

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-024-4-1改1
提出年月日	2020年4月10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
(建物・構築物)

2020年4月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 検討の目的	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	4
2.1 柏崎刈羽 7 号機原子力発電所の基準地震動	4
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	44
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	4
3.1 建物・構築物	4
3.1.1 水平 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	4
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	6
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	11
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	26
3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針	28
3.1.6 主排気筒の検討	30
3.1.7 使用済燃料貯蔵プールの壁の検討	40
3.1.8 原子炉建屋の基礎スラブの検討	61
3.2 機器・配管系	
3.2.1 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	
3.2.2 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	
3.3 屋外重要土木構造物	
3.2.1 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	
3.2.2 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	
3.2.2 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	
3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備	
3.4.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	

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

下線部：今回ご提出資料

1. 検討の目的

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

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

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

3.5.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ（4.4.2 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} 、 $S_{s-4} \sim S_{s-7}$ 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 $S_{s-1} \sim S_{s-8}$ のスペクトル図（水平方向）を図 2-1-1 に、基準地震動 $S_{s-1} \sim S_{s-8}$ 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-2NS
- 基準地震動Ss-2EW
- 基準地震動Ss-3H
- 基準地震動Ss-4NS
- 基準地震動Ss-4EW
- 基準地震動Ss-5NS
- 基準地震動Ss-5EW
- 基準地震動Ss-6NS
- 基準地震動Ss-6EW
- 基準地震動Ss-7NS
- 基準地震動Ss-7EW
- 基準地震動Ss-8H

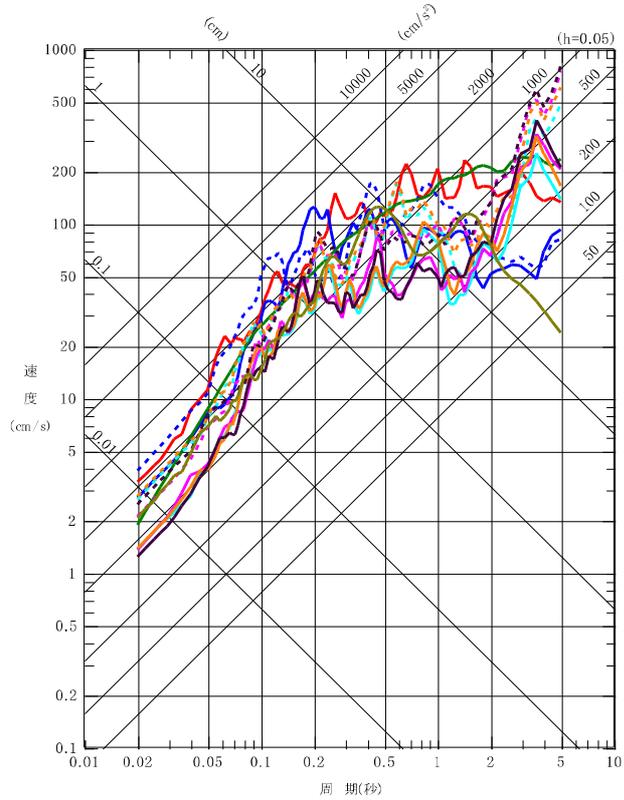


図 2-1-1 基準地震動の応答スペクトル（水平方向）（大湊側）

- 基準地震動Ss-1V
- 基準地震動Ss-2UD
- 基準地震動Ss-3V
- 基準地震動Ss-4UD
- 基準地震動Ss-5UD
- 基準地震動Ss-6UD
- 基準地震動Ss-7UD
- 基準地震動Ss-8V

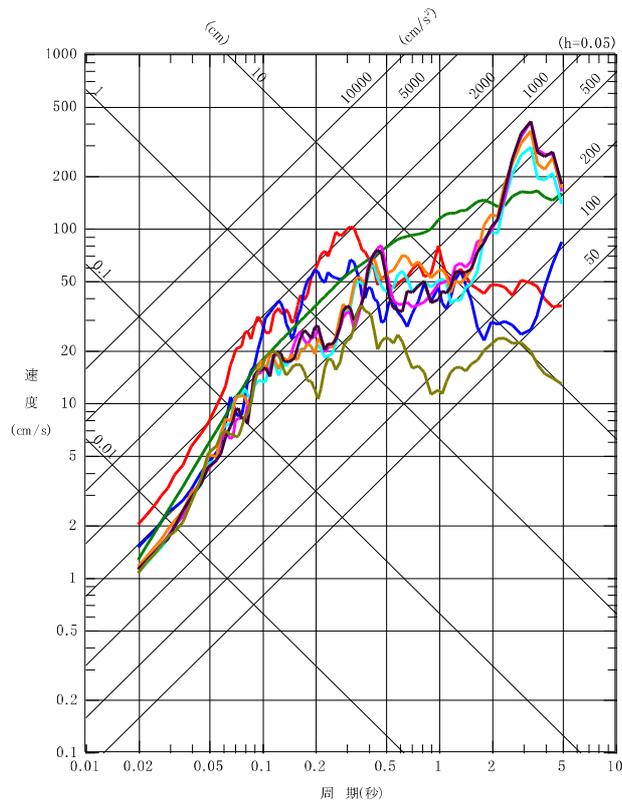


図 2-1-2 基準地震動の応答スペクトル（鉛直方向）（大湊側）

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

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

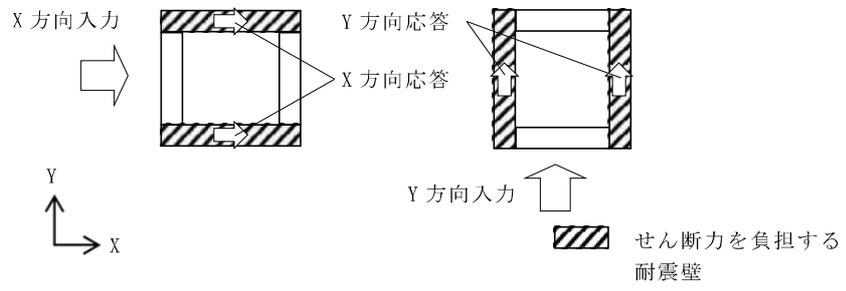
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、各水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルにそれぞれの方向ごとに入力し解析を行っている。また、原子炉施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

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。

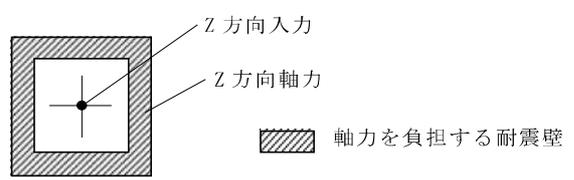
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に作用する軸力は、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

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、V-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」、V-2-3～V-2-10 の申請設備の耐震計算書及び V-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。

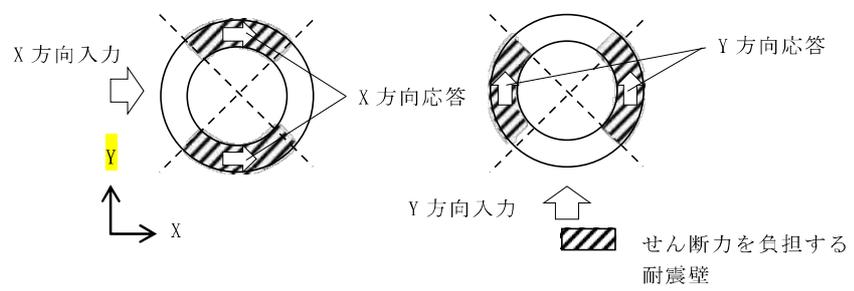


(a) 水平方向

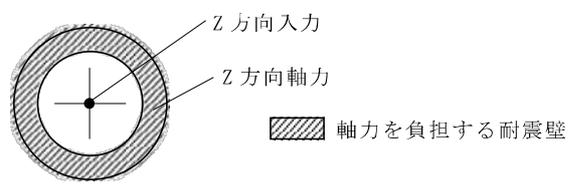


(b) 鉛直方向

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、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所評価の荷重又は応力の算出結果を組み合わせることで評価を行う場合は、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”

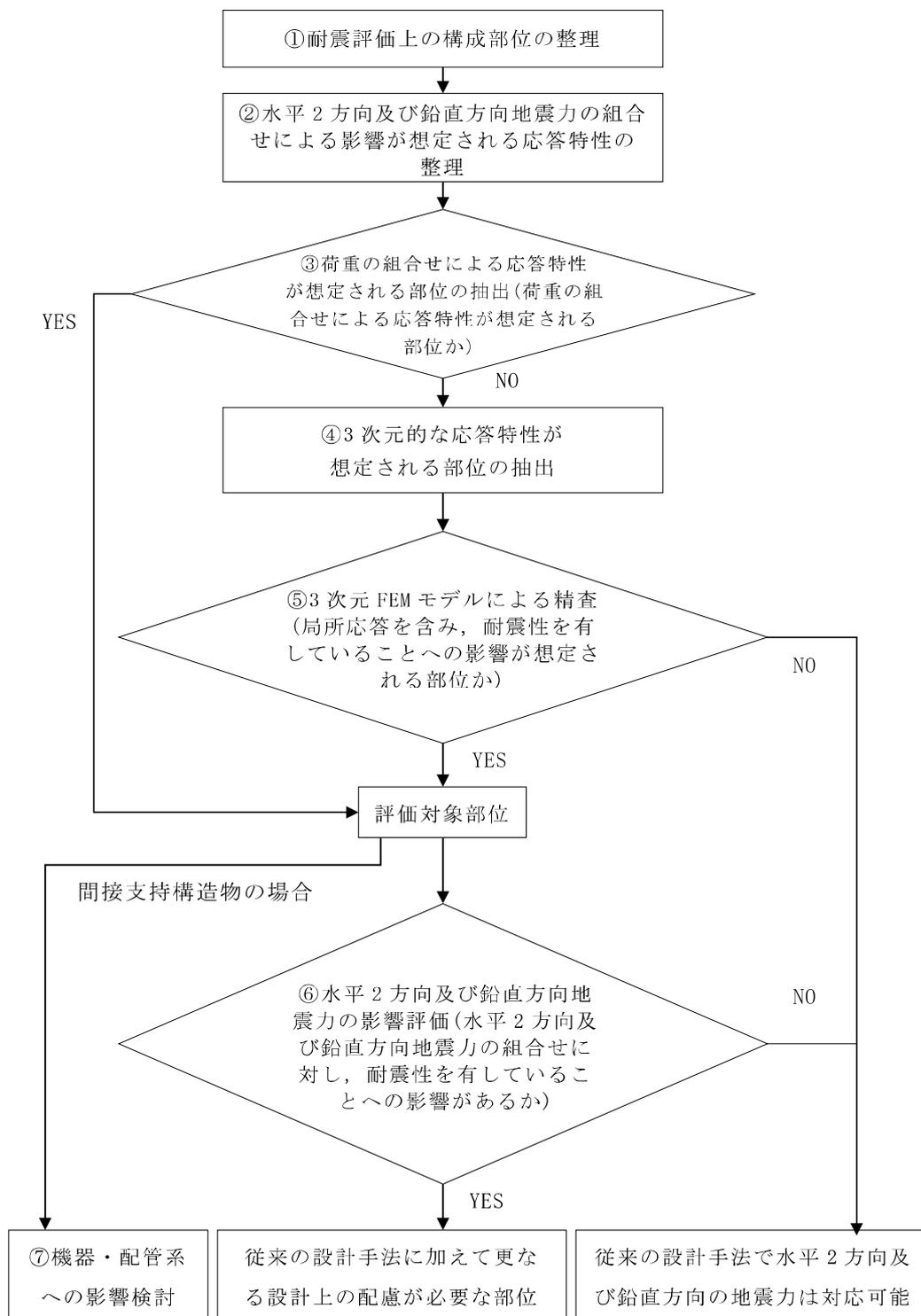
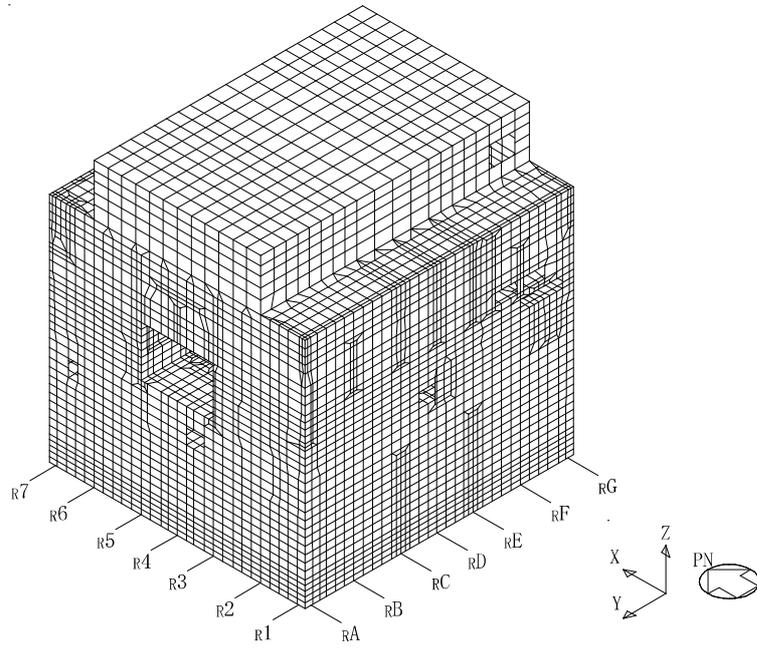
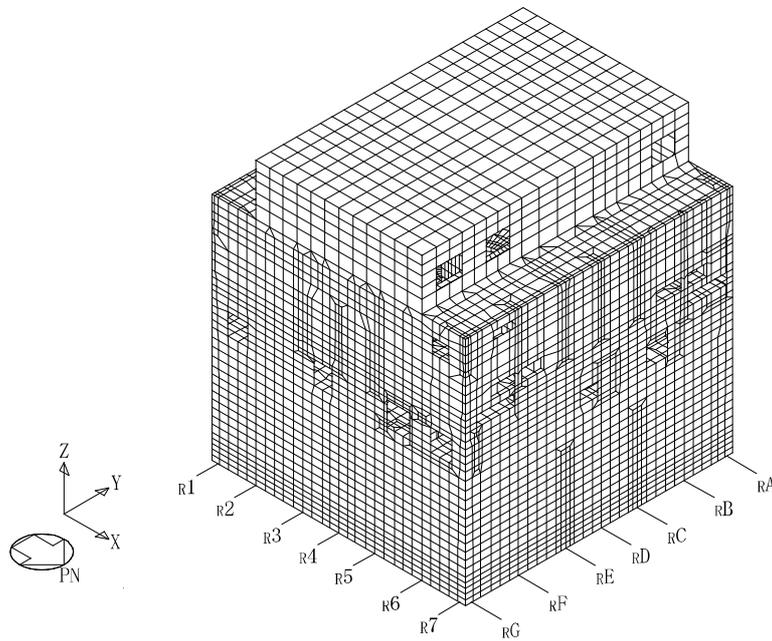


図 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響検討フロー



(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	コントロール建屋	タービン建屋	緊急時対策所	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	サービス建屋	5号機 タービン 建屋
		RC造, S造 及びSRC造	RC造 及びSRC造	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	RC造	RC造, S造 及びSRC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 方向入力のお考え方を表 3-1-4 に示す。

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

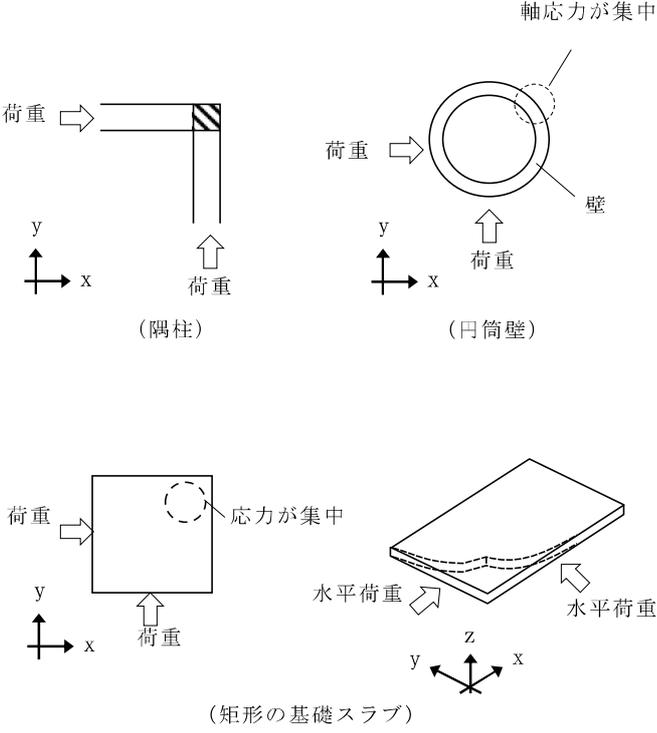
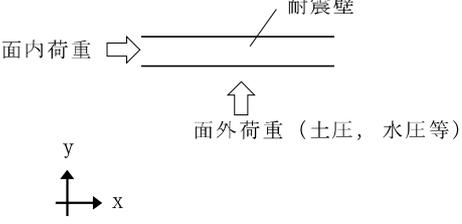
荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>軸応力が集中</p> <p>荷重</p> <p>荷重</p> <p>壁</p> <p>荷重</p> <p>荷重</p> <p>応力が集中</p> <p>水平荷重</p> <p>水平荷重</p> <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎スラブ)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を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

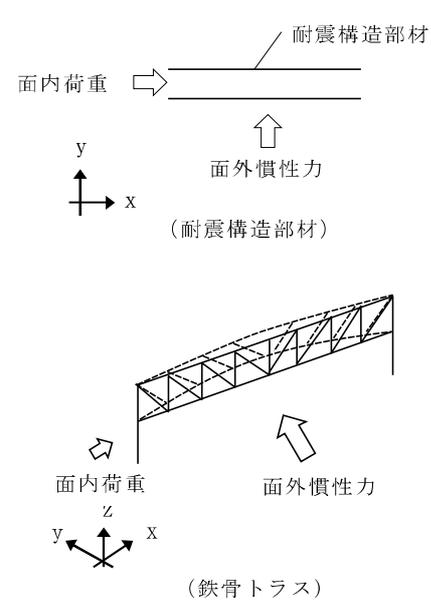
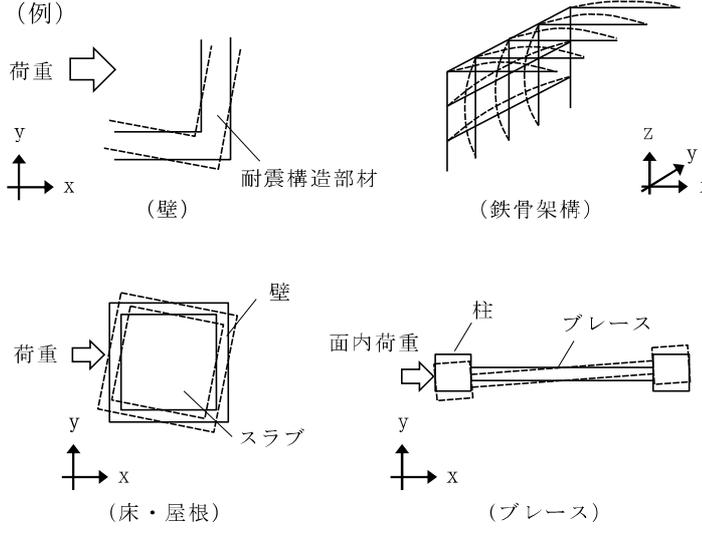
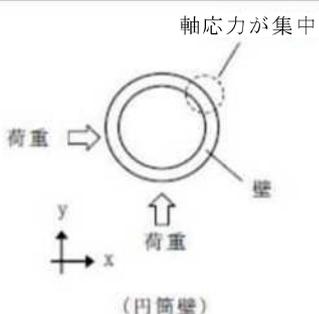
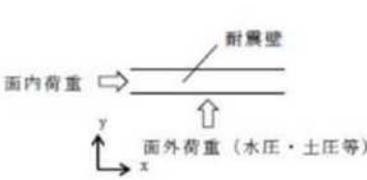
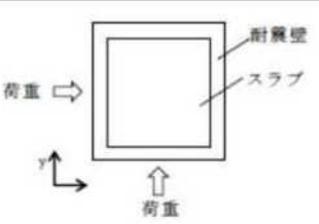
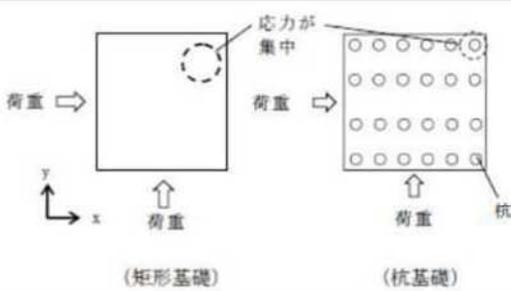
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> 
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物等含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> 

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

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p> <p>【平面図】 【立面図】</p>
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向 (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 方向入力のお考え方 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のお考え方
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 ブール壁	<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。同様にブール部の壁については水圧を面外方向から受ける。</p>  <p>(ブール壁)</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>  <p>(スラブ)</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）、コントロール建屋、タービン建屋、緊急時対策所、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）、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）、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、コントロール建屋、タービン建屋、緊急時対策所、廃棄物処理建屋、サービス建屋及び 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く該当しない。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く該当しない。

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く該当しない。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、コントロール建屋、タービン建屋、緊急時対策所、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	コントロール 建屋	タービン 建屋	緊急時 対策所	廃棄物処理 建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	サービス 建屋	5号機 タービン 建屋
		RC造, S造 及びSRC造	RC造 及びSRC造	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	RC造	RC造, S造 及びSRC造
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	不要*1	該当なし	不要*1	①-1要	—	該当なし	不要*1
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	—	該当なし	該当なし
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	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	該当なし	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	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	該当なし	該当なし	①-2要 (復水貯蔵槽)	—	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	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	—	—	該当なし
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	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	①-1要	—	①-1要	不要*2	不要*2
	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。

(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」が発生する可能性が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」が発生する可能性がある部位にも該当しない。

b. はり

対象の建物・構築物のはり一般部や地下部は、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」が発生する可能性がある部位には該当しない。

鉄骨トラス部は、1 方向トラスの場合には、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられるが、各建屋の鉄骨トラスは直交方向にもトラス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。タービン建屋及び緊急時対策所が設置される5号機原子炉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	コントロール 建屋	タービン 建屋	緊急時 対策所	廃棄物処理 建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	サービス 建屋	5号機 タービン 建屋
		RC造, S造 及びSRC造	RC造 及びSRC造	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	RC造	RC造, S造 及びSRC造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	要	—	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
	鉄骨トラス	不要	—	不要	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	不要*	不要*	要 (復水貯蔵槽)	—	不要	不要	不要
	地下部	要	要	要	要	要	—	—	要	要
	鉄骨ブレース	—	—	不要*	—	不要*	不要	—	—	不要*
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
基礎	基礎スラブ	要	要	要	要	要	—	要	不要	不要
	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が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り、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

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

原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）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り、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

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

応答特性	耐震評価部位		対象 建物・構築物	代表評価部位
	①-1	柱	隅部	・主排気筒
基礎		基礎スラブ ・ 杭基礎	・原子炉建屋 ・原子炉建屋（大物搬入建屋） ・コントロール建屋 ・タービン建屋 ・緊急時対策所 ・廃棄物処理建屋 ・格納容器圧力逃がし装置基礎	
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> ・コントロール建屋（壁地下部） ・タービン建屋（壁地下部） ・緊急時対策所（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） ・サービス建屋（壁地下部） ・5号機タービン建屋（壁地下部）	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

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。

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

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	V-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	V-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（以下「T.M.S.L.」という。）

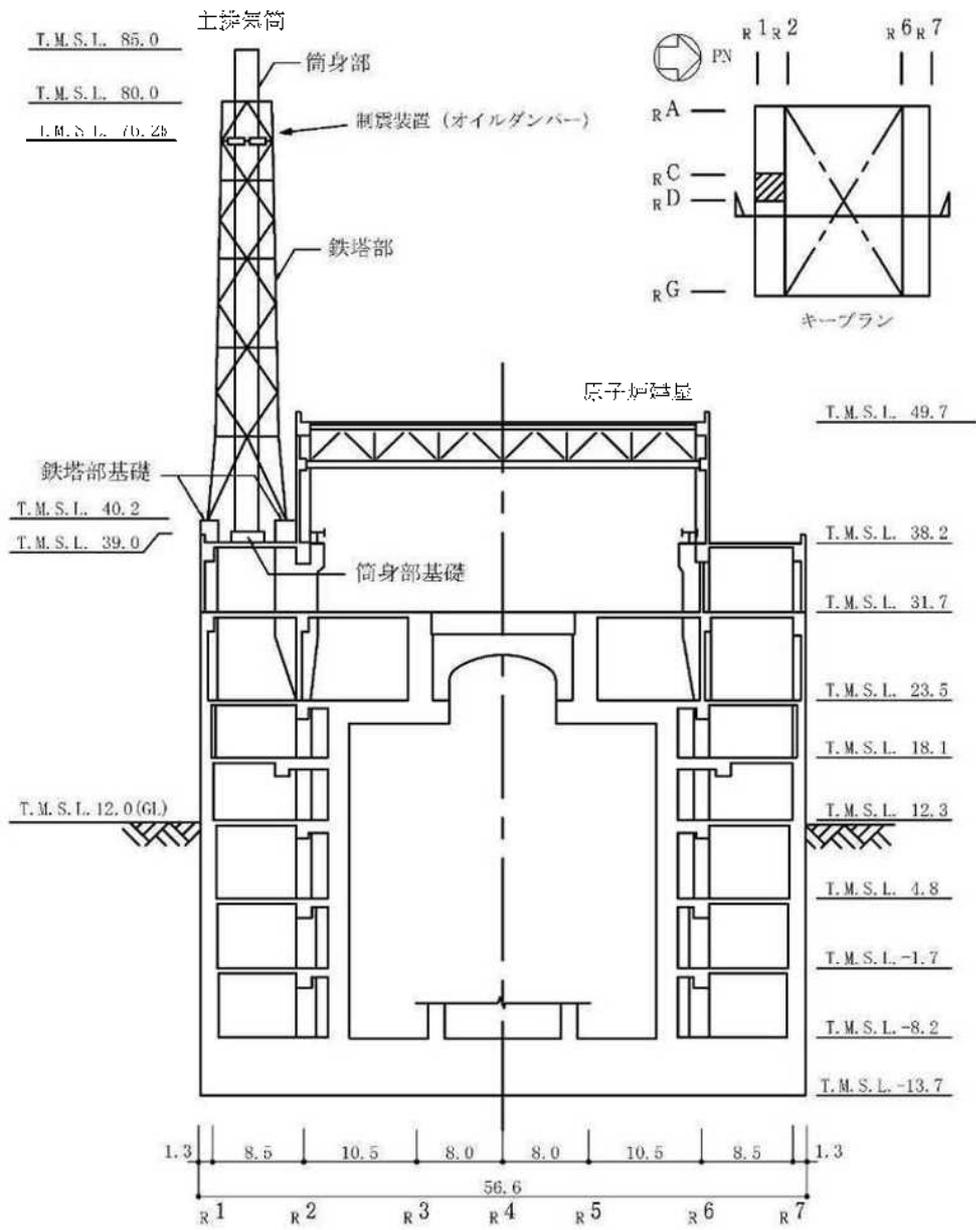
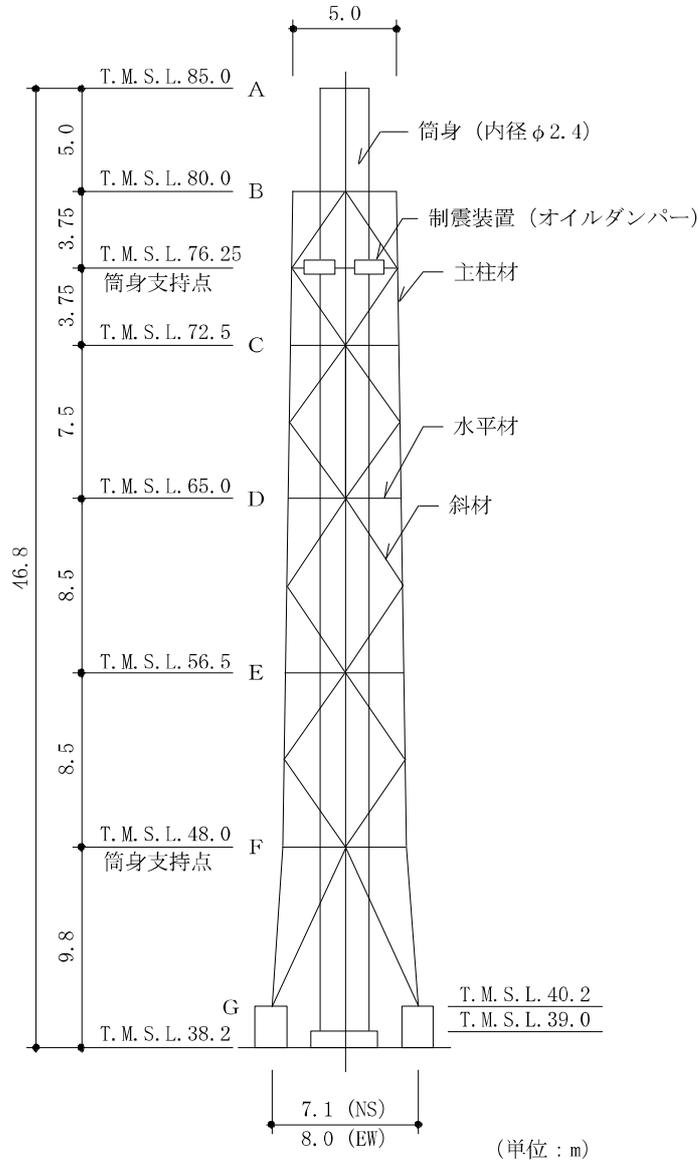


図 3-1-5 主排気筒配置図 (単位 : m)



STK490 [STK50]*	φ 711.2 × 19	φ 609.6 × 16	φ 508.0 × 7.9	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6	φ 216.3 × 4.5	t = 6
STK400 [STK41]	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6	φ 355.6 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5		
STK490 [STK50]	φ 558.8 × 16	φ 406.4 × 12.7	φ 406.4 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5	t = 8	
SMA400A [SMA41A]	φ 558.8 × 16	φ 406.4 × 12.7	φ 406.4 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5		t = 12
主柱材	φ 711.2 × 19	φ 609.6 × 16	φ 508.0 × 7.9	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6	φ 216.3 × 4.5	t = 6
水平材	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6	φ 355.6 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5	φ 216.3 × 4.5	t = 8
斜材	φ 558.8 × 16	φ 406.4 × 12.7	φ 406.4 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5	φ 216.3 × 4.5	t = 12
筒身板厚	φ 558.8 × 16	φ 406.4 × 12.7	φ 406.4 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5	φ 216.3 × 4.5	t = 6
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

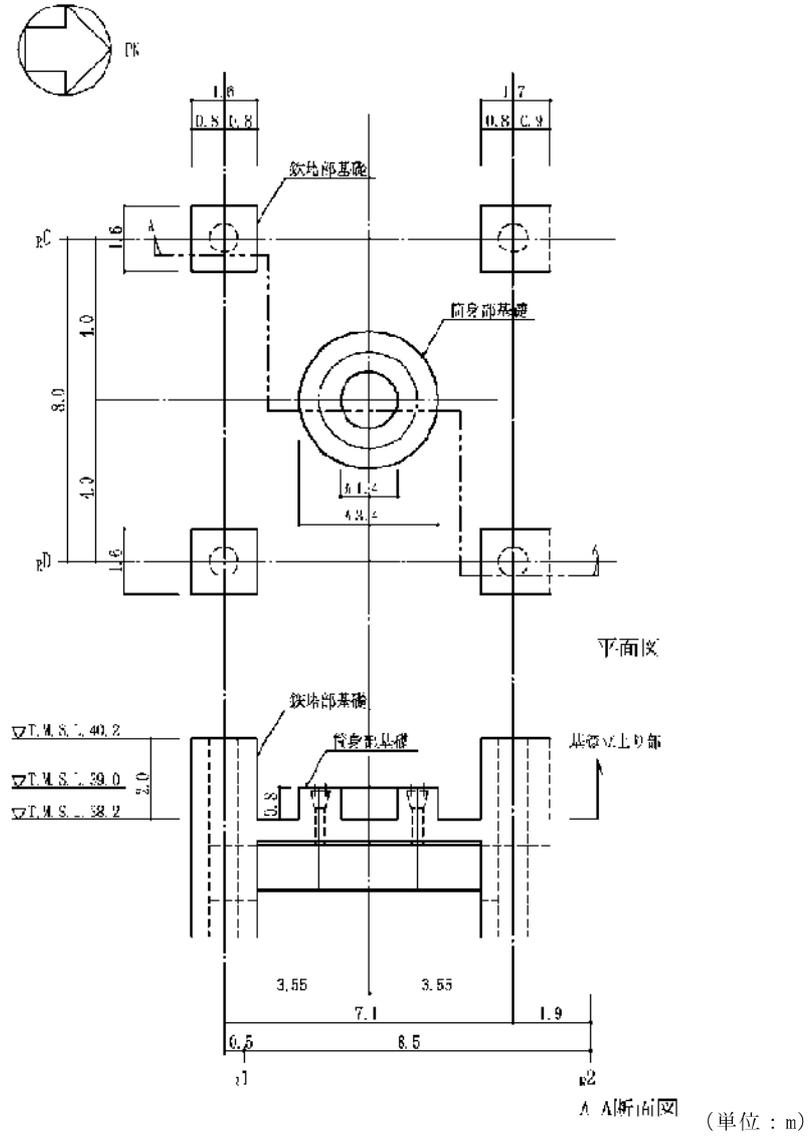


図 3-1-7 主排気筒の基礎の概要図

(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、V-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。

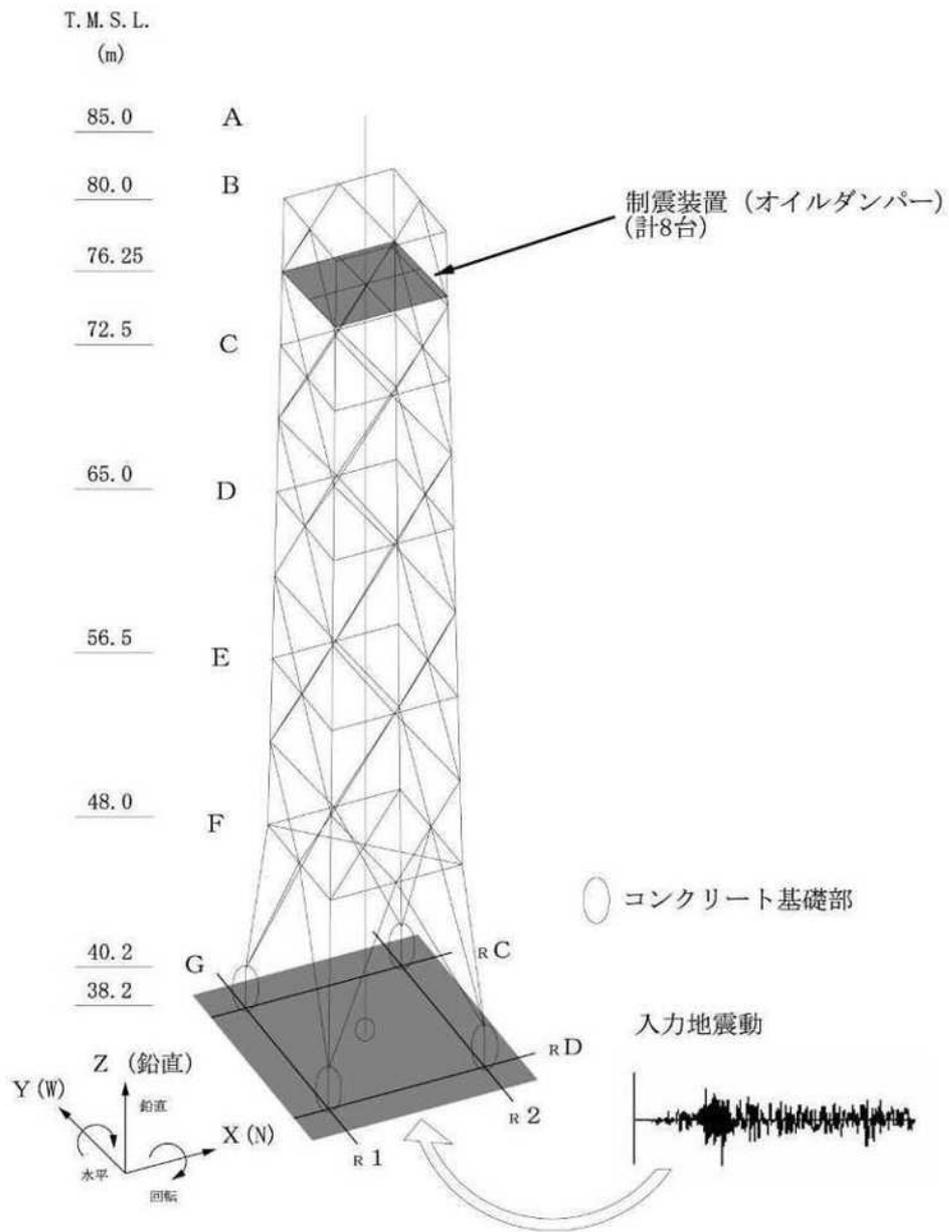


図 3-1-8 主排気筒の解析モデル

(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。

V-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、鉄塔部支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、V-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、V-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。

(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、V-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 V-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、各鉄塔部主柱材及び基礎（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、V-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主柱材の検定値を表 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、各鉄塔部主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、主排気筒の鉄塔部主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	0.14	0.13	0.17
C-D	φ 406.4× 6.4	0.54	0.50	0.69
D-E	φ 508.0× 7.9	0.62	0.60	0.79
E-F	φ 609.6× 16	0.62	0.55	0.80
F-G	φ 711.2× 19	0.52	0.50	0.67

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	0.55	0.48	0.74
	せん断応力度	0.18	0.15	0.23

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	0.60	0.49	0.75
	コンクリートの せん断応力度	0.49	0.41	0.62
鉄骨柱 (φ 711.2× 22)	鉄骨柱の応力度	0.36	0.32	0.48

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。

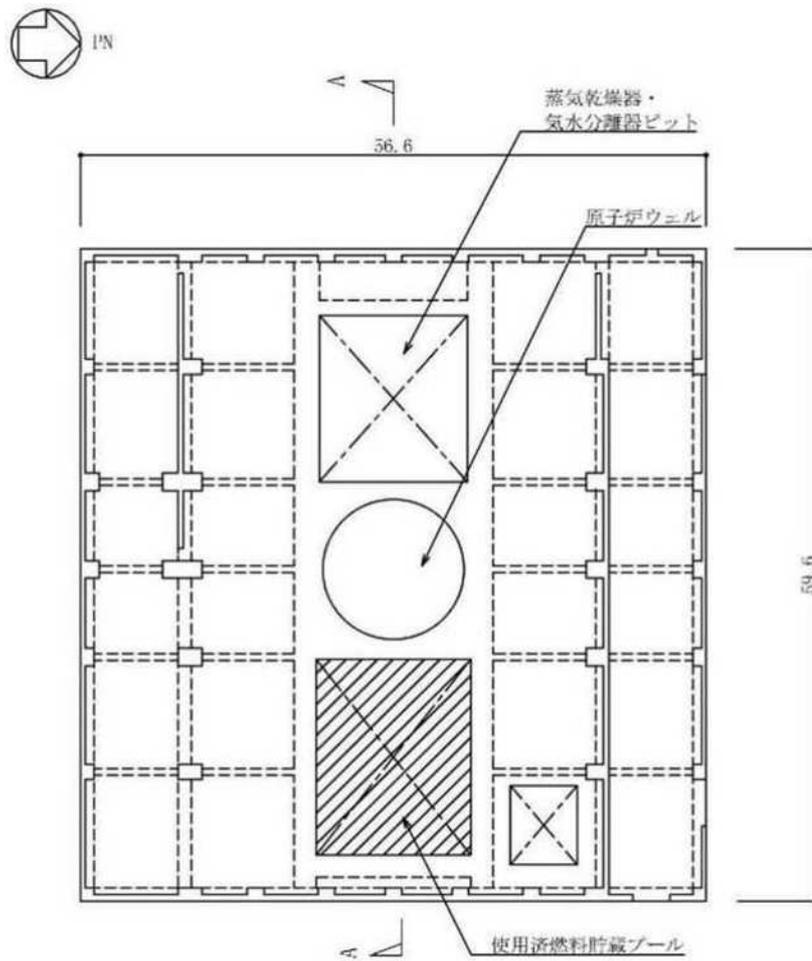
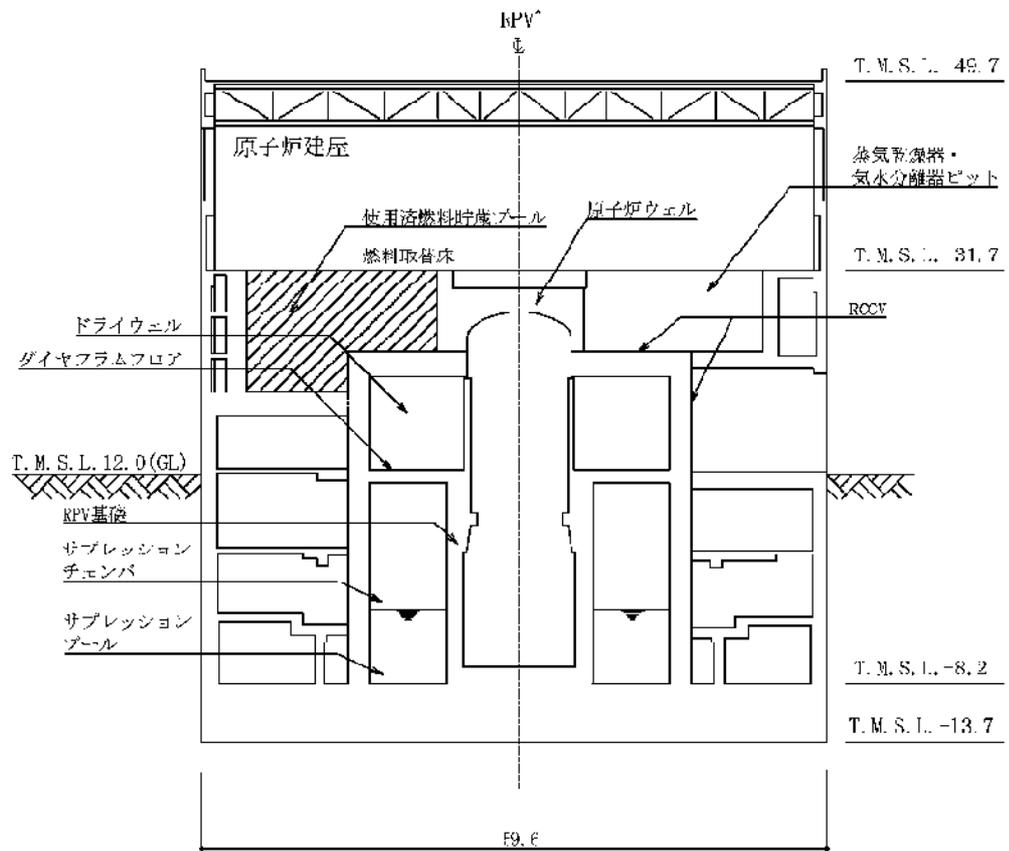


図 3-1-9 使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 31.7m)
(単位 : m)



注記*：原子炉圧力容器（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)

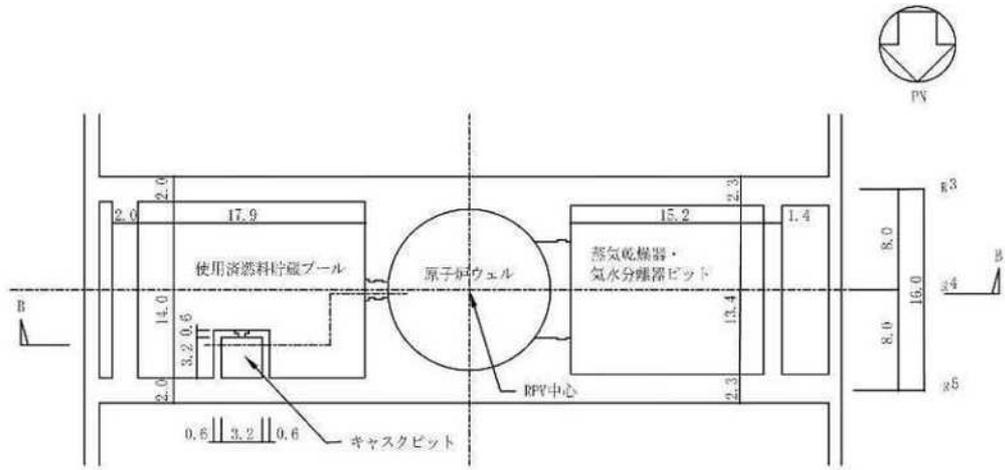


図 3-1-11 使用済燃料貯蔵プール周りの概略平面図（単位：m）

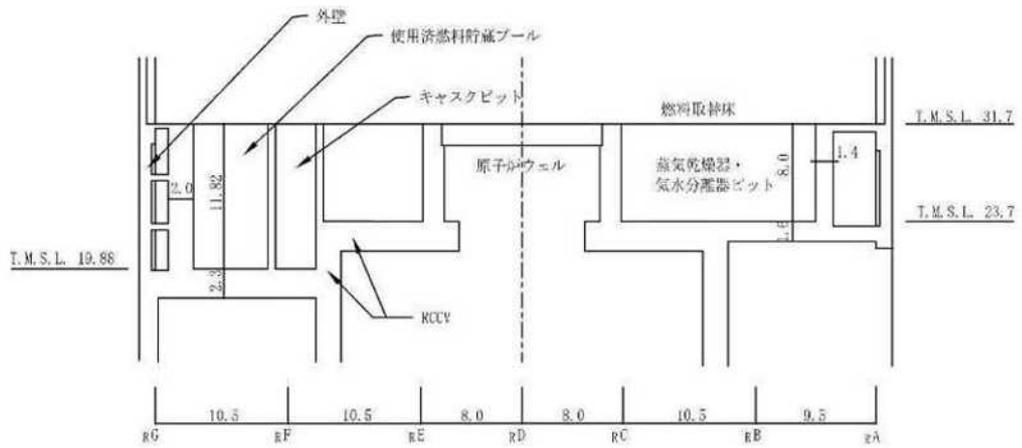


図 3-1-12 使用済燃料貯蔵プール周りの概略断面図
（B-B 断面）（単位：m）

(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、V-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。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、V-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(P₁)、逃がし安全弁作動時荷重(H₁)、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
- P₁ : 運転時圧力
- H₁ : 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

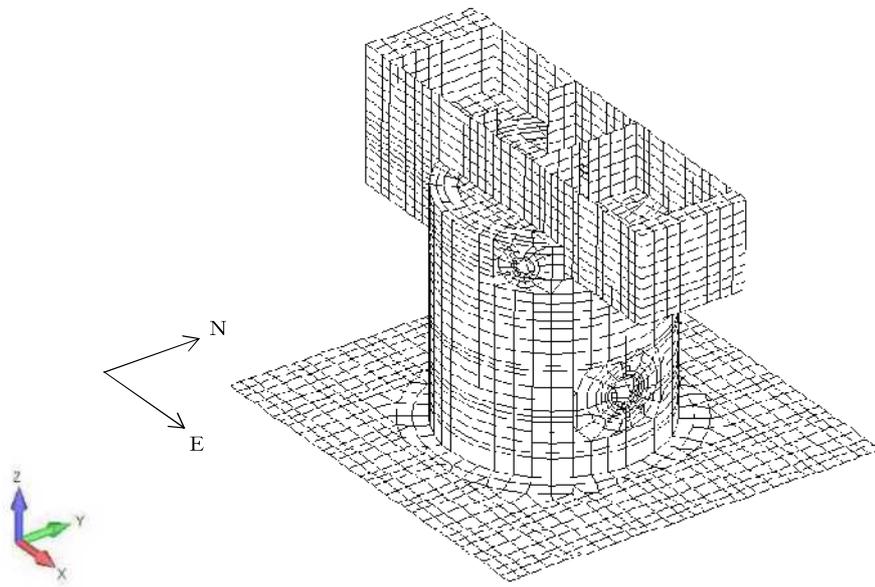
解析モデル概要図を図 3-1-13 に示す。解析モデルの詳細は、SFP の耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

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。

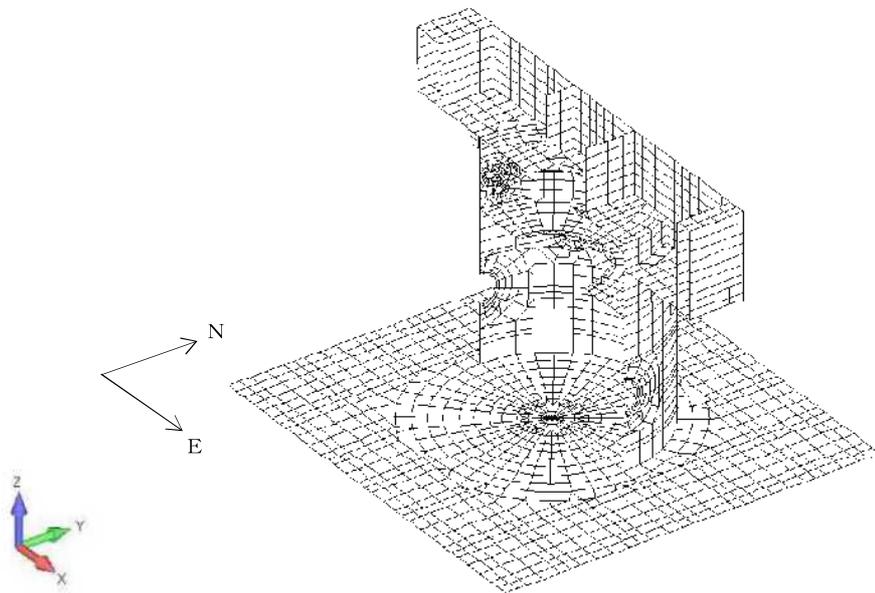
DL	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
K _{s s N} *	: S→N 方向 S s 地震荷重
K _{s s E} *	: W→E 方向 S s 地震荷重
K _{s s U} *	: 鉛直方向 S s 地震荷重
R _s	: S s 地震時配管荷重
KH _{s s E} *	: W→E 方向 S s 地震時動水圧荷重
KH _{s s N} *	: S→N 方向 S s 地震時動水圧荷重

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。

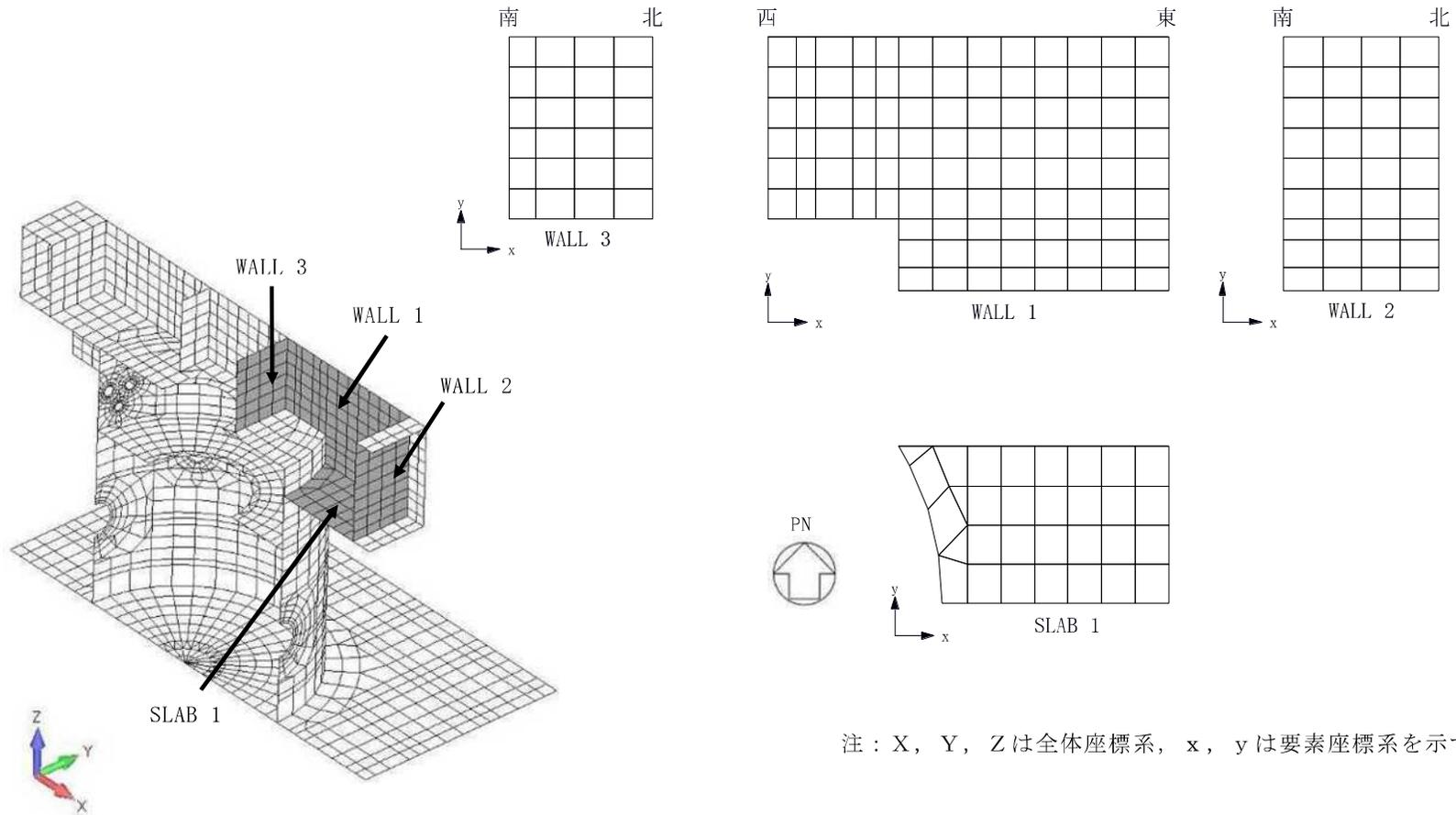


(a) 全体鳥瞰図



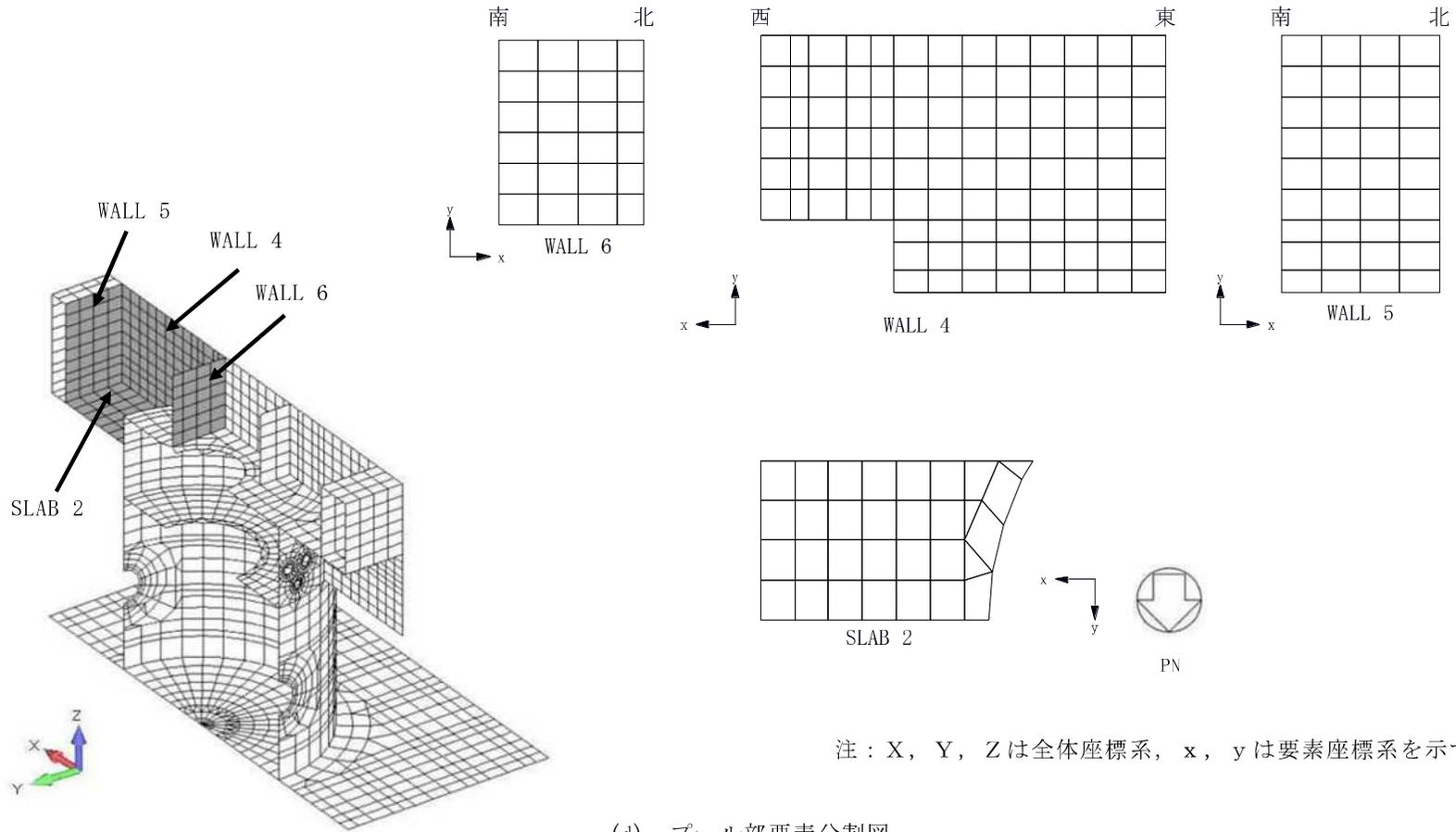
(b) 全体断面図 (EW 方向断面)

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)



注：X，Y，Zは全体座標系，x，yは要素座標系を示す。

(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。

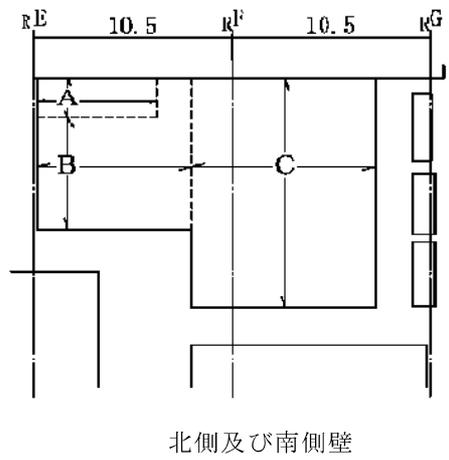
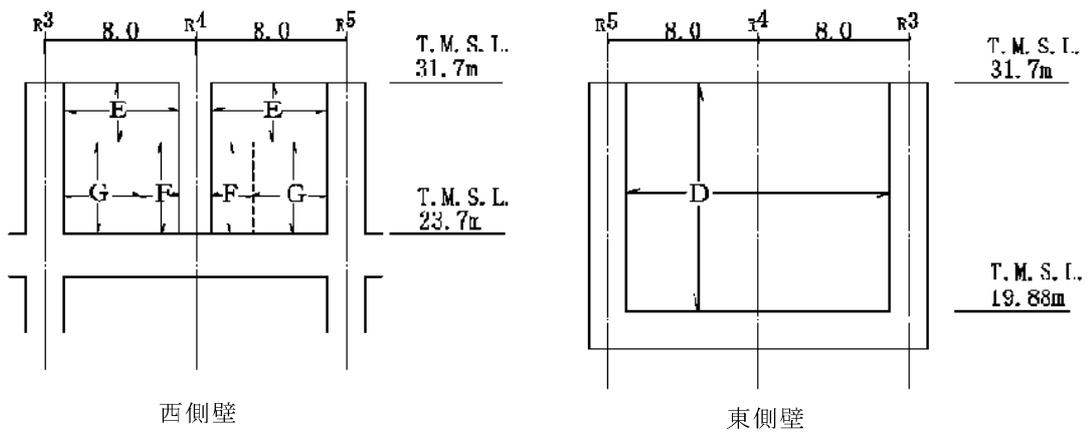


図 3-1-14 配筋領域図

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	

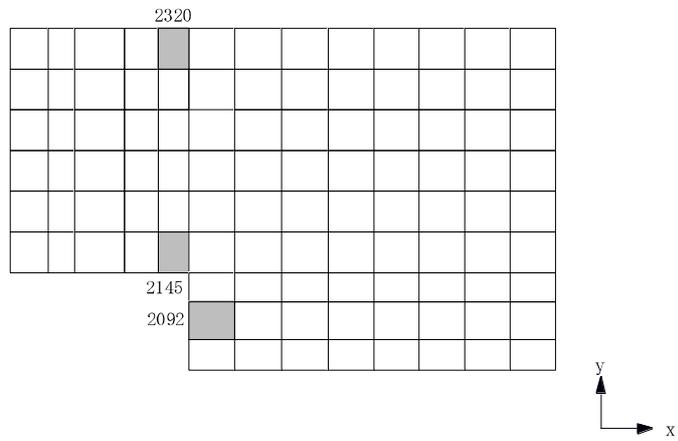
(b) 東側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
D	2-D38@200	2-D38@200

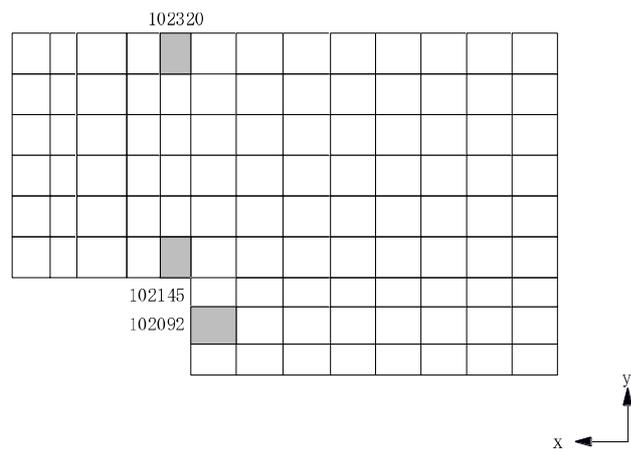
(c) 西側壁

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。

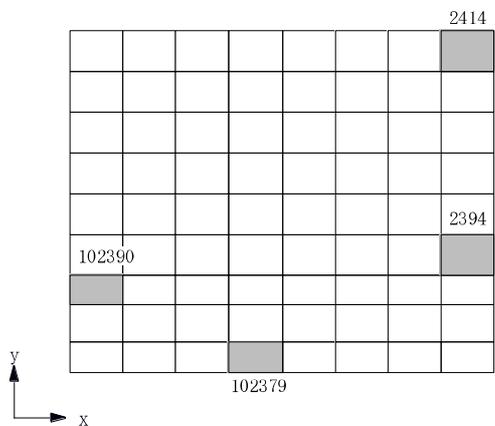


(a) 北側壁

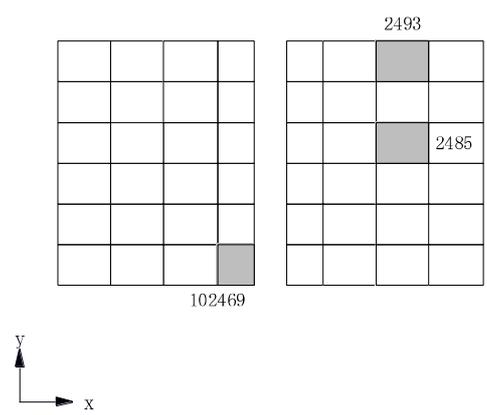


(b) 南側壁

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)

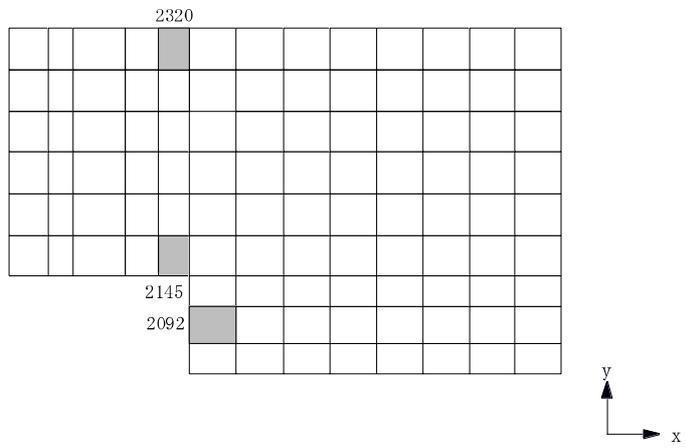


(c) 東側壁

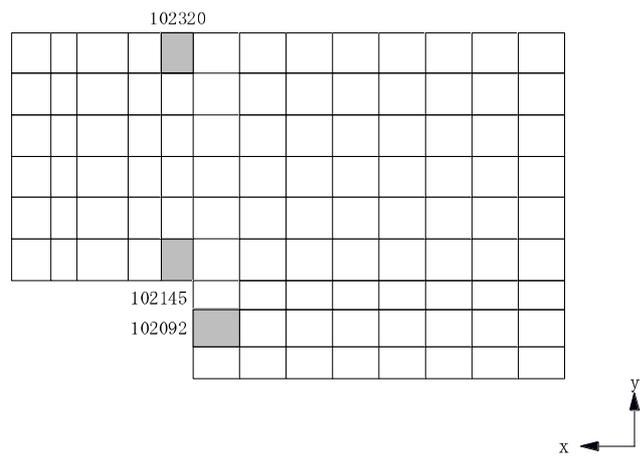


(d) 西側壁

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)

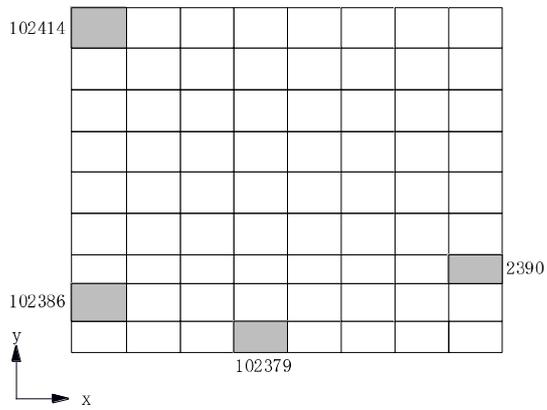


(a) 北側壁

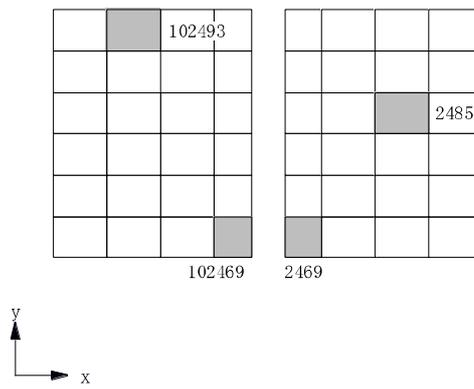


(b) 南側壁

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	0.308	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	5-15	0.549	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	5-4	7.92	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	5-15	2.92	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	5-9	0.966	1.96
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	102145	5-14	0.308	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102320	5-16	0.548	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	5-3	7.92	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	5-16	2.91	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	5-13	0.965	1.96
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	102379	5-12	0.393	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	5-12	0.748	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2414	5-14	1.22	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2394	5-10	1.00	3.74
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102390	5-12	0.940	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	102469	5-10	0.212	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	5-5	0.547	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	5-9	6.10	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2485	5-9	1.01	2.31
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	2493	5-16	0.298	1.58

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	0.282	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	2-8	0.506	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	2-2	7.37	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	2-16	2.76	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	2-5	0.914	2.08
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	102145	2-7	0.282	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102320	2-8	0.504	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	2-2	7.37	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	2-16	2.74	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	2-7	0.912	2.08
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	102379	2-6	0.391	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-6	0.742	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102414	2-5	1.13	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	2-5	1.00	3.87
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102386	2-6	0.926	1.75
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	102469	2-5	0.207	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-3	0.500	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2469	2-7	5.90	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2485	2-5	0.974	2.33
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	102493	2-8	0.291	1.54

(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。

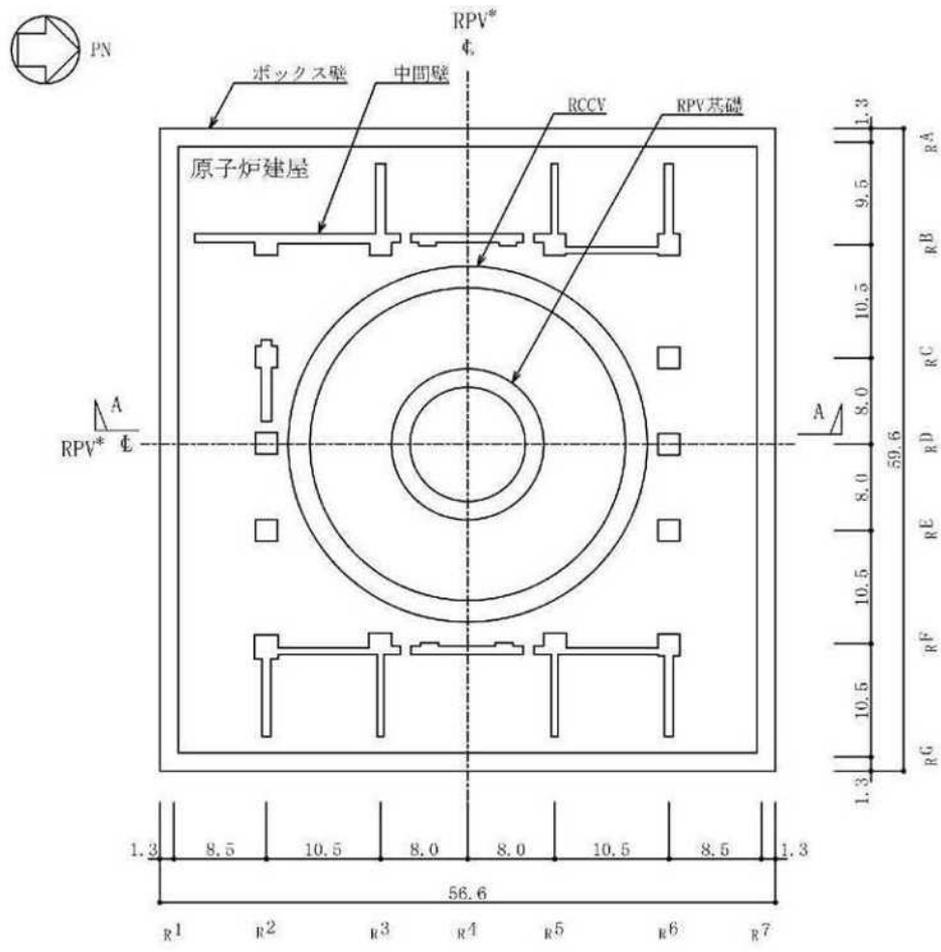
3.1.8 原子炉建屋の基礎スラブの検討

(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。



注記*：原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）

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）

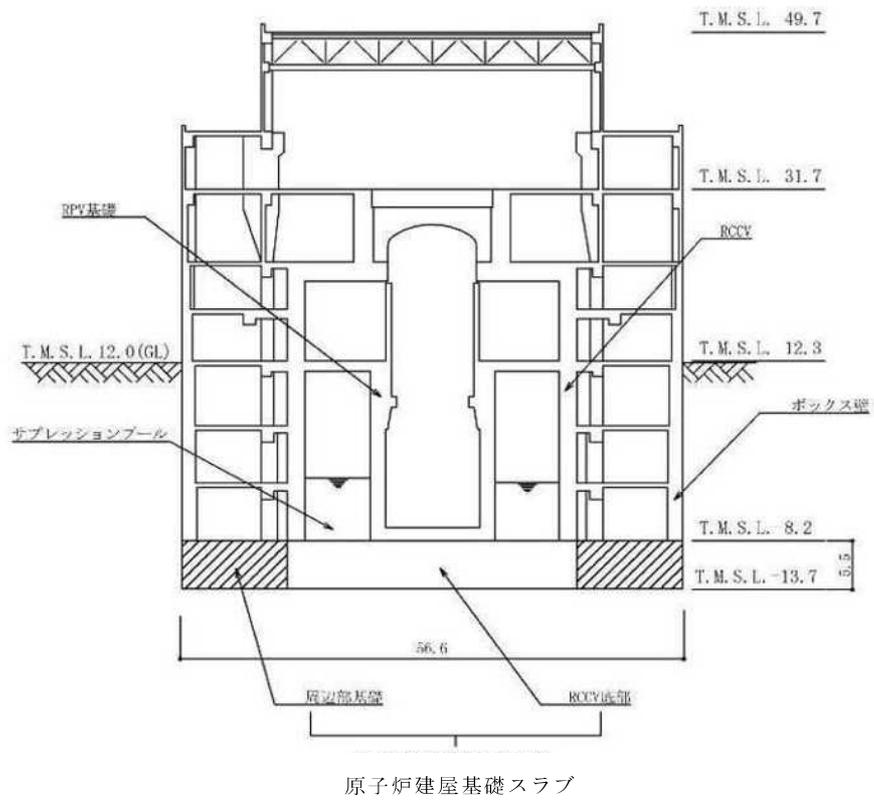


図 3-1-18 原子炉建屋基礎スラブの概略断面図 (A-A 断面) (単位 : m)

(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、V-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。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、V-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（P₁）、逃がし安全弁作動時荷重（H₁）、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

P₁ : 運転時圧力

H₁ : 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

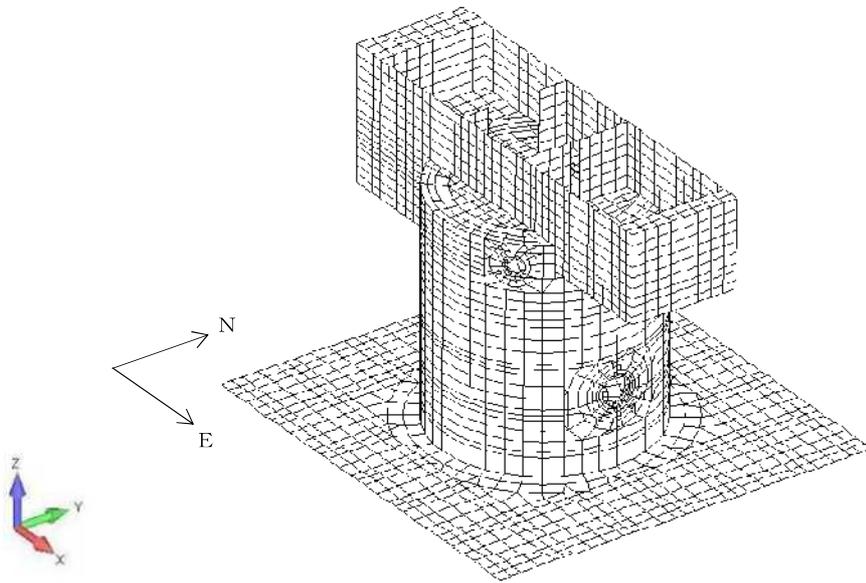
解析モデル図を図 3-1-19 に示す。解析モデルの詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

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。

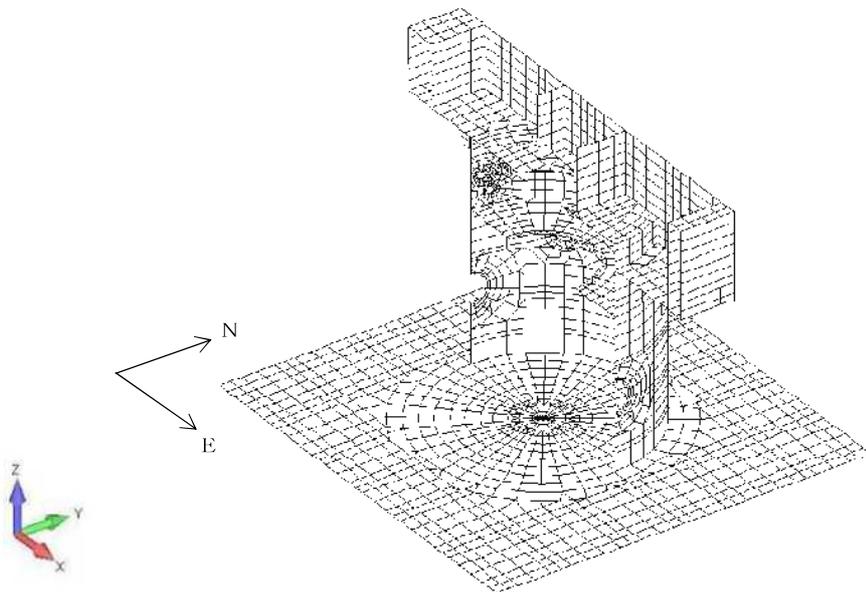
DL	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
K _{s SN} *	: S→N 方向 S s 地震荷重
K _{s WE} *	: W→E 方向 S s 地震荷重
K _{s DU} *	: 鉛直方向 S s 地震荷重
E _{s NS}	: NS 方向 S s 地震時土圧荷重
E _{s EW}	: EW 方向 S s 地震時土圧荷重

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。

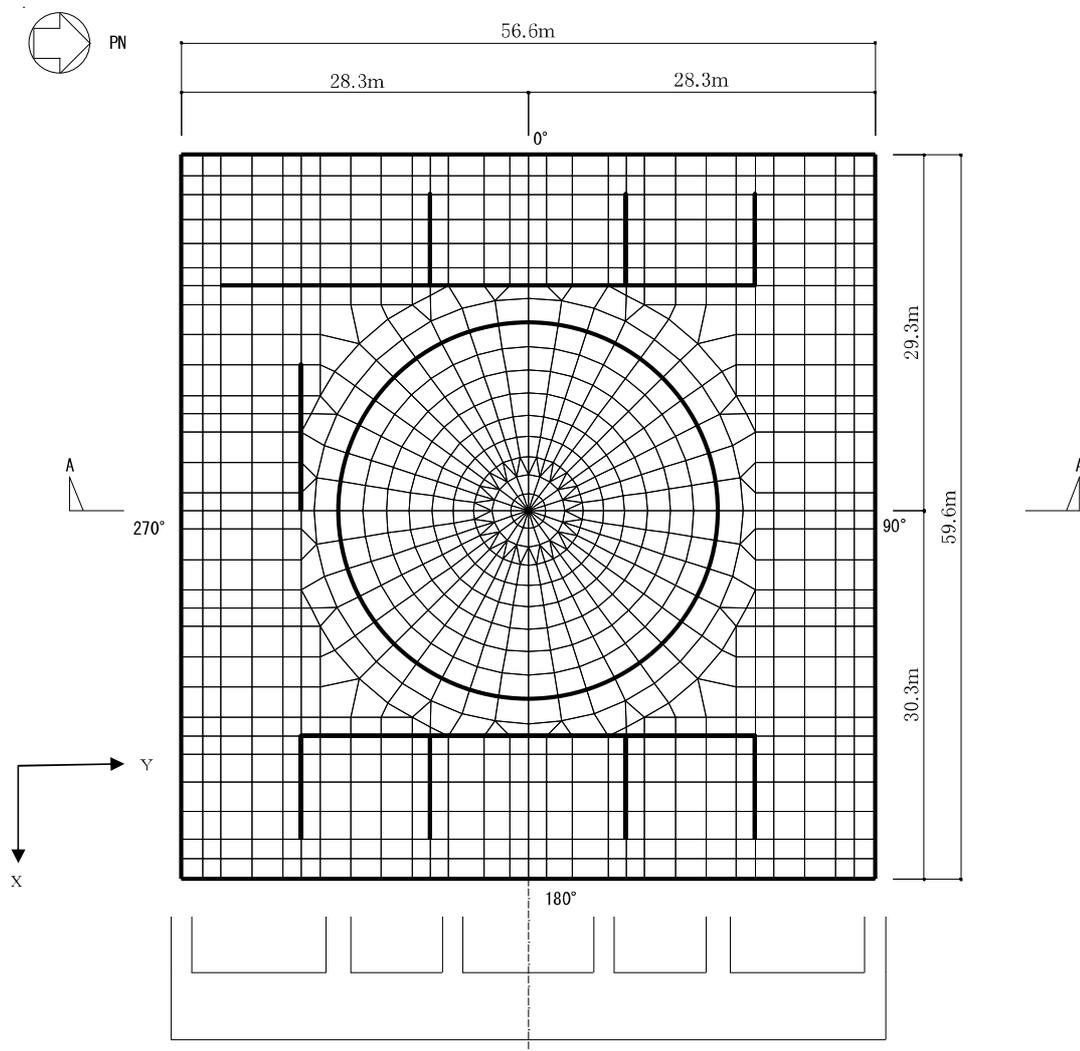


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体断面図

図 3-1-19 解析モデル (1/2)



(A-A) 断面図

(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	$D L + P_1 + H_1 + 1.0K_{s\ s\ N} + 0.4K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-2	$D L + P_1 + H_1 + 1.0K_{s\ s\ N} - 0.4K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-3	$D L + P_1 + H_1 + 0.4K_{s\ s\ N} + 1.0K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$
	3-4	$D L + P_1 + H_1 - 0.4K_{s\ s\ N} + 1.0K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$
	3-5	$D L + P_1 + H_1 - 1.0K_{s\ s\ N} + 0.4K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-6	$D L + P_1 + H_1 - 1.0K_{s\ s\ N} - 0.4K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-7	$D L + P_1 + H_1 + 0.4K_{s\ s\ N} - 1.0K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$
	3-8	$D L + P_1 + H_1 - 0.4K_{s\ s\ N} - 1.0K_{s\ s\ W\ E} + 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$
	3-9	$D L + P_1 + H_1 + 1.0K_{s\ s\ N} + 0.4K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-10	$D L + P_1 + H_1 + 1.0K_{s\ s\ N} - 0.4K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-11	$D L + P_1 + H_1 + 0.4K_{s\ s\ N} + 1.0K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$
	3-12	$D L + P_1 + H_1 - 0.4K_{s\ s\ N} + 1.0K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$
	3-13	$D L + P_1 + H_1 - 1.0K_{s\ s\ N} + 0.4K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-14	$D L + P_1 + H_1 - 1.0K_{s\ s\ N} - 0.4K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 1.0E_{s\ N\ S} + 0.4E_{s\ E\ W}$
	3-15	$D L + P_1 + H_1 + 0.4K_{s\ s\ N} - 1.0K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$
	3-16	$D L + P_1 + H_1 - 0.4K_{s\ s\ N} - 1.0K_{s\ s\ W\ E} - 0.4K_{s\ s\ D\ U} + 0.4E_{s\ N\ S} + 1.0E_{s\ E\ W}$

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

(6) 評価方法

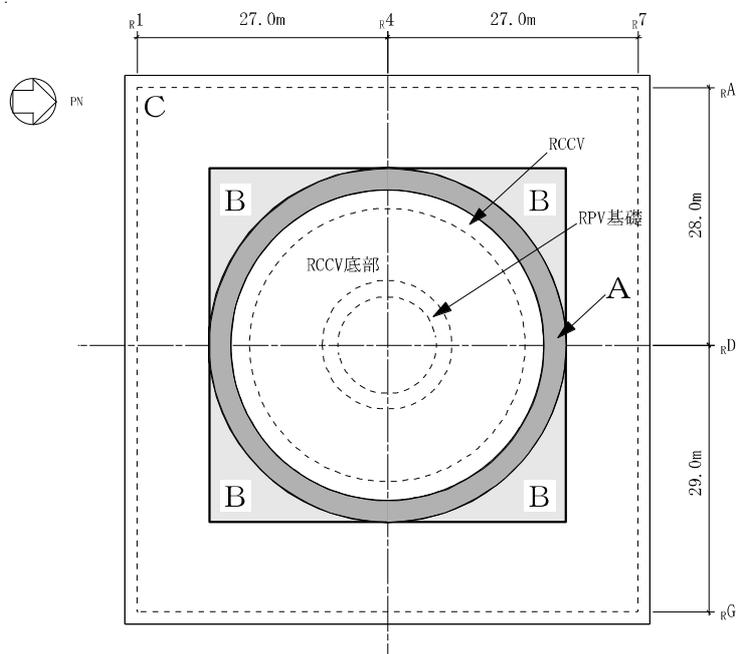
基礎の断面の評価は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

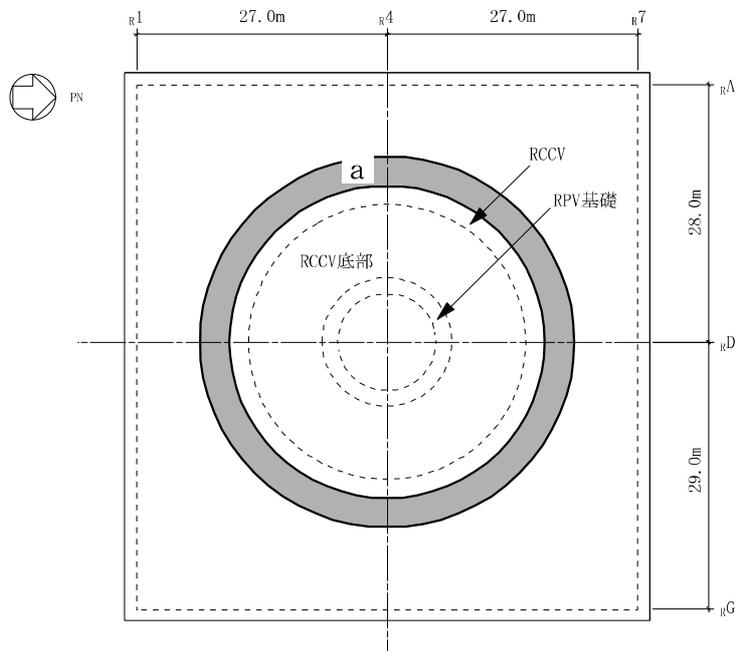
断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図及び配筋一覧を図 3-1-20 及び表 3-1-23 に示す。断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

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

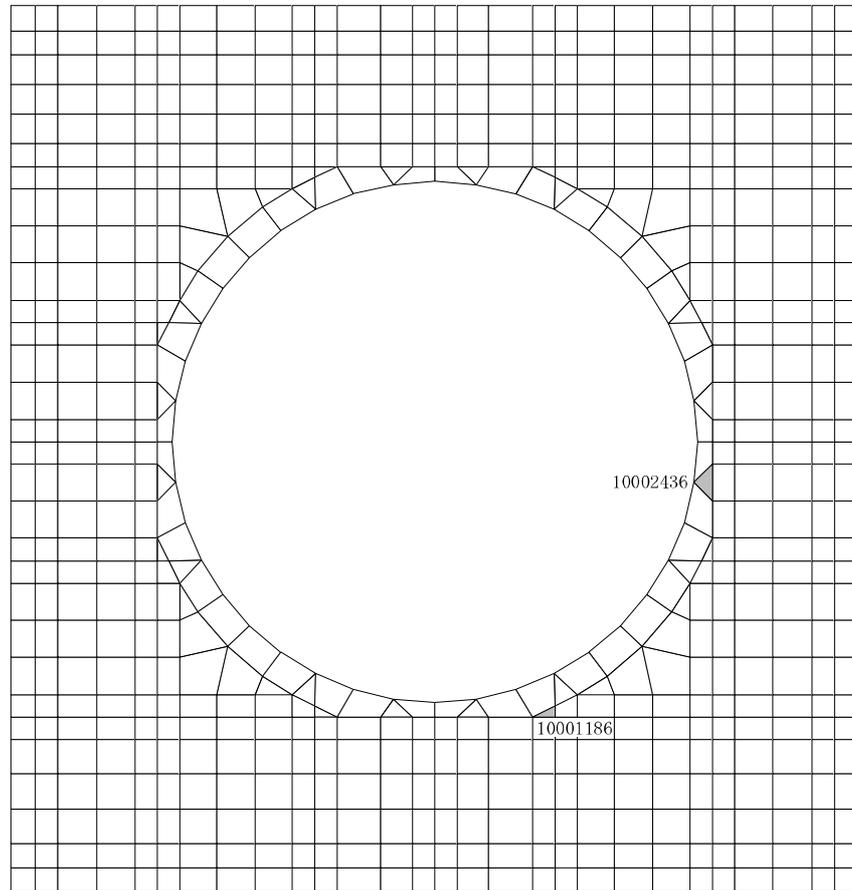
領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	放射	5×320-D38	NS	5-D38@200
	円周	5-D38@200	EW	5-D38@200
B	NS	3-D38@200	NS	5-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	5-D38@200
C	NS	3-D38@200	NS	3-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	3-D38@200

(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D35@400×400



PN

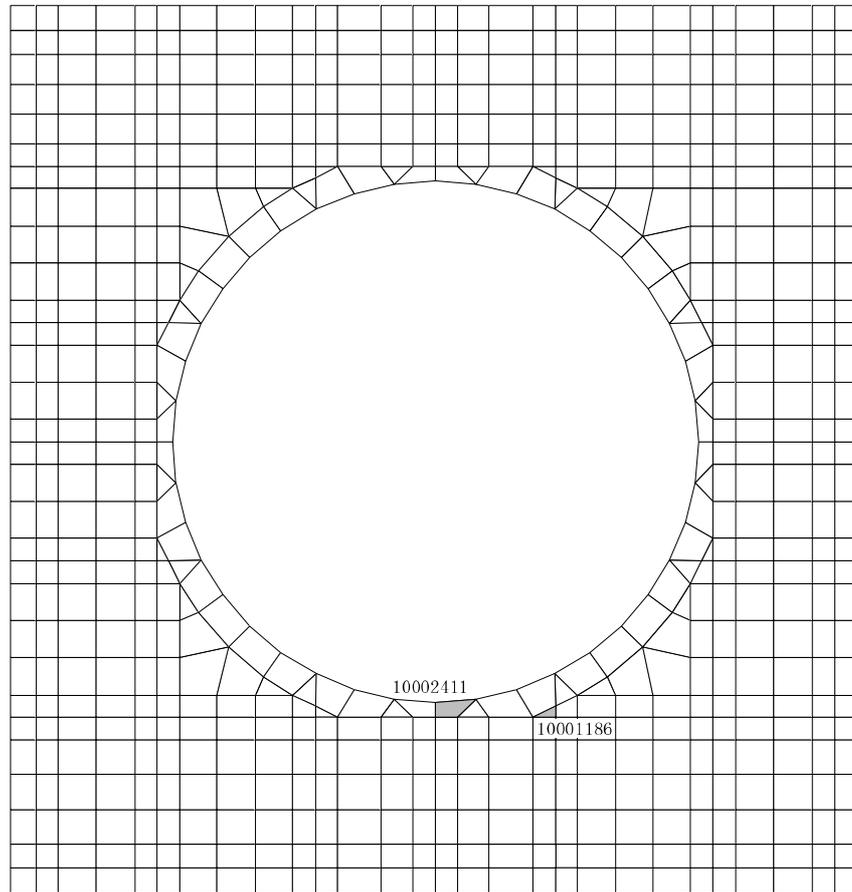


(a) 水平 2 方向

図 3-1-21 選定した要素の位置 (S s 地震時) (1/2)



PN



(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	10001186	3-1	0.277	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	3-1	0.238	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	10002436	3-1	2.46	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	10001186	2-1	0.264	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	2-1	0.228	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	10002411	2-2	2.36	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。