

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

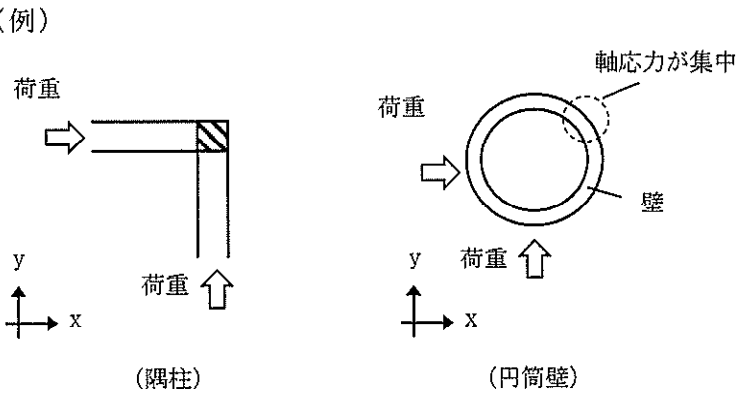
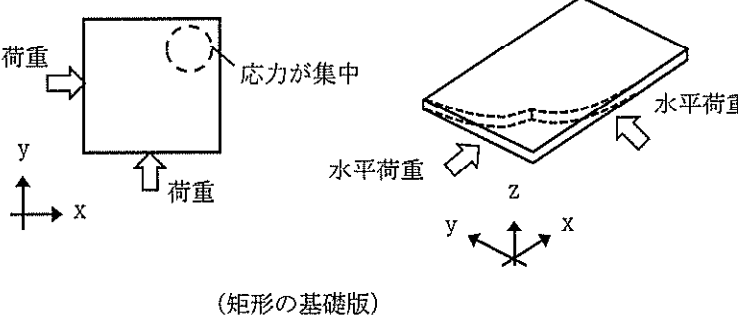
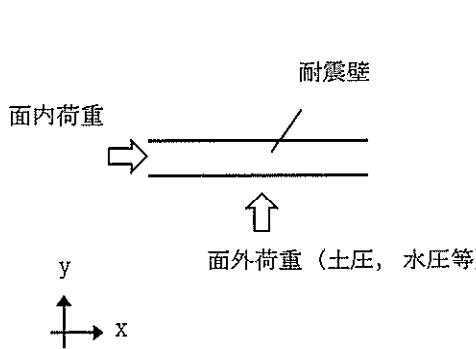
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>(隅柱) (円筒壁)</p>  <p>(矩形の基礎版)</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

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

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

表 3-1-4 (1/3) 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響の考え方

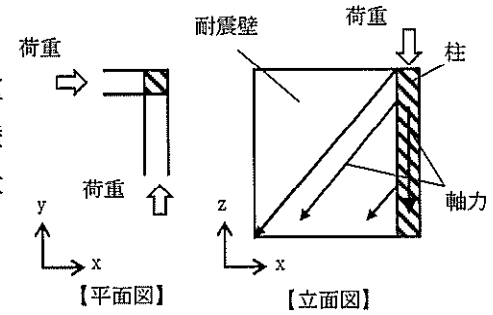
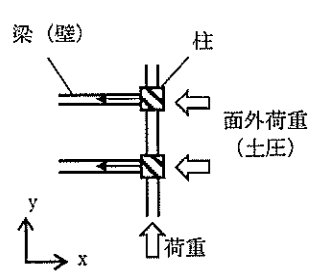
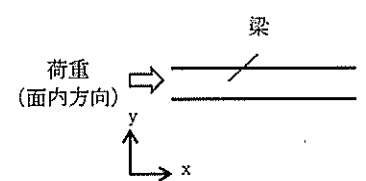
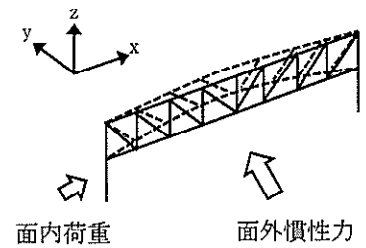
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の影響
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部を含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p> 
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向（土圧）の荷重が作用する。ただし、外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にある梁及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
梁	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床及び壁の拘束により面外地震荷重負担による影響は小さい。</p> 
	地下部	<p>地下外周梁は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向（土圧）の荷重が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床及び壁の拘束により面外地震荷重負担による影響は小さい。</p>
	鉄骨トラス	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床による拘束があるため、面外地震荷重負担による影響は小さい。</p> 

表 3-1-4 (2/3) 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響の考え方

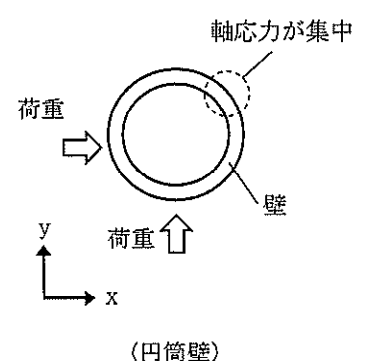
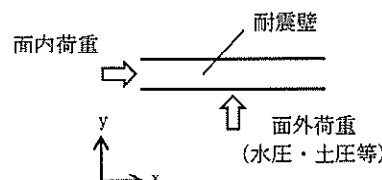
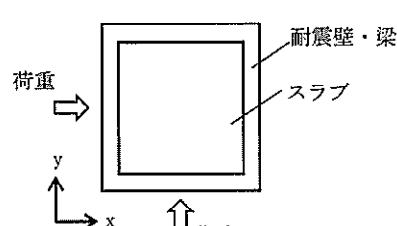
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の影響
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本である。 円筒壁は直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p>  <p>(円筒壁)</p>
	地下部 プール壁	<p>地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。同様にプール部の壁については水圧を面外方向から受ける。</p>  <p>面外荷重 (水圧・土圧等)</p>
	鉄骨 ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及び梁で拘束されており、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。</p>  <p>耐震壁・梁 スラブ</p>

表 3-1-4 (3/3) 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響
の考え方

耐震評価上の構成部材		水平 2 方入力の影響
基礎	基礎スラブ ・ ケーソン ・ 杭	<p>直交する水平 2 方向の地震力により，集中応力が作用する。</p> <p>(矩形基礎) (杭基礎)</p>
	基礎梁	<p>面内方向の荷重に加え，面外慣性力が作用する。また，面外地震荷重負担による影響は小さい。</p>

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 3-1-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-5 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位」として、主排気筒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。

a. 柱

柱は、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、隅部（端部柱を含む）が考えられ、中柱の一般部は、応力が集中することはない。また、主排気筒の筒身については、鉄塔の中央で支持されており、応力が集中することはない。

主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構の隅柱は①-1 に該当するものとして抽出した。サービス建屋の隅柱については、サービス建屋が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、抽出しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、土圧が作用する地下外周柱が考えられるが、原子炉建屋及びタービン建屋の地下外周柱は、耐震壁に囲まれており、耐震壁が面内の荷重を負担し、地下外周柱は面内の荷重を負担しないため、該当しない。また、対象の建物・構築物の地下外周柱はすべて梁等に接続しており、土圧はそのまま梁等に伝達されるため、該当しない。

b. 梁

梁の一般部、地下部及び鉄骨トラス部については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」の部位に該当しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、土圧が作用する地下外周部が考えられるが、原子炉建屋及びタービン建屋の地下外周梁は直交する床及び壁が存在し、これらによる面外方向の拘束があるため、該当しない。

c. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」の部位は存在しない。独立した円筒壁は応力の集中が考えられる。ただし、原子炉建屋の一次格納容器を囲む円筒遮蔽壁のように、建屋の中央付近に位置し、その外側にあるボックス型の壁とスラブで一体化されている場合は、①-

1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」の部位に該当しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、土圧や水圧が作用するプール部や地下部が考えられ、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、①-2に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」及び①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位に該当しない。

e. 基礎

①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」の部位としては、基礎スラブ及び杭が考えられる。

原子炉建屋、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は隅部への応力集中が考えられるため、①-1に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、基礎主排気筒の基礎梁が考えられるが、主排気筒の基礎梁は地震時の面外荷重が、直近の直交部材にて受ける構造としているため該当しない。

表 3-1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (荷重の組合せによる応答特性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
柱	一般部	RC造 及びS造	S造	RC造 及びS造	RC造 及びS造	RC造	RC造	RC造 及びS造	RC造 及びS造
	隅部	該当なし	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	①-1要	①-1要	該当なし	—	該当なし	該当なし	不要 ^(*)
	筒身	該当なし	—	—	—	—	—	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	—
床 屋根	鉄骨ブレース	—	該当なし	該当なし	—	—	—	—	不要 ^(*)
	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 ^(*)	—
	ケーンソン	—	—	—	—	—	—	不要 ^(*)	—
	基礎梁	—	該当なし	—	—	—	—	—	不要 ^(*)
	杭	—	①-1要	①-1要	①-1要	—	①-1要	不要 ^(*)	不要 ^(*)

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

注記 *1：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，隅部に軸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ン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。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表3-1-1に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表3-1-3に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表3-1-6に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」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。

a. 柱

主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の隅柱は(3)で抽出されているため、その他の柱について②-1「面外方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の発生する部位への該当を検討する。

原子炉建屋、主排気筒、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所建屋、タービン建屋、サービス建屋の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済であるため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位には該当しない。また、対象の建物・構築物は、鉄筋コンクリート造耐震壁又は鉄骨ブレースを主な耐震要素として扱っており、地震力のほとんどを耐震壁又は鉄骨ブレースが負担する。ねじれ振動の影響が想定される部位についても、ねじれを加味した構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位にも該当しない。

主排気筒は地震力のほとんどを鉄塔が負担しており、筒身は②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位には該当しない。また、釣合いよく鉄塔に支持される構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位にも該当しない。

b. 梁

原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所建屋、タービン建屋、サービス建屋の梁一般部及び地下部は、剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位には該当しない。

鉄骨トラス部は、1方向トラスの場合には、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられるが、各建屋の鉄骨トラスは直交方向にもトラスや繋ぎ梁が存在し、面外慣性力を負担するため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位に該当しない。また、非常用ガス処理系配管支持架構については対称構造でないためにねじれ挙動が想定されることから、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に該当する。

c. 壁

(3)で抽出されている以外の各建屋の壁について、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の発生する部位の検討を行う。

原子炉建屋の上部階の壁は複数スパンにまたがって直交方向に壁及び大梁がなく、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ことから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位に該当する。

非常用ガス処理系配管支持架構については対称構造でないためにねじれ挙動が想定されるため、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に該当する。

d. 床及び屋根

各建屋の床及び屋根については、釣合いよく壁が配置されているため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に該当しない。

e. 基礎

基礎スラブ及び杭は、(3)の荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニングで既に抽出されている。

②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位としては、主排気筒の基礎梁が考えられるが、主排気筒の基礎梁は短スパンであり影響は少ないと考えられるため、該当しない。

表 3-1-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	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
	隅部	不要	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	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	—	—	不要	不要	不要	不要(*)	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
	基礎スラブ	要	—	要	要	要	不要	—
基礎	ケーソン	—	—	—	—	—	不要	—
	基礎梁	—	不要	—	—	—	—	不要
	杭	—	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」

注記 *：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。

(5) 3次元FEMモデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した部位について、3次元FEMモデルにより精査を行った。

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った。

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、重要施設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った。

また、原子炉建屋の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行った。局所的な応答と併せて振れ挙動についても確認を行った。精査は、地震応答解析により水平2方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行った。その結果、原子炉建屋燃料取替フロアの壁及び床の応答が増幅する傾向が確認されたため、燃料取替フロアの壁の面外応答増幅による影響検討及び使用済燃料プールのウェル壁の応答増幅による影響検討を行った。応答増幅を考慮しても燃料取替フロアの壁及び使用済燃料プールのウェル壁の耐震性への影響は小さいことを確認した。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果、有している耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する部位は抽出されなかった。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果を表3-1-7に示す。また、3次元FEMモデルによる精査の詳細については別紙2に示す。

表 3-1-7 3次元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	非常用ガス処理系 配管支持架構	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。	3次元モデルを用いた精査結果 ・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	原子炉建屋 (燃料取替フロア)	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
	非常用ガス処理系 配管支持架構	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	原子炉建屋	局所的な応答	同上	・原子炉建屋の燃料取替フロ アの壁及び床の応答が増幅す る傾向が確認された。原子炉 建屋の燃料取替フロアの壁の 面外応答増幅による影響及び 使用済燃料プールのウエル壁 の応答増幅による影響の耐震 性への影響は想定されなないた め抽出しない。

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を表3-1-8に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位」のうち、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スラブを代表として、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・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

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

主排気筒の支柱材については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

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

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

原子炉建屋の局所的な応答については、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、「別紙4 機器・配管系に関する説明資料」で影響検討を行う。

表 3-1-8 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。

注記 *：使用済燃料乾式貯蔵建屋については水平 2 方向及び鉛直方向を組み合わせた評価を実施している。主排気筒・非常用ガス処理系配管支持架構及び緊急時対策所建屋については水平 1 方向と鉛直の組合せの検定値に余裕があるため水平 2 方向及び鉛直方向を組み合わせた検討していない。

3.1.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価した。評価は従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を用いた。評価に用いる地震動を表3-1-9に示す。

また、影響評価は、水平2方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価、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。

表 3-1-9 評価に用いる地震動

耐震評価部位		対象建物・構築物	評価に用いる地震動	評価に用いる理由
柱	隅部	主排気筒	基準地震動 S_s-D1 $S_s-11 \sim S_s-14$ S_s-21, S_s-22 S_s-31	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」の評価結果を用いるため、 $S_s-D1, S_s-11 \sim S_s-14, S_s-21, S_s-22$ 及び S_s-31 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする。
基礎	矩形	原子炉建屋	基準地震動 S_s-D1 $S_s-11 \sim S_s-14$ S_s-21, S_s-22 S_s-31	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」の評価結果を用いるため、 $S_s-D1, S_s-11 \sim S_s-14, S_s-21, S_s-22$ 及び S_s-31 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする。
壁	水圧作用部	原子炉建屋（使用済燃料プール）	基準地震動 S_s-D1 $S_s-11 \sim S_s-14$ S_s-21, S_s-22 S_s-31	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」の評価結果を用いるため、 $S_s-D1, S_s-11 \sim S_s-14, S_s-21, S_s-22$ 及び S_s-31 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする。

3.1.6 主排気筒

3.1.6.1 検討の概要

隅柱は、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である。検討は応力集中の影響が大きいと想定される主排気筒の主柱材について、3次元FEMモデルを用いて、地震動を水平2方向及び鉛直方向から入力した場合の検討を実施する。

主排気筒は、原子炉建屋の東側に位置し、中央の内径4.5 m、高さ140 mの筒身にかかる水平力を周囲の根開き28 m、高さ130 mの鋼管トラスの4脚支持鉄塔で分担する鉄骨組構造であり、筒身と鉄塔は7箇所で接続され、筒身と鉄塔の脚部はアンカーボルトで締結されている。主排気筒の構造概要図を図3.1.6-1に示す。

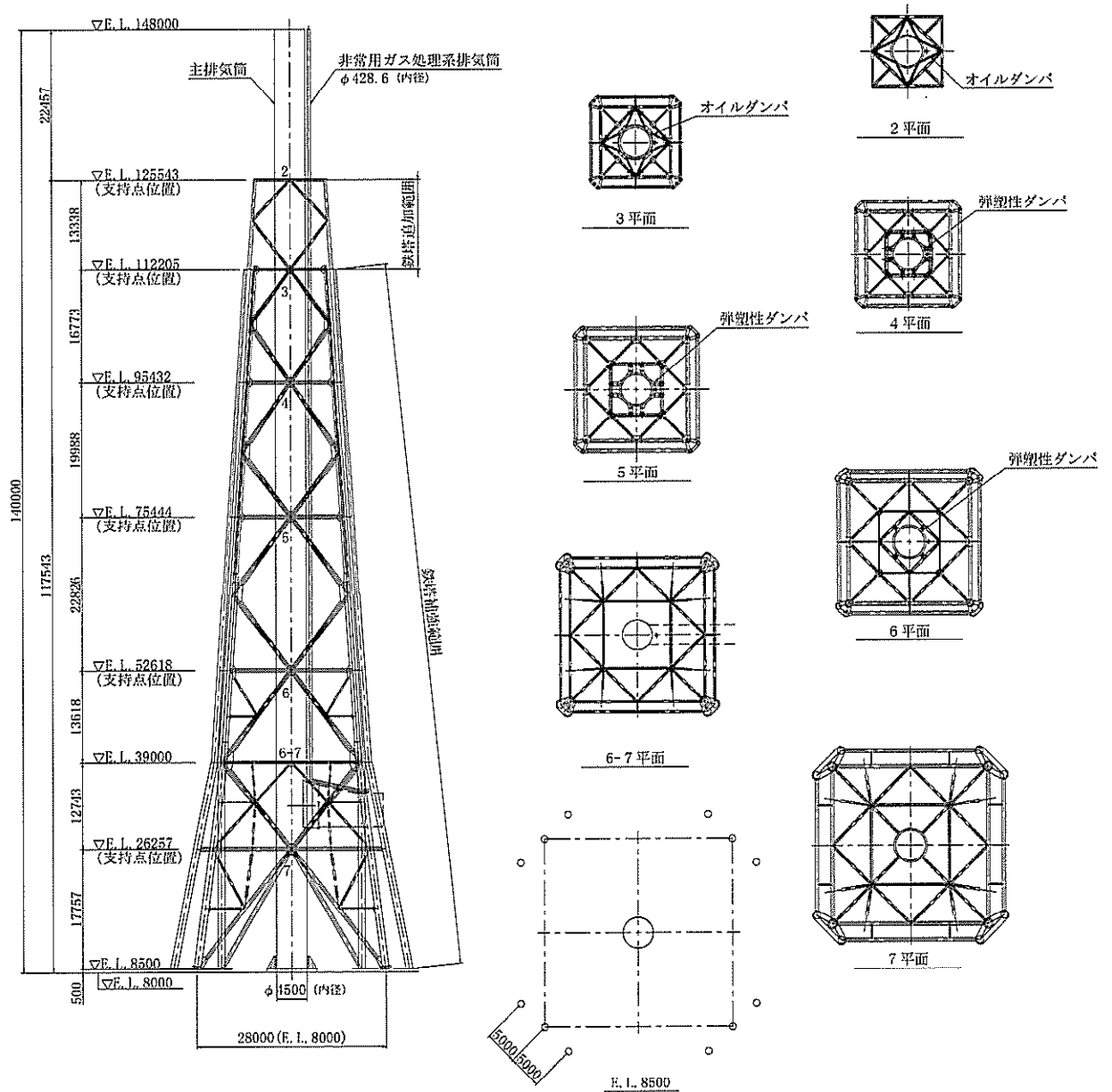


図 3.1.6-1 主排気筒の構造概要図 (単位 : mm)

3.1.6.2 検討方針

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

評価に当たっては、基準地震動 S_s による地震力（以下「 S_s 地震時」という。）に対して、3次元FEMモデルによる弾性応力解析を行い、各支柱材に対する水平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軸力及び曲げによる応力度比の比率を求め、これらの比率を考慮した各支柱材の応力度比が、1.0を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に示すものと同一である。

3.1.6.3 荷重及び荷重の組合せ

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、設定する。荷重の組合せを表3.1.6-1に示す。

荷重の詳細は、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」に示す固定荷重（G）、地震荷重（K）及び風荷重（W）と同一である。

表 3.1.6-1 荷重の組合せ

外力の状態	水平荷重の入力方向	荷重の組合せ
S_s 地震時	0°	G + K + W
S_s 地震時	45°	G + K + W

G : 固定荷重

K : 地震荷重

W : 風荷重

3.1.6.4 使用材料の許容応力度

支柱材の許容応力度及び終局強度は、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」の「3.3 許容限界」にて示すものと同一である。

3.1.6.5 地震応答解析

(1) 解析モデル

鉄塔の応力解析モデル図を図3.1.6-2に、部材リストを表3.1.6-2に示す。

解析モデルの詳細は、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」の「3.4.1 応力評価方法」に示す内容と同一である。

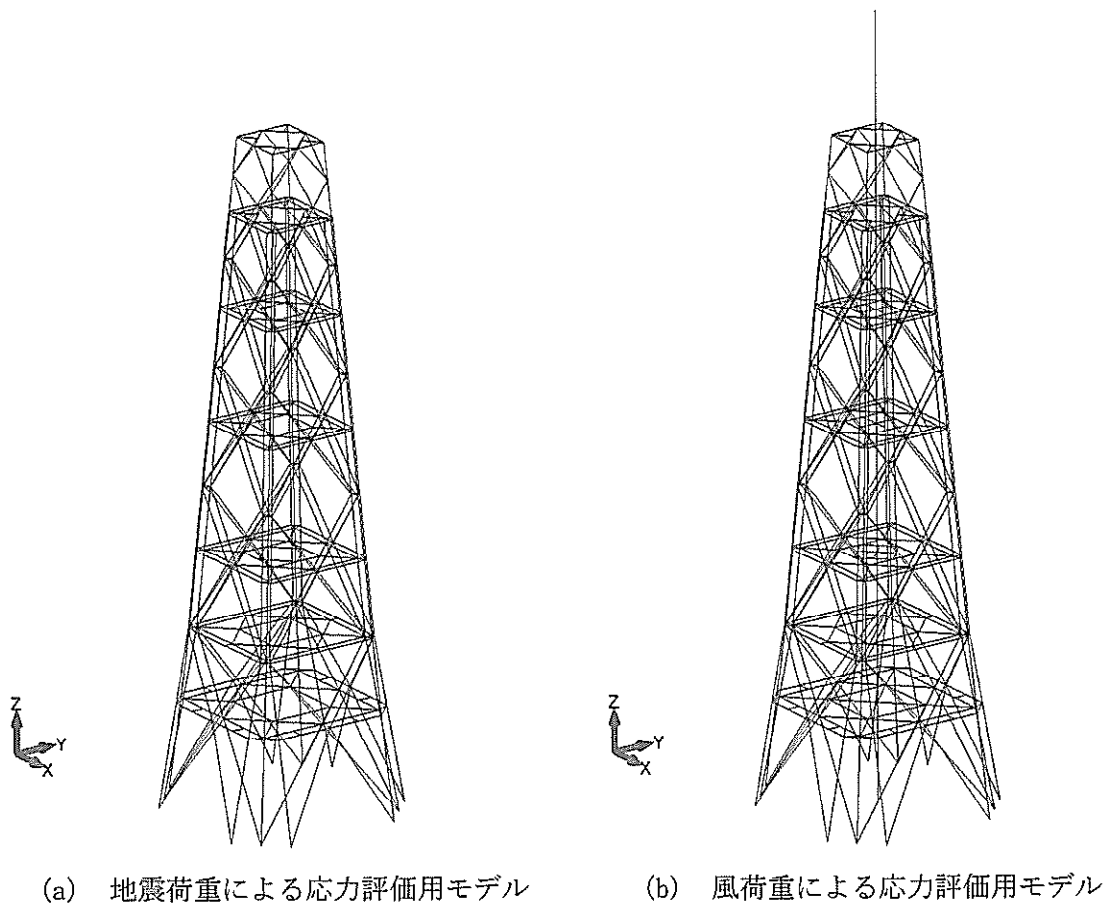


図 3. 1. 6-2 鉄塔の応力解析モデル

表 3. 1. 6-2 部材リスト

部位	EL. (m)	使用部材	材質
主柱材	112.205	$\Phi 406.4 \times 6.4$	STK400
	95.432	$\Phi 406.4 \times 12.7$	STK400
	75.444	$\Phi 558.8 \times 12.7$	STK400
	52.618	$\Phi 812.8 \times 12.7$	STK400
	26.257	$\Phi 1016.0 \times 12.7$	STK400

(2) 解析諸元

使用材料（主柱材）の物性値を表 3.1.6-3 に示す。

表 3.1.6-3 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

(3) 評価方法

3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、地震荷重及び風荷重を組み合わせ、各主柱材に対する水平2方向及び鉛直方向入力時各主柱材の最大検定比が、1.0を超えないことを確認する。

a. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3.1.6-4 に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認するため、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せについても検討を行い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる結果と比較し、その影響を評価する。

表 3.1.6-4 荷重の組合せケース

ケース No.	荷重の組合せ
1	$G + 1.0K_{H0^\circ} + 0.4K_{H0^\circ} + 0.4K_V + W_{0^\circ}$
2	$G + 0.4K_{H0^\circ} + 1.0K_{H0^\circ} + 0.4K_V + W_{0^\circ}$
3	$G + 0.4K_{H0^\circ} + 0.4K_{H0^\circ} + 1.0K_V + W_{0^\circ}$
4	$G + 1.0K_{H45^\circ} + 0.4K_{H45^\circ} + 0.4K_V + W_{45^\circ}$
5	$G + 0.4K_{H45^\circ} + 1.0K_{H45^\circ} + 0.4K_V + W_{45^\circ}$
6	$G + 0.4K_{H45^\circ} + 0.4K_{H45^\circ} + 1.0K_V + W_{45^\circ}$

G : 固定荷重

K_{H0° : 0°方向の水平方向地震荷重

K_{H45° : 45°方向の水平方向地震荷重

K_V : 鉛直方向地震荷重

W_{0° : 0°方向の風荷重

W_{45° : 45°方向の風荷重

b. 荷重の入力方法

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」の「3.4.1 応力評価方法」に倣い、地震荷重については、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、風荷重については、

建築基準法施行令第 87 条に規定される算出法に基づいた風荷重を、風荷重による応力評価用モデルに入力する。

(4) 評価結果

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 3.1.6-5 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よる最大応力度比と比較し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる最大応力度比は増加傾向であるものの、これらの最大応力度比の比率を考慮しても検定比が 1.0 を超えてい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、主排気筒が有する耐震性への影響がないことを確認した。

表 3.1.6-5 主柱材の最大応力度比
(水平 2 方向と鉛直方向の組合せ及び水平 1 方向と鉛直方向の組合せ)

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

3.1.6.6 検討のまとめ

隅柱は直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位である。

応力集中の影響が大きいと考えられる主排気筒の鉄塔の各主柱材について、3 次元 FEM モデルを用いて、基準地震動 S₀ に対して水平 2 方向及び鉛直方向から入力した場合の検討を行った。

検討の結果、最大応力度比は増加傾向であるものの、これらの最大応力度比の比率を考慮しても検定比が 1.0 を超えないことを確認した。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、鉄骨骨組構造の隅柱が有する耐震性への影響がないことを確認した。

3.1.7 原子炉建屋基礎盤の検討

3.1.7.1 検討の概要

矩形の基礎は、直交する水平 2 方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、S₀地震時を対象として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を検討する。

原子炉建屋基礎盤は、原子炉格納容器の底部に該当する部分（以下「原子炉格納容器底部コンクリートマット」という。）並びに、二次格納施設にあたる原子炉建屋原子炉棟のうち、原子炉格納容器底部コンクリートマット以外の基礎（以下「原子炉棟基礎」という。）及び原子炉建屋付属棟の基礎（以下「付属棟基礎」という。）で構成される。

原子炉建屋基礎盤の底面における平面規模は、南北方向 68.5 m、東西方向 68.25 m、厚さ 5.0 m の矩形である。原子炉建屋基礎盤の概略平面図及び概略断面図を図 3.1.7-1 及び図 3.1.7-2 に示す。

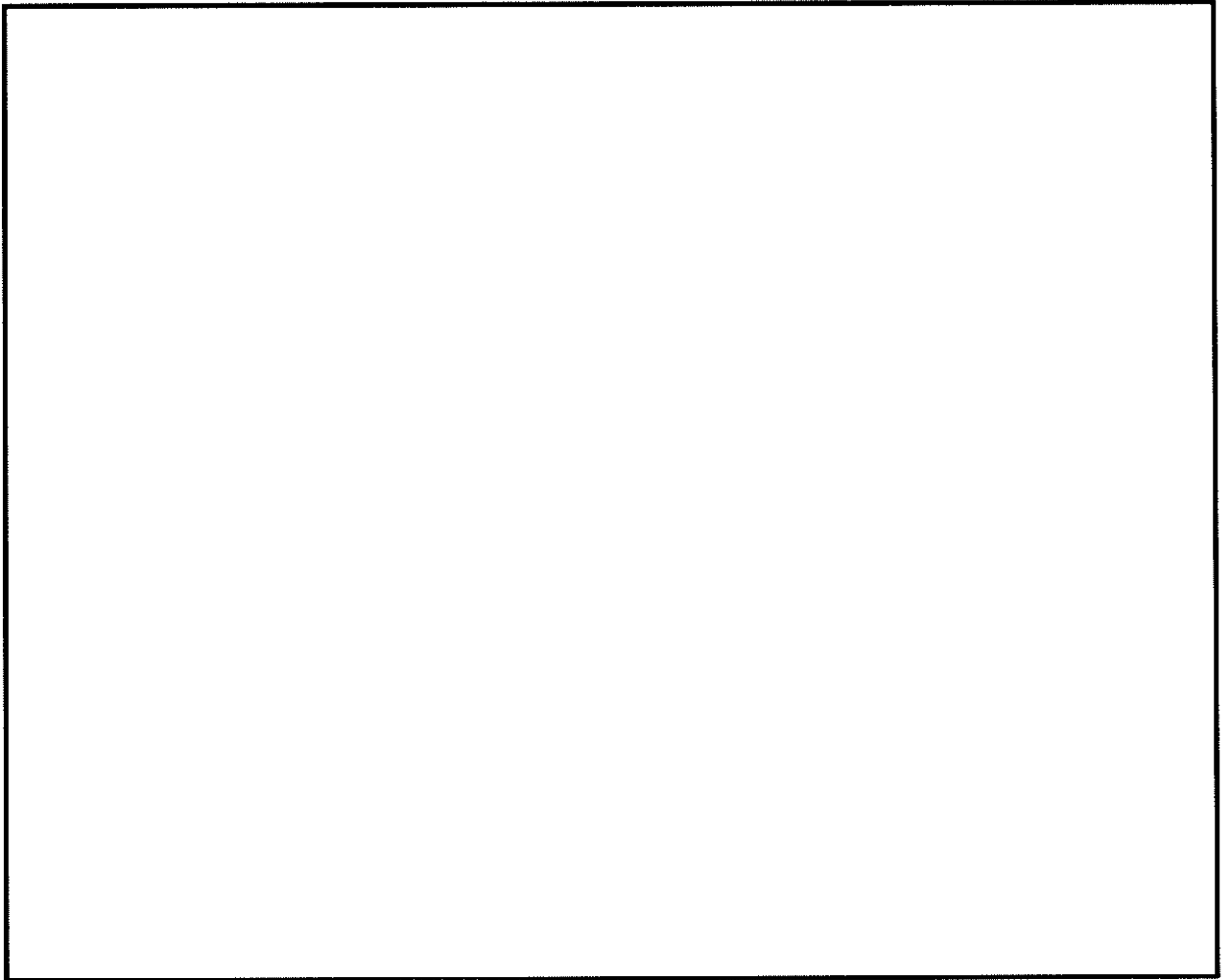


図 3.1.7-1 の概略平面図 (EL. -4.0 m)

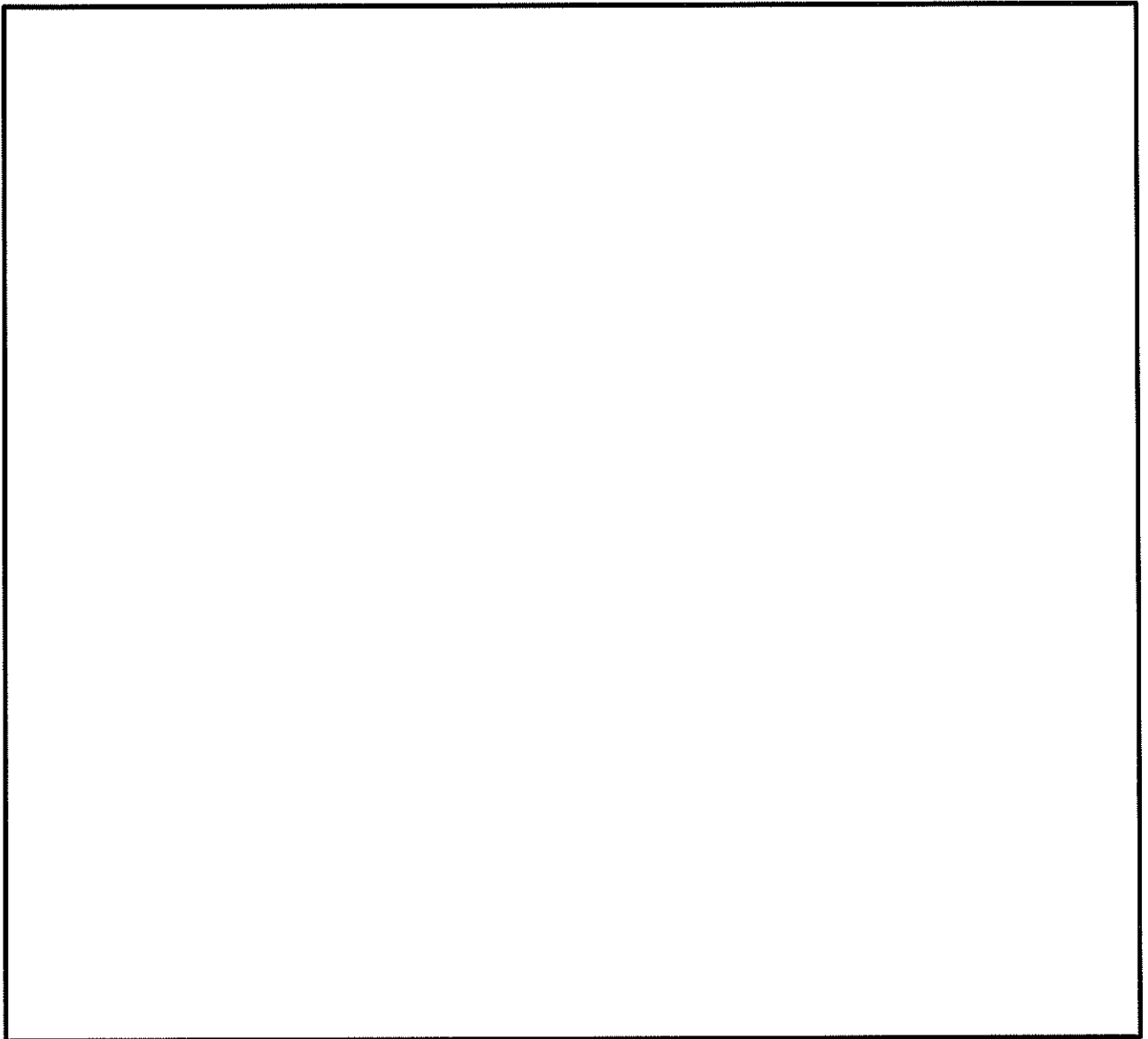


図 3.1.7-2 原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

3.1.7.2 検討方針

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

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

解析モデルの詳細及び許容値については、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」に示すものと同一である。

3.1.7.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。荷重の組合せを表3.1.7-1に示す。

荷重の詳細は、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」の「4.2.1 荷重」に示す死荷重(D)、活荷重(L)、運転時圧力(P_t)、逃がし安全弁作動時荷重(H_1)、常時土圧荷重(E_0)、地震時土圧荷重(E_s)及び地震荷重(K_s)と同一である

表 3.1.7-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$D+L+E_0+P_t+H_1+K_s+E_s$

D : 死荷重

L : 活荷重 (地震時の積雪荷重 $S_{地震時}$ を含む)

E_0 : 常時土圧荷重

E_s : 地震時増分土圧荷重

K_s : S_s 地震荷重

P_t : 運転時圧力*

H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重*

注 * : 原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用

3.1.7.4 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容応力度は、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」の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

3.1.7.5 応力解析

(1) 解析モデル

解析モデル図を図 3.1.7-3 に示す。

解析モデルの詳細は、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」の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

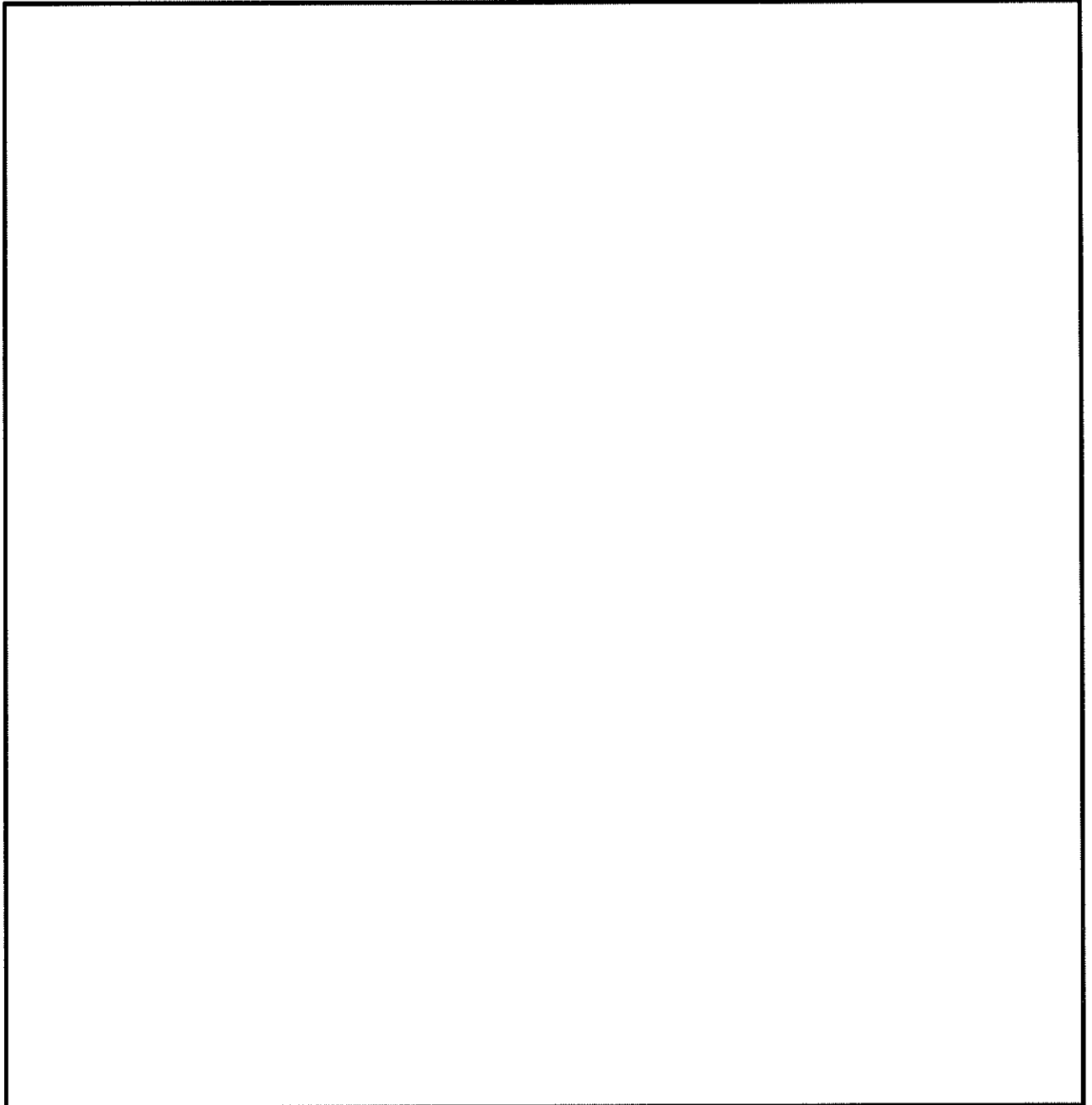


図 3.1.7-3 解析モデル

(2) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、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」の「4.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせで求める。

DL	: 死荷重+活荷重
E_0	: 常時土圧荷重
E_{sNS}^{*1}	: NS 方向 S_s 地震時増分土圧
E_{sEW}^{*1}	: EW 方向 S_s 地震時増分土圧
K_{sSN}^{*1}	: S→N 方向 S_s 地震荷重
K_{sWE}^{*1}	: W→E 方向 S_s 地震荷重
K_{sDU}^{*1}	: 鉛直方向 S_s 地震荷重
P_1^{*2}	: 運転時圧力
H_1^{*2}	: 逃がし安全弁作動時荷重

注記 *1: 計算上の座標軸を基本として、EW 方向は W→E 方向加力、NS 方向は S→N 方向加力、鉛直方向は上向き加力を記載している。

*2: 原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用する。

(3) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースは、 S_s 地震時の単独荷重を、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Casused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0:0.4:0.4) に基づいて評価する。なお、水平 2 方向と鉛直方向の組合せにおいては、水平 1 方向と鉛直方向の組合せの結果を考慮して鉛直方向地震力に 0.4 を乗じるケースに対して実施する。

荷重の組合せケースを表 3.1.7-2 に示す。

表 3.1.7-2 (1/2) 荷重の組合せケース

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	2-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$

表 3. 1. 7-2 (2/2) 荷重の組合せケース
 (b) 水平 1 方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	1-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	1-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	1-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	1-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

3.1.7.6 評価方法

基礎の断面の評価は、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」の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

3.1.7.7 評価結果

断面の評価結果を以下に示す。また、原子炉建屋基礎盤の配筋領域図及び配筋一覧を図 3.1.7-4 及び表 3.1.7-3 に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3.1.7-5 に、評価結果を表 3.1.7-4 に示す。

S₀地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により解析結果の値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、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は各許容値を超えないことを確認した。

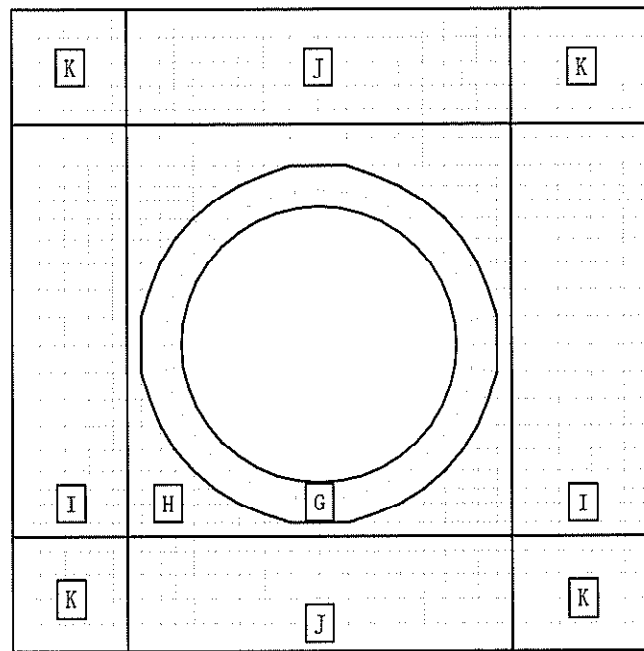


図 3.1.7-4 配筋領域図

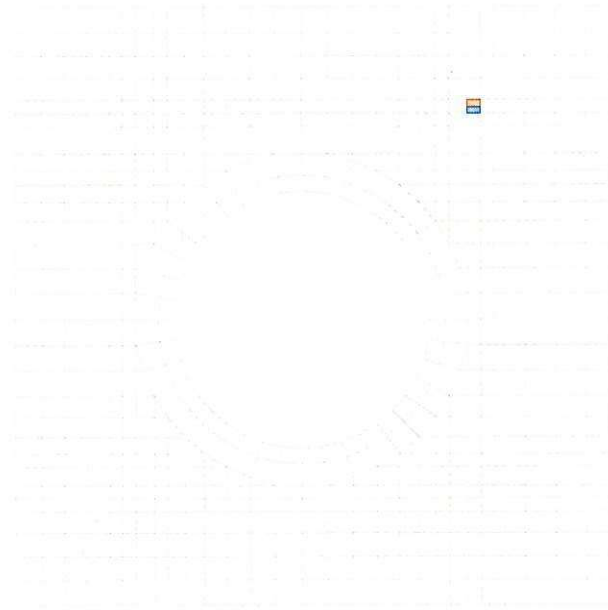
表 3.1.7-3 配筋一覧

(a) 格子配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
H	EW	3-D38@200	3-D38@200
	NS	3-D38@200	3-D38@200
I	EW	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
	NS	3-D38@200	3-D38@200
J	EW	3-D38@200	3-D38@200
	NS	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
K	EW	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
	NS	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400

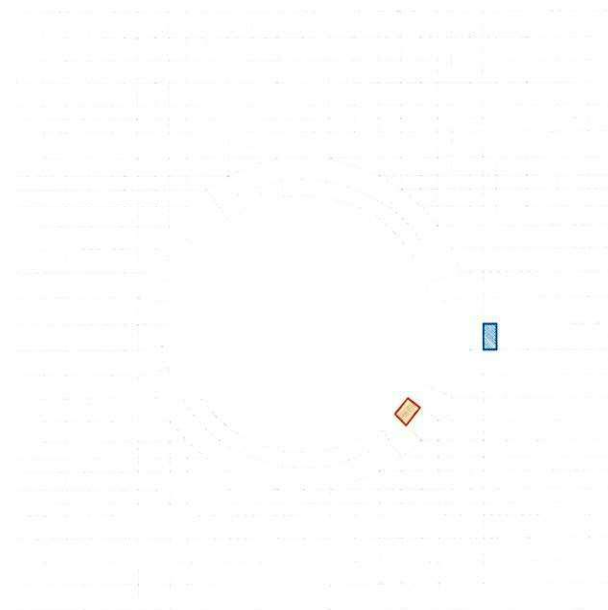
(b) r - θ 方向配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
G	半径	68-D38/45° (4段)	68-D38/45° (4段)
	円周	4-D38@200	4-D38@200



■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。

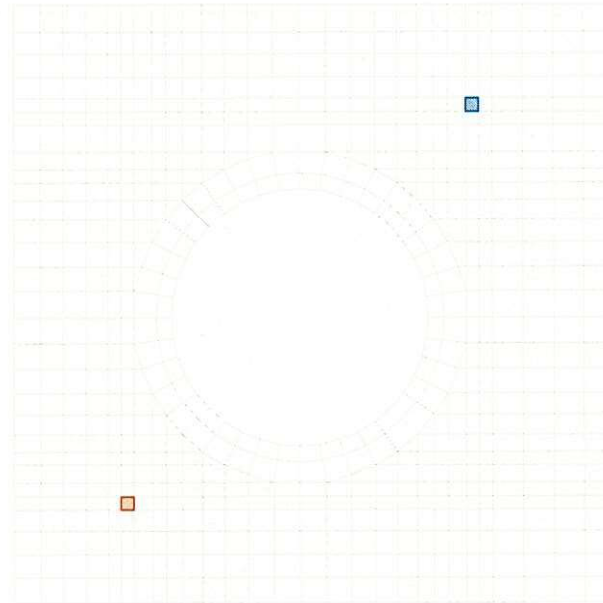
(a) 軸力+曲げモーメント (NS 方向または円周方向)



■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。

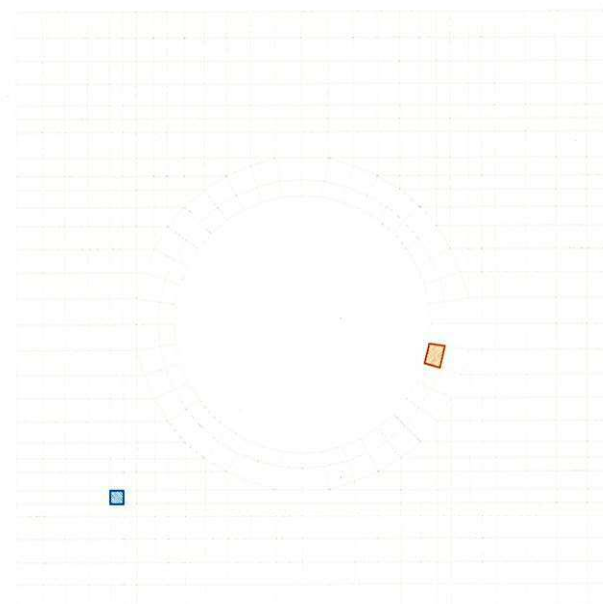
(b) 軸力+曲げモーメント (EW 方向または半径方向)

図 3.1.7-5 (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. 7-5 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置

表 3.1.7-4 原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果 (S₀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	組合せ ケース	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·m/m)	NS	851	2-12	10.7	11.8
		半径	276	2-3	43.6	49.8
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	2-6	1.45*	2.12
		半径	279	2-3	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	組合せ ケース	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·m/m)	NS	851	1-7	10.9	12.2
		EW	626	1-6	23.2	32.4
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	851	1-1	1.60	2.19
		EW	465	1-4	1.90	2.19

3.1.7.8 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討

3.1.7.7 項の評価結果に対して、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う。

(1) 検討方針

「3.1.7.2 検討方針」に示す検討方針と同様である。ただし、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を3.1.7.7項の評価結果に乗じて構造健全性の検討を行う。

(2) 検討結果

原子炉建屋基礎盤については、1次遮蔽壁（以下「シェル壁 (S/W)」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁 (I/W)」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下、「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁 (O/W)」という。）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 m～EL. 2.0 m）の最大応答せん断力及び軸力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。

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表3.1.7-5に示す。

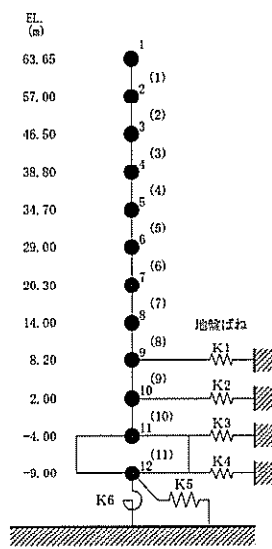
原子炉建屋基礎盤の断面評価結果を表3.1.7-6に示す。重量増加を考慮した割増係数に乗じた結果においても、各許容値を超えないことを確認した。

表 3.1.7-5 重量増加を考慮した割増係数：原子炉建屋基礎盤

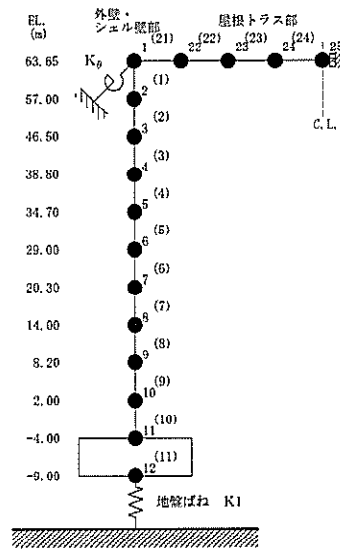
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号 (10)	1.02 ^{*1}	1.02 ^{*1}	1.02 ^{*1}
割増係数	1.02 ^{*2}		

注記 *1：添付書類「V-2-2-1 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

*2：各方向の応答比率の最大値



NS, EW 方向



UD 方向

表 3.1.7-6 重量増加を考慮した評価結果 (S₀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	1.45*	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

3.1.7.9 検討のまとめ

矩形の基礎は、直交する水平2方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、原子炉建屋基礎盤（原子炉棟基礎及び付属棟基礎）について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施した。

検討の結果、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向の地震力の影響により解析結果の値は増加傾向にあり、一部最大となる要素位置が変わるものもあるが、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は各許容値を超えないことを確認した。

また、原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響について検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題となら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（原子炉棟基礎及び付属棟基礎）が有する耐震性への影響はないことを確認した。

3.1.8 使用済燃料プールの検討

3.1.8.1 検討の概要

使用済燃料プールの耐震壁は面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の水圧等の荷重が作用する部位であり、水平2方向の地震力を受ける。

使用済み燃料プールは、原子炉建屋の原子炉棟の燃料取替床 (EL. 46.50 m) 付近に位置する鉄筋コンクリート構造物で、使用済燃料、制御棒及び使用済燃料輸送容器が収容される。使用済燃料プール内には、収容される機器の遮蔽及び冷却のため常時水が張られている。使用済燃料プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐと共に、保守、点検についても考慮されている。

使用済燃料プールはほぼ長方形で、その大きさは、内面寸法で 12.192 m×10.363 m、壁厚 2.154 m、底面スラブ厚 1.599 m である。

使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 3.1.8-1 及び図 3.1.8-2 に、使用済燃料プール周りの概略平面図及び概略断面図を図 3.1.8-3 及び図 3.1.8-4 に示す。

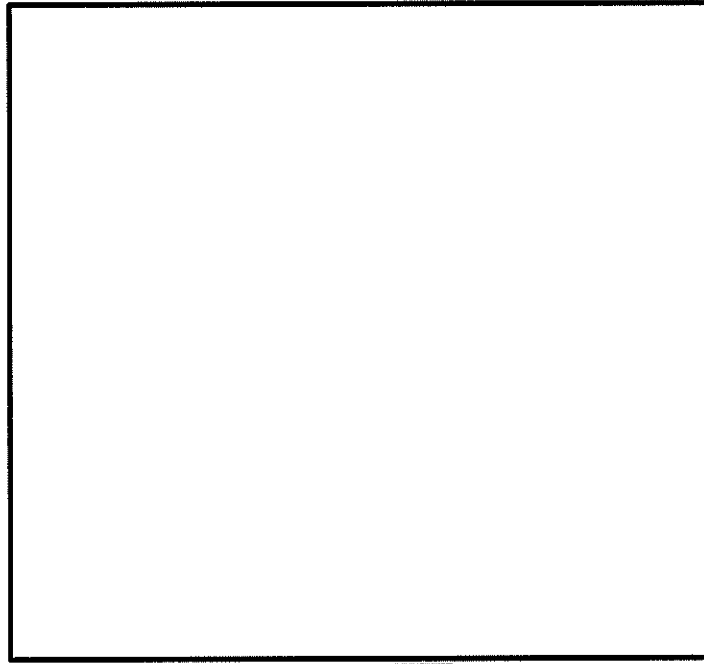


図 3.1.8-1 の概略平面図 (EL. 46.5 m)

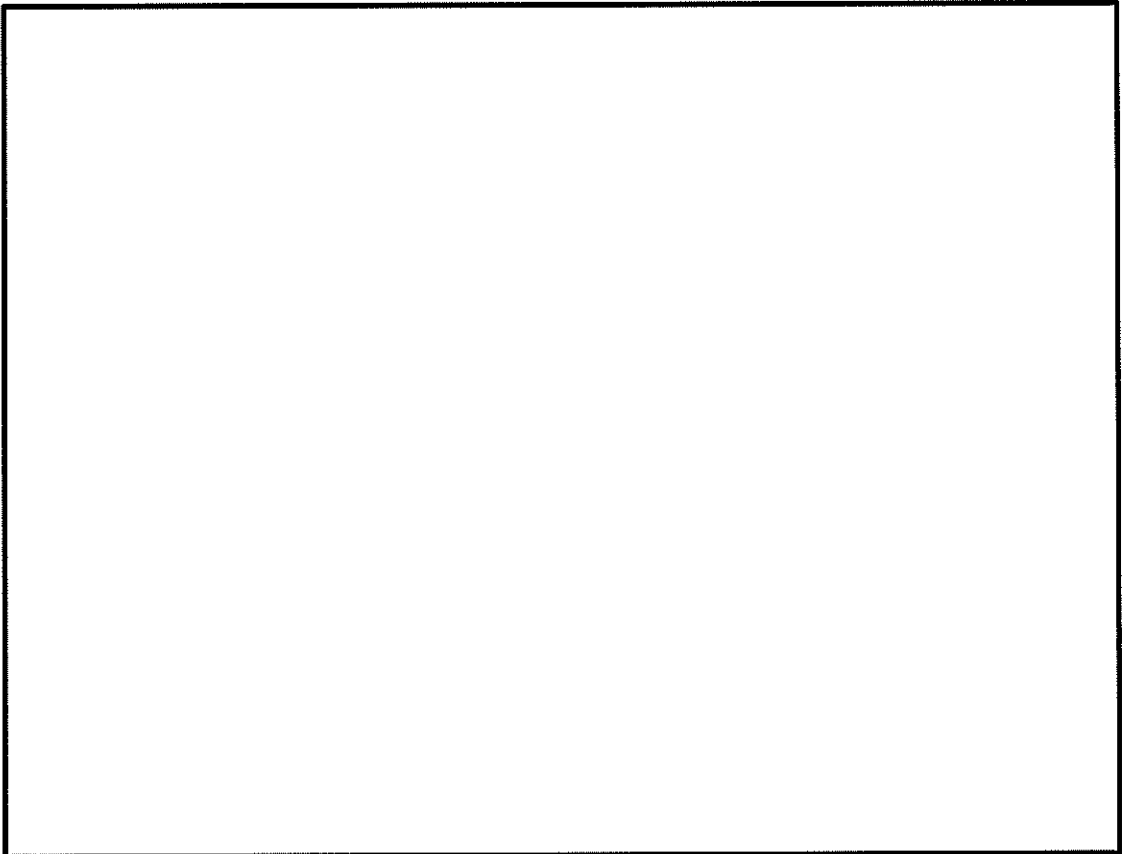


図 3.1.8-2 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

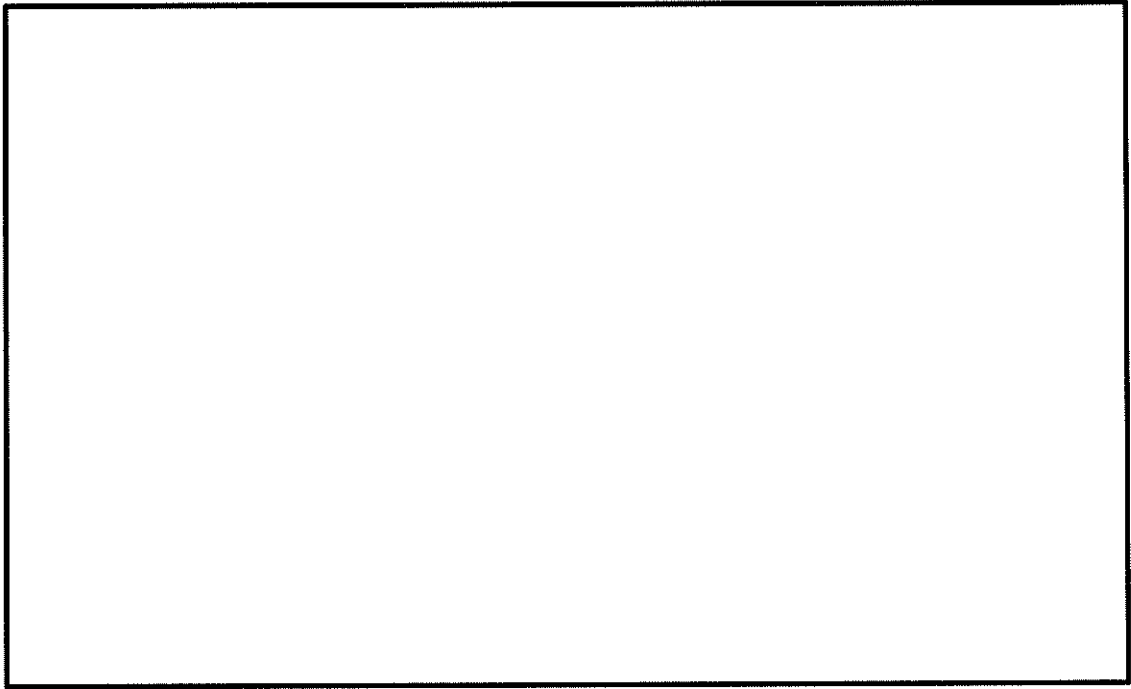


図 3.1.8-3 の概略平面図 (EL. 38.80 m)

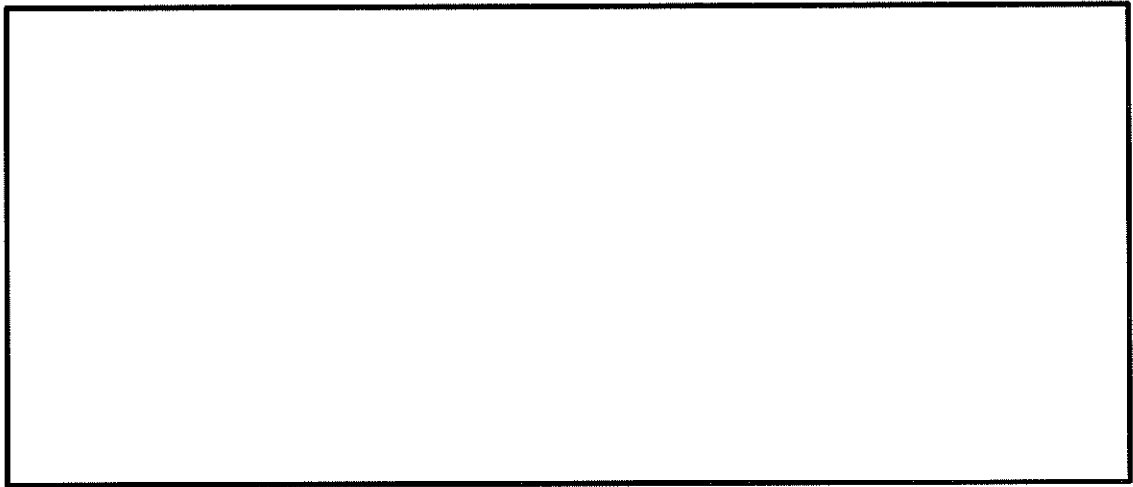


図 3.1.8-4 使用済燃料プール周りの概略断面図 (A-A 断面)

3.1.8.2 検討方針

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

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

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「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」に示すものと同一である。

3.1.8.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。荷重の組合せを表3.1.8-1に示す。

荷重の詳細は、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「3.2.1 荷重」に示す固定荷重(G)、積載荷重(P)、静水圧荷重(H_s)、長期ラック荷重(R_0)、動水圧荷重(H_s)及び地震荷重(S_s)と同一である。

表3-1 荷重の組合せケース (S_s 地震時)

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$G+P+H_s+R_0+H_s+S_s$

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- H_s : 静水圧荷重
- R_0 : 長期ラック荷重
- H_s : 動水圧荷重
- S_s : S_s 地震荷重

3.1.8.4 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容応力度は、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「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

3.1.8.5 応力解析

(1) 解析モデル

解析モデル図を図3.1.8-5に示す。

解析モデルの詳細は、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「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

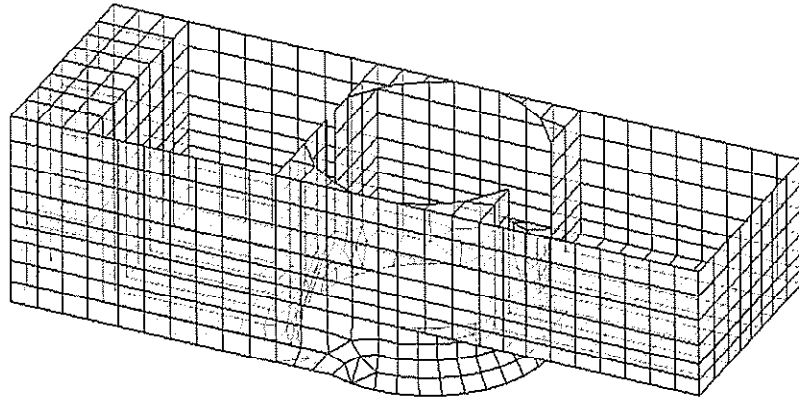


図 3.1.8-5 解析モデル概要図

(2) 荷重ケース

S_d 地震時， S_d 地震時+温度及び S_s 地震時の応力は，単独荷重による解析で求まる応力を組合せて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。

GP	:	固定荷重及び積載荷重		
H_s	:	静水圧荷重		
R_0	:	長期ラック荷重		
S_{SWE}^*	:	S_s 地震荷重	W→E 方向	GP 及び R_0 による慣性力
S_{SSN}^*	:	S_s 地震荷重	S→N 方向	GP 及び R_0 による慣性力
S_{SDU}^*	:	S_s 地震荷重	鉛直方向	GP 及び R_0 による慣性力
H_{SWE}^*	:	S_s 地震荷重	W→E 方向	水平地震力による動水圧荷重
H_{SSN}^*	:	S_s 地震荷重	S→N 方向	水平地震力による動水圧荷重
H_{SDU}^*	:	S_s 地震荷重	鉛直方向	鉛直地震力による動水圧荷重

注記 * : 加力方向により絶対値の差異はないため，計算上の座標軸を基本として，EW 方向は W→E 方向加力，NS 方向は S→N 方向加力，鉛直方向は上向き加力を記載している。

(3) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースは、 S_s 地震時の単独荷重を、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Casused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。なお、水平2方向と鉛直方向の組み合わせにおいては、水平1方向と鉛直方向の組合せの結果を考慮して鉛直方向地震力に0.4を乗じるケースに対して実施する。

荷重の組合せケースを表3.1.8-2に示す。

表3.1.8-2 (1/2) 荷重の組合せケース
(a) 水平2方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せケース
S_s 地震時	4-1	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-2	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-3	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-4	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-5	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-6	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-7	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-8	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4-9	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4-10	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4-11	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4-12	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4-13	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4-14	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4-15	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4-16	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$

表 3.1.8-2 (2/2) 荷重の組合せケース

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せケース
S _s 地震時	3 - 1	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SWE} + 1.0H_{SWE} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 2	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SWE} - 1.0H_{SWE} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 3	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SSN} + 1.0H_{SSN} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 4	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SSN} - 1.0H_{SSN} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 5	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SWE} + 1.0H_{SWE} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 6	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SWE} - 1.0H_{SWE} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 7	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SSN} + 1.0H_{SSN} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 8	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SSN} - 1.0H_{SSN} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 9	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SWE} + 0.4H_{SWE} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 10	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SWE} - 0.4H_{SWE} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 11	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SSN} + 0.4H_{SSN} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 12	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SSN} - 0.4H_{SSN} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 13	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SWE} + 0.4H_{SWE} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$
	3 - 14	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SWE} - 0.4H_{SWE} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$
	3 - 15	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SSN} + 0.4H_{SSN} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$
	3 - 16	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SSN} - 0.4H_{SSN} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$

3.1.8.6 評価方法

使用済燃料プールの壁の評価は、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」の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

3.1.8.7 評価結果

断面の評価結果を以下に示す。また、使用済燃料プールの壁の配筋一覧を表 3.1.8-3 に示す。

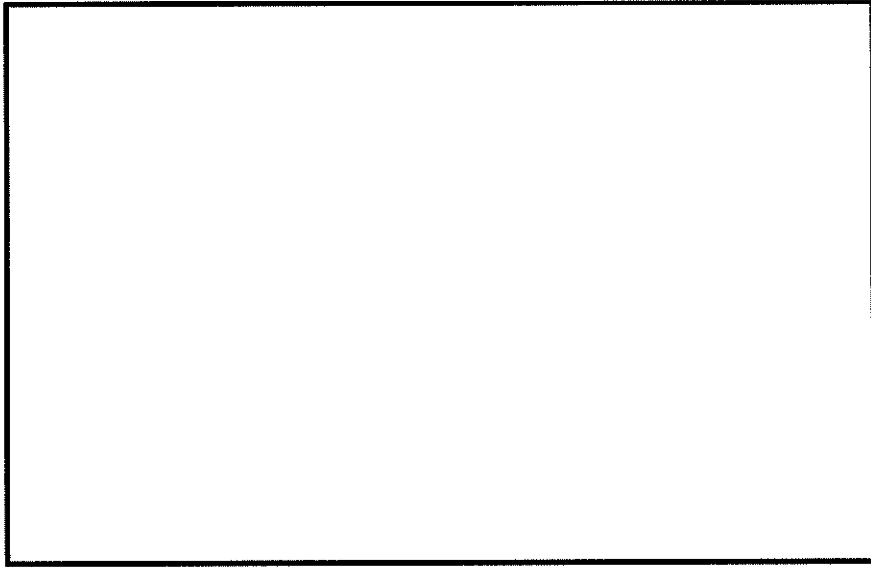
断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3.1.8-6 及び図 3.1.8-7 に、評価結果を表 3.1.8-4 に示す。

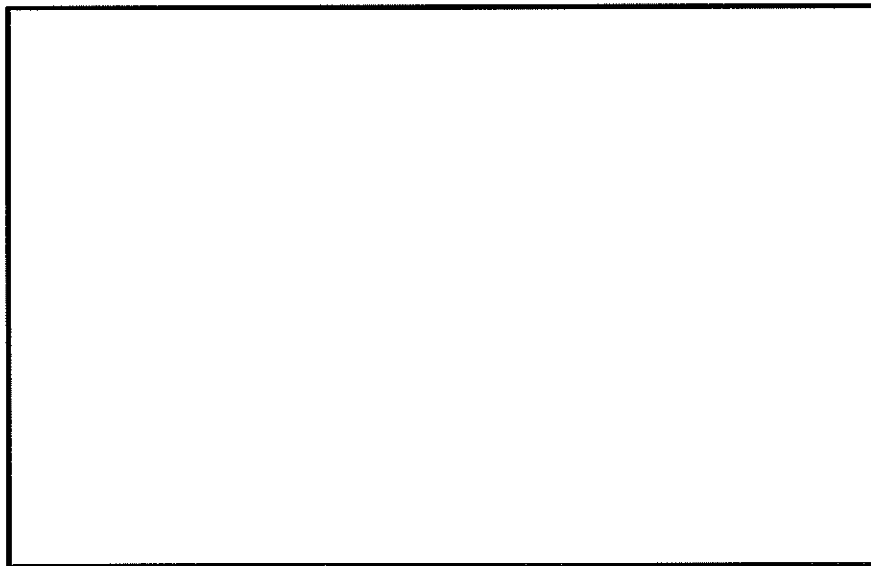
S。地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により解析結果の値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値は各許容値を超えないことを確認した。

表 3.1.8-3 配筋一覧

部位	レベル EL. (m)	壁厚 (cm)	配筋	
			縦筋	横筋
北側壁	34.689～ 39.191	200	D35@200 2段 内 D29@200 2段 外	D29@200 2段 内外共
	39.191～ 46.5	200	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
東側壁	34.689～ 39.191	215.4	D35@200 2段 内 D29@200 2段 外	D29@200 2段 内外共
	39.191～ 46.5	215.4	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
南側壁	34.689～ 46.5	157.6	D38@200 2段 内外共	D38@200 2段 内外共
西側壁	34.689～ 39.191	215.4	D35@200 2段 内 D29@200 2段 外	D29@200 2段 内外共
	39.191～ 41.547	215.4	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
	41.547～ 43.198	137.2	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
	43.198～ 46.5	137.2	D29@200 2段 内外共	D29@150 2段 内外共

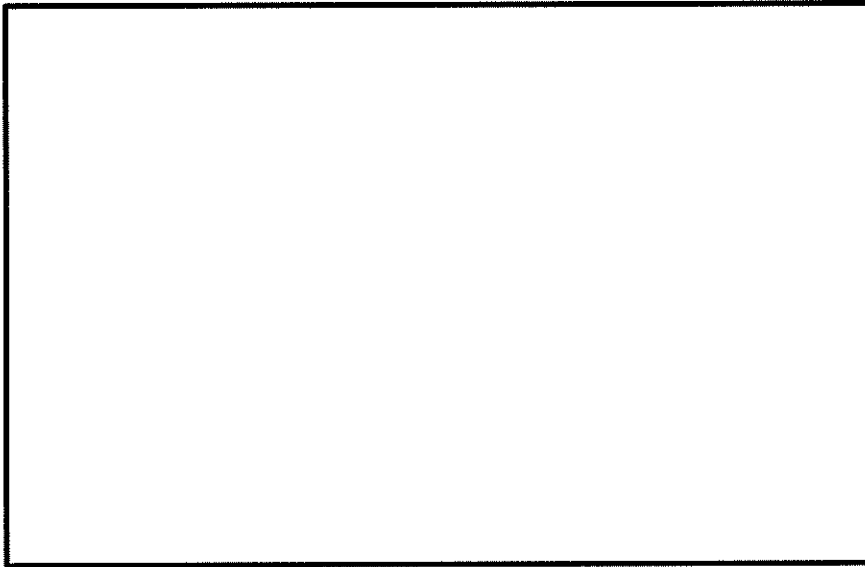


(a) 北側壁

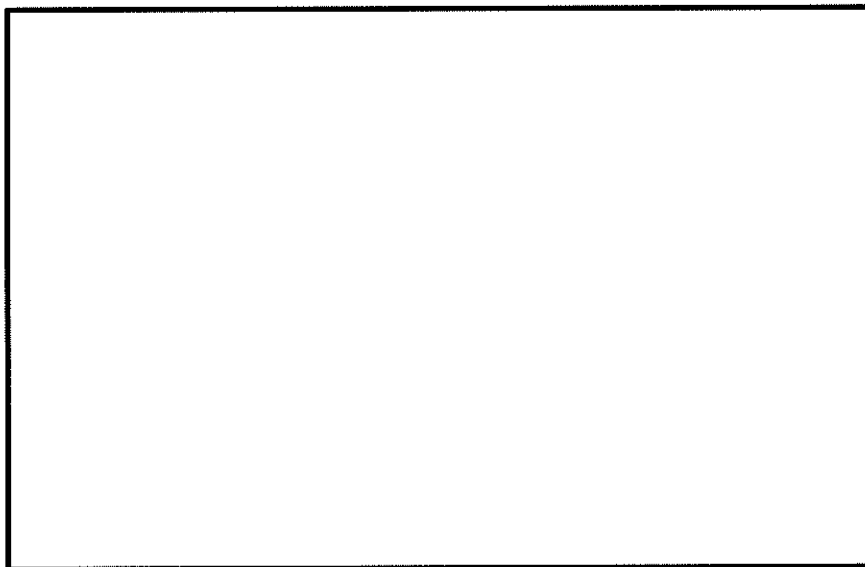


(b) 東側壁

図 3.1.8-6 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)

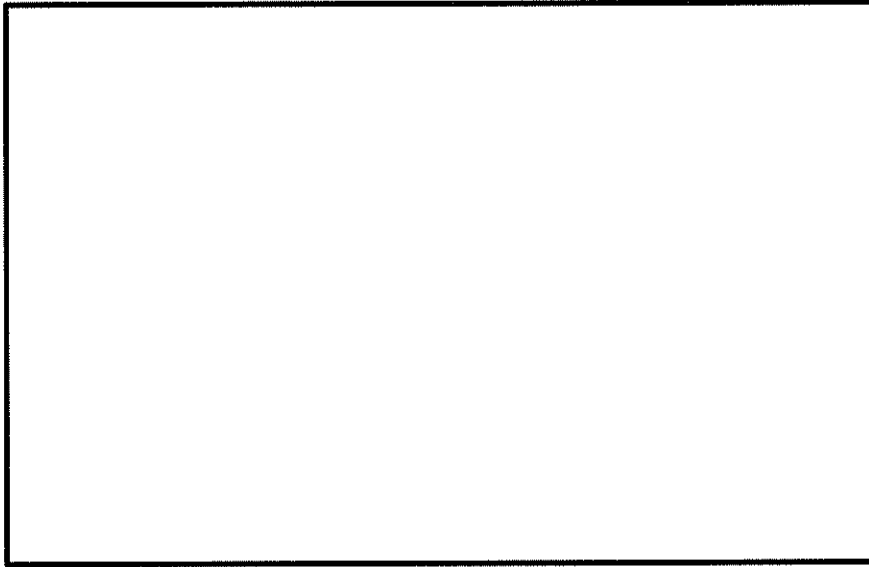


(c) 南側壁

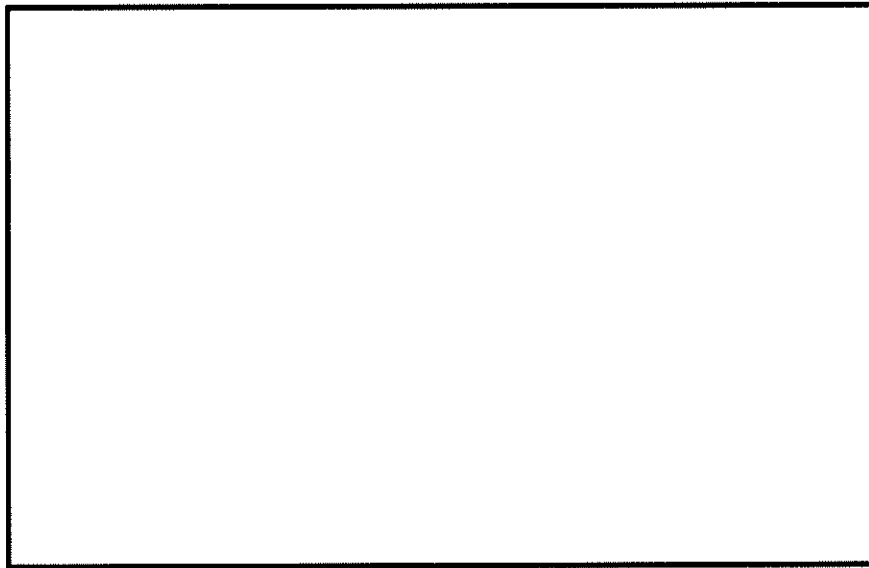


(d) 西側壁

図 3.1.8-6 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)

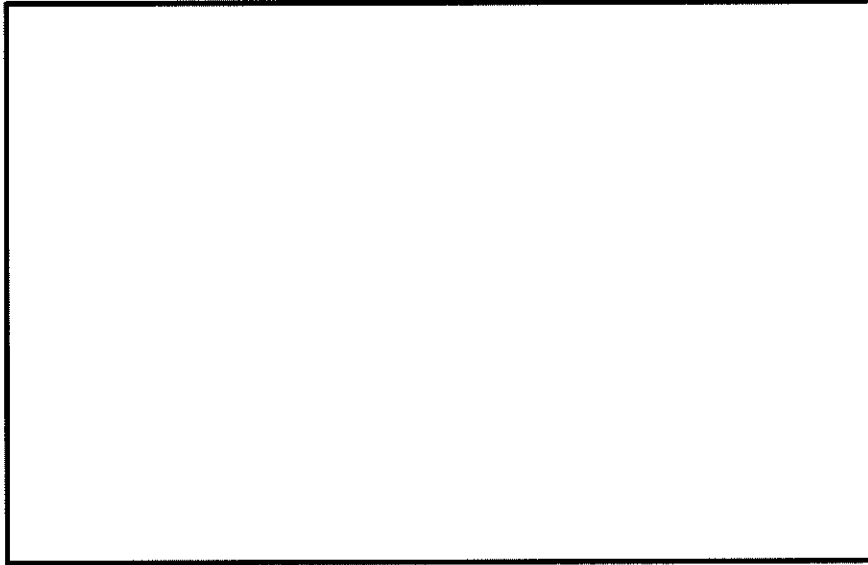


(a) 北側壁

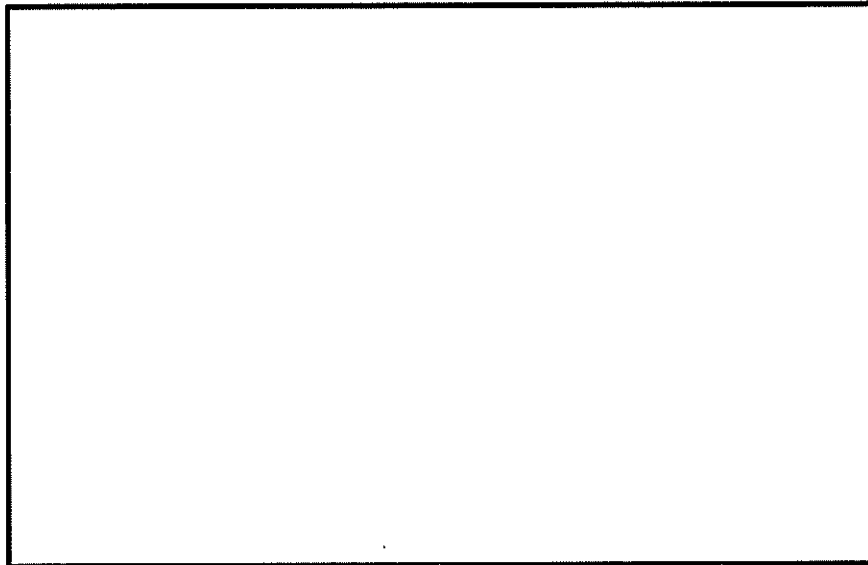


(b) 東側壁

図 3.1.8-7 (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 3.1.8-7 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)

表 3.1.8-4 (1/2) 使用済燃料プールの壁の評価結果 (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	要素位置	組合せケース	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	4 - 9	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	4 - 15	1.78	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1590	4 - 4	0.148	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	4 - 16	1.93	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	4 - 16	0.337	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	4 - 14	1.60	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1090	4 - 1	0.159	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	4 - 9	1.69	5.00	引張側
軸力	北側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	2272	4 - 3	0.716	14.7	
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1581	4 - 12	1.36	14.7	
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	3043	4 - 10	3.22	14.7	
	西側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1090	4 - 9	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	4 - 10	0.483	1.61	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	4 - 16	1.15	1.47	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	4 - 14	2.11	3.81	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	4 - 13	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	4 - 9	0.621	1.31	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1536	4 - 15	0.439	1.37	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7801	4 - 11	1.11	2.05	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	4 - 10	0.470	1.32	

表 3.1.8-4 (2/2) 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S₀地震時)

(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	組合せケース	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	3 - 16	0.142	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	3 - 5	1.77	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1535	3 - 5	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	3 - 7	1.78	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	3 - 15	0.393	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	3 - 5	1.46	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1035	3 - 6	0.145	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	3 - 8	1.58	5.00	引張側
軸力	北側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	2272	3 - 2	0.701	14.7	
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1581	3 - 8	1.36	14.7	
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	3055	3 - 15	3.15	14.7	
	西側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1090	3 - 8	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	3 - 13	0.648	1.97	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	3 - 7	1.06	1.50	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	3 - 5	2.08	3.93	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	3 - 7	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	3 - 16	0.666	1.28	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1546	3 - 13	0.424	1.27	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7803	3 - 15	0.895	1.60	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	3 - 6	0.457	1.32	

3.1.8.8 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討

3.1.8.7 項の評価結果に対して、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う。

(1) 検討方針

「3.1.8.2 検討方針」に示す検討方針と同様である。ただし、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を3.1.8.7項の評価結果に乗じて構造健全性の検討を行う。

(2) 検討結果

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. 46.5 m～EL. 34.7 m 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. 46.5 m～EL. 34.7 m 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。

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、並びに割増係数を表 3.1.8-5 に示す。

表 3.1.8-6 に評価結果を示す。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。

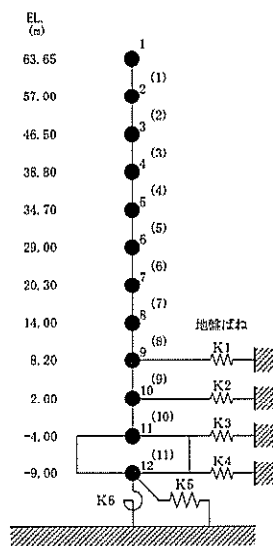
表 3.1.8-5 重量増加を考慮した割増係数：使用済燃料プール

	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}		

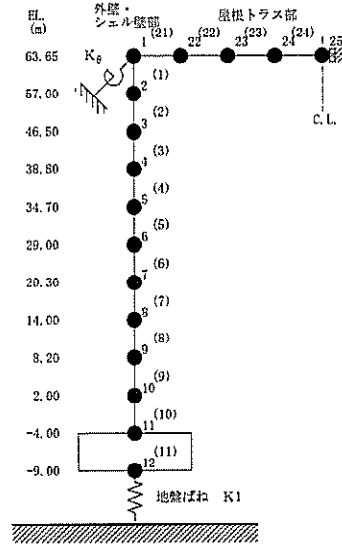
注記 *1：添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」別紙1に示す要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率の最大値

*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 3.1.8-6 重量増加を考慮した評価結果 (S₂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 (N/mm^2)	2272	0.716	1.04	0.745	14.7
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm^2)	1581	1.36	1.04	1.42	14.7
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm^2)	3043	3.22	1.04	3.35	14.7
	西側壁	圧縮応力度 (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	1.16	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

3.1.8.9 検討のまとめ

使用済燃料プールの壁は、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の水圧等の荷重が作用する部位であるため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施した。

検討の結果、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、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変わり、解析結果の値は増加傾向であるものの、S₀地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断力並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

また、原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響について検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題となら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。

3.2 機器・配管系

3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

機器・配管系における従来水平方向及び鉛直方向の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動 S_0 を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。設備配置及び応答軸の概念図を図 3-2-1 に示す。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じ難い構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮など、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

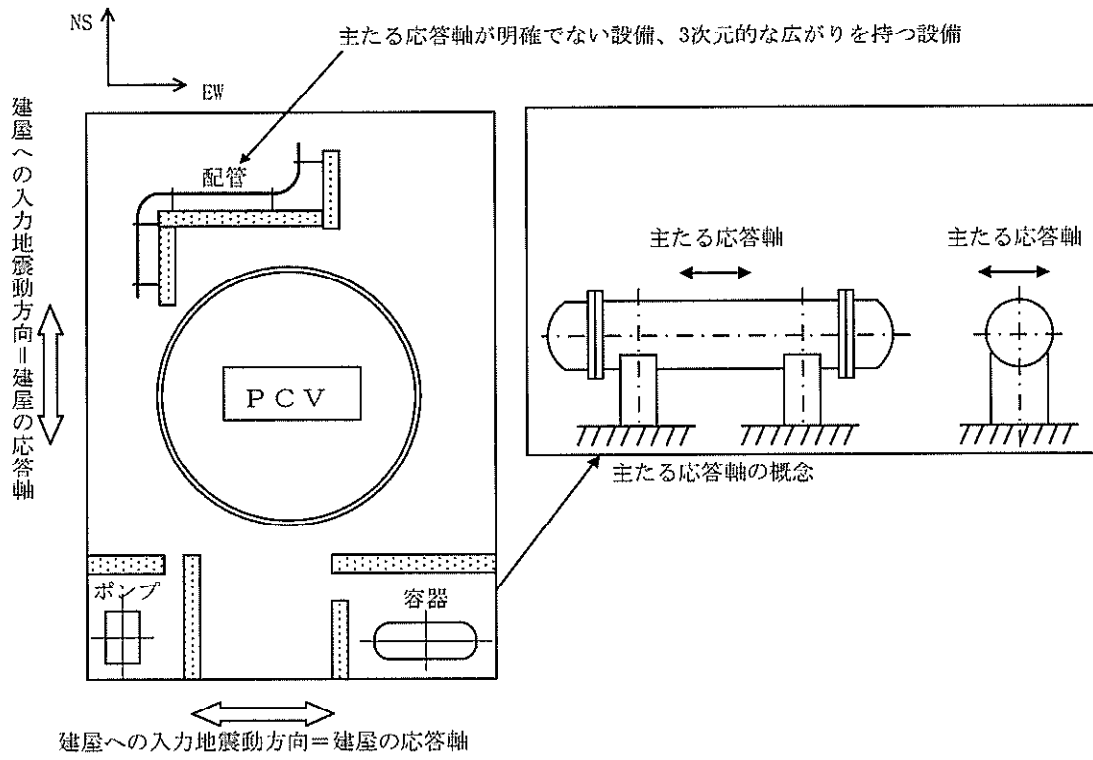


図 3-2-1 設備配置及び応答軸の概念図

3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故対処施設の機器・配管系、並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。

対象とする設備を機種ごとに分類し、それぞれの構造上の特徴により荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平2方向の地震力による影響を受ける可能性のある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響を受ける可能性がある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1：1で入力された場合の発生値を、従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平2方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる、又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平2方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が、従来の発生値と同等である場合は影響がある設備として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 S_0 を対象とするが、複数の基準地震動 S_0 における地震動の特性及び包絡関係、地震力の包絡関係を確認し、代表可能である場合は代表の基準地震動 S_0 にて評価する。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを図3-2-2に示す。

なお、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最

大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。)又は組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)を適用する。この組合せ方法については、現状の耐震評価は基本におおむね弾性範囲でとどまる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考としているものである。

① 評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、代表的な機種ごとに分類し整理する(図3-2-2 ①)。

② 構造上の特徴による抽出

機種ごとに構造上の特徴から水平2方向の地震力が重畳する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する(図3-2-2 ②)。

③ 発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。この際、従来評価で用いている質点系モデルと3次元FEMモデルによる応答解析結果の比較により、機器・配管系の耐震評価に用いる応答が増幅する部位が抽出された場合には、図3-2-3に示す建屋応答の増幅を考慮した影響評価フローに基づき、設備の耐震性への影響を確認する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備(部位)を対象とする(図3-2-2 ③)。

④ 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて，設備の耐震性への影響を確認する（図 3-2-2 ④）。

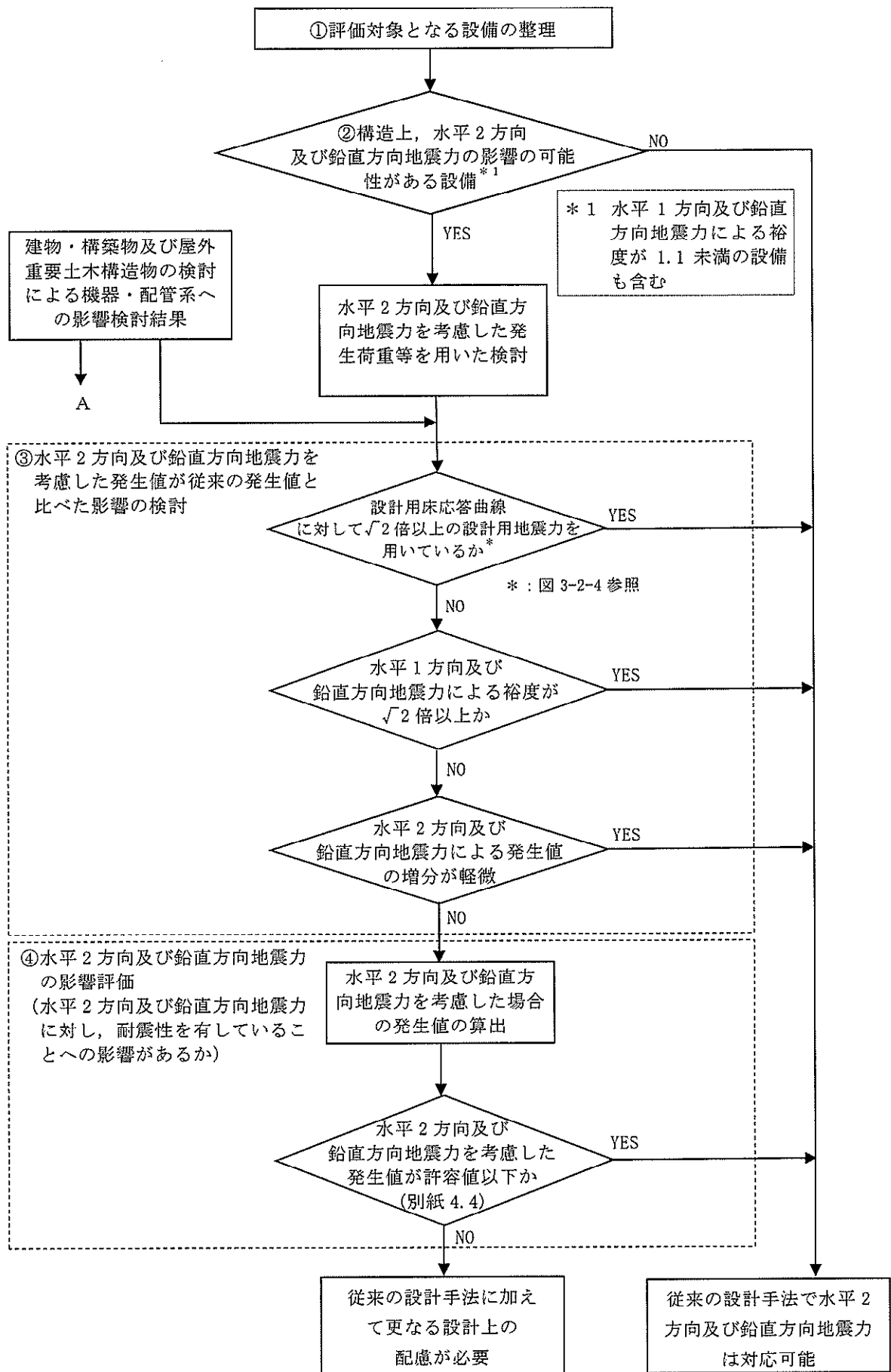


図 3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

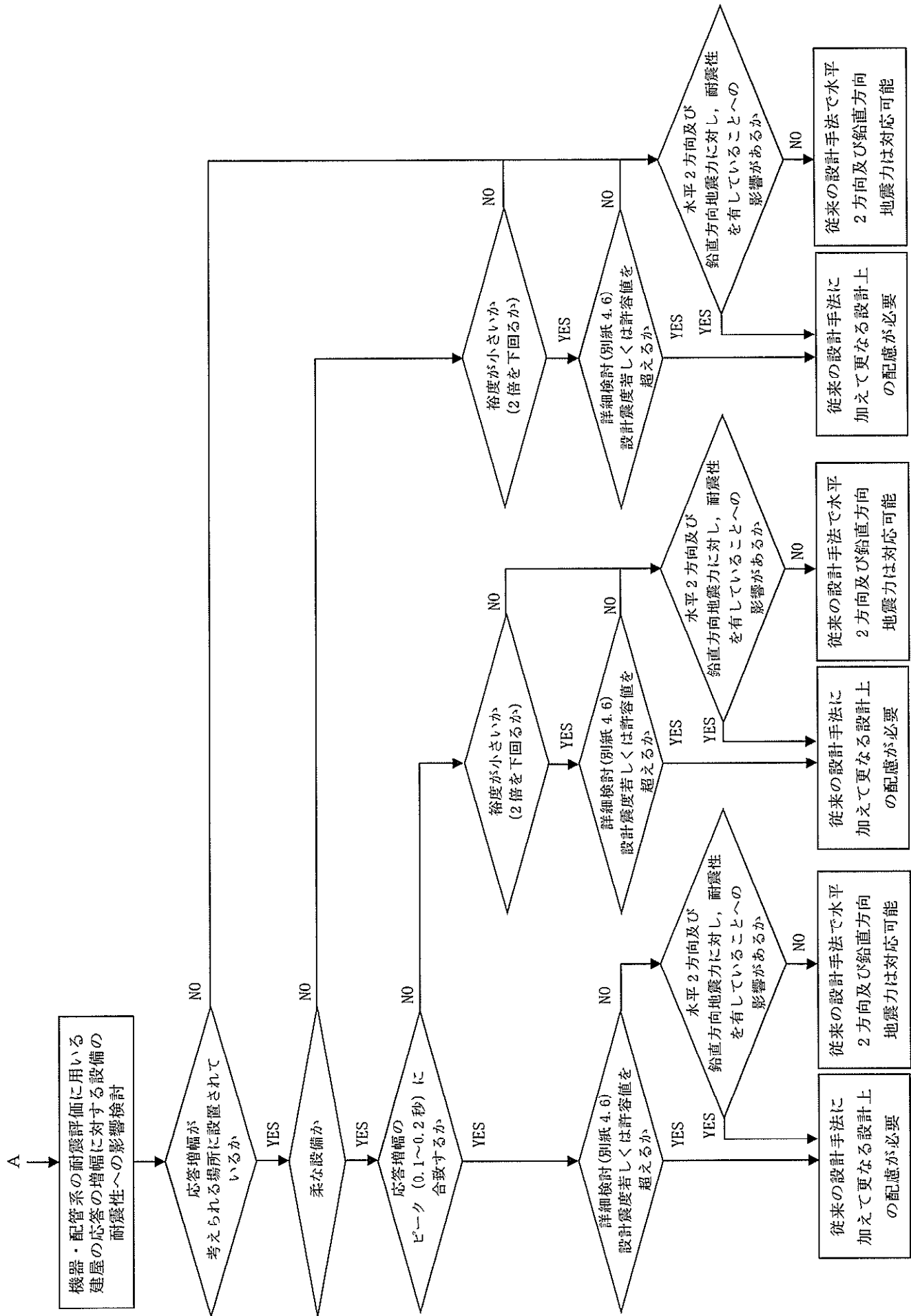


図 3-2-3 建屋応答の増幅を考慮した影響評価フロー

3.2.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を、表 3-2-1 に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を水平2方向の地震力が重畳する観点より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した（別紙 4.1 参照）。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる機器を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の機器については個別に検討を行うこととする。

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

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優位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機器は無かった。

(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) 及び (2) にて影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、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。別紙 4.5 に対象の考え方を示し、別紙 4.2 表 1 に (1) 及び (2) において抽出された設備のうち対象とした部位や応力分類の詳細を示す。水平 2 方向

の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide1.92 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 法により組合せ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

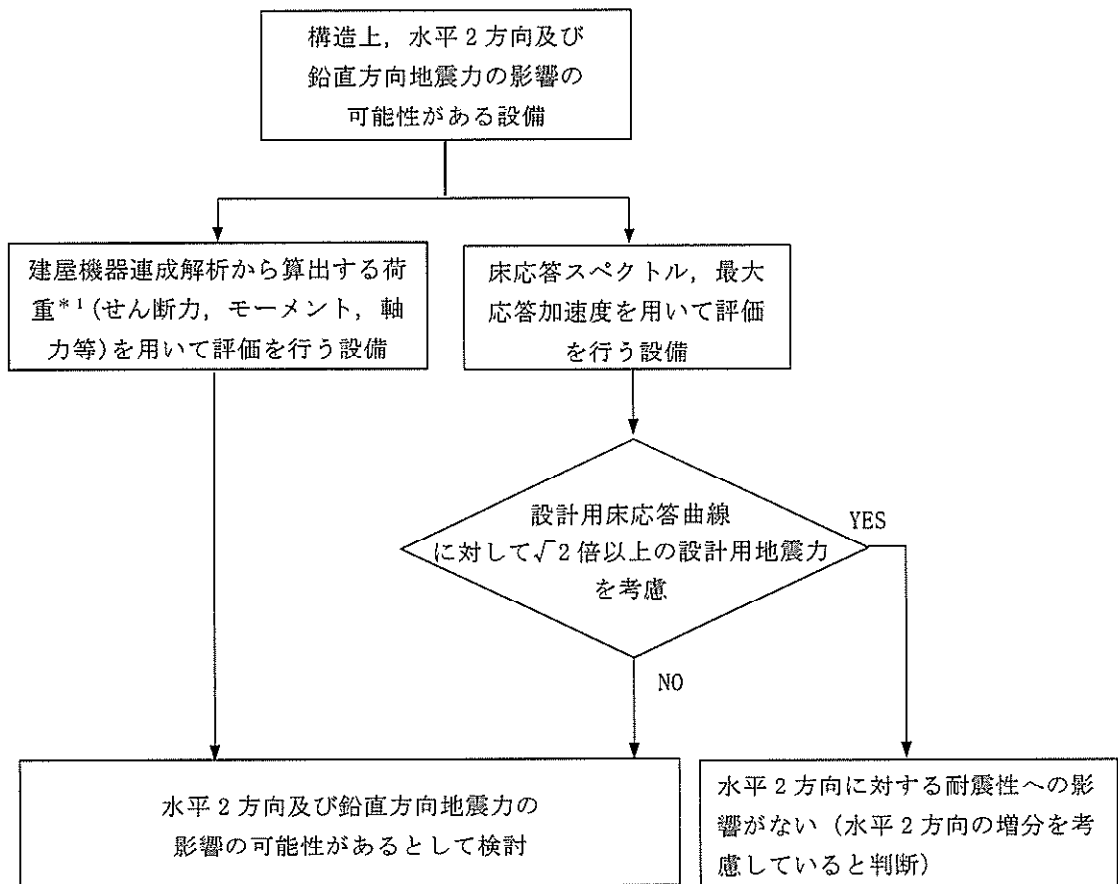
- ・従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみを組み合わせた後、地震以外による応力と組み合わせて算出する。
- ・設備（部位）によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、設計荷重が上記組合せによる発生値を上回ることを確認したものは、水平 2 方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- ・応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

今回工認の耐震計算では、一部設備については、設計上の配慮として、建物・構築物、土木構造物及び建屋－機器連成解析モデルにおける地震応答解析から得られる最大応答加速度（ZPA）、設計用床応答曲線*に 1.5 倍した耐震評価条件（以下、本資料では「設計用地震力」という。）を用いている。水平 2 方向の地震力は、水平方向の地震力に対する方向性を踏まえれば、水平 1 方向の地震力を $\sqrt{2}$ 倍以上した地震力を耐震評価条件とすれば、水平 2 方向の地震力による増分を考慮したといえる。これより、1.5 倍した設計用地震力を適用した設備については、水平 2 方向及び鉛直方向による地震力に対する影響の懸念はないと整理する。

一方、建屋－機器連成解析から算出する荷重（せん断力、モーメント、軸力等）を用いて評価を行う設備も 1.5 倍の地震力を耐震条件としているが、これは時刻歴応答解析を適用することによる配慮（材料物性のばらつきの考慮）として 1.5 倍しているため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性があると検討を行う。

対応方針を図 3-2-4 に示す。

注記 *：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における「3.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を用いた地震応答解析ケース（基本ケース）であり、材料物性のばらつき等の考慮として床応答曲線を周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅している。



注記 *1: 時刻歴応答解析を適用することによる配慮として1.5倍している。

図 3-2-4 設計用地震力の水平2方向に対する耐震性への影響判断フロー

3.2.5 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

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。このため、図3-2-3に示すフローに基づき機器・配管系への影響を検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

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。

(1) 評価対象設備抽出の考え方

影響評価においては、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も含まれていることから、3次元FEMモデルによる影響評価として詳細検討（加速度比率と耐震裕度の比較等）を行う対象設備を、図3-2-3に示すフローに基づき抽出する。フローの考え方を以下に示す。

a. 応答増幅の有無

応答の増幅が顕著に見られるのは、壁及び床の中央付近であり、壁の端部や床の端部、耐震壁直上の床については応答増幅が小さい。このため、応答増幅が小さい場所に設置される設備については、3次元FEMモデルによる応答増幅の影響が小さいものとして影響評価の対象から除外する。

b. 耐震裕度の大小関係

(a) 柔な設備

質点系モデルと3次元FEMモデルの床応答スペクトル（以下「FRS」という。）を比較すると、3次元FEMモデルの応答の増幅が大きくなる周期帯は、概ね0.1～0.2秒の領域にあることから、この領域に固有周期を有する設備については、全て詳細検討の対象とする。

FRSの周期が0.1秒以下の領域では、質点系モデルに対する3次元FEMモデルの応答比率が概ね2倍を下回り、応答増幅の影響が比較的小さいことから、この領域に固有周期を有する設備について、耐震裕度が大きい（2倍以上）設備は詳細検討の対象から除外し、耐震裕度が小さい（2倍を下回る）設備は詳細検討の対象とする。

(b) 剛な設備

剛な設備については、質点系モデルに対する3次元FEMモデルの応答比率が概ね2倍を下回り、応答増幅の影響が比較的小さいことから、上述の0.1秒以下に固有周期を有する設備と同様に、耐震裕度が大きい（2倍以上）設備は詳細検討の対象から除外し、耐震裕度が小さい（2倍を下回

る) 設備は詳細検討の対象とする。

3.2.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.2.4(1)及び(2)による影響を整理した結果を別紙4.2に、3.2.4(3)による影響を整理した結果を別紙4.3に示す。なお、別紙4.3では、別紙4.2にて影響ありとされた設備、又は裕度が1.1未満の設備を抽出して記載しているが、応答軸が明確な設備、設計上の配慮として $\sqrt{2}$ 倍以上の設計用地震力を適用している設備については耐震性への影響が懸念されないものとして整理している。また、水平2方向の地震力を組み合わせる場合、発生応力は最大応答の非同時性を考慮したSRSS法では最大 $\sqrt{2}$ 倍、組合せ係数法で最大1.4倍となるため、裕度(=許容値/発生値)が $\sqrt{2}$ 以上ある設備については、水平2方向の地震力による影響の評価は不要とし、別紙4.3には記載していない。

また、3.2.5項において整理した、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結果を表3-2-2に示す。ここでは、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる影響を踏まえ、詳細検討を実施する評価対象設備を抽出した結果を整理している。

3.2.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

別紙4.2において抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値(発生荷重、発生応力、応答加速度)を以下の方法により算出する。発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国Regulatory Guide 1.92の「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方向及び鉛直方向の地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

$$\text{水平2方向発生値} = \sqrt{(\text{NS方向発生値})^2 + (\text{EW方向発生値})^2 + (\text{UD方向発生値})^2}$$

- ・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 2 方向発生値

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

- ・ 水平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。

水平 2 方向発生値

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

または、

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

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。
- ・ 建屋－機器連成解析において、1.5 倍の地震力を用いて発生値を算出しており、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した際に発生値が増加する場合は、材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケースにて建屋－機器連成解析を行った結果を適用して発生値を算出する。

3.2.5 項の観点から 3.2.6 項で抽出した設備の影響評価では、以下のいずれかの方法を用いて評価を行う。評価の詳細については、別紙 4.6 に示す。

- ① 3 次元 FEM モデルにより得られた $S_d - D1$ の震度に係数を掛け、「基準地震動 S_8 波による応答」及び「地盤物性等のばらつき」を考慮した震度を推定し、質点系モデルの震度に包絡されること若しくは耐震裕度に包絡されることを確認する。
- ② $S_d - D1$ を入力とした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（地盤物性等のばらつきを考慮した裕度）に包絡されること若しくは許容値内に収まることを確認する。

3.2.8 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

別紙4.3において、水平2方向での発生値の増分の影響が無視できないと整理した設備について、3.2.7項の影響評価条件において算出した発生値に対して設備の耐震性への影響を確認する。評価した内容を設備（部位）毎に示し、その影響評価結果については重大事故等の状態も考慮した結果について別紙4.4に示す。

3.2.5項の観点から3.2.6項で抽出した設備について、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる影響を考慮した場合の設備の耐震性への影響を評価し、設備の健全性が確保できることを確認した。評価結果については、別紙4.6に示す。なお、別紙4.6で詳細評価を行った設備について、図3-2-2に示すフロー（機器・配管系の構造及び発生値の増分の観点から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価するフロー）に従い影響評価を実施した結果、応力評価が必要な設備として抽出されなかったことから、この観点での影響はなく、設備の健全性を確保できることを確認した。

3.2.9 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つい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 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 給水スパージャブラケット
原子炉圧力容器 支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト

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
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
ベント管	上部
	ブレーシング部
格納容器スプレイヘッド	上部ドライウェルスプレイヘッド案内管 下部ドライウェルスプレイヘッド案内管 スプレイヘッド(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
	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
防潮扉	各部位
放水路ゲート	各部位
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
原子炉建屋クレーン	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
	クレーン本体ガーダ
	落下防止金具
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	トロリストoppa
	トロリ
	吊具
	ガーダ
	浮上防止装置(つめ)
	浮上防止装置(取付ボルト)
原子炉遮蔽	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)
	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

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、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。

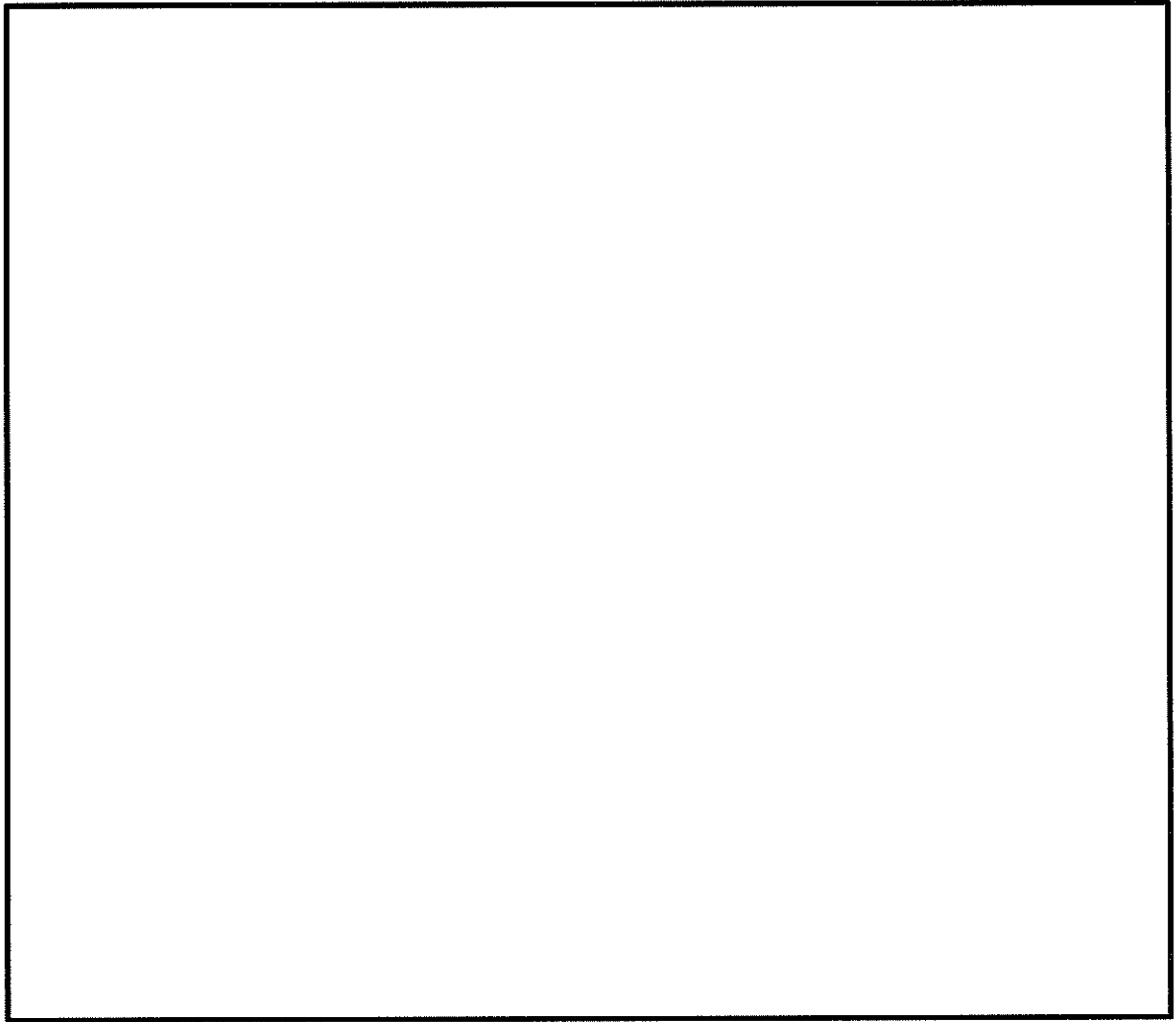


图 3-3-1 屋外重要土木构造物配置图

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)					○	
常設代替高压電源装置置場	○					
常設代替高压電源装置用カルバート (トンネル部)		○				
常設代替高压電源装置用カルバート (立坑部)			○			
常設代替高压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 (注)
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、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
⑧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	
⑨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)、立坑構造物(円筒形)及び管路構造物については、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。

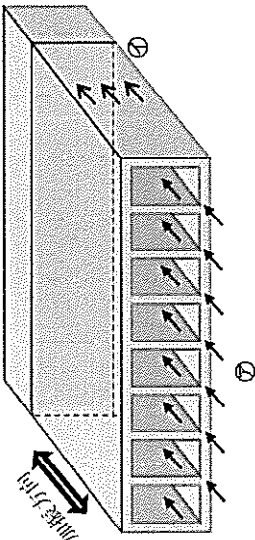
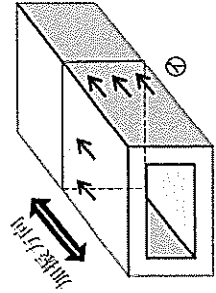
3.3.1 (1) で整理した構造形式の分類	<p>1) 箱型構造物 (取水構造物等)</p> <p>—— 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸断面方向)</p>  <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>2) 線状構造物 (常設低圧代替注水系配管カルバート (トンネル部等))</p> <p>—— 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸断面方向)</p>  <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>
3.3.1 (2) で整理した荷重の作用状況	<p>⑦動土圧及び動水圧 主に妻壁に作用</p> <p>⑧摩擦力 側壁に作用</p> <p>⑨慣性力 全ての部材に作用</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材 (妻壁) を有し、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>⑦動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>⑧摩擦力 側壁、頂版に作用</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平行に配置される構造部材を有さず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>
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	○	×
抽出結果 (○：影響検討実施)	○	×

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)

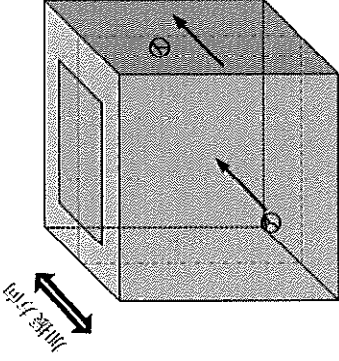
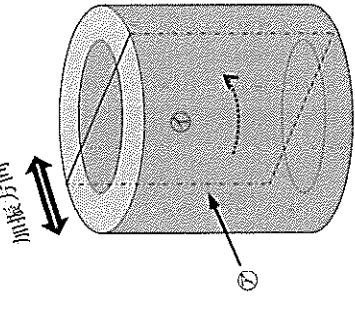
3.3.1 (1) で整理した構造形式の分類	<p>3) 立坑構造物(矩形) (常設低圧代替注水系配管カナルポート (立坑部) 等)</p> <p>—— 従来設計手法における評価対象断面</p>  <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>4) 立坑構造物(円筒形) (代替淡水貯槽等)</p> <p>—— 従来設計手法における評価対象断面</p>  <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>												
3.3.1 (2) で整理した荷重の作用状況	<table border="1"> <tr> <td>⑦ 動土圧及び動水圧</td> <td>主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td>④ 摩擦力</td> <td>主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td>⑨ 慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table> <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>	⑦ 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用	④ 摩擦力	主に胴体部に作用	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>主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td>④ 摩擦力</td> <td>主に胴体部に作用</td> </tr> <tr> <td>⑨ 慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table> <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>	⑦ 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用	④ 摩擦力	主に胴体部に作用	⑨ 慣性力	全ての部材に作用
⑦ 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用													
④ 摩擦力	主に胴体部に作用													
⑨ 慣性力	全ての部材に作用													
⑦ 動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用													
④ 摩擦力	主に胴体部に作用													
⑨ 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程度 抽出結果 (○：影響検討実施)	○	○												

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)

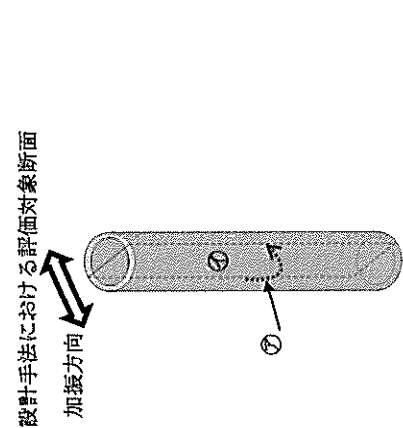
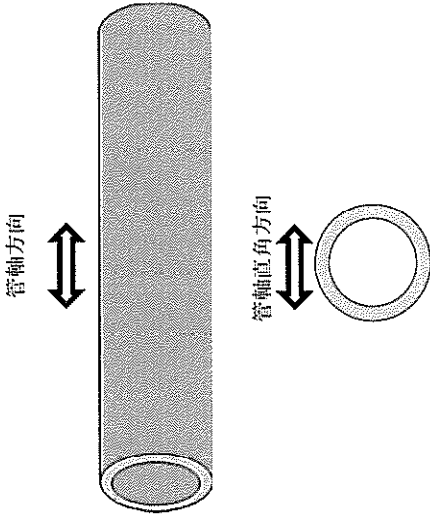
3.3.1 (1) で整理した構造形式の分類	<p>5) 鋼管杭基礎 (取水構造物等の杭基礎等)</p> <p>従来設計手法における評価対象断面 加振方向</p> 	<p>6) 管路構造物 (屋外二重管本体等)</p> <p>管軸方向</p> 
3.3.1 (2) で整理した荷重の作用状況	<p>⑦ 動土圧及び動水圧)の慣性力(胴体部)の構造解析材に作用</p> <p>① 摩擦力 主に胴体部に作用</p> <p>② 慣性力 全ての部材に作用</p>	<p>⑦ 動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>① 摩擦力 側壁, 頂版に作用</p> <p>② 慣性力 全ての部材に作用</p>
従来設計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>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>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の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>
抽出結果 (○: 影響検討実施)	○	×

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の抽出
(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。

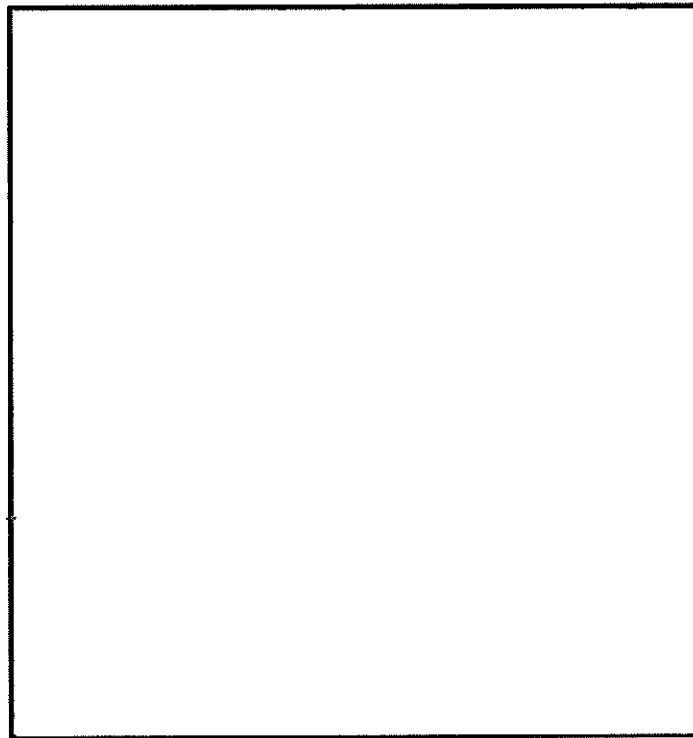


図3-3-2 常設代替高圧電源装置用カルバート配置図

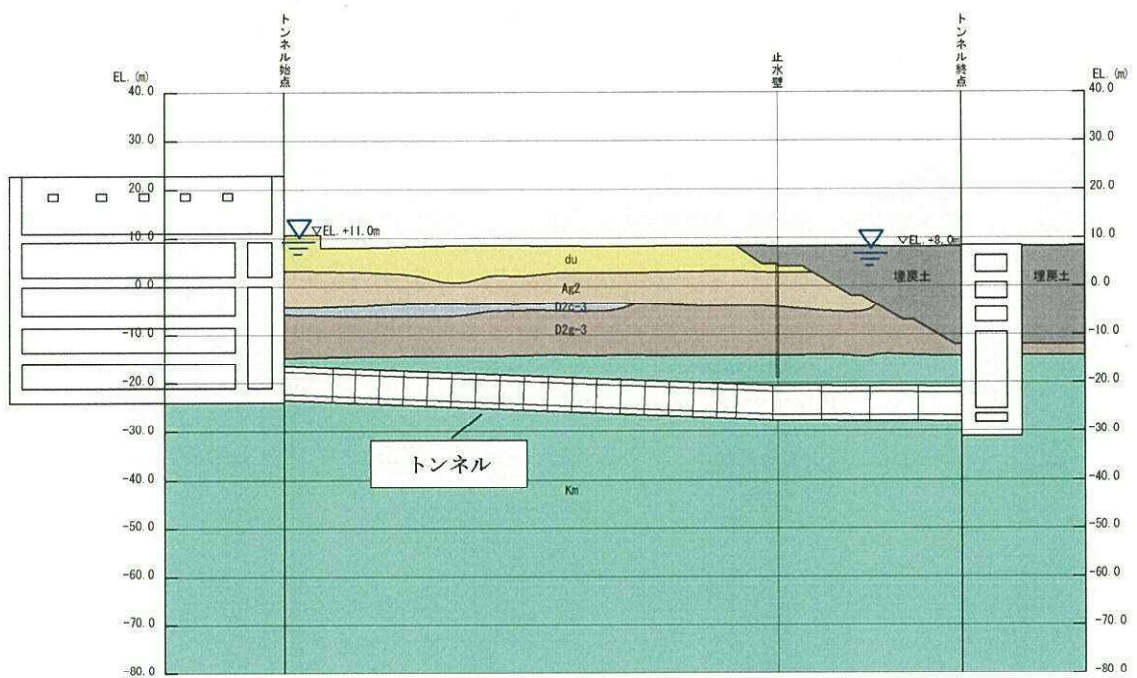


図 3-3-3 常設代替高压電源装置用カルバート（トンネル部）縦断面図

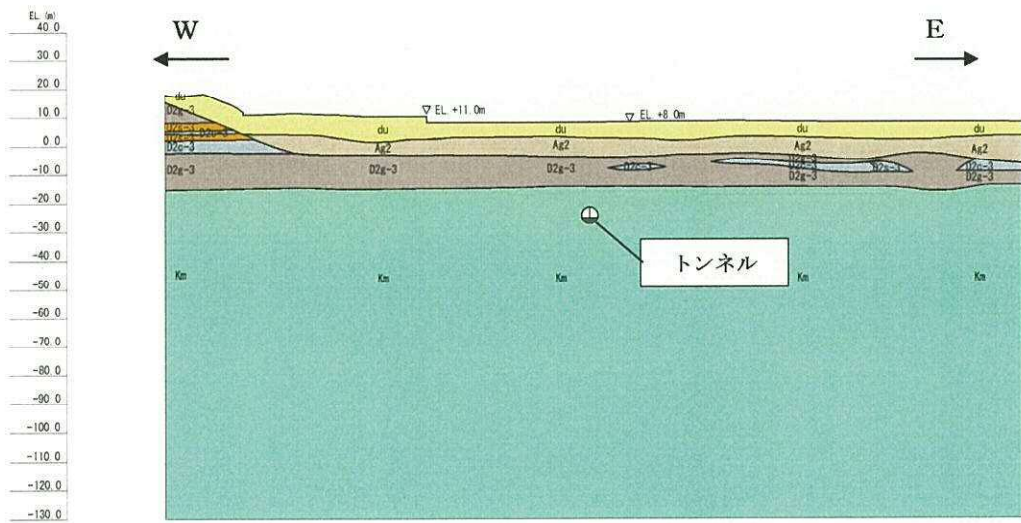


図 3-3-4 常設代替高压電源装置用カルバート（トンネル部）横断面図

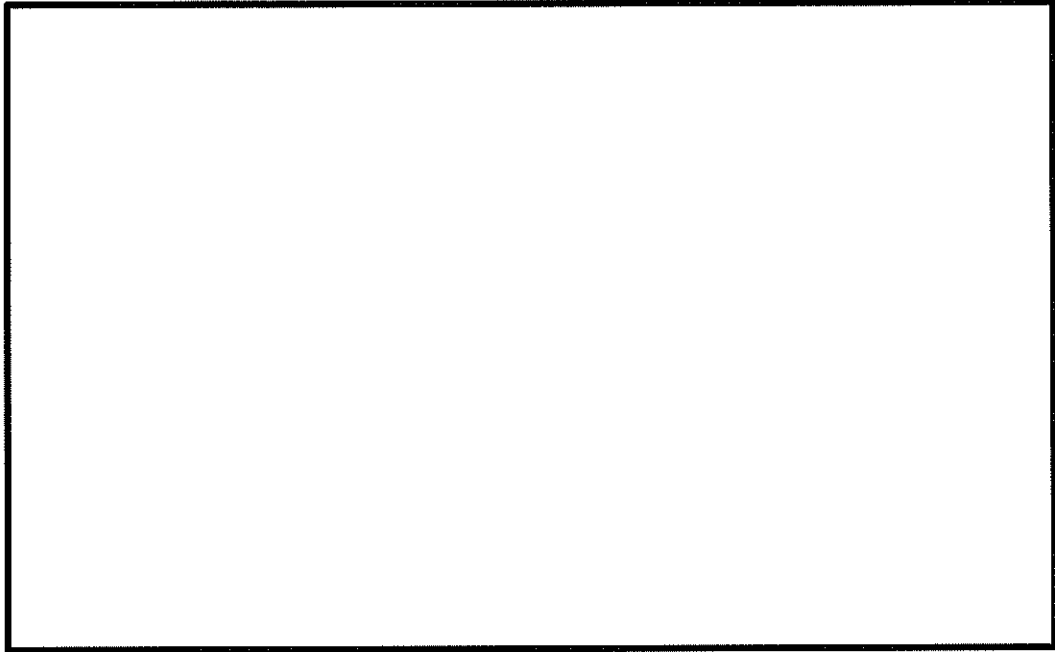


図 3-3-5 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）
施工目地の割り付け図

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。

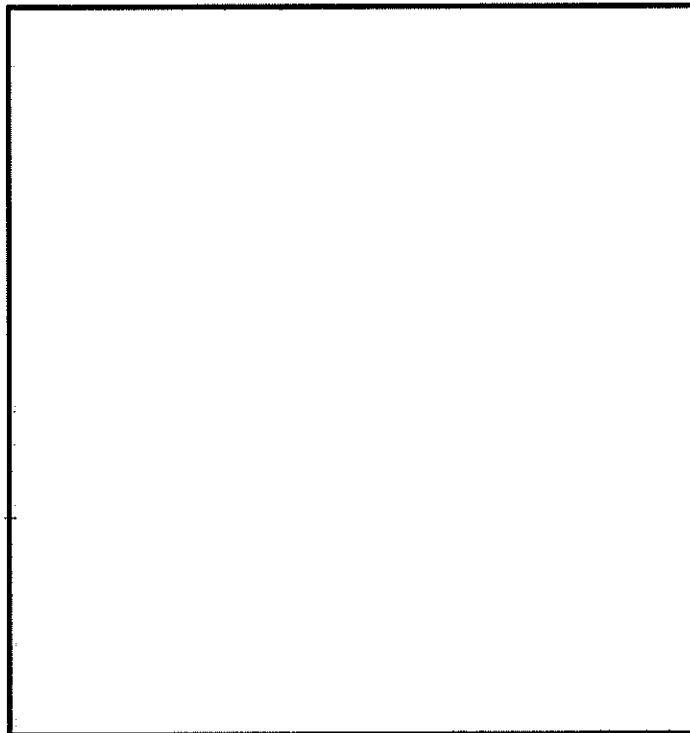


図 3-3-6 常設代替高圧電源装置用カルバート配置図

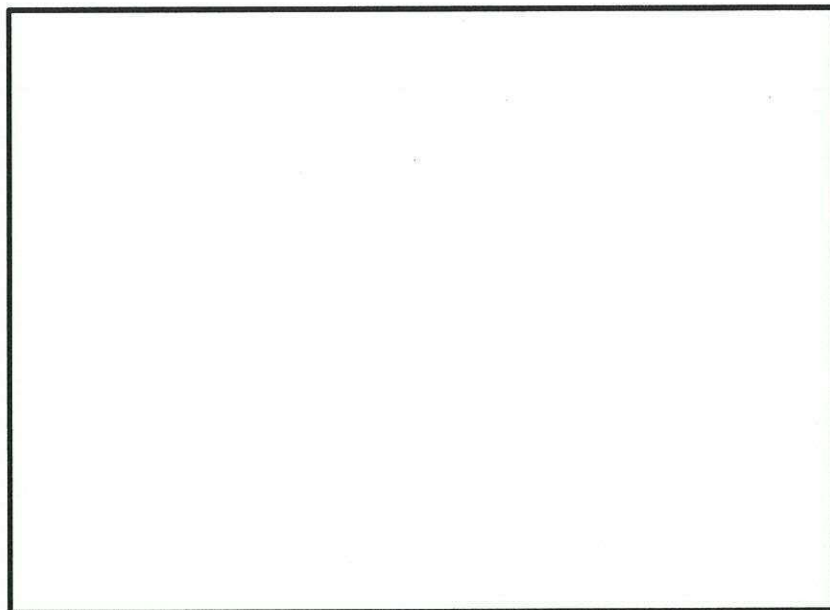


図 3-3-7 常設代替高圧電源装置用カルバート
(カルバート部) 平面図

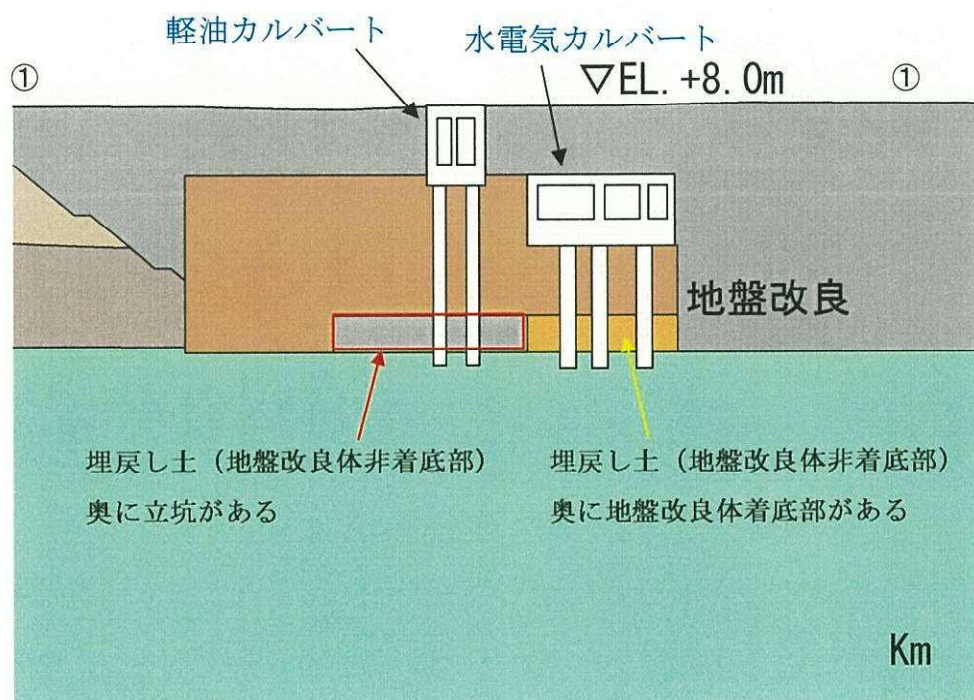


図 3-3-8 常設代替高圧電源装置用カルバート
(カルバート部) 断面図 (①-①' 断面)

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（コンクリート）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。

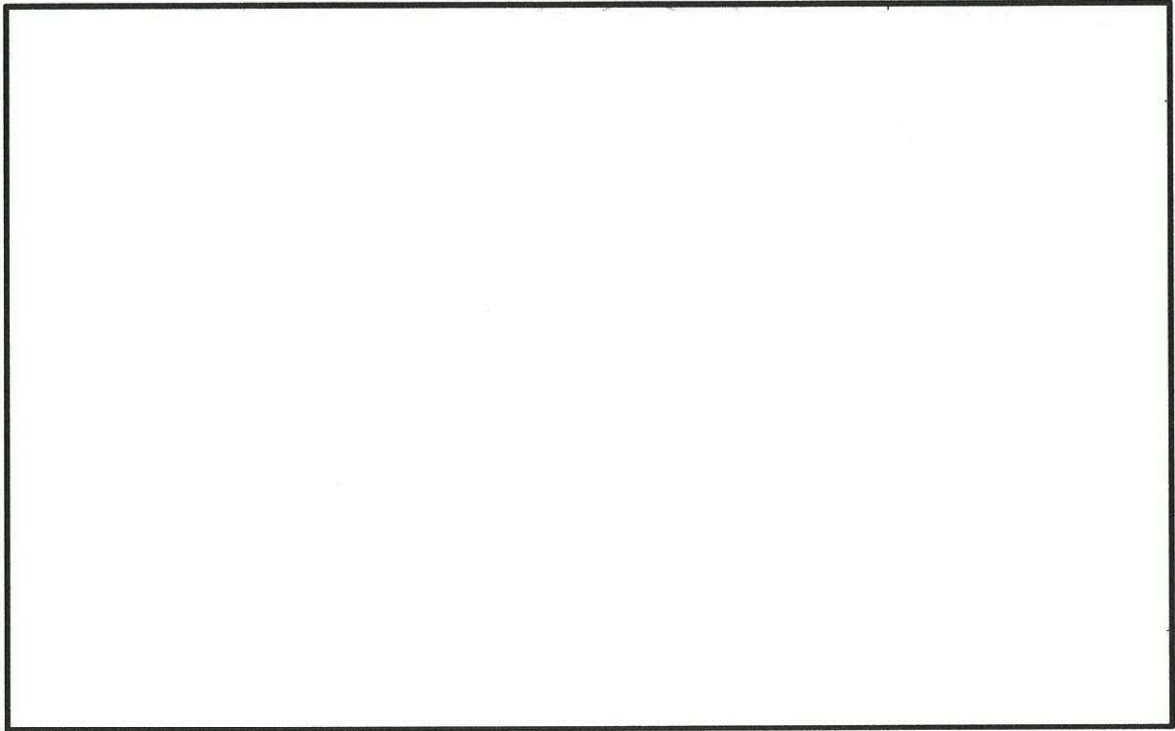


図 3-3-9 常設低圧代替注水系配管カルバート平面図

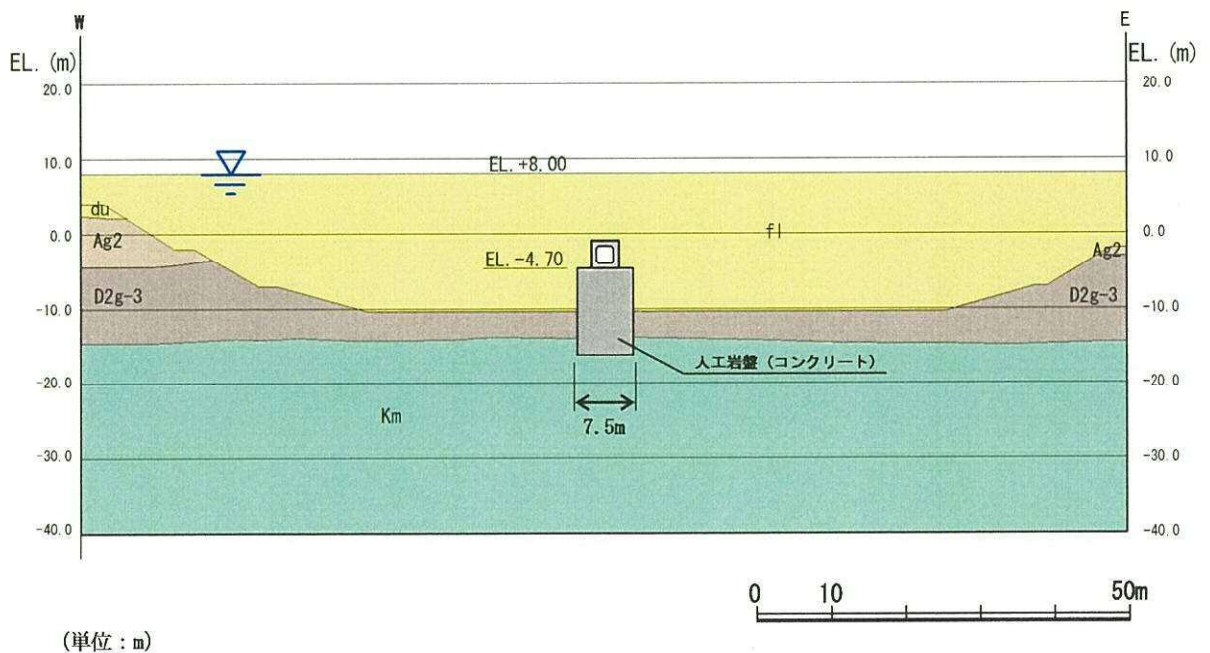


図 3-3-10 常設低圧代替注水系配管カルバート断面図（東西断面）

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。

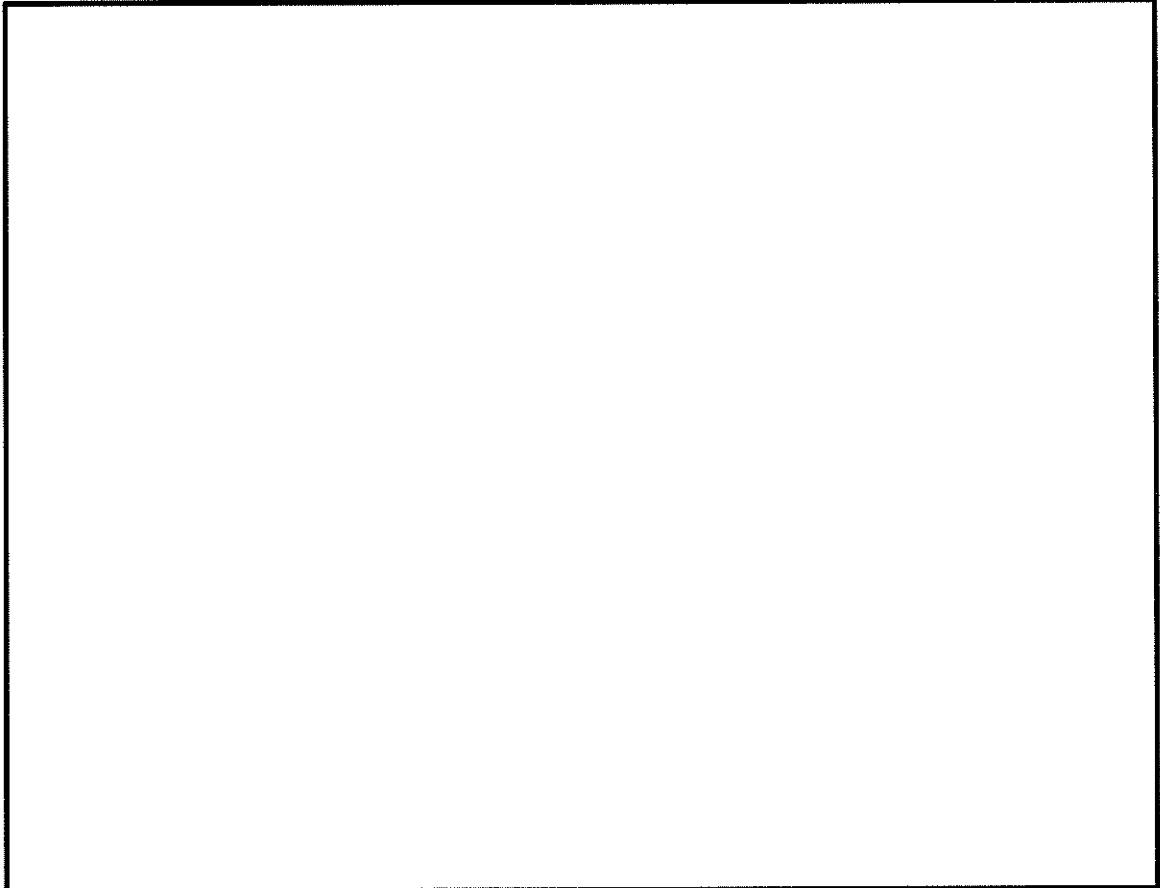


図 3-3-11 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート平面図

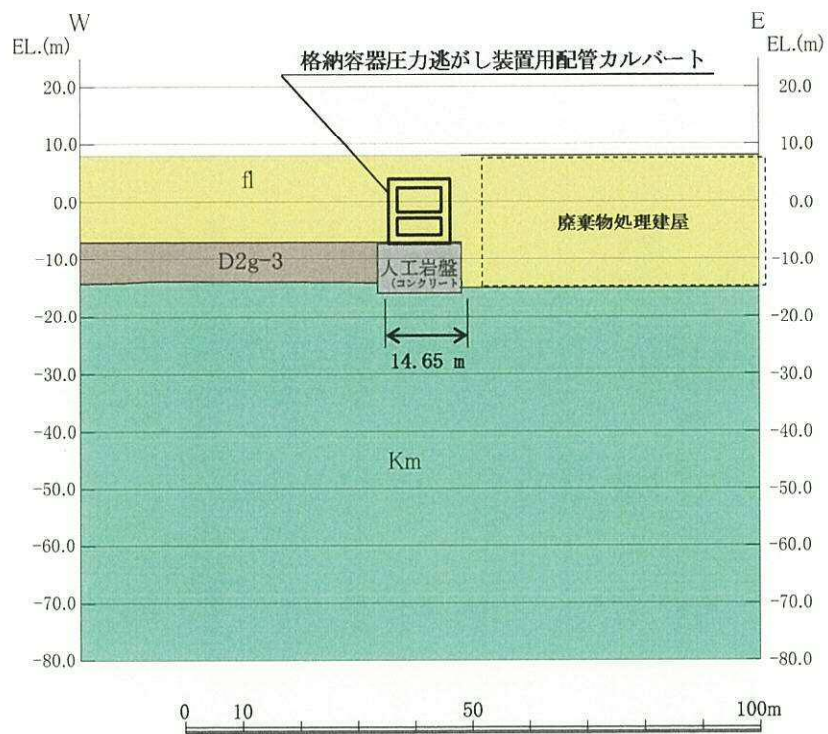


図 3-3-12 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート
断面図 (A-A断面)

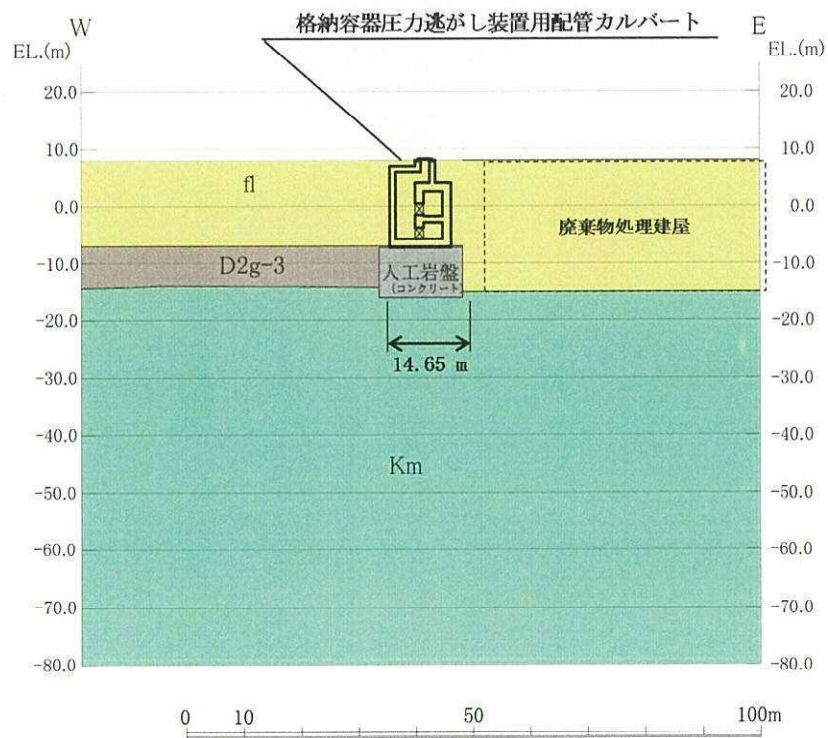


図 3-3-13 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート
断面図 (D-D断面)

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。

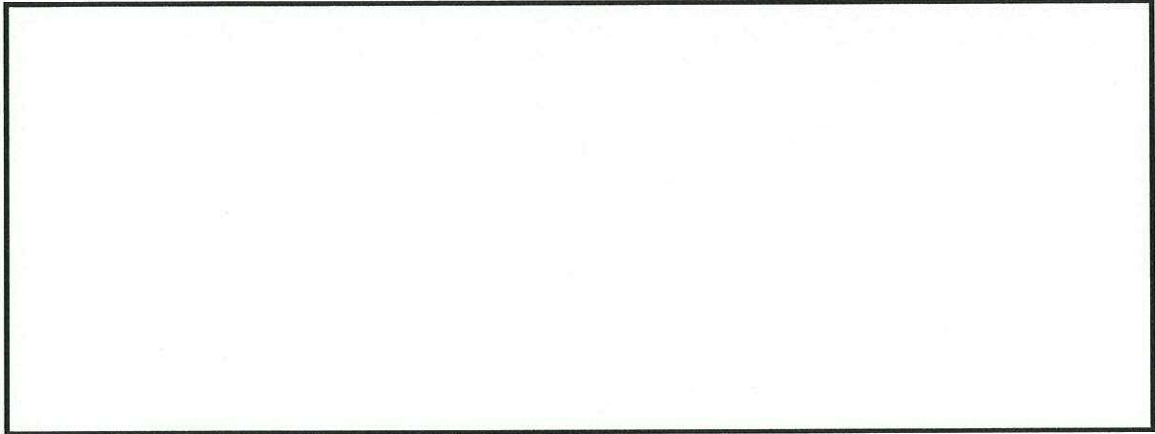


図 3-3-14 土留鋼管矢板の平面図

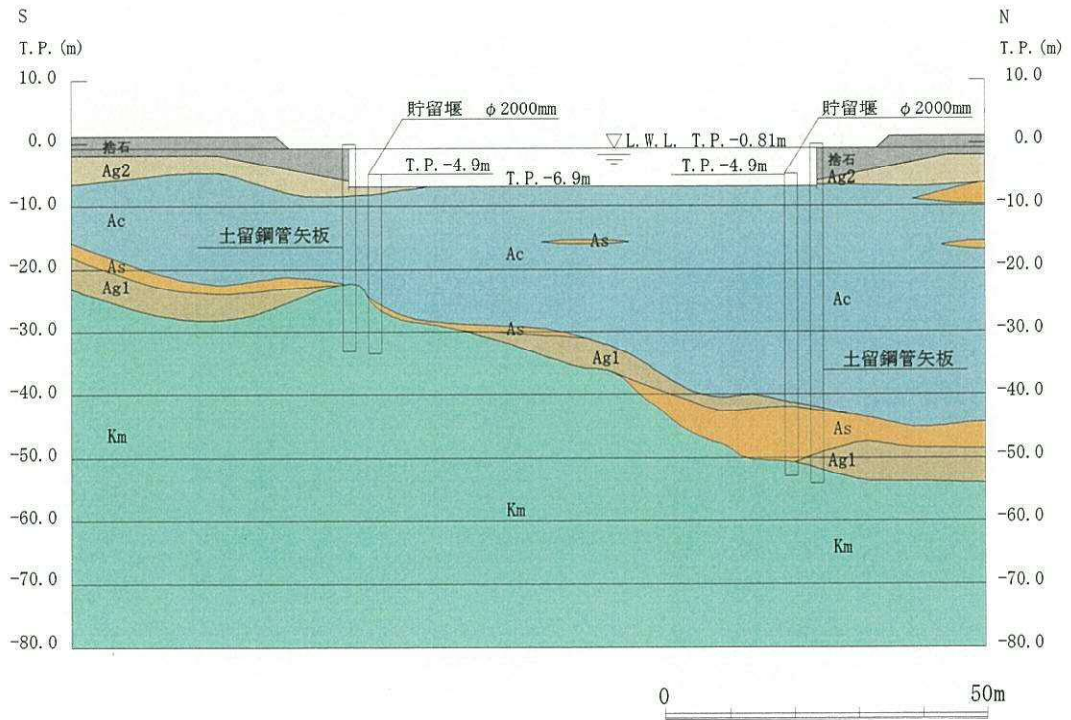


図 3-3-15 土留鋼管矢板の断面図 (NS-1)

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。

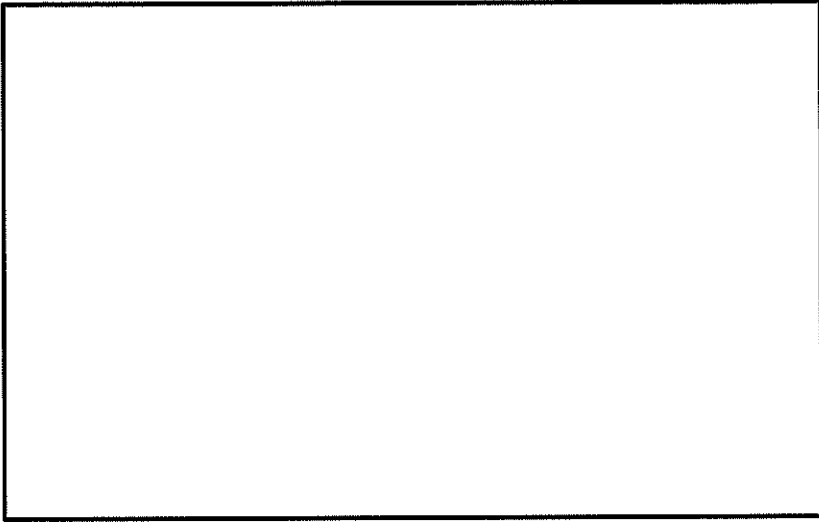
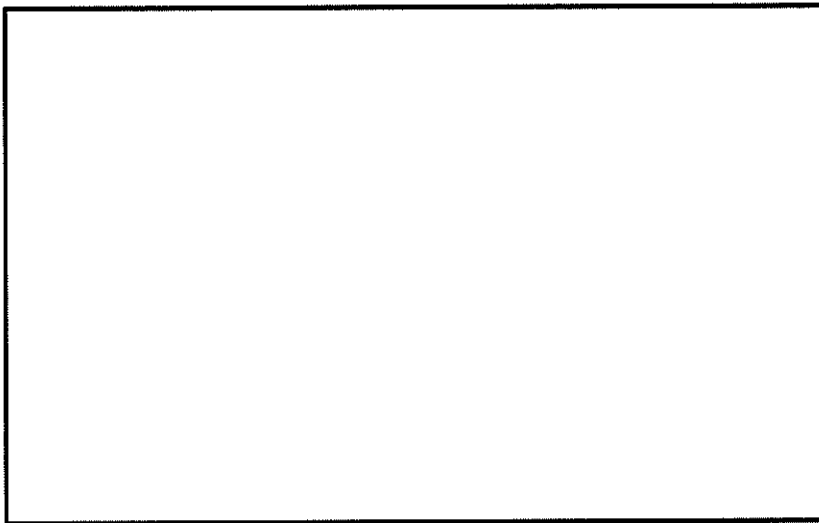
(5) 従来設計手法の妥当性の確認

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	

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（コンクリート）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 ²	○	妻壁面積が大きい
	常設代替高圧電源装置置場	約1220m ²	○	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 ²		
	可搬型設備用軽油タンク基礎 (西側)・(南側)	約45m ²		
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 ²		
	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート	約41m ²		
箱型 構造物	* 構内排水路逆流防止設備 出口側集水柵 (上部工)	約17m ²		

* 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 出口側集水柵 (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。

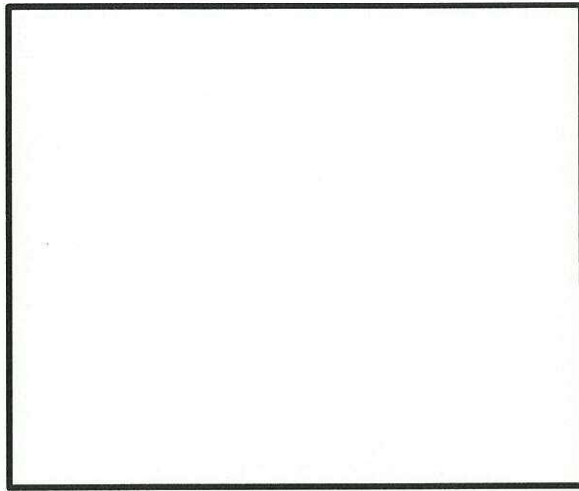


図 3-3-16 取水構造物
平面図

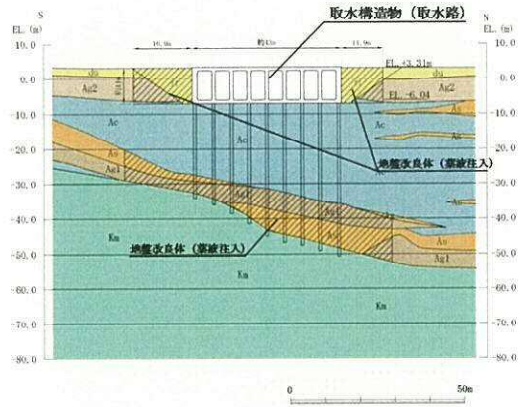


図 3-3-17 取水構造物
縦断面図 (①-①断面)

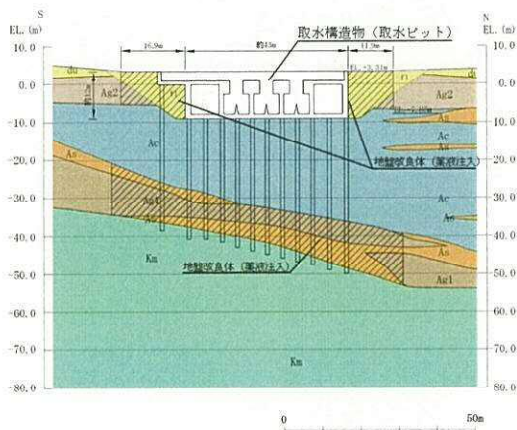


図 3-3-18 取水構造物
縦断面図 (④-④断面)

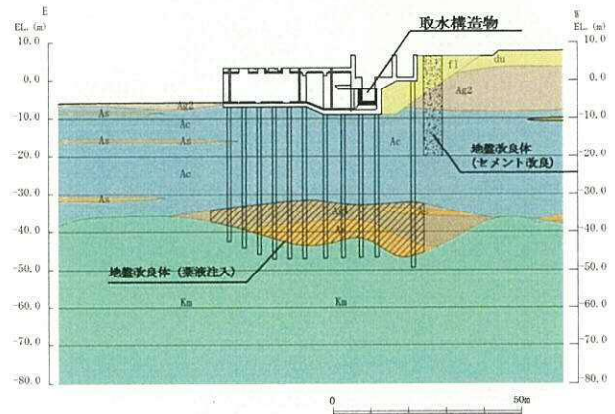


図 3-3-19 取水構造物
縦断面図 (⑥-⑥断面)

(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。

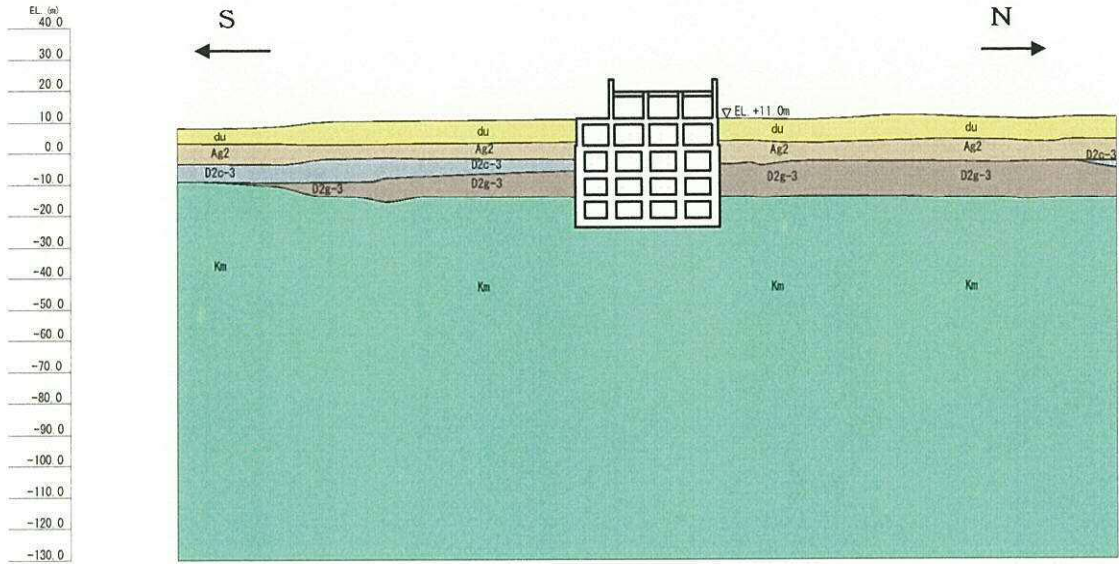


図 3-3-20 常設代替高圧電源装置置場断面図（東西断面）

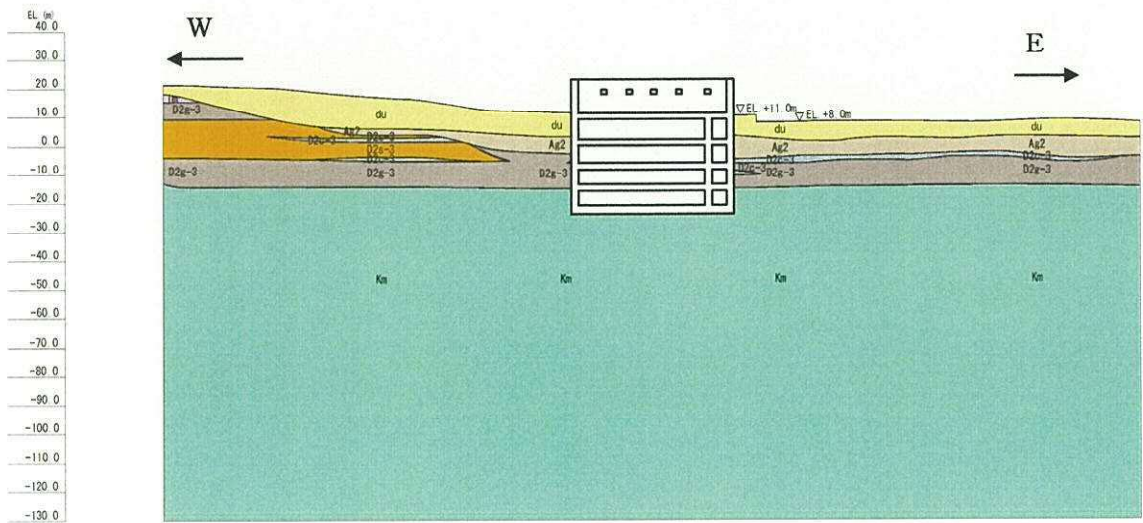


図 3-3-21 常設代替高圧電源装置置場断面図（南北断面）

(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。

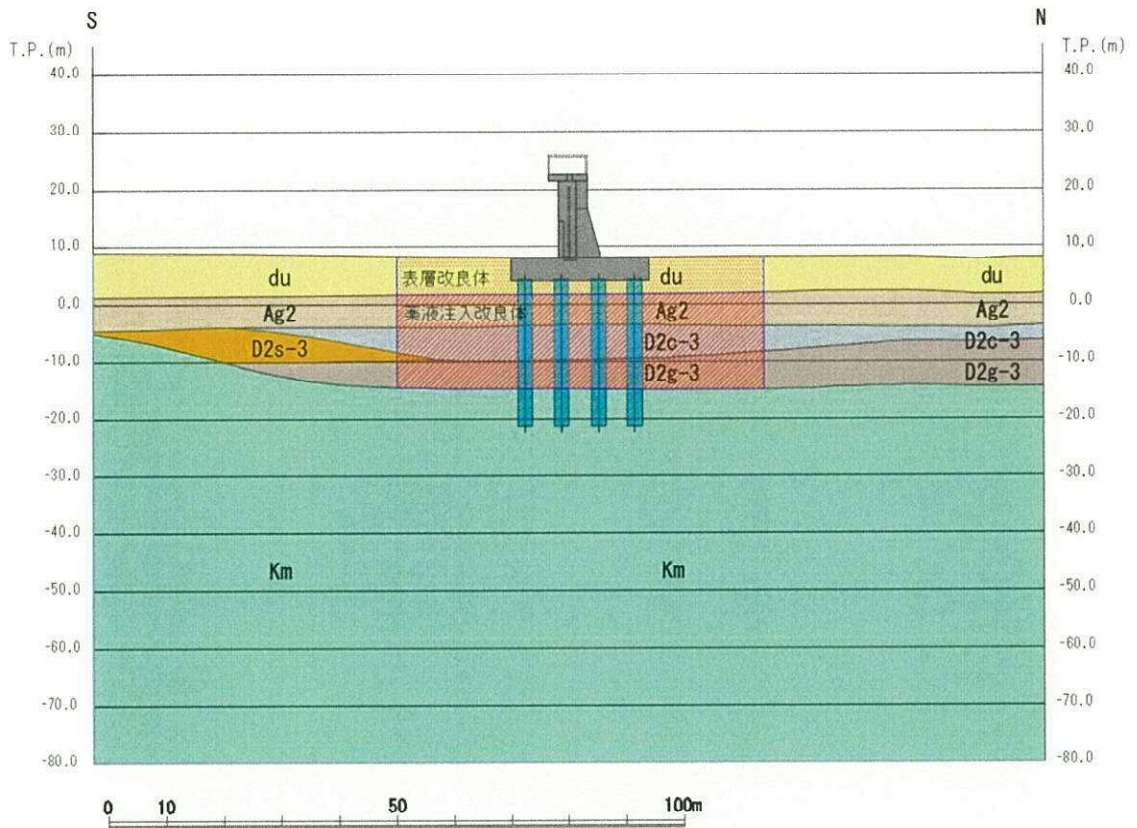


図 3-3-22 防潮扉 2 基礎断面図

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。

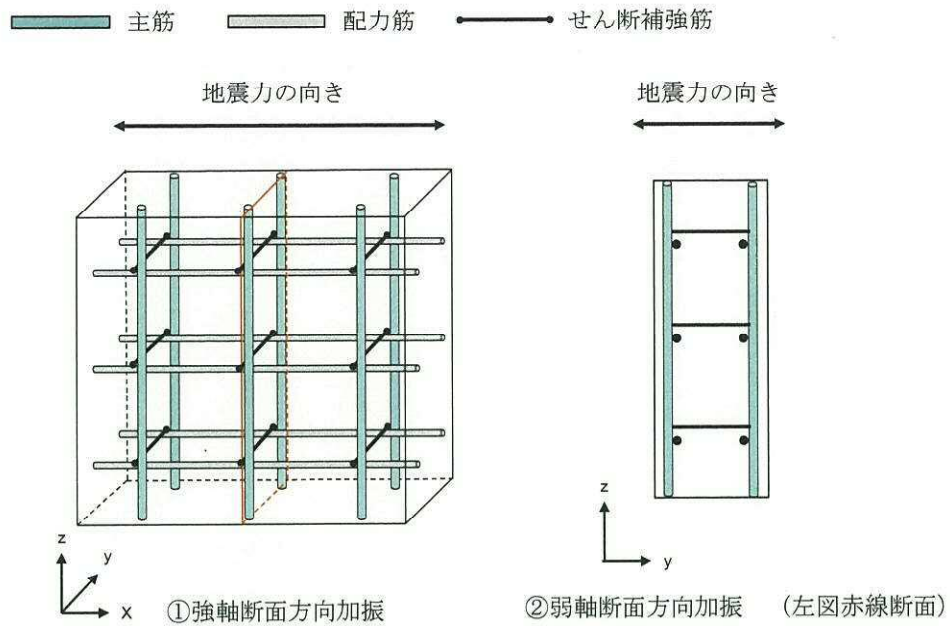
RC 基準では、耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して、コンクリートのみで負担できるせん断耐力と、鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって、壁部材の生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば、鉄筋によるせん断負担は無く鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

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_e 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。

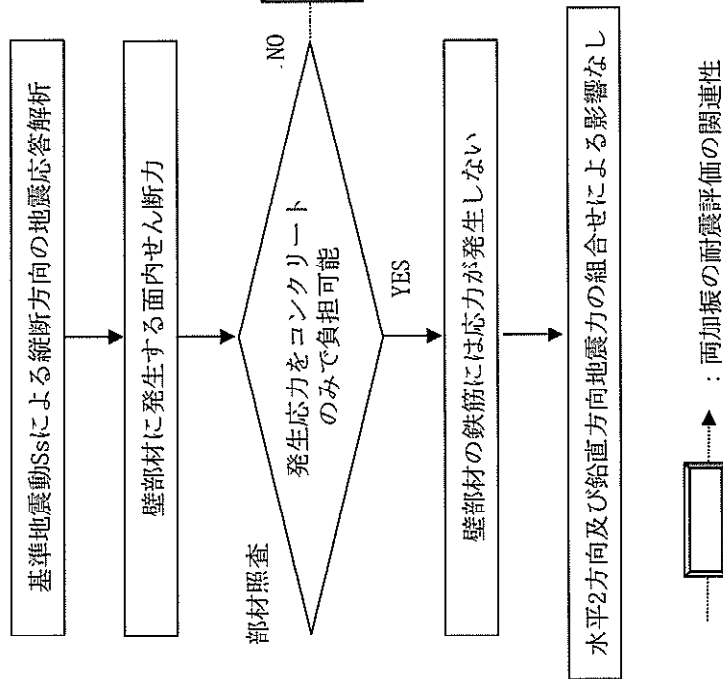


		①強軸断面方向加振	②弱軸断面方向加振	備考
断面力	My (y軸まわりの曲げモーメント)	△	×	
	Mx (x軸まわりの曲げモーメント)	×	○	
	Nz (鉛直方向軸力)	○	○	互いに干渉する可能性あり
	Nzx (zx平面内せん断)	○	×	
	Qz (z方向面外せん断)	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

(○：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

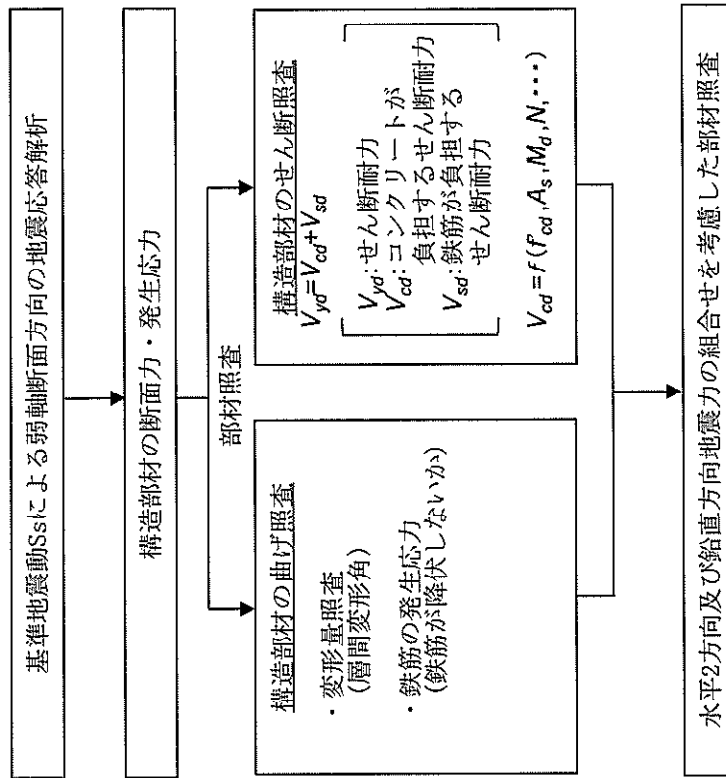


図 3-3-24 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

(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。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、以下の式で求める許容せん断力（ 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。

$$Q_A = r t f_c \dots \dots \dots (1)$$

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。

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

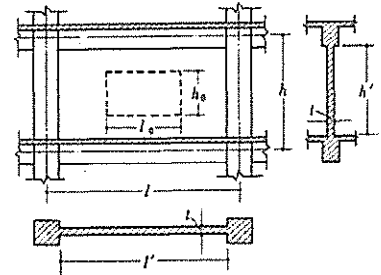
$$r_2 = 1 - \sqrt{\frac{h_0 l_0}{A t}}$$

..... (2)

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

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_c : 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。

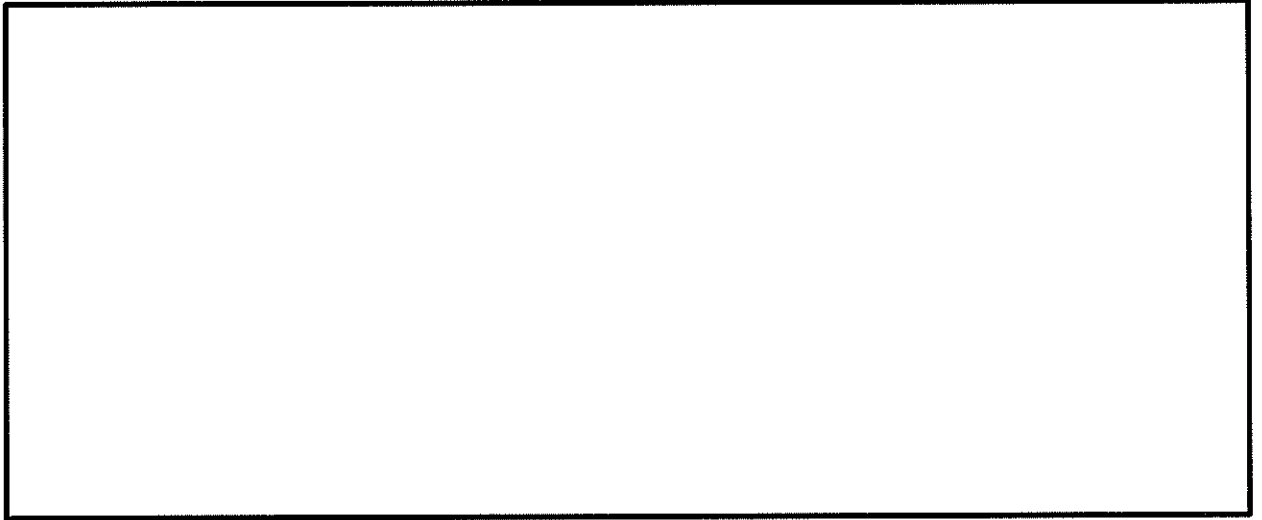


図 3-3-25 取水構造物の地震応答解析モデル（強軸断面方向）

(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。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、以下の式で求める許容せん断力（ 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。

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

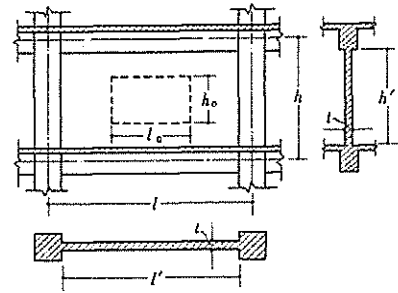
ただし、 r ：開口に対する低減率で、(2)式の r_1 と r_2 のうちいずれか小さい方による。

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

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

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_c : 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 3-3-9 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 常設代替高圧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 常設代替高圧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

常設代替高圧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。

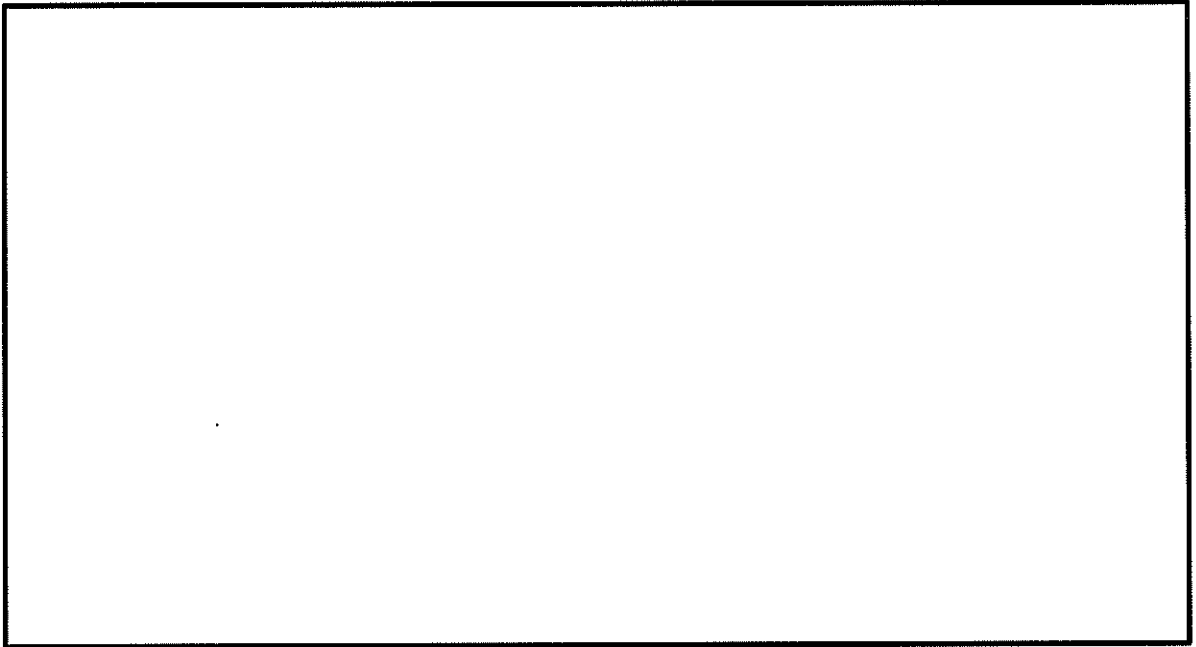


図 3-3-26 常設代替高圧電源装置置場の地震応答解析モデル（東西方向断面）

(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 σ_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 ²)
鋼管杭 (SM570)	短期許容引張応力度 σ_{sa1}	382.5
	短期許容圧縮応力度 σ_{sa1}	
	短期許容せん断応力度 τ_{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^2 、取水ピットで最大 4.354 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、 1.03 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： $S_s - D1$ ）

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)		τ_{xy} (N/mm^2)		τ_a (N/mm^2)	
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

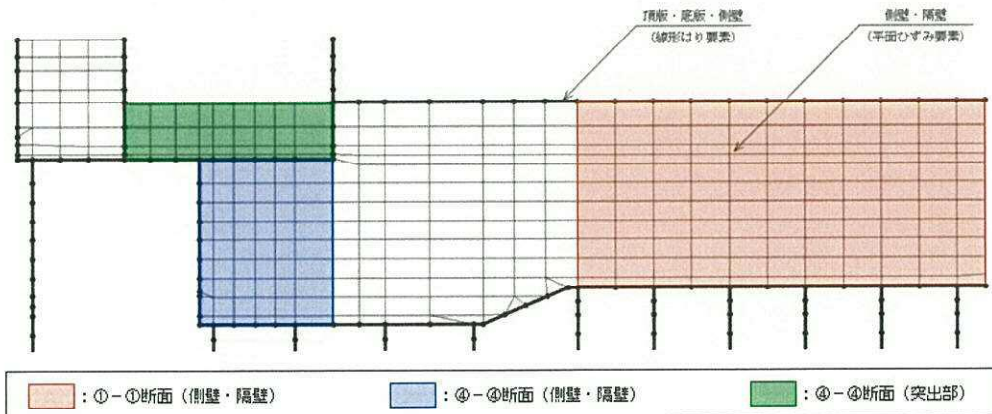


図 3-3-27 評価対象部材位置（強軸断面方向）

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/m²))

ε_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) ϵ_a	軸方向ひずみ *1 (縦断) ϵ_b	軸方向ひずみ *1 (横断+縦断) ϵ_d	曲率 ϕ_m [1/m]	構造解析係数 γ_a	曲率 ϕ_d [1/m]	曲率 ϕ_c [1/m] (圧縮ひずみ1%)	構造係数 γ_i	留意値 $\gamma_i \cdot \phi_d / \phi_c$
取水路	側壁	0.750	58.64	-7.141E-06	-1.729E-05	-2.443E-05	-1.015E-03	1.2	-1.216E-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	1.934E-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，応答に影響を与えると考えられるが，取水構造物の強軸断面方向は，通水断面に伴い鉛直部材が等間隔に配置されており，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 0.642N/mm^2 、地上部で 0.186N/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 0.878N/mm^2 、地上部で 1.134N/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 τ_{xy} (N/mm ²)	開口による 低減率 r (-)	許容値 τ_a	照査値 τ_{xy}/τ_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

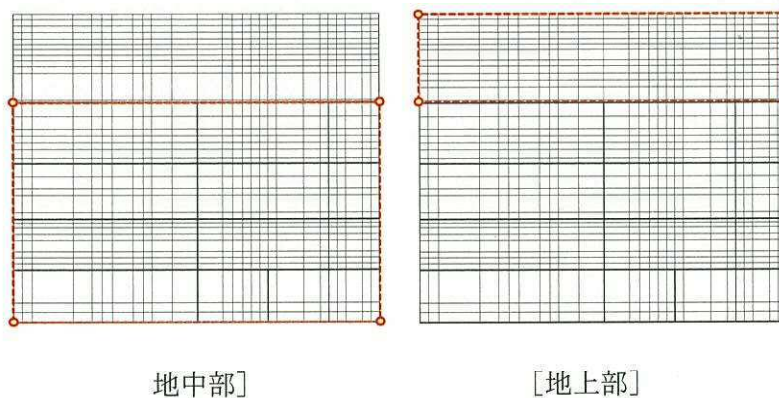


図 3-3-28 せん断ひずみを算定する際の対象節点

(4) 機器・配管系への影響（常設代替高圧電源装置置場）

(3)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東西断面方向は、断面方向に対し鉛直部材が偏りなく配置されており、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 _弱 (kN・m)	M _強 (kN・m)	軸力 (kN)	応力度 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	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_弱：弱軸断面方向の曲げモーメント

M_強：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、構造物の鉛直部材が弱軸断面方向に対して偏りなく配置されており、地震力によるねじれは発生しない構造であるため、強軸断面方向の応答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。

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、「3.2 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。

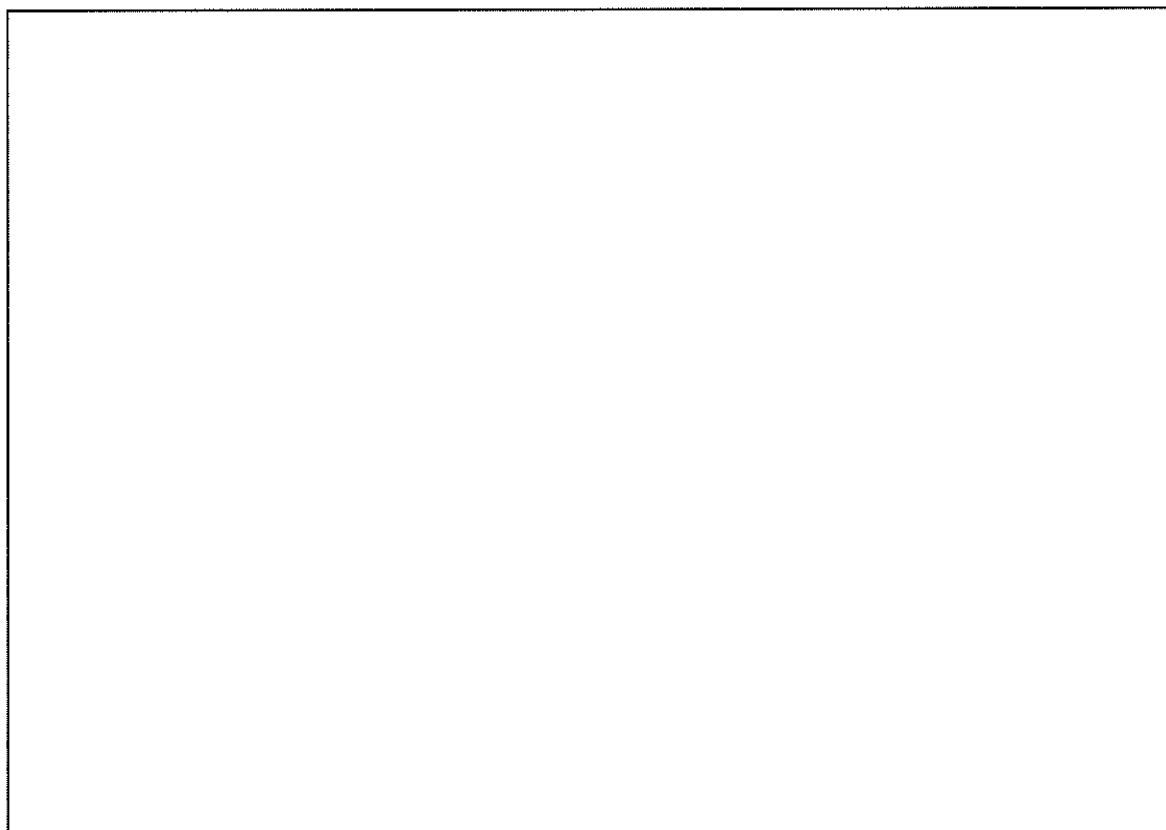


図3-4-1 津波防護施設位置図

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ドレン排出口逆止弁	
	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ドレン排出口逆止弁	
	緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁	
	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

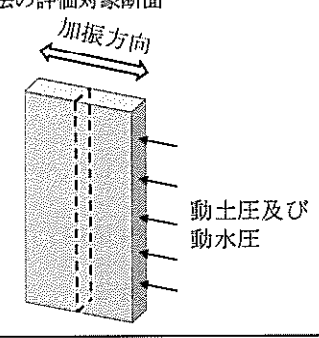
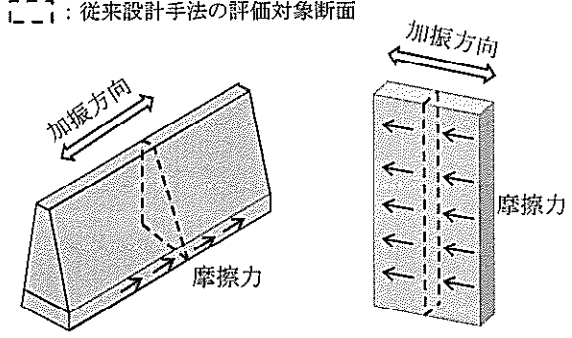
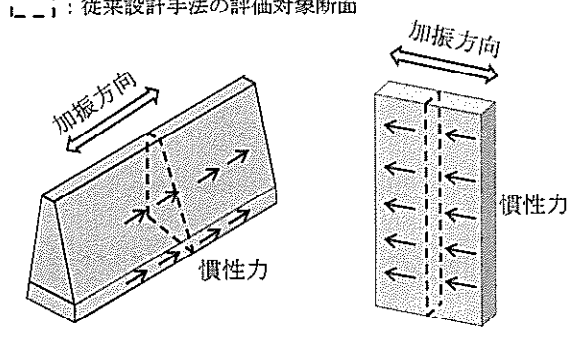
対象構造物	構造形式				
	1) 鋼殻構造物	2) 線状構造物	3) 地中連続壁基礎	4) 鋼管杭基礎	5) 箱型構造物
鋼製防護壁	○				
鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）		○			
鉄筋コンクリート防潮壁（下部工）			○		
鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮壁及び放水路		○			
鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）（地中連続壁基礎）			○		
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）		○			
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（下部工）				○	
防潮扉 2 基礎				○	
構内排水路逆流防止設備 出口側集水柵（上部工）					○
構内排水路逆流防止設備 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)
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> 
⑧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> 
⑨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> 

(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。

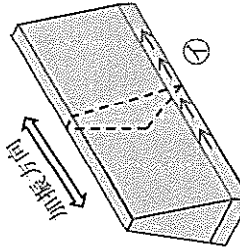
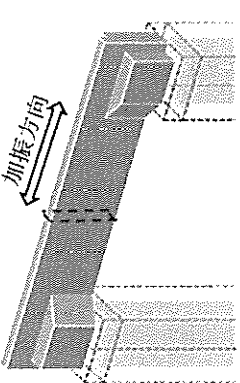
3.4.4 (1) で整理した構造形式の分類	<p>2) 線状構造物 (鉄筋コンクリート防潮壁の上部工等)</p> <p>-----: 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸断面方向)</p>  <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>1) 鋼殻構造物 (鋼製防護壁)</p> <p>-----: 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸断面方向)</p>  <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>②動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>①摩擦力 作用しない</p> <p>③慣性力 全ての部材に作用</p>	<p>②動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>①摩擦力 作用しない</p> <p>③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角方向 (強軸断面方向) に②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>
3.4.4 (2) で整理した荷重の作用状況			<p>②動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>①摩擦力 作用しない</p> <p>③慣性力 全ての部材に作用</p>	<p>②動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>①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</p> <p>③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角方向 (強軸断面方向) に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>
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					○
抽出結果					×
(○: 影響検討実施)					

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)

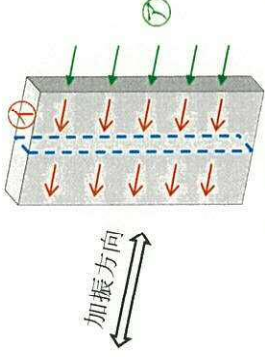
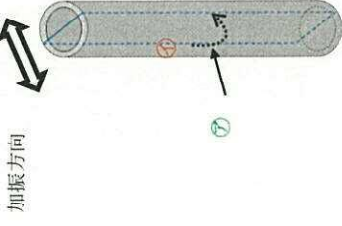
<p>3.4.1 (1) で整理した構造形式の分類</p>	<p>3) 地中連続壁基礎 (鉄筋コンクリート防潮壁下部工等)</p>  <p>-----: 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p> <p>加振方向</p> <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>4) 鋼管杭基礎 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁下部工等)</p>  <p>-----: 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>加振方向</p> <p>(注) ②慣性力はすべての構造部材に作用</p>
<p>3.4.1 (2) で整理した荷重の作用状況</p>	<p>② 動土圧及び動水圧 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>① 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>③ 慣性力 全ての部材に作用</p>	<p>② 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>③ 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②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、②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)

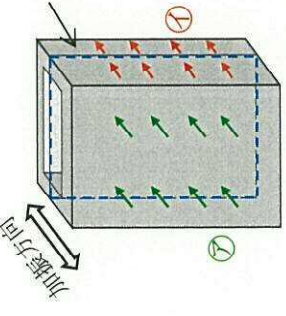
3.4.1 (1) で整理した構造形式の分類	5) 箱型構造物 (出口集水桝の上部工)
3.4.1 (2) で整理した荷重の作用状況	<p>----- : 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p>  <p>(注) ⑩慣性力はすべての構造部材に作用</p>
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響度	<p>⑦動土圧及び動水圧 加振方向に対して直交して配置される構造部材に作用</p> <p>⑧摩擦力 加振方向に対して平行に配置される構造部材に作用</p> <p>⑨慣性力 全ての部材に作用</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有し、⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大</p>
抽出結果 (○：影響検討実施)	○

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)

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 \odot 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。

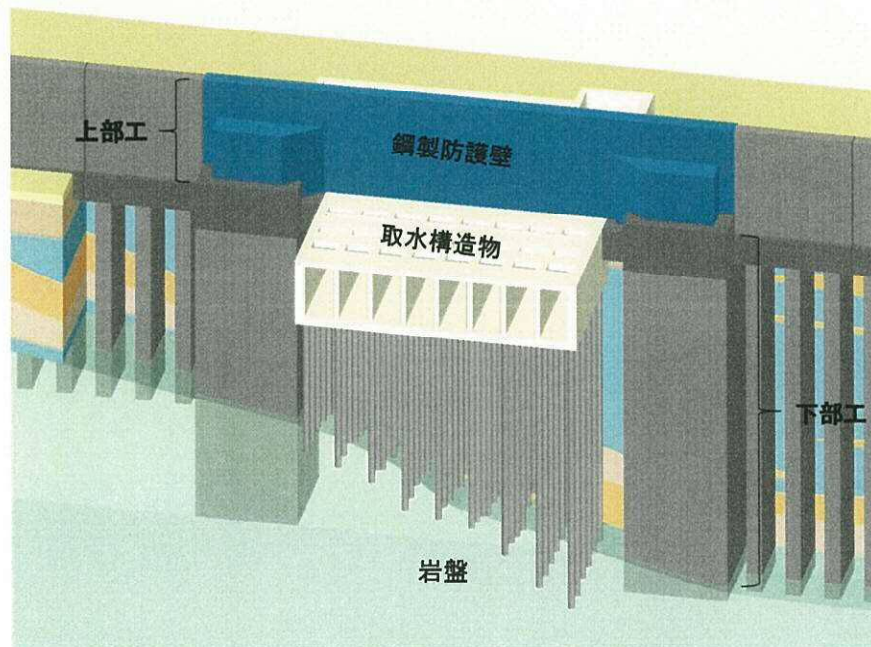


図 3-4-2 鋼製防護壁

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 σ 動土圧及び動水圧は作用しない。

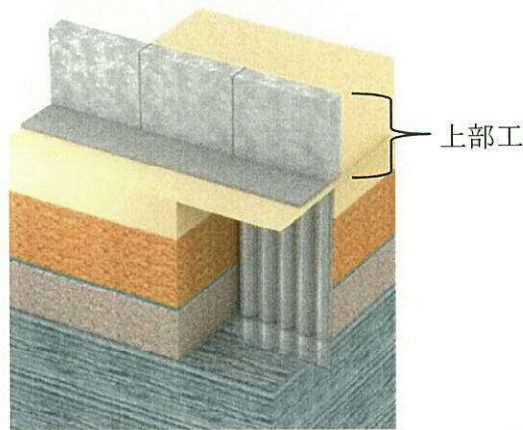


図 3-4-3 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

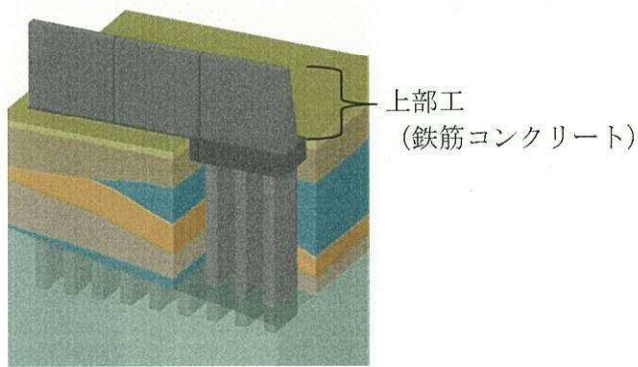


図 3-4-4 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

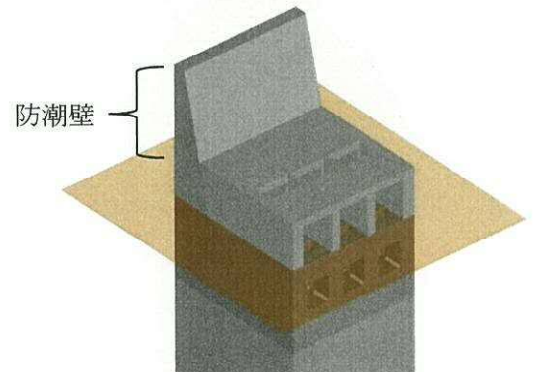


図 3-4-5 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮堤及び放水路

(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。

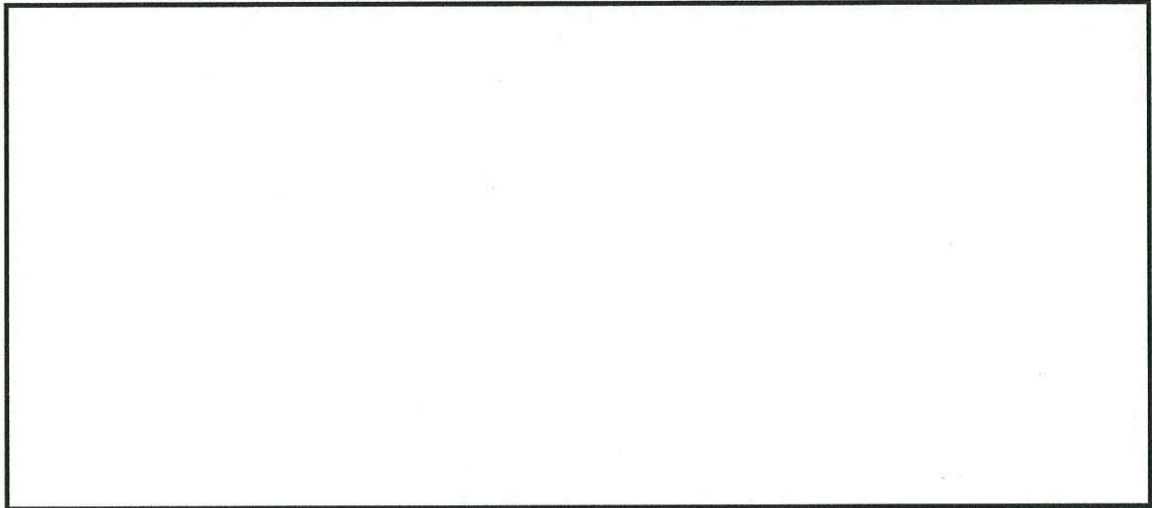


図 3-3-6 貯留堰の平面図

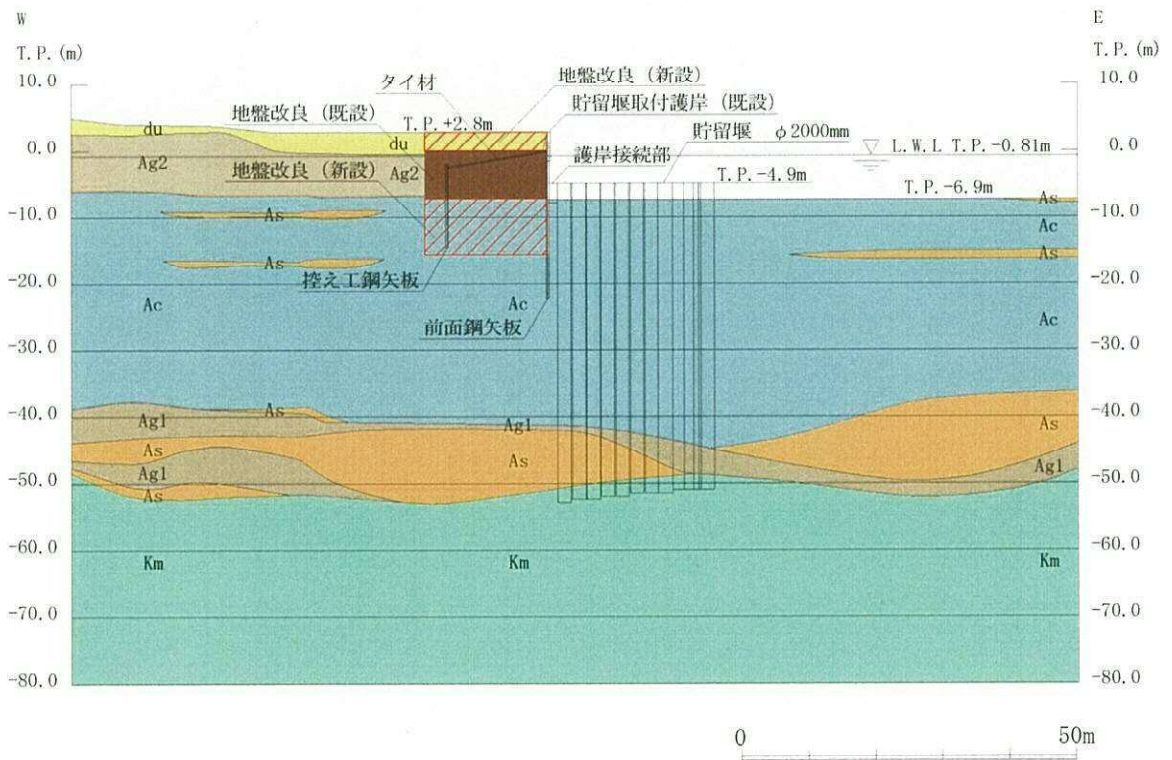


図 3-3-7 貯留堰の断面図 (EW-1)

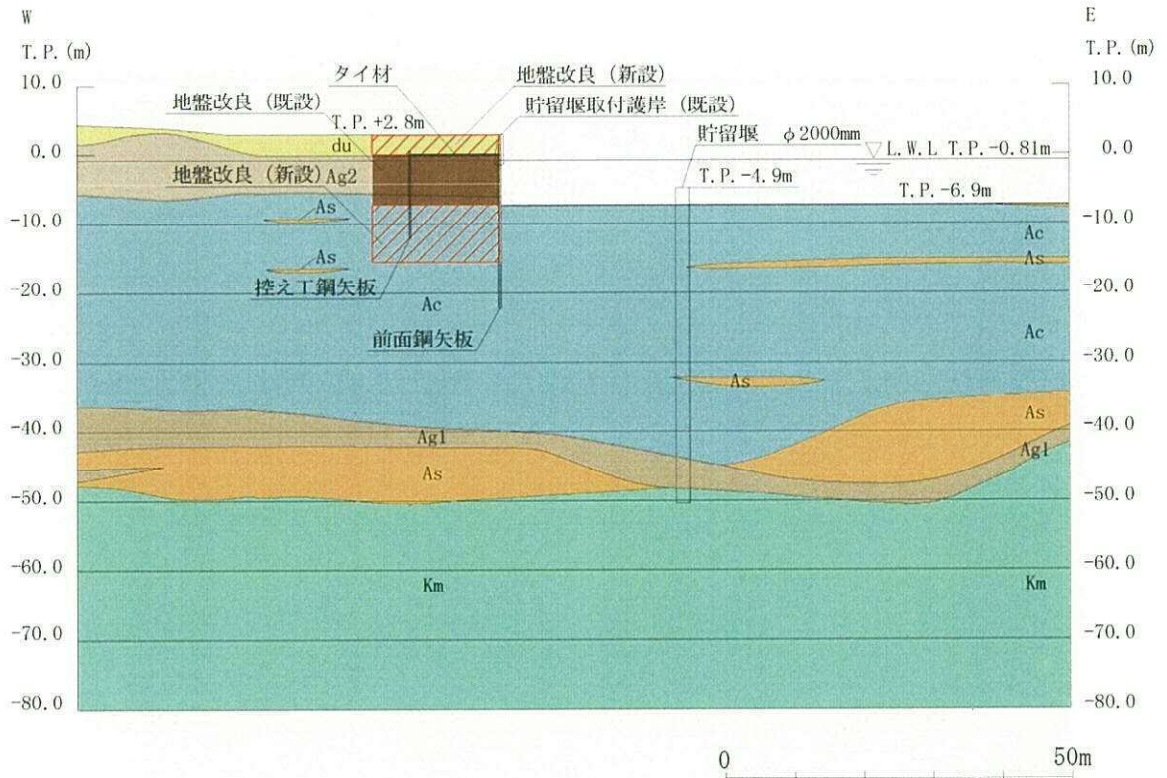


図 3-3-8 貯留堰の断面図 (EW-2)

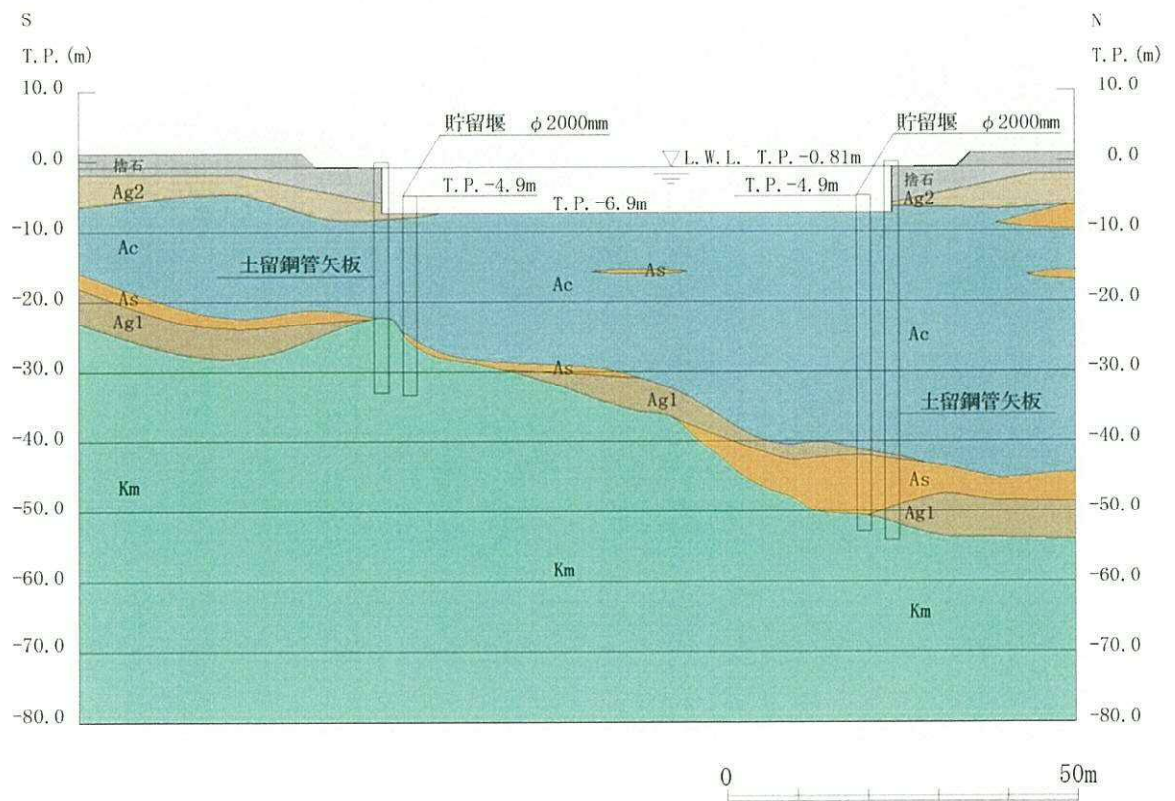


図 3-3-9 貯留堰の断面図 (NS-1)

(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

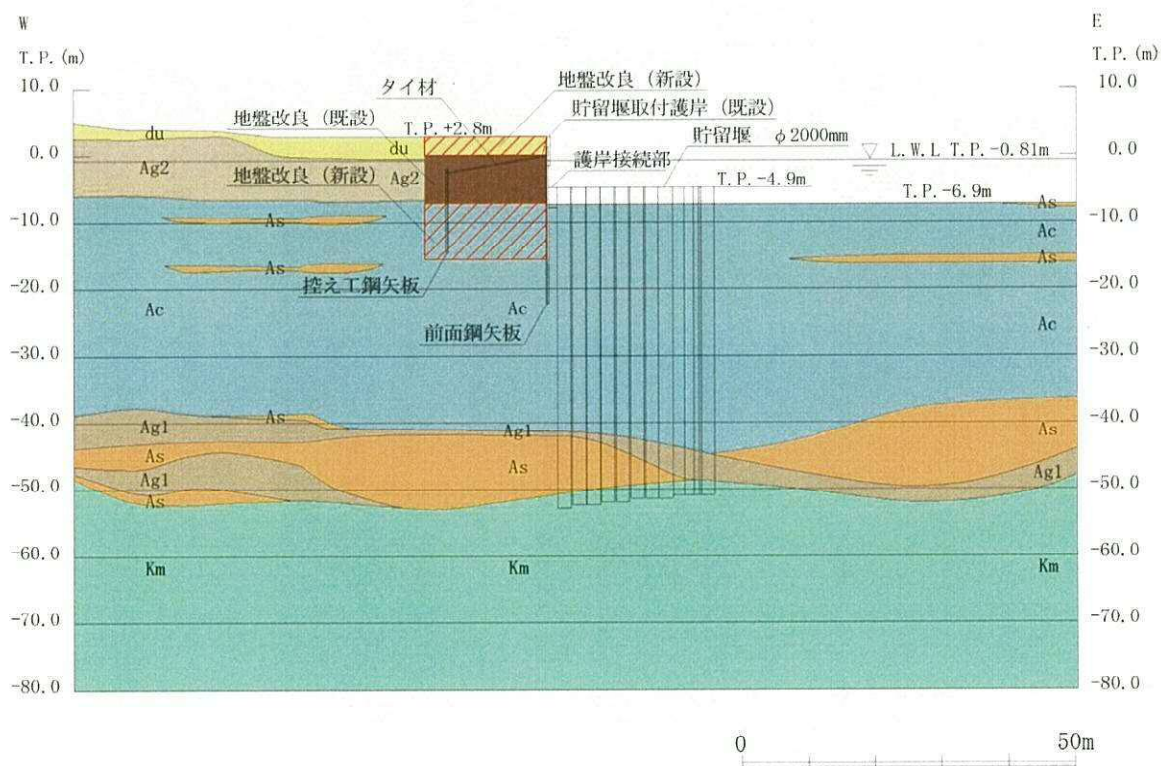


図 3-3-11 貯留堰取付護岸の断面図 (EW-1)

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。

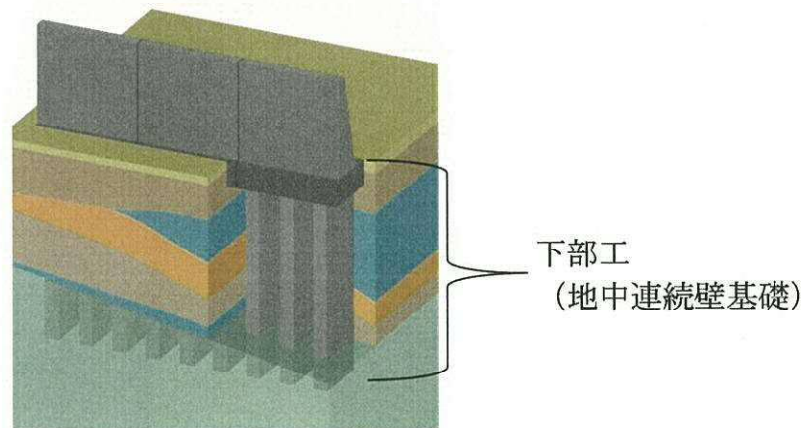


図 3-4-12 鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

(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。

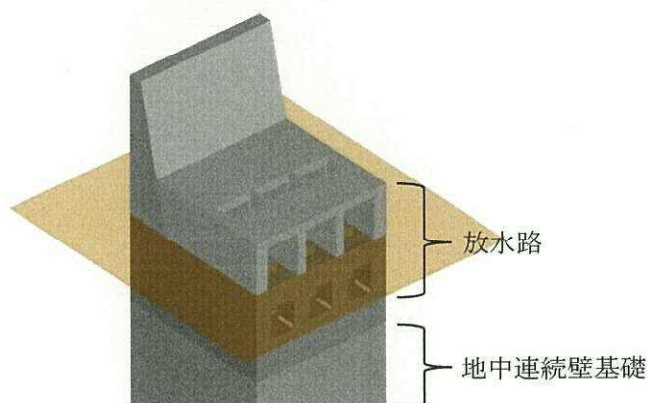


図 3-4-13 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎

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。

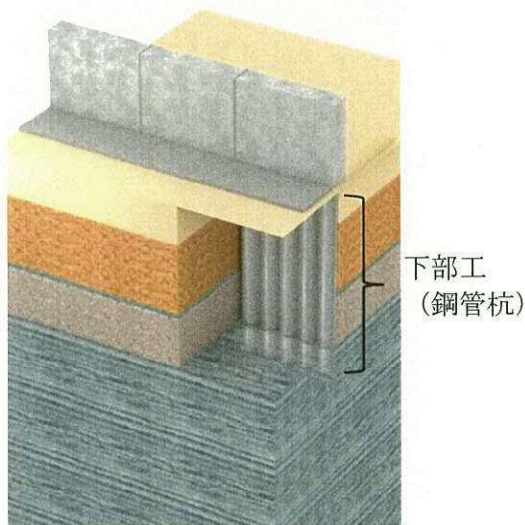


図 3-4-14 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

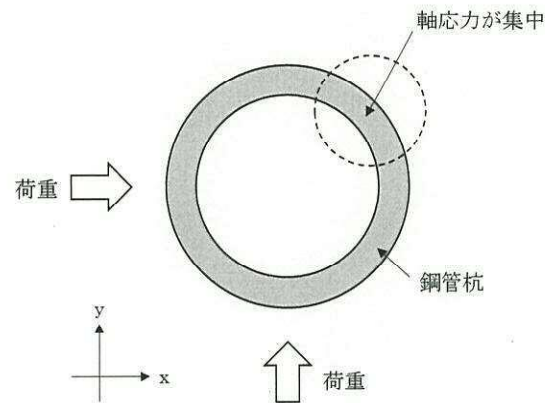


図 3-4-15 鋼管杭基礎に係る応答特性

(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。

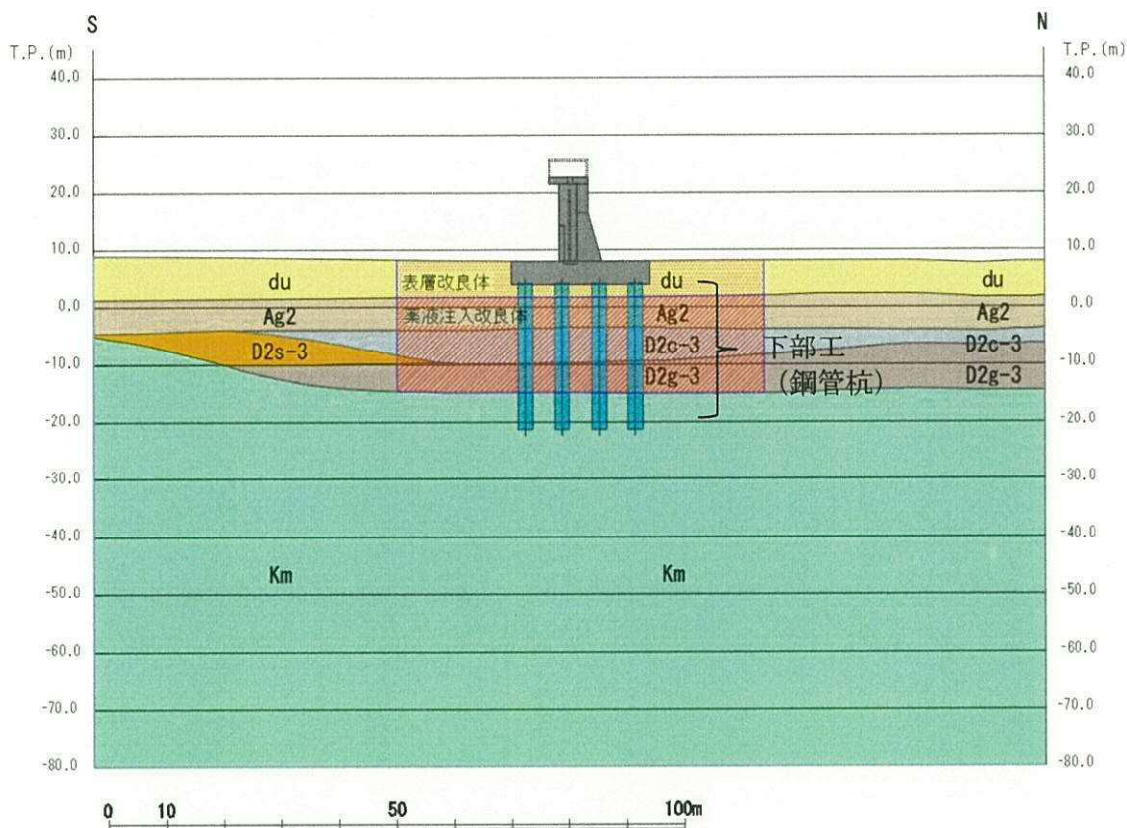


図 3-4-16 防潮扉 2 基礎

(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。

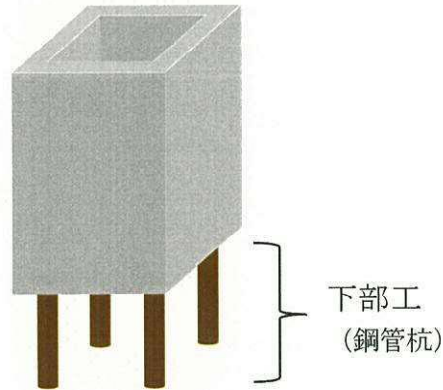


図 3-4-17 出口側集水桝の下部工

e. 箱型構造物

(a) 出口側集水桝の上部工

図 3-4-18 に出口側集水桝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、①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。

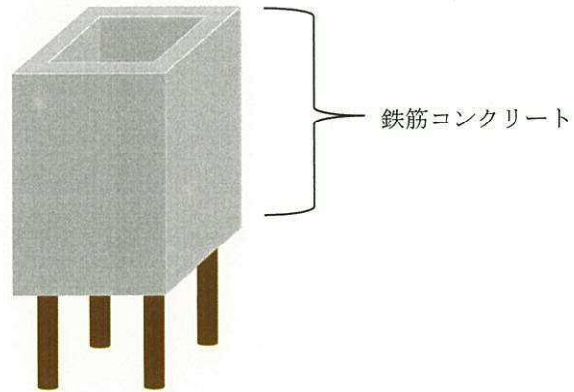


図 3-4-18 出口側集水桝の上部工

(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。

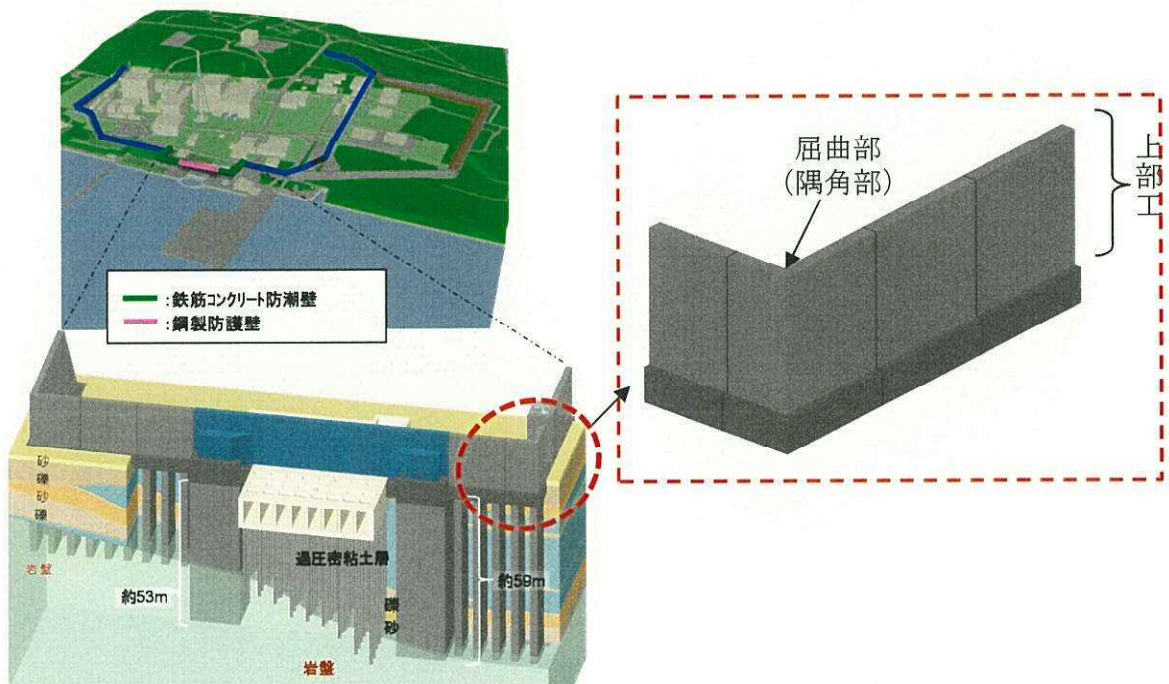


図3-4-19 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の屈曲部（隅角部）

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。

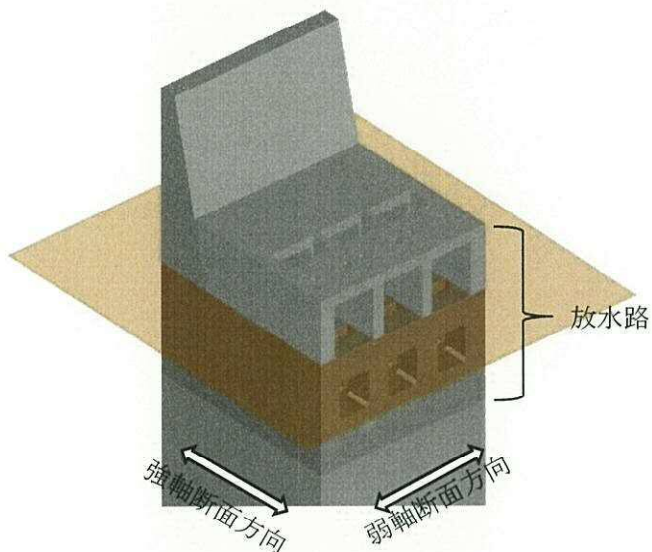


図 3-4-20 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

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。

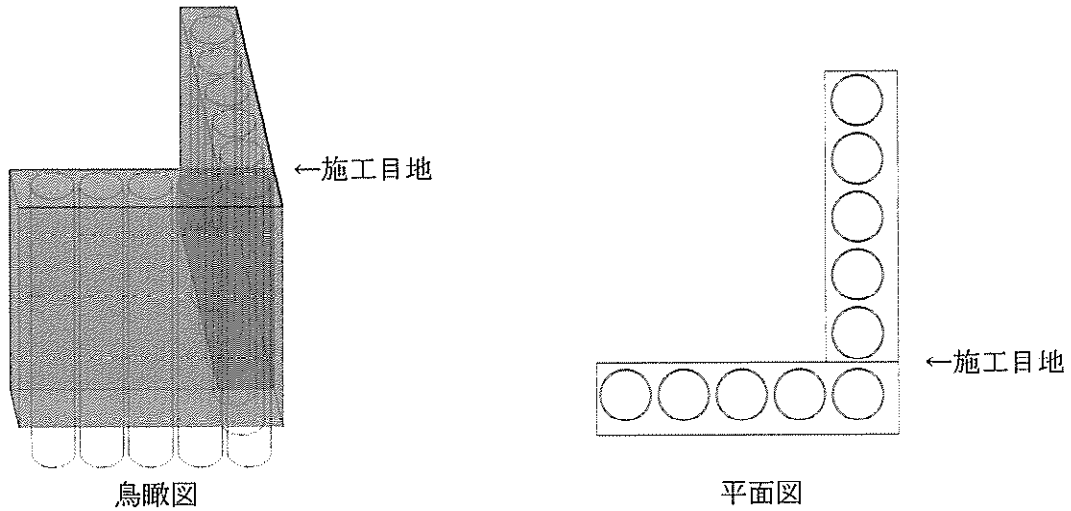


図 3-4-21 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

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。

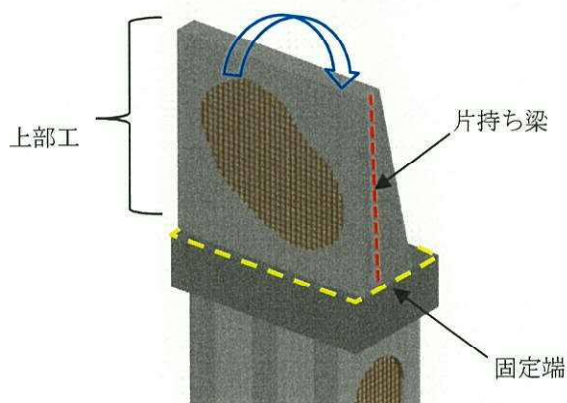


図 3-4-22 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工[一般部]

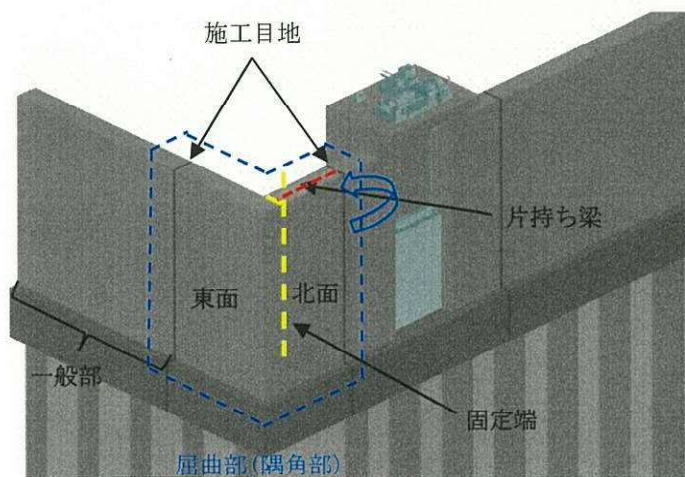


図 3-4-23 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工[屈曲部（隅角部）]

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。

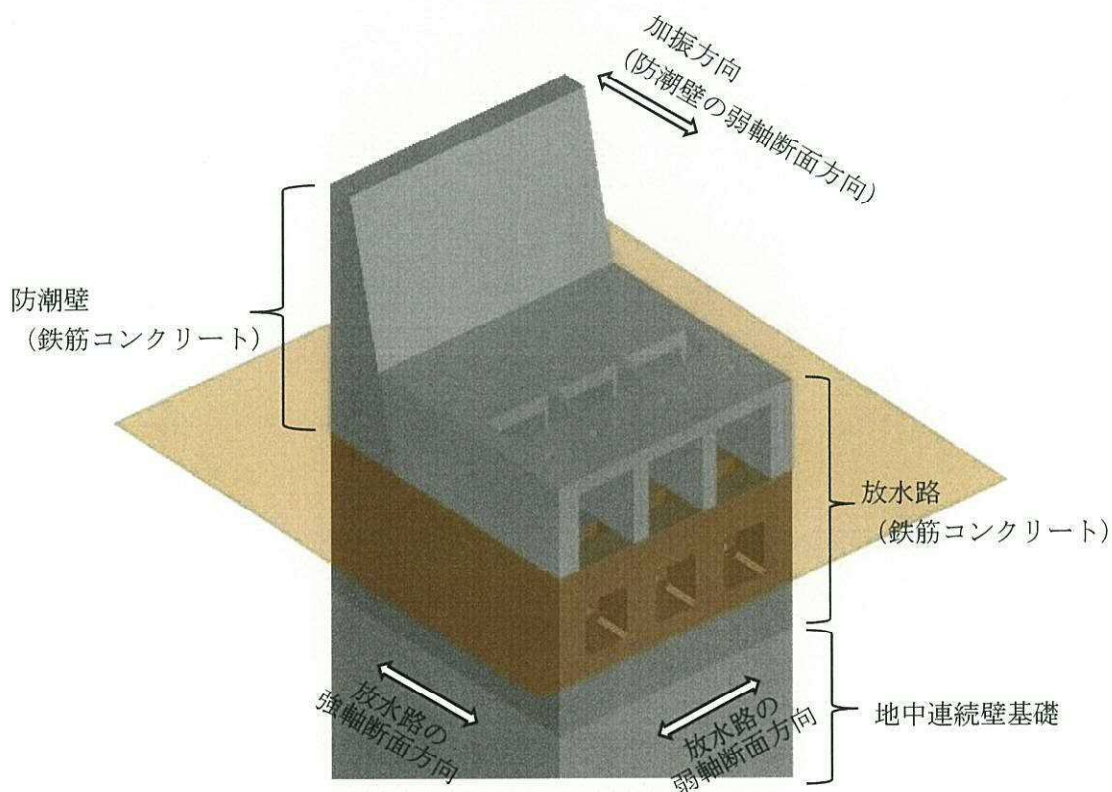


図 3-4-24 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

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、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 出口側集水樹（下部工）及び箱型構造物である構内排水路逆流防止設備 出口側集水樹（上部工）を抽出する。ただし、鋼管杭基礎及び箱型構造物については、「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）、防潮扉2基礎、構内排水路逆流防止設備 出口側集水樹（下部工）及び構内排水路逆流防止設備 出口側集水樹（上部工）については「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。

別紙 1 評価部位の抽出に関する説明資料

目次

1. 構成部位の整理及び水平 2 方向及び鉛直地震力による影響確認が必要な部位の抽出に関する整理表.....	別紙 1-1
2. 対象建屋の図面.....	別紙 1-5
2.1 原子炉建屋.....	別紙 1-6
2.2 主排気筒.....	別紙 1-17
2.3 非常用ガス処理系配管支持架構.....	別紙 1-19
2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋.....	別紙 1-22
2.5 格納容器圧力逃がし装置格納槽.....	別紙 1-24
2.6 緊急時対策所建屋.....	別紙 1-26
2.7 タービン建屋.....	別紙 1-30
2.8 サービス建屋.....	別紙 1-36
3. 代表部位の選定プロセス.....	別紙 1-44

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

表 1-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理

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	○	-	-	○	○	○	○
	基礎スラブ	○	-	○	○	○	○	-
基礎	ケーンソン	-	-	-	-	-	○	-
	基礎梁	-	○	-	-	-	-	○
	杭	-	○	○	○	○	○	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，-：対象の部材なし

表 1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出（荷重の組合せによる応答特性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
柱	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
	該当なし	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	該当なし	①-1要	①-1要	該当なし	—	該当なし	該当なし	不要 ^(*)
	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
梁	—	該当なし	—	—	—	—	—	—
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	該当なし	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—
壁	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
	①-2要	—	—	—	①-2要	—	①-2要	—
	—	該当なし	該当なし	—	—	—	—	不要 ^(**2)
床 屋根	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	①-1要	—	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	不要 ^(**2)	—
	—	—	—	—	—	—	不要 ^(**2)	—
	—	該当なし	—	—	—	—	—	不要 ^(**2)
	—	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、隅柱に軸心力が集中しても波及的影響に評価しないため、不要とする。

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

耐震性評価部位	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
柱	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
	不要	—	—	不要	—	不要	不要	不要
	不要	要	要	不要	—	不要	不要	不要
	不要	—	—	—	—	—	不要	—
梁	—	不要	—	—	—	—	—	—
	不要	不要	②-2	不要	—	不要	不要	不要
	不要	—	—	—	—	—	不要	—
壁	不要	—	—	不要	—	—	—	—
	要 (7° 側壁) ②-1 (燃料取替フロア壁)	—	—	不要	不要	不要	不要 (*)	不要
	要	—	—	—	要	—	要	—
床 屋根	—	不要	②-2	—	—	—	—	不要
	不要	—	—	不要	不要	不要	不要	不要
基礎	要	—	要	要	要	要	不要	—
	—	—	—	—	—	—	不要	—
	—	不要	—	—	—	—	—	不要
	—	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」

注記 *：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。

2. 対象建屋の図面

「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する影響評価結果」において、「建物・構築物における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出」のプロセスに用いた対象建屋の図面を図 2-1～図 2-45 に記載する。

なお、上記にて評価部位として抽出されなかった部位の考え方を表 2-1 に示す。

2.1 原子炉建屋

原子炉建屋の図面を図 2-1～図 2-11 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

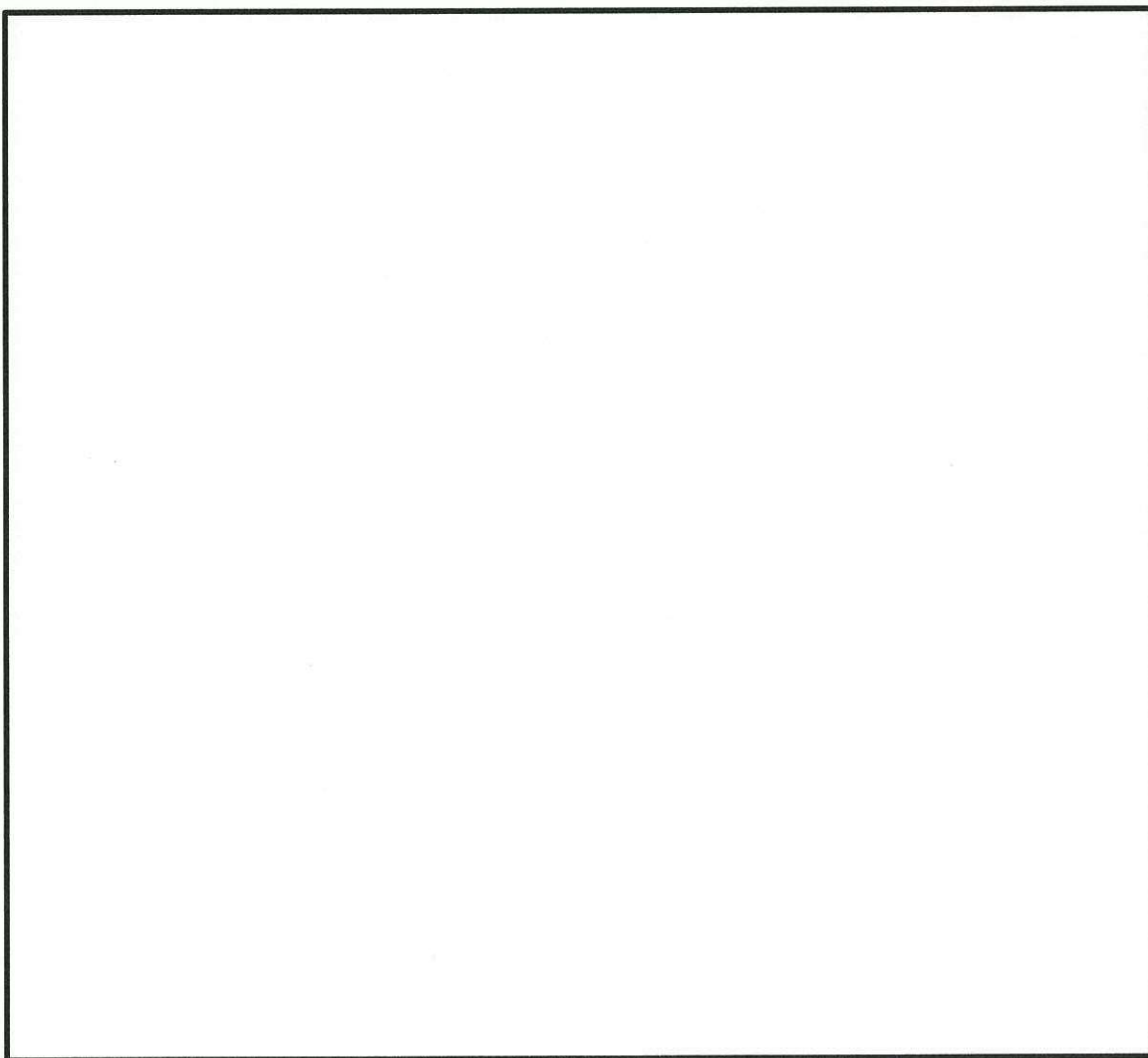


図 2-1 の概略平面図 (EL. -4.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

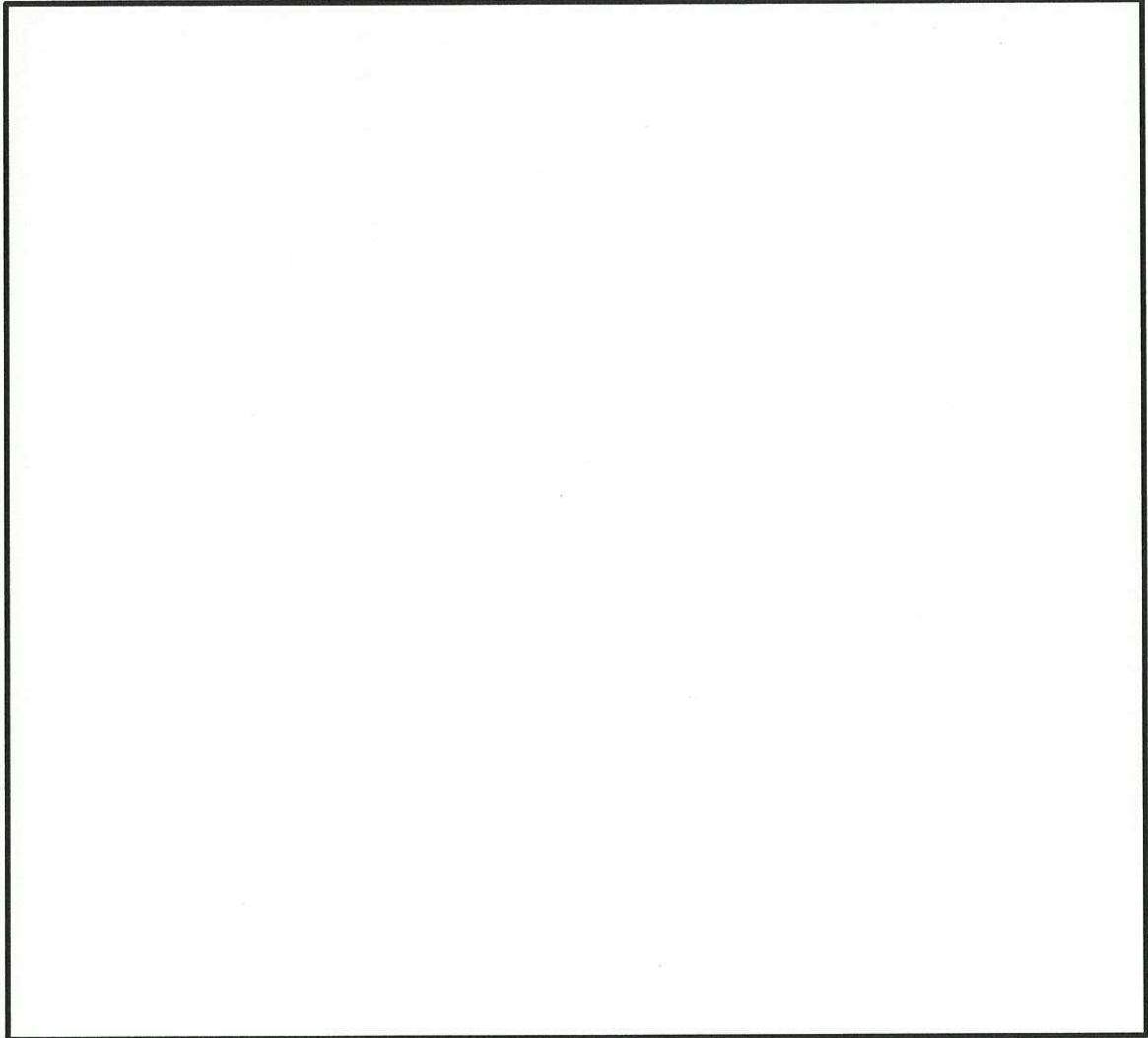


図 2-2 の概略平面図 (EL. -2.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

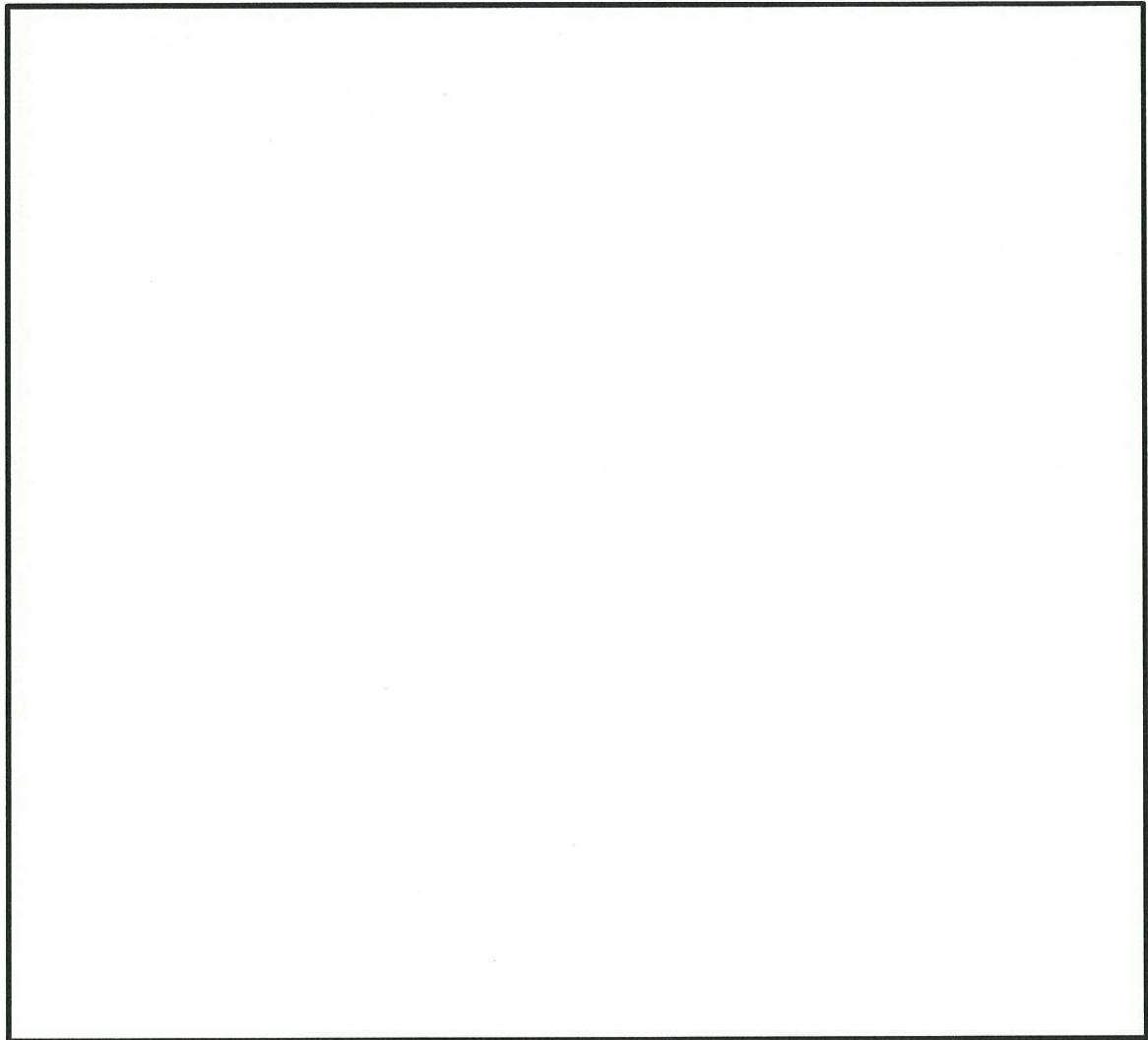


図 2-3 の概略平面図 (EL. 8.20 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

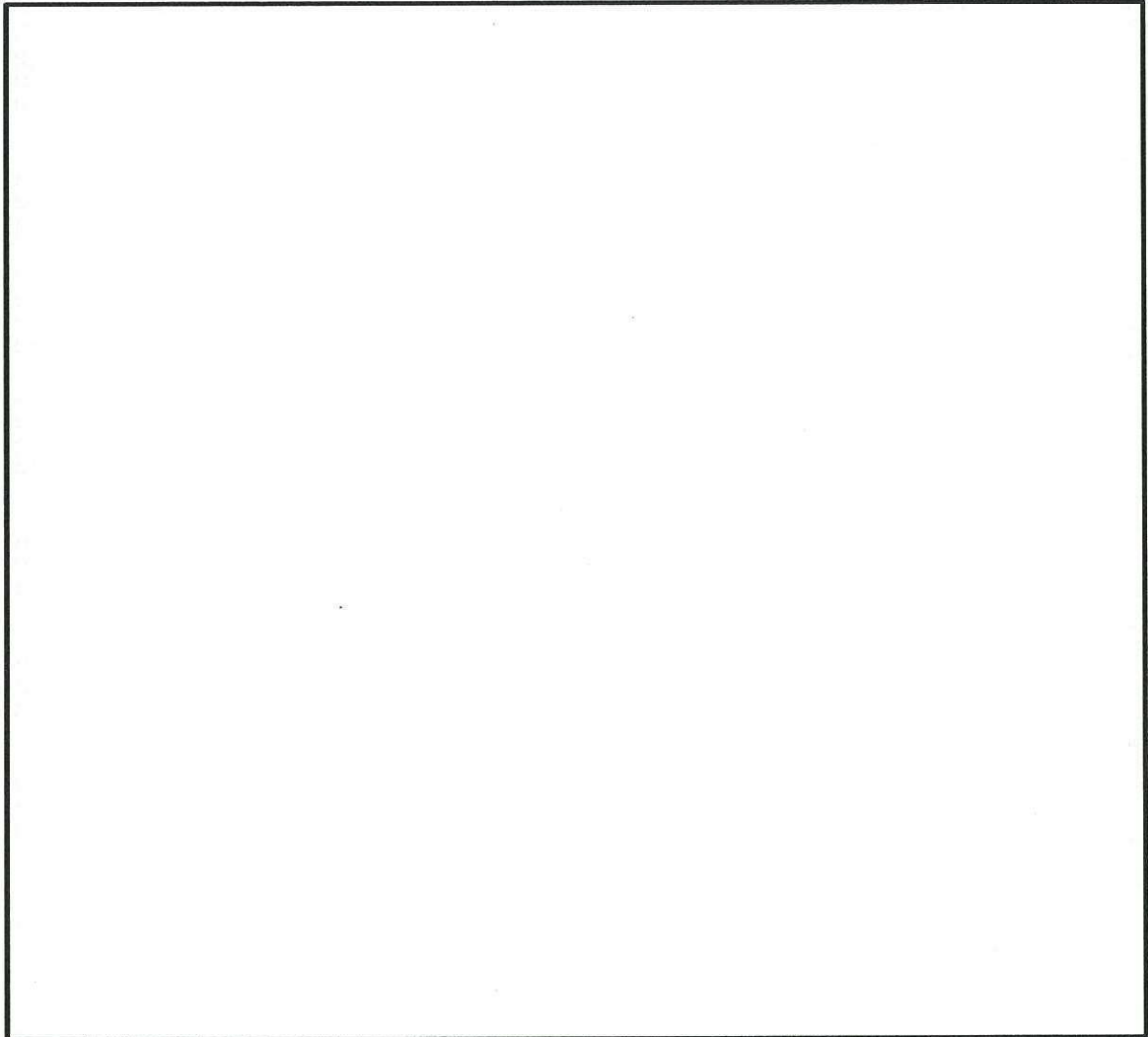


図 2-4 の概略平面図 (EL. 14.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

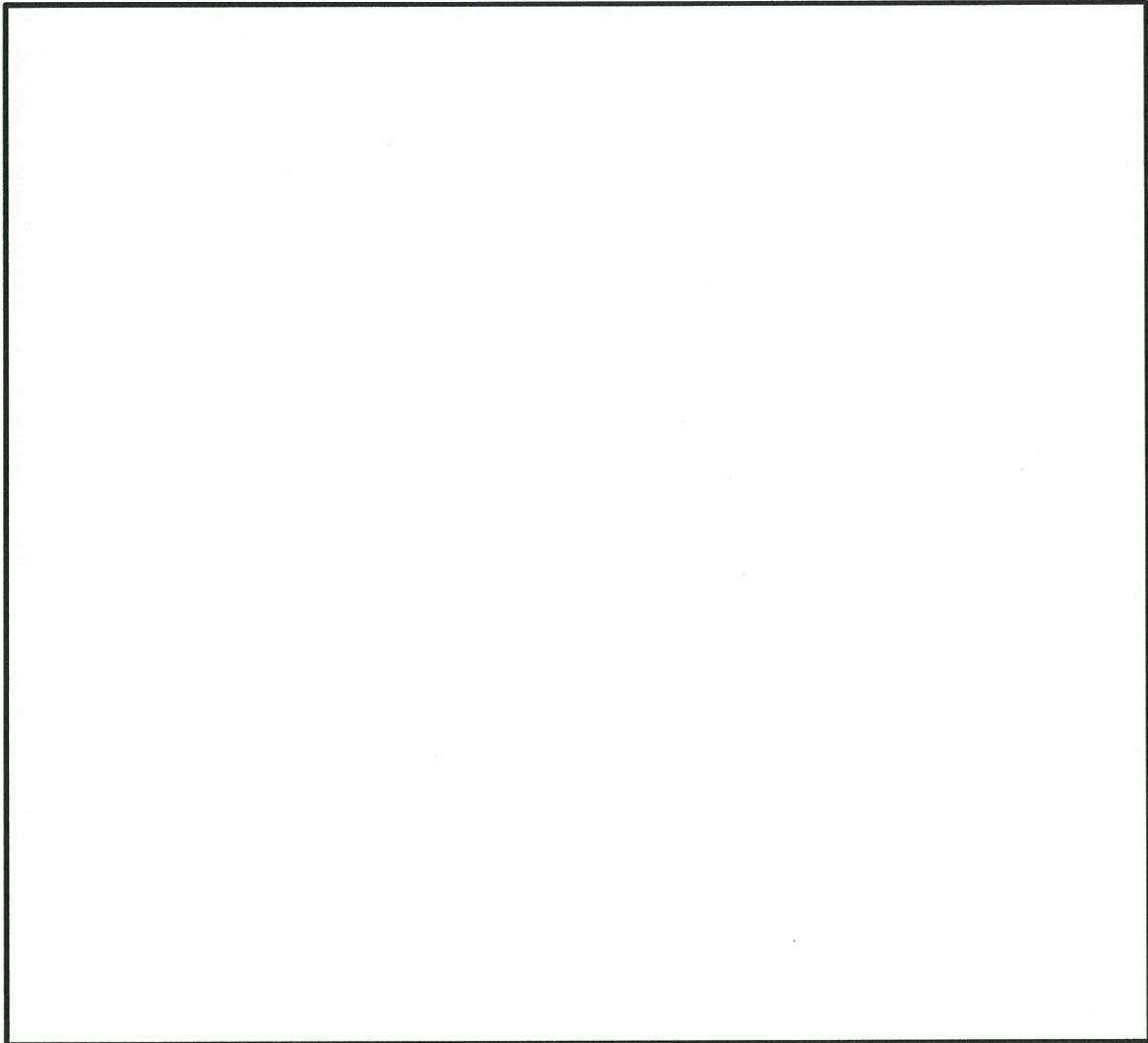


図 2-5 の概略平面図 (EL. 20.30 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

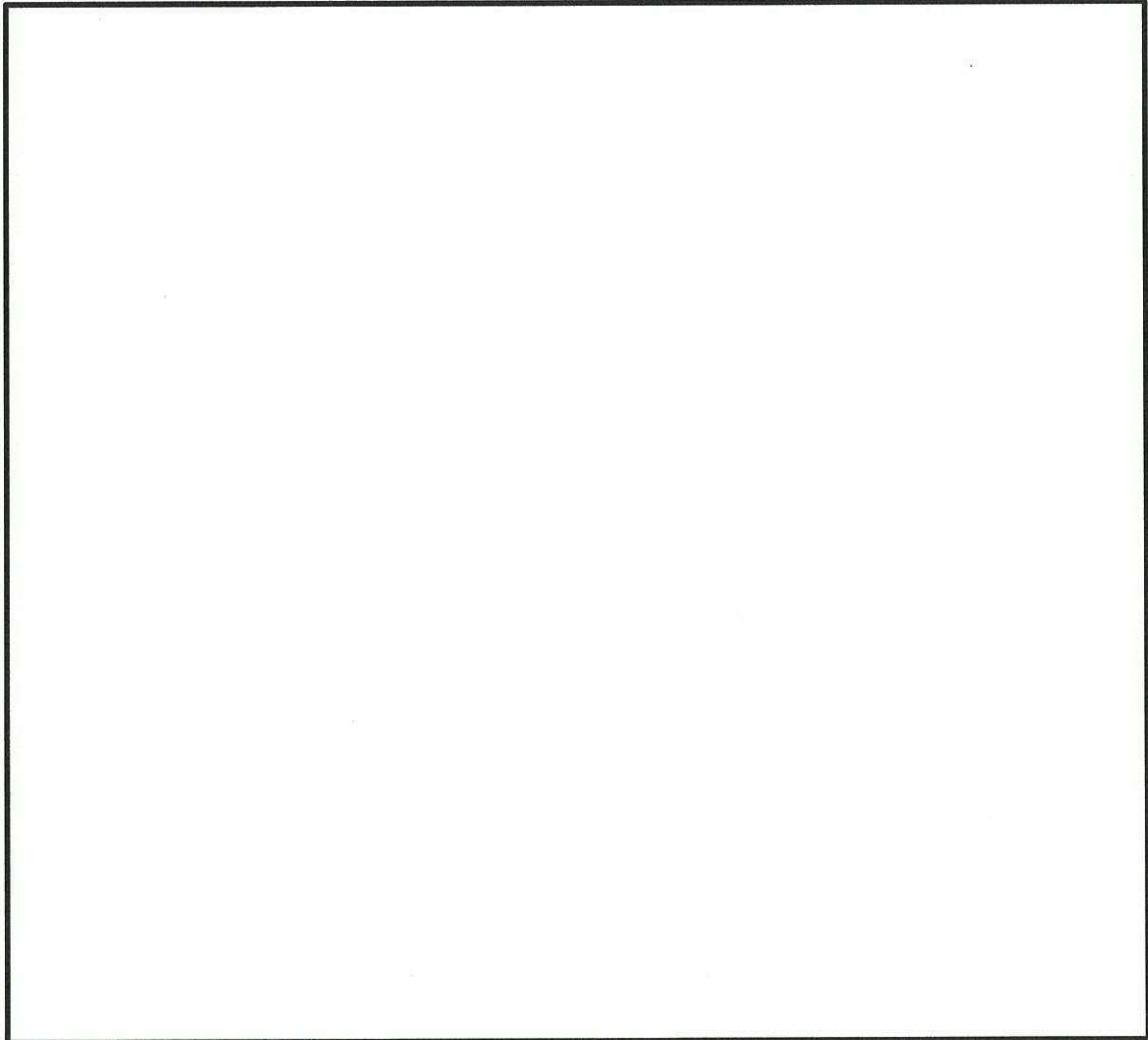


図 2-6 の概略平面図 (EL. 29.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

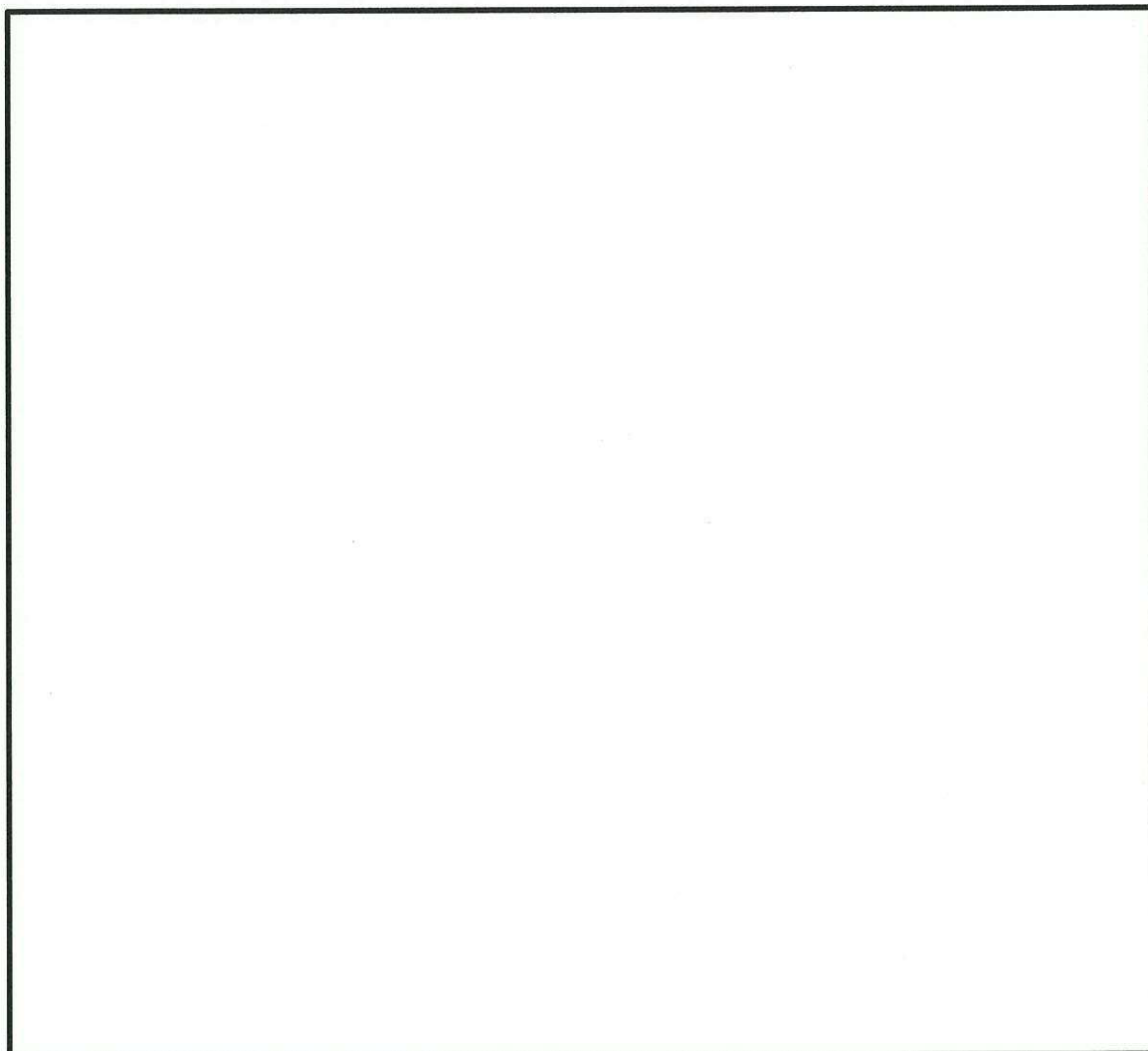


図 2-7 の概略平面図 (EL. 38.80 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

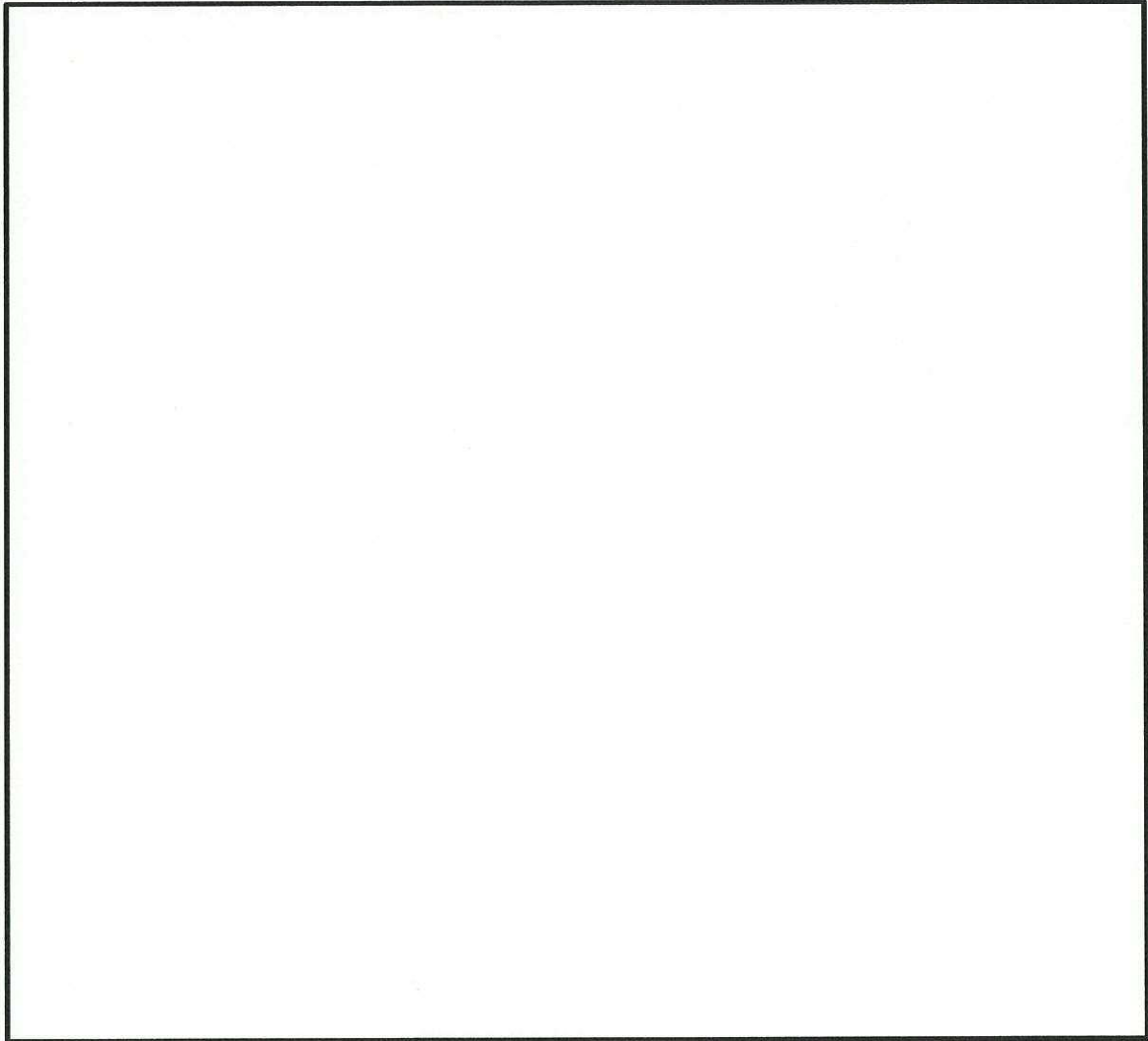


図 2-8 概略平面図 (EL. 46.50 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

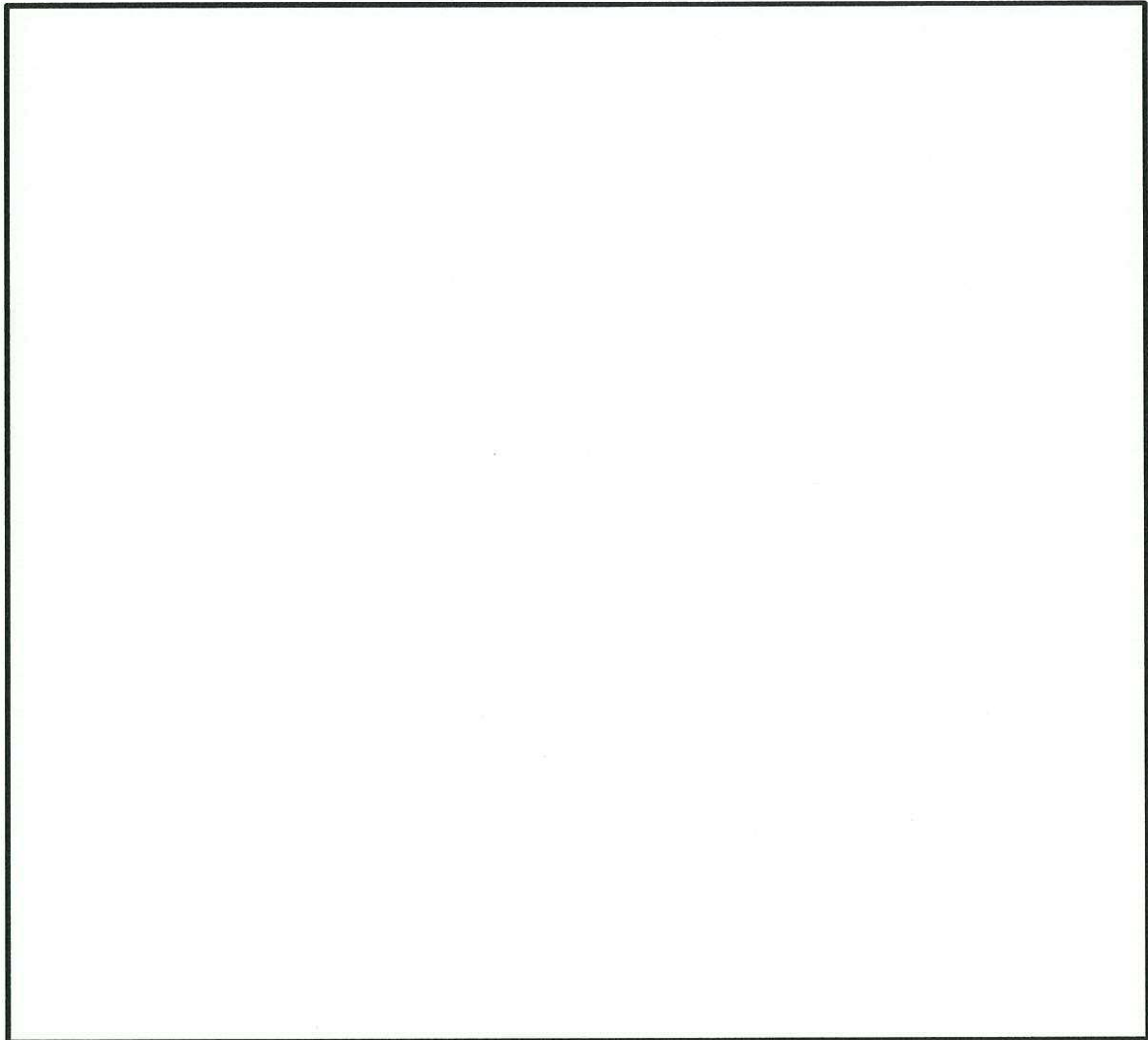


図 2-9 概略平面図 (EL. 57.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

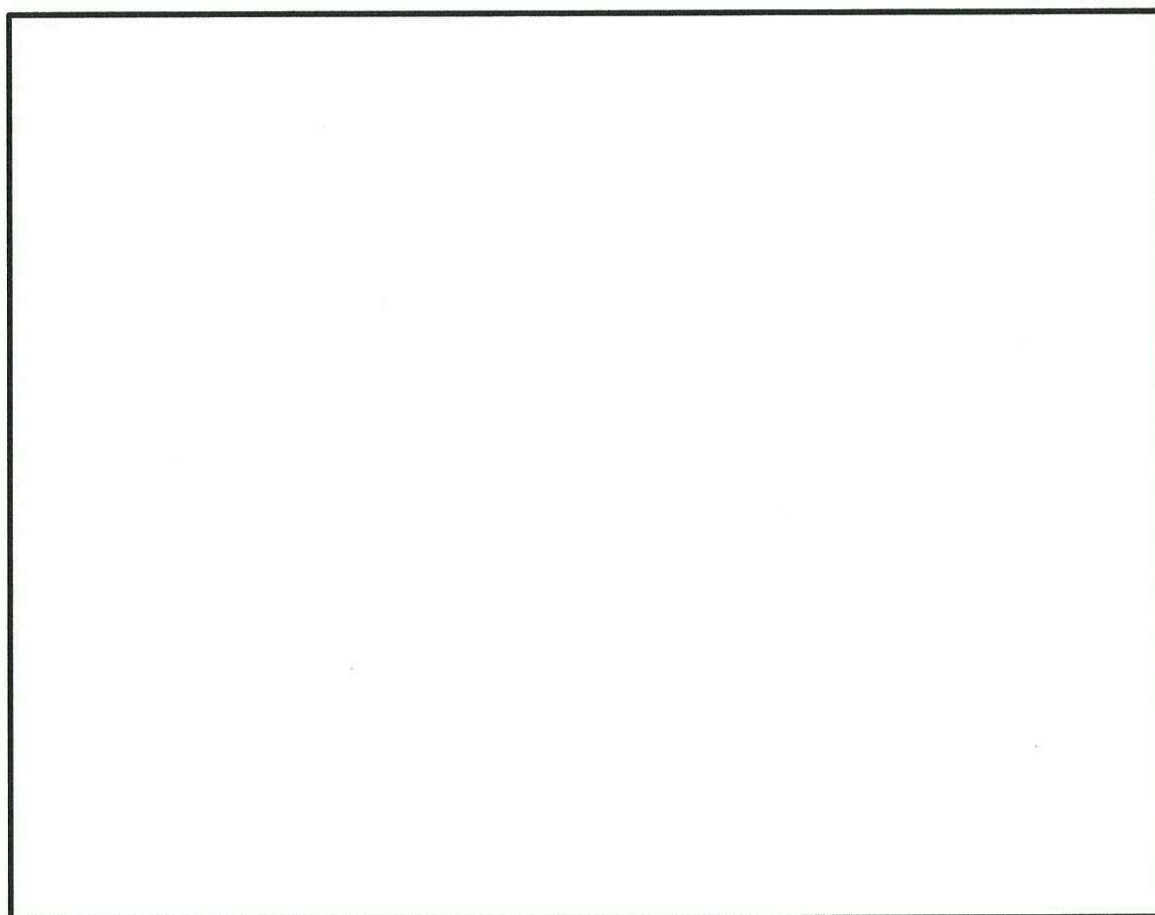
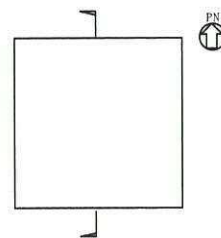


図 2-10 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

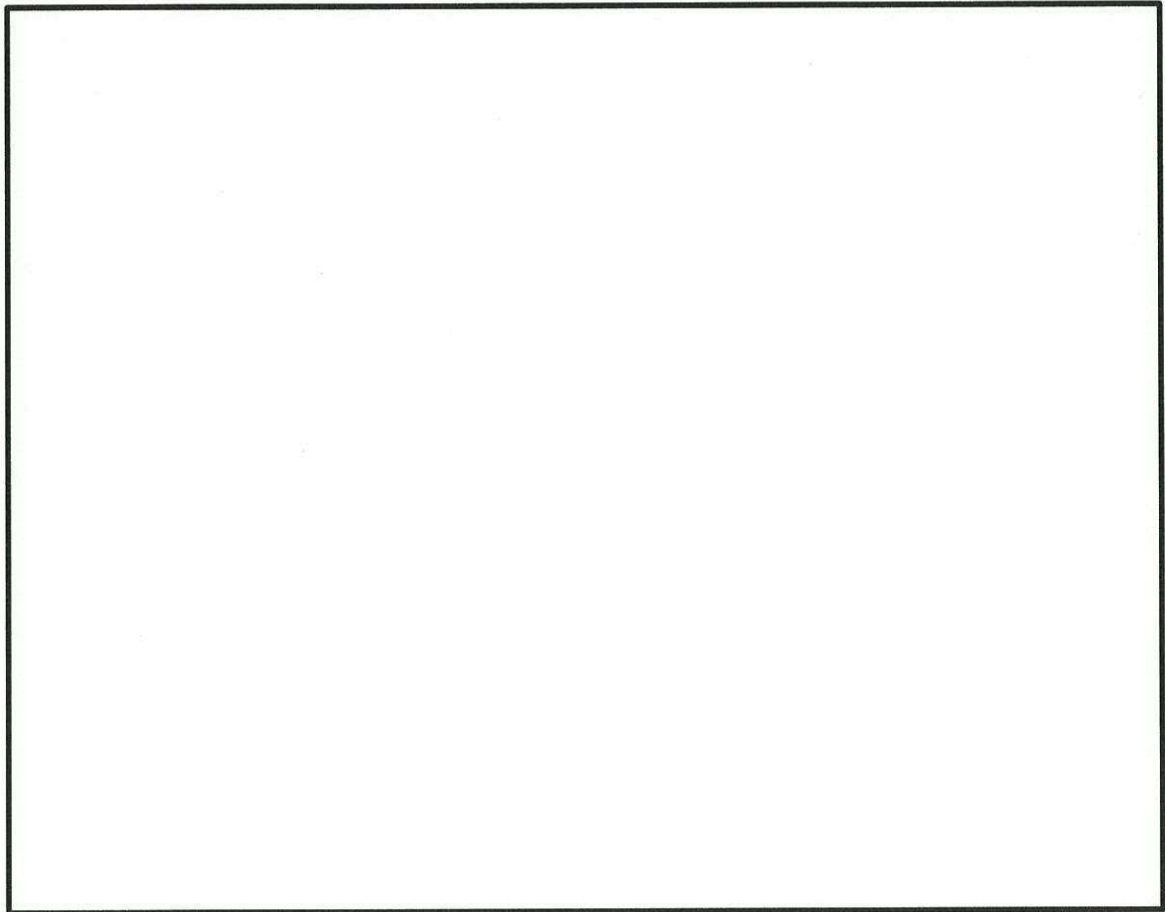
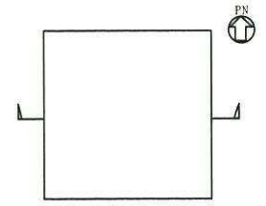


図 2-11 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向)

2.2 主排気筒

主排気筒の図面を図 2-12～図 2-13 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

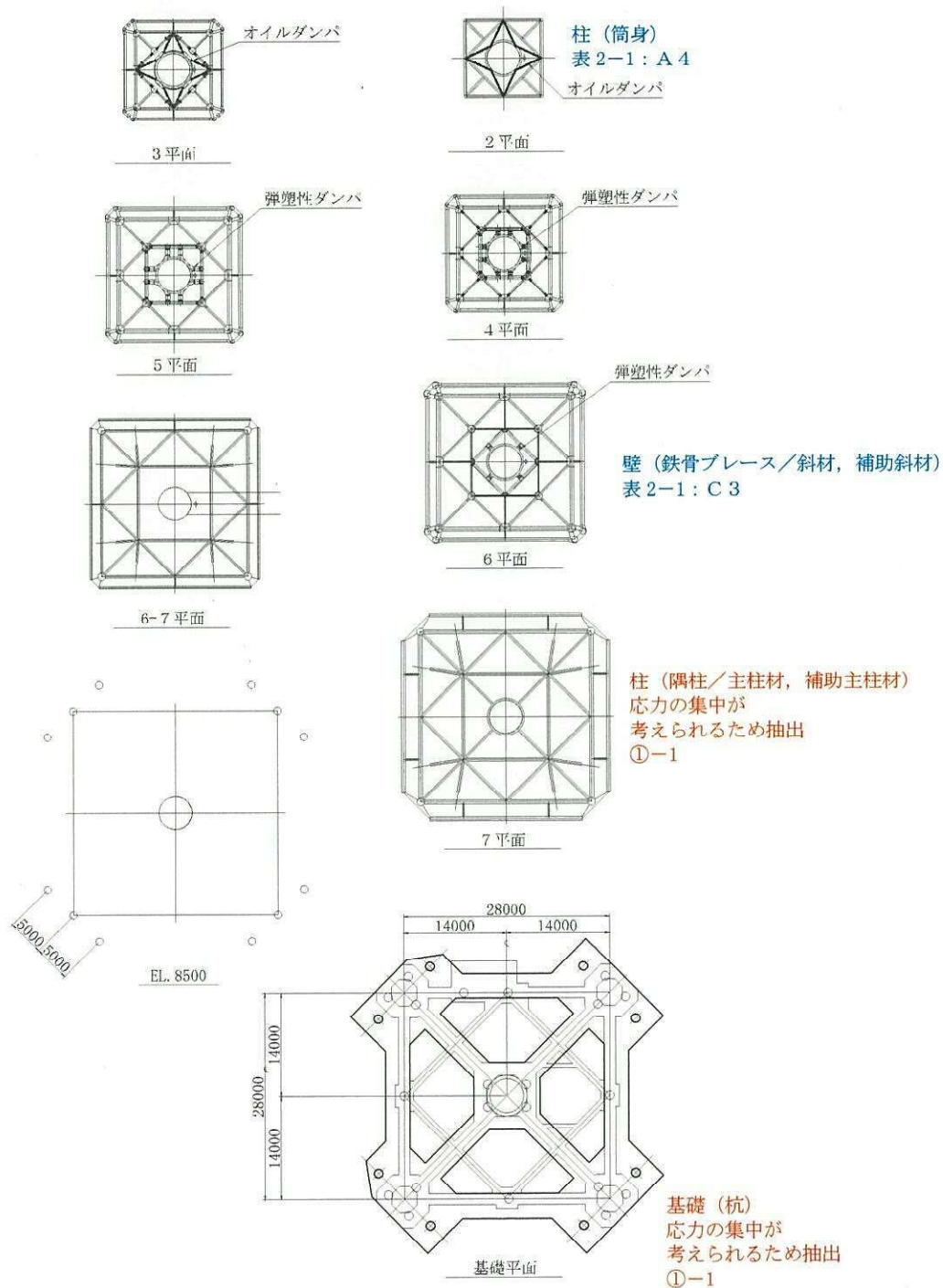


図 2-12 主排気筒の概略平面図

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

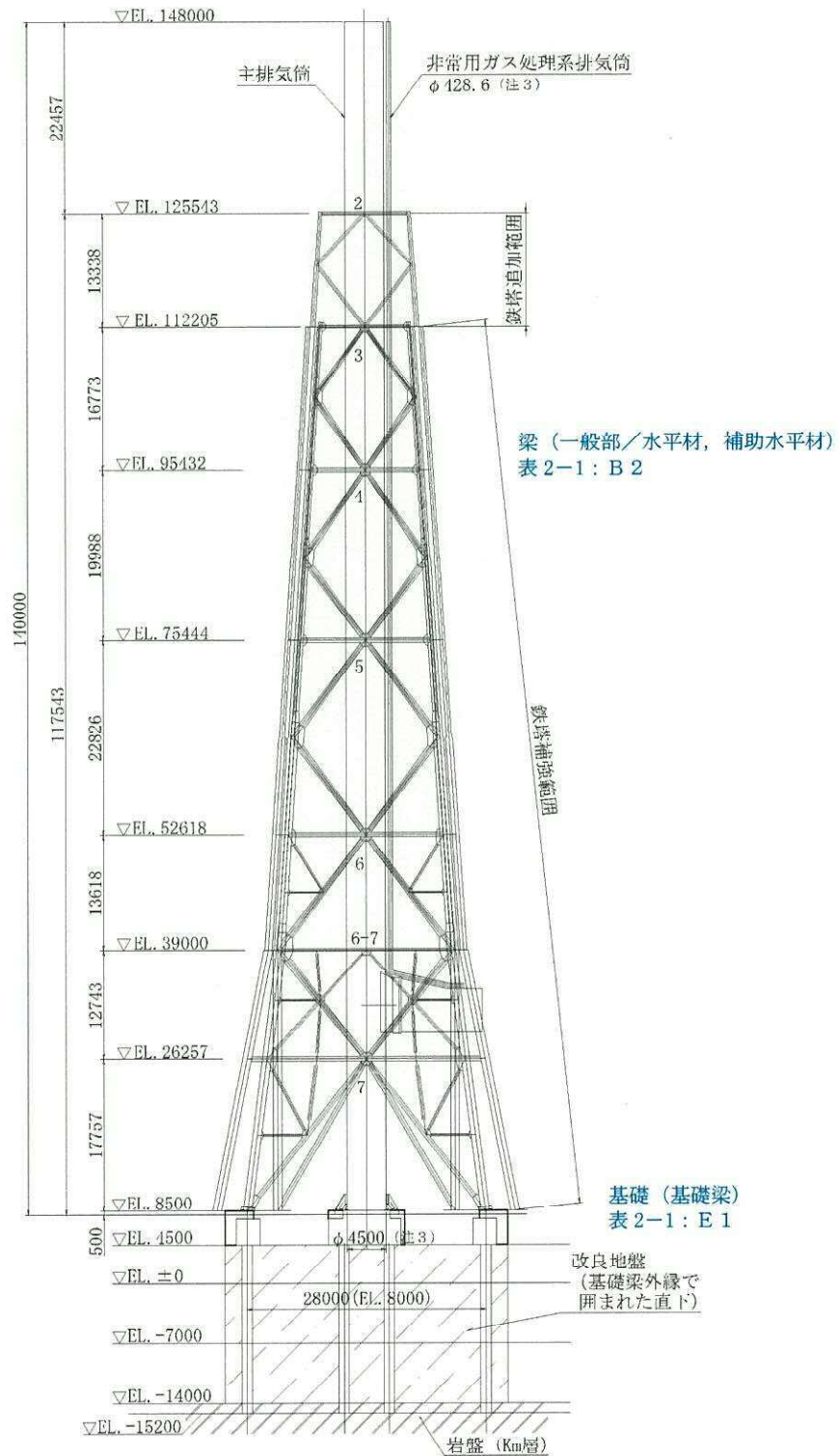


図 2-13 主排気筒の概略側面図

2.3 非常用ガス処理系配管支持架構

非常用ガス処理系配管支持架構の図面を図 2-14～図 2-19 に記載する。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

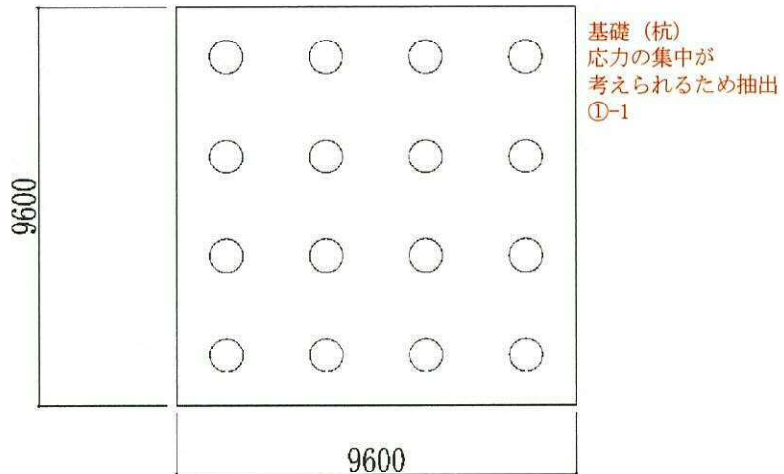


図 2-14 非常用ガス処理系配管支持架構の杭伏図 (EL. 5.2 m)

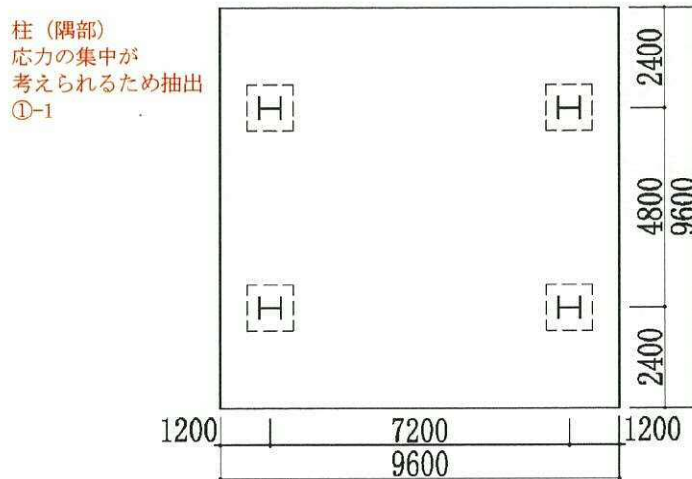


図 2-15 非常用ガス処理系配管支持架構の概略平面図 (EL. 7.7 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

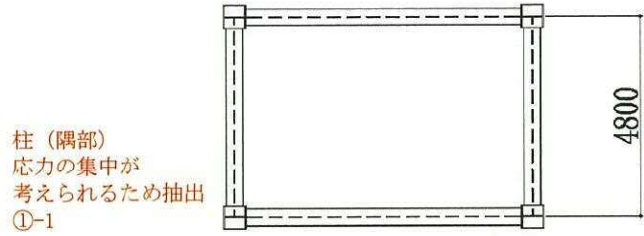


図 2-16 非常用ガス処理系配管支持架構の概略平面図 (EL. 14.2 m)

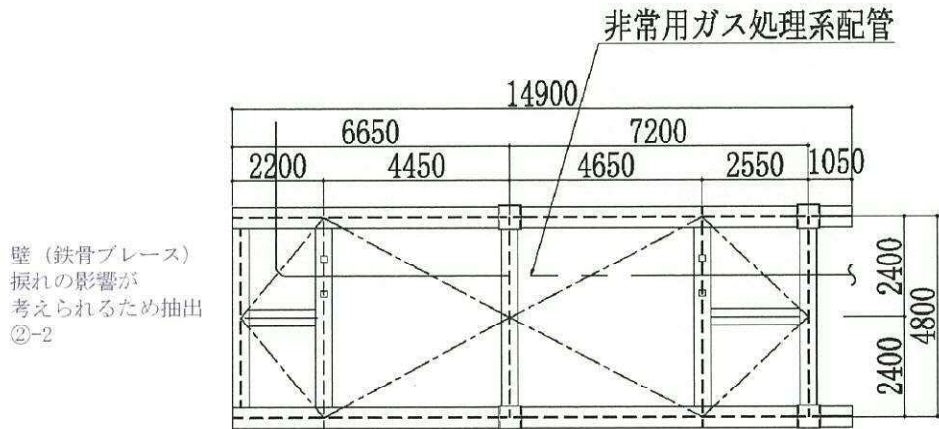


図 2-17 非常用ガス処理系配管支持架構の概略平面図 (EL. 20.8 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

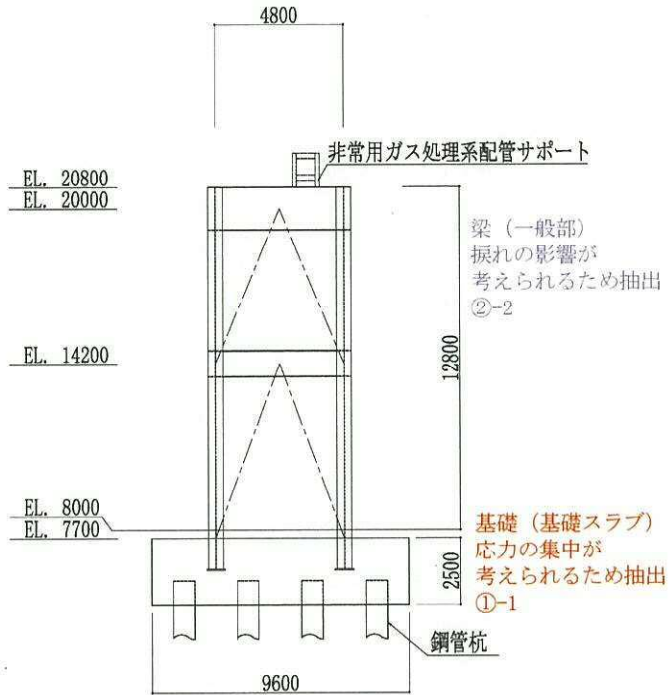


図 2-18 非常用ガス処理系配管支持架構の概略軸組図 (NS 方向)

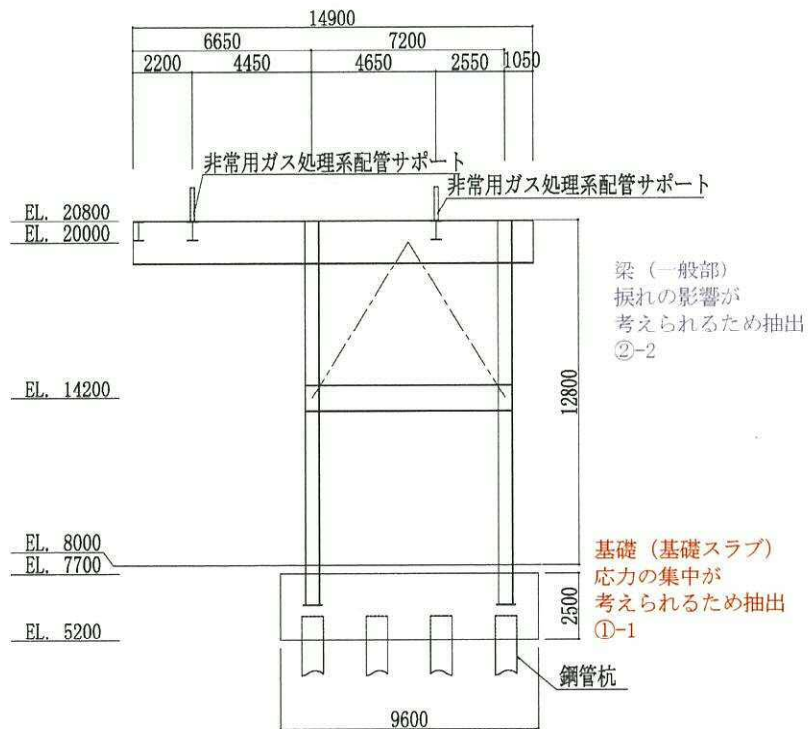


図 2-19 非常用ガス処理系配管支持架構の概略軸組図 (EW 方向)

2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋の図面を図 2-20～図 2-23 に記載する。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

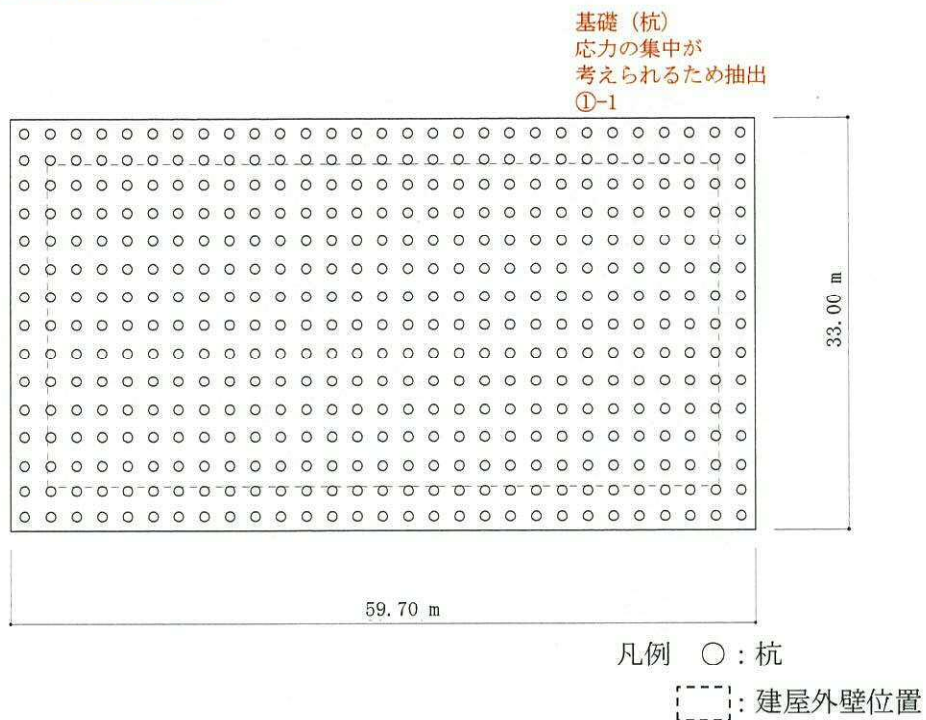


図 2-20 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭伏図 (EL. 5.8 m)

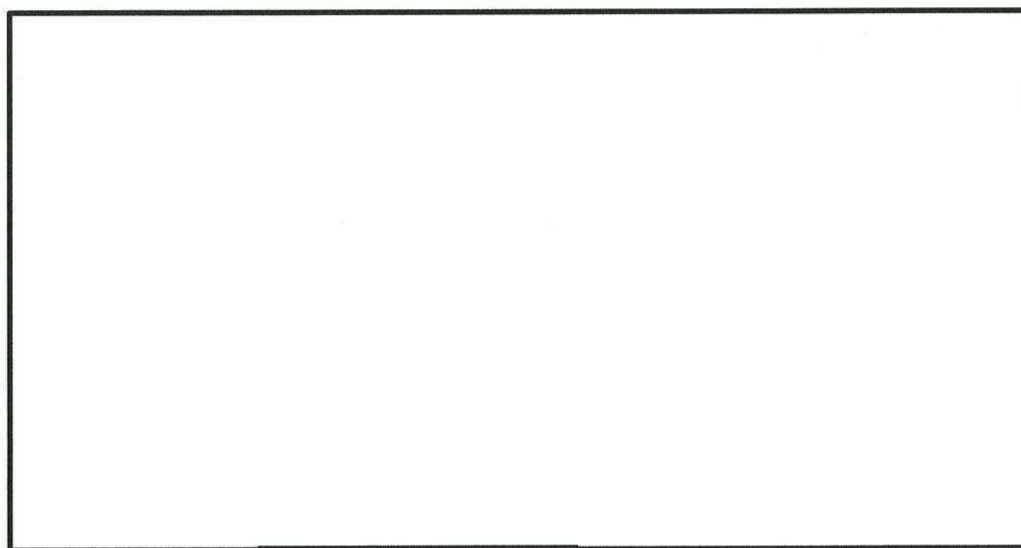


図 2-21 [] の概略平面図 (EL. 8.3 m)

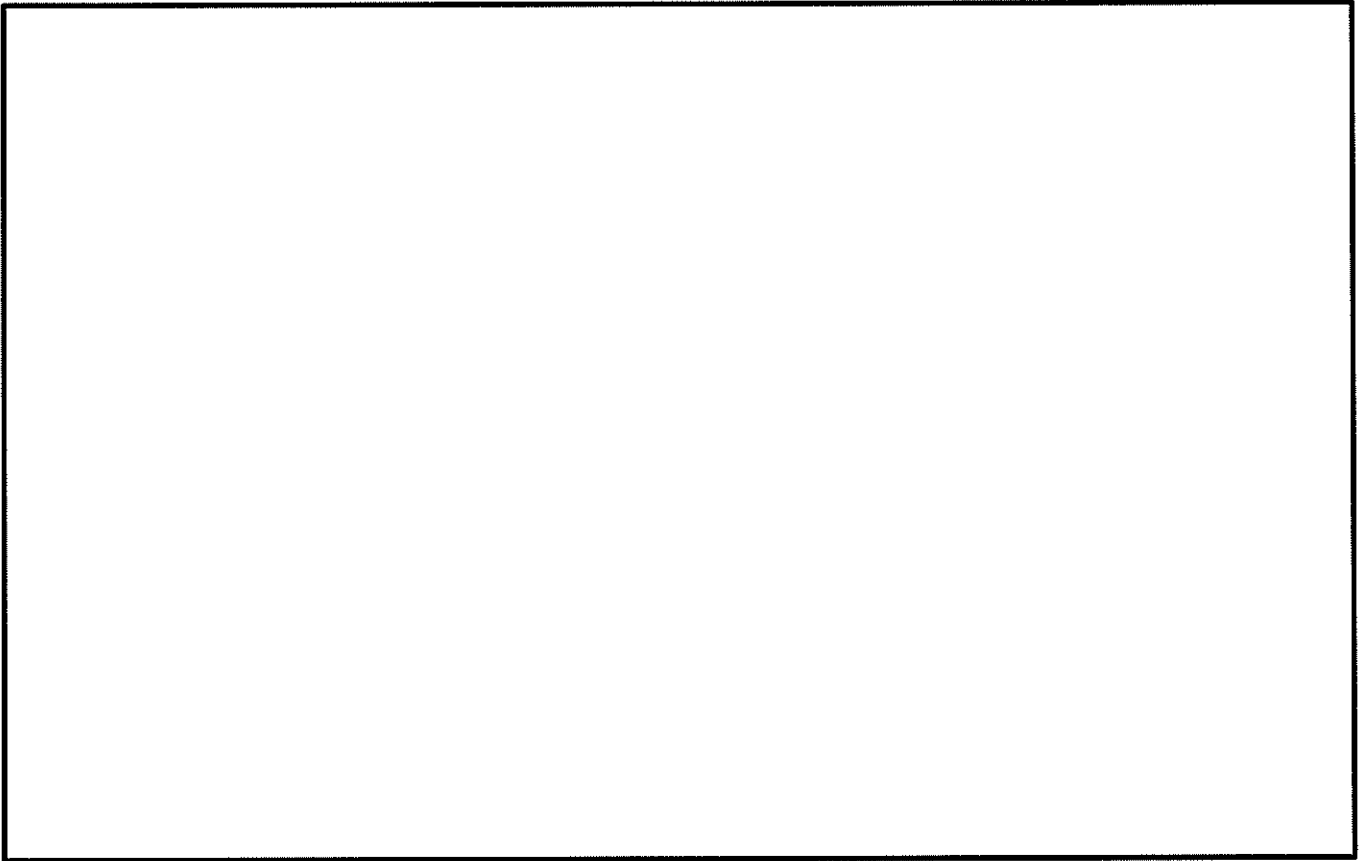


図 2-22 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (NS 方向, A-A 断面)

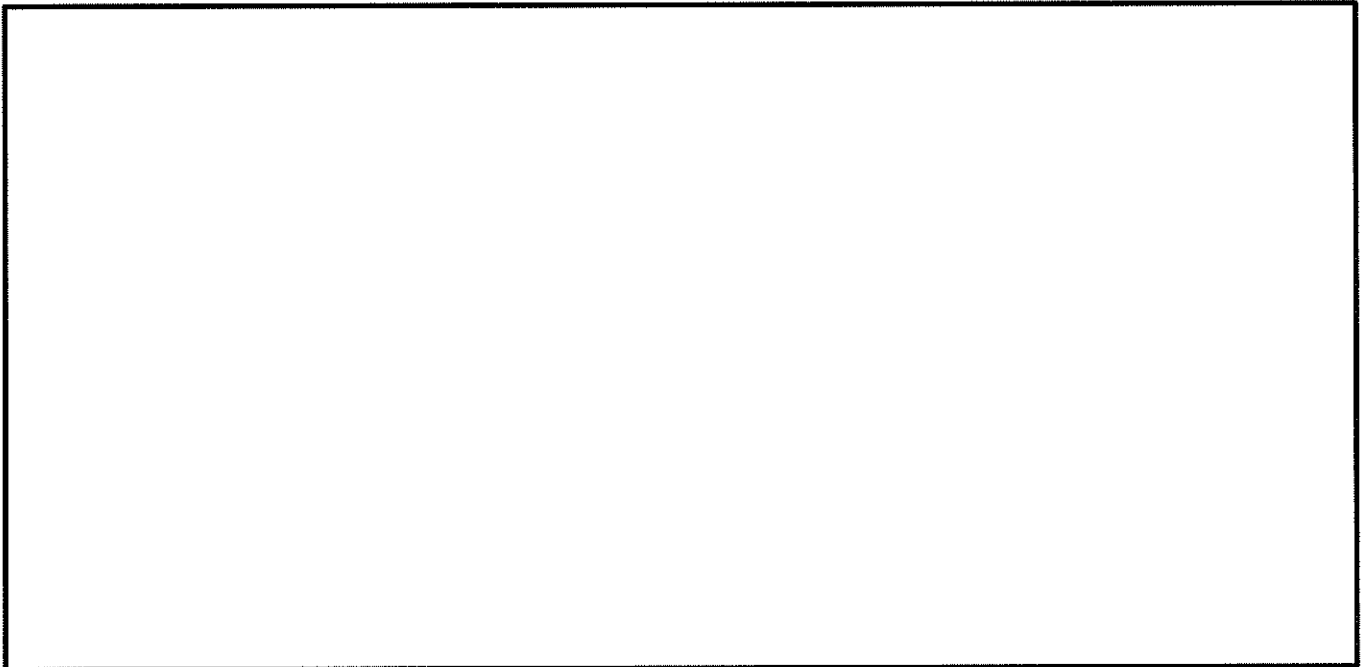


図 2-23 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (EW 方向, B-B 断面)

2.5 格納容器圧力逃がし装置格納槽

格納容器圧力逃がし装置格納槽の図面を図 2-24～図 2-26 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

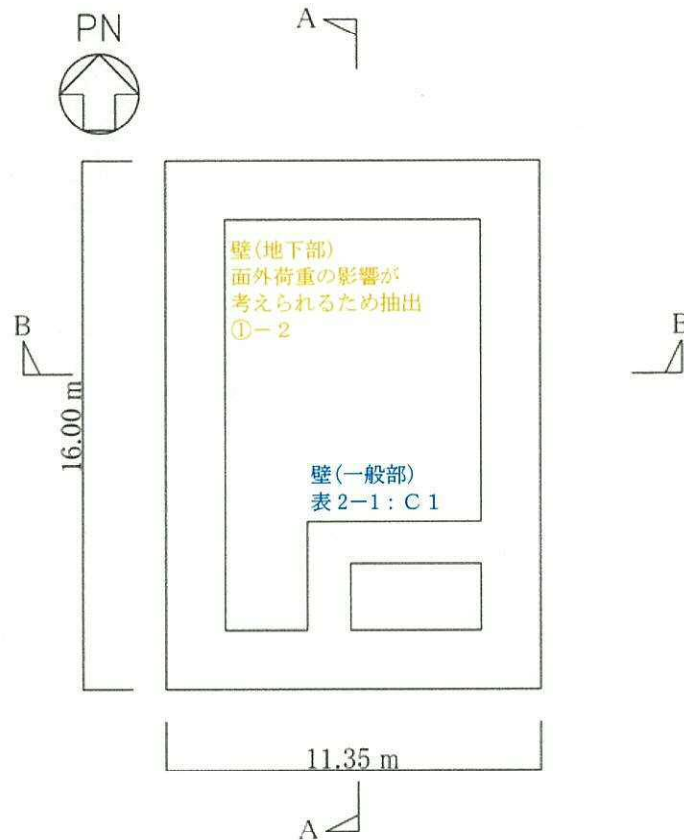


図 2-24 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略平面図 (EL. -12.8 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

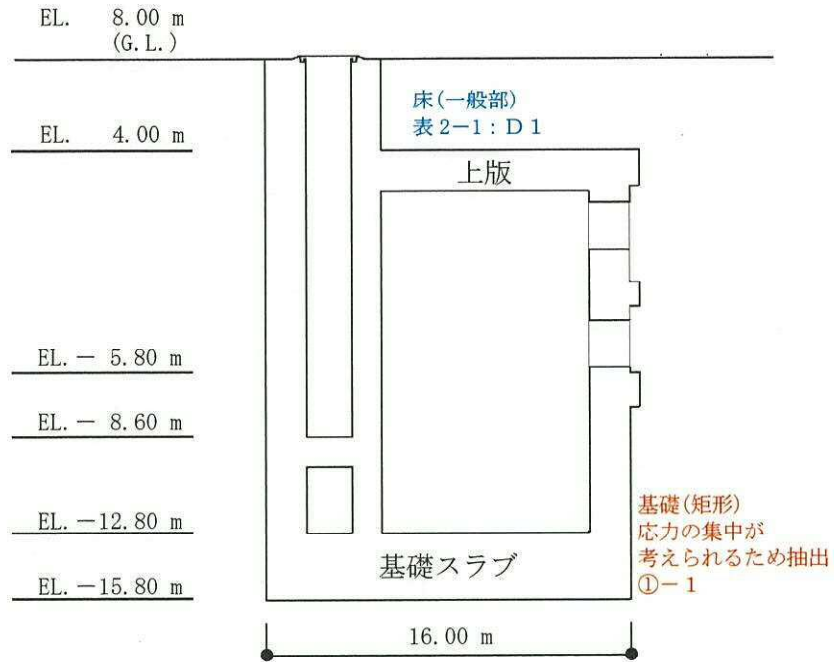


図 2-25 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略断面図 (NS 方向, A-A 断面)

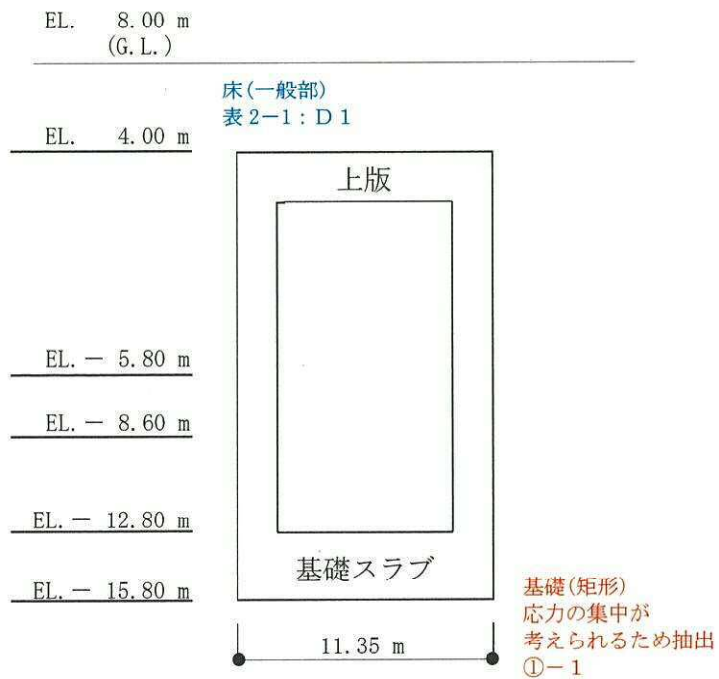


図 2-26 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略断面図 (EW 方向, B-B 断面)

2.6 緊急時対策所建屋

緊急時対策所建屋の図面を図 2-27～図 2-33 に記載する。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

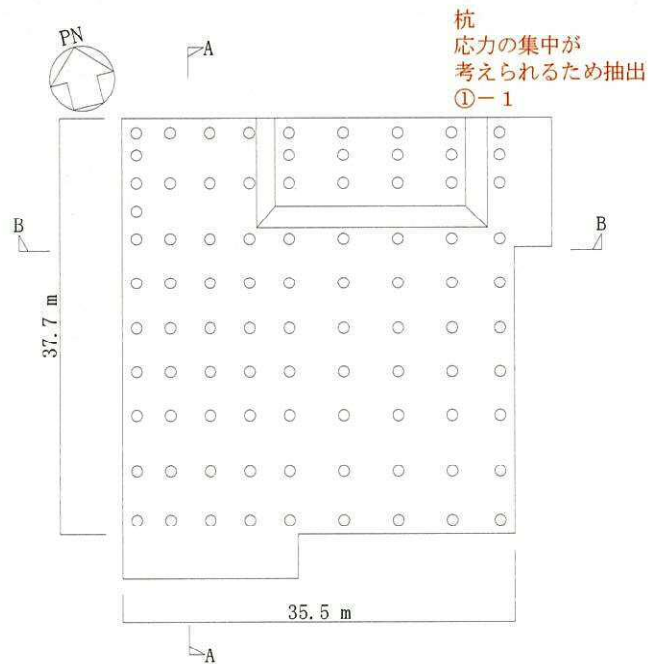


図 2-27 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 20.8 m)

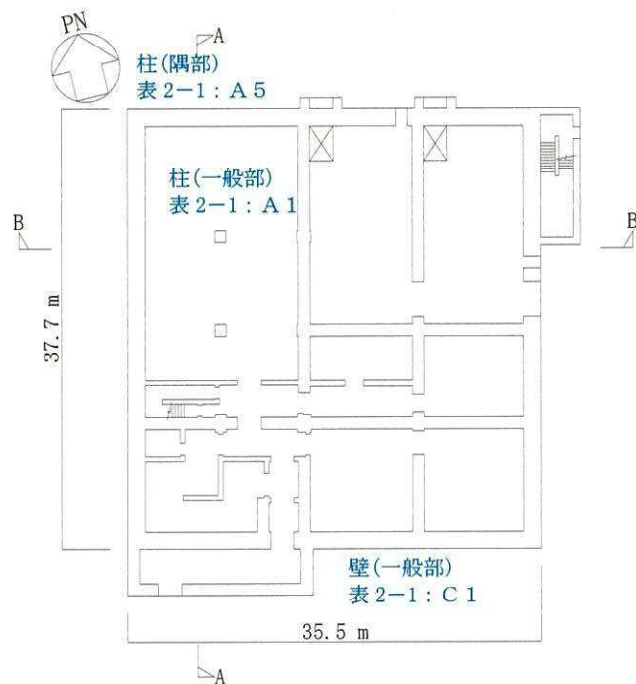


図 2-28 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 23.3 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

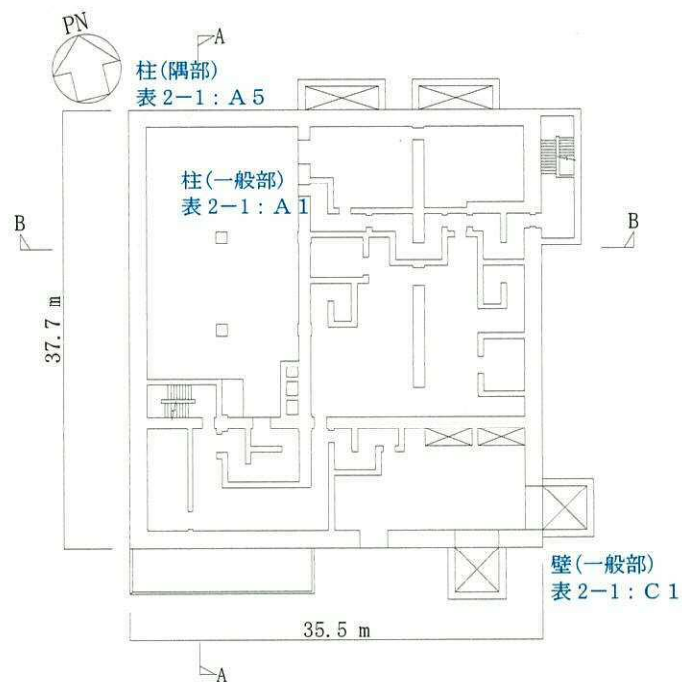


図 2-29 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 30.3 m)

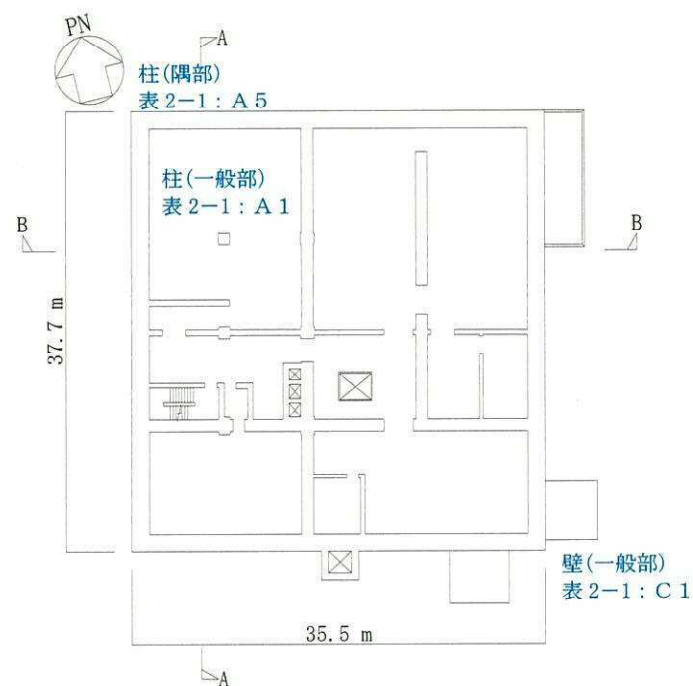


図 2-30 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 37.0 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

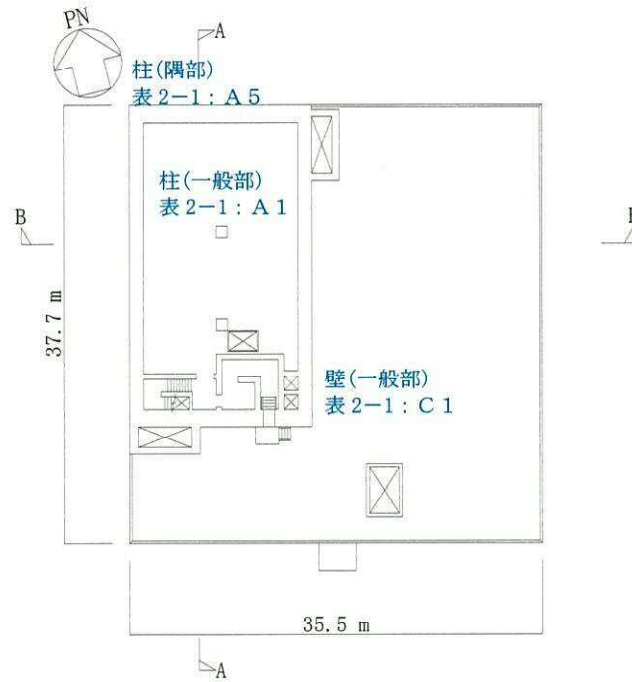


図 2-31 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 43.5 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

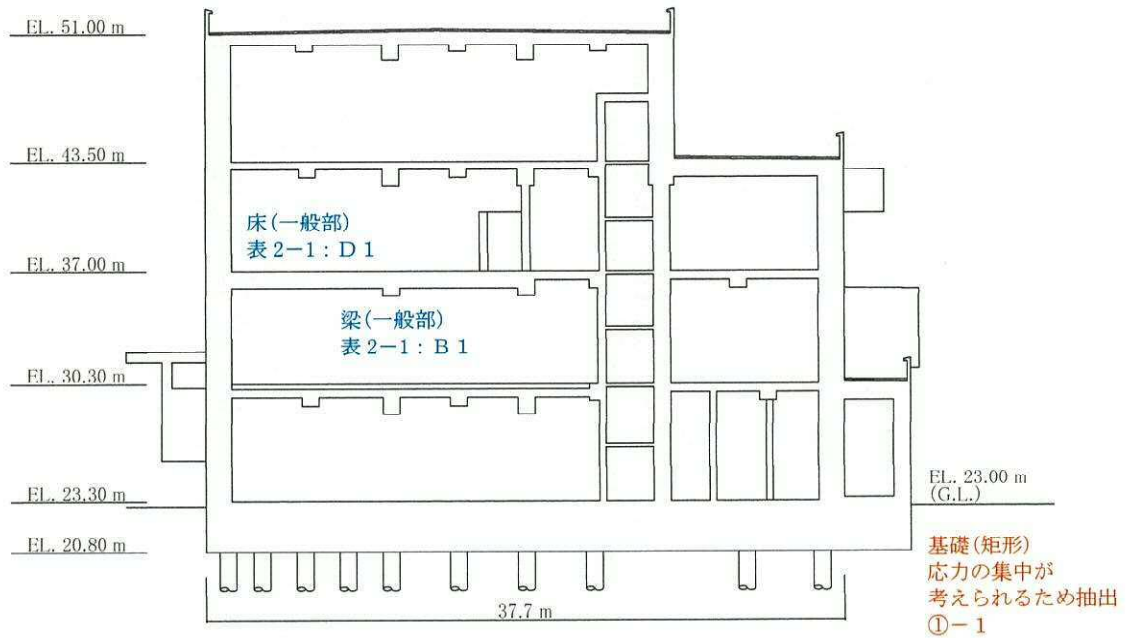


図 2-32 緊急時対策所建屋の概略断面図(NS 方向, A-A 断面)

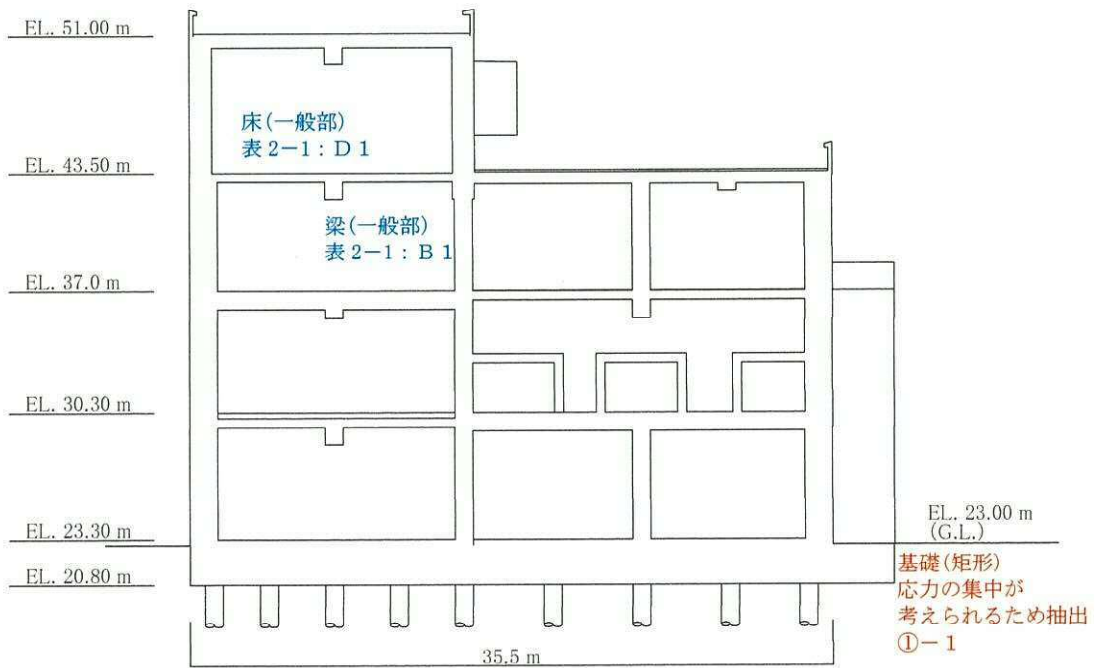


図 2-33 緊急時対策所建屋の概略断面図(EW 方向, B-B 断面)

2.7 タービン建屋

タービン建屋の図面を図 2-34～図 2-39 に記載する。

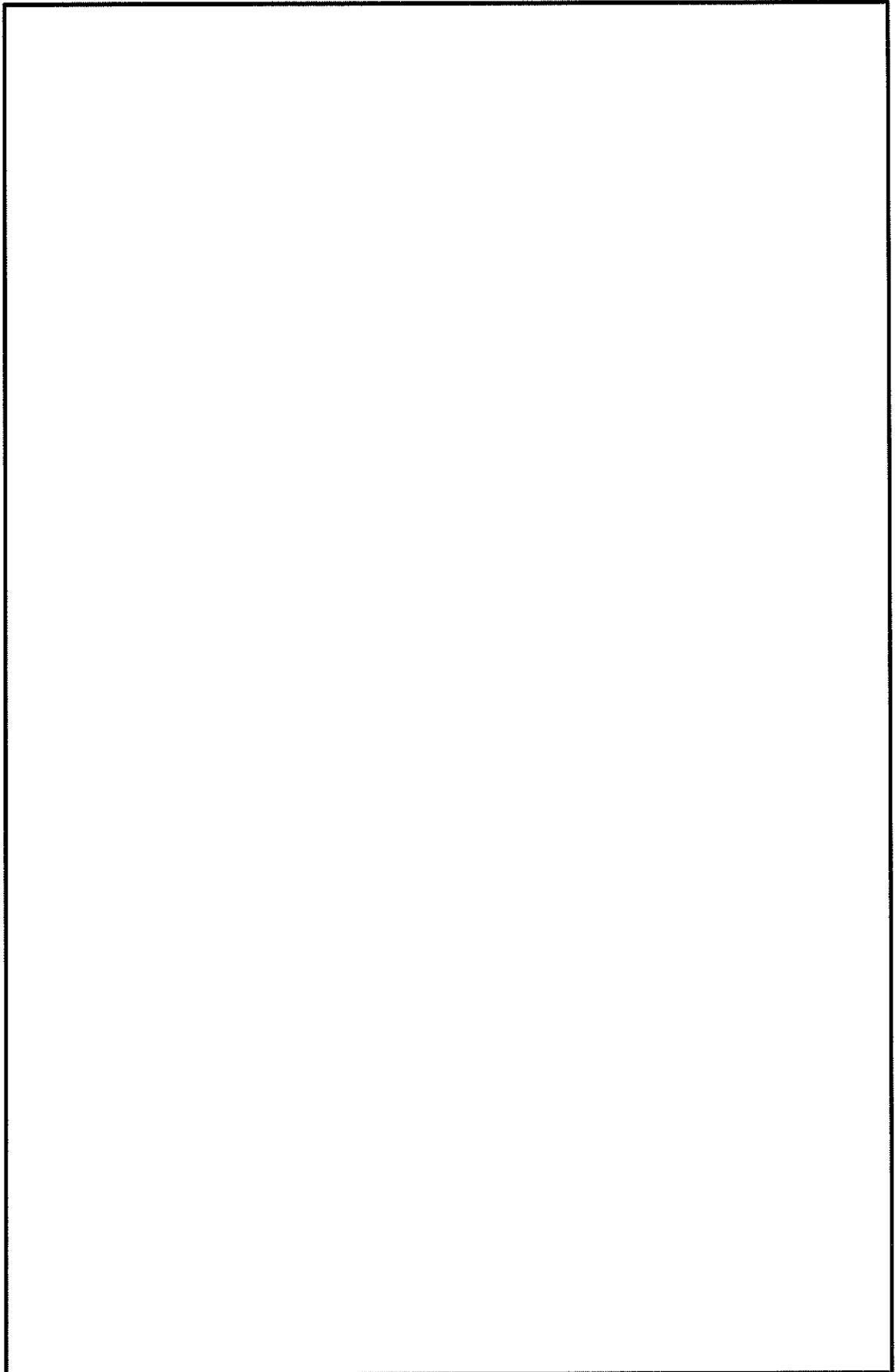


図 2-34 概略平面図 (EL. -4.00 m)

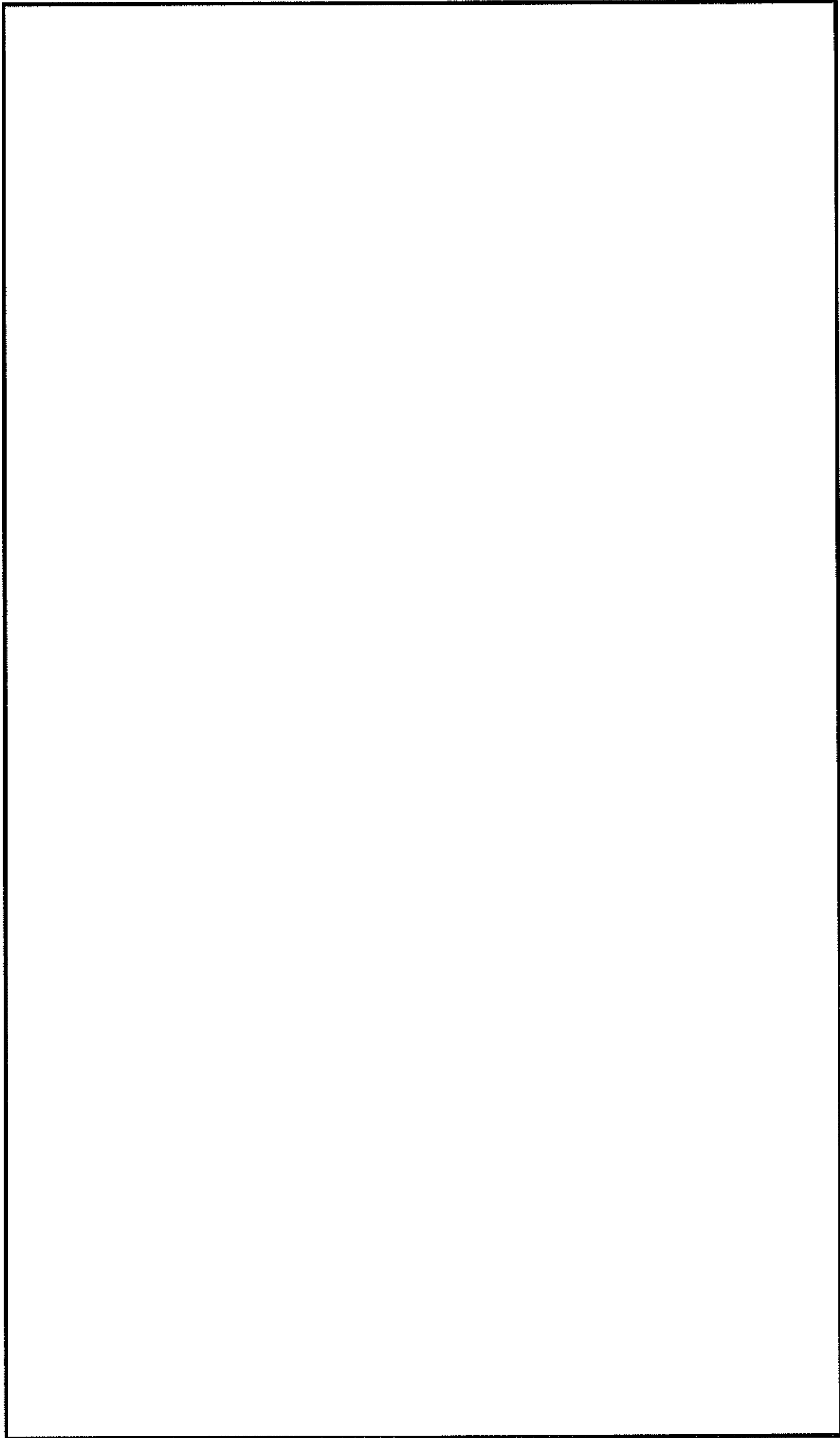


図 2-35  概略平面図 (EL. 8.20 m)

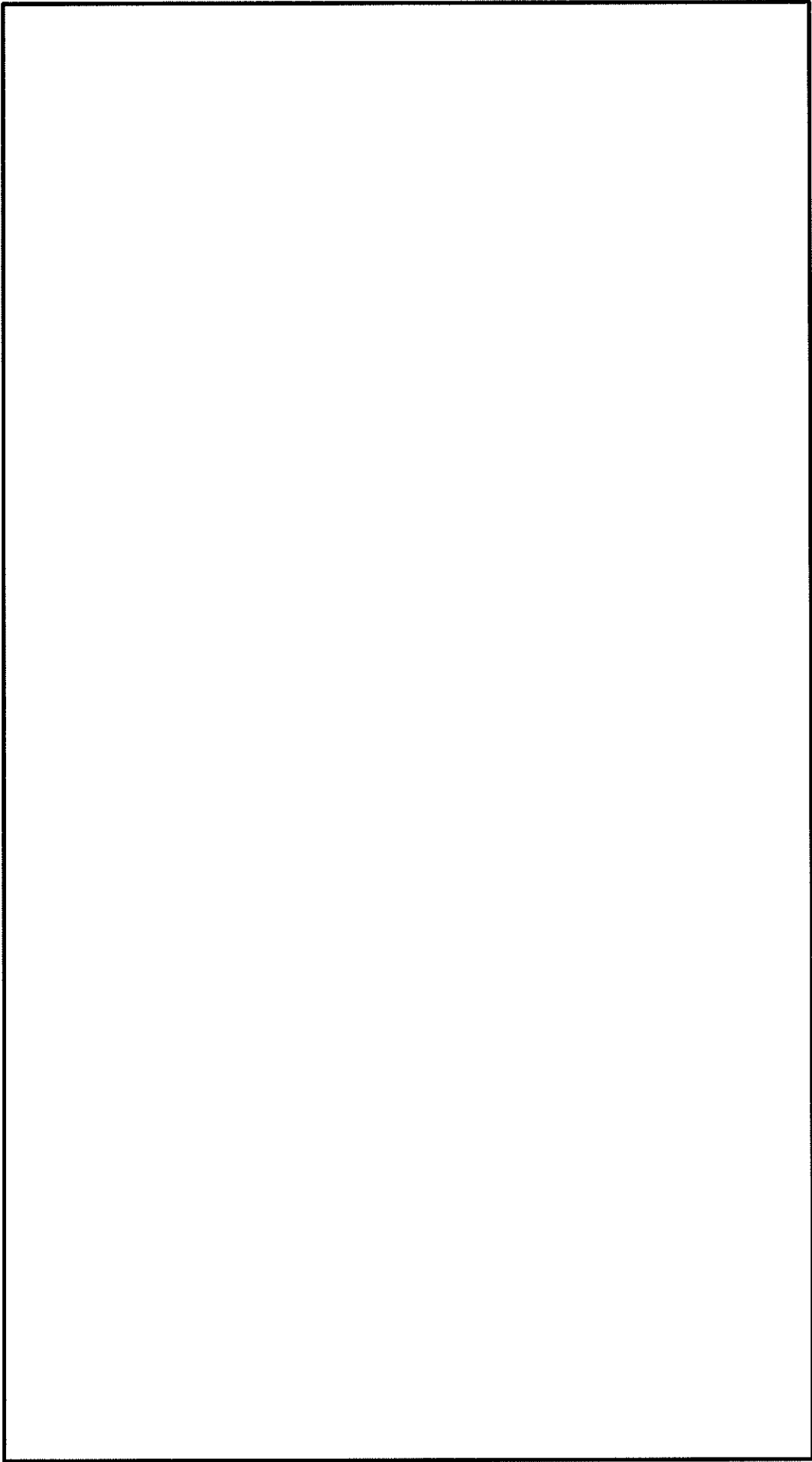


図 2-36  概略平面図 (EL. 18.00 m)

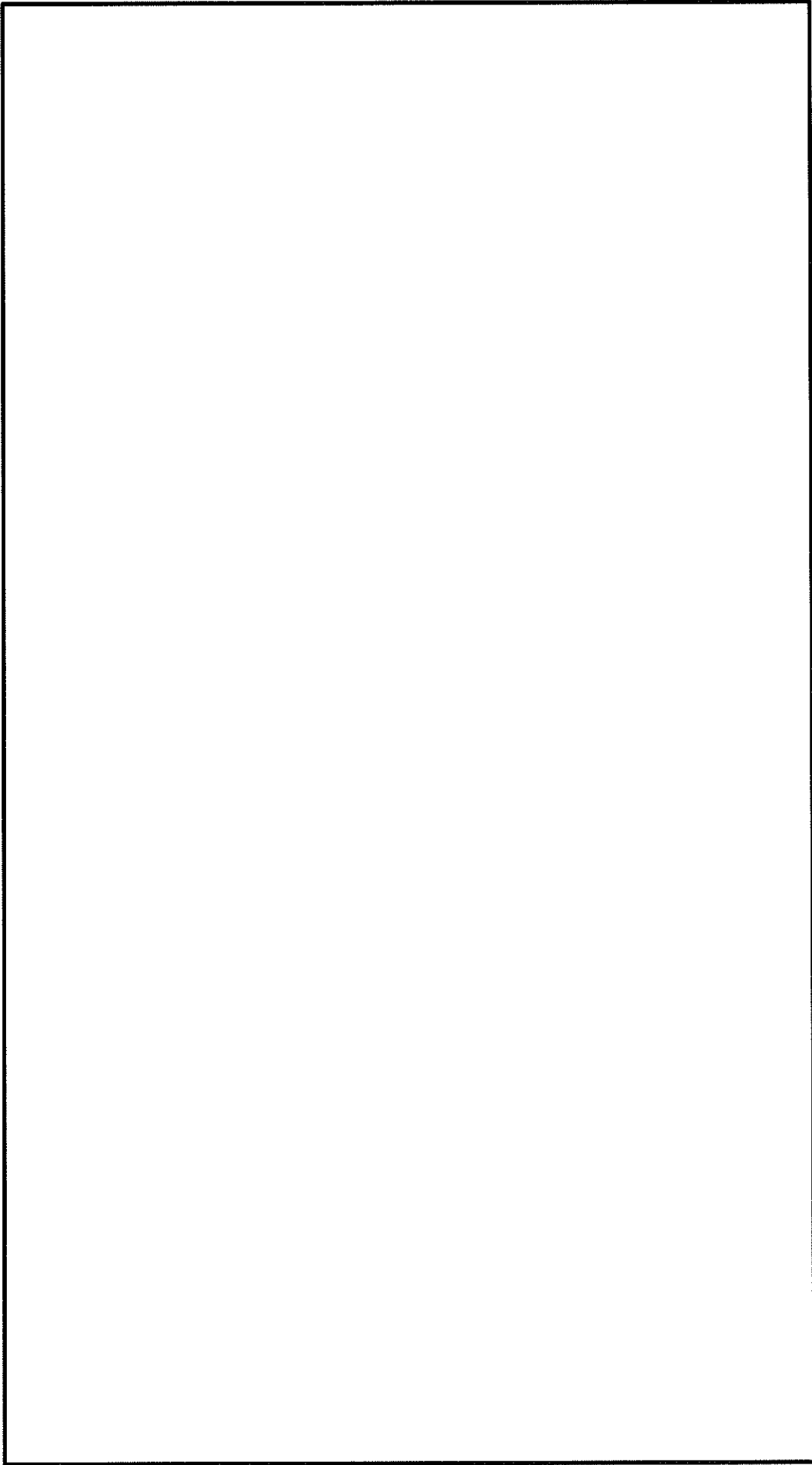


図 2-37  概略平面図 (EL. 28.00 m)

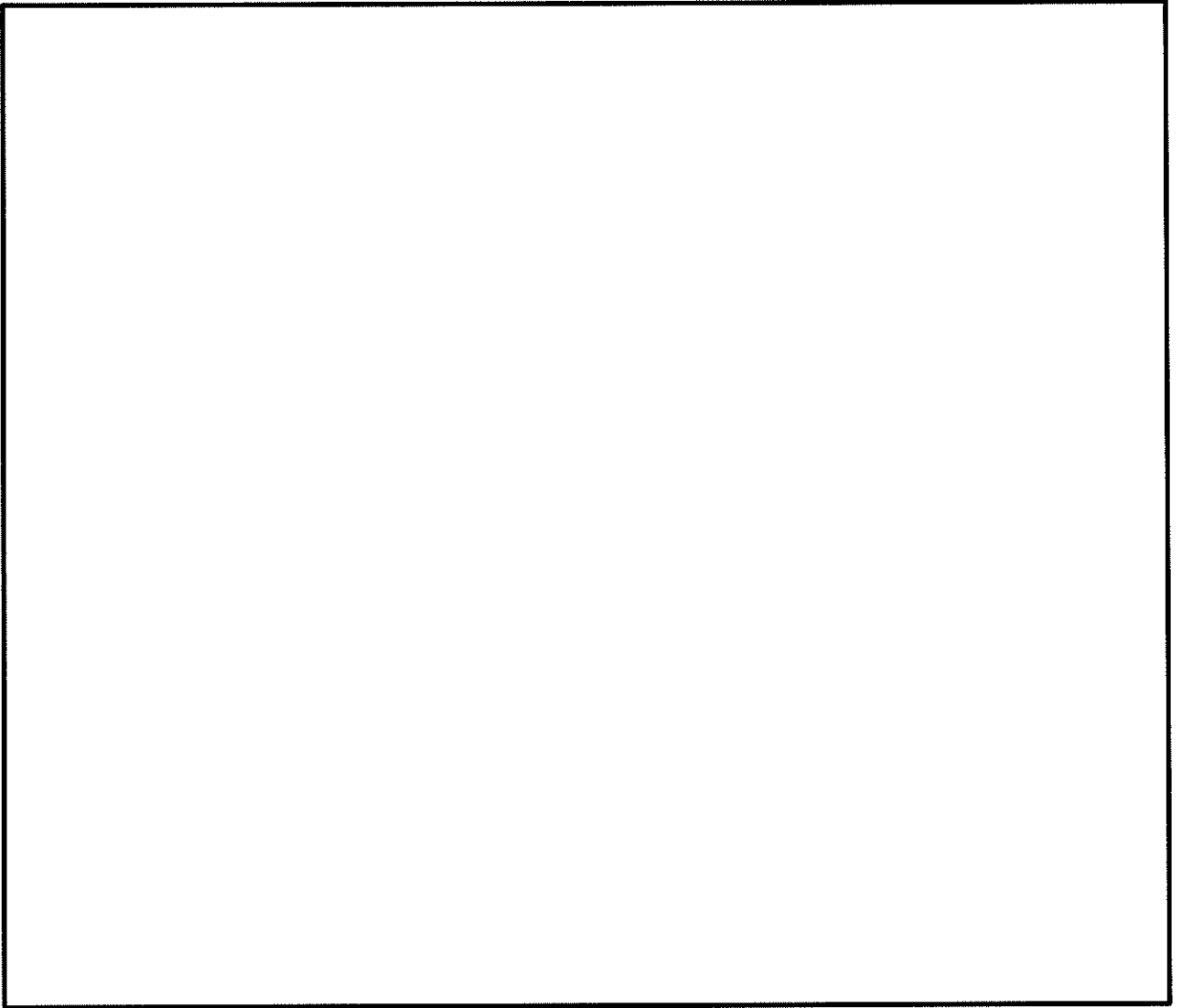


図 2-38 タービン建屋の概略断面図 (NS 方向)

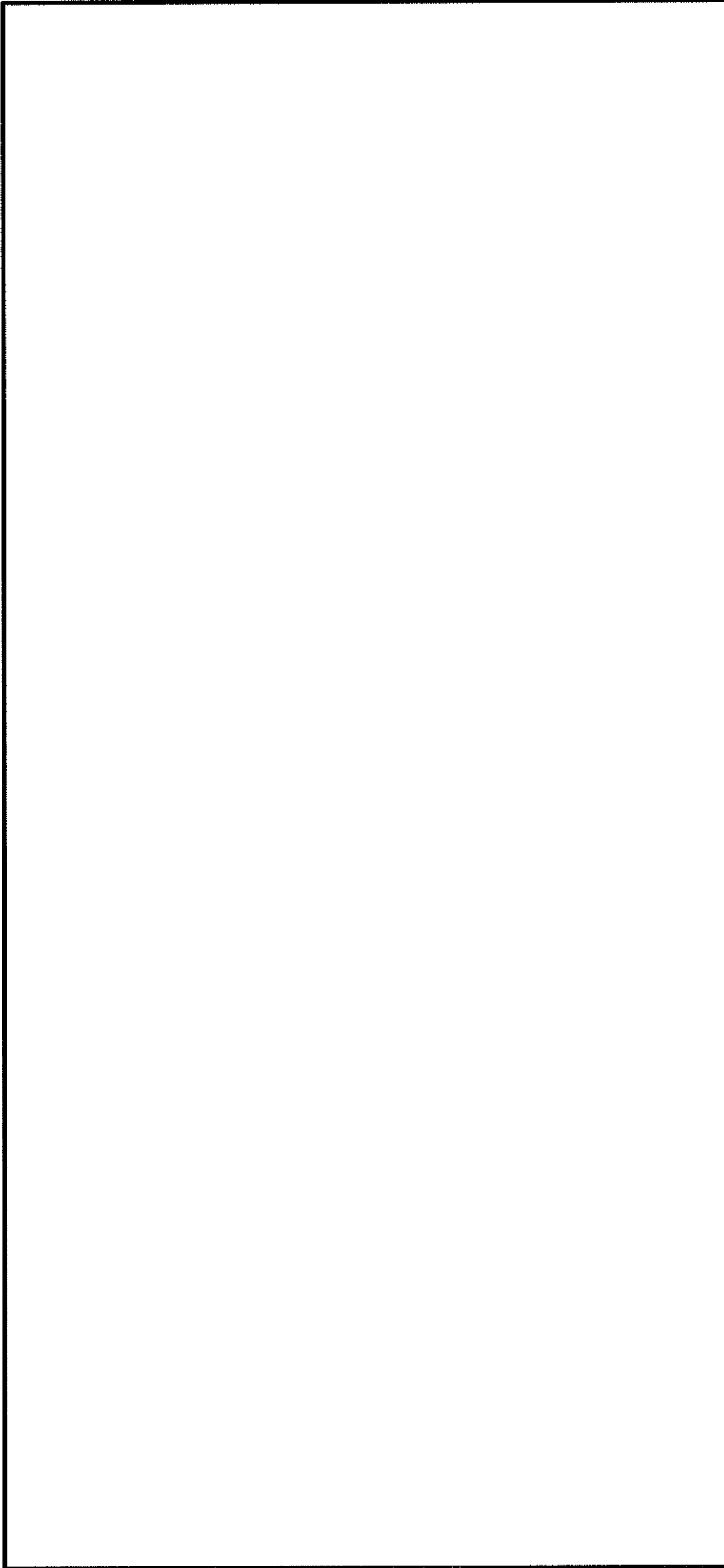


図 2-39 タービン建屋の概略断面図 (EW 方向)

2.8 サービス建屋

サービス建屋の図面を図 2-40～図 2-45 に記載する。

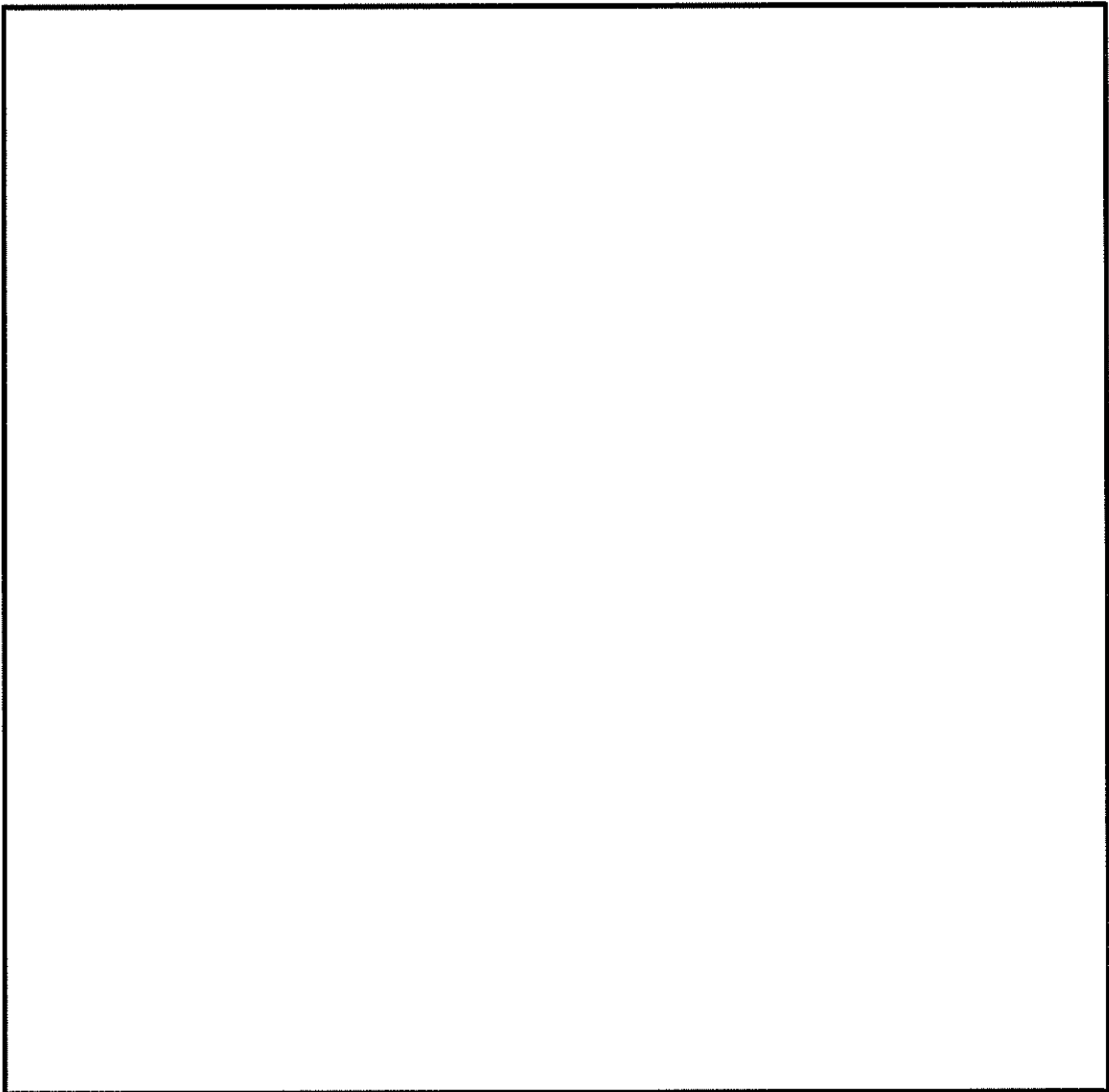


図 2-40 の概略平面図 (EL. 8.20 m)

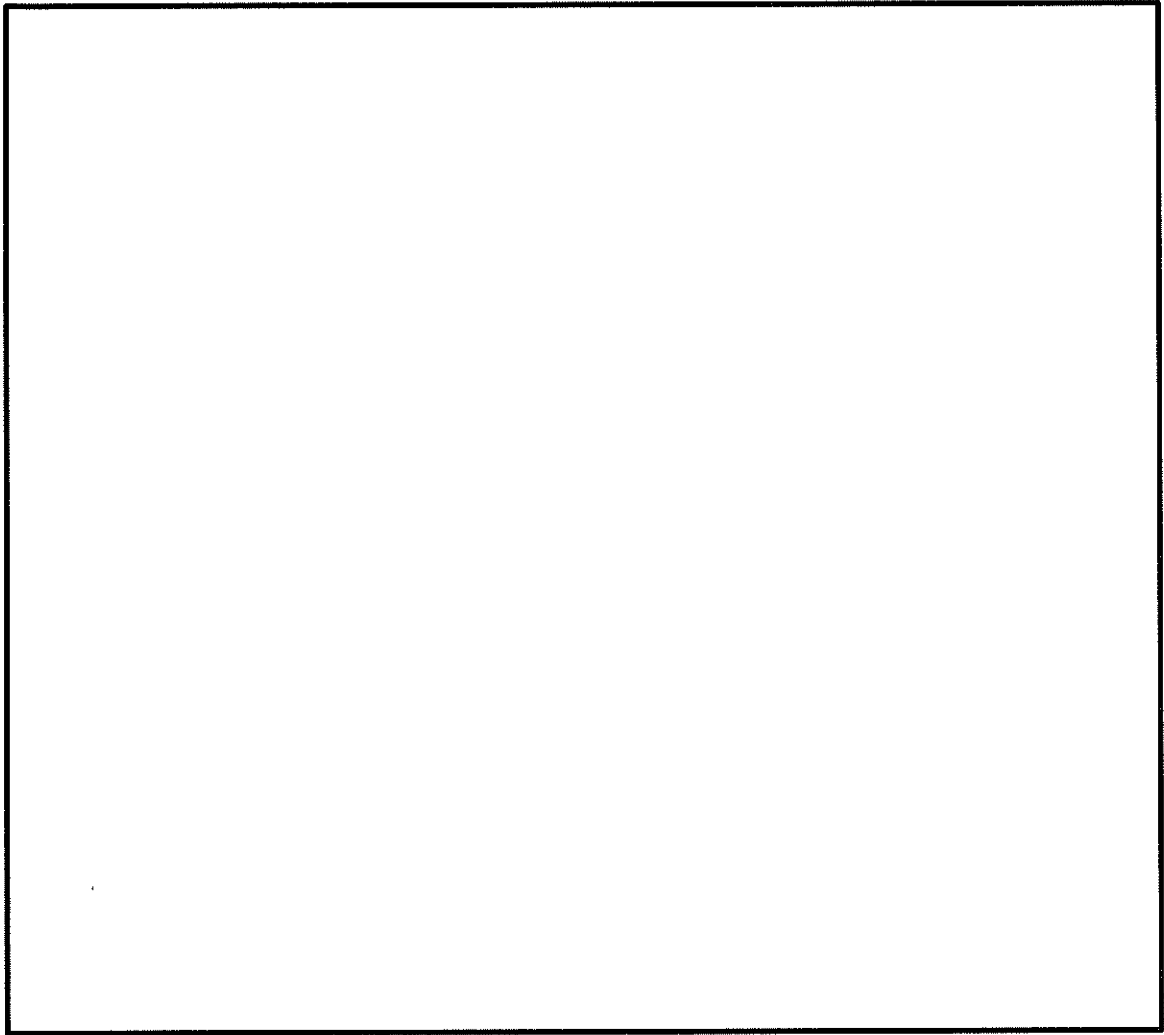


図 2-41 の概略平面図 (EL. 11.20 m)

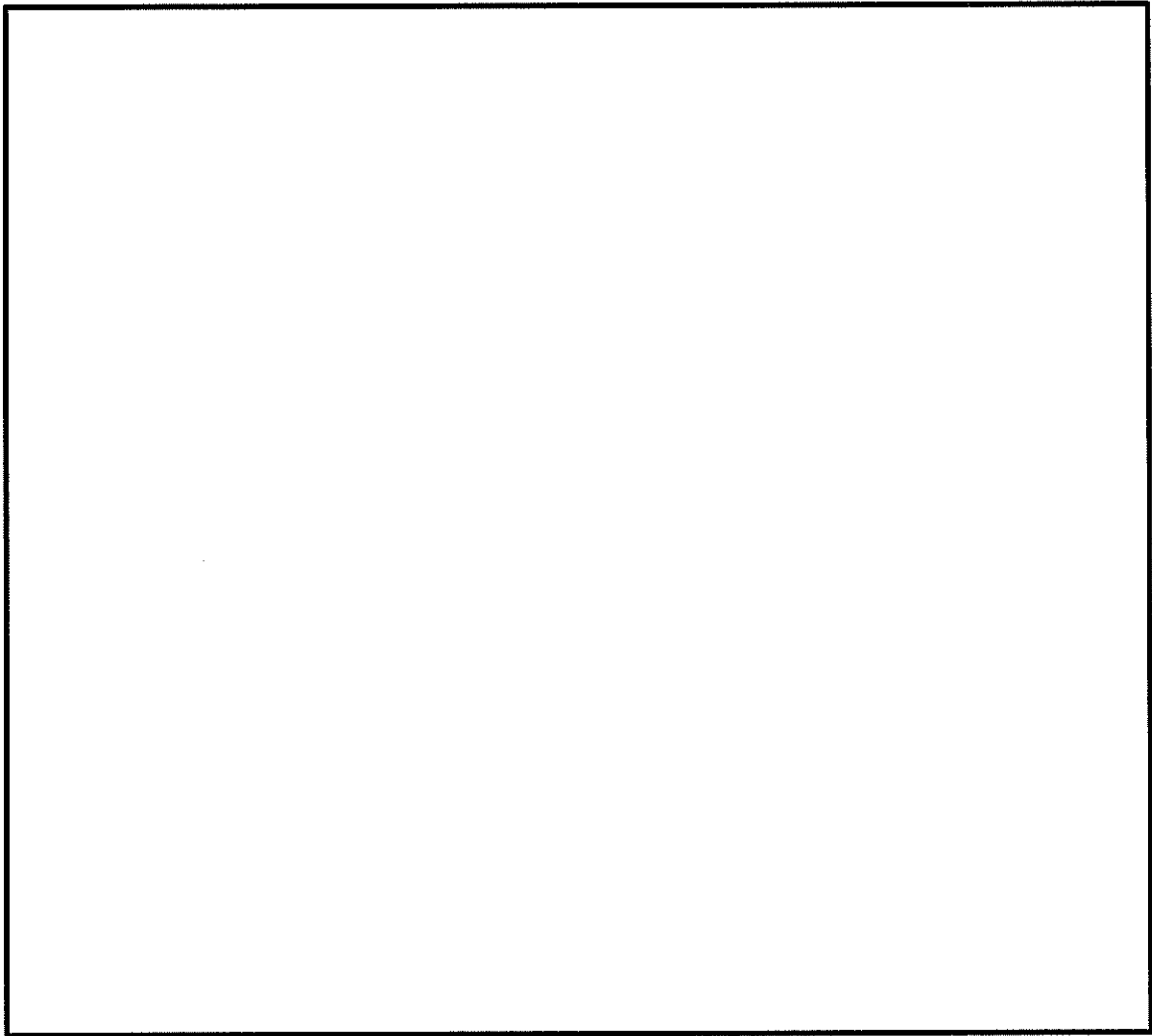


図 2-42 の概略平面図 (EL. 14.00 m)

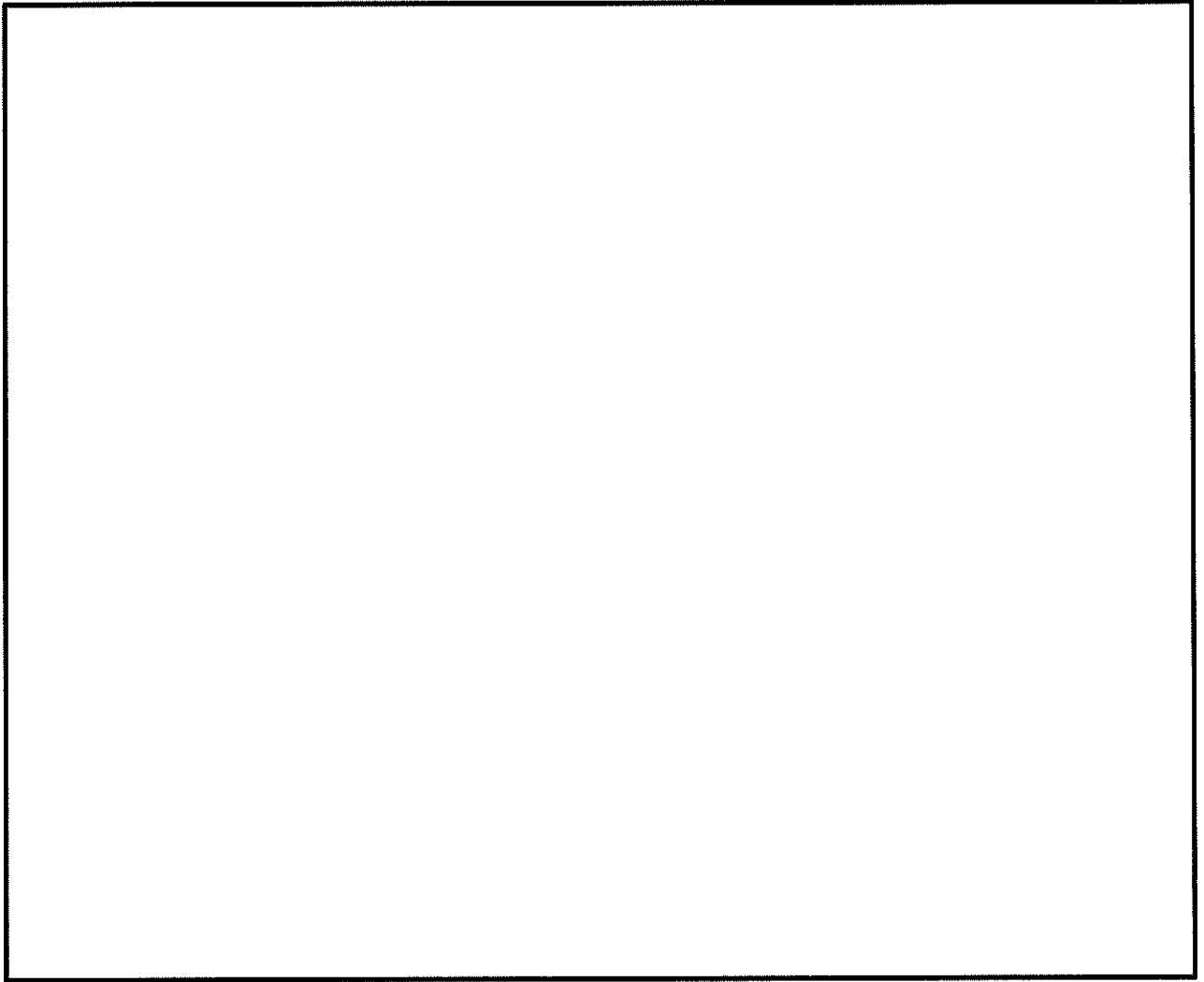


図 2-43 の概略平面図 (EL. 18.00 m)

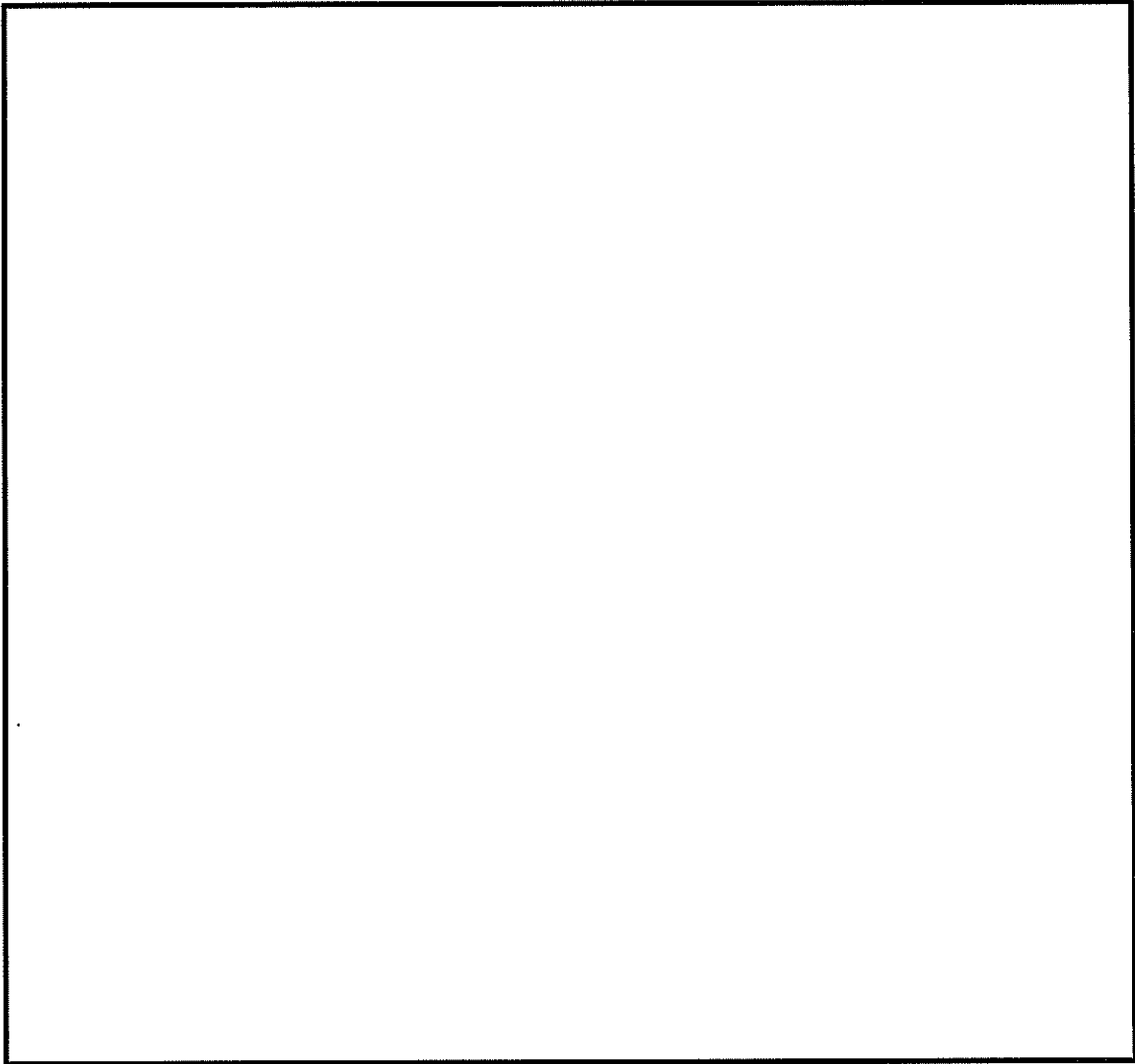


図 2-44 の概略平面図 (EL. 22.00 m)

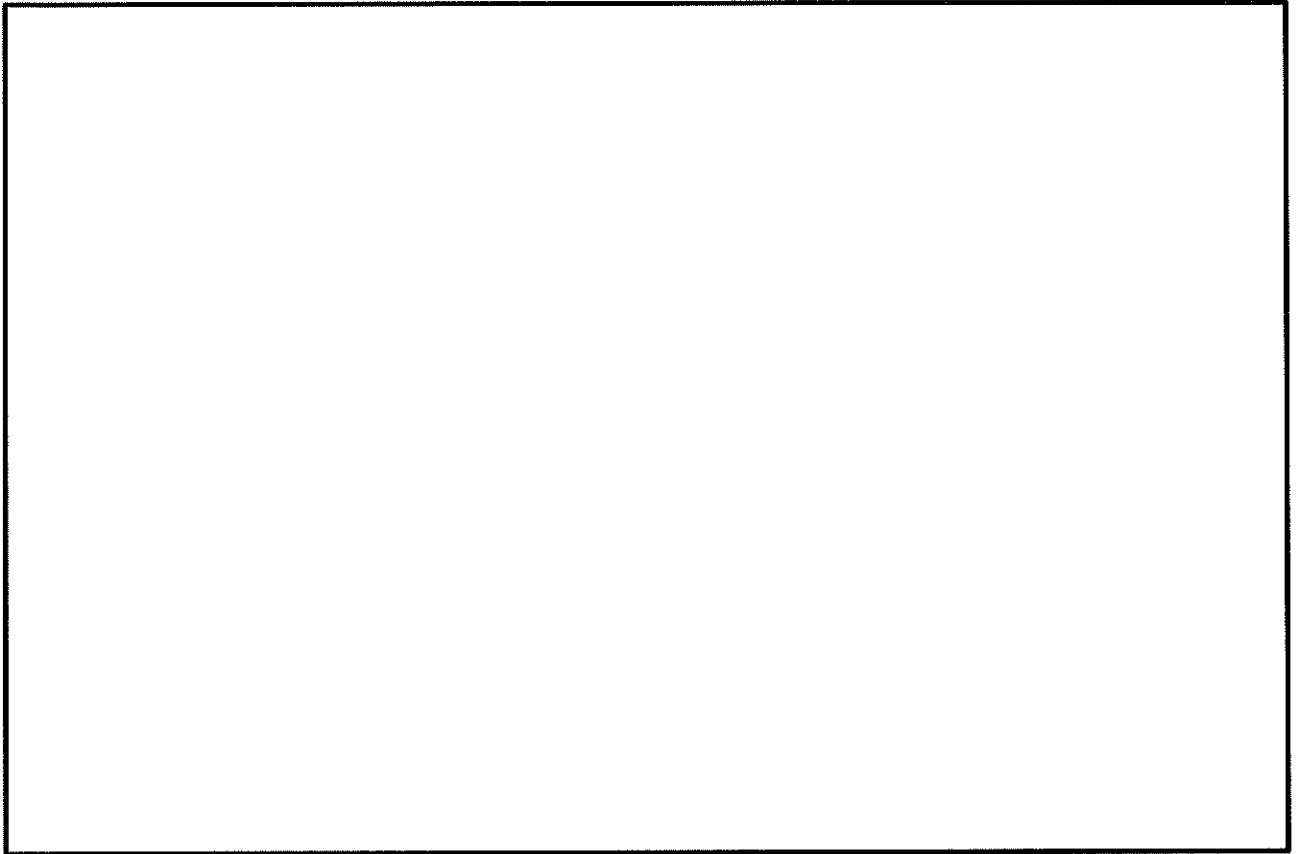


図 2-45 サービス建屋の概略断面図 (EW 方向)

。・

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (1/2)

記号	部位	①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 傾じれ	除外する部位
A 1	一般部 (RC部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・壁付き柱は地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。 ・独立柱自身の慣性力により影響が生じるような高さを有する柱はないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 タービン建屋 サービス建屋
A 2	一般部 (S部) フレーム構造	・中柱は応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどをブレースが負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	サービス建屋
A 3	一般部 (S部) ラーメン構造	・中柱は応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・柱自身の慣性力により影響が生じるような高さを有する柱はないため、該当しない。	・整形な建屋で傾じれによる影響のおそれない構造計画を行っており、該当しない。	サービス建屋
A 4	筒身	・筒身は鉄骨の中央で支持されており、応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどを鉄骨が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく鉄骨に支持される構造計画を行っており、該当しない。	主排気筒
A 5	隅部	・耐震壁付きの柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 タービン建屋 サービス建屋
A 6	地下部 (一般部、隅部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない。 ・耐震壁付きの隅柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・地下外周部が考えられるが、外周部柱はすべて梁等に接続しており、土圧はそのまま梁等に伝達されるため、該当しない。 ・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 タービン建屋
B 1	一般部 (RC部)	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 タービン建屋 サービス建屋 主排気筒
B 2	一般部 (S部：水平材、補助水平材)	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・軽量のトラス部材で構成されており、該当しない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯することから該当部位は存在しない。	原子炉建屋 タービン建屋
B 3	地下部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・地下外周部が考えられるが、吹抜けがないことから、外周部梁は全て剛性が高いスラブに接続しており、土圧はそのままスラブに伝達されるため、該当しない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯することから該当部位は存在しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 タービン建屋
B 4	鉄骨トラス	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・上弦材を屋根梁に、下弦材は既止めにより拘束されており、面外方向への変形を抑制しているため、該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 タービン建屋

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (2/2)

記号	部位		①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 振じれ	除外する部位	
	一般部 (柱形)	壁	一般部 (円筒)	狭管ブレース	一般部	基礎	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 格納容器圧力逃がし装置格納筒 タービン建屋 サービス建屋	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 タービン建屋 サービス建屋
C 1			・地震力の負担について方向性を持っており該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・水平及び浴直方向に大スパンの壁がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っているため、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 格納容器圧力逃がし装置格納筒 タービン建屋 サービス建屋	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 格納容器圧力逃がし装置格納筒 タービン建屋 サービス建屋
C 2			・建屋の中心付近に位置し、その外側にあるボックス型の壁とスラブ等で一体化されている壁は、応力集中が懸念される軸力がスラブ等に分散されるため、該当しない。	・地震による面外荷重が作用する地下部ではない。	・水平及び浴直方向に大スパンの壁がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っているため、該当しない。	原子炉建屋	原子炉建屋
C 3			・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・壁面なトラス部材で構成されており、該当しない。	・釣り合いよく部材、補助材が配置された構造計画を行っているため、該当しない。	主排気筒 サービス建屋	主排気筒 サービス建屋
D 1			・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・積載荷重等従来から面外荷重を考慮しており、今回の抽出プロセスで該当しない。	・大スパンの床及び屋根がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っているため、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 タービン建屋 格納容器圧力逃がし装置格納筒 サービス建屋	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策貯蔵建屋 タービン建屋 格納容器圧力逃がし装置格納筒 サービス建屋
E 1			・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・地震時の面外荷重は、直近の直交部材にて受ける構造としていているため該当しない。	・基礎梁は超スパンであり影響は少ないと考えられるため、該当しない。	・概ね対称構造であり、釣り合いよく基礎梁が配置された構造計画を行っているため、該当しない。		主排気筒

注記 * : 原子炉建屋は局所評価と併せて振れ挙動の影響について確認する。

3. 代表部位の選定プロセス

(a) 柱-隅部

応力集中が考えられる隅柱を有する鉄骨部の規模等を表 3-1 に示す。

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。

表 3-1 隅柱を有する鉄骨部の規模等

項目	部位	対象*	平面形状 (m)		スパン (m)
①-1	柱	<u>主排気筒</u>	28.0	28.0	28.0
		非常用ガス処理系配管支持架構	7.2	4.8	7.2

注記 * : 下線部は代表を示す。

(b) 基礎

応力集中が考えられる矩形基礎の規模を表 3-2 に示す。

建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。

表 3-2 建屋の規模等

項目	部位	対象*	平面形状 (m)	
①-1	基礎	<u>原子炉建屋</u>	68.5	68.25
		主排気筒	33.1	33.1
		非常用ガス処理系配管支持架構	9.6	9.6
		使用済燃料乾式貯蔵建屋	59.70	33.00
		格納容器圧力逃がし装置格納槽	16.00	11.35
		緊急時対策所建屋	37.70	35.50

注記 * : 下線部は代表を示す。

(c) 壁（面外荷重）

面外荷重の影響が考えられる部位について、面外荷重が作用する壁の高さ及び床等の拘束有無を表 3-3 に示す。

施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、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。

表 3-3 壁の規模等

項目	部位	対象*	高さ (m)	床等の 拘束有無
①-2	壁	<u>原子炉建屋（使用済燃料プール）</u>	11.811	無
		原子炉建屋（壁地下部）	12.2	有
		格納容器圧力逃がし装置格納槽（格納槽部）	15.0	有
		タービン建屋（壁地下部）	12.2	有

注記 *：下線部は代表を示す。

別紙2 3次元FEMモデルを用いた精査

目次

1. 3次元FEMモデルを用いた精査の概要	別紙 2-1
2. 非常用ガス処理系配管支持架構のねじれによる影響検討	別紙 2-3
2.1 構造概要	別紙 2-3
2.2 検討方針	別紙 2-5
2.3 解析モデル	別紙 2-7
2.4 地震応答解析	別紙 2-8
2.5 地震応答解析結果	別紙 2-9
2.5.1 補正比率の算出	別紙 2-9
2.5.2 地震応答解析結果	別紙 2-9
2.6 評価結果	別紙 2-11
3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討	別紙 2-14
3.1 検討の概要	別紙 2-14
3.2 検討方針	別紙 2-18
3.3 解析モデル	別紙 2-20
3.4 地震応答解析の概要	別紙 2-22
3.5 地震応答解析結果	別紙 2-28
3.6 面外慣性力に対する壁の断面算定	別紙 2-34
3.6.1 解析モデル及び荷重条件	別紙 2-34
3.6.2 応答補正比率の算出	別紙 2-36
3.6.3 断面の評価部位の選定	別紙 2-37
3.6.4 断面算定方法	別紙 2-39
3.6.5 断面算定結果	別紙 2-40
3.7 検討のまとめ	別紙 2-42
4. 局所応答による影響検討	別紙 2-43
5. 3次元FEMモデルを用いた精査のまとめ	別紙 2-44

補 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討についての補足説明

1. 3次元FEMモデルを用いた精査の概要

3次元的な応答特性が想定される部位として、添付書類「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」において、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」、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可能性がある部位」、3次元的な応答特性に伴う影響が考えられる部位をそれぞれ抽出し、3次元FEMモデルによる精査を行うこととした。

本資料では、精査の概要及び精査の結果を以降に示す。

3次元FEMモデルによる精査に用いる地震動を表1-1に示す。

表 1-1 評価に用いる地震動

対象		建物・構築物	評価に用いる地震動	評価に用いる理由
耐震評価部位				
梁	一般部	非常用ガス処理系 配管支持架構	基準地震動 S_a-D1^{*1}	全周期帯の応答が大きく、 架構への影響も大きい基準 地震動 S_a-D1 を用いる。
壁	一般部	原子炉建屋 (燃料取替フロア)	基準地震動 S_a-D1^{*2}	全周期帯の応答が大きく、 建屋への影響も大きい基準 地震動 S_a-D1 を用いる。
	鉄骨 ブレース	非常用ガス処理系 配管支持架構	基準地震動 S_a-D1^{*1}	全周期帯の応答が大きく、 架構への影響も大きい基準 地震動 S_a-D1 を用いる。
耐震評価部位全般		原子炉建屋	基準地震動 S_a-D1^{*2}	全周期帯の応答が大きく、 建屋への影響も大きい基準 地震動 S_a-D1 を用いる。

注記 *1：水平方向の地震動のうち片方は、同時性を考慮し、模擬地震波を用いる。なお、模擬地震波は、 S_a-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_a-D1 とは位相特性が異なる模擬地震波である。

*2：3次元FEMモデルによる応答補正比率の算出は、線形解析のため S_a-D1 を用いる。水平方向の地震動のうち片方は、同時性を考慮し、模擬地震波を用いる。なお、模擬地震波は、 S_a-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_a-D1 とは位相特性が異なる模擬地震波である。

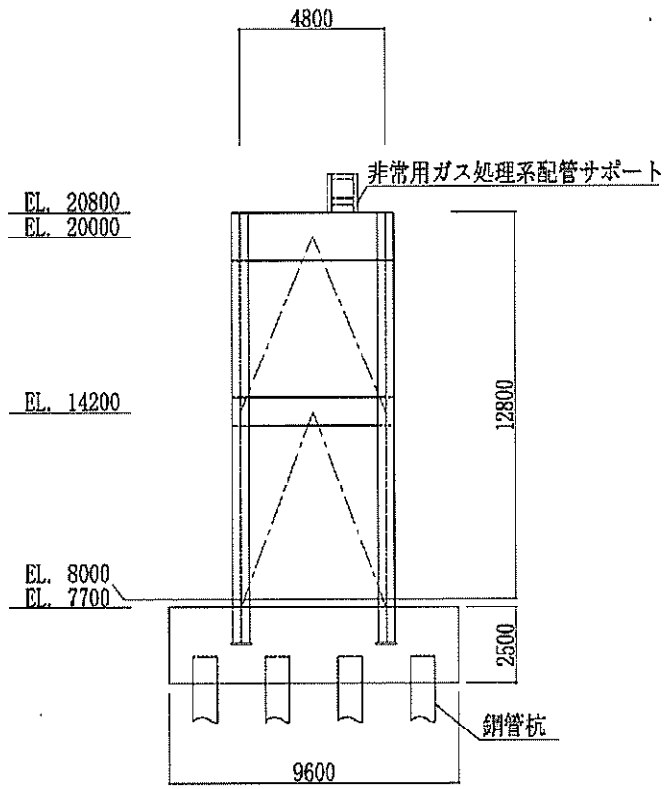
2. 非常用ガス処理系配管支持架構のねじれによる影響検討

2.1 構造概要

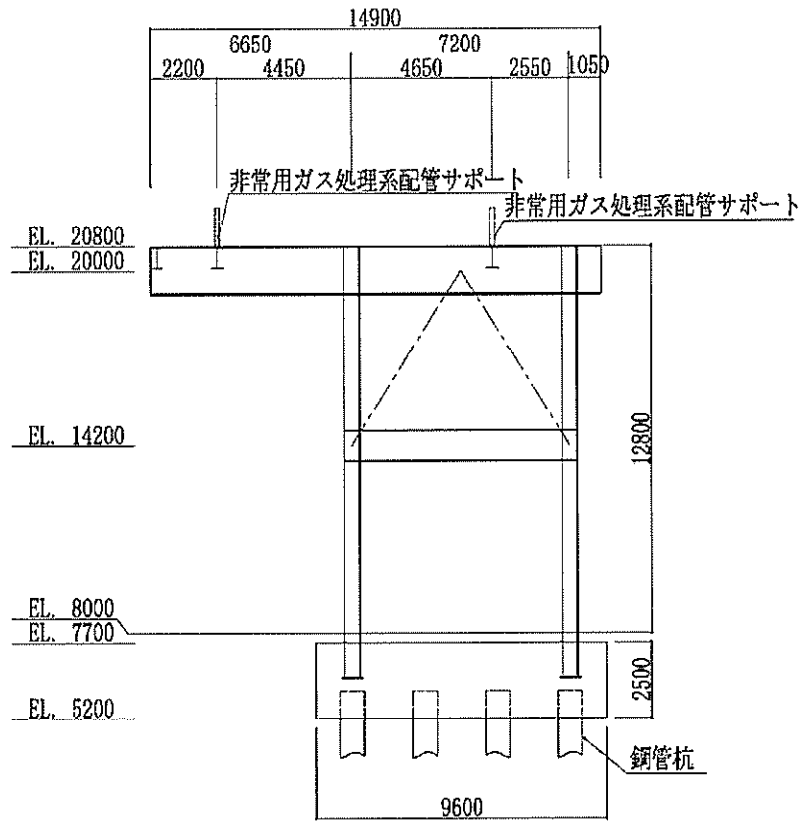
非常用ガス処理系配管支持架構は、片持ち梁のスペンが東側より西側の方が長く、上部の重心が4本の柱の中心から西側にずれている。このため、ねじれ応答が発生する可能性があることから、地震動を水平2方向及び鉛直方向に入力した場合の影響検討を実施する。

非常用ガス処理系配管支持架構は、非常用ガス処理系配管を原子炉建屋から主排気筒へ導くための架構であり、平面が南北方向4.8 m、東西方向14.9 m、地上高さ12.8 mの鉄骨造の架構である。

非常用ガス処理系配管支持架構の軸組図を図2-1に示す。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 2-1 非常用ガス処理系配管支持架構軸組図 (単位: mm)

2.2 検討方針

非常用ガス処理系配管支持架構について、基準地震動 S_0 に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施し、架構全体系のねじれの影響を把握し、その影響を考慮しても耐震性に問題のないことを確認する。具体的には、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せにより評価した基準地震動 S_0 に対する評価結果に対して応答の補正を行い、応答補正した結果、各部材に発生する応力が評価基準値内に収まっていることを確認する。

なお、非常用ガス処理系配管支持架構については、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価において、3次元FEMモデルを使用していることから、架構全体のねじれの影響についてはすでに考慮されている。しかし、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける3方向同時入力の影響については、評価に与える影響を確認できていないことから、本検討では、この観点に着目し、検討を行うこととする。

具体的には、梁及びブレースの応答に影響がある節点において、基準地震動 S_0 に対する最大応答加速度をもとに、3次元的な応答補正比率 ξ を算出し、1方向入力の応答補正を行い、耐震性評価への影響検討を行う。応答補正の方法としては、梁及びブレースの断面評価値（発生応力/許容値）に応答補正比率 ξ を乗じて、断面評価値が1.0以下であることを確認する。図2-2に検討フローを示す。

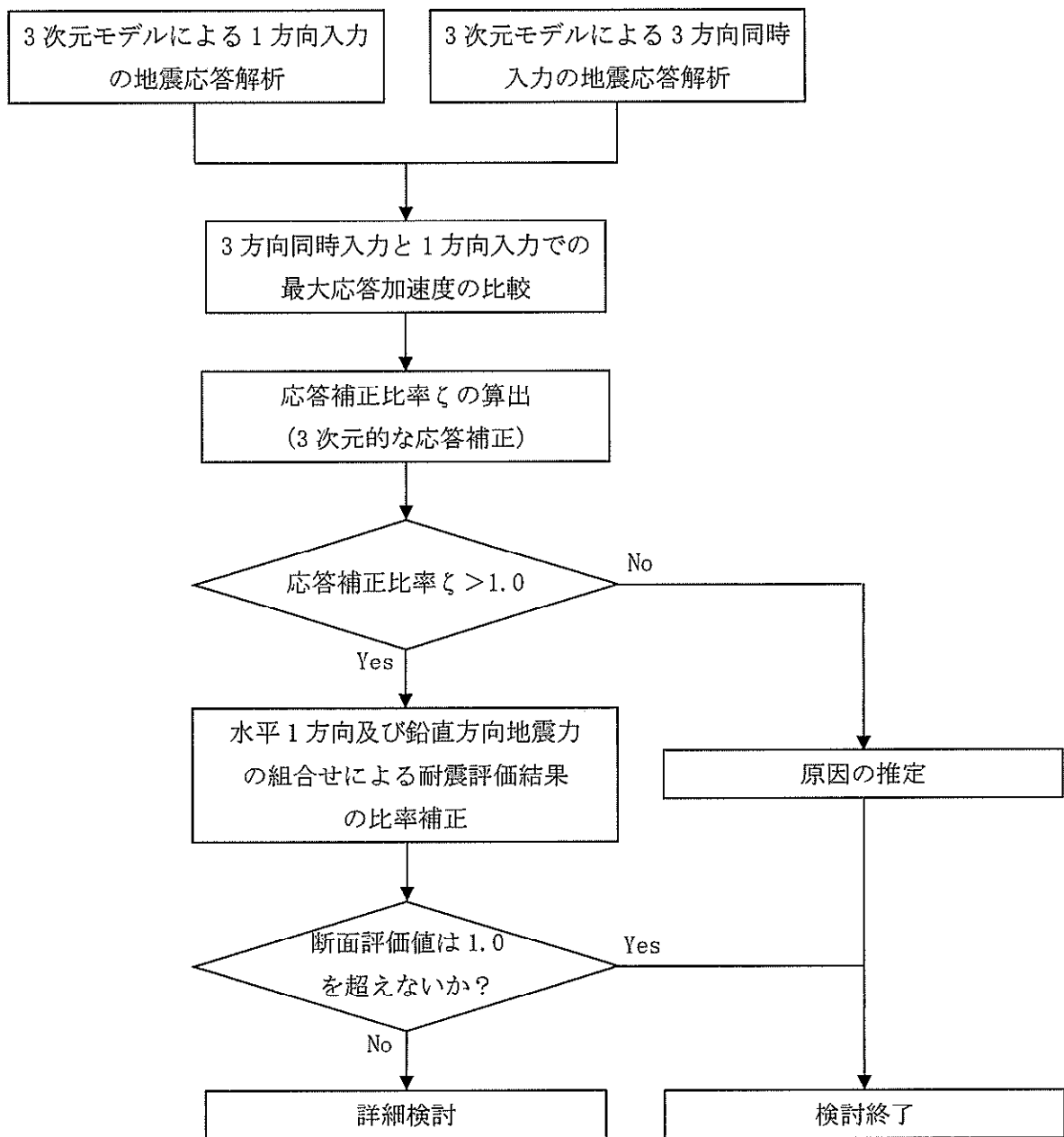


図 2-2 検討フロー図

2.3 解析モデル

非常用ガス処理系配管支持架構については、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価において、3次元FEMモデルを使用していることから、本検討に用いる解析モデルについても同様の解析モデルを用いることとする。非常用ガス処理系配管支持架構の解析モデル図を図2-3に示す。

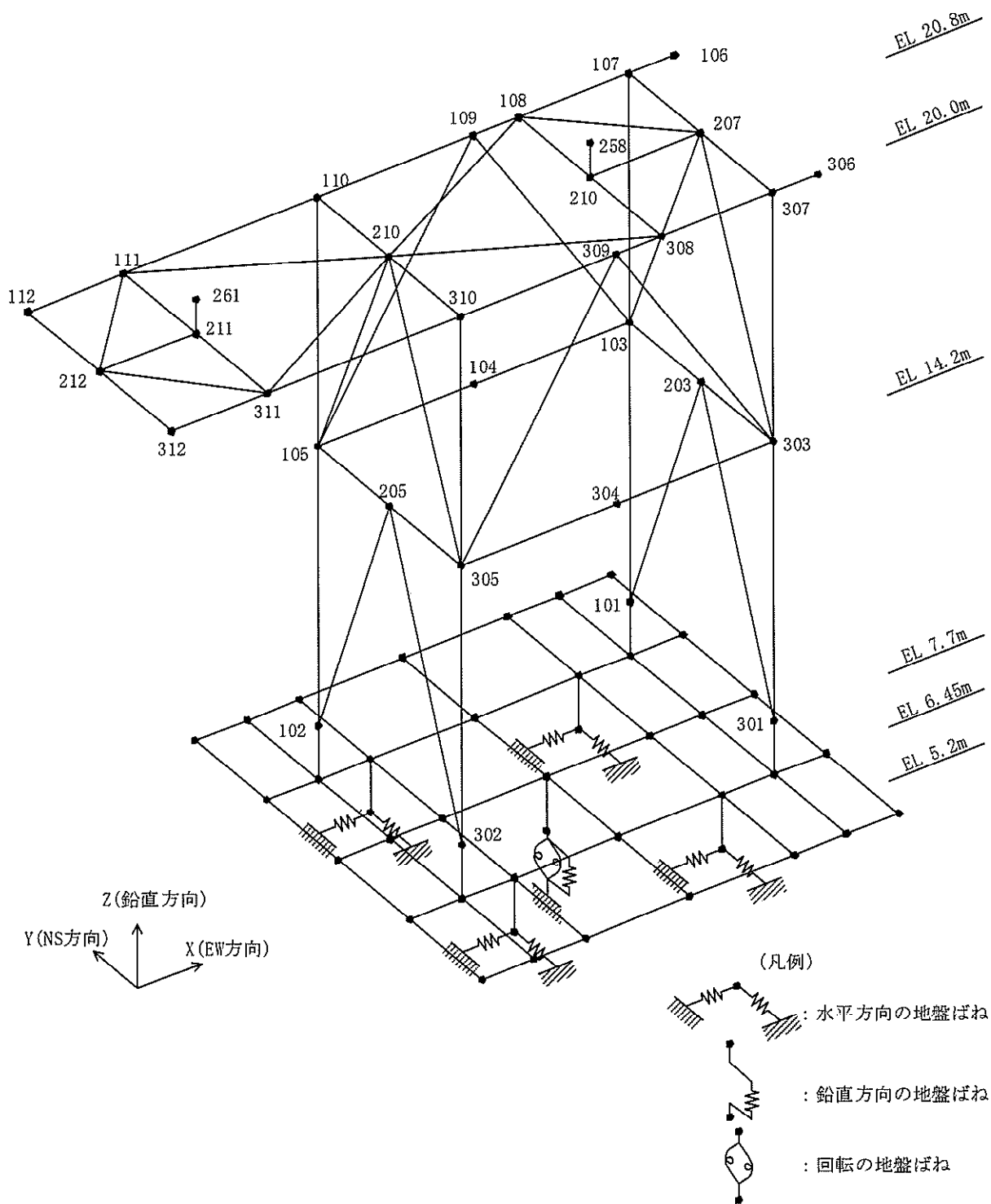


図 2-3 非常用ガス処理系配管支持架構の解析モデル図及び評価節点

2.4 地震応答解析

「2.3 解析モデル」に記載する 3 次元 FEM モデルを用いて、基準地震動 S_s のうち、「別紙 2 表 1-1 評価に用いる地震動」で整理したとおり、 S_s-D1 に対する地震応答解析を実施する。

3 次元 FEM モデルによる地震応答解析は、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、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のための応答補正比率 α を算出するため、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

3 次元 FEM モデルの応答評価に用いる節点の位置（番号）を図 2-3 に示す。

2.5 地震応答解析結果

2.5.1 補正比率の算出

3次元モデルによる3次元的な応答性状を踏まえた定量的な耐震評価を行うため、1方向入力の応答を補正する応答補正比率 ζ を算出する。

1方向入力及び3方向同時入力の最大応答加速度を比較し、応答補正比率 α を算出する。

また、非常用ガス処理系配管支持架構については、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価において、3次元モデルを用いて評価しており、ねじれ振動が考慮されていることから、ねじれ振動の補正係数 β を1.0とする。

応答補正比率 ζ は以下のように算出する。

- ① 応答補正比率 α は評価点ごとに定める。
- ② 応答補正比率 α は保守的な評価を実施するため、1.0以上とする。
- ③ 応答補正比率 ζ は、層ごとの各評価点の α の最大値を用いて定め、局所的な応答を踏まえたものとなるよう設定する。

応答補正比率 ζ の算出式を以下に示す。

$$\text{評価用の応答補正比率 } \zeta = \text{Max}(\alpha) \times \beta \quad \dots \quad (1)$$

(Max(α): 層ごとの各評価点の α の最大値)

ここで、

$$\text{3方向同時入力の応答補正比率 } \alpha = \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}} \quad \dots \quad (2)$$

(但し、 ζ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$)

$$\text{ねじれ振動の応答補正比率 } \beta = 1.0 \quad \dots \quad (3)$$

2.5.2 地震応答解析結果

地震応答解析で応答値が大きい S_s-D1 に対し、地盤物性の諸元のばらつきを基本ケースとした場合の応答補正比率 ζ の算定を行う。算定結果を表2-1に示す。 S_s-D1 の応答補正比率 ζ は、1.00~1.05の範囲にある。

表 2-1 応答補正比率 α 及び ζ の算定 (S_s-D1: 基本ケース)

レベル	節点 番号	NS 方向			EW 方向			ζ
		最大加速度応答 (cm/s ²)		α (②/①)	最大加速度応答 (cm/s ²)		α (②/①)	
		①	②		①	②		
		1 方向入力	3 方向同時入力		1 方向入力	3 方向同時入力		
EL. 20.8 m	258	1046	1042	1.00	1602	1575	0.98	1.04
	261	1333	1385	1.04	1611	1621	1.01	
EL. 20.0 m	106	1326	1288	0.97	1557	1597	1.03	1.05
	107	1229	1201	0.98	1557	1597	1.03	
	108	1029	1025	1.00	1556	1596	1.03	
	109	958	964	1.01	1555	1595	1.03	
	110	861	842	0.98	1559	1602	1.03	
	111	1323	1375	1.04	1561	1609	1.03	
	112	1652	1731	1.05	1561	1609	1.03	
	207	1227	1200	0.98	1586	1567	0.99	
	208	1030	1027	1.00	1588	1570	0.99	
	210	860	841	0.98	1582	1562	0.99	
	211	1324	1375	1.04	1592	1574	0.99	
	212	1651	1731	1.05	1590	1572	0.99	
	306	1326	1292	0.97	1599	1622	1.01	
	307	1229	1202	0.98	1599	1622	1.01	
	308	1029	1025	1.00	1598	1621	1.01	
	309	958	964	1.01	1597	1620	1.01	
310	861	842	0.98	1601	1624	1.01		
311	1323	1374	1.04	1604	1626	1.01		
312	1652	1732	1.05	1605	1626	1.01		
EL. 14.2 m	103	855	840	0.98	1376	1418	1.03	1.03
	104	717	721	1.00	1377	1418	1.03	
	105	597	592	0.99	1377	1417	1.03	
	203	848	833	0.98	1423	1384	0.97	
	205	592	588	0.99	1428	1386	0.97	
	303	855	839	0.98	1415	1437	1.02	
	304	717	724	1.01	1415	1437	1.02	
	305	597	592	0.99	1415	1437	1.02	
EL. 7.7 m	101	490	490	1.00	491	491	1.00	1.00
	102	491	491	1.00	491	491	1.00	
	301	490	490	1.00	491	491	1.00	
	302	491	491	1.00	491	491	1.00	

2.6 評価結果

各層の応答補正比率 α を、添付書類「V-2-2-17 非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性についての計算書」で求めた断面評価値（許容値に対する発生応力の比）に乗じて、補正後の断面評価値を算出した。なお、評価結果は、梁及びブレースの全部材において、断面評価値が最大になる部材を代表部位として記載することとし、梁及びブレースの断面の評価部位を図 2-4 及び図 2-5 に示す。

S_0-D1 より算定した各層の応答補正比率 α を用いて補正した断面評価値を表 2-2 に示す。評価の結果、断面評価値が 1.0 を超えないことを確認した。

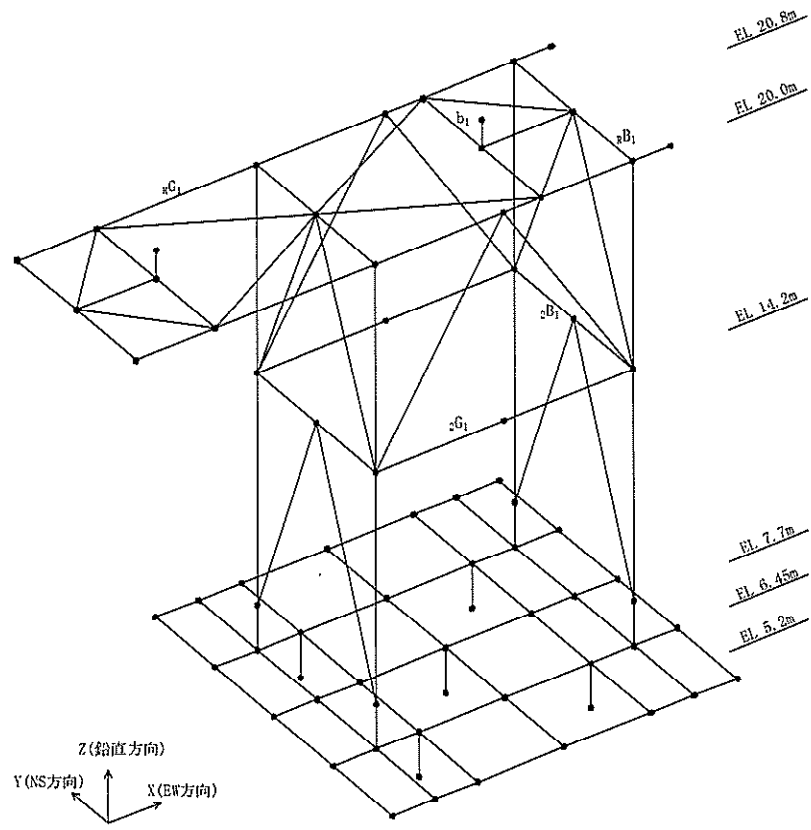


図 2-4 梁の断面の代表部位

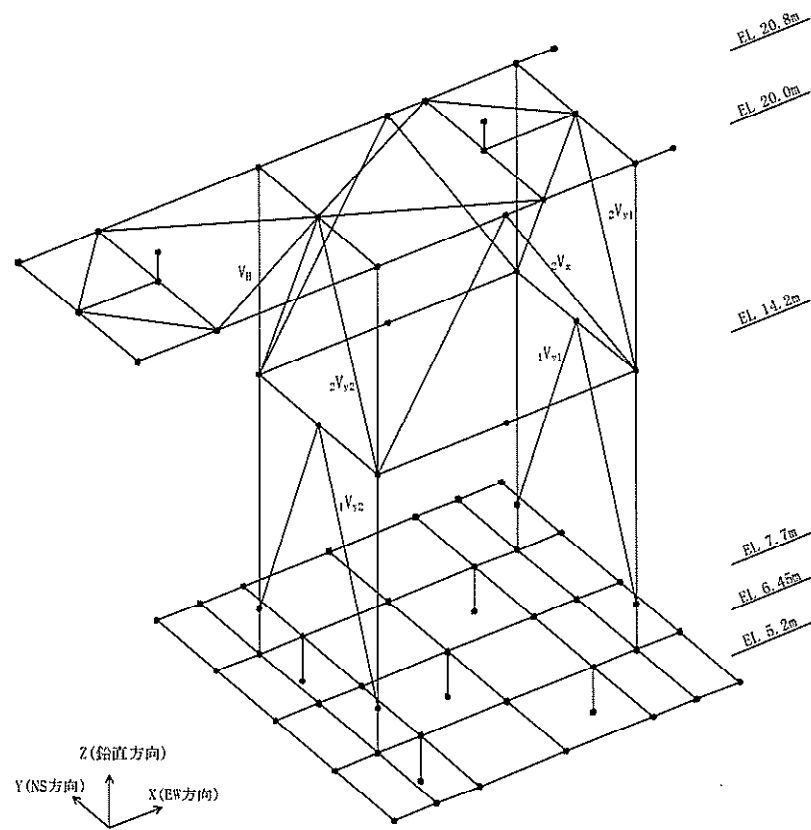


図 2-5 ブレースの断面の代表部位

表 2-2 3 次元的な応答特性を踏まえた断面評価：S_s-D1

(a) 梁

部材符号	断面評価値		応答補正比率 ζ	応答補正後 (断面評価値×ζ)	
	フランジ	ウェブ		フランジ	ウェブ
_R G ₁	0.191	0.045	1.05	0.201	0.048
_R B ₁	0.034	0.010	1.05	0.036	0.011
₂ G ₁	0.329	0.083	1.03	0.339	0.086
₂ B ₁	0.125	0.039	1.03	0.129	0.041
b ₁	0.109	0.059	1.05	0.115	0.062

(b) ブレース

部材符号	断面評価値	応答補正比率 ζ	応答補正後 (断面評価値×ζ)
₂ V _x	0.222	1.05	0.234
₂ V _{y1}	0.204	1.05	0.215
₁ V _{y1}	0.358	1.03	0.369
₂ V _{y2}	0.200	1.05	0.210
₁ V _{y2}	0.298	1.03	0.307
V _H	0.076	1.05	0.080

2.7 まとめ

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として、加振方向以外の方向に励起される振動が影響する可能性のある非常用ガス処理系配管支持架構について、評価を行った。

評価の結果、3 次元的な応答性状である応答補正を考慮しても、非常用ガス処理系配管支持架構の断面評価値は 1.0 を超えないことを確認した。よって、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、非常用ガス処理系配管支持架構が有する耐震性への影響はない。

以上のことから、ねじれ応答が発生する可能性がある非常用ガス処理系配管支持架構については、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。

3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討

3.1 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壁の検討を実施する。

検討は、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁について、地震動を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した場合の検討を実施する。

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地下 2 階、地上 6 階の建物である。中央部には、平面が南北方向 45.5 m、東西方向 42.5 m の原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

原子炉棟と付属棟は、同一基礎版上に配置した一体構造であり、原子炉建屋の平面は、下部で南北方向 68.5 m、東西方向 68.25 m のほぼ正方形となっている。基礎底面からの高さは 73.08 m であり、地上高さは 56.08 m である。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は、厚さ 5.0 m のべた基礎で、支持地盤である砂質泥岩上に人工岩盤を介して設置されている。

原子炉棟の中央部には原子炉圧力容器を収容している原子炉格納容器があり、その周囲の一時遮蔽壁（以下「シェル壁 (S/W)」という。）は上部が円錐台形、下部は円筒形で基礎版から立ち上がっている。シェル壁 (S/W) の壁厚は上部で 1.9 m、下部で 1.8 m である。

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁 (I/W)」という。）は基礎版から屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で 1.5 m、地上部分では 1.5 m～0.3 m である。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁 (O/W)」という。）の壁厚は地下部分で 1.5 m、地上部分では 1.5 m～0.9 m である。建屋は全体として非常に剛性が高く、建屋に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

なお、燃料取替床 (EL. 46.5 m) には使用済燃料プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

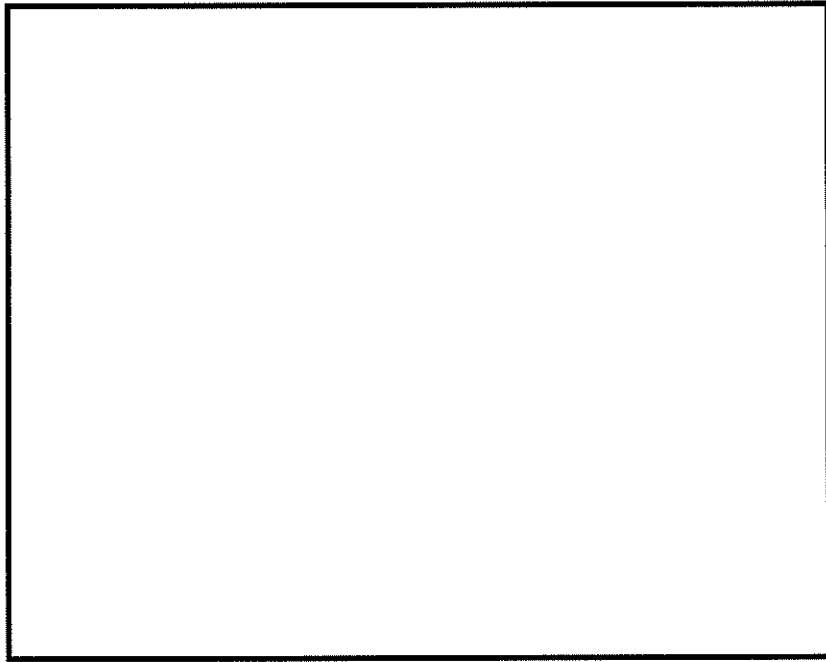


図 3-1 (1/2) の概略平面図 (EL. 46.5 m)

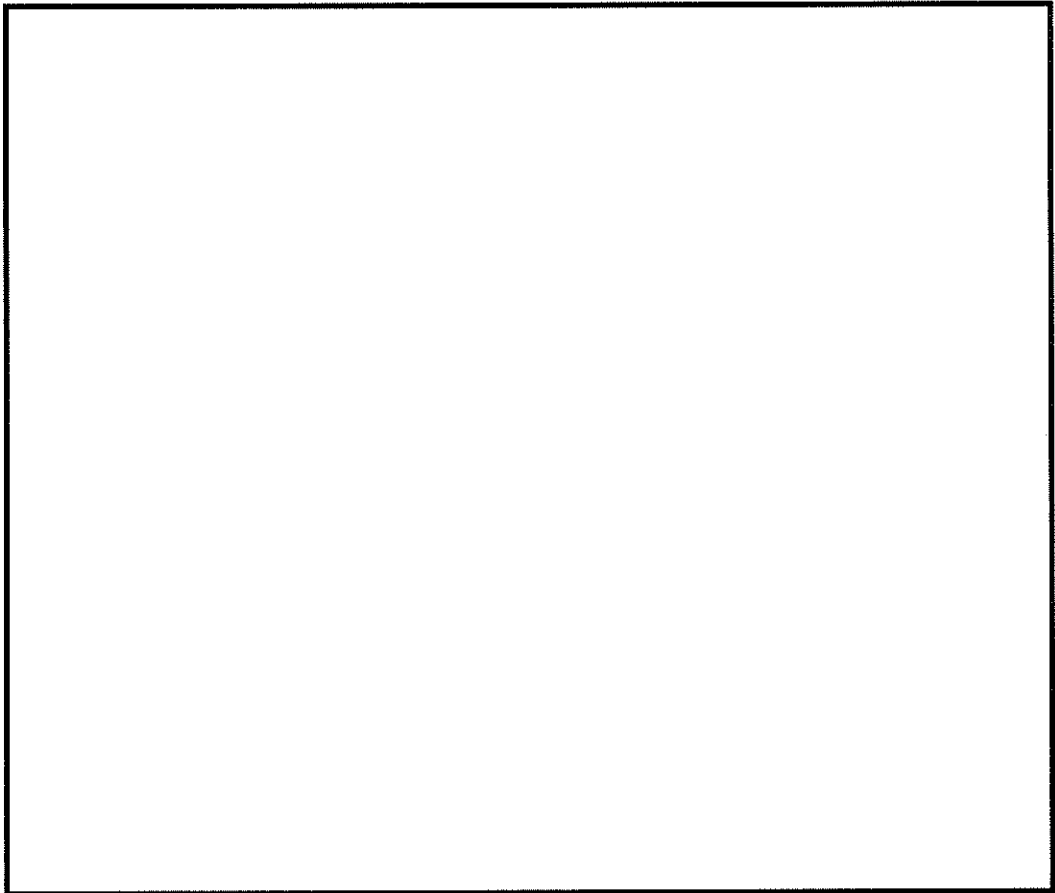


図 3-1 (2/2) の概略平面図 (EL. -4.0 m)

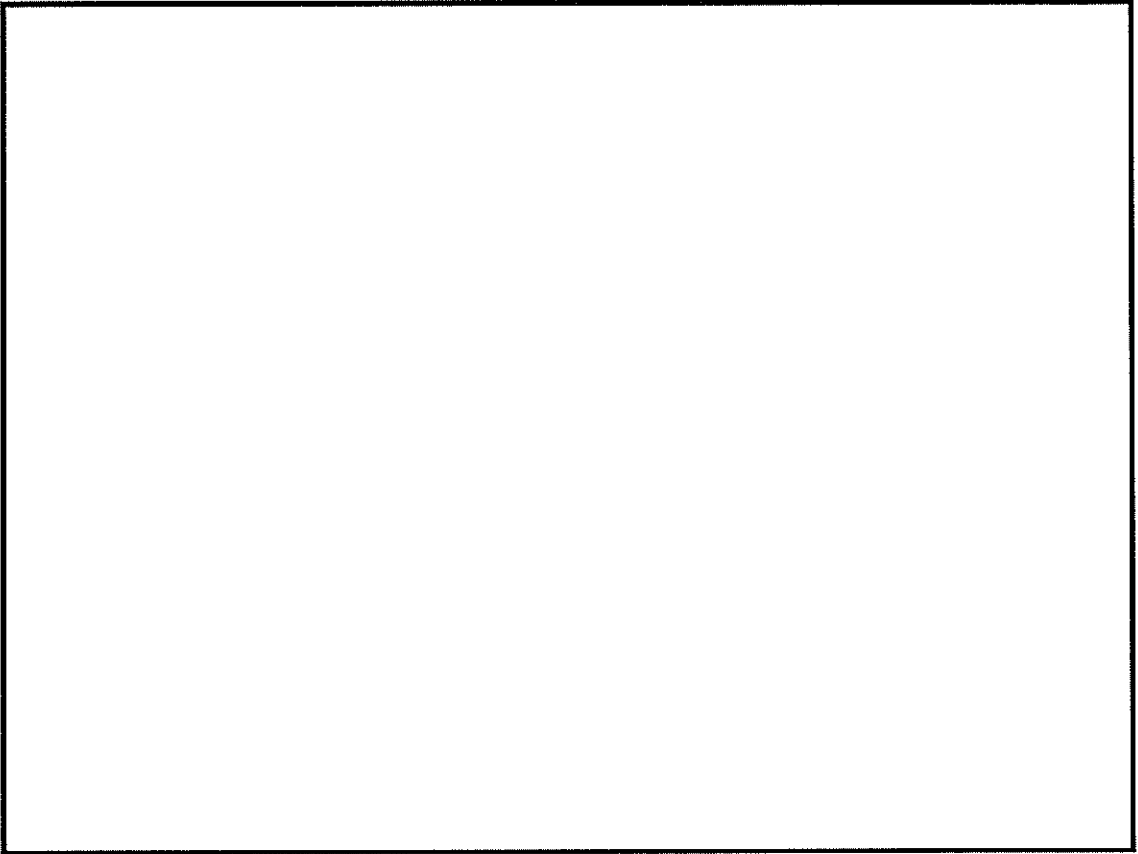


図 3-2 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

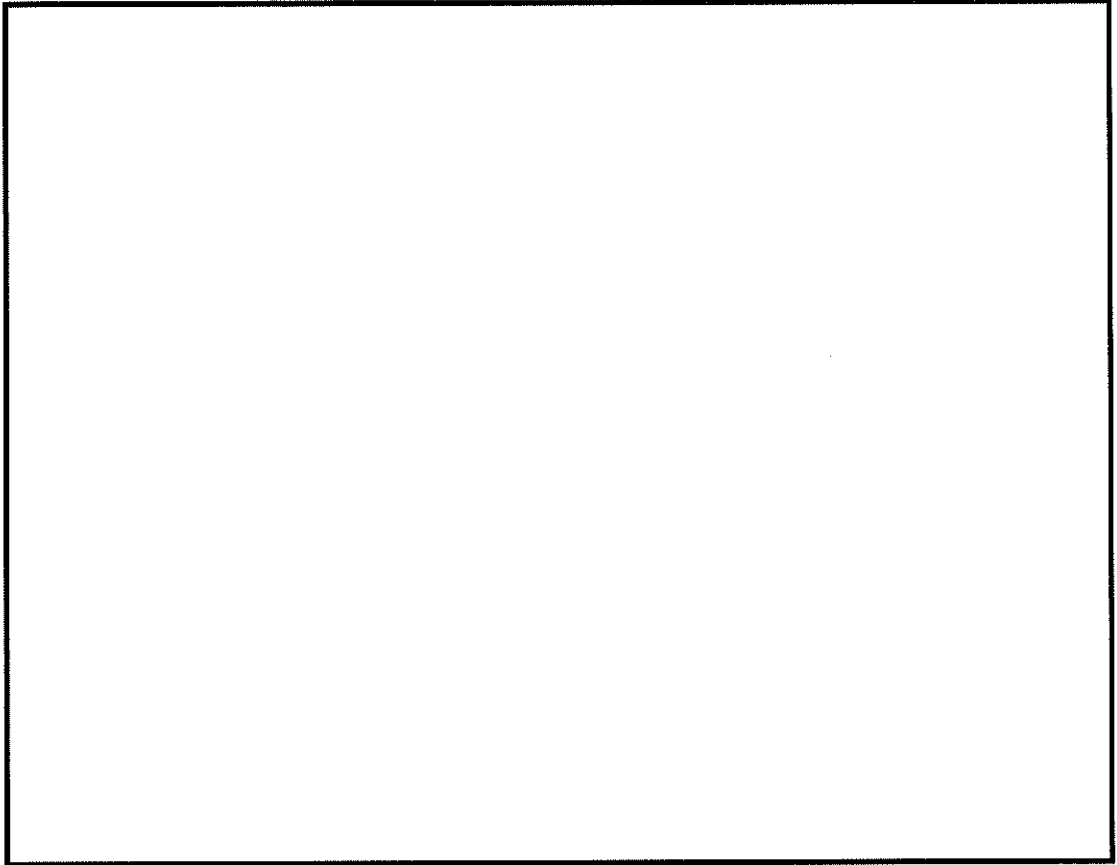


図 3-2 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

3.2 検討方針

原子炉建屋について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施する。

複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した原子炉建屋の壁について、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析により得られた最大応答加速度の分布から、面外慣性力の影響を確認する。また、水平 1 方向の入力に対する最大応答加速度と 3 方向同時入力による最大応答加速度を比較し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。

3 次元 FEM モデルによる最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を把握した上で、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、保守的な静的解析モデルに置き換える。面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行い、面外慣性力の影響を評価する。

図 3-3 に検討フローを示す

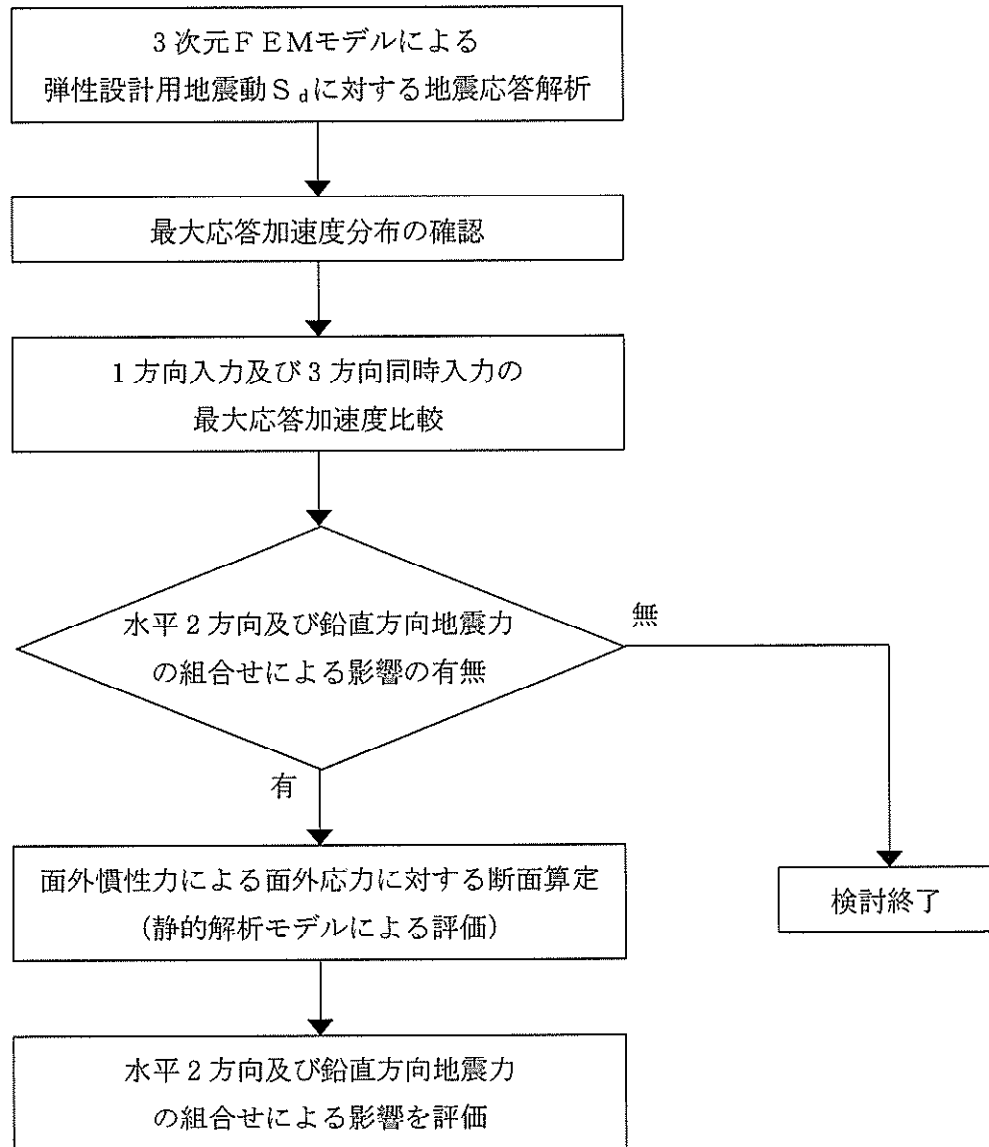


図 3-3 検討フロー

3.3 解析モデル

原子炉建屋の3次元FEMモデルを構築する。解析モデルを図3-4に示す。

モデル化の範囲は、原子炉棟、付属棟及び基礎とする。

耐震壁、補助壁及び床スラブはシェル要素（約7500要素）、柱及び梁はバー要素（約1500要素）、屋根面の鉄骨ブレースはロッド要素（約50要素）、基礎はソリッド要素（約2800要素）とする。要素の大きさは、各床スラブレベルと対応する位置に節点を設け、高さ方向及び水平方向に2m～3m程度とする。（解析モデルの詳細は、別紙3「3次元FEMモデルによる地震応答解析」に示す。）

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

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

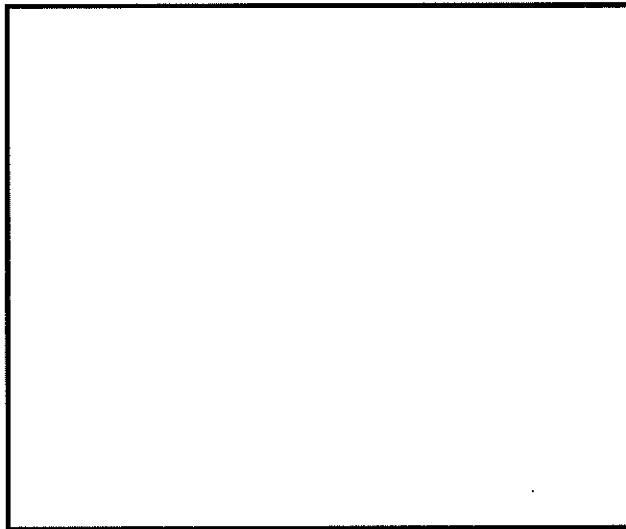
地震応答解析には、解析コード「MSC NASTRAN ver.2016.1」を用いる。

表3-1 解析モデルの検討ケース

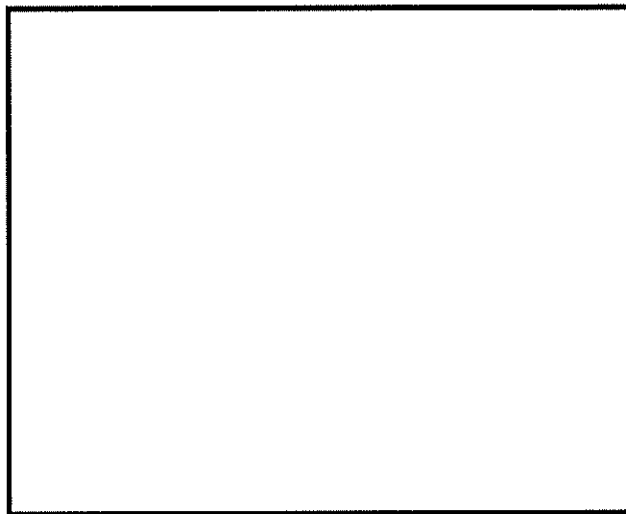
モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	設計基準強度

表3-2 使用材料の物性値

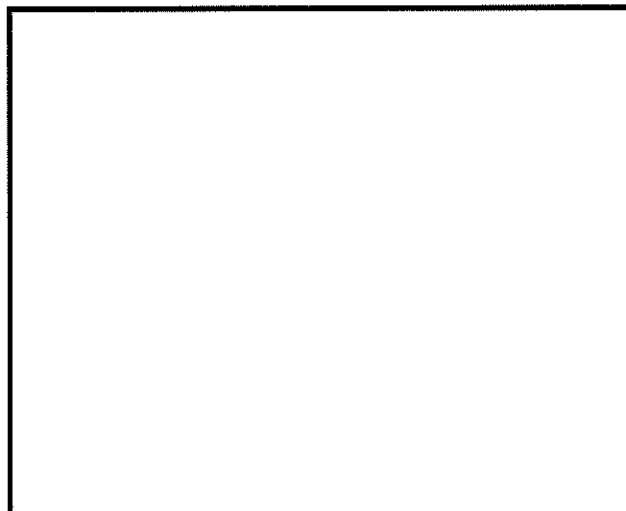
部位	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	2.21×10 ⁴	5
鉄骨部	2.05×10 ⁵	2



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

図 3-4 解析モデル

3.4 地震応答解析の概要

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

応答評価位置は、原子炉建屋のEL.46.5 m～EL.63.65 mとする。応答評価部位を図3-5、応答評価対象位置及び節点番号図を図3-6に示す。

地震動の組合せを表3-3に示す。

入力地震動については、線形解析であることから、水平2方向の地震力による影響評価は、弾性設計用地震動 S_d を水平2方向に組合せた地震力を算定し実施する。具体的には、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検討を実施する。

したがって、本検討において北面及び南面の応答評価を行う際には、NS方向に対しては弾性設計用地震動 S_d-D1 の水平成分を、EW方向に対しては模擬地震波（基準地震動 S_d-D1 の水平成分の設計用応答スペクトルに適合するよう、位相を変えたもの）をそれぞれ同時入力する。東面及び西面の応答評価を行う際には、その反対で、EW方向に対しては弾性設計用地震動 S_d-D1 の水平成分を、NS方向に対しては模擬地震波をそれぞれ同時入力する。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動 S_d-D1 の鉛直成分を水平2方向と同時入力する。

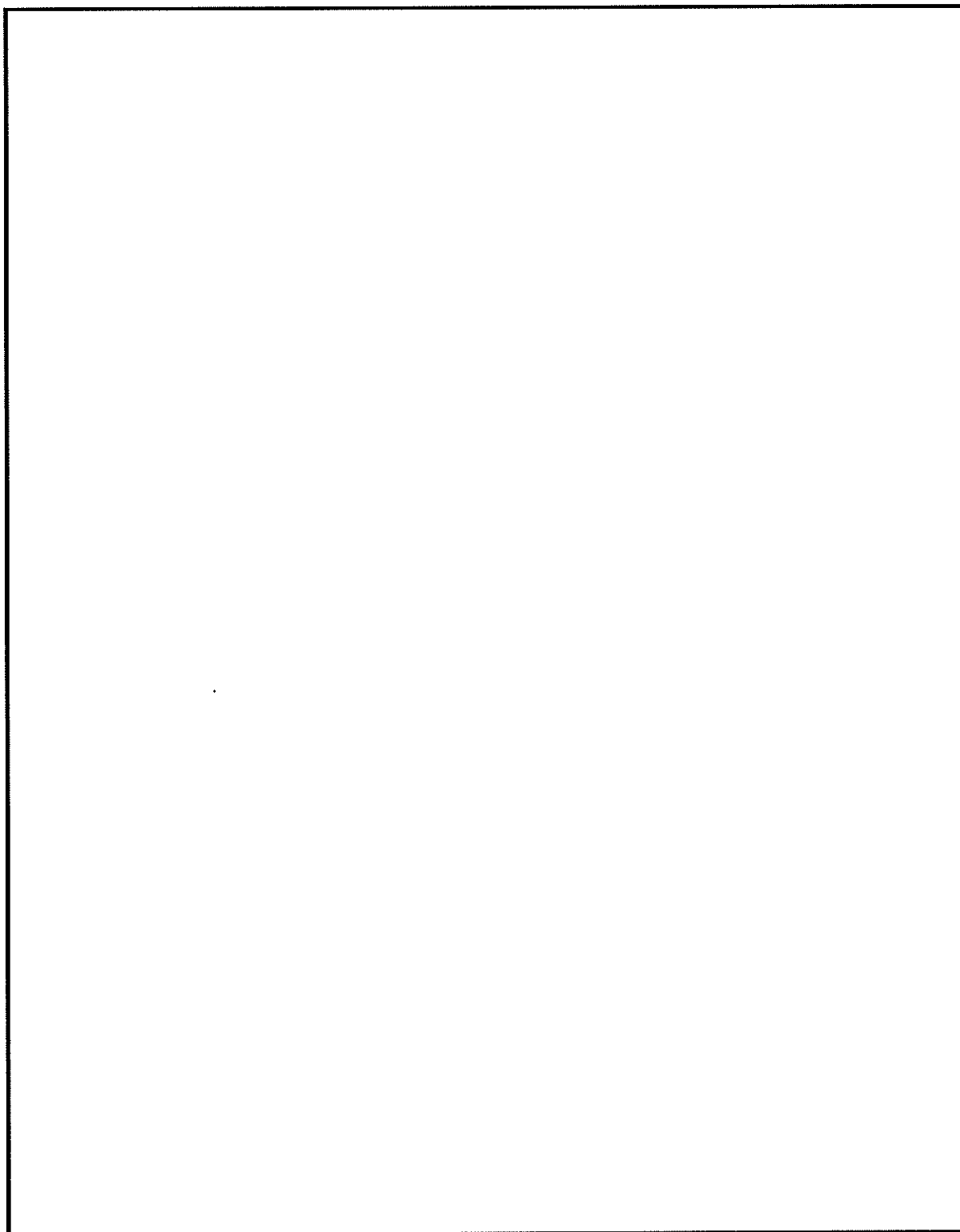
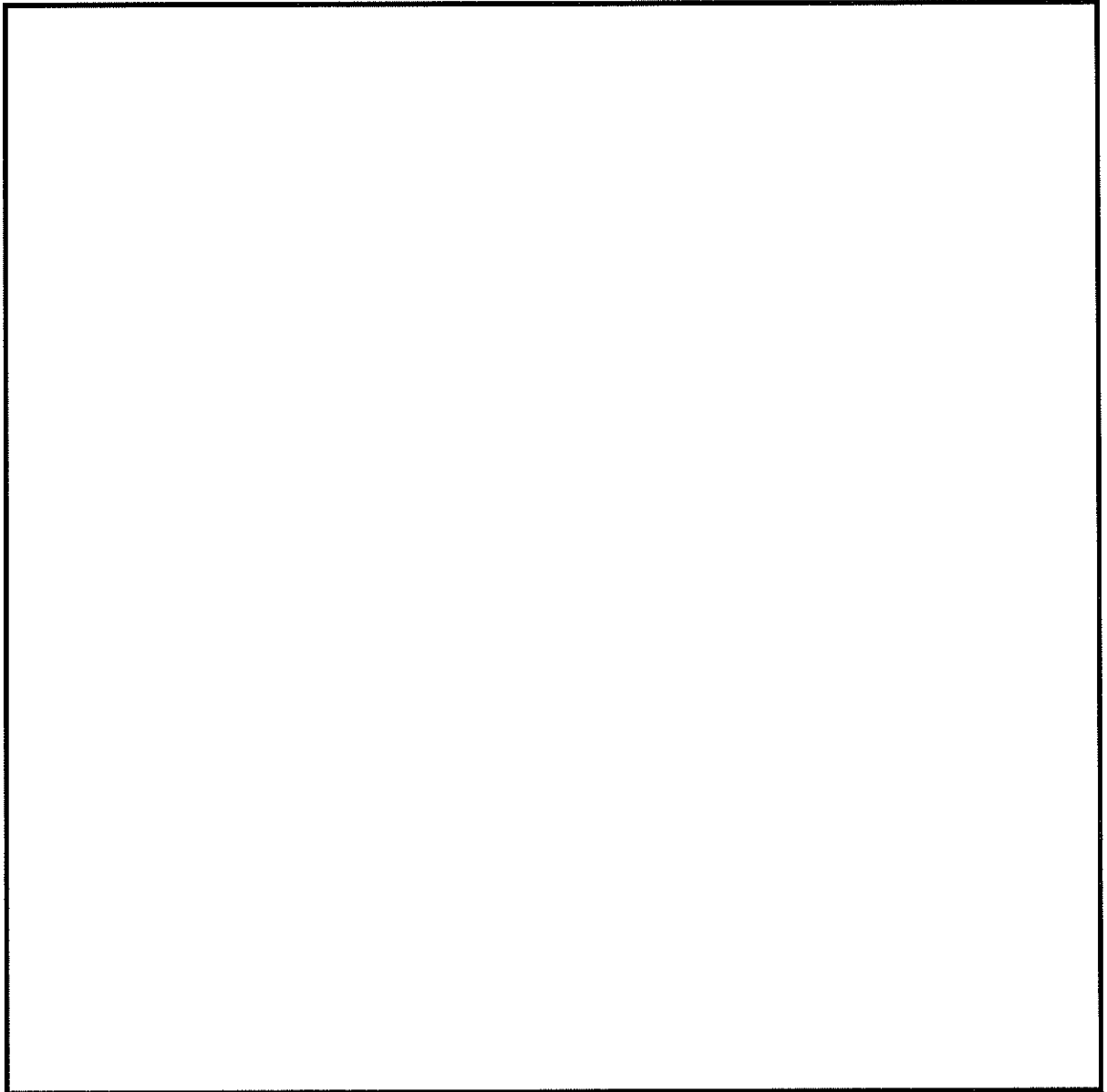
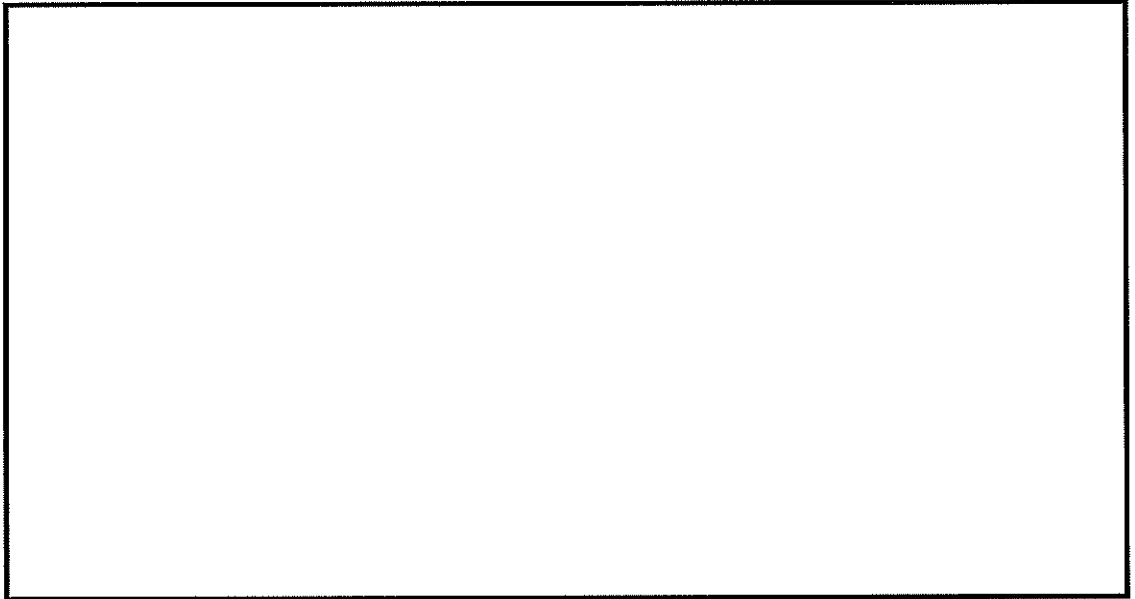


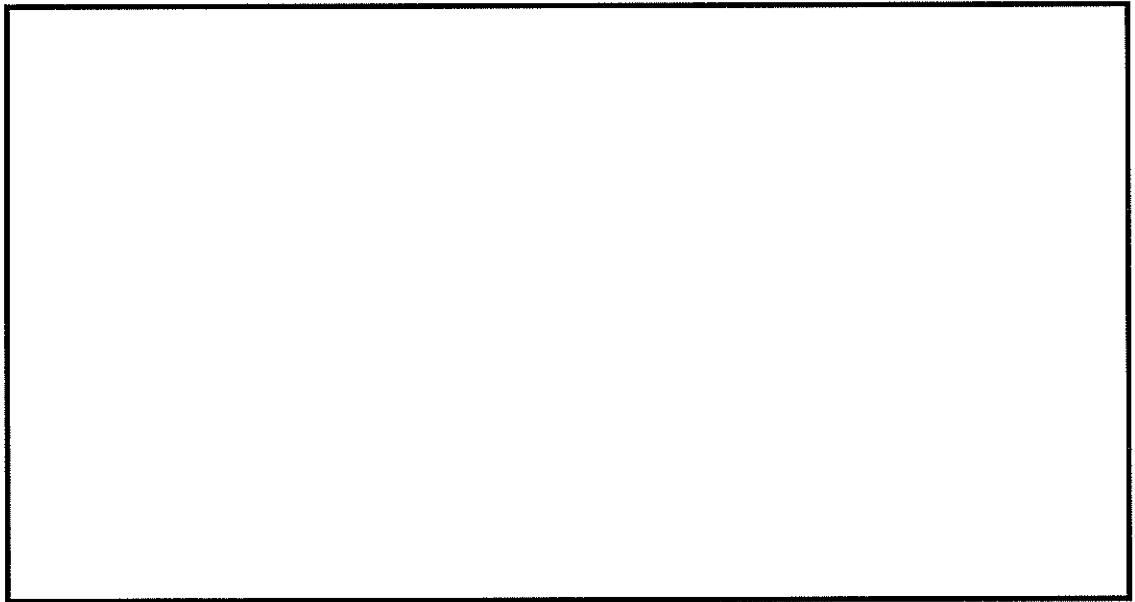
図 3-5 (1/2) 応答評価部位



(b) 3次元FEMモデル
図 3-5 (2/2) 応答評価部位

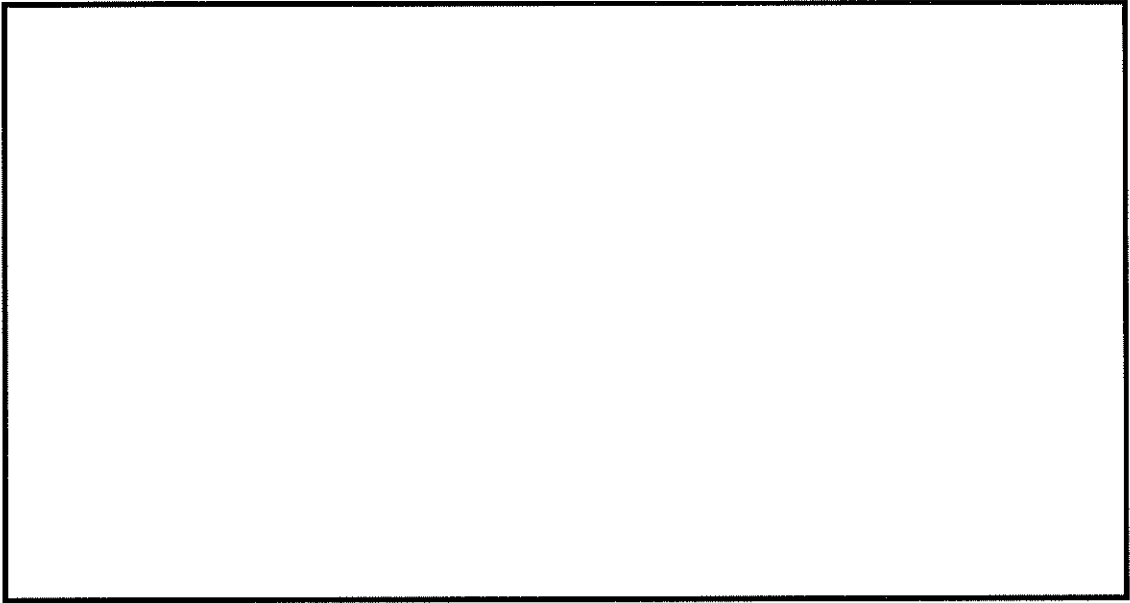


(a) 北面

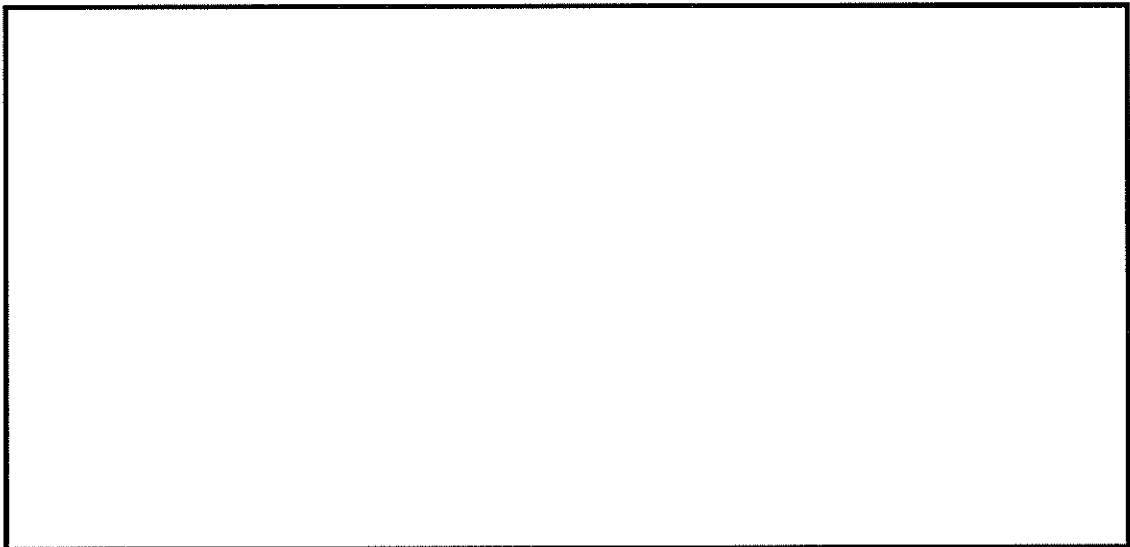


(b) 南面

図 3-6 (1/2) 応答評価対象位置及び節点番号図



(c) 東面



(d) 西面

図 3-6 (2/2) 応答評価対象位置及び節点番号図

表 3-3 地震動の組合せ

(a) 北面及び南面の応答評価時

地震動の入力方法	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
水平 1 方向入力	S_d-D1	—	—
3 方向同時入力	S_d-D1	模擬地震波*	S_d-D1

注記 * : 弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが, S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。

(b) 東面及び西面の応答評価時

地震動の入力方法	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
水平 1 方向入力	—	S_d-D1	—
3 方向同時入力	模擬地震波*	S_d-D1	S_d-D1

注記 * : 弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが, S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。

3.5 地震応答解析結果

3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施した。

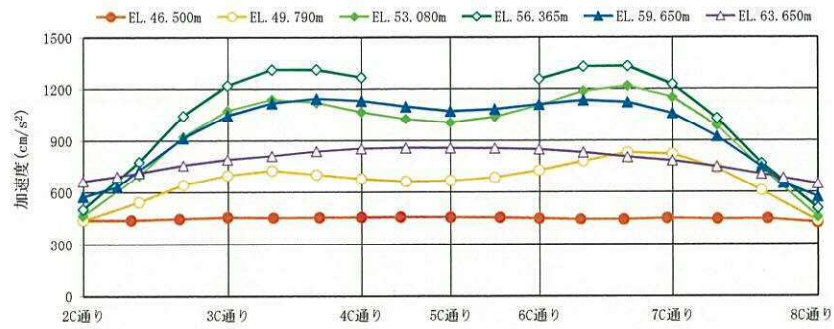
原子炉建屋の壁について、3方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布を図3-7及び図3-8に示す。

3方向同時入力における壁面外方向最大応答加速度は、平面的に中央部で面外にはらむような加速度分布となっており、高さ方向ではEL.56.365 mが最大となるような加速度分布となっている。

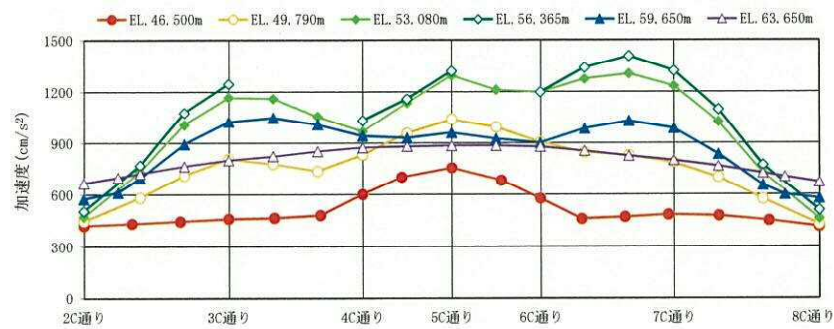
水平1方向入力における最大応答加速度の分布図を図3-9及び図3-10に示す。また、水平1方向入力及び3方向同時入力の最大応答加速度の比較を図3-11に示す。

水平1方向についても、3方向同時入力と同様に、平面的に中央部で面外にはらむような加速度分布となっており、高さ方向ではEL.56.365 mが最大となるような加速度分布となっている。

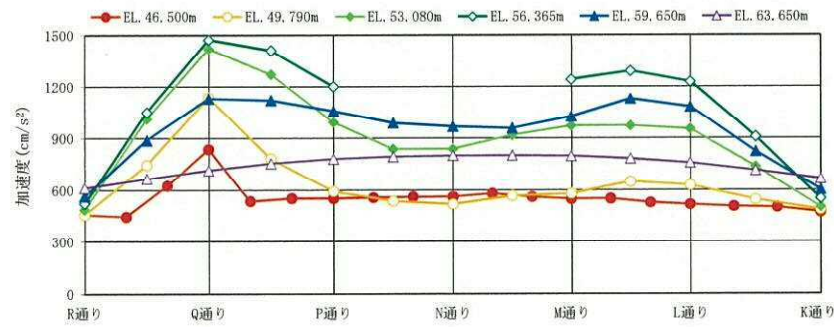
また、3方向同時入力は、水平1方向入力と比べ概ね同等の最大加速度を示し、多少の大小はあるものの概ね同様の最大応答加速度分布を示している。この結果は壁面外方向の地震動が主な影響を与えており、水平直交方向及び鉛直方向地震動は面外応答に与える影響が小さい事を示している。3方向同時入力の最大応答加速度は水平1方向入力に対して、0.92~1.19倍程度である。



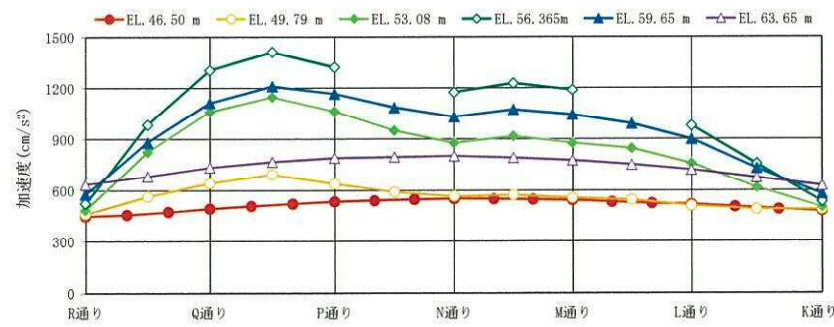
(a) 北面



(b) 南面

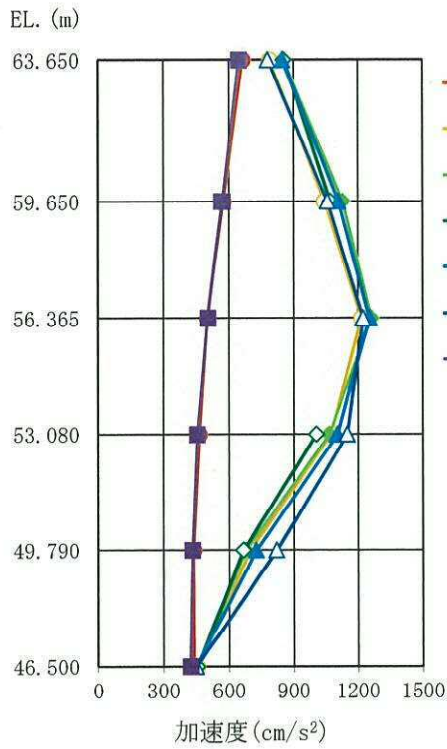


(c) 東面

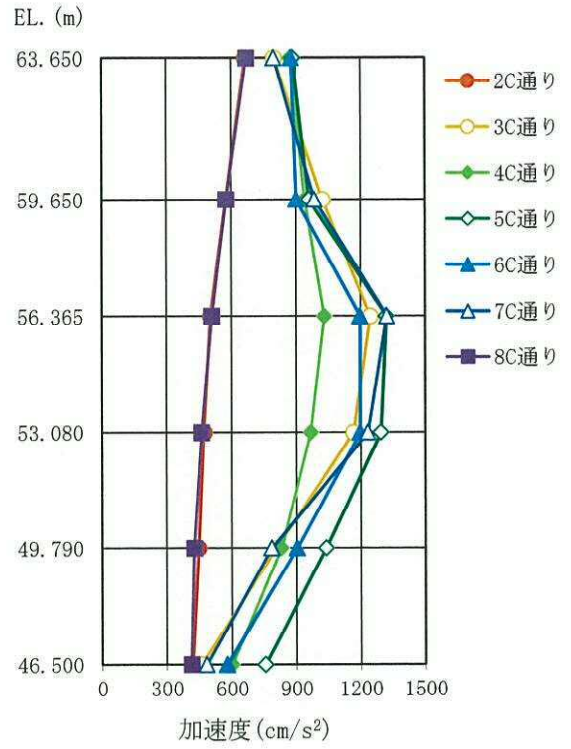


(d) 西面

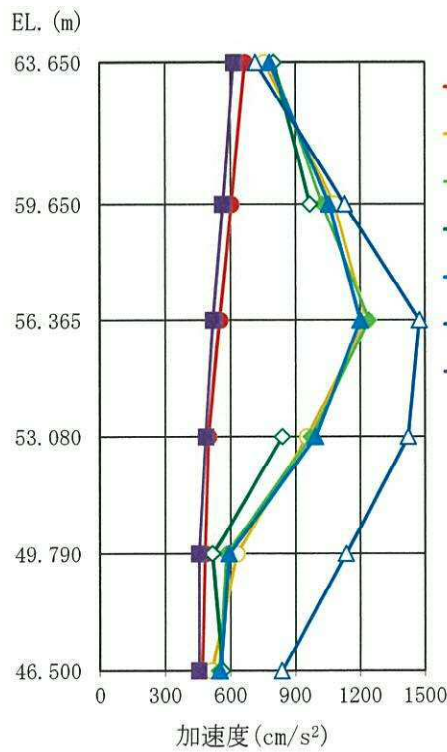
図 3-7 3方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布（平面分布）



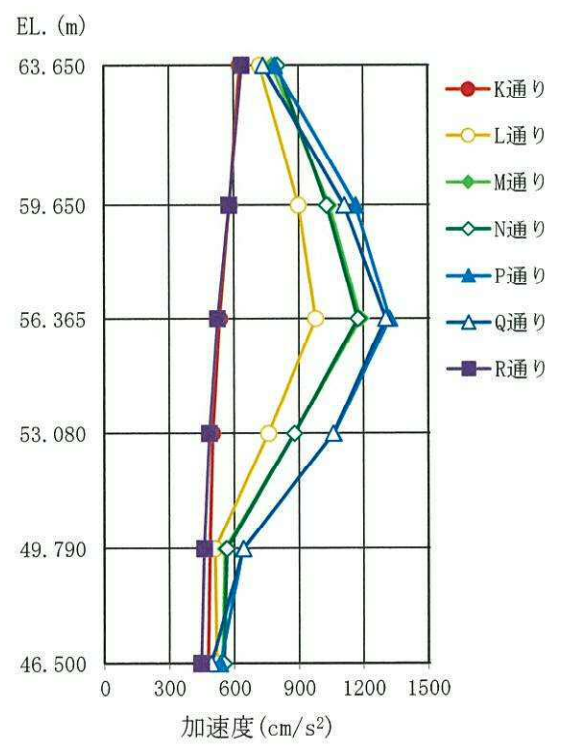
(a) 北面



(b) 南面

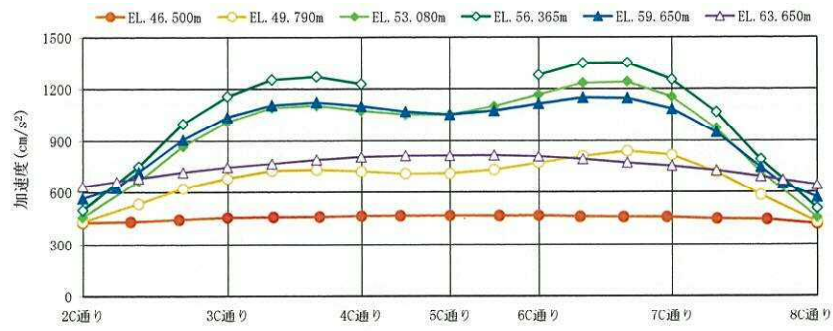


(c) 東面



(d) 西面

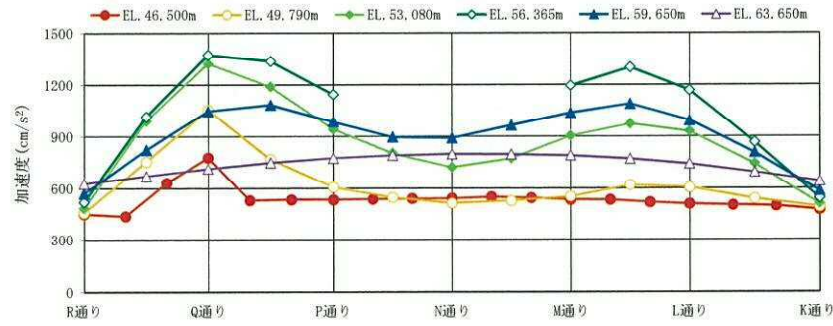
図 3-8 3方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (断面分布)



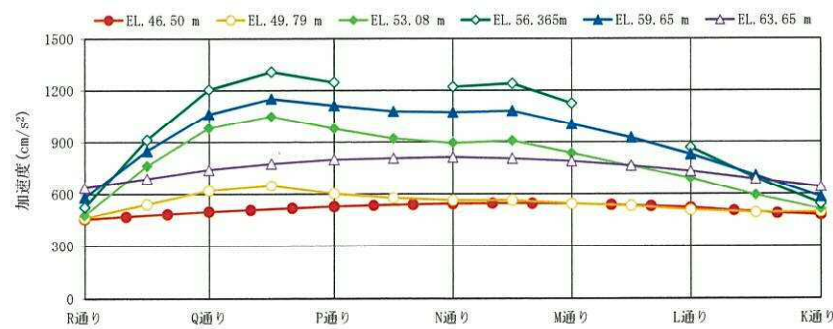
(a) 北面



(b) 南面

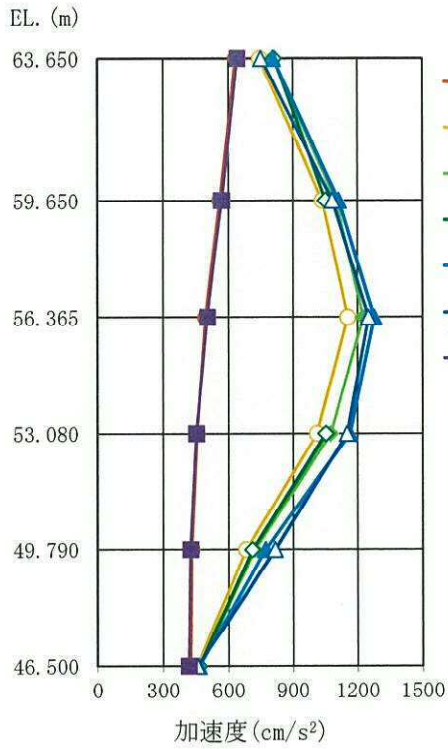


(c) 東面

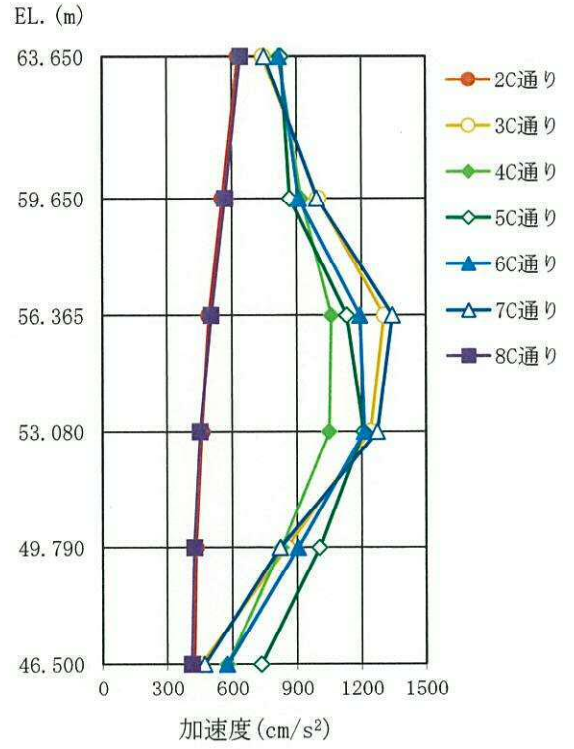


(d) 西面

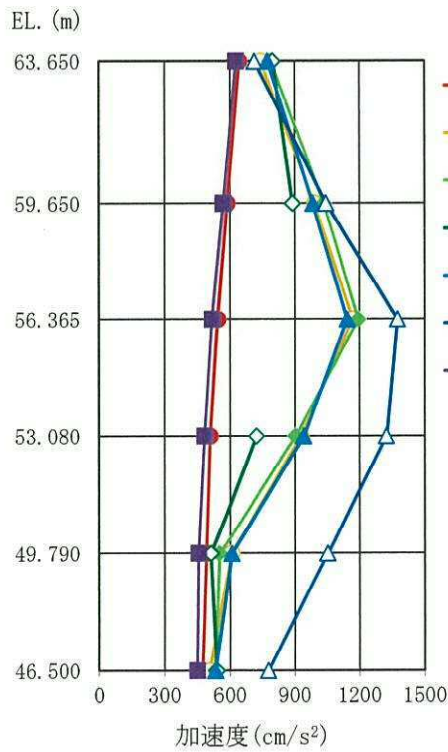
図 3-9 水平 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (平面分布)



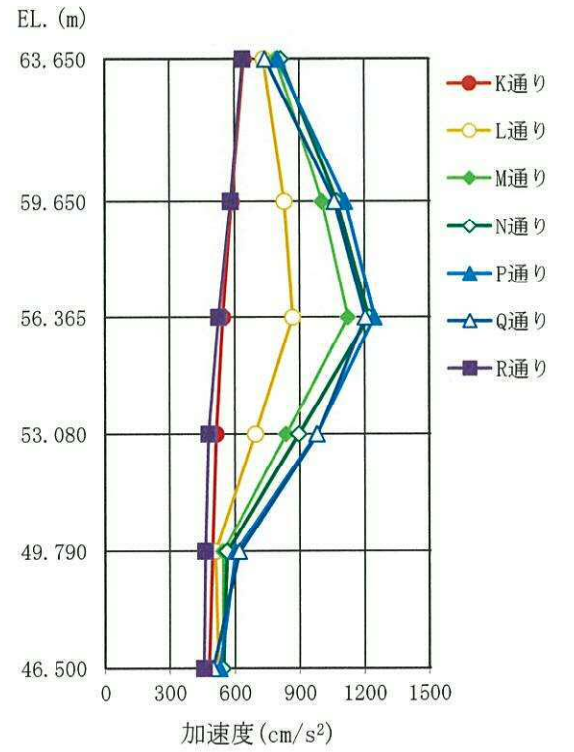
(a) 北面



(b) 南面

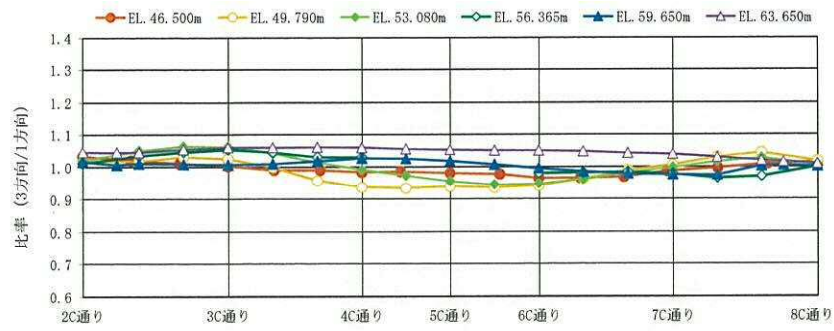


(c) 東面

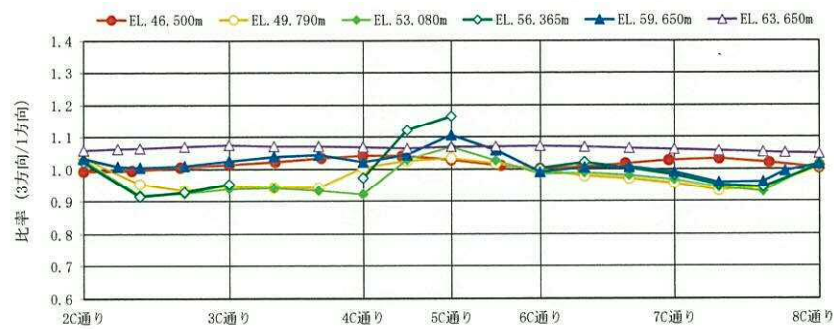


(d) 西面

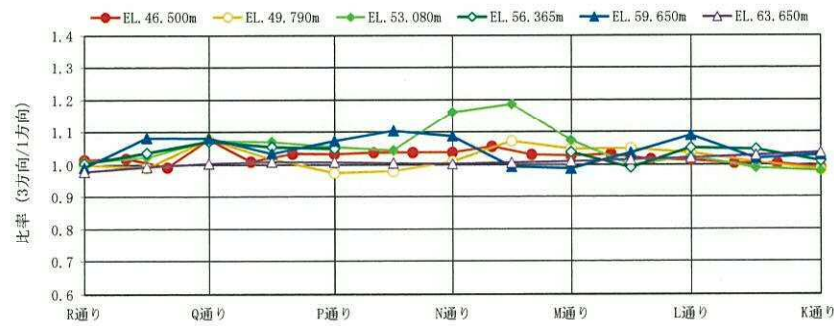
図 3-10 水平 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (断面分布)



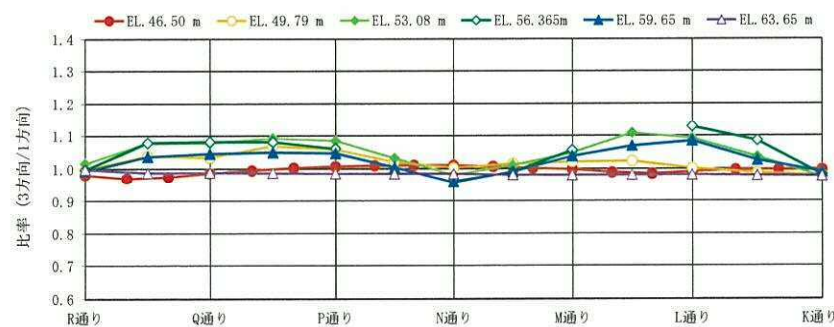
(a) 北面



(b) 南面



(c) 東面



(d) 西面

図 3-11 3方向同時入力と水平1方向入力の壁面方向の最大応答加速度比較
(水平1方向入力に対する3方向同時入力の最大応答加速度の比率)

3.6 面外慣性力に対する壁の断面算定

複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁について、面外慣性力の影響として、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、面外慣性力に対する検討を行う。検討は、静的解析モデルに置き換えて、面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行い、面外慣性力の影響を評価する。

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。

3.6.1 解析モデル及び荷重条件

解析モデルを図 3-12 に示す。解析モデルは静的解析モデルとし、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。荷重としては、弾性設計用地震動 S_d （以下「 S_d 地震時」という。）及び基準地震動 S_s （以下「 S_s 地震時」という。）による面外慣性力を等分布荷重として考慮する。 S_d 地震時は、 S_d-D1 による面外方向の最大応答加速度（絶対加速度）を用いて静的震度に換算し保守的に評価する。なお、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するため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より算出した応答補正比率を乗じる。 S_s 地震時は、 S_d 地震時の面外慣性力を、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る。面外慣性力の算出方法は以下の通りである。

$$w_d = \frac{a_{\max}}{g} W$$

$$w_s = \alpha \cdot w_d$$

- ここで、 w_d : S_d 地震時の面外慣性力 (kN/m)
 w_s : S_s 地震時の面外慣性力 (kN/m)
 a_{\max} : S_d 地震時の 3 方向同時入力における最大応答加速度 (kN/m)
 g : 重力加速度 (cm/s^2)
 W : 壁自重 ($= \gamma \cdot t$) (kN/m)
 γ : 単位体積重量 ($= 24 \text{ kN/m}^3$)
 t : 壁厚 ($= 0.3 \text{ m}$)
 α : 入力地震動の最大加速度比 ($870/435 = 2.0$)

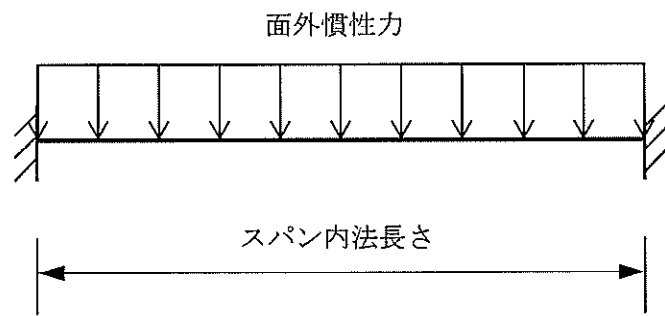


図 3-12 静的解析モデル

3.6.2 応答補正比率の算出

応答補正比率は、添付資料「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルを用いた地震応答解析のうち、EL. 46.5 m～EL. 63.65 m の質点（質点番号(1)～(3)）の最大応答加速度により算出する。地震波による影響は基本ケースでの S_d-D1 による最大応答加速度に対する、その他の弾性設計用地震動 S_d による最大応答加速度の比、地盤のばらつきによる影響は基本ケースに対するばらつきケースの比により算出する。

算出した応答補正比率を表 3-4 に示す。

表 3-4 応答補正比率

	NS 方向	EW 方向	備 考
① 地震波による影響	1.12	1.11	S_d-31 / S_d-D1
② ばらつきによる影響	1.06	1.06	地盤+ σ / 基本ケース S_d-31
①×② 応答補正比率	1.19	1.18	NS 方向は北面及び南面, EW 方向は東面及び西面に考慮する。
S_s 地震時 / S_d 地震時	1.75	1.86	S_s-31 / S_d-31 NS 方向は北面及び南面, EW 方向は東面及び西面に考慮する。

3.6.3 断面の評価部位の選定

応答補正比率を考慮し算出した S_d 地震時の面外慣性力によって生じる面外応力の一覧を表 3-5 に示す。

表 3-5 より面外慣性力によって生じる面外応力は南面（R 通り）の 7C-8C 通り間の壁で最大となる。

表 3-5 発生面外応力

位置		スパン (mm)	震度	面外慣性力 (kN/m)	発生値	
					曲げモーメント (kN・m)	面外せん断力 (kN)
北面	2C-3C	6750	1.48	10.6	40.4	35.9
	3C-4C	5600	1.59	11.4	29.9	32.0
	4C-5C	4250	1.53	11.0	16.6	23.5
	5C-6C	4250	1.52	11.0	16.5	23.3
	6C-7C	5300	1.61	11.6	27.2	30.8
	7C-8C	7050	1.49	10.7	44.3	37.7
南面	2C-3C	6750	1.51	10.9	41.4	36.8
	3C-4C	5600	1.51	10.9	28.5	30.5
	4C-5C	4250	1.60	11.5	17.4	24.5
	5C-6C	4250	1.60	11.5	17.4	24.5
	6C-7C	5300	1.71	12.3	28.8	32.6
	7C-8C	7300	1.61	11.6	51.4	42.2
東面	K-L	6200	1.48	10.7	34.1	33.0
	L-M	5850	1.56	11.2	31.9	32.8
	M-N	5850	1.50	10.8	30.7	31.5
	N-P	5850	1.45	10.4	29.7	30.5
	P-Q	6200	1.78	12.8	41.0	39.6
	Q-R	5850	1.78	12.8	36.5	37.4
西面	K-L	6200	1.18	8.49	27.2	26.3
	L-M	5850	1.43	10.3	29.4	30.2
	M-N	5850	1.48	10.7	30.4	31.2
	N-P	5850	1.59	11.5	32.7	33.6
	P-Q	6200	1.70	12.3	39.3	38.0
	Q-R	5850	1.57	11.3	32.3	33.1

注 : は最大値を示す。

3.6.4 断面算定方法

「RC-N規準」に基づき、曲げモーメント及びせん断力が、短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認する。

曲げモーメントについては、評価対象部位に生じる曲げモーメント M が次式で算出する短期許容曲げモーメント M_A を超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

- M_A : 短期許容曲げモーメント (N・mm)
- a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)
- f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

面外せん断力については、面外せん断力 Q が次式で算出する許容面外せん断力 Q_A を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

- Q_A : 許容面外せん断力 (N)
- b : 断面の幅 (mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)
- α : 許容せん断力の割り増し係数 (1.0)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

3.6.5 断面算定結果

断面算定結果を表 3-6 に示す。

S_d地震時において、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。

S_e地震時において、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、最大応答加速度の絶対値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など、保守的な検討をしていることも勘案すれば、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。

表 3-6 断面算定結果

検討ケース	S _d 地震時	S _s 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 ²)	
鉄筋の許容引張応力度 f _t (N/mm ²)	345	
コンクリートの許容せん断応力度 f _s (N/mm ²)	1.06	
発生曲げモーメント M (kN・m)	51.4	89.9
許容値 M _A (kN・m)	95.2	95.2
検定値 M/M _A	0.540	0.945
発生せん断力 Q (kN)	42.2	73.9
許容値 Q _A (kN)	204	204
検定値 Q/Q _A	0.207	0.363
判定	可	可

3.7 検討のまとめ

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として、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁に対し、面外慣性力の影響について検討を行った。

3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施し、壁の面外方向の最大応答加速度分布を確認した結果、面外にはらむような加速度分布となっており、面外慣性力が発生していることを確認したが、水平1方向入力による最大応答加速度分布に対し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる最大応答加速度分布は概ね同傾向であることを確認した。この結果は壁の面外応答に与える影響は、面外方向の地震動が支配的であり、水平直交方向及び鉛直方向地震動は面外応答に与える影響が小さい事を示している。

面外慣性力が発生していることから、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、保守的な静的モデルに置き換えて、面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行った。その結果、 S_d 地震時及び S_v 地震時における応力が、短期許容応力を超えないことを確認した。面外慣性力として、最大応答加速度の絶対値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も踏まえると、面外慣性力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、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁については、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。

4. 局所応答による影響検討

応答特性②-1 及び②-2 により抽出されなかった耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について、弾性設計用地震動 S_a-D1 及び模擬地震波を用いて、3次元 FEMモデルによる精査を行った。

精査に当たっては、3次元 FEMモデルで構築した原子炉建屋の地震応答解析モデルを用いて、水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し評価することで行った。精査の内容は、別紙3「3次元 FEMモデルによる地震応答解析」に示す。

3次元 FEMモデルを用いた精査の結果、原子炉建屋が有する耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

したがって、水平2方向及び鉛直方向地震力を適切に算定するにあたっては、質点系モデルの地震応答解析結果を用いることで、簡易的かつ保守的に評価を行うことが可能であることを確認した。

5. 3次元FEMモデルを用いた精査のまとめ

3次元的な応答特性が想定される部位について、3次元FEMモデルにより精査を行った。

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」部位として、原子炉建屋の壁（燃料取替フロア）について、精査を行った。

応答特性②-2「加振方向遺骸の方向に励起される振動の影響が大きい」部位として、ねじれ応答の影響が懸念される非常用ガス処理系配管支持架構の梁及び壁（鉄骨ブレース）について、精査を行った。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果、いずれの評価対象部位においても、有している耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が必要な部位は抽出されなかった。

更に、建屋評価部位全般に対し、局所的な応答について、原子炉建屋を対象として、3次元モデルより、水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し検討することで精査を行った。精査の結果、有している耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

以上のことから、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位については、有する耐震性への影響が小さいと判断できることから、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。

補 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討についての補足

1. 概要

本資料では、別紙 2「3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討」で行った原子炉建屋の壁の面外慣性力に対する検討で記載した評価位置の壁に生じる鉛直方向の加速度を示すものである。

2. 鉛直方向加速度分布

3次元FEMモデルを用いた、弾性設計用地震動S₀に対する地震応答解析による鉛直方向入力における鉛直方向の最大応答加速度分布を図2-1に示す。

図2-1に示すように、鉛直方向加速度は壁の面内方向であり、面内での局所的な増幅はなく、別紙2「3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討」において、面外慣性力に対する影響検討において、局所的な鉛直方向の増幅を考慮しない。

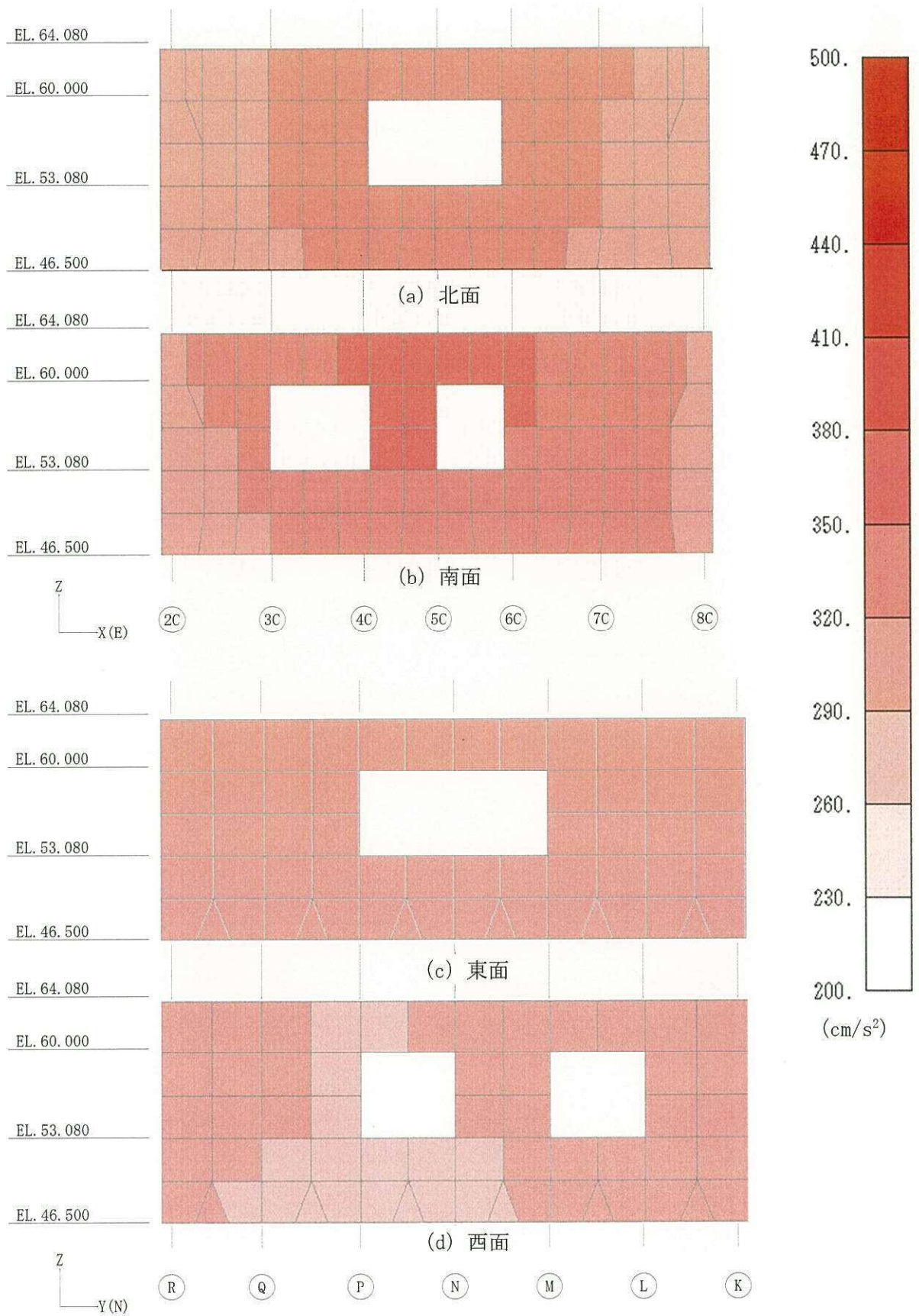


図 2-1 鉛直方向入力における鉛直方向の最大応答加速度分布

別紙 3 3次元FEMモデルによる地震応答解析

目次

1. 検討概要.....	別紙 3-1
1.1 構造概要.....	別紙 3-1
1.2 3次元FEMモデルによる耐震性評価の方針.....	別紙 3-5
2. 3次元FEMモデルの構築.....	別紙 3-7
2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル.....	別紙 3-7
2.1.1 モデル化の基本方針.....	別紙 3-7
2.1.2 荷重.....	別紙 3-15
2.1.3 建屋-地盤の相互作用.....	別紙 3-15
2.2 固有値解析.....	別紙 3-18
2.3 観測記録を用いた検討.....	別紙 3-21
2.3.1 観測記録を用いた検討の概要.....	別紙 3-21
2.3.2 観測記録による解析結果.....	別紙 3-28
2.3.3 観測記録と解析結果の比較及び考察.....	別紙 3-28
2.3.4 結論.....	別紙 3-29
3. 3次元FEMモデルによる評価.....	別紙 3-36
3.1 地震応答解析の概要.....	別紙 3-36
3.2 建屋応答性状の把握.....	別紙 3-41
3.3 建屋耐震評価への影響検討.....	別紙 3-62
3.4 床応答への影響検討.....	別紙 3-95
3.5 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響検討.....	別紙 3-100
3.5.1 検討概要.....	別紙 3-100
3.5.2 評価方針.....	別紙 3-100
3.5.3 評価結果.....	別紙 3-105
3.5.4 入力地震動の代表性について.....	別紙 3-108
4. まとめ.....	別紙 3-110
補1 観測記録とシミュレーション解析の床応答スペクトル (h=1%) の比較	
補2 実剛性を用いたシミュレーション解析結果	
補3 3次元FEMモデルによるシミュレーション解析結果	
補4 検討に用いる地震動の代表性について	
補5 3次元FEMモデルによるSd-D1の地震応答解析結果	
補6 3次元FEMモデルによる応答結果の整理	
補7 機器設置位置付近における応答	

1. 検討概要

建屋の3次元応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から、原子炉建屋について3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、建屋の局所的な応答を検討する。また、3次元FEMモデルによる挙動が、建屋及び機器・配管系の有する耐震性に及ぼす影響を検討する。

1.1 構造概要

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5m、東西方向42.5mの原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

原子炉棟と付属棟は、同一基礎版上に配置した一体構造であり、原子炉建屋の平面は、下部で南北方向68.5m、東西方向68.25mのほぼ正方形となっている。基礎底面からの高さは73.08mであり、地上高さは56.08mである。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は、厚さ5.0mのべた基礎で、支持地盤である砂質泥岩上に人工岩盤を介して設置されている。

原子炉棟の中央部には原子炉圧力容器を収容している原子炉格納容器があり、その周囲の壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）は上部が円錐台形、下部は円筒形で基礎版から立ち上がっている。シェル壁（S/W）の壁厚は上部で1.9m、下部で1.8mである。

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）は基礎版から屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.3mである。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）の壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.9mである。建屋は全体として非常に剛性が高く、建屋に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

なお、燃料取替床（EL.46.5m）には使用済燃料プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図1-1及び図1-2に示す。

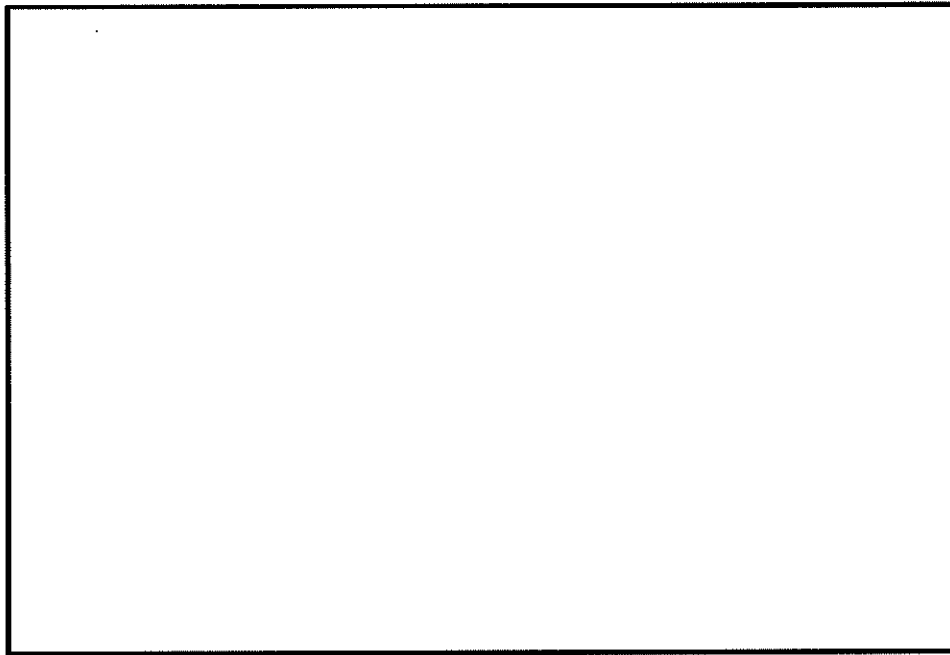


図 1-1 (1/2) の概略平面図 (EL. 46.5 m)

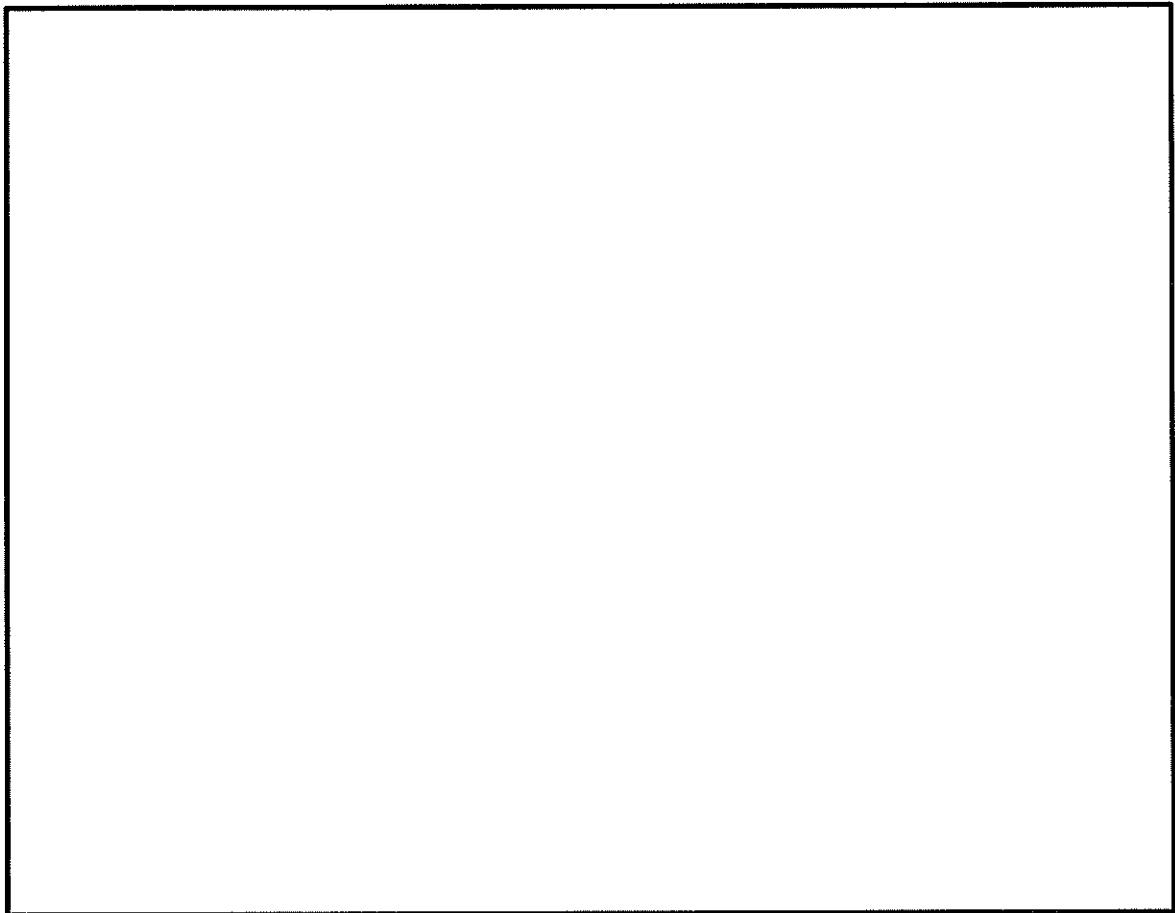


図 1-1 (2/2) の概略平面図 (EL. -4.0 m)

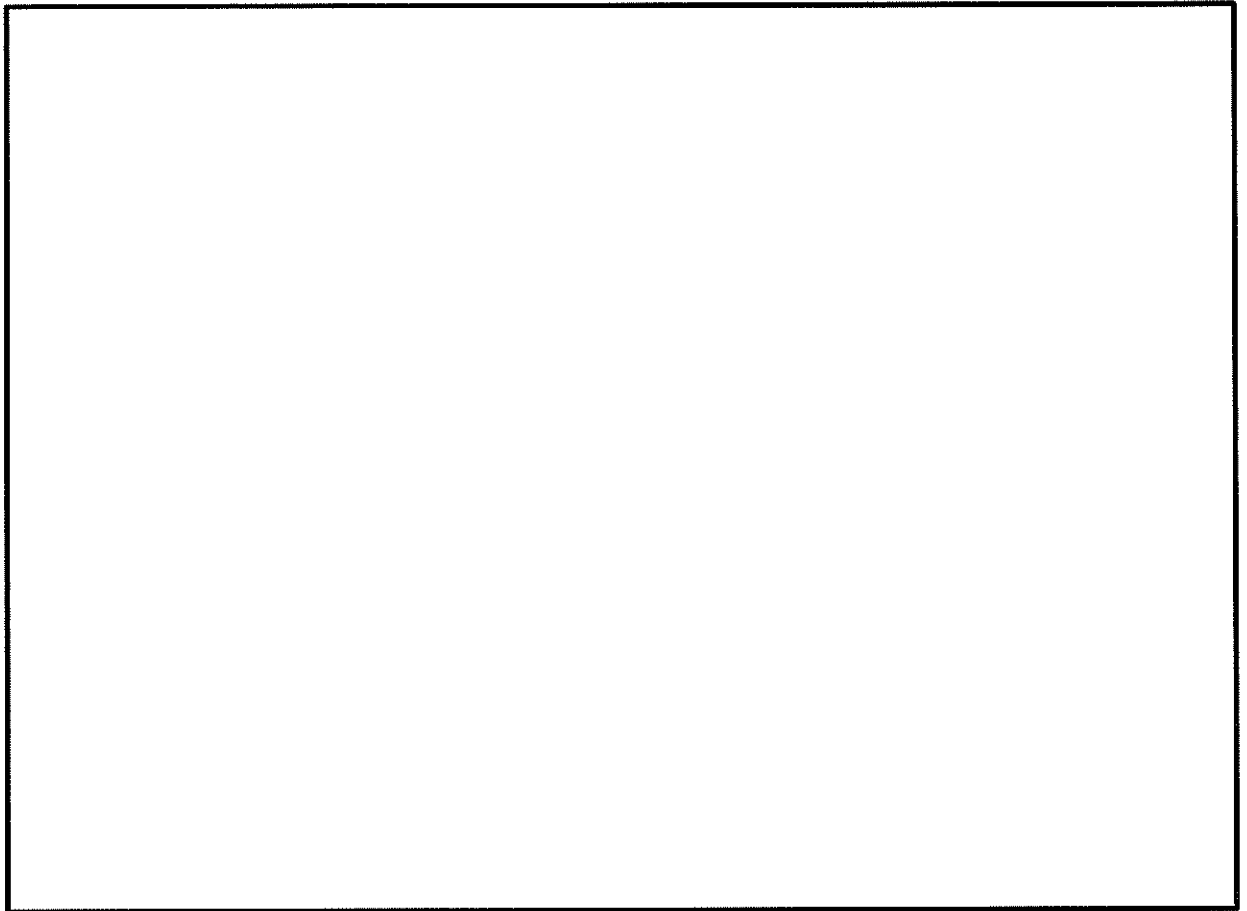


図 1-2 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

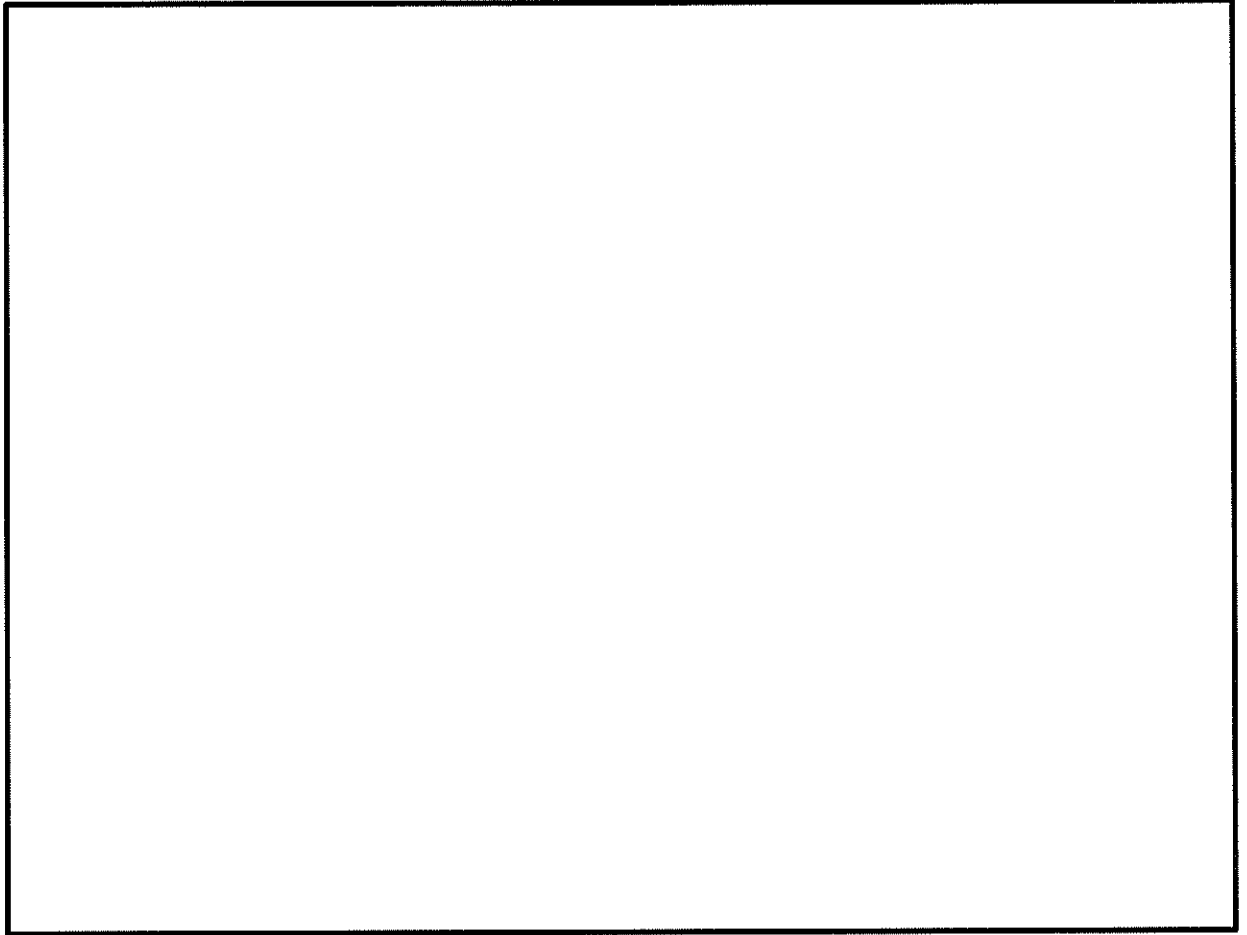


図 1-2 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

1.2 3次元FEMモデルによる耐震性評価の方針

原子炉建屋について3次元FEMモデルを構築し、固有値解析や観測記録を用いた解析結果から、同モデルの妥当性を確認する。その上で、3次元的な応答特性を把握する。また、弾性設計用地震動S_dによる地震応答解析を行い、建屋の平均的な応答や局所的な応答を把握する。更に、3次元的な応答特性から建屋及び機器・配管系の耐震評価への影響を確認する。

解析モデルのケースを表1-1に示す。解析モデルのケースは、床の柔性、地盤のモデル化を変動要因とする以下の3ケースとした。

表 1-1 解析モデルのケース

モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	設計基準強度
比較用モデル	床柔	底面鉛直方向固定	設計基準強度
質点系対応モデル	床剛	相互作用考慮	設計基準強度

建屋模擬モデルは、床の柔性を考慮し、地盤のモデル化に相互作用を考慮することで、建屋の実状を模擬したモデルとしている。

比較用モデルは建屋模擬モデルにおける地盤のモデル化「相互作用考慮」を「底面鉛直方向固定」に変更している。

質点系対応モデルは建屋模擬モデルにおける「床柔」を「床剛」に変更することにより、「床剛、相互作用考慮」の組合せとなり、質点系モデルに対応したモデルとなっている。

これら3ケースについて、固有値解析及び地震応答解析を実施し、その結果を比較することにより、全体的な3次元的な応答特性、ロッキング振動の影響、ねじれの影響及び床の剛性の影響について検討を実施する。

3次元FEMモデルによる耐震性評価フローを図1-3に示す。

解析には解析コード「MSC NASTRAN ver. 2016.1」を用いる。

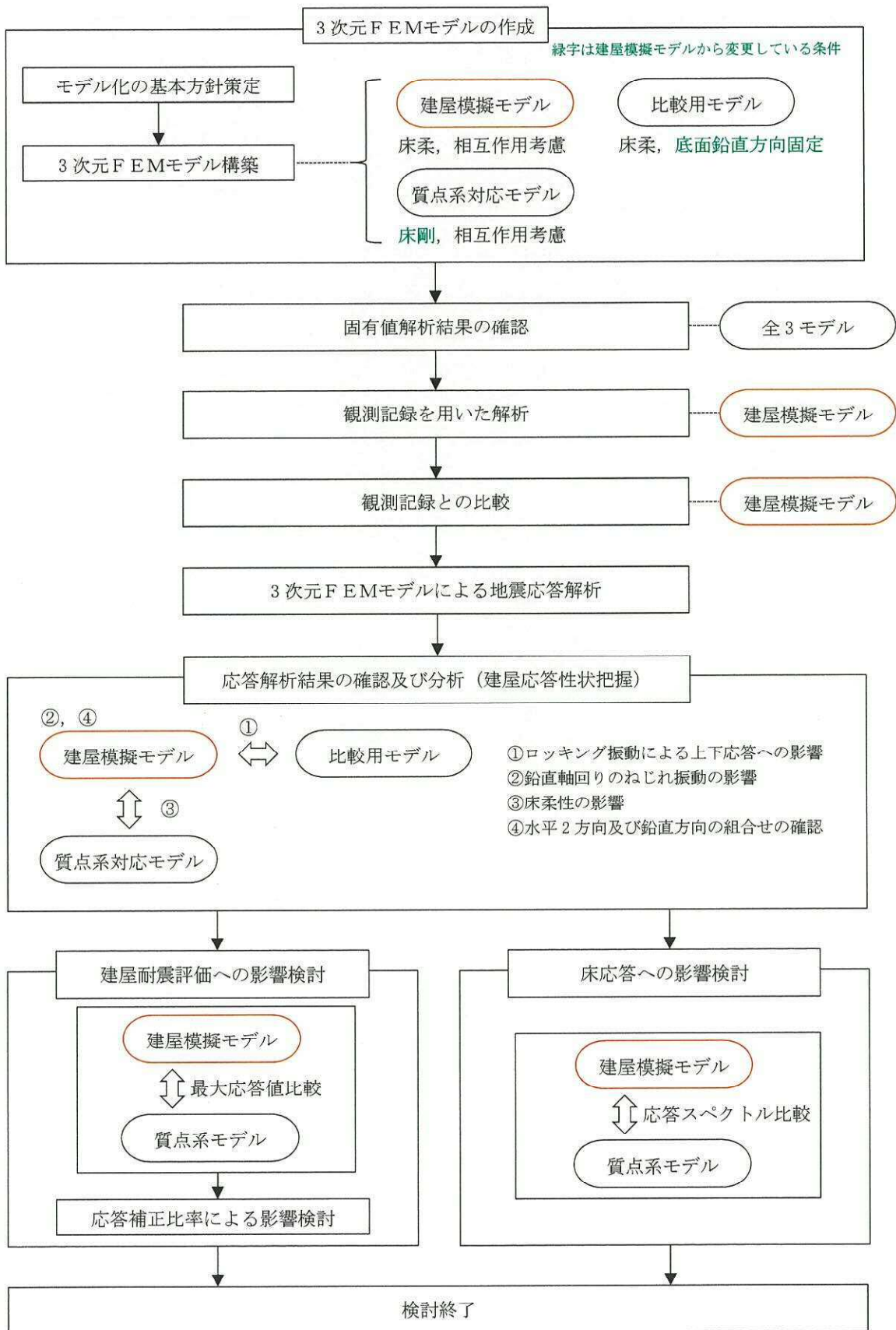


図 1-3 3次元FEMモデルによる耐震性評価フロー

2. 3次元FEMモデルの構築

2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル

2.1.1 モデル化の基本方針

原子炉建屋の3次元FEMモデルを構築する。解析モデルを図2-1に示す。また、各階のモデル図を図2-2に示す。

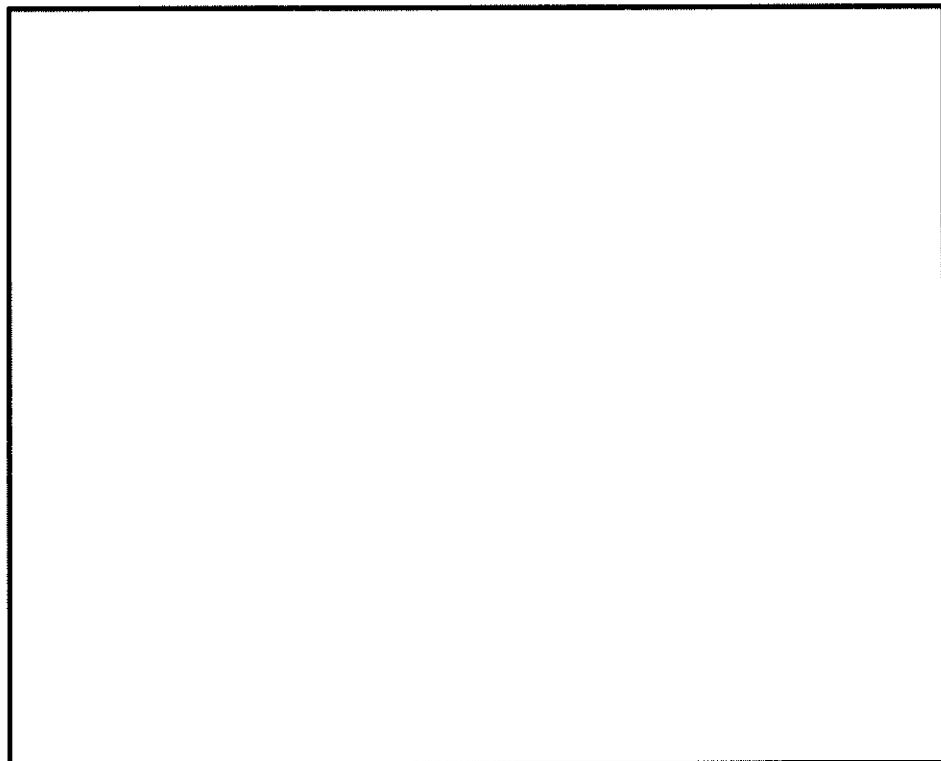
モデル化の範囲は、原子炉棟、付属棟及び基礎とする。

耐震壁、補助壁及び床スラブはシェル要素(約7500要素)、柱及び梁はバー要素(約1500要素)、屋根面の鉄骨ブレースはロッド要素(約50要素)、基礎はソリッド要素(約2800要素)とする。

要素の大きさは、各床スラブレベルと対応する位置に節点を設け、高さ方向及び水平方向に2m～3m程度とする。

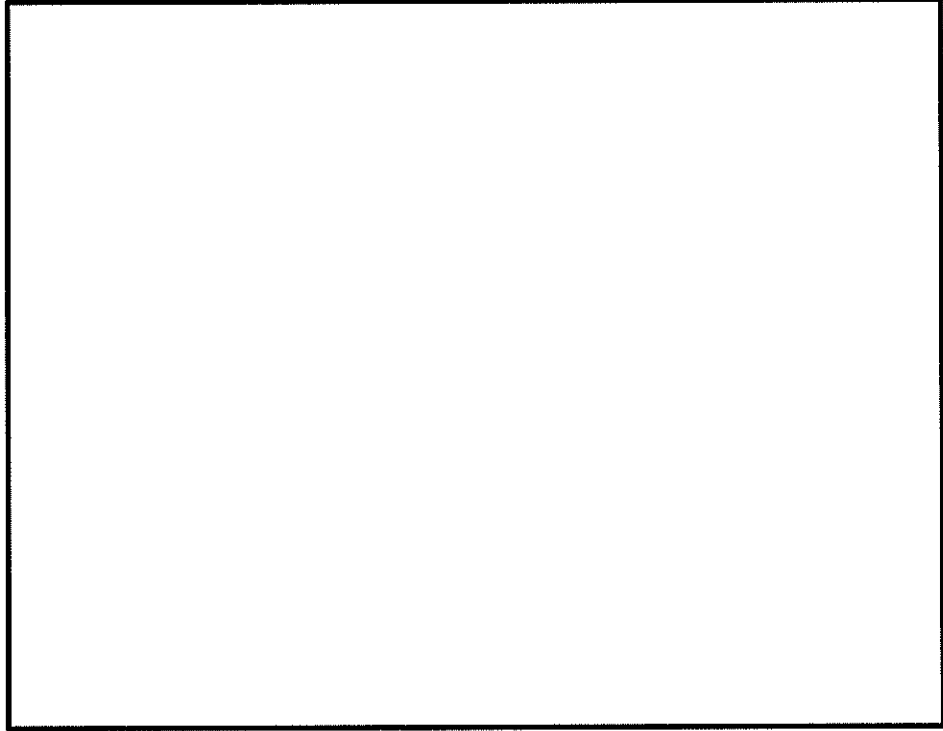
部材の接合部における剛域及びモデル化位置のオフセットの設定は行わない。また、バー要素は柱・梁の壁・床と重複する部分の断面も含めた断面性能としてモデル化している。

使用材料及び地盤の物性値をそれぞれ表2-1及び表2-2に、地盤のひずみ依存性を図2-3～図2-6に示す。コンクリート強度は、設計基準強度を用いるものとする。

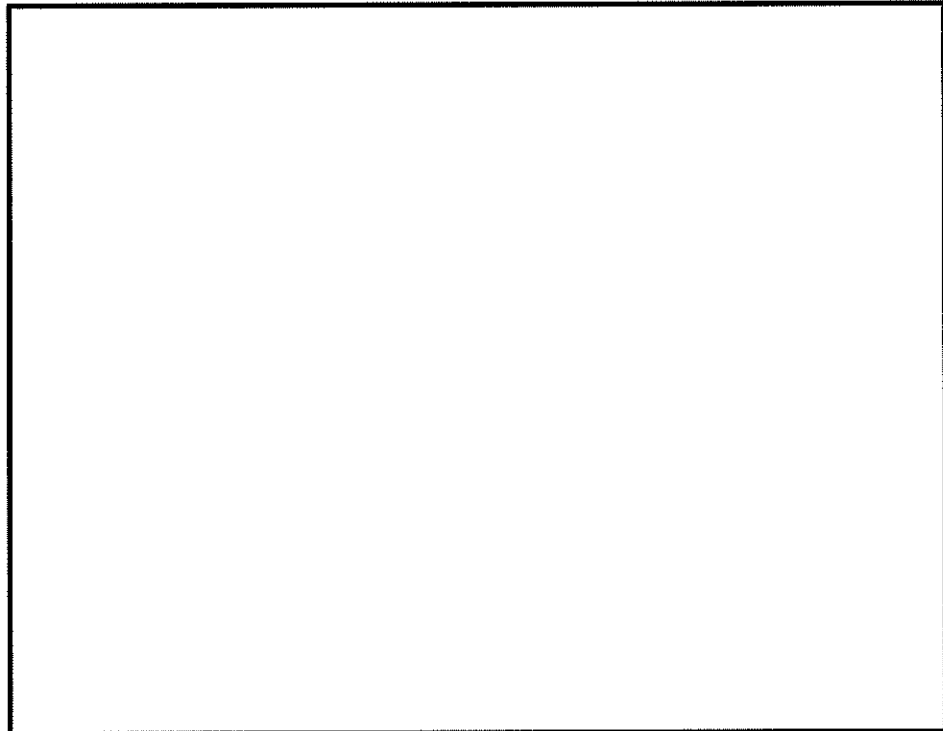


(a) 建屋全景

図2-1 (1/2) 解析モデル

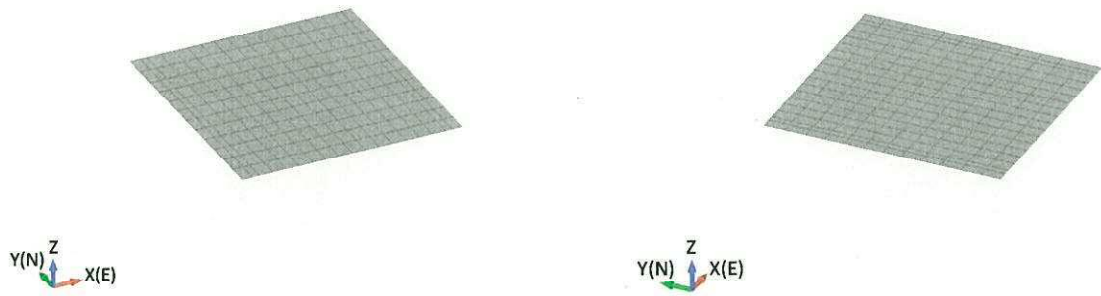


(b) EW 断面図

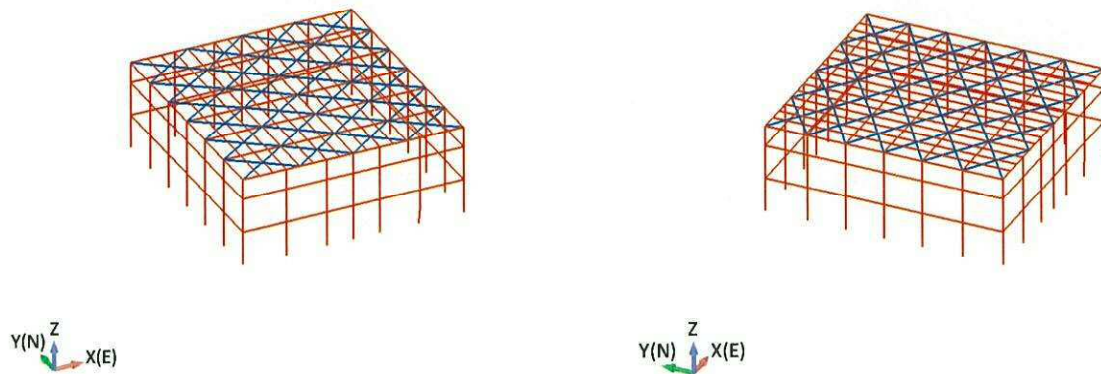


(c) NS 断面図

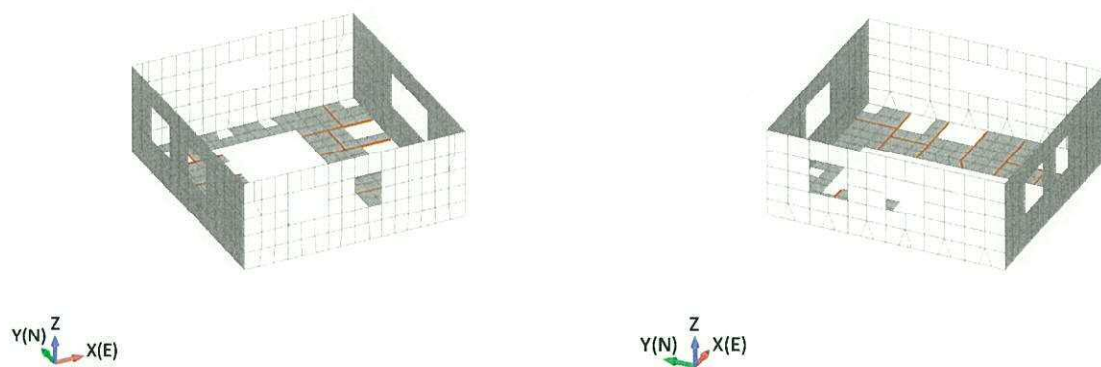
図 2-1 (2/2) 解析モデル



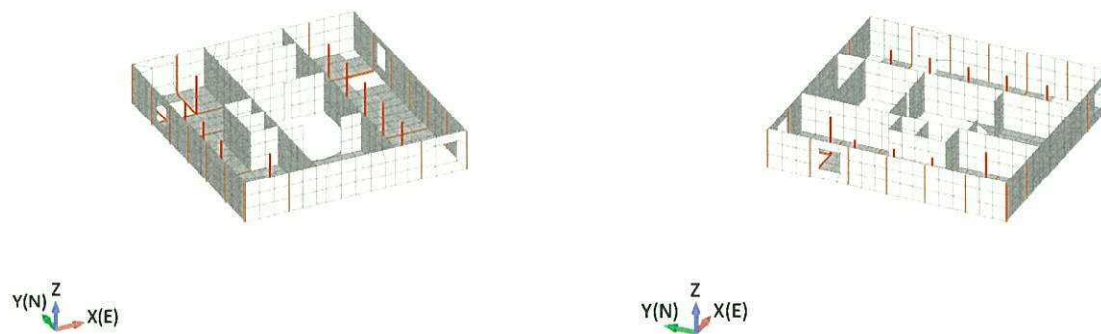
(a) EL. 63.65 m (屋根スラブ)



(b) EL. 46.5 m~EL. 63.65 m (柱, 梁及び屋根トラス)

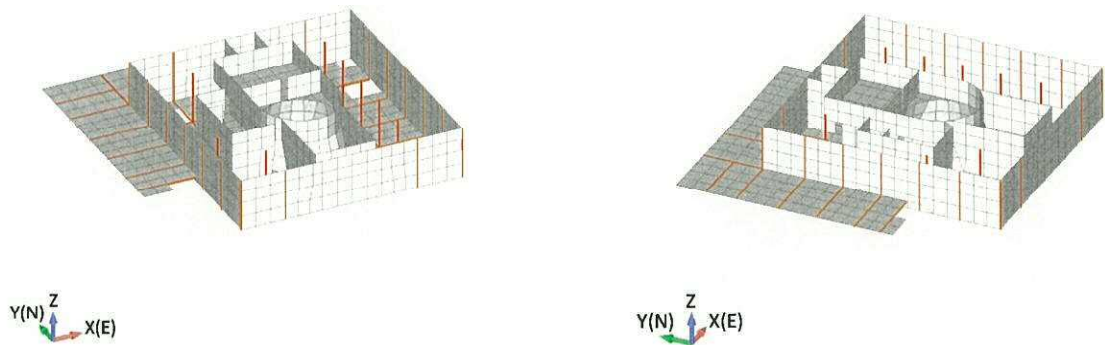


(c) EL. 46.5 m~EL. 63.65 m

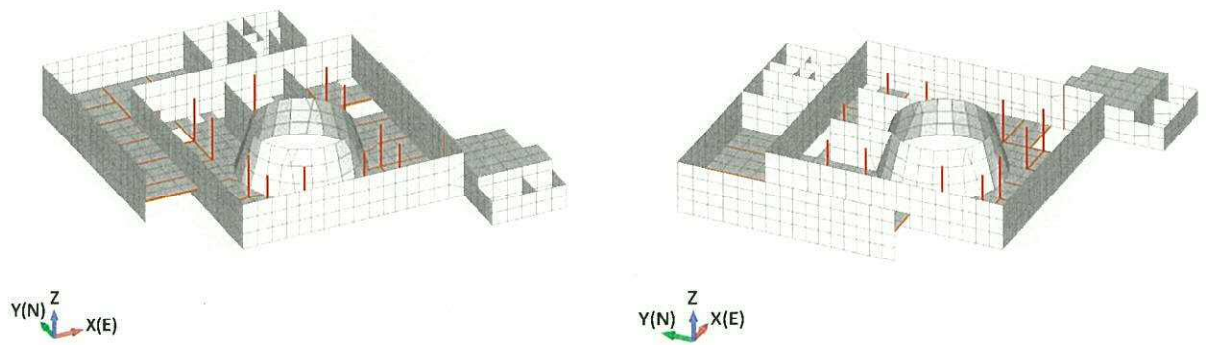


(d) EL. 38.8 m~EL. 46.5 m

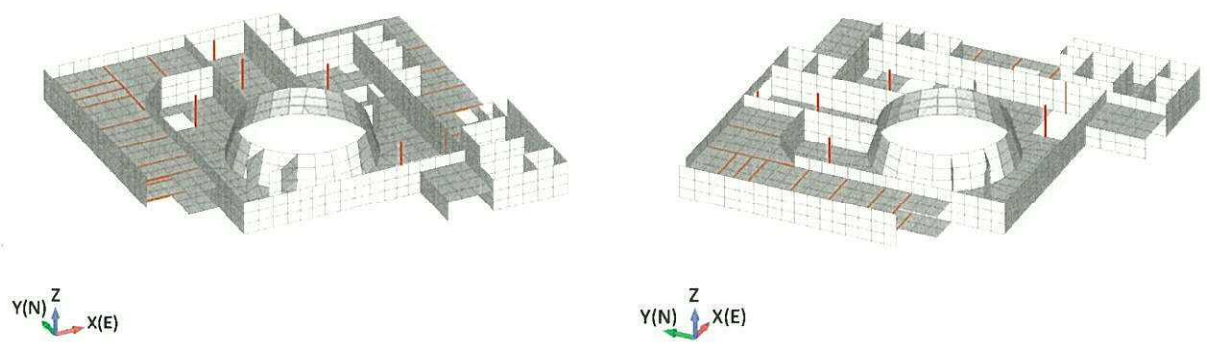
図 2-2 (1/3) 各部材のモデル図



(e) EL. 29.0 m ~ EL. 38.8 m

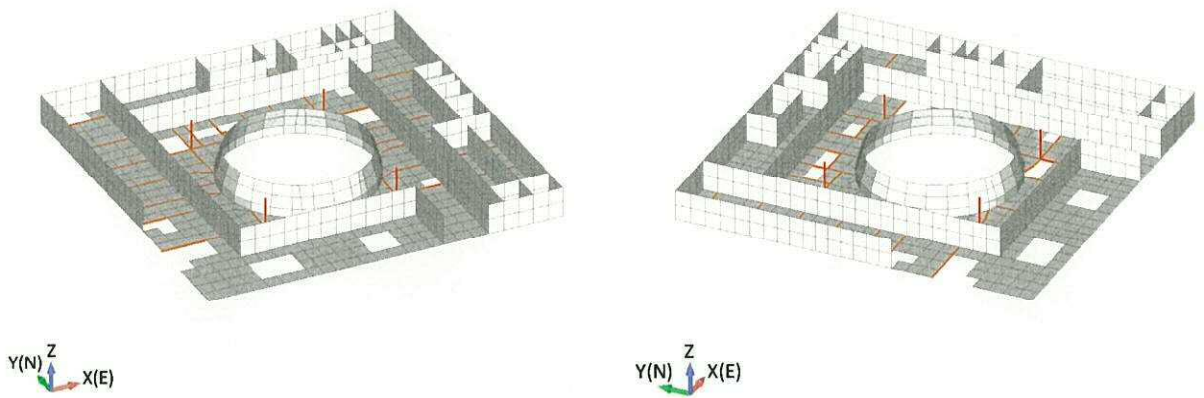


(f) EL. 20.3 m ~ EL. 29.0 m

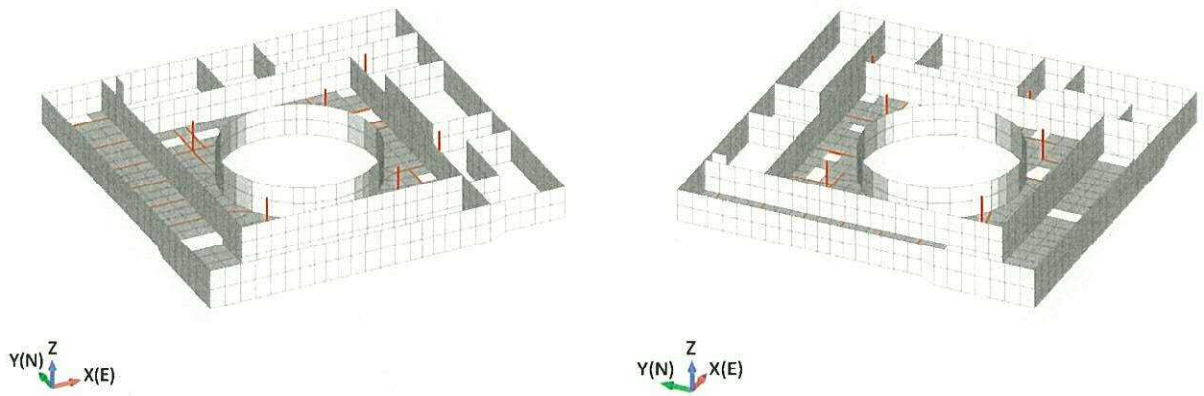


(g) EL. 14.0 m ~ EL. 20.3 m

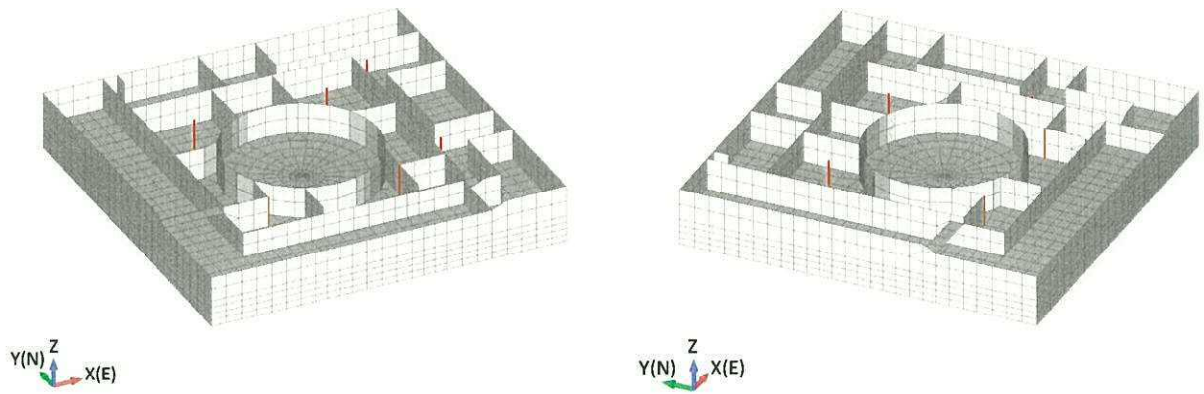
図 2-2 (2/3) 各部材のモデル図



(h) EL. 8.2 m~EL. 14.0 m



(i) EL. 2.0 m~EL. 8.2 m



(j) EL. -9.0 m~EL. 2.0 m

図 2-2 (3/3) 各部材のモデル化

表 2-1 使用材料の物性値

部位	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	2.21×10 ⁴	5
鉄骨部	2.05×10 ⁵	2

表 2-2 地盤の物性値

(a) 地盤物性

標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 ρ t/m ³	S波速度 V_s m/s	ポアソン比 ν
8.0	du*	5.0	1.82	210	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	240	0.286
2.0	Ag2	4.7	2.01	240	0.491
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	500	0.462
-14.4	Km	5.6	1.72	446	0.461
-20.0		20.0	1.72	456	0.460
-40.0		20.0	1.73	472	0.458
-60.0		30.0	1.73	491	0.455
-90.0		30.0	1.73	514	0.452
-120.0		30.0	1.73	537	0.449
-150.0		40.0	1.74	564	0.445
-190.0		40.0	1.74	595	0.441
-230.0		40.0	1.75	626	0.437
-270.0		50.0	1.75	660	0.433
-320.0		50.0	1.76	699	0.427
-370.0		解放基盤	—	1.76	718

注記 * : 地下水位より浅いことを示す。

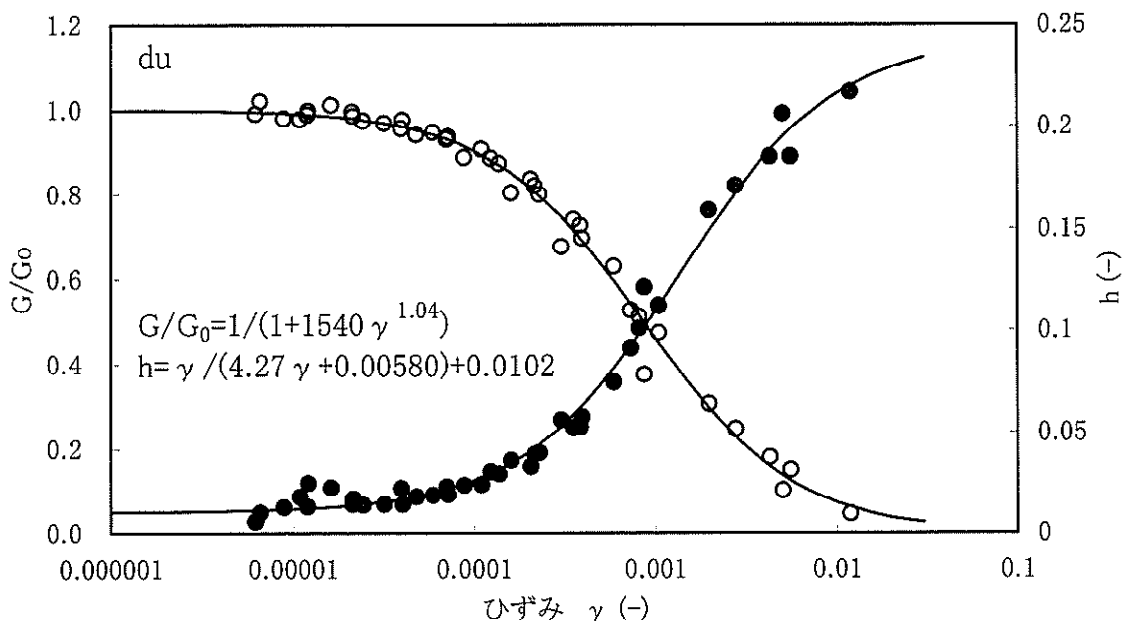


図 2-3 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (du 層)

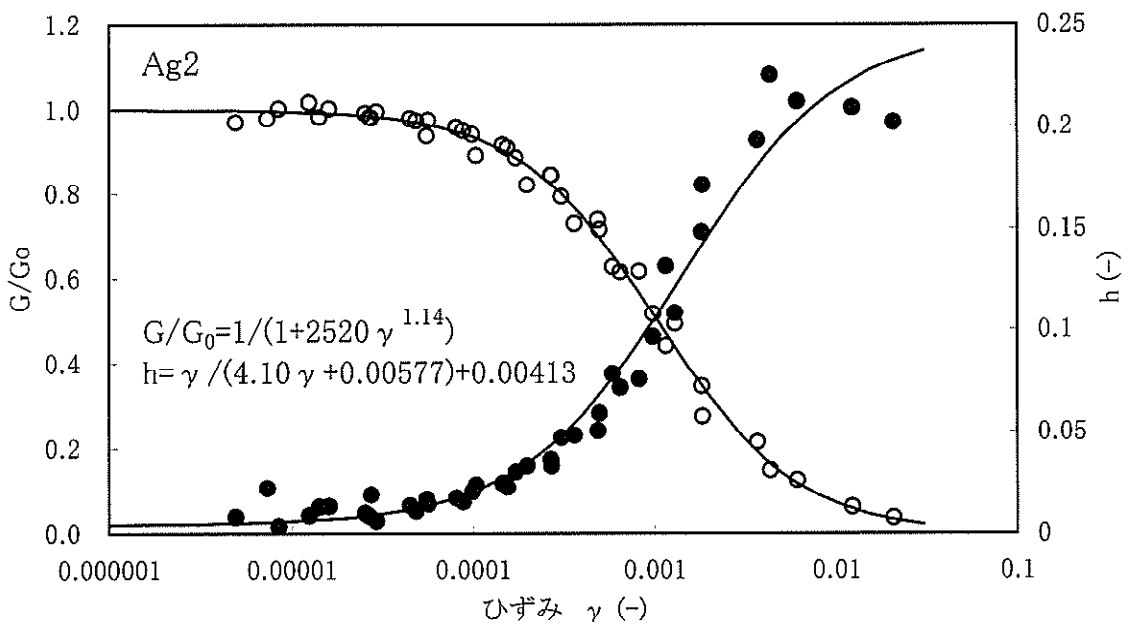


図 2-4 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Ag2 層)

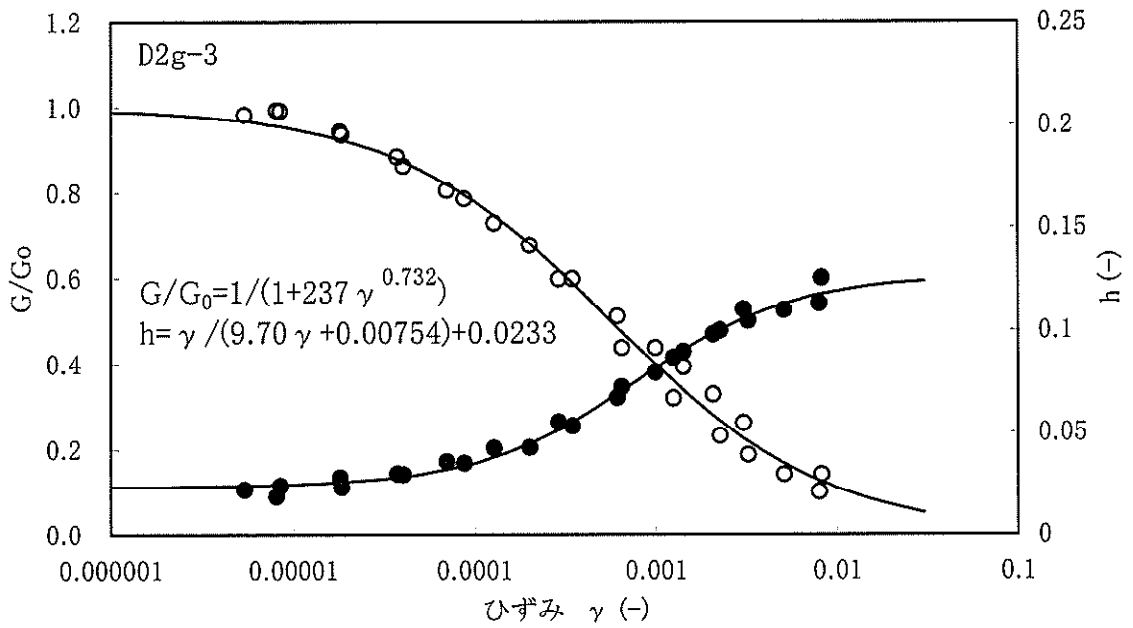


図 2-5 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (D2g-3 層)

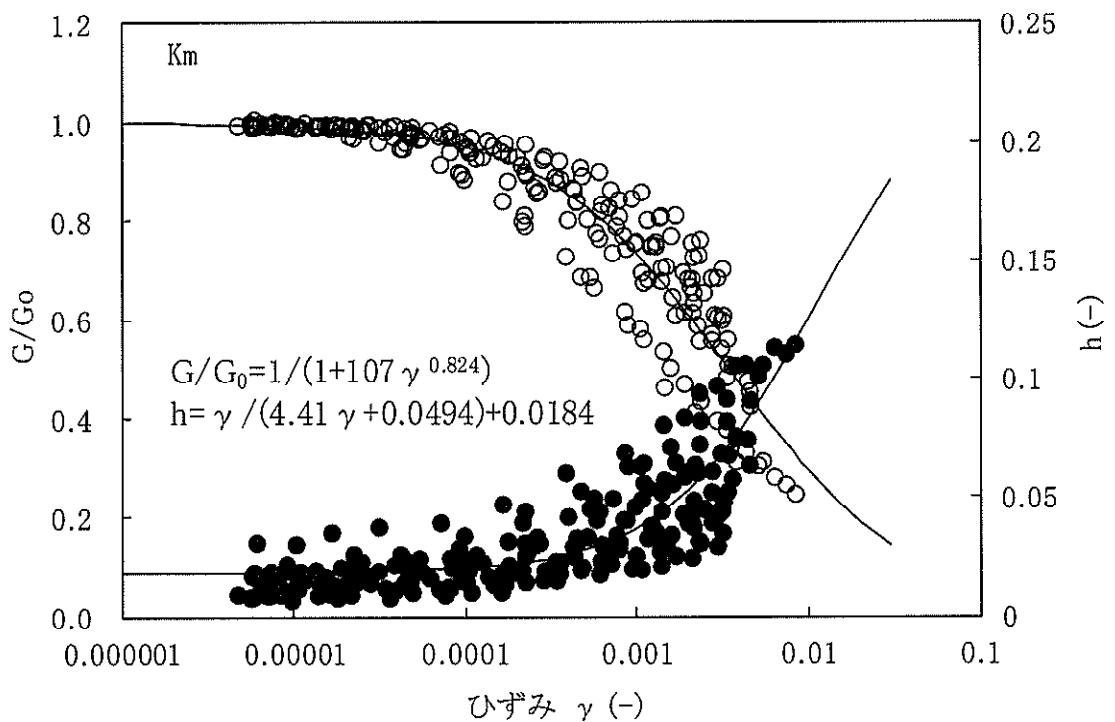


図 2-6 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Km 層)

2.1.2 荷重

固定荷重，積載荷重，積雪荷重及び機器・配管荷重を考慮する。各部について，質点系モデルの質量と整合するよう質量を調整する。

このうち，炉内構造物については，質点系モデルで質量として考慮しており，建屋の 3 次元 FEM モデルについても質量として考慮する。

2.1.3 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの S_d-D1 での基礎底面地盤ばね及び側面地盤ばねと整合するよう，地盤をばね要素でモデル化することで考慮する。

基礎底面地盤ばねについては，質点系モデルで考慮したスウェイ，ロッキング及び鉛直ばねの値を元に，3 次元 FEM モデルの基礎底面の各節点位置に要素面積に応じて離散化する。ただし，鉛直ばねのうち，水平方向加振用は，基礎底面ロッキングばねを元に NS 方向と EW 方向の平均値として設定する。

基礎側面の地盤ばねについては，質点系モデルで考慮している側面水平ばねの値を元に，各質点レベルに対応する各節点位置に要素面積に応じて離散化する。

なお，用いるばね値は，質点系モデルにおける S_d-D1 に対する値とする。

各地盤ばね諸元については表 2-3～表 2-5 に，底面地盤ばねと側面地盤ばね設置図について図 2-7 に示す。

表 2-3 底面地盤ばね定数と減衰係数（水平方向）

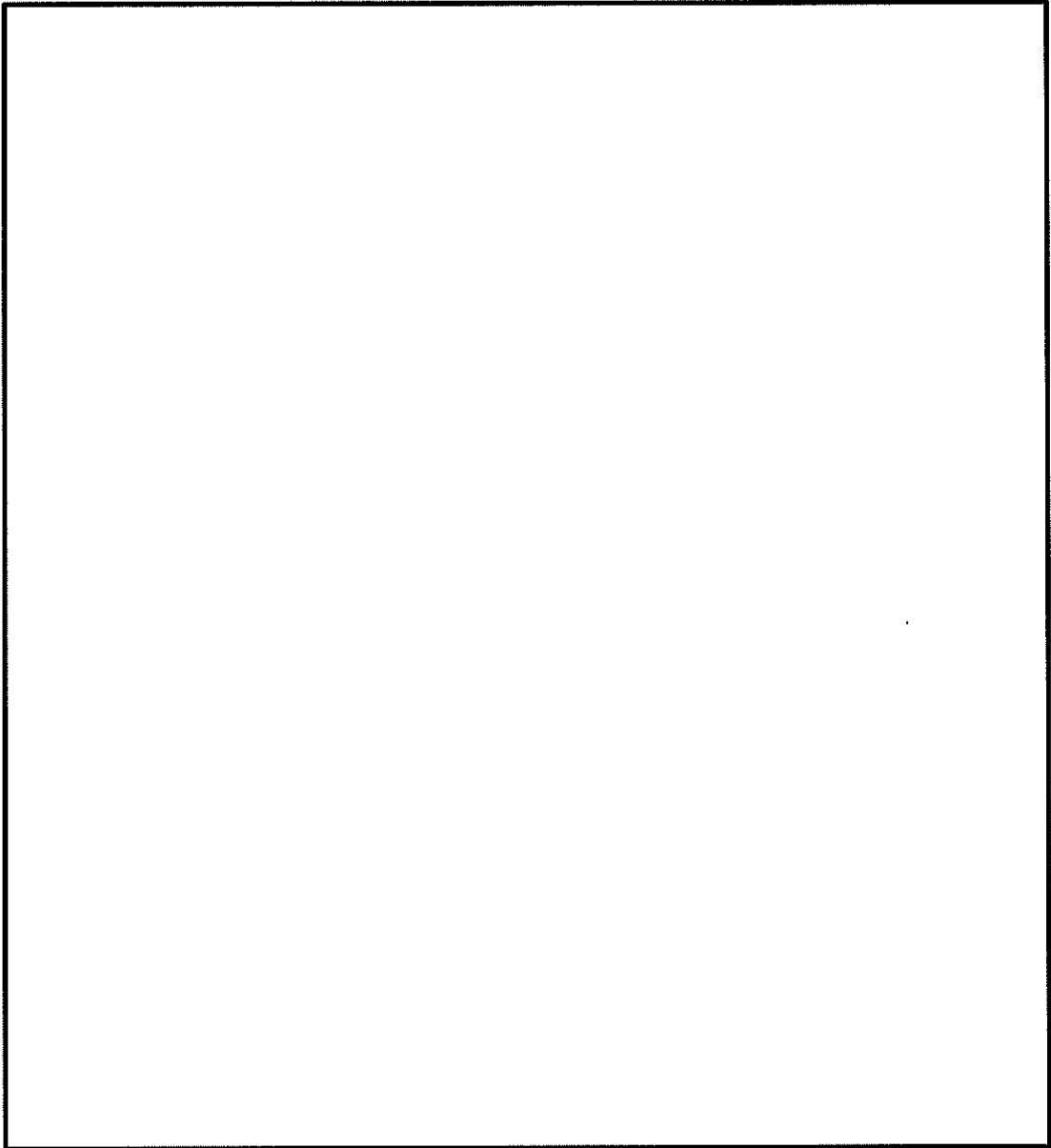
地盤ばね	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平底面ばね	6.95×10^7 kN/m	3.58×10^6 kN·s/m	6.95×10^7 kN/m	3.59×10^6 kN·s/m

表 2-4 底面地盤ばね定数と減衰係数（上下方向）

地盤ばね		UD 方向	
		ばね定数	減衰係数
上下底面ばね	水平方向加振時	2.56×10^8 kN/m	4.20×10^6 kN·s/m
	鉛直方向加振時	1.16×10^8 kN/m	8.50×10^6 kN·s/m

表 2-5 側面地盤ばね定数と減衰係数（水平方向）

地盤ばね	EL. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平側面ばね	8.0	6.67×10^5 kN/m	3.01×10^5 kN·s/m	6.67×10^5 kN/m	3.03×10^5 kN·s/m
	2.0	1.76×10^6 kN/m	6.71×10^5 kN·s/m	1.76×10^6 kN/m	6.67×10^5 kN·s/m
	-4.0	8.58×10^6 kN/m	9.76×10^5 kN·s/m	8.58×10^6 kN/m	9.76×10^5 kN·s/m
	-9.0	2.18×10^7 kN/m	9.56×10^5 kN·s/m	2.18×10^7 kN/m	9.56×10^5 kN·s/m



青 : 底面地盤ばね
ピンク : 側面地盤ばね
注1 : 底面地盤ばねは3方向軸ばねとする。
注2 : 側面地盤ばねは法線方向軸ばねとする。

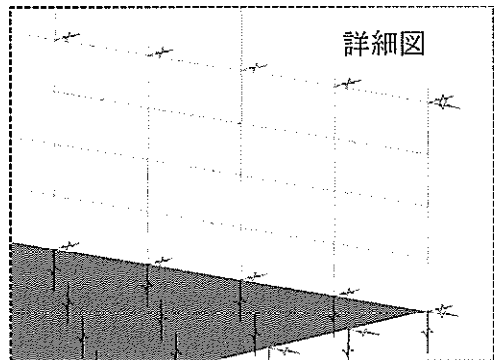


図 2-7 地盤ばねの設置図

2.2 固有値解析

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮），比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定），質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の3つの解析モデルケースについて，固有値解析を実施した。

各モデルの建屋－地盤連成の1次モードにおける固有振動数を表 2-6 に示す。モード図を表 2-7 に示す。なお，質点系モデルの固有値解析結果は，S₀-D 1 に対する結果とする。

建屋模擬モデルと比較用モデルとでは，モデル設定において，鉛直方向の建屋－地盤相互作用の考慮の有無に差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，建屋－地盤相互作用を考慮した建屋模擬モデルの方が，比較用モデルよりも固有振動数が小さくなる傾向である。

建屋模擬モデルと質点系対応モデルとでは，モデル設定において，床を柔とするか剛とすることに差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，床を剛とした質点系対応モデルの方が建屋模擬モデルよりも固有振動数が大きくなる傾向である。

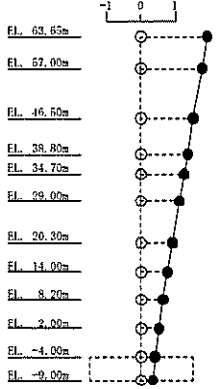
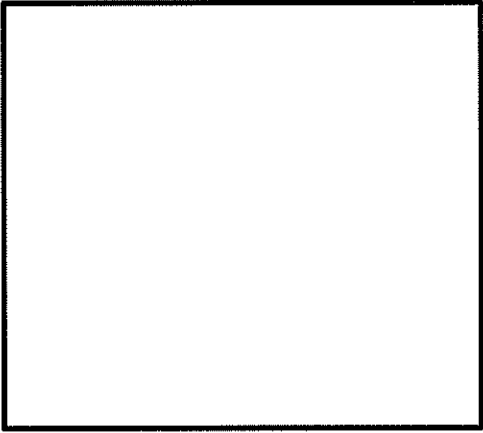
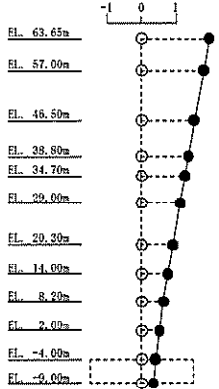
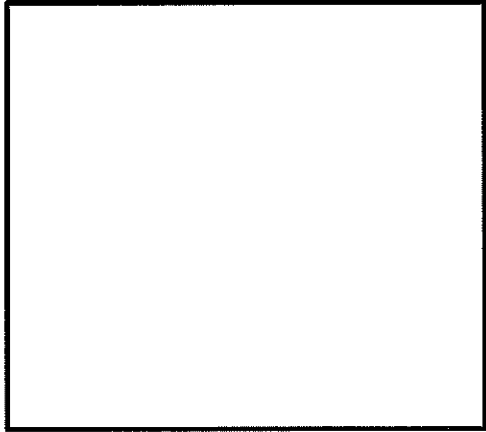
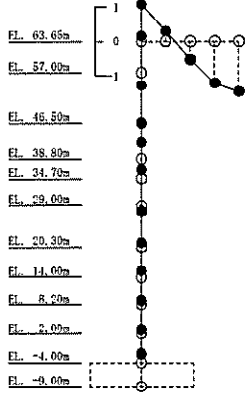
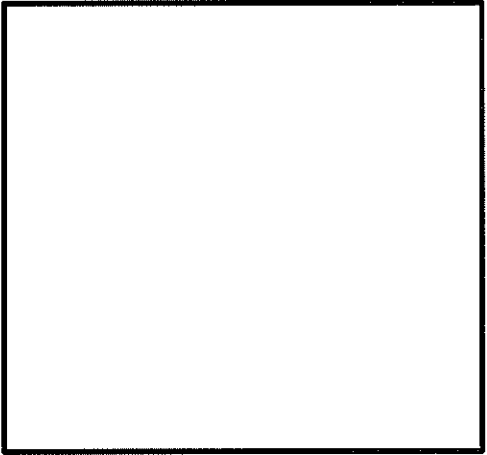
質点系対応モデルと質点系モデルとでは，補助壁のモデル化に差異がある。質点系対応モデルでは，補助壁をモデル化しているが，質点系モデルではモデル化していない。両モデルの固有値解析結果を比較すると，補助壁をモデル化した質点系対応モデルで剛性が質点系モデルより大きくなり，固有振動数も大きくなる傾向が見られる。

上記のモデル設定の差と固有値解析結果で得られた固有振動数の関係については，工学的に類推される結果と対応しており，各モデルの設定は妥当なものと考えられる。

表 2-6 固有値解析結果

方向	振動数 (Hz)			
	建屋模擬 モデル	比較用 モデル	質点系対応 モデル	質点系 モデル
NS	2.45	3.08	2.63	2.54
EW	2.38	2.95	2.60	2.53
UD	3.72	9.04	3.81	3.78

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEMモデルのモード比較

方向	質点系	建屋模擬モデル
NS	<p>1次モード 固有周期 : 0.394 (s) 固有振動数 : 2.54 (Hz) 刺激係数 : 1.936</p>  <p>2.54 Hz</p>	 <p>2.45 Hz</p>
EW	<p>1次モード 固有周期 : 0.396 (s) 固有振動数 : 2.53 (Hz) 刺激係数 : 1.962</p>  <p>2.53 Hz</p>	 <p>2.38 Hz</p>
UD	<p>2次モード 固有周期 : 0.265 (s) 固有振動数 : 3.78 (Hz) 刺激係数 : 1.465</p>  <p>3.78 Hz</p>	 <p>3.72 Hz</p>

2.3 観測記録を用いた検討

2.3.1 観測記録を用いた検討の概要

2011年東北地方太平洋沖地震に対して、3次元FEMモデルを用いて解析を実施する。解析には前述の建屋模擬モデルを用いる。観測記録を用いた検討に用いる使用材料の物性値及び地盤ばねの物性値を表2-8～表2-11に示す。

解析に用いる地震の諸元を図2-9に、地震計位置を図2-10に示す。また、観測記録を元に作成された、解放基盤表面レベル(EL. -370 m)で定義される解放基盤波を図2-11に、解放基盤波を用いて算出した地盤の最大加速度分布と観測記録の比較を図2-12に示す。

観測記録を用いた解析は、はじめに、3次元FEMモデルに地盤ばねを介してホワイトノイズを入力し、周波数応答解析により、基礎底面レベル(EL. -9.0 m)に対する各節点の伝達関数を算定する。次に、一次元波動論に基づき、解放基盤波を用いて算出した基礎底面レベルでの地盤の応答波と周波数応答解析より得られた伝達関数を用いて各節点での応答を評価する。また、3方向同時入力による応答は、水平2方向及び鉛直方向の1方向入力による地震応答解析で算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせることで算出する。応答の算出方法の概要を図2-8に示す。

検討は、地震計を設置しているEL. 46.5 m, EL. 29.0 m, EL. 14.0 m及びEL. -4.0 mの位置での応答解析結果と観測記録とを比較することにより行う。なお、観測記録を用いた解析は、鉄筋コンクリート部の減衰定数を5%、鉄骨部の減衰定数を2%として行う。

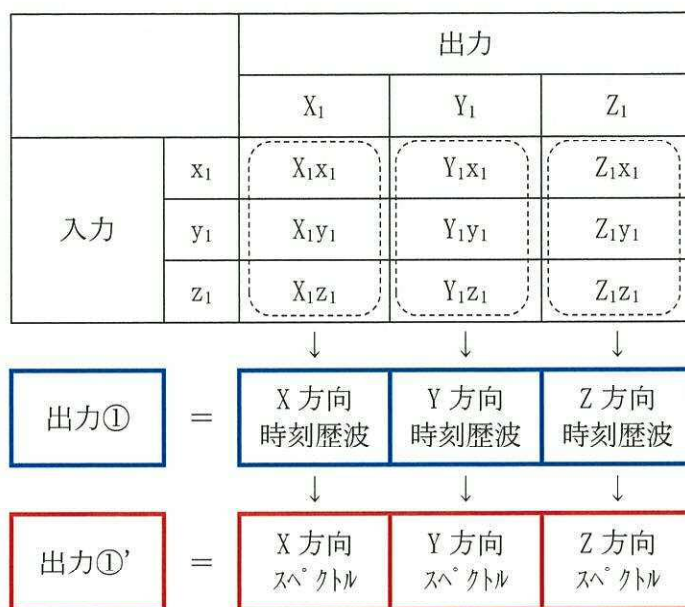


図2-8 3方向同時入力による応答の算出方法

表 2-8 使用材料の物性値

部位	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	2.21×10^4	5
鉄骨部	2.05×10^5	2

表 2-9 底面地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

地盤ばね	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平底面ばね	6.95×10^7 kN/m	3.58×10^6 kN·s/m	6.95×10^7 kN/m	3.59×10^6 kN·s/m

表 2-10 底面地盤ばね定数と減衰係数 (鉛直方向)

地盤ばね		UD 方向	
		ばね定数	減衰係数
上下底面ばね	水平方向加振時	2.55×10^8 kN/m	4.18×10^6 kN·s/m
	鉛直方向加振時	1.16×10^8 kN/m	8.49×10^6 kN·s/m

表 2-11 側面地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

地盤ばね	EL. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平側面ばね	8.0	6.28×10^5 kN/m	2.74×10^5 kN·s/m	6.28×10^5 kN/m	2.74×10^5 kN·s/m
	2.0	1.59×10^6 kN/m	5.98×10^5 kN·s/m	1.59×10^6 kN/m	6.03×10^5 kN·s/m
	-4.0	8.27×10^6 kN/m	9.58×10^5 kN·s/m	8.27×10^6 kN/m	9.56×10^5 kN·s/m
	-9.0	2.14×10^7 kN/m	9.49×10^5 kN·s/m	2.14×10^7 kN/m	9.48×10^5 kN·s/m

地震名	2011年東北地方太平洋沖地震
発生日時	2011年3月11日 14時46分頃*
マグニチュード	9.0*
震源深さ	24 km*
震央距離	270
震源距離	271

注記 * : 気象庁発表値

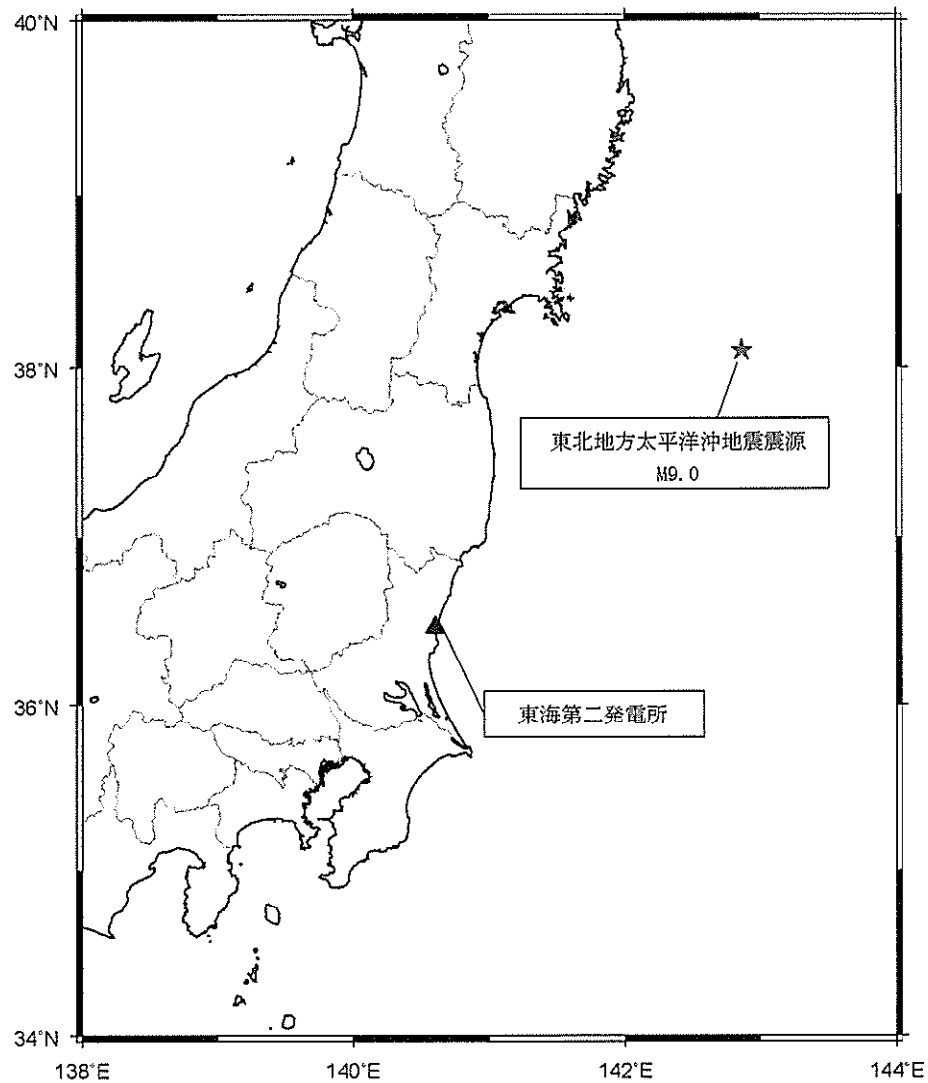
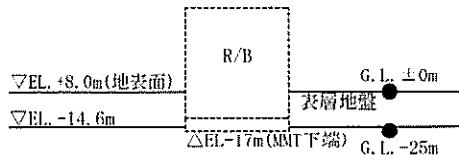
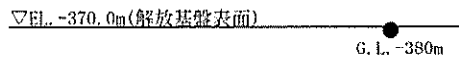


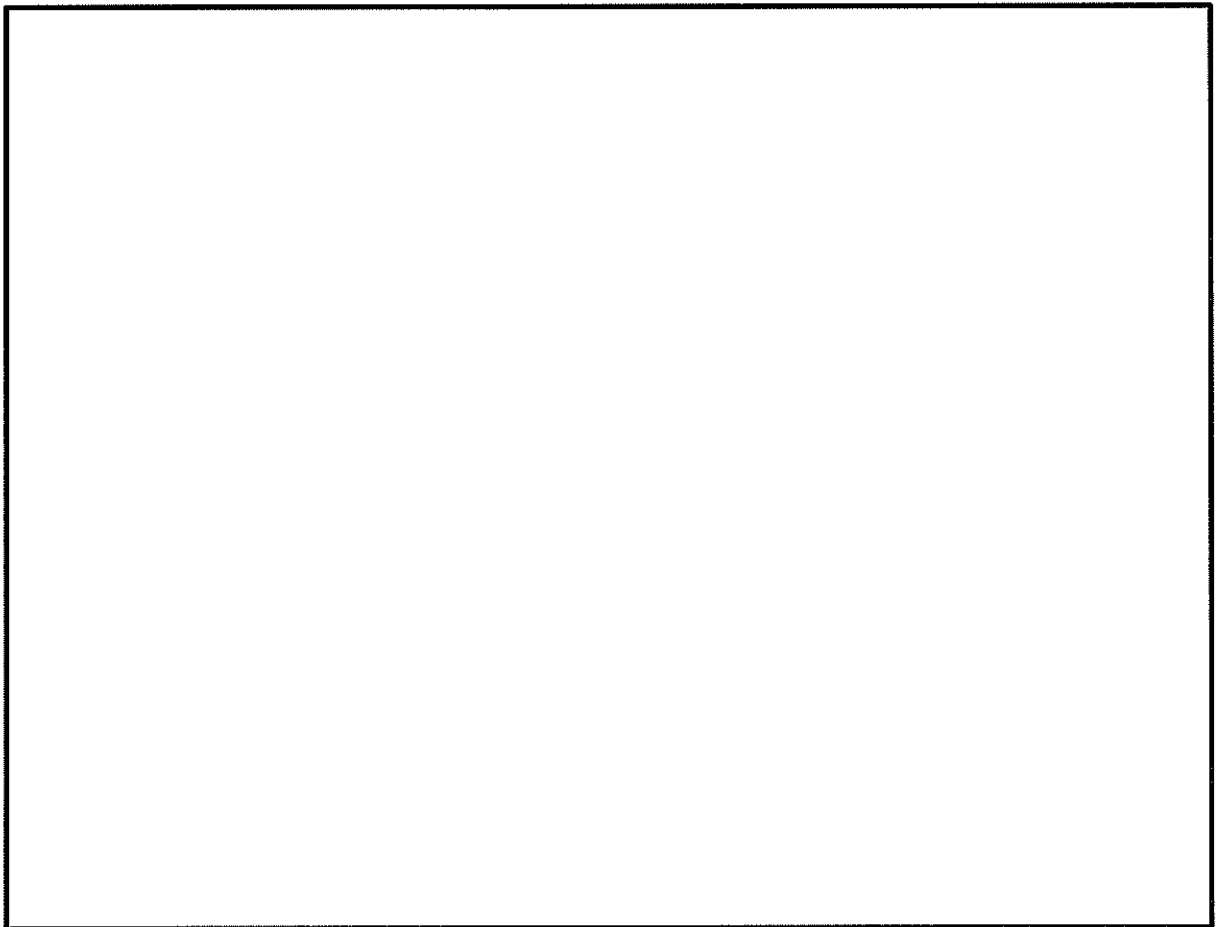
図 2-9 東北地方太平洋沖地震の震央位置



G. L. -200m

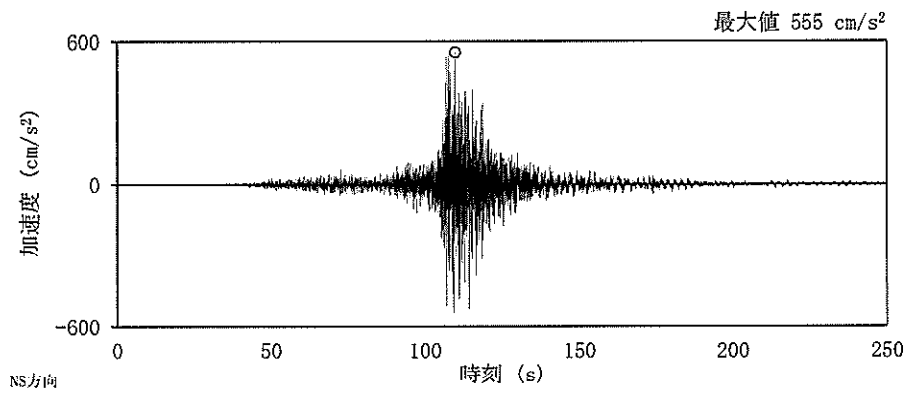


(a) 地盤觀測点

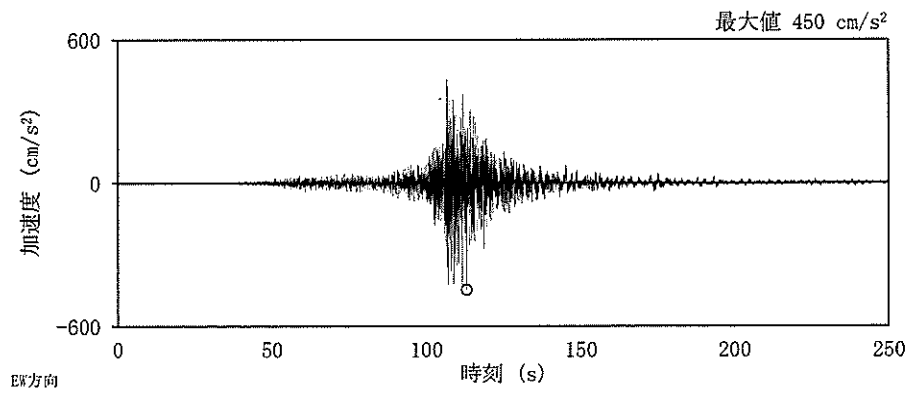


(b) 建屋觀測点

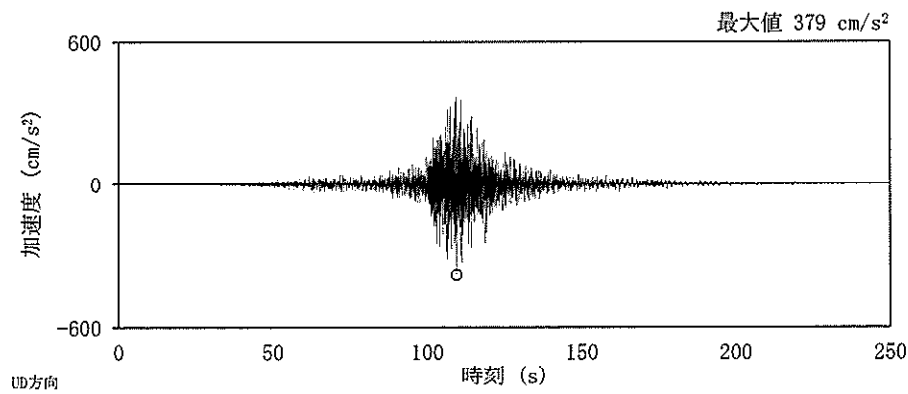
图 2-10 地震計位置



(a) 加速度波形 NS 方向



(b) 加速度波形 EW 方向



(c) 加速度波形 UD 方向

図 2-11 (1/2) 解放基盤表面レベル (EL. -370 m) での解放基盤波