

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-170 改4
提出年月日	平成30年9月13日

V-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

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検討結果	1
3.1 建物・構築物	1
3.2 機器・配管系	X
3.3 屋外重要土木構造物	X
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された 建物・構築物	X

1. 概要

本資料は、V-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V-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、V-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。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表3-1-2及び表3-1-3に示す。

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可否判断が基本となる。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、梁）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。杭及びケーソンについても上部構造の大変形による衝突が杭及びケーソンの大規模損傷に伴う転倒より先行すると考えられる。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、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。

(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、主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の隅柱、原子炉建屋、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋、格納容器圧力逃がし装置格納槽及び緊急時対策所建屋の基礎

スラブ並びに主排気筒，非常用ガス処理系配管支持架構，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の杭を抽出した。

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，原子炉建屋の地下外壁及びプール側壁，格納容器圧力逃がし装置格納槽及びタービン建屋の地下外壁を抽出した。

(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，原子炉建屋の燃料取替フロアの壁を抽出した。

また，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，非常用ガス処理系配管支持架構の梁一般部（水平材）及び鉄骨ブレース（斜材）を抽出した。

(5) 3次元 FEMモデルによる精査

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部位」については，施設の重要性，建屋規模及び構造特性を考慮し，下部に上位クラス施設がある原子炉建屋の燃料取替フロアの壁を代表として 3 次元 FEMモデルによる精査を行う。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動の影響が大きい部位」については，ねじれ応答の影響が懸念されるとともに，重要設備である非常用ガス処理系配管支持架構の梁一般部（水平材）及び鉄骨ブレース（斜材）を代表として 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。

表 3-1-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC造 及びS造	S造	S造	RC造 及びS造	RC造	RC造	RC造 及びS造	RC造 及びS造
柱	一般部	○	—	—	○	—	○	○	○
	隅部	○	○	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	—	—	○	—
	筒身	—	○	—	—	—	—	—	—
梁	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	○	—	○	○	○	○	○	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	○	—
	基礎梁	—	○	—	—	—	—	—	○
	杭	—	○	○	○	—	○	○	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

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)

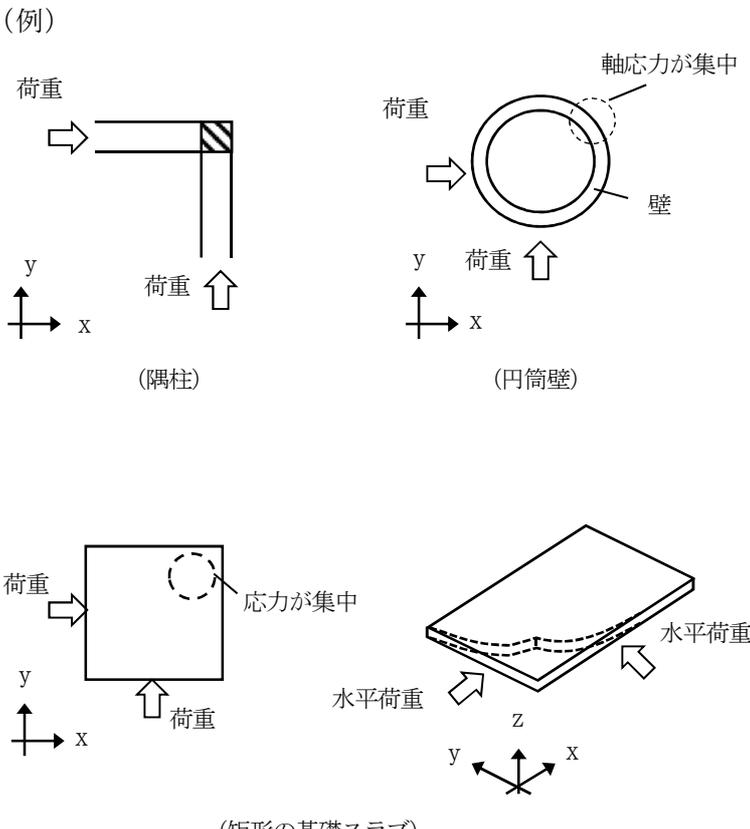
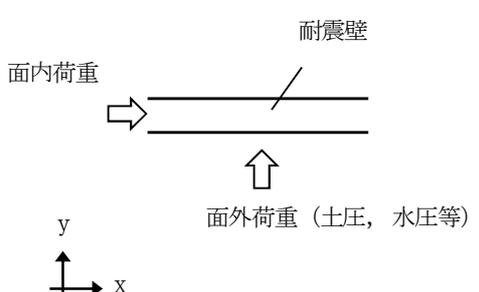
荷重の組合せによる応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → (隅柱)</p> <p>荷重 → (円筒壁)</p> <p>軸応力が集中</p> <p>壁</p> <p>荷重 ↑</p> <p>応力が集中</p> <p>荷重 ↑</p> <p>水平荷重</p> <p>水平荷重</p> <p>(矩形の基礎スラブ)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール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

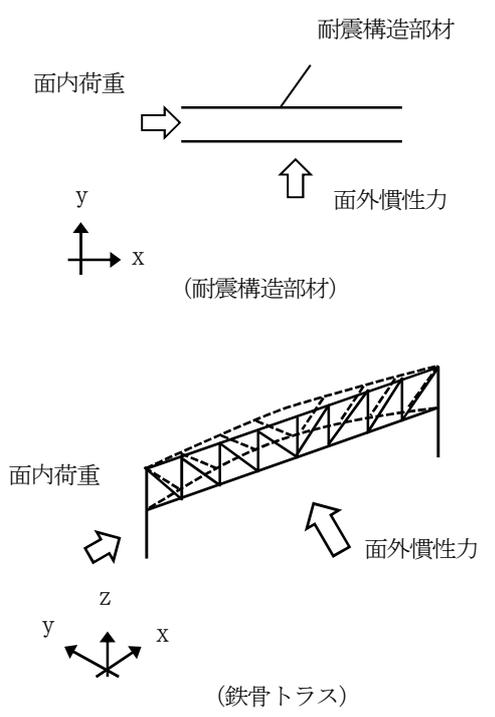
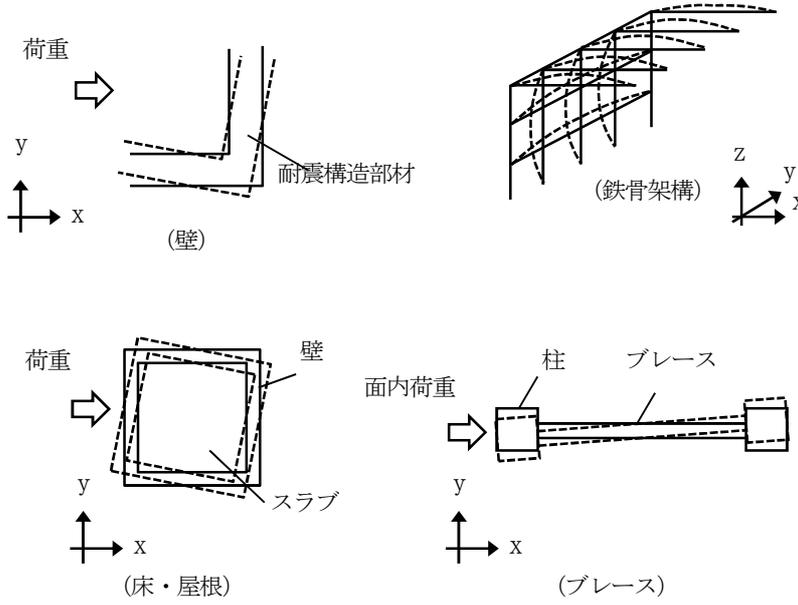
3 次元的な 応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方に励起される振動</p>	<p>塔状構造物を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(壁)</p> <p>(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

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（荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング）

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス処理系 配管支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵建屋	格納容器圧力逃 がし装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及び S 造	S 造	S 造	RC 造 及び S 造	RC 造	RC 造	RC 造 及び S 造	RC 造 及び S 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	①-1 要	①-1 要	該当なし	—	該当なし	該当なし	不要 ^(*1)
	地下部	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	筒身	—	該当なし	—	—	—	—	—	—
梁	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
	地下部	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（ブール側壁）	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	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	—	—	—	—	不要 ^(*2)
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
基礎	基礎スラブ	①-1 要	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	①-1 要	不要 ^(*2)	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要 ^(*2)	—
	基礎梁	—	該当なし	—	—	—	—	—	不要 ^(*2)
	杭	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	—	①-1 要	不要 ^(*2)	不要 ^(*2)

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: 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であり，隣接する原子炉建屋への衝突方向には耐震壁追設補強により，隅柱に軸応力が集中しても波及的影響評価に影響がないため，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，衝突可否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するため不要とする。杭及びケーソンについても上部構造の大変形による衝突が杭及びケーソンの大規模損傷に伴う転倒より先行すると考えられる。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，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
(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	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及び S 造	S 造	S 造	RC 造 及び S 造	RC 造	RC 造	RC 造 及び S 造	RC 造 及び S 造
柱	一般部	不要	—	—	不要	—	不要	不要	不要
	隅部	不要	要	要	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	筒身	—	不要	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	不要	不要	②-2	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	鉄骨トラス	不要	—	—	不要	—	—	不要	—
壁	一般部	要 (プール側壁) ②-1 (燃料取替フロア壁)	—	—	不要	不要	不要	不要 ^(※1)	不要
	地下部	要	—	—	—	要	—	要	—
	鉄骨ブレース	—	不要	②-2	—	—	—	—	不要
床 屋根	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	不要	不要
基礎	基礎スラブ	要	—	要	要	要	要	不要	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要	—
	基礎梁	—	不要	—	—	—	—	—	不要
	杭	—	要	要	要	—	要	不要	不要

凡例 要：荷重の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」

(※1)：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梁がなく、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が下部に上位クラス施設がないため不要とする。

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
梁	一般部	<u>非常用ガス処理系</u> <u>配管支持架構</u>	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	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は想定されないため抽出しない。
壁	一般部	<u>原子炉建屋</u> (<u>燃料取替フロア</u>)	②-1 (面内方向の荷重に加え面外慣性力の影響が大きい)	同上	同上
	鉄骨 ブレース	<u>非常用ガス処理系</u> <u>配管支持架構</u>	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	同上	同上
耐震評価 部位全般		<u>原子炉建屋</u>	局所的な応答	同上	同上

(注) 下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.2 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の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、重要施設である非常用ガス処理系排気筒を支持する、主排気筒鉄塔部の主柱材を代表として、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。また、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、上部に床などの拘束がなく、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を代表して、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。

表 3-1-7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力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>主排気筒</u> ・ 非常用ガス処理系配管支持架構 	重要設備である非常用ガス処理系排気筒を支持する、主排気筒鉄塔部の支柱材を代表として評価する。
	基礎	基礎スラブ ・ 杭	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋</u> ・ 主排気筒 ・ 非常用ガス処理系配管支持架構 ・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・ 格納容器圧力逃がし装置格納層 ・ 緊急時対策所建屋 	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。
①-2	壁	水圧作用部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）</u> ・ 原子炉建屋（壁地下部） ・ 格納容器圧力逃がし装置格納槽（壁地下部） ・ 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、上部に床などの拘束がなく、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。

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。

3.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 主排気筒の主柱材の評価

主排気筒の主柱材について、基準地震動 S_s による地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させ、3次元FEMモデルを用いた弾性応答解析の結果を用いた評価を行った。

主排気筒の主柱材の評価については、 S_s 地震時を対象として、直交する水平2方向の荷重が応力集中する可能性のある主柱材を対象に、水平2方向及び鉛直方向入力時と水平1方向及び鉛直方向入力時の最大応力度比の比率を求め、当該比率を考慮した各主柱材の最大応力度比が、1.0を超えないことにより確認する。

3次元FEMモデルによる弾性応答解析は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に基づいて行った。

主排気筒の構造概要図を図3-1-1に示す。

地震荷重時については、基準地震動 S_s の地震応答解析により得られた地震荷重を、地震荷重による応力評価用モデルに入力して評価した。解析に用いた材料物性値を表3-1-1に示す。

地震荷重以外の荷重については、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に基づいて評価を実施する。

荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定、基準地震動 S_s に係る組合せに加えて、地震荷重及び風荷重を組み合わせた場合についても水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価した。風荷重は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」と同様に作用させるものとした。

主排気筒の3次元FEMモデルは、図3-1-2に示すとおり梁要素で構成される立体骨組モデルとしてモデル化する。

解析結果として、水平2方向及び鉛直方向入力時並びに水平1方向及び鉛直方向入力時の主柱材の最大応力度比を表3-1-2に示す。

評価の結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる解析結果は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる解析結果と比較して水平2方向の地震力の影響により、解析結果の値は増加傾向であるものの、各主柱材の最大応力度比が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、主排気筒の主柱材が有する耐震性への影響がないことを確認した。

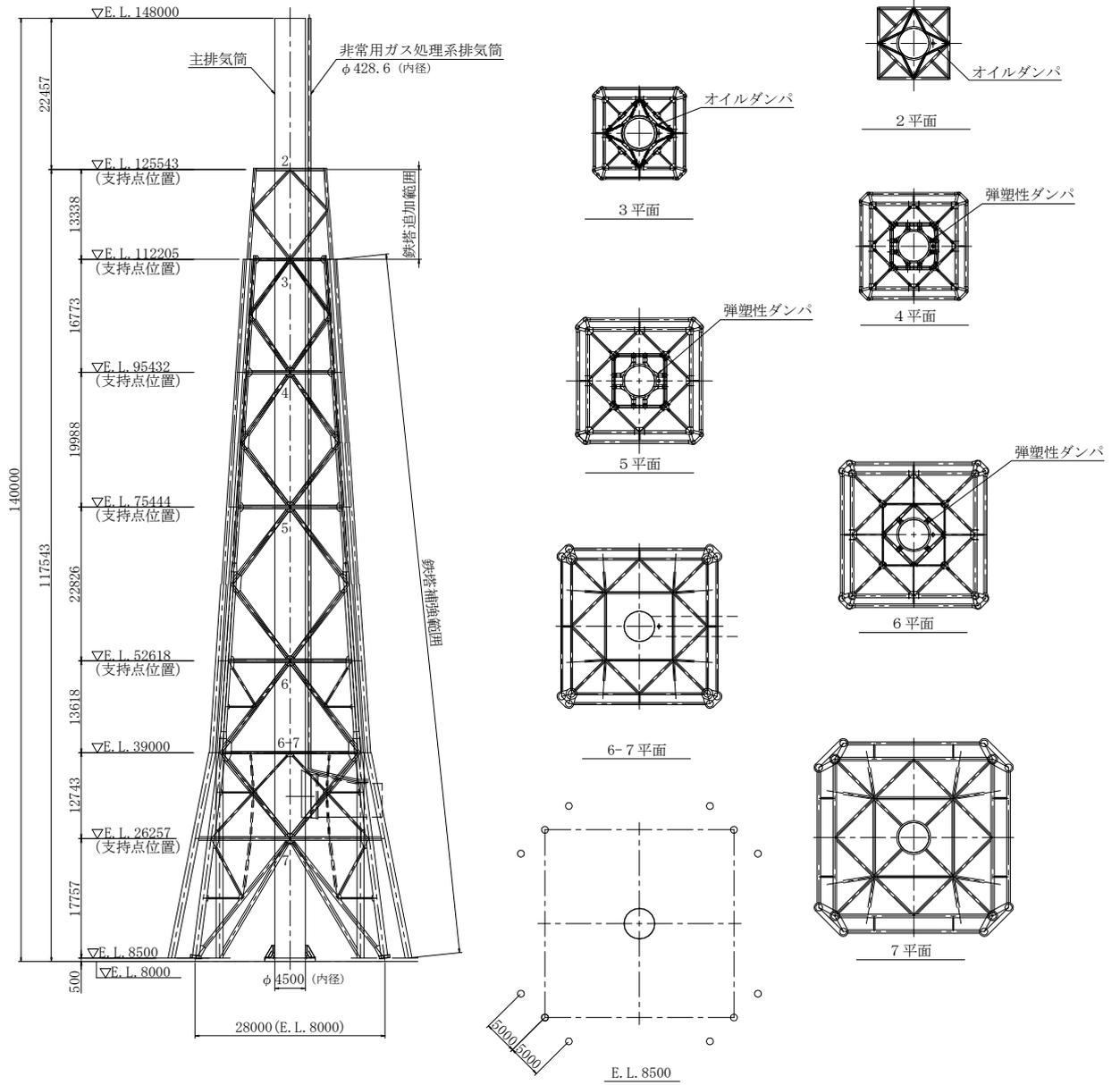


図 3-1-1 主排気筒の構造概要図 (単位 : mm)

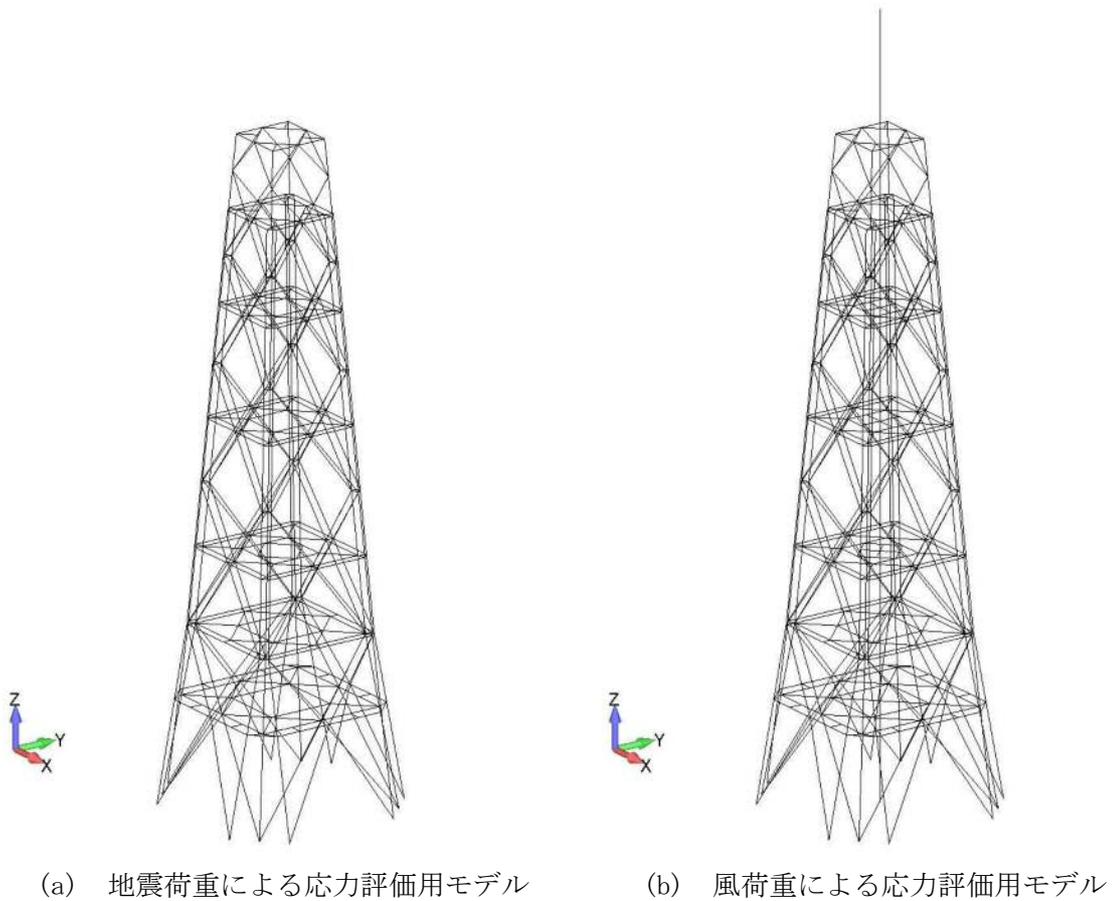


図 3-1-2 鉄塔の応力解析モデル

表 3-1-1 材料物性値

使用材料	ヤング係数	ポアソン比
主柱材 (STK400)	205000 N/mm ²	0.3

表 3-1-2 主排気筒の主柱材の解析結果

EL. (m)	使用部材	材質	判定結果		比率 ②/①
			① 水平1方向及び 鉛直方向入力時	② 水平2方向及び 鉛直方向入力時	
112.205	Φ406.4×6.4	STK400	0.48 ≤ 1.00	0.52 ≤ 1.00	1.09
95.432	Φ406.4×12.7	STK400	0.53 ≤ 1.00	0.65 ≤ 1.00	1.23
75.444	Φ558.8×12.7	STK400	0.73 ≤ 1.00	0.87 ≤ 1.00	1.20
52.618	Φ812.8×12.7	STK400	0.71 ≤ 1.00	0.73 ≤ 1.00	1.03
26.257	Φ1016.0×12.7	STK400	0.55 ≤ 1.00	0.57 ≤ 1.00	1.04

(2) 原子炉建屋基礎盤の評価

原子炉建屋基礎盤について、基準地震動 S_s による地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させ、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を行った。3次元FEM解析による断面の評価は、資料V-2-9-3-4「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に基づいて行った。

原子炉建屋基礎盤の評価については、 S_s 地震時を対象とし、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矩形の原子炉棟基礎及び付属棟基礎に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を評価した。

原子炉建屋基礎盤の概略平面図及び概略断面図を図3-1-3及び図3-1-4に示す。

地震荷重は、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」のうち、 S_s 地震時のNS方向及びEW方向の地震力を応答スペクトルに基づく地震動、断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動のそれぞれについて包絡させた結果を用いる。

荷重の組合せは、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重の組合せに基づき、風荷重の影響は地震荷重と比較して極めて小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。また、地震荷重及び積雪荷重の組合せは、地震荷重及び積載荷重の組合せに含まれるものとする。

原子炉建屋基礎盤の応力解析モデルは、基礎とその上部構造の耐震壁の剛性を考慮したモデルである。解析モデルを図3-1-5に示す。材料の物性値を表3-1-3に示す。

解析結果を記載する要素の位置（許容値に対する解析結果の割合が最大となる要素）を図3-1-6、評価結果を表3-1-4に示す。

評価の結果、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方向及び鉛直方向地震力の組合せによる、許容値に対する解析結果の割合は、水平2方向の地震力の影響により割合が最大となる要素位置が一部で変わり、解析結果の値は増加傾向であるものの、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値が各許容値を超えないことを確認した。

また、設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響についての検討を行った。

原子炉建屋基礎盤は、外壁からの基礎への地震時せん断力、軸力を地震荷重として考慮することから、原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)、EL. -4.0~EL. 2.0m）の最大応答せん断力及び軸力の各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。表3-1-5に原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)）の最大応答せん断力及び軸力の各方向の応答比率と割増係数を示す。

検討結果を表3-1-6に示す。重量増加を考慮した割増係数に乗じた結果においても、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、原子炉建屋基礎盤が有する耐震性への影響はないことを確認した。

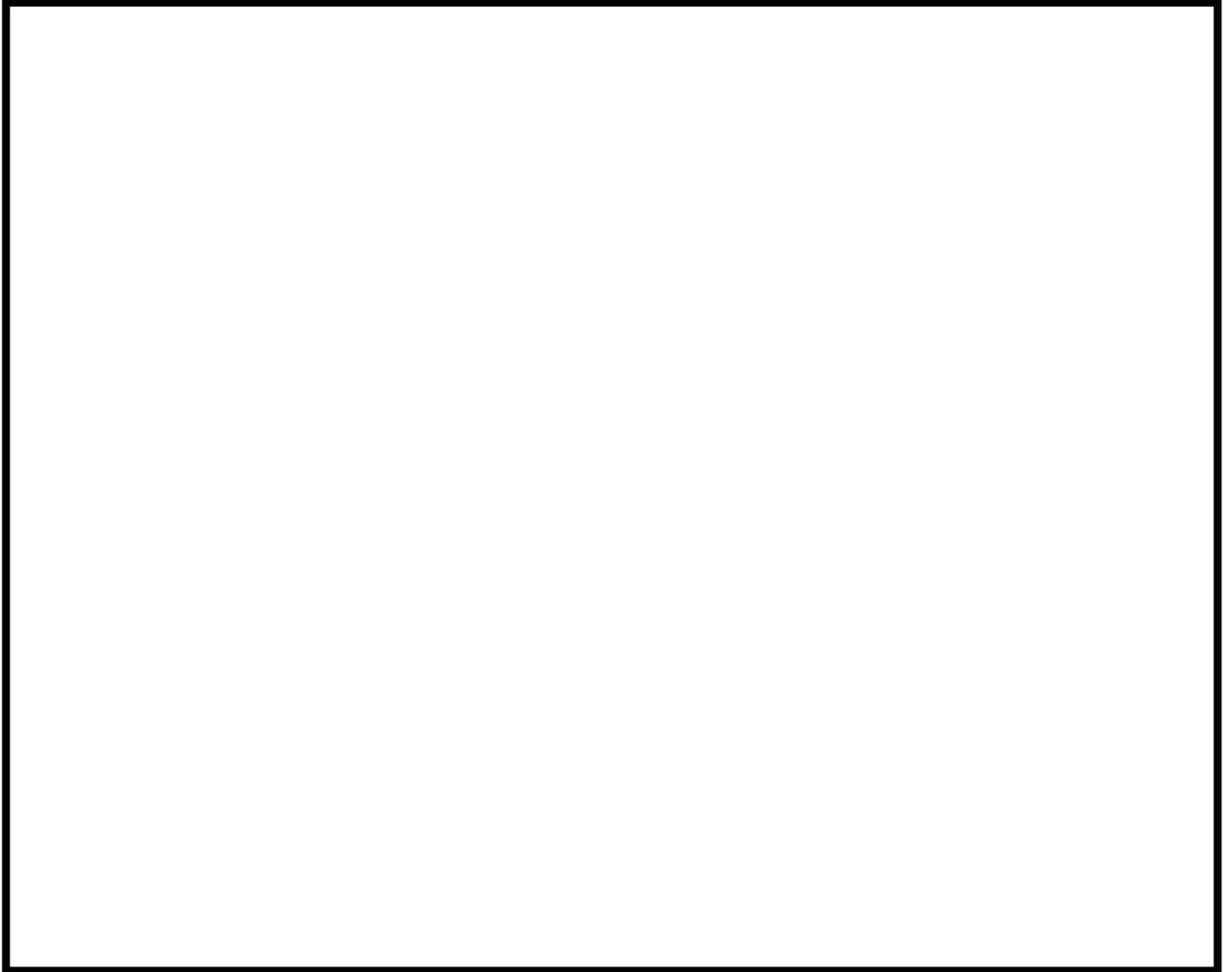


図 3-1-3 基礎盤の概略平面図 (EL. -4.0m)



図 3-1-4 原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

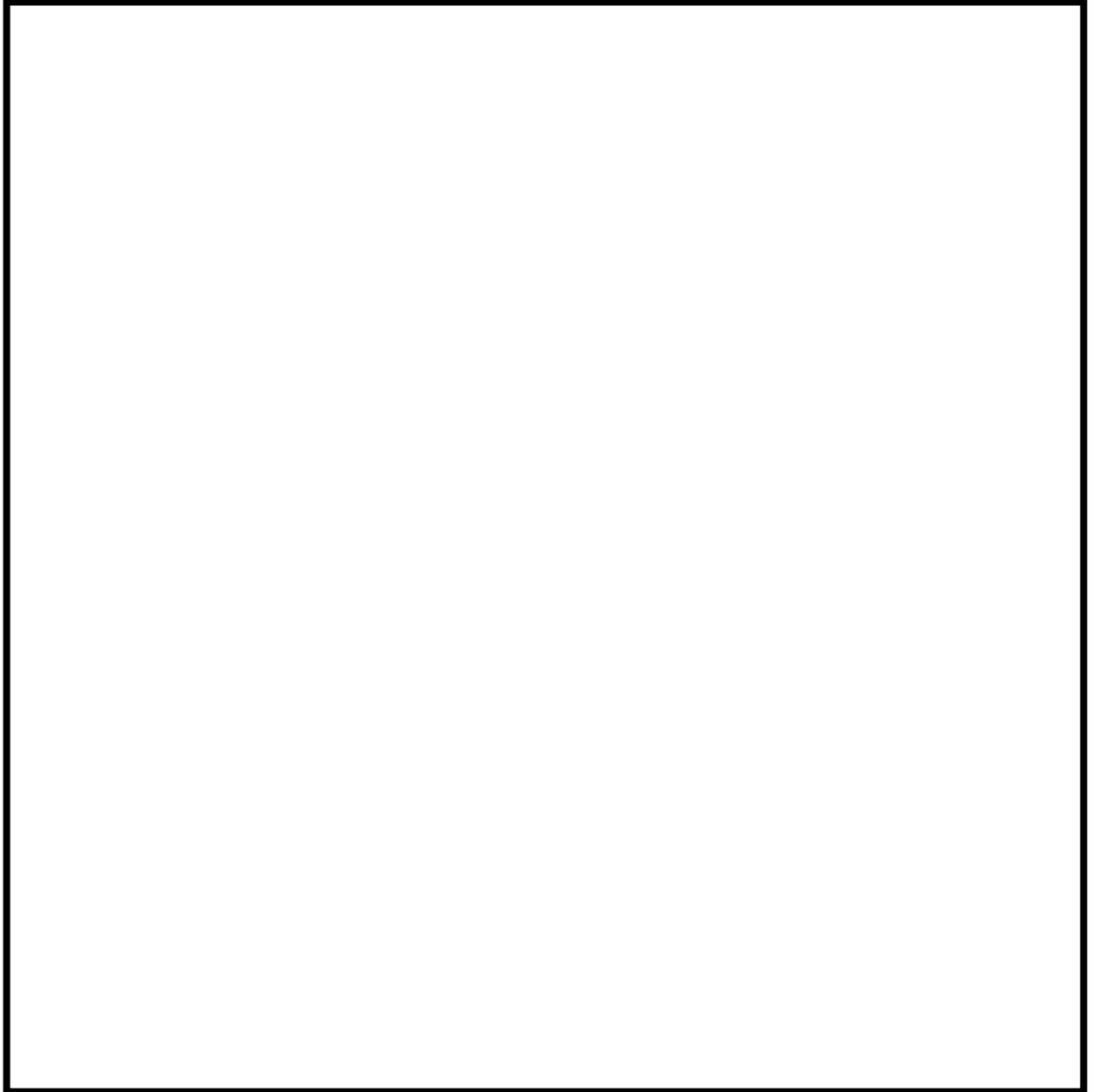
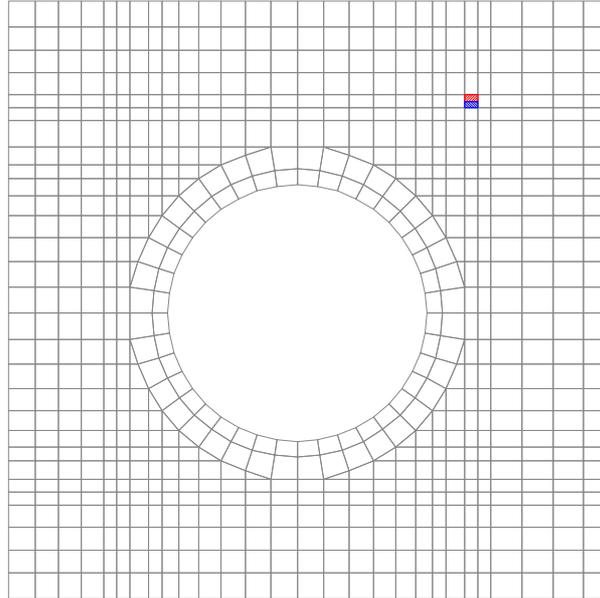


図 3-1-5 解析モデル

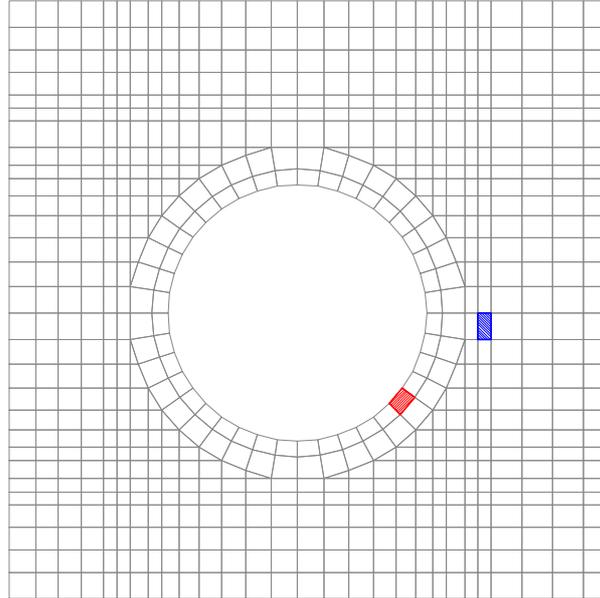
表 3-1-3 使用材料の物性値

部 位	コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
基礎版	22.1	2.21×10^4	0.2



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
 ■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

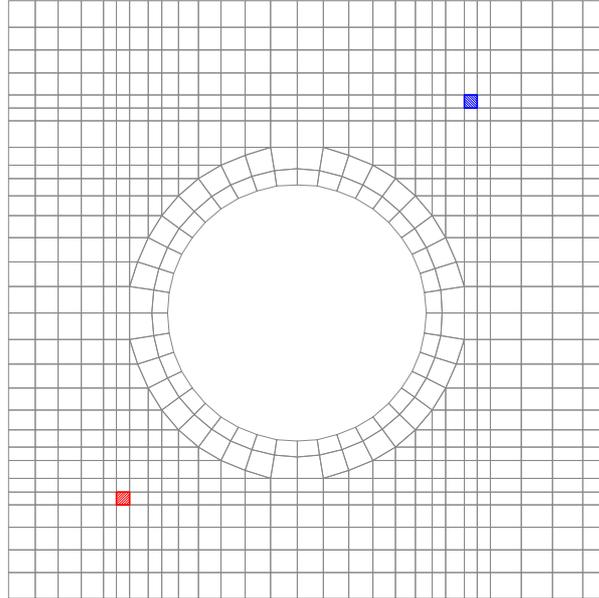
(a) 軸力+曲げモーメント (NS 方向または円周方向)



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
 ■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

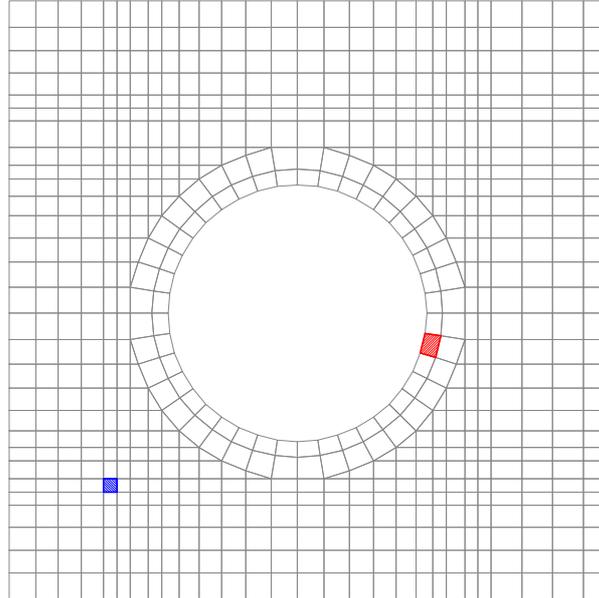
(b) 軸力+曲げモーメント (EW 方向または半径方向)

図 3-1-6 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

(c) 面外せん断力 (NS 方向または円周方向)



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

(d) 面外せん断力 (EW 方向または半径方向)

図 3-1-6 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置

表 3-1-4 原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN \cdot m/m)	NS	851	10.7	11.8
		半径	276	43.6	49.8
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	1.42 [*]	2.12
		半径	279	1.96 [*]	2.12

※：応力の再配分等を考慮して，応力の平均化を行った結果

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

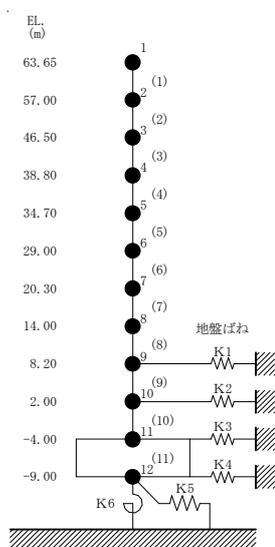
評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN \cdot m/m)	NS	851	10.9	12.2
		EW	626	23.2	32.4
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	851	1.60	2.19
		EW	465	1.90	2.19

表 3-1-5 重量増加を考慮した割増係数：原子炉建屋基礎盤

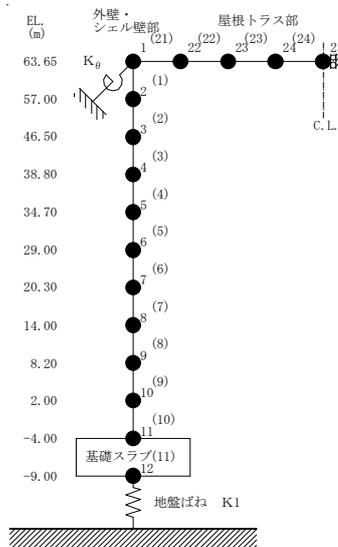
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号 (10)	1.02* ¹	1.02* ¹	1.02* ¹
割増係数	1.02* ²		

※ 1 : 添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答解析」別紙 1 に示す原子炉建屋基礎盤上層 (要素番号(10)) の最大応答せん断力及び軸力の応答比率

※ 2 : 各方向の応答比率の最大値



NS, EW 方向



UD 方向

表 3-1-6 重量増加を考慮した評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

評価項目		方向	要素 番号	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモー メント	曲げモーメント (×10 ³ kN・m/m)	NS	851	10.7	1.02	11.0	11.8
		半径	276	43.6	1.02	44.5	49.8
面外せん 断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	1.42 [※]	1.02	1.45	2.12
		半径	279	1.96 [※]	1.02	2.00	2.12

※：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

(3) 使用済燃料プールの壁の評価

使用済燃料プールの壁について、基準地震動 S_s による地震力を水平 2 方向及び鉛直方向に作用させ、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析を行った。3次元 FEM 解析による断面の評価は、資料V-2-4-2-1「使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に基づいて行った。

使用済燃料プールの壁の評価については、 S_s 地震時を対象とし、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壁について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を評価する。

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 3-1-5 及び図 3-1-6、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 3-1-7 及び図 3-1-8 に示す。

地震荷重は、資料V-2-4-2-1「使用済燃料プールの耐震性についての計算書」のうち、基準地震動 S_s により算定される動的地震力を各レベルで包絡した評価結果を用いる。その他、水圧荷重を考慮する。

地震荷重以外の荷重については資料V-2-4-2-1「使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に基づいて評価を実施する。

荷重の組合せは、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重の組合せに基づき、風荷重の影響は地震荷重と比較して極めて小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。また、地震荷重及び積雪荷重の組合せは、地震荷重及び積載荷重の組合せに含まれるものとする。

解析モデルは、使用済燃料プール、原子炉ウエル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットを一体としてモデル化する。また、プール部に連続する壁及び床については、これらのプール部に対する拘束効果を適切に反映した解析モデルとする。解析モデル概要図を図 3-1-9 に示す。材料の物性値を表 3-1-7 に示す。

解析結果を記載する要素の位置（許容値に対する解析結果の割合が最大となる要素）を図 3-1-10 及び図 3-1-11、評価結果を表 3-1-8 に示す。

評価の結果、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 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる、許容値に対する解析結果の割合は、水平 2 方向の地震力の影響により割合が最大となる要素位置が一部で変わり、解析結果の値は増加傾向であるものの、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値が各許容値を超えないことを確認した。

また、設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響を考慮した検討を行った。

使用済燃料プールは、主たる水平地震時荷重として、せん断力分配解析による内部ボックス壁 (I/W) の EL. 46.5m~EL. 34.7m 位置 (要素番号(3), (4)) でのせん断力を考慮し、鉛直震度として EL. 46.5m~EL. 34.7m 位置 (質点番号 3, 4, 5) の鉛直方向最大応答加速度より算出した値を考慮することから、NS 方向及び EW 方向は要素番号(3), (4)の最大応答せん断力の応答比率の最大値を、UD 方向は質点番号 3, 4, 5 の最大応答加速度の応答比率の最大値を応答比率とし、各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力

評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。表 3-1-9 に要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率及び質点番号 3, 4, 5 の最大応答加速度の応答比率, 並びに割増係数を示す。

検討結果を表 3-1-10 に示す。重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても, 各許容値を超えないことを確認した。

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

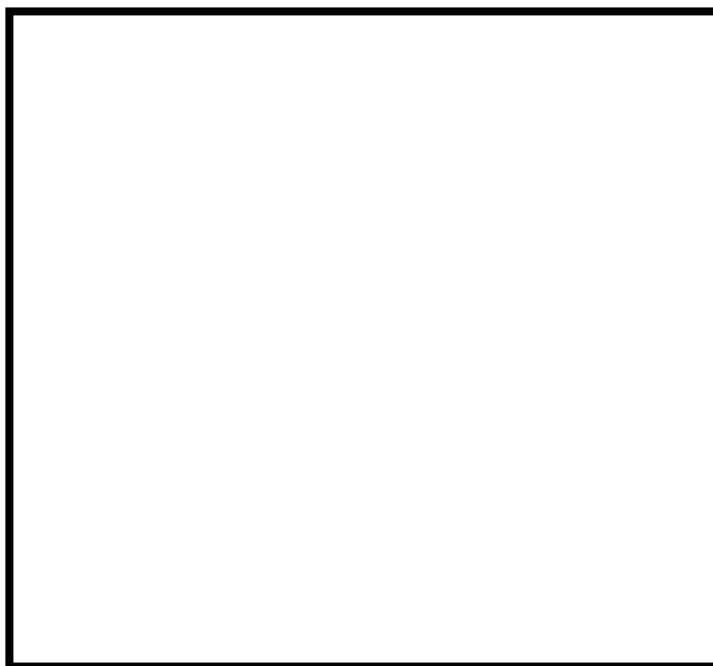


図 3-1-5  の概略平面図 (EL. 46.5 m)



図 3-1-6 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)

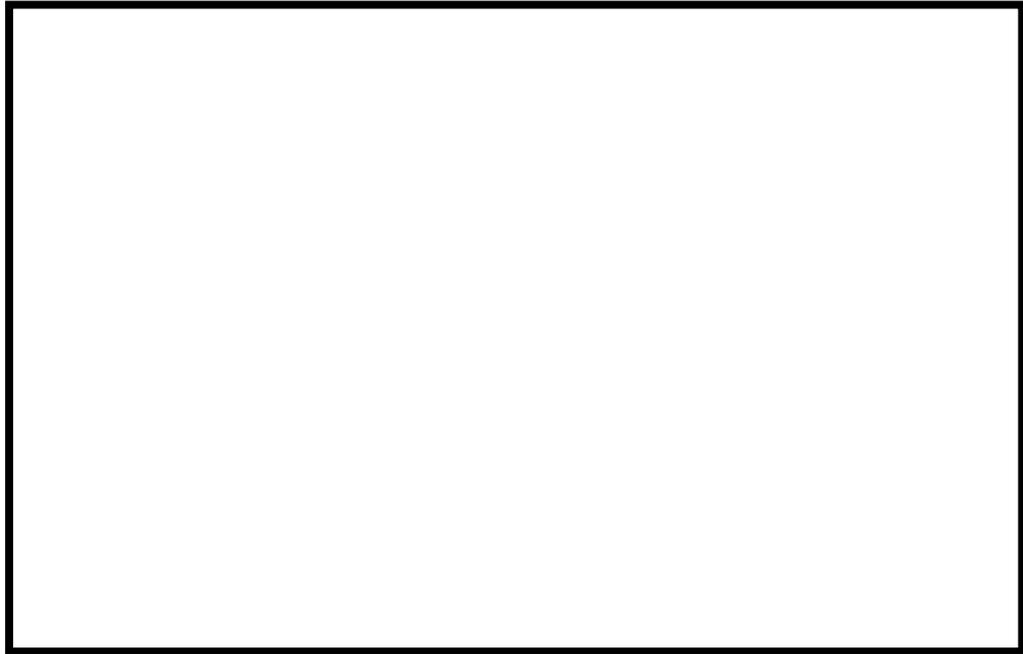


図 3-1-7  の概略平面図 (EL. 38.80 m)



図 3-1-8 使用済燃料プール周りの概略断面図 (A-A 断面)

節点数 : 1028
要素数 : 1038

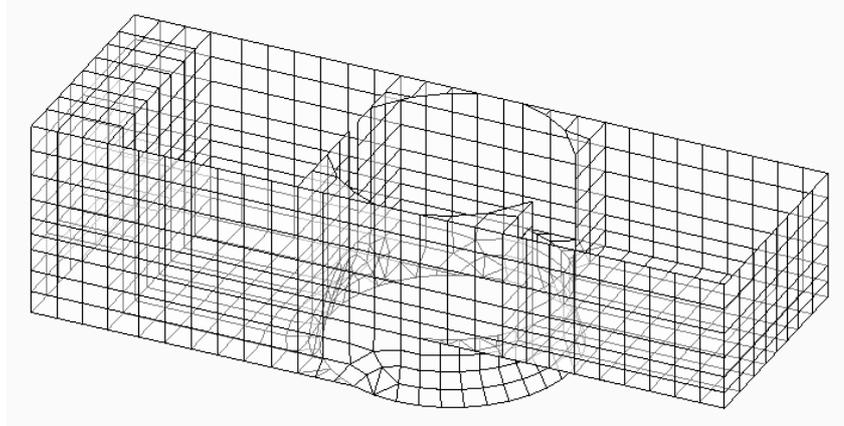


図 3-1-9 解析モデル概要図

表 3-1-7 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
22.1	2.21×10^4	0.2



(a) 北側壁



(b) 東側壁

図 3-1-10 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)



(c) 南側壁



(d) 西側壁

図 3-1-10 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)



(a) 北側壁



(b) 東側壁

図 3-1-11 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)



(c) 南側壁



(d) 西側壁

図 3-1-11 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)

表 3-1-8 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S_s地震時) (1/2)

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	1.78	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1590	0.148	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	1.93	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	0.337	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	1.60	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1090	0.159	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	1.69	5.00	引張側
軸力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2272	0.716	14.7	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1581	1.36	14.7	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3043	3.22	14.7	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1090	1.55	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2209	0.483	1.61	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	1.15	1.47	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	2.11	3.81	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	1.13	1.86	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	0.621	1.31	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1536	0.439	1.37	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7801	1.11	2.05	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	0.470	1.32	

表 3-1-8 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S_s地震時) (2/2)

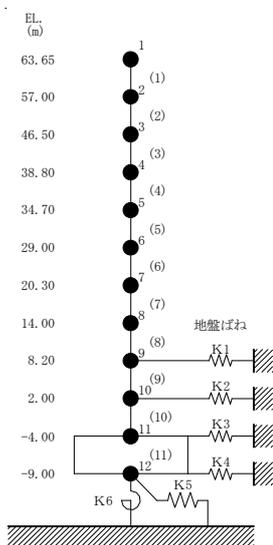
(b) 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	0.142	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	1.77	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1535	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	1.78	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	0.393	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	1.46	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1035	0.145	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	1.58	5.00	引張側
軸力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2272	0.701	14.7	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1581	1.36	14.7	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3055	3.15	14.7	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1090	1.54	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2268	0.648	1.97	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	1.06	1.50	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	2.08	3.93	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	1.10	1.90	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	0.666	1.28	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1546	0.424	1.27	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7803	0.895	1.60	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	0.457	1.32	

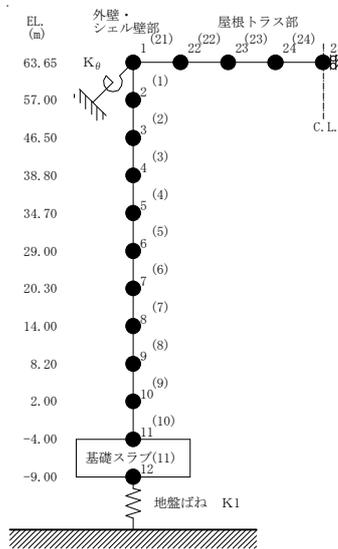
表 3-1-9 重量増加を考慮した割増係数：使用済燃料プール

	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号(3), (4)の最大値	1.03* ¹	1.04* ¹	—
質点番号 3, 4, 5 の最大値	—	—	1.00* ²
割増係数	1.04* ³		

- * 1 : 添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答解析」別紙 1 に示す要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率の最大値
- * 2 : 添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答解析」別紙 1 に示す質点番号 3, 4, 5 の最大応答加速度の応答比率の最大値
- * 3 : 各方向の応答比率の最大値



NS, EW 方向



UD 方向

表 3-1-10 重量増加を考慮した評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	解析結果 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	0.135	1.04	0.141	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	1.78	1.04	1.86	5.00
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1590	0.148	1.04	0.154	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	1.93	1.04	2.01	5.00
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	0.337	1.04	0.350	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	1.60	1.04	1.67	5.00
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1090	0.159	1.04	0.165	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	1.69	1.04	1.75	5.00
軸力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2272	0.716	1.04	0.745	14.7
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1581	1.36	1.04	1.41	14.7
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3043	3.22	1.04	3.35	14.7
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1090	1.55	1.04	1.61	14.7
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2209	0.483	1.04	0.502	1.61
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	1.15	1.04	1.20	1.47
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	2.11	1.04	2.20	3.81
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	1.13	1.04	1.18	1.86
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	0.621	1.04	0.646	1.31
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1536	0.439	1.04	0.457	1.37
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7801	1.11	1.04	1.15	2.05
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	0.470	1.04	0.489	1.32

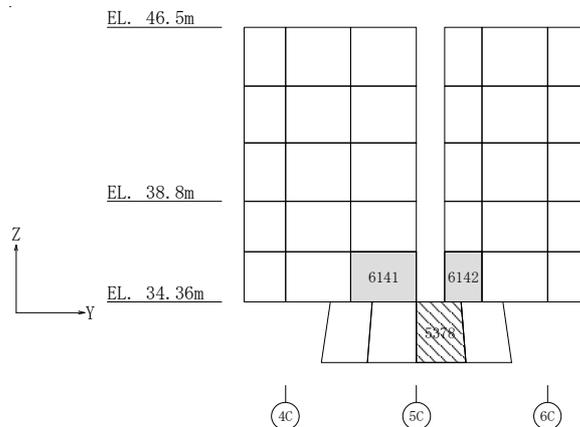
(4) 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響検討

東北地方太平洋沖地震の地震観測記録では、オペフロにおける EW 方向の床応答加速度スペクトルの 10Hz 付近が増幅することが確認されていることから、地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響について検討する。なお、建屋全体の 3 次元 FEM モデルを用いた検討より、鉛直地震力によりウェル壁が東西方向に開閉する振動モードにより 10Hz 付近が増幅することを確認している。

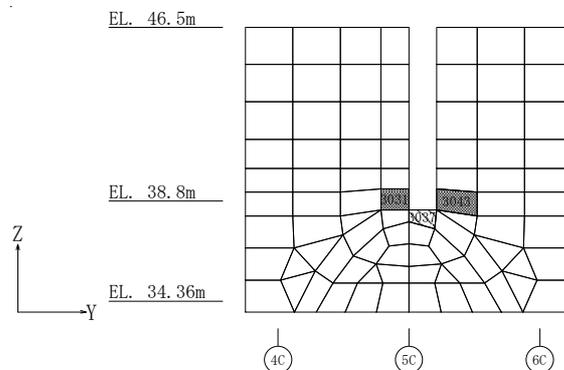
検討は、10Hz 付近の増幅の影響が大きいウェル壁を対象とし、まず、建屋全体の 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析により、ウェル壁に発生する EW 方向単独入力時の応力と鉛直方向単独入力時の応力を比較し応答増幅率を算出する。次に、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価結果に応答増幅率を乗じて検定比が 1.0 以下となる事を確認する。

評価結果を記載する要素の位置を図 3-1-12 に、応答増幅率を表 3-1-11 に、影響検討結果を表 3-1-12 に示す。

評価の結果、地震観測記録に見られる EW 方向の応答増幅を考慮した場合にも、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメントに対する評価における発生値が各許容値を超えないことを確認した。



(a) 応答増幅率を記載する要素の位置



(b) 応力解析結果を記載する要素の位置

図 3-1-12 評価結果を記載する要素の位置

表 3-1-11 応答増幅率

要素番号	応力	UD 方向入力 による応力増分	EW 方向入力 による発生応力	応答増幅率 (1.0EW+0.4UD) ／(1.0EW)
6141	鉛直軸方向引張力	294	1240	1.095
6142	鉛直軸方向引張力	411	1640	1.101
5378	水平軸方向引張力	253	275	1.368

表 3-1-12 ウェル壁の影響検討結果 (S_o地震 水平 2 方向及び鉛直方向地震)

要素番号	項目	応答増幅率	応力解析時 検定比	応答増幅を考慮 した検定比
3031	引張鉄筋検定比	1.095	0.264	0.290
3043	引張鉄筋検定比	1.101	0.209	0.231
3037	引張鉄筋検定比	1.368	0.321	0.440