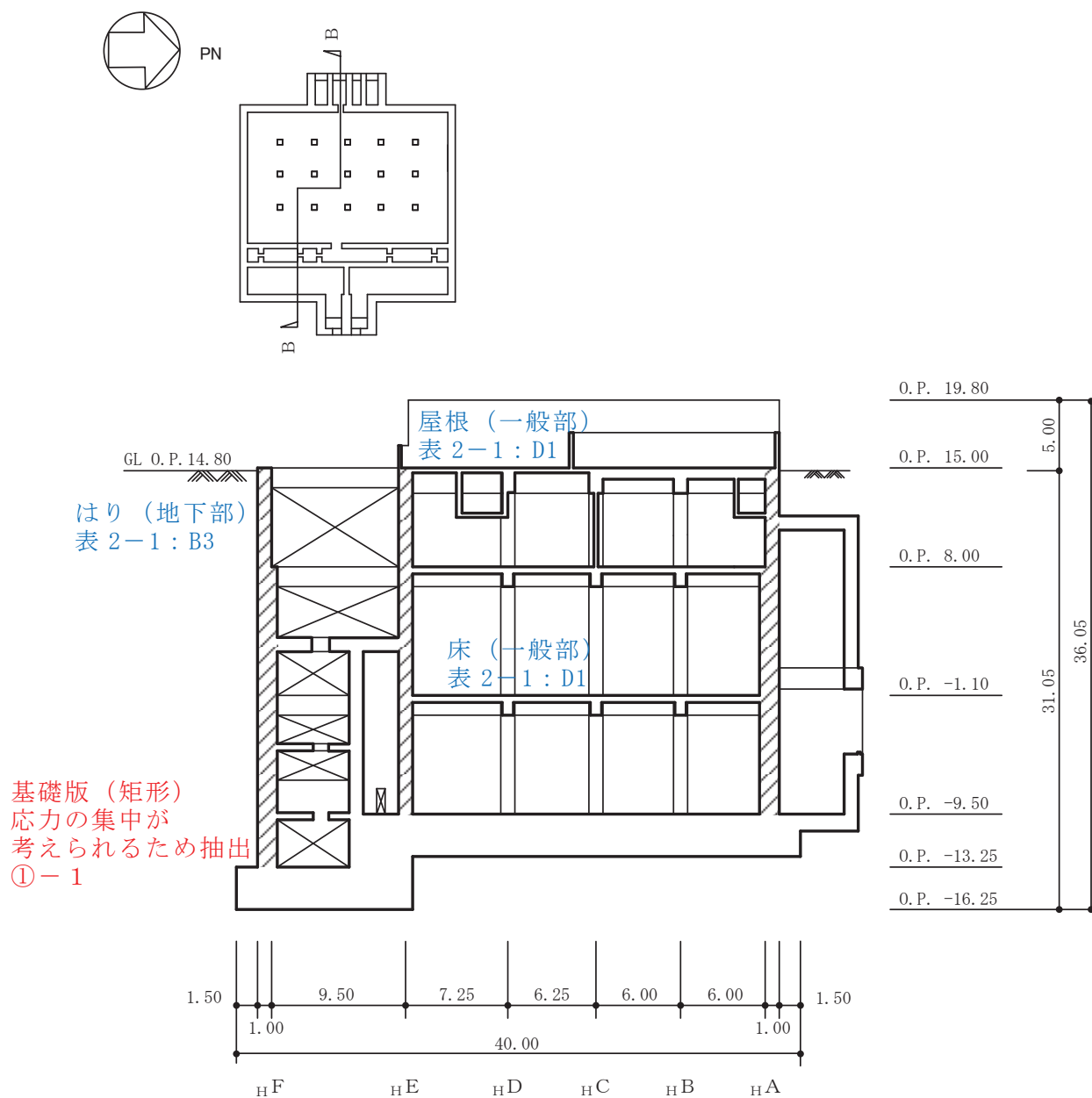


注：網掛けは耐震壁を示す

(単位：m)

図 2-4-2(1) 第 3 号機海水熱交換器建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



注：網掛けは耐震壁を示す

(単位：m)

図 2-4-2(2) 第 3 号機海水熱交換器建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

2.5 緊急用電気品建屋

緊急用電気品建屋の図面を図 2-5-1 及び図 2-5-2 に示す。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

青字：抽出されなかった部位及びその理由

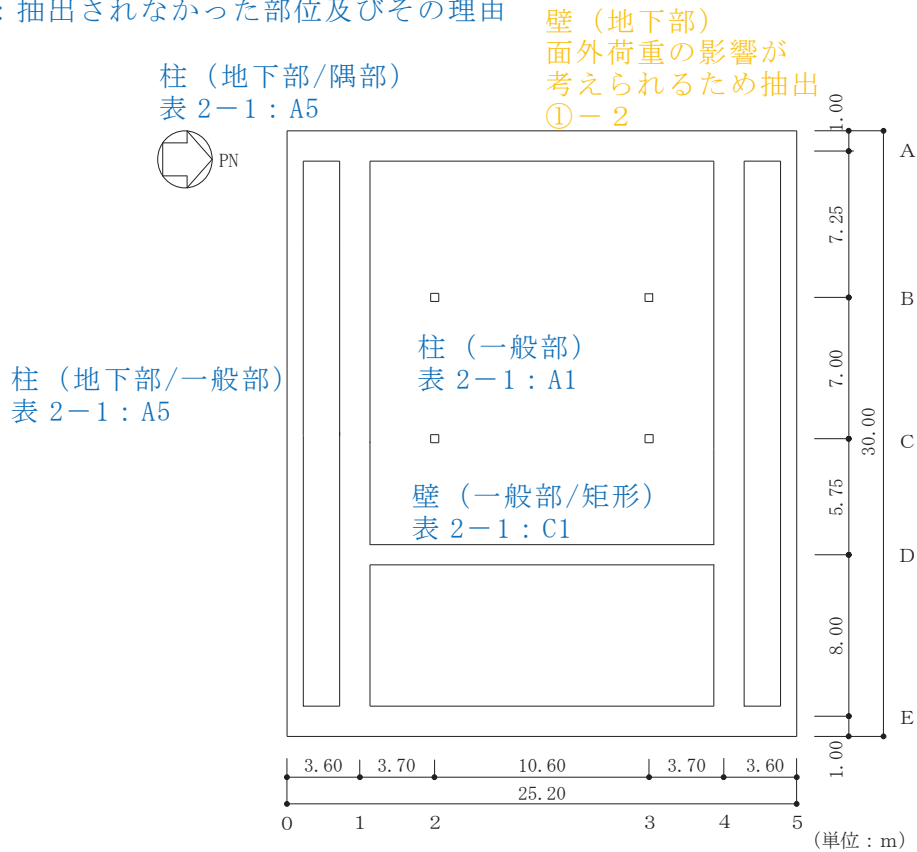


図 2-5-1(1) 緊急用電気品建屋の概略平面図 (0.P.*56.4m)

注記* : 0.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり, 東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

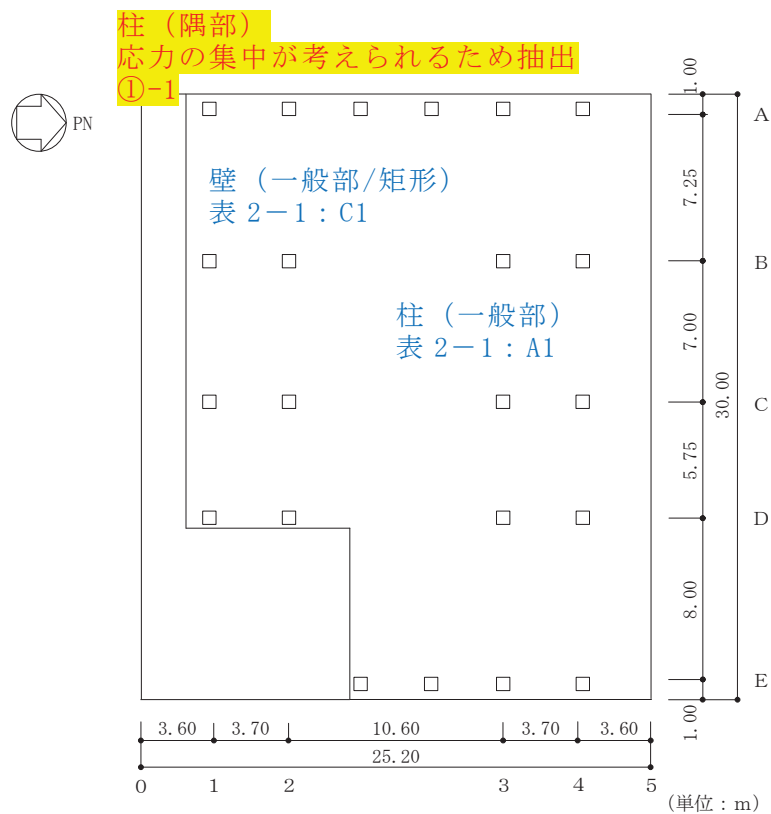


図 2-5-1 (2) 緊急用電気品建屋の概略平面図 (0. P. 62. 9m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

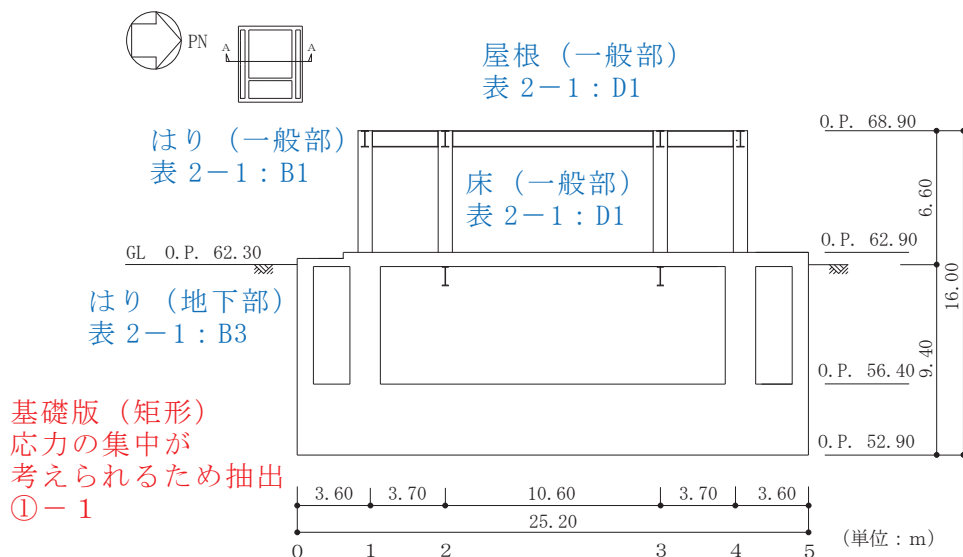


図 2-5-1(1) 緊急用電気品建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

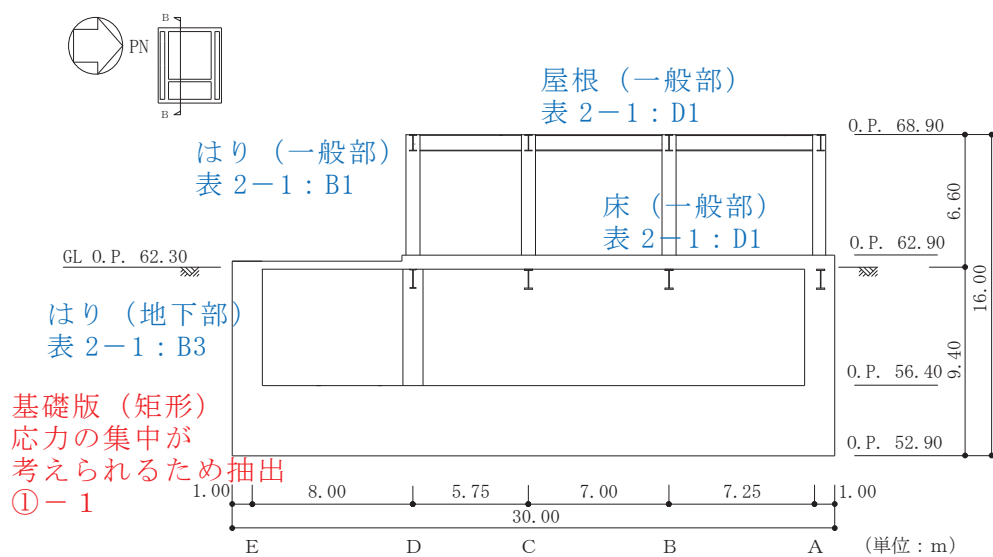


図 2-5-1(2) 緊急用電気品建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

2.6 緊急時対策建屋

緊急時対策建屋の図面を図 2-6-1 及び図 2-6-2 に示す。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

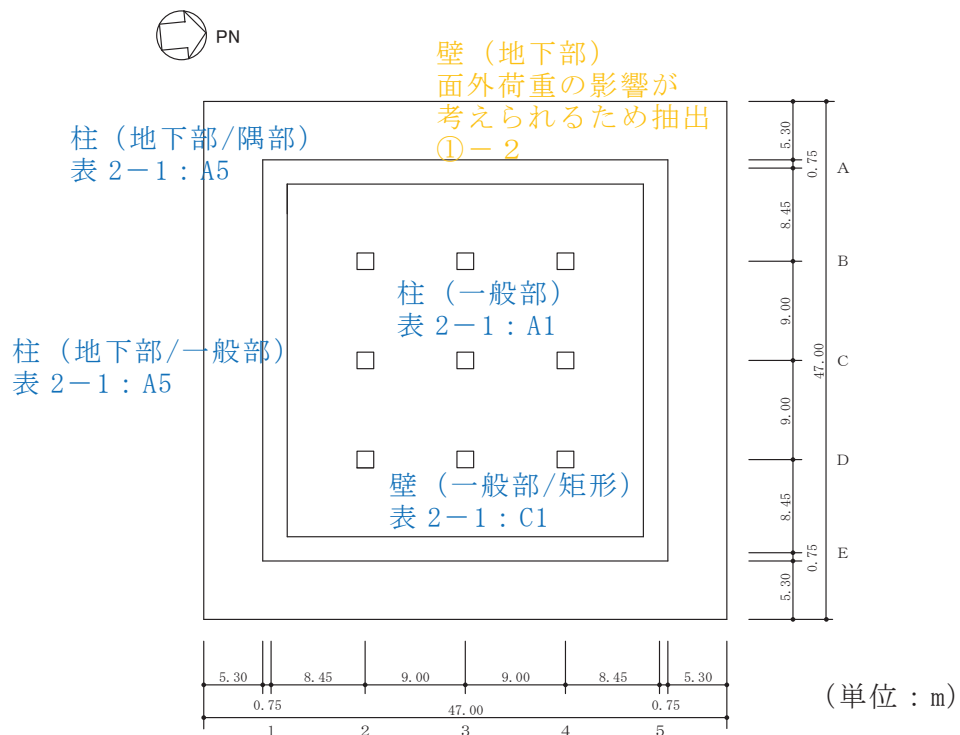


図 2-6-1(1) 緊急時対策建屋の概略平面図 (0.P.* 51.5m)

注記* : 0.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり，東京湾平均海面(T.P.)-0.74m である。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

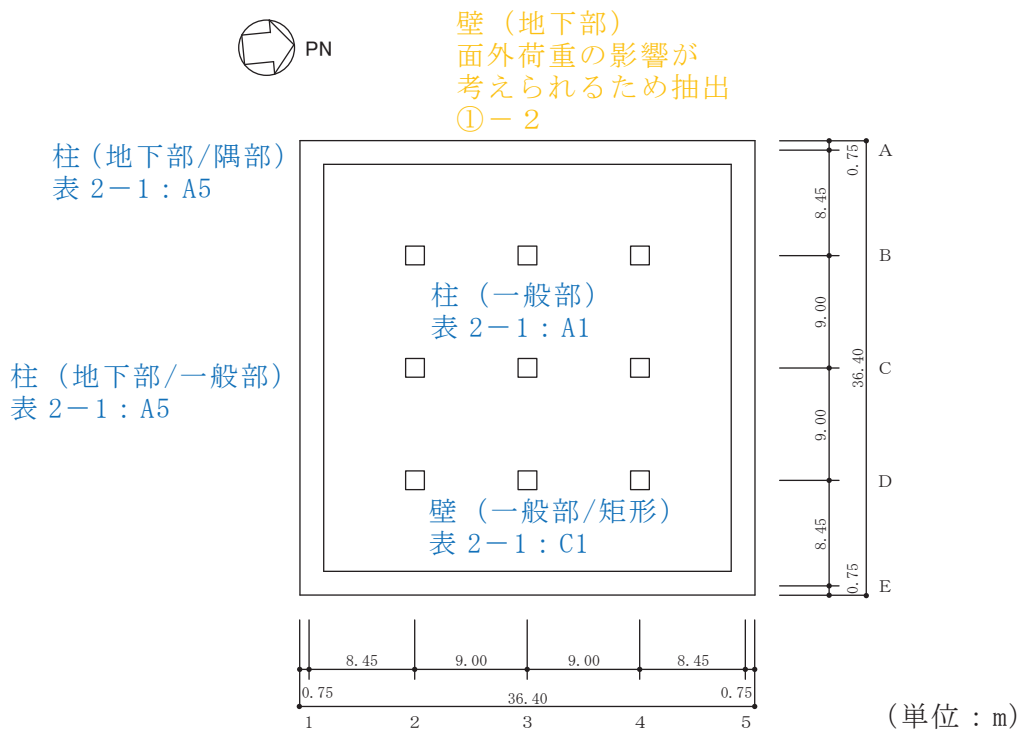


図 2-6-1(2) 緊急時対策建屋の概略平面図 (0. P. 57. 3m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

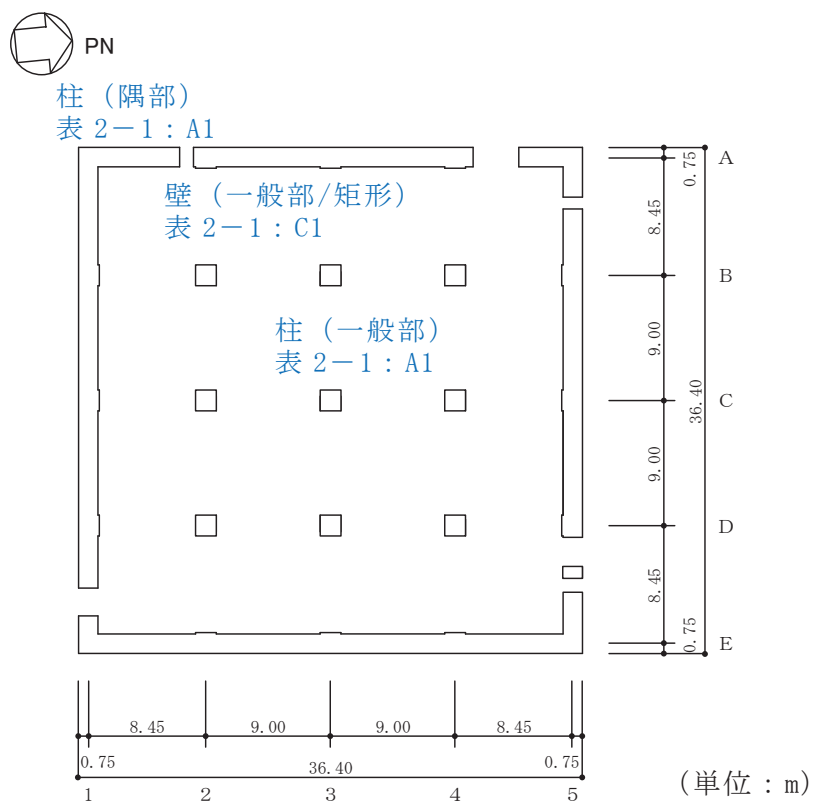


図 2-6-1(3) 緊急時対策建屋の概略平面図 (0.P. 62. 2m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

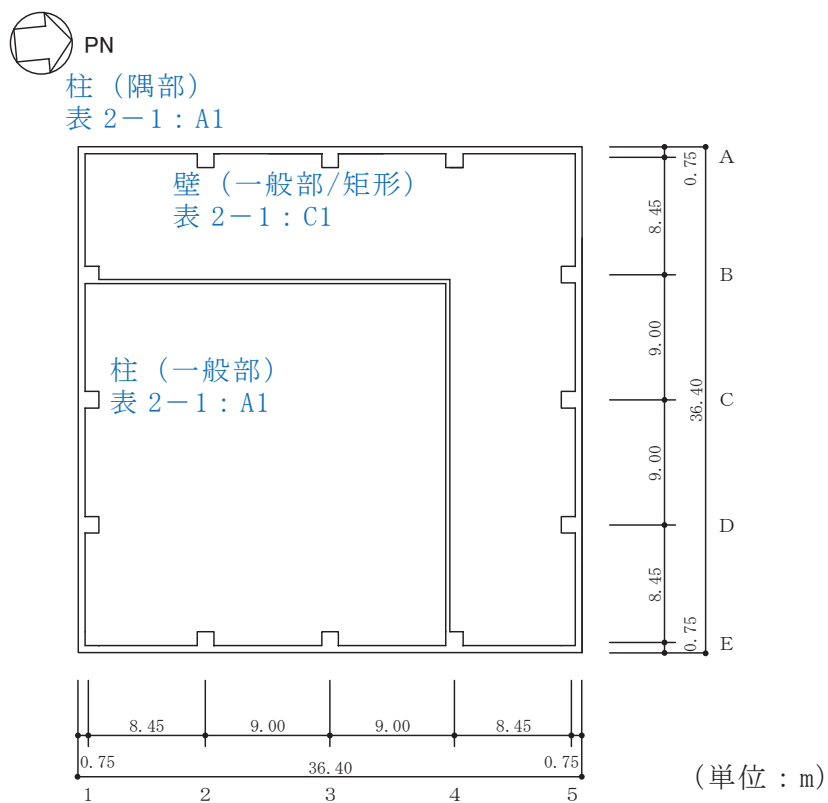


図 2-6-1(4) 緊急時対策建屋の概略平面図 (0.P. 69. 4m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

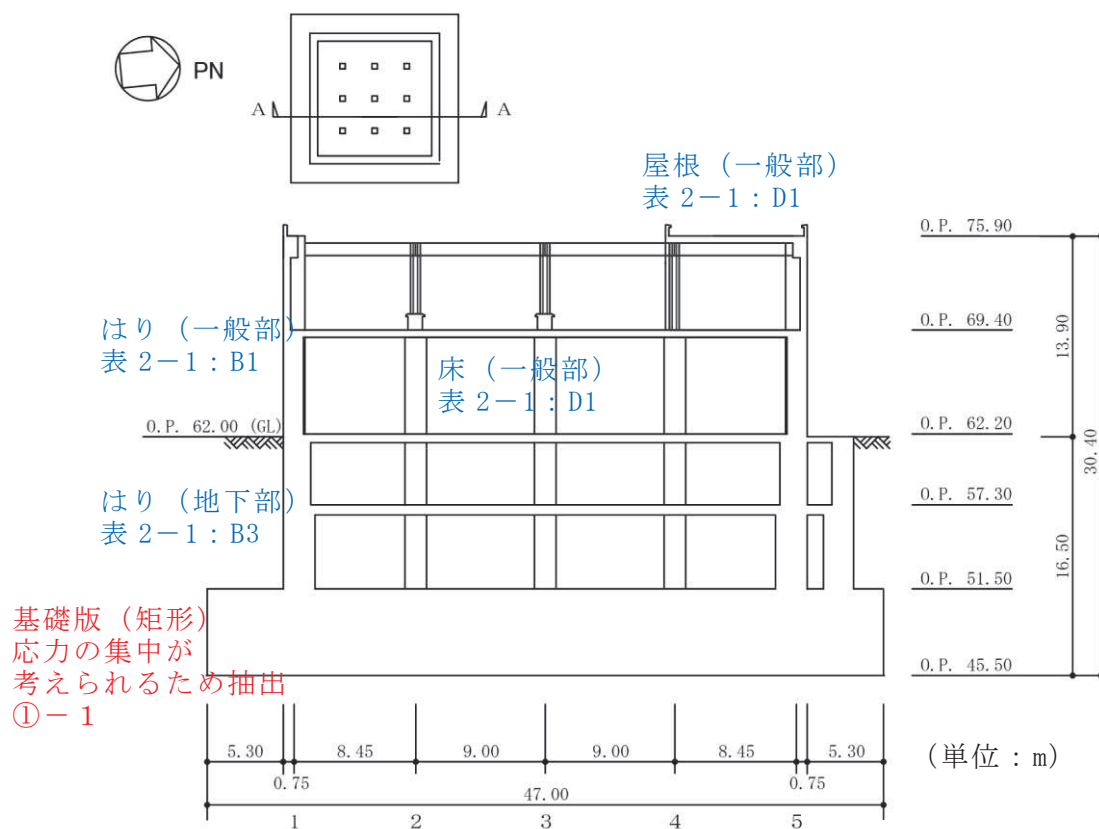


図 2-6-2(1) 緊急時対策建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

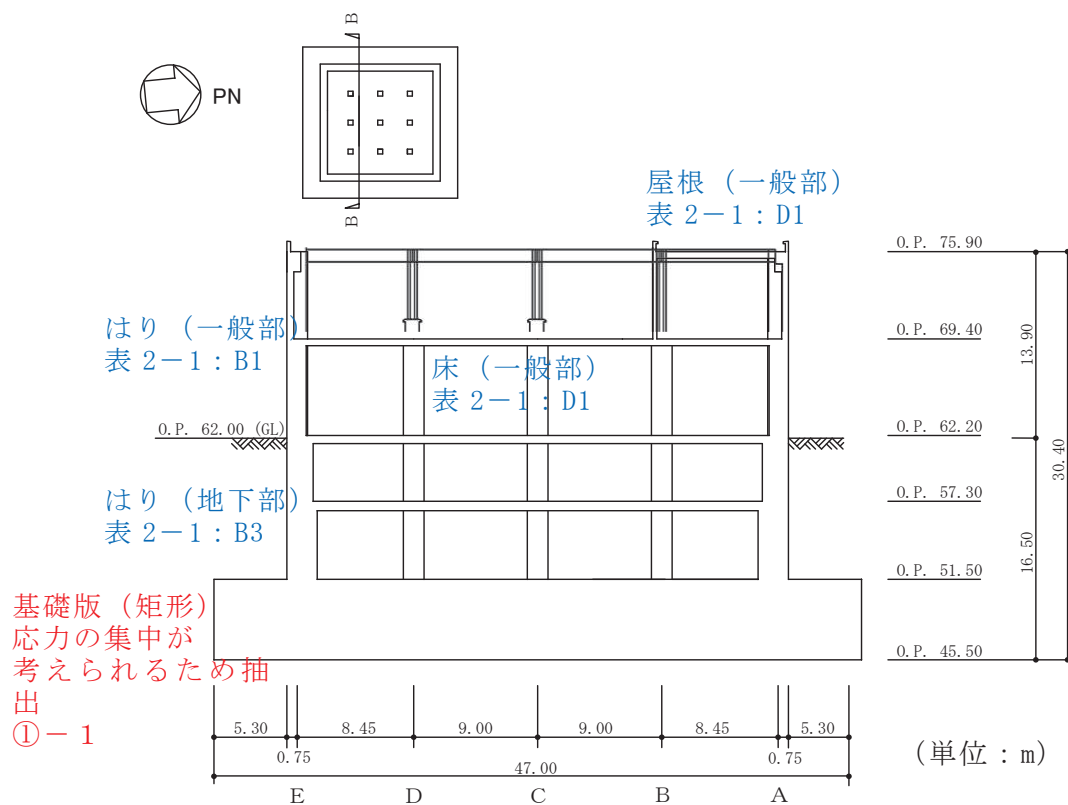
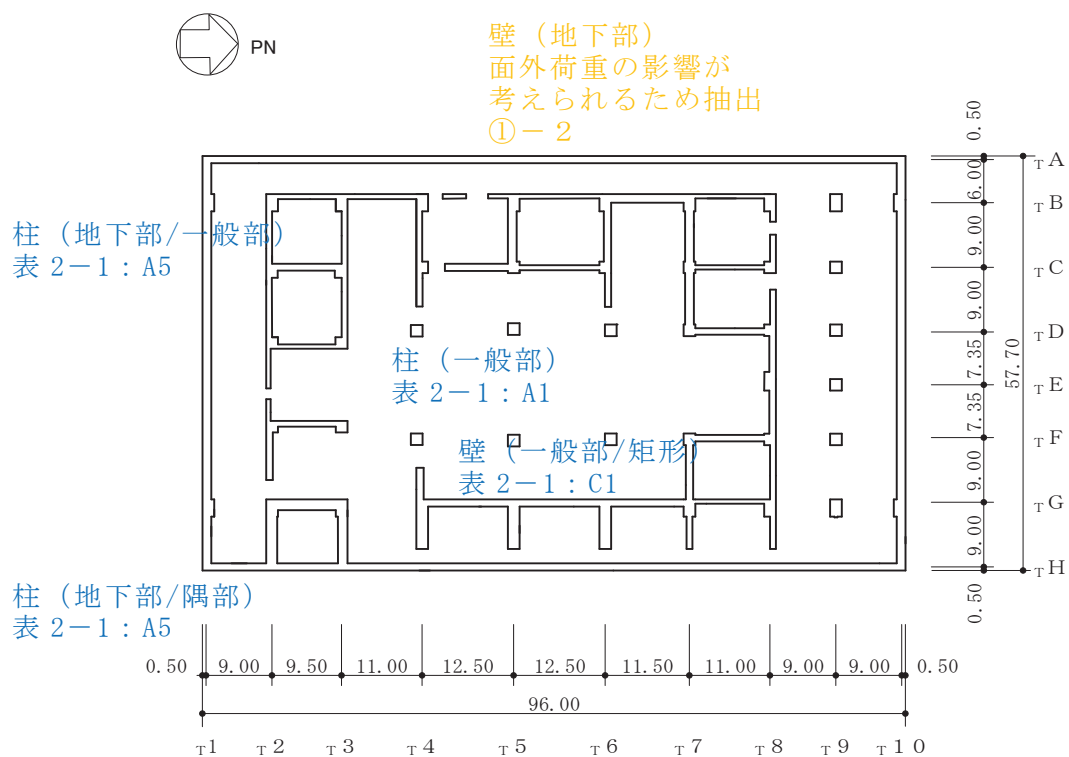


図 2-6-2(2) 緊急時対策建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

2.7 タービン建屋

タービン建屋の図面を図 2-7-1 及び図 2-7-2 に示す。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

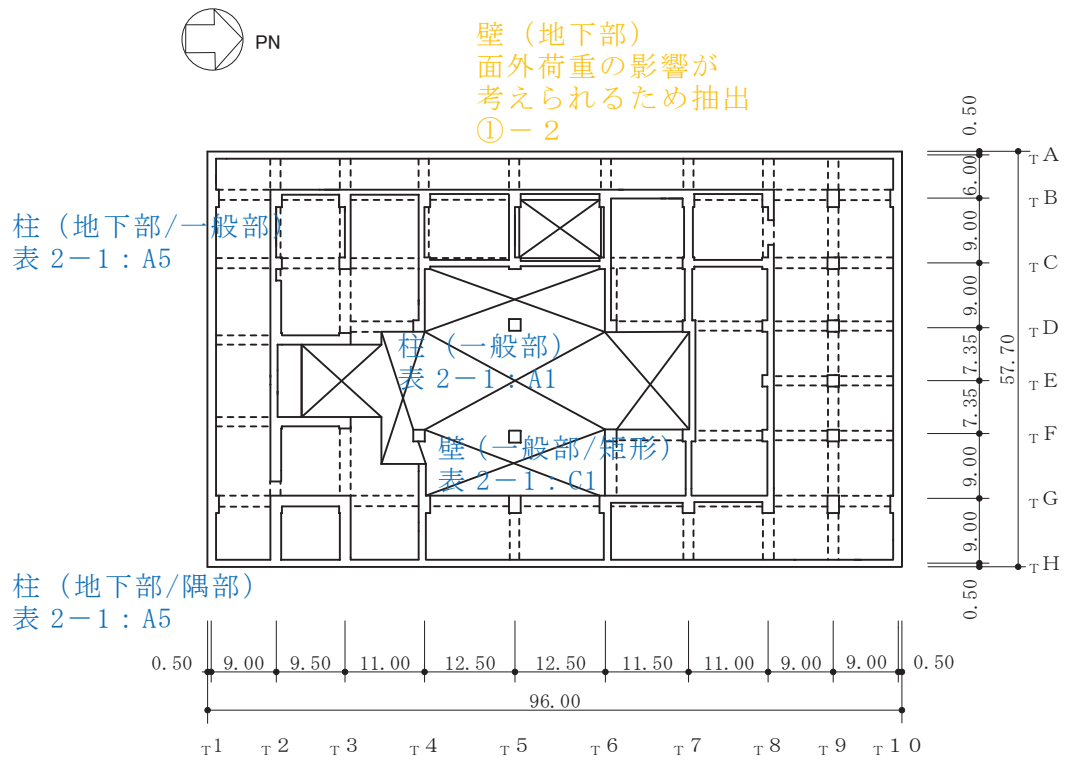


(単位：m)

図 2-7-1(1) タービン建屋の概略平面図 (O.P.*0.8m)

注記*：O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり，東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。

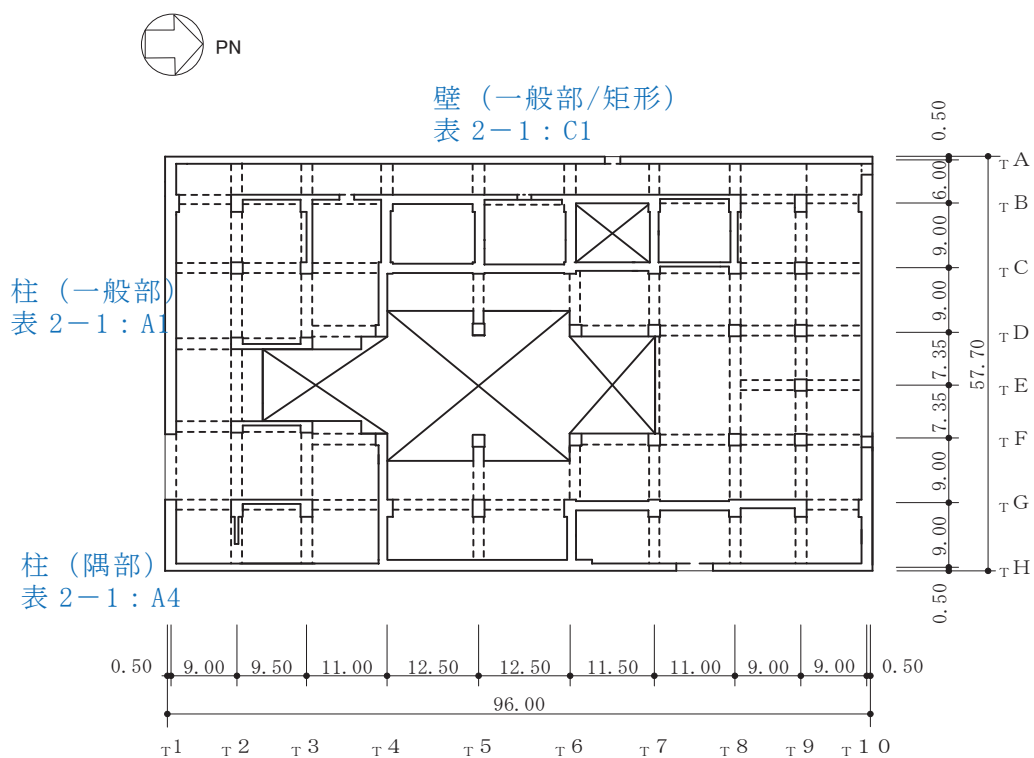
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-7-1(2) タービン建屋の概略平面図 (0.P. 7.6m)

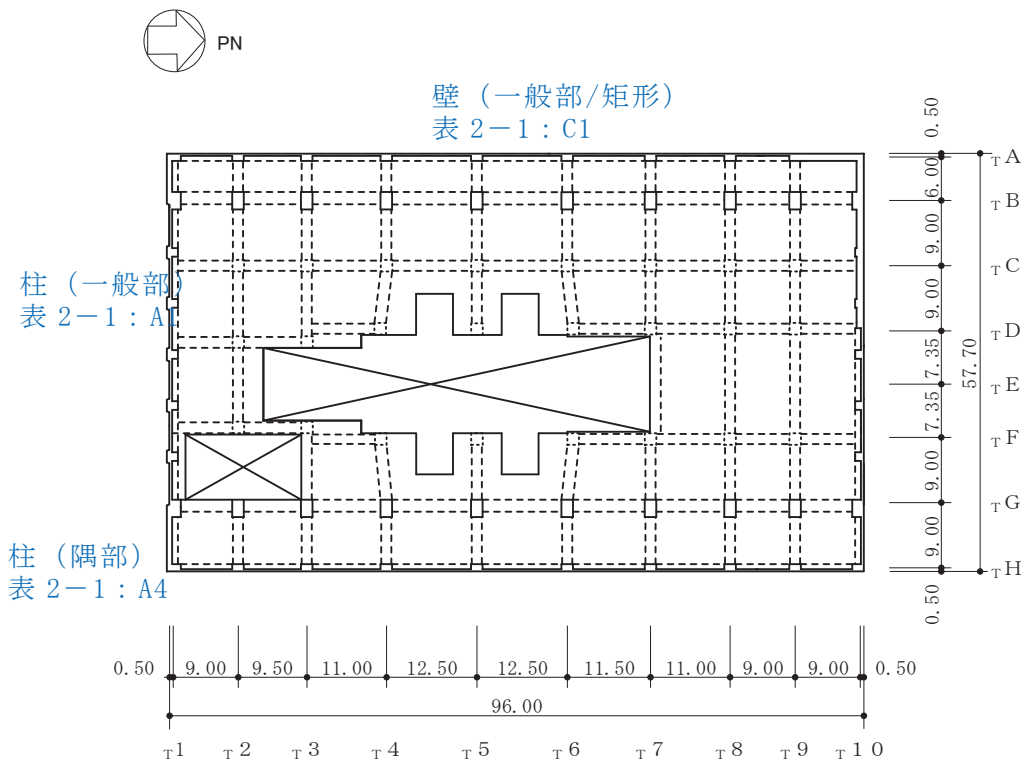
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-7-1(3) タービン建屋の概略平面図 (O.P. 15.0m)

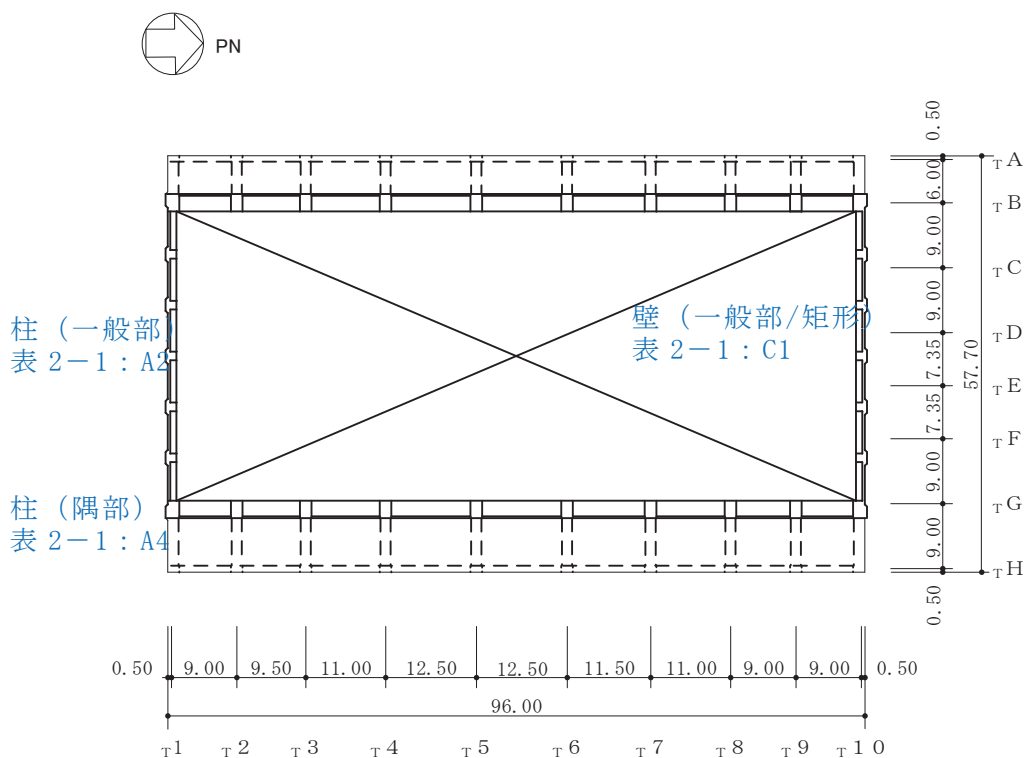
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-7-1(4) タービン建屋の概略平面図 (O.P. 24.8m)

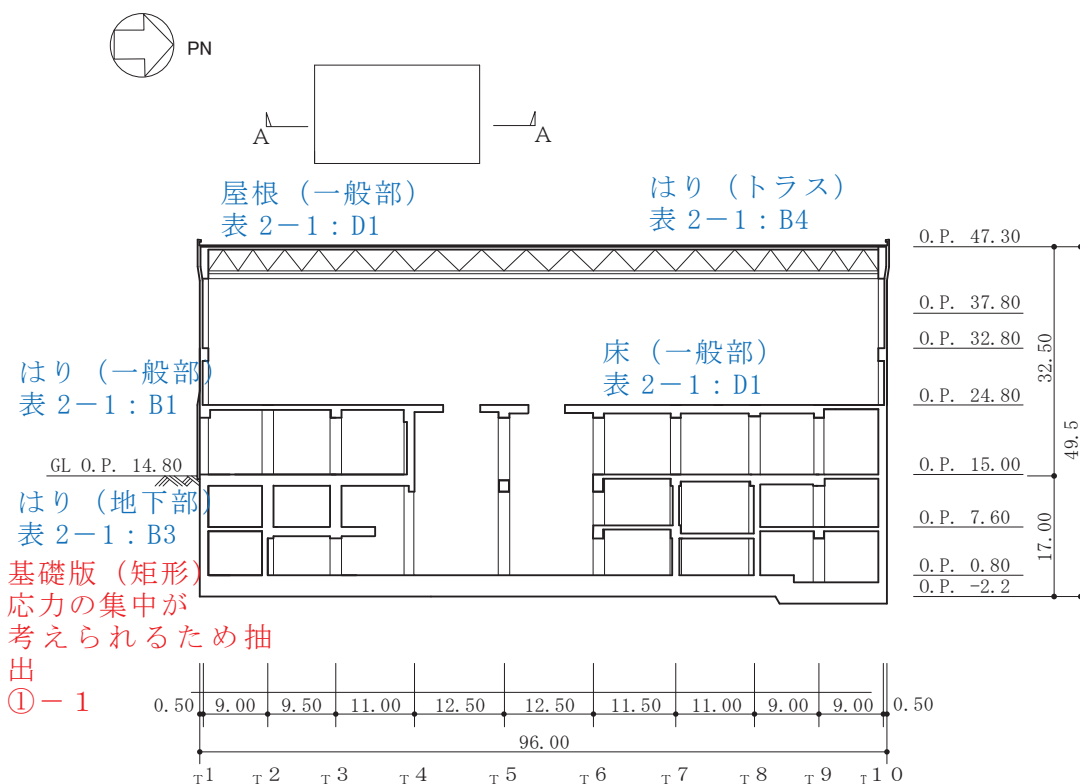
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-7-1(5) タービン建屋の概略平面図 (O.P. 32.8m)

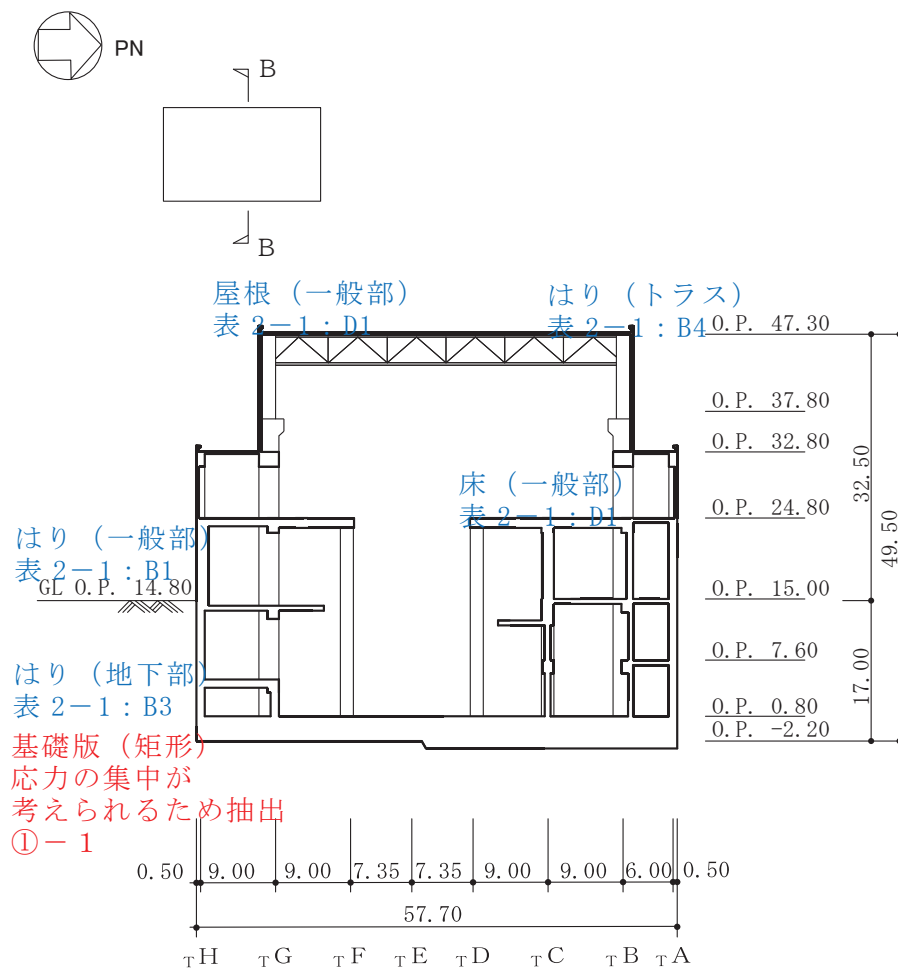
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-7-2(1) タービン建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-7-2(2) タービン建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

2.8 補助ボイラー建屋

補助ボイラー建屋の図面を図 2-8-1 及び図 2-8-2 に示す。

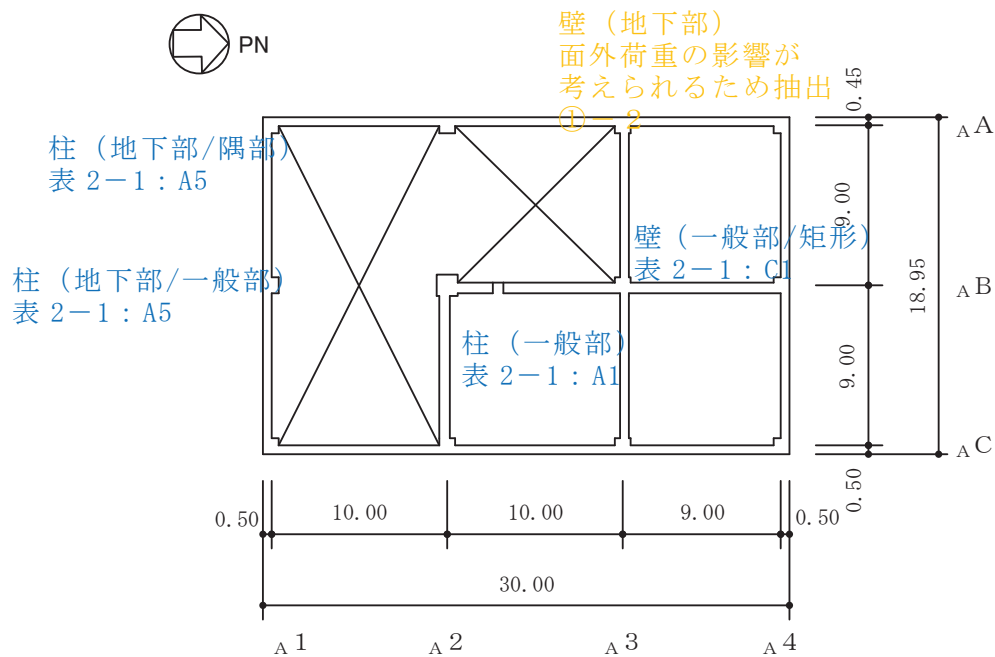
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

青字：抽出されなかった部位及びその理由

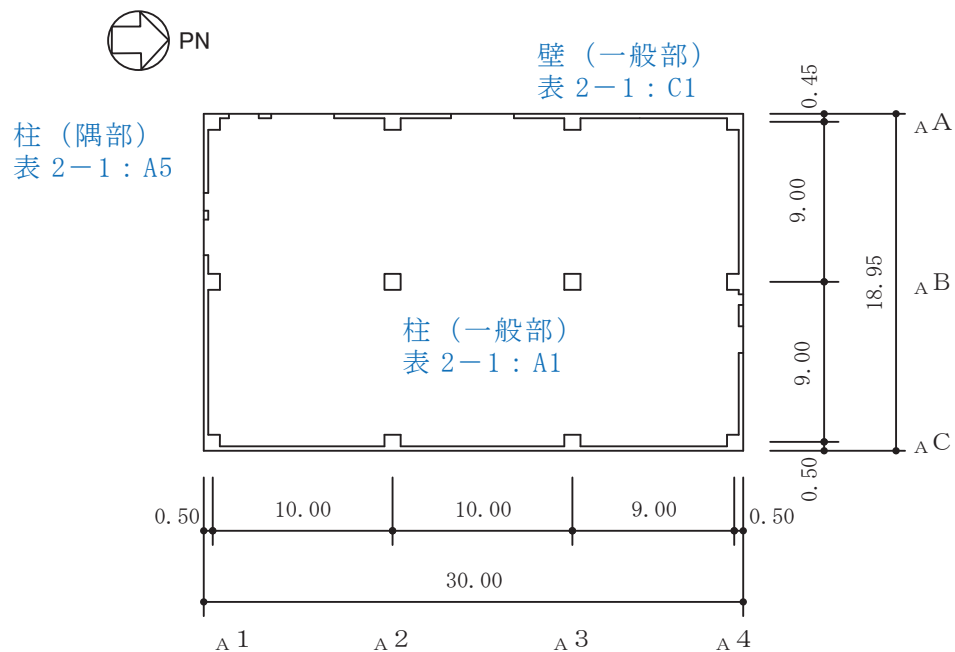


(単位：m)

図 2-8-1(1) 補助ボイラー建屋の概略平面図 (O.P. * 11.0m)

注記*：O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり，東京湾平均海面 (T.P.) -0.74m である。

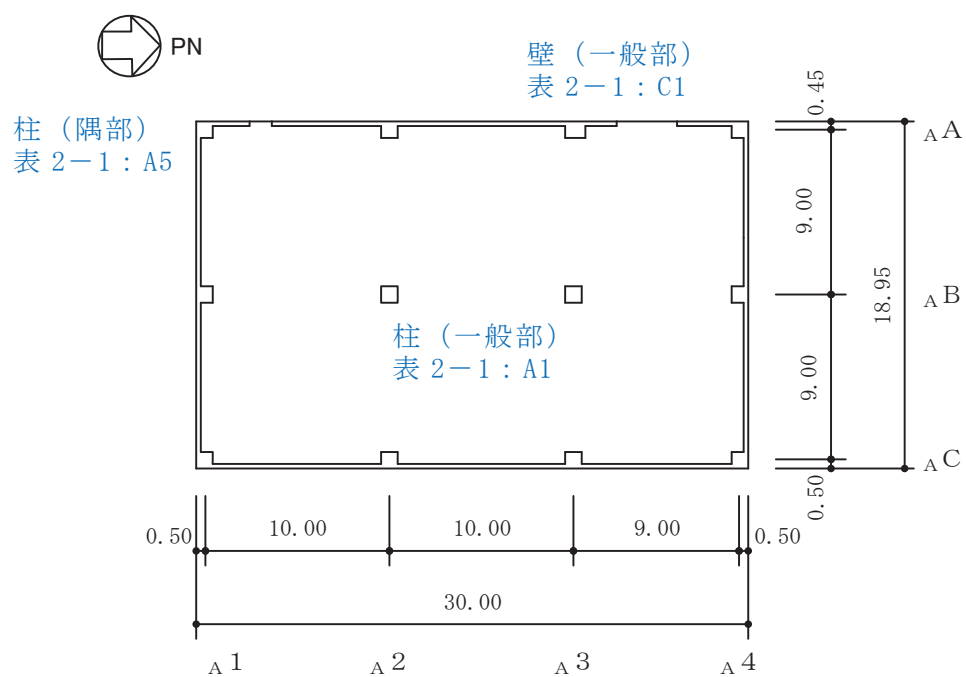
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-8-1(2) 補助ボイラー建屋の概略平面図 (0. P. 15. 0m)

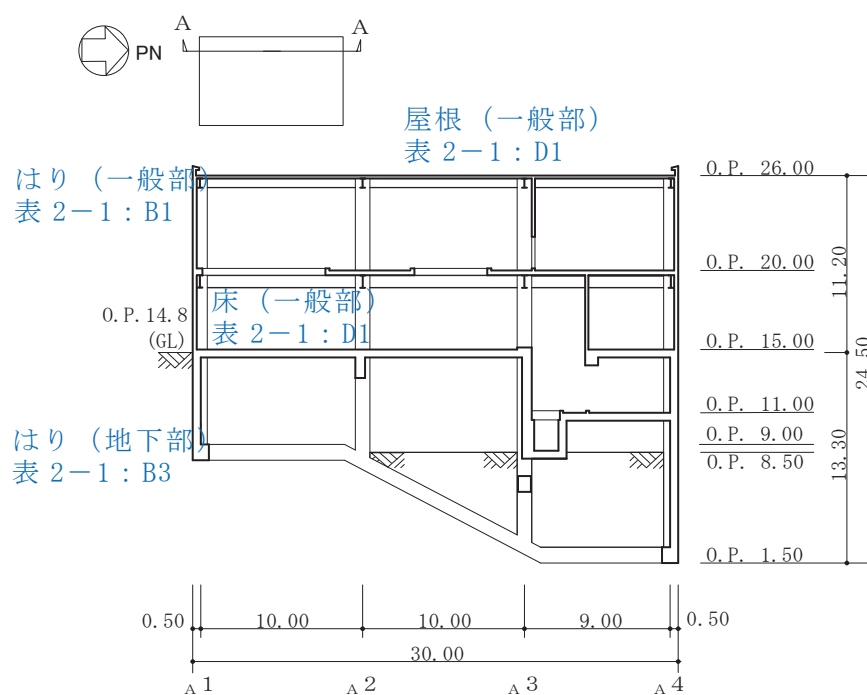
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-8-1(3) 補助ボイラー建屋の概略平面図 (0.P. 20.0m)

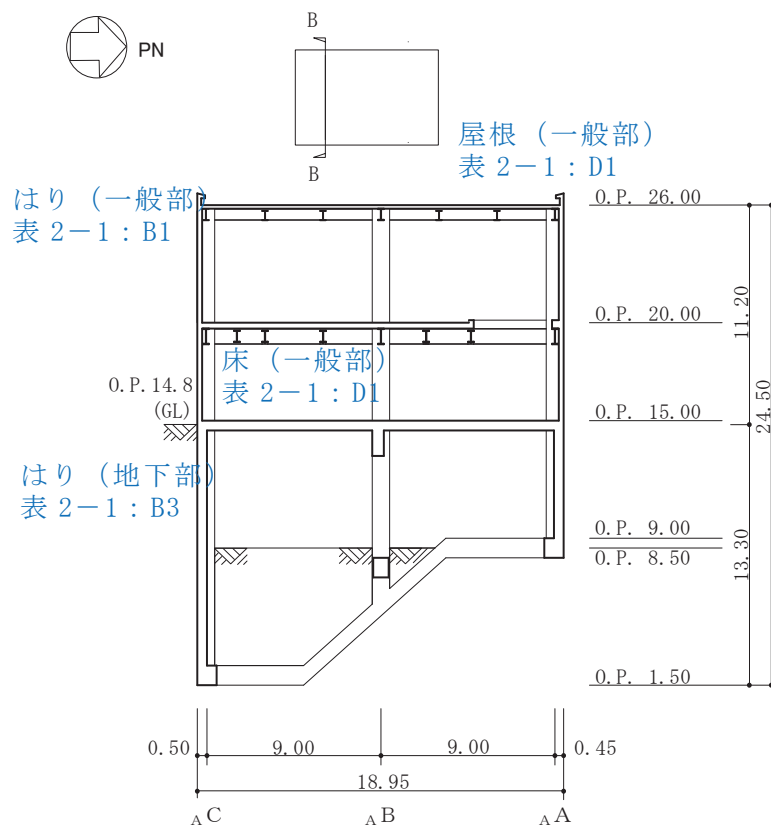
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-8-2(1) 補助ボイラー建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



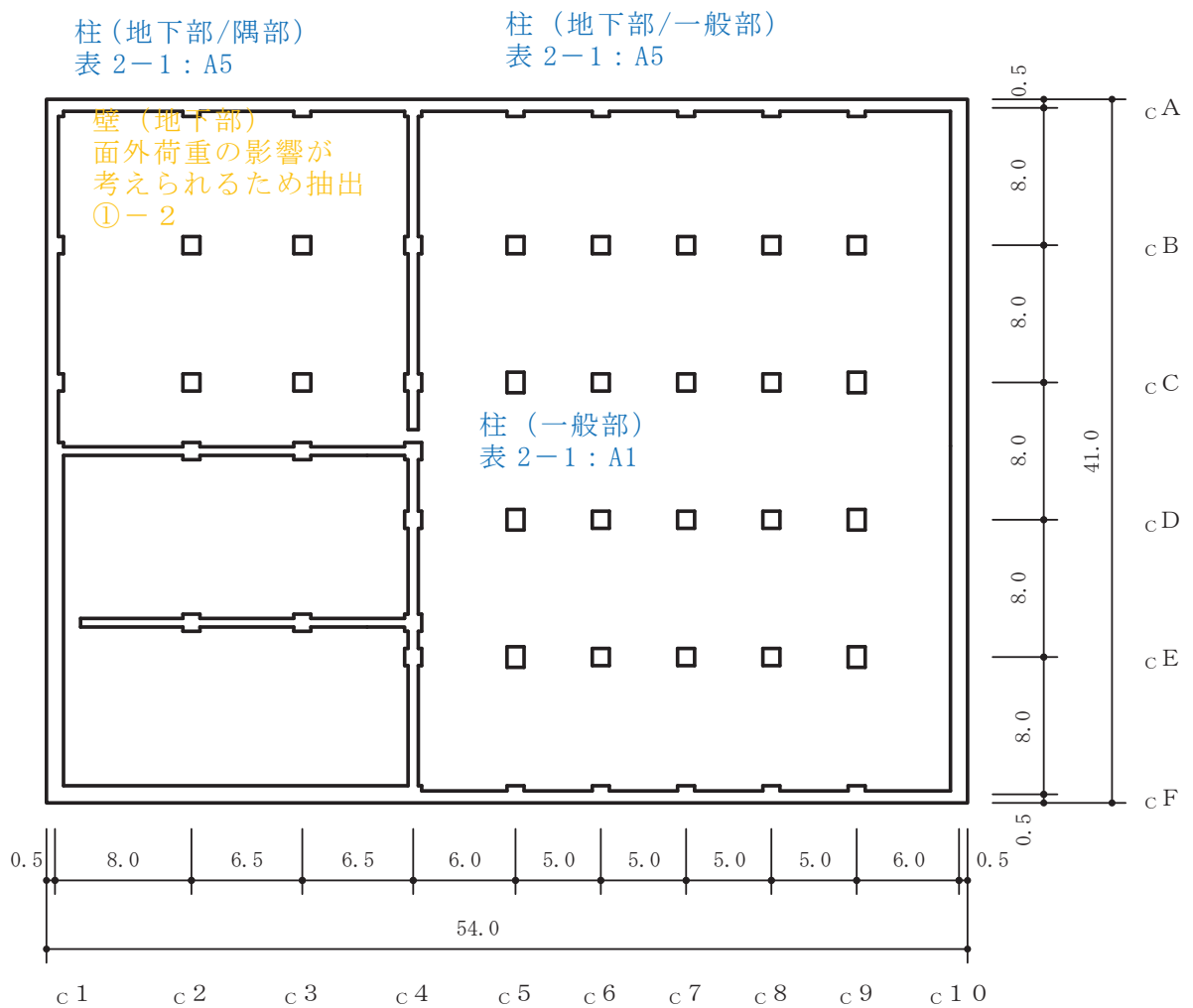
(単位：m)

図 2-8-2(2) 補助ボイラー建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

2.9 第1号機制御建屋

第1号機制御建屋の図面を図2-9-1及び図2-9-2に示す。

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

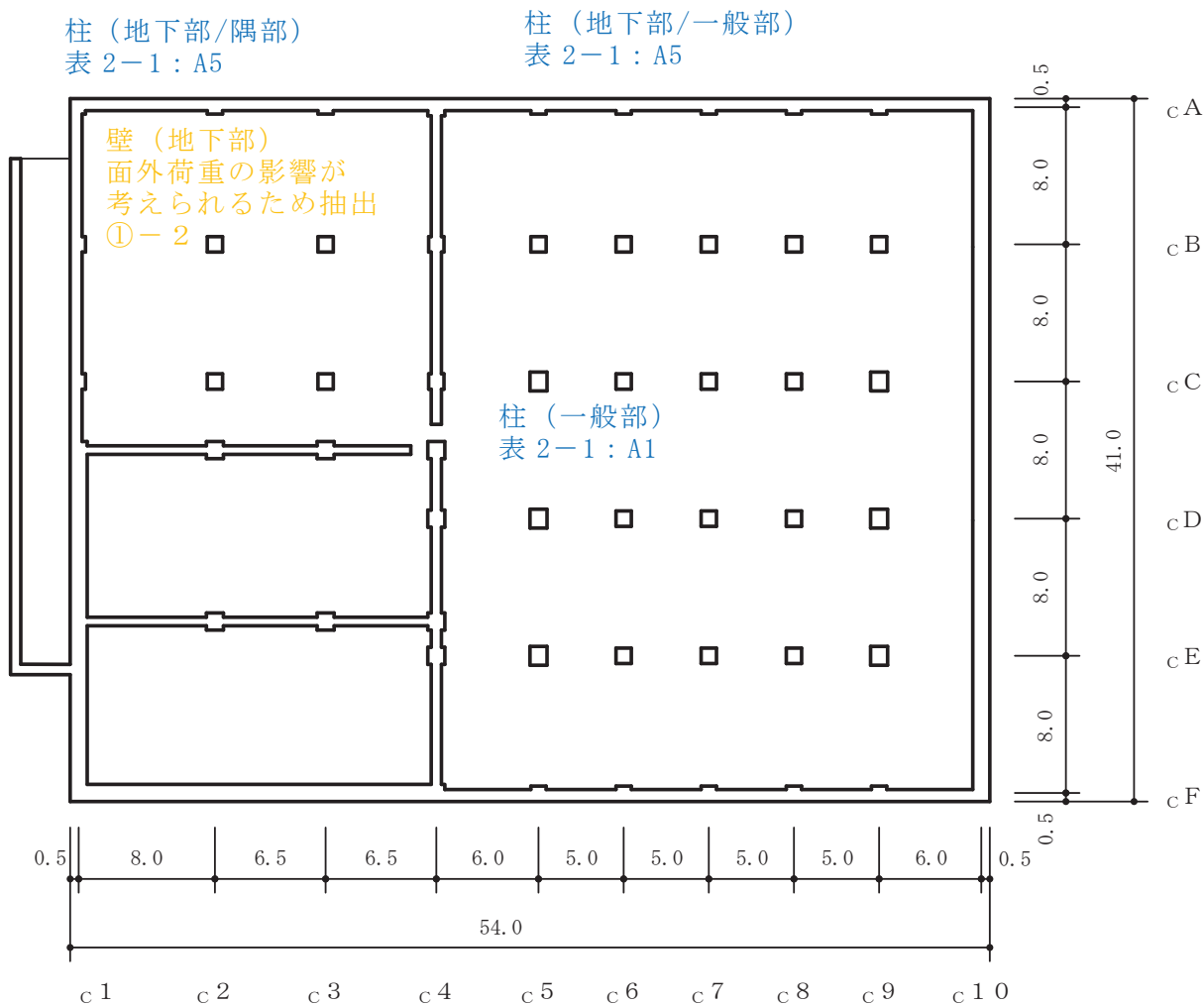


(単位：m)

図2-9-1(1) 第1号機制御建屋の概略平面図 (0.P.*1.5m)

注記*：0.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74mである。

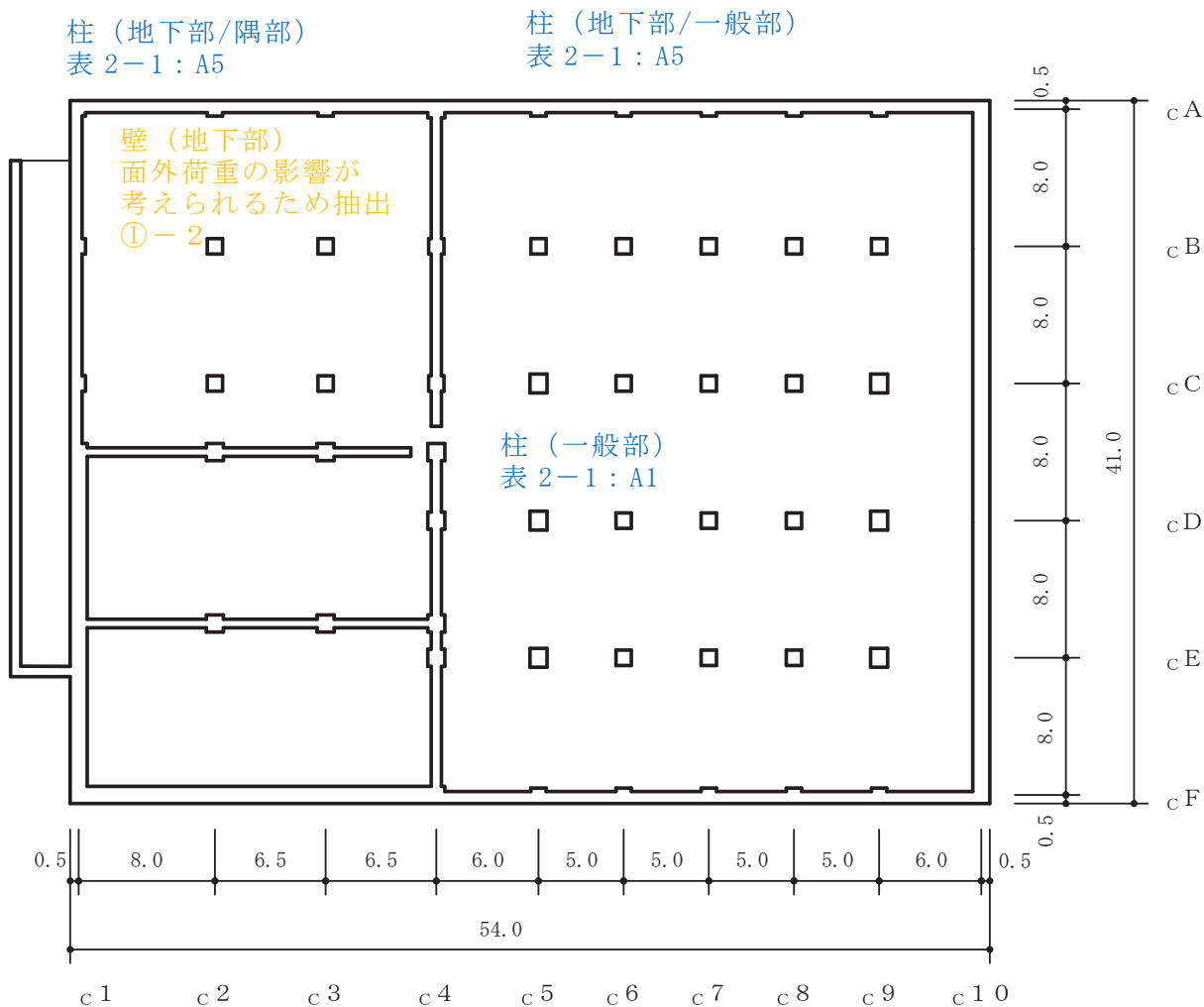
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位：m)

図 2-9-1(2) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0.P.5.0m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



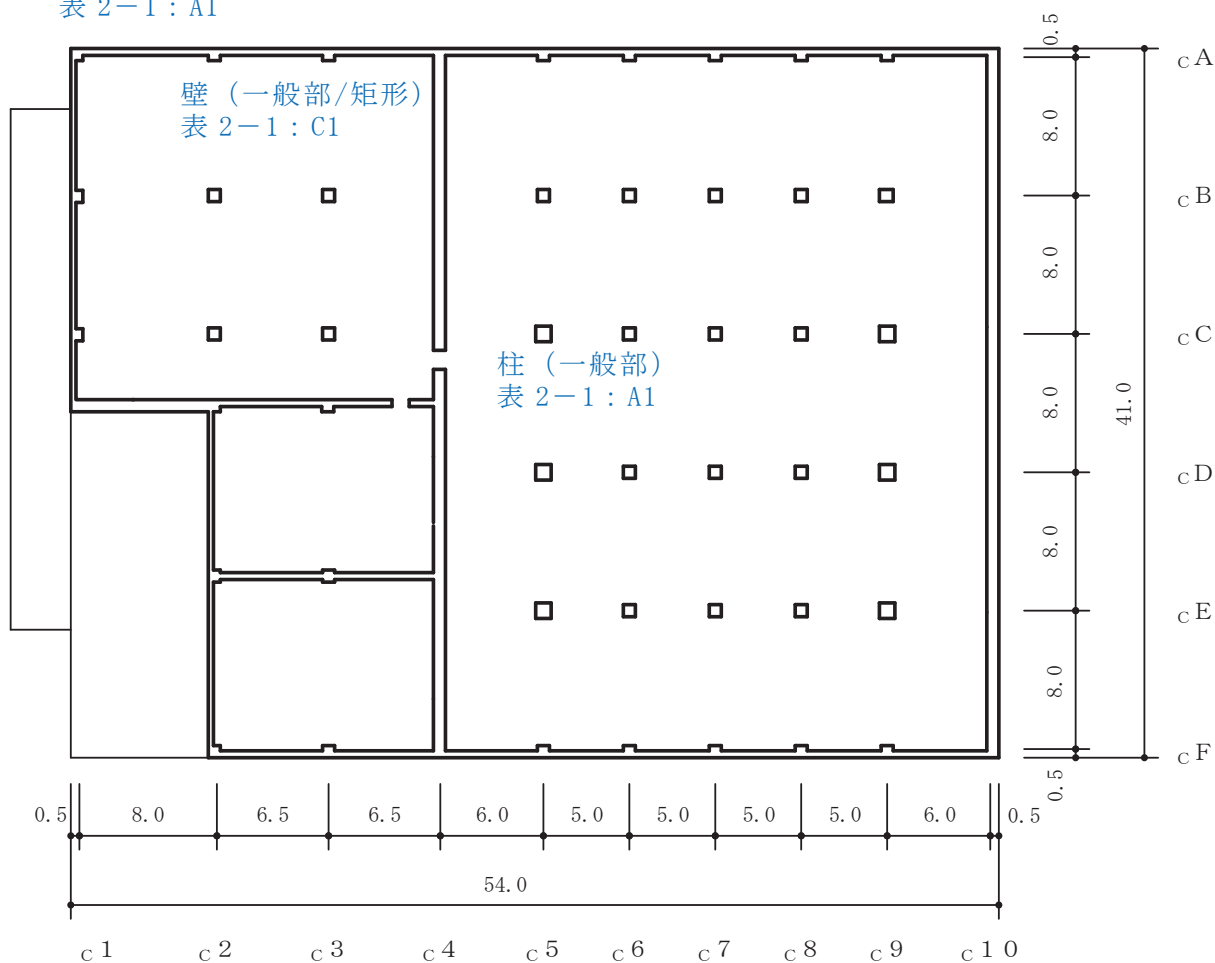
(単位 : m)

図 2-9-1(3) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0. P. 10. 5m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



柱（隅部）
表 2-1 : A1



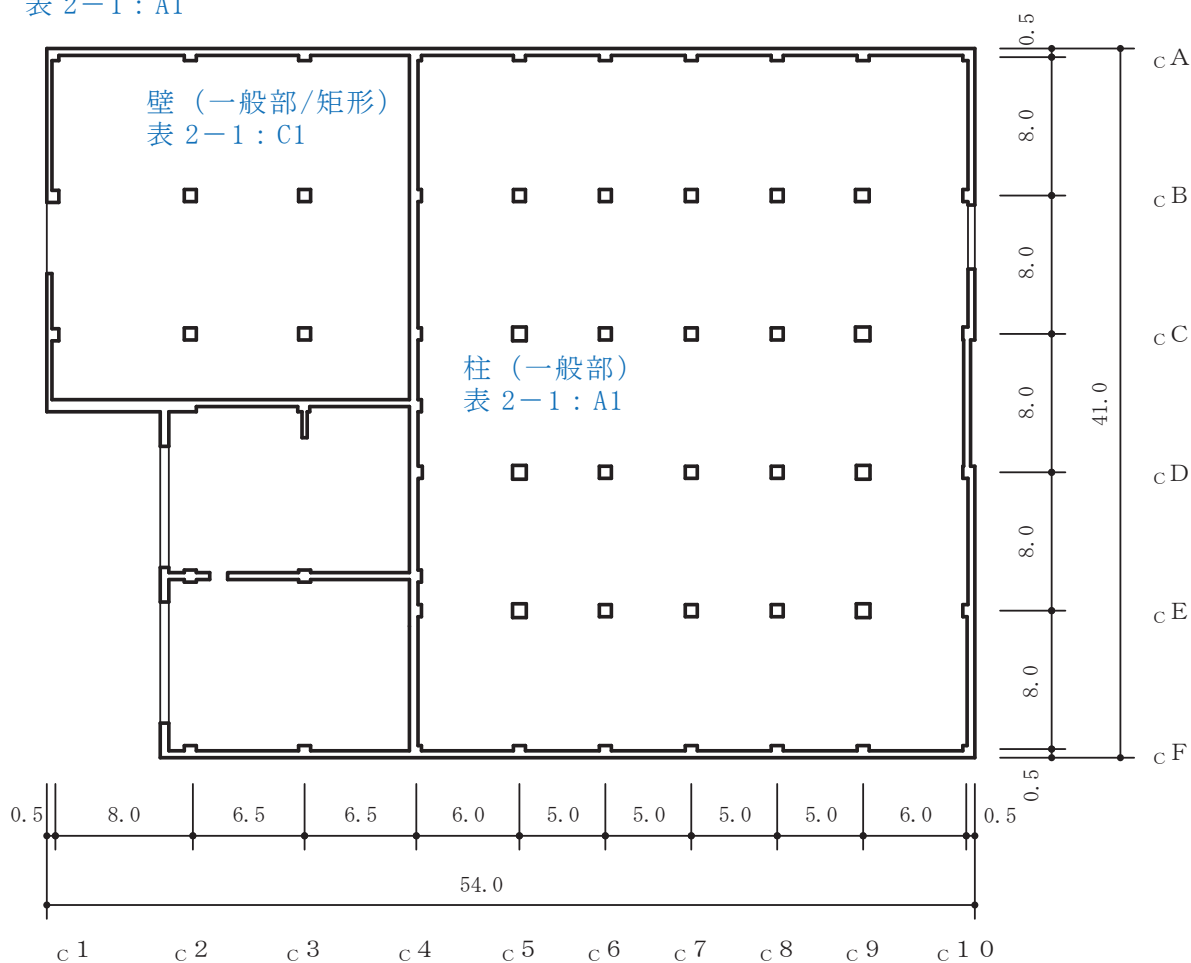
（単位：m）

図 2-9-1(4) 第 1 号機制御建屋の概略平面図（0.P. 15.0m）

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



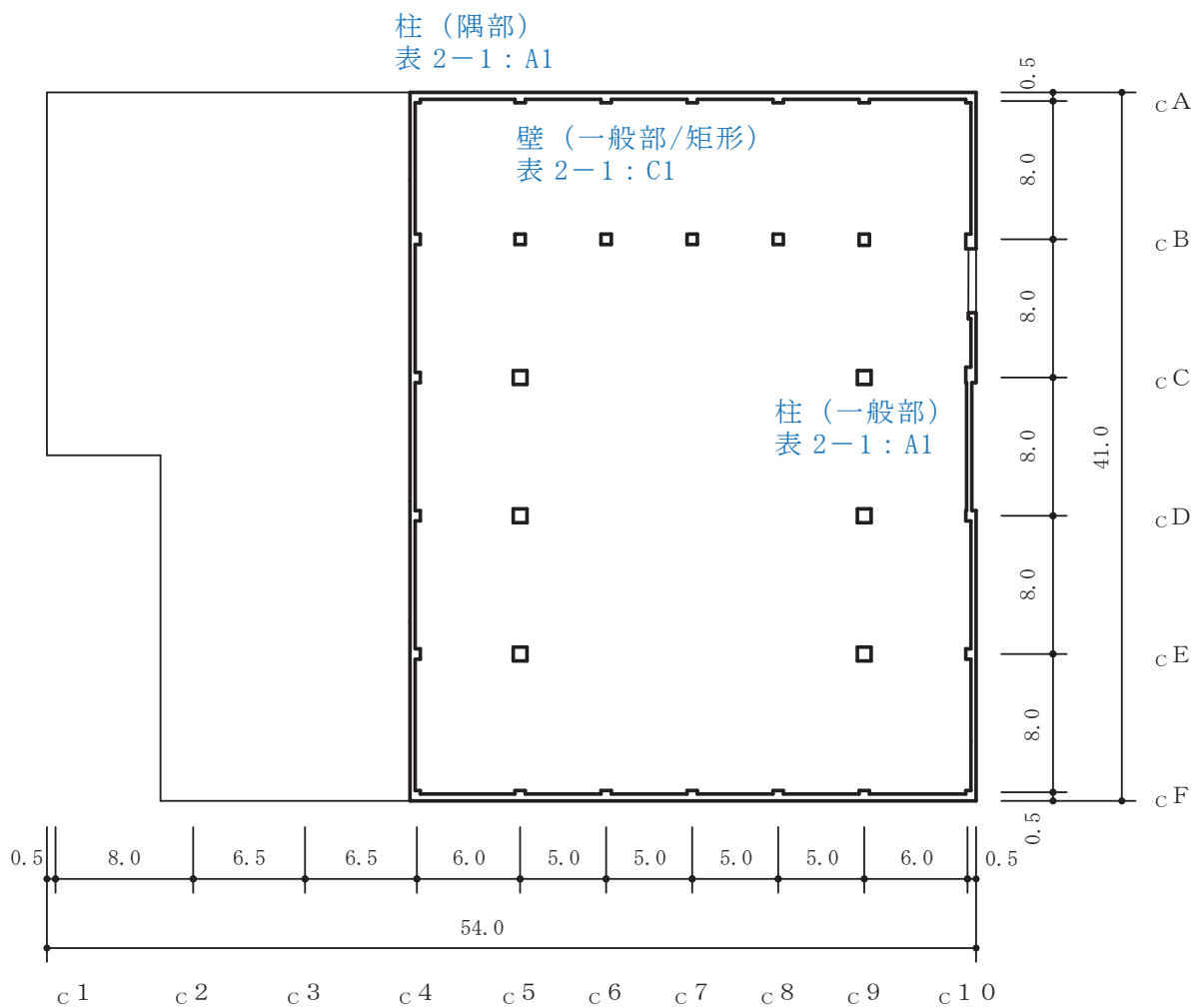
柱（隅部）
表 2-1 : A1



(単位 : m)

図 2-9-1(5) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0. P. 19. 5m)

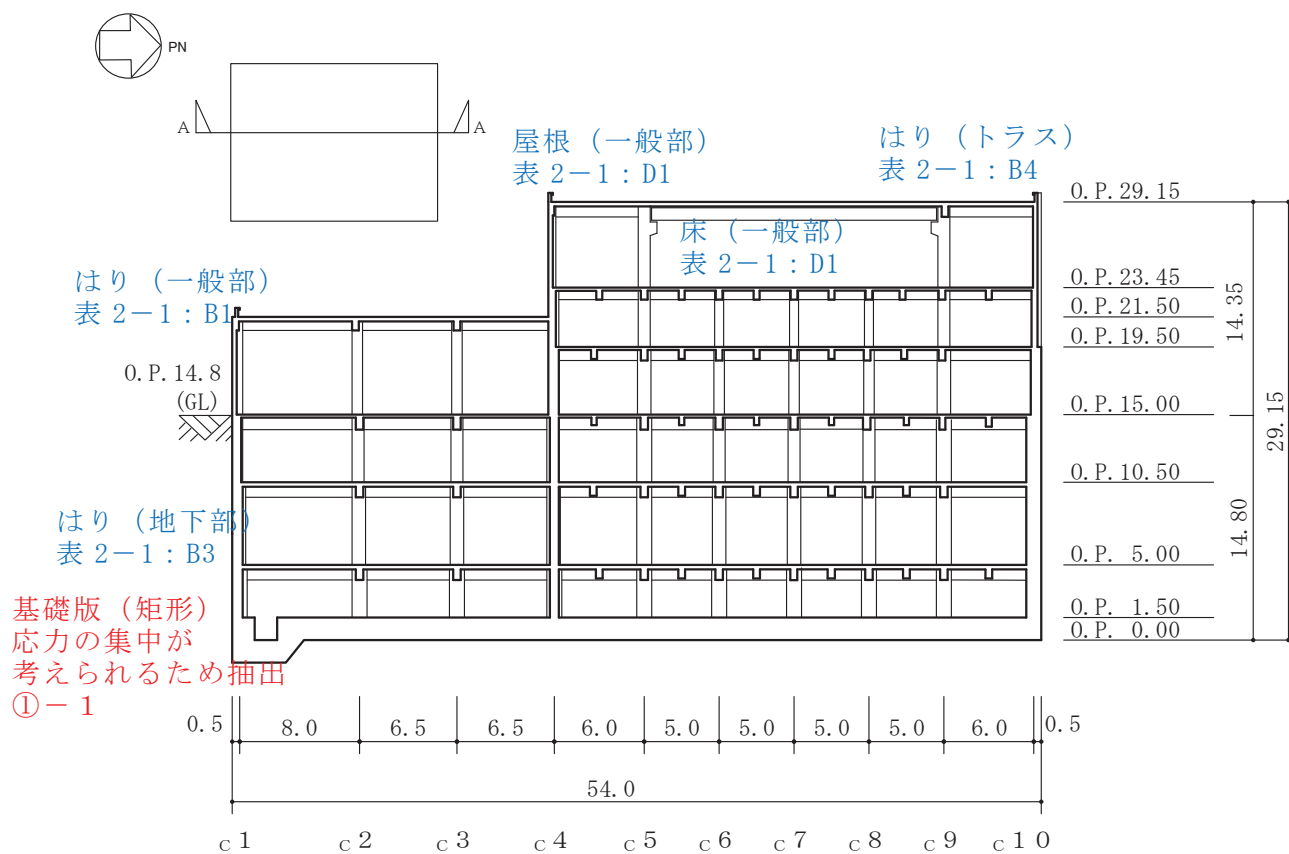
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-9-1(6) 第 1 号機制御建屋の概略平面図 (0.P. 23.45m)

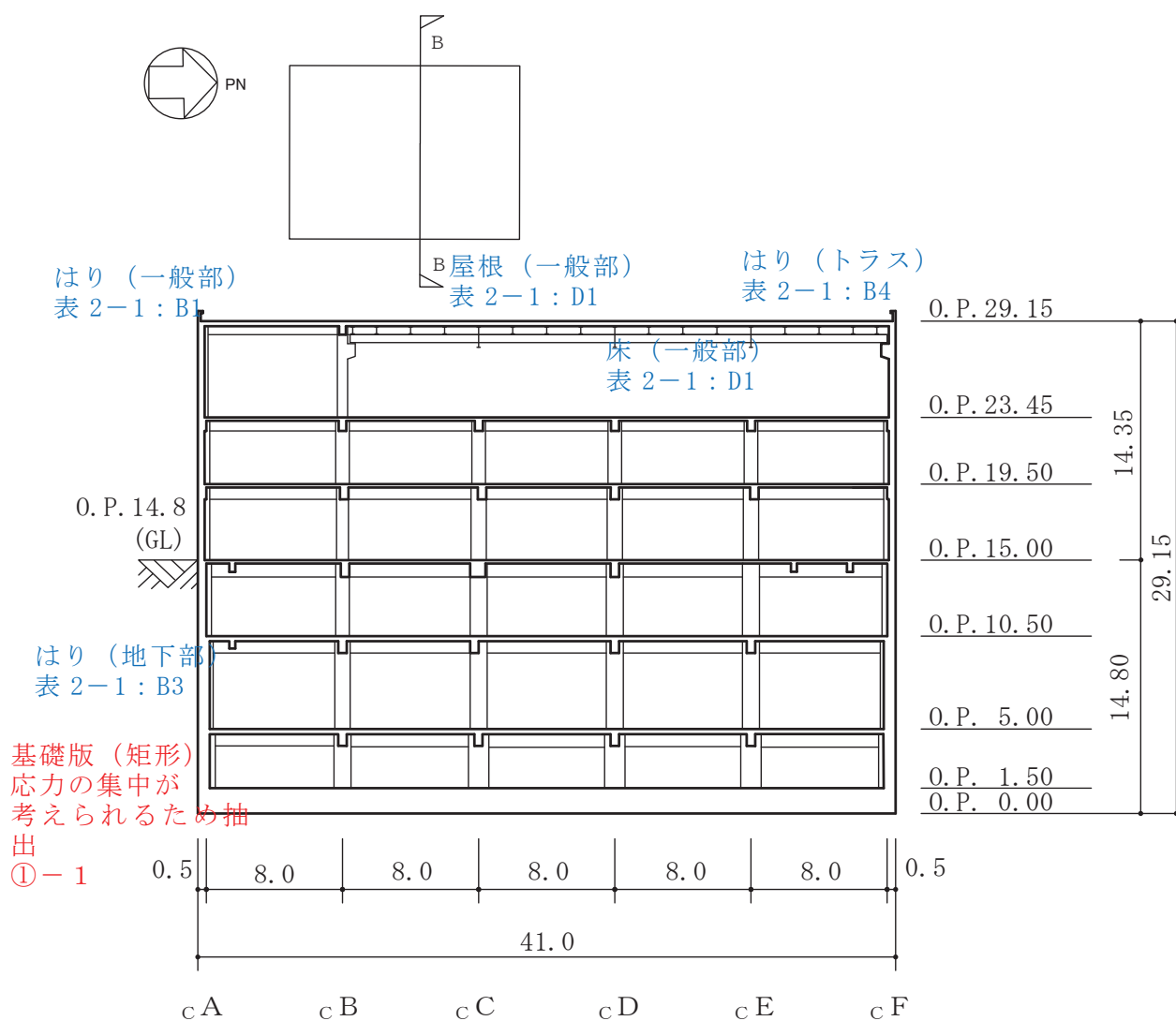
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-9-2(1) 第 1 号機制御建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由



(単位 : m)

図 2-9-2(2) 第 1 号機制御建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

2.10 第1号機排気筒

第1号機排気筒の図面を図2-10-1に示す。

赤字：①-1で抽出された部位

橙字：①-2で抽出された部位

緑字：②-1で抽出された部位

紫字：②-2で抽出された部位

青字：抽出されなかった部位及びその理由

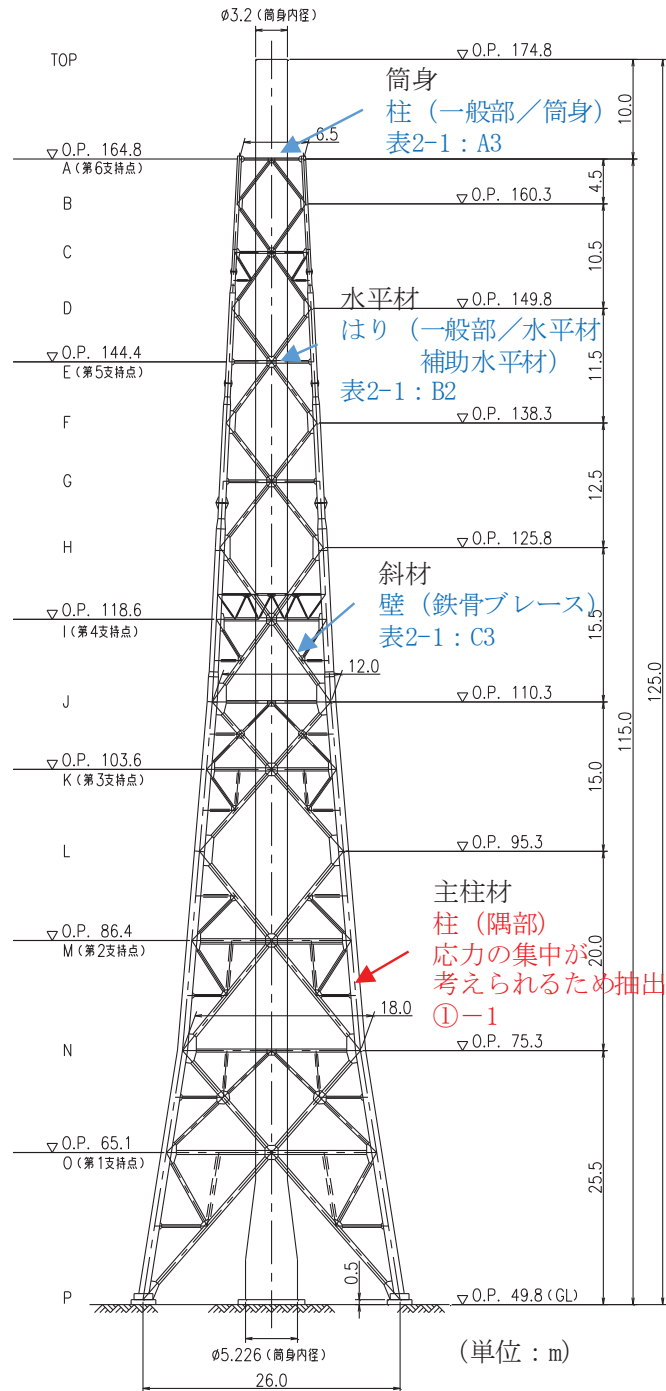


図2-10-1 第1号機排気筒の概要図

別紙 1-65

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (1/3)

記号	部位	①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 振じれ	除外する部位	
A1	柱 一般部 (RC 部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・壁付き柱は地震力のほとんどを耐震壁が負担しており該当しない。 ・独立柱自身の慣性力により影響が生じるような階高を有する柱はないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋 緊急用電気品建屋 緊急時対策建屋	
A2		一般部 (S 部) ブレース構造	・中柱は応力が集中することなく該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどをブレースが負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 緊急用電気品建屋
A3		一般部 筒身	・筒身は鉄塔の中央で支持されており、応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどを鉄塔が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく鉄塔に支持された構造計画を行っており、該当しない。	排気筒 第1号機排気筒
A4		隅部	・耐震壁付きの柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋
A5		地下部 (一般部, 隅部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない ・耐震壁付きの隅柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・地下外周部が考えられるが、外周部柱は全てはり等に接続しており、土圧はそのままはり等に伝達されるため、該当しない。	・地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋 緊急用電気品建屋 緊急時対策建屋

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (2/3)

記号	部位		①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 捩じれ	除外する部位
B1	はり	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋 緊急用電気品建屋 緊急時対策建屋
B2		一般部 (S部：水平材、補助水平材)	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・軽量のトラス部材で構成されており、該当しない。	・釣り合いよく水平材、補助水平材が配置された構造計画を行っており、該当しない。	排気筒 第1号機排気筒
B3		地下部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・地下外周部が考えられるが、吹抜けがないことから、外周部はりは全て剛性が高いスラブに接続しており、土圧はそのままスラブに伝達されるため、該当しない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋 緊急用電気品建屋 緊急時対策建屋
B4		鉄骨トラス	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・直交方向にもトラスが存在し、面外慣性力を負担するため、該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 制御建屋 タービン建屋

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (3/3)

記号	部位		①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 捩じれ	除外する部位
C1	壁	一般部 (矩形)	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・水平及び鉛直方向に大スパンの壁がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	制御建屋 タービン建屋 補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 第3号機海水熱交換器建屋 緊急用電気品建屋 緊急時対策建屋
C2		一般部 (円筒)	・建屋の中心付近に位置し、その外側にあるボックス型の壁とスラブで一体化されている壁は、応力集中が懸念される軸力がスラブ等に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・地震による面外荷重が作用する地下部ではない。	・水平及び鉛直方向に大スパンの壁がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋
C3		鉄骨ブレース	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・軽量なトラス部材で構成されており、該当しない。	・釣り合いよく斜材、補助斜材が配置された構造計画を行っており、該当しない。	排気筒 第1号機排気筒
D1	床 屋根	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・積載荷重等従来から面外荷重を考慮しており、今回の抽出プロセスで該当しない。	・大スパンの床及び屋根がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策所建屋 タービン建屋 格納容器圧力逃がし装置格納槽 サービス建屋

3. 代表部位の選定プロセス

3.1 柱-隅部

応力集中が考えられる柱の規模を表 3-1 に示す。

排気筒と緊急用電気品建屋の鉄骨造部分の規模を比較すると、排気筒の方が規模が大きく軸力の影響が大きいと考えられることから、隅柱を有する排気筒について評価する。

表 3-1 柱の規模等

項目	部位	対象*	鉄骨造部分の高さ (m)
①-1	柱	<u>排気筒</u>	147.0
		緊急用電気品建屋	6.60

注記*：下線部は代表を示す。

3.2 基礎

応力集中が考えられる矩形基礎の規模を表 3-2 に示す。

建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。

表 3-2 矩形基礎の規模等

項目	部位	対象*	平面形状 (m)	
①-1	基礎	<u>原子炉建屋</u>	77.0	84.0
		制御建屋	45.0	41.0
		第3号機海水熱交換器建屋	43.5	40.0
		緊急用電気品建屋	25.2	30.0
		緊急時対策建屋	47.0	47.0

注記*：下線部は代表を示す。

3.3 壁（面外荷重）

面外荷重の影響が考えられる部位について、面外荷重が作用する壁の高さ及び床等の拘束有無を表 3-3 に示す。

施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁を評価する。

表 3-3 壁の規模等

項目	部位	対象*	高さ (m)	床等の拘束有無
①-2	壁	<u>原子炉建屋（使用済燃料プール）</u>	11.82	無
		原子炉建屋（壁地下部）	9.00	有
		制御建屋（壁地下部）	7.00	有
		タービン建屋（壁地下部）	7.40	有
		補助ボイラー建屋（壁地下部）	6.00	有
		第1号機制御建屋（壁地下部）	5.50	有
		第3号機海水熱交換器建屋（壁地下部）	9.10	有
		緊急用電気品建屋（壁地下部）	5.80	有
		緊急時対策建屋（壁地下部）	5.80	有

注記*：下線部は代表を示す。

別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査

目 次

1. 3次元 FEM モデルを用いた精査の概要	別紙 2- 1
2. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討.....	別紙 2- 3
2.1 検討の概要.....	別紙 2- 3
2.2 検討方針.....	別紙 2-12
2.3 解析モデル.....	別紙 2-14
2.4 地震応答解析の概要.....	別紙 2-18
2.5 地震応答解析結果.....	別紙 2-25
2.6 面外慣性力に対する壁の断面の評価.....	別紙 2-33
2.7 検討のまとめ.....	別紙 2-43
3. 局所応答による影響検討.....	別紙 2-44
4. 3次元 FEM モデルを用いた精査のまとめ	別紙 2-45
5. 引用文献.....	別紙 2-46

1. 3次元 FEM モデルを用いた精査の概要

3次元的な応答特性が想定される部位として、添付書類「VI-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」、応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」という特性より、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁について、3次元 FEM モデルによる精査を行うこととした。

本資料では、精査の概要及び精査の結果を示す。

3次元 FEM モデルによる精査に用いる地震動を表 1-1 に示す。

表 1-1 評価に用いる地震動

対象		建物・構築物	評価に用いる地震動	評価に用いる理由
耐震評価部位				
壁	一般部 (燃料取替床レベル)	原子炉建屋	基準地震動 S _s -D ₂ *	全周期帯の応答が大きく、 建屋への影響が大きい

注記* : 3次元 FEM モデルによる応答補正比率の算出は、線形解析のため弾性設計用地震動 S_d-D₂ を用いる。水平方向の地震動は一方向に弾性設計用地震動 S_d-D₂ を入力するが、もう一方向の入力地震動は、弾性設計用地震動 S_d-D₂ と応答スペクトルが同じで位相が異なる地震動とする。

2. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討

2.1 検討の概要

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価として、面内方向の荷重に加え面外慣性力の影響の可能性のある原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁について、地震動を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した場合の検討を実施する。

原子炉建屋は、地下 3 階、地上 3 階建で、基礎底面からの高さは 64.6m であり、平面は下部で 77.0m(NS 方向)×84.0m(EW 方向)^{*1}のほぼ正方形である。建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)である。

原子炉建屋の中央部には、平面が 66.0m×53.0m^{*1}(最下階)で地下 3 階、地上 3 階建の原子炉建屋原子炉棟(以下「原子炉棟」という。)があり、その周囲には地下 3 階、地上 2 階建の原子炉建屋付属棟(以下「付属棟」という。)が配置され、これらは同一基礎版上に設置された一体構造である。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は、厚さ 6.0m のべた基礎で、支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されている。

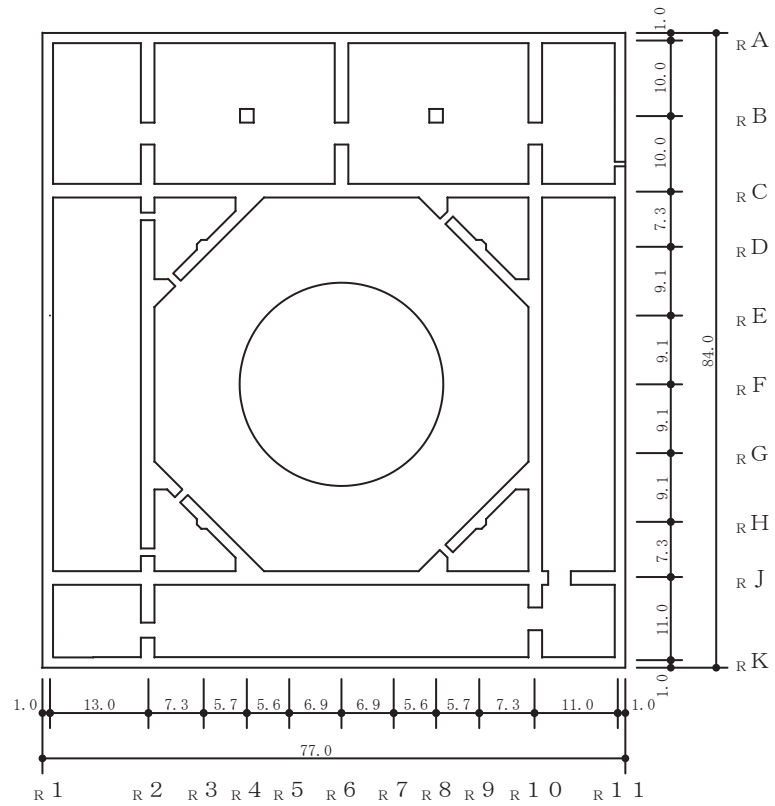
原子炉建屋の主たる耐震要素は、原子炉格納容器のまわりを囲んでいる 1 次しゃへい壁(以下「シェル壁：SW」という。)、原子炉棟の外壁(以下「内部ボックス壁：IW」という。)及び付属棟の外壁(以下「外部ボックス壁：OW」という。)である。

なお、燃料取替床(O.P.^{*2}33.2m)には使用済燃料プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

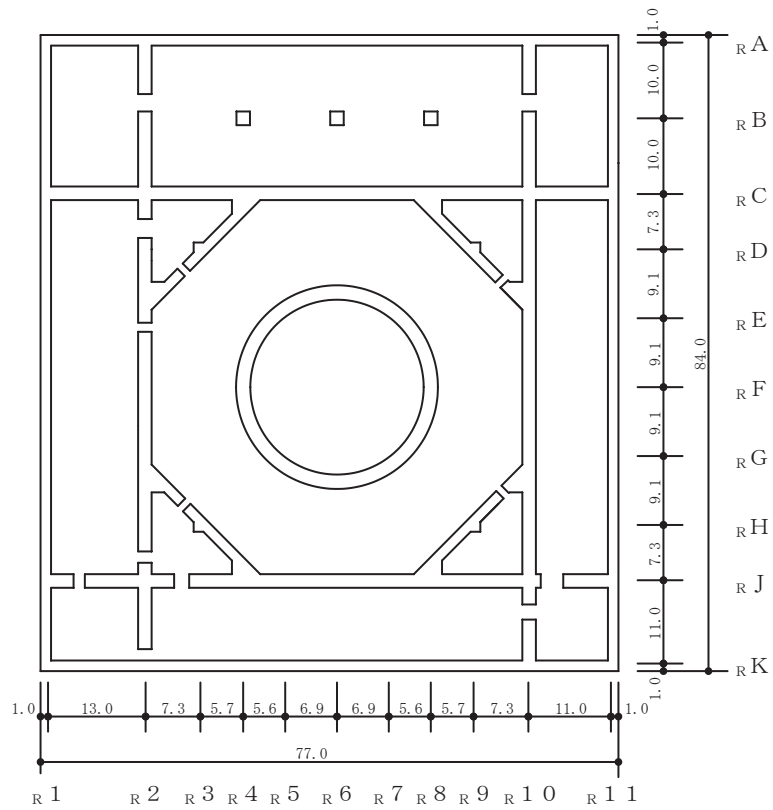
注記*1 : 建屋寸法は壁外面押えとする。

*2 : O.P. は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)-0.74m である。



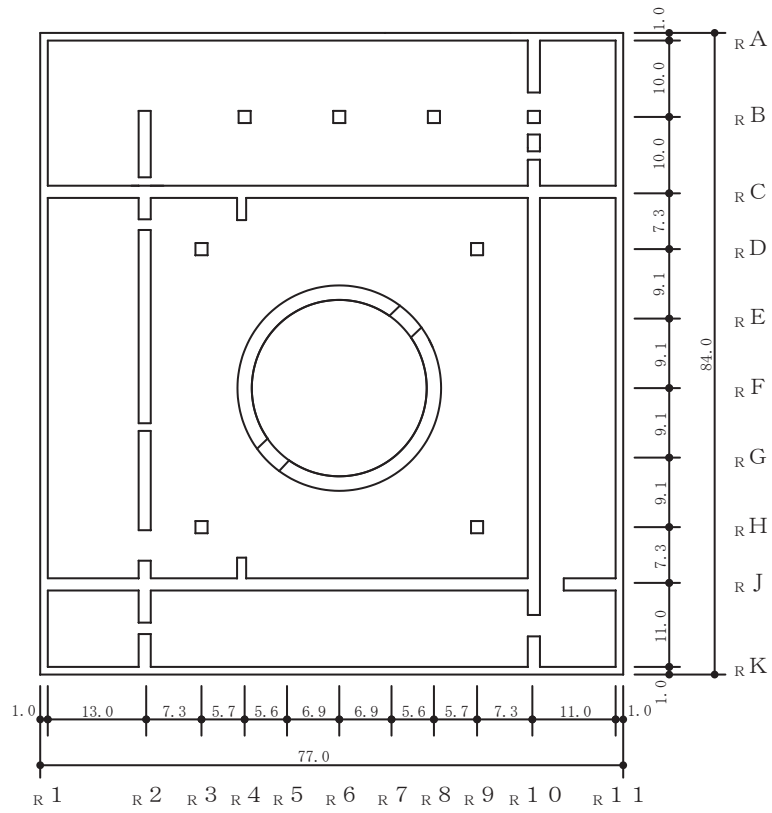
(単位：m)

図 2-1(1) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. -8.1m)



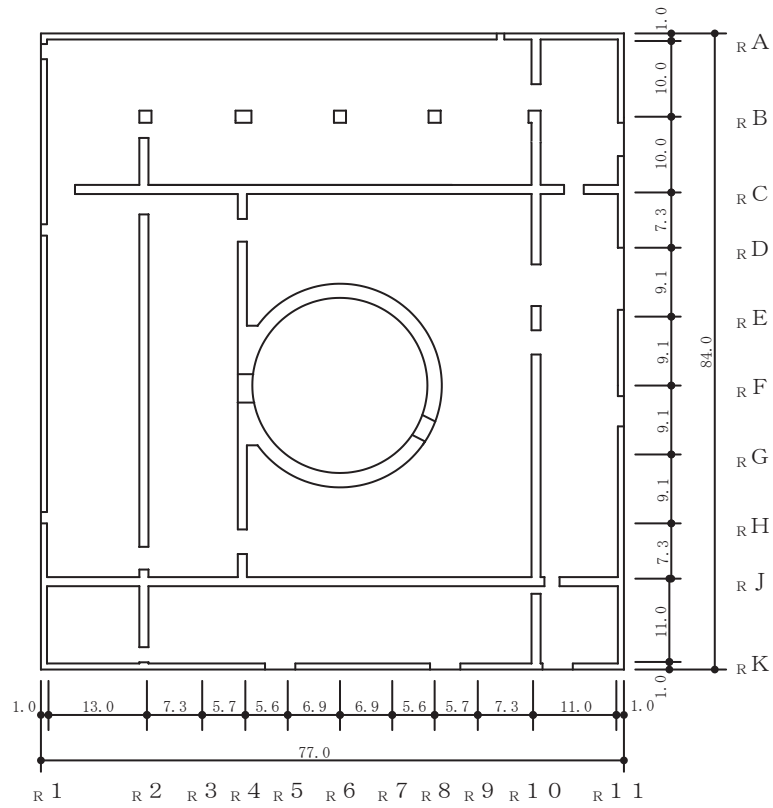
(単位：m)

図 2-1(2) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. -0.8m)



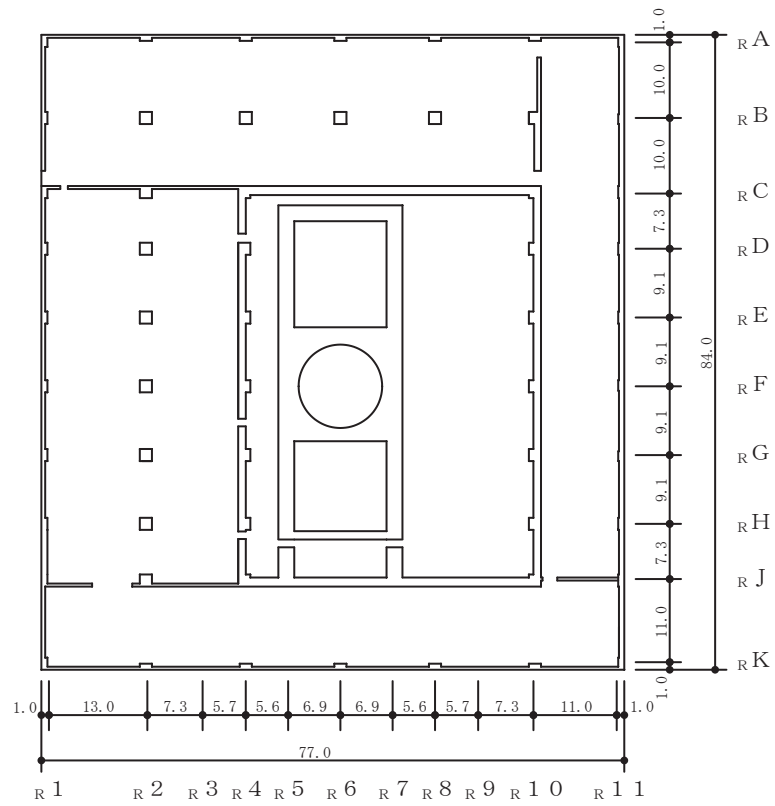
(単位：m)

図 2-1(3) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 6.0m)



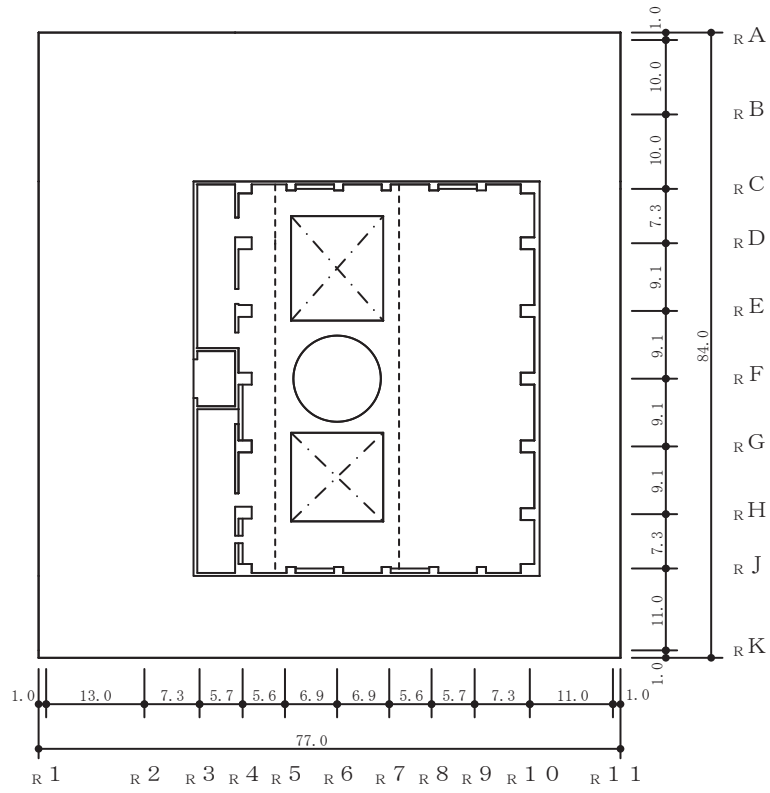
(単位：m)

図 2-1(4) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 15.0m)



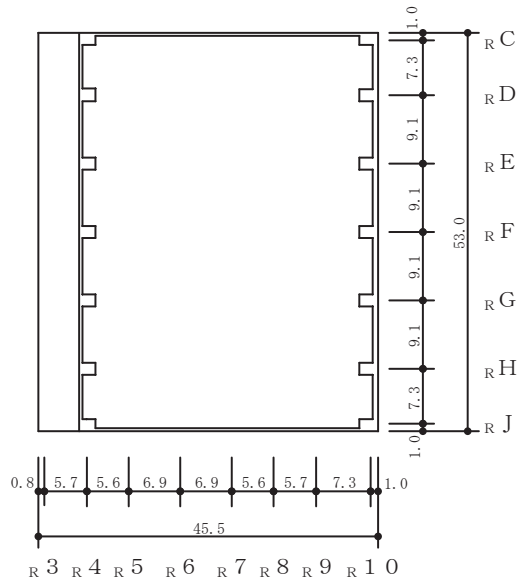
(単位：m)

図 2-1(5) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 22.5m)



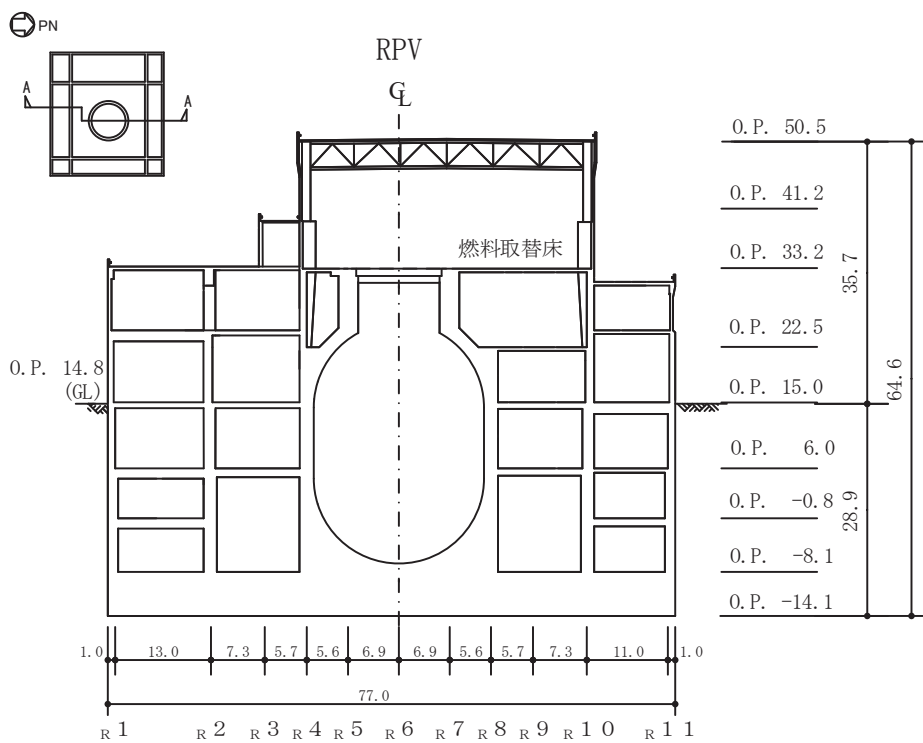
(単位：m)

図 2-1(6) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 33. 2m)



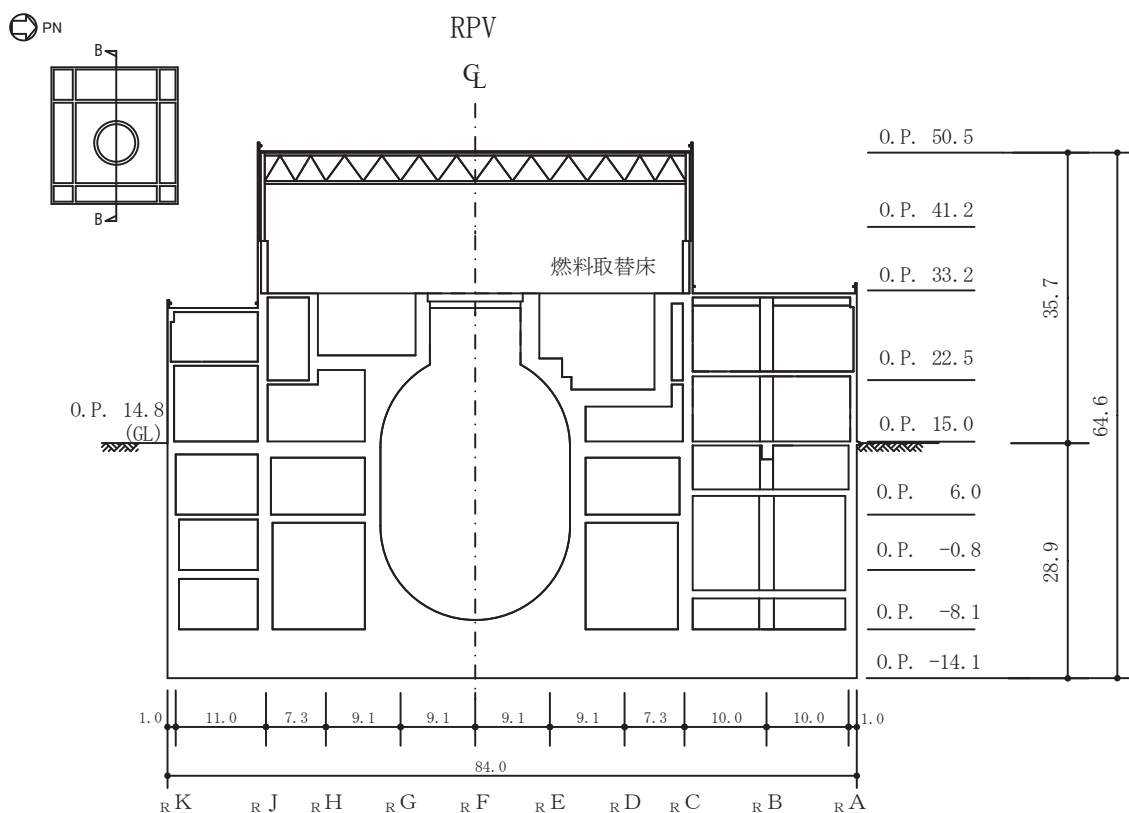
(単位：m)

図 2-1(7) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 41. 2m)



(単位 : m)

図 2-2(1) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



(単位 : m)

図 2-2(2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

2.2 検討方針

原子炉建屋について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施する。

原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁について、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析により得られた最大応答加速度の分布から、面外慣性力の影響を確認する。また、水平 1 方向の入力に対する最大応答加速度と 3 方向同時入力による最大応答加速度を比較し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。

3 次元 FEM モデルによる最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を把握したうえで、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、保守的な静的応力解析モデルに置き換える。面外慣性力による面外応力に対して断面の評価を行い、面外慣性力の影響を確認する。

許容限界については、面外曲げモーメントにより生ずる壁主筋の発生応力が、「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」（以下「技術基準解説書」という。）に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限強度を超えないこととする。また、面外せん断応力については、「日本建築学会 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づく短期許容面外せん断力を超えないこととする。

弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による評価については、地震動の最大加速度比が基準地震動 S_s に対して 0.58 倍であるため、地盤や建屋の非線形性による影響を考慮しても、弾性設計用地震動 S_d 地震時（以下「 S_d 地震時」という。）の質点系モデルの応答加速度が基準地震動 S_s 時（以下「 S_s 地震時」という。）の応答加速度の 0.7 倍程度であり、許容限界が S_s 時の $1/1.1$ 倍であることから、基準地震動 S_s により生じる各部材の断面の応力が弾性限強度を超えないことを確認することで、本資料においては弾性設計用地震動 S_d による評価は行わないこととする。

検討フローを図 2-3 に示す。

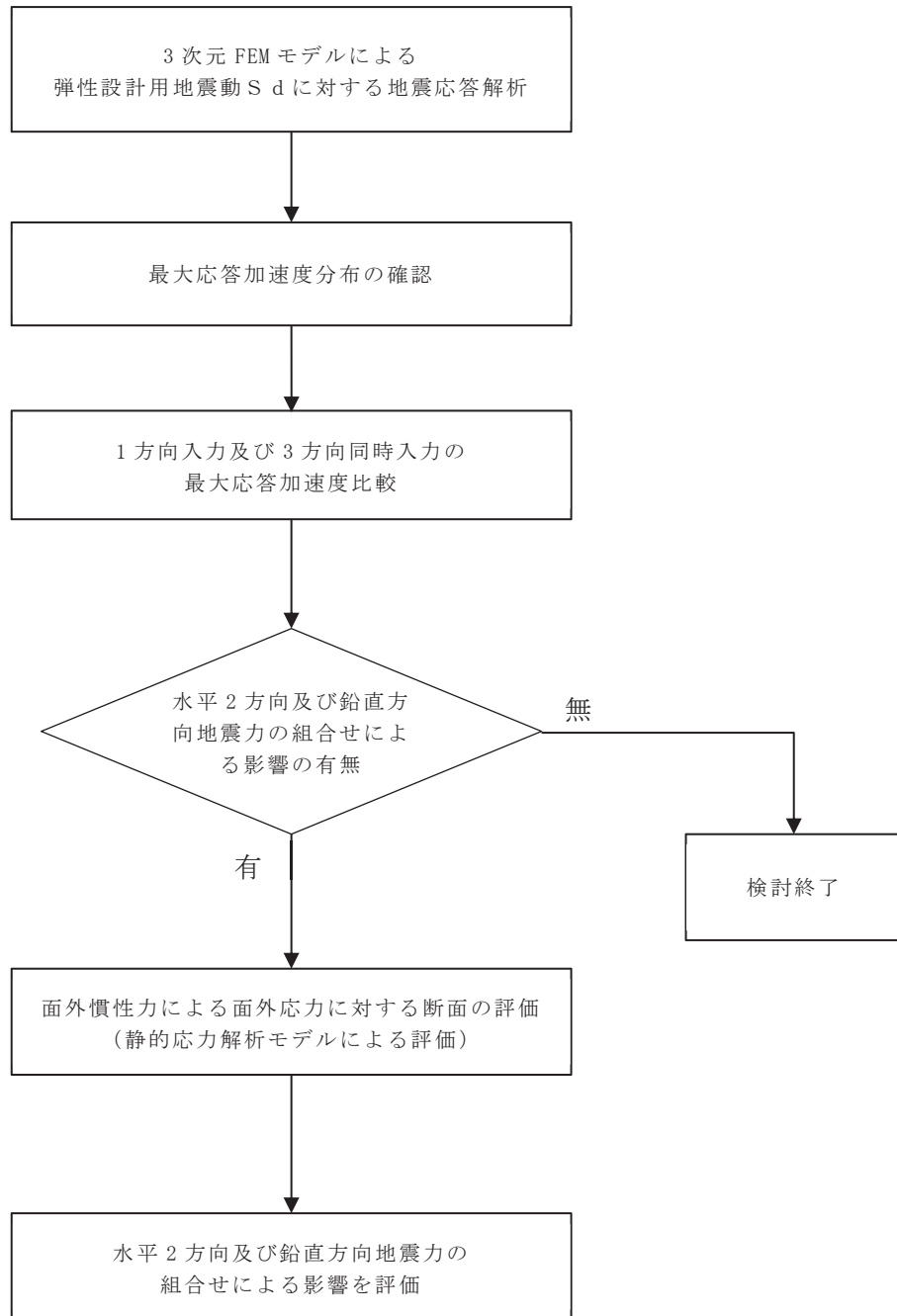


図 2-3 3次元 FEM を用いた精査の評価フロー

2.3 解析モデル

原子炉建屋の3次元FEMモデル図を図2-4に示す。

3次元FEMモデルで設定する各部材の要素タイプは、以下のとおりである。

床スラブ・壁はシェル要素（約44200要素）とする。基礎版は、ソリッド要素（約13900要素）とする。柱，はり，屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの上下弦材，サブビームについてはビーム要素（約3000要素）とする。屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの斜材・束材，水平ブレースはトラス要素（約500要素）とする。

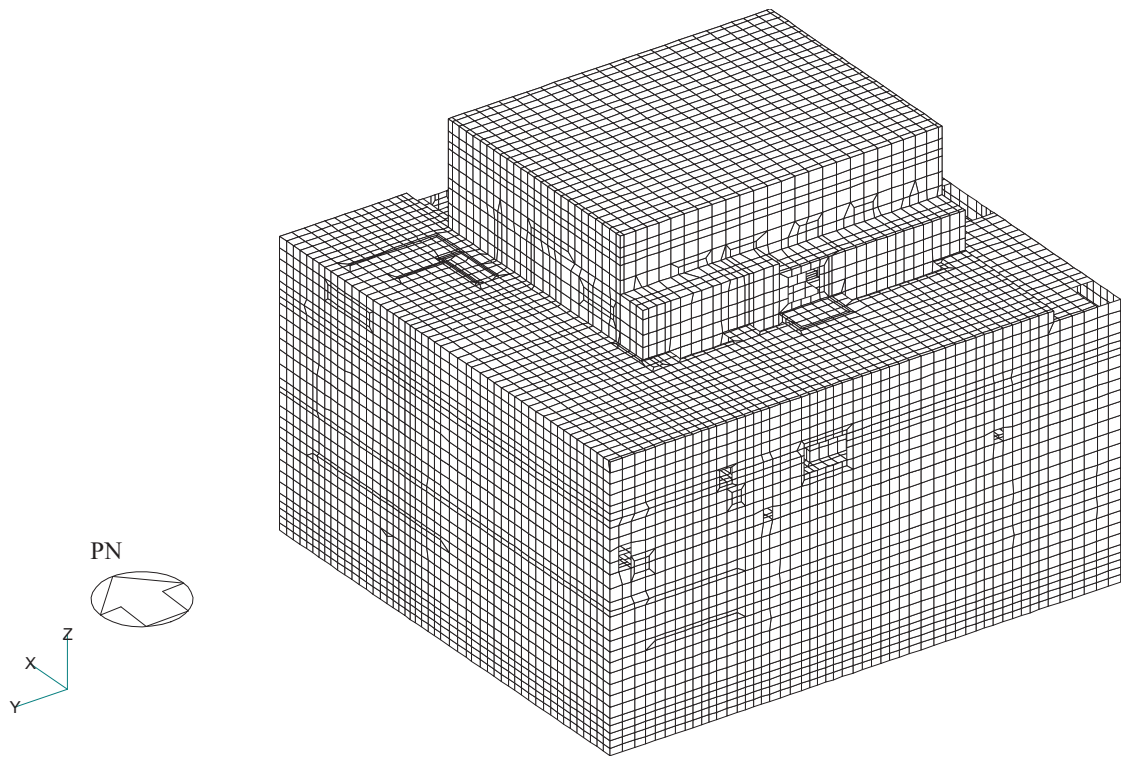
また，壁・床の開口部については，主要な部分のみモデル化する。

要素の大きさは，各スラブの上面レベルと対応する位置に節点を設け，鉛直方向にはフロア間を3分割以上，水平方向は3分割以上とする。（解析モデルの詳細は，「別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析」に示す。）

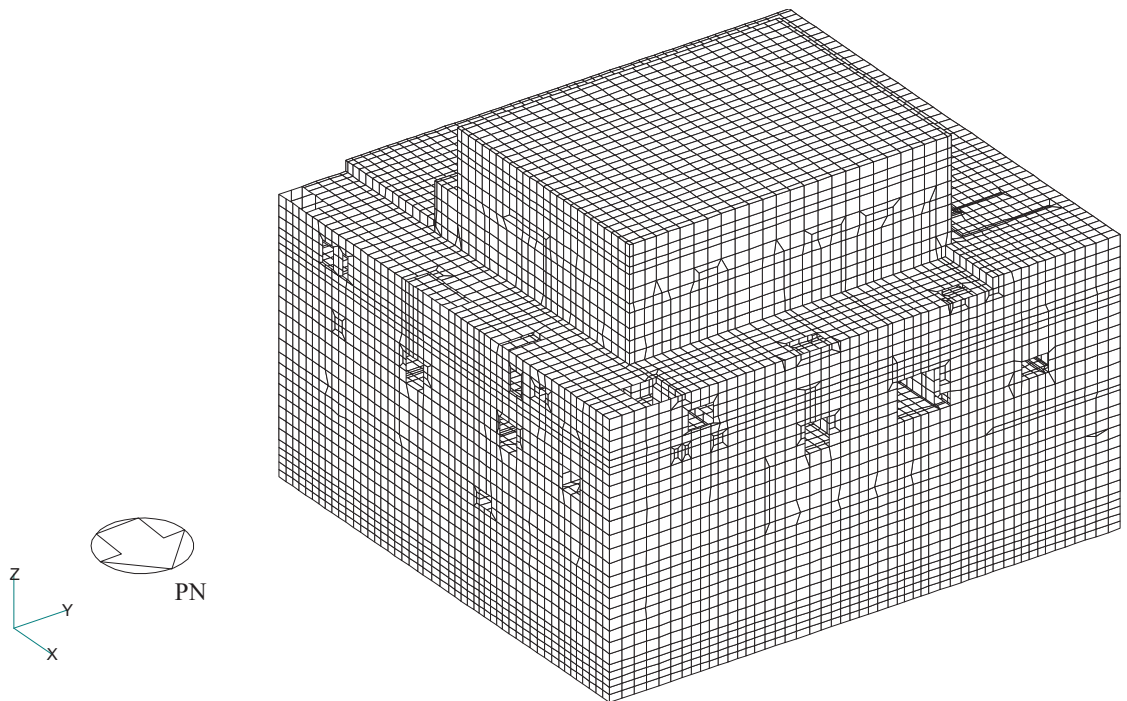
検討に用いる解析モデルの諸条件を表2-1に，使用材料の物性値を表2-2に示す。

検討に用いる解析モデルは，質点系モデルと表2-1に示す諸条件を対応させた3次元FEMモデルとする。

地震応答解析には，解析コード「NASTRAN」を用いる。

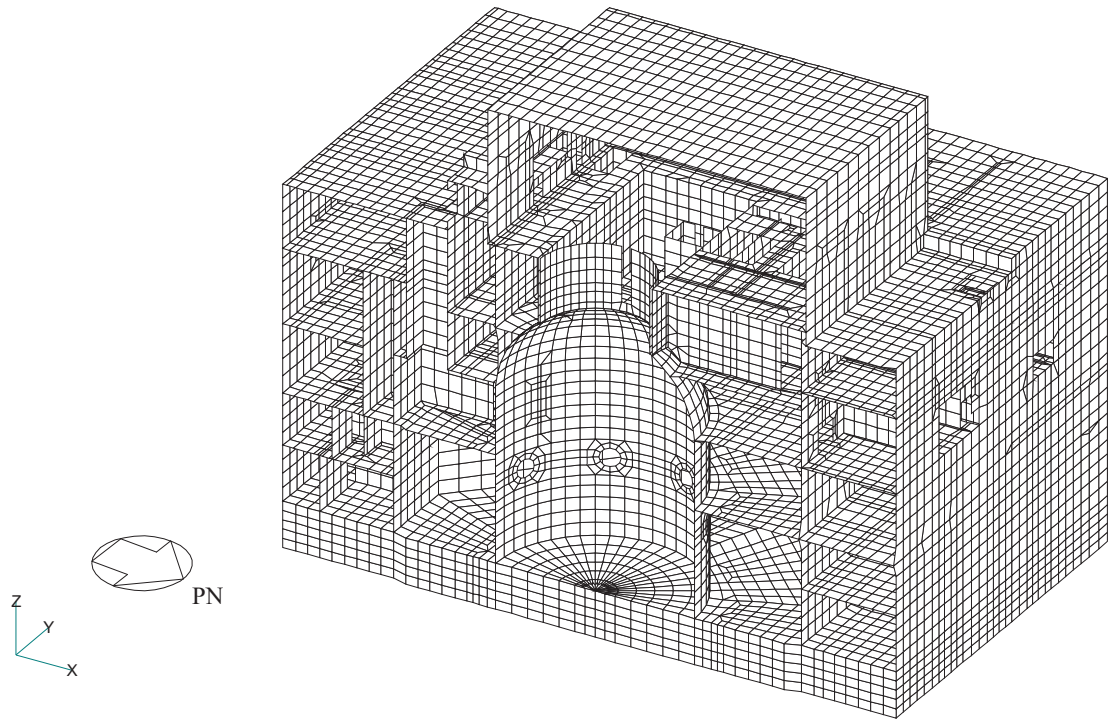


(a) 建屋全景（南西面）

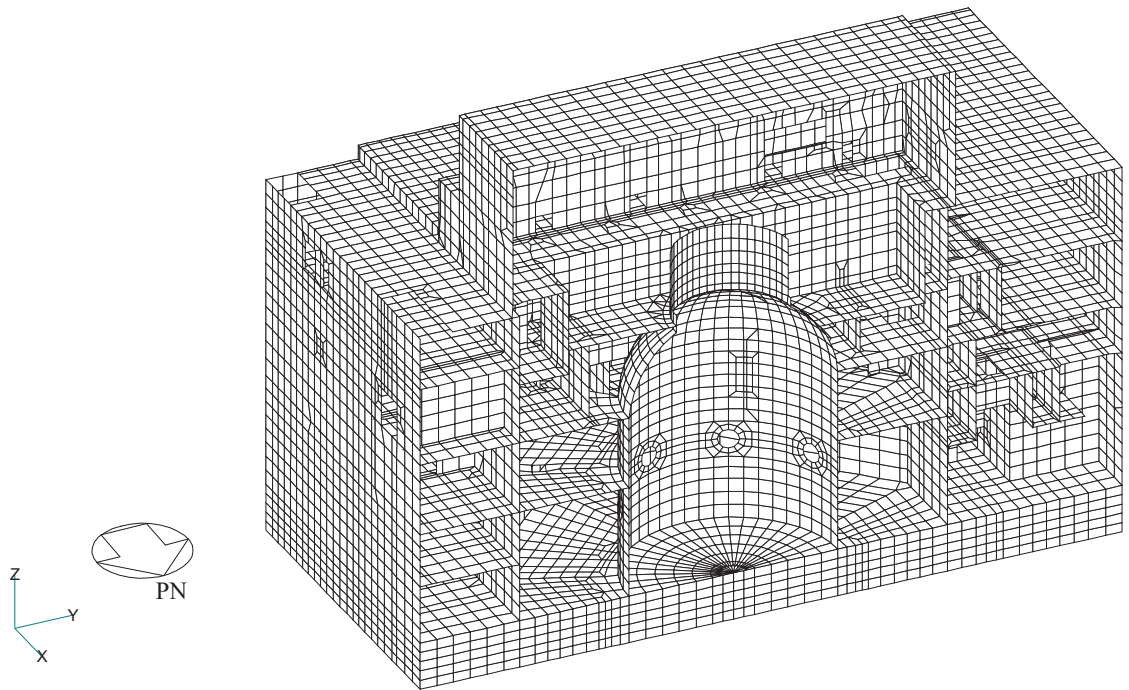


(b) 建屋全景（北東面）

図 2-4 モデル図 (1/2)



(c) NS 断面図



(d) EW 断面図

図 2-4 モデル図 (2/2)

表 2-1 解析モデルの諸条件

モデル	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
3次元 FEM モデル	柔性を考慮する	相互作用考慮	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正

表 2-2 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部 燃料取替床上部 既設部	鉄筋コンクリート コンクリート： F _c = 32.4 (N/mm ²) (F _c = 330 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.65 × 10 ⁴	1.14 × 10 ⁴	5
建屋部 燃料取替床上部 追設部	鉄筋コンクリート コンクリート： F _c = 33 (N/mm ²) 鉄筋：SD345	2.52 × 10 ⁴	1.05 × 10 ⁴	5
建屋部 燃料取替床下部 既設部	鉄筋コンクリート コンクリート： F _c = 32.4 (N/mm ²) (F _c = 330 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.65 × 10 ⁴	1.14 × 10 ⁴	5
屋根トラス	鉄骨：SS41 (SS400 相当) SM41A (SM400A 相当)	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2
追設ブレース	鉄骨：SN400B SN490B BCR295	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2

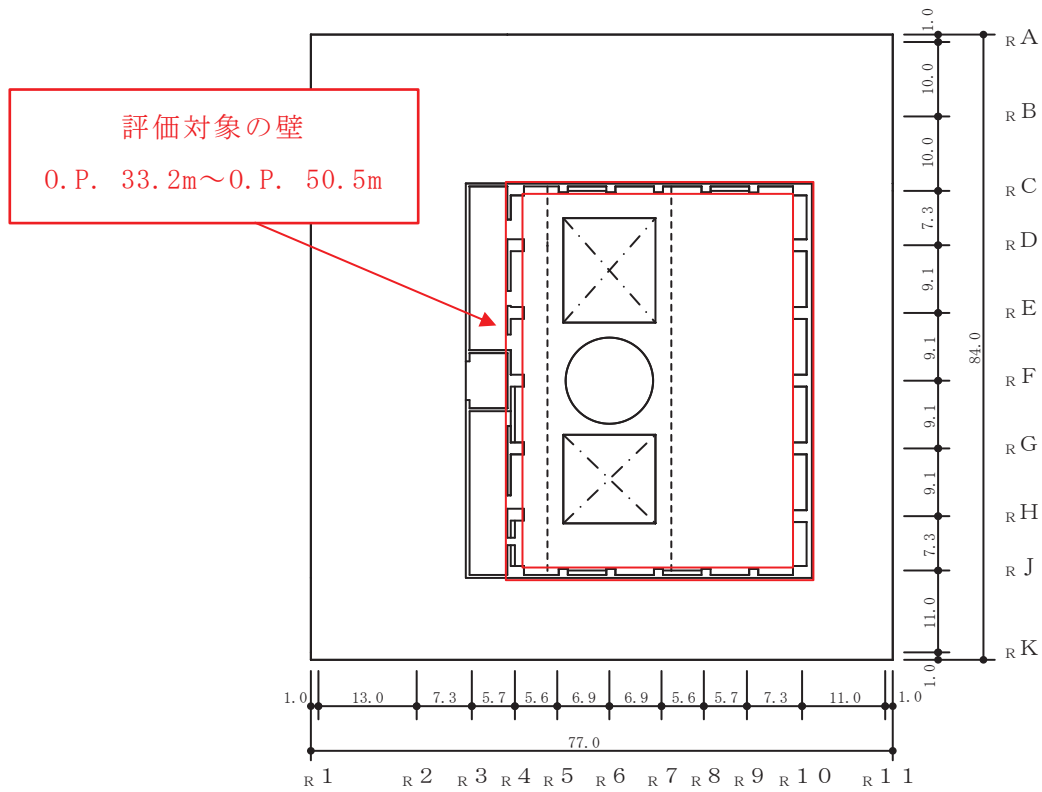
2.4 地震応答解析の概要

3次元 FEM モデルを用いて、弾性設計用地震動 S d に対する地震応答解析を実施する。地震応答解析は線形解析とし、周波数応答解析を用いる。

床応答評価位置は、原子炉建屋の O.P. 33.2m～O.P. 55.0m とする。応答評価部位を図 2-5 に、応答評価対象位置及び節点番号図を図 2-6 に示す。

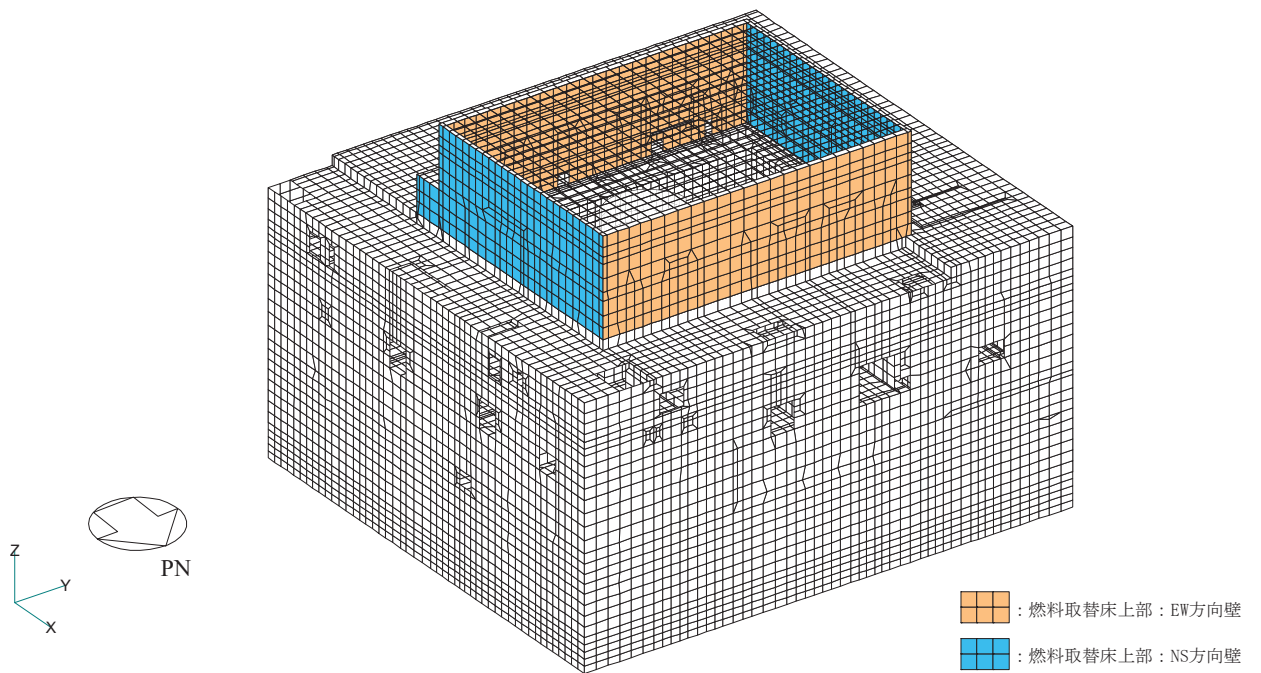
3次元 FEM モデルは線形解析モデルであることから、入力する地震動は弾性設計用地震動 S d とし、水平 2 方向の地震力による影響評価は、弾性設計用地震動 S d を水平 2 方向に組み合わせた地震力を算定し実施する。具体的には、NS 方向（北面壁及び南面壁の面外方向）における 1 方向入力と 3 方向同時入力の比較を行う場合は、NS 方向に弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向地震波（以下「S d - D 2 H」という。）を、EW 方向に弾性設計用地震動 S d - D 2 の位相違い波*（以下「S d - D 2 p」という。）を、UD 方向に弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向地震波（以下「S d - D 2 V」という。）を入力する。EW 方向（東面壁及び西面壁の面外方向）における 1 方向入力と 3 方向同時入力の比較を行う場合は、EW 方向に S d - D 2 H を、NS 方向に S d - D 2 p を、UD 方向に S d - D 2 V を入力する。地震動の組合せを表 2-3 に示す。

注記*：S d - D 2 H の設計用応答スペクトルに適合するが、S d - D 2 H とは位相特性が異なる地震波である。



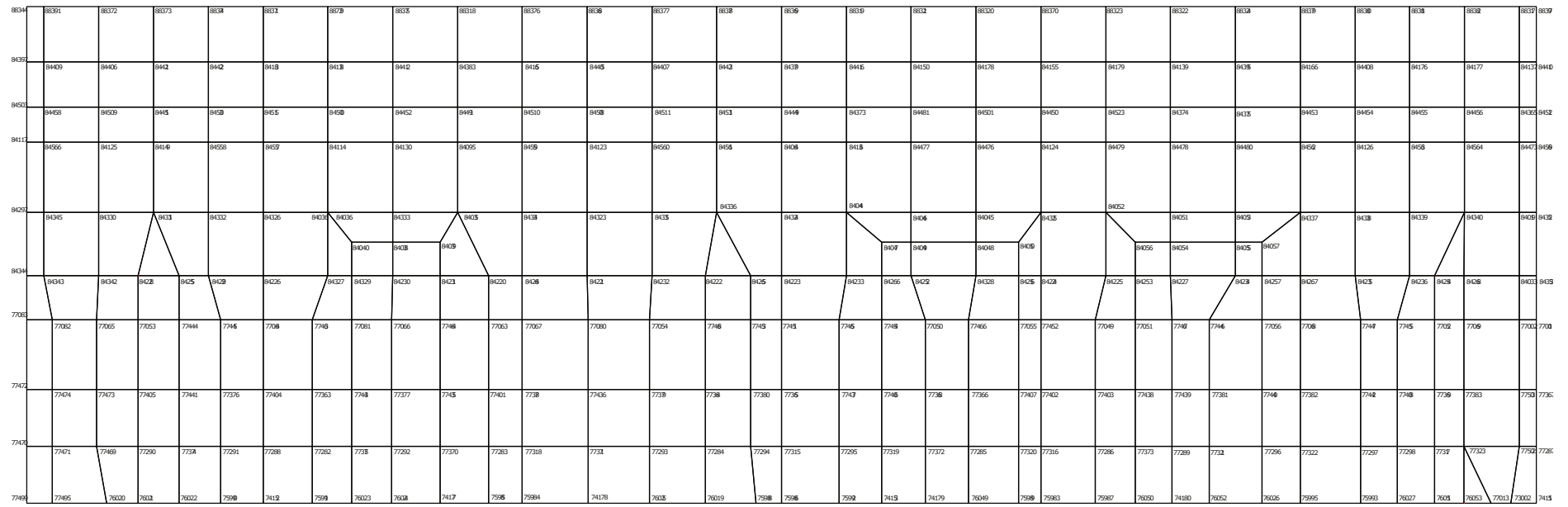
(単位：m)

(a) 概略平面図



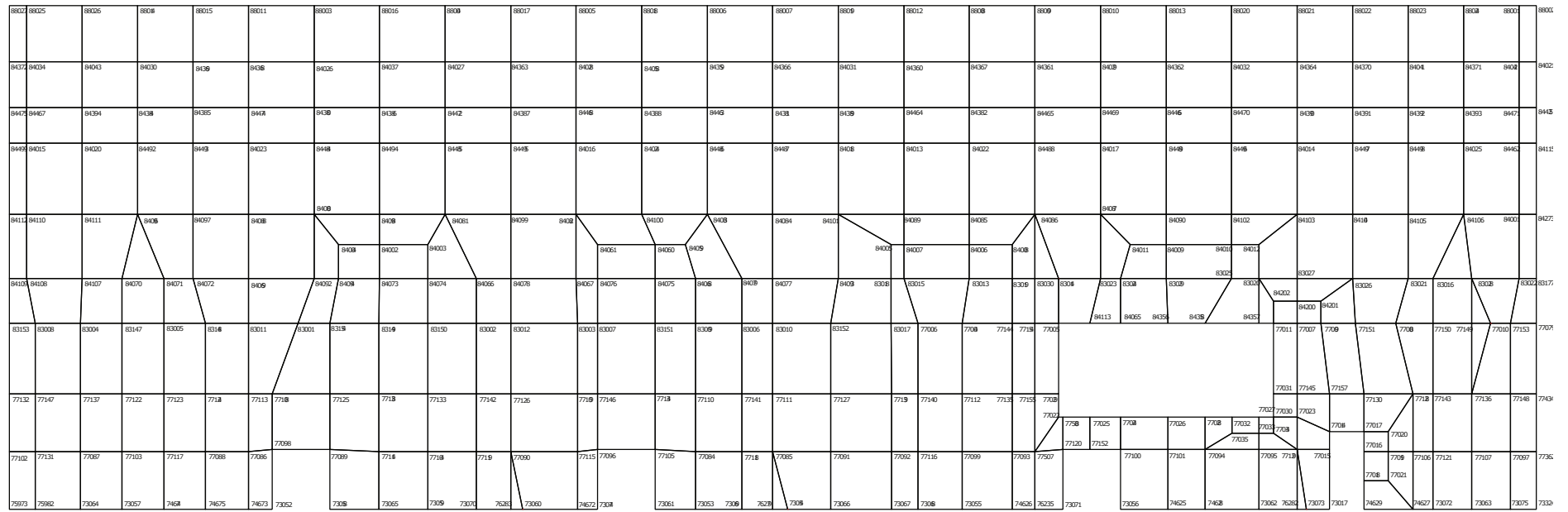
(b) 3次元 FEM モデル

図 2-5 応答評価部位



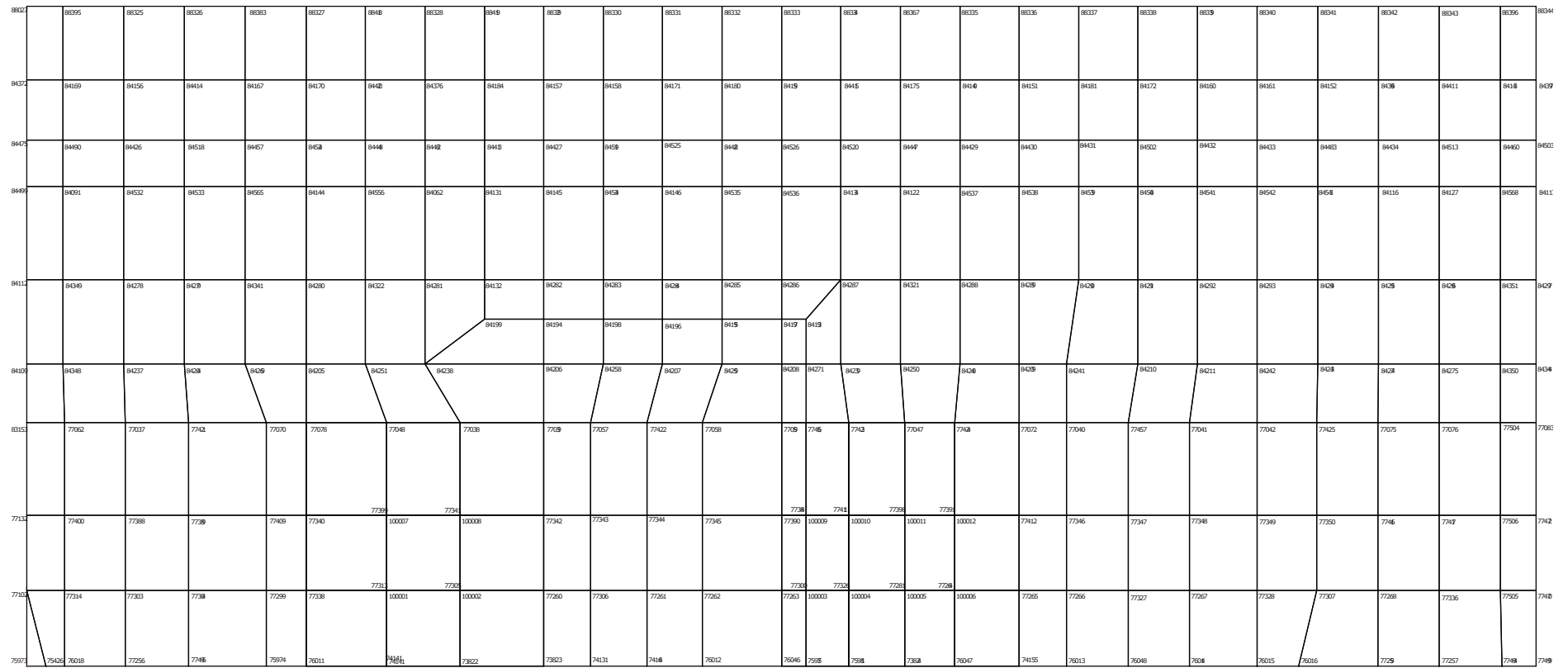
(a) 北面壁 (R10 通り)

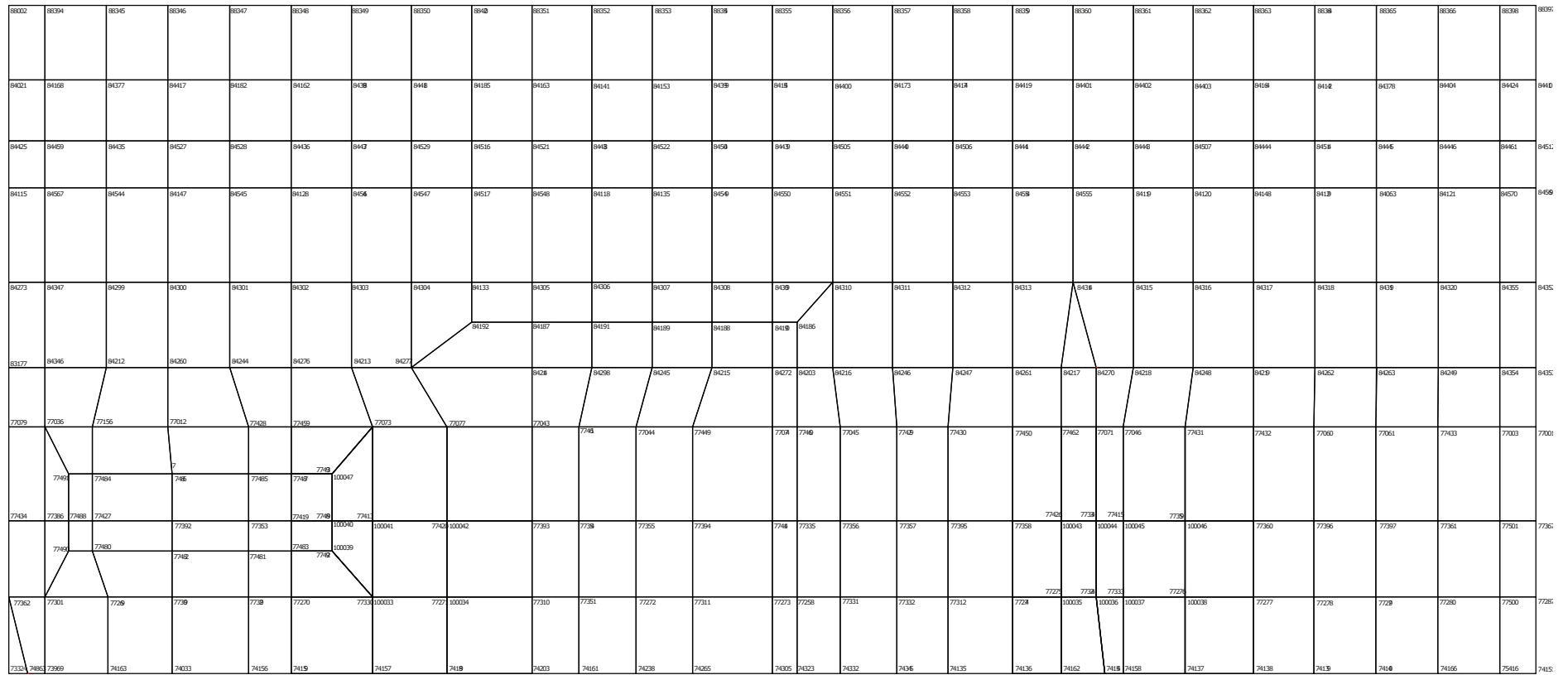
図 2-6(1) 応答評価対象位置及び節点番号図(1/4)



(b) 南面壁 (R4 通り)

図 2-6(2) 応答評価対象位置及び節点番号図 (2/4)





(d) 西面壁 (RC 通り)

図 2-6(4) 応答評価対象位置及び節点番号図(4/4)

表 2-3 入力地震動の組合せ

(a) 北面壁及び南面壁の応答評価時

地震動の入力方法	NS 方向	EW 方向	UD 方向
水平 1 方向入力	S d - D 2 H	—	—
3 方向同時入力	S d - D 2 H	S d - D 2 p	S d - D 2 V

(b) 東面壁及び西面壁の応答評価時

地震動の入力方法	NS 方向	EW 方向	UD 方向
水平 1 方向入力	—	S d - D 2 H	—
3 方向同時入力	S d - D 2 p	S d - D 2 H	S d - D 2 V

2.5 地震応答解析結果

3次元 FEM モデルを用いて、弾性設計用地震動 S d - D 2 に対する地震応答解析を実施した。

原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁について、3方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布を図 2-7 及び図 2-8 に示す。3方向同時入力における壁面外方向最大応答加速度は、柱部分の加速度が小さく、柱間のスパン毎に平面的に中央部で面外にはらむような加速度分布となっている。高さ方向については、O.P. 45.9m が概ね最大となっている。

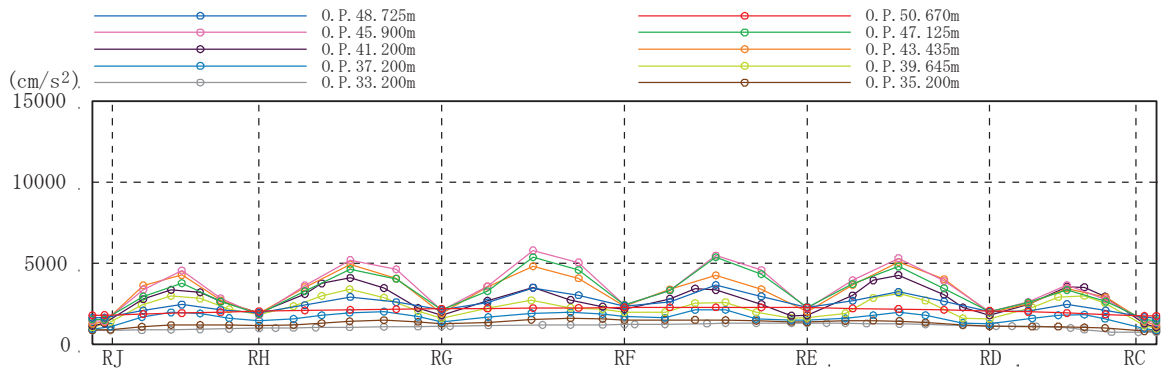
水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図を図 2-9 及び図 2-10 に示す。水平 1 方向についても、3方向同時入力と同様に、柱部分の加速度が小さく、柱間のスパン毎に平面的に中央部で面外にはらむような加速度分布となっており、高さ方向については、O.P. 45.9m が概ね最大となっている。

3方向同時入力と水平 1 方向入力の最大応答加速度を並べて比較した図を図 2-11 ~ 図 2-14 に示す。端部の最大応答加速度は水平 1 方向入力がやや小さくなる傾向が見られるが、3方向同時入力と水平 1 方向入力は概ね同等の最大加速度を示している。この結果は、燃料取替床レベルの壁の面外応答については面外方向の地震動が主な影響を与えており、水平直交方向及び鉛直方向地震動は面外応答に与える影響が小さいことを示している。

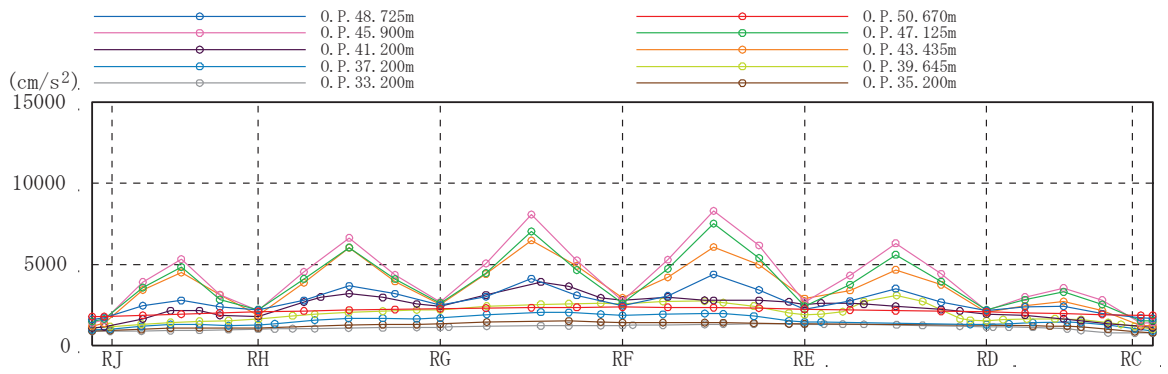
また、3方向同時入力及び水平 1 方向入力ともに、南北面の壁が、東西面の壁に比べて柱部分の最大加速度と柱間の最大加速度の差が大きくなる傾向が認められる。これは、東西面壁に対し、南北面壁の方が柱間のスパンが長いことに起因していると考えられる。東西面壁の柱間距離は 6.3m、南北面壁の柱間距離は 9.1m であり、南北面壁の柱間距離は東西面壁の 1.4 倍程度である。各壁の面外方向の応答増幅は、図 2-15 に示す 3次元 FEM モデルの固有値解析結果からも確認できる。全体 14 次 (7.26Hz) は東西面の壁が全体として弓なりに変形するモード、全体 36 次は南北面の壁が全体として弓なりに変形するモードである。全体 112 次は南北面の壁が柱間のスパン毎に弓なりに変形するモードである。弾性設計用地震動 S d - D 2 による面外方向の最大応答加速度分布はこのようなモードの影響を含む分布形状になっていると考えられる。

以上のことより、面外慣性力による面外応力に対する断面評価の対象部位については、3次元 FEM モデルの応答を確認して南北面壁を代表部位として選定し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。

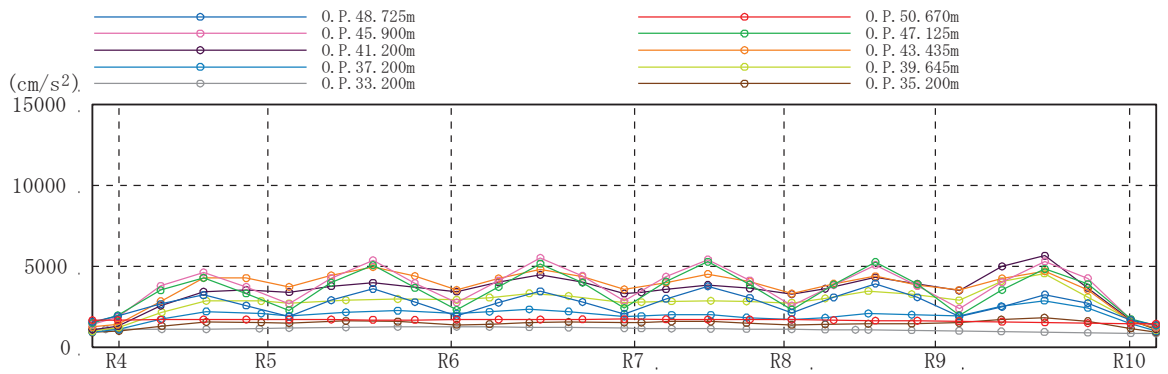
なお、面外方向加速度の機器・配管系への影響については、「別紙 4 機器・配管系に関する説明資料」において検討を行う。



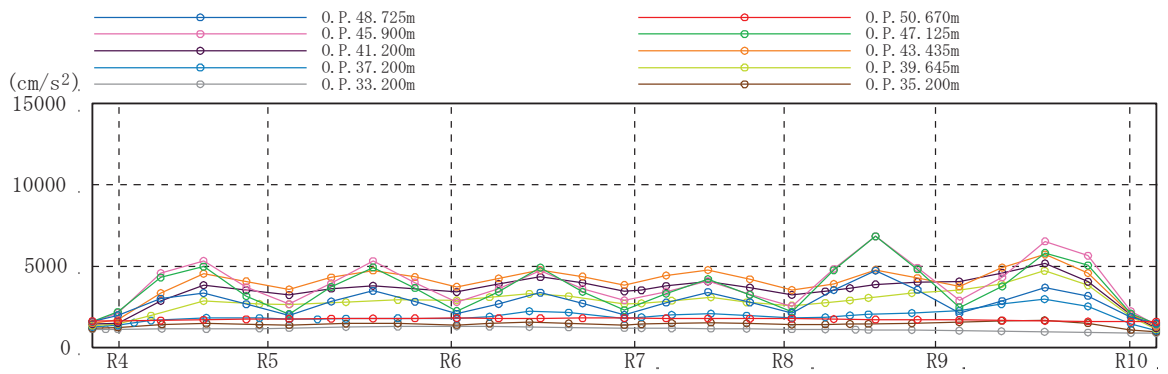
(a) 北面壁



(b) 南面壁

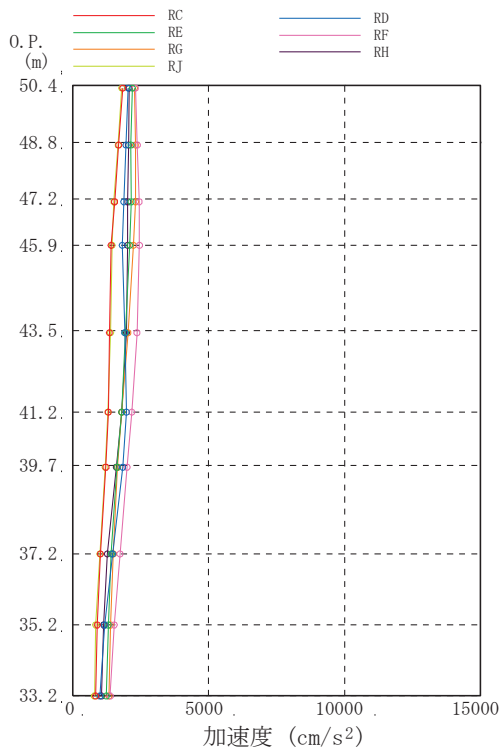


(c) 東面壁

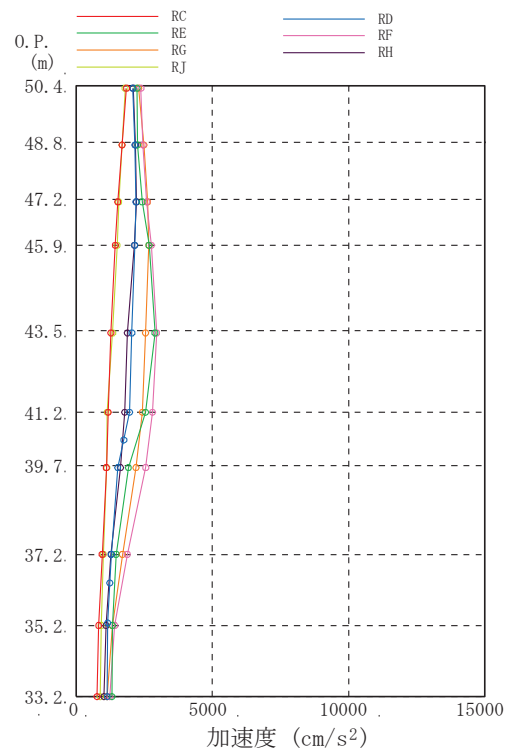


(d) 西面壁

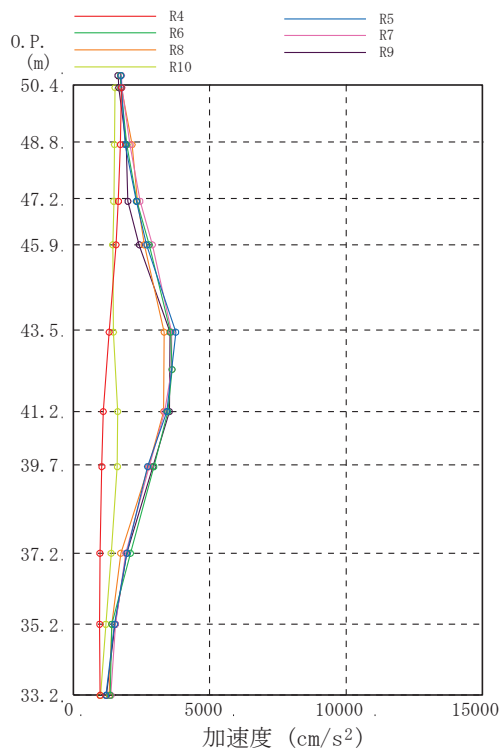
図 2-7 3 方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布



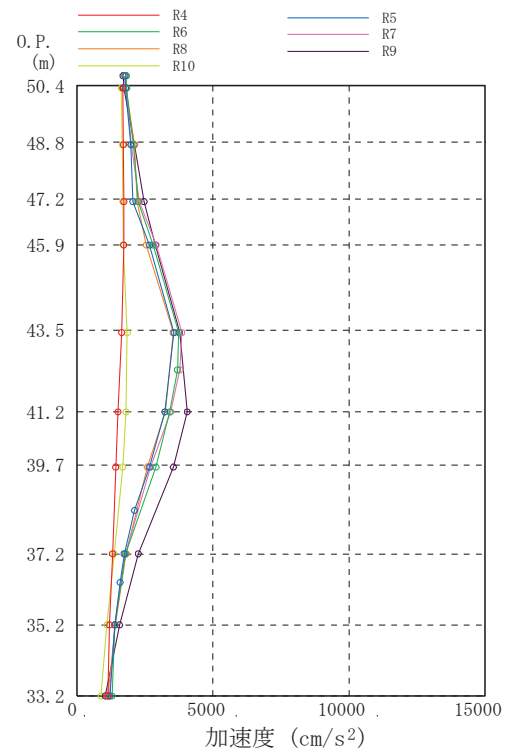
(a) 北面壁



(b) 南面壁



(c) 東面壁



(d) 西面壁

図 2-8 3 方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布

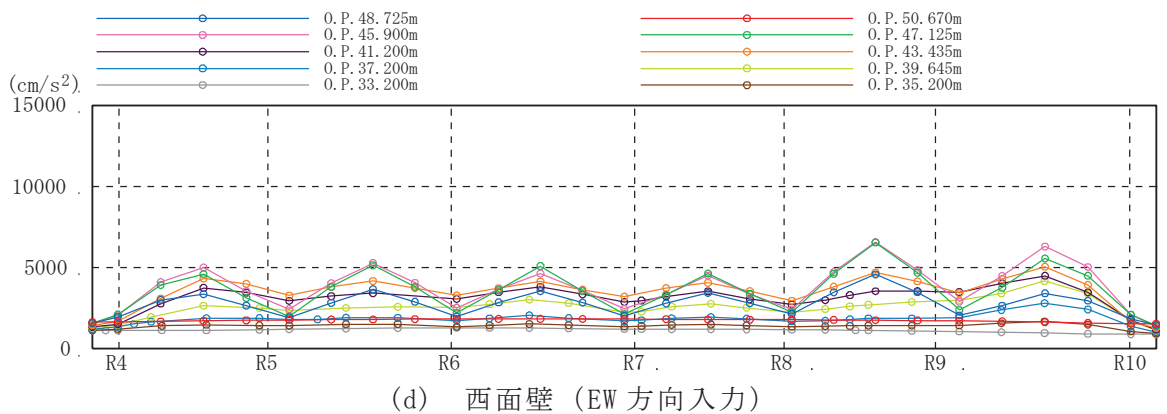
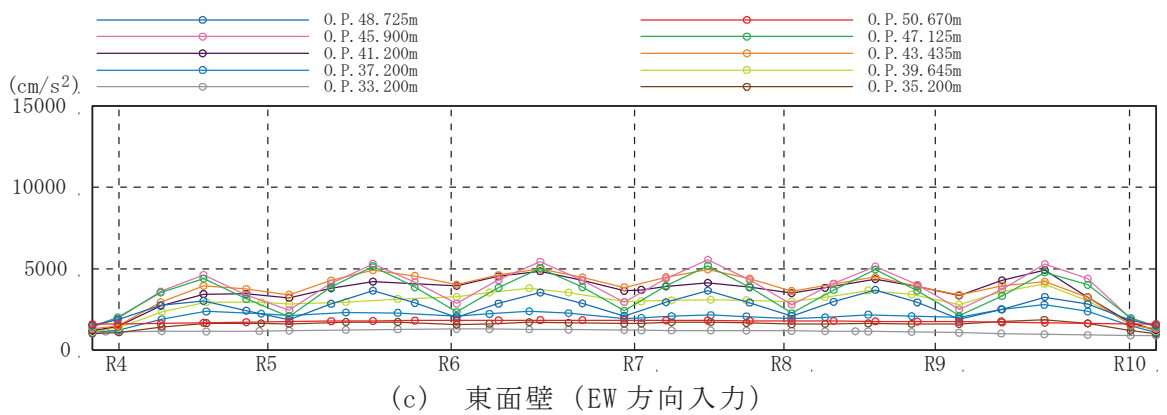
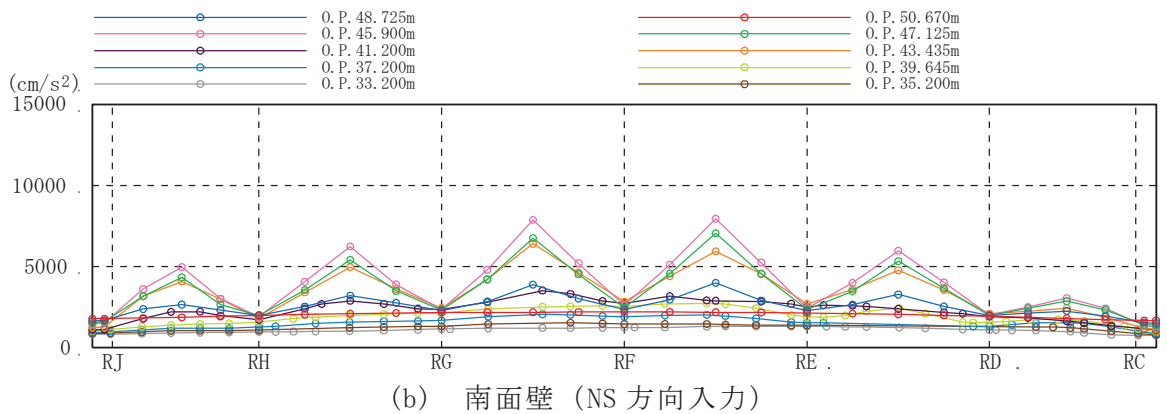
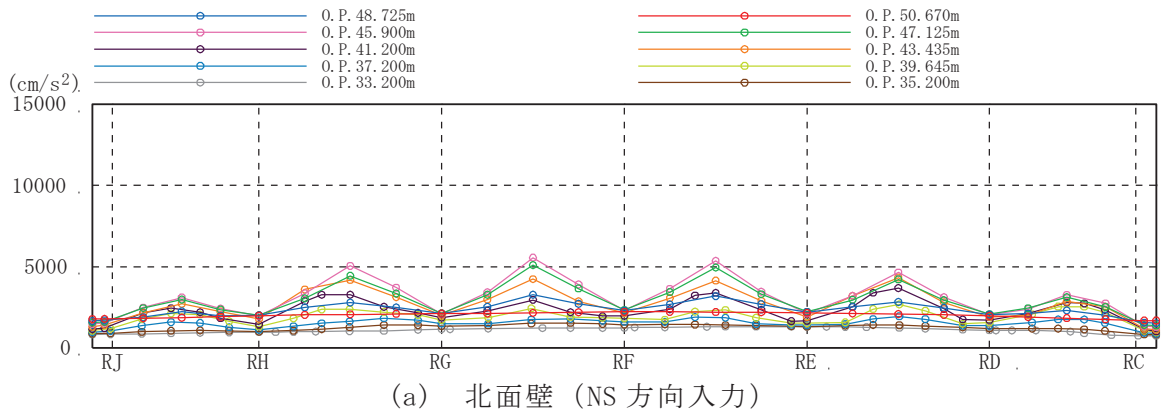
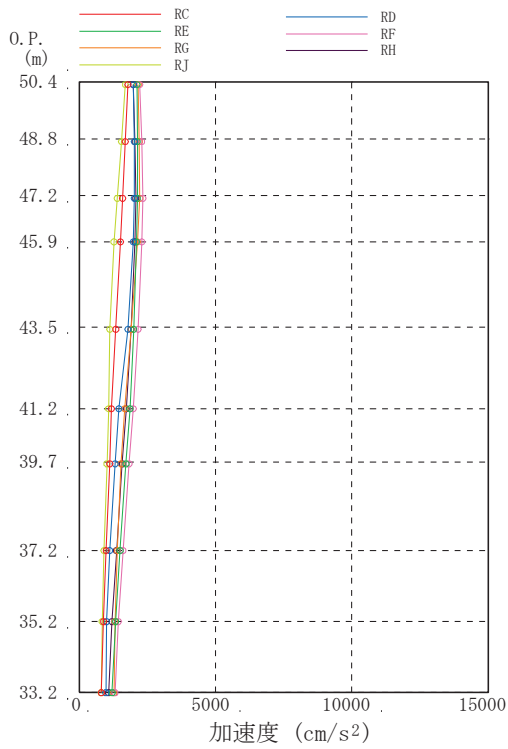
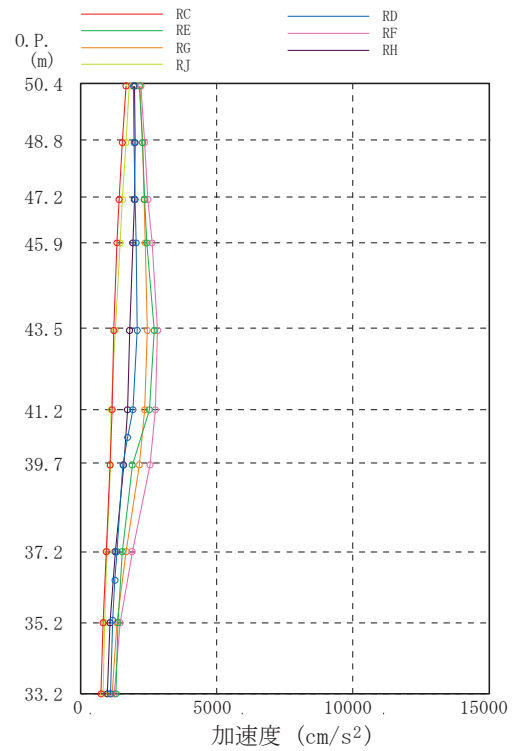


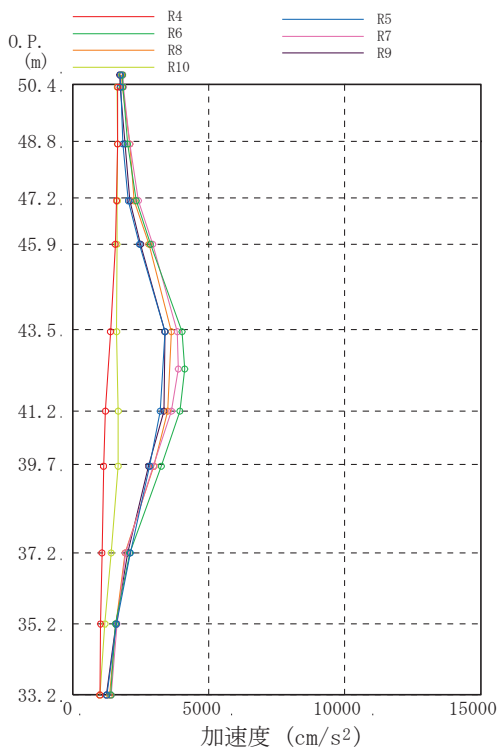
図 2-9 水平 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布



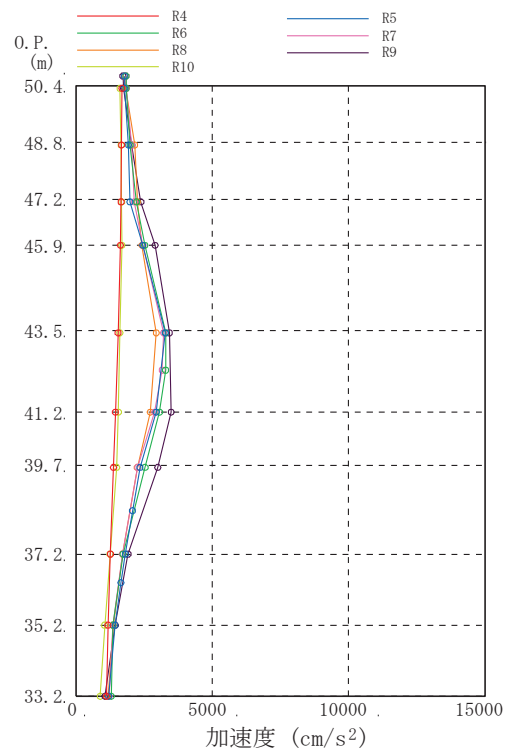
(a) 北面壁 (NS 方向入力)



(b) 南面壁 (NS 方向入力)

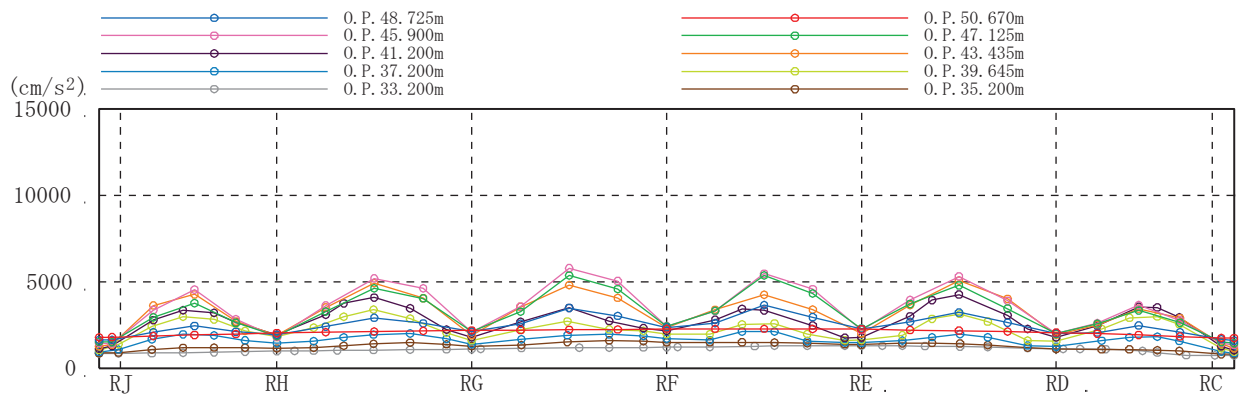


(c) 東面壁 (EW 方向入力)

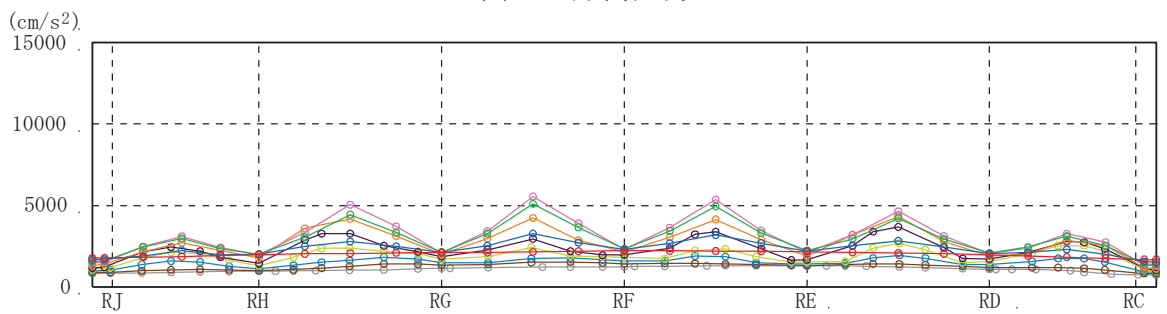


(d) 西面壁 (EW 方向入力)

図 2-10 水平 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布

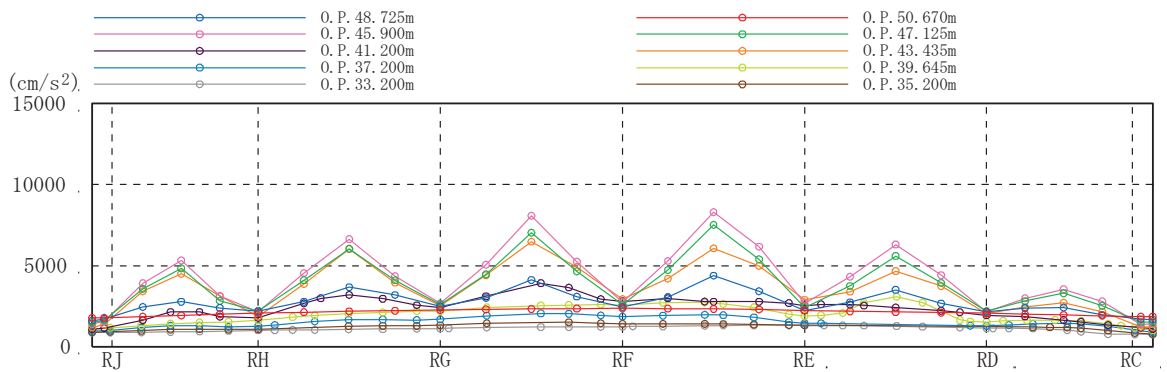


(a) 3方向入力

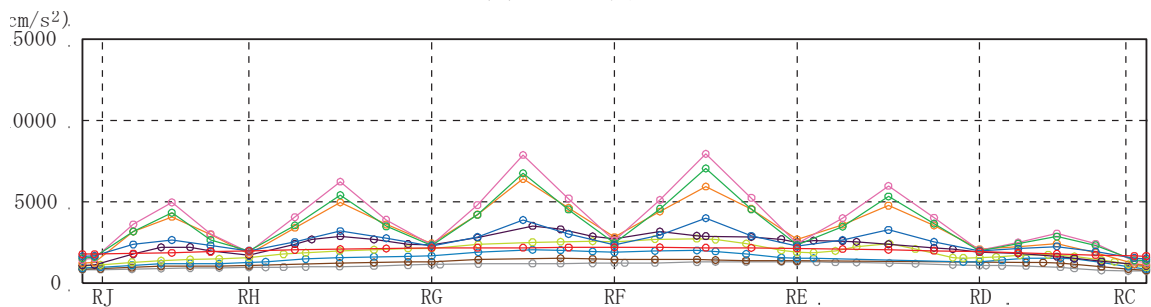


(b) 1方向入力 (NS方向入力)

図 2-11 水平 1 方向入力及び 3 方向同時入力の最大応答加速度の比較 (北面壁)

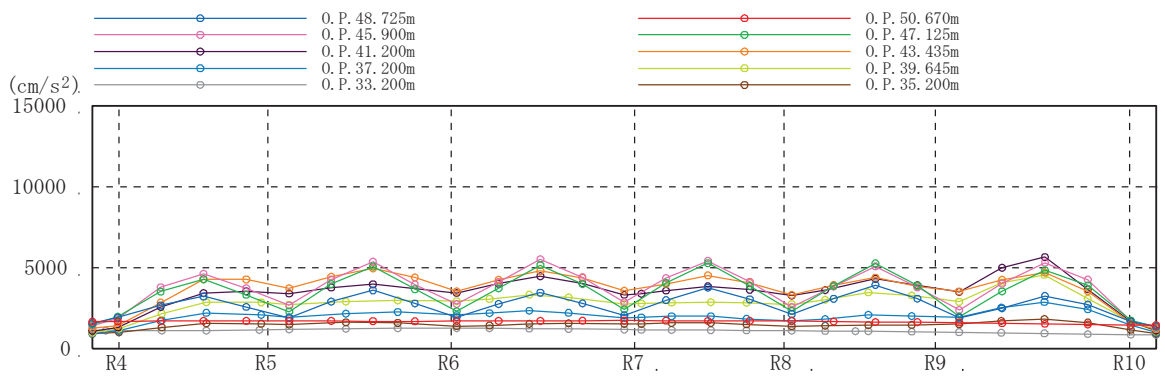


(a) 3方向入力

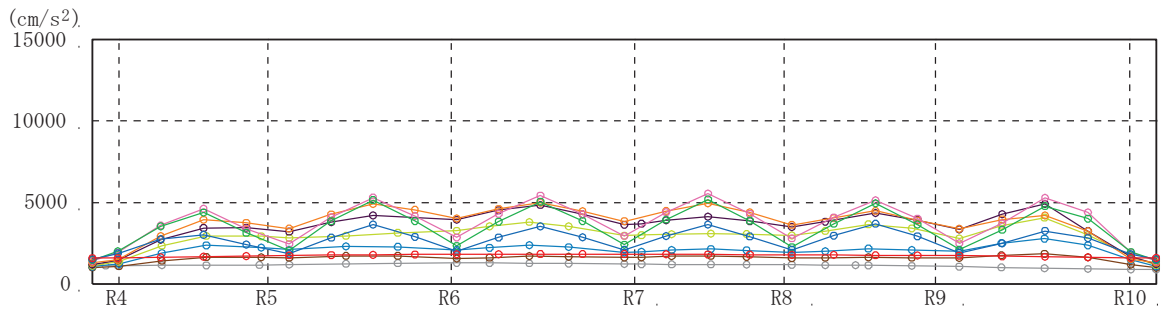


(b) 1方向入力 (NS方向入力)

図 2-12 水平 1 方向入力及び 3 方向同時入力の最大応答加速度の比較 (南面壁)

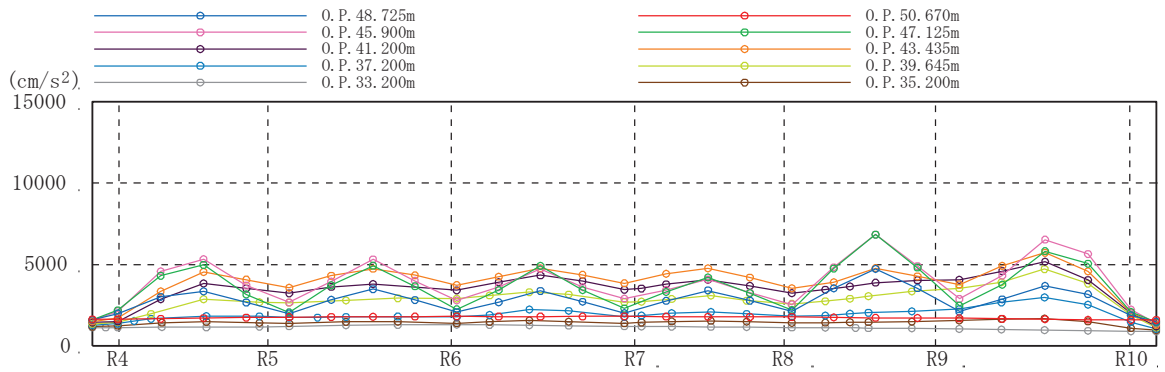


(a) 3方向入力

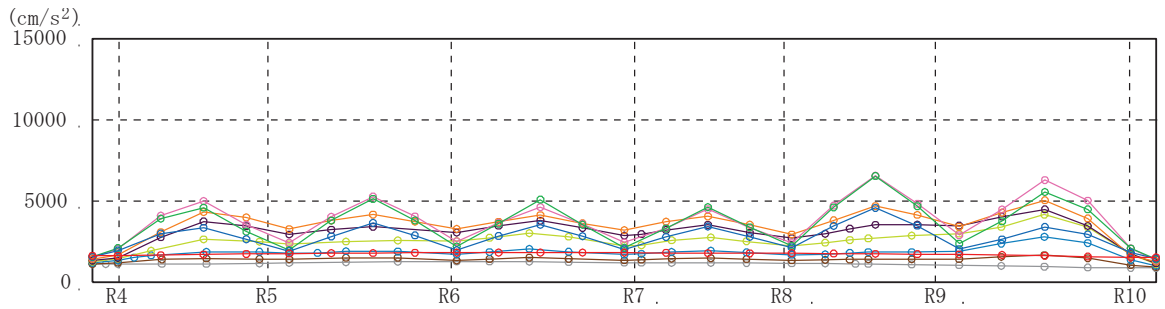


(b) 1方向入力 (EW方向入力)

図 2-13 水平 1 方向入力及び 3 方向同時入力の最大応答加速度の比較 (東面壁)

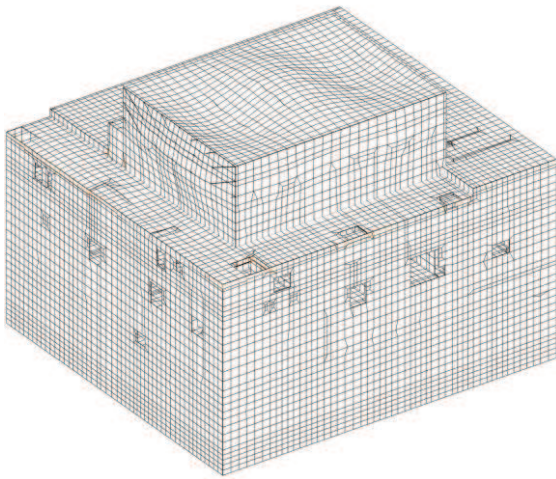


(a) 3方向入力

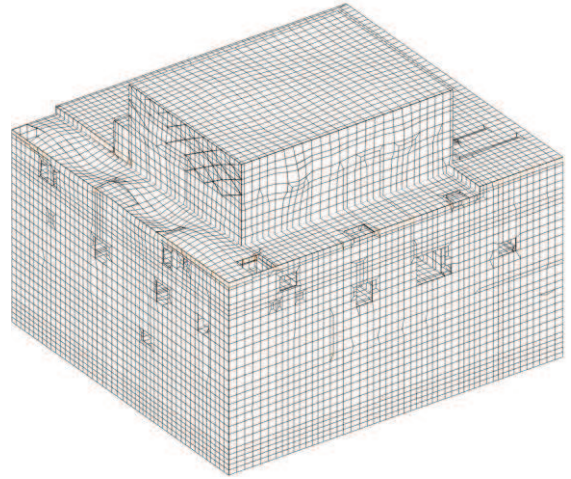


(b) 1方向入力 (EW方向入力)

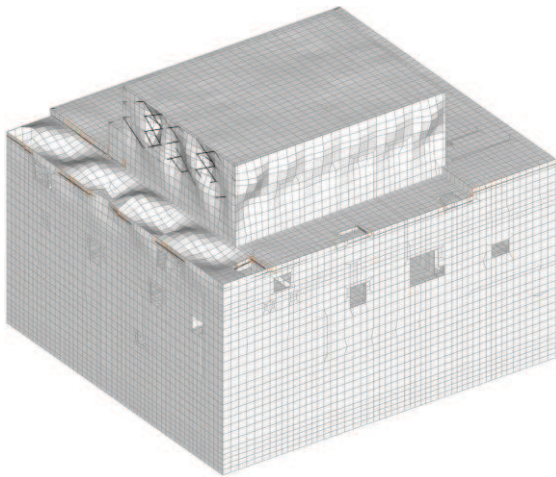
図 2-14 水平 1 方向入力及び 3 方向同時入力の最大応答加速度の比較 (西面壁)



全体 14 次 (7.26Hz)



全体 36 次 (8.89Hz)



全体 112 次 (11.94Hz)

図 2-15 3次元 FEM モデルの固有値解析結果

2.6 面外慣性力に対する壁の断面の評価

面外慣性力の影響として、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁について、面外慣性力に対する検討を行う。検討は、「2.5 地震応答解析結果」より、壁の面外方向への加速度の影響が顕著に出ている南北面の壁を対象として、静的応力解析モデルに置き換えて、面外慣性力による面外応力に対する断面の評価を行い、面外慣性力の影響を評価する。

評価結果を記載する部位は、面外慣性力によって生じる曲げモーメント及び面外せん断力が最大となる部位とする。

2.6.1 解析モデル及び荷重条件

解析モデルを図 2-16 に示す。

解析モデルは静的応力解析モデルとし、スパン端部の柱及びはりまたは屋根スラブを境界条件として、四辺固定版に置き換える。耐震壁は面外方向の曲げモーメントにより引張側表面にひび割れを生じ、ひび割れの進展に応じて周辺部に応力が再配分されることとなる。本検討では、コンクリートの非線形特性を考慮した積層シェル要素を用い、引張側コンクリートのひび割れに伴う応力分散を考慮する。コンクリートの材料構成則を図 2-17 に示す。

鉄筋についてもモデル化し、面外方向の曲げモーメントにより鉄筋に生じる引張応力度が許容限界として設定した弾性限強度を超えないことを確認することで、面外慣性力により原子炉建屋の壁が有する耐震性への影響はないことを確認する。

荷重としては、基準地震動 S_s （以下「 S_s 地震時」という。）による面外方向慣性力を考慮する。 S_s 地震時の応答加速度は、弾性設計用地震動 S_d （以下「 S_d 地震時」という。）による応答加速度に対し補正を行い、質点系モデルによる地震応答解析における最大応答加速度比で係数倍して定めるものとし、係数の算出は基準地震動 $S_s - D_2$ による応答を用いる。

S_d 地震時による応答加速度の補正は、弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による面外方向の最大応答加速度（絶対加速度）に対し、材料物性による不確かさを考慮するための応答補正比率を乗じることで保守的に評価したものである。また、応答補正比率は、質点系モデルによる地震応答解析における最大応答加速度より算出する。

面外慣性力の算出方法は以下の通りである。

S_s 地震時の面外方向加速度（面外慣性力）

＝3次元 FEM モデルの S_d 地震時面外方向最大応答加速度×応答補正比率

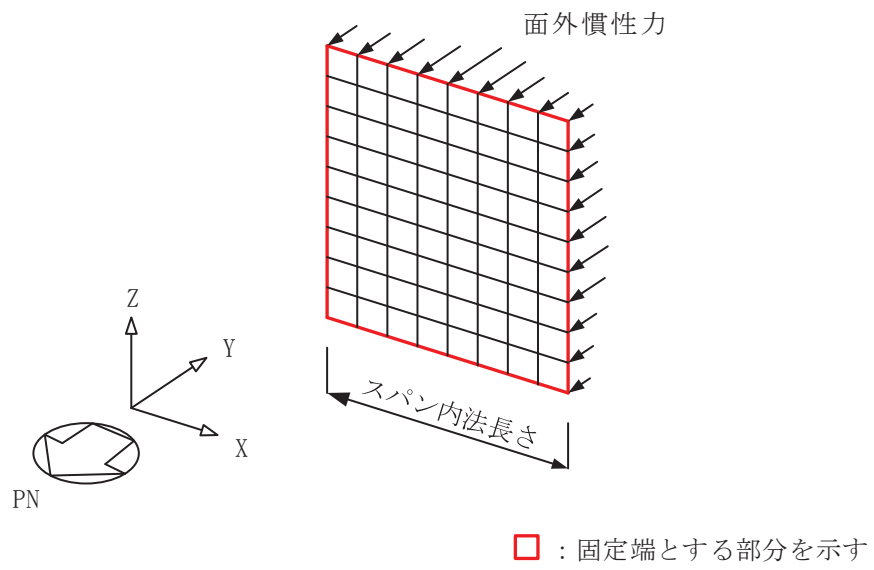
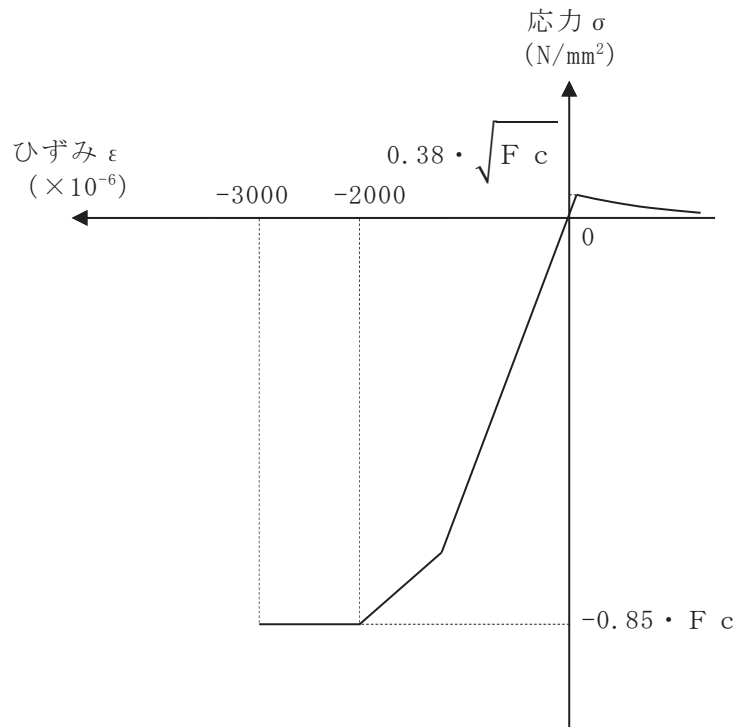


図 2-16 解析モデル



F_c : コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	$-0.85 \cdot F_c$ (「CCV規格 ^{*1} 」)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか(1987)による式 ($c = 0.4$) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \cdot \sqrt{F_c}$ (「RC規準 ^{*2} 」)

注：引張方向の符号を正とする。

注記*1：JSME SNE 1-2003 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

*2：日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
—許容力度設計法—

コンクリートの応力-ひずみ関係

図 2-17 材料構成則

2.6.2 応答補正比率の算出

材料物性の不確かさによる応答補正比率は、基本ケースの質点系モデルの最大応答加速度に対する材料物性の不確かさを考慮した質点系モデルの最大応答加速度の比により算出する。

S s 地震時に用いる質点系モデルによる最大応答加速度比は、S d 地震時の基本ケースと S s 地震時の基本ケースの比により算出する。

なお、北面及び南面の外壁の面外振動を評価するため、用いる最大応答加速度は、NS 方向モデルの O. P. 50.5m の質点（質点番号 6，質点番号 18）及び O. P. 33.2m の質点（質点番号 8，質点番号 13，質点番号 20）の最大応答加速度とする。

算出した応答補正比率を表 2-4 に示す。

表 2-4 応答補正比率

(a) 材料物性の不確かさによる応答補正比率

地震波	S d - D 2		備考
	50.5	33.2	
O. P. (m)	50.5	33.2	
①基本ケース 最大加速度応答 (cm/s ²)	2981	1228	
②材料物性の不確かさ 最大応答加速度 (cm/s ²)	3052	1279	地盤剛性 + σ 考慮モデルの応答
②/① 最大加速度応答比	1.02	1.04	同一ケースの倍率のためメッシュ分割に合わせて線形補間を行う

(b) 質点系モデルの S d 地震時に対する S s 地震時の最大加速度応答比

地震波	S d - D 2		備考
	50.5	33.2	
O. P. (m)	50.5	33.2	
③ S d 地震時 最大加速度応答 (cm/s ²)	2981	1228	基本ケース
④ S s 地震時 最大応答加速度 (cm/s ²)	4619	1988	基本ケース
④/③ 最大加速度応答比	1.55	1.62	同一ケースの倍率のためメッシュ分割に合わせて線形補間を行う

2.6.3 断面の評価部位の選定

代表部位とした北面壁及び南面壁における鉄筋応力度及び単位幅あたりの面外せん断力を表 2-5 に示す。断面の評価部位は鉄筋応力度及び面外せん断力が最大となる位置を選定する。なお、北面壁は O. P. 39.645m よりも下部の壁厚が 400mm、上部の壁厚が 250mm であることから、それぞれ選定する。

選定した断面の評価部位の応力コンター図を表 2-6 及び表 2-7 に示す。

表 2-5 鉄筋応力度及び単位幅あたりの面外せん断力 (S s - D 2)

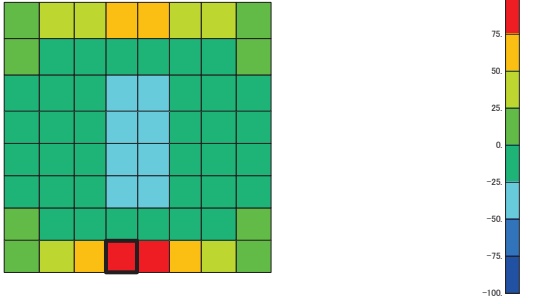
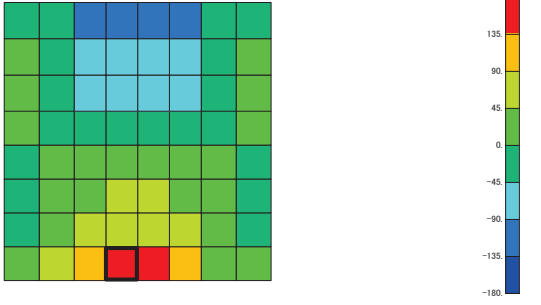
位置			鉄筋応力度 (N/mm ²)		面外せん断力 (kN/m)	
			σ_{tx}	σ_{ty}	Q _x	Q _y
北面壁	壁厚 250mm	RC - RD	22.7	8.79	73.5	49.4
		RD - RE	79.3	48.3	119	95.7
		RE - RF	84.4	55.8	126	107
		RF - RG	84.1	57.1	128	109
		RG - RH	83.2	51.7	124	99.4
		RH - RJ	20.1	8.31	68.8	47.7
	壁厚 400mm	RC - RD	17.4	4.27	124	38.3
		RD - RE	62.3	15.2	191	73.2
		RE - RF	60.0	15.5	189	73.1
		RF - RG	56.8	14.6	183	74.1
		RG - RH	61.0	15.7	194	67.8
		RH - RJ	14.1	3.78	107	35.1
南面壁	壁厚 250mm	RC - RD	12.6	8.49	62.2	52.5
		RD - RE	50.7	58.2	116	130
		RE - RF	70.3	81.4	150	169
		RF - RG	74.8	80.0	155	170
		RG - RH	59.3	57.4	124	131
		RH - RJ	25.2	16.9	92.0	79.0

注：ハッチングは、北面壁（壁厚 250mm）、北面壁（壁厚 400mm）及び南面壁における各通りの応答値のうち最大値を表示。

表 2-6 断面の評価部位の選定に関する応力コンター図（北面壁）

壁厚	応力	コンター図	
250mm	鉄筋 応力 度 $\sigma_t X$	(RE - RF)	<p>壁厚 250mm 壁厚 400mm</p> <p>□ : 最大応力度 84.4N/mm²</p>
	面外 せん 断力 Q_x	(RF - RG)	<p>壁厚 250mm 壁厚 400mm</p> <p>□ : 最大応力 128kN/m</p>
400mm	鉄筋 応力 度 $\sigma_t X$	(RD - RE)	<p>壁厚 250mm 壁厚 400mm</p> <p>□ : 最大応力度 62.3N/mm²</p>
	面外 せん 断力 Q_x	(RG - RH)	<p>壁厚 250mm 壁厚 400mm</p> <p>□ : 最大応力 194kN/m</p>

表 2-7 断面の評価部位の選定に関する応力コンター図（南面壁）

壁厚	応力	コンター図
250mm	鉄筋 応力 度 σ_{ty}	<p>(RE - RF)</p>  <p>□ : 最大応力度 81.4N/mm²</p>
	面外 せん 断力 Q_y	<p>(RF - RG)</p>  <p>□ : 最大応力 170kN/m</p>

2.6.4 断面の評価方法

基準地震動 S_s による面外慣性力により耐震壁に生じる面外方向の曲げモーメントに対し、応力解析モデルにモデル化した鉄筋の引張応力度及び圧縮応力度が許容限界を超えないことを確認する。許容限界としては、「技術基準解説書」に基づき鉄筋の F 値に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。

また、面外せん断力については、面外せん断力 Q が次式で算出する許容面外せん断力 Q_A を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 割増し係数 (1.0)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

2.6.5 断面の評価結果

断面の評価結果を表 2-8 に示す。

S s 地震時において、面外方向の曲げモーメントにより発生する壁主筋の応力度に対する検定値が 0.23、面外せん断力に対する検定値が 0.95 となり、許容限界を超えないことを確認した。

面外慣性力として、応答補正比率を考慮したうえで最大応答加速度の絶対値を用いていることや解析モデルとして保守的なモデルを用いていることなど、保守的な検討をしているため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、原子炉建屋の壁が有する耐震性への影響はないと判断できる。

表 2-8 断面の評価結果

検討ケース		S s 地震時		
検討位置		北面壁 (R10 通り)		南面壁 (R4 通り)
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		250 × 1000	400 × 1000	250 × 1000
有効せい d (mm)		170	315.5	170
配筋	縦筋 (鉄筋断面積)	D22@200 (1935mm ² /m)	D25@200 (2535mm ² /m)	D22@200 (1935mm ² /m)
	横筋 (鉄筋断面積)	D19@200 (1435mm ² /m)	D22@200 (1935mm ² /m)	D19@200 (1435mm ² /m)
曲げモーメント	方向	X 方向	X 方向	Y 方向
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	84.4	62.3	81.4
	許容限界 (N/mm ²)	379.5	379.5	379.5
	検定値	0.23	0.17	0.22
面外せん断力	方向	X 方向	X 方向	Y 方向
	発生せん断力 Q (kN/m)	128	194	170
	許容限界 (kN/m)	180	334	180
	検定値	0.72	0.59	0.95
判定		可	可	可

2.7 検討のまとめ

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁に対し、面外慣性力の影響について検討を行った。

3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施し、壁の面外方向の最大応答加速度分布を確認した結果、面外にはらむような加速度分布となっており、面外慣性力が発生していることを確認したが、水平1方向入力による最大応答加速度分布に対し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる最大応答加速度分布はおおむね同傾向であることを確認した。この結果は、壁の面外応答に与える影響は面外方向の地震動が支配的であり、水平直交方向及び鉛直方向地震動は面外応答に与える影響が小さいことを示している。

一方で、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁に対する面外慣性力が発生していることから、加速度の大きい原子炉建屋南北面の壁を部分的に抽出し、保守的な静的モデルに置き換えて、面外慣性力による面外応力に対する断面の評価を行った。その結果、 S_s 地震時における壁主筋の応力及び壁の面外せん断応力が許容限界を超えないことを確認した。面外慣性力として、応答補正比率を乗じたうえで最大応答加速度の絶対値を用いていることや解析モデルとして保守的なモデルを用いていることも踏まえると、面外慣性力により原子炉建屋の壁が有する耐震性への影響はないと判断できる。

以上のことから、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。

3. 局所応答による影響検討

添付書類「VI-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において応答特性②-1及び②-2により抽出されなかった原子炉建屋の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答による影響の有無について、弾性設計用地震動Sd-D2を用いて3次元FEMモデルを用いた精査を行った。

精査に当たっては、3次元FEMモデルで構築した原子炉建屋の地震応答解析モデルを用いて、水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し評価することで行った。精査の内容は、「別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析」に示す。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果、原子炉建屋が有する耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

したがって、水平2方向及び鉛直方向地震力を適切に算定するにあたっては、質点系モデルの地震応答解析結果を用いることで、簡易的かつ保守的に評価を行うことが可能であることを確認した。

4. 3次元 FEM モデルを用いた精査のまとめ

添付書類「VI-2-12 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において、応答特性②-1 「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出した原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁について、3 次元 FEM モデルを用いた精査を行った。3 次元 FEM モデルを用いた精査の結果、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁において、有している耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の考慮が必要な部位は抽出されなかった。

更に、応答特性②-1 及び②-2 により抽出されなかった原子炉建屋の建屋評価部位全般に対し、原子炉建屋を対象とした 3 次元 FEM モデルにより、水平 2 方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し検討することで、局所的な応答について精査を行った。精査の結果、有している耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

以上のことから、3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位については、有する耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。

5. 引用文献

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE) ,
1993
- (2) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫 : 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル,
コンクリート工学, Vol.25, No.9, 1987.9

別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析

目 次

1. 検討概要.....	別紙 3- 1
1.1 構造概要.....	別紙 3- 1
1.2 3次元 FEM モデルによる耐震性評価の方針.....	別紙 3-10
2. 3次元 FEM モデルの構築.....	別紙 3-12
2.1 原子炉建屋の3次元 FEM モデル.....	別紙 3-12
2.1.1 モデル化の基本方針.....	別紙 3-12
2.1.2 荷重.....	別紙 3-19
2.1.3 建屋－地盤の相互作用.....	別紙 3-19
2.2 固有値解析.....	別紙 3-21
2.3 観測記録を用いた検討.....	別紙 3-23
3. 3次元 FEM モデルによる評価.....	別紙 3-24
3.1 地震応答解析の概要.....	別紙 3-24
3.2 建屋応答性状の把握.....	別紙 3-28
3.2.1 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響.....	別紙 3-28
3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響.....	別紙 3-31
3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響.....	別紙 3-34
3.2.4 まとめ.....	別紙 3-52
3.3 建屋耐震性評価への影響検討.....	別紙 3-53
3.3.1 検討方針.....	別紙 3-53
3.3.2 3次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討.....	別紙 3-53
3.3.3 3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討.....	別紙 3-62
3.4 床応答への影響検討.....	別紙 3-93
4. まとめ.....	別紙 3-97

1. 検討概要

建屋の 3 次元的応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から、原子炉建屋について 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行い、建屋の局所的な応答を検討する。また、3 次元 FEM モデルによる挙動が、建屋及び機器・配管系の有する耐震性に及ぼす影響を検討する。

1.1 構造概要

原子炉建屋は、地下 3 階、地上 3 階建で、基礎底面からの高さは 64.6m であり、平面は下部で 77.0m(NS 方向)×84.0m(EW 方向)^{*1}のほぼ正方形である。建屋の構造は鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)である。

原子炉建屋の中央部には、平面が 66.0m×53.0m^{*1}(最下階)で地下 3 階、地上 3 階建の原子炉建屋原子炉棟(以下「原子炉棟」という。)があり、その周囲には地下 3 階、地上 2 階建の原子炉建屋付属棟(以下「付属棟」という。)が配置され、これらは同一基礎版上に設置された一体構造である。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は、厚さ 6.0m のべた基礎で、支持地盤である砂岩及び頁岩上に設置されている。

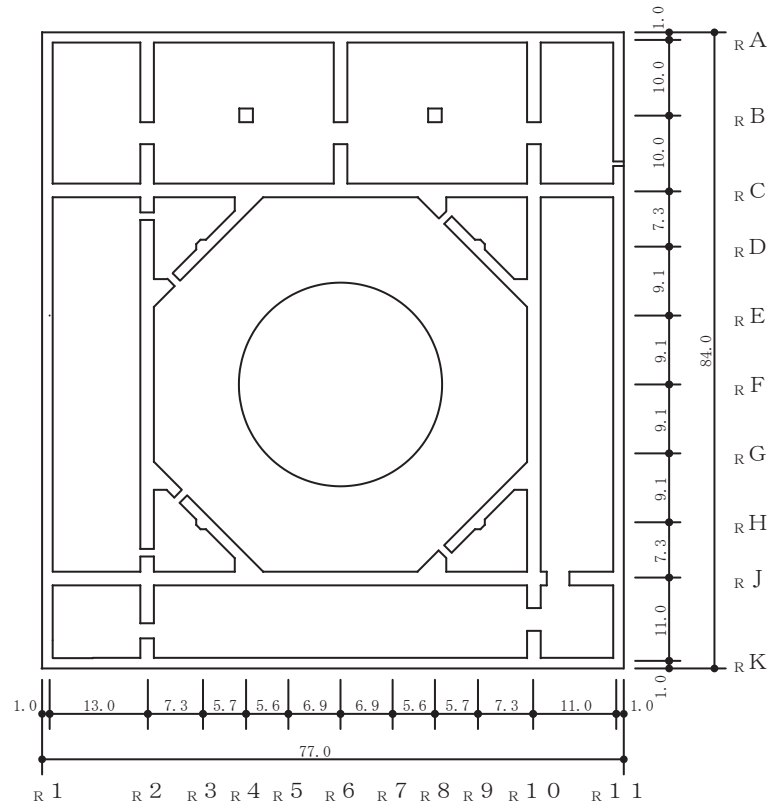
原子炉建屋の主たる耐震要素は、原子炉格納容器のまわりを囲んでいる 1 次しゃへい壁(以下「シェル壁：SW」という。)、原子炉棟の外壁(以下「内部ボックス壁：IW」という。)及び付属棟の外壁(以下「外部ボックス壁：OW」という。)である。

なお、燃料取替床 (O.P. ^{*2}33.2m) には使用済燃料プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

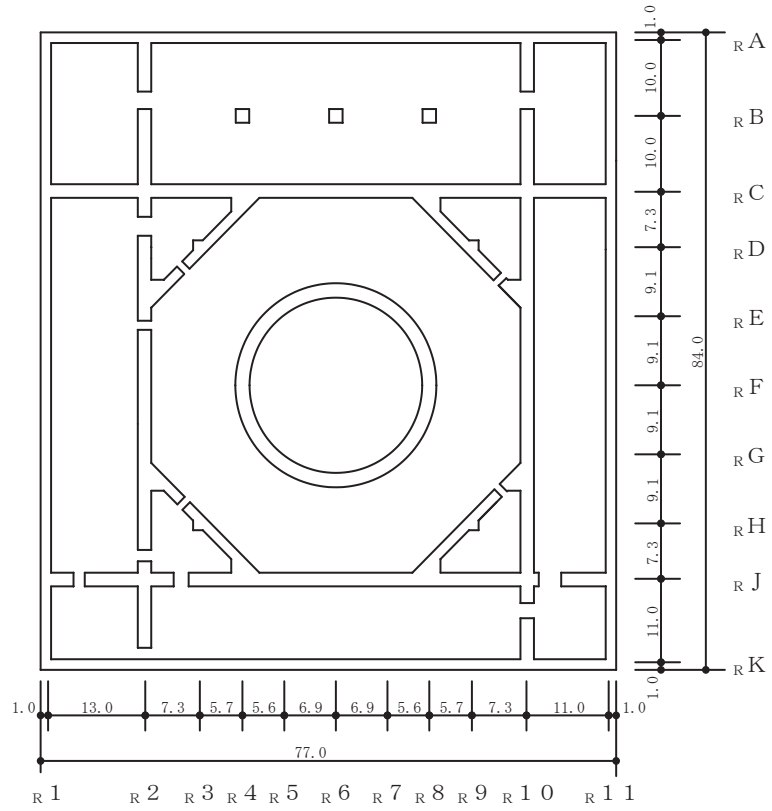
注記*1 : 建屋寸法は壁外面押えとする。

*2 : O.P. は女川原子力発電所工事事用基準面であり、東京湾平均海面 (T.P.)-0.74m である。



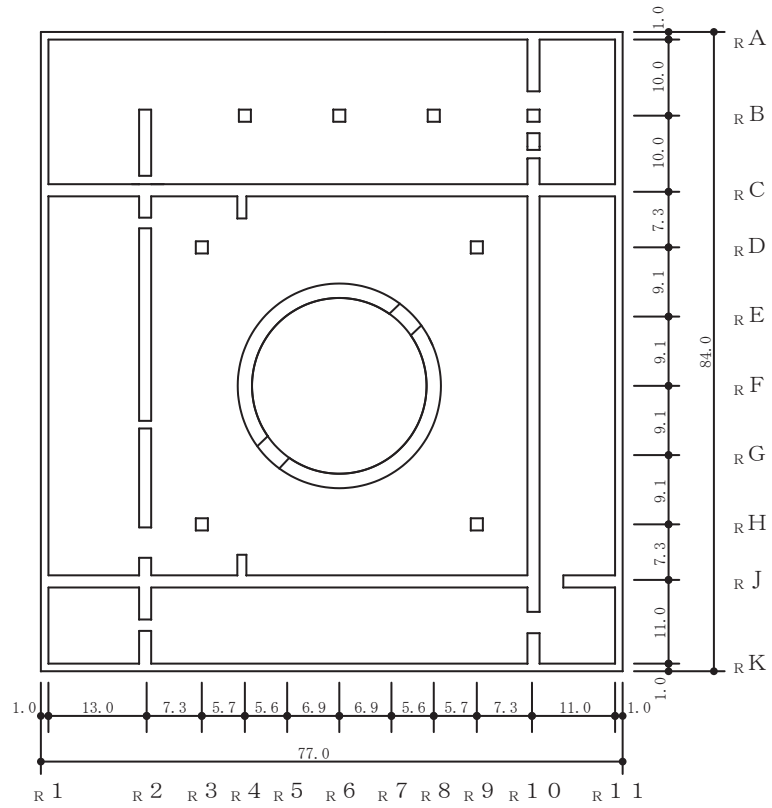
(単位：m)

図 1-1(1) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. -8.1m)



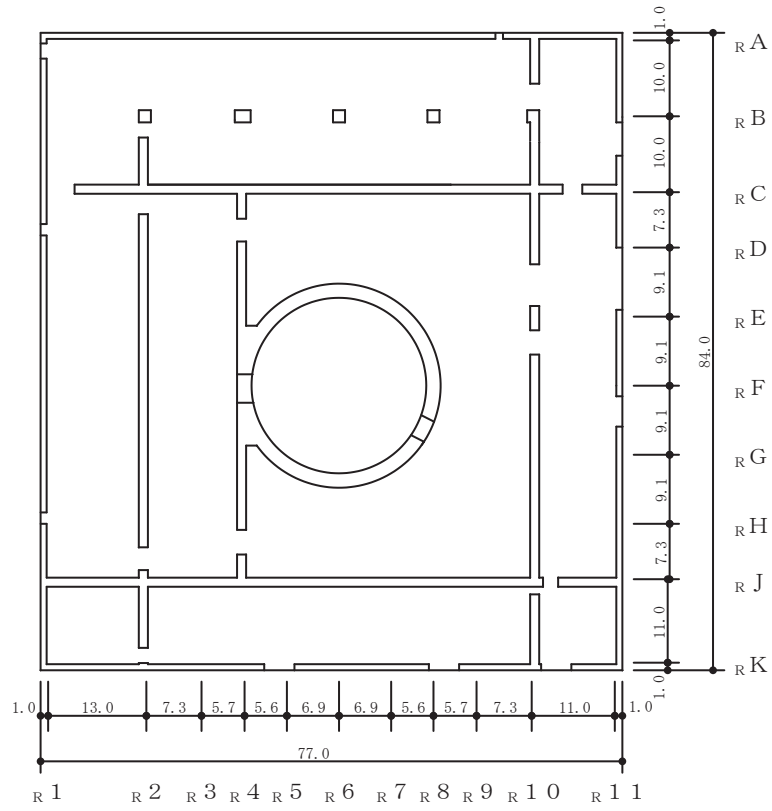
(単位：m)

図 1-1(2) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. -0.8m)



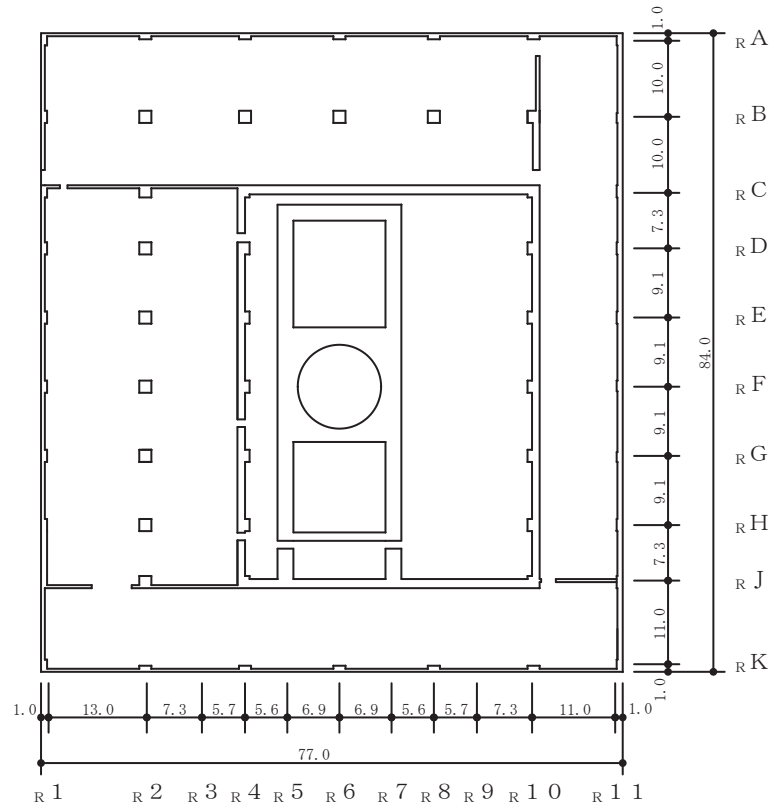
(単位：m)

図 1-1(3) 原子炉建屋の概略平面図 (O.P. 6.0m)



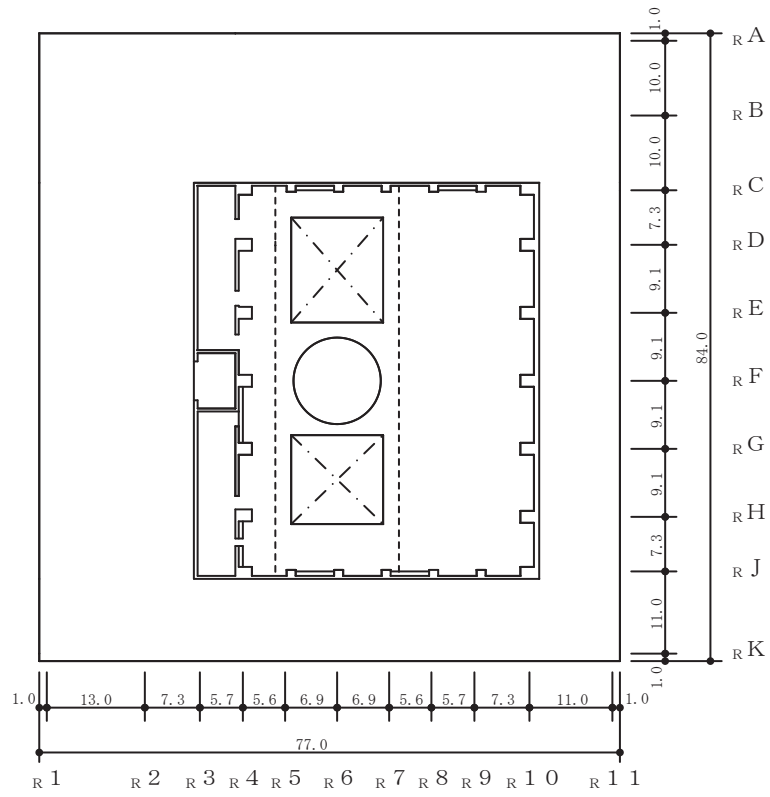
(単位：m)

図 1-1(4) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 15.0m)



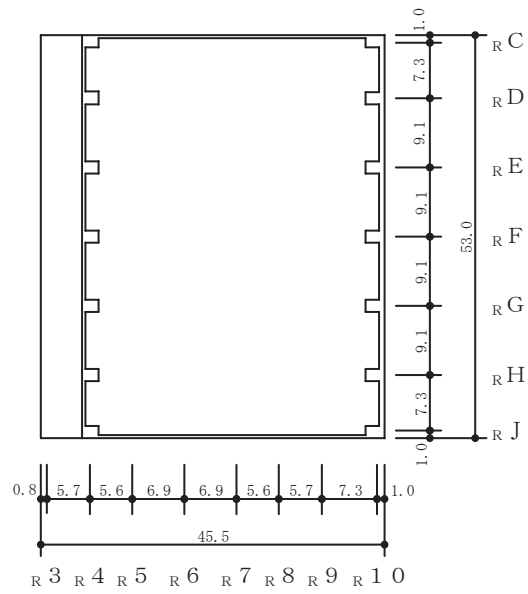
(単位：m)

図 1-1(5) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 22.5m)



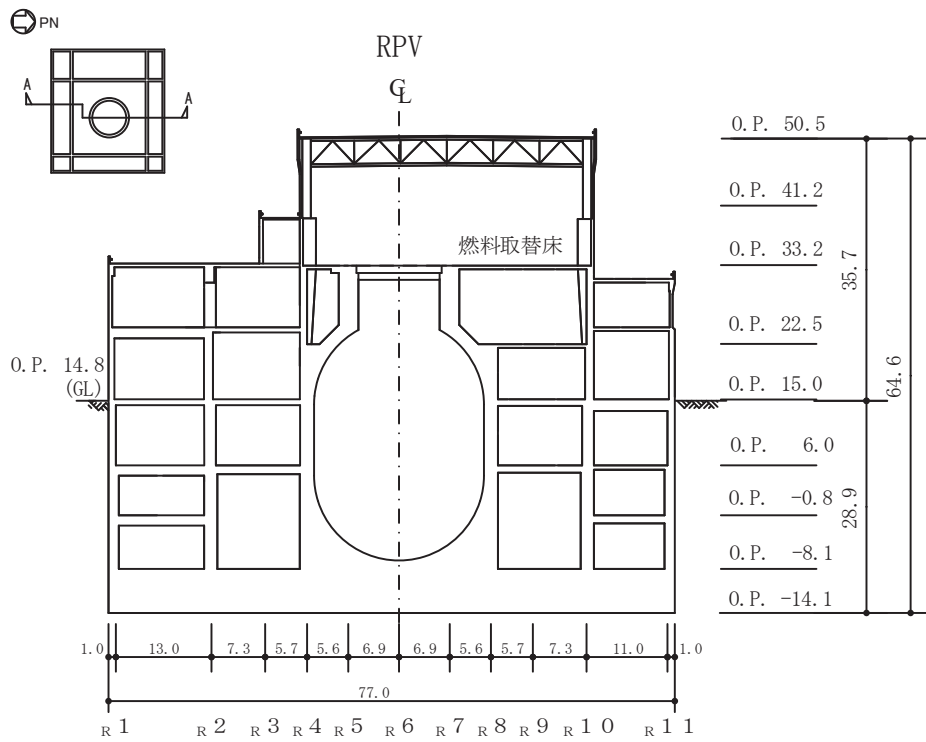
(単位 : m)

図 1-1(6) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 33. 2m)



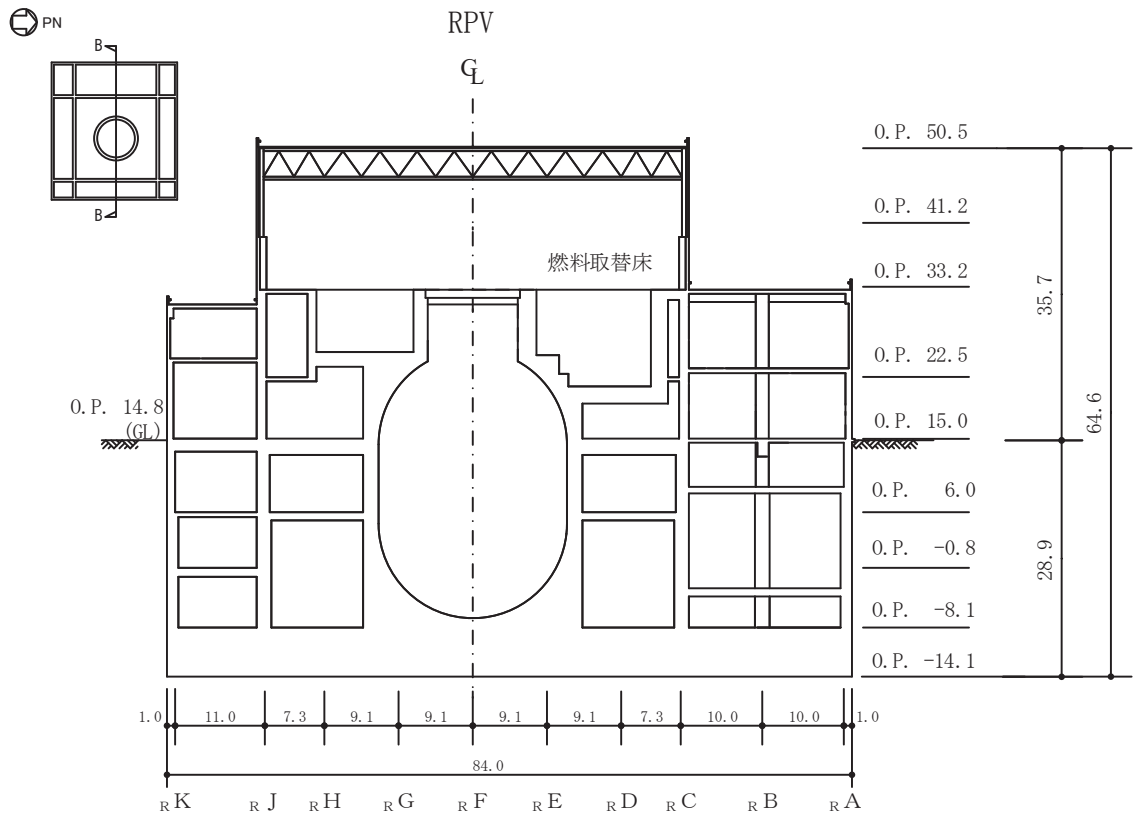
(単位：m)

図 1-1(7) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 41. 2m)



(単位 : m)

図 1-2(1) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



(単位 : m)

図 1-2(2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

1.2 3次元 FEM モデルによる耐震性評価の方針

原子炉建屋について 3次元 FEM モデルを構築し、固有値解析や観測記録を用いた解析結果から、同モデルの妥当性を確認する。そのうえで、3次元的な応答特性を把握する。また、弾性設計用地震動 S d - D 2 による地震応答解析を行い、建屋の平均的な応答や局所的な応答を把握する。更に、3次元的な応答特性から建屋及び機器・配管系の耐震評価への影響を確認する。

3次元 FEM モデルのモデル化条件を表 1-1 に示す。質点系モデルでは床の柔性を考慮しているが、3次元 FEM モデルも床の柔性を考慮したモデルとなっている。

表 1-1 3次元 FEM モデルのモデル化条件

モデル	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定*
3次元 FEM モデル	柔性を考慮	相互作用考慮 (底面地盤のみ)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正

3次元 FEM モデルは、床の柔性を考慮し、地盤のモデル化に底面地盤の相互作用を考慮し、壁部分に質点系モデルのシミュレーション解析で評価した等価剛性を適用することで、建屋の実情を模擬したモデルとしている。なお、本資料で検討する 3次元 FEM モデルは、補足説明資料「補足-620-1 別紙 5 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析（原子炉建屋）」に示した 3.11 地震シミュレーション解析に用いた 3次元 FEM モデルに対して、3.11 地震後に実施した燃料取替床上部壁の耐震補強部材の追加を反映したモデルとしている。

3次元 FEM モデルによる耐震性評価フローを図 1-3 に示す。

3次元 FEM モデルによる地震応答解析は、1方向入力により行う。また、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討として 3 方向同時入力による応答評価も併せて実施する。なお、3 方向同時入力による各方向の応答は、1 方向入力における各成分の応答を時刻歴で足し合わせるにより算出しており、詳細は「3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響」にて示す。

また、解析には解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

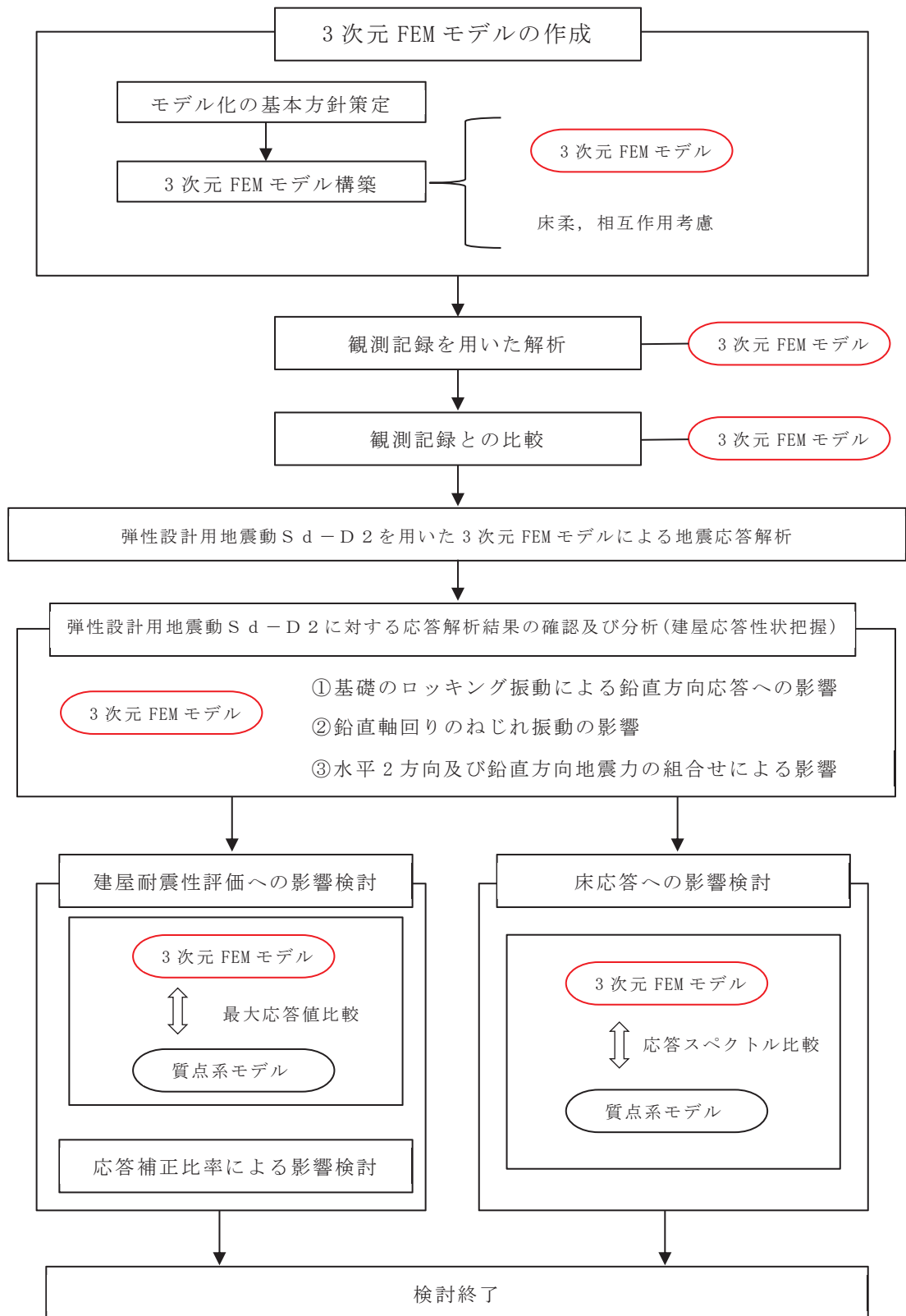


図 1-3 3次元 FEM モデルによる耐震性評価フロー

2. 3次元 FEM モデルの構築

2.1 原子炉建屋の 3次元 FEM モデル

2.1.1 モデル化の基本方針

原子炉建屋の 3次元 FEM モデルを図 2-1 に、各階のモデル図を図 2-2 に示す。

モデル化の範囲は、原子炉建屋、使用済み燃料プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピット及び基礎とする。

3次元 FEM モデルで設定する各部材の要素タイプは、以下のとおりである。

床スラブ・壁はシェル要素（約 44200 要素）とし、耐震壁以外の主要な壁もモデル化する。基礎版は、ソリッド要素（約 13900 要素）とする。柱、はり、屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの上下弦材、サブビームについてはビーム要素（約 3000 要素）とする。屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの斜材・束材、水平ブレースはトラス要素（約 500 要素）とする。

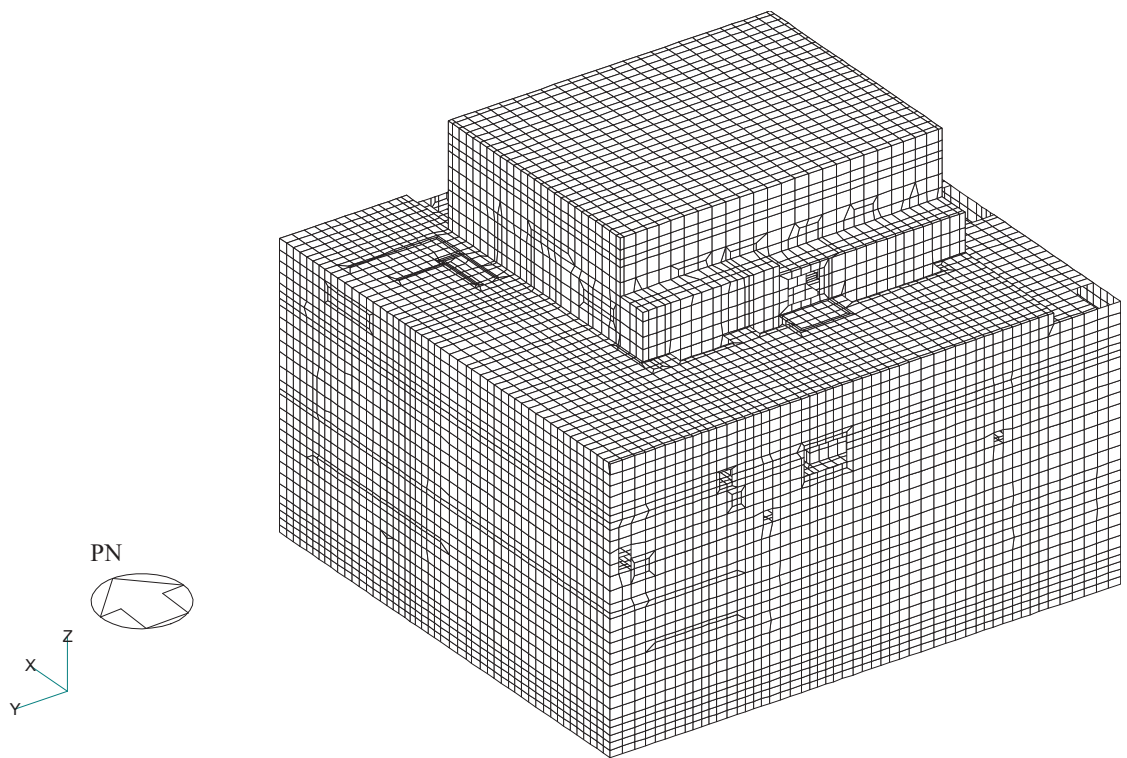
また、壁・床の開口部については、主要な部分のみモデル化する。

要素の大きさは、各スラブの上面レベルと対応する位置に節点を設け、鉛直方向にはフロア間を 3 分割以上、水平方向は通り芯間を 3 分割以上を目安とする。

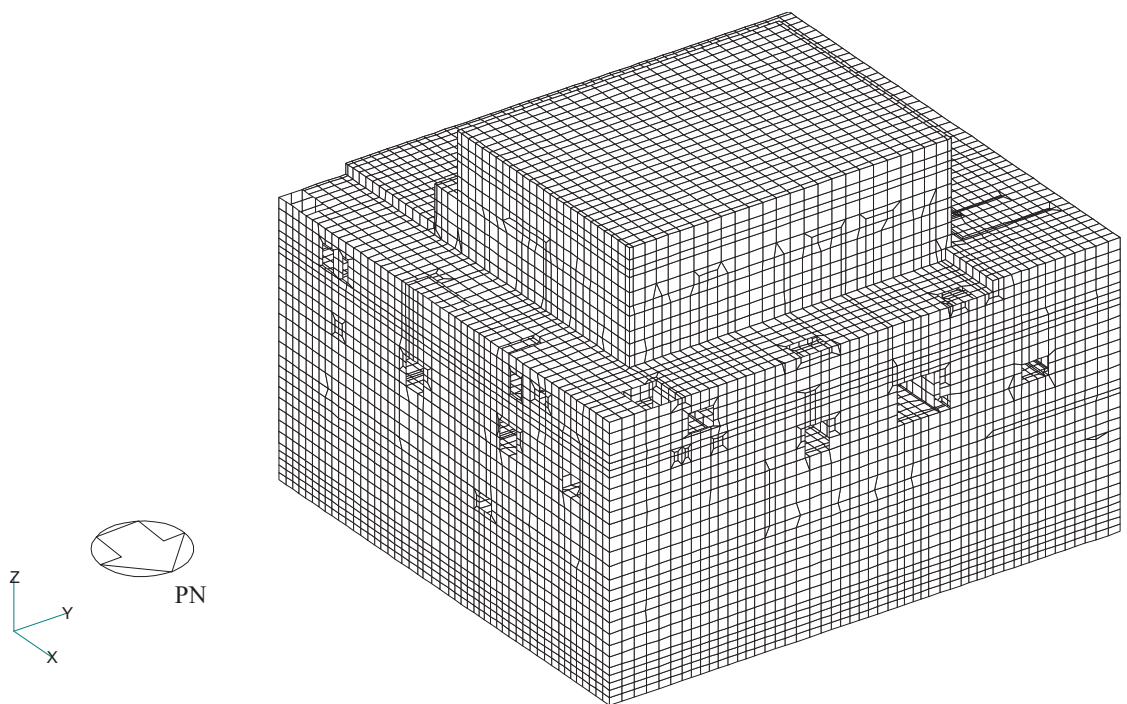
部材の接合部における剛域の設定は行わない。また、ビーム要素は柱・はりの壁・床と重複する部分の断面も含めて断面性能としてモデル化している。

使用材料の物性値を表 2-1 に示す。

コンクリートの強度及びヤング係数並びに地盤物性については、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における原子炉建屋の設定値と同一である。

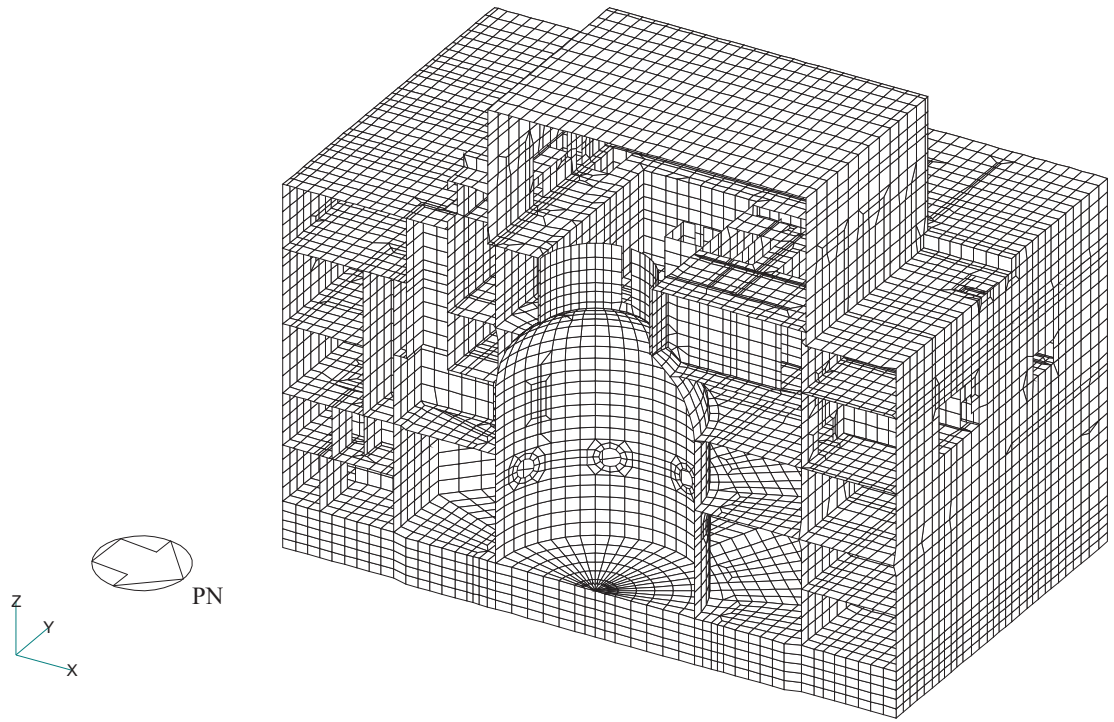


(a) 建屋全景（南西面）

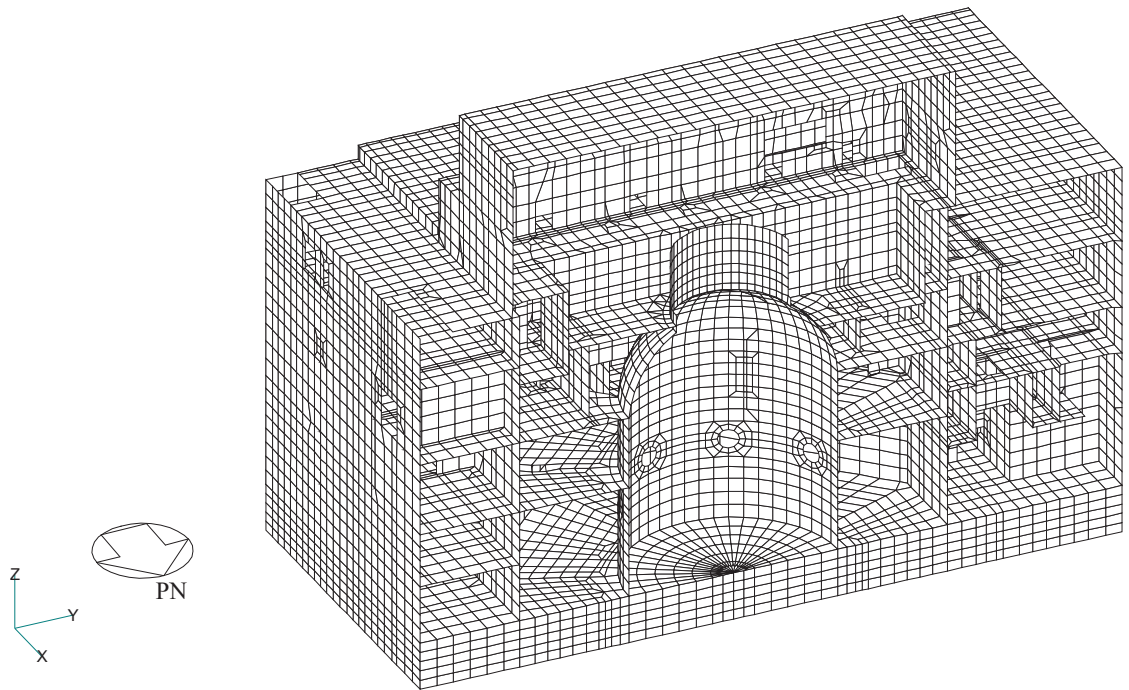


(b) 建屋全景（北東面）

図 2-1(1) 3次元 FEM モデル図 (1/2)

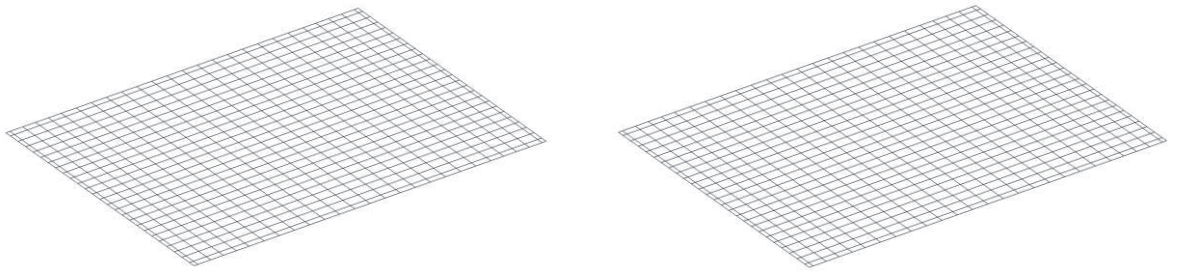


(c) NS 断面図

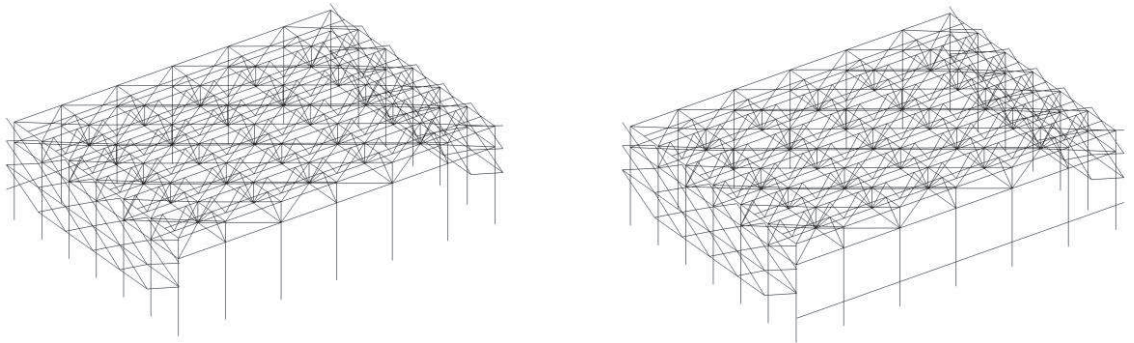


(d) EW 断面図

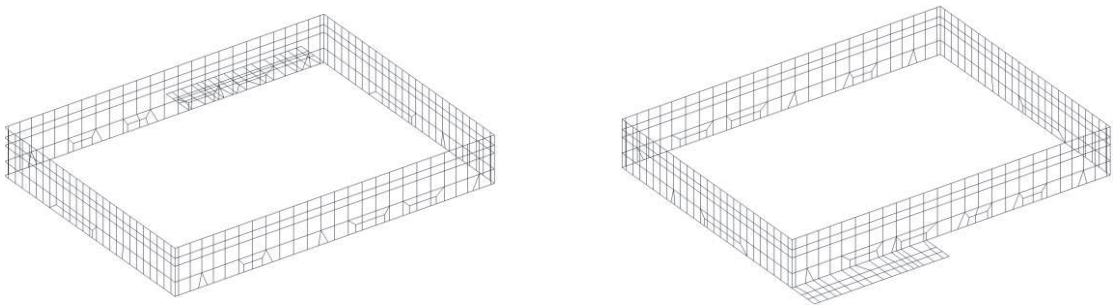
図 2-1(2) 3次元 FEM モデル図 (2/2)



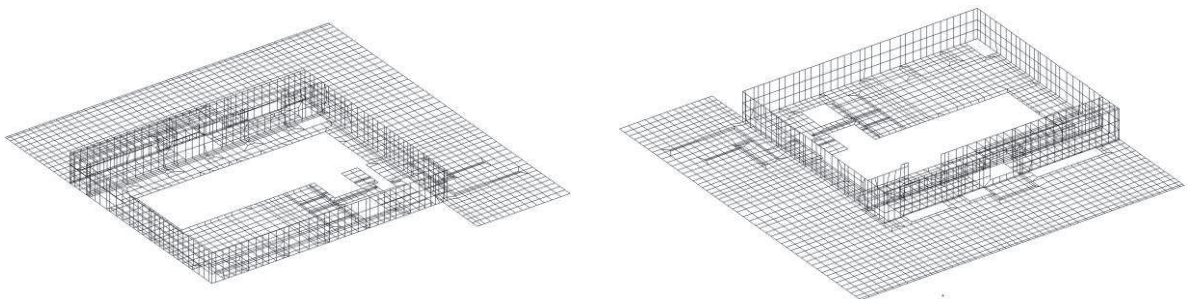
(a) O. P. 50.5m (屋根スラブ)



(b) O. P. 33.2m~O. P. 50.5m (柱, はり及び屋根トラス)

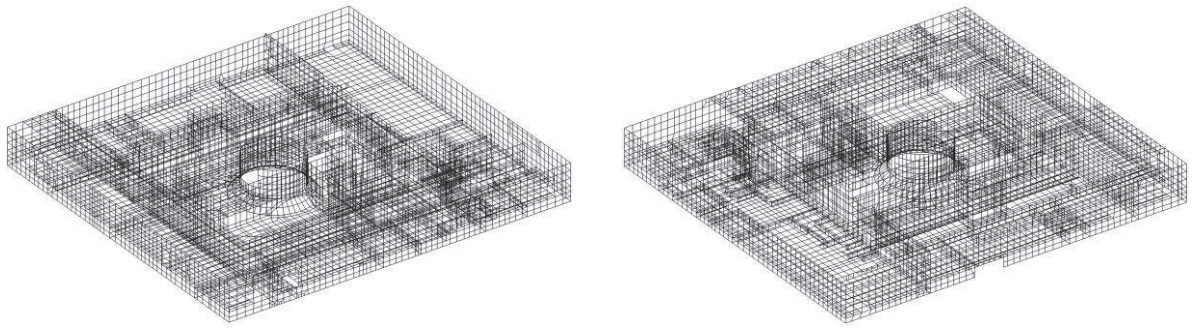


(c) O. P. 41.2m~O. P. 50.5m

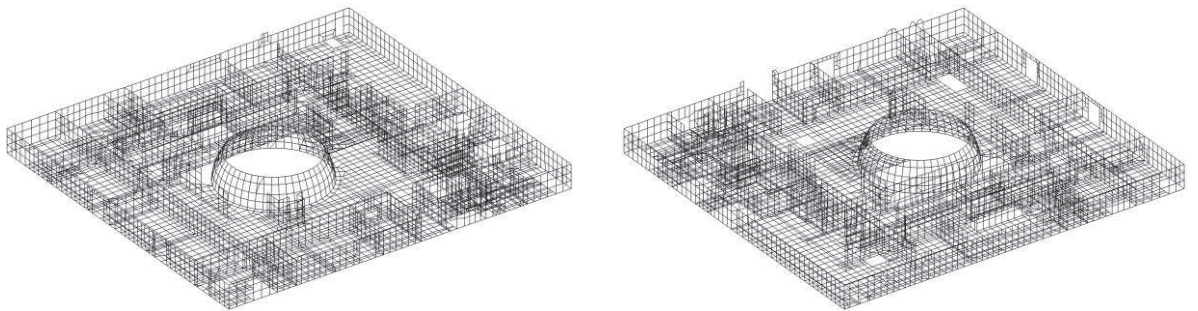


(d) O. P. 33.2m~O. P. 41.2m

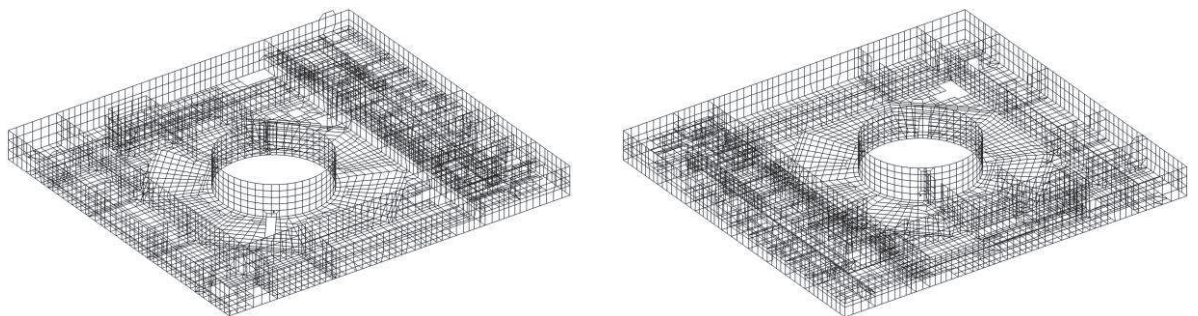
図 2-2(1) 各階の 3 次元 FEM モデル図 (1/3)



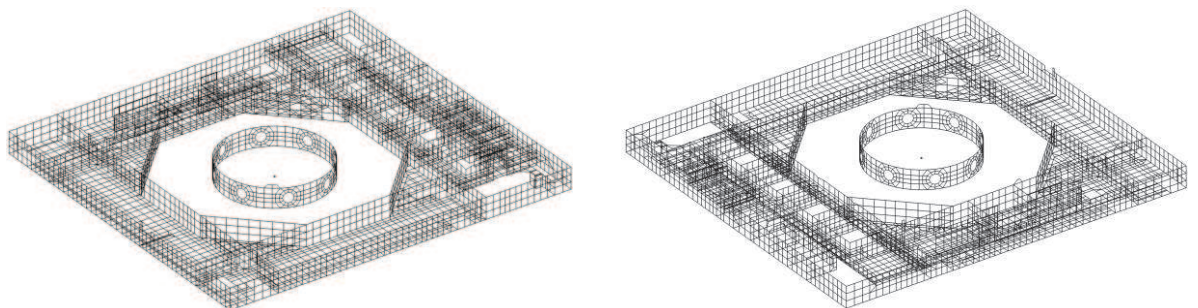
(e) O. P. 22.5m~O. P. 33.2m



(f) O. P. 15.0m~O. P. 22.5m

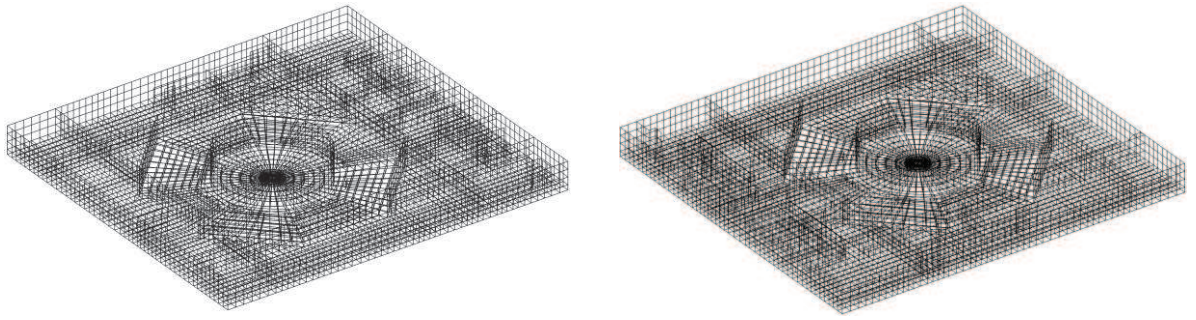


(g) O. P. 6.0m~O. P. 15.0m



(h) O. P. -0.8m~O. P. 6.0m

図 2-2(2) 各階の 3 次元 FEM モデル図 (2/3)



(i) O. P. -8.1m~O. P. -0.8m

図 2-2(3) 各階の 3 次元 FEM モデル図 (3/3)

表 2-1 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部 燃料取替床上部 既設部	鉄筋コンクリート コンクリート： F c = 32.4 (N/mm ²) (F c = 330 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.65 × 10 ⁴	1.14 × 10 ⁴	5
建屋部 燃料取替床上部 追設部	鉄筋コンクリート コンクリート： F c = 33 (N/mm ²) 鉄筋：SD345	2.52 × 10 ⁴	1.05 × 10 ⁴	5
建屋部 燃料取替床下部 既設部	鉄筋コンクリート コンクリート： F c = 32.4 (N/mm ²) (F c = 330 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.65 × 10 ⁴	1.14 × 10 ⁴	5
屋根トラス	鉄骨：SS41 (SS400 相当) SM41A (SM400A 相当)	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2
追設ブレース	鉄骨：SN400B SN490B BCR295	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2

2.1.2 荷重

固定荷重，積載荷重及び機器・配管荷重を考慮する。各部について，質点系モデルの重量と整合するように重量を調整する。このうち，炉内構造物については，質点系モデルでは重量として考慮しており，建屋の3次元FEMモデルにおいても重量として考慮する。

2.1.3 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの基礎底面地盤ばねと整合するよう，地盤をばね要素でモデル化することで考慮する。

基礎底面地盤ばねについては，質点系モデルで考慮したスウェイ，ロッキング及び鉛直ばねの値を基に，3次元FEMモデルの基礎底面の各節点位置に，節点の支配面積に応じて離散化した値で割り当てる。水平方向加振時のロッキングばねは，鉛直ばねとして設定する。詳細な離散化方法を以下に示す。

地盤ばね成分が底面・並進及び底面・鉛直の場合は，各方向の地盤ばね定数を基礎底面積で除した地盤反力係数に対し，各節点の支配面積を乗じた値のばねを各節点に離散化したばねとして設定する。また，地盤ばね成分が底面・回転の場合（水平方向加振時のみ）は，水平2方向の地盤ばね定数を基礎底面の断面二次モーメントで除した鉛直次元の地盤反力係数に対し，各節点の支配面積を乗じた値のばねを各節点に離散化したばねとして設定する。一般に，水平2方向の回転ばねに等価な鉛直ばねの値は異なる値となるが，2方向同時入力解析を行うため，2方向の等価な鉛直ばねの平均値を設定値とする。

減衰係数は地盤ばね定数と同様の方法で各節点に離散化した減衰要素としてモデル化する。各地盤ばね諸元を表2-2に示す。

表 2-2 地盤ばね定数と減衰係数

(a) 底面・並進

方向	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
NS	1.742×10^9	2.351×10^7
EW	1.727×10^9	2.309×10^7

(b) 底面・回転

方向	ばね定数 (kN・m/rad.)	減衰係数 (kN・m・s/rad.)
NS	2.994×10^{12}	5.100×10^9
EW	3.386×10^{12}	6.732×10^9

(c) 底面・鉛直

ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
2.350×10^9	4.605×10^7

2.2 固有値解析

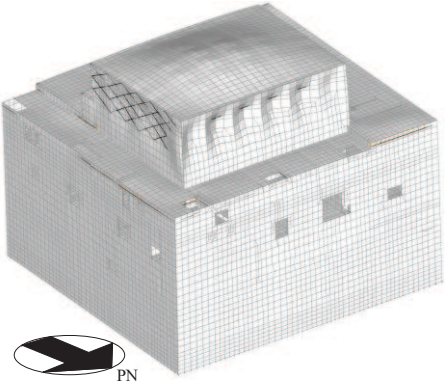
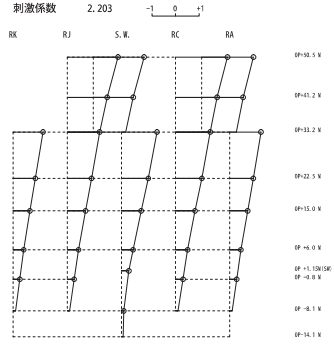
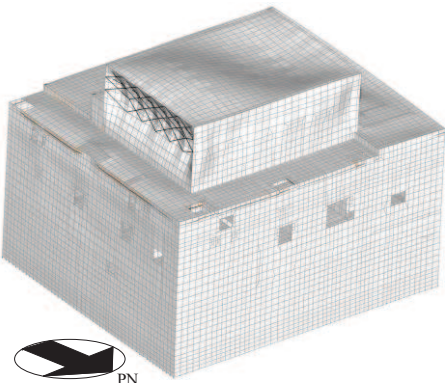
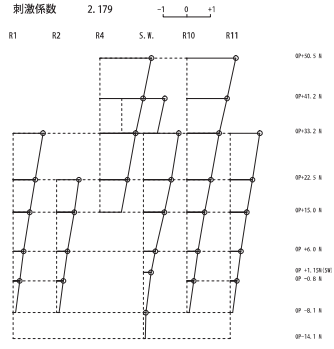
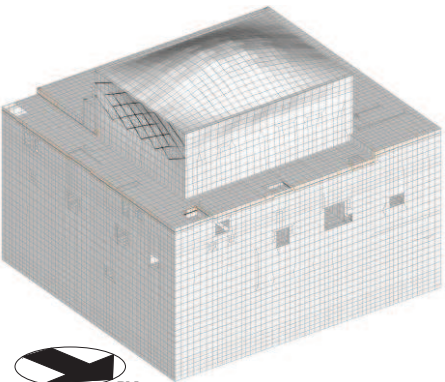
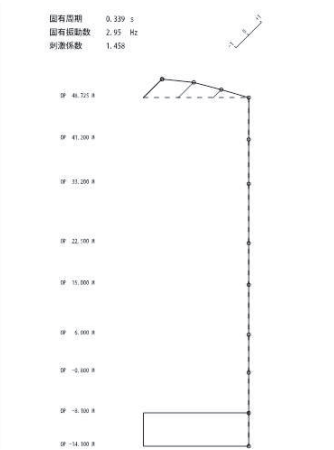
3次元 FEM モデルについて、固有値解析を実施した。固有値解析結果を表 2-3 に、質点系モデル及び 3次元 FEM モデルの固有モード比較を表 2-4 に示す。

固有値解析の結果について、質点系モデルと 3次元 FEM モデルは、いずれの方向についても概ね整合している。

表 2-3 固有値解析結果

方向	振動数 (Hz)	
	3次元 FEM モデル	質点系モデル
NS	4.10	4.21
EW	4.28	4.36
UD	3.74	2.95

表 2-4 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルの固有モード比較

方向	3次元 FEM	質点系モデル
NS		<p>固有周期 0.237 s 固有振動数 4.21 Hz 刺激係数 2.203</p>  <p>RK RJ S.W. RC RA</p> <p>0F+0.5 V 0F+1.2 V 0F+3.2 V 0F+2.5 V 0F+5.0 V 0F+0.0 V 0F+1.100/0E 0F-0.8 V 0F-8.1 V 0F-14.1 V</p>
	4.10 Hz	4.21 Hz
EW		<p>固有周期 0.230 s 固有振動数 4.36 Hz 刺激係数 2.179</p>  <p>R1 R2 R4 S.W. R10 R11</p> <p>0F+0.5 V 0F+1.2 V 0F+3.2 V 0F+2.5 V 0F+5.0 V 0F+0.0 V 0F+1.100/0E 0F-0.8 V 0F-8.1 V 0F-14.1 V</p>
	4.28 Hz	4.36 Hz
UD		<p>固有周期 0.399 s 固有振動数 2.95 Hz 刺激係数 1.438</p>  <p>0F 40.700 H 0F 41.000 H 0F 31.000 H 0F 22.000 H 0F 15.000 H 0F 6.000 H 0F -6.000 H 0F -14.000 H 0F -14.000 H</p>
	3次元 FEM	2.95 Hz

2.3 観測記録を用いた検討

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下「3.11 地震」という。）に対する、3 次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析結果については、補足説明資料「補足-620-1 別紙 5 3 次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析（原子炉建屋）」に詳細を記載している。

3 次元 FEM モデルによる解析結果は、建屋内の各部に配置された地震計による地震観測記録との比較で、応答スペクトルの形状をよく再現できていることを確認しており、以降の原子炉建屋の 3 次元応答性状の影響検討については、3 次元 FEM モデルを用いることとする。

なお、上記のシミュレーション解析に用いたモデルに対し、以降の原子炉建屋の 3 次元応答性状の影響検討に用いる 3 次元 FEM モデルは、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す質点系モデルとの整合性の観点から、以下の項目について変更している。

- ①せん断耐力の向上を目的とした耐震補強工事において追設した部材として、内部ボックス壁と同じ構面において 3 階（0.P. 33.2m～0.P. 41.2m）には耐震壁を、クレーン階（0.P. 41.2m～0.P. 50.5m）には鉄骨ブレースを地震応答解析モデルに反映している。
- ②コンクリートの減衰定数は 7% から 5% としている。

3. 3次元 FEM モデルによる評価

3.1 地震応答解析の概要

原子炉建屋の3次元的な応答性状を把握し、それらが建屋耐震性評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、3次元 FEM モデルを用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施する。

3次元 FEM モデルによる地震応答解析は弾性応答解析としていることから、地震動は弾性設計用地震動 S_d とし、全周期帯の応答が大きく、建屋への影響も大きい弾性設計用地震動 $S_d - D2$ を用いる。(添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」参照)

弾性設計用地震動 $S_d - D2$ に対する建屋基礎底面の地盤応答を地盤ばねを介して入力し、3次元的な応答性状の把握を行う。図 3-1 に 3次元 FEM モデルによる地震応答解析の概念を示す。

水平2方向及び鉛直方向に同時に地震動を入力する場合は、水平方向に弾性設計用地震動 $S_d - D2$ の水平方向地震波（以下「 $S_d - D2 H$ 」という。）及び弾性設計用地震動 $S_d - D2$ の位相違い波*（以下「 $S_d - D2 p$ 」という。）を、UD方向に弾性設計用地震動 $S_d - D2$ の鉛直方向地震波（以下「 $S_d - D2 V$ 」という。）を入力する。弾性設計用地震動 $S_d - D2 H$ 、 $S_d - D2 p$ 及び $S_d - D2 V$ の模擬地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-2 に示す。

3次元 FEM モデルによる地震応答解析は、NS方向、EW方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、NS方向、EW方向及び鉛直方向の3方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

注記*： $S_d - D2 H$ の設計用応答スペクトルに適合するが、 $S_d - D2 H$ とは位相特性が異なる地震波である。

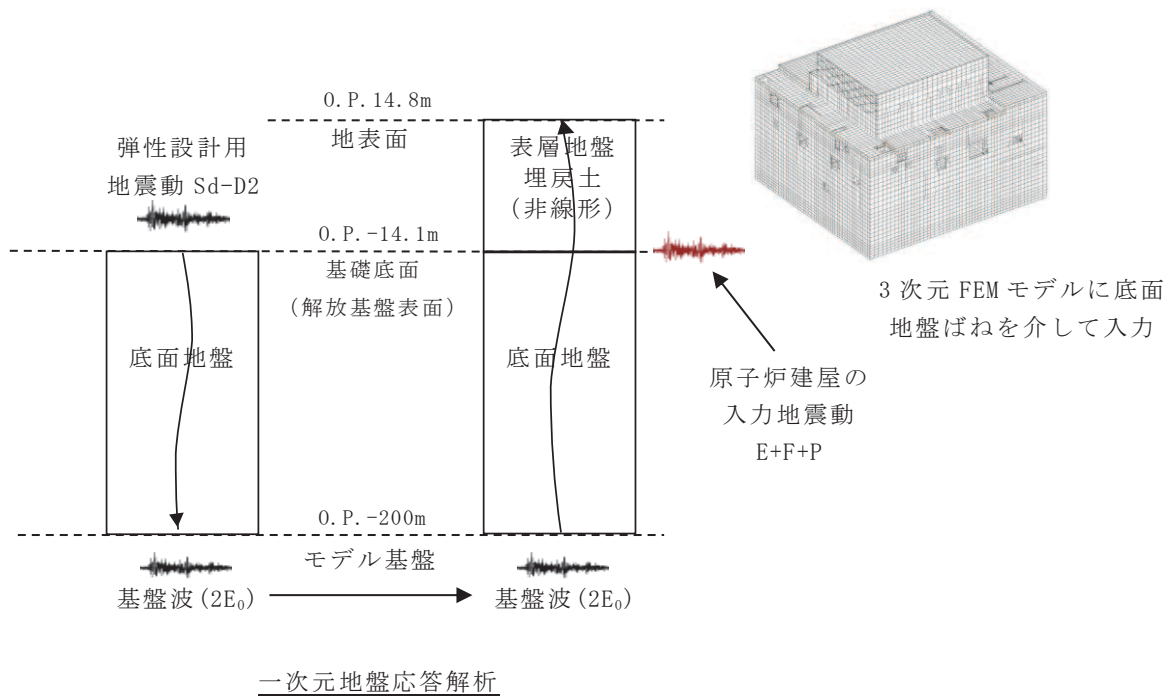
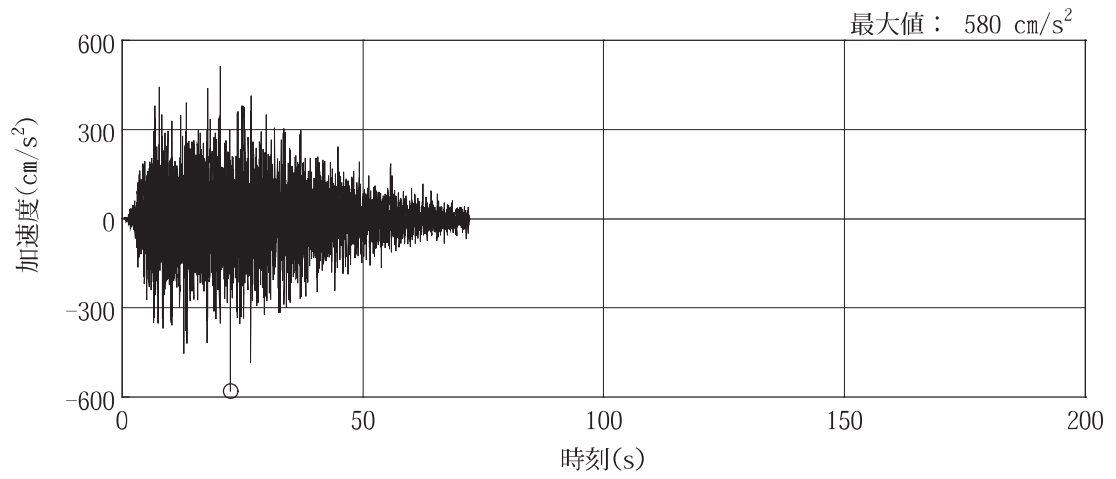
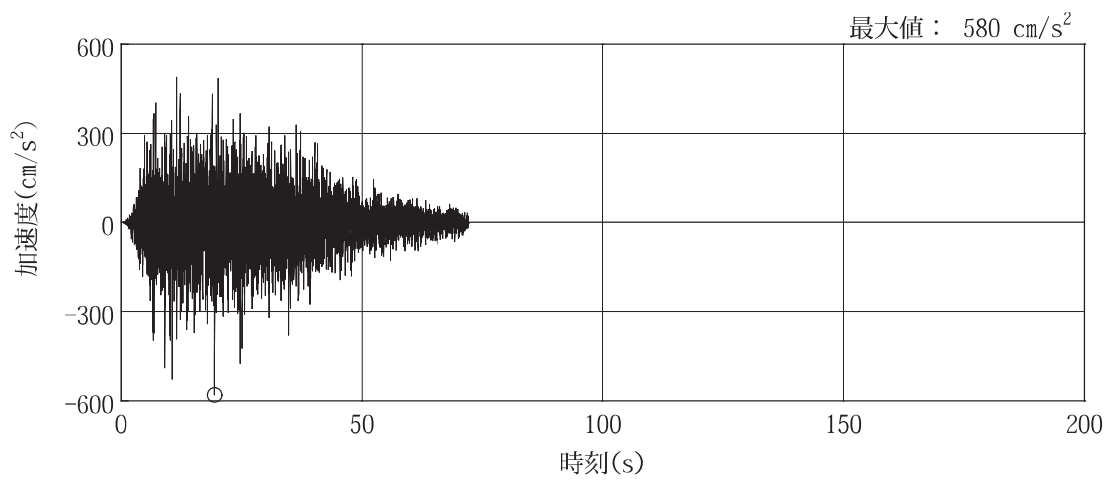


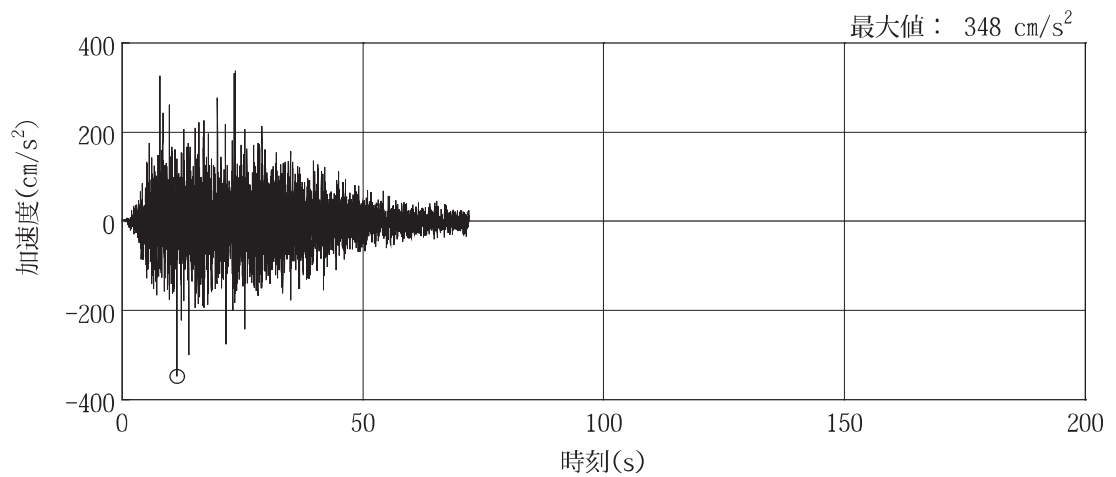
図 3-1 3次元 FEM モデルによる地震応答解析の概念



(a) S d - D 2 H

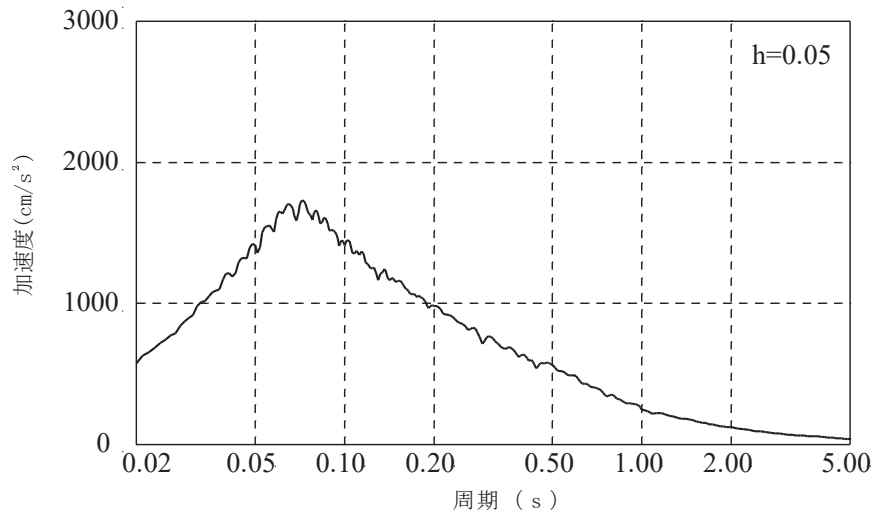


(b) S d - D 2 p

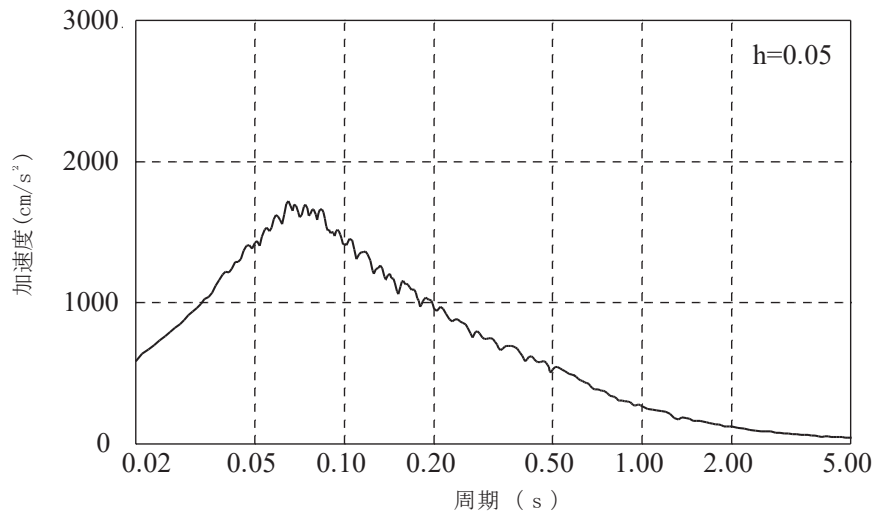


(c) S d - D 2 V

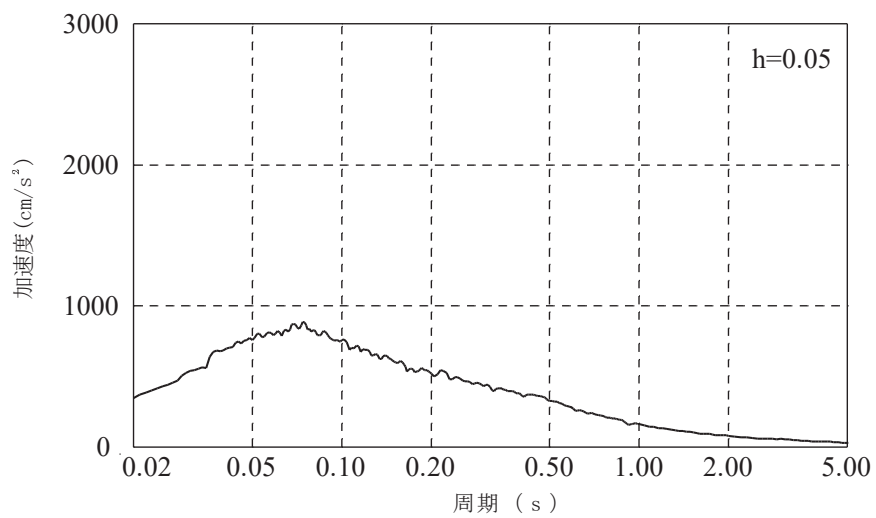
図 3-2 検討に用いる地震波の加速度時刻歴波形



(a) S d - D 2 H



(b) S d - D 2 p



(c) S d - D 2 V

図 3-3 検討に用いる地震波の加速度応答スペクトル

3.2 建屋応答性状の把握

3次元 FEM モデルを用いて、図 1-3 の評価フローに基づき、建屋応答特性の把握を行う。具体的には、以下の 3 点の応答特性について、3次元 FEM モデルを用いた分析・考察を行う。

- ・基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響
3次元 FEM モデルの水平入力時の基礎版端部の鉛直応答で比較する
- ・鉛直軸回りのねじれ振動の影響
3次元 FEM モデルの加振方向及び直交方向の応答で比較する
- ・水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響
3次元 FEM モデルの水平 1 方向入力と 3 方向同時入力と比較する

3.2.1 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響

基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響は、3次元 FEM モデルの鉛直入力時の鉛直方向応答と、水平方向と鉛直方向の同時入力による鉛直方向応答を比較することで検討する。

基礎のロッキング振動を確認するための応答の評価点は、ロッキング振動の影響が表れやすいと考えられる建屋端部の評価点 No. 120 及び No. 11 (O.P. -8.1m) を抽出した。

評価点 No. 120 は、NS 方向加振によりロッキングの影響が表れ、EW 方向加振時はロッキング振動の影響がほとんど表れない部位である。また、評価点 No. 11 は、EW 方向加振によりロッキングの影響が表れ、NS 方向加振時はロッキング振動の影響がほとんど表れない部位である。このため、これら 2 点について、NS 方向加振時と EW 方向加振時の鉛直応答を比較することにより、基礎のロッキング振動の影響について検討する。

検討結果を表 3-1 に示す。表 3-1 より、いずれの評価点においても NS 方向加振時及び EW 方向加振時の応答にほとんど差が見られない。従って、ロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。

表 3-1(1) 基礎版端部評価点の鉛直成分の応答スペクトルの比較 (S d - D 2) (1/2)

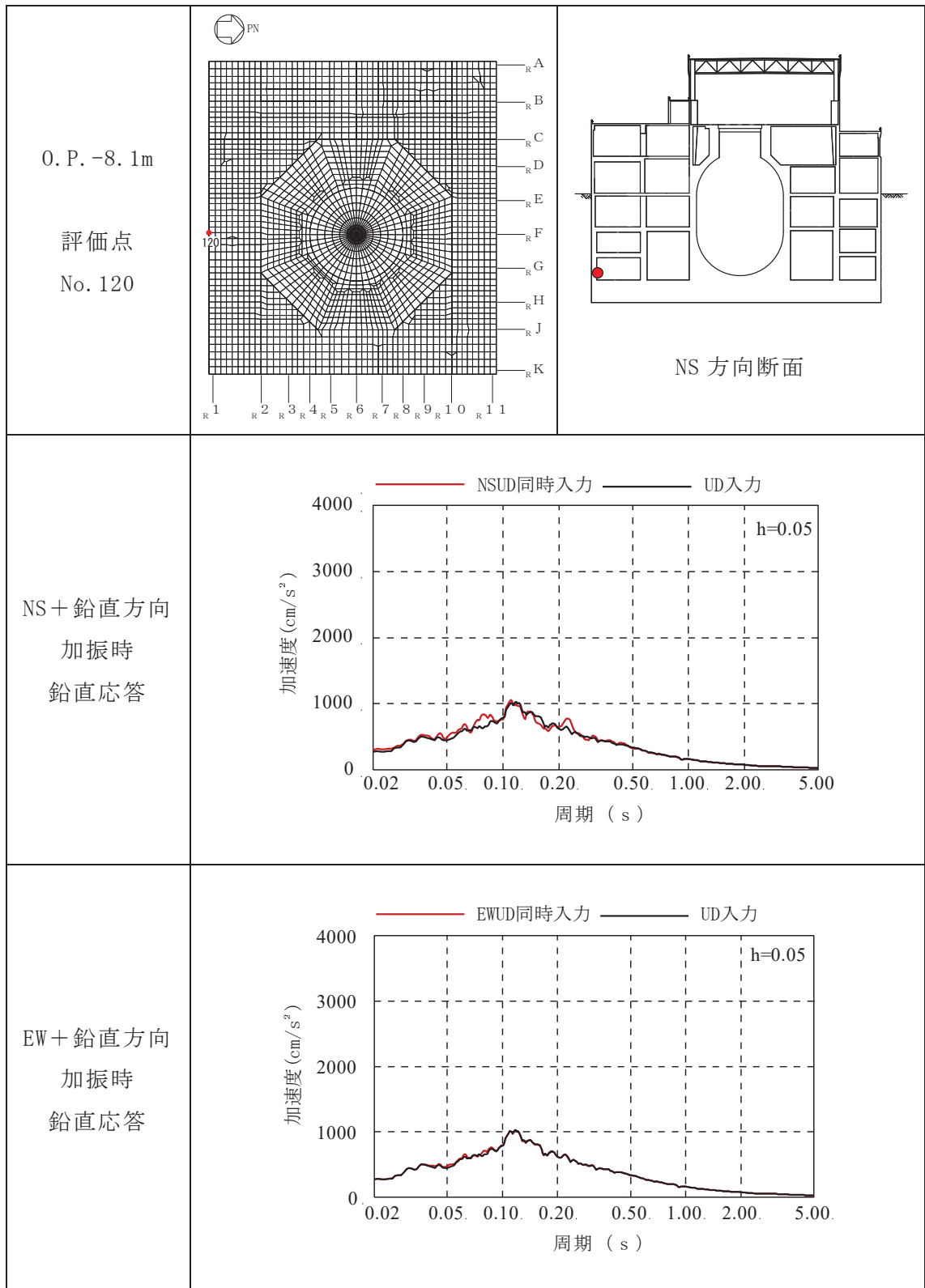
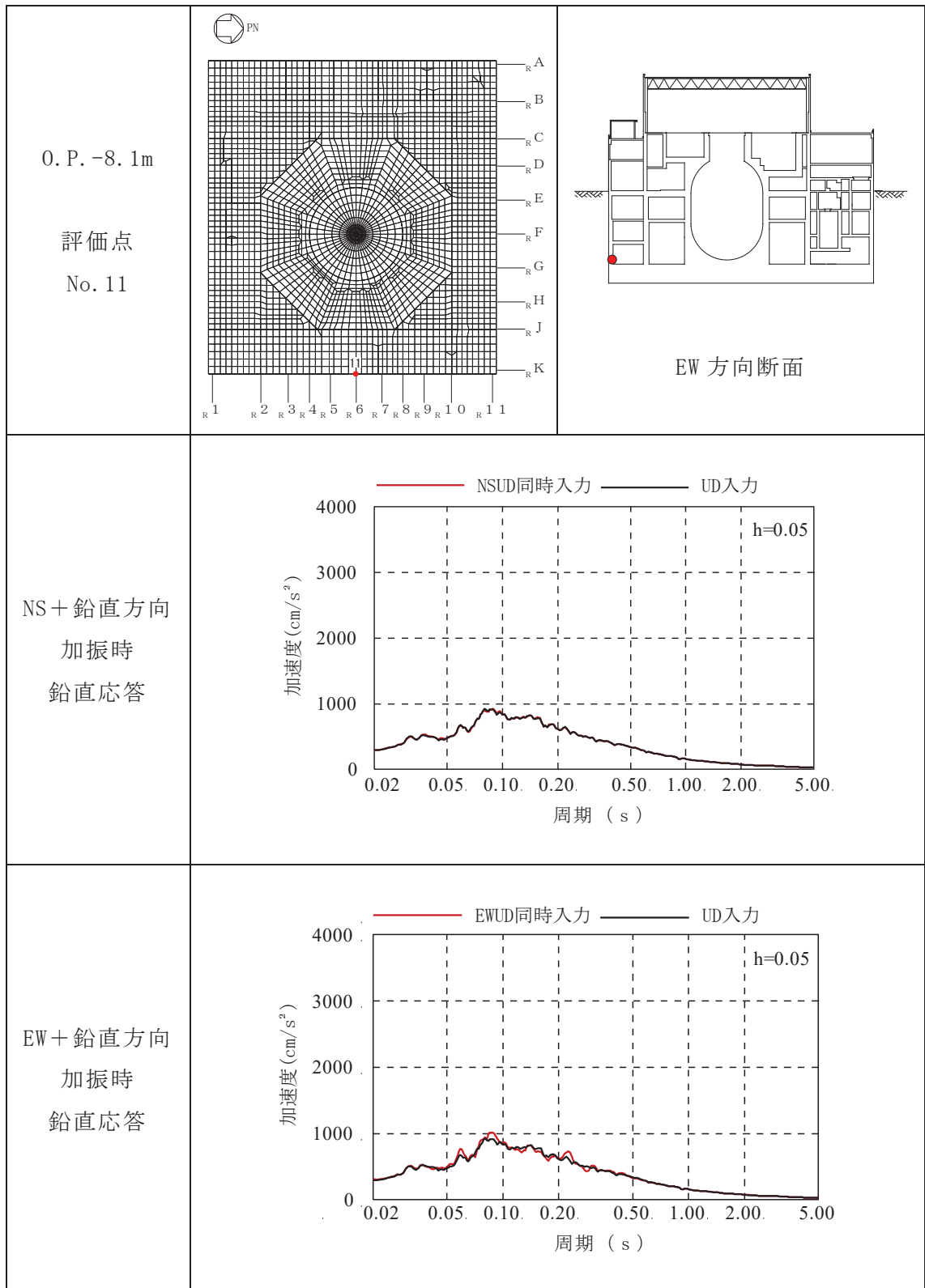


表 3-1(2) 基礎版端部評価点の鉛直成分の応答スペクトルの比較 (S d - D 2) (2/2)



3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響

鉛直軸回りのねじれ振動の影響を 3次元 FEM モデルの地震応答解析により確認する。

原子炉建屋は、整形な平面形状であるため、ねじれ振動の影響は受けにくいと考えられるが、その中でも隅部がねじれ振動の影響が出やすいと考えられるため、応答評価点は、No. 63439 及び No. 38903 を抽出し、加振方向と加振直交方向の応答を比較する。

水平加振時の応答比較を表 3-2 に示す。表 3-2 より、選定した全ての評価点において、加振直交方向の応答は発生しているものの加振方向の応答と比較して十分に小さくなっている。したがって、水平 1 方向入力を考慮する場合、加振方向の応答に対して設計を行えば、耐震安全性上問題にはならないと考えられる。水平 2 方向の入力を考慮する場合については、水平 2 方向の入力地震動の位相の組合せによって、ねじれ振動の影響による応答が増幅する可能性がある。

以上より、水平 2 方向の入力によるねじれ振動の影響は、「3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響」において確認する。

表 3-2(1) 3次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較(1/2)

O.P. 15.0m S d - D 2

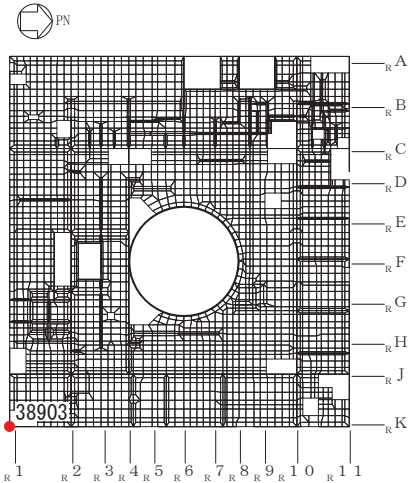
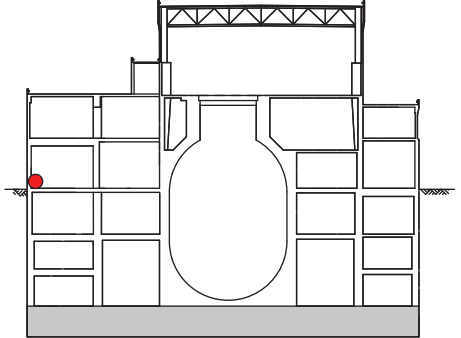
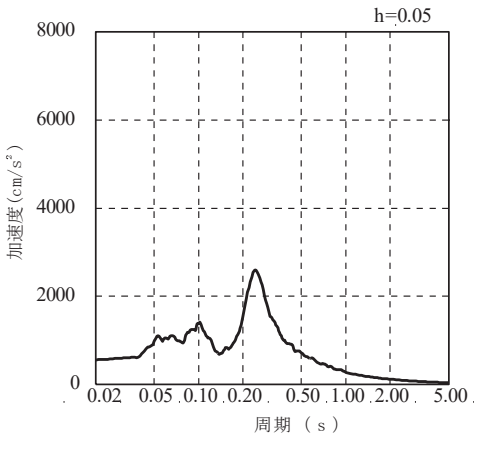
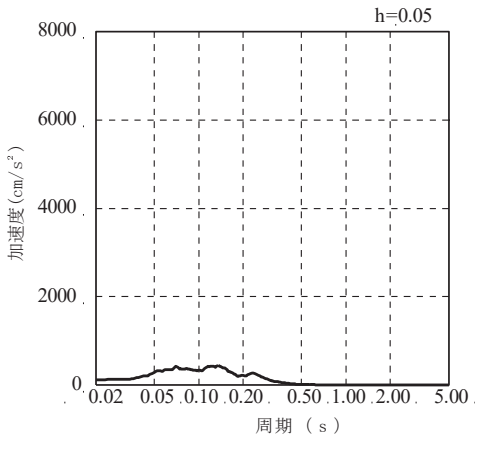
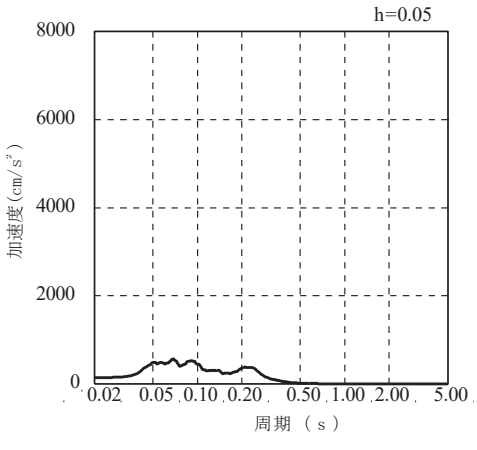
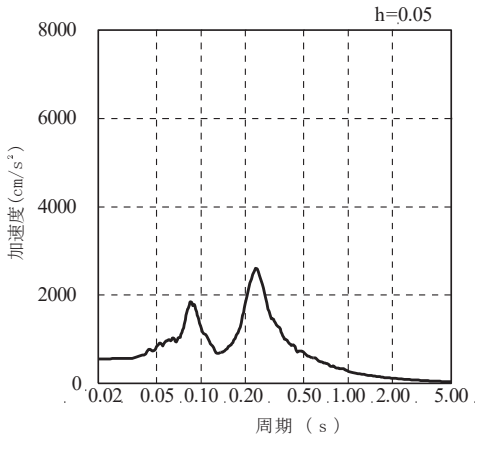
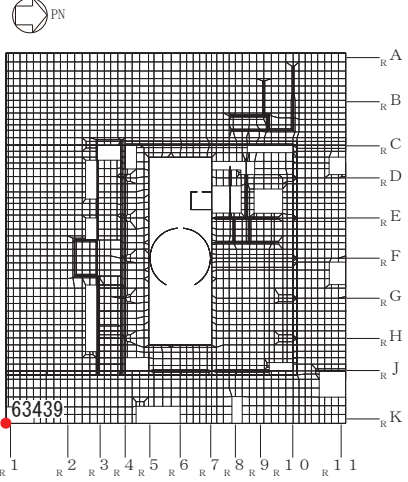
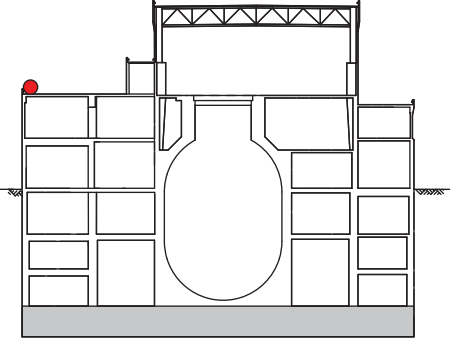
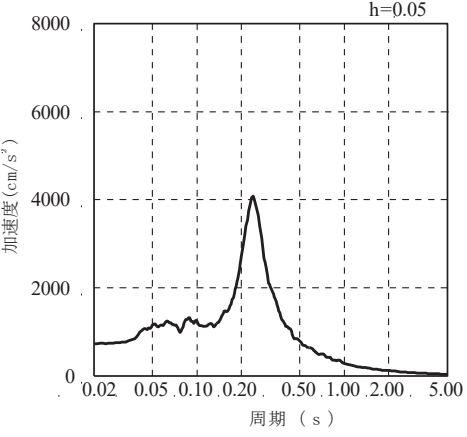
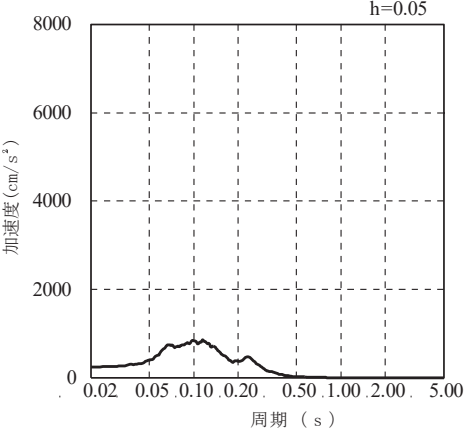
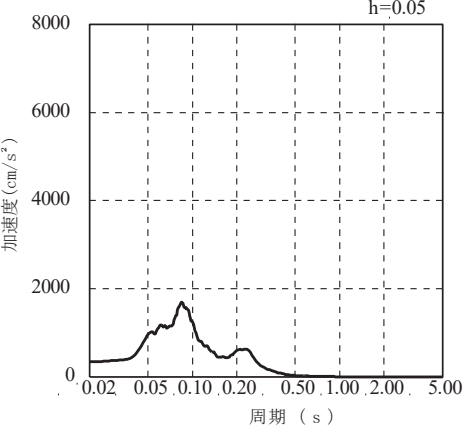
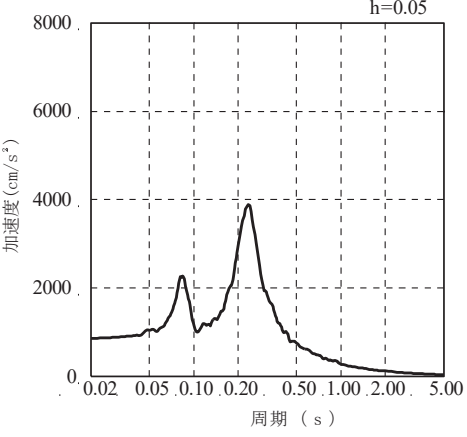
<p>O.P. 15.0m</p> <p>評価点 No. 38903</p>		
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>NS 方向 加振時</p>		
<p>EW 方向 加振時</p>		

表 3-2(2) 3次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (2/2)

0. P. 33.2m S d - D 2

<p>0. P. 33.2m</p> <p>評価点 No. 63439</p>		
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>NS 方向 加振時</p>		
<p>EW 方向 加振時</p>		

3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響

(1) 地震動の入力方法

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、3 次元 FEM モデルに弾性設計用地震動 S d を水平 2 方向及び鉛直方向に同時に入力（3 方向同時入力）した場合について検討する。

地震動の組合せを表 3-3 に示す。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討は、弾性設計用地震動 S d を水平 2 方向及び鉛直方向に組み合わせた地震力に対して実施する。具体的には、弾性設計用 S d - D 2 を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

ただし、全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的ではないことから、弾性設計用地震動 S d - D 2 について、水平 2 方向同時入力を行う場合は以下のように入力地震動を設定する。NS 方向の応答性状の比較を行う場合は、主方向である NS 方向に S d - D 2 H を入力し、直交方向の EW 方向には S d - D 2 p を入力する。EW 方向の応答性状の比較を行う場合は、主方向である EW 方向に S d - D 2 H の波形を入力し、直交方向の NS 方向には S d - D 2 p を入力する。

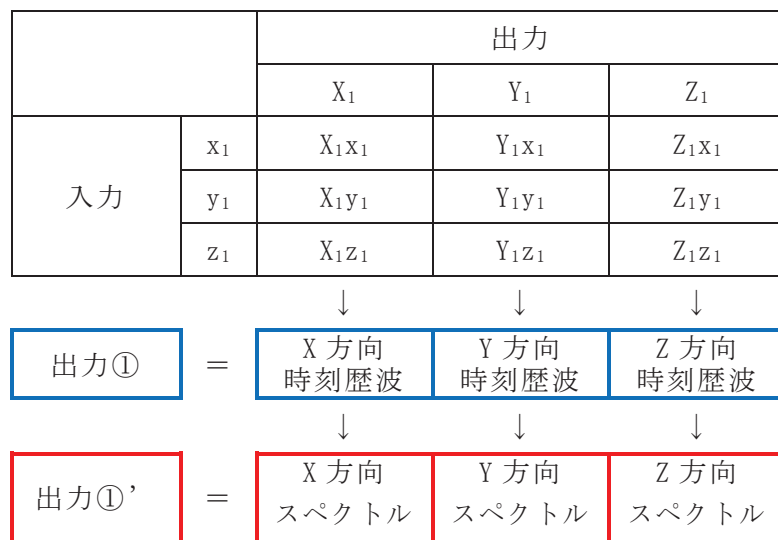
3 方向同時入力による各方向の応答は、水平 2 方向及び鉛直方向の地震動を入力して算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせるにより算出する。

応答算出の考え方を図 3-4 に示す。

表 3-3 地震動の組合せ (S d - D 2)

地震動の入力方向		NS 方向	EW 方向	UD 方向
1 方向入力	NS 方向 評価時	S d - D 2 H	—	—
	EW 方向 評価時	—	S d - D 2 H	—
3 方向 同時入力	NS 方向 評価時	S d - D 2 H	S d - D 2 p	S d - D 2 V
	EW 方向 評価時	S d - D 2 p	S d - D 2 H	S d - D 2 V

図 3-4 3次元 FEM モデルによる応答算出の考え方



(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認

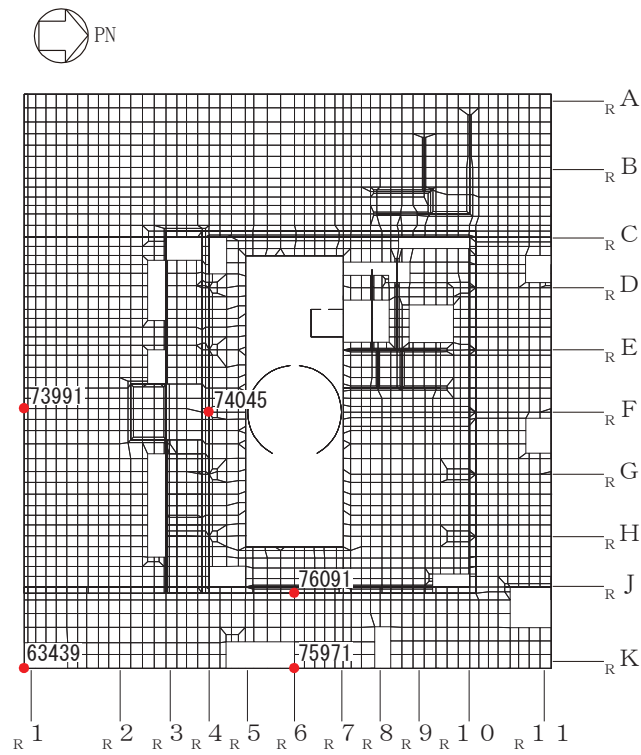
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認は、表 3-3 の地震動を対象に、NS 方向に入力した場合及び EW 方向に入力した場合の応答と、3 方向同時入力した場合の応答とを比較することにより実施する。

応答は図 3-5 に示す評価点について比較するものとし、比較した結果を表 3-5 に示す。

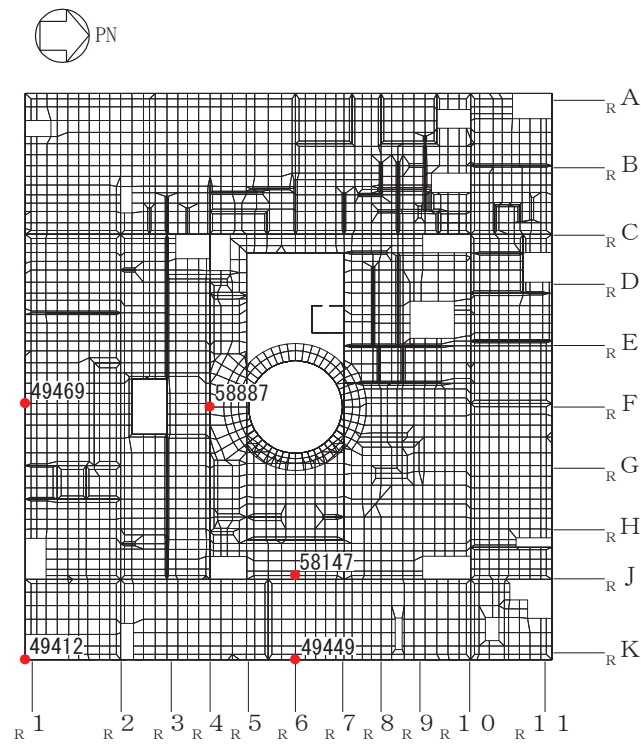
表 3-5 及び表 3-6 より、いずれの評価点においても、1 方向入力時及び 3 方向同時入力時の応答の差は小さく、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はほとんどないことを確認した。

「3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響」では、水平 2 方向の入力を考えた場合に、ねじれの影響によって相互に応答増幅する可能性が示唆されたが、ねじれ振動の影響による応答増幅は見られなかった。

原子炉建屋の質点系モデルを用いた耐震検討では、ねじれ振動を考慮せず、水平 1 方向入力時の入力方向の応答に対する検討を行っているが、本検討結果により、ねじれを考慮しないことは妥当と考える。

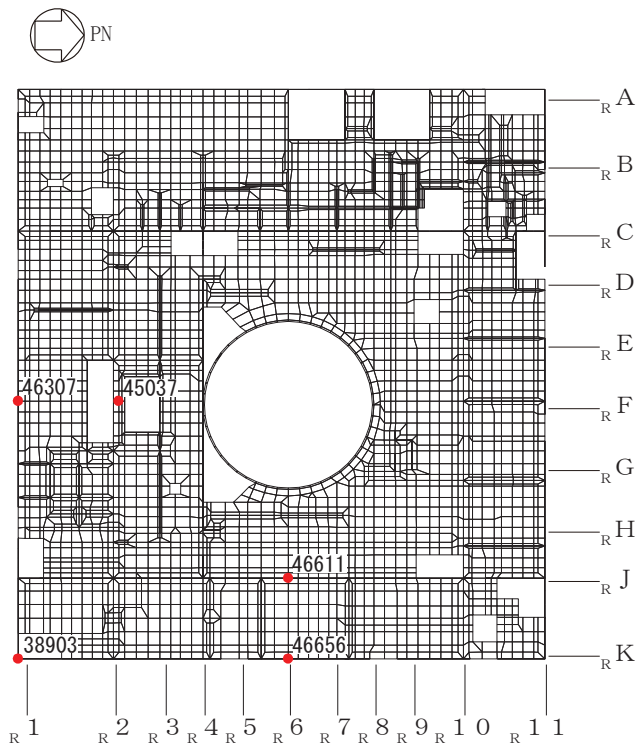


(a) 3F (O. P. 33.2m)

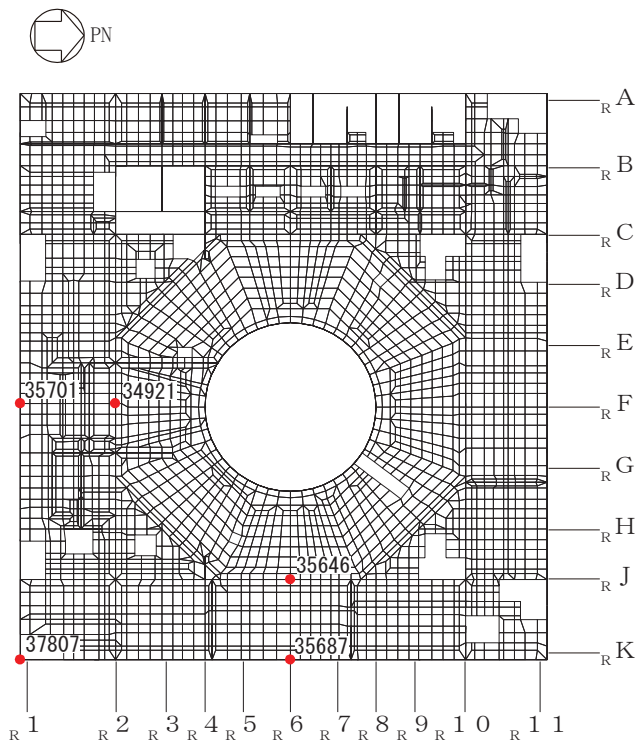


(b) 2F (O. P. 22.5m)

図 3-5(1) 応答評価位置(1/3)

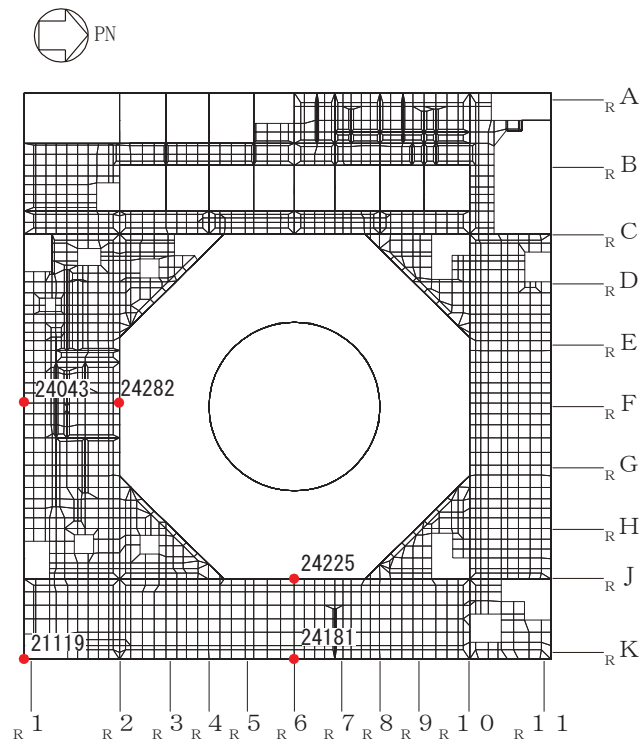


(c) 1F (O.P. 15.0m)

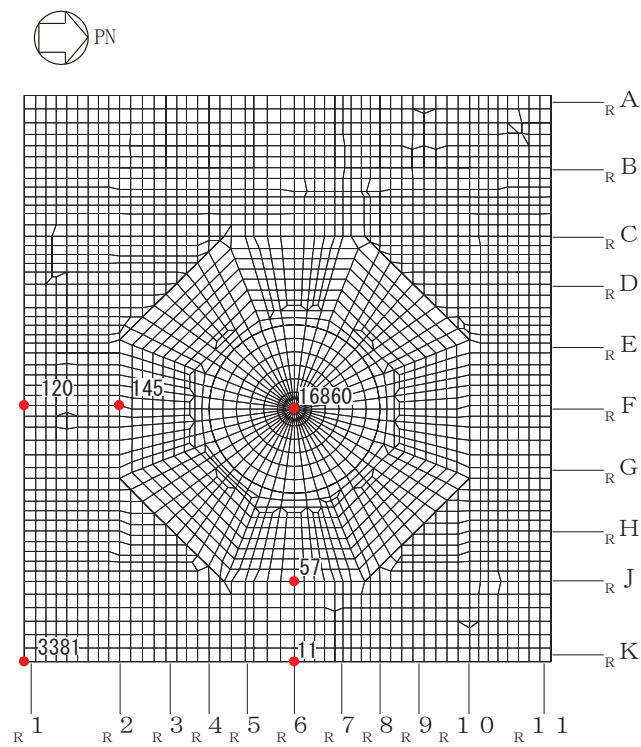


(d) B1F (O.P. 6.0m)

図 3-5(2) 応答評価位置(2/3)



(e) B2F (O. P. -0.8m)



(f) B3F (O. P. -8.1m)

図 3-5(3) 応答評価位置(3/3)

表 3-5(1) 3次元 FEM モデルの 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (S d - D 2) (1/12)

(a) O.P. 33.2m 外壁部

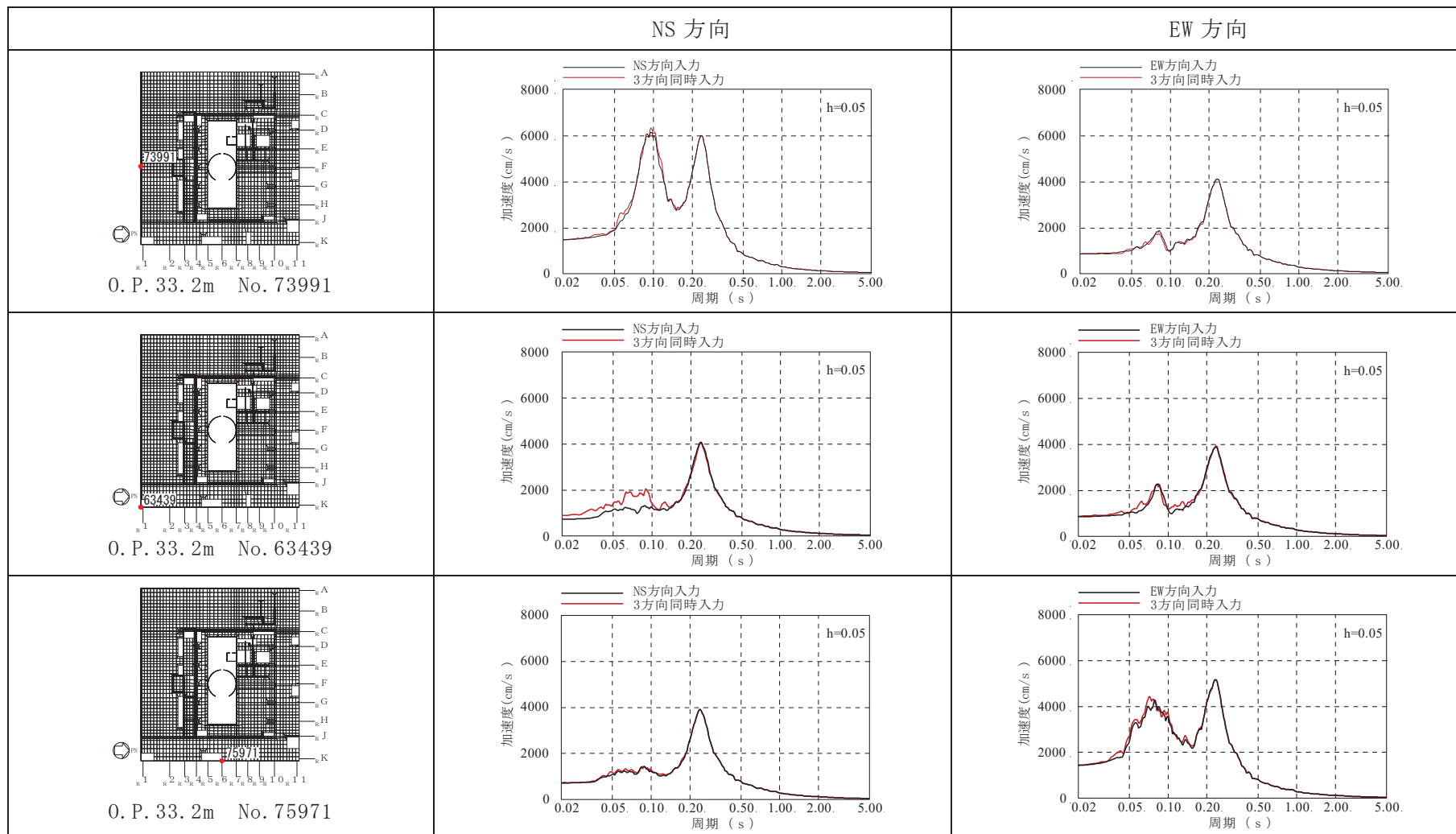


表 3-5(2) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (2/12)

(b) O. P. 33. 2m

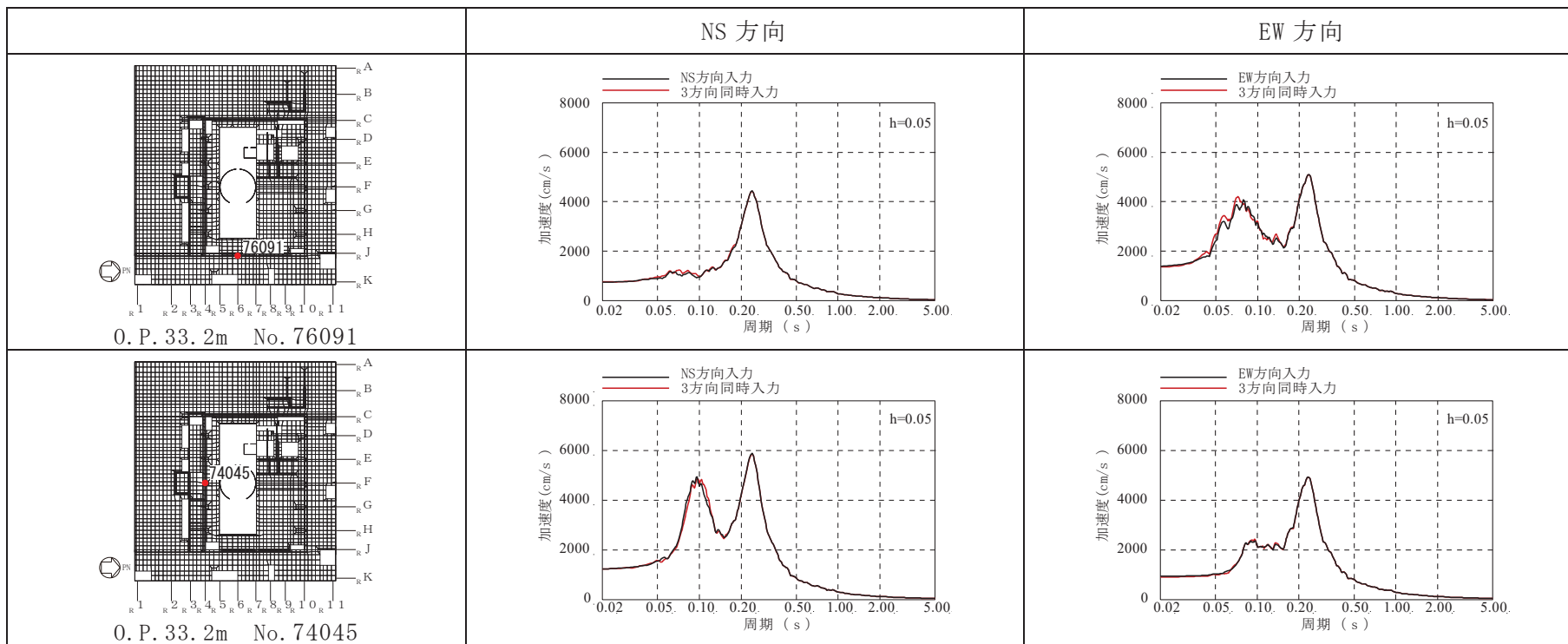


表 3-5(3) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (3/12)

(c) O.P. 22.5 外壁部

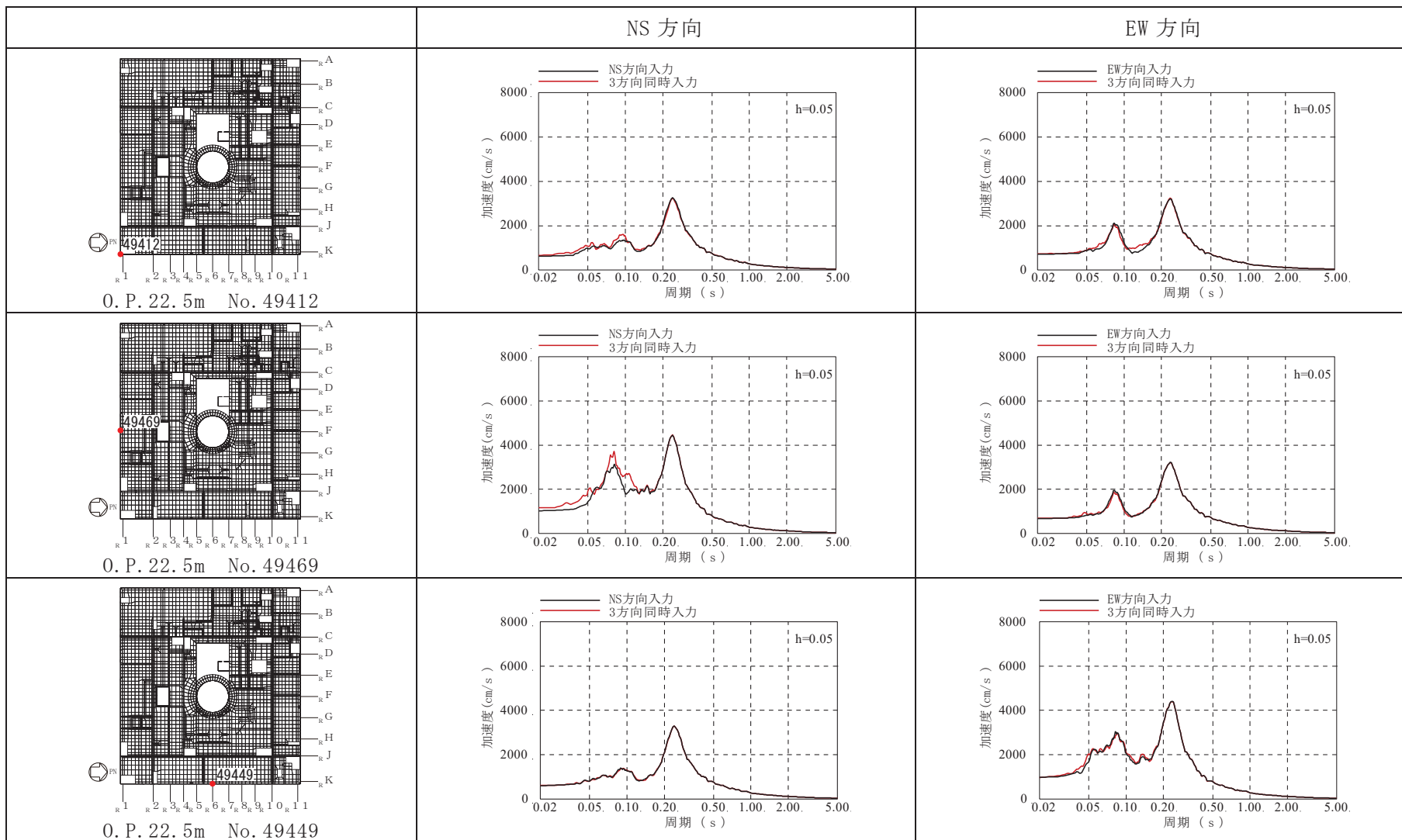


表 3-5(4) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (4/12)

(d) 0. P. 22. 5m

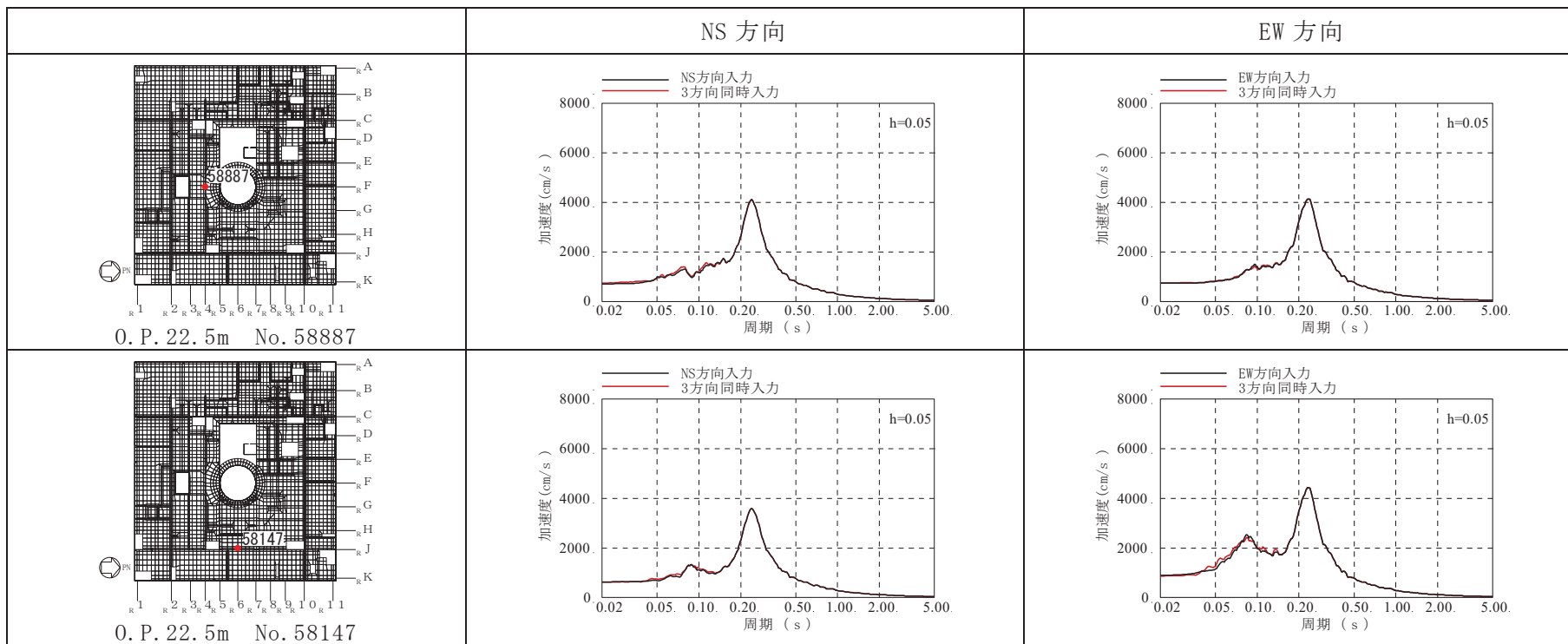


表 3-5(5) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (5/12)

(e) 0. P. 15. 0m 外壁部

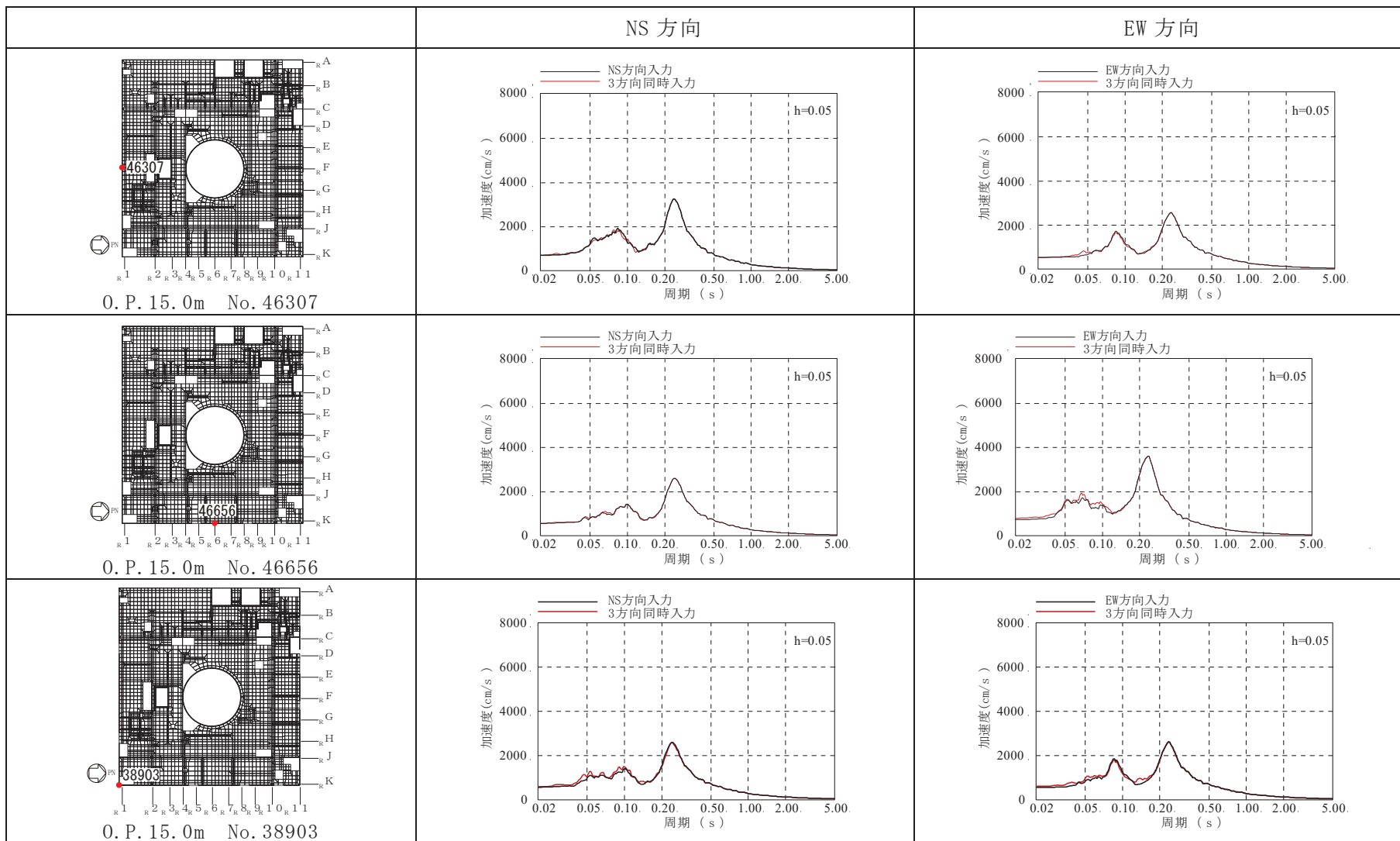


表 3-5(6) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (6/12)

(f) O. P. 15.0m

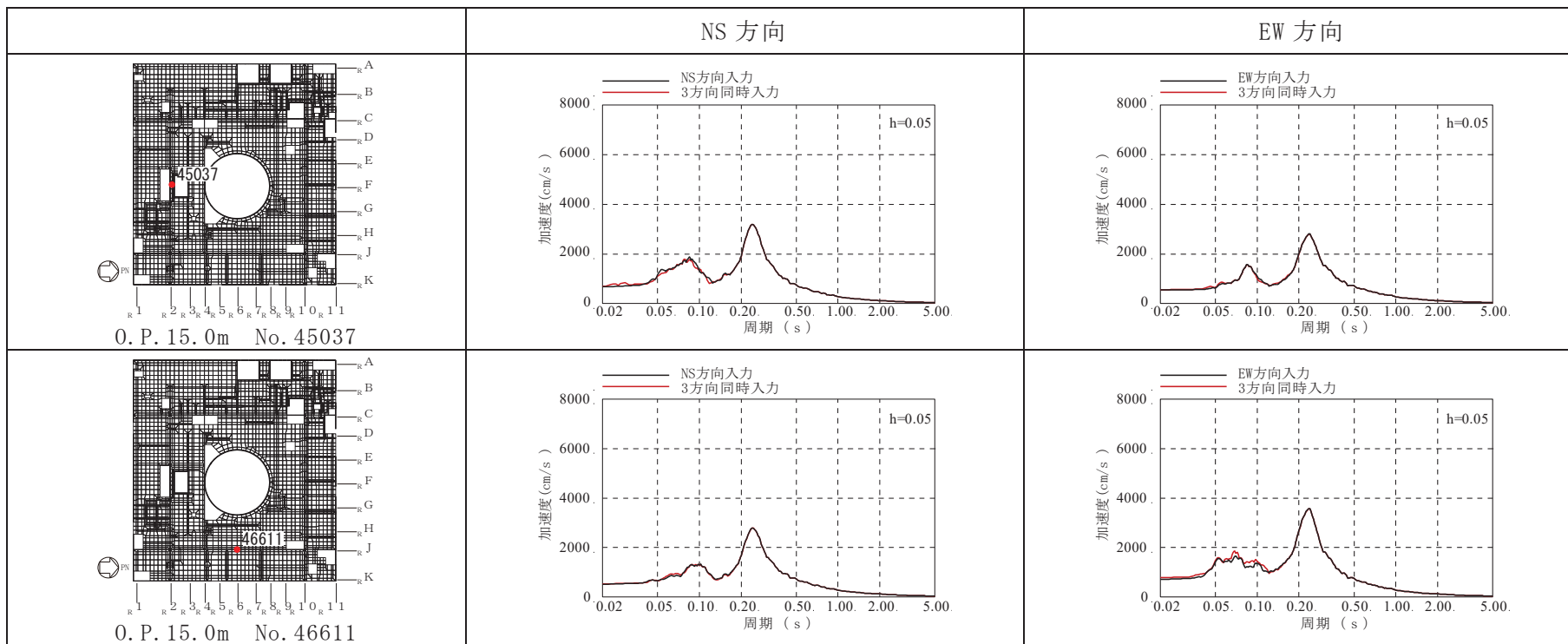


表 3-5(7) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (7/12)

(g) O.P. 6.0m 外壁部

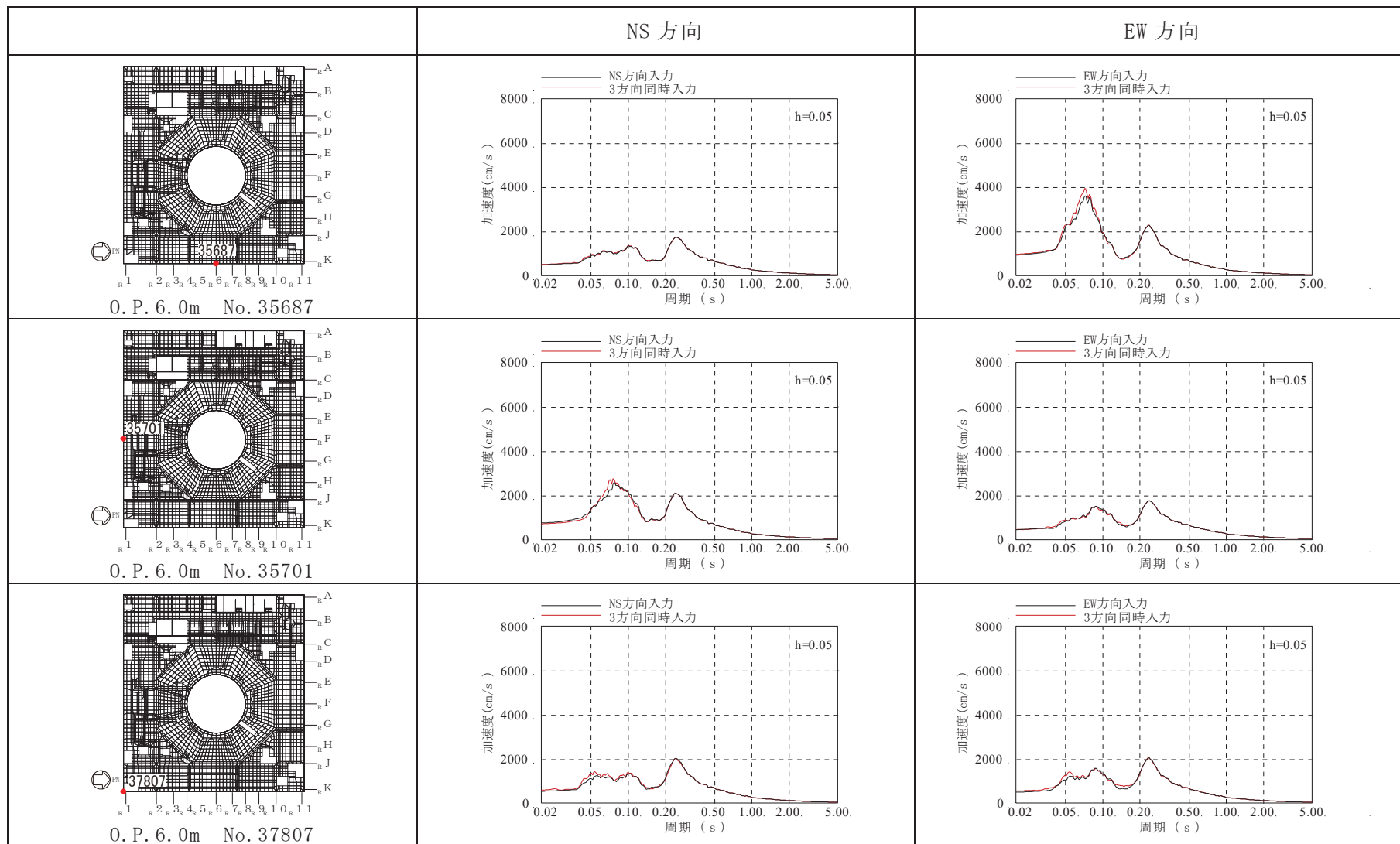


表 3-5(8) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (8/12)

(h) O. P. 6.0m

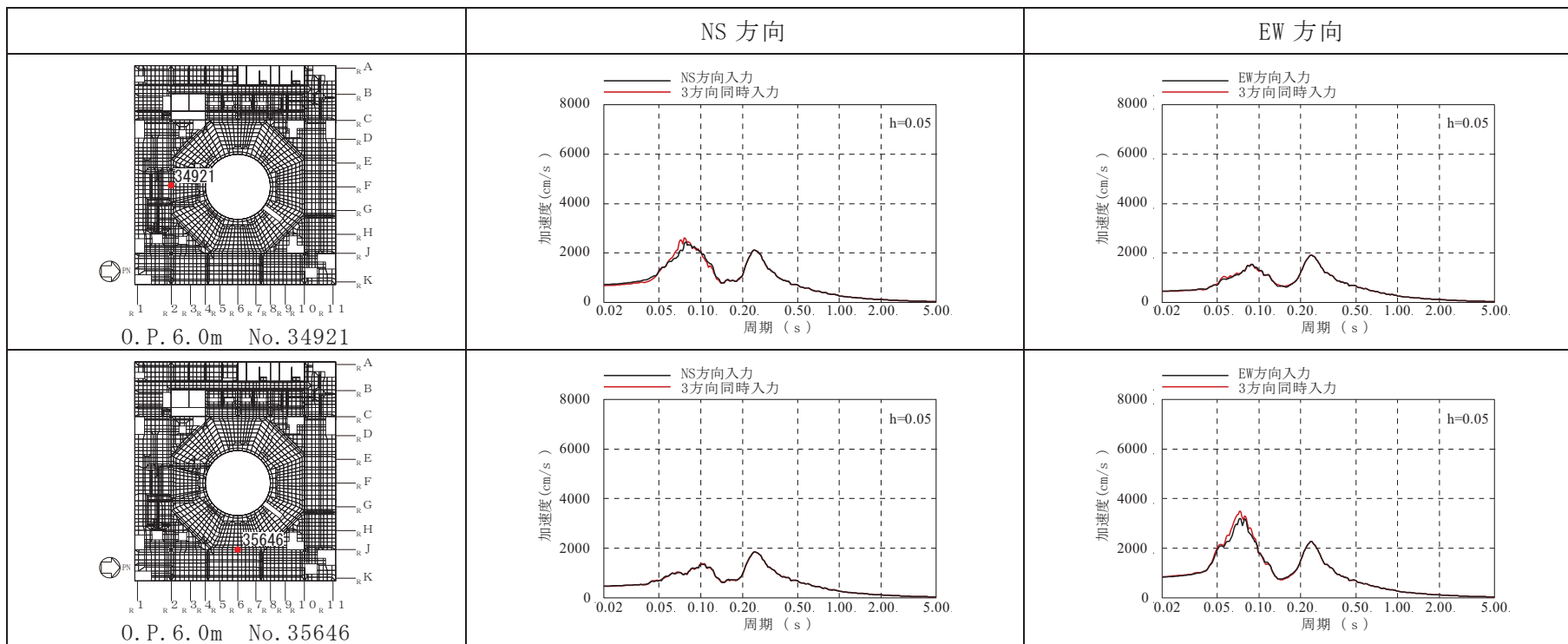


表 3-5(9) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (9/12)

(i) 0.P. -0.8m 外壁部

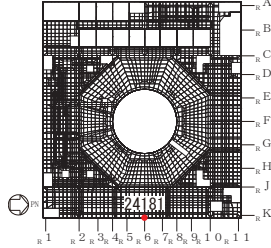
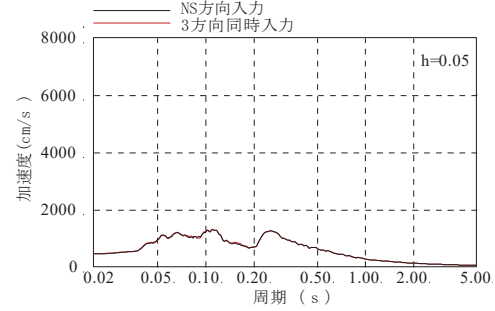
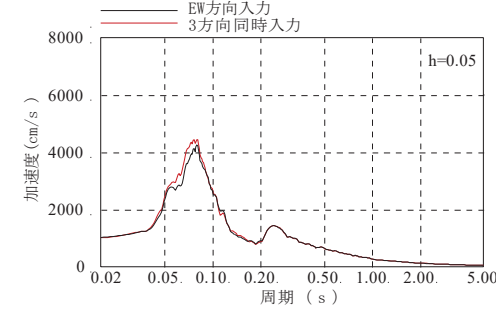
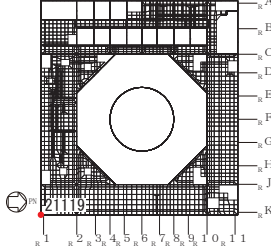
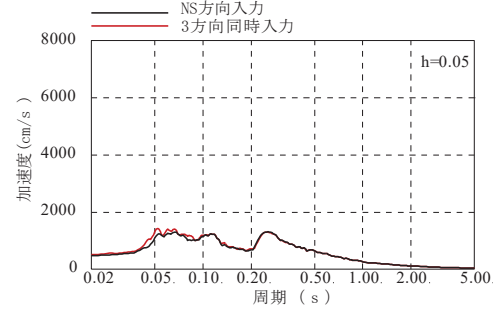
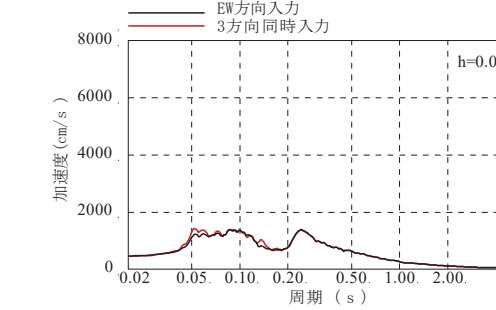
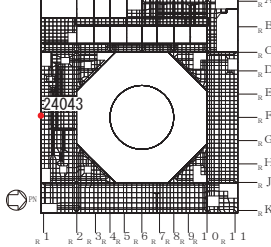
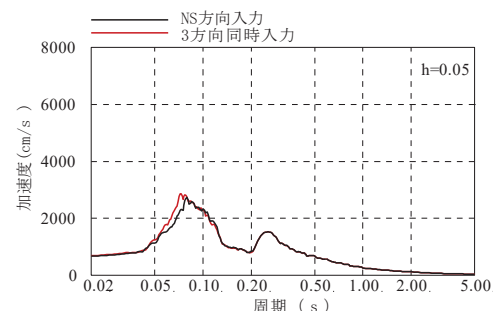
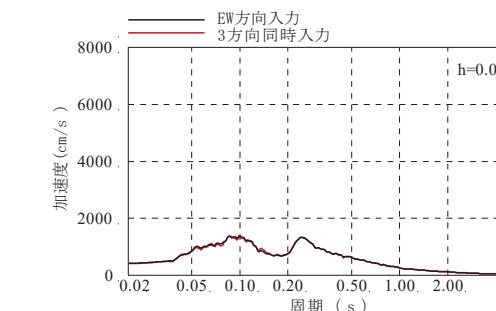
	NS 方向	EW 方向
 <p>0.P. -0.8m No. 24181</p>		
 <p>0.P. -0.8m No. 21119</p>		
 <p>0.P. -0.8m No. 24043</p>		

表 3-5(10) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (10/12)

(j) O. P. -0.8m

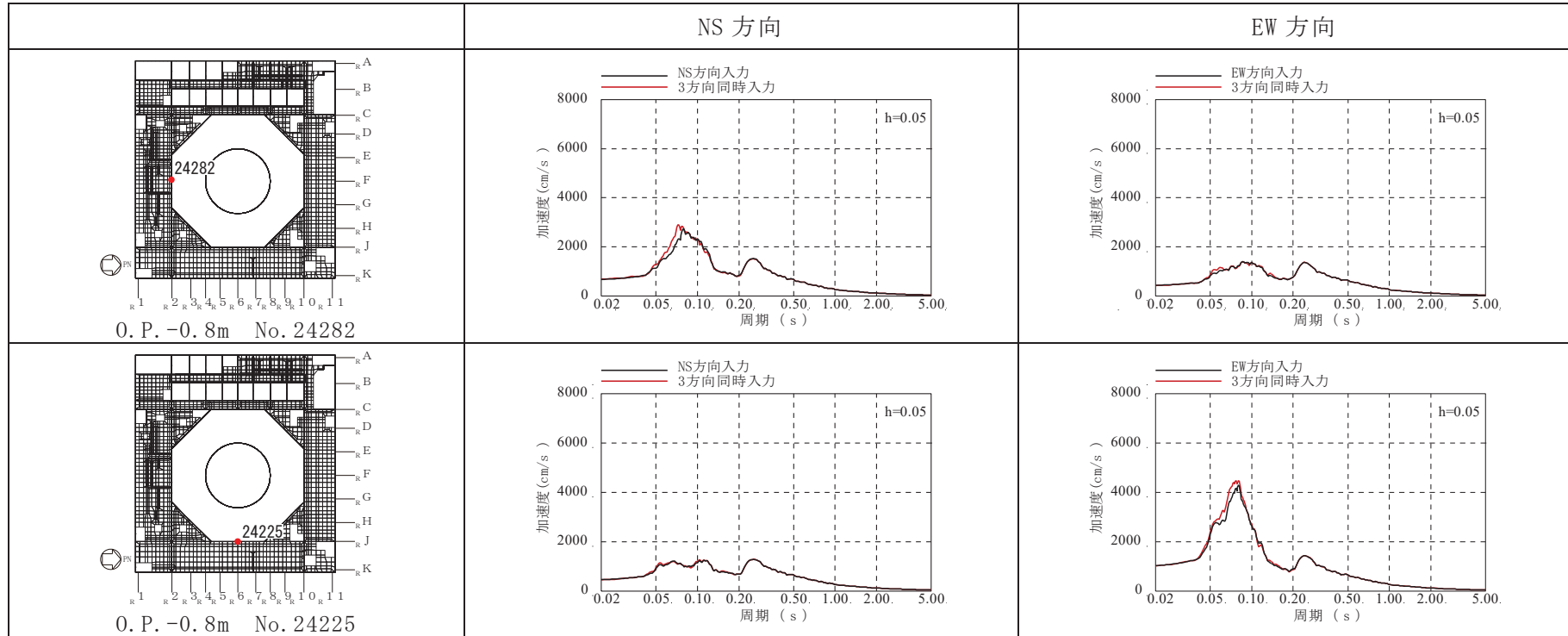


表 3-5(11) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (11/12)

(k) 0.P. -8.1m 外壁部

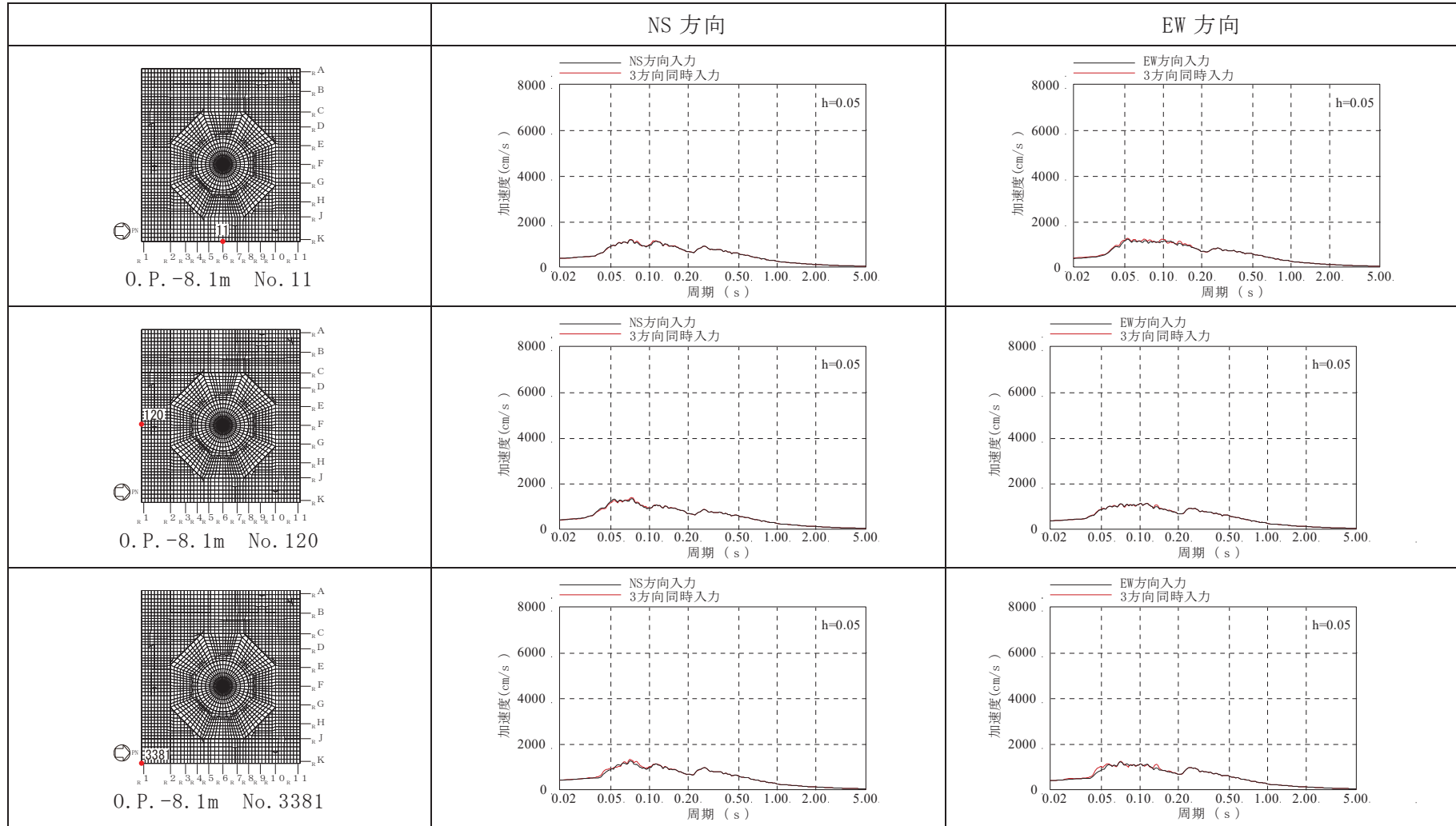
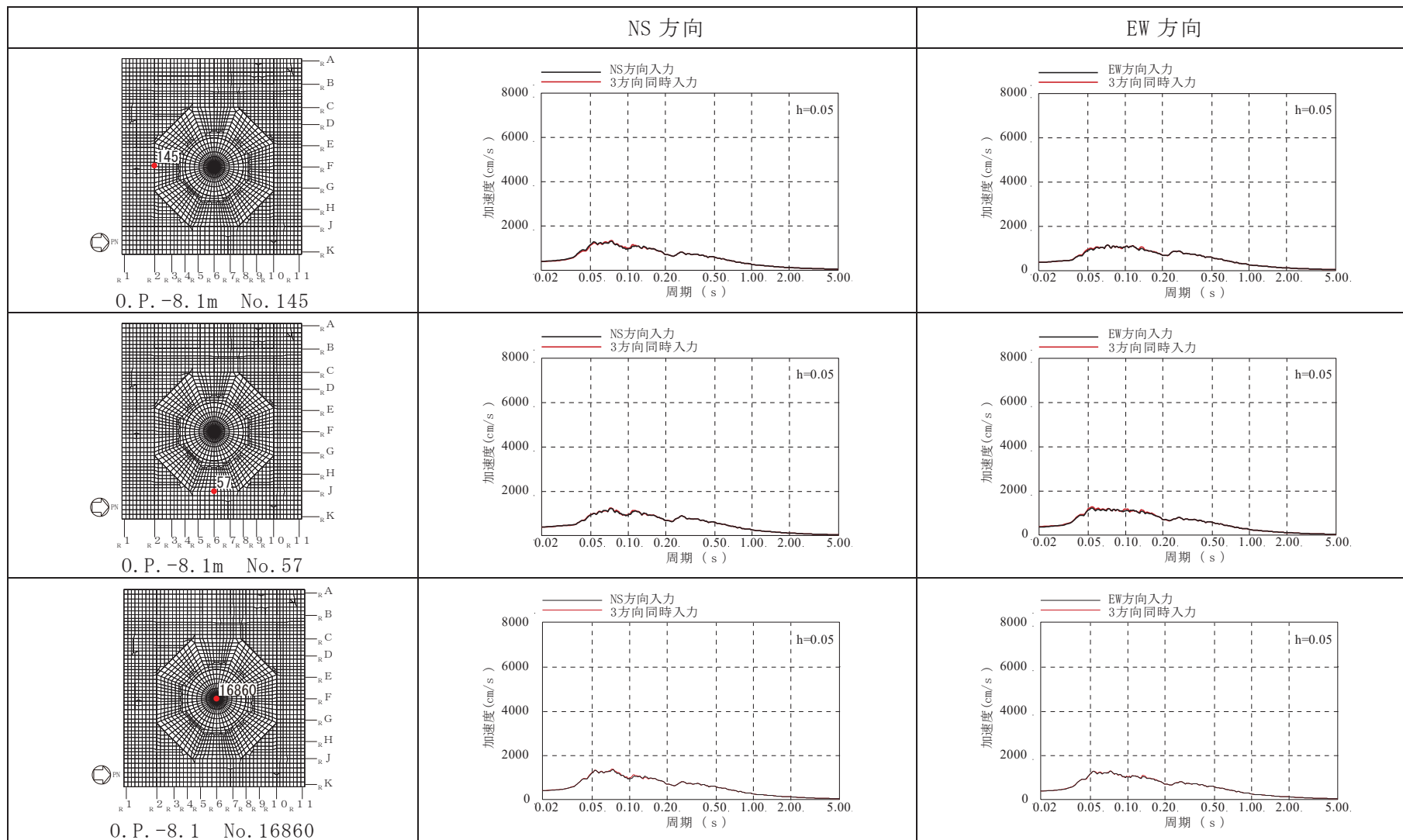


表 3-5(12) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (12/12)

(1) O.P. -8.1m



3.2.4 まとめ

3次元 FEM モデルを用いて地震応答解析を実施し、応答性状について分析・考察を行った。

基礎のロッキング振動による鉛直方向への影響について、ロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。

鉛直軸回りのねじれ振動の影響並びに水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響について、3次元 FEM モデルを用いて検討した結果、3方向同時入力と 1 方向入力時での応答の差異がほとんどないことから、1 方向入力時の応答に対し、これらの影響がほとんどないことを確認した。

以上の 3 次元的な応答特性に関する分析・考察を踏まえて、次節以降では局所的な応答による建屋耐震性評価及び床応答への影響を検討する。

3.3 建屋耐震性評価への影響検討

3.3.1 検討方針

建屋耐震性評価への影響検討として、3次元 FEM モデルの応答及び質点系モデルの応答を比較する。両モデルともに弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施し、以下の2つの項目について検討を行う。

①3次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答値（最大応答加速度）の比較検討

②3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討

なお、質点系モデルは添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の原子炉建屋の地震応答解析モデルと同じである。

3.3.2 3次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討

3次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答値（最大応答加速度）の比較を行い、3次元的な影響について確認する。

評価に当たっては、質点系モデルの全質点での応答を評価対象とし、質点系モデルの各質点に対応する3次元 FEM モデルの節点としては、図3-6に示す節点とした。

比較した結果を図3-7及び図3-8に示す。なお、図3-7及び図3-8における3次元 FEM モデルの最大応答加速度は、図3-6に示す節点における最大応答加速度をレベルごと通りごとに平均した値である。

両モデル間で、建屋下層部の最大応答加速度はおおむね対応しているが、建屋上部ほど質点系モデルの応答が大きくなる傾向が見られる。

したがって、質点系モデルによる応答評価は保守性を有していると考えられるが、「3.3.3 3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討」により、建屋への影響検討を実施する。

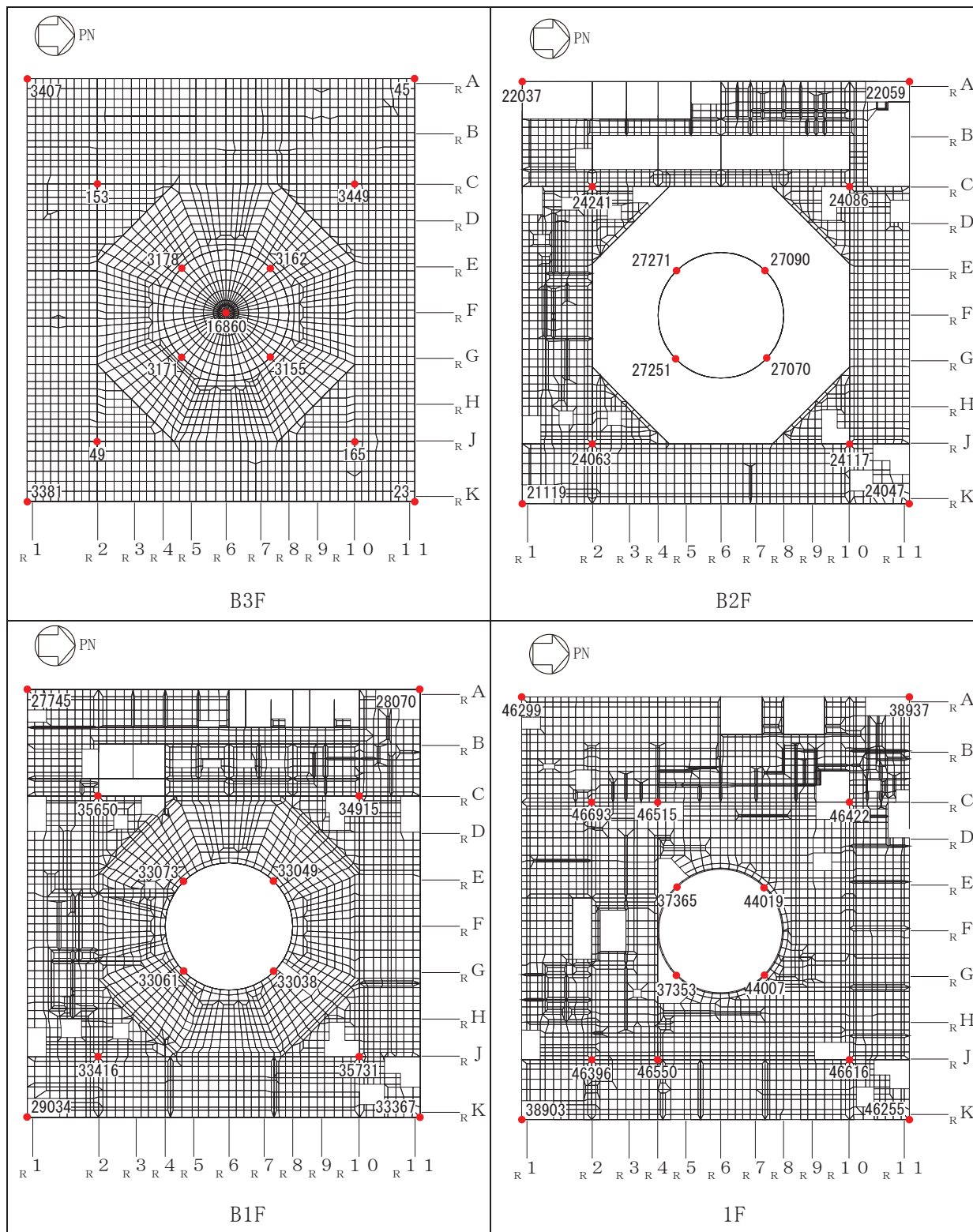


図 3-6(1) 応答評価位置 (1/2)

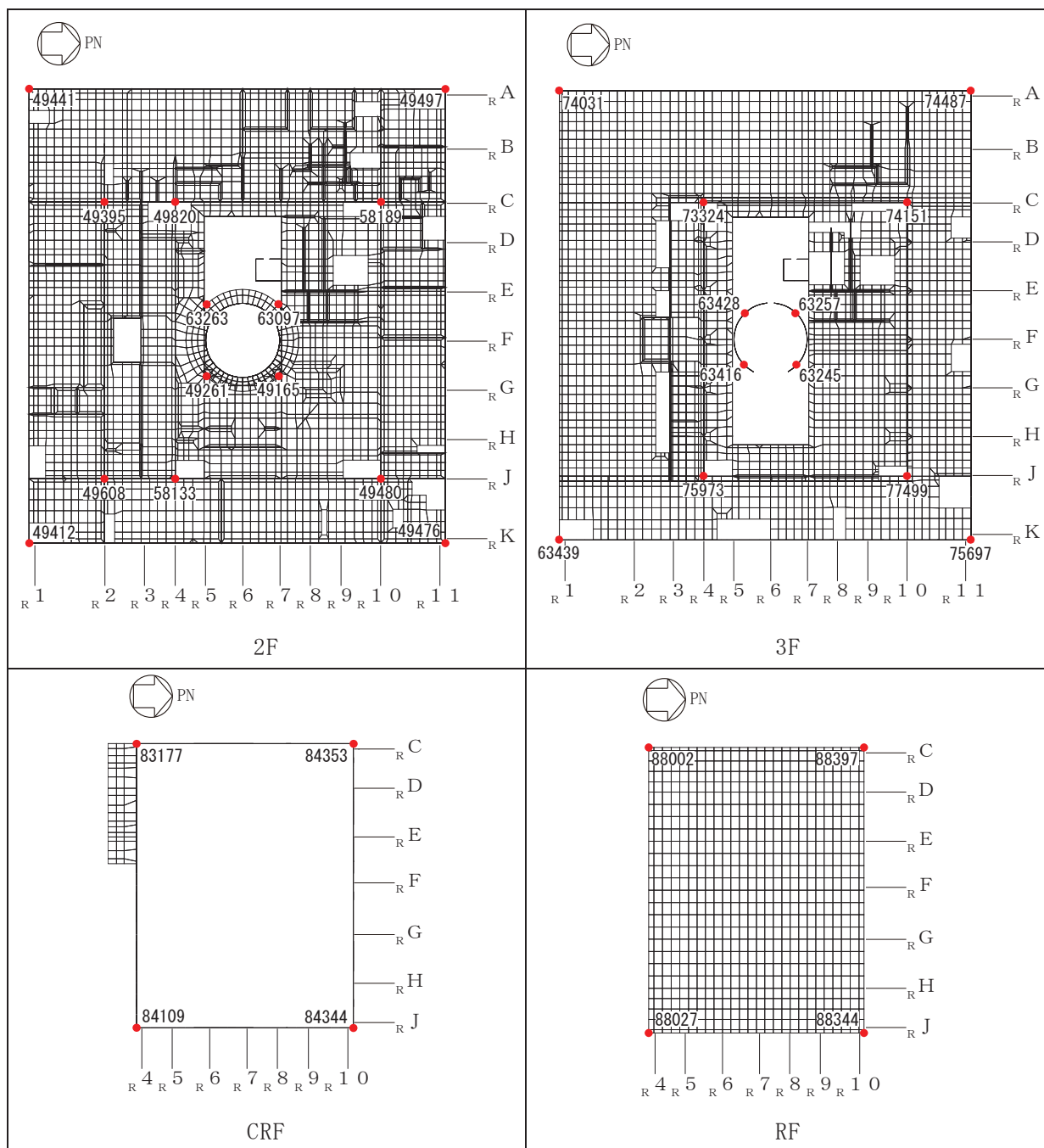
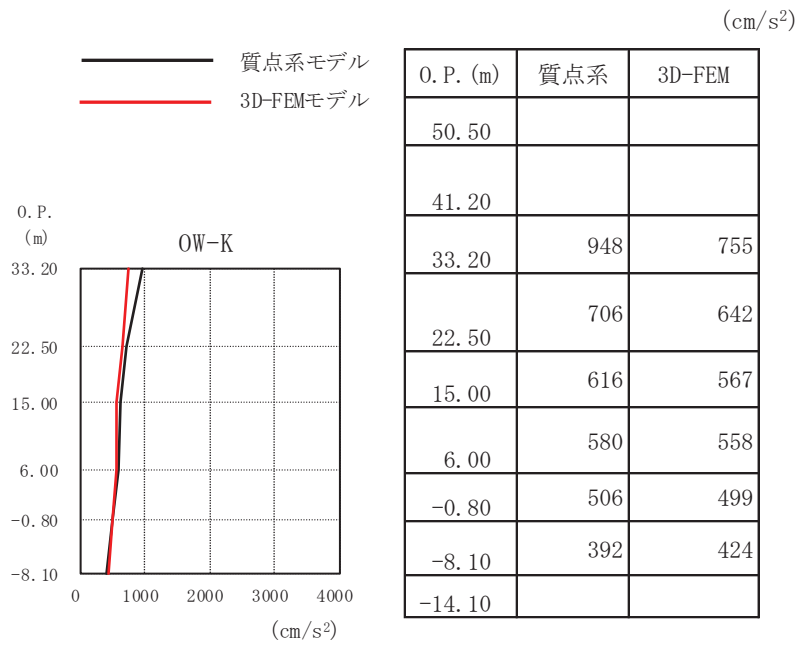
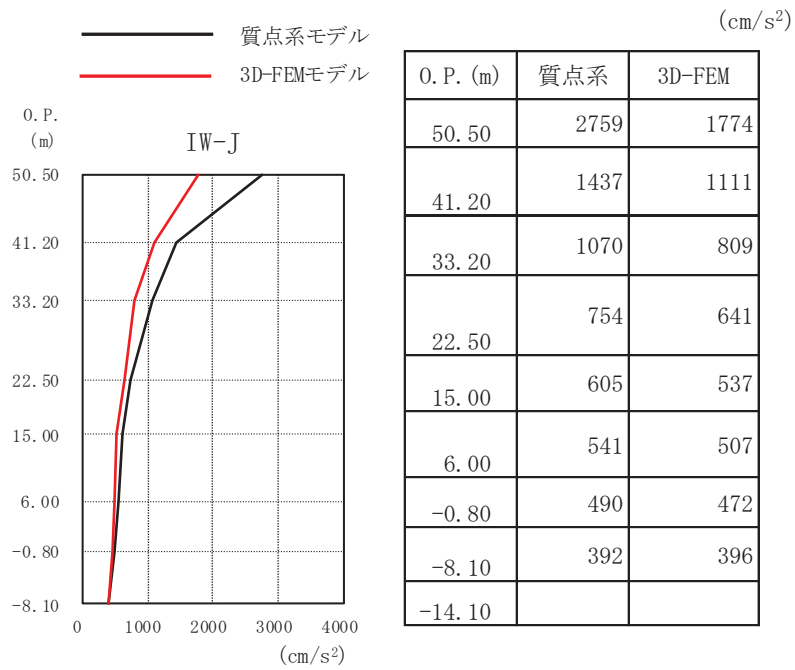


図 3-6(2) 応答評価位置(2/2)

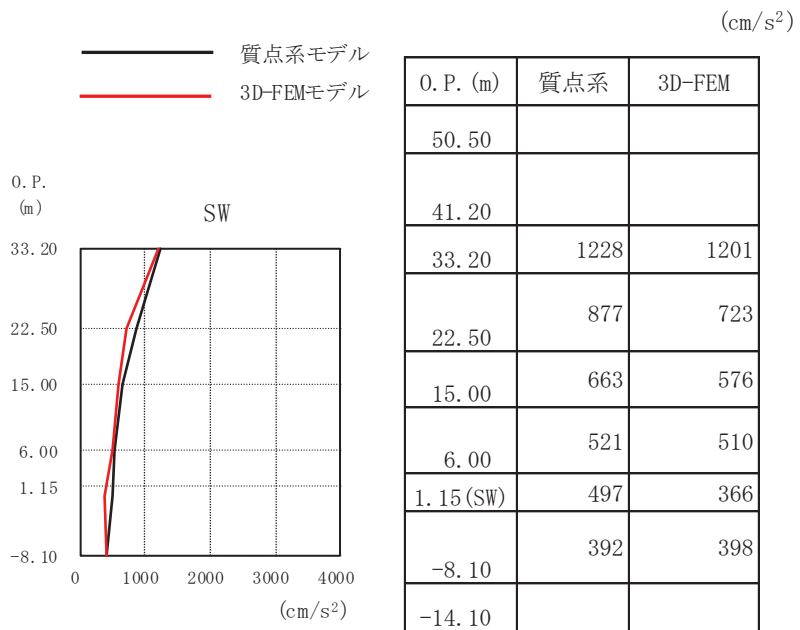


OW-K

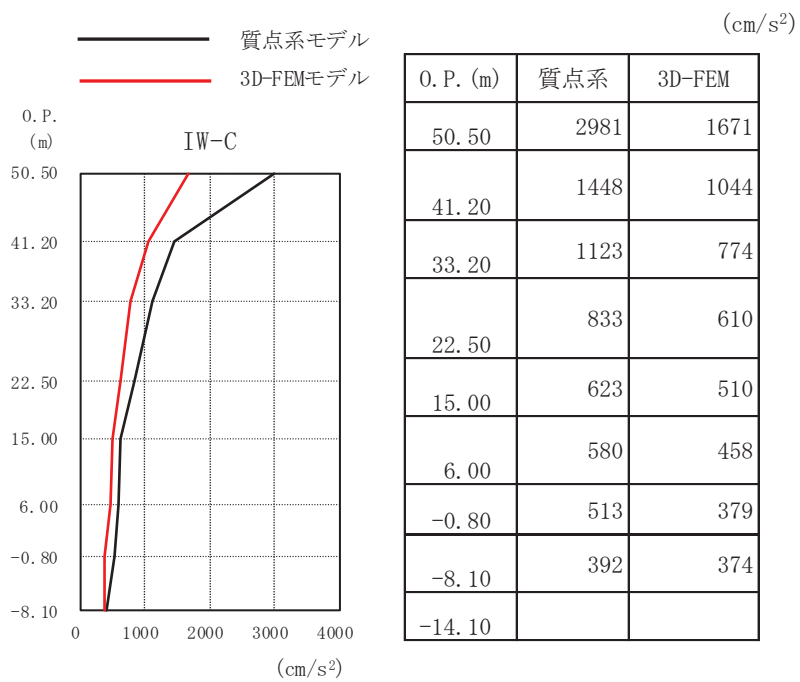


IW-J

図 3-7(1) 最大加速度の比較 NS 方向 (1/3)

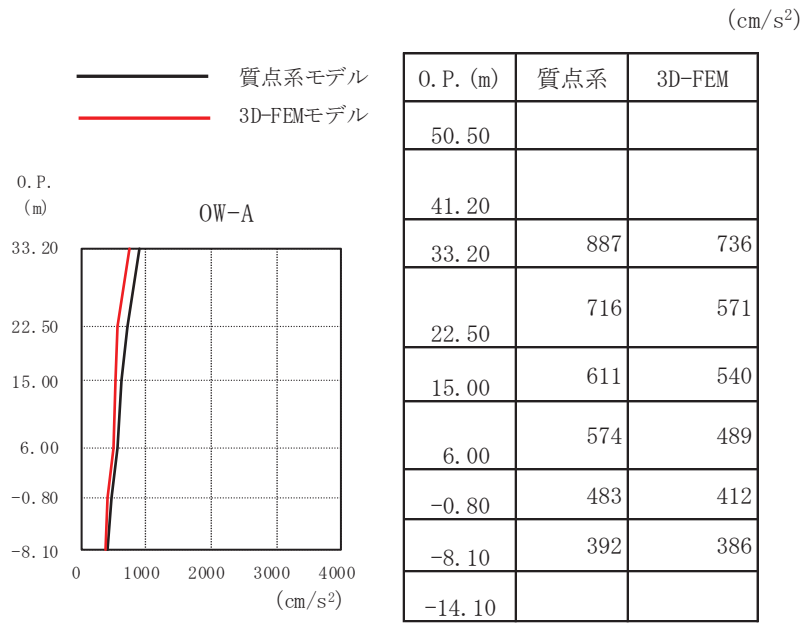


SW



IW-C

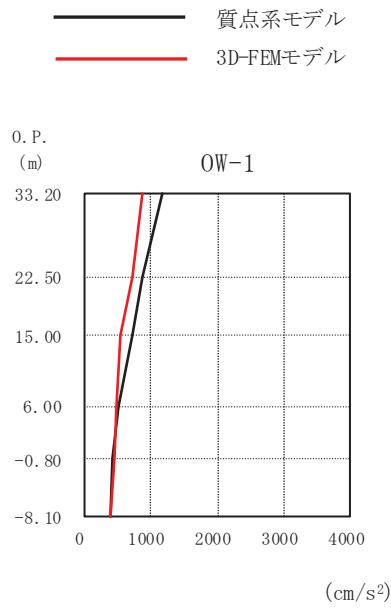
図 3-7(2) 最大加速度の比較 NS 方向 (2/3)



OW-A

図 3-7(3) 最大加速度の比較 NS 方向 (3/3)

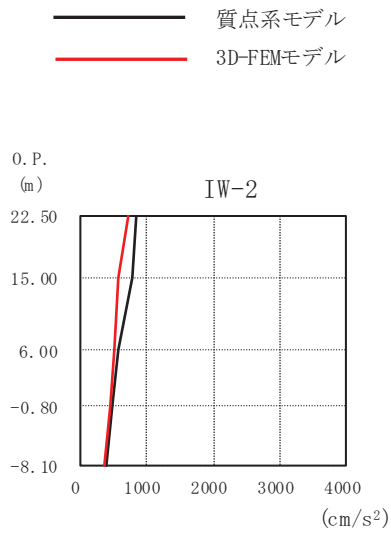
(cm/s²)



O.P. (m)	質点系	3D-FEM
50.50		
41.20		
33.20	1179	862
22.50	868	710
15.00	738	546
6.00	526	497
-0.80	423	443
-8.10	382	399
-14.10		

OW-1

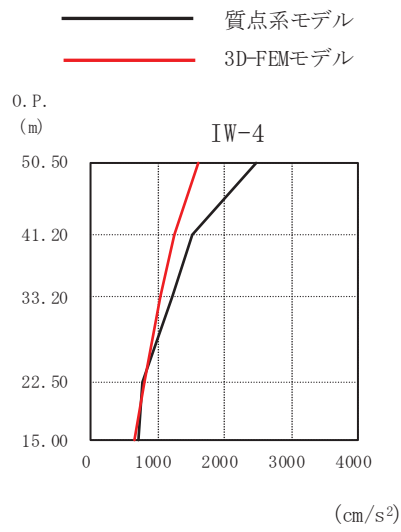
(cm/s²)



O.P. (m)	質点系	3D-FEM
50.50		
41.20		
33.20		
22.50	855	707
15.00	779	567
6.00	565	502
-0.80	471	455
-8.10	382	376
-14.10		

IW-2

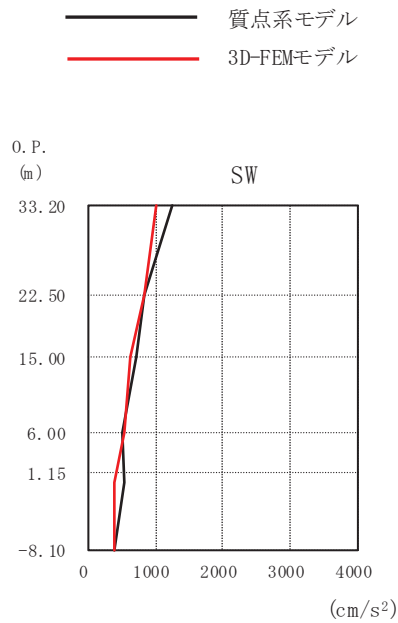
図 3-8(1) 最大加速度の比較 EW 方向 (1/3)



(cm/s²)

O.P. (m)	質点系	3D-FEM
50.50	2482	1607
41.20	1517	1262
33.20	1208	1051
22.50	784	807
15.00	698	655
6.00		
-0.80		
-8.10		
-14.10		

IW-4

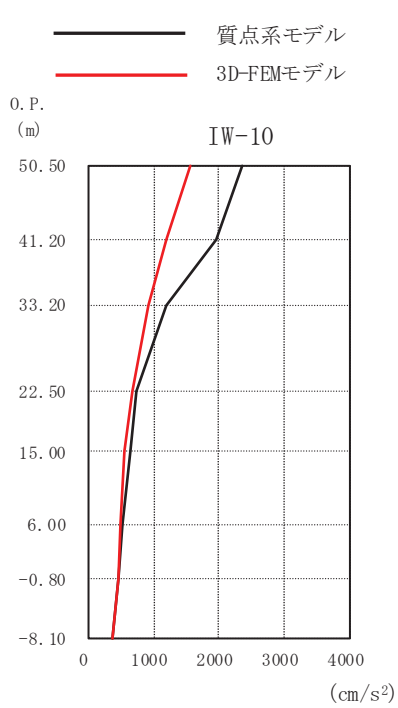


(cm/s²)

O.P. (m)	質点系	3D-FEM
50.50		
41.20		
33.20	1251	1022
22.50	830	838
15.00	719	622
6.00	499	542
1.15 (SW)	546	373
-8.10	382	381
-14.10		

SW

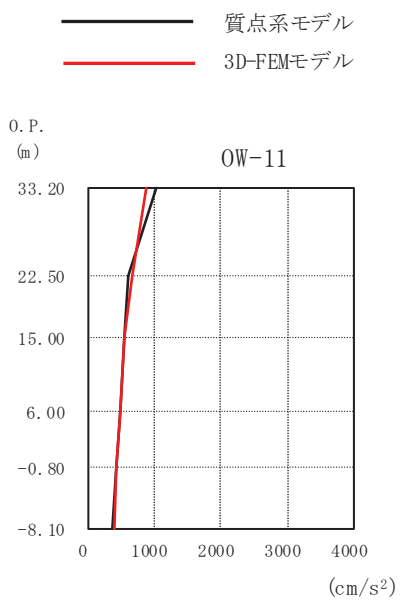
図 3-8(2) 最大加速度の比較 EW 方向 (2/3)



(cm/s²)

O.P. (m)	質点系	3D-FEM
50.50	2350	1565
41.20	1949	1199
33.20	1207	914
22.50	738	674
15.00	646	565
6.00	526	500
-0.80	452	445
-8.10	382	372
-14.10		

IW-10



(cm/s²)

O.P. (m)	質点系	3D-FEM
50.50		
41.20		
33.20	1028	872
22.50	628	669
15.00	563	553
6.00	497	483
-0.80	431	438
-8.10	382	396
-14.10		

OW-11

図 3-8(3) 最大加速度の比較 EW 方向 (3/3)

3.3.3 3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討

「3.3.2 3次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討」の結果を踏まえて、質点系モデルに対して、3次元 FEM モデルを用いた3次元的な応答補正を考慮し、建屋耐震性評価への影響検討を実施する。

評価に当たっては、質点系モデルにおいて、基準地震動 S_s に対する層レベルでの評価を行う部位を対象とし、3次元 FEM モデルにおける当該部での代表的な節点を複数節点選定する。

図 3-9 に検討フローを示す。

選定した3次元 FEM モデルでの評価点において、弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答加速度を基に、3次元的な応答補正比率 ζ を算出し、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する応答補正を行い、耐震評価への影響検討を行う。

なお、添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」では、基準地震動 S_s による質点系モデルを用いた地震応答解析を行い、耐震壁のせん断ひずみを検討している。ここでは耐震壁のせん断ひずみについてのみ検討を行う。

具体的には、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する最大応答のうち、せん断応力度 τ に応答補正率 ζ を乗じて、3次元的な応答特性を踏まえたせん断応力度を算定する。得られたせん断応力度を質点系モデルの各層各軸のせん断スケルトンカーブ上にプロットし、せん断ひずみが評価基準値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。ここで、第1折れ点を超える場合は、エネルギー一定則によりせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法を図 3-10 に示す。せん断ひずみを確認した結果、せん断ひずみが評価基準値を超えるものは詳細検討を実施する。

評価において選定した3次元 FEM モデルにおける代表節点は図 3-6 に示した節点である。質点系モデルでの評価部位を図 3-11 に示す。

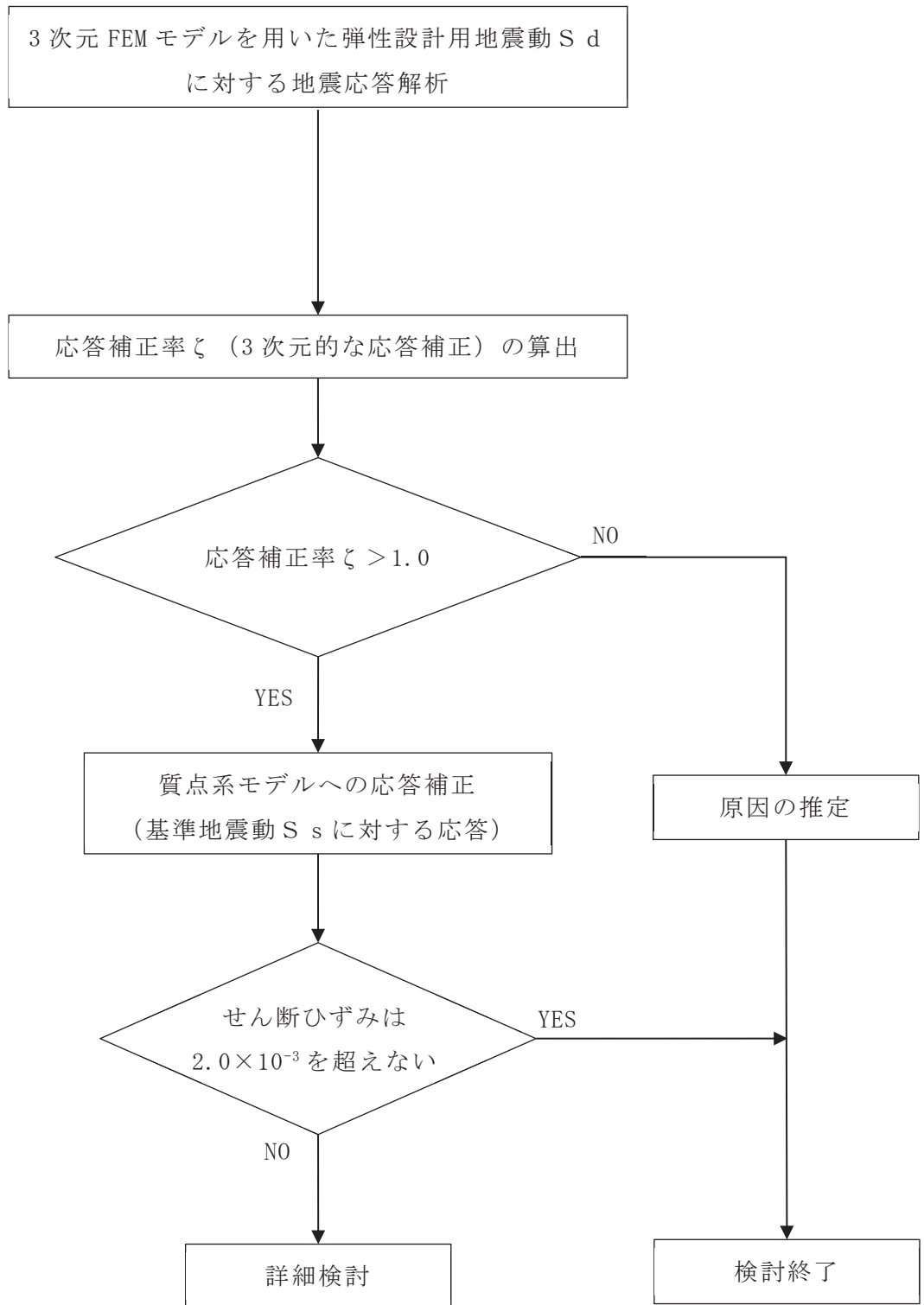
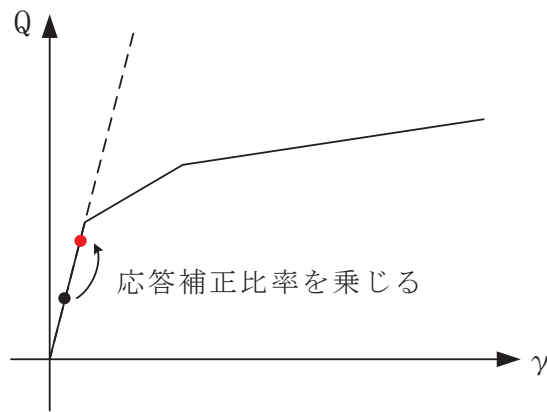
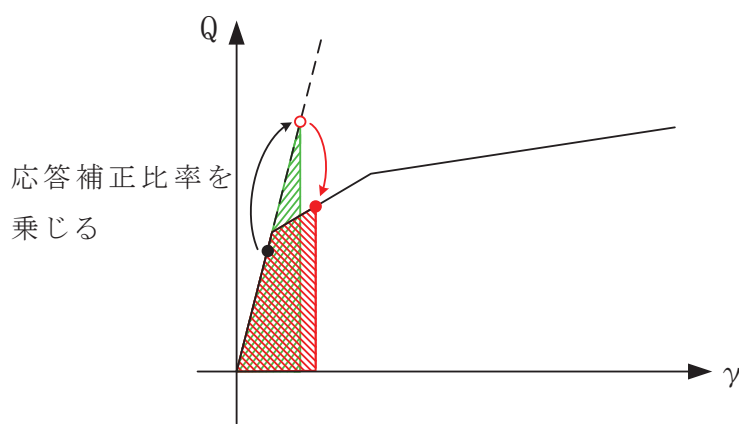


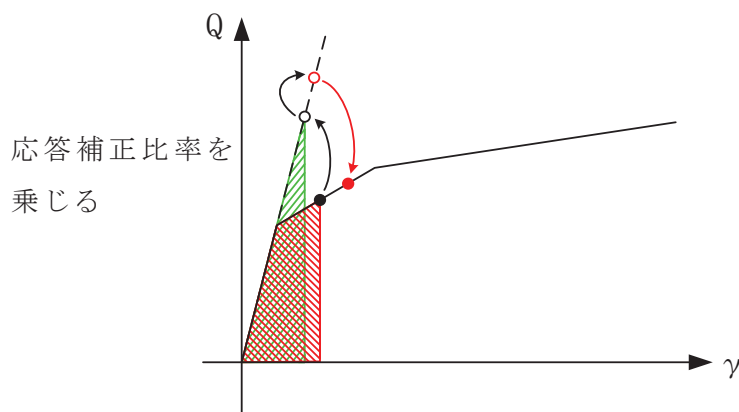
図 3-9 検討フロー



弾性直線状において，原設計による応答結果に応答補正比率を乗じる。



応答補正比率を乗じた際，第1折点を超える場合，弾性直線の延長線上に補正後の評価結果をプロットする。その後，エネルギー一定則で，評価線上にプロットする。



原設計において第1折点を超えている場合は，エネルギー一定則で弾性直線の延長に戻した後，補正比率を乗じる。(以下，上記に準じる)

図 3-10 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

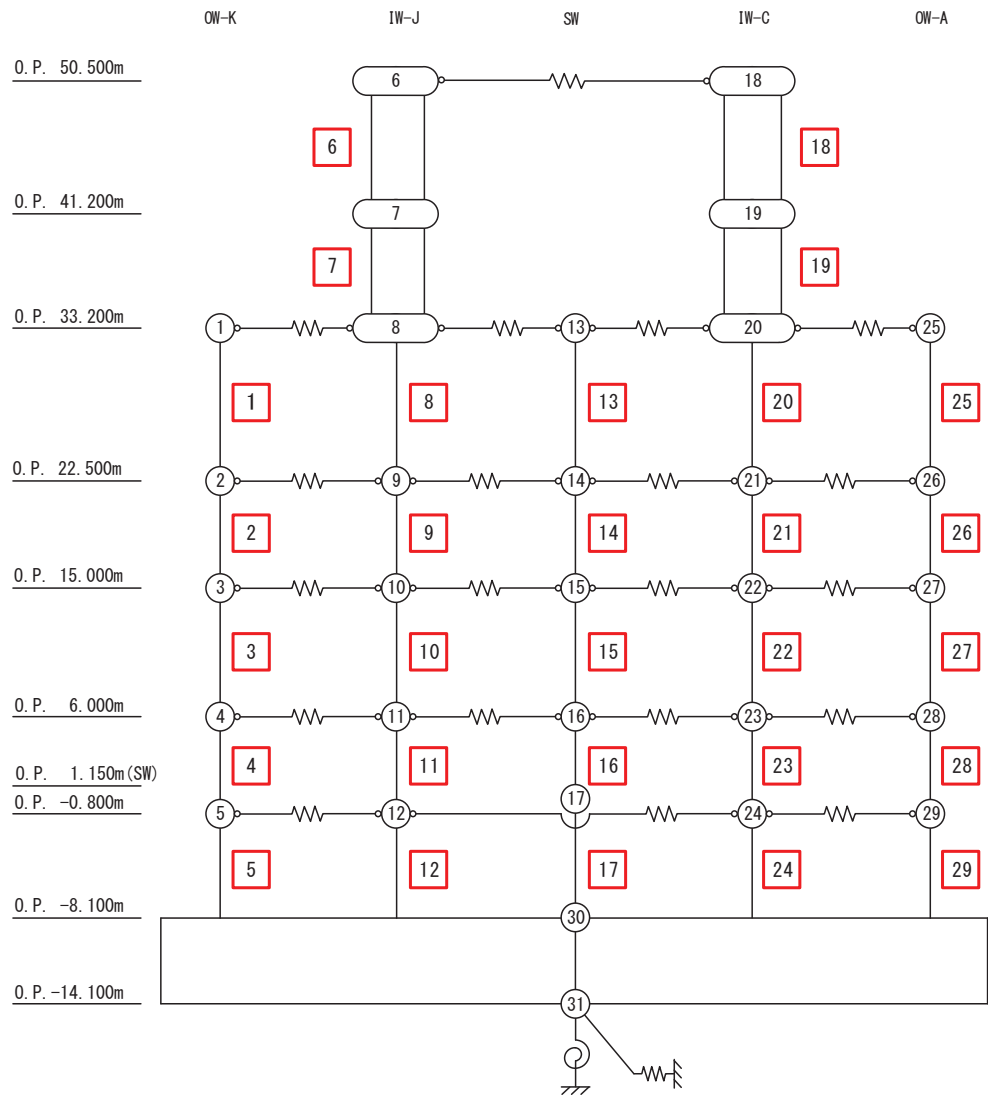


図 3-11(1) 質点系モデルの評価部位 (NS 方向) (1/2)

OW-1

IW-2

IW-4

SW

IW-10

OW-11

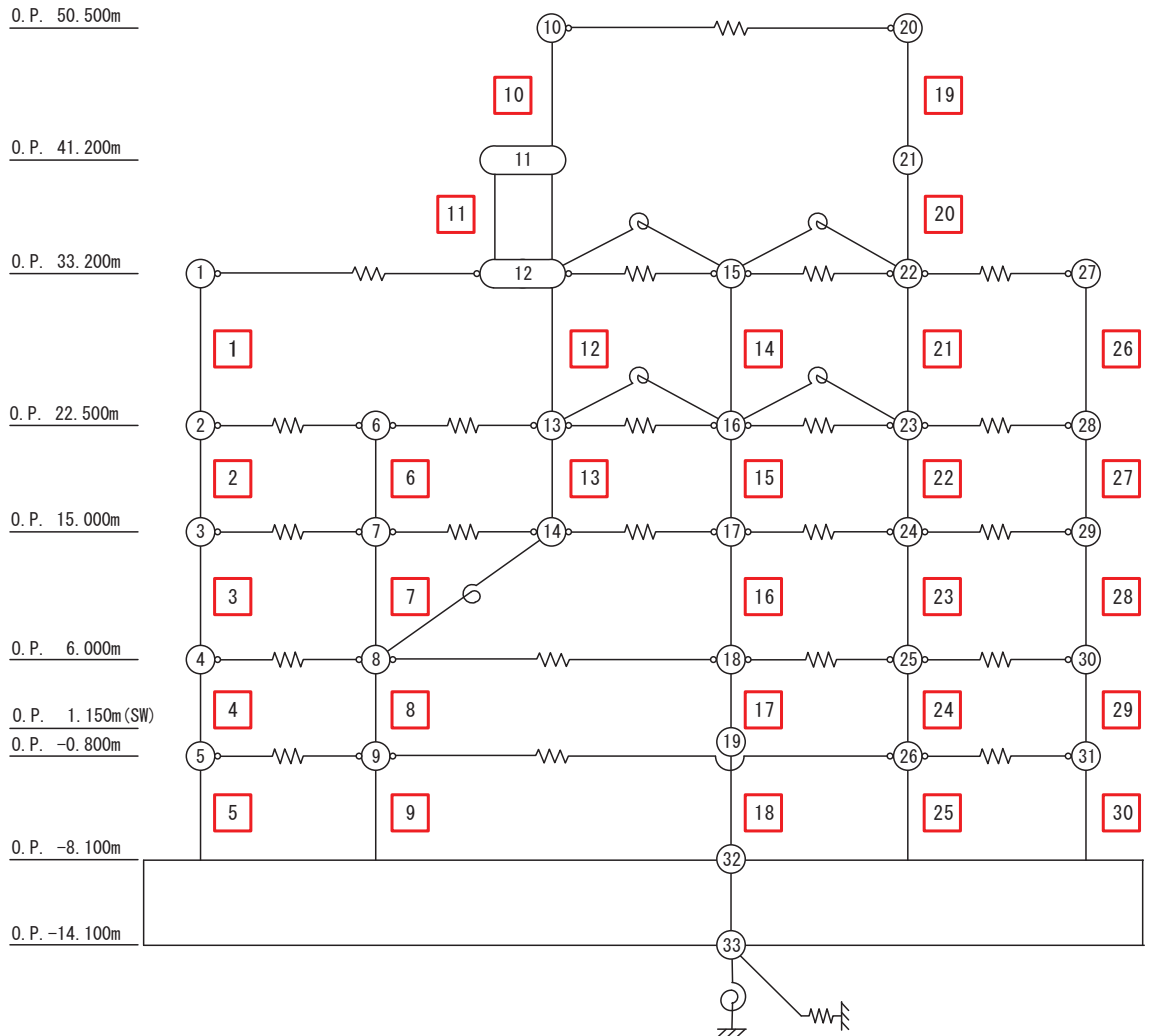


図 3-11(2) 質点系モデルの評価部位 (EW 方向) (2/2)

(1) 応答補正比率の算出

3次元 FEM モデルによる 3 次元的な応答性状を踏まえた定量的な耐震評価を行うため、質点系モデルの応答を補正する応答補正比率 ζ を算出する。

原子炉建屋については、質点系モデルにおいて、3次元的な応答性状を考慮した 3 方向同時入力の解析ができないことから、3次元 FEM モデルにおいて、1 方向入力及び 3 方向同時入力の最大応答加速度を比較し、応答補正比率 α を算出する。

得られた α を用いて、建屋評価用の応答補正比率 ζ を以下のように算出する。

① 応答補正比率 α は評価点ごとに定める。

② 応答補正比率 α は保守的な評価を実施するため、1.0 以上とする。

応答補正比率 ζ の算出式を以下に示す。

建屋評価用の応答補正比率 $\zeta = \text{Max}(\alpha, 1.0)$

ここで、

3 方向同時入力の応答補正比率 α

$$= \frac{\text{3 方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1 方向入力による最大応答加速度}}$$

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$)

応答補正比率 α 、 ζ の算定結果を表 3-6 及び表 3-7 に示す。応答補正比率 ζ は 1.0~1.47 の範囲にある。

表 3-6(1) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (NS 方向) (1/5)
(OW-K)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
33.2	1	63439	741	897	1.22	1.47
		75697	769	1125	1.47	
22.5	2	49412	622	671	1.08	1.22
		49476	661	806	1.22	
15.0	3	38903	559	593	1.07	1.07
		46255	575	556	0.97	
6.0	4	29034	539	585	1.09	1.09
		33367	577	527	0.92	
-0.8	5	21119	477	514	1.08	1.08
		24047	521	480	0.93	
-8.1		3381	419	421	1.01	1.01
		23	429	432	1.01	

表 3-6(2) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (NS 方向) (2/5)
(IW-J)

評価点			最大応答加速度 (cm/s ²)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
50.5	6	88027	1777	1779	1.01	1.03
		88344	1770	1812	1.03	
41.2	7	84109	1082	1066	0.99	1.01
		84344	1141	1151	1.01	
33.2	8	75973	821	871	1.07	1.08
		77499	797	855	1.08	
22.5	9	49608	649	625	0.97	1.05
		58133	630	597	0.95	
		49480	644	674	1.05	
15.0	10	46396	536	562	1.05	1.05
		46550	524	543	1.04	
		46616	550	538	0.98	
6.0	11	33416	499	518	1.04	1.04
		35731	514	475	0.93	
-0.8	12	24063	467	476	1.03	1.03
		24117	477	453	0.95	

表 3-6(3) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (NS 方向) (3/5)
(SW)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O.P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
33.2	13	63428	1230	1224	1.00	1.07
		63257	1230	1307	1.07	
		63416	1151	1145	1.00	
		63245	1193	1273	1.07	
22.5	14	63263	687	704	1.03	1.15
		63097	769	787	1.03	
		49261	717	734	1.03	
		49165	718	824	1.15	
15.0	15	37365	566	622	1.10	1.17
		44019	591	603	1.03	
		37353	553	646	1.17	
		44007	597	580	0.98	
6.0	16	33073	511	479	0.94	1.03
		33049	541	542	1.01	
		33061	499	513	1.03	
		33038	490	483	0.99	
1.15	17	27271	366	367	1.01	1.14
		27090	387	404	1.05	
		27251	355	382	1.08	
		27070	356	403	1.14	

表 3-6(4) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (NS 方向) (4/5)
(IW-C)

評価点			最大応答加速度 (cm/s ²)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
50.5	18	88002	1664	1856	1.12	1.12
		88397	1678	1762	1.06	
41.2	19	83177	1075	1098	1.03	1.05
		84353	1013	1061	1.05	
33.2	20	73324	752	762	1.02	1.02
		74151	797	789	0.99	
22.5	21	49395	622	636	1.03	1.05
		49820	587	602	1.03	
		58189	621	650	1.05	
15.0	22	46693	527	564	1.08	1.08
		46515	490	516	1.06	
		46422	512	534	1.05	
6.0	23	35650	480	514	1.08	1.08
		34915	436	430	0.99	
-0.8	24	24241	392	425	1.09	1.09
		24086	365	377	1.04	

表 3-6(5) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (NS 方向) (5/5)
(OW-A)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
33.2	25	74031	695	804	1.16	1.24
		74487	776	959	1.24	
22.5	26	49441	601	588	0.98	1.29
		49497	542	696	1.29	
15.0	27	46299	589	573	0.98	1.02
		38937	492	499	1.02	
6.0	28	27745	504	487	0.97	1.04
		28070	474	490	1.04	
-0.8	29	22037	414	411	1.00	1.02
		22059	410	418	1.02	
-8.1		3407	389	403	1.04	1.05
		45	383	400	1.05	

表 3-7(1) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (EW 方向) (1/6)
(0W-1)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
33.2	1	74031	859	840	0.98	1.02
		63439	865	881	1.02	
22.5	2	49441	708	661	0.94	1.03
		49412	712	730	1.03	
15.0	3	46299	535	534	1.00	1.10
		38903	557	611	1.10	
6.0	4	27745	485	489	1.01	1.05
		29034	510	535	1.05	
-0.8	5	22037	419	418	1.00	1.00
		21119	466	454	0.98	
-8.1		3407	397	391	0.99	1.01
		3381	401	401	1.01	

表 3-7(2) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (EW 方向) (2/6)
(IW-2)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	EW方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
22.5	6	49395	700	700	1.00	1.02
		49608	714	724	1.02	
15.0	7	46693	547	556	1.02	1.09
		46396	587	634	1.09	
6.0	8	35650	495	509	1.03	1.03
		33416	509	508	1.00	
-0.8	9	24241	436	448	1.03	1.03
		24063	474	465	0.99	

表 3-7(3) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (EW 方向) (3/6)
(IW-4)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O.P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
50.5	10	88002	1629	1616	1.00	1.08
		88027	1585	1704	1.08	
41.2	11	83177	1337	1438	1.08	1.08
		84109	1187	1117	0.95	
33.2	12	73324	1124	1129	1.01	1.01
		75973	977	962	0.99	
22.5	13	49820	810	823	1.02	1.02
		58133	804	817	1.02	
15.0	14	46515	624	643	1.03	1.13
		46550	686	772	1.13	

表 3-7(4) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (EW 方向) (4/6)
(SW)

評価点			最大応答加速度 (cm/s ²)		α ②/①	EW方向 応答補正比率 ζ
O.P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
33.2	15	63428	932	899	0.97	1.00
		63257	1088	1052	0.97	
		63416	927	888	0.96	
		63245	1142	1105	0.97	
22.5	16	63263	833	842	1.02	1.05
		63097	882	925	1.05	
		49261	795	773	0.98	
		49165	842	853	1.02	
15.0	17	37365	598	575	0.97	1.11
		44019	641	656	1.03	
		37353	595	658	1.11	
		44007	656	674	1.03	
6.0	18	33073	507	492	0.97	1.07
		33049	544	580	1.07	
		33061	526	519	0.99	
		33038	590	610	1.04	
1.15	19	27271	380	396	1.05	1.16
		27090	369	426	1.16	
		27251	369	390	1.06	
		27070	375	391	1.05	

表 3-7(5) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (EW 方向) (5/6)
(IW-10)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	NS方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
50.5	20	88397	1541	1582	1.03	1.03
		88344	1589	1470	0.93	
41.2	21	84353	1179	1188	1.01	1.01
		84344	1219	1143	0.94	
33.2	22	74151	884	883	1.00	1.00
		77499	944	910	0.97	
22.5	23	58189	673	686	1.02	1.02
		49480	676	658	0.98	
15.0	24	46422	559	553	0.99	1.00
		46616	572	566	0.99	
6.0	25	34915	515	541	1.06	1.06
		35731	485	509	1.05	
-0.8	26	24086	446	461	1.04	1.04
		24117	444	453	1.02	
-8.1		3449	377	361	0.96	1.02
		165	366	373	1.02	

表 3-7(6) 建屋耐震性評価用の応答補正比率の算定 (EW 方向) (6/6)
(OW-11)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α ②/①	EW方向 応答補正比率 ζ
O. P. (m)	質点番号	FEM節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力		
33.2	27	74487	913	1044	1.15	1.15
		75697	832	774	0.94	
22.5	28	49497	675	749	1.11	1.11
		49476	664	612	0.93	
15.0	29	38937	539	588	1.10	1.10
		46255	566	563	1.00	
6.0	30	28070	452	467	1.04	1.04
		33367	515	510	1.00	
-0.8	31	22059	411	410	1.00	1.00
		24047	466	445	0.96	

(2) 評価結果

各層の応答補正比率を乗じた最大せん断応力度及び最大せん断ひずみを表 3-9 に示す。

補正後の応答をプロットしたせん断スケルトンカーブを図 3-10 及び図 3-11 に示す。質点系モデルの最大応答せん断応力度に応答補正比率 ζ を乗じて、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響及び 3 次元的な応答特性を踏まえたせん断ひずみを評価した結果、NS 方向及び EW 方向ともにすべての層において、評価基準値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

以上のことから、原子炉建屋については、3 次元的な応答特性による応答補正を考慮しても、建屋が有する耐震性への影響はないことを確認した。

表 3-9(1) 3次元的な応答特性を踏まえたせん断応力度及びせん断ひずみ(1/2)

(a) NS方向

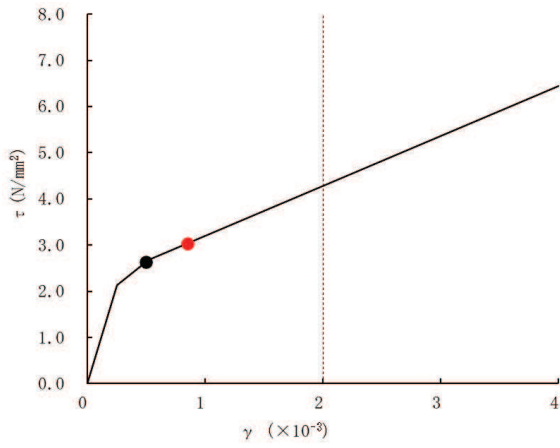
部材番号		質点系モデルの最大応答値 (基準地震動 S_s , NS方向)			NS方向 応答補正比率 ζ	応答補正後 (最大応答値 $\times\zeta$)	
		τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)	地震動		τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)
OW-K	1	2.63	0.50	$S_s - D 1$	1.47	3.04	0.85
	2	2.83	0.58	$S_s - D 1$	1.22	3.02	0.76
	3	2.83	0.52	$S_s - N 1$	1.07	2.93	0.57
	4	2.70	0.43	$S_s - N 1$	1.09	2.80	0.48
	5	3.19	0.60	$S_s - N 1$	1.08	3.30	0.66
IW-J	6	3.09	0.91	$S_s - D 2$	1.03	3.12	0.93
	7	3.23	1.06	$S_s - F 3$	1.01	3.23	1.06
	8	2.74	0.51	$S_s - D 2$	1.08	2.84	0.56
	9	2.99	0.60	$S_s - D 2$	1.05	3.03	0.64
	10	3.06	0.59	$S_s - N 1$	1.05	3.12	0.63
	11	2.90	0.51	$S_s - N 1$	1.04	2.95	0.54
	12	3.21	0.62	$S_s - N 1$	1.03	3.25	0.64
SW	13	1.28	0.15	$S_s - D 2$	1.07	1.37	0.16
	14	2.48	0.30	$S_s - D 2$	1.15	2.58	0.35
	15	2.77	0.34	$S_s - N 1$	1.17	2.90	0.40
	16	3.73	0.75	$S_s - N 1$	1.03	3.77	0.78
	17	2.89	0.34	$S_s - N 1$	1.14	3.01	0.39
IW-C	18	3.25	1.05	$S_s - F 3$	1.12	3.37	1.16
	19	3.08	0.92	$S_s - D 2$	1.05	3.13	0.96
	20	2.93	0.61	$S_s - D 2$	1.02	2.95	0.63
	21	3.25	0.74	$S_s - D 1$	1.05	3.30	0.79
	22	3.10	0.58	$S_s - N 1$	1.08	3.21	0.64
	23	2.91	0.50	$S_s - N 1$	1.08	3.02	0.55
	24	3.47	0.80	$S_s - N 1$	1.09	3.57	0.90
OW-A	25	2.76	0.55	$S_s - D 2$	1.24	2.97	0.74
	26	2.96	0.62	$S_s - D 1$	1.29	3.23	0.89
	27	3.05	0.59	$S_s - F 3$	1.02	3.08	0.61
	28	2.83	0.48	$S_s - F 3$	1.04	2.88	0.50
	29	3.33	0.74	$S_s - F 3$	1.02	3.35	0.76

表 3-9(2) 3次元的な応答特性を踏まえたせん断応力度及びせん断ひずみ(2/2)

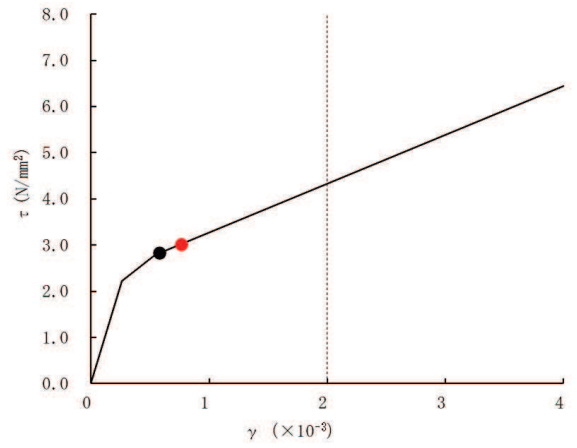
(b) EW方向

部材番号		質点系モデルの最大応答値 (基準地震動 S_s , NS方向)			EW方向 応答補正比率 ζ	応答補正後 (最大応答値 $\times \zeta$)	
		τ (N/mm^2)	τ ($\times 10^{-3}$)	地震動		τ (N/mm^2)	τ ($\times 10^{-3}$)
OW-1	1	2.77	0.56	$S_s - D 2$	1.02	2.79	0.58
	2	2.85	0.52	$S_s - D 1$	1.03	2.89	0.54
	3	2.97	0.56	$S_s - D 1$	1.10	3.08	0.64
	4	2.65	0.39	$S_s - N 1$	1.05	2.76	0.44
	5	3.01	0.52	$S_s - N 1$	1.00	3.01	0.52
IW-2	6	2.53	0.41	$S_s - D 1$	1.02	2.55	0.42
	7	3.21	0.64	$S_s - D 1$	1.09	3.29	0.72
	8	2.74	0.41	$S_s - N 1$	1.03	2.77	0.43
	9	3.14	0.56	$S_s - N 1$	1.03	3.18	0.58
IW-4	10	2.51	0.45	$S_s - F 3$	1.08	2.53	0.46
	11	2.93	0.77	$S_s - D 2$	1.08	2.93	0.77
	12	2.53	0.38	$S_s - D 2$	1.01	2.56	0.39
	13	2.93	0.47	$S_s - D 1$	1.02	2.97	0.49
SW	14	1.73	0.19	$S_s - D 2$	1.00	1.73	0.19
	15	2.62	0.37	$S_s - D 1$	1.05	2.66	0.39
	16	3.17	0.54	$S_s - D 1$	1.11	3.32	0.62
	17	3.61	0.68	$S_s - N 1$	1.07	3.72	0.74
	18	2.82	0.31	$S_s - N 1$	1.16	2.96	0.36
IW-10	19	2.82	0.68	$S_s - D 2$	1.03	2.85	0.71
	20	2.84	0.70	$S_s - D 2$	1.01	2.84	0.71
	21	2.72	0.49	$S_s - D 2$	1.00	2.72	0.49
	22	3.16	0.71	$S_s - D 1$	1.02	3.18	0.73
	23	3.02	0.56	$S_s - D 1$	1.00	3.02	0.56
	24	2.70	0.41	$S_s - N 1$	1.06	2.76	0.44
	25	3.16	0.59	$S_s - N 1$	1.04	3.23	0.62
OW-11	26	2.69	0.54	$S_s - D 2$	1.15	2.82	0.66
	27	2.97	0.70	$S_s - D 1$	1.11	3.09	0.81
	28	2.77	0.49	$S_s - D 1$	1.10	2.90	0.56
	29	2.69	0.41	$S_s - N 1$	1.04	2.73	0.43
	30	3.06	0.54	$S_s - N 1$	1.00	3.06	0.54

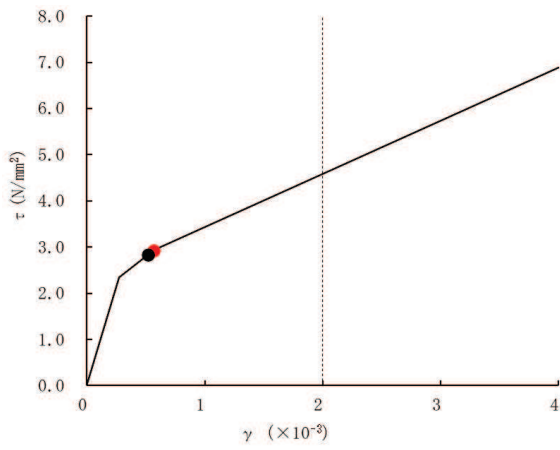
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



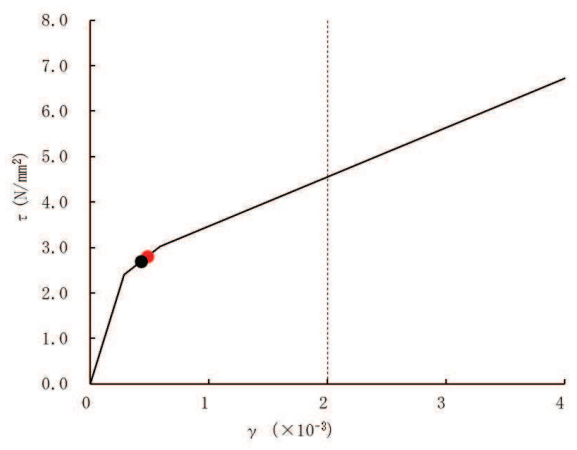
要素番号(1)



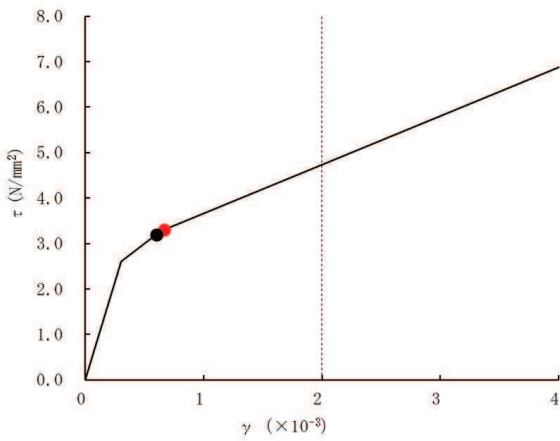
要素番号(2)



要素番号(3)



要素番号(4)



要素番号(5)

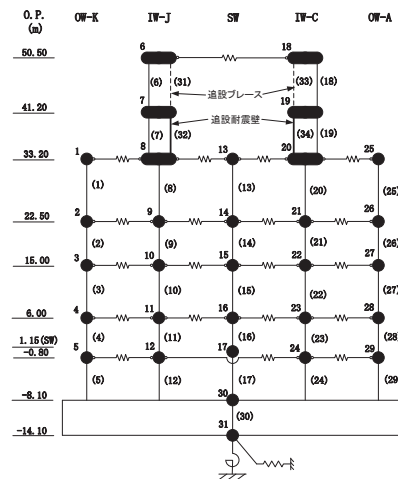
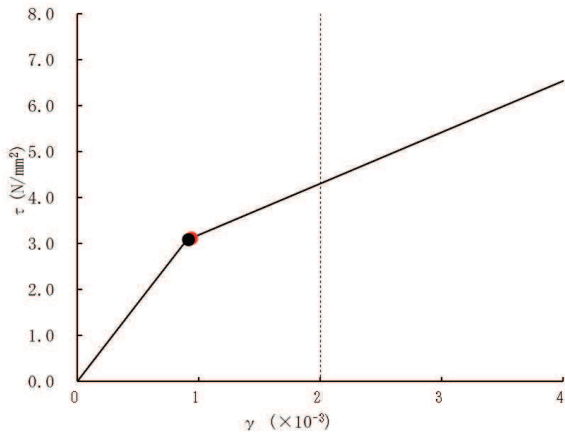
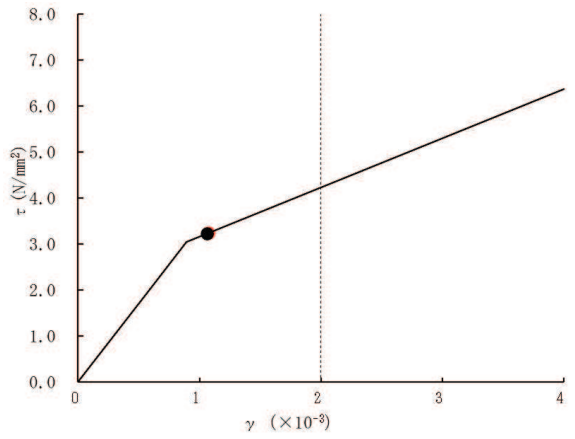


図 3-10(1) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向) (1/6)

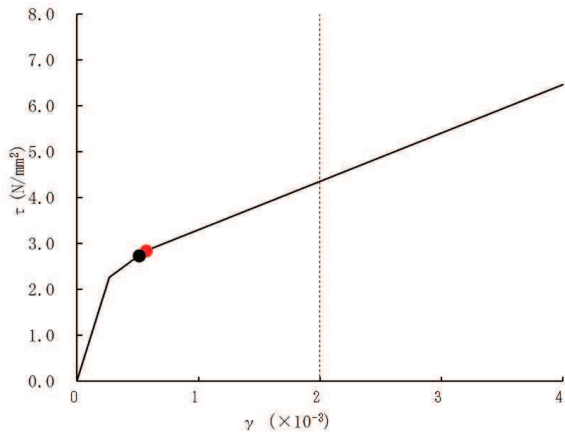
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



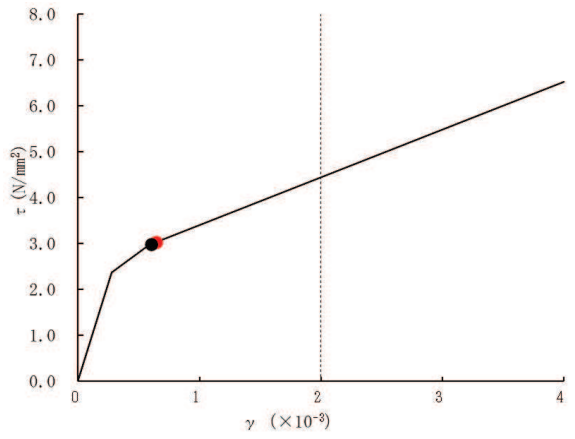
要素番号(6)



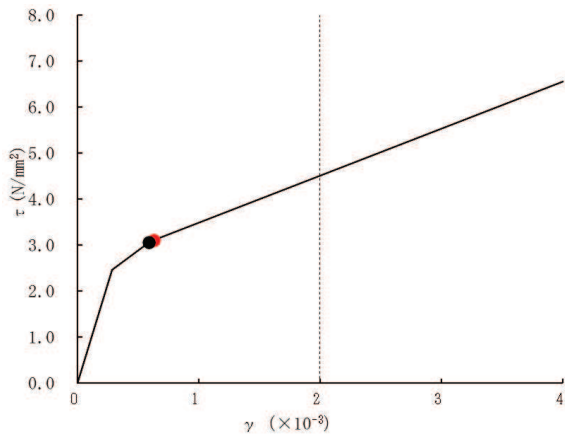
要素番号(7)



要素番号(8)



要素番号(9)



要素番号(10)

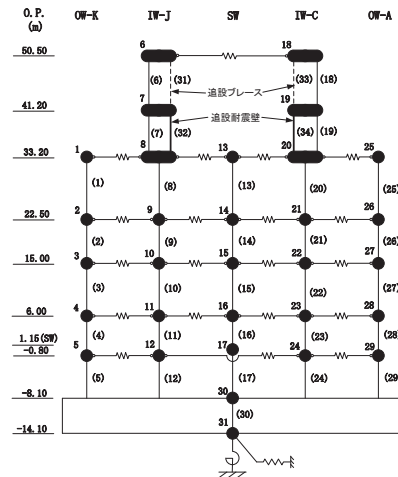
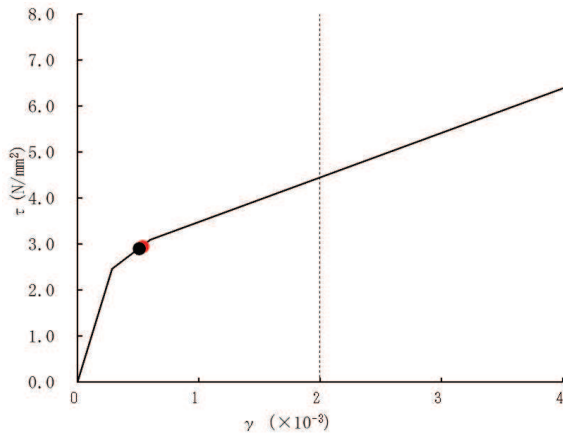
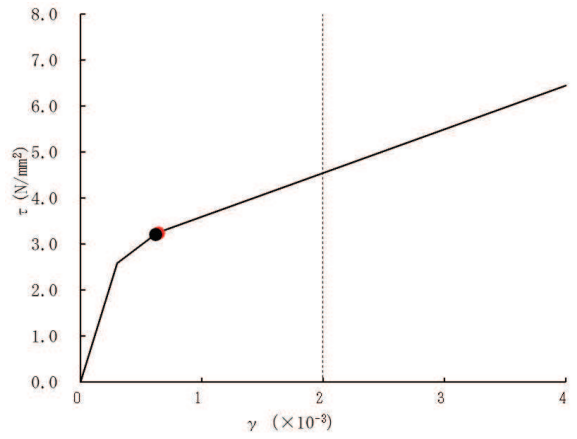


図 3-10(2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向) (2/6)

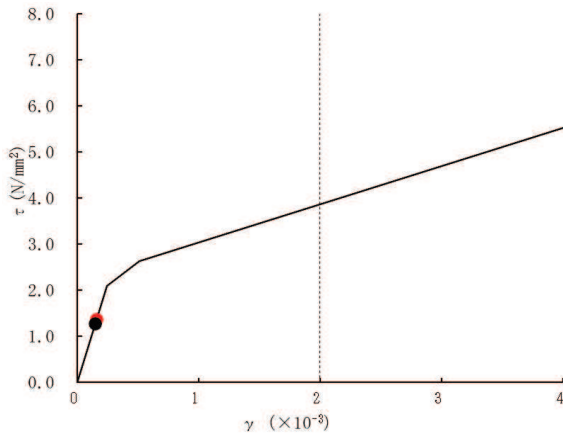
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



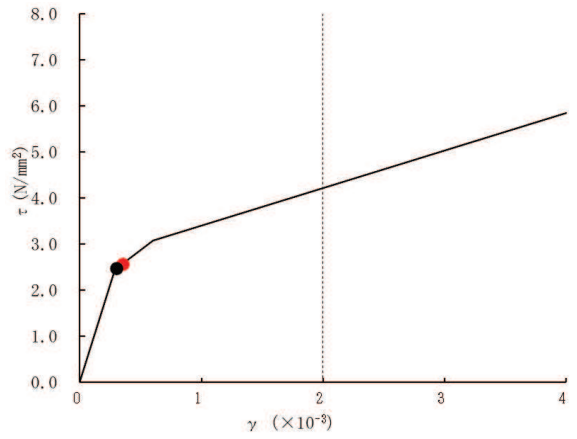
要素番号(11)



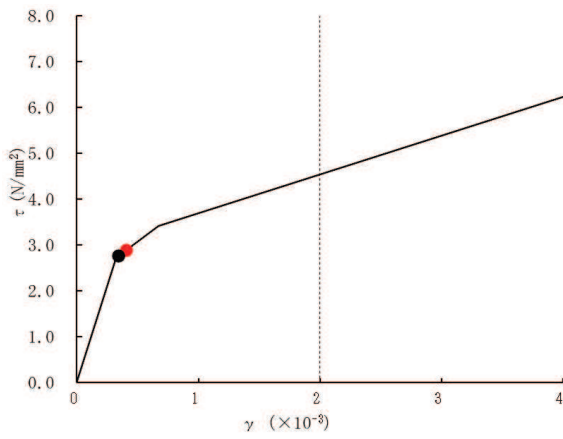
要素番号(12)



要素番号(13)



要素番号(14)



要素番号(15)

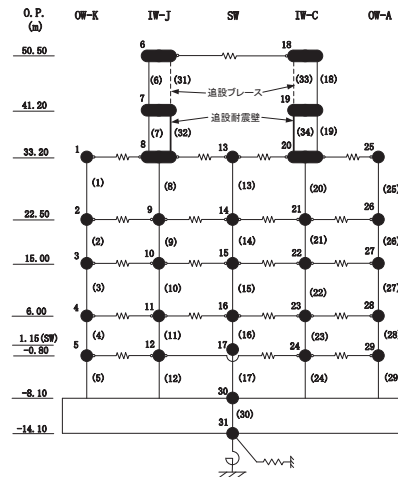
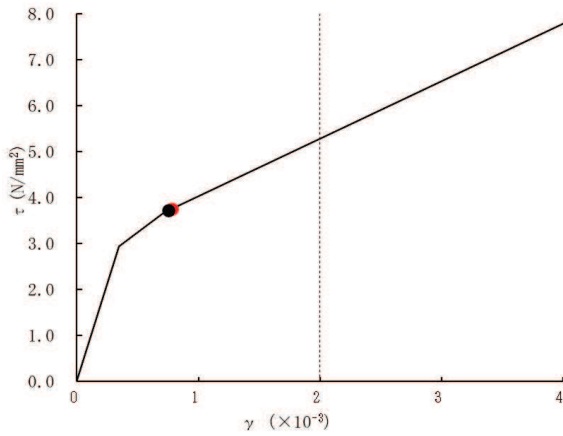
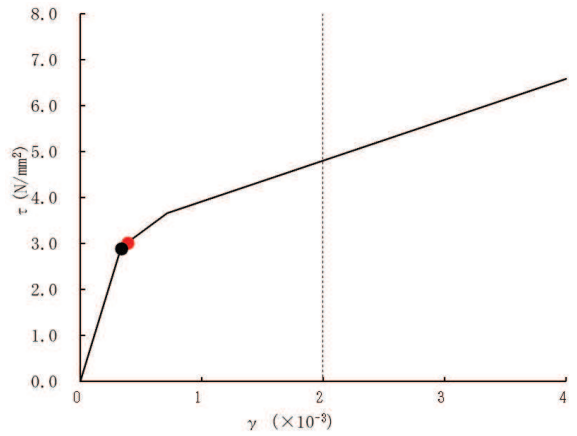


図 3-10(3) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向) (3/6)

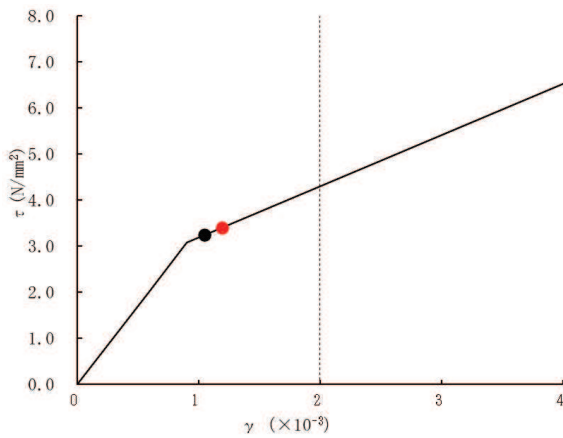
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



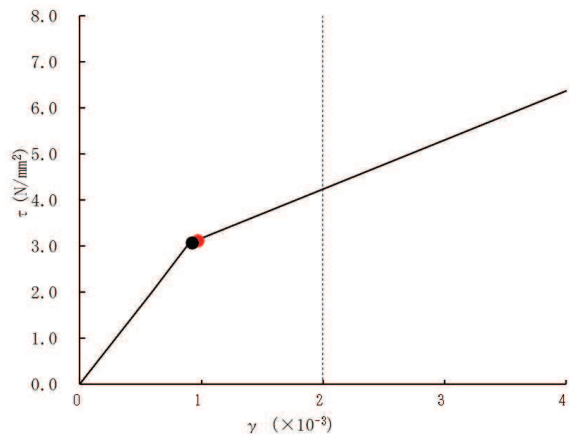
要素番号 (16)



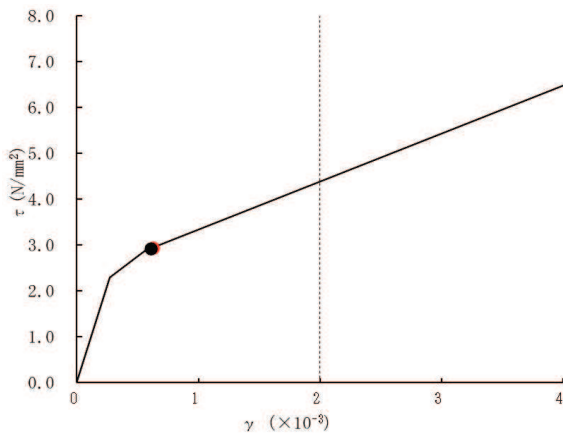
要素番号 (17)



要素番号 (18)



要素番号 (19)



要素番号 (20)

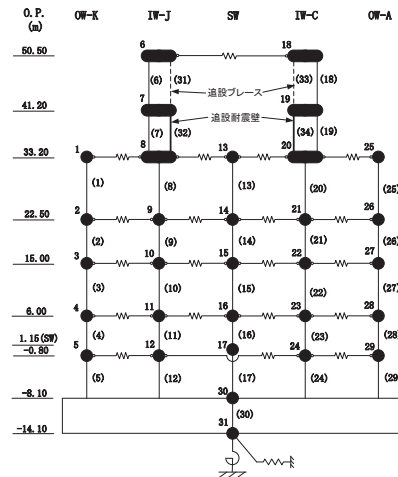
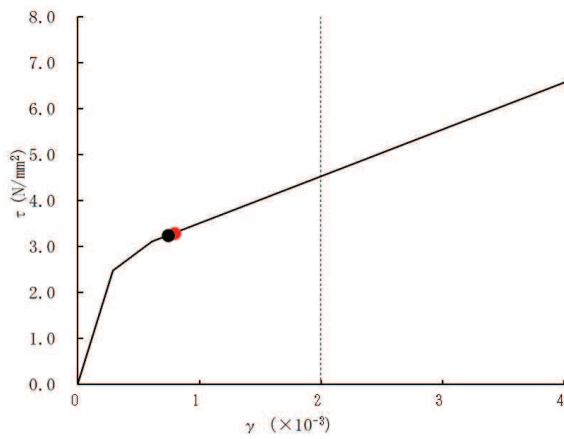
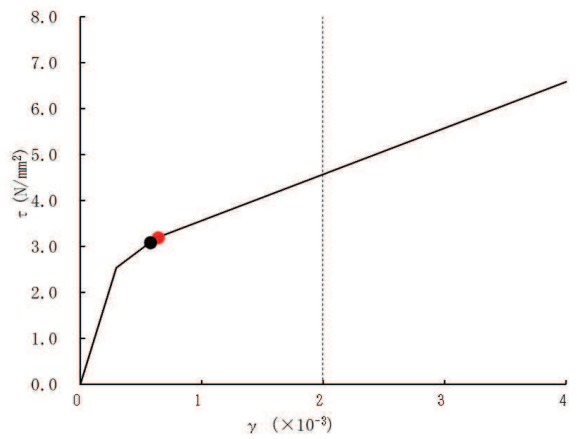


図 3-10(4) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向) (4/6)

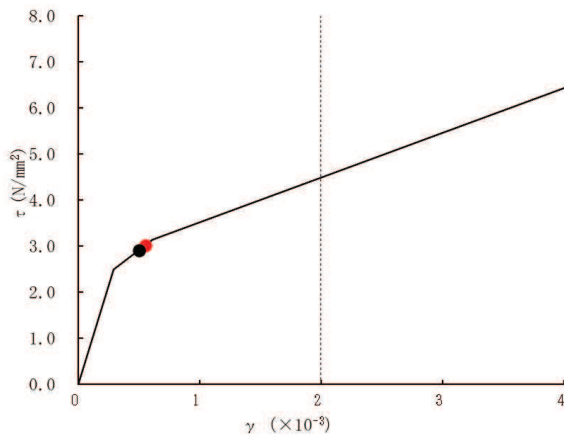
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



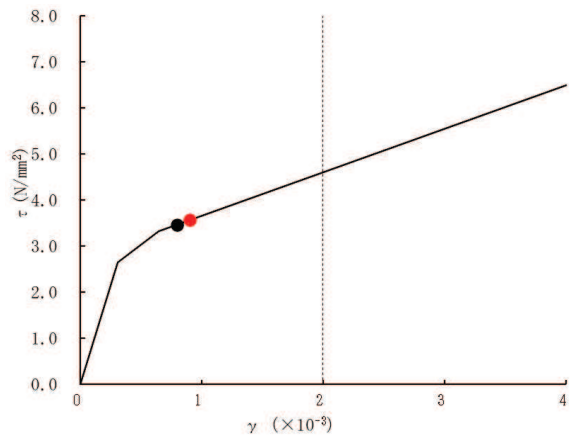
要素番号 (21)



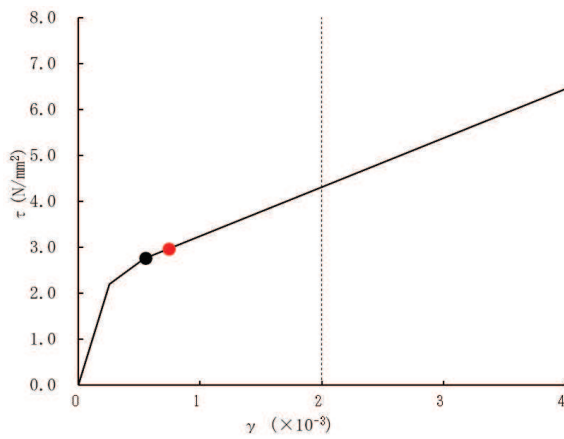
要素番号 (22)



要素番号 (23)



要素番号 (24)



要素番号 (25)

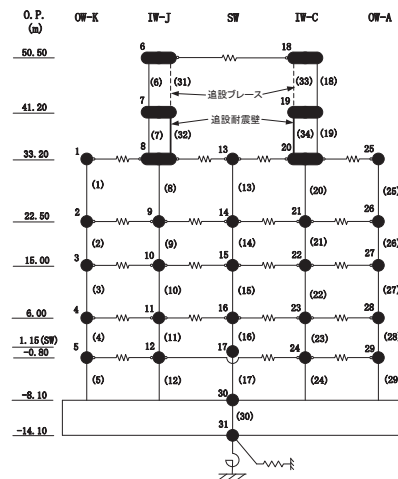
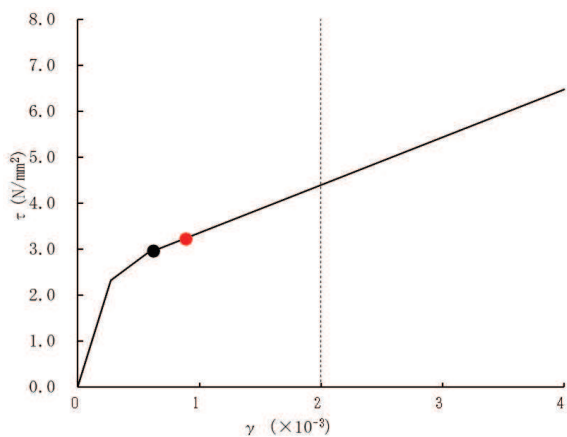
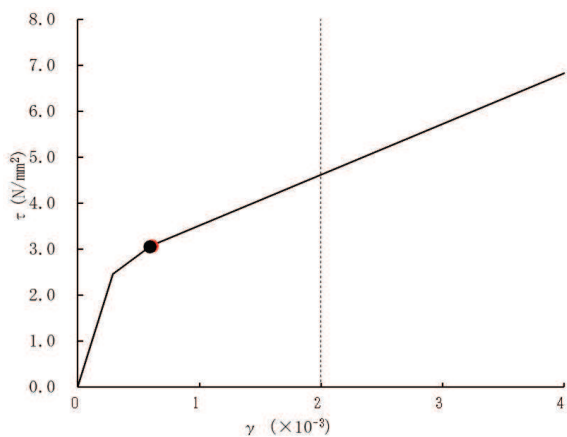


図 3-10(5) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向) (5/6)

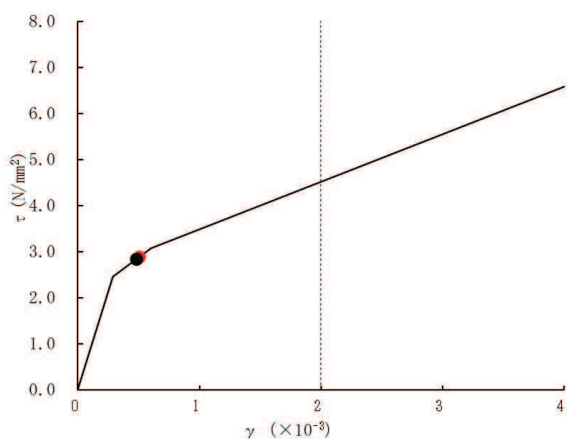
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



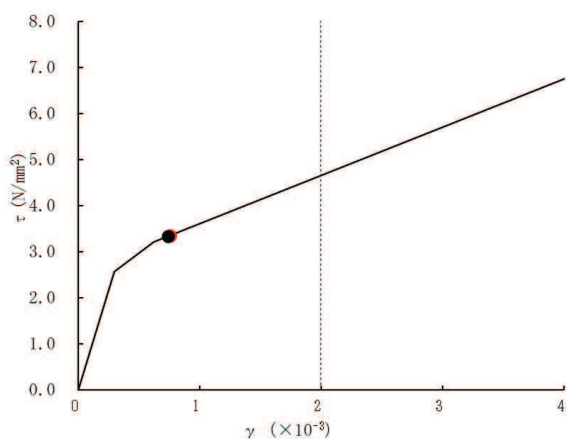
要素番号 (26)



要素番号 (27)



要素番号 (28)



要素番号 (29)

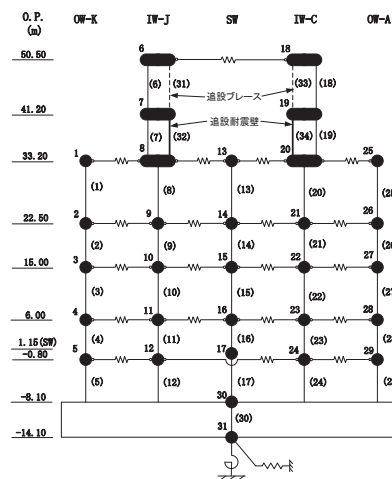
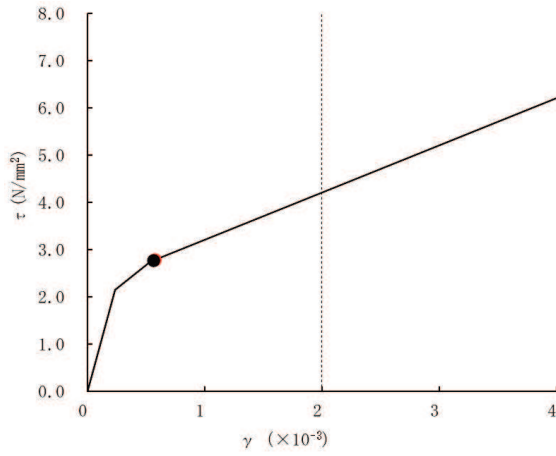
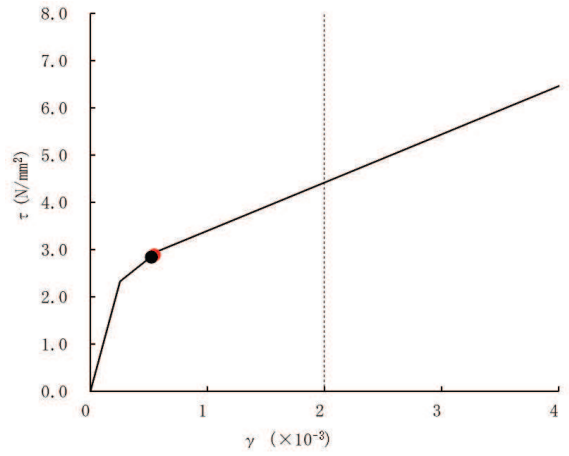


図 3-10(6) セン断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向) (6/6)

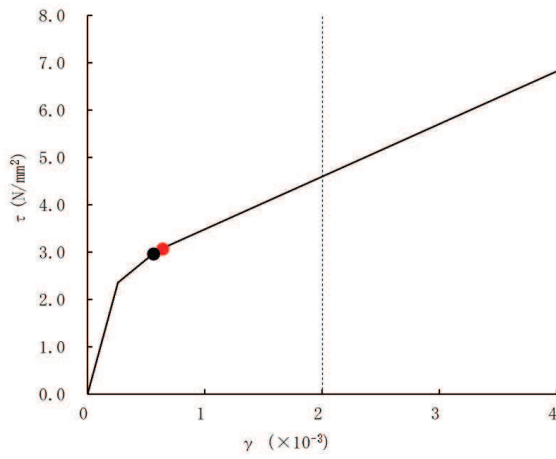
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



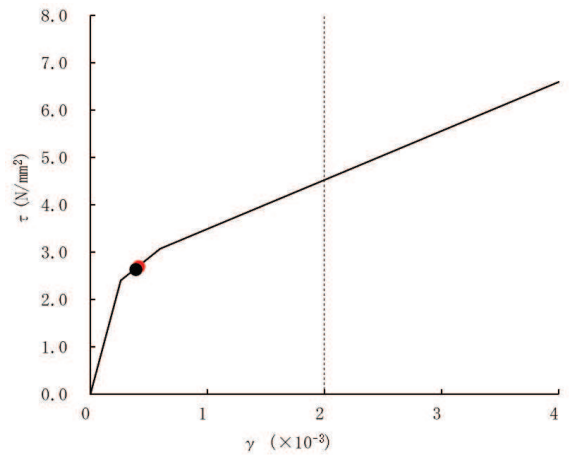
要素番号(1)



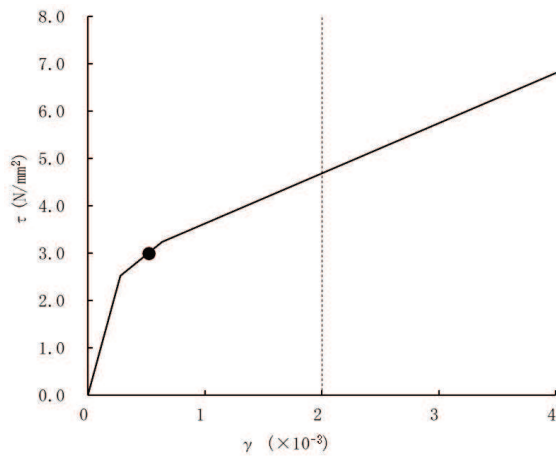
要素番号(2)



要素番号(3)



要素番号(4)



要素番号(5)

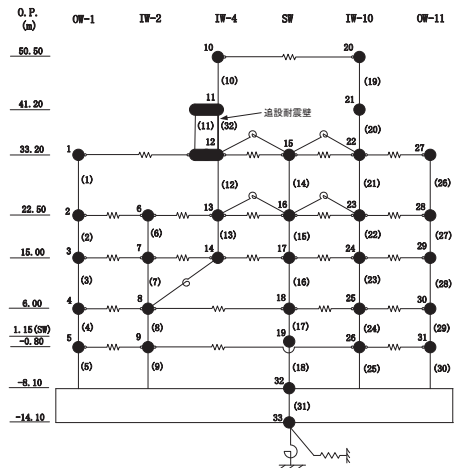
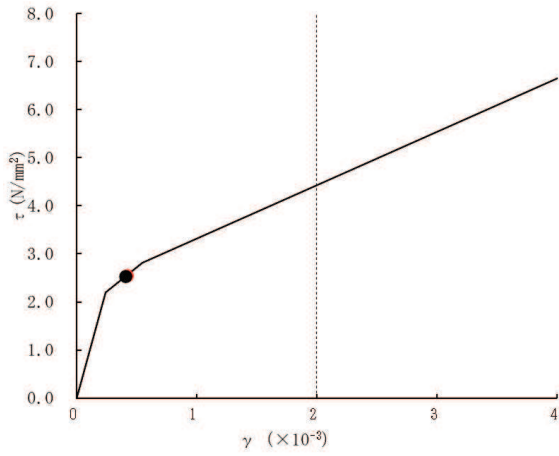
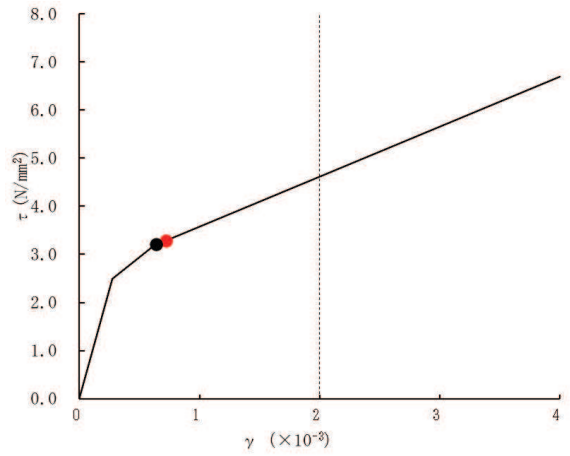


図 3-11(1) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向) (1/6)

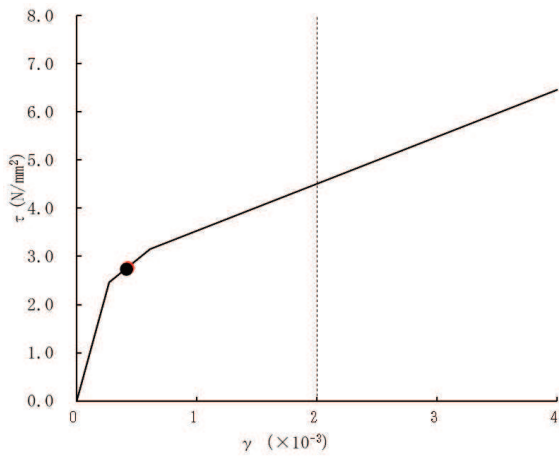
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



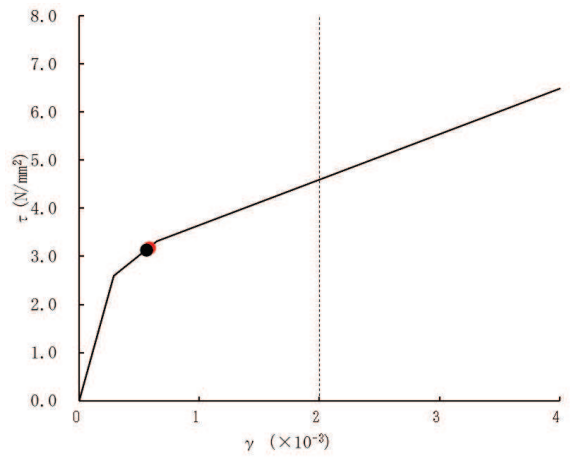
要素番号(6)



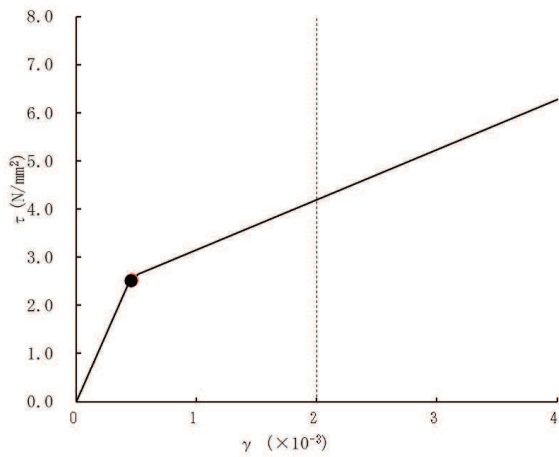
要素番号(7)



要素番号(8)



要素番号(9)



要素番号(10)

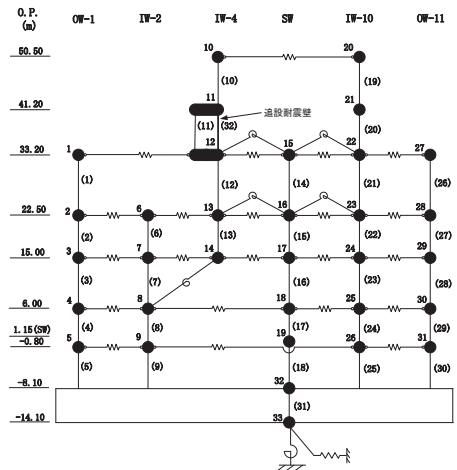
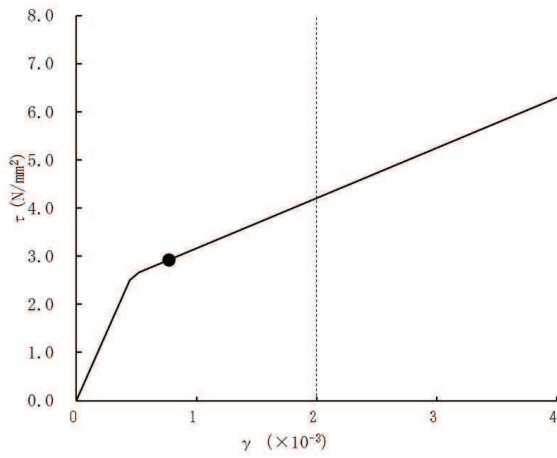
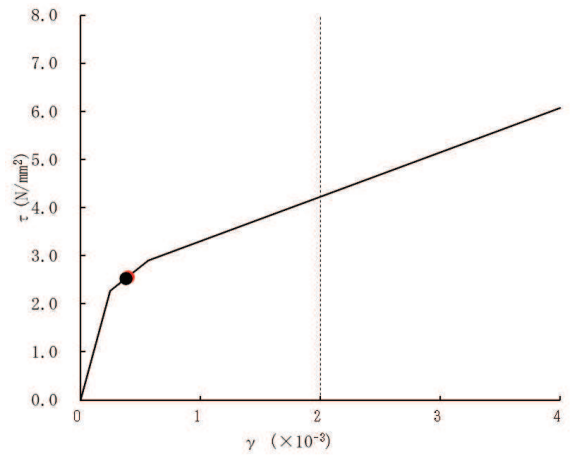


図 3-11(2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向) (2/6)

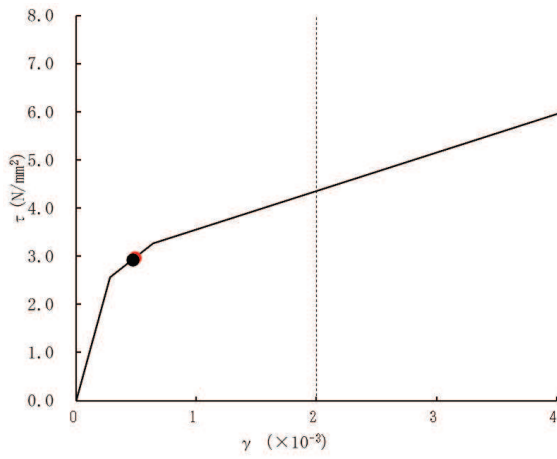
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



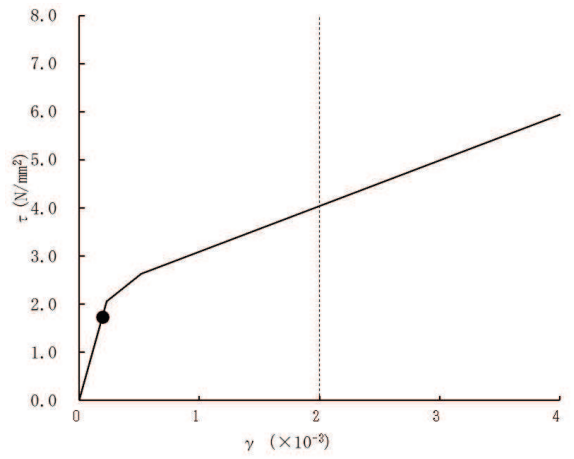
要素番号(11)



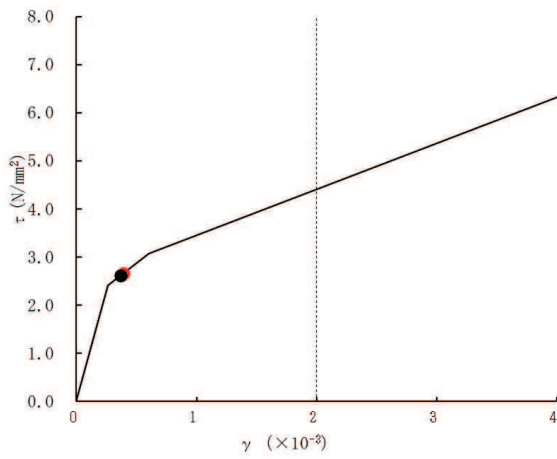
要素番号(12)



要素番号(13)



要素番号(14)



要素番号(15)

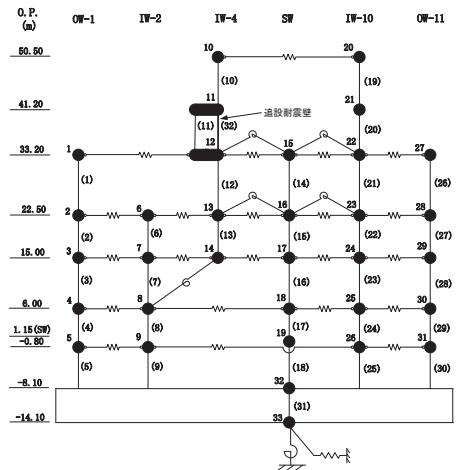
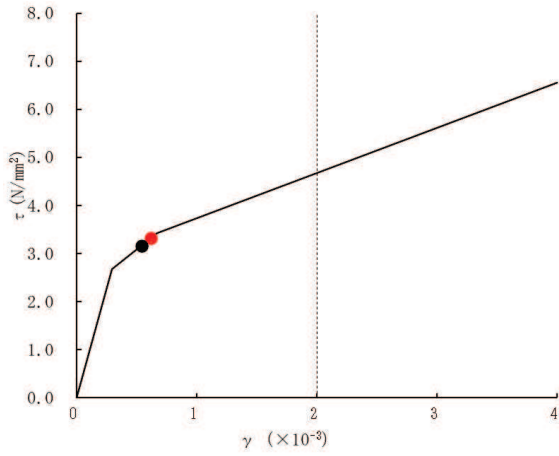
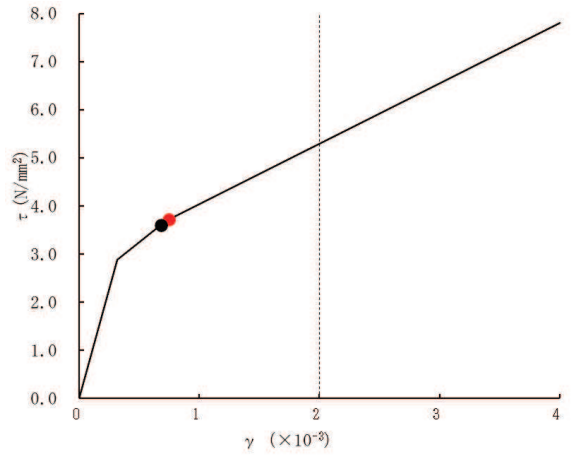


図 3-11(3) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向) (3/6)

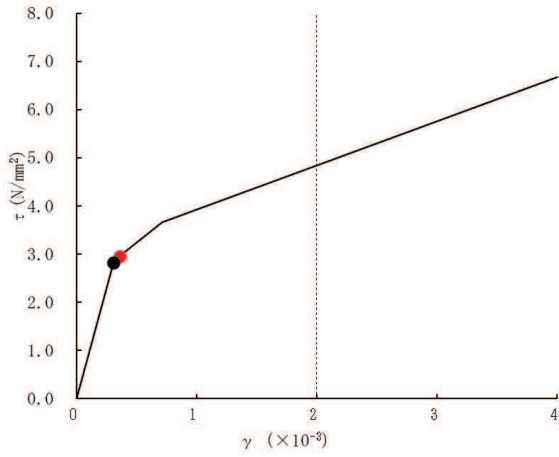
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



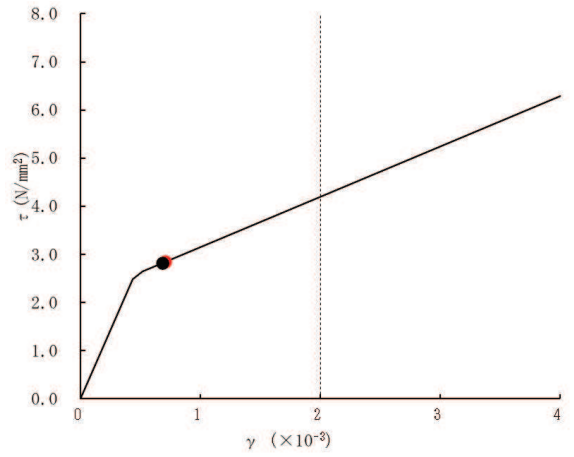
要素番号(16)



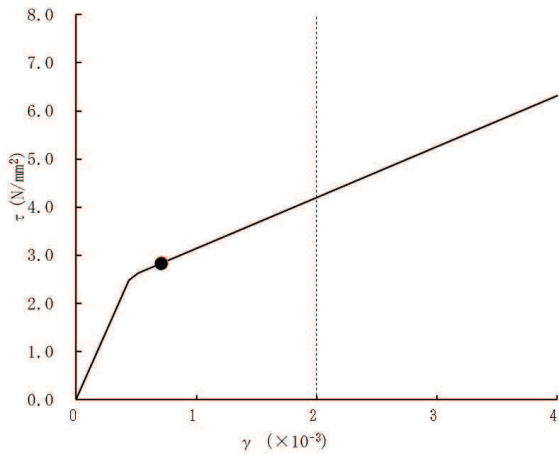
要素番号(17)



要素番号(18)



要素番号(19)



要素番号(20)

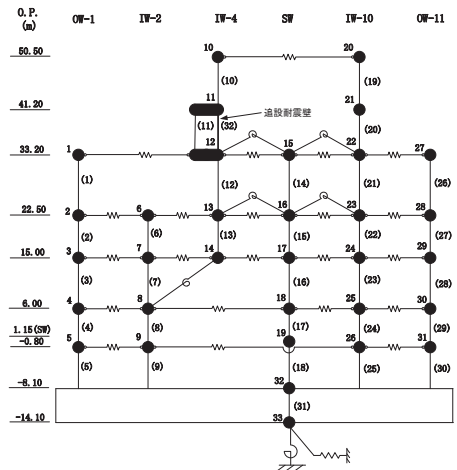
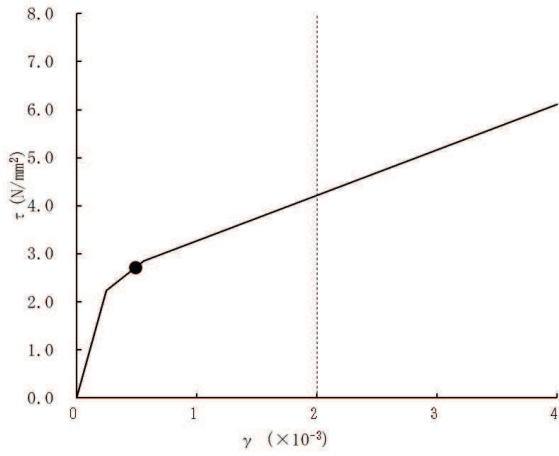
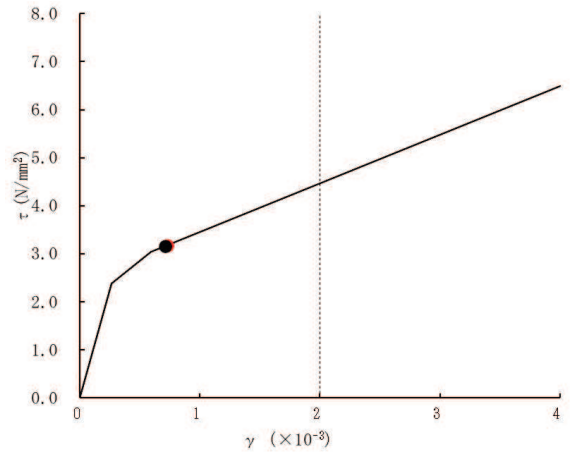


図 3-11(4) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向) (4/6)

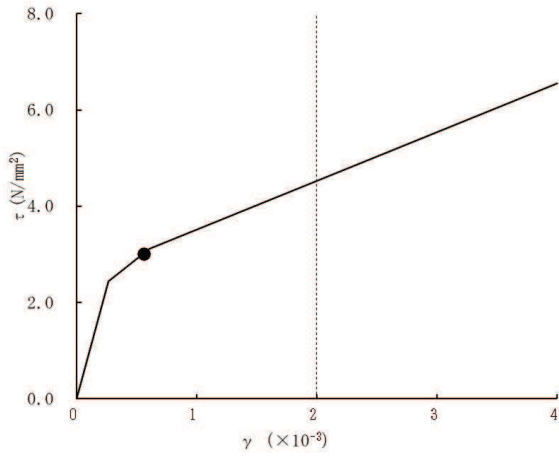
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



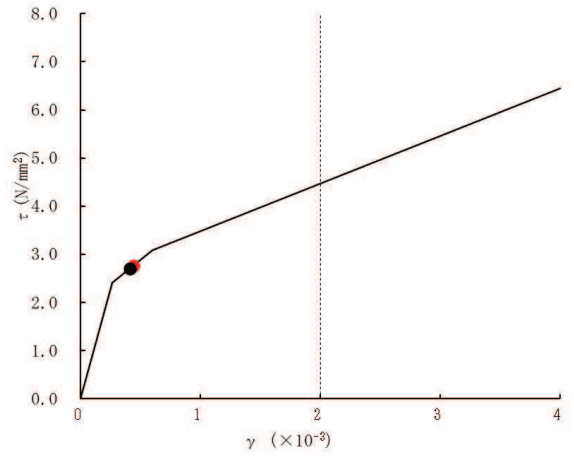
要素番号 (21)



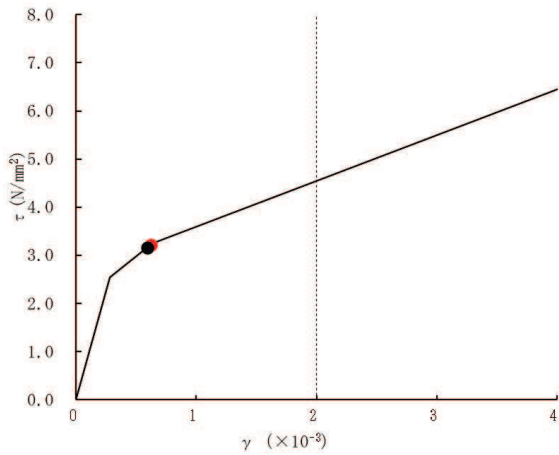
要素番号 (22)



要素番号 (23)



要素番号 (24)



要素番号 (25)

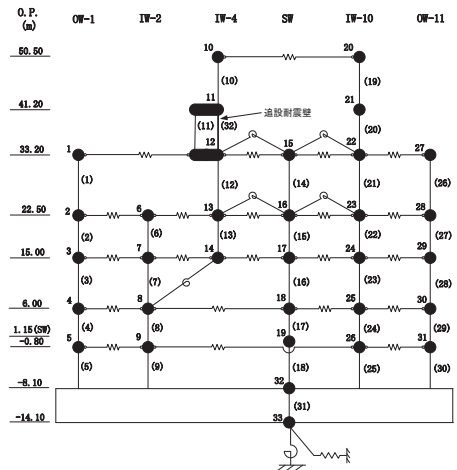
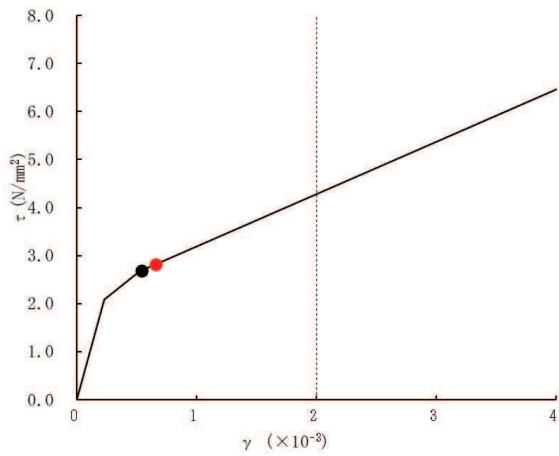
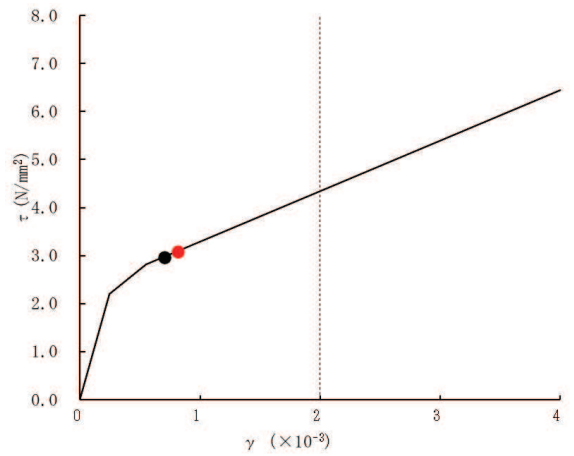


図 3-11(5) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向) (5/6)

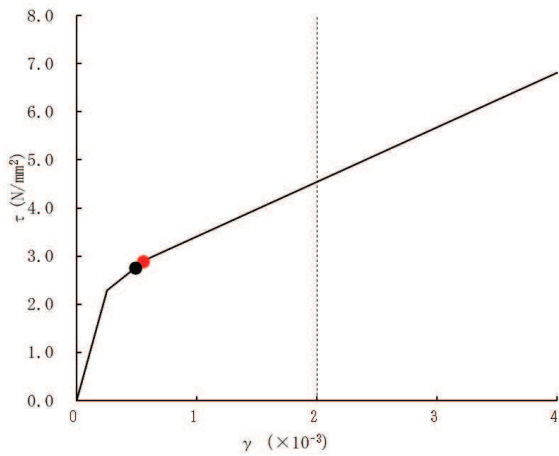
● 補正前応答値 ● 補正後応答値



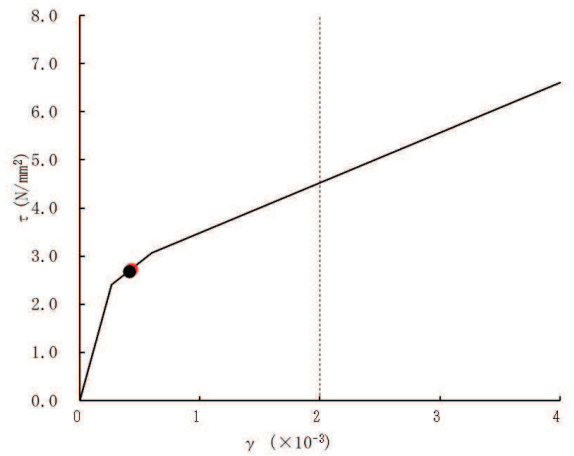
要素番号 (26)



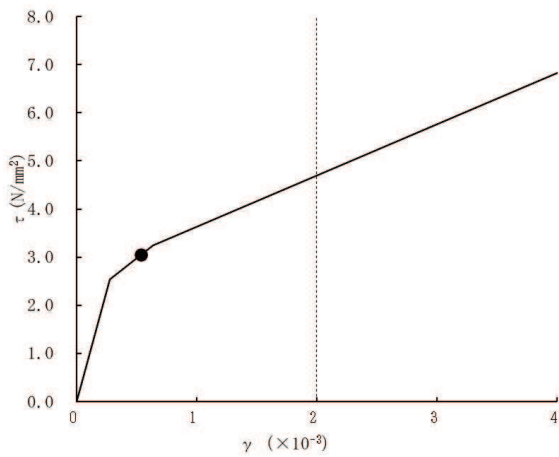
要素番号 (27)



要素番号 (28)



要素番号 (29)



要素番号 (30)

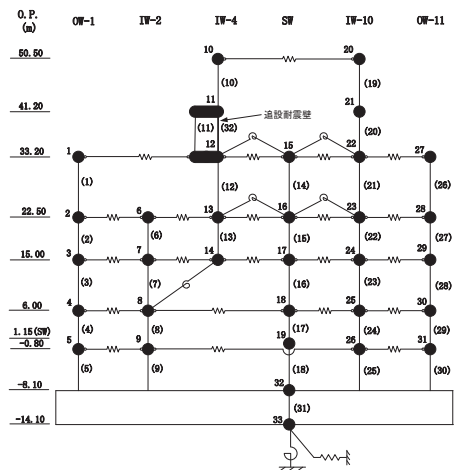


図 3-11(6) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向) (6/6)

3.4 床応答への影響検討

3次元 FEM モデルによる地震応答解析結果から、3次元挙動が床応答に及ぼす影響について検討する。

評価部位は、図 3-5 における O.P. -8.1m～O.P. 33.2mにおける南東の外壁部（R1 通り及び RK 通り）とする。

評価に当たっては、3次元 FEM モデルにおける 1方向入力及び 3方向同時入力時の床応答の比較、並びに質点系モデル及び 3次元 FEM モデルの床応答を比較し、3次元的な応答特性の影響を確認する。

ここで、1方向入力及び 3方向同時入力時の床応答の比較については、「3.2.4 水平 2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響」にて検討しており、各レベルにおいて 3方向同時入力による影響はほとんどないことを確認している。

質点系モデル及び 3次元 FEM モデルの床応答の比較について、地震動の入力は質点系モデルで 1方向入力していることから、3次元 FEM モデルにおいても 1方向入力と比較する。

表 3-4 及び表 3-5 に比較結果を示す。3次元モデルの応答は質点系モデルの応答を下回っており、質点系モデルの応答を用いた評価が保守的であることが確認できた。

以上のことから、3次元的な応答特性を踏まえても、原子炉建屋における質点系モデルの応答は、妥当であることが確認できた。

表 3-4(1) 3次元 FEM モデルの 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (S d - D 2) (1/3)

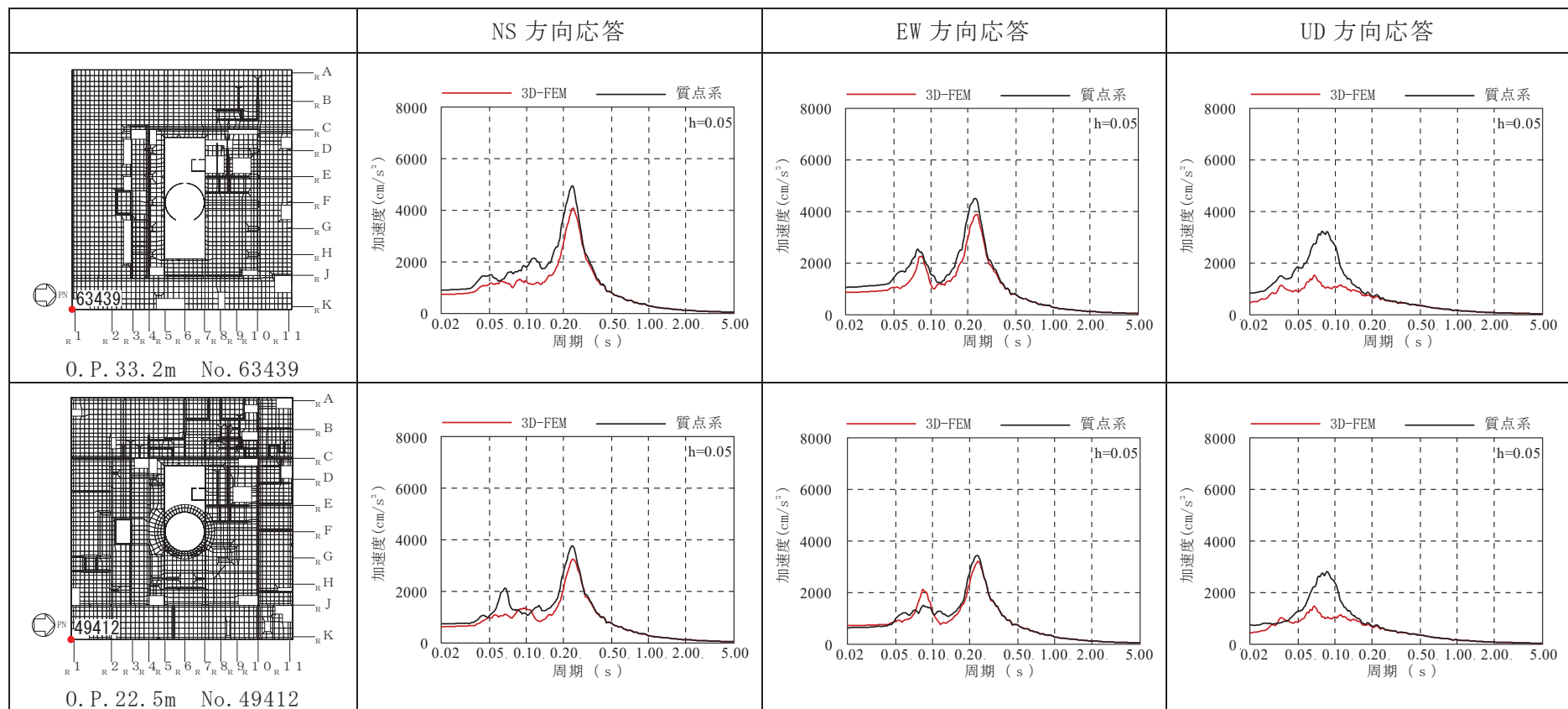


表 3-4(2) 3次元 FEM モデルの 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (S d - D 2) (2/3)

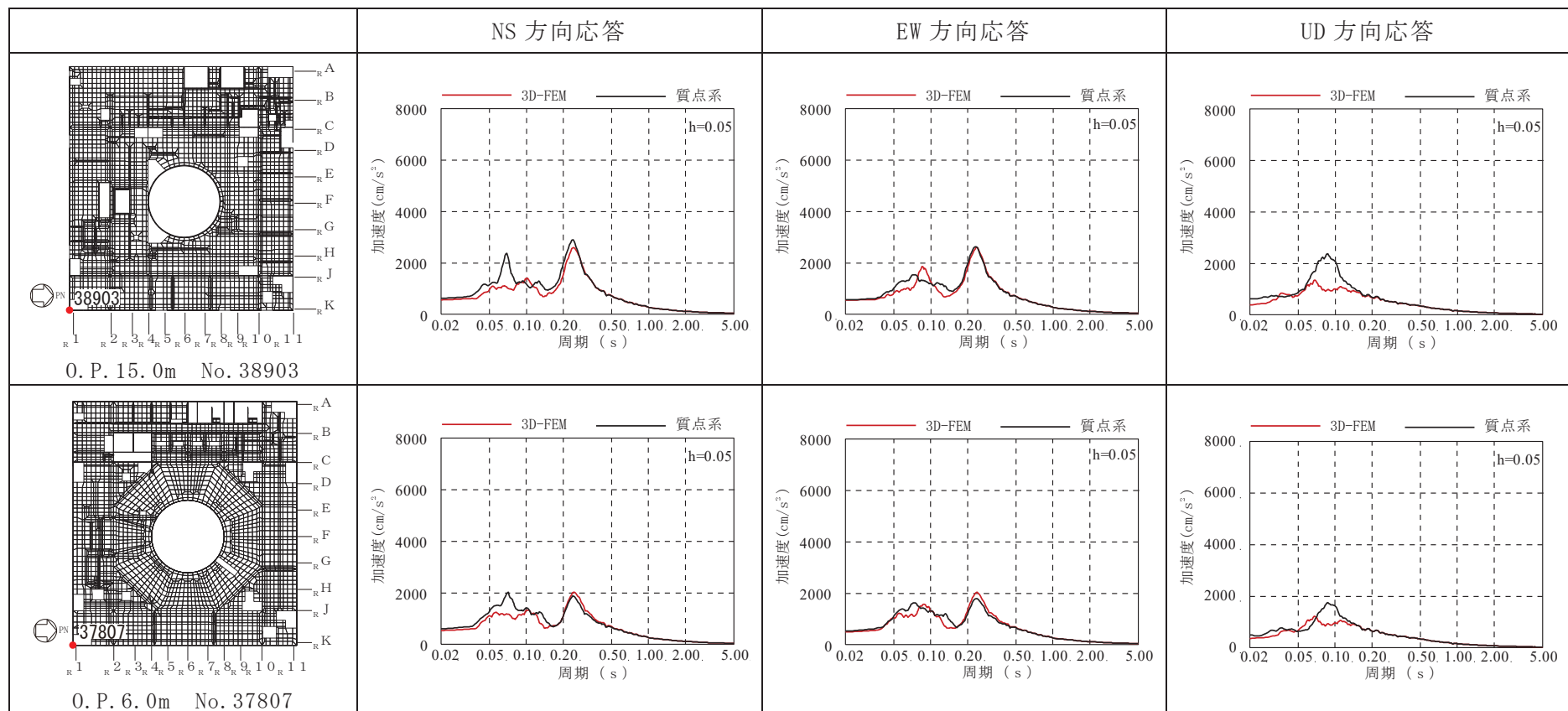
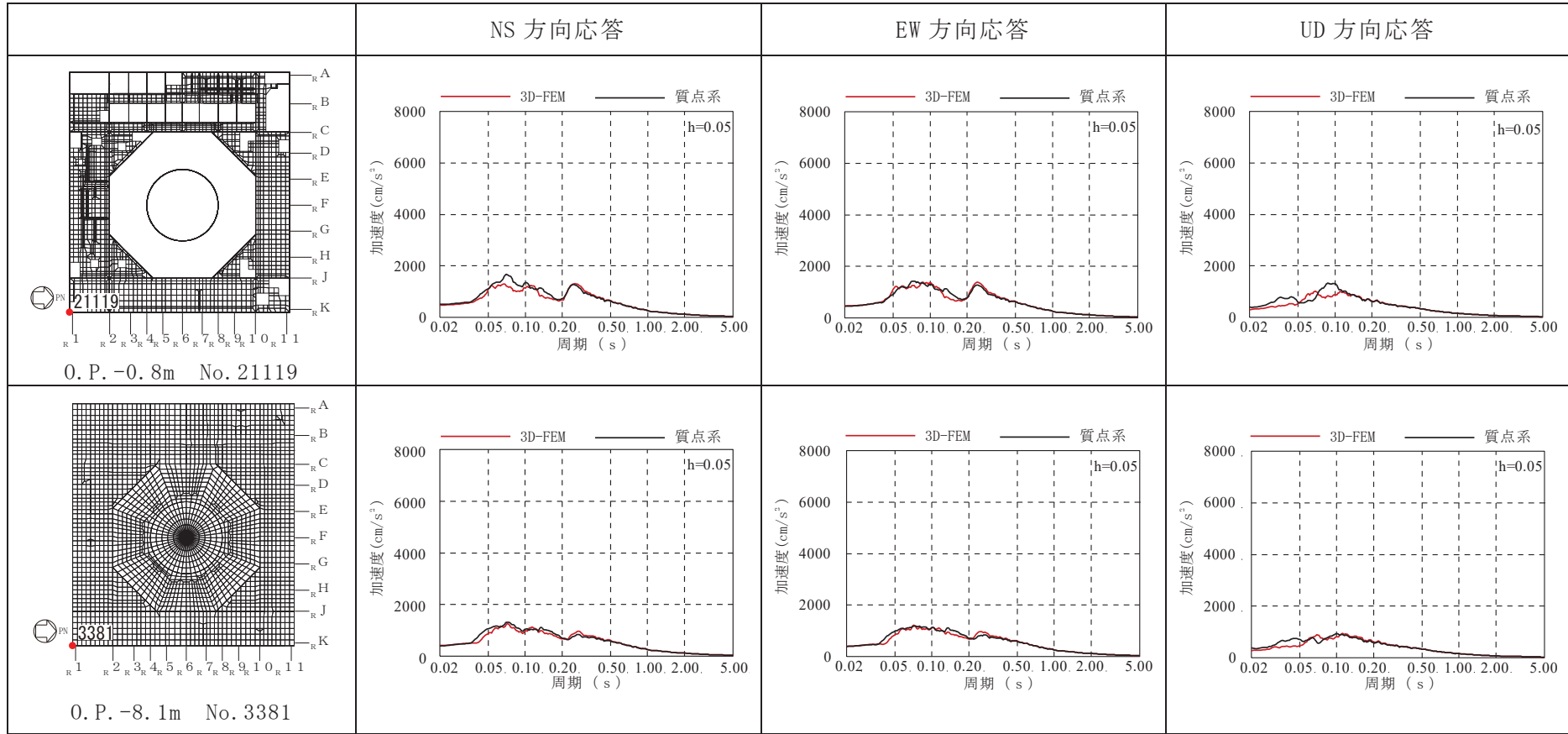


表 3-4(3) 3次元 FEM モデルの 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (S d - D 2) (3/3)



4. まとめ

「別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査」においては、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した原子炉建屋の壁（燃料取替床レベル）について、3次元 FEM モデルにより精査を行い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の考慮が必要な部位は抽出されなかったことを確認した。

本資料では、建屋評価部位全般に対し、原子炉建屋を対象とした 3次元 FEM モデルより、水平 2 方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し検討することで、局所的な応答についての精査を行った。精査の結果、有している耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

以上のことから、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位については、有する耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。

別紙 6 原子炉建屋基礎版の応力解析における応力平均化の考え方

目 次

1. 概要	別紙 6- 1
2. 応力平均化の考え方	別紙 6- 2
2.1 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 6- 2
2.2 応力平均化の方法	別紙 6- 4
2.3 応力平均化の結果	別紙 6-35
2.4 断面の評価結果	別紙 6-42

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-12-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す原子炉建屋基礎版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）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえ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度ではなく、周囲の複数の要素で平均化した応力度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を示す。

2. 応力平均化の考え方

2.1 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。

原子炉建屋基礎版では、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、要素位置図を図 2-1 に示す。

表 2-1 応力平均化要素

評価項目	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 応力度	放射	214	3-10	1.03
		218	3-9	1.02
		219	3-9	1.08
		220	3-9	1.08
		221	3-9	1.01
		237	3-13	1.03
		238	3-13	1.04
	NS	421	3-14	1.41
		442	3-16	1.02
		443	3-10	1.35
		1159	3-13	1.36
		1161	3-11	1.03
		1180	3-12	1.06
		1181	3-9	1.39
	EW	541	3-16	1.07
		571	3-15	1.09
		572	3-13	1.18
		594	3-9	1.28
		907	3-12	1.43
		937	3-11	1.45
		1098	3-11	1.17

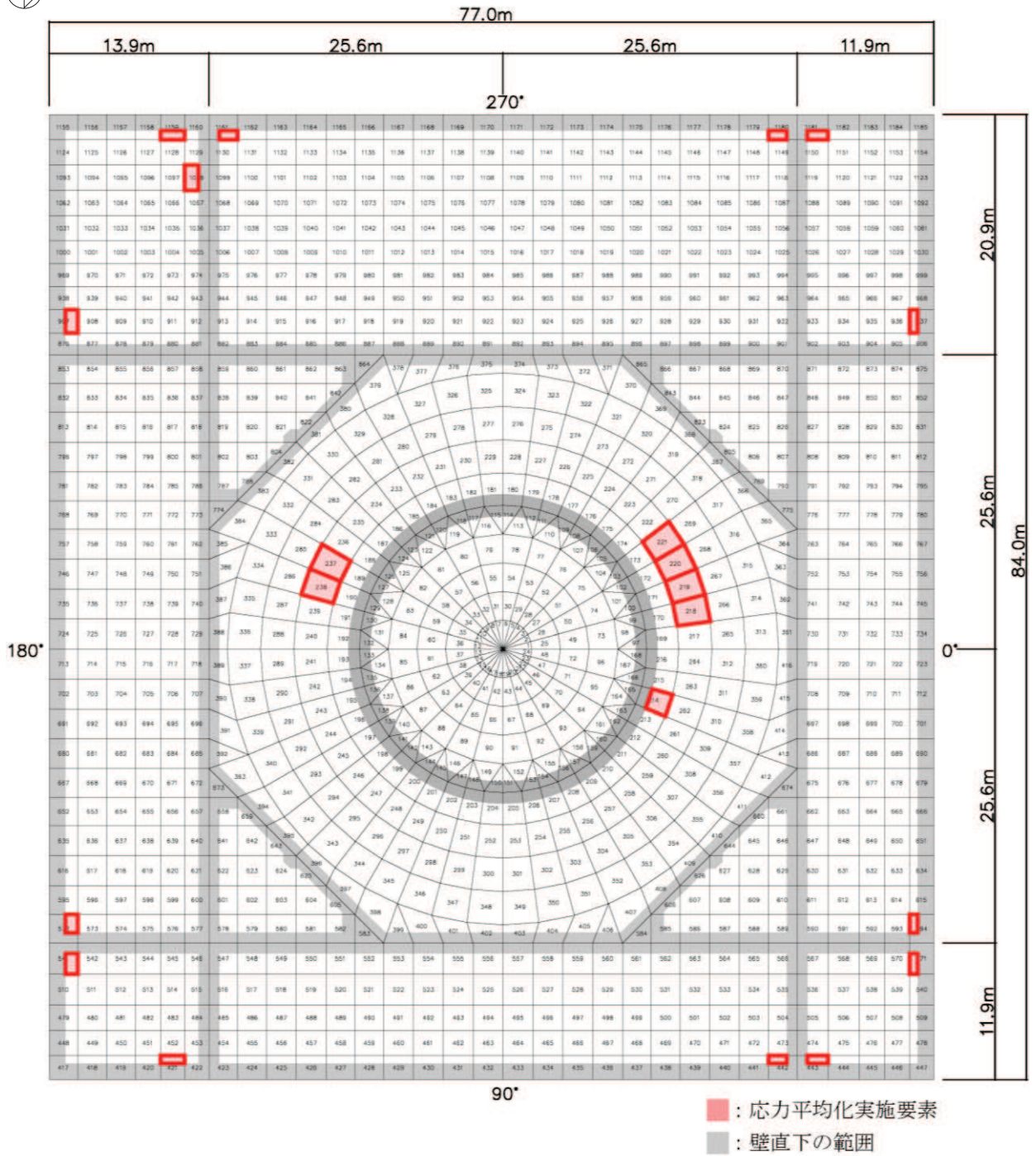


図 2-1 要素位置図

2.2 応力平均化の方法

3次元 FEM モデルを用いた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。原子炉建屋基礎版の3次元 FEM モデルを用いた応力解析において、当該部は図 2-2 に示すようにシェル壁、耐震壁と隣接した要素であり、応力が集中しやすい。図 2-3 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分かる。

そこで、今回の原子炉建屋基礎版の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。なお、今回の原子炉建屋基礎版の応力解析には弾塑性解析を採用し、材料の非線形特性を設定しているが、面外せん断力に対しては非線形特性を考慮できないことから、算出された応力に対して平均化を行った。

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、局所的に応力の集中があったとしても、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、基礎版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、基礎版においても、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 2-4 に示す。

壁、床スラブ、基礎版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。原子炉建屋基礎版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 2-5 に示す。

以上より、応力の平均化は、応力コンター図及び基礎版の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隣接要素に対して、壁面から基礎版の部材厚である 6.0m 分の範囲で行った。なお、上記に基づき応力平均化対象とする一連の要素が、連続した壁により拘束される場合には、これらが壁直下の範囲に含まれていることも踏まえ、発生応力の直交方向に隣接する要素を含む範囲で平均化を行った。各要素について応力平均化範囲を図 2-6 に示す。

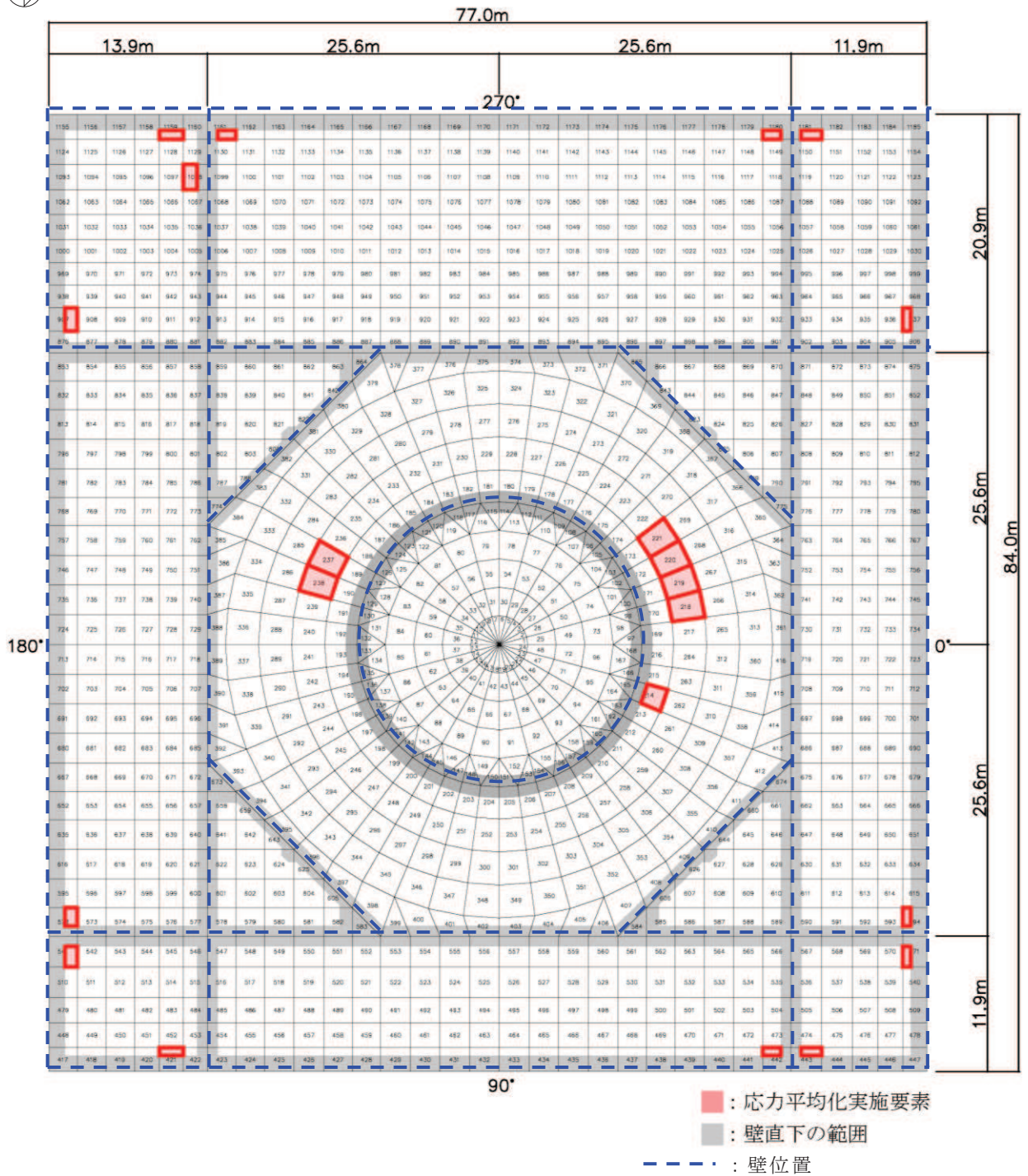
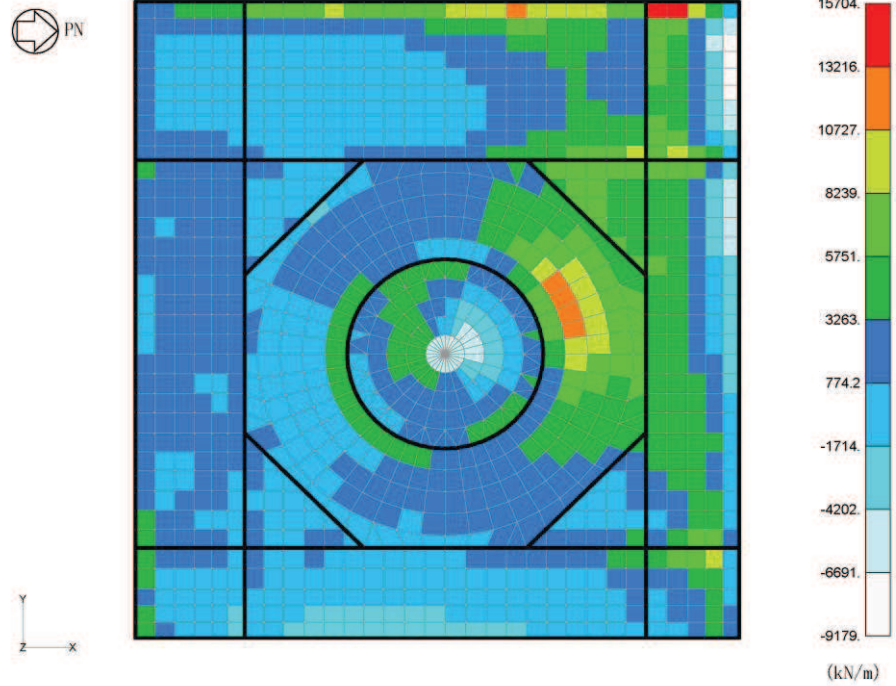


図 2-2 原子炉建屋基礎版に接続する壁の配置

c5009 Qx

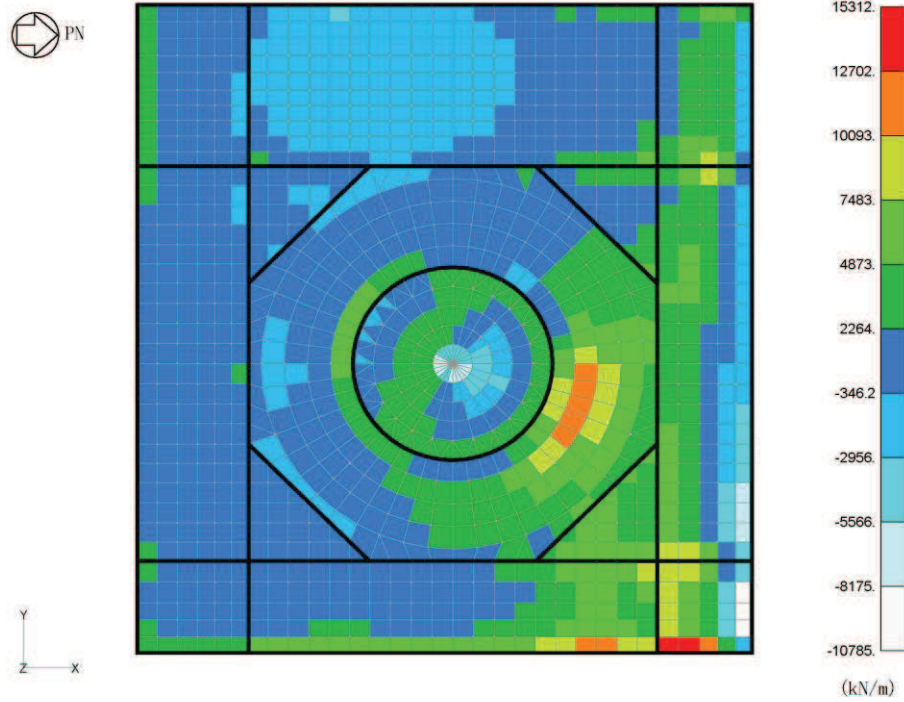


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-9 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 (1) 面外せん断力のコンター図 (1/13)

c5010 Qx

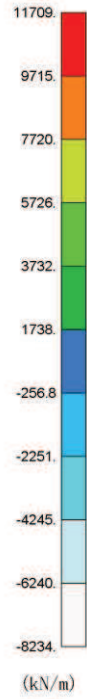
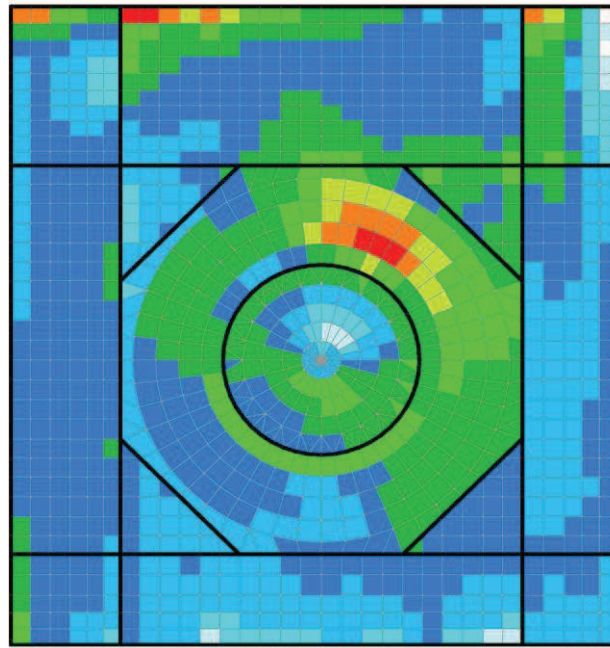


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-10 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 (2) 面外せん断力のコンター図 (2/13)

c5011 Qx

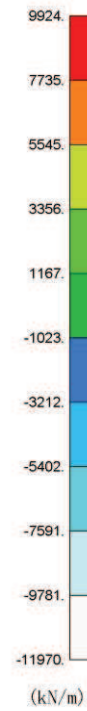
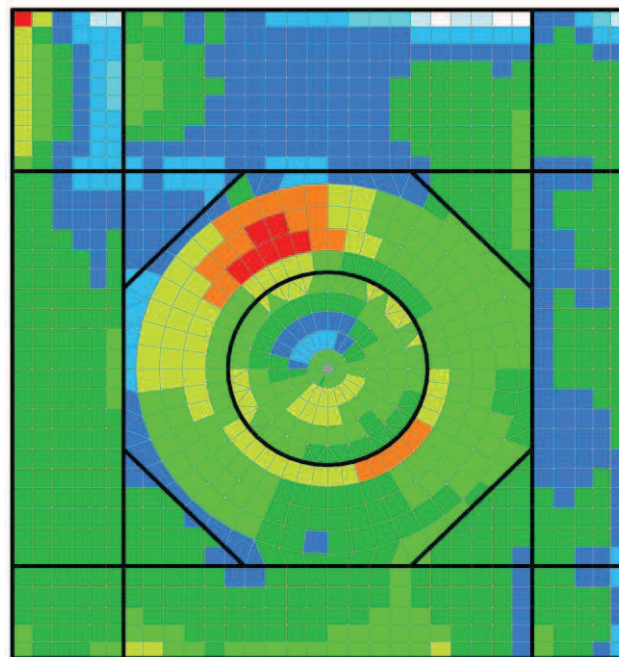


※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-11 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 (3) 面外せん断力のコンター図 (3/13)

c5012 Qx

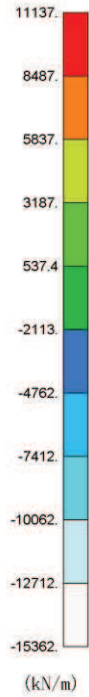
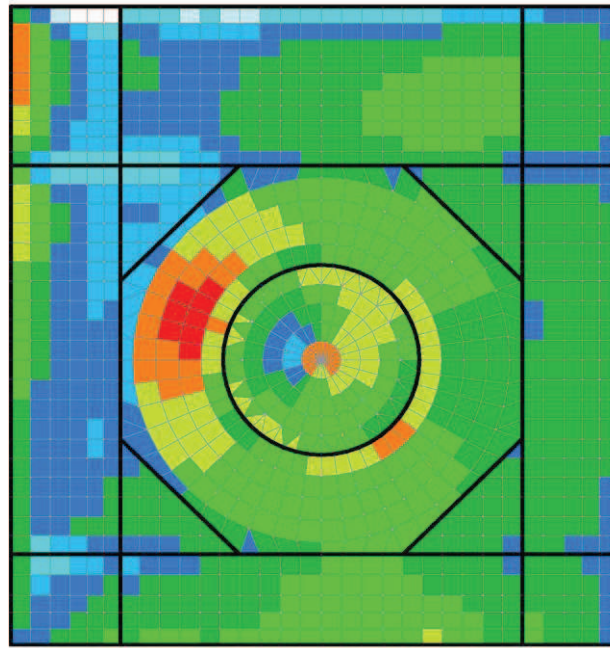


※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-12 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 (4) 面外せん断力のコンター図 (4/13)

c5013 Qx

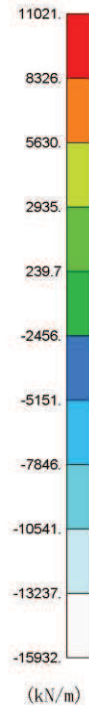
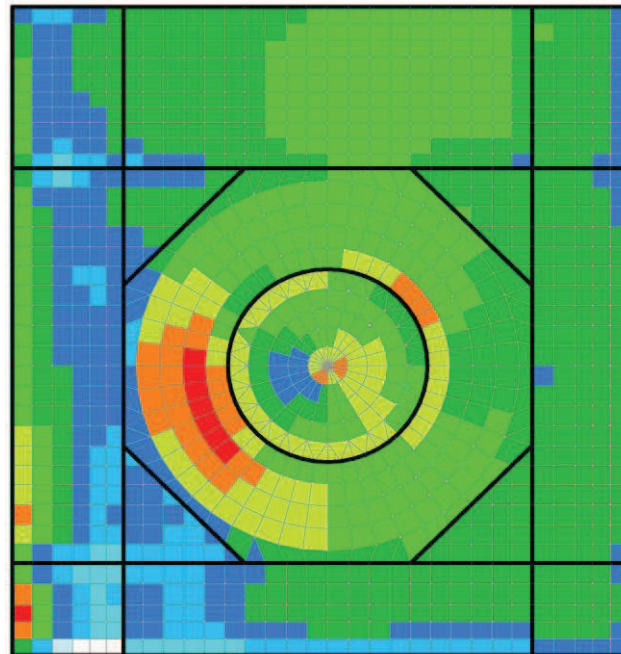


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-13 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 (5) 面外せん断力のコンター図 (5/13)

c5014 Qx

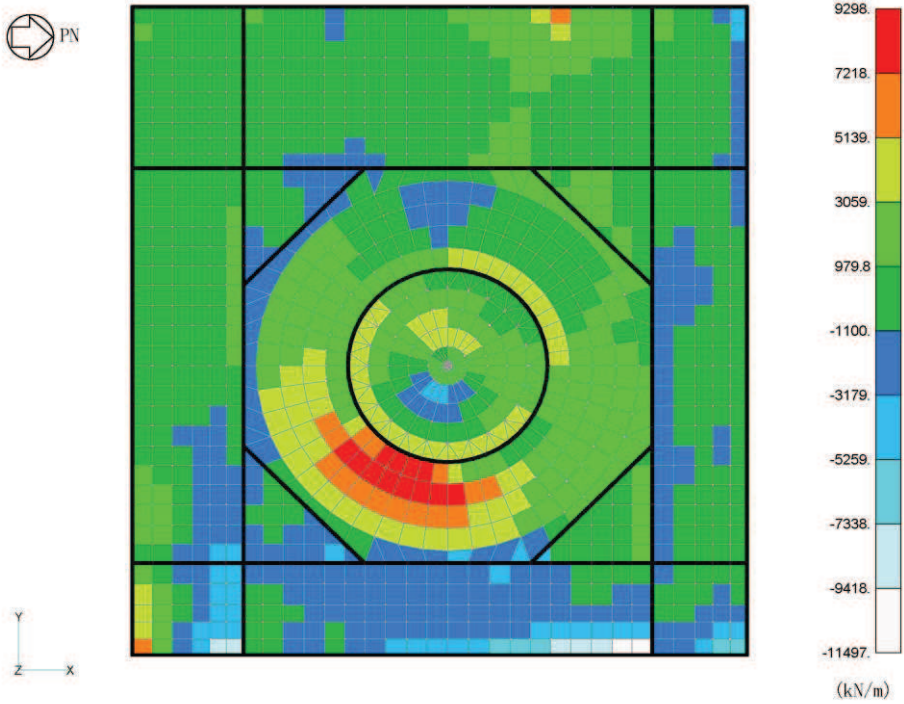


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-14 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 (6) 面外せん断力のコンター図 (6/13)

c5016 Qx

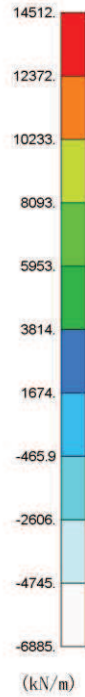
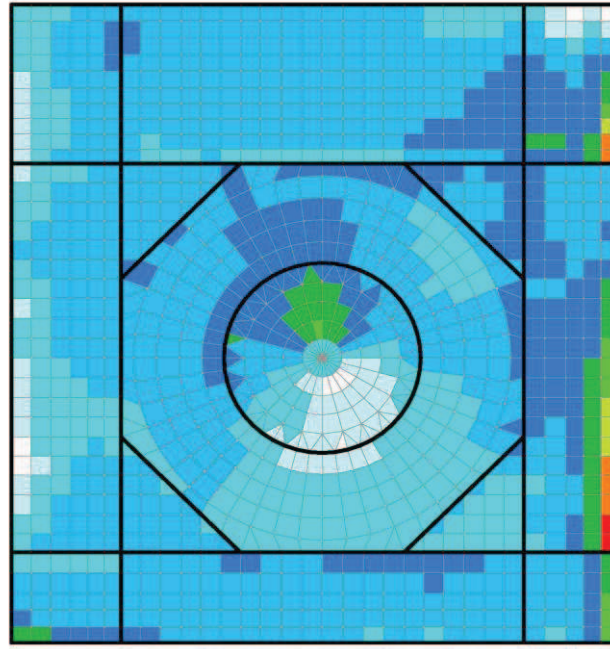


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-16 (放射方向, NS 方向)

図 2-3 (7) 面外せん断力のコンター図 (7/13)

c5009 Qy

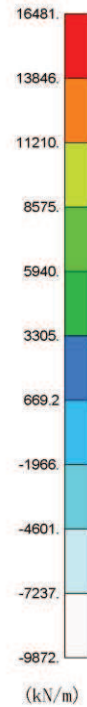
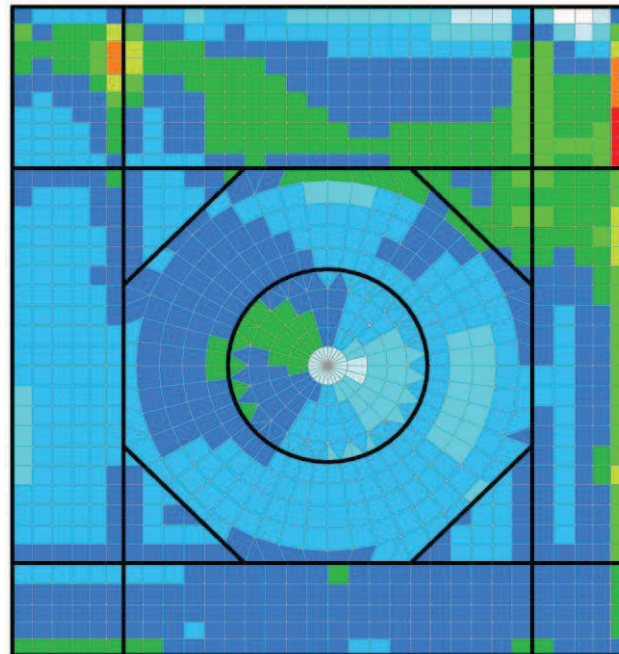


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-9 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 (8) 面外せん断力のコンター図 (8/13)

c5011 Qy

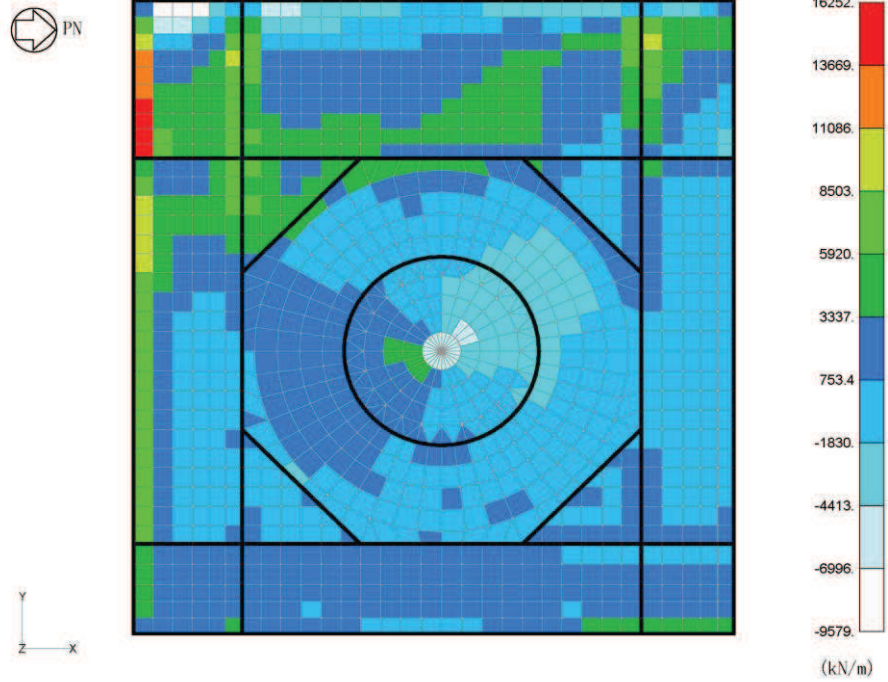


※要素25~360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-11 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 (9) 面外せん断力のコンター図 (9/13)

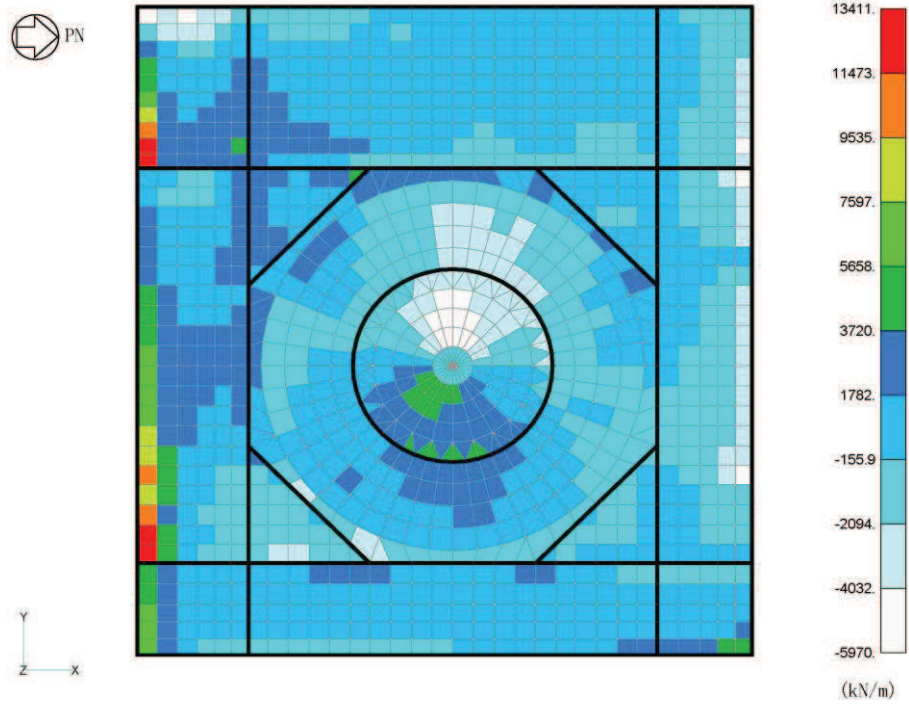
c5012 Qy



組合せケース 3-12 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 (10) 面外せん断力のコンター図 (10/13)

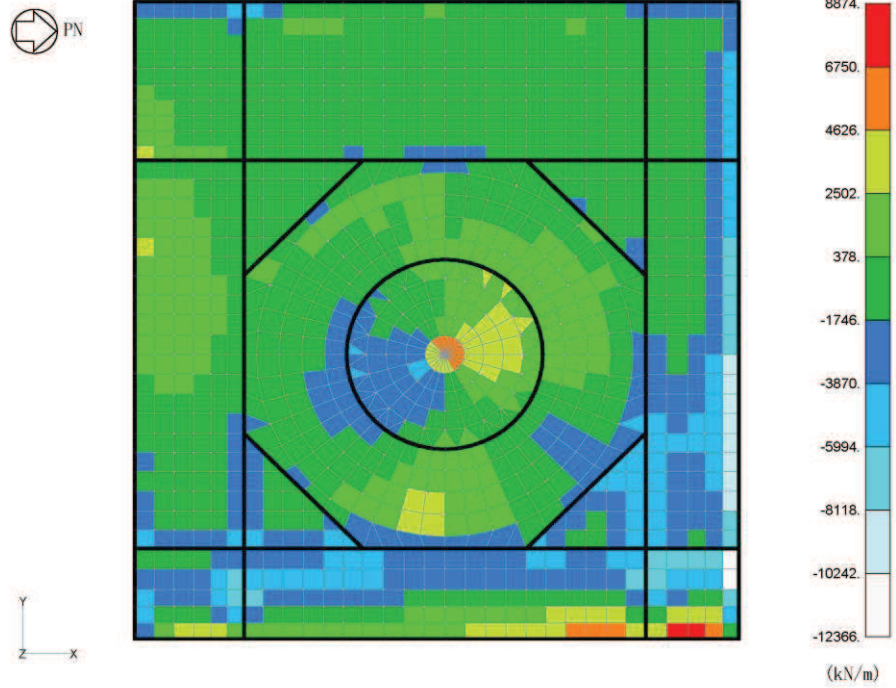
c5013 Qy



組合せケース 3-13 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 (11) 面外せん断力のコンター図 (11/13)

c5015 Qy

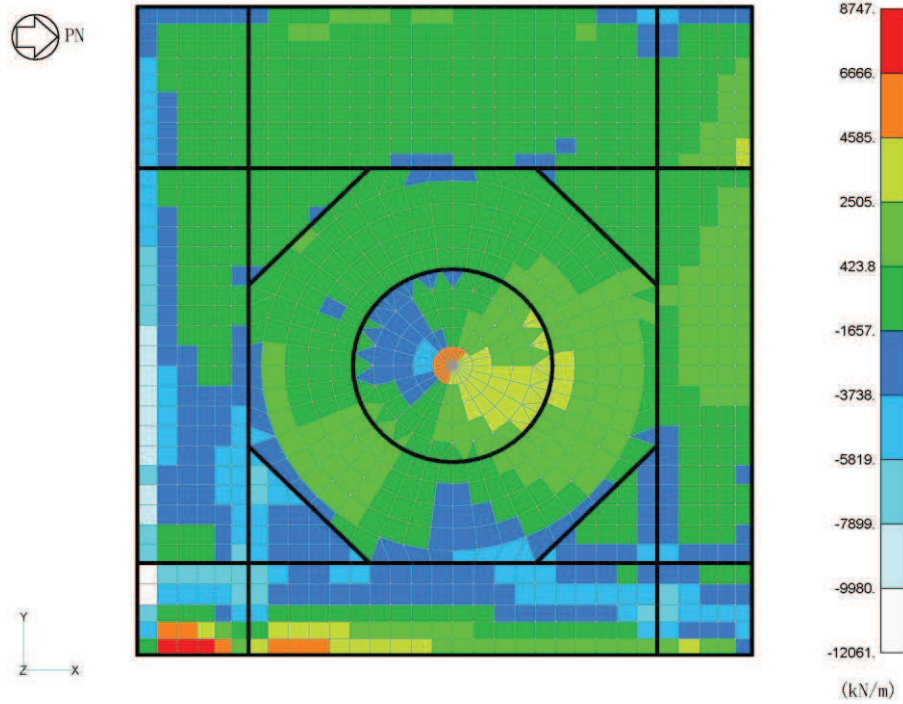


※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-15 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 (12) 面外せん断力のコンター図 (12/13)

c5016 Qy



※要素25～360は放射方向を示す。
※太線部は壁の位置を示す。

組合せケース 3-16 (円周方向, EW 方向)

図 2-3 (13) 面外せん断力のコンター図 (13/13)

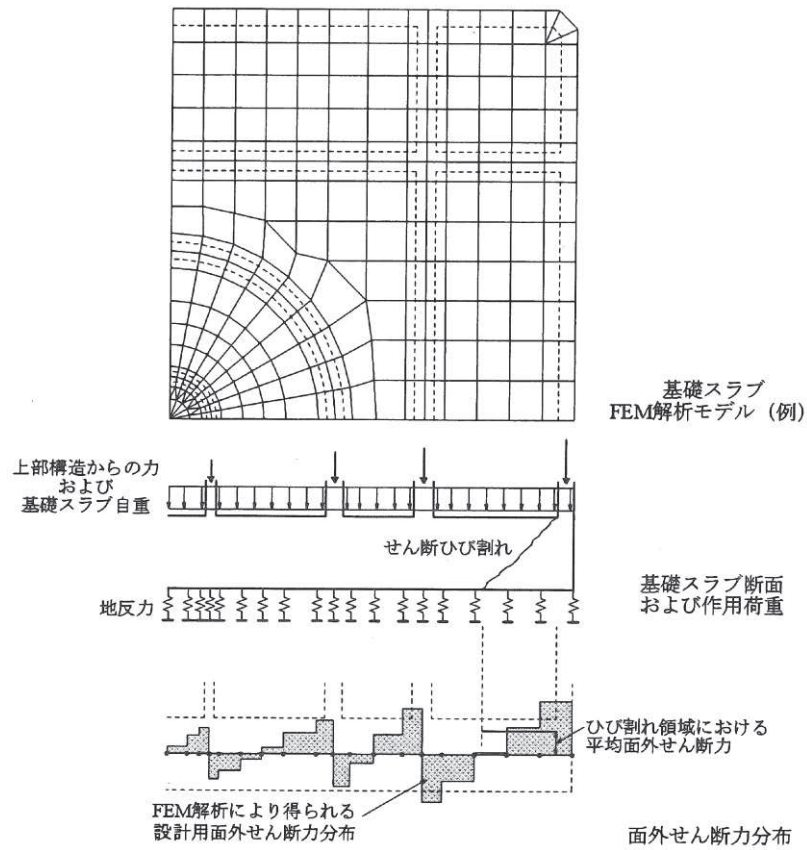


図 2-4 RC-N 規準の付図 2.2

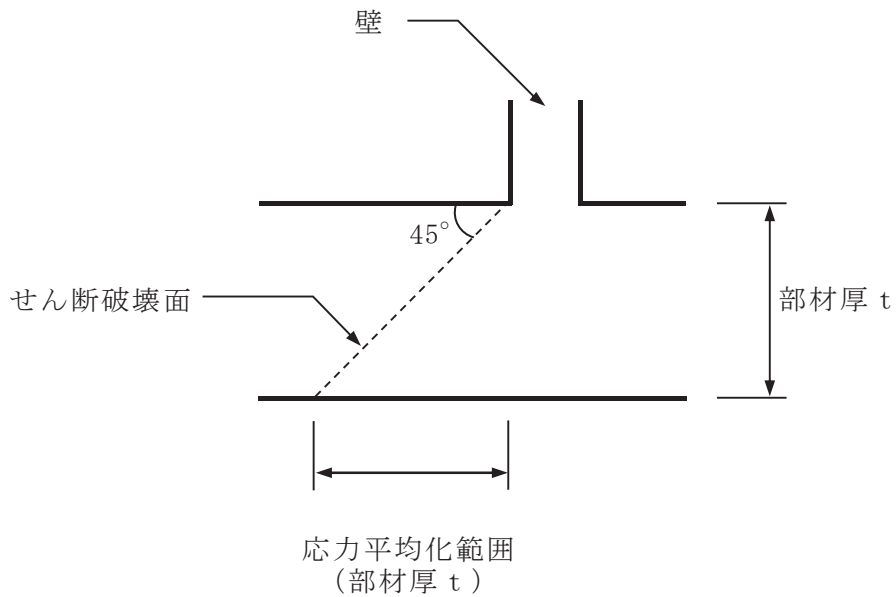
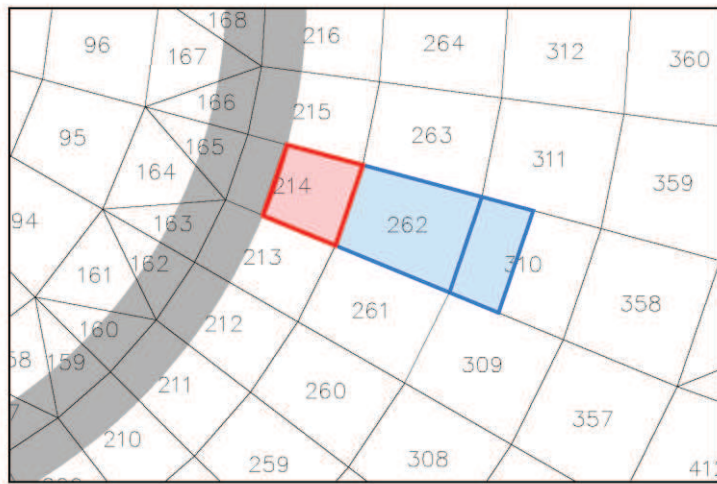
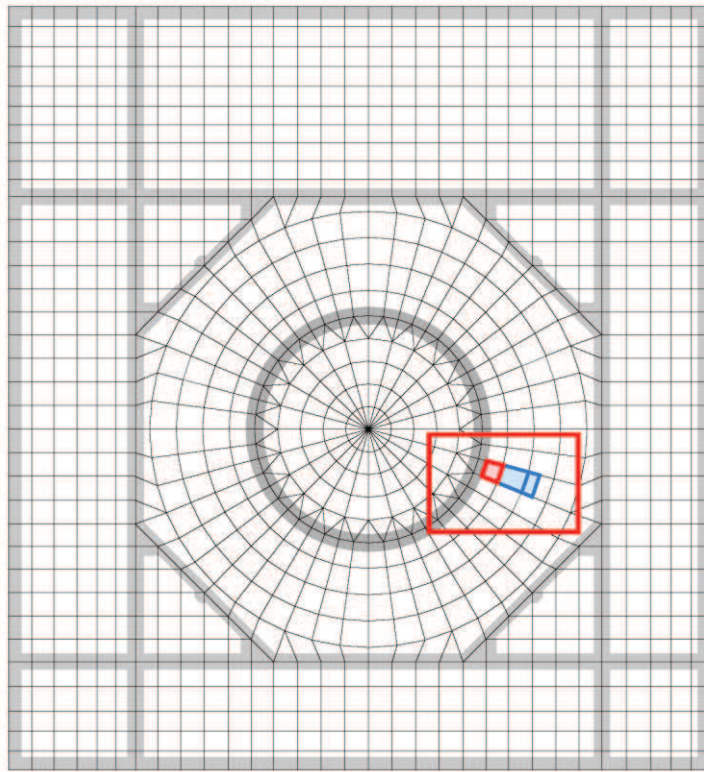


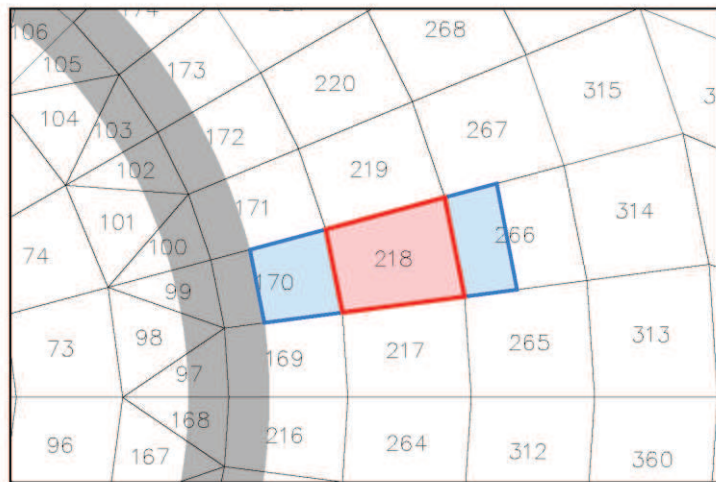
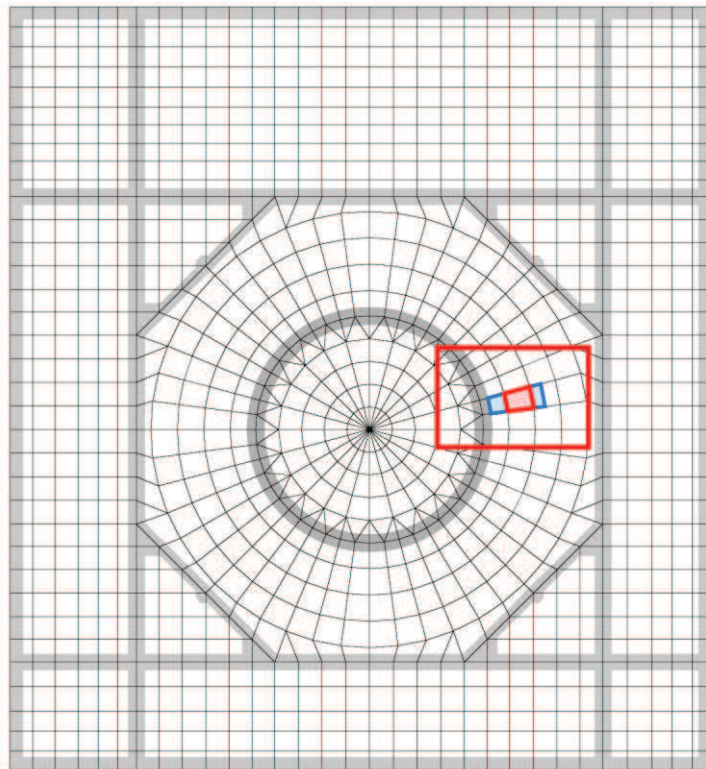
図 2-5 原子炉建屋基礎版における面外せん断力に対する応力平均化の考え方



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

(a) 放射方向 要素番号 214

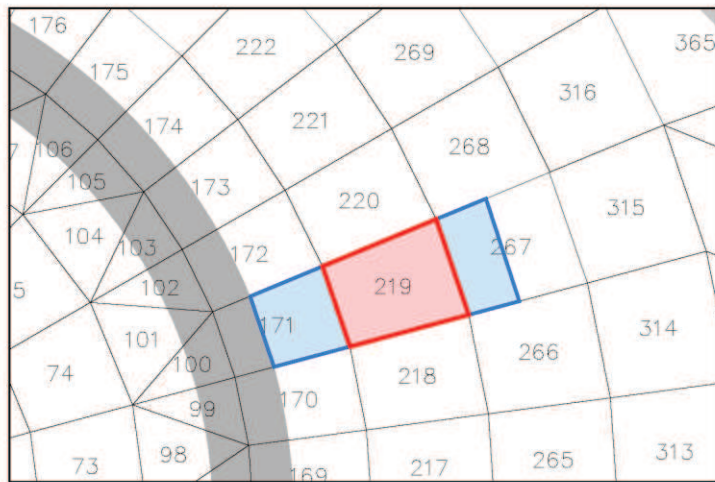
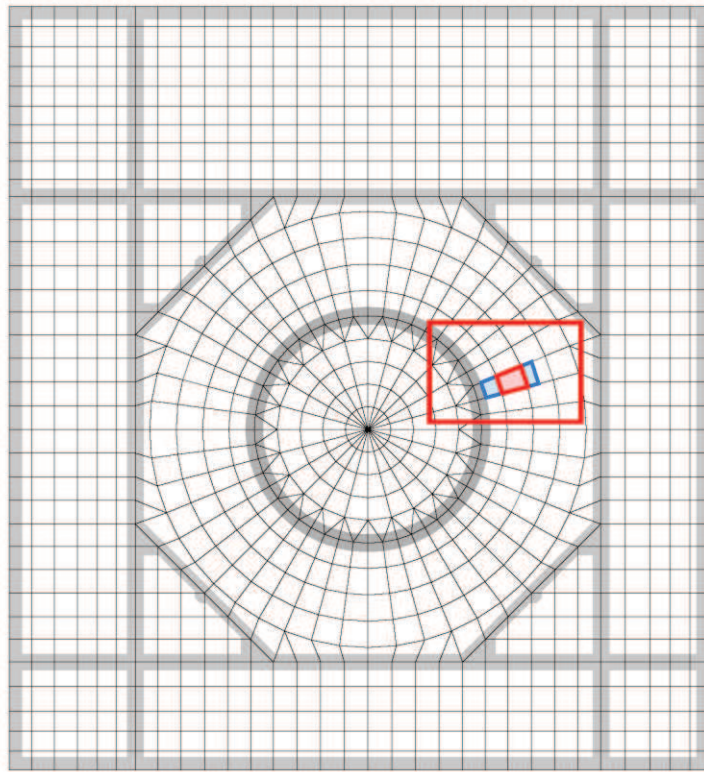
図 2-6 (1) 応力平均化範囲 (1/21)



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

(b) 放射方向 要素番号 218

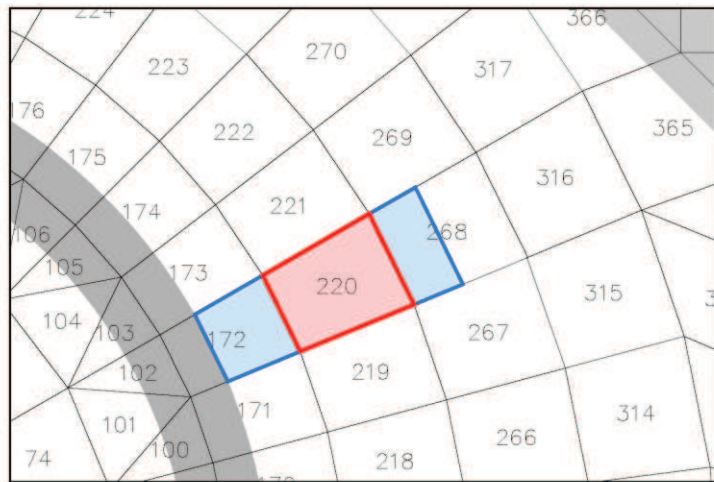
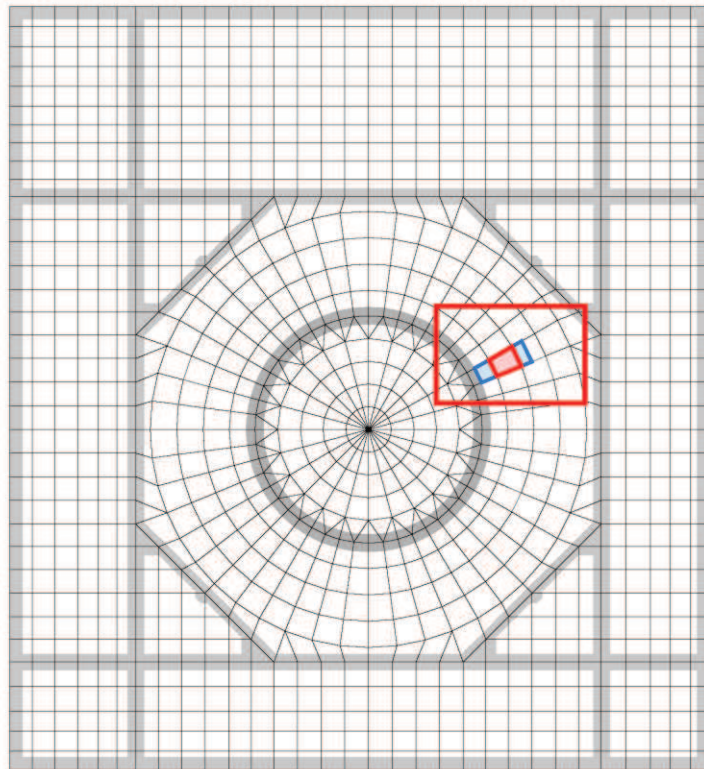
図 2-6 (2) 応力平均化範囲 (2/21)



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

(c) 放射方向 要素番号 219

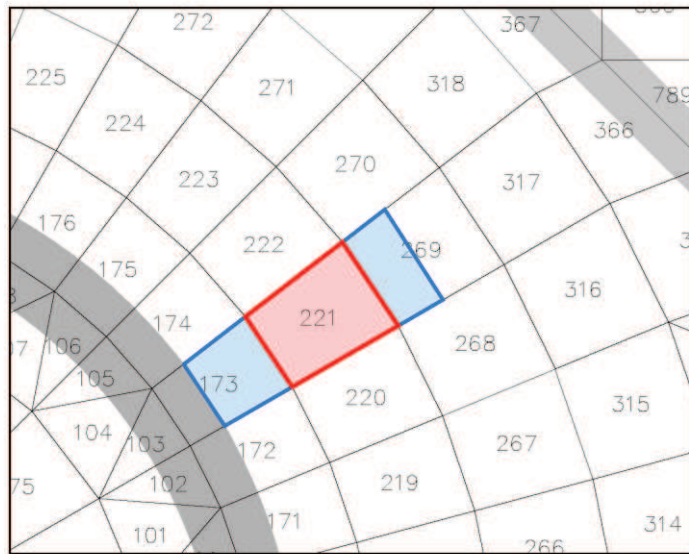
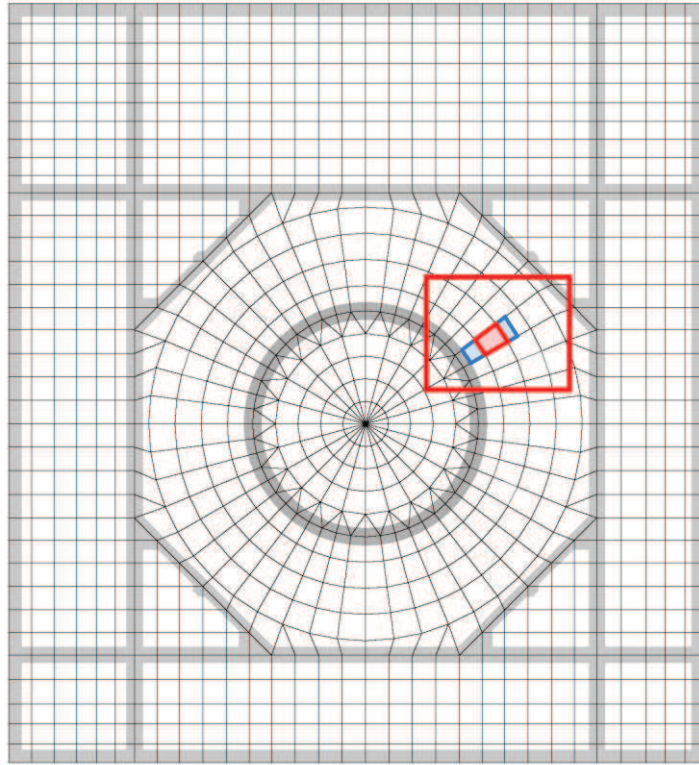
図 2-6 (3) 応力平均化範囲 (3/21)



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

(d) 放射方向 要素番号 220

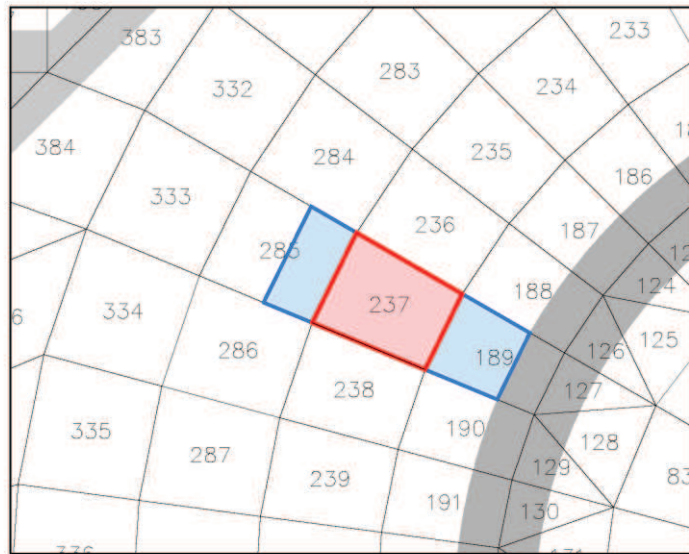
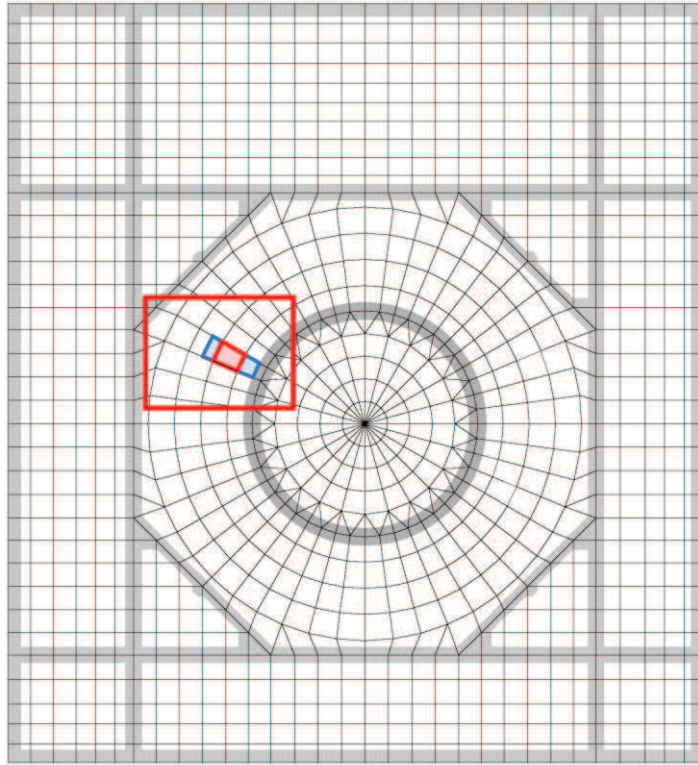
図 2-6 (4) 応力平均化範囲 (4/21)



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

(e) 放射方向 要素番号 221

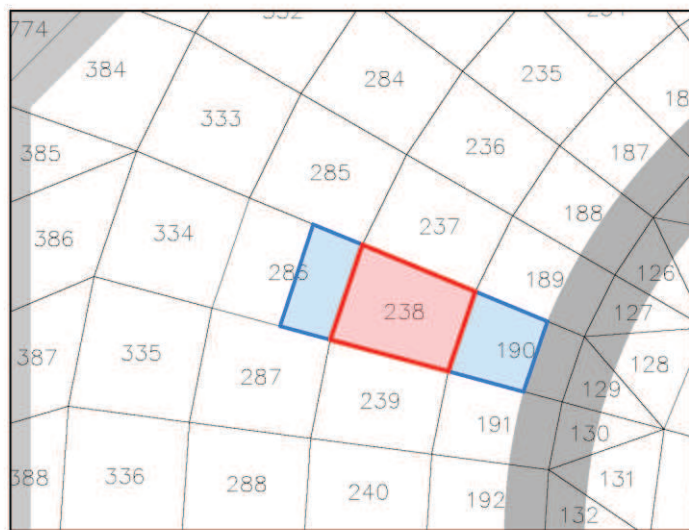
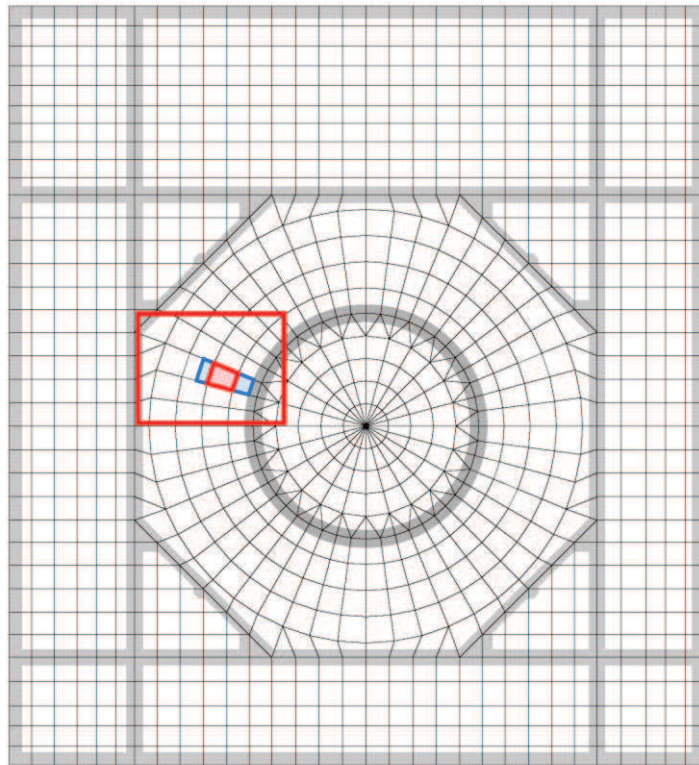
図 2-6 (5) 応力平均化範囲 (5/21)



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

(f) 放射方向 要素番号 237

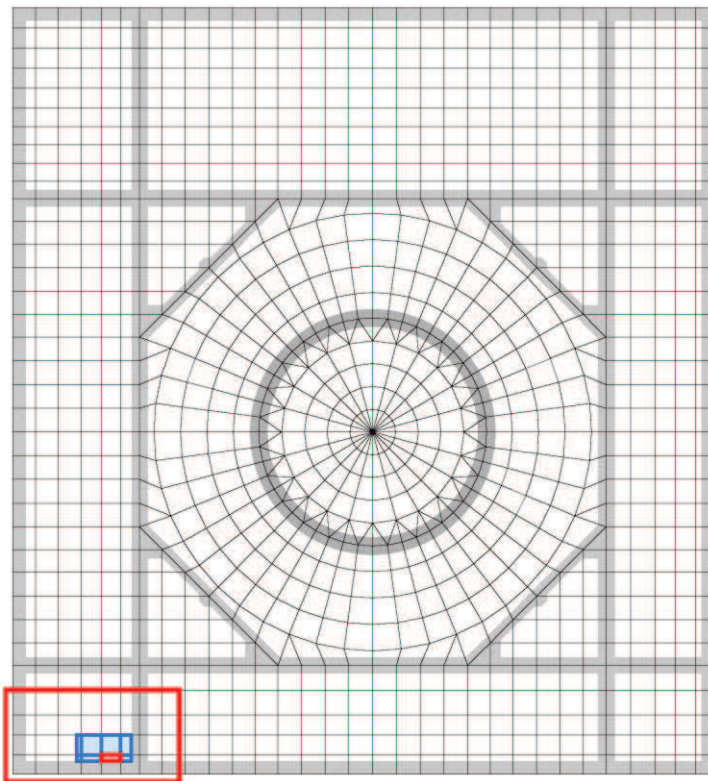
図 2-6 (6) 応力平均化範囲 (6/21)



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

(g) 放射方向 要素番号 238

図 2-6 (7) 応力平均化範囲 (7/21)

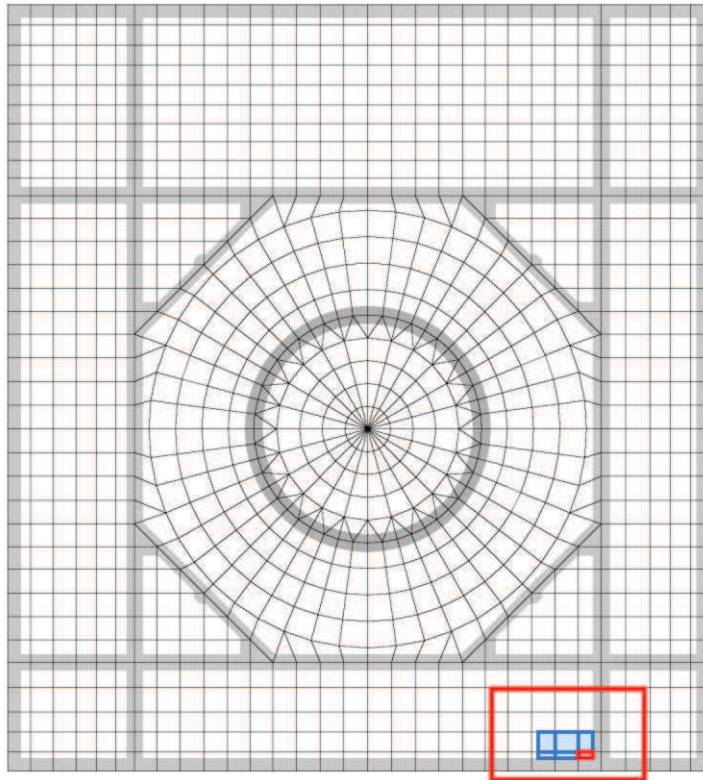


510	511	512	513	514	515	516	517
479	480	481	482	483	484	485	486
448	449	450	451	452	453	454	455
417	418	419	420	421	422	423	424

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

(h) NS 方向 要素番号 421

図 2-6 (8) 応力平均化範囲 (8/21)

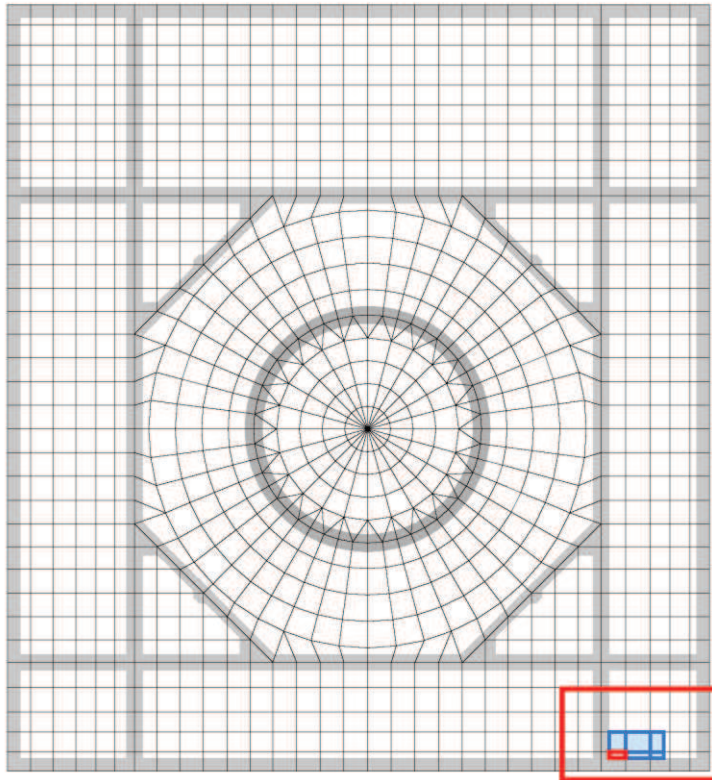


531	532	533	534	535	536	537
500	501	502	503	504	505	506
469	470	471	472	473	474	475
438	439	440	441	442	443	444

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

(i) NS 方向 要素番号 442

図 2-6 (9) 応力平均化範囲 (9/21)

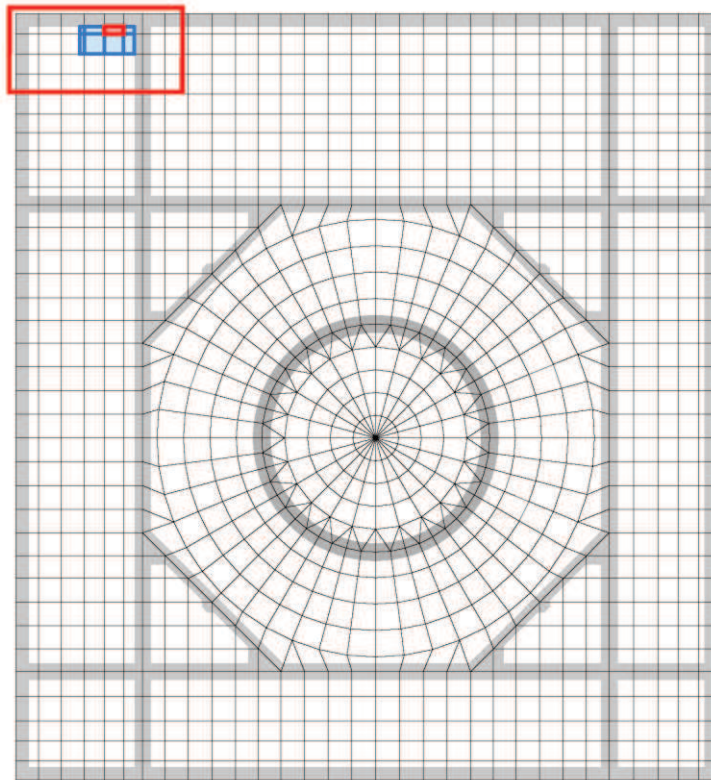


534	535	536	537	538	539	540
503	504	505	506	507	508	509
472	473	474	475	476	477	478
441	442	443	444	445	446	447

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

(j) NS 方向 要素番号 443

図 2-6 (10) 応力平均化範囲 (10/21)

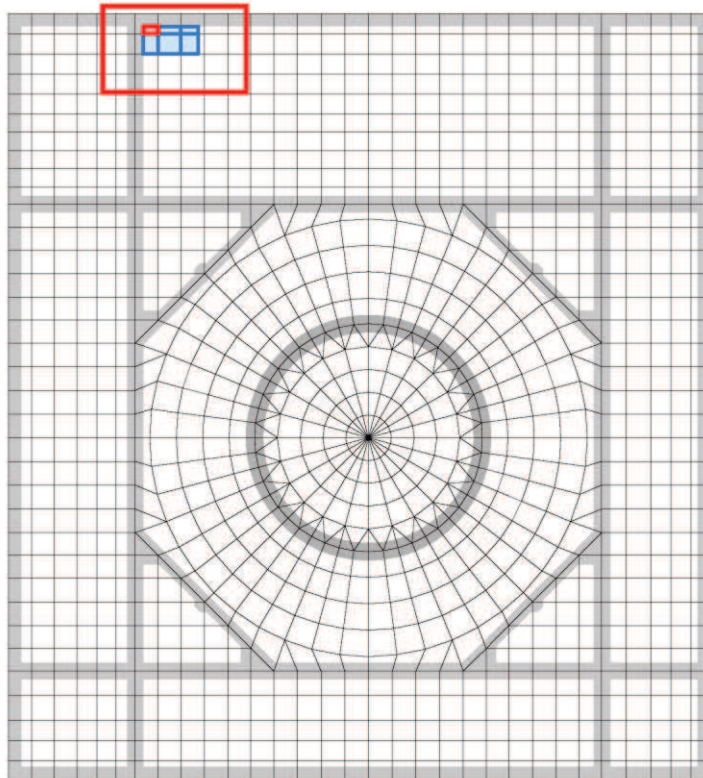


1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162
1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131
1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100
1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069

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

(k) NS 方向 要素番号 1159

図 2-6 (11) 応力平均化範囲 (11/21)

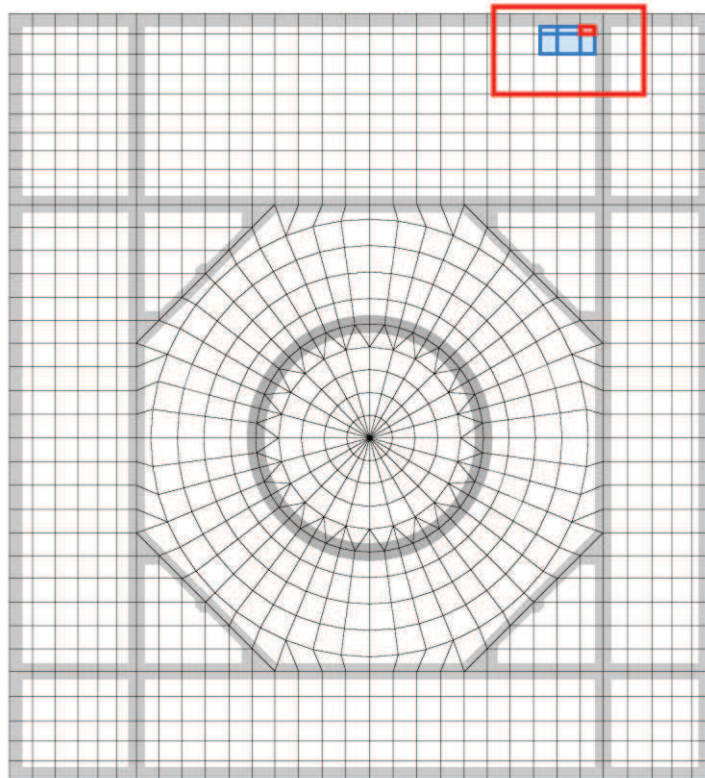


1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165
1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134
1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103
1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072

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

(1) NS 方向 要素番号 1161

図 2-6 (12) 応力平均化範囲 (12/21)

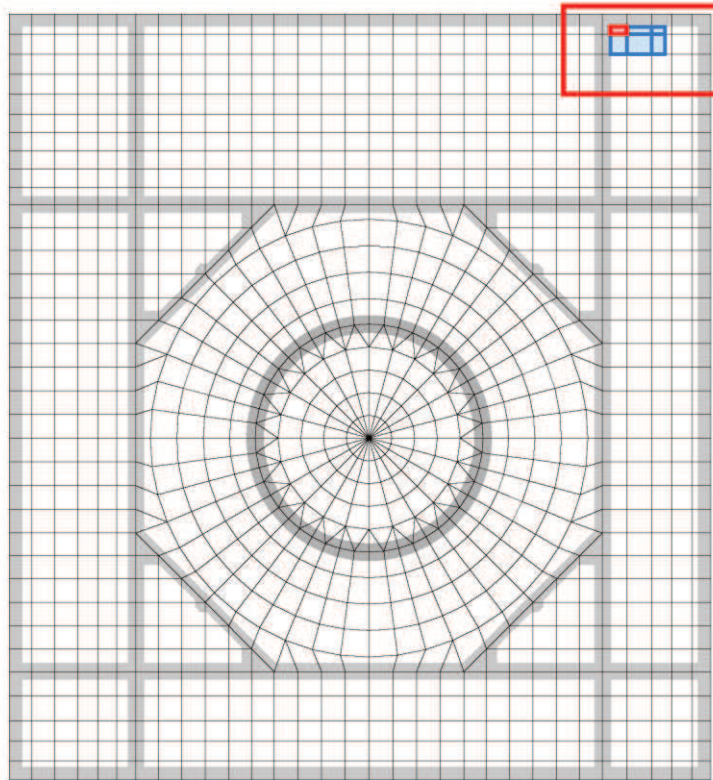


1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182
1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151
1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120
1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089

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

(m) NS 方向 要素番号 1180

図 2-6 (13) 応力平均化範囲 (13/21)

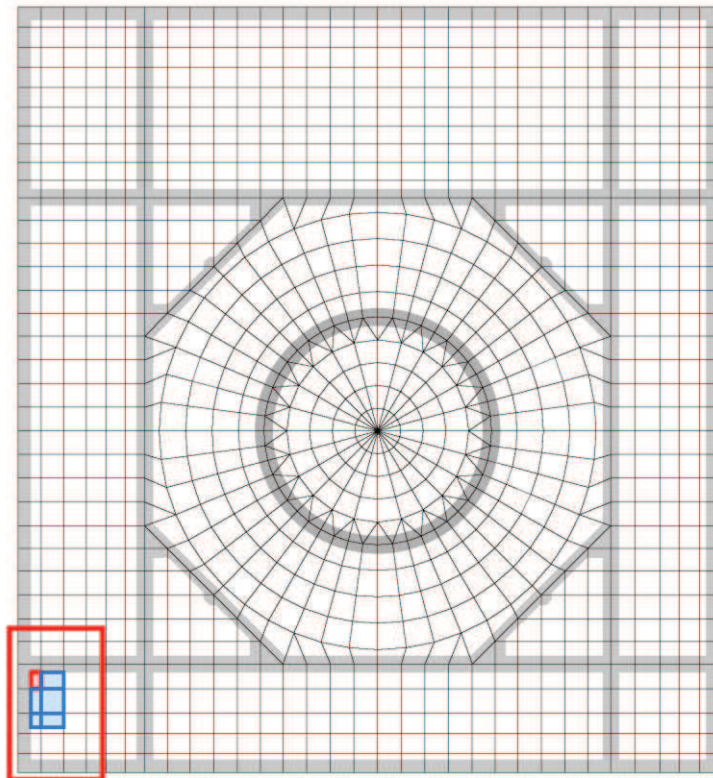


1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185
1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154
1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123
1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092

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

(n) NS 方向 要素番号 1181

図 2-6 (14) 応力平均化範囲 (14/21)

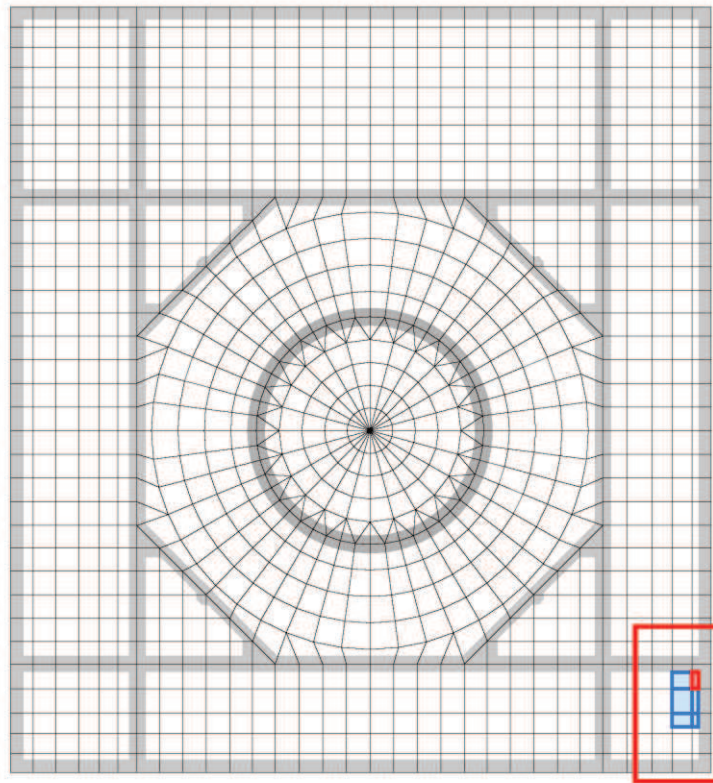


595	596	597	598
572	573	574	575
541	542	543	544
510	511	512	513
479	480	481	482
448	449	450	451
417	418	419	420

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

(o) EW 方向 要素番号 541

図 2-6 (15) 応力平均化範囲 (15/21)

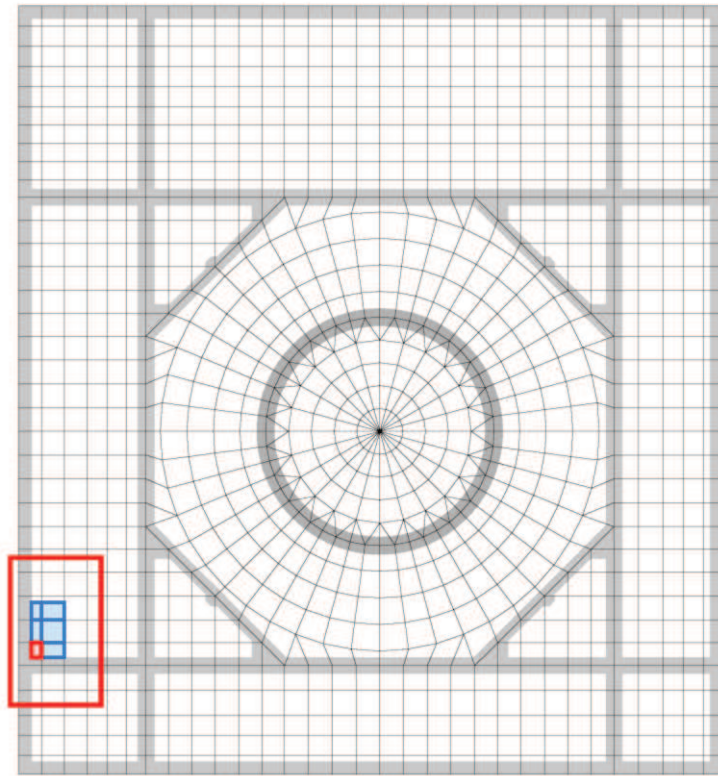


612	613	614	615
591	592	593	594
568	569	570	571
537	538	539	540
506	507	508	509
475	476	477	478
444	445	446	447

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

(p) EW 方向 要素番号 571

図 2-6 (16) 応力平均化範囲 (16/21)

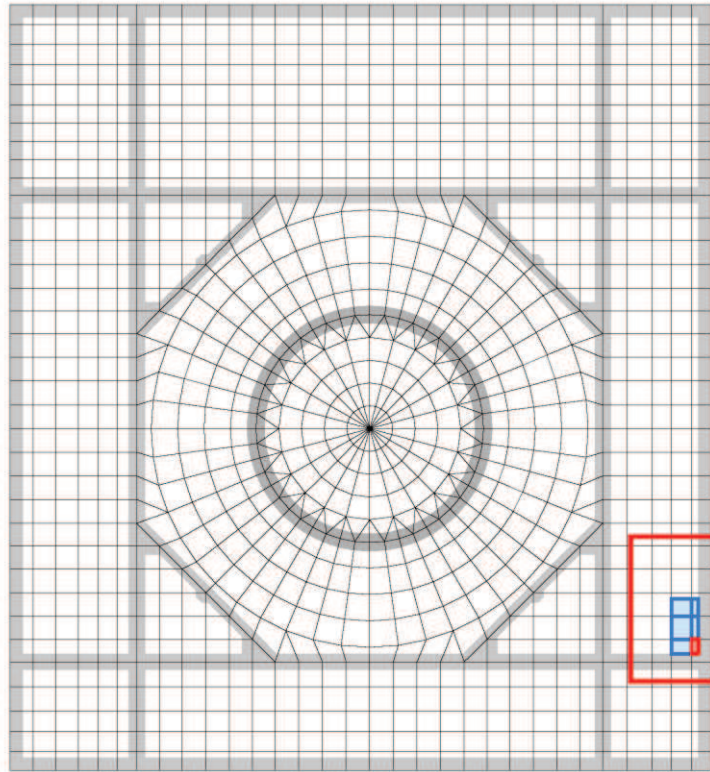


652	653	654	655
635	636	637	638
616	617	618	619
595	596	597	598
572	573	574	575
541	542	543	544
510	511	512	513

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

(q) EW 方向 要素番号 572

図 2-6 (17) 応力平均化範囲 (17/21)

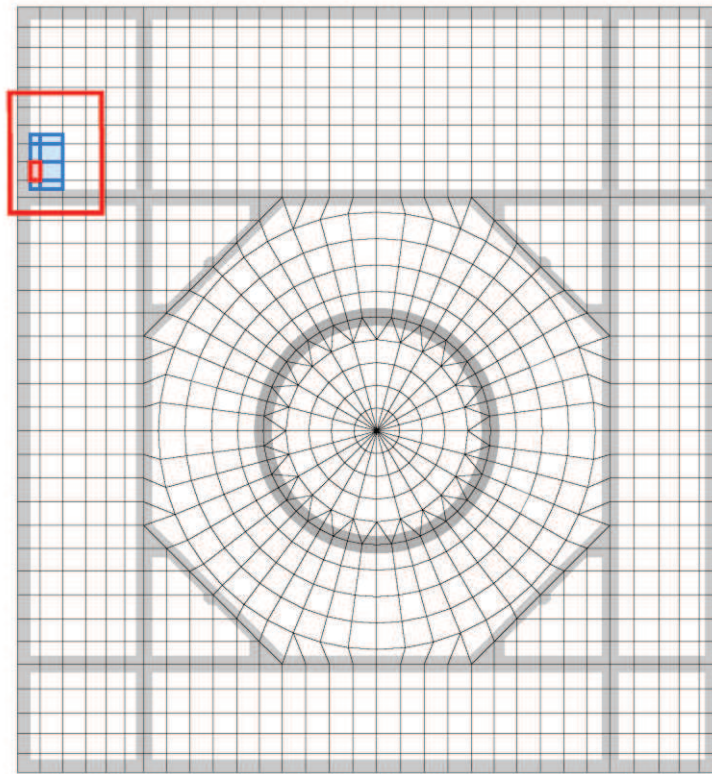


676	677	678	679
663	664	665	666
648	649	650	651
631	632	633	634
612	613	614	615
591	592	593	594
568	569	570	571

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

(r) EW 方向 要素番号 594

図 2-6 (18) 応力平均化範囲 (18/21)

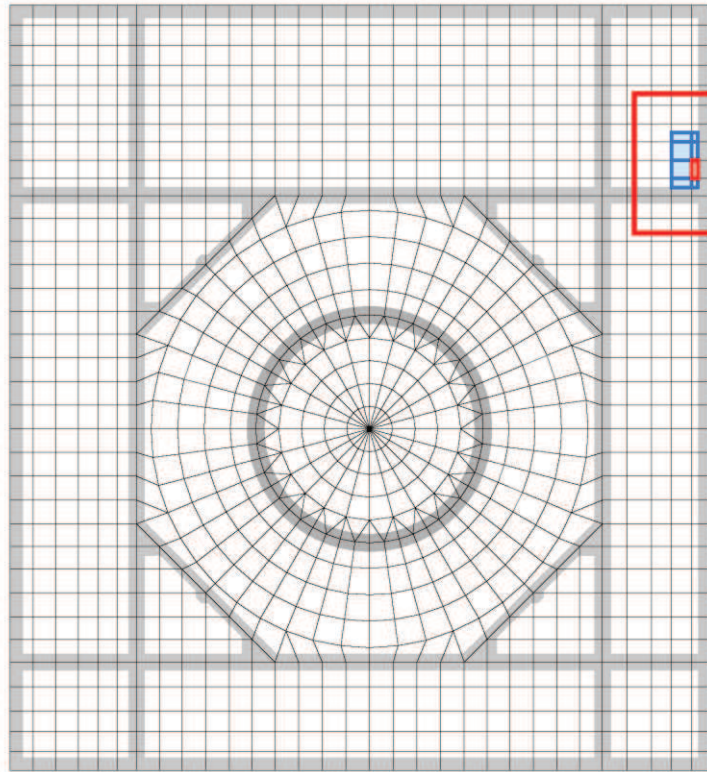


1031	1032	1033	1034
1000	1001	1002	1003
969	970	971	972
938	939	940	941
907	908	909	910
876	877	878	879
853	854	855	856

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

(s) EW 方向 要素番号 907

図 2-6 (19) 応力平均化範囲 (19/21)

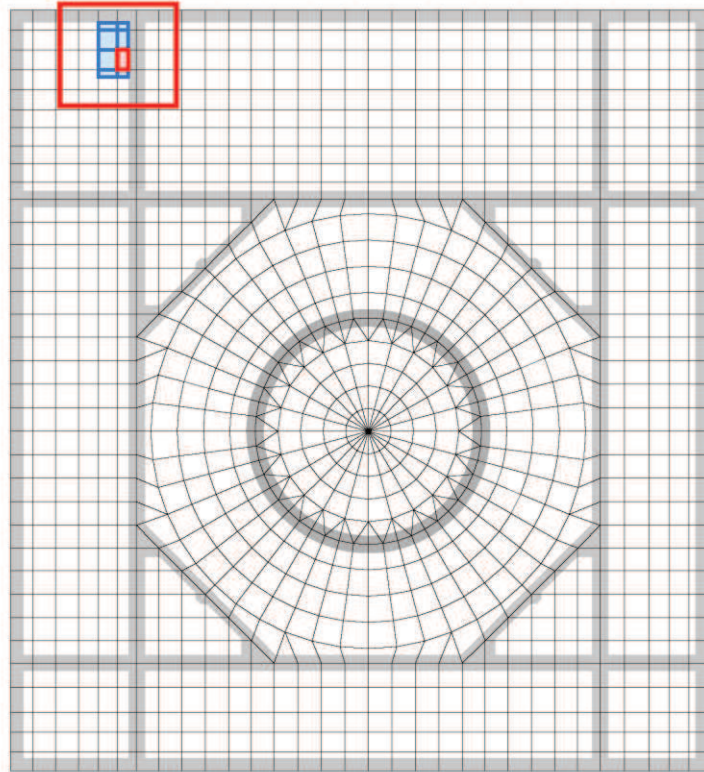


1058	1059	1060	1061
1027	1028	1029	1030
996	997	998	999
965	966	967	968
934	935	936	937
903	904	905	906
872	873	874	875
849	850	851	852

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

(t) EW 方向 要素番号 937

図 2-6 (20) 応力平均化範囲 (20/21)



1157	1158	1159	1160	1161	1162
1126	1127	1128	1129	1130	1131
1095	1096	1097	1098	1099	1100
1064	1065	1066	1067	1068	1069
1033	1034	1035	1036	1037	1038

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

(u) EW 方向 要素番号 1098

図 2-6 (21) 応力平均化範囲 (21/21)

2.3 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2-2に示す。また、応力平均化の結果を表2-3に示す。

$$\tau_{ave} = \Sigma (\tau_i \times A_i) / \Sigma A_i$$

ここで、

τ_{ave} : 平均化後の面外せん断応力度

τ_i : 平均化前の各要素の面外せん断応力度（発生値）

A_i : 応力平均化範囲における各要素の面積

表2-2 (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 (1/5)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
放射	214	3-10	214	1.94	3.47	6.72
			262	2.40	6.34	15.22
			310	1.69	3.07	5.19
合計					12.88	27.13
放射	218	3-9	170	1.31	3.47	4.55
			218	2.34	6.34	14.84
			266	1.96	3.07	6.03
合計					12.88	25.42
放射	219	3-9	171	1.45	3.47	5.05
			219	2.54	6.34	16.09
			267	2.02	3.07	6.22
合計					12.88	27.36
放射	220	3-9	172	1.43	3.47	4.98
			220	2.53	6.34	16.04
			268	1.97	3.07	6.06
合計					12.88	27.08
放射	221	3-9	173	1.25	3.47	4.35
			221	2.31	6.34	14.66
			269	1.85	3.07	5.67
合計					12.88	24.68
放射	237	3-13	189	1.22	3.47	4.24
			237	2.34	6.34	14.83
			285	1.89	3.07	5.81
合計					12.88	24.88
放射	238	3-13	190	1.25	3.47	4.36
			238	2.37	6.34	15.06
			286	1.95	3.07	5.98
合計					12.88	25.40

表2-2 (2) 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 (2/5)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
NS	421	3-14	419	2.52	0.35	0.89
			420	3.13	1.54	4.82
			421	3.39	1.47	4.99
			422	3.25	0.84	2.73
			450	0.72	1.10	0.80
			451	1.38	4.84	6.66
			452	1.92	4.62	8.87
			453	2.06	2.64	5.44
合計					17.40	35.20
NS	442	3-16	440	1.85	1.33	2.47
			441	2.24	1.75	3.92
			442	2.45	1.12	2.75
			471	0.83	4.18	3.49
			472	1.01	5.50	5.54
			473	1.02	3.52	3.61
合計					17.40	21.78
NS	443	3-10	443	3.26	1.26	4.11
			444	3.07	1.89	5.81
			445	2.16	1.05	2.27
			474	2.06	3.96	8.15
			475	1.56	5.94	9.26
			476	0.55	3.30	1.81
合計					17.40	31.41

表2-2 (3) 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 (3/5)

方向	応力平均化 対象要素	組合せ ケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
NS	1161	3-11	1130	1.07	3.52	3.75
			1131	1.00	5.50	5.51
			1132	0.78	4.18	3.28
			1161	2.49	1.28	3.19
			1162	2.28	2.00	4.57
			1163	1.71	1.52	2.61
合計					18.00	22.91
NS	1180	3-12	1147	0.73	4.18	3.06
			1148	0.89	5.50	4.91
			1149	0.90	3.52	3.19
			1178	1.84	1.52	2.79
			1179	2.30	2.00	4.61
			1180	2.55	1.28	3.27
合計					18.00	21.83
NS	1181	3-9	1150	1.71	3.96	6.78
			1151	1.24	5.94	7.39
			1152	0.38	3.30	1.27
			1181	3.34	1.44	4.82
			1182	3.05	2.16	6.60
			1183	2.10	1.20	2.53
合計					18.00	29.39
NS	1159	3-13	1126	0.55	1.10	0.61
			1127	1.13	4.84	5.45
			1128	1.65	4.62	7.62
			1129	1.80	2.64	4.76
			1157	2.22	0.40	0.89
			1158	2.94	1.76	5.17
			1159	3.27	1.68	5.50
			1160	3.19	0.96	3.07
合計					18.00	33.07

表2-2 (4) 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 (4/5)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
EW	541	3-16	479	1.47	1.65	2.44
			480	0.15	3.75	0.55
			510	2.34	2.97	6.95
			511	0.95	6.75	6.43
			541	2.57	1.98	5.09
			542	1.32	4.50	5.93
合計					21.60	27.39
EW	571	3-15	508	0.31	3.30	1.04
			509	1.48	1.05	1.56
			539	1.11	5.94	6.62
			540	2.39	1.89	4.53
			570	1.51	3.96	6.00
			571	2.63	1.26	3.32
合計					17.40	23.07
EW	572	3-13	572	2.85	1.76	5.03
			573	0.80	4.00	3.19
			595	2.64	2.75	7.27
			596	0.83	6.25	5.19
			616	2.21	2.09	4.63
			617	0.76	4.75	3.60
合計					21.60	28.91
EW	594	3-9	593	1.14	3.52	4.03
			594	3.09	1.12	3.46
			614	1.15	5.50	6.33
			615	2.87	1.75	5.02
			633	1.04	4.18	4.33
			634	2.45	1.33	3.26
合計					17.40	26.43

表2-2 (5) 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 (5/5)

方向	応力平均化対象要素	組合せケース	要素番号	発生値 τ_i (N/mm ²)	要素面積 A_i (m ²)	重み付け値 $\tau_i \times A_i$ ($\times 10^6$ N)
EW	907	3-12	876	3.21	1.10	3.53
			877	1.40	2.50	3.50
			907	3.46	2.20	7.61
			908	1.40	5.00	7.02
			938	3.24	2.20	7.12
			939	1.16	5.00	5.82
			969	2.97	1.10	3.27
			970	0.97	2.50	2.42
合計					21.60	40.29
EW	937	3-11	905	1.59	2.20	3.50
			906	3.19	0.70	2.24
			936	1.64	4.40	7.22
			937	3.51	1.40	4.92
			967	1.41	4.40	6.20
			968	3.26	1.40	4.57
			998	1.19	2.20	2.61
			999	2.99	0.70	2.10
合計					17.40	33.36
EW	1098	3-11	1066	1.45	1.68	2.44
			1067	2.57	0.96	2.47
			1097	1.79	4.62	8.27
			1098	2.83	2.64	7.47
			1128	1.16	4.62	5.35
			1129	2.08	2.64	5.49
			1159	0.11	1.68	0.18
			1160	0.44	0.96	0.43
合計					19.80	32.10

表2-3 応力平均化結果

方向	要素番号	組合せケース	面外せん断応力度 (N/mm ²)	
			平均化前	平均化後
放射	214	3-10	1.94	2.11
	218	3-9	2.34	1.97
	219	3-9	2.54	2.12
	220	3-9	2.53	2.10
	221	3-9	2.31	1.92
	237	3-13	2.34	1.93
	238	3-13	2.37	1.97
NS	421	3-14	3.39	2.02
	442	3-16	2.45	1.25
	443	3-10	3.26	1.81
	1159	3-13	3.27	1.84
	1161	3-11	2.49	1.27
	1180	3-12	2.55	1.21
	1181	3-9	3.34	1.63
EW	541	3-16	2.57	1.27
	571	3-15	2.63	1.33
	572	3-13	2.85	1.34
	594	3-9	3.09	1.52
	907	3-12	3.46	1.87
	937	3-11	3.51	1.92
	1098	3-11	2.83	1.62

2.4 断面の評価結果

2.4.1 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。

2.4.2 断面の評価結果

応力平均化後の評価結果を表 2-4 に示す。表 2-4 より、応力平均化後の面外せん断応力度の発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 2-4 応力平均化後の評価結果

方向	要素番号	組合せケース	面外せん断応力度 (N/mm ²)		平均化後の検定値 (発生値/許容 値)
			発生値	許容値*	
放射	214	3-10	2.11	2.42	0.88
	218	3-9	1.97	2.09	0.95
	219	3-9	2.12	2.13	1.00
	220	3-9	2.10	2.12	1.00
	221	3-9	1.92	2.05	0.94
	237	3-13	1.93	2.05	0.95
	238	3-13	1.97	2.06	0.96
NS	421	3-14	2.02	2.42	0.84
	442	3-16	1.25	2.42	0.52
	443	3-10	1.81	2.42	0.75
	1159	3-13	1.84	2.42	0.76
	1161	3-11	1.27	2.42	0.53
	1180	3-12	1.21	2.42	0.51
	1181	3-9	1.63	2.42	0.68
EW	541	3-16	1.27	2.42	0.53
	571	3-15	1.33	2.42	0.55
	572	3-13	1.34	2.42	0.56
	594	3-9	1.52	2.42	0.63
	907	3-12	1.87	2.42	0.78
	937	3-11	1.92	2.42	0.80
	1098	3-11	1.62	2.42	0.67

注記*：応力平均化範囲に存在する面外せん断補強筋を考慮して許容値を算定