

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-024-4 改0
提出年月日	2023年12月19日

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について

2023年12月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 検討の目的	1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
2.1 柏崎刈羽7号機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	5
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	5
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影響評価部位の抽出結果	27
3.1.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針	29
3.1.6 主排気筒の検討	31
3.1.7 使用済燃料貯蔵プールの壁の検討	41
3.1.8 原子炉建屋の基礎スラブの検討	62
3.2 機器・配管系	78
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	78
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	79
3.2.3 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	79
3.2.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備(部位)の抽出	82
3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果	84
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	84
3.2.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	85
3.2.8 まとめ	86
3.3 屋外重要土木構造物	98
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	98
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	100
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	100
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	103
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	112
3.3.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	112
3.3.7 まとめ	113
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	114

別紙 1 評価部位の抽出に関する説明資料

別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査

別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析

別紙 4 機器・配管系に関する説明資料

別紙 5 方向性を考慮しない水平地震動における模擬地震波の作成方針

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附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（4.4.2 及び 5.5.2 も同様）

水平方向及び鉛直方向地震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・構築物の二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の組合せによる影響評価に用いる地震動

2.1 柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動

柏崎刈羽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」及び「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地震動として基準地震動 S_{s-1} 及び S_{s-3} 、断層モデルを用いた地震動として S_{s-2} 、 S_{s-4} ～ S_{s-7} を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動 S_{s-8} を策定している。

基準地震動 S_{s-1} ～ S_{s-8} のスペクトル図（水平方向）を図 2-1-1 に、基準地震動 S_{s-1} ～ S_{s-8} のスペクトル図（鉛直方向）を図 2-1-2 に示す。

- 基準地震動Ss-1H — 基準地震動Ss-5NS — 基準地震動Ss-8H
- 基準地震動Ss-2NS - - - 基準地震動Ss-5EW - - - 基準地震動Ss-6NS
- - - 基準地震動Ss-2EW - - - 基準地震動Ss-6EW - - - 基準地震動Ss-7NS
- 基準地震動Ss-3H - - - 基準地震動Ss-7EW
- 基準地震動Ss-4NS - - - 基準地震動Ss-8H
- - - 基準地震動Ss-4EW

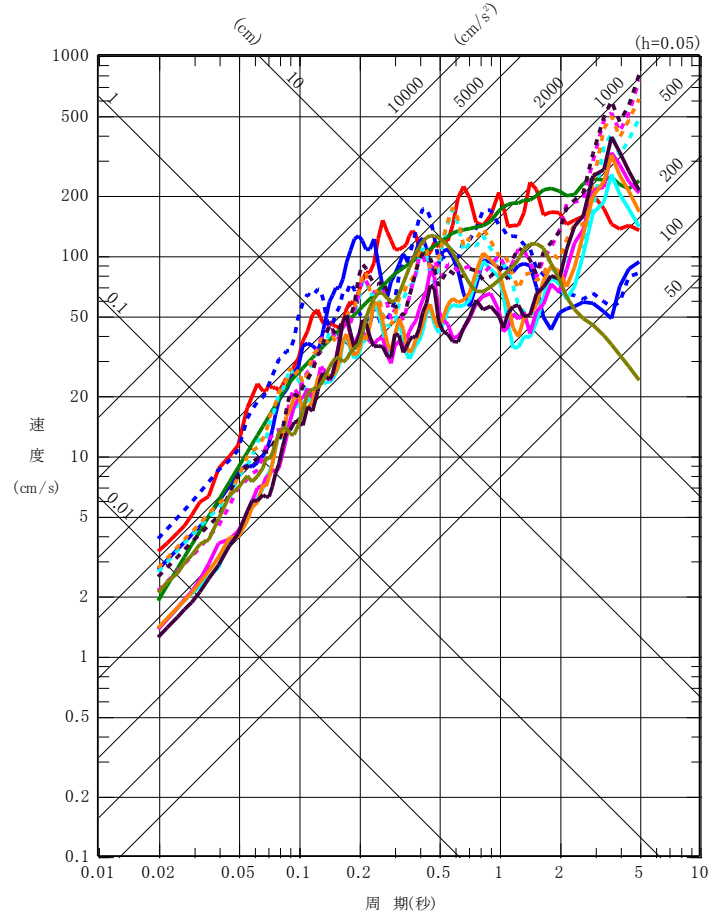


図 2-1-1 基準地震動の応答スペクトル（水平方向）（大湊側）

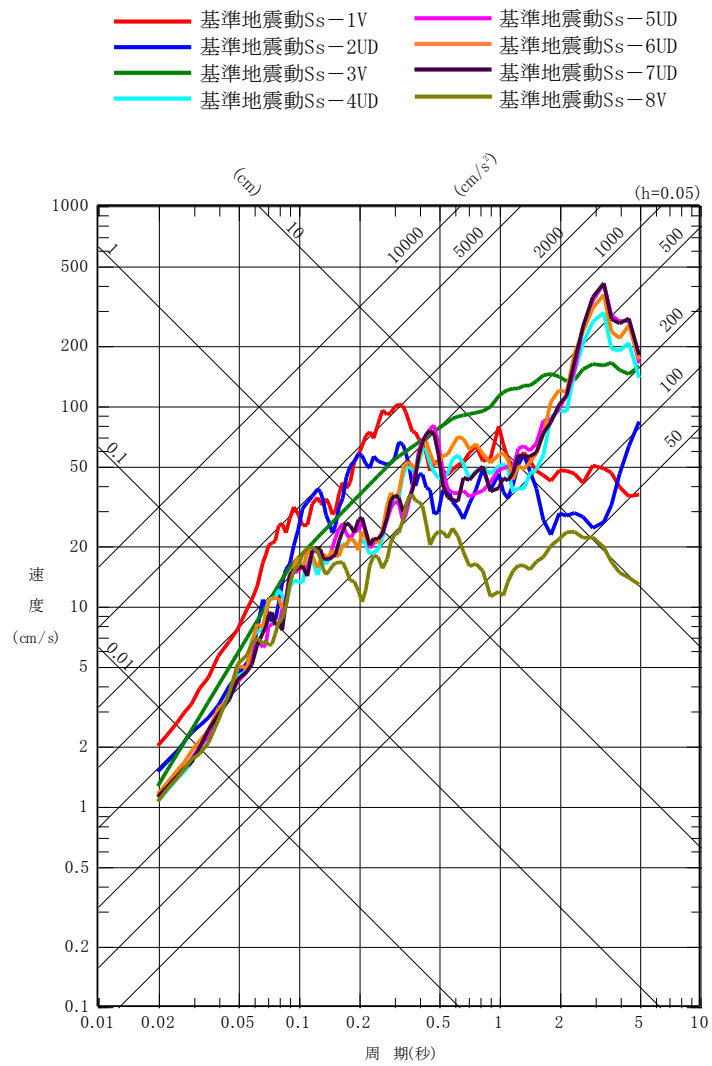


図 2-1-2 基準地震動の応答スペクトル（鉛直方向）（大湊側）

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は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、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-2-2「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」，VI-2-3～VI-2-10の各申請設備の耐震計算書及び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」における耐震性に関する説明が令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画によることとしている施設の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討については，令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画の説明資料「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について(KK7補足-024資料4)」による。

また，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，可搬型重大事故対象設備及び地下水排水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」

- ・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」

- ・VI-2-2-別添1-4

「地下水排水設備に係る施設の水平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」

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平 2 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

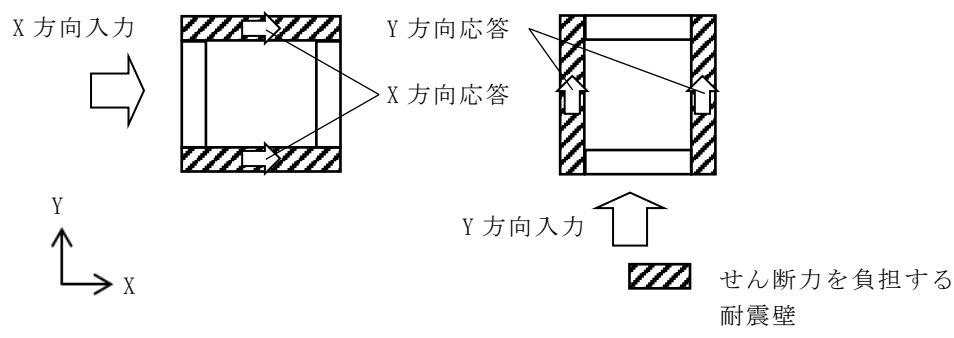
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、各水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルにそれぞれの方向ごとに入力し解析を行っている。また、原子炉施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

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は、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。

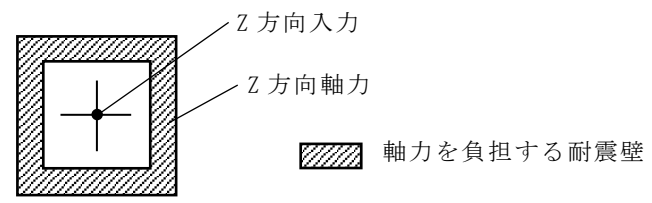
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に作用する軸力は、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

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、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」、VI-2-3～VI-2-10 の申請設備の耐震計算書及び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。

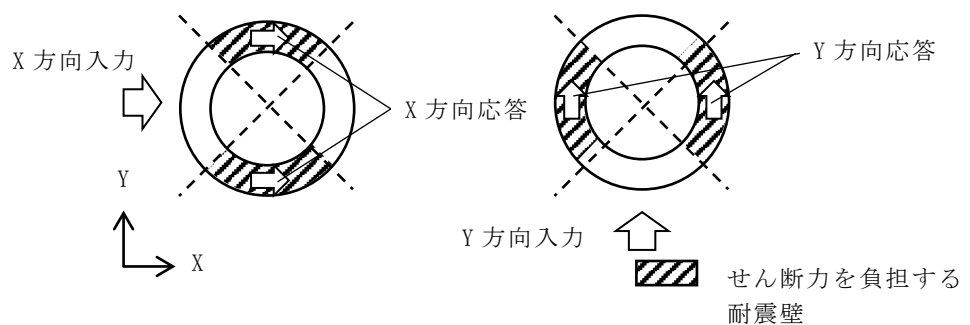


(a) 水平方向

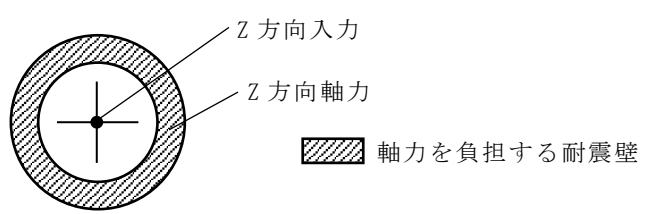


(b) 鉛直方向

図 3-1-1 入力方向ごとの耐震要素 (矩形)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

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

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の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の組合せ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。

影響評価のフローを図 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評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱及びはり）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、有する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、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

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、有する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、有する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、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を組み合わせることにより評価を行う場合は、米国 Regulatory Guide 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいて地震力を設定する。

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、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

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・配管系に対し、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。

注記* : Regulatory Guide 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

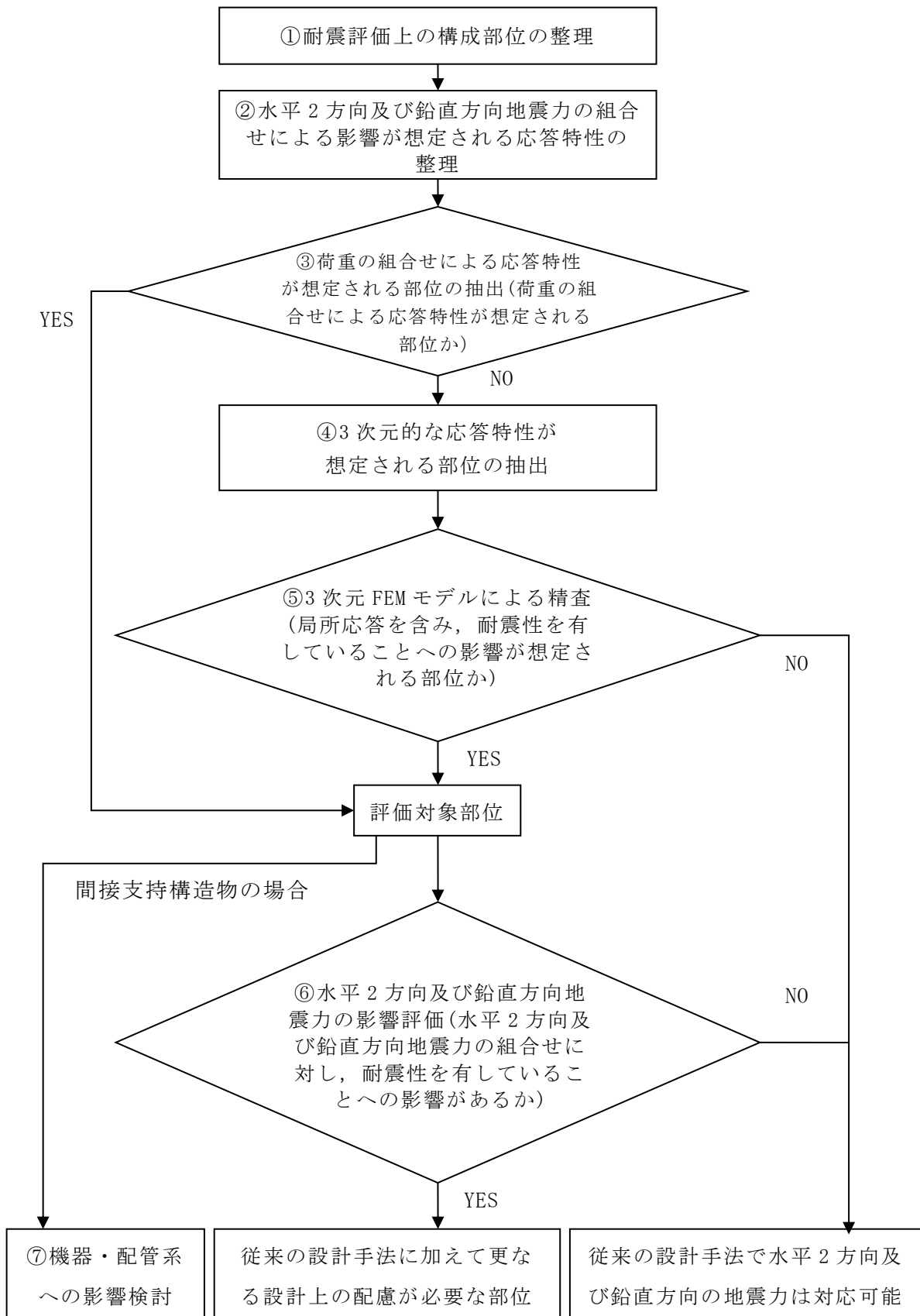
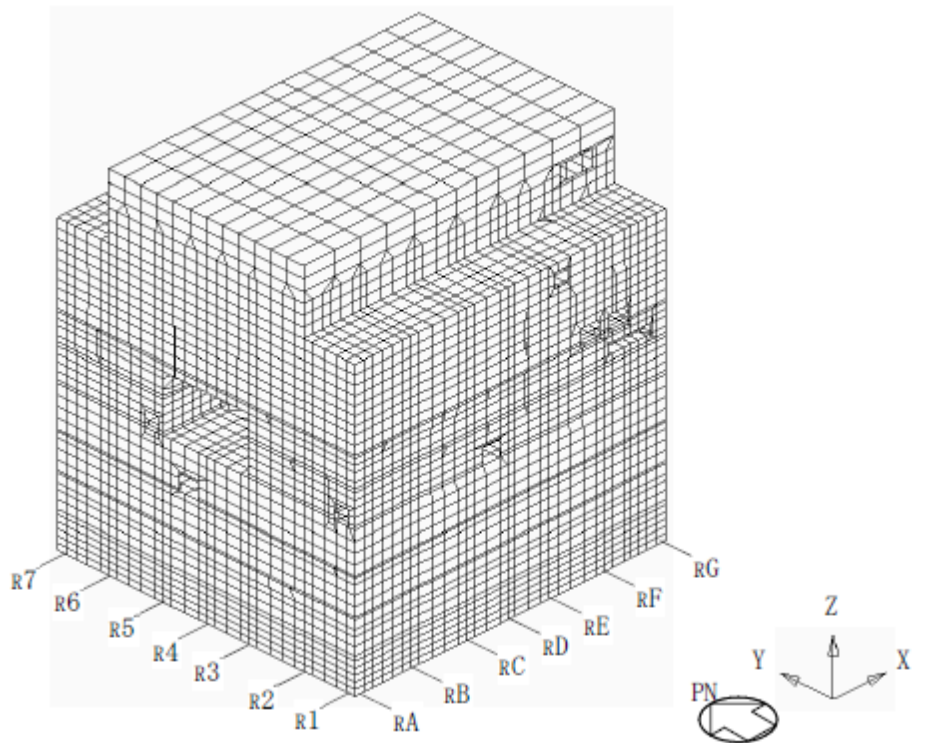
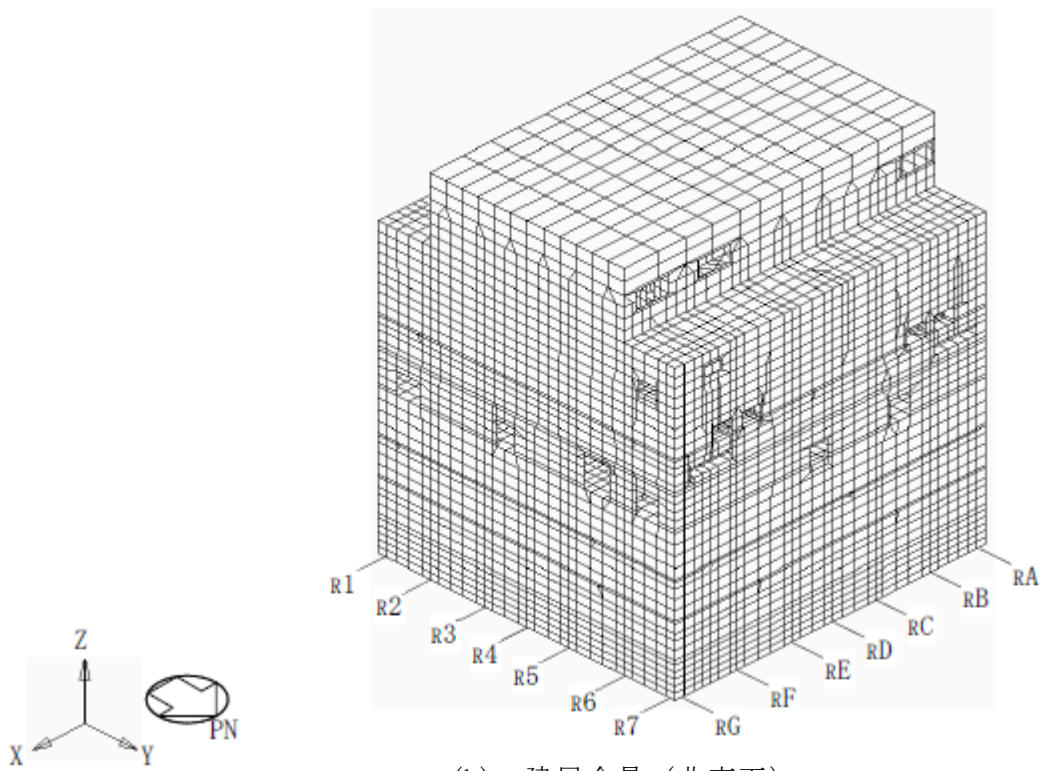


図3-1-3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討フロー
(建物・構築物)



(a) 建屋全景（南西面）



(b) 建屋全景（北東面）

図 3-1-4 原子炉建屋の 3 次元モデルの概要図

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，各建屋において，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 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理

耐震評価部位		原子炉建屋	タービン建屋	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC造	RC造
柱	一般部	○	○	○	○*1	—
	隅部	○	○	○	○*2	—
	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	基礎スラブ	○	○	○	—	○
	杭基礎	○	—	—	—	○

凡例 ○：対象の構造部材あり

—：対象の部材なし

注記*1：筒身を示す。

*2：基礎立上り部を含む。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物の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 方向入力のかえ方を表 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)

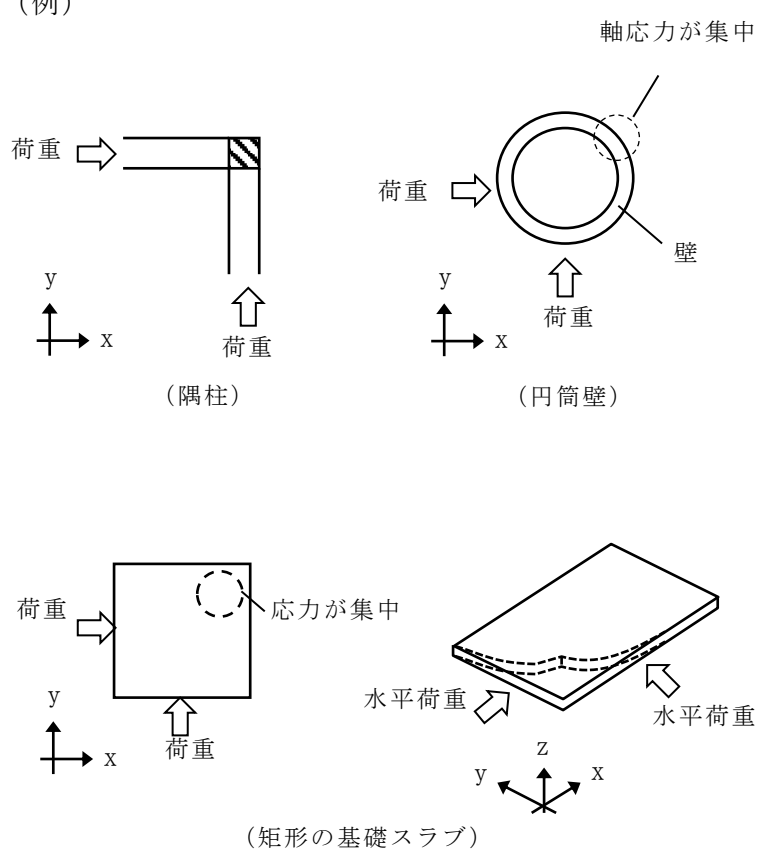
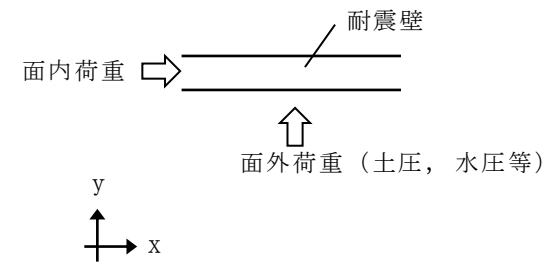
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>軸応力が集中 (隅柱)</p> <p>壁 (円筒壁)</p> <p>応力が集中 (矩形の基礎スラブ)</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

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

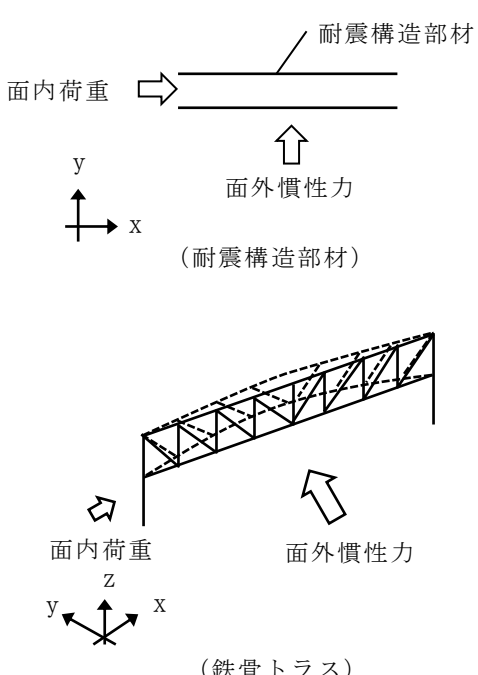
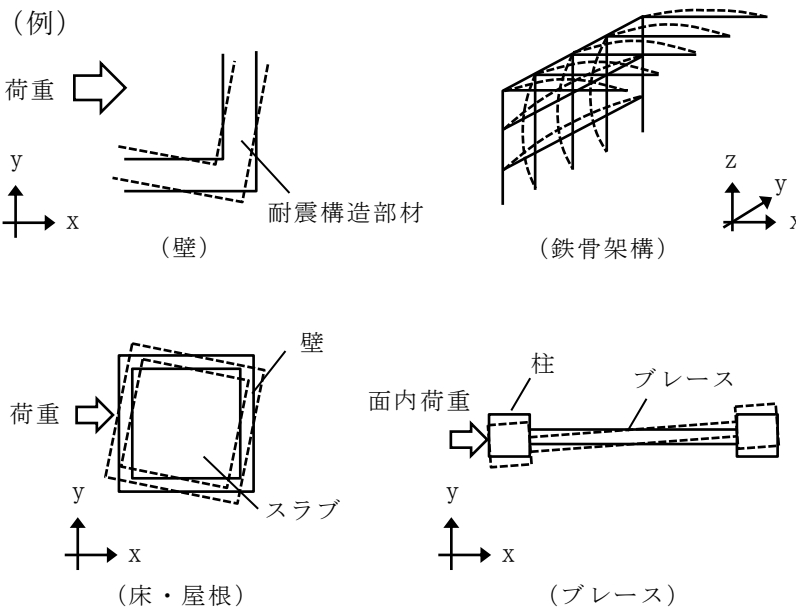
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物等含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(壁)</p> <p>(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

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

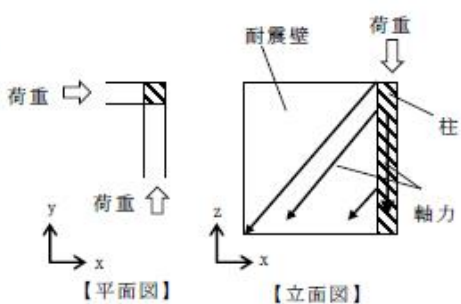
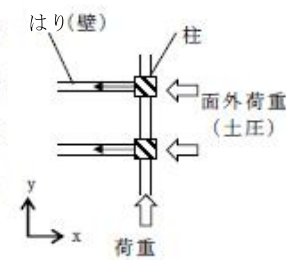
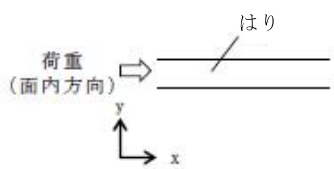
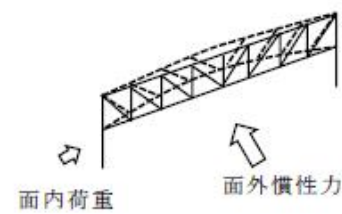
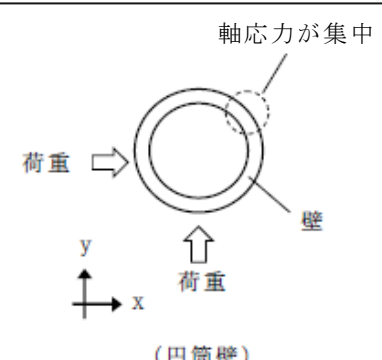
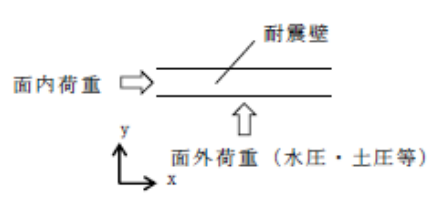
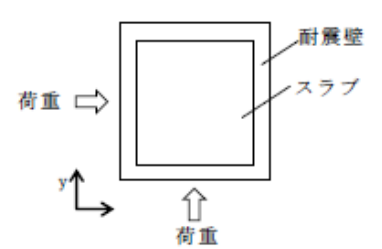
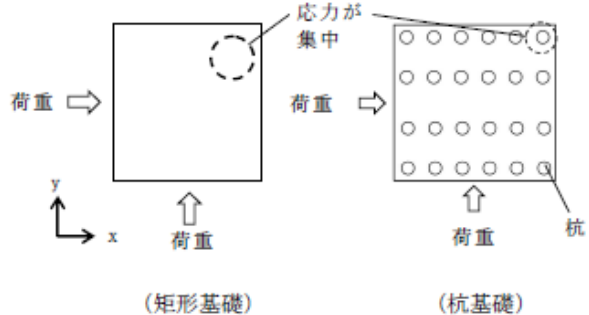
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p> 
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向 (土圧) の荷重が作用する。ただし、外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にあるはり及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
はり	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面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、床およ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>地下外周梁は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向 (土圧) の荷重が作用する。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、床およ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。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>  <p>(円筒壁)</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ており、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>  <p>(矩形基礎) (杭基礎)</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、主排気筒の柱（隅部）、原子炉建屋、原子炉建屋（大物搬入建屋）、タービン建屋、廃棄物処理建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎の基礎スラブ並びに原子炉建屋（大物搬入建屋）及び格納容器圧力逃がし装置基礎の杭基礎を抽出した。

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」する部位として原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）及び廃棄物処理建屋（復水貯蔵槽）の壁（一般部）並びに原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋及び 5 号機タービン建屋の壁（地下部）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、中柱の一般部は、応力が集中することはない。また、主排気筒の筒身については、鉄塔の中央で支持されており、応力が集中することはない。

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の隅柱は、耐震壁付きの隅柱であり、軸力が耐震壁に分散されることから応力が集中することはない。また、タービン建屋及び廃棄物処理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。

主排気筒の柱（隅部）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部が考えられるが、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、原子炉格納容器の円筒壁のように、建屋の中央付近に位置し、その外側にあるボックス型の耐震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」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、土圧や水圧が作用するプール部や地下部が考えられ、対象の建物・構築物の地下外壁、原子炉建屋の使用済燃料貯蔵プールの壁及び廃棄物処理建屋の復水貯蔵槽の壁を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、基礎スラブ及び杭が考えられる。原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎の基礎スラブ並びに大物搬入建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎の杭を①-1に該当するものとして抽出した。

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
(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)

耐震評価部位		原子炉建屋	タービン 建屋	廃棄物処理 建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC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	不要*	不要*	①-1要	—
	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	—
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
	鉄骨トラス	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
壁	一般部	①-2要 (使用済燃料貯蔵プール)	該当なし	①-2要 (復水貯蔵槽)	—	該当なし
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要	—	—
	鉄骨ブレース	—	該当なし	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	基礎スラブ	①-1要	①-1要	①-1要	—	①-1要
	杭基礎	①-1要 (大物搬入建屋)	—	—	—	①-1要

- 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* : 鉄骨造部の隅柱については、応力の集中が考えられるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

(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」可能性のある部位として、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」が発生する可能性のある部位として、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物・構築物の柱は各部とも、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」可能性のある部位には該当しない。また、対象の建物・構築物は、鉄筋コンクリート造の耐震壁又は鉄骨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鉄骨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」が発生する可能性のある部位にも該当しない。

主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」可能性の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」が発生する可能性の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や地下部は、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」可能性のある部位及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性の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やつなぎばりが存在し、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」可能性の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は該当しない。

e. 基礎

基礎スラブ及び杭は、(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既に抽出されている。

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
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震評価部位		原子炉建屋	タービン 建屋	廃棄物処理 建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC造	RC造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	—
	隅部	不要	不要	不要	要	—
	地下部	不要	不要	不要	—	—
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	—
	地下部	不要	不要	不要	—	—
	鉄骨トラス	不要	不要	不要	—	—
壁	一般部	要 (使用済燃料貯蔵プール) ②-1 (燃料取替床レベル)	不要*	要 (復水貯蔵槽)	—	不要
	地下部	要	要	要	—	—
	鉄骨ブレース	—	不要*	不要*	不要	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	—	—
基礎	基礎スラブ	要	要	要	—	要
	杭基礎	要 (大物搬入建屋)	—	—	—	要

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

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*: 大スパン部については, 面内荷重方向に加え, 面外慣性力の影響が大きいと考えられるが, 下部に上位クラス施設がないため不要とする。

(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 3次元 FEM モデルを用いた精査」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に有する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	局所的な応答	同上	原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁では、面外方向に応答が増幅する傾向が確認されたものの、保守的な静的応力解析モデルを用いた評価により面外慣性力によって生じる応力が、許容値を超えないことを確認した。よって、水平2方向及び鉛直方向地震力による耐震性への影響は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、主排気筒の支柱材（基礎立上り部を含む）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（使用済燃料貯蔵プール）の壁（一般部）を代表として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

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

主排気筒の支柱材（基礎立上り部を含む）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るが、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るが、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（使用済燃料貯蔵プール）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るが、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

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

応答特性	耐震評価部位		対象 建物・構築物	代表評価部位
	柱	隅部		
①-1	柱	隅部	・ <u>主排気筒</u>	主柱材（基礎立上り部を含む）を評価する。
	基礎	基礎スラブ ・ 杭基礎	・ <u>原子炉建屋</u> ・ 原子炉建屋（大物搬入建屋） ・ タービン建屋 ・ 廃棄物処理建屋 ・ 格納容器圧力逃がし装置基礎	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	水圧作用部 ・ 地下部	・ 原子炉建屋（壁地下部） ・ <u>原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）</u> ・ タービン建屋（壁地下部） ・ 廃棄物処理建屋（壁地下部） ・ 廃棄物処理建屋（復水貯蔵槽）	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代表として評価する。

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・構築物を示す。

3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針

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した。評価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) に基づいた評価により実施した。

表 3-1-9 評価に用いる地震動

耐震 評価部位		対象建物・構築物	評価に用いる 地震動	評価に用いる 理由
柱	隅部	主排気筒	基準地震動 Ss-1	全周期帯の応答が大きく、主排気筒への影響も大きい基準地震動 Ss-1 を用いる。
基礎	矩形	原子炉建屋	基準地震動 Ss-1～Ss-8	VI-2-9-3-4 の評価結果を用いるため、Ss-1～Ss-8 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする
壁	水圧 作用部	原子炉建屋（使用済 燃料貯蔵プール）	基準地震動 Ss-1～Ss-8	VI-2-4-2-1 の評価結果を用いるため、Ss-1～Ss-8 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする

3.1.6 主排気筒の検討

(1) 検討の概要

隅柱（基礎立上り部を含む）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。主排気筒の鉄塔部支柱材及び基礎立上り部は、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。

主排気筒は、原子炉建屋 $R1\sim R2$, $RC\sim RD$ 間の屋上（T.M.S.L. *38.2m）に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身（換気空調系用排気筒）を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた鉄塔支持形排気筒である。また、筒身内部には、非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。

主排気筒の基礎は、原子炉建屋と一体となった鉄骨鉄筋コンクリート造の立上り部である。ただし、基礎は鉄筋コンクリート造として評価する。

主排気筒の配置図を図 3-1-5 に、概要図を図 3-1-6 及び図 3-1-7 に示す。

注記*：東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

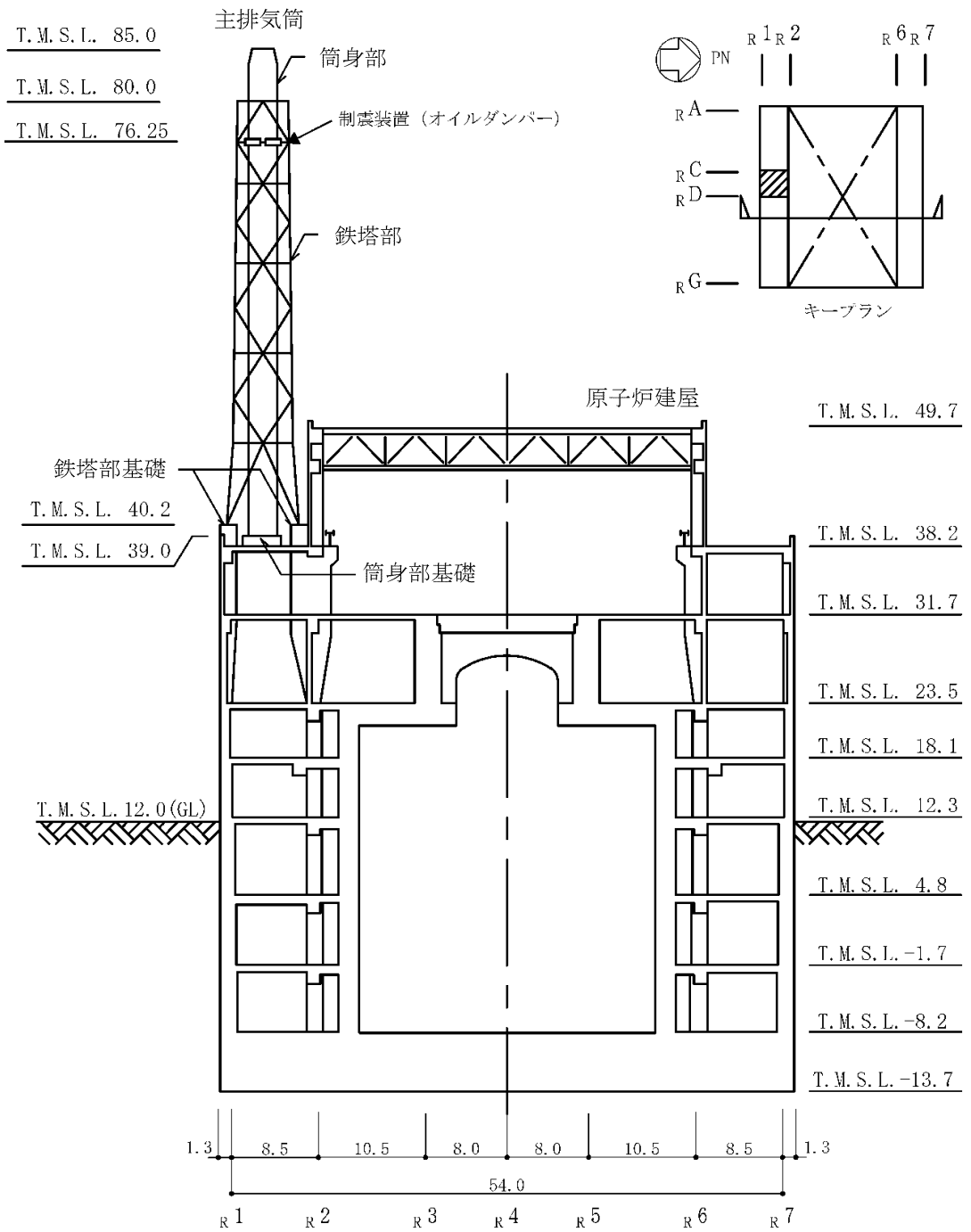
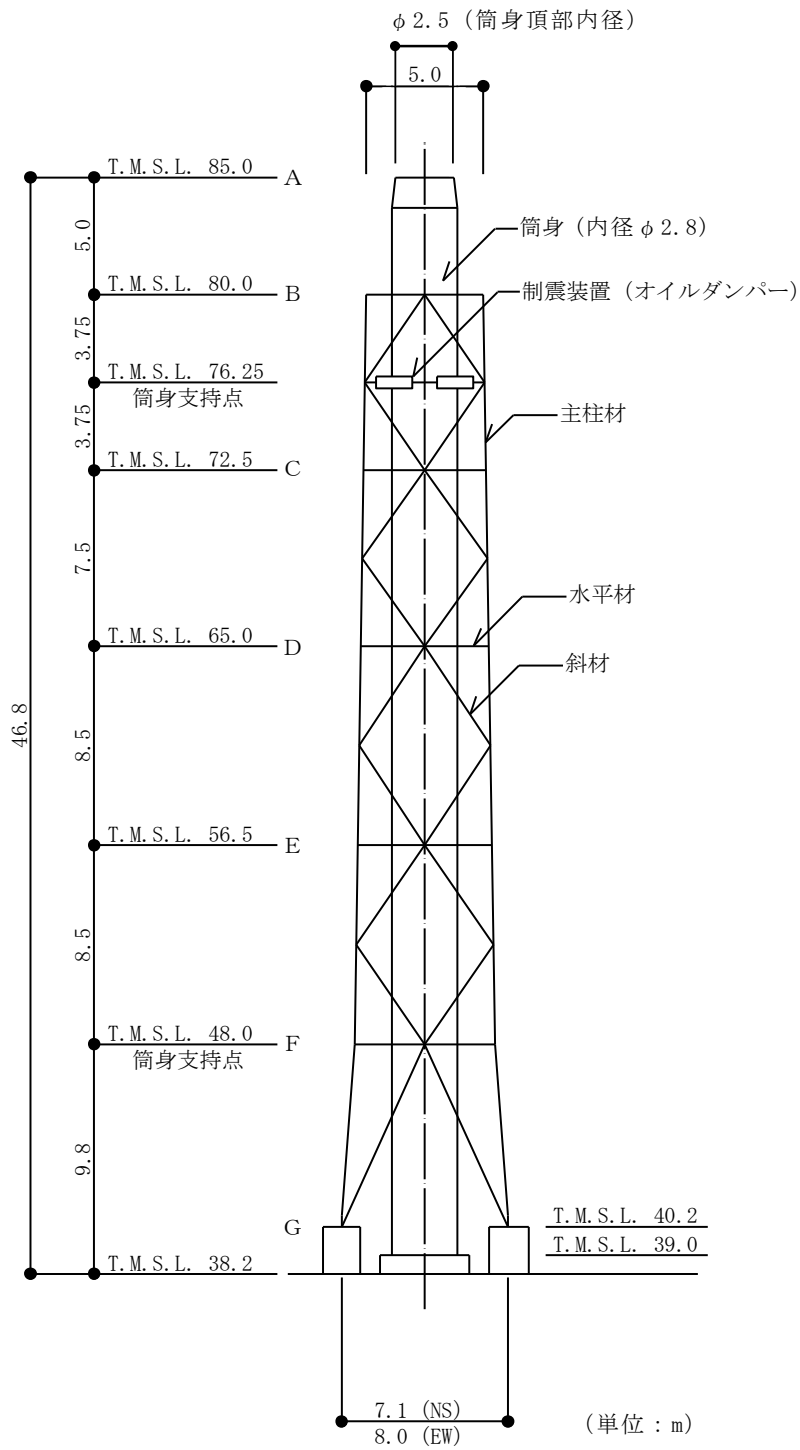


図 3-1-5 主排気筒配置図 (単位 : m)



		ϕ 318.5 \times 6	ϕ 406.4 \times 6.4	ϕ 508.0 \times 7.9	ϕ 609.6 \times 16	ϕ 711.2 \times 19	ϕ 406.4 \times 6.4	ϕ 406.4 \times 6.4	ϕ 558.8 \times 16	ϕ 406.4 \times 12.7	ϕ 355.6 \times 7.9	ϕ 216.3 \times 4.5	ϕ 216.3 \times 4.5	$t=6$
主柱材	筒身板厚	STK490[STK50]*	SMA400AP[SMA41A]*											
水平材		STK400[STK41]*												
斜材		STK490[STK50]*												
部材リスト (単位：mm)														

注記*： [] 内は従来標記を示す。

図 3-1-6 主排気筒概要図

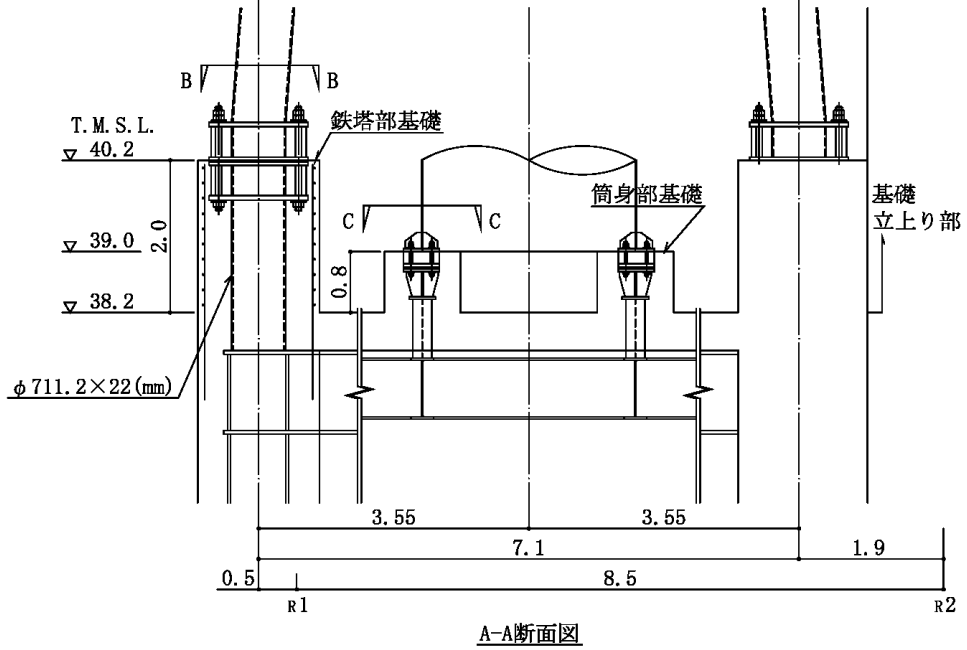
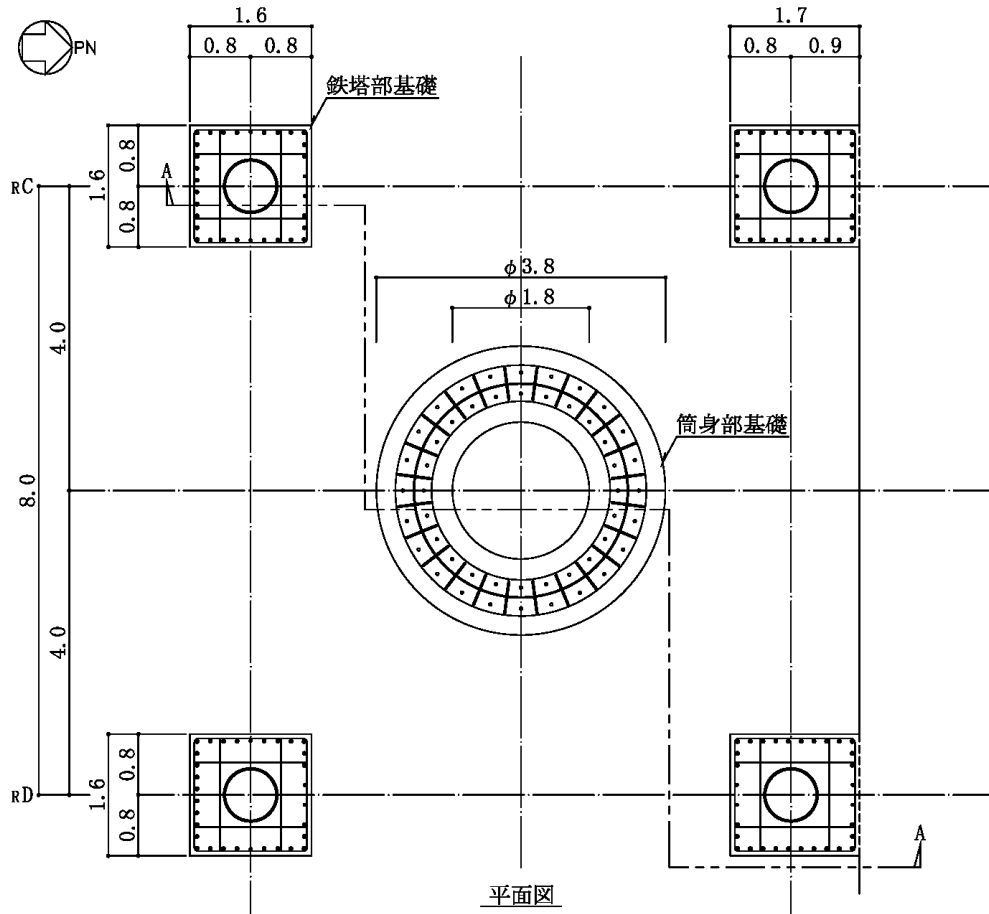


図 3-1-7 主排気筒の基礎の概要図 (単位 : m)

(2) 検討方針

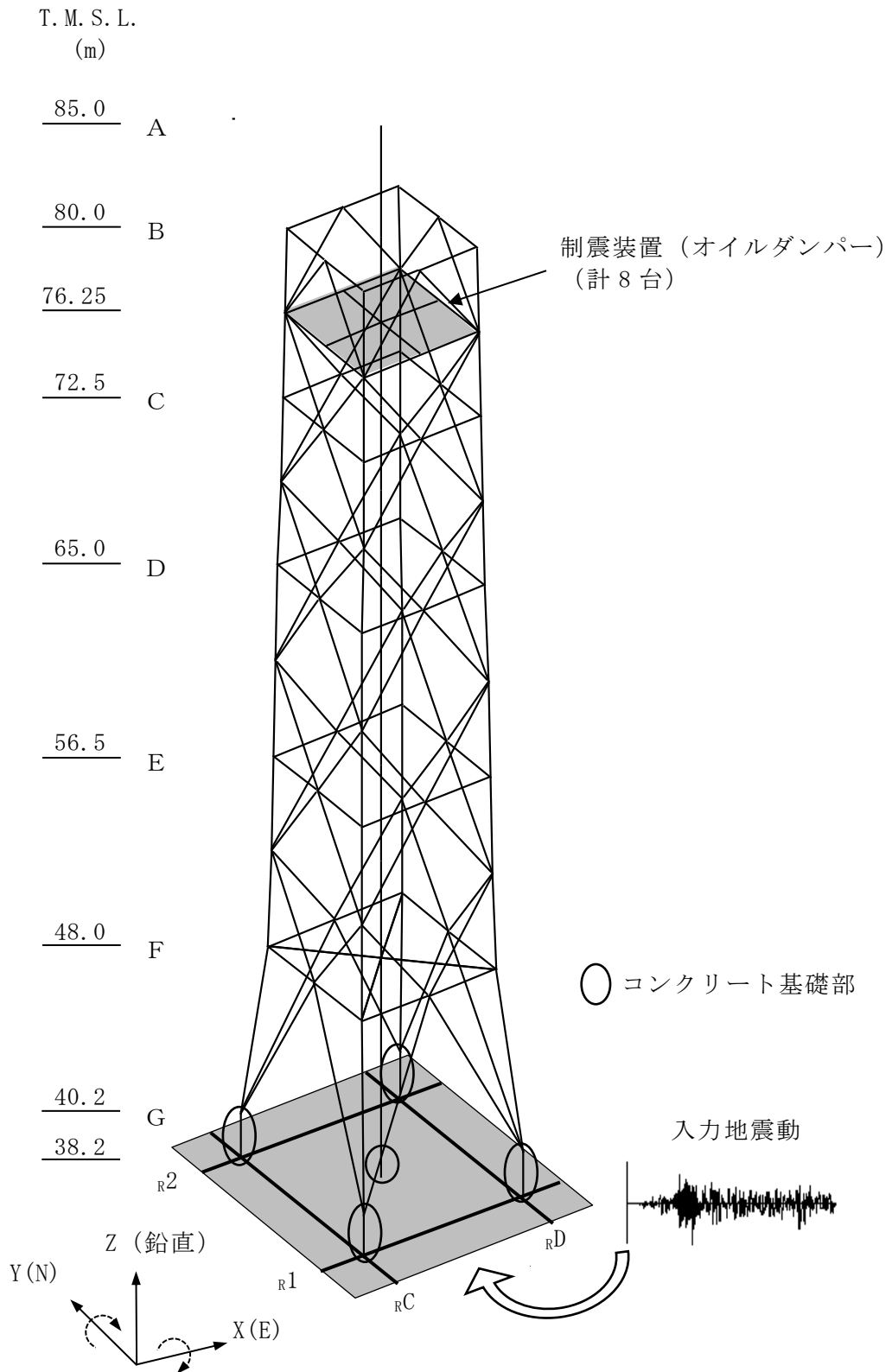
主排気筒の鉄塔のうち，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として，直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である鉄塔部支柱材及び基礎立上り部を対象に評価を行う。

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，主排気筒が有する耐震性に影響しないことを確認する。鉄塔部支柱材及び基礎（鉄塔部基礎ボルト及び鉄塔部基礎立上り部）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，VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示すものと同一である。

解析モデルを図 3-1-8 に示す。

なお，評価には解析コード「f a p p a s e」を用いる。



注：並進成分を実線で，回転成分を破線で示す。

図 3-1-8 主排気筒の解析モデル

(3) 入力地震動

主排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、Ss-1 による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる屋上レベル (T. M. S. L. 38. 2m) における応答値を用いる。

地震動の組合せを表 3-1-10 に示す。

VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」による評価では、3次元 FEM モデルを用いた上で、一部の地震動 (Ss-1~Ss-8 のうち、Ss-2 及び Ss-4~Ss-7 が該当) については 3 方向同時入力を行っている。そのため、3 方向同時入力を行っていない基準地震動 S s のうち、鉄塔部主柱材及び基礎への影響が大きい Ss-1 を検討に採用する。

地震動の入力方法は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づくものとする。

表 3-1-10 地震動の組合せ

地震動の入力方法	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
2 方向同時入力*1	Ss-1H による応答 (Ss-1NS)	—	Ss-1V による応答 (Ss-1UD)
	—	Ss-1H による応答 (Ss-1EW)	Ss-1V による応答 (Ss-1UD)
3 方向同時入力	Ss-1H による応答 (Ss-1NS)	模擬地震波*2 による応答	Ss-1V による応答 (Ss-1UD)

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、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示すものと同一である。

*2 : Ss-1H の設計用応答スペクトルに適合するが、Ss-1H とは位相特性が異なる模擬地震波である。位相特性が異なる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、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」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VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示す内容と同一である。

(6) 評価方法

Ss-1 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，各鉄塔部支柱材及び基礎（鉄塔部基礎ボルト及び基礎立上り部）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，VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」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 方向同時入力時の鉄塔部支柱材の検定値を表 3-1-11 に，鉄塔部基礎ボルトの検定値を表 3-1-12 に，鉄塔部基礎立上り部の検定値を表 3-1-13 に示す。

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増加傾向であるものの，各鉄塔部支柱材及び基礎の検定値が 1.0 を超えないことを確認した。

以上より，水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対し，主排気筒の鉄塔部支柱材及び基礎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 鉄塔部支柱材の検定値

部材間	使用部材 (STK490)	2方向同時入力		3方向 同時入力
		NS方向	EW方向	
B-C	φ 318.5×6	0.13	0.13	0.18
C-D	φ 406.4×6.4	0.52	0.49	0.68
D-E	φ 508.0×7.9	0.60	0.58	0.79
E-F	φ 609.6×16	0.63	0.56	0.79
F-G	φ 711.2×19	0.51	0.50	0.68

表 3-1-12 鉄塔部基礎ボルトの検定値

評価 対象部位	評価項目	2方向同時入力		3方向 同時入力
		NS方向	EW方向	
鉄塔部 基礎ボルト	引張応力度	0.57	0.50	0.75
	せん断応力度	0.19	0.16	0.24

表 3-1-13 鉄塔部基礎立上り部の検定値

評価 対象部位	評価項目	2方向同時入力		3方向 同時入力
		NS方向	EW方向	
コンクリート (1.6m×1.6m*)	鉄筋コンクリート部 主筋の応力度	0.65	0.53	0.80
	コンクリートの せん断応力度	0.53	0.44	0.66
鉄骨柱 (φ 711.2×22)	鉄骨柱の応力度	0.38	0.33	0.49

注記*：基礎寸法は2種類（1.6m×1.6m及び1.6m×1.7m）あるが、
ここでは断面性能の低い基礎（1.6m×1.6m）を評価対象とする。

(8) 検討のまとめ

隅柱（基礎立上り部を含む）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主排気筒の鉄塔部支柱材及び基礎立上り部について、主排気筒の 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、水平 1 方向及び鉛直方向入力時の検定値と比較し、水平 2 方向及び鉛直方向入力時の検定値は増加傾向であるものの、これらの検定値が 1.0 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、隅柱（基礎立上り部を含む）が有する耐震性への影響が無いことを確認した。

3.1.7 使用済燃料貯蔵プールの壁の検討

(1) 検討の概要

使用済燃料貯蔵プールの壁は、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。

使用済燃料貯蔵プールは、原子炉建屋の燃料取替床 (T.M.S.L. 31.7m) 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。使用済燃料貯蔵プール内には、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。使用済燃料貯蔵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。

使用済燃料貯蔵プールの大きさは、内面寸法で平面 17.9m×14.0m、深さ 11.82m、壁厚 2.0m、底面スラブ厚 2.3m である。

使用済燃料貯蔵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 3-1-9 及び図 3-1-10 に、使用済燃料貯蔵プール周りの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-11 及び図 3-1-12 に示す。

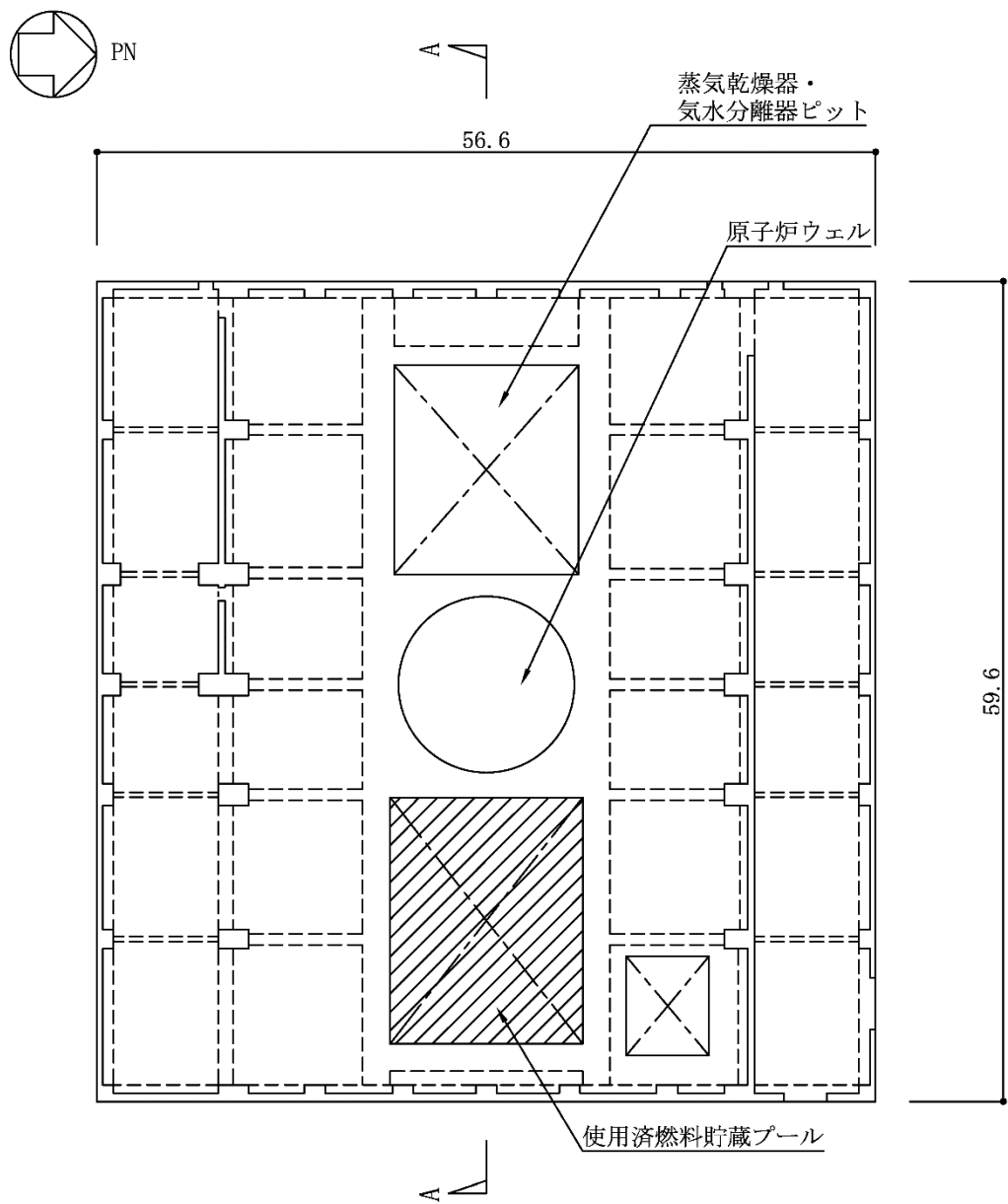
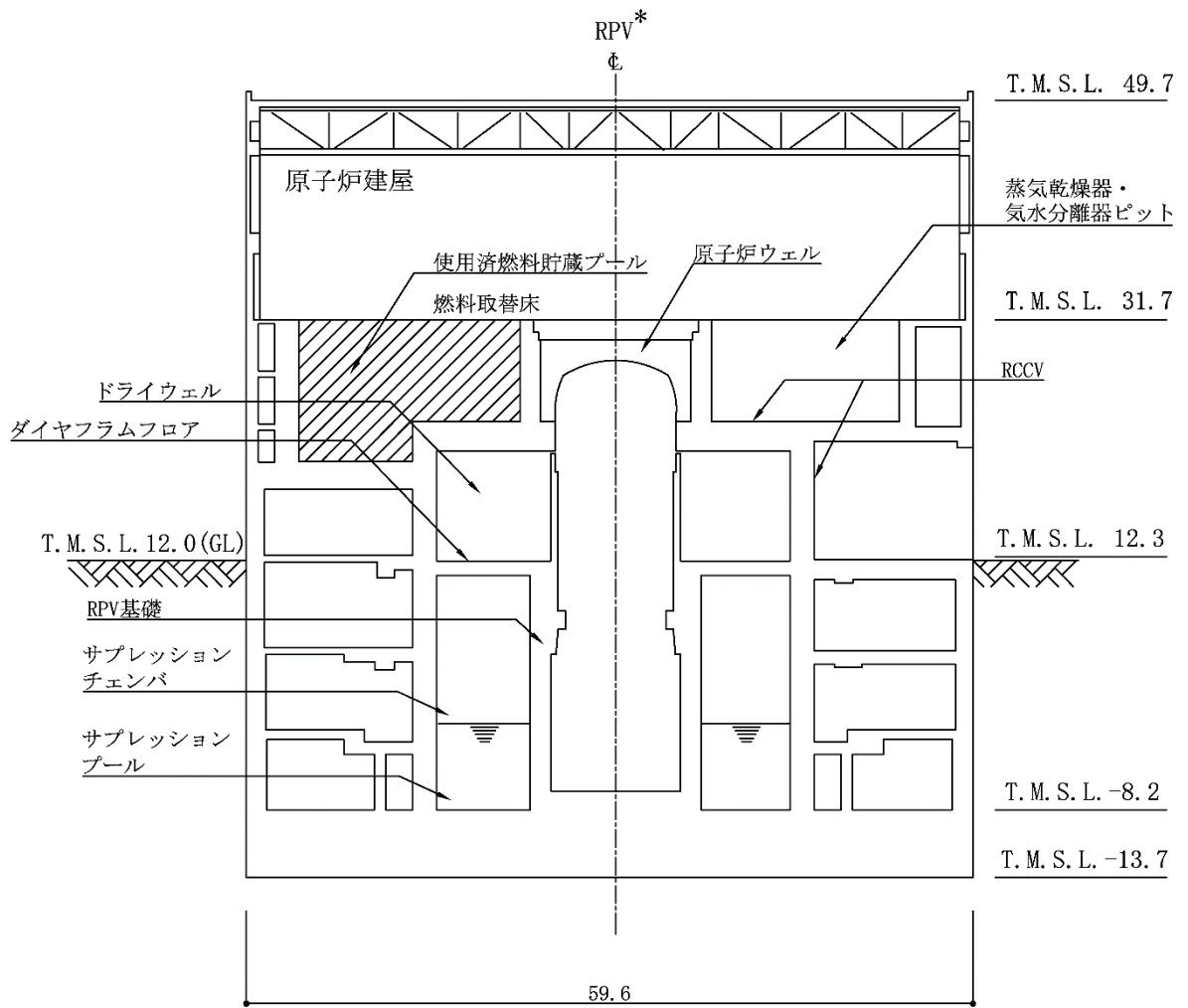


図 3-1-9 使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 31.7m)
(単位 : m)



注記*：原子炉圧力容器を、以下「RPV」という。

図 3-1-10 使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略断面図
(A-A 断面) (単位：m)

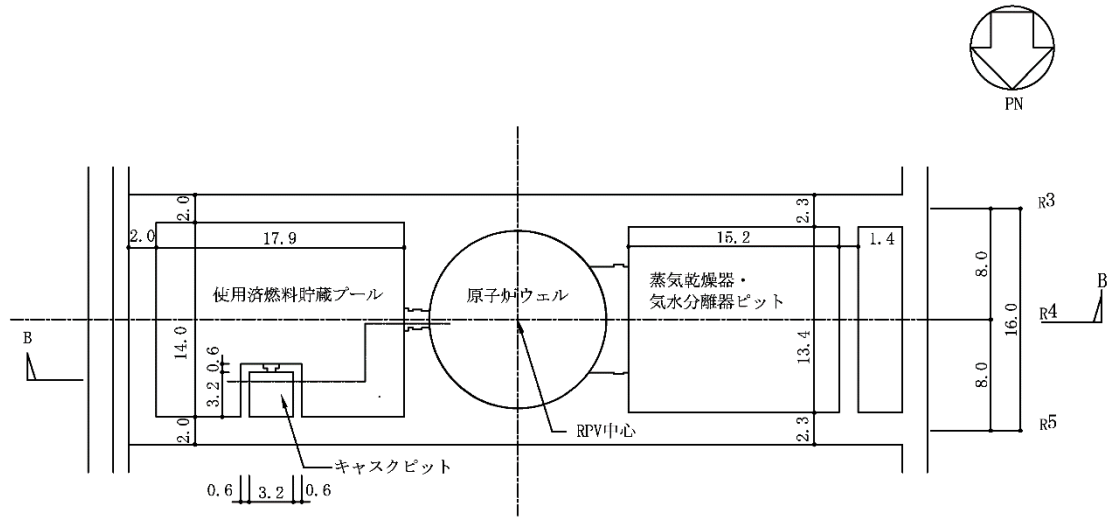


図 3-1-11 使用済燃料貯蔵プール周りの概略平面図 (単位 : m)

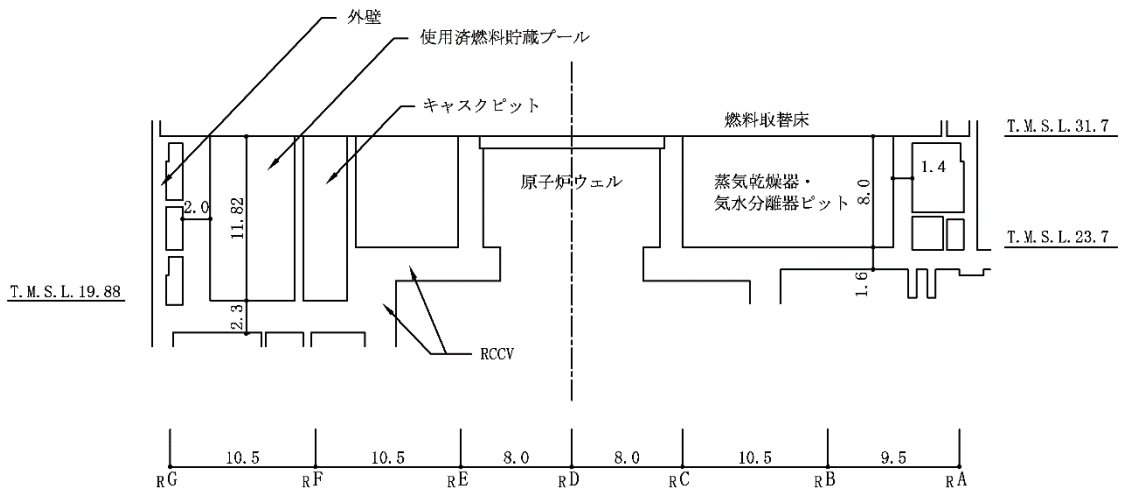


図 3-1-12 使用済燃料貯蔵プール周りの概略断面図
(B-B 断面) (単位 : m)

(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貯蔵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、VI-2-4-2-1「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット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。

なお、応力解析には解析コード「ABAQUS」を用いる。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、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 3-1-14 に示す。荷重の詳細は、SFP の耐震計算書の「3.2.1 荷重」に示す死荷重及び活荷重 (DL)、運転時圧力 (P_1)、逃がし安全弁作動時荷重 (H_1)、地震荷重 (K_s)、地震時配管荷重 (R_s) 及び地震時動水圧荷重 (KH_s) と同一である。

表 3-1-14 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	$DL + P_1 + H_1 + K_s + R_s + KH_s$

DL	: 死荷重及び活荷重
P_1	: 運転時圧力
H_1	: 逃がし安全弁作動時荷重
K_s	: 地震荷重
R_s	: 地震時配管荷重
KH_s	: 地震時動水圧荷重

(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

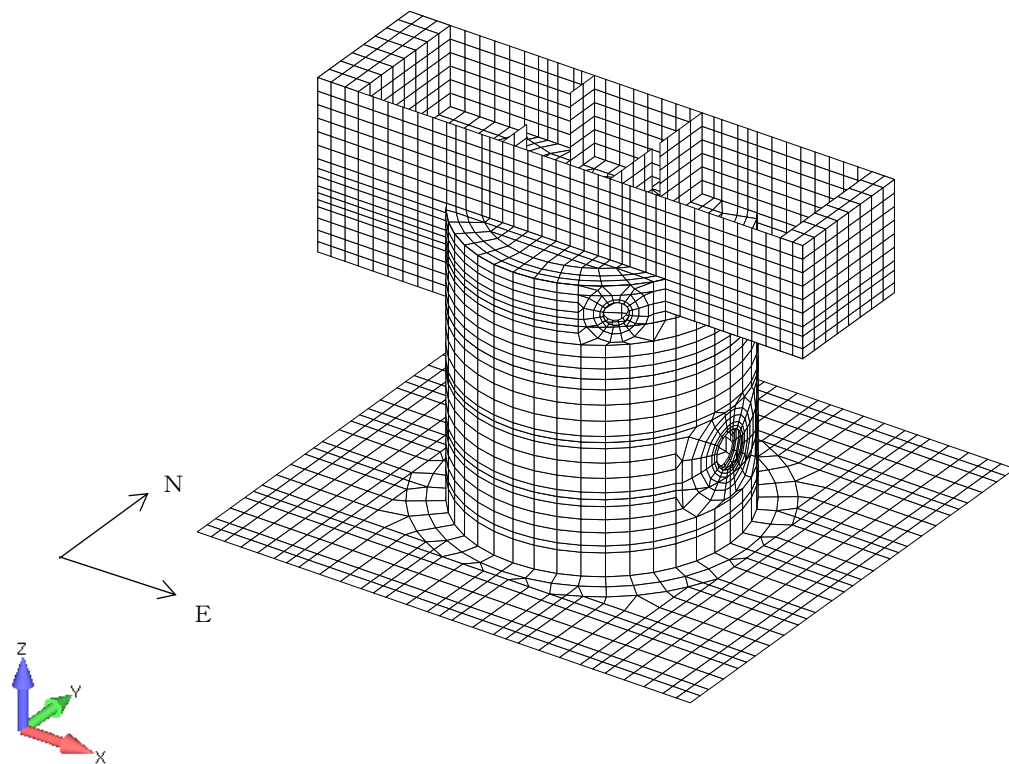
解析モデル概要図を図 3-1-13 に示す。解析モデルの詳細は、SFP の耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

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。

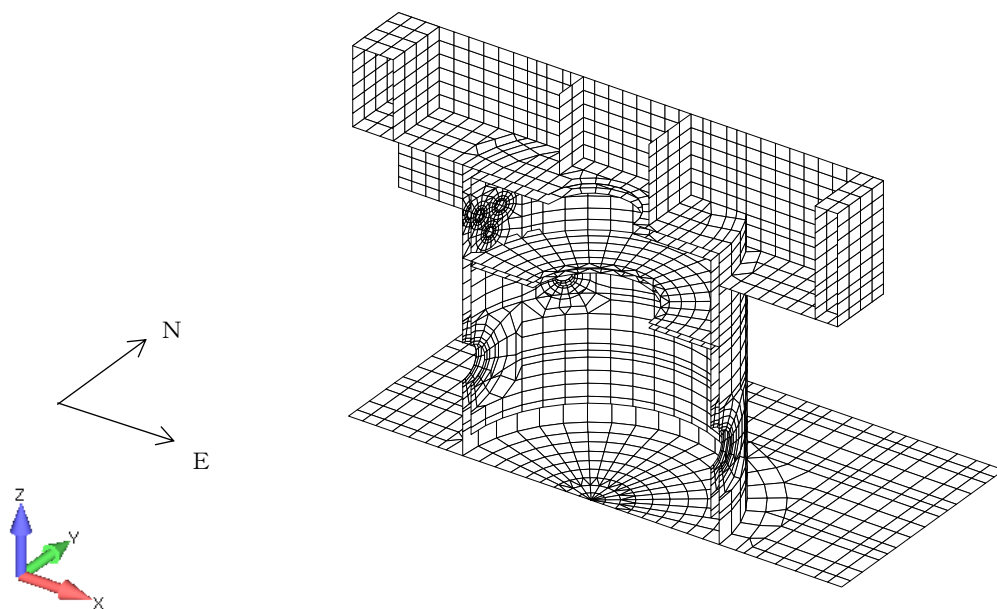
DL	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
K _{s_SN} *	: S→N 方向 S _s 地震荷重
K _{s_WE} *	: W→E 方向 S _s 地震荷重
K _{s_DU} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重
R _s	: S _s 地震時配管荷重
KH _{s_WE} *	: W→E 方向 S _s 地震時動水圧荷重
KH _{s_SN} *	: S→N 方向 S _s 地震時動水圧荷重

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、鉛直方向は上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 3-1-15 及び表 3-1-16 に示す。

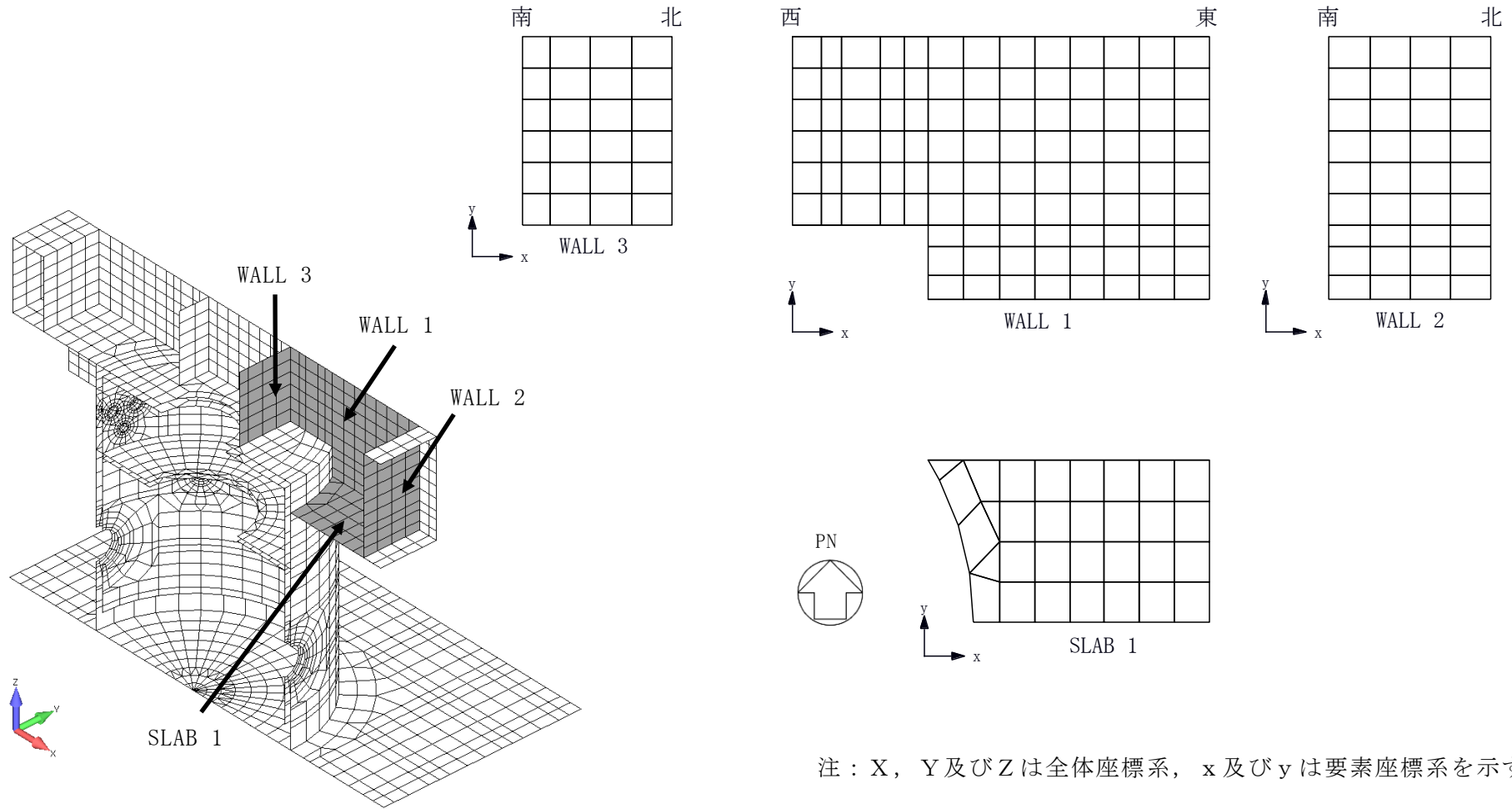


(a) 全体鳥瞰図



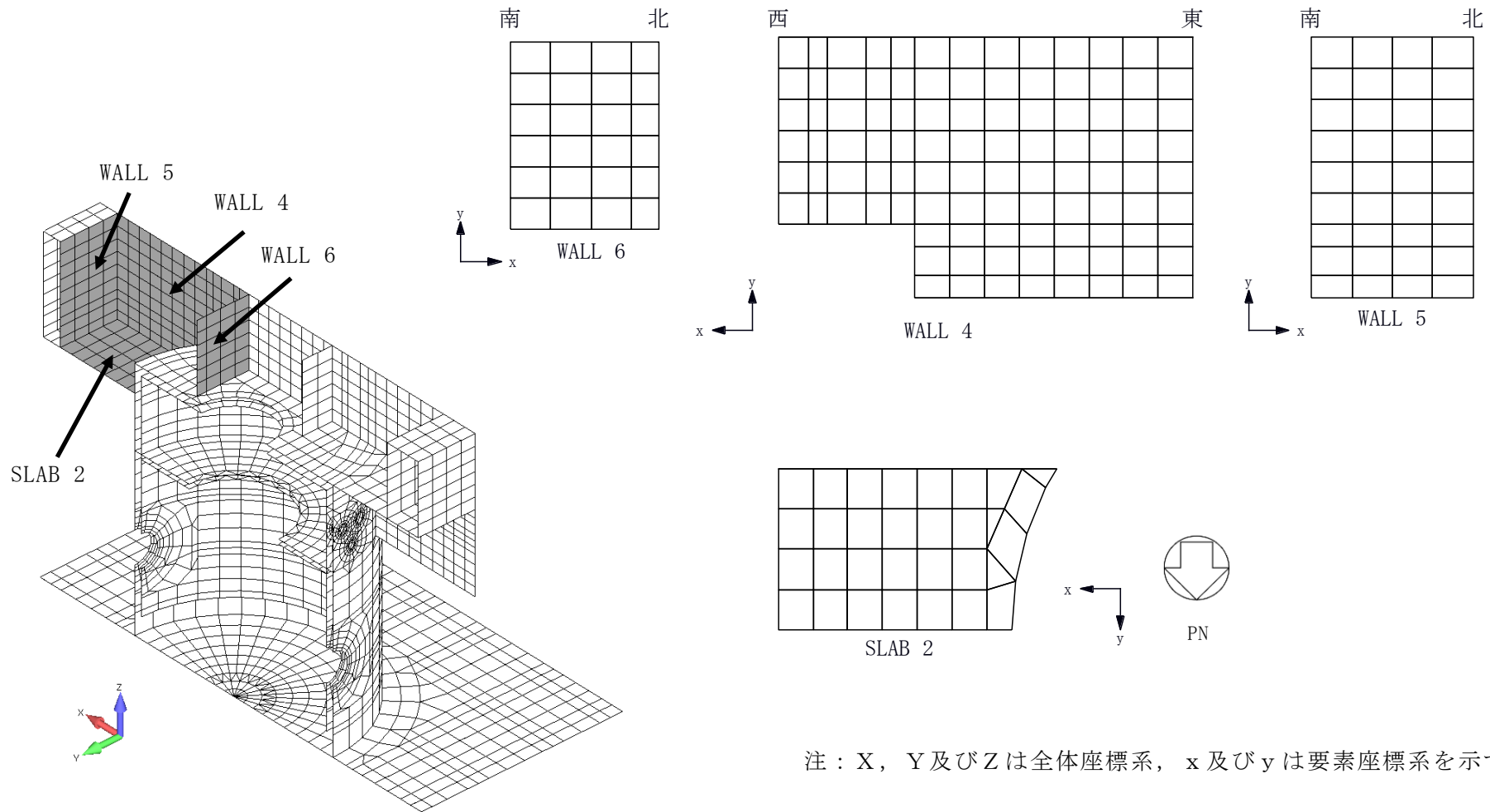
(b) 全体断面図 (EW 方向断面)

図 3-1-13 解析モデル概要図 (1/3)



(c) プール部要素分割図

図 3-1-13 解析モデル概要図 (2/3)



(d) プール部要素分割図

図 3-1-13 解析モデル概要図 (3/3)

表 3-1-15 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	5-1	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN} + 0.4KH_{sWE}$
	5-2	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN} - 0.4KH_{sWE}$
	5-3	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN} + 1.0KH_{sWE}$
	5-4	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN} + 1.0KH_{sWE}$
	5-5	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN} + 0.4KH_{sWE}$
	5-6	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN} - 0.4KH_{sWE}$
	5-7	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN} - 1.0KH_{sWE}$
	5-8	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN} - 1.0KH_{sWE}$
	5-9	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN} + 0.4KH_{sWE}$
	5-10	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN} - 0.4KH_{sWE}$
	5-11	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN} + 1.0KH_{sWE}$
	5-12	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN} + 1.0KH_{sWE}$
	5-13	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN} + 0.4KH_{sWE}$
	5-14	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN} - 0.4KH_{sWE}$
	5-15	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN} - 1.0KH_{sWE}$
	5-16	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN} - 1.0KH_{sWE}$

表 3-1-16 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	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN}$
	2-2	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sWE}$
	2-3	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN}$
	2-4	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sWE}$
	2-5	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN}$
	2-6	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sWE}$
	2-7	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN}$
	2-8	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sWE}$
	2-9	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN}$
	2-10	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sWE}$
	2-11	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN}$
	2-12	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sWE}$
	2-13	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN}$
	2-14	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sWE}$
	2-15	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN}$
	2-16	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sWE}$

(6) 評価方法

使用済燃料貯蔵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 3-1-14 に、配筋一覧を表 3-1-17 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 3-1-15 及び図 3-1-16 に、評価結果を表 3-1-18 及び表 3-1-19 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。

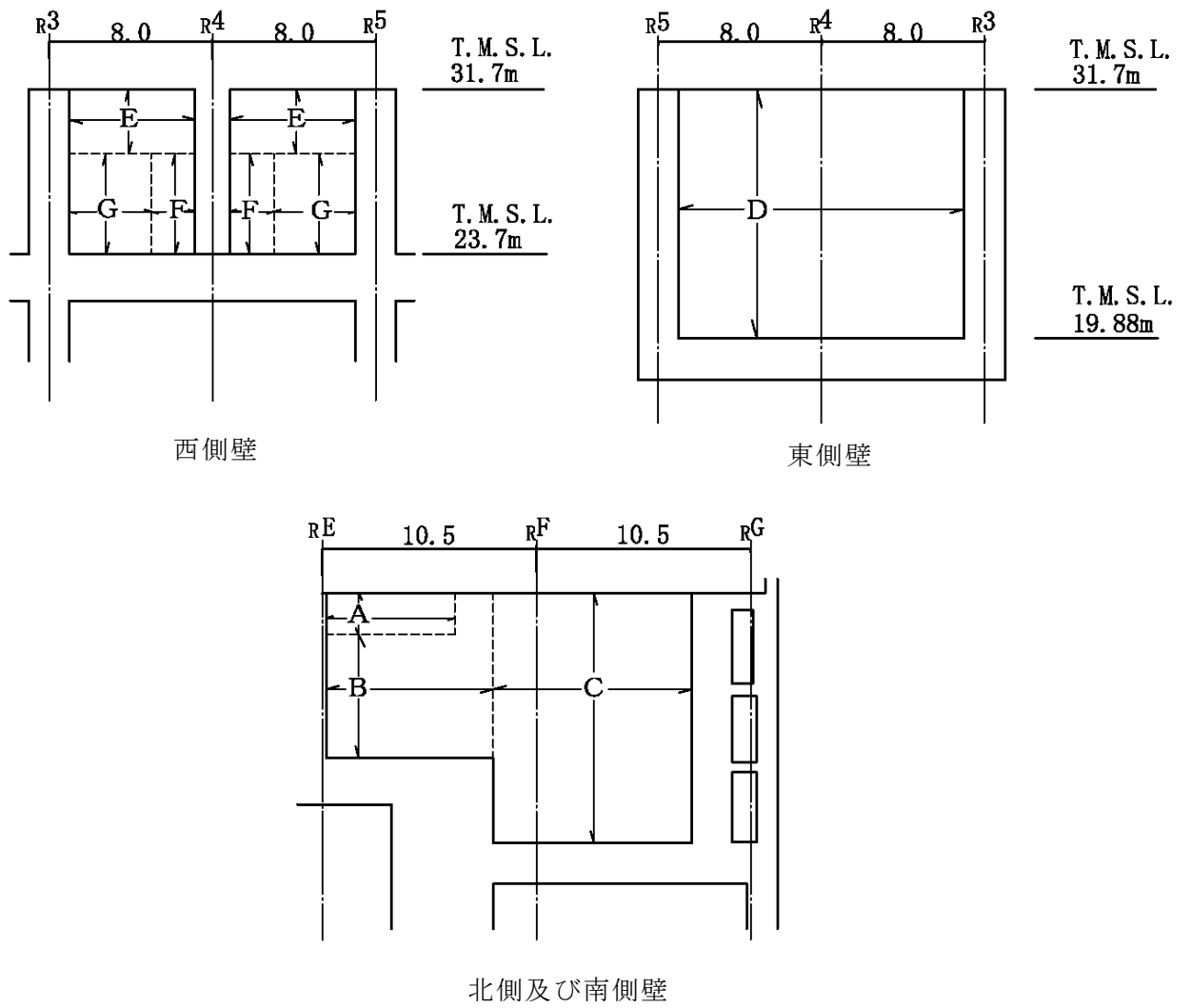


図 3-1-14 配筋領域図

表 3-1-17 配筋一覧

(a) 北側及び南側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
A	2-D38@200	5-D38@200
B		3-D38@200
C	3-D38@200	

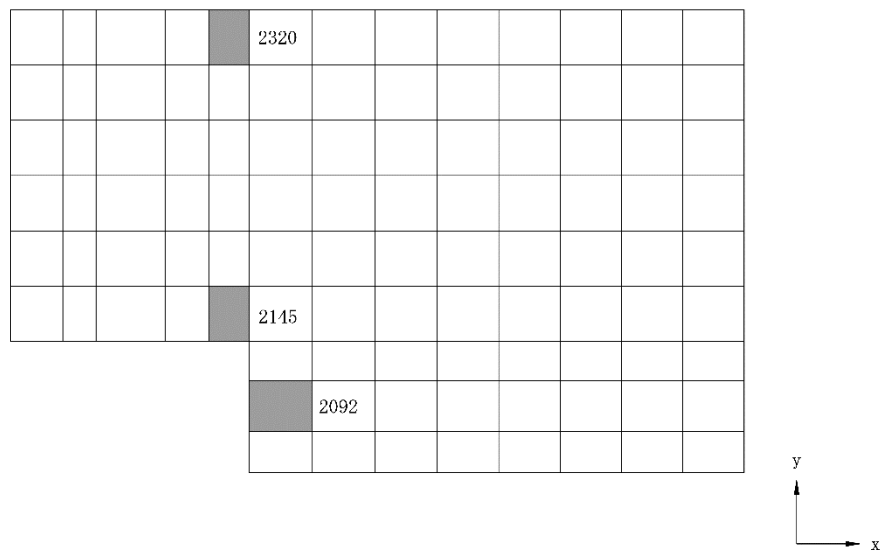
(b) 東側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
D	2-D38@200	2-D38@200

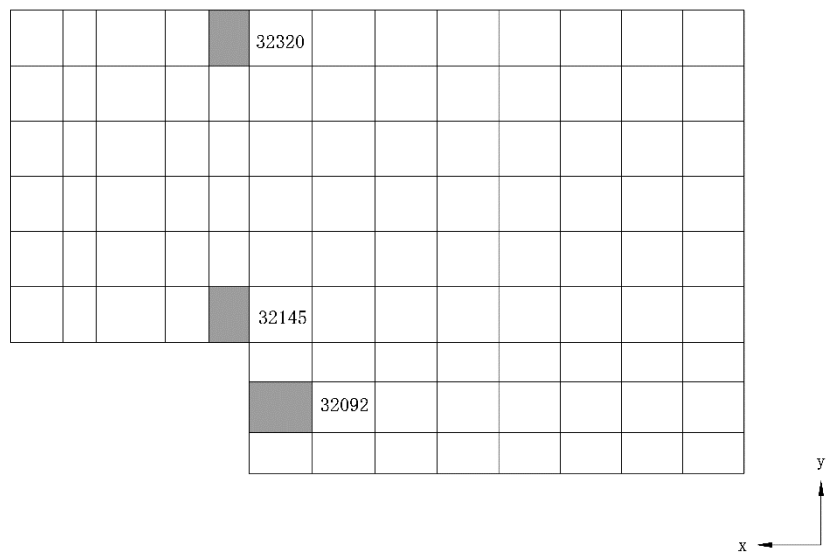
(c) 西側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
E	2-D38@200	2-D38@200
F	4-D38@200	3-D38@200
G	2-D38@200 +D38@400	

注：配筋は片側を示す。

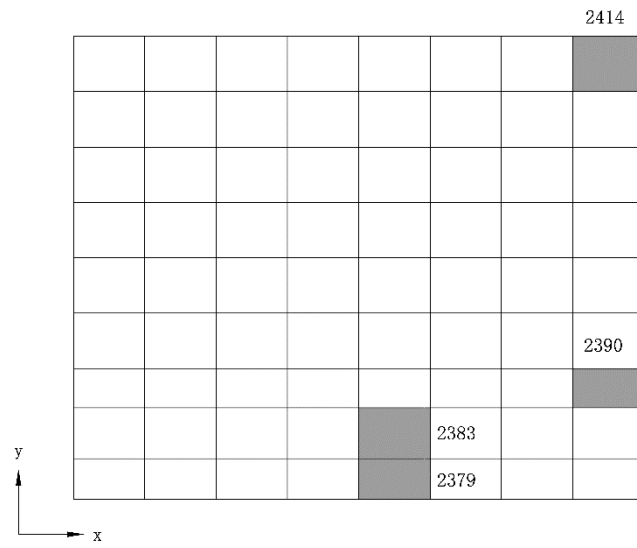


(a) 北側壁

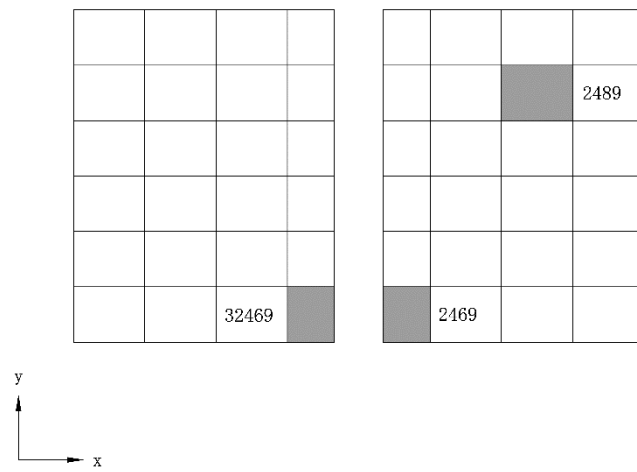


(b) 南側壁

図 3-1-15 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 2 方向) (1/2)

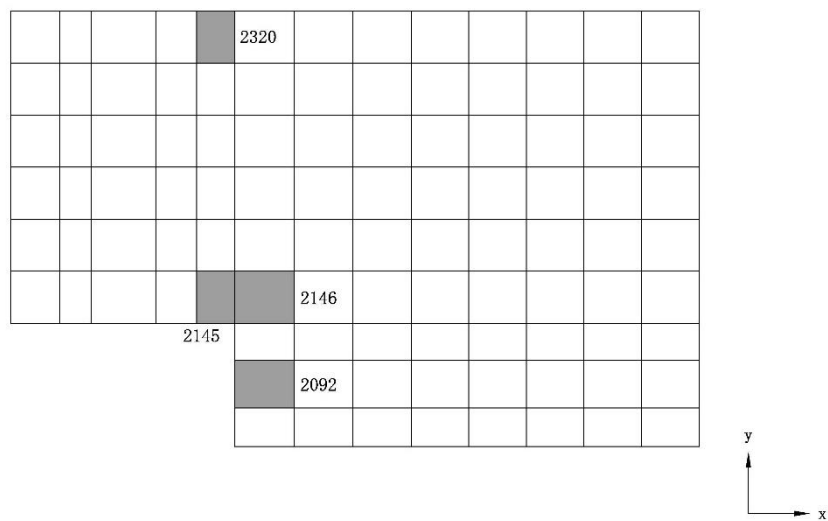


(c) 東側壁

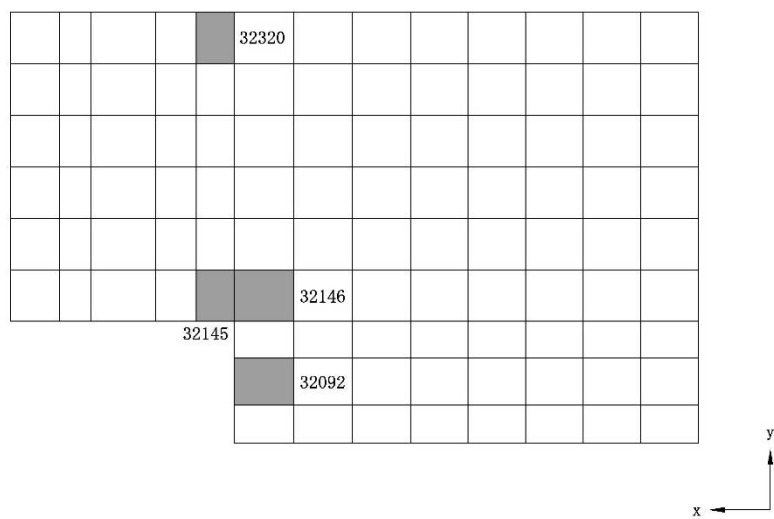


(d) 西側壁

図 3-1-15 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 2 方向) (2/2)

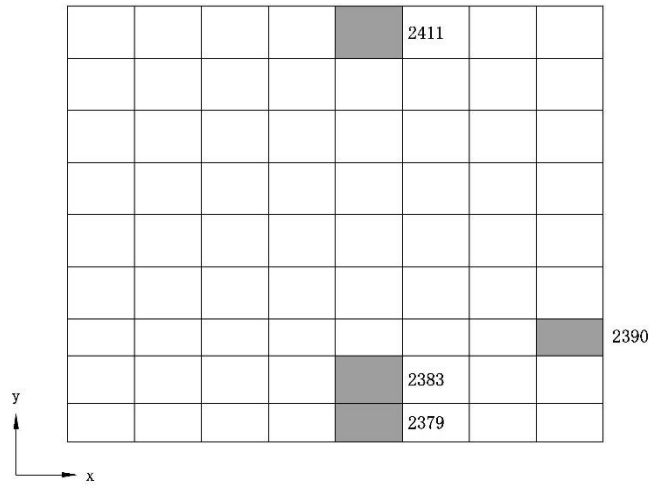


(a) 北側壁

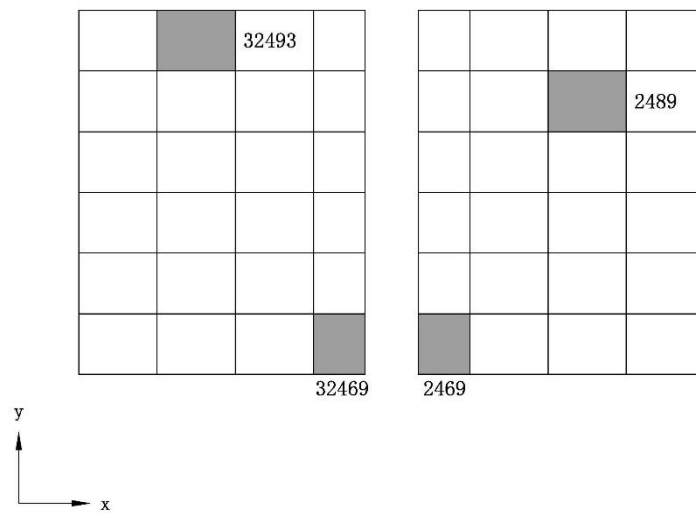


(b) 南側壁

図 3-1-16 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 1 方向) (1/2)



(c) 東側壁



(d) 西側壁

図 3-1-16 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 1 方向) (2/2)

表 3-1-18 使用済燃料貯蔵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	2145	5-10	0.287	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	5-15	0.410	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	5-15	6.47	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	5-10	3.08	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	5-9	0.716	1.92
南側壁	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	32145	5-14	0.286	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	32320	5-8	0.404	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32145	5-16	6.44	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	32092	5-14	3.07	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32145	5-13	0.714	1.92
東側壁	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	2379	5-11	0.337	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	5-11	0.624	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2414	5-15	0.932	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	5-10	1.04	3.75
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	5-11	0.682	1.73
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	32469	5-9	0.184	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	5-1	0.474	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	5-1	5.28	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2489	5-1	0.682	1.41
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	5-16	0.336	1.97

表 3-1-19 使用済燃料貯蔵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 + 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	2145	2-5	0.277	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	2-8	0.382	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2146	2-16	6.42	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	2-16	3.16	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	2-5	0.700	1.98
南側壁	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	32145	2-7	0.275	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	32320	2-8	0.380	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32146	2-16	6.39	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	32092	2-16	3.15	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32145	2-7	0.698	1.99
東側壁	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	2379	2-6	0.337	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	2-6	0.622	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2411	2-16	0.940	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	2-5	1.04	3.80
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	2-6	0.682	1.73
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	32469	2-5	0.169	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	2-5	0.423	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	2-5	4.98	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2489	2-1	0.647	1.43
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	32493	2-8	0.237	1.49

(8) 検討のまとめ

使用済燃料貯蔵プールの壁は、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、使用済燃料貯蔵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 原子炉建屋の基礎スラブの検討

(1) 検討の概要

原子炉建屋基礎スラブは、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。

原子炉建屋基礎スラブは、原子炉格納容器の底部に該当する部分（以下「RCCV 底部」という。）及び原子炉建屋のうち RCCV 底部以外の基礎（以下「周辺部基礎」という。）で構成される。平面の形状は、NS 方向 56.6m、EW 方向 59.6m の矩形であり、厚さは 5.5m である。

原子炉建屋基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-17 及び図 3-1-18 に示す。

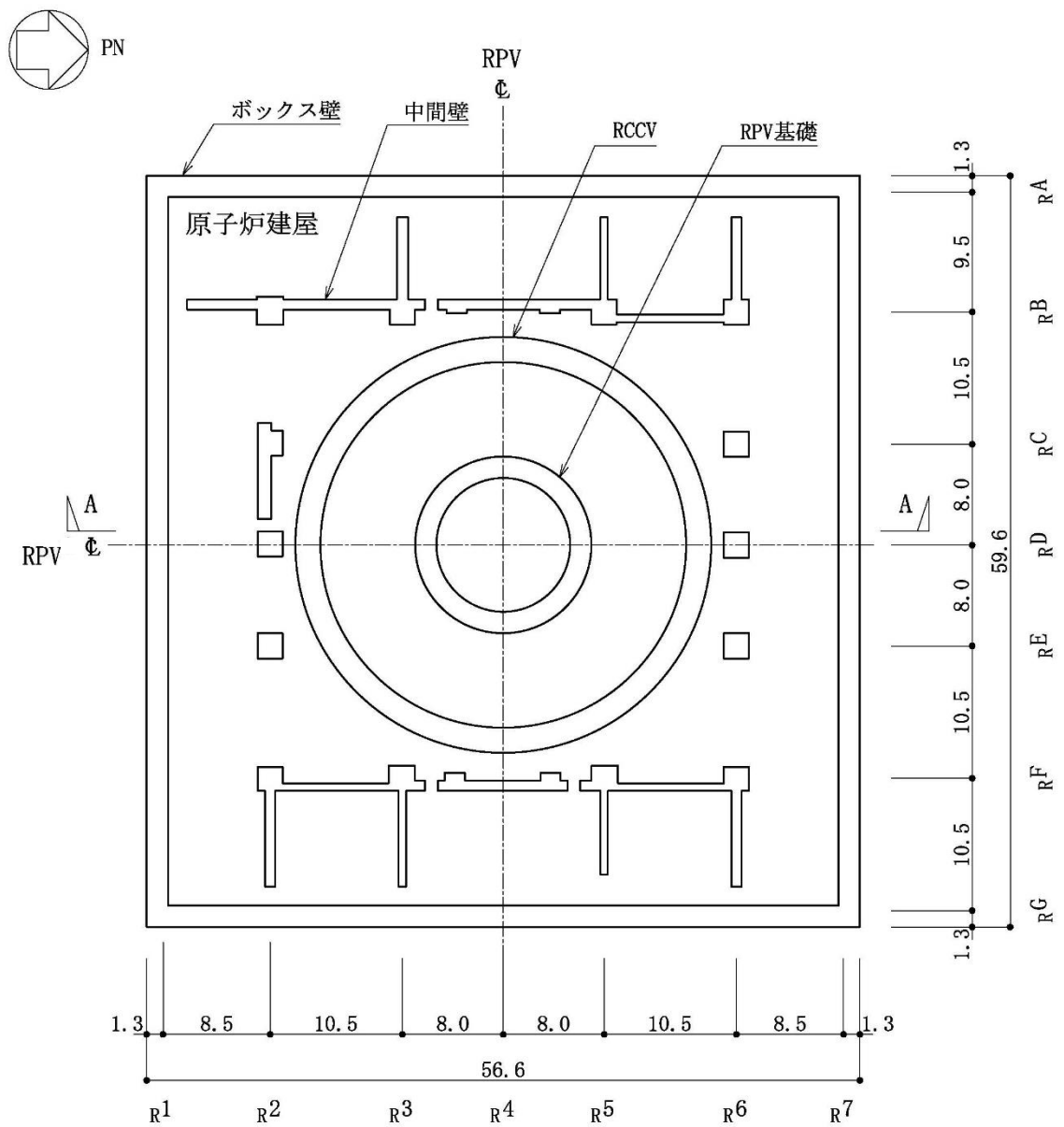


図 3-1-17 原子炉建屋基礎スラブの概略平面図 (T.M.S.L. -8.2m) (単位 : m)

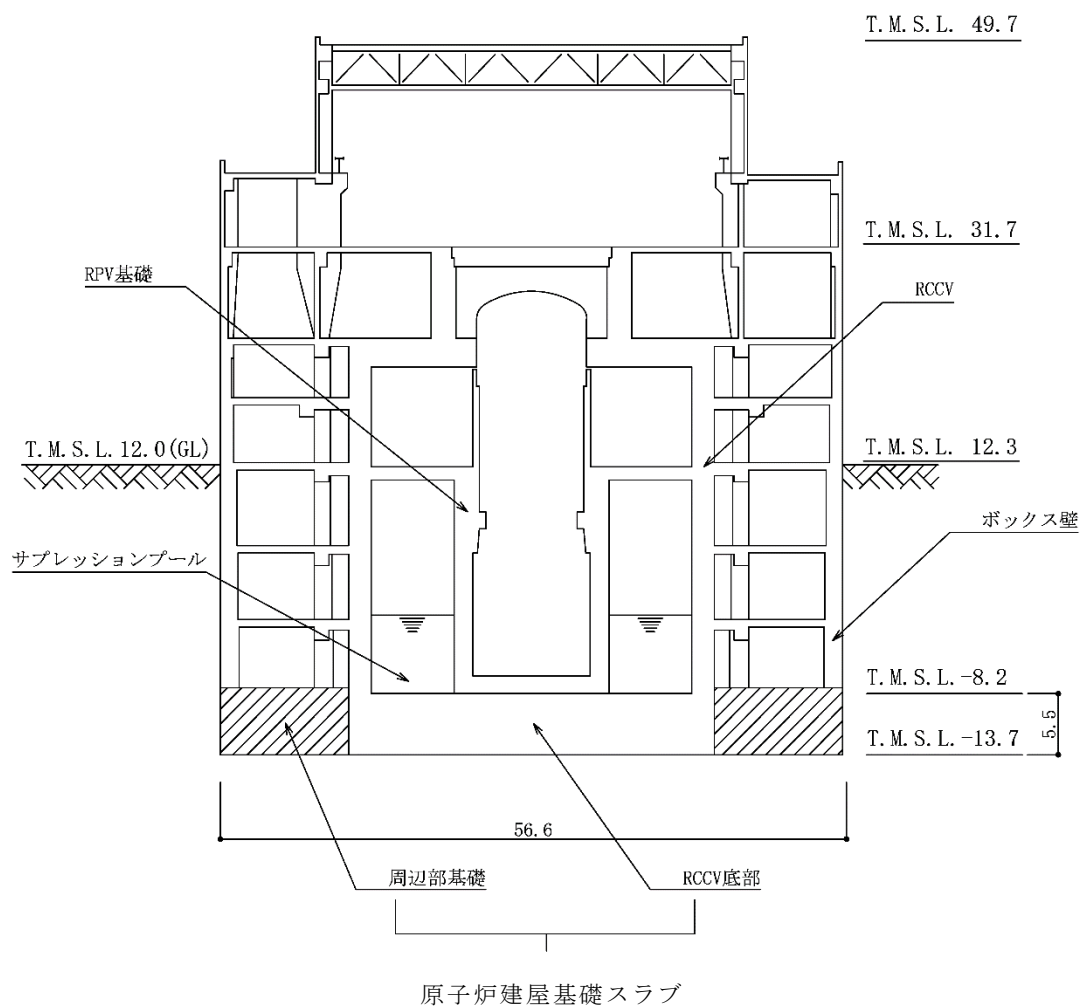


図 3-1-18 原子炉建屋基礎スラブの概略断面図 (A-A 断面) (単位 : m)

(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、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周辺部基礎について、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、VI-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」（以下「基礎スラブの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

なお、応力解析には解析コード「ABAQUS」を用いる。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、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 3-1-20 に示す。荷重の詳細は、基礎スラブの耐震計算書に示す死荷重及び活荷重 (DL)、運転時圧力 (P_1)、逃がし安全弁作動時荷重 (H_1)、地震荷重 (K_s) 及び地震時土圧荷重 (E_s) と同一である。

表 3-1-20 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$DL + P_1 + H_1 + K_s + E_s$

DL : 死荷重及び活荷重

P_1 : 運転時圧力

H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重

K_s : 地震荷重

E_s : 地震時土圧荷重

(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、基礎スラブの耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

(5) 応力解析

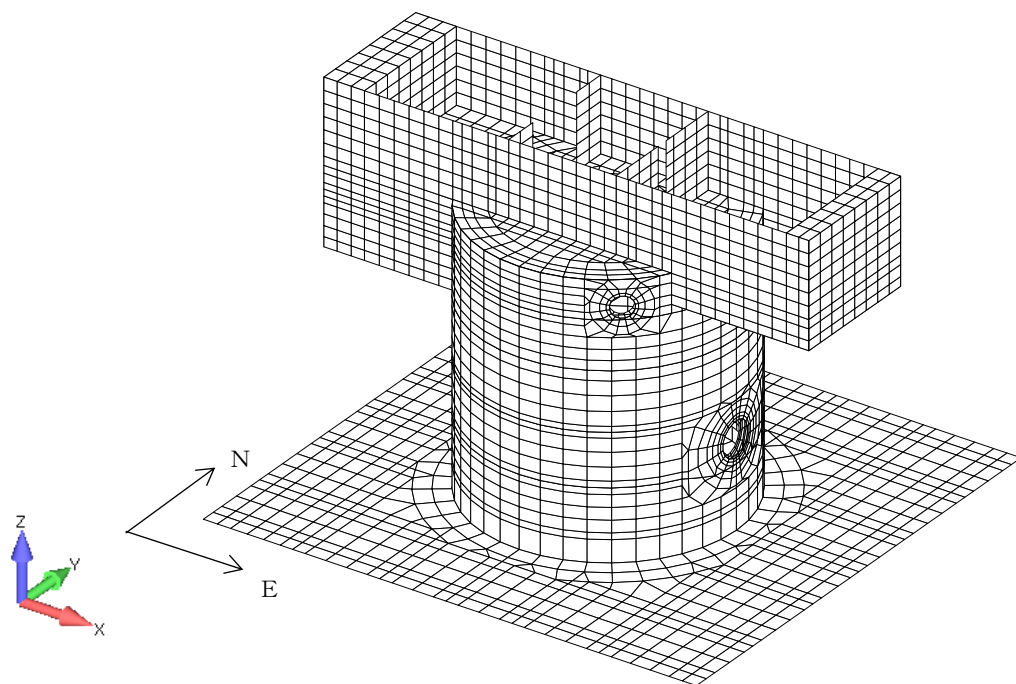
解析モデル図を図 3-1-19 に示す。解析モデルの詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s地震時の応力は、基礎スラブの耐震計算書の「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。

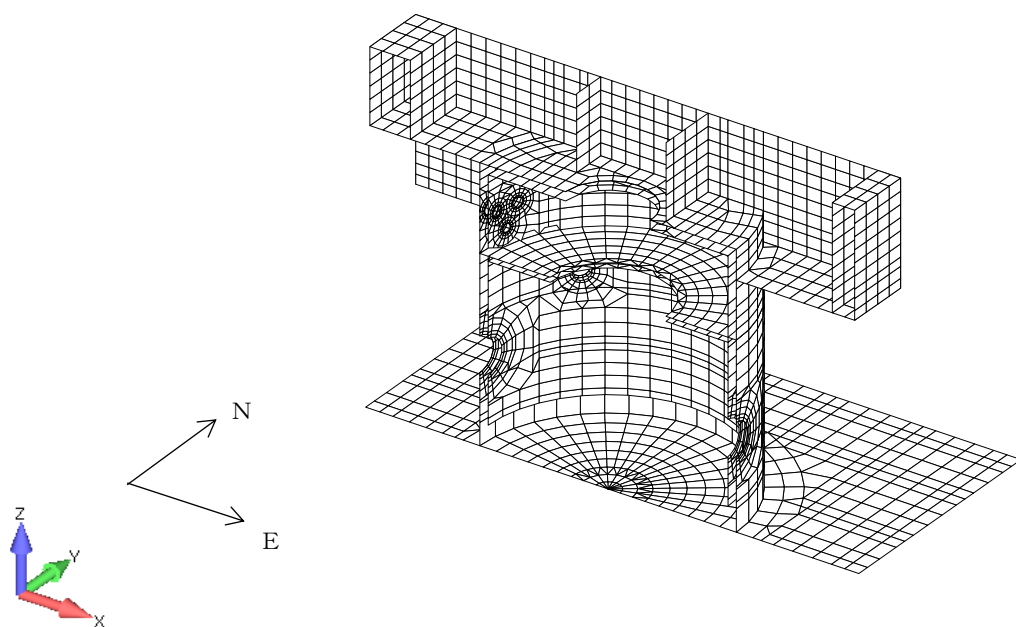
DL	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
K _{s SN} *	: S→N 方向 S _s 地震荷重
K _{s WE} *	: W→E 方向 S _s 地震荷重
K _{s DU} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重
E _{s NS}	: NS 方向 S _s 地震時土圧荷重
E _{s EW}	: EW 方向 S _s 地震時土圧荷重

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、鉛直方向は上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 3-1-21 及び表 3-1-22 に示す。

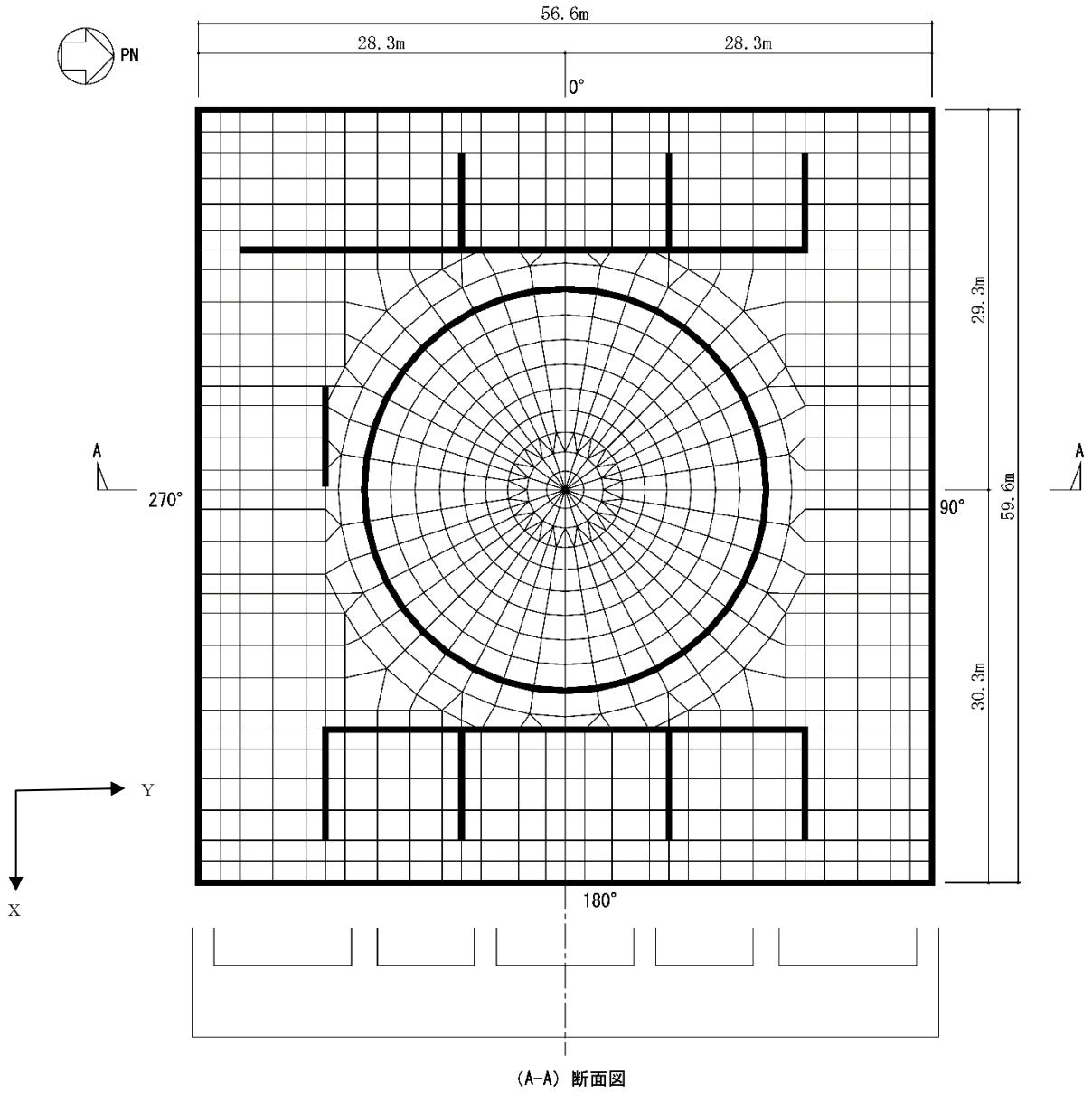


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体断面図

図 3-1-19 解析モデル (1/2)



(c) 基礎スラブ要素分割図
 図 3-1-19 解析モデル (2/2)

表 3-1-21 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	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-2	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-3	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	3-4	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	3-5	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-6	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-7	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	3-8	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	3-9	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-10	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-11	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	3-12	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	3-13	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-14	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	3-15	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	3-16	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$

表 3-1-22 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	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-2	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-3	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-4	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-5	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-6	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-7	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	2-8	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	2-9	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-10	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	2-11	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-12	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	2-13	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-14	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	2-15	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	2-16	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

(6) 評価方法

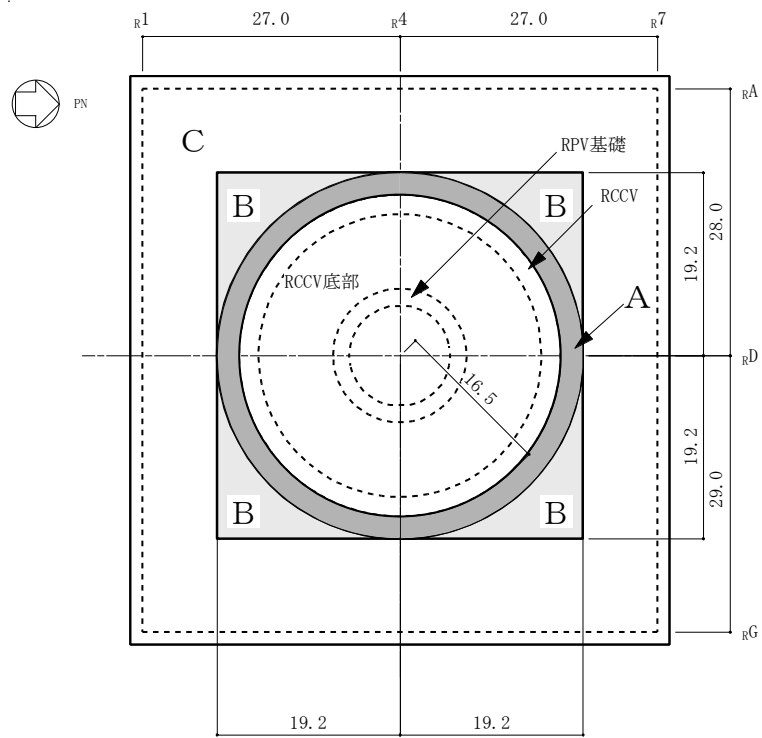
基礎の断面の評価は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

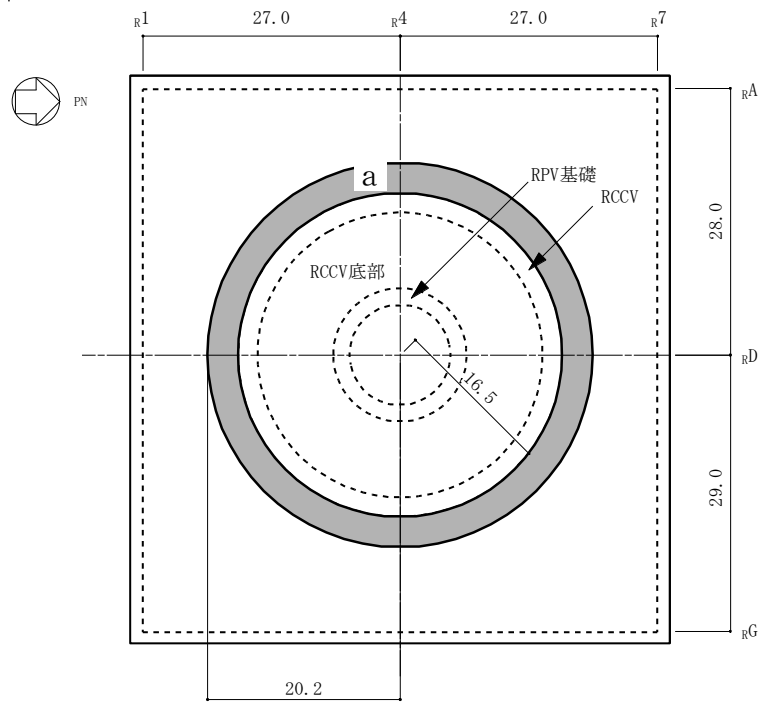
断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図及び配筋一覧を図 3-1-20 及び表 3-1-23 に示す。断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-21 に、評価結果を表 3-1-24 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 3-1-20 配筋領域図

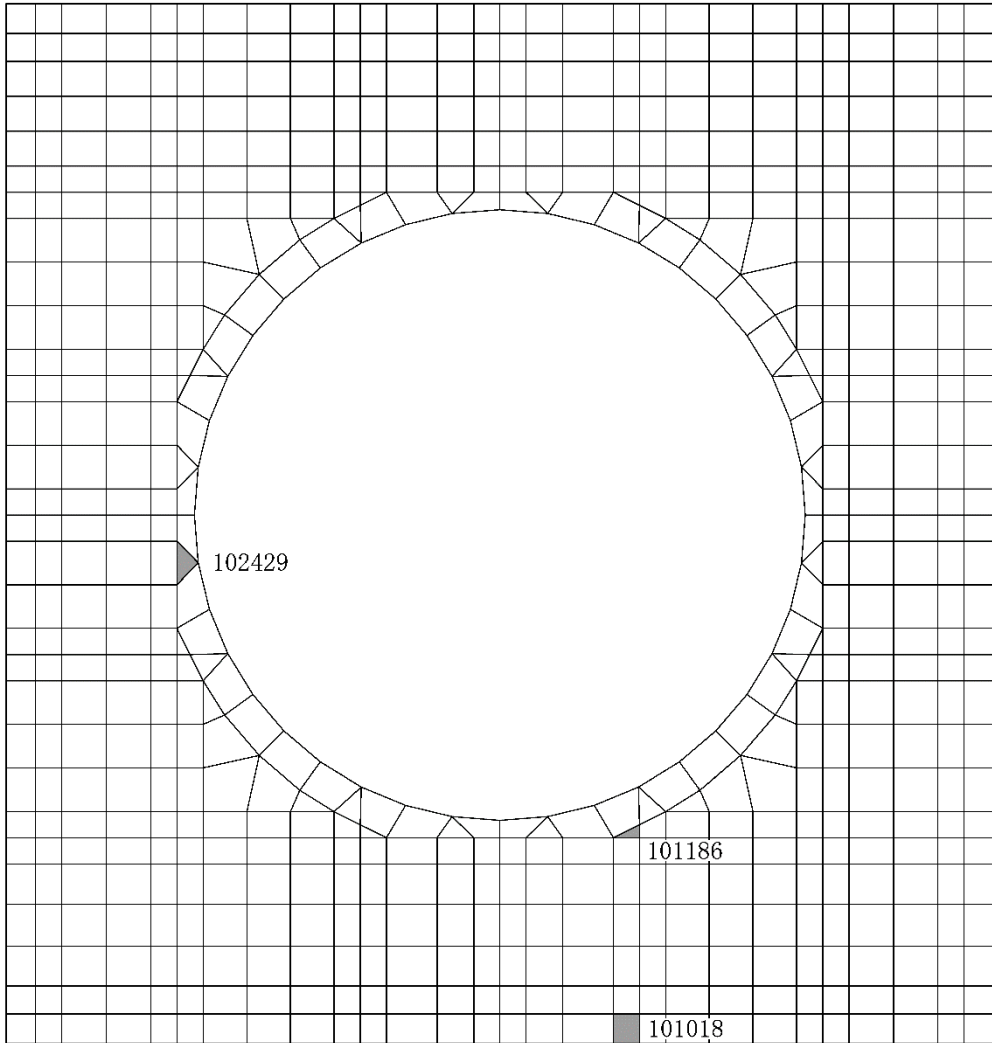
表 3-1-23 配筋一覧

(a) 主筋

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	放射	5×320-D38	NS	5-D38@200
	円周	5-D38@200	EW	5-D38@200
B	NS	3-D38@200	NS	5-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	5-D38@200
C	NS	3-D38@200	NS	3-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	3-D38@200

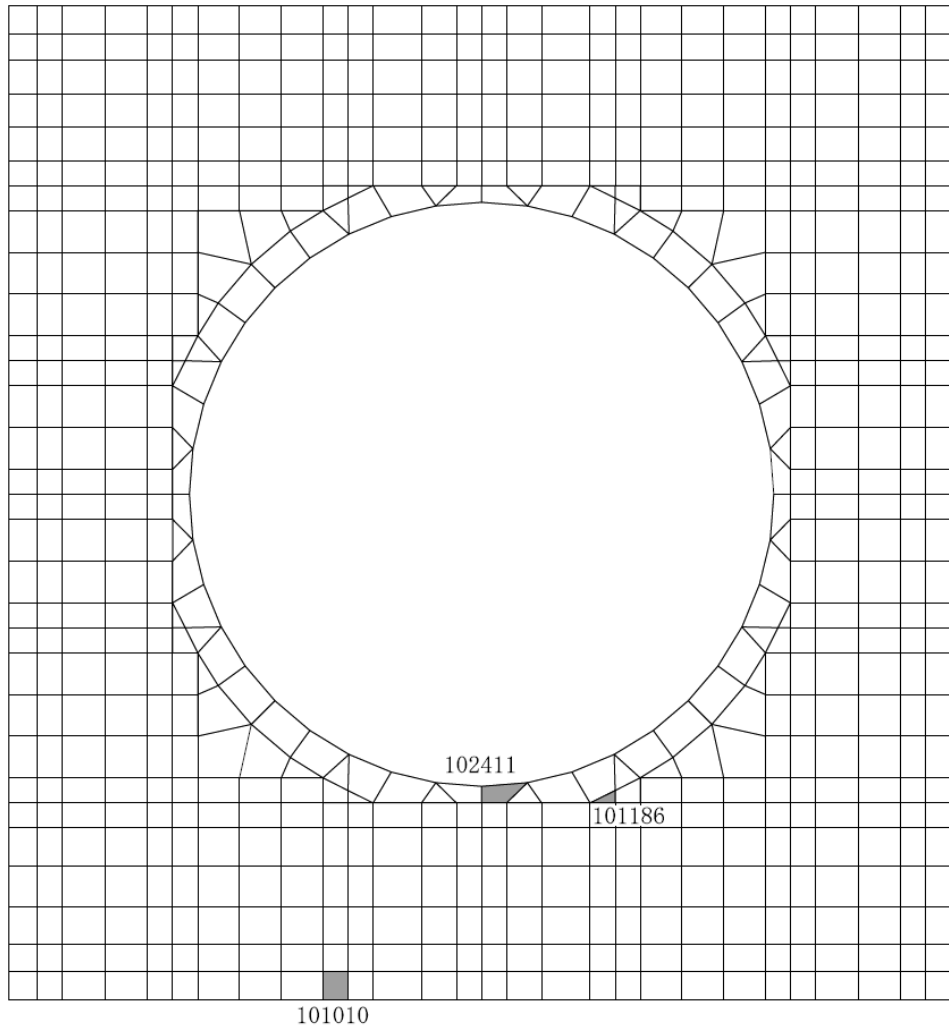
(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D35@400×400



(a) 水平 2 方向

図 3-1-21 選定した要素の位置 S s 地震時 (1/2)



(b) 水平 1 方向

図 3-1-21 選定した要素の位置 S s 地震時 (2/2)

表 3-1-24 周辺部基礎の評価結果 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 ($\times 10^{-3}$)	NS	101186	3-1	0.294	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	101018	3-15	0.443	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	102429	3-5	2.55	3.01

(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 ($\times 10^{-3}$)	NS	101186	2-1	0.285	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	101010	2-8	0.303	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	102411	2-2	2.43	3.01

(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、原子炉建屋基礎スラブについて、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、原子炉建屋基礎スラブ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 S_s 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等、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。

更に、応答軸以外の振動モードが生じ難い構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難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。

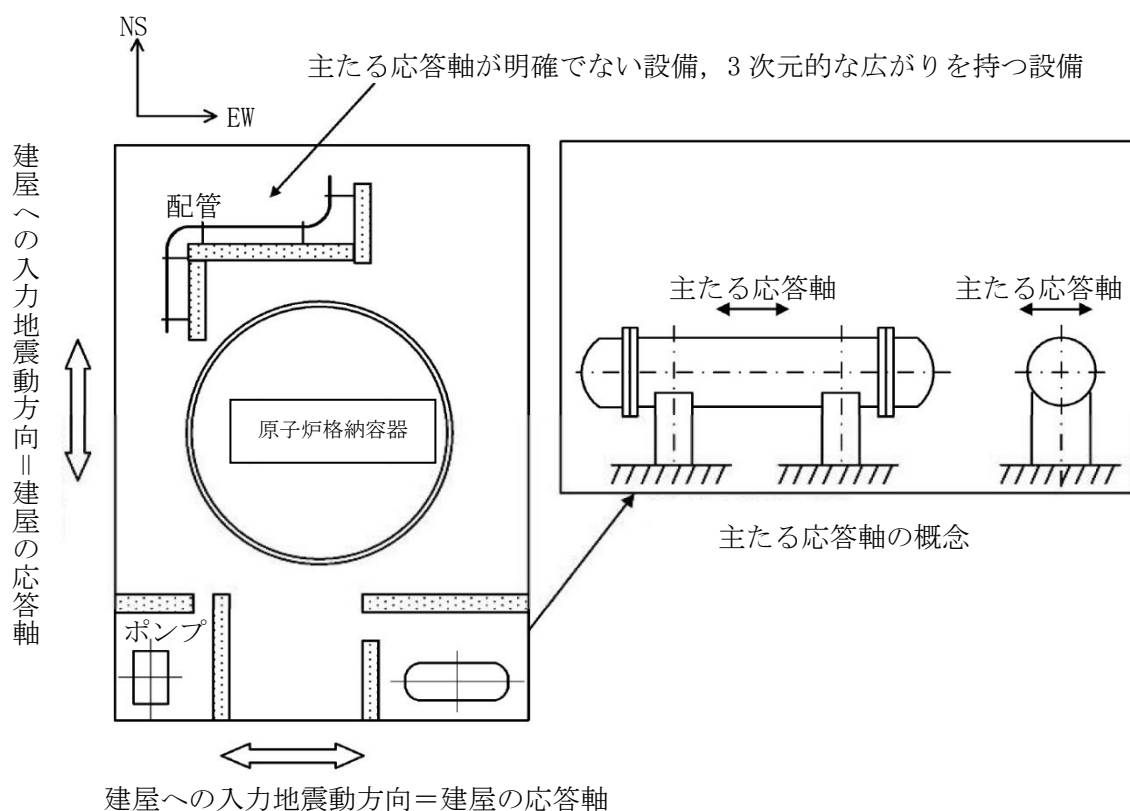


図3-2-1 設備配置及び応答軸の概念図

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の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）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（部位）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（部位）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（部位）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-1 ～ S_s-8 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。

3.2.3 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

機器・配管系において、水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた従来の耐震計算に対して、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が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。)又は組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) を適用する。この組合せ方法については、現状の耐震評価が基本的に概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で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。

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・配管系及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 方向の地震力が重畳する観点、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・構築物及び屋外重要土木建造物の検討により、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。この際、従来評価で用いている質点系モデルと 3 次元 FEM モデルによる応答解析結果の比較により、機器・配管系の耐震評価に用いる応答が増幅する部位が抽出された場合には、建屋応答の増幅を考慮し設備の耐震性への影響を確認する。

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 (部位) 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組合せの影響評価

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)。

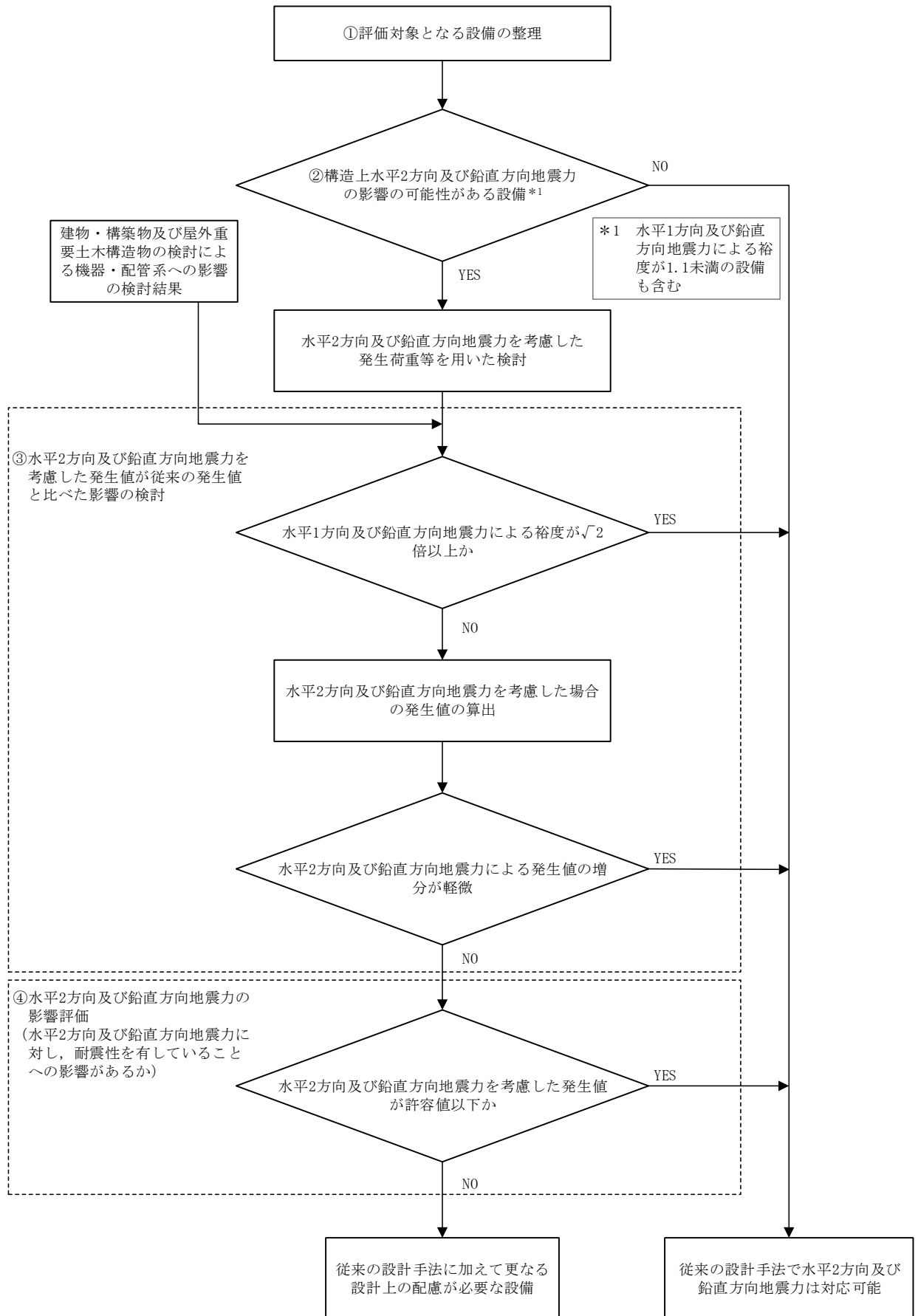


図3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価フロー（機器・配管系）

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（部位）の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を、表3-2-1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言えるもの

原子炉圧力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方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力

と同等の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2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力と同等と言えるものを分類した。

- d. 従来評価において、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、従来評価において、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、同様の理由から従来評価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設備は、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、従来設計より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、機種毎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（部位）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、従来の評価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。

- ・従来の評価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（部位）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評価部位の抽出結果

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) 従来評価データを用いた算出

従来の水平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従来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で水平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従来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

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

- ・ 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従来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

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

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（部位）毎に示し、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（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、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、従来設計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、従来設計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。

- ・従来設計の発生値（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。
- ・従来設計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。

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (1/11)

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	上部胴上端 上部胴下端 下部胴上端
		炉心支持板支持面
	シュラウドサポート	レグ
		シリンダ プレート 下部胴
	上部格子板	リム胴板
		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	下部溶接部 長手中央部	
原子炉圧力容器本体	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
		給水スパージャブラケット 低圧注水スパージャブラケット
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト
原子炉圧力容器本体	胴板 下部鏡板	胴板 スカート付根部 球殻部
		球殻部と円錐部の接続部 ナックル部 ナックル部と円筒胴部の接続部
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ
		ハウジング 下部鏡板リガメント
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)	ケーシング側付根 R 部 RIP ノズル溶接部 スタブと下部鏡板の接続部
貫通孔スタブ		

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (2/11)

設備		部位
原子炉圧力容器本体	主蒸気ノズル(N3) 給水ノズル(N4) 低圧注水ノズル(N6) 上蓋スプレイ・ベントノズル(N7) 原子炉停止時冷却材出口ノズル(N8, N10) 計装ノズル(N12, N13, N14) ドレンノズル(N15) 高圧炉心注水ノズル(N16)	各部位
	原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル(N9)	ノズルエンド
	炉心支持板差圧検出ノズル(N11)	肉盛溶接部
容器付属構造物	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング
	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド
		ブラケット
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	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
		耐震用ブロックせん断面 A
		耐震用ブロック支圧面 A
		耐震用ブロック支圧面 B
	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位
給水スパージャ 高圧炉心注水スパージャ 低圧注水スパージャ 高圧炉心注水系配管 (原子炉圧力容器内部)	各部位	
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック	
	サポート	
	基礎ボルト (サポート部)	
	基礎ボルト (底部)	
使用済燃料貯蔵ラック	角管及び枠板 補強板, 燃料支持板及びベース	
	基礎ボルト	

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (3/11)

設備	部位
使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA)	検出器
	検出器架台 (基礎ボルト)
	検出器架台 (部材)
	検出器サポート
使用済燃料貯蔵プール水位・温度 (SA 広域)	検出器
	検出器架台 (基礎ボルト)
	検出器架台 (部材)
	検出器サポート (上部)
	検出器サポート (下部)
監視カメラ	基礎ボルト
	取付ボルト
使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置	基礎ボルト
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト
横置円筒形容器	胴板
	脚
	基礎ボルト
横置円筒形容器 (原子炉補機冷却水系熱交換器)	胴板
	脚
	基礎ボルト
	補強材

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (4/11)

設備	部位
配管本体, サポート (多質点梁モデル解析)	配管本体
	サポート
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
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ 主蒸気逃がし自動減圧機能用アキュムレータ	U-バンド及びリブ
	ボルト
	支柱
立形ポンプ (ピットバレル形ポンプ)	コラムパイプ バレルケーシング
	基礎ボルト 取付ボルト
立形ポンプ (立形斜流ポンプ)	コラムパイプ
	基礎ボルト 取付ボルト
残留熱除去系ストレーナ 高压炉心注水系ストレーナ	エンドコア エンドディスク 中間ディスク コアチューブ
	アウターリム インナーギャップ
	フランジ
	ストレーナ取付部ボルト
原子炉隔離時冷却系ストレーナ	こし筒とフランジの取付部
	フランジ
	ストレーナ取付部ボルト
ECCS ストレーナ部ティー	ティー

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (5/11)

設備	部位
平底たて置円筒形容器	胴板
	基礎ボルト
ラグ支持たて置き円筒容器	胴板
	ラグ
	取付ボルト
スカート支持たて置円筒形容器	胴板
	スカート
	基礎ボルト
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
伝送器 (サポート鋼材固定)	取付ボルト
	溶接部
伝送器 (円形吊下)	保持金具支持部固定ボルト
	保持金具支持部
伝送器 (円形壁掛)	取付ボルト
制御棒駆動機構	スプールピース最小断面
水圧制御ユニット	フレーム
	取付ボルト
核計装設備	各部位
電気盤 (矩形床置)	基礎ボルト 取付ボルト
電気盤 (矩形壁掛)	基礎ボルト 取付ボルト

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (6/11)

設備		部位
通信連絡設備 (床置アンテナ)		基礎ボルト
静的触媒式水素再結合器動作監視装置		基礎ボルト
配管遮蔽		架台
		基礎ボルト
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
		取付ボルト
原子炉格納容器	原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート
		ライナアンカ
	ドライウェル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部
		フランジプレート
		ガセットプレート
		コンクリート部
	下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板	鏡板 鏡板のスリーブとの結合部 スリーブのフランジプレートとの結合部
		フランジプレート
		ガセットプレート
		コンクリート部
	クエンチャサポート基礎	ベースプレート
		ガセットプレート
		ベアリングプレート
		基礎ボルト
		コンクリート部

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (7/11)

設備		部位
原子炉格納容器	上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サプレッションチェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	円筒胴
		円筒胴のフランジプレートとの結合部
		フランジプレート
		ガセットプレート
		コンクリート部
	下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	円筒胴
		円筒胴の鏡板との結合部
	原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ
		スリーブのフランジプレートとの結合部 端板
		フランジプレート ガセットプレート
		コンクリート部
	原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ
		スリーブのフランジプレートとの結合部
		フランジプレート ガセットプレート
		コンクリート部
	真空破壊弁	真空破壊弁パイプ
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ放射方向 鉄筋コンクリートスラブ円周方向	
	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部(地震時水平力伝達用シアプレート) 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部(地震時鉛直力伝達用シアプレート)	
	原子炉本体基礎接合部 (地震時水平力伝達用シアプレート)	
	原子炉本体基礎接合部(半径方向水平力伝達用頭付きスタッド)	
ベント管	垂直管支持部	
	水平吐出管の垂直管との結合部	
	水平吐出管支持部	
	リターンラインの垂直管との結合部	

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (8/11)

設備	部位
ドライウェルスプレイ管 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 スプレイ管案内管
静的触媒式水素再結合器	本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
下部ドライウェルアクセストンネル	各部位
コリウムシールド	補強フレーム
	縦材 水平材
	ガセットプレート
	ベースプレート
	アンカーボルト (M16)
	アンカーボルト (M12)
	水平プレート
	鋼棒
遠隔手動弁操作設備	等速ジョイント
	マイタギヤボックス取付ボルト
	ベアリングユニット取付ボルト
	基礎ボルト
遠隔手動弁操作設備遮蔽	架台
	基礎ボルト 取付ボルト

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (9/11)

設備	部位
燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置	扉部材
	ガイドレール 門ピン
	ハンガーレール
	テーパブロック取付ボルト
	チェーン
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト
止水堰 (鋼板組合せ堰)	止水板
	梁材
	床アンカーボルト
	壁アンカーボルト
止水堰 (L型鋼製堰)	H型鋼
	アンカーボルト
止水堰 (鋼製落とし込み型堰)	鋼製板 H型鋼
	枠材
	アンカーボルト
止水堰 (鉄筋コンクリート製堰)	アンカー筋
	堰底部のコンクリート
床ドレンライン浸水防止治具 (フロート式治具)	弁本体
	フロートガイド
床ドレンライン浸水防止治具 (スプリング式治具)	本体・ガイド
	ばねガイド
	弁体

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (10/11)

設備	部位
貫通部止水処置 (モルタル)	モルタル
貫通部止水処置 (ケーブルトレイ金属ボックス)	ケーブルトレイ金属ボックスの固定ボルト
原子炉補機冷却海水ポンプ取水槽水位計用アキュムレータ	胴板
	ラグ
	ボルト
ボンベラック	ボンベラック
	溶接部
原子炉本体基礎	円筒部 (内筒)
	円筒部 (外筒)
	たてリブ
	アンカボルト
	ベアリングプレート
竜巻防護設備	ブラケット部
	防護鋼板
	架構
	アンカボルト
中央制御室天井照明	ボックス鋼
	レースウェイ
	取付ボルト
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ
	脱線防止ラグ トロリストッパ
	トロリ
	吊具

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (11/11)

設備	部位
燃料取替機	構造物フレーム ブリッジガイドフレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) 走行レール
	トロリ脱線防止ラグ(本体) 横行レール
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)
	ワイヤーロープ
	先端金具
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部
耐火隔壁	フレーム部材
	基礎ボルト

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

従来設計手法の考え方について、取水路を例に表 3-3-1 に示す。

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。また、屋外重要土木構造物は、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き方向に連続する構造的特徴を有することから、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。屋外重要土木構造物は、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 方向及び鉛直方向の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、従来設計手法では、屋外重要土木構造物の構造上の特徴から、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ず、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。

また、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」、VI-2-3～VI-2-10 の申請設備の耐震計算書及び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」における屋外重要土木構造物の耐震評価では、弱軸方向を評価対象断面とし、水平 1 方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っている。

表 3-3-1 従来設計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>取水方向</p> <p>加振方向</p> <p>加振方向に平行な壁部材が少ない</p> <p>VIMSJ-38 VIMSJ-95 VIMSJ-105</p>	<p>取水方向</p> <p>加振方向</p> <p>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る</p> <p>VIMSJ-38 VIMSJ-95 VIMSJ-105</p>

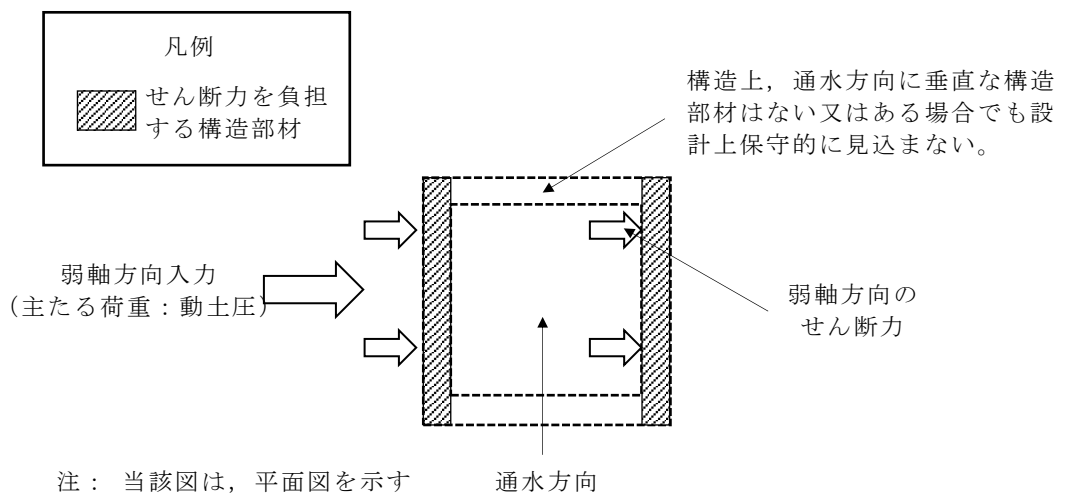


図 3-3-1 従来設計手法の考え方

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補機冷却用海水取水路及び波及的影響防止のために耐震評価を実施する土木構造物である非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板とする。

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。

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構造部材の発生応力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。

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3-3-2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構造部材の発生応力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、構造物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、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。

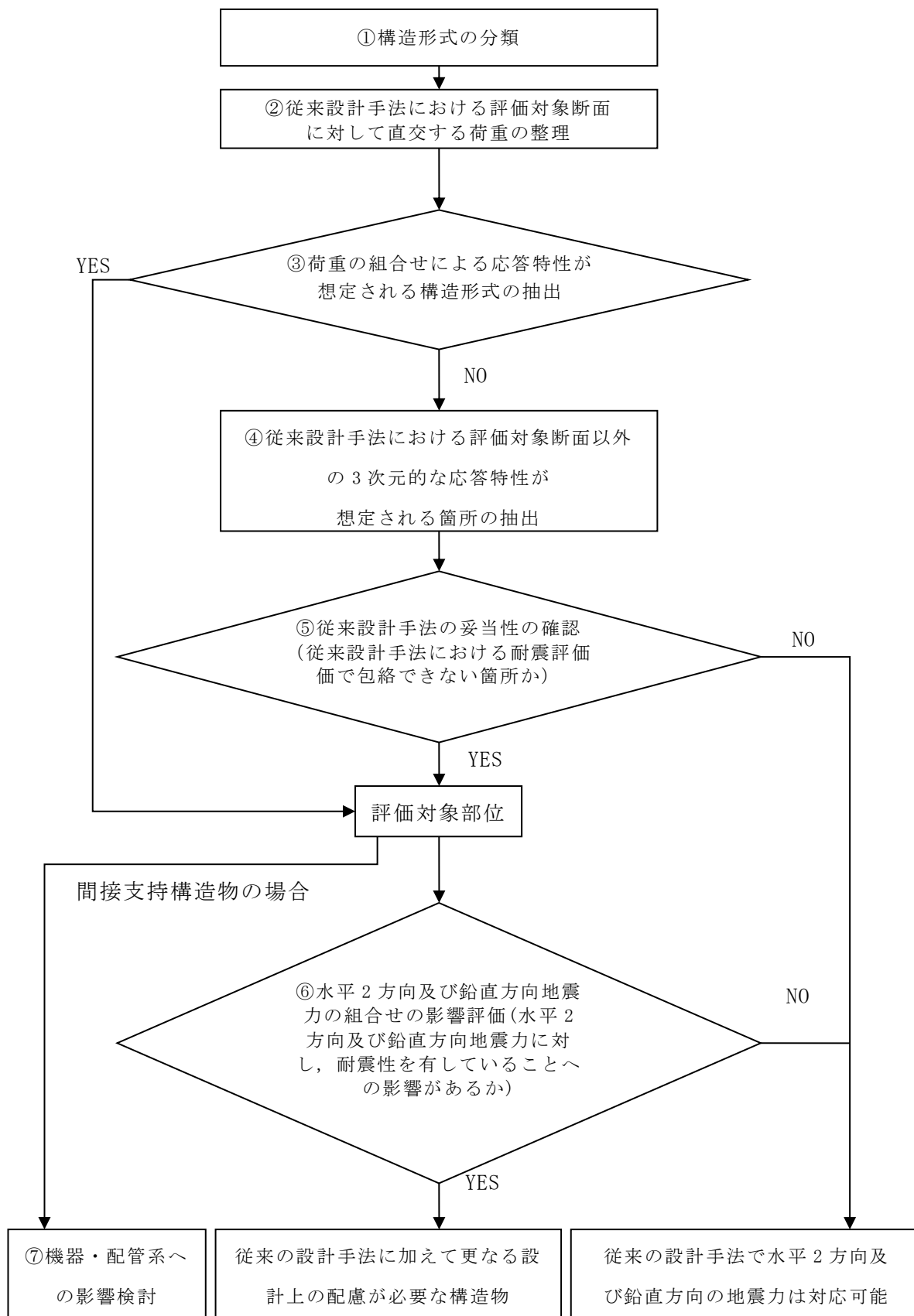


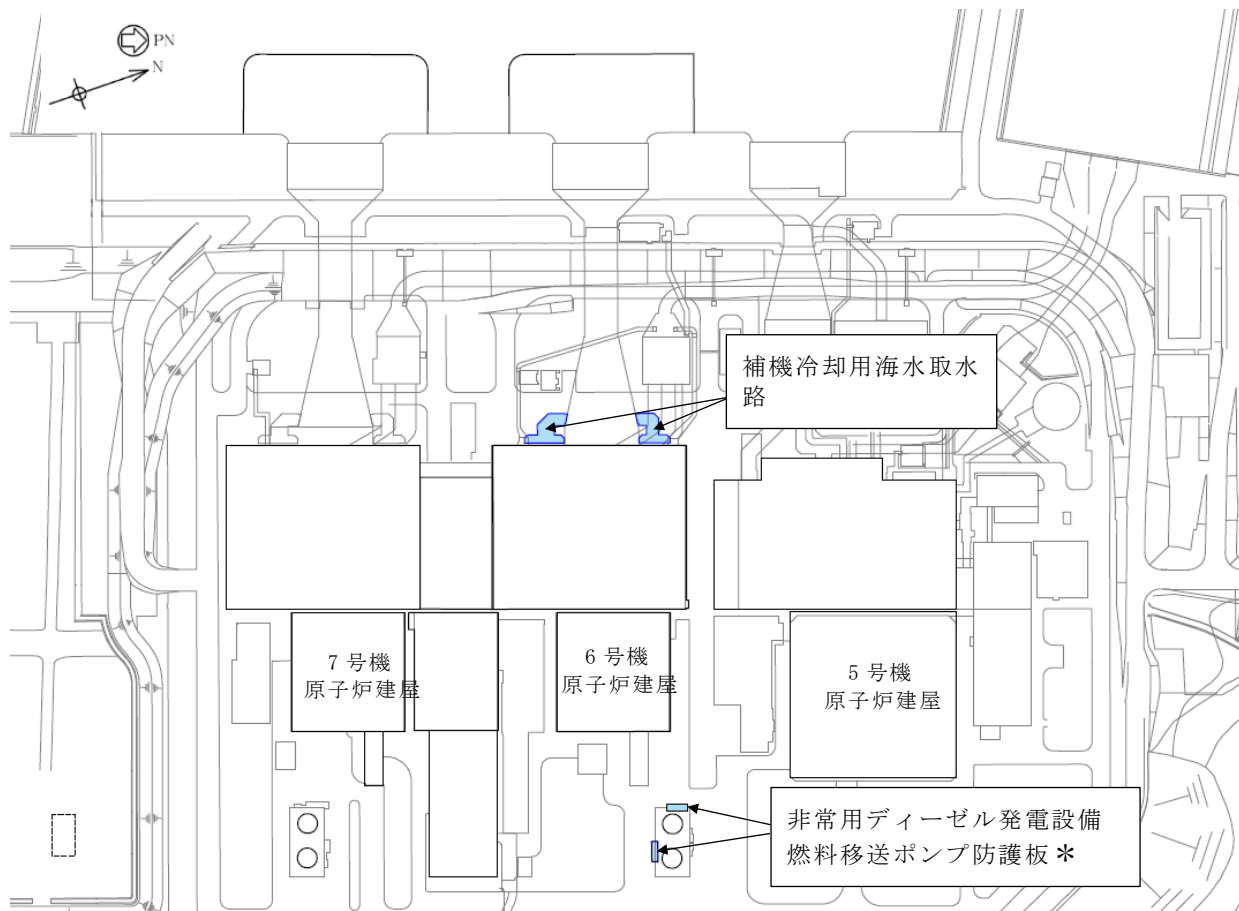
図 3-3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価のフロー
(屋外重要土木構造物)

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 3-3-3 に屋外重要土木構造物の配置図を示す。

屋外重要土木構造物は、その構造形式より 1) 補機冷却用海水取水路（立坑部）のような立坑構造物、2) 補機冷却用海水取水路のような妻壁を有する箱型構造物、3) 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板のような壁構造物の 3 つに大別される。屋外重要土木構造物の構造形式を表 3-3-2 に示す。



注記*：波及的影響防止のために耐震評価を行う土木構造物

図 3-3-3 屋外重要土木構造物配置図

表 3-3-2 屋外重要土木構造物の構造形式

対象構造物		構造形式		
		1)立坑構造物	2)箱型構造物	3)壁構造物
	補機冷却用海水取水路	○	○	
*	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板			○

注記*：波及的影響防止のために耐震評価を行う土木構造物

(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 3-3-2 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 3-3-3 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	

注：作用荷重のイメージ図は平面図を示す。

(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 3-3-3 に、3.3.4(1)で整理した構造形式ごとに、3.3.4(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

評価対象構造物のうち 1)立坑構造物、2)箱型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。3.3.4(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。

立坑構造物は、その構造形状の特徴として表 3-3-3 に示すよう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①動土圧及び動水圧が作用する。

箱型構造物は、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。

評価対象構造物のうち 3)壁構造物は、地上構造物であることから、3.3.4(2)で整理した荷重のうち③慣性力による影響を考慮する。

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立坑構造物、箱型構造物を抽出する。また、地上構造物である壁構造物も慣性力による影響が想定されるため、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抽出する。

表 3-3-3 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)

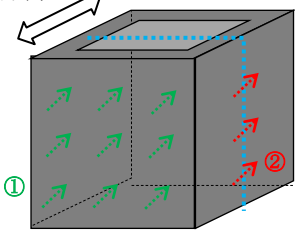
<p>3.3.4(1)で整理した 構造形式の分類 (対象構造物)</p>	<p>1)立坑構造物 補機冷却用海水取水路(立坑部)</p>							
<p>3.3.4(2)で整理した 荷重の作用状況</p>	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p> <p>加振方向</p>  <p>注：③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="667 857 1391 987"> <tr> <td data-bbox="667 857 895 920">①動土圧及び動水圧</td> <td data-bbox="895 857 1391 920">主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 920 895 952">②摩擦力</td> <td data-bbox="895 920 1391 952">主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 952 895 987">③慣性力</td> <td data-bbox="895 952 1391 987">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							
<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>胴体部において、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 (○影響検討実施)</p>	<p style="text-align: center;">○</p>							

表 3-3-3 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)

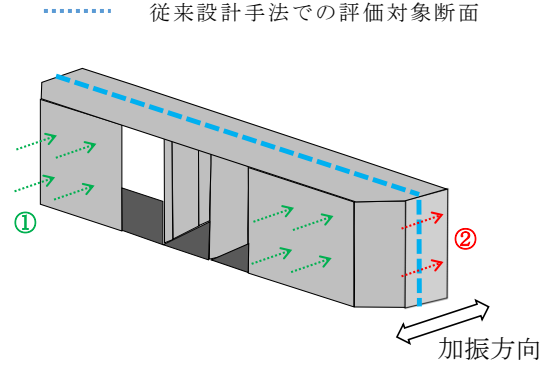
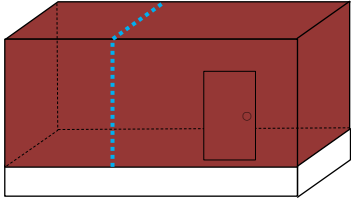
<p>3.3.4(1)で整理した構造形式 の分類 (対象構造物)</p>	<p>2)箱型構造物 補機冷却用海水取水路</p>							
<p>3.3.4(2)で整理した荷重の作 用状況</p>	<div style="text-align: center;">  <p>注：③慣性力は全ての部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="657 862 1409 958"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>主に妻壁に作用</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>側壁に作用</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table> </div>		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>抽出結果 (○影響検討実施)</p>	<p style="text-align: center;">○</p>							

表 3-3-3 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)

<p>3.3.4(1)で整理した 構造形式の分類 (対象構造物)</p>	<p>3) 壁構造物 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板</p>							
<p>3.3.4(2)で整理した 荷重の作用状況</p>	<div style="text-align: center;"> <p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p> <p>加振方向 ↔</p>  </div> <p>注： ③慣性力は全ての部材に作用</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">①動土圧及び動水圧</td> <td style="width: 50%;">作用しない</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>作用しない</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	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
①動土圧及び動水圧	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							
<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>地上構造物である壁構造物は、③慣性力による荷重の組合せによる影響が想定されるため影響大。</p>							
<p>抽出結果 (○影響検討実施)</p>	<p style="text-align: center;">○</p>							

(4)従来設計手法の妥当性確認

補機冷却用海水取水路の従来設計では、図 3-3-4 に示すとおり、屈曲部における 3 次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する箇所や構造部材）を期待せず、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設計であり、十分に保守的な評価となっている。また、補機冷却用海水取水路は直接若しくはマンメイドロックを介して西山層に設置されており、躯体が底版で拘束されていることから、屈曲部における強軸方向の曲げの影響はない。

以上のことから、補機冷却用海水取水路における屈曲部での水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は、従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。

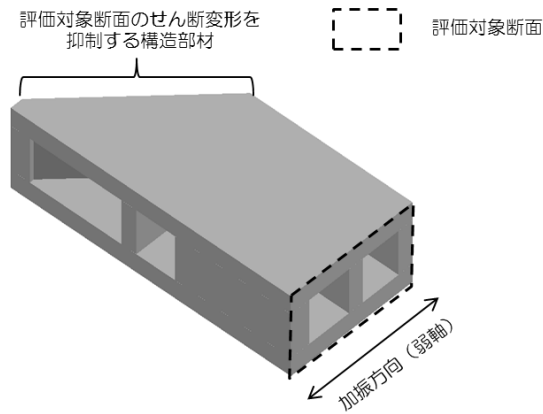


図 3-3-4 屈曲部における 3 次元的な拘束効果

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

3.3.4 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、立坑構造物、箱型構造物及び壁構造物を抽出した。

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) 立坑構造物

補機冷却用海水取水路（立坑部）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価については、周辺地盤状況や構造物に生じる変位の観点から、取水路（7 号機設備）の立坑部の評価に代表させる。

取水路（7 号機設備）の立坑部については、VI-2-10-3-1-7「取水路（7 号機設備）の耐震性についての計算書」のうち「別紙 取水路立坑の健全性評価について」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) 箱型構造物

補機冷却用海水取水路については、VI-2-10-3-1-8「補機冷却用海水取水路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。

(3) 壁構造物

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板については、VI-2-11-2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板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、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことを確認している。

3.3.7 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 2 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

津波防護施設，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は，「3.1 建物・構築物」，「3.2 機器・配管系」又は「3.3 屋外重要土木構築物」に分類し評価を行っていることから，その分類を表3-4-1に示す。また，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施設の設置位置図を図3-4-1に示す。

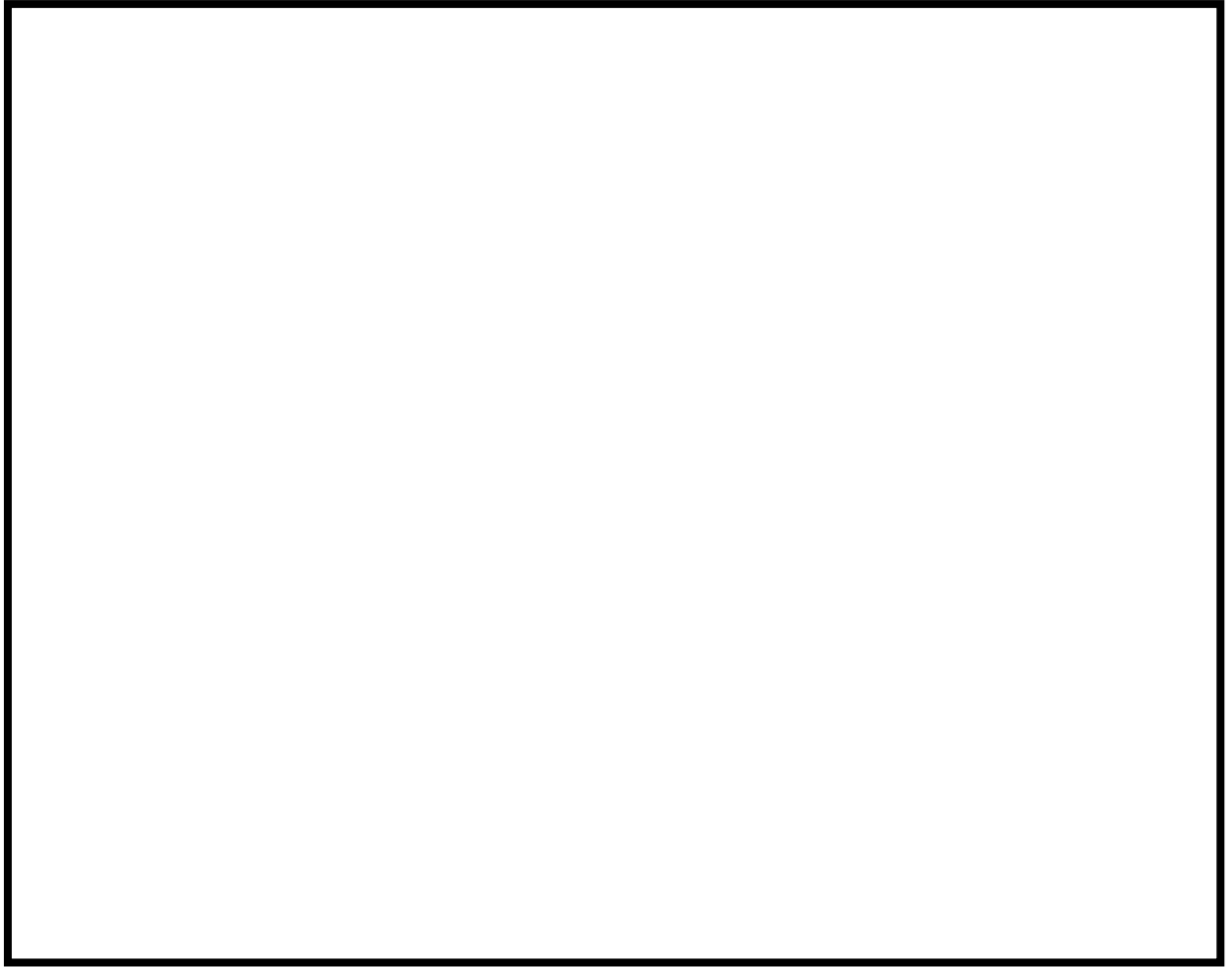
表3-4-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の分類

No.	施設，設備分類	施設，設備名称	区分
1	津波防護施設	海水貯留堰	屋外重要土木構築物
2	浸水防止設備	タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板1	建物・構築物
3	浸水防止設備	タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板2	建物・構築物
4	浸水防止設備	補機冷却用海水取水槽(A) 閉止板	建物・構築物
5	浸水防止設備	補機冷却用海水取水槽(B) 閉止板	建物・構築物
6	浸水防止設備	補機冷却用海水取水槽(C) 閉止板	建物・構築物
7	浸水防止設備	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	建物・構築物
8	浸水防止設備	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	建物・構築物
9	浸水防止設備	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	建物・構築物
10	浸水防止設備	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	建物・構築物
11	浸水防止設備	建屋間連絡水密扉(タービン建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)	建物・構築物
12	浸水防止設備	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	建物・構築物
13	浸水防止設備	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	建物・構築物
14	浸水防止設備	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉1	建物・構築物
15	浸水防止設備	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉2	建物・構築物
16	浸水防止設備	循環水系配管メンテナンス室 水密扉1	建物・構築物
17	浸水防止設備	循環水系配管メンテナンス室 水密扉2	建物・構築物
18	浸水防止設備	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	建物・構築物
19	浸水防止設備	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	建物・構築物
20	浸水防止設備	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	建物・構築物
21	浸水防止設備	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	建物・構築物
22	浸水防止設備	床ドレンライン浸水防止治具	機器・配管系
23	浸水防止設備	貫通部止水処置	機器・配管系
24	津波監視設備	取水槽水位計	機器・配管系 ^{*3}
25	津波監視設備	津波監視カメラ	機器・配管系

注記*1 : 設置位置図はKK6 補足-028-8「浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料」参照。

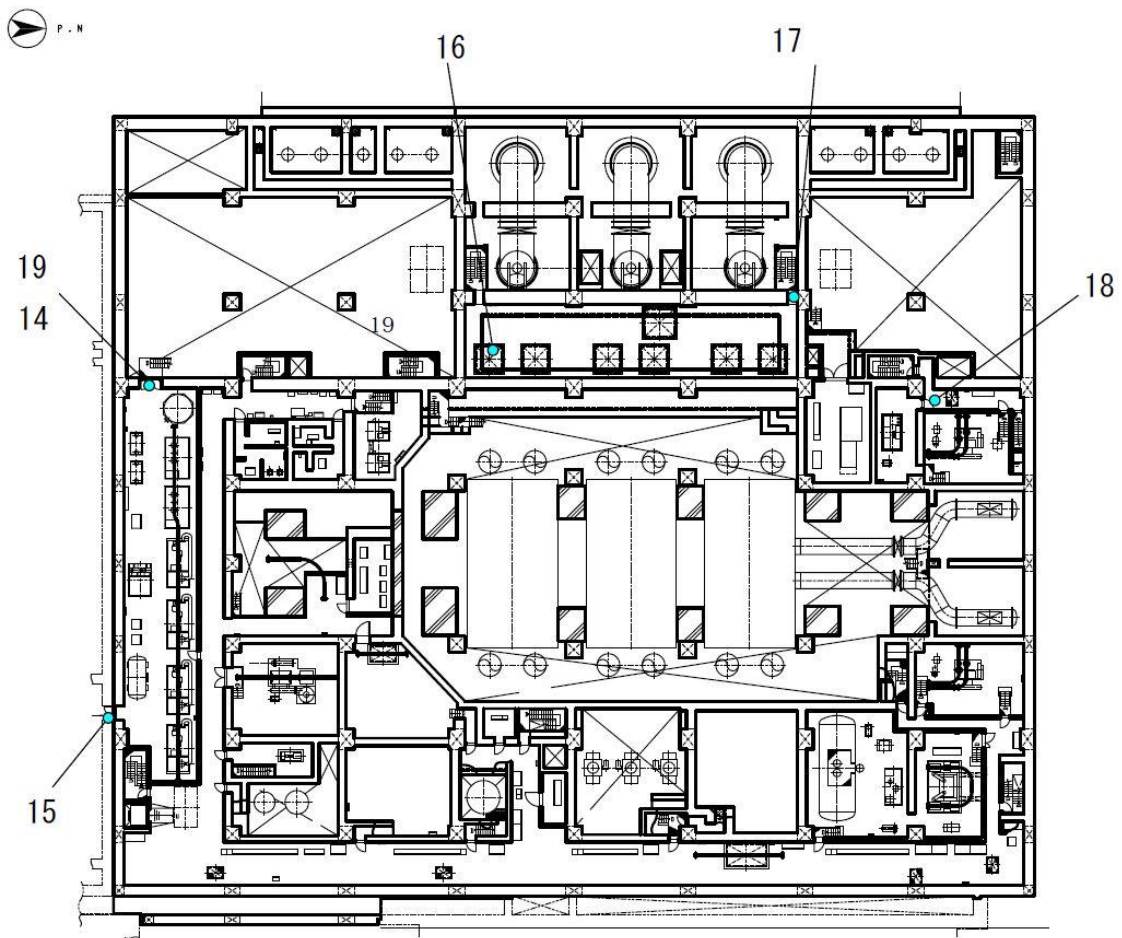
*2 : 設置位置図はVI-3-別添-3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」参照。

*3 : 表3-2-1「伝送器(矩形壁掛)」に分類。



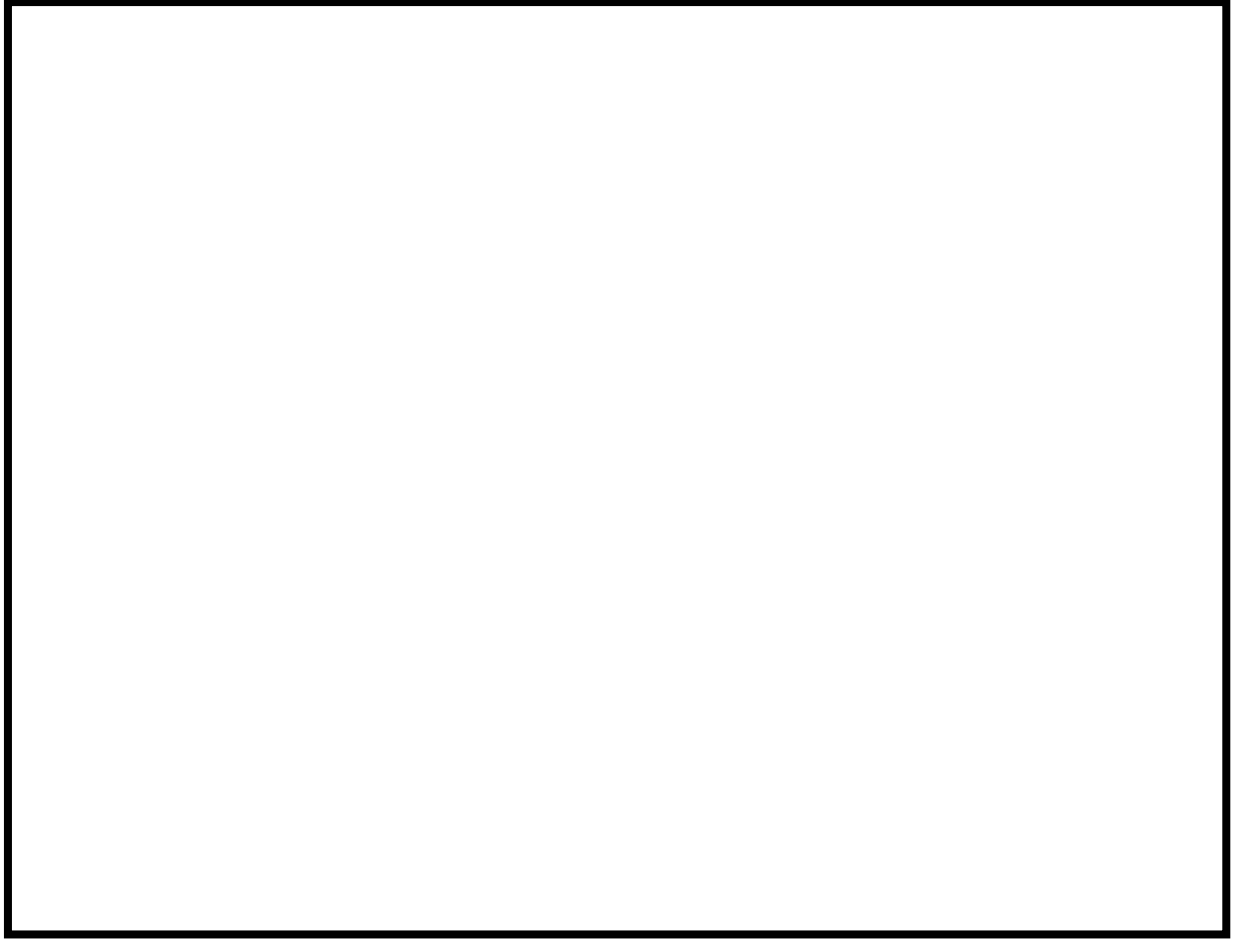
(屋内：タービン建屋 T.M.S.L. -5100)

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 (1/4)



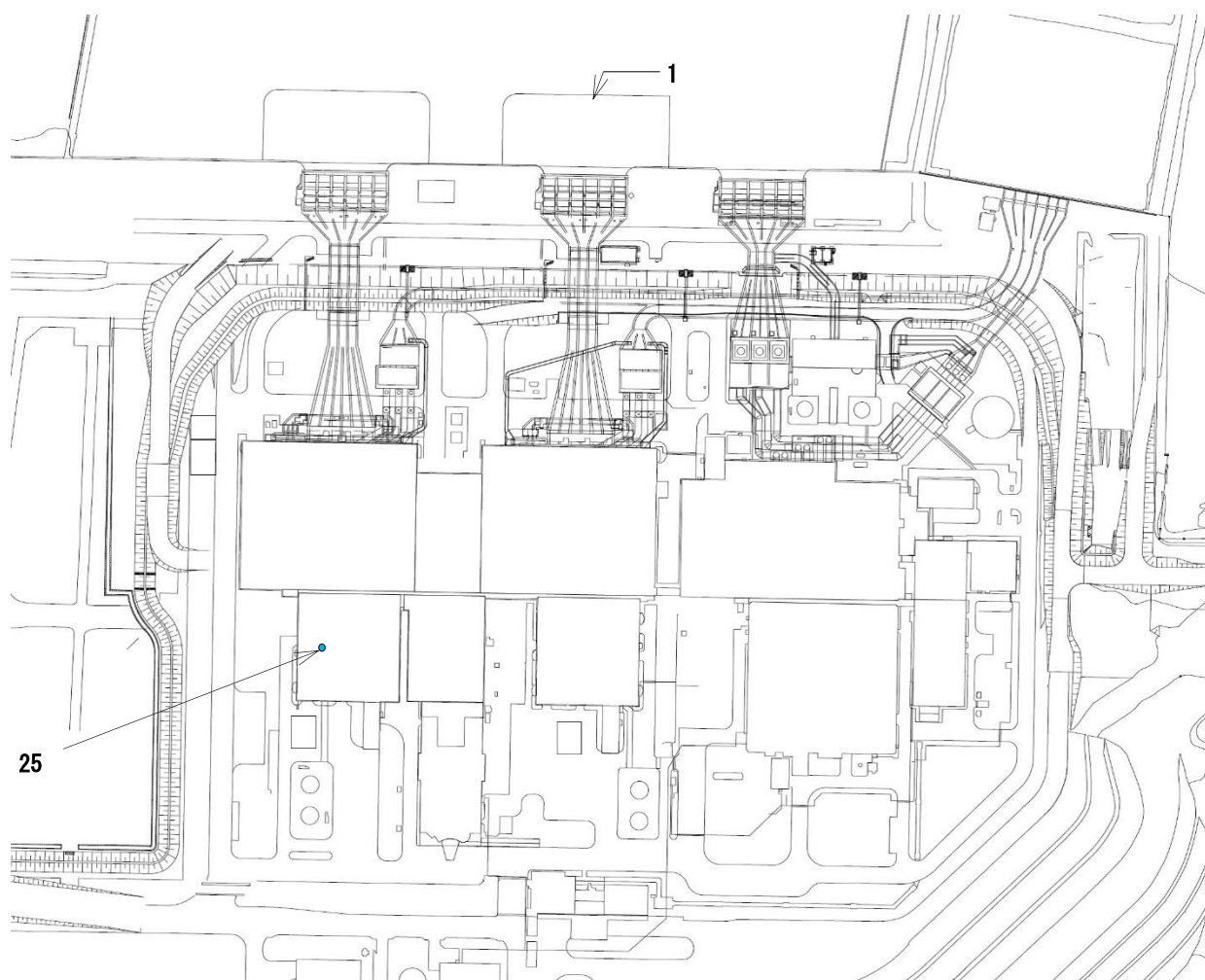
(屋内：タービン建屋 T.M.S.L. -1100)

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 (2/4)



(屋内：タービン建屋 T.M.S.L. 4900)

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 (3/4)



(屋外)

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 (4/4)

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1-5
2.1 原子炉建屋	別紙1-6
2.2 タービン建屋	別紙1-16
2.3 廃棄物処理建屋	別紙1-22
2.4 主排気筒	別紙1-31
2.5 格納容器圧力逃がし装置基礎	別紙1-32
3. 代表部位の選定プロセス	別紙1-36

1. 構成部位の整理及び水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せによる影響確認が必要な部位の抽出に関する整理表
抽出に関する整理表を表 1-1～表 1-3 に示す。

表 1-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理

耐震評価部位		原子炉建屋	タービン建屋	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC造	RC造
柱	一般部	○	○	○	○*1	—
	隅部	○	○	○	○*2	—
	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	基礎スラブ	○	○	○	—	○
	杭基礎	○	—	—	—	○

凡例 ○ : 対象の構造部材あり

— : 対象の部材なし

注記*1 : 主排気筒の柱（一般部）は筒身である。

*2 : 基礎立上り部を含む。

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

耐震評価部位		原子炉建屋	タービン建屋	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC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	不要*1	不要*1	①-1要	—
	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	—
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
	鉄骨トラス	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
壁	一般部	①-2要 (使用済燃料貯蔵プール)	該当なし	①-2要 (復水貯蔵槽)	—	該当なし
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要	—	—
	鉄骨ブレース	—	該当なし	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	基礎スラブ	①-1要	①-1要	①-1要	—	①-1要
	杭基礎	①-1要 (大物搬入建屋)	—	—	—	①-1要

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*1 : 鉄骨造部の隅柱については、応力の集中が考えられるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

*2 : 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は、衝突の有無の判断が基本となるため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、耐震壁を主たる評価対象部位としている。そのため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

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

耐震評価部位		原子炉建屋	タービン 建屋	廃棄物処理 建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC造	RC造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	—
	隅部	不要	不要	不要	要	—
	地下部	不要	不要	不要	—	—
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	—
	地下部	不要	不要	不要	—	—
	鉄骨トラス	不要	不要	不要	—	—
壁	一般部	要 (使用済燃料貯蔵プール) ②-1 (燃料取替床レベル)	不要*	要 (復水貯蔵槽)	—	不要
	地下部	要	要	要	—	—
	鉄骨ブレース	—	不要*	不要*	不要	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	—	—
基礎	基礎スラブ	要	要	要	—	要
	杭基礎	要 (大物搬入建屋)	—	—	—	要

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

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* : 大スパン部については、面内荷重方向に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

2. 対象建屋の図面

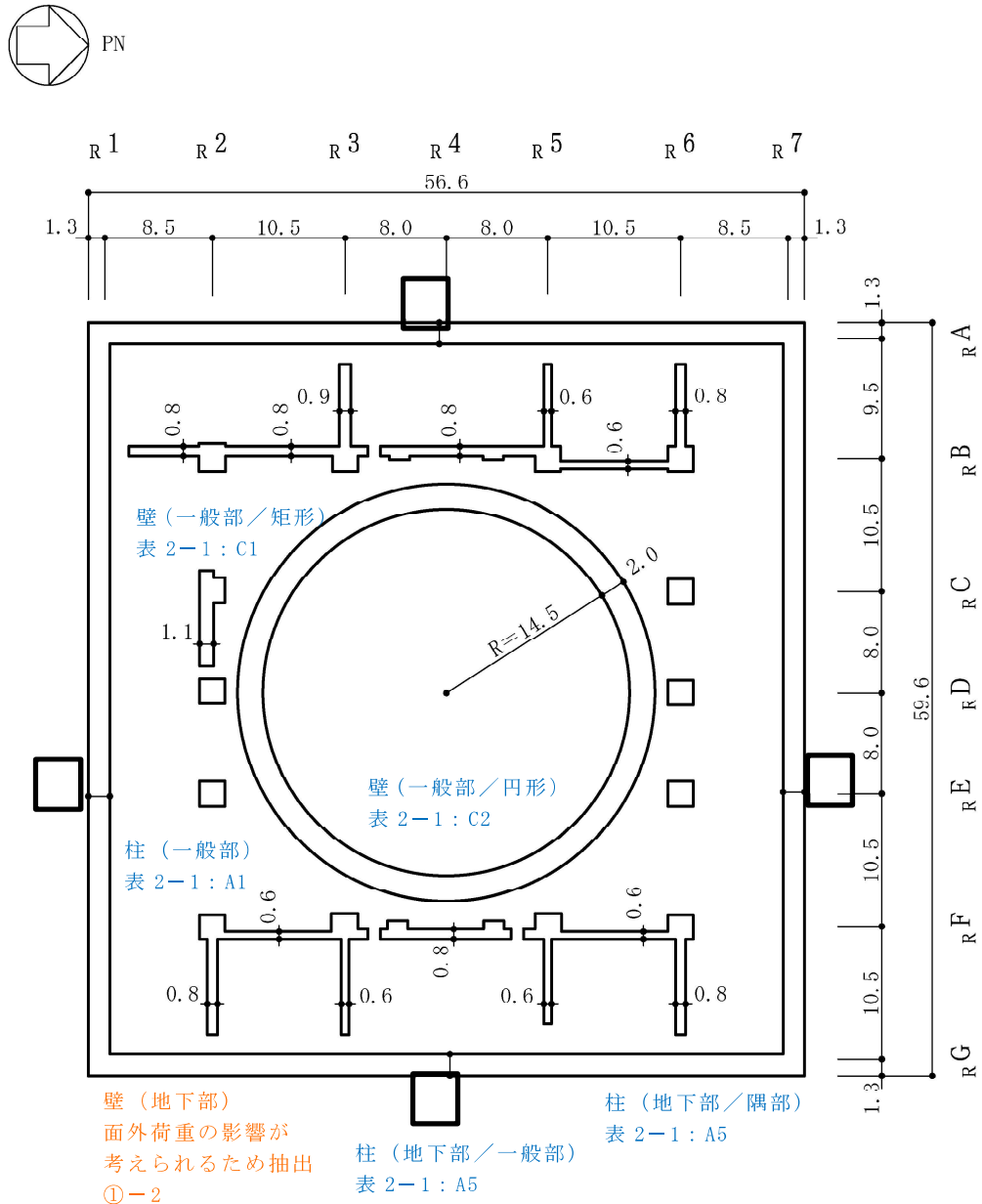
VI-2-12「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」の「3.1.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出」において示すプロセスに用いた対象建屋の図面を図2-1～図2-9に記載する。

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

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

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



注：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

図 2-1 原子炉建屋の概略平面図（B3F，T.M.S.L. -8.2m）（1/8）（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理由

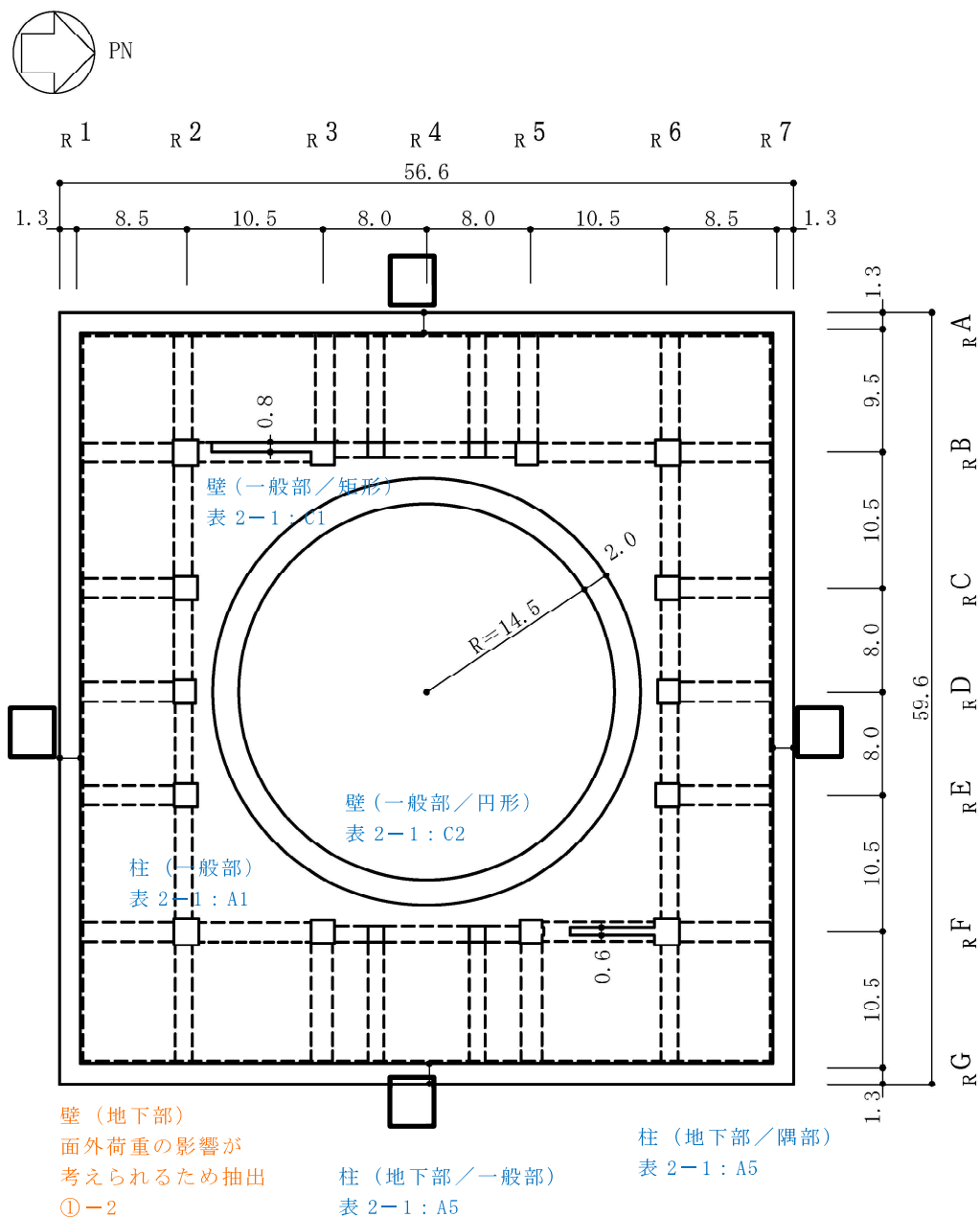


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図（B2F, T. M. S. L. -1.7m）（2/8）（単位：m）

- 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理由

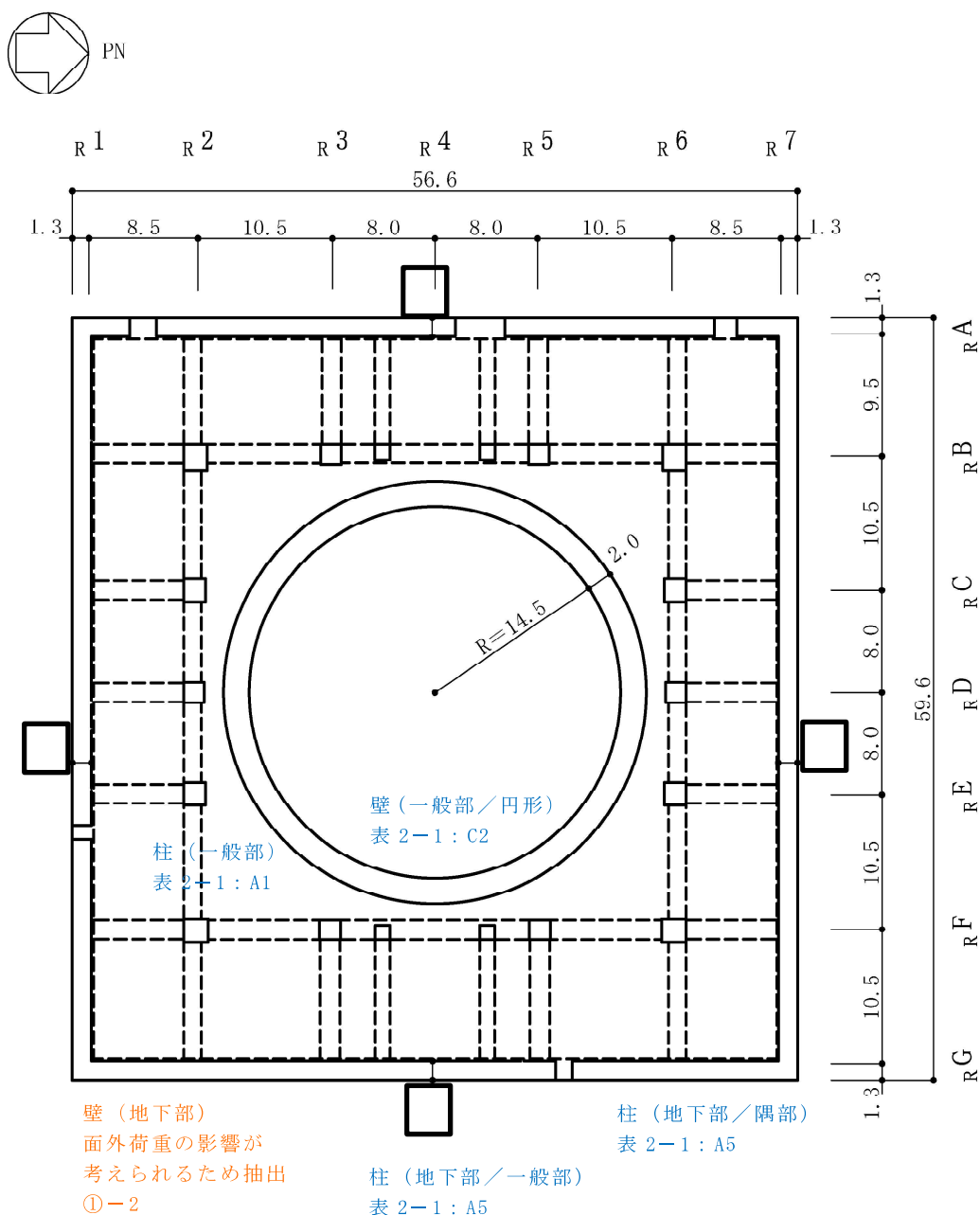


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図（B1F，T.M.S.L. 4.8m）（3/8）（単位：m）

- 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理由

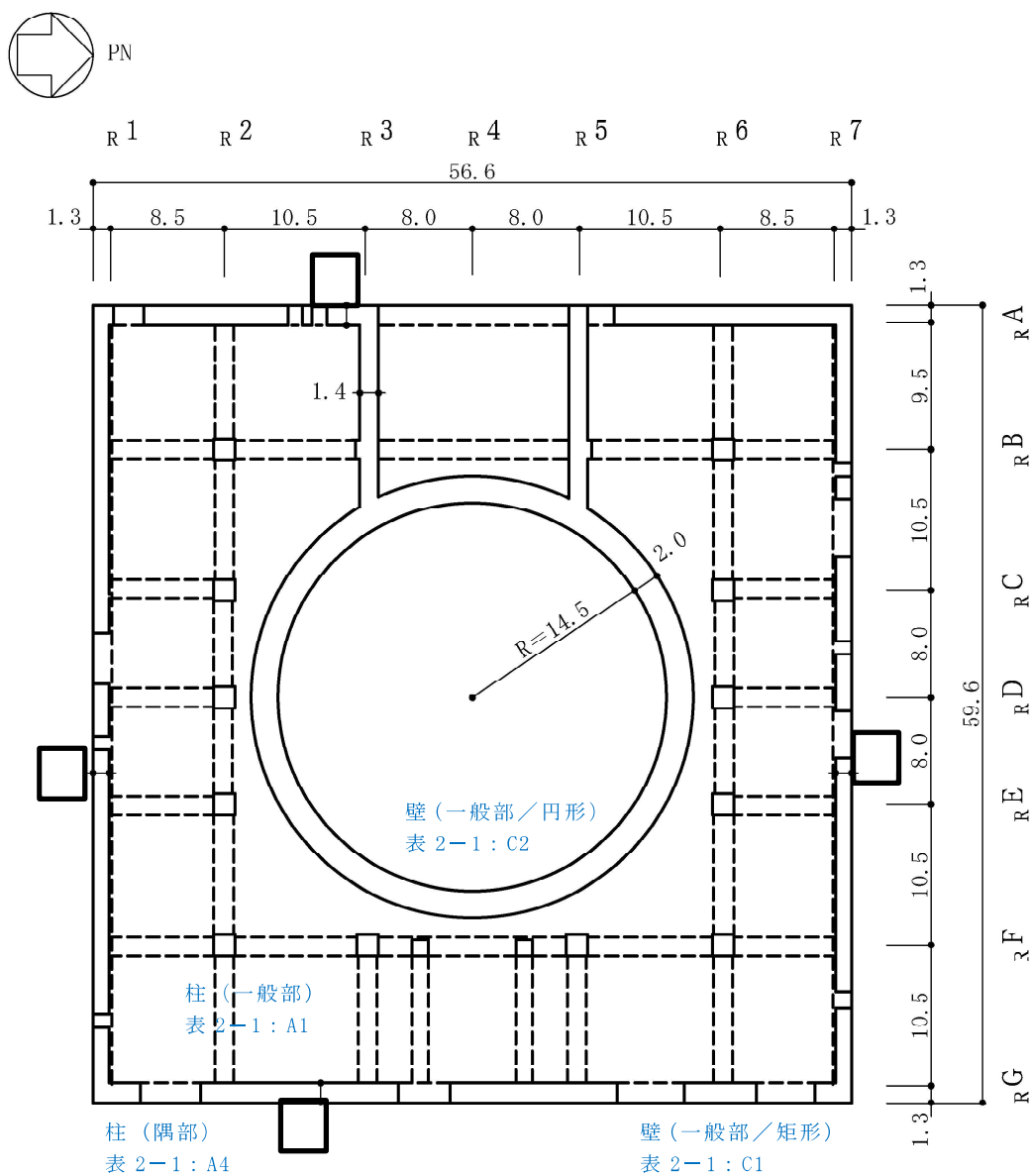


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/8) (単位 : m)

- 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理由

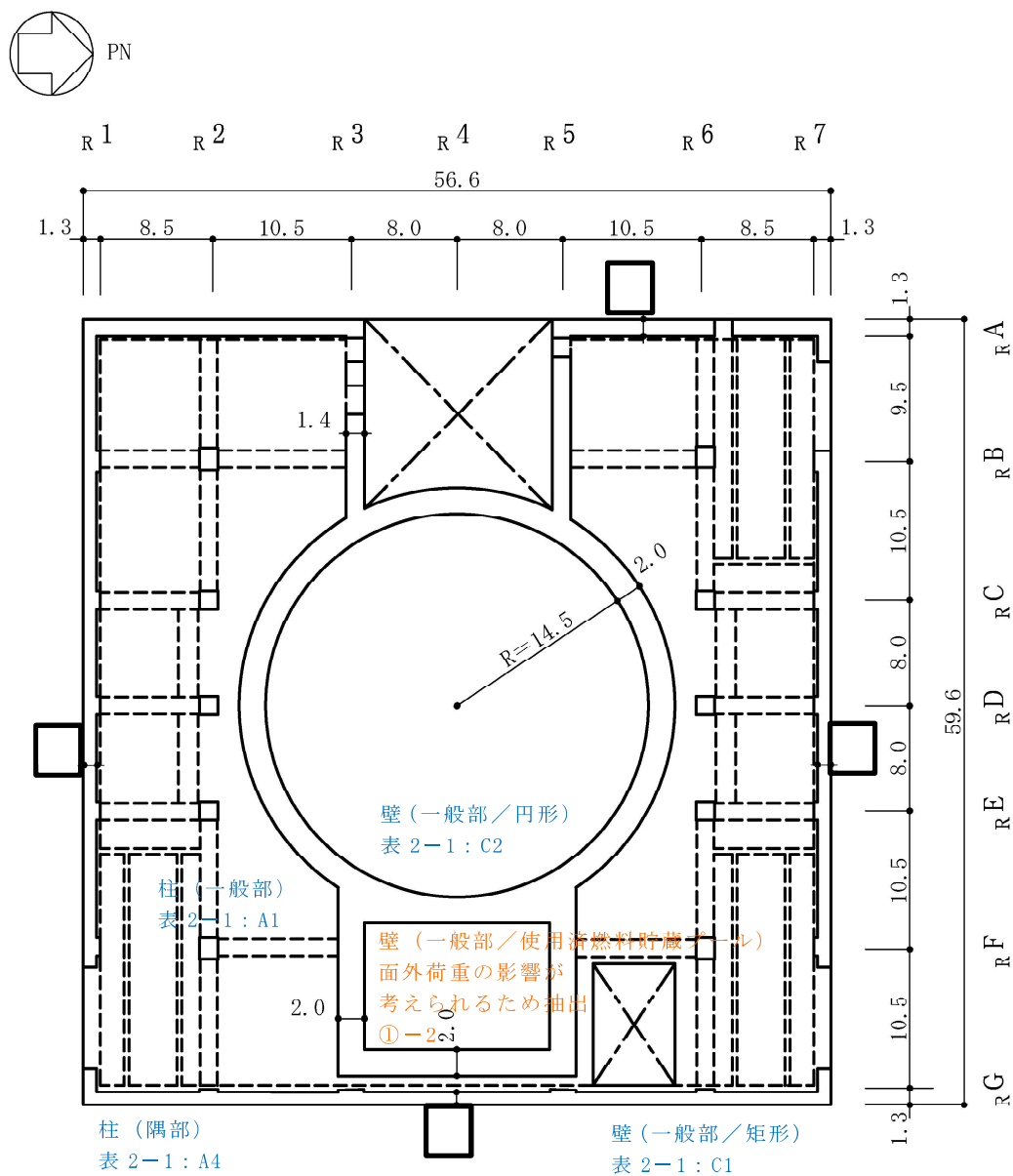


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 18.1m) (5/8) (単位 : m)

- 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理由

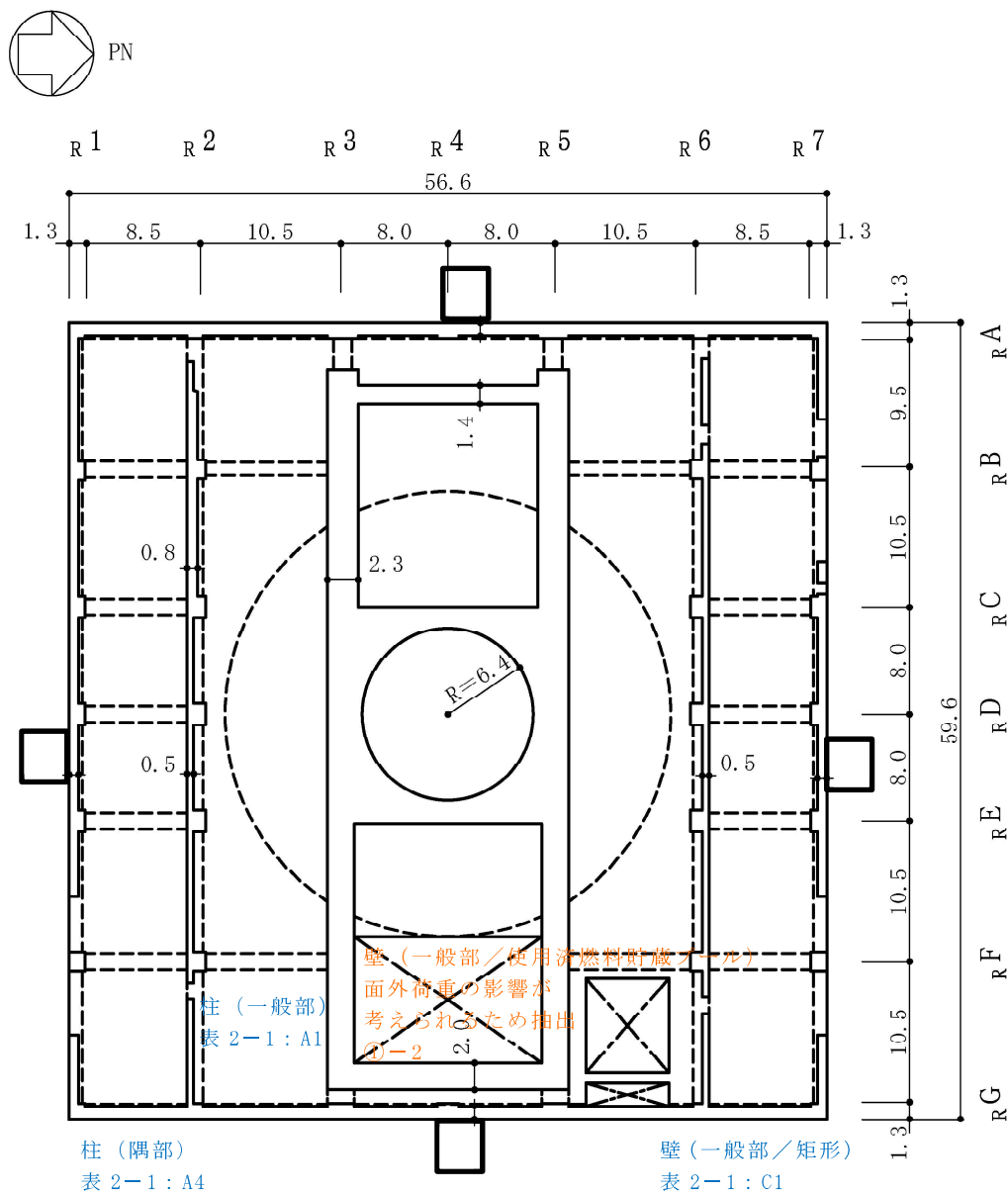


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図（3F, T. M. S. L. 23.5m）（6/8）

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

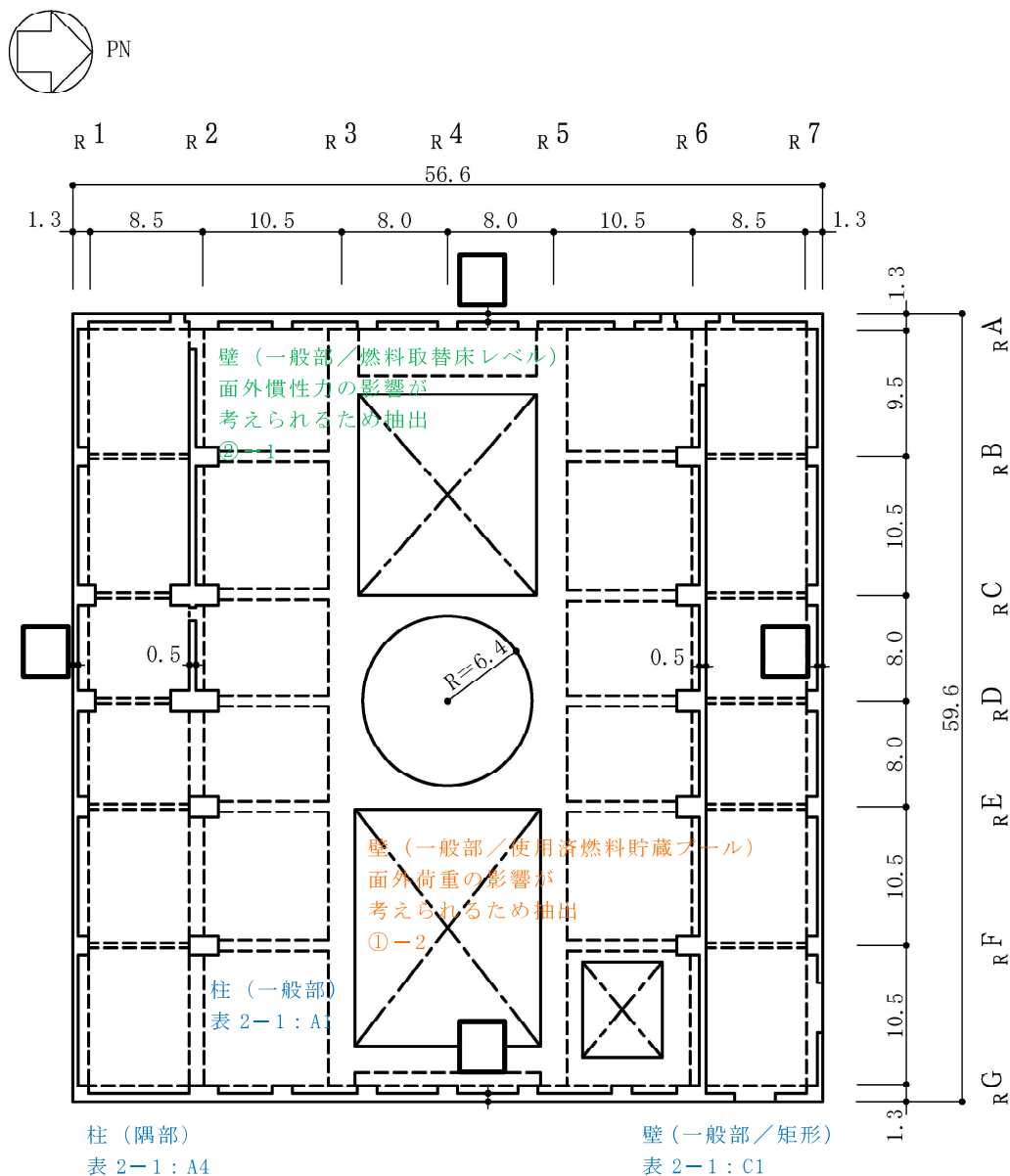


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図（4F, T.M.S.L. 31.7m）（7/8）（単位：m）

- 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理由

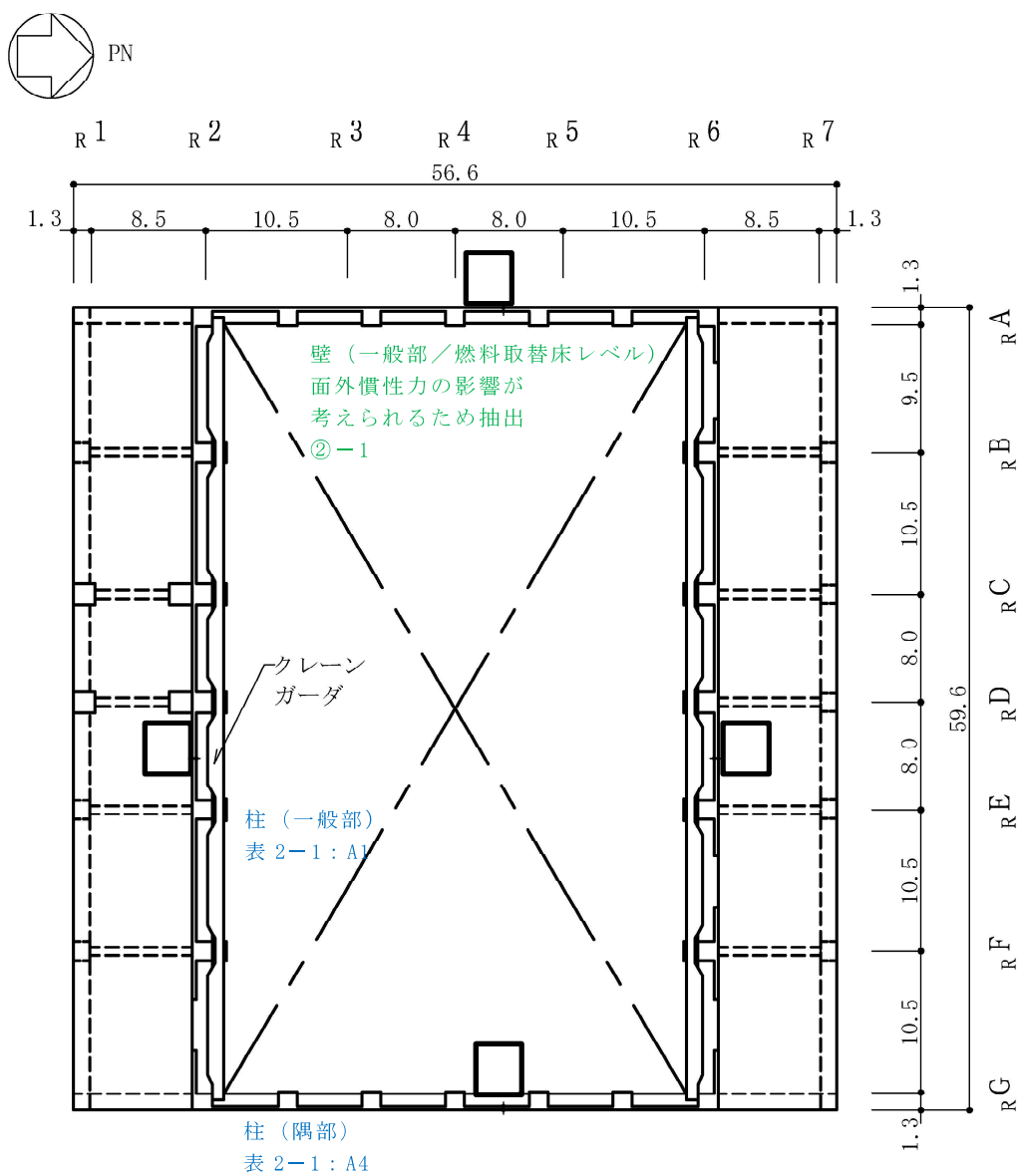
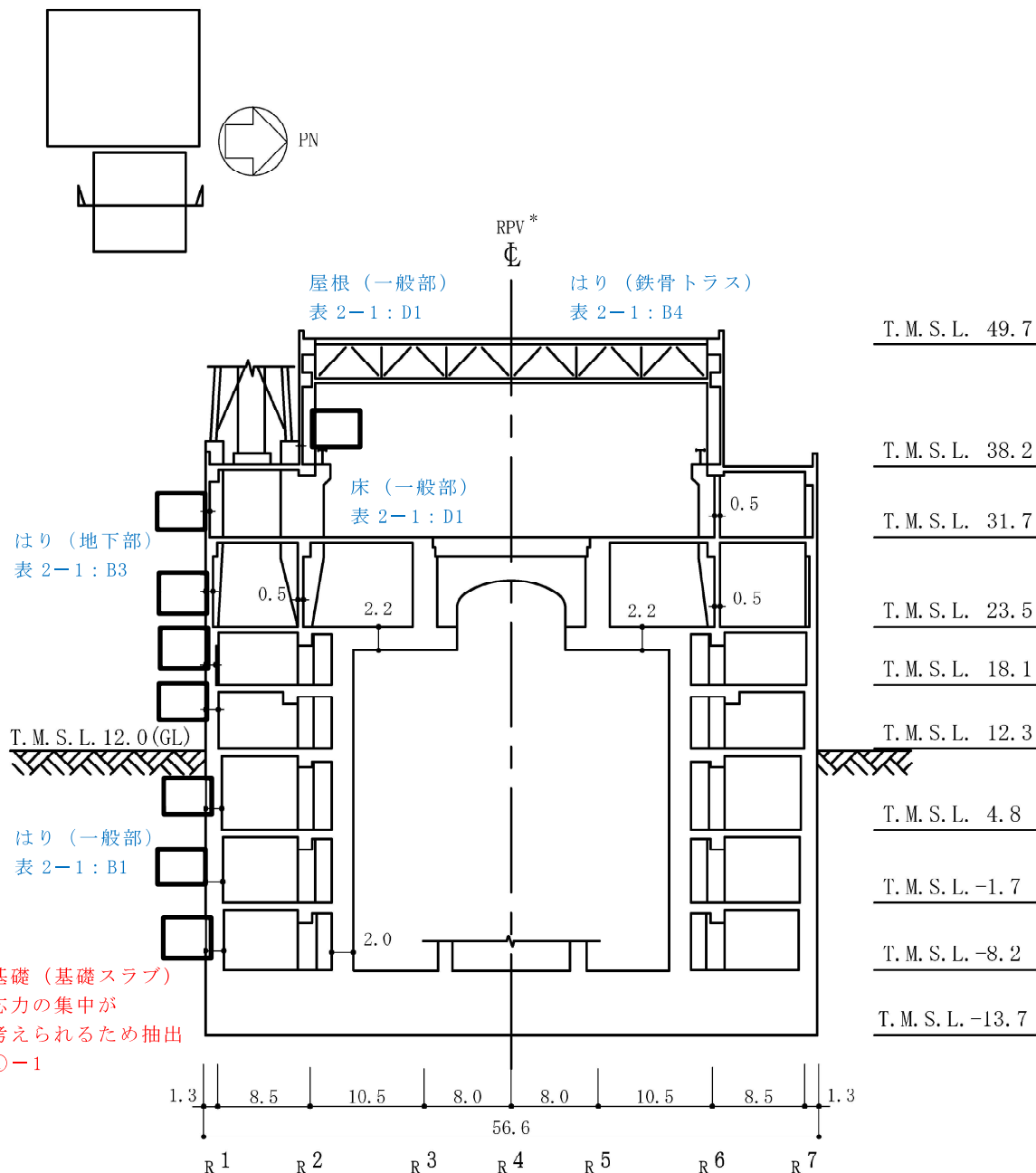


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T. M. S. L. 38.2m) (8/8) (単位 : m)

- 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理由



注記*：原子炉圧力容器を，以下「RPV」という。

図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2) (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理由

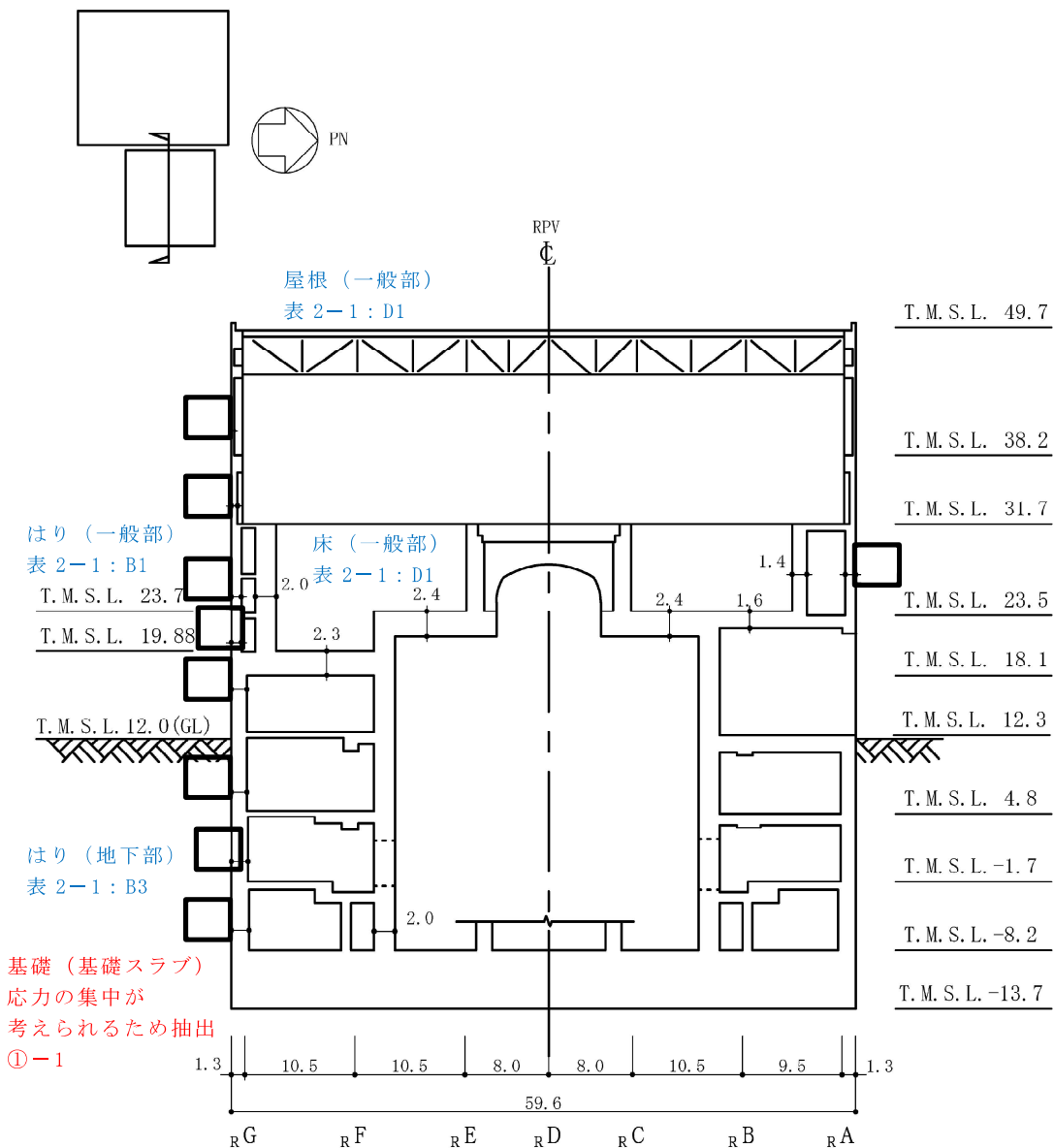


図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2) (単位: m)

2.2 タービン建屋

タービン建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。

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

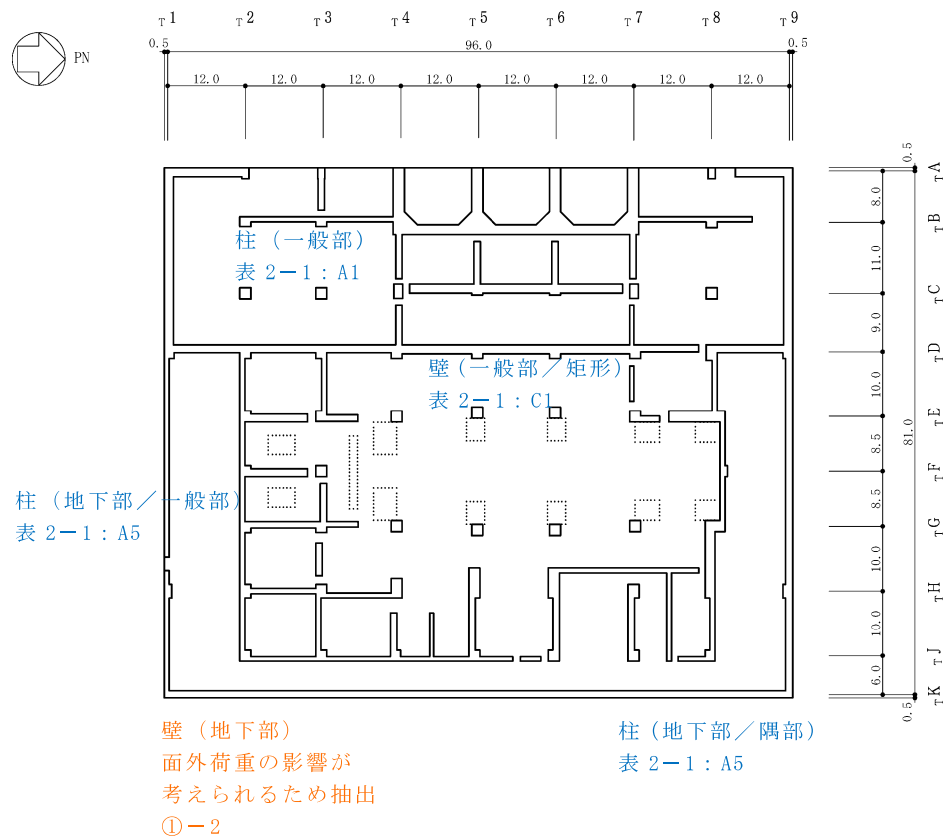


図 2-3 タービン建屋の概略平面図 (B2F, T. M. S. L. -5.1m) (1/5) (単位 : m)

- 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理由

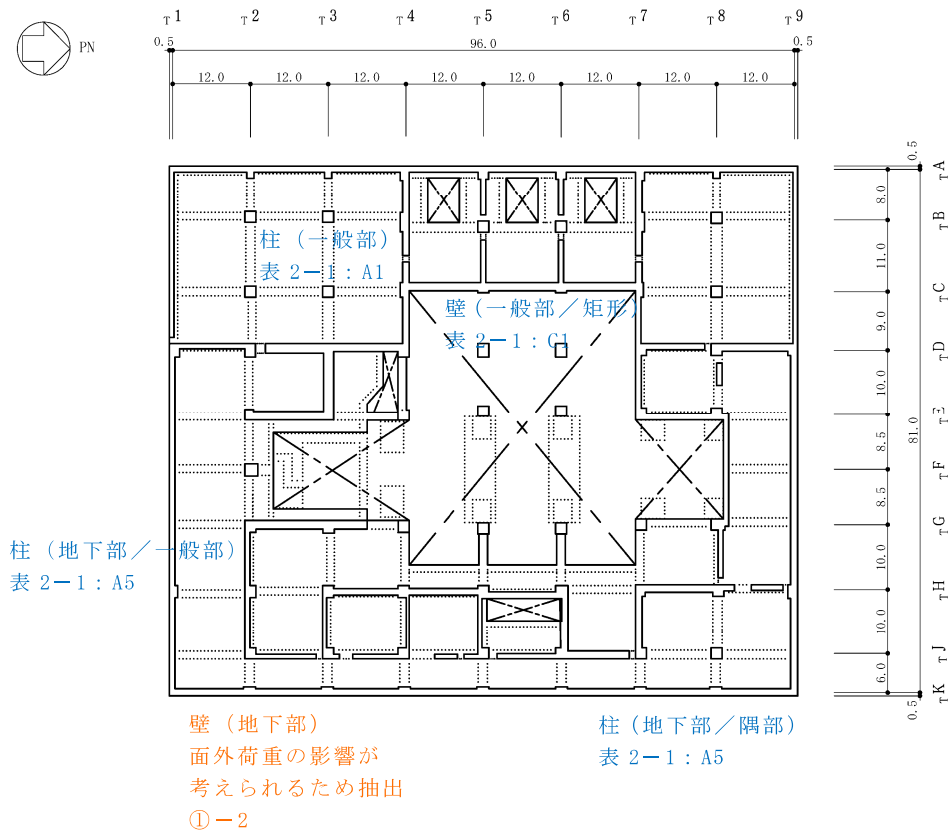


図 2-3 タービン建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.9m) (2/5) (単位 : m)

- 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理由

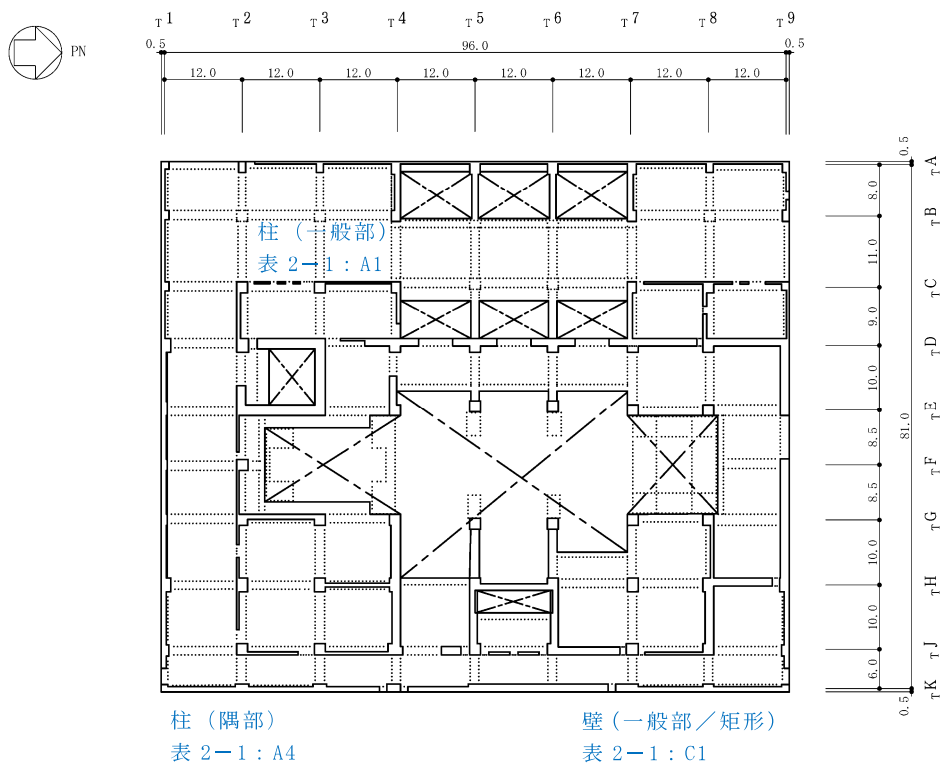


図 2-3 タービン建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (3/5) (単位 : m)

- 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理由

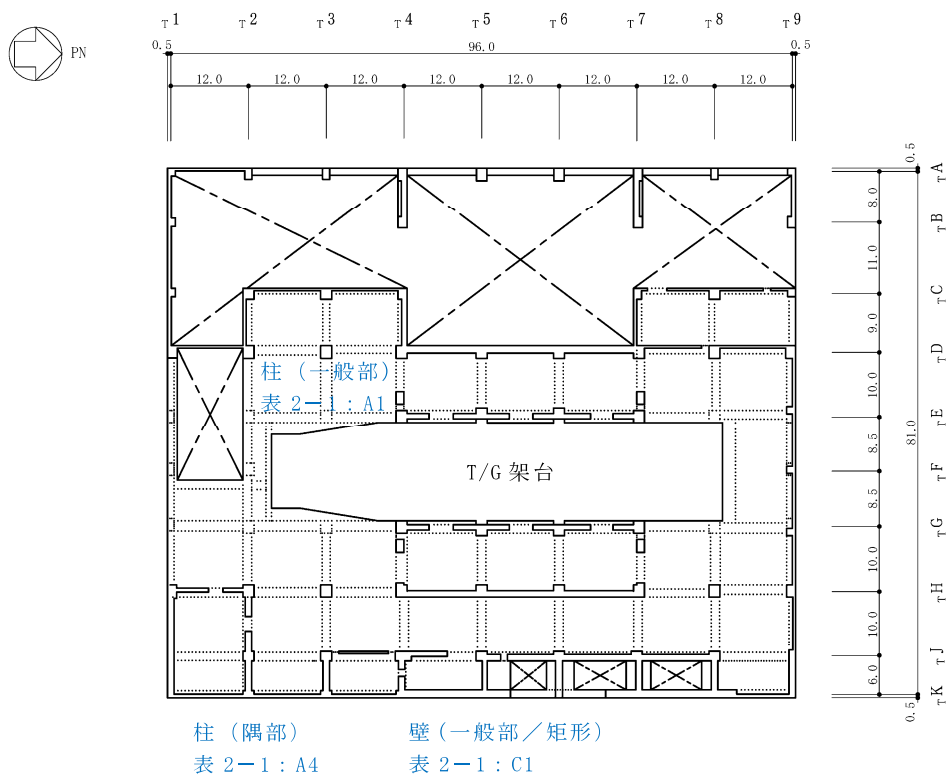


図 2-3 タービン建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 20.4m) (4/5) (単位 : m)

- 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理由

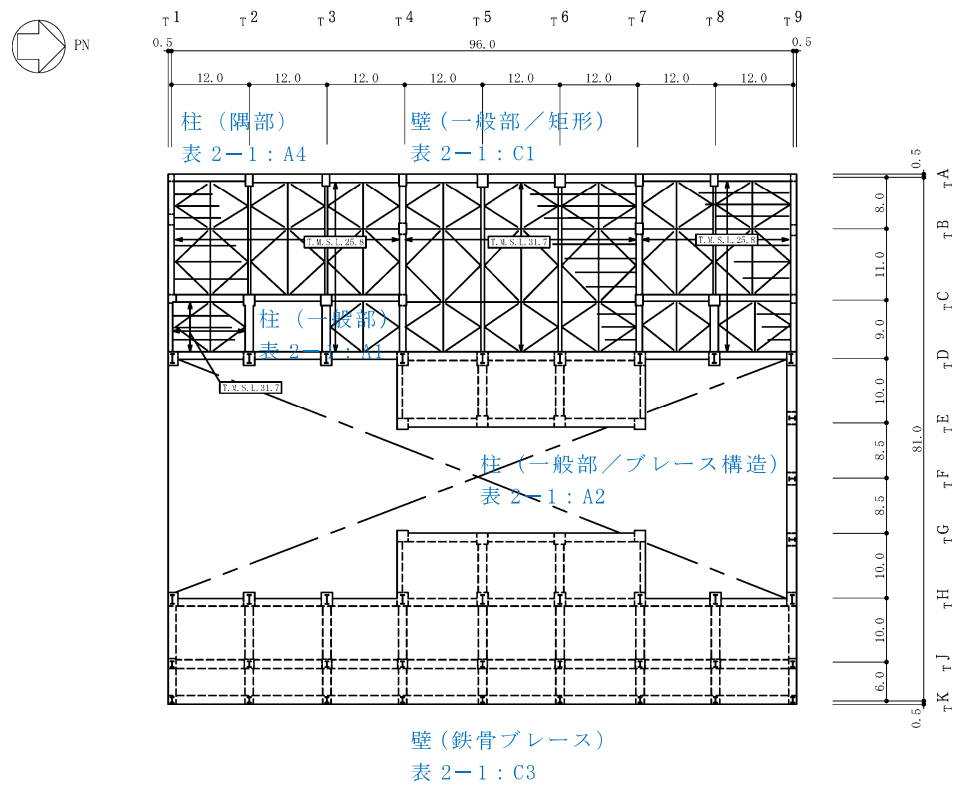


図 2-3 タービン建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 30.9m) (5/5) (単位 : m)

- 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理由

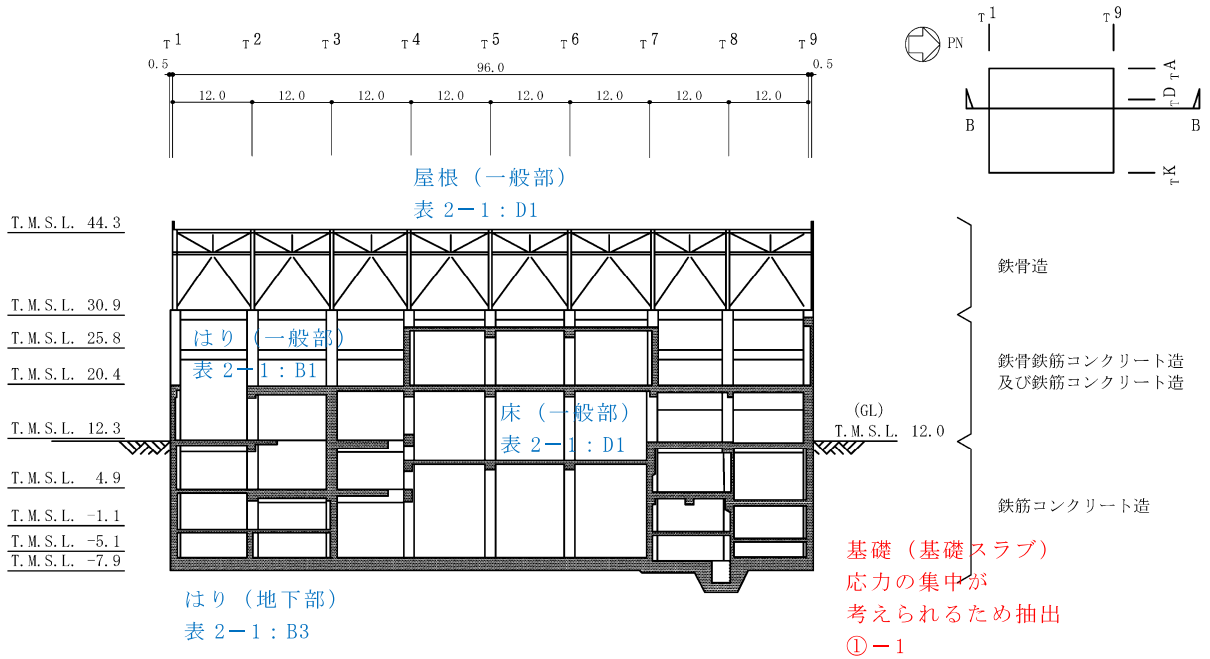


図 2-4 タービン建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2) (単位:m)

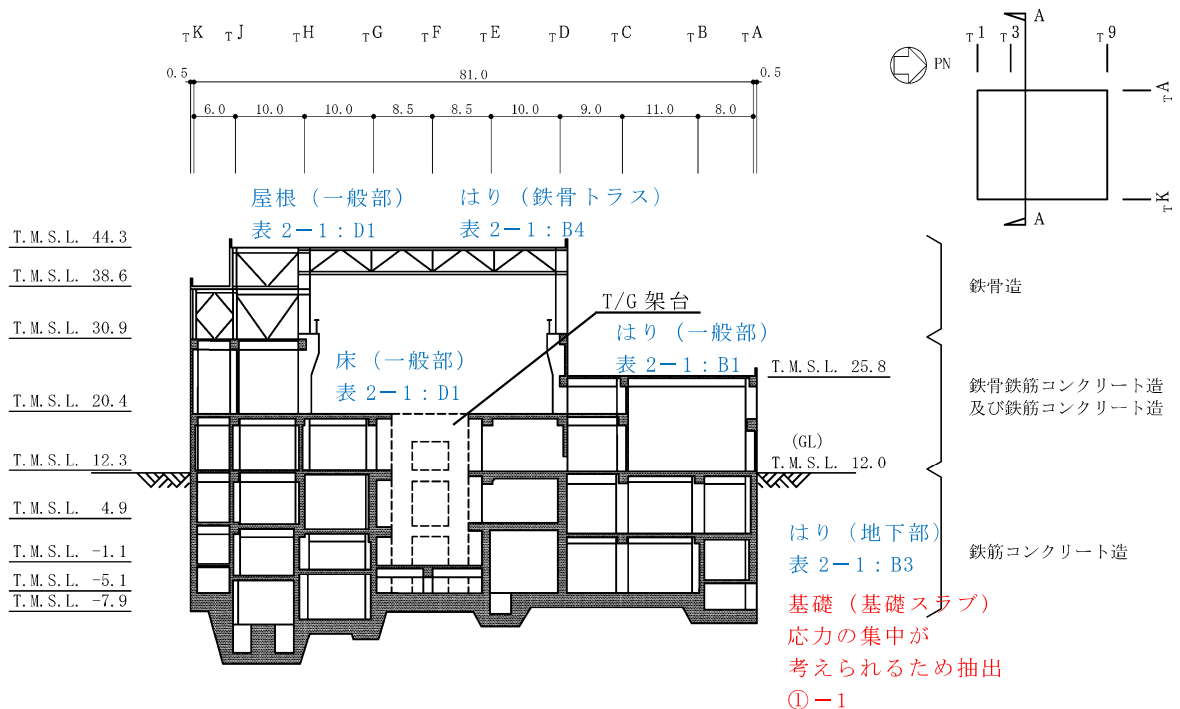


図 2-4 タービン建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2) (単位:m)

2.3 廃棄物処理建屋

廃棄物処理建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

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

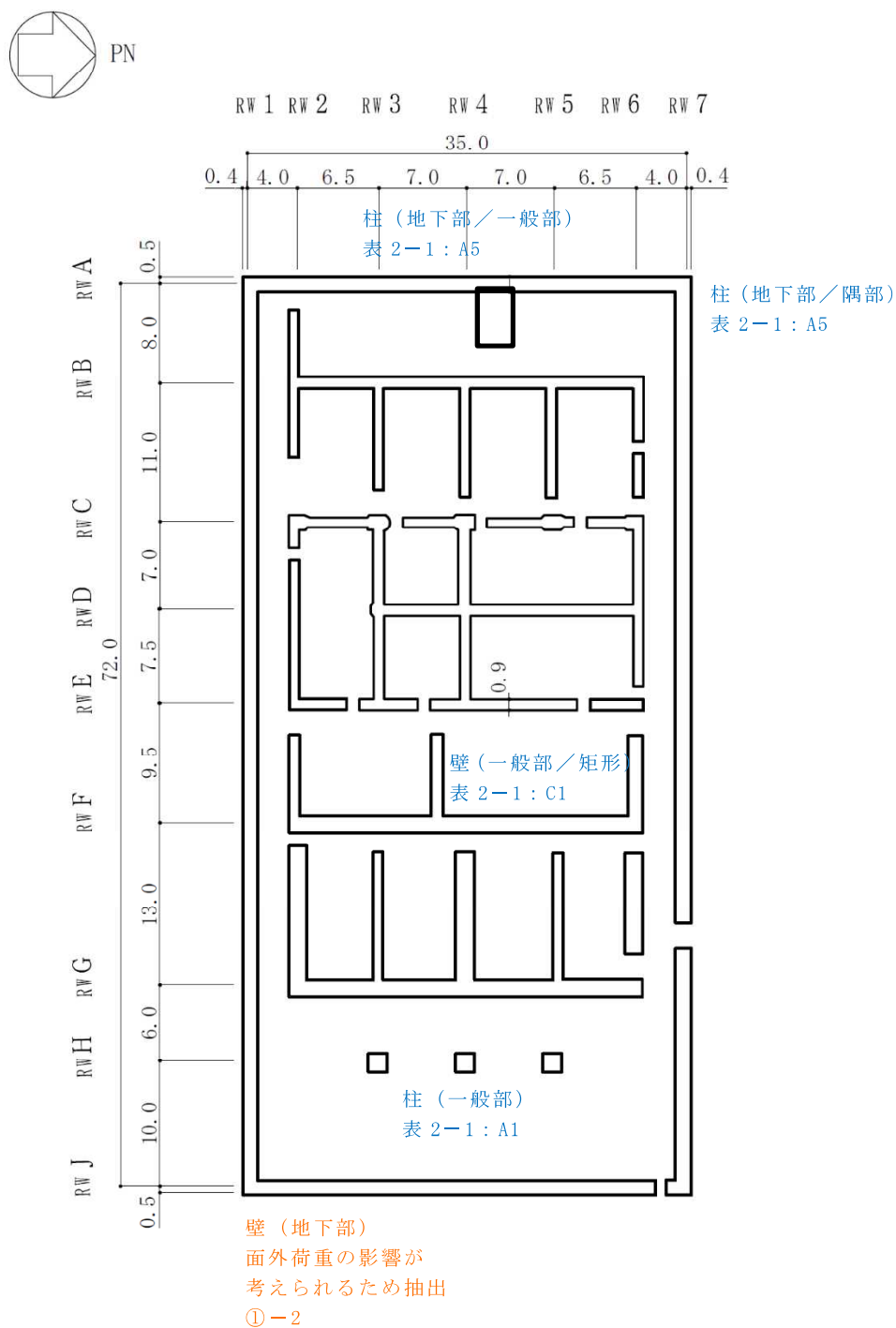


図 2-5 廃棄物処理建屋の概略平面図（B3F, T.M.S.L. -6.1m）（1/7）（単位：m）

- 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理由

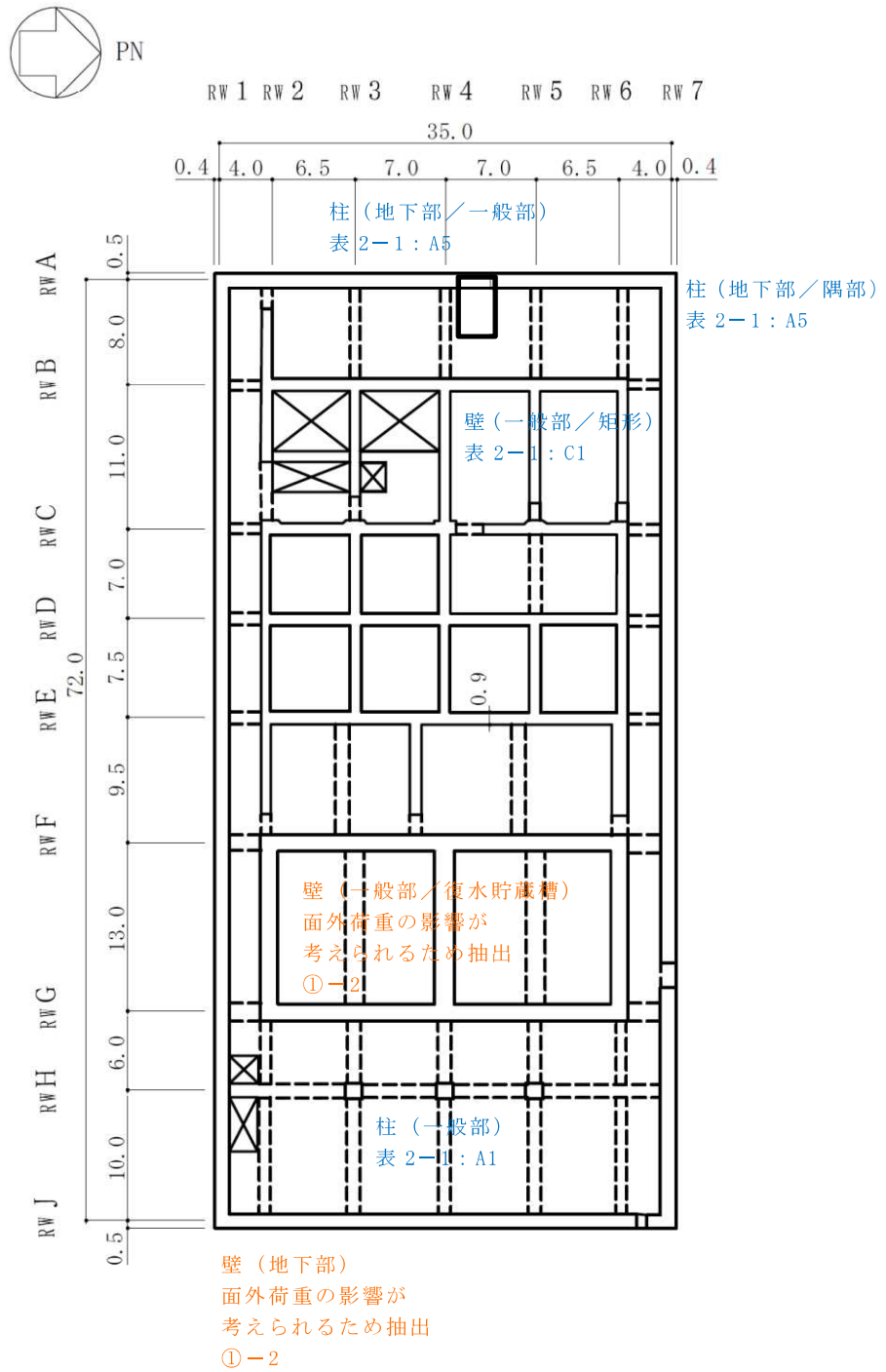


図 2-5 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B2F, T. M. S. L. -1. 1m) (2/7) (単位 : m)

- 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理由

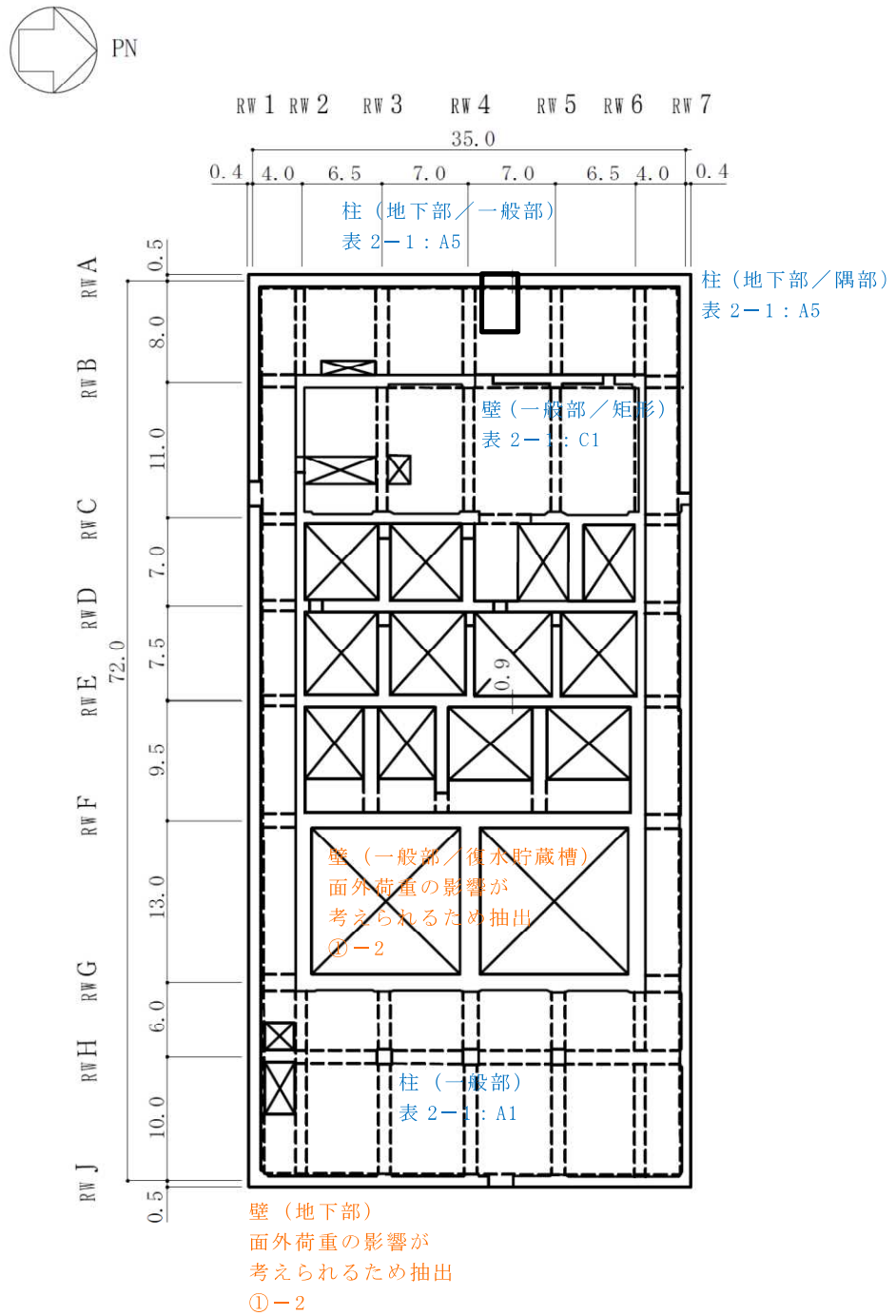


図 2-5 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 6.5m) (3/7) (単位: m)

- 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理由

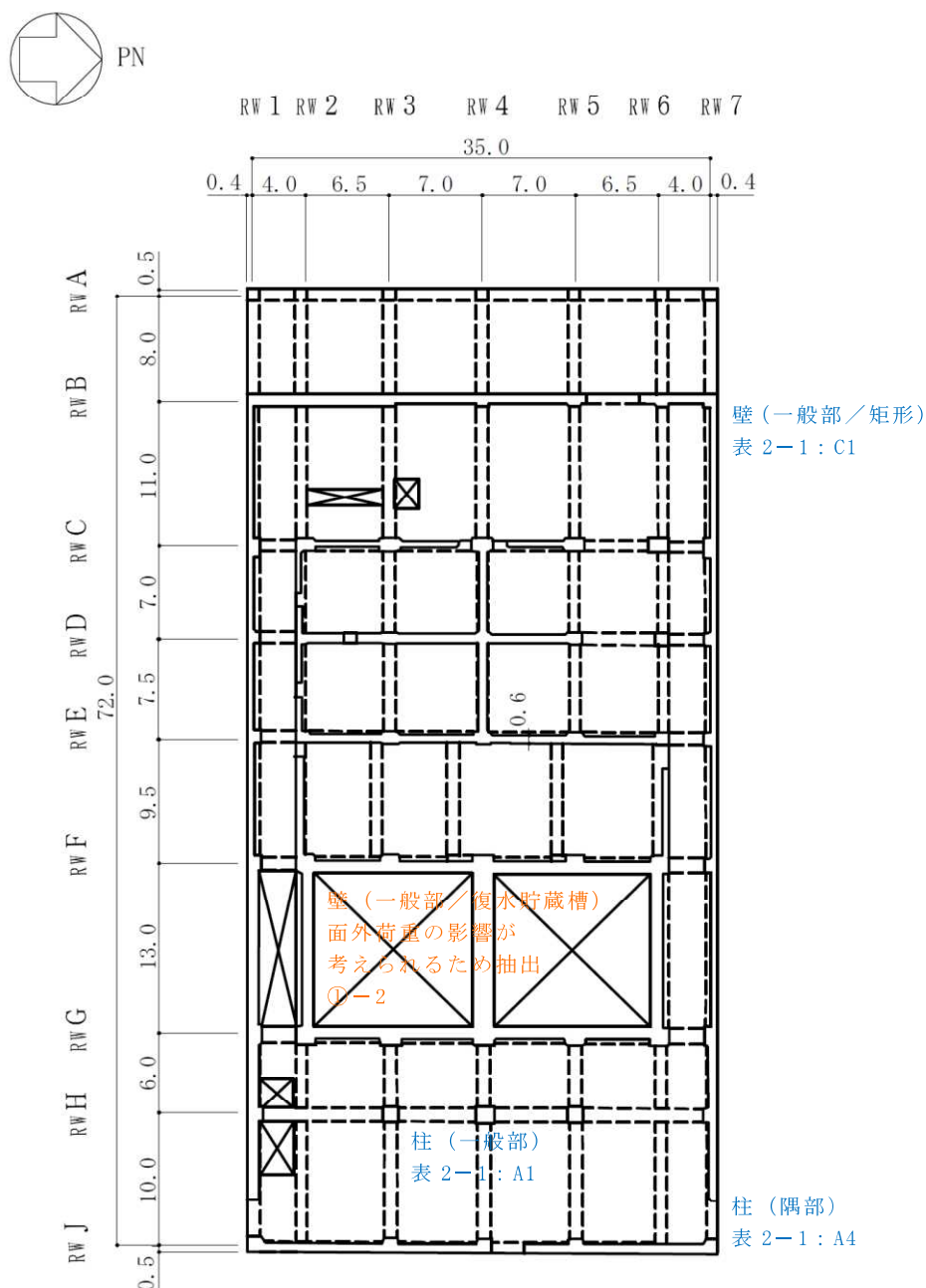


図 2-5 廃棄物処理建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/7) (単位 : m)

- 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理由

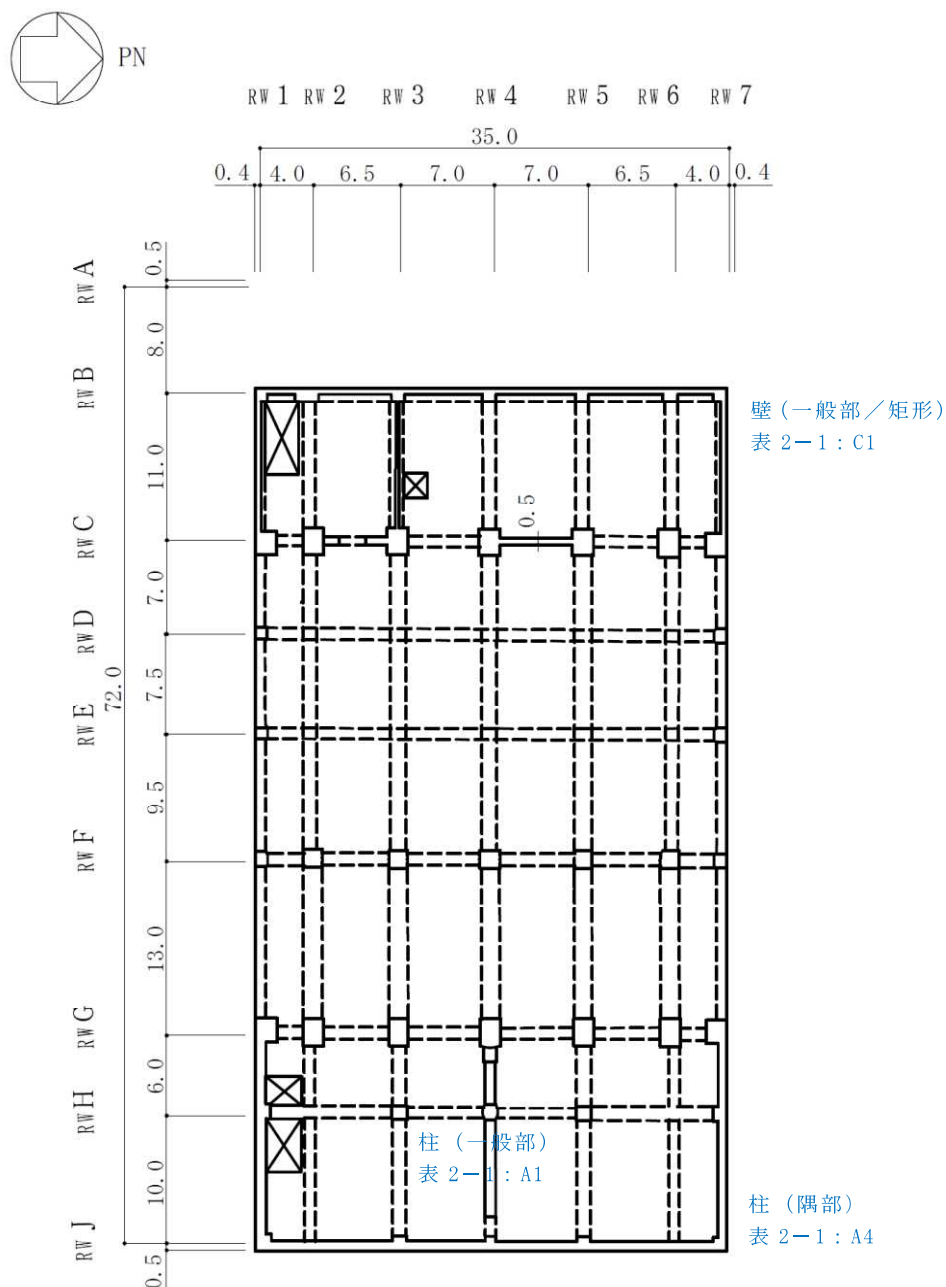


図 2-5 廃棄物処理建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 20.4m) (5/7) (単位: m)

- 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理由

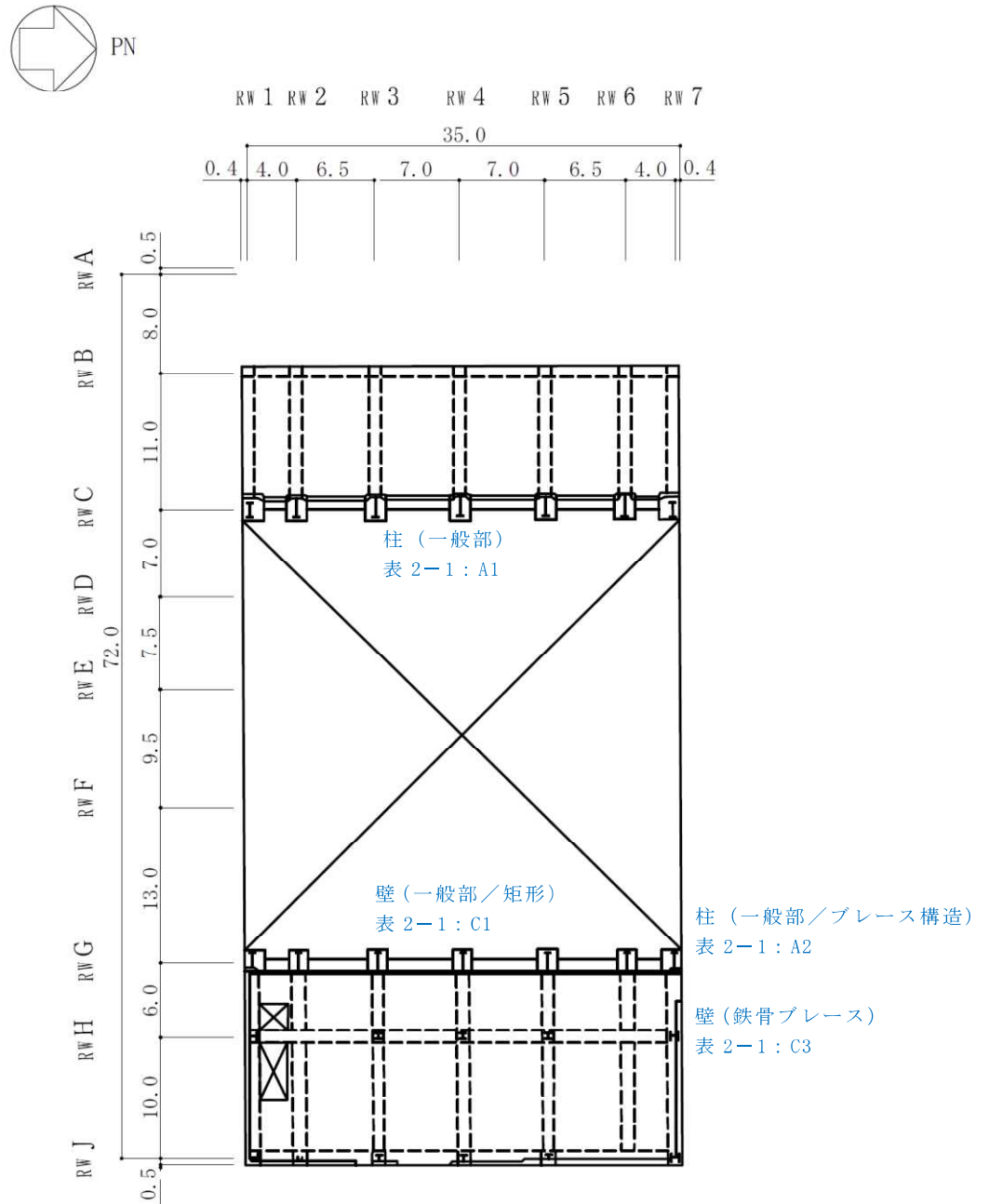


図 2-5 廃棄物処理建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 30.9m) (6/7) (単位 : m)

- 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理由

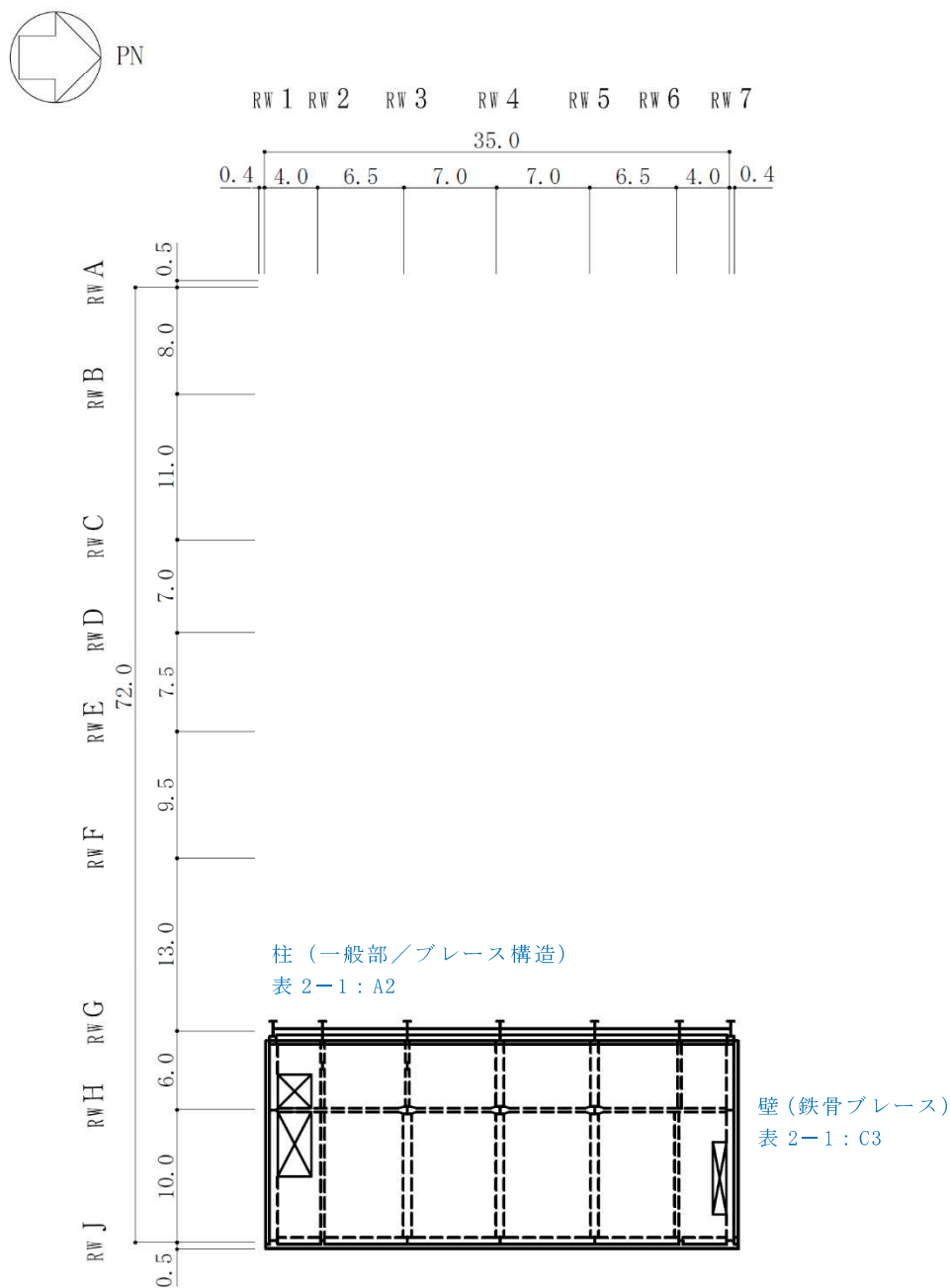


図 2-5 廃棄物処理建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 36.7m) (7/7) (単位 : m)

- 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理由

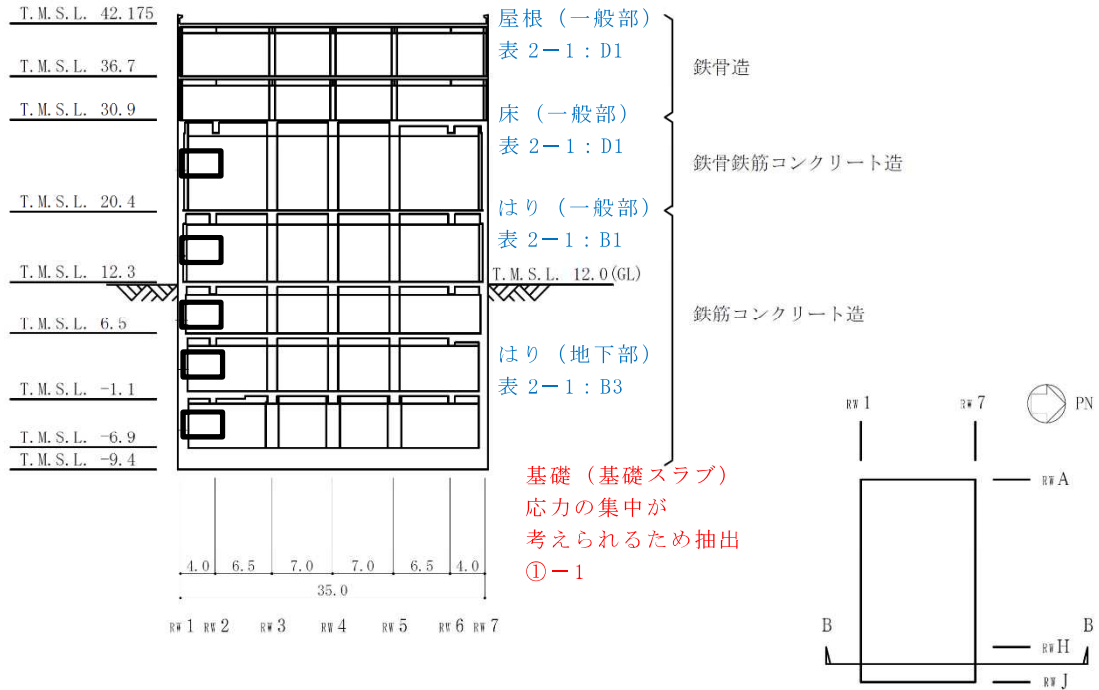


図 2-6 廃棄物処理建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2) (単位 : m)

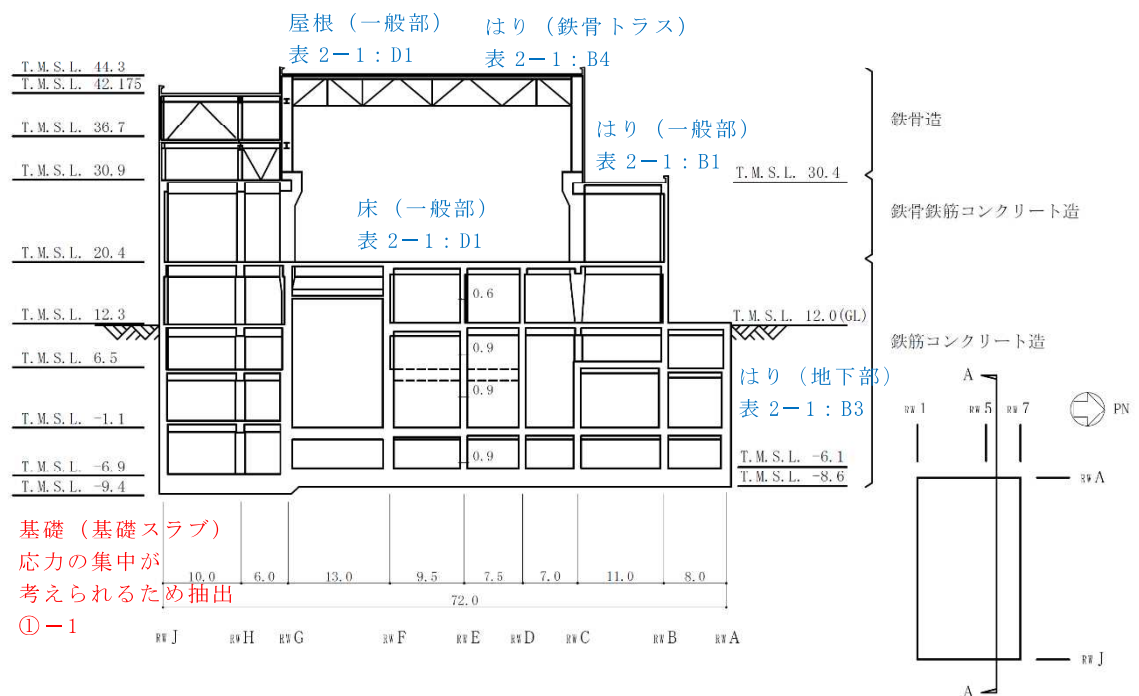


図 2-6 廃棄物処理建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2) (単位 : m)

2.4 主排気筒

主排気筒の概要図を図 2-7 に示す。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

青字：抽出されなかった部位及びその理由

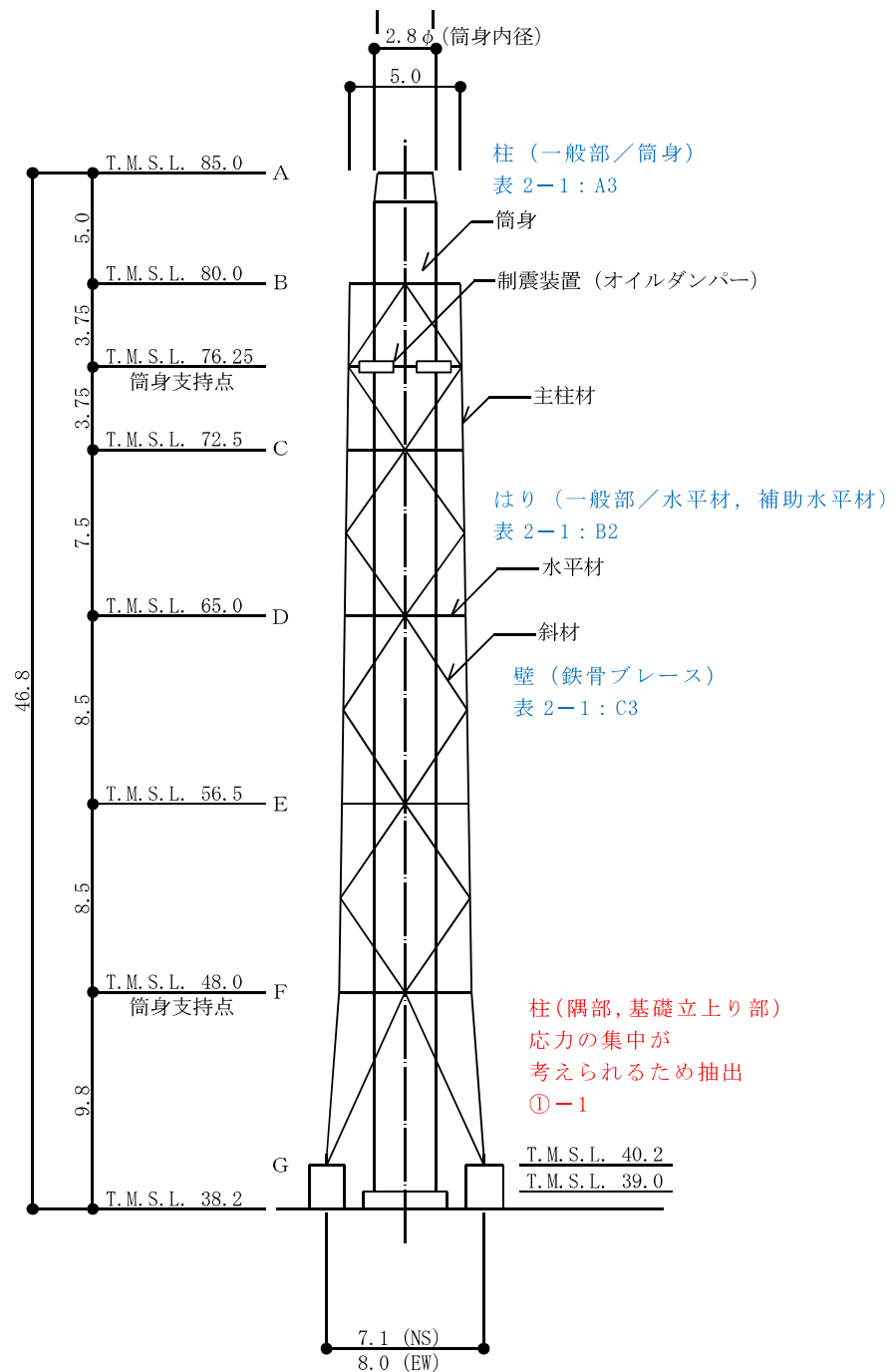


図 2-7 主排気筒の概要図 (単位 : m)

2.5 格納容器圧力逃がし装置基礎

格納容器圧力逃がし装置基礎の概略平面図及び概略断面図を図 2-8 及び図 2-9 に示す。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

青字：抽出されなかった部位及びその理由

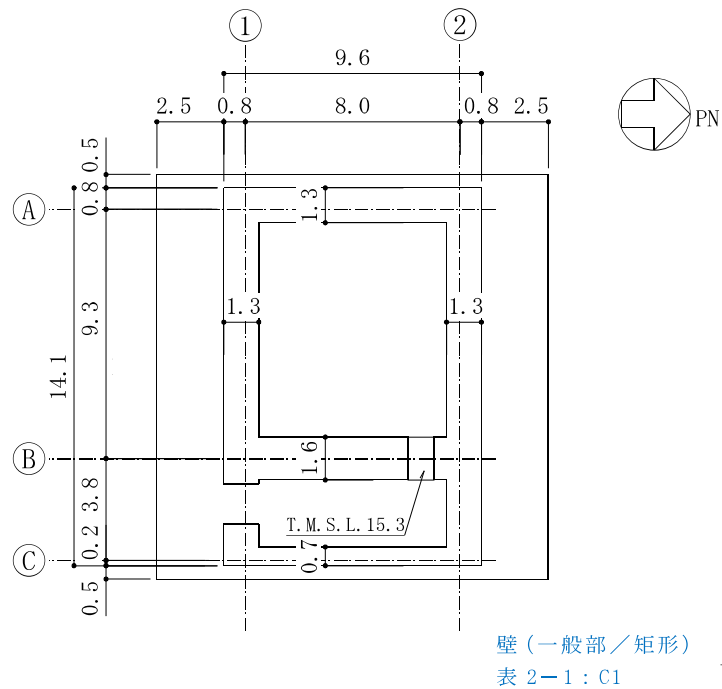
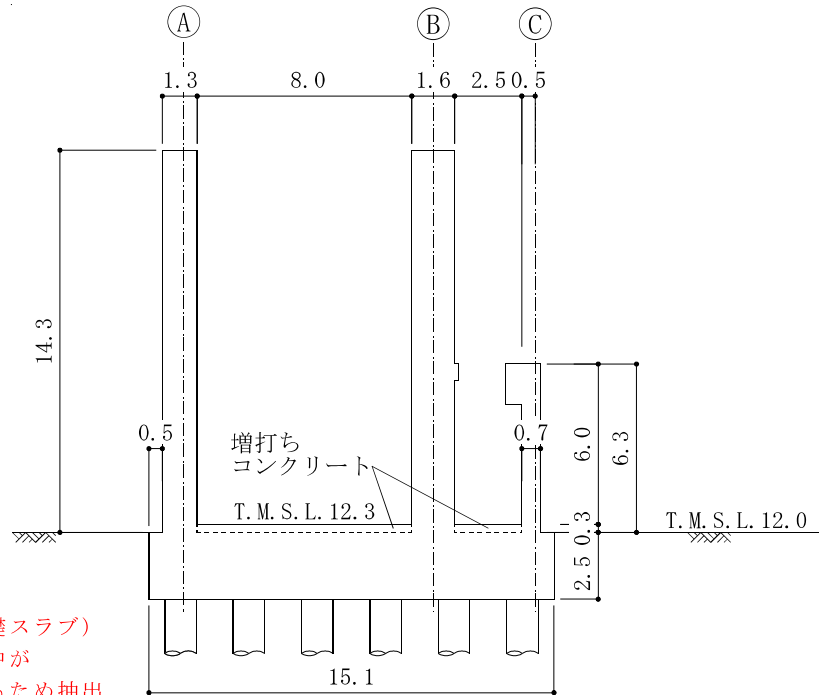


図 2-8 格納容器圧力逃がし装置基礎の概略平面図
(T.M.S.L. 12.3m) (単位 : m)

- 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理由



基礎（基礎スラブ）
 応力の集中が
 考えられるため抽出
 ①-1

基礎（杭基礎）
 応力の集中が
 考えられるため抽出
 ①-1

図 2-9 格納容器圧力逃がし装置基礎の概略断面図（単位：m）

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (1/2)

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 タービン建屋 廃棄物処理建屋
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。	タービン建屋 廃棄物処理建屋
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る構造計画を行っており、該当しない。	主排気筒
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
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 タービン建屋 廃棄物処理建屋
B1	はり	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 タービン建屋 廃棄物処理建屋
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。	主排気筒
B3		地下部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・地下外周部が考えられるが、吹抜けがないことから、外周部はりは全て剛性が高いスラブに接続しており、土圧はそのままスラブに伝達されるため、該当しない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 タービン建屋 廃棄物処理建屋
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。	・上弦材を屋根床に、下弦材を振れ止めにより拘束されており、面外方向への変形を抑制しているため、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 タービン建屋 廃棄物処理建屋

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (2/2)

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。	廃棄物処理建屋 格納容器圧力逃がし装置基礎
C2		一般部 (円形)	・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。	・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。	・軽量の鉄骨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。	主排気筒
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 タービン建屋 廃棄物処理建屋

3. 代表部位の選定プロセス

(1) 柱-隅部

応力集中が考えられる隅柱を有する主排気筒について評価する。

(2) 基礎

応力集中が考えられる矩形基礎の規模を表 3-1 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 3-1 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>	56.6	59.6
		タービン建屋	97.0	82.0
		廃棄物処理建屋	35.8	73.0
		格納容器圧力逃がし装置基礎	14.6	15.1

注：下線部は代表を示す。

(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 3-2 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 3-2 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（使用済燃料貯蔵プール）</u>	14.12	無
		原子炉建屋（壁地下部）	7.5	有
		タービン建屋（壁地下部）	7.4	有
		廃棄物処理建屋（復水貯蔵槽）	17.2	無
		廃棄物処理建屋（壁地下部）	7.6	有

注：下線部は代表を示す。

別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査

目 次

1. 3次元 FEM モデルを用いた精査の概要	別紙 2-1
2. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討	別紙 2-3
2.1 検討の概要	別紙 2-3
2.2 検討方針	別紙 2-8
2.3 解析モデル	別紙 2-10
2.4 地震応答解析の概要	別紙 2-14
2.5 地震応答解析結果	別紙 2-20
2.6 面外慣性力に対する壁の断面算定	別紙 2-32
2.6.1 解析モデル及び荷重条件	別紙 2-32
2.6.2 応答補正比率の算出	別紙 2-34
2.6.3 断面の評価部位の選定	別紙 2-35
2.6.4 断面算定方法	別紙 2-37
2.6.5 断面算定結果	別紙 2-38
2.7 検討のまとめ	別紙 2-40
3. 局所応答による影響検討	別紙 2-41
4. 3次元 FEM モデルを用いた精査のまとめ	別紙 2-42

別紙 2-1 3次元的な応答特性を考慮した燃料取替床ブローアウトパネルの評価について

1. 3次元 FEM モデルを用いた精査の概要

3次元的な応答特性が想定される部位として、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」及び応答特性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部位について、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以降に示す。

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		評価に用いる地震動	評価に用いる理由
耐震評価部位	建物・構築物		
壁	一般部	基準地震動 Ss-1* 及び Ss-2*	全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 Ss-1 及び断層モデルを用いた手法による地震動として NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の方向性を持つ基準地震動 Ss-2 を用いる。
	原子炉建屋 (燃料取替床レベル)		
耐震評価部位 全般		基準地震動 Ss-1* 及び Ss-2*	全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 Ss-1 及び断層モデルを用いた手法による地震動として NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の方向性を持つ基準地震動 Ss-2 を用いる。

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 (S_d-1 及び S_d-2) を用いる。S_d-1 については、水平方向の地震動のうち片方は、同時性を考慮し、模擬地震波を用いる。なお、模擬地震波は、弾性設計用地震動 S_d-1 の水平方向成分の設計用応答スペクトルに適合するが、弾性設計用地震動 S_d-1 の水平方向成分とは位相特性が異なる模擬地震波である。位相特性が異なる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。

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がある原子炉建屋の壁の検討を実施する。

検討は、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁について、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。

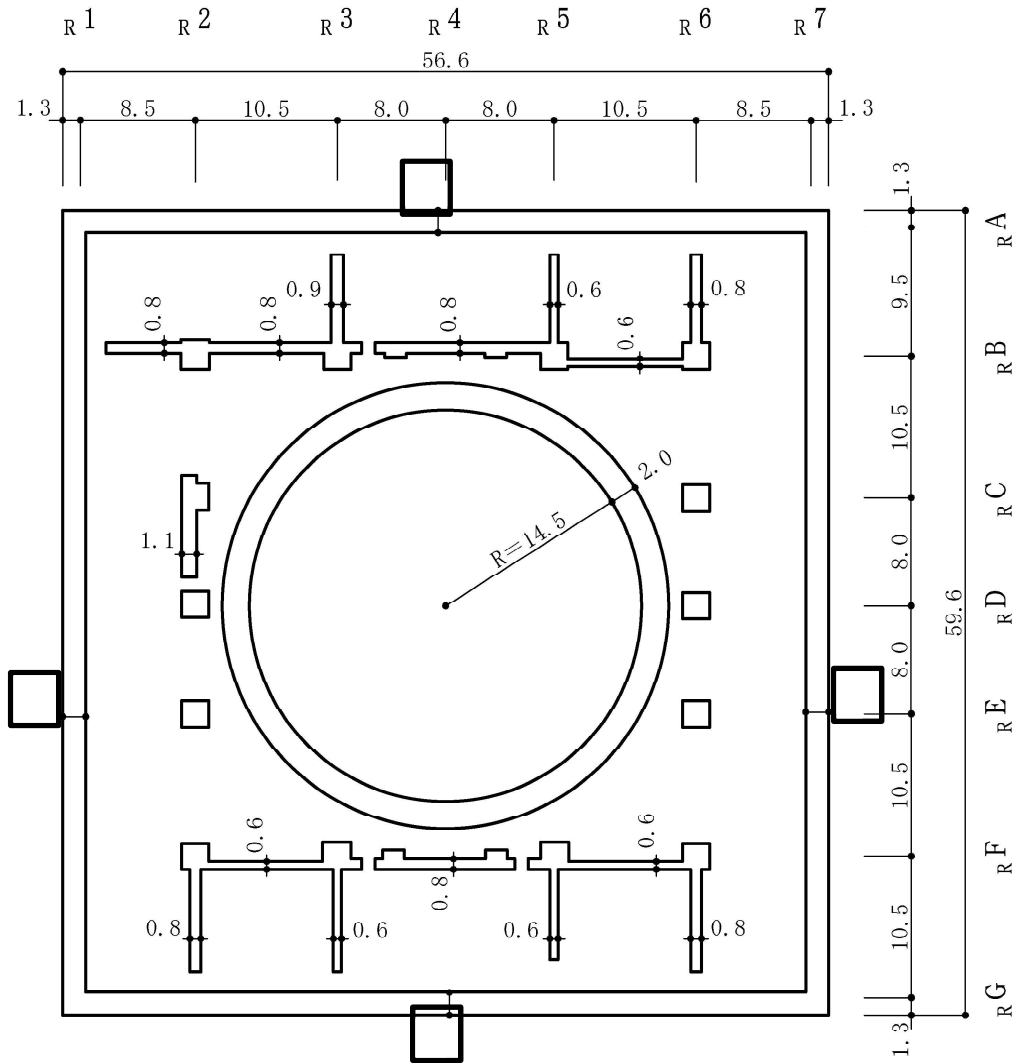
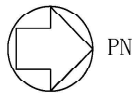
原子炉建屋は、地上 4 階、地下 3 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

原子炉建屋の平面は、下部では 56.6m（NS方向）×59.6m（EW方向）、最上階は 39.0m（NS方向）×59.6m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 63.4m であり、地上高さは 37.7m である。なお、原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。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 5.5m のべた基礎で、支持地盤である泥岩上に直接設置している。

原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCV は円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。この RCCV の高さは底部上端からトップスラブ部下端まで 29.5m、内径は 29.0m であり、壁厚は 2.0m である。

原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCV と外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



注：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -8.2m) (1/2) (単位 : m)

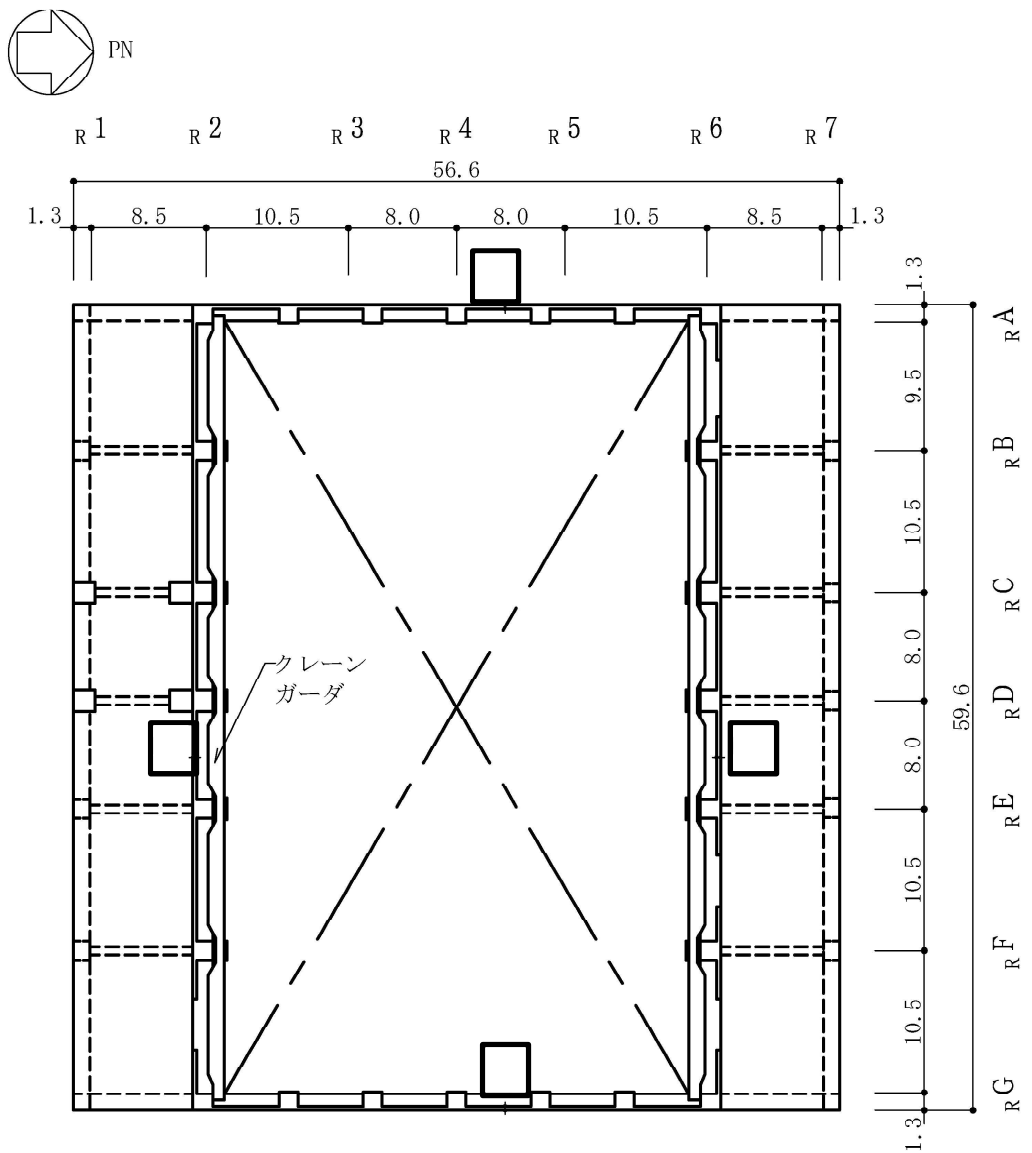
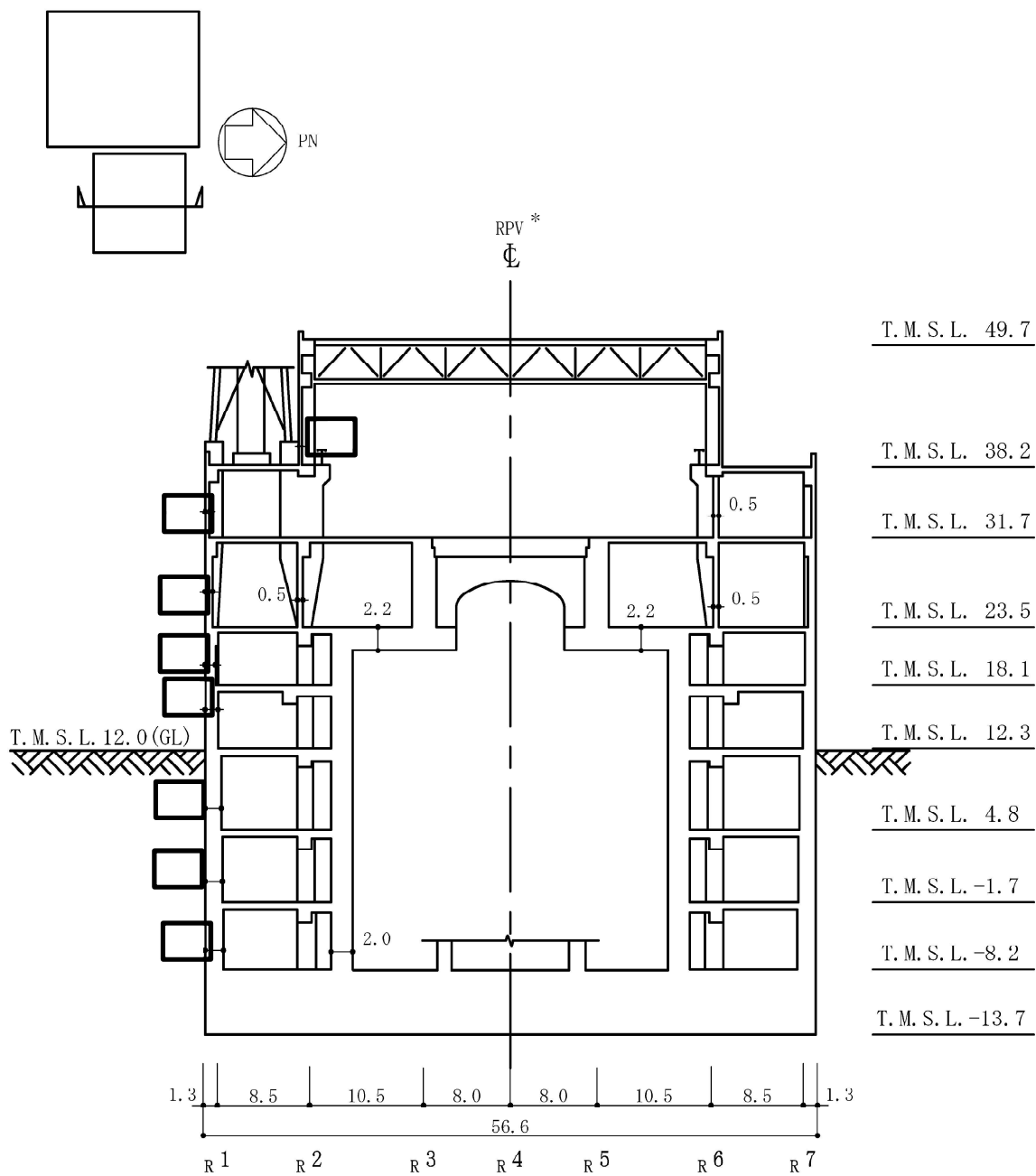


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T. M. S. L. 38.2m) (2/2) (単位 : m)



注記*：原子炉圧力容器を，以下「RPV」という。

図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2) (単位 : m)

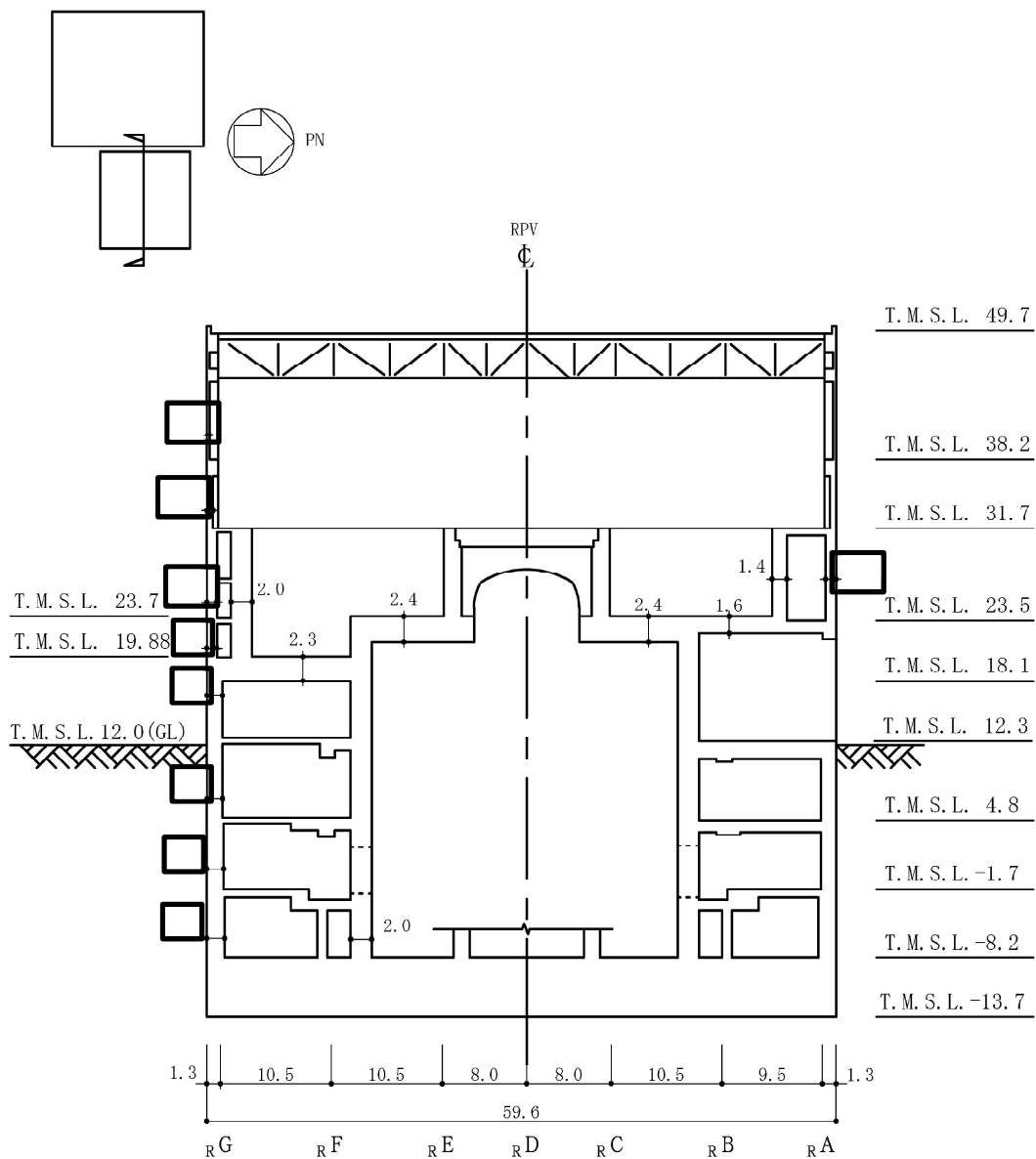


図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2) (単位 : m)

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。

複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床の無い連続した原子炉建屋の壁について、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算定を行い、面外慣性力の影響を評価する。

許容限界については、「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。なお、弾性設計用地震動 S_d による評価については、質点系モデルの応答加速度が基準地震動 S_s の約 1/2 倍であり、許容限界が基準地震動 S_s 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、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。

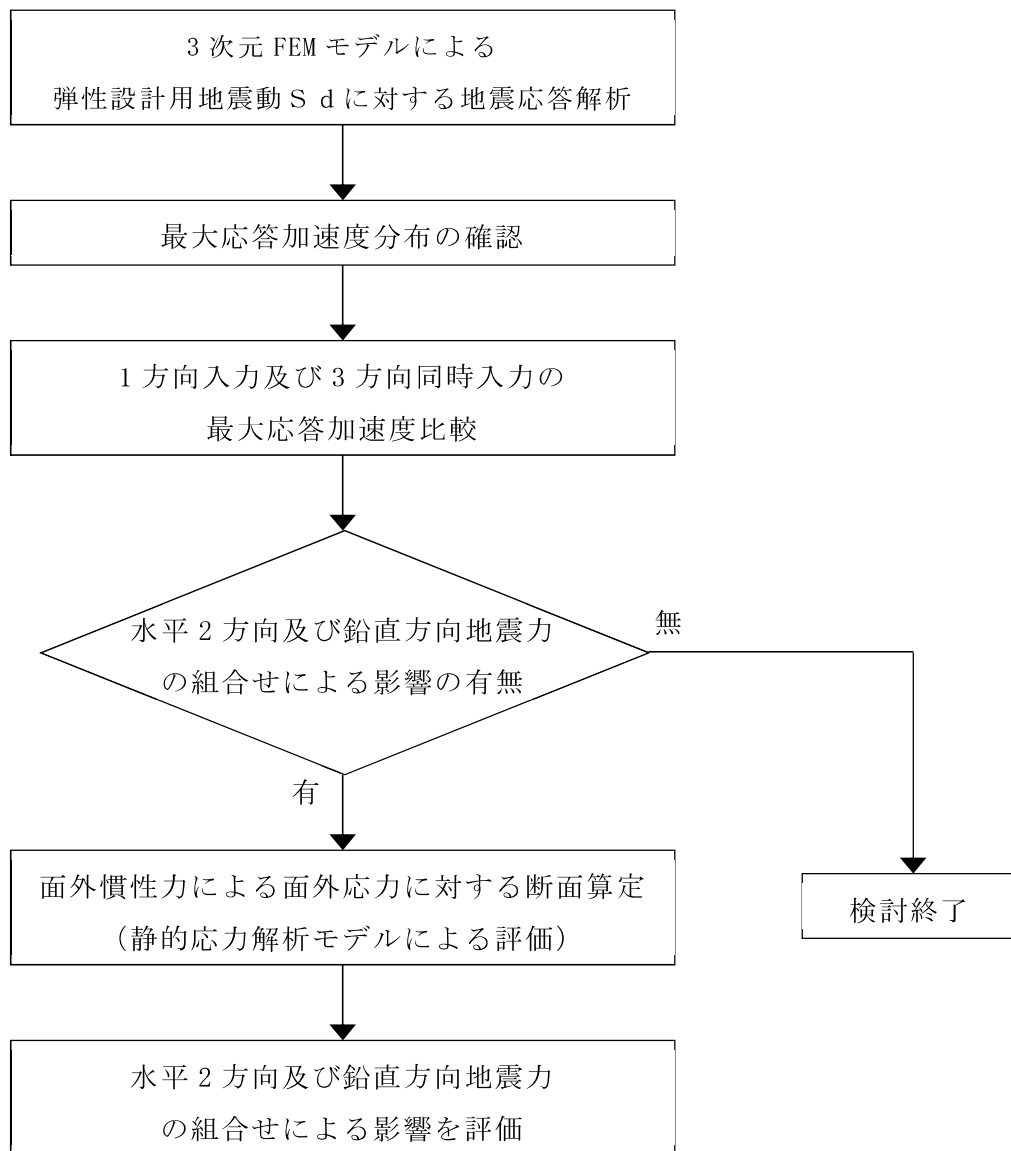


図 2-3 3次元 FEM モデルによる耐震性評価フロー

2.3 解析モデル

原子炉建屋の 3 次元 FEM モデルを構築する。

モデル図を図 2-4 に示す。

モデル化の範囲は、原子炉建屋、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器及び基礎とする。

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。

床スラブ及び壁はシェル要素（約 21000 要素）とする。基礎スラブは、ソリッド要素（約 5600 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及びサブビームについてはビーム要素（約 3700 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・束材及び水平ブレースはトラス要素（約 400 要素）とする。

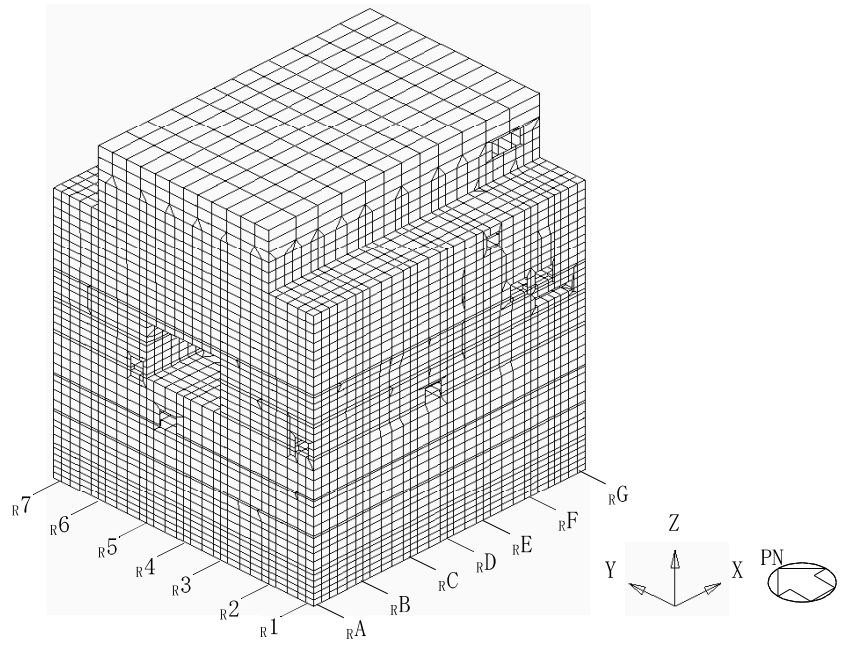
また、壁及び床の開口部については、主要な開口部のみモデル化する。

要素の大きさは、各スラブレベルと対応する位置に節点を設け、水平方向には通り芯間を 2 分割以上、鉛直方向にはフロア間を 2 分割以上とする。（解析モデルの詳細は、「別紙 3 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析」に示す。）

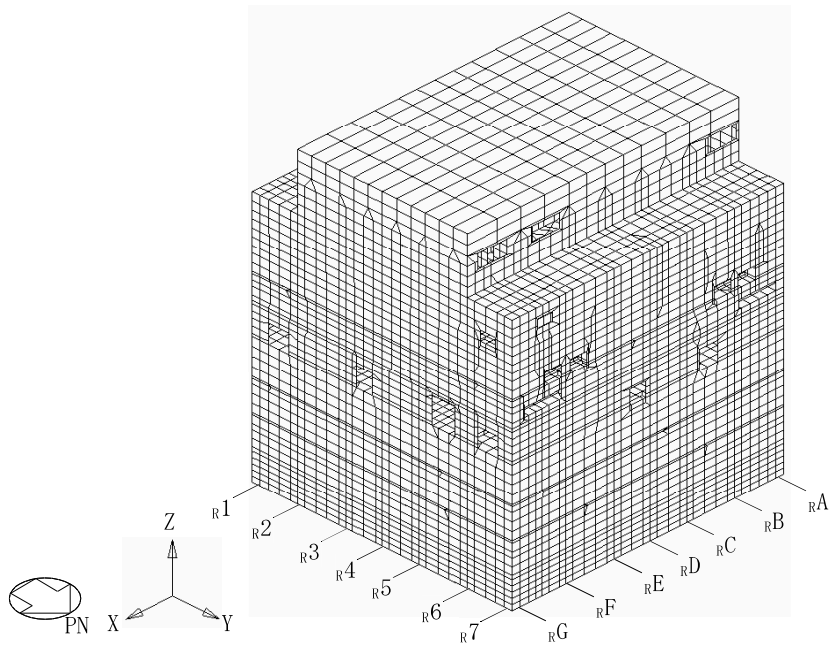
検討に用いる解析モデル（3 次元 FEM）のケースを表 2-1 に、使用材料の物性値を表 2-2 に示す。

検討に用いる解析モデル（3 次元 FEM）のケースは、質点系モデルと表 2-1 に示す諸条件を対応させた建屋模擬モデル（3 次元 FEM）とする。

なお、地震応答解析には解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

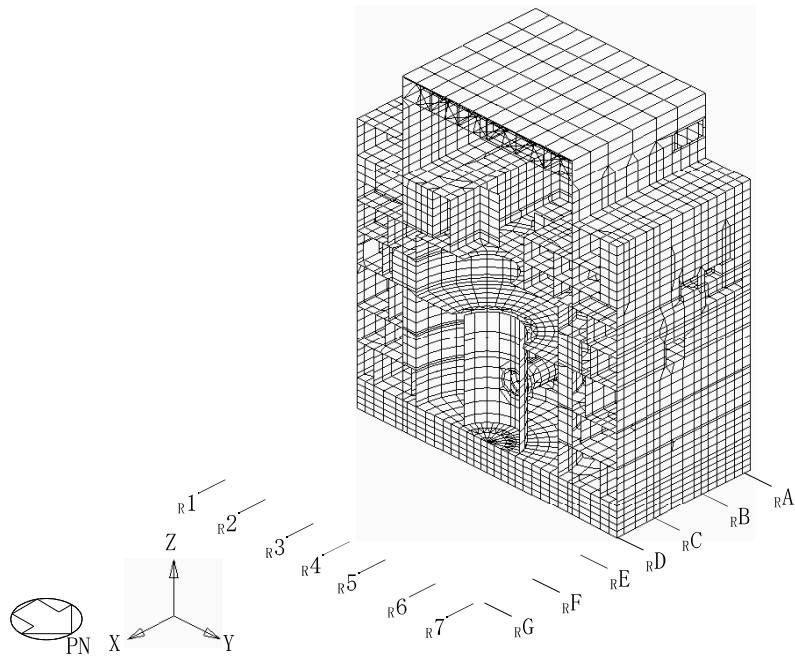


(a) 建屋全景（南西面）

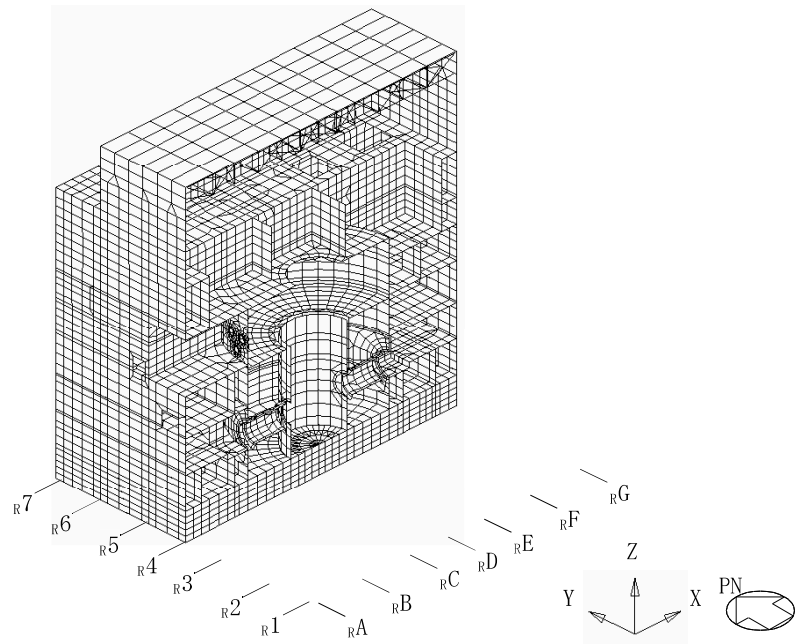


(b) 建屋全景（北東面）

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（3次元 FEM）の検討ケース

モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル (3次元 FEM)	床柔	相互作用考慮	実強度

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	コンクリート*： $\sigma_c = 43.1\text{N/mm}^2$ ($\sigma_c = 440\text{kgf/cm}^2$) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート*： $\sigma_c = 39.2\text{N/mm}^2$ ($\sigma_c = 400\text{kgf/cm}^2$) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.79×10^4	1.16×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨：SS41 (SS400 相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨：SM50A (SM490A 相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記*：実強度に基づくコンクリート強度を示す。

2.4 地震応答解析の概要

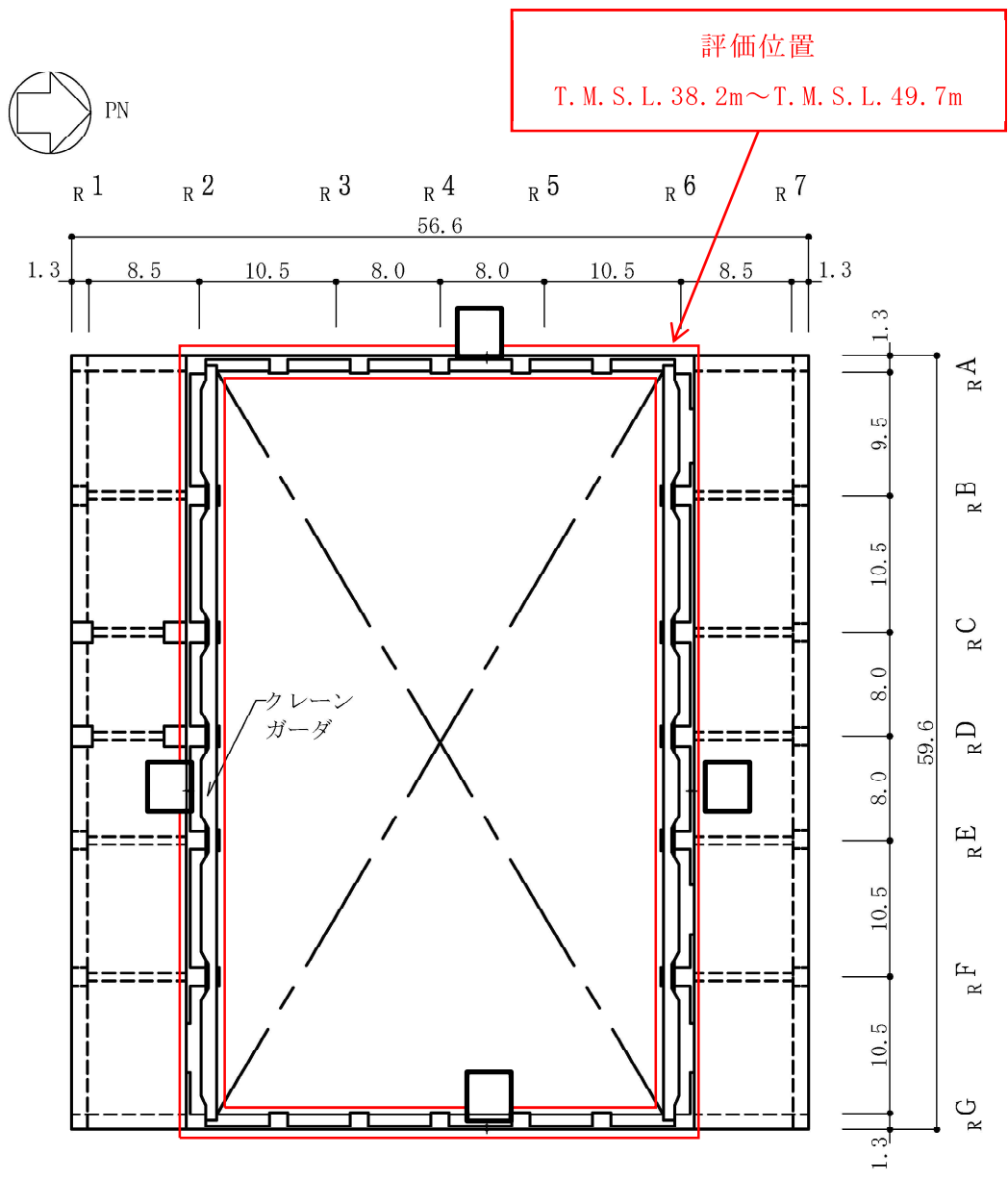
3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）を用いて、弾性設計用地震動 S d に対する地震応答解析を実施する。地震応答解析は線形解析とし、周波数応答解析を用いる。

応答評価位置は、原子炉建屋の T. M. S. L. 38.2m～T. M. S. L. 49.7m 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。

地震動の組合せを表 2-3 に示す。

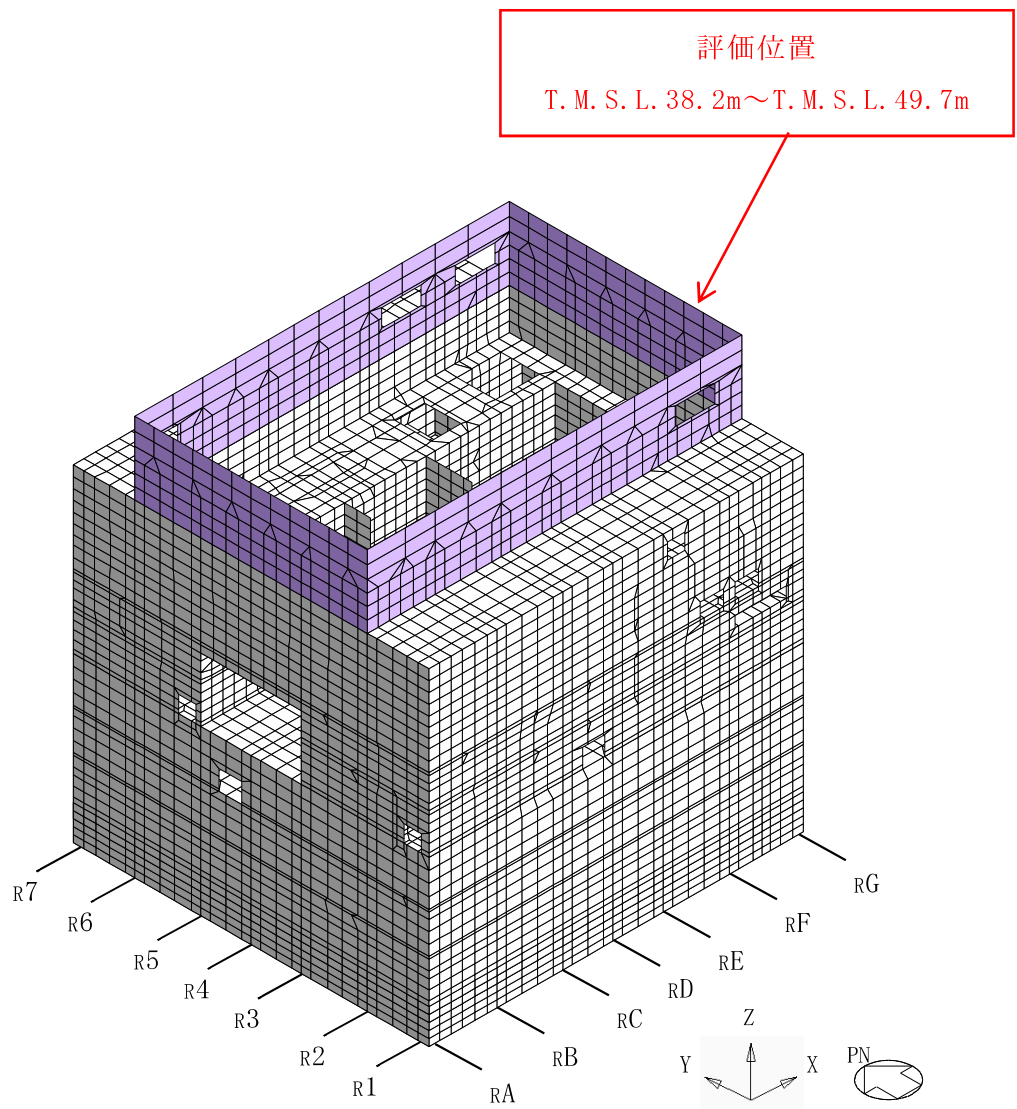
入力地震動については、線形解析であることから、水平 2 方向の地震力による影響評価は、弾性設計用地震動 S d を水平 2 方向に組み合わせた地震力を算定し実施する。具体的には、Sd-1 及び Sd-2 を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

なお、本検討において Sd-1 による応答評価を行う際には、NS 方向に対しては Sd-1 の水平方向成分を、EW 方向に対しては模擬地震波（弾性設計用地震動 Sd-1 の水平方向成分の設計用応答スペクトルに適合するが、弾性設計用地震動 Sd-1 の水平方向成分とは位相特性が異なるもの）をそれぞれ同時入力する。鉛直方向の地震動は、Sd-1 の鉛直成分を水平 2 方向と同時入力する。



(a) 概略平面図 (CRF, T. M. S. L. 38. 2m)

図 2-5 応答評価部位 (1/2) (単位 : m)



(b) 3次元 FEM モデル

図 2-5 応答評価部位 (2/2)

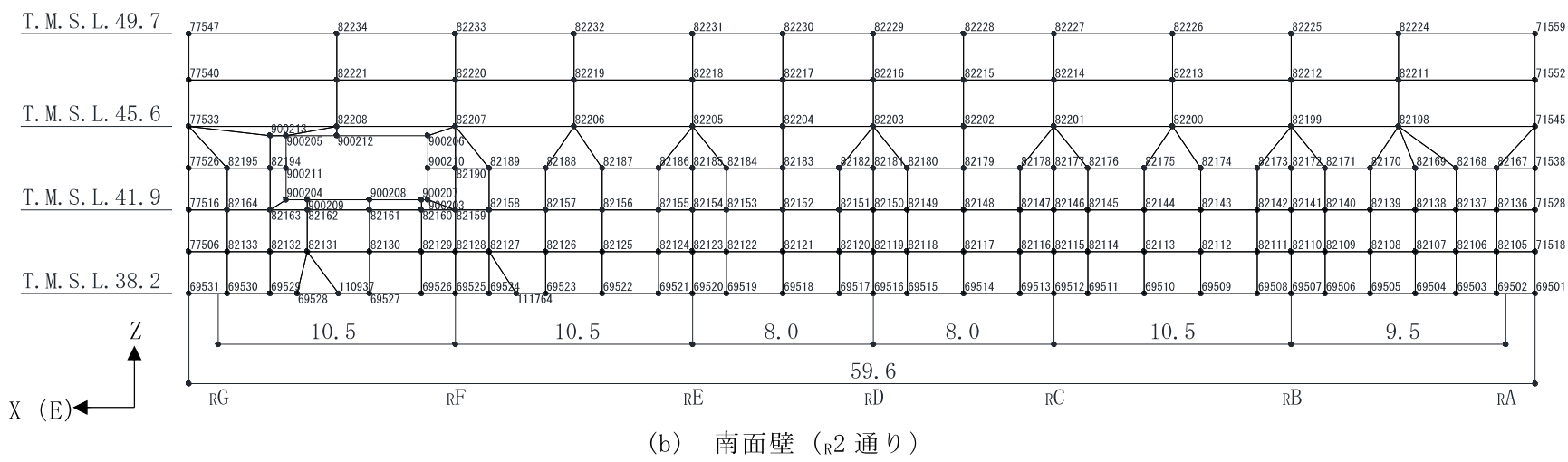
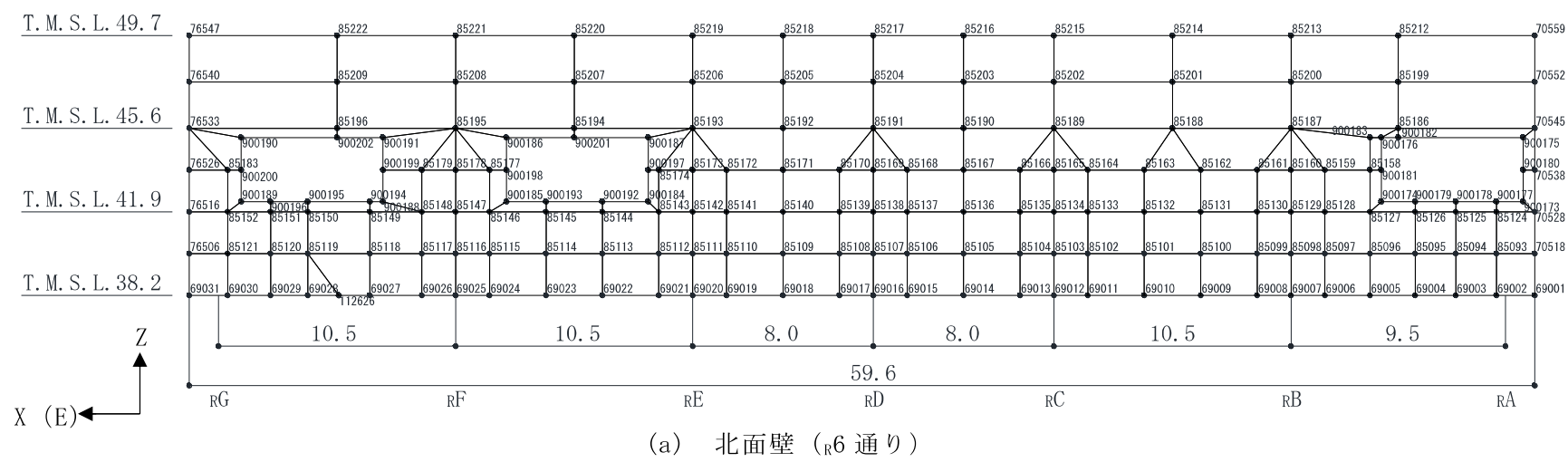
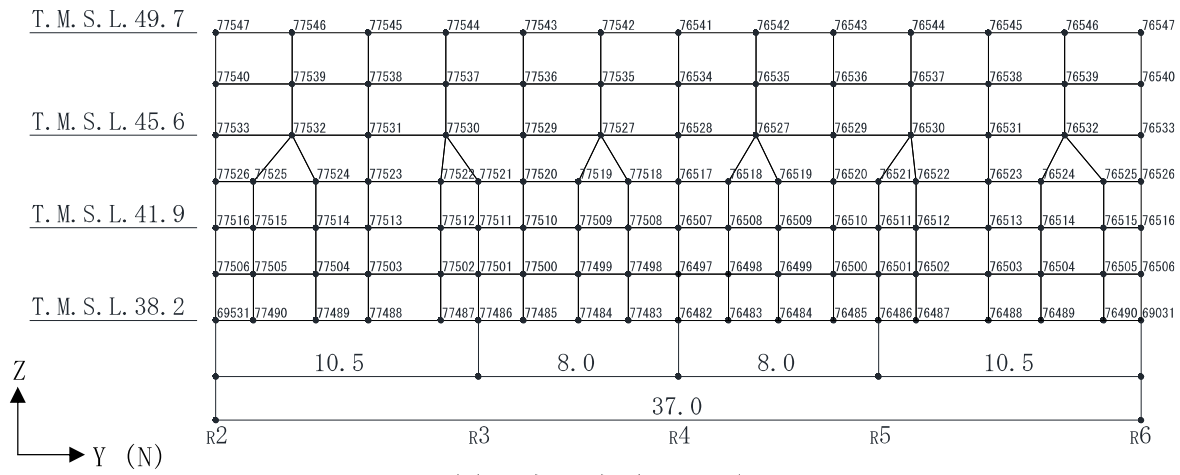
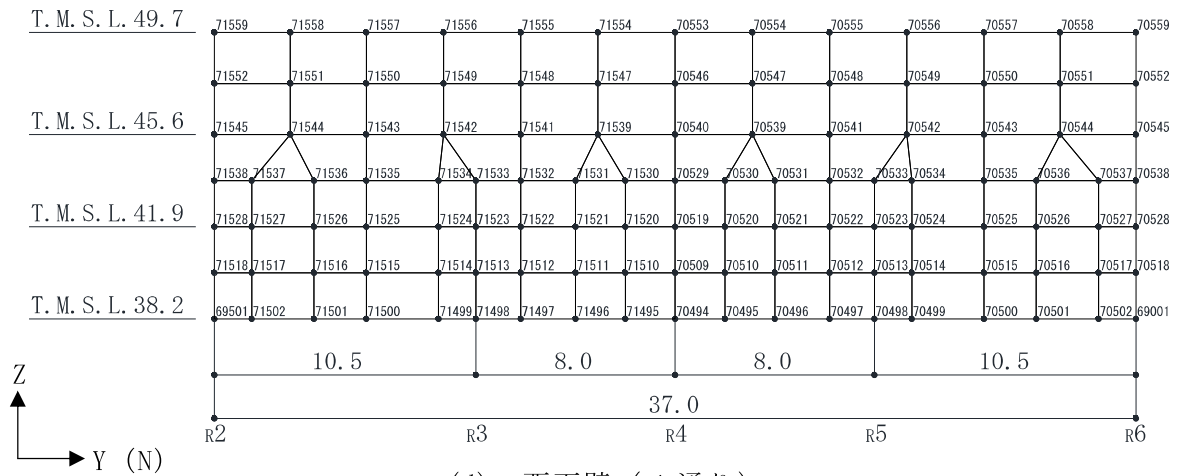


図 2-6 応答評価対象位置及び節点番号図 (1/2) (単位 : m)



(c) 東面壁 (R_G 通り)



(d) 西面壁 (R_A 通り)

図 2-6 応答評価対象位置及び節点番号図 (2/2) (単位 : m)

表 2-3 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	鉛直方向
水平 1 方向入力	Sd-1H	—	—
	Sd-2NS	—	—
3 方向同時入力	Sd-1H	模擬地震波*	Sd-1V
	Sd-2NS	Sd-2EW	Sd-2UD

(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	鉛直方向
水平 1 方向入力	—	模擬地震波*	—
	—	Sd-2EW	—
3 方向同時入力	Sd-1H	模擬地震波*	Sd-1V
	Sd-2NS	Sd-2EW	Sd-2UD

注記*：弾性設計用地震動 Sd-1 の水平方向成分 Sd-1H の設計用応答スペクトルに適合するが、Sd-1H とは位相特性が異なる模擬地震波を示す。