

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8
提出年月日	平成30年10月1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	37
3.3 屋外重要土木構造物	53
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	97

別紙 3次元FEMモデルによる精査において局所的な応答を示す部位の影響検討について

## 1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針の概要」のうち、「4.1 地震力の算定法(2)動的地震力」及び添付書類「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、添付書類「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ている。また、波及的影響評価において杭及びケーソンについては損傷を想定した評価をしている。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も、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。その結果，原子炉建屋 6 階の壁及び床の応答が増幅する傾向が確認されたが，建物・構築物の有している耐震性への影響が小さい事を確認した。詳細については別紙に示す。

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 3-1-1 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)

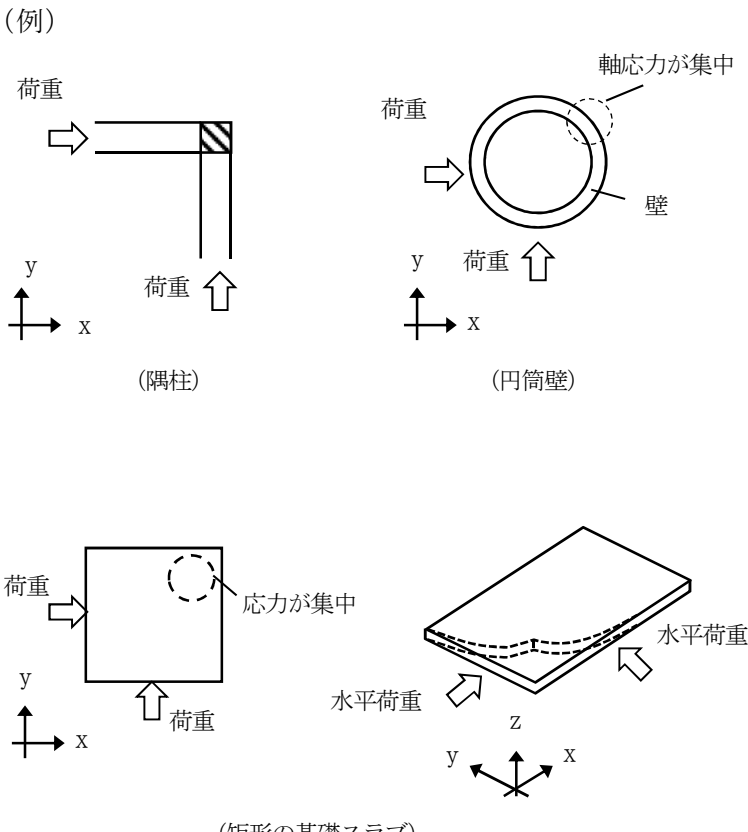
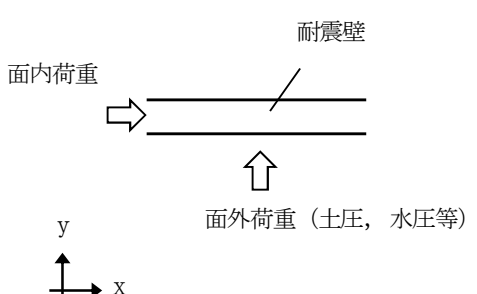
荷重の組合せによる応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → (隅柱)</p> <p>荷重 → (円筒壁) 軸応力が集中</p> <p>荷重 → (矩形の基礎スラブ) 応力が集中</p> <p>水平荷重 → (矩形の基礎スラブ)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震壁</p> <p>↑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

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

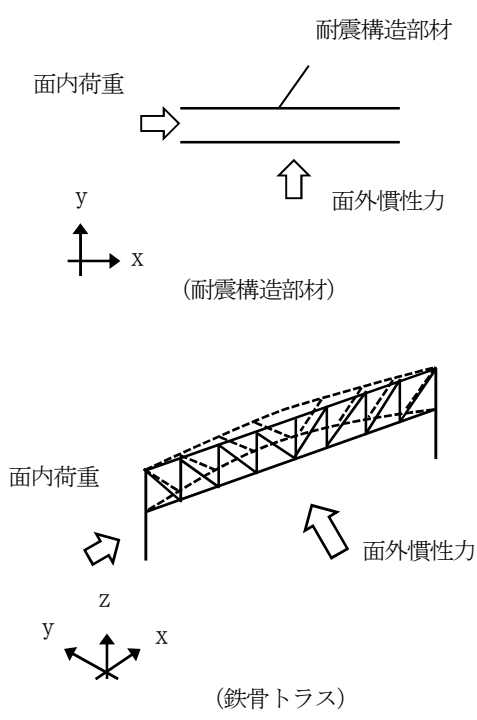
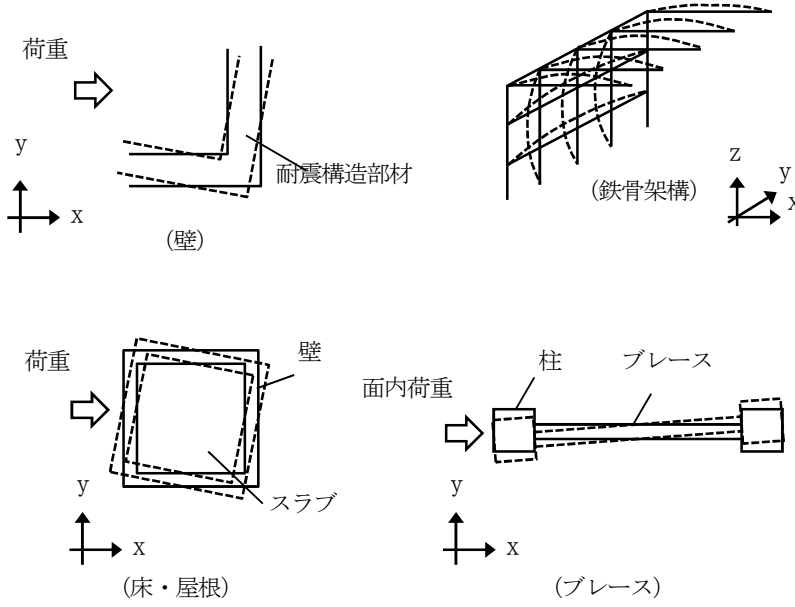
3 次元的な 応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方に励起される振動</p>	<p>塔状構造物を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(壁)</p> <p>(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

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している。また，波及的影響評価において杭及びケーソンについては損傷を想定した評価をしている。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も，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 <sup>(※1)</sup>	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、主排気筒鉄塔部の支柱材を代表として、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。

#### (2) 機器・配管系における影響評価部位の抽出結果

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結果、機器・配管系への影響の可能性が想定される事象として、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が増幅する傾向が確認されたため、「3.2 機器・配管系」にて機器・配管系への影響評価を行う。

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"> <li>・<u>主排気筒</u></li> <li>・非常用ガス処理系配管支持架構</li> </ul>	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"> <li>・<u>原子炉建屋</u></li> <li>・主排気筒</li> <li>・非常用ガス処理系配管支持架構</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> <li>・格納容器圧力逃がし装置格納層</li> <li>・緊急時対策所建屋</li> </ul>	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"> <li>・<u>原子炉建屋（使用済燃料プール）</u></li> <li>・原子炉建屋（壁地下部）</li> <li>・格納容器圧力逃がし装置格納槽（壁地下部）</li> <li>・タービン建屋（壁地下部）</li> </ul>	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方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わ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み合わ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み合わ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、または、基準地震動 $S_s$ の各方向地震力成分により、個別に計算した最大応答地を用い、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 (注) 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 : REGULATORY GUIDE (RG) 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) 主排気筒の支柱材の評価

主排気筒の支柱材について、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。

主排気筒の支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支柱材を対象に、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支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3-1-8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支柱材の最大応力度比を表3-1-9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、各支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、主排気筒の支柱材が有する耐震性への影響がないことを確認した。

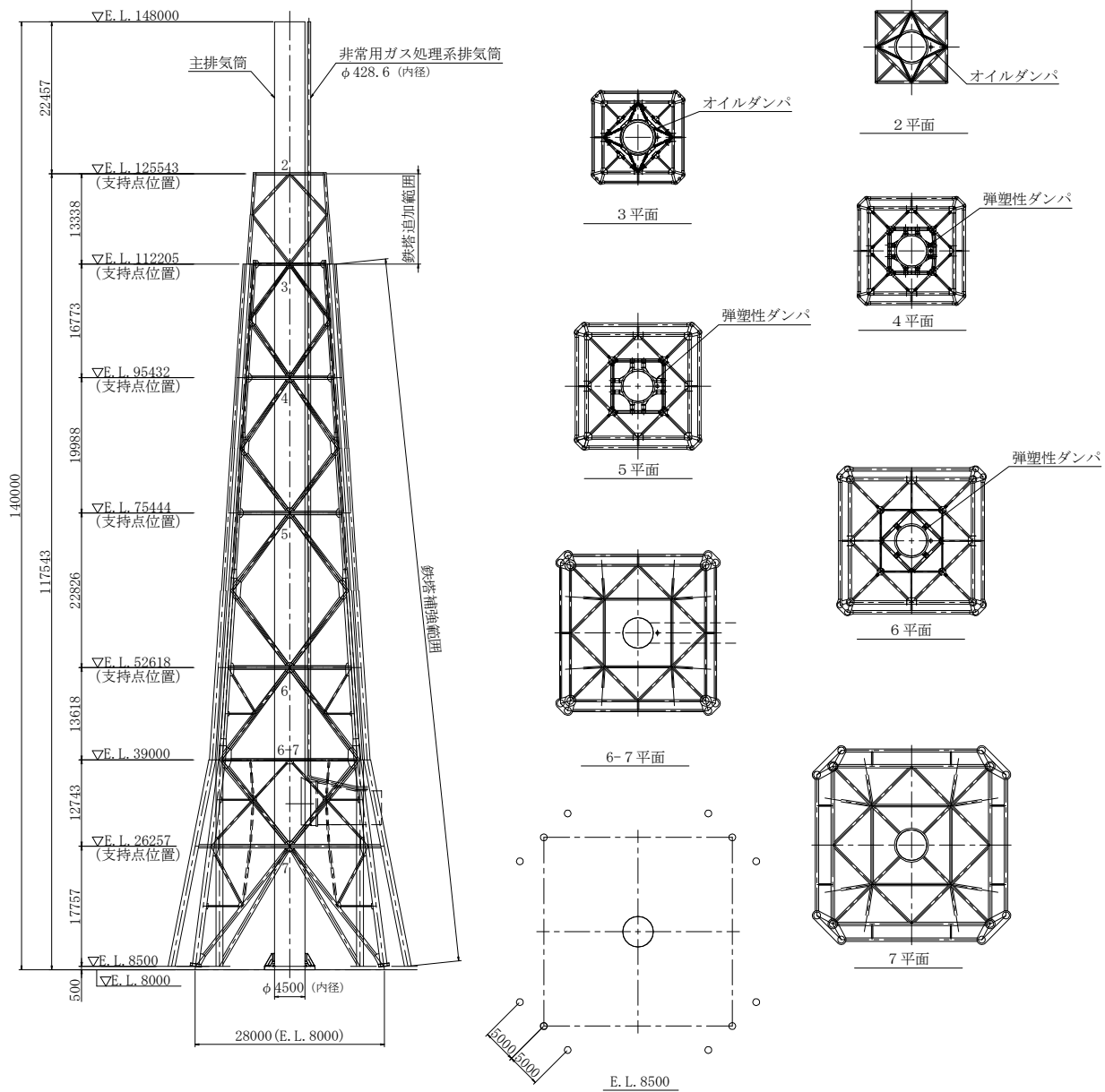


図 3-1-1 主排気筒の構造概要図 (単位: mm)

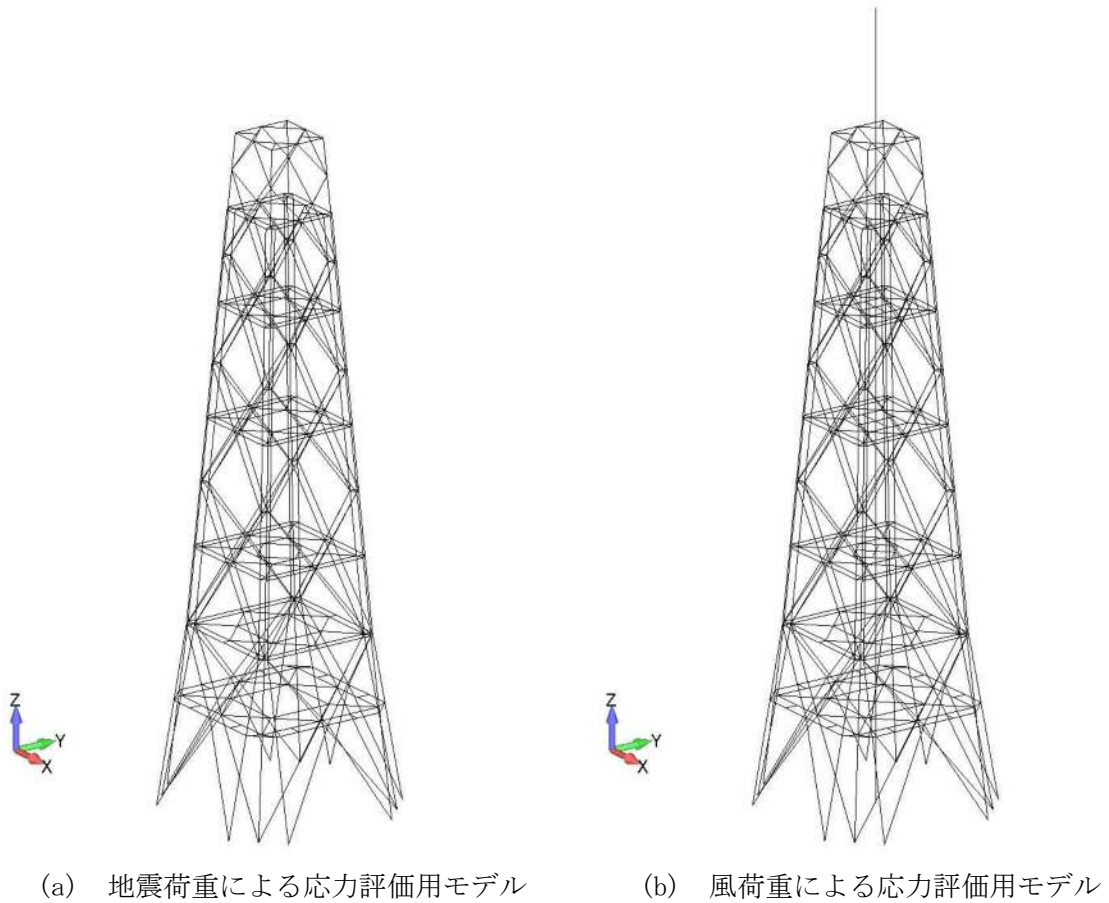


図 3-1-2 鉄塔の応力解析モデル

表 3-1-8 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 <sup>2</sup>	0.3

表 3-1-9 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、添付書類「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、添付書類「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、添付書類「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3-1-10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3-1-11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. 2.0 m）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3-1-12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3-1-13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。

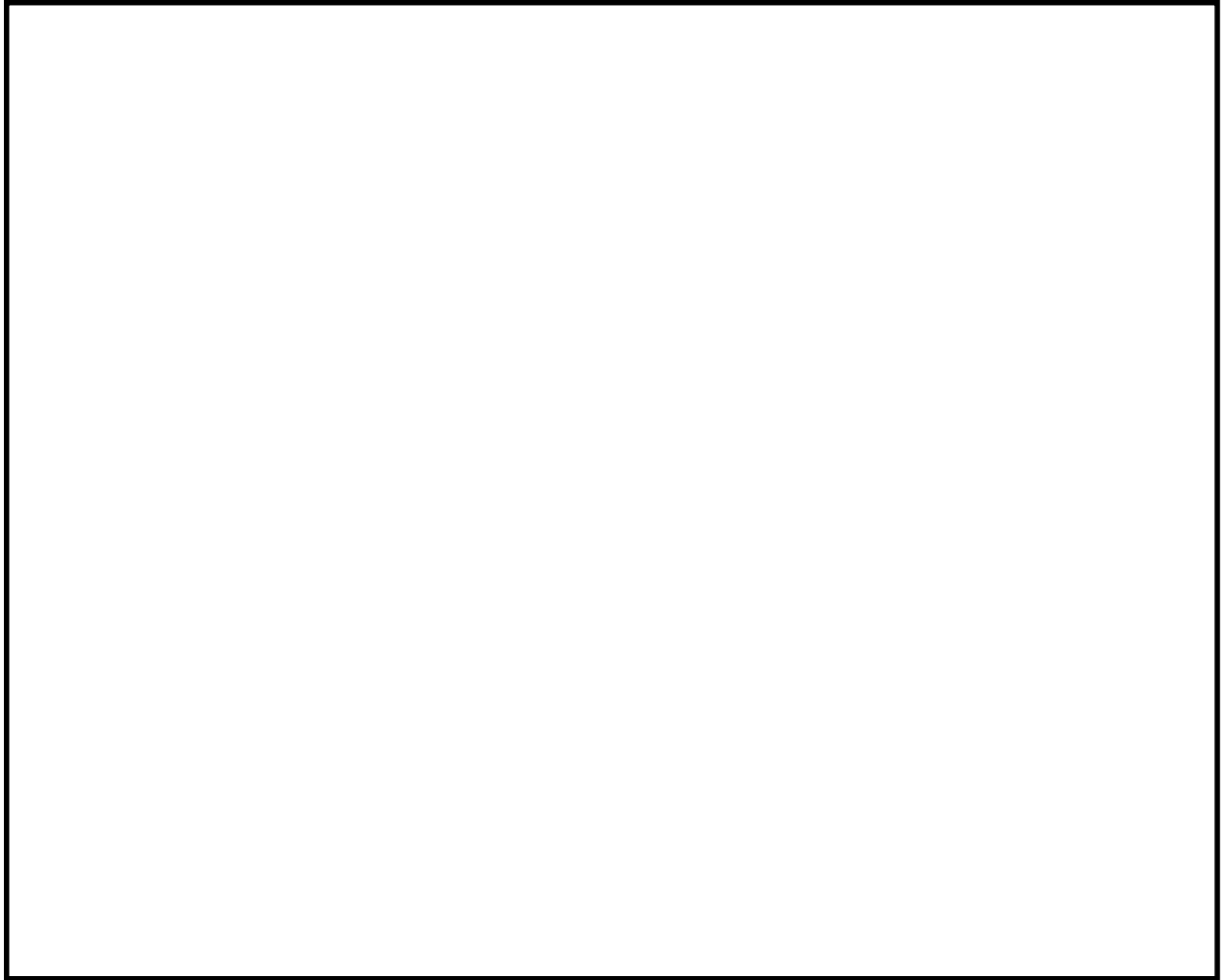


図 3-1-3  基礎盤の概略平面図 (EL. -4.0 m)

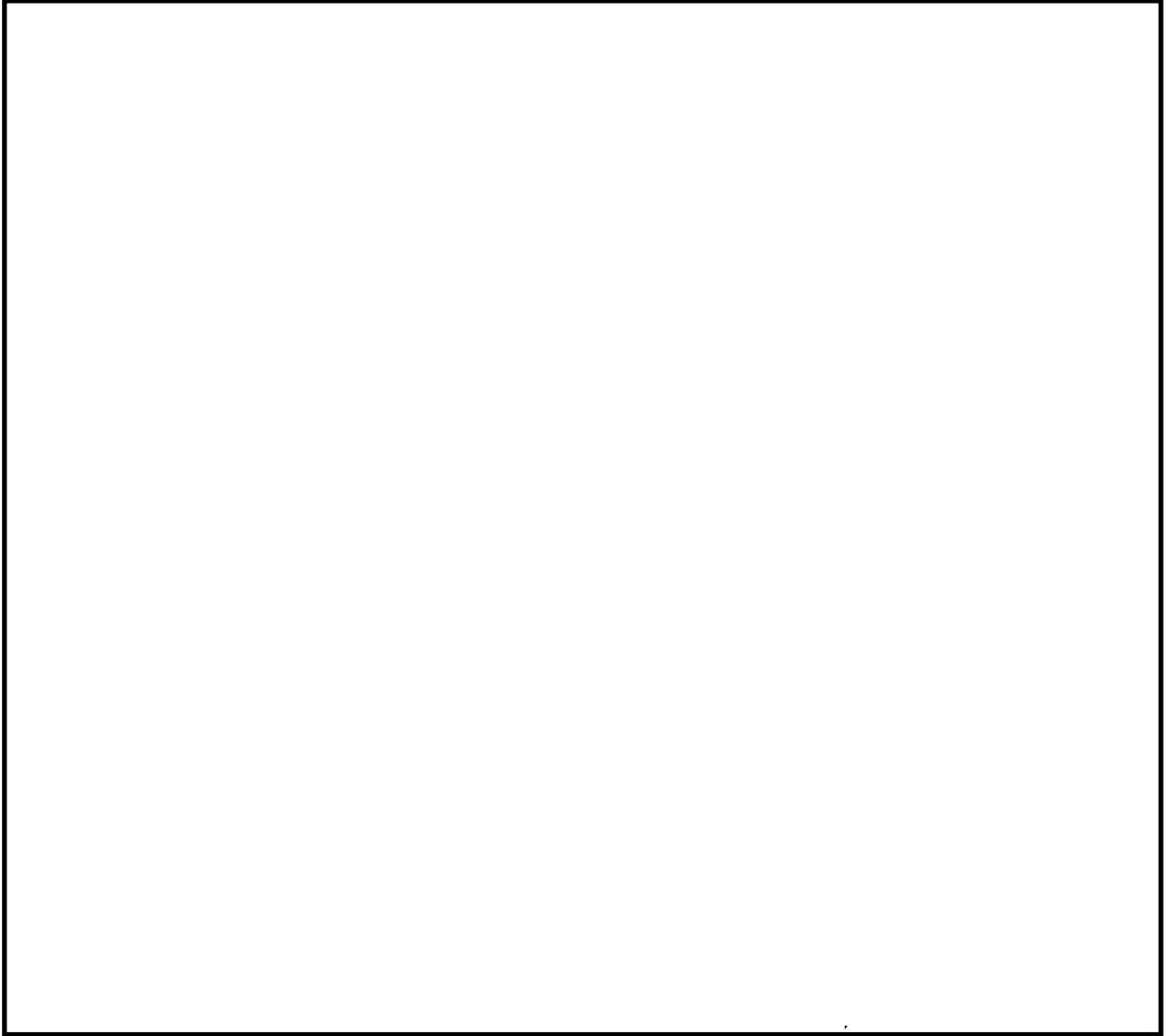


図 3-1-4 原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

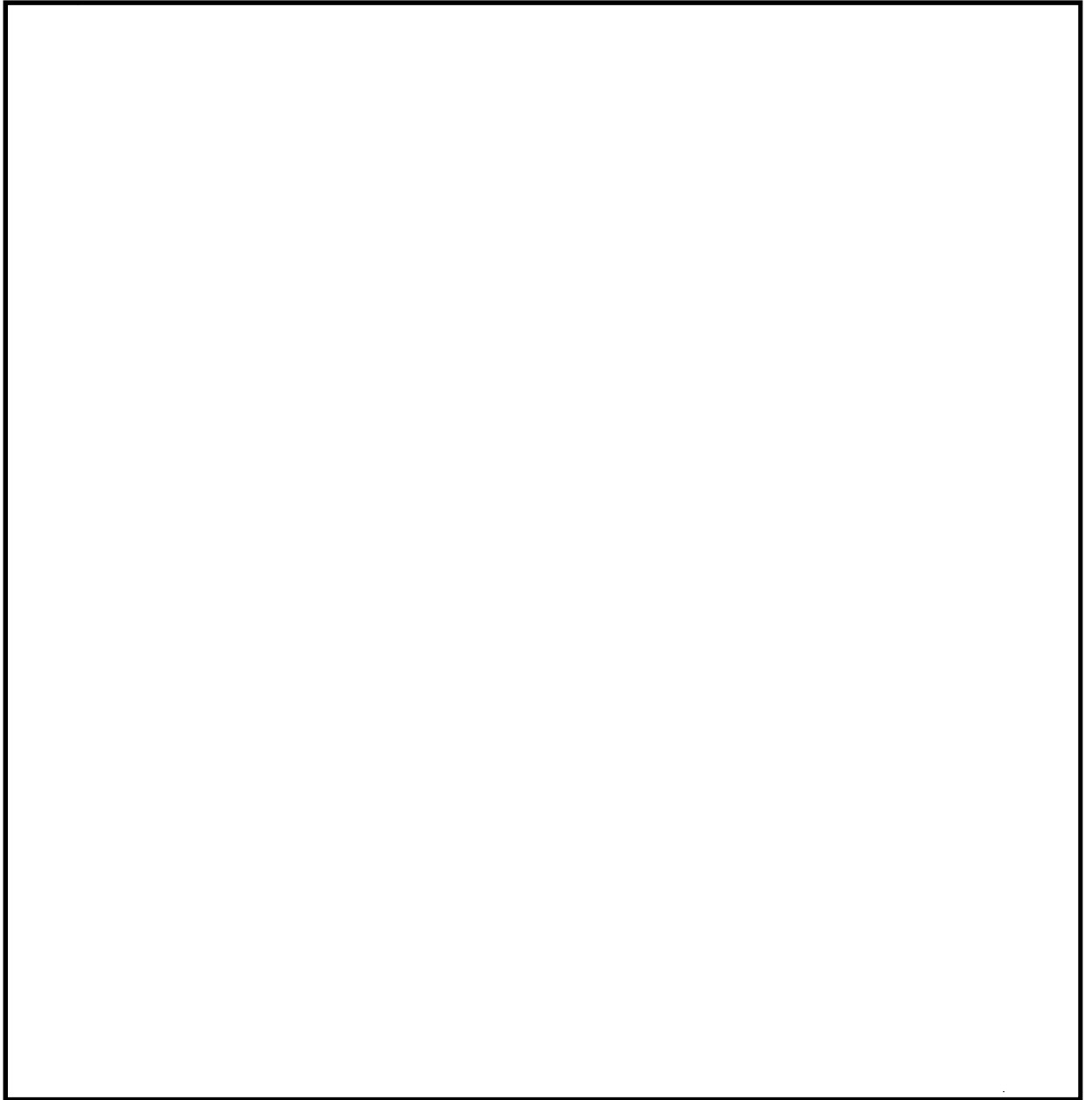
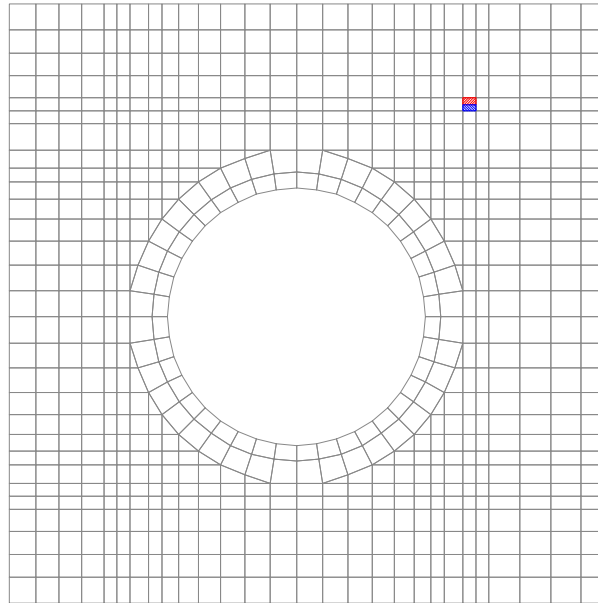


図 3-1-5 解析モデル

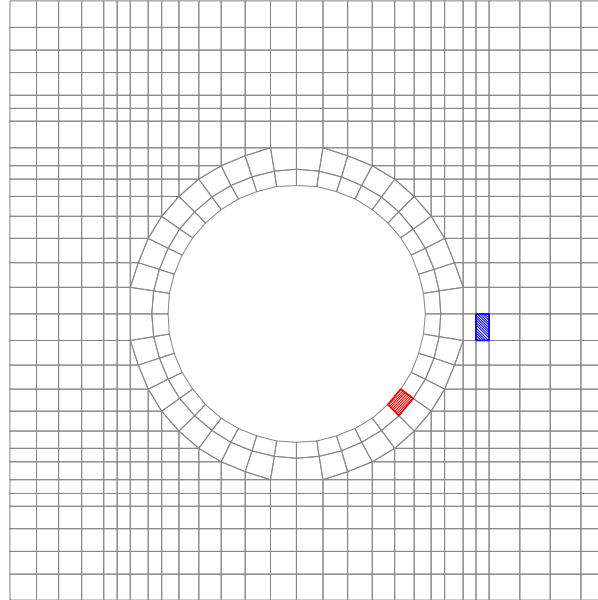
表 3-1-10 使用材料の物性値

部 位	コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
基礎版	22.1	$2.21 \times 10^4$	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。

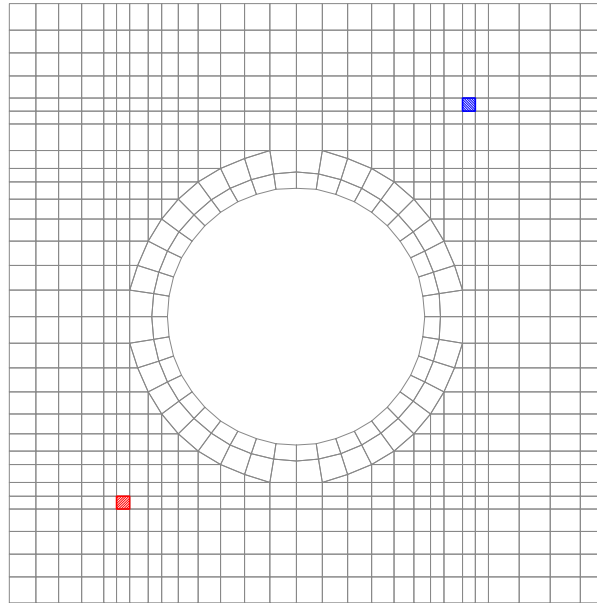
(a) 軸力+曲げモーメント (NS 方向または円周方向)



■ 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。

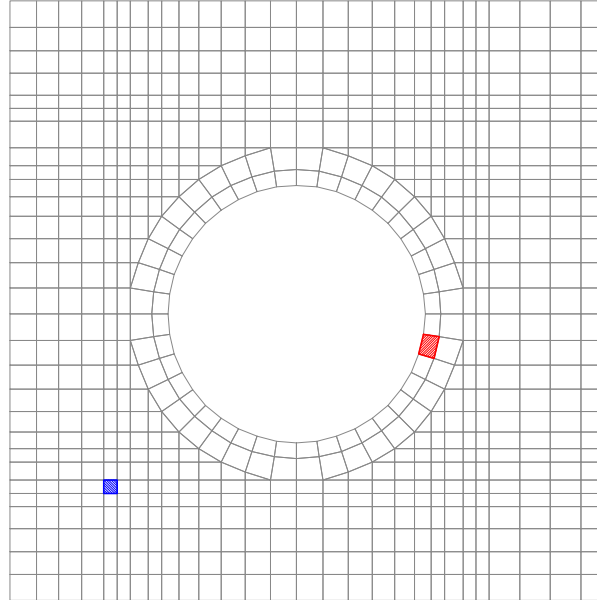
(b) 軸力+曲げモーメント (EW 方向または半径方向)

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 3-1-11 原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果 (S<sub>s</sub>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 <sup>2</sup> )	NS	438	1.45*	2.12
		半径	279	1.96*	2.12

注記 \* : 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

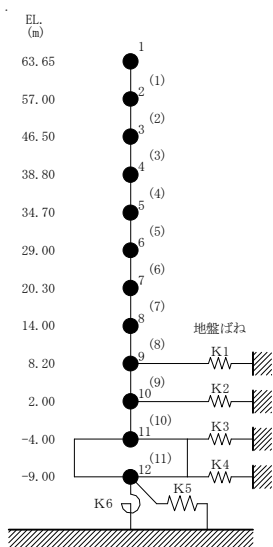
評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ( $\times 10^3$ kN $\cdot$ m/m)	NS	851	10.9	12.2
		EW	626	23.2	32.4
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	NS	851	1.60	2.19
		EW	465	1.90	2.19

表 3-1-12 重量増加を考慮した割増係数：原子炉建屋基礎盤

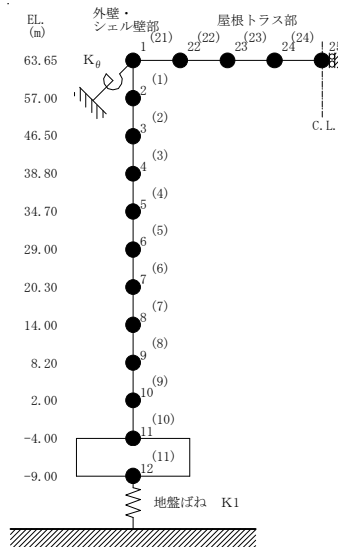
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号 (10)	1.02 <sup>*1</sup>	1.02 <sup>*1</sup>	1.02 <sup>*1</sup>
割増係数	1.02 <sup>*2</sup>		

注記 \*1：添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」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

注記 \*2：各方向の応答比率の最大値



NS, EW 方向



UD 方向



表 3-1-13 重量増加を考慮した評価結果 (S<sub>s</sub>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 <sup>3</sup> 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 <sup>2</sup> )	NS	438	1.45*	1.02	1.48	2.12
		半径	279	1.96*	1.02	2.00	2.12

注記 \* : 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、添付書類「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3-1-7及び図3-1-8、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3-1-9及び図3-1-10に示す。

地震荷重は、添付書類「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添付書類「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、添付書類「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3-1-11に示す。材料の物性値を表3-1-14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3-1-12及び図3-1-13、評価結果を表3-1-15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 3-1-16 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 3-1-17 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 3-1-7  の概略平面図 (EL. 46.5 m)

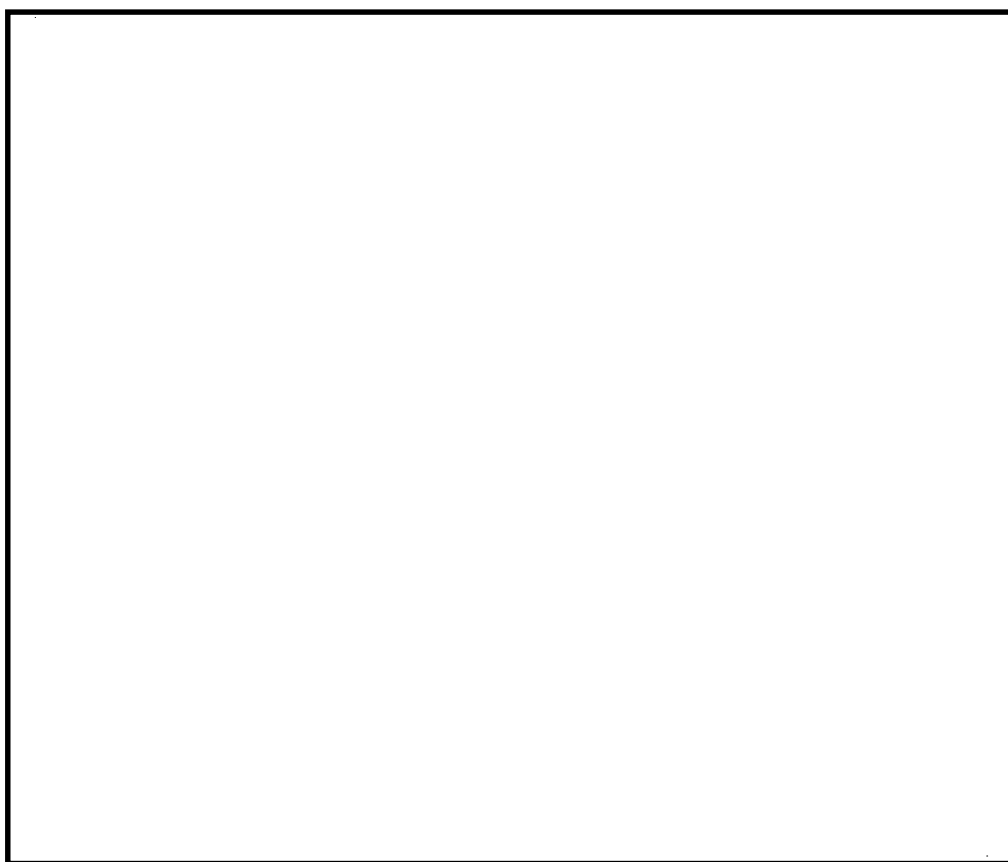


図 3-1-8 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)



図 3-1-9  の概略平面図 (EL. 38.80 m)



図 3-1-10 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

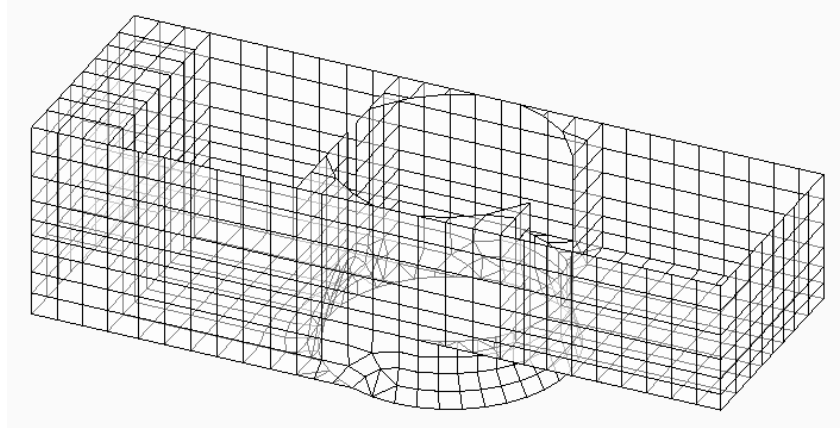
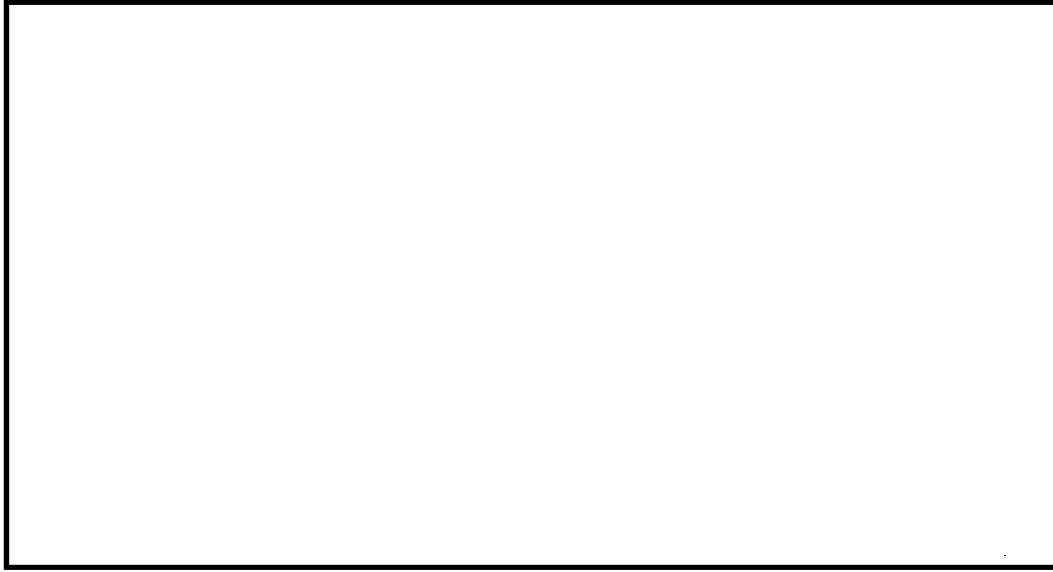


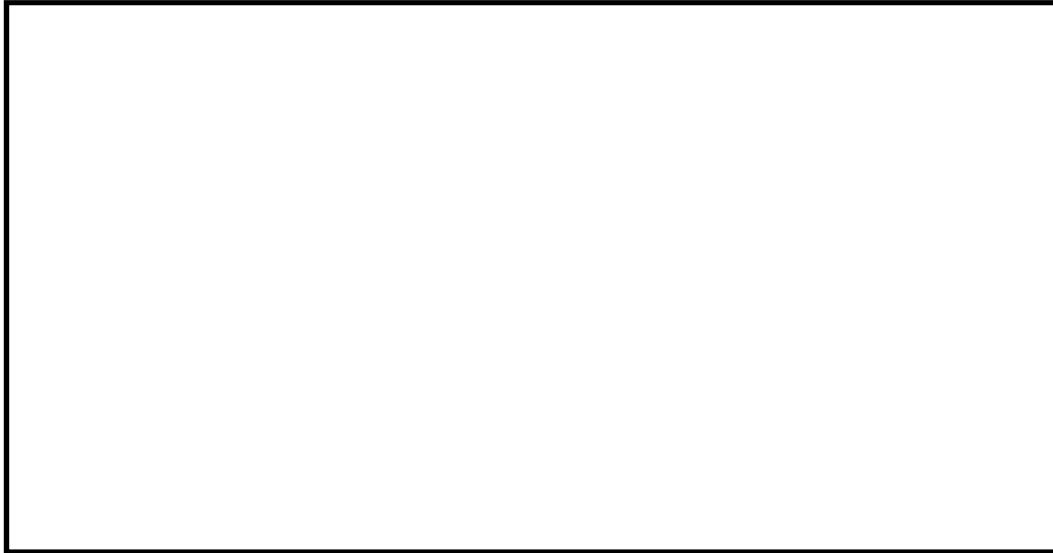
図 3-1-11 解析モデル概要図

表 3-1-14 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 <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
22.1	$2.21 \times 10^4$	0.2

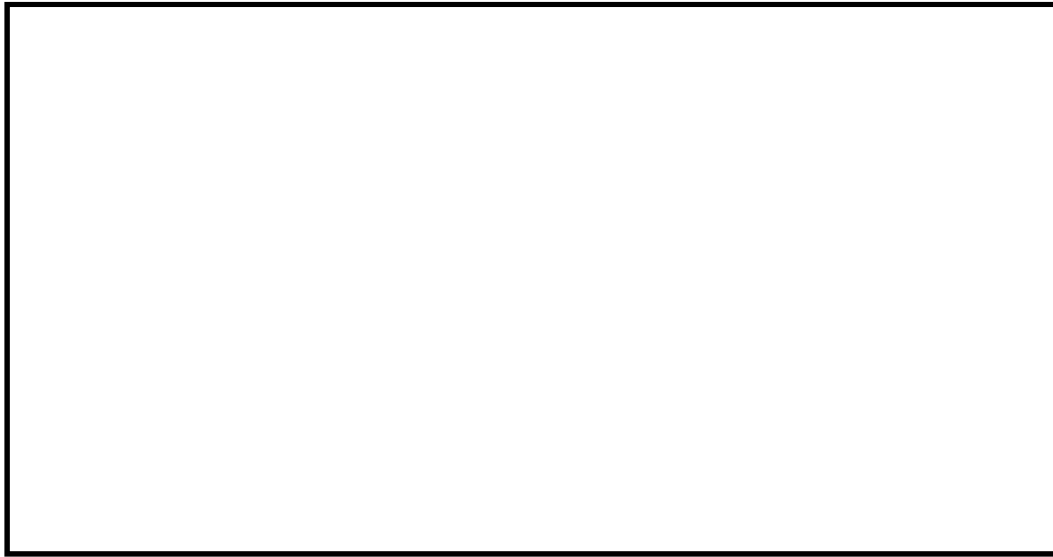


(a) 北側壁

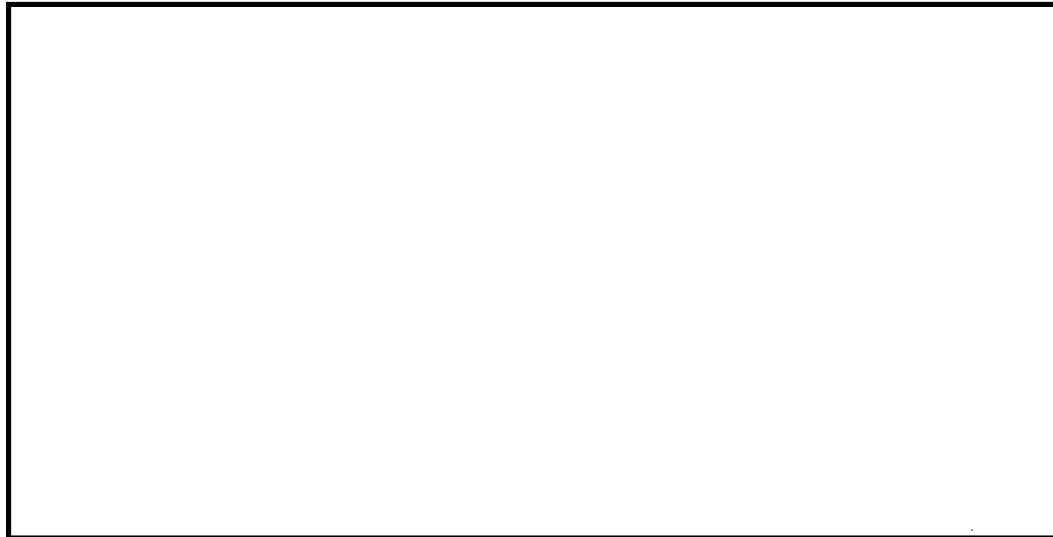


(b) 東側壁

図 3-1-12 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)



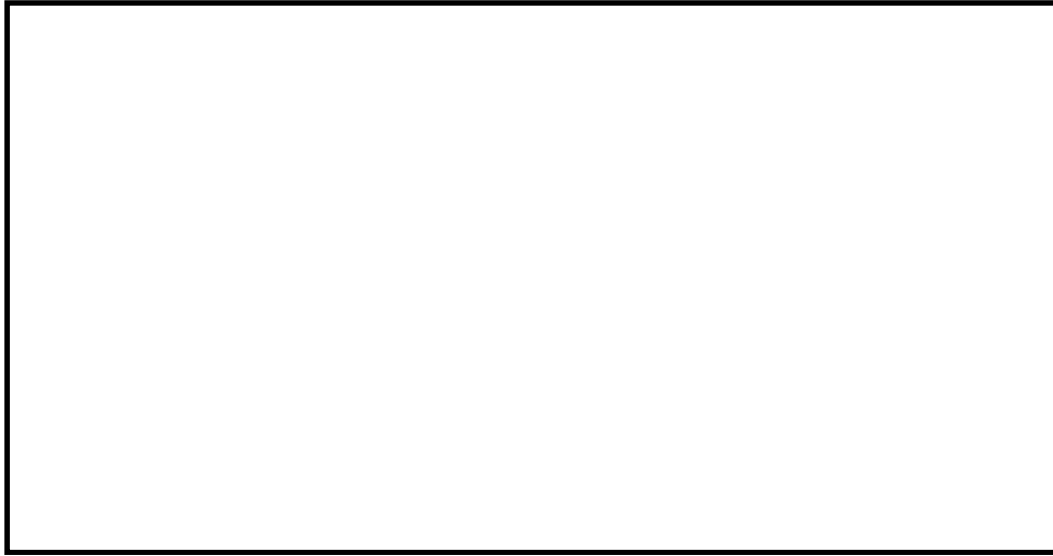
(c) 南側壁



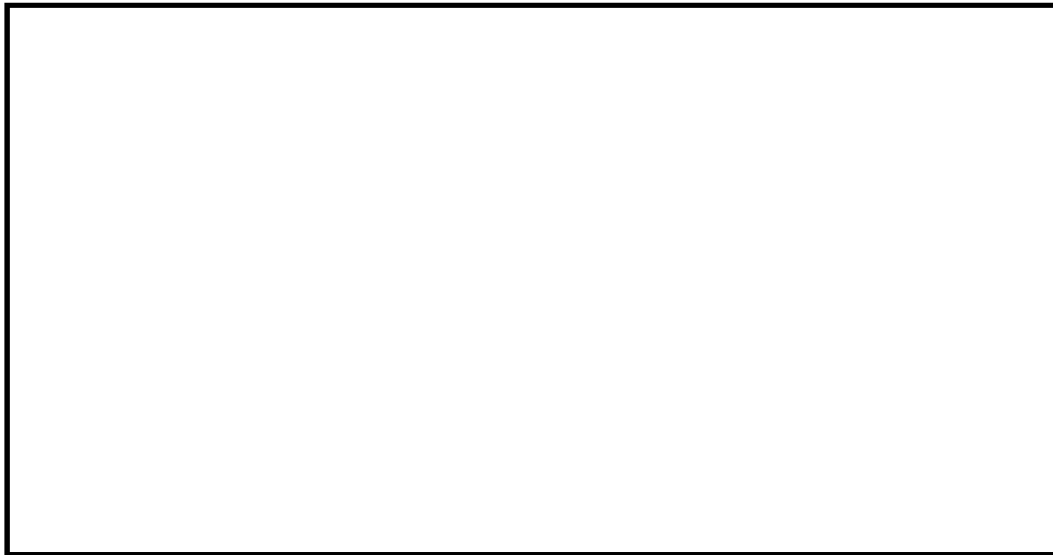
(d) 西側壁

図 3-1-12 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)



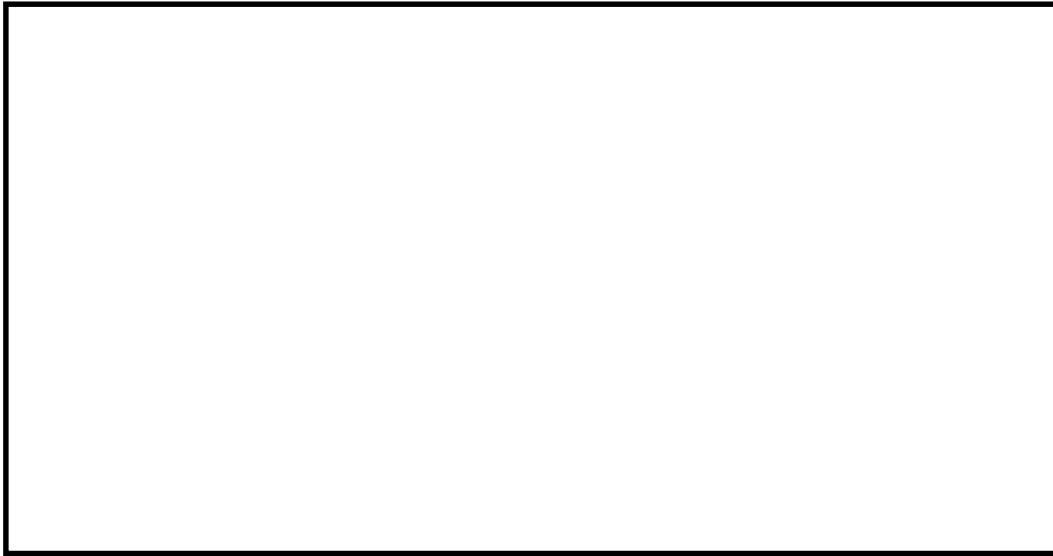


(a) 北側壁

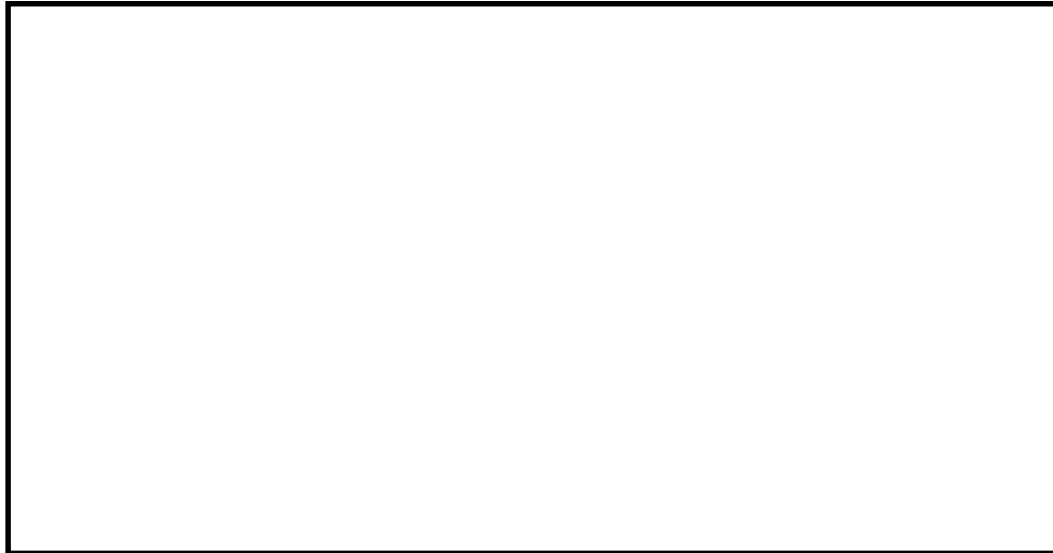


(b) 東側壁

図 3-1-13 (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 3-1-13 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)

表 3-1-15 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S<sub>s</sub>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	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2272	0.716	14.7	
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1581	1.36	14.7	
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3043	3.22	14.7	
	西側壁	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1090	1.55	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2209	0.483	1.61	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1590	1.15	1.47	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3037	2.11	3.81	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1087	1.13	1.86	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2228	0.621	1.31	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1536	0.439	1.37	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7801	1.11	2.05	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1033	0.470	1.32	

表 3-1-15 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S<sub>s</sub>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	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2272	0.701	14.7	
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1581	1.36	14.7	
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3055	3.15	14.7	
	西側壁	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1090	1.54	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2268	0.648	1.97	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1590	1.06	1.50	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	3037	2.08	3.93	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1087	1.10	1.90	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	2228	0.666	1.28	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1546	0.424	1.27	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7803	0.895	1.60	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1033	0.457	1.32	

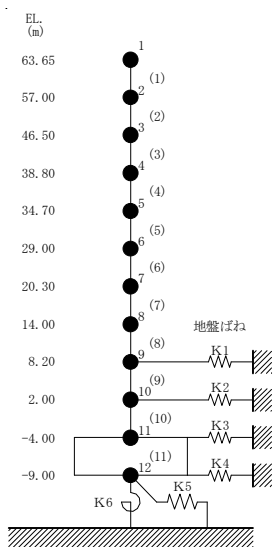
表 3-1-16 重量増加を考慮した割増係数：使用済燃料プール

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

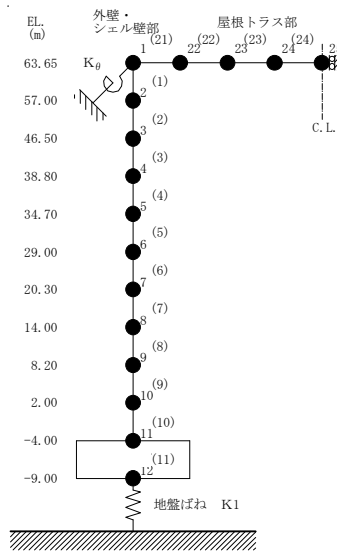
注記 \*1：添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」別紙 1 に示す要素番号(3), (4)の最大応答せん断力の応答比率の最大値

\*2：添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」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 3-1-17 重量増加を考慮した評価結果 (S<sub>s</sub>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	0.351	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	0.166	3.00
		鉄筋 ( $\times 10^{-3}$ )	1046	1.69	1.04	1.76	5.00
軸力	北側壁	圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	2272	0.716	1.04	0.745	14.7
	東側壁	圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1581	1.36	1.04	1.41	14.7
	南側壁	圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	3043	3.22	1.04	3.35	14.7
	西側壁	圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1090	1.55	1.04	1.62	14.7
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	2209	0.483	1.04	0.503	1.61
	東側壁	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1590	1.15	1.04	1.20	1.47
	南側壁	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	3037	2.11	1.04	2.20	3.81
	西側壁	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	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 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	2228	0.621	1.04	0.646	1.31
	東側壁	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1536	0.439	1.04	0.457	1.37
	南側壁	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	7801	1.11	1.04	1.15	2.05
	西側壁	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	1033	0.470	1.04	0.489	1.32

### 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の評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を、表3-2-1に示す。機種毎に分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を以下の項目より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

##### (1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については個別に検討を行うこととする。

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

横置き容器等は、水平2方向の地震力を想定した場合、水平1方向を拘束する構造であることや、水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した。
- b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの
 

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。
- c. 水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等と言えるもの
 

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

スタビライザと同様の支持方式を有するその他の設備についても、同様の理由から水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同様のものと分類した。
- d. 従来評価において、水平2方向の考慮をした評価を行っているもの
 

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平2方向地震を考慮した評価を行っているため、水平2方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。

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

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性

のある設備を抽出する。

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

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

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

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

水平1方向に対する水平2方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備(部位)を対象とする。水平2方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮したSRSS法により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。

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

### 3.2.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1項における建物・構築物の影響評価において、原子炉建屋の3次元FEMモデルによる解析結果を基に機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される部位として、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる傾向が確認された。この傾向を踏まえ、機器・配管系への影響を検討し、影響の可能性がある設備を抽出した。

影響評価を行う設備の抽出においては、壁及び床の応答増幅の影響が小さい位置に設置されている設備や、耐震裕度が大きい設備(2倍以上)については、応答増幅の影響が軽微であると判断し、抽出対象から除外した。影響評価を行う設備の抽出結果を表3-2-2に示す。

なお、3.3項における屋外重要土木構造物の影響評価において、機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される部位は抽出されなかった。



### 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

3.2.1 項で検討した、水平 2 方向の地震力が重畳する観点、水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点、水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点で、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出した結果を表 3-2-3 に示す。

また、3.2.2 項で検討した、建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の影響評価設備の評価部位の抽出結果を表 3-2-4 に示す。

### 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

3.2.1 項の観点から 3.2.3 項で抽出された設備について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した SRSS 法を適用する。

#### (1) 従来評価データを用いた算出

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

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平 1 方向と鉛直方向の地震力を組合せた上で従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平各方向を包絡した床応答曲線による地震力と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

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

3.2.2 項の観点から 3.2.3 項で抽出された設備について、以下のいずれかの方法を用いて影響評価を行う。

- ① 3 次元 FEM モデルにより得られた壁及び床の応答震度に係数を掛け、影響評価用の震度を推定し、従来評価に用いている震度（設計条件）若しくは耐震裕度に包絡されることを確認する。
- ② 質点系モデルに対する 3 次元 FEM モデルの震度比率を求め、設備の耐震裕度に包絡されること若しくは許容応力内に収まることを確認する。

### 3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

3.2.1 項の観点から 3.2.3 項で抽出した以下の設備に対して、3.2.4 項の影響評価条件で算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認した。評価した内容を設備（部位）毎に以下に示し、その影響評価結果については重大事故時等の状態も考慮した結果を表 3-2-5 に示す。

a. 原子炉圧力容器内部構造物 シュラウドヘッド

従来設計では、地震応答解析により水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、円筒形容器に対する水平 2 方向地震力の影響検討を行い、そこで得られた発生値の増加率を、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値に乗じて算定し、許容値を満足することを確認した。

b. 原子炉圧力容器内部構造物 炉内配管

従来設計では、地震応答解析により水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、各方向の地震力による発生値を SRSS 法により組み合わせることで算定し、許容値を満足することを確認した。

c. 原子炉格納容器 円筒部（中央部）

従来設計では、地震応答解析により水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、円筒形容器に対する水平 2 方向地震力の影響検討を行い、そこで得られた発生値の増加率を、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値に乗じて算定し、許容値を満足することを確認した。

d. 原子炉格納容器 サプレッション・チェンバアクセスハッチ

従来設計では、地震応答解析により水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、各方向の地震力による発生値を SRSS 法により組み合わせることで算定し、許容値を満足することを確認した。

e. ベント管 ブレージング部

従来設計では、地震応答解析により水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、各方向の地震力による発生値を SRSS 法により組み合わせることで算定し、許容値を満足することを確認した。

f. 原子炉遮蔽 開口集中部

従来設計では、地震応答解析により水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は、円筒形容器に対する水平 2 方向地震力の影響検討を行い、そこで得られた発生値の増加率を、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値に乗じて算定し、許容値を満足することを確認した。

3.2.2 項の観点から 3.2.3 項で抽出した以下の設備に対して、3.2.4 項の影響評価条件で示した評価方法により設備が有する耐震性への影響を確認した。評価した内容を設備（部位）毎に以下に示し、その影響評価結果を表 3-2-6 に示す。

g. ブローアウトパネル閉止装置

従来評価では、質点系モデルにより水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。3 次元 FEM モデルによる応答増幅を考慮した水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価では、3 次元 FEM モデルにより得られた壁の応答震度に係数を掛け、影響評価用の震度を推定し、従来評価に用いている震度に包絡されるかまたは耐震裕度及び機能維持確認済加速度に包絡されることを確認した。

h. 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設

従来評価では、質点系モデルにより水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。3 次元 FEM モデルによる応答増幅を考慮した水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価では、3 次元 FEM モデルにより得られた壁の応答震度に係数を掛け、影響評価用の震度を推定し、従来評価に用いている震度に包絡されることを確認した。

i. 原子炉建屋クレーン

従来評価では、質点系モデルにより水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。3 次元 FEM モデルによる応答増幅を考慮した水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価では、質点系モデルに対する 3 次元 FEM モデルの震度比率を求め、設備の耐震裕度に包絡されることを確認した。

j. 使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）

従来評価では、質点系モデルにより水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。3 次元 FEM モデルによる応答増幅を考慮した水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価では、3 次元 FEM モデルにより得られた壁の応答震度に係数を掛け、影響評価用の震度を推定し、機能維持確認済加速度に包絡されることを確認した。

k. 原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ

従来評価では、質点系モデルにより水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。3 次元 FEM モデルによる応答増幅を考慮した水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価では、3 次元 FEM モデルにより得られた壁の応答震度に係数を掛け、影響評価用の震度を推定し、機能維持確認済加速度に包絡されることを確認した。

l. 燃料取替機

従来評価では、質点系モデルにより水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発生値を算定し、評価を実施している。3 次元 FEM モデルによる応答増幅を考慮した水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価では、質点系モデルに対する 3 次元 FEM モデルの震度比率を求め、これより計算した算出応力が許容値内に収まることを確認した。

m. 使用済燃料貯蔵ラック

従来評価では、質点系モデルにより水平 1 方向及び鉛直方向地震力による当該部の発

生値を算定し、評価を実施している。3次元FEMモデルによる応答増幅を考慮した水平2方向及び鉛直方向地震力による評価では、質点系モデルに対する3次元FEMモデルの震度比率を求め、これより計算した算出応力が許容値内に収まることを確認した。

### 3.2.6 まとめ

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

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

- ・ 従来設計の発生値（水平1方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ）に対して、係数を乗じて水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため、係数倍不要な鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分に対しても係数倍されている。
- ・ 従来設計において水平各方向を包絡した床応答曲線を各方向に入力している設備は、各方向の大きい方の地震力が水平2方向に働くことを想定した発生値として算出している。

また、建物・構築物の影響評価において、原子炉建屋3次元FEMモデルによる解析結果を基に機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される部位として、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる傾向が確認されたが、当該応答の増幅を考慮しても、設備の健全性が確保できることを確認した。

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

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設 備		部 位
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴 中間胴 下部胴
	シュラウドサポート	レグ シリンダ プレート 下部胴
	上部格子板	グリッドプレート
	炉心支持板	補強ビーム 支持板
	燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具
	制御棒案内管	長手中央部 下部溶接部
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	胴板 下部鏡板 下部鏡板と胴板の結合部 下部鏡板とスカートとの結合部
	制御棒駆動機構ハウジング貫通部	スタブチューブ ハウジング
	ノズル	各部位
	ブラケット類	スタビライザブラケット スチームドライヤサポートブラケット 炉心スプレイブラケット 給水スパーチャブラケット
原子炉圧力容器 支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト

設 備		部 位
原子炉圧力容器 付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ 原子炉格納容器スタビライザ	各部位
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレイントビーム ボルト
原子炉圧力容器 内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート 耐震サポート
	気水分離器及びスタンドパイプ	各部位
	シュラウドヘッド 中性子計測案内管	各部位
	スパージャ 炉内配管	各部位
	ジェットポンプ	ライザ ディフューザ ライザブレース
	使用済燃料貯蔵ラック (共通ベース含む)	ラック部材 基礎ボルト ラック取付ボルト
使用済燃料乾式貯蔵容器	各部位	
四脚たて置円筒形容器	胴板	
	脚	
横置円筒形容器	胴板	
	脚	
	基礎ボルト	
たて軸ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	
	基礎ボルト 取付ボルト	
ECCS ストレーナ	各部位	

設 備		部 位
横軸ポンプ ポンプ駆動用タービン 海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機		基礎ボルト 取付ボルト
制御棒駆動機構		各部位
水圧制御ユニット		フレーム
		取付ボルト
平底たて置円筒形容器		胴板
		基礎ボルト
核計装設備		各部位
伝送ラック		取付ボルト
制御盤		取付ボルト
原子炉格納容器	サプレッション・チェンバ底部ライナ部	中央部 周辺部
	原子炉格納容器胴	各部位
	上部シアラグ及びスタビライザ 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット	各部位
		上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部
	機器搬入用ハッチ 所員用エアロック サプレッション・チェンバアクセスハッチ	本体と補強板との結合部 補強板と原子炉格納容器胴一般部との結合部
	胴アンカ部	各部位
		コンクリート
	配管貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 原子炉格納容器胴と補強板との結合部
電気配線貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	
	補強板結合部	

設 備	部 位
ダイヤフラム・フロア	R Cスラブ
	大梁 小梁
	柱
	シヤーコネクタ
ベント管	上部 ブレーシング部
格納容器スプレイヘッダ	上部ドライウェルスプレイヘッダ案内管 下部ドライウェルスプレイヘッダ案内管 スプレイヘッダ (サプレッション・チェンバ側)
ブローアウトパネル	ブローアウトパネル
ブローアウトパネル閉止装置	各部位
原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設	各部位
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース
	ベース取付溶接部
非常用ガス処理系排気筒	筒身 サポート
ディーゼル発電機	基礎ボルト
	取付ボルト
プレート式熱交換器	側板
	脚
	取付ボルト
ラグ支持たて置き円筒形容器	胴板
	振れ止め シアラグ
	取付ボルト
	基礎ボルト
その他電源設備	取付ボルト
配管本体, サポート (多質点梁モデル解析)	配管, サポート
矩形構造の架構設備 (静的触媒式水素再結合器, 架台を含む)	各部位
通信連絡設備 (アンテナ)	基礎ボルト
水位計	取付ボルト
温度計	溶接部



設 備	部 位
監視カメラ	基礎ボルト
	据付部材
貫通部止水処置	モルタル
浸水防止蓋	蓋
	固定ボルト
逆流防止逆止弁	各部位
原子炉ウェル遮蔽ブロック	本体
	支持部
原子炉本体の基礎	円筒部
	脚部アンカー部
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)
	吊具
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ
	落下防止金具
	トロリストoppa
	トロリ
	吊具
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	ガーダ
	浮上防止装置 (つめ)
	浮上防止装置 (取付ボルト)
	車輪
	走行レール (取付ボルト)
	横行レール (溶接部)
横行レール (取付ボルト)	
原子炉遮蔽	一般胴部
	開口集中部
	アンカーボルト
	シアプレート

表 3-2-2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の影響評価設備の抽出結果

設 備		部 位
ブローアウトパネル閉止装置		ガイドレール
		動的機能維持
原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設		構造部材
原子炉建屋クレーン		落下防止金具
		ワイヤロープ
使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）		電氣的機能維持
原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ		電氣的機能維持
燃料取替機		横行レール
使用済燃料貯蔵ラック	70 体ラック	ラック取付ボルト
	110 体ラック	ラック取付ボルト
	共通ベース	基礎ボルト

表 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

(凡例) ○：影響の可能性あり

△：影響軽微

(1) 構造強度評価

設備（機種）及び部位	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1 項 (1) 及び (2) の 観点	3.2.1 項 (3) の観点	検討結果
原子炉圧力容器附属構造物 (原子炉圧力容器スタビライザ)	△	△	構造上の観点から水平 2 方向地震力による評価は、水平 1 方向地震力による評価に包絡される。
原子炉圧力容器内部構造物 (スタンドパイプ)	△	△	材料物性のばらつきを考慮した水平 2 方向の地震力による評価が、水平 1 方向地震力による評価に包絡される。
原子炉圧力容器内部構造物 (シュラウドヘッド)	△	○	影響評価結果は表 3-2-5 参照
原子炉圧力容器内部構造物 (炉内配管)	○	○	影響評価結果は表 3-2-5 参照
原子炉格納容器 (円筒部)	△	○	影響評価結果は表 3-2-5 参照
原子炉格納容器 (上部シアラグ及びスタビライザ)	△	△	構造上の観点から水平 2 方向地震力による評価は、水平 1 方向地震力による評価に包絡される。
原子炉格納容器 (サプレッション・チェンバアクセスハッチ)	△	○	影響評価結果は表 3-2-5 参照
ベント管	△	○	影響評価結果は表 3-2-5 参照
原子炉本体の基礎	△	△	構造上の観点から水平 2 方向地震力による評価は、水平 1 方向地震力による評価に包絡される。
燃料取替機	△	△	構造上の観点から水平 2 方向地震力による評価は、水平 1 方向地震力による評価に包絡される。
使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン	△	△	構造上の観点から水平 2 方向地震力による評価は、水平 1 方向地震力による評価に包絡される。
原子炉遮蔽	△	○	影響評価結果は表 3-2-5 参照

表 3-2-4 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の影響評価設備の評価部位の抽出結果

(凡例) ○：影響の可能性あり

△：影響軽微

設備（機種）及び部位	建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系への影響の可能性	
	3.2.2 項の観点	検討結果
ブローアウトパネル閉止装置	○	影響評価結果は表 3-2-6 参照
原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設	○	影響評価結果は表 3-2-6 参照
原子炉建屋クレーン	○	影響評価結果は表 3-2-6 参照
使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）	○	影響評価結果は表 3-2-6 参照
原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ	○	影響評価結果は表 3-2-6 参照
燃料取替機	○	影響評価結果は表 3-2-6 参照
使用済燃料貯蔵ラック	○	影響評価結果は表 3-2-6 参照

表 3-2-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	従来発生値	2 方向想定発生値	許容値	備考	
			MPa	MPa	MPa		
原子炉圧力容器 内部構造物	シュラウドヘッド	シュラウドヘッド	一次一般膜＋ 一次曲げ応力強さ	187	208	254	
	炉内配管	低圧炉心スプレイ配管 (原子炉圧力容器内部)	一次一般膜＋ 一次曲げ応力強さ	228	229	261	
原子炉格納容器	円筒部 (中央部)	円筒部 (中央部)	一次一般膜応力強さ	227	252	253	
	サプレッション・チェンバアクセスハッチ	サプレッション・チェンバ円筒胴と補強板との結合部 (P6-3)	一次＋二次応力強さ* 疲労評価	668 0.428	742 0.646	393 1	単位：なし
ベント管	ブレーシング部	一次一般膜＋ 一次曲げ応力強さ	291	379	380		
		一次＋二次応力強さ*	422	518	458		
		疲労評価	—	0.112	1	単位：なし	
原子炉遮蔽	開口集中部	組合せ応力	204	227	235		

注記 \*：一次＋二次応力評価結果は許容値を満足しないが、J E A G 4601・補-1984に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

表 3-2-6 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の影響評価結果

評価対象設備		評価部位	評価方法	3次元FEM 想定発生値	従来評価の 設計条件 (判定基準)	判定
ブローアウトパネル閉止装置	閉状態	構造部材	推定震度と設計条件の比較	3.91 (震度)	4.18 (震度)	○
		動的機能維持	推定震度と設計条件の比較	1.79 (震度)	3.96 (震度)	○
	開状態	ガイドレール	推定震度と設計条件の比較	7.93 (震度)	6.33 (震度)	—*
			震度比率と耐震裕度の比較	1.26 (比率)	1.30 (裕度)	○*
		動的機能維持	推定震度と設計条件の比較	3.31 (震度)	3.96 (震度)	○
原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設		構造部材	推定震度と設計条件の比較	8.95 (震度)	9.43 (震度)	○
原子炉建屋クレーン	落下防止金具		震度比率と耐震裕度の比較	2.45 (比率)	5.23 (裕度)	○
	ワイヤロープ		震度比率と耐震裕度の比較	1.19 (比率)	1.47 (裕度)	○
使用済燃料プールエリア放射線モニタ (低レンジ・高レンジ)		電氣的機能維持	推定震度と設計条件の比較	2.59 (震度)	3.00 (震度)	○
原子炉建屋換気系 (ダクト) 放射線モニタ		電氣的機能維持	推定震度と設計条件の比較	2.61 (震度)	3.00 (震度)	○
燃料取替機		横行レール	算出応力と許容応力の比較	475 (MPa)	483 (MPa)	○
使用済燃料貯蔵ラック	70体ラック	ラック取付ボルト	算出応力と許容応力の比較	134 (MPa)	153 (MPa)	○
	110体ラック	ラック取付ボルト	算出応力と許容応力の比較	105 (MPa)	153 (MPa)	○
	共通ベース	基礎ボルト	算出応力と許容応力の比較	130 (MPa)	153 (MPa)	○

注記 \* : 3次元FEMモデルによる震度から推定した震度が、設計条件である震度を超過することから、耐震裕度 (1.30) の震度比率 (1.26=7.93/1.30) に対する包絡性を確認し、包絡できていることから耐震性を有することを確認した。

### 3.3 屋外重要土木構造物

#### 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

##### (1) 構造形式の分類

図 3-3-1 に屋外重要土木構造物の配置図を示す。

屋外重要土木構造物は、その構造形式より 1) 取水構造物、常設代替高圧電源装置置場、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎、可搬型設備用軽油タンク基礎のような箱型構造物、2) 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）、常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）、常設低圧代替注水系配管カルバート、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート、土留鋼管矢板のような線状構造物、3) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）、常設低圧代替注水系ポンプ室、緊急用海水ポンプピットのような立坑構造物（矩形）、4) 代替淡水貯槽、SA用海水ピット、SA用海水ピット取水塔のような立坑構造物（円筒形）、5) 取水構造物、屋外二重管（屋外二重管基礎）、常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎、可搬型設備用軽油タンク基礎のような鋼管杭基礎、並びに 6) 屋外二重管（屋外二重管本体）、緊急用海水取水管、海水引込み管のような管路構造物の 6 つに大別される。屋外重要土木構造物の構造形式を表 3-3-1 に示す。

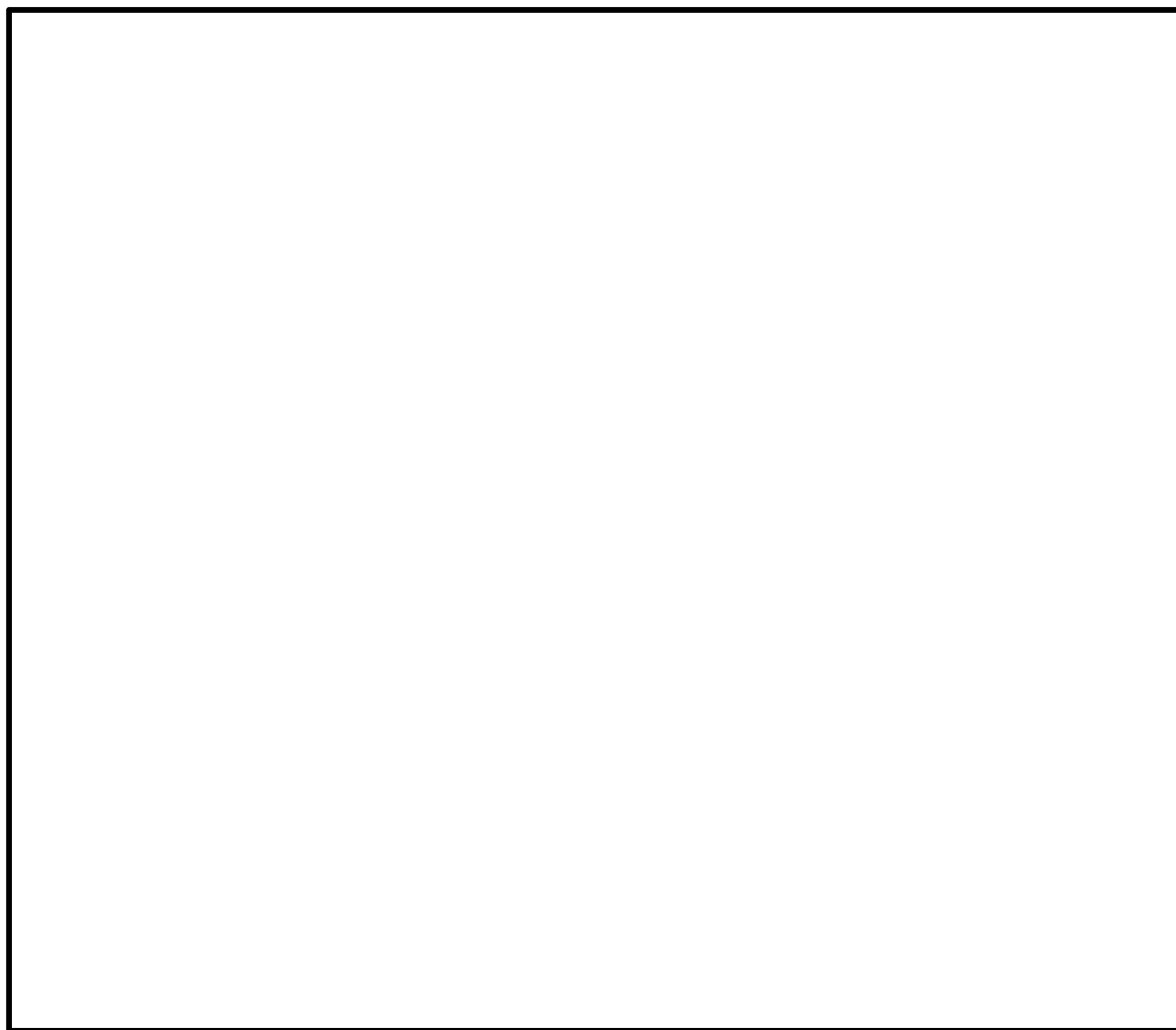


図 3-3-1 屋外重要土木構造物配置図



表 3-3-1 屋外重要土木構造物の構造形式

対象構造物	構造形式					
	1) 箱型構造物	2) 線状構造物	3) 立坑構造物(矩形)	4) 立坑構造物(円筒形)	5) 鋼管杭基礎	6) 管路構造物
取水構造物	○				○	
屋外二重管 (屋外二重管本体)						○
屋外二重管 (屋外二重管基礎)					○	
常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備	○					
常設代替高圧電源装置用カルバート (トンネル部)		○				
常設代替高圧電源装置用カルバート (立坑部)			○			
常設代替高圧電源装置用カルバート (カルバート部)		○			○	
代替淡水貯槽				○		
常設低圧代替注水系ポンプ室			○			
常設低圧代替注水系配管カルバート		○				
格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート		○				
緊急用海水ポンプピット			○			
緊急用海水取水管						○
S A用海水ピット				○		
海水引込み管						○
S A用海水ピット取水塔				○		
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎	○				○	
可搬型設備用軽油タンク基礎	○				○	
* 土留鋼管矢板		○				

\* 波及影響防止のために耐震評価する土木構造物

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3-3-2 に、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。

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

表 3-3-2 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ <sup>(注)</sup>
㊦動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
㊦摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
㊦慣性力	躯体に作用する慣性力	

(注) 作用荷重のイメージ図は平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

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

評価対象構造物の地震時の挙動は、躯体が主に地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.1 (2) で整理した荷重のうち④摩擦力や⑤慣性力は、⑦動土圧及び動水圧と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、⑦動土圧及び動水圧による影響を考慮する。

箱型構造物は、妻壁等を有することから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧が作用する。

線状構造物及び管路構造物については、その構造上の特徴として、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さない若しくは妻側（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧は作用しない。

立坑構造物(矩形)及び立坑構造物(円筒形)は、その構造形状の特徴として表 3-3-3 に示すように従来設計手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧が作用する。

鋼管杭基礎については、互いに直交する断面に対して⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用し、また、上部工との接合面に上部工から伝わる荷重が作用する。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧が作用する箱型構造物、立坑構造物(矩形)、立坑構造物(円筒形)及び鋼管杭基礎を抽出する。

ここで、立坑構造物(矩形)及び立坑構造物(円筒形)については、構造上の特徴を踏まえ、構造解析において水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

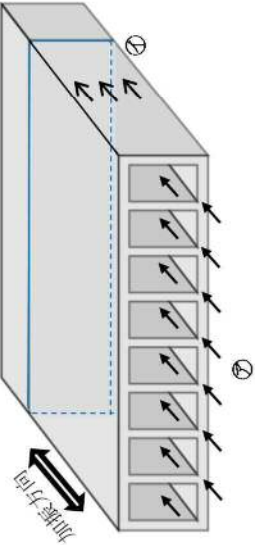
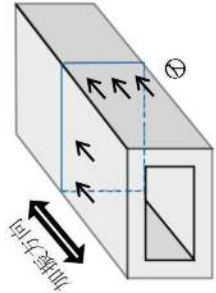
<p>3.3.1 (1) で整理した構造形式の分類</p>	<p>1) 箱型構造物 (取水構造物等)</p>  <p>(注)②慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>2) 線状構造物 (常設低圧代替注水系配管カルバート (トンネル部等))</p>  <p>(注)②慣性力はすべての構造部材に作用</p>																		
<p>3.3.1 (2) で整理した荷重の作用状況</p>	<table border="1"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>主に妻壁に作用</td> <td>②動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>①摩擦力</td> <td>側壁に作用</td> <td>①摩擦力</td> <td>側壁, 頂版に作用</td> </tr> <tr> <td>②慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> <td>②慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>	①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用	②動土圧及び動水圧	作用しない	①摩擦力	側壁に作用	①摩擦力	側壁, 頂版に作用	②慣性力	全ての部材に作用	②慣性力	全ての部材に作用	<table border="1"> <tr> <td>②動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>①摩擦力</td> <td>側壁, 頂版に作用</td> </tr> <tr> <td>②慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>	②動土圧及び動水圧	作用しない	①摩擦力	側壁, 頂版に作用	②慣性力	全ての部材に作用
①動土圧及び動水圧	主に妻壁に作用	②動土圧及び動水圧	作用しない																	
①摩擦力	側壁に作用	①摩擦力	側壁, 頂版に作用																	
②慣性力	全ての部材に作用	②慣性力	全ての部材に作用																	
②動土圧及び動水圧	作用しない																			
①摩擦力	側壁, 頂版に作用																			
②慣性力	全ての部材に作用																			
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材 (妻壁) を有し, ②動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず②動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小</p>																		
<p>抽出結果 (○：影響検討実施)</p>	<p>○</p>	<p>×</p>																		

表 3-3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (1/3)

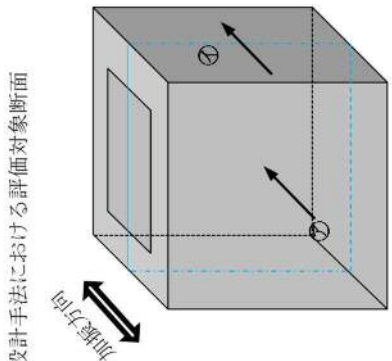
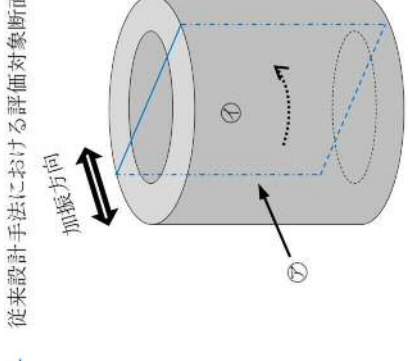
<p>3.3.1 (1) で整理した構造形式の分類</p>	<p>3) 立坑構造物(矩形) (常設低圧代替注水系配管カルバート(立坑部)等)</p>  <p>従来設計手法における評価対象断面</p>	<p>4) 立坑構造物(円筒形) (代替淡水貯槽等)</p>  <p>従来設計手法における評価対象断面</p>
<p>3.3.1 (2) で整理した荷重の作用状況</p>	<p>(注)⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p> <p>⑦動土圧及び動水圧 主に胴体部に作用</p> <p>①摩擦力 主に胴体部に作用</p> <p>②慣性力 全ての部材に作用</p>	<p>(注)⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p> <p>⑦動土圧及び動水圧 主に胴体部に作用</p> <p>①摩擦力 主に胴体部に作用</p> <p>②慣性力 全ての部材に作用</p>
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>胴体部において、⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大</p>	
<p>抽出結果 (○：影響検討実施)</p>	<p>○</p>	

表 3-3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (2/3)

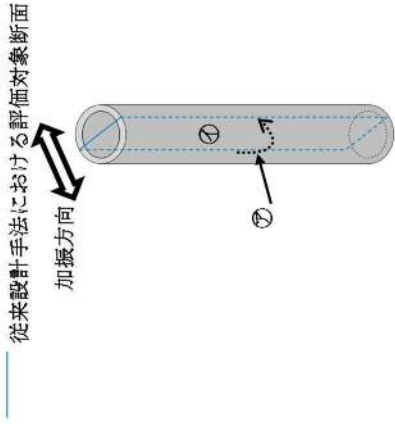
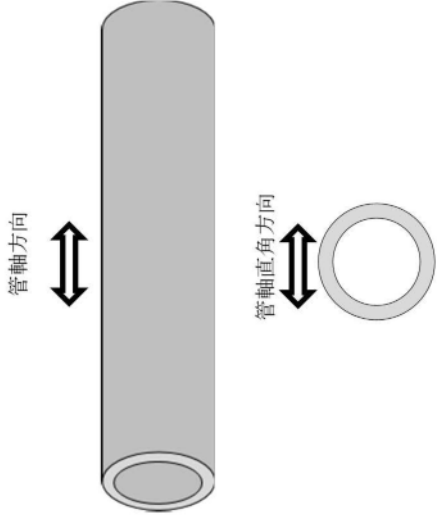
<p>3.3.1 (1) で整理した構造形式の分類</p>	<p>5) 鋼管杭基礎 (取水構造物等の杭基礎等)</p>  <p>従来設計手法における評価対象断面</p>	<p>6) 管路構造物 (屋外二重管本体等)</p> 
<p>3.3.1 (2) で整理した荷重の作用状況</p>	<p>⑦ 動土圧及び動水圧(壁)の慣性力 ⑧ 胴体部に作用する主なる荷重 ⑨ 慣性力</p>	<p>⑦ 動土圧及び動水圧 ⑧ 摩擦力 ⑨ 慣性力</p>
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>従来設計手法において、⑦動土圧及び動水圧による荷重、及び上部工からの荷重が作用するため影響大。</p>	<p>作用しない 側壁、頂版に作用 全ての部材に作用</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造物材を有さず⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小</p>
<p>抽出結果 (○：影響検討実施)</p>	<p>○</p>	<p>×</p>

表 3-3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (3/3)

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

a. 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）【線状構造物】

図3-3-2に常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の配置図、図3-3-3及び図3-3-4に当該トンネル部の断面図を示す。

当該トンネルは、断面変化がほとんどないが、緩やかな曲線部が計画されている。図3-3-5（施工目地の割り付け図）に示すように、適切な間隔で施工目地を設けることにより、構造物に応力集中が発生しないような設計方針とする。なお、施工目地の間隔は、トンネルの適用事例が多い「トンネル標準示方書：土木学会」に基づき決定する。

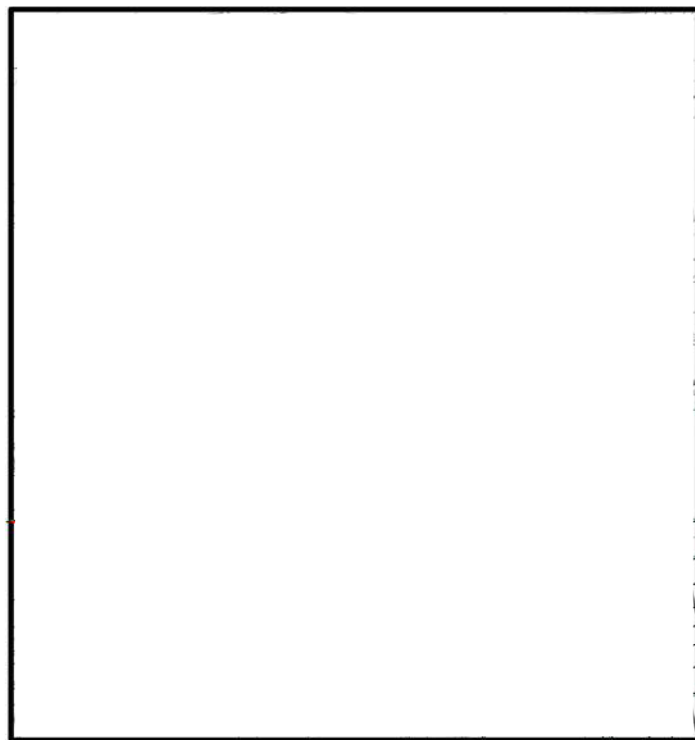


図3-3-2 常設代替高圧電源装置用カルバート配置図



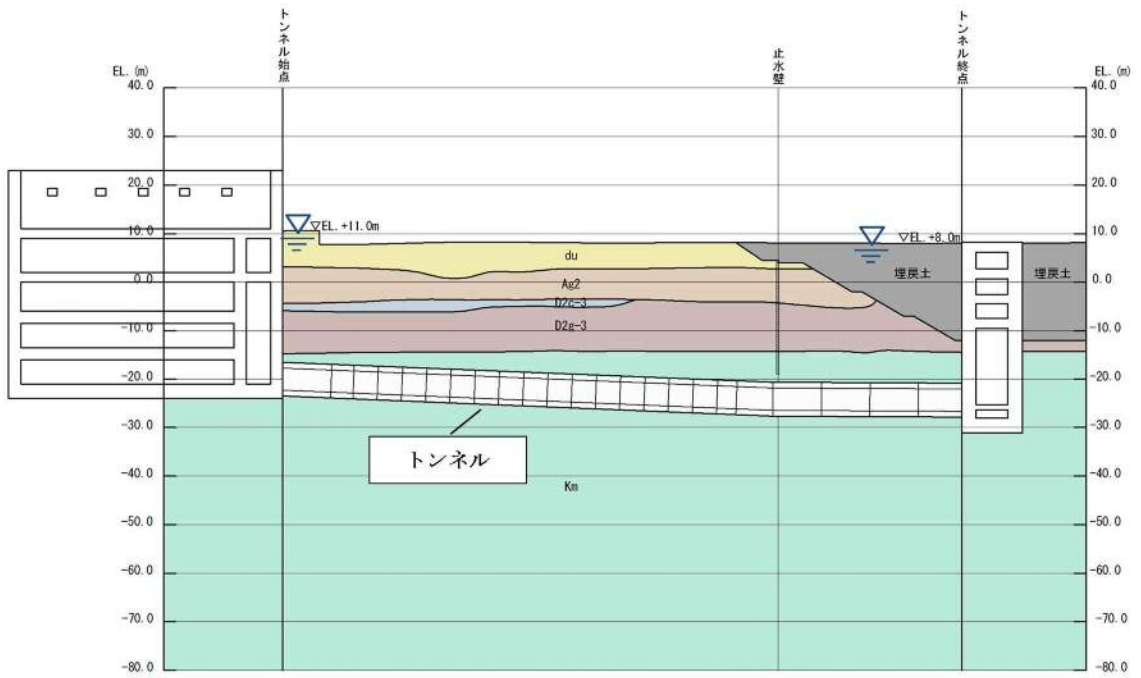


図 3-3-3 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）縦断面図

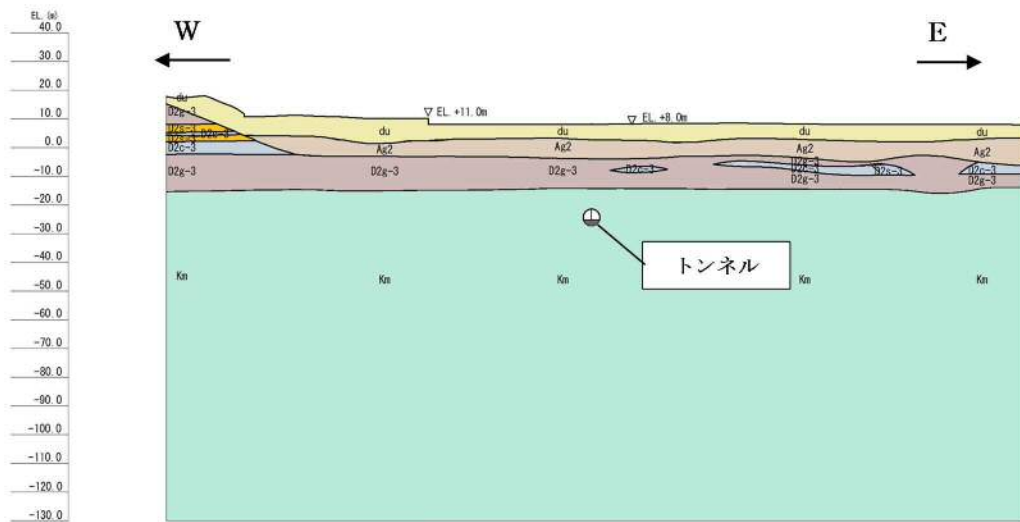


図 3-3-4 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）横断面図



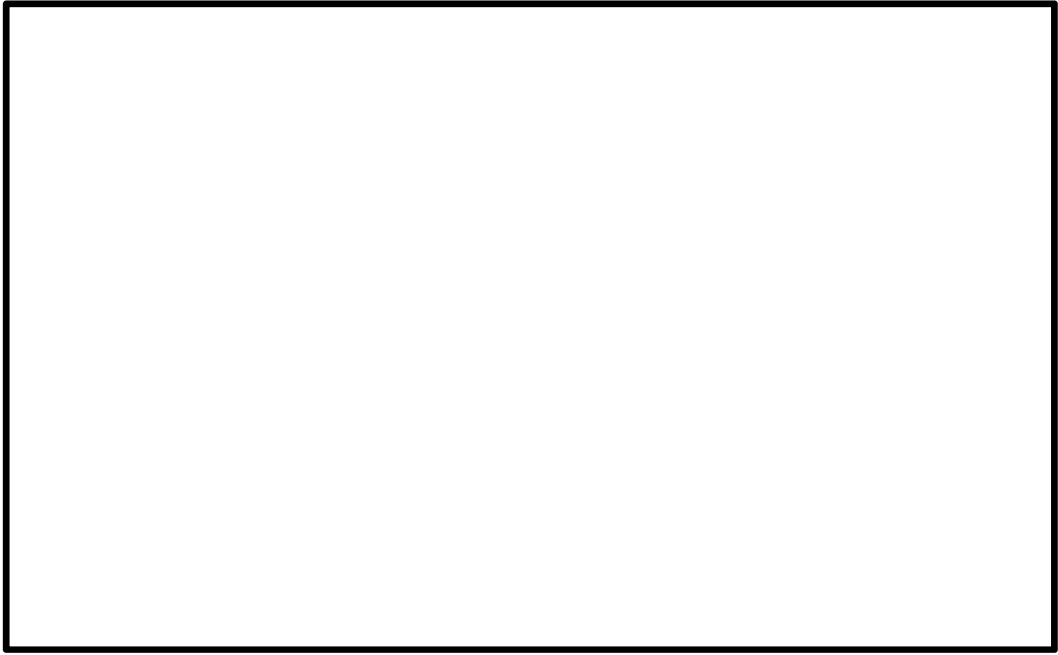


図 3-3-5 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）  
施工目地の割り付け図

## b. 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）【線状構造物】

図 3-3-6 に常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の配置図，図 3-3-7 及び図 3-3-8 にカルバート部の平面図及び断面図を示す。

内空幅約 2m，内空高さ約 3m の軽油カルバートは，断面変化もほとんどなく直線である。また，杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されるため，強軸断面方向の曲げの影響をほとんど受けない。一方，内空幅約 12m，内空高さ約 3m の水電気カルバートは，内空寸法はほぼ一様であるが屈曲部（隅角部）を有するため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として，弱軸断面方向のせん断変形や強軸断面方向の曲げ変形への影響が想定される。

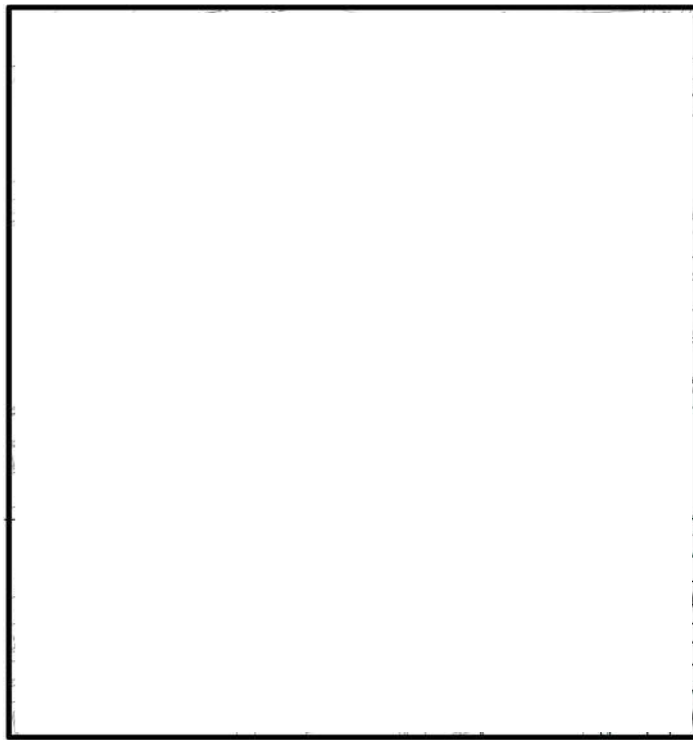


図 3-3-6 常設代替高圧電源装置用カルバート配置図

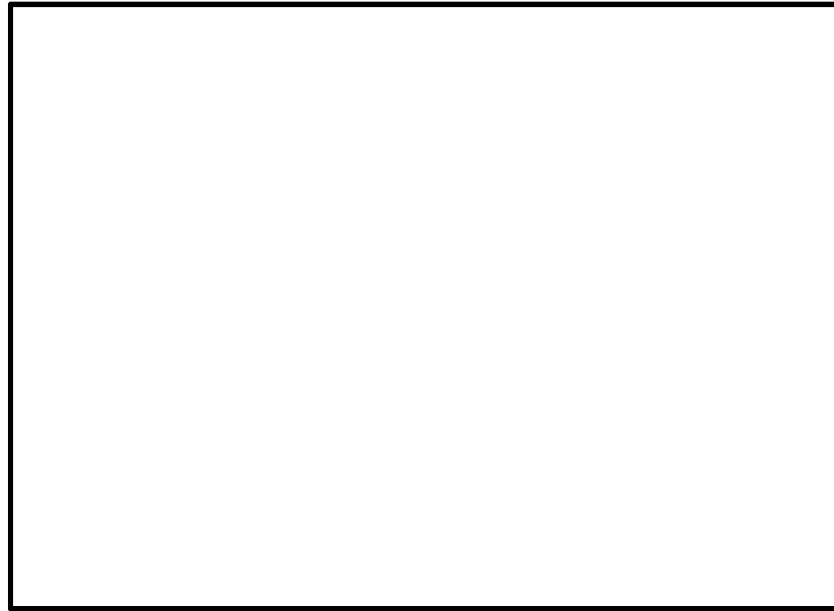


図 3-3-7 常設代替高圧電源装置用カルバート  
(カルバート部) 平面図

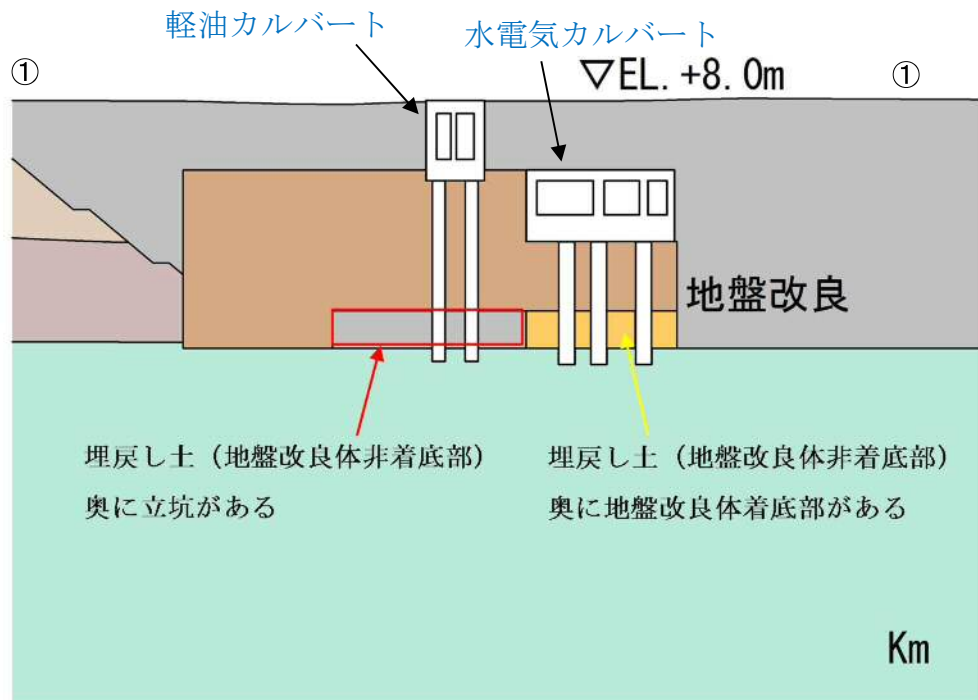


図 3-3-8 常設代替高圧電源装置用カルバート  
(カルバート部) 断面図 (①-①' 断面)

c. 常設低圧代替注水系配管カルバート【線状構造物】

図 3-3-9 及び図 3-3-10 に常設低圧代替注水系配管カルバートの平面図及び断面図を示す。

当該構造物は、断面変化もほとんどなく直線である。また、人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されるため、強軸断面方向の曲げの影響をほとんど受けない。

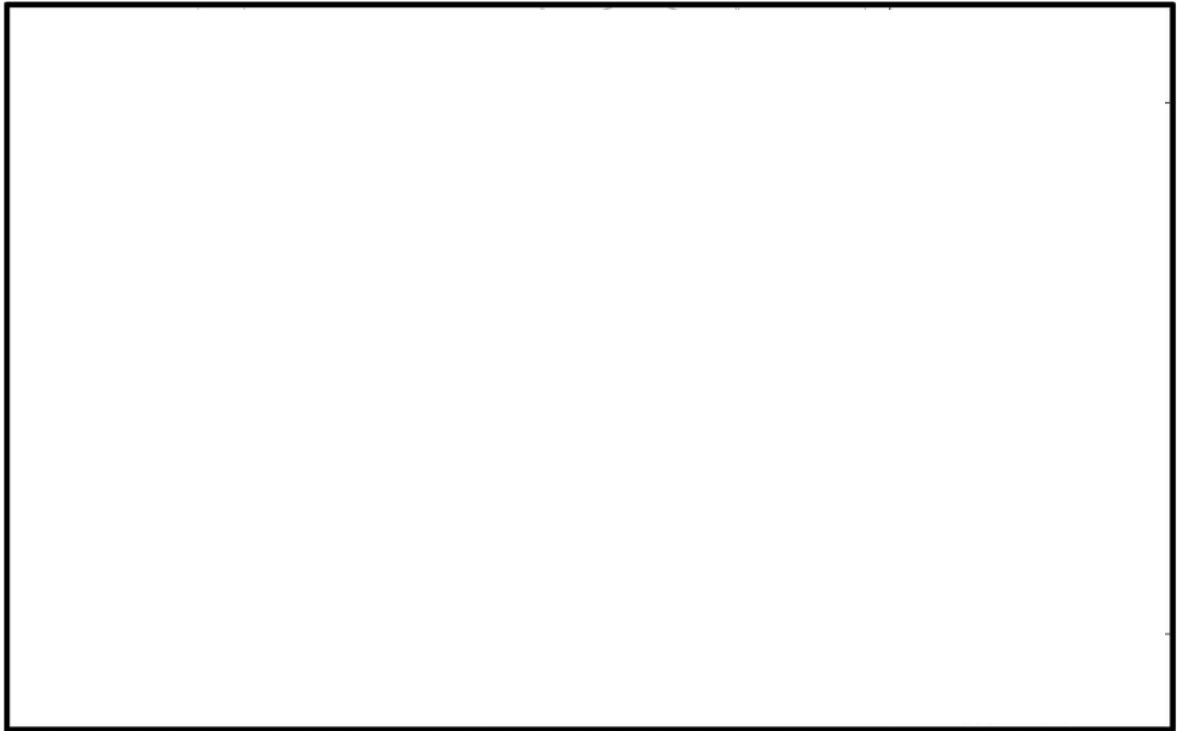


図 3-3-9 常設低圧代替注水系配管カルバート平面図

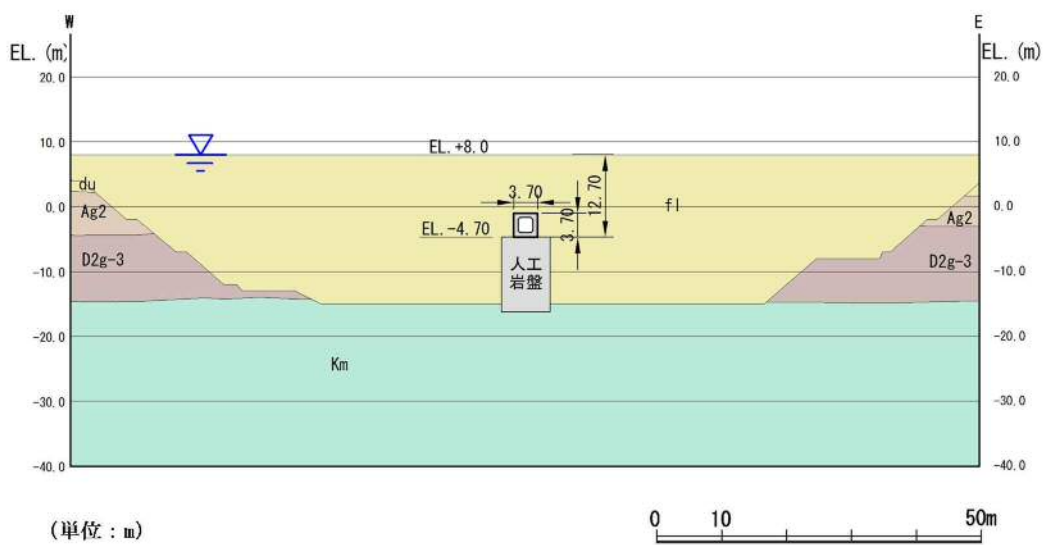


図 3-3-10 常設低圧代替注水系配管カルバート断面図（東西断面）

d. 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート【線状構造物】

図 3-3-11, 図 3-3-12 及び図 3-3-13 に格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの平面図及び断面図を示す。

当該構造物は、断面変化があり屈曲部を有するため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸断面方向のせん断変形や強軸断面方向の曲げ変形への影響が想定される。

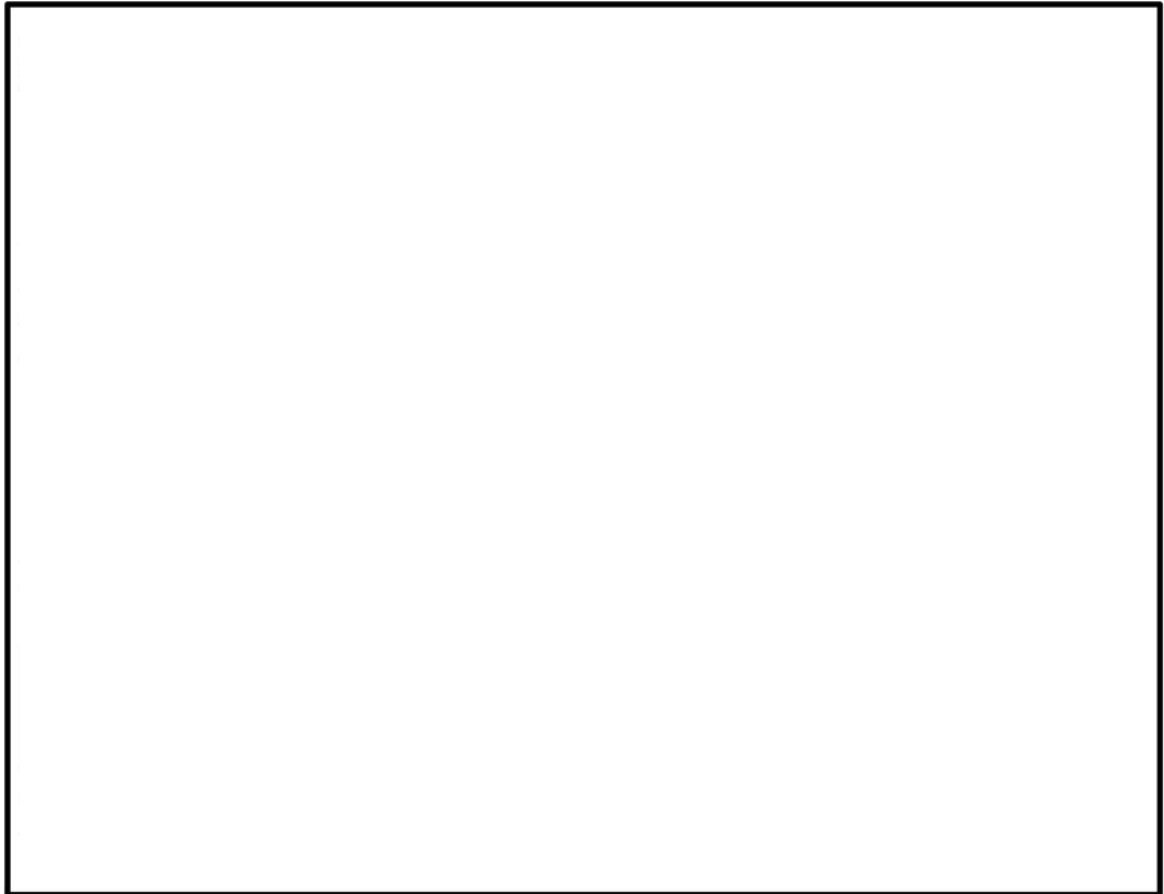


図 3-3-11 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート平面図

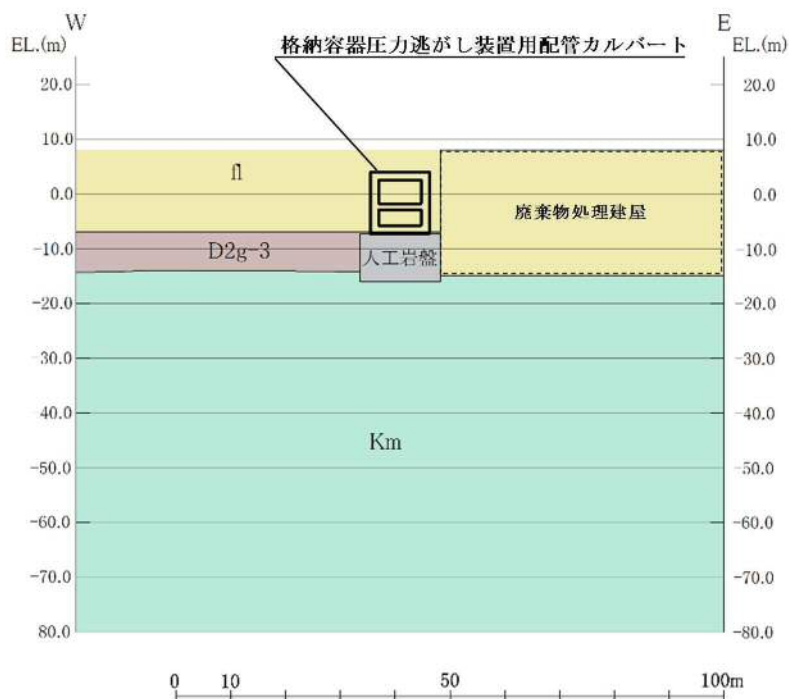


図 3-3-12 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート  
断面図 (A-A断面)

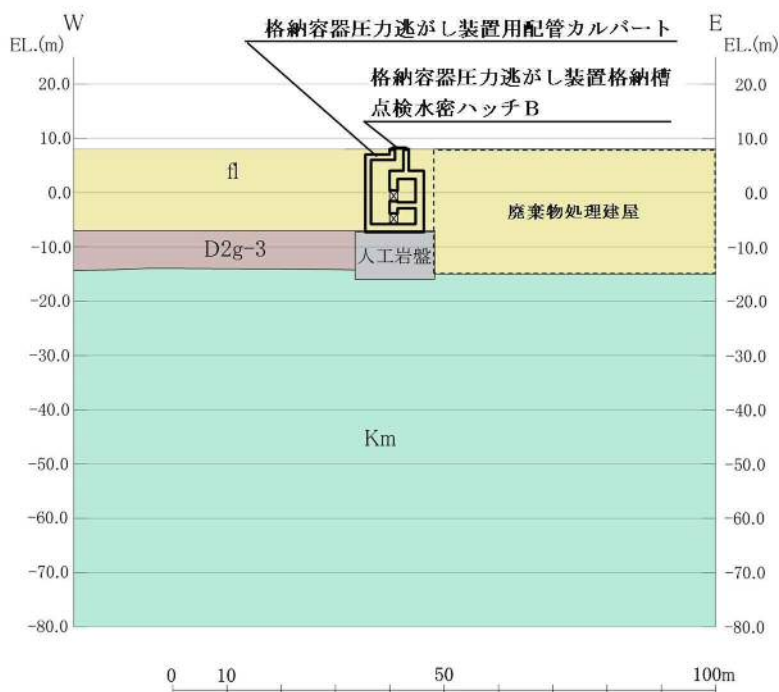


図 3-3-13 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート  
断面図 (D-D断面)

e. 土留鋼管矢板【線状構造物】

図 3-3-14 及び図 3-3-15 に土留鋼管矢板の平面図及び断面図を示す。

各鋼管矢板は、継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており、軸方向の断面係数は、法線直角方向と比べて大きいことから、明確な強軸断面方向である。そのため、強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さいため、強軸断面方向の曲げの影響をほとんど受けない。



図 3-3-14 土留鋼管矢板の平面図

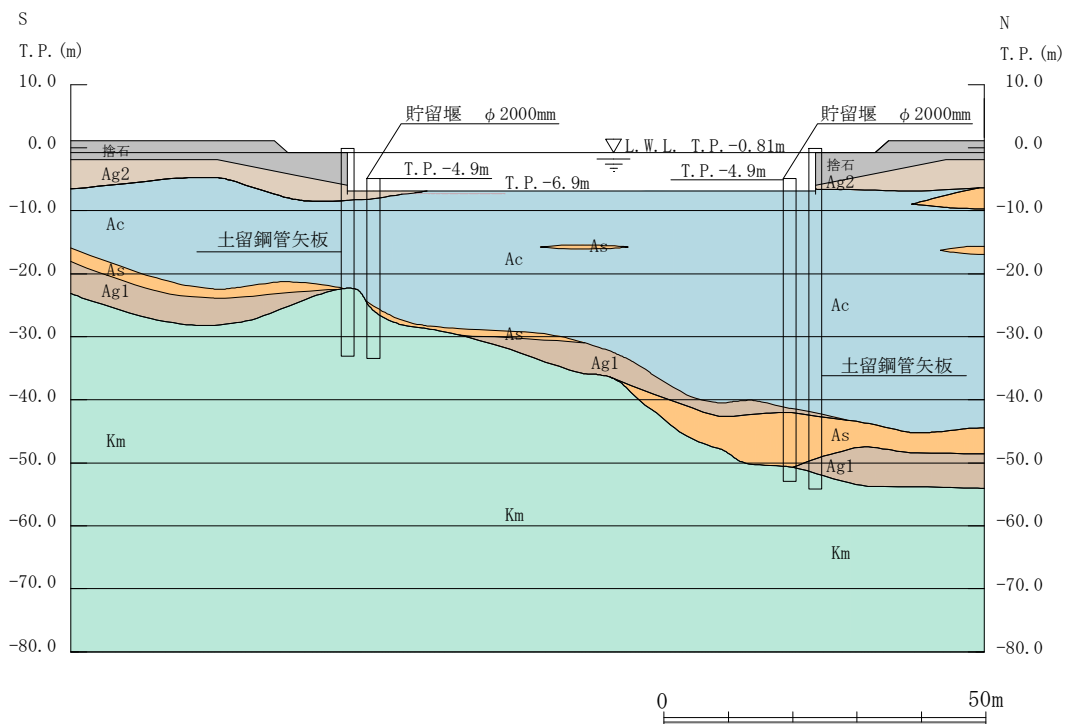


図 3-3-15 土留鋼管矢板の断面図 (NS-1)

線状構造物として分類した常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）及び格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは、構造物の配置上、屈曲部を有する。線状構造物の屈曲部では、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸断面方向のせん断変形や強軸断面方向の曲げ変形への影響が想定される。

以上のことから、常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）及び格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートについて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する。



(5) 従来設計手法の妥当性の確認

a. 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）

常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）【水電気カルバート】の従来設計では、表 3-3-4 に示す通り、屈曲部における 3 次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する構造部材及び南方に位置する常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部））を期待せず、保守的に評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計となっている。また、常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）は、杭及び地盤改良体を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されるため、躯体が底面で拘束されていることから、屈曲部における強軸断面方向の曲げの影響もほとんど受けない。

上記の通り、常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の屈曲部の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さいと考えられるが、表 3-3-4 に示す通り、評価対象断面に対して直交する方向に動土圧が作用する妻壁があることから、3.3.2 における影響評価候補施設として選定する。

表 3-3-4 評価対象断面に与える 3 次元的影响  
 (常設代替高压電源装置用カルバート)

	常設代替高压電源装置用カルバート (カルバート部)
屈曲部における 3 次元的影响拘束効果	
評価対象断面に対 して直交する方向 に動土圧が作用す る妻壁	

NT2 補② V-2-12 R2

b. 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの従来設計では、表 3-3-5 に示す通り、屈曲部における 3 次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する構造部材）を期待せず、保守的に評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計となっている。また、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは、人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されるため、躯体が底面で拘束されていることから、屈曲部における強軸断面方向の曲げの影響もほとんど受けない。

しかし、小規模ながら、表 3-3-5 に示す通り、評価対象断面に対して直交する方向に動土圧が作用する妻壁があることから、3.3.2 における影響評価候補施設として選定する。

表 3-3-5 評価対象断面に与える 3 次元的な影響  
(格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート)

	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート
屈曲部における 3 次元的な拘束効果	
評価対象断面に対して直交する方向に動土圧が作用する妻壁	

### 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

3.3.1の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討すべき構造物として、構造及び作用荷重の観点から、箱型構造物、線状構造物である常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）及び格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート並びに鋼管杭基礎を抽出した。

また、後述する「3.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備」にて影響評価を検討すべき構造物として抽出された、箱型構造物である構内排水路逆流防止設備 出口側集水柵（上部工）及び鋼管杭基礎である鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（下部工）、防潮扉2基礎、構内排水路逆流防止設備 出口側集水柵（下部工）についても構造及び作用荷重が同様であることから、本章以降で合わせて評価を行う。

箱型構造物、線状構造物である常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）及び格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートのうち、主たる荷重を受ける部位である妻壁の面積が最も大きい常設代替高圧電源装置置場を代表構造物として選定し、影響評価を行う。また、既設構造物であることを考慮し、その次に妻壁の面積が大きい取水構造物についても、代表構造物として選定し、影響評価を行う。表 3-3-6(1)に代表構造物の選定結果を示す。

鋼管杭基礎については、鋼管杭の材料、孔径、杭間隔、長さ及び周辺地盤の状況が施設毎に異なり、定性的に代表構造物を選定することが困難であるため、各施設の耐震評価対象断面における鋼管杭の照査値（水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果）に基づき代表構造物を選定し、影響評価を行う。表 3-3-6(2)に鋼管杭基礎の代表構造物の選定結果を示す。同表より、防潮扉2基礎の鋼管杭の曲げ軸力照査について影響評価を行う。

図 3-3-16 から図 3-3-22 に各構造物の概要図を示す。

表 3-3-6(1) 代表構造物の選定結果 (その 1)

施設区分	構造物 (施設) 名	妻壁面積	選定結果	選定理由
箱型 構造物	取水構造物	約305m <sup>2</sup>	○	妻壁面積が大きい
	常設代替高圧電源装置置場	約1220m <sup>2</sup>	○	妻壁面積が大きい
	緊急時対策所用発電機用燃料油タンク基礎	約26m <sup>2</sup>		
	可搬型設備用軽油タンク基礎 (西側) ・ (南側)	約45m <sup>2</sup>		
線状 構造物	常設代替高圧電源装置用カルバート (カルバート部)	約44m <sup>2</sup>		
	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート	約41m <sup>2</sup>		
箱型 構造物	* 構内排水路逆流防止設備 出口側集水榭 (上部工)	約17m <sup>2</sup>		

\* 津波防護施設

表 3-3-6(2) 表 代表構造物の選定結果 (その 2)

構造形式	構造物 (施設) 名	照査値		選定結果	選定理由
		曲げ軸力照査	せん断力照査		
鋼管杭 基礎	取水構造物	0.33	0.68		
	屋外二重管 (基礎)	0.72	0.21		
	常設代替高圧電源装置用カルバート (カルバート部)	0.36	0.25		
	緊急時対策所用発電機用燃料油タンク基礎	0.70	0.23		
	可搬型設備用軽油タンク基礎	0.54	0.18		
	津波防護施設	鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 (下部工)	0.67	0.33	
	防潮扉 2 基礎	0.74	0.24	○	照査値が最大
	構内排水路逆流防止設備 出口側集水榭 (下部工)	0.69	0.16		

(1) 取水構造物 【箱型構造物の代表】

図 3-3-16 から図 3-3-19 に取水構造物の平面図及び断面図を示す。



図 3-3-16 取水構造物  
平面図

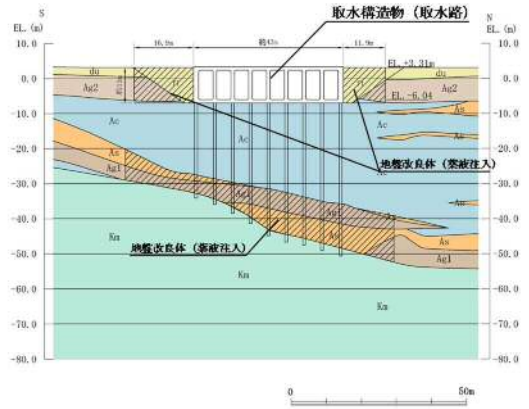


図 3-3-17 取水構造物  
縦断面図 (①-①断面)

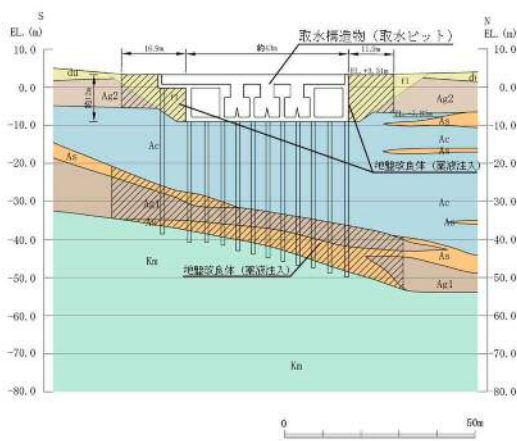


図 3-3-18 取水構造物  
縦断面図 (④-④断面)

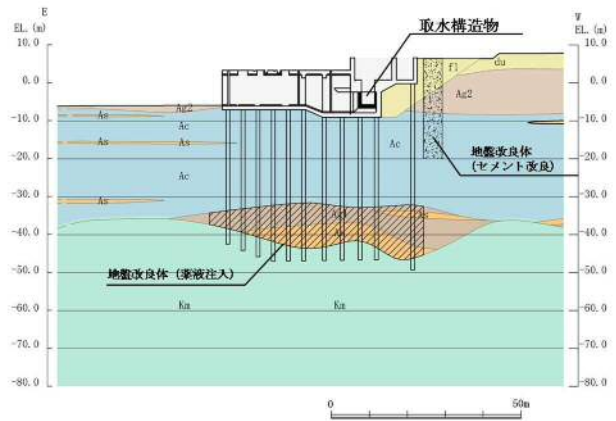


図 3-3-19 取水構造物  
縦断面図 (⑥-⑥断面)

(2) 常設代替高圧電源装置置場 【箱型構造物の代表】

図 3-3-20 及び図 3-3-21 に常設代替高圧電源装置置場の断面図を示す。

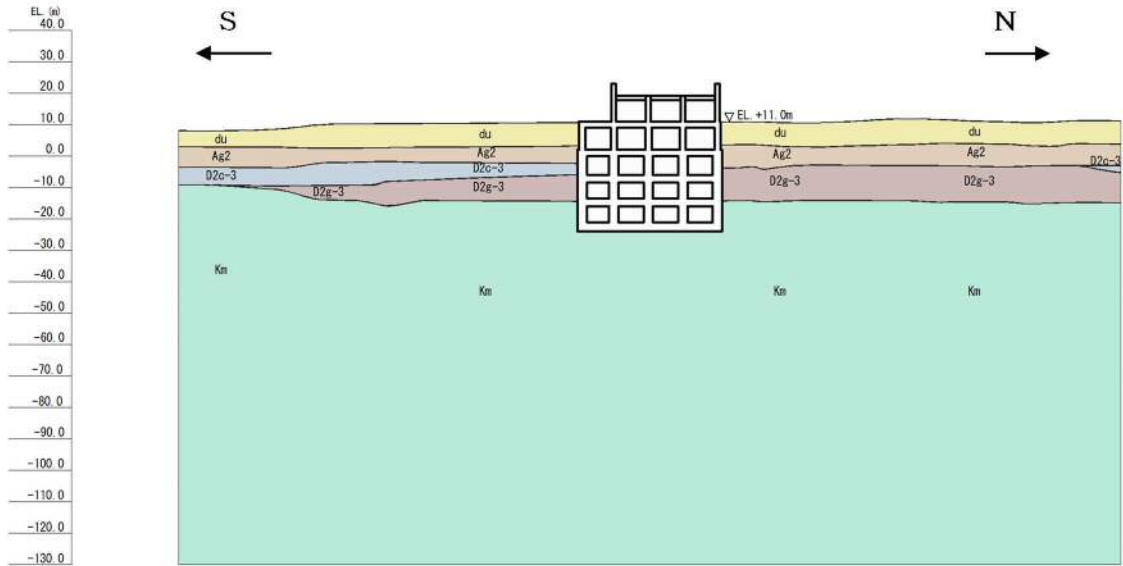


図 3-3-20 常設代替高圧電源装置置場断面図（東西断面）

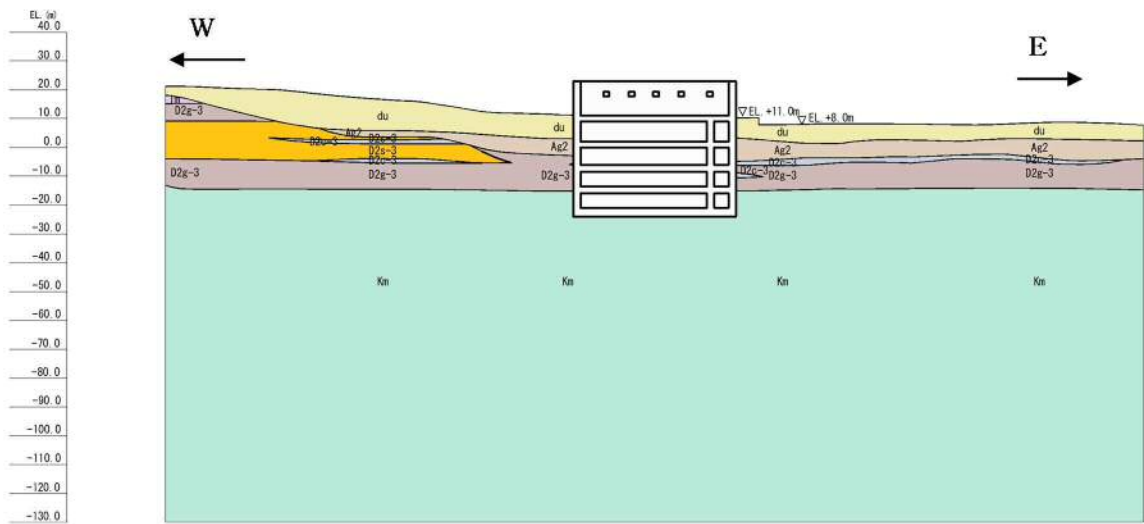


図 3-3-21 常設代替高圧電源装置置場断面図（南北断面）

(3) 防潮扉 2 基礎【鋼管杭基礎の代表】

図 3-3-22 に防潮扉 2 基礎の断面図を示す。

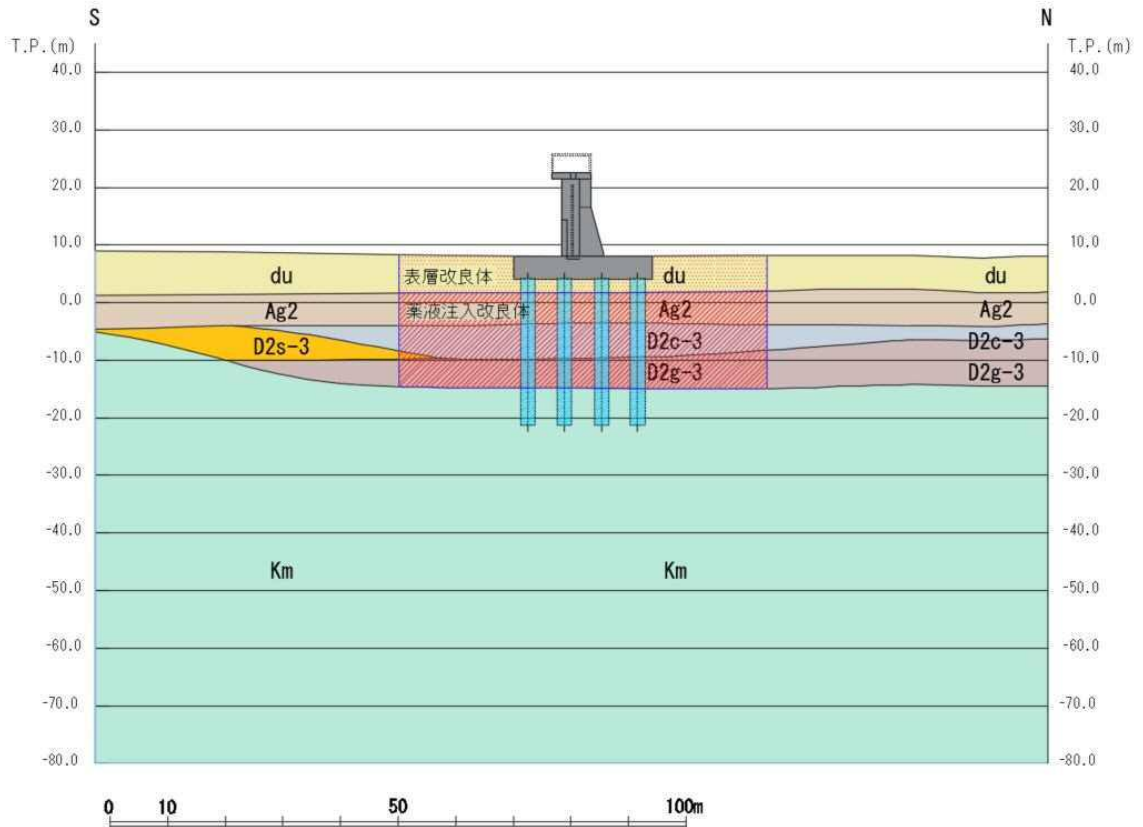


図 3-3-22 防潮扉 2 基礎断面図



### 3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

#### (1) 評価内容（取水構造物及び常設代替高圧電源装置置場）

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、箱型構造物の弱軸断面方向（評価対象断面）と強軸断面方向（評価対象断面に直交する断面）におけるそれぞれの2次元の地震応答解析にて、互いに干渉し合う断面力や応力を選定し、弱軸断面方向加振における部材照査において、強軸断面方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸断面方向加振については、箱型構造物の隔壁・側壁が、強軸断面方向加振にて耐震壁としての役割を担うことから、当該構造部材を耐震壁と見なし、「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説—許容応力度設計法—（日本建築学会，1999）」（以下「RC基準」という。）に準拠し耐震評価を実施する。

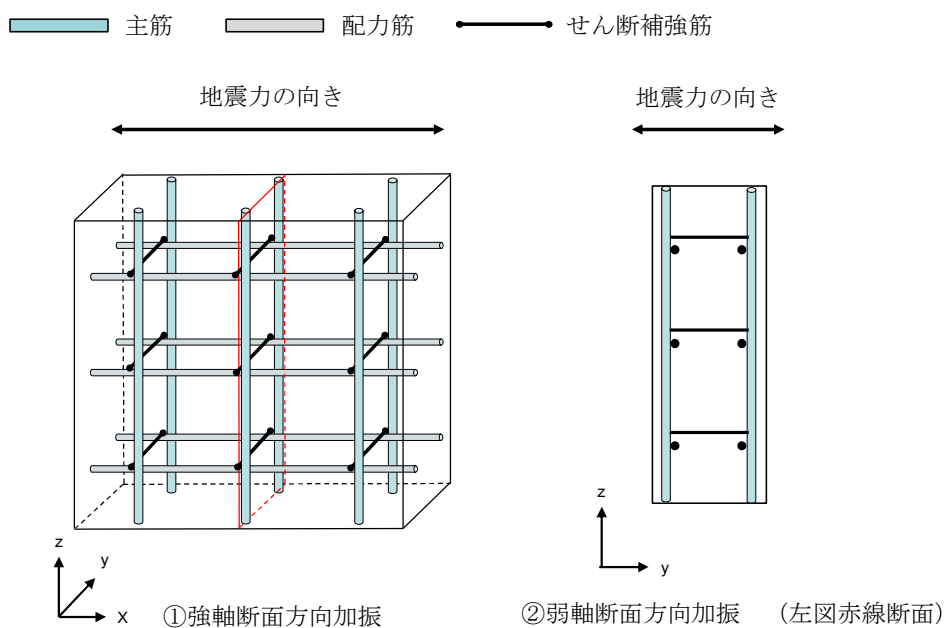
RC基準では、耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して、コンクリートのみで負担できるせん断耐力と、鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって、壁部材の生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば、鉄筋によるせん断負担は無く鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

一方、強軸断面方向加振にて生じるせん断力を、箱型構造物の隔壁・側壁のコンクリートのみで負担できず、鉄筋に負担させる場合、図3-3-23に示す通り、強軸断面方向加振にて発生する側壁・隔壁の主筋の発生応力が、弱軸断面方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

したがって、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においては、強軸断面方向加振にて発生する応力を、弱軸断面方向における構造部材の照査に付加することで、その影響の有無を検討する。

なお、弱軸断面方向及び強軸断面方向の地震応答解析では、保守的に両方とも基準地震動 $S_s$ を用いる。

図3-3-24に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価フローを示す。



		①強軸断面方向加振	②弱軸断面方向加振	備考
断面力	My (y軸まわりの曲げモーメント)	△	×	
	Mx (x軸まわりの曲げモーメント)	×	○	
	Nz (鉛直方向軸力)	○	○	互いに干渉する可能性あり
	Nzx (zx平面内せん断)	○	×	
	Qz (z方向面外せん断)	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

(○：発生する可能性あり，△：発生する可能性があるが極めて軽微，×：発生しない)

図 3-3-23 強軸断面方向加振及び弱軸断面方向加振において発生する断面力・応力

○強軸断面方向での地震応答解析及び部材照査

○弱軸断面方向での地震応答解析及び部材照査

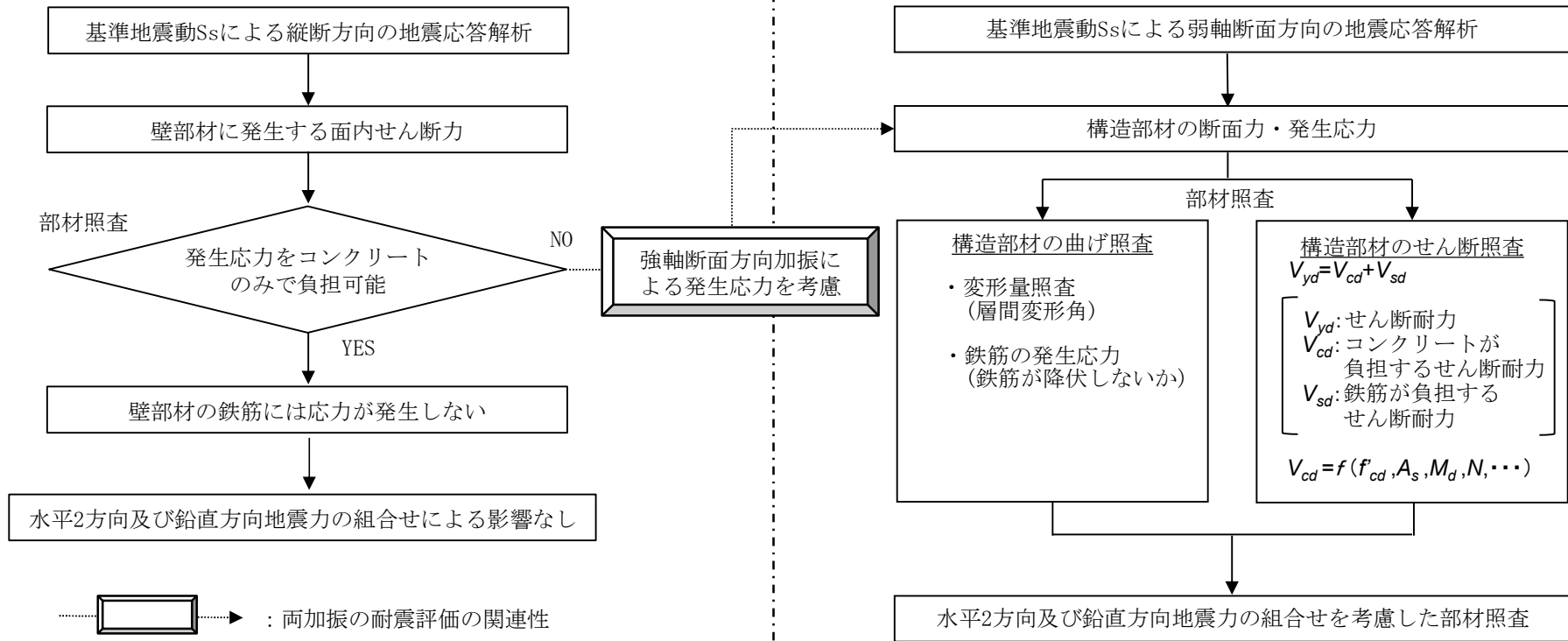


図 3-3-24 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

(2) 評価条件（取水構造物）

a. 強軸断面方向の地震応答解析

取水構造物の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる地盤剛性及び液化化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

有効応力解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。また、強軸断面方向における構造部材（壁部材）については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999）」を参考に、以下の式で求まる許容せん断力（ $Q_A$ ）を許容限界とする。

水平荷重を受ける耐震壁の許容水平せん断力  $Q_A$  は（1）式による。

$$Q_A = r t l f_s \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $r$ ：開口に対する低減率で、(2)式の  $r_1$  と  $r_2$  のうちいずれか小さい方による。

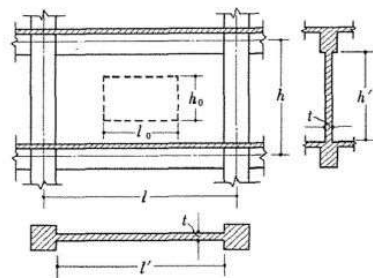
$$r_1 = 1 - \frac{l_0}{l}$$

$$r_2 = 1 - \sqrt{\frac{h_0 l_0}{A U}} \dots \dots \dots (2)$$

} (適用範囲  $\sqrt{\frac{h_0 l_0}{A U}} \leq 0.4$ )

記号

- $t$  : 壁板の厚さ
- $l$  : 壁板周辺の柱中心間距離
- $h$  : 壁板中心の梁中心間距離
- $l_0$  : 開口部の長さ
- $h_0$  : 開口部の高さ
- $l'$  : 壁板の内法長さ
- $h'$  : 壁板の内法高さ
- $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度



イ. 構造部材

構造部材としてのスラブ、底版及び側壁を線形はり要素で、耐震壁の効果を期待する側壁及び隔壁を平面ひずみ要素でモデル化する。

ロ. 地盤

地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-3-8 に示す解析ケース (①～⑥) のうち、弱軸断面方向の耐震評価において、評価対象構造部材のせん断照査結果が最も厳しくなる解析ケースを選定する。

表 3-3-8 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	①	②	③	④	⑤	⑥
解析ケース	原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース	地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

その他の地盤条件については、添付書類「V-2-2-6 取水構造物の地震応答計算書」に基づく。

ハ. 減衰特性

減衰特性については、添付書類「V-2-2-6 取水構造物の地震応答計算書」に基づく。

b. 解析モデル

取水構造物の強軸断面方向における解析モデルを図 3-3-25 に示す。

イ. 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

ロ. 境界条件

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

ハ. 構造物のモデル化

構造部材のうち鉄筋コンクリート部材は線形はり要素として、鋼管杭は非線形はり要素としてモデル化する。

ニ. 地盤のモデル化

有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

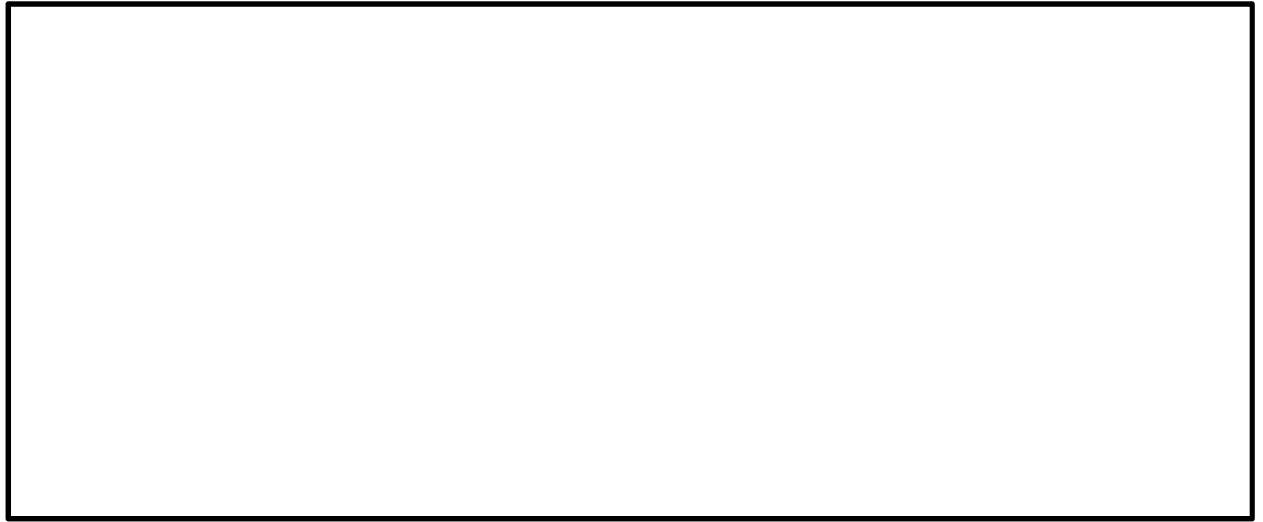


図 3-3-25 取水構造物の地震応答解析モデル（強軸断面方向）

(4) 評価条件（常設代替高圧電源装置置場）

a. 東西方向断面（強軸方向断面）の地震応答解析

常設代替高圧電源装置置場の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる地盤剛性及び液化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

有効応力解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。また、強軸断面方向における構造部材（壁部材）については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—（日本建築学会，1999）」を参考に、以下の式で求まる許容せん断力（ $Q_A$ ）を許容限界とする。

水平荷重を受ける耐震壁の許容水平せん断力  $Q_A$  は（1）式による。

$$Q_A = r t l f_s \dots \dots \dots (1)$$

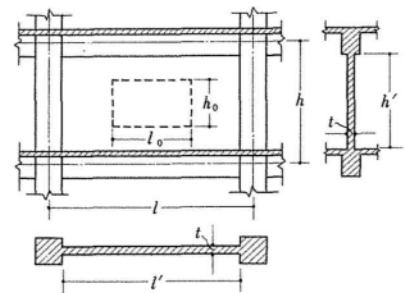
ただし、 $r$ ：開口に対する低減率で、(2)式の  $r_1$  と  $r_2$  のうちいずれか小さい方による。

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= 1 - \frac{l_o}{l} \\ r_2 &= 1 - \sqrt{\frac{h_o l_o}{M I}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

$$\left( \text{適用範囲 } \sqrt{\frac{h_o l_o}{M I}} \leq 0.4 \right)$$

記号

- $t$  : 壁板の厚さ
- $l$  : 壁板周辺の柱中心間距離
- $h$  : 壁板中心の梁中心間距離
- $l_o$  : 開口部の長さ
- $h_o$  : 開口部の高さ
- $l'$  : 壁板の内法長さ
- $h'$  : 壁板の内法高さ
- $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度



イ. 構造部材

構造部材としてのスラブ，底版及び側壁を線形はり要素で，耐震壁の効果을期待する側壁及び隔壁を平面ひずみ要素でモデル化する。

ロ. 地盤

地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため，表 3-3-9 に示す解析ケース (①～⑥) のうち，弱軸断面方向 (南北方向断面) の耐震評価において，評価対象構造部材のせん断照査結果が最も厳しくなる解析ケースを選定する。

表 3-3-9 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	①	②	③	④	⑤	⑥
解析ケース	原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース	地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

その他の地盤条件については，添付書類「V-2-2-22-1 常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」に基づく。

ハ. 減衰特性

減衰特性については，添付書類「V-2-2-22-1 常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」に基づく。

b. 解析モデル

常設代替高压電源装置置場東西方向における解析モデルを図 3-3-26 に示す。

イ. 解析領域

地震応答解析モデルは，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

ロ. 境界条件

地震応答解析時の境界条件については，有限要素解析における半無限地盤を模擬するため，粘性境界を設ける。



ハ. 構造物のモデル化

構造部材は、線形はり要素としてモデル化する。

ニ. 地盤のモデル化

有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。



図 3-3-26 常設代替高圧電源装置置場の地震応答解析モデル（東西方向断面）

(5) 評価内容（防潮扉 2 基礎）

鋼管杭基礎の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、弱軸断面方向（評価対象断面）と強軸断面方向（評価対象断面に直交する断面）におけるそれぞれの 2 次元有効応力解析にて評価した同要素及び同時刻の断面力を組み合わせて用いる。これにより算定した水平 2 方向及び鉛直方向地震力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。

本評価においては、鋼管杭基礎の水平 1 方向の照査において最も厳しい結果であった曲げ軸力照査にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査の算定式を以下に示す。

$$R_{max} = \max\left(\frac{\sigma(t)_1}{\sigma_a}, \frac{\sigma(t)_2}{\sigma_a}\right)$$
$$\sigma(t)_1 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{弱})}{A}$$
$$\sigma(t)_2 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{強})}{A}$$

$M(t)_{弱}$ ：時刻  $t$  における弱軸断面方向の曲げモーメント

$M(t)_{強}$ ：時刻  $t$  における強軸断面方向の曲げモーメント

$N(t)_{弱}$ ：時刻  $t$  における弱軸断面の軸力

$N(t)_{強}$ ：時刻  $t$  における強軸断面の軸力

$Z$ ：鋼管杭の断面係数      $A$ ：鋼管杭の断面積

$\sigma(t)$ ：時刻  $t$  における曲げ軸応力      $\sigma_a$ ：短期許容応力度      $R_{max}$ ：時刻歴最大照査値

(6) 評価条件（防潮扉 2 基礎）

防潮扉 2 基礎の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる 2 次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

地震応答解析については、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

有効応力解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用する。

鋼管杭は、線形梁要素によりモデル化する。集水枡の底版及び縦断面に垂直な側壁を線形梁要素によりモデル化し、縦断面に平行な面内壁を平面ひずみ要素によりモデル化する。

地盤は、地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-3-10 に示す解析ケース（①～⑥）のうち、弱軸断面方向の耐震評価において、鋼管杭の曲げ軸力照査値が最も厳しくなる解析ケースを選定する。

その他の条件については、添付書類「V-2-10-2-2-3 防潮扉の耐震性についての計算書」に基づく。

表 3-3-10 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮(+1σ)
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性(-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

鋼管杭の許容限界を表 3-3-11 に示す。

表 3-3-11 鋼管杭の許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
鋼管杭 (SM570)	短期許容引張応力度 $\sigma_{sa1}$	382.5
	短期許容圧縮応力度 $\sigma_{sa1}$	
	短期許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	217.5

### 3.3.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価結果

#### (1) 構造物の耐震評価に与える影響（取水構造物）

##### a. 強軸断面方向の壁部材に係る評価

表 3-3-12 に強軸断面方向にて壁部材に発生するせん断応力及び許容せん断応力を、図 3-3-27 に評価対象部材位置を示す。なお、同表に示すせん断応力は、各部材の弱軸断面方向においてせん断力に対する照査値が最大となる検討ケース及び時刻での応力である。

取水構造物の強軸断面方向にて発生するせん断力は、取水路で最大 3.216 N/mm<sup>2</sup>、取水ピットで最大 4.354 N/mm<sup>2</sup>である。

一方、RC 基準によるコンクリートの許容せん断応力は、1.03 N/mm<sup>2</sup>であることから、壁部材に発生するせん断力はコンクリートの許容せん断力を上回る。

従って、強軸断面方向において壁部材に発生するせん断力はコンクリートと鉄筋の両方で分担することとなることから、強軸断面方向にて壁部材に生じる応力は、弱軸断面方向の耐震評価に与える影響について検討する。

表 3-3-12 強軸断面方向のせん断力に対する評価結果（検討ケース④：S<sub>s</sub>-D1）

構造区分	部材	高さ	発生時刻 (s)	せん断応力	開口による 低減率	許容値	照査値
		H (m)		$\tau_{xy}$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	
取水路	側壁	9.850	22.85	1.690	1.00	1.03	1.65
	隔壁	9.850	54.17	3.216	1.00	1.03	3.13
取水ピット	突出部	3.010	54.23	4.354	1.00	1.03	4.23
	側壁	8.750	44.52	1.975	1.00	1.03	1.92
	隔壁	6.060	54.17	2.098	1.00	1.03	2.04

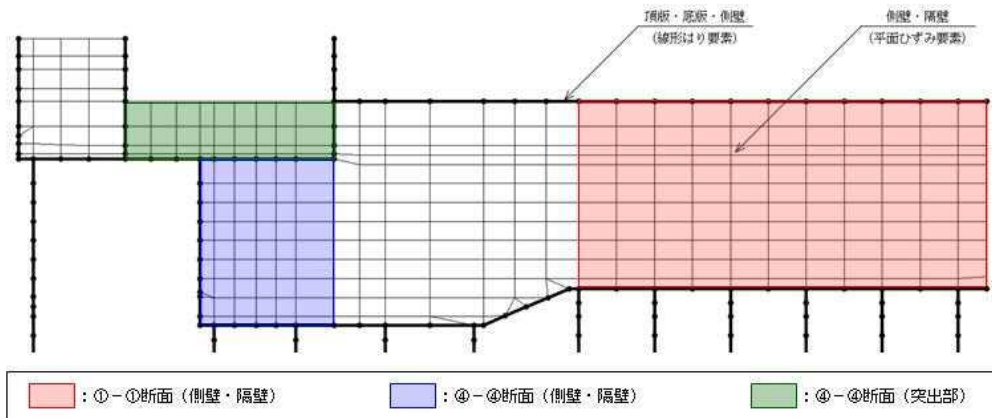


図 3-3-27 評価対象部材位置（強軸断面方向）

## b. 弱軸断面方向の壁部材に係る評価（せん断力に対する照査）

強軸断面方向を考慮した弱軸断面方向のせん断力に対する照査は、強軸断面方向で評価対象部材に発生する軸力を考慮した照査とする。なお、強軸断面方向にて発生する軸力は、弱軸断面方向のせん断力に対する照査において照査値最大となる検討ケース及び時刻で発生する軸力とする。

強軸断面方向で発生する壁部材の軸力は、照査位置の鉛直応力に評価対象壁部材の厚さを乗じて算出する。なお、照査位置の鉛直応力は、壁部材のヤング係数に鉛直ひずみを乗じたものとする。

$$N' = \text{鉛直応力} \times \text{壁部材の厚さ}$$

$$= E \times \varepsilon_y \times t$$

$N'$  : 壁部材に発生する軸力

$E$  : 壁部材のヤング係数 (25,900,000 (kN/m<sup>2</sup>))

$\varepsilon_y$  : せん断照査位置における鉛直ひずみ

$t$  : 評価対象の壁部材の厚さ

強軸断面方向で発生する壁部材の軸力を表 3-3-13 に示す。弱軸断面方向の最大せん断力照査値に対応して、強軸断面方向にて発生している軸力は全部材において圧縮方向であることを確認した。

表 3-3-13 強軸断面方向で発生する壁部材の軸力

断面	照査位置		鉛直ひずみ *1	部材厚さ (m)	軸力 (kN/m) *1	引張 / 圧縮
取水路	側壁	上	-4.664E-06	1.500	-181.2	圧縮
		下	-1.192E-05	1.500	-463.0	圧縮
	隔壁	上	-3.355E-06	1.000	-86.9	圧縮
		下	-7.567E-06	1.000	-196.0	圧縮
取水ピット	突出部	下	-3.077E-07	1.000	-8.0	圧縮
	側壁	上	-5.597E-06	1.500	-217.4	圧縮
		下	-1.295E-05	1.500	-503.1	圧縮
	隔壁	上	-1.564E-05	1.200	-486.0	圧縮
		下	-2.247E-05	1.200	-698.3	圧縮

\*1 引張(+), 圧縮(-)

土木学会マニュアルに基づくせん断耐力評価式は、圧縮方向の軸力が大きいほどせん断耐力を大きく算定する式であり、上記の応力状態においては、弱軸断面方向において強軸断面方向で発生する圧縮方向の軸力を考慮しない方が保守側の評価となる。

以上の考察により、取水構造物のせん断力に対する照査について、水平2方向による影響は無い（現状の弱軸断面方向の評価は保守側である）ことを確認した。

c. 弱軸断面方向の壁部材に係る評価（曲げ軸力に対する照査）

強軸断面方向を考慮した弱軸断面方向の曲げ軸力に対する照査は、強軸断面方向で評価対象部材に発生する軸ひずみを考慮した照査とする。なお、強軸断面方向にて発生する軸ひずみは、弱軸断面方向の曲げ軸力に対する照査において照査値最大となる検討ケース及び時刻で発生する軸ひずみとする。

強軸方向断面に発生する軸ひずみを表 3-3-14 に示す。弱軸断面方向の最大曲げ軸力照査値に対応して、強軸断面方向にて発生している軸ひずみは全部材において圧縮方向であることを確認した。

表 3-3-14 強軸断面方向で発生する壁部材の軸ひずみ

断面	壁	軸ひずみ *1	引張 / 圧縮
取水路	側壁	-1.729E-05	圧縮
	隔壁	-1.830E-05	圧縮
取水ピット	突出部	-5.712E-05	圧縮
	側壁	-2.413E-05	圧縮
	隔壁	-3.915E-05	圧縮

\*1 引張(+), 圧縮(-)

取水構造物の鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する照査における許容限界はコンクリート圧縮縁ひずみ 1.0%に対応する曲率である。コンクリートの圧縮縁ひずみは曲げ（曲率）による圧縮ひずみと軸ひずみで構成されており、強軸断面方向にて発生する圧縮側の軸ひずみを考慮することで、許容限界がより小さく評価される可能性がある。よって、水平 1 方向の弱軸断面方向における曲げ軸力照査に対し、強軸断面方向にて発生する圧縮側の軸ひずみを考慮して許容限界を再設定する。

再設定した許容限界に対する、弱軸断面方向の曲げ軸力に対する照査結果を表 3-3-15 に示す。許容限界（コンクリート圧縮縁ひずみ 1.0%に対応する曲率）は若干小さくなったが、照査値は十分余裕のある結果である。

以上の計算結果により、取水構造物の曲げ軸力に対する照査について、水平 2 方向による影響は無い（現状の弱軸断面方向の評価との差異は軽微である。）ことを確認した。

表 3-3-15 強軸断面方向の軸ひずみを考慮した弱軸断面方向の曲げ軸力照査結果

断面	壁	部材中心からの高さ y [m]	発生時刻 [sec]	軸方向ひずみ *1 (横断) $\epsilon_a$	軸方向ひずみ *1 (縦断) $\epsilon_a$	軸方向ひずみ *1 (横断+縦断) $\epsilon_a$	曲率 $\phi_m$ [1/m]	構造解析係数 $\gamma_a$	曲率 $\phi_d$ [1/m]	曲率 $\phi_L$ [1/m] (圧縮ひずみ1%)	構造物係数 $\gamma_i$	照査値 $\gamma_i \cdot \phi_d / \phi_L$
取水路	側壁	0.750	58.64	-7.141E-06	-1.729E-05	-2.443E-05	-1.015E-03	1.2	-1.218E-03	1.330E-02	1.0	0.092
	隔壁	0.500	69.05	-1.205E-05	-1.830E-05	-3.035E-05	1.343E-03	1.2	1.612E-03	1.994E-02	1.0	0.081
取水ピット	突出部	0.500	54.23	-6.399E-07	-5.712E-05	-5.776E-05	8.000E-05	1.2	9.600E-05	1.988E-02	1.0	0.005
	側壁	0.750	44.53	5.546E-06	-2.413E-05	-1.859E-05	6.385E-04	1.2	7.662E-04	1.331E-02	1.0	0.058
	隔壁	0.600	54.21	-3.636E-05	-3.915E-05	-7.551E-05	-1.772E-03	1.2	-2.127E-03	1.654E-02	1.0	0.129

\*1 引張(+), 圧縮(-)

(2) 機器・配管系への影響（取水構造物）

(1)で示した通り，取水構造物の強軸断面方向にて発生する軸力を踏まえた弱軸断面方向のせん断力及び曲げ軸力に対する照査を確認した結果，各方向で発生する応力の連成による影響は小さいことを確認した。

また，水平2方向の地震力が床応答に与える影響については，構造体にねじれが発生する場合，応答に影響を与えと考えられるが，取水構造物の鉛直部材の配置状況より，地震力によるねじれは発生しない構造であるため，強軸断面方向の影響は弱軸断面方向に対して顕著な影響を及ぼさないと考えられる。従って，加速度応答についても，それぞれ独立と見なしても実用上は問題ないと判断できる。

以上のことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる機器・配管系への影響はないと考えられる。

(3) 構造物の耐震評価に与える影響（常設代替高压電源装置置場）

表 3-3-16 に東西方向加振により壁部材に発生するせん断応力及び許容せん断応力を、図 3-28 に評価対象部材の位置図を示す。なお、同表に示すせん断応力は、東西方向において、地中部及び地表部のせん断照査結果が最も厳しくなる時間のせん断ひずみを基に算定したものである。

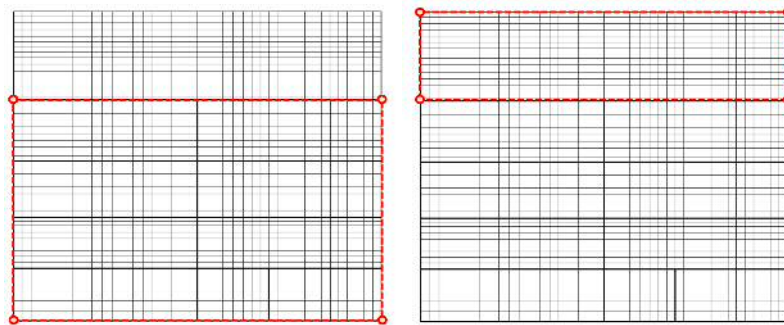
常設代替高压電源装置置場の東西方向加振にて発生するせん断力は、地中部で  $0.642\text{N/mm}^2$ 、地上部で  $0.186\text{N/mm}^2$  である。

一方、RC 基準によるコンクリートの許容せん断応力は、地中部で  $0.878\text{N/mm}^2$ 、地上部で  $1.134\text{N/mm}^2$  であることから、壁部材に発生するせん断力はコンクリートの許容せん断力を下回る。

従って、東西方向加振において壁部材に発生するせん断力はコンクリートのみで負担でき、壁部材の鉄筋には顕著な応力は発生しないことから、東西方向加振にて壁部材に生じるせん断力は、弱軸断面方向の耐震評価に影響を与えることはない。

表 3-3-16 せん断評価結果（検討ケース④： $S_s - D1$ ）

対象	高さ H(m)	発生時刻 (s)	せん断応力 $\tau_{xy}$ ( $\text{N/mm}^2$ )	開口による 低減率 r (-)	許容値 $\tau_a$	照査値 $\tau_{xy}/\tau_a$
地中部	32.500	53.88	0.642	0.65	0.878	0.73
地上部	13.000	53.89	0.186	0.84	1.134	0.16



地中部]

[地上部]

図 3-3-28 せん断ひずみを算定する際の対象節点



#### (4) 機器・配管系への影響（常設代替高圧電源装置置場）

(1)で示した通り、常設代替高圧電源装置置場における東西方向加振の影響は東西方向に対して影響を与えることはないため、加速度応答についても、それぞれ独立すると判断できる。

また、水平2方向の地震力が床応答に与える影響については、構造体にねじれが発生する場合、応答に影響を与えると考えられるが、常設代替高圧電源装置置場の鉛直部材の配置状況より、地震力によるねじれは発生しない構造であるため、東西方向加振の影響は南北方向に対して顕著な影響を及ぼさないと考えられる。従って、加速度応答についても、それぞれ独立と見なしても実用上は問題ないと判断できる。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる機器・配管系への影響はないと考えられる。

(5) 構造物の耐震評価に与える影響（防潮扉2基礎）

鋼管杭の曲げ軸力照査結果を表 3-3-17 に示す。鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 3-3-17 鋼管杭の曲げ軸力照査結果

考慮した 軸力	M <sub>弱</sub> (kN・m)	M <sub>強</sub> (kN・m)	軸力 (kN)	応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	時刻歴最大照査値	
弱軸断面方向の 軸力を用いた場合	39890	22909	8150	319	382.5	0.84	0.84
強軸断面方向の 軸力を用いた場合	39890	22909	7319	316	382.5	0.83	

※ 曲げモーメント、軸力は絶対値表記

M<sub>弱</sub>：弱軸断面方向の曲げモーメント

M<sub>強</sub>：強軸断面方向の曲げモーメント

(6) 機器・配管系への影響（防潮扉2基礎）

地中の鋼管杭の地震時挙動は、その周辺地盤とおおむね同等であることから、水平2方向を考慮した応力の連成による鋼管杭の応答特性への影響が、上部構造物及びそこに上載される機器・配管系に与える影響は極めて軽微であると考えられる。

また、(5)にて示した通り、防潮扉2基礎の鋼管杭は、水平2方向を考慮した応力の連成に対しても、地震時にその健全性が確保できることを確認していることから、その上部構造については、機器・配管系に影響を及ぼすような有意な変形は生じない。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる機器・配管系への影響はないと考えられる。

### 3.3.6 まとめ

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

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

水平2方向の地震力の影響を受ける可能性があると判断した施設のうち、箱型構造物については、強軸断面方向加振の影響は、弱軸断面方向に対して影響を与えることはないため、加速度応答についても、それぞれ独立すると判断できる。また、構造物の鉛直部材の配置状況より、地震力によるねじれは発生しない構造であるため、強軸断面方向の影響は弱軸断面方向に対して顕著な影響を及ぼさないと考えられる。従って、加速度応答についても、それぞれ独立と見なしても実用上は問題ないと判断できる。

水平2方向の地震力の影響を受ける可能性があると判断した部位のうち、鋼管杭基礎の地震時挙動については、その周辺地盤に支配されることが一般的であることから、水平2方向を考慮した応力の連成による鋼管杭の応答特性への影響が、上部構造物及びそこに上載される機器・配管系に与える影響は極めて軽微であると考えられる。

以上のことから、屋外重要土木構造物及び津波防護施設に対する水平2方向及び鉛直方向地震力が、そこに上載される機器・配管系が有する耐震性に影響を与えないことを確認した。

### 3.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備

#### 3.4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

##### (1) 評価対象となる施設の整理

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する対象施設の設置位置図を図3-4-1に示す。各対象施設において、添付書類「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」の「4.1 建物・構築物」、「4.2 機器・配管系」、「4.3 屋外重要土木構造物」の何れかの区分に基づき設計するものについて、その方針を表3-4-1に示す。

津波防護施設のうち鋼製防護壁、鉄筋コンクリート防潮壁、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁、防潮扉2基礎、構内排水路逆流防止設備1～9、出口側集水枡、貯留堰については、「4.3 屋外重要土木構造物」の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針に基づき影響評価を実施する。なお、評価対象施設の構造的な特徴を踏まえ、本章以降に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を整理する。

津波防護施設のうち防潮扉1, 2, 放水路ゲート及び構内排水路逆流防止設備、浸水防止設備並びに津波監視設備については、「4.2 機器・配管系」の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針に基づき影響評価を実施する。

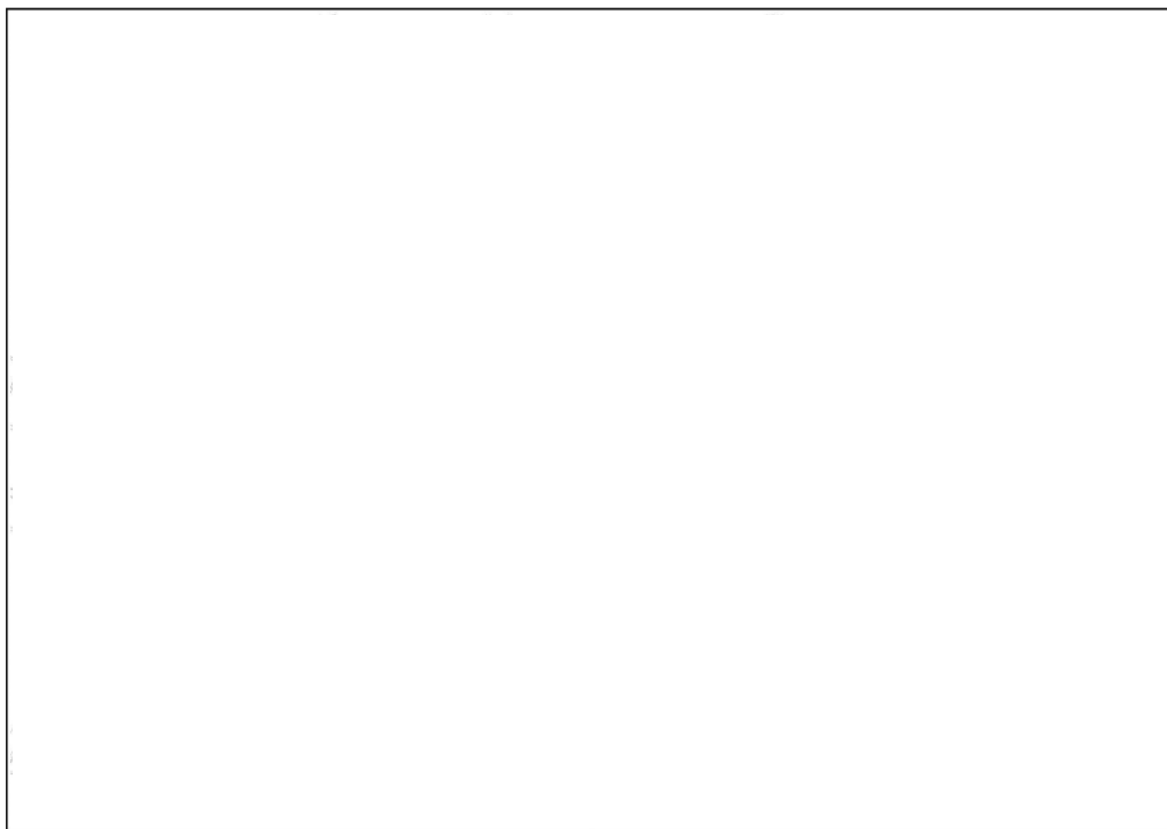


図3-4-1 津波防護施設位置図

表 3-4-1 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の分類

分類	施設、設備名称	区分
津波防護 施設	防潮堤（鋼製防護壁）	「4.3 屋外重要 土木構造物」の設 計方針に基づく。 影響評価について は本章以降に整理 する。 津波防護施設のうち 防潮扉 1, 2, 放 水路ゲート, 構内 排水路逆流防止設 備は, 「4.2 機 器・配管系」の設 計方針に基づく。
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）*1	
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））	
	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	
	防潮扉 1, 2	
	防潮扉 2 基礎*2	
	放水路ゲート	
	構内排水路逆流防止設備 1~9	
	出口側集水枡*3	
貯留堰		
浸水防止 設備	取水路点検用開口部浸水防止蓋	「4.2 機器・配 管系」の設計方針 に基づく
	海水ポンプグラウンド dren 排出口逆止弁	
	取水ピット空気抜き配管逆止弁	
	海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋	
	S A用海水ピット開口部浸水防止蓋	
	緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋	
	緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋	
	緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋	
	緊急用海水ポンプグラウンド dren 排出口逆止弁	
	緊急用海水ポンプ室床 dren 排出口逆止弁	
	放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋	
	格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ	
	常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ	
	常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ	
常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉		
貫通部止水処置		
津波監視 設備	取水ピット水位計	「4.2 機器・配 管系」の設計方針に 基づく
	潮位計	

\*1 防潮堤扉 1 の間接支持構造物

\*2 防潮堤扉 2 の間接支持構造物

\*3 構内排水路逆流防止設備 1~9 の間接支持構造物

(2) 構造形式の分類

津波防護施設は、その構造形式より 1) 鋼製防護壁のような鋼殻構造物、2) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工、鉄筋コンクリート防潮壁の上部工、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮壁及び放水路、貯留堰、貯留堰取付護岸のような線状構造物、3) 鉄筋コンクリート防潮壁の下部工、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎のような地中連続壁基礎、4) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工、防潮扉 2 基礎、出口側集水柵の下部工のような鋼管杭基礎、並びに 5) 出口側集水柵の上部工のような箱型構造物の 5 つに大別される。

津波防護施設の構造形式を表 3-4-2 に示す。

表 3-4-2 津波防護施設の構造形式

対象構造物	構造形式				
	1) 鋼殻構造物	2) 線状構造物	3) 地中連続壁基礎	4) 鋼管杭基礎	5) 箱型構造物
鋼製防護壁	○				
鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）		○			
鉄筋コンクリート防潮壁（下部工）			○		
鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮壁及び放水路		○			
鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）（地中連続壁基礎）			○		
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）		○			
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（下部工）				○	
防潮扉 2 基礎				○	
構内排水路逆流防止設備 出口側集水柵（上部工）					○
構内排水路逆流防止設備 出口側集水柵（下部工）				○	
貯留堰		○			
貯留堰取付護岸		○			

(3) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

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

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

表 3-4-3 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重	作用荷重のイメージ (注)
㊦動土圧及び動水圧 従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	<p>㊦：従来設計手法の評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>動土圧及び動水圧</p>
㊧摩擦力 周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	<p>㊦：従来設計手法の評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>摩擦力</p>
㊨慣性力 躯体に作用する慣性力	<p>㊦：従来設計手法の評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>慣性力</p>

(4) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 3-4-4 に、3.4.4 (2) で整理した構造形式毎に、3.4.4 (3) で整理した荷重作用による影響程度を示す。

3.3.4 (3) で整理した荷重のうち④摩擦力や⑤慣性力は、⑦動土圧及び動水圧と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、⑦動土圧及び動水圧による影響を考慮する。

鋼殻構造物である鋼製防護壁については、上部工は地上構造物であることから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する面に⑦動土圧及び動水圧による荷重は作用しない。しかし、基礎深さ及び地盤条件が異なり形状が複雑な下部工を有していることから、3 次元的な応答特性が想定される。

線状構造物については、その構造上の特徴として、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さない若しくは妻側（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧は作用しない。

連続地中壁については、従来設計手法における評価対象断面に対して平行する面に⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用し、また、上部工との接合面に上部工から伝わる荷重が作用する。

鋼管杭基礎については、互いに直交する断面に対して⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用し、また、上部工から伝わる荷重が作用する。

箱型構造物については、妻壁等を有することから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧が作用する。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、鋼殻構造物、地中連続壁基礎、鋼管杭基礎、箱型構造物を抽出する。

ここで、鋼殻構造物及び地中連続壁基礎については、構造上の特徴を踏まえ、構造解析において水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。



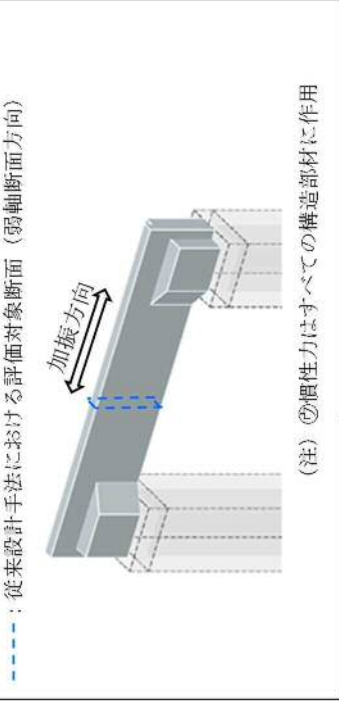
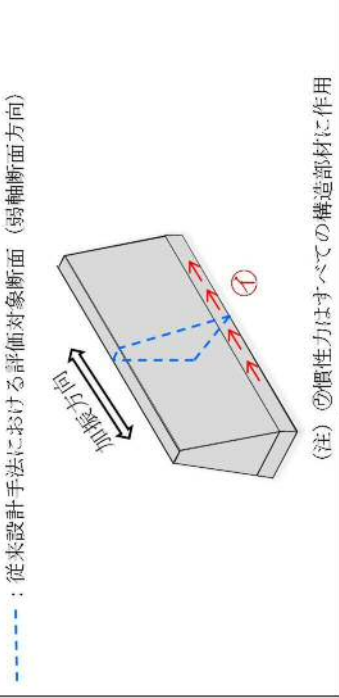
<p>3.4.4 (1) で整理した構造形式の分類</p>	<p>1) 鋼殻構造物 (鋼製防護壁)</p> 	<p>2) 線状構造物 (鉄筋コンクリート防潮壁の上部工等)</p> 												
<p>3.4.4 (2) で整理した荷重の作用状況</p>	<table border="1"> <tr> <td>⑦ 動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>⑧ 摩擦力</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>⑨ 慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>	⑦ 動土圧及び動水圧	作用しない	⑧ 摩擦力	作用しない	⑨ 慣性力	全ての部材に作用	<table border="1"> <tr> <td>⑦ 動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>⑧ 摩擦力</td> <td>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用</td> </tr> <tr> <td>⑨ 慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>	⑦ 動土圧及び動水圧	作用しない	⑧ 摩擦力	従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用	⑨ 慣性力	全ての部材に作用
⑦ 動土圧及び動水圧	作用しない													
⑧ 摩擦力	作用しない													
⑨ 慣性力	全ての部材に作用													
⑦ 動土圧及び動水圧	作用しない													
⑧ 摩擦力	従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用													
⑨ 慣性力	全ての部材に作用													
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</p>	<p>上部工には、従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向 (強軸断面方向) に⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用しないが、基礎深さ及び地盤条件が異なり形状が複雑な下部工を有しており、3次元的な応答特性が想定されるため影響大</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向 (強軸断面方向) に⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小</p>												
<p>抽出結果 (○: 影響検討実施)</p>	<p>○</p>	<p>×</p>												

表 3-4-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (1/3)

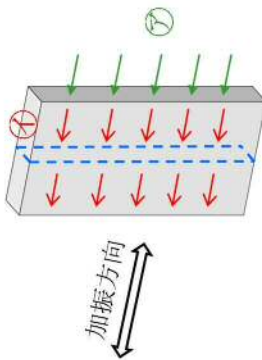
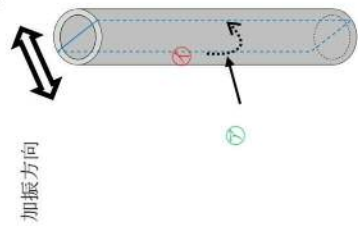
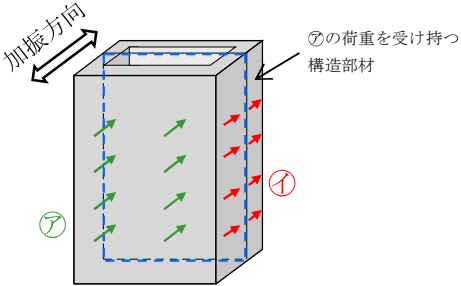
<p>3.4.1 (1) で整理した構造形式の分類</p>	<p>3) 地中連続壁基礎 (鉄筋コンクリート防潮壁下部工等)</p>  <p>-----: 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>(注) ⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>4) 鋼管杭基礎 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁下部工等)</p>  <p>-----: 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>(注) ⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p>
<p>3.4.1 (2) で整理した荷重の作用状況</p>	<p>⑦動土圧及び動水圧 従来設計手法における評価対象断面に対して平行する面に作用</p> <p>⑧摩擦力 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する面に作用</p> <p>⑨慣性力 全ての部材に作用</p>	<p>⑦動土圧及び動水圧 主に胴体部に作用</p> <p>⑧摩擦力 主に胴体部に作用</p> <p>⑨慣性力 全ての部材に作用</p>
<p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響度</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して、平行する面に⑦動土圧及び動水圧による荷重が、上部工との接合面に上部工から伝わる荷重が作用するため影響大</p>	<p>胴体部において、⑦動土圧及び動水圧による荷重、及び上部工からの荷重が作用するため影響大</p>
<p>抽出結果 (○：影響検討実施)</p>	<p>○</p>	<p>○</p>

表 3-4-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (2/3)

表 3-4-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (3/3)

3.4.1 (1) で整理した構造形式の分類	5) 箱型構造物 (出口集水桝の上部工)							
3.4.1 (2) で整理した荷重の作用状況	<p>----- : 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p>  <p>(注) ⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="1283 922 1982 1129"> <tr> <td data-bbox="1283 922 1547 1002">⑧動土圧及び動水圧</td> <td data-bbox="1547 922 1982 1002">加振方向に対して直交して配置される構造部材に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1283 1002 1547 1082">⑨摩擦力</td> <td data-bbox="1547 1002 1982 1082">加振方向に対して平行に配置される構造部材に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1283 1082 1547 1129">⑦慣性力</td> <td data-bbox="1547 1082 1982 1129">全ての部材に作用</td> </tr> </table>		⑧動土圧及び動水圧	加振方向に対して直交して配置される構造部材に作用	⑨摩擦力	加振方向に対して平行に配置される構造部材に作用	⑦慣性力	全ての部材に作用
⑧動土圧及び動水圧	加振方向に対して直交して配置される構造部材に作用							
⑨摩擦力	加振方向に対して平行に配置される構造部材に作用							
⑦慣性力	全ての部材に作用							
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有し、⑧動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大							
抽出結果 (○ : 影響検討実施)	○							

a. 鋼殻構造物  
 (a) 鋼製防護壁

図 3-4-2 に鋼製防護壁の概要図を示す。

当該構造物のうち上部工は、地上構造物であることから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧は作用しない。しかし、基礎深さ及び地盤条件が異なり形状が複雑な下部工を有しており、3次元的な応答特性が想定されるため、鋼製防護壁は水平2方向及び鉛直方向地震力による荷重を考慮した設計を行う。したがって、鋼製防護壁は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

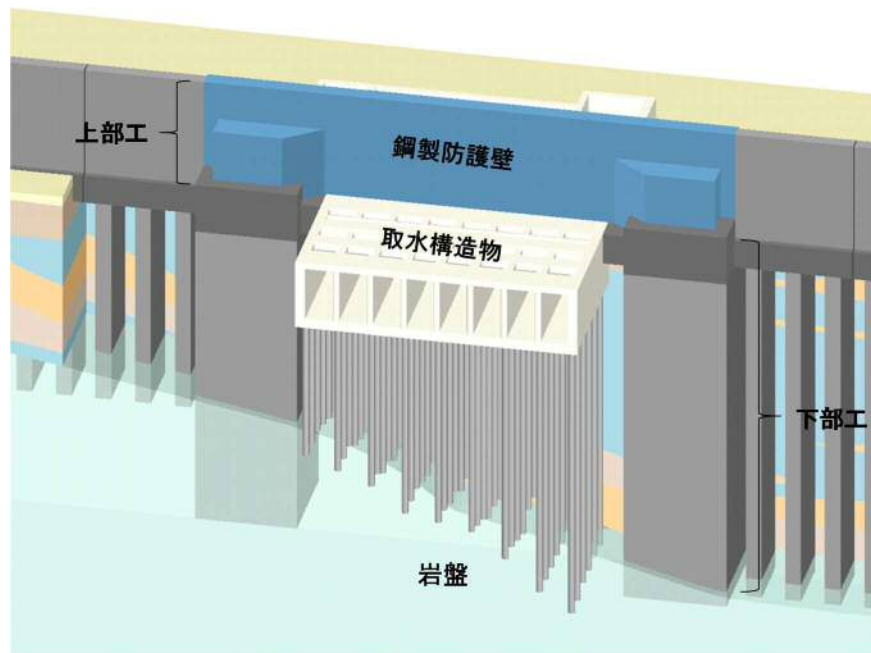


図 3-4-2 鋼製防護壁

b. 線状構造物

- (a) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工，鉄筋コンクリート防潮壁の上部工，鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮堤及び放水路

図 3-4-3，図 3-4-4 及び図 3-4-5 に鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工，鉄筋コンクリート防潮壁の上部工及び鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮堤及び放水路の防潮壁の概要図を示す。

当該構造物は，擁壁タイプの線状構造物であり，地上構造物であることから，従来設計手法における評価対象断面に対して直交する $\textcircled{A}$ 動土圧及び動水圧は作用しない。

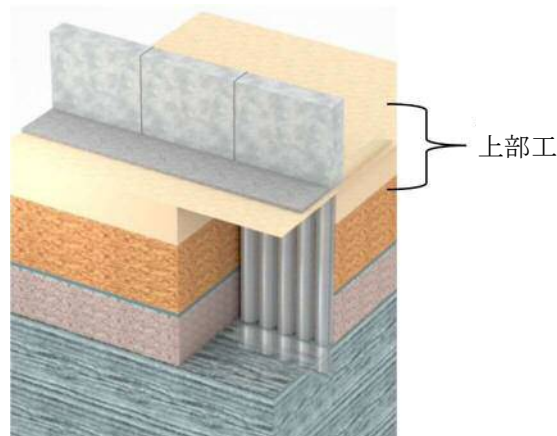


図 3-4-3 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

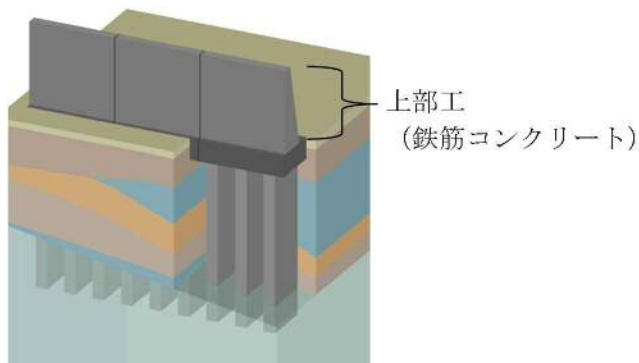


図 3-4-4 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

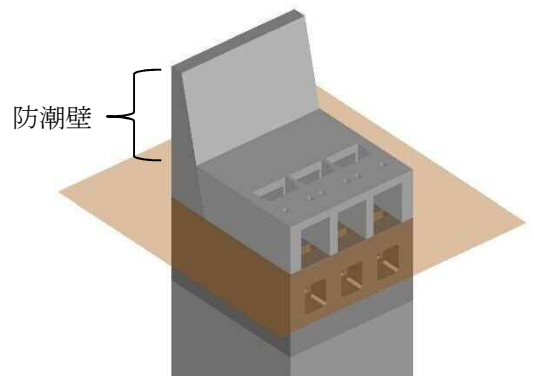


図 3-4-5 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮堤及び放水路

(b) 貯留堰

図 3-3-6, 図 3-3-7, 図 3-3-8 及び図 3-3-9 に貯留堰の平面図及び断面図を示す。

各鋼管矢板は、継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており、軸方向の断面係数は、法線直角方向と比べて大きいことから、明確な強軸断面方向である。そのため、強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さいため、強軸断面方向の曲げの影響をほとんど受けない。

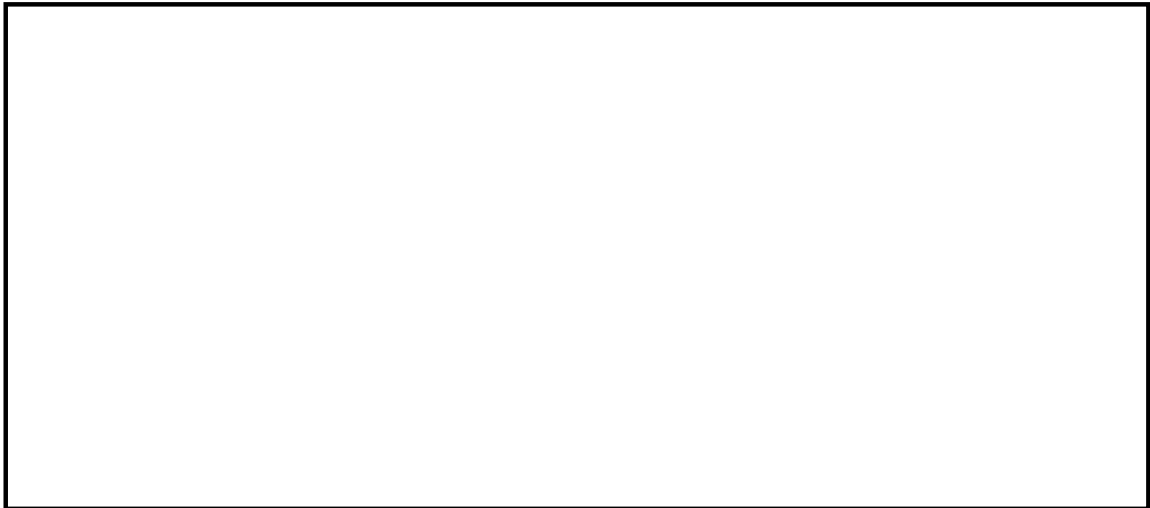


図 3-3-6 貯留堰の平面図

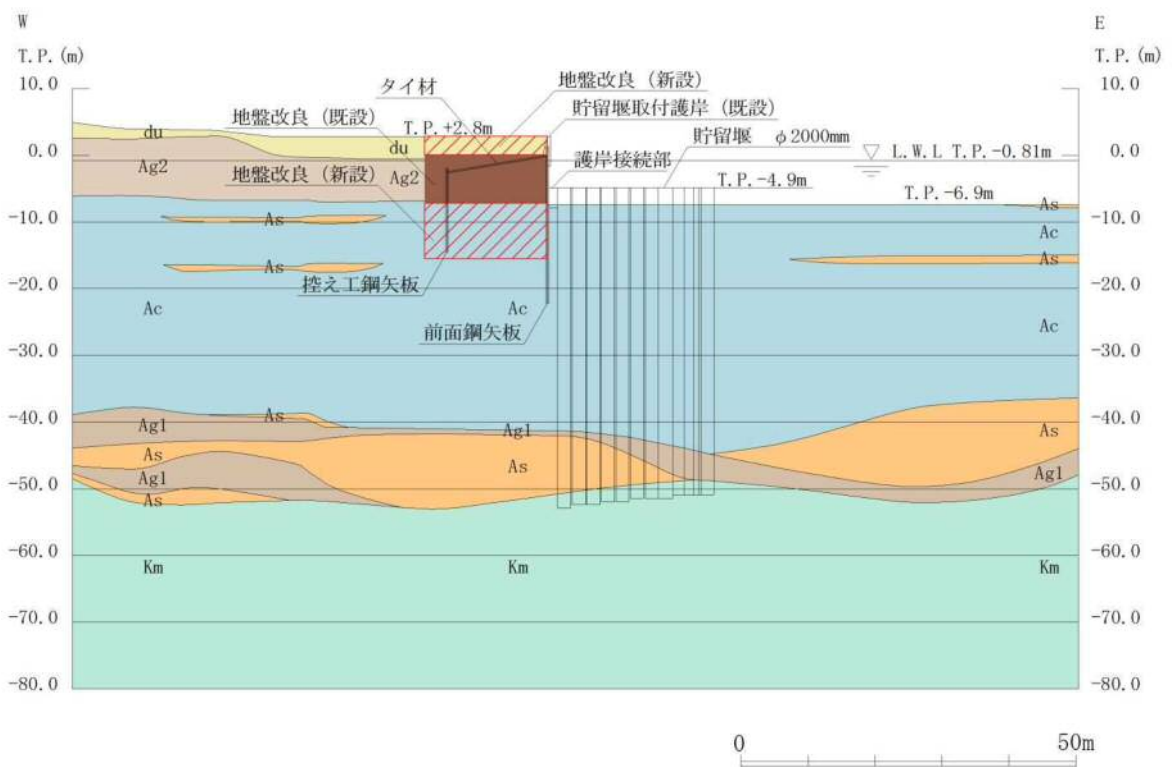


図 3-3-7 貯留堰の断面図 (EW-1)



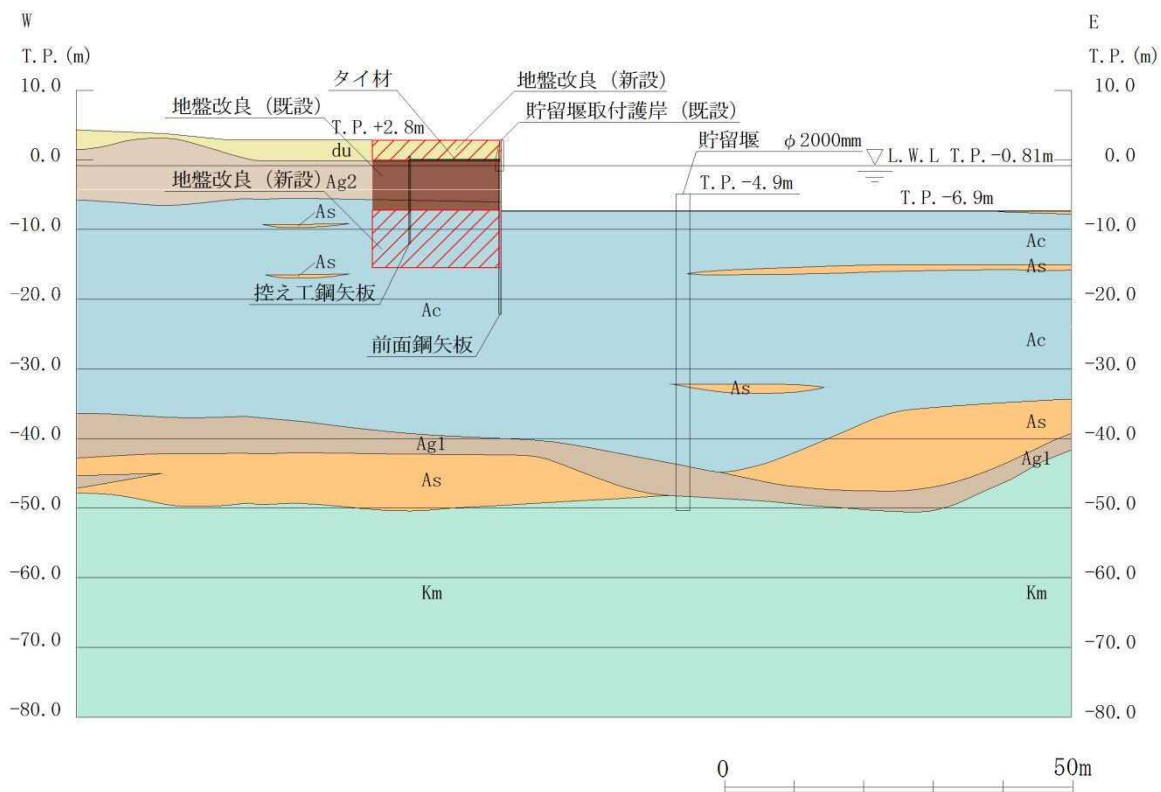


図 3-3-8 貯留堰の断面図 (EW-2)

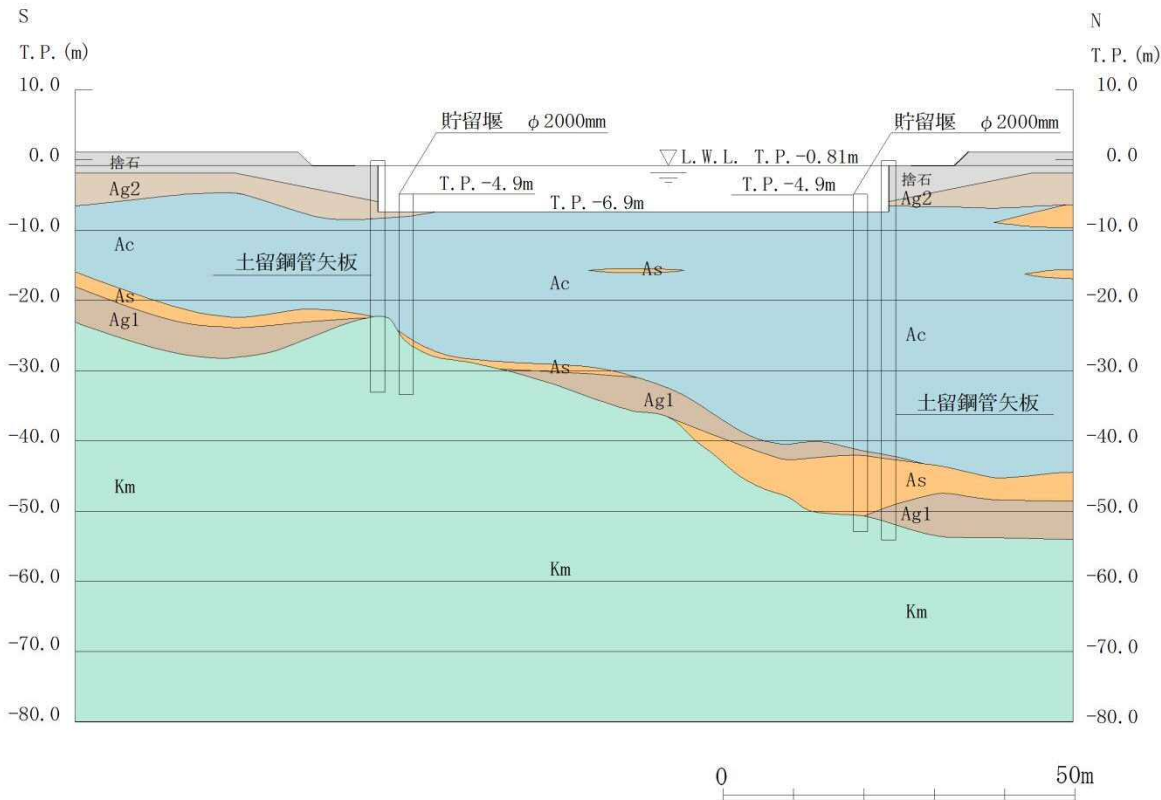


図 3-3-9 貯留堰の断面図 (NS-1)

(c) 貯留堰取付護岸

図 3-3-10 及び図 3-3-11 に貯留堰取付護岸の平面図及び断面図を示す。

当該構造物は、断面変化もほとんどなく直線状に設置される矢板構造物であることから、強軸断面方向の曲げの影響をほとんど受けない。

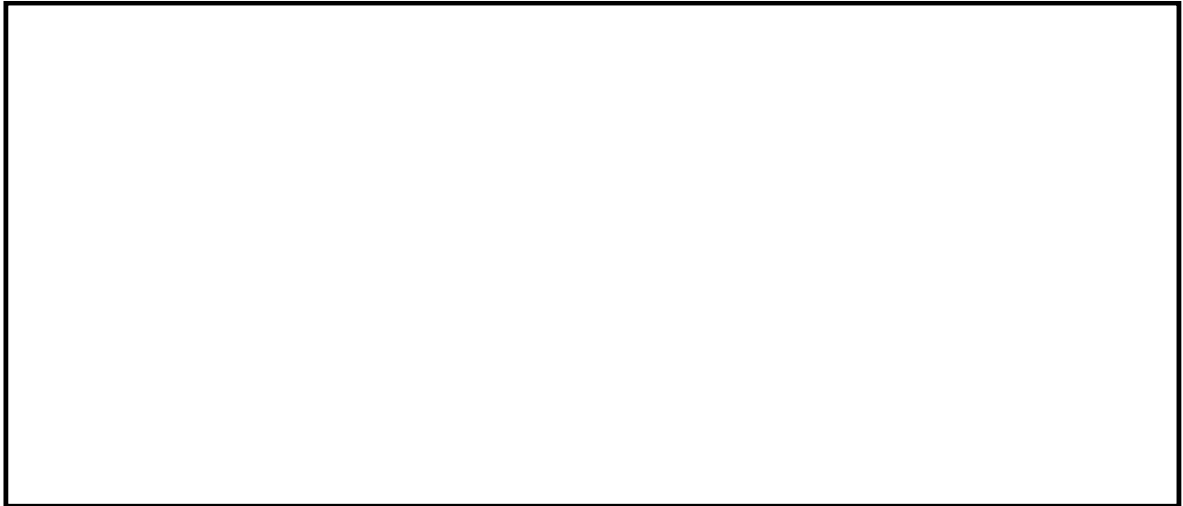


図 3-3-10 貯留堰取付護岸の平面図

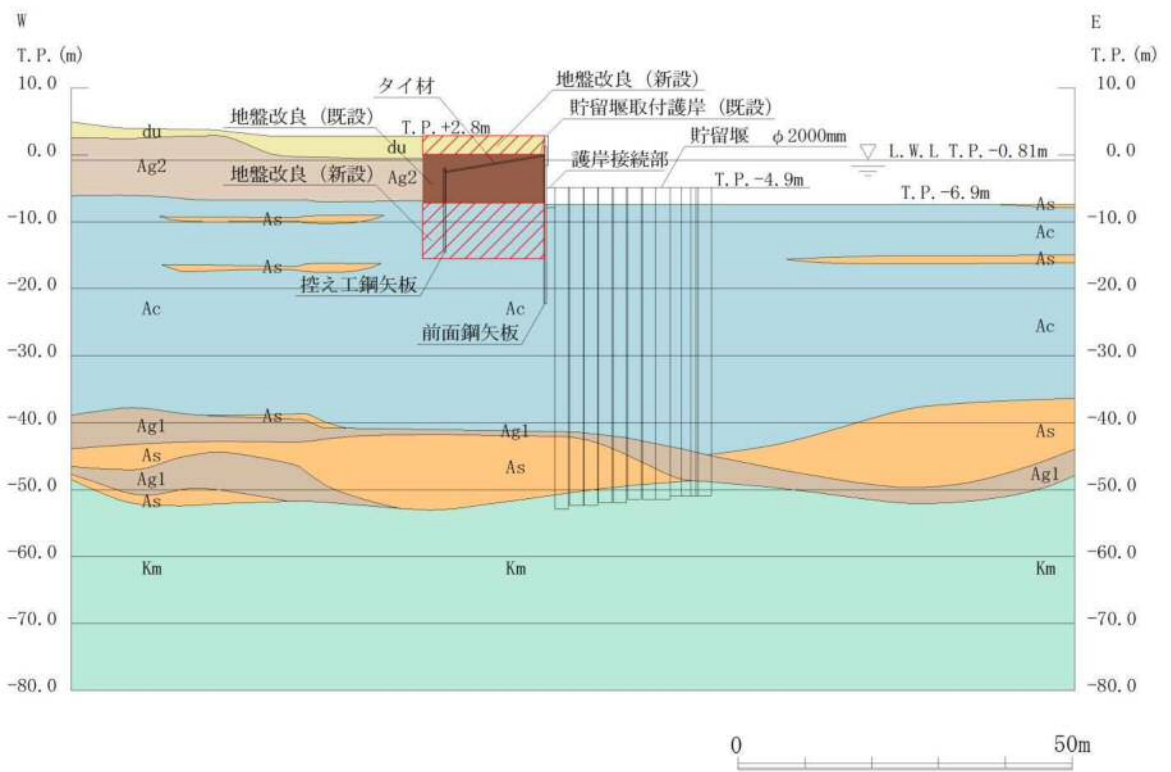


図 3-3-11 貯留堰取付護岸の断面図 (EW-1)



c. 地中連続壁基礎

(a) 鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

図 3-4-12 に鉄筋コンクリート防潮壁の下部工の概要図を示す。

当該構造物の下部工は、上部工法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と上部工からの荷重による発生応力、並びに上部工法線直角方向の水平地震力による動土圧及び動水圧による発生応力が足し合わされるため、水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響が想定される。

したがって、鉄筋コンクリート防潮壁の下部工は、構造解析において水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行う。このことから、鉄筋コンクリート防潮壁の下部工は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

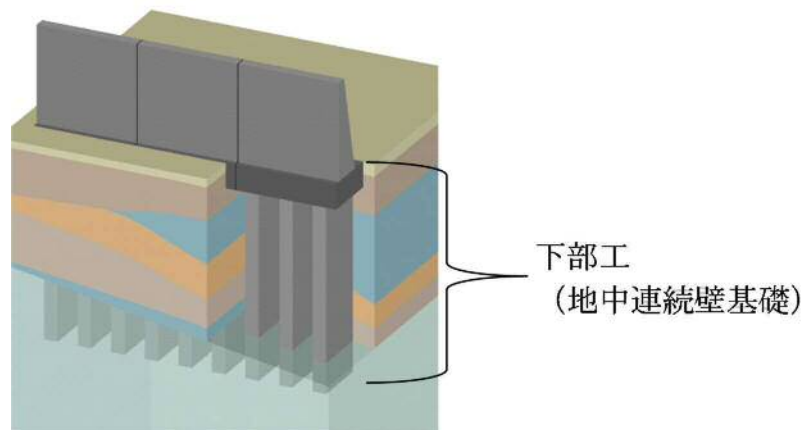


図 3-4-12 鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

## (b) 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎

図 3-4-13 に鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎の概要図を示す。

当該構造物の地中連続壁基礎は、放水路法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と放水路からの荷重による発生応力、並びに放水路法線直角方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と放水路からの発生応力が足し合わされるため、水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響が想定される。

したがって、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎は、構造解析において水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行う。このことから、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

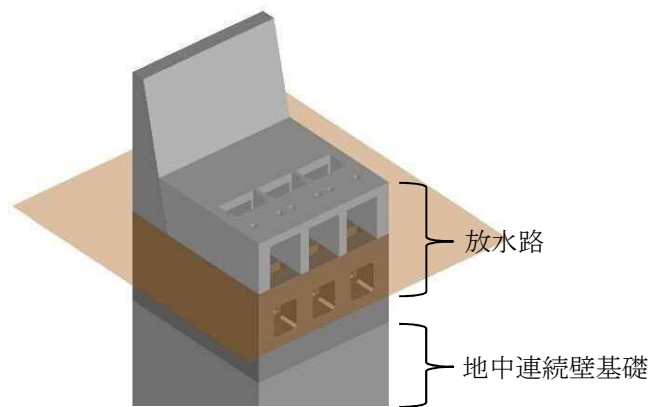


図 3-4-13 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎

## d. 鋼管杭基礎

## (a) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

図 3-4-14 に鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工の概要図を示す。

鋼管杭基礎は、図 3-4-15 に示すように水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。

当該構造物の鋼管杭は、上部工法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と上部工からの荷重による発生応力、並びに上部工法線直角方向の水平地震力による動土圧及び動水圧による発生応力が足し合わされるため、水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響が想定される。

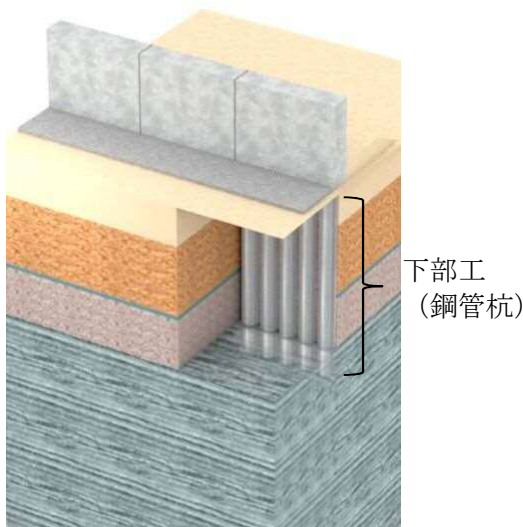


図 3-4-14 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

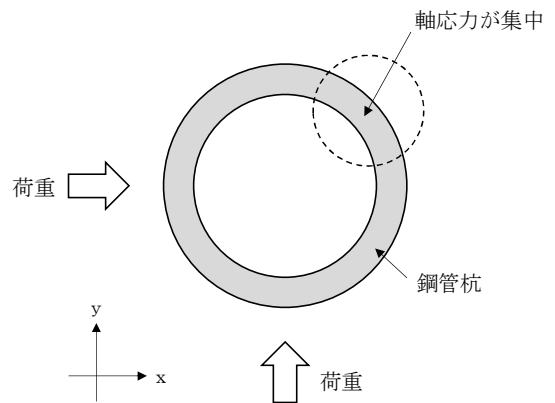


図 3-4-15 鋼管杭基礎に係る応答特性

(b) 防潮扉 2 基礎

図 3-4-16 に防潮扉 2 基礎の構造図を示す。

当該構造物の下部工（鋼管杭）については、(a)と同様に、互いに直交する方向の各水平地震力荷重による発生応力が足し合わされるため、図 3-4-14 に示すように水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響が想定される。

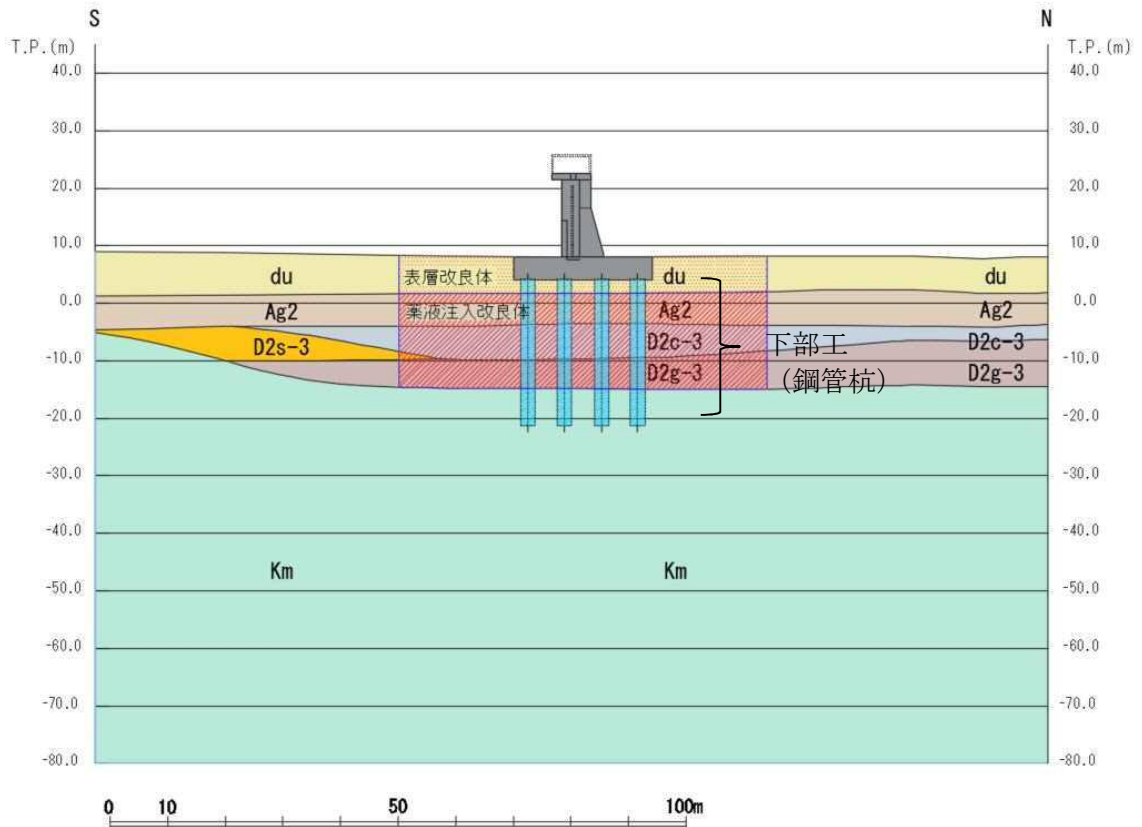


図 3-4-16 防潮扉 2 基礎

(c) 出口側集水桝の下部工

図 3-4-17 に出口側集水桝の下部工の構造図を示す。

当該構造物の下部工（鋼管杭）も、互いに直交する方向の各水平地震力による動土圧及び動水圧と、上部工からの荷重による発生応力が足し合わされるため、第 3-4-13 図に示すように水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響が想定される。

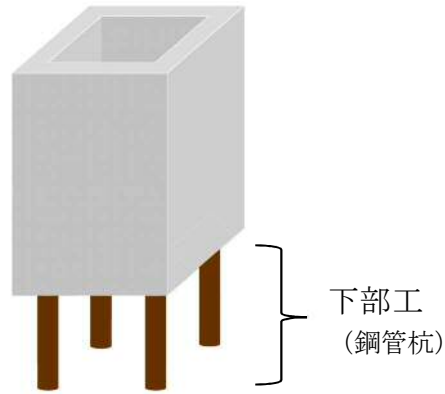


図 3-4-17 出口側集水桝の下部工

e. 箱型構造物

(a) 出口側集水柵の上部工

図 3-4-18 に出口側集水柵の上部工の概要図を示す。

箱型構造物については，従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有し，⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用するため，水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響が想定される。

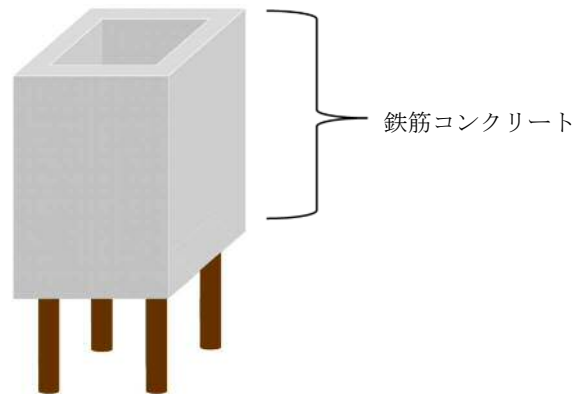


図 3-4-18 出口側集水柵の上部工

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

a. 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工【線状構造物】

図3-4-19に鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の概要図を示す。

当該構造物は、構造物の配置上、屈曲部（隅角部）を有する。線状構造物の屈曲部（隅角部）では、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸断面方向のせん断変形や強軸断面方向の曲げ変形への影響が想定される。

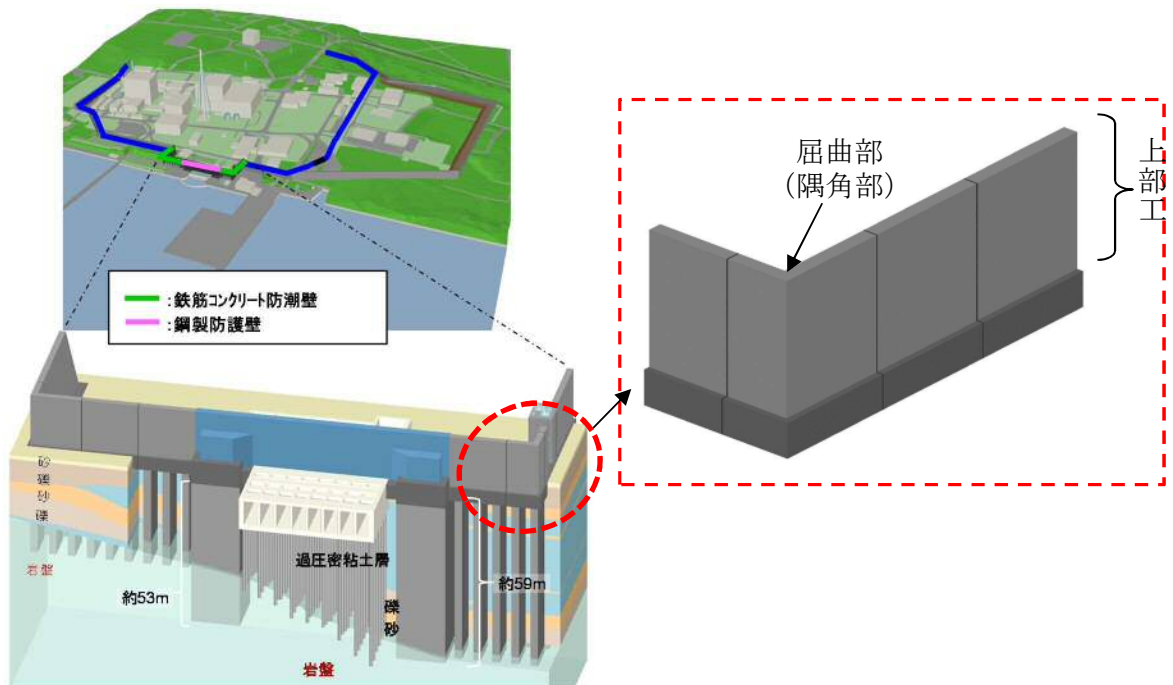


図3-4-19 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の屈曲部（隅角部）

b. 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路【線状構造物】

図 3-4-20 に鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路の概要図を示す。

当該構造物の評価対象断面に直交する水平地震力については、カルバート構造物であるため、評価対象断面直交方向（強軸断面方向）には動土圧・動水圧はほとんど作用しない。しかしながら、放水路（カルバート）上に設置される防潮壁は、当該加振方向による水平地震力により慣性力を受けるため、下部の放水路（カルバート）に荷重が伝わり、強軸断面方向の曲げ変形への影響が想定される。

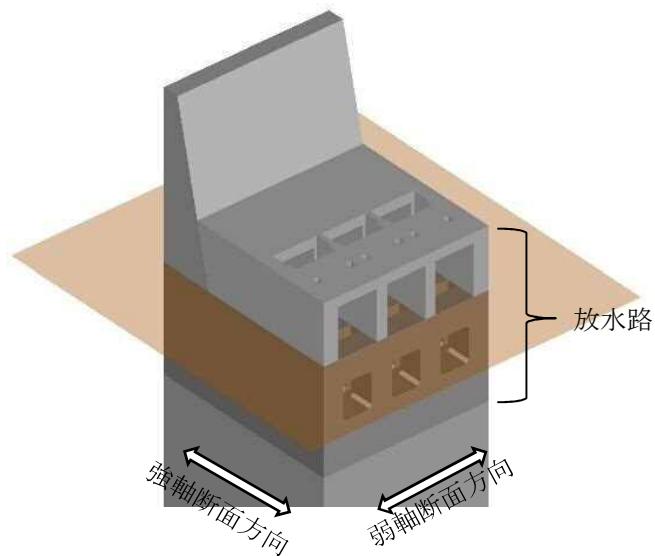


図 3-4-20 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路



c. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工【線状構造物】

図 3-4-21 に鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の概要図を示す。

当該構造物は、屈曲部（隅角部）に施工目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているだけとなり、3 次元的な応答特性は想定されない。よって、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響はない。

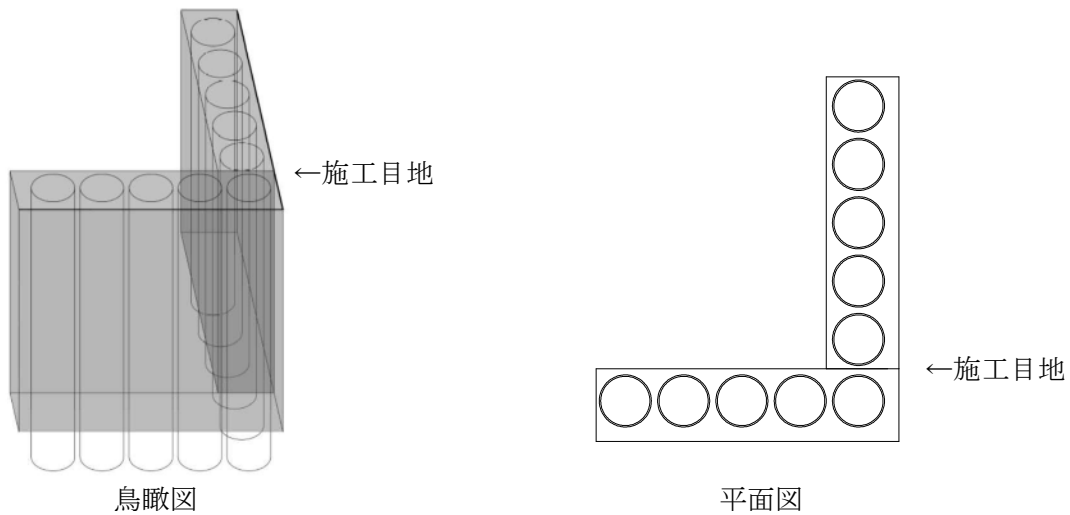


図 3-4-21 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

以上のことから、鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の屈曲部（隅角部）及び鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路については、水平 2 方向地震力の組合せの影響を検討する。

(6) 従来設計手法の妥当性の確認

a. 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の設計において、一般部は図 3-4-22 に示すように、フーチング側を固定端とする鉛直方向の片持ち梁として設計する。屈曲部（隅角部）の東面鉛直壁は一般部と同様に設計するが、屈曲部（隅角部）の北(南)面は図 3-4-23 に示すように、東面鉛直壁を固定端とする水平方向の片持ち梁として設計する。したがって、鉄筋コンクリート防潮壁の上部工は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

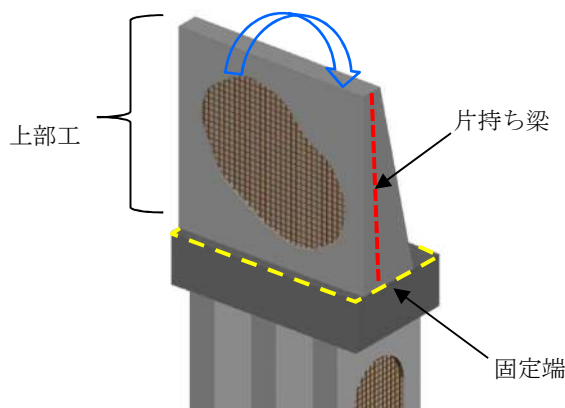


図 3-4-22 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工[一般部]

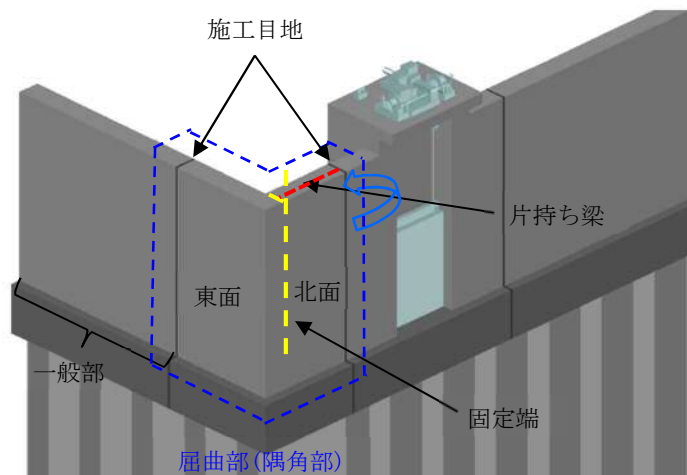


図 3-4-23 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工[屈曲部（隅角部）]

b. 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

図 3-4-24 に鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路の概要図を示す。

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路上に設置される防潮壁は、防潮壁の弱軸断面方向加振による水平地震力により慣性力を受けるため、下部の放水路に荷重が伝わり、放水路の側壁及び隔壁への影響が想定される。このことから、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の耐震設計においては、放水路強軸断面方向の断面において耐震評価を行っており、放水路の側壁及び隔壁を平面要素にてモデル化し、防潮壁からの荷重伝達の影響を考慮した設計を行う。

したがって、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

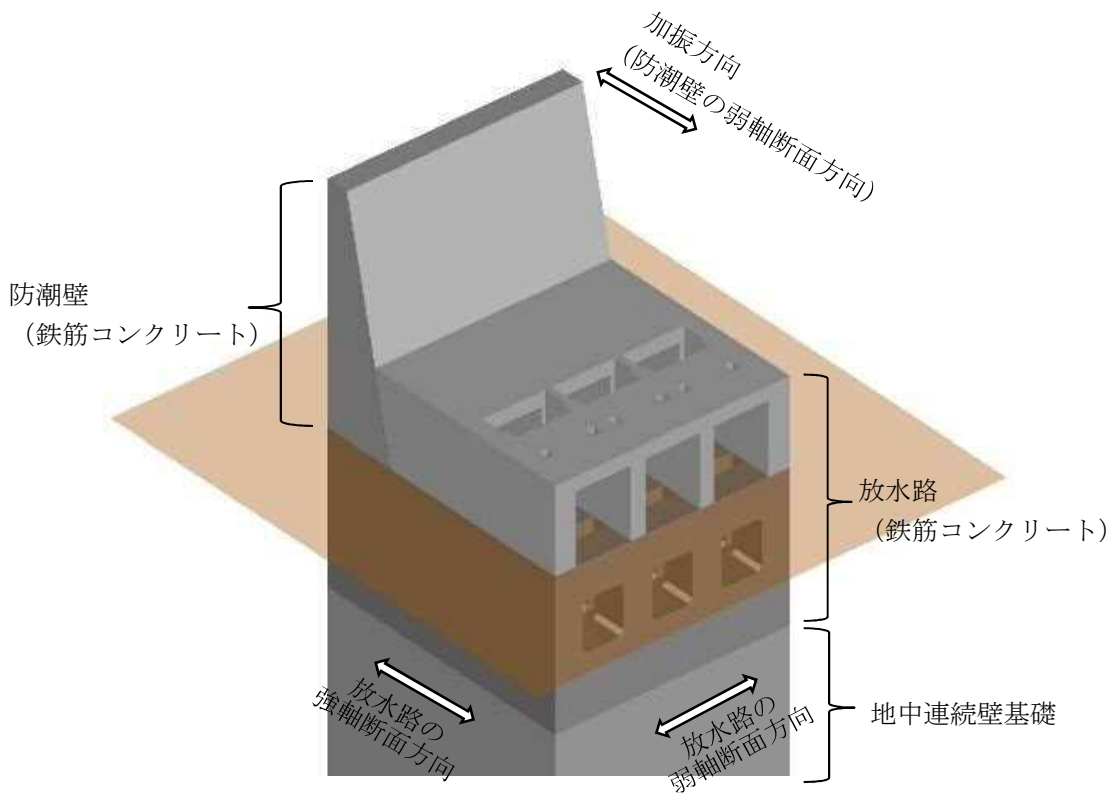


図 3-4-24 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

#### 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

3.4.1の結果を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討すべき構造物として、構造及び作用荷重の観点から、f 鋼管杭基礎である鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（下部工）及び防潮扉2基礎を抽出する。ただし、鋼管杭基礎については、「3.3 屋外重要土木構造物」において同様の評価を行っていることから、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（下部工）及び防潮扉2基礎についても「3.3 屋外重要土木構造物」において評価を行う。

### 3.4.3 まとめ

津波防護施設において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、「3.3 屋外重要土木構造物」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設計に対して影響を評価した結果、水平2方向及び鉛直方向地震力は、水平1方向及び鉛直方向地震力に対し影響を及ぼすことはなかった。また、津波防護施設に対する水平2方向及び鉛直方向地震力が、そこに上載される機器・配管系が有する耐震性に影響を与えないことを確認した。

一部の津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の評価については、「4.2 機器・配管系」に示す。

別紙 3次元FEMモデルによる精査において局所的な応答を示す  
部位の影響検討について

## 目次

1. 原子炉建屋の6階の壁の面外慣性力による影響検討……………別紙-1
2. 地震観測記録を踏まえた使用済燃料プールの耐震評価への影響検討……………別紙-3

## 1. 原子炉建屋の6階の壁の面外慣性力による影響検討

### 1.1 検討の概要

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価として、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響の可能性のある原子炉建屋の6階（EL. 46.50 m）の壁に対して、弾性設計用地震動 $S_d-D1$ を水平2方向及び鉛直方向に入力した3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施した。弾性設計用地震動 $S_d-D1$ を入力した方向と直交する水平方向には、弾性設計用地震動 $S_d-D1$ の水平成分の設計用応答スペクトルに適合し、位相の異なる地震動を入力した。

3次元FEMモデルによる6階の壁の最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を把握した上で、6階の壁を部分的に抽出した保守的な静的解析モデルを用いて、面外慣性力による面外応力に対して断面評価を行い、面外慣性力の影響検討を実施した。評価結果を記載する部位は、面外慣性力によって生じる曲げモーメント及び面外せん断力が最大となる部位とする。

静的解析モデルは、スパン端部の柱を境界条件として、単位幅の両端固定梁に置き換える。解析モデルを図1-1に示す。荷重としては、弾性設計用地震動 $S_d$ 及び基準地震動 $S_s$ による面外慣性力を等分布荷重として考慮する。弾性設計用地震動 $S_d$ に対する評価は、 $S_d-D1$ による面外方向の最大応答加速度を用いて静的震度に換算し保守的に評価した。静的震度を算定する際には、地震波による影響及び地盤のばらつきによる影響を考慮している。基準地震動 $S_s$ に対する評価は、弾性設計用地震動 $S_d$ の面外慣性力を、質点系モデルによる地震応答解析における最大応答加速度比で係数倍して定めた。

断面算定結果を表1-1に示す。弾性設計用地震動 $S_d$ に対する評価において、曲げモーメントに対する検定値が0.540、せん断力に対する検定値が0.207となり、短期許容応力度を超えないことを確認した。

基準地震動 $S_s$ に対する評価において、曲げモーメントに対する検定値が0.945、せん断力に対する検定値が0.363となり、短期許容応力度を超えないことを確認した。

面外慣性力として、最大応答加速度を用いていることや応答補正比率を乗じていること、解析モデルとして保守的なモデルを用いていることより、保守的な検討をしているため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、原子炉建屋の壁が有する耐震性への影響はない。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。



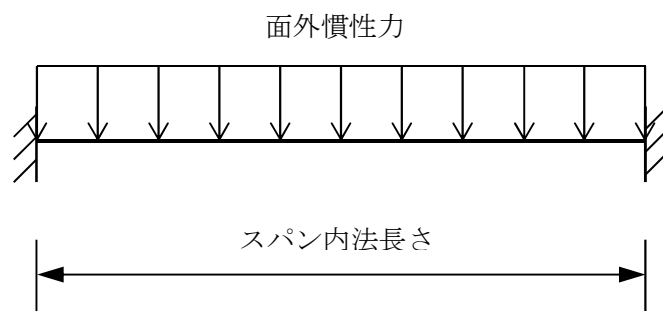


図 1-1 静的解析モデル

表 1-1 断面算定結果

検討ケース	S <sub>d</sub> 地震時	S <sub>s</sub> 地震時
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)	300 × 1000	
有効せい d (mm)	220	
配筋	D19@200 (1433 mm <sup>2</sup> )	
鉄筋の許容引張応力度 f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	345	
コンクリートの許容せん断応力度 f <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	1.06	
発生曲げモーメント M (kN・m)	51.4	89.9
許容値 M <sub>A</sub> (kN・m)	95.2	95.2
検定値 M/M <sub>A</sub>	0.540	0.945
発生せん断力 Q (kN)	42.2	73.9
許容値 Q <sub>A</sub> (kN)	204	204
検定値 Q/Q <sub>A</sub>	0.207	0.363
判定	可	可

## 2. 地震観測記録を踏まえた使用済燃料プールの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 10 Hz 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 10 Hz 付近が増幅することを確認している。

検討は、10 Hz 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 2-1 に、応答増幅率を表 2-1 に、影響検討結果を表 2-2 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 2-1 評価結果を記載する要素の位置

表 2-1 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 2-2 ウェル壁の影響検討結果 (S<sub>s</sub>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