

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。

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 10
提出年月日	2021年11月10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の抽出	87
3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備の抽出結果	89
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	90
3.2.7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	91
3.2.8 まとめ	91
3.3 屋外重要土木構造物	107
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	107
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	110
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	111
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	114
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	140
3.3.6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	151
3.3.7 機器・配管系への影響	204
3.3.8 まとめ	205

3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	206
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	206
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	219
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	220
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	221
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	224
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	236
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	241
3.4.8 機器・配管系への影響	300

別紙1 建物・構築物における評価部位の抽出に関する説明資料

別紙2 原子炉建屋3次元FEMモデルを用いた精査

別紙3 原子炉建屋3次元FEMモデルによる地震応答解析

別紙4 機器・配管系に関する影響検討

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

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

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。

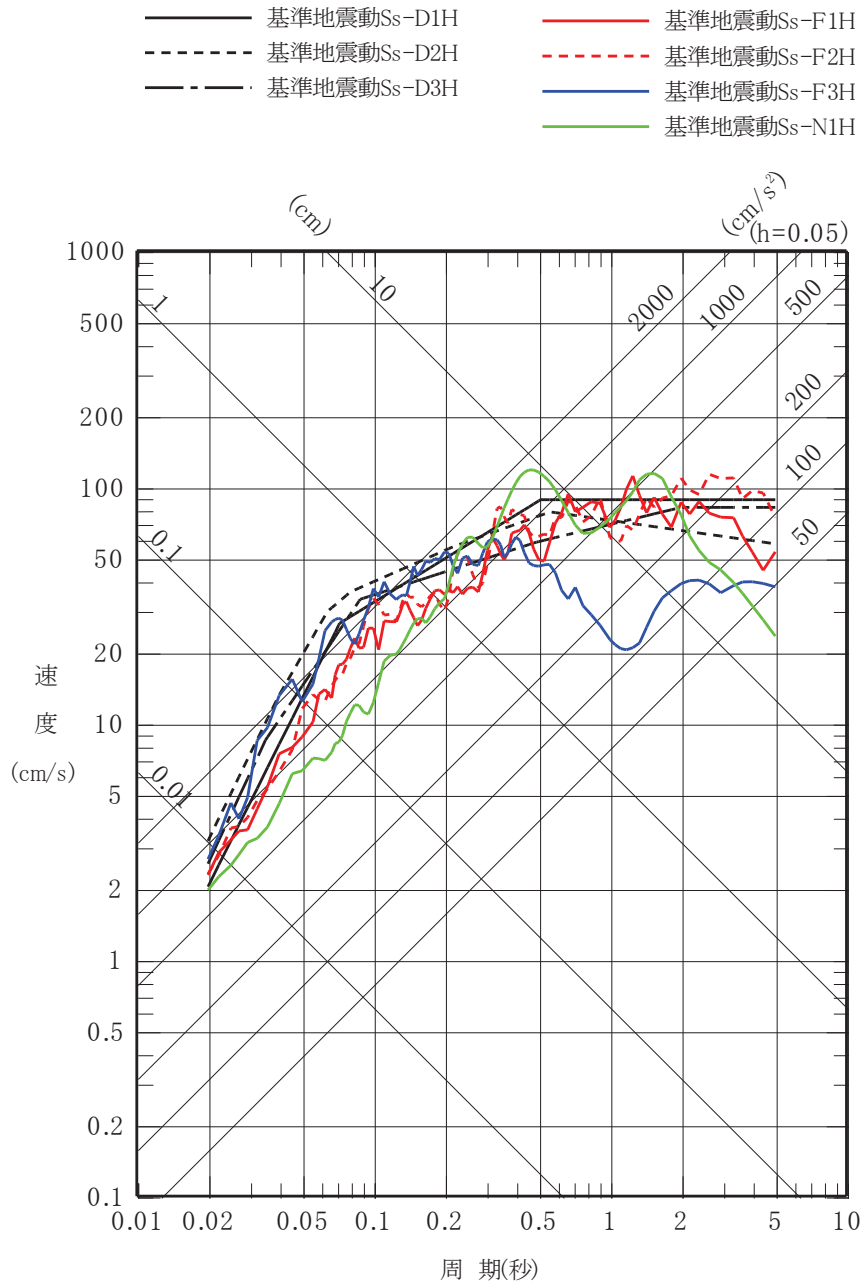


図 2-1-1 基準地震動 S s のスペクトル (水平方向)

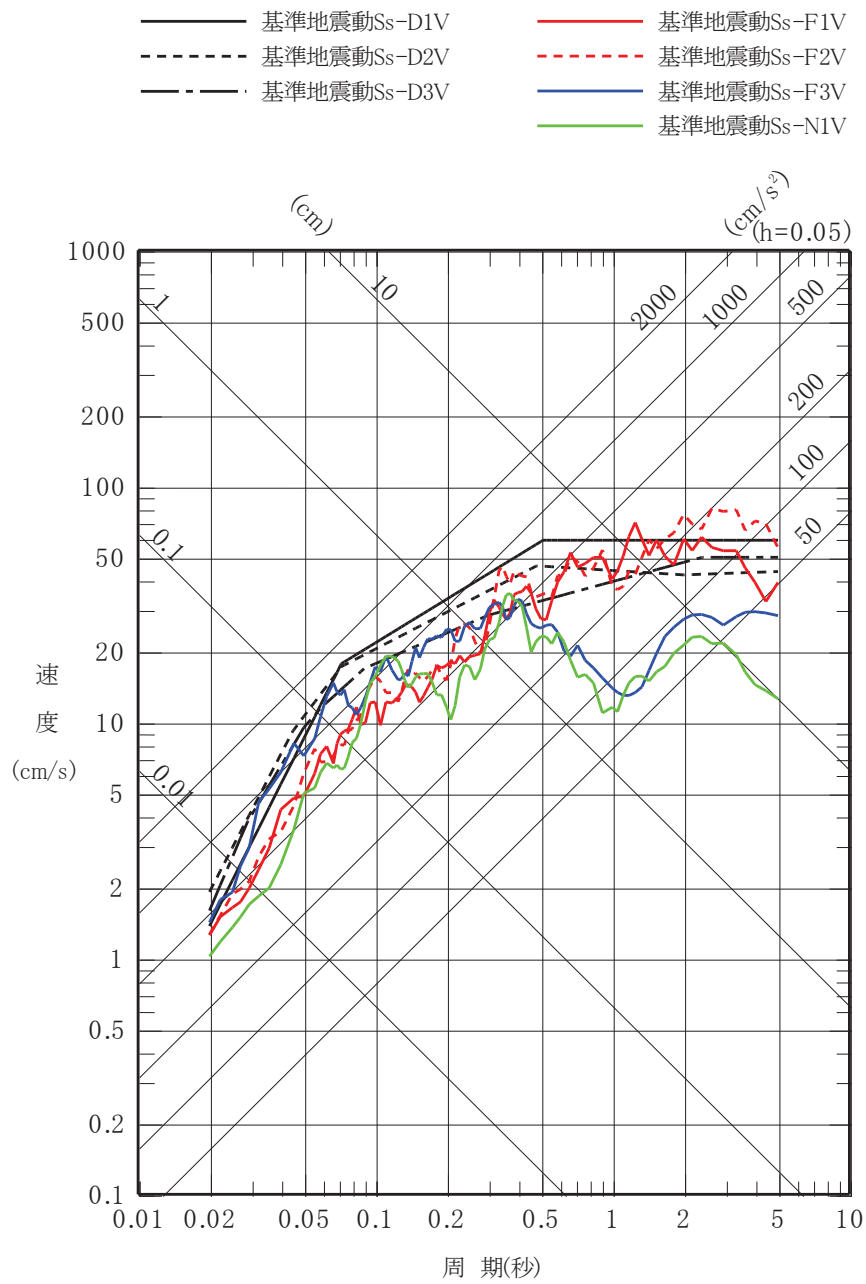


図 2-1-2 基準地震動 S s のスペクトル (鉛直方向)

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、屋外重要土木構造物、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。

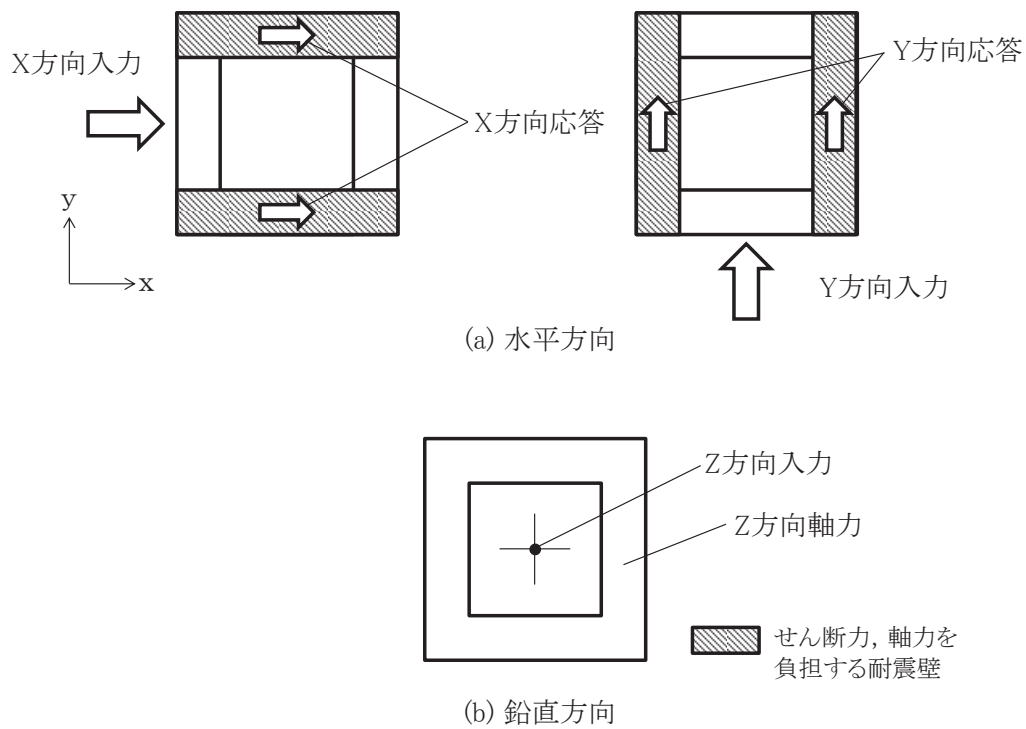


図 3-1-1 入力方向ごとの耐震要素（矩形）

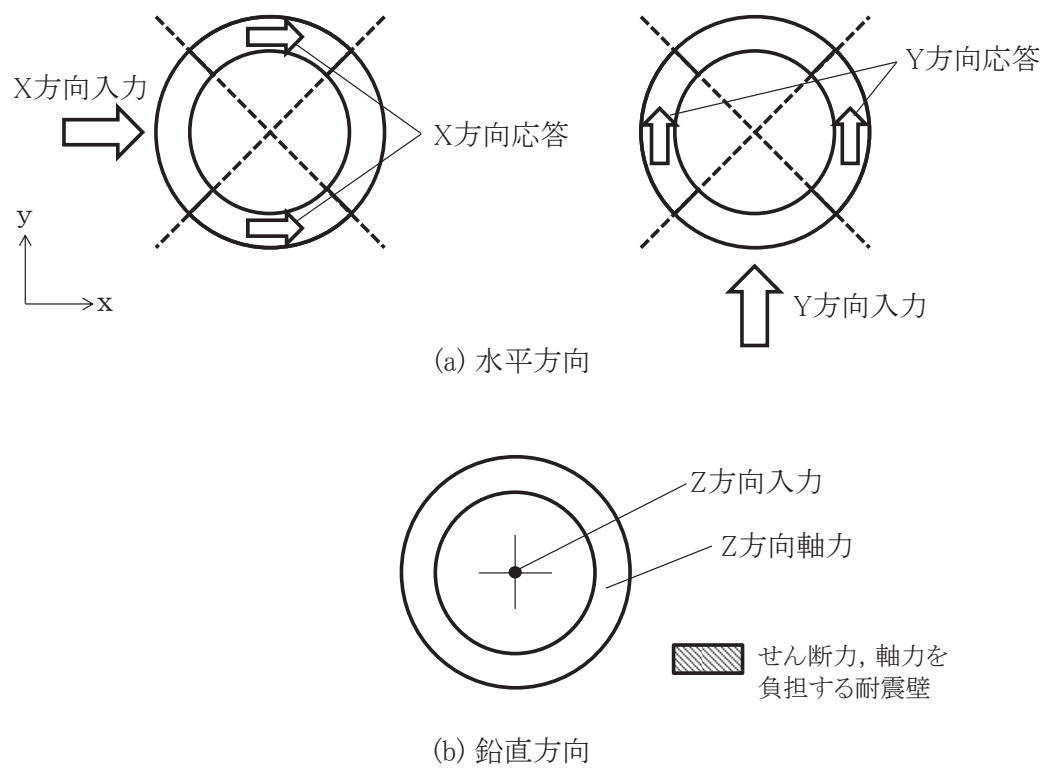


図 3-1-2 入力方向ごとの耐震要素（円筒形）

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。

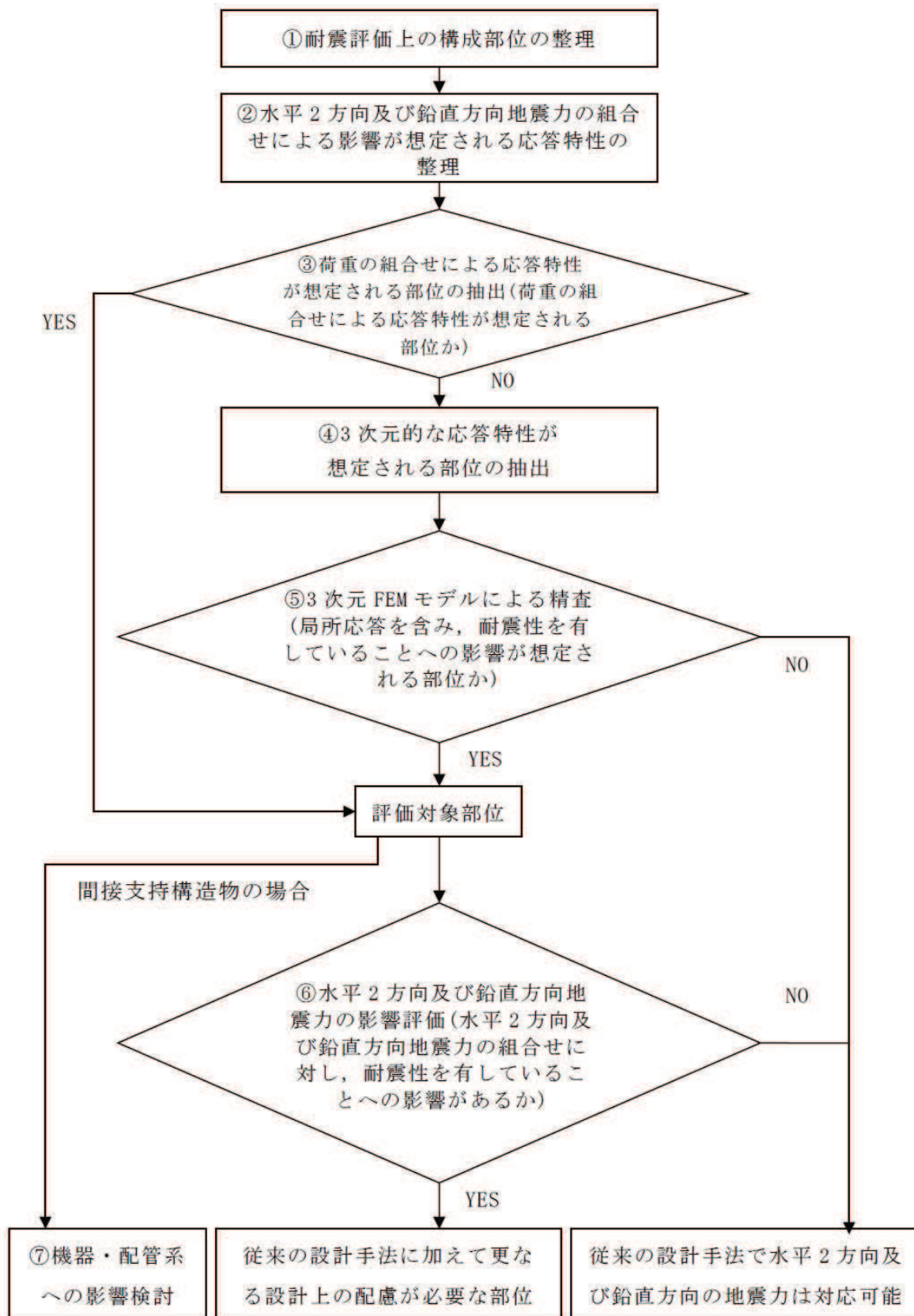


図 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響検討のフロー
(建物・構築物)

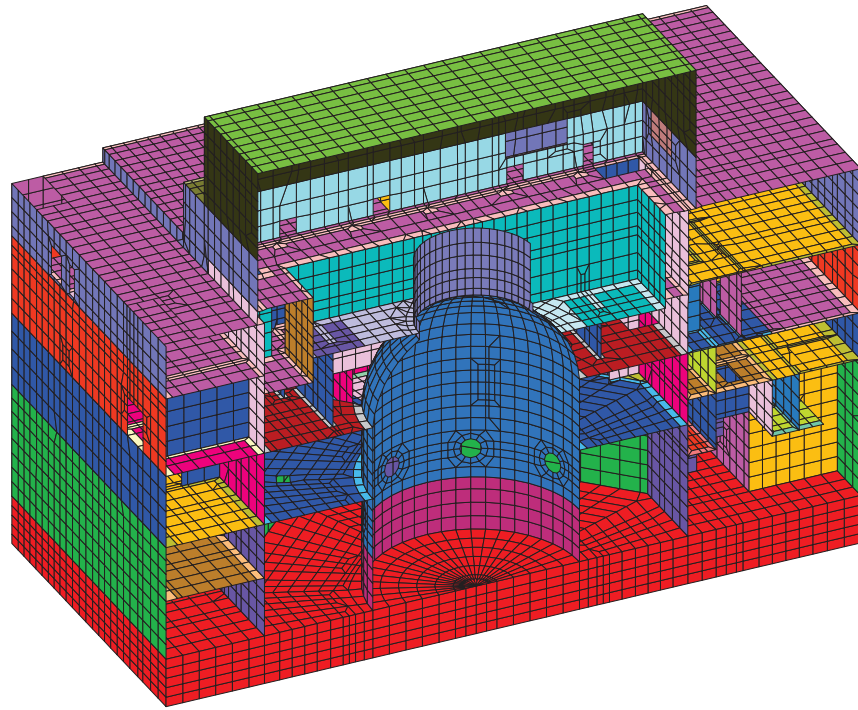


図 3-1-4 原子炉建屋の 3 次元 FEM モデルの概要図 (断面図)

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。

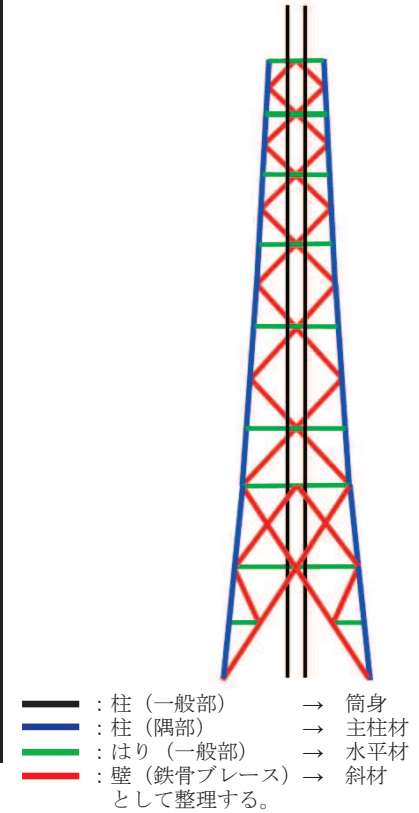
(1) 耐震評価上の構成部位の整理

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			
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)

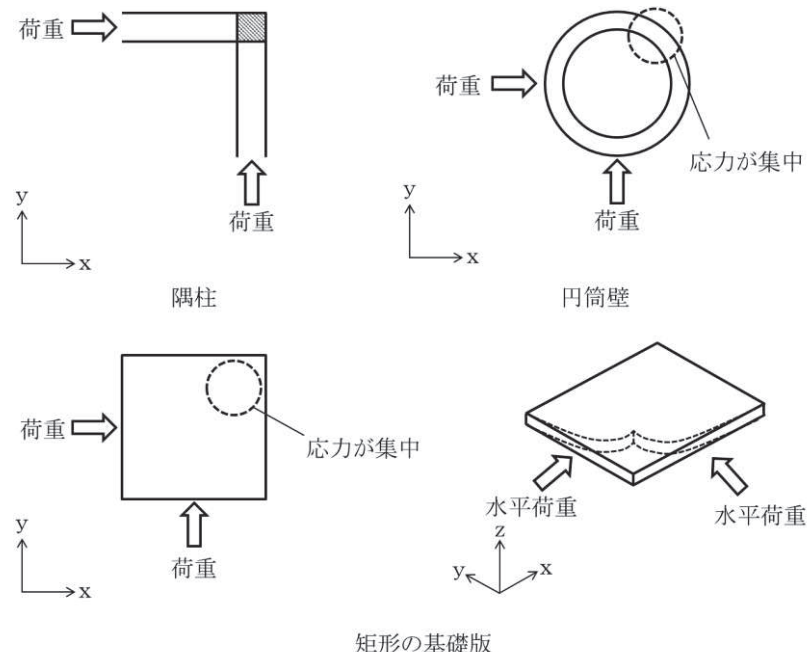
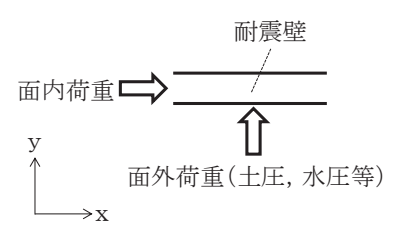
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中	<p>応力が集中する隅柱等 (例)</p>  <p>The diagrams illustrate stress concentration in four cases: 1. A corner column under horizontal and vertical loads, with stress concentrated at the corner. 2. A cylindrical wall under horizontal and vertical loads, with stress concentrated at the top edge. 3. A square column under horizontal and vertical loads, with stress concentrated at the top corner. 4. A rectangular foundation under horizontal and vertical loads, with stress concentrated at the corners.</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 seismic wall (耐震壁) subjected to in-plane loads (面内荷重) and out-of-plane loads (面外荷重) such as soil pressure (土圧) and water pressure (水圧). A coordinate system with x, y, and z axes is provided.</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)

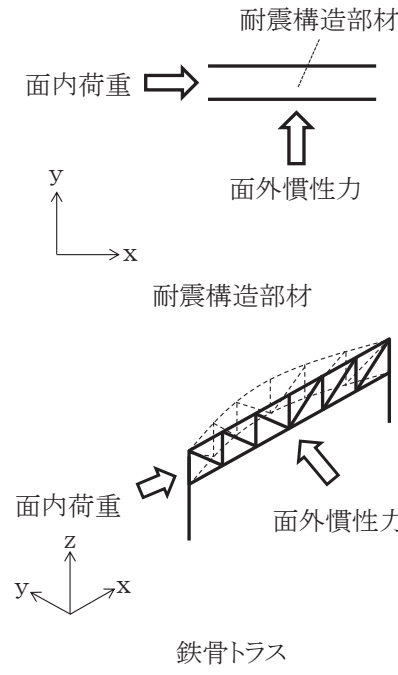
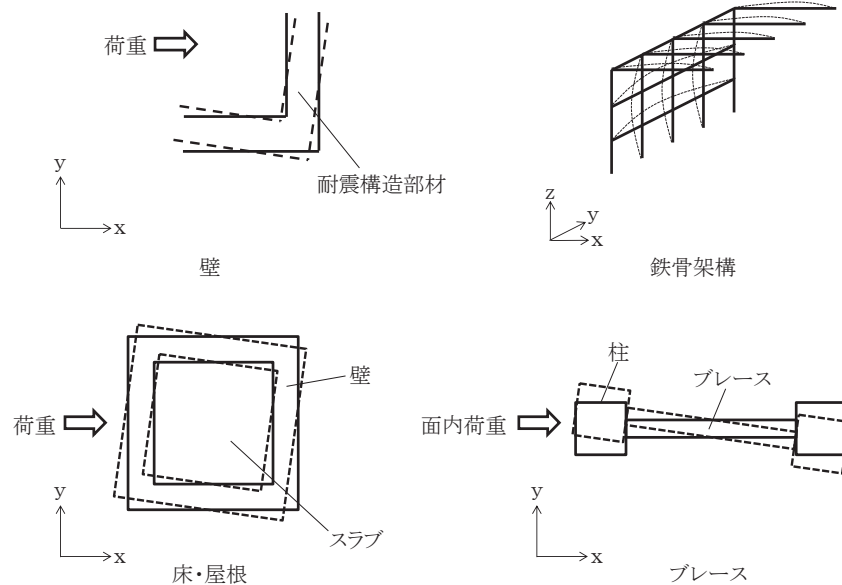
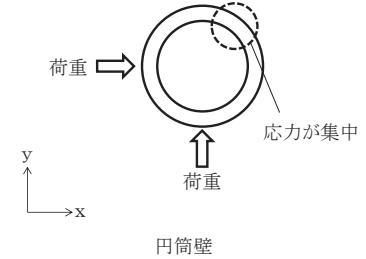
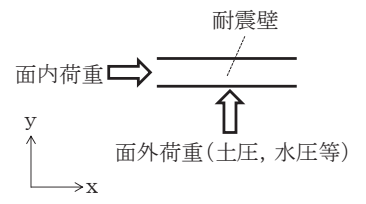
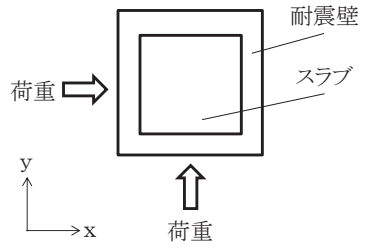
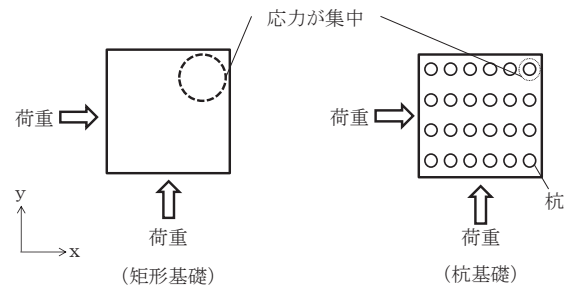
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> 
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物等含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> 

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

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の方
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（主柱材）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
		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。

(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	要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が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。

なお、上記のとおり、建物・構築物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響の観点から機器・配管系への影響は抽出されなかったが、「別紙2 原子炉建屋3次元FEMモデルを用いた精査」を踏まえて面外加速度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として3次元的な応答特性が想定される原子炉建屋（燃料取替床レベル）を抽出した。また、「別紙3 原子炉建屋3次元FEMモデルによる地震応答解析」において、3次元FEMモデルの応答スペクトルが質点系モデルの応答スペクトルを上回る箇所があることを踏まえて機器・配管系への影響を検討する。これらの機器・配管系への影響については、「別紙4 機器・配管系に関する影響検討」において検討を行う。

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

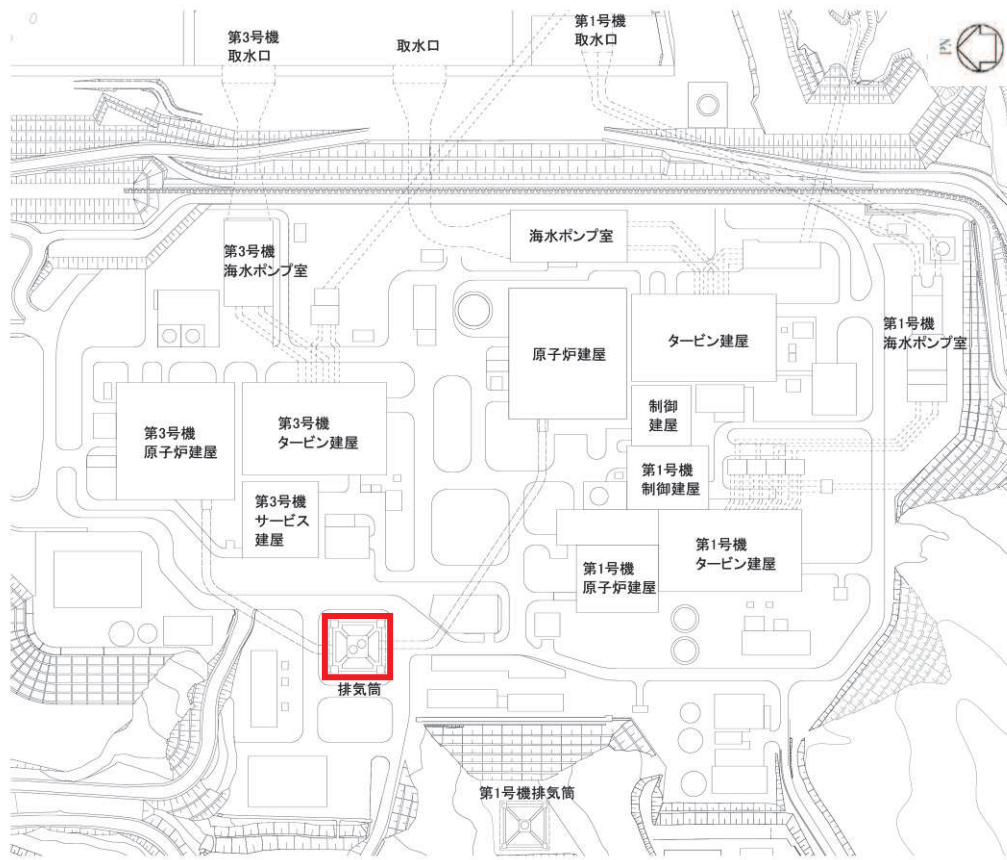
隅柱は、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である。排気筒の鉄塔部支柱材は、応力集中の影響が大きいと想定されるため、3次元 FEM モデルを用いて、基準地震動 S_s を水平 2 方向及び鉛直方向に同時入力した場合の検討を実施する。

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

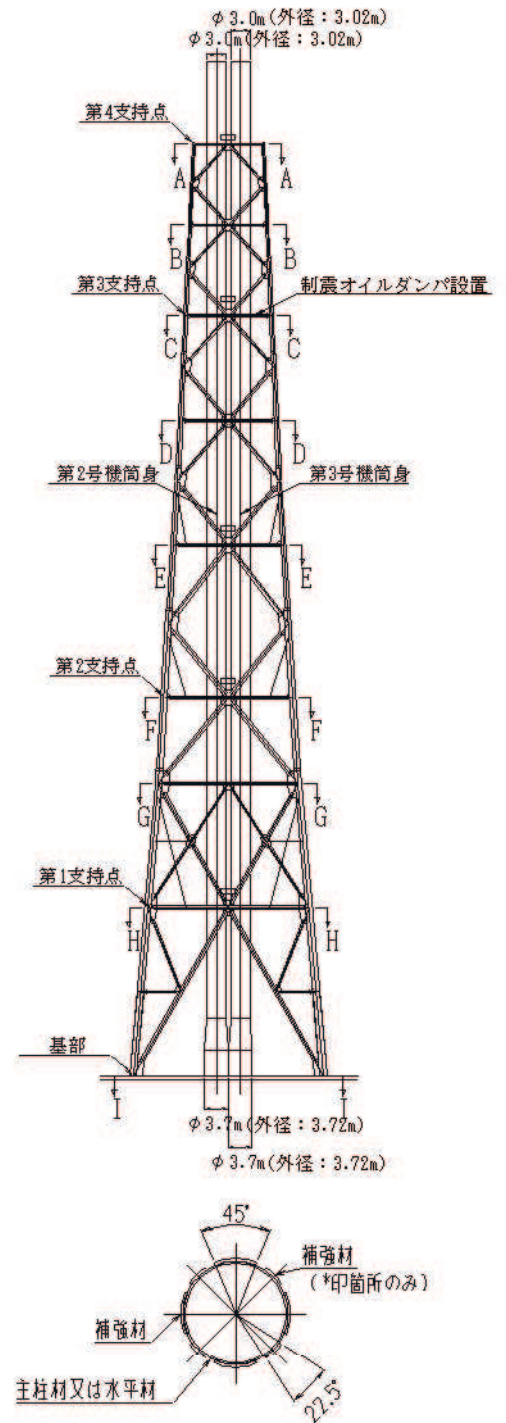
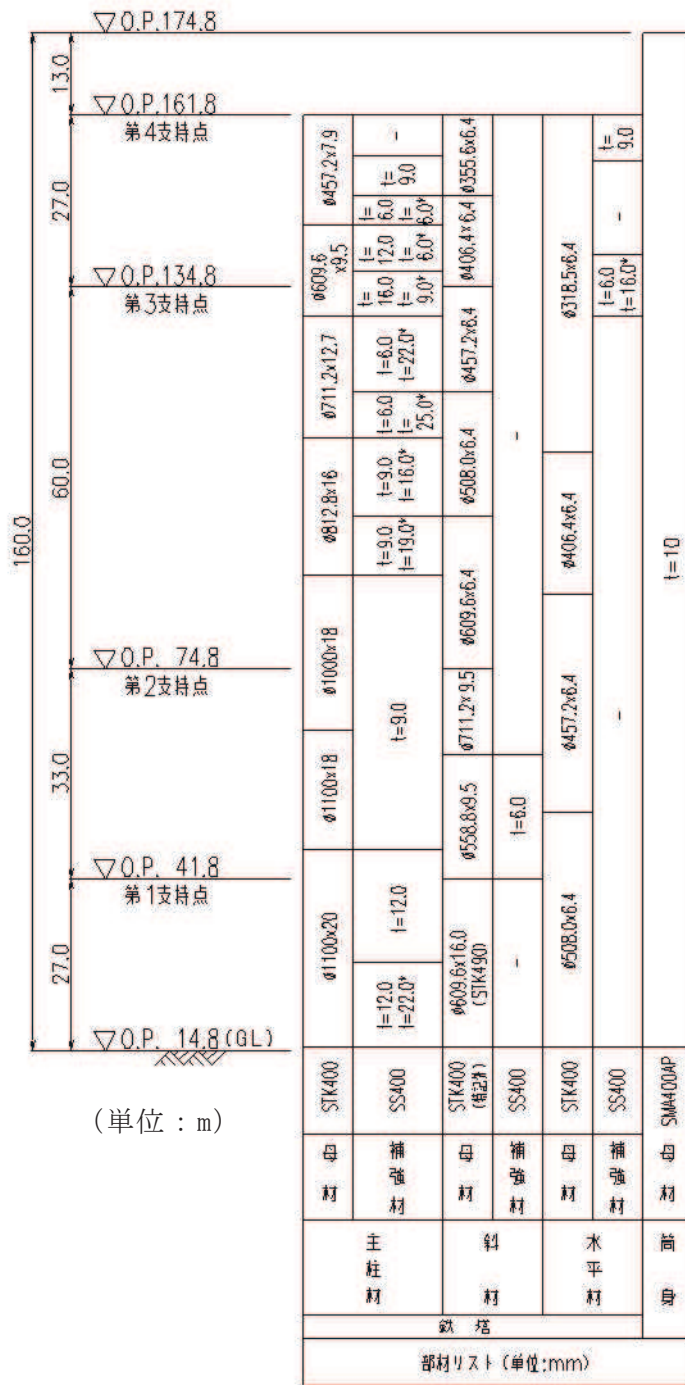
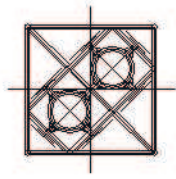
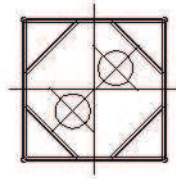


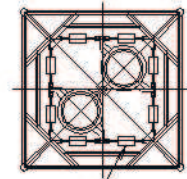
図 3-1-6 排気筒の概要図



A-A断面 (第4支持点)

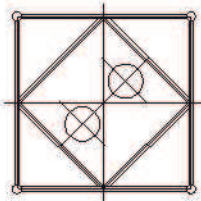


B-B断面

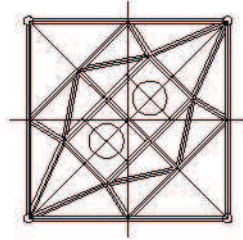


制震オイルダンパ設置

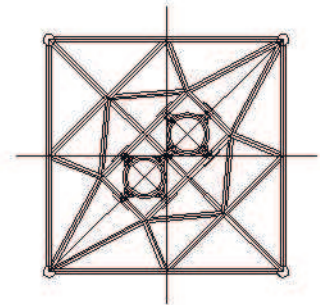
C-C断面 (第3支持点)



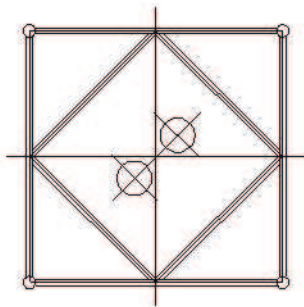
D-D断面



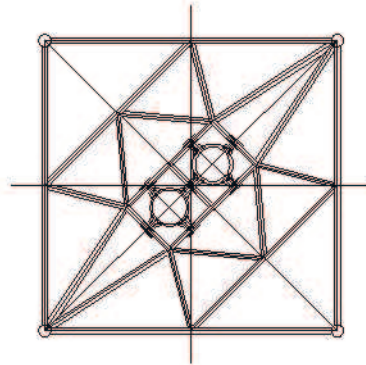
E-E断面



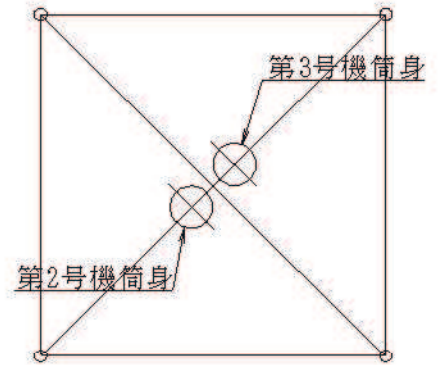
F-F断面 (第2支持点)



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

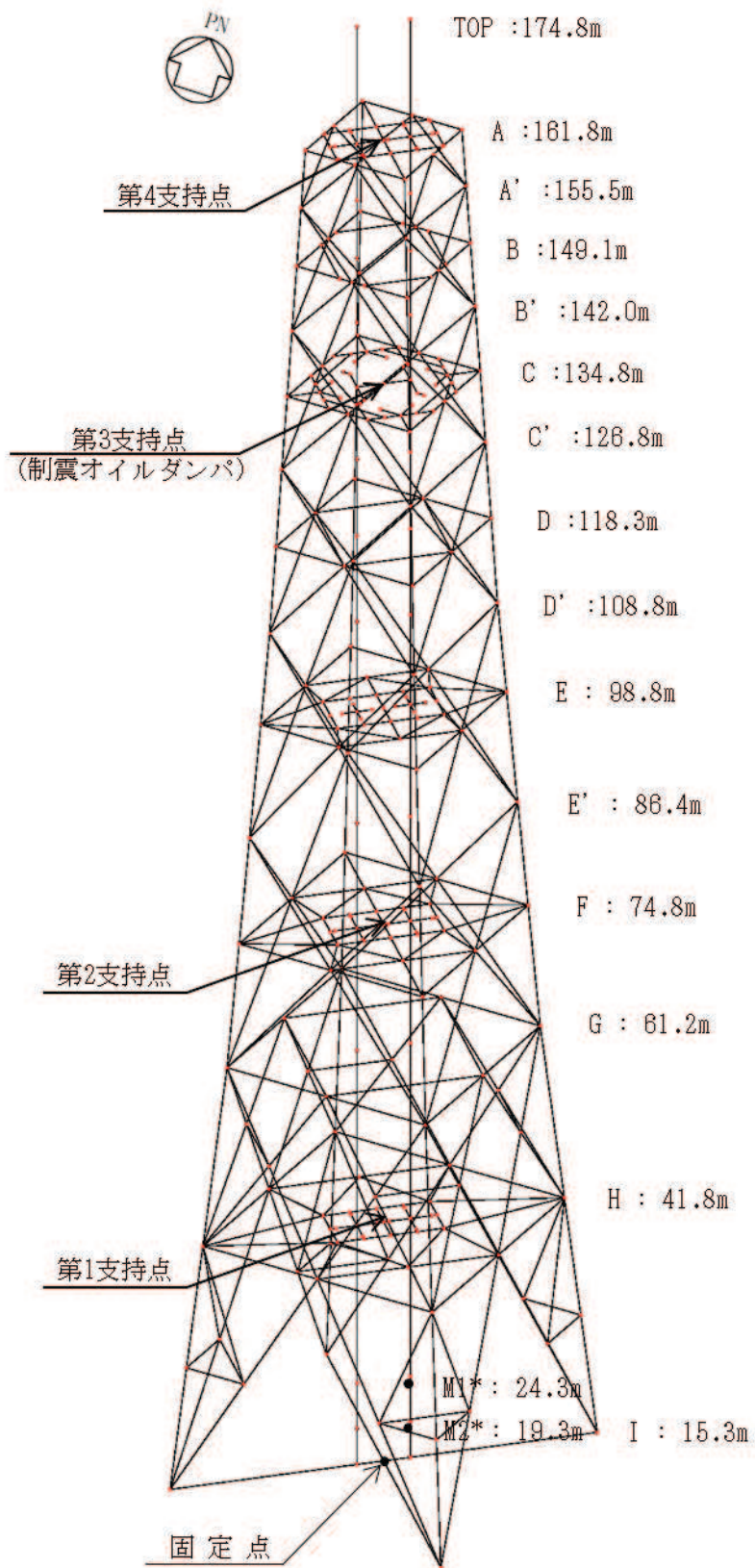
(2) 検討方針

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。

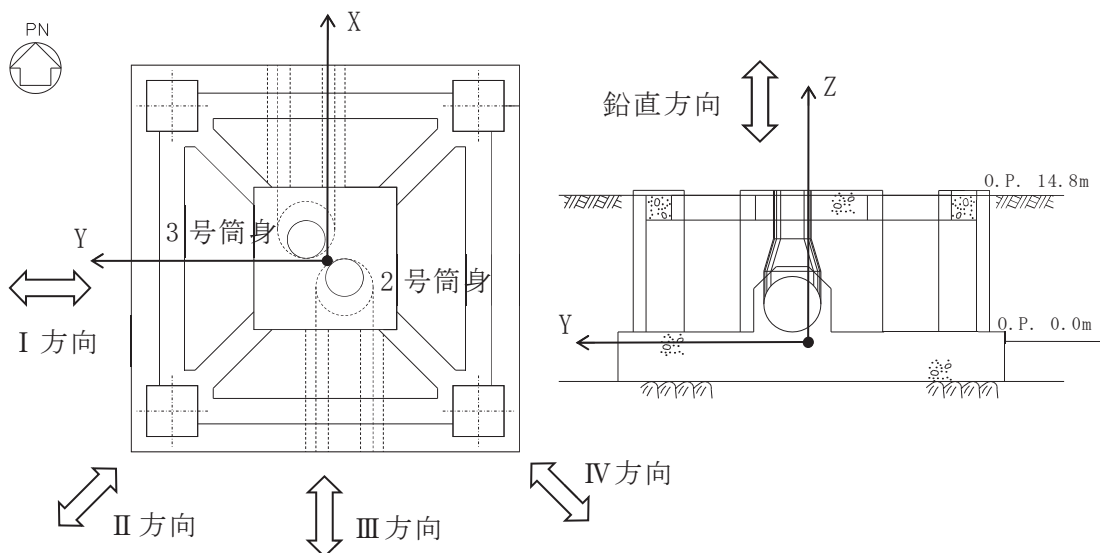


図 3-1-9 加振方向の説明

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。

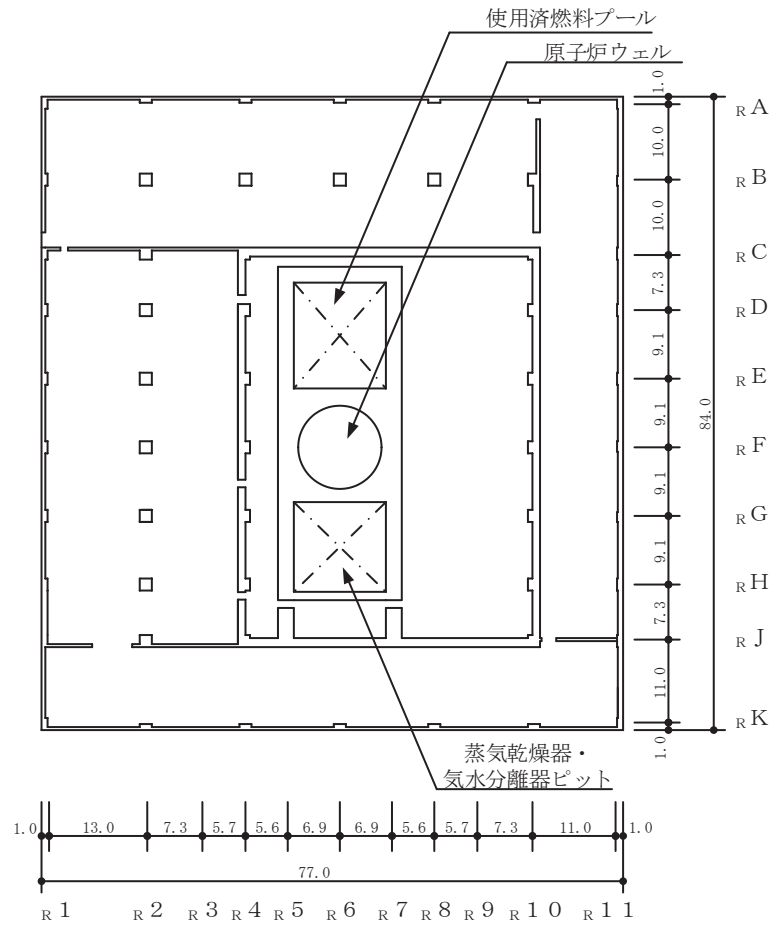


図 3-1-10 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 33. 2m)
(単位 : m)

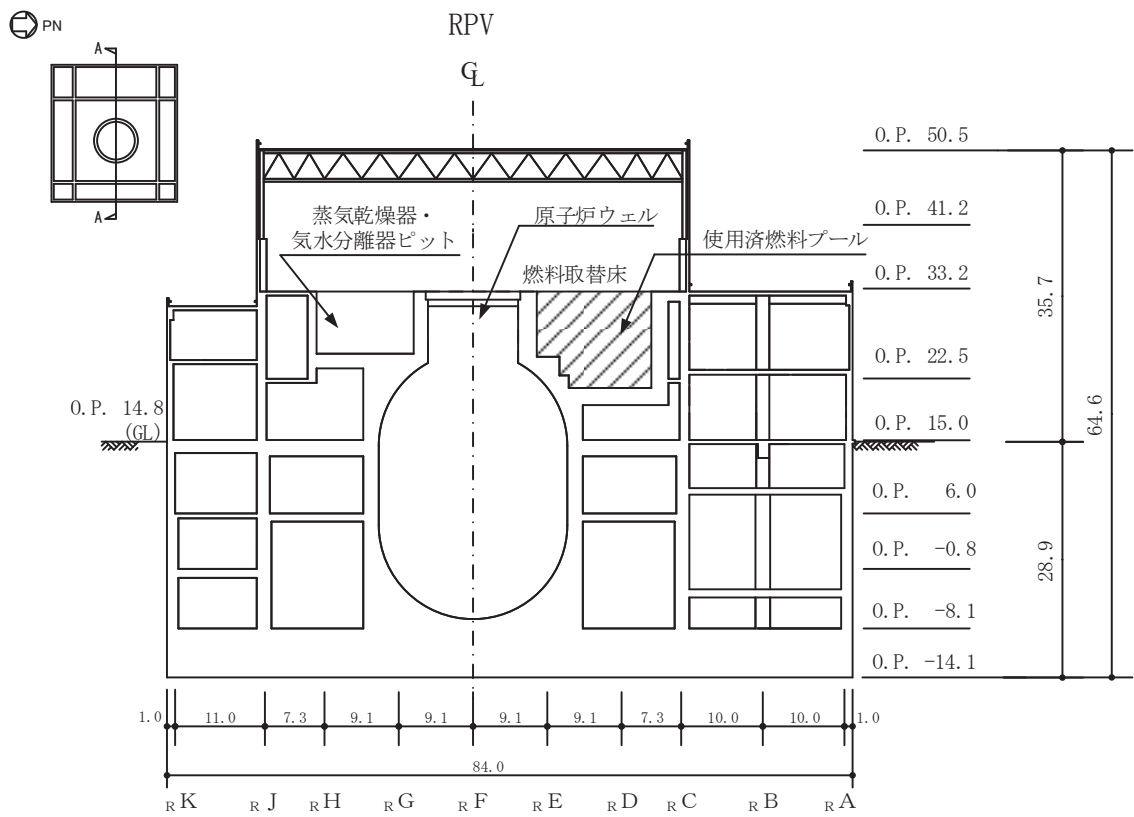


図 3-1-11 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図
(A-A 断面) (単位：m)

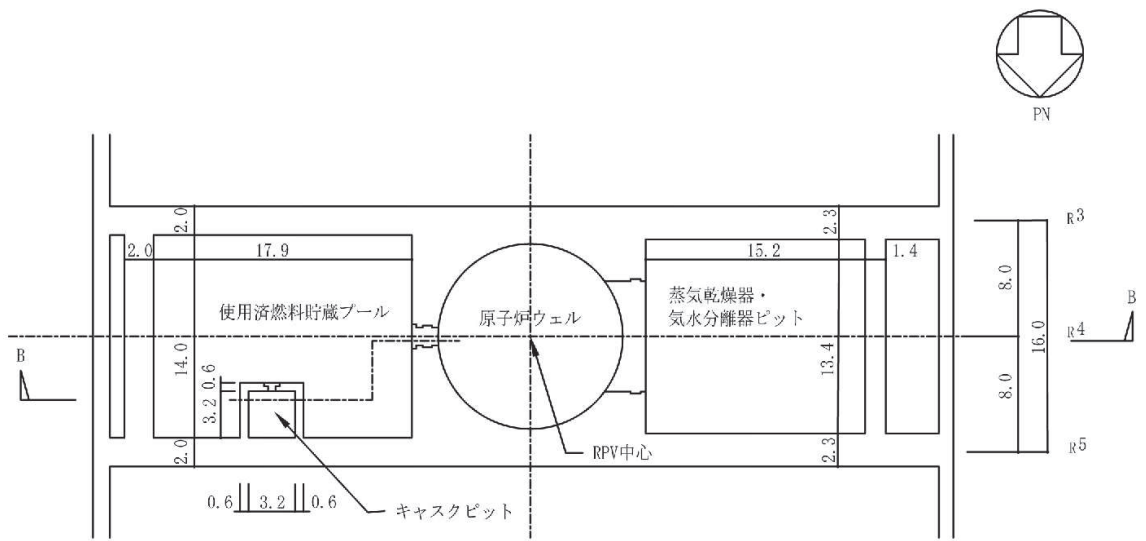


図 3-1-12 使用済燃料プール周りの概略平面図（単位：m）

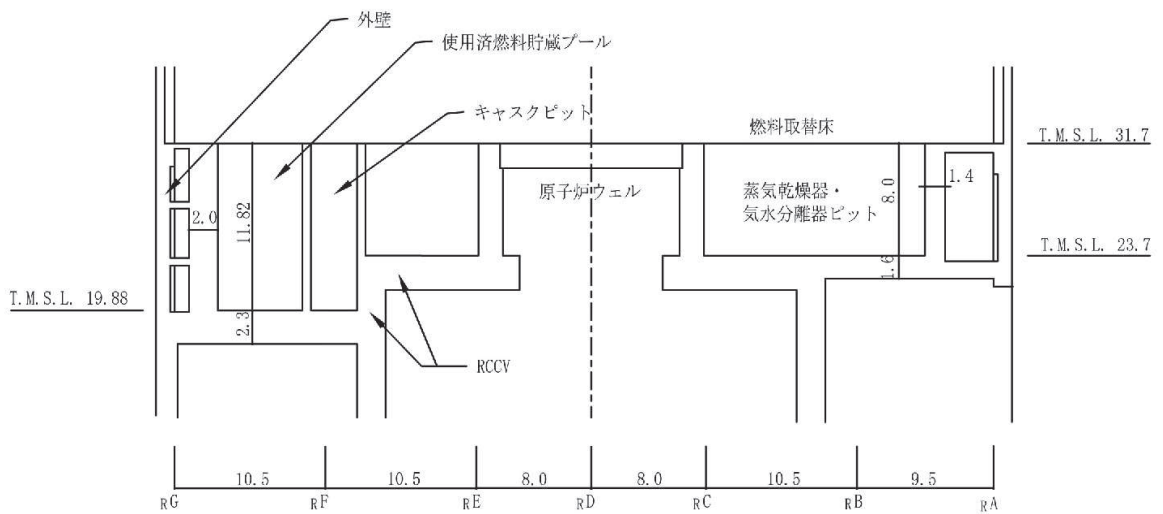


図 3-1-13 使用済燃料プール周りの概略断面図
(B-B 断面)（単位：m）

(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

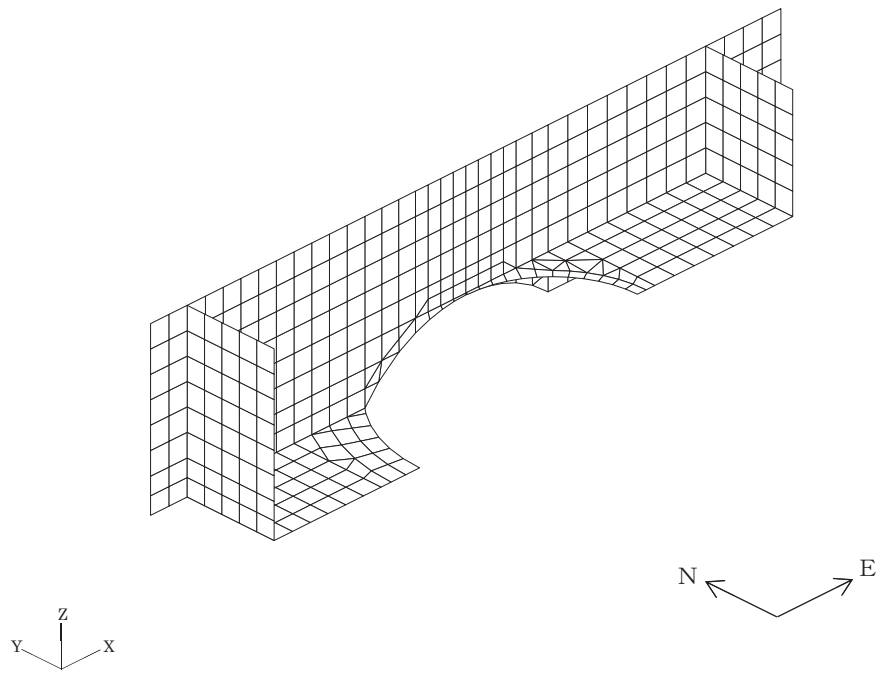
解析モデル概要図を図 3-1-14 に示す。解析モデルの詳細は、SFP の耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

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

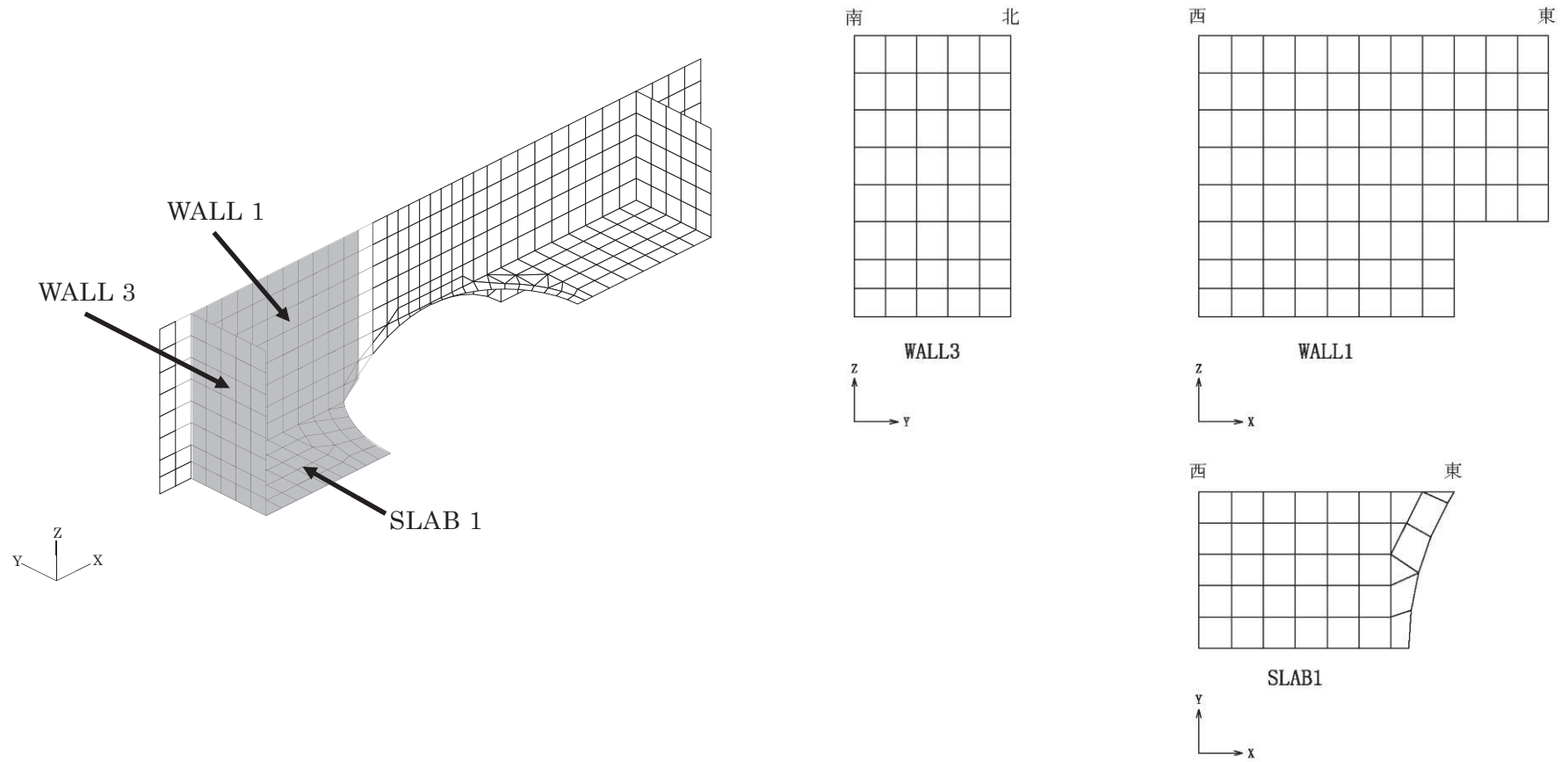
注記* : 計算上の座標軸を基準として、EW 方向は W→E 方向の加力、NS 方向は S→N 方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

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。

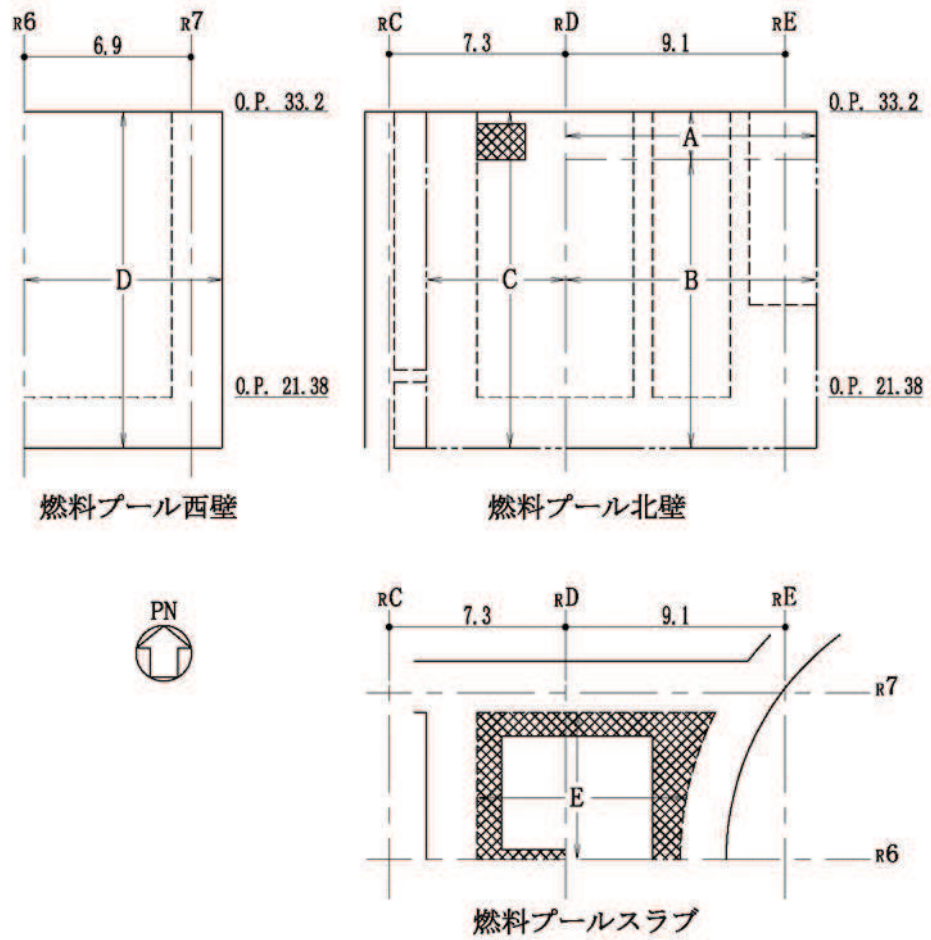
(7) 評価結果

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

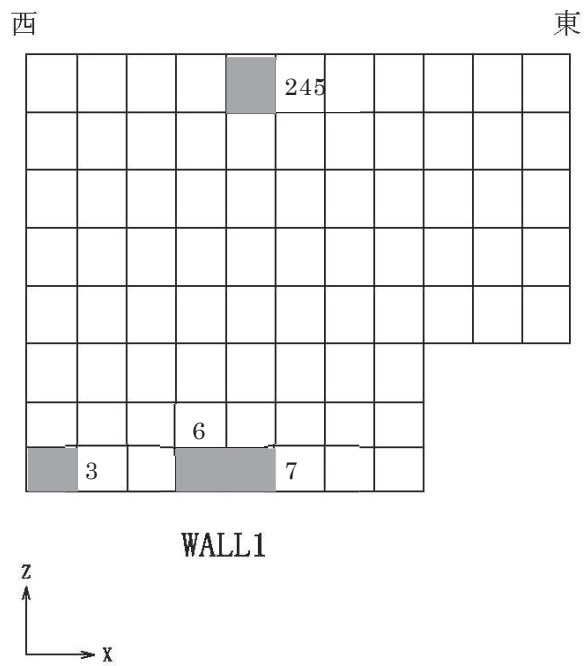
表 3-1-16 配筋一覧

(a) 北側壁

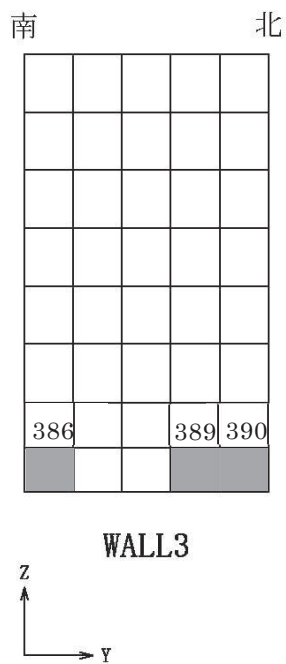
区分	タテ方向	ヨコ方向
A	(内側) 2-D38@200+D38@400 (外側) 2-D38@200+2-D38@400	(内側) 3-D38@200 (外側) 4-D38@200
B	(内側) 2-D38@200+D38@400 (外側) 2-D38@200+2-D38@400	(内側) 3-D38@200 (外側) 3-D38@200+D38@400
C	(内側) 3-D38@200+D38@400 (外側) 3-D38@200	(内側) 2-D38@200+2-D38@400 (外側) 3-D38@200

(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



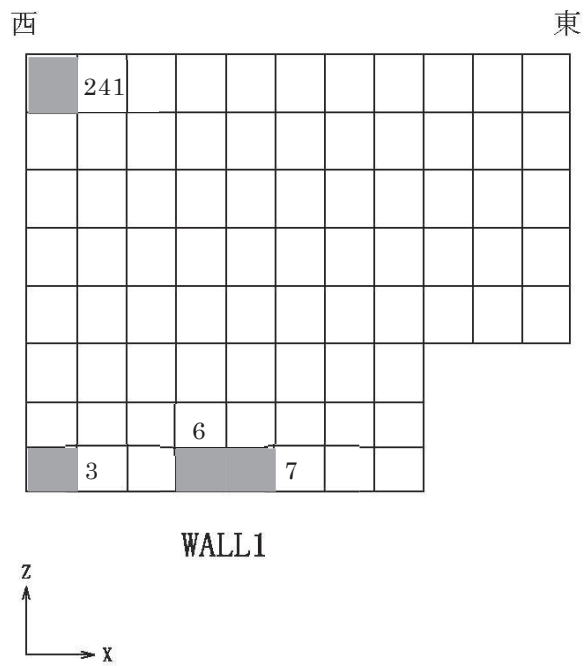
(a) 北側壁



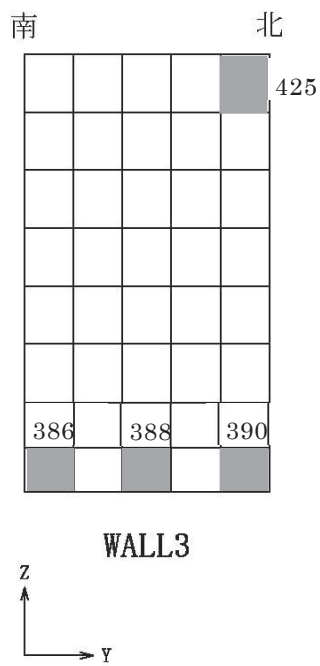
(b) 西側壁

注：数字は要素番号を示す。

図 3-1-16 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 2 方向)



(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。

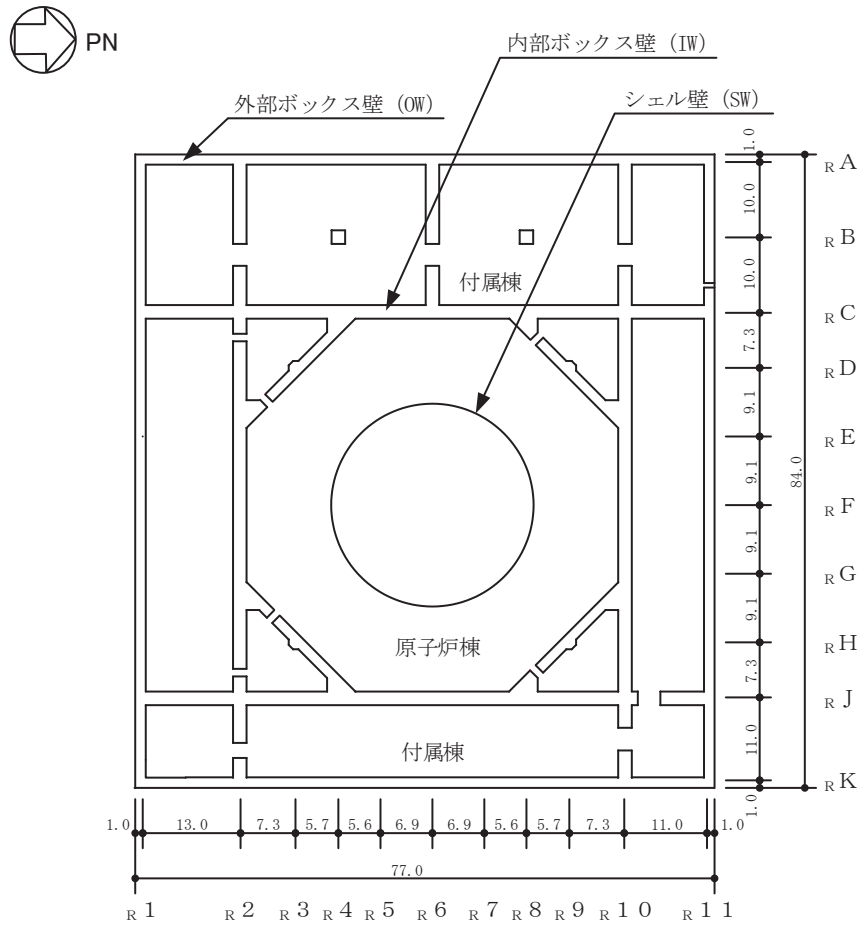
3.1.8 原子炉建屋の基礎版の検討

(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。

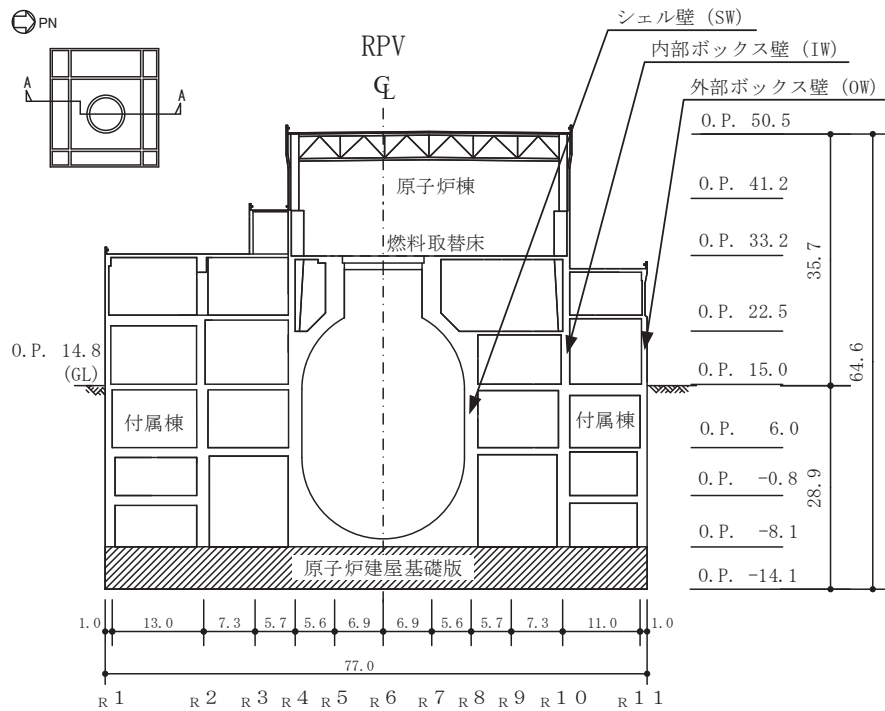
原子炉建屋基礎版は、付属棟基礎と一体となっており、付属棟基礎を含む平面の形状は、南北方向77.0m、東西方向84.0mの矩形であり、厚さは6.0mである。

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。



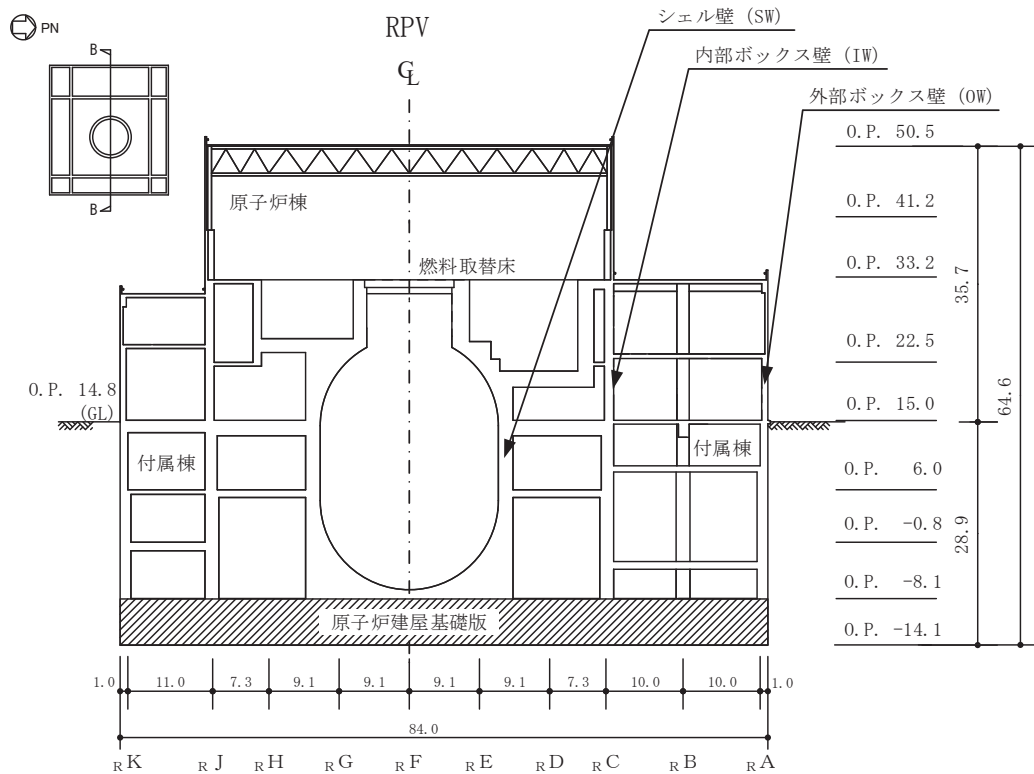
(単位 : m)

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

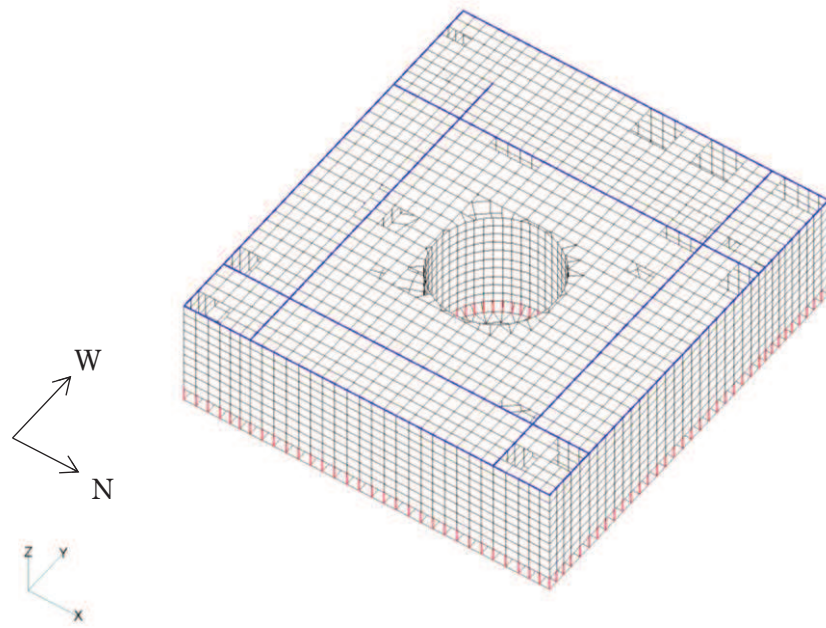
解析モデル図を図 3-1-20 に示す。解析モデルの詳細は、基礎版の耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

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。

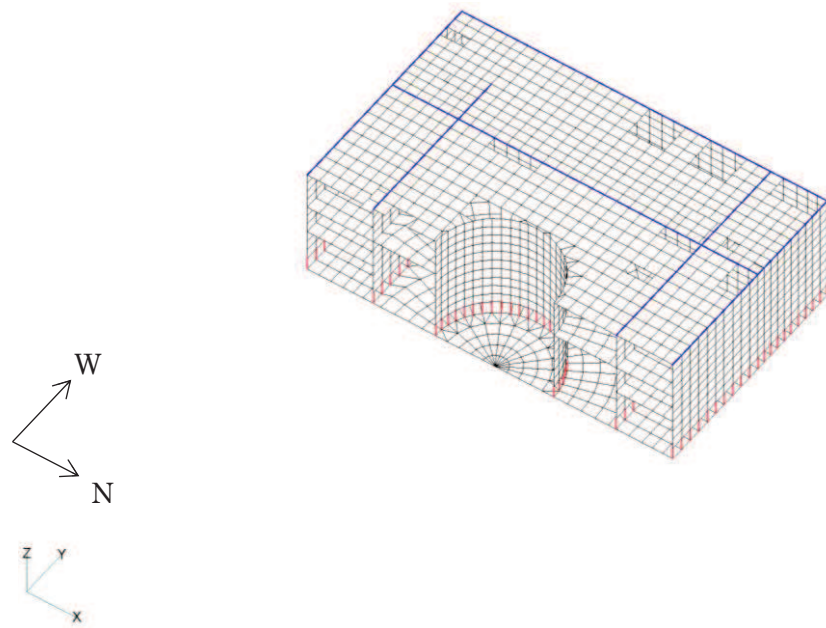
G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S _s S _N [*]	: S→N 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時土圧荷重を含む)
S _s S _{EW} [*]	: E→W 方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時土圧荷重を含む)
S _s S _{UD} [*]	: 鉛直方向 S _s 地震荷重

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。

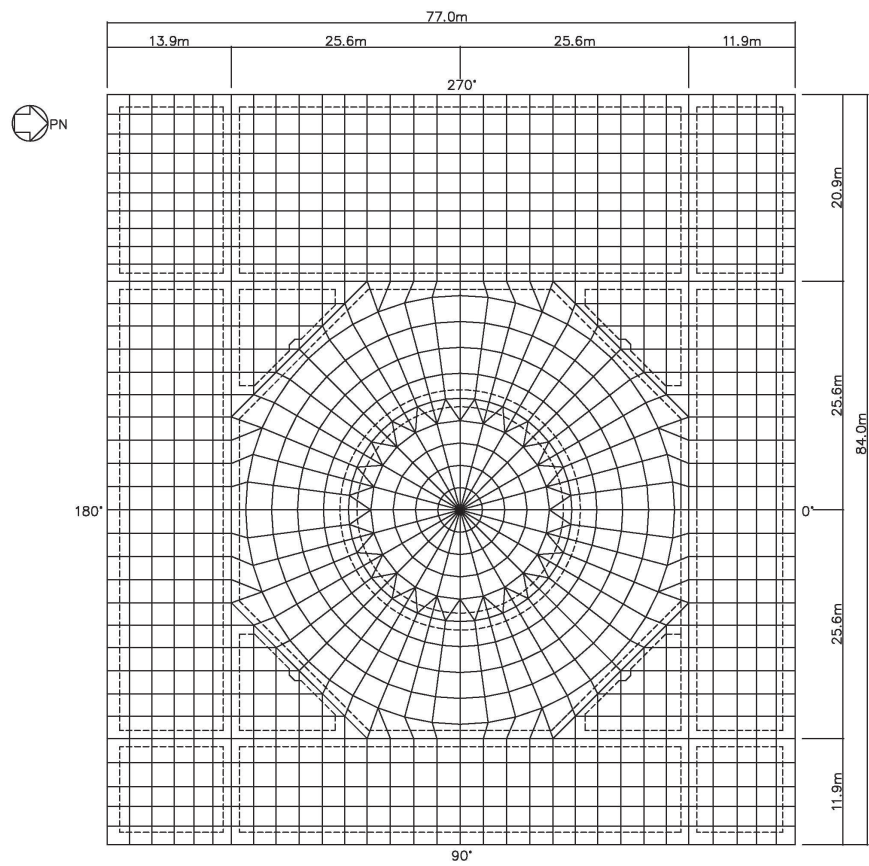


(a) 全体鳥瞰図



(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

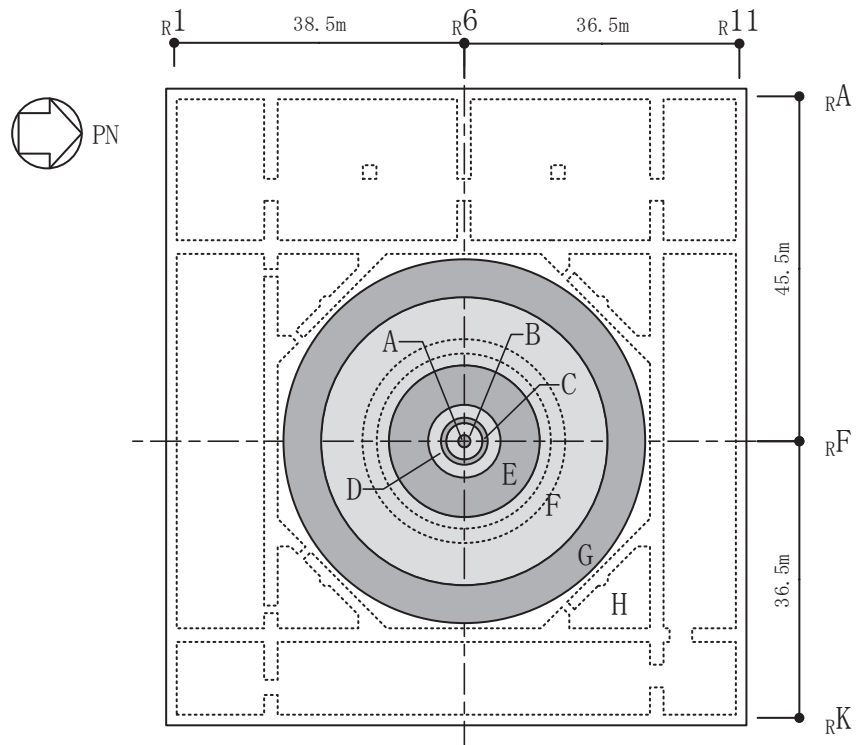
基礎の断面の評価は、基礎版の耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

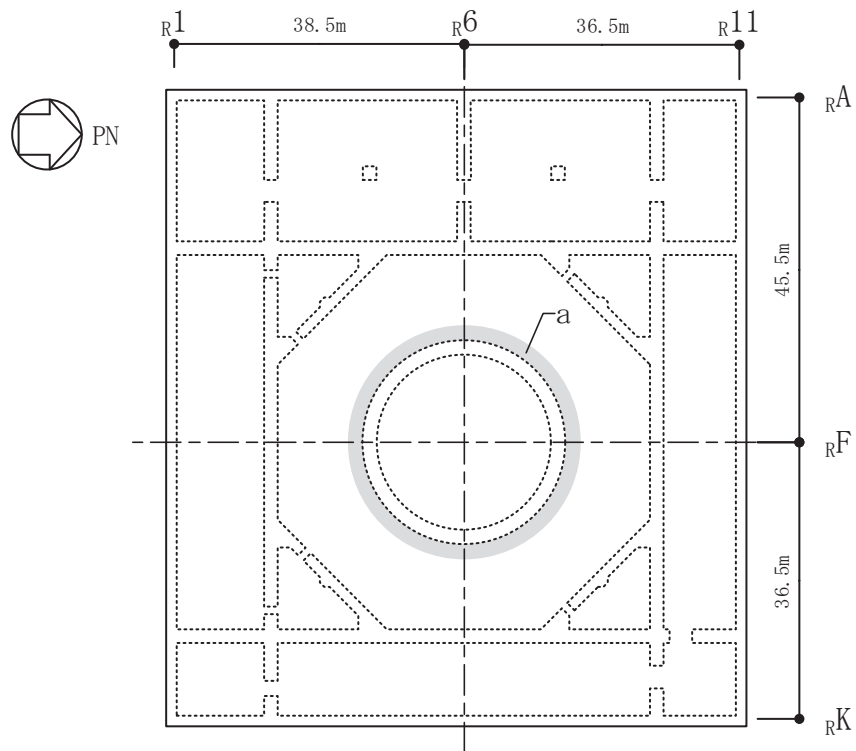
断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図及び配筋一覧を図 3-1-21 及び表 3-1-22 に示す。断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

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

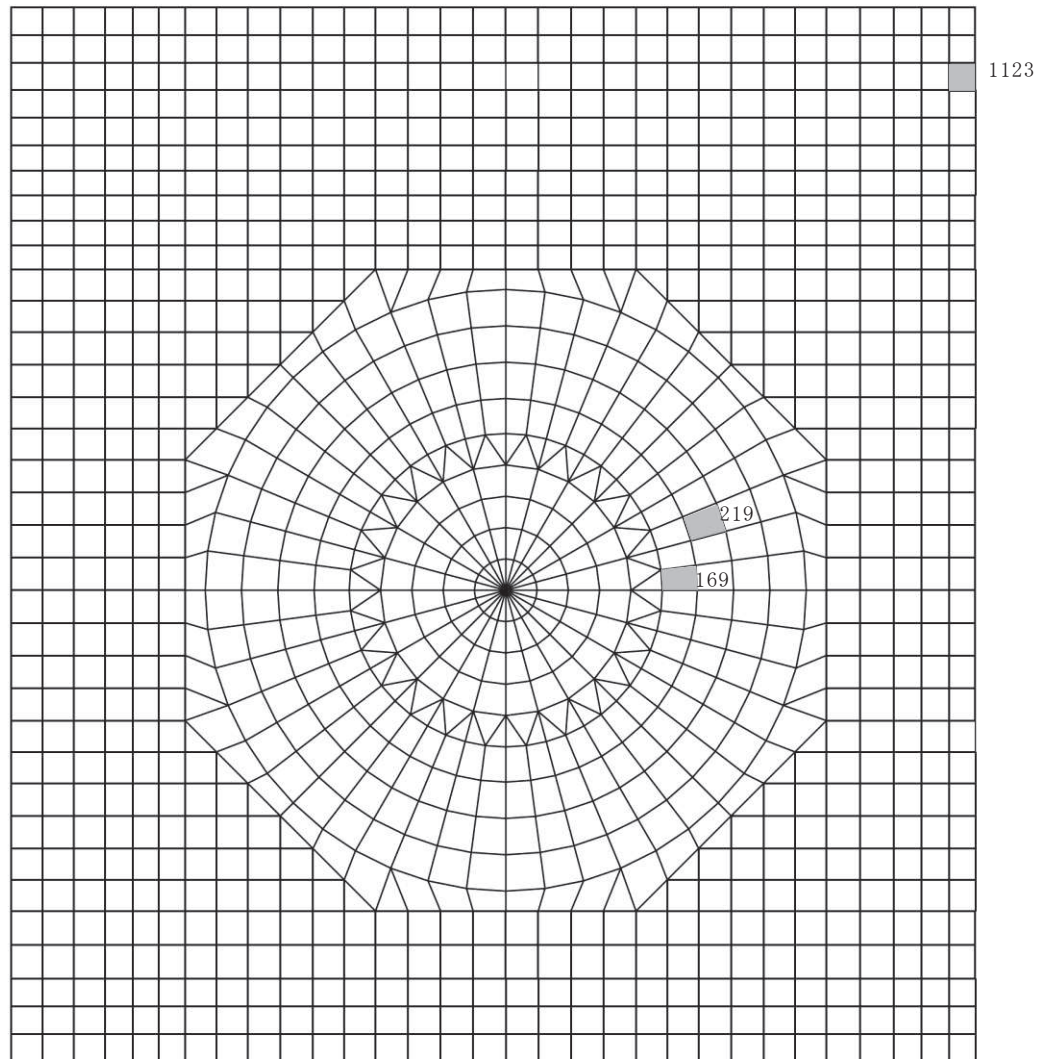
表 3-1-22 配筋一覧

(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

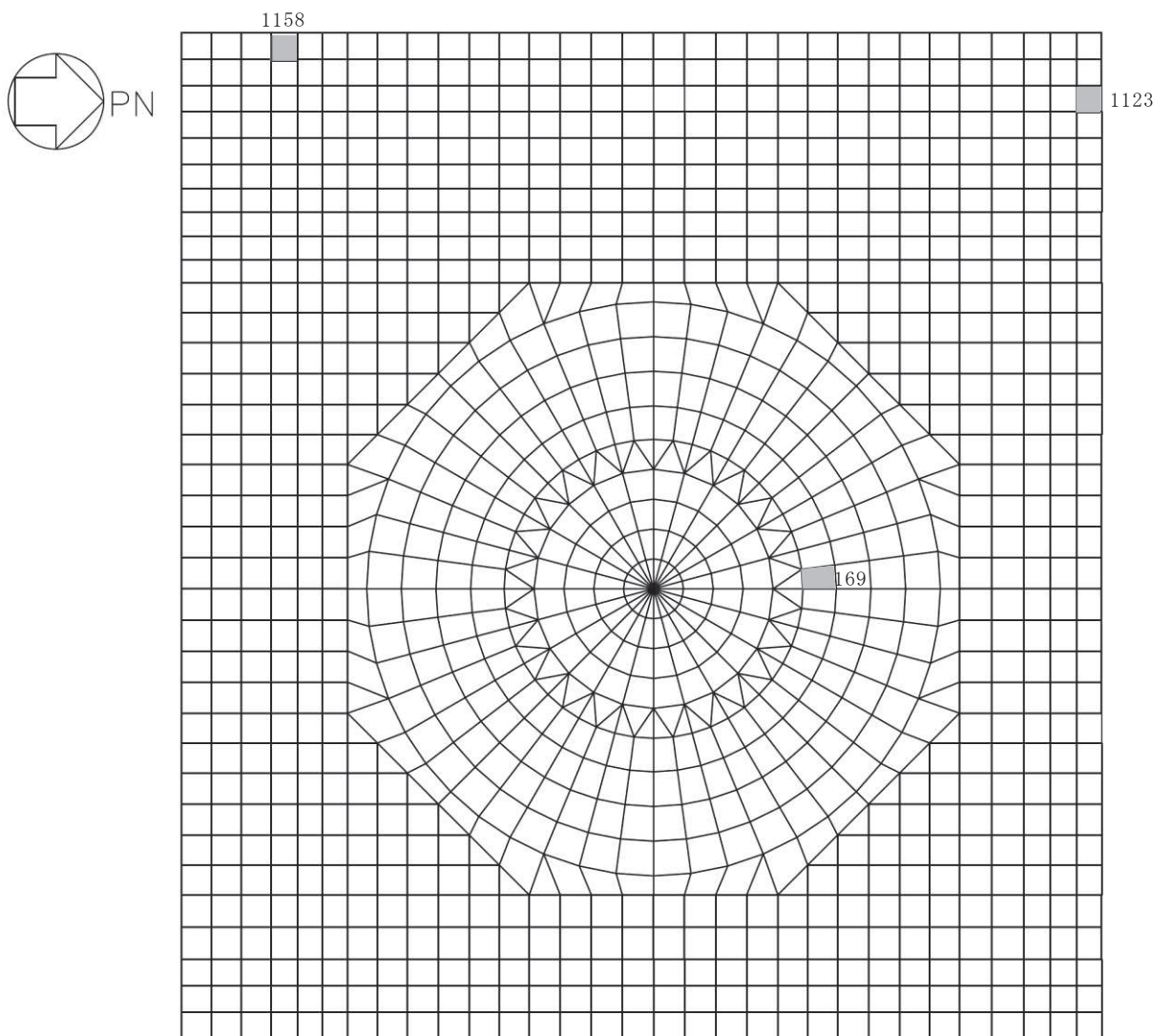
領域	配筋
a	D32@400×108/周



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。

3.2 機器・配管系

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

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。設備配置及び応答軸の概念図を図3-2-1に示す。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じにくい構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じにくいサポート設計の採用といった構造上の配慮など、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

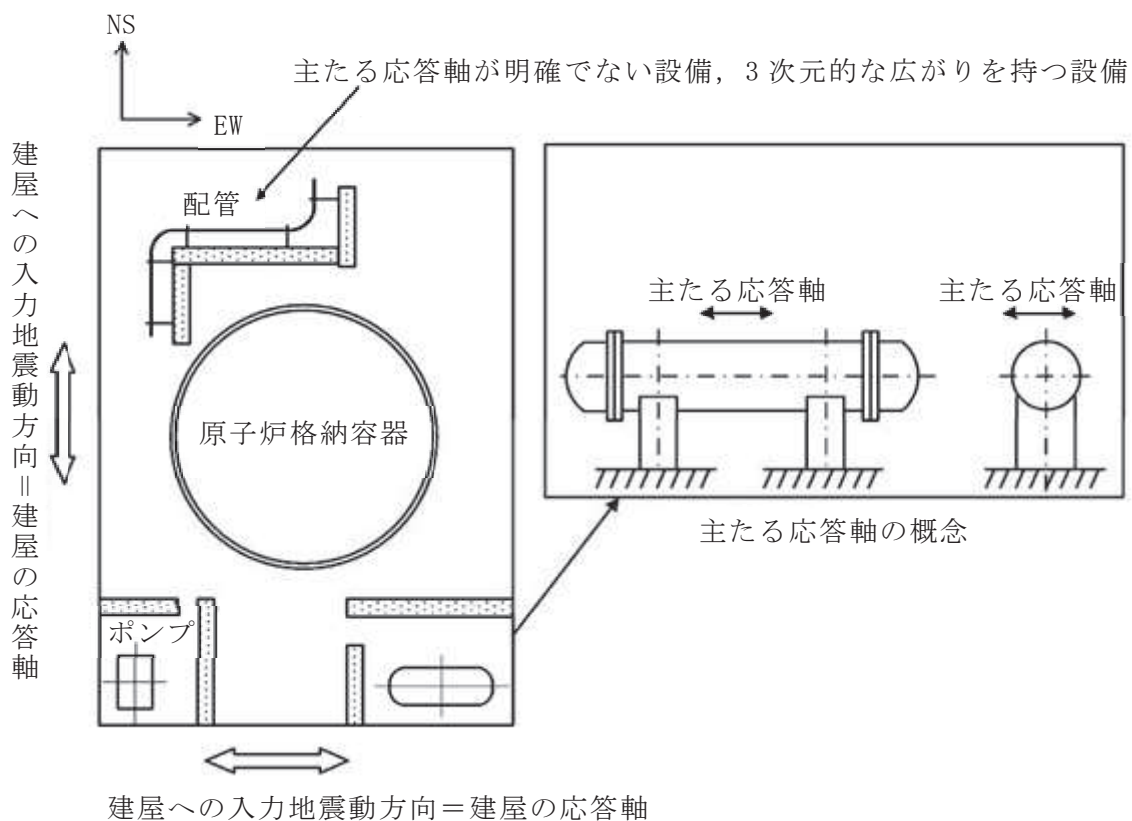


図 3-2-1 設備配置及び応答軸の概念図

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

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備の評価を行う。

評価対象は、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設備とする。

対象とする設備を機種ごとに分類し、それぞれの構造上の特徴をもとに荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平2方向の地震力による影響を受ける可能性がある設備を抽出する。

構造上の特徴により影響の可能性がある設備は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1:1で入力された場合の発生値を従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平2方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平2方向の地震力による設備に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が、従来の発生値と同等である場合は影響のない設備とし、評価対象として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震性への影響を確認する。

設備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。

水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 $S_s - D1 \sim D3$ 、 $S_s - F1 \sim F3$ 及び $S_s - N1$ を対象とするが、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、地震力の包絡関係を確認し、代表可能である場合は代表の基準地震動 S_s にて評価する。また、水平方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

スロッシング評価については、水平2方向の影響が考えられることから、水平2方向による影響を確認する。使用済燃料プール等のスロッシングによる溢水量評価は、添付書類「VI-1-1-8-4 溢水影響に関する評価」に記載のとおり、水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた場合の溢水量として、保守的に水平1方向＋鉛直方向の溢水量に、直交する水平1方向＋鉛直方向の溢水量を足し合せ、影響を確認している。

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

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した評価*又は水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せで評価した上で、その計算結果に基づき水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響の可能性のある設備を構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを図 3-2-2 に示す。

なお、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。）を適用する。この組合せ方法については、現状の耐震評価は基本におおむね弾性範囲でとどまる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考としているものである。

注記*：工認耐震計算書において水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した評価を実施している設備を表 3-2-1 に示す。なお、表 3-2-1 に示した設備についても本項以降に検討結果を記載する。

表 3-2-1 工認耐震計算書において水平 2 方向及び鉛直方向地震力を
考慮した評価を実施している設備

設備		水平 2 方向を考慮した評価部位	
		全評価部位	一部評価部位*
圧力 原子 容器 炉	ノズル	○	
	ブラケット類 (蒸気乾燥器支持ブラケット)	○	
使用済燃料プール水位/温度 (ガイドパルス式)		○	
ECCS ストレーナ		○	
ストレーナ部ティアー		○	
水圧制御ユニット		○	
ダクト本体, サポート			○
ドライウエル			○
ドライウエルベント開口部		○	
サプレッションチェンバ		○	
ボックスサポート		○	
格納 原子 容器 炉	機器搬出入用ハッチ	○	
	逃がし安全弁搬出入口	○	
	制御棒駆動機構搬出入口	○	
	所員用エアロック	○	
	原子炉格納容器配管貫通部	○	
ダウンコマ		○	
ベント管		○	
ベント管ベローズ		○	
ベントヘッド		○	
原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置			○
配管本体, サポート		○	
取水ピット水位計 (バブラー管)		○	
海水ポンプ室門型クレーン			○
竜巻防護ネット		○	
原子炉建屋クレーン			○
CRD 自動交換機		○	
燃料チャンネル着脱機			○

注記* : 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が軽微な評価部位 (a) と影響がある評価部位 (b) が混在する設備であって、評価部位 (b) に対して水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した評価を実施している設備に「○」を記載する。

① 評価対象となる設備の整理

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設備を評価対象とし，機種ごとに分類し整理する。（図 3-2-2①）

② 構造上の特徴による抽出

機種ごとに構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重複する観点，若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い，水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する（図 3-2-2②）。

③ 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して，水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また，建物・構築物，屋外重要土木構造物，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の検討により，機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は，機器・配管系への影響を評価し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は，機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備を対象とする（図 3-2-2③）。

④ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて，設備が有する耐震性への影響を確認する（図 3-2-2④）。

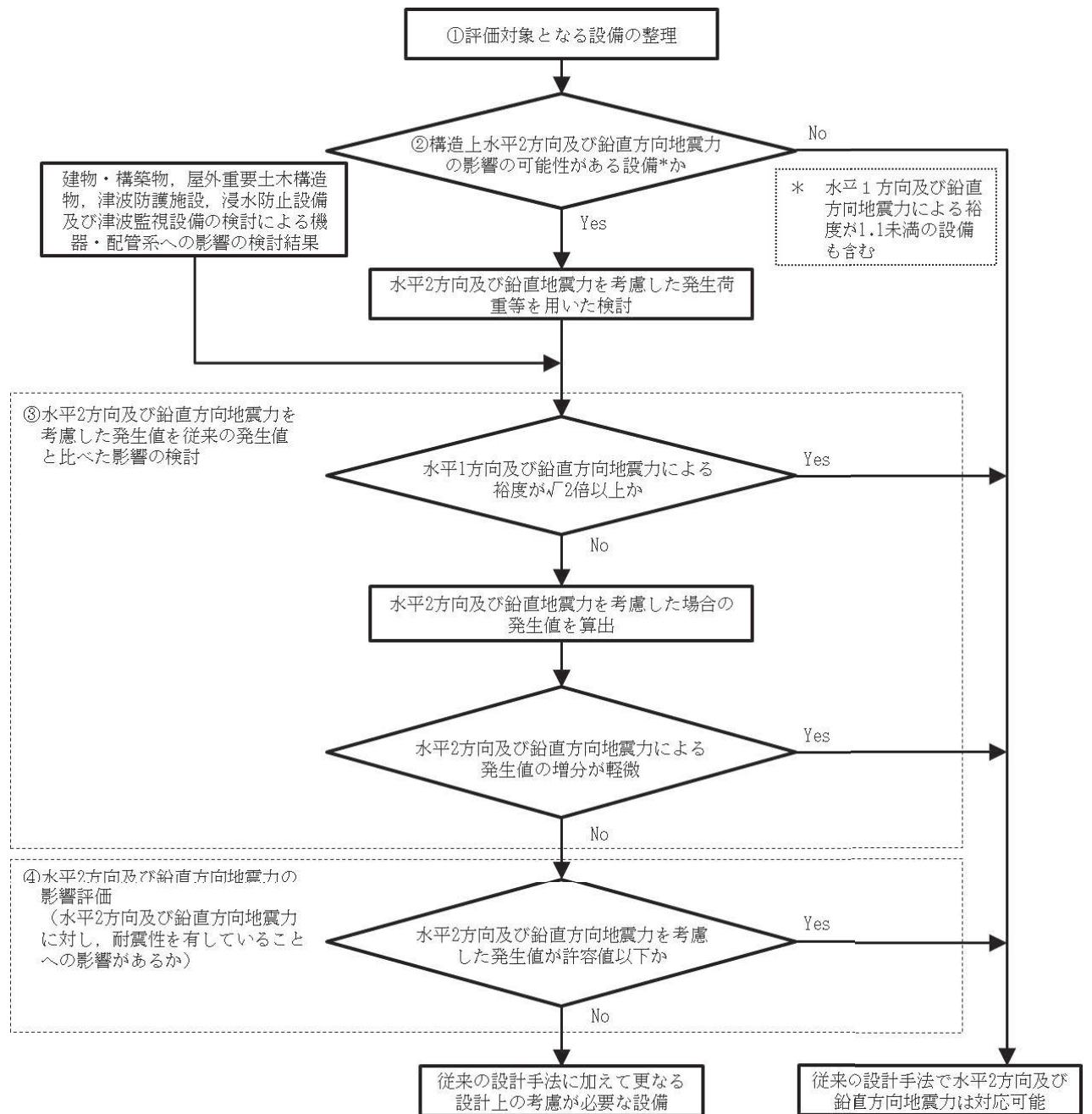


図 3-2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価フロー（機器・配管系）

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の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を表3-2-2に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を水平2方向の地震力が重畳する観点より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合には、水平2方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した（別紙4.1参照）。

なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる機器を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の機器については、個別に検討を行うこととする。

A. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置き等の容器等は、水平2方向の地震力を想定した場合、水平1方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動性状及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から水平1方向の地震力しか負担しないものを分類した。

B. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。

- C. 水平 2 方向の地震力を組み合わせても水平 1 方向の地震による応力と同等といえるもの

原子炉圧力容器スタビライザ及び原子炉格納容器スタビライザは、周方向 8 箇所を支持する構造で配置され、水平 1 方向の地震力を 6 体で支持する設計としており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震力を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同様のものと分類した（別紙 1 参照）。

- D. 工認耐震計算書において、保守性（水平 2 方向の考慮を含む）を考慮した評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケットは、工認耐震計算書において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から工認耐震計算書にて保守性を考慮しており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものを分類した。

- (2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は発生しない。

一方、3 次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は、3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される設備はなかった。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1), (2) において影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平 1 方向に対する水平 2 方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備を対象とする。別紙 4.5 に対象の考え方を示し、別紙 4.1 表 1 に (1), (2) において抽出された設備のうち対象とした部位や応力分類の詳細を示す。水平 2 方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、工認耐震計算書で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

- ・工認耐震計算書のデータを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみ組み合わせた後、地震以外による応力と組み合わせで算出する。
- ・設備によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、上記組合せによる発生値を設計荷重が上回ることを確認したものは、水平 2 方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- ・応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備の抽出結果

3.2.4 項(1)及び(2)による影響を整理した結果を別紙 4.1 に、3.2.4 項(3)による影響を整理した結果を別紙 4.2 に示す。なお、別紙 4.2 では、別紙 4.1 にて影響ありとされた設備、又は裕度が 1.1 未満の設備を抽出して記載しているが、応答軸が明確な設備については耐震性への影響が懸念されないものとして整理している。また、水平 2 方向の地震力を組み合わせる場合、発生応力は最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法では最大 $\sqrt{2}$ 倍、組合せ係数法で最大 1.4 倍となるため、裕度(許容応力/発生応力)が $\sqrt{2}$ 以上ある設備については、水平 2 方向の地震力による影響の評価は不要とし、別紙 4.2 で裕度が $\sqrt{2}$ 以上あるか確認している。

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

別紙4.1において抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値（発生荷重、発生応力、応答加速度）を以下の方法により算出する。発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した SRSS 法を適用する。

(1) 工認耐震計算書のデータを用いた算出

工認耐震計算書の水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて、以下の条件により水平2方向及び鉛直方向の地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて工認耐震計算書の発生値を算出している設備は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

水平2方向発生値

$$=\sqrt{(\text{NS方向地震力による発生値})^2+(\text{EW方向地震力による発生値})^2+(\text{UD方向地震力による発生値})^2}$$

- ・水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせたうえで工認耐震計算書の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

水平2方向発生値

$$=\sqrt{(\text{NS+UD方向地震力による発生値})^2+(\text{EW+UD方向地震力による発生値})^2}$$

- ・水平方向を包絡した地震力と鉛直方向地震力を組み合わせたうえで工認耐震計算書の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

水平2方向発生値

$$=\sqrt{(\text{水平方向包絡+鉛直方向地震力による発生値})^2+(\text{水平方向包絡+鉛直方向地震力による発生値})^2}$$

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.2.7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

別紙 4.2 において水平 2 方向での発生値の増分の影響が無視できないと整理した設備について、3.2.6 項の影響評価条件において算出した発生値に対して設備の耐震性への影響を確認する。評価した内容を設備ごとに示し、その影響評価結果については重大事故等の状態も考慮した結果について別紙 4.3 に示す。

3.2.8 まとめ

機器・配管系において、水平 2 方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、工認耐震計算書の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため、工認耐震計算書の発生値をそのまま用いて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

- ・工認耐震計算書の発生値（水平 1 方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ）に対して、係数（ $\sqrt{2}$ ）を乗じて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため、係数を乗じる必要のない鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分についても係数を乗じている。
- ・工認耐震計算書において水平各方向を包絡した床応答曲線を各方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平 2 方向に働くことを想定した発生値として算出している。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力については、機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

また、建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位は抽出されなかった。

なお、3次元 FEM モデルを用いた精査（別紙 2）を踏まえて面外加速度による影響検討対象として、原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁及び床に設置される機器・配管系の設備を抽出し、影響を検討した結果、面外加速度による影響を考慮しても機器・配管系の耐震評価に影響がないことを確認した。また、3次元 FEM モデルによる地震応答解析（別紙 3）において、3次元 FEM モデルの応答スペクトルが質点系モデルの応答スペクトルを上回る箇所があることを踏まえて機器・配管系への影響を検討した結果、機器・配管系の耐震評価に影響がないことを確認した（別紙 4）。

表3-2-2 水平2方向入力の影響検討対象設備 (1/15)

設備		部位
燃料集合体		燃料被覆管
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴
		中間胴
		下部胴
		上部格子板支持面
		炉心支持板支持面
		上部サポート支持面
	シュラウドサポート	レグ
		シリンダ
		プレート
		下部胴
		プレートのトグル支持面
	炉心シュラウド支持ロッド	上部サポート
		上部タイロッド
		下部タイロッド
		トグルクレビス
		トグルピン
	上部格子板	グリッドプレート
	炉心支持板	補強ビーム
		支持板
	燃料支持金具	中央燃料支持金具
		周辺燃料支持金具
	制御棒案内管	長手中央部
		下部溶接部
	原子炉圧力容器	胴板
上部ウェッジ支持面		
下部スタビライザ支持面		
下部鏡板		下部鏡板
制御棒駆動機構ハウジング貫通孔		ハウジング
		スタブチューブ
		下部鏡板リガメント
ノズル	各部位	

表3-2-2 水平2方向入力の影響検討対象設備 (2/15)

設備		部位
原子炉圧力容器	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット
		蒸気乾燥器支持ブラケット
		給水スパーチャブラケット
		炉心スプレイブラケット
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器支持スカート	スカート
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド
		ブラケット
	原子炉格納容器スタビライザ	パイプ
		ガセットプレート
		内側メイルシヤラグ
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレイントビーム
		ブラケット
スプライスプレート		
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート
		耐震用ブロック溶接部
	気水分離器及びスタンドパイプ	スタンドパイプ
	シュラウドヘッド	シュラウドヘッド
	ジェットポンプ	ライザ
		ディフューザ
		ライザプレース
スパーチャ	各部位	
原子炉内配管		
中性子束計測案内管	中性子束計測案内管下部	
使用済燃料貯蔵ラック	角管	
	補強板	
	燃料支持板	
	ベース	
	基礎ボルト	

表3-2-2 水平2方向入力の影響検討対象設備 (3/15)

設備	部位
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材
	支持ビーム部材
	ラック基礎ボルト
	支持ビーム基礎ボルト
使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）	検出器
	基礎ボルト
使用済燃料プール水位／温度（ヒートサーモ式）	基礎ボルト
	検出器架台
	保護管
	ワーキングテーブルラグ
燃料プール冷却浄化系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
燃料プール冷却浄化系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
使用済燃料プール監視カメラ	基礎ボルト
	取付ボルト
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	ラグ
	ボルト
	H形鋼
主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	ラグ
	ボルト
	H形鋼
残留熱除去系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
残留熱除去系ポンプ	バレルケーシング
	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機台取付ボルト
	原動機取付ボルト

表3-2-2 水平2方向入力の影響検討対象設備 (4/15)

設備	部位
ECCS ストレーナ	アウタージャケット
	フランジプレート
	多孔プレート (ディスクシート)
	多孔プレート (ポケットシート)
	多孔プレート (フロントシート)
	フランジ
	ボルト
ストレーナ部ティー	ティー
高圧炉心スプレイ系ポンプ	バレルケーシング
	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機台取付ボルト
	原動機取付ボルト
低圧炉心スプレイ系ポンプ	バレルケーシング
	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機台取付ボルト
	原動機取付ボルト
高圧代替注水系タービンポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
直流駆動低圧注水系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
原子炉隔離時冷却系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用タービン	基礎ボルト
	タービン取付ボルト
復水移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (5/15)

設備	部位
復水貯蔵タンク	胴板
	基礎ボルト
原子炉補機冷却水系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
原子炉補機冷却水ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
原子炉補機冷却海水ポンプ	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
	中間支持台基礎ボルト
原子炉補機冷却水サージタンク	胴板
	基礎ボルト
原子炉補機冷却海水系ストレーナ	胴板
	脚
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	コラムパイプ
	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
	中間支持台基礎ボルト
高圧炉心スプレイ補機冷却水サージタンク	胴板
	基礎ボルト
制御棒駆動機構	フランジ

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (6/15)

設備	部位
水圧制御ユニット	フレーム
	取付ボルト
ほう酸水注入系ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	減速機取付ボルト
	原動機取付ボルト
ほう酸水注入系貯蔵タンク	胴板
	基礎ボルト
起動領域モニタ	ドライチューブ
出力領域モニタ	カバーチューブ
	校正用導管
伝送器 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
	溶接部
伝送器 (矩形壁掛)	基礎ボルト
	取付ボルト
	溶接部
盤 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
盤 (矩形壁掛)	取付ボルト
衛星電話設備 (屋外アンテナ) (中央制御室)	基礎ボルト
衛星電話設備 (屋外アンテナ) (緊急時対策所)	基礎ボルト
無線連絡設備 (屋外アンテナ) (中央制御室)	基礎ボルト
無線連絡設備 (屋外アンテナ) (緊急時対策所)	基礎ボルト
安全パラメータ表示システム (SPDS) 無線通信用アンテナ	基礎ボルト
統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナ	基礎ボルト

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (7/15)

設備	部位
ダクト本体, サポート	ダクト本体 (矩形)
	ダクト本体 (円形)
	サポート
中央制御室送風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
中央制御室排風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
中央制御室再循環送風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
中央制御室再循環フィルタ装置	基礎ボルト
緊急時対策所非常用送風機	基礎ボルト
	原動機取付ボルト
緊急時対策所非常用フィルタ装置	基礎ボルト
	取付ボルト
差圧計 (中央制御室待避所用)	基礎ボルト
差圧計 (緊急時対策所用)	基礎ボルト
ドライウエル	上鏡球形部
	上鏡球形部と上鏡ナックル部の接合部
	円筒部と上フランジの接合部
	下フランジと円筒部の接合部
	円筒部とナックル部の接合部
	ナックル部と上部球形部の接合部
ドライウエル	ドライウエルスプレイ管取付部
	上部球形部と円筒部の接合部
	円筒部中心部
	円筒部と下鏡の接合部
	サンドクッション部
ドライウエルベント開口部	ベントノズル円すい部
	ドライウエルベント開口部
サプレッションチェンバ	胴中央部外側
	胴中央部底部
	胴中央部内側

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (8/15)

設備	部位
サプレッションチェンバ	胴中央部頂部
	胴エビ継手部外側
	胴エビ継手部底部
	胴エビ継手部内側
	胴エビ継手部頂部
	内側ボックスサポート取付部
	外側ボックスサポート取付部
原子炉格納容器シヤラグ	内側フィメールシヤラグ本体 (溶接部)
	内側フィメールシヤラグ取付部 (溶接部)
	外側メイルシヤラグ取付部 (溶接部)
	外側メイルシヤラグ本体
	外側フィメールシヤラグ本体 (溶接部)
	外側フィメールシヤラグ本体
	外側フィメールシヤラグベースプレート
	外側フィメールシヤラグ基礎ボルト
	外側フィメールシヤラグ本体 (溶接部)
	コンクリート
	シヤラグ取付部
ボックスサポート	ボックスプレート
	ボックスプレート取付部
	ボックスプレート (上側) 取付部
	フランジプレートとシヤラグ接触部
	シヤラグ取付部
	基礎ボルト
	フランジプレート
	フランジプレート (外側)
	ベースプレート
	シヤコネクタ取付部
	コンクリート (ベースプレート下面)
	コンクリート (シヤコネクタ (外側) 側面)
	コンクリート (シヤプレート上面)
	パッド取付部

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (9/15)

設備		部位
原子炉格納容器	機器搬出入用ハッチ	機器搬出入用ハッチ取付部
	逃がし安全弁搬出入口	逃がし安全弁搬出入口取付部
	制御棒駆動機構搬出入口	制御棒駆動機構搬出入口取付部
	サプレッションチェンバ出入口	サプレッションチェンバ出入口円筒胴
		サプレッションチェンバ出入口取付部
	所員用エアロック	所員用エアロック取付部
	原子炉格納容器配管貫通部	貫通部管台取付部
		貫通部管台
原子炉格納容器電気配線貫通部	フランジとスリーブの継手	
	フランジとアダプタの継手	
	アダプタとヘッダの継手	
	貫通部管台取付部	
ダウンコマ	ダウンコマ (一般部)	
	ダウンコマ (一般部以外)	
ベント管	ベント管 (一般部)	
	ベント管 (一般部以外)	
	空破壊装置スリーブベントヘッダ接続部	
ベント管ベローズ	ベント管ベローズ	
ベントヘッダ	ベントヘッダ (一般部)	
	ベントヘッダ (一般部以外)	
	ベントヘッダサポート (下側)	
	ピン (下側)	
	エンドプレート (下側)	
	ベントヘッダサポート (上側)	
	ピン (上側)	
エンドプレート (上側)		
サプレッションチェンバスプレイ管	スプレイ管	
	スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部	
代替循環冷却ポンプ	基礎ボルト	
	ポンプ取付ボルト	
	原動機取付ボルト	

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (10/15)

設備	部位
非常用ガス処理系空気乾燥装置	基礎ボルト
	スライドボルト
	固定ボルト
非常用ガス処理系排風機	基礎ボルト
	排風機取付ボルト
	原動機取付ボルト
非常用ガス処理系フィルタ装置	基礎ボルト
	スライドボルト
	固定ボルト
原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	内梁
	門ピン
	丁番ブラケット
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース
	ベース取付溶接部
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	基礎ボルト
静的触媒式水素再結合装置 (その 1)	静的触媒式水素再結合装置本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
静的触媒式水素再結合装置 (その 2)	静的触媒式水素再結合装置本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
フィルタ装置	胴板
	ラグ
	基礎ボルト
非常用ディーゼル発電設備 機関	基礎ボルト
非常用ディーゼル発電設備 発電機	基礎ボルト
	固定子取付ボルト
	軸受台取付ボルト
非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	胴板
	スカート
	基礎ボルト

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (11/15)

設備	部位
非常用ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	胴板
	スカート
	基礎ボルト
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
非常用ディーゼル発電設備 制御盤	取付ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 機関	基礎ボルト
	機関取付ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 発電機	基礎ボルト
	固定子取付ボルト
	機関側軸受台取付ボルト
	反機関側軸受台取付ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 空気だめ	胴板
	スカート
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	胴板
	スカート
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト
軽油タンク	胴板
	脚
	基礎ボルト
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 制御盤	取付ボルト
ガスタービン発電設備 機関・発電機	取付ボルト
	発電機車フレーム
	制御車フレーム
ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ	基礎ボルト
	ポンプ取付ボルト
	原動機取付ボルト

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (12/15)

設備	部位
ガスタービン発電設備 軽油タンク	胴板
	脚
	基礎ボルト
ガスタービン発電設備 燃料小出槽	胴板
	取付ボルト
	架台取付ボルト
ガスタービン発電設備 制御盤	取付ボルト
緊急時対策所軽油タンク	胴板
	スカート
	基礎ボルト
無停電交流電源用静止形 無停電電源装置	取付ボルト
蓄電池	基礎ボルト
	取付ボルト
配管本体, サポート	配管, サポート
逆流防止設備	扉体
	固定部
	漂流物防護工
浸水防止蓋	浸水防止蓋
	固定ボルト
浸水防止壁	浸水防止壁
	基礎ボルト
逆止弁付ファンネル	弁本体
	弁体
貫通部止水処置	モルタル
堰	止水板
	梁材
	柱材
	アンカーボルト
津波監視カメラ (原子炉建屋屋上)	基礎ボルト
津波監視カメラ (防潮堤)	基礎ボルト
津波監視設備制御盤	基礎ボルト

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (13/15)

設備	部位
取水ピット水位計 (バブラー管)	基礎ボルト
	取付ボルト
取水ピット水位計 (アキュムレータ)	胴板
	スカート
	基礎ボルト
取水ピット水位計 (検出器)	基礎ボルト
	取付ボルト
取水ピット水位計 (ボンベラック)	フレーム
	溶接部
	取付ボルト
原子炉本体の基礎	内筒
	外筒
	縦リブ
	アンカボルト
	スカートフランジ
	CRD 開口まわり
海水ポンプ室門型クレーン	ガーダ
	剛脚
	揺脚
	下部連結材 (剛脚側)
	下部連結材 (揺脚側)
	脱線防止装置
	トロリストopp
	クレーン本体
	トロリ
吊具	
竜巻防護ネット	大梁
	フレーム
	ゴム支承
	取付ボルト
	基礎ボルト
	可動支承
	フレームの移動量

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (14/15)

設備	部位
ほう酸水注入系テストタンク	胴板
	脚
	基礎ボルト
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ
	脱線防止ラグ
	トロリストoppa
	トロリ
	吊具
燃料交換機	構造物フレーム
	ブリッジ転倒防止装置
	走行レール
	トロリ転倒防止装置
	横行レール
	吊具
原子炉しゃへい壁	一般胴部
	開口集中部
原子炉ウェルカバー	本体
	支持部
耐火隔壁	フレーム部材
	基礎ボルト
制御棒貯蔵ラック	上部枠
	コラム
	補強板
	ブレース
	ベース
	基礎ボルト
燃料チャンネル着脱機	フレーム
	可動台
	カーブ上面固定ボルト
	チェーン

表 3-2-2 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (15/15)

設備	部位
CRD 自動交換機	構造物フレーム
	旋回用レール
	固定用サポート (上部) 固定ピン
	固定用サポート (上部) 取付ボルト
	固定用サポート (下部) 固定ピン
	固定用サポート (下部) 取付ボルト
地下水位低下設備揚水ポンプ	基礎ボルト
地下水位低下設備水位計	溶接部
地下水位低下設備制御盤	フレーム
	器具取付板 盤取付板 据付架台
	盤取付ボルト
	基礎ボルト
地下水位低下設備電源盤	フレーム
	器具取付板 筐体 据付架台
	盤取付ボルト
	基礎ボルト
遠隔手動弁操作設備	基礎ボルト
	取付ボルト
遠隔手動弁操作設備遮蔽	架台
	基礎ボルト
	取付ボルト

3.3 屋外重要土木構造物

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

一般的な地上構造物では、躯体の慣性力が主たる荷重であるのに対し、屋外重要土木構造物はおおむね地中に埋設されているため、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。屋外重要土木構造物のうち、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行方向に連続する構造的特徴を有する構造物（以下「線状構造物」という。）は、3次元的な応答の影響は小さいため、2次元断面での耐震評価を行っている。

線状構造物の代表として、取水路を例として従来設計手法の考え方を表3-3-1に示す。線状構造物は、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平1方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

図3-3-1に示すとおり、線状構造物に関する従来設計手法では、構造上の特徴から、評価対象断面となる弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まない設計をしている。

一方、断面が奥行方向に一様ではなく、妻壁や隔壁を有する3次元的な構造を耐震設計にて考慮すべき構造物（以下「箱形構造物」という。）では、3次元モデルにより耐震評価を行っている。

箱形構造物の代表として、ガスタービン発電設備軽油タンク室を例として従来設計手法の考え方を表3-3-2に示す。箱形構造物のうち、矩形の構造物については、加振方向に対して、耐震設計上見込むことができる平行な壁部材の配置や壁部材の間隔により弱軸方向が明確であることから、弱軸方向を評価対象としている。また、円筒形の遮蔽壁を有する復水貯蔵タンク基礎については、弱軸及び強軸方向が明確ではないことから、従来設計では、両方向ともに評価対象としている。

図3-3-2に示すとおり、複雑な形状を有する箱形構造物に対して、3次元モデルを用いることにより、加振方向に平行な壁部材が地震時の応答に与える影響を考慮して耐震評価を実施している。

表3-3-1 従来設計手法における評価対象断面の考え方（取水路の例）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計の評価対象断面の考え方	<p>加振方向に平行な壁部材がない。</p>	<p>加振方向に平行な側壁材及び隔壁を震設計上見込むことができる。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向は、加振方向に平行な壁部材がないため、弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断方向は、加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができ、強軸方向にあたる。
<ul style="list-style-type: none"> 強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。 弱軸方向を評価対象断面とする。 		

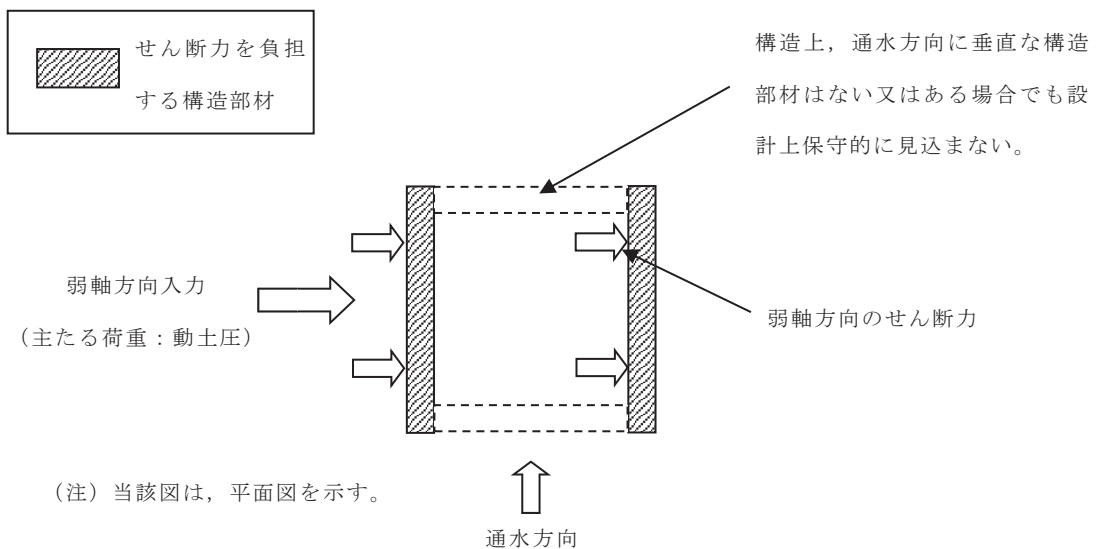


図3-3-1 線状構造物の従来設計手法の考え方

表3-3-2 従来設計手法における評価対象断面の考え方
(ガスタービン発電設備軽油タンク室の例)

	東西方向の加振	南北方向の加振
従来設計 の評価対 象断面の 考え方	<p>構造が奥行方向に一樣ではなく、耐震設計上見込むことができる、加振方向に平行な側壁が存在するが、設置個所は限定される。</p>	<p>耐震設計上見込むことができる、加振方向に平行な妻壁及び隔壁が多数配置されている。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> 東西方向は、加振方向に平行な壁部材の設置個所が限定されるため弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 南北方向は、加振方向に平行な側壁及び隔壁が多数配置されており、強軸方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> 妻壁や隔壁を有する3次元的な構造を耐震設計にて考慮する。 耐震設計にて考慮する加振方向に平行な壁部材の配置や間隔等から、弱軸となる方向を評価対象とする。 	

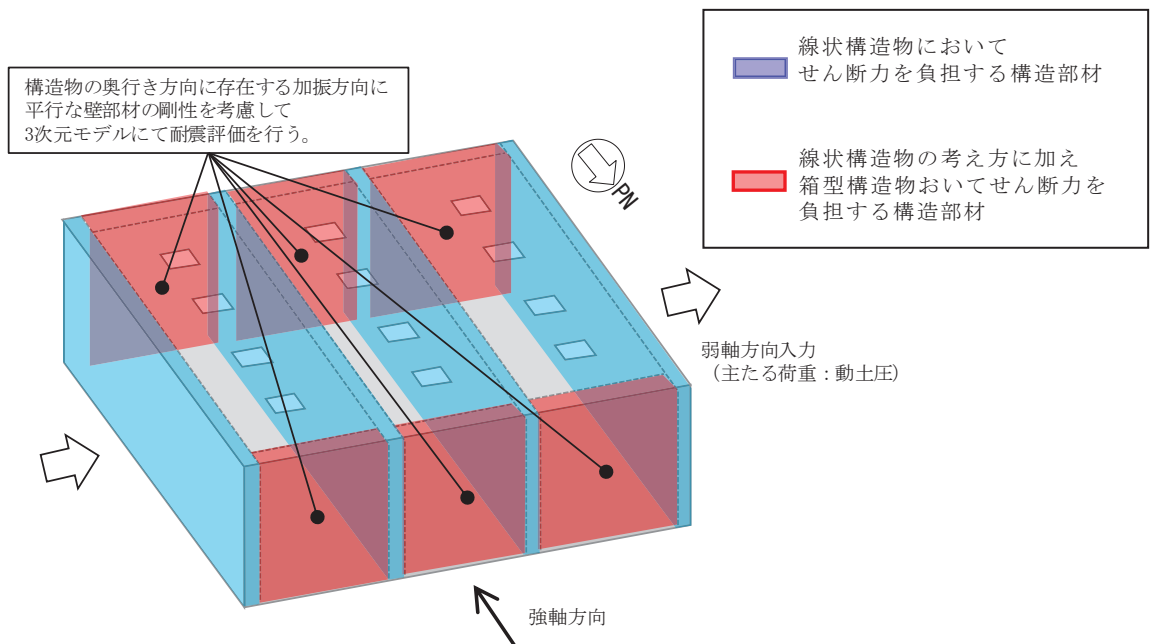


図3-3-2 箱形構造物の従来設計手法の考え方
(ガスタービン発電設備軽油タンク室の例)

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

屋外重要土木構造物において、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構造物の評価を行う。

評価対象は、屋外重要土木構造物等である、軽油タンク連絡ダクト、排気筒連絡ダクト、原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）、取水路（漸拡部）、取水路（標準部）、第1号機取水路、第3号機取水路、北側排水路及び防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））、軽油タンク室、軽油タンク室（H）、海水ポンプ室、取水口、貯留堰、復水貯蔵タンク基礎、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室とする。

屋外重要土木構造物を構造形式ごとに分類し、構造形式ごとに作用すると考えられる荷重を整理し、荷重が作用する構造部材の配置等から水平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構造物を抽出する。

箱形構造物は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁を耐震部材として考慮して3次元モデルによる構造解析を実施している。これらの壁部材は、従来設計手法では主たる荷重としては面内の荷重に抵抗していたが、水平2方向の地震力に対しては、面外荷重の影響も受けることになる。また、従来より主に面外荷重に抵抗していた側壁等にも、直交する2方向の地震力の影響や、妻壁や隔壁の面外変形の影響が作用する。よって、箱形構造物については、加振方向に平行に配置された壁部材への影響等を確認するため、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こととする。

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重を適切に組み合わせることで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる構造部材の発生応力等を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重は、基準地震動 S_s による評価対象断面（弱軸方向）での地震時荷重算定時刻と同時刻の荷重を、位相の異なる地震動にて算出して用いることとする。

構造物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。

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

屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを図3-3-3に示す。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

① 構造形式の分類

屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式ごとに大別する。

② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式ごとにどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、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構造形式を抽出する。

④ 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所

③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(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の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重を適切に組み合わせることで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる構造部材の発

生応力を算出するとともに構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象部位については、屋外重要土木構造物が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平2方向の影響の程度を踏まえて選定する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、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・配管系の間接支持構造物である場合には、機器・配管系に対して、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、④及び⑤の精査にて、屋外重要土木構造物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、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は検討対象として抽出する。

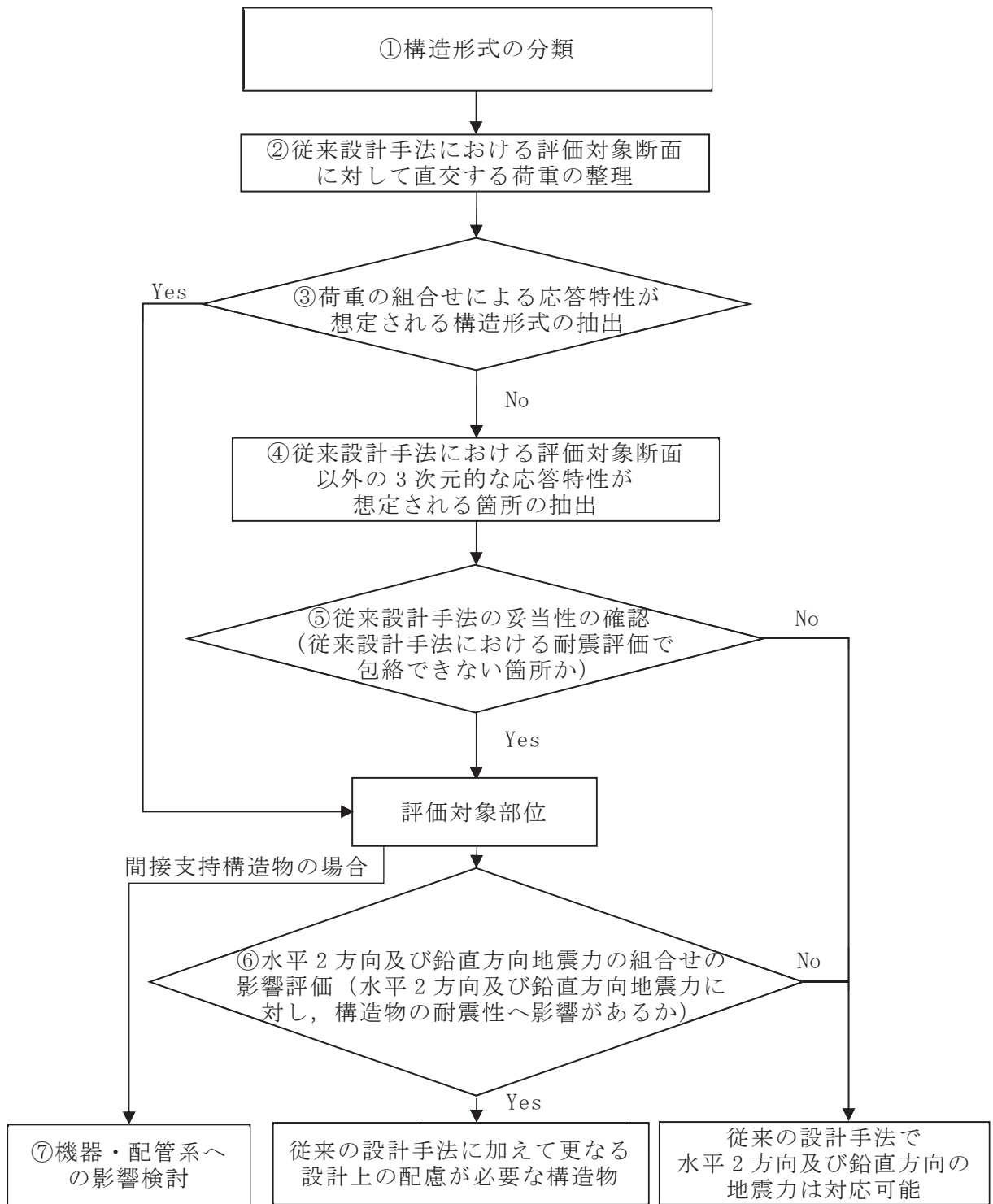


図 3-3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価のフロー

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

(1) 構造形式の分類

図3-3-4に屋外重要土木構造物等の配置図を示す。

その構造形式より1)軽油タンク連絡ダクト，排気筒連絡ダクト，原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部），原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部），取水路（漸拡部），取水路（標準部），第1号機取水路，第3号機取水路，北側排水路及び防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））のような「1）線状構造物」，2)軽油タンク室，軽油タンク室（H），海水ポンプ室，取水口，貯留堰，復水貯蔵タンク基礎，ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室のように加振方向に平行な妻壁や隔壁等の部材を有する「2）箱形構造物」の2つに大別される。

屋外重要土木構造物等の構造形式を表3-3-3に示す。

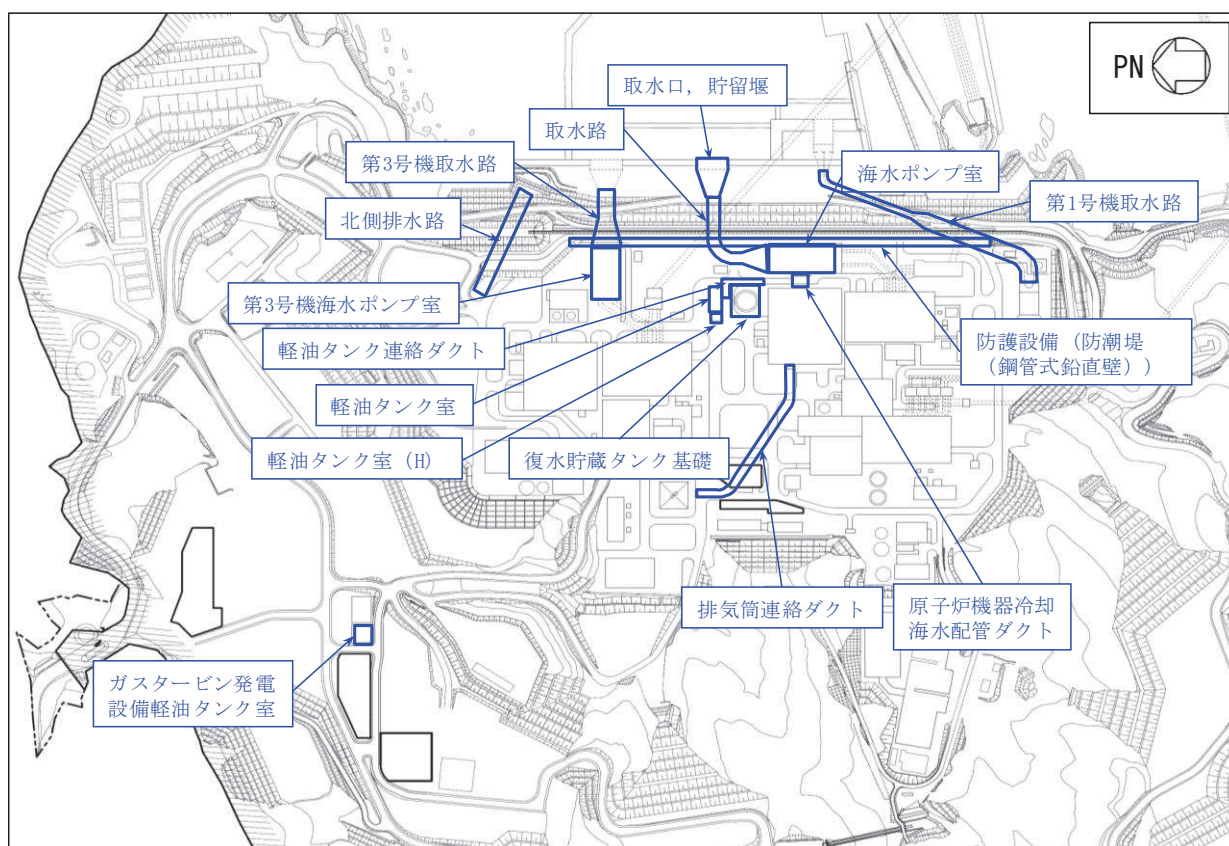


図 3-3-4 屋外重要土木構造物等の配置図

表3-3-3 屋外重要土木構造物等の構造形式

対象構造物	構造形式	
	1) 線状構造物	2) 箱形構造物
軽油タンク連絡ダクト	○	
排気筒連絡ダクト	○	
原子炉機器冷却海水配管 ダクト（水平部）	○	
原子炉機器冷却海水配管 ダクト（鉛直部）	○	
取水路（漸拡部）	○	
取水路（標準部）	○	
第1号機取水路	○	
第3号機取水路	○	
北側排水路	○	
防護設備（防潮堤（鋼管式 鉛直壁））	○	
軽油タンク室		○
軽油タンク室（H）		○
海水ポンプ室		○
取水口，貯留堰		○
復水貯蔵タンク基礎		○
ガスタービン発電設備 軽油タンク室		○
第3号機海水ポンプ室		○

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表3-3-4に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧、摩擦力、慣性力が挙げられる。

表3-3-4 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
③慣性力	躯体に作用する慣性力 (1)加振方向への慣性力	
	躯体に作用する慣性力 (2)偏心の影響によるねじり応力の発生	

注：当該図は、平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表3-3-5に、3.3.1(1)で整理した構造形式ごとに、3.3.1(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

「1)線状構造物」、「2)箱形構造物」の地震時の挙動は、躯体が主に地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.1(2)で整理した荷重のうち「②摩擦力」や「③慣性力」は、「①動土圧及び動水圧」と比較するとその影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「①動土圧及び動水圧」による影響を考慮する。

「1)線状構造物」については、その構造上の特徴として、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さない若しくは妻壁（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」は作用しない。

「2)箱形構造物」は、妻壁等を有することから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用する。また、復水貯蔵タンク基礎の円筒形しゃへい壁については、図3-3-5に示すとおり、水平1方向への地震時荷重作用時と、水平2方向への地震時荷重作用時では、最大応力発生位置や応力値が異なる。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、地中埋設構造物のうち、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用する箱形構造物を抽出する。

なお、円筒形しゃへい壁の最大応力発生位置は地震時荷重の入力方向により異なり、耐荷性能には方向性がない。よって、表3-3-5(2)に示すとおり、従来設計手法における評価方向に対して平行する側面に荷重が作用する地下ピット部に着目して従来どおり直交2方向の評価断面を選定し、水平2方向同時入力の影響検討を実施することとする。

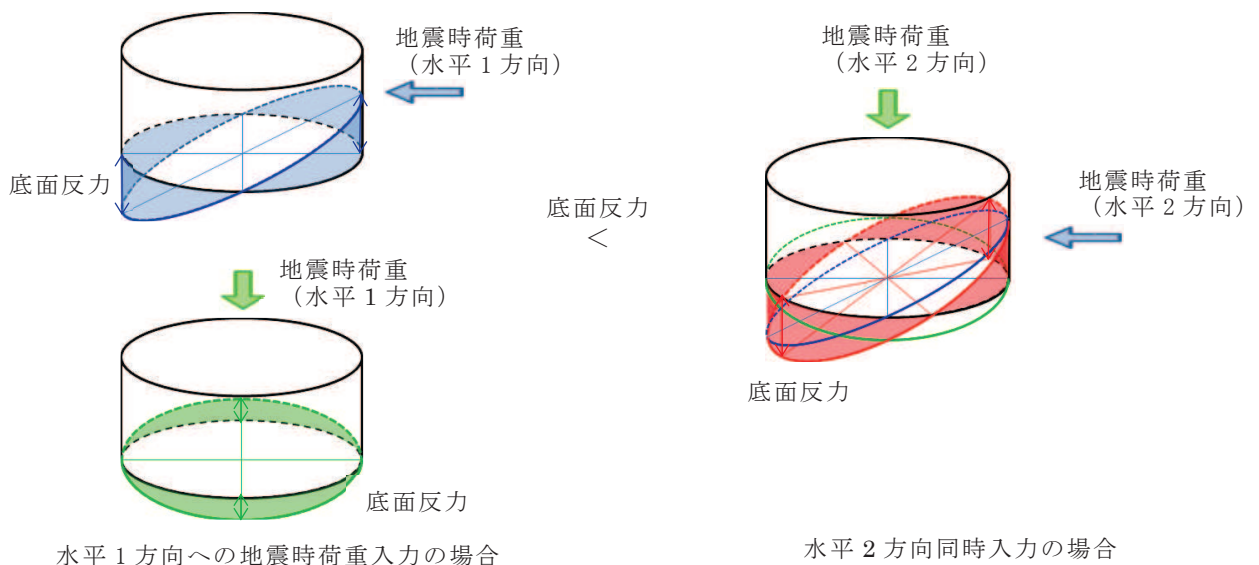


図 3-3-5 遮蔽壁の応力分布概念図（底面反力の例）

表3-3-5(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の抽出

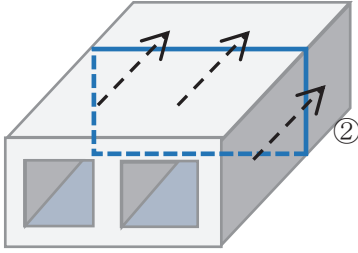
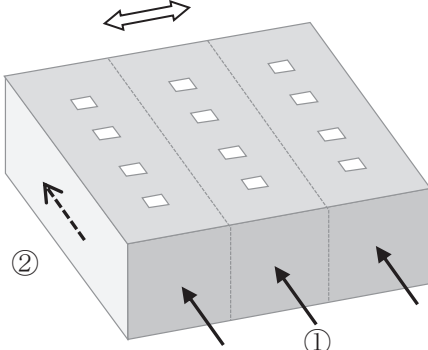
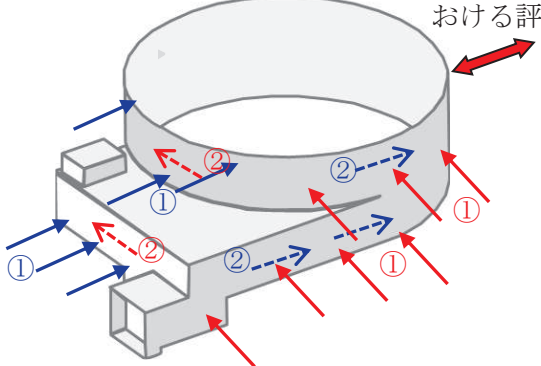
<p>3.3.1(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)</p>	<p>1)線状構造物 (軽油タンク連絡ダクト, 排気筒連絡ダクト, 原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部), 原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部), 取水路(漸拡部), 取水路(標準部), 第1号機取水路, 第3号機取水路, 北側排水路, 防護設備(防潮堤(鋼管式鉛直壁)))</p>	
<p>3.3.1(2)で整理した荷重の作用状況</p>	<p>—— 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>	
	<p>①動土圧及び動水圧</p>	<p>作用しない</p>
	<p>②摩擦力</p>	<p>側壁, 頂版に作用</p>
	<p>③慣性力</p>	<p>全ての部材に作用</p>
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。</p>	
<p>抽出結果</p>	<p>×</p>	

表3-3-5(2) 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

<p>3.3.1(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)</p>	<p>2)箱形構造物 (軽油タンク室, 軽油タンク室(H), 海水ポンプ室, 取水口, 貯留堰, ガスタービン発電設備軽油タンク室, 第3号機海水ポンプ室)</p>		<p>2)箱形構造物 (復水貯蔵タンク基礎)</p>													
<p>3.3.1(2)で整理した荷重の作用状況</p>	<p>従来評価手法における評価方向</p>  <p>注記：③慣性力は全ての部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="472 949 1279 1102"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>主に妻壁に作用</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>側壁に作用</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>		①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用	②摩擦力	側壁に作用	③慣性力	全ての部材に作用	<p>従来評価手法における評価方向</p>  <table border="1" data-bbox="1285 949 2031 1102"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>主に妻壁に作用</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>側壁に作用</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>		①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用	②摩擦力	側壁に作用	③慣性力	全ての部材に作用
①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用															
②摩擦力	側壁に作用															
③慣性力	全ての部材に作用															
①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用															
②摩擦力	側壁に作用															
③慣性力	全ての部材に作用															
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材(妻壁)を有し, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</p>		<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材(妻壁)を有し, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</p>													
<p>抽出結果</p>	<p style="text-align: center;">○</p>		<p style="text-align: center;">○</p>													

(4) 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

(3)で抽出しなかった構造形式である線状構造物について、構造物ごとの平面図及び断面図を以下に示す。各構造物の構造，地盤条件等を考慮した上で，従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所を抽出する。

a. 軽油タンク連絡ダクト【線状構造物】

図3-3-6～図3-3-10に軽油タンク連絡ダクトの平面図及び断面図を示す。

軽油タンク連絡ダクトは、ほぼ等間隔に構造目地が設けられており構造物に応力集中が発生しない設計としているとともに、それぞれが十分な支持性能を有する岩盤にマンメイドロックを介して設置されているため、構造物の勾配や延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また、小規模ながら評価対象断面に直交する方向に動土圧が作用する妻壁があるが、従来設計においては、妻壁による評価対象断面のせん断変形の抑制効果に期待せず、評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる保守的な設計をしている。軽油タンク連絡ダクトの屈曲部は、復水貯蔵タンク基礎と軽油タンク室に挟まれて配置されていることから、妻壁に作用する動土圧は構造物間のわずかな盛土により発生するものであり、面外荷重に対する妻壁の設計は、従来設計の評価対象断面における側壁の設計にて担保される。

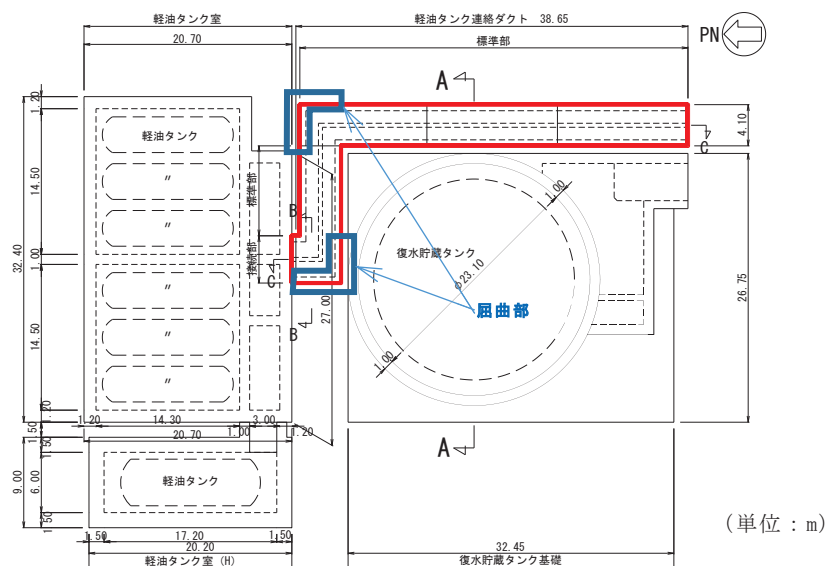


図 3-3-6 軽油タンク連絡ダクト平面図

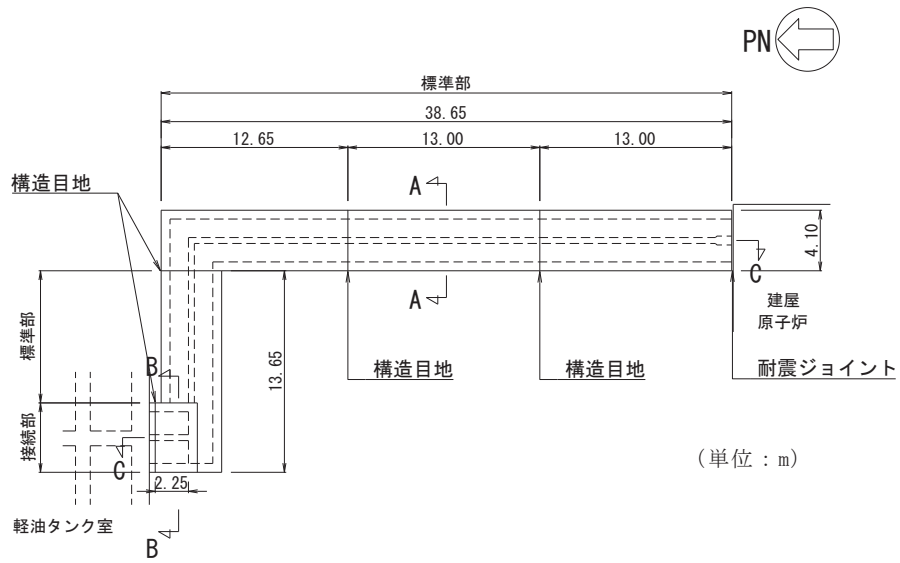


図 3-3-7 軽油タンク連絡ダクト平面図（詳細）

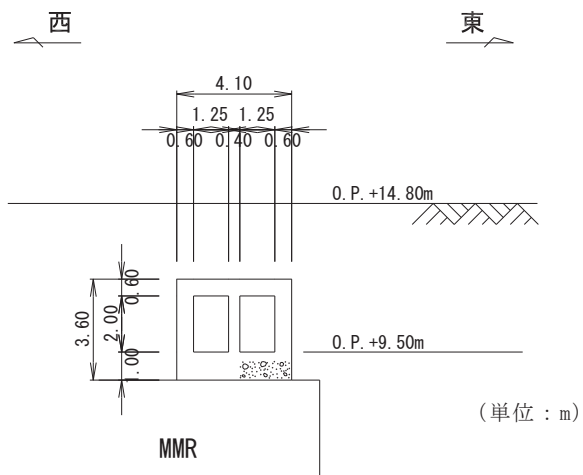


図 3-3-8 軽油タンク連絡ダクト断面図（A-A 断面，標準部）

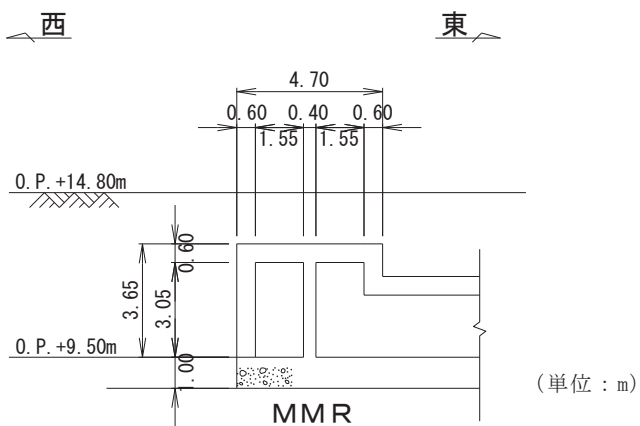


図 3-3-9 軽油タンク連絡ダクト断面図（B-B 断面，接続部）

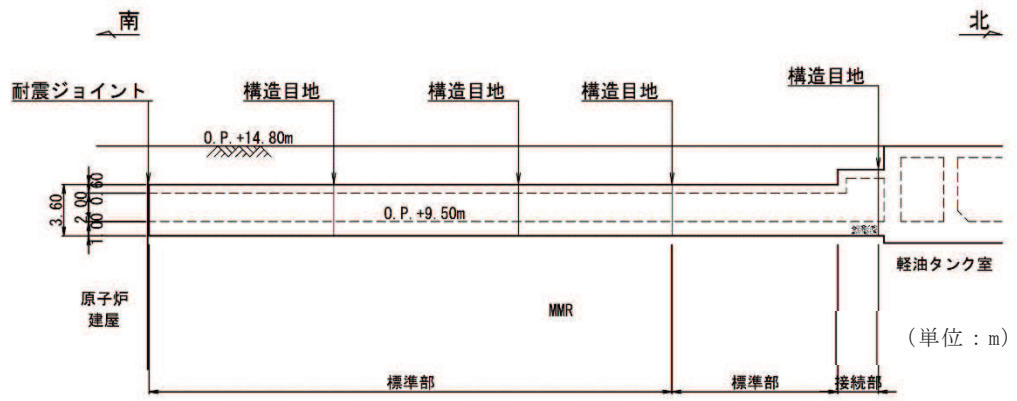


図 3-3-10 軽油タンク連絡ダクト縦断面図 (C-C 断面)

b. 排気筒連絡ダクト【線状構造物】

図3-3-11～図3-3-14に排気筒連絡ダクトの平面図及び断面図を示す。

排気筒連絡ダクトは、ほぼ等間隔に構造目地が設けられており構造物に応力集中が発生しない設計としているとともに、それぞれが十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して設置されているため、構造物の勾配や延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

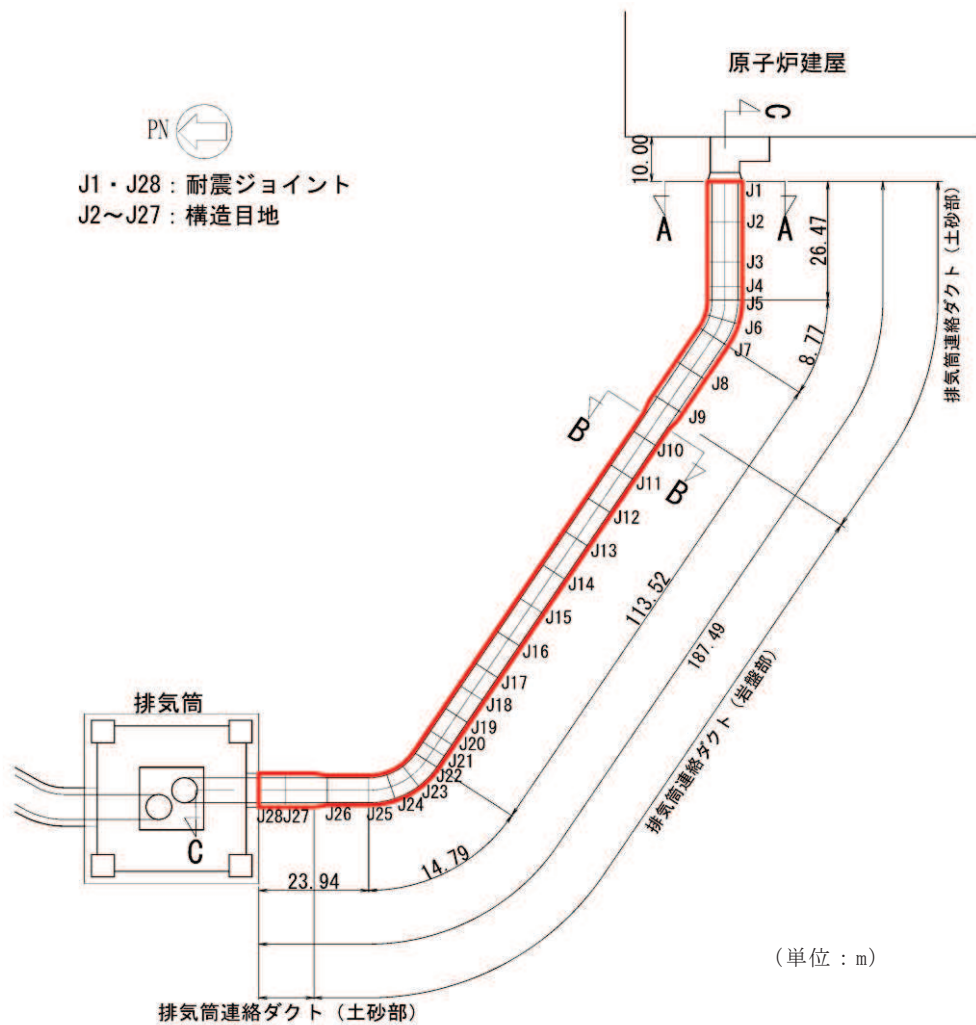


図 3-3-11 排気筒連絡ダクト平面図

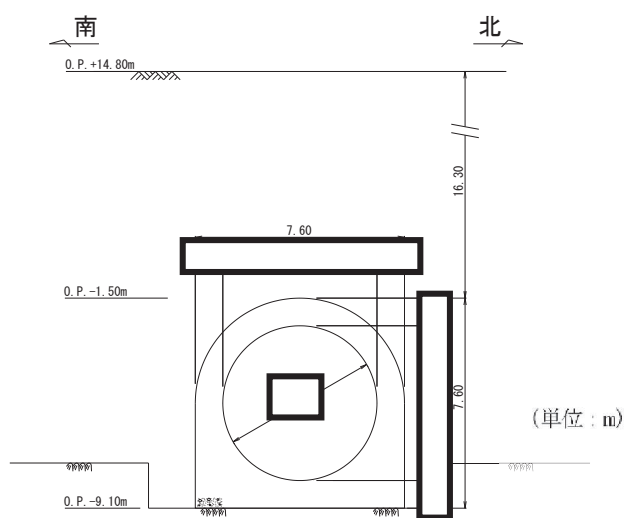


図 3-3-12 排気筒連絡ダクト断面図 (A-A 断面, 土砂部)

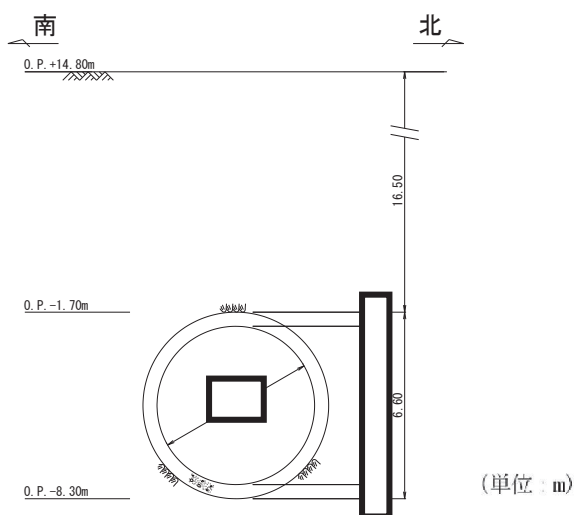


図 3-3-13 排気筒連絡ダクト断面図 (B-B 断面, 岩盤部)

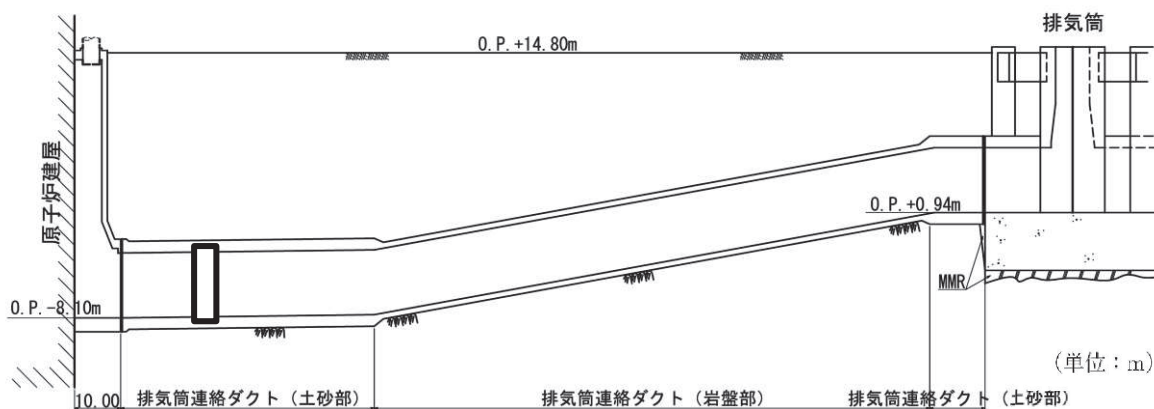


図3-3-14 排気筒連絡ダクト縦断面図 (C-C断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

c. 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）【線状構造物】

図3-3-15及び図3-3-16に原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の平面図及び断面図を示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）は、延長が短く、両端に耐震ジョイントが設けられており構造物に応力集中が発生しない設計としているとともに、それぞれが十分な支持性能を有する岩盤にマンメイドロックを介して設置されているため、構造物の延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

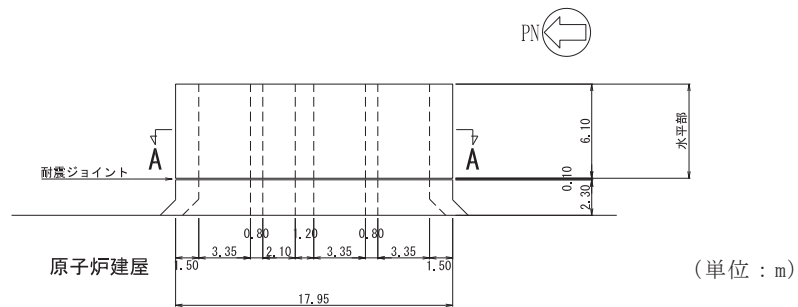


図 3-3-15 原子炉機器冷却海水配管ダクト平面図

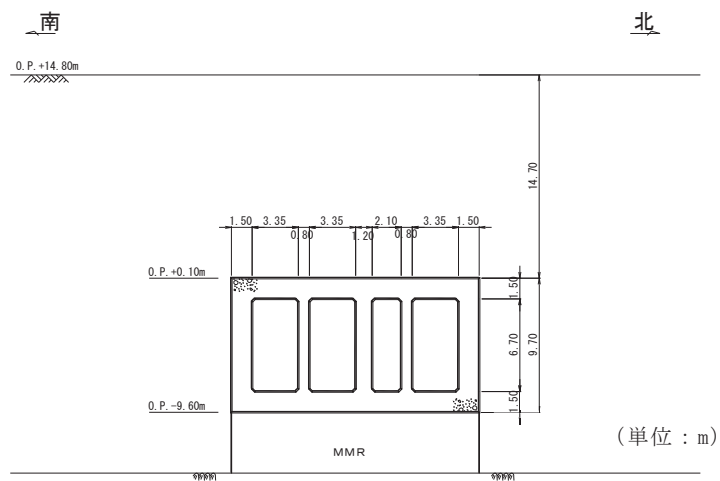


図 3-3-16 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）断面図（A-A 断面）

d. 取水路（漸拡部）【線状構造物】

図3-3-17及び図3-3-18に取水路（漸拡部）の平面図及び断面図を示す。

取水路（漸拡部）は、十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また、断面変化があるものの断面が徐々に漸拡していく形状であり、屈曲部は有さないため、強軸方向の曲げの影響はほとんど受けない。

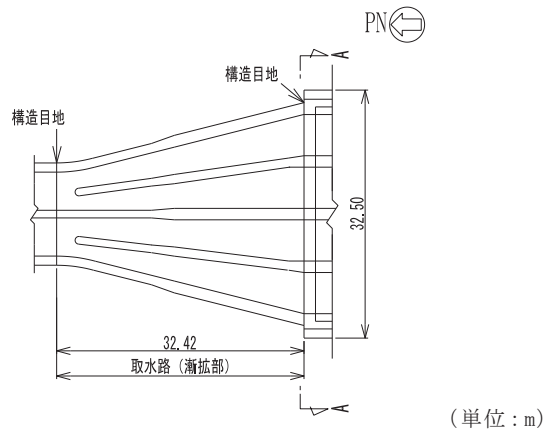


図 3-3-17 取水路（漸拡部）平面図

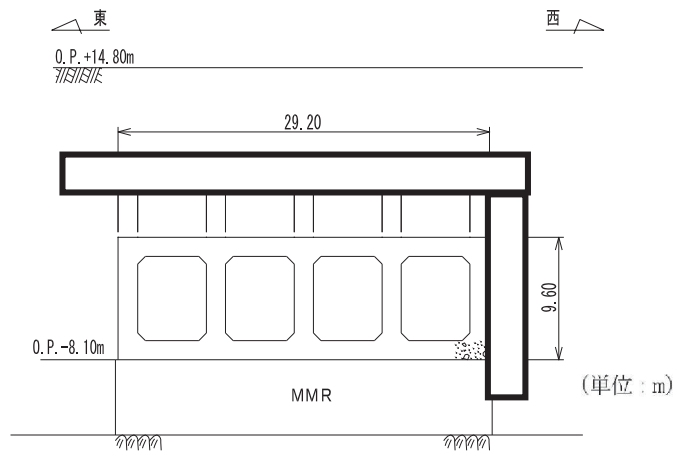


図 3-3-18 取水路（漸拡部）断面図（A-A 断面）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

e. 第1号機取水路【線状構造物】

図3-3-19～図3-3-21に第1号機取水路の平面図及び及び断面図を示す。

第1号機取水路は、十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

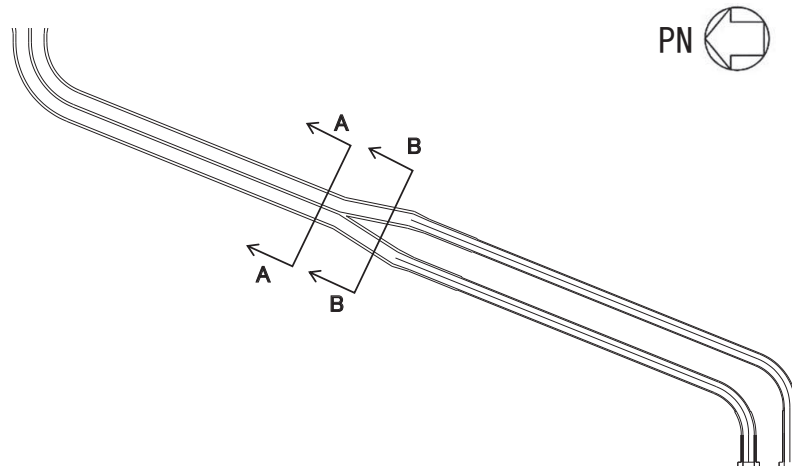


図 3-3-19 第 1 号機取水路平面図

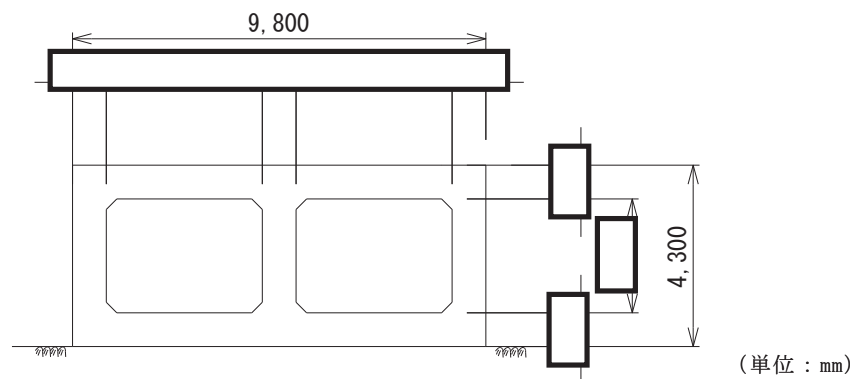


図 3-3-20 第 1 号機取水路の構造図 (A-A 断面)

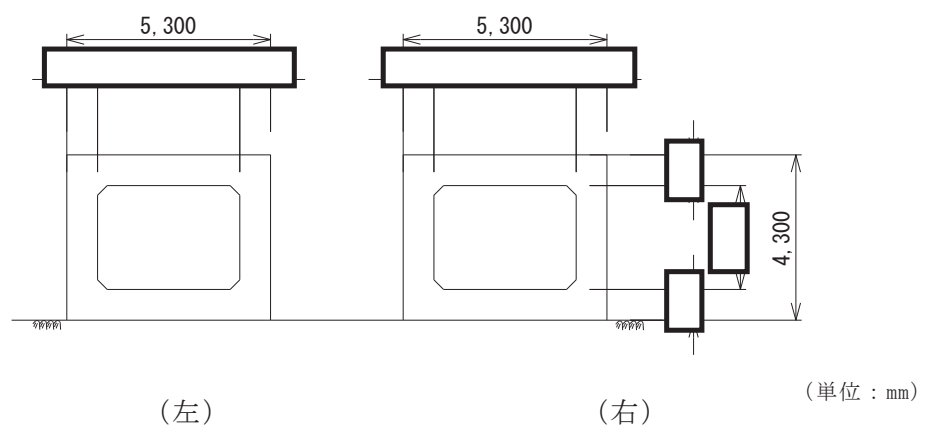


図 3-3-21 第 1 号機取水路の構造図 (B-B 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

f. 第3号機取水路【線状構造物】

図3-3-22～図3-3-23に第3号機取水路の平面図及び断面図を示す。

第3号機取水路は、十分な支持性能を有する岩盤に直接あるいはマンメイドロックを介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また、断面変化があるものの断面が徐々に漸拡していく形状であり、屈曲部は有さないため、強軸方向の曲げの影響はほとんど受けない。

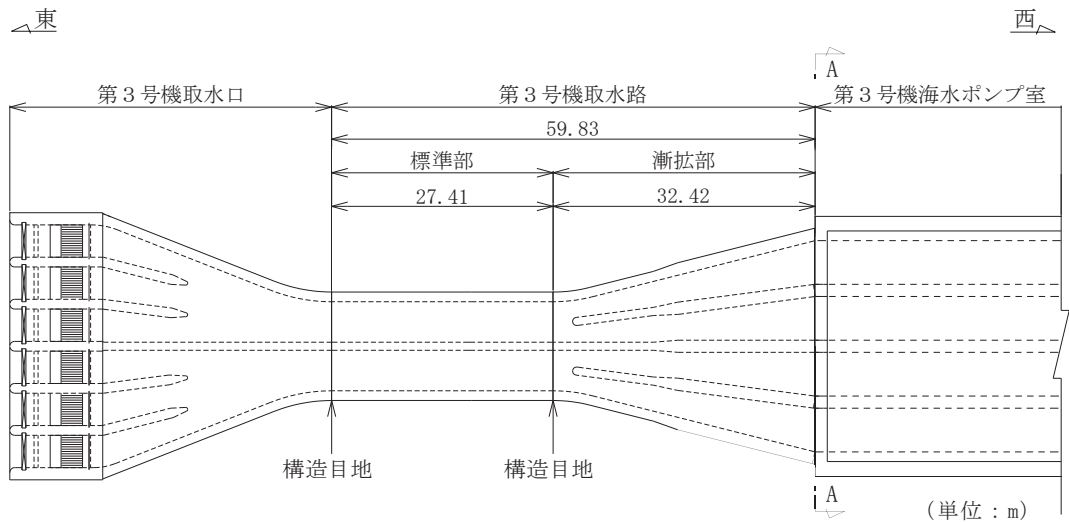


図 3-3-22 第 3 号機取水路平面図

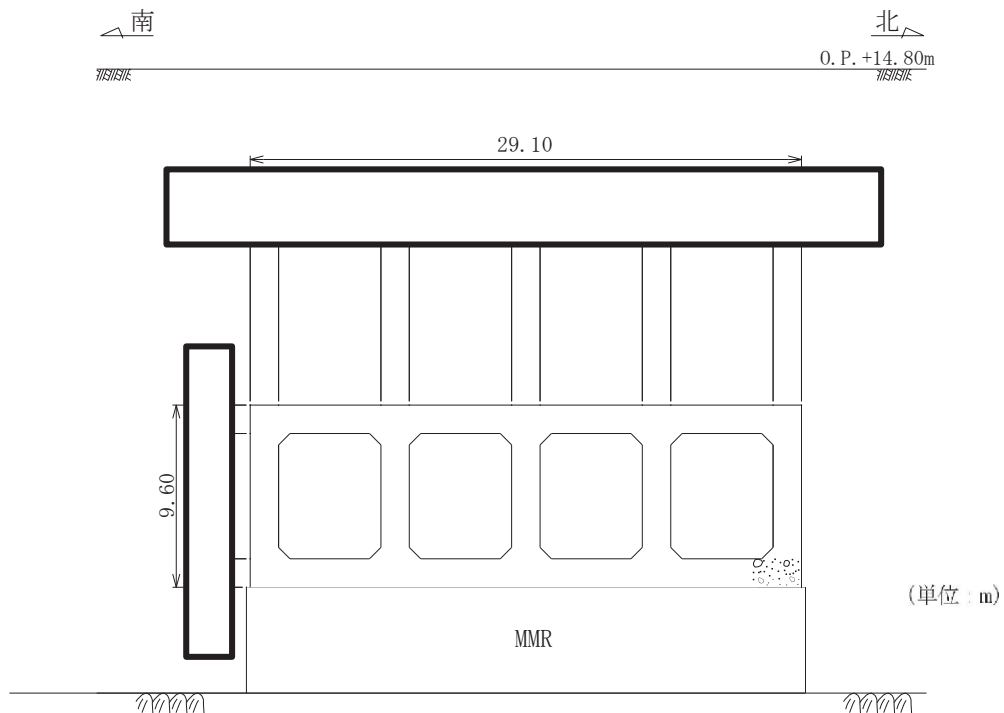


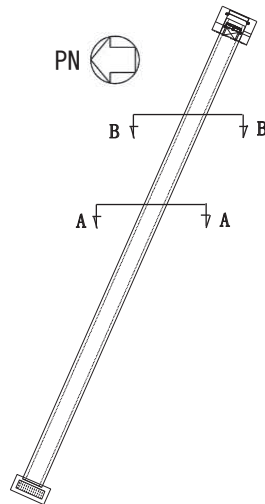
図 3-3-23 第 3 号機取水路断面図 (A-A 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

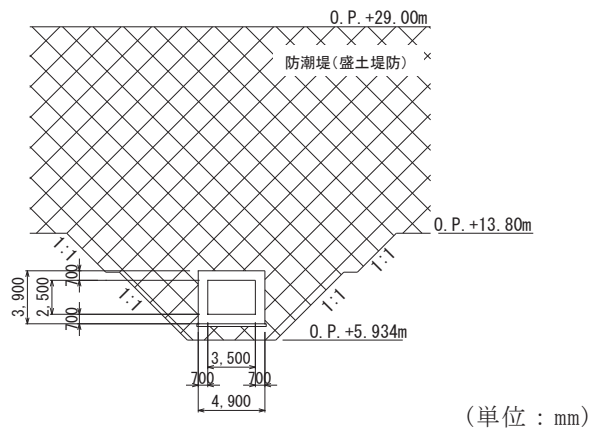
g. 北側排水路【線状構造物】

図3-3-24に北側排水路の平面図及び断面図を示す。

北側排水路は、防潮堤（盛土堤防）内部を横断し、十分な支持性能を有する岩盤に改良地盤を介して直線状に設置されているため、強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

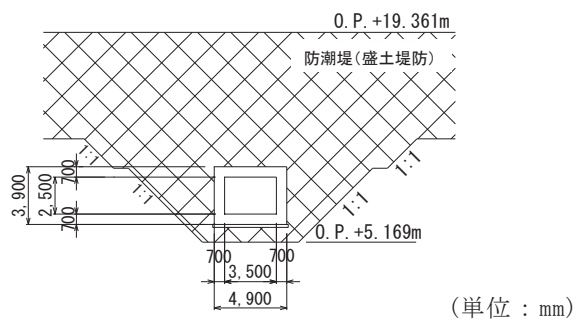


(平面図)



(単位：mm)

(A-A 断面)



(単位：mm)

(B-B 断面)

図 3-3-24 北側排水路の平面図及び断面図

h. 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））【線状構造物】

図3-3-25～図3-3-26に防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の位置図及び断面図を示す。

防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工に直線状に設置されており、軸方向に対して同一の構造断面が連続する線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

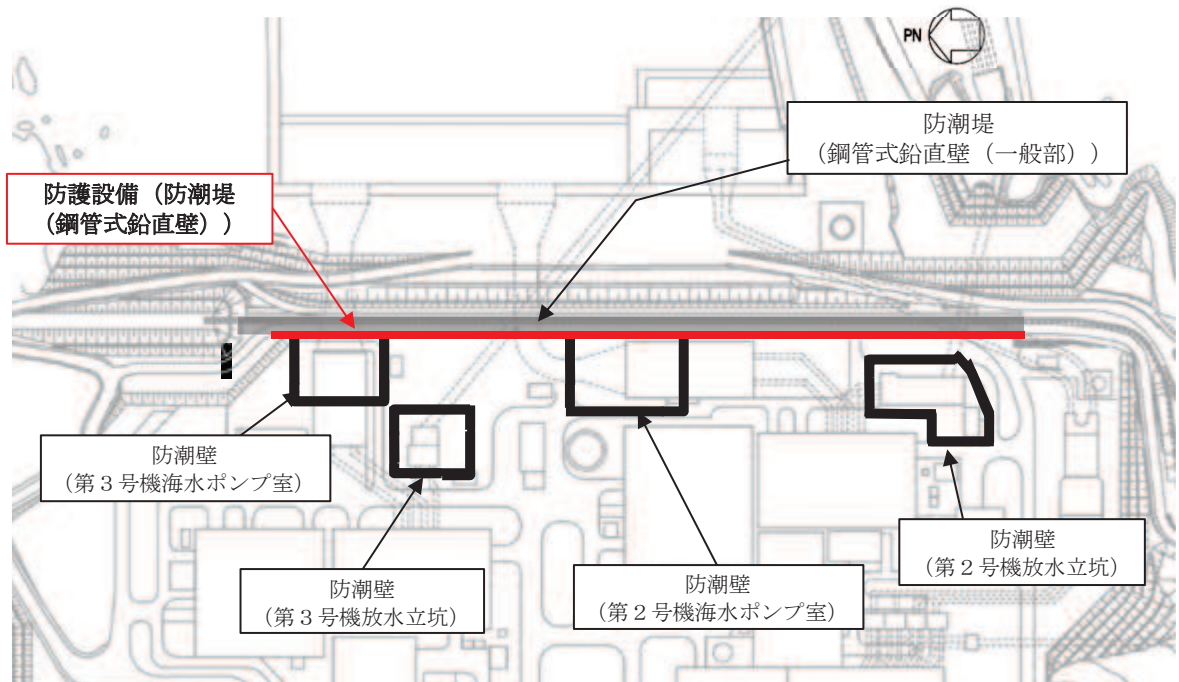


図 3-3-25 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の位置図



図 3-2-26 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

線状構造物として分類した軽油タンク連絡ダクト，排気筒連絡ダクト，原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部），原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部），取水路（漸拡部），第1号機取水路，第3号機取水路，北側排水路及び防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））について，各構造物の構造，地盤条件等を考慮した上で，従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所を確認した。

その結果，これらの構造物については，従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

(5) 従来設計手法の妥当性確認

a. 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）

図3-3-27に原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の平面図を示す。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、図3-3-28～図3-3-35に示すとおり断面②～⑤の4つの内空断面と頂版（断面①）及び底版（断面⑥）を有する構造物である。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち断面②～⑤は、水平断面に耐震評価を行っており、小規模ながら評価対象断面に直交する方向に地盤反力が作用する底版があるが、底版による評価対象断面のせん断変形の抑制効果に期待せず、評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる保守的な設計をしており、従来設計の評価対象断面における設計にて担保される。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥）については、鉛直方向に面外変形することから、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを設計で見込むこととする。

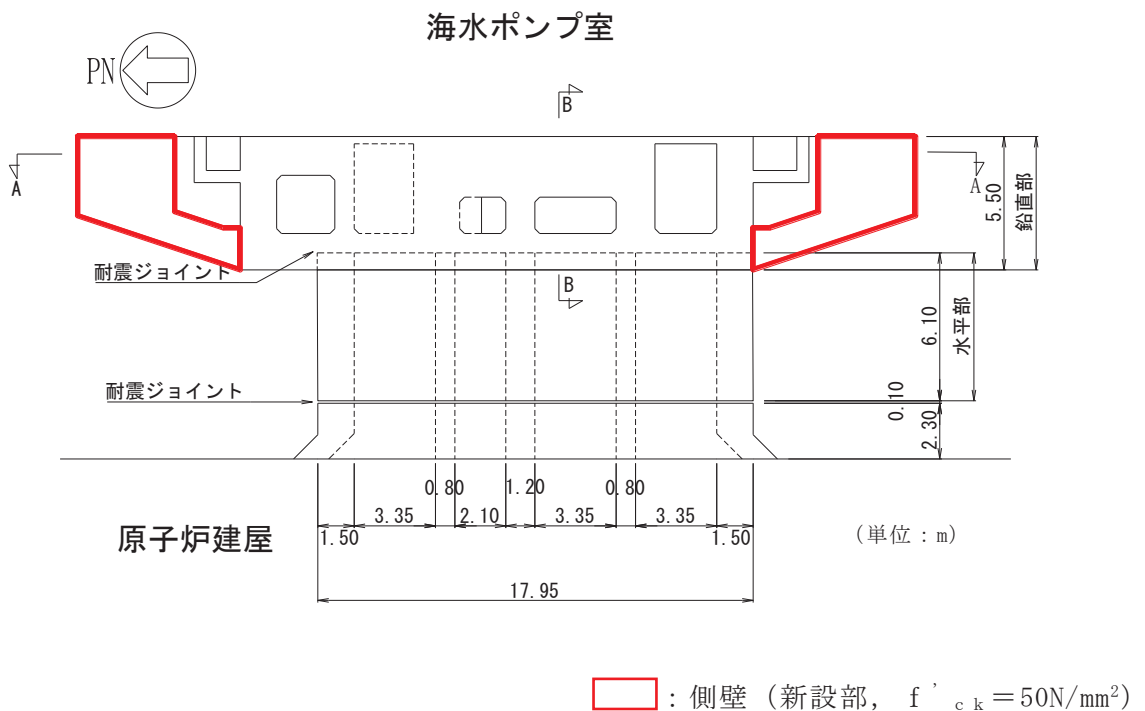
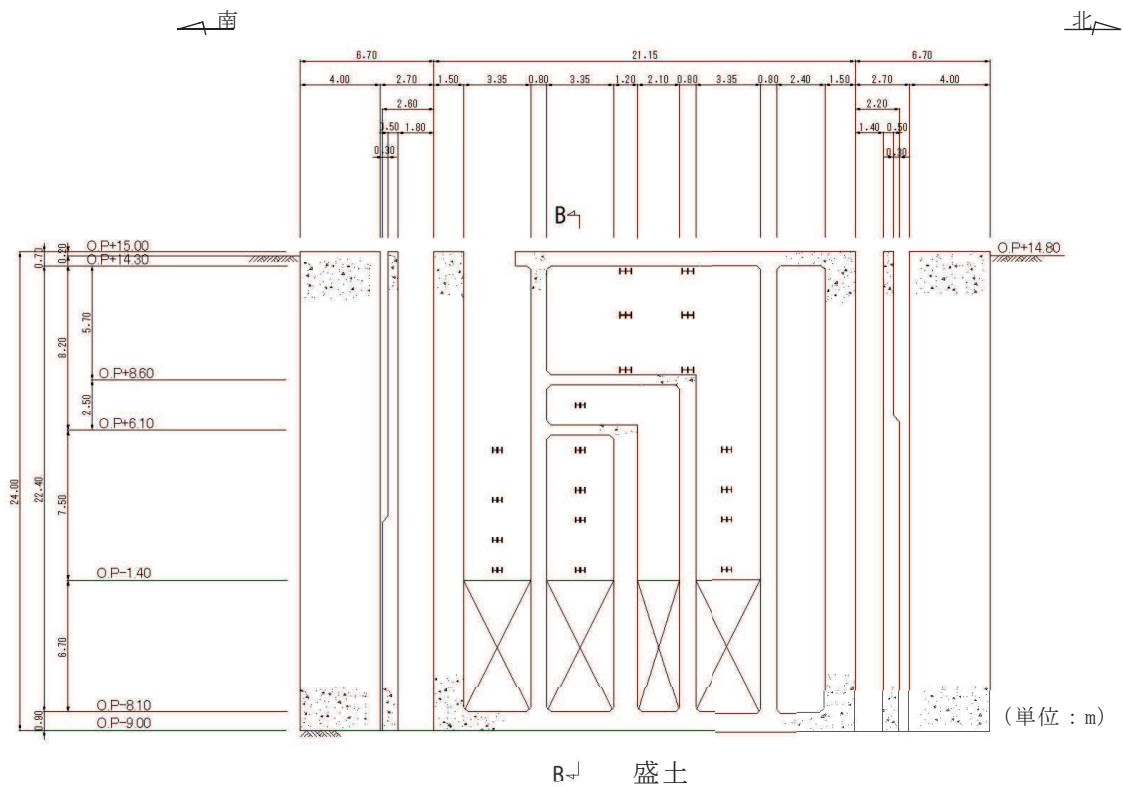


図 3-3-27 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）平面図



*注記：図中の H は鋼材を示し，X は海水配管ダクト（水平部）との接続部を示す。

図 3-3-28 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）正面図（A-A 断面）

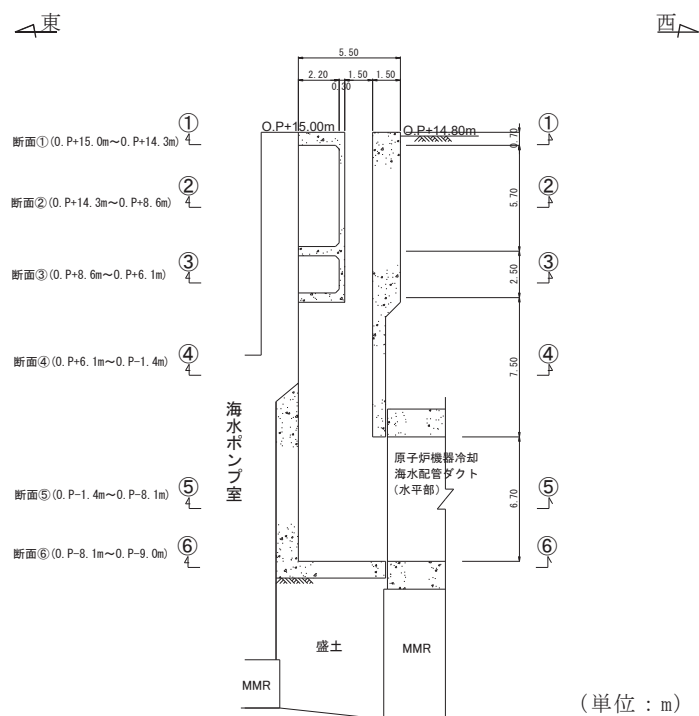
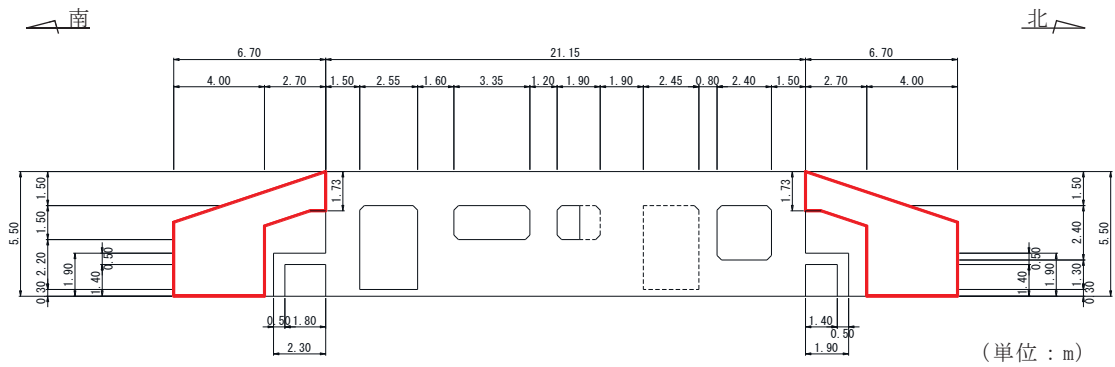
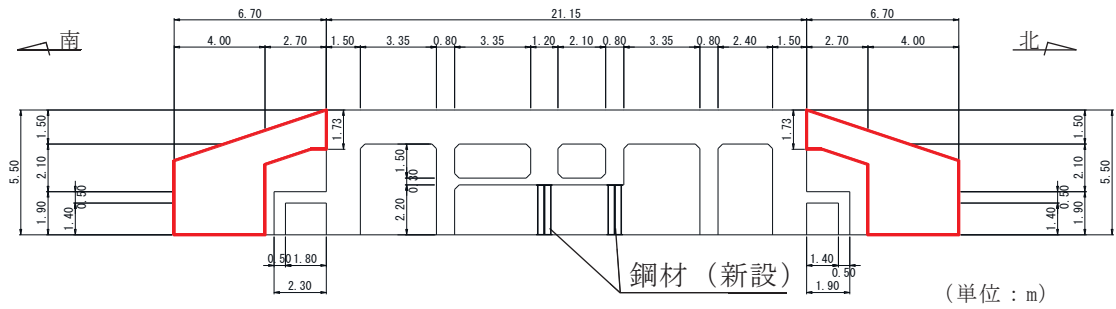


図 3-3-29 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）縦断図（B-B 断面）



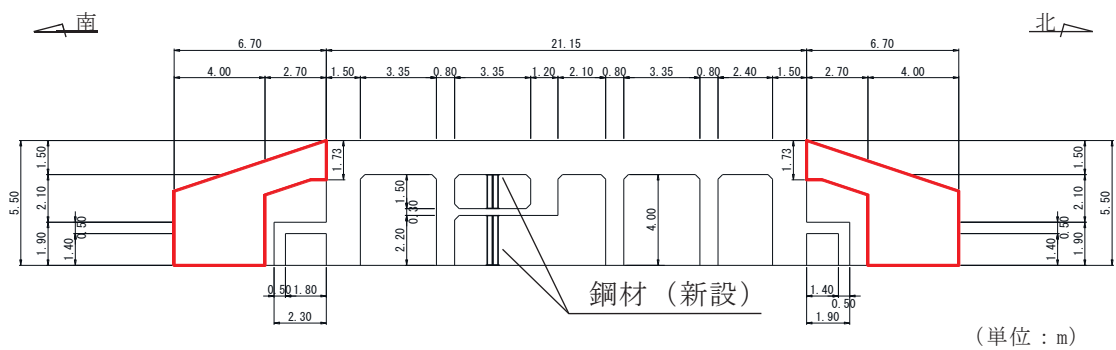
□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-30 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面①)



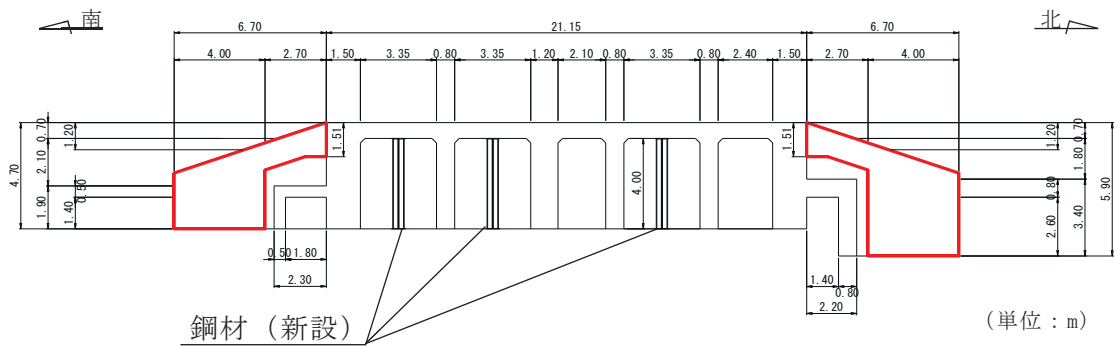
□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-31 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面②)



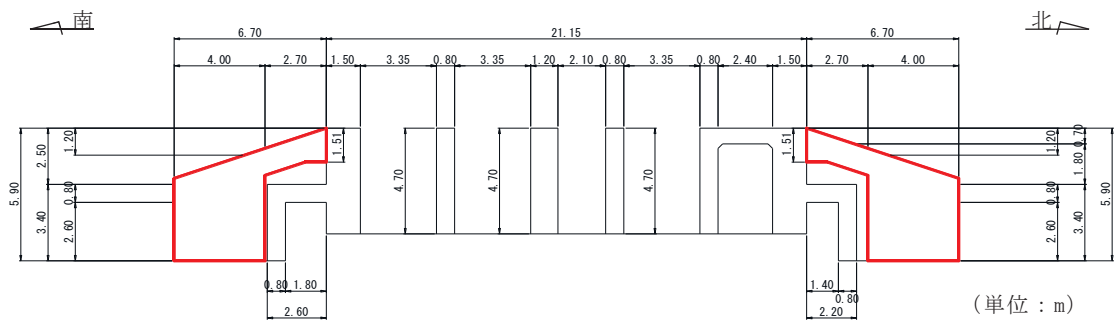
□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-32 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面③)



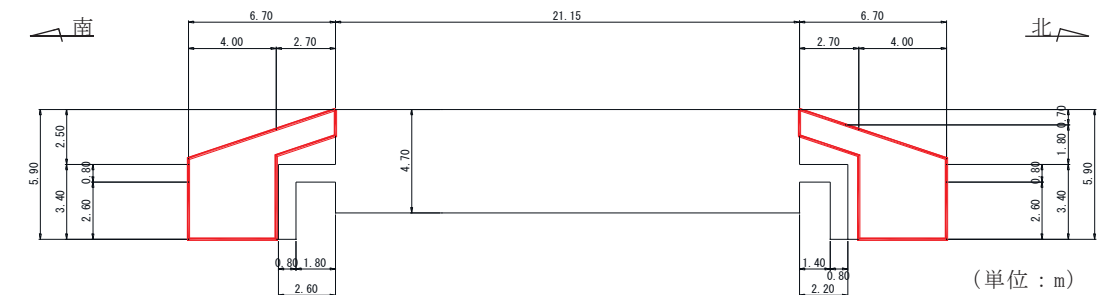
□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-33 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面④)



□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-34 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面⑤)



□ : 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 3-3-35 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面⑥)

b. 取水路（標準部）

図3-3-36及び図3-3-37に取水路（標準部）の平面図及び断面図を示す。

取水路（標準部）は構造目地により直線部及び曲線部に分かれている。直線部及び曲線部は十分な支持性能を有する岩盤にマンメイドロックを介して設置しており強軸方向の変形の影響は無く、従来設計では評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計としているが、図3-3-38に示すとおり、曲線部の各断面位置にて弱軸方向外側に変形した場合には、取水路の強軸方向に引張力が発生するため、従来設計では評価していない配力鉄筋への影響を確認する必要がある。

よって、取水路（標準部）のうち曲線部については、弱軸方向への変形により発生する軸方向の引張力が配力鉄筋に与える影響が想定されるため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを設計に見込むこととする。

なお、取水路（標準部）のうち直線部については、構造物の延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。

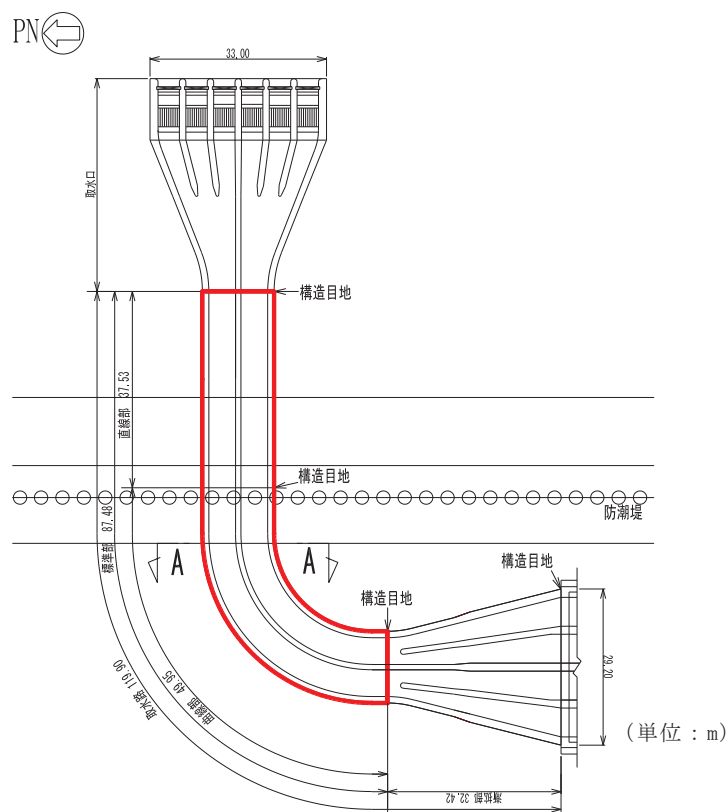


図 3-3-36 取水路（標準部）平面図

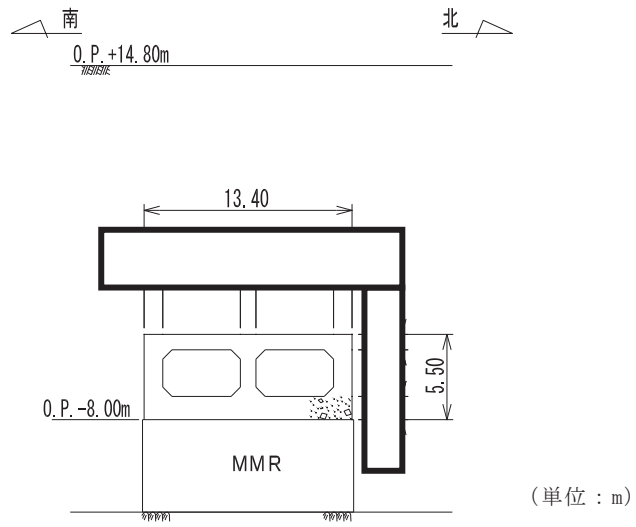


図 3-3-37 取水路（標準部）断面図（A-A 断面）

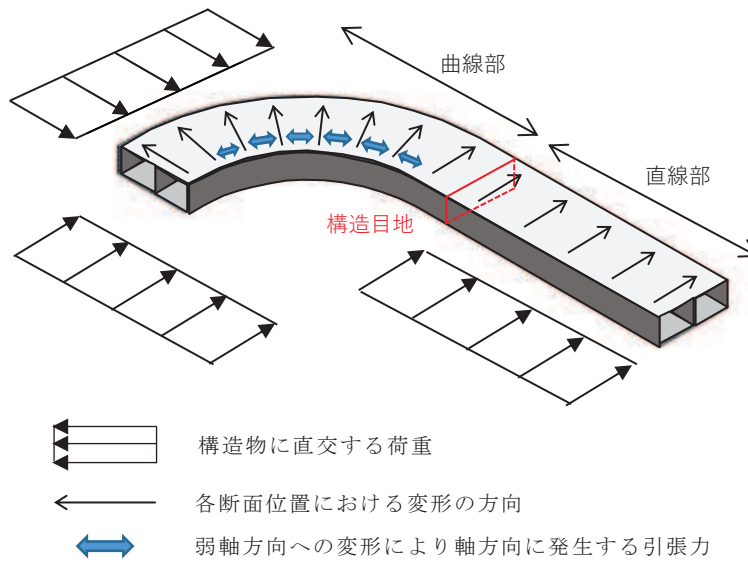


図3-3-38 取水路（標準部）における変形

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

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

3.3.1の検討を踏まえ、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検討すべき構造形式として、構造及び作用荷重の観点から、線状構造物及び箱型構造物を抽出した。以下に、構造形式ごとの選定結果を示す。

(1) 線状構造物

線状構造物については、耐震評価を行う水平断面に対して鉛直方向に面外変形する原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥）、3次元的な応答特性が想定される取水路（標準部）のうち曲線部に対して水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを設計に見込むこととする。

(2) 箱形構造物

箱形構造物については、軽油タンク室、軽油タンク室（H）、海水ポンプ室、取水口、貯留堰、復水貯蔵タンク基礎、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室の全ての構造物に対して、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。箱形構造物の平面図、断面図及び縦断面図を図3-3-39～図3-3-67に示す。

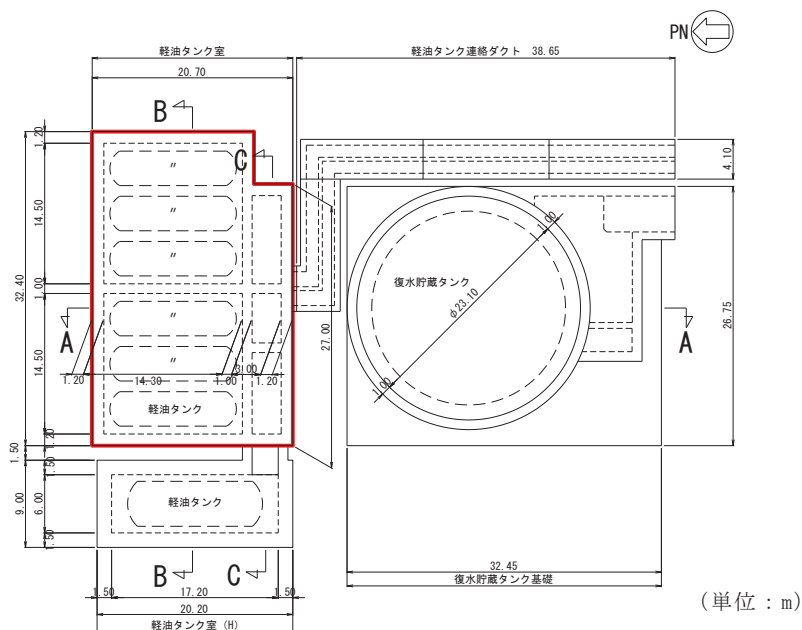


図 3-3-39 軽油タンク室平面図

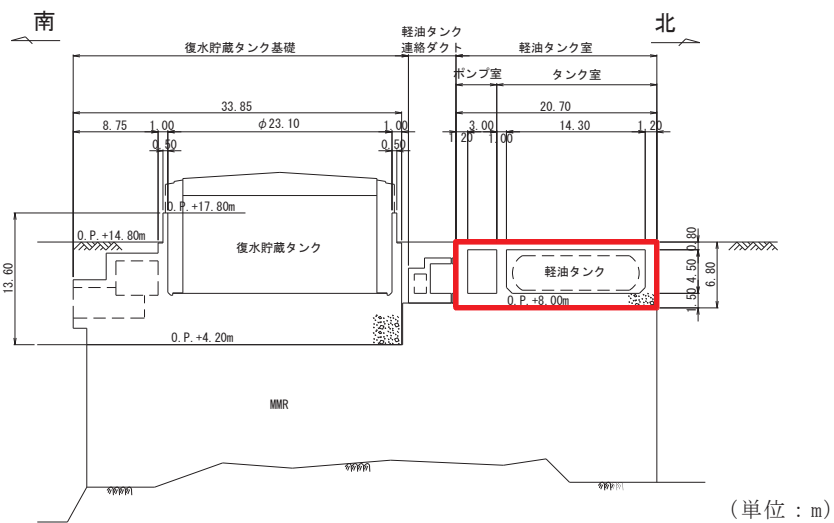


図 3-3-40 軽油タンク室断面図 (A-A 断面, 南北)

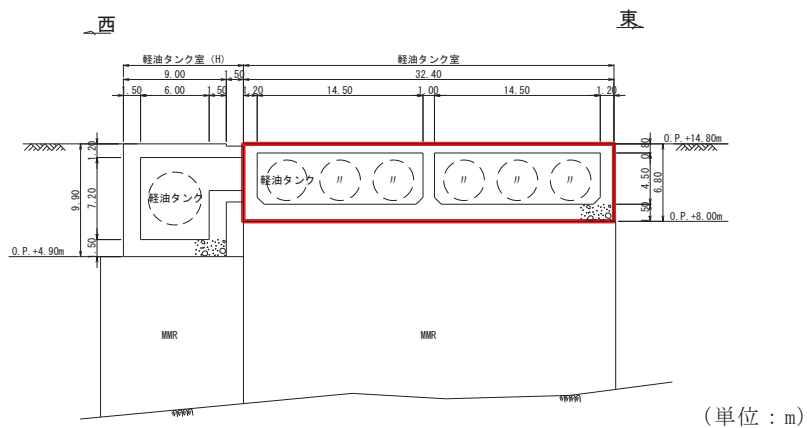


図 3-3-41 軽油タンク室断面図 (B-B 断面, 東西 (タンク室))

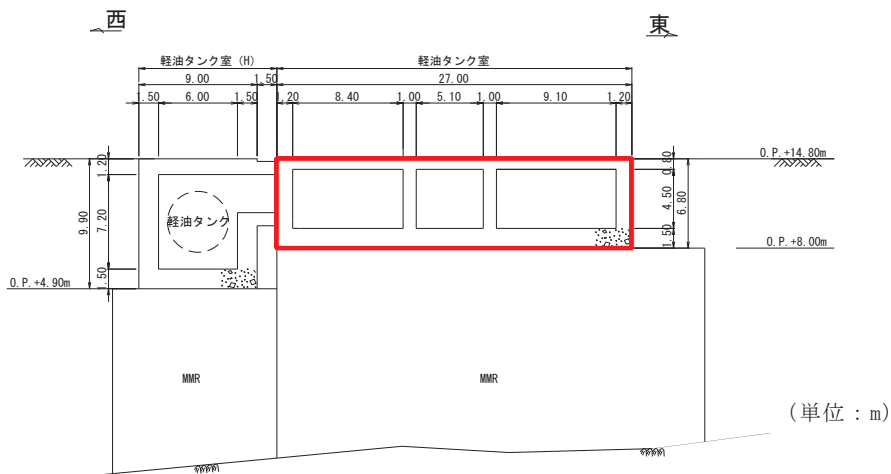


図 3-3-42 軽油タンク室断面図 (C-C 断面, 東西 (ポンプ室))

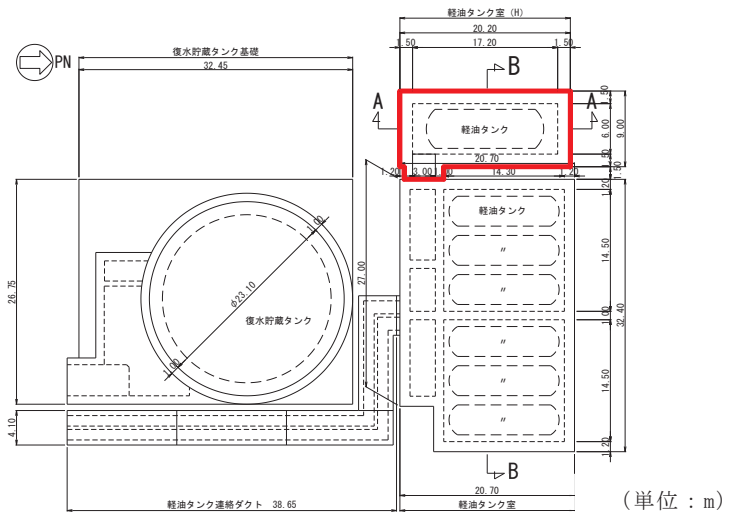


図 3-3-43 軽油タンク室 (H) 平面図

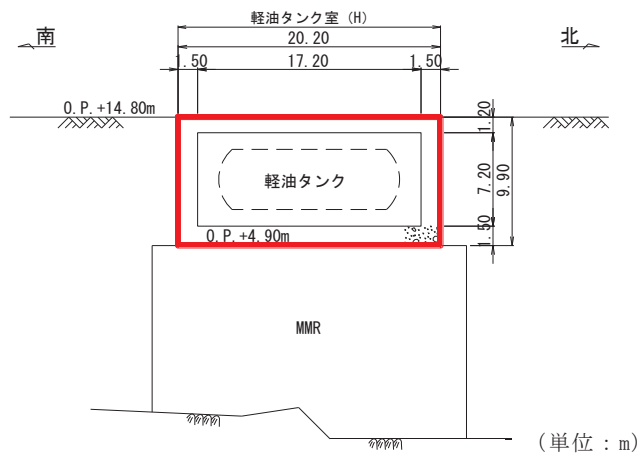


図 3-3-44 軽油タンク室 (H) 断面図 (A-A 断面, 南北)

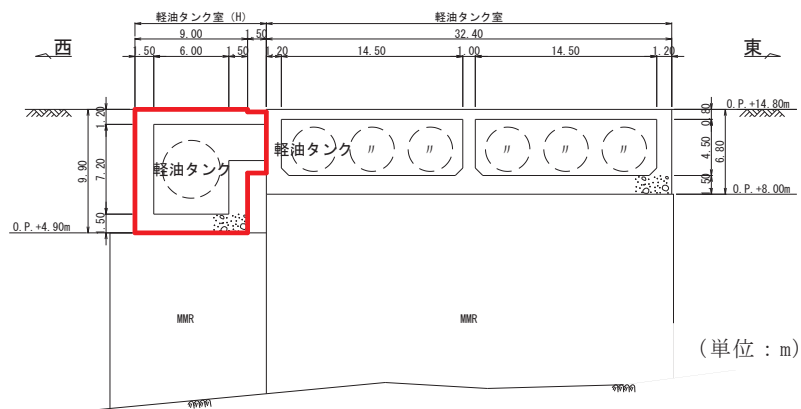


図 3-3-45 軽油タンク室 (H) 断面図 (B-B 断面, 東西)

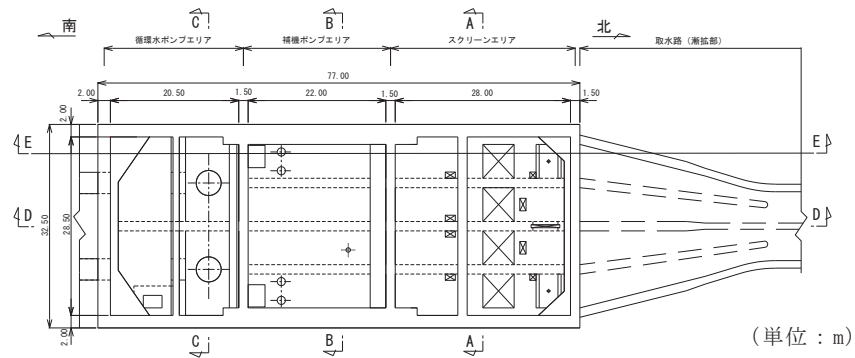


図 3-3-46 海水ポンプ室平面図

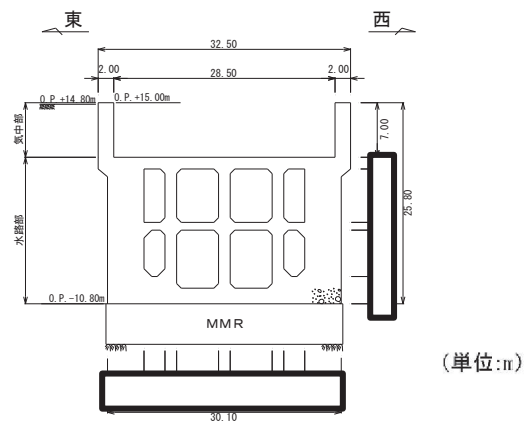


図 3-3-47 海水ポンプ室断面図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

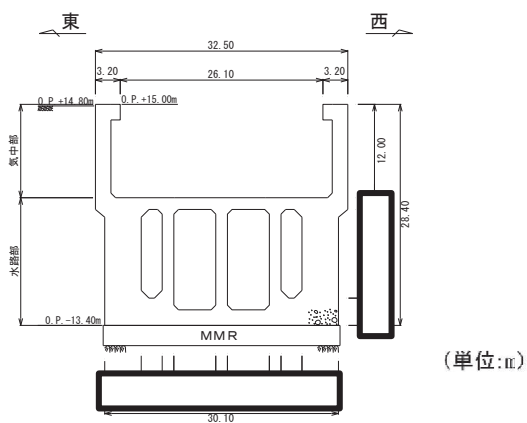


図 3-3-48 海水ポンプ室断面図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

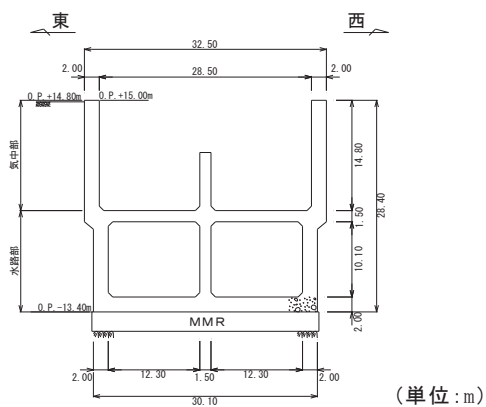


図 3-3-49 海水ポンプ室断面図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

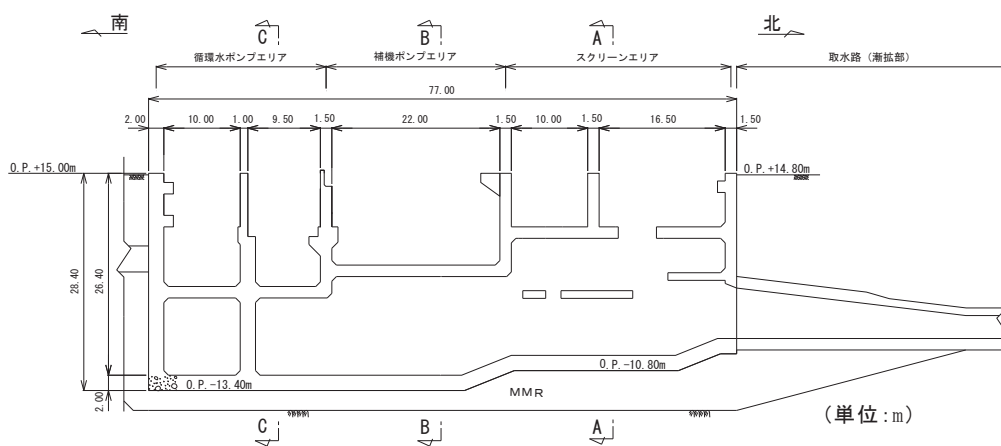


図 3-3-50 海水ポンプ室断面図 (D-D 断面, 南北)

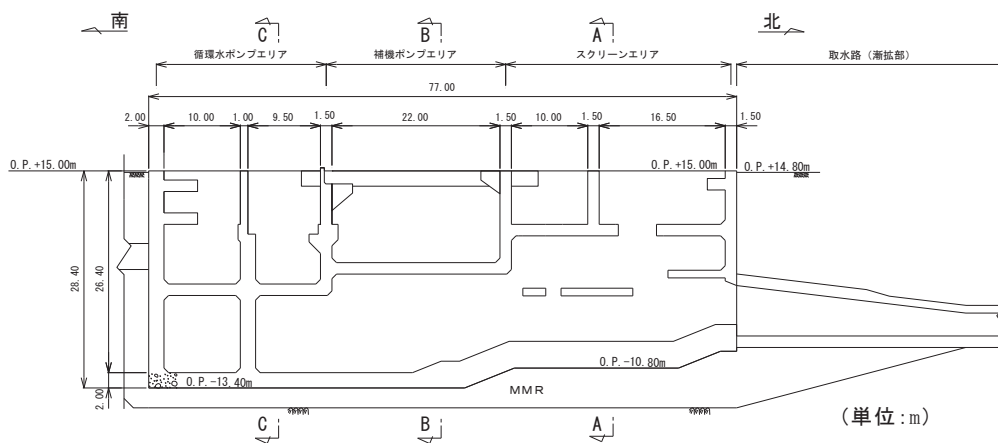


図 3-3-51 海水ポンプ室断面図 (E-E 断面, 南北)

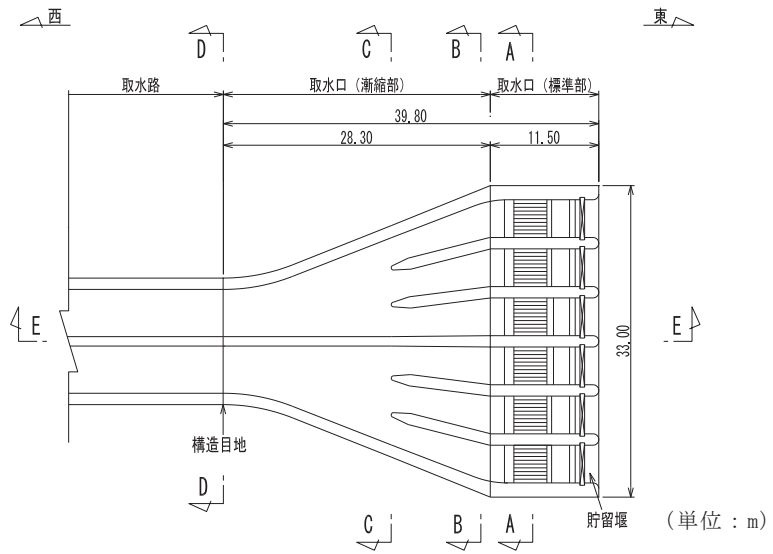


図 3-3-52 取水口，貯留堰平面図

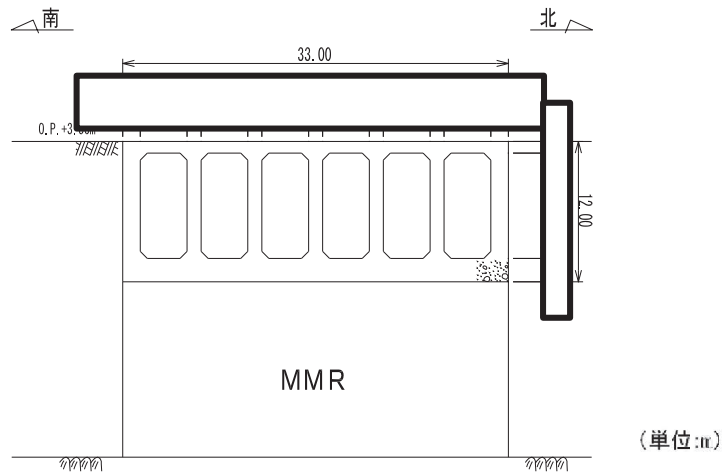


図 3-3-53 取水口断面図 (A-A 断面，南北 (標準部))

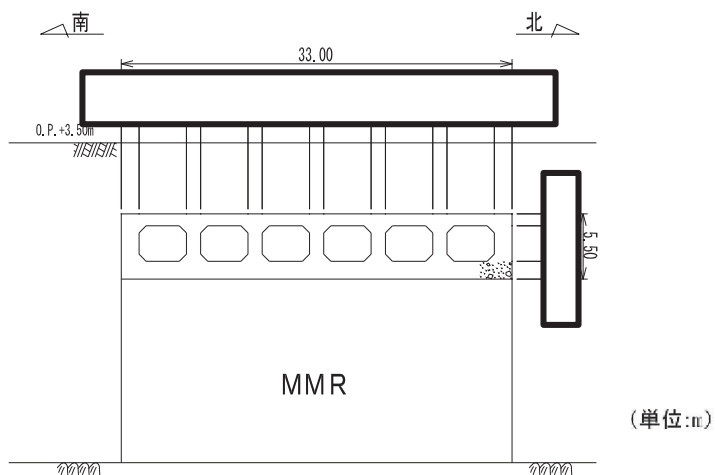


図 3-3-54 取水口断面図 (B-B 断面，南北 (漸縮部))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

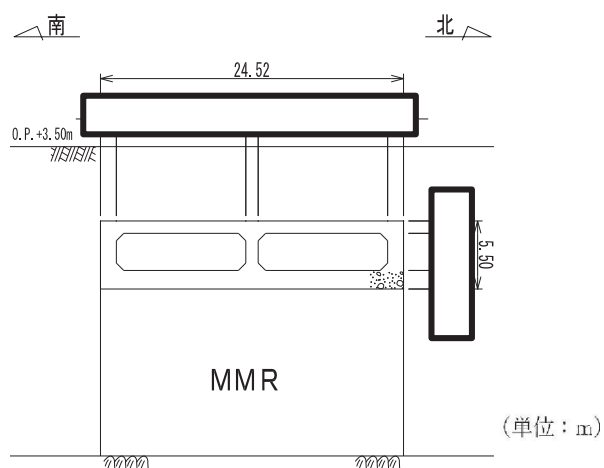


図 3-3-55 取水口断面図 (C-C 断面, 南北 (漸縮部))

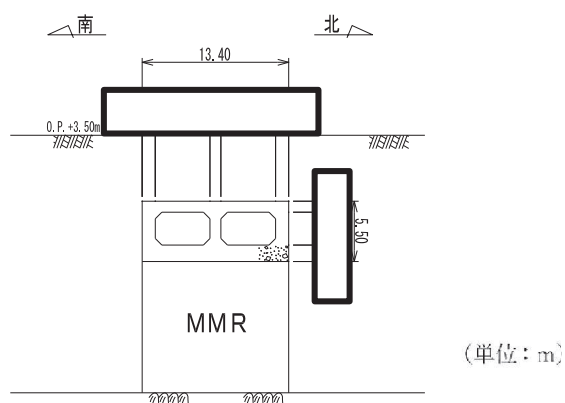


図 3-3-56 取水口断面図 (D-D 断面, 南北 (漸縮部))

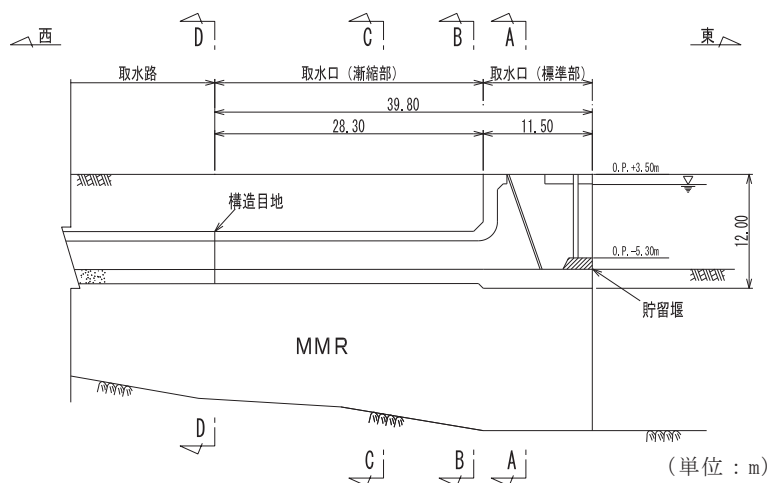


図 3-3-57 取水口縦断面図 (E-E 断面, 東西)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

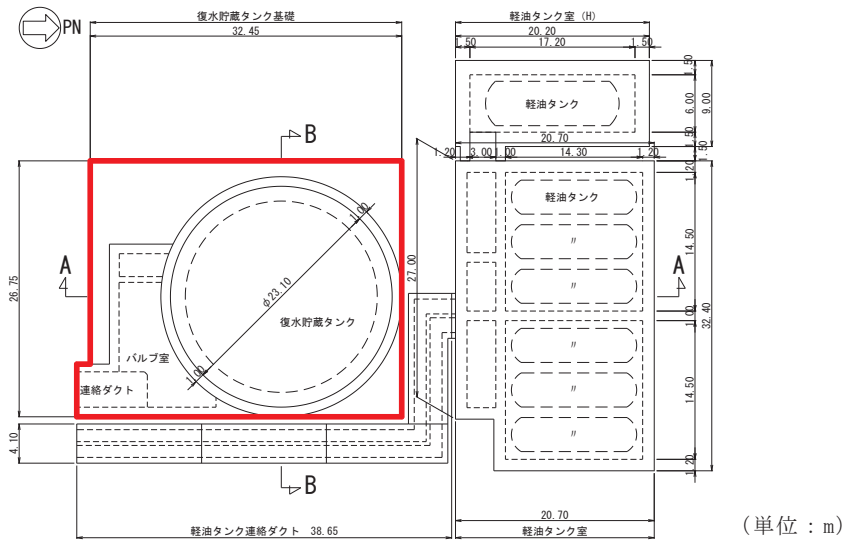


図 3-3-58 復水貯蔵タンク基礎平面図

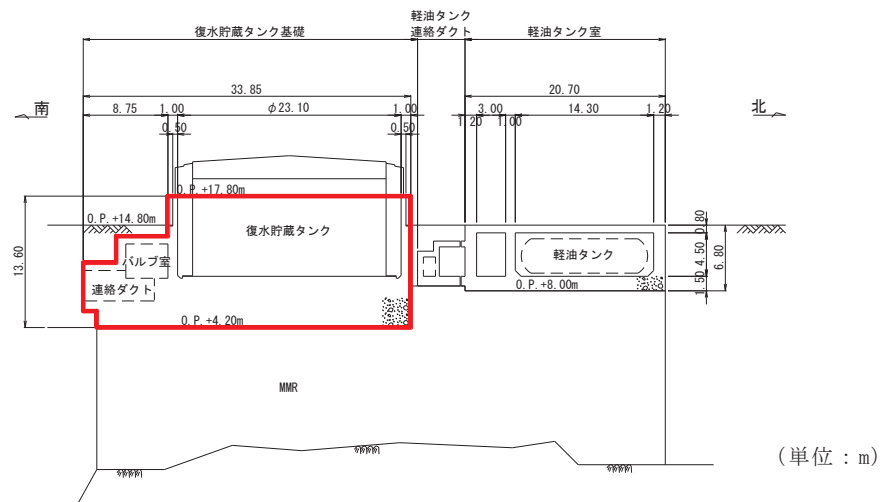


図 3-3-59 復水貯蔵タンク基礎断面図 (A-A 断面, 南北)

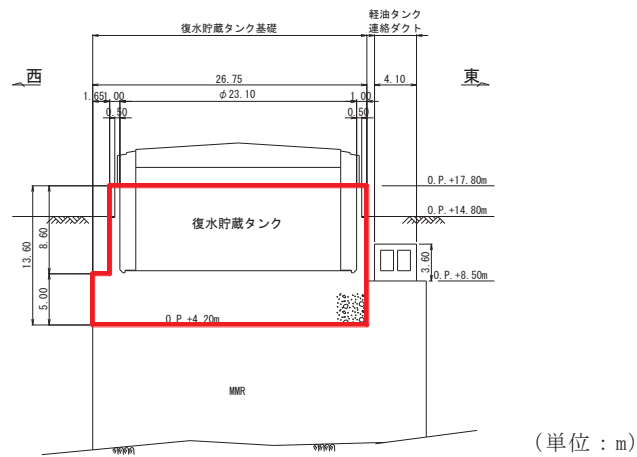


図 3-3-60 復水貯蔵タンク基礎断面図 (B-B 断面, 東西)

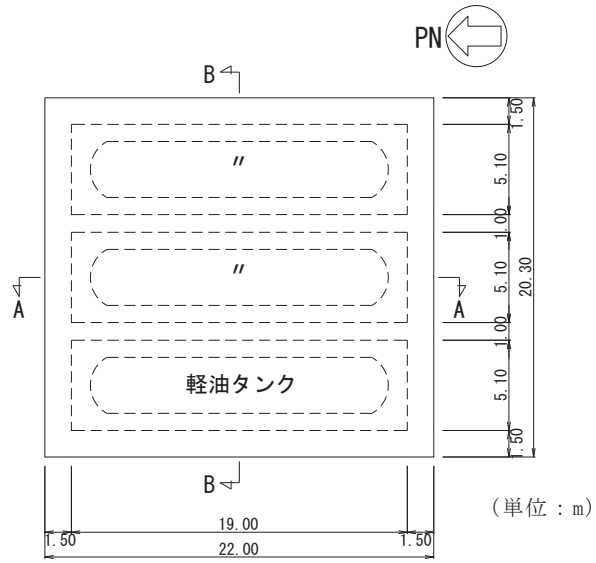


図 3-3-61 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

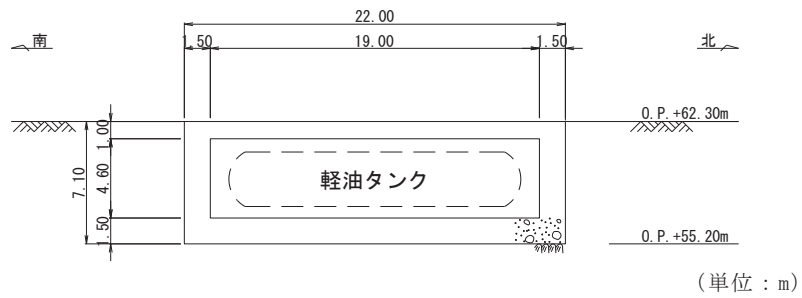


図 3-3-62 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (A-A 断面, 南北)

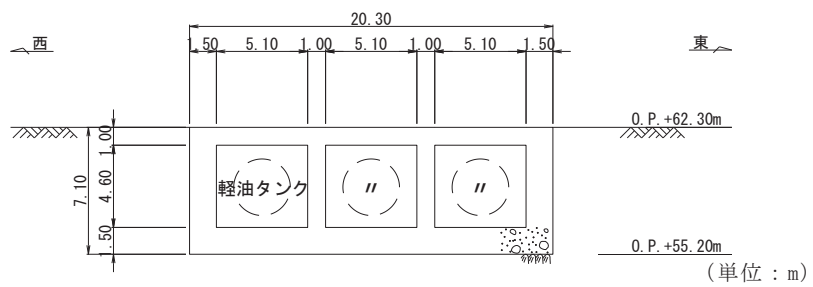


図 3-3-63 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (B-B 断面, 東西)

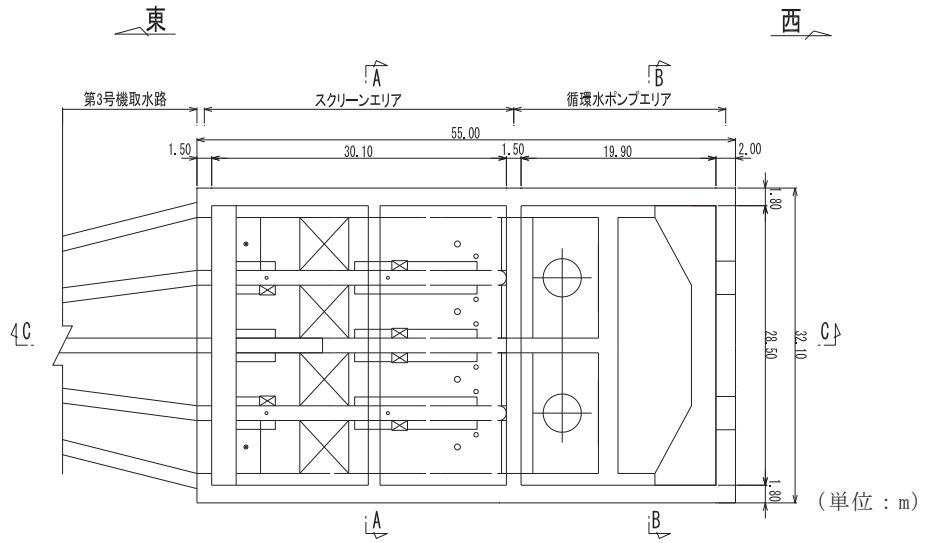


図 3-3-64 第 3 号機海水ポンプ室平面図

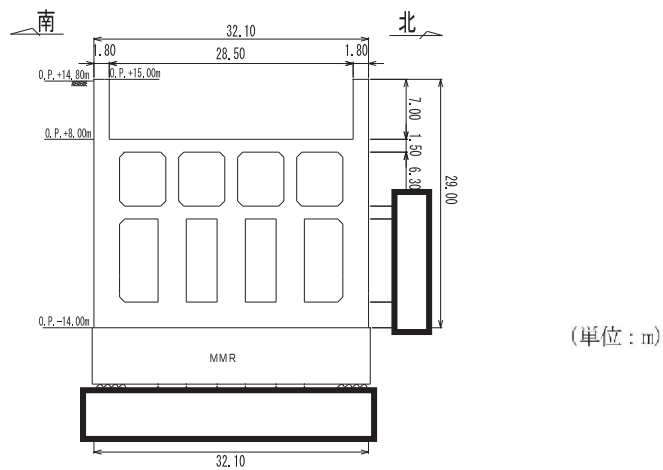


図 3-3-65 第 3 号機海水ポンプ室縦断図 (A-A 断面, 南北 (スクリーンエリア))

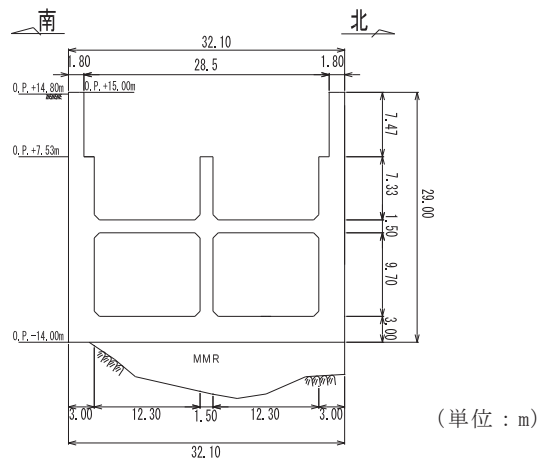


図 3-3-66 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (B-B 断面, 南北 (循環水ポンプエリア))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

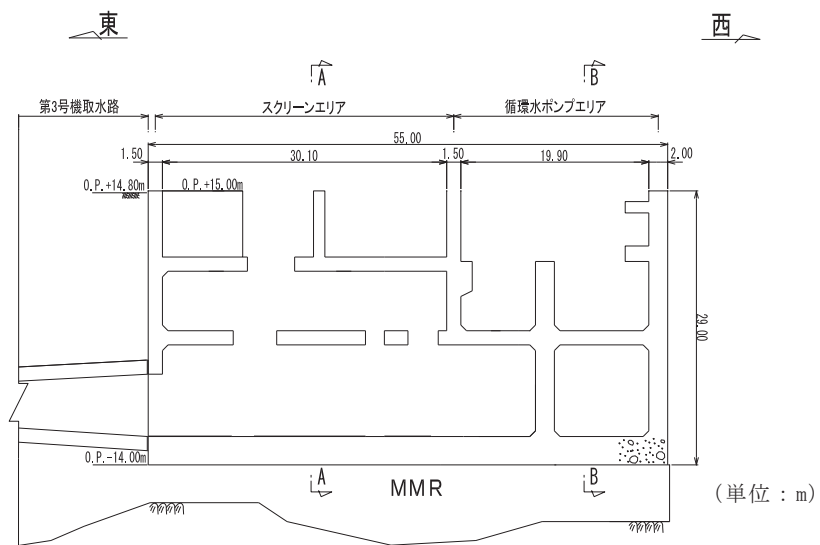


図 3-3-67 第 3 号機海水ポンプ室断面図 (C-C 断面, 東西)

3.3.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 線状構造物

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥）について、耐震評価を行う水平断面に対して鉛直方向に面外変形することから、「補足-610-20 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「資料5 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震安全性評価」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

取水路（標準部）のうち曲線部について、弱軸方向の荷重によって躯体にねじれ等の変形が生じる可能性があることから、「補足-610-20 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「資料11 取水路（標準部）の耐震安全性評価」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(2) 箱形構造物

軽油タンク室，軽油タンク室 (H)，海水ポンプ室，取水口，貯留堰，復水貯蔵タンク基礎，ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室について，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認しする。

a. 評価方法

箱形構造物の地震応答解析は，「補足-610-20 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に示す方法と同様とし，表3-3-6に評価方法の記載図書及び影響検討に用いる地震動を示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価では，全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくい。そのため，強軸方向の地震応答解析は，基準地震動 S_s とは位相の異なる模擬地震波等を用いて行うこととする。また，強軸方向に入力する地震時荷重は，弱軸方向で最も厳しい地震時算定時刻と同時刻の荷重を算出して用いることとする。

施設周辺で液状化発生の有無やその影響について判断がつかなく全応力解析及び有効応力解析を行う構造物については，主方向で選定された地盤物性及び材料物性のばらつきケースに対して，従方向の波についても全応力解析及び有効応力解析を実施する。

なお，基準地震動 $S_s - N1$ は観測波に基づく波で，地震動の方向に偏りがあることから，基準地震動 $S_s - N1$ と直交する観測記録から作成した地震動は，基準地震動 $S_s - N1$ に比べ小さい地震動となる。そのため，弱軸方向において基準地震動 $S_s - N1$ が選定された場合，2番目に照査値が厳しい地震動に対しても水平2方向評価を実施する。

水平2方向及び鉛直方向地震力におけるの荷重の組合せについて，弱軸方向に対しては基準地震動 S_s にて算出した地震時増分土圧及び水平方向の慣性力，強軸方向に対しては弱軸方向と同時刻の模擬地震波等における地震時増分土圧及び水平方向の慣性力，鉛直方向に対しては，弱軸方向で求められた鉛直方向の慣性力を用いる。

表3-3-6(1) 箱形構造物における評価方法について

対象構造物	評価方法	地震動*1
軽油タンク室	資料7 軽油タンク室の耐震安全性評価	せん断破壊 ・ S s - D 2 (++) ケース③
軽油タンク室 (H)	資料8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価	曲げ・軸力系の破壊 せん断破壊 ・ S s - D 2 (++) ケース③
海水ポンプ室	資料9 海水ポンプ室の耐震安全性評価	曲げ・軸力系の破壊 ・ S s - N 1 (++) ケース② ・ S s - D 2 (++) ケース①*2 せん断破壊 ・ S s - N 1 (++) ケース④ ・ S s - D 2 (-+) ケース①*2
取水口, 貯留堰	資料10 取水口, 貯留堰の耐震安全性評価	せん断破壊 ・ (主方向) S s - D 2 (++) ケース③ (従方向) S s - D 2 ケース⑧
復水貯蔵タンク基礎	資料12 復水貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価	【しゃへい壁, バルブ室及び連絡ダクト】 せん断破壊 ・ S s - D 2 (++) ケース② 【基礎版】 せん断破壊 ・ S s - D 2 (++) ケース②
ガスタービン発電設備軽油タンク室	資料 13 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震安全性評価	曲げ・軸力系の破壊 ・ (主方向) S s - F 2 (++) ケース① (従方向) S s - F 2 ケース①*3 S s - F 2 ケース⑥*3

表3-3-6(2) 箱形構造物における評価方法について

対象構造物	評価方法	地震動*1
第3号機海水ポンプ室	資料14 第3号機海水ポンプ室の耐震安全性評価	せん断破壊 ・ (主方向) $S_s - N1$ (++) ケース④ (従方向) $S_s - N1$ ケース④*3 $S_s - N1$ ケース⑨*3 ・ (主方向) $S_s - D2$ (++) ケース⑥*2 (従方向) $S_s - D2$ ケース①*3 $S_s - D2$ ケース⑥*3

注記*1：曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて水平2方向評価を実施する。

*2：代表波として基準地震動 $S_s - N1$ が選定されたことから、2番目に照査値が厳しい地震動に対しても水平2方向評価を実施する。

*3：「補足-610-20 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」における全応力解析及び有効応力解析を行う解析手法選定フロー⑤の構造物については、主方向で選定された地盤物性及び材料物性のばらつきケースに対して、従方向の波についても全応力解析及び有効応力解析を実施する。

b. 評価結果

軽油タンク室，軽油タンク室（H），海水ポンプ室，取水口，貯留堰，復水貯蔵タンク基礎，ガスタービン発電設備軽油タンク室及び第3号機海水ポンプ室の評価結果を表3-3-7～表3-3-40に示す。

箱形構造物に対し水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した結果，水平2方向及び鉛直方向地震力の作用による影響が確認されたものの，それぞれの照査値が許容限界以下であることを確認した。

箱形構造物の加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁には，水平2方向の地震力により面内の荷重に加え，面外荷重が作用する。また，加振方向に直交して配置される隔壁には，水平2方向の地震力により面外の荷重に加え，面内荷重が作用する。以上により，水平2方向及び鉛直方向地震力の作用による影響が生じた。

表3-3-7 軽油タンク室における構造部材の健全性に対する評価結果
 (曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮縁ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$
底版	12	①	S _s -D 2 (-+)	0.03	12	③	主方向： S _s -D 2 (++) 従方向： S _s -D 2	0.02
頂版	21	①	S _s -D 1 (++)	0.03	22			0.03
南北壁	41	①	S _s -F 2 (++)	0.02	41			0.02
隔壁 (東西)	51	③	S _s -D 2 (++)	0.02	53			0.03
東西壁	61	①	S _s -D 2 (-+)	0.02	61			0.02
隔壁 (南北)	82	③	S _s -D 2 (++)	0.03	82			0.03
隔壁 (西)	90	③	S _s -D 2 (++)	0.02	90			0.03

注記*1：評価位置は図3-3-68に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-8 軽油タンク室における支持機能に対する評価結果
 (曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$
底版	12	①	S _s -D2 (-+)	0.11	12	③	主方向： S _s -D2 (++) 従方向： S _s -D2	0.10
頂版	21	①	S _s -D1 (++)	0.13	22			0.13
南北壁	41	①	S _s -F2 (++)	0.07	41			0.07
隔壁 (東西)	51	③	S _s -D2 (++)	0.10	53			0.12
東西壁	61	①	S _s -D2 (-+)	0.08	61			0.08
隔壁 (南北)	82	③	S _s -D2 (++)	0.11	82			0.13
隔壁 (西)	90	③	S _s -D2 (++)	0.10	90			0.12

注記*1：評価位置は図3-3-68に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-9 軽油タンク室における支持機能に対する評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (主筋ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$
底版	11	③	S _s -D2 (++)	0.07	12	③	主方向： S _s -D2 (++) 従方向： S _s -D2	0.08
頂版	22	①	S _s -D2 (-+)	0.12	22			0.05
南北壁	41	①	S _s -F2 (++)	0.07	41			0.06
隔壁 (東西)	51	③	S _s -D2 (++)	0.09	51			0.12
東西壁	72	③	S _s -D2 (++)	0.05	72			0.05
隔壁 (南北)	82	①	S _s -D2 (-+)	0.07	82			0.07
隔壁 (西)	90	③	S _s -D2 (++)	0.10	90			0.16

注記*1：評価位置は図3-3-68に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-10 軽油タンク室における構造部材の健全性に対する評価結果
(せん断破壊に対する照査)

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}
底版	11	④	S s - D 2 (++)	0.62	12	③	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	0.61
頂版	22	①	S s - D 2 (-+)	0.60	21			0.25
南北壁	42	③	S s - D 2 (++)	0.50	42			0.41
隔壁 (東西)	53	③	S s - D 2 (++)	0.67	53			0.76
東西壁	72	③	S s - D 2 (++)	0.65	72			0.68
隔壁 (南北)	81	②	S s - D 2 (++)	0.05	81			0.08
隔壁 (西)	90	③	S s - D 2 (++)	0.10	90			0.10

注記*1：評価位置は図3-3-68に示す。

*2：照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

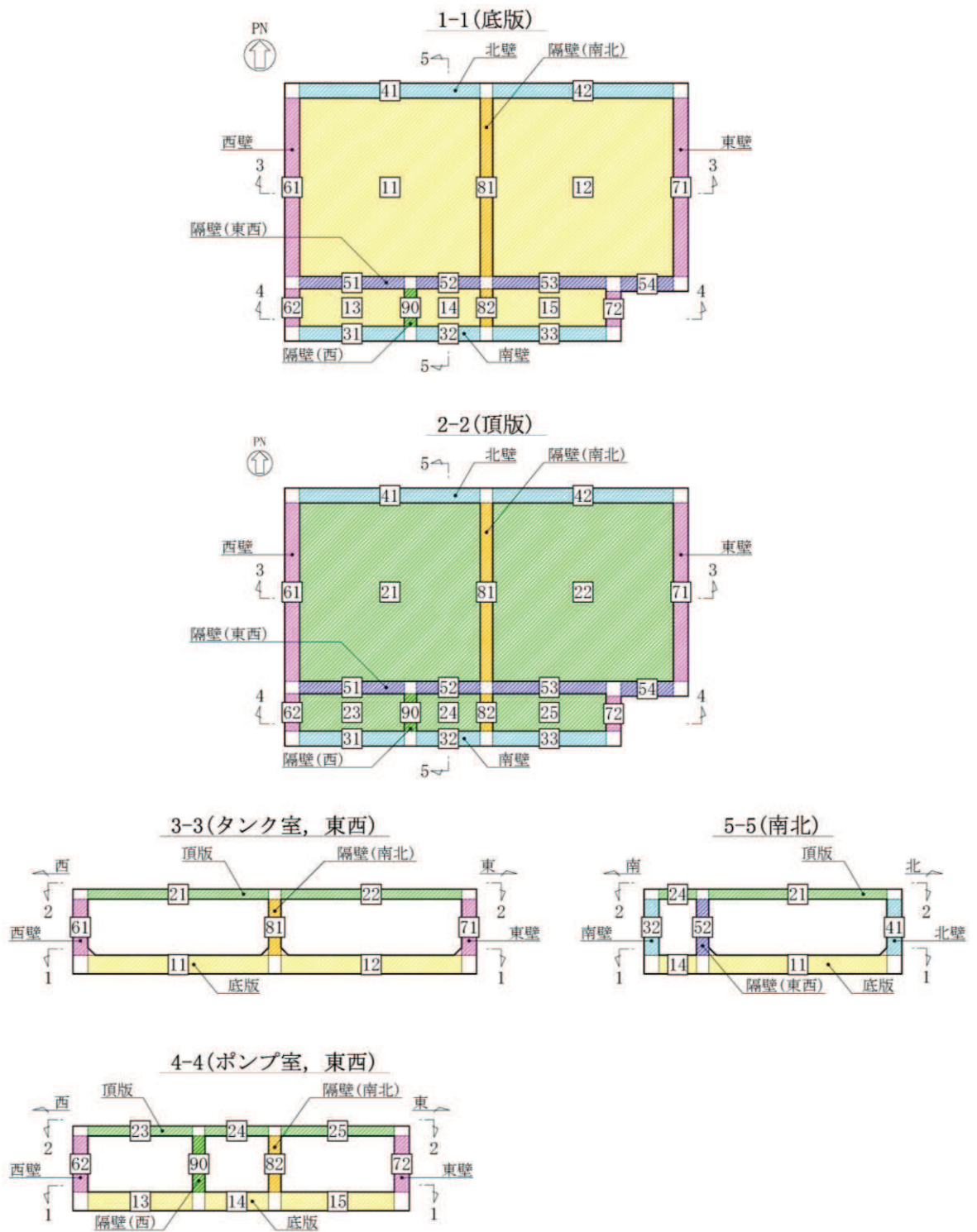


図 3-3-68 軽油タンク室 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

表3-3-11 軽油タンク室（壁部材）の評価結果
 （面内せん断ひずみに対する照査）

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R
南北壁	30	①	S _s -F3 (-+)	0.01	30	③	主方向： S _s -D2 (++) 従方向： S _s -D2	0.01
隔壁 (東西)	50	③	S _s -D2 (++)	0.02	50			0.03
東西壁	72	③	S _s -D2 (++)	0.04	72			0.05
隔壁 (南北)	80	③	S _s -D2 (++)	0.09	80			0.09
隔壁 (西)	90	③	S _s -F2 (++)	0.07	90			0.07

注記*1：評価位置は図3-3-69に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

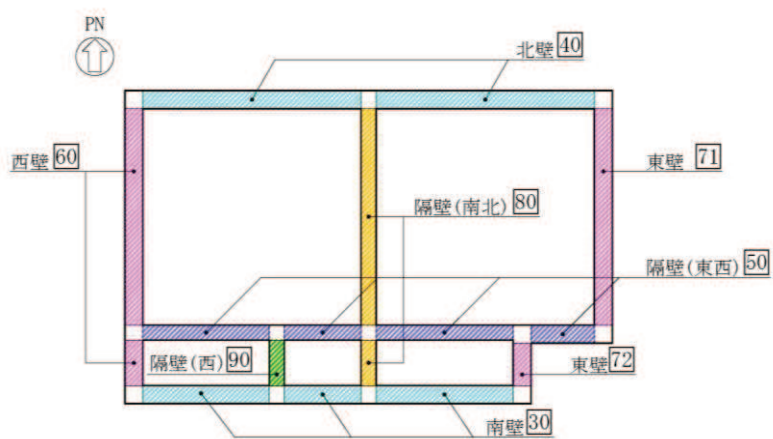


図 3-3-69 軽油タンク室 評価位置図 (面内せん断ひずみ)

表3-3-12 軽油タンク室 (H) の評価結果
 (曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリート))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ'_{c}/σ'_{ca}	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ'_{c}/σ'_{ca}
底版	10	③	S s - D 2 (++)	0.63	10	③	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	0.63
頂版	20	③	S s - D 2 (++)	0.55	20			0.55
南北壁	30	③	S s - D 2 (++)	0.32	30			0.31
東西壁	60	③	S s - D 2 (++)	0.46	60			0.45
接続部 底版	70	③	S s - D 2 (++)	0.30	70			0.26
接続部 頂版	80	③	S s - D 2 (++)	0.23	80			0.21
接続部 南北壁	90	③	S s - D 2 (++)	0.33	90			0.32

注記* : 評価位置は図3-3-70に示す。

表3-3-13 軽油タンク室 (H) の評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (鉄筋))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ_s / σ_{sa}	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ_s / σ_{sa}
底版	10	③	S _s -D2 (++)	0.53	10	③	主方向： S _s -D2 (++) 従方向： S _s -D2	0.53
頂版	20	③	S _s -D2 (++)	0.39	20			0.42
南北壁	40	③	S _s -D2 (++)	0.65	30			0.67
東西壁	60	③	S _s -D2 (++)	0.67	50			0.67
接続部 底版	70	③	S _s -D2 (++)	0.59	70			0.54
接続部 頂版	80	③	S _s -D2 (++)	0.55	80			0.52
接続部 南北壁	90	③	S _s -D2 (++)	0.42	90			0.36

注記* : 評価位置は図3-3-70に示す。

表3-3-14 軽油タンク室 (H) の評価結果

(せん断破壊に対する照査)

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 V/V_a	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 V/V_a
底版	10	③	$S_s - D 2 (++)$	0.57	10	③	主方向： $S_s - D 2 (++)$ 従方向： $S_s - D 2$	0.59
頂版	20	③	$S_s - D 2 (++)$	0.36	20			0.35
南北壁	30	③	$S_s - D 2 (++)$	0.27	40			0.31
東西壁	50	③	$S_s - D 2 (++)$	0.52	50			0.52
接続部 底版	70	③	$S_s - D 2 (++)$	0.40	70			0.46
接続部 頂版	80	③	$S_s - D 2 (++)$	0.31	80			0.32
接続部 南北壁	90	③	$S_s - D 2 (++)$	0.42	100			0.40

注記*：評価位置は図3-3-70に示す。

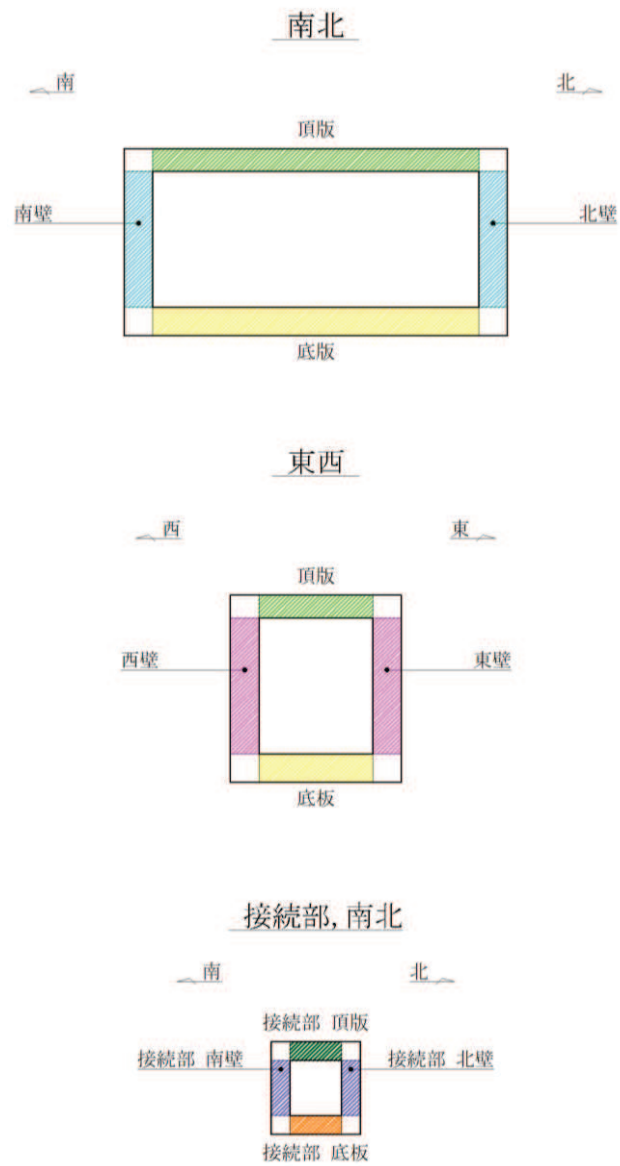


図 3-3-70 軽油タンク室 (H) 評価位置図

表3-3-15 海水ポンプ室における構造部材の健全性に対する評価結果
(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮縁ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2}/\varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2}/\varepsilon_R$
底版	2	③	S s - N 1 (++)	0.09	2	④	主方向： S s - N 1 (++) 従方向： S s - N 1	0.06
中床版	20	③	S s - N 1 (++)	0.13	20			0.09
側壁	53	②	S s - N 1 (++)	0.11	53	②		0.11
隔壁	121	②	S s - N 1 (++)	0.27	121			0.23
導流壁	61	③	S s - N 1 (++)	0.12	61	④		0.09
妻壁	82	③	S s - N 1 (++)	0.08	71			0.06

注記*1：評価位置は図3-3-71に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-16 海水ポンプ室における支持機能に対する評価結果
 (曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2}/\varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2}/\varepsilon_R$
底版	2	③	S s - N 1 (++)	0.35	2	④	主方向： S s - N 1 (++)	0.23
中床版	27	③	S s - N 1 (++)	0.32	27			0.22
側壁	53	②	S s - N 1 (++)	0.42	53	②	従方向： S s - N 1	0.40
隔壁	121	①	S s - N 1 (++)	0.85	121			0.75
導流壁	64	③	S s - N 1 (++)	0.12	64	①	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	0.11
妻壁	81	①	S s - F 3 (-+)	0.10	81			0.10

注記*1：評価位置は図3-3-71に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-17 海水ポンプ室における支持機能に対する評価結果
(曲げ・軸力系の破壊に対する照査(主筋ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2}/\varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2}/\varepsilon_R$
底版	1	③	S s - N 1 (++)	0.77*3	1	④	主方向： S s - N 1	0.93
中床版	29	③	S s - N 1 (++)	0.70	30		(++)	0.58
側壁	53	②	S s - N 1 (++)	0.87	53	②	従方向： S s - N 1	0.87*3
隔壁	121	①	S s - N 1 (-+)	0.79	121	①	主方向： S s - D 2 (-+)	0.67
導流壁	64	③	S s - N 1 (++)	0.12	64		従方向： S s - D 2	0.09
妻壁	81	③	S s - N 1 (++)	0.05	81	②	主方向： S s - N 1 (++)	0.13
							従方向： S s - N 1	

注記*1：評価位置は図3-3-71に示す。

*2：照査用ひずみ $\varepsilon_d =$ 発生ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

*3：要素平均化後の値を示す。

表3-3-18 海水ポンプ室における構造部材の健全性に対する評価結果
(せん断破壊に対する照査)

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}
底版	1	④	S s - N 1 (++)	0.88	1	④	主方向： S s - N 1 (++) 従方向： S s - N 1	0.84
中床版	21	③	S s - N 1 (++)	0.90	21			0.85
側壁	53	④	S s - N 1 (++)	0.85	52			0.85
隔壁	104	③	S s - N 1 (++)	0.88	104			0.81
導流壁	61	④	S s - N 1 (++)	0.89	61			0.90
妻壁	71	④	S s - N 1 (++)	0.88	71			0.82

注記*1：評価位置は図3-3-71に示す。

*2：照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

【側壁・隔壁】

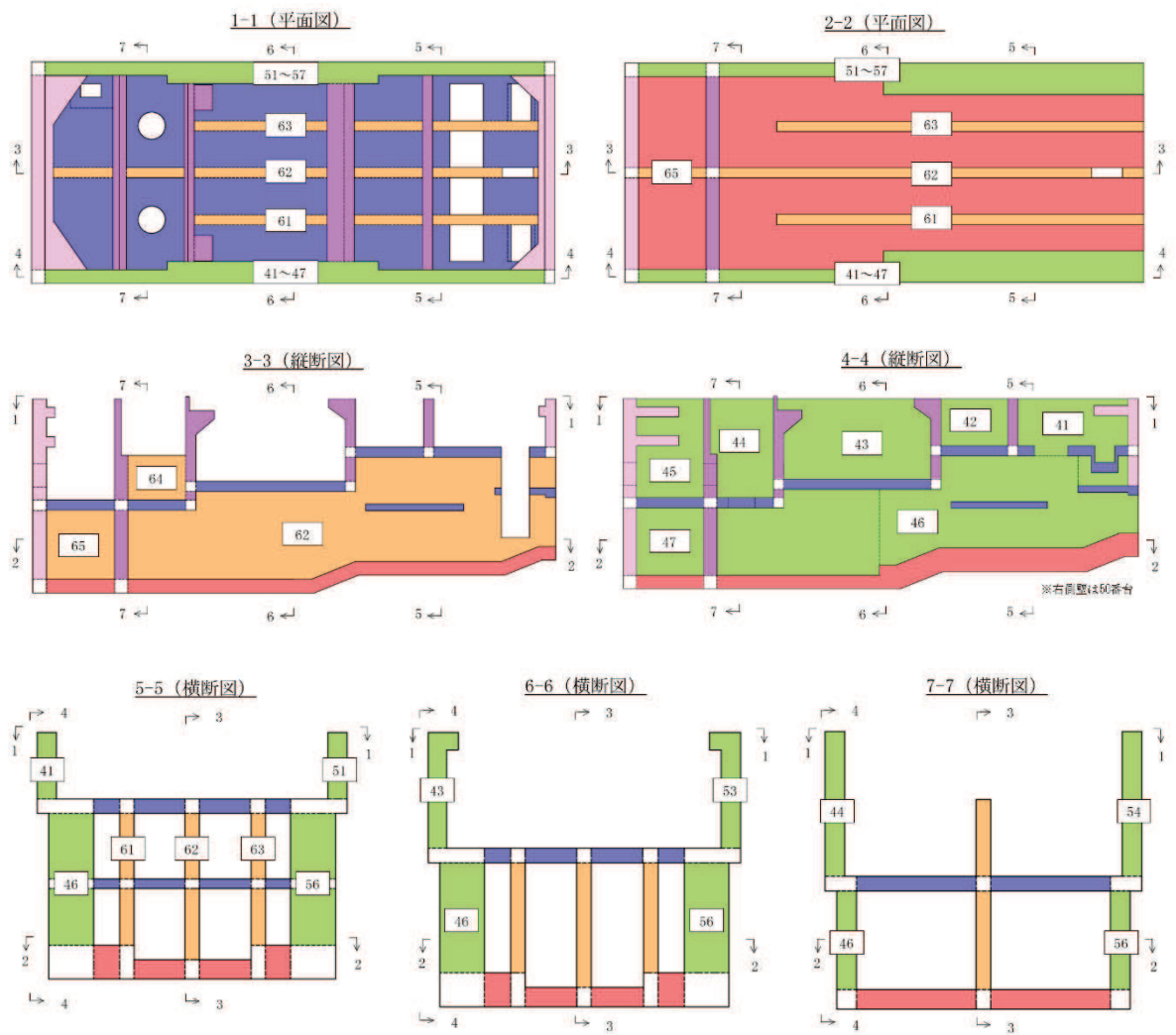


図 3-3-71(1) 海水ポンプ室 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

【底版・中床版】

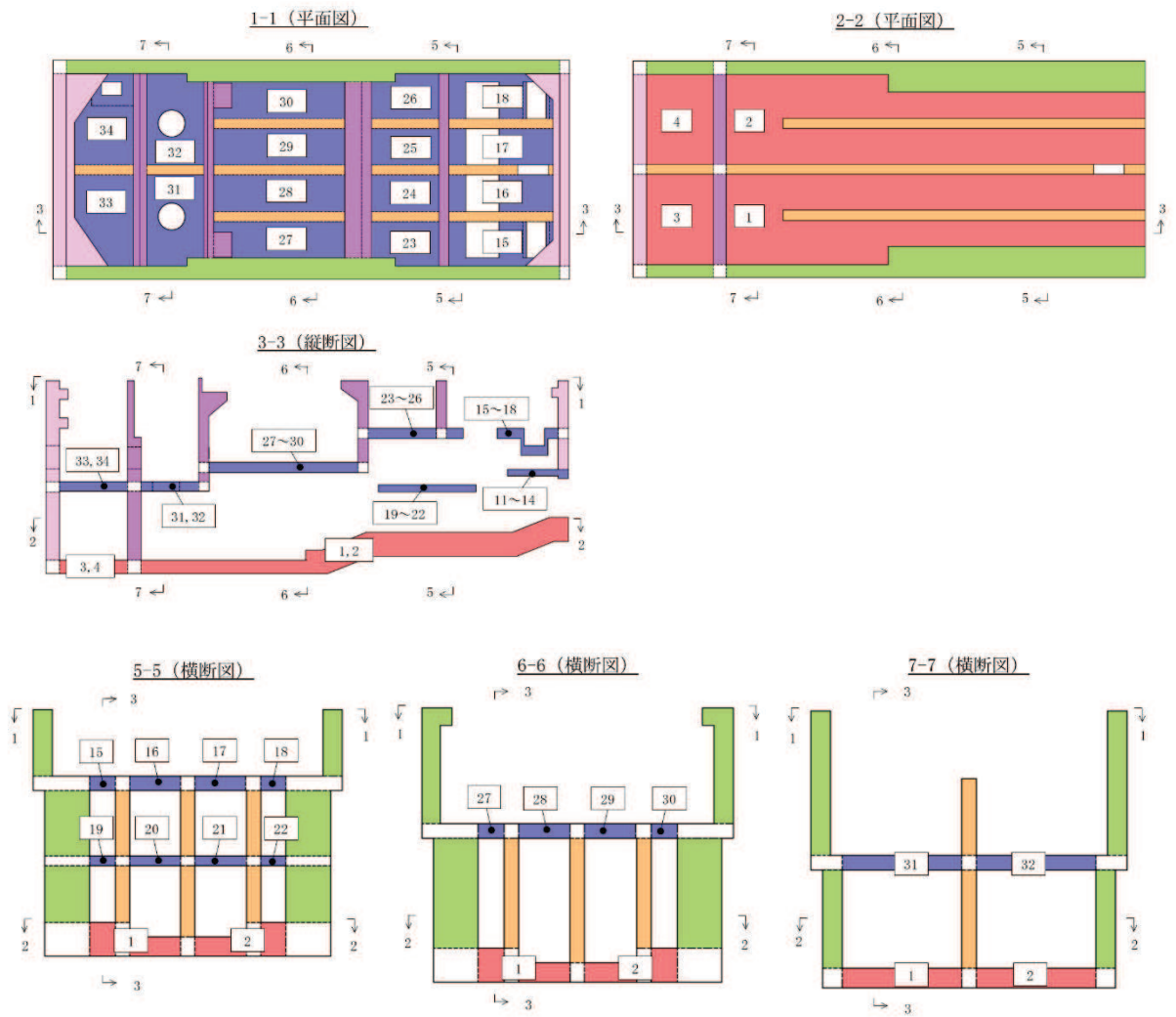


図 3-3-71(2) 海水ポンプ室 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

【妻壁・隔壁】

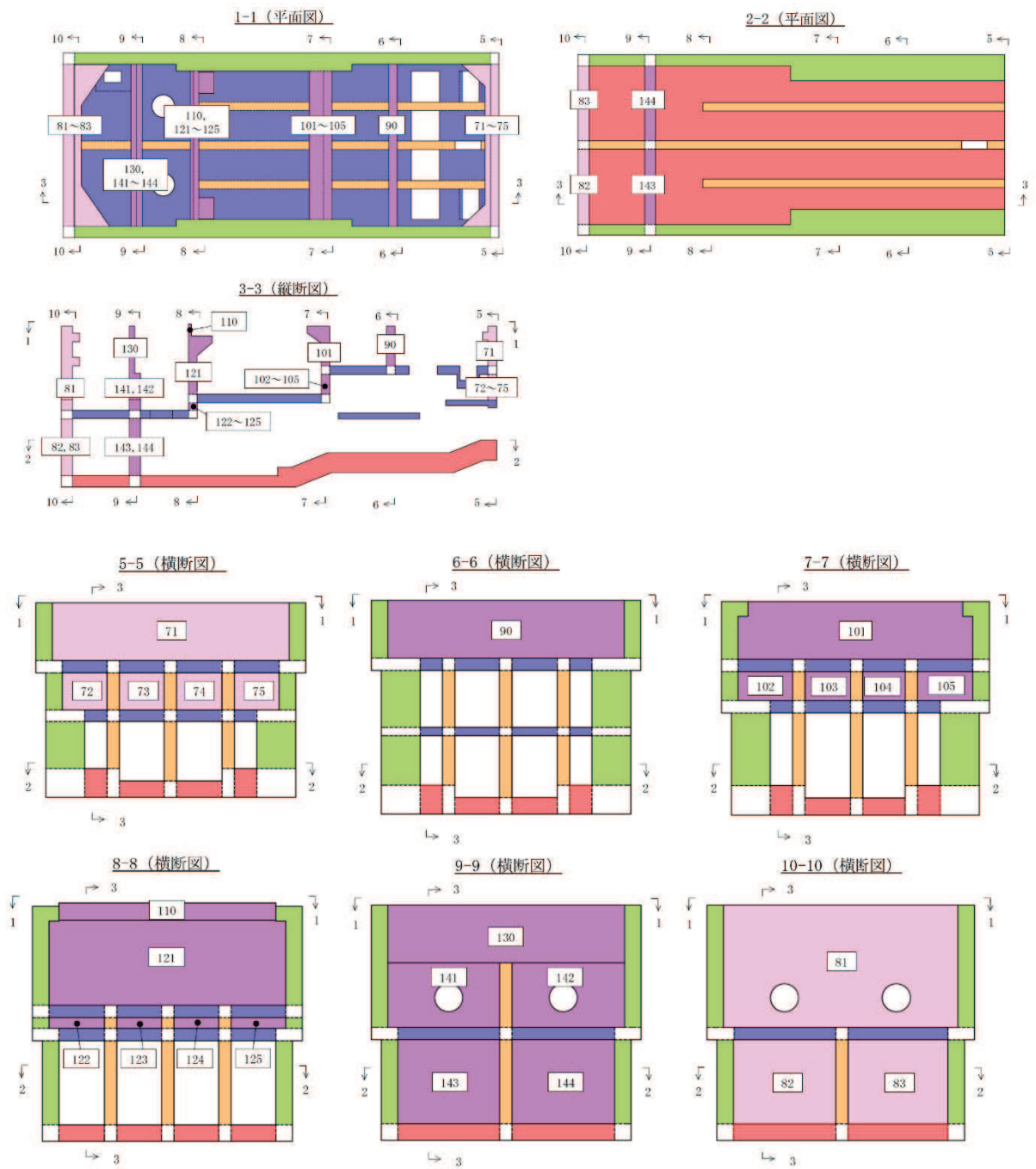


図 3-3-71(3) 海水ポンプ室 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

表3-3-19 海水ポンプ室（壁部材）の評価結果

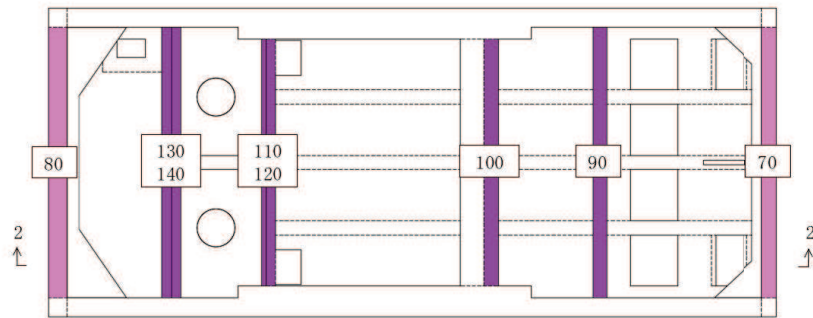
（面内せん断ひずみに対する照査）

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R
隔壁	100	③	S _s -N1 (++)	0.25	90	①	主方向： S _s -D2 (-+) 従方向： S _s -D2	0.17
妻壁	80	③	S _s -N1 (++)	0.08	70	④	主方向： S _s -N1 (++) 従方向： S _s -N1	0.11

注記*1：評価位置は図3-3-72に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

1-1 (平面図)



2-2 (縦断面図)

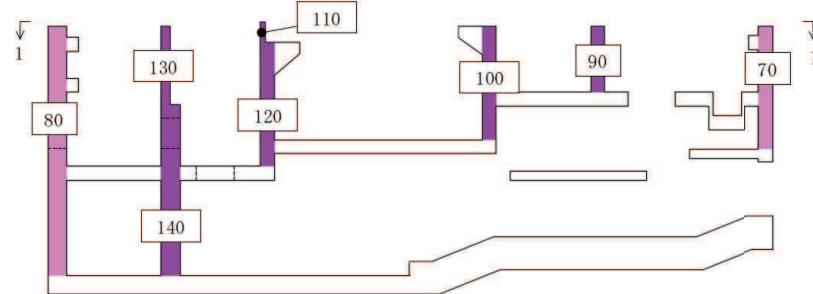


図 3-3-72 海水ポンプ室 評価位置図 (面内せん断ひずみ)

表3-3-20 取水口，貯留堰における構造部材の健全性に対する評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮縁ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$
頂版 (標準部)	16	⑧	S _s -D2 (++)	0.05	11	主方向：③ 従方向：⑧	主方向： S _s -D2 (++) 従方向： S _s -D2	0.04
頂版 (漸縮部)	25	①	S _s -D2 (-+)	0.04	25			0.03
側壁	31	③	S _s -D2 (-+)	0.05	31			0.06
導流壁	64	①	S _s -F2 (-+)	0.06	52			0.05
底版	71	③	S _s -D2 (-+)	0.04	71			0.04
妻壁	106	⑧	S _s -D2 (++)	0.03	101			0.03
貯留堰	96	⑧	S _s -D2 (++)	0.08	91			0.08

注記*1：評価位置は図3-3-73に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-21 取水口、貯留堰における支持機能に対する評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	0.18	31	主方向：③ 従方向：⑧	主方向： S s - D 2 (++)	0.21	
底版	71	③	S s - D 2 (-+)	0.13			71	従方向： S s - D 2	0.13
貯留堰	91	③	S s - D 2 (-+)	0.25			91		0.27

注記*1：評価位置は図3-3-73に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-22 取水口、貯留堰における支持機能に対する評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (主筋ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	
側壁	31	③	S s - D 2 (-+)	0.29	31	主方向：③ 従方向：⑧	主方向： S s - D 2 (++)	0.30	
底版	76	①	S s - D 2 (-+)	0.21			76	従方向： S s - D 2	0.08
貯留堰	96	①	S s - D 2 (-+)	0.23			96		0.11

注記*1：評価位置は図3-3-73に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

*3：要素平均化後の値を示す。

表3-3-23 取水口，貯留堰における構造部材の健全性に対する評価結果
(せん断破壊に対する照査)

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}
頂版 (標準部)	16	⑨	S _s -D2 (++)	0.41	12	主方向：③ 従方向：⑧	主方向： S _s -D2 (++) 従方向： S _s -D2	0.36
頂版 (漸縮部)	27	②	S _s -N1 (++)	0.70	25			0.34
側壁	31	③	S _s -D2 (++)	0.78	31			0.78
導流壁	53	①	S _s -D2 (-+)	0.75	53			0.71
底版	87	⑨	S _s -D2 (++)	0.71	88			0.41
妻壁	106	②	S _s -D2 (-+)	0.29	106			0.25
貯留堰*3	96	①	S _s -D2 (++)	0.42	91			0.48

注記*1：評価位置は図3-3-73に示す。

*2：照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*3：貯留堰直下の底版の評価を含む。

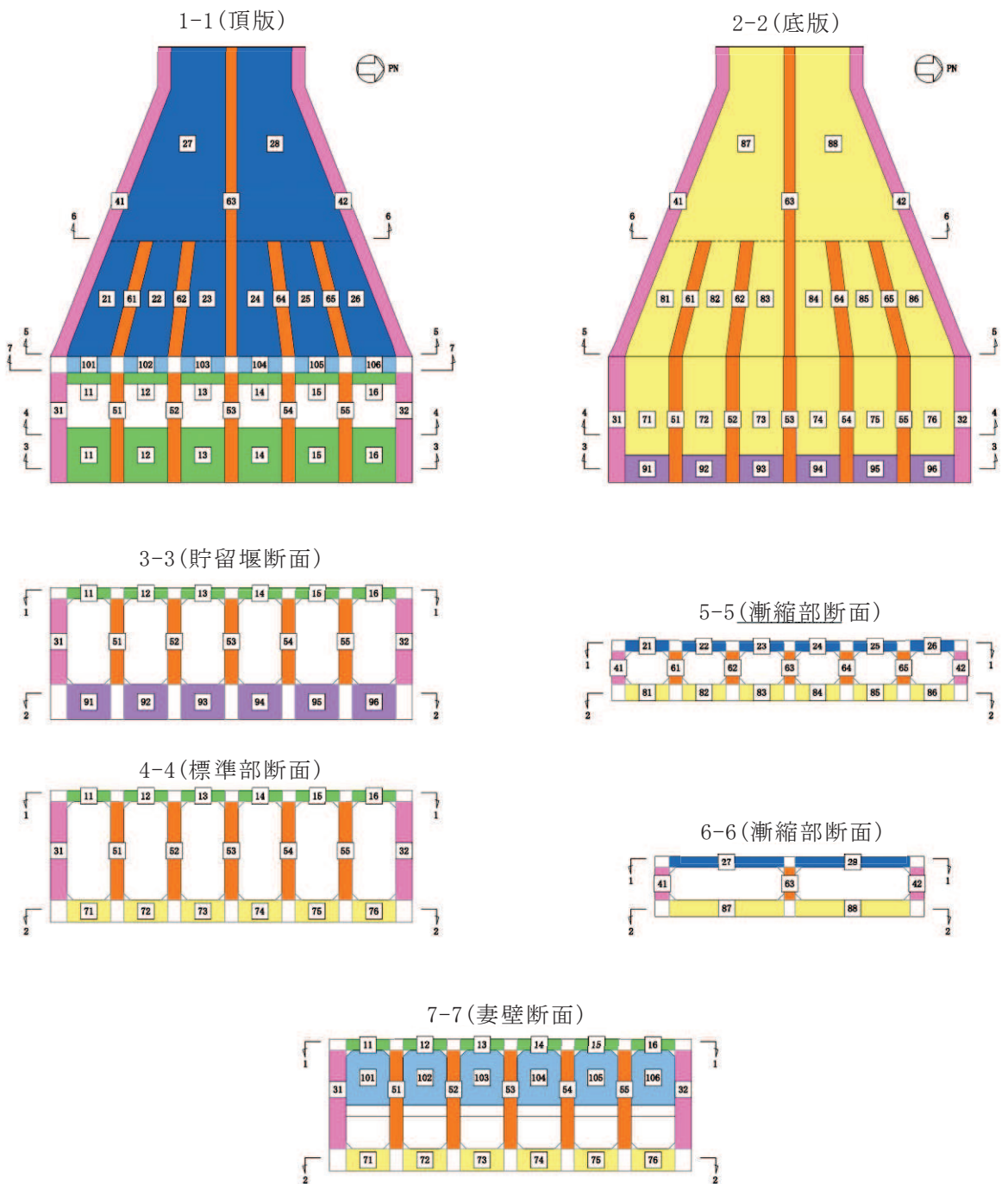


図 3-3-73 取水口，貯留堰 評価位置図（曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊）

表3-3-24 取水口，貯留堰（妻壁）の評価結果

（面内せん断ひずみに対する照査）

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R
妻壁	100	①	S _s -D ₂ (-+)	0.07	100	主方向：③ 従方向：⑧	主方向： S _s -D ₂ (++) 従方向： S _s -D ₂	0.05

注記*1：評価位置は図3-3-74に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

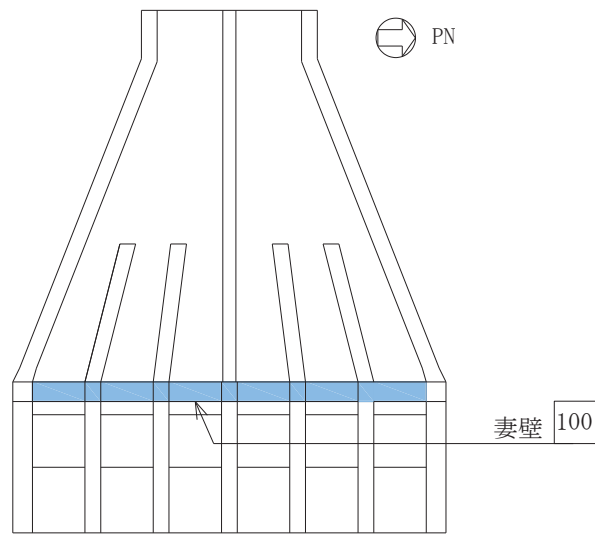


図 3-3-74 取水口，貯留堰 評価位置図（面内せん断ひずみ）

表3-3-25 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における構造部材の健全性に対する評価結果
 （曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮縁ひずみ））

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	
しゃへい壁	地上部	13	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.01	14	②	主方向： S _s -D2(++) 従方向： S _s -D2	主方向： 東西 従方向： 南北	0.01	
	地中部	17	①	S _s -D2(-+)	東西方向	0.03	18				0.03	
バルブ室	頂版	22	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.02	22				0.02	
	南壁	32	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.03	32				0.02	
	東西壁	50	②	S _s -D2(++)	東西方向	0.03	50				0.03	
	隔壁	60	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.02	60				0.02	
	ハッチ部	頂版	110	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.01				110	0.01
		南北壁	130	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.02				120	0.01
		東西壁	140	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.02				150	0.01
連絡ダクト	底版	70	①	S _s -D2(++)	南北方向	0.01	70				0.01	
	頂版	80	③	S _s -D2(++)	東西方向	0.03	80	0.03				
	東西壁	90	①	S _s -F3(++)	東西方向	0.02	100	0.02				

注記*1：評価位置は図3-3-75に示す。

*2：照査用ひずみ ϵ_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-26 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における支持機能に対する評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮ひずみ））

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	
しゃへい壁	地上部	13	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.05	14	②	主方向： S _s -D2(++) 従方向： S _s -D2	主方向： 東西 従方向： 南北	0.04	
	地中部	17	①	S _s -D2(-+)	東西方向	0.14	18				0.12	
バルブ室	頂版	22	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.08	22				0.07	
	南壁	32	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.13	32				0.06	
	東西壁	50	②	S _s -D2(++)	東西方向	0.11	50				0.11	
	隔壁	60	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.08	60				0.06	
	ハッチ部	頂版	110	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.05				110	0.02
		南北壁	130	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.09				120	0.04
		東西壁	140	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.09				150	0.03
連絡ダクト	底版	70	①	S _s -D2(++)	南北方向	0.03	70				0.02	
	頂版	80	③	S _s -D2(++)	東西方向	0.11	80	0.11				
	東西壁	90	①	S _s -F3(++)	東西方向	0.09	100	0.07				

注記*1：評価位置は図3-3-75に示す。

*2：照査用ひずみ ϵ_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-27 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における支持機能に対する評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（主鉄筋ひずみ））

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 $\epsilon_d^{*2}/\epsilon_R$	
しゃへい壁	地上部	13	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.04	13	②	主方向： S _s -D2(++) 従方向： S _s -D2	主方向： 東西 従方向： 南北	0.02	
	地中部	17	①	S _s -D2(-+)	東西方向	0.16	18				0.10	
バルブ室	頂版	22	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.06	22				0.05	
	南壁	32	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.10	32				0.02	
	東西壁	50	①	S _s -F2(-+)	東西方向	0.10	50				0.10	
	隔壁	60	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.06	60				0.01	
	ハッチ部	頂版	110	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.02				110	0.01
		南北壁	130	①	S _s -D2(++)	南北方向	0.02				120	0.01
		東西壁	140	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.03				140	0.02
連絡ダクト	底版	70	①	S _s -D2(++)	南北方向	0.01	70				0.01	
	頂版	80	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.11	80				0.04	
	東西壁	90	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.06	90	0.05				

注記*1：評価位置は図3-3-75に示す。

*2：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ \times 構造解析係数 γ_a

表3-3-28 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）における構造部材の健全性に対する評価結果
（せん断破壊に対する照査）

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}	
しゃへい壁	地上部	13	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.26	14	②	主方向： S _s -D2(++) 従方向： S _s -D2	主方向： 東西 従方向： 南北	0.11	
	地中部	18	②	S _s -D2(++)	東西方向	0.95	18				0.93	
バルブ室	頂版	22	①	S _s -F1(++)	南北方向	0.34	22				0.27	
	南壁	32	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.71	32				0.17	
	東西壁	50	②	S _s -D2(++)	東西方向	0.85	50				0.84	
	隔壁	60	①	S _s -D2(-+)	東西方向	0.18	60				0.15	
	ハッチ部	頂版	110	①	S _s -F1(++)	東西方向	0.17				110	0.16
		南北壁	120	①	S _s -D1(-+)	南北方向	0.31				120	0.08
東西壁		140	①	S _s -F2(++)	東西方向	0.37	140				0.10	
連絡ダクト	底版	70	①	S _s -D2(++)	南北方向	0.33	70				0.23	
	頂版	80	④	S _s -D2(++)	東西方向	0.30	80	0.25				
	東西壁	90	④	S _s -D2(++)	東西方向	0.56	100	0.53				

注記*1：評価位置は図 3-3-75 に示す。

*2：照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

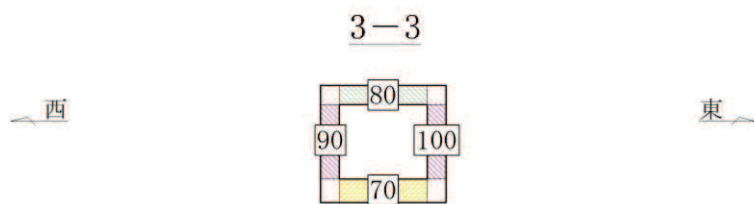
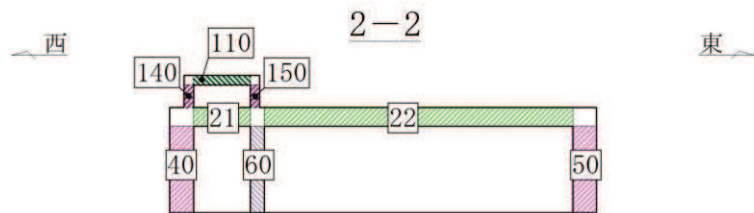
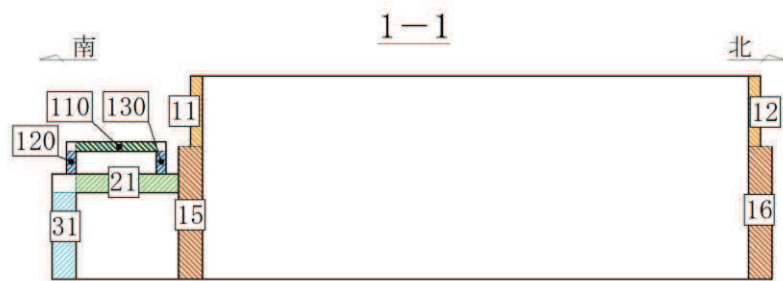
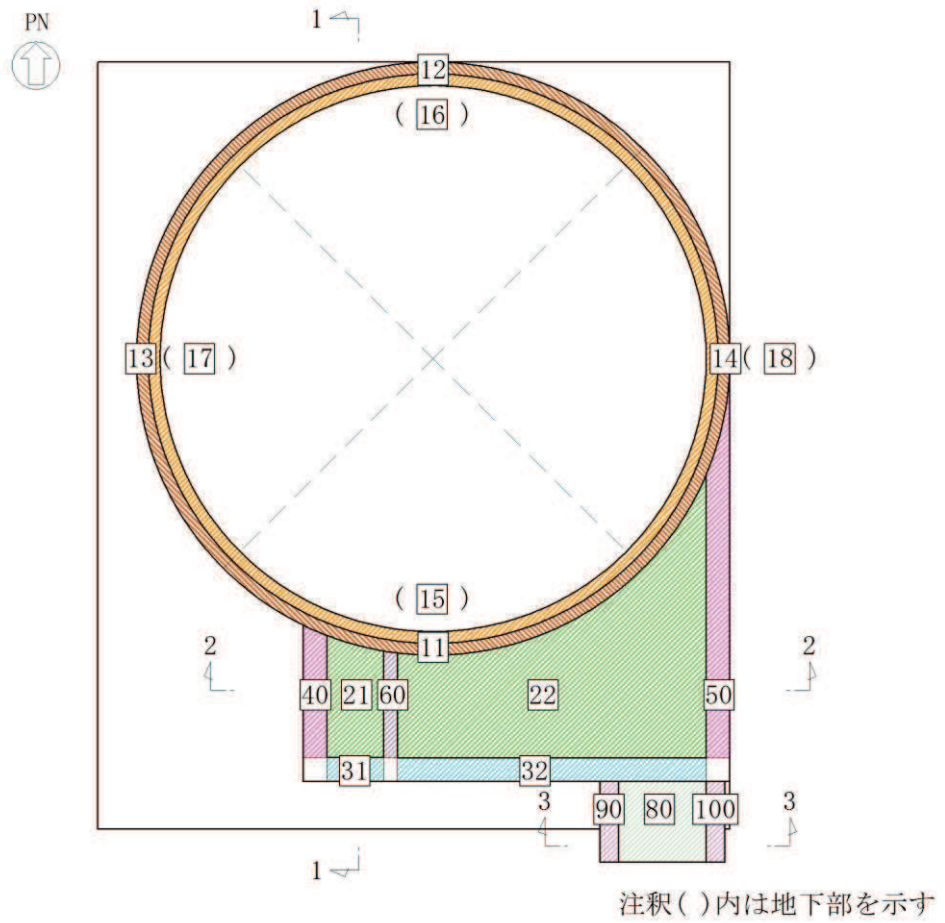


図 3-3-75 復水貯蔵タンク基礎（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）評価位置図

表3-3-29 復水貯蔵タンク基礎（壁部材）の評価結果
（面内せん断ひずみに対する照査）

評価部材		水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ					
		評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 γ_d^{*2}/γ_R	評価位置*1	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 γ_d^{*2}/γ_R	
しゃへい壁	地上部	1	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	0.03	1	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 東西 従方向： 南北	0.02	
バルブ室	南壁	30	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	0.05	30				0.04	
	東西壁	40	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.06	50				0.02	
	隔壁	60	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	0.10	60				0.01	
	ハッチ部	南北壁	120	①	S s - F 1 (++)	東西方向	0.03				120	0.02
		東西壁	140	①	S s - F 3 (++)	南北方向	0.03				150	0.01
連絡ダクト	東西壁	90	①	S s - D 2 (-+)	南北方向	0.07	90				0.02	

注記*1：評価位置は図3-3-76に示す。

*2：照査用面内せん断ひずみ γ_d =発生する面内せん断ひずみ×構造解析係数 γ_a

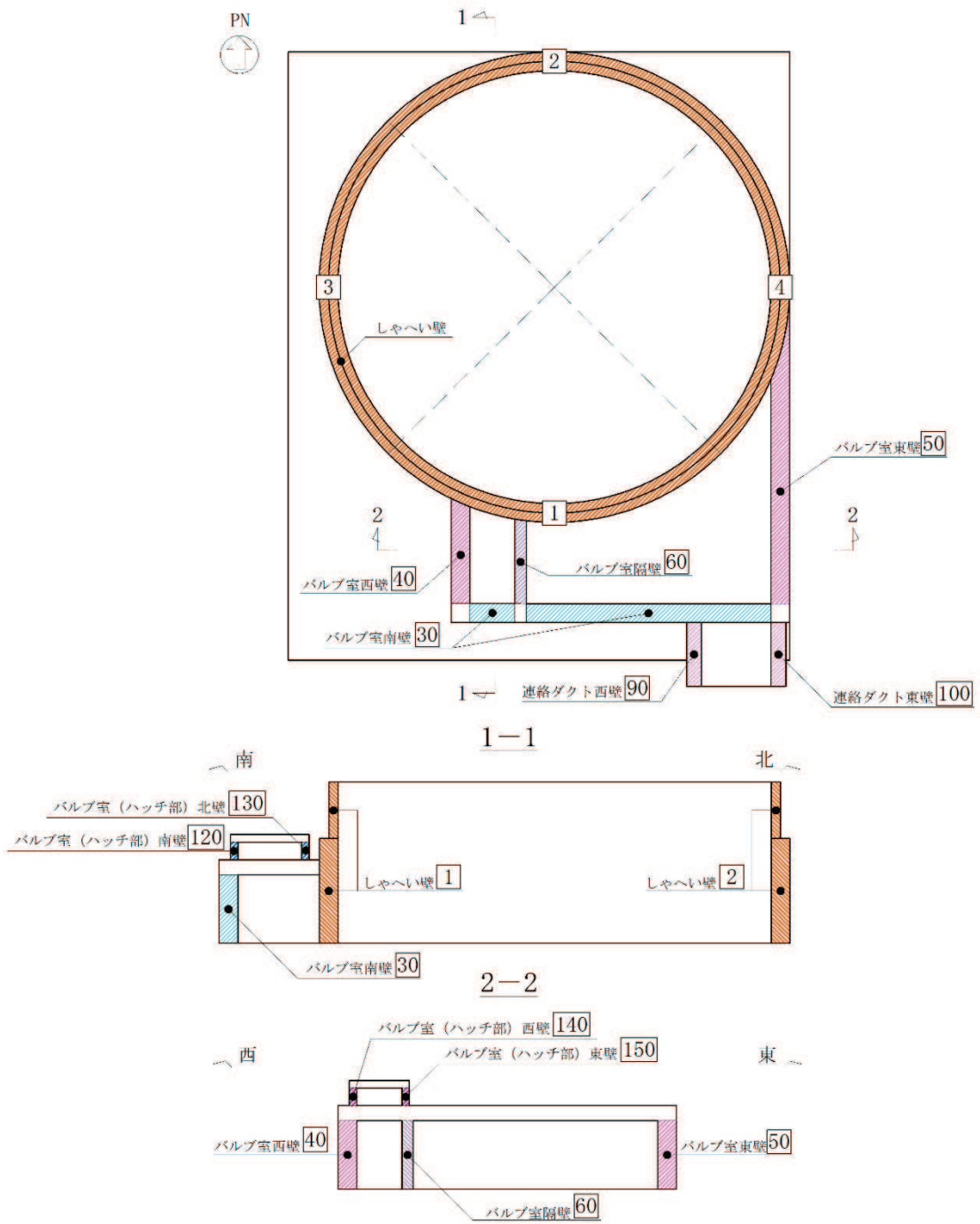


図 3-3-76 復水貯蔵タンク基礎 (各壁部材, 面内せん断ひずみに対する照査) 評価位置図

表3-3-30 復水貯蔵タンク基礎（基礎版）の評価結果
 （曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート））

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ'_c / σ'_{ca}	評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
212	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	0.12	211	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 南北 従方向： 東西	0.13

注記*：評価位置は図3-3-77に示す。

表3-3-31 復水貯蔵タンク基礎（基礎版）の評価結果
 （曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋））

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ_s / σ_{sa}	評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 σ_s / σ_{sa}
213	②	S s - D 2 (++)	南北方向	0.42	213	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 南北 従方向： 東西	0.48

注記*：評価位置は図3-3-77に示す。

表3-3-32 復水貯蔵タンク基礎（基礎版）の評価結果
 （せん断破壊に対する照査）

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ					水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ				
評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 τ_d / τ_{a1}	評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	照査値 τ_d / τ_{a1}
213	②	S s - D 2 (++)	南北方向	0.64	213	②	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	主方向： 南北 従方向： 東西	0.81

注記*：評価位置は図3-3-77に示す。

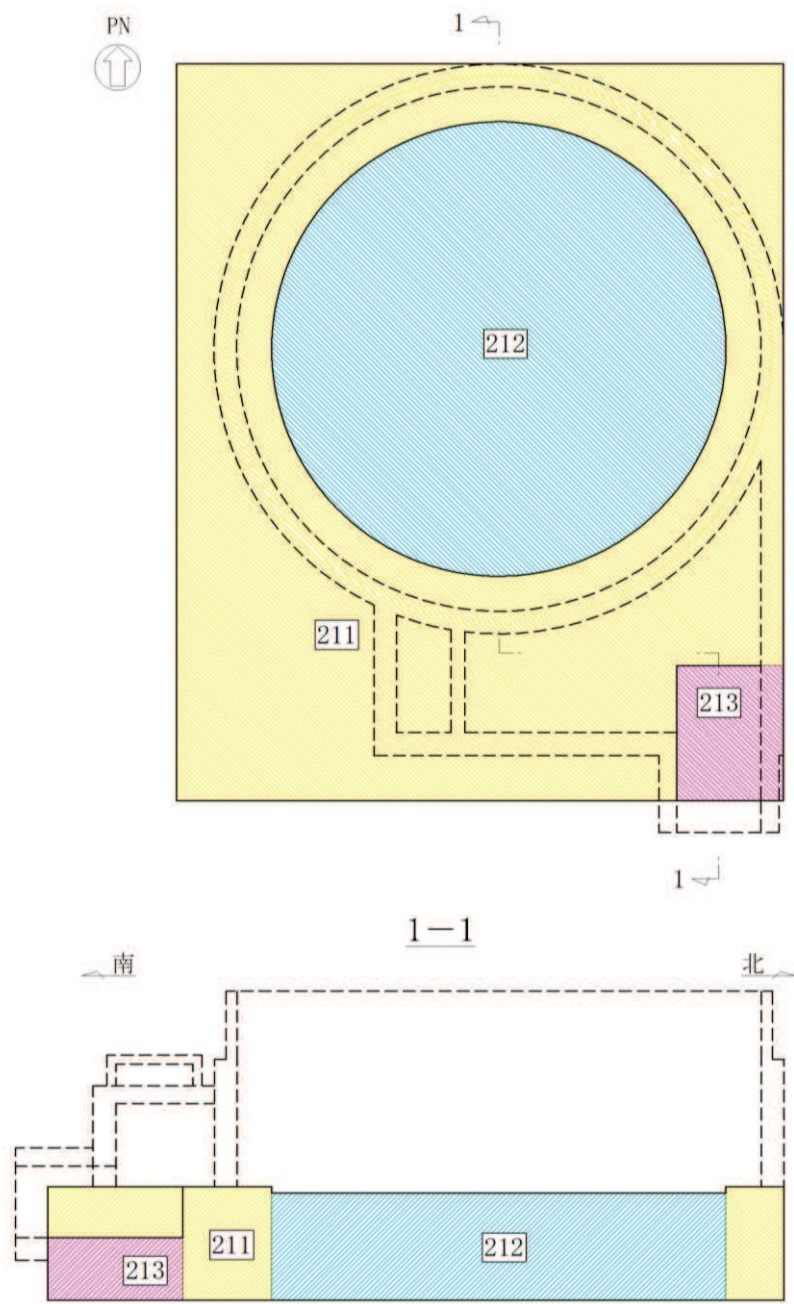


図 3-3-77 復水貯蔵タンク基礎（基礎版） 評価位置図

表3-3-33 ガスタービン発電設備軽油タンク室の評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリート))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ'_c / σ'_{ca}	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
底版	13	③	S _s -F ₂ (++)	0.30	13	主方向：① 従方向：①	主方向： S _s -F ₂ (++) 従方向： S _s -F ₂	0.30
頂版	21	③	S _s -F ₂ (++)	0.22	21			0.21
南北壁	31	③	S _s -F ₂ (++)	0.15	41			0.15
東西壁	50	①	S _s -D ₂ (++)	0.26	60			0.23
隔壁	80	③	S _s -F ₂ (++)	0.34	80			0.34

注記*：評価位置は図3-3-78に示す。

表3-3-34 ガスタービン発電設備軽油タンク室の評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (鉄筋))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ_s / σ_{sa}	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 σ_s / σ_{sa}
底版	12	③	S _s -F ₂ (++)	0.35	11	主方向：① 従方向：①	主方向： S _s -F ₂ (++) 従方向： S _s -F ₂	0.36
頂版	21	③	S _s -F ₂ (++)	0.39	21			0.44
南北壁	42	③	S _s -F ₂ (++)	0.40	32			0.40
東西壁	60	①	S _s -F ₂ (++)	0.55	60			0.57
隔壁	80	③	S _s -F ₂ (++)	0.46	80			0.59

注記*：評価位置は図3-3-78に示す。

表3-3-35 ガスタービン発電設備軽油タンク室の評価結果
(せん断破壊に対する照査)

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 V/V_a	評価位置*	解析ケース	地震動	照査値 V/V_a
底版	11	①	$S_s - D 2$ (++)	0.43	13	主方向：① 従方向：①	主方向： $S_s - F 2$ (++) 従方向： $S_s - F 2$	0.35
頂版	22	③	$S_s - F 2$ (++)	0.26	22			0.26
南北壁	33	③	$S_s - F 2$ (++)	0.16	31			0.20
東西壁	60	①	$S_s - F 2$ (++)	0.49	60			0.50
隔壁	70	③	$S_s - F 2$ (++)	0.35	70			主方向：① 従方向：⑥

注記*：評価位置は図3-3-78に示す。

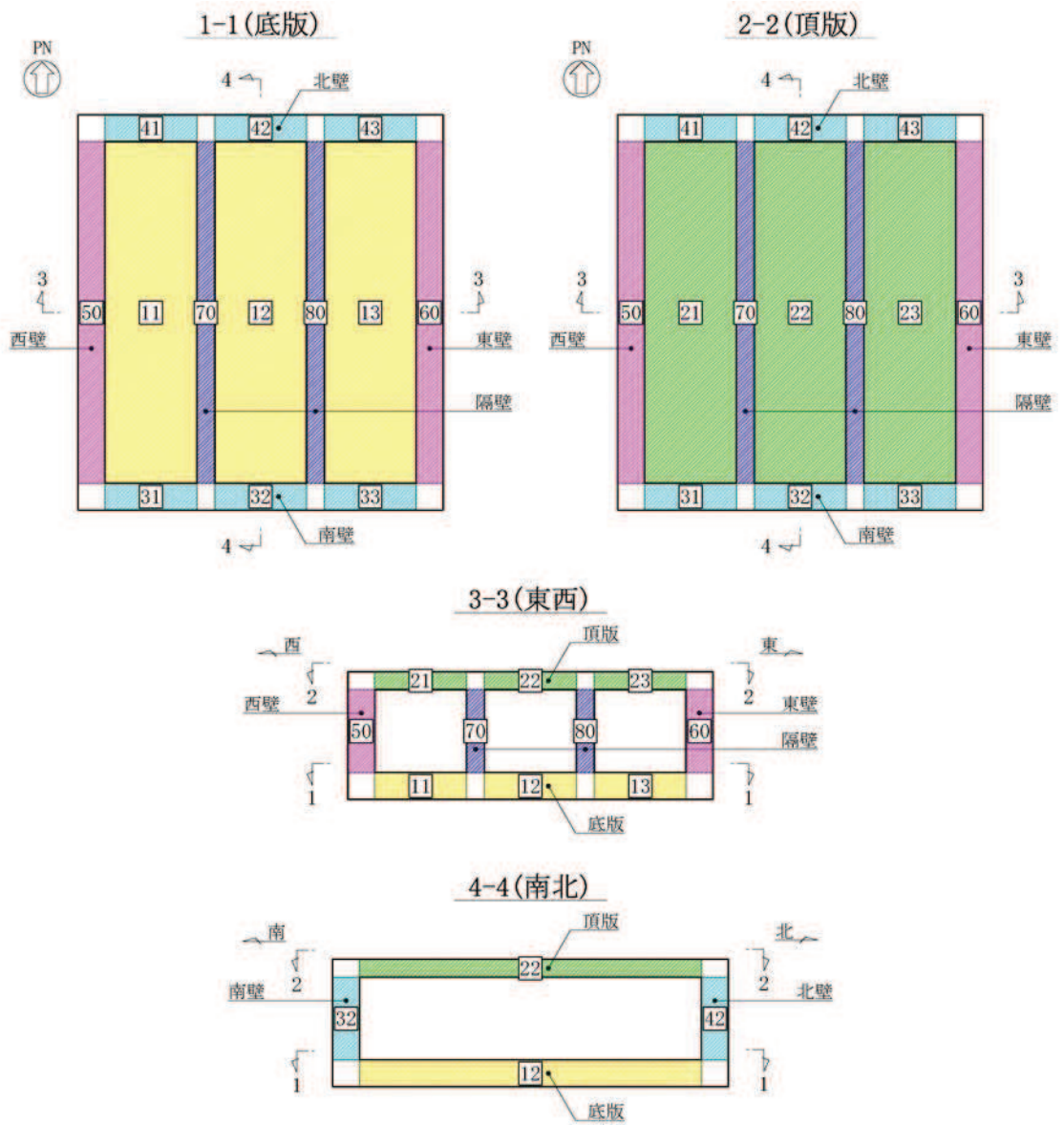


図 3-3-78 ガスタービン発電設備軽油タンク室 評価位置図

表3-3-36 第3号機海水ポンプ室における構造部材の健全性に対する評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮縁ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$
底版	2	③	S s - N 1 (-+)	0.07	2	主方向 : ⑥ 従方向 : ⑥	主方向 : S s - D 2 (++) 従方向 : S s - D 2	0.07
中床版	12	⑥	S s - D 1 (-+)	0.11	13			0.12
側壁	43	①	S s - N 1 (-+)	0.09	43			0.09
隔壁	114	⑥	S s - N 1 (++)	0.08	114			0.06
導流壁	62	②	S s - N 1 (++)	0.13	64			0.12
妻壁	77	②	S s - N 1 (++)	0.17	78			0.16

注記*1 : 評価位置は図3-3-79に示す。

*2 : 照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-37 第3号機海水ポンプ室における支持機能に対する評価結果

(曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリートの圧縮ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$
中床版	20	①	S s - N 1 (-+)	0.26	20	主方向：⑥ 従方向：①	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	0.19
隔壁	113	⑥	S s - N 1 (++)	0.33	114	主方向：⑥ 従方向：⑥	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	0.27

注記*1：評価位置は図3-3-79に示す。

*2：照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-38 第3号機海水ポンプ室における支持機能に対する評価結果
 (曲げ・軸力系の破壊に対する照査(主筋ひずみ))

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 $\varepsilon_d^{*2} / \varepsilon_R$
中床版	20	①	S _s -D2(++)	0.37	19	主方向:④ 従方向:⑨	主方向: S _s -N1(++) 従方向: S _s -N1	0.25
隔壁	114	⑥	S _s -N1(++)	0.32	113	主方向:⑥ 従方向:⑥	主方向: S _s -D2(++) 従方向: S _s -D2	0.26

注記*1: 評価位置は図3-3-79に示す。

*2: 照査用ひずみ ε_d = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a

表3-3-39 第3号機海水ポンプ室における構造部材の健全性に対する評価結果
(せん断破壊に対する照査)

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 V_d^{*2}/V_{yd}
底版	1	④	S s - N 1 (++)	0.78	1	主方向：④ 従方向：④	主方向： S s - N 1 (++) 従方向： S s - N 1	0.77
中床版	12	④	S s - N 1 (++)	0.79	12			0.79
側壁	53	④	S s - N 1 (++)	0.83	53			0.80
隔壁	104	②	S s - N 1 (++)	0.67	104			0.64
導流壁	62	④	S s - N 1 (++)	0.85	63	主方向：⑥ 従方向：⑥	主方向： S s - D 2 (++) 従方向： S s - D 2	0.87
妻壁	71	②	S s - N 1 (++)	0.69	81			0.85

注記*1：評価位置は図3-3-79に示す。

*2：照査用せん断力 V_d =発生せん断力×構造解析係数 γ_a

【側壁・隔壁】

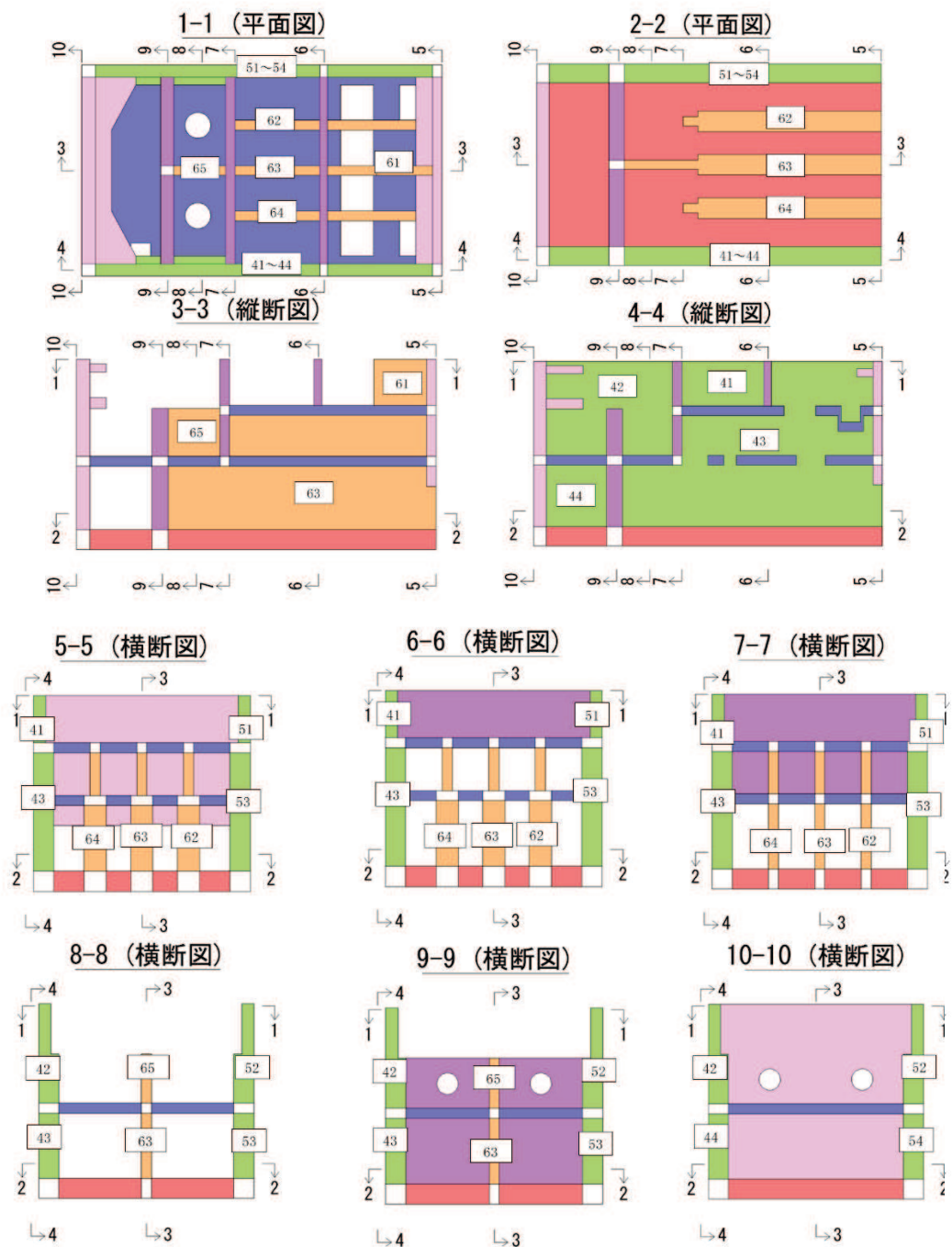


図 3-3-79(1) 第 3 号機海水ポンプ室 評価位置図
(曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

【底版・中床版】

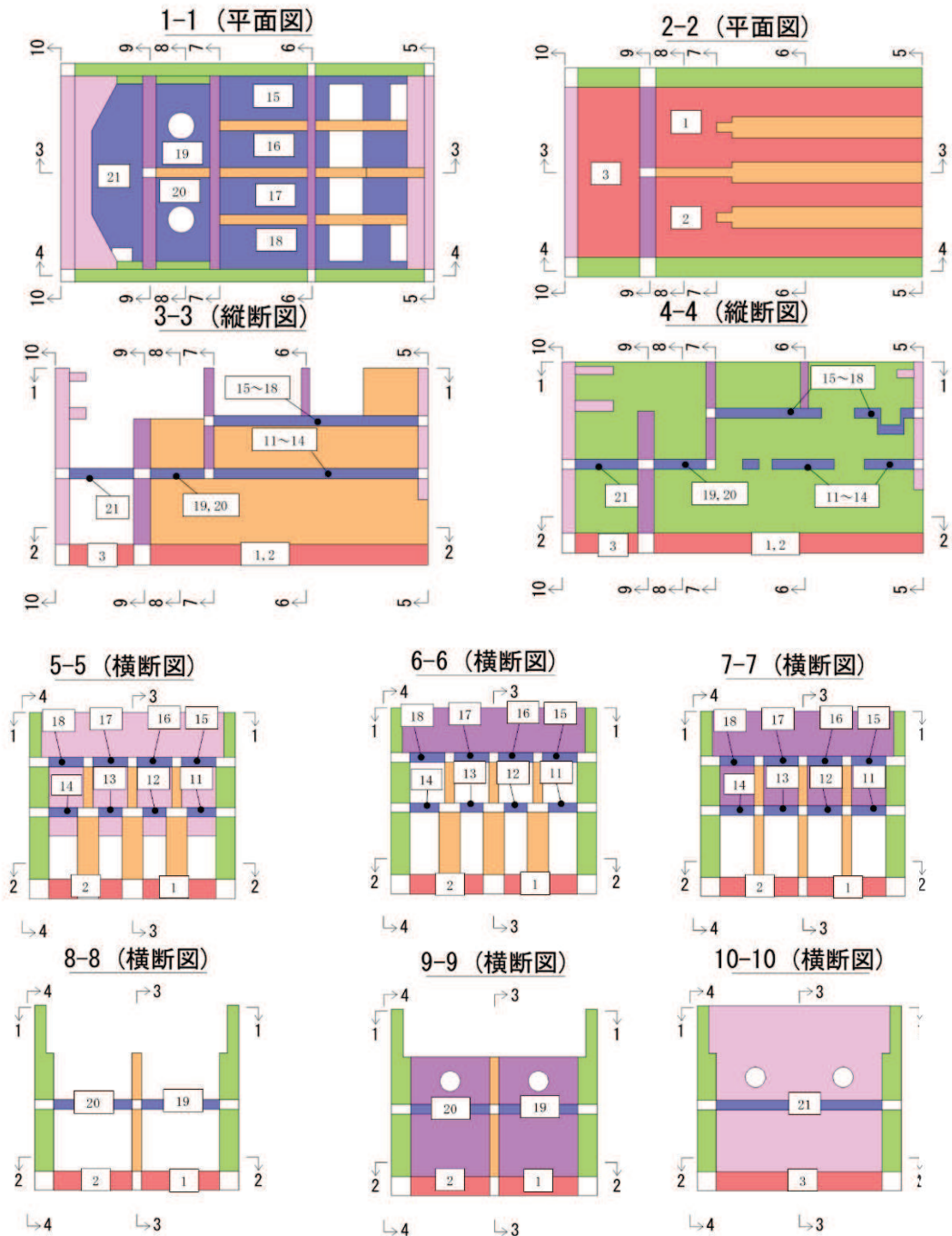


図 3-3-79(2) 第 3 号機海水ポンプ室 評価位置図
(曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

【妻壁・隔壁】

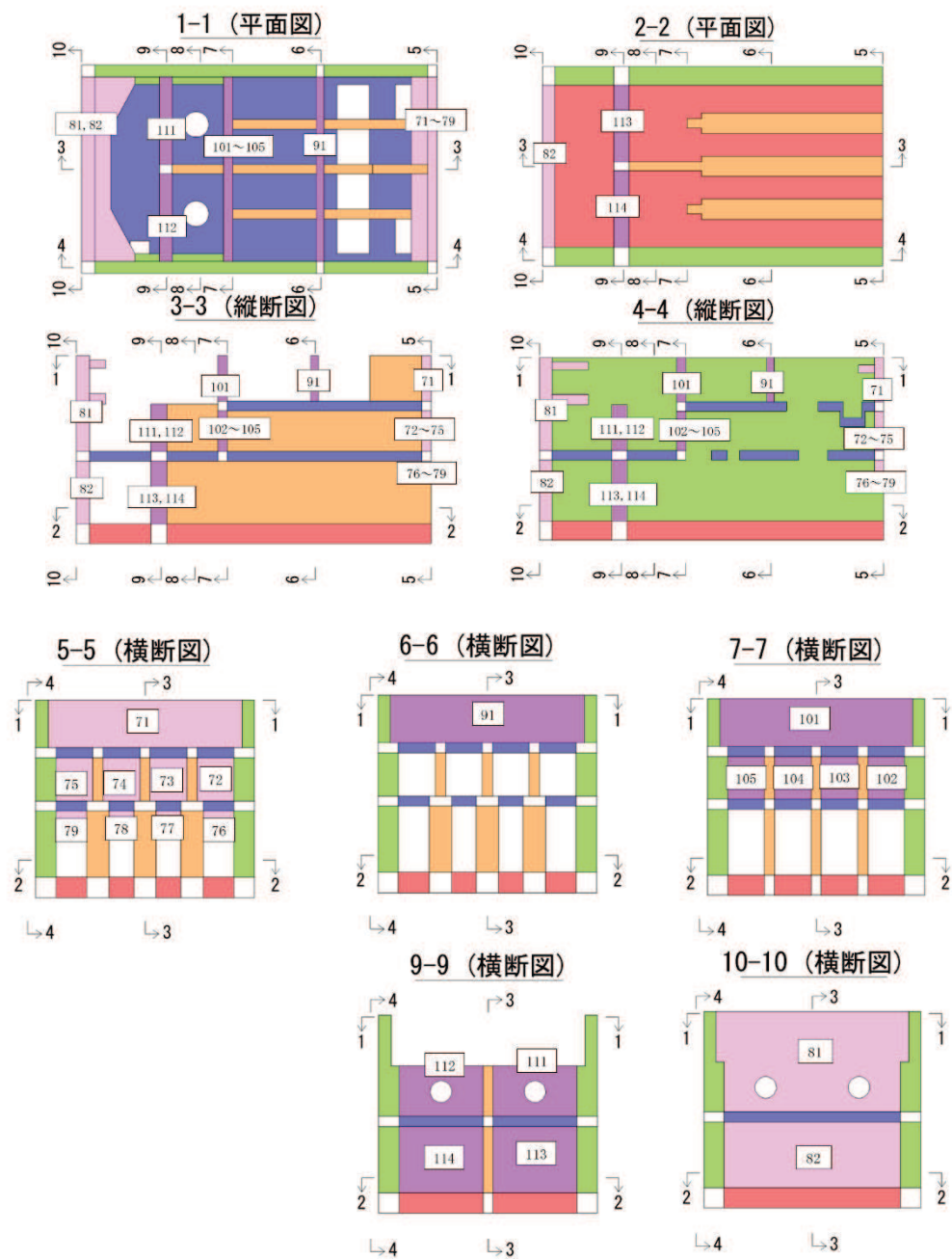


図 3-3-79(3) 第 3 号機海水ポンプ室 評価位置図
(曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

表3-3-40 第3号機海水ポンプ室（壁部材）の評価結果
 （面内せん断ひずみに対する照査）

評価部材	水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ				水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ			
	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R	評価位置*1	解析ケース	地震動	照査値 γ_d^{*2}/γ_R
隔壁	110	⑥	S _s -N1 (++)	0.28	110	主方向：⑥ 従方向：⑥	主方向： S _s -D2 (++)	0.18
妻壁	70	②	S _s -N1 (++)	0.19	70		従方向： S _s -D2	0.16

注記*1：評価位置は図3-3-80に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

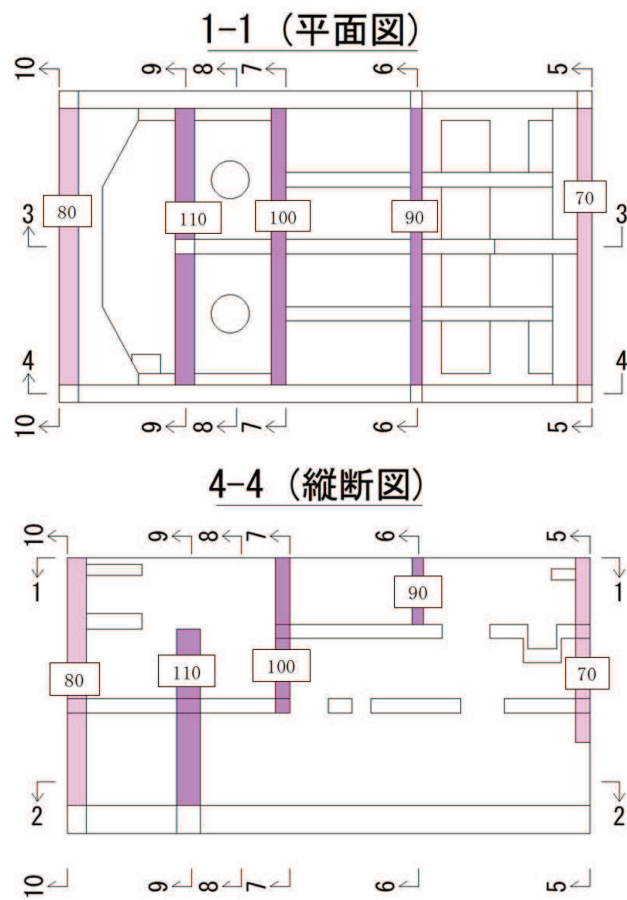


図 3-3-80 第 3 号機海水ポンプ室 評価位置図
(面内せん断ひずみに対する照査)

3.3.7 機器・配管系への影響

屋外重要土木構造物において、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線状構造物（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）のうち頂版（断面①）及び底版（断面⑥）、取水路（標準部）のうち曲線部）及び箱型構造物について、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。

(1) 線状構造物

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、耐震評価を行う水平2方向入力に対して鉛直方向に面外変形することから、水平2方向及び鉛直方向地震力の検討を行った。一方、機器・配管系は面外変形による応答が主となるが、鉛直方向の床応答に対する評価を行っていることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がなく、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答で十分であると考えられる。

取水路（標準部）のうち曲線部は、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

(2) 箱形構造物

箱形構造物の壁部材（側壁、妻壁、隔壁）は、面外方向の荷重を負担しつつ、面内方向の荷重が作用する部位となるため、構造物における応力の組合せに着目して水平2方向及び鉛直方向地震力の検討を行った。一方、機器・配管系は面外変形による応答が主となることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がなく、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答で十分であると考えられる。

箱形構造物の版部材（頂版、底版、中床版）は、水平2方向及び鉛直方向地震力により応力集中する部位となるため、構造物における応力の集中に着目して水平2方向及び鉛直方向地震力の検討を行った。一方、機器・配管系は面外変形による応答が主となることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がなく、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答で十分であると考えられる。

また、箱形構造物は、底版や側壁等が厚く、全体の剛性が大きいことから、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

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よる機器・配管系への影響は無いと考えられる。

3.3.8 まとめ

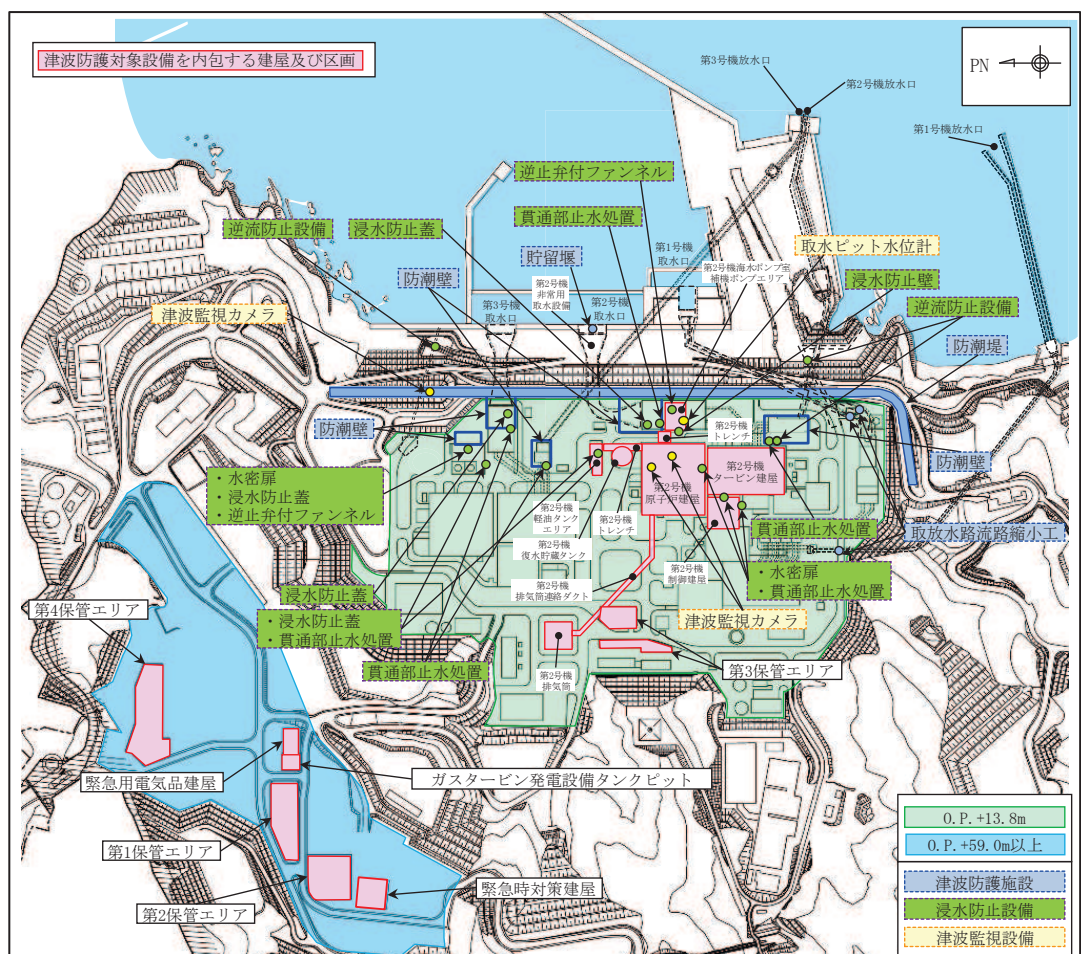
屋外重要土木構造物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。

その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し、施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

3.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備

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

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対象設備は、津波防護施設である防潮堤、防潮壁、取放水路流路縮小工及び貯留堰、浸水防止設備である水密扉、逆流防止設備、浸水防止蓋、浸水防止壁、貫通部止水処置及び逆止弁付ファンネル、津波監視設備である津波監視カメラ及び取水ピット水位計とする。各構造物の位置図を図3-4-1に示す。また、強度評価の対象施設を表3-4-1に示す。



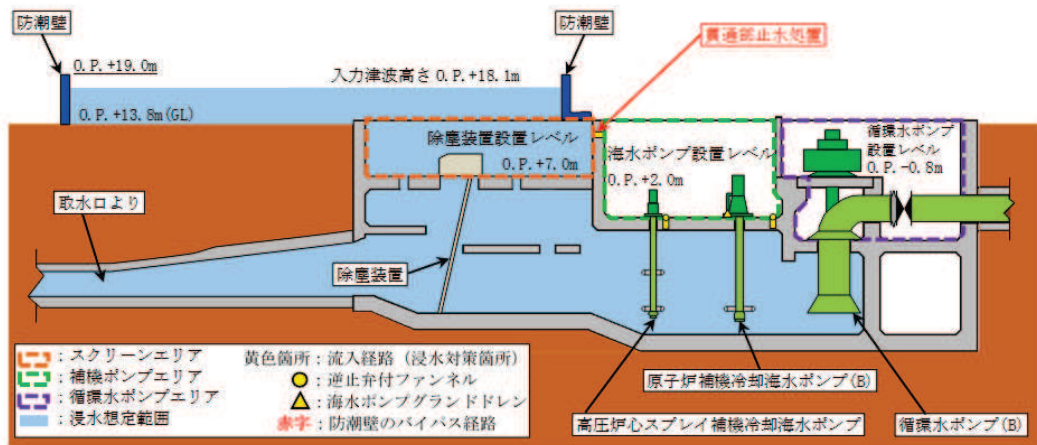
注：東北地方太平洋沖地震による約1mの沈下を考慮した標高を記載

図3-4-1 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (1/18)



(第2号機海水ポンプ室平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (2/18)

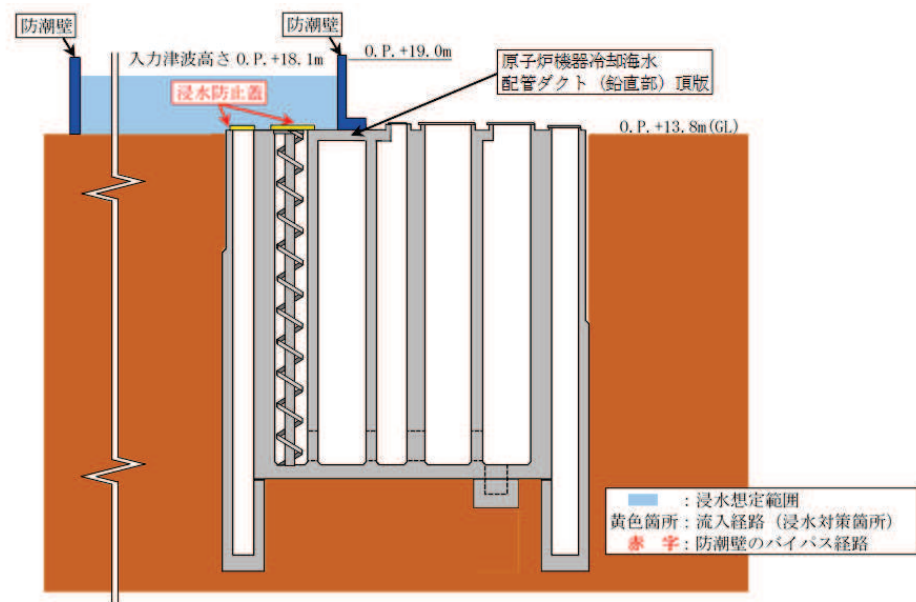


注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第2号機海水ポンプ室 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (3/18)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

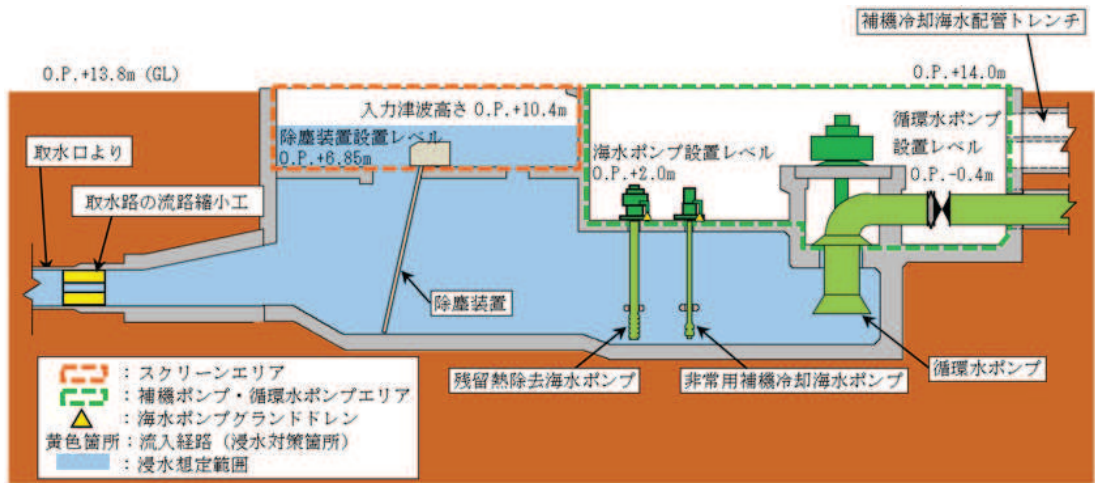
(第 2 号機海水ポンプ室 B-B 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (4/18)



(第1号機海水ポンプ室平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (5/18)

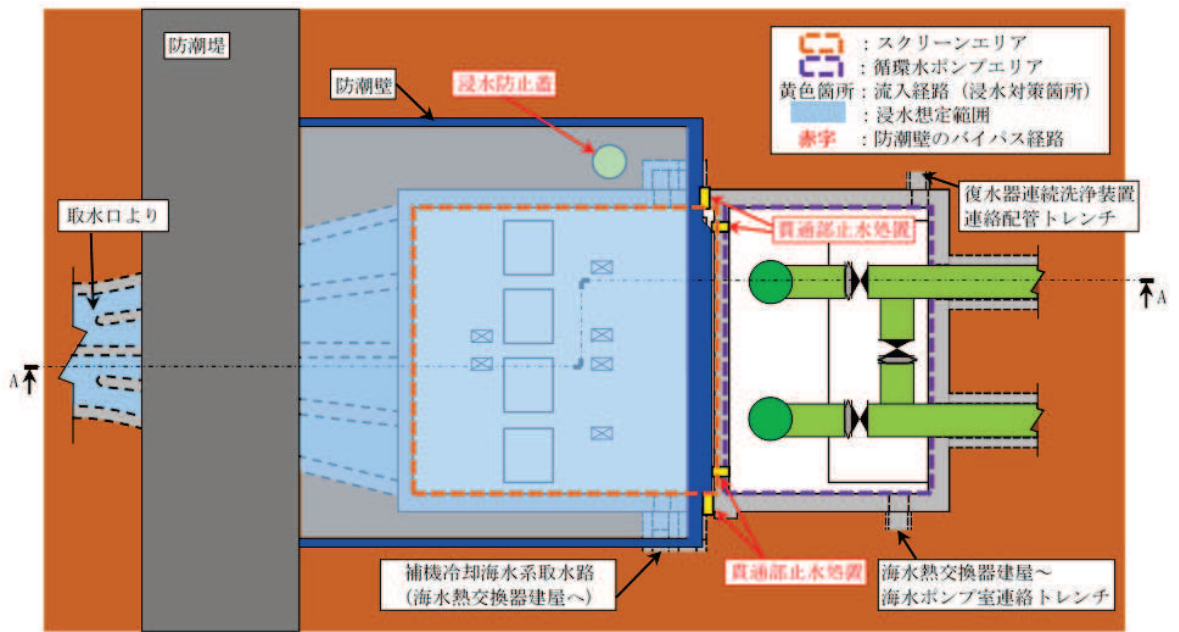


注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第1号機海水ポンプ室 A-A 断面図)

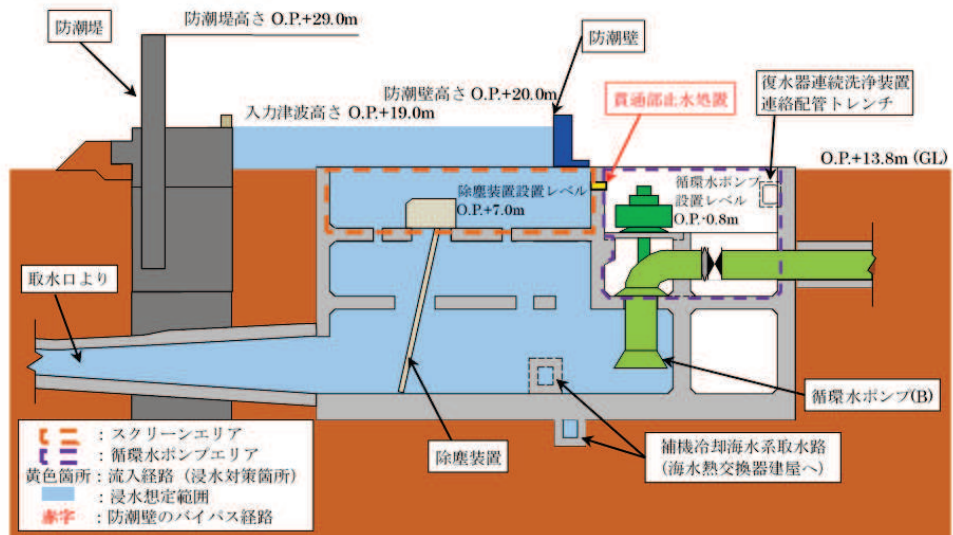
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (6/18)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(第3号機海水ポンプ室平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (7/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

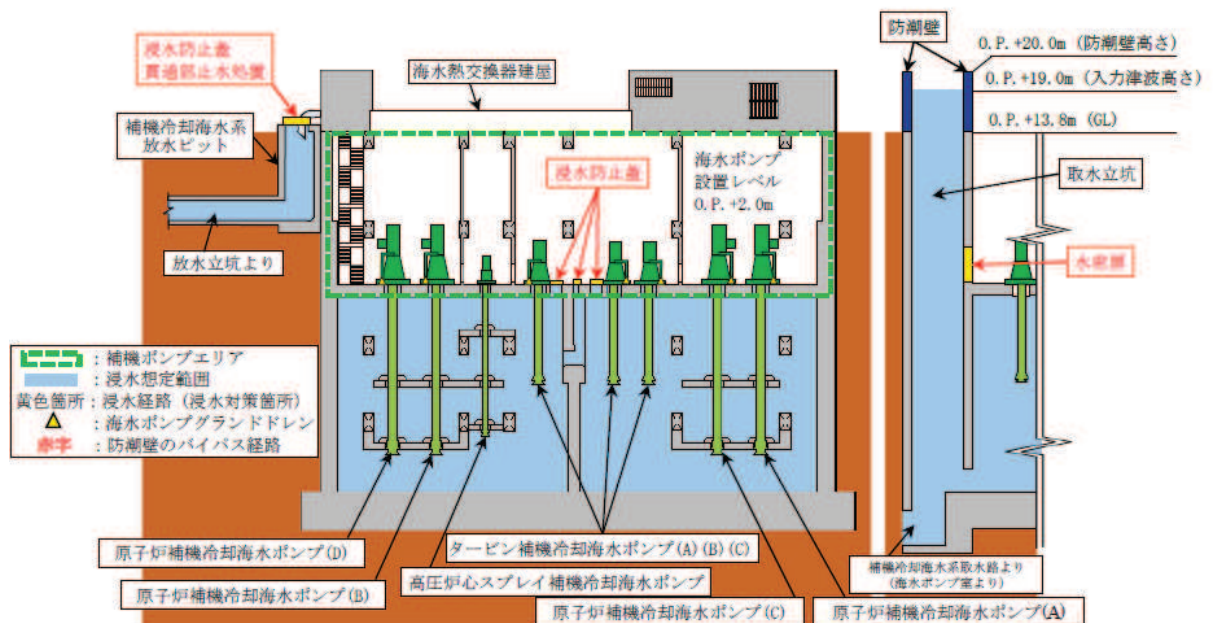
(第3号機海水ポンプ室 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (8/18)



(第3号機海水熱交換器建屋補機ポンプエリア平面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (9/18)

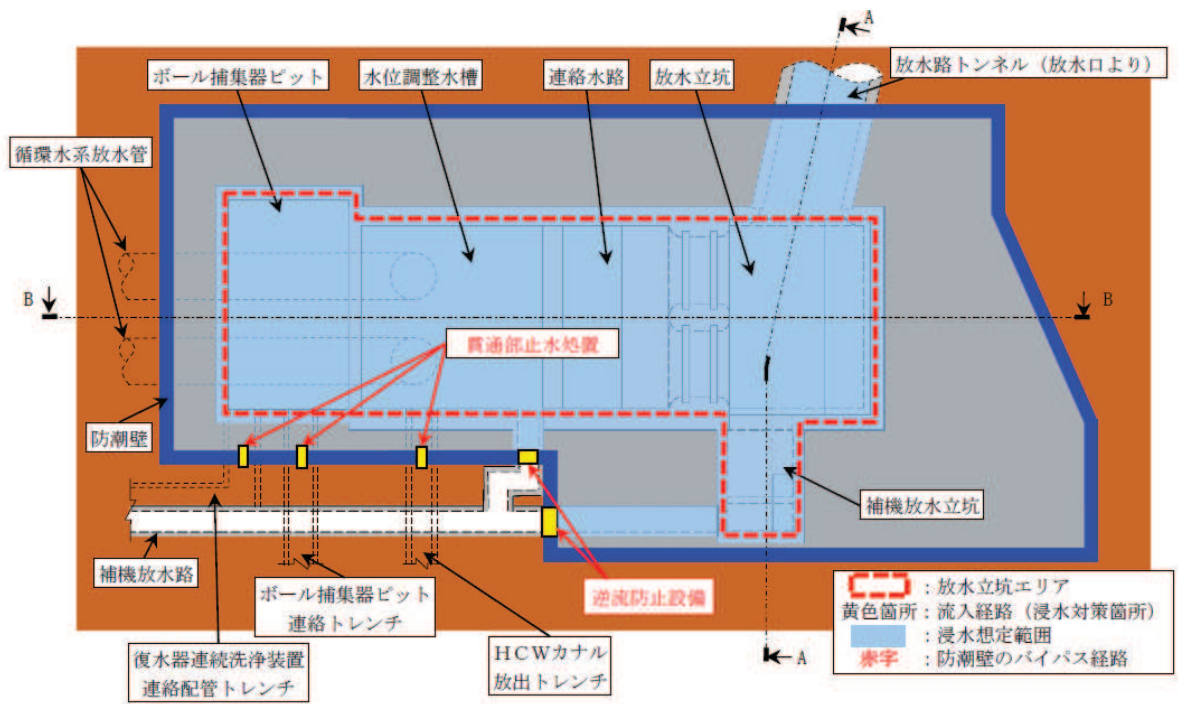


注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第3号機海水熱交換器建屋補機ポンプエリア 左：A-A 断面図 右：B-B 断面図)

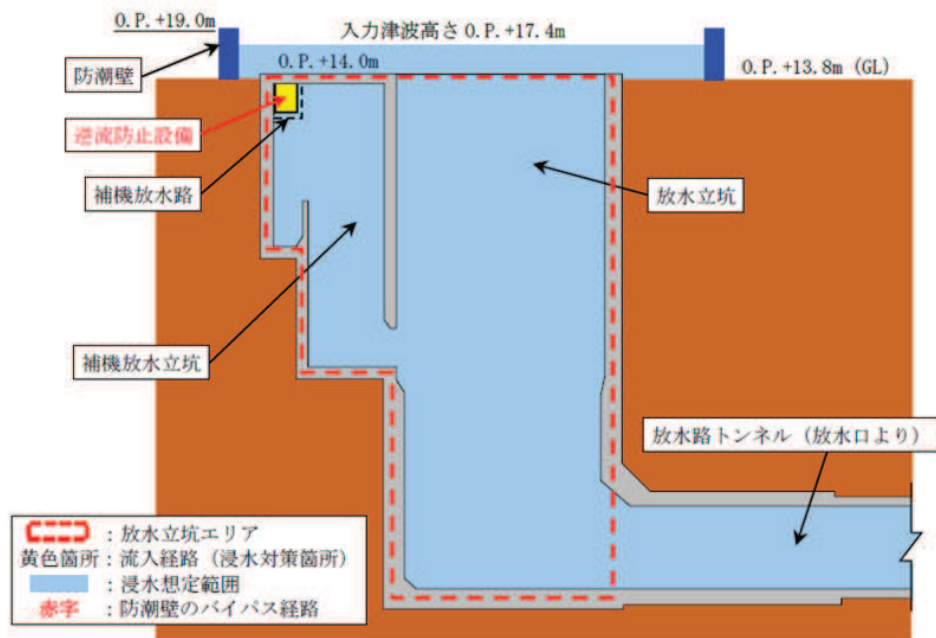
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (10/18)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(第 2 号機放水立坑平面図)

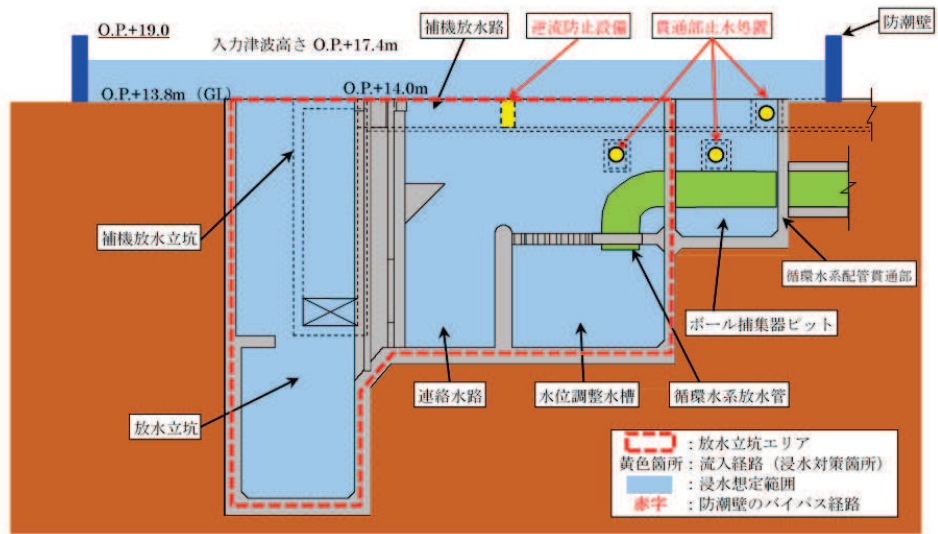
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (11/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 2 号機放水立坑 A-A 断面図)

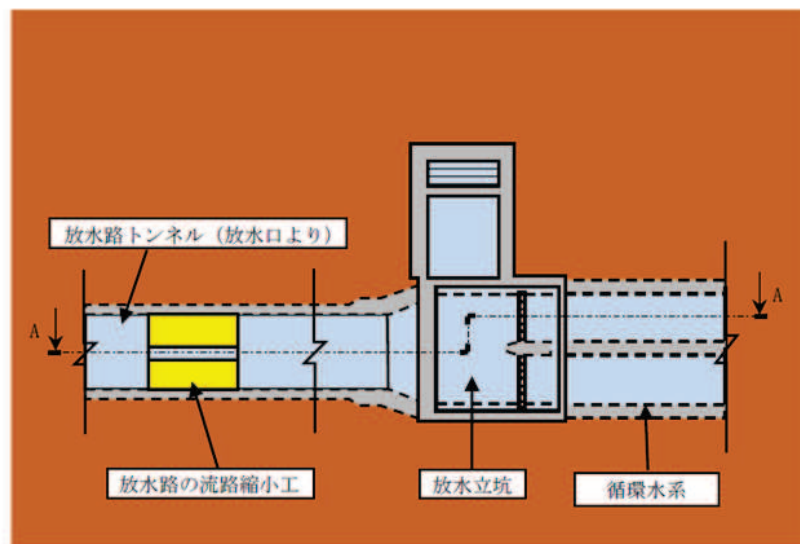
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (12/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

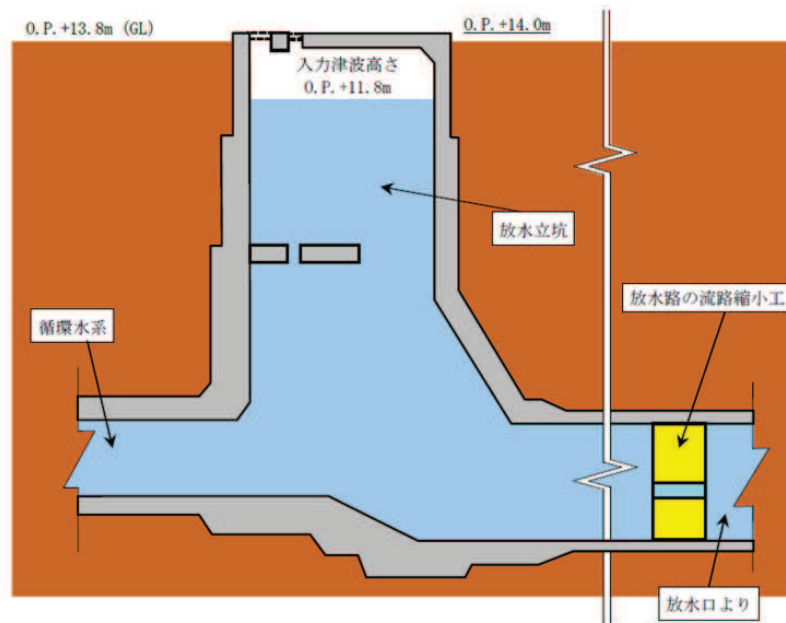
(第 2 号機放水立坑 B-B 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (13/18)



(第 1 号機放水立坑平面図)

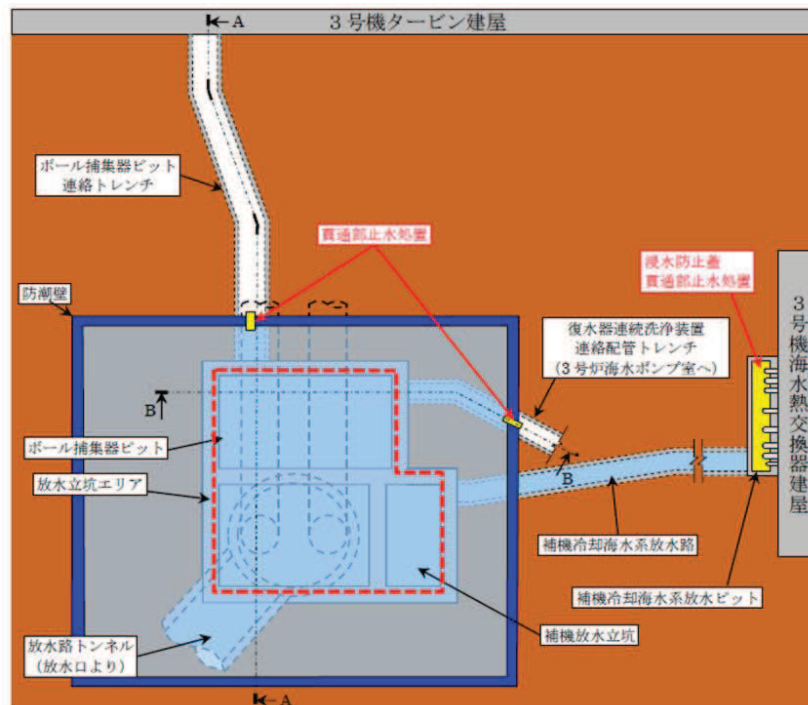
図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (14/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

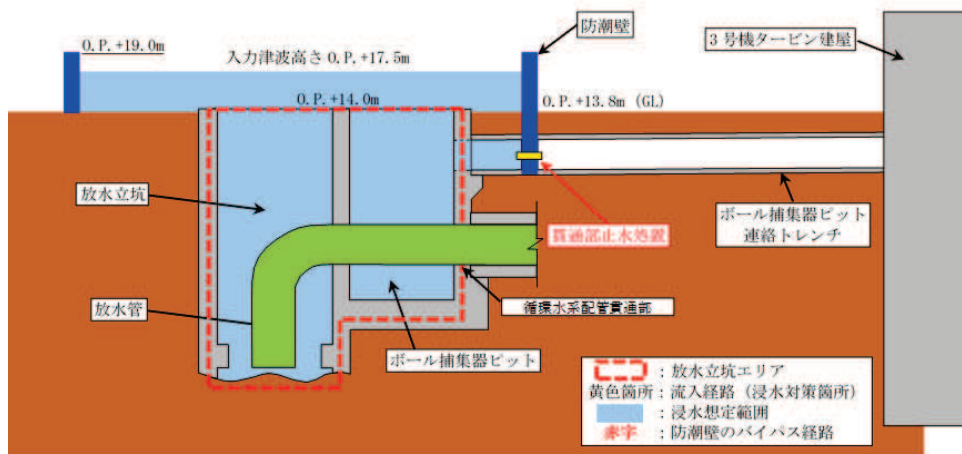
(第 1 号機放水立坑 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (15/18)



(第 3 号機放水立坑平面図)

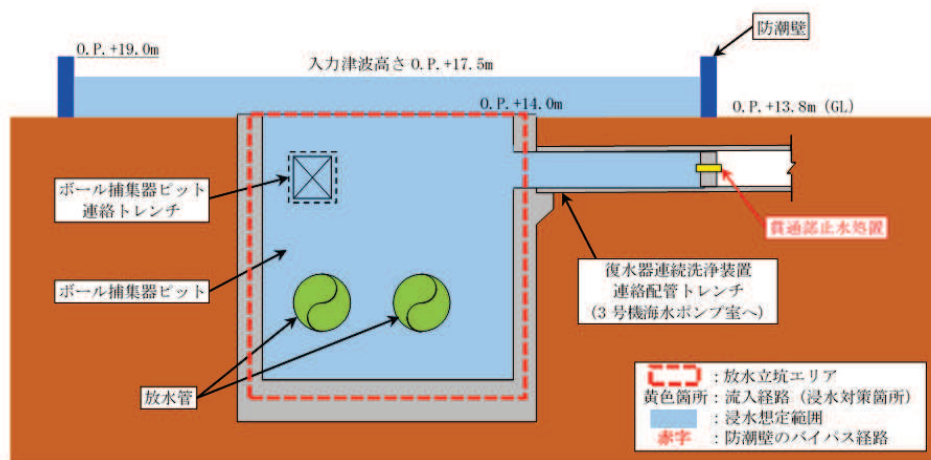
図 3-4-1 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (16/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 3 号機放水立坑 A-A 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (17/18)



注：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈下を考慮した標高を記載

(第 3 号機放水立坑 B-B 断面図)

図 3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (18/18)

表 3-4-1 強度評価の対象施設 (1/3)

設備名称		施設分類	
防潮堤	防潮堤 (鋼管式鉛直壁)	津波防護施設	
	防潮堤 (盛土堤防)		
防潮壁	防潮壁 (第 2 号機海水ポンプ室)		
	防潮壁 (第 2 号機放水立坑)		
	防潮壁 (第 3 号機海水ポンプ室)		
	防潮壁 (第 3 号機放水立坑)		
	防潮壁 (第 3 号機海水熱交換器建屋)		
取放水路流路縮小工	取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2)		
	取放水路流路縮小工 (第 1 号機放水路)		
貯留堰 (No. 1), (No. 2), (No. 3), (No. 4), (No. 5), (No. 6)			
逆流防止設備	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側) (No. 1), (No. 2), (No. 3)		浸水防止設備
	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)		
	補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2)		
水密扉	水密扉 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア) (No. 1)		
	水密扉 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア) (No. 2)		
	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)		
	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)		
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)		
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)		
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)		
	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)		
	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉		
	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉		
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉		
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)		
制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)			

表 3-4-1 強度評価の対象施設 (2/3)

設備名称		施設分類
浸水防止蓋	浸水防止蓋 (原子炉機器冷却海水配管ダクト)	浸水防止 設備
	浸水防止蓋 (第 3 号機補機冷却海水系放水ピット)	
	浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	
	浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)	
	浸水防止蓋 (揚水井戸 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内))	
	浸水防止蓋 (揚水井戸 (第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内))	
	地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1), (No. 2)	
	地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	
浸水防止壁	第 2 号機海水ポンプ室浸水防止壁	
逆止弁付ファンネル	第 2 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (A) (C) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	
	第 2 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (B) (D) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	
	第 2 号機高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 2 号機タービン補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	
	第 3 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (A) (C) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 3 号機原子炉補機冷却海水ポンプ (B) (D) 室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 3 号機高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2)	
	第 3 号機タービン補機冷却海水ポンプ室逆止弁付ファンネル (No. 1), (No. 2), (No. 3)	

表3-4-1 強度評価の対象施設 (3/3)

設備名称		施設分類
貫通部止水処置	貫通部止水処置(第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置(第2号機放水立坑防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置(第3号機海水ポンプ室防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置(第3号機放水立坑防潮壁横断部)	
	貫通部止水処置(第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部)	
	貫通部止水処置(第2号機原子炉建屋)	
	貫通部止水処置(第2号機制御建屋)	
	貫通部止水処置(第2号機軽油タンクエリア)	
津波監視カメラ	津波監視 設備	
取水ピット水位計		

なお、津波防護施設のうち防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）については、添付書類「VI-2-10-2-3-4 防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書」において水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認していることから、本章での評価は省略する。

また、浸水防止設備及び津波監視設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価については、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「4.1 建物・構築物」及び「4.2 機器・配管系」に基づき、「3.1 建物・構築物」及び「3.2 機器・配管系」にて評価結果を示しているため、本章では評価は省略する。浸水防止設備の間接支持構造物のうち、「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示している施設についても、本章では評価は省略する。

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

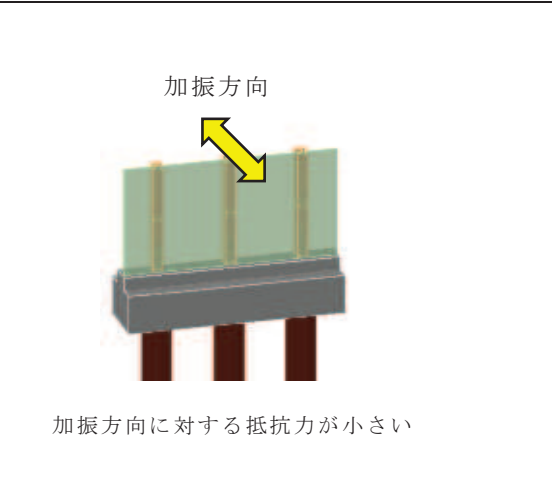
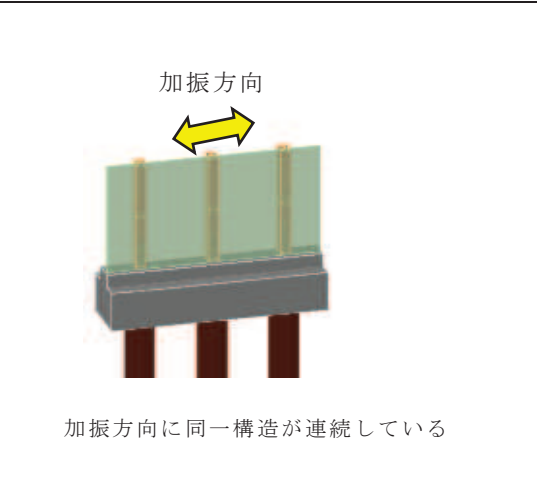
津波防護施設における従来設計手法の考え方について、防潮壁を例に表 3-4-2 に示す。津波防護施設は、地中構造物と地上構造物に分けられる。地上構造物は、躯体の慣性力や基礎部分に係る動土圧等の外力が主たる荷重となる。地中構造物については、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。地中構造物、地上構造物のうち屋外重要土木構造物同様、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行方向に連続する構造的特徴を有する線状構造物は、3次元的な応答の影響が小さいため、2次元断面での耐震評価を行っている。

線状構造物は、ほぼ同一の断面が長手方向に連続する構造的特徴を有していることから、構造上の特徴として明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来評価手法では弱軸方向を評価対象として、耐震設計上求められる水平1方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

表 3-4-2 に示すとおり、線状構造物に関する従来設計手法では、津波防護施設の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

表 3-4-2 従来設計手法における評価対象断面の考え方

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計の評価対象断面の考え方	 <p>加振方向に対する抵抗力が小さい</p>	 <p>加振方向に同一構造が連続している</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ・横断方向は，加振方向に対する抵抗力が小さく，弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・縦断方向は，加振方向に同一構造が連続しており，強軸方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> ・強軸方向の地震時挙動は，弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。 ・弱軸方向を評価対象断面とする。 	

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

評価対象構造物において，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構造物の評価を行う。

評価対象構造物を構造形式ごとに分類し，構造形式ごとに作用すると考えられる荷重を整理し，荷重が作用する構造部材の配置等から水平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構造形式を抽出する。

抽出された構造形式については，従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において，評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重等を適切に組み合わせることで，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる構造部材の発生応力を算出し，構造物が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重は，基準地震動 S_s による評価対象断面（弱軸方向）での地震時荷重算定時刻と同時刻の荷重を，位相の異なる地震動にて算出して用いることとする。

構造物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。

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

評価対象構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを図3-4-2に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

津波防護施設について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式ごとに大別する。

② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式ごとにどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、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構造形式を抽出する。

④ 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(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の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重等を適切に組み合わせることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実

施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

評価手法については、評価対象構造物の構造形式を考慮し選定する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持構造物である場合には、機器・配管系に対して、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、④及び⑤の精査にて、津波防護施設の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、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は検討対象として抽出する。

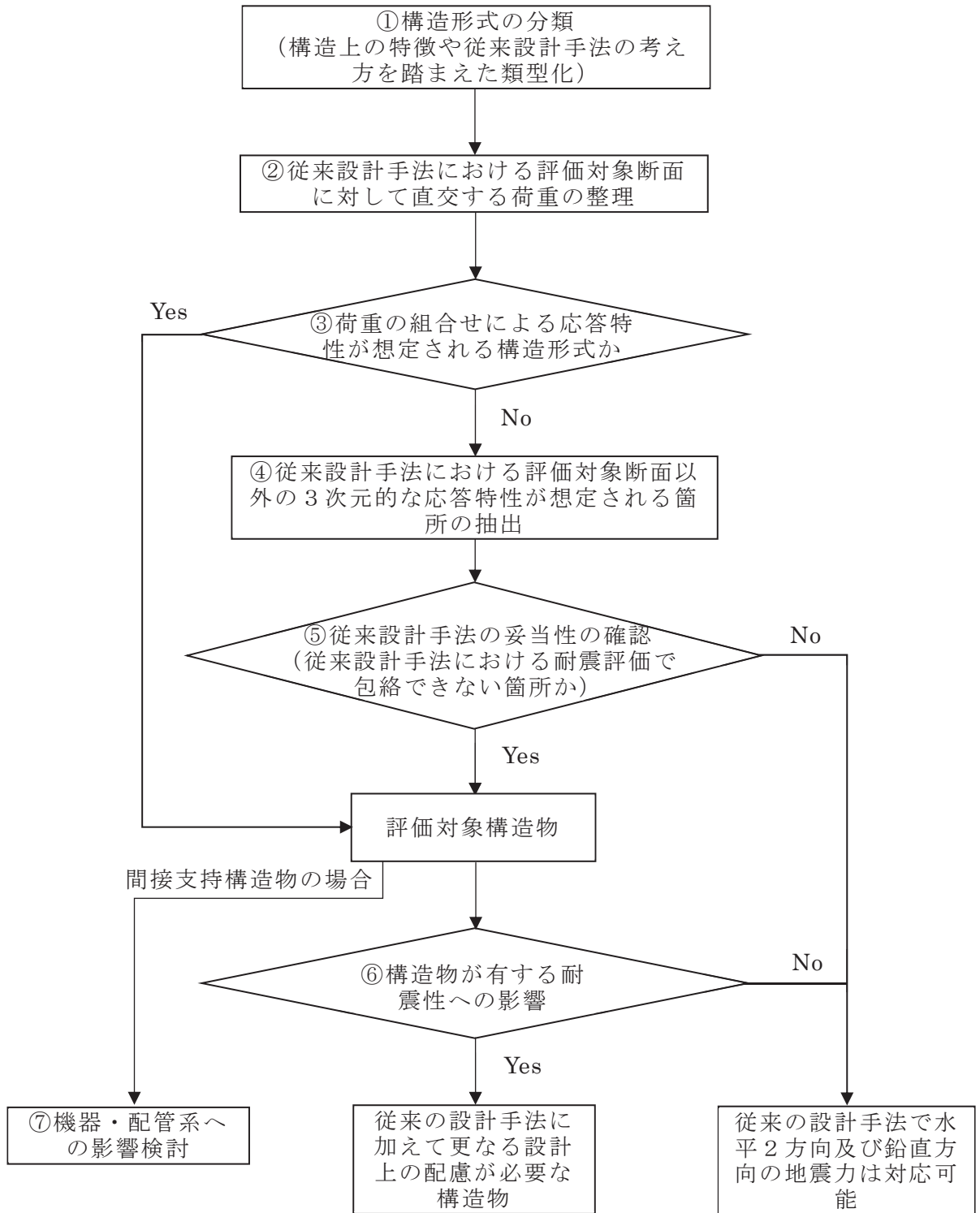


図 3-4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価のフロー

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

(1) 構造形式の分類

本章における評価対象構造物である津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物の構造形式の分類を表3-4-3に示す。

構造形式により1)線状構造物、2)箱形構造物、3)門型構造物、4)円筒型構造物の4つの構造形式に大別される。

表 3-4-3 津波防護施設並びに浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物
の構造形式の分類 (1/2)

分類	構造物		1) 線状 構造物	2) 箱形 構造物	3) 門型 構造物	4) 円筒型 構造物
津波防護施設	防潮堤	鋼管式鉛直壁	○ (上部工)			○ (鋼管杭)
		盛土堤防	○			
	防潮壁 (第2号 機海水ポ ンプ室, 第2号機 放水立 坑, 第3 号機海水 ポンプ 室, 第3 号機放水 立坑)	鋼製遮水壁 (鋼板)	○ (上部工)			○ (杭基礎)
		鋼製遮水壁 (鋼桁)			○ (上部工)	○ (杭基礎)
		鋼製扉			○ (上部工)	○ (杭基礎)
	取放水路流路縮小工		○			
	貯留堰		○*			

注記*：取水口と一体構造であり、「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示していることから、本章では評価は省略する。

表 3-4-3 津波防護施設並びに浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物
の構造形式の分類 (2/2)

分類	構造物		1) 線状 構造物	2) 箱形 構造物	3) 門型 構造物	4) 円筒型 構造物
浸水防止設備 ^{*1}	逆流防止 設備	屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤南側)		○ (出口側集 水ピット)		
		屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤北側)		○ (出口側集 水ピット)		
		補機冷却海水系 放水路逆流防止 設備	○ ^{*3} (基礎)			
	浸水防止 蓋	揚水井戸 (第 3 号機海水ポンプ 室防潮壁区画 内)				○ (井戸)
		第 3 号機補機冷 却海水系放水ピ ット			○ (放水ピッ ト)	
津波監視設備 ^{*1}	津波監視カメラ		○ (防潮堤 (盛土堤 防))			

注記*1：間接支持構造物を示す。なお、本表に示している設備以外の浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物については「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示していることから、本章では評価は省略する。

*2：防潮壁（第 2 号機放水立坑）フーチング部で、防潮壁の整理結果に包含される。

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3-4-4 に、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧、動水圧、摩擦力及び慣性力が挙げられる。

表 3-4-4 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>動土圧・動水圧</p> <p>加振方向</p>
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>摩擦力</p> <p>加振方向</p>
③慣性力	躯体に作用する慣性力 (1)加振方向への慣性力	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>慣性力</p> <p>加振方向</p>
	躯体に作用する慣性力 (2)偏心の影響によるねじり応力の発生	<p>↑-----↑ 従来設計手法の評価対象断面</p> <p>慣性力</p> <p>応力</p> <p>加振方向</p>

注記*：当該図は、平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 3-4-5 に、3.4.5(1)で整理した構造形式ごとに、3.4.5(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

表 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(1/3)

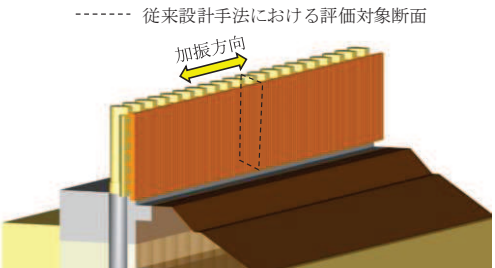
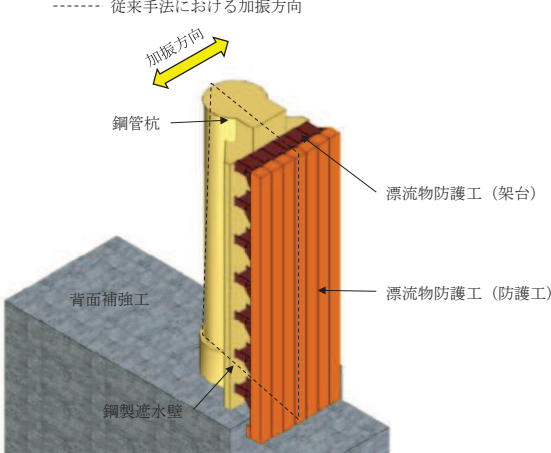
3.4.1(2)で整理した構造形式の分類	1) 線状構造物 (防潮堤(鋼管式鉛直壁)の上部工等)		2) 線状構造物 (防潮堤(鋼管式鉛直壁)の鋼管杭)	
3.4.1(3)で整理した荷重の作用状況	 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>		 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>	
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用しない
	②摩擦力	作用しない	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用(偏心の影響あり)
従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。	従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向(強軸方向)に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。		従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向(強軸方向)に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さいが、鋼管杭前面に漂流物防護工が張り出した偏心構造となり、強軸方向の慣性力等の荷重が作用する等、影響大。	
抽出結果 (○:影響検討実施)	×		○	

表 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 (2/3)

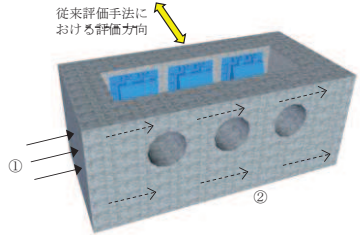
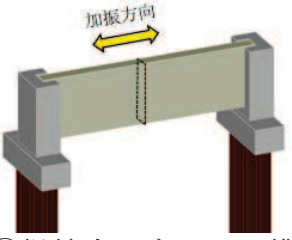
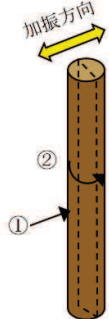
3.4.1(2) で整理した構造形式の分類	3) 箱形構造物		4) 門型構造物 (杭基礎構造防潮壁 (鋼製遮水壁 (鋼桁)) の上部工等)	
	(逆流防止設備の基礎等)	(第 3 号機補機冷却海水系放水ピット)		
3.4.1(3) で整理した荷重の作用状況	 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>		 <p>(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p>	
	① 動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価方向に対して平行する側面に作用	① 動土圧及び動水圧	作用しない
	② 摩擦力	従来設計手法における評価方向に対して平行する側面に作用	② 摩擦力	作用しない
	③ 慣性力	全ての部材に作用	③ 慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に、①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に、①動土圧及び動水圧による荷重が作用するが、構造的特徴 (長さ 14.6m, 幅 3.4m) から弱軸が明確であり耐震性への影響小。	従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さいが、左右の RC 支柱に桁や扉を支持させた門型構造形式であり、妻側に配置された RC 支柱への強軸方向の慣性力等の荷重が作用する等、影響大。	
抽出結果 (○:影響検討実施)	○	×	○	

表 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 (3/3)

3.4.1(2) で整理した 構造形式の分類	5) 円筒型構造物 (防潮壁の下部工等)							
3.4.1(3) で整理した 荷重の作用状況	<p style="text-align: center;">----- 従来設計手法における評価対象断面</p>  <p style="text-align: center;">(注) ③慣性力はすべての構造部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="846 871 1641 1031"> <tr> <td data-bbox="846 871 1178 922">① 動土圧及び動水圧</td> <td data-bbox="1178 871 1641 922">主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="846 922 1178 973">② 摩擦力</td> <td data-bbox="1178 922 1641 973">主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="846 973 1178 1031">③ 慣性力</td> <td data-bbox="1178 973 1641 1031">全ての部材に作用</td> </tr> </table>		① 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用	② 摩擦力	主に胴体部に作用	③ 慣性力	全ての部材に作用
① 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用							
② 摩擦力	主に胴体部に作用							
③ 慣性力	全ての部材に作用							
従来設計手法における 評価対象断面に対して 直交する荷重の影響度	胴体部において、①動土圧及び動水圧による荷重、上部工からの荷重が作用するため影響大。							
抽出結果 (○:影響検討実施)	○							

(4) 従来設計手法における評価対象以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

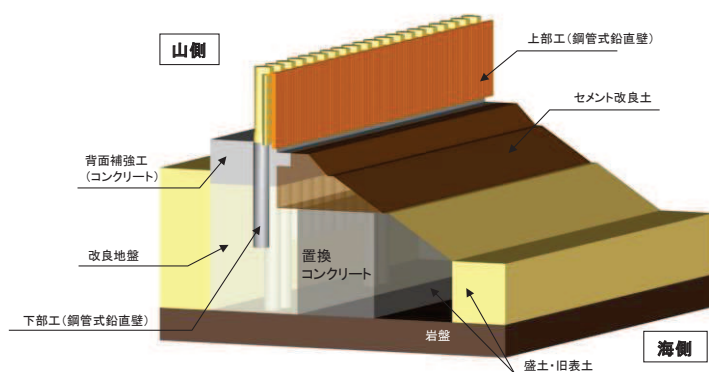
3.4.1(4)で抽出しなかった構造形式である1)線状構造物について、各構造物の構造等を考慮した上で、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所を抽出し、以下に示す。

a. 防潮堤（鋼管式鉛直壁の上部工，盛土堤防）

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の上部工は、軸方向に対して同一の構造断面が連続する線状構造物であり、構造上の特徴として、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さず、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

防潮堤（盛土堤防）（アクセスルート（防潮堤盛土堤防）を含む）はセメント改良土盛土による線状構造物であり、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する動土圧はほとんど作用しないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

防潮堤の構造概要を図3-4-3に示す。



(鋼管式鉛直壁（上部工）)



(盛土堤防)

図 3-4-3 防潮堤（鋼管式鉛直壁の上部工，盛土堤防）の構造概要

b. 防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工

防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工は、壁軸方向に対して同一の構造断面が連続する線状構造物であり、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さず、相対的に断面係数が大きい壁軸方向が明確な強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

なお、防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の隅角部については、隣接する構造との接続のために妻壁に相当する部位を有するが、その面積は小さく、鋼製支柱や全体構造に与える慣性力等の影響も小さいため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工の構造概要を図3-4-4に、隅角部の構造概要を図3-4-5に、平面配置を図3-4-6、図3-4-7に示す。

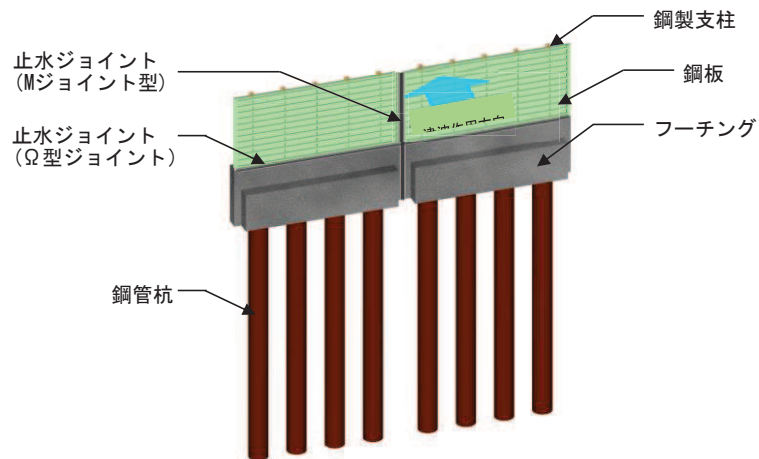


図 3-4-4 防潮壁（鋼製遮水壁（鋼板））の上部工の構造概要

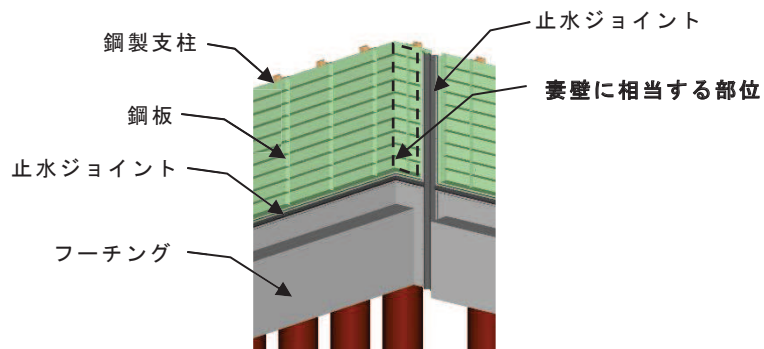
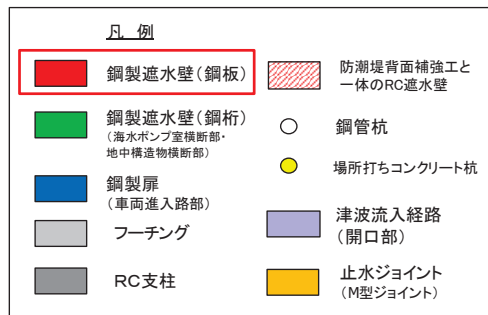
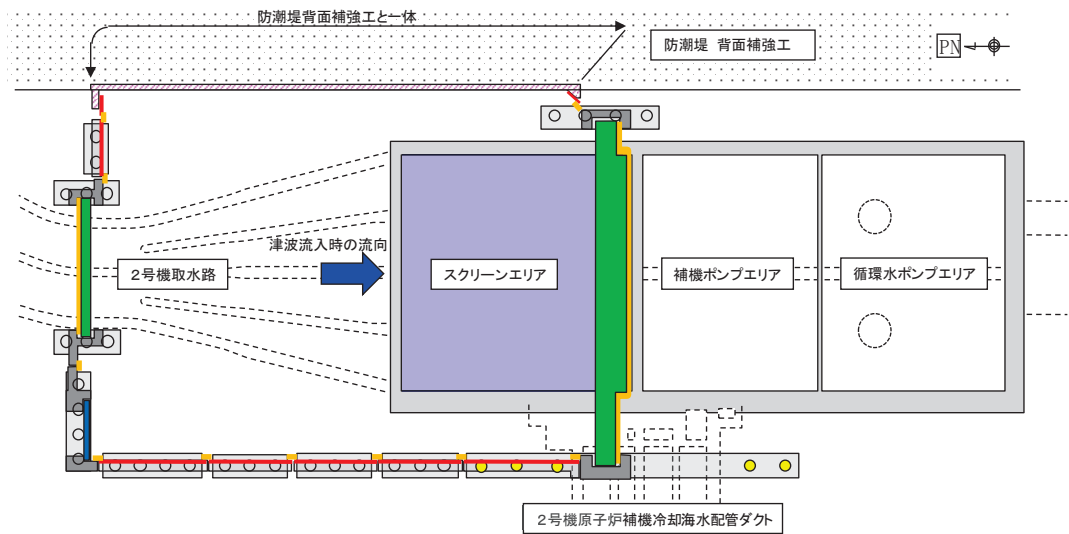
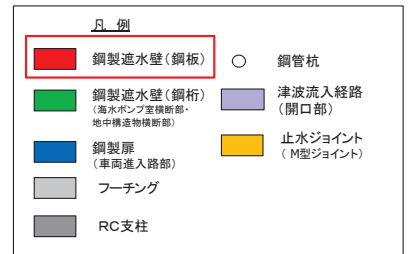
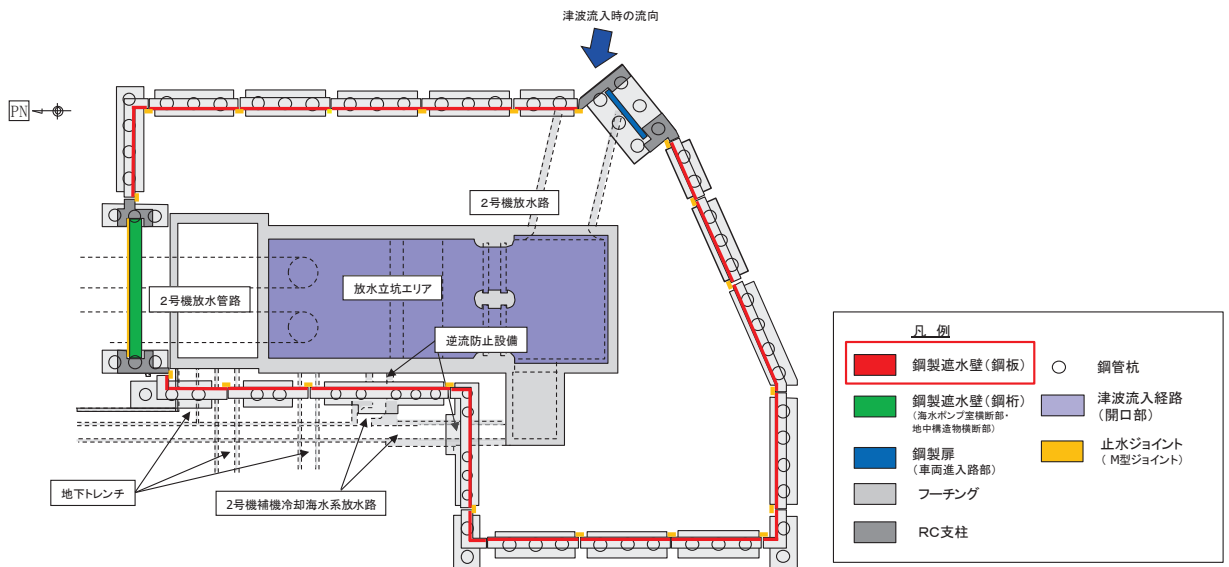


図 3-4-5 鋼製遮水壁（鋼板）の上部工（隅角部）

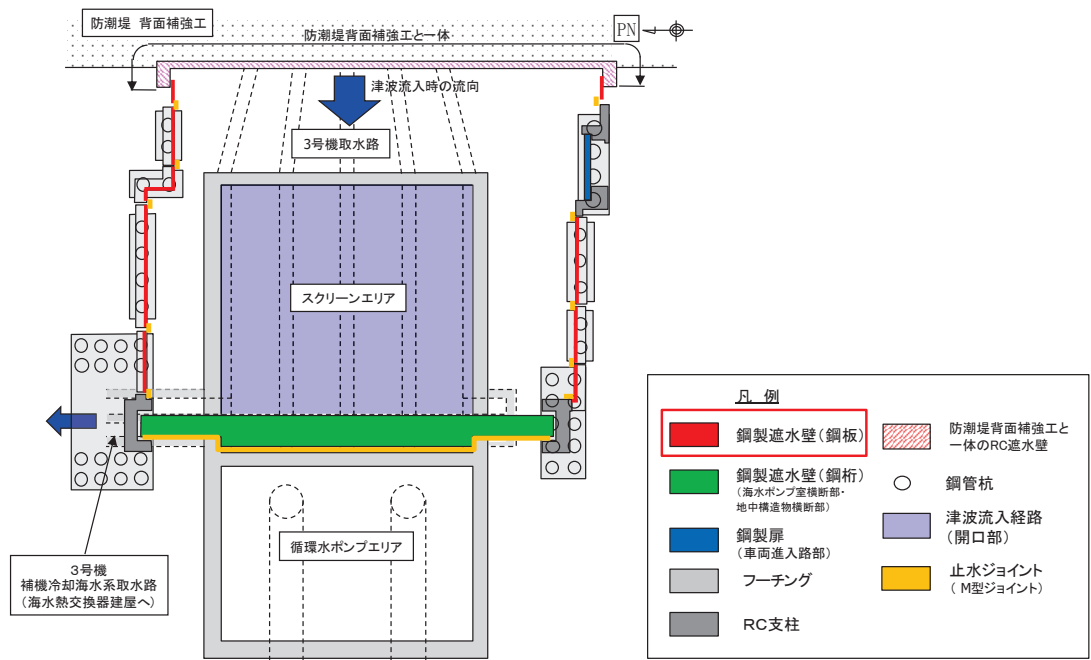


(第2号機海水ポンプ室防潮壁)

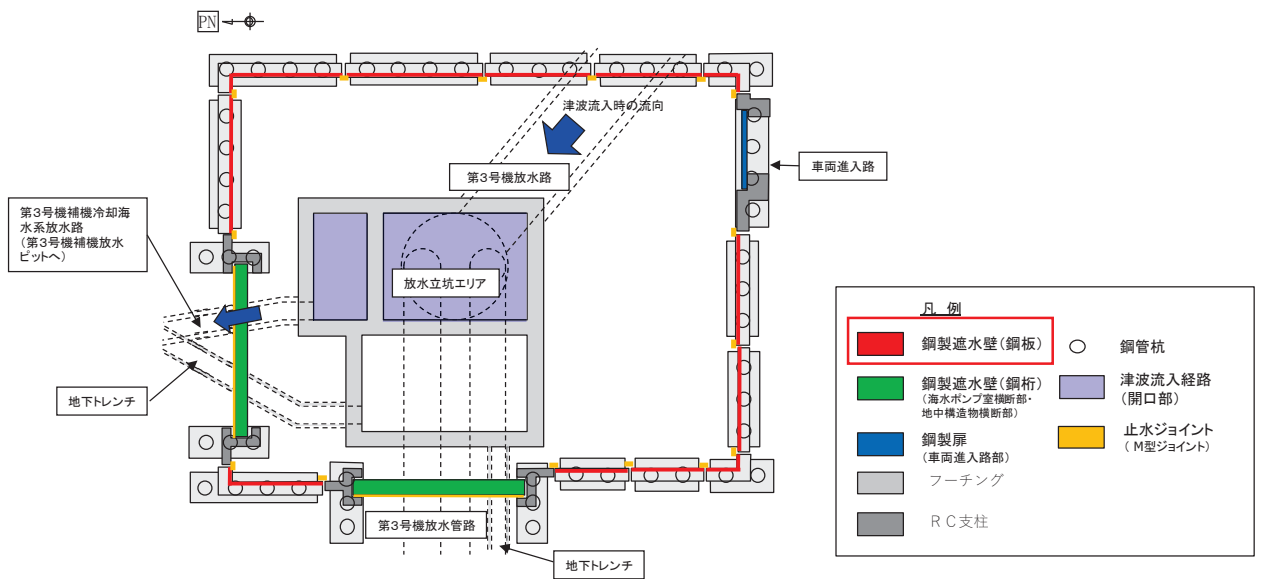


(第2号機放水立坑防潮壁)

図 3-4-6 防潮壁(鋼製遮水壁(鋼板))の平面配置



(第3号機海水ポンプ室防潮壁)



(第3号機放水立坑防潮壁)

図 3-4-7 防潮壁 (鋼製遮水壁 (鋼板)) の平面配置

c. 取放水路流路縮小工

取放水路流路縮小工は、岩盤内に構築された線状構造物である既設取放水路内に設置する構造物で、縦断方向に同一断面が連続した形状となっており、また横断方向を岩盤により拘束された構造であるため、地震時の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい（縦断方向に対しては津波時及び津波余震重畳時における強度評価を実施）。

構造概要を図3-4-8、図3-4-9に示す。

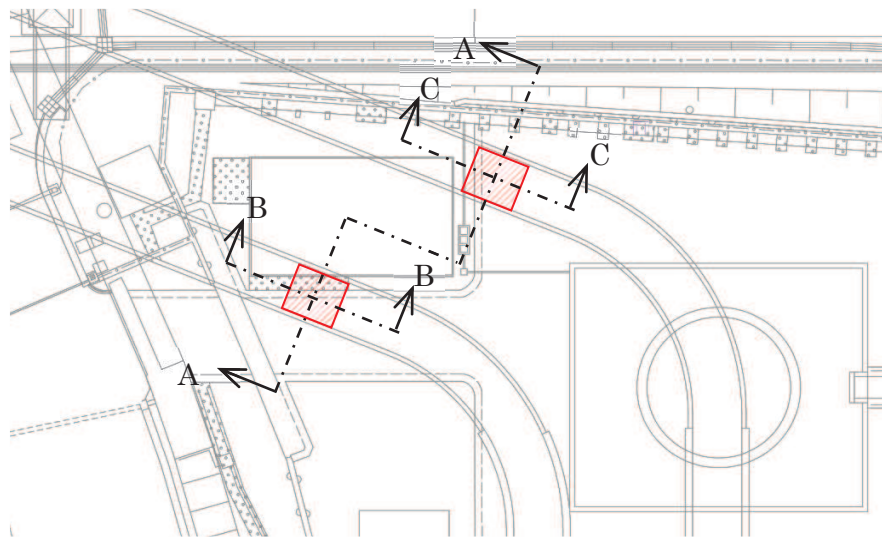


図 3-4-8 取放水路流路縮小工 平面図
(第1号機取水路の例)

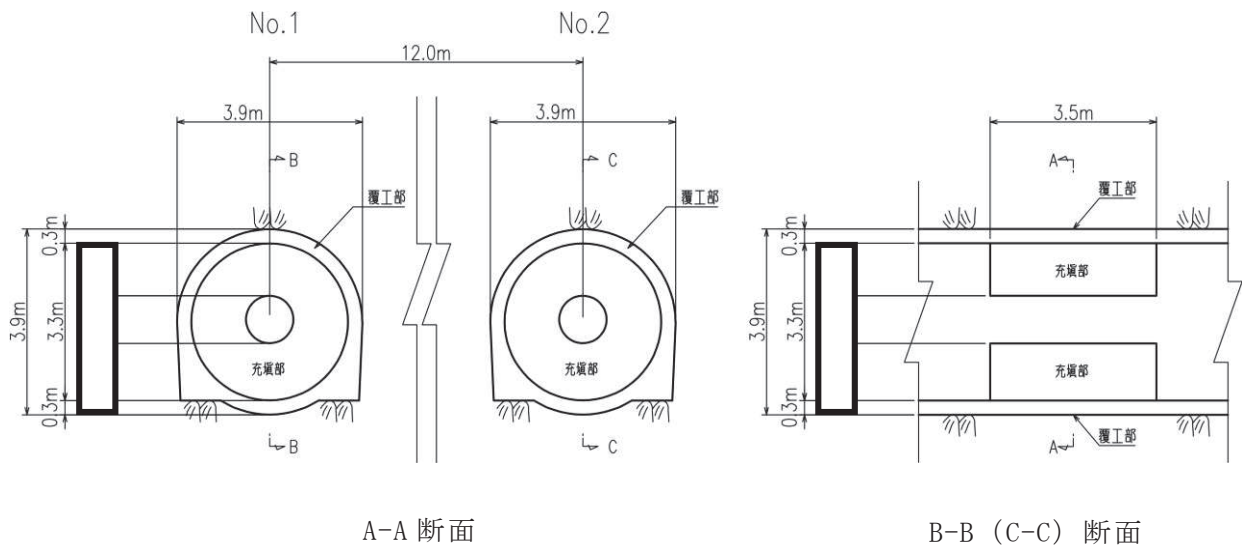


図 3-4-9 取放水路流路縮小工 断面図
(第1号機取水路の例)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

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

(1) 線状構造物

線状構造物である，防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち鋼管杭について，漂流物防護工が鋼管杭前面に張り出した偏心構造となることを踏まえ，鋼管杭に対して漂流物防護工設置による水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭の構造概要を図3-4-10に示す。

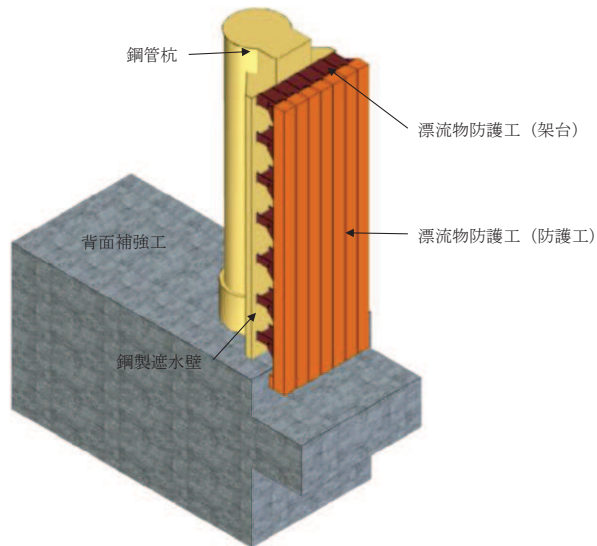


図3-4-10 防潮堤（鋼管式鉛直壁）鋼管杭 構造概要図

(2) 箱形構造物

箱形構造物である屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の出口側集水ピットについて，構造形状が異なることを踏まえ，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。屋外排水路逆流防止設備出口側集水ピットの構造概要を図3-4-11～図3-4-12に示す。

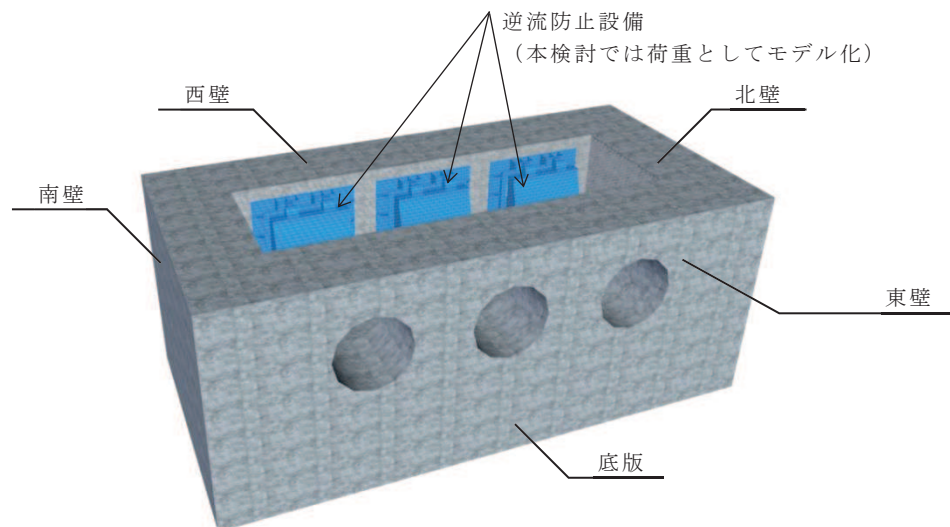


図 3-4-11 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）出口側集水ピット 構造概要図

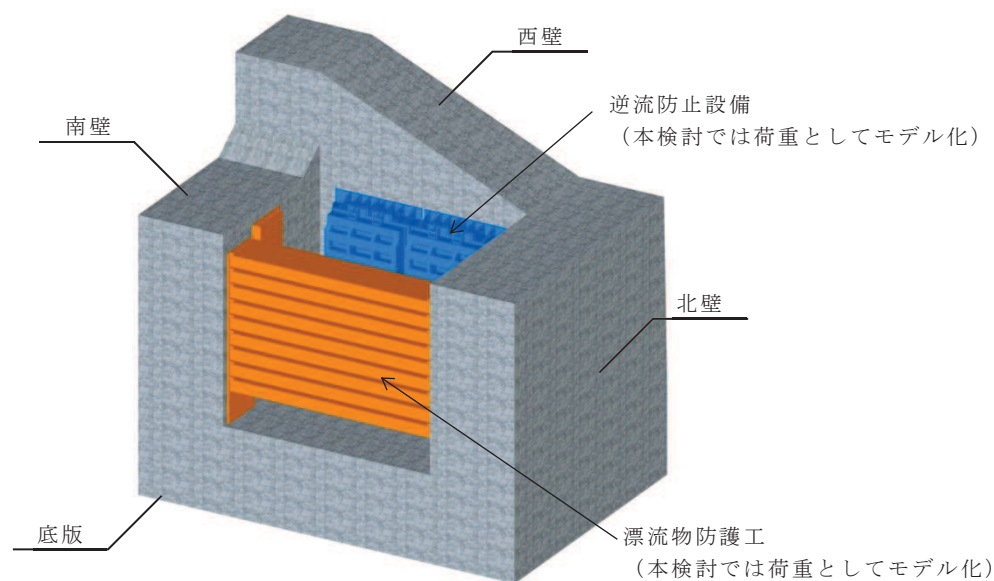


図3-4-12 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）出口側集水ピット 構造概要図

(3) 門型構造物

門型構造物である，防潮壁（杭基礎構造）のうち鋼製遮水壁（鋼桁）の構造概要図を図3-4-13に，鋼製扉の上部工の構造概要図を図3-4-14に示す。

主たる止水構造である鋼桁及び鋼製扉（扉体）については，従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向（強軸方向）の断面係数が相対的に大きいため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

一方，鋼桁や鋼製扉を支持する左右のRC支柱に対しては，強軸方向の慣性力等の荷重が作用することで，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。

よって，鋼製遮水壁（鋼桁）及び鋼製扉の上部工のうちRC支柱を水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象とする。ここで，扉体よりも鋼桁の方が，重量があり慣性力がより大きくなることで，相対的に影響が大きいと考えられる鋼製遮水壁（鋼桁）を代表に評価する。

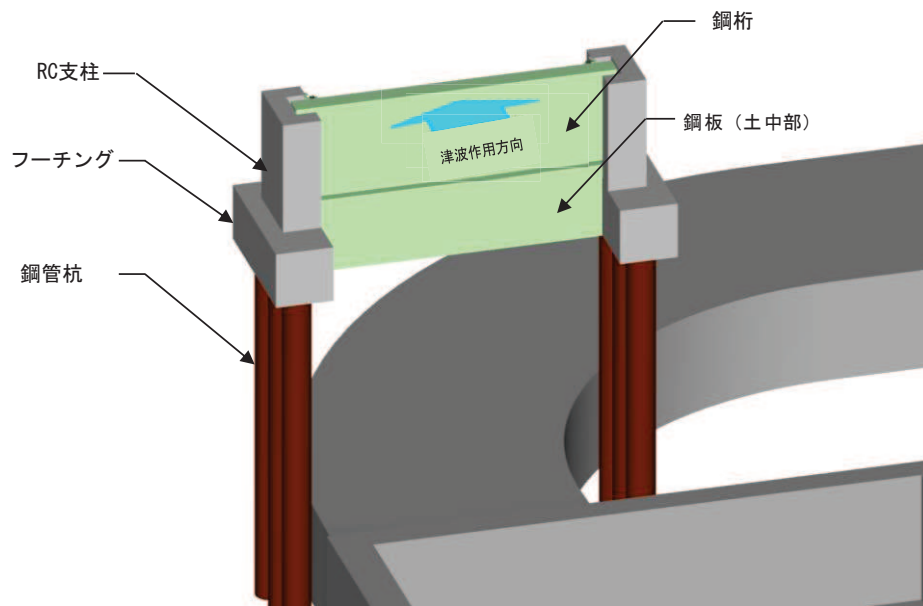


図 3-4-13 鋼製遮水壁（鋼桁） 構造概要図

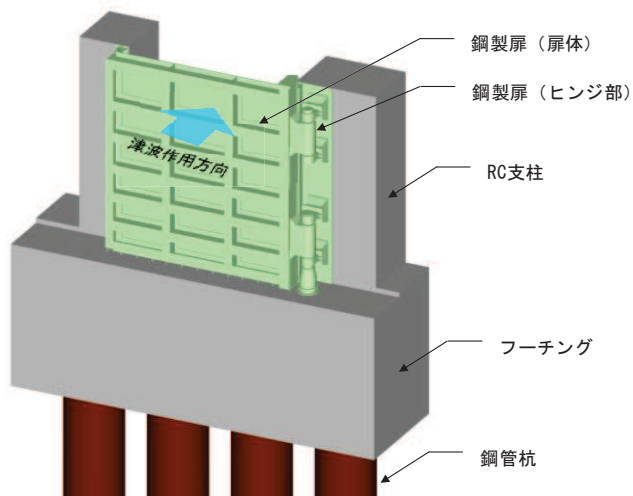


図 3-4-14 鋼製扉 構造概要図

(4) 円筒型構造物

円筒型構造物は防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工及び防潮壁（杭基礎構造）の下部工の基礎杭と揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の鋼製シャフトが該当する。それぞれの構造概要を図3-4-15～図3-4-17に示す。

基礎杭について、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工は、改良地盤又は岩盤内に設置されており、動土圧の影響は小さく、応答については上部工の影響が支配的である。上部工については、先に示したように線状構造物であり明確な強軸・弱軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さい。防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工の基礎杭に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さいため、防潮壁の基礎杭を代表に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。

よって、防潮壁の基礎杭及び揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）を円筒型構造物の影響評価の代表構造物として選定する。

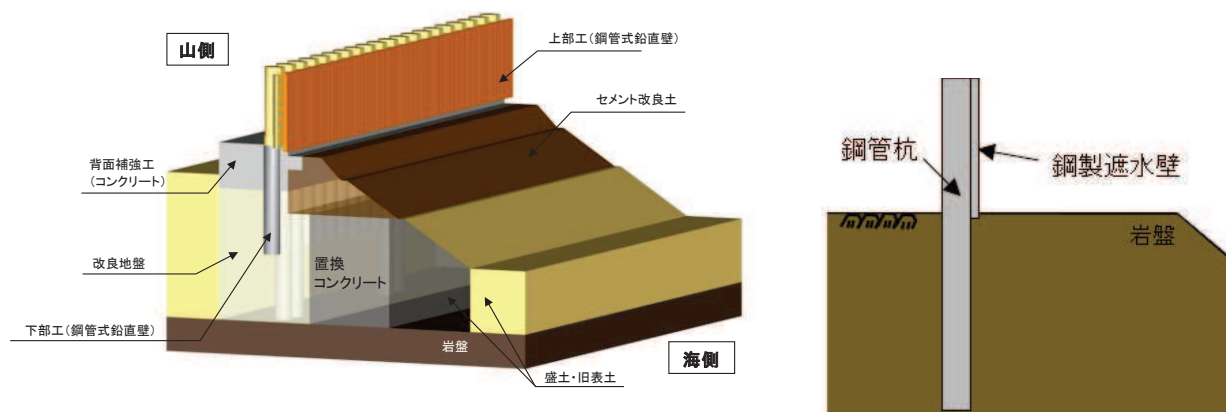


図3-4-15 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の下部工の概要

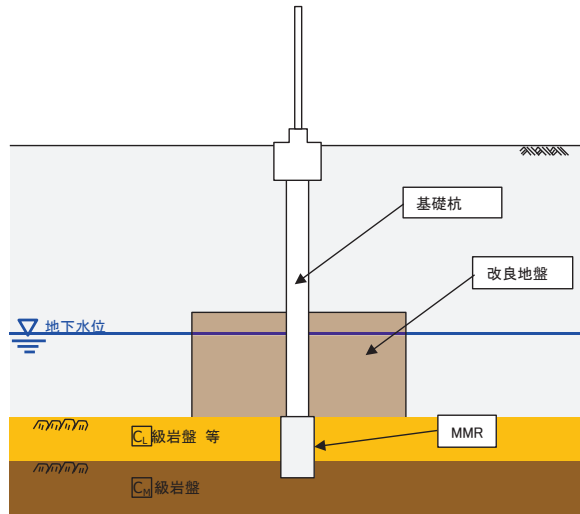


図3-4-16 防潮壁の下部工（基礎杭）の概要

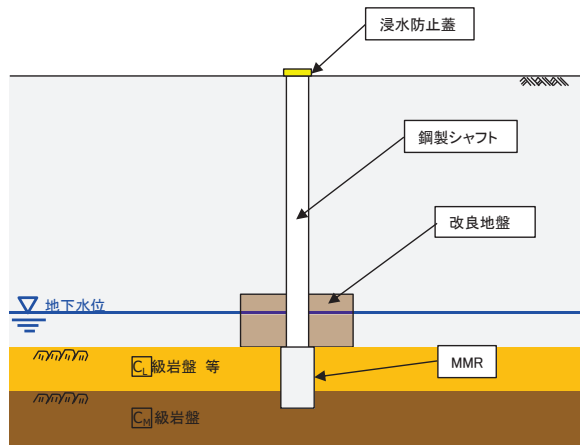


図3-4-17 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の概要

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

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重等を適切に組み合わせることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく地震時荷重は、基準地震動 S_s による評価対象断面（弱軸方向）での地震時荷重算定時刻と同時刻の荷重を、位相の異なる地震動にて算出して用いることとする。

(1) 線状構造物

a. 評価方法

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭について、地震応答解析は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とし、表3-4-6に評価方法の記載図書及び地震動を示す。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、従来設計手法における評価断面（弱軸方向）の断面力（曲げ及びせん断）と、強軸方向加振によって作用する漂流物防護工の偏心荷重による断面力（ねじり）を組み合わせ用いる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応答が許容限界以下であることを確認する。

なお、強軸方向加振による地震力は、保守的に弱軸方向と同じ地震力を用いて評価を実施する。

また、評価対象は、鋼管杭の照査値（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果）に基づき、せん断照査において照査値の厳しい断面を選定し、影響評価を行う。評価断面は、照査値が最も大きい断面②を選定する。

表3-4-6 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における評価方法について

評価方法	地震動*
<ul style="list-style-type: none">VI-2-10-2-2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書補足-140-1 津波への配慮に関する説明書の補足説明資料 6.1.1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明	せん断破壊 ・ $S_s - D 2$ (++) ケース①

注記*：強軸方向加振による地震力は、保守的に弱軸方向と同じ地震力を用いて評価を実施

b. 評価結果

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を表3-4-7に示す。

この結果により，水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも，防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼管杭は十分な構造強度を有していることを確認した。

表 3-4-7 鋼管杭の評価結果
(ねじり応力を考慮した照査値（断面②）)

	解析 ケース	地震動	せん断 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	①	S s - D 2 (++)	67	217	0.31
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	① (ねじり 考慮)	S s - D 2 (++) *	101	217	0.47

注記*：保守的に弱軸方向の地震力を適用

(2) 箱形構造物

a. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）

(a) 評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、評価対象断面（弱軸方向）の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価に対して、直交する方向（強軸方向）に対する地震応答解析を行い、それぞれの地震応答解析より算定した同時刻の地震時荷重を出口側集水ピットに作用させ、構造部材の発生応力を求める。

これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応力が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、添付書類「VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書」に示す、出口側集水ピットとする。

(c) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は添付書類「VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

直交方向（強軸方向）の断面位置を図3-4-18に、解析モデルを図3-4-19に示す。

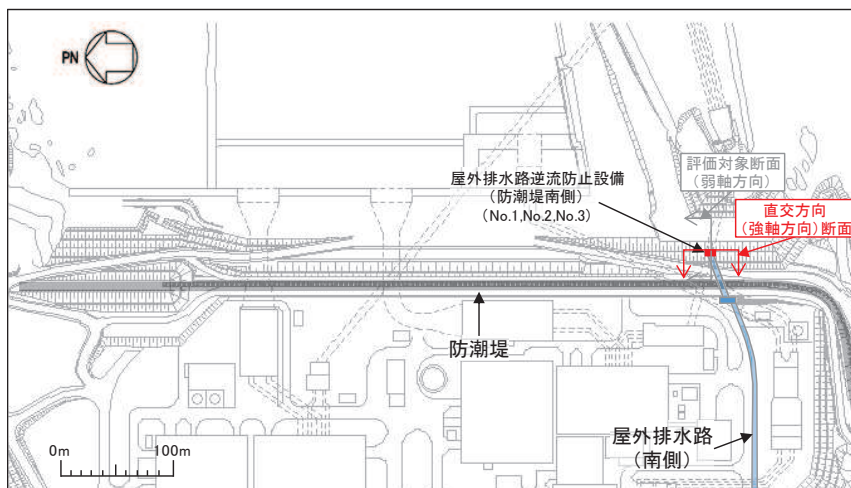


図 3-4-18 直交方向（強軸方向）断面位置

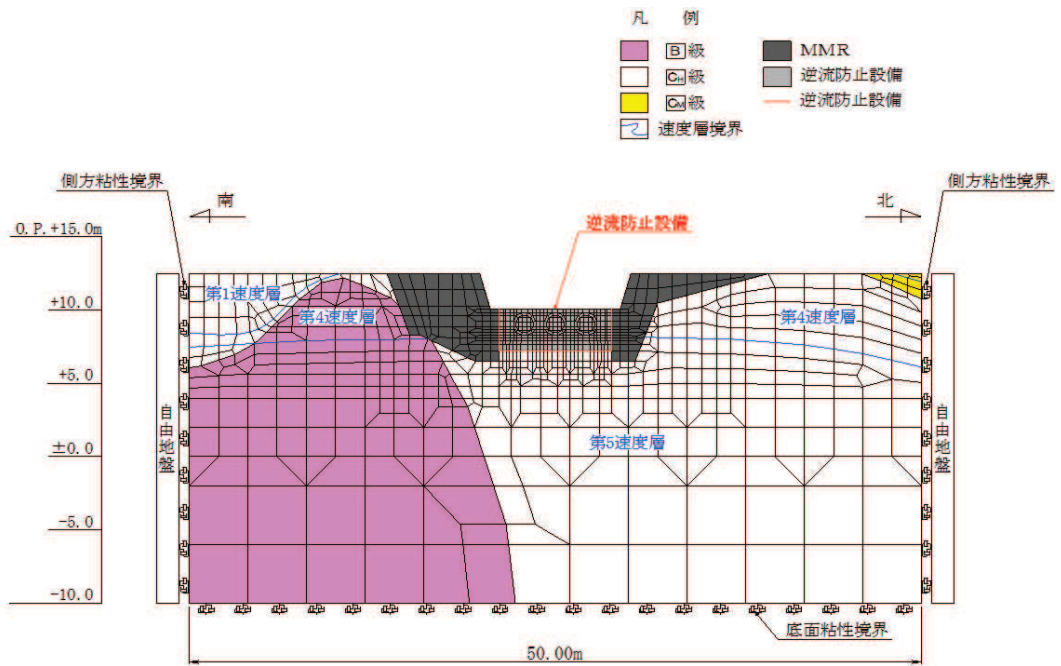


図 3-4-19 解析モデル

②模擬地震動

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では、全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくいことから、水平1方向の照査において最大照査値となる断面に直交する方向には、位相の異なる模擬地震波を用いる。

③検討ケース

耐震評価における解析ケースを表3-4-8に示す。水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しい $S_s - F2(-+)$ 、解析ケース③*を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

注記*：「VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書」において実施している表3-4-8に示す解析ケースを示す。

表 3-4-8 耐震評価における解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_o : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, 改良地盤 (G_o : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値	平均値+1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値	平均値+1 σ

④許容限界

許容限界は添付書類「VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書」に示す値と同様とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表3-4-10に示す。また、せん断破壊に対する許容限界は、表3-4-9に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

表 3-4-9 出口側集水ピットの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	11	16.5
	許容せん断応力度 τ_{al}	0.5	0.75
鉄筋(SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記* : コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定) により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(d) 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を表3-4-10～表3-4-12に、出口側集水ピットの評価位置を図3-4-20に示す。また、評価時刻における断面力分布図を図3-4-21～図3-4-27に示す。

これらの結果により、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも、出口側集水ピットは十分な構造強度を有していることを確認した。

表3-4-10 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
							応力度 σ'_c (N/mm ²)	応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - F 2 (- +)	284	-436	1.2	16.5	0.08
	南壁	2	③	S s - F 2 (- +)	217	-287	1.5	16.5	0.10
	西壁	3	③	S s - F 2 (- +)	-121	163	0.6	16.5	0.04
	北壁	4	③	S s - F 2 (- +)	157	-470	1.0	16.5	0.07
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	284	-430	1.2	16.5	0.08
	南壁	2		S s - F 2 (- +)	217	-291	1.5	16.5	0.10
	西壁	3		従方向：	-121	153	0.6	16.5	0.04
	北壁	4		S s - F 2	157	-486	1.0	16.5	0.07

表3-4-11 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ_s / σ_{sa}
							応力度 σ_s (N/mm ²)	応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - F 2 (- +)	284	-443	13.2	294	0.05
	南壁	2	③	S s - F 2 (- +)	-205	32	33.3	294	0.12
	西壁	3	③	S s - F 2 (- +)	-121	168	29.8	294	0.11
	北壁	4	①	S s - F 3 (- +)	15	81	18.5	294	0.07
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	284	-447	13.2	294	0.05
	南壁	2		S s - F 2 (- +)	-205	34	33.4	294	0.12
	西壁	3		従方向：	-121	170	30.0	294	0.11
	北壁	4		S s - F 2	17	68	17.2	294	0.06

表3-4-12 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価結果
 （せん断破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	発生	短期許容	照査値 V/V_a
					せん断力 V (kN/m)	せん断力 V_a (kN/m)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	①	$S_s - F_3 (-+)$	215	1227	0.18
	南壁	2	③	$S_s - F_2 (-+)$	370	1563	0.24
	西壁	3	③	$S_s - F_2 (-+)$	120	1563	0.08
	北壁	4	③	$S_s - F_2 (-+)$	65	944	0.07
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	212	1227	0.18
	南壁	2		$S_s - F_2 (-+)$	369	1563	0.24
	西壁	3		従方向：	120	1563	0.08
	北壁	4		$S_s - F_2$	68	944	0.08

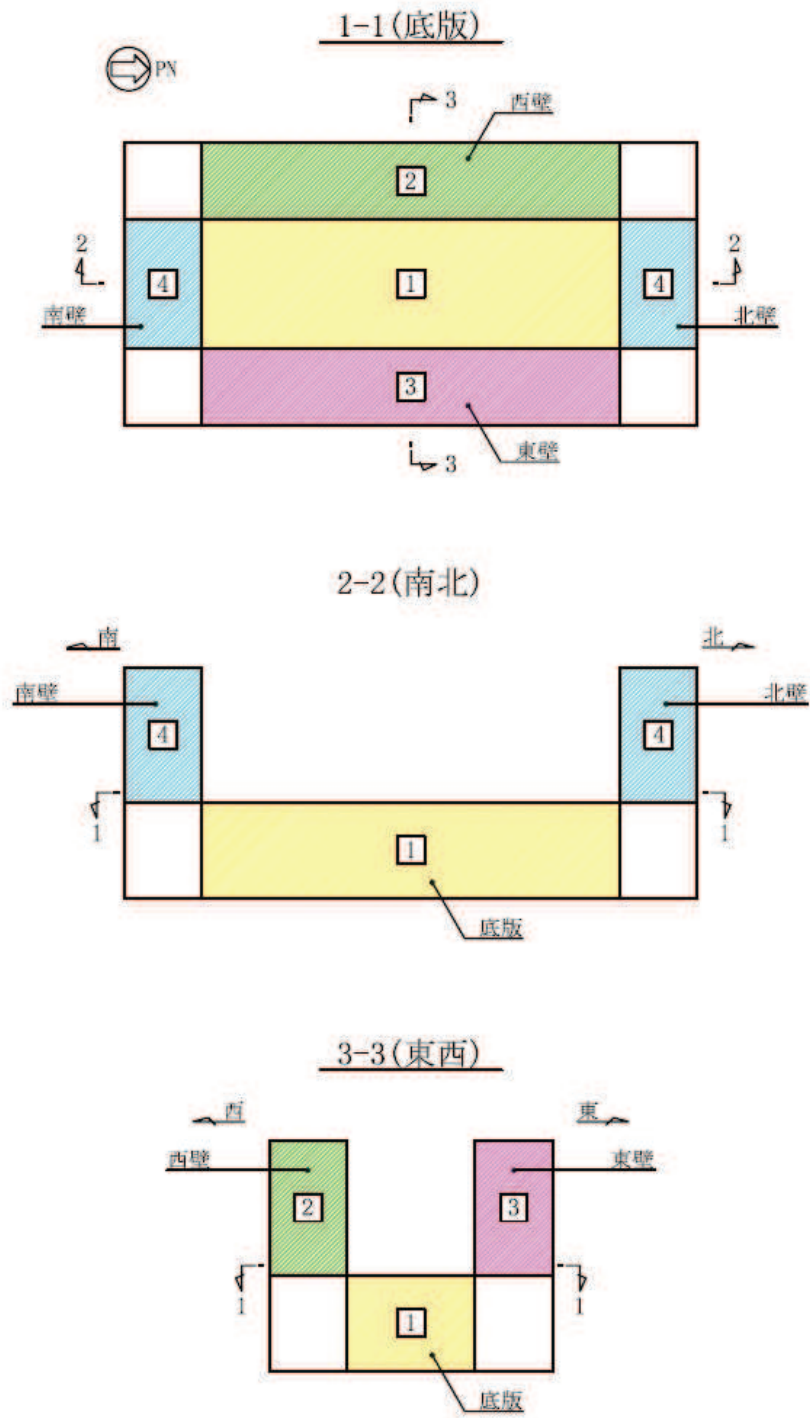


図3-4-20 評価位置図

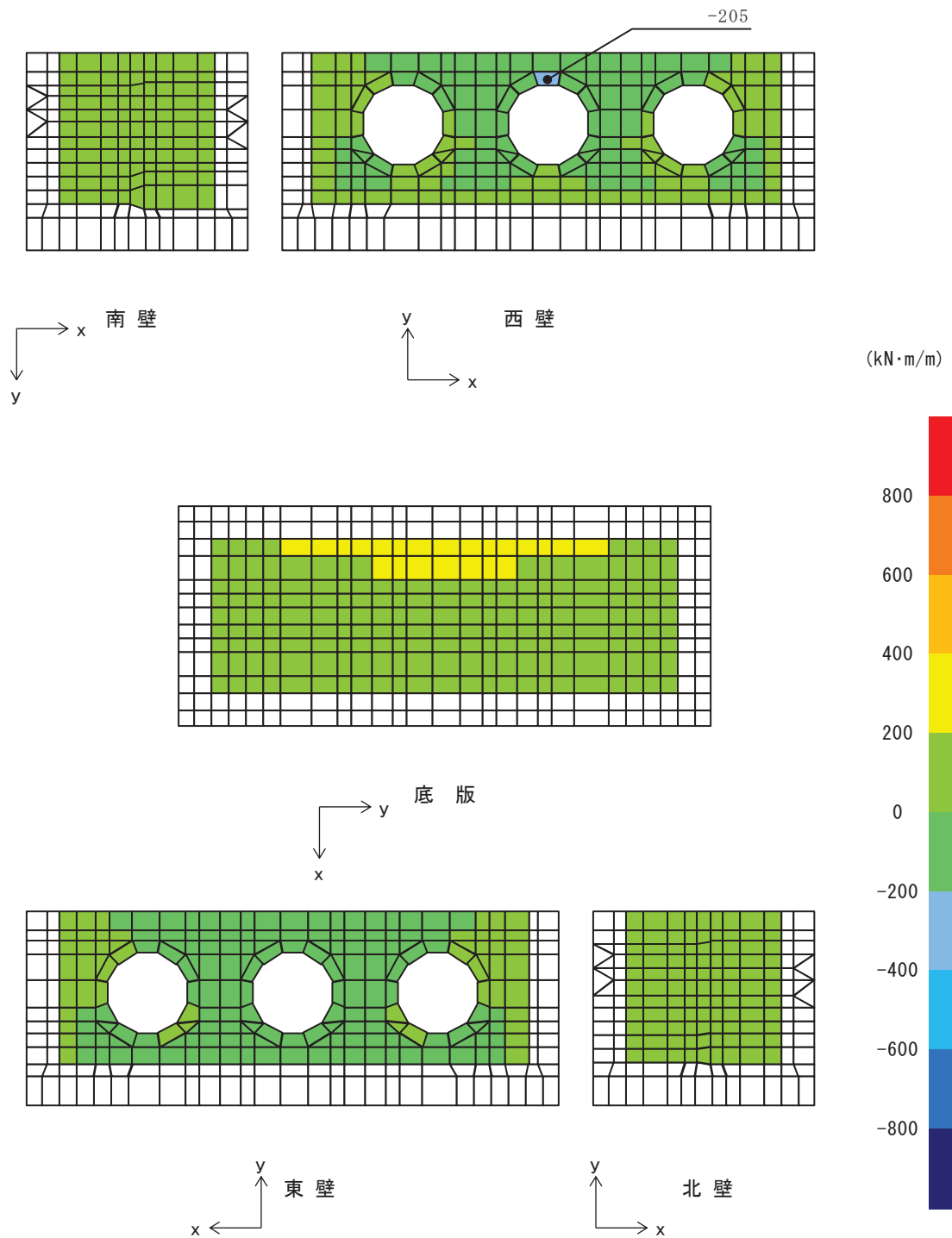


図3-4-21 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

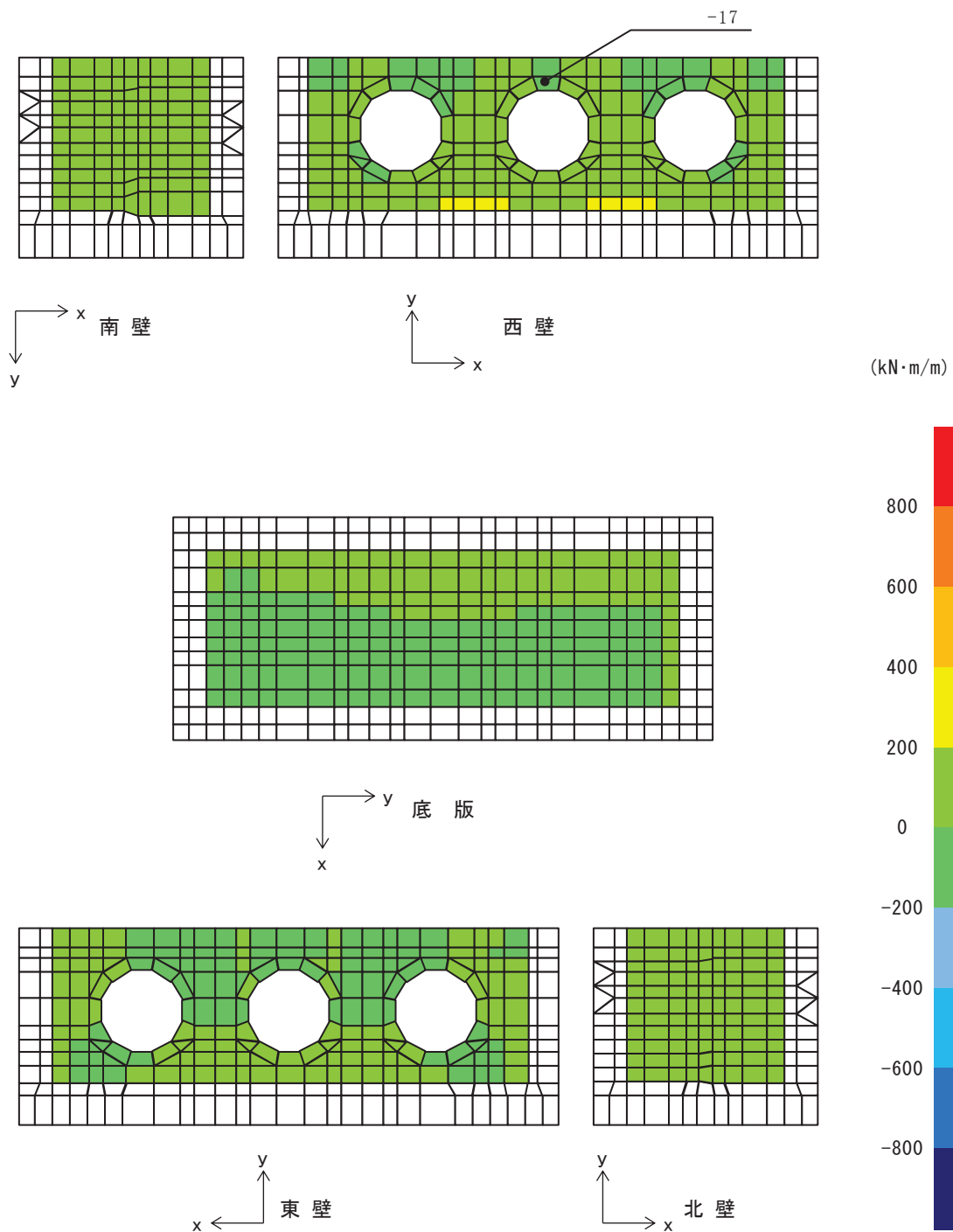


図3-4-22 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_y)
 (解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

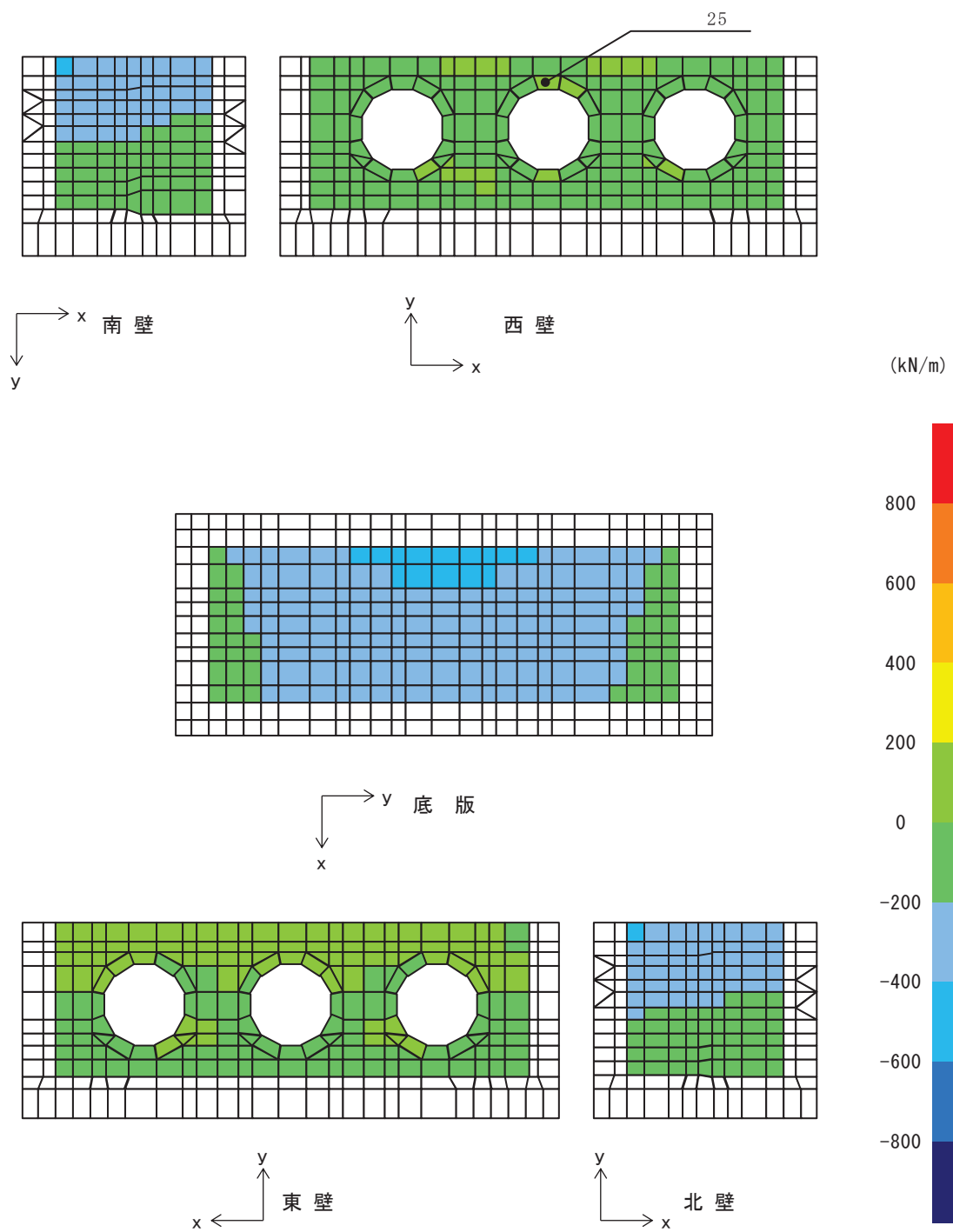


図3-4-23 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

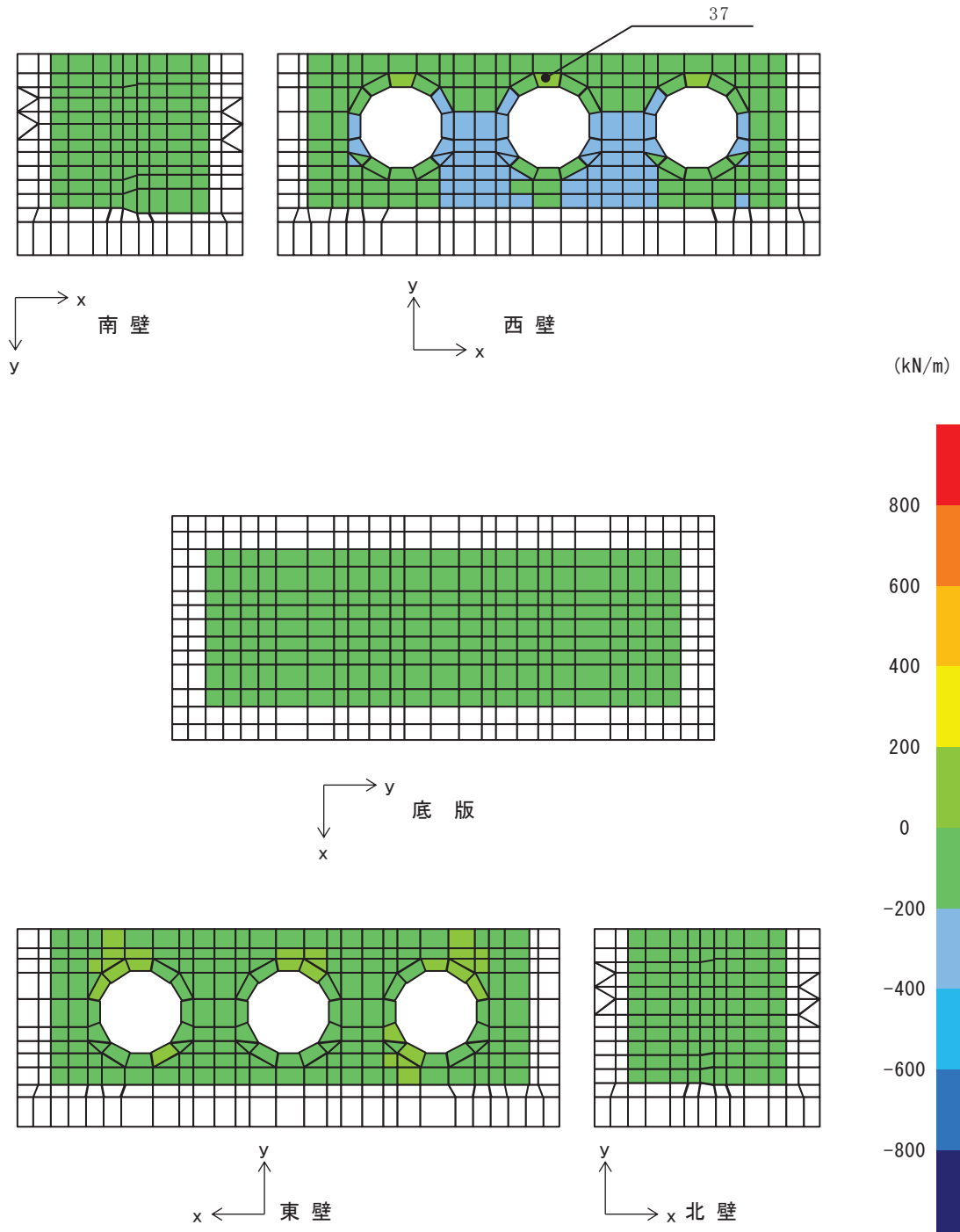


図3-4-24 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

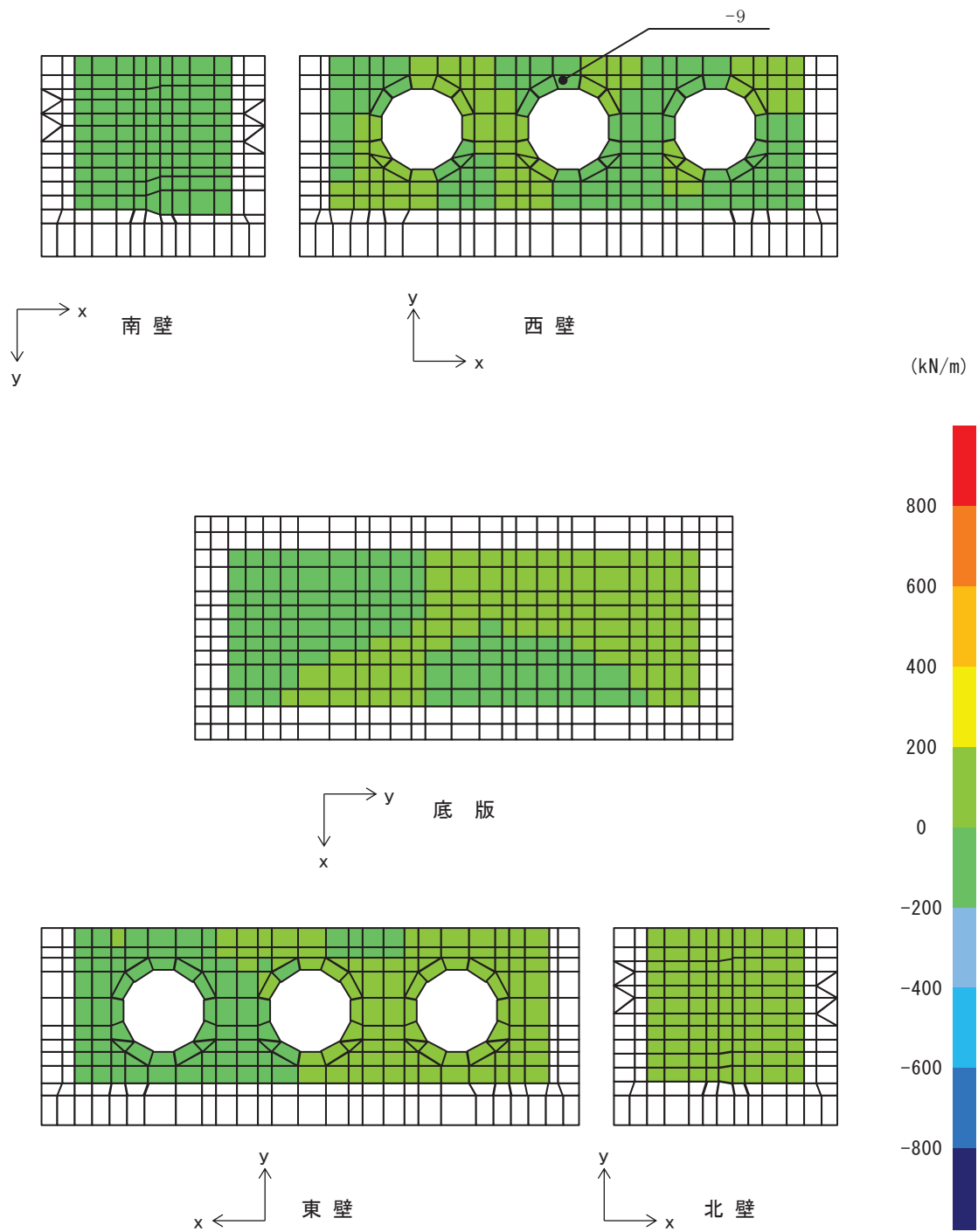


図3-4-25 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N x y)
 (解析ケース③, S s - F 2 (-+))

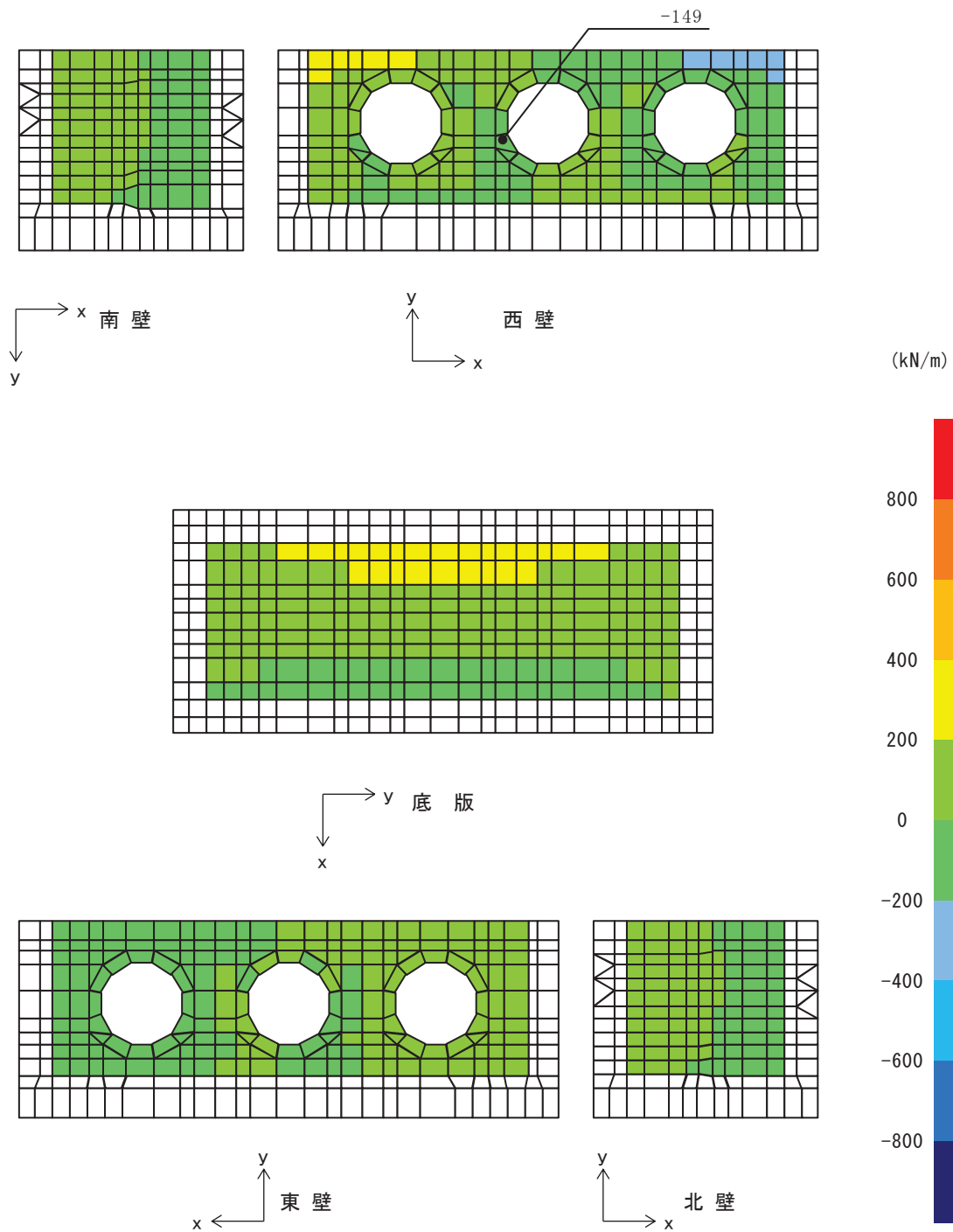


図3-4-26 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによるせん断破壊に対する照査時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

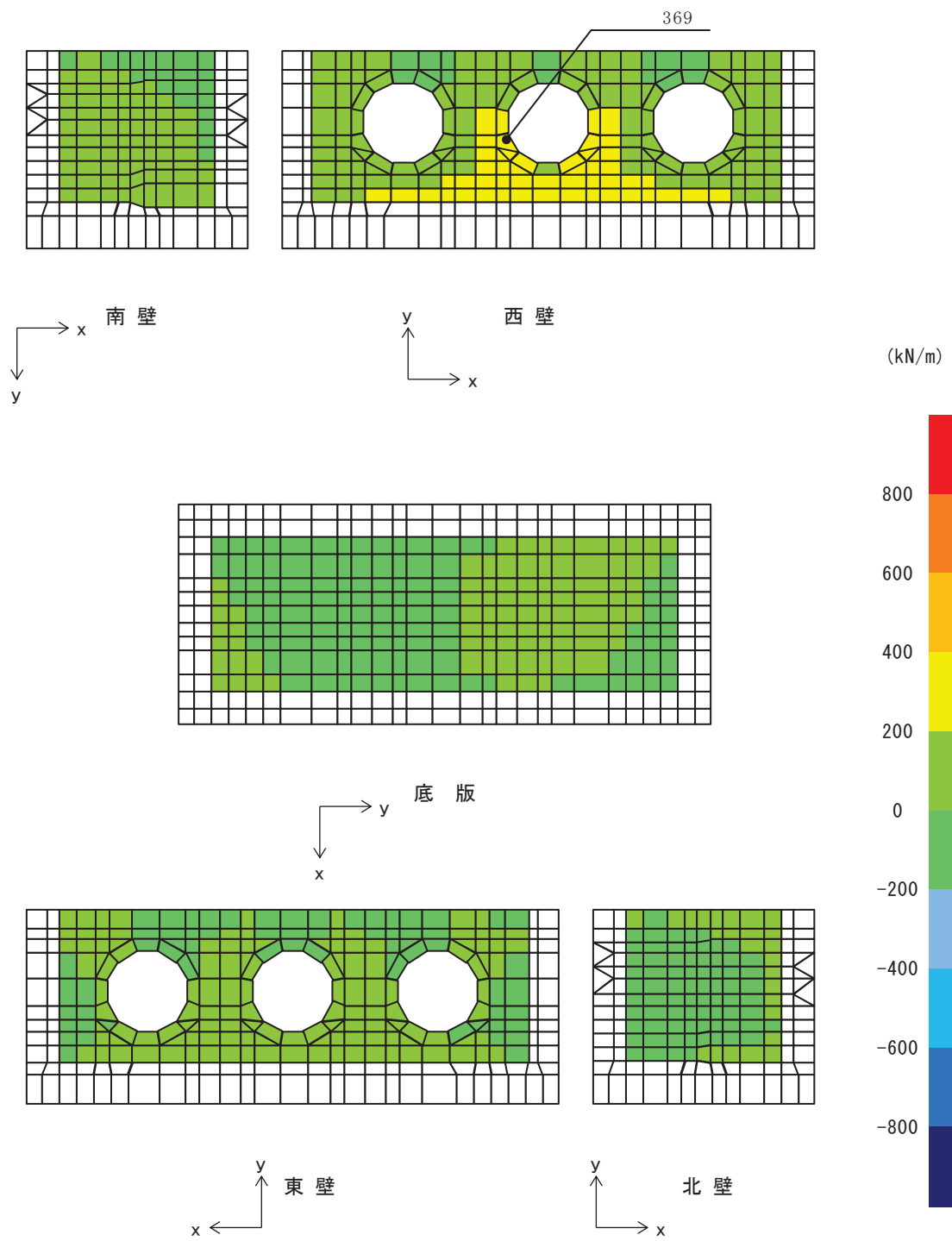


図3-4-27 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによるせん断破壊に対する照査時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

b. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

(a) 評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、評価対象断面（弱軸方向）の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価に対して、直交する方向（強軸方向）に対する地震応答解析を行い、それぞれの地震応答解析より算定した同時刻の地震時荷重を出口側集水ピットに作用させ、構造部材の発生応力を求める。

これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応力が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、添付書類「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」に示す、出口側集水ピットとする。

(c) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は添付書類「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

直交方向（強軸方向）の断面位置を図3-4-28に、解析モデルを図3-4-29に示す。

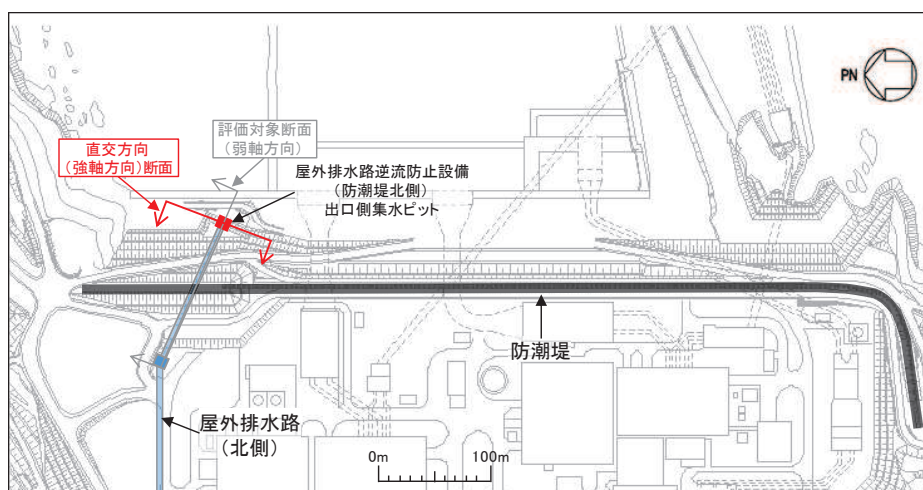


図 3-4-28 直交方向（強軸方向）断面位置

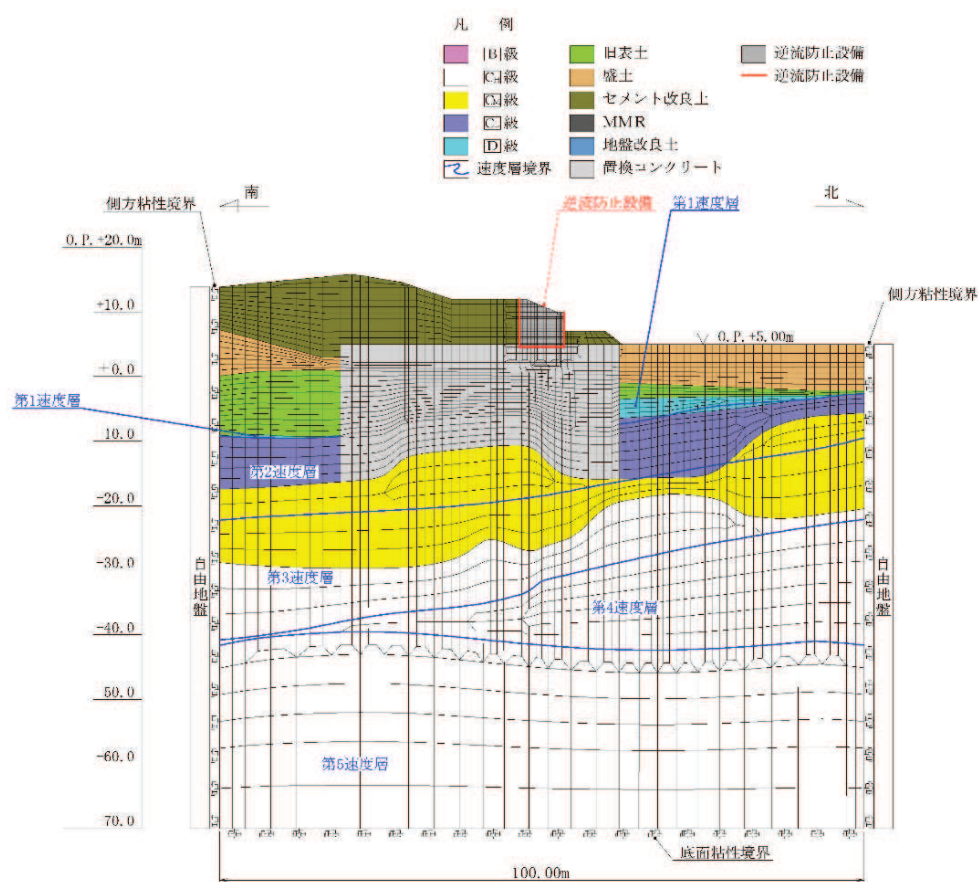


図 3-4-29 解析モデル

②模擬地震動

耐震評価における解析ケースを表3-4-13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評価では、全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくいことから、水平1方向の照査において最大照査値となる断面に直交する方向には、位相の異なる模擬地震波を用いる。

③検討ケース

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しいS s - D 2 (-+), 解析ケース③*を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

注記* : 「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」において実施している表3-4-13に示す解析ケースを示す。

表 3-4-13 耐震評価における解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_o : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, 改良地盤 (G_o : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値

④許容限界

許容限界は添付書類「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」に示す値と同様とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表3-4-14に示す。また、せん断破壊に対する許容限界は、表3-4-14に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

表 3-4-14 出口側集水ピットの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	11
許容せん断応力度 τ_{al}		0.5	0.75
鉄筋(SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記* : コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定) により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(d) 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の出口側集水ピットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果を表3-4-15～表3-4-17に、出口側集水ピットの評価位置を図3-4-30に示す。また、評価時刻における断面力分布図を図3-4-31～図3-4-37に示す。

これらの結果により、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも、出口側集水ピットは十分な構造強度を有していることを確認した。

表3-4-15 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
							応力度 σ'_c (N/mm ²)	応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - D 2 (- +)	-1283	-1051	2.7	16.5	0.17
	南壁	2	③	S s - D 2 (- +)	1366	-4646	3.8	16.5	0.24
	西壁	3	③	S s - D 2 (- +)	-1206	-363	2.5	16.5	0.16
	北壁	4	③	S s - D 2 (- +)	667	-4029	2.7	16.5	0.17
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向 :	-1314	-1085	2.8	16.5	0.17
	南壁	2		S s - D 2 (- +)	1602	-4936	4.2	16.5	0.26
	西壁	3		従方向 :	-1231	-92	2.5	16.5	0.16
	北壁	4		S s - D 2	463	-4002	2.4	16.5	0.15

表3-4-16 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価結果
（曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 σ_s / σ_{sa}
							応力度 σ_s (N/mm ²)	応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - D 2 (- +)	594	824	102.1	294	0.35
	南壁	2	③	S s - D 2 (- +)	624	420	77.2	294	0.27
	西壁	3	③	S s - D 2 (- +)	-1304	740	152.2	294	0.52
	北壁	4	①	S s - N 1 (+ +)	102	803	60.8	294	0.21
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向 :	507	886	99.3	294	0.34
	南壁	2		S s - D 2 (- +)	1041	-72	79.0	294	0.27
	西壁	3		従方向 :	-1300	808	156.4	294	0.54
	北壁	4		S s - D 2	405	401	58.8	294	0.20

表3-4-17 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価結果
 （せん断破壊に対する照査（鉄筋））

	評価位置		解析 ケース	地震動	発生	短期許容	照査値 V/V_a		
					せん断力 V (kN/m)	せん断力 V_a (kN/m)			
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	S s - D 2 (-+)	2060	3495	0.59		
	南壁	2			570			0.17	
	西壁	3			1807				0.52
	北壁	4			251				
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	底版	1	③	主方向：	2193	3495	0.63		
	南壁	2		S s - D 2 (-+)	724		0.21		
	西壁	3		従方向：	1868		0.54		
	北壁	4		S s - D 2	268		0.08		

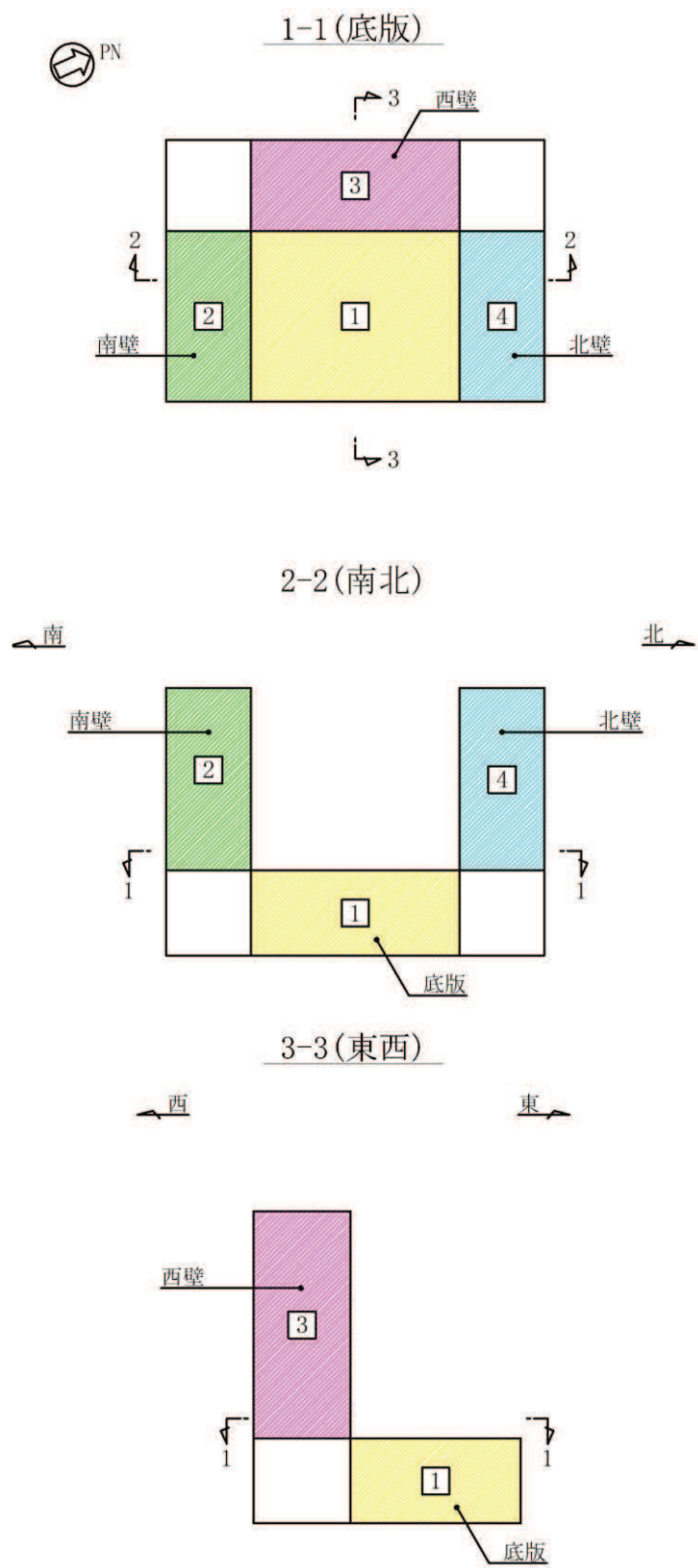


图3-4-30 評価位置図

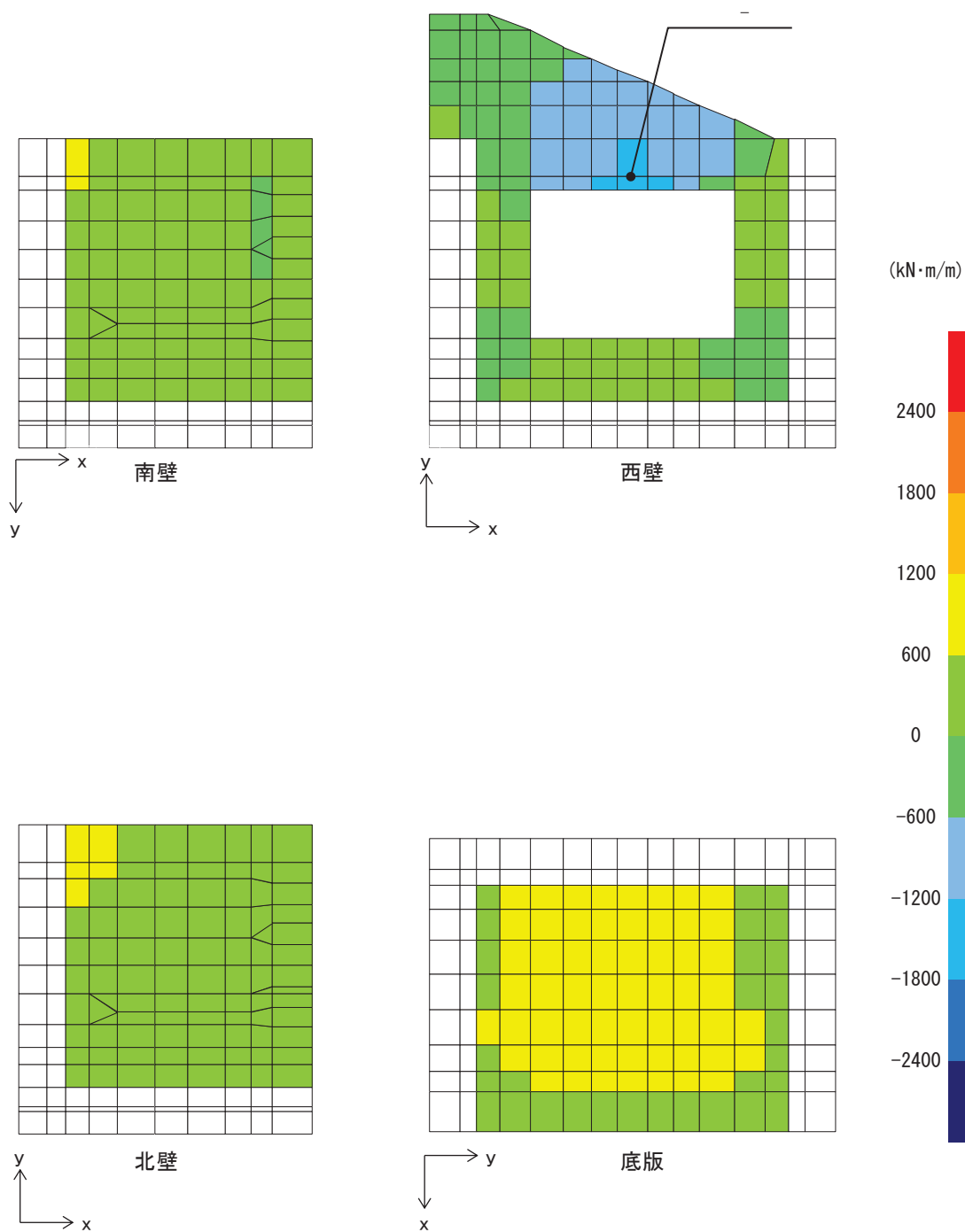


図3-4-31 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_x)
 (解析ケース③, $S_s - D_2 (-+)$)

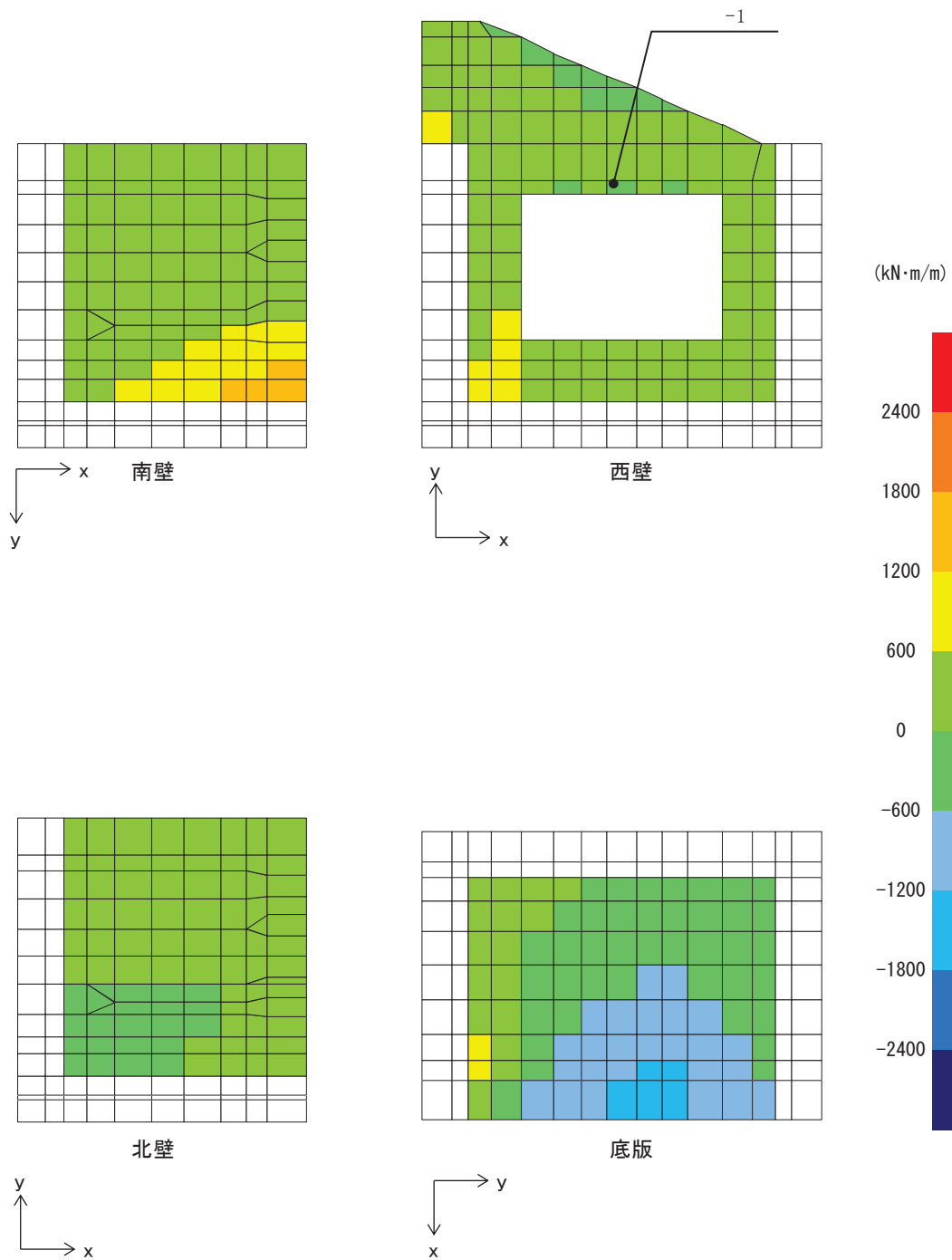


図3-4-32 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_y)
 (解析ケース③, $S_s - D_2 (-+)$)

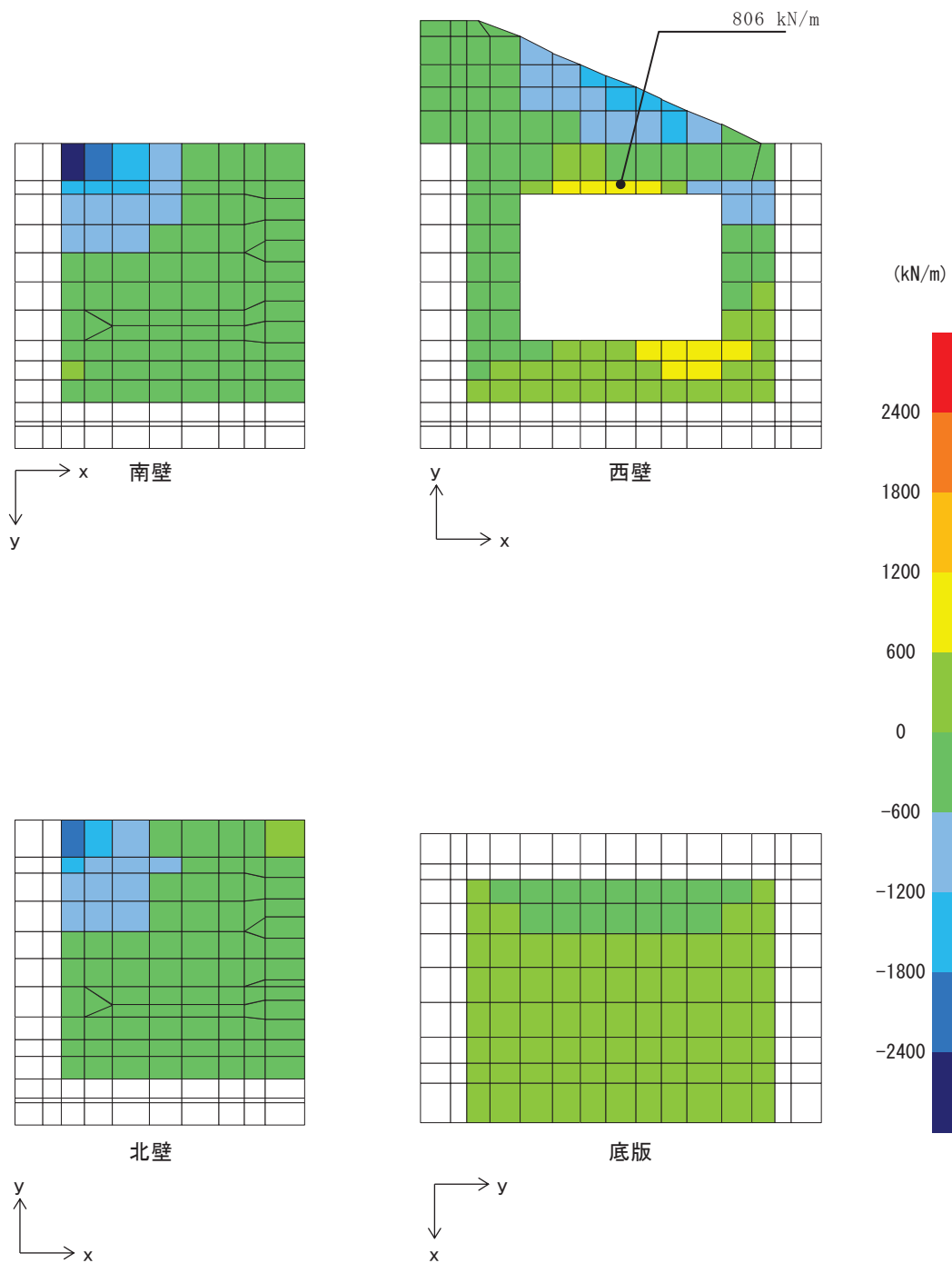


図3-4-33 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (解析ケース③, $S_s - D_2 (-+)$)

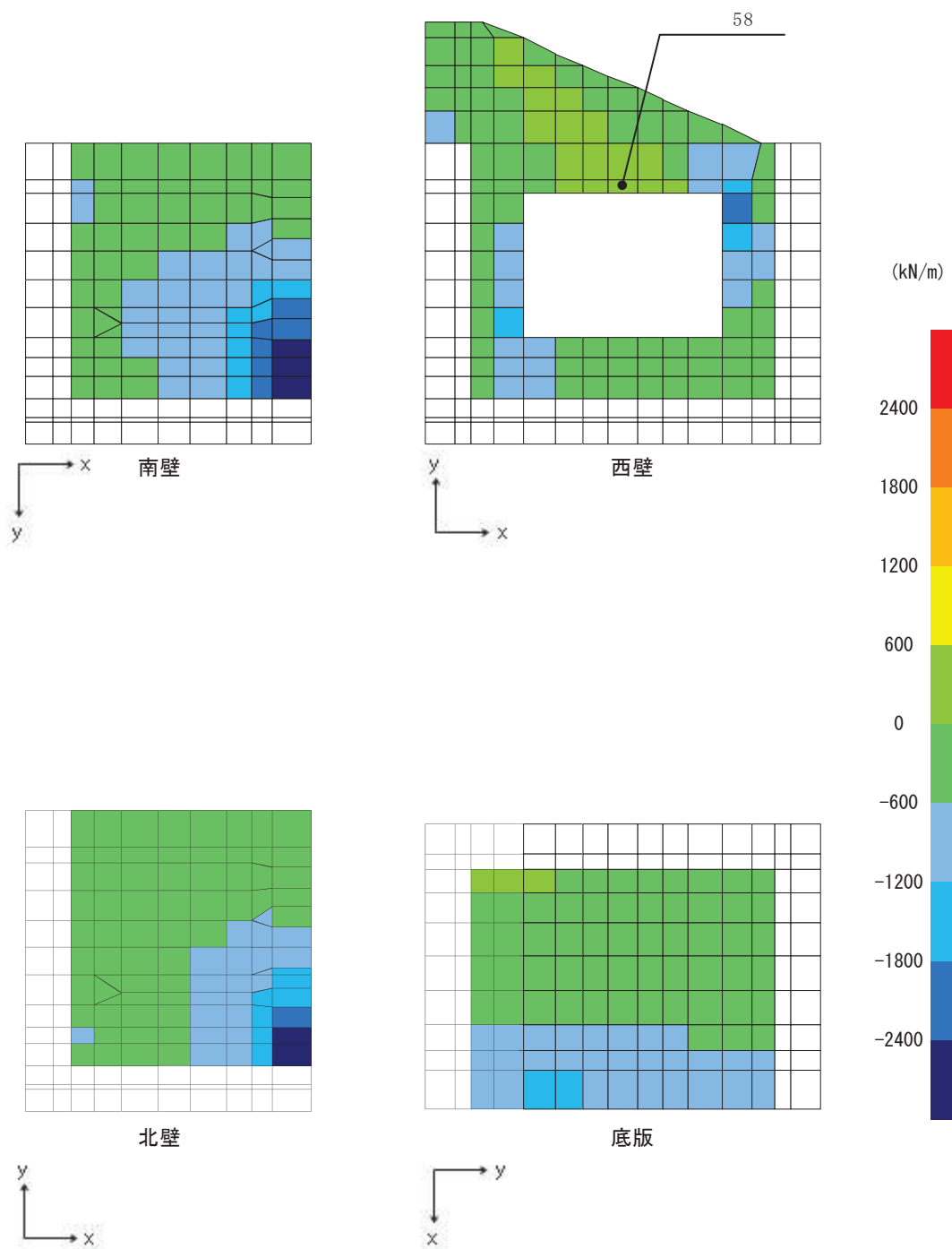


図3-4-34 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (解析ケース③, $S_s - D_2$ (-+))

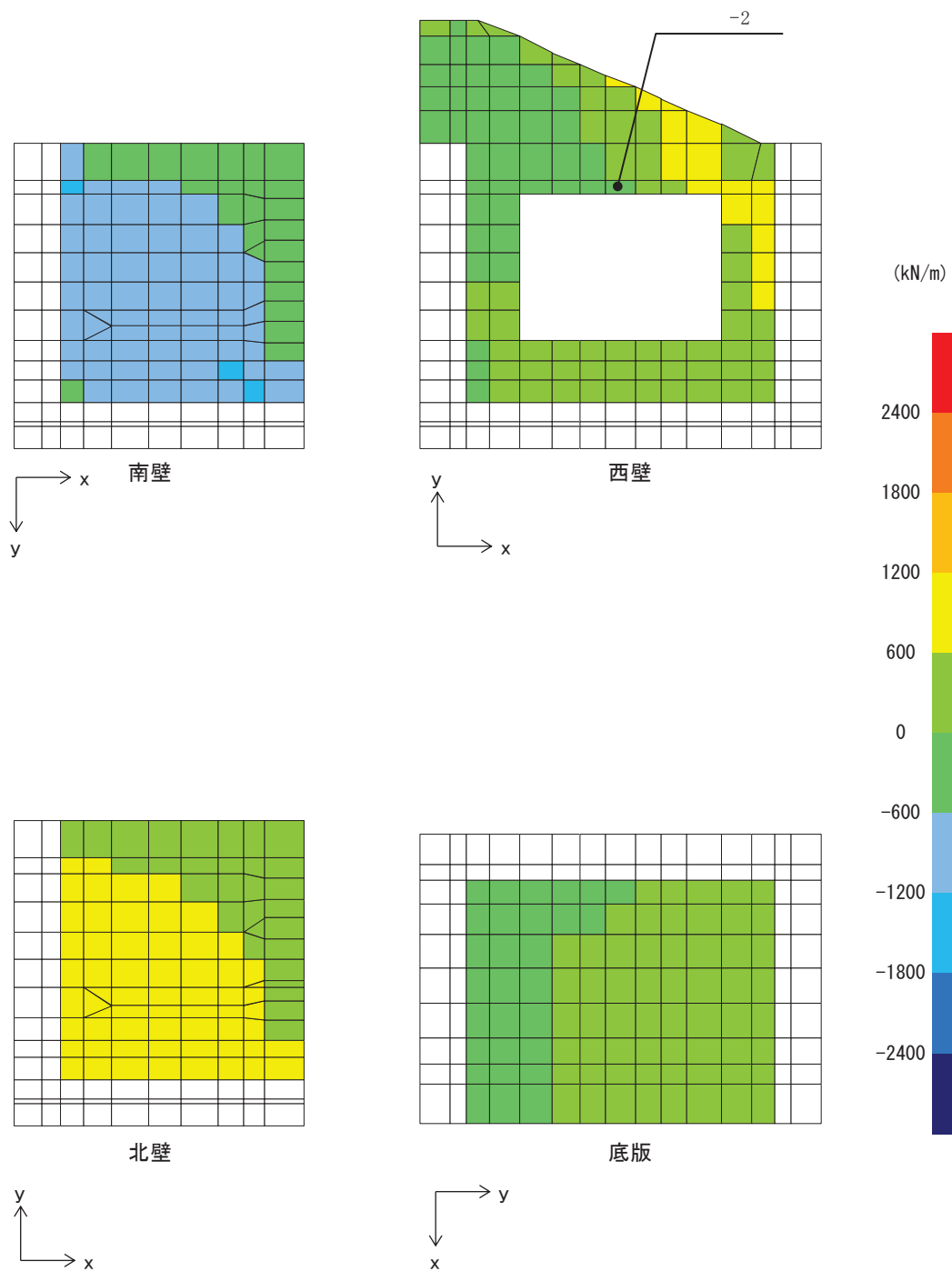


図3-4-35 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
 曲げ・軸力系の破壊に対する照査時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N x y)
 (解析ケース③, S s - D 2 (-+))

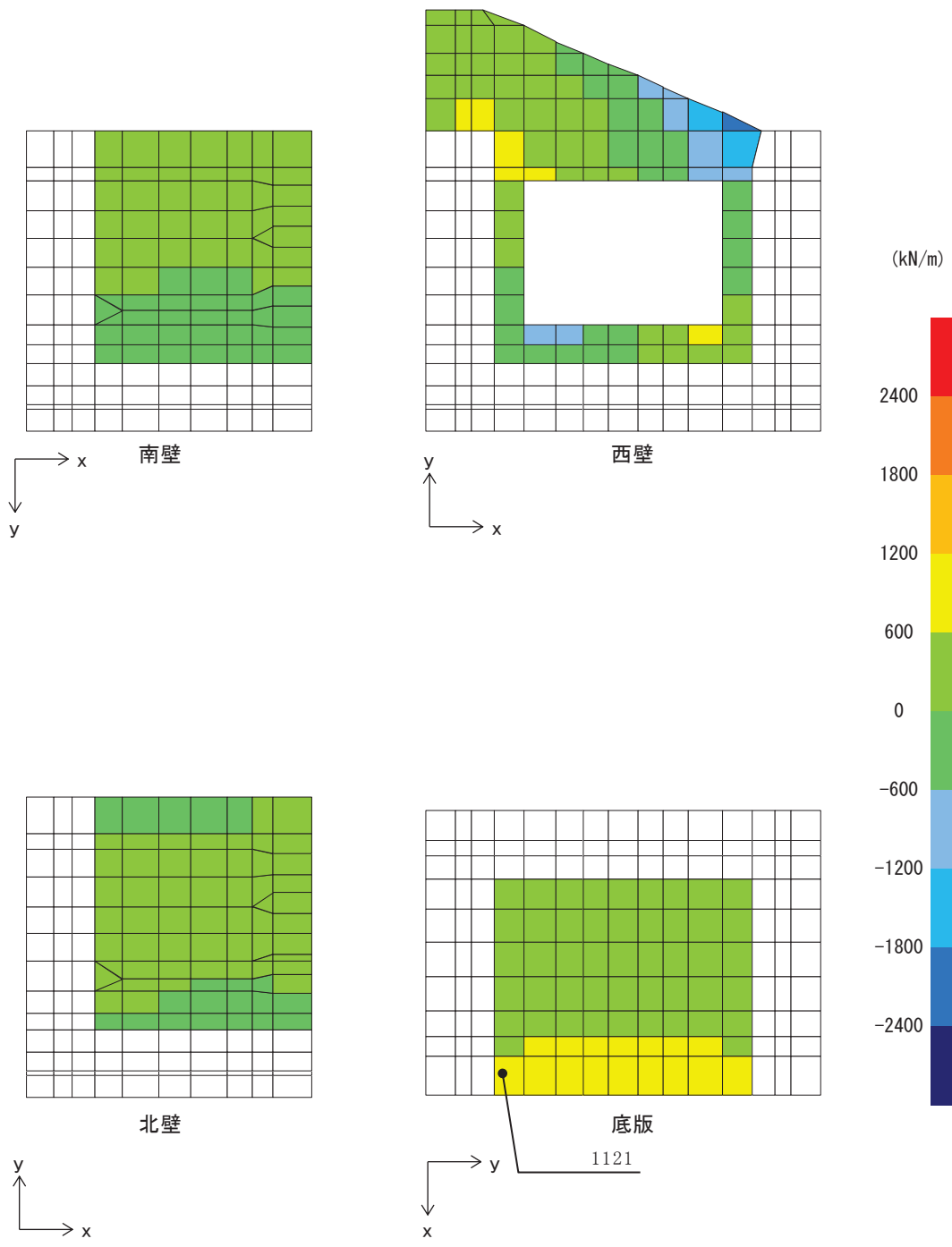


図3-4-36 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによるせん断破壊に対する照査時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (解析ケース③, $S_s - D2 (-+)$)

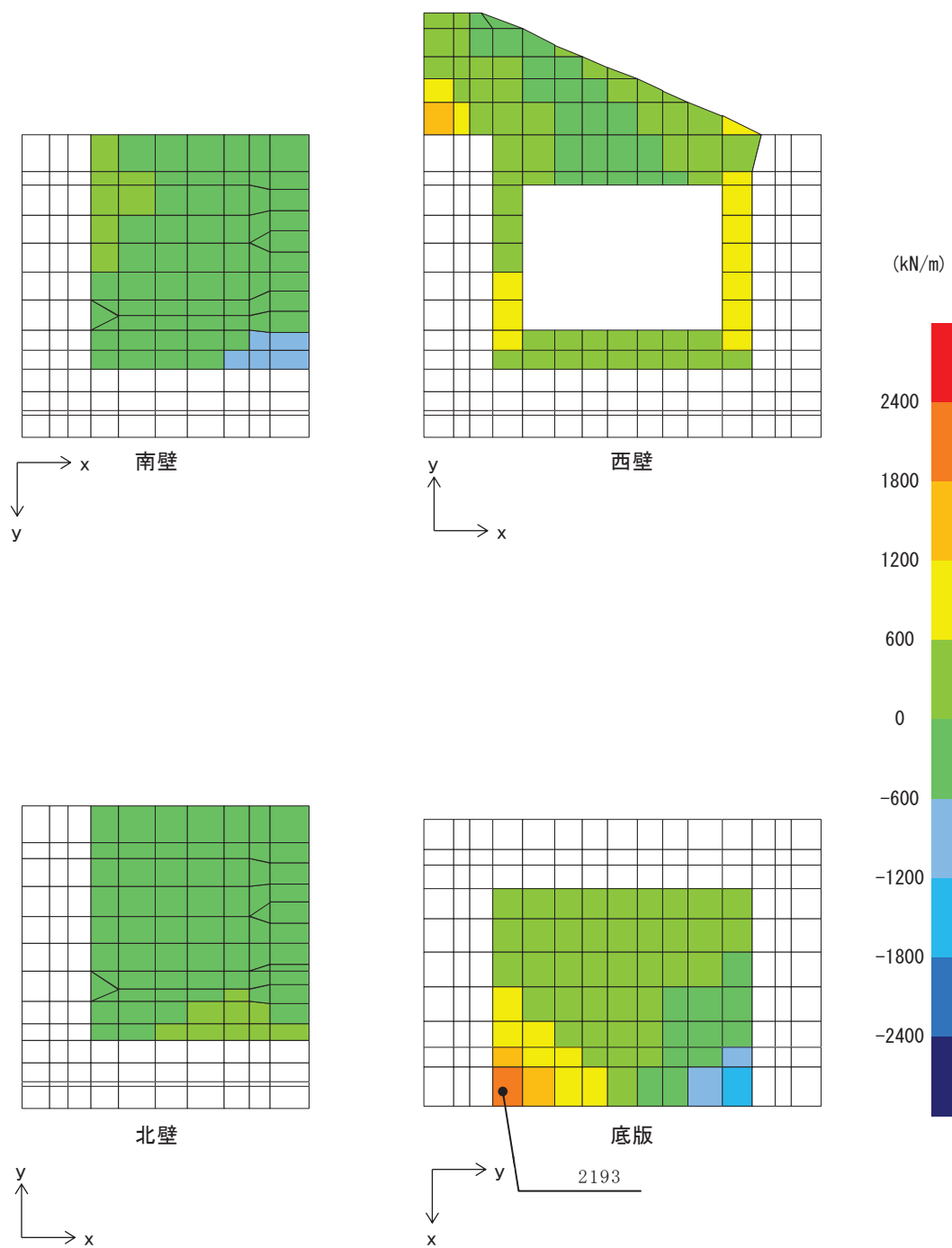


図3-4-37 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによるせん断破壊に対する照査時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (解析ケース③, $S_s - D_2 (-+)$)

(2) 門型構造物

(a) 評価方法

鋼製遮水壁（鋼桁）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、評価対象断面（弱軸方向）の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価に対して、直交する方向（強軸方向）に対する地震応答解析を行い、それぞれの地震応答解析より算定した断面力を合成し、構造部材の発生応力を求める。

これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応力が許容限界以下であることを確認する。

なお、せん断力に対しては、桁軸方向加振と桁軸直角方向加振により生じるせん断力に対して、図3-4-38に示すとおり帯状に配置したせん断補強筋が負担する面が異なるため、それぞれの加振方向に対して基準地震動 S_s により生じるせん断力が許容限界以下であることを示すことで影響評価とする。

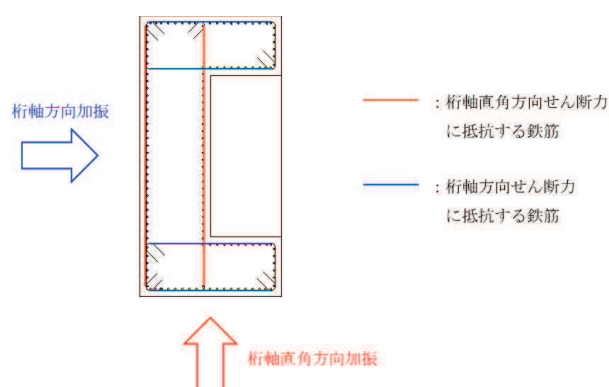


図3-4-38 RC支柱の配筋概要

(b) 評価対象

評価対象は、RC支柱の構造諸元や支持する鋼桁の構造諸元及び周辺地盤の状況が異なるため、添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」に示す、RC支柱の照査値（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果）に基づき、照査値の厳しい構造物を選定し、影響評価を行う。

表3-4-18に評価対象の選定結果を示す。また、図3-4-39に、構造物の平面位置を示す。表3-4-18より、曲げ軸力照査に対しては、照査値が最も大きい鋼製遮水壁（鋼桁）のうち鋼桁3のRC支柱を代表構造物として選定する。せん断力に対しては、桁軸方向加振と桁軸直角方向加振のそれぞれにより生じるせん断力が許容限界以下であり、照査値に十分な裕度を有することを確認した。

表3-4-18 RC支柱の代表構造物選定結果

構造物名	加振方向	全地震動における最大照査値		選定結果	選定理由
		曲げ軸力照査*	せん断力照査*		
鋼桁 (鋼桁1)	桁軸	0.795 (S _s -D ₂ (++))	0.42 (S _s -D ₂ (++))	○	曲げ軸力照査値最大
	桁軸直交	0.131 (S _s -D ₁ (+-))	0.14 (S _s -D ₂ (--))		
鋼桁 (鋼桁2)	桁軸	0.727 (S _s -N ₁ (++))	0.43 (S _s -N ₁ (-+))		
	桁軸直交	0.118 (S _s -D ₂ (+-))	0.15 (S _s -D ₂ (+-))		
鋼桁 (鋼桁3)	桁軸	0.667 (S _s -D ₂ (--))	0.38 (S _s -D ₂ (+-))		
	桁軸直交	0.233 (S _s -D ₂ (++))	0.34 (S _s -D ₂ (++))		
鋼桁 (鋼桁4)	桁軸	0.429 (S _s -D ₁ (+-))	0.17 (S _s -D ₁ (--))		
	桁軸直交	0.183 (S _s -N ₁ (++))	0.18 (S _s -D ₁ (--))		
鋼桁 (鋼桁5)	桁軸	0.763 (S _s -N ₁ (-+))	0.22 (S _s -N ₁ (++))		
	桁軸直交	0.187 (S _s -F ₃ (-+))	0.15 (S _s -F ₃ (-+))		
鋼桁 (鋼桁6)	桁軸	0.775 (S _s -N ₁ (++))	0.31 (S _s -N ₁ (++))		
	桁軸直交	0.188 (S _s -F ₃ (++))	0.15 (S _s -F ₃ (++))		

注記*：添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」より最大照査値を抜粋して記載。

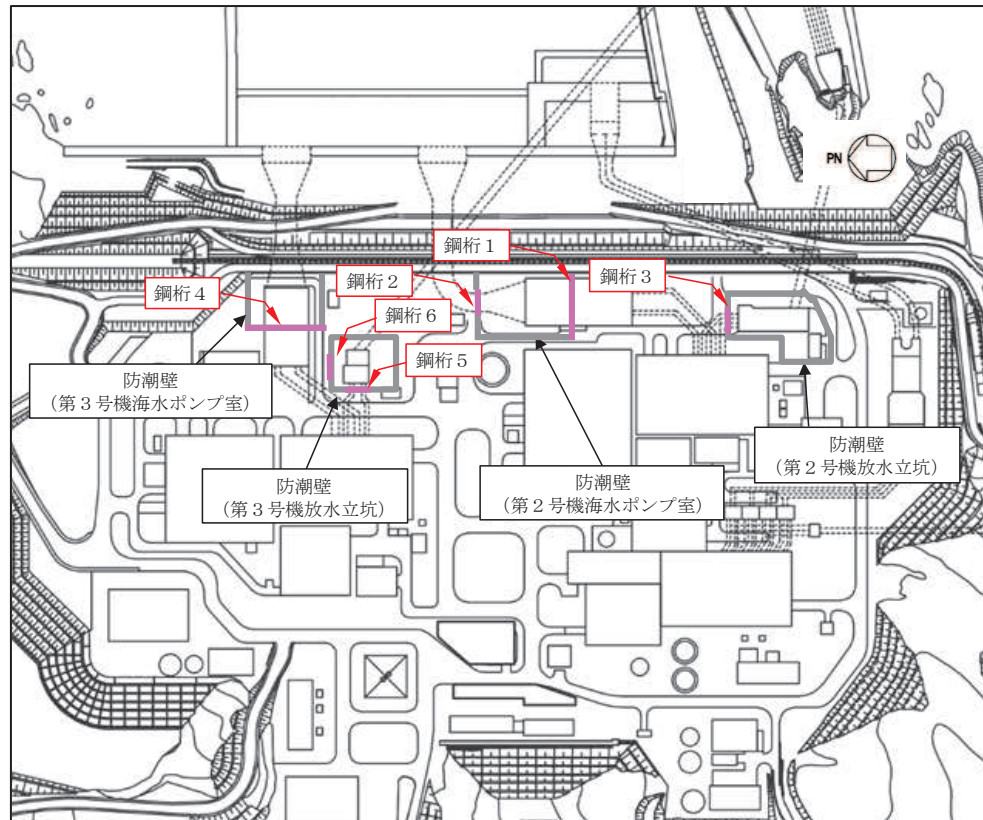


図3-4-39 鋼製遮水壁(鋼桁)の平面位置図

(c) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

地震応答解析モデルを図3-4-40に示す。

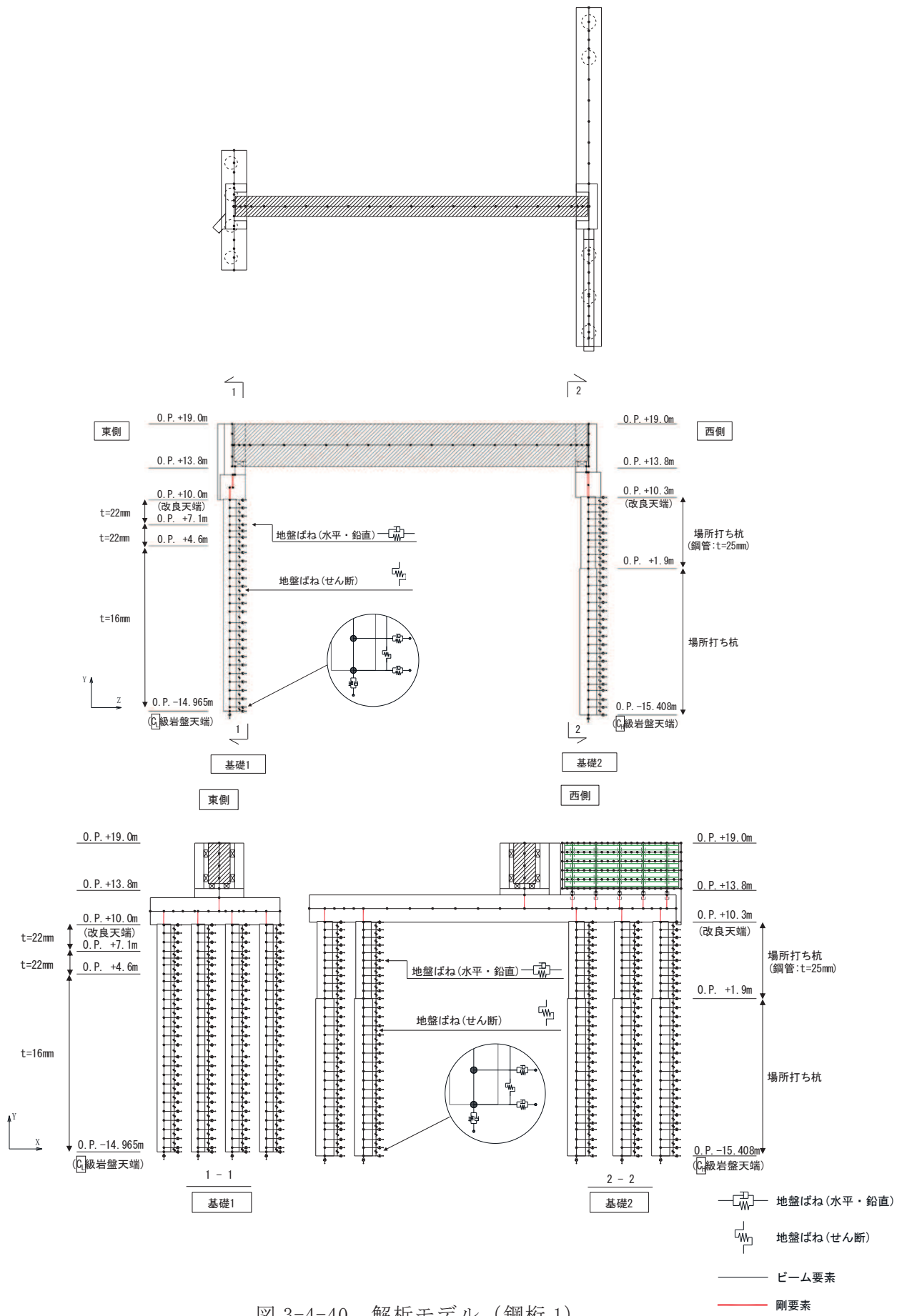


図 3-4-40 解析モデル (鋼桁 1)

②模擬地震動

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では、全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくいことから、水平1方向の照査において最大照査値となる断面に直交する方向には、位相の異なる模擬地震波等を用いる。

③検討ケース

耐震評価における解析ケースを表3-4-19に示す。水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しい下記に示す構造物及び地震動を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

- ・鋼桁1「加振方向（主）：桁軸， $S_s - D_2$ （++），解析ケース③*

注記*：「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」において実施している表3-4-19に示す解析ケースを示す。

表 3-4-19 耐震評価における解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _I 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値

④許容限界

許容限界は添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」に示す値と同様とする。

RC支柱の許容限界を表3-4-20に示す。

表 3-4-20 RC支柱（鋼桁1，鉄筋）の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm^2)		短期許容応力度 (N/mm^2)
	鉄筋(SD490)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	290

(d) 評価結果

RC支柱の水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表3-4-21に示す。また、評価時刻における断面力分布を図3-4-41～図3-4-43に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも、それぞれの照査値が許容限界以下であることを確認した。

表 3-4-21 RC支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値（鉄筋）（鋼桁1基礎2）
（加振方向（主）：桁軸，S_s-D2（++），解析ケース③）

検討ケース	解析ケース	地震動	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
			曲げモー メント (kN・m)	軸力 (kN)			
水平1方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ*1	③	S _s -D2 (++)	-24911	-1553	346	435	0.80
水平2方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ*2	③	主方向： S _s -D2 (++) 従方向： S _s -D2	My： 24911 Mz：3310	-2127	370	435	0.86

注記*1：曲げモーメントについては、全時刻の絶対値最大となる断面力を抽出し、軸力については全時刻の最小値を抽出した上で、曲げモーメントは保守的となるよう正負を入れ替えた組合せでの照査を行い、照査値が最大となった組み合わせでの断面力の値を示している。

*2：曲げモーメントについては、My：桁軸方向加振で生じる曲げモーメント、Mz：桁軸直角方向加振で生じる曲げモーメントが最大最小となる時刻及びMy、Mzの合成モーメント（2乗和平方根）が最大となる時刻並びに軸力（桁軸方向）が最大最小となる時刻における断面力の組合せを抽出した上で、保守的となるよう正負を入れ替えた組合せでの照査を行い、照査値が最大となった組み合わせでの断面力の値を示している。

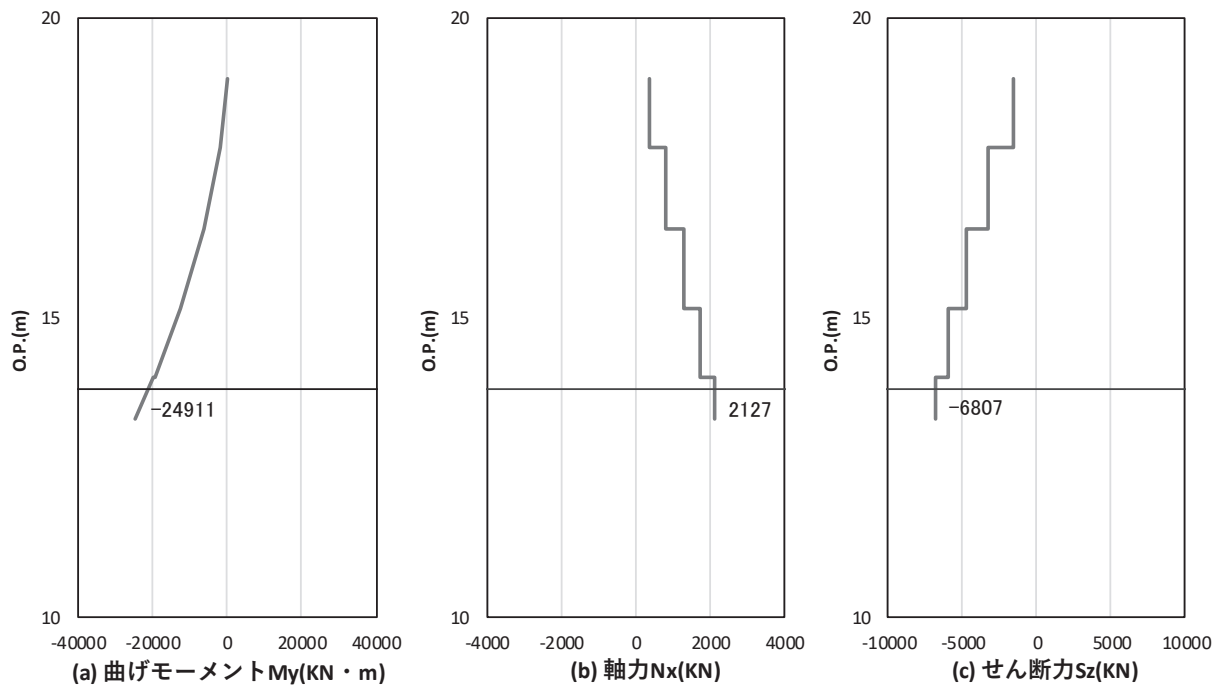


図 3-4-41 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける RC 支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査時刻での断面力 (鋼桁 1 : 基礎 2, 主方向 (桁軸方向), $t = 6.89$ s)

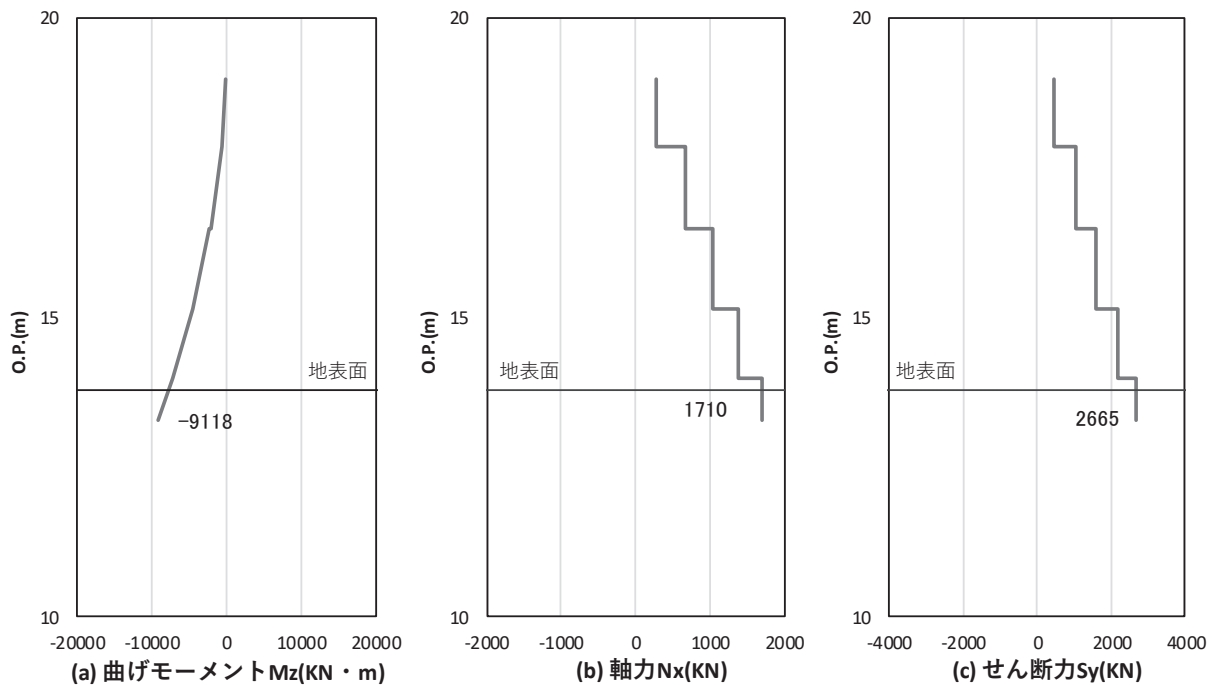


図 3-4-42 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける RC 支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼桁 1 : 基礎 2, 従方向 (桁軸直交方向), $t = 9.13$ s)

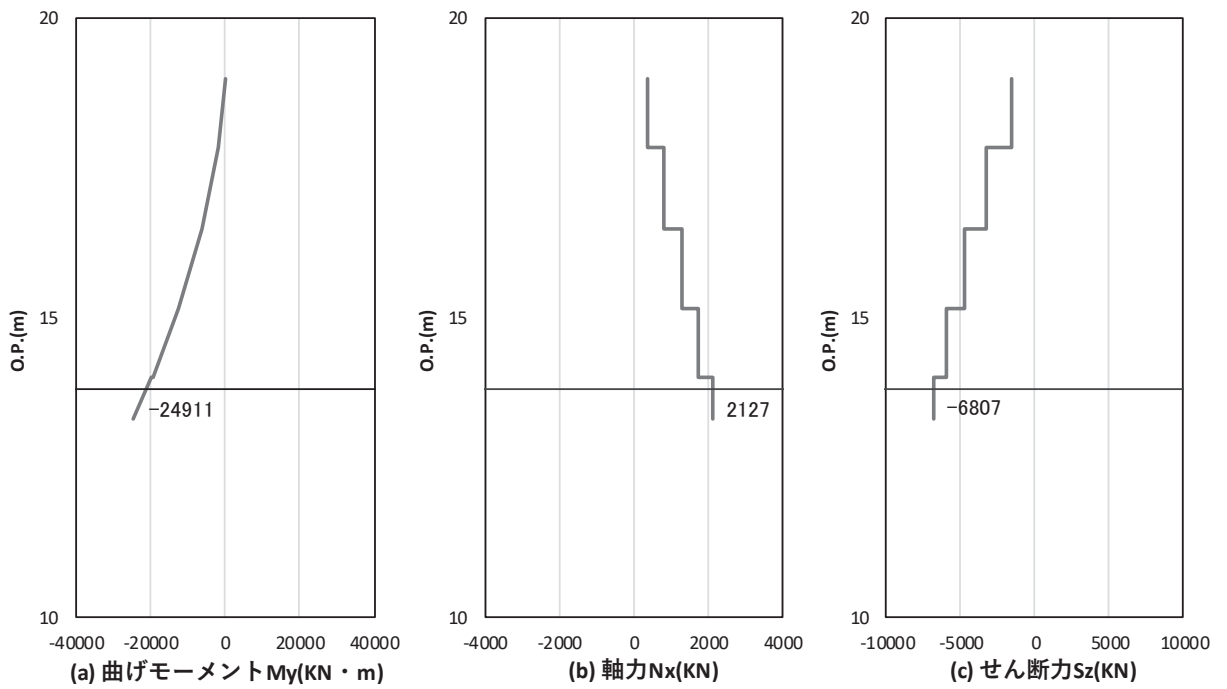


図 3-4-43 (1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける RC 支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼桁 1 : 基礎 2, 主方向 (桁軸方向), $t = 6.89s$)

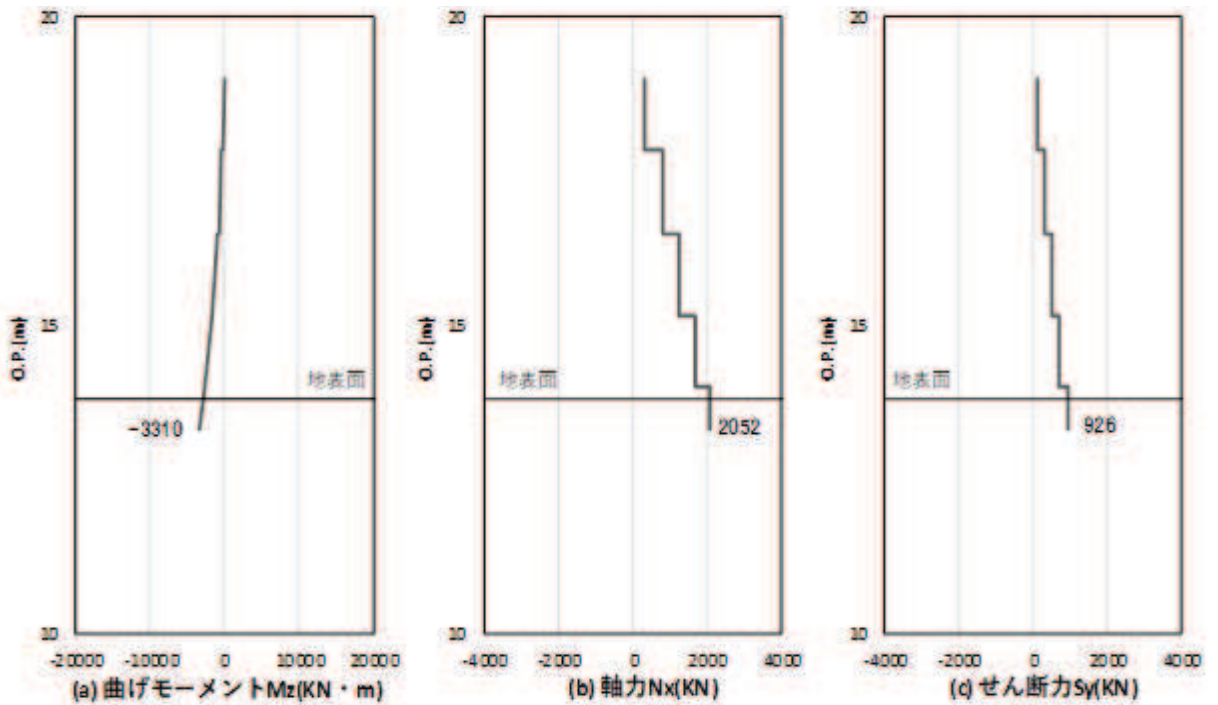


図 3-4-43 (2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける RC 支柱の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼桁 1 : 基礎 2, 従方向 (桁軸直交方向), $t = 6.89s$)

(3) 円筒型構造物

a. 基礎杭

(a) 評価方法

基礎杭の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、評価対象断面（弱軸方向）の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価に対して、直交する方向（強軸方向）に対する地震応答解析を行い、それぞれの地震応答解析より算定した断面力を合成し、構造部材の発生応力を求める。

これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応力が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、材質、杭径、杭間隔、長さ、上載荷重及び周辺地盤の状況が異なるため、添付書類「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」、「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-2-3-3 杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書」に示す、各構造形式の耐震評価対象断面における鋼管杭の照査値（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果）に基づき、照査値の厳しい構造物を選定し、影響評価を行う。

表3-4-22に評価対象の選定結果を、各構造物の平面位置を図3-4-44に示す。鋼管杭の曲げ軸力及びせん断力照査のうち、照査値が最も大きい鋼板断面③、鋼桁1、鋼桁4を影響評価の代表構造物として選定する。

表3-4-22 基礎杭の代表構造物選定結果(1/2)

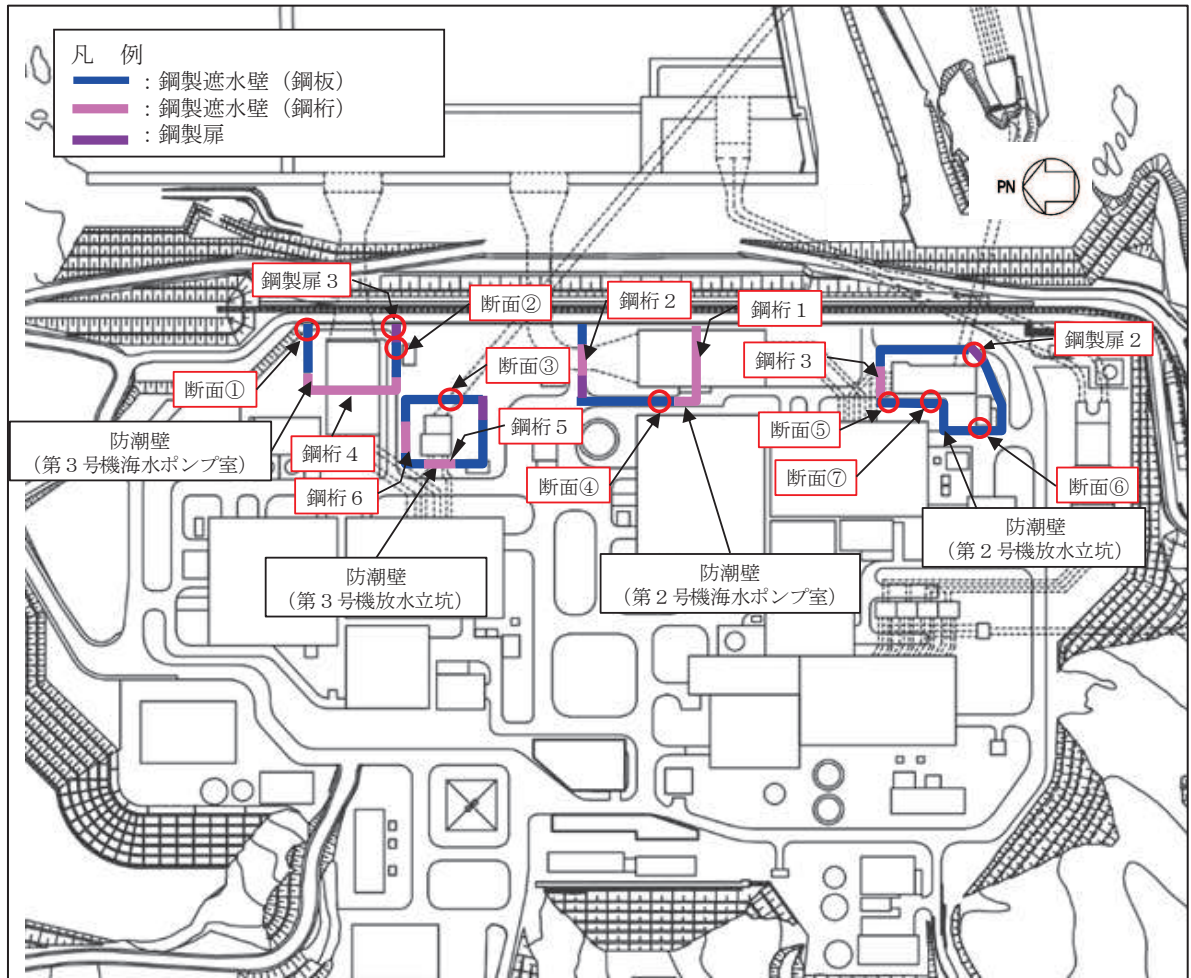
構造形式	構造物名	最大照査値		選定結果	選定理由
		曲げ軸力照査	せん断力照査		
基礎杭	鋼板（断面①）	0.713 (S _s -N ₁ (-+))	0.434 (S _s -N ₁ (-+))		
	鋼板（断面②）	0.619 (S _s -N ₁ (++))	0.385 (S _s -N ₁ (++))		
	鋼板（断面③）	0.953 (S _s -N ₁ (++))	0.650 (S _s -N ₁ (++))	○	曲げ軸力照査値最大 (S _s -N ₁ を除く 照査値においても最大 (S _s -F ₂)*)
	鋼板（断面④）	0.278 (S _s -D ₂ (+-))	0.286 (S _s -D ₂ (+-))		
	鋼板（断面⑤）	0.550 (S _s -D ₂ (-+))	0.413 (S _s -D ₃ (-+))		
	鋼板（断面⑥）	0.425 (S _s -D ₂ (++))	0.626 (S _s -D ₁ (-+))		
	鋼板（断面⑦）	0.634 (S _s -D ₂ (++))	0.522 (S _s -D ₂ (+-))		
	鋼板（断面⑧）	0.388 (S _s -N ₁ (-+))	0.101 (S _s -N ₁ (++))		

注記* : S_s-N₁は観測波に基づいており、地震動の方向に偏りがあり、基準地震動S_sと直交する地震波が基準地震動S_sに比べ小さいことから、S_s-N₁以外の2番目に照査値が厳しい地震動に対しても水平2方向評価を実施

表3-4-22 基礎杭の代表構造物選定結果(2/2)

構造形式	構造物名	最大照査値		選定結果	選定理由
		曲げ軸力照査	せん断力照査		
基礎杭	鋼桁（鋼桁1）	0.739 ($S_s - D_2$) (++)	0.637 ($S_s - D_2$) (++)		
	鋼桁（鋼桁2）	0.854 ($S_s - N_1$) (-+)	0.412 ($S_s - N_1$) (++)		
	鋼桁（鋼桁3）	0.802 ($S_s - D_2$) (+-)	0.638 ($S_s - D_2$) (+-)	○	せん断力照査値 ($S_s - N_1$ を除く) 最大*
	鋼桁（鋼桁4）	0.884 ($S_s - N_1$) (++)	0.696 ($S_s - N_1$) (++)	○	せん断力照査値最大
	鋼桁（鋼桁5）	0.908 ($S_s - N_1$) (-+)	0.414 ($S_s - N_1$) (++)		
	鋼桁（鋼桁6）	0.900 ($S_s - N_1$) (-+)	0.365 ($S_s - N_1$) (-+)		
	鋼製扉（扉2）	0.278 ($S_s - D_2$) (++)	0.265 ($S_s - D_2$) (-+)		
	鋼製扉（扉3）	0.898 ($S_s - N_1$) (-+)	0.549 ($S_s - N_1$) (++)		

注記* : $S_s - N_1$ は観測波に基づいており，地震動の方向に偏りがあり，基準地震動 S_s と直交する地震波が基準地震動 S_s に比べ小さいことから， $S_s - N_1$ 以外の2番目に照査値が厳しい地震動に対しても水平2方向評価を実施



(: 評価対象断面を示す)

図3-4-44 防潮壁の平面位置図

(c) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した照査値の算定方法

基礎杭の水平2方向及び鉛直地震力の組合せによる影響評価については、直交する水平2方向におけるそれぞれの地震応答解析にて算定した同時刻の断面力に対して以下に示す方法により照査を行う。

これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による照査値が許容限界以下であることを確認する。

① 曲げ軸力照査

曲げ軸力照査値の算定式を以下に示す。

$$M_y > M$$
$$M_y = \left(\sigma_y - \frac{|N|}{A} \right) \cdot Z$$
$$M = \sqrt{M_{1\text{方向目}}^2 - M_{2\text{方向目}}^2}$$

ここで、

M_y : 鋼管杭の降伏曲げモーメント (kN・m)

M : 鋼管杭の発生曲げモーメント (kN・m)

σ_y : 鋼管杭の降伏強度 (N/mm²)

N : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A : 鋼管杭の断面積 (m²)

Z : 鋼管杭の断面係数 (m³)

$M_{1\text{方向目}}$: 1方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生曲げモーメント (kN・m) *

$M_{2\text{方向目}}$: 2方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生曲げモーメント (kN・m) *

注記* : 1方向目と2方向目の等時刻の曲げモーメントの合成 (2乗和平方根) が最大となる時刻の発生曲げモーメント

② せん断力照査

せん断照査値の算定式を以下に示す。

$$\tau > \tau_1$$
$$\tau_1 = \kappa \frac{S}{A}$$
$$S = \sqrt{S_{1\text{方向目}}^2 - S_{2\text{方向目}}^2}$$

ここで、

τ : 鋼管杭の許容せん断強度 (N/mm²)

τ_1 : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力 (N/mm²)

S : 鋼管杭に発生するせん断力 (N)

A : 鋼管杭の断面積 (mm²)

κ : せん断応力の分布係数 (2.0)

S_{1} 方向目：1方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生せん断力 (N) *

S_{2} 方向目：2方向目の地震応答解析における鋼管杭の発生せん断力 (N) *

注記*：1方向目と2方向目の等時刻のせん断力の合成（2乗和平方根）が最大となる時刻の発生せん断力

(d) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

解析モデルを図3-4-45～図3-4-47に示す。

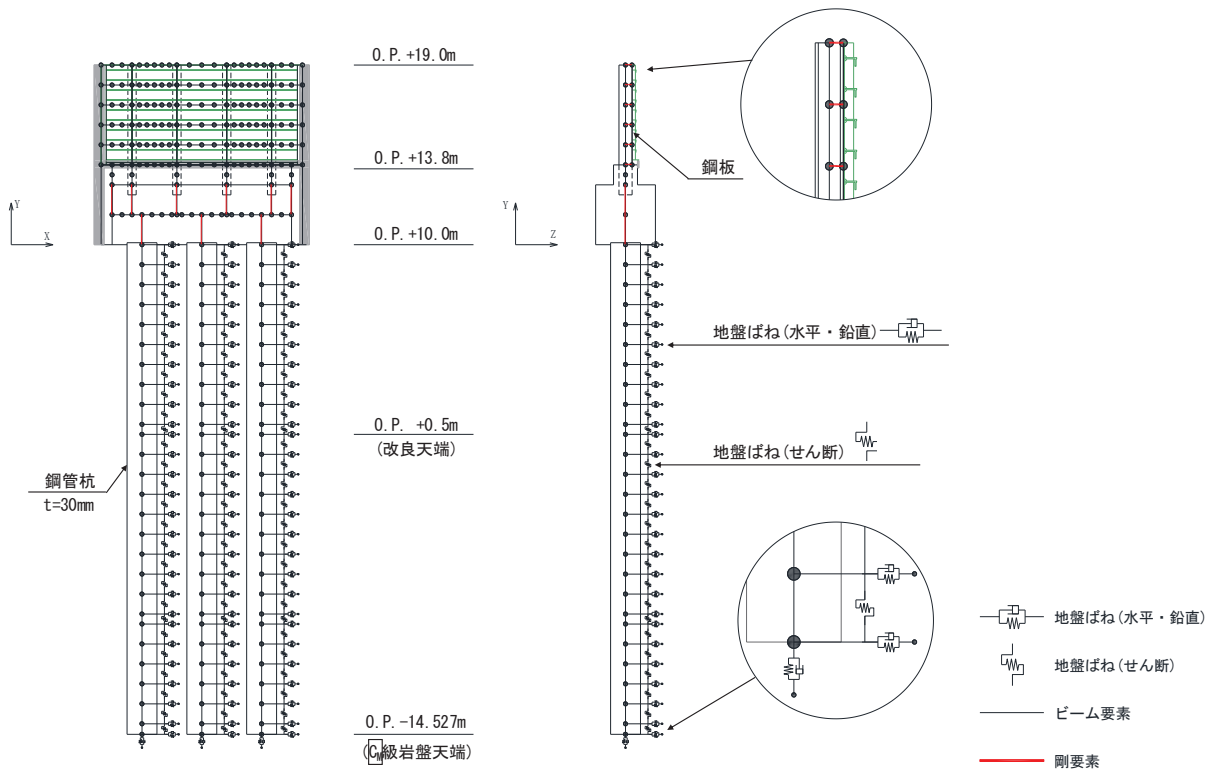


図 3-4-45 解析モデル（鋼製遮水壁（鋼板）断面③）

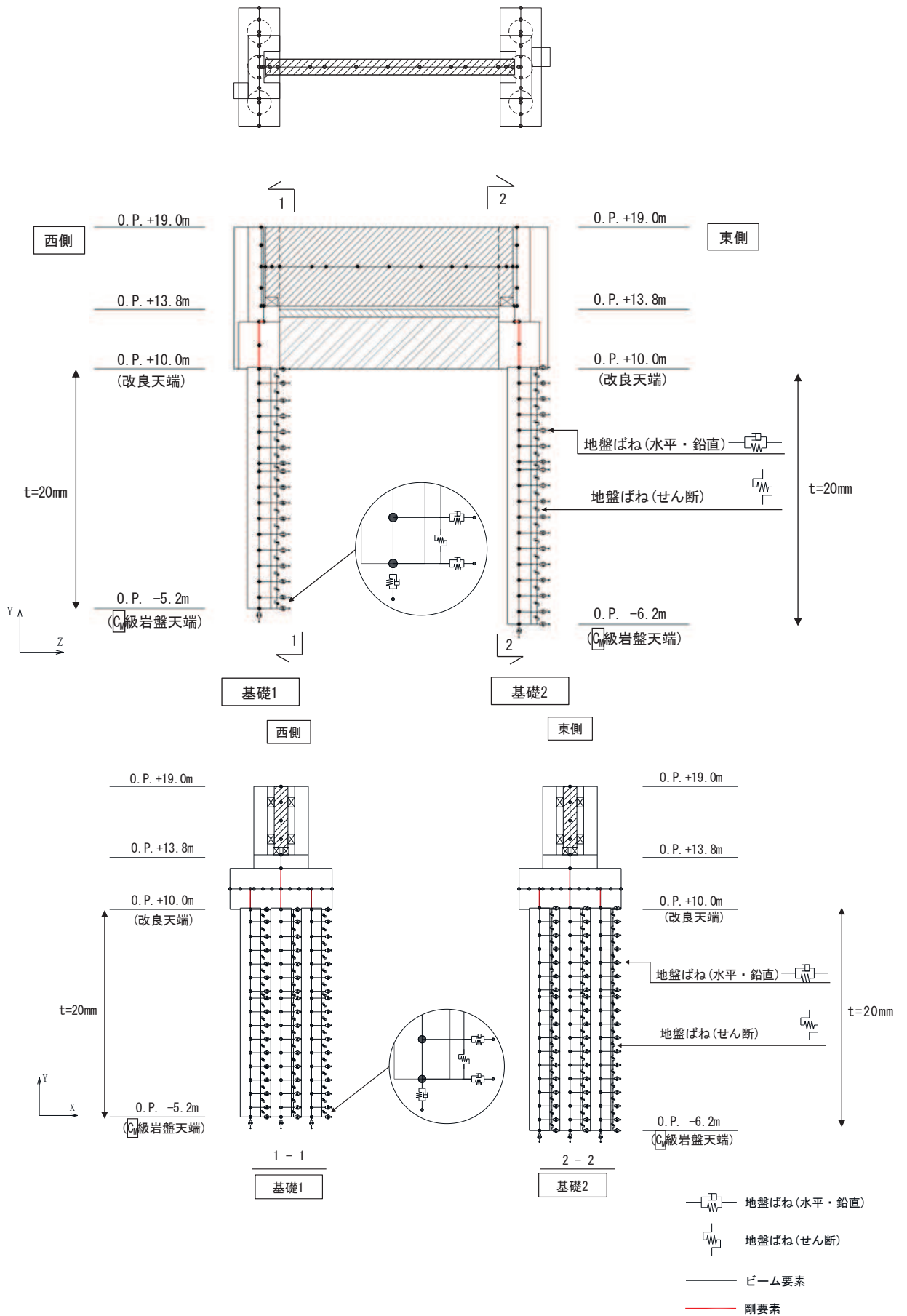


図 3-4-46 解析モデル (鋼桁 3)

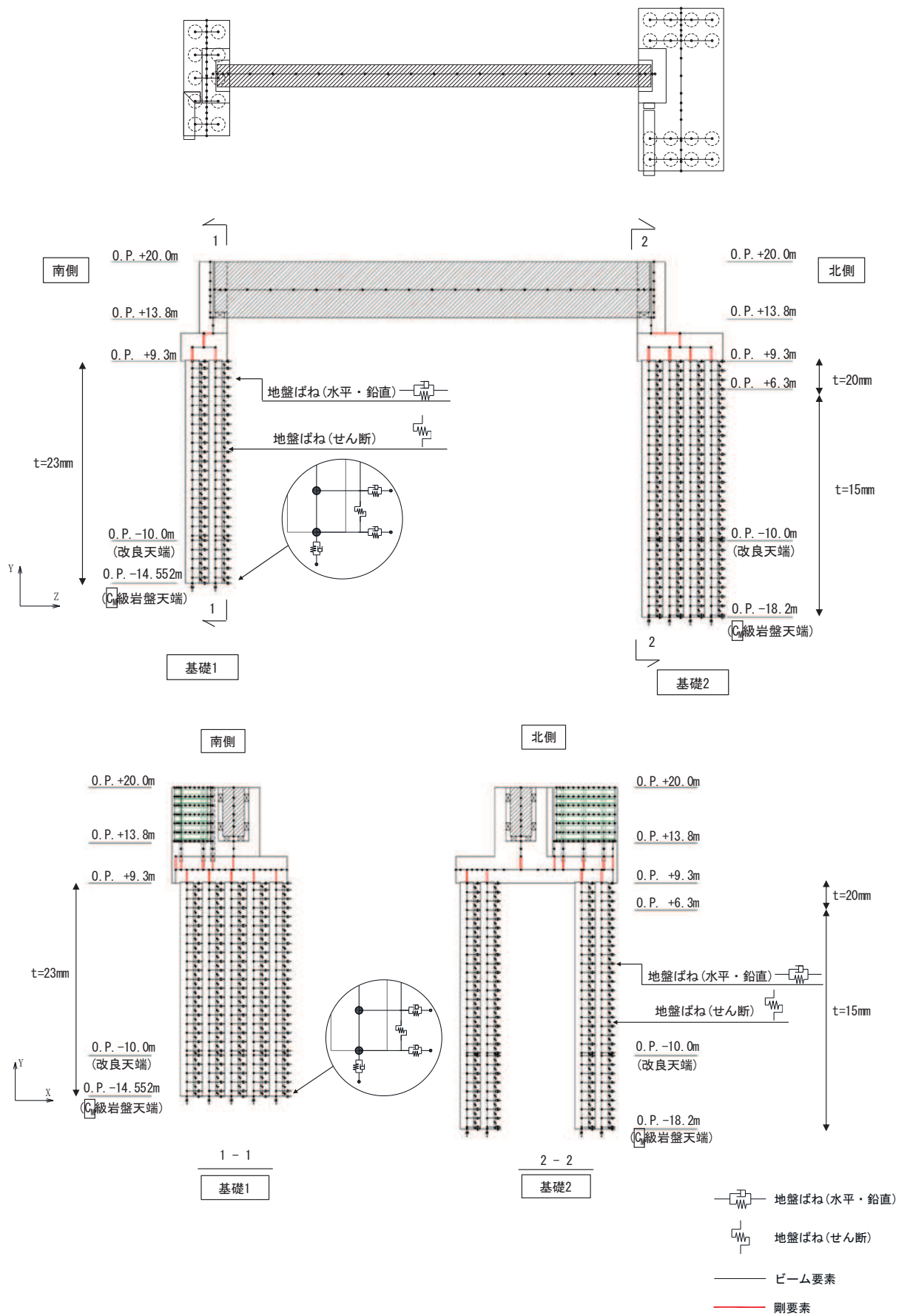


図 3-4-47 解析モデル (鋼桁 4)

② 模擬地震動

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では、全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくいことから、水平1方向の照査において最大照査値となる断面に直交する方向には、位相の異なる模擬地震波等を用いる。

③ 検討ケース

耐震評価における解析ケースを表3-4-23に示す。水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しい下記構造物及び地震動を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

曲げ軸力

- ・ 鋼板（断面③）「 $S_s - N1$ （++），解析ケース②*」
- ・ 鋼板（断面③）「 $S_s - F2$ （-+），解析ケース①*」

せん断力照査

- ・ 鋼桁4「加振方向（主）：桁軸直交， $S_s - N1$ （++），解析ケース②*」
- ・ 鋼桁3「加振方向（主）：桁軸， $S_s - D2$ （+-），解析ケース②*」

注記*：「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書」において実施している表3-4-23に示す解析ケースを示す。

表 3-4-23 耐震評価における解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土，盛土，D級岩盤，改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤，C _M 級岩盤，C _H 級岩盤，B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値

④許容限界

許容限界は添付書類「VI-2-10-2-3-2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書」に示す値と同様とする。

基礎杭の許容限界を表3-4-24に示す。

鋼管杭及び場所打ちコンクリート杭の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成24年3月）」に基づき，鋼管杭については，表3-4-24に示す降伏強度を用いた降伏モーメント及びせん断強度とする。

表 3-4-24 鋼管杭（杭体）の許容限界

杭種		降伏強度（曲げ） (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)
鋼管杭 (杭体)	SKK490 (t < 40mm)	315	160
	SM570 (t < 40mm)	450	260

(e) 評価結果

基礎杭の水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表3-4-25, 表3-4-26に, せん断破壊に対する照査値を表3-4-28, 表3-4-29に示す。また, 照査時刻における曲げ・軸力系の破壊に対する断面力を図3-4-48～図3-4-53に, せん断破壊に対する断面力を図3-4-54～図3-4-59に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも, それぞれの照査値が許容限界以下であることを確認した。

表 3-4-25 基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値 (鋼板 (断面③))

(加振方向 (主) : 壁軸直交, S s - N 1 (++) , 解析ケース②)

検討ケース	解析ケース	地震動	発生断面力		降伏曲げモーメント (kN・m) (b)	照査値 (a/b)
			曲げモーメント (kN・m) (a)	軸力 (kN)		
水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ	②	S s - N 1 (++)	20361	919	21369	0.96
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ	②	主方向 : S s - N 1 (++) 従方向 : S s - N 1	20648	896	21378	0.97

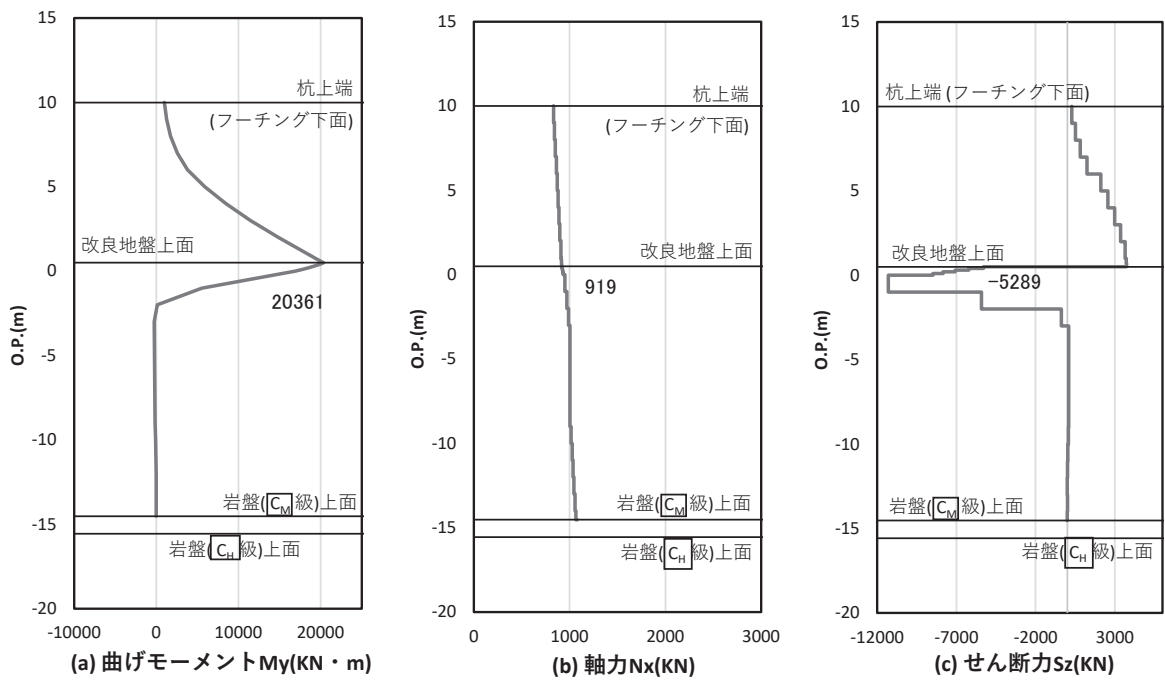


図 3-4-48 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 主方向 (壁軸直交方向), $t = 7.80s$)

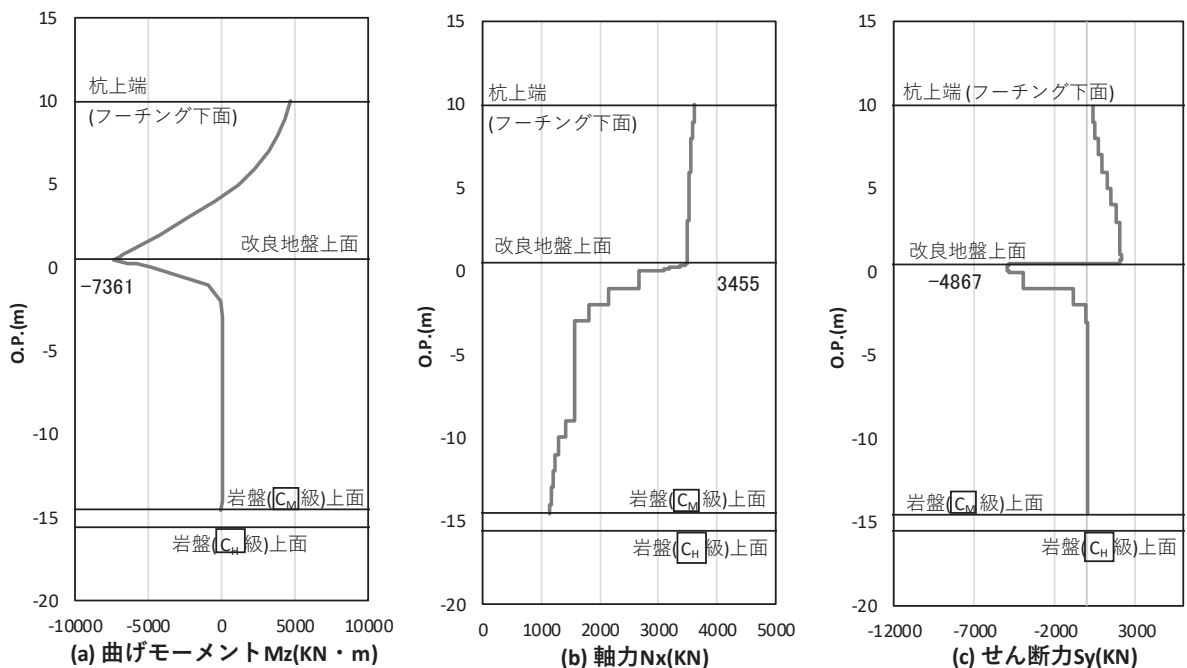


図 3-4-49 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 従方向 (壁軸方向), $t = 6.99s$)

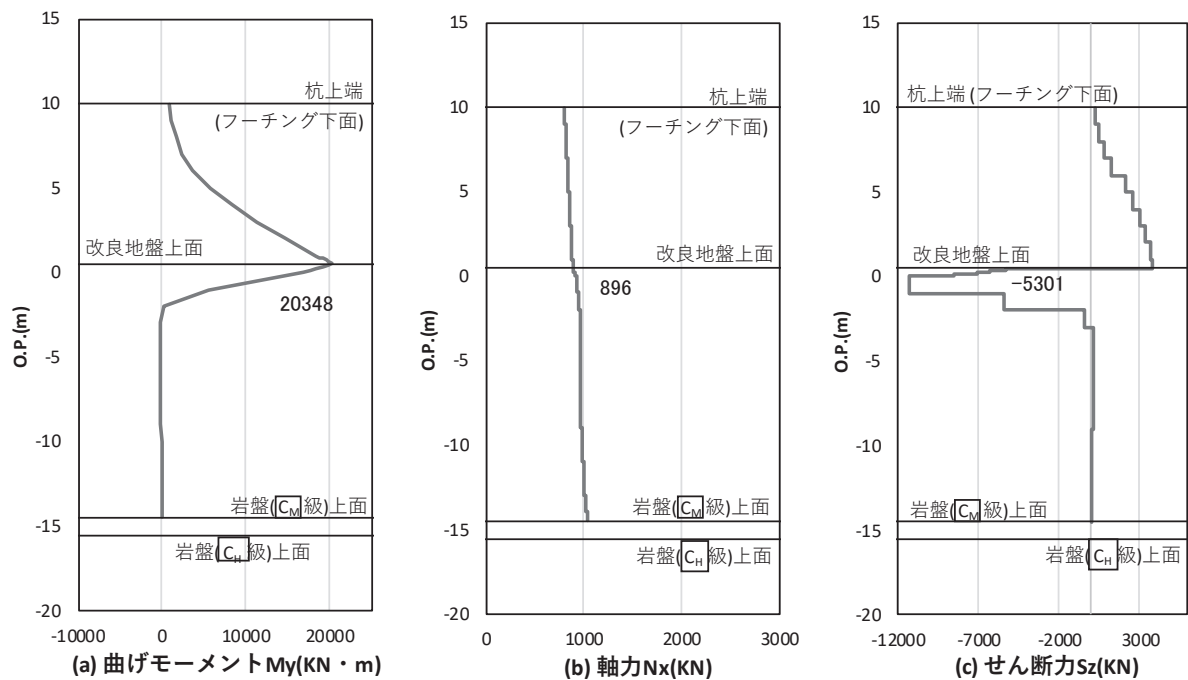


図 3-4-50 (1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 主方向 (壁軸直交方向), $t = 7.79s$)

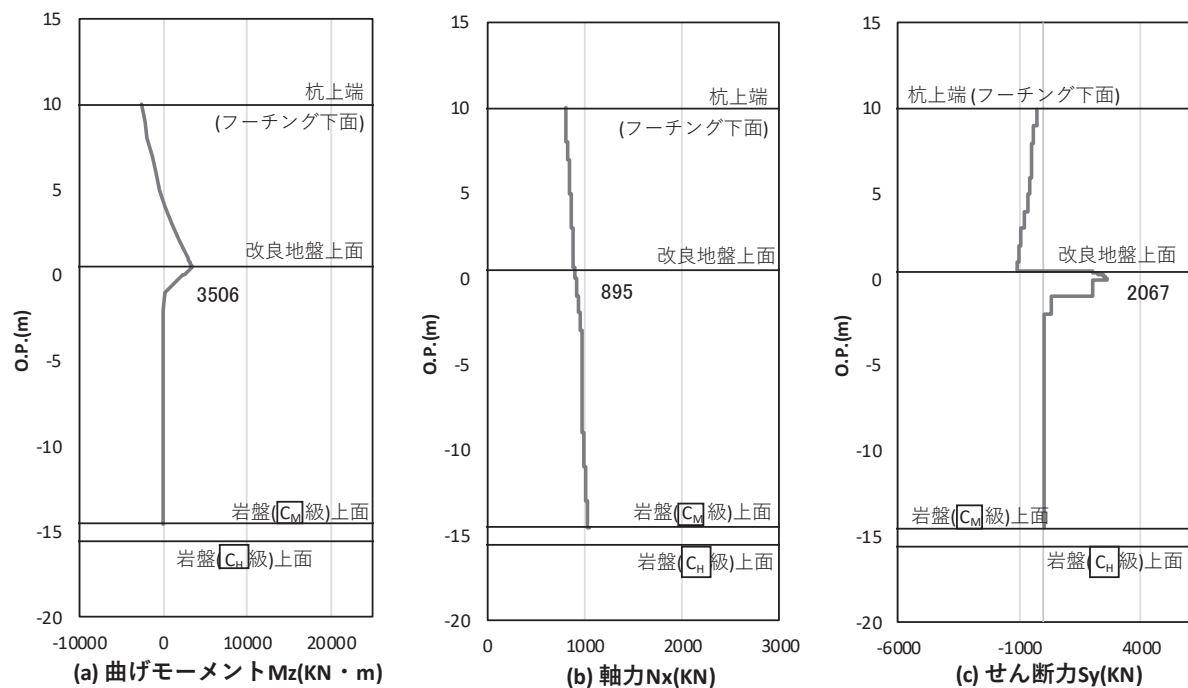


図 3-4-50 (2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 従方向 (壁軸方向), $t = 7.79s$)

表 3-4-26 基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値（鋼板（断面③））
 （加振方向（主）：壁軸直交，S s - F 2（-+），解析ケース①）

検討ケース	解析 ケース	地震動	発生断面力		降伏曲げ モーメント (kN・m) (b)	照査値 (a/b)
			曲げモーメント (kN・m) (a)	軸力 (kN)		
水平 1 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	①	S s - F 2 (-+)	18217	1081	21311	0.86
水平 2 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	①	主方向： S s - F 2 (-+) 従方向： S s - F 2	20391	1217	21262	0.96

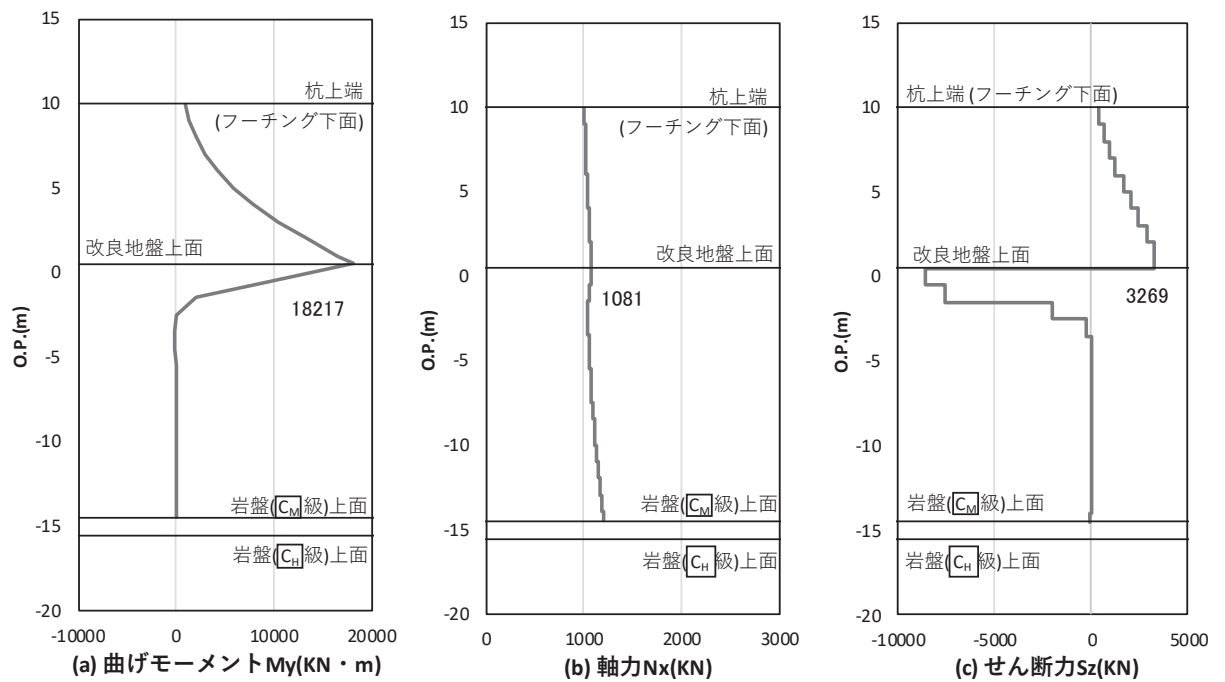


図 3-4-51 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 主方向 (壁軸直交方向), $t = 28.59s$)

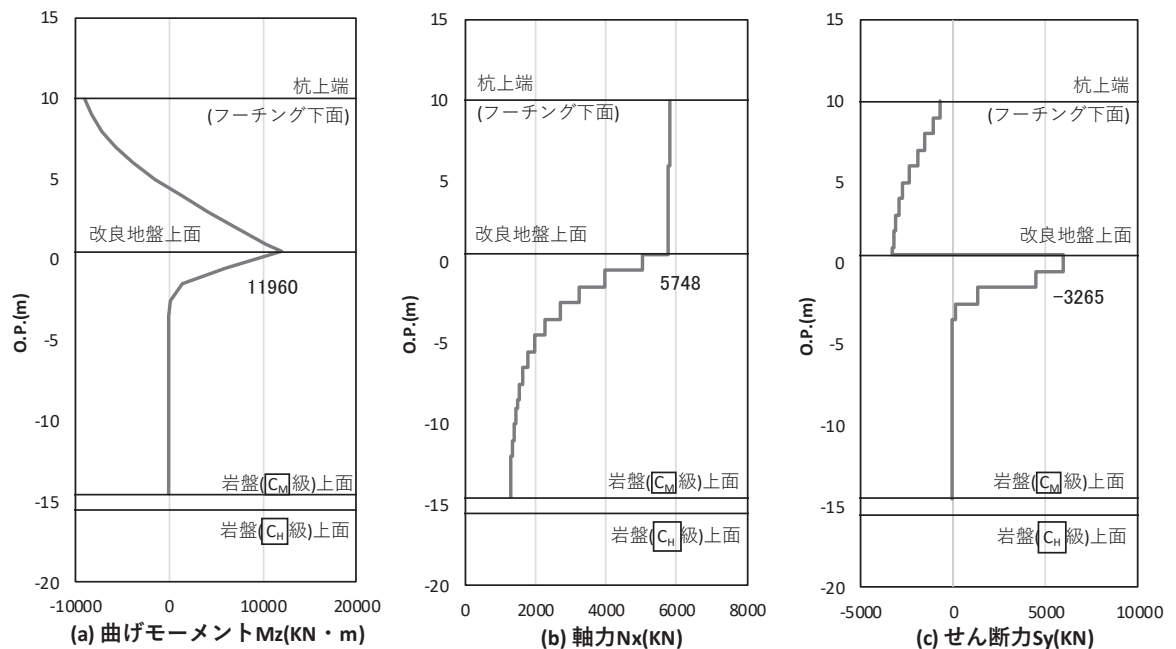


図 3-4-52 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 従方向 (壁軸方向), $t = 28.68s$)

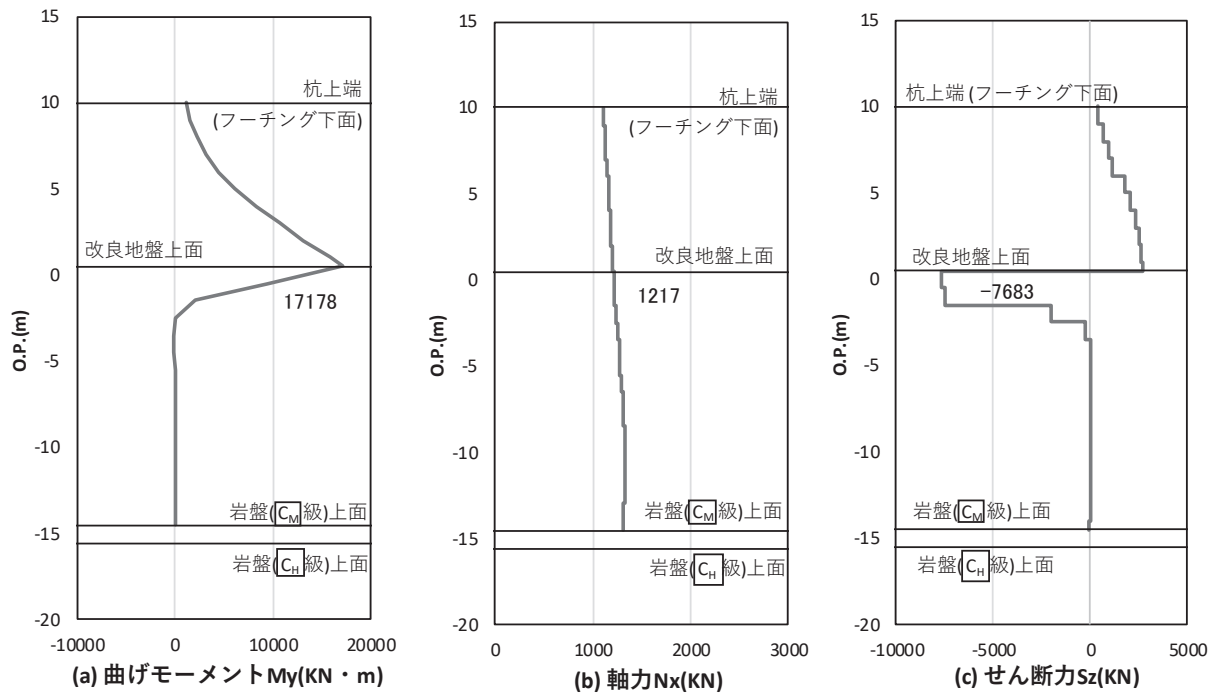


図 3-4-53 (1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 主方向 (壁軸直交方向), $t = 28.63s$)

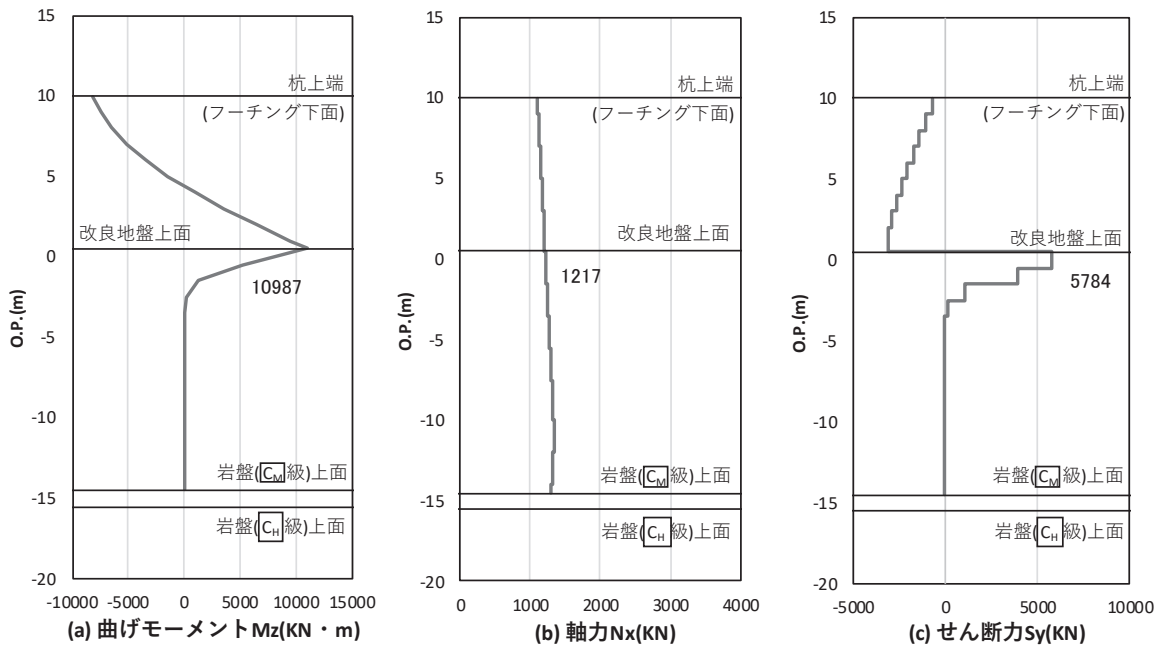


図 3-4-53 (2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼板 (断面③), 従方向 (壁軸方向), $t = 28.63s$)

表 3-4-27 基礎杭のせん断破壊に対する照査値（鋼桁 4）
 （加振方向（主）：桁軸直交，S s - N 1（++），解析ケース②）

検討ケース	解析 ケース	地震動	発生断面力	せん断 応力度 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
			せん断力 (kN)			
水平 1 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	S s - N 1 (++)	5895	181	260	0.70
水平 2 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	主方向： S s - N 1 (++) 従方向： S s - N 1	6551	201	260	0.78

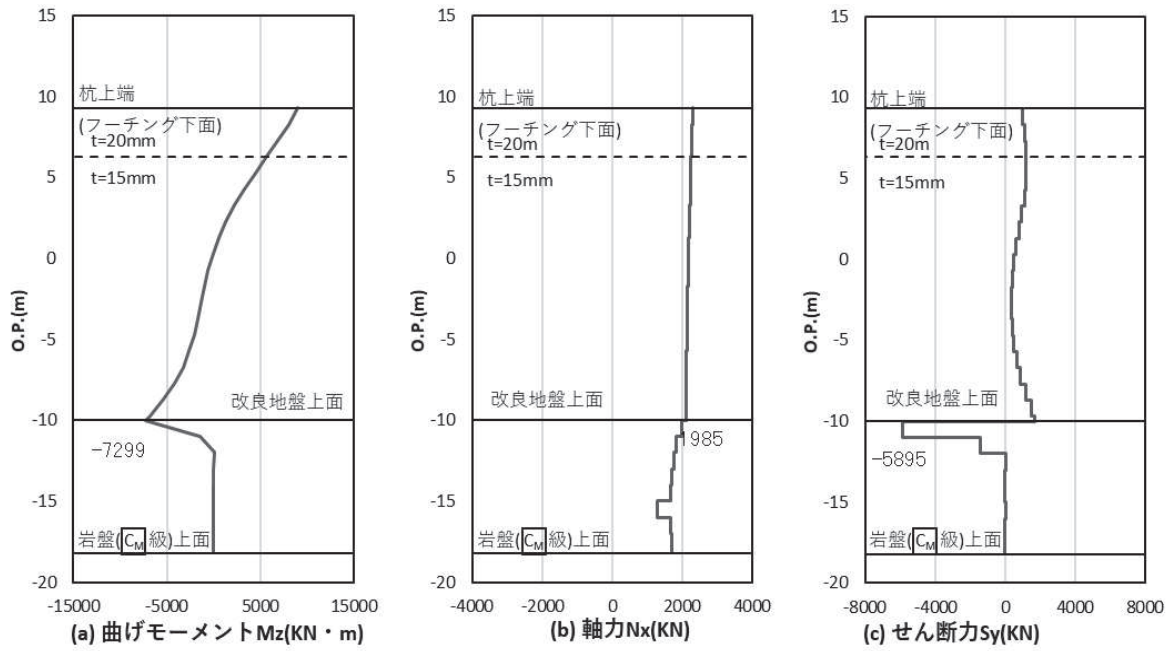


図 3-4-54 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭のせん断破壊に対する照査時刻での断面力 (鋼桁 4, 主方向 (桁軸直交方向), $t = 7.77s$)

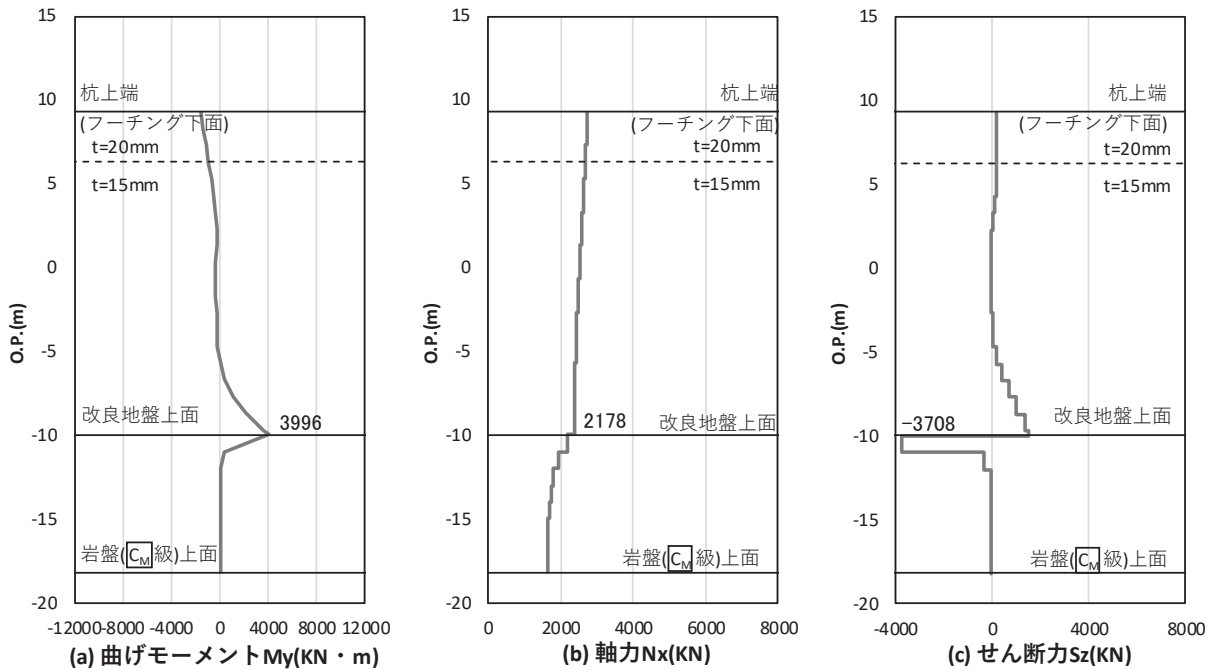


図 3-4-55 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼桁 4, 従方向 (桁軸方向), $t = 7.90s$)

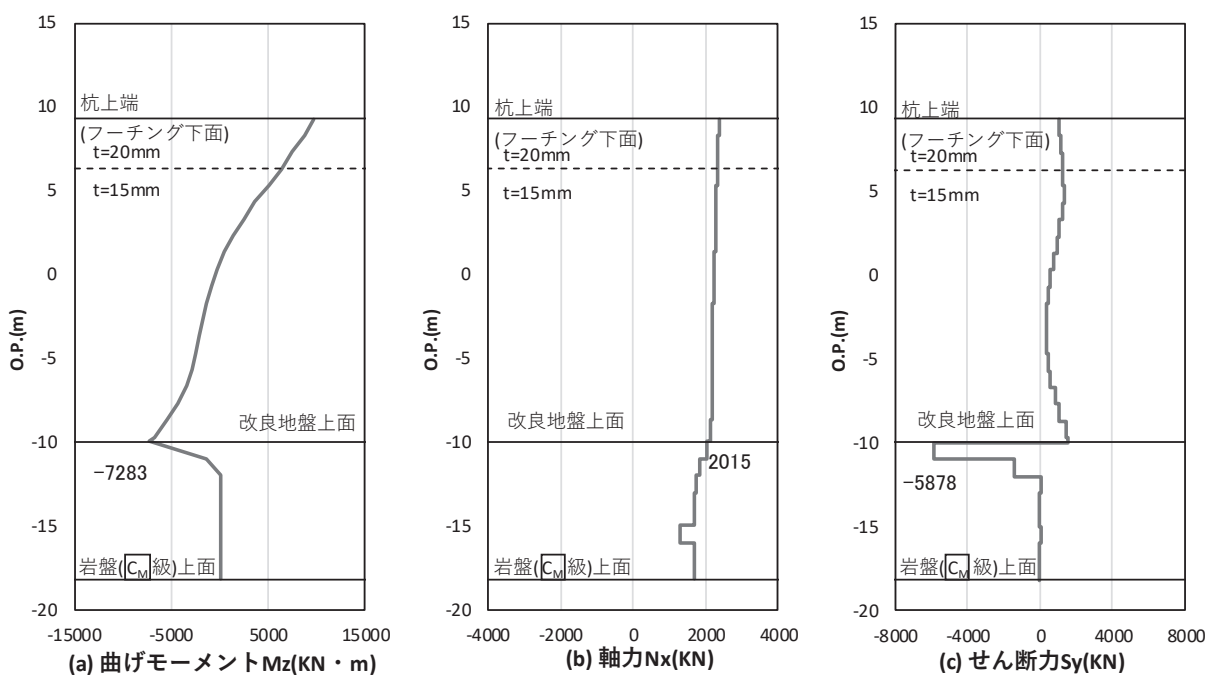


図 3-4-56 (1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼桁 4, 主方向 (桁軸直交方向), $t = 7.79s$)

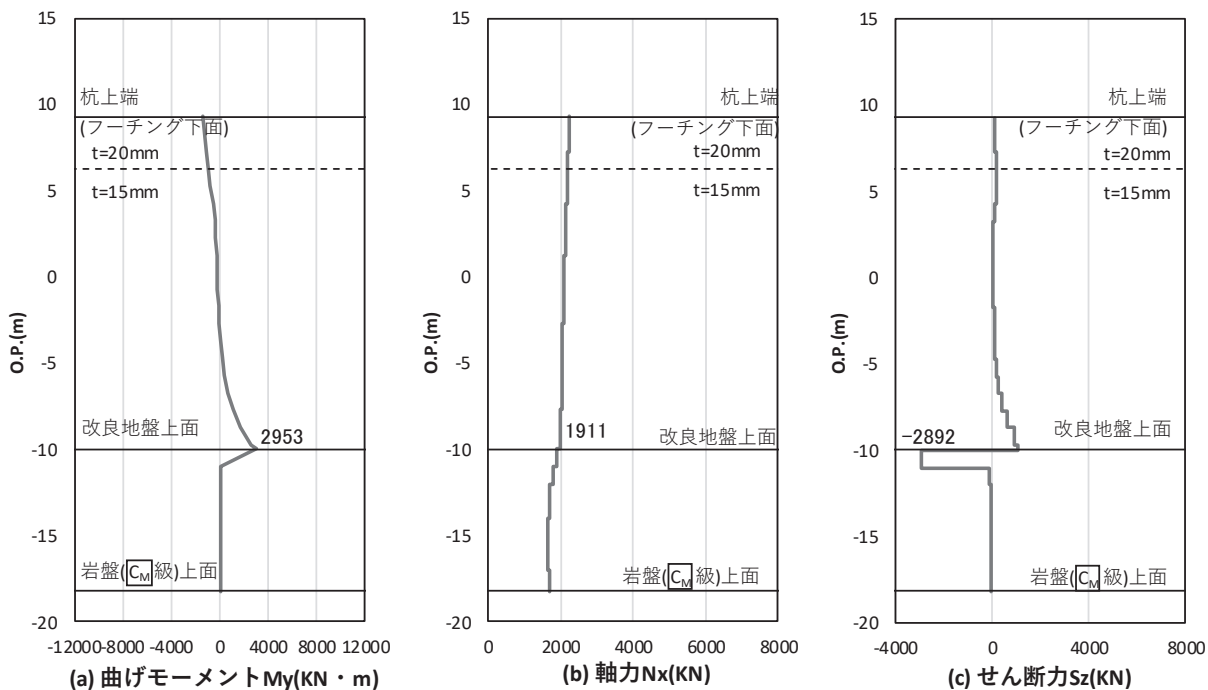


図 3-4-56 (2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける基礎杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力 (鋼桁 4, 従方向 (桁軸方向), $t = 7.79s$)

表 3-4-28 基礎杭のせん断破壊に対する照査値（鋼桁 3）
 （加振方向（主）：桁軸， $S_s - D_2$ （+-），解析ケース②）

検討ケース	解析 ケース	地震動	発生断面力	せん断 応力度 (N/mm^2) (a)	許容限界 (N/mm^2) (b)	照査値 (a/b)
			せん断力 (kN)			
水平 1 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	$S_s - D_2$ (+-)	7298	166	260	0.64
水平 2 方向 及び鉛直方 向地震力の 組合せ	②	主方向： $S_s - D_2$ (+-) 従方向： $S_s - D_2$	7301	166	260	0.64

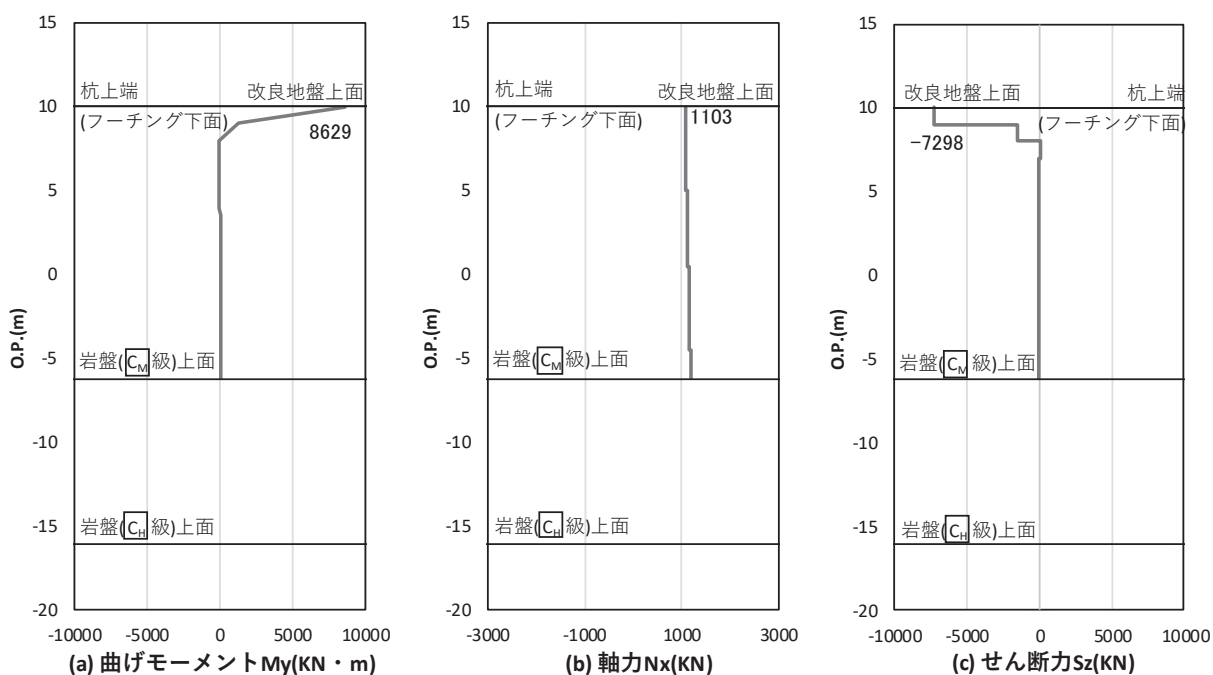


図 3-4-57 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける
基礎杭のせん断破壊に対する照査時刻での断面力
(鋼桁 3, 主方向 (桁軸方向), $t = 13.40s$)

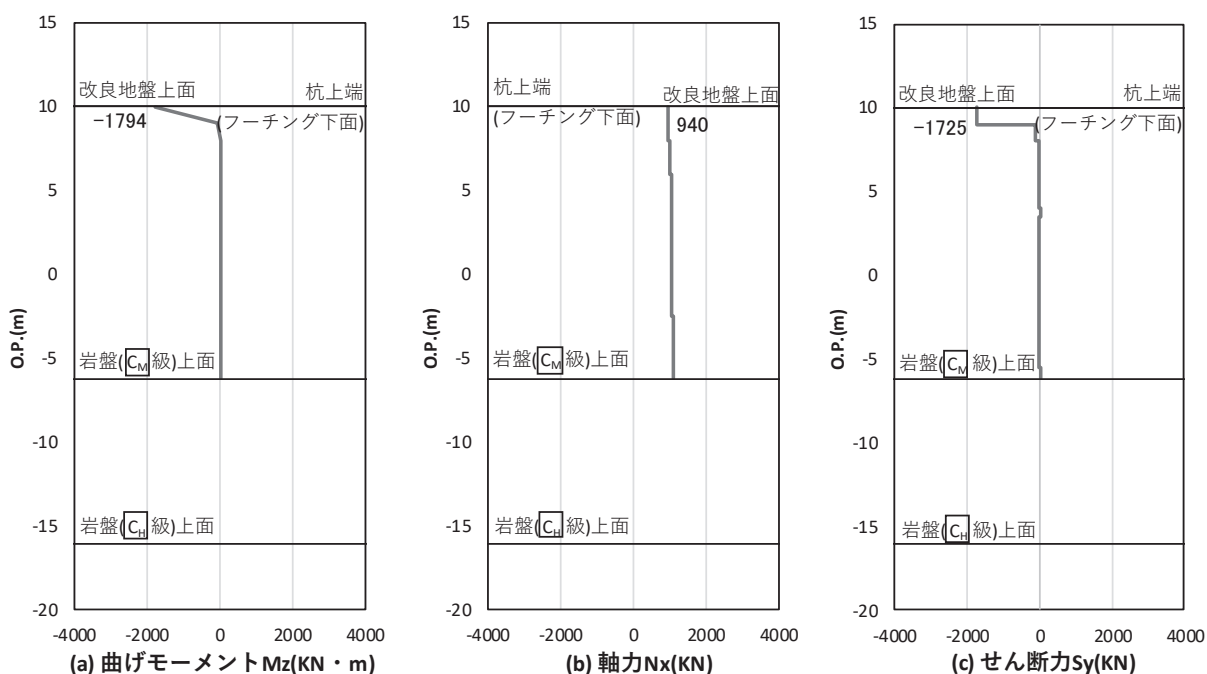


図 3-4-58 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける
基礎杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力
(鋼桁 3, 従方向 (桁軸直交方向), $t = 24.72s$)

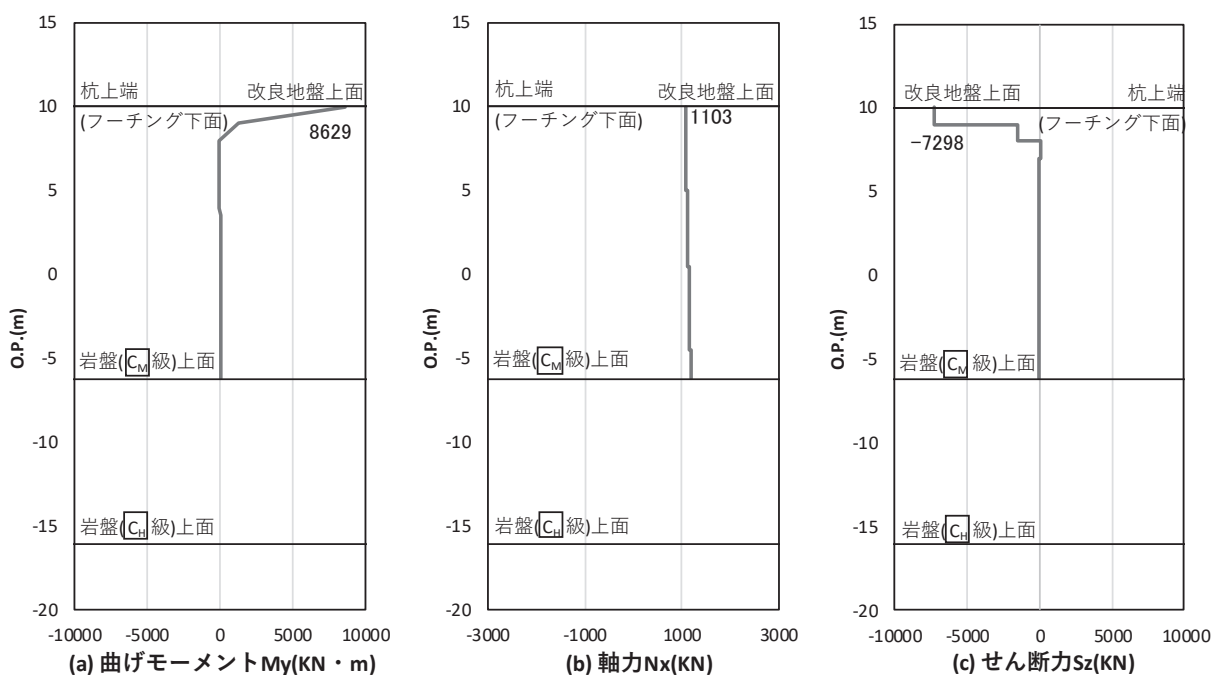


図 3-4-59 (1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける
基礎杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力
(鋼桁 3, 主方向 (桁軸方向), $t = 13.40s$)

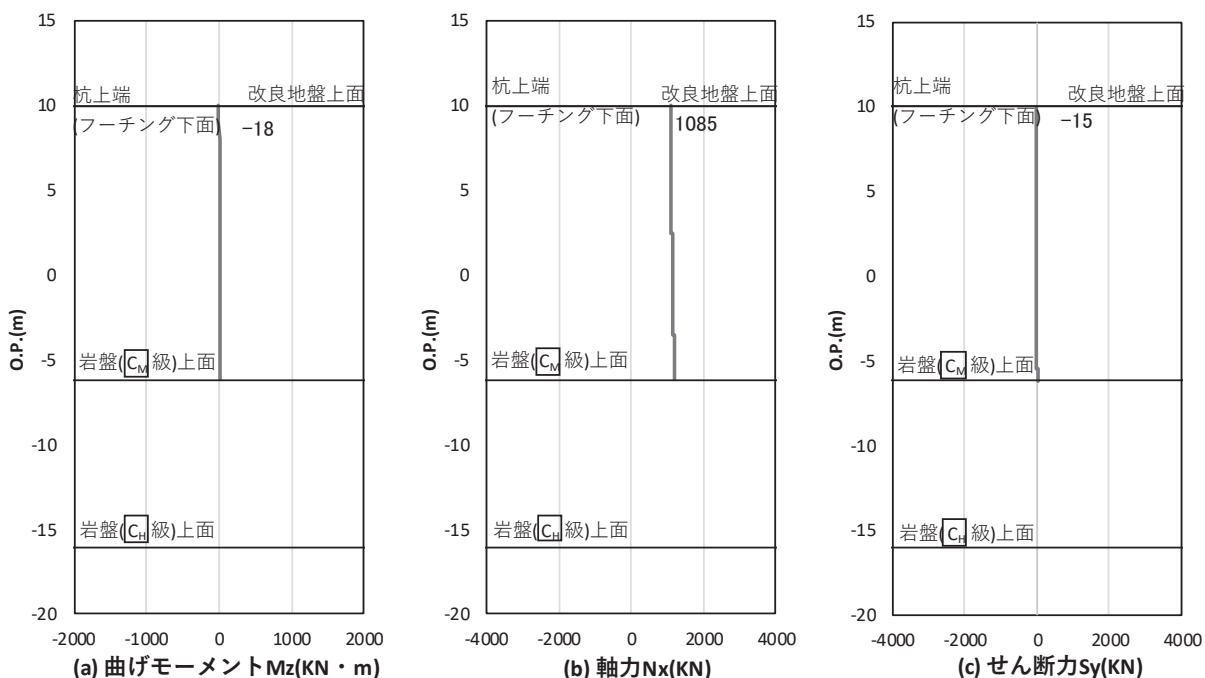


図 3-4-59 (2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける
基礎杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力
(鋼桁 3, 従方向 (桁軸直交方向), $t = 13.40s$)

b. 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）

揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）について、「VI-2-10-2-8 浸水防止蓋の耐震性についての計算書」に示す鋼製シャフトにおける基準地震動 S_s に対する耐震評価結果（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ）を表3-4-29，表3-4-30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が想定されるが，照査値に十分な裕度があるため評価は省略する。

表3-4-29 鋼製シャフトの評価結果（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ）
のうち曲げ・軸力系の破壊に対する照査

地震動	発生断面力		曲げ応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN/m)	軸力 (kN)			
$S_s - N1$	11515	-292	230	382	0.61

表3-4-30 鋼製シャフトの評価結果（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合）
のうちせん断破壊に対する照査

地震動	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
$S_s - N1$	5120	77	217	0.36

3.4.8 機器・配管系への影響

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響に対する評価対象構造物のうち，間接支持構造物である屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側及び北側）の出口側集水ピット及び揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）については，支持する屋外排水路逆流防止設備及び浸水防止蓋に対しても水平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想定される。

屋外排水路逆流防止設備及び浸水防止蓋を含めた浸水防止設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価については，「3.2 機器・配管系」にて評価結果を示すとおり，評価結果に十分な裕度を有しており，耐震評価に影響が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

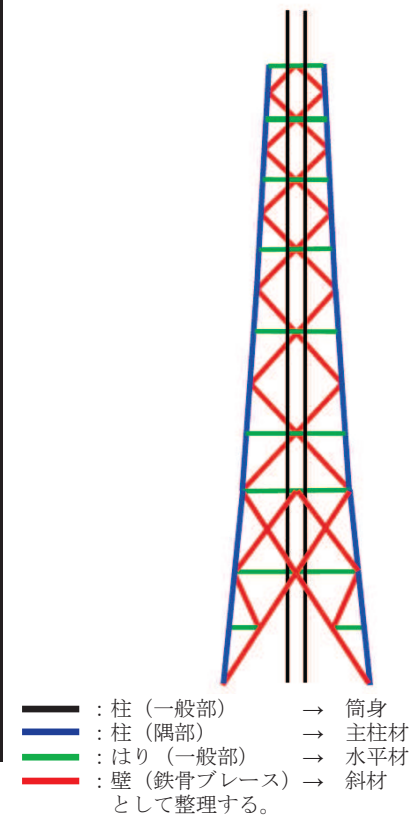
1. 構成部位の整理及び水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せによる影響確認が必要な部位の抽出に関する整理表

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」において、「3.1 建物・構築物」における「3.1.1 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」に関する整理表を表 1-1～表 1-3 に示す。

表 1-1(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(2) 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(3) 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(1) 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
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(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(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)
(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(1) 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	RC 造	S 造, SRC 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	要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(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)
(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(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

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」において、「3.1 建物・構築物」における「3.1.1 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考え方

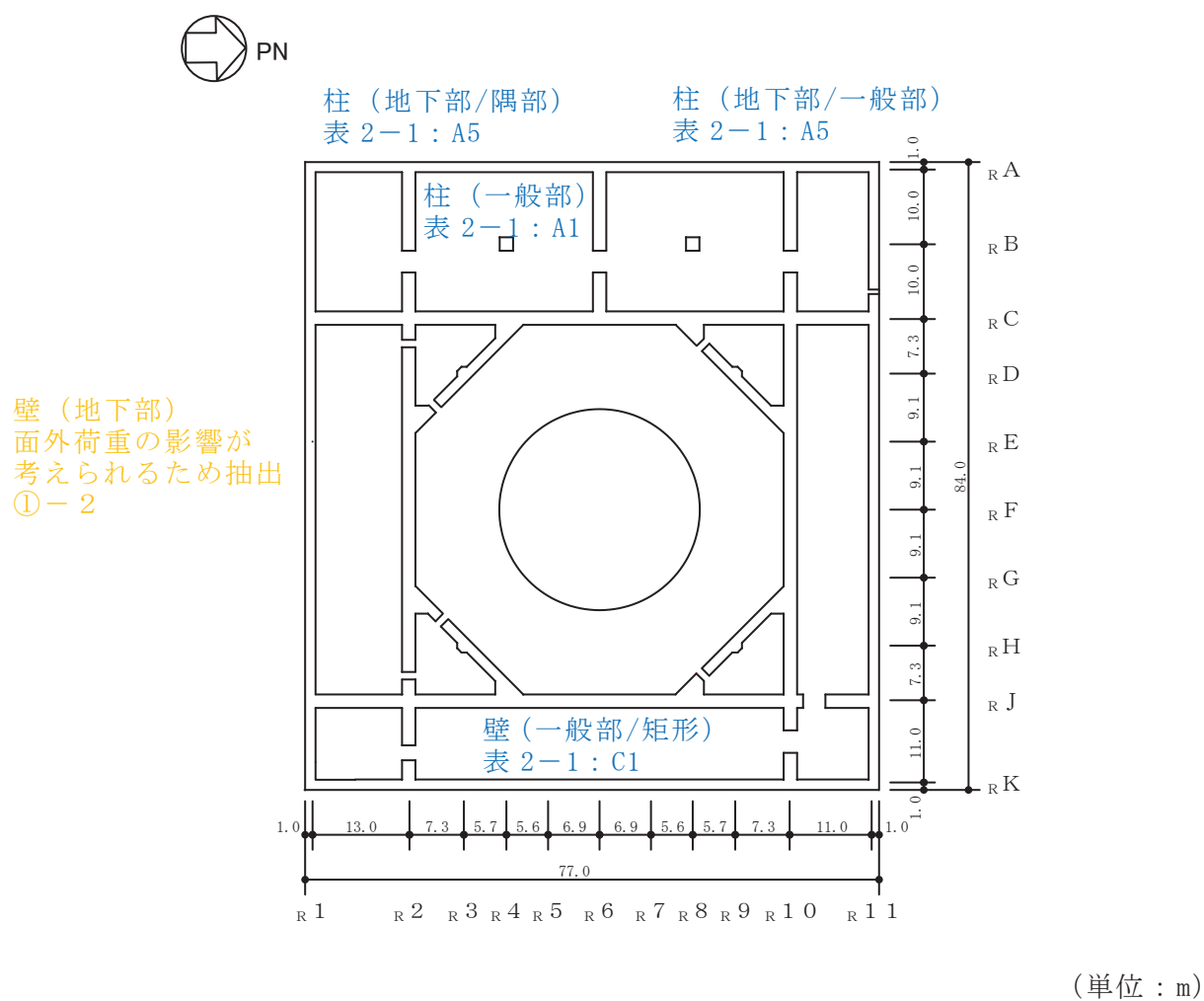
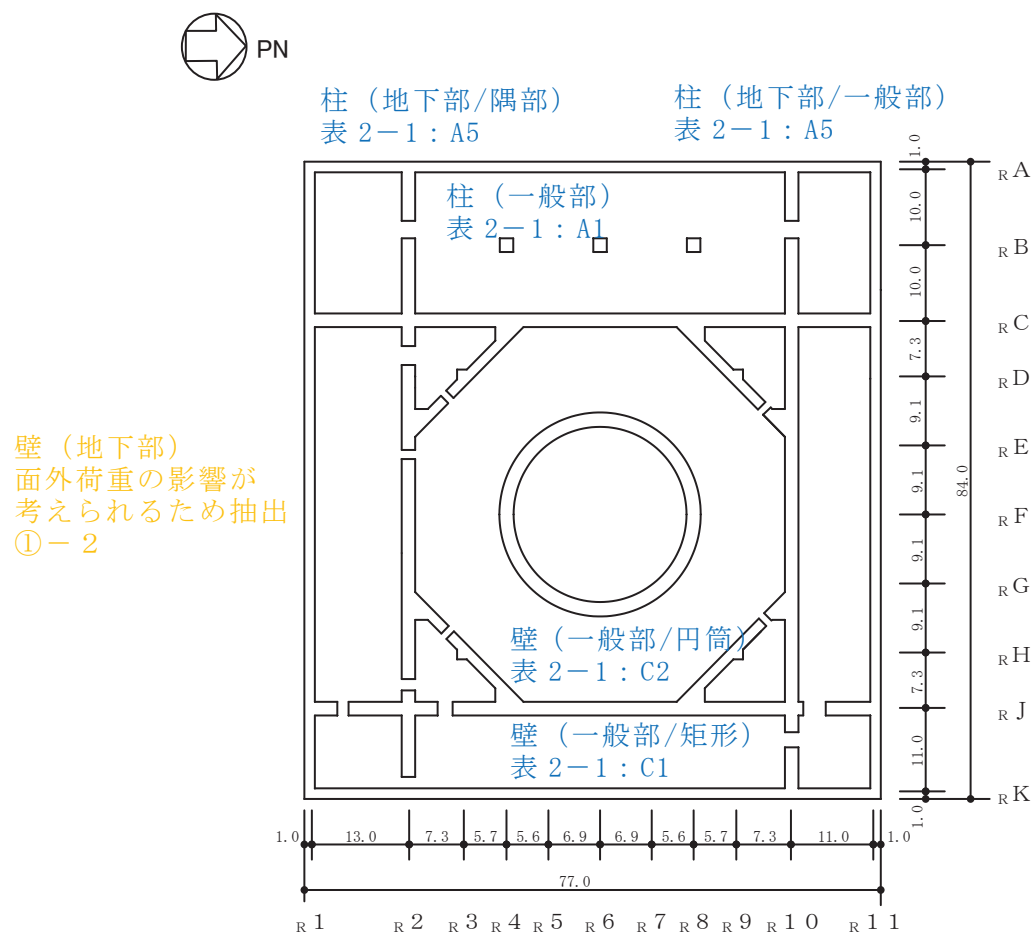


図 2-1-1(1) 原子炉建屋の概略平面図 (O.P.*-8.1m)

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。

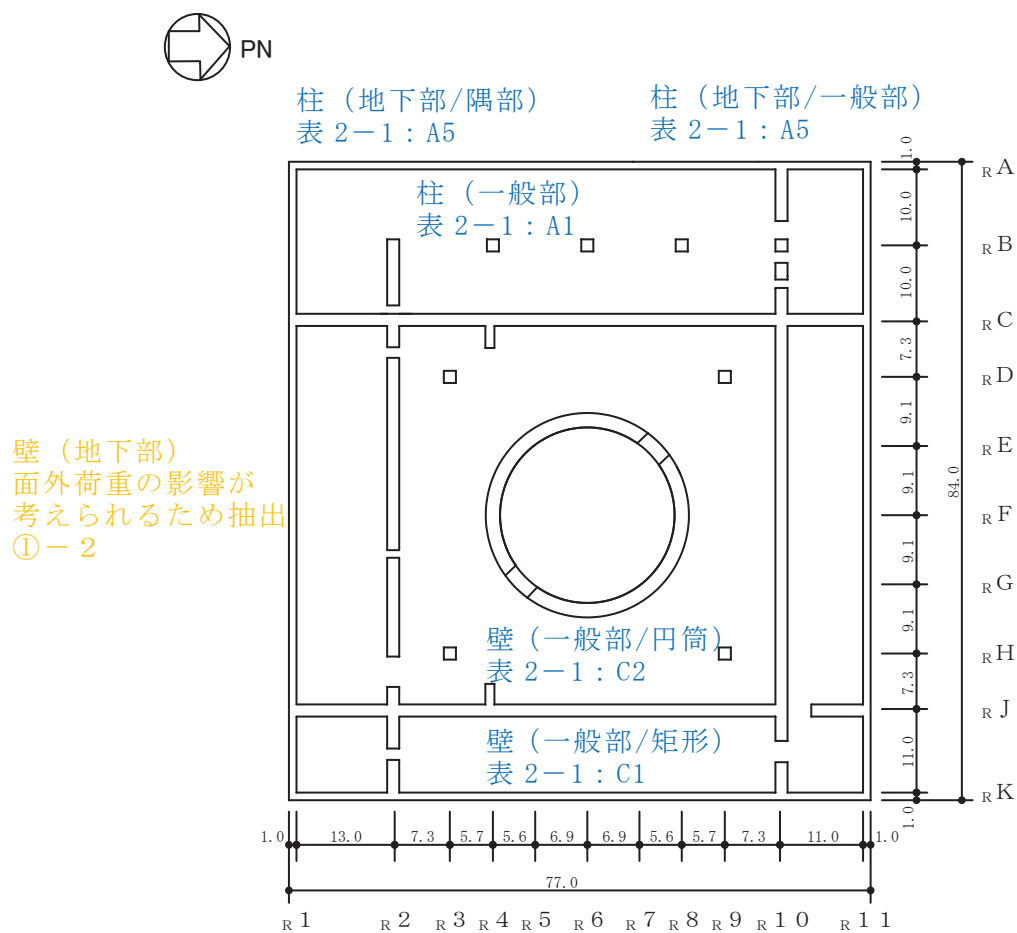
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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考え方



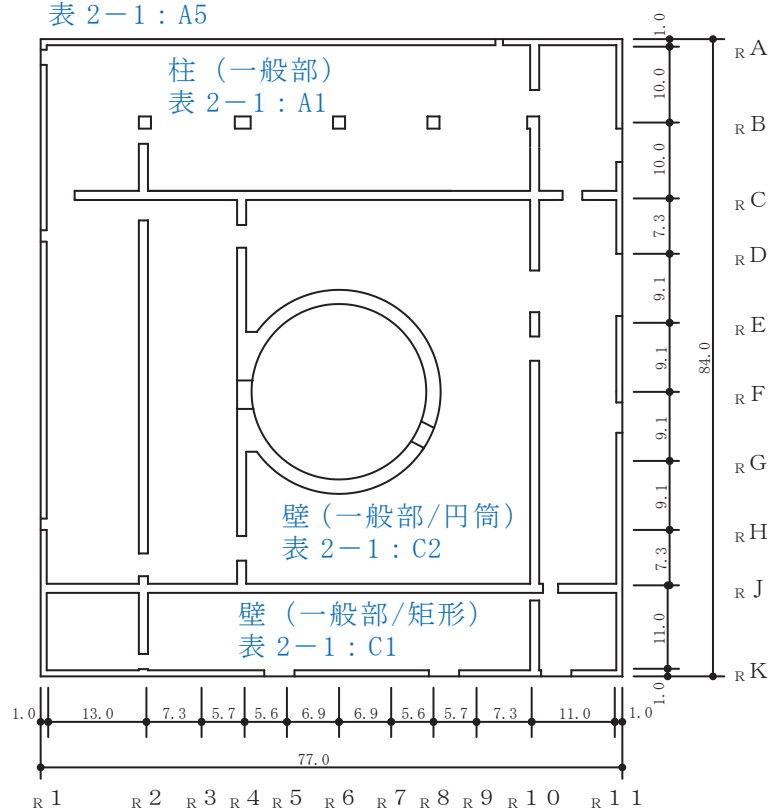
(単位：m)

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考え方



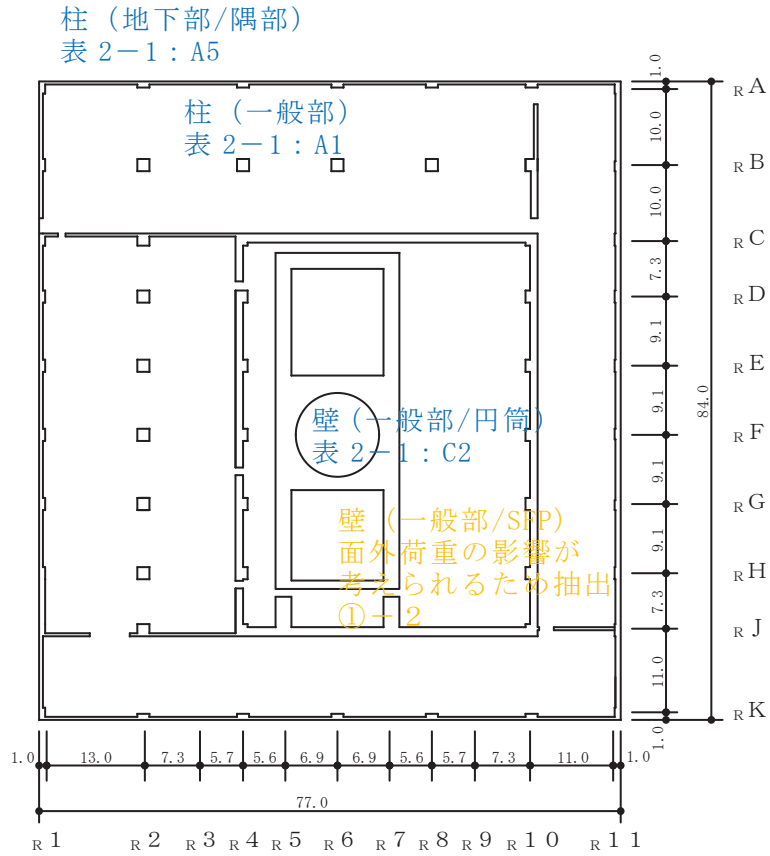
柱（地下部/隅部）
表 2-1 : A5



(単位 : m)

図 2-1-1(4) 原子炉建屋の概略平面図 (O.P. 15.0m)

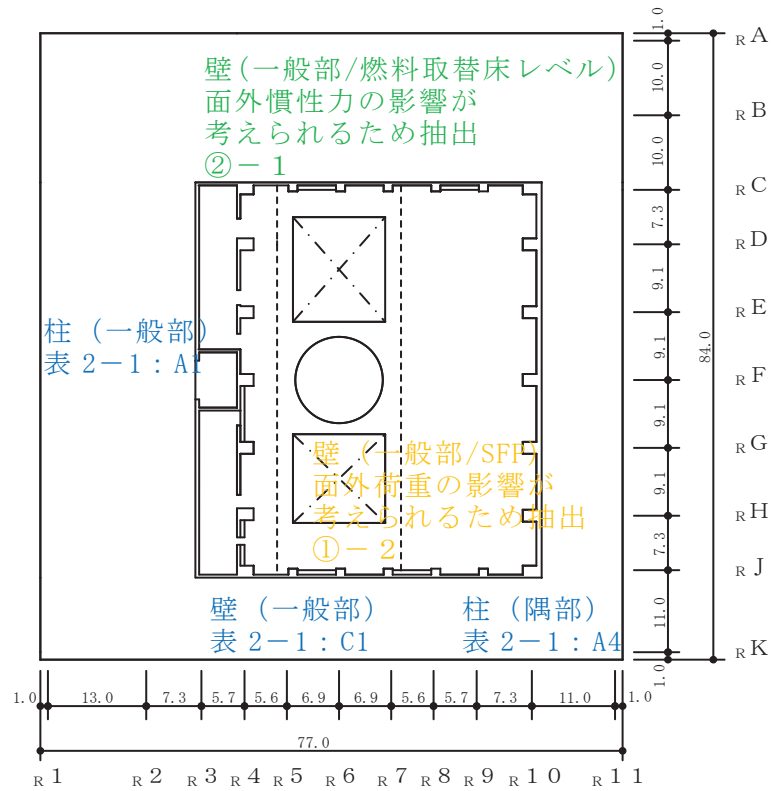
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(単位：m)

図 2-1-1(5) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 22.5m)

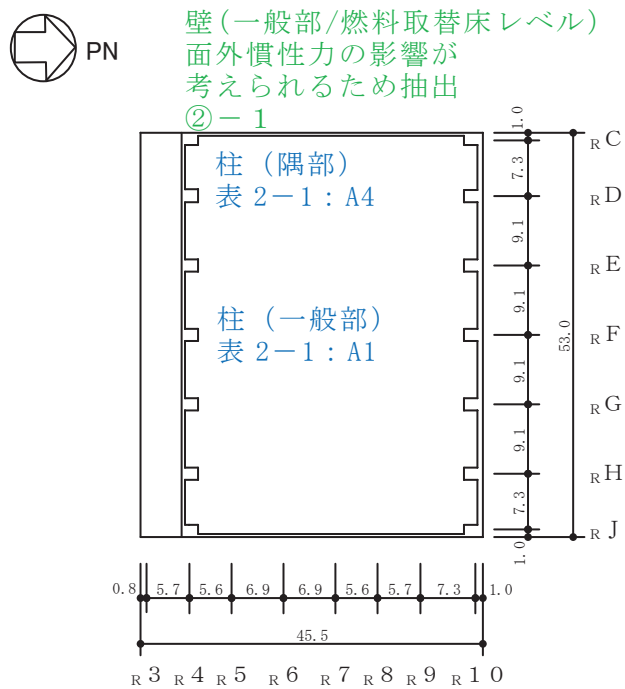
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(単位：m)

図 2-1-1(6) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 33. 2m)

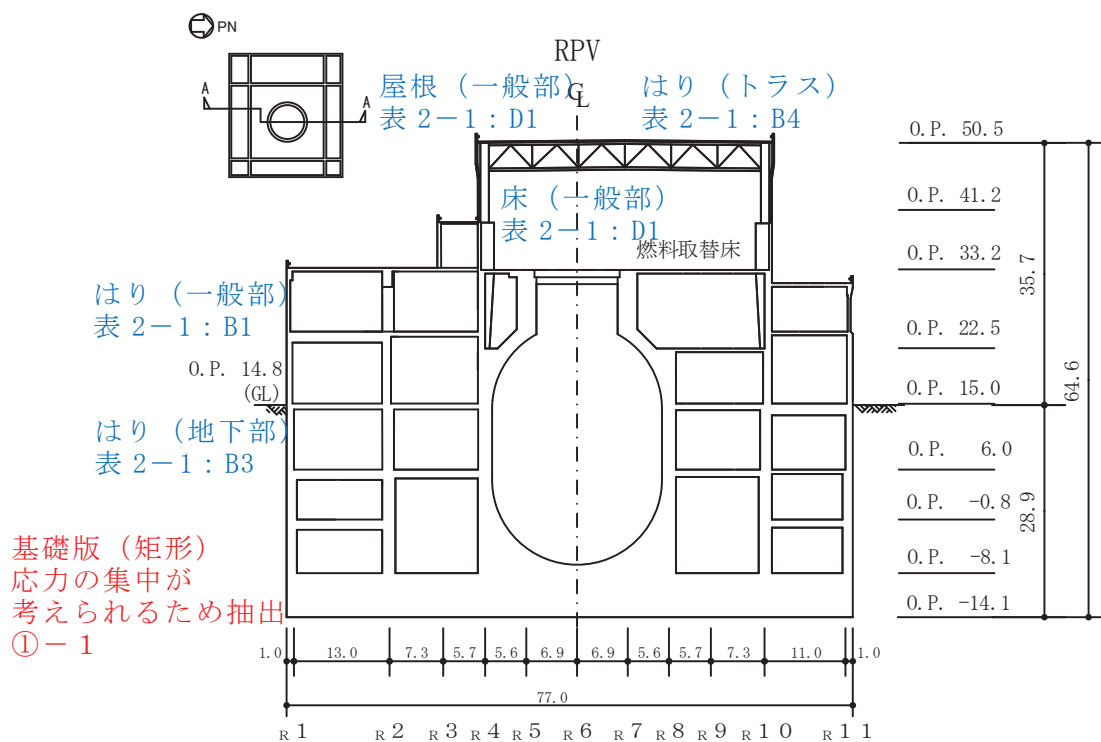
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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考え方



(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考え方

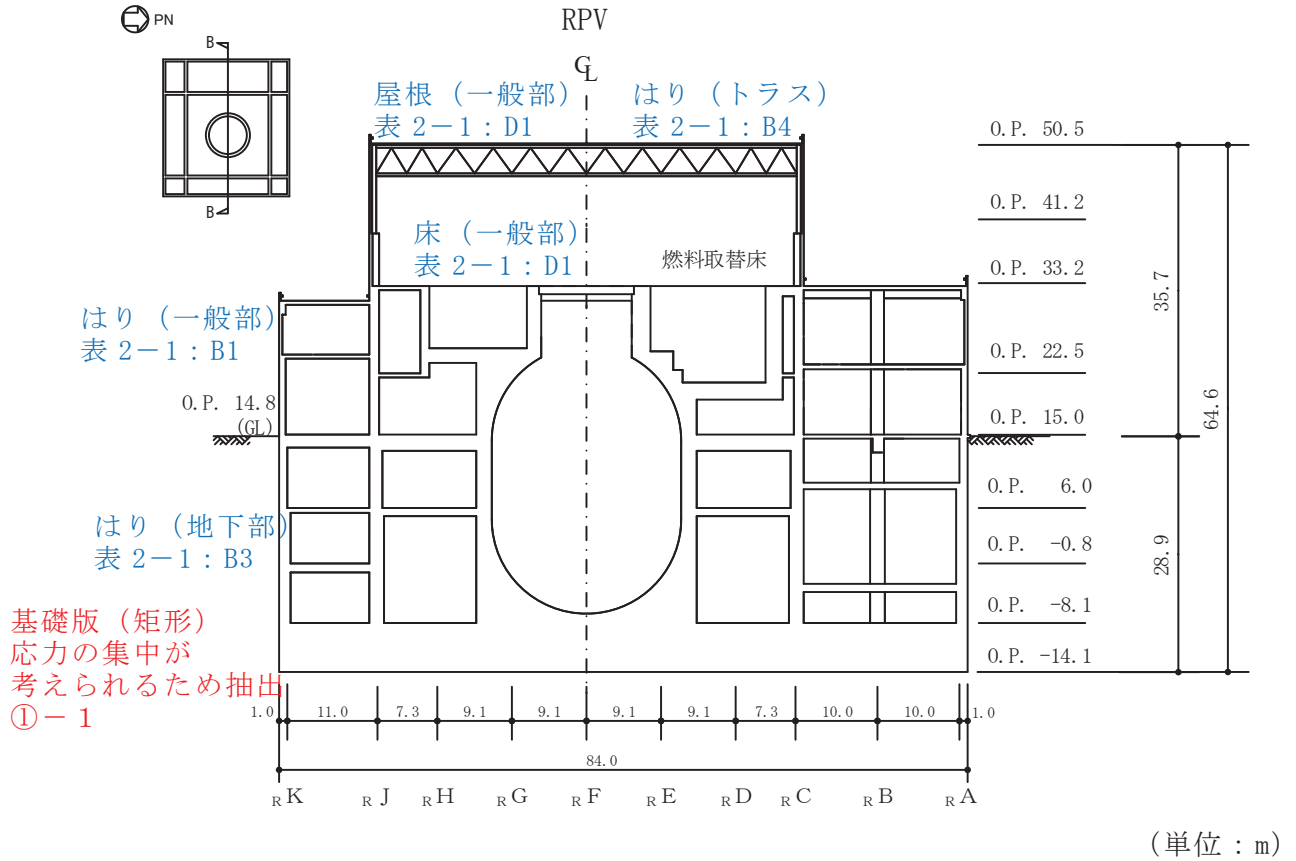
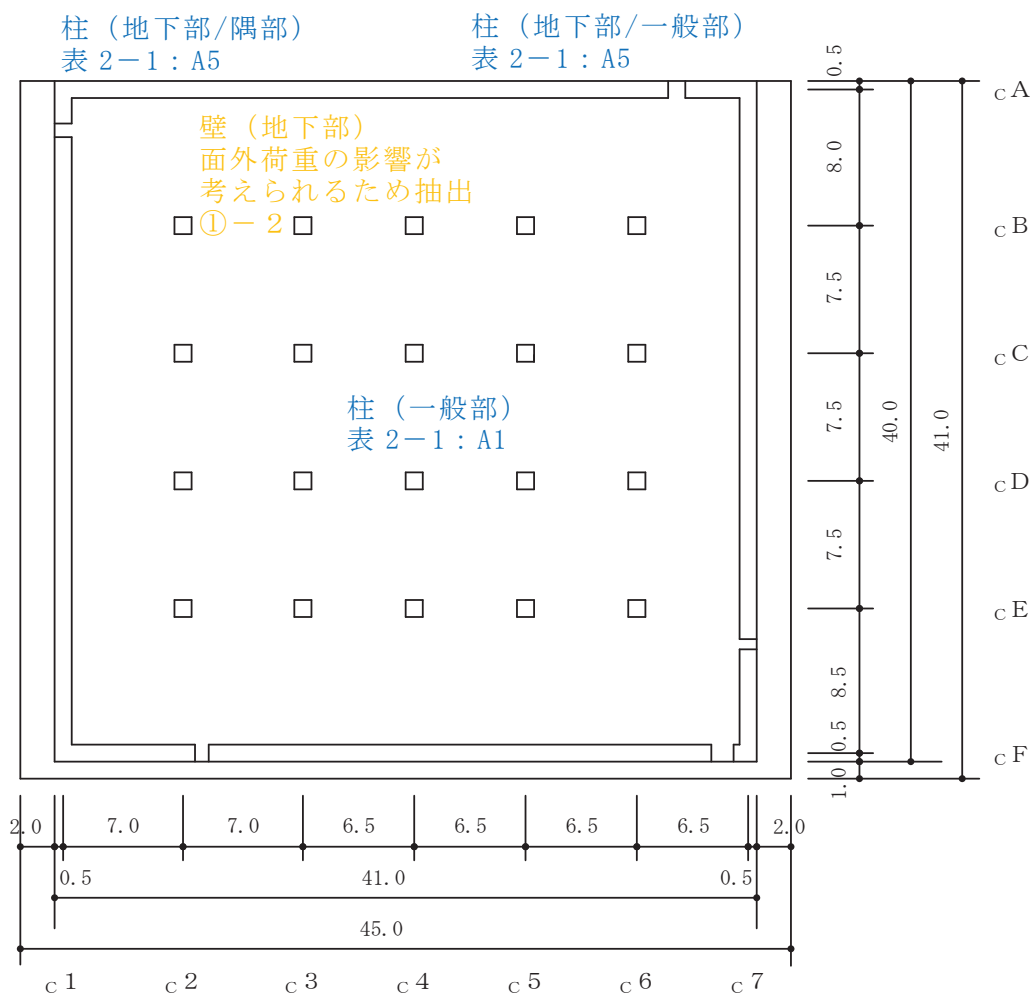


図 2-1-2(2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

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考え方

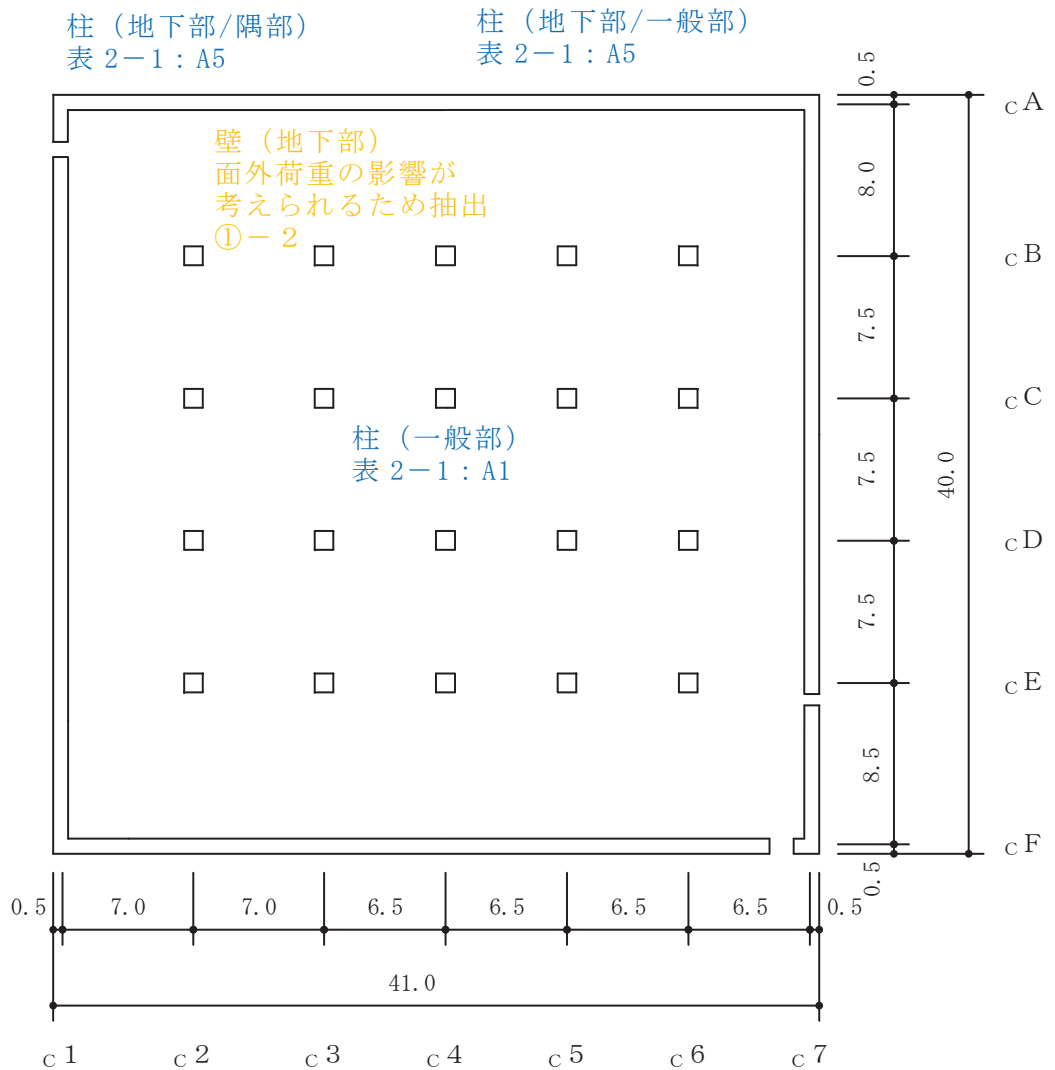


(単位 : m)

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考え方



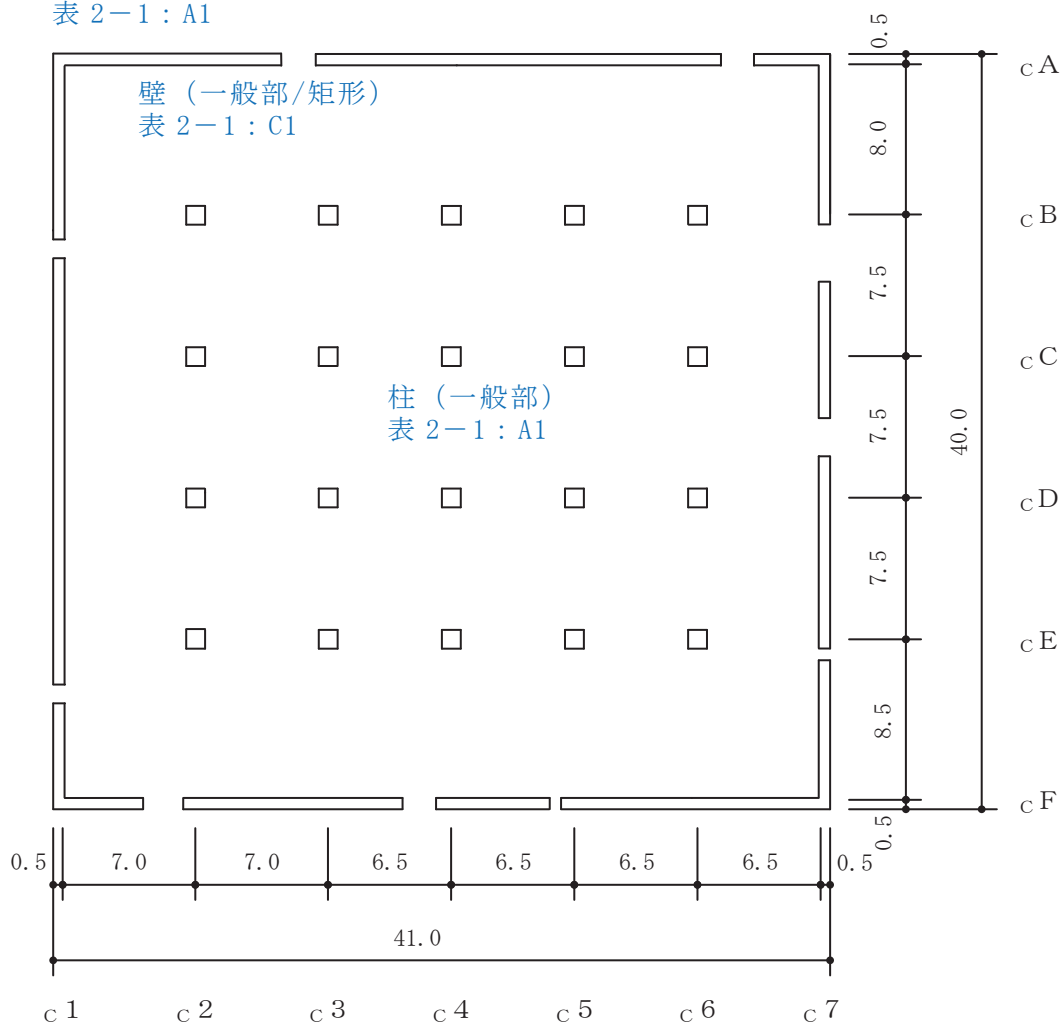
(単位 : m)

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考え方



柱（隅部）
表 2-1：A1



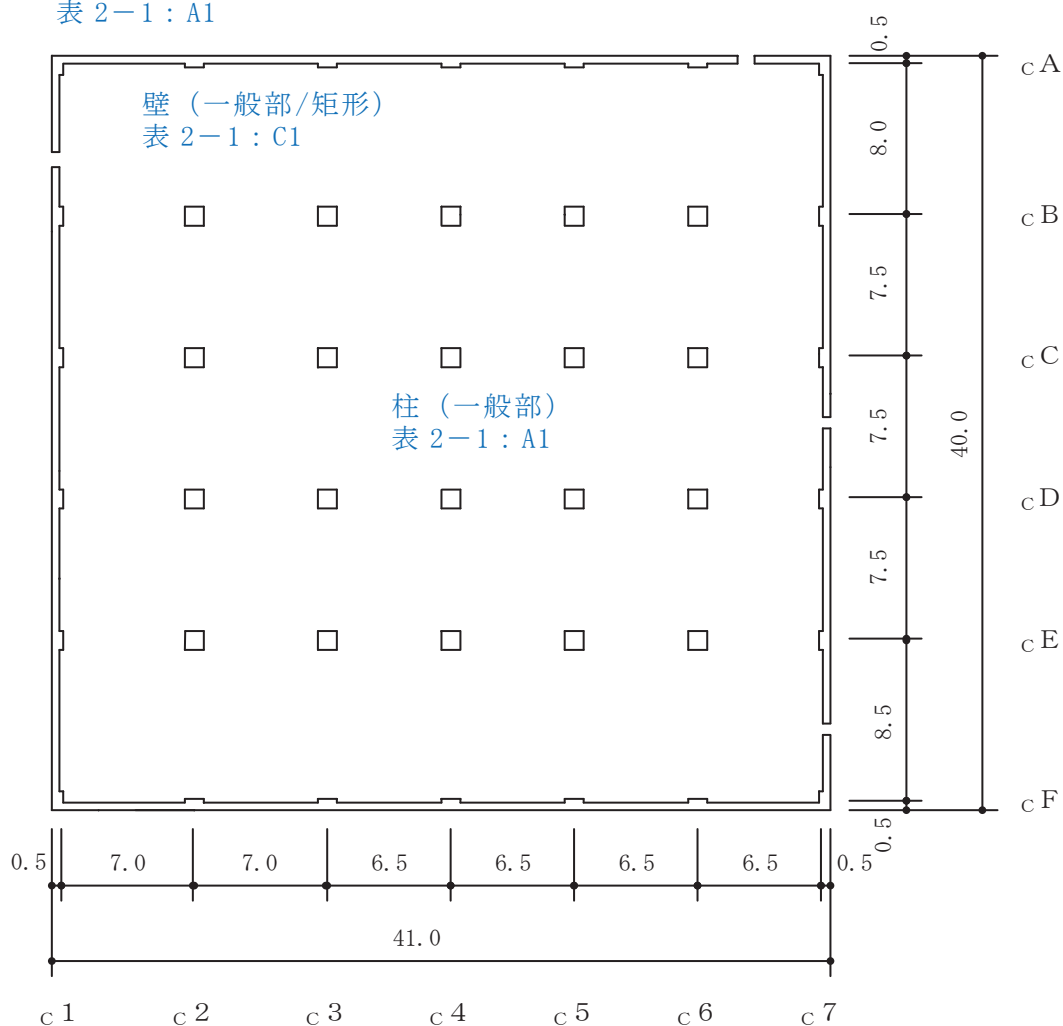
(単位：m)

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考え方



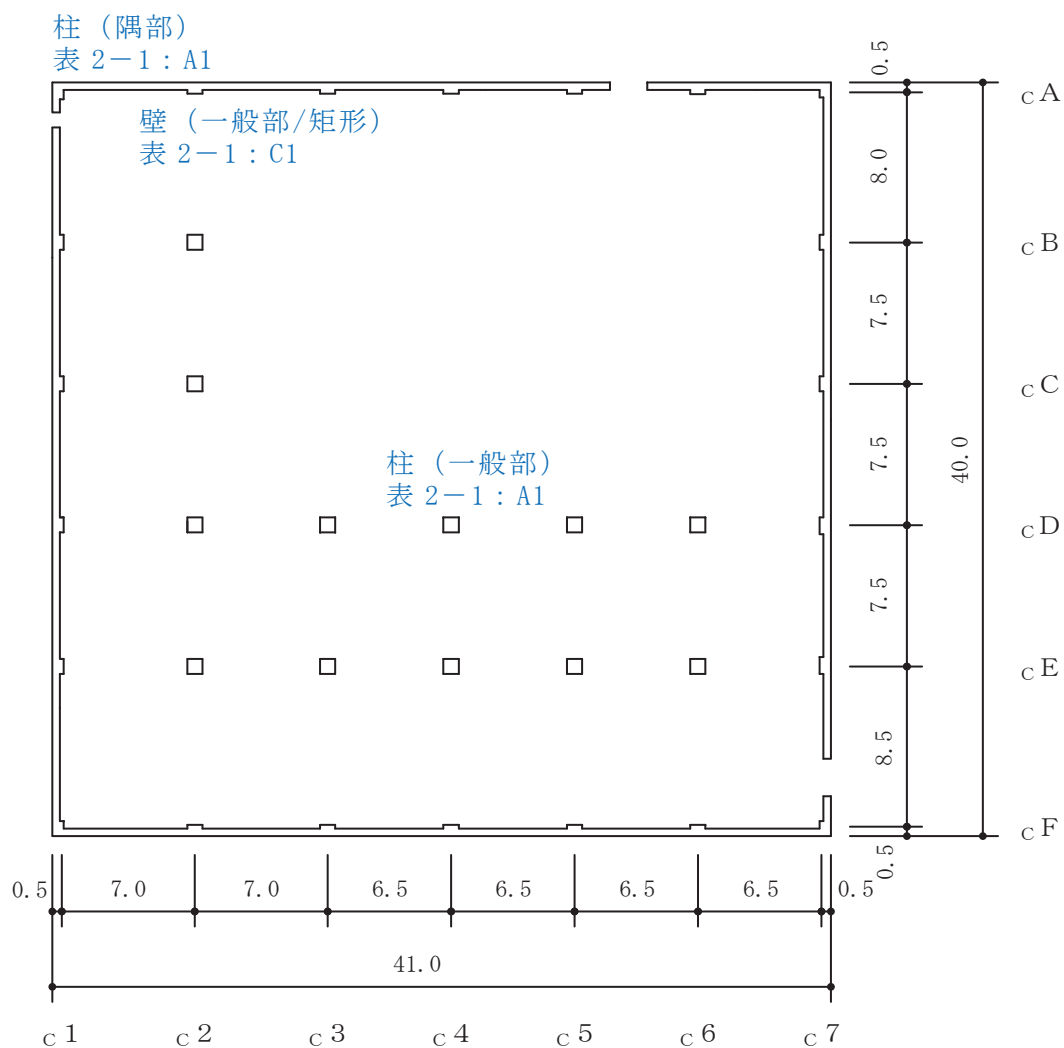
柱（隅部）
表 2-1：A1



(単位：m)

図 2-2-1(4) 制御建屋の概略平面図 (O.P. 19.5m)

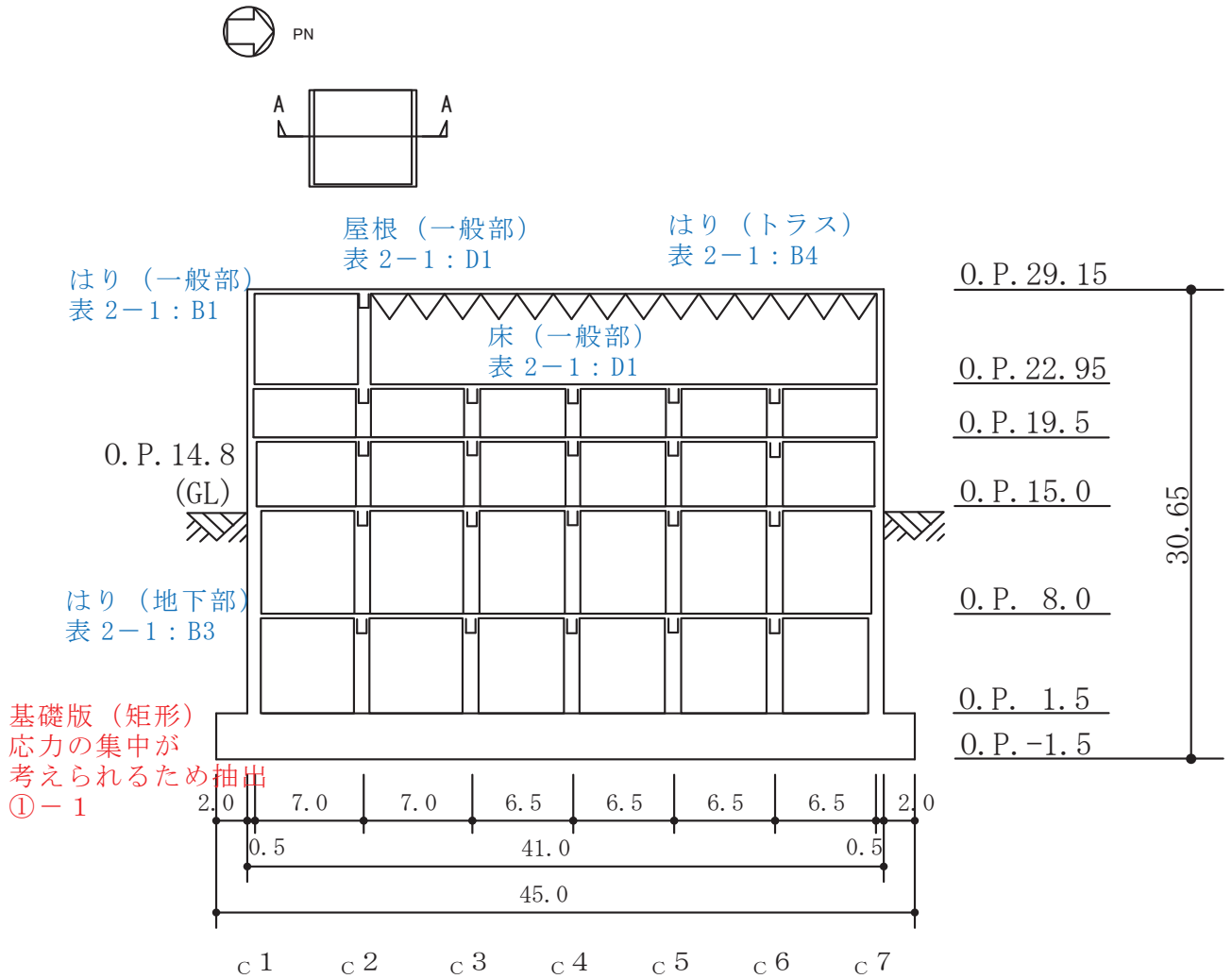
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(単位 : m)

図 2-2-1(5) 制御建屋の概略平面図 (0. P. 22.95m)

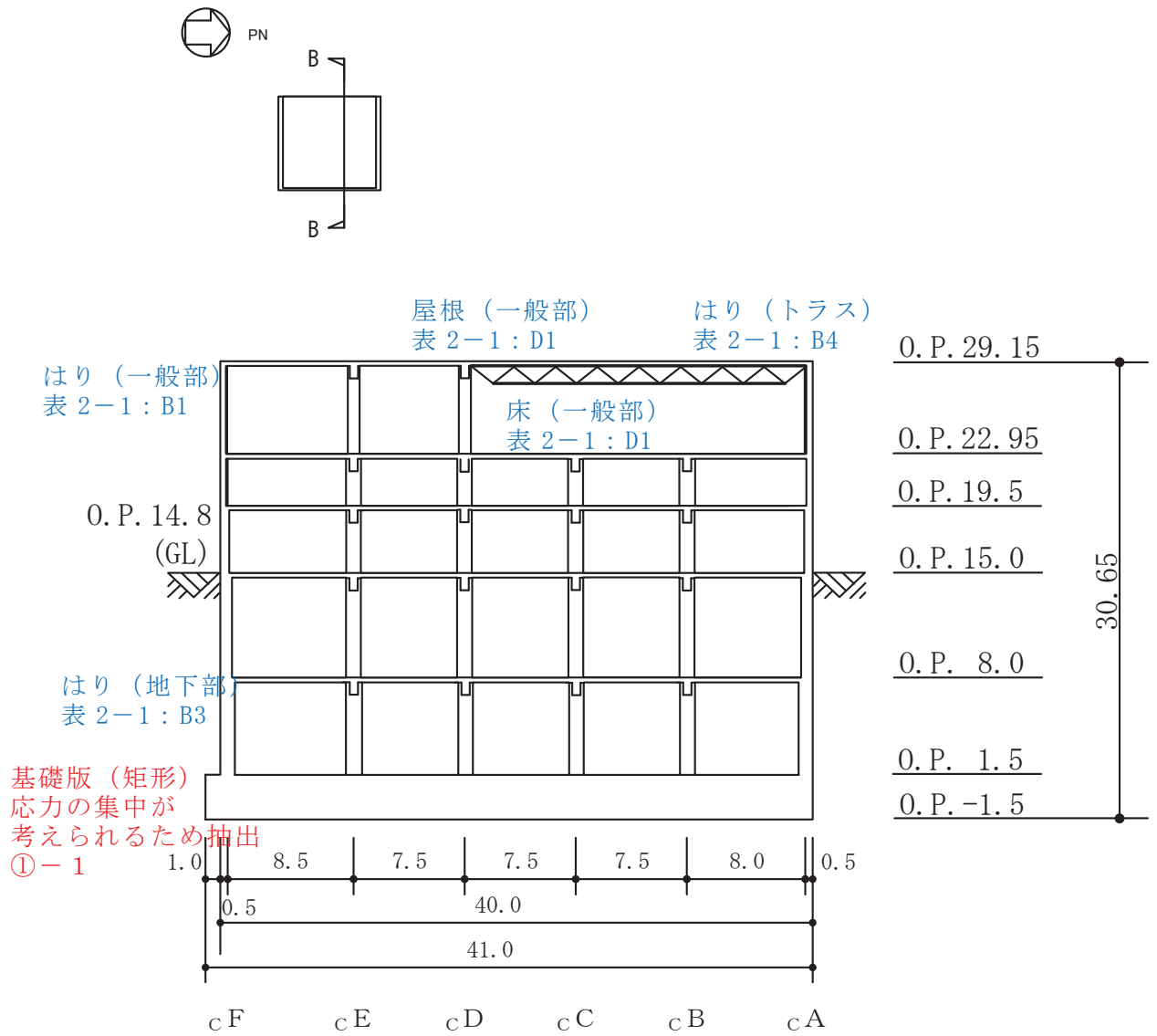
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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考え方



(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考え方

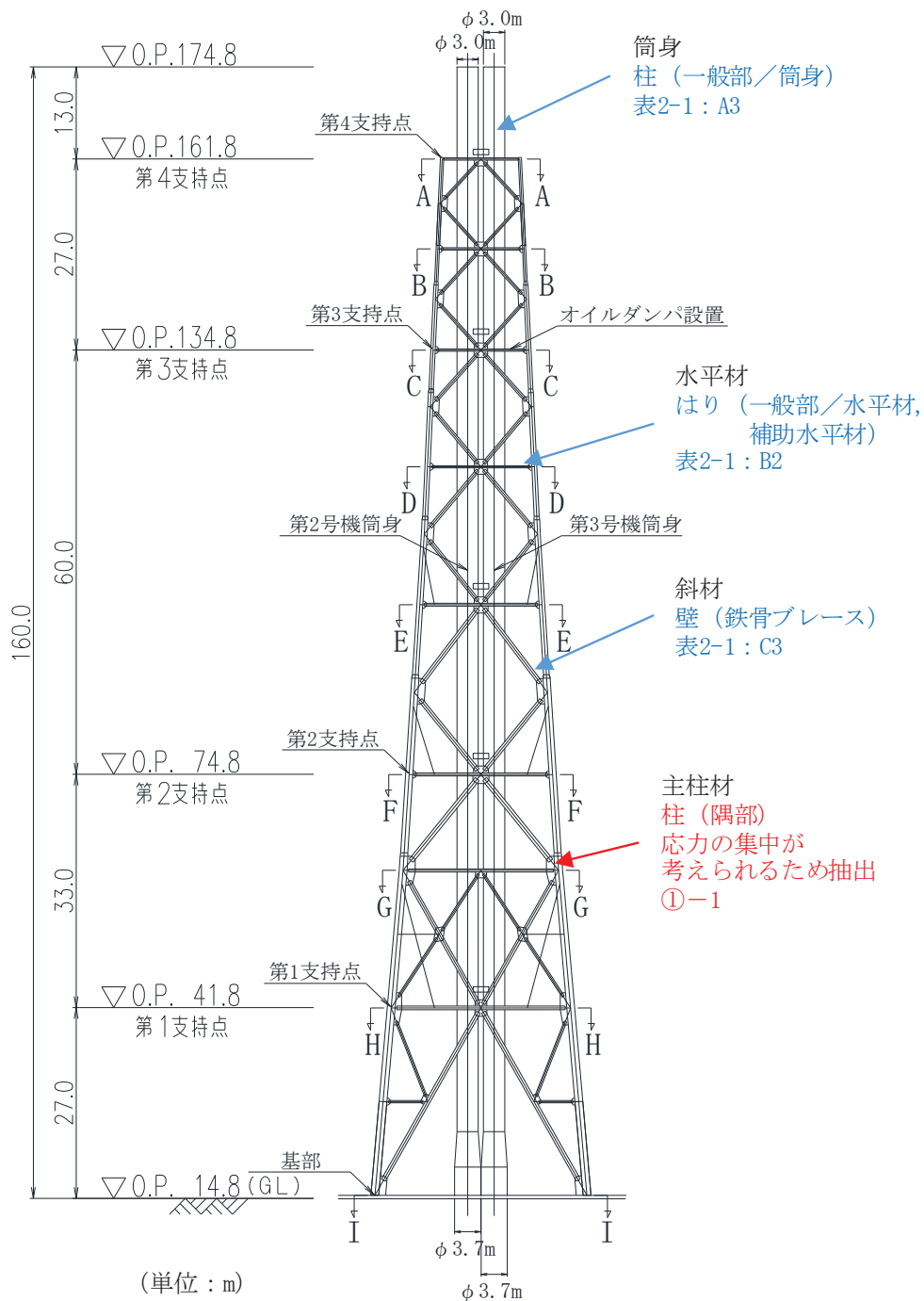
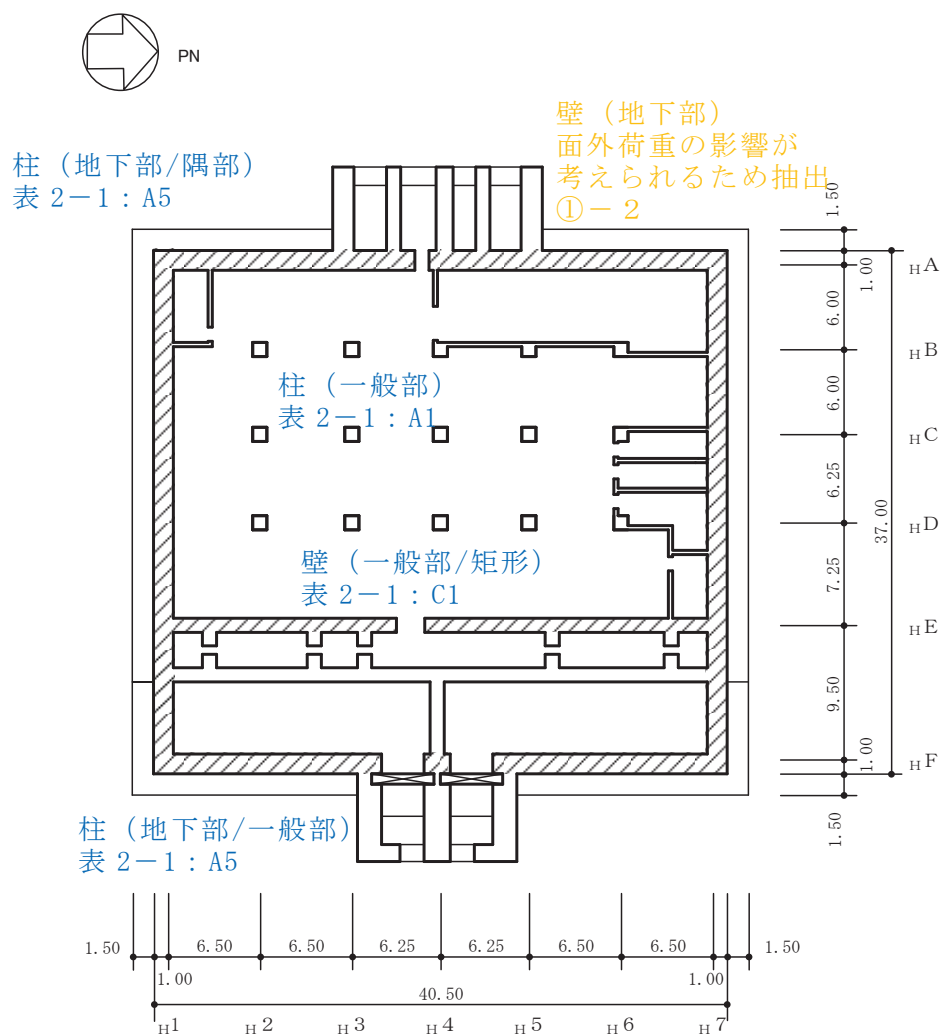


図 2-3-1 排気筒の概要図

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考え方



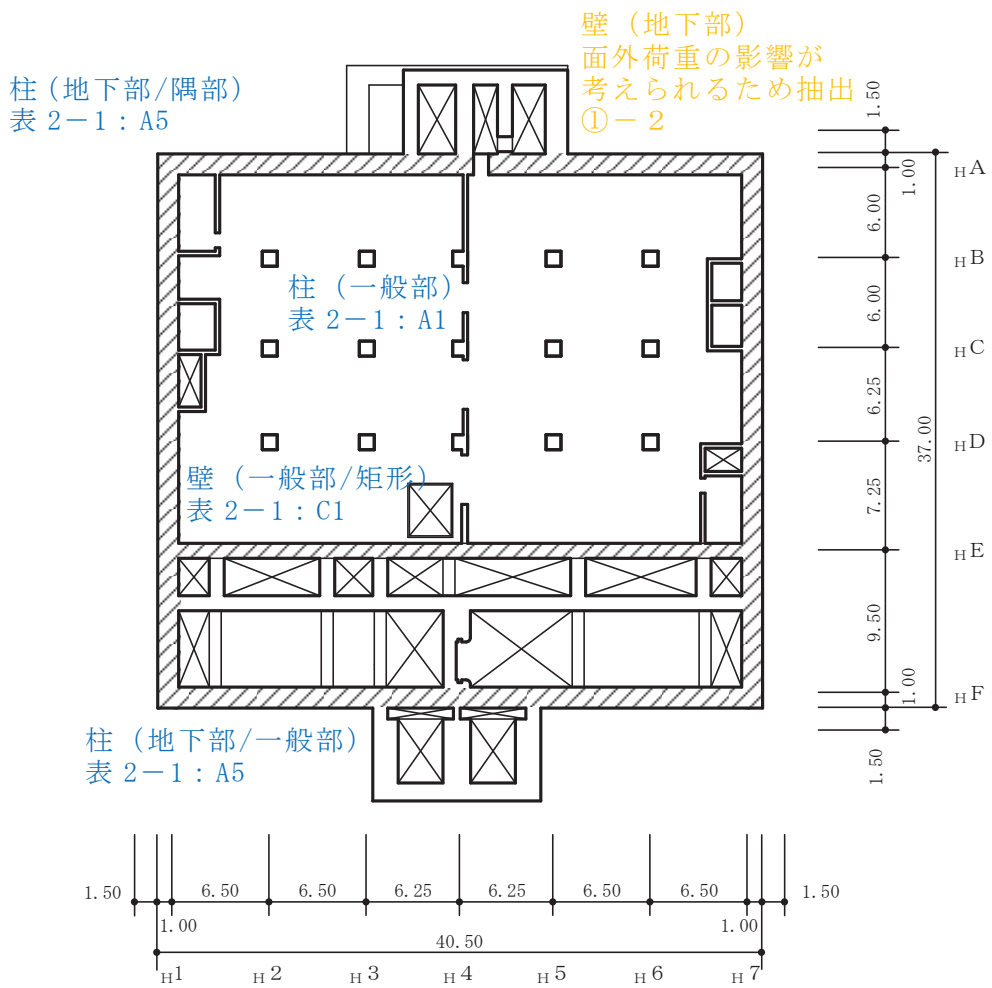
注：網掛けは耐震壁を示す

(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考え方

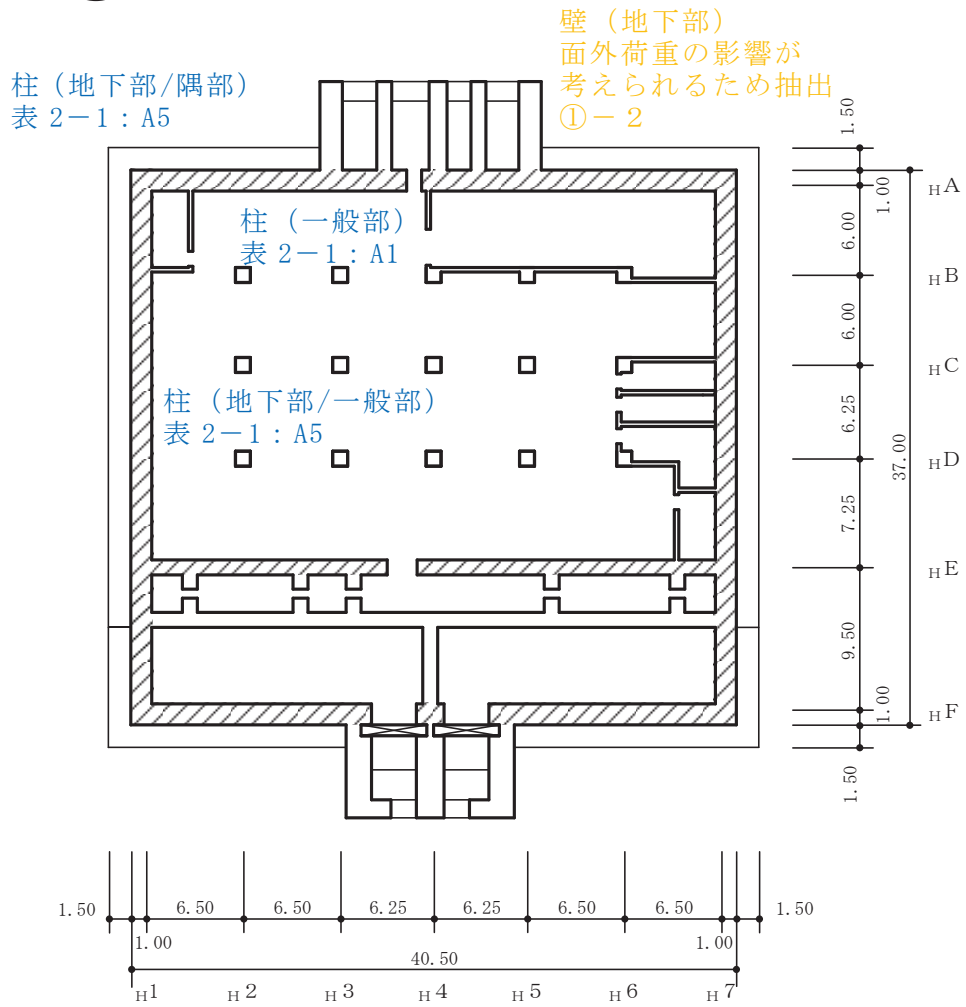


注：網掛けは耐震壁を示す

(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考え方

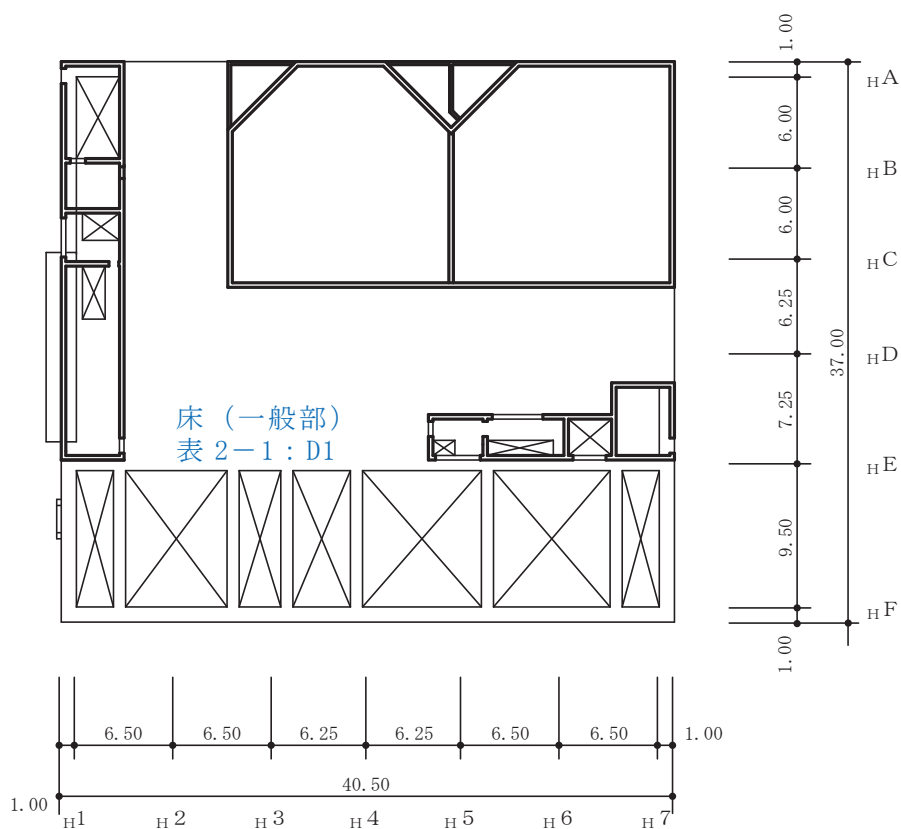


注：網掛けは耐震壁を示す

(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考え方

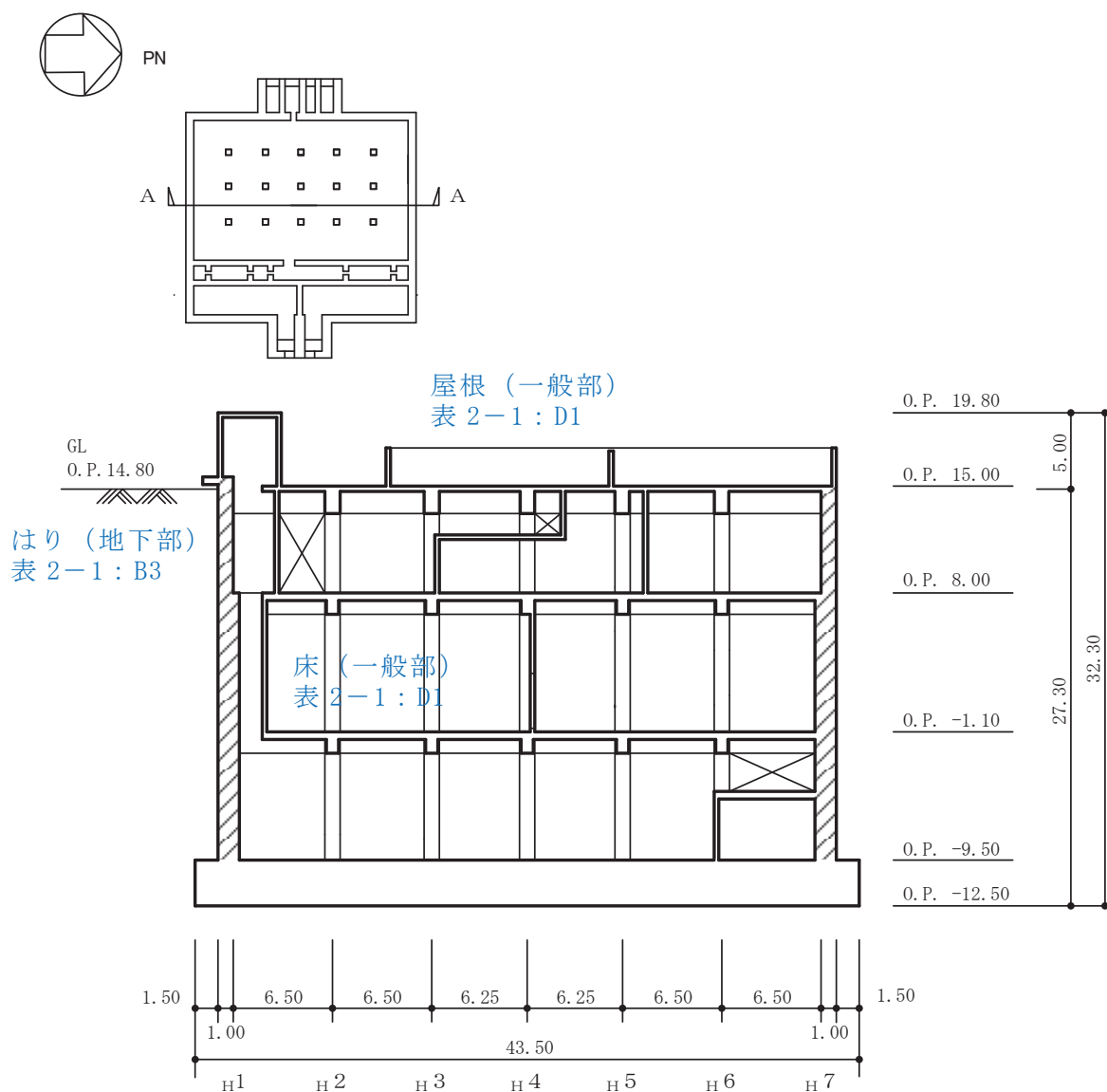


注：網掛けは耐震壁を示す

(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考え方

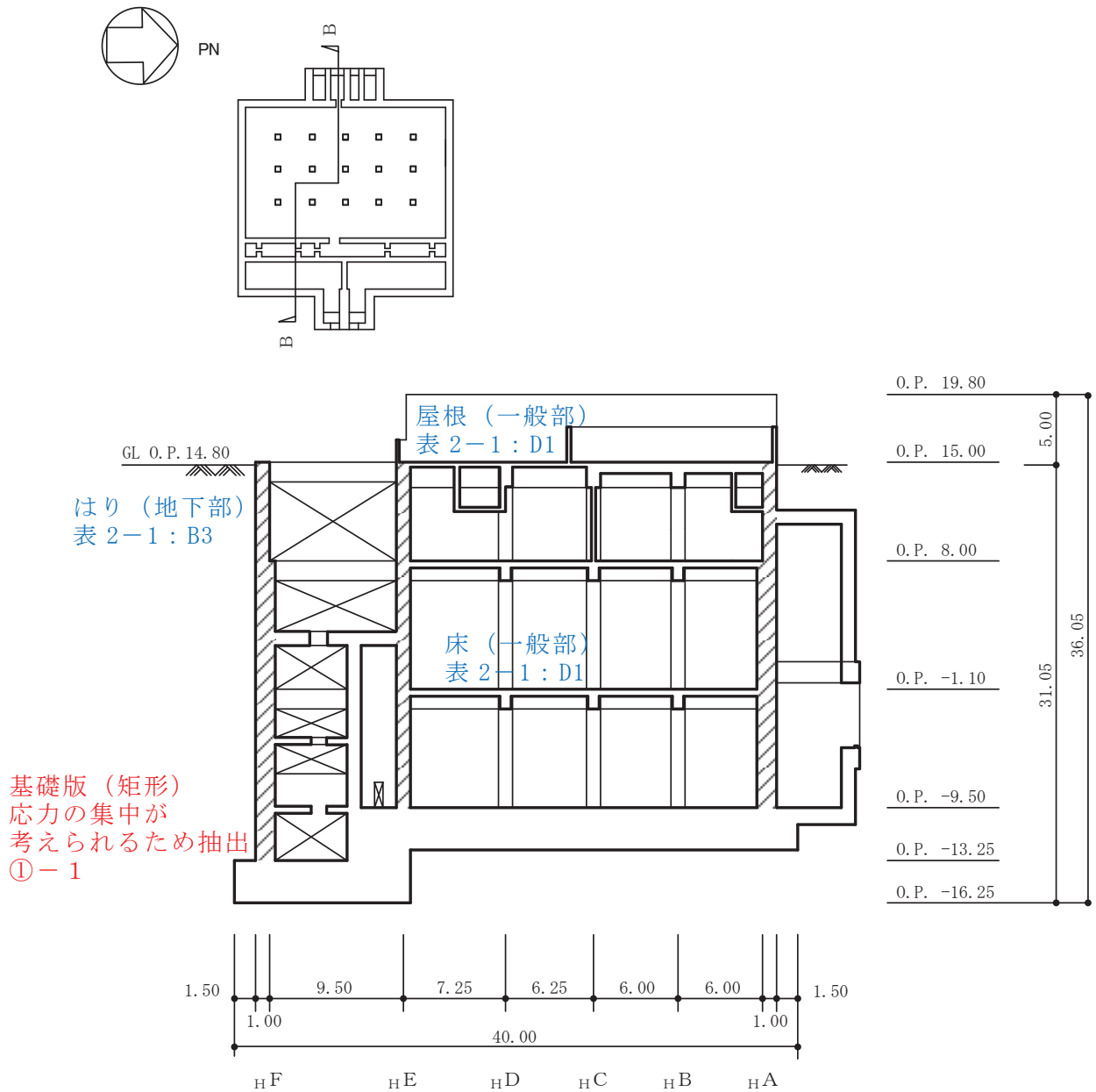


注：網掛けは耐震壁を示す

(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考え方



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考え方

柱（地下部/隅部）

表 2-1 : A5



壁（地下部）

面外荷重の影響が
考えられるため抽出
①-2

柱（地下部/一般部）

表 2-1 : A5

柱（一般部）

表 2-1 : A1

壁（一般部/矩形）

表 2-1 : C1

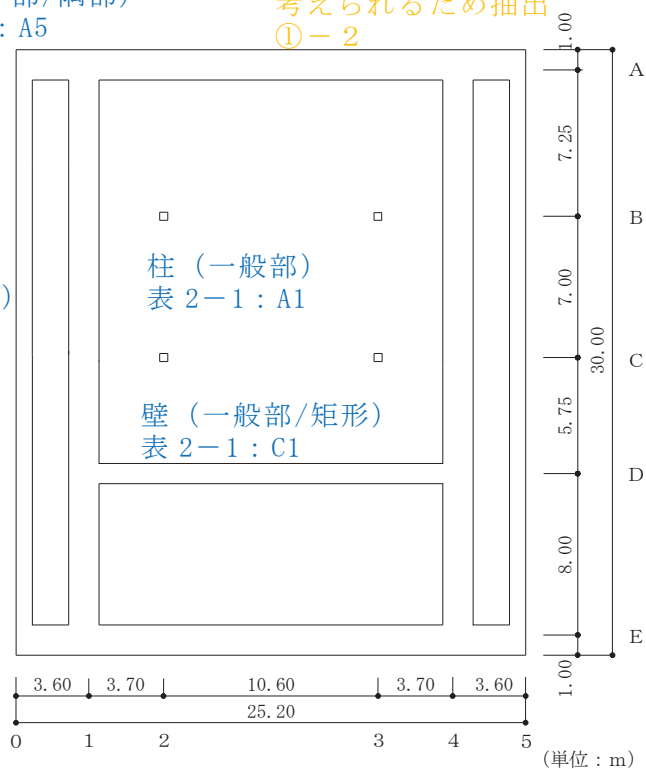


図 2-5-1(1) 緊急用電気品建屋の概略平面図 (0.P. * 56.4m)

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考え方

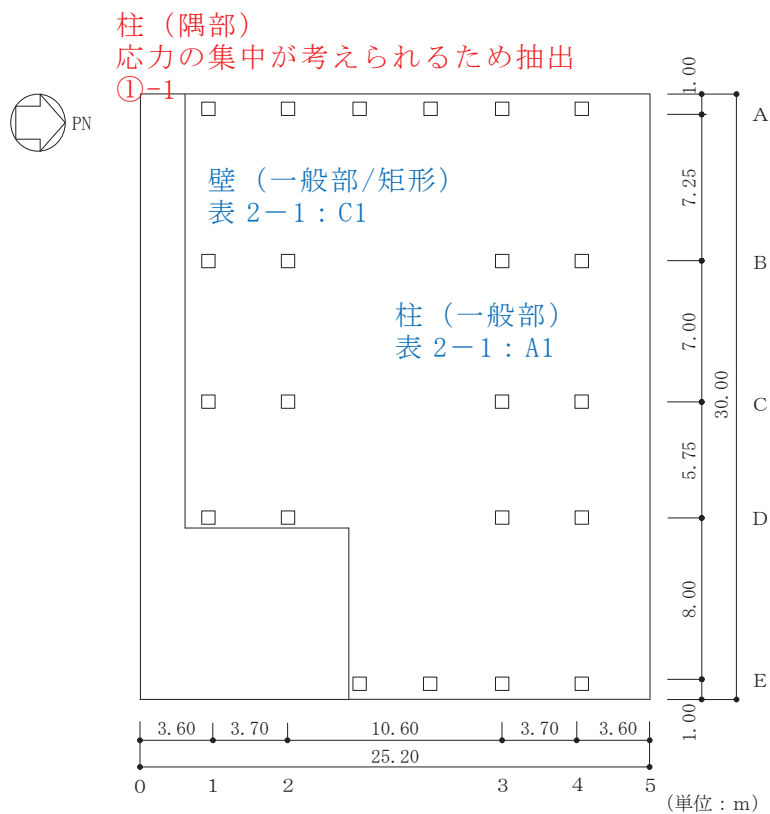


図 2-5-1(2) 緊急用電気品建屋の概略平面図 (O. P. 62. 9m)

- 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考え方

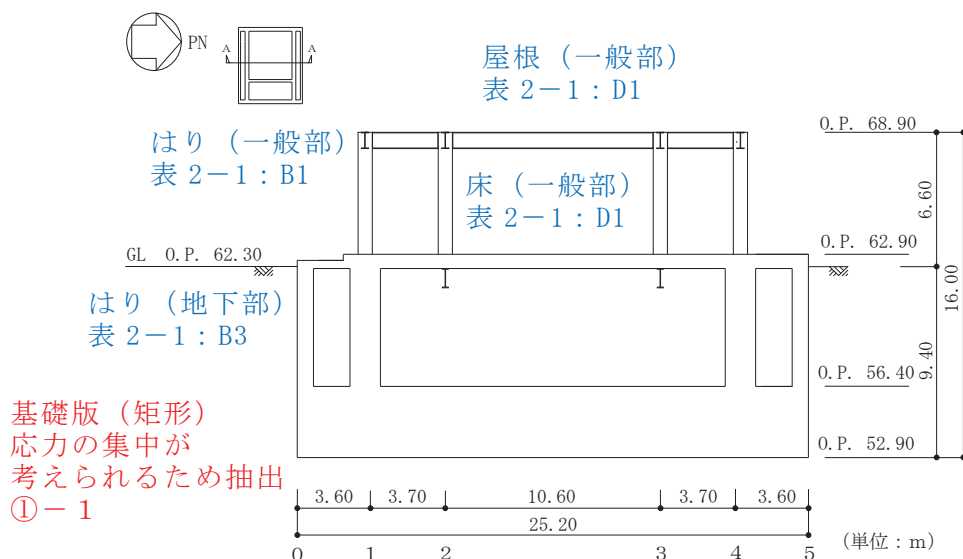


図 2-5-2 (1) 緊急用電気品建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

- 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考え方

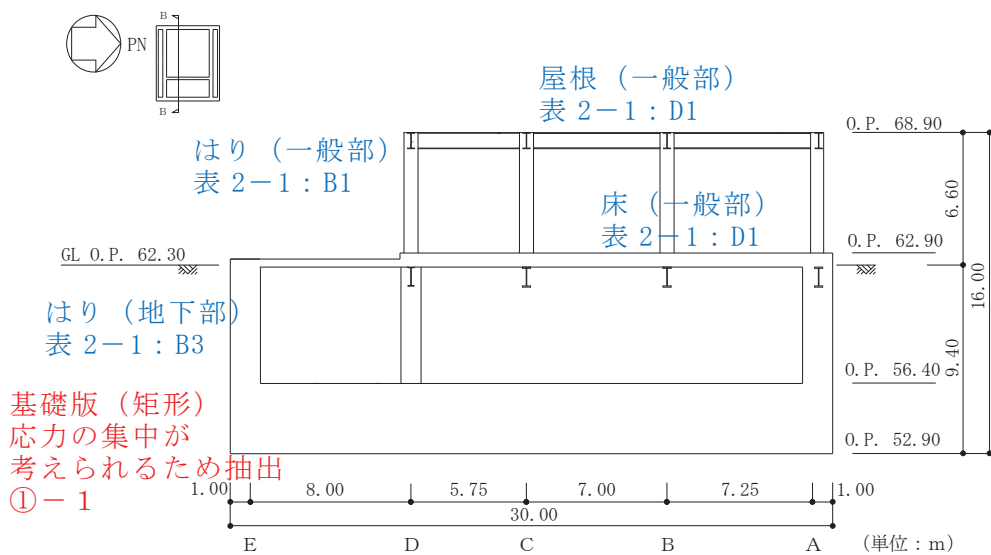


図 2-5-2 (2) 緊急用電気品建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

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考え方

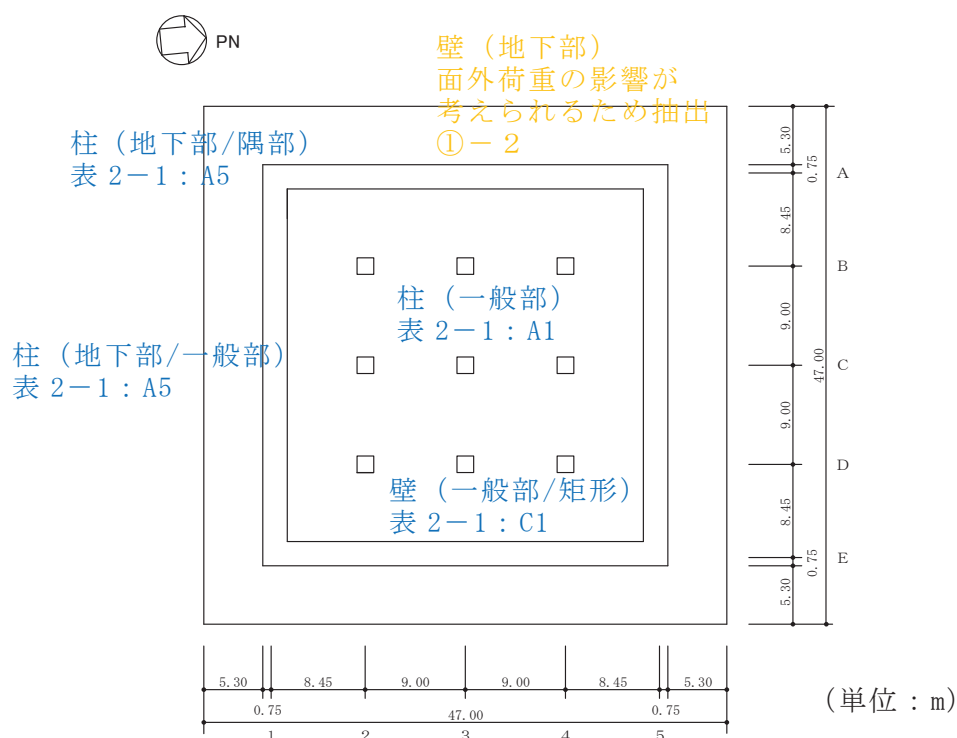


図 2-6-1(1) 緊急時対策建屋の概略平面図 (O.P.* 51.5m)

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考え方

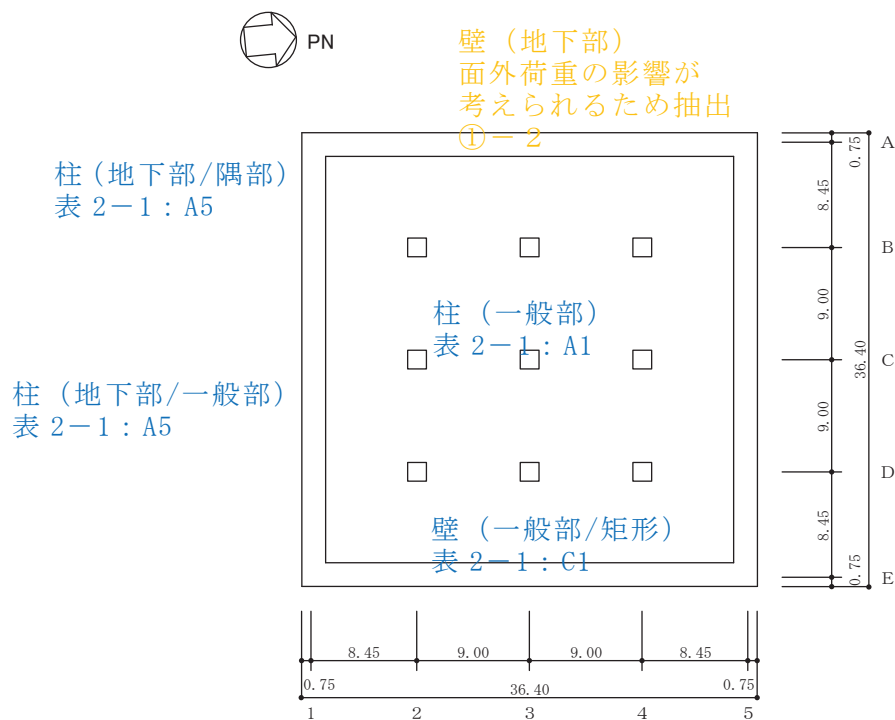


図 2-6-1(2) 緊急時対策建屋の概略平面図 (0. P. 57. 3m) (単位 : m)

- 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考え方

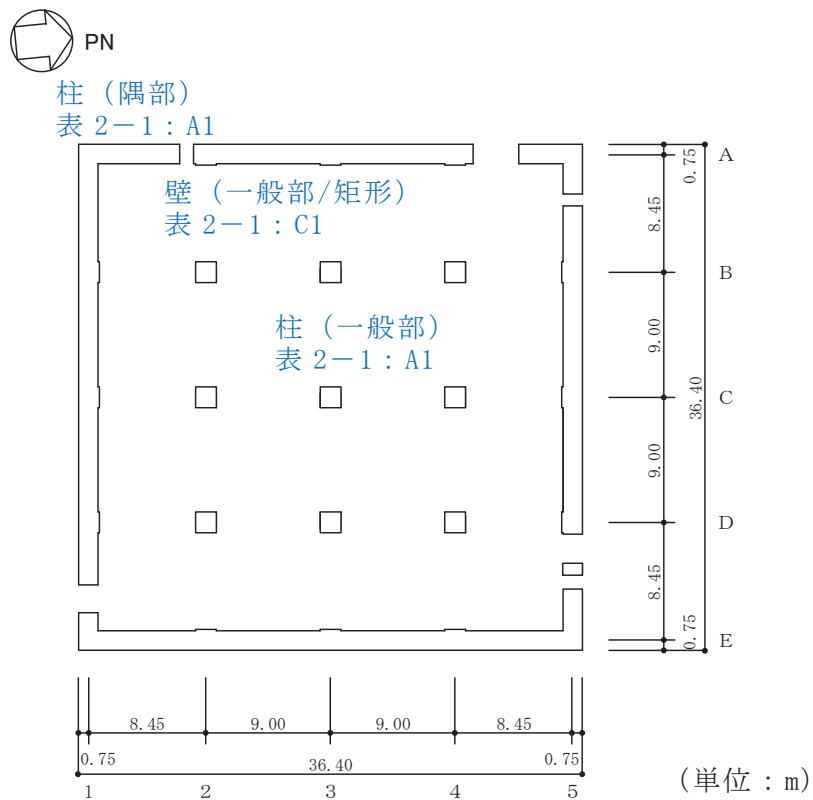


図 2-6-1(3) 緊急時対策建屋の概略平面図 (0.P. 62. 2m)

- 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考え方

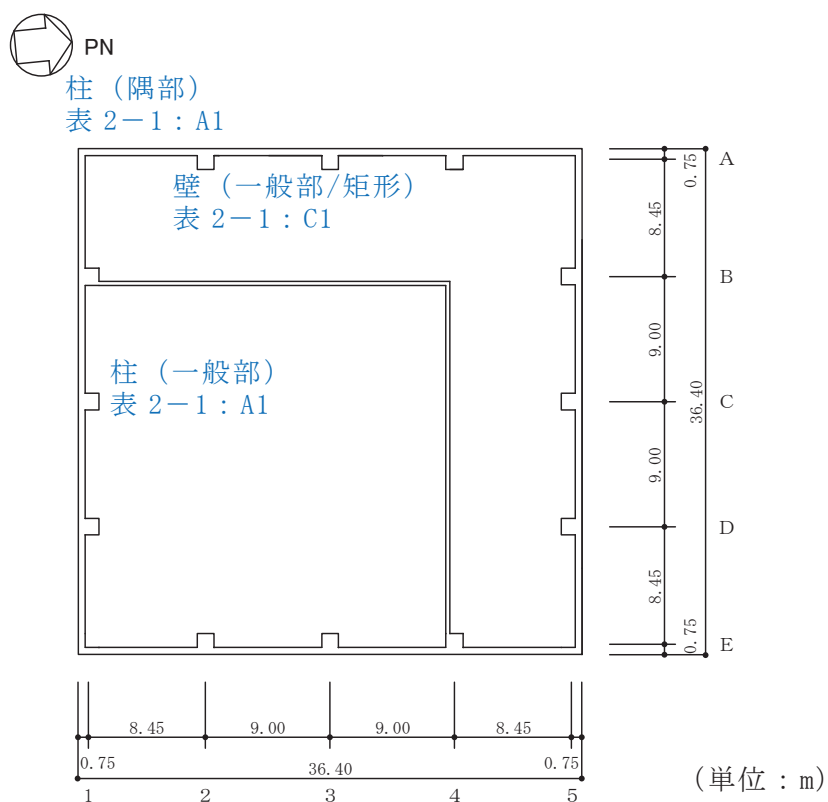


図 2-6-1(4) 緊急時対策建屋の概略平面図 (0.P. 69. 4m)

- 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考え方

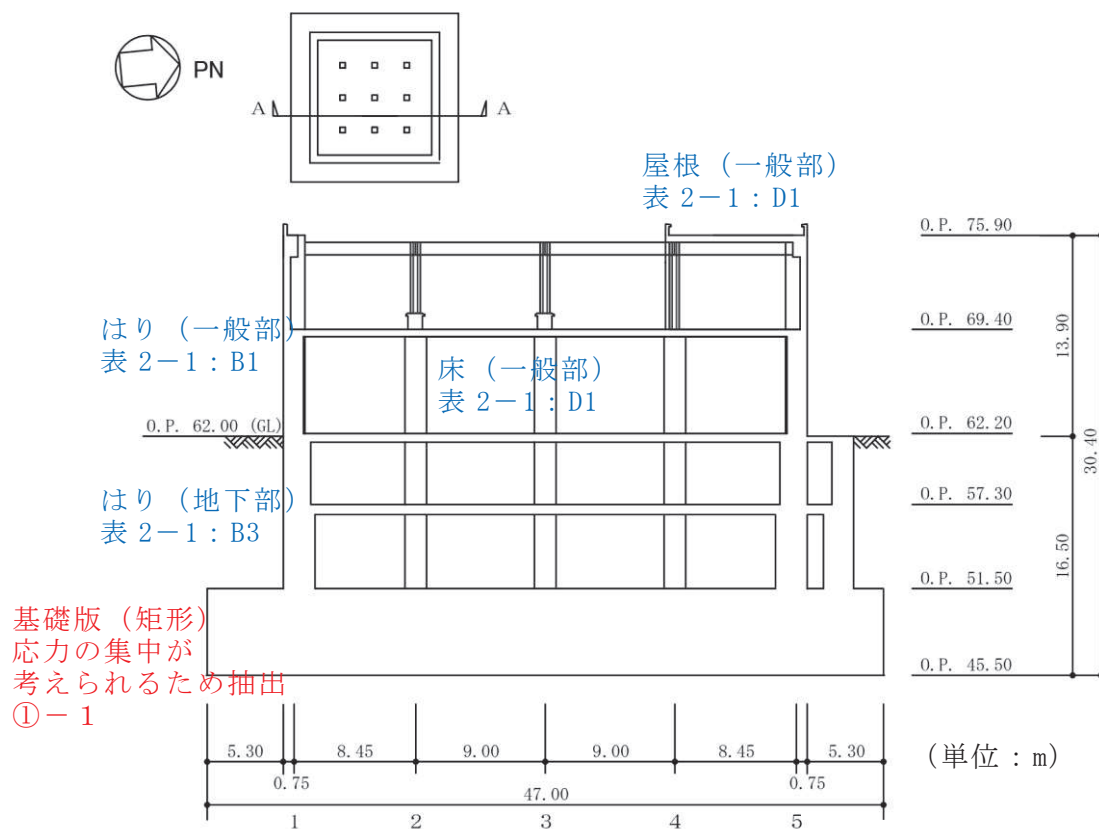


図 2-6-2(1) 緊急時対策建屋の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

- 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考え方

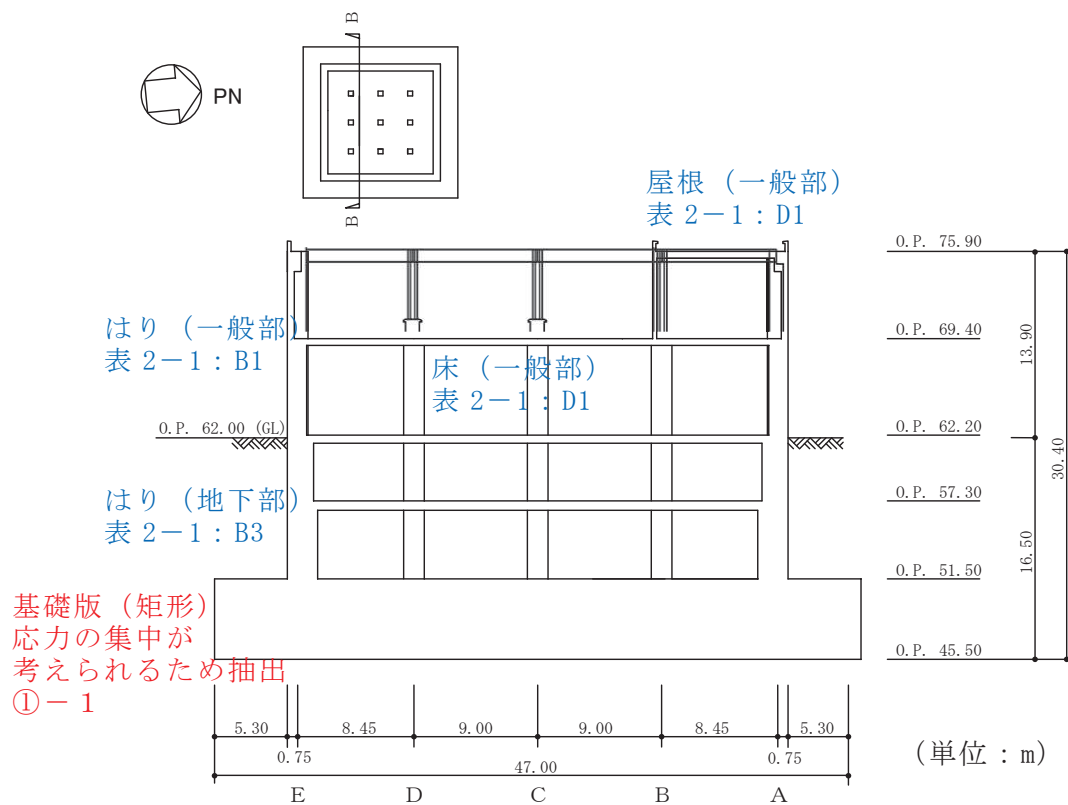
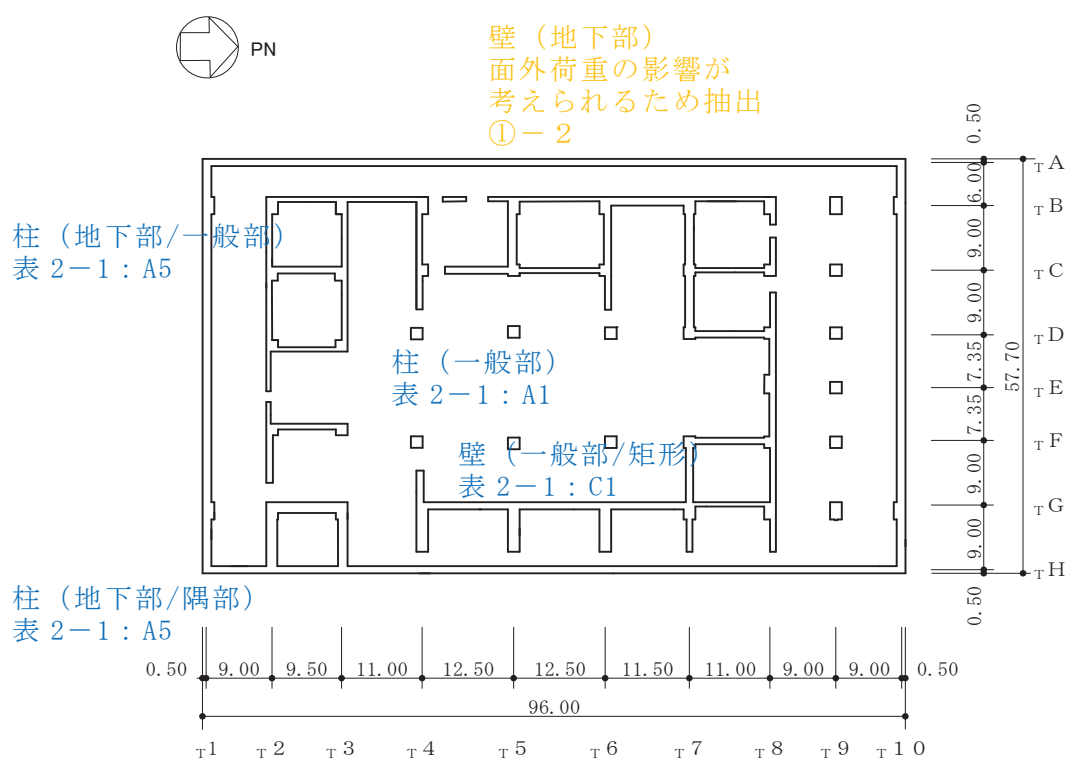


図 2-6-2(2) 緊急時対策建屋の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

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考え方

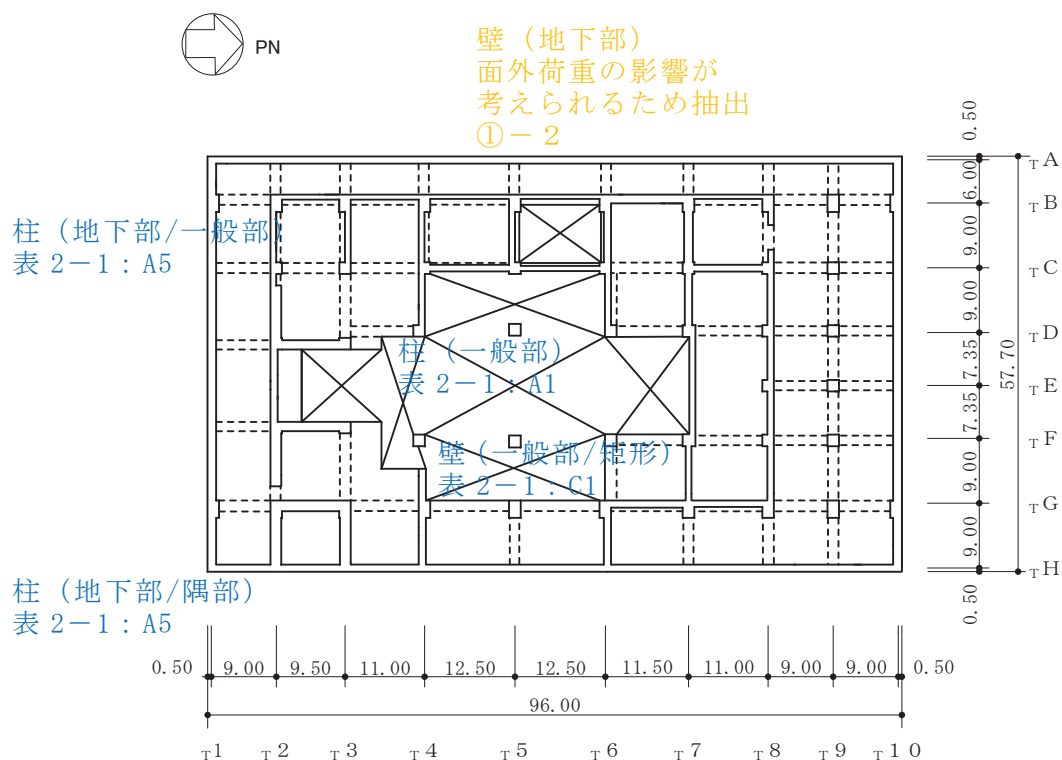


(単位：m)

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。

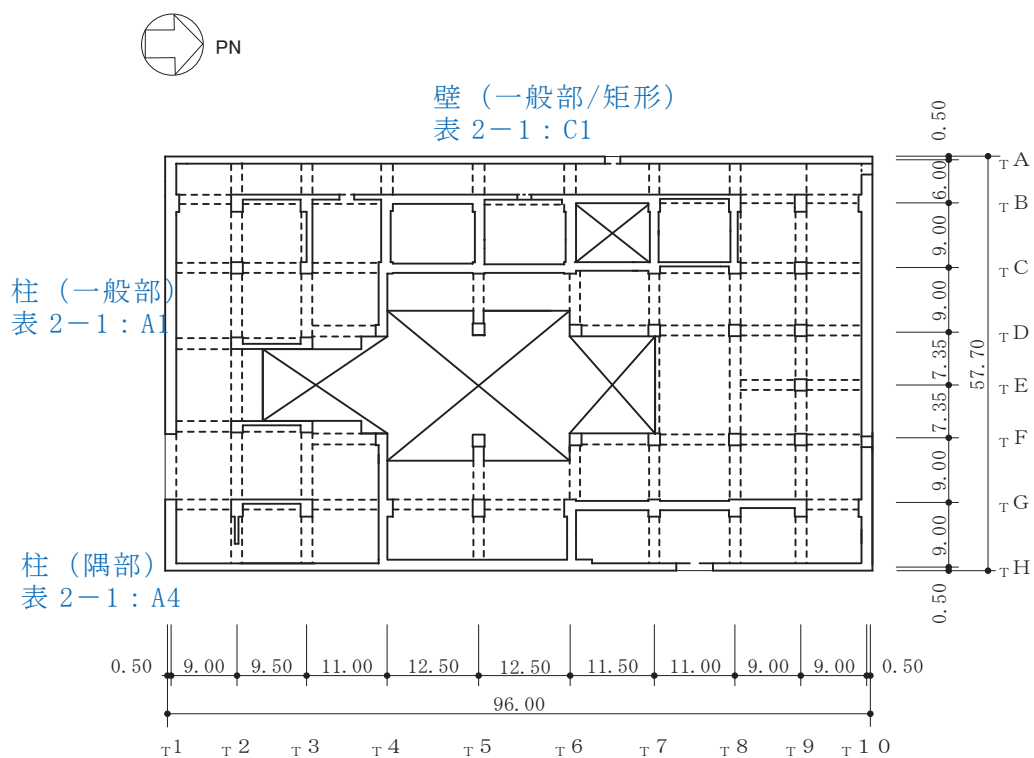
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(単位 : m)

図 2-7-1(2) タービン建屋の概略平面図 (0.P. 7.6m)

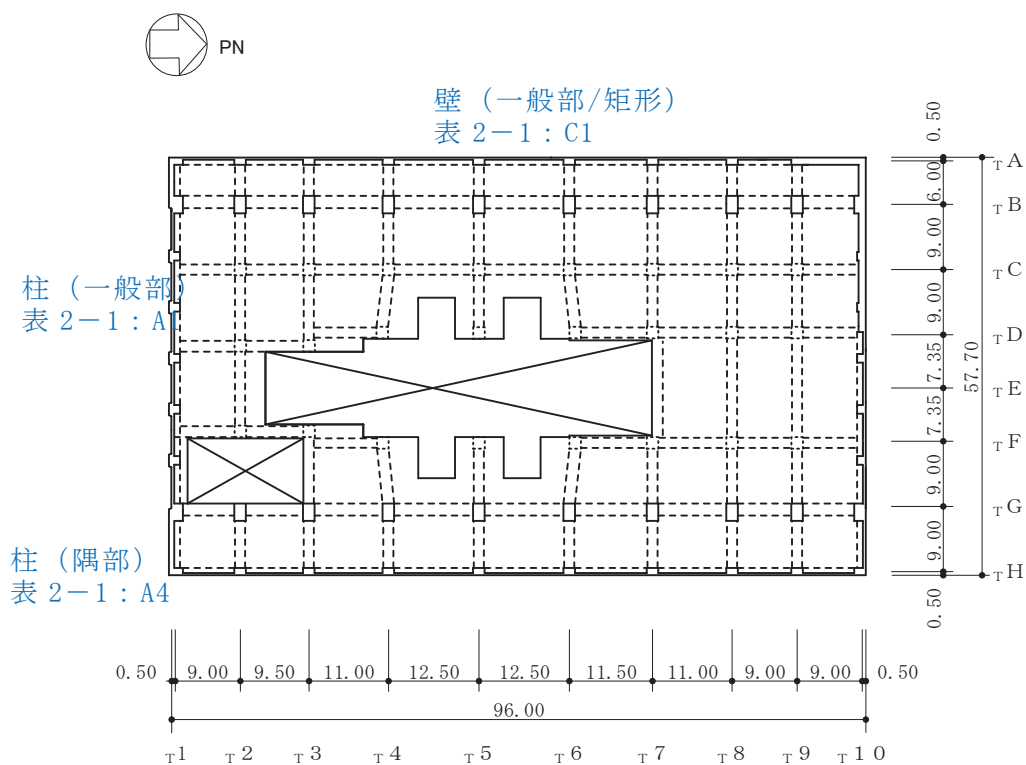
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(単位 : m)

図 2-7-1(3) タービン建屋の概略平面図 (O.P. 15.0m)

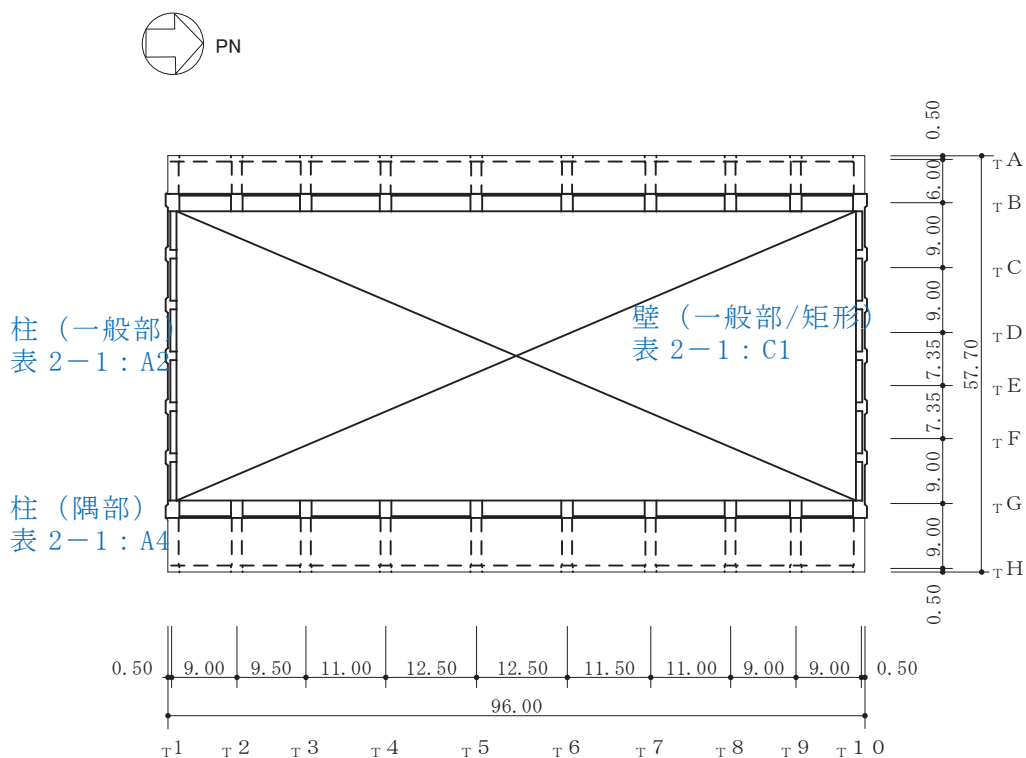
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(単位 : m)

図 2-7-1(4) タービン建屋の概略平面図 (O.P. 24.8m)

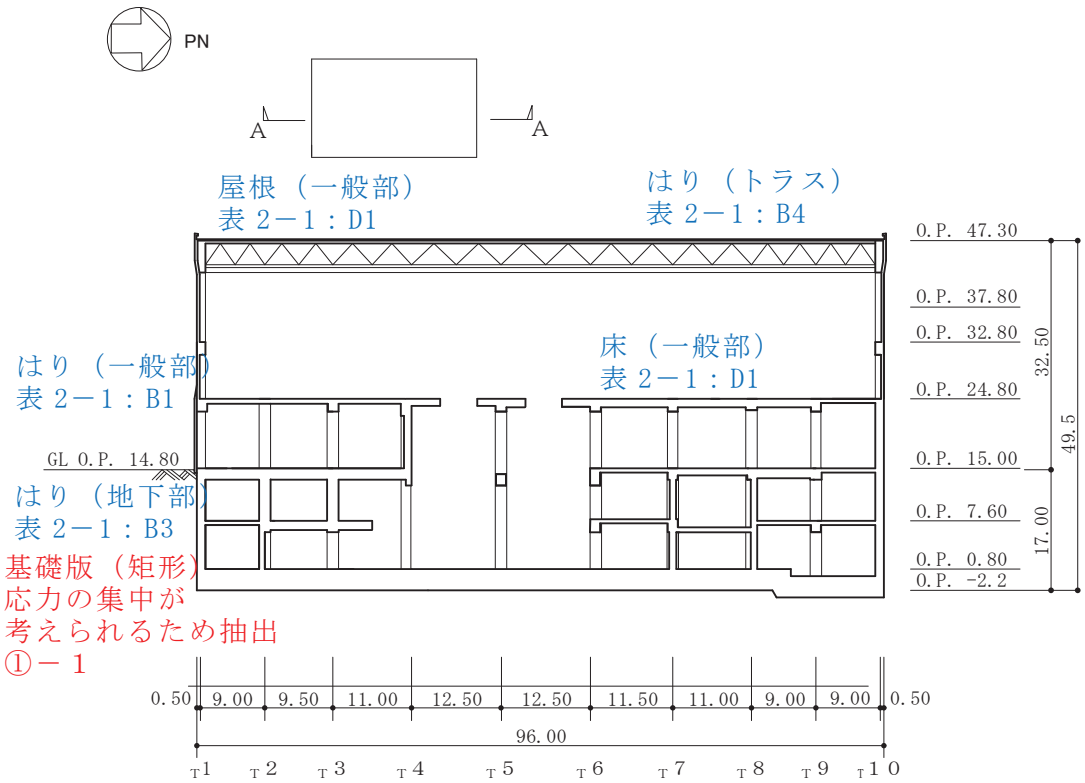
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(単位：m)

図 2-7-1(5) タービン建屋の概略平面図 (O.P. 32.8m)

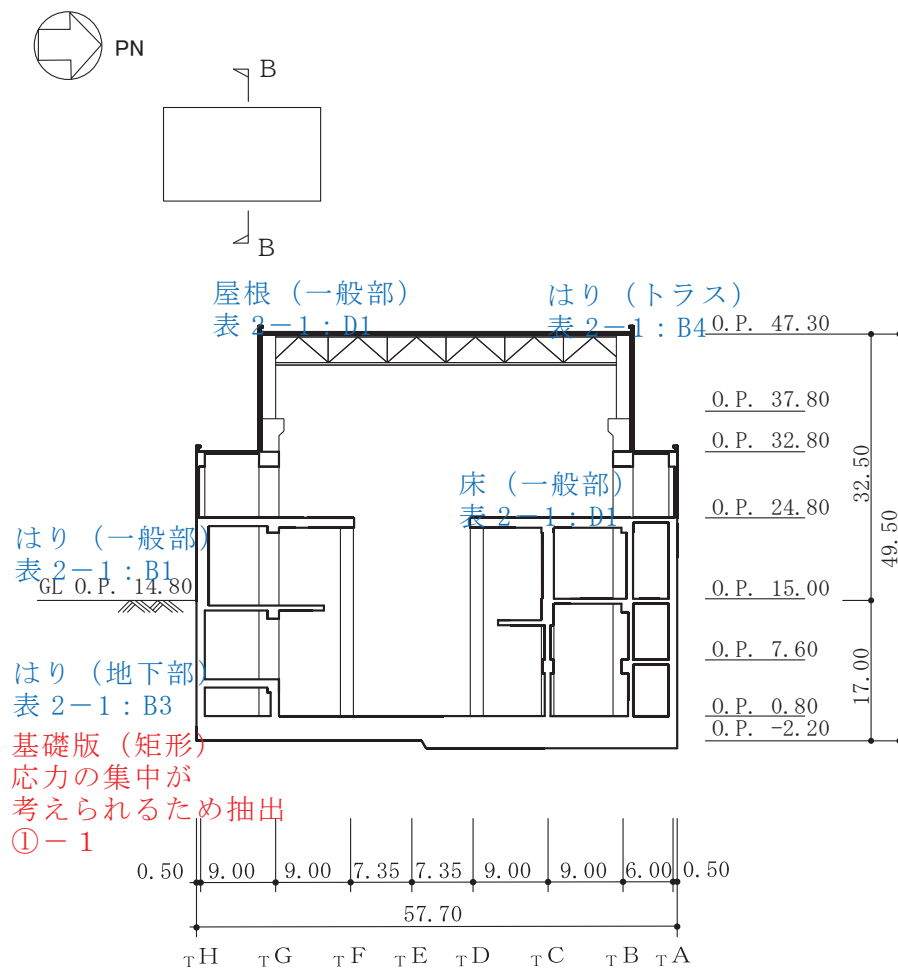
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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考え方



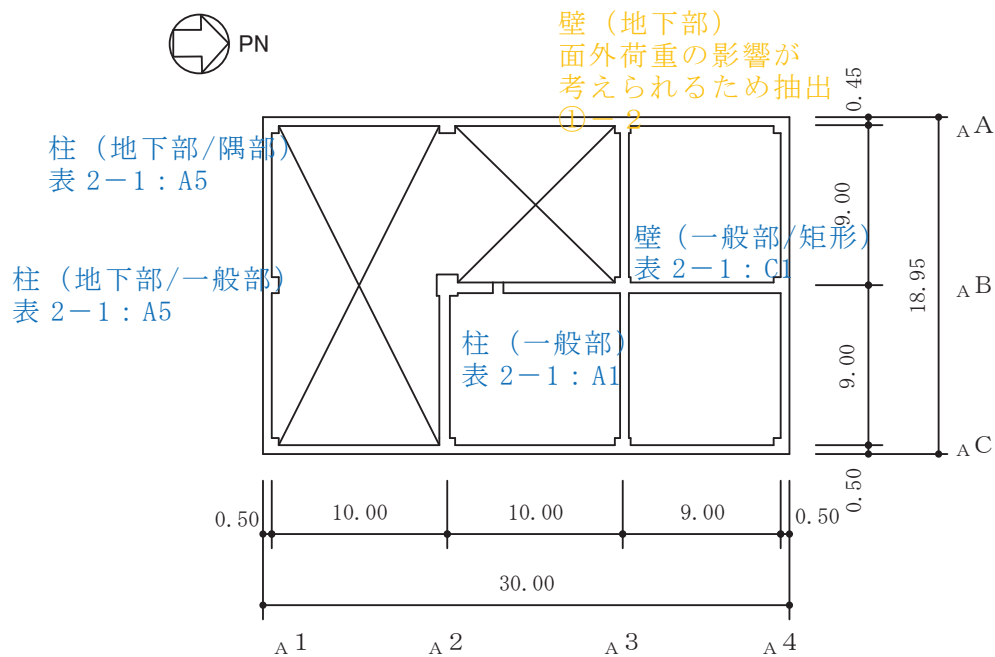
(単位 : m)

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考え方

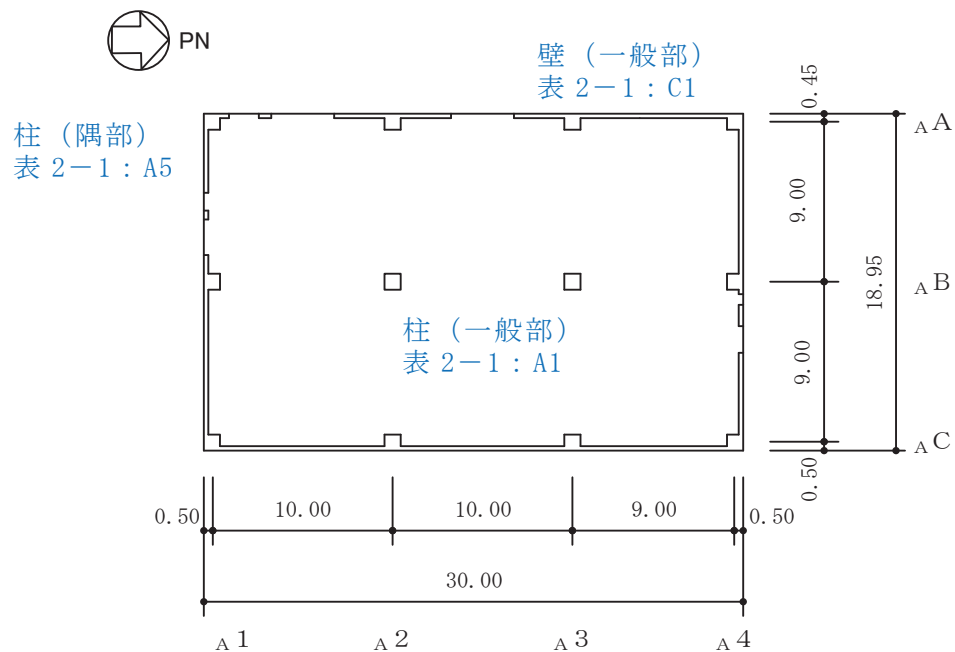


(単位：m)

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。

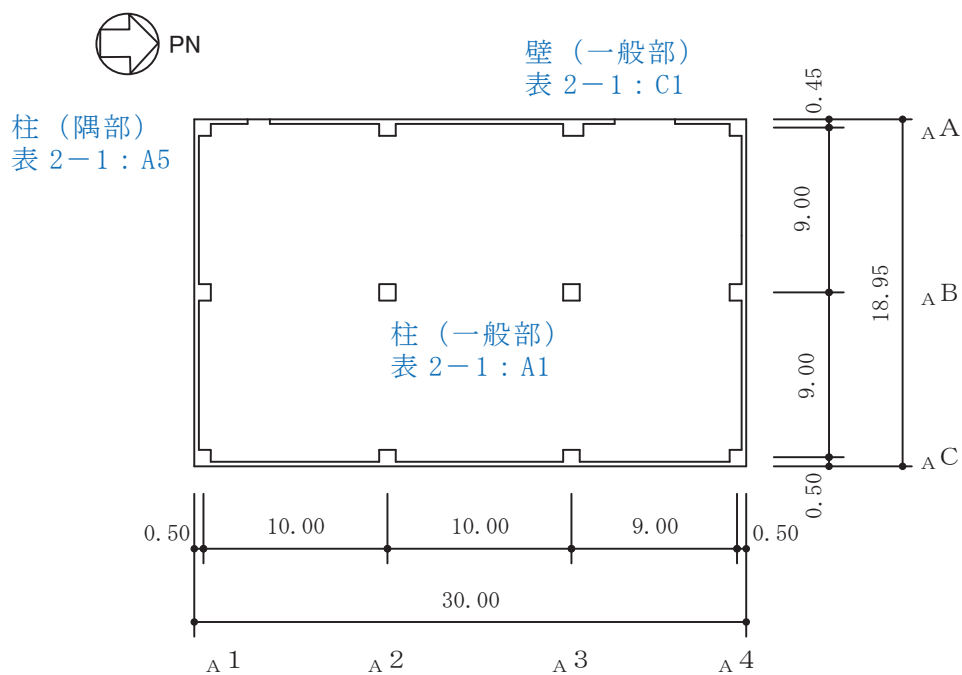
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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)

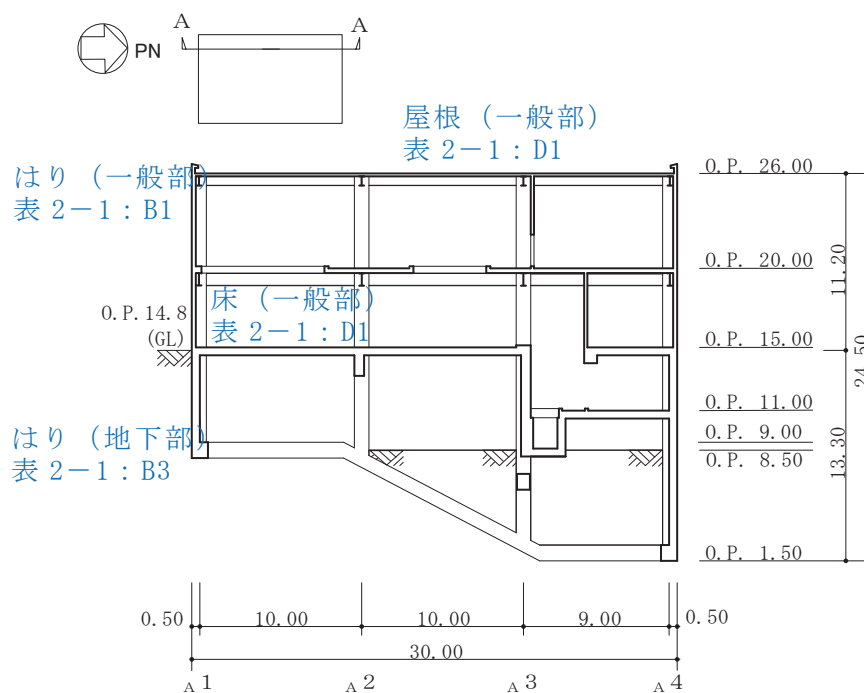
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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)

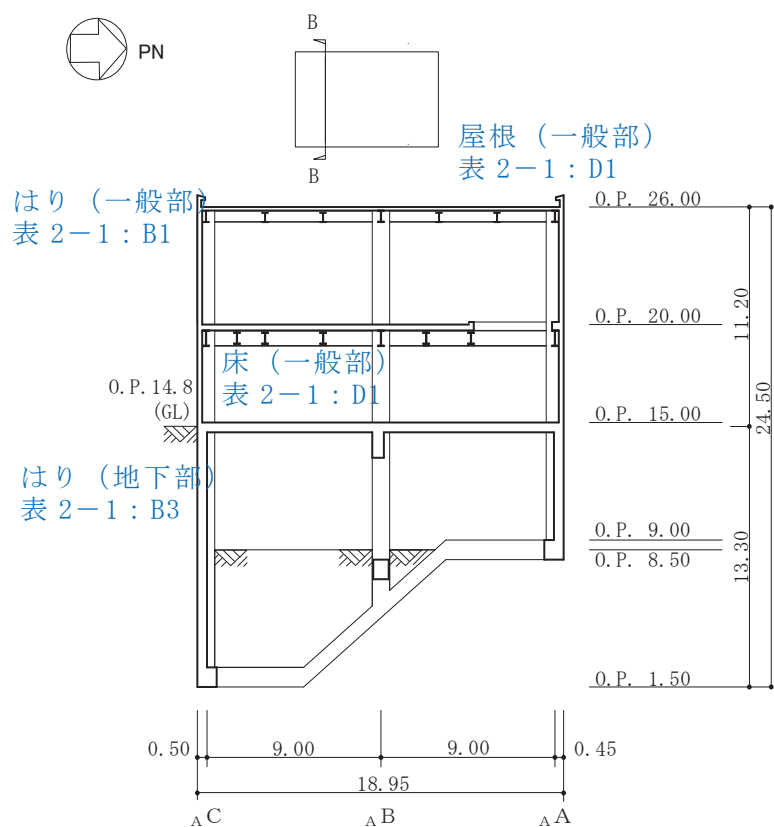
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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考え方



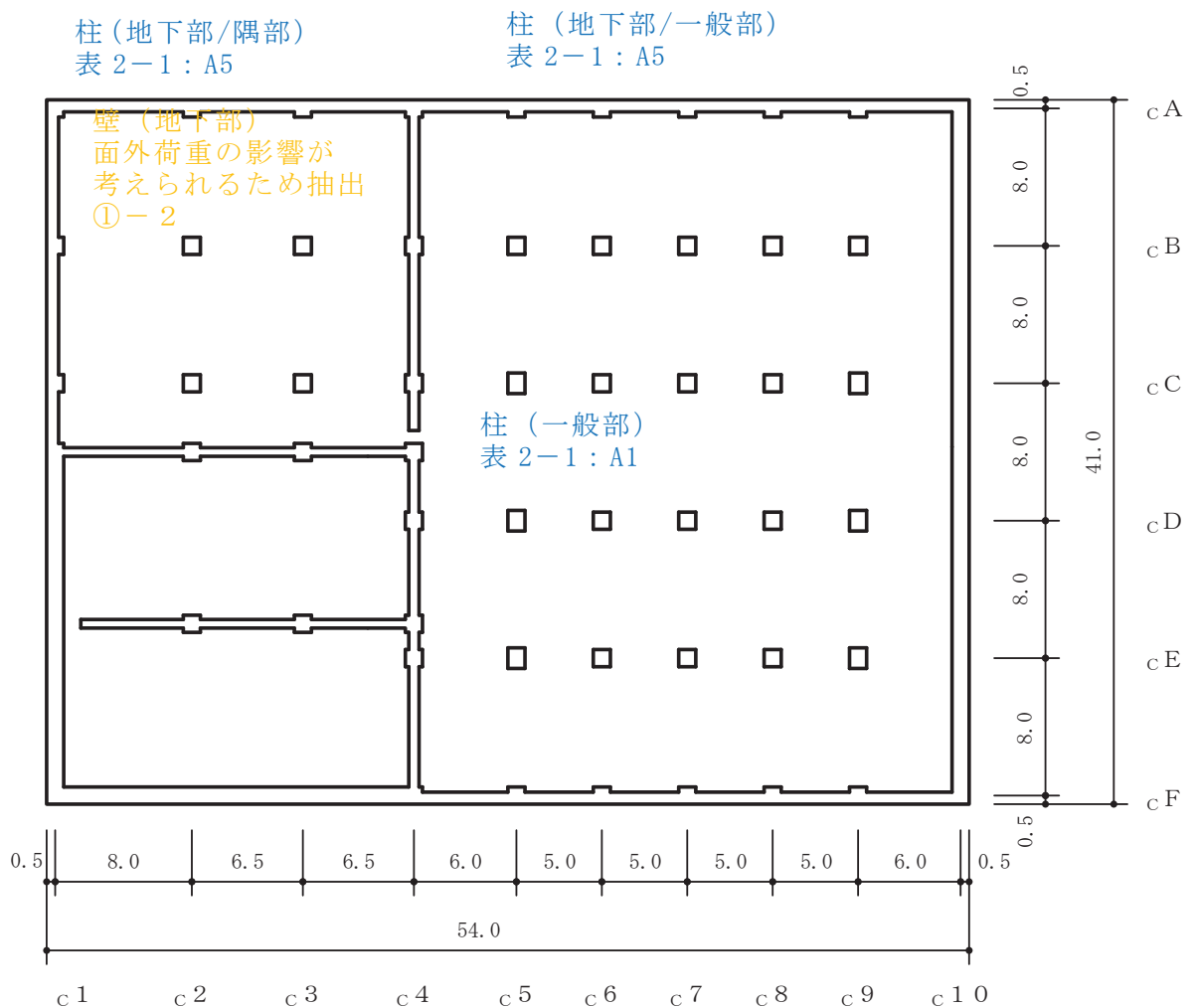
(単位：m)

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考え方

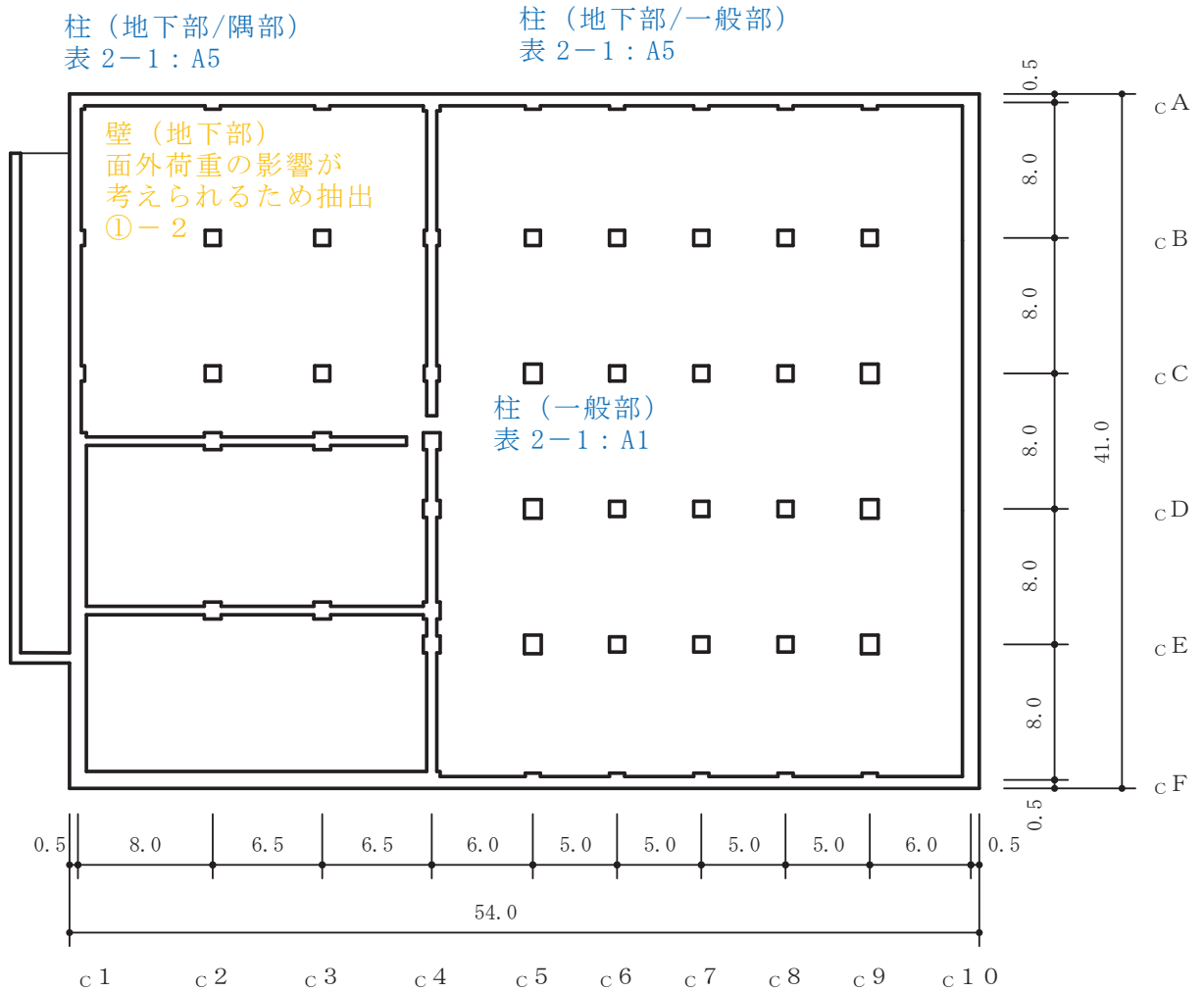


(単位：m)

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。

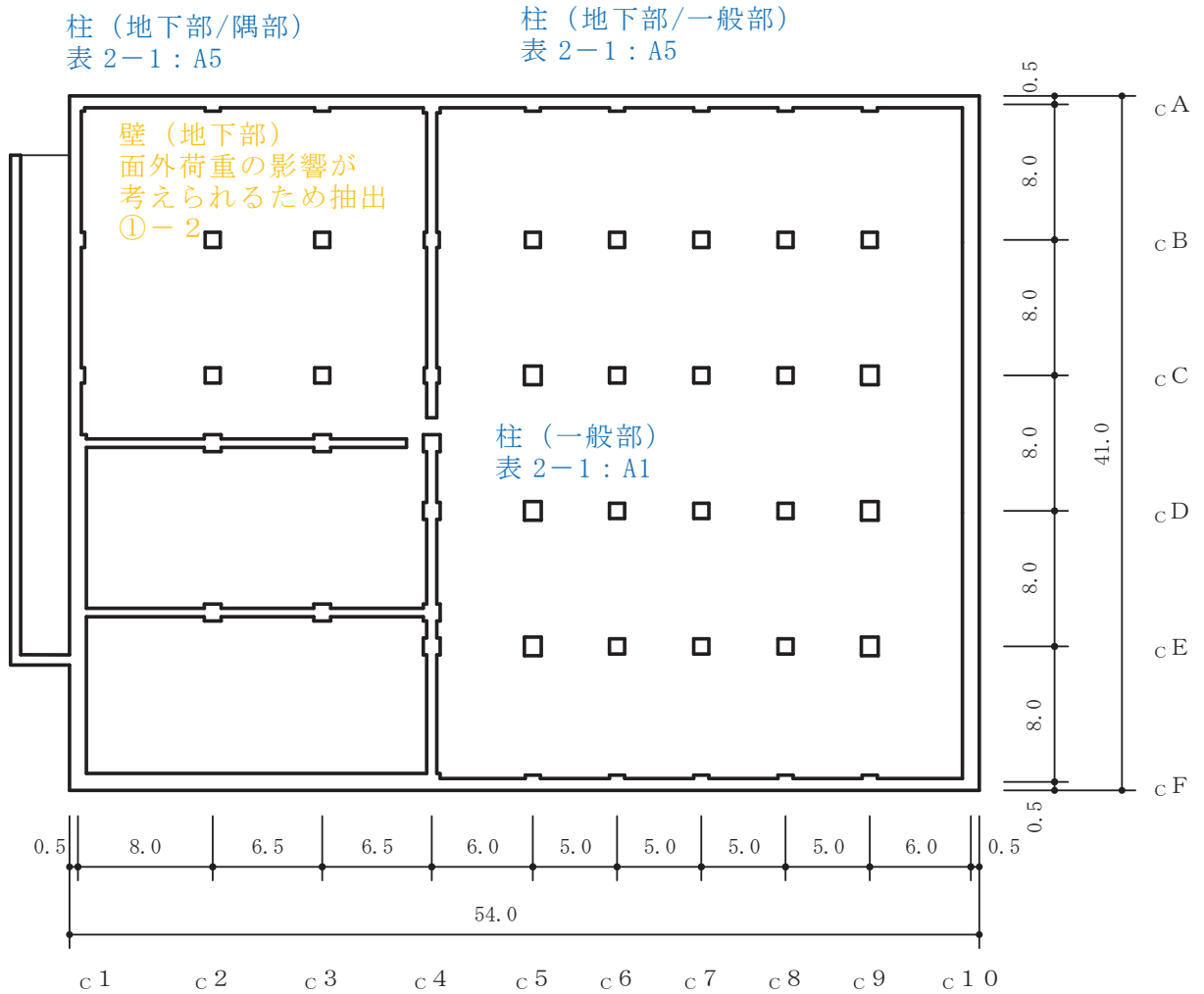
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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考え方



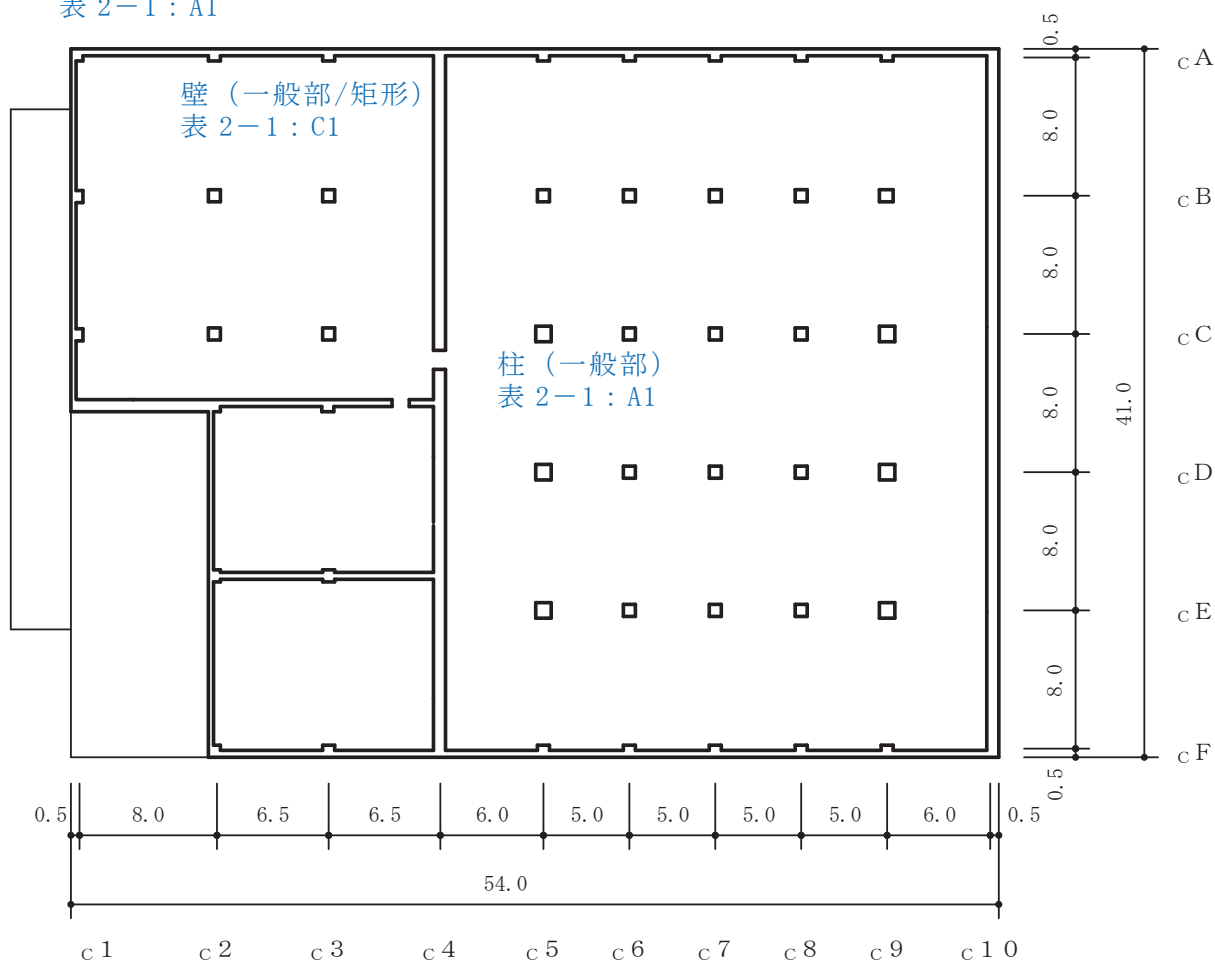
(単位 : m)

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考え方



柱（隅部）
表 2-1：A1



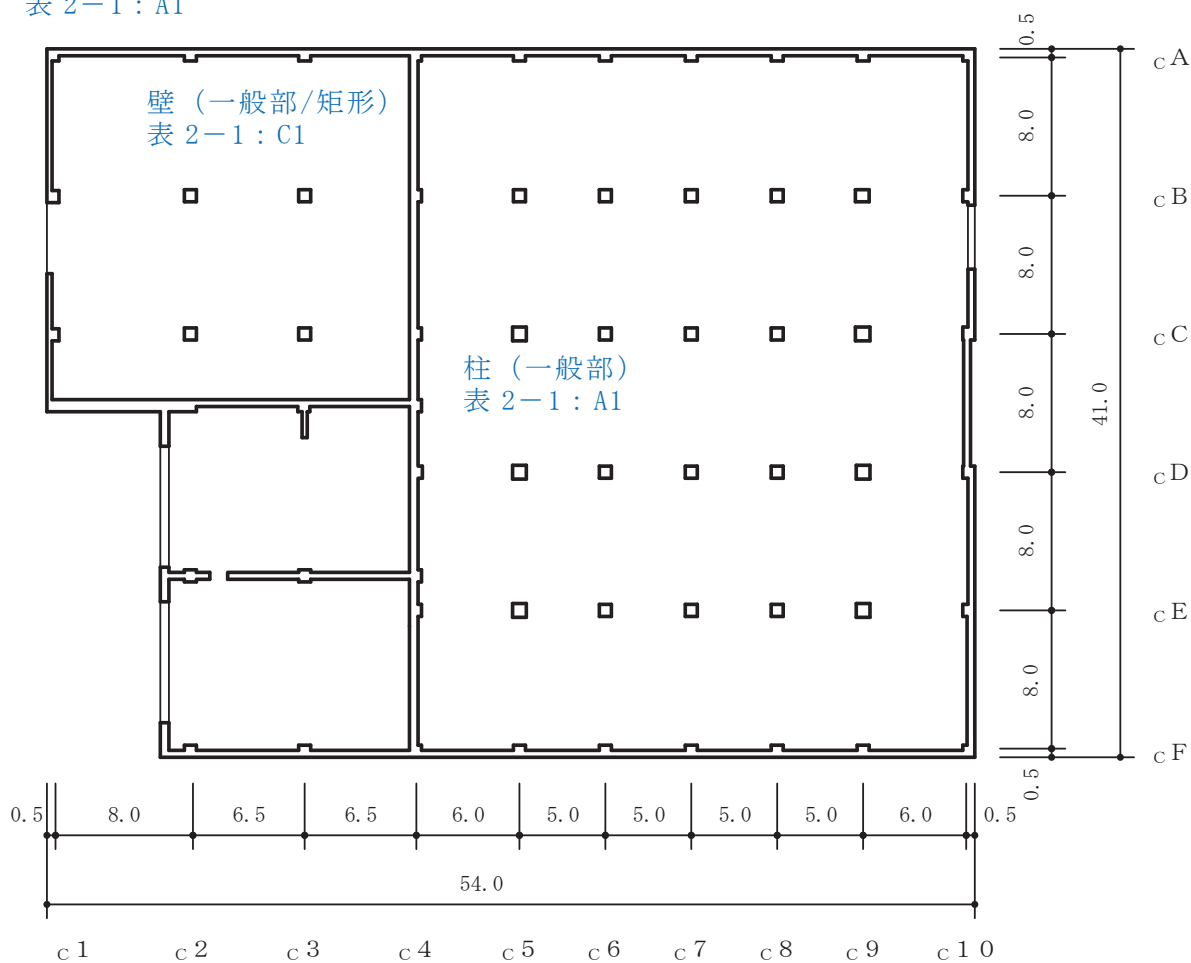
（単位：m）

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考え方



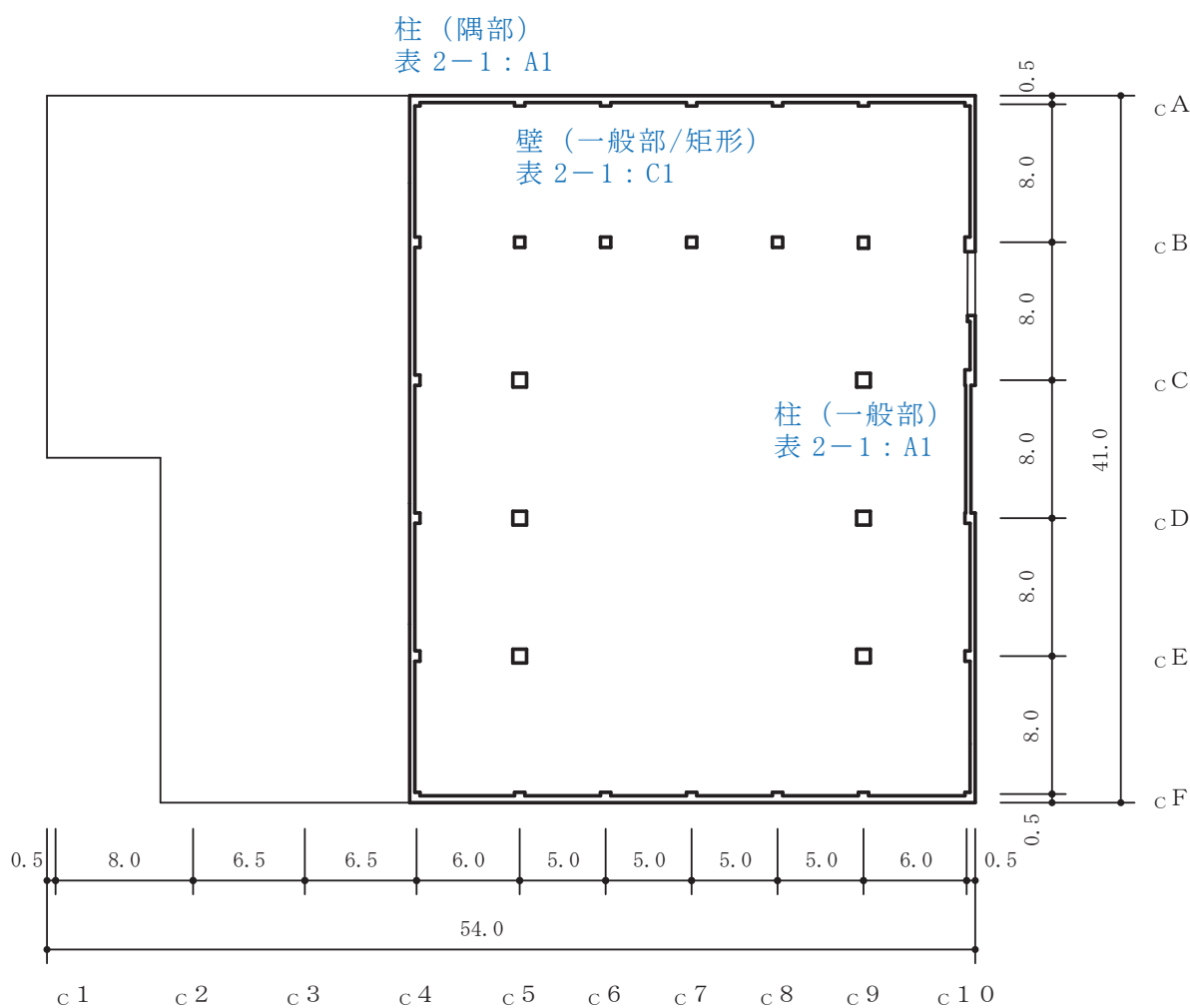
柱（隅部）
表 2-1 : A1



(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)

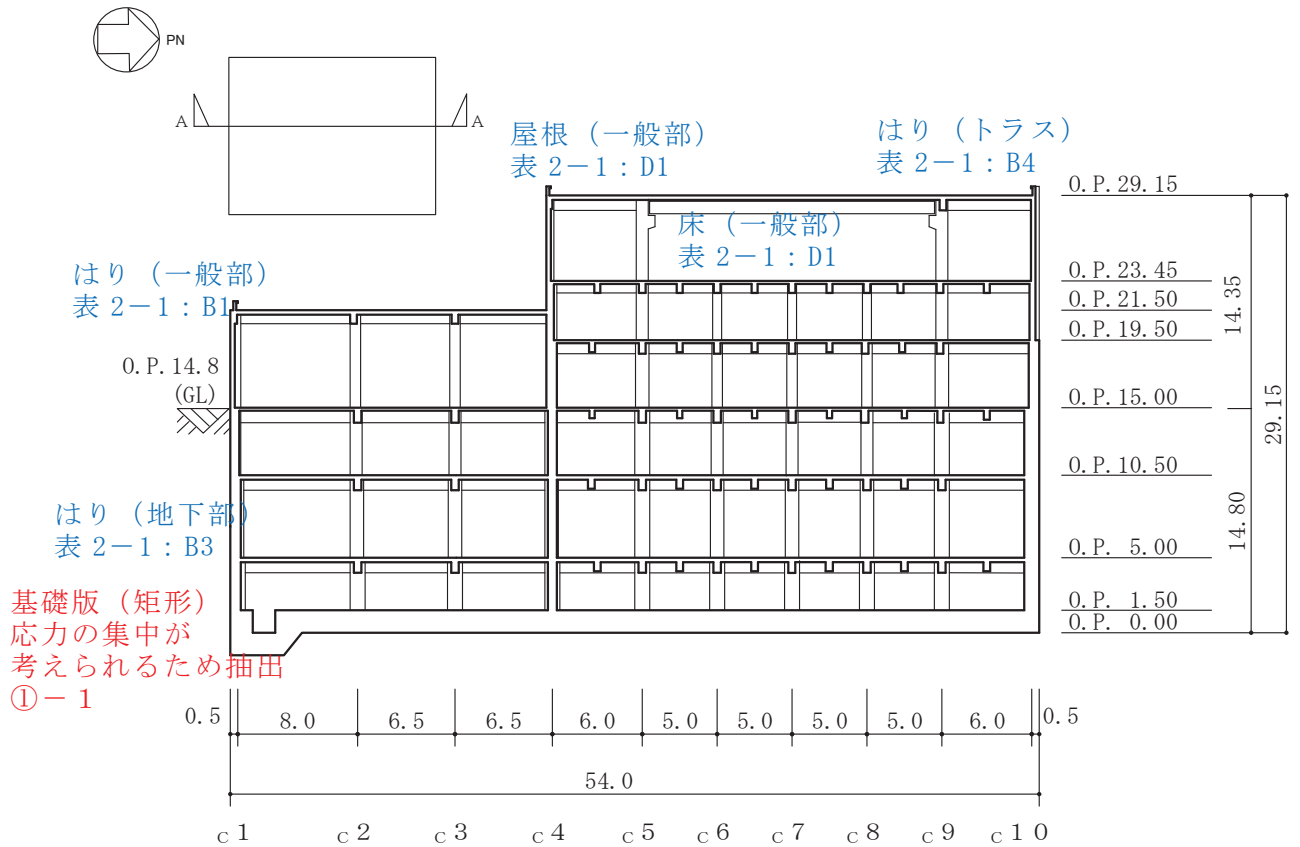
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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)

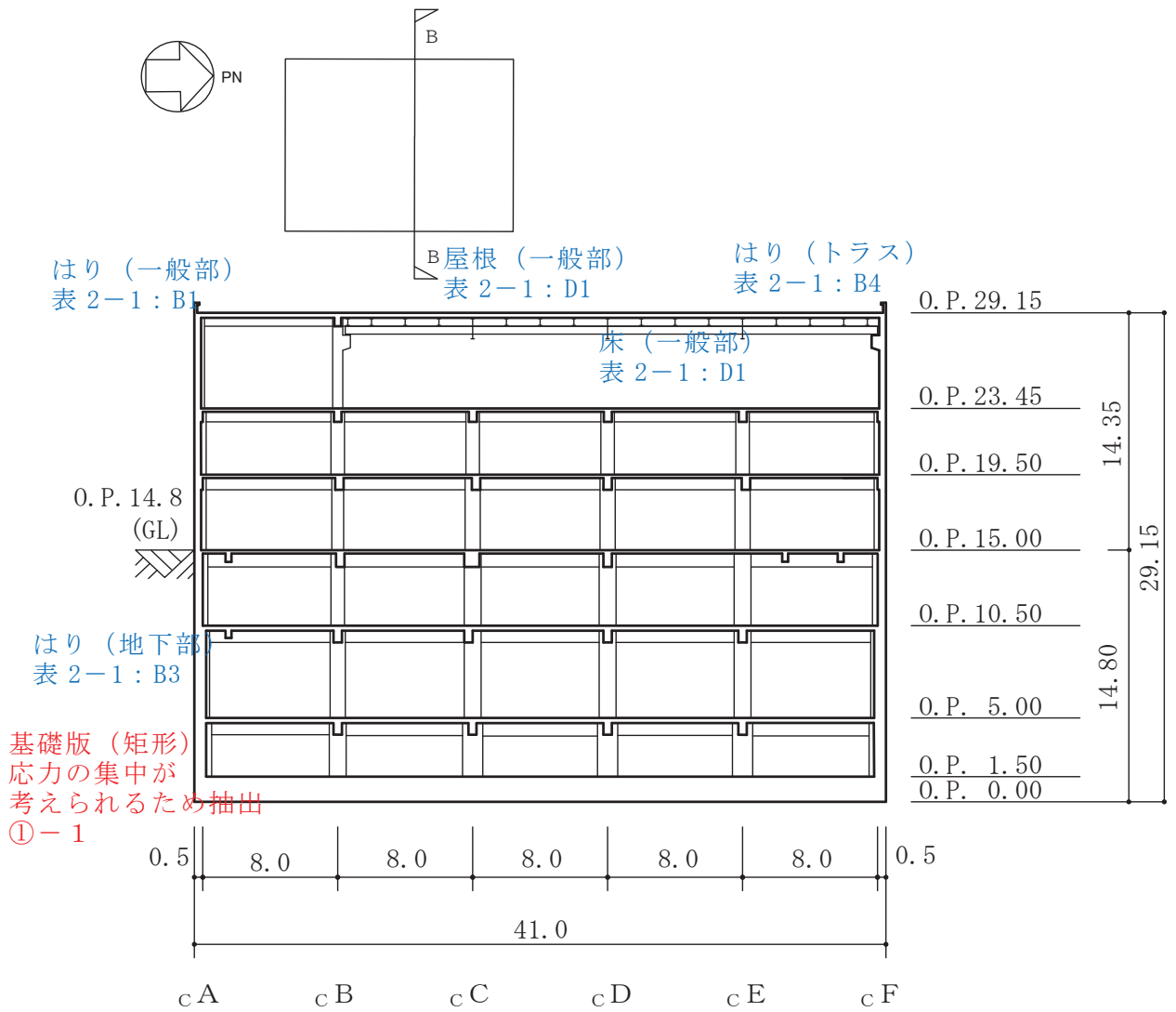
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 青字：抽出されなかった部位及びその考え方



(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考え方



(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考え方

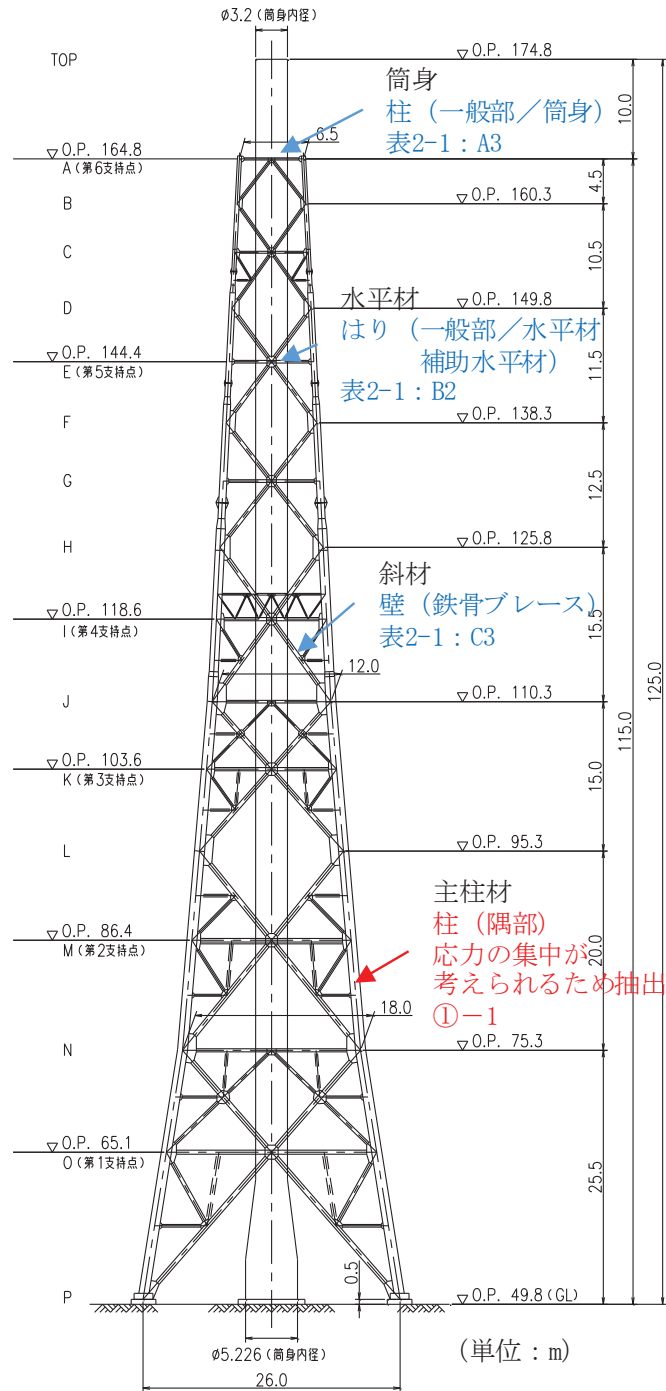


図2-10-1 第1号機排気筒の概要図

表 2-1(1) 評価部位として抽出されなかった部位の考え方 (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(2) 評価部位として抽出されなかった部位の考え方 (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	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、外周部よ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(3) 評価部位として抽出されなかった部位の考え方 (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。

排気筒及び第 1 号機排気筒，並びに緊急用電気品建屋の鉄骨造部分の規模を比較すると，排気筒の規模が最も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
		第 1 号機排気筒	115.0
		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。

3.4 壁（面外慣性力）

面外慣性力の影響が考えられる部位について、原子炉建屋燃料取替床レベルの壁を評価する。

別紙 2 原子炉建屋 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 2-34
2.7 面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の壁の断面の評価....	別紙 2-44
2.8 検討のまとめ.....	別紙 2-54
3. 局所応答による影響検討.....	別紙 2-55
4. 3次元 FEM モデルを用いた精査のまとめ	別紙 2-56
5. 引用文献.....	別紙 2-57

1. 3次元 FEM モデルを用いた精査の概要

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。

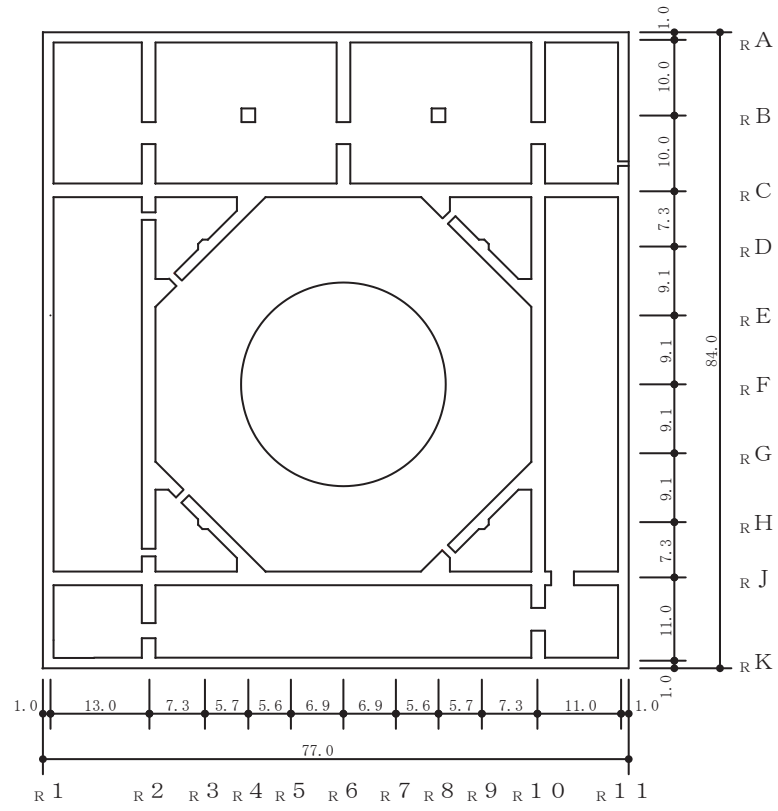
原子炉建屋の主たる耐震要素は、原子炉格納容器のまわりを囲んでいる 1 次しゃへい壁(以下「シェル壁：SW」という。)、原子炉棟の外壁(以下「内部ボックス壁：IW」という。)及び付属棟の外壁(以下「外部ボックス壁：OW」という。)である。

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。

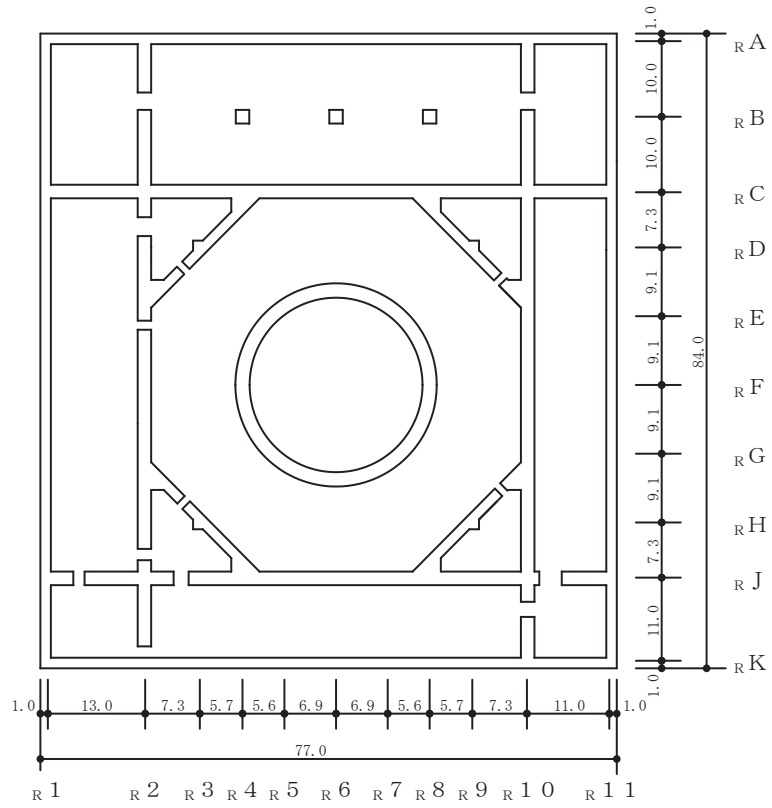
注記*1 : 建屋寸法は壁外面押えとする。

*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。



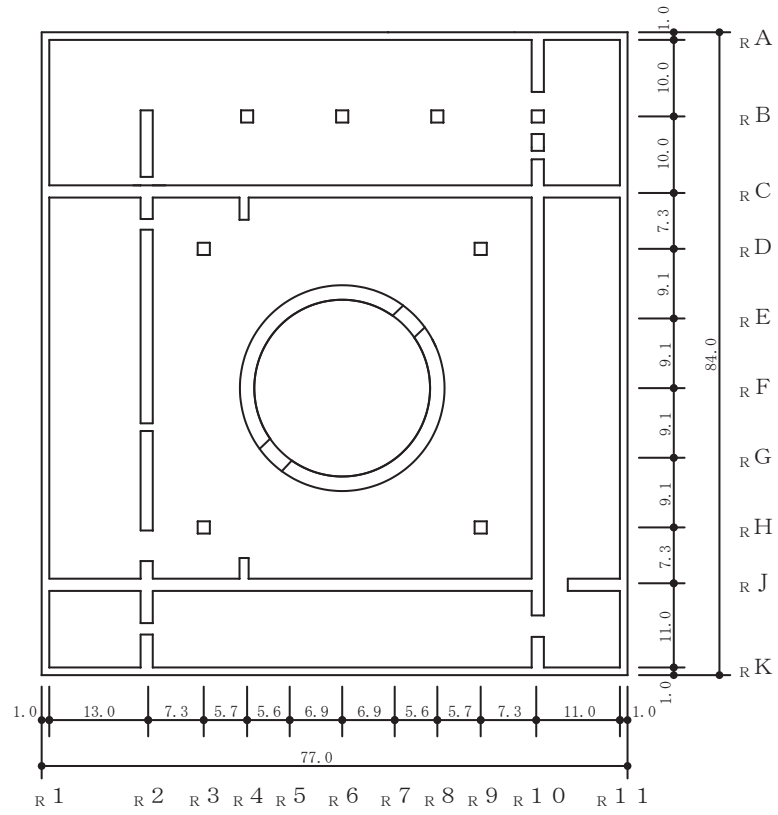
(単位：m)

図 2-1(1) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. -8.1m)



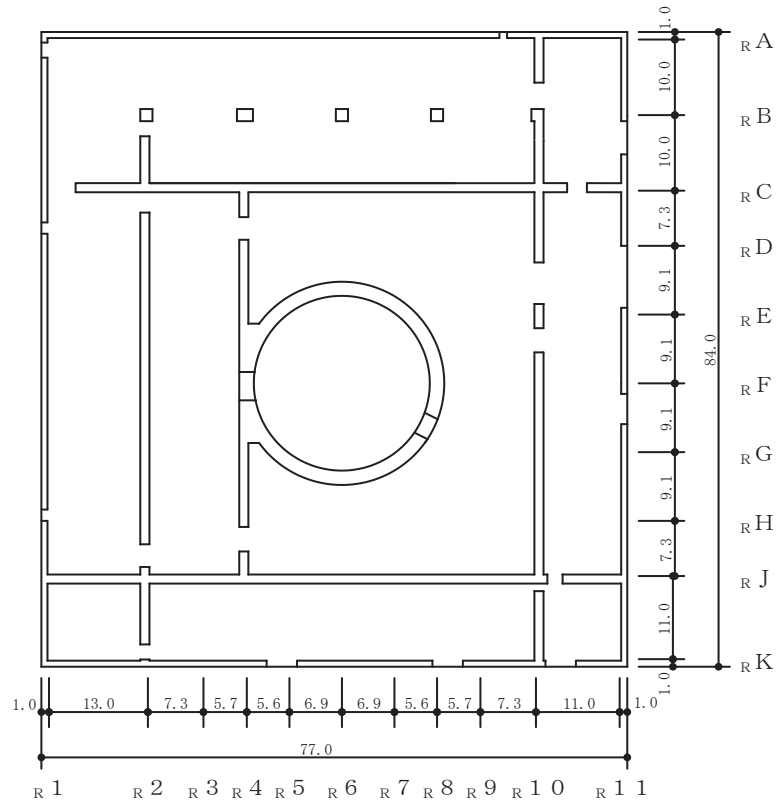
(単位：m)

図 2-1(2) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. -0.8m)



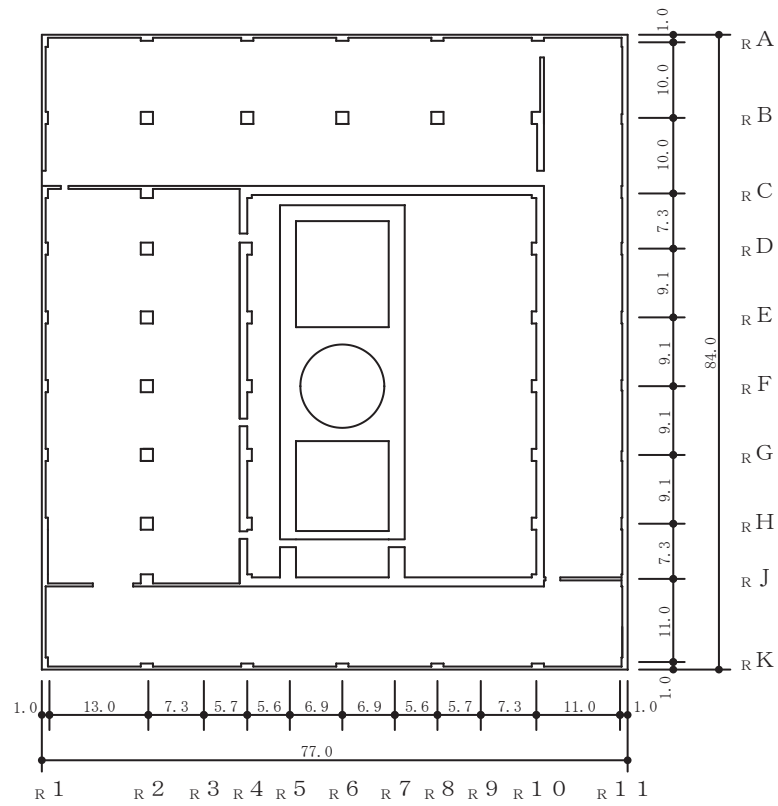
(単位：m)

図 2-1(3) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 6. 0m)



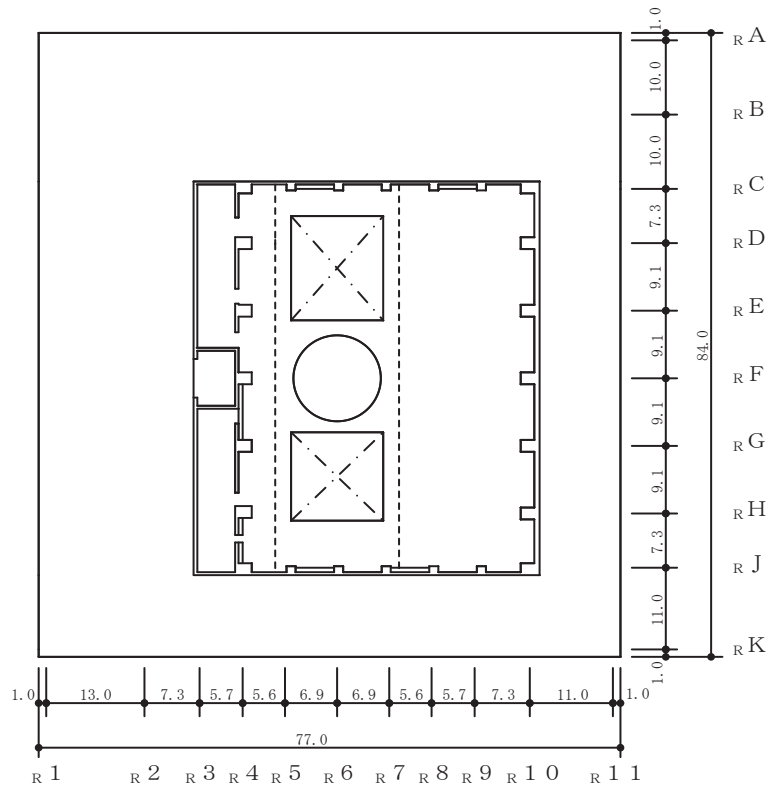
(単位：m)

図 2-1(4) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 15.0m)



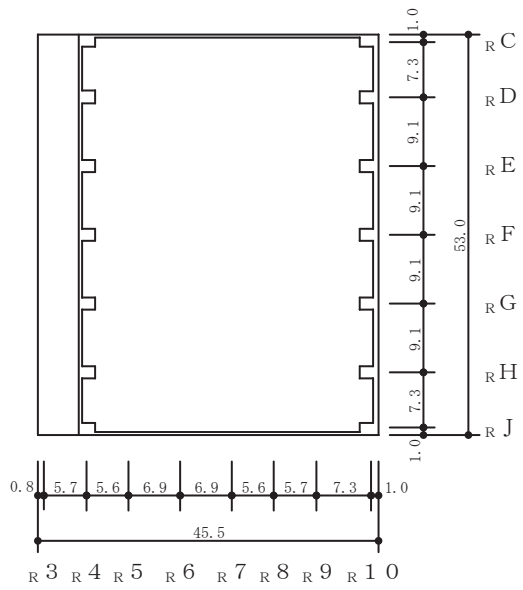
(単位：m)

図 2-1(5) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 22.5m)



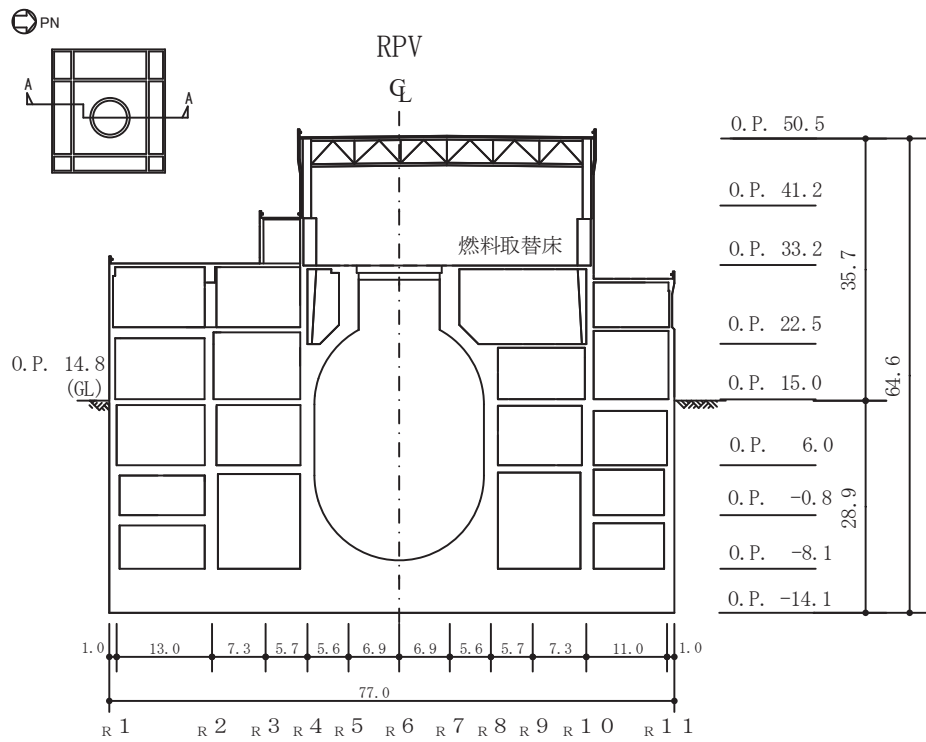
(単位 : m)

図 2-1(6) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 33. 2m)



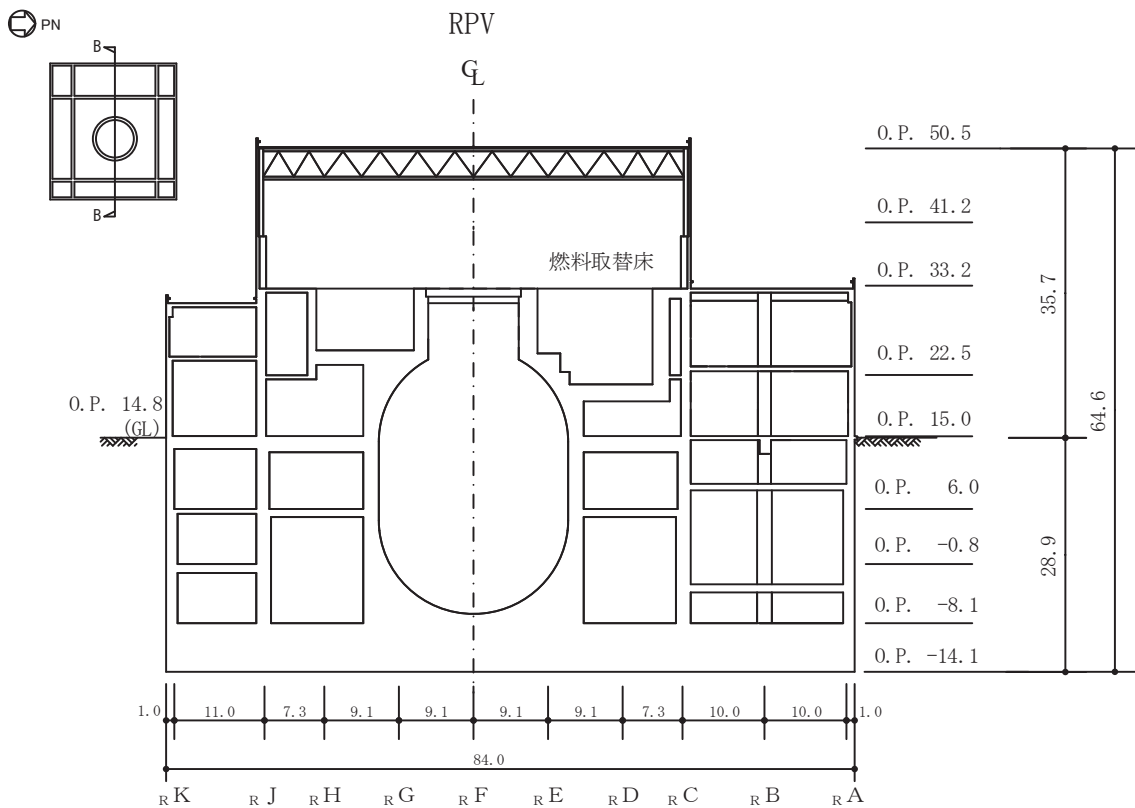
(単位：m)

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、「建設省告示第 2464 号」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。

面外慣性力の影響に対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。

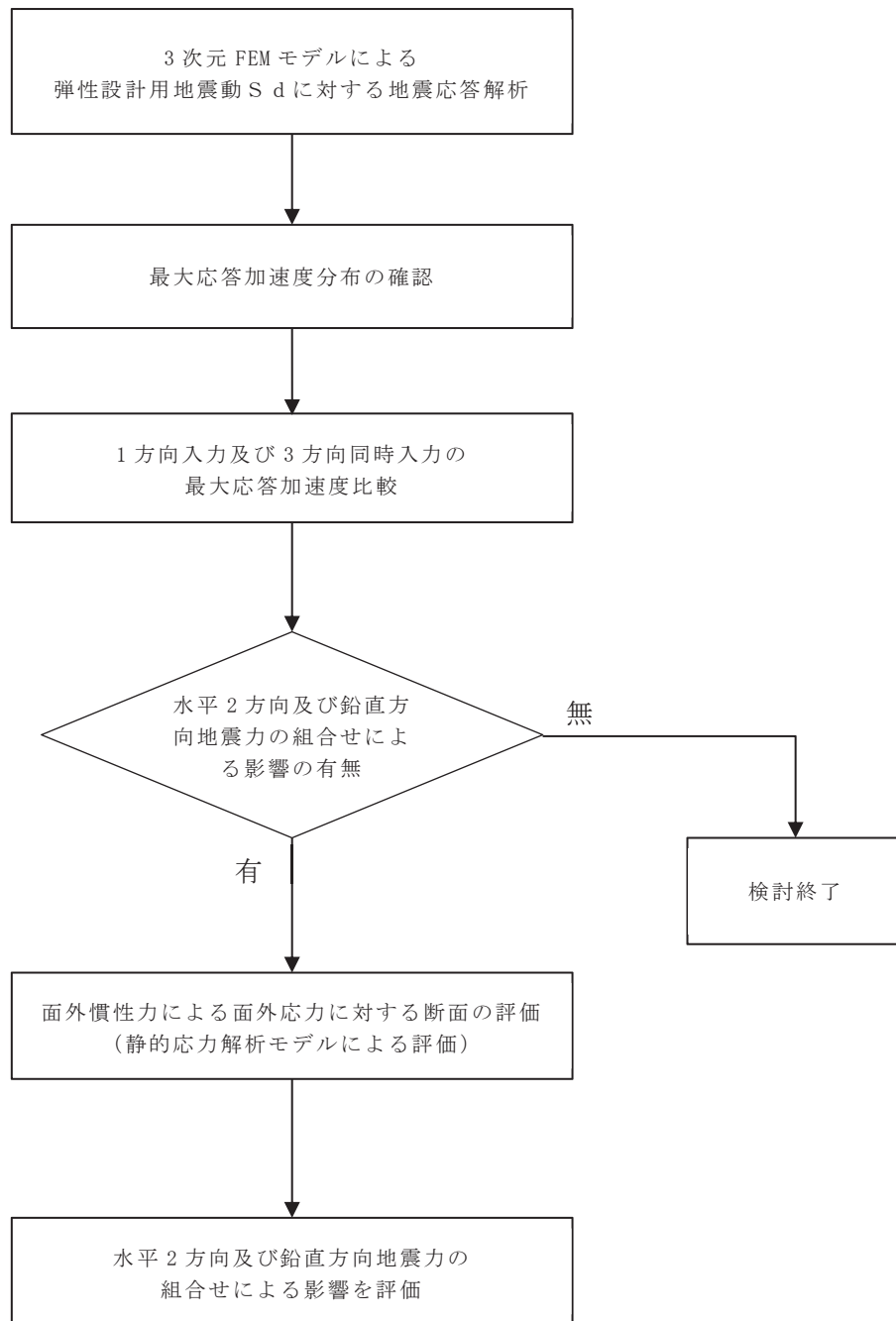


図 2-3 3次元 FEM を用いた精査の評価フロー

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。

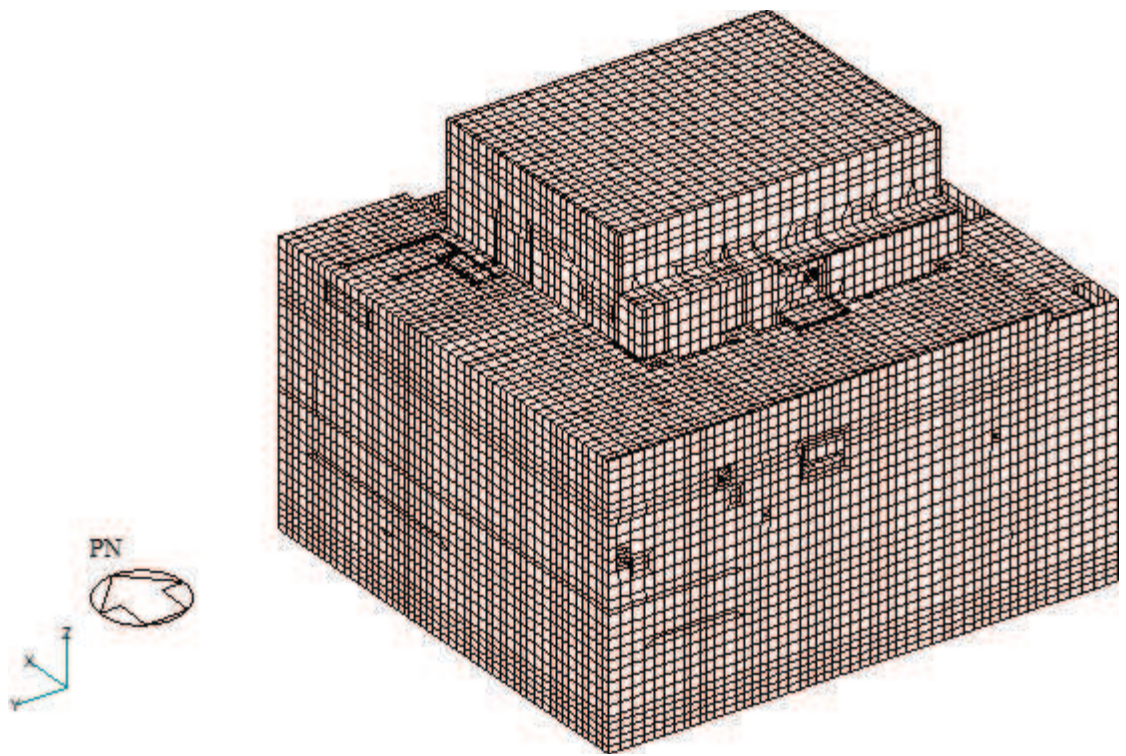
要素の大きさは，各スラブの上面レベルと対応する位置に節点を設け，鉛直方向にはフロア間を 3 分割以上，水平方向は 3 分割以上とする。（解析モデルの詳細は，「別紙 3 原子炉建屋 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析」に示す。）

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。

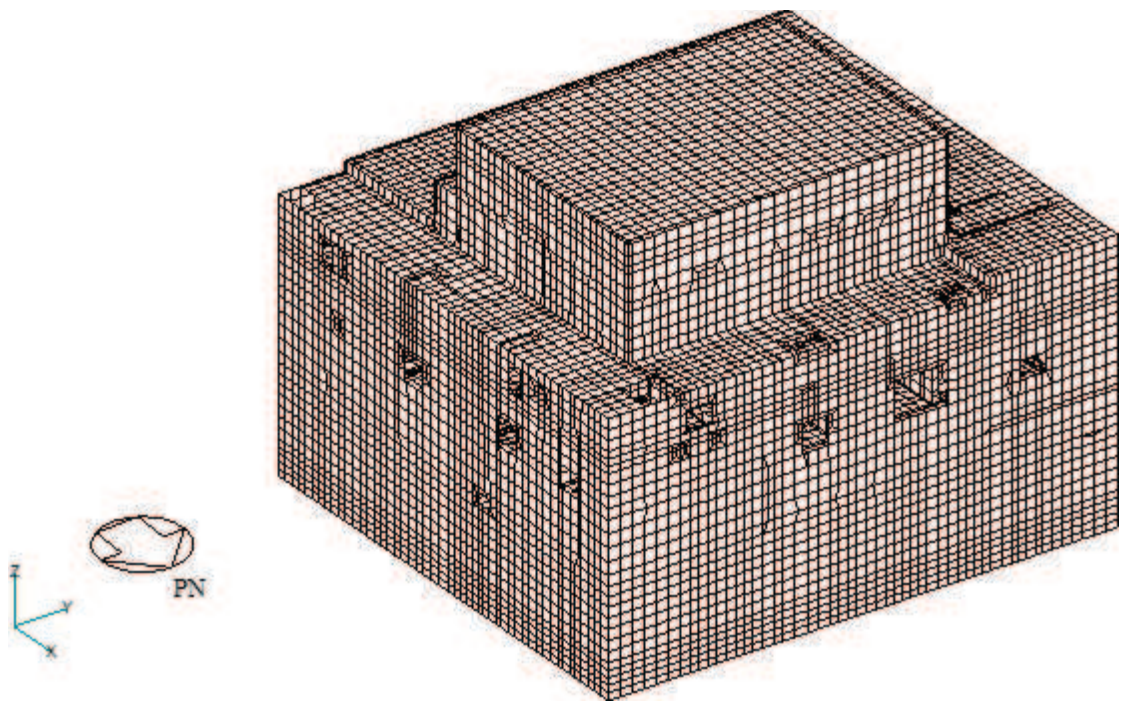
検討に用いる解析モデルは，質点系モデルと表 2-1 に示す諸条件を対応させた 3 次元 FEM モデルとする。

なお，質点系モデルと同様に平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下を反映する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を表 2-3 に示す。

地震応答解析には，解析コード「NASTRAN」を用いる。

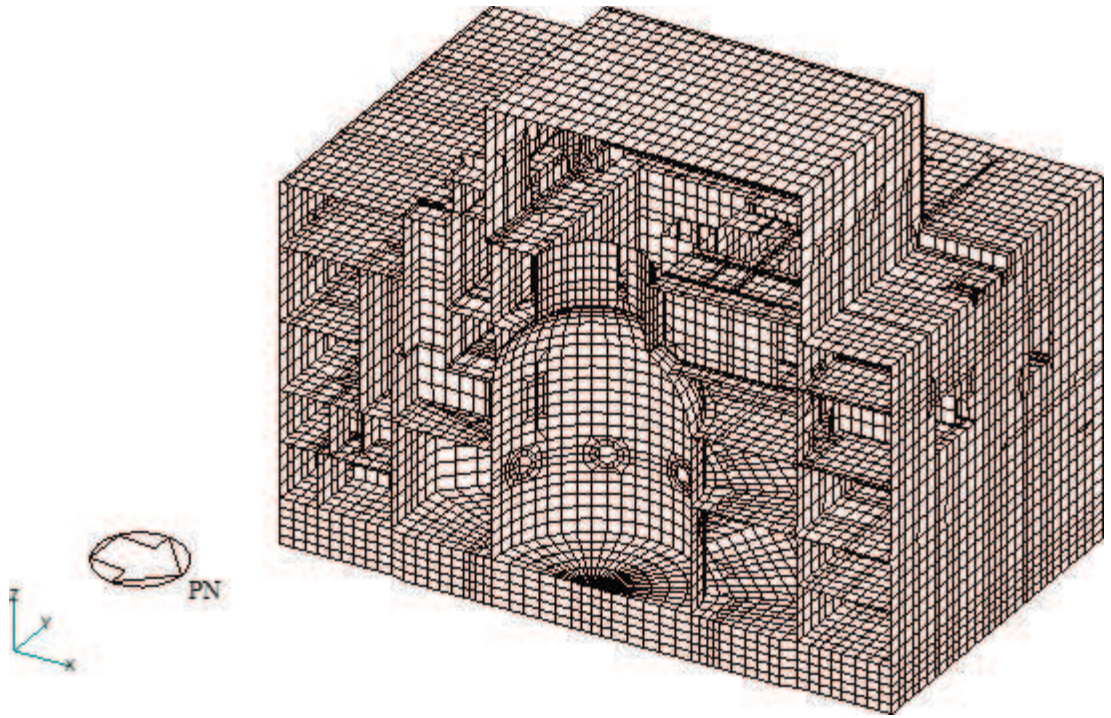


(a) 建屋全景（南西面）

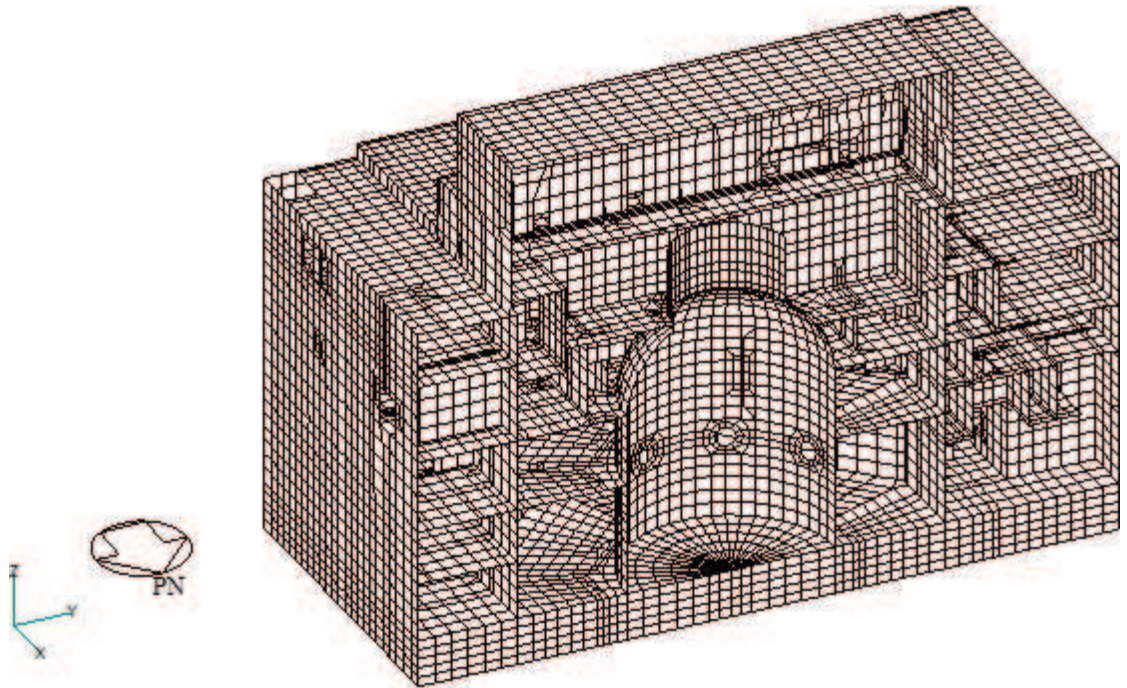


(b) 建屋全景（北東面）

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

表 2-3 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

方向	地上 3 階及びクレーン階 (O. P. 33. 2m より上部)	地下 3 階～地上 2 階 (O. P. 33. 2m より下部)
NS	0. 30	0. 75
EW	0. 50	0. 80

注：追設耐震壁については補正を行わない。

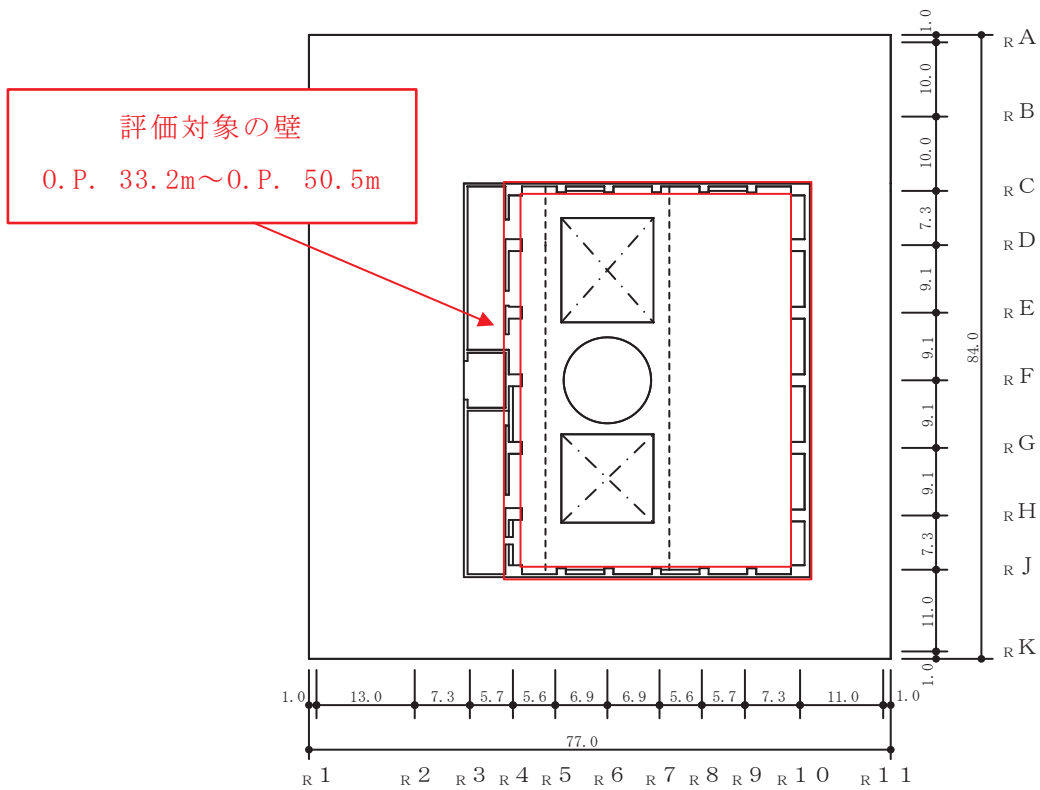
2.4 地震応答解析の概要

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。

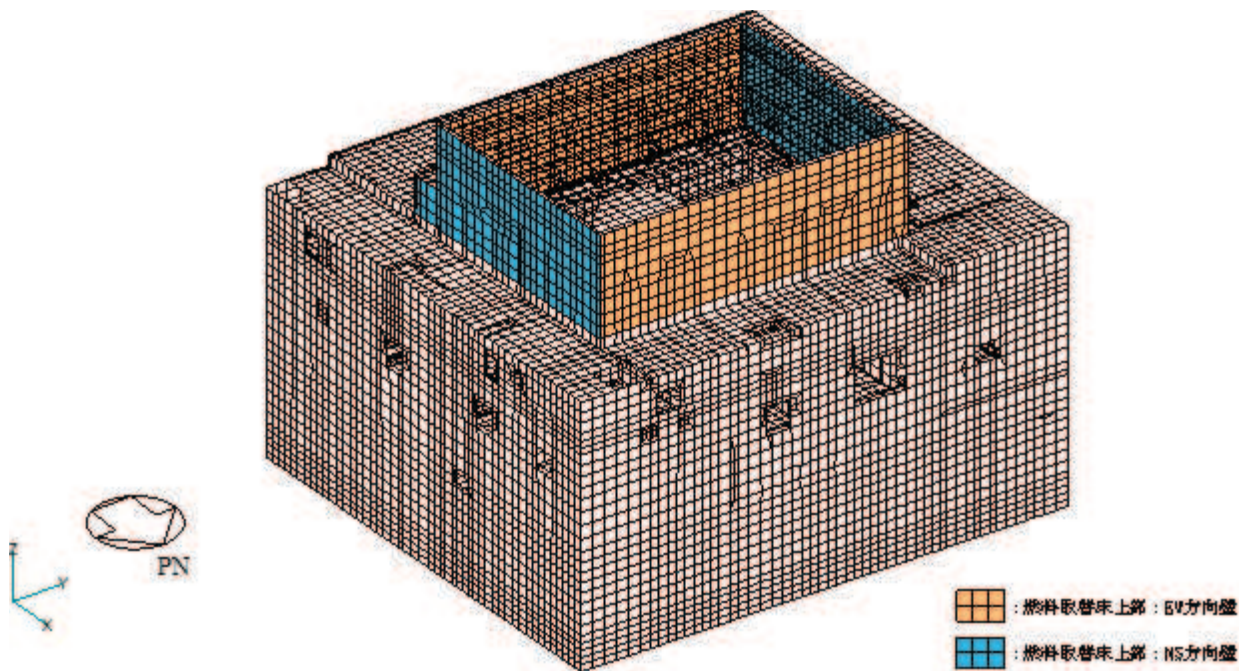
3次元 FEM モデルは線形解析モデルであることから、入力する地震動は弾性設計用地震動 S_d とし、水平 2 方向の地震力による影響評価は、弾性設計用地震動 S_d を水平 2 方向に組み合わせた地震力を算定し実施する。具体的には、NS 方向（北面壁及び南面壁の面外方向）における 1 方向入力と 3 方向同時入力の比較を行う場合は、NS 方向に弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向地震波（以下「 $S_d - D 2 H$ 」という。）を、EW 方向に弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の位相違い波*（以下「 $S_d - D 2 p$ 」という。）を、UD 方向に弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ 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 2-4 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。



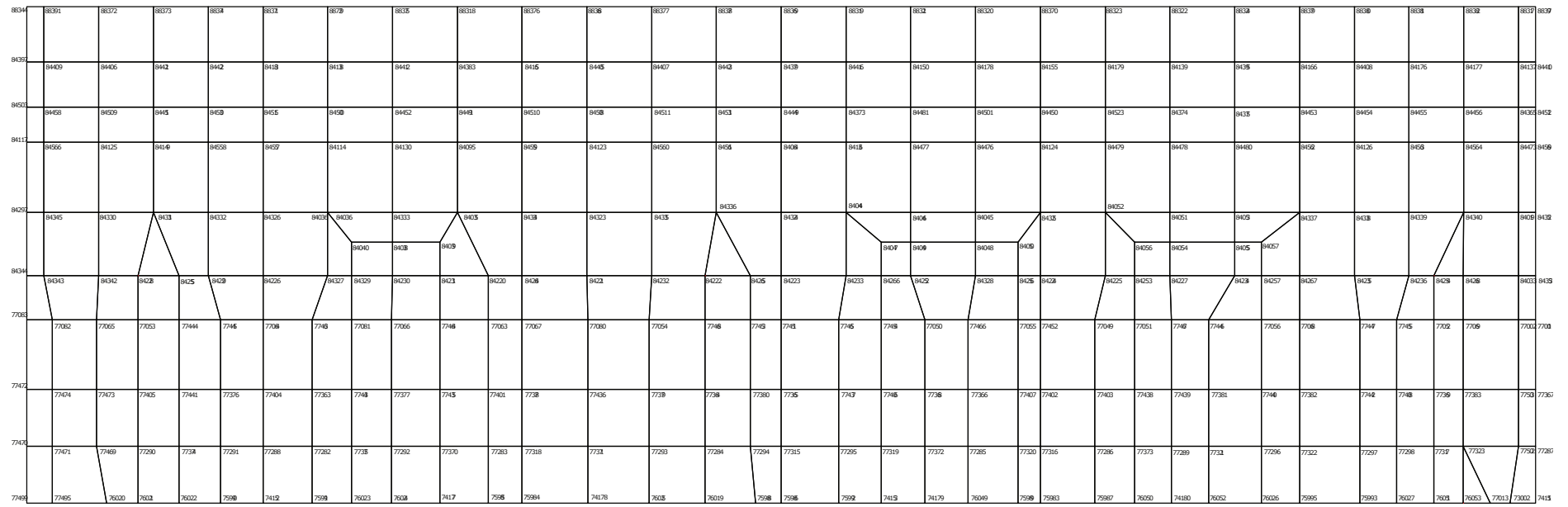
(単位 : m)

(a) 概略平面図



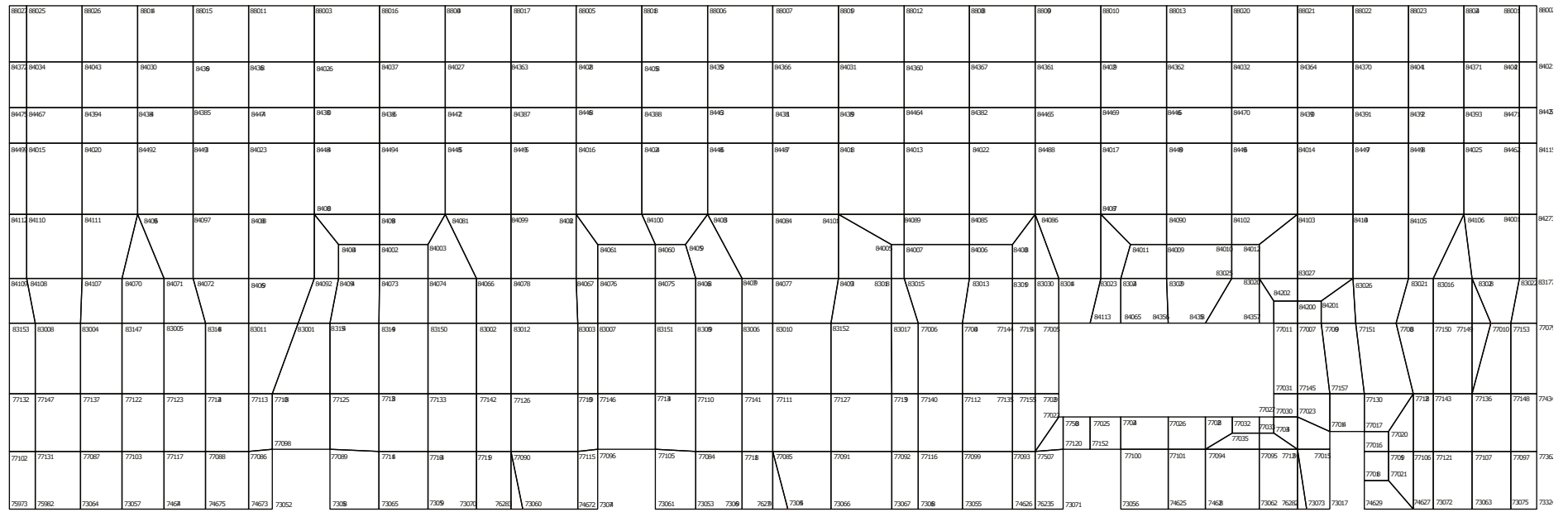
(b) 3次元 FEM モデル

図 2-5 応答評価部位



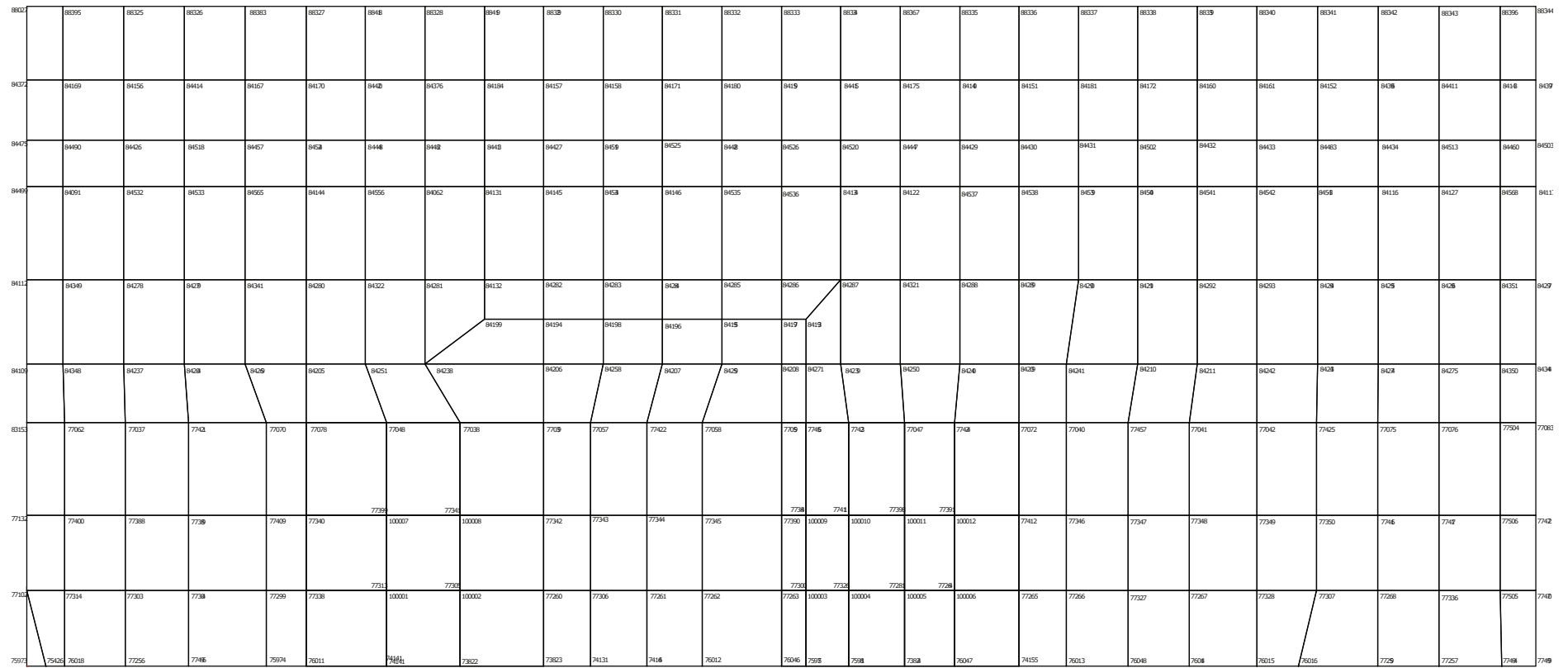
(a) 北面壁 (R10 通り)

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)



(c) 東面壁 (RJ 通り)

図 2-6(3) 応答評価対象位置及び節点番号図 (3/4)

表 2-4 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。

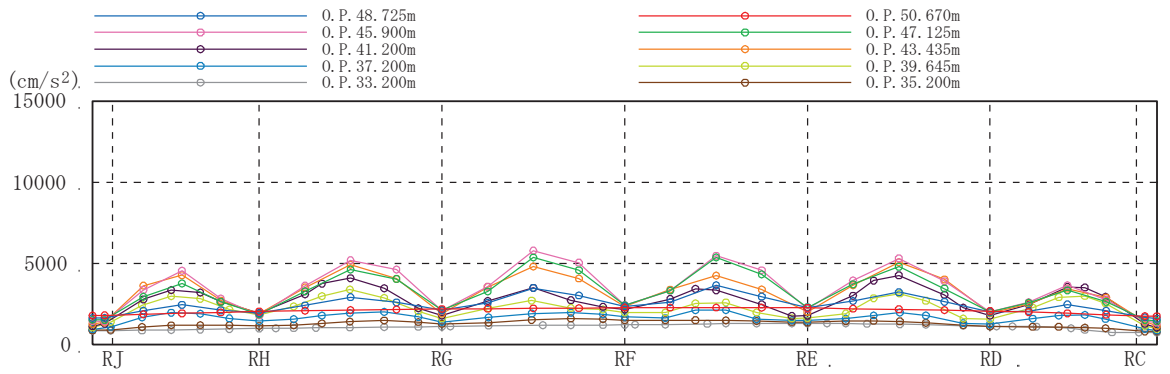
なお、最大応答加速度分布を詳細に見ると、図 2-14 に示した西面壁の最大加速度分布で 3方向同時入力と水平 1 方向入力のいずれも R10 側の最大加速度が大きくなる傾向が認められる。この原因として、建屋のねじれ応答が影響している可能性が考えられるが、燃料取替床より上部の地震応答性状については、「補足-620-1 別紙 19-1 耐震補強による地震応答特性への影響について」において、地震応答解析モデルによる検討と地震観測記録の分析から詳細な検討を実施しており、建屋にはねじれ応答が生じるが、その影響は小さいことを確認している。西面壁の面外応答についても、3方向同時入力と水平 1 方向入力の最大応答加速度が同様の分布となっていることから、ねじれ応答による面外振動の影響の可能性がある場合でも、水平直交方向及び鉛直方向地震動が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

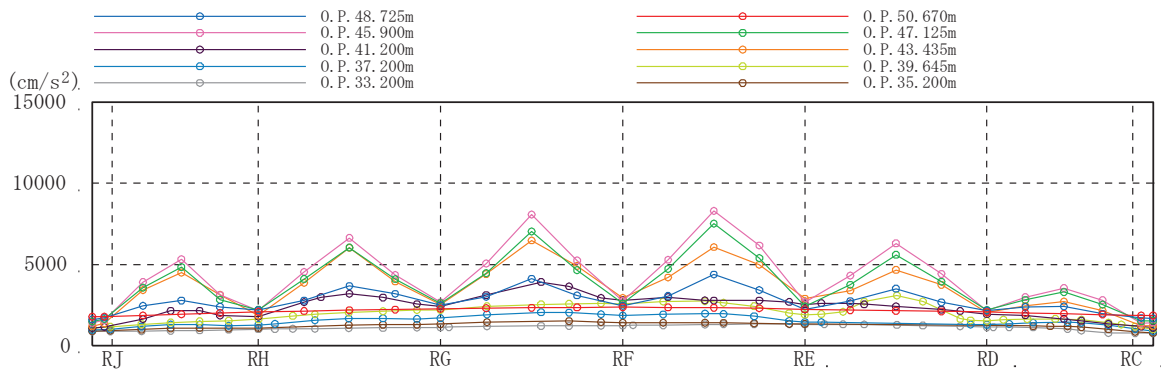
弓なりに変形するモードである。弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による面外方向の最大応答加速度分布はこのようなモードの影響を含む分布形状になっていると考えられる。

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。

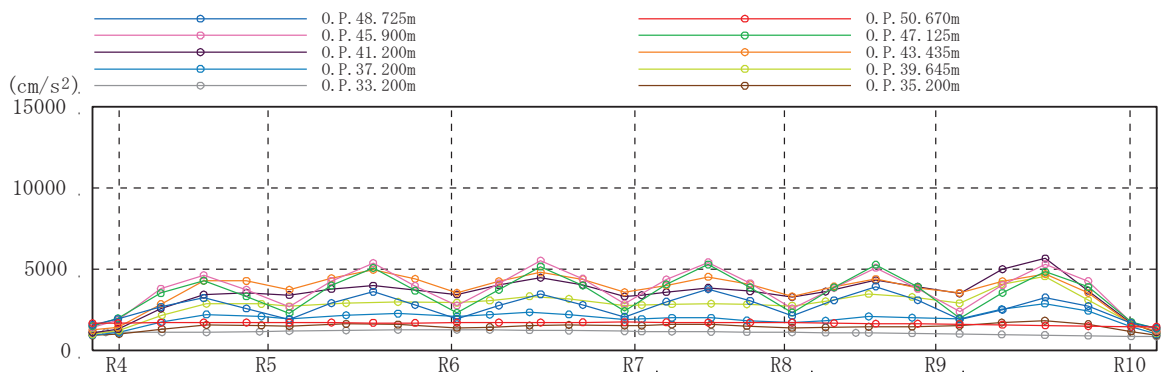
なお、面外方向加速度の機器・配管系への影響については、「別紙 4 機器・配管系に関する影響検討」において検討を行う。



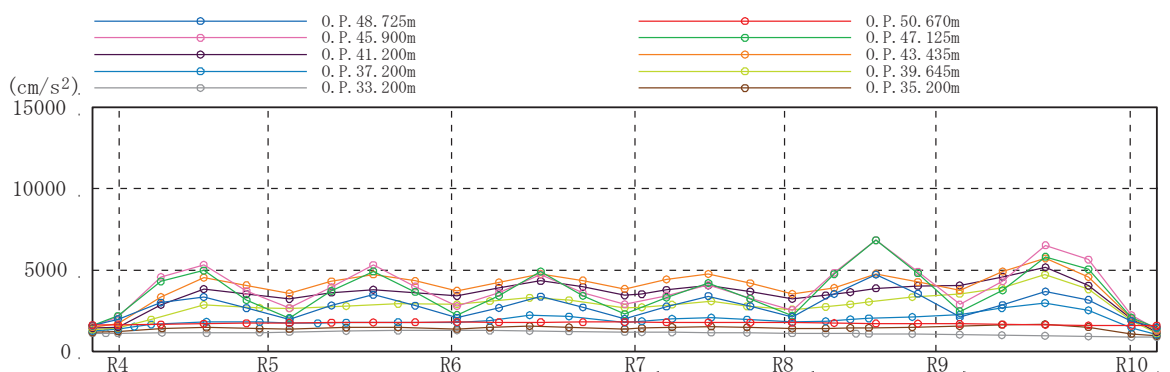
(a) 北面壁



(b) 南面壁

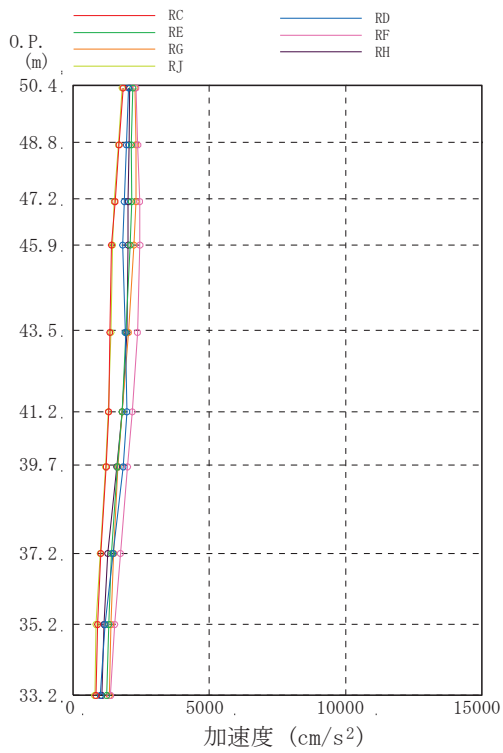


(c) 東面壁

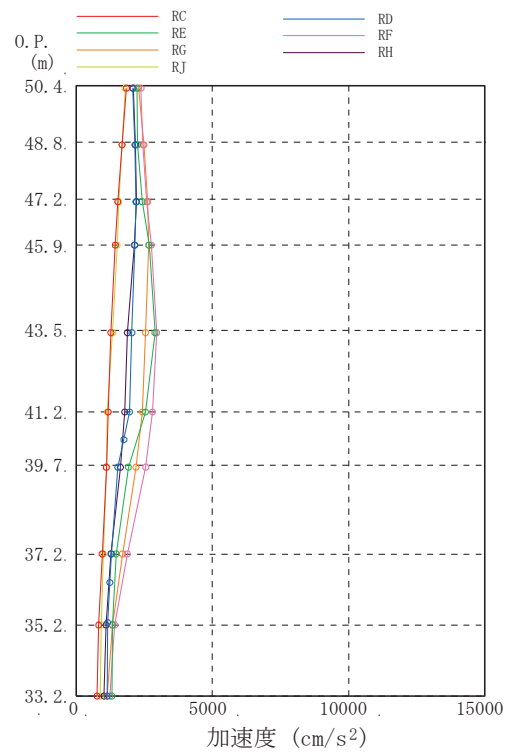


(d) 西面壁

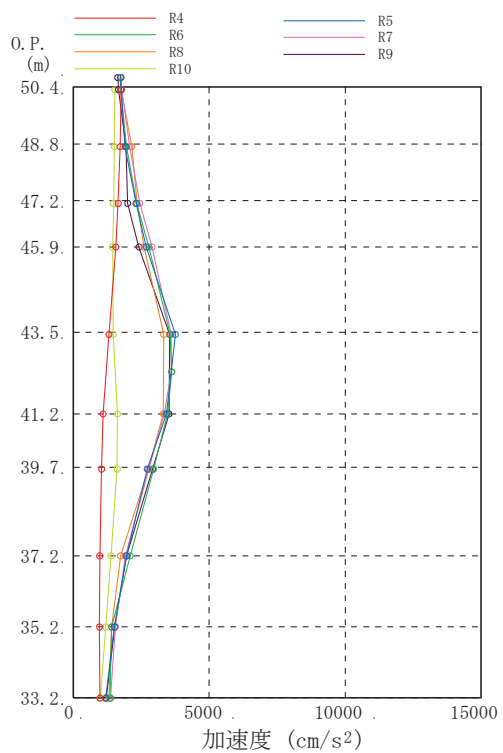
図 2-7 3 方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布



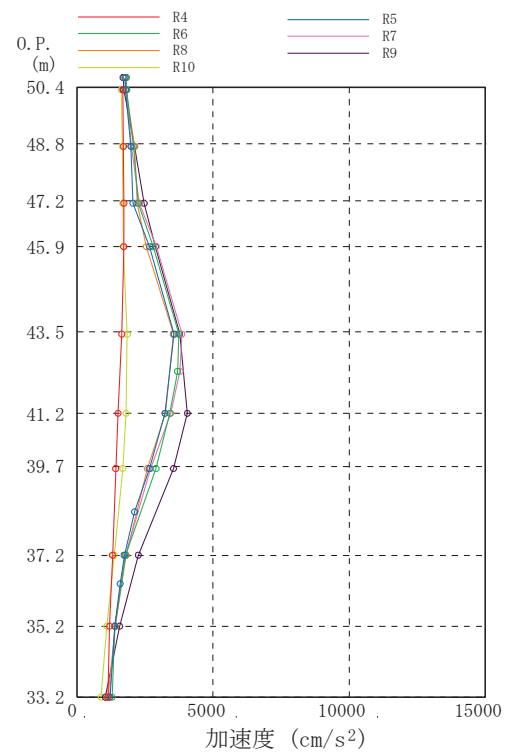
(a) 北面壁



(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

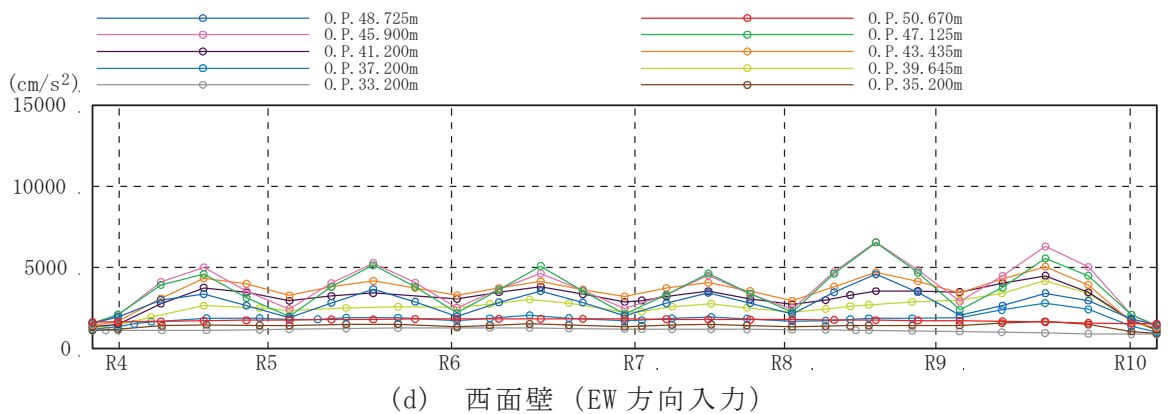
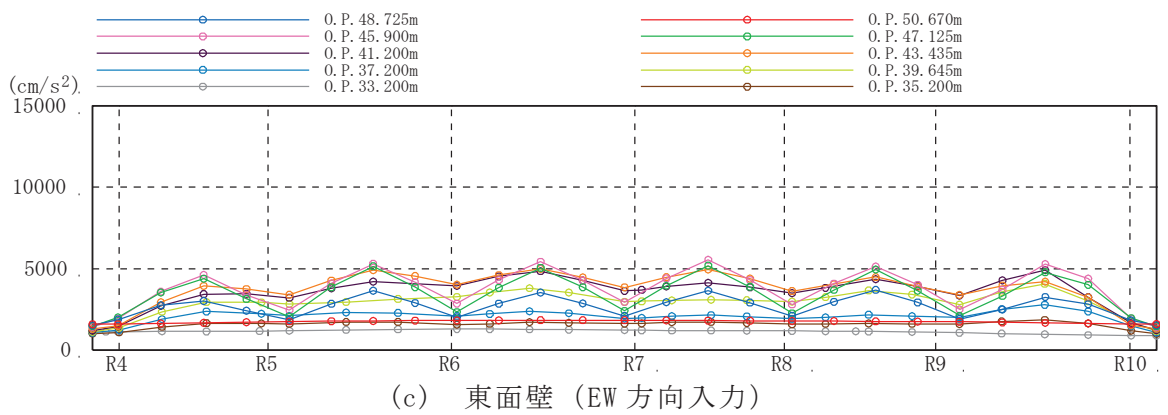
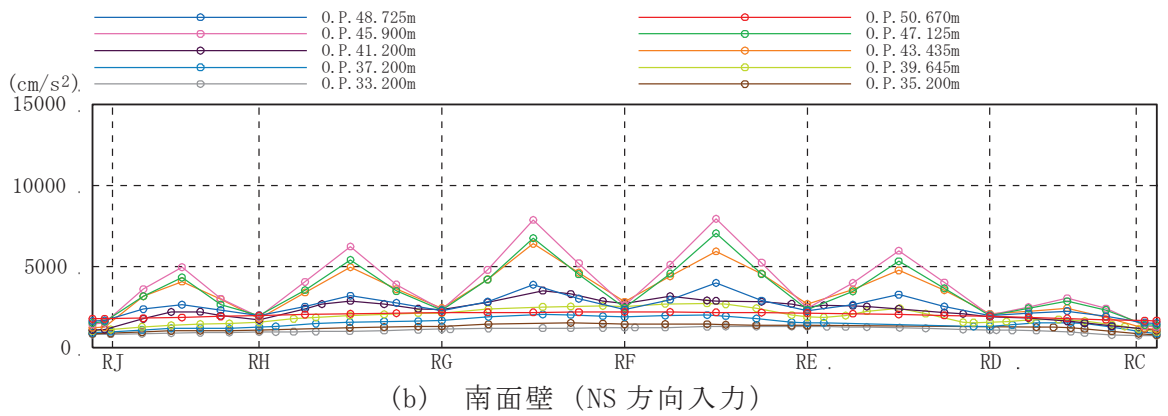
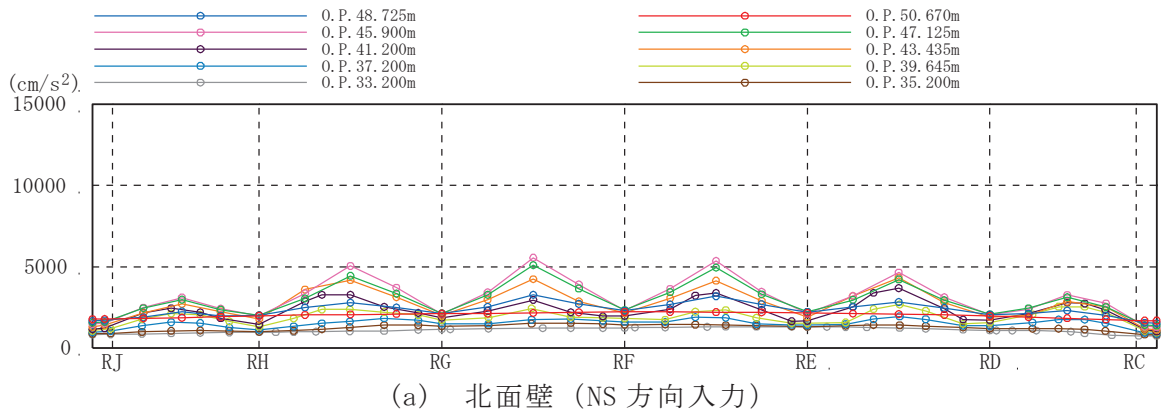
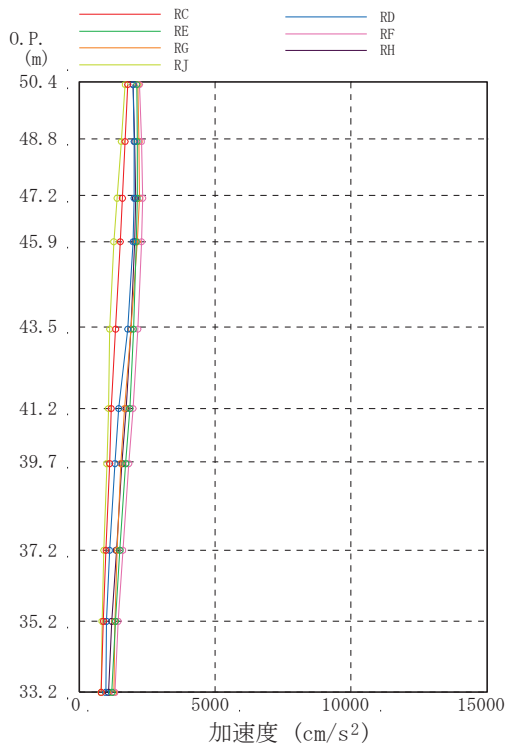
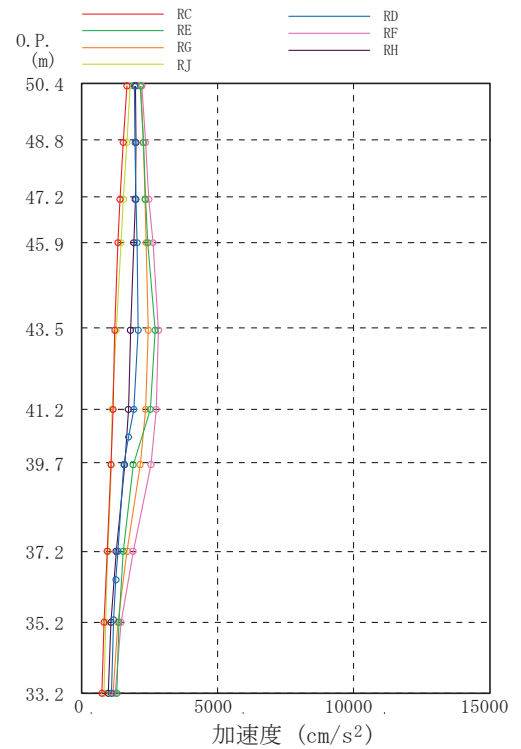


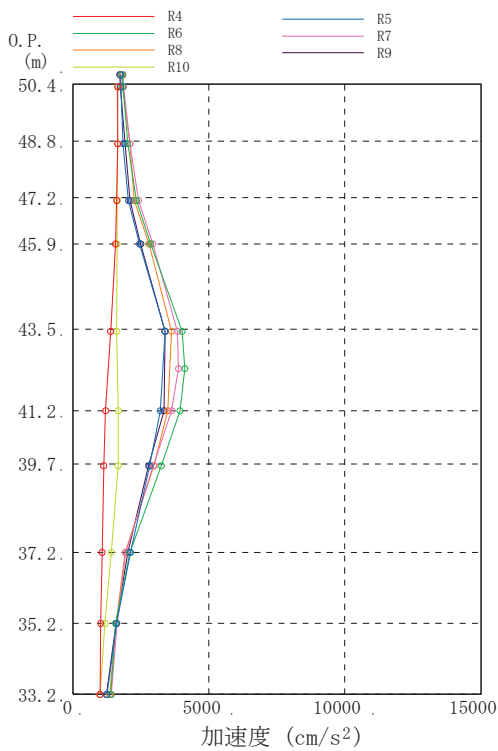
図 2-9 水平 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布



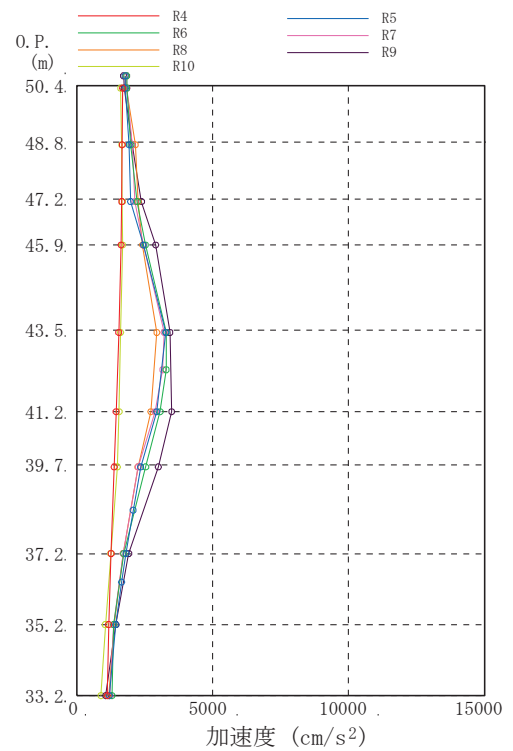
(a) 北面壁 (NS 方向入力)



(b) 南面壁 (NS 方向入力)

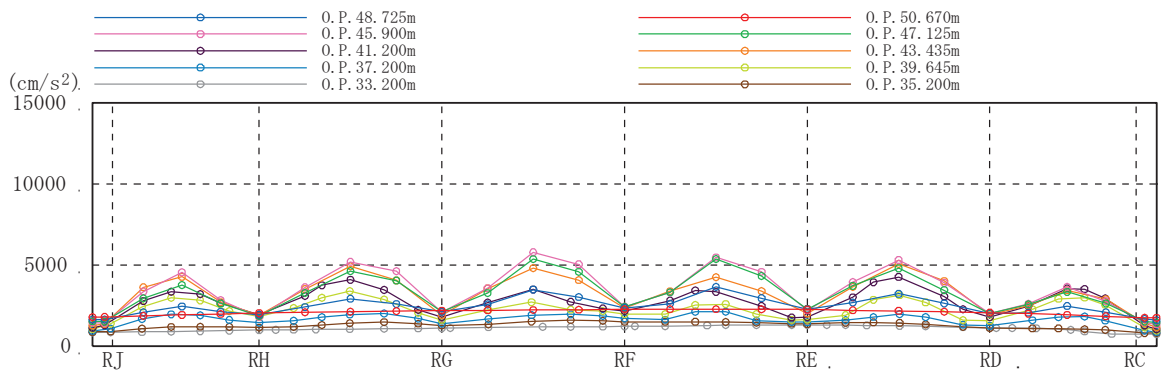


(c) 東面壁 (EW 方向入力)

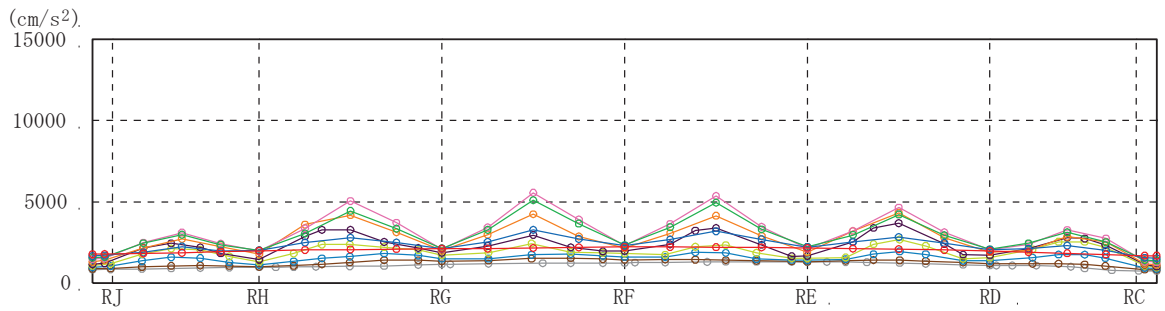


(d) 西面壁 (EW 方向入力)

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

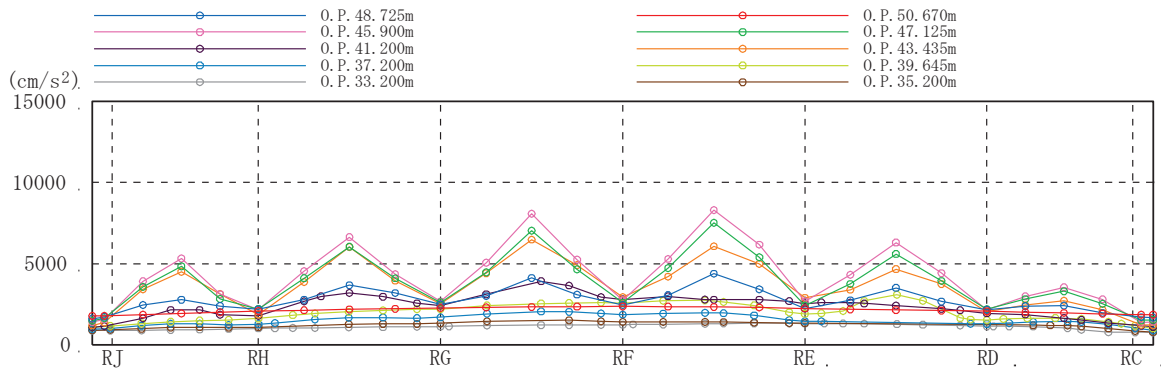


(a) 3方向入力

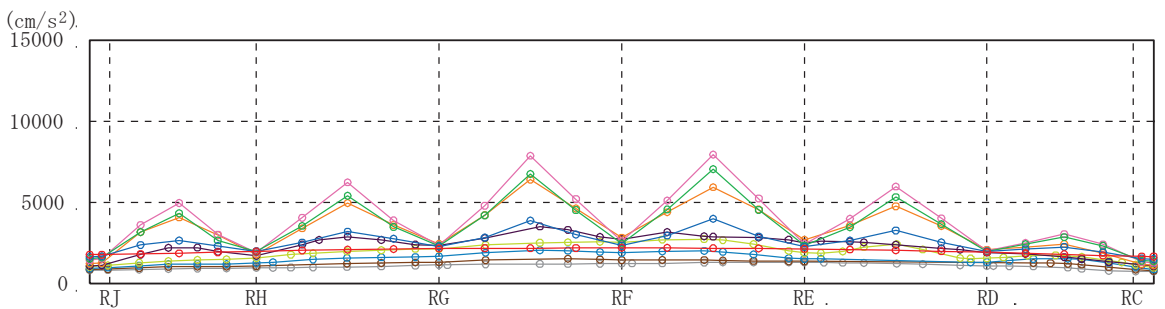


(b) 1方向入力 (NS方向入力)

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)

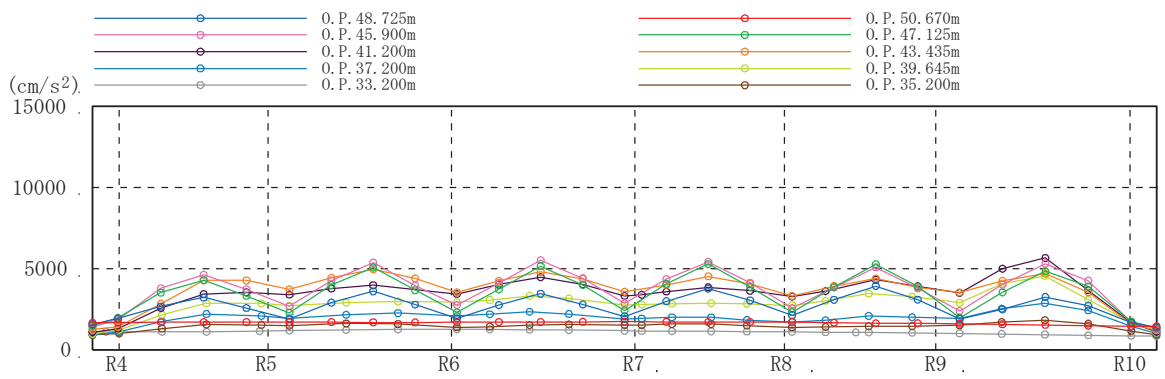


(a) 3方向入力

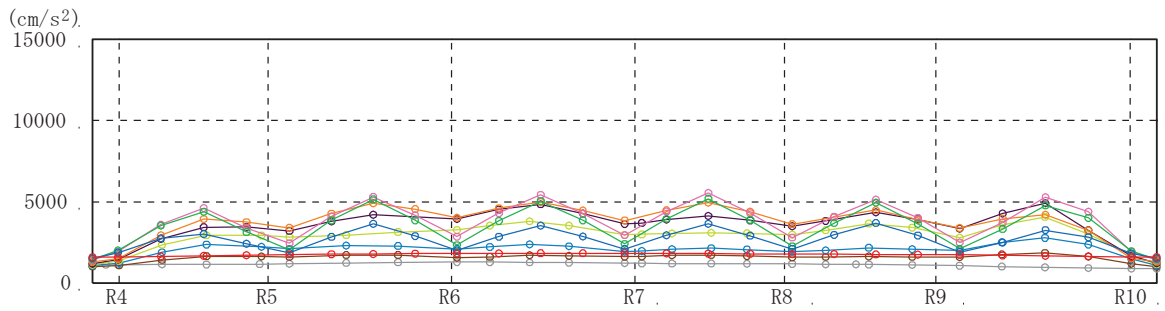


(b) 1方向入力 (NS方向入力)

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)

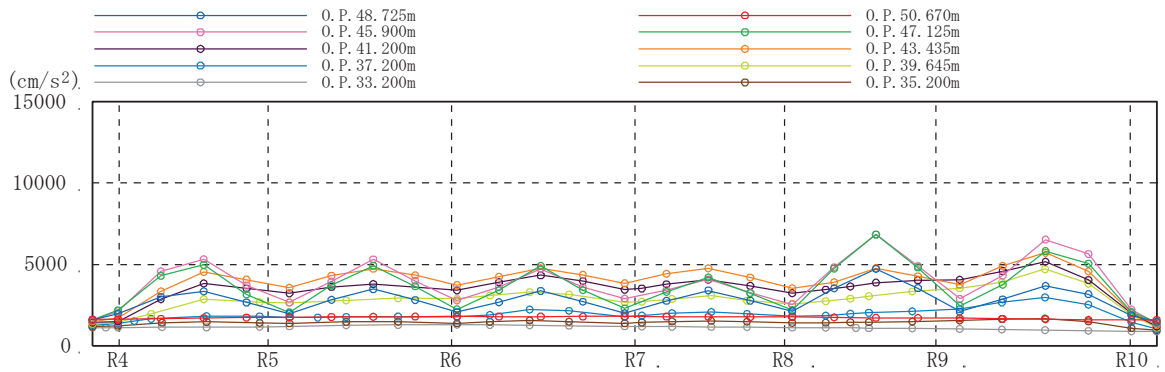


(a) 3方向入力

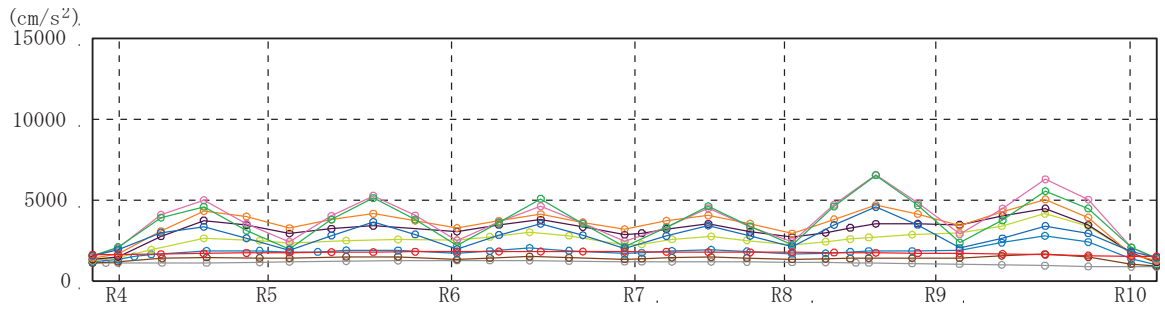


(b) 1方向入力 (EW方向入力)

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)

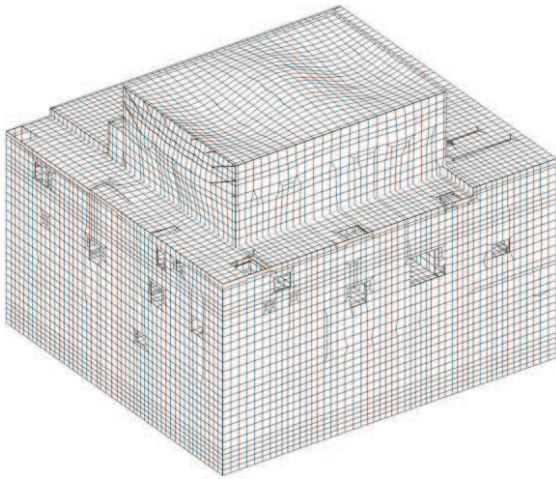


(a) 3方向入力

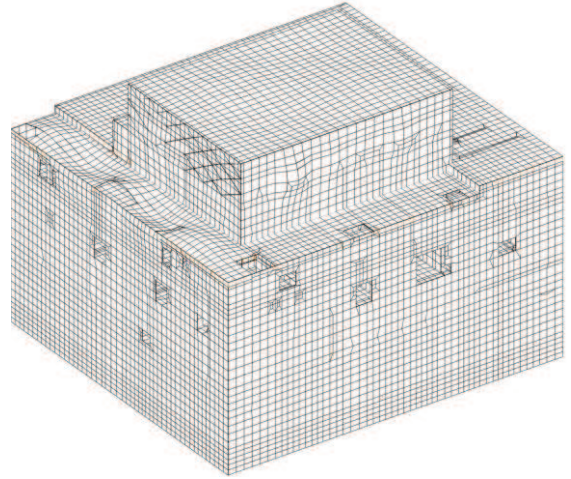


(b) 1方向入力 (EW方向入力)

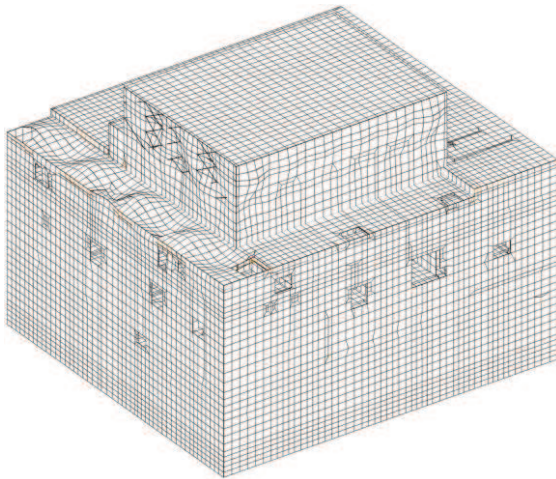
図 2-14 水平 1 方向入力及び 3 方向同時入力の最大応答加速度の比較 (西面壁)



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鉄筋応力度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 2-18 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。

検討対象である南北面の壁について、算出した S s 地震時の面外慣性力コンタ
ー図を図 2-17 に示す。

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

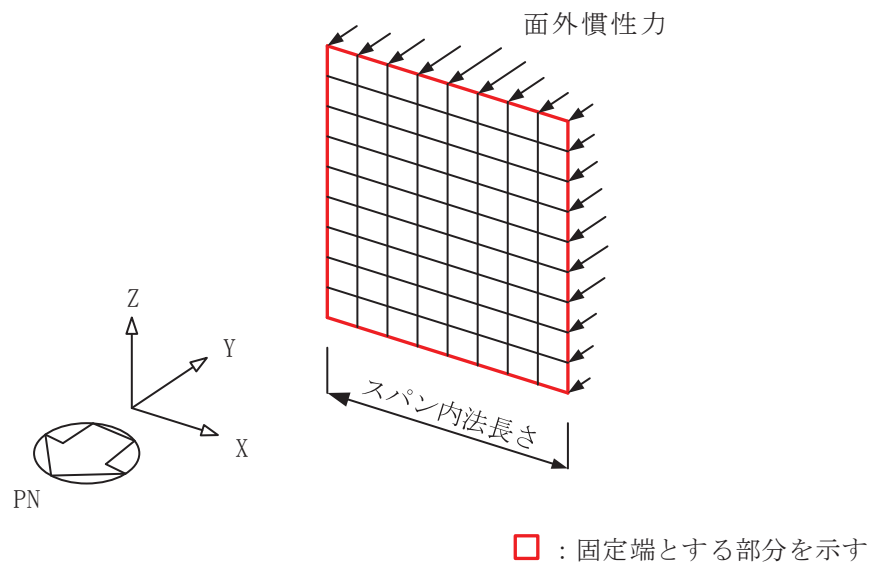
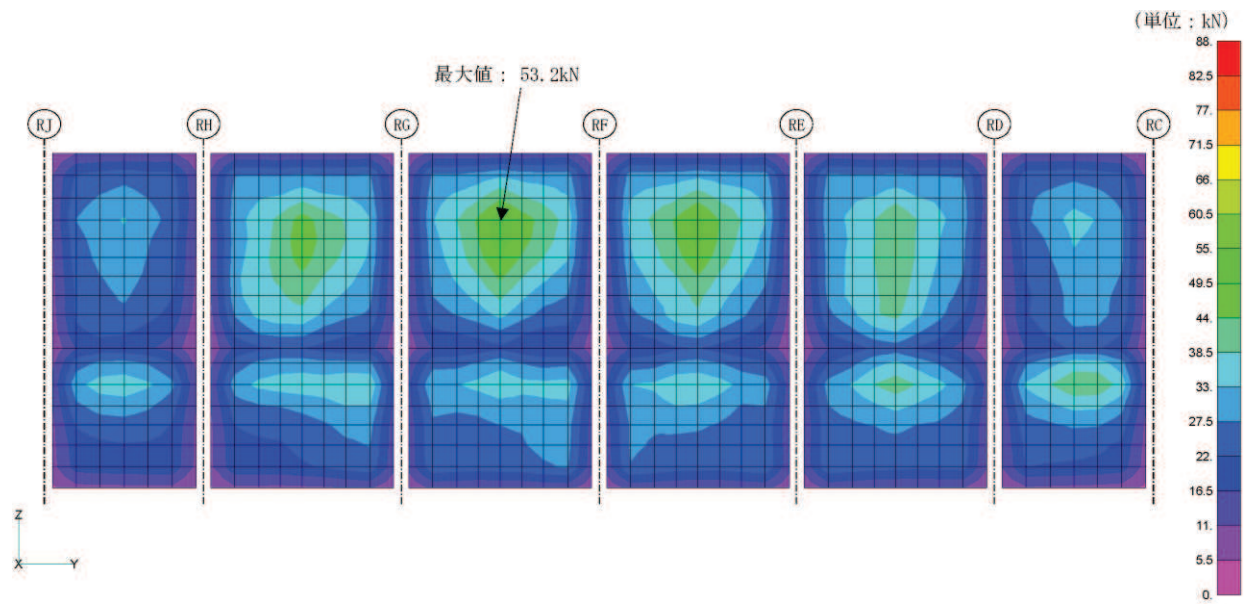
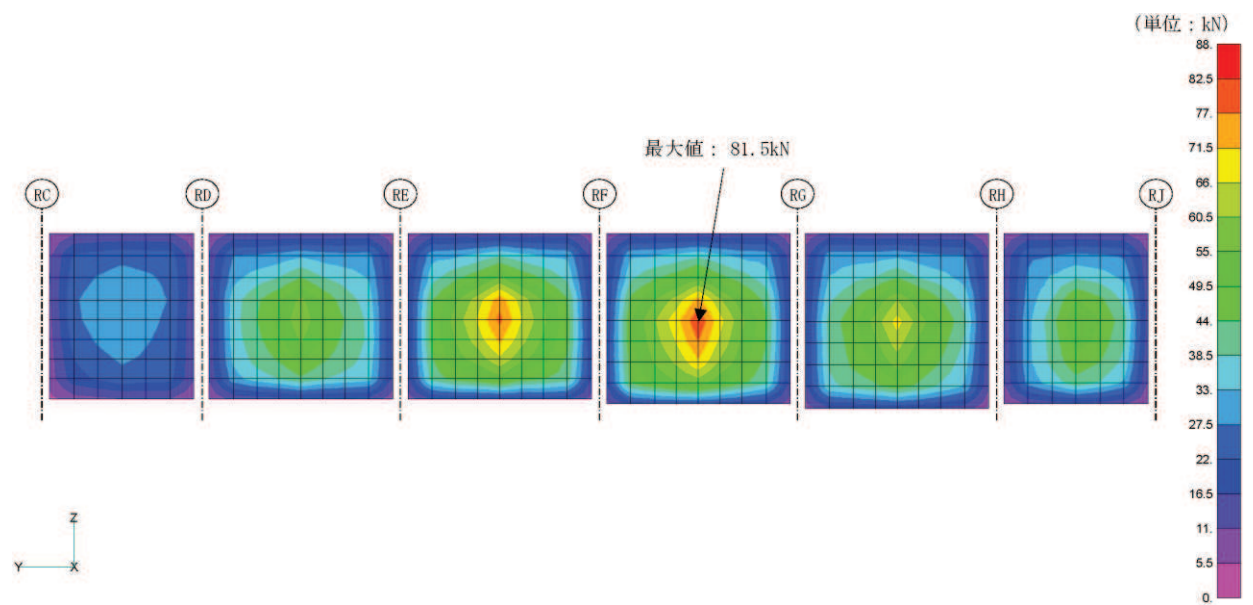


図 2-16 解析モデル

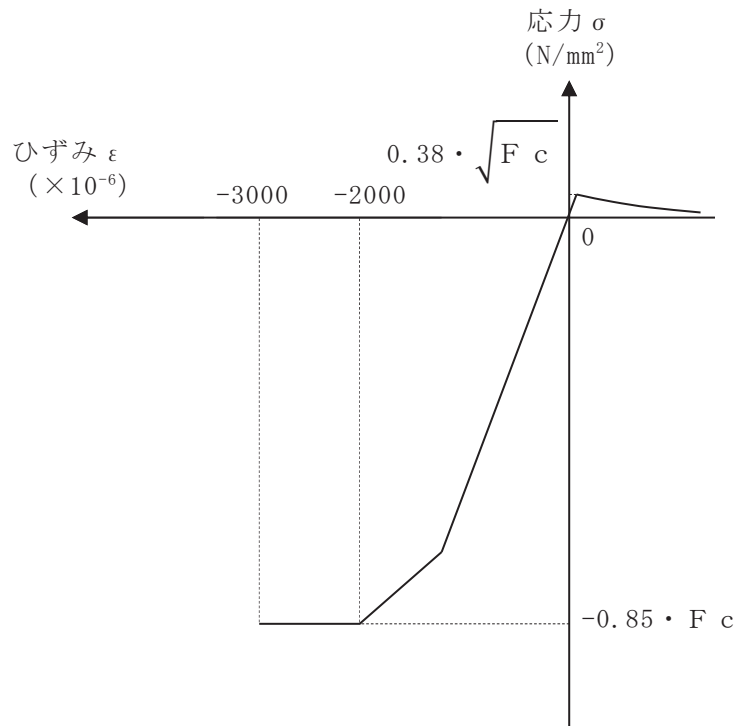


(a) 北面壁



(b) 南面壁

図 2-17 S s 地震時の面外慣性力コンター図



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 S NE 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 ー許
容応力度設計法ー

コンクリートの応力ーひずみ関係

図 2-18 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2-5に示す。

表2-5 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 -D2		備考
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 -D2		備考
O.P. (m)	50.5	33.2	
③S _d 地震時 最大加速度応答 (cm/s ²)	2981	1228	基本ケース
④S _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 2-6 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 2-7 及び表 2-8 に示す。

表 2-6 鉄筋応力度及び単位幅あたりの面外せん断力 (S s - D 2)

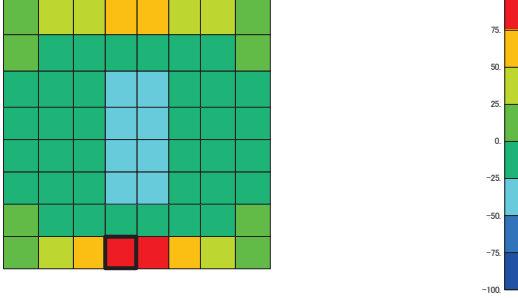
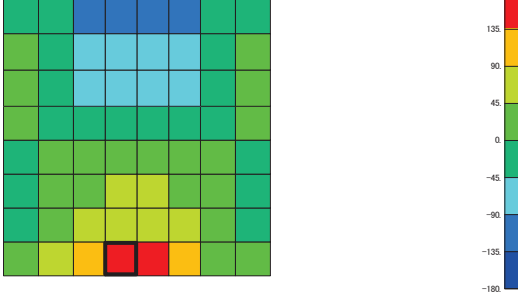
位置			鉄筋応力度 (N/mm ²)		面外せん断力 (kN/m)	
			σ_{tx}	σ_{ty}	Q _x	Q _y
北面壁	壁厚 250mm	RC - RD	22.7	8.79	73.5	49.4
		RD - RE	79.3	48.3	119	95.7
		RE - RF	84.4	55.8	126	107
		RF - RG	84.1	57.1	128	109
		RG - RH	83.2	51.7	124	99.4
		RH - RJ	20.1	8.31	68.8	47.7
	壁厚 400mm	RC - RD	17.4	4.27	124	38.3
		RD - RE	62.3	15.2	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 2-7 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>□ : 最大応力度 84.4N/mm²</p>
	面外せん断力 Q_x	(RF - RG)	<p>□ : 最大応力 128kN/m</p>
400mm	鉄筋応力度 $\sigma_t X$	(RD - RE)	<p>□ : 最大応力度 62.3N/mm²</p>
	面外せん断力 Q_x	(RG - RH)	<p>□ : 最大応力 194kN/m</p>

表 2-8 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 $\sigma_t y$	<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、「建設省告示第 2464 号」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 2-9 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。

ただし、面外方向に大きな加速度が生じていることを踏まえ、「2.7 面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の壁の断面の評価」において、面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の評価を行う。

表 2-9 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 面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の壁の断面の評価

「2.5 地震応答解析結果」に示すとおり、原子炉建屋の燃料取替床レベルの南北面の壁には面外方向に大きな加速度が生じていることから、当該壁を静的応力解析モデルに置き換えて、面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の断面の評価を行う。

原子炉建屋燃料取替床レベルの壁については「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書(以下「二次格納施設の耐震性についての計算書」という。)」において、二次格納施設バウンダリの機能設計上の性能目標である構造強度を有することの確認として、S_d地震時に生じる応力に対し「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」に基づく短期許容応力度を超えないことを確認している。そこで、原子炉建屋燃料取替床レベルの壁に対する面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の断面評価にあたっては、S_d地震時の応答に材料物性の不確かさを考慮した地震力を用いる。

評価結果を記載する部位は、面外慣性力及び面内せん断力によって生じる鉄筋応力度及び面外せん断力が最大となる部位とする。

なお、S_s地震時の耐震壁の評価については「二次格納施設の耐震性についての計算書」において、面内に生じるせん断ひずみが許容限界である 2.0×10^{-3} を超えないことを確認しているが、「2.6 面外慣性力に対する壁の断面の評価」においては、S_s地震時の面外慣性力に対し、原子炉建屋燃料取替床レベルの壁の断面評価の結果、鉄筋に生じる応力度が弾性範囲内であることを確認していることから、面内に生じるせん断ひずみの評価に対する影響は小さいと考えられる。

2.7.1 解析モデル及び荷重条件

解析モデルを図2-19に示す。

解析モデルについては「2.6 面外慣性力に対する壁の断面の評価」と同様に、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から、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は図2-18に示すとおりである。

境界条件については、モデルの上端に水平方向せん断力を与えるため、下端を固定端とし、その他の三辺は面内水平方向のみ自由とする。

評価に当たっては、面内方向のせん断力及び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、面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合でも原子炉建屋の壁に対する二次格納施設バウンダリとして要求される機能への影響がないことを確認する。

荷重としては、S d 地震時による面外方向慣性力及び面内方向せん断力を考慮する。

S d 地震時による応答加速度及び応答せん断力の補正は、弾性設計用地震動 S d - D 2 による面外方向及び面内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。

面外慣性力及び面内せん断力の算出方法は以下の通りである。

検討対象である南北面の壁について、算出した S d 地震時の面外慣性力コンタ一図を図 2-20 に、S d 地震時の面内せん断力荷重図を図 2-21 に示す。

S d 地震時の面外方向加速度（面外慣性力）

$$= 3 \text{次元 FEM モデルの S d 地震時面外方向最大応答加速度} \times \text{応答補正比率}$$

S d 地震時の面内せん断力

$$= 3 \text{次元 FEM モデルの S d 地震時面内方向最大応答せん断力} \times \text{応答補正比率}$$

面外慣性力と面内せん断力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程（J E A C 4 6 0 1 - 2008）」を参考に、組合せ係数法（組合せ係数は 1.0 と 0.4）を用いるものとする。

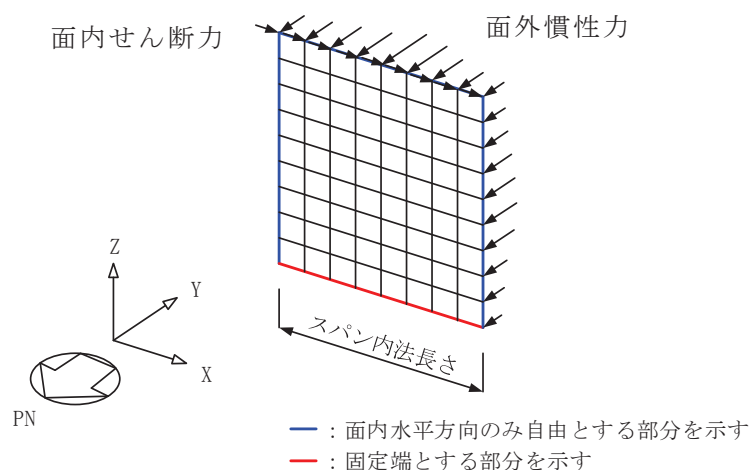
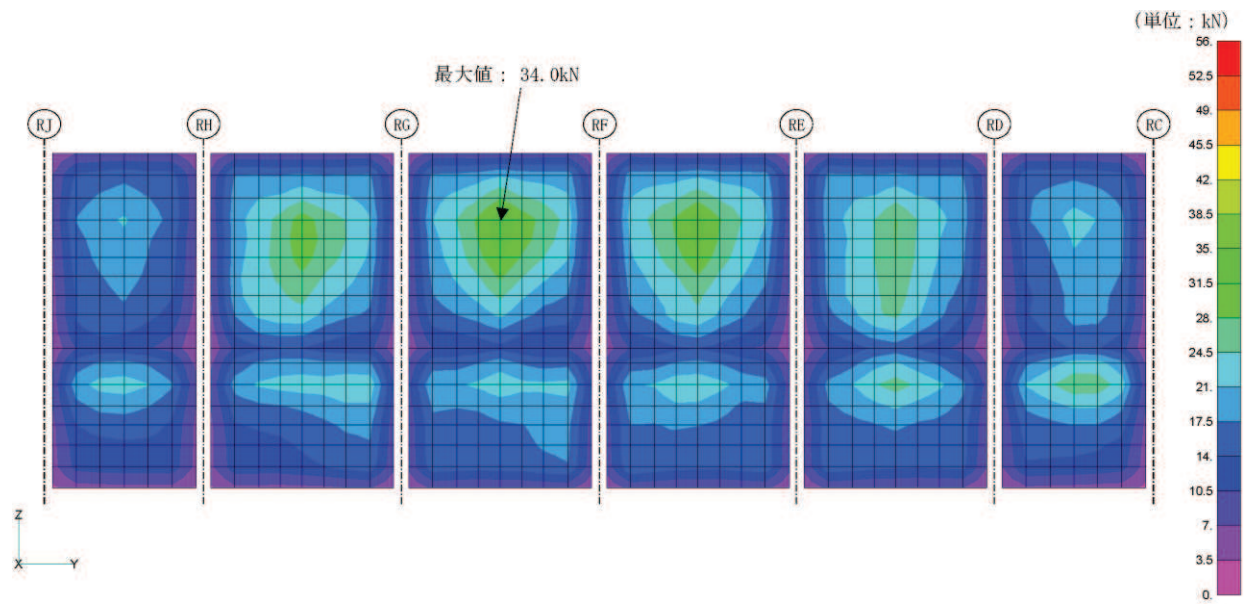
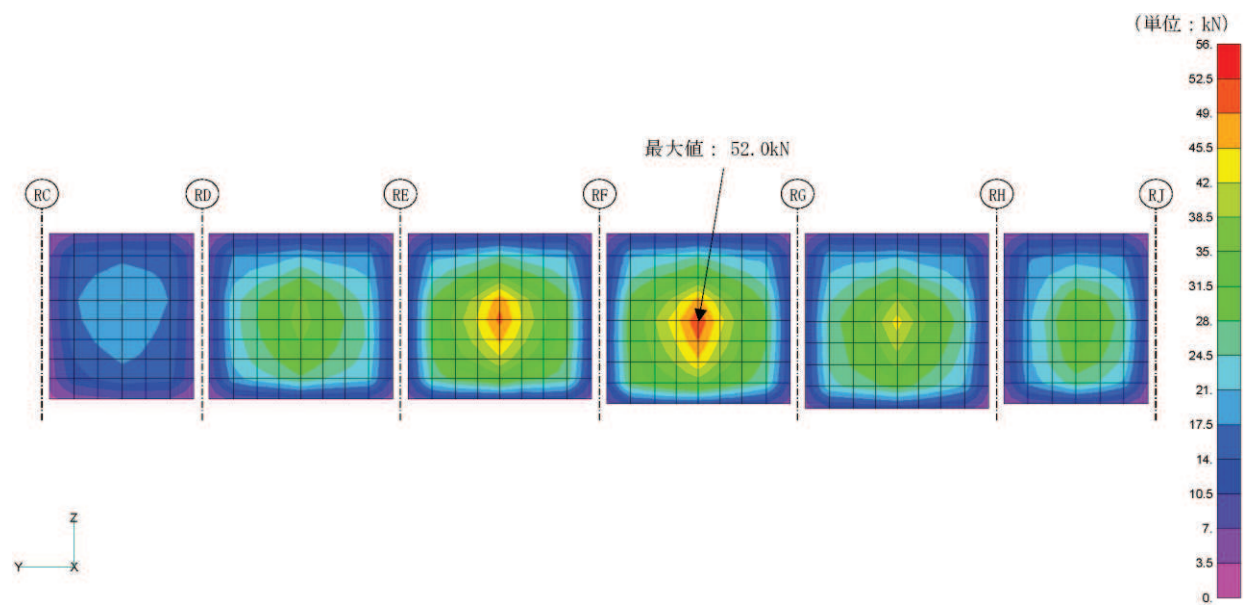


図 2-19 解析モデル

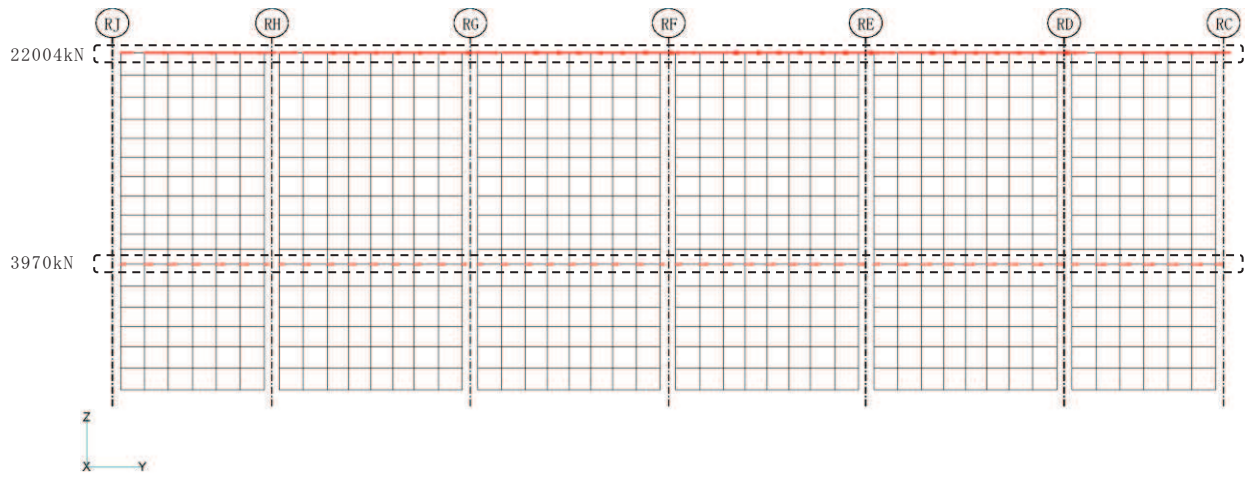


(a) 北面壁

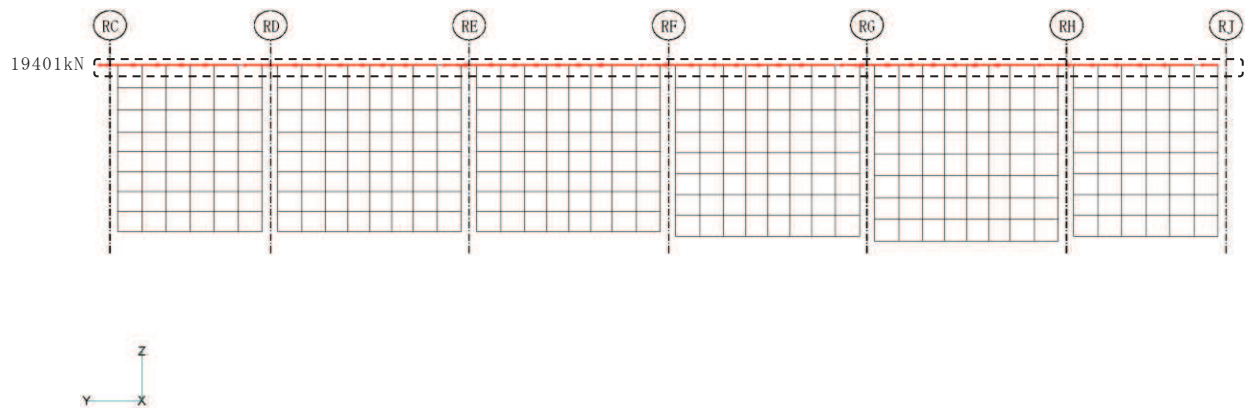


(b) 南面壁

図 2-20 S d 地震時の面外慣性力コンター図



(a) 北面壁



(b) 南面壁

図 2-21 S d 地震時の面内せん断力荷重図

2.7.2 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。

面外慣性力に乗じる応答補正比率は、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。

面内せん断力に乗じる応答補正比率は、北面及び南面の外壁の面内応答を評価するため、用いる最大応答加速度は、EW方向モデルのO.P. 50.5mの質点（質点番号10, 質点番号20）、O.P. 41.2mの質点（質点番号11, 質点番号21）及びO.P. 33.2mの質点（質点番号12, 質点番号22）の最大応答加速度とする。

算出した応答補正比率を表2-10に示す。

表 2-10 応答補正比率

(a) 面外慣性力に乗じる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
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) 面内せん断力に乗じる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
対象部位	北面 (R10 通り)			南面 (R4 通り)			
O. P. (m)	50.5	41.2	33.2	50.5	41.2	33.2	
①基本ケース 最大加速度応答 (cm/s ²)	2350	1949	1207	2482	1517	1208	
②材料物性の不確かさ 最大応答加速度 (cm/s ²)	2350	1967	1232	2530	1555	1237	地盤剛性 + σ 考慮モデルの応答
②/① 最大加速度応答比	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.02	
採用応答補正比率	1.02			1.03			保守的に最大の応答補正比率を設定

2.7.3 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 2-11 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 2-12 及び表 2-13 に示す。

表 2-11 鉄筋応力度及び単位幅あたりの面外せん断力 (S d - D 2)

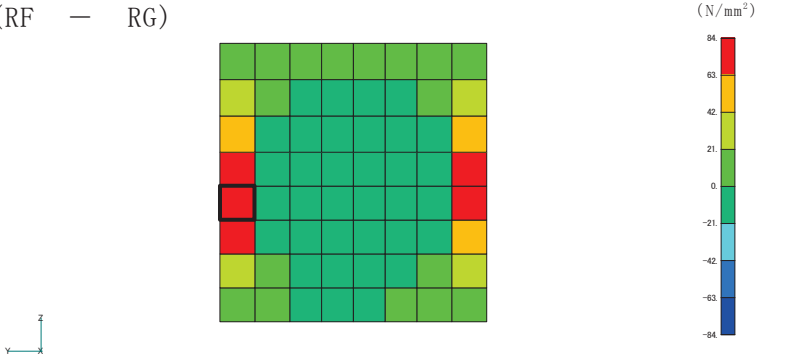
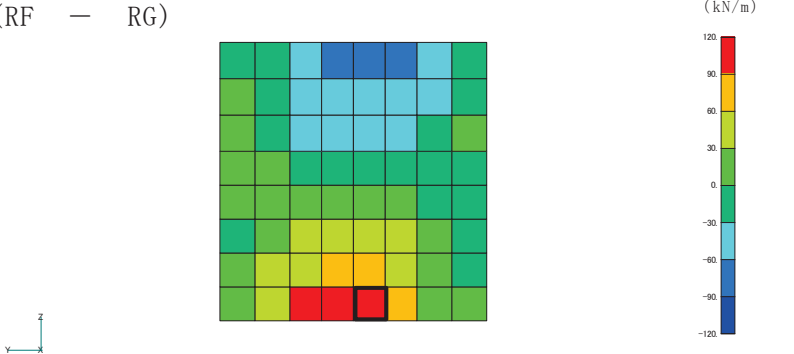
位置			鉄筋応力度 (N/mm ²)		面外せん断力 (kN/m)	
			σ_{tx}	σ_{ty}	Q _x	Q _y
北面壁	壁厚 250mm	RC - RD	11.3	4.96	46.9	30.8
		RD - RE	100	40.1	70.2	67.0
		RE - RF	112	48.9	74.1	75.8
		RF - RG	111	49.2	76.6	76.2
		RG - RH	104	42.7	73.5	69.0
		RH - RJ	9.66	4.67	44.6	29.6
	壁厚 400mm	RC - RD	9.32	2.61	77.2	24.0
		RD - RE	54.7	13.4	143	43.7
		RE - RF	53.7	14.2	144	43.3
		RF - RG	49.5	13.2	142	44.2
		RG - RH	52.4	13.3	146	40.5
		RH - RJ	8.00	2.32	65.9	22.0
南面壁	壁厚 250mm	RC - RD	6.82	5.01	41.1	33.0
		RD - RE	40.0	34.3	68.2	82.6
		RE - RF	75.0	56.8	86.0	110
		RF - RG	82.2	57.3	87.4	111
		RG - RH	55.5	37.3	72.9	84.6
		RH - RJ	13.6	8.15	58.3	49.3

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 2-12 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>□ : 最大応力度 112N/mm²</p>
	面外せん断力 Q_x	(RF - RG)	<p>□ : 最大応力 76.6kN/m</p>
400mm	鉄筋応力度 $\sigma_t X$	(RD - RE)	<p>□ : 最大応力度 54.7N/mm²</p>
	面外せん断力 Q_x	(RG - RH)	<p>□ : 最大応力 146kN/m</p>

表 2-13 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_{tX}	<p>(RF — RG)</p>  <p>□ : 最大応力度 82.2N/mm²</p>
	面外せん断力 Q_y	<p>(RF — RG)</p>  <p>□ : 最大応力 111kN/m</p>

2.7.4 断面の評価方法

弾性設計用地震動 S_d による面外慣性力及び面内せん断力により耐震壁に生じる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、「建設省告示第 2464 号」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)

2.7.5 断面の評価結果

断面の評価結果を表 2-14 に示す。

S d 地震時において、壁主筋に発生する応力度に対する検定値が 0.30、面外せん断力に対する検定値が 0.62 となり、許容限界を超えないことを確認したことから、面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合においても、原子炉建屋の壁に対する二次格納施設バウンダリとして要求される機能への影響はないと判断できる。

表 2-14 断面の評価結果

検討ケース		S d 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)
面内せん断力及び 曲げモーメント	方向	X 方向	X 方向	X 方向
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	112	54.7	82.2
	許容限界 (N/mm ²)	379.5	379.5	379.5
	検定値	0.30	0.15	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)	76.6	146	111
	許容限界 (kN/m)	180	334	180
	検定値	0.43	0.44	0.62
判定		可	可	可

2.8 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。

さらに、同様のモデルを用いて、面外慣性力及び面内せん断力を組み合わせた場合の原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁に対する断面の評価を行い、 S_d 地震時においても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ことから、原子炉建屋の壁に対する二次格納施設バウンダリとして要求される機能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 S d - D 2 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 原子炉建屋 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。

さらに、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 原子炉建屋 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 3-143

1. 検討概要

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、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 階建の原子炉建屋附属棟 (以下「附属棟」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。

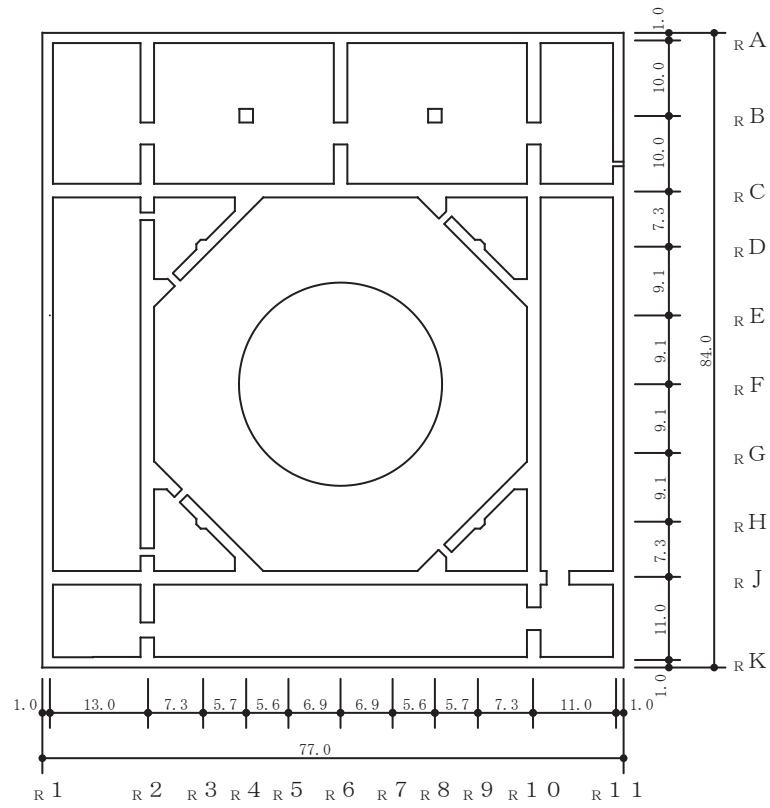
原子炉建屋の主たる耐震要素は、原子炉格納容器のまわりを囲んでいる 1 次しゃへい壁 (以下「シェル壁 : SW」という。), 原子炉棟の外壁 (以下「内部ボックス壁 : IW」という。) 及び附属棟の外壁 (以下「外部ボックス壁 : OW」という。) である。

なお、燃料取替床 (O.P. *²33.2m) 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。

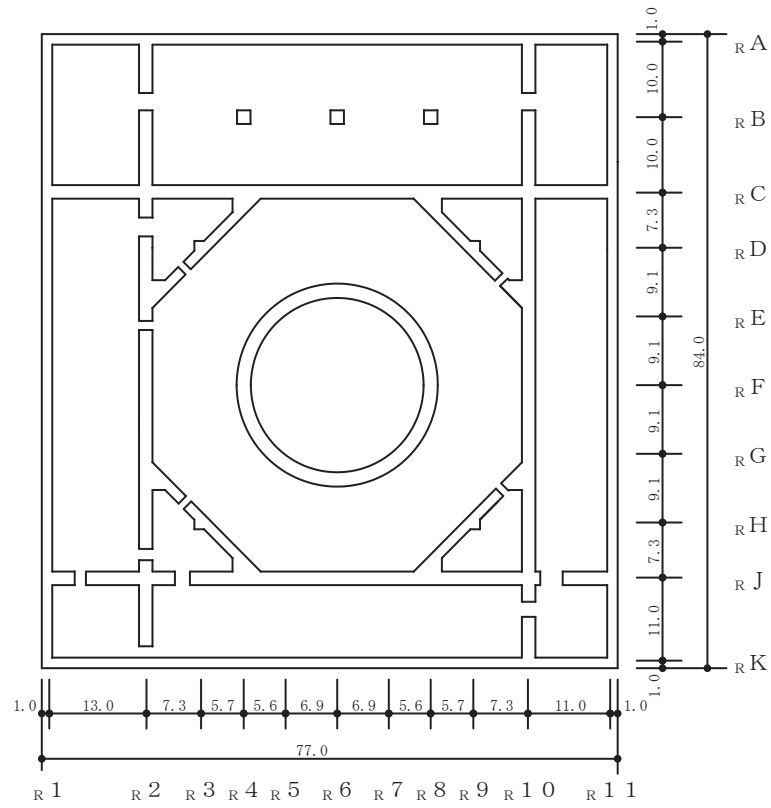
注記 *1 : 建屋寸法は壁外面押えとする。

*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。



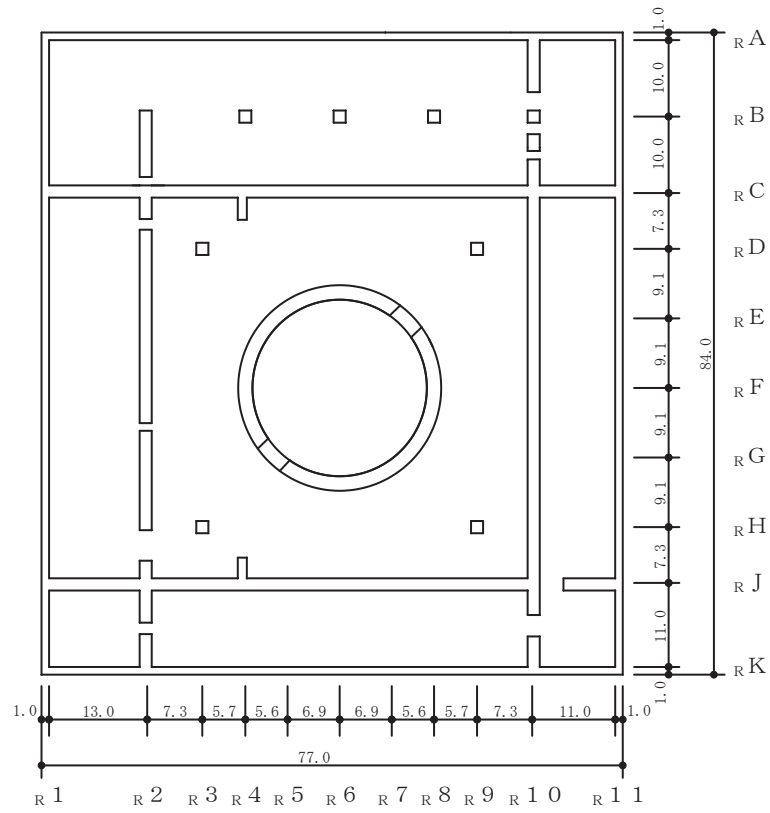
(単位：m)

図 1-1(1) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. -8.1m)



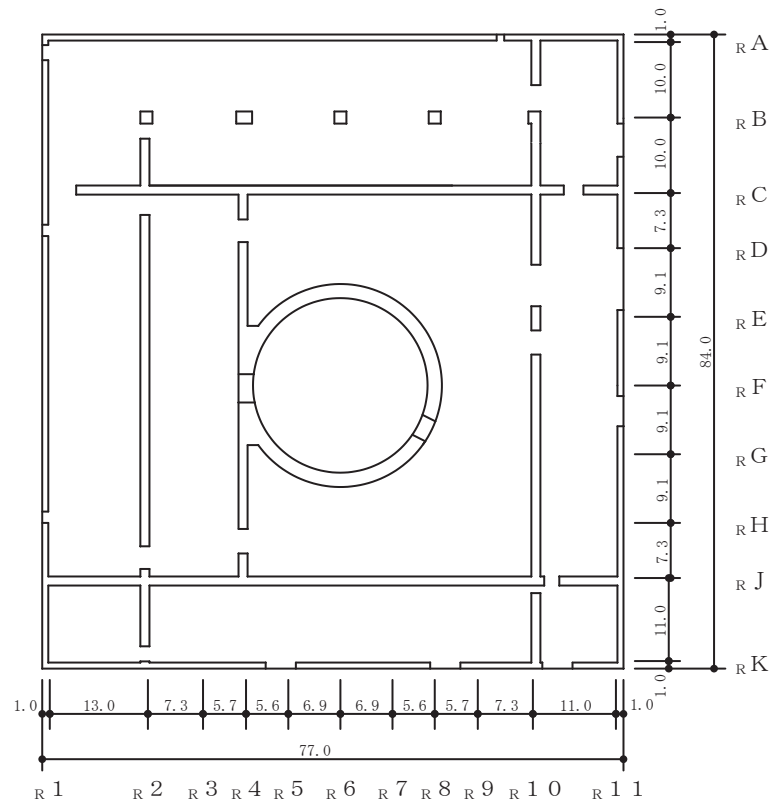
(単位：m)

図 1-1(2) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. -0.8m)



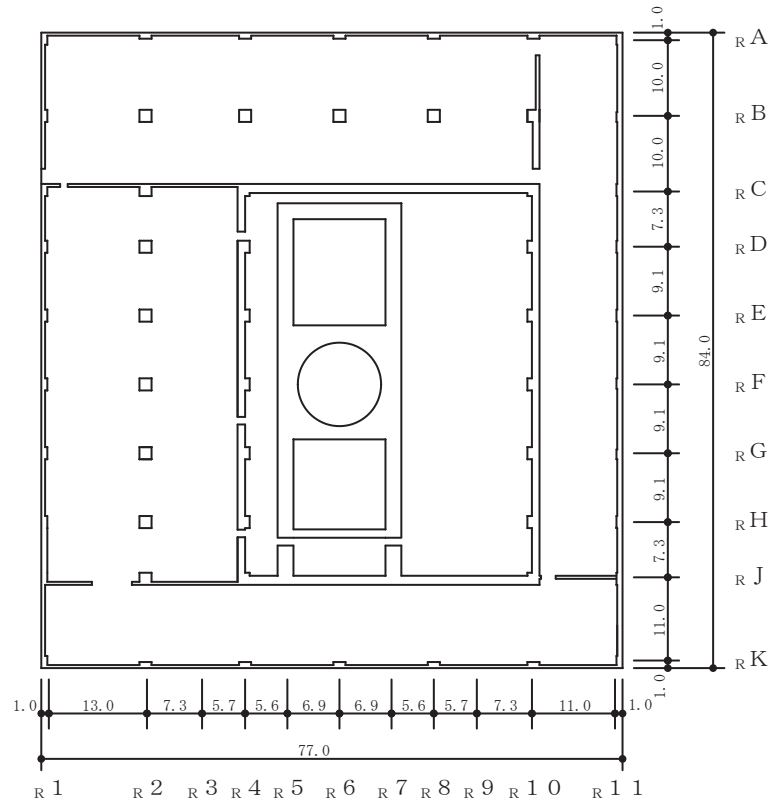
(単位：m)

図 1-1(3) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 6. 0m)



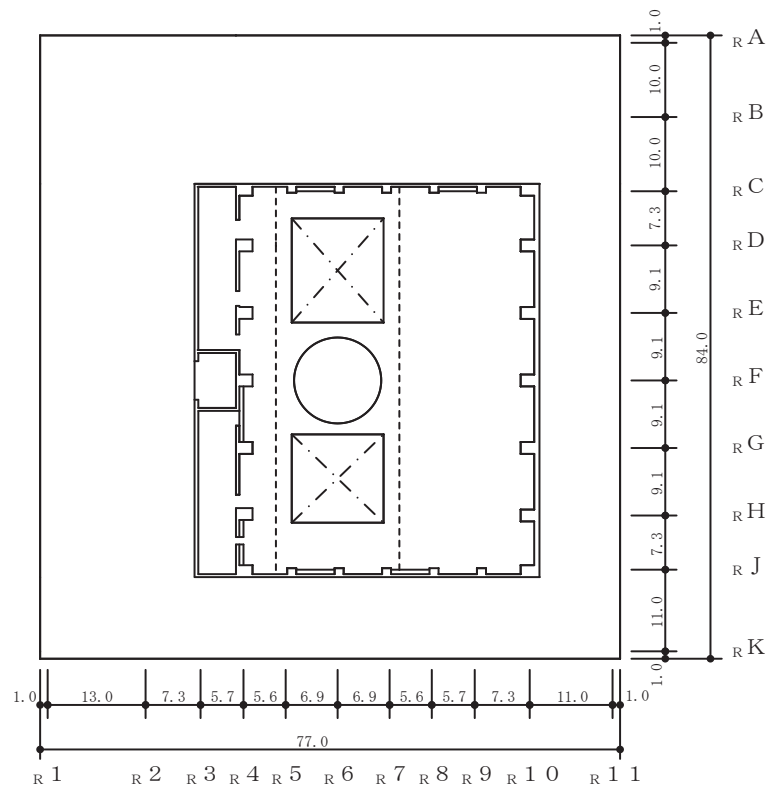
(単位：m)

図 1-1(4) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 15.0m)



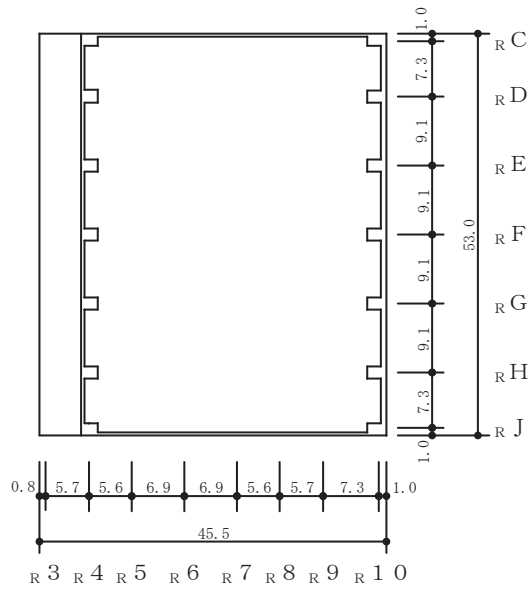
(単位：m)

図 1-1(5) 原子炉建屋の概略平面図 (0.P. 22.5m)



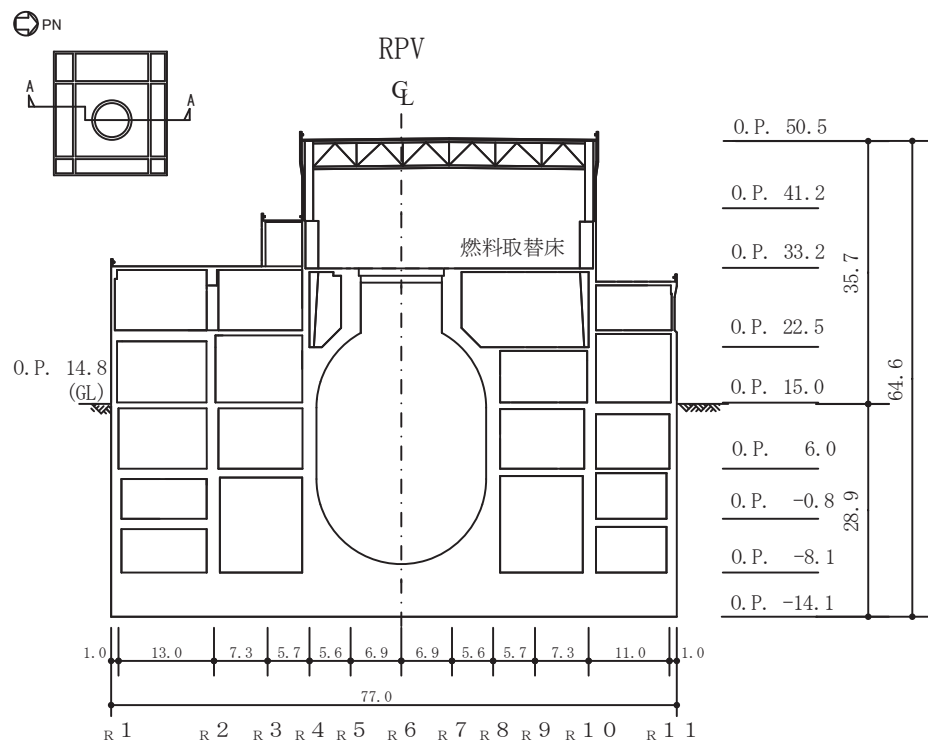
(単位：m)

図 1-1(6) 原子炉建屋の概略平面図 (0. P. 33. 2m)



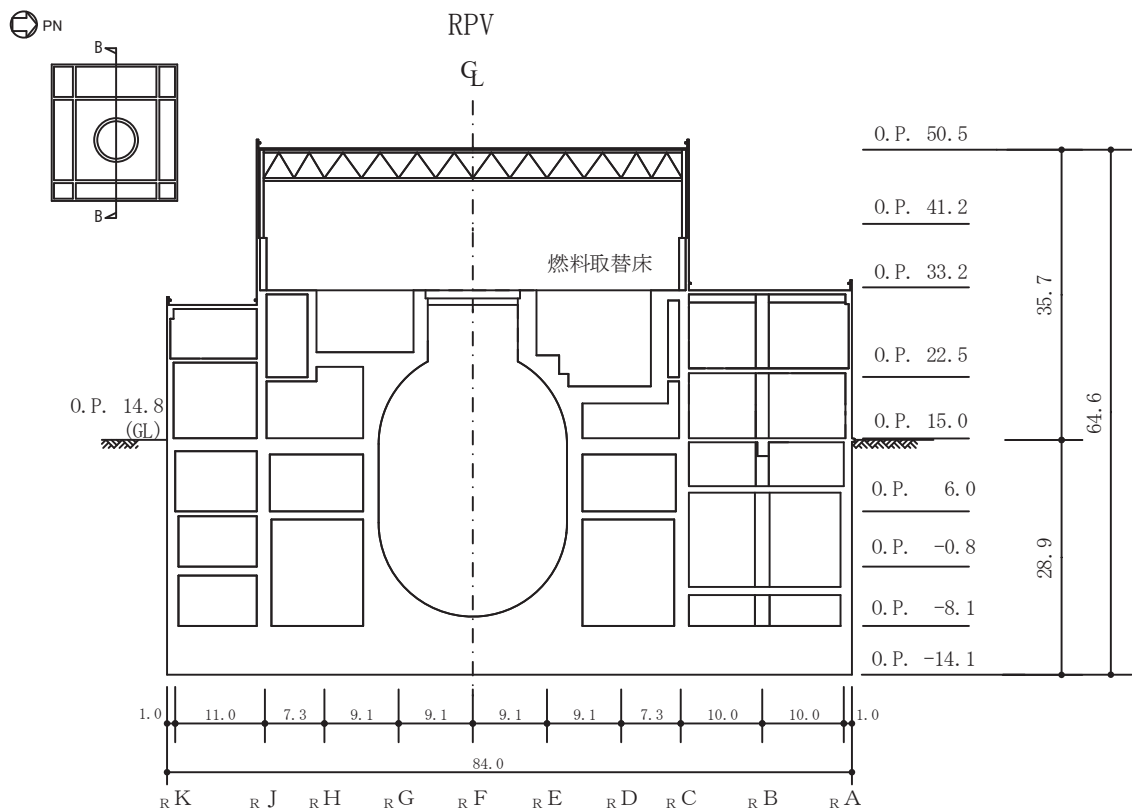
(単位：m)

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。

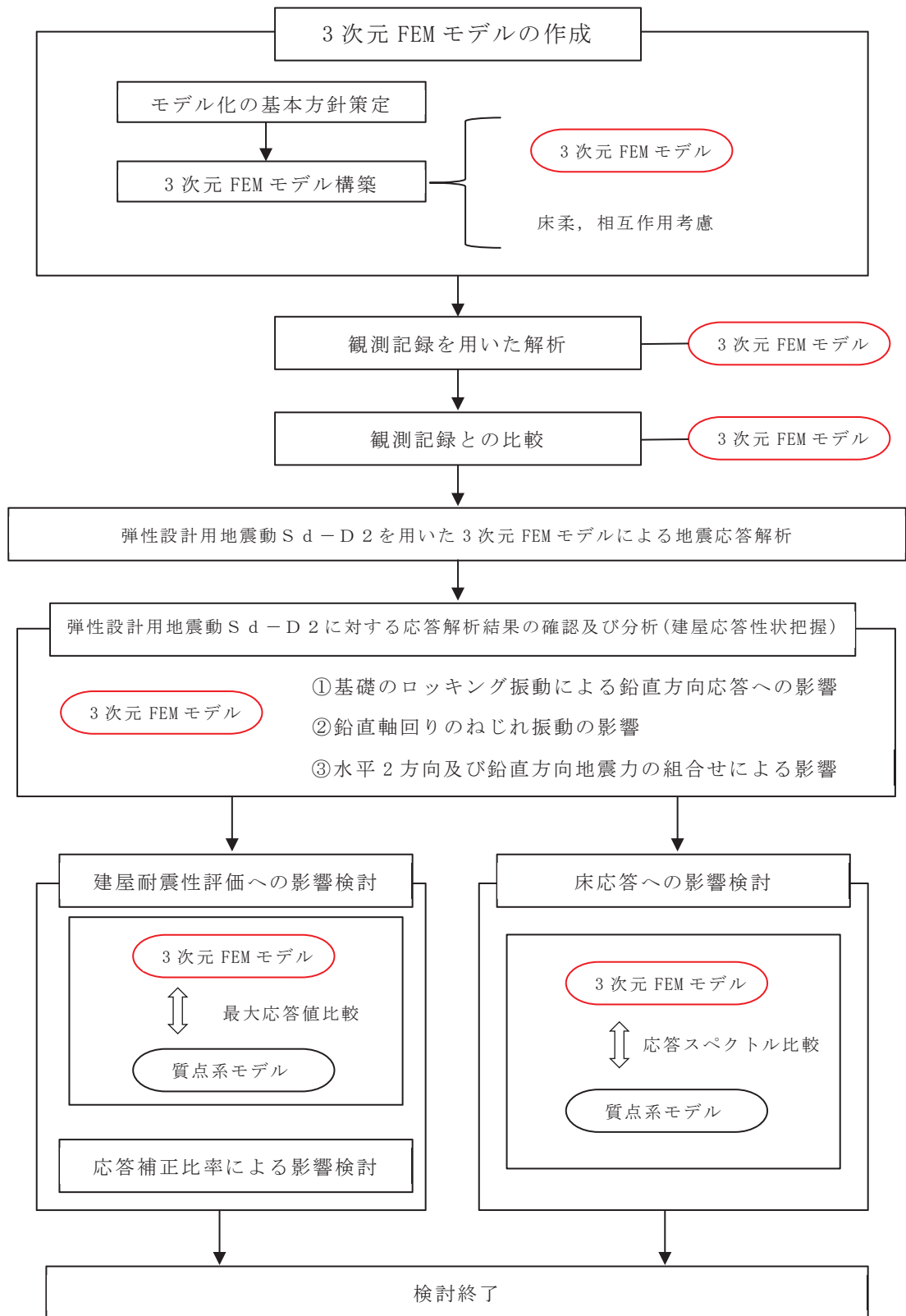


図 1-3 3次元 FEM モデルによる耐震性評価フロー

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。

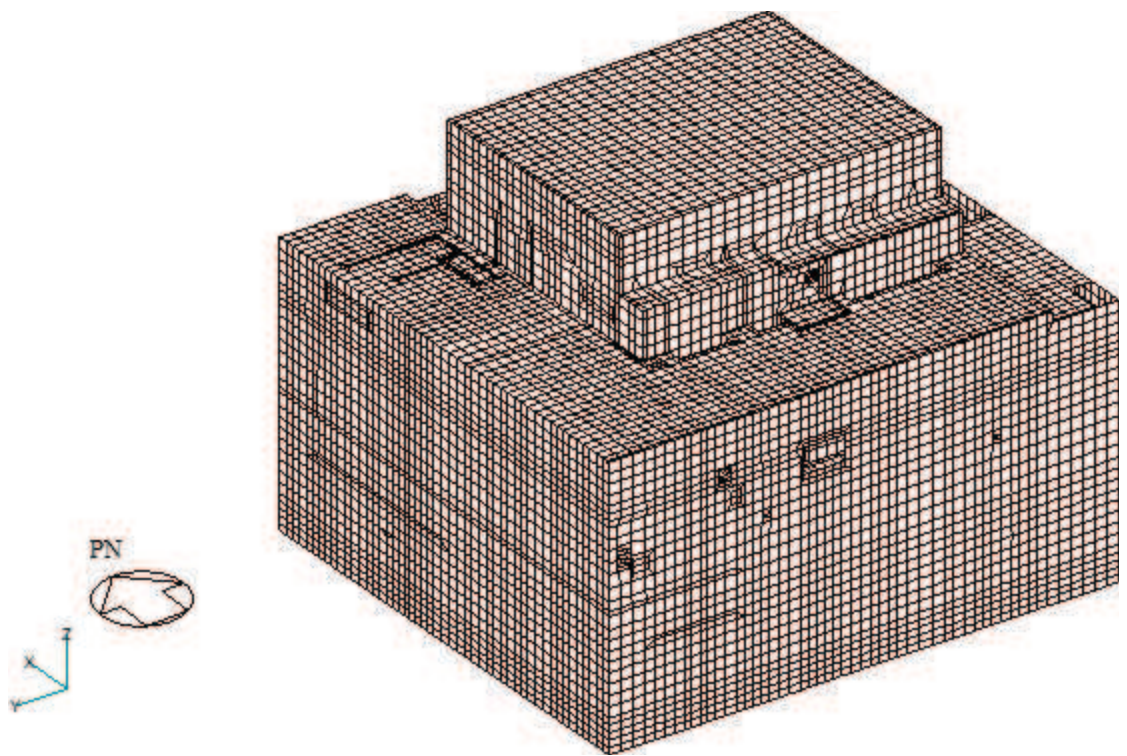
要素の大きさは、各スラブの上面レベルと対応する位置に節点を設け、鉛直方向にはフロア間を 3 分割以上、水平方向は通り芯間を 3 分割以上を目安とする。

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。

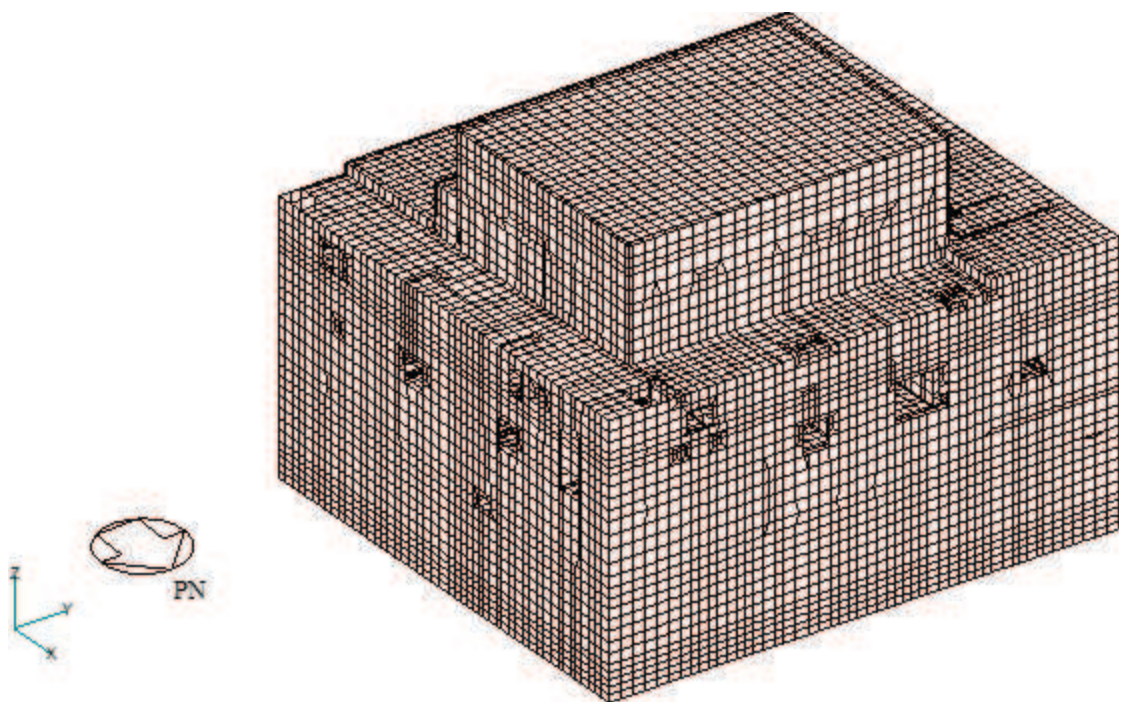
使用材料の物性値を表 2-1 に示す。

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。

なお、質点系モデルと同様に平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下を反映する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を表 2-2 に示す。

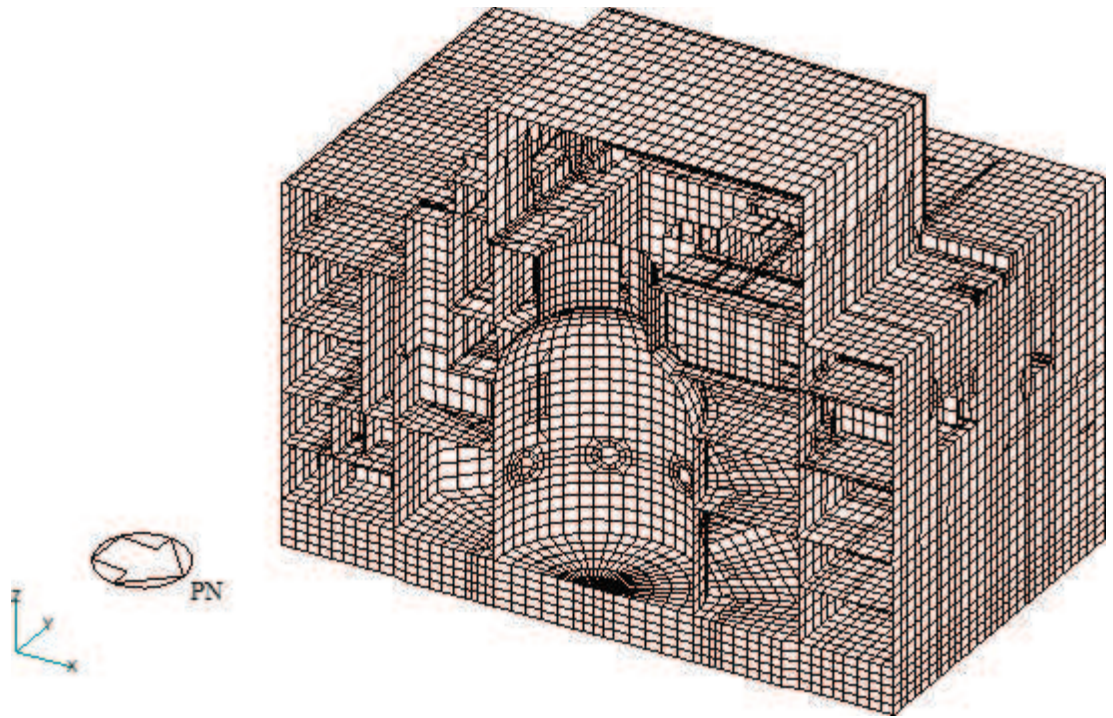


(a) 建屋全景（南西面）

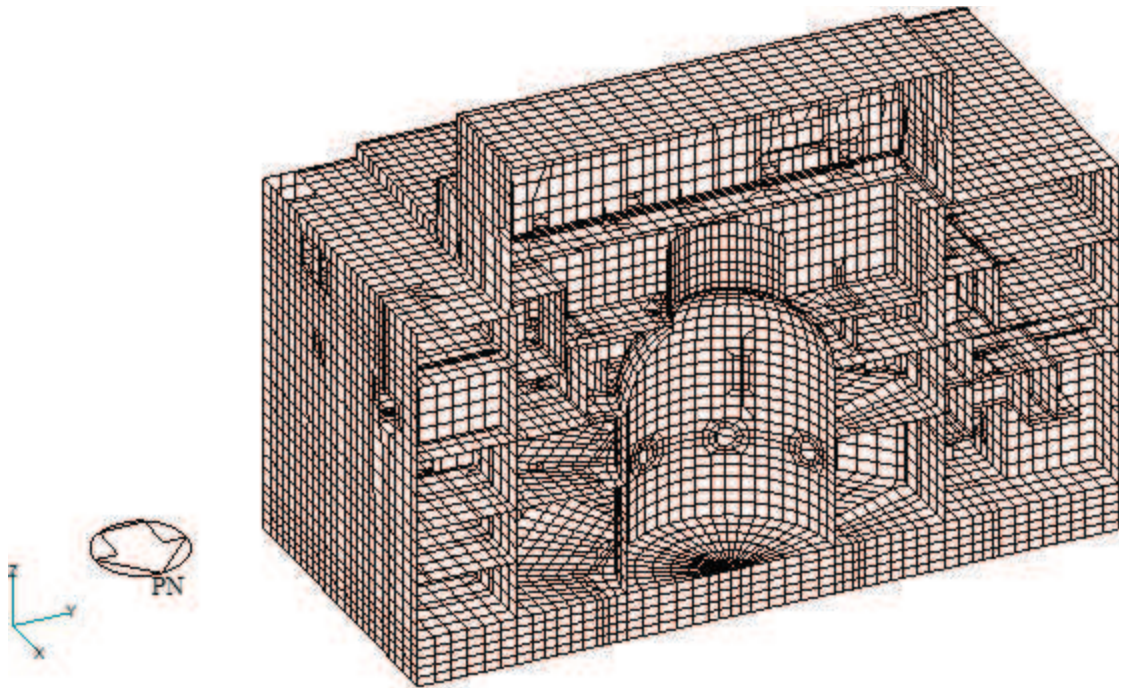


(b) 建屋全景（北東面）

図 2-1(1) 3次元 FEM モデル図 (1/2)

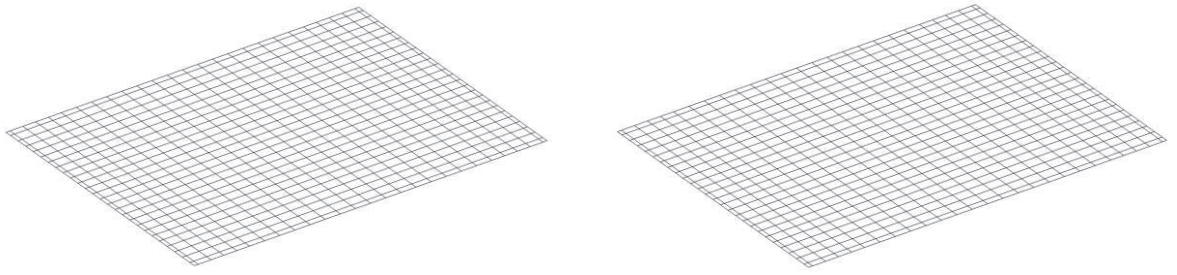


(c) NS 断面図

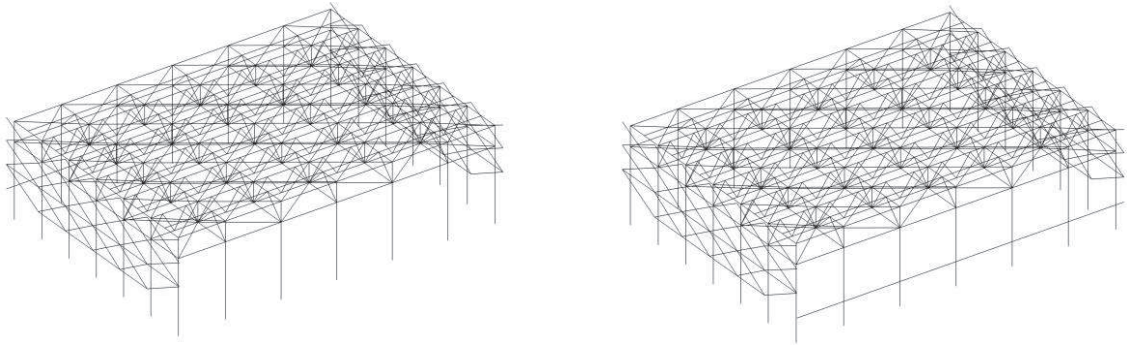


(d) EW 断面図

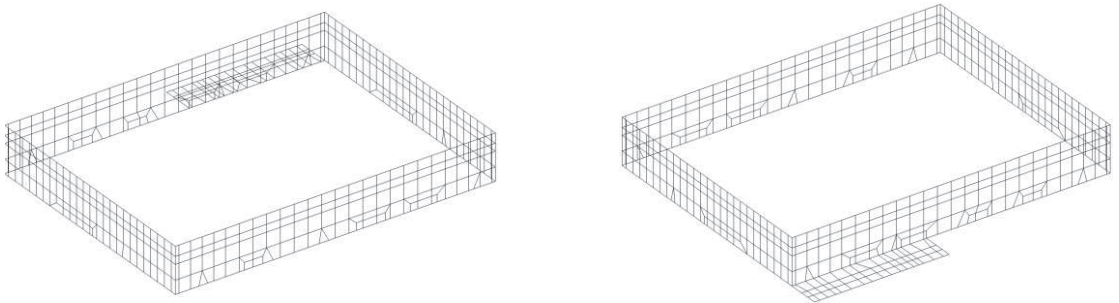
図 2-1(2) 3次元 FEM モデル図 (2/2)



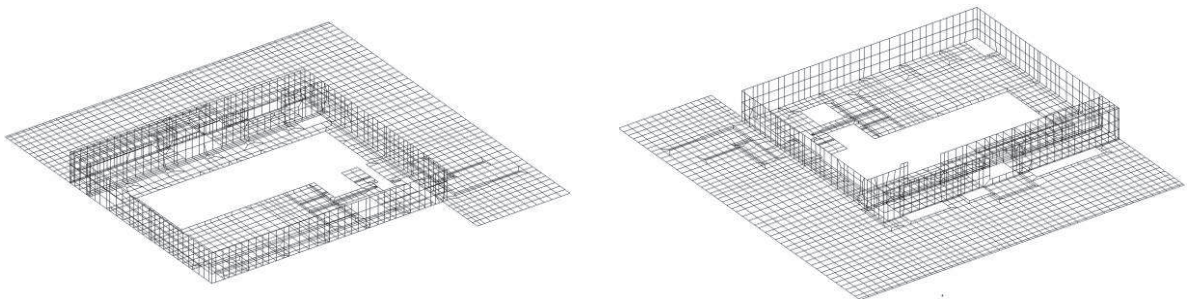
(a) O. P. 50.5m (屋根スラブ)



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

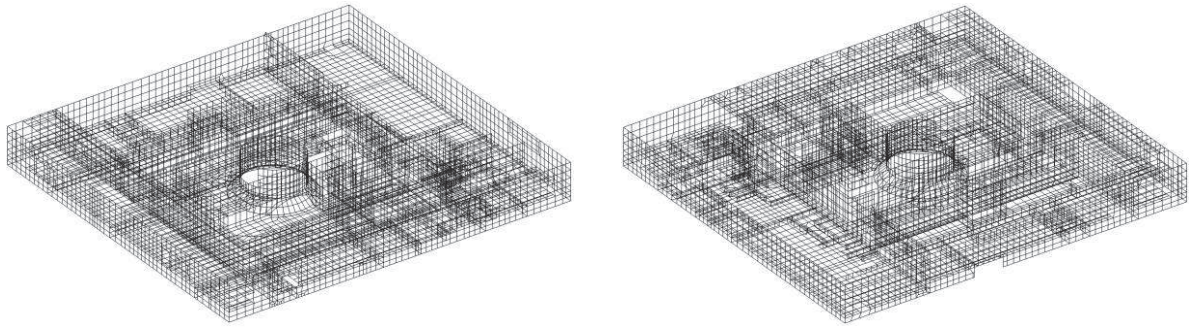


(c) O. P. 41.2m~O. P. 50.5m

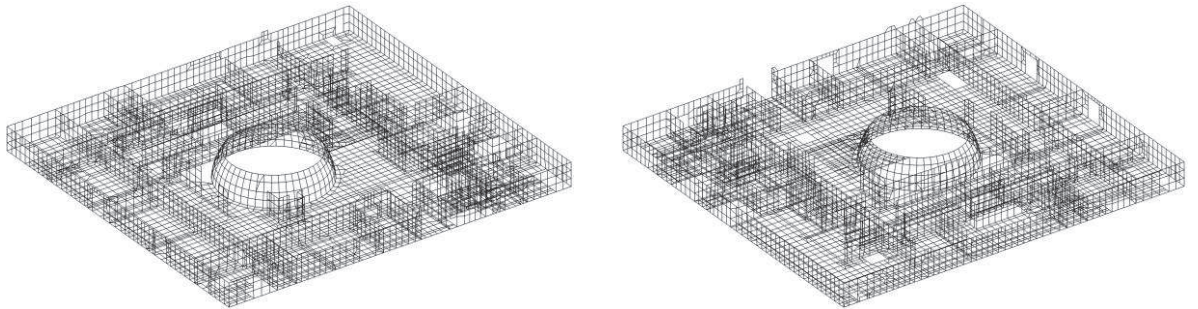


(d) O. P. 33.2m~O. P. 41.2m

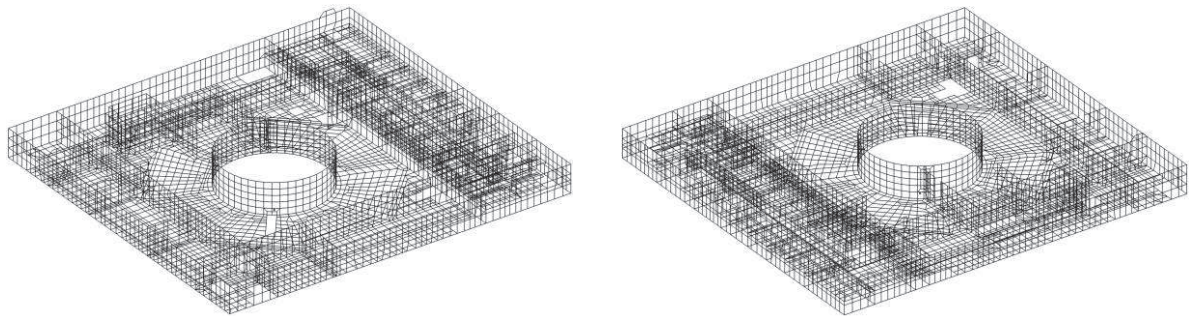
図 2-2(1) 各階の 3 次元 FEM モデル図 (1/3)



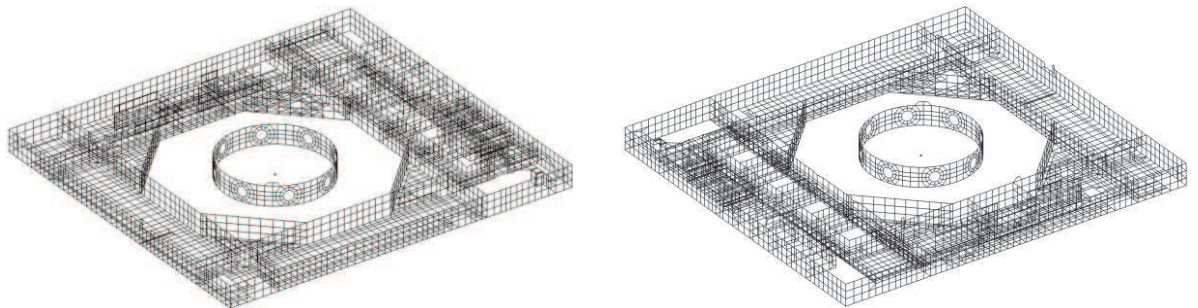
(e) O. P. 22.5m ~ O. P. 33.2m



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

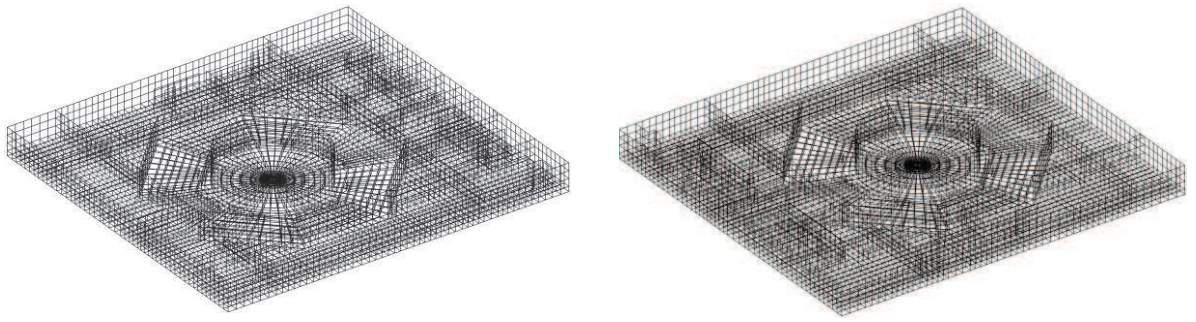


(g) O. P. 6.0m ~ O. P. 15.0m



(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

表 2-2 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

方向	地上 3 階及びクレーン階 (O. P. 33.2m より上部)	地下 3 階～地上 2 階 (O. P. 33.2m より下部)
NS	0.30	0.75
EW	0.50	0.80

注：追設耐震壁については補正を行わない。

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2-3に示す。

表 2-3 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

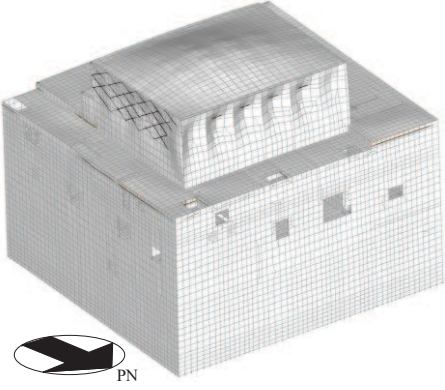
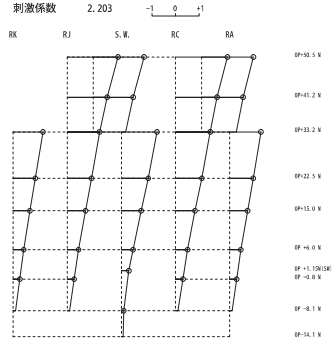
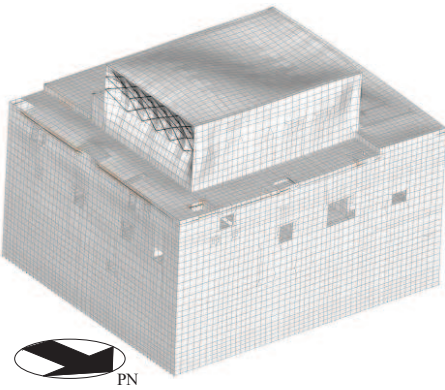
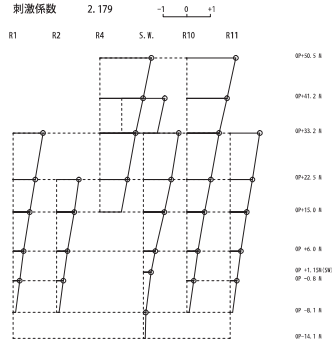
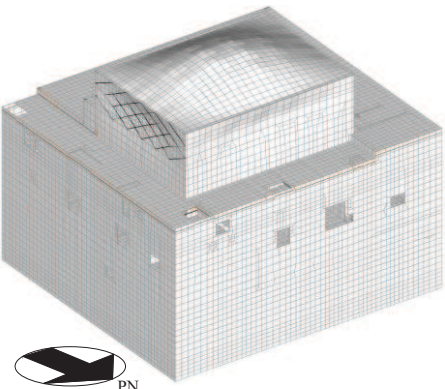
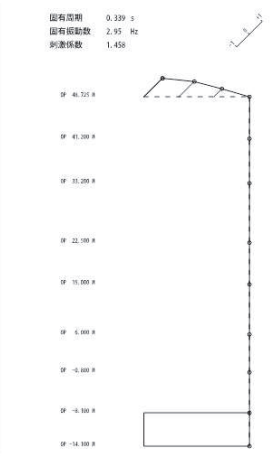
3次元 FEM モデルについて、固有値解析を実施した。固有値解析結果を表 2-4 に、質点系モデル及び 3次元 FEM モデルの固有モード比較を表 2-5 に示す。

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 2-4 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 2-5 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> 
	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> 
	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 1.458</p> 
	3.74 Hz	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（O.P. 33.2m～O.P. 41.2m）には耐震壁を、クレーン階（O.P. 41.2m～O.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。

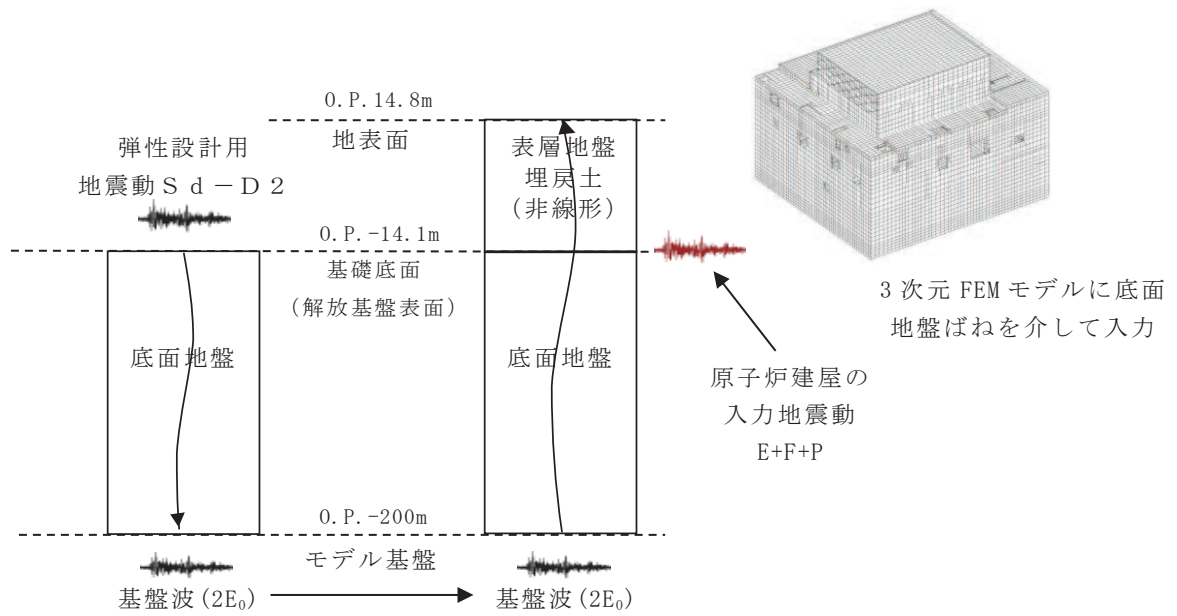
3次元 FEM モデルによる地震応答解析は弾性応答解析としていることから、地震動は弾性設計用地震動 S_d とし、全周期帯の応答が大きく、建屋への影響も大きい弾性設計用地震動 $S_d - D2$ を用いる。(添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」参照)

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 及び図 3-3 に示す。

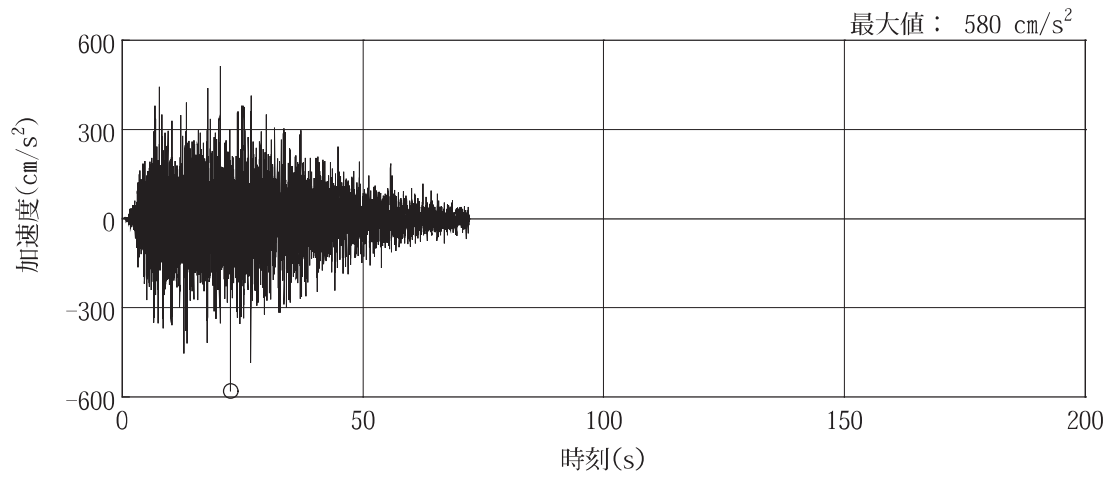
3次元 FEM モデルによる地震応答解析は、NS方向、EW方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、NS方向、EW方向及び鉛直方向の3方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

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。

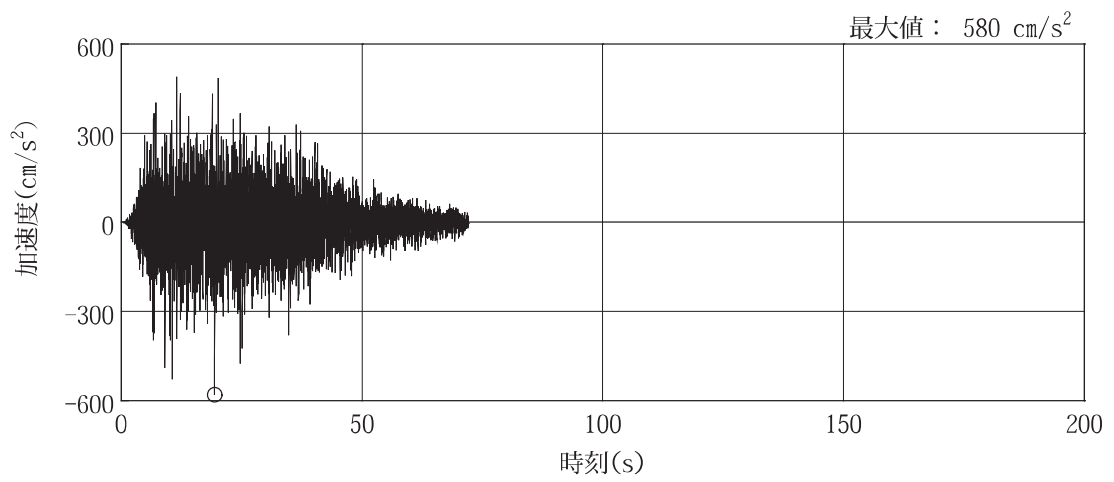


一次元地盤応答解析

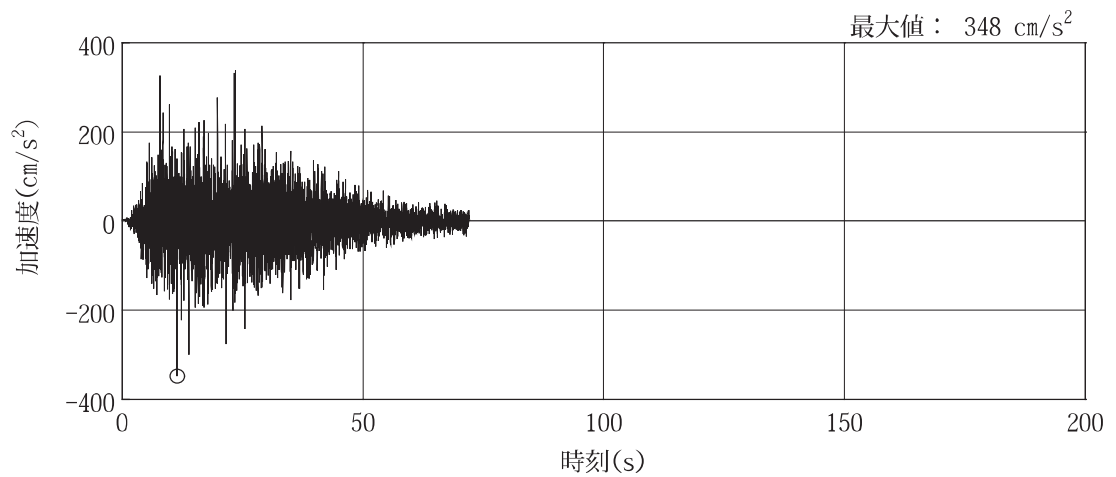
図 3-1 3次元 FEM モデルによる地震応答解析の概念



(a) S d - D 2 H

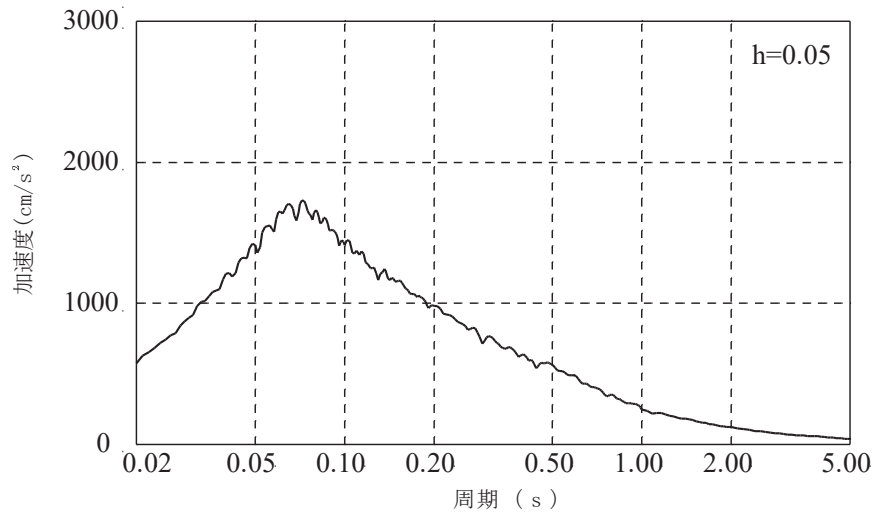


(b) S d - D 2 p

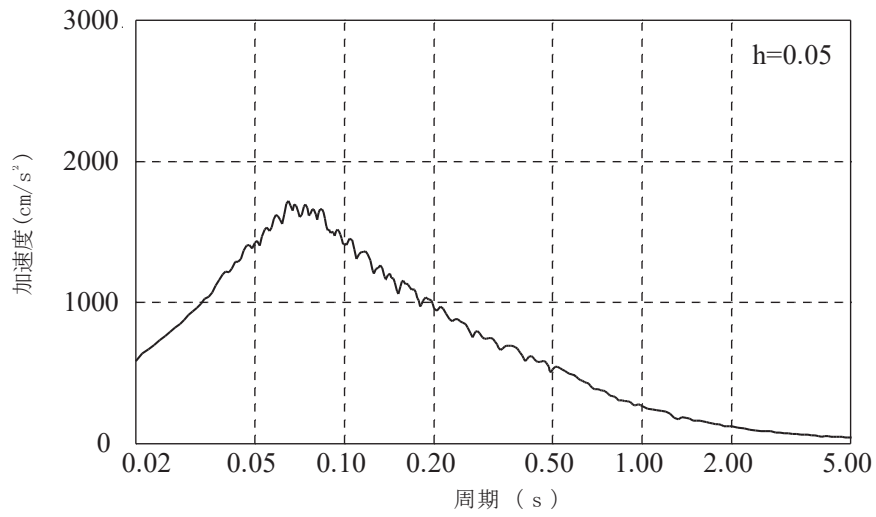


(c) S d - D 2 V

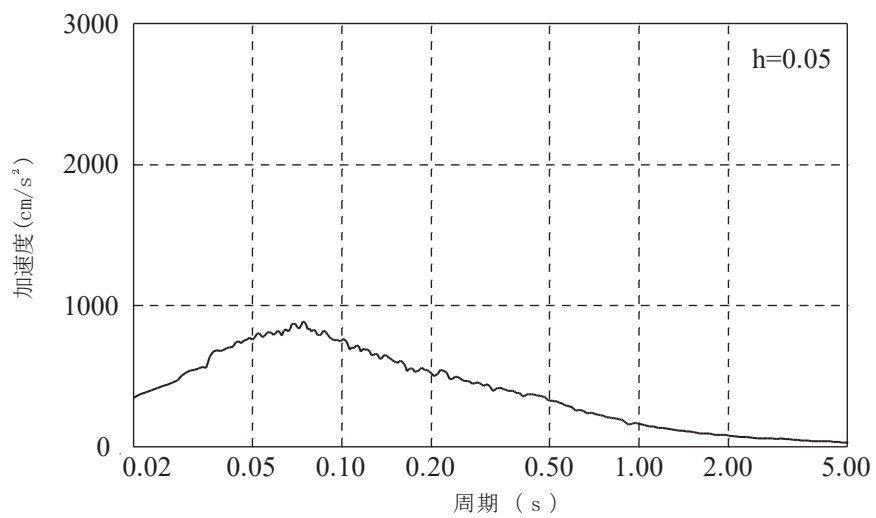
図 3-2 検討に用いる地震波の加速度時刻歴波形



(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)

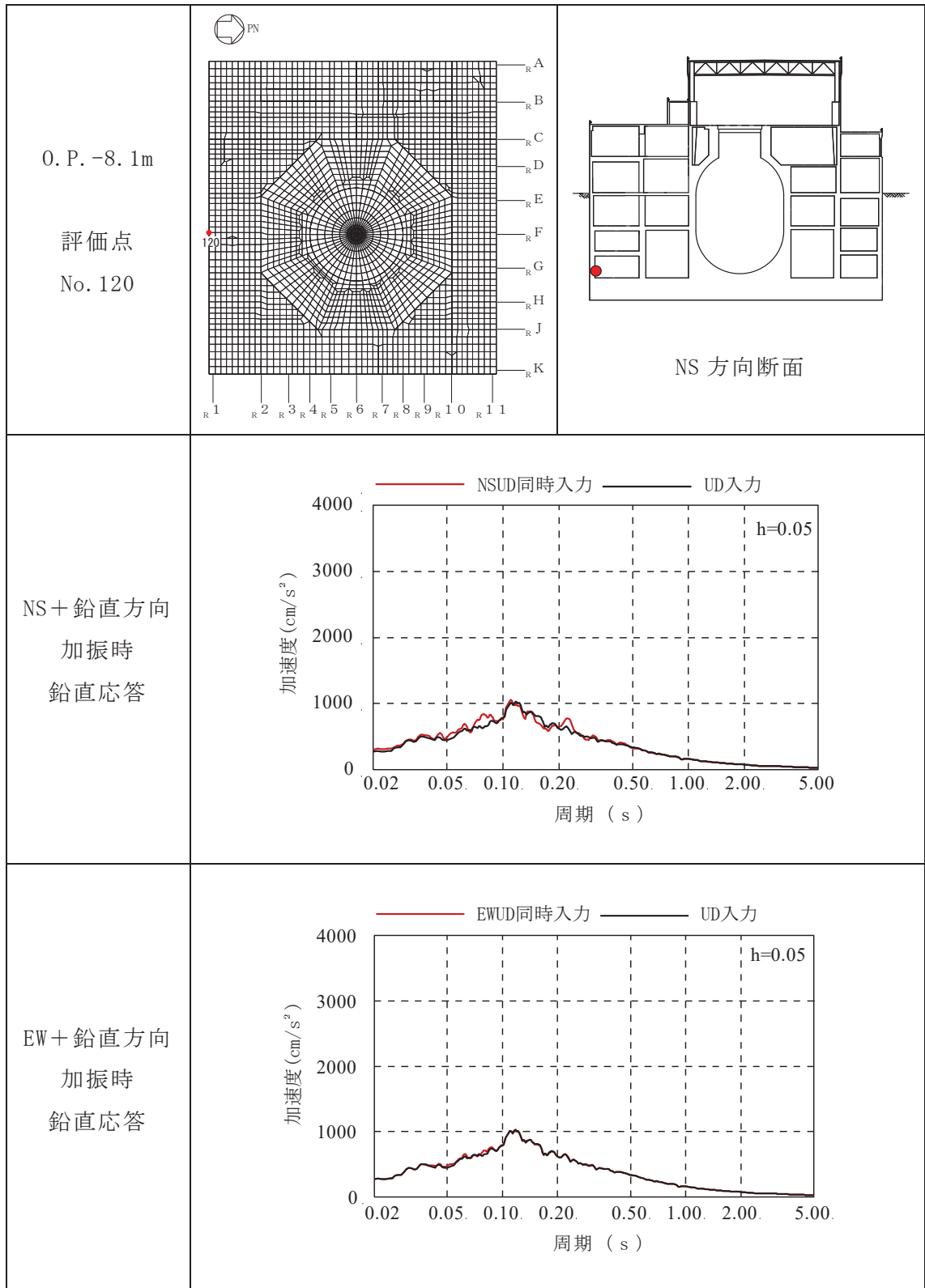
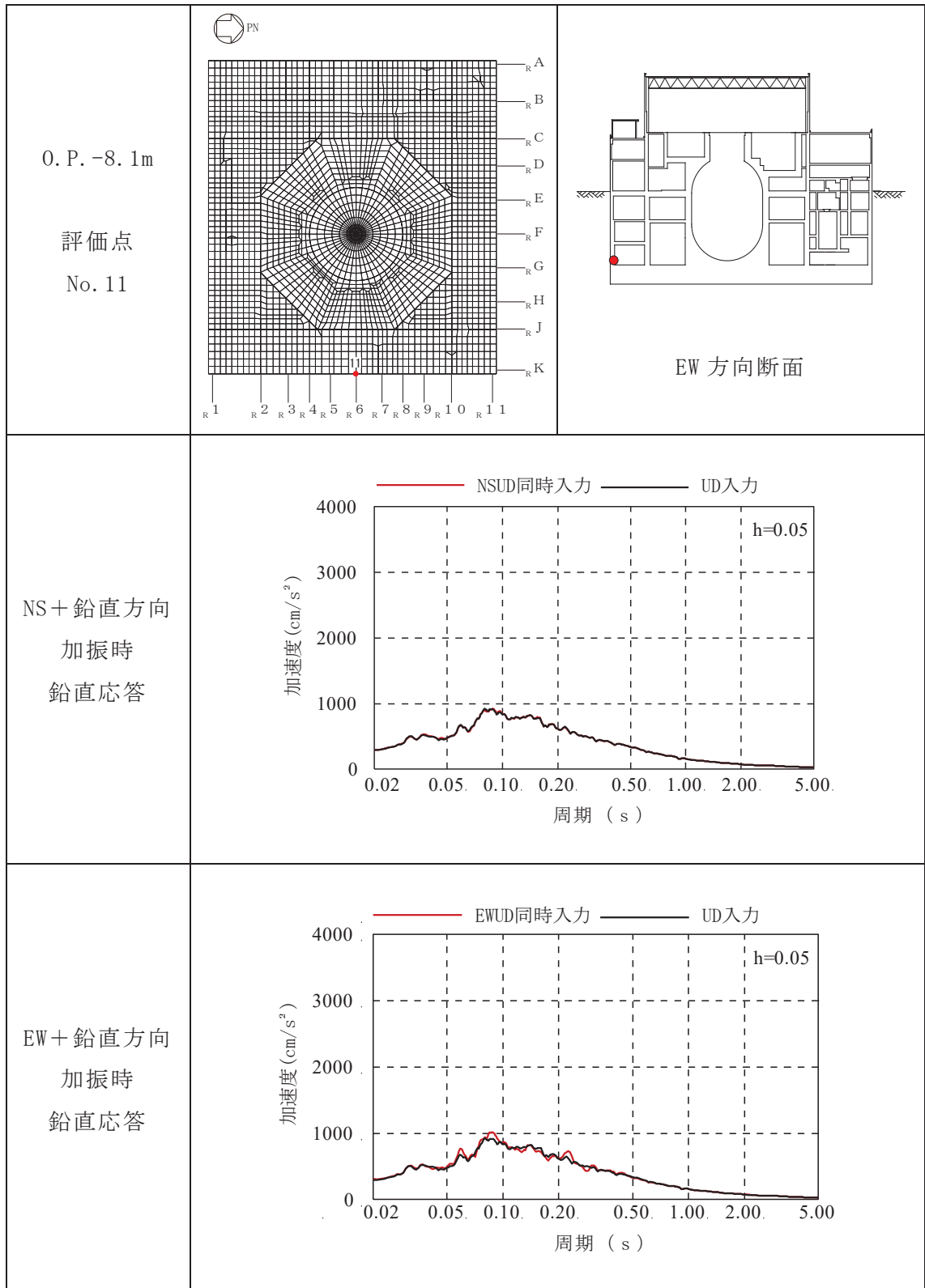


表 3-1(2) 基礎版端部評価点の鉛直成分の応答スペクトルの比較 (S d - D 2) (2/2)



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

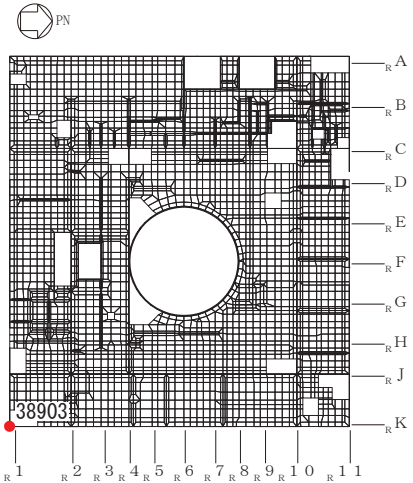
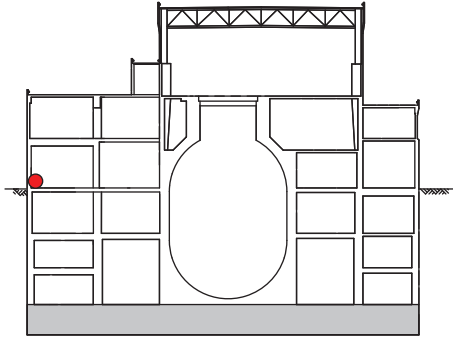
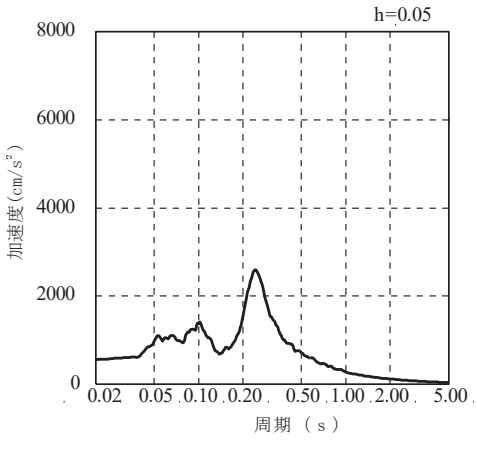
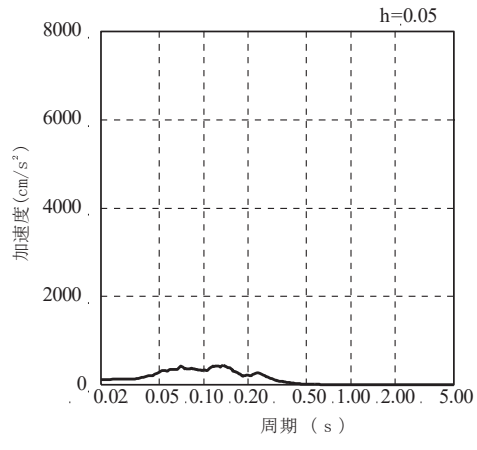
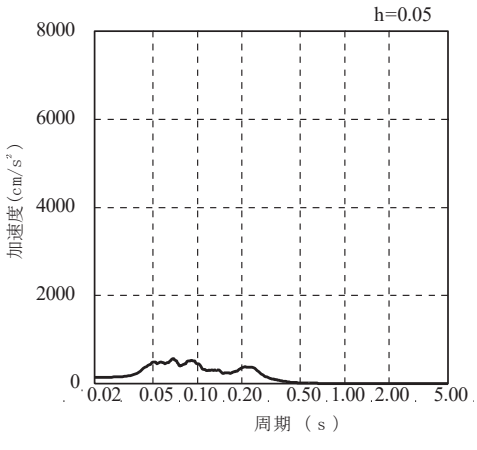
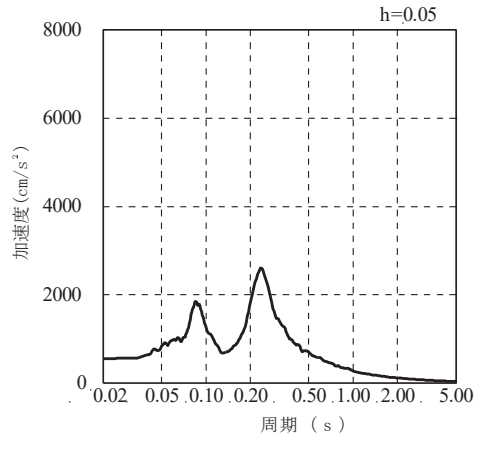
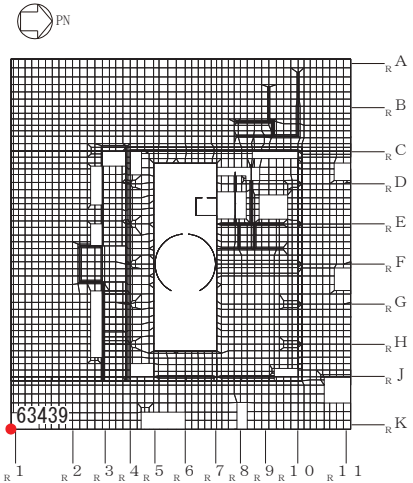
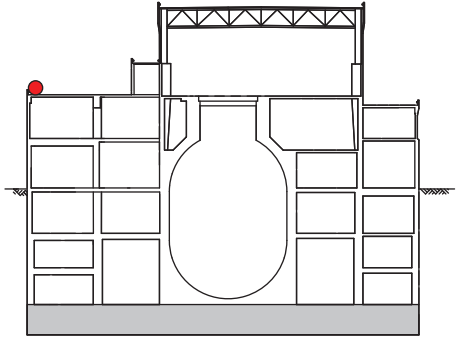
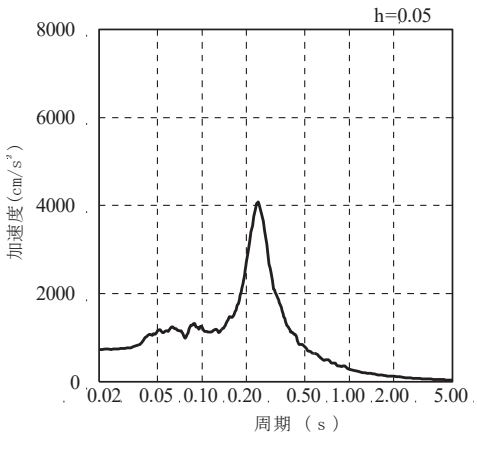
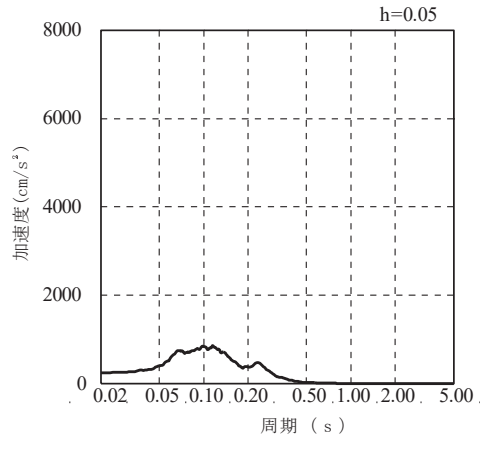
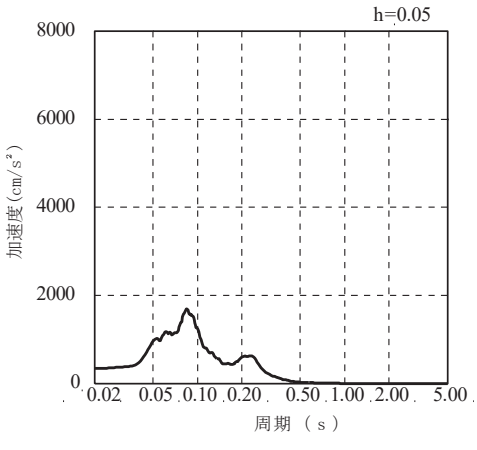
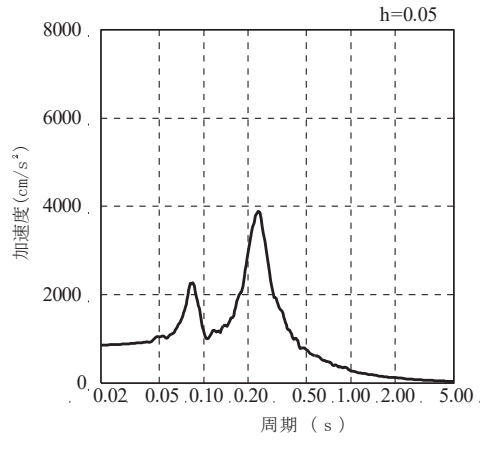
<p>O.P. 15.0m</p> <p>評価点 No. 38903</p>		
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>NS 方向 加振時</p>		
<p>EW 方向 加振時</p>		

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。

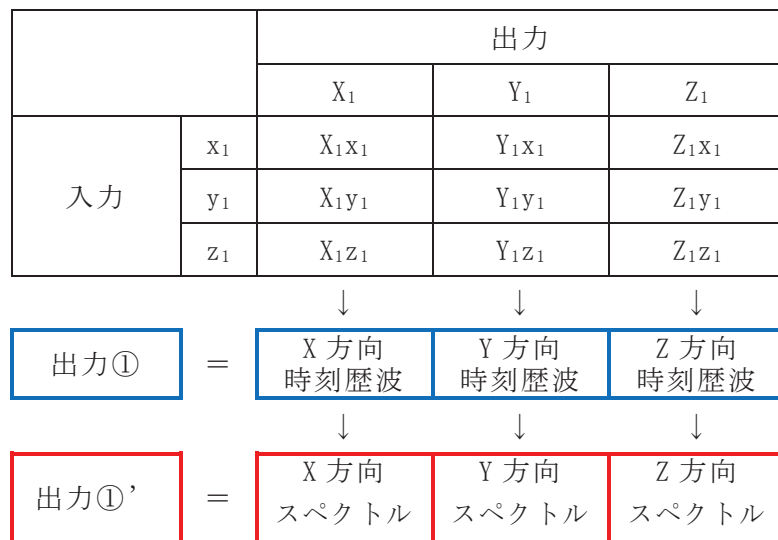
3 方向同時入力による各方向の応答は、水平 2 方向及び鉛直方向の地震動を入力して算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせるにより算出する。

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

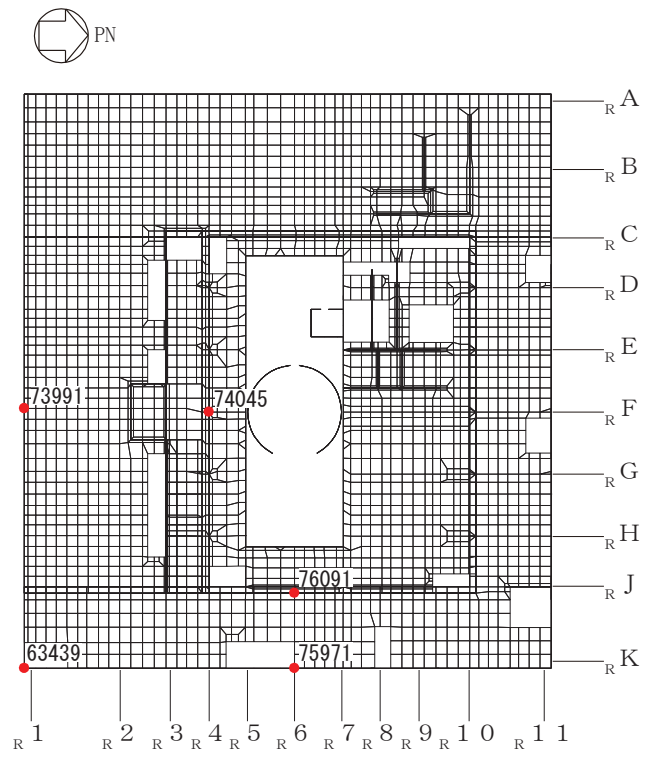
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認は、表 3-3 の地震動を対象に、NS 方向に入力した場合及び EW 方向に入力した場合の応答と、3 方向同時入力した場合の応答とを比較することにより実施する。

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。

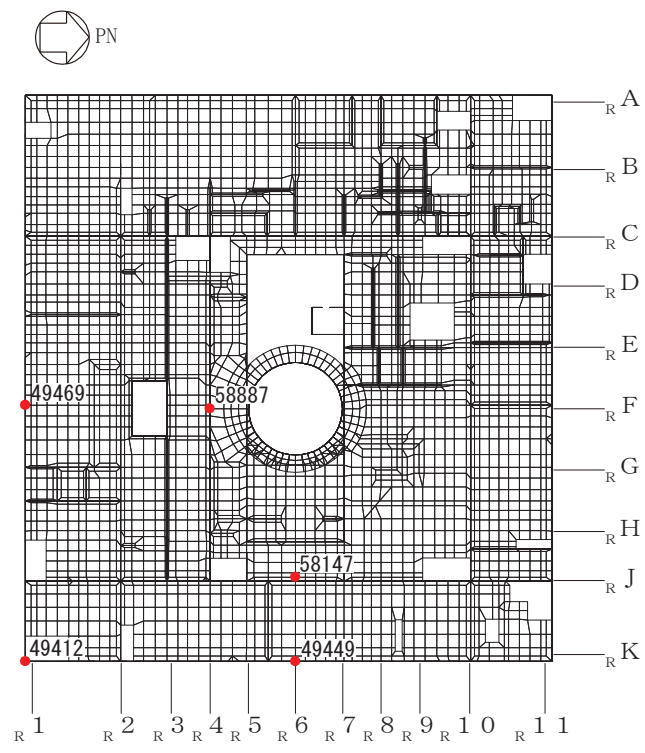
表 3-5 より、いずれの評価点においても、1 方向入力時及び 3 方向同時入力時の応答の差は小さく、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はほとんどないことを確認した。

「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。

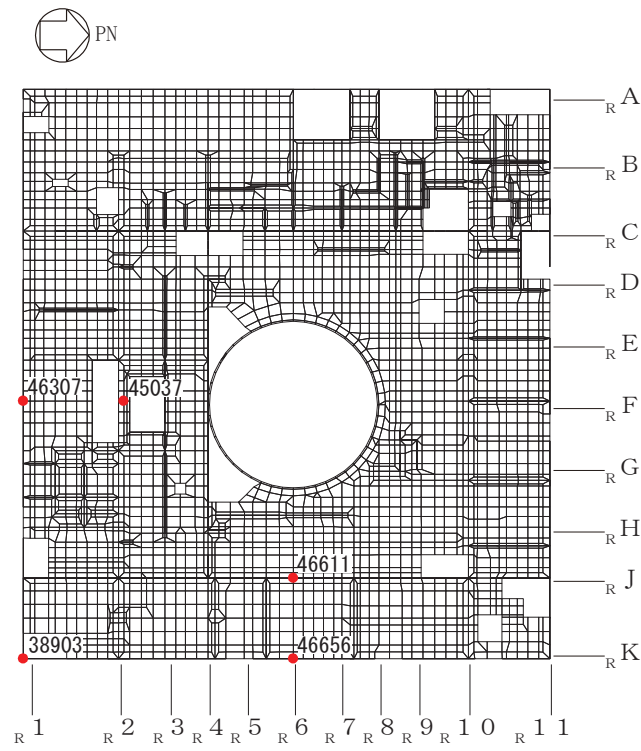


(a) 3F (O. P. 33.2m)

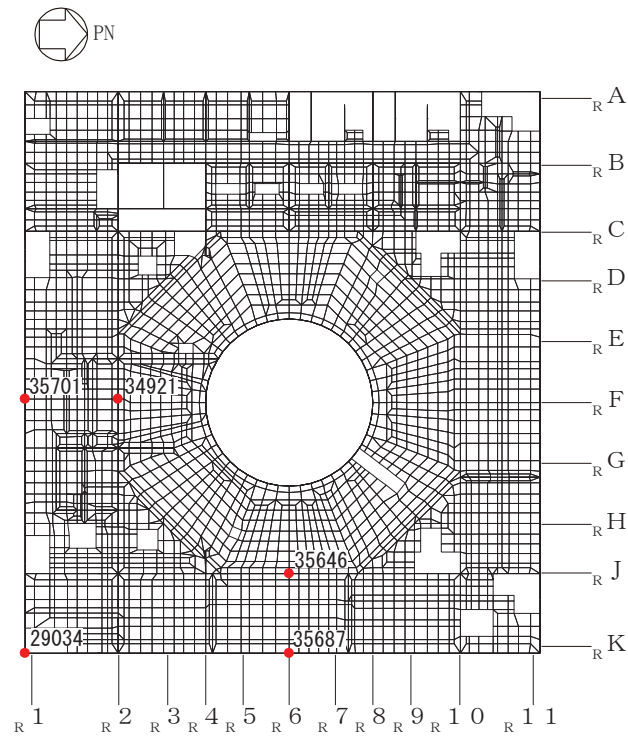


(b) 2F (O. P. 22.5m)

図 3-5(1) 応答評価位置(1/3)

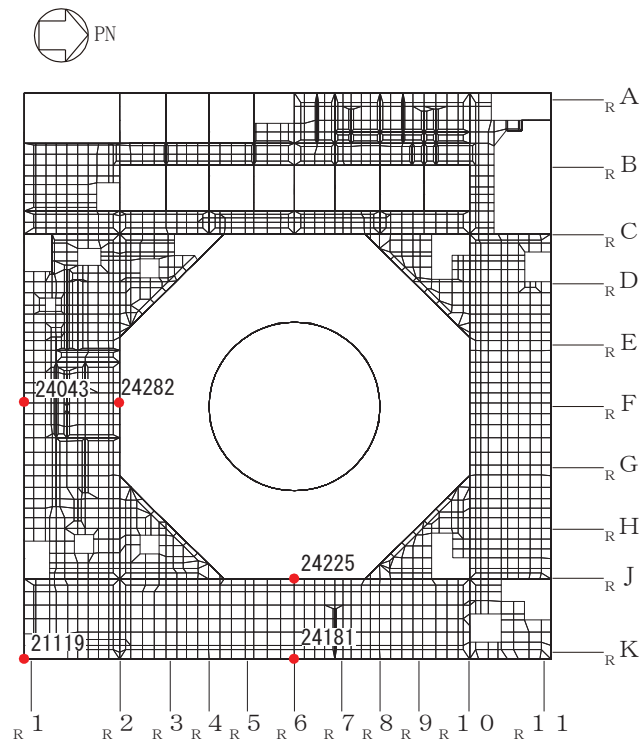


(c) 1F (O.P. 15.0m)

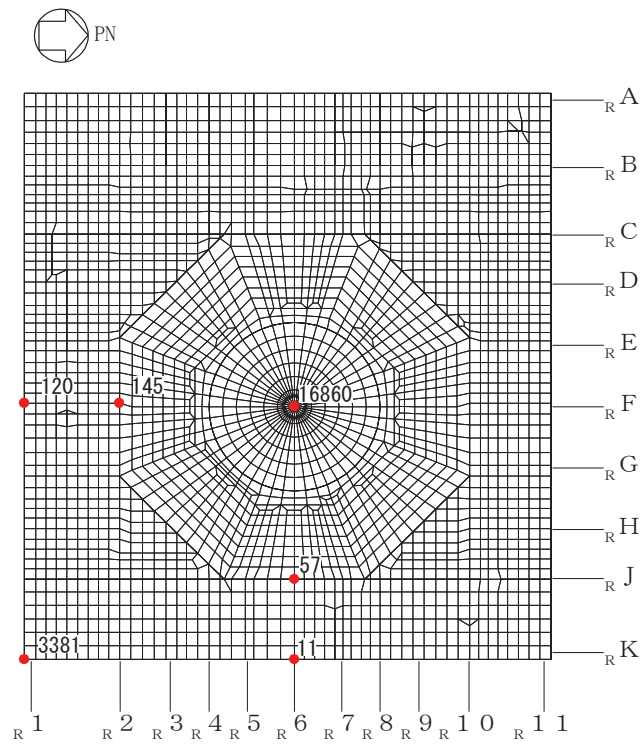


(d) B1F (O.P. 6.0m)

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

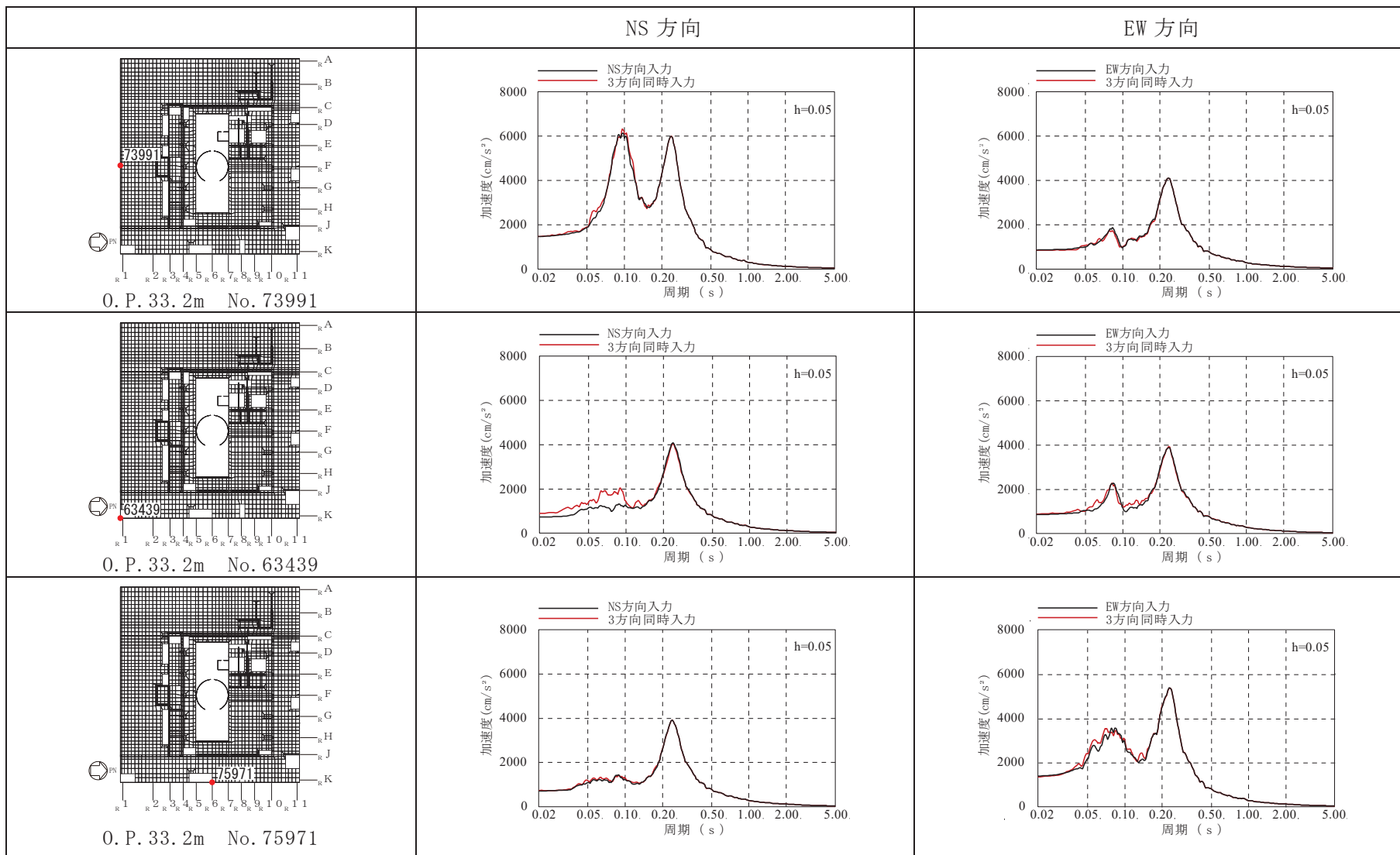


表 3-5(2) 3次元 FEM モデルの 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (S d - D 2) (2/12)

(b) O. P. 33. 2m

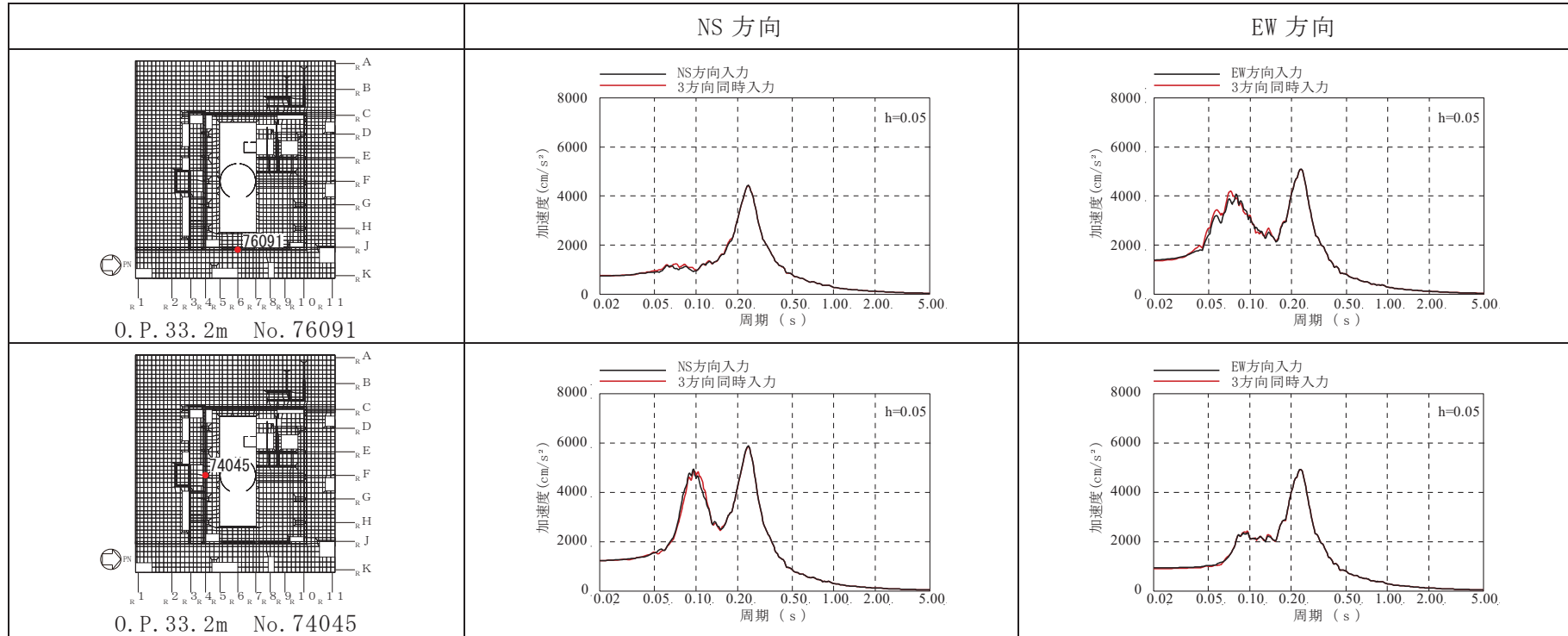


表 3-5(3) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (3/12)

(c) O.P. 22.5 外壁部

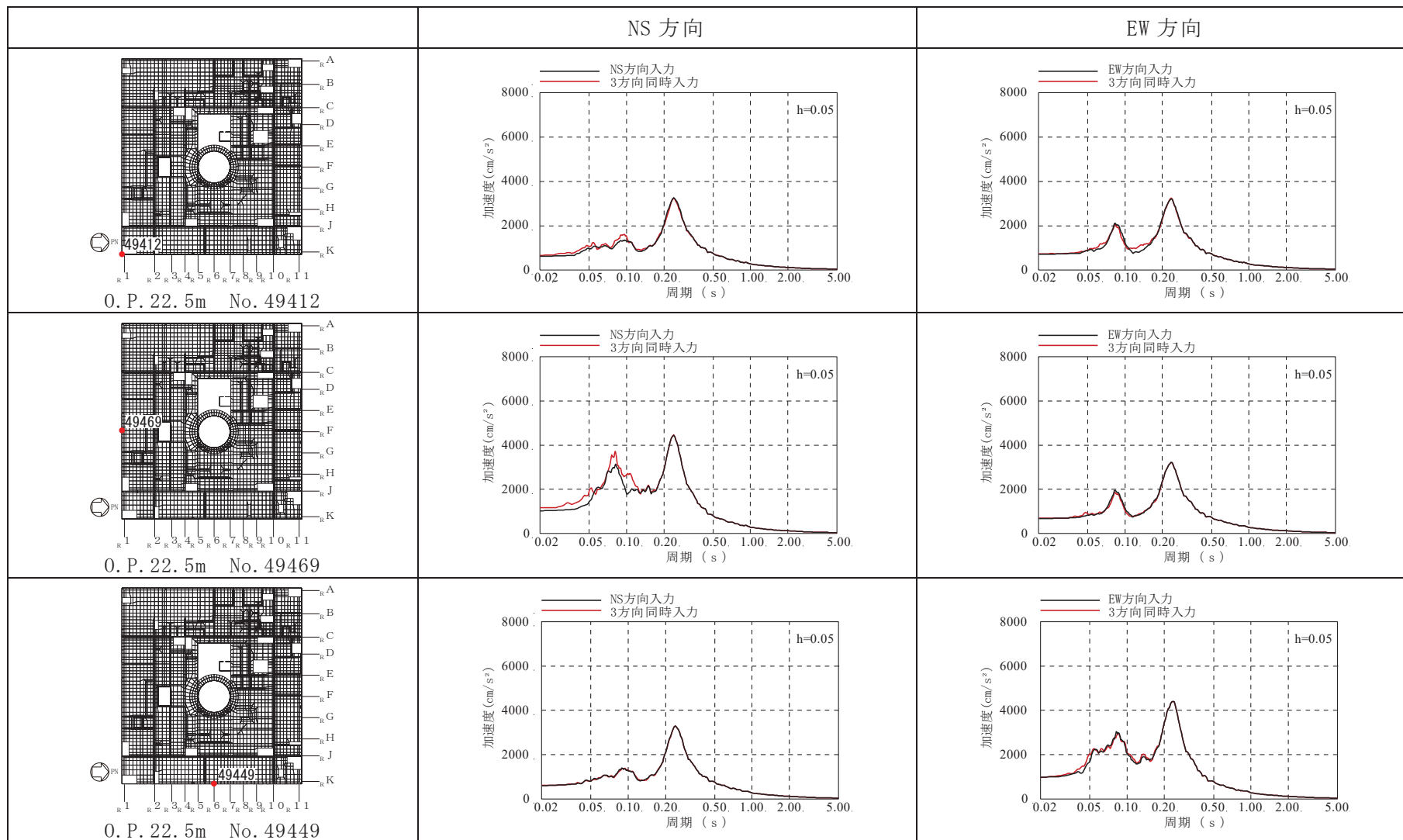


表 3-5(4) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (4/12)

(d) 0. P. 22. 5m

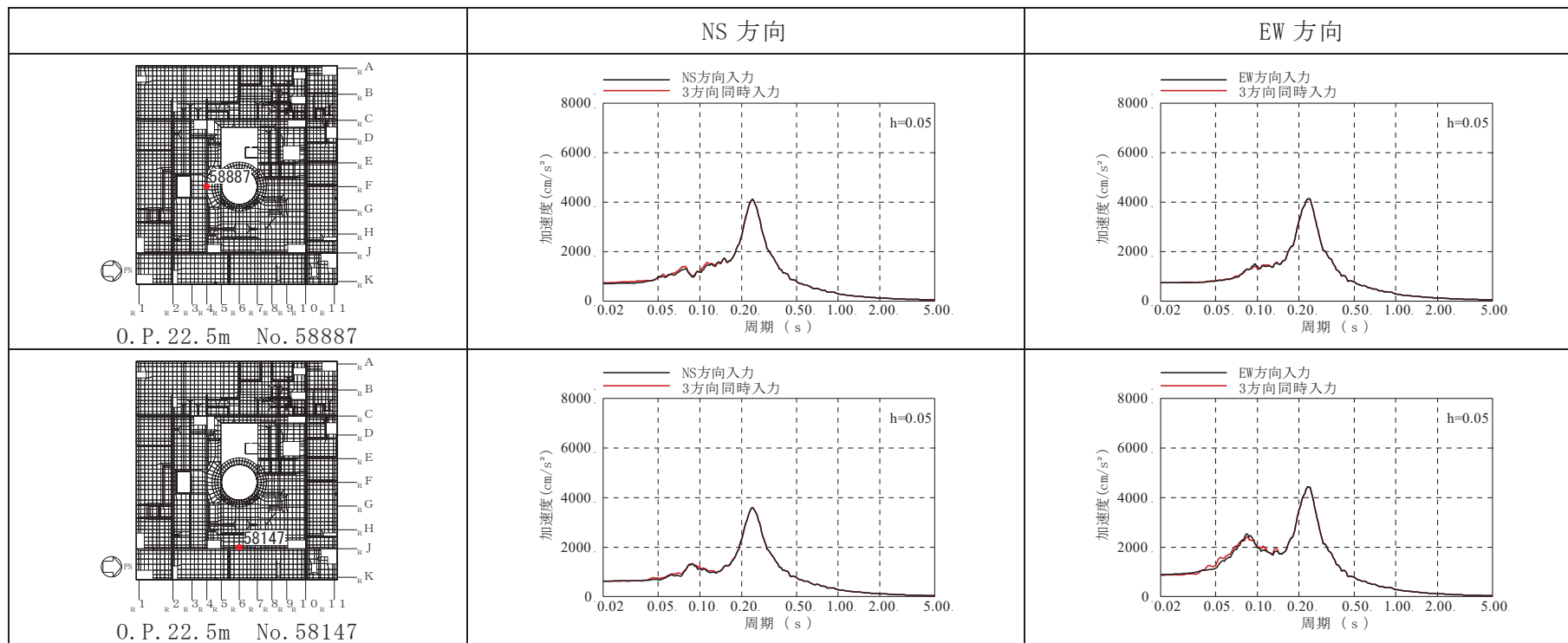


表 3-5(5) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (5/12)

(e) 0. P. 15. 0m 外壁部

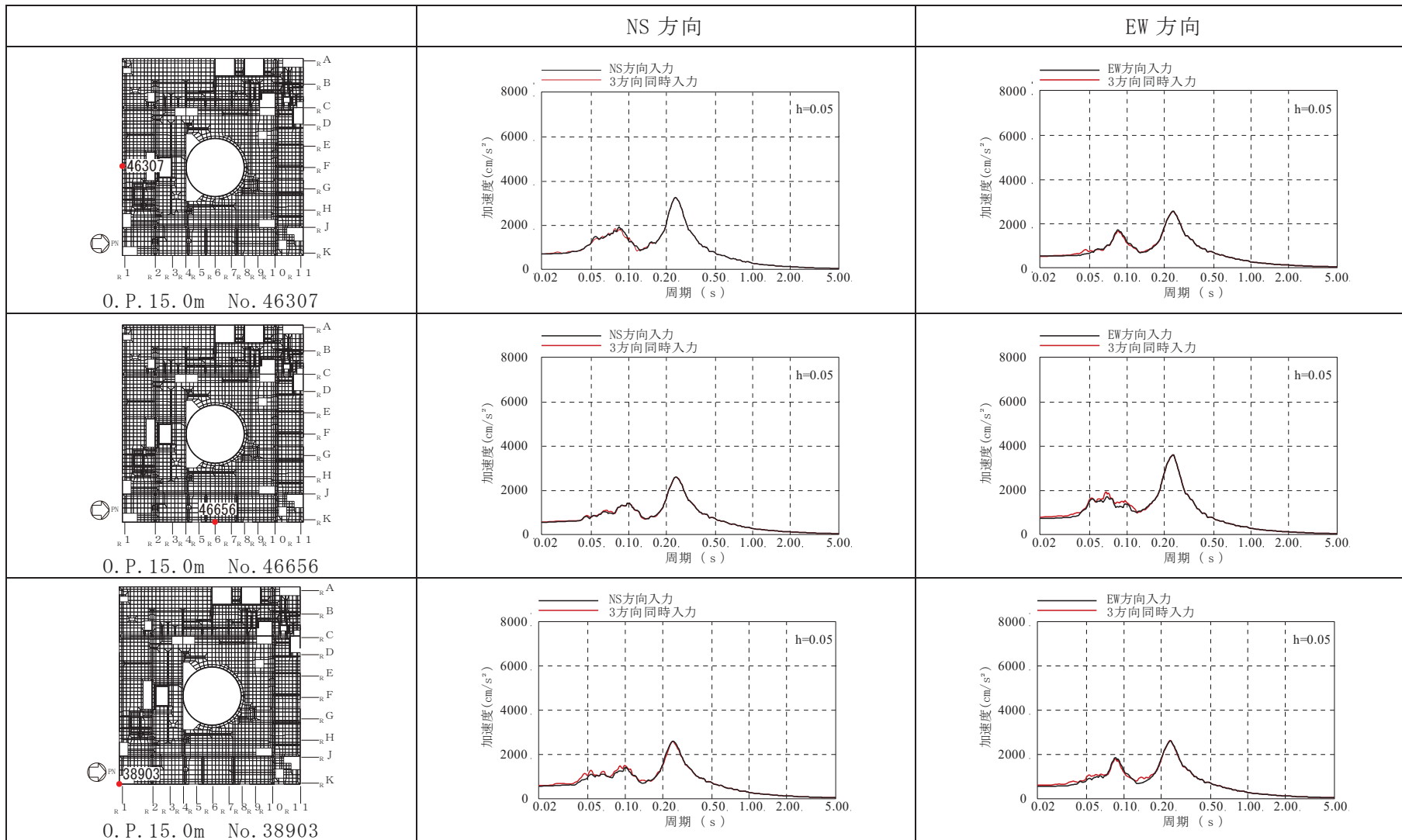


表 3-5(6) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (6/12)

(f) O. P. 15. 0m

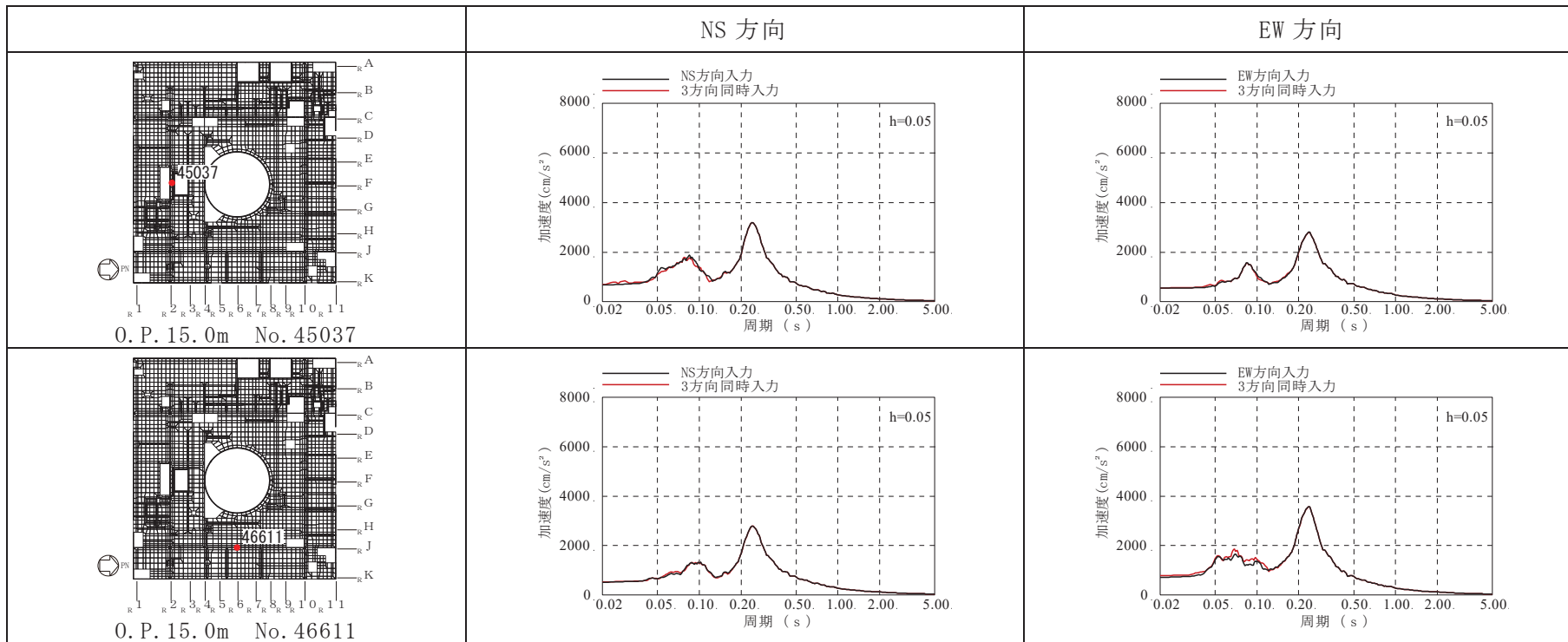


表 3-5(7) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (7/12)

(g) O.P. 6.0m 外壁部

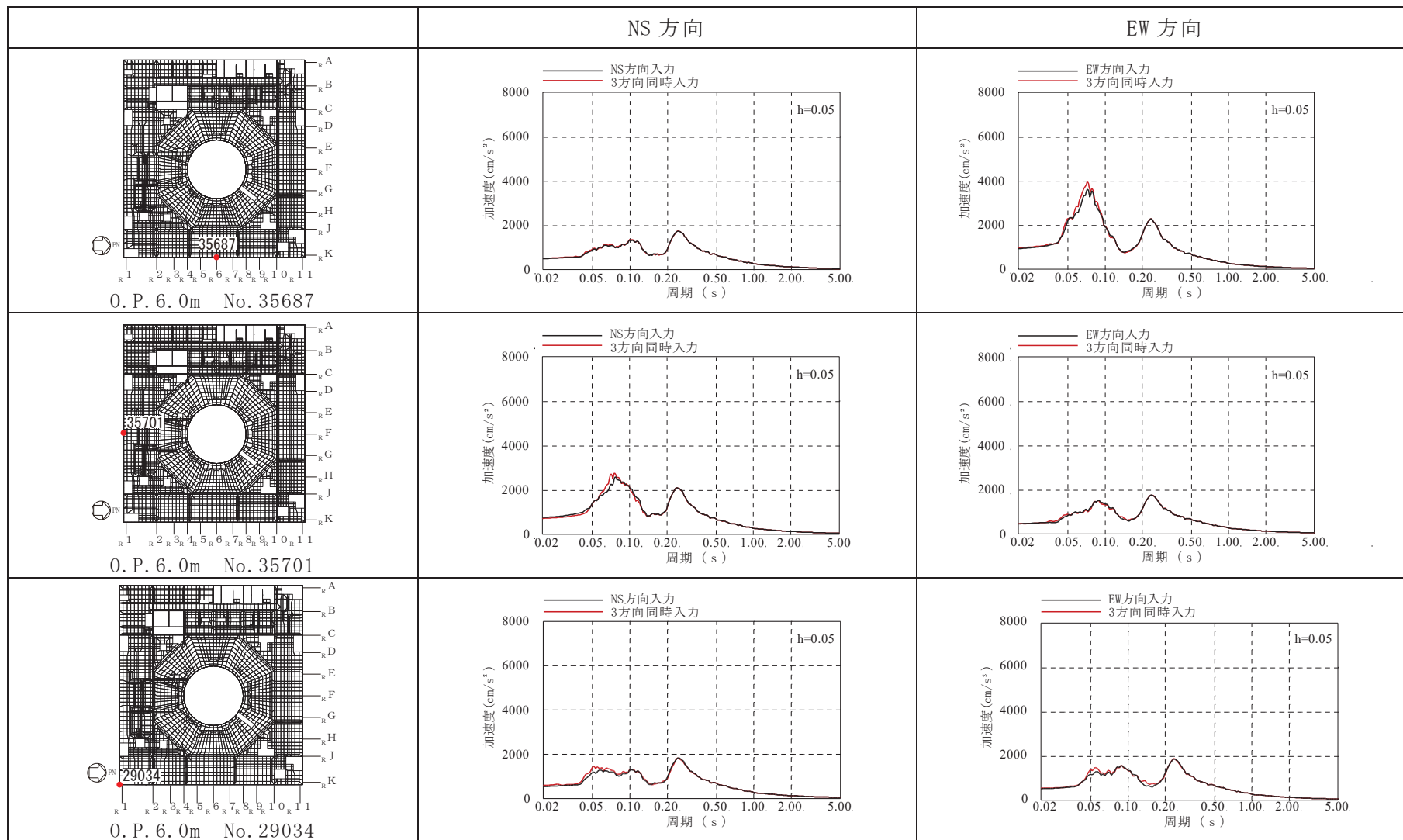


表 3-5(8) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (8/12)

(h) O. P. 6.0m

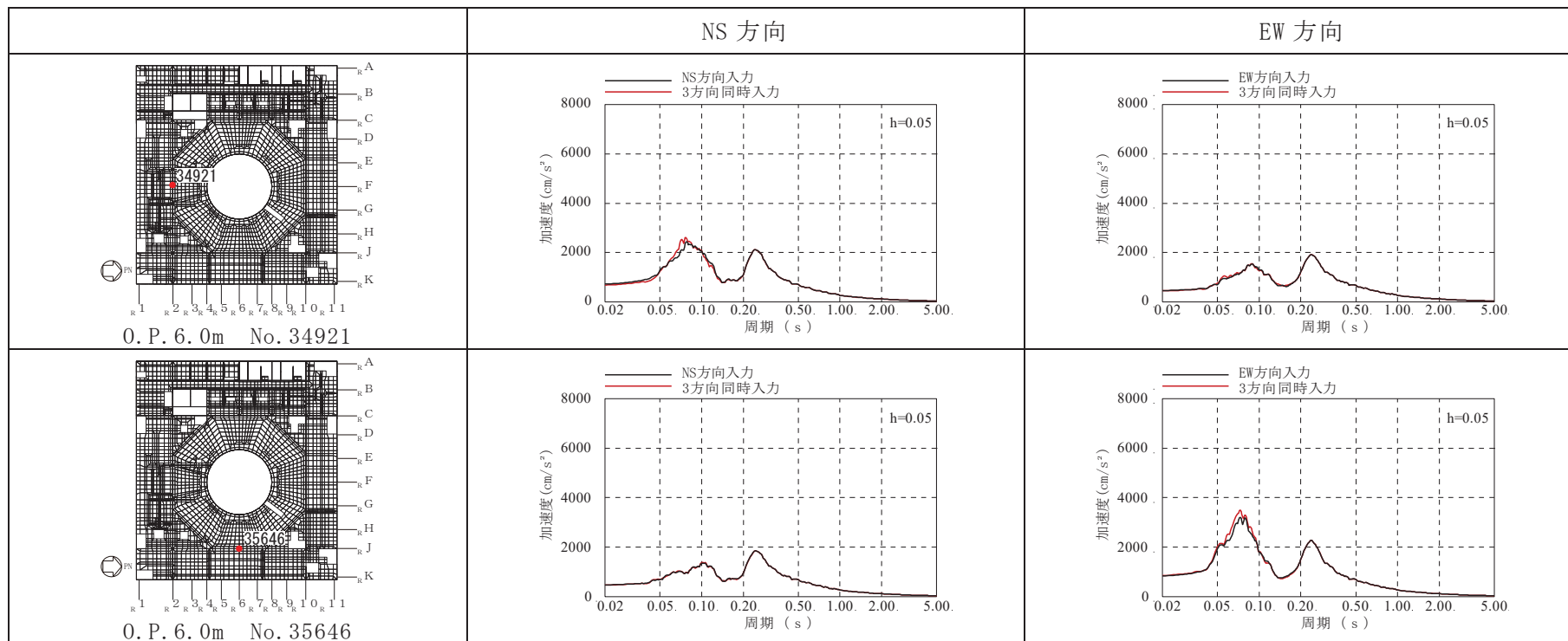


表 3-5(9) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (9/12)

(i) 0.P. -0.8m 外壁部

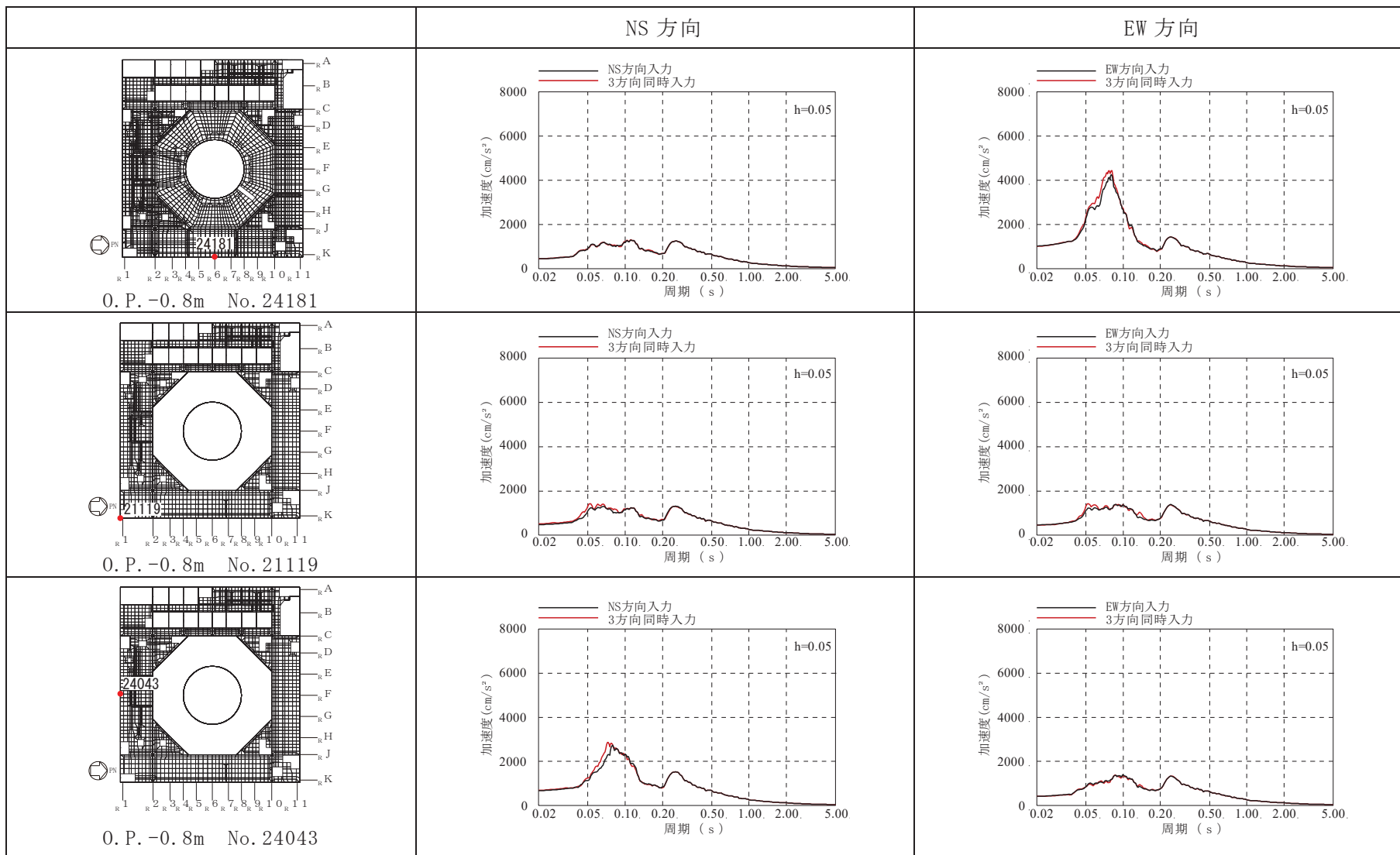


表 3-5(10) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (10/12)

(j) O. P. -0.8m

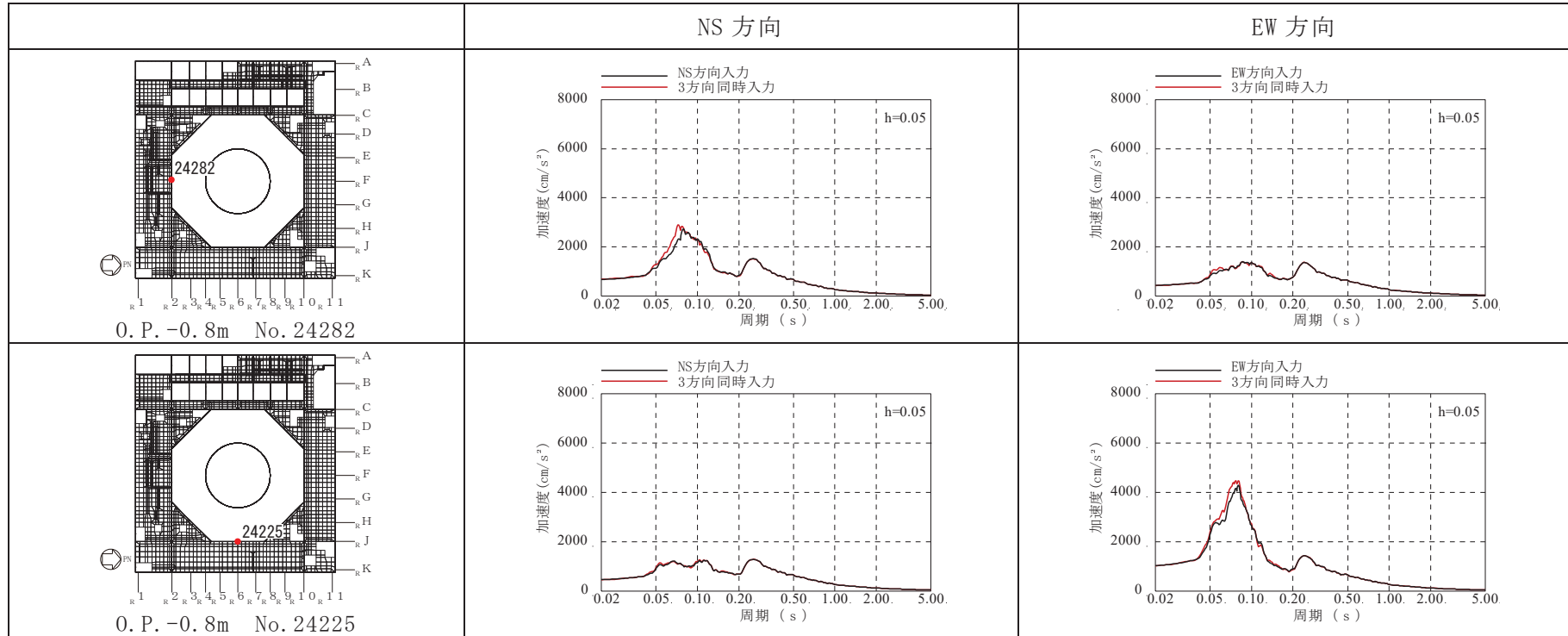


表 3-5(11) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (11/12)

(k) 0.P. -8.1m 外壁部

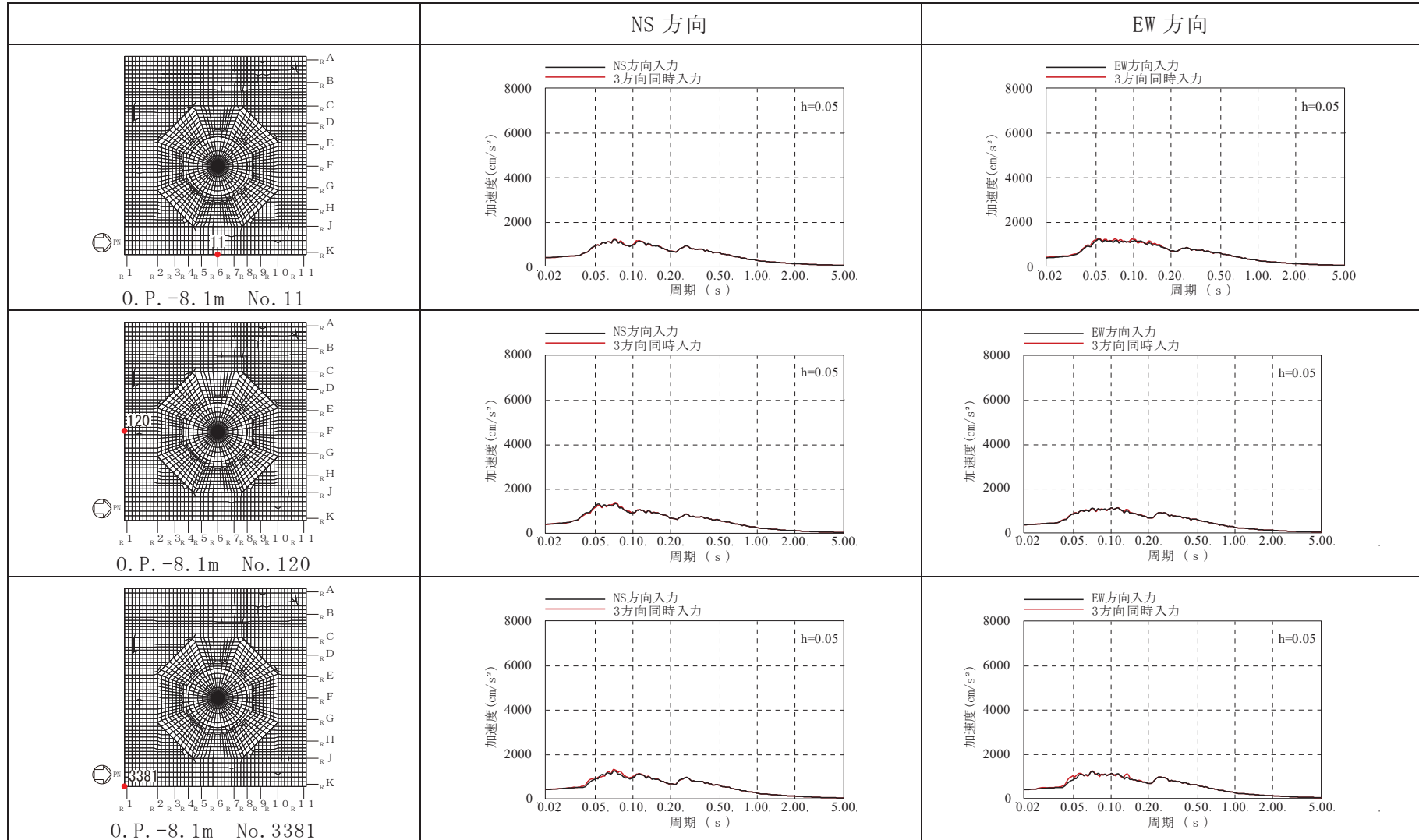
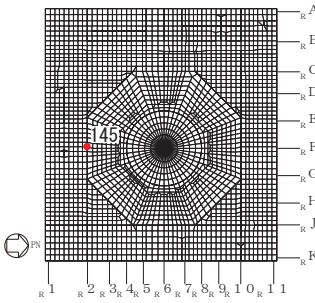
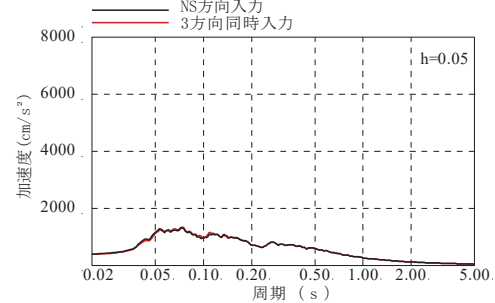
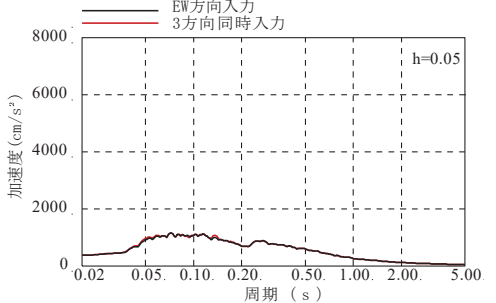
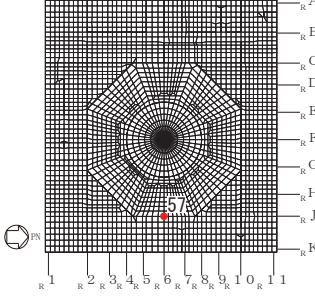
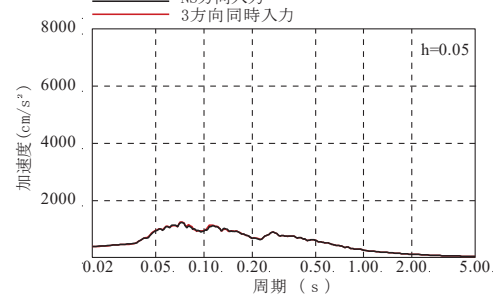
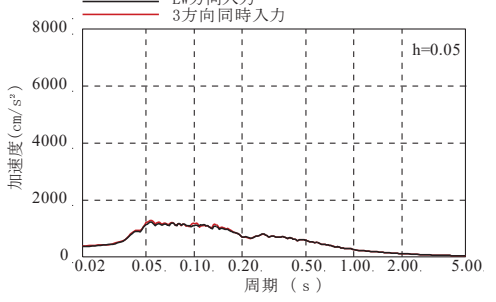
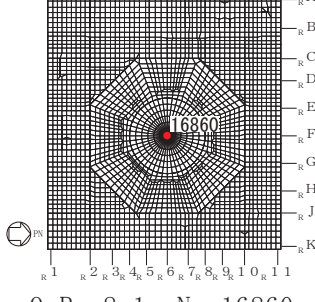
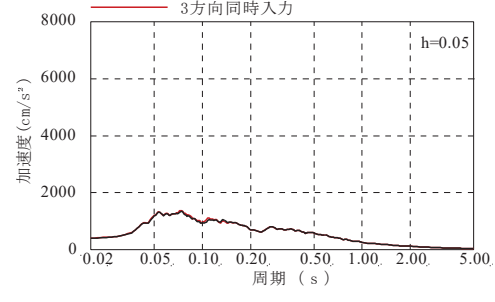
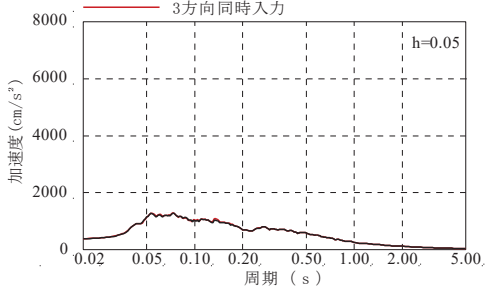


表 3-5(12) 3次元 FEM モデルの 3方向同時入力及び 1方向入力の応答比較 (S d - D 2) (12/12)

(1) O.P. -8.1m

	NS 方向	EW 方向
 <p>O.P. -8.1m No. 145</p>		
 <p>O.P. -8.1m No. 57</p>		
 <p>O.P. -8.1m No. 16860</p>		

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。

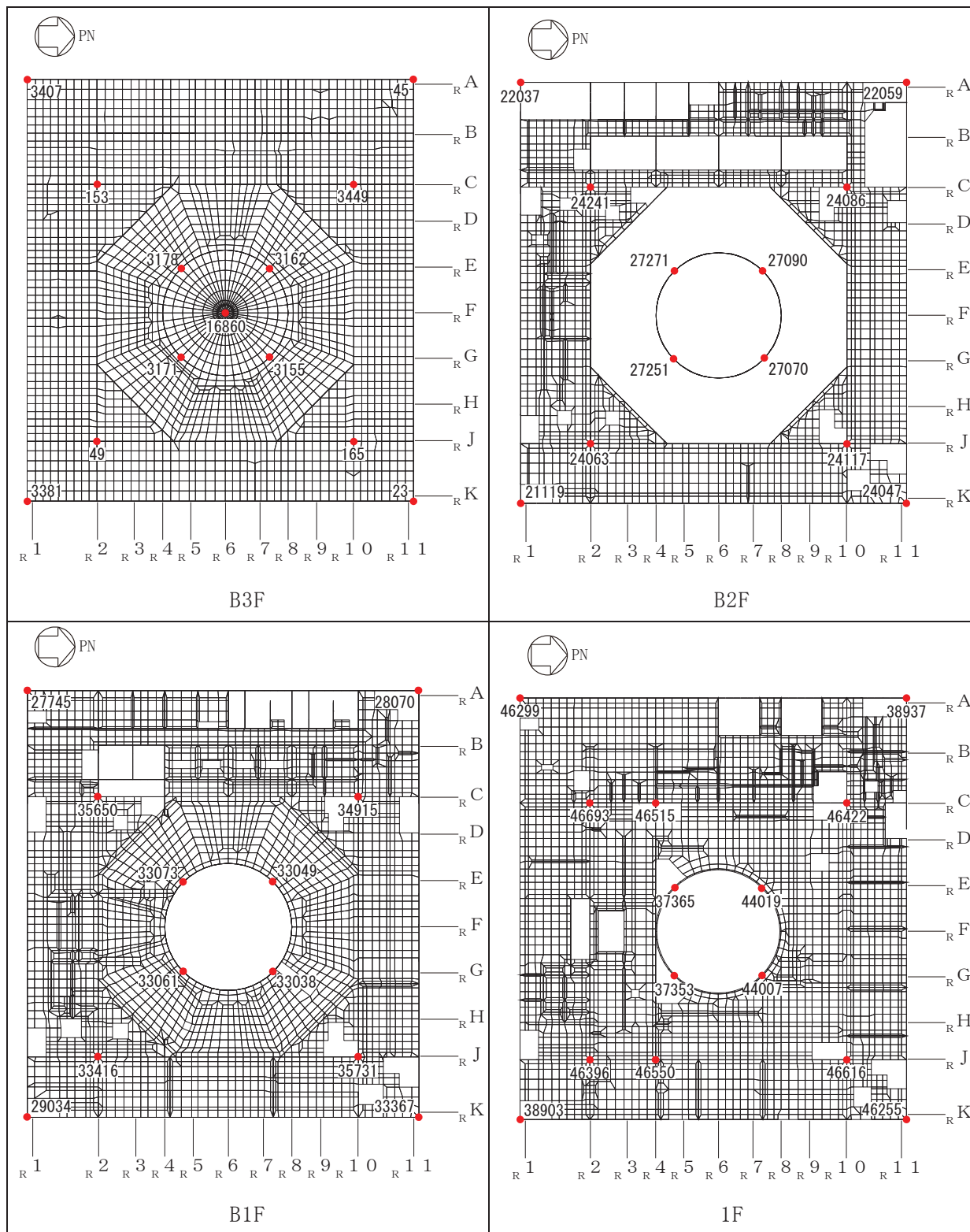


図 3-6(1) 応答評価位置(1/2)

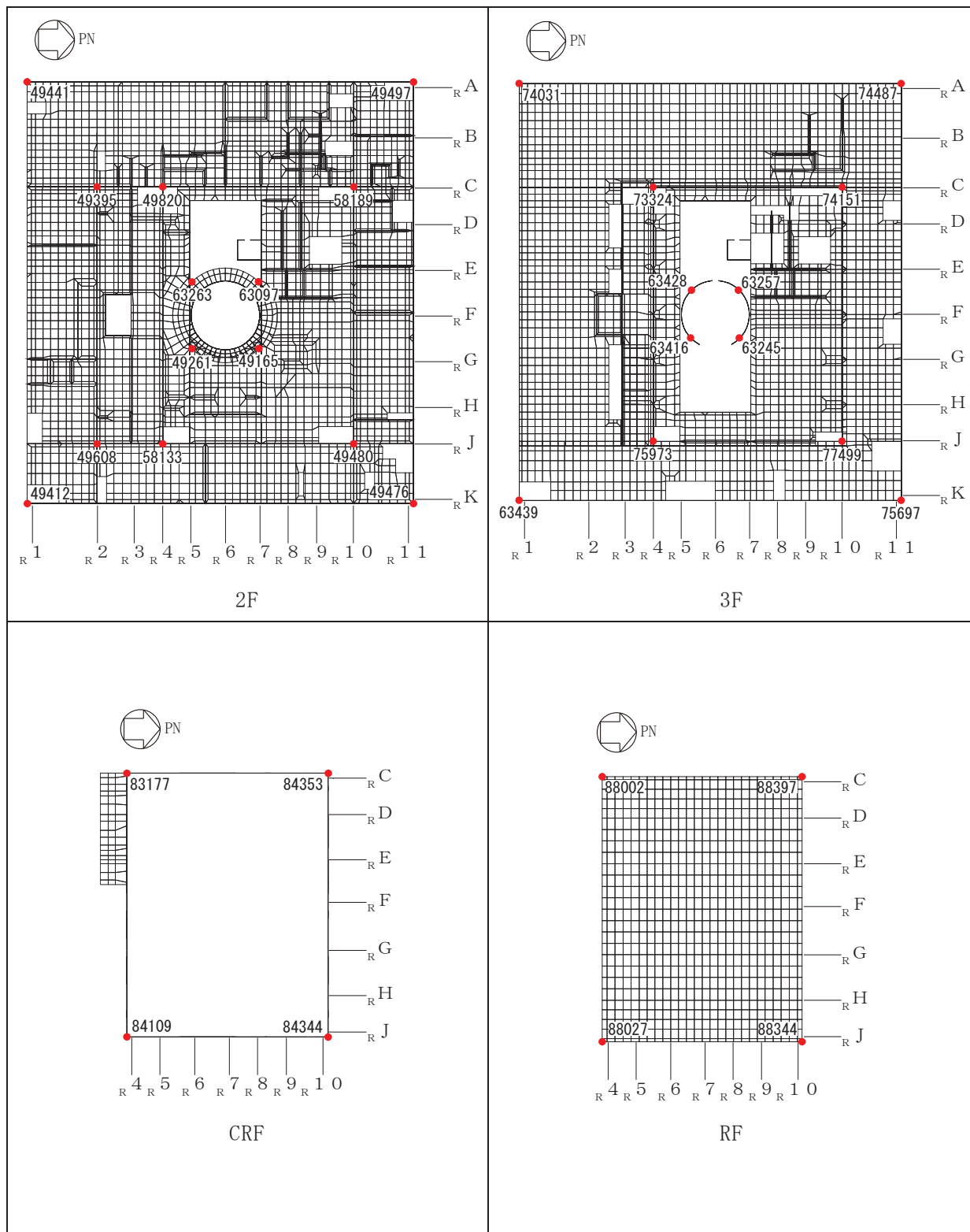
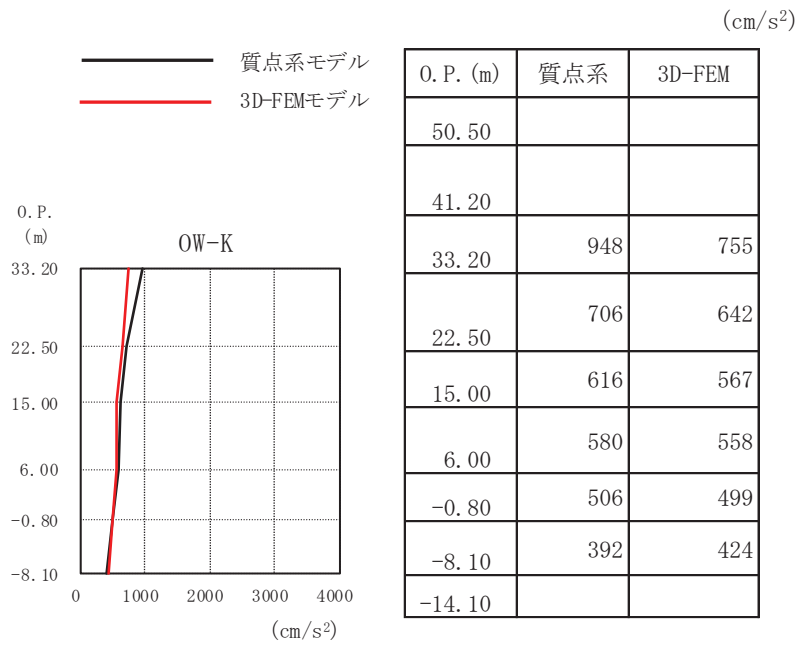
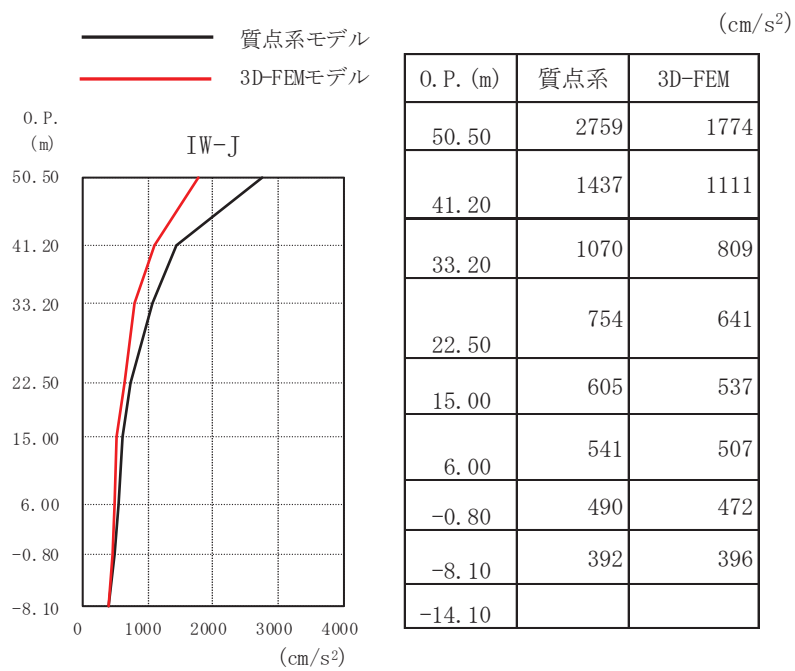


図 3-6 (2) 応答評価位置 (2/2)

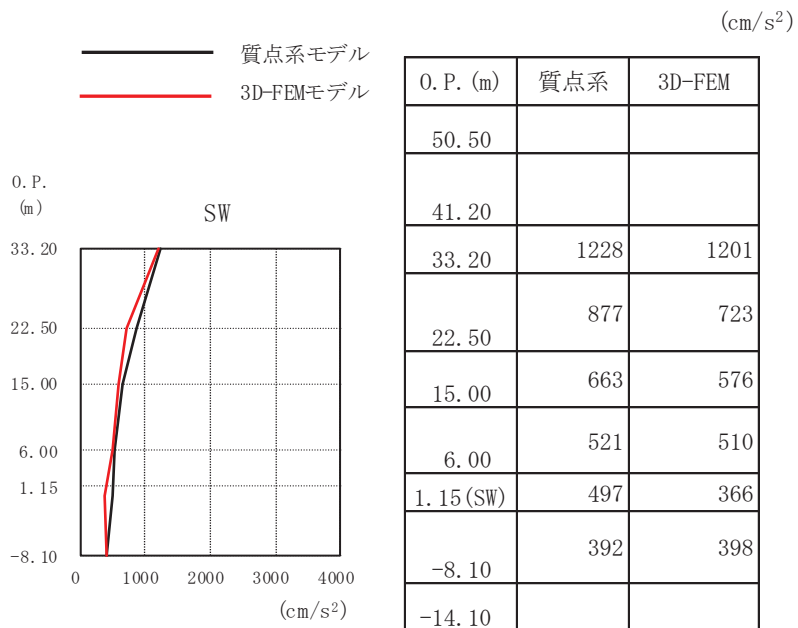


OW-K

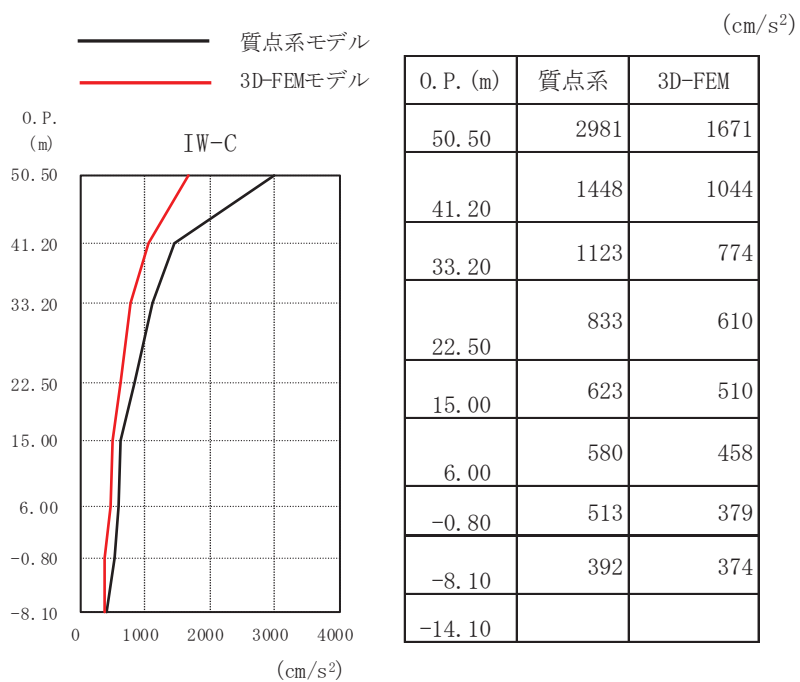


IW-J

図 3-7(1) 最大加速度の比較 NS 方向(1/3)



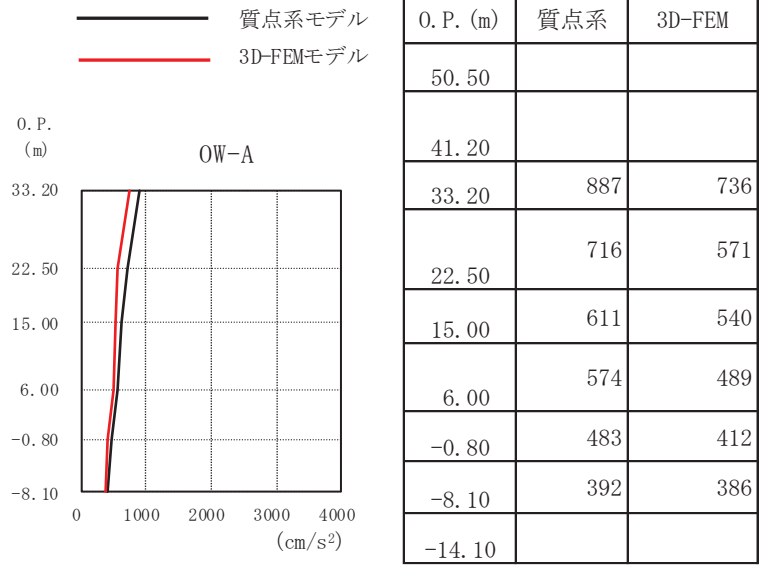
SW



IW-C

図 3-7(2) 最大加速度の比較 NS 方向 (2/3)

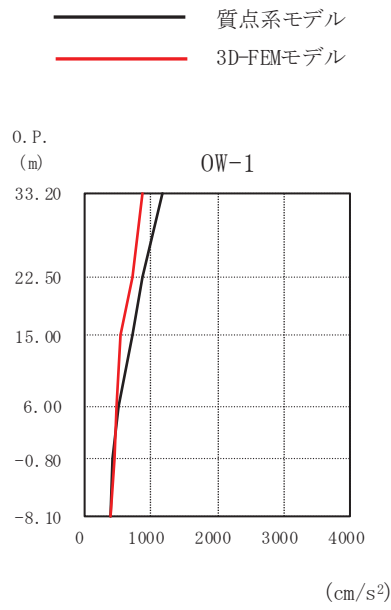
(cm/s²)



OW-A

図 3-7(3) 最大加速度の比較 NS 方向 (3/3)

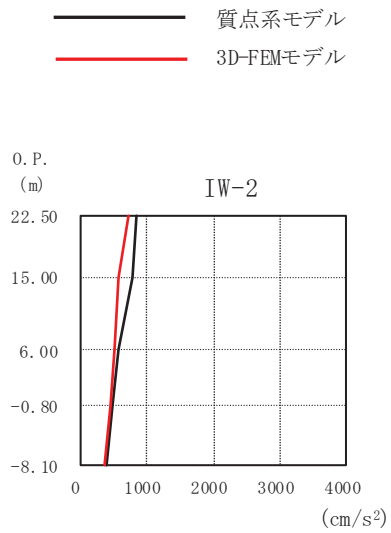
(cm/s²)



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

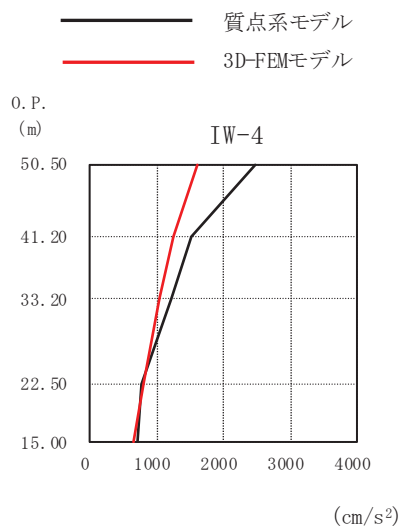
(cm/s²)



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

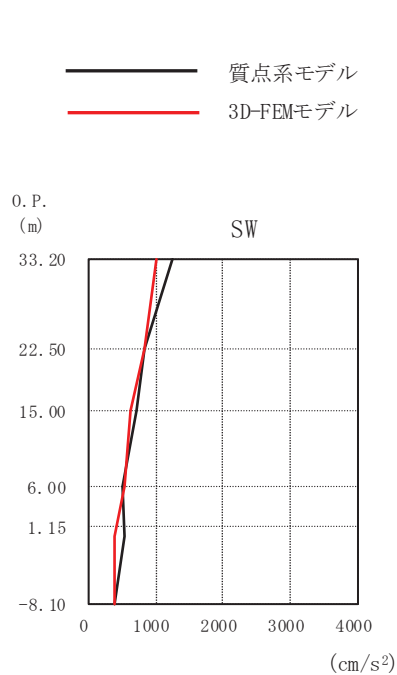
図 3-8(1) 最大加速度の比較 EW 方向 (1/3)



(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

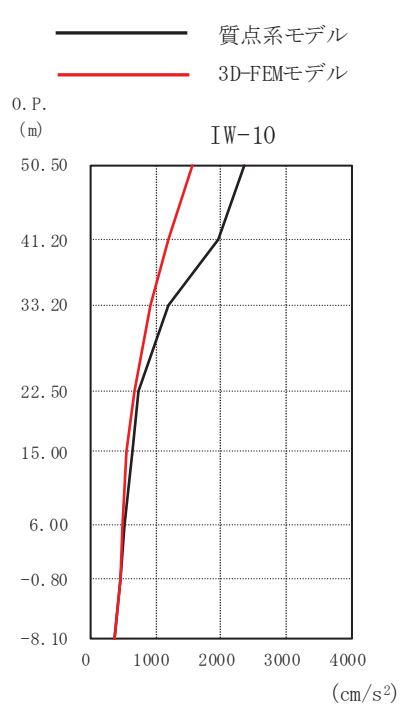


(cm/s²)

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

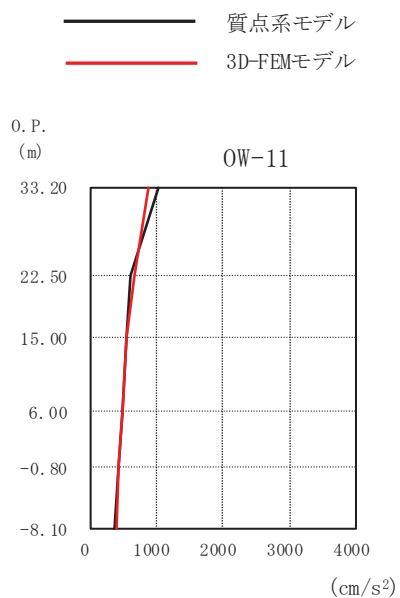
図 3-8(2) 最大加速度の比較 EW 方向 (2/3)



(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)