

本資料のうち、枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

※なお、本資料は抜粋版のため、公開できない箇所はありません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0124_改3
提出年月日	2021年9月6日

VI-2-12-1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する 影響評価結果

目 次

1.	概要	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
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影響評価結果	1
3.1	建物・構築物	1
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	1
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部位の抽出結果	16
3.1.3	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針	18
3.1.4	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	19
3.2	機器・配管系	42
3.2.1	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	42
3.2.2	建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討結果を踏まえた 機器・配管系の設備の抽出	44
3.2.3	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果	44
3.2.4	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	44
3.2.5	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	45
3.2.6	まとめ	46
3.3	屋外重要土木構造物	65
3.3.1	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	65
3.3.2	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	82
3.3.3	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	93
3.3.4	まとめ	107
3.4	津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備	108
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	108
3.4.2	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果	130
3.4.3	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	133
3.4.4	まとめ	148

 本日の説明範囲

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1 地震力の算定法(2) 動的地震力」及び、添付書類「VI-2-1-8 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力により、施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

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

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は、基準地震動 S_s を用いる。基準地震動 S_s は、添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」による。

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

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

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の評価部位の抽出

(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した。確認した結果を表3-1-1に示す。

(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3-1-3に示す。

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

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3-1-4に示す。

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

なお、排気筒の基礎は、マスコンクリート基礎であり、剛体とみなすことから該当しない。

また、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」する部位としては、使用済燃料プールの壁（一般部）並びに原子炉建屋、制御建屋、タービン建屋、補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋、第3号機海水熱交換器建屋、緊急用電気品建屋、緊急時対策建屋の壁（地下部）を抽出した。

(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3-1-5に示す。

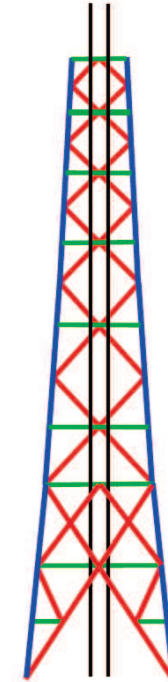
応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁（一般部）を抽出した。

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

表 3-1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (1/3)

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

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の構造部材なし



〃 : 柱 (一般部) → 筒身
 〃 : 柱 (隅部) → 主柱材
 〃 : はり (一般部) → 水平材
 〃 : 壁 (鉄骨ブレース) → 斜材
 として整理する。

参考：排気筒構成部位概要図

表3-1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (2/3)

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

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の構造部材なし

表 3-1-1 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位 (3/3)

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

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の構造部材なし

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)

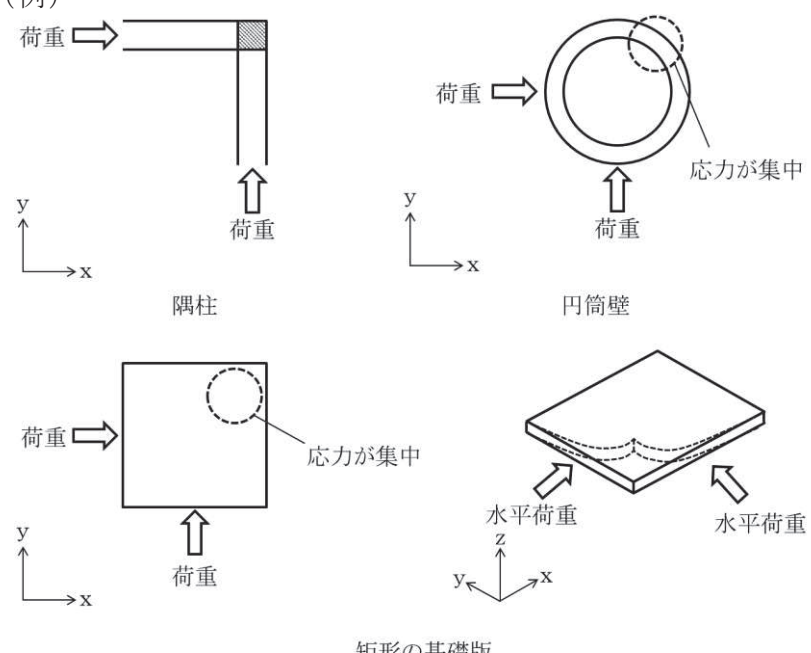
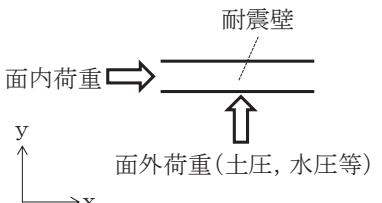
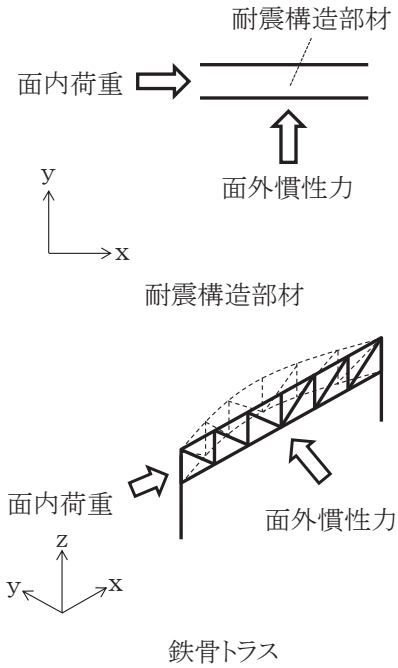
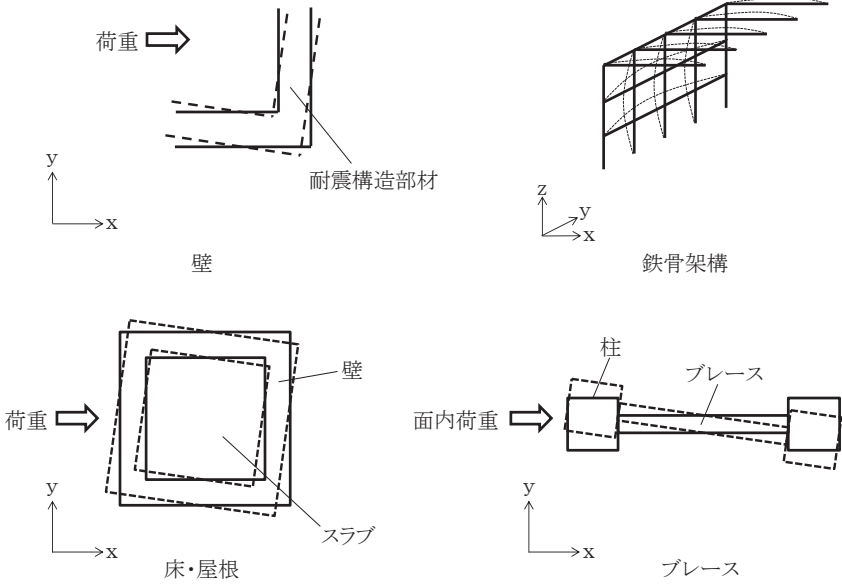
荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中</p>	<p>応力が集中する隅柱等 (例)</p>  <p>隅柱</p> <p>円筒壁</p> <p>矩形の基礎版</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向 の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重(土圧, 水圧等)</p>

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> 

O 2 ⑤ VI-2-12-1 R 3

表 3-1-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

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

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

表 3-1-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

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

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

表 3-1-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (3/3)
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

凡例 ・ 要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み

・ 不要：評価不要

・ 「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」

・ 「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

・ 「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・ 「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

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

(5) 3次元FEMモデルによる精査方法

上記(4)で抽出した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う。精査方法を表3-1-6に示す。

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う。

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う。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う。

(6) 3次元FEMモデルによる精査結果

3次元FEMモデルによる精査の結果、建物・構築物の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影響評価が必要な部位は抽出されなかった。精査した結果を表3-1-6に示す。

表3-1-6 3次元FEMモデルを用いた精査

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

3.1.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

- (1) 建物・構築物において、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3-1-7に示す。

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

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

- (2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

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

排気筒の支柱材については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

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

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

表3-1-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

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

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物。

3.1.3 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た。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”

3.1.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 排気筒の支柱材の評価

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支柱材を対象に評価を行う。

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

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-7-2-1 排気筒の耐震性についての計算書」（以下「排気筒の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。排気筒の概要図を図3-1-1に、解析モデルを図3-1-2に示す。

排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、水平鉛直同時入力において、支柱材に対して最も厳しい評価結果となった S_s-N1 を用いて評価を行う。

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

地震動の入力方法は、排気筒の耐震計算書に基づくものとする。

鋼材の許容応力度及び使用材料の物性値は、排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

3方向同時入力時及び2方向同時入力時における支柱材の評価結果を表3-1-8に、鉄塔脚部の評価結果を表3-1-9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減少傾向であることを確認した。排気筒の2方向同時入力の評価においては、J E A C 4 6 0 1 -2015に基づき、排気筒に対して斜め方向から加振を行っており、3方向同時入力と同等の評価がなされていることを示す結果となった。

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

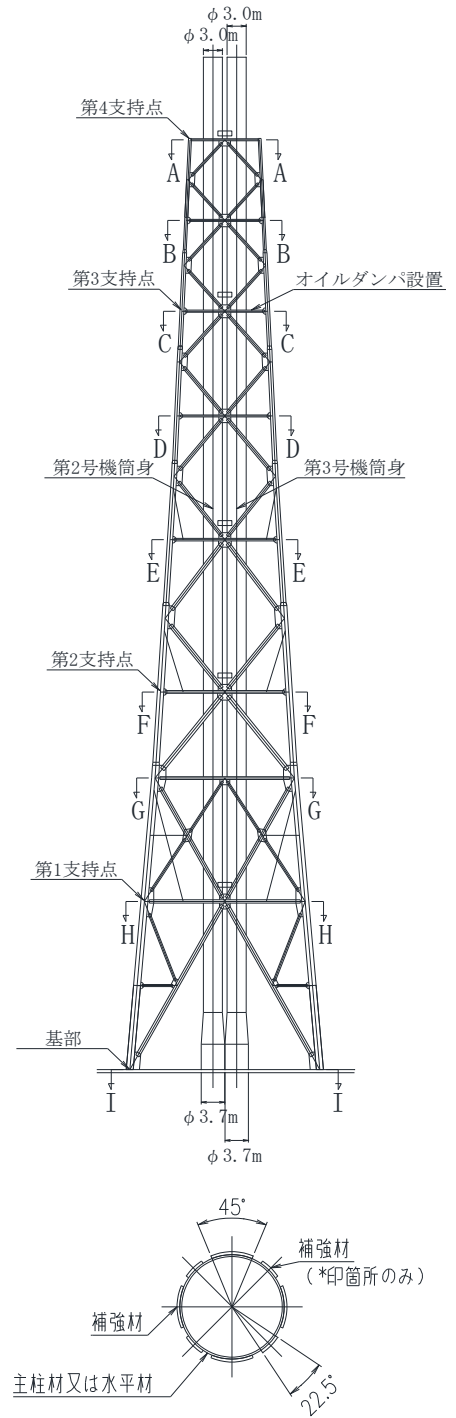
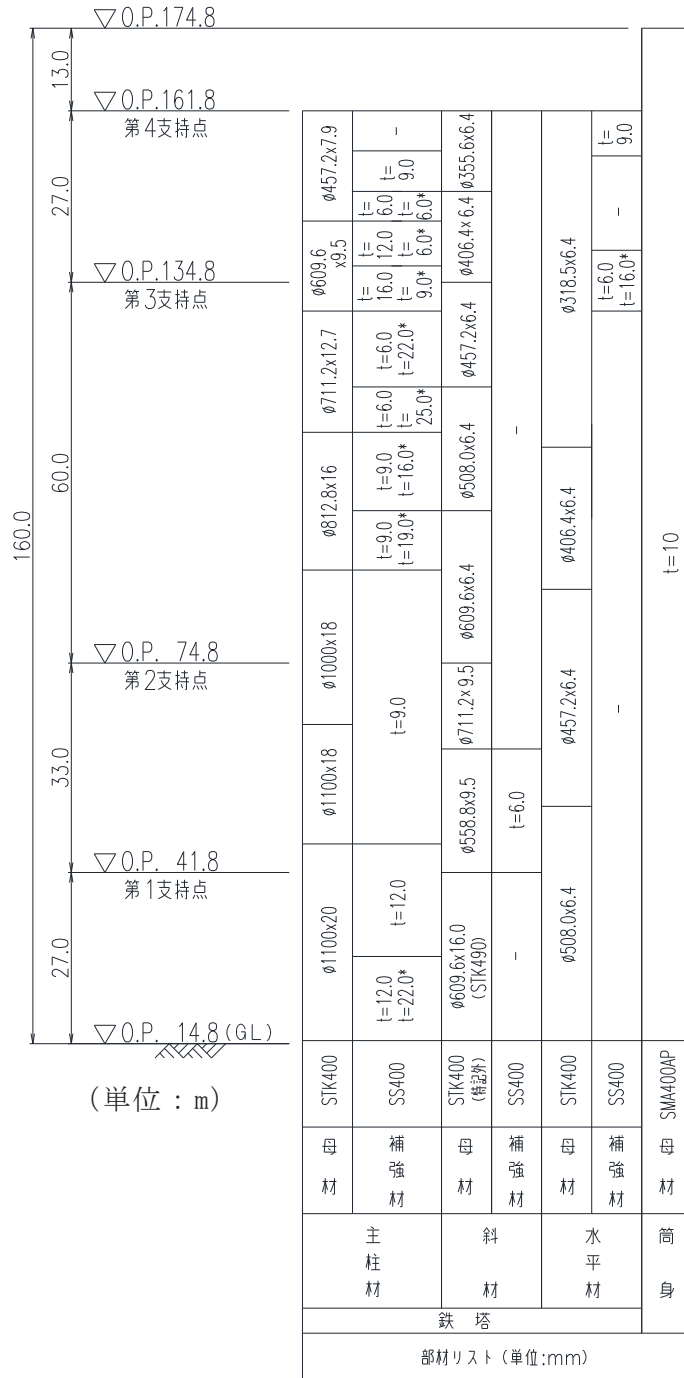
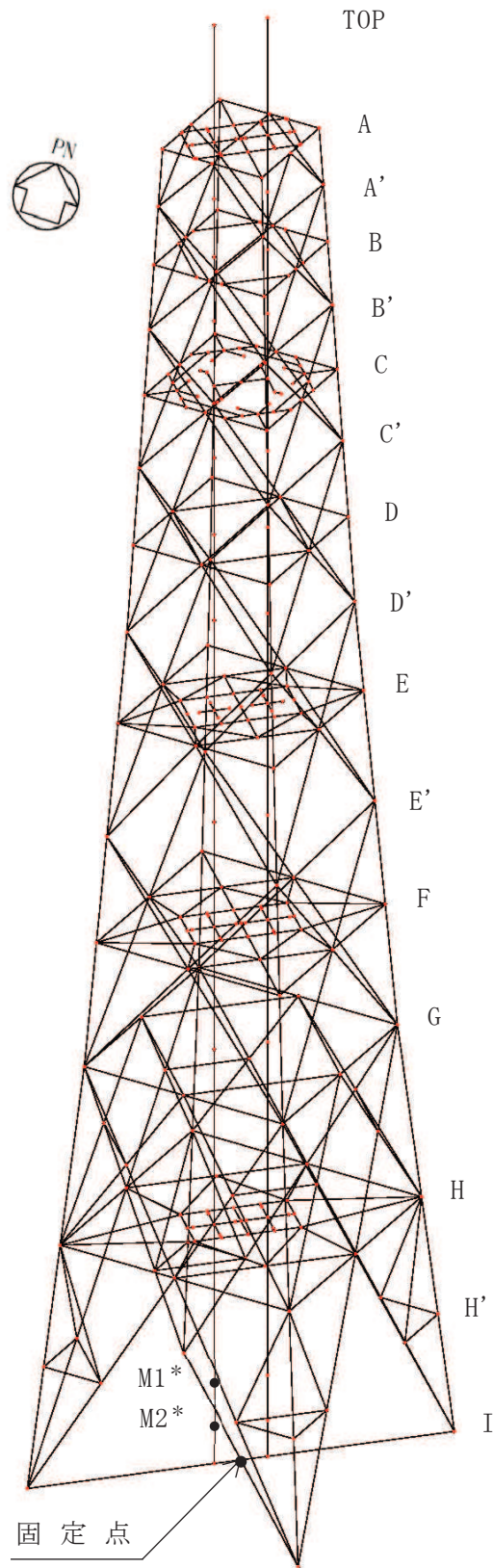


図 3-1-1 排気筒の概要図



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

図 3-1-2 排気筒の地震応答解析モデル

表3-1-8 主柱材の評価結果

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

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

表3-1-9 鉄塔脚部の評価結果

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

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

(2) 使用済燃料プールの壁の評価

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

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

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

使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図3-1-4及び図3-1-5に、使用済燃料プール周りの概略平面図及び概略断面図を図3-1-6及び図3-1-7に示す。

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

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。

解析モデル概要図を図3-1-8に示す。解析モデルの詳細は、SFPの耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

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

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S s S N * : S→N方向 S s 地震荷重（S s 地震時動水圧荷重を含む）
- S s W E * : W→E方向 S s 地震荷重（S s 地震時動水圧荷重を含む）
- S s U D * : 鉛直方向 S s 地震荷重

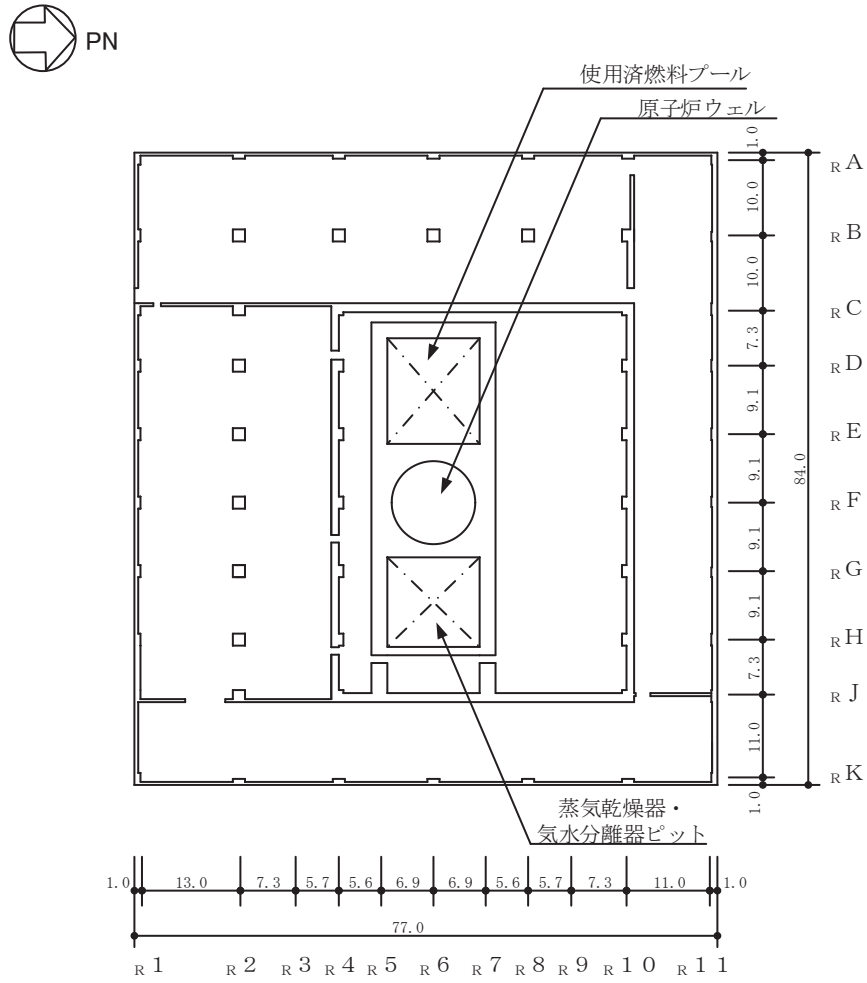
注記*：計算上の座標軸を基準として、EW方向はW→E方向の加力、NS方向はS→N方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

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

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。

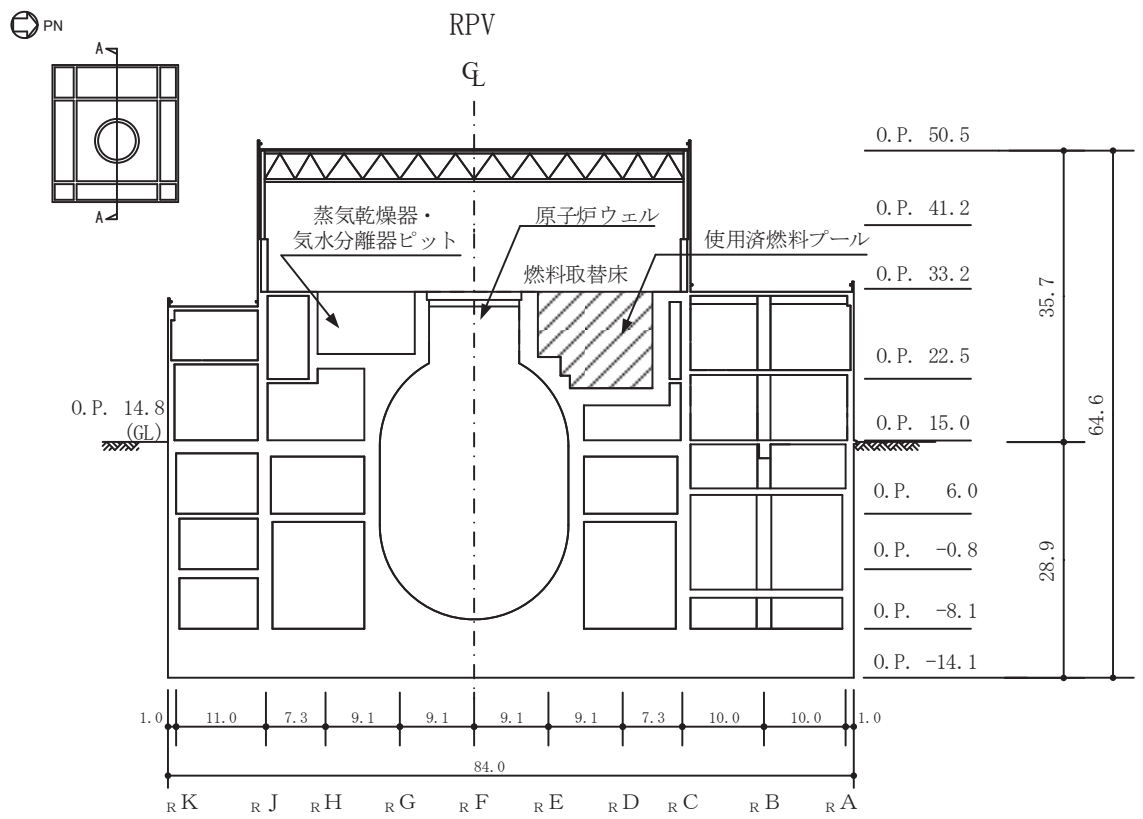
選定した要素の位置を図3-1-9及び図3-1-10に、評価結果を表3-1-10及び表3-1-11に示す。

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。



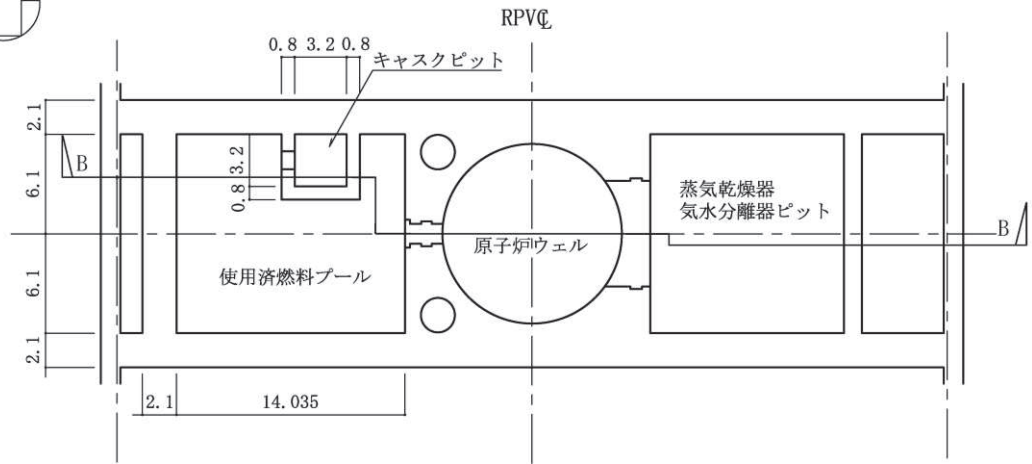
(単位：m)

図 3-1-4 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (O. P. 33. 2m)



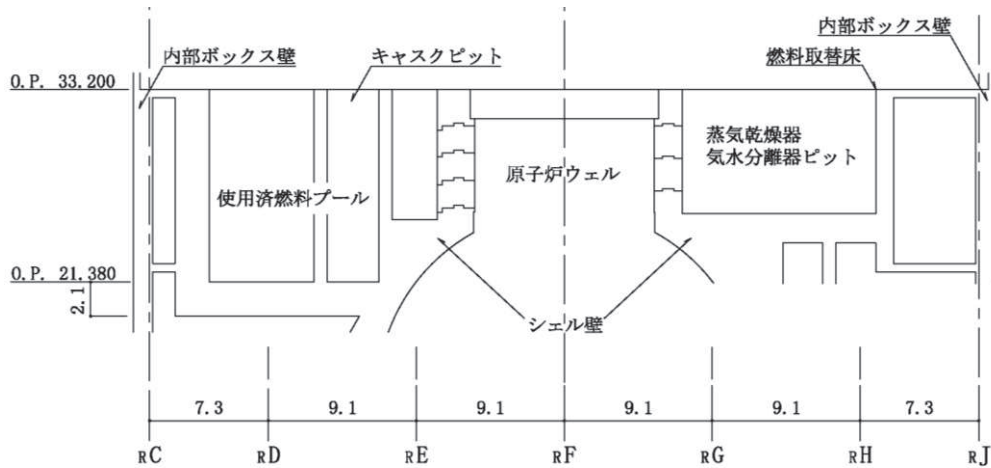
(単位：m)

図 3-1-5 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)



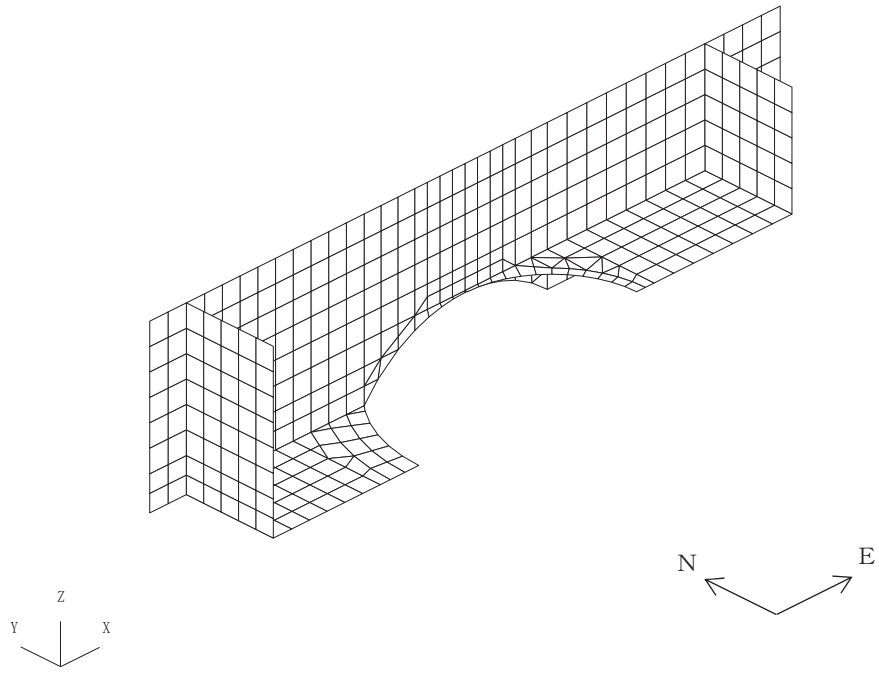
(単位：m)

図 3-1-6 使用済燃料プール周りの概略平面図



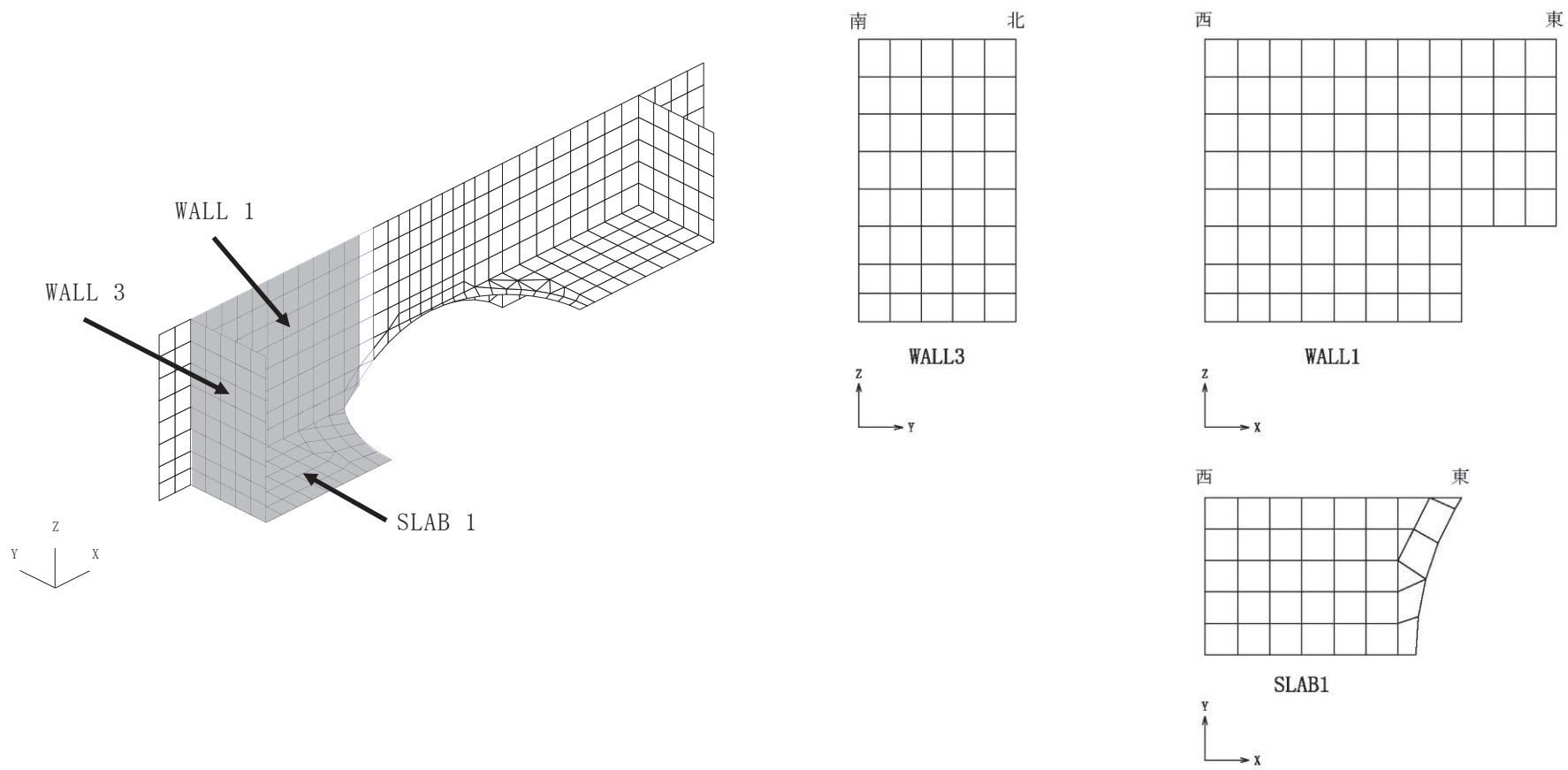
(単位：m)

図 3-1-7 使用済燃料プール周りの概略断面図 (B-B 断面)



(a) 全体鳥瞰図

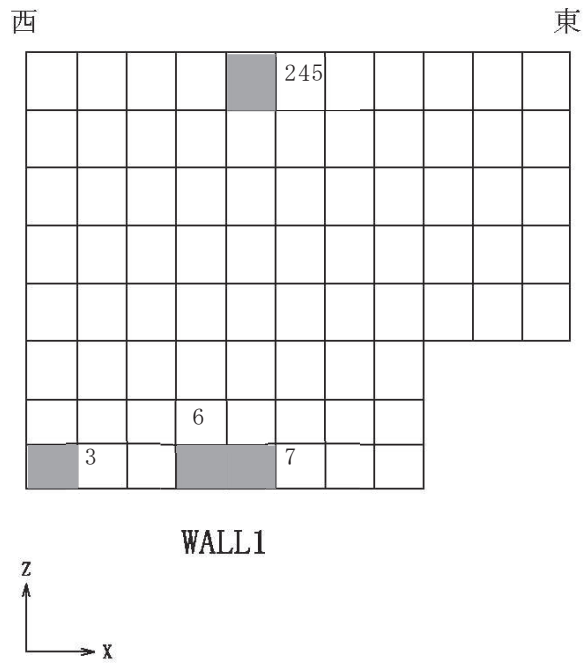
図 3-1-8 解析モデル概要図 (1/2)



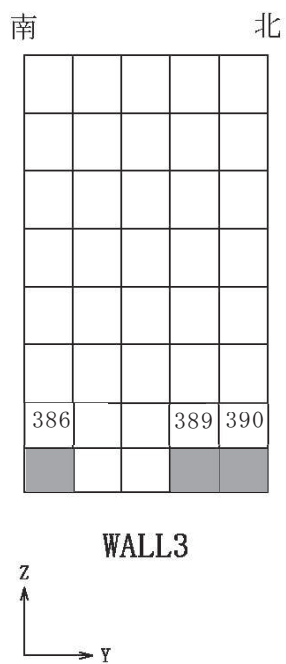
注：X，Y，Zは全体座標系を示す。

(b) プール部要素分割図

図 3-1-8 解析モデル概要図 (2/2)



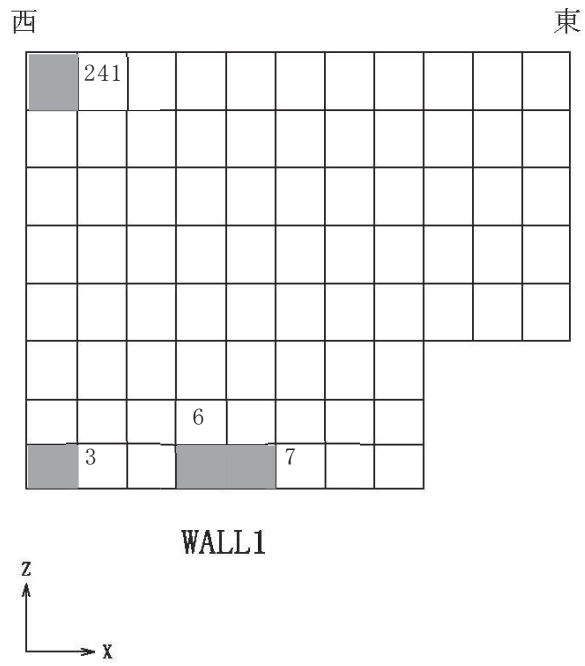
(a) 北側壁



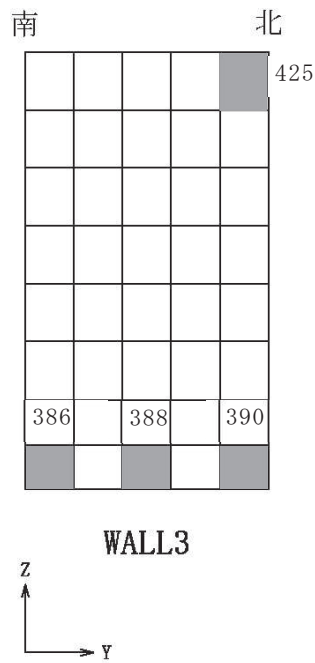
(b) 西側壁

注：数字は要素番号を示す。

図 3-1-9 選定した要素の位置 S s 地震時（水平 2 方向）



(a) 北側壁



(b) 西側壁

注：数字は要素番号を示す。

図 3-1-10 選定した要素の位置 S s 地震時（水平 1 方向）

表 3-1-10 使用済燃料プールの壁の評価結果 S s 地震時 (水平 2 方向)

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

表 3-1-11 使用済燃料プールの壁の評価結果 S s 地震時 (水平 1 方向)

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

(2) 原子炉建屋基礎版の評価

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

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

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「VI-2-9-3-4 原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書」（以下「基礎版の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。原子炉建屋基礎版の概略平面図及び概略断面図を図3-1-11及び図3-1-12に示す。

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

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

解析モデル図を図3-1-13に示す。解析モデルの詳細は、基礎版の耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

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

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S s_{SN}* : S→N方向 S s 地震荷重 (S s 地震時土圧荷重を含む)
- S s_{EW}* : E→W方向 S s 地震荷重 (S s 地震時土圧荷重を含む)
- S s_{UD}* : 鉛直方向 S s 地震荷重

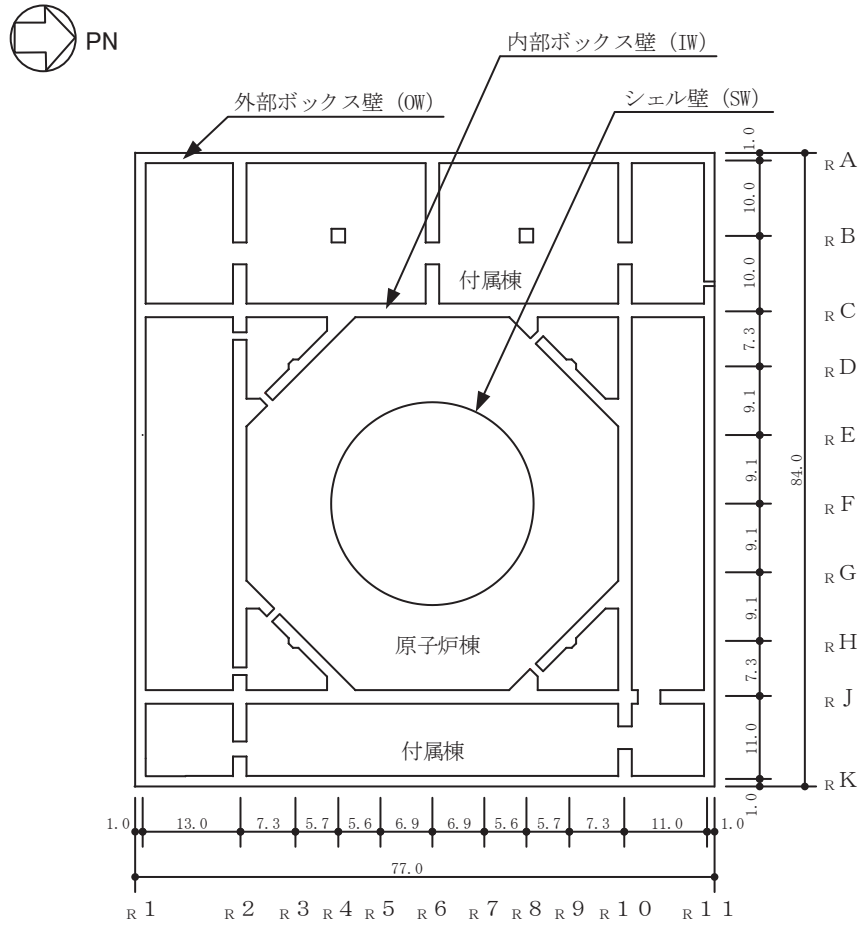
注記* : 計算上の座標軸を基準として、NS方向はS→N方向の加力、EW方向はE→W方向の加力、鉛直方向は下向きの加力を記載している。

断面の評価結果を以下に示す。

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。

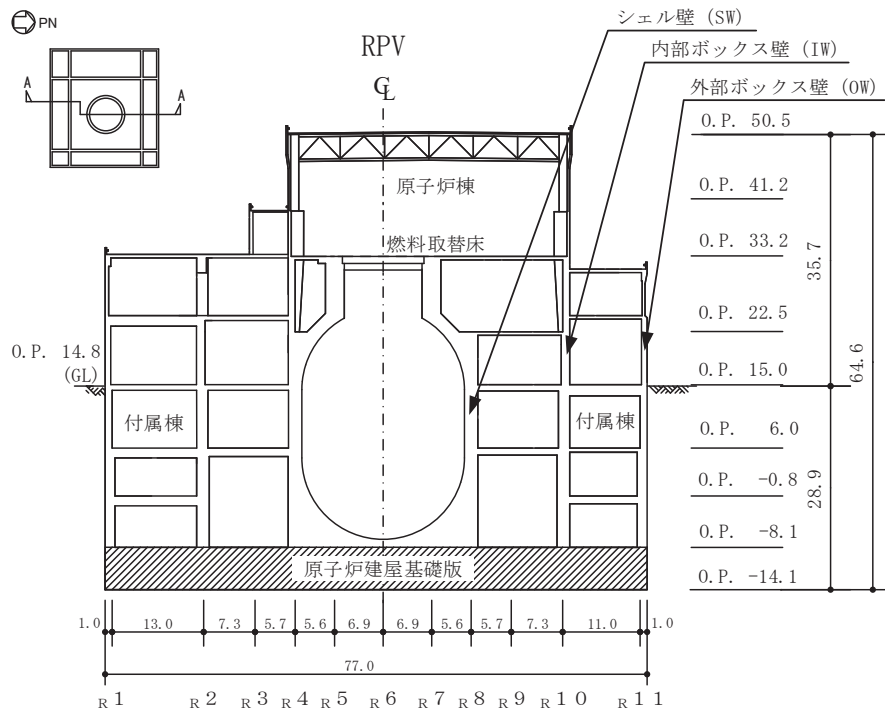
選定した要素の位置を図3-1-14に、評価結果を表3-1-12に示す。

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。



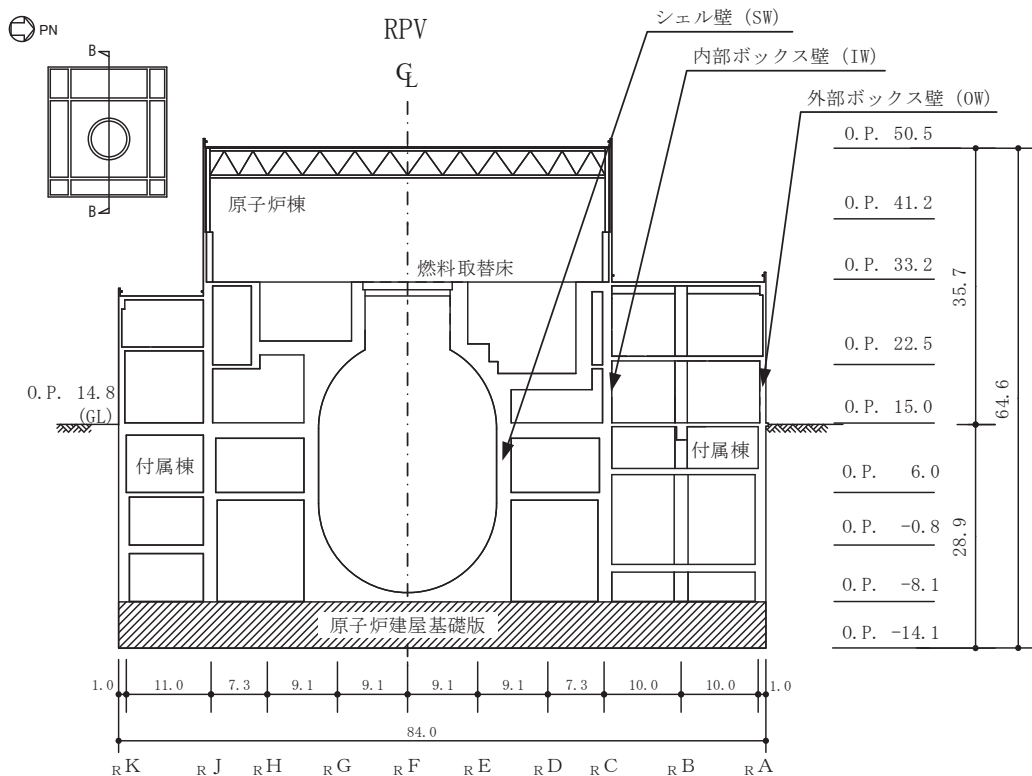
(単位：m)

図 3-1-11 原子炉建屋基礎版の概略平面図 (0.P. -8.1m)



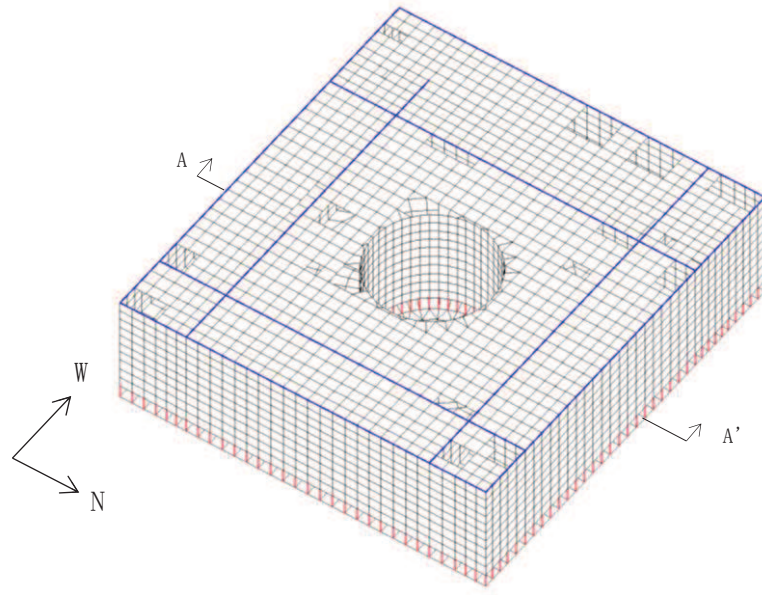
(単位 : m)

図 3-1-12 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向) (1/2)

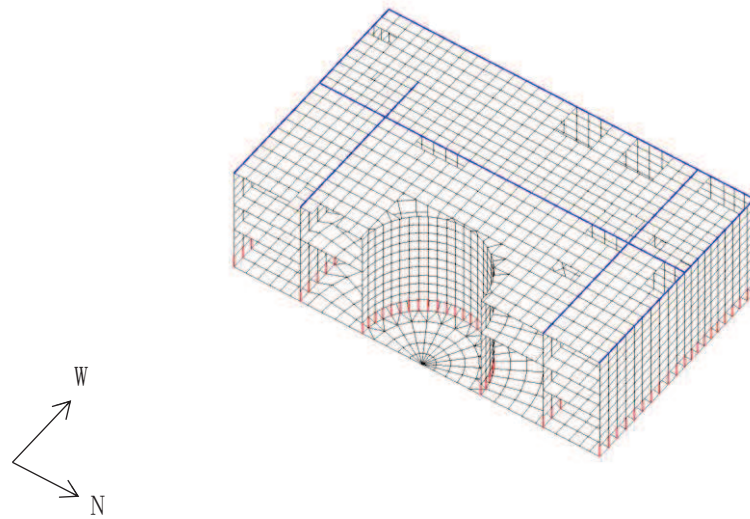


(単位 : m)

図 3-1-12 原子炉建屋基礎版の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向) (2/2)

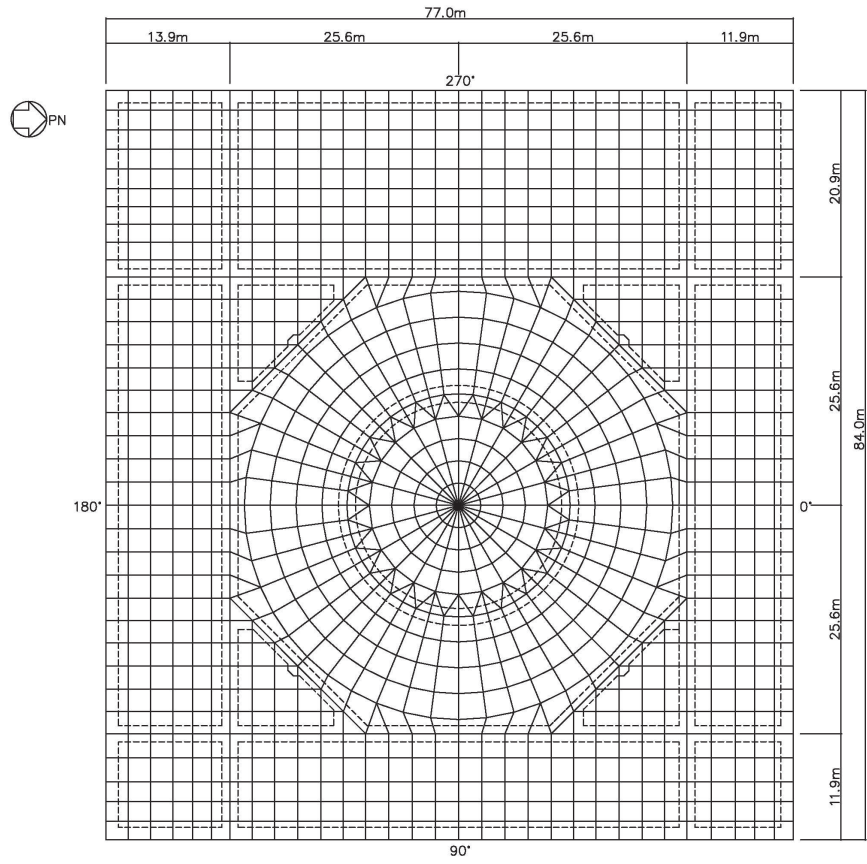


(a) 全体鳥瞰図

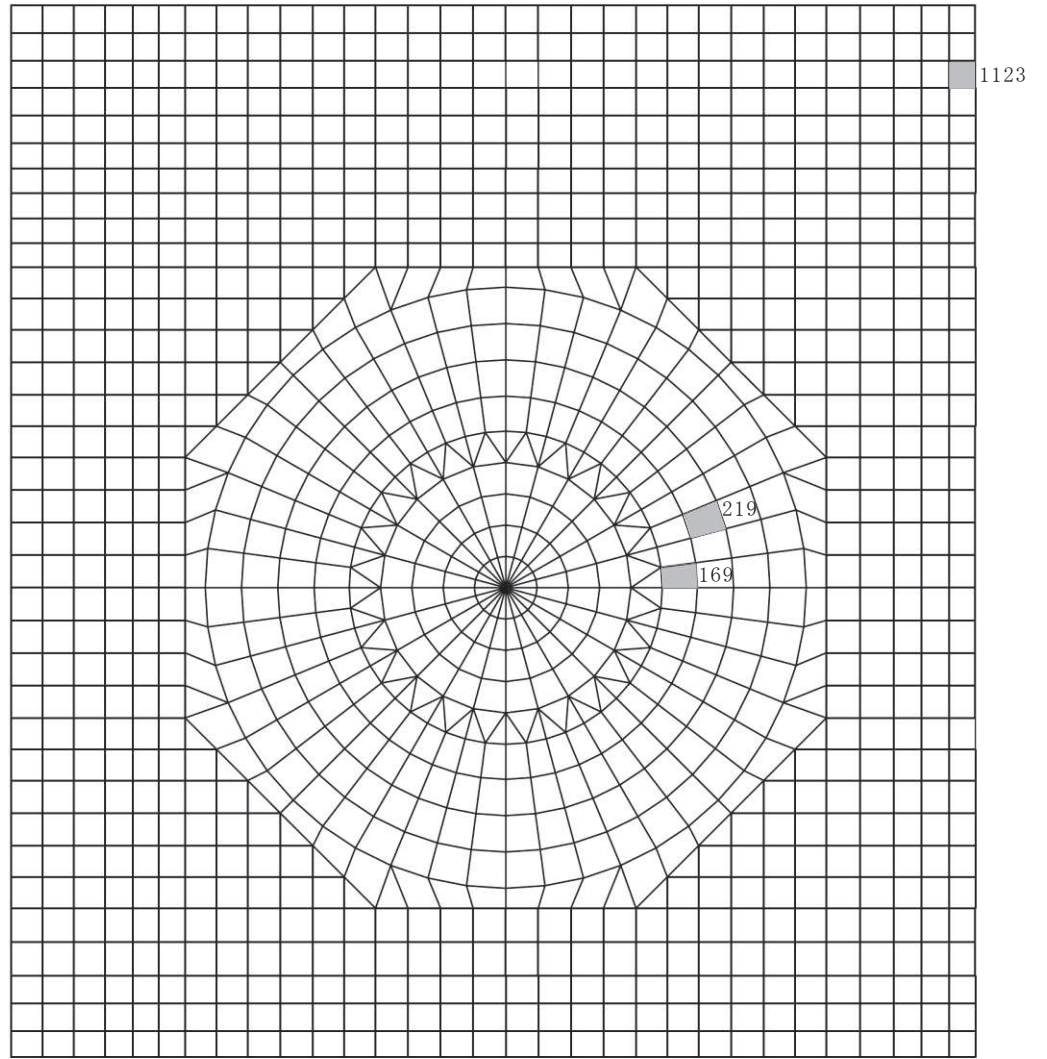


(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 3-1-13 解析モデル (1/2)



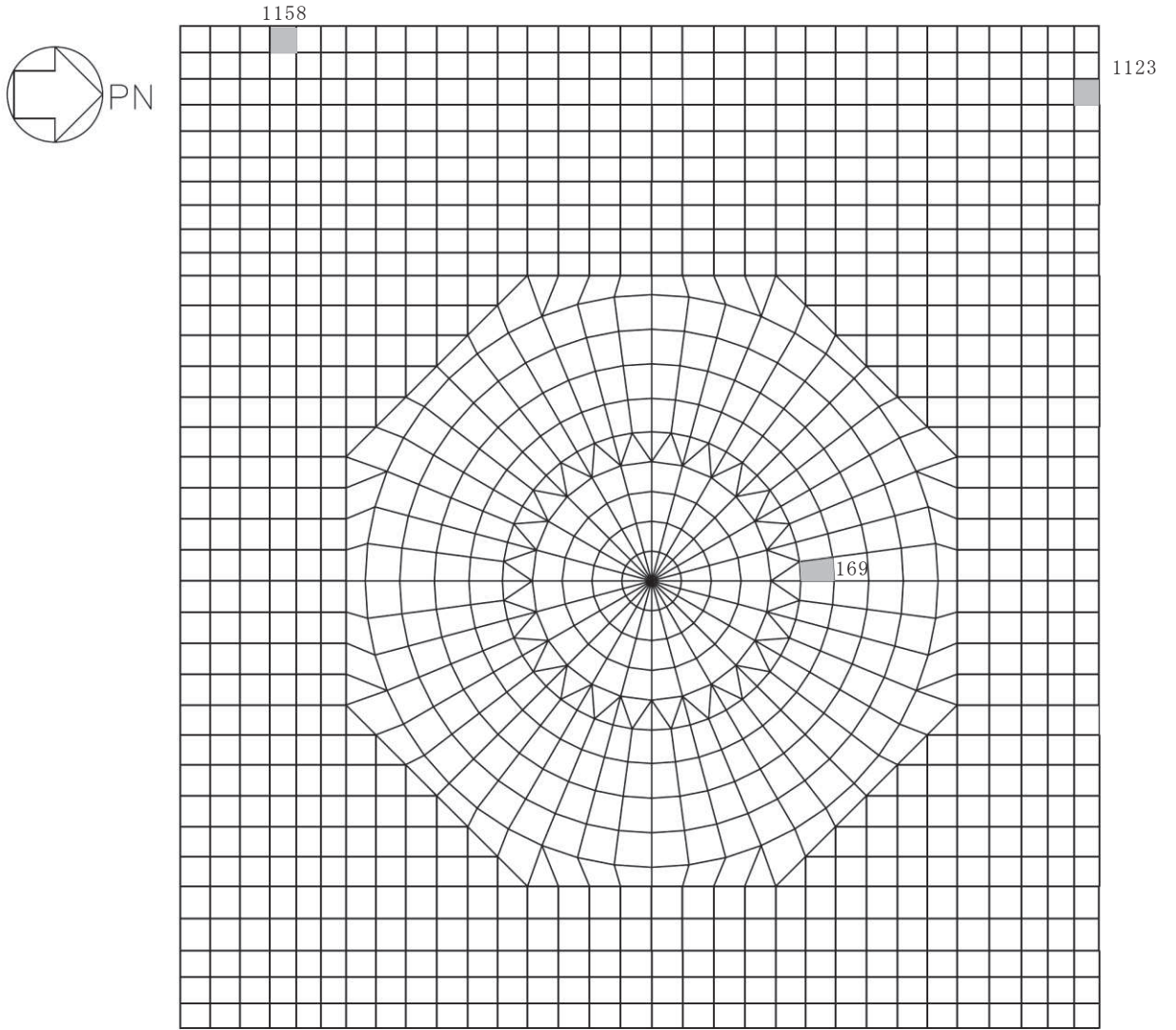
(c) 基礎版要素分割図
図 3-1-13 解析モデル (2/2)



注：数字は要素番号を示す。

(a) 水平 2 方向

図 3-1-14 選定した要素の位置 S s 地震時 (1/2)



注：数字は要素番号を示す。

(b) 水平1方向

図3-1-14 選定した要素の位置 S s地震時 (2/2)

表 3-1-12 原子炉建屋基礎版の評価結果 S s 地震時

(a) 水平 2 方向

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

注記*：応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果。

(b) 水平 1 方向

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