

東海第二発電所

水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について
(耐震)

目 次

1. はじめに
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動
 - 2.1 東海第二発電所の基準地震動 S_s
 - 2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価
 - 3.1 建物・構築物
 - 3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方
 - 3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法
 - 3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出方針
 - 3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針
 - 3.2 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
 - 3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針
 - 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
 - 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
 - 3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの抽出結果及び今後の評価方針
 - 3.3 屋外重要土木構造物
 - 3.3.1 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
 - 3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針
 - 3.3.3 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
 - 3.3.4 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
 - 3.3.5 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 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備における評価対象構造物の抽出及び整理

3.4.2 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

3.4.3 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

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

別紙－1 機器・配管系に関する説明資料

参考資料－1 方向性を考慮していない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針

1. はじめに

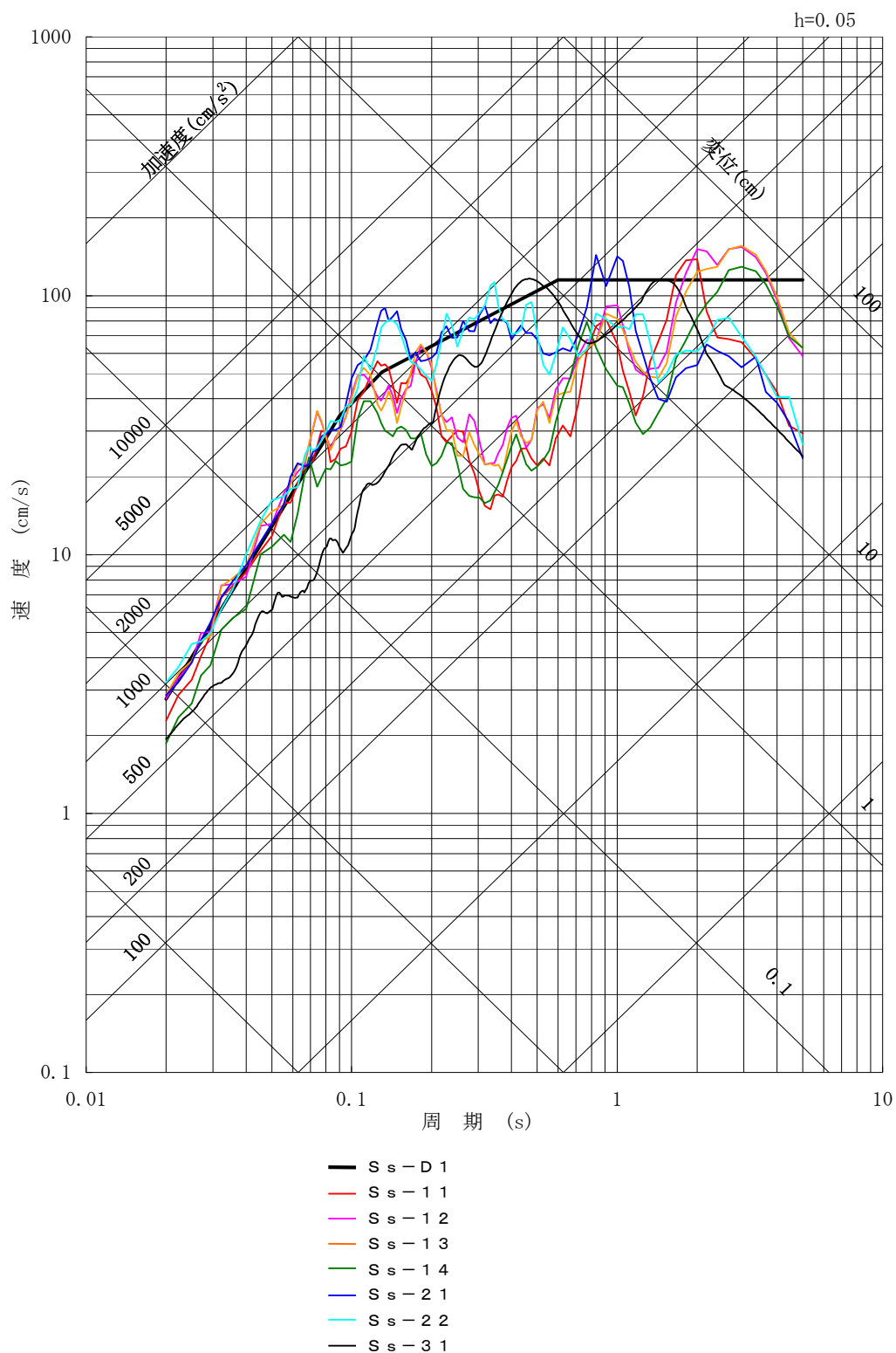
今回、新たに水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震設計に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。本資料は、検討対象施設における評価対象部位の抽出方法と抽出結果、並びに影響評価の方針について記すものである。

2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

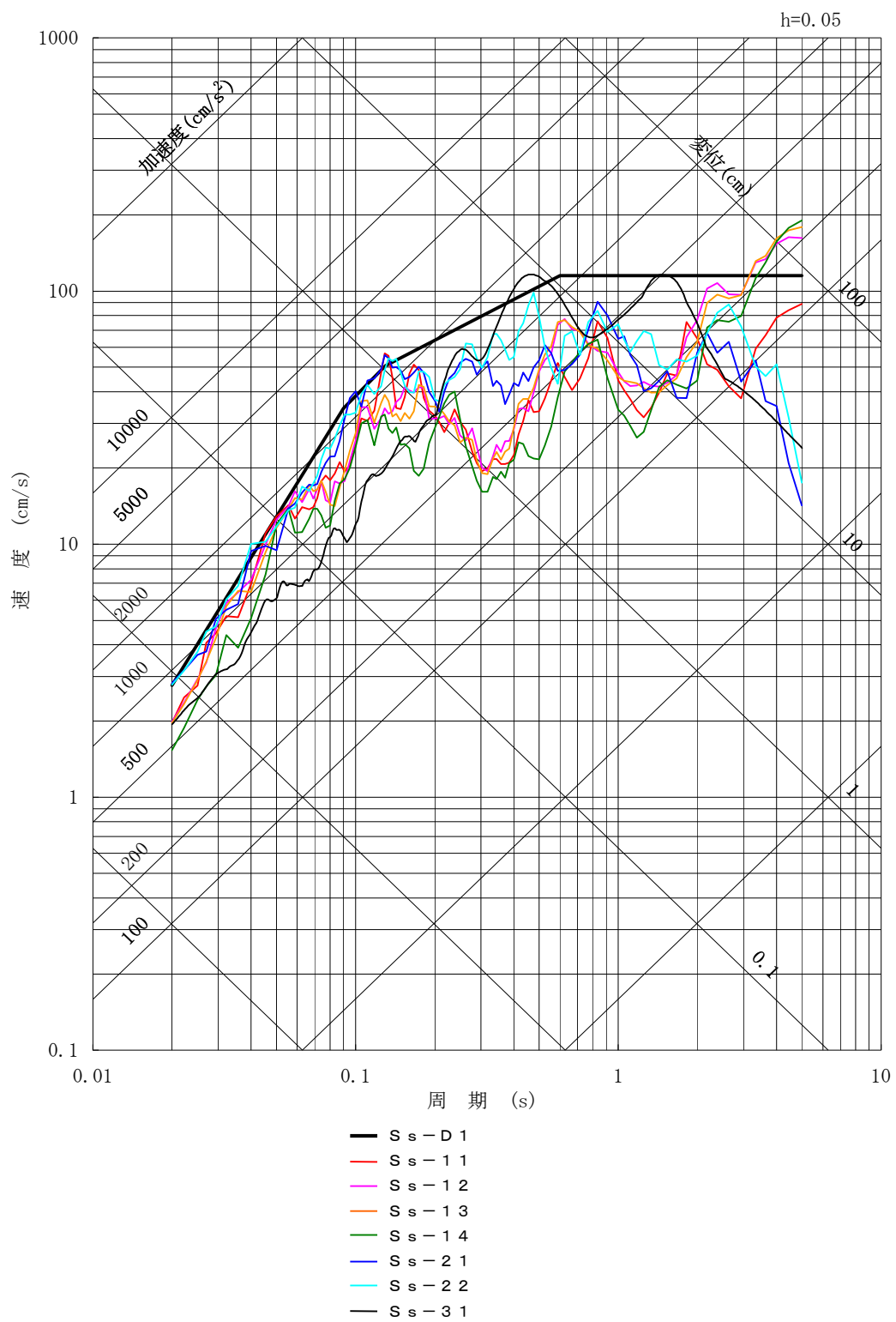
2.1 東海第二発電所の基準地震動 S_s

東海第二発電所の基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、その結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動として基準地震動 $S_s - D1$ ，断層モデルを用いた地震動として $S_s - 11 \sim S_s - 14$ ， $S_s - 21$ ， $S_s - 22$ を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動 $S_s - 31$ を策定している。

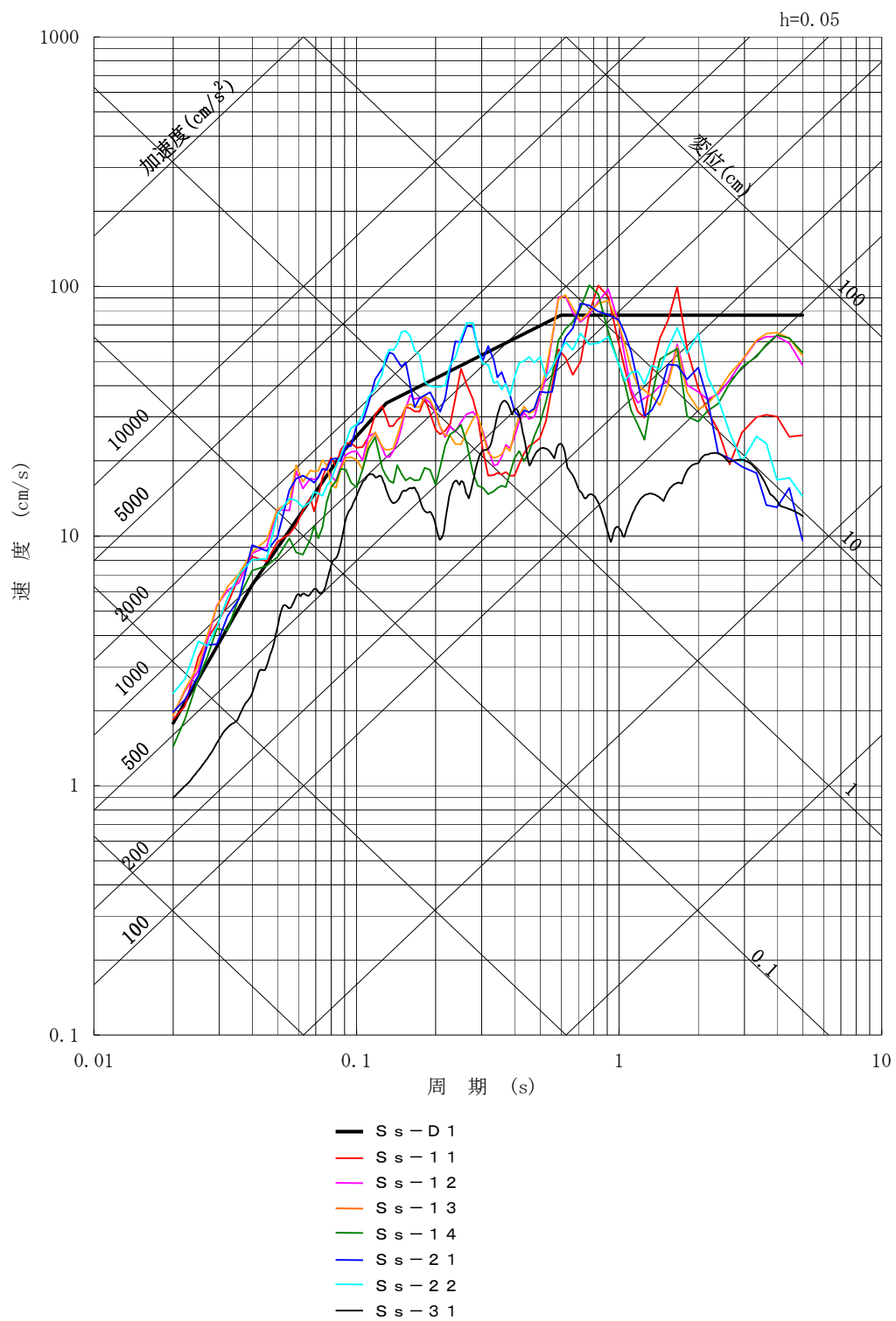
基準地震動 S_s の水平方向のスペクトル図を第 2-1 図に、鉛直方向のスペクトル図を第 2-2 図に示す。



第 2-1 図 (1/2) 基準地震動 S_s の応答スペクトル (NS 方向)



第 2-1 図 (2/2) 基準地震動 S_s の応答スペクトル (E W 方向)



第 2-2 図 基準地震動 S_s の応答スペクトル（鉛直方向）

2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

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

3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

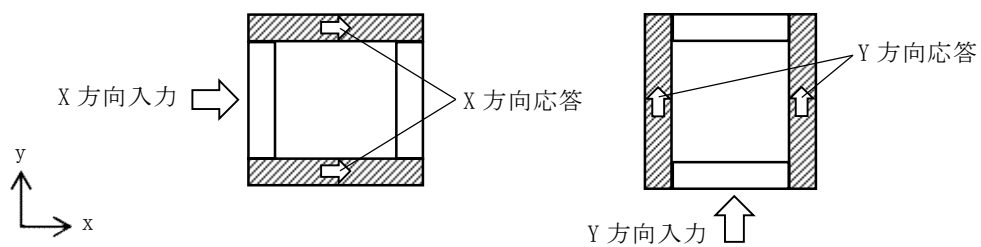
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルに方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子炉施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する 2 方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平 2 方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し、水平 2 方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平 2 方向の入力がある場合の評価は、水平 1 方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

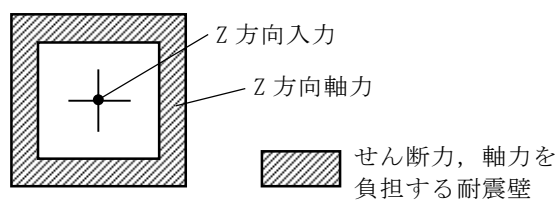
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に生じる軸力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、第 3-1-1 図及び第 3-1-2 図に示す。

従来設計手法における建物・構築物の応力解析による評価は、上記の考え方を踏まえた地震応答解析により算出された応答を、水平 1 方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

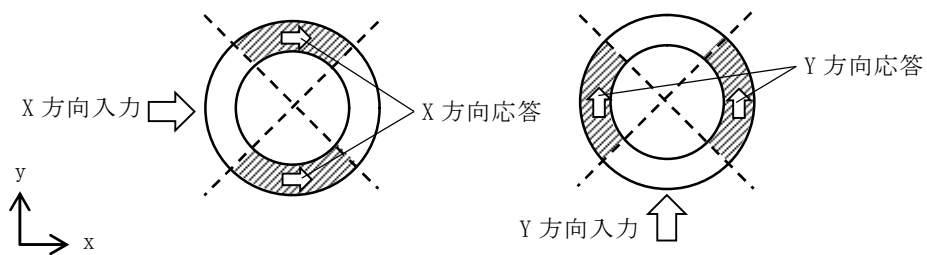


(a) 水平方向

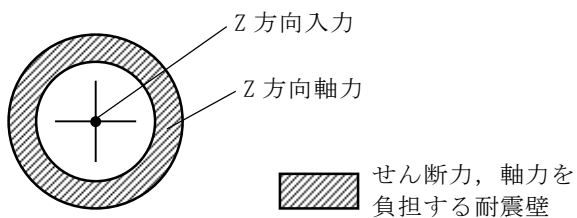


(b) 鉛直方向

第 3-1-1 図 入力方向ごとの耐震要素（矩形）



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 3-1-2 図 入力方向ごとの耐震要素（円筒形）

3.1.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

建物・構築物において、従来設計手法に対して水平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部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備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部位とする。

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性から抽出された水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位は、既往の評価結果の荷重又は応力の算出結果を水平2方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

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

影響評価のフローを第3-1-3図に示す。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(2) 応答特性の整理

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

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(4) 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

従来設計手法におけ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、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3 次元的な応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(5) 3 次元モデルによる精査

3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3 次元モデルを用いた精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3 次元モデルによる精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する 3 次元モデルによる精査を行う建物・構築物は、その重要性、規模、構造特性及び機器評価確認への適用性を考慮し、代表施設を選定する。原子炉建屋は、耐震 S クラスの原子炉棟を含み、建屋規模も大きいいため多くの重要機器を内包している。そのため、3 次元モデルによる精査は、原子炉建屋を代表として行うこととする。

(6) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、従来設計手法の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を用いて評価を行う。水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組合せる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92(注)の「2. Combining

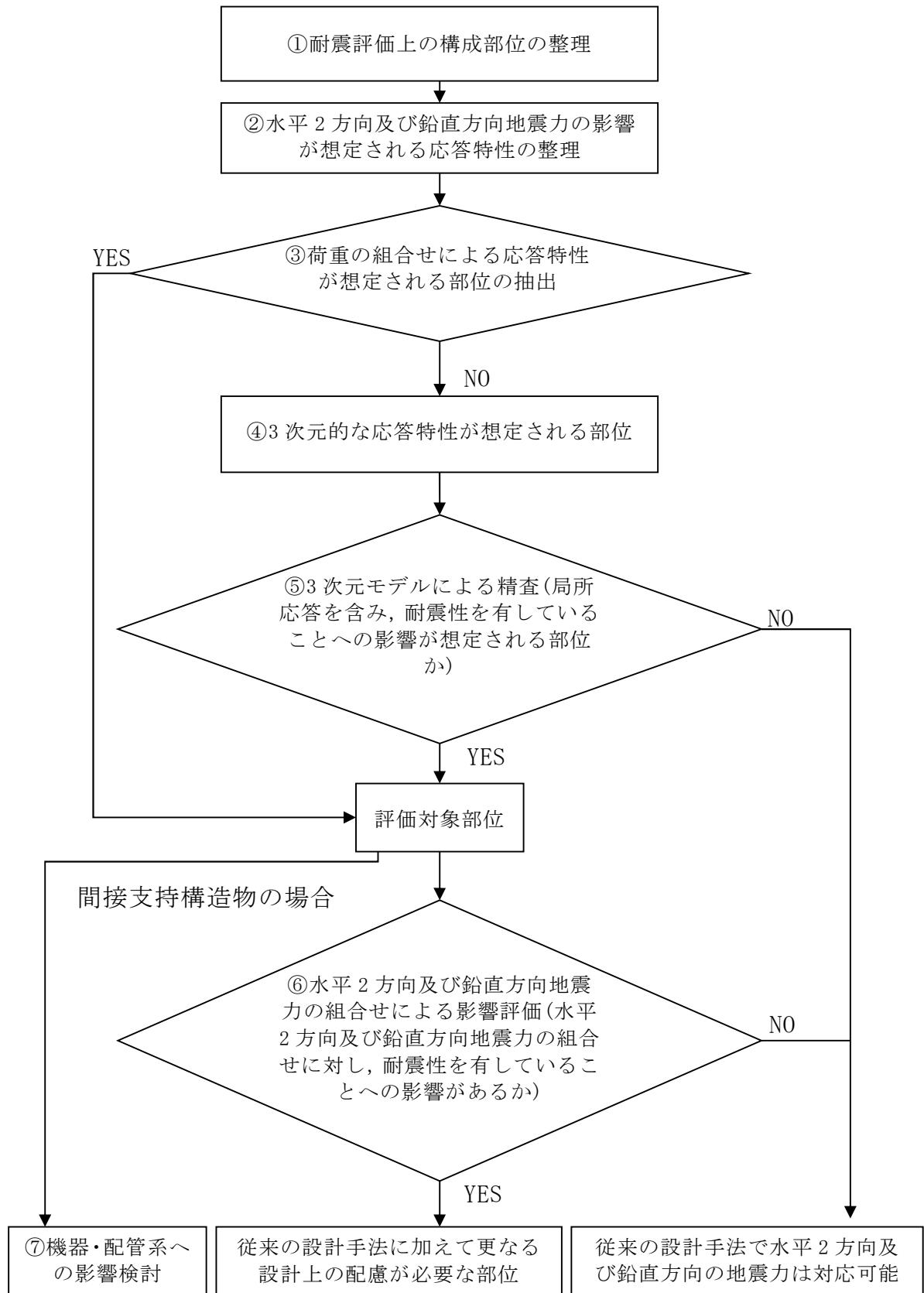
Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法（1.0：0.4：0.4）に基づいて地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震性への影響を評価する。

（注）REGULATORY GUIDE（RG）1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

（7）機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備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・配管系の間接支持機能を有する場合、原子炉建屋の3次元モデルによる精査結果から、水平2方向及び鉛直方向入力時と水平1方向入力時の加速度応答スペクトルを比較し、その傾向から機器・配管系に対する応答値への影響を確認する。



第3-1-3図 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

3.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出方針

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震性評価部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第3-1-1表及び第3-1-2表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力による影響の考え方を第3-1-3表に示す。

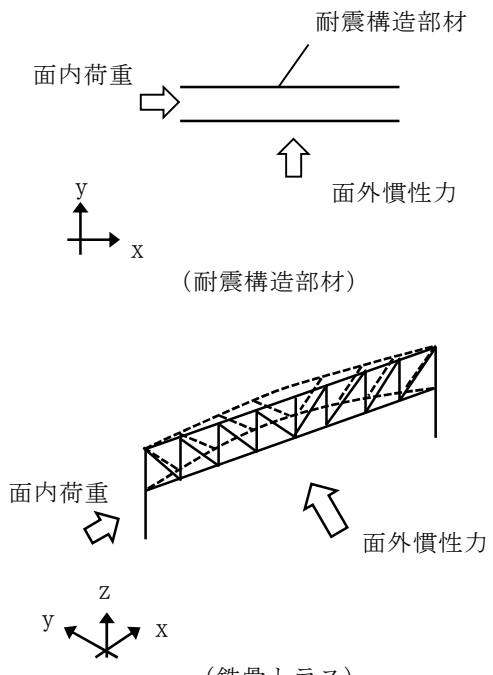
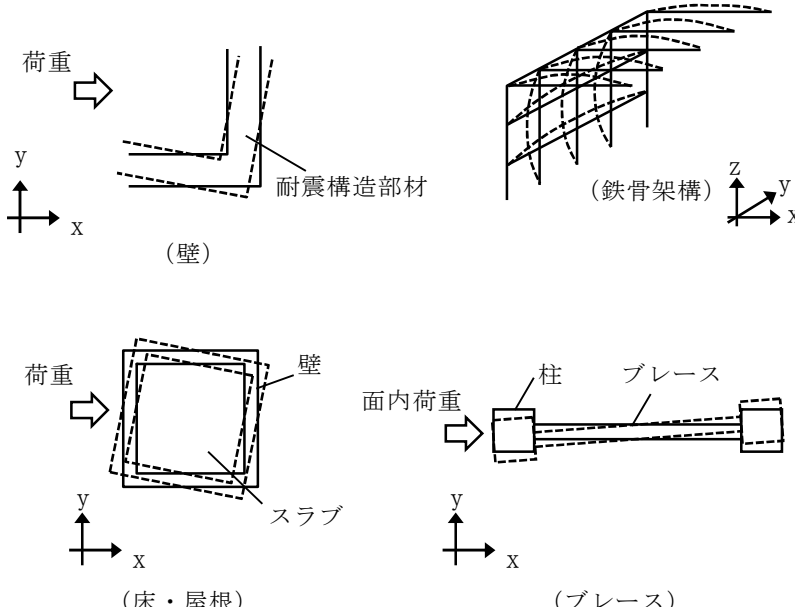
なお、本資料は、一般的に想定される形状を前提として記載しているものであり、詳細設計においては、構造図に基づき各建物・構築物の部位の実状を踏まえ検討を行う。

第 3-1-1 表 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)

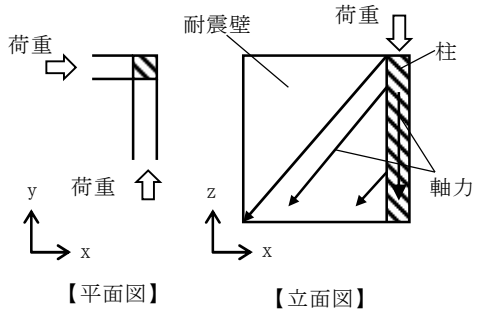
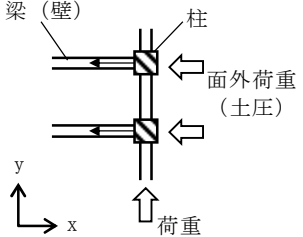
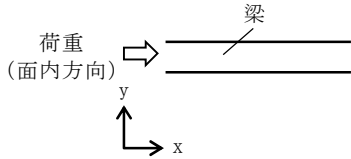
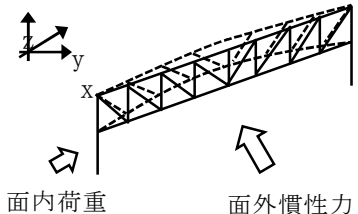
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平2方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p> <p>荷重</p> <p>荷重</p> <p>荷重</p> <p>荷重</p> <p>軸 応力が集中</p> <p>壁</p> <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>荷重</p> <p>応力が集中</p> <p>荷重</p> <p>水平荷重</p> <p>水平荷重</p> <p>(矩形の基礎版)</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水压を負担するプール壁等</p>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

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

(3 次元的な応答特性)

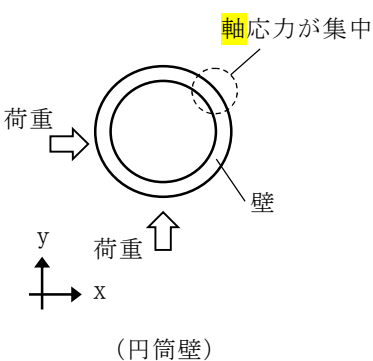
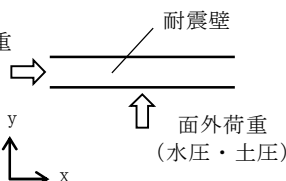
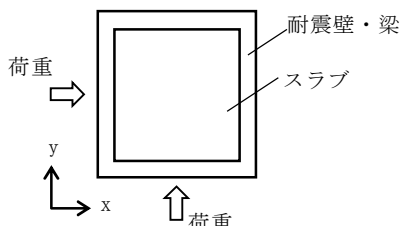
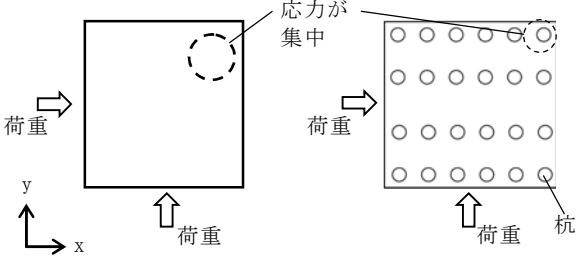
3 次元的な 応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>The diagrams illustrate the response characteristics for a component installed in a large span or open section. The top diagram shows a horizontal seismic component with an in-plane load (面内荷重) indicated by a right-pointing arrow and an out-of-plane inertial force (面外慣性力) indicated by an upward arrow. A coordinate system with x and y axes is shown. The bottom diagram shows a steel truss (鉄骨トラス) with an in-plane load (面内荷重) indicated by a right-pointing arrow and an out-of-plane inertial force (面外慣性力) indicated by an upward arrow. A coordinate system with x, y, and z axes is shown.</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方に励起される振動</p>	<p>塔状構造物を含む，ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>The diagrams illustrate torsional behavior in buildings and structures. The top left diagram shows a wall (壁) with a load (荷重) indicated by a right-pointing arrow and a coordinate system with x and y axes. The top right diagram shows a steel frame (鉄骨架構) with a coordinate system with x, y, and z axes. The bottom left diagram shows a floor/roof (床・屋根) with a wall (壁) and slab (スラブ), with a load (荷重) indicated by a right-pointing arrow and a coordinate system with x and y axes. The bottom right diagram shows a braced frame (ブレース) with a column (柱) and brace (ブレース), with an in-plane load (面内荷重) indicated by a right-pointing arrow and a coordinate system with x and y axes.</p>

第 3-1-3 表 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 (1/2)

耐震評価上の構成部位		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>  <p>【平面図】 【立面図】</p>
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向（土圧）の荷重が作用する。ただし，外周部耐震壁付のため，水平入力による影響は小さい。また，土圧が作用する方向にある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>大スパン又は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>大スパン又は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> 

第 3-1-3 表 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 (2/2)

耐震評価上の構成部位		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>(耐震壁)</p>
	鉄骨 ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり，ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床・ 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及び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)</p> <p>(スラブ)</p>
基礎	矩形 杭基礎	<p>直交する水平 2 方向の地震力により，集中応力が作用する。</p>  <p>(矩形基礎)</p> <p>(杭基礎)</p>

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出方針

耐震評価上の構成部位のうち，第3-1-1表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か否かの考えを纏め，影響が想定される部位の抽出方針を示す。

a. 柱

建物・構築物の隅柱は，①-1「直交する水平2方向の荷重が，応力として集中」の部位として抽出した。ただし，耐震壁付隅柱の場合，軸力が耐震壁に分散されることから該当しない。

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柱が考えられるが，通常は耐震壁に囲まれており，耐震壁が面内の荷重を負担するため，地下外周柱は面内の荷重を負担しないため，該当しない。

b. 梁

梁の一般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梁が考えられるが，通常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

容器を囲む円型遮蔽壁の様に、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、建物・構築物の地下外壁及びプール側壁を、①－2 に該当するものとして抽出する。

なお、隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突可否判断が基本となる。

そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、梁）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

d．床及び屋根

床及び屋根については、通常、四辺が壁又は梁で拘束されているために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、矩形の基礎板及び杭基礎が考えられる。

矩形の基礎板については、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する。また、杭基礎についても、①－1 に該当するものとして抽出する。

また、①－2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

の部位としては、基礎は該当しない。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

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い部位についても、第3-1-3表に示す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組合せによる影響が想定される部位か否かの考えを纏め、影響が想定される部位の抽出方針を示す。

a. 柱

(3)で抽出されている以外の柱は当然両方向に対して断面算定が実施されている。そのため、面外慣性力の影響も考慮されており、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。

建物・構築物は、鉄筋コンクリート造耐震壁又は鉄骨造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が存在したとしても、その場合には、通常、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。

b. 梁

梁一般部及び地下部は、通常、剛性の高い床や耐震壁が付帯し、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、通常、直交方向にトラスや繋ぎ梁が存在し、面外慣性力を負担する。1方向にしかトラスが存在し

ない場合、②－1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位に該当するものとして抽出する。また、塔状構造物の水平材については、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」の部位に該当するものとして抽出する。

c．壁

(3)で抽出されている以外の壁については、通常、直交方向に壁又は大梁を配置した設計がなされ、また、ねじれのない構造設計がなされるため、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。

塔状構造物の斜材については、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」の部位に該当するものとして抽出する。

なお、隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突可否判断が基本となる。

そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱，梁）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

d．床及び屋根

床及び屋根については、通常、釣合いよく壁を配置した設計がなされるため、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

矩形の基礎及び杭基礎は、(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。

(5) 3次元モデルによる精査の方針

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評価部位については、代表評価部位にて3次元モデルによる精査を行う。

3次元モデルを用いた精査は、水平2方向及び鉛直方向を同時入力時の応答の水平1方向入力時の応答に対する増分を確認することとする。

局所応答に対する3次元モデルによる精査を行う建物・構築物は、その重要性、規模、構造特性及び機器評価確認への適用性を考慮し、原子炉建屋とする。原子炉建屋は、耐震Sクラスの原子炉棟を含み、建屋規模も大きいため多くの重要機器を内包しているため代表施設として選定した。評価に用いる地震動については、「2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動」に基づき、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる。

3.1.4 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

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で、水平 2 方向及び鉛直方向の同時入力による評価を行わない部位については、建物・構築物の重要性、規模及び構造特性の観点から代表評価部位を選定し、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する。評価にあたっては、従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を用いることとする。

また、影響評価は水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価又は基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組合せる方法として、米国 REGULATORY GUIDE1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）に基づいた評価により実施する。

組合せ係数法の妥当性については、念のため代表施設において水平 2 方向及び鉛直方向同時入力との応力比較を実施する。

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の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_s 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。

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。

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。また、耐震Bクラス設備については共振のおそれのあるものを評価対象とする。

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の可能性のある設備（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_s を対象とするが、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係、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_s 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第3-2-1図に示す。

なお、耐震評価は基本的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、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）を適用し、各方向からの地震入力による各方向の応答を組み合わせる。

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、共振のおそれのある耐震Bクラス施設を評価対象とし、代表的な機種ごとに分類し整理する（第3-2-1図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方向の地震力が重複する観点、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のある設備を抽出する（第3-2-1図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。

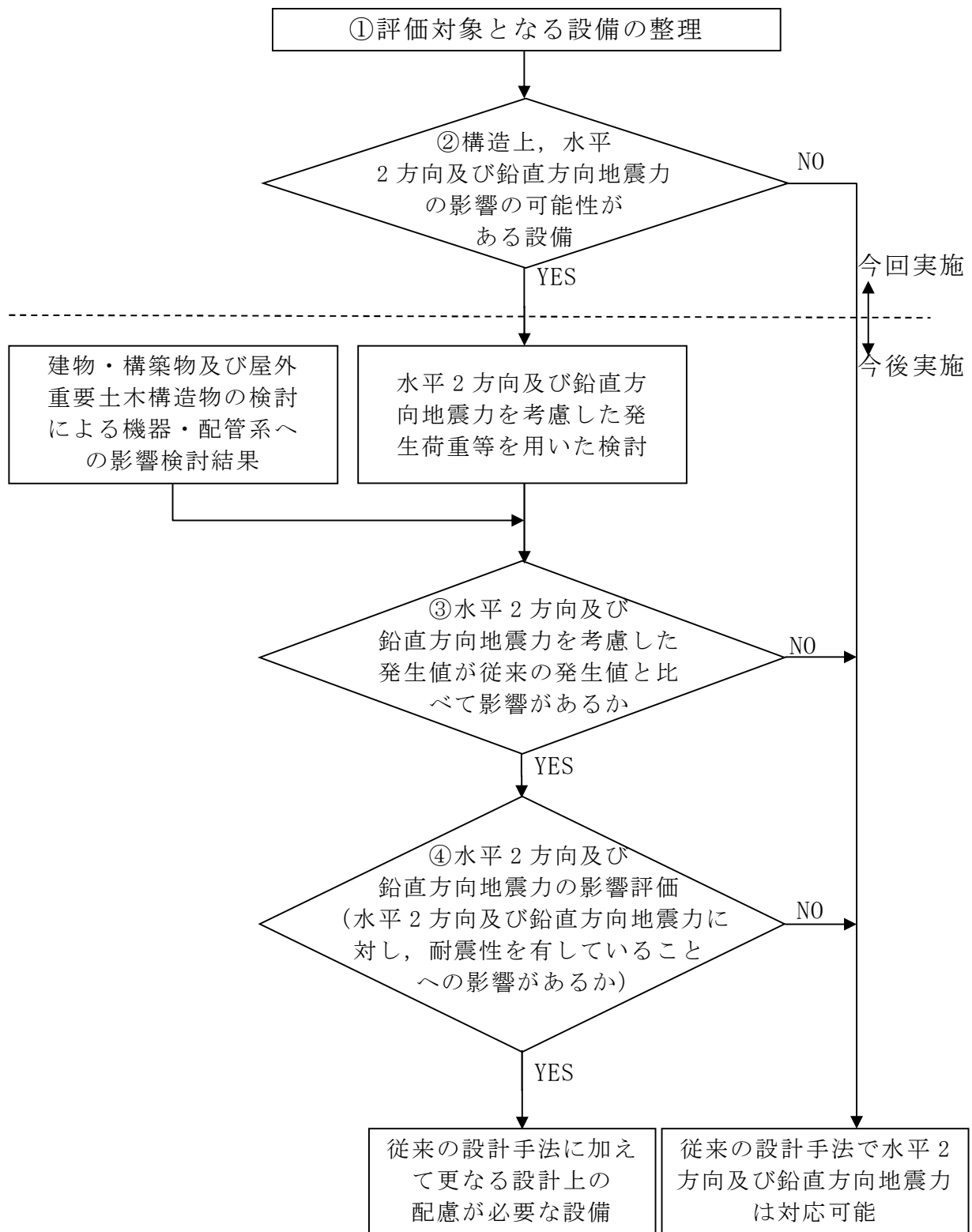
また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

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（第 3-2-1 図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（第 3-2-1 図④）。

なお、現時点においては、各機器の耐震性に関する詳細検討が完了していないことから、上記①及び②を実施し、今後、詳細検討の進捗に伴い③及び④を実施することとする。



第3-2-1図 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

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、第3-2-1表に示す。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方向の地震力が重複する観点より検討し、影響の可能性がある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

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複した場合、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。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、今後詳細検討においては水平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 of 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（別紙1参照）。

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(別紙 1 参照)。

- 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(別紙 1 参照)。

- 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。

3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果及び今後の評価 方針

3.2.4で抽出した結果を別紙1に示す。これらの設備に関して、今後3.2.3③「発生値の増分等による抽出」に記載の方法に従い発生値の増分から評価対象部位の抽出を行った上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討結果より機器・配管系の耐震性への影響を与えると判断された設備についても同様に発生値の増分の観点から評価対象部位の抽出を行った上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

第3-2-1表 水平2方向入力の影響検討対象設備

設 備		部 位	応力分類
炉心支持構造物	炉心シュラウド	下部胴	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			支圧応力
	シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			軸圧縮応力
		シリンダプレート 下部胴	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
	上部格子板	グリッドプレート	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
	炉心支持板	補強ビーム 支持板	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
原子炉压力容器	円筒胴 下鏡	炉心回り円筒胴 下鏡 下鏡と胴板の接合部 下鏡とスカートの接合部	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
			一次＋二次＋ピーク応力
	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	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
			一次＋二次＋ピーク応力
	中性子計測ハウジング貫通部	ハウジング	座屈（軸圧縮）
			一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
			一次＋二次＋ピーク応力
	ノズル	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
			一次＋二次＋ピーク応力
	ブラケット類	原子炉压力容器スタビライザブラ ケット	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
		炉心スプレイブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
		給水スパージャブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
原子炉压力容器 支持構造物	支持スカート	スカート	純せん断応力
			一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
			一次＋二次＋ピーク応力
			座屈（軸圧縮）
	原子炉压力容器基礎ボルト	基礎ボルト	引張応力
			せん断応力
			組合せ応力

※1 本表は、詳細設計時等の進捗に応じて見直しを行う。

設 備		部 位	応力分類
原子炉圧力容器 付属構造物	格納容器スタビライザ 原子炉圧力容器スタビライザ	トラス ロッド ディスクスプリング支持板	引張応力
			せん断応力
			圧縮応力
			曲げ応力
			組合せ応力
	制御棒駆動機構ハウジングレ ストレイントビーム	レストレイントビーム	せん断応力
			圧縮応力
			曲げ応力
原子炉圧力容器 内部構造物	蒸気乾燥器ユニット	ユニット	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
	耐震用ブロック	耐震用ブロック	せん断応力
		気水分離器及びスタンドパイ プ シュラウドヘッド	各部位
			一次膜応力＋一次曲げ応力
	スパージャ 炉内配管	各部位	一次一般膜応力
一次膜応力＋一次曲げ応力			
使用済燃料貯蔵ラック (共通ベース含む)	ラック部材		引張応力
			せん断応力
			組合せ応力
	基礎ボルト ラック取付ボルト		引張応力
			せん断応力
			組合せ応力
四脚たて置き円筒形容器	胴板		一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
	脚		組合せ応力
	基礎ボルト		引張応力
			せん断応力
組合せ応力			
横置円筒形容器	胴板		一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
	脚		組合せ応力
	基礎ボルト		引張応力
			せん断応力
組合せ応力			
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング		一次一般膜応力
	基礎ボルト 取付ボルト		引張応力
			せん断応力
ECCSストレーナ	各部位（ボルト以外）		一次膜応力＋一次曲げ応力
			ボルト
横形ポンプ 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		引張応力
			せん断応力
			組合せ応力

設 備		部 位	応力分類
水圧制御ユニット	フレーム		引張応力
			せん断応力
			圧縮応力
			曲げ応力
			組合せ応力
	取付ボルト		引張応力
せん断応力			
組合せ応力			
平底たて置円筒容器	胴板		一次一般膜応力
			一次＋二次応力
	基礎ボルト		引張応力
			せん断応力
組合せ応力			
核計装設備	各部位		一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
伝送器（壁掛）	取付ボルト		引張応力
			せん断応力
			組合せ応力
伝送器（円形壁掛）	取付ボルト		引張応力
伝送器（円形吊下）	取付ボルト		引張応力
制御盤	取付ボルト		引張応力
			せん断応力
			組合せ応力
原子炉格納容器	サブプレッションチェンバ底部ライナ	ライナプレート リングガータ部	圧縮ひずみ
			引張ひずみ
	ドライウエルトップヘッド	頂部 不連続部 フランジ付根部	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
	ドライウエル円錐部及びサブプレッションチェンバ円筒部 シェル部及びサンドクッション部	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
	ドライウエルビームシート	各部位	引張応力
			せん断応力
			圧縮応力
			曲げ応力
			組合せ応力
	ビームシート		一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
	ドライウエル上部シアラグ及びスタビライザ ドライウエル下部シアラグ及びスタビライザ	各部位	引張応力
			せん断応力
			曲げ応力
			組合せ応力
		上部シアラグと格納容器胴との接合部 下部シアラグと格納容器胴との接合部	一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
	ドライウエルスプレイヘッダ	案内管直管部 案内管エルボ部	一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
	パーソナルエアロック イクイブメントハッチ サブプレッションチェンバ・アクセスハッチ	パーソナルエアロック（イクイブメントハッチ、サブプレッションチェンバアクセスハッチ）本体と補強板との接合部 補強板と格納容器胴一般部との接合部	一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力

設 備		部 位	応力分類
原子炉格納容器	原子炉格納容器胴アンカー部	各部位	引張応力
			曲げ応力
			圧縮応力
			組合せ応力
	コンクリート	せん断応力度	
	原子炉格納容器配管貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブ接合部	一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ付根部	一次膜応力＋一次曲げ応力	
	補強板付根部	一次＋二次応力	
ダイヤフラムフロア		構造用スラブ	引張応力度
			せん断応力度
			圧縮応力度
		大ばり 小ばり	曲げ応力
		せん断応力	
		柱	圧縮応力
		シャーコネクタ	せん断応力
ベント管	上部 ブレージング部	一次膜応力＋一次曲げ応力	
		一次＋二次応力	
格納容器スプレイヘッダ		スプレイ管部 ディー部 案内管部	一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロウ		ブレース	圧縮応力
		ベース取付溶接部	引張応力
			せん断応力
		基礎ボルト 取付ボルト	引張応力
			せん断応力
非常用ディーゼル発電機		基礎ボルト 取付ボルト	組合せ応力
			引張応力
			せん断応力
スカート支持たて置円筒形容器		胴板	一次一般膜応力
			一次＋二次応力
		スカート	組合せ応力
			座屈
		基礎ボルト	引張応力
			せん断応力
組合せ応力			
プレート式熱交換器		側板	一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
			一次＋二次応力
		脚	組合せ応力
			引張応力
			せん断応力
ラグ支持たて置き円筒形容器		胴板	組合せ応力
			一次一般膜応力
			一次膜応力＋一次曲げ応力
		ラグ	一次＋二次応力
			組合せ応力
			基礎ボルト
せん断応力			
組合せ応力			

設 備	部 位	応力分類
その他電源設備	取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
配管本体、サポート（多質点梁モデル解析）	配管、サポート	一次応力
		一次＋二次応力
矩形構造の架構設備（静的触媒式水素再結合装置、架台を含む）	各部位	各応力分類
通信連絡設備（アンテナ）	ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
水位計	取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
監視カメラ	取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	据付部材	組合せ応力
貫通部止水処置	シーล材	シールに生じる変位
浸水防止蓋	蓋	曲げ応力
		せん断応力
		組合せ応力
	基礎ボルト	せん断応力
逆流防止逆止弁	各部位	各応力分類
原子炉ウェル遮へいプラグ	本体	せん断応力度
原子炉本体の基礎	円筒部 中間スラブ	引張応力度
		圧縮応力度
		せん断応力度
	下層円筒基部	引張応力度
		せん断応力度
		曲げ応力度
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	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	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)	せん断応力
		吊具荷重
建屋クレーン	クレーン本体ガーダ	せん断応力
		曲げ応力
		浮上り量
	落下防止金具	圧縮応力
	トロリストッパ	圧縮応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	トロリ	浮上り量
原子炉遮へい壁	一般胴部 開口集中部	吊具荷重
		せん断応力
		圧縮応力
		曲げ応力
		組合せ応力

3.3 屋外重要土木構造物

3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

従来設計手法の考え方について、RC構造物である取水構造物を例に第3-3-1表に示す。

一般的な地上構造物では、躯体の慣性力が主たる荷重であるのに対し、屋外重要土木構造物は、概ね地中に埋設されているため、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。また、屋外重要土木構造物は、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有することから、3次元的な応答の影響は小さいため、2次元断面での耐震評価を行っている。

屋外重要土木構造物は、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。

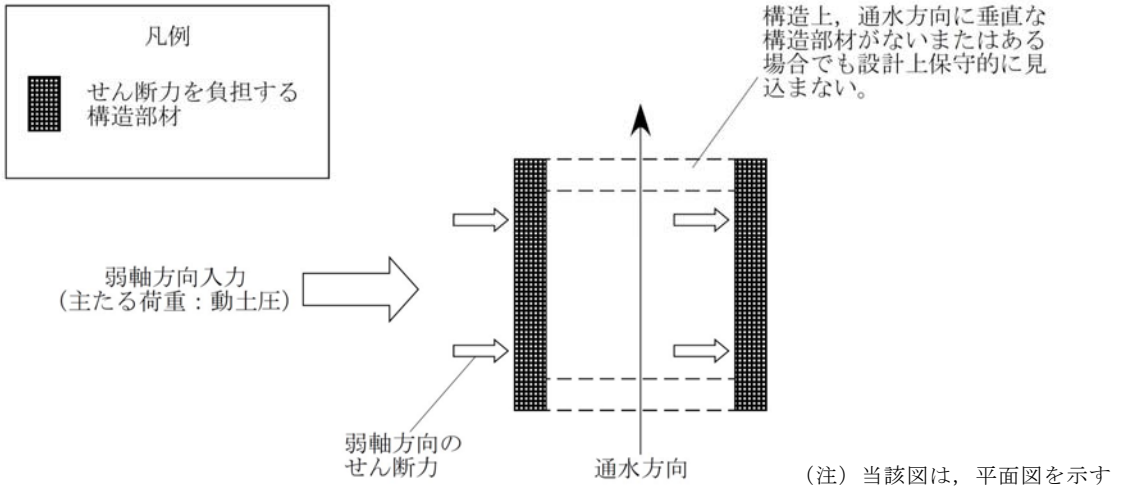
強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平1方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

第3-3-1図に示すとおり、従来設計手法では、屋外重要土木構造物の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受けもつよう設計している。

なお、屋外重要土木構造物のうち、既設構造物は取水構造物と屋外二重管（基礎部除く）であり、それ以外の構造物は新設構造物である。ここでは、既設構造物、新設構造物の両方について検討を行う。

第 3-3-1 表 従来設計における評価対象断面の考え方（取水構造物の例）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計 の評価対 象断面の 考え方	<p>取水方向</p> <p>加振方向</p> <p>加振方向に平行な壁部材が少ない</p> <p>A-A 断面</p> <p>B-B 断面</p>	<p>取水方向</p> <p>加振方向</p> <p>加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことができる</p> <p>A-A 断面</p> <p>B-B 断面</p>



第 3-3-1 図 従来設計手法の考え方

3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

屋外重要土木構造物において、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構造物の評価を行う。

評価対象は、屋外重要土木構造物である、取水構造物及び屋外二重管並びに波及影響防止のために耐震評価する土木構造物とする。また、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間接支持構造物のうち常設代替高圧電源装置置場、常設代替高圧電源装置用カルバート、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、緊急用海水ポンプピット、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎及び可搬型設備用軽油タンク基礎並びに重大事故時における海水の通水構造物のうちS A用海水ピット取水塔、海水引込み管、S A用海水ピット及び緊急用海水取水管も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める。

屋外重要土木構造物を構造形式ごとに分類し、構造形式ごとに作用すると考えられる荷重を整理し、荷重が作用する構造部材の配置等から水平2方向及び鉛直方向地震力による影響を受ける可能性のある構造物を抽出する。

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、水平2方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

構造物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。

3.3.3 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

屋外重要土木構造物において、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構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを第3-3-2図に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

評価対象構築物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式ごとに大別する。

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

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抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造物形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式ごとにどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される構造形式を抽出する。

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で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

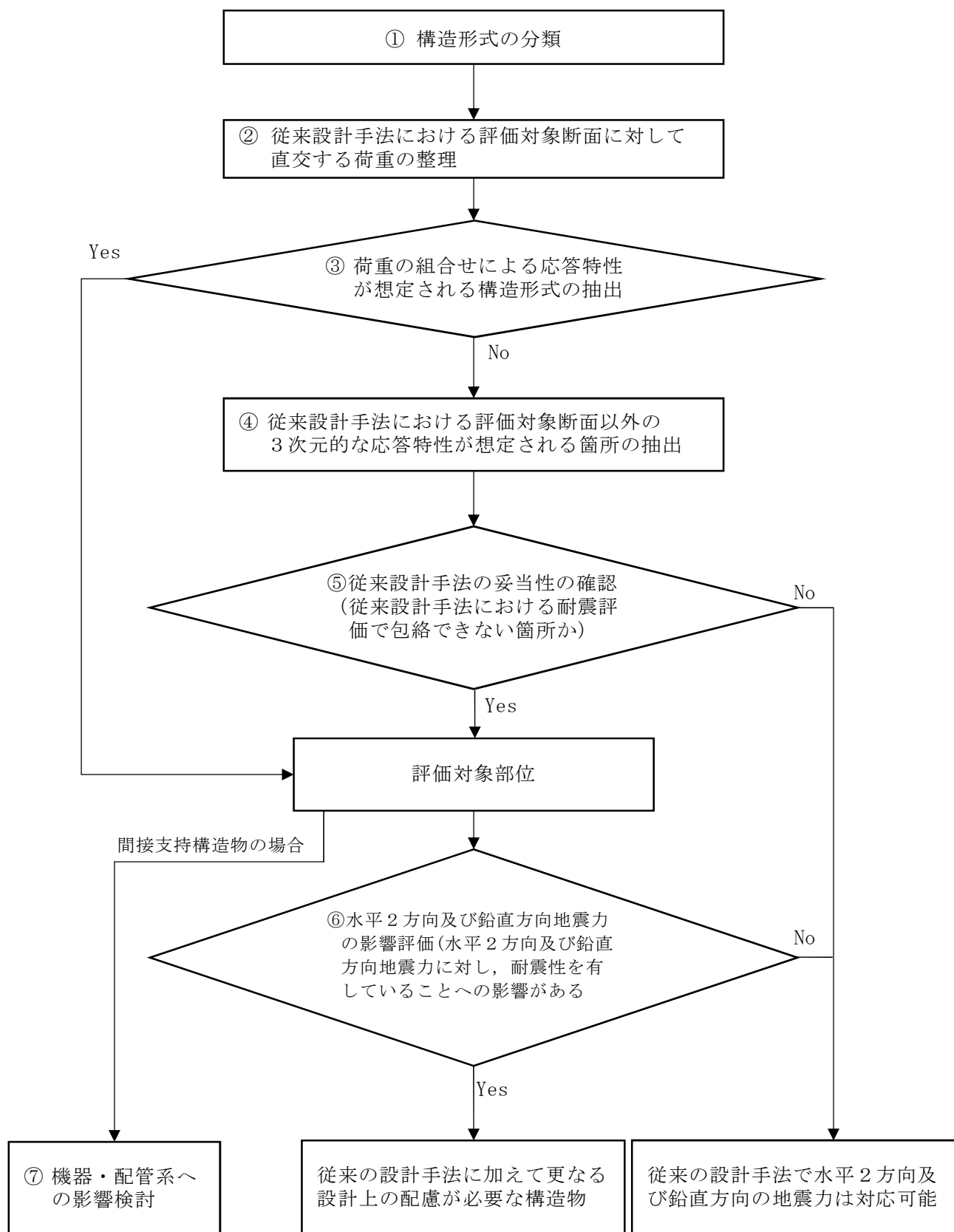
評価対象部位については、屋外重要土木構造物が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平 2 方向の影響の程度を踏まえて選定する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された構造物が、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・配管系の間接支持構造物である場合、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、④及び⑤の精査にて、屋外重要土木構造物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。



第3-3-2図 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

3.3.4 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) 構造形式の分類

第3-3-3図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、常設代替高压電源装置置場、常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部）、常設低压代替注水系ポンプ室、緊急用海水ポンプピット、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎及び可搬型設備用軽油タンク基礎のような箱型構造物、2)常設代替高压電源装置用カルバート（トンネル部、カルバート部）、常設低压代替注水系配管カルバート及び格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートのような線状構造物、3)代替淡水貯槽、S A用海水ピット取水塔及びS A用海水ピットのような円筒状構造物、4)屋外二重管基礎コンクリートのような梁状構造物、5)取水構造物、屋外二重管、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎及び可搬型設備用軽油タンク基礎の鋼管杭基礎、並びに 6)屋外二重管、海水引込み管及び緊急用海水取水管のような管路構造物の6つに大別される。



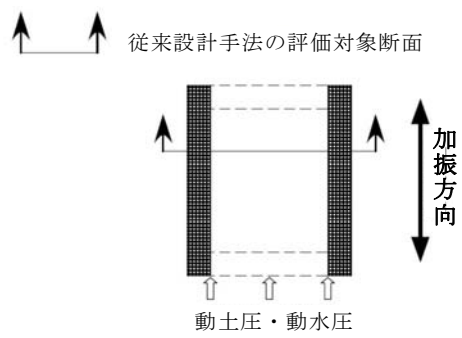
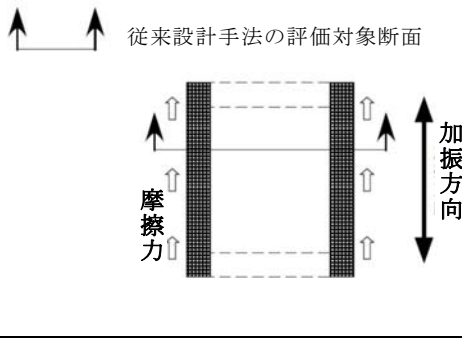
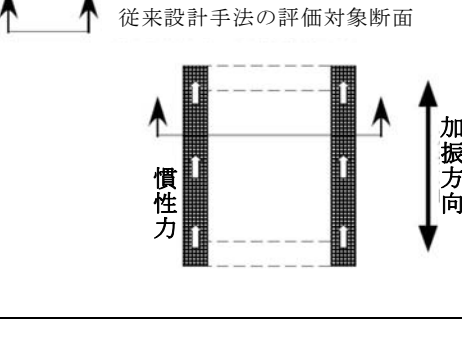
第 3－3－3 図 屋外重要土木構造物配置図

(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

第3-3-2表に、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。

第3-3-2表 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	
④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	
⑦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

第 3-3-3 表に、3.3.4(1)で整理した構造形式毎に、3.3.4(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。3.3.4(2)で整理した荷重のうち①摩擦力や②慣性力は、③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、③動土圧及び動水圧による影響を考慮する。

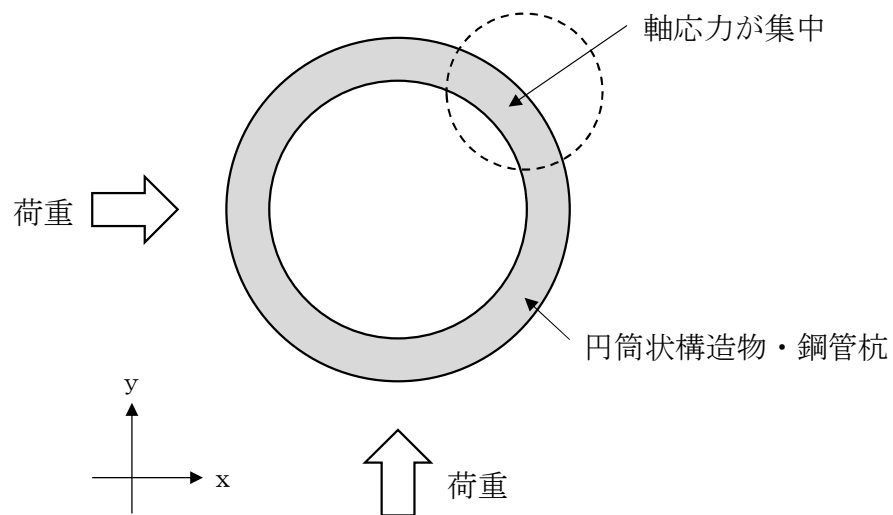
線状構造物については、その構造上の特徴として、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さない若しくは妻側（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する③動土圧及び動水圧は作用しない。

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③動土圧及び動水圧が作用する。

同様に、梁状構造物は、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する③動土圧及び動水圧が構造物側面に作用する。

円筒状構造物及び鋼管杭基礎は、第 3-3-4 図に示すように水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。

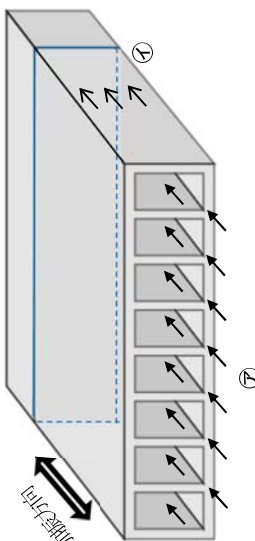
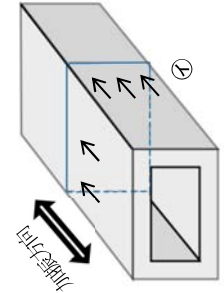
管路構造物については、従来設計手法において管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っている。



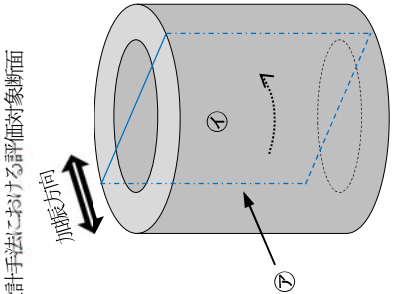
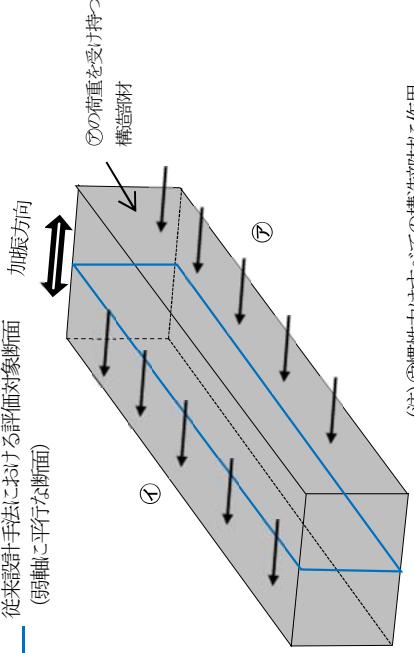
第3-3-4図 円筒状構造物・鋼管杭基礎に係る応答特性

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及び梁状構造物ならびに水平2方向入力による応力の集中が考えられる円筒状構造物，鋼管杭基礎及び管路構造物を抽出する。

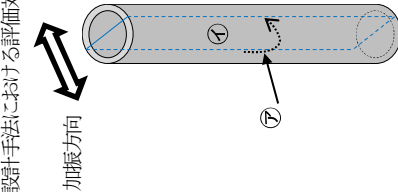
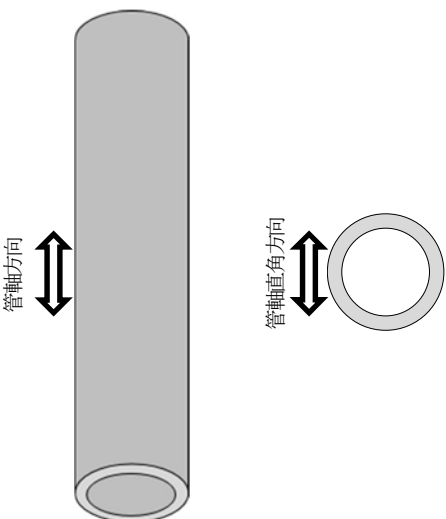
第 3-3-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (1/3)

3.3.4 (1) で整理した構造形式の分類	1) 箱型構造物 (取水構造物等)	2) 線状構造物 (常設低圧代替注水配管カルバート等)
3.3.4(2)で整理した荷重 の作用状況	 <p>—— 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p> <p>(注) ⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p>	 <p>—— 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p> <p>(注) ⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p>
	⑦動土圧及び動水圧	⑦動土圧及び動水圧
	①摩擦力	①摩擦力
	⑦慣性力	⑦慣性力
	主に妻壁に作用 側壁に作用 全ての部材に作用	作用しない 側壁、頂版に作用 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	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	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
抽出結果 (○：影響検討実施)	○	×

第3-3-3表 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)

3.3.4 (1) で整理した 構造形式の分類	3) 円筒状構造物 (代替淡水貯槽等)	4) 梁状構造物 (屋外二重管基礎コンクリート)
3.3.4 (2) で整理した 荷重の作用状況		
	<div>⑦動土圧及び動水圧</div> <div>④摩擦力</div> <div>⑦慣性力</div>	<div>⑦動土圧及び動水圧</div> <div>④摩擦力</div> <div>⑦慣性力</div>
	<div>⑦動土圧及び動水圧</div> <div>④摩擦力</div> <div>⑦慣性力</div>	<div>⑦動土圧及び動水圧</div> <div>④摩擦力</div> <div>⑦慣性力</div>
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>胴体部において、⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行な側面に、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)	○	○

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

3.3.4 (1) で整理した 構造形式の分類	5) 鋼管杭基礎 (取水構造物等の杭基礎)	6) 管路構造物 (屋外二重管等)	
3.3.4 (2) で整理した 荷重の作用状況	<div>—— 従来設計手法における評価対象断面</div> <div></div> <div>(注) ⑦慣性力はすべての構造物材に作用</div> <div>⑦動土圧及び動水圧 主に胴体部に作用</div> <div>⑧摩擦力 主に胴体部に作用</div> <div>⑨慣性力 全ての部材に作用</div>	<p>管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており，従来設計手法において水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せが考慮されている</p> <div></div>	
	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		
	抽出結果 (○：影響検討実施)		

(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）

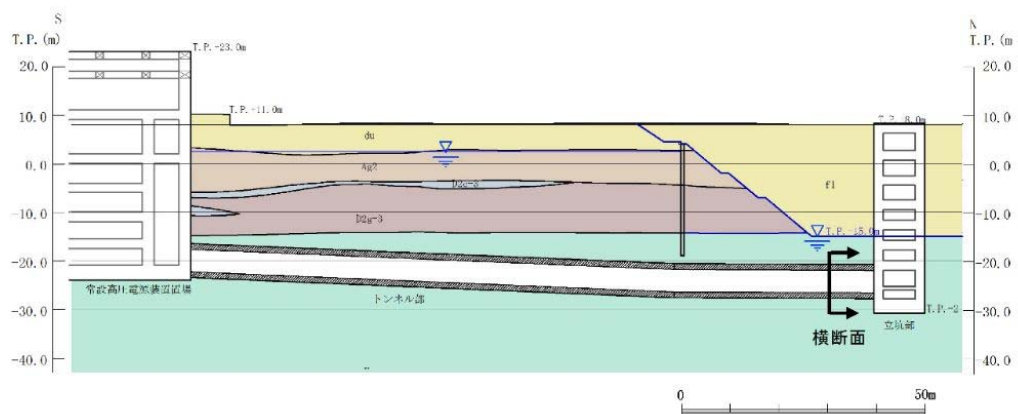
【線状構造物】

第 3-3-5 図に常設代替高圧電源装置用カルバートの配置図，
第 3-3-6 図及び第 3-3-7 図に常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の断面図を示す。

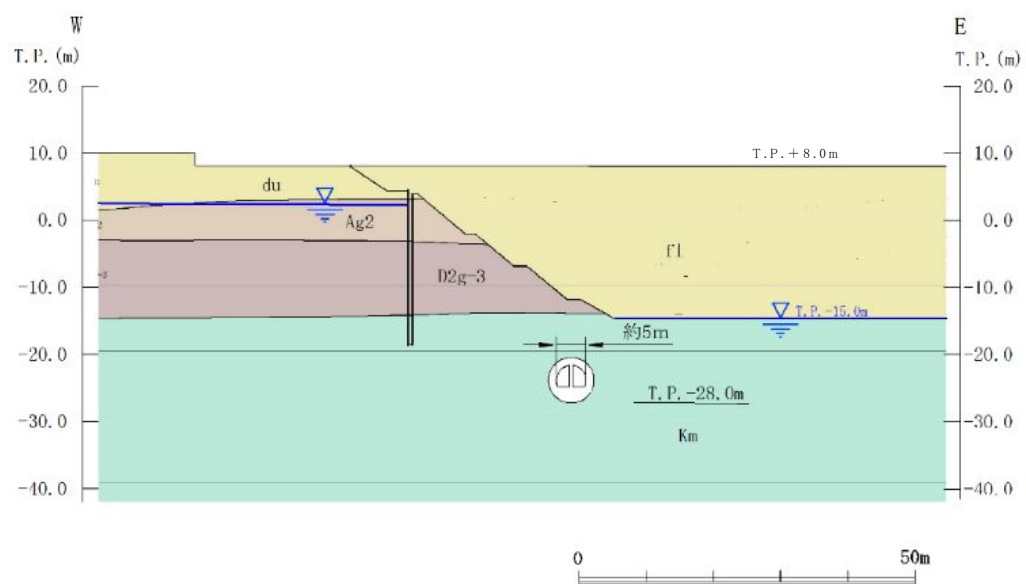
当該トンネルは，断面変化がほとんどないが，緩やかな曲線部が計画されている。第 3-3-8 図（施工目地の割り付け概念図）に示すように，適切な間隔で施工目地を設けることにより，構造物に応力集中が発生しないような設計方針とする。なお，施工目地の間隔は，トンネルの適用事例が多い「トンネル標準示方書：土木学会」に基づき決定する。



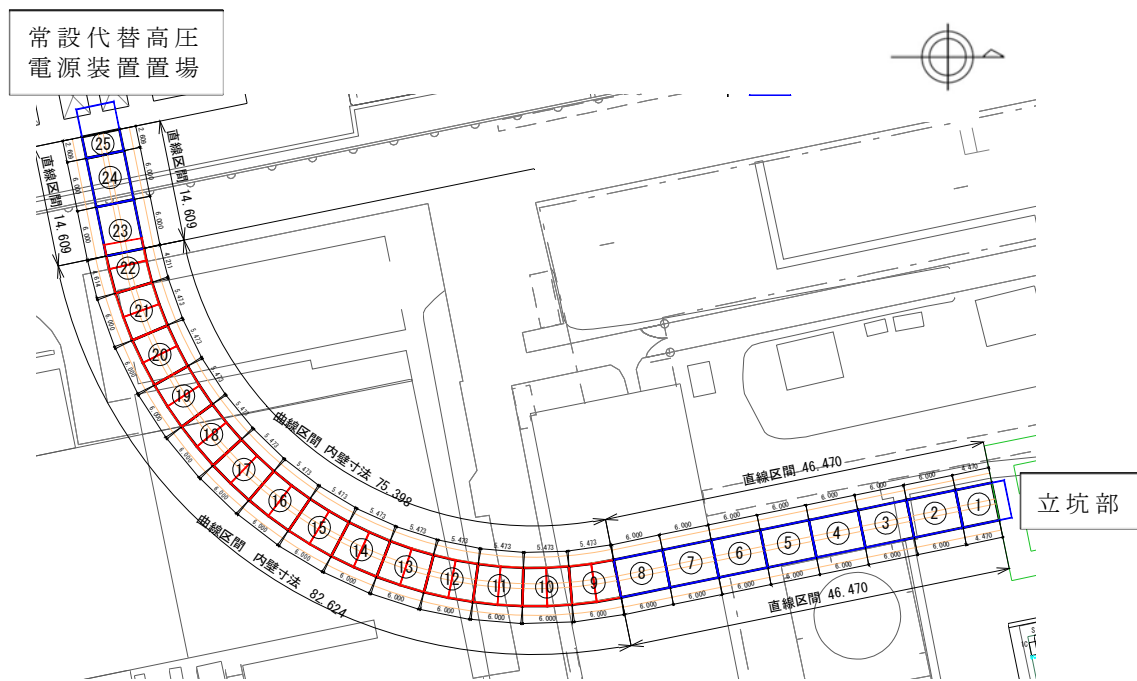
第 3-3-5 図 常設代替高圧電源装置用カルバート配置図



第 3-3-6 図 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）
縦断面図



第 3-3-7 図 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）
横断面図



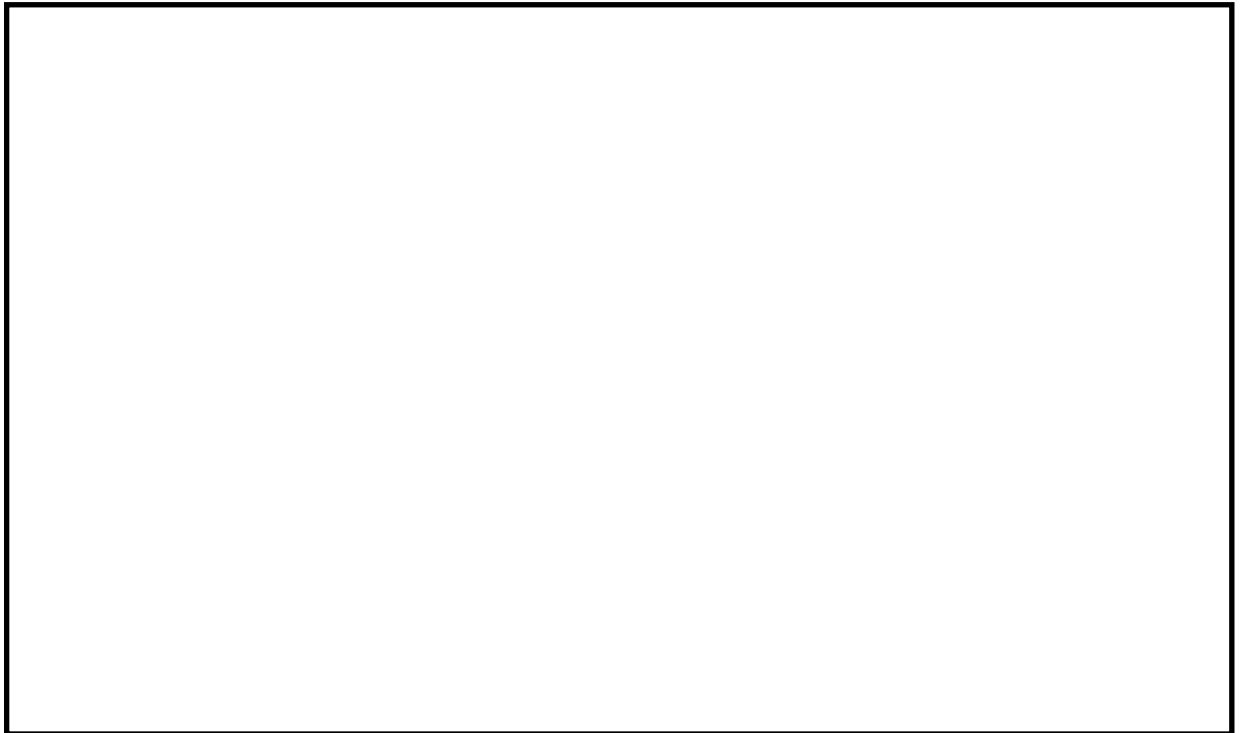
第 3-3-8 図 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）
施工目地の割り付け概念図

b) 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）

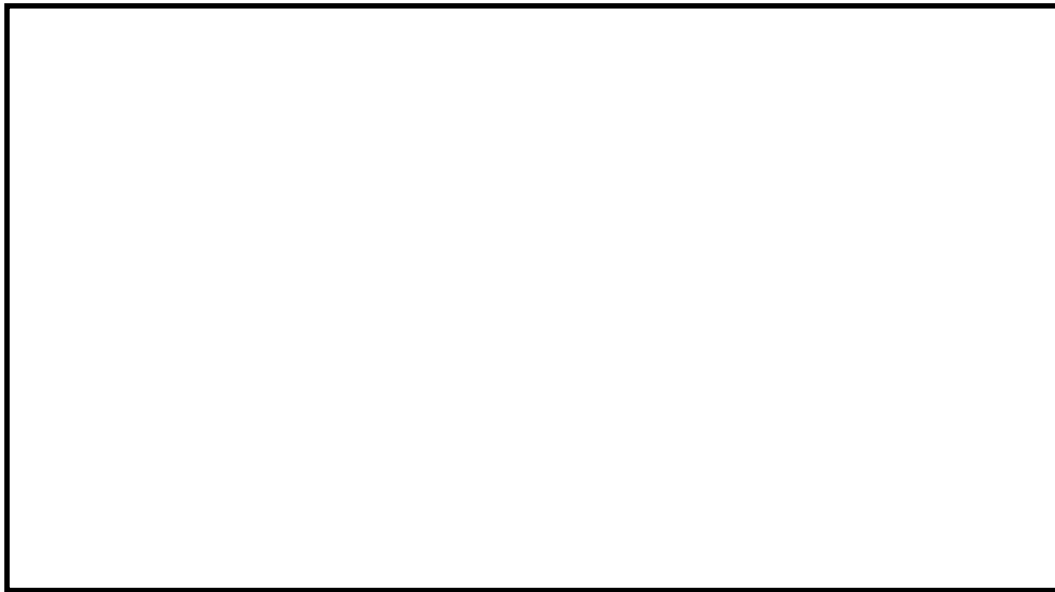
【線状構造物】

第 3-3-9 図に常設代替高圧電源装置用カルバートの配置図，
第 3-3-10 図及び第 3-3-11 図に常設代替高圧電源装置用カル
バート（カルバート部）の平面図及び断面図を示す。

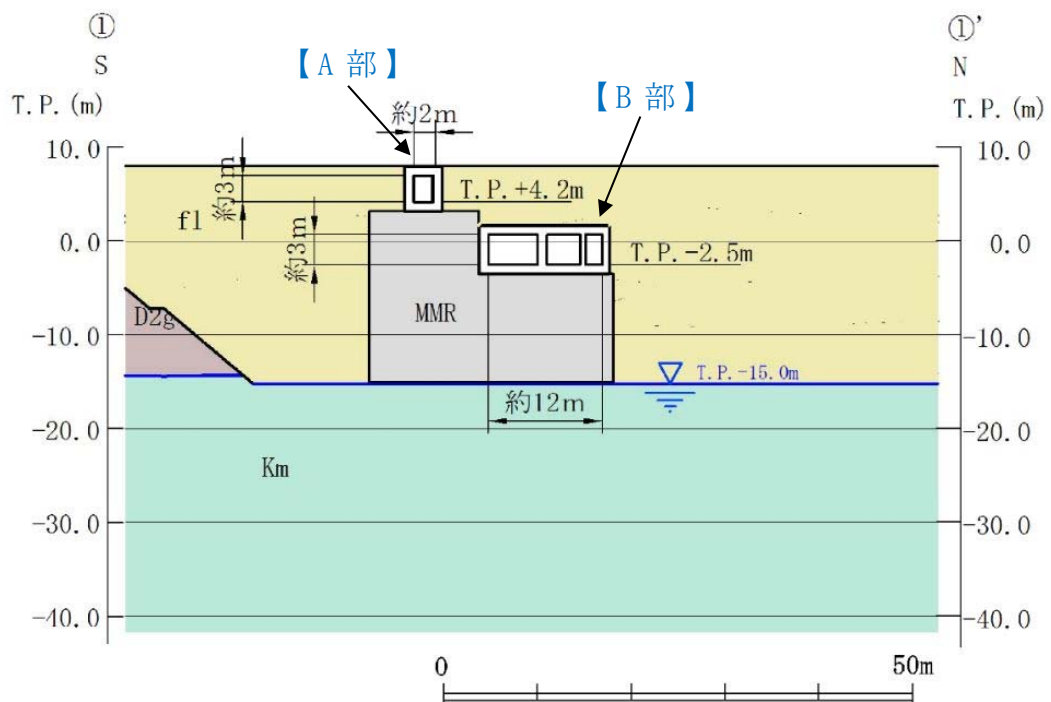
内空幅約 2m，内空高さ約 3m のカルバート部【A 部】は，断面変
化もほとんどなく直線である。また，マンメイドロックを介して
十分な支持性能を有する岩盤に設置されるため，強軸方向の曲げ
の影響をほとんど受けない。一方，内空幅約 12m，内空高さ約 3m
のカルバート部【B 部】は，内空寸法はほぼ一様であるが屈曲部
（隅角部）を有するため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合
せの影響として，弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形へ
の影響が想定される。



第 3-3-9 図 常設代替高圧電源装置用カルバート配置図



第 3-3-10 図 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



第 3-3-11 図 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)

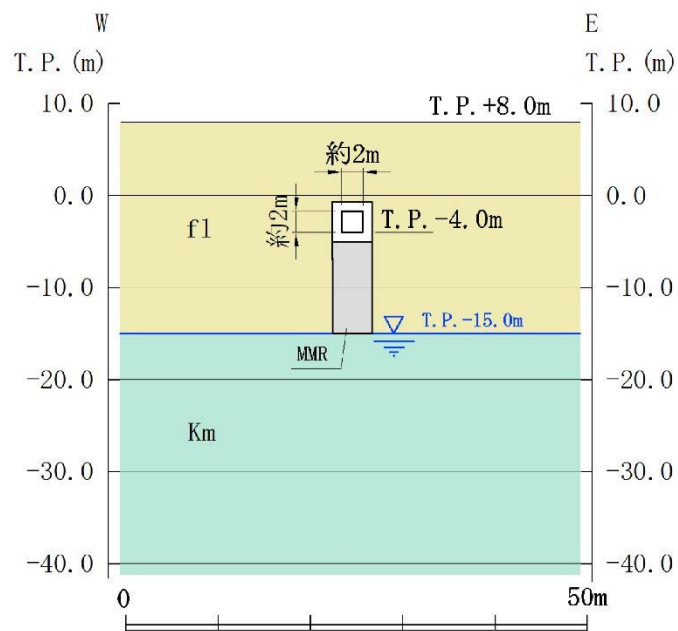
c) 常設低圧代替注水系配管カルバート【線状構造物】

第 3-3-12 図及び第 3-3-13 図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、マンメイドロック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、強軸方向の曲げの影響をほとんど受けない。



第 3-3-12 図 常設低圧代替注水系配管カルバート
平面図



第 3-3-13 図 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（上部工）

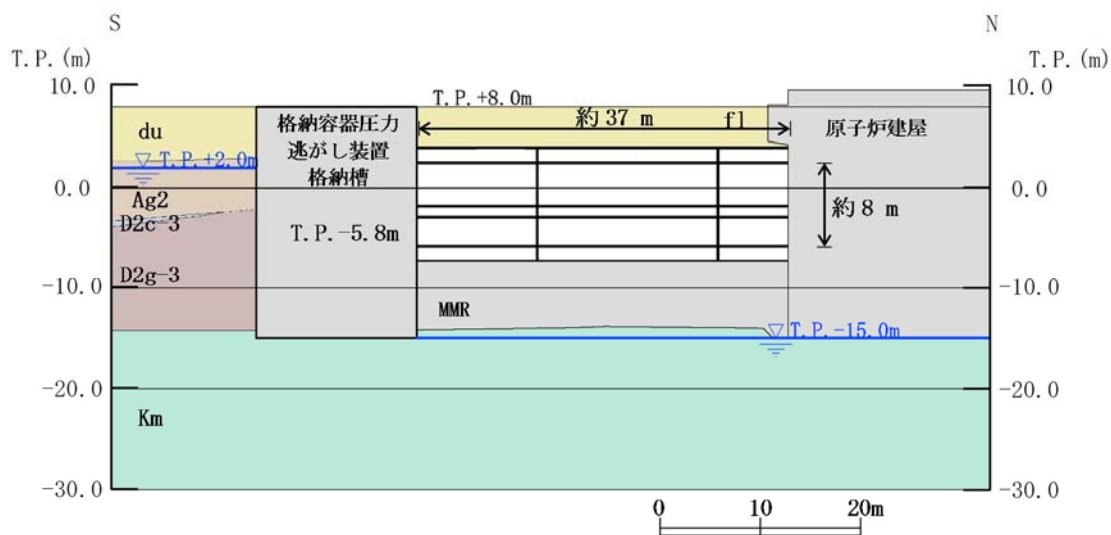
【線状構造物】

第 3-3-14 図，第 3-3-15 図及び第 3-3-16 図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。

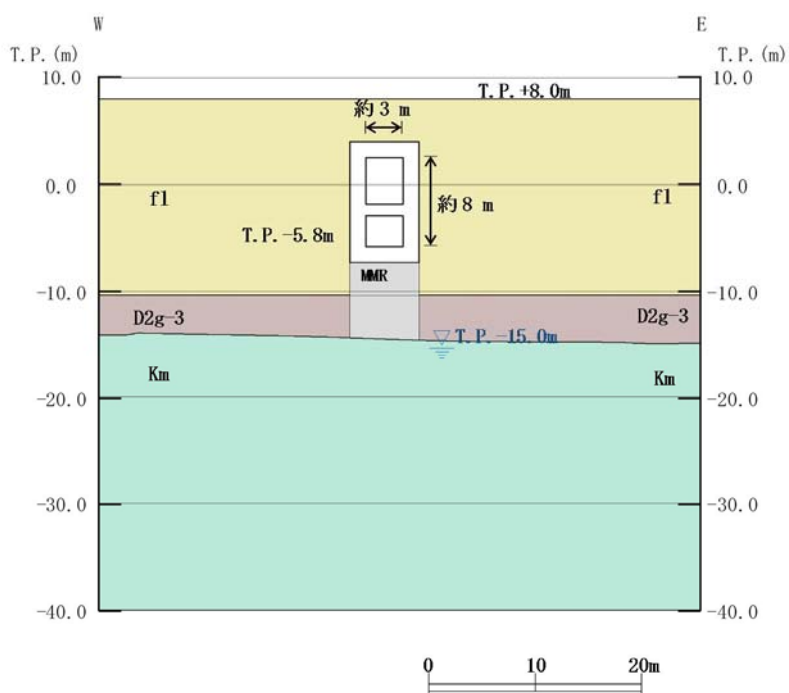
当該構造物は，断面変化があり屈曲部を有するため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として，弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。



第 3-3-14 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート平面図



第 3-3-15 図 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)



第 3-3-16 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート断面図 (B-B 断面)

線状構造物として大別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，弱軸方向のせん断変形や強軸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の屈曲部について水平 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

i) 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）【B部】

の従来設計では，第3-3-4表に示す通り，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箇所や構造部材）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，常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）は，マンメイドロック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方向の曲げの影響もほとんど受けない。

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）における屈曲部での水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は，従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。

第3-3-4表 屈曲部における3次元的な拘束効果
（常設代替高圧電源装置用カルバート）

--

ii) 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、第 3-3-5 表に示す通り、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箇所や構造部材）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、マンメイドロック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方向の曲げの影響もほとんど受けない。

以上のことから、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートにおける屈曲部での水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は、従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。

第 3-3-5 表 屈曲部における 3 次元的な拘束効果
（格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート）

--

3.3.5 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

3.3.4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、梁状構造物、円筒状構造物及び鋼管杭基礎を抽出する。なお、管路構造物については、従来設計手法において水平2方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っているため対象外とする。

箱型構造物、円筒状構造及び鋼管杭基礎については、構造物の規模等を考慮し（第3-3-6表）、箱型構造物の代表構造物（施設）として常設代替高圧電源装置置場、円筒状構造の代表構造物（施設）として代替淡水貯槽及びSA用海水ピット、鋼管杭基礎の代表構造物（施設）として取水構造物を選定し、影響評価を行う。第3-3-17図から第3-3-34図に各構造物の概要図を示す。

梁状構造物は屋外二重管基礎コンクリートのみであることから、当該構造物にて影響評価を行う。

第 3－3－6 表 代表構造物の選定検討表（1／2）

構造形式	構造物（施設）名	規模			選定理由
		長辺	短辺	高さ	
箱型	取水構造物	約56m	約43m	約12m	
	常設代替高压電源装置置場	約56m	約46m	約47m	長辺・短辺・高さが最大
	常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部）	約15m	約11m	約39m	
	常設低圧代替注水系ポンプ室	約15m	約11m	約30m	
	緊急用海水ポンプピット	約12m	約12m	約36m	
	緊急時対策所用発電機用燃料油タンク基礎	約12m	約7m	約7m	
	可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）・（南側）	約17m	約15m	約7m	
円筒状	代替淡水貯槽	直径φ約20m		約22m	直径が最大
	SA用海水ピット	直径φ約14m		約34m	高さが最大
	SA用海水ピット取水塔	直径φ約8m		約21m	

※緑色ハッチングが，代表構造物(施設)

第 3－3－6 表 代表構造物の選定検討表（2／2）

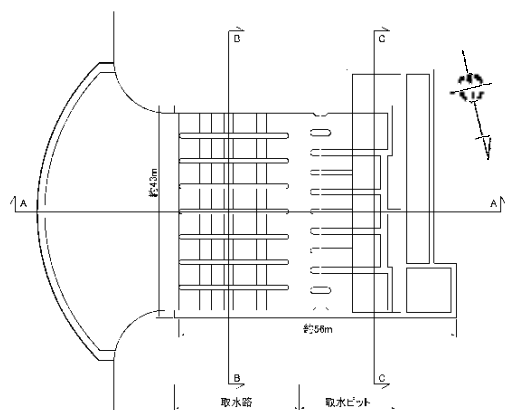
構造形式	構造物（施設）名	上部工規模			鋼管杭 長さ(最大)	選定理由
		長辺	短辺	高さ		
鋼管杭 基礎	取水構造物	約56m	約43m	約12m	約43m	上部工の長辺・短辺，杭長さが最大
	屋外二重管 ^{注)}	約10m	約4m	約3m	約42m	
	緊急時対策所用発電機用燃料油タンク基礎	約12m	約7m	約7m	約33m	
	可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）	約17m	約15m	約7m	約33m	
	可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）	約17m	約15m	約7m	約15m	

注) 屋外二重管の上部工規模は基礎コンクリートの寸法

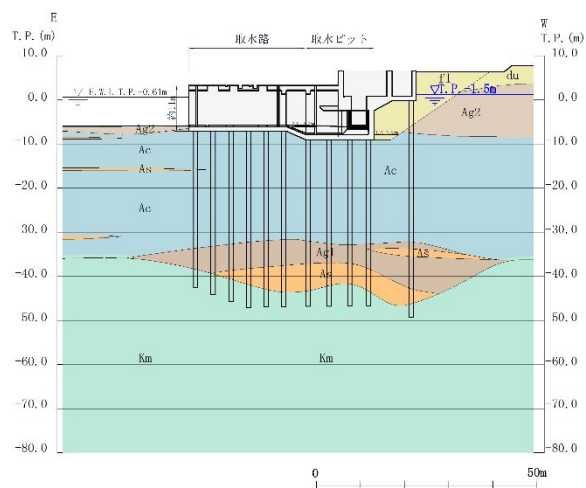
※緑色ハッチングが，代表構造物(施設)

a) 取水構造物 【箱型構造物】 【鋼管杭基礎の代表】

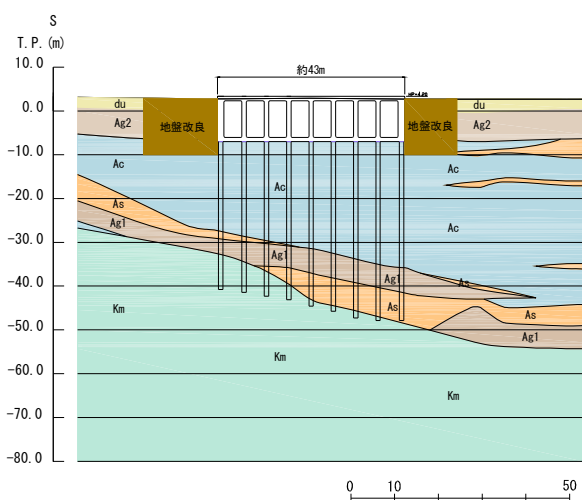
第 3-3-17 図から第 3-3-20 図に取水構造物の平面図及び断面面図を示す。



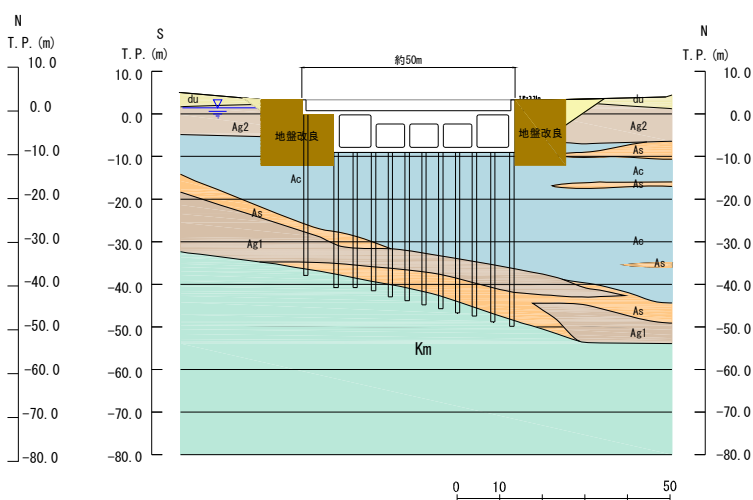
第 3-3-17 図 取水構造物
平面図



第 3-3-18 図 取水構造物
縦断面図（A-A 断面）



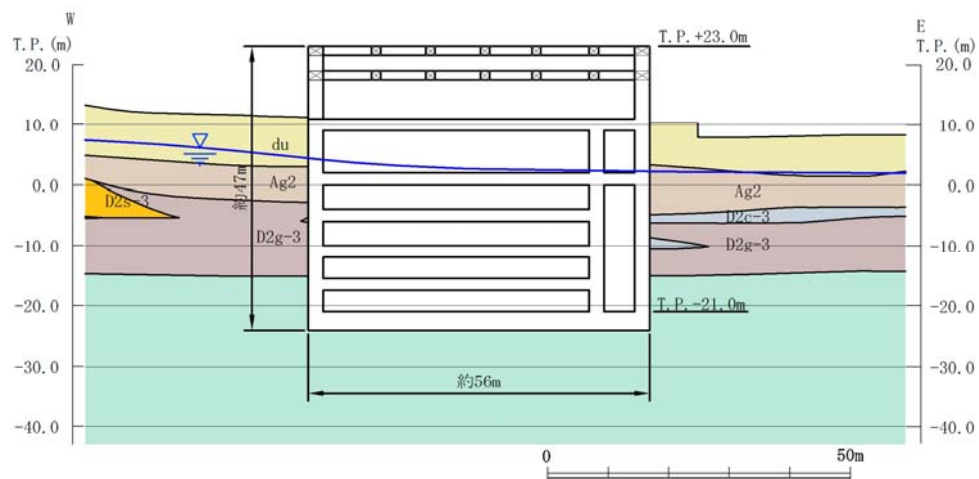
第 3-3-19 図 取水構造物
縦断面図（B-B 断面）



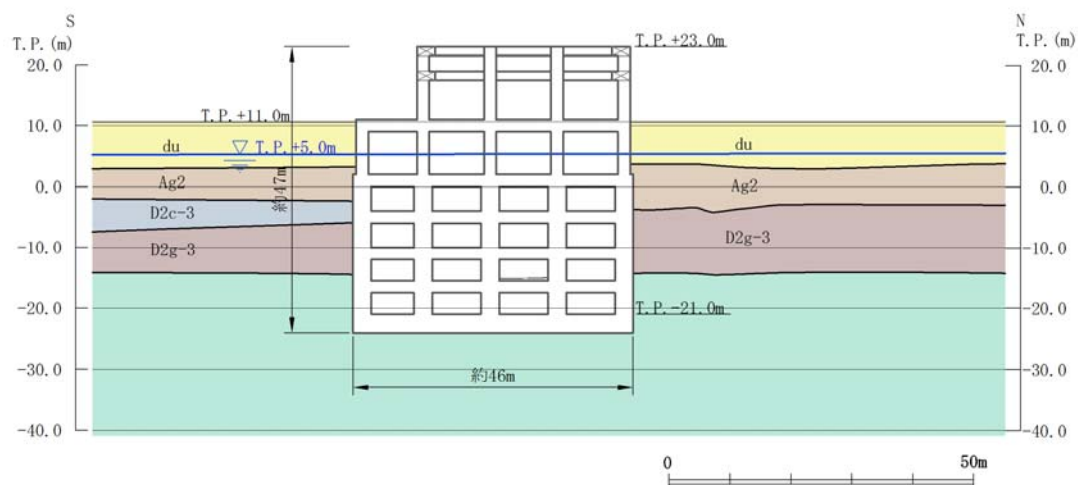
第 3-3-20 図 取水構造物
縦断面図（C-C 断面）

b) 常設代替高圧電源装置置場 【箱型構造物の代表】

第 3-3-21 図及び第 3-3-22 図に常設代替高圧電源装置置場の断面図を示す。



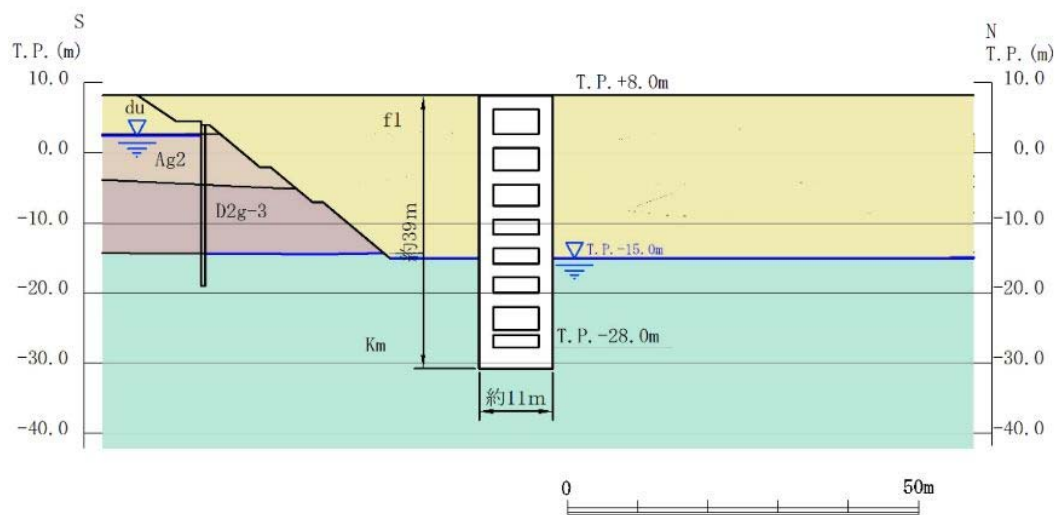
第 3-3-21 図 常設代替高圧電源装置置場 断面図（東西断面）



第 3-3-22 図 常設代替高圧電源装置置場 断面図（南北断面）

c) 常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部） 【箱型構造物】

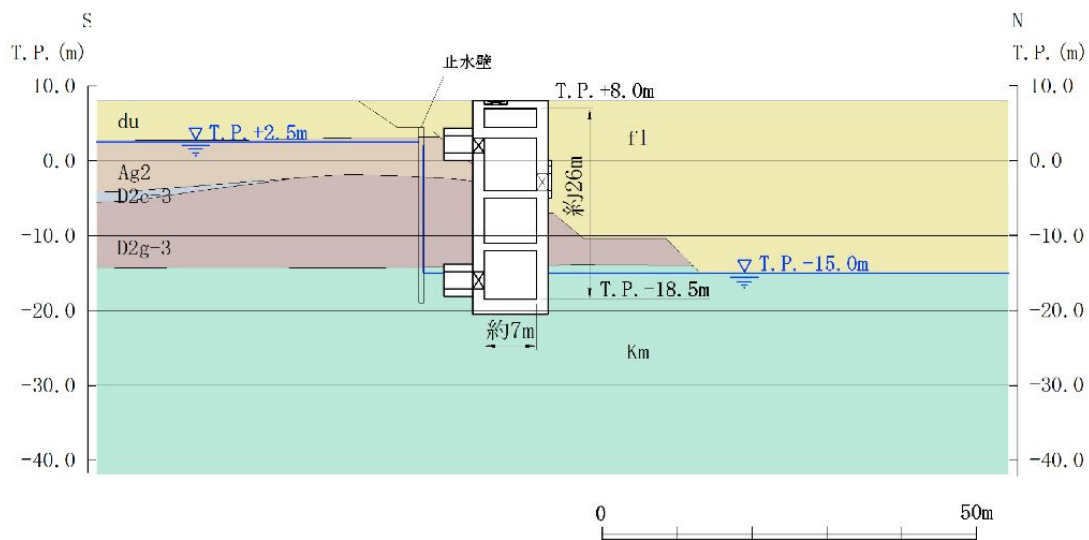
第 3-3-23 図に常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部）の断面図を示す。



第 3-3-23 図 常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部）断面図

d) 常設低压代替注水系ポンプ室 【箱型構造物】

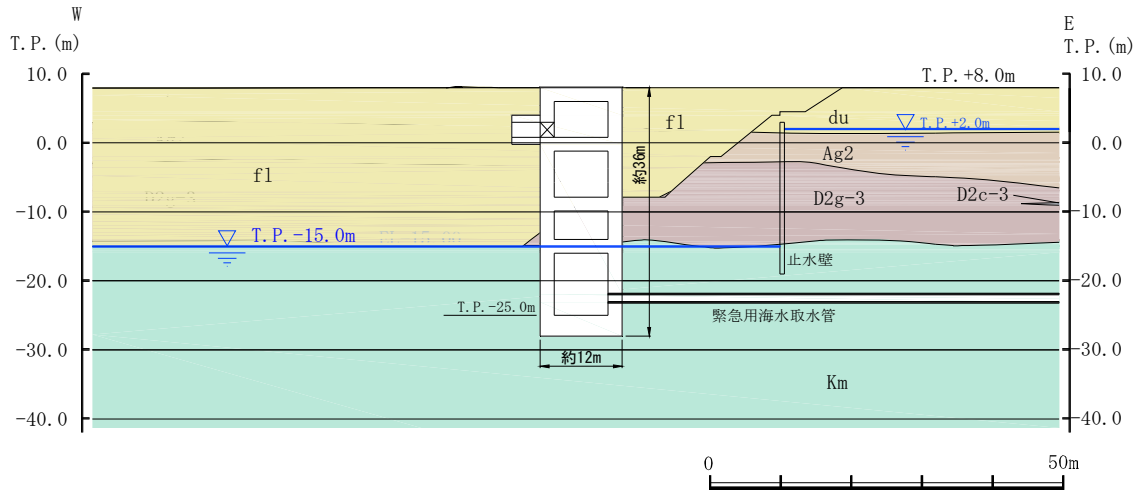
第 3-3-24 図に常設低压代替注水系ポンプ室の断面図を示す。



第 3-3-24 図 常設低压代替注水系ポンプ室
断面図（南北断面）

e) 緊急用海水ポンプピット 【箱型構造物】

第 3-3-25 図に緊急用海水ポンプピットの断面図を示す。

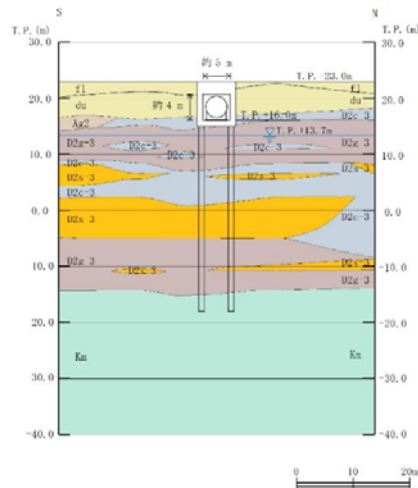


第 3-3-25 図 緊急用海水ポンプピット
断面図（東西断面）

f) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎

【箱型構造物】 【鋼管杭基礎】

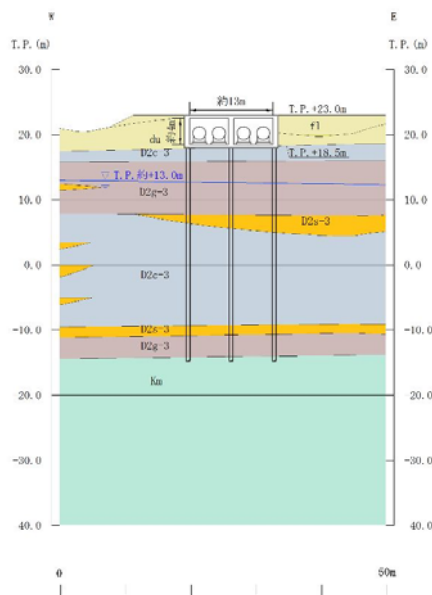
第 3-3-26 図に緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面図を示す。



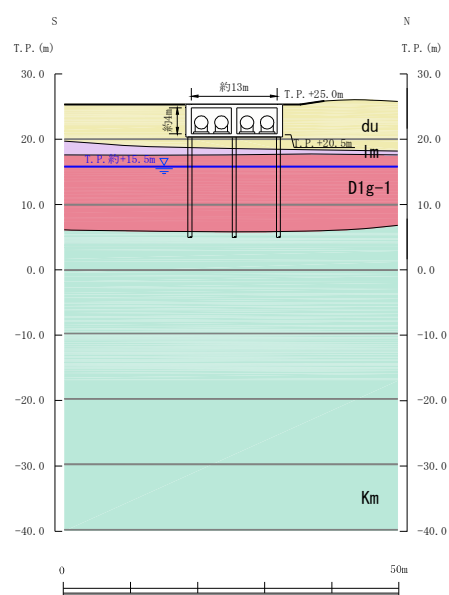
第 3-3-26 図 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 断面図

g) 可搬型設備用軽油タンク基礎 【箱型構造物】 【鋼管杭基礎】

第 3-3-27 図及び第 3-3-28 図に可搬型設備用軽油タンク基礎の断面図を示す。



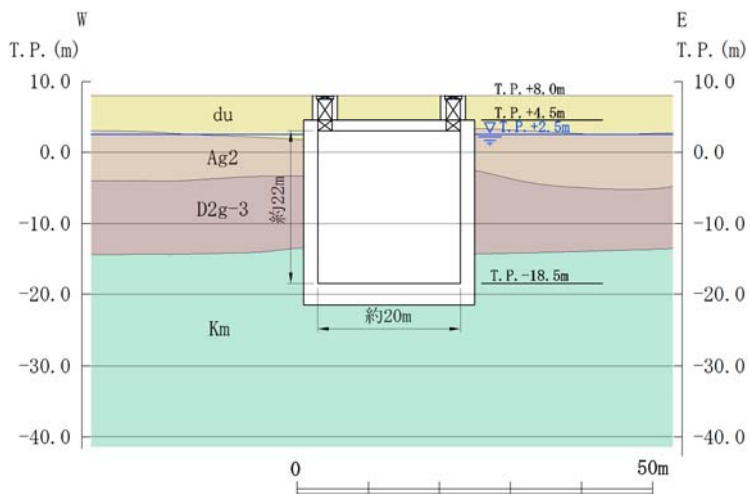
第 3-3-27 図 可搬型設備用
軽油タンク基礎断面図【西側】



第 3-3-28 図 可搬型設備用
軽油タンク基礎断面図【南側】

h) 代替淡水貯槽 【円筒状構造物の代表】

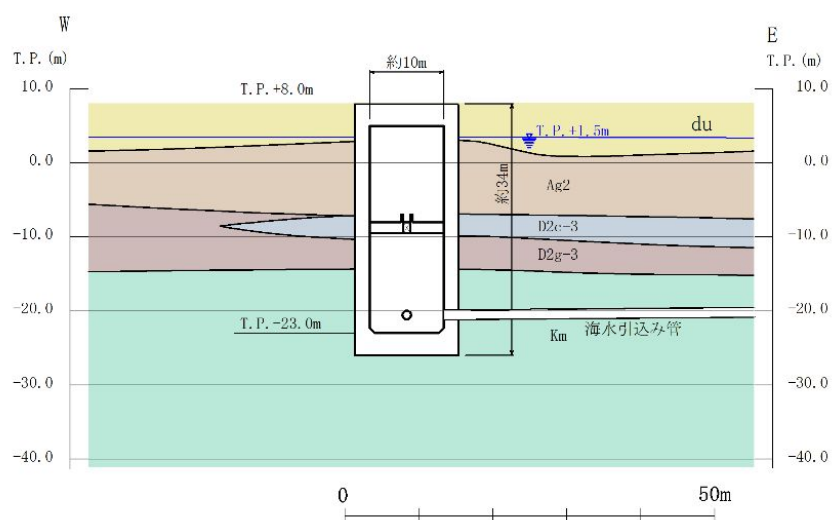
第 3-3-29 図に代替淡水貯槽の断面図を示す。



第 3-3-29 図 代替淡水貯槽 断面図（東西断面）

i) S A用海水ピット 【円筒状構造物の代表】

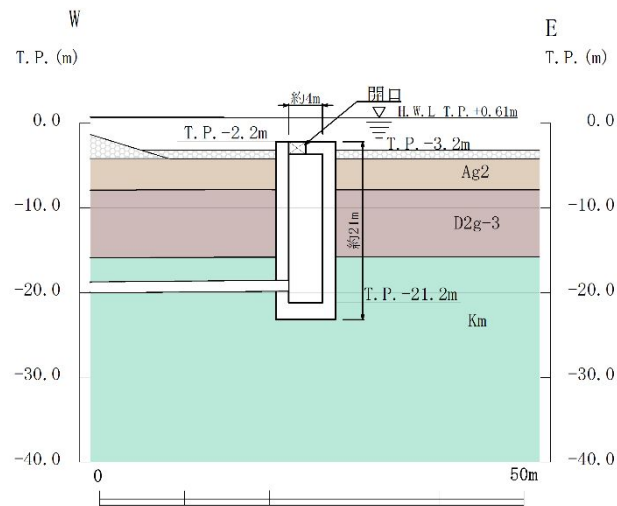
第 3-3-30 図に S A用海水ピットの断面図を示す。



第 3-3-30 図 S A用海水ピット 断面図

j) S A用海水ピット取水塔 【円筒状構造物】

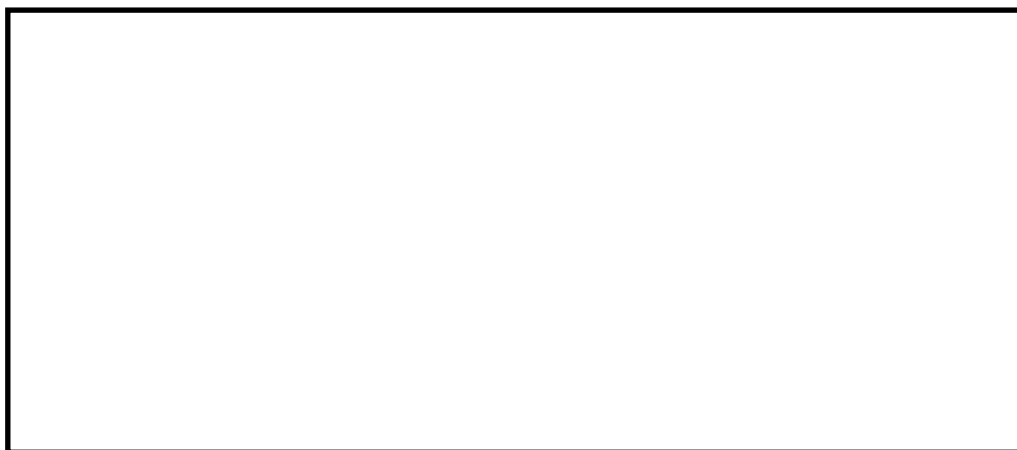
第 3-3-31 図に S A用海水ピット取水塔の断面図を示す。



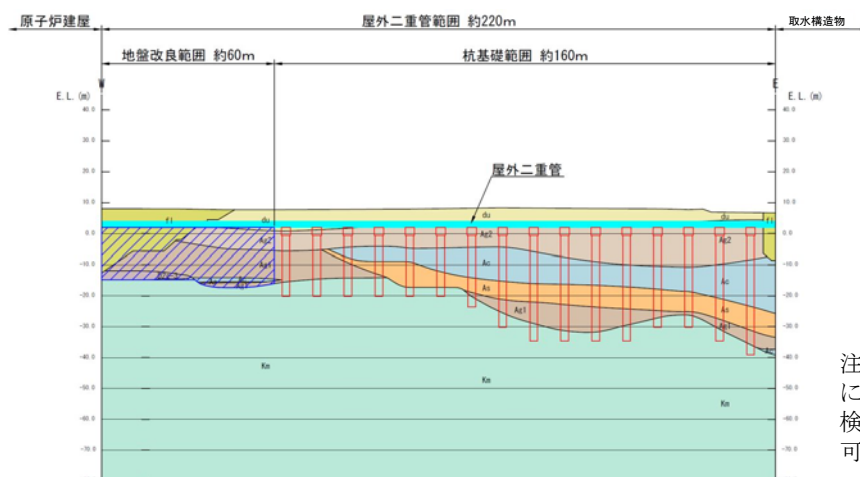
第 3-3-31 図 S A用海水ピット取水塔 断面図

k) 屋外二重管 【鋼管杭基礎】

第 3-3-32 図及び第 3-3-33 図に屋外二重管の平面及び断面図を示す。第 3-3-34 図に概念図を示す。

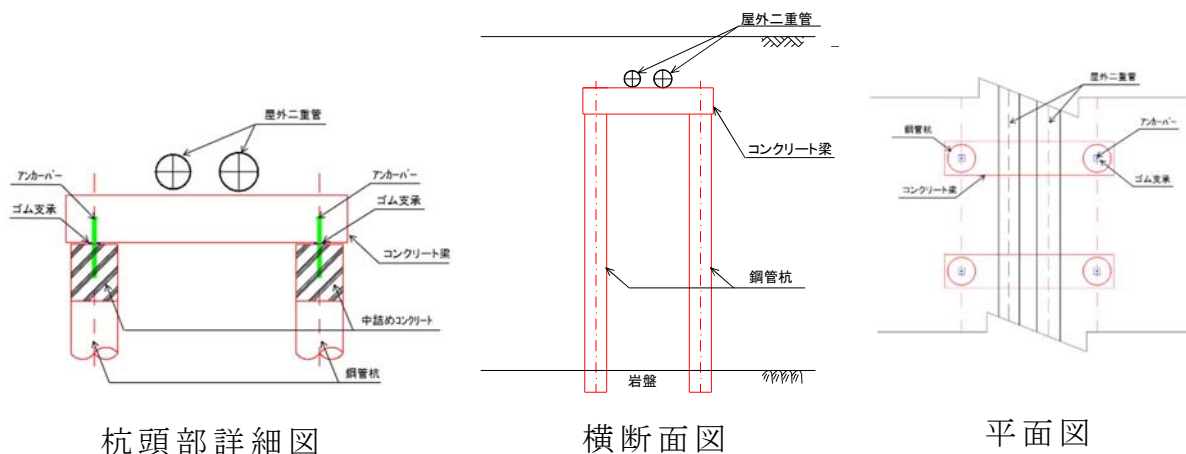


第 3-3-32 図 屋外二重管 平面図



注) 範囲，杭配置については今後の検討により変更の可能性がある。

第 3-3-33 図 屋外二重管 縦断面図 (A-A 断面)



第 3-3-34 図 屋外二重管概念図

3.3.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

(1) 箱型構造物

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、箱型構造物の弱軸方向（評価対象断面）と強軸方向（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、弱軸方向加振における部材照査において、強軸方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸方向加振については、箱型構造物の隔壁・側壁が、強軸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。

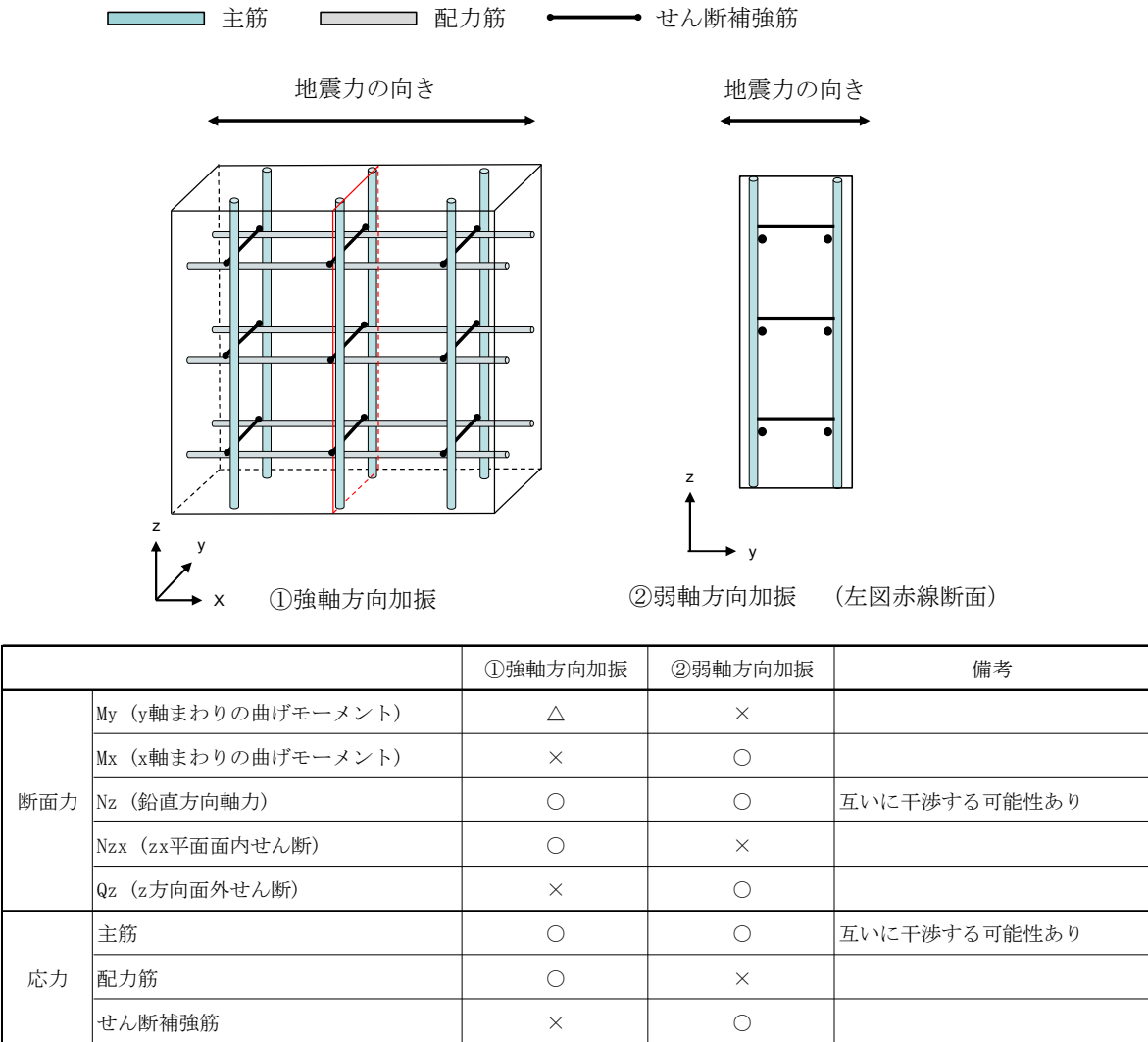
RC基準では、耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して、コンクリートのみで負担できるせん断耐力と、鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって、壁部材の生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば、鉄筋によるせん断負担は無く鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

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、第3-3-35図に示すとおり、強軸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。

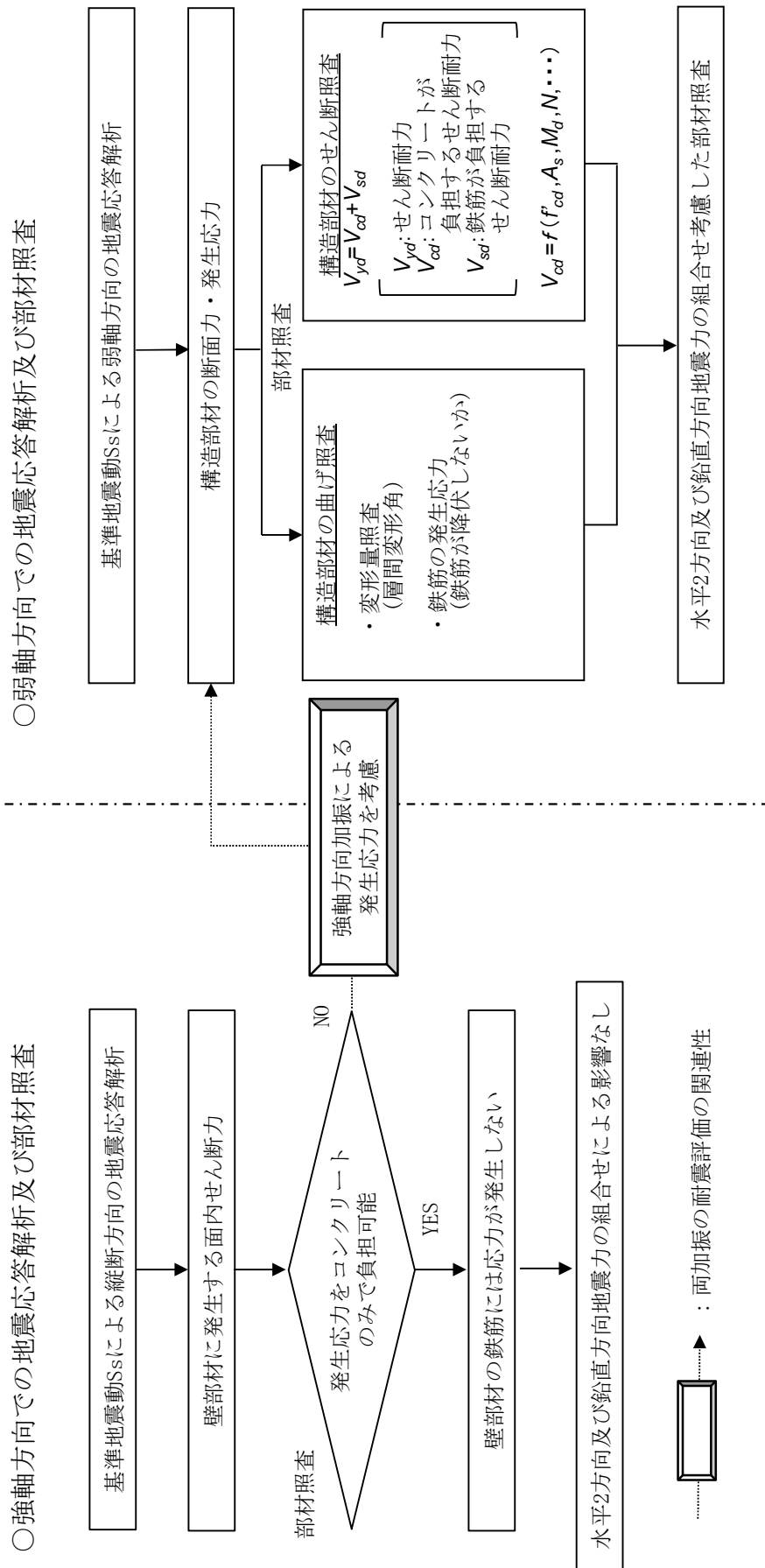
したがって、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、強軸方向加振にて発生する応力を、弱軸方向における構造部材の照査に付加することで、その影響の有無を検討する。

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

第 3－3－36 図に水平 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。



第 3－3－35 図 強軸方向加振及び弱軸方向加振において発生する断面力・応力



第 3-3-36 図 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) 梁状構造物，円筒状構造物及び鋼管杭基礎

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，従来の設計手法である水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の評価結果等を用い，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の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」を参考として，組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)に基づいて地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の部位について，構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで，各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し，各部位が有する耐震性への影響を評価する。

(注)Regulatory Guide(RG) 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

3.3.7 機器・配管系への影響評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、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・配管系の間接支持構造物である場合、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、屋外重要土木構造物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。

3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物

3.4.1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物における評価対象構造物の抽出及び整理

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第3-4-1図に示す。各対象施設において，「3.1 建物・構築物」，「3.2 機器・配管系」，「3.3 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，その方針を第3-4-1表に示す。

津波防護施設については，「3.3 屋外重要土木構造物」の水平2方向の設計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，3.4.4項以降に水平2方向及び鉛直方向地震の組合せ影響を整理する。

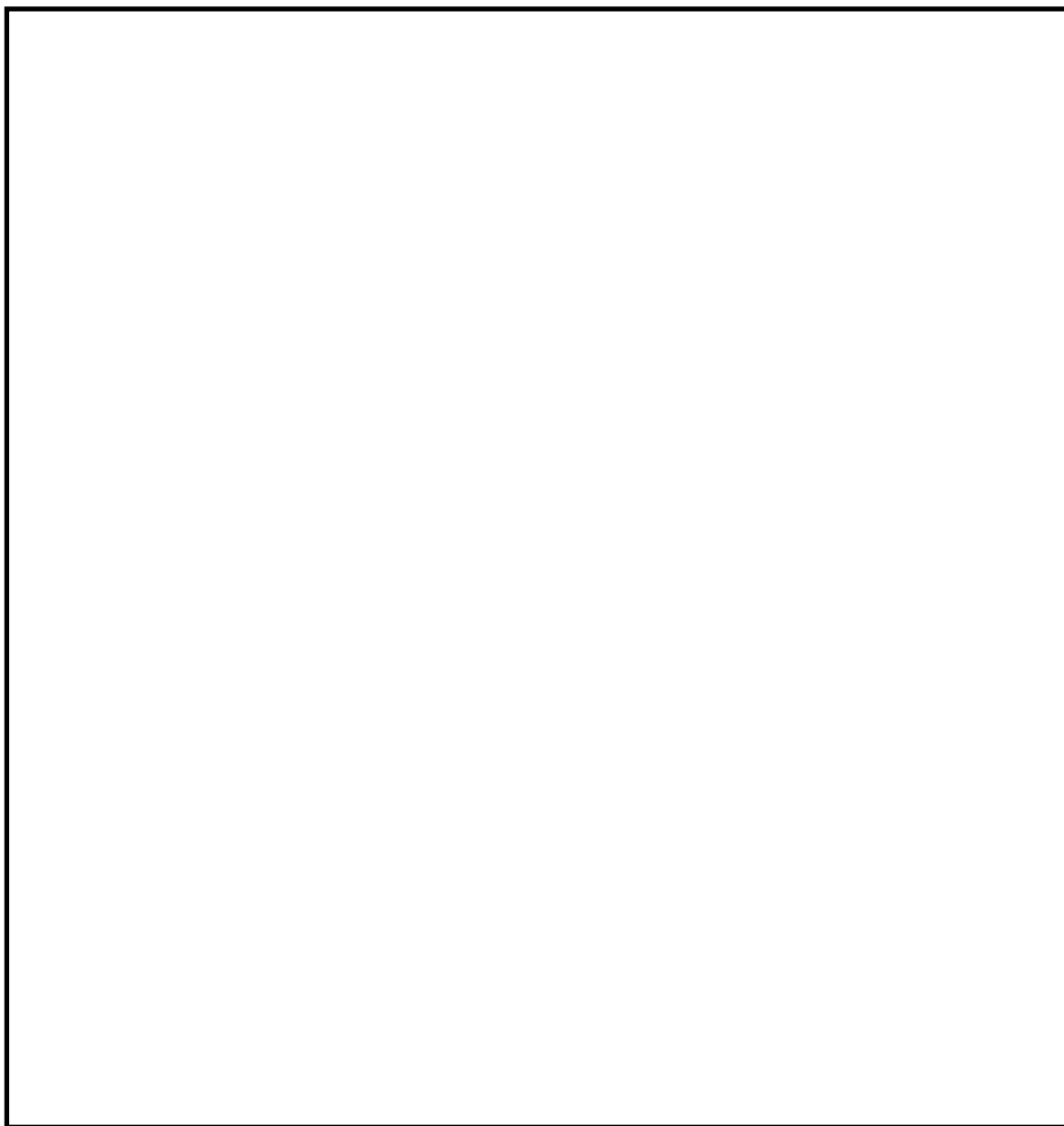
浸水防止設備及び津波監視設備については，「3.2 機器・配管系」の水平2方向の設計方針に基づき影響評価を実施する。

浸水防止設備又は津波監視設備が設置された建物・構築物については，各構造物の構造上の特徴を踏まえ「3.1 建物・構築物」又は「3.3 屋外重要土木構造物」の水平2方向の設計方針に基づき影響評価を実施する。

【凡例】

- T. P. +3. 0m～T. P. +8. 0m
- T. P. +8. 0m～T. P. +11. 0m
- T. P. +11. 0m 以上

- 津波防護施設
- 浸水防止設備
- 津波監視設備
- 設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建屋及び区画



第 3－4－1 図（1／2） 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図

第 3-4-1 表 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 及び ゲート類	鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁	「3.3 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3.4.4以降に整理する。 津波防護施設のうち放水路ゲート，防潮扉本体，構内排水路逆流防止装置は，「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。
		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）	
	構内排水路 逆流防止設備	逆流防止装置	
		出口側集水桝※	
	貯留堰		
浸水防止設備	取水路点検用開口部浸水防止蓋		「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく
	海水ポンプグラ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		
	放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋		
	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		
	緊急用海水ポンプグラ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		
	貫通部止水処置		
津波監視設備	津波監視カメラ		「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく
	取水ピット水位計		
	潮位計		
浸水防止設備及び津波監視設備が設置された建物・構築物	取水構造物		「3.3 屋外重要土木構造物」の設計方針に基づく。鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の影響評価については3.4.4以降に整理する。 「3.1 建物・構築物」の設計方針に基づく
	鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁		
	S A用海水ピット		
	緊急用海水ポンプピット		
	原子炉建屋		

※：間接支持構造物

3.4.2 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

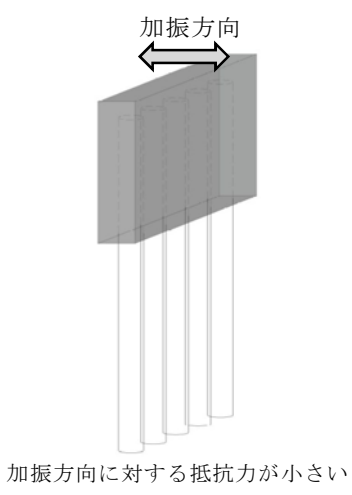
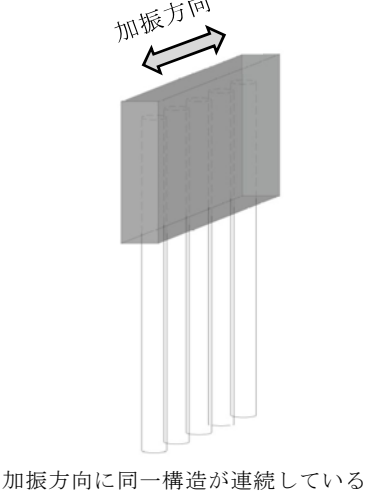
津波防護施設における従来設計手法の考え方について、防潮堤を例に第 3-4-2 表に示す。津波防護施設は、地中構造物と地上構造物に分けられる。地上構造物は、躯体の慣性力や基礎部分に係る動土圧等が主たる荷重となる。地中構造物については、屋外重要土木構造物同様、比較的単純な構造部材の配置で構成される。地中構造物、地上構造物共にほぼ同一の断面が奥行方向に連続する構造的特徴を有することから、3 次元的な応答の影響は小さいため、2 次元断面での耐震評価を行っている。

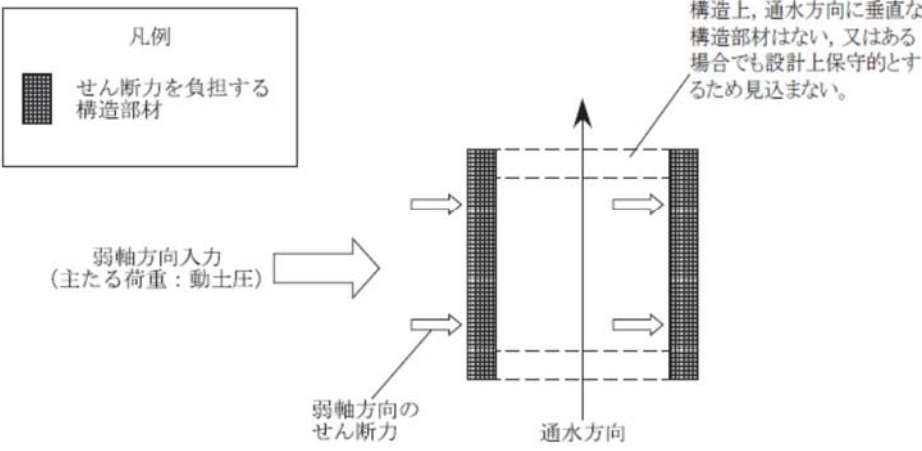
上述のとおり、地中構造物、地上構造物共にほぼ同一の断面が長手方向に連続する構造的な特徴を有していることから、構造上の特徴として明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来評価手法では弱軸方向を評価対象として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

第 3-4-2 図に示す通り、従来設計手法では、津波防護施設の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

第 3-4-2 表 従来設計における評価対象断面の考え方（防潮堤）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計 の評価対 象断面の 考え方	 <p>加振方向に対する抵抗力が小さい</p>	 <p>加振方向に同一構造が連続している</p>



(注) 当該図は平面図を示す

第 3-4-2 図 従来設計手法の考え方

3.4.3 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

津波防護施設において、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構造物の評価を行う。

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性が抽出された、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位は、既往の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平2方向及び鉛直方向に組合せ、対象部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

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

評価フローを第3-4-3図に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

評価対象構築物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式ごとに大別する。

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

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抽出する。

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

②で整理した荷重に対して、構造形式ごとにどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される構造形式を抽出する。

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で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響により 3 次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象部位については、津波防護施設が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平 2 方向の影響の程度を踏まえて選定する。

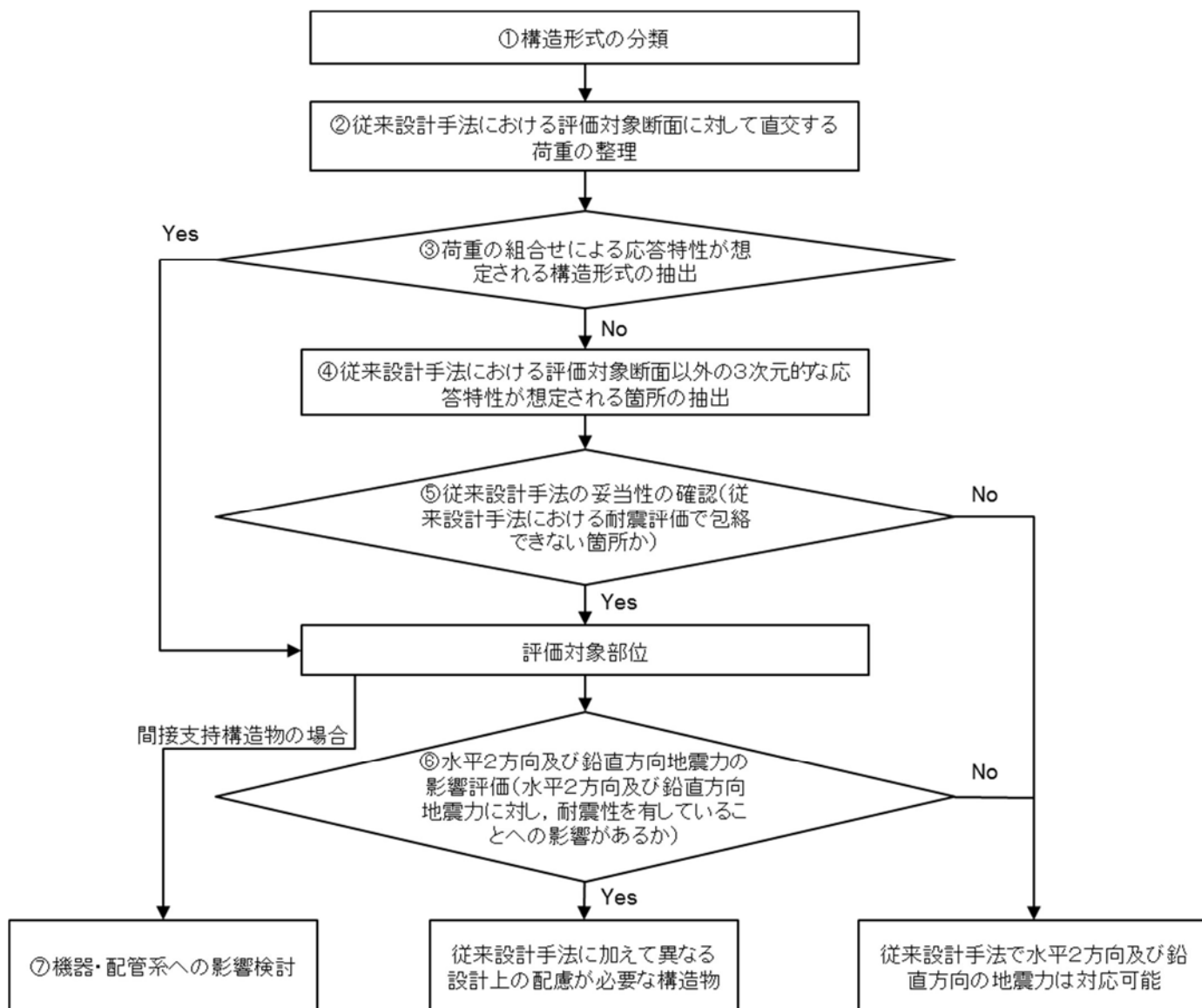
⑦ 機器・配管系への影響評価

評価対象として抽出された構造物が、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・配管系の間接支持構造物である場合は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認さ

れた場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、④及び⑤の精査にて、津波防護施設の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。



第 3-4-3 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

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) 構造形式の分類

津波防護施設は、その構造形式より 1) 鋼製防護壁の上部工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、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路、貯留堰のような線状構造物、3) 鋼製防護壁の下部工、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、出口側集水桝の下部工のような鋼管杭基礎、並びに 5) 出口側集水桝の上部工のような箱型構造物の 5 つに大別される。

(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

第 3-4-3 表に，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。

第 3-4-3 表 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

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

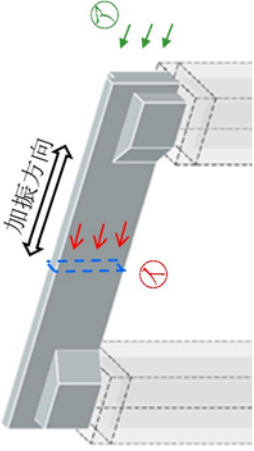
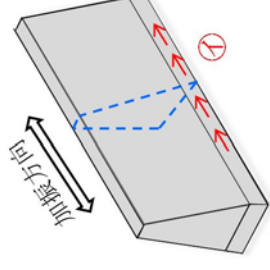
(注) 作用荷重のイメージ図は平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

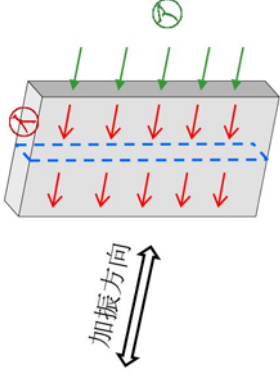
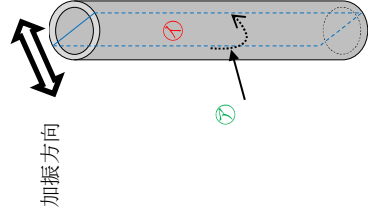
第 3-4-4 表に，3.4.4(1)で整理した構造形式毎に，3.4.4(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

また，構造形式ごとに，各構造物の概略図と特徴について以下に示す。

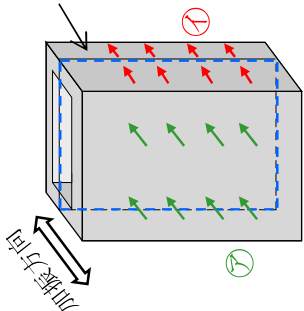
第 3-4-4 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 (1/3)

3. 4. 4 (1) で整理した構造形式の分類	a) 鋼殻構造物 (鋼製防護壁の上部工)	b) 線状構造物 (鉄筋コンクリート防潮壁の上部工等)	
3. 4. 4 (2) で整理した荷重の作用状況	<p>-----: 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p>  <p>(注) ⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p>	<p>-----: 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p>  <p>(注) ⑦慣性力はすべての構造部材に作用</p>	
	⑦動土圧及び動水圧	⑦動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に作用
	④摩擦力	④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
	⑦慣性力	⑦慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度	当該構造物の上部工は、基礎深さ及び地盤条件が異なる下部工を有し、また形状が複雑であるため、水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響の程度が大きい。		
抽出結果 (○: 影響検討実施)	○ ×		

第3-4-4表 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)

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

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

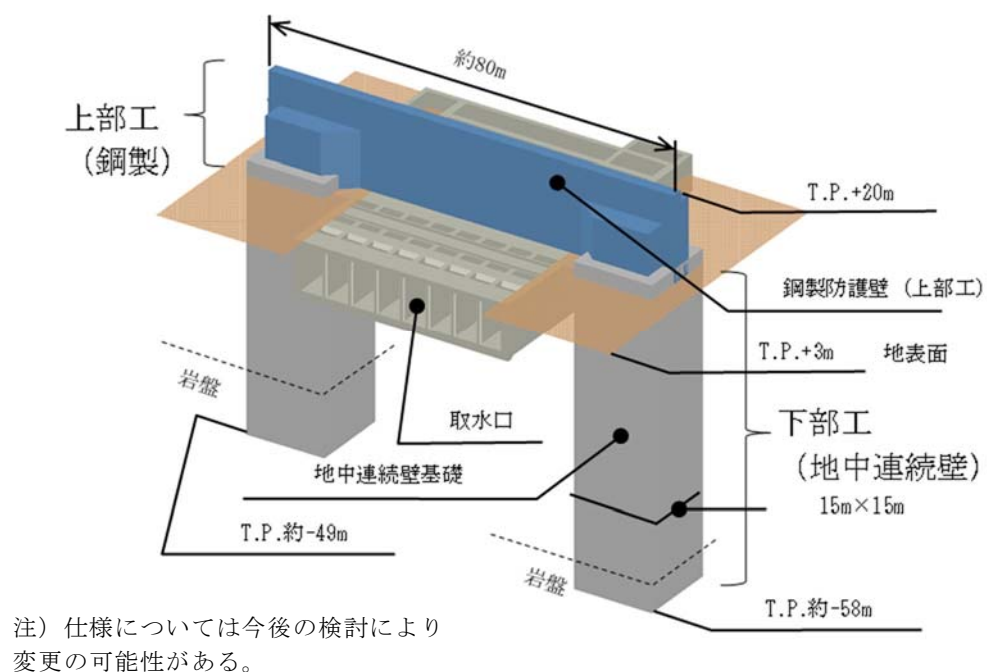
3. 4. 4 (1) で整理した 構造形式の分類	e) 箱型構造物 (出口側集水桝の上部工)	
3. 4. 4 (2) で整理した 荷重の作用状況	<div data-bbox="363 600 762 1294"> <p>----- : 従来設計手法における評価対象断面 (弱軸に平行な断面)</p>  <p>(注) ⑧慣性力はすべての構造部材に作用</p> </div>	
	⑦ 動土圧及び動水圧	加振方向に対して直交して配置される構造部材に作用
	④ 摩擦力	加振方向に対して平行に配置される構造部材に作用
	⑧ 慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における 評価対象断面に対して 直交する荷重の影響度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有し, ⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大	
抽出結果 (○: 影響検討実施)	○	

a) 鋼殻構造物

・ 鋼製防護壁の上部工

第 3-4-4 図に鋼製防護壁の上部工の概要図を示す。

当該構造物の上部工は、基礎深さ及び地盤条件が異なる下部工を有し、また形状が複雑であるため、水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響がある可能性が大きい。したがって、三次元解析を実施する。



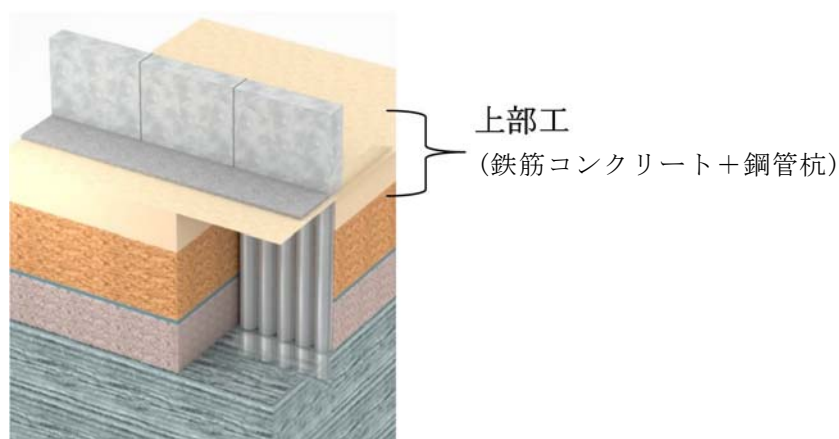
第 3-4-4 図 鋼製防護壁の上部工

b) 線状構造物

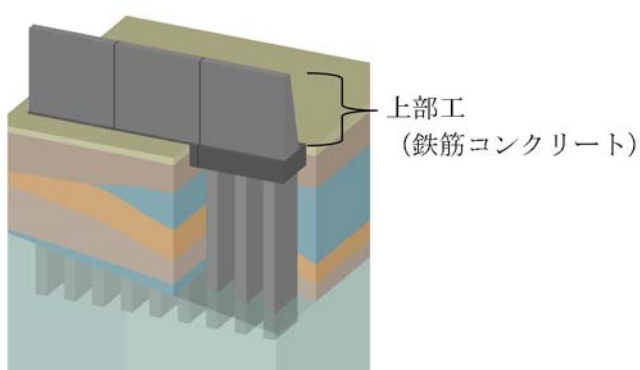
- ・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工，鉄筋コンクリート防潮壁の上部工，鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮壁

第3-4-5図，第3-4-6図及び第3-4-7図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。

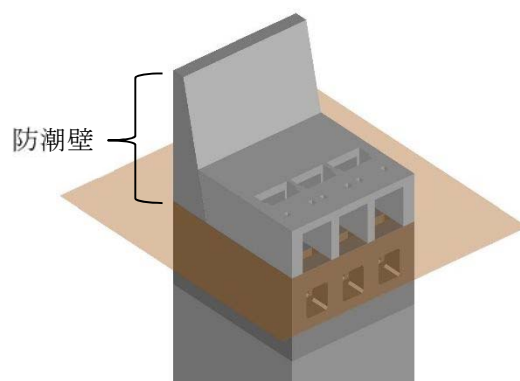
当該構造物は，擁壁タイプの線状構造物であり，その構造上の特徴として，妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さず，妻側（小口）の面積も小さいことから，従来設計手法における評価対象断面に対して直交する⑦動土圧及び動水圧はほとんど作用しない。



第3-4-5図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工



第3-4-6図 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

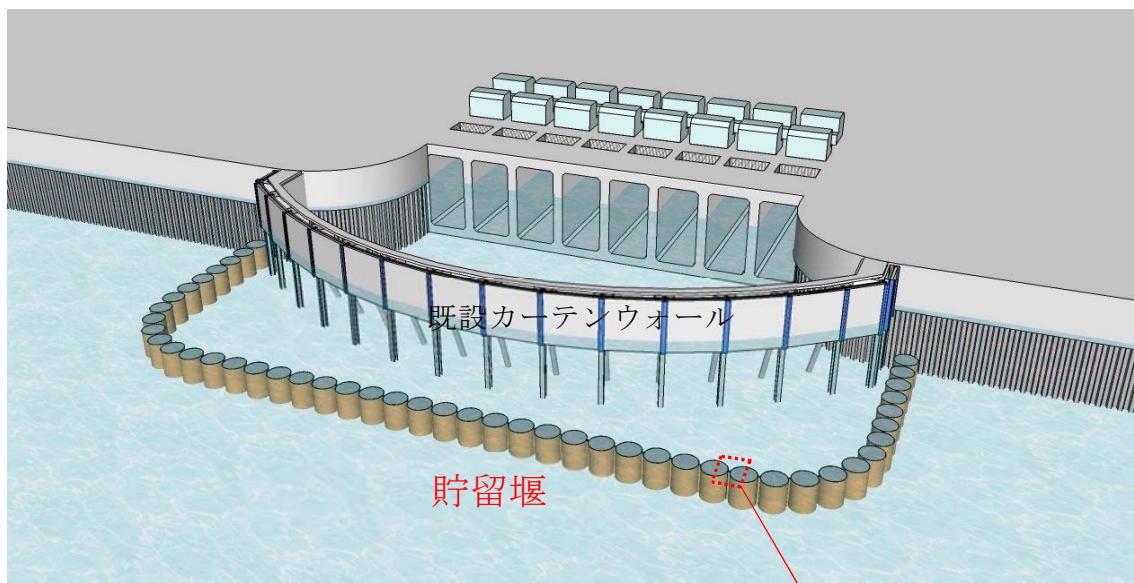


第3-4-7図 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の防潮壁

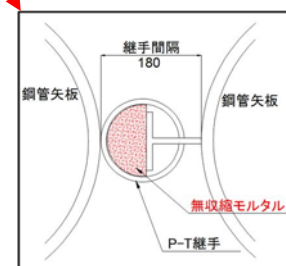
- ・貯留堰

第 3-4-8 図に貯留堰の概要図を示す。

貯留堰は鋼管矢板構造であり，線状構造物に分類される。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法線方向に拘束されており，法線方向の断面係数は，法線直角方向と比べて大きく，明確な強軸方向を示す。そのため，強軸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。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は小さい。



第 3-4-8 図 貯留堰

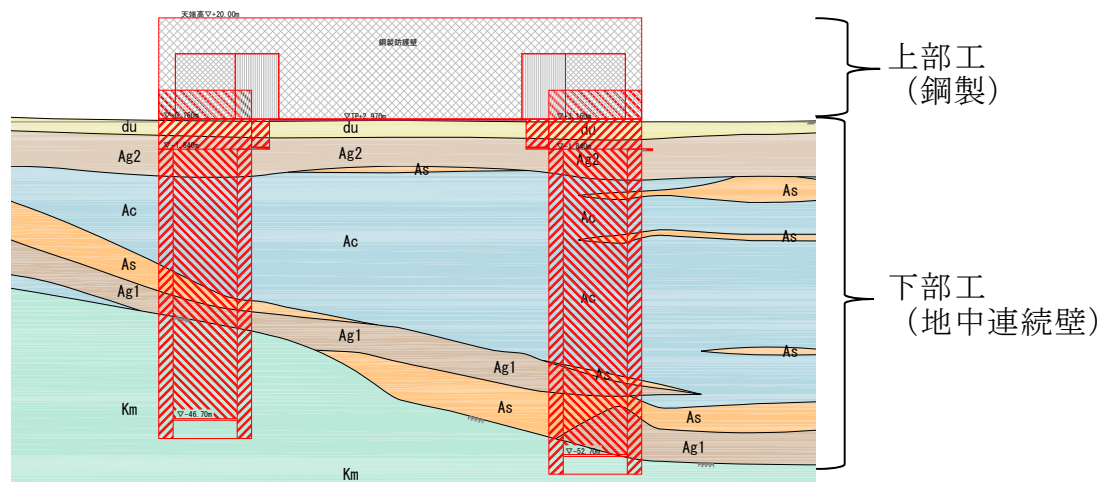


c) 地中連続壁基礎

・ 鋼製防護壁の下部工

第 3-4-9 図に鋼製防護壁の下部工の断面図を示す。

当該構造物の南北二つの下部工は、基礎深さ及び地盤条件が異なり 3 次元的に複雑な挙動をすることが考えられるため、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。

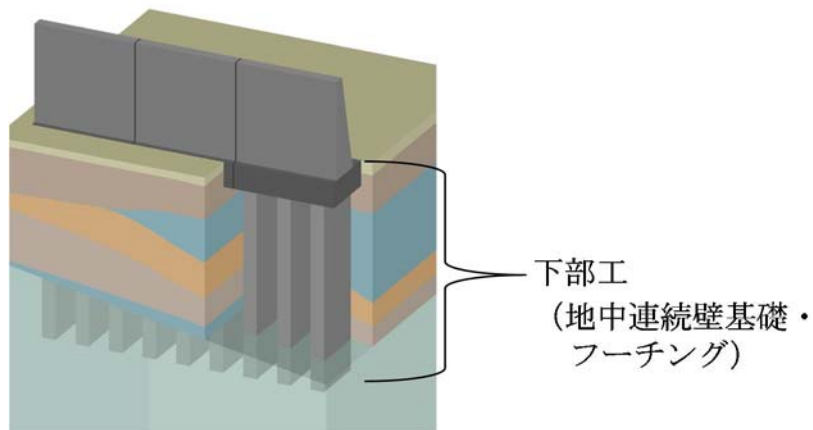


第 3-4-9 図 鋼製防護壁の下部工

- ・鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

第3-4-10図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。

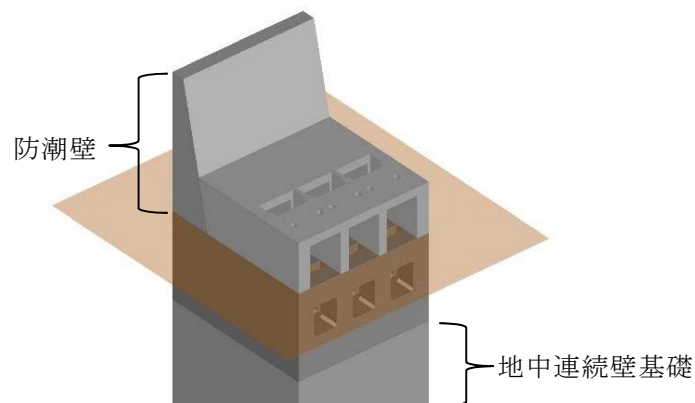


第3-4-10図 鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

- ・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

第3-4-11図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、防潮壁法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と防潮壁からの荷重による発生応力、並びに防潮壁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。



第3-4-11図 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

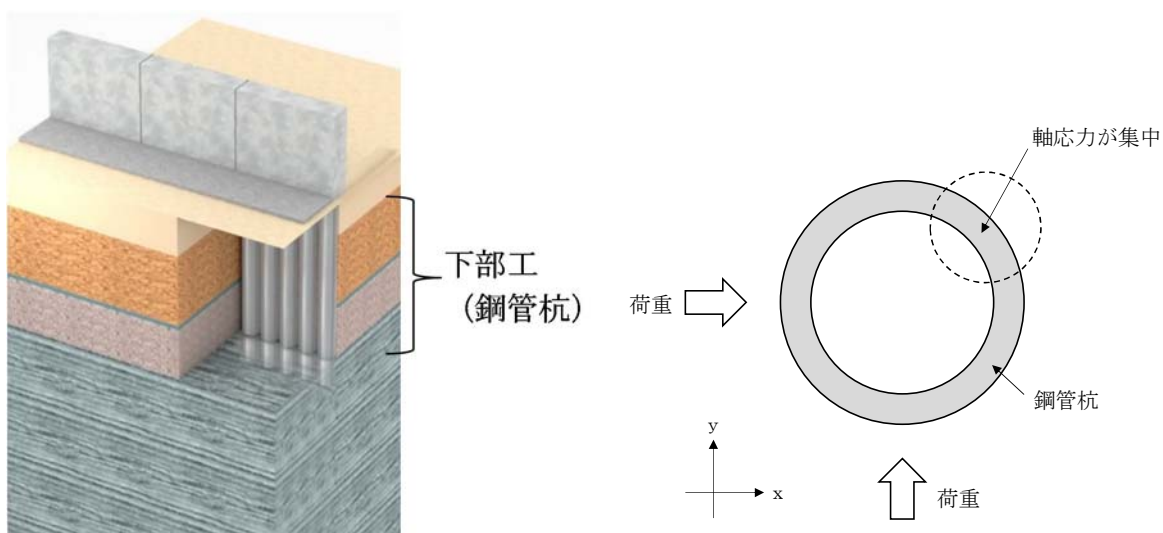
d) 鋼管杭基礎

- ・ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

第 3-4-12 図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、第 3-4-13 図に示すように水平 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。



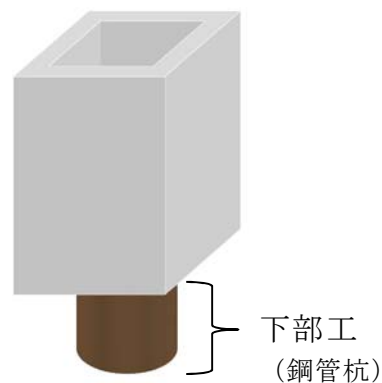
第 3-4-12 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工

第 3-4-13 図 鋼管杭基礎に係る応答特性

- ・ 出口側集水桝の下部工

第 3-4-14 図に出口側集水桝の下部工の概要図を示す。

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。



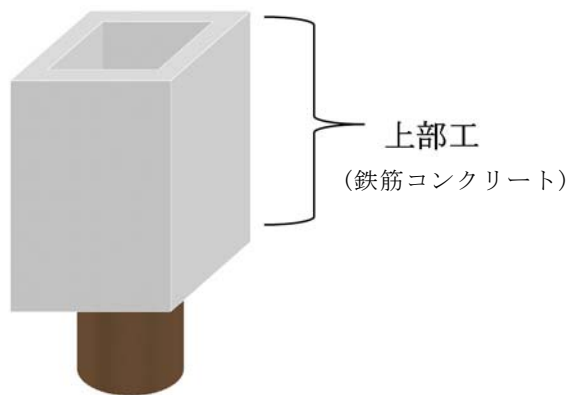
第 3-4-14 図 出口側集水桝の下部工

e) 箱型構造物

・ 出口側集水桝の上部工

第 3-4-15 図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，⑦動土圧及び動水圧による荷重が作用するため，水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せの影響が想定される。



第 3-4-15 図 出口側集水桝の上部工

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，鋼管杭基礎及び箱型構造物を抽出する。

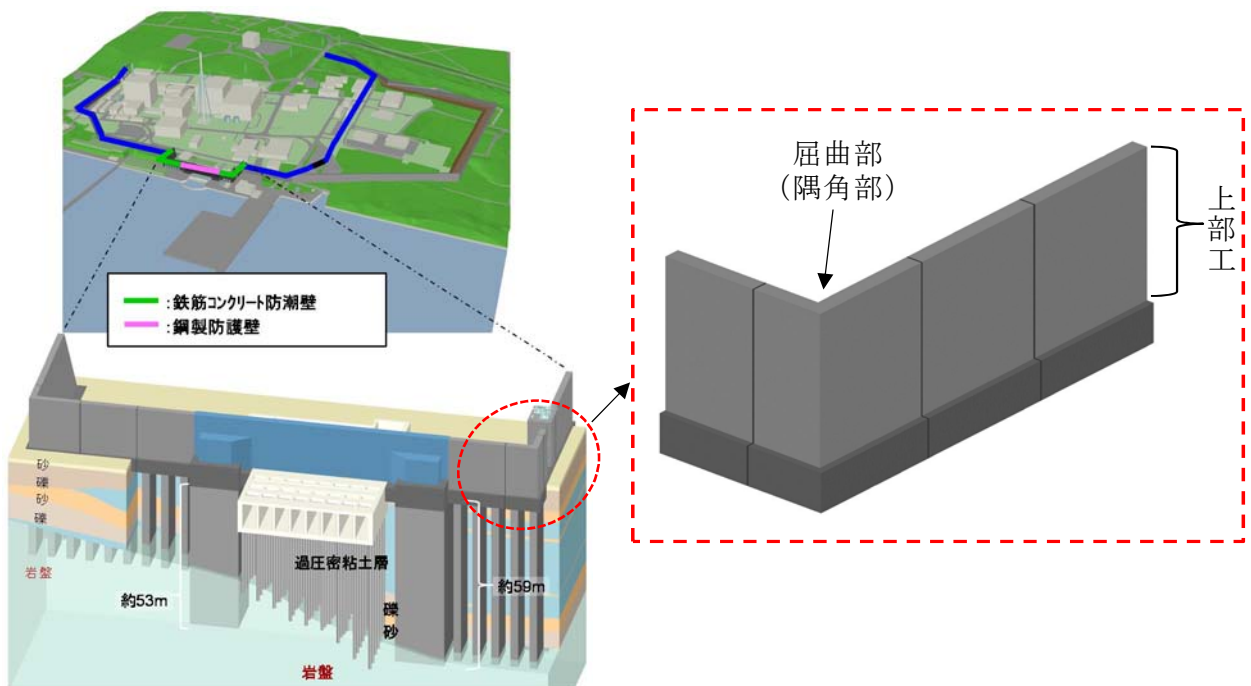
(4) 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

(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，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し，以下に示す。

a) 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工 【線状構造物】

第 3-4-16 図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，弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。



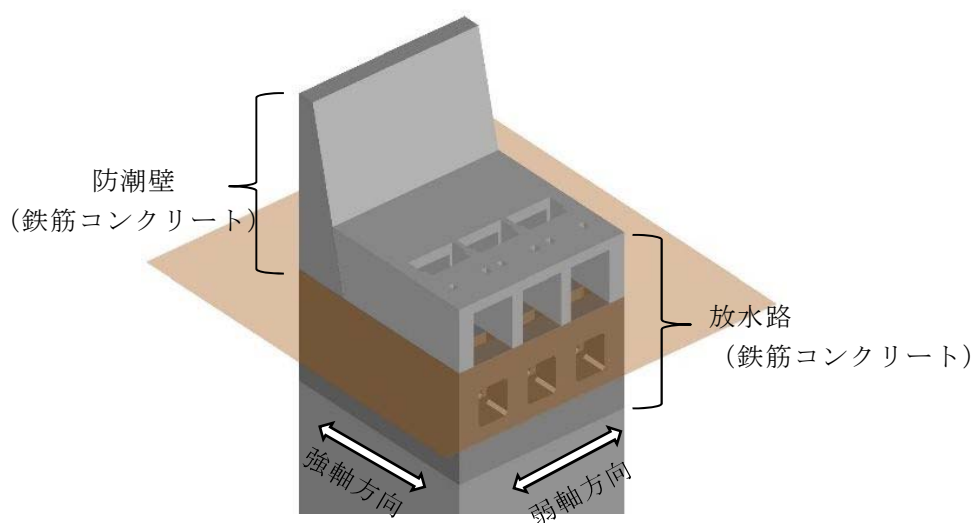
注) 仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

第 3-4-16 図 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】

第3-4-17図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。

当該構造物は、防潮壁から強軸方向の荷重を受ける。よって、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。

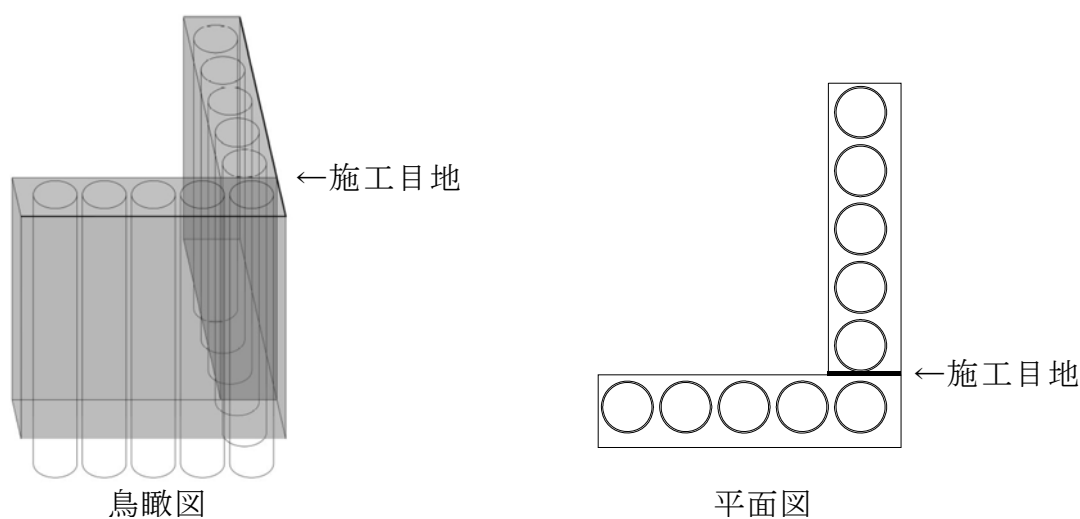


第3-4-17図 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

c) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工 【線状構造物】

第3-4-18図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。



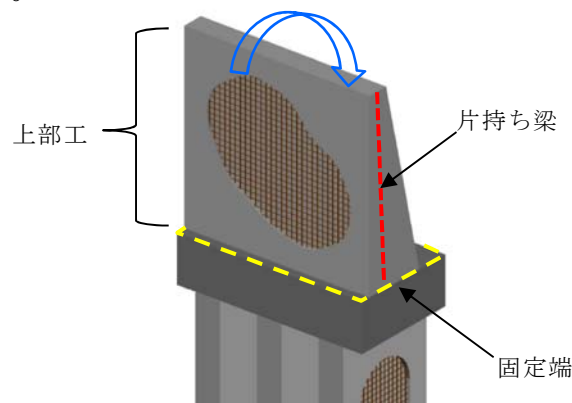
第3-4-18図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工

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。

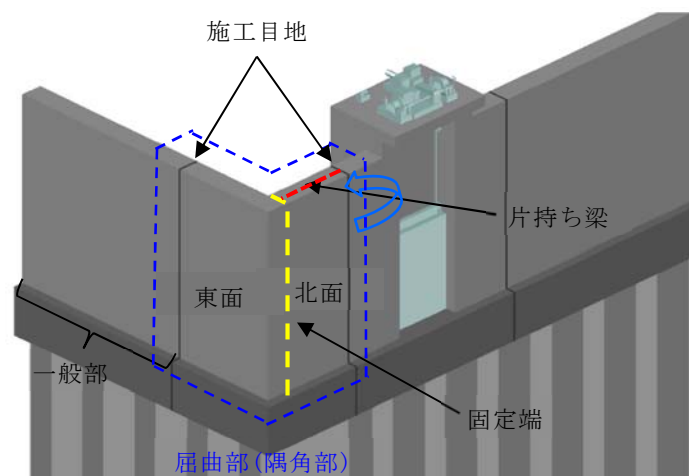
(5) 従来設計手法の妥当性の確認

i) 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、一般部は第3-4-19図に示すように、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)面は第3-4-20図に示すように、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、屈曲部（隅角部）は水平2方向の荷重を組み合わせた設計となるため、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部位として抽出する。なお、片持ち梁モデルの妥当性については、静的三次元モデル解析を実施し確認する。



第3-4-19図 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工〔一般部〕

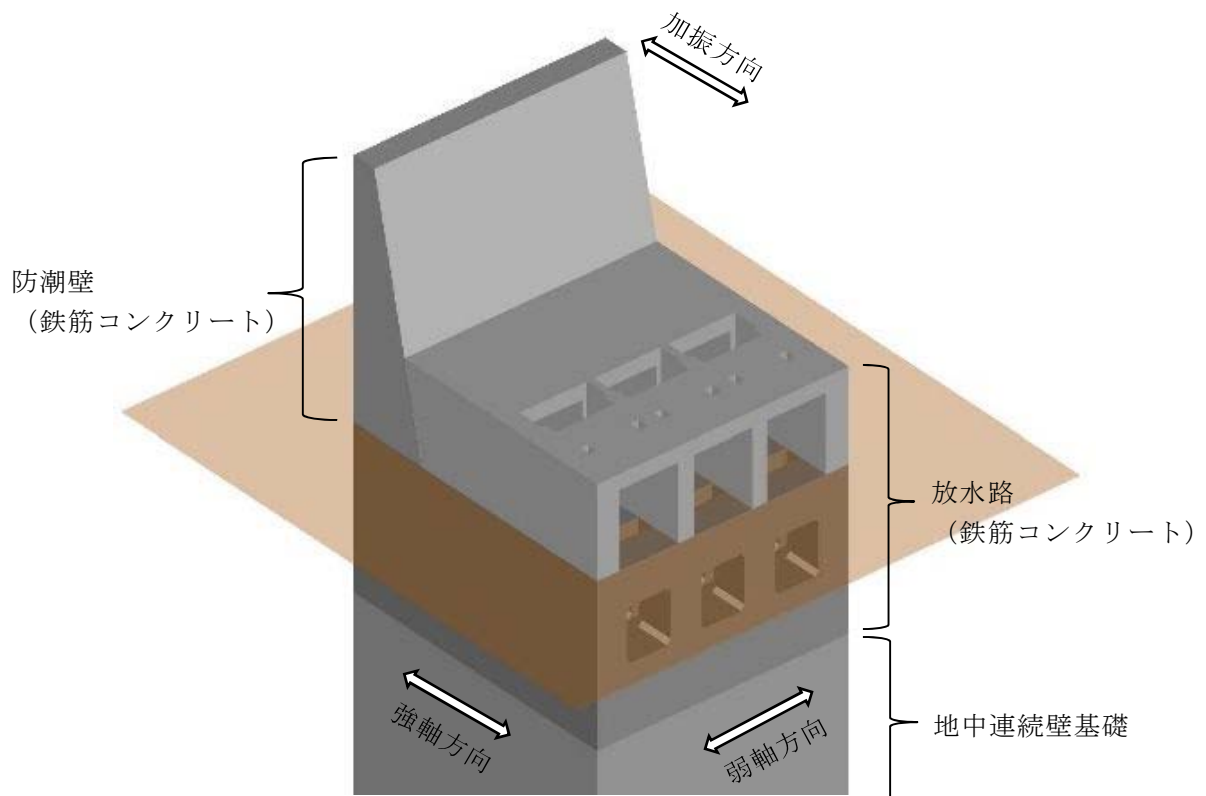


第3-4-20図 鉄筋コンクリート防潮壁の上部工〔屈曲部（隅角部）〕

ii) 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

第3-4-21図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）の放水路の設計において、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、強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。したがって、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部位として抽出する。



第3-4-21図 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

3.4.5 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

3.4.4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、地中連続壁基礎、鋼管杭基礎、箱型構造物、線状構造物のうち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）の放水路を抽出する。

なお、鋼殻構造物については、三次元解析を実施するため、ここでは対象外とする。

第3-4-5表に抽出した評価対象施設（構造物）を示す。

第3-4-5表 評価対象施設（構造物）の抽出結果

構造形式	施設（構造物）名称	フロー※中の対応番号
地中連続壁基礎	鋼製防護壁の下部工	③
	鉄筋コンクリート防潮壁の下部工	③
	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	③
鋼管杭基礎	鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の下部工	③
	出口側集水柵の下部工	③
箱型構造物	出口側集水柵の上部工	③
線状構造物	鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の屈曲部（隅角部）	⑤
	鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路	⑤

注）鋼殻構造物は三次元解析を実施するため対象外とする。

※第3-4-3図に示す影響評価フロー

3.4.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

(1) 地中連続壁基礎，鋼管杭基礎，線状構造物のうち鉄筋コンクリート防潮壁の上部工の屈曲部（隅角部）

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，従来の設計手法である水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の評価結果等を用い，水平2方向及び鉛直方向地震力の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」を参考として，組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)に基づいて地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の部位について，構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで，各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し，各部位が有する耐震性への影響を評価する。

(注)Regulatory Guide(RG) 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

2) 箱型構造物，鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路

箱型構造物及び鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の放水路に対する水平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，箱型構造物及び放水路の弱軸方向（評価対象断面）と強軸方向（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，弱軸方向加振における部材照査において，強軸方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸方向加振については，構造物の隔壁・側壁が，強軸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。

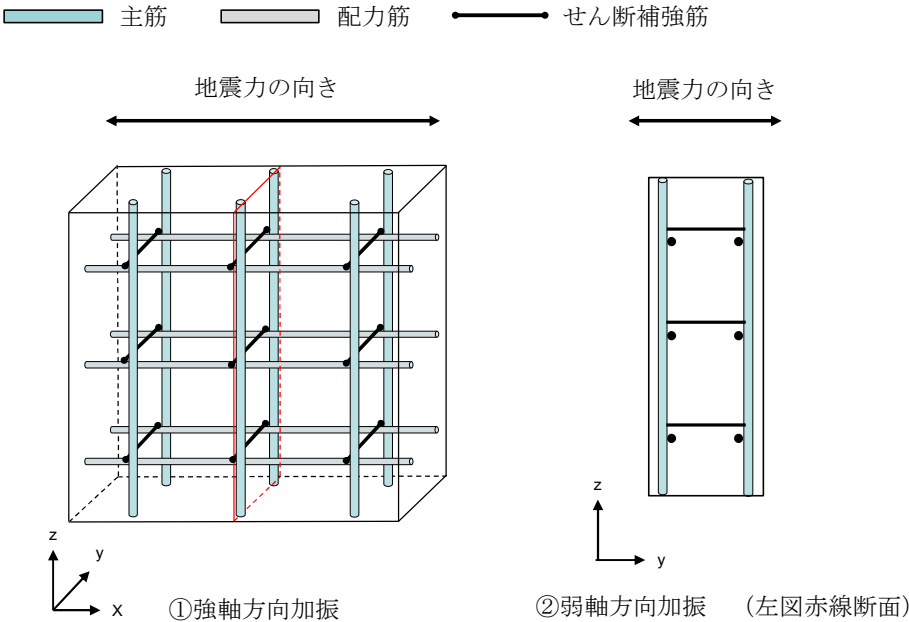
一方，強軸方向加振にて生じるせん断力を，構造物の隔壁・側壁のコンクリートのみで負担できず，鉄筋に負担させる場合，第3-4-22図に示すとおり，強軸方向加振にて発生する側壁・隔壁の主筋の発生応力が，弱軸方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

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，強軸方向加振にて発生する応力を，弱軸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，弱軸方向及び強軸方向の地震応答解析では，保守的に両方とも基

準地震動 S_s を用いる。

第 3-4-23 図に水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価
ローを示す。

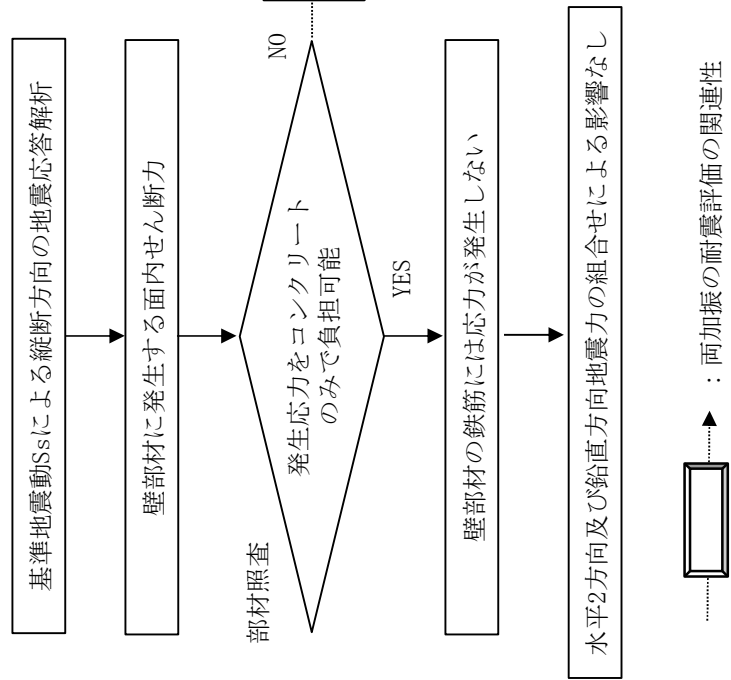


		①強軸方向加振	②弱軸方向加振	備考
断面力	M_y (y軸まわりの曲げモーメント)	△	×	
	M_x (x軸まわりの曲げモーメント)	×	○	
	N_z (鉛直方向軸力)	○	○	互いに干渉する可能性あり
	N_{zx} (zx平面内せん断)	○	×	
	Q_z (z方向面外せん断)	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

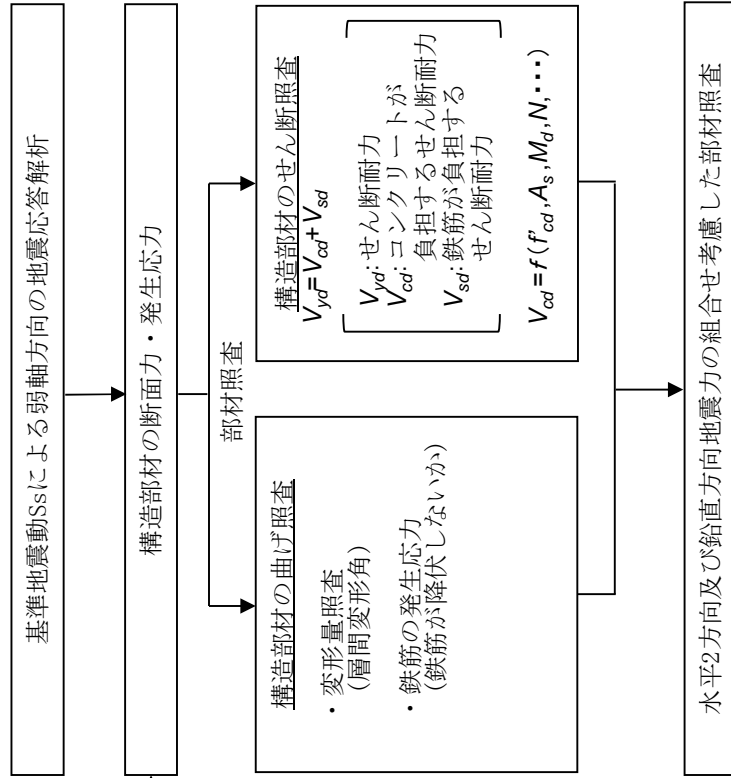
(○：発生する可能性あり，△：発生する可能性があるが極めて軽微，×：発生しない)

第 3-4-22 図 強軸方向加振及び弱軸方向加振において
発生する断面力・応力

○強軸方向での地震応答解析及び部材照査



○弱軸方向での地震応答解析及び部材照査



第 3-4-23 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

3.4.7 機器・配管系への影響評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、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・配管系の間接支持構造物である場合、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、津波防護施設の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。

表 1 構造強度評価

添付 1

設備	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせたも 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平 2 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 (3.2.4項(2)に対応)	振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する 左記の振動モードの影響がないことと理由 新たな応力成分が発生しないことと理由
炉心支持構造物	炉心シユラウド	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】	×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
		支圧応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平 2 方向入力の影響はない。	×	—
	レグ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円周配置であるため、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】	×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
		軸圧縮応力	△	B	同上		
		一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】	×	—
	シリンダブプレート下部胴	一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
		一次一般膜応力	△	B	評価部位は格子構造であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
原子炉圧力容器	上部格子板	一次一般膜応力	△	B	水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
		補強ビーム支持板	△	B	同上		
	炉心支持板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】	×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
	燃料支持金具	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】	×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
	制御棒案内管	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】	×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
	原子炉圧力容器	炉心回り円筒胴下鏡と胴板の接合部 下鏡とスカート の接合部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】	×
一次膜応力＋一次曲げ応力			△	B	同上		
一次＋二次応力			△	B	同上	×	—
一次＋二次＋ピーク応力			△	B	同上		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせたも1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	
原子炉圧力容器	制御棒駆動機構ハウジング貫通部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一樣断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	同上	×
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B			
		一次＋二次応力	△	B			
		一次＋二次＋ピーク応力	△	B			
		座屈（軸圧縮）	△	B			
	中性子計測ハウジング貫通部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一樣断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	同上	×
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B			
		一次＋二次応力	△	B			
		一次＋二次＋ピーク応力	△	B			
		一次一般膜応力	○	－			
ノズル	各部位	一次一般膜応力	○	－	評価においては3次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	同上	○
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－			
		一次＋二次応力	○	－			
		一次＋二次＋ピーク応力	○	－			
		一次一般膜応力	△	C			
原子炉圧力容器スタビライザブラケット	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次膜応力＋一次曲げ応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1】	同上	×
		一次一般膜応力	△	C			
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	D			
		一次一般膜応力	○	－			
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－			
ブラケット類	蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力	△	D	水平2方向入力時の地震力を4つのブラケットのうち2つで分担した荷重を方向毎に考慮した評価を行っている。【補足説明資料2】	同上	×
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	D			
		一次一般膜応力	○	－			
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－			
		一次一般膜応力	○	－			

設備		部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：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といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	振動モード及び振動モード成分の発生有無 ×：発生しないこと ○：発生すること その他の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
原子炉圧力容器	ブラケット類	給水スパージャブケット	一次一般膜応力	○	－	評価においては3次元的に配置されている炉内配管の応答を使用しており、炉内配管において地震入力方向に対する直交方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	×	－
			一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－	同上		
			純せん断応力	○	－	同上		
原子炉圧力容器支持構造物	支持スカート	スカート	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	×	－
			一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上		
			一次＋二次応力	△	B	同上		
			一次＋二次＋ピーク応力	△	B	同上		
			座屈（軸圧縮）	△	B	同上		
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	基礎ボルト	引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	－
			せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
			組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
			引張応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1】		
原子炉圧力容器付属構造物	格納容器スタビライザ 原子炉圧力容器スタビライザ 原子炉圧力容器支持板	トラスロッド デイスクスブリンク 支持板	せん断応力	△	C	同上	×	－
			圧縮応力	△	C	同上		
			曲げ応力	△	C	同上		
			組合せ応力	△	C	同上		
			せん断応力	△	B	水平方向地震が作用する際に、加振軸上に最大応力が発生する。水平2方向の地震力が同時に作用した場合においても、それぞれの方向の加振軸上に最大応力が発生する。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
			圧縮応力	△	B	同上		
	曲げ応力	△	B	同上				
制御棒駆動機構ハウジングレストレイメントビーム	レストレイメントビーム	レストレイメントビーム	せん断応力	△	B	同上	×	－
			圧縮応力	△	B	同上		
			曲げ応力	△	B	同上		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造に負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせたても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	①-1の影響有無の説明	左記の振動モード及び振動モード成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する その他の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット	一次一般膜応力	△	C	従来評価で評価が厳しくなる方向に地震荷重を与えているため、水平2方向入力を考慮しても水平1方向の地震荷重と同等となる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	同上	×
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	C			
	気水分離器及びスタンドバイパスシュラウドヘッド中性子束案内管	せん断応力	△	D	地震の水平力は4箇所の耐震用ブロックのうち相対する2箇所を受けるものとして評価しているが、水平2方向入力では4箇所の耐震用ブロックに荷重が分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	同上	×
		一次一般膜応力	△	B			
スパー ज्या 炉内配管	各部位	一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	同上	×
		一次一般膜応力	○	－			
	各部位	一次一般膜応力	○	－	3次元的に配置されているため、水平それぞれ方向の方向の地震力に対し、各方向で応力が発生する。したがって、水平2方向入力の影響がある。	同上	○
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－			
使用済燃料貯蔵ラック (共通ベース含む)	ラック部材	引張応力	○	－	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の一様断面でないため、発生応力は積算される。したがって、水平2方向入力の影響がある。	同上	○
		せん断応力	○	－			
	基礎ボルト ラック取付ボルト	組合せ応力	○	－	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】	同上	×
		引張応力	△	C			
四脚たて置き円筒形容器	胴板	せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料6】	同上	－
		組合せ応力	△	C			
	脚	一次一般膜応力	○	－	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。	同上	×
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－			
四脚たて置き円筒形容器	脚	一次一般膜応力	○	－	評価点が脚付根部等の局所であり、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	同上	－
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－			
	脚	一次一般膜応力	○	－	評価点が脚付根部等の局所であり、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	同上	－
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－			

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：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といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-2 水平2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(3.2.4項(2)に対応)	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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(3.2.4項(2)に対応)
						振動モード及びび下の影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由 ×：発生しない ○：発生する	
四脚たて置き円筒形容器	基礎ボルト	引張応力	○	－	1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】	×	－
		組合せ応力	○	－	1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。		
		一次一般膜応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
横置円筒形容器	胴板	一次膜応力＋一次曲げ応力	△	A	同上		
		一次＋二次応力	△	A	同上		
		組合せ応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。	×	－
	脚	引張応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
立形ポンプ	コラムパイプ パレルケーシング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	○	現在考慮しているX、Y方向振動モードではねじれ振動は現れない。よって、ねじれ振動モードが高次に現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
		引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の影響は軽微である。		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
	基礎ボルト 取付ボルト	組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	－
		引張応力	△	D	同上		
ECCストレーナ	各部位（ボルト以外）	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】	×	－
	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
		組合せ応力	△	C	同上		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：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といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	①-1の影響有無の説明	左記の振動モード及びびドの影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこと ×：発生しない ○：発生することとの理由		
伝送器（円形吊下）	取付ボルト	引張応力	△	C		鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響はない。	×	—	
		引張応力	△	C		ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】			
制御盤	取付ボルト	せん断応力	△	C		水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料6】	×	—	
		組合せ応力	△	C		上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。			
原子炉格納容器	サブプレッションチェンバ底部ライナ	圧縮ひずみ	○	—		水平2方向入力の影響がある。	×	—	
		引張ひずみ	○	—		同上			
		一次一般膜応力	△	B		評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】			
	ドライウエルトップヘッド	一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B		同上		×	—
		一次＋二次応力	△	B		同上			
		一次一般膜応力	△	B		評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】			
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B		同上		×	—
	ドライウエル円錐部及びサブプレッションチェンバ円筒部シエル部及びビームシート	一次＋二次応力	△	B		同上			
		引張応力	△	C		多角形配置により水平地震力は分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		せん断応力	△	C		同上			
ドライウエルビームシート	各部位	圧縮応力	△	C		同上			
		曲げ応力	△	C		同上			
		組合せ応力	△	C		同上		×	—
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	C		多角形配置により水平地震力は分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
	ビームシート	一次＋二次応力	△	C		同上			

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：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といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	
					振動モード及び応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードなどの理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
原子炉格納容器	ドライウエル上部シアラグ及びスタビライザ ドライウエル下部シアラグ及びスタビライザ	引張応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分散される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料1】	
		せん断応力	△	C	同上	
		曲げ応力	△	C	同上	×
		組合せ応力	△	C	同上	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分散される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料1】	
	ドライウエルスプレッド	一次＋二次応力	△	C	同上	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－	3次元的に配置されているため、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	×
		一次＋二次応力	○	－	同上	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－	評価部位は水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	×
		一次＋二次応力	○	－	同上	
原子炉格納容器配管貫通部	原子炉格納容器胴アンカー部	引張応力	△	B	評価部位は円周上に配置されていることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。従って、水平2方向入力の影響は軽微である。	
		曲げ応力	△	B	同上	
		圧縮応力	△	B	同上	×
		組合せ応力	△	B	同上	
		せん断応力度	△	B	評価部位は円周上に配置されていることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。従って、水平2方向入力の影響は軽微である。	
	原子炉格納容器配管貫通部	一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－	評価部位は水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○
		一次＋二次応力	○	－	同上	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×
		一次＋二次応力	△	D		
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	D		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：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といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）
ダイヤフラムフロア	補強板付根部	一次＋二次応力	△	D	同上	①-1の影響有無の説明	振動モード及び振動モード間の相関関係がないこと、理由 ×：発生しない ○：発生する
	構造用スラブ	引張応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料4】		
		せん断応力度	△	C			
		圧縮応力度	△	C			
		曲げ応力	△	C			
	大ばり 小ばり	せん断応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響はない。【補足説明資料4】	×	－
	柱	圧縮応力	△	C	同上		
	シヤーコネクタ	せん断応力	△	C	多角形配置により水平地震力は分担されることから、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料4】		
	上部 ブレース部	一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	×	－
	ベント管	一次＋二次応力	△	B	同上		
	格納容器スプレッド	一次膜応力＋一次曲げ応力	○	－	評価部位は、非対象構造であるため水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロダ	ブレース	圧縮応力	△	A	ブレースはプロダの重心とサポートプレート設置位置のずれによる軸方向転倒防止のため設置している。そのためブレースが受け持つ荷重は現在評価対象としている軸方向の転倒モーメント分のみと考えられ、軸直方向の水平地震荷重はベース溶接部のせん断で受け持つと考えられる。したがって、水平2方向入力の影響は受けない。	×	－
	ベース取付溶接部	引張応力	△	A	溶接部の配置は矩形であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはなく、2方向入力の影響は軽微である。		
		せん断応力	○	－	ベース溶接部で水平方向のそれぞれの水平荷重を負担する。したがって、水平2方向入力の影響がある。	×	－
		引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】		
	基礎ボルト 取付ボルト	せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料6】	×	－
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：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といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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(3.2.4項(2)に対応)	左記の振動モード及びび下の影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこと ×：発生しない ○：発生することの理由
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料6】	×	—
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】		
		一次＋二次応力	△	B	同上		
スカート支持たて置円筒形容器	スカート	組合せ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】		
		座屈	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。	×	—
		引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。		
	基礎ボルト	せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
プレート式熱交換器	側板	一次一般膜応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	A	同上		
		一次＋二次応力	△	A	同上		
	脚	組合せ応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。	×	—
		引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】		
	基礎ボルト	せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料6】		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせたも1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	左記の振動モードの影響がないこととの理由 新たな応力成分が発生しないこと ×：発生しない ○：発生する	
ラグ支持たて置き円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	×	—	
		一次膜応力＋一次曲げ応力	△	B	同上			
		一次＋二次応力	△	B	同上			
	ラグ	組合せ応力	△	B	水平2方向が同時に作用した場合においても、応力評価点が区別されるため、2方向入力の影響は軽微である。	×	—	
		引張応力	△	B	ラグ構造は径方向にスライド可能であり、水平2方向が同時に作用した場合においても、応力評価点が区別されるため、2方向入力の影響は軽微である。			
		せん断応力	△	B	ラグ構造は径方向にスライド可能であり、荷重を分担する部材が地震方向により異なるため、荷重の重ね合わせが発生せず、影響は軽微である。			
その他電源設備	基礎ボルト	組合せ応力	△	B	上記引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組み合わせ応力も水平2方向の影響は軽微である。	×	—	
		引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料6】			
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料6】			
	取付ボルト	組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組み合わせ応力も水平2方向の影響は軽微である。	×	—	
		一次応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。			
		一次＋二次応力	○	—	同上			
配管本体、サポート（多質点梁モデル解析）	配管、サポート	各応力分類	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—	
		引張応力	△	A	壁面に据付部材を介して支持される。構造上、壁に垂直な方向の地震入力では据付ボルトの応力成分は引張応力のみであるのに対し、壁面と平行な方向はせん断応力及び曲げモーメントによる引張応力が発生する。壁面と平行な応力が支配的であるため、水平2方向の影響は軽微である。			
		せん断応力	△	A	同上			
	通信連絡設備（アンテナ）	ボルト	組合せ応力	△	A	同上	×	—
			引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。		
			せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
水位計	取付ボルト					×	—	

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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(3.2.4項(2)に対応)	左記の振動モード及びび新たな応力成分の理由 ×：発生しない ○：発生する その他の理由
監視カメラ		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
	取付ボルト	引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が変わる。したがって水平2方向の影響は軽微である。		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。	×	—
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
	据付部材	組合せ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
貫通部止水処置	シール材	シールに生じる変位	△	C	対象となる貫通部は建屋軸に沿った配置となっていることから、シール材に加わるせん断方向及び圧縮方向の変位は、水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
浸水防止蓋	蓋	曲げ応力	△	C	鉛直方向加速度のみを用いた評価であるため、水平2方向を考慮しても影響はない。		
		せん断応力	△	C	同上	×	—
	基礎ボルト	組合せ応力	△	C	同上		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
逆流防止用逆止弁	各部位	各応力分類	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
原子炉ウエル遮へいブラグ	本体	せん断応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		引張応力度	△	B	評価部位は円形の円筒断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料 3】		
原子炉本体の基礎	円筒部 中間スラブ	圧縮応力度	△	B	同上		
		せん断応力度	△	B	同上		
		引張応力度	△	B	円筒配置であり、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	—
	下層円筒基部	せん断応力度	△	B	同上		
		曲げ応力度	△	B	同上		

設備	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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（3.2.4項(2)に対応）
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの理由 新たな応力成分が発生しないこととの理由 ○：発生する
燃料取替機	燃料取替機構造物ブレース 脱線防止ラック(本体) 脱線防止ラック(本体) 走行レール横行レール	引張応力	△	A	すべり方向とすべり直交方向では、それぞれの水平方向地震を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料5】	同上	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		せん断応力	△	A	同上	○	同上
		組合せ応力	△	A	同上	○	同上
		せん断応力	△	A	すべり方向とすべり直交方向では、それぞれの水平方向地震を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料5】	同上	同上
建屋クレーン	吊具	吊具荷重	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向方向入力の影響はない。	×	－
		せん断応力	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせさせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		曲げ応力	△	D	同上	○	同上
		浮上り量	△	D	同上	×	－
	落下防止金具	圧縮応力	△	A	すべり方向とすべり直交方向では、それぞれの水平方向地震を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。	×	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		圧縮応力	△	A	同上	×	－
		曲げ応力	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせさせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		組合せ応力	△	D	同上	○	同上
		浮上り量	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせさせた評価を実施している。	×	－
		吊具荷重	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせさせた評価を実施している。	×	－
原子炉遮へい壁	一般胴部開口集中部	せん断応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせさせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	×	－
		圧縮応力	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない。したがって、水平2方向方向入力の影響は軽微である。	×	－
		曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせさせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	×	－
		組合せ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせさせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料3】	×	－

表2 動的／電気的機能維持評価

機 種	①-1 水平2方向の地震力の重複 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：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と見做せるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2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 (3.2.4項(2)に対応)	
				振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
立形ポンプ	○	－	軸受は円周に均等に地震力を受け持つため、水平2方向入力の影響を受ける。	×	－
横形ポンプ	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価 [※] で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	－
ポンプ駆動用タービン	△	B	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価 [※] で最弱部である非箱（主蒸気止め弁ヨーク部（立置き））に対して、水平2方向による最大応力の発生箇所が異なるため影響は軽微である。	×	－
立形機器用電動機	△	D	最弱部である軸受に対して、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価 [※] において十分な裕度で確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	－
横形機器用電動機	△	D	最弱部であるフレームに対して、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価 [※] において十分な裕度が確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	－
空調ファン	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価 [※] で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	－
非常用ディーゼル発電機 (機器本体)	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価 [※] で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	－
非常用ディーゼル発電機 (ガバナ)	○	－	ガバナについては水平2方向合成による応答増加の影響がある。ただし、JEA64601に記載の機能維持確認済加速度は1.8Gであるが、旧JNES試験より4Gまで機能維持を確認しているため、2方向合成加速度が4G未満であれば問題ない。	×	－
弁	○	－	弁については水平2方向合成による応答増加の影響があるが、2方向合成加速度が試験にて確認した機能維持確認済加速度未満であれば問題ない。	×	－
制御棒挿入性	○	－	水平2方向入力の影響がある。	×	－
電気盤	△	A	電気盤、制御盤等に取付けられているリレー、遮断器等の電気品は、基本的に1次元的な接点のON-OFFに關わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て受、直等の絶縁部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	－
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向成分にも共振点はないものと考えられる。ことから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	－
常設代替高圧電源装置	△	A	水平2方向の入力で対角方向にตอบสนองすることはないため、水平2方向の入力の影響は軽微である。	×	－
水位計	加振試験時の掃引試験により水平2方向に対する影響有無を確認し、方針を決定する。				
監視カメラ	加振試験時の掃引試験により水平2方向に対する影響有無を確認し、方針を決定する。				
通信連絡設備（アンテナ類）	○	－	水平2方向入力の影響がある。	×	－

※：JEA64601で定められた評価部位の裕度評価

添付 1 補足説明資料

目 次

1. 水平2方向同時加振の影響評価について（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）
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）
3. 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）
4. 水平2方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）
5. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）
6. 水平2方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）
7. 水平2方向同時加振の影響評価について（電気盤）

1. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉压力容器スタビライザ及び格納容器スタビライザ）

1.1 はじめに

本項は、原子炉压力容器スタビライザ（以下「RPVスタビライザ」という。）及び格納容器スタビライザ（以下「PCVスタビライザ」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

RPVスタビライザとPCVスタビライザは、地震時の水平方向荷重を周方向45° 間隔で8体の構造部材にて支持する同様の設計であるため、以下水平2方向同時加振の影響については、RPVスタビライザを代表に記載する。

1.2 現行評価の手法

RPVスタビライザは、周方向45° 間隔で8体配置されており、第1-1図に地震荷重と各RPVスタビライザが分担する荷重の関係を示す。

水平方向の地震荷重に関して現行評価では、RPVスタビライザ6体に各水平方向地震力（X方向、Y方向）の最大地震力が負荷されるものとしている。

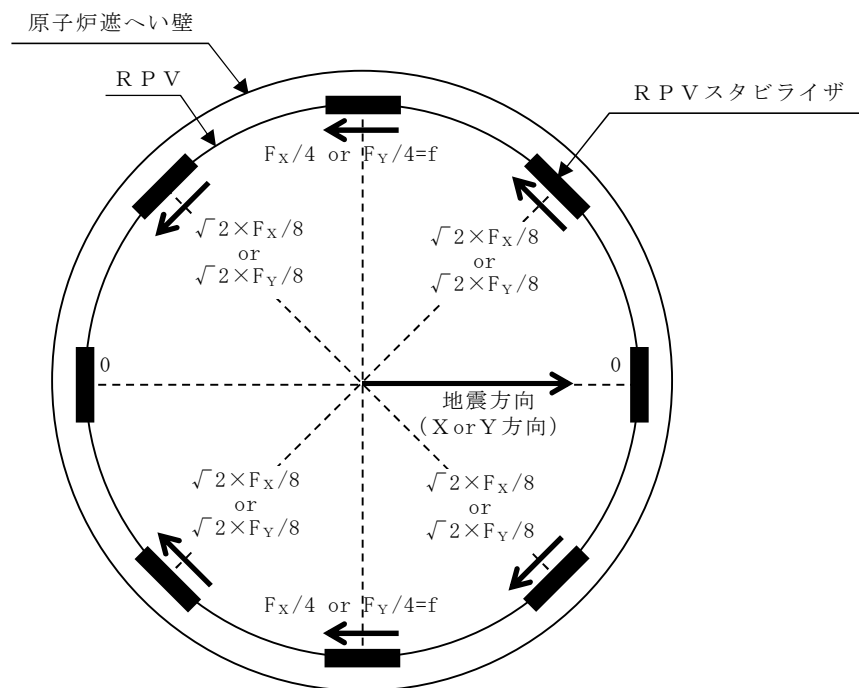
$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_X}{4}, \frac{F_Y}{4} \right)$$

ここで、

f : RPVスタビライザ 1 個が受けもつ最大地震荷重

F_X : X方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重

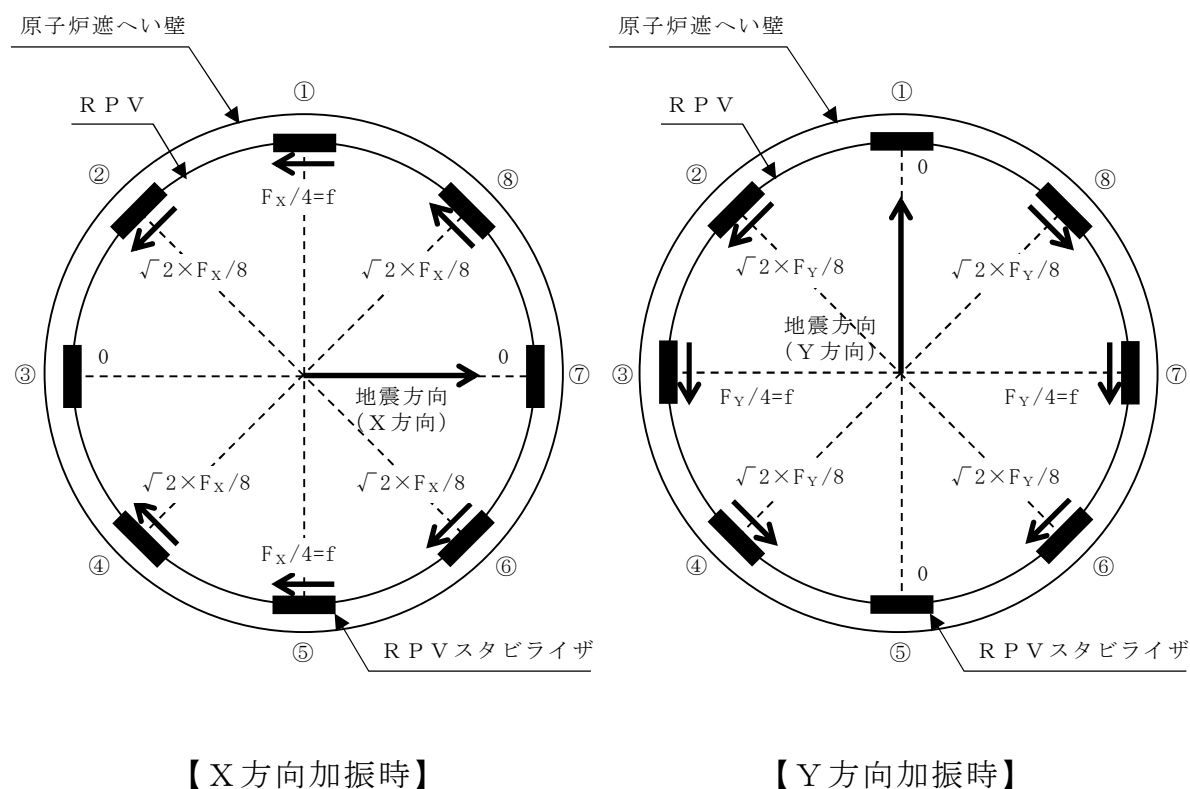
F_Y : Y方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重



第 1－1 図 原子炉圧力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平 1 方向）

1.3 水平2方向同時加振の影響

RPVスタビライザは，水平2方向の地震力を受けた場合における荷重分担について，第1－2図及び第1－1表に示す。第1－2図及び第1－1表に示すとおり，方向別地震荷重 F （ F_X または F_Y ）に対する最大反力を受け持つ部位が異なることが分かる。



第 1－2 図 原子炉压力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平 2 方向）

第 1－1 表 原子炉压力容器スタビライザ各点での分担荷重

位置		方向別地震力 F に対する反力	
		X 方向	Y 方向
①	0°	$F_X/4$	0
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
③	90°	0	$F_Y/4$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑤	180°	$F_X/4$	0
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑦	270°	0	$F_Y/4$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
最大		$F_X/4$	$F_Y/4$

水平2方向地震力の組合せの考慮については、第1－1表に示した水平方向反力を用いてX方向・Y方向同時には最大の地震力が発生しないと仮定し、以下の2つの方法にて検討を行った。

- ① 組合せ係数法： $F_Y=0.4F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果を単純和する。
- ② 最大応答の非同時性を考慮したS R S S法： $F_Y=F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果をS R S S法にて合成する。

上記検討の結果を第1－2表に示す。いずれの検討方法を用いても、水平2方向反力の組合せ結果の最大値は f となり、これは水平1方向反力の最大値と同値である。

したがって、RPVスタビライザに対して水平2方向の影響はない。

第1－2表 RPVスタビライザ各点における水平2方向の考慮

		①組合せ係数法を用いた 水平2方向反力の組合せ ($F_Y=0.4F_X$)	②S R S S法を用いた 水平2方向反力の組合せ ($F_Y=F_X$)
①	0°	$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$
②	45°	$\sqrt{2 \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_X/8} = \sqrt{2 \times 1.4 \times F_X/8}$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((2 \times F_X/8)^2 + (2 \times F_X/8)^2)}$ $= F_X/4 < f$
③	90°	$F_Y/4 = 0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4 = F_X/4 < f$
④	135°	$\sqrt{2 \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_X/8} = \sqrt{2 \times 1.4 \times F_X/8}$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((2 \times F_X/8)^2 + (2 \times F_X/8)^2)}$ $= F_X/4 < f$
⑤	180°	$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$
⑥	225°	$\sqrt{2 \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_X/8} = \sqrt{2 \times 1.4 \times F_X/8}$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((2 \times F_X/8)^2 + (2 \times F_X/8)^2)}$ $= F_X/4 < f$
⑦	270°	$F_Y/4 = 0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4 = F_X/4 < f$
⑧	315°	$\sqrt{2 \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_X/8} = \sqrt{2 \times 1.4 \times F_X/8}$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((2 \times F_X/8)^2 + (2 \times F_X/8)^2)}$ $= F_X/4 < f$
最大		$F_X/4 = f$	$F_Y/4 = f$

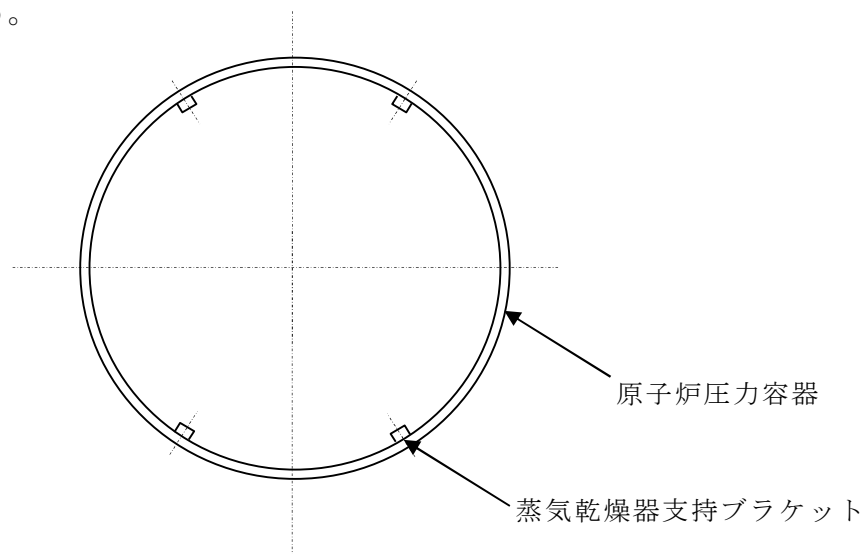
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

2.1 はじめに

本項は，蒸気乾燥器支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

2.2 現行評価の手法

蒸気乾燥器支持ブラケットは，4体配置されており，位置関係は第2－1図の通りとなる。



第2－1図 蒸気乾燥器支持ブラケット配置図

蒸気乾燥器支持ブラケットは，4体で耐震用ブロックを介し蒸気乾燥器ユニットを支持する設計である。しかし，耐震用ブロックと蒸気乾燥器支持ブラケットの間にはクリアランスが存在し，水平地震動の入力方向によっては，4体のうち対角のブラケット2体のみがその荷重を負担する可能性があるため，現行評価では対角のブラケット2体により，水平2方向の地震荷重を支持するものとして評価している。

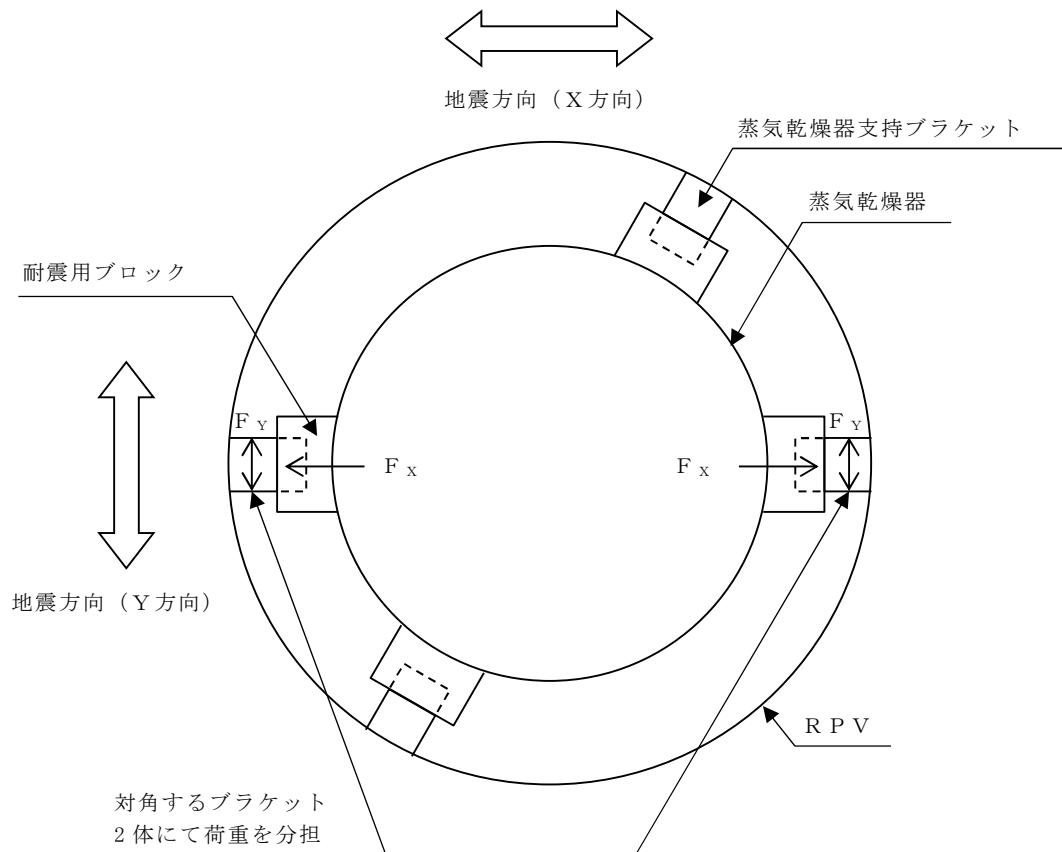
第2－2図に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_x}{2}, \frac{F_y}{2} \right)$$

f : 蒸気乾燥器ユニットから受ける地震荷重

F_x : X方向地震よりブラケット全体に発生する荷重

F_y : Y方向地震よりブラケット全体に発生する荷重



第2-2図 評価におけるブラケットの負荷状態

2.3 水平2方向同時加振の影響

蒸気乾燥器支持ブラケットは、現行評価において、水平2方向の地震荷重を同時に考慮し、ブラケットと耐震ブロックの接触状態として想定される最も厳しい状態として、4体のブラケットのうち2体で荷重を支持すると評価しており、水平2方向同時加振による現行の評価結果への影響はない。

3 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）

3.1 はじめに

本項は、水平地震動が水平2方向に作用した場合の円筒形容器に対する影響検討をF E Mモデルを用いた解析で確認した結果をまとめたものである。

容器については、X方向地震とY方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組み合わせても影響軽微としている。本項では解析にて影響確認することを目的として、円筒形容器のF E Mモデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は軸方向応力、周方向応力及びせん断応力の組合せにより確認を行うため、胴の組合せ一次応力を対象としたものである。

具体的な確認項目として、以下2点を確認した。

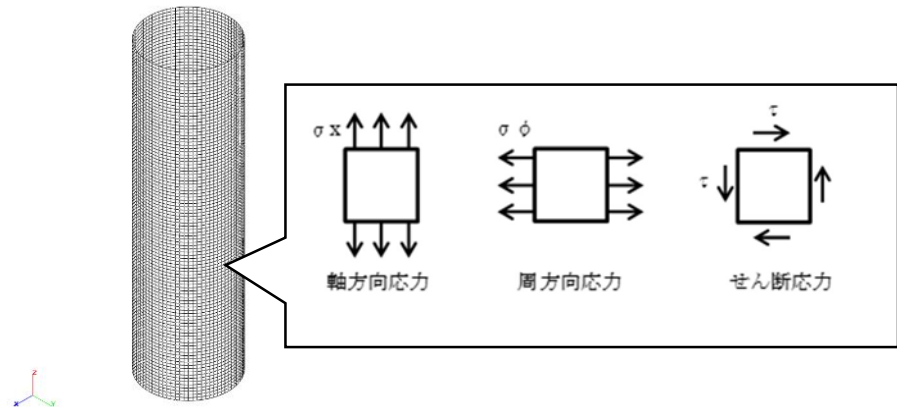
- ① X方向地震とY方向地震とで最大応力点が異なることへの確認
- ② 最大応力点以外に、X方向地震とY方向地震による応力を組み合わせた場合に影響のあるような点があるかを確認

3.2 影響評価検討

評価検討モデルを第3－1図に示す。検討方法を以下に示す

- ・ 検討方法 : 水平地震力1Gを、X方向（0° 方向）へ入力し、周方向の0° 方向から90° 方向にかけて応力分布を確認する。また、水平1方向地震による応力を用いて水平2方向地震による応力を評価する。
- ・ 検討モデル : たて置き円筒形容器をシェル要素にてモデル化
- ・ 拘束点 : 容器基部を拘束
- ・ 荷重条件 : モデル座標のX方向に水平地震力1Gを負荷

- ・ 解析方法 ： 静的解析
- ・ 対象部位及び応力 ： 容器基部における応力
- ・ 水平2方向同時加振時の組合せ方法
 - 組合せ係数法（最大応答の非同時性を考慮）
 - S R S S 法（最大応答の非同時性を考慮）



第3－1図 評価検討モデル

3.3 検討結果

3.3.1 軸方向応力 σ_x

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンター図を第3－2図に示す。

この結果により，最大応力点は 0° / 180° 位置に発生していることが分かる。円筒形容器のため評価部位が円形の一様断面であることから，Y方向から水平地震力を入力した場合においても，最大応力点は 90° / 270° 位置に発生することは明白であるため，水平方向地震動の入力方向により最大応力点は異なる。

また，第3－1表にX方向，Y方向，2方向入力時の軸方向応力分布を示す。

中間部 (0° / 90° 方向以外) において2方向入力時の影響が確認できる。

なお，組合せ係数法及びS R S S 法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力 $\sigma_{x,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{x,s}(\theta)$ は，水平1方向入力時の軸方向応力解析結果（X

方向入力時応力 $\sigma_{x,X}(\theta)$ 、Y方向入力時応力 $\sigma_{x,Y}(\theta)$ により、以下のとおり算出する。

< 組合せ係数法 >

$$\sigma_{x,c}(\theta) = \max(\sigma_{x,c(X)}(\theta), \sigma_{x,c(Y)}(\theta))$$

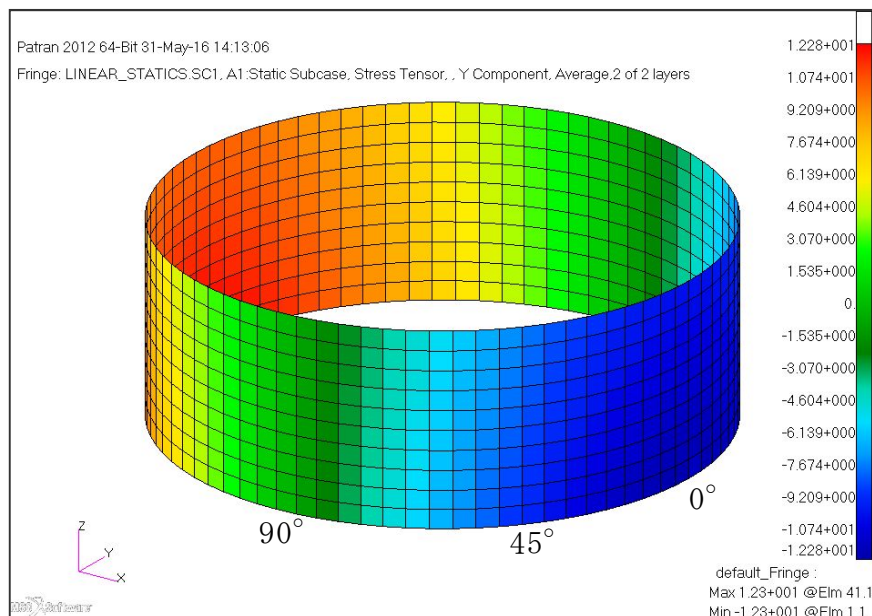
ただし、 $\sigma_{x,c(X)}(\theta)$ は $\sigma_{x,X}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{x,Y}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{x,c(Y)}(\theta)$ は $\sigma_{x,Y}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{x,X}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表わされる。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{x,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{x,Y}(\theta)$$

< S R S S 法 >

$$\sigma_{x,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{x,X}(\theta)^2 + \sigma_{x,Y}(\theta)^2}$$



第3-2図 水平地震時軸方向応力コンター図

第3－1表 水平地震時の軸方向応力分布

角度	X方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,x}(\theta)$	Y方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,y}(\theta)$	2方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{x,c}(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_{x,s}(\theta)$
0° 方向	12.28	0.00	12.28 $\sigma_{x,c(x)}(0^\circ)=12.28$ $\sigma_{x,c(y)}(0^\circ)=4.91$	12.28
22.5° 方向	11.34	4.70	13.22 $\sigma_{x,c(x)}(22.5^\circ)=13.22$ $\sigma_{x,c(y)}(22.5^\circ)=9.24$	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.15 $\sigma_{x,c(x)}(45^\circ)=12.15$ $\sigma_{x,c(y)}(45^\circ)=12.15$	12.28
67.5° 方向	4.70	11.34	13.22 $\sigma_{x,c(x)}(67.5^\circ)=9.24$ $\sigma_{x,c(y)}(67.5^\circ)=13.22$	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28 $\sigma_{x,c(x)}(90^\circ)=4.91$ $\sigma_{x,c(y)}(90^\circ)=12.28$	12.28

3.3.2 周方向応力 σ_ϕ

容器基部における水平地震時の周方向応力コンター図を第3－3図に、周方向応力分布を第3－2表に示す。軸方向応力同様に最大応力点は0° / 180° 位置に発生しており、最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2方向入力時の影響についても軸方向応力と同様に中間部（0° / 90° 方向以外）において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びS R S S法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力 $\sigma_{\phi,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{\phi,s}(\theta)$ は、水平1方向入力時の周方向応力解析結果（X方向入力時応力 $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ ）、Y方向入力時応力 $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ ）により、以下のとおり算出する。

< 組合せ係数法 >

$$\sigma_{\phi,c}(\theta) = \max(\sigma_{\phi,c(x)}(\theta), \sigma_{\phi,c(y)}(\theta))$$

ただし、 $\sigma_{\phi,c(x)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に1、 $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{\phi,c(y)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に1、 $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてY・X方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力とする。

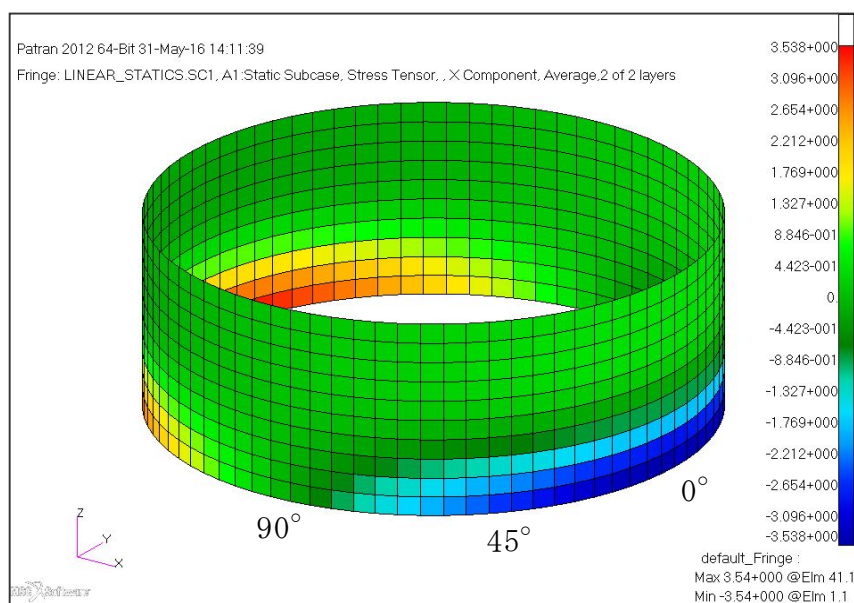
$\sigma_{\phi,Y}(\theta)$ に0.4, $\sigma_{\phi,X}(\theta)$ に1の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり, 以下のように表わされる。

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

< S R S S 法 >

$$\sigma_{\phi,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{\phi,X}(\theta)^2 + \sigma_{\phi,Y}(\theta)^2}$$



第3-3図 水平地震時周方向応力コンター図

第3－2表 水平地震時の周方向応力分布

角度	X方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi, X}(\theta)$	Y方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi, Y}(\theta)$	2方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{\phi, c}(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_{\phi, s}(\theta)$
0° 方向	3.54	0.00	3.54 $\sigma_{\phi, c(X)}(0^\circ)=3.54$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(0^\circ)=1.42$	3.54
22.5° 方向	3.27	1.35	3.81 $\sigma_{\phi, c(X)}(22.5^\circ)=3.81$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(22.5^\circ)=2.66$	3.54
45° 方向	2.50	2.50	3.50 $\sigma_{\phi, c(X)}(45^\circ)=3.50$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(45^\circ)=3.50$	3.54
67.5° 方向	1.35	3.27	3.81 $\sigma_{\phi, c(X)}(67.5^\circ)=2.66$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(67.5^\circ)=3.81$	3.54
90° 方向	0.00	3.54	3.54 $\sigma_{\phi, c(X)}(90^\circ)=1.42$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(90^\circ)=3.54$	3.54

3.3.3 セン断応力 τ

容器基部における水平地震時のせん断応力コンター図を第3－4図に、周方向応力分布を第3－3表に示す。せん断応力は軸方向及び周方向応力とは異なり、最大応力は90° / 270° 位置に生じているが、最大応力最小応力の生じる点が回転しているのみで応力の傾向として最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2方向入力時の影響についても同様に中間部(0° / 90° 方向以外)において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びS R S S法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力 $\tau_c(\theta)$ 及び $\tau_s(\theta)$ は、水平1方向入力時の周方向応力解析結果(X方向入力時応力 $\tau_X(\theta)$)、Y方向入力時応力 $\tau_Y(\theta)$)により、以下のとおり算出する。

< 組合せ係数法 >

$$\tau_c(\theta) = \max(\tau_{c(X)}(\theta), \tau_{c(Y)}(\theta))$$

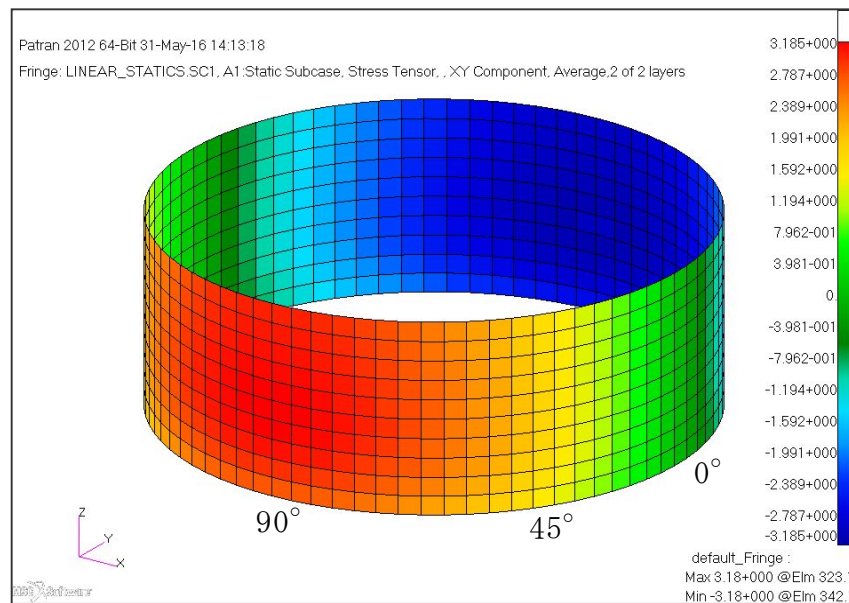
ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$ は $\tau_X(\theta)$ に1、 $\tau_Y(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$ は $\tau_Y(\theta)$ に1、 $\tau_X(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表わされる。

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

$$\tau_{c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \tau_X(\theta) + \tau_Y(\theta)$$

< S R S S 法 >

$$\tau_s(\theta) = \sqrt{\tau_X(\theta)^2 + \tau_Y(\theta)^2}$$



第3-4図 水平地震時せん断応力コンタ図

第3－3表 水平地震時のせん断応力分布

角度	X方向入力時 応力 (MPa) $\tau_x(\theta)$	Y方向入力時 応力 (MPa) $\tau_y(\theta)$	2方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\tau_c(\theta)$	S R S S 法 $\tau_s(\theta)$
0° 方向	0.00	2.70	2.70 $\tau_{c(X)}(0^\circ)=1.08$ $\tau_{c(Y)}(0^\circ)=2.70$	2.70
22.5° 方向	1.03	2.49	2.91 $\tau_{c(X)}(22.5^\circ)=2.03$ $\tau_{c(Y)}(22.5^\circ)=2.91$	2.70
45° 方向	1.91	1.91	2.67 $\tau_{c(X)}(45^\circ)=2.67$ $\tau_{c(Y)}(45^\circ)=2.67$	2.70
67.5° 方向	2.49	1.03	2.91 $\tau_{c(X)}(67.5^\circ)=2.91$ $\tau_{c(Y)}(67.5^\circ)=2.03$	2.70
90° 方向	2.70	0.00	2.70 $\tau_{c(X)}(90^\circ)=2.70$ $\tau_{c(Y)}(90^\circ)=1.08$	2.70

3.3.4 組合せ応力強さ σ

胴の組合せ応力強さ σ は、第3－1表から第3－3表に示したX方向、Y方向、2方向入力時それぞれの軸方向応力 σ_x 、周方向応力 σ_ϕ 及びせん断応力 τ を用いて算出する。

＜水平1方向のうち、X方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_x(\theta)$ ＞

主応力 $\sigma_{1,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,X}(\theta)$ は以下のとおり表わされる。

$$\sigma_{1,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right\}$$

$$\sigma_{2,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right\}$$

$$\sigma_{3,X}(\theta) = 0$$

各主応力により、応力強さ $\sigma_x(\theta)$ は以下のとおりとなる。

$$\sigma_x(\theta) = \max(|\sigma_{1,X}(\theta) - \sigma_{2,X}(\theta)|, |\sigma_{2,X}(\theta) - \sigma_{3,X}(\theta)|, |\sigma_{3,X}(\theta) - \sigma_{1,X}(\theta)|)$$

なお、Y方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_y(\theta)$ は、上記の式におけるXをY

に置き換えた式により算出する。

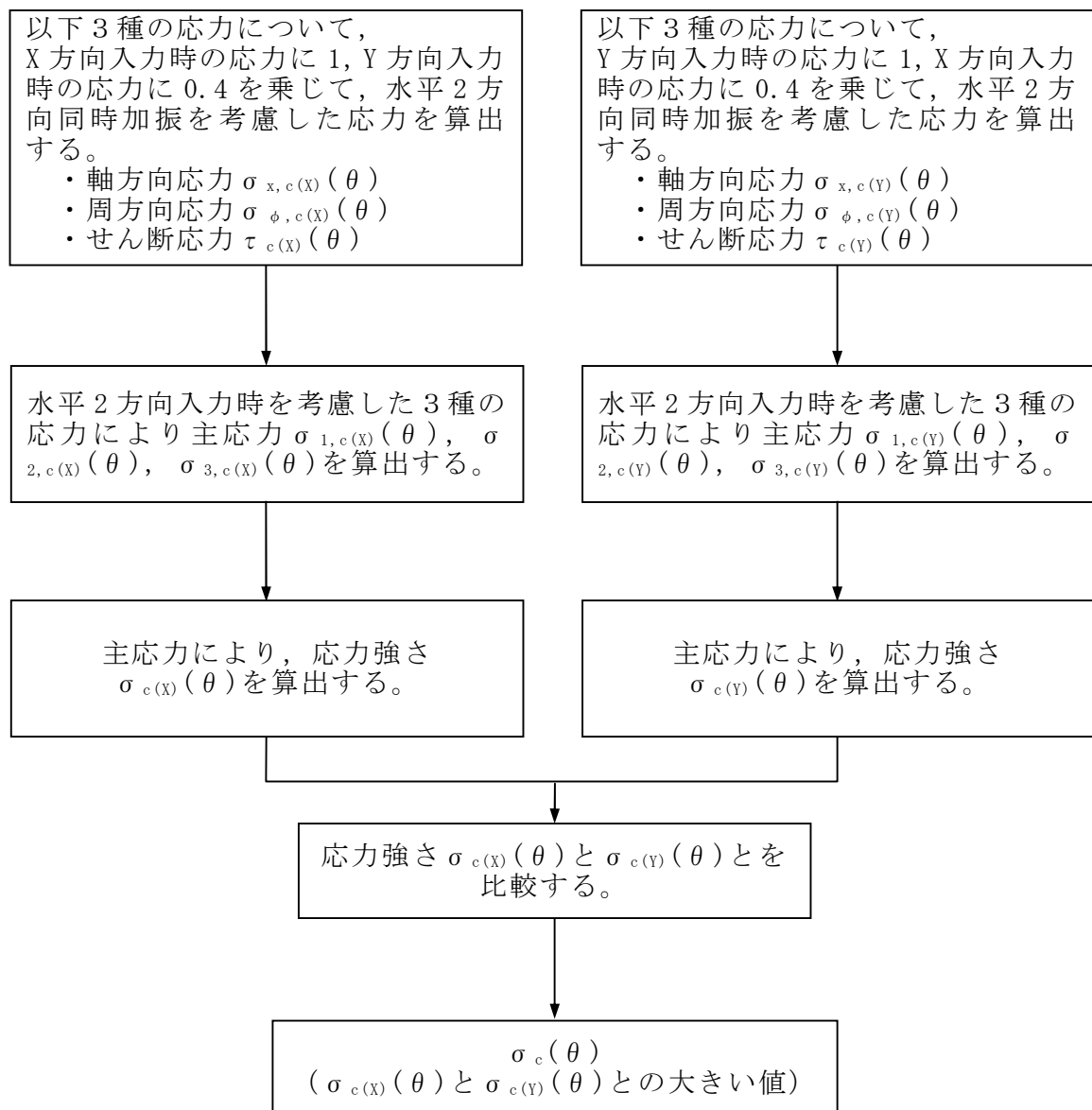
ここで、 $\theta = 0^\circ$ の場合、第3-1表より $\sigma_{x,x}(0^\circ) = 12.28$ 、第3-2表より $\sigma_{\phi,x}(0^\circ) = 3.54$ 、第3-3表より $\tau_x(0^\circ) = 0$ であるため、

$$\sigma_{1,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2}\} = 12.28$$
$$\sigma_{2,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2}\} = 3.54$$
$$\sigma_{3,x}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_x(0^\circ) = \max(|12.28 - 3.54|, |3.54 - 0|, |0 - 12.28|) = 12.28$$

＜組合せ係数法による水平2方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_c(\theta)$ ＞
 $\sigma_c(\theta)$ の算出フローを第3-5図に示す。



第3－5図 組合せ係数法による組合せ応力算出フロー

X方向入力時の応力に1、X方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた
水平2方向入力時を考慮した応力は以下の通りとする。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

水平2方向入力時を考慮した各応力により主応力 $\sigma_{1,c(X)}(\theta)$, $\sigma_{2,c(X)}(\theta)$, $\sigma_{3,c(X)}(\theta)$ は以下のとおり表わされる。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \} \\ \sigma_{2,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \} \\ \sigma_{3,c(X)}(\theta) &= 0\end{aligned}$$

各主応力により，応力強さ $\sigma_{c(X)}(\theta)$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_{c(X)}(\theta) = \max(|\sigma_{1,c(X)}(\theta) - \sigma_{2,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{2,c(X)}(\theta) - \sigma_{3,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{3,c(X)}(\theta) - \sigma_{1,c(X)}(\theta)|)$$

同様に，Y方向入力時の応力に1，X方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた水平2方向入力時を考慮した応力により，応力強さ $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ を算出する。

この応力強さ $\sigma_{c(X)}(\theta)$ と $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ とを比較し，大きいほうの値を $\sigma_c(\theta)$ とする。

$$\sigma_c(\theta) = \max(\sigma_{c(X)}(\theta), \sigma_{c(Y)}(\theta))$$

ここで， $\theta = 0^\circ$ の場合，第3-1表より $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ) = 12.28$ ，第3-2表より $\sigma_{\phi,c(X)}(0^\circ) = 3.54$ ，第3-3表より $\tau_{c(X)}(0^\circ) = 1.08$ であるため，

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \} = 12.41 \\ \sigma_{2,c(X)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \} = 3.41 \\ \sigma_{3,c(X)}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって，応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ は以下のとおり算出される。

$$\sigma_{c(X)}(0^\circ) = \max(|12.41 - 3.41|, |3.41 - 0|, |0 - 12.41|) = 12.41$$

同様に，第3-1表より $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ) = 4.91$ ，第3-2表より $\sigma_{\phi,c(Y)}(0^\circ) = 1.42$ ，第3-3表より $\tau_{c(Y)}(0^\circ) = 2.70$ であるため，

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(Y)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \{4.91 + 1.42 + \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2}\} = 6.38 \\ \sigma_{2,c(Y)}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \{4.91 + 1.42 - \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2}\} = -0.05 \\ \sigma_{3,c(Y)}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって、応力強さ $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ は以下のとおり算出される。

$$\sigma_{c(Y)}(0^\circ) = \max(|6.38 - (-0.05)|, |-0.05 - 0|, |0 - 6.38|) = 6.43$$

応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ と $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ により、組合せ係数法による水平2方向入力時を考慮した応力強さ $\sigma_c(0^\circ)$ は、

$$\sigma_c(\theta) = \max(12.41, 6.43) = 12.41$$

となる。

< S R S S 法による水平2方向入力時を考慮した組合せ応力強さ $\sigma_s(\theta)$ >

主応力 $\sigma_{1,s}(\theta)$, $\sigma_{2,s}(\theta)$, $\sigma_{3,s}(\theta)$ は以下のとおり表わされる。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,s}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \} \\ \sigma_{2,s}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \} \\ \sigma_{3,s}(\theta) &= 0\end{aligned}$$

各主応力により、応力強さ $\sigma_s(\theta)$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_s(\theta) = \max(|\sigma_{1,s}(\theta) - \sigma_{2,s}(\theta)|, |\sigma_{2,s}(\theta) - \sigma_{3,s}(\theta)|, |\sigma_{3,s}(\theta) - \sigma_{1,s}(\theta)|)$$

ここで、 $\theta = 0^\circ$ の場合、第3-1表より $\sigma_{x,s}(0^\circ) = 12.28$ 、第3-2表より

$\sigma_{\phi,s}(0^\circ) = 3.54$ 、第3-3表より $\tau_s(0^\circ) = 2.70$ であるため、

$$\begin{aligned}\sigma_{1,s}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \{12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2}\} = 13.05 \\ \sigma_{2,s}(0^\circ) &= \frac{1}{2} \{12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2}\} = 2.77 \\ \sigma_{3,s}(0^\circ) &= 0\end{aligned}$$

となる。したがって、

$$\sigma_s(0^\circ) = \max(|13.05 - 2.77|, |2.77 - 0|, |0 - 13.05|) = 13.05$$

$\theta = 0^\circ$ の場合に、S R S S 法，組合せ係数法を用いて算出した応力強さを第3－4表に示す。

第3-4表 S R S S 法，組合せ係数法を用いて算出した応力強さ（ $\theta = 0^\circ$ ）

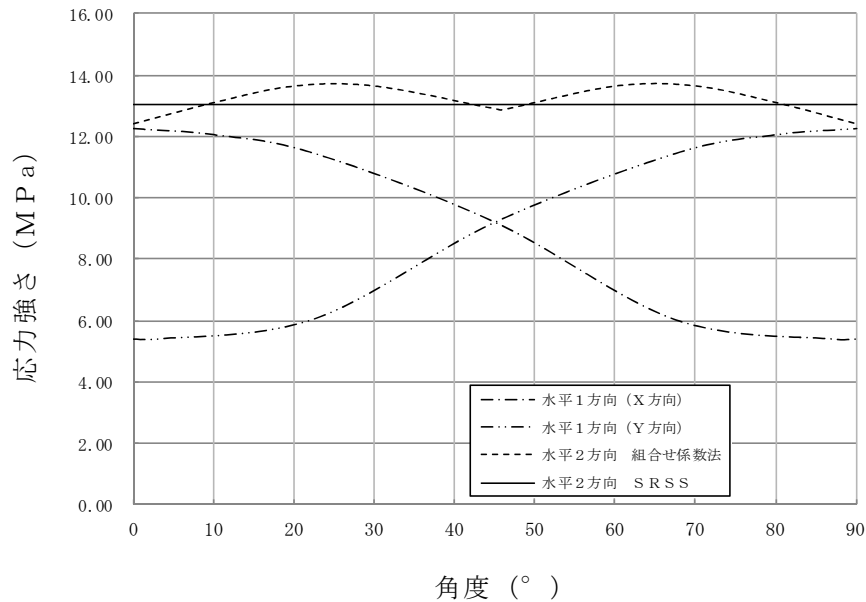
	X	Y	S R S S 法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_x(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)} =$ 3.54	$3.54 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 3.54	$3.54 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 1.42
$\sigma_\tau(\theta)$	0.00	2.70	$\sqrt{(0.00^2 + 2.70^2)} =$ 2.70	$0.00 \times 1.0 + 2.70 \times 0.4 =$ 1.08	$0.00 \times 0.4 + 2.70 \times 1.0 =$ 2.70
$\sigma_1(\theta)$	—	—	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 13.05	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 3.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 +$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 6.38
$\sigma_2(\theta)$	—	—	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 2.77	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 12.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 -$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ -0.05
$\sigma_3(\theta)$	—	—	0	0	0
$\sigma(\theta)$	—	—	MAX ($ 13.05 - 2.77 $, $ 2.77 - 0 $, $ 0 - 13.05 =$ 13.05	MAX ($ 3.41 - 12.41 $, $ 12.41 - 0 $, $ 0 - 3.41 =$ 12.41	MAX ($ 6.38 - (-0.05) $, $ -0.05 - 0 $, $ 0 - 6.38 =$ 6.43
			MAX (12.41, 6.43) = 12.41		

(注) 本表記載の数値は計算例を示すものであり，桁処理の関係上，他表の数値と一致しないことがある。

算出した応力強さの分布及び分布図を第3－5表及び第3－6図に示す。

第3－5表 水平地震時の組合せ応力強さ

角度	X方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_x(\theta)$	Y方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_y(\theta)$	2方向入力時応力強さ (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_c(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_s(\theta)$
0° 方向	12.28	5.40	12.41	13.04
22.5° 方向	11.47	6.03	13.64	13.04
45° 方向	9.22	9.22	12.91	13.04
67.5° 方向	6.03	11.47	13.64	13.04
90° 方向	5.40	12.28	12.41	13.04



第3－6図 水平地震時組合せ応力強さ分布図

組合せ応力強さは、S R S S 法では全方向において一定であるのに対して、組合せ係数法では24.75° 及び65.25° にピークを持つ分布となった。組合せ応力強さは0° , 45° 及び90° 付近ではS R S S 法のほうが組合せ係数法に比べ大きな値となるのに対して、組合せ係数法がピークを持つ24.75° 及び65.25° 付近ではS R S S 法を約5%上回る結果となった。

水平2方向入力時のS R S S 法による組合せ最大応力強さは、第3－6表に示すとおり水平1方向入力時の最大応力強さに対して6 %上回る程度であり、水平2方向による影響は軽微といえる。

一方、水平2方向入力時の組合せ係数法による組合せ最大応力強さについては、水平1方向入力時の最大応力強さに対して11%上回る結果となった。これは水平2方向入力時の影響軽微と判断する基準（応力の増分が1割）を超えているが、本検討においては水平地震力のみを考慮しており、実際の耐震評価においては水平地震力以外に自重、内圧及び鉛直地震力等を考慮して評価を実施することから、水平2方向を考慮した際の応力強さの増分は小さくなる。

このため、水平2方向による影響は軽微であると考えられるため、詳細設計段階で、影響軽微とした判断する基準（応力の増分が1割）以下であることを確認する。

第3－6表 水平地震時の最大組合せ応力強さ及び水平2方向による影響

		最大組合せ応力強さ (MPa)	水平2方向／水平1方向 最大応力強さ比
水平1方向入力		12.28	1.00
水平2方向 入力	S R S S 法	13.05	1.06
	組合せ係数法	13.67	1.11

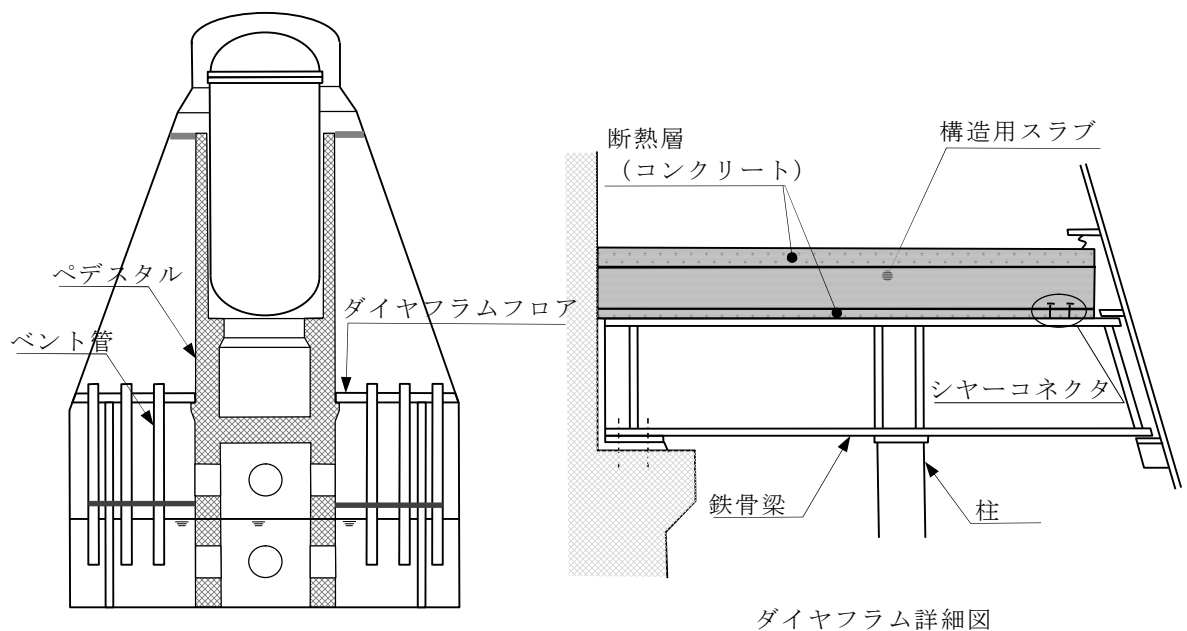
4. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）

4.1 はじめに

本項は、ダイヤフラムフロアに対する水平 2 方向同時加振の影響についてまとめたものである。

4.2 ダイヤフラムフロアの構造

ダイヤフラムフロアは、格納容器をドライウェルとサプレッションチェンバとを隔離する構造物であり、上部及び下部に断熱層を持った鉄筋コンクリート製の構造用スラブで構成されている。垂直方向の荷重は、鉄筋コンクリート製スラブから鉄骨梁に伝えられ、その下部にあるペデスタル及び鉄骨の柱で支持されている。水平方向の荷重も同様に鉄骨梁から原子炉本体基礎及び格納容器周囲に設置されたシアラグを介して原子炉建屋に伝達される（第 4－1 図）。



第 4－1 図 ダイヤフラムフロアの構造

4.3 水平 2 方向同時加振の影響

構造用スラブ及び鉄骨梁は、水平方向に広がりを持つことから、作用する荷重は鉛直方向の荷重が支配的であり、水平 2 方向の地震に対して影響は軽微である。また、同様に構造用スラブ及び鉄骨梁を支持する柱についても、各構造物からの鉛直方向の荷重を受ける構造であるため、水平 2 方向の地震に対する影響はない。

水平地震力を構造用スラブから鉄骨梁に伝達するシヤーコネクタに対する水平 2 方向の地震の影響について整理する。地震時にダイヤフラムフロア全体に加わる水平力 Q とした場合、シヤーコネクタが設置されているダイヤフラムフロア端部に加わる水平力 q は、第 4-2 図に示すとおり \sin 分布として与えられるため、地震方向との角度 θ が 90° の位置で最大となることから、NS、EW 方向 で最大となる地震力の位置は異なる(第 4-3 図)。

さらに、水平 2 方向同時加振時の水平力は、第 4-4 図に示すとおり水平 1 方向加振時の最大の水平力と比較し S R S S 法を用いた場合は同値、組合せ係数法を用いた場合は最大で約 1.08 倍の値となるため、水平 2 方向同時加振の影響は軽微である。

また、ダイヤフラムフロアは、水平方向に広がりを持った構造物であることから、鉛直方向の地震力に対する影響を無視できないため、水平 2 方向に鉛直方向を加えた影響の確認を行う。

なお、地震応答解析結果から得られたダイヤフラムフロアの評価に用いる既工認時の荷重及び今回工認の荷重の比較を第 4-1 表に、既工認におけるダイヤフラムフロア主要部材における地震荷重の割合を第 4-2 表及び第 4-3 表に示す。今回工認の評価用荷重に比べ既工認の評価用荷重が大きいこと、また既工認の評価結果から事故時の温度、圧力等による荷重は評価に一

定の影響を与えることが分かる。以上より、水平 2 方向同時加振による影響は、ダイヤフラムフロアにおける実際の評価では、事故時荷重として圧力、熱荷重等を考慮して評価するため、水平方向地震力の寄与度を踏まえると水平 2 方向同時加振における影響は軽微であるものと考えられるが、詳細設計段階で具体的な評価結果を用いた確認を行う。

第 4-1 表 ダイヤフラムフロア評価用荷重の比較

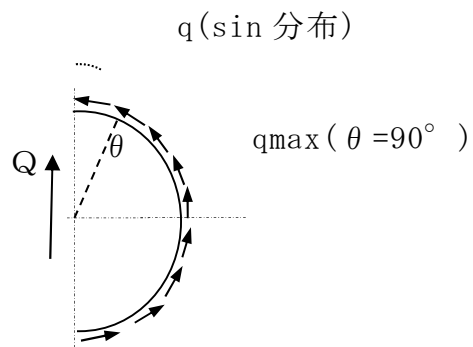
	既工認 (評価用地震×1.5)	今回工認 (S_s 応答包絡値)
評価用荷重	9,530 kN	7,570 kN

第 4-2 表 ダイヤフラムフロア（構造用スラブ）の既工認の応力度割合

	自重及び 鉛直地震	水平地震	事故時等
コンクリートの 圧縮応力度	0.4 %	11.9 %	87.7 %
鉄筋の 圧縮応力度	0.7 %	31.1 %	68.2 %
鉄筋の 圧縮応力度	0.6 %	68.2 %	31.2 %
面外せん断	1.8 %	—	98.2 %
面内せん断	—	100 %	—

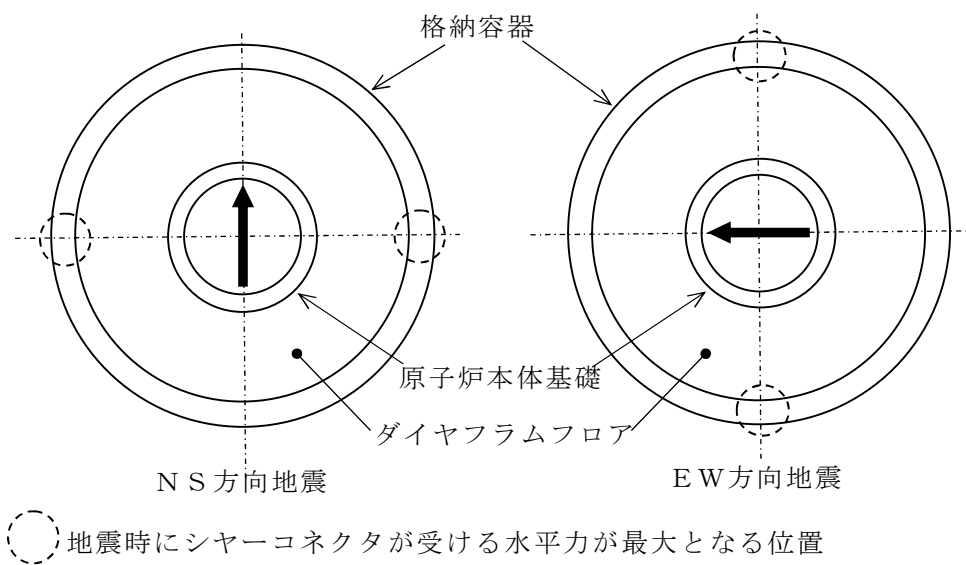
第 4-3 表 ダイヤフラムフロア（柱）の既工認の荷重割合

	自重	鉛直地震	事故時差圧
コンクリートの 圧縮応力度	10.8 %	2.6 %	86.6 %

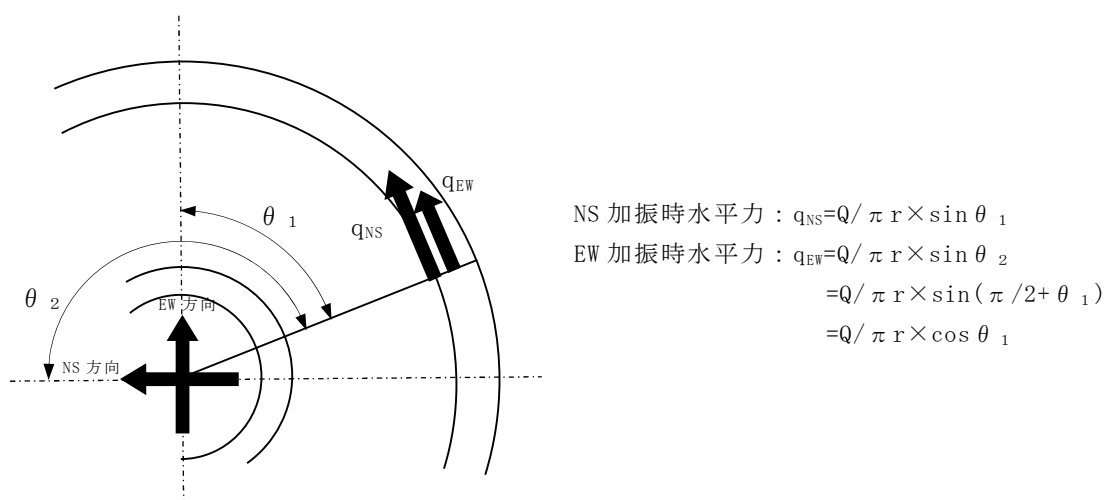


Q : 地震時にダイヤフラムフロア全体が受ける水平力
 q : ダイヤフラム端部に作用する水平力

第4-2図 ダイヤフラムフロア端部における水平力の分布



第 4-3 図 シャーコネクタに与える水平 2 方向地震組合せの影響



< 組合せ係数法を用いた2方向入力時水平力 >

$$q = \max(q_{NS} + 0.4 \times q_{EW}, 0.4 \times q_{NS} + q_{EW})$$

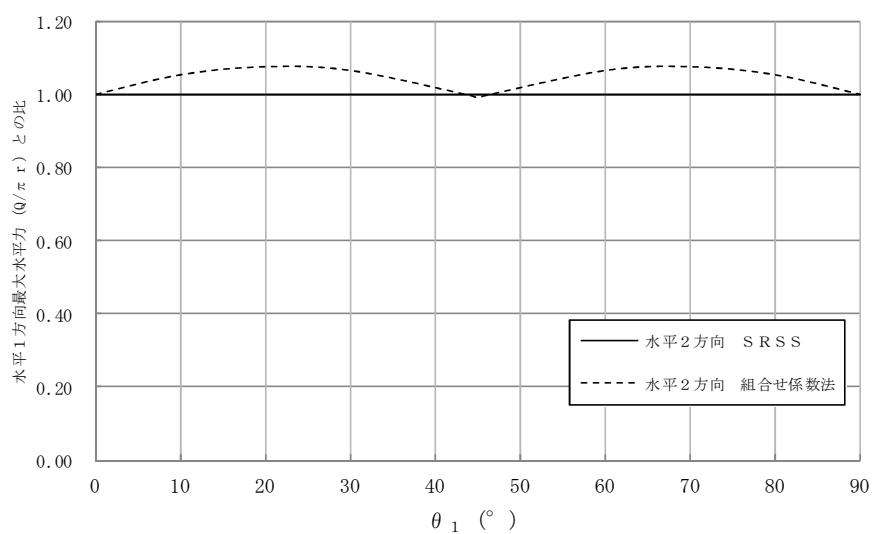
$$= Q / \pi r \times \max(\sin \theta_1 + 0.4 \times \cos \theta_1, 0.4 \times \sin \theta_1 + \cos \theta_1)$$

< S R S S 法を用いた2方向入力時水平力 >

$$q = \sqrt{(q_{NS}^2 + q_{EW}^2)}$$

$$= \sqrt{((Q / \pi r \times \sin \theta_1)^2 + (Q / \pi r \times \cos \theta_1)^2)}$$

$$= Q / \pi r$$



第4-4図 水平2方向同時加振時の水平力分布について

5 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）

5.1 はじめに

本項は、燃料取替機（以下「F H M」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

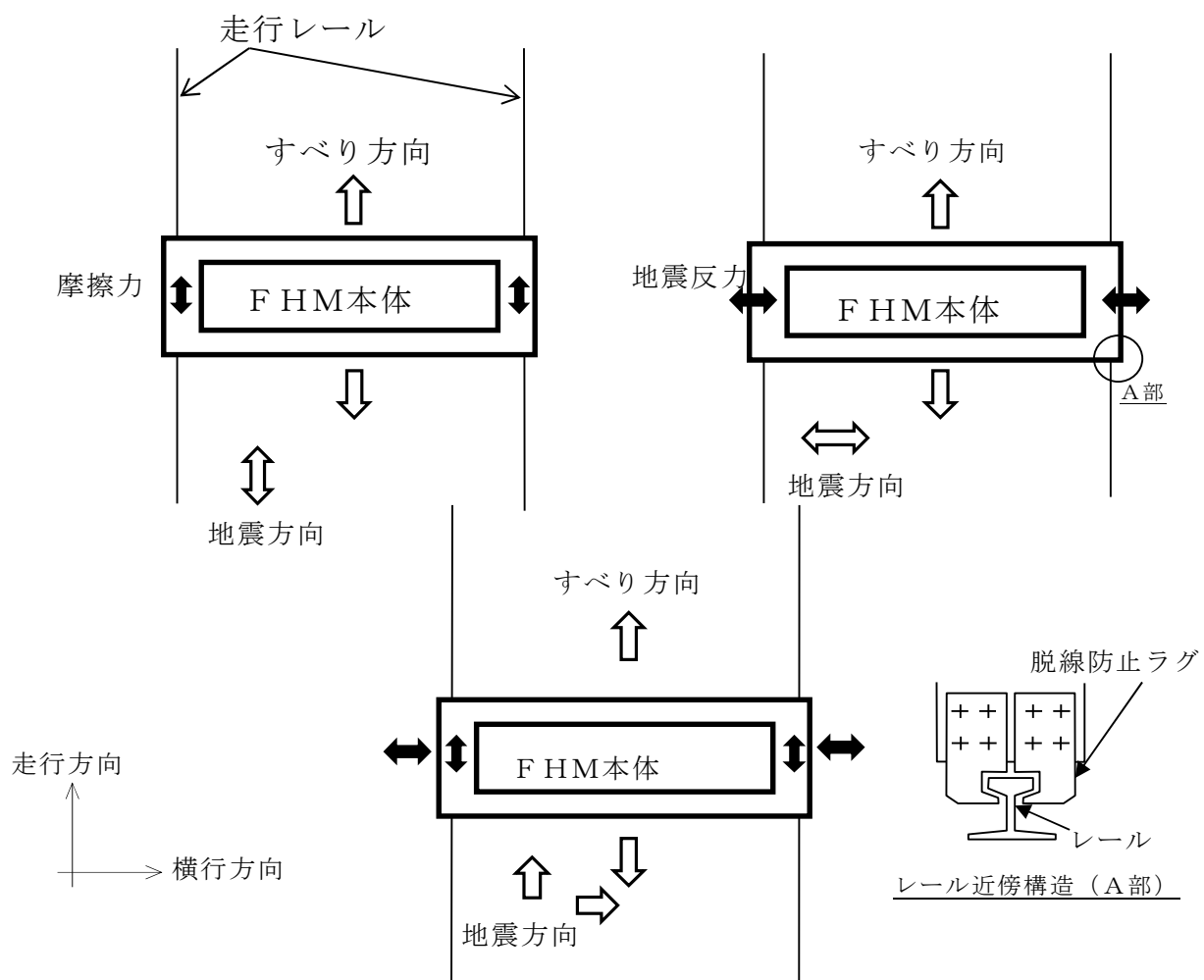
5.2 現行評価の手法

燃料取替機の負担する水平地震荷重の概念図を第5－1図に示す。

F H Mはレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建屋との固定はないが、地震時に横行方向（走行レールに対し直角方向）にすべりが生じた場合は、レールに沿って取り付けられている脱線防止ラグがレールの側面と接触し、F H Mのすべりを制限する構造となっている。つまり、ラグとレールが接触し、F H Mが横行方向に建屋と固定された体系では、地震入力がF H M本体へそのまま伝達されることが想定される。

一方、走行方向（走行レールの長手方向）については、F H Mの車輪とレールの接触面(踏面)を介してF H M本体へと荷重が伝達される構造であり、その荷重は摩擦力により制限されるため、地震入力により生じる荷重は軽微（F H M本体への影響は軽微）と考えられる。

上記により、F H M本体の耐震評価では横行方向に対する地震応答が支配的であり、走行方向に対しては比較的軽微であると考えられるため、水平2方向同時加振の考慮として、耐震性評価で走行方向の地震応答を追加で組み合わせたととしても、従来評価の応答結果への影響は小さいと考えられる。



第5-1図 燃料取替機の負担する水平地震荷重

6. 水平 2 方向入力時の影響評価について（矩形配置されたボルト）

6.1 はじめに

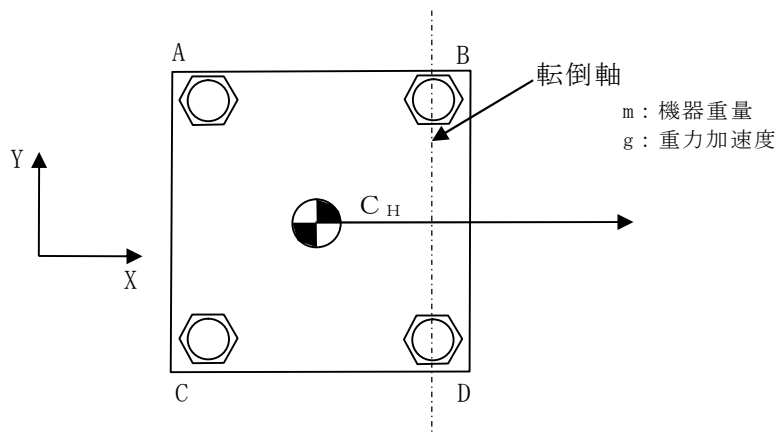
本項は、水平 2 方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平 2 方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討を行った。

6.2 引張応力への影響

水平 1 方向に地震力が作用する場合と水平 2 方向に地震力が作用する場合のボルトへの引張力の違いを考察する。なお、簡単のため機器の振動による影響は考えないこととする。

(1) 水平 1 方向に地震力が作用する場合

第 6-1 図のように X 方向に震度 C_H が与えられる場合を考慮する。



第 6-1 図 水平 1 方向の地震力による応答（概要）

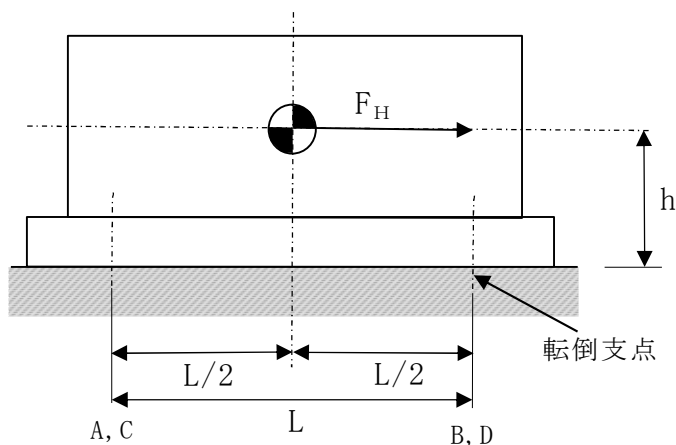
この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は、

$$F_H = mg C_H$$

と表せ、 F_H によるボルト B とボルト D の中心を結んだ軸を中心に転倒

モーメントを生じる。この転倒モーメントはボルト A，C により負担される。

このとき，系の重心に生じる力は，第 6-2 図に示すとおりである。



第 6-2 図 水平 1 方向の地震力による力

第 6-2 図より，水平方向地震動による引張力は

$$F_b = \frac{1}{L} (mg C_H h)$$

である。

ボルトに発生する引張応力 σ_b は全引張力を断面積 A_b のボルト n_f 本で受けると考え，

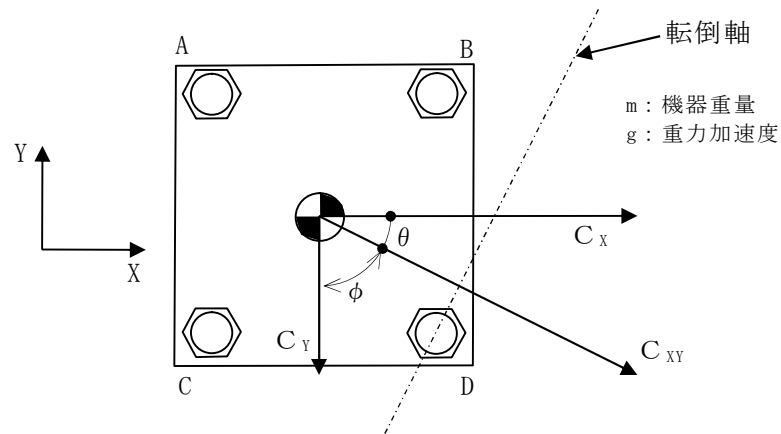
$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

となる。

(2) 水平 2 方向に地震力が作用する場合

第 6-3 図のように X 方向と Y 方向にそれぞれ震度 C_X ， C_Y が作用する場合を考慮する。なお，本検討においては，X 方向と Y 方向に同時に最大

震度が発生する可能性は低いと考え、X 方向の震度と Y 方向の震度を 1:0.4
 $(0.4 C_X = C_Y)$ と仮定する。



第 6-3 図 水平 2 方向の地震力による応答（概要）

この時 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)$ であることから、水平方向の震度 C_{XY} は

$$\begin{aligned} C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\ &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_Y \\ &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \end{aligned}$$

と表される。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は、

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

となる。この F_H により、転倒軸を中心に転倒モーメントが生じ、ボルト A, B, C により負担される。

水平 2 方向の地震力を受け対角方向に応答する場合、各ボルトにかかる引

張力を F_A 、 F_B 、 F_C とし、第 6-4 図に示すようにボルト D の中心を通る直線を転倒軸とすると、

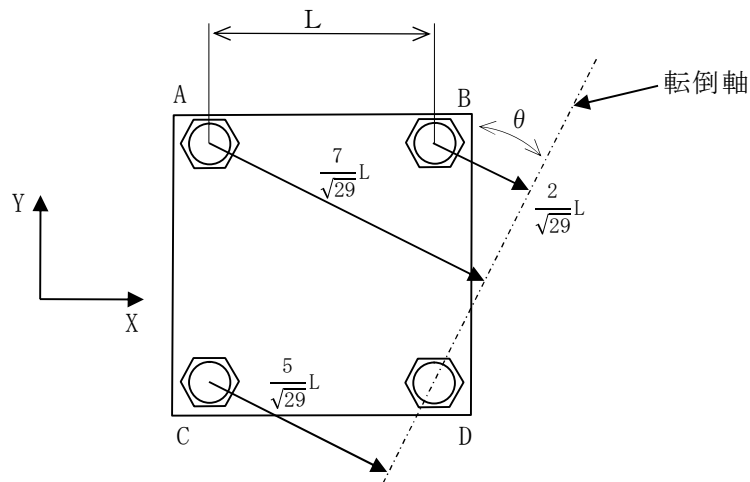
転倒軸からの距離により、

$$F_A : F_B : F_C = 7 : 2 : 5$$

であり、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M は、

$$\begin{aligned} M &= \frac{7}{\sqrt{29}} L F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L F_B + \frac{5}{\sqrt{29}} L F_C \\ &= \frac{7}{\sqrt{29}} L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L \times \frac{2}{7} F_A + \frac{5}{\sqrt{29}} L \times \frac{5}{7} F_A \\ &= \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A \end{aligned}$$

である。



第 6-4 図 対角方向に応答する場合の転倒軸から距離

転倒しない場合、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M と水平方向地震力モーメントが釣り合っているので、

$$mg C_{XY} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A$$

であり，引張力 F_A は以下のとおりとなる。

$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L} (mg C_{XY} h)$$

以上より，最も発生応力の大きいボルト A に発生する応力 σ_b' は

$$\sigma_b' = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_b L} (mg C_{XY} h)$$

であり，水平 1 方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_b L} (mg C_H L)$$

に対して，震度 $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_H$ であることから

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} (mg C_{XY} h) \\ &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} (mg C_H h) \\ &= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\ &= 1.04 \sigma_b \end{aligned}$$

となる。したがって，水平 2 方向入力時を考慮した場合，ボルトに発生する引張応力は増加するが，その影響は軽微である。

6.3 セン断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するため，全ボルトに対するせん断力 T_b は，

$$T_b = F_H$$

であり，せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト本数 n でせん断力 T_b を受けるため，

$$\tau_b = \frac{T_b}{nA_b}$$

となる。

水平 1 方向の地震力を考慮した場合のせん断力 T_b 及び水平 2 方向の地震力を考慮した場合のせん断力 T_b' はそれぞれ，

$$T_b = mg C_x$$

$$T_b' = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_x = 1.08 mg C_x$$

$$= 1.08 T_b$$

となる。水平 1 方向及び水平 2 方向地震時に断面積 A_b 及びボルト全本数 n は変わらないため，水平 2 方向地震を考慮した場合，ボルトに発生するせん断応力は増加するが，その影響は軽微である。

7. 水平 2 方向同時加振の影響について（電気盤）

7.1 はじめに

本資料は、電気盤に取り付けられている器具に対する水平 2 方向入力の影響をまとめたものである。

7.2 水平 2 方向加振の影響について

電気盤に取り付けられている器具については、1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的にはすべて梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答もなく、水平 2 方向の加振に対しては独立に扱うことで問題ないものとする。さらに器具の誤動作モードは、水平 1 方向を起因としたモードであるため、水平 2 方向加振による影響は軽微であるとする。

なお、念のために既往研究等において、電気盤の器具取付位置の応答加速度に対し、器具の確認済加速度が十分に高いことも確認している。

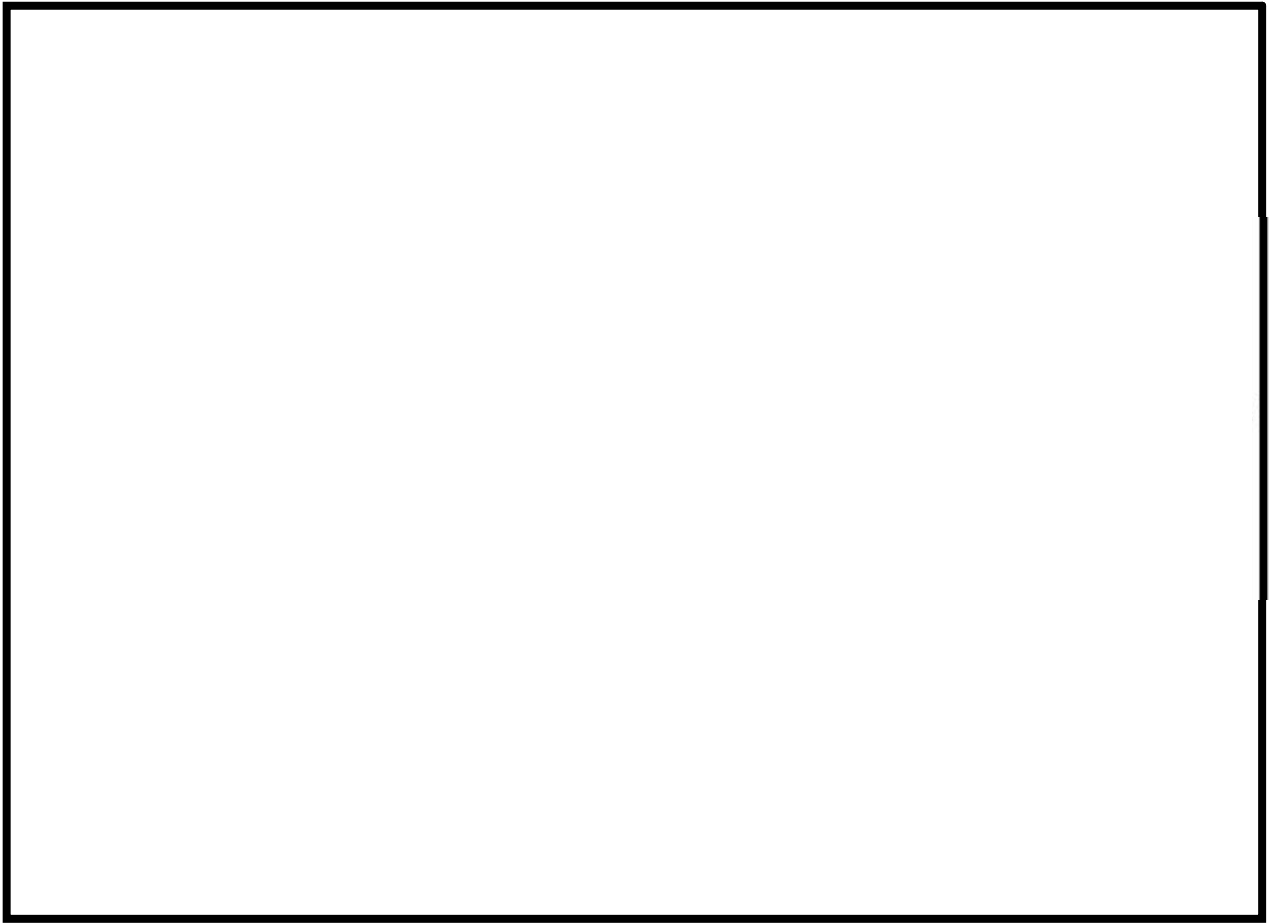
次頁より、メタクラ取付器具を代表とし、器具の構造から検討した結果をまとめる。

7.2.1 補助リレー

(1) 構造、作動機構の概要

第 7-1 図に補助リレーの構造及び作動機構を示す。補助リレーはコイルに通電されることにより生じる電磁力でアマチュア部を動作させ、接点の開閉を行うものである。

補助リレーのうち、固定鉄心、固定接点（A、B 接点）はいずれも強固に固定されており、可動鉄心は左右方向にのみ動くことのできる構造となっている。



第 7-1 図 補助リレー構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

補助リレーの誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動鉄心が振動することにより，接点が誤接触，又は誤開放（左右方向）

ただし，補助リレーは取付部をボルト固定していること，また，器具の可動部は左右方向にのみ振動することから，誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と補助リレーの既往試験における確認済加速度及び試験結果を第7-1表に示す。

第7-1表 補助リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度(G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度(G)			

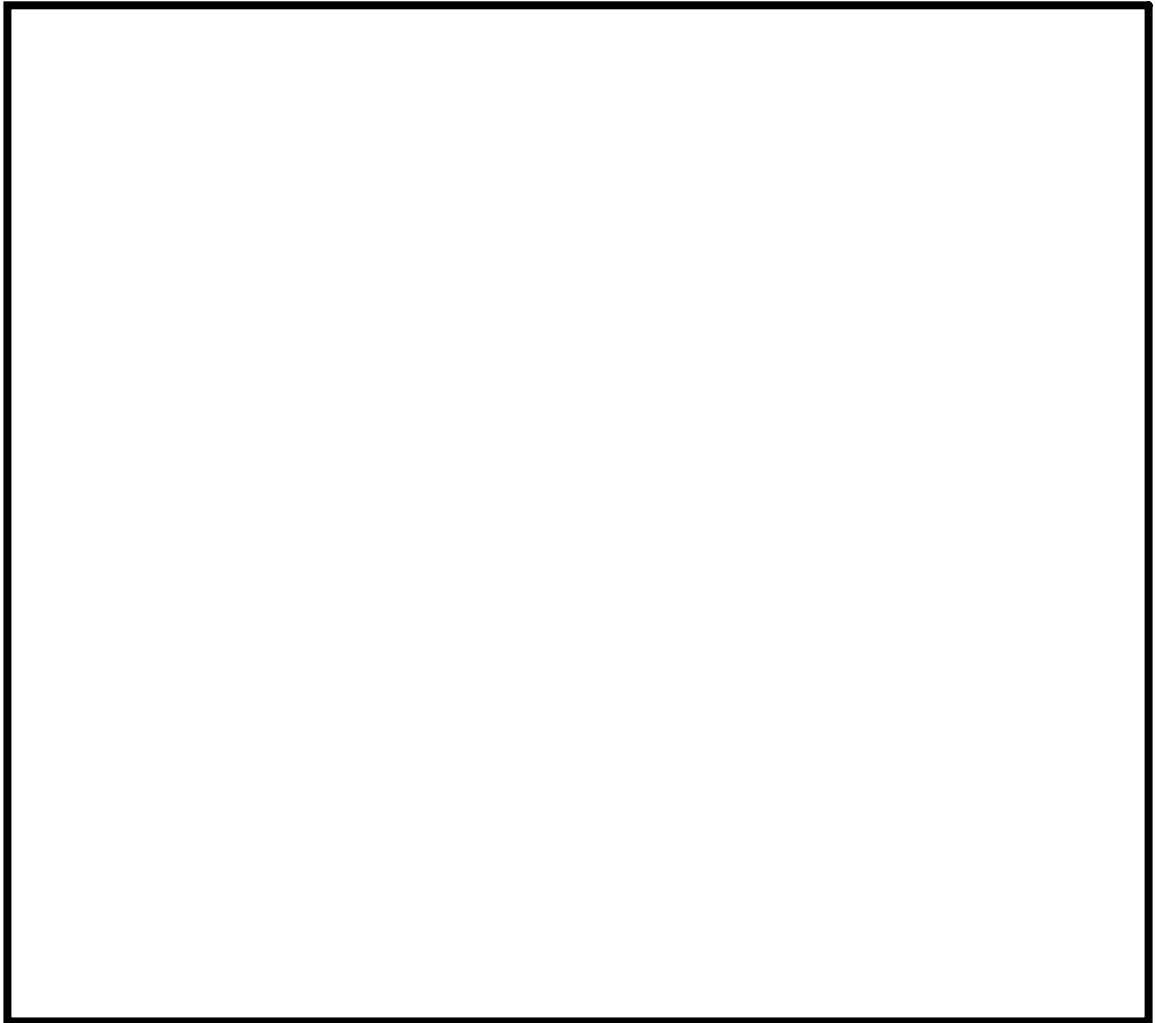
7.2.2 ノーヒューズブレーカ（MCCB）

(1) 構造，作動機構

第7-2図にMCCBの構造及び作動機構を示す。配線用遮断器には熱動電磁式と完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の動作原理と内部構造を示す。

熱動電磁式は、過電流が流れるとバイメタルが湾曲し、トリップ桿によりラッチの掛け合いが外れ、キャッチがバネにより回転し、リンクに連結された可動接点が作動し回路を遮断する。

また、短絡電流等の大電流が流れた場合は、固定鉄心の電磁力で可動鉄心が吸引されトリップ桿が作動し、以降は上述と同じ動作により回路を遮断する。



第 7－2 図　M C C B 構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

M C C B の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・ ハンドルが逆方向へ動作する（上下方向）
- ・ 接点が乖離する（前後方向，左右方向）
- ・ ラッチが外れてトリップする（前後方向，上下方向）

上記より，M C C B の誤動作として 2 方向の振動の影響が考えられる。

ただし，ハンドルは 1 方向にしか振動できないこと，前後－左右の接点乖

離は各々独立であること（前後方向は接触－非接触，左右方向はずれによる）から，これらについては誤動作に至る事象に多次元的な影響はないものと考えられる。

ラッチ外れについては 2 軸の影響は無視できないと考えられるが，左右方向はラッチ外れに影響を与える誤動作モードではないため，水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として，発生加速度と M C C B の既往試験における確認済加速度及び試験結果を第 7-2 表に示す。

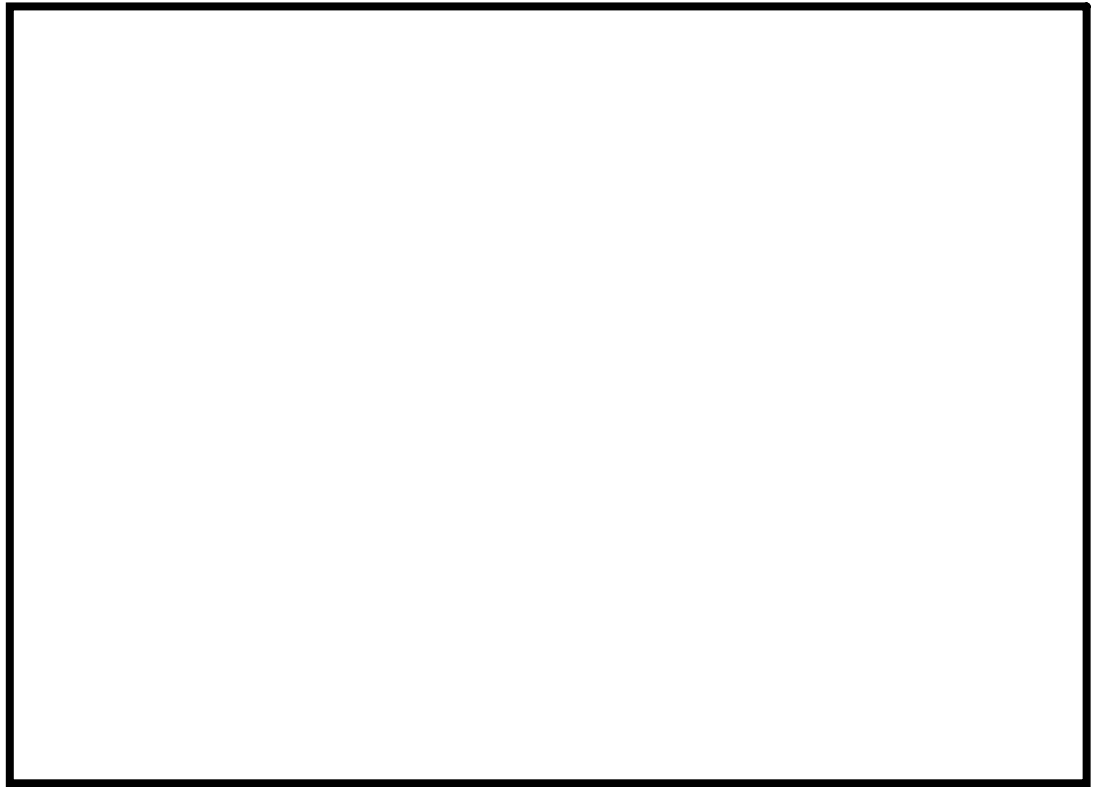
第 7-2 表 M C C B の発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度 (G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度 (G)			

7.2.3 過電流リレー（保護リレー）

(1) 構造，作動機構の概要

第 7-3 図に過電流リレー（保護リレー）の構造を示す。過電流リレーは，電流コイル 1 個を持つ電磁石が動作トルクを発生し，永久磁石の制動により限時特性を得る円板形リレーであり，タップ値以上の過電流が流れると接点が動作し，警報や遮断器引き外しを行う。なお，過電流リレーはボルトにて盤の扉面に強固に取り付けられている。



第 7-3 図 過電流リレー

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

過電流リレーの誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・誘導円板が接触し、固渋する（上下方向）
- ・可動接点が振動し、接点の誤接触が生じる（前後、左右方向）

誘導円板の固渋については、昭和 56 年の日本機械学会講演論文集「誘導円板型リレーの地震時誤動作に関する研究」において、誘導円板が水平 2 方向入力により、回転し接点接触により、誤動作が生じることが報告されている。しかし、平成 13 年度に行われた電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」において、水平 2 方向加振時に鉛直方向加振を加えた試験を実施しており、正弦波加振試験では誘導円板の回

転挙動が発生したが，地震波加振試験では誘導円板の回転挙動が発生しないことを確認している。したがって，地震波による水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として，発生加速度と過電流リレーの既往試験における確認済加速度及び試験結果を第 7－3 表に示す。

第 7－3 表 過電流リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度 (G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度 (G)			

方向性を考慮していない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針

1. はじめに

応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動 $S_s - D1$ (以下「 $S_s - D1$ 」という。) 及び震源を特定せず策定する地震動として策定された基準地震動 $S_s - 31$ (以下「 $S_s - 31$ 」という。) については、水平方向の地震動に方向性を考慮していないことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う場合、水平2方向のうち新たにもう1方向の模擬地震波を作成し入力する等の方法が考えられる。本資料では、水平2方向のうち新たにもう1方向の模擬地震波の作成方針を示すものである。

2. 模擬地震波の作成方針

応答スペクトルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動における模擬地震波の作成方針を示す。

(1) 応答スペクトルに基づく地震動における模擬地震波

応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動の模擬地震波については、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的に考えにくいことから、 $S_s - D1$ を作成した方法と同一の方法で、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を作成する。

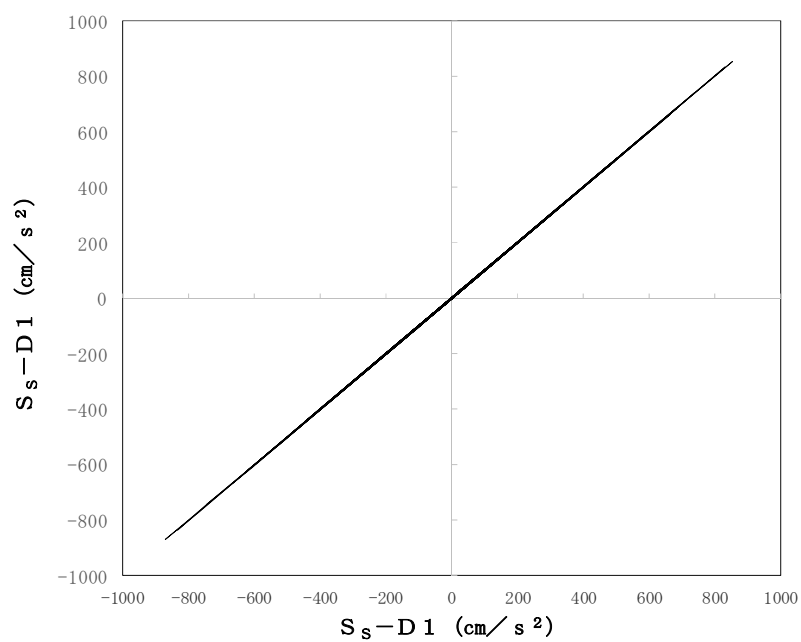
(2) 震源を特定せず策定する地震動における模擬地震波

$S_s - 31$ については、2004年北海道留萌支庁南部地震（以下「留萌地震」という。）の観測記録より策定された地震動である。水平方向の地震動は、EW方向の観測記録から推定される基盤相当位置の地震動に基づき敷地地盤の物性等を踏まえて作成されている。水平2方向の影響評価に用いる模擬地震波については、 $S_s - 31$ を作成した方法と同一の方法により、

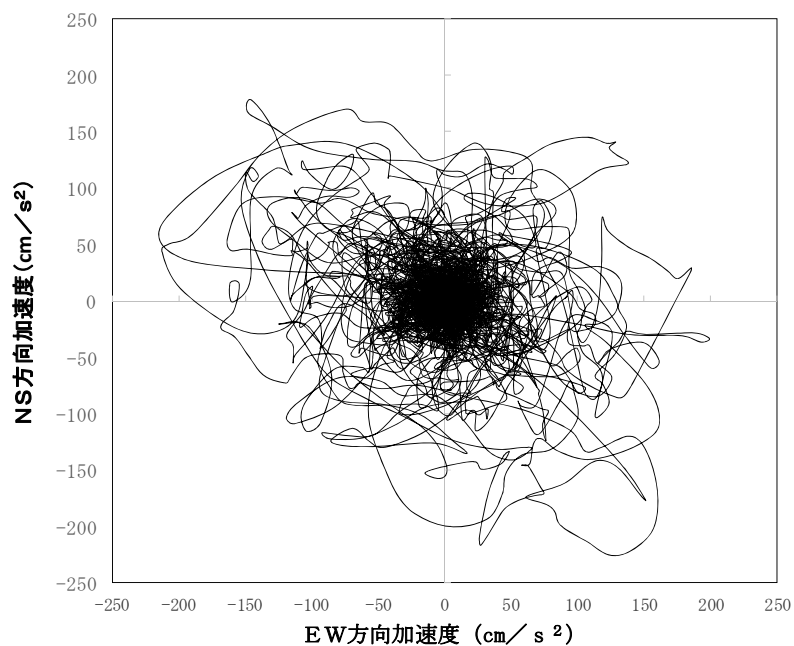
N S 方向の観測記録を用いて地震波を作成する。

同位相の模擬地震波を2方向に入力した場合の例として、 S_s-D1 を2方向に入力した場合のオービットを第1図に、位相の異なる地震波を2方向に入力した例として、東北地方太平洋沖地震における原子炉建屋での観測記録のオービットを第2図に示す。

第1図に示すように同位相の模擬地震波を入力した場合は、 45° 方向に直線的な軌跡を示すが、観測記録として得られた東北地方太平洋沖地震によるオービットは第2図に示すようにランダムな軌跡となる。模擬地震波の作成においては、第2図に示すような位相差によって生じるランダムな軌跡を示す模擬地震波を作成する。



第1図 $S_s - D 1$ を水平2方向に入力した場合のオービット
(同位相の模擬地震波を2方向入力した場合の傾向)



第2図 東北地方太平洋沖地震における原子炉建屋(EL. -4.0m)のオービット
(位相が異なる地震波を2方向入力した場合の傾向)

東海第二発電所

屋外重要土木構造物の耐震評価における
断面選定について
(耐震)

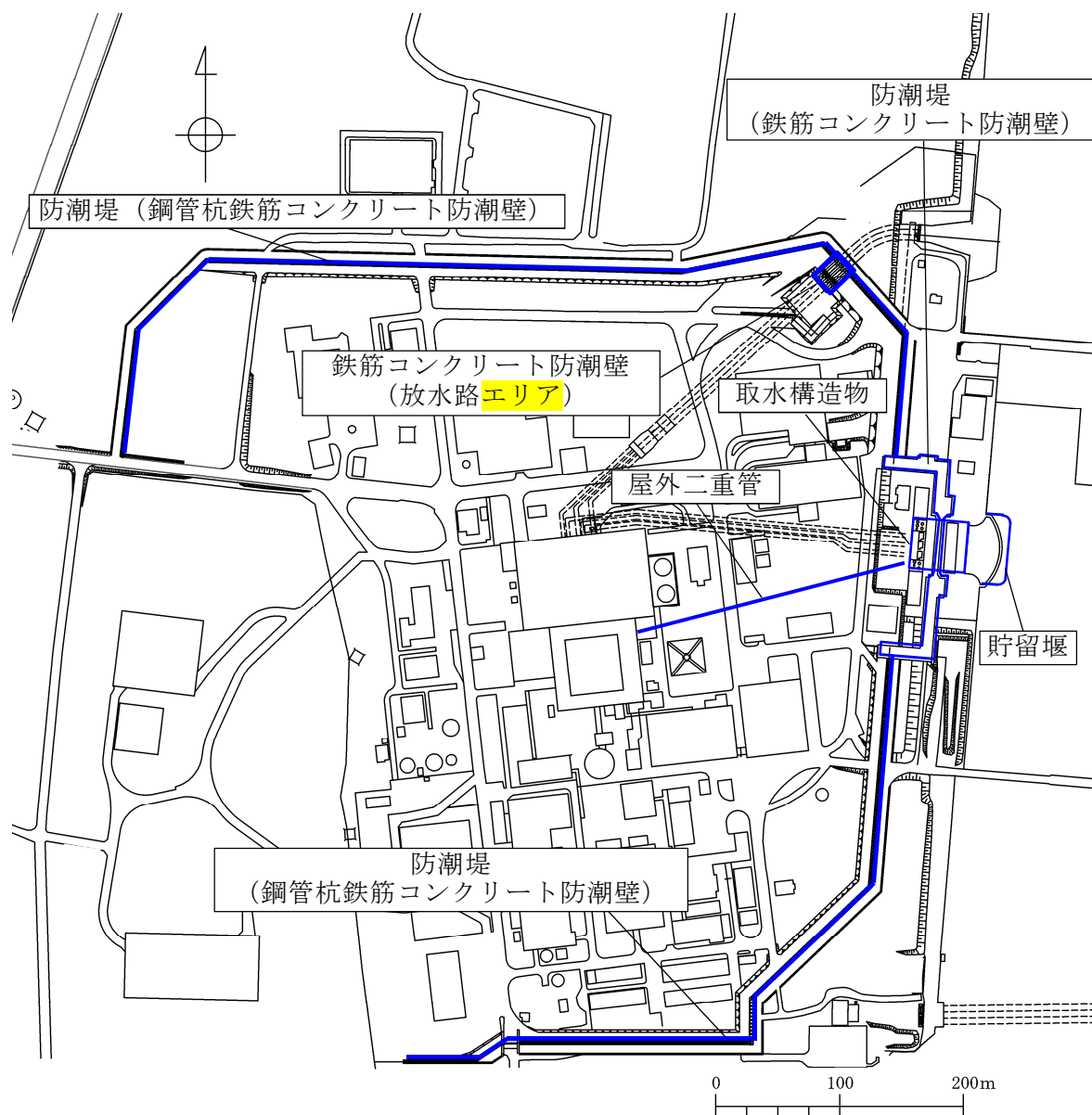
1. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

1.1 方針

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の配置、荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

東海第二発電所での対象構造物は、屋外重要土木構造物である、取水構造物及び屋外二重管、津波防護施設である防潮堤（放水路エリアを含む）及び貯留堰である。各施設の平面配置図を第 1.1-1 図に示す。

なお、設計基準対象施設である軽油貯蔵タンク及び軽油移送配管等の間接支持構造物である常設代替高圧電源装置置場及び常設代替高圧電源装置用カルバートについては、「2. 重大事故等対処施設の土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方」に示す。



第 1.1－1 図 屋外重要土木構造物 平面配置図

1.2 取水構造物の断面選定の考え方

取水構造物の平面図を第 1.2-1 図に、縦断面図を第 1.2-2 図に、横断面図を第 1.2-3 図に示す。

取水構造物は、延長約 56m、幅約 43m、高さ約 12m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に対して複数の断面形状を示すが、基本的には取水路は 8 連のラーメン構造にて、取水ピットは 5 連のラーメン構造にて構成され、杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

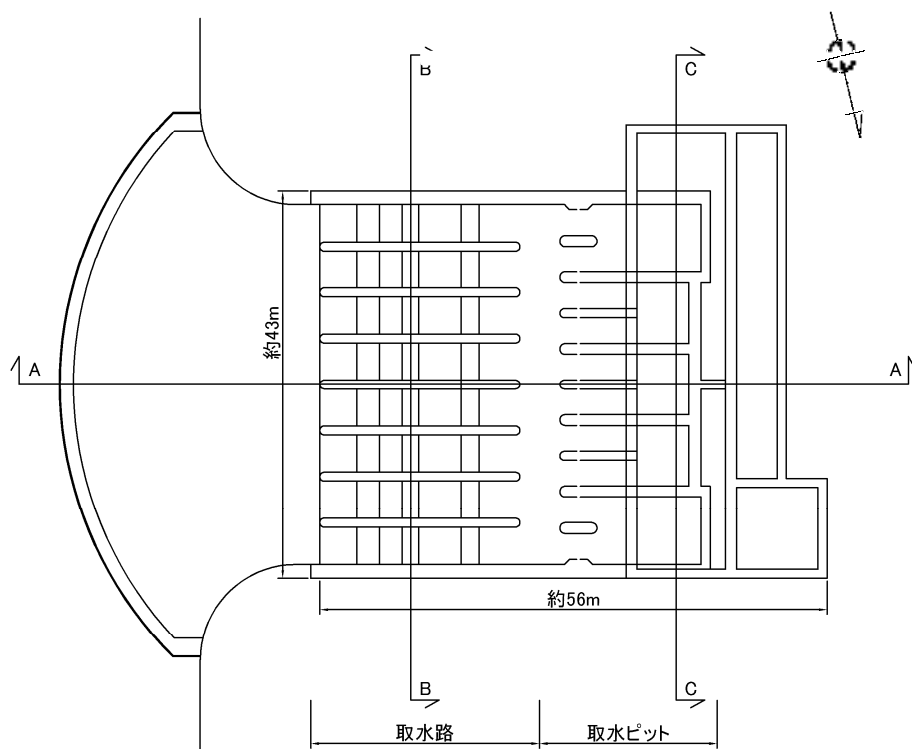
取水構造物の縦断方向（通水方向）は、加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向となる。一方、横断方向（通水方向に対し直交する方向）は、通水機能を確保するため、加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから、弱軸方向となる。

耐震評価では、構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向を評価対象の断面の方向とする。

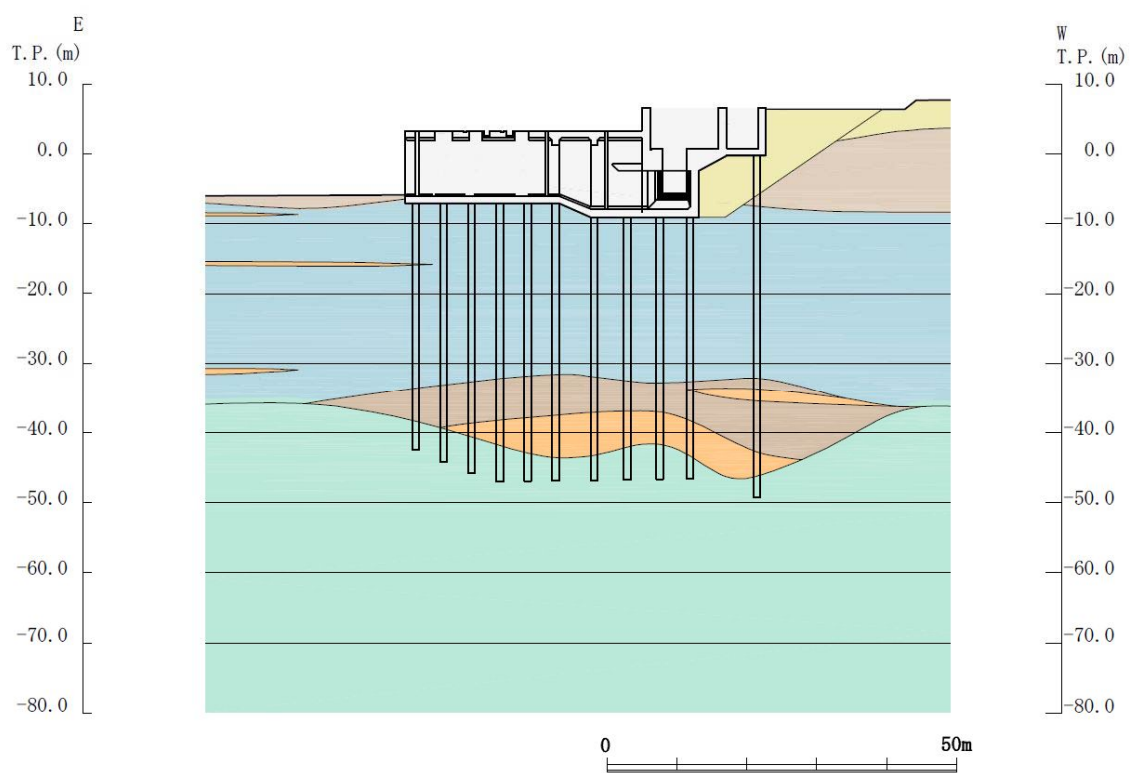
取水路である 8 連のボックスカルバート構造の区間においては、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在する。このため、耐震評価は、同区間の取水方向全長で開口を含めた平均的な剛性及び上載荷重を考慮し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

また、取水ピットである 5 連のボックスカルバート形状の区間においては、循環水ポンプ、残留熱除去系海水ポンプ等の非常用ポンプなどの重量物が設置される。このため、耐震評価は、これらのポンプ等が設置される取水方向の区間長で開口を含めた平均的な剛性及び上載荷重を考慮し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

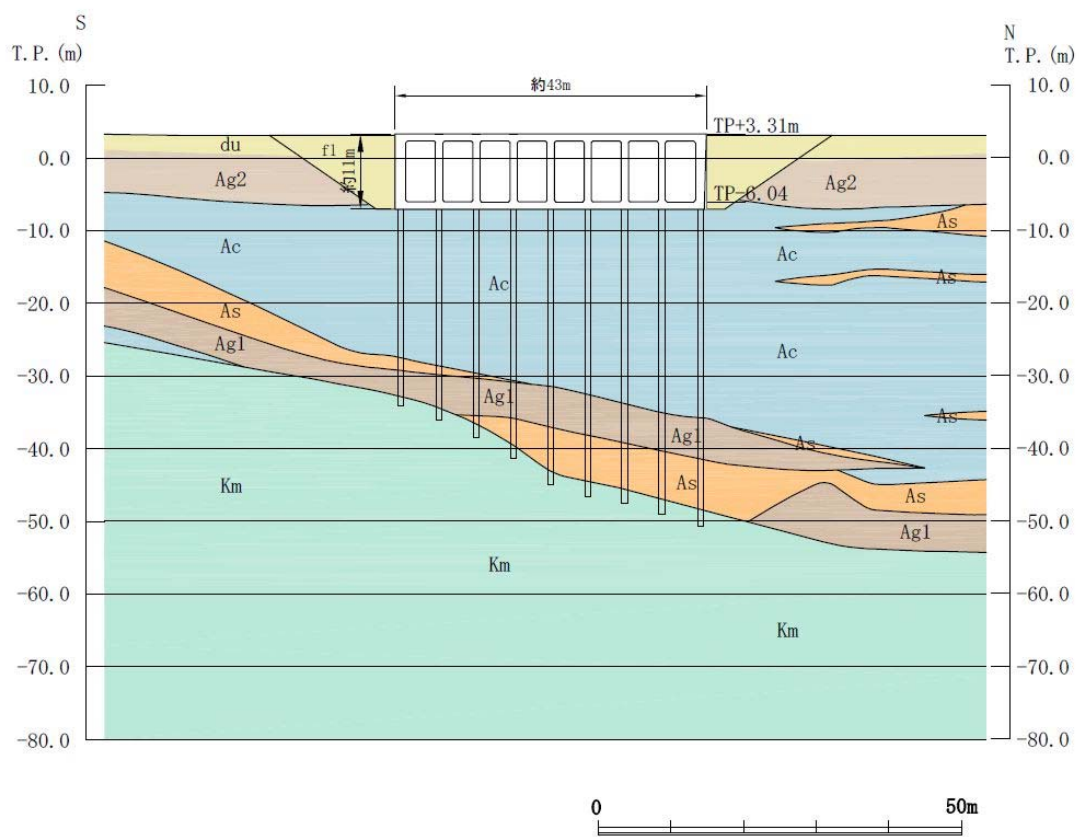
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



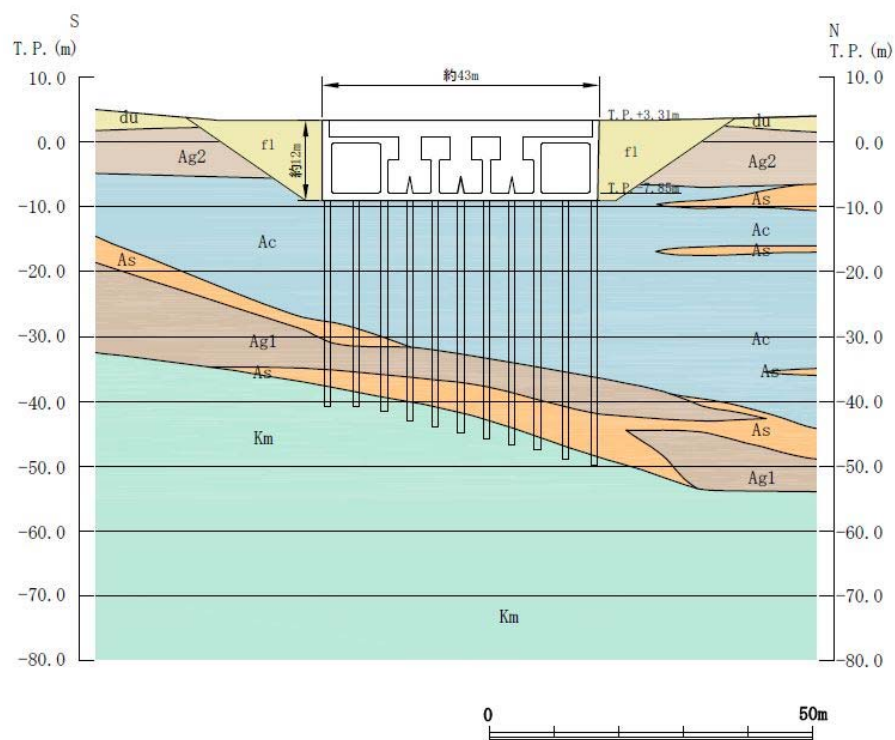
第 1.2-1 図 取水構造物 平面図



第 1.2-2 図 取水構造物 縦断面図 (A-A断面)



第 1.2-3 (1) 図 取水構造物 横断面図 (B-B 断面：取水路)



第 1.2-3 (2) 図 取水構造物 横断面図 (C-C 断面：取水ピット)

1.3 屋外二重管の断面選定の考え方

屋外二重管は、延長約 215m の鋼管の地中構造物であり、内径 2.0m 及び 1.8m の 2 本が設置され、第四系地盤に直接支持されている。構造物直下には液状化検討対象層である As 層、Ag1 層及び Ag2 層が分布している。なお、指針改訂に伴う耐震裕度向上工事として、平成 21 年に Ag2 層を対象とした地盤改良を実施している。

設置許可基準規則第 3 条第 1 項への適合性の観点から、本構造物は杭等を介して岩盤で支持する構造とする。

屋外二重管の平面図を第 1.3-1 図に、縦断面図を第 1.3-2 図に、横断面図を第 1.3-3 図に示す。

主な範囲においては、屋外二重管の直下に沈下防止を目的とした鉄筋コンクリート梁を設置して、鋼管杭を介して岩盤で支持させる。また、原子炉建屋近傍で、移設不可能な既設構造物（排気筒基礎等）や埋設物との干渉によって鋼管杭の打設が困難な箇所については、屋外二重管直下を地盤改良（セメント固化工法等）することにより補強する地盤に支持させる検討を行う。

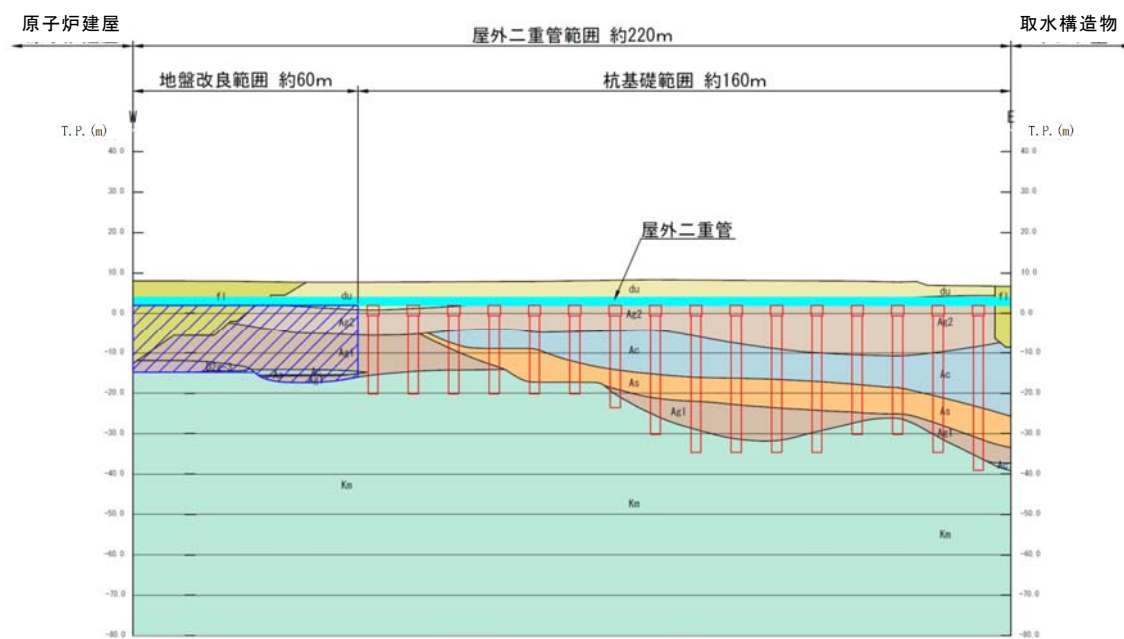
屋外二重管の基礎構造概要図を第 1.3-4 図に示す。

耐震評価では、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件を考慮して、屋外二重管横断方向としては第四系が最も厚く分布する取水構造物側端部の断面及び屋外二重管縦断方向の断面について、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

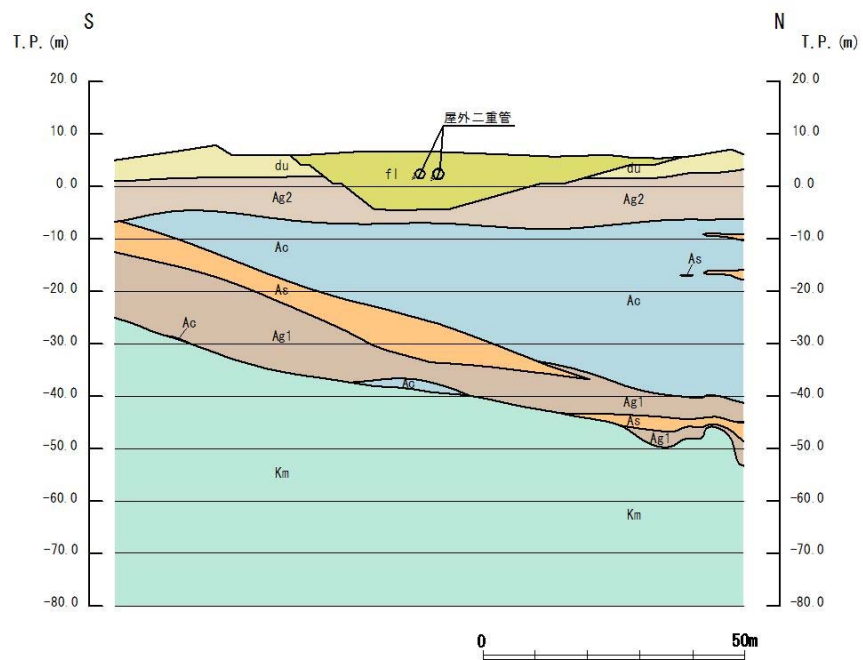
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



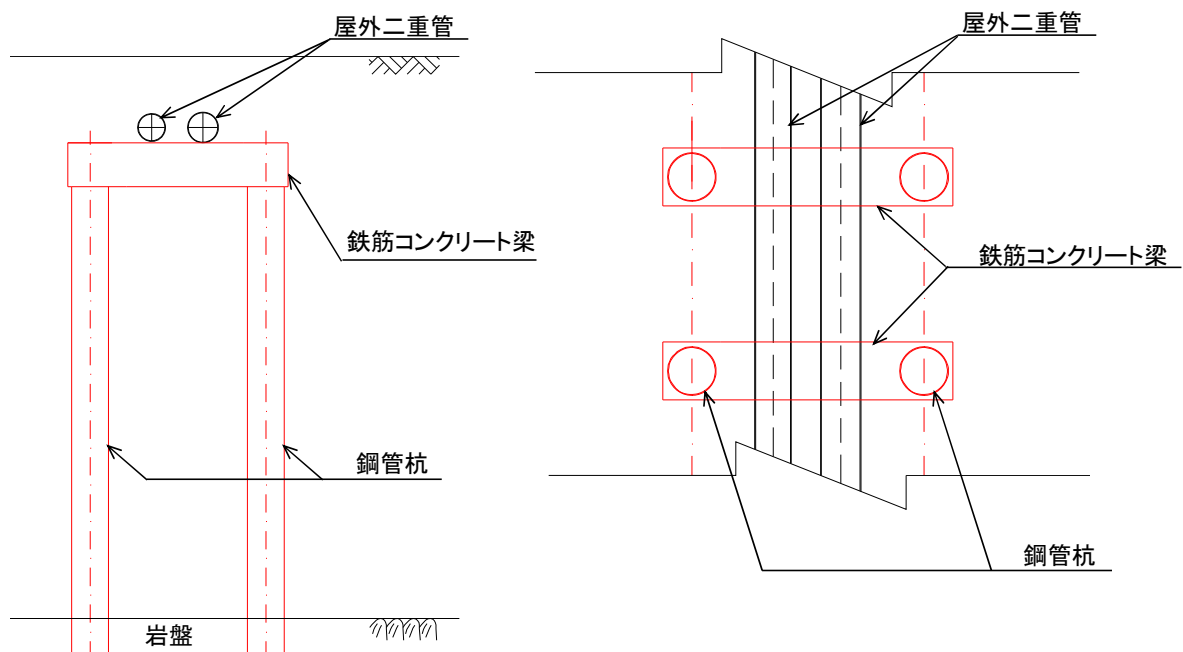
第 1.3－1 図 屋外二重管 平面図



第 1.3－2 図 屋外二重管 縦断面図（A－A断面）



第 1.3-3 図 屋外二重管 横断面図 (B-B 断面)



基礎構造 (管軸直角方向イメージ)

基礎構造 (平面イメージ)

第 1.3-4 図 基礎構造概要図

1.4 貯留堰の断面選定の考え方

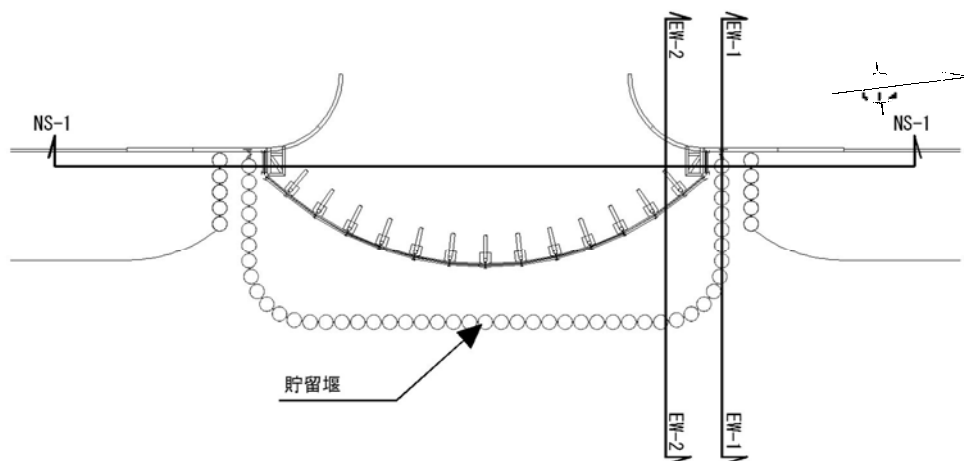
貯留堰の平面図を第 1.4-1 図に、断面図を第 1.4-2 図に示す。

貯留堰は、延長約 110m の海底面から約 2m 突出した鋼管矢板を連結した構造物であり、取水口護岸に接続する。鋼管矢板は十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。

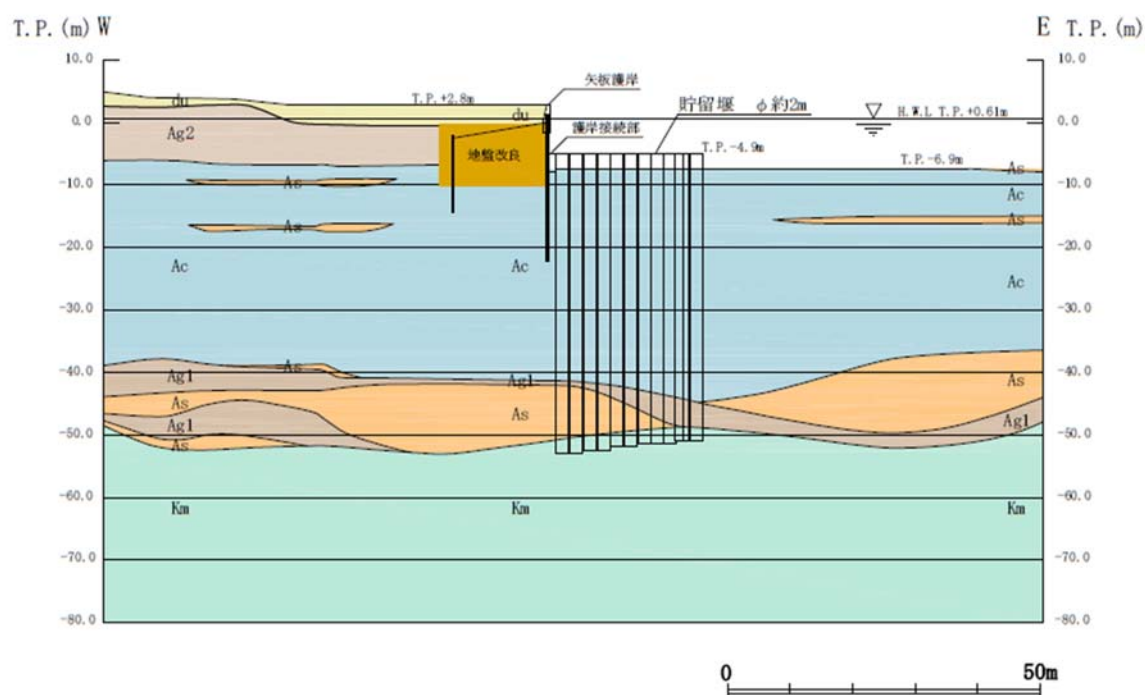
貯留堰の縦断方向（軸方向）は、加振方向に隣接する鋼管矢板を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向となる。一方、横断方向（軸方向に対して直交する方向）は、加振方向に隣接する鋼管矢板がないことから、弱軸方向となる。

耐震評価では、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して、構造の安全性に支配的な弱軸方向の断面について、耐震安全上厳しくなる断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

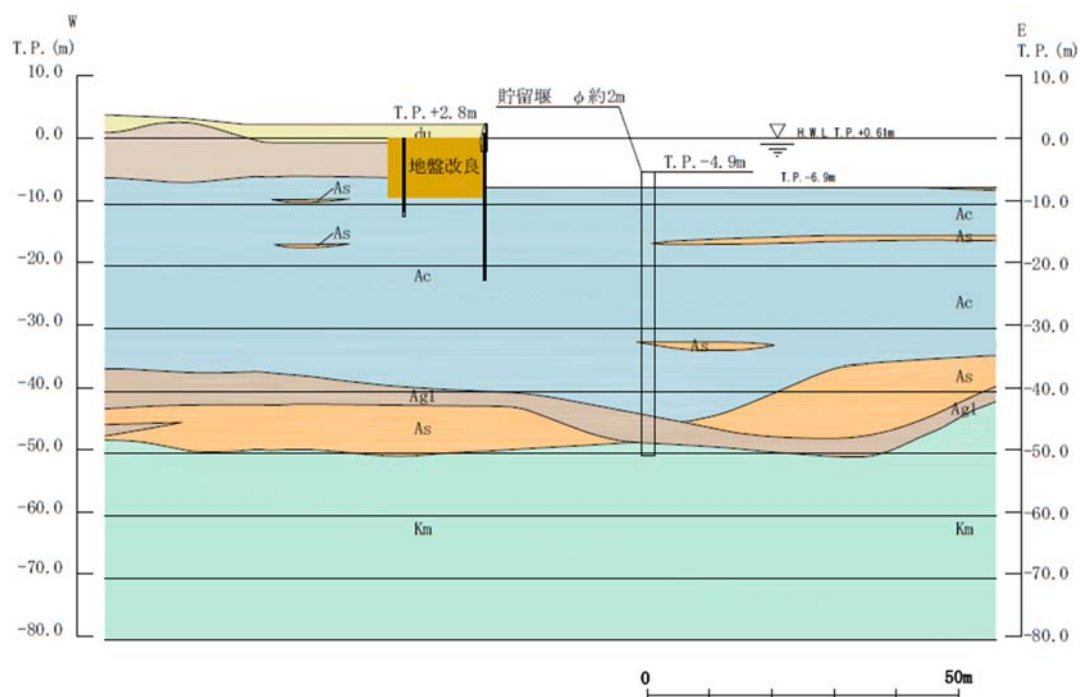
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



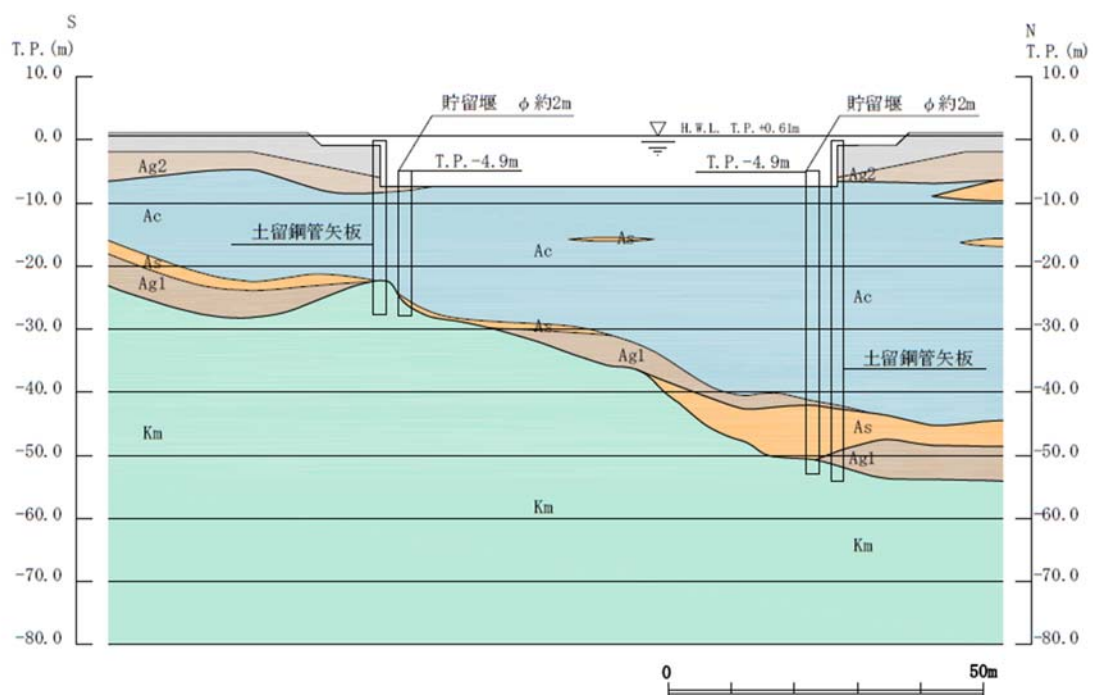
第 1.4-1 図 貯留堰 平面図



第 1.4-2 (1) 図 貯留堰 断面図 (EW-1 断面)



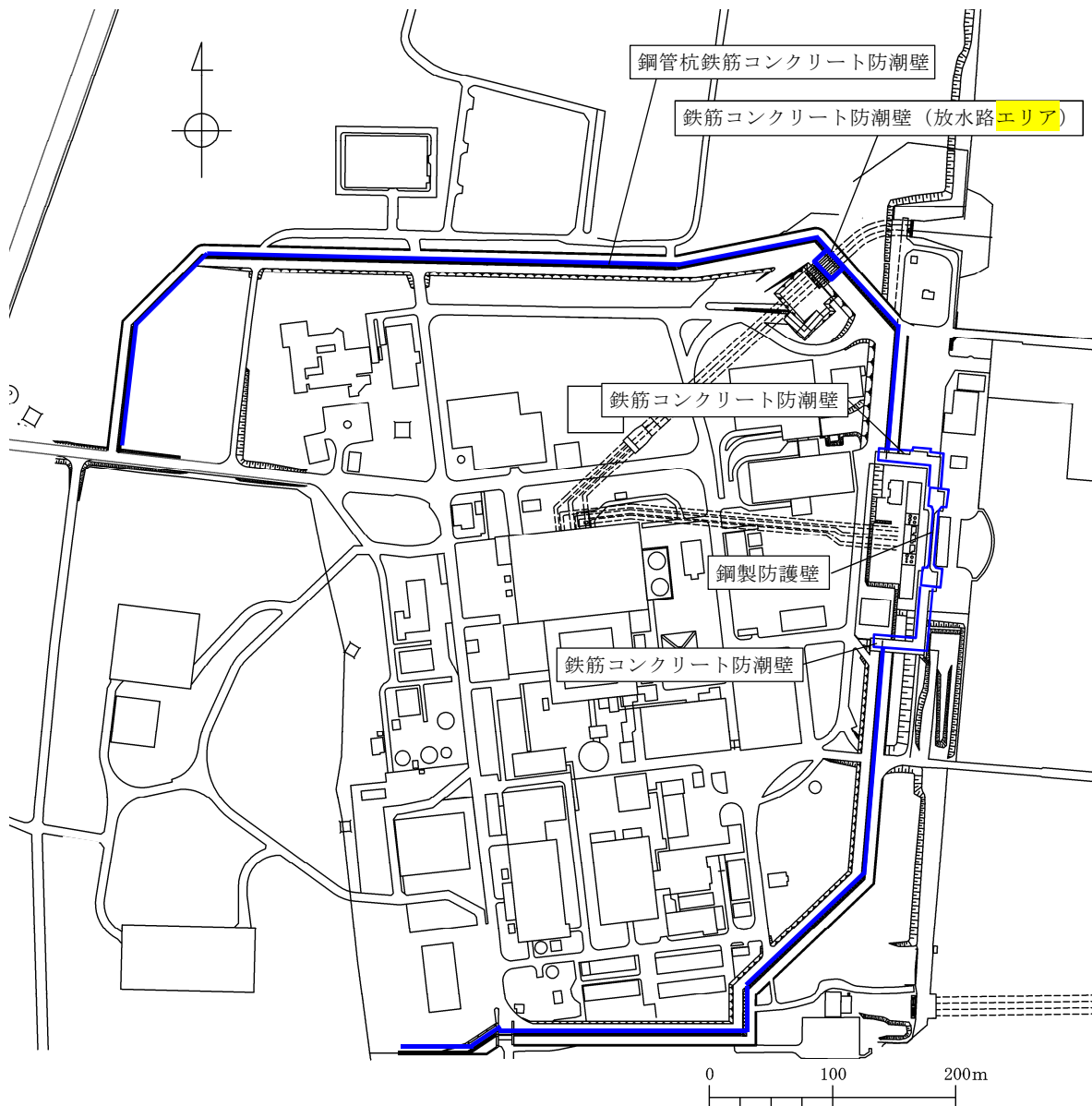
第 1.4-2 (2) 図 貯留堰 断面図 (EW-2 断面)



第 1.4－2 (3) 図 貯留堰 断面図 (NS－1 断面)

1.5 防潮堤の断面選定の考え方

防潮堤の平面図を第 1.5-1 図に示す。防潮堤は、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁、鋼製防護壁及び鉄筋コンクリート防潮壁に区分され、総延長は約 2.3km、天端高さは T.P. +20m（敷地東側）又は T.P.+18m（敷地北側及び南側）からなる。以下に、それぞれの断面選定の考え方を示す。



第 1.5-1 図 防潮堤 平面図

1.5.1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の平面図を第 1.5-2 図に、正面図及び断面図を第 1.5-3 図に、横断面図を第 1.5-4～5 図に示す。

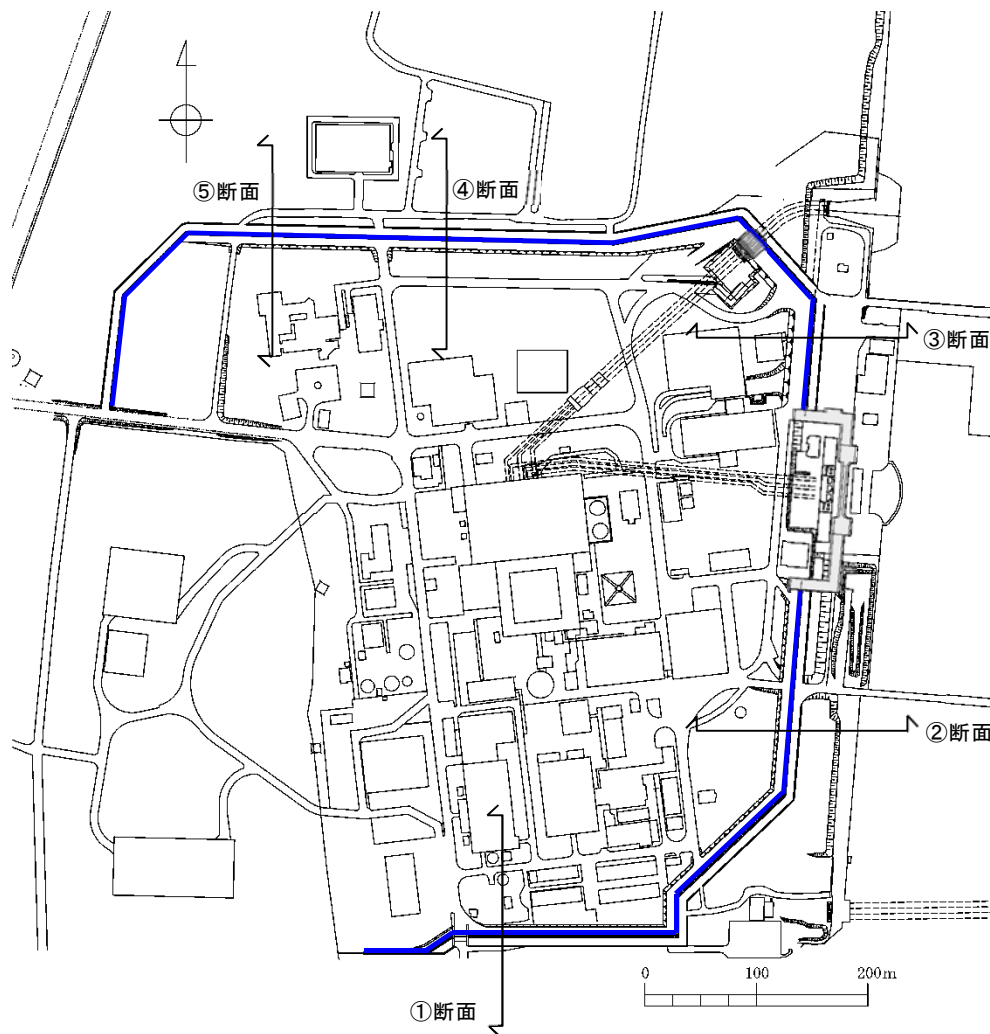
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、延長約 2km、直径 2～2.5m の複数の鋼管杭を鉄筋コンクリートで巻き立てた鉄筋コンクリート造の防潮壁を 1 つのブロックとした構造物であり、鋼管杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の縦断方向は、加振方向と平行に配置される躯体及び杭基礎を耐震設計上見込むことができるため強軸方向となる。一方、横断方向は、加振方向と平行に躯体及び杭基礎が配置されないことから、弱軸方向となる。

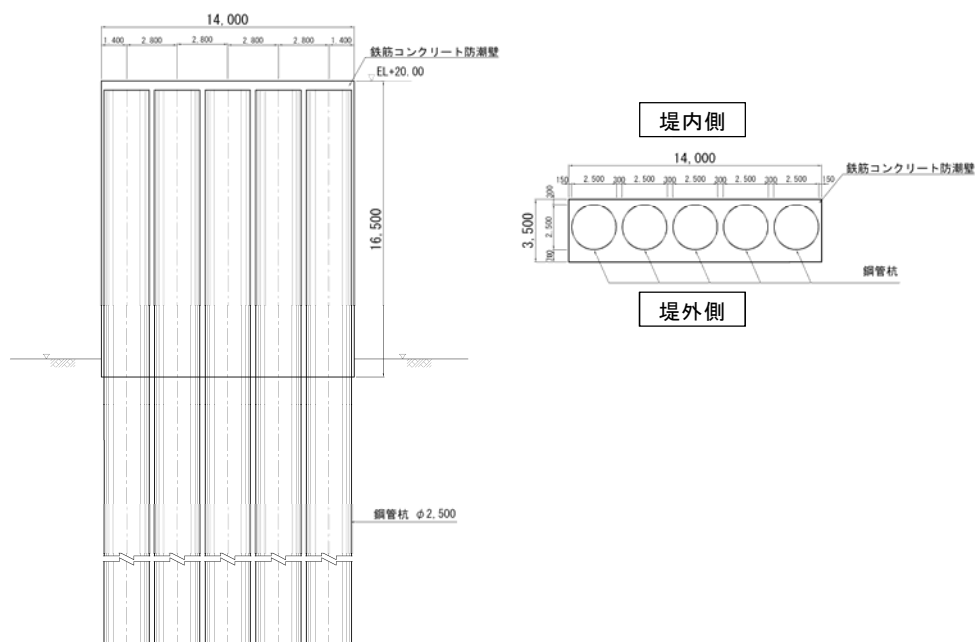
耐震評価では、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件も考慮して、構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向の断面について、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。

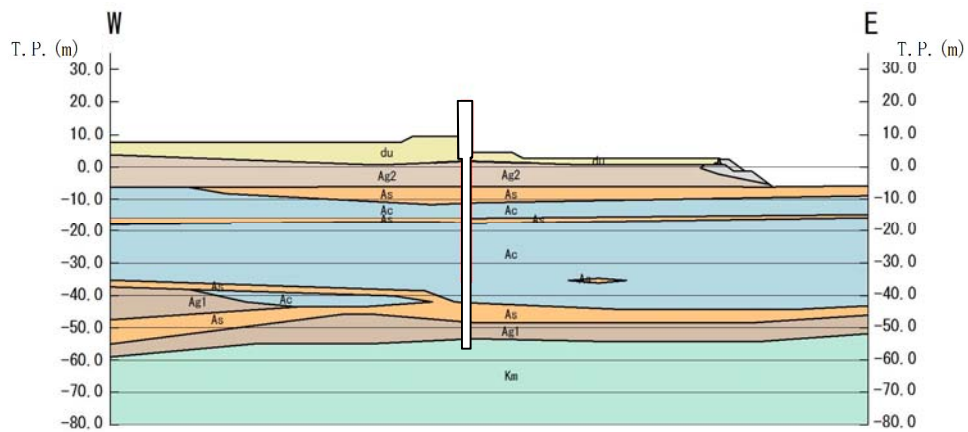
なお、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は敷地の全域に渡り設置することから、敷地の地質・地質構造の特徴や遡上津波の特性等を踏まえ、それらを網羅的に考慮した検討断面を第 1.5-1 表、第 1.5-2 表、第 1.5-6 図、第 1.5-7 図に基づき選定した（①断面～⑤断面）。



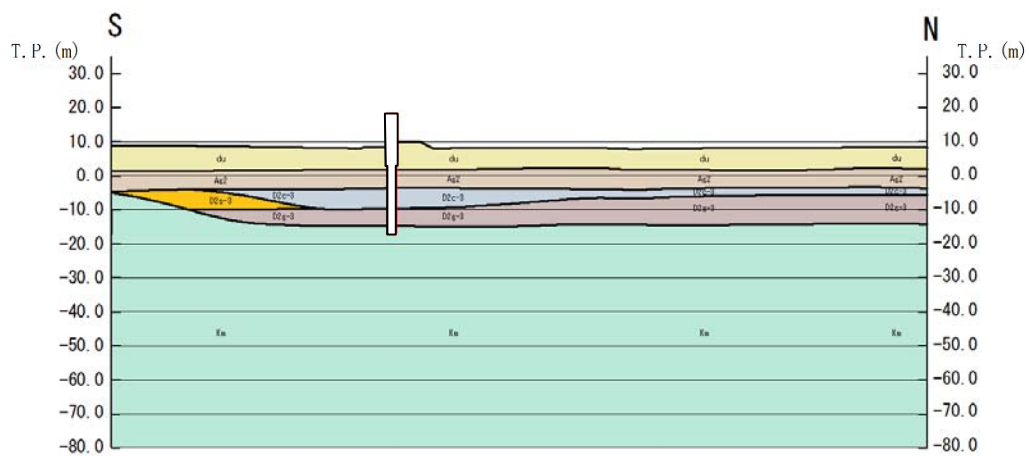
第 1.5-2 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 平面図



第 1.5-3 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 正面図及び断面図



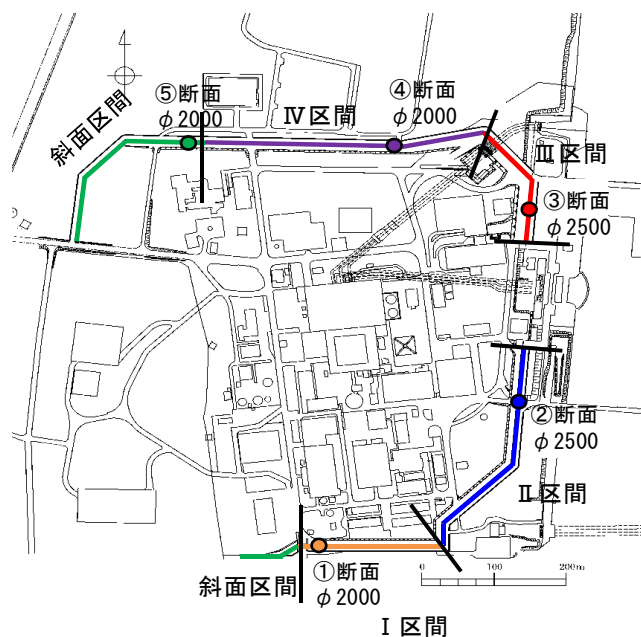
第 1.5-4 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 横断面図 (②断面)



第 1.5-5 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 横断面図 (①断面)

第 1.5－1 表 検討断面選定理由

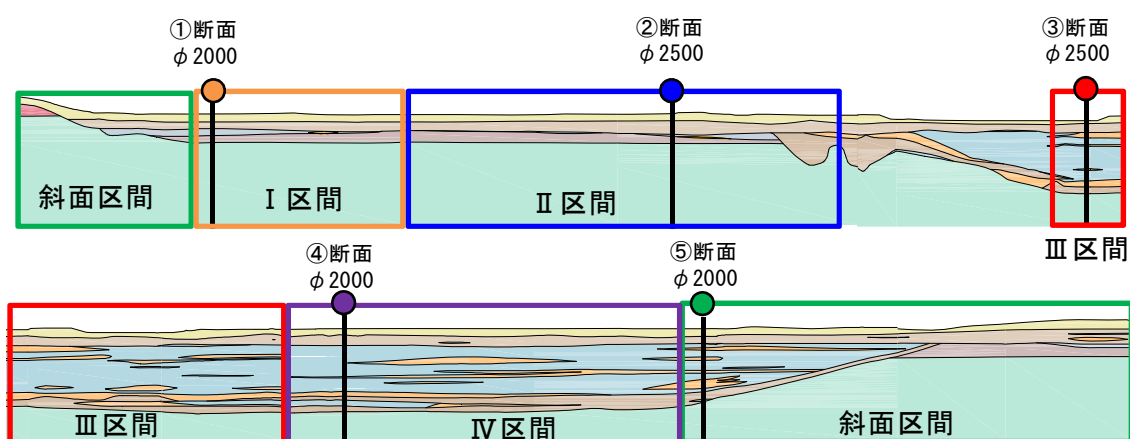
検討断面	区間	選定理由
① 断面	I 区間	I 区間の中で，第四系の層厚が最も厚い箇所
② 断面	II 区間	II 区間の中で，護岸に最も近接する箇所 (II 区間で第四系の層厚は一定である。)
③ 断面	III 区間	III 区間の中で，防潮壁の壁高さが最も高い箇所 (全区間で津波荷重が最も大きい箇所)
④断面	IV 区間	IV 区間の中で，粘土層が最も厚く堆積する箇所 (IV 区間で第四系の層厚は一定である。)
⑤断面	斜面区間	斜面区間の中で，岩盤の傾斜角が最も大きく，防潮壁の壁高さが最も高い箇所



第 1.5－6 図 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の区間割図

第 1.5－2 表 区間別の第四系層厚

凡例	区間	鋼管杭径	第四系の層厚(岩盤の出現深さ)
—	I 区間	φ 2000	一定の厚さで薄い(浅い)
—	II 区間	φ 2500	一定の厚さで薄い(浅い)
—	III 区間	φ 2500	一定の厚さで厚い(深い)
—	IV 区間	φ 2000	一定の厚さで厚い(深い)
—	斜面区間	φ 2000	薄い～厚い(傾斜)



第 1.5－7 図 検討断面位置図

1.5.2 鋼製防護壁

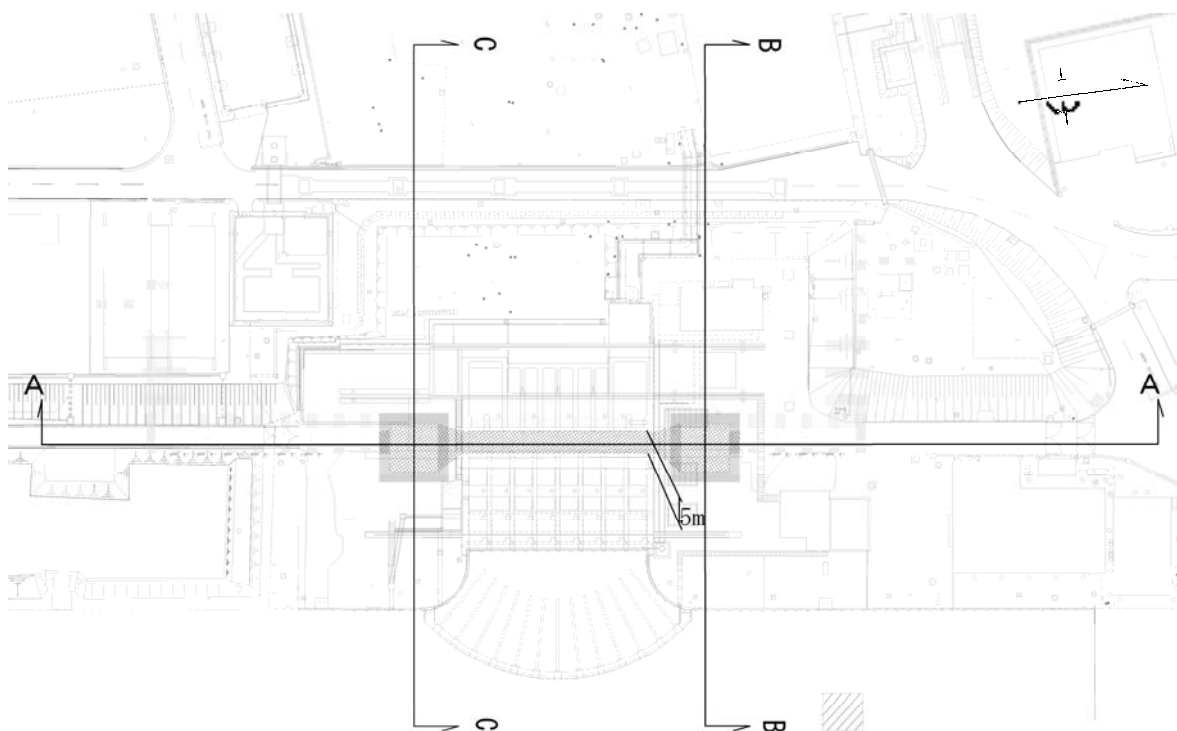
鋼製防護壁の平面図を第 1.5-8 図に、正面図を第 1.5-9 図に、断面図を第 1.5-8 図に示す。

鋼製防護壁は、幅約 81m、高さ約 17m、奥行約 5m の鋼製の構造物であり、幅約 50m の取水構造物を横断し、取水構造物の側方の地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。鋼製防護壁周辺の地盤は新第三系の岩盤上面が南側から北側に傾斜し、その上部に第四系の地層が堆積しているため、第四系の地層は北側で厚く分布している。

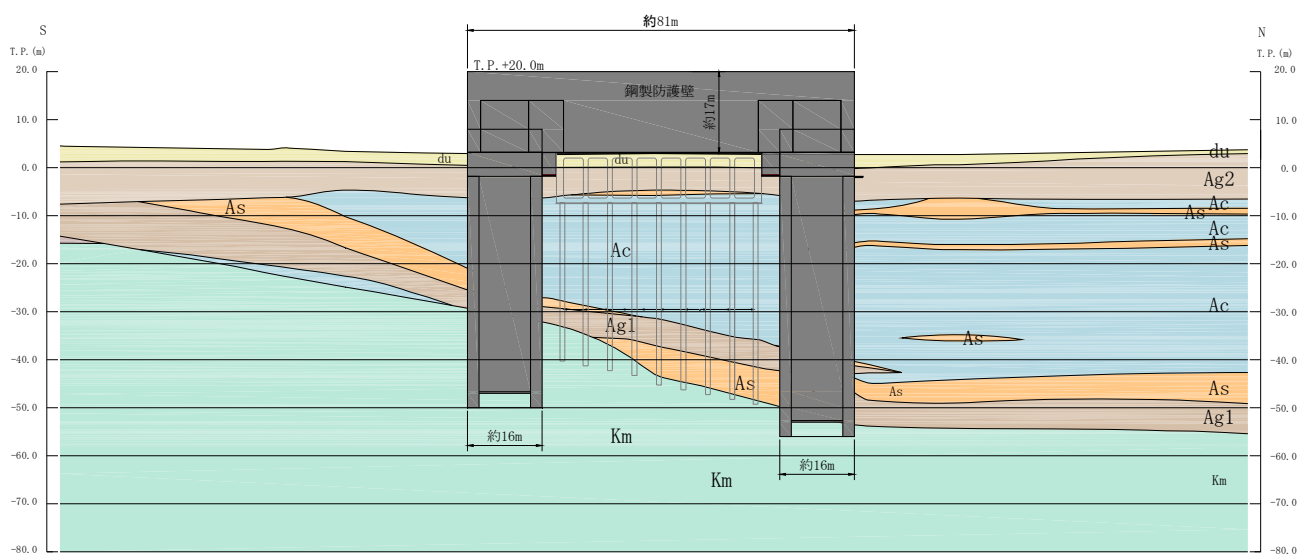
鋼製防護壁は、上部工では相対的に断面係数が多い縦断方向が強軸方向となる。一方、鋼製防護壁の基礎は取水構造物を挟んで南北に分離されており、平面形状が正方形であり、構造全体としての挙動を考慮すると縦断方向を強軸方向とは見なせない。また、北側と南側で基礎の延長や地盤条件が異なるため、複雑な挙動が考えられる。

耐震評価では、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件を考慮して、縦断方向 1 断面及び南北基礎の横断方向（堤軸に対して直交する方向）2 断面について、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

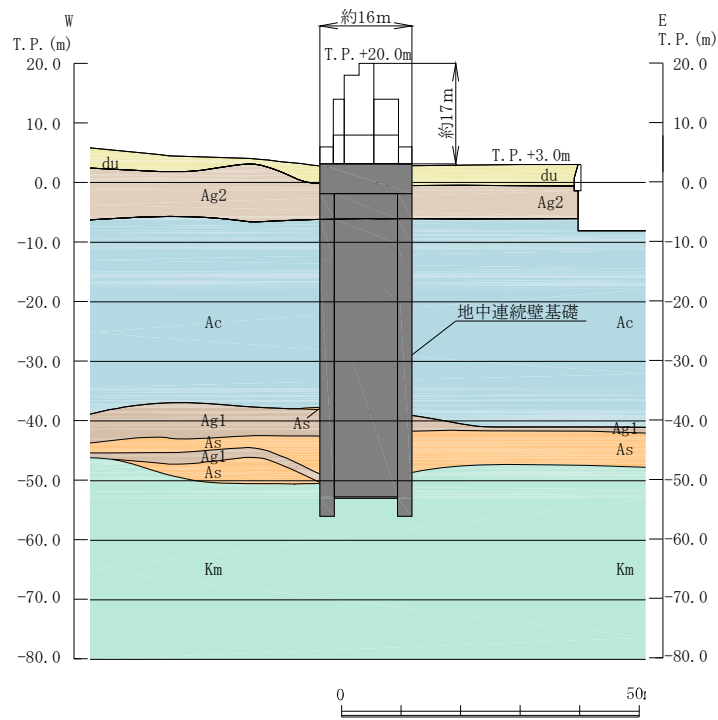
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



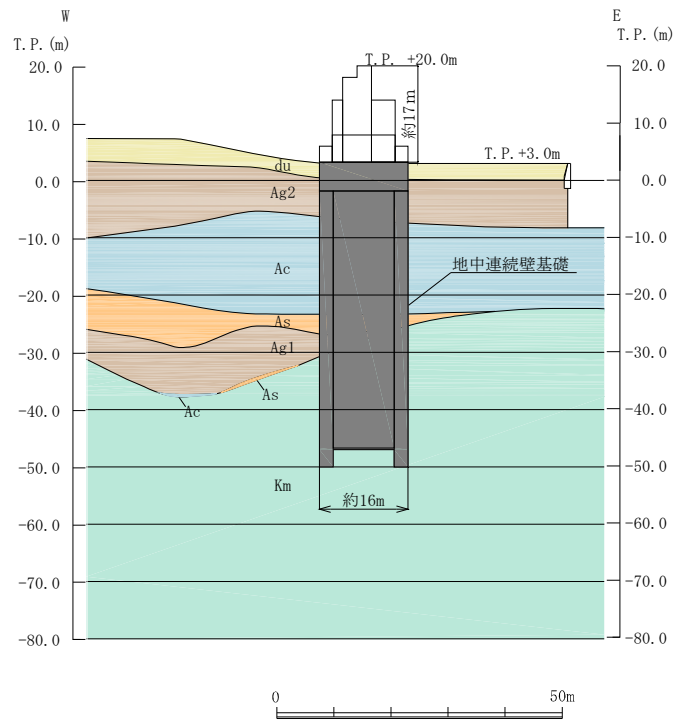
第 1.5－8 図 鋼製防護壁 平面図



第 1.5－9 図 鋼製防護壁 正面図 (A－A断面)



第 1.5-9 (1) 図 鋼製防護壁 断面図 (B-B 断面)



第 1.5-9 (2) 図 鋼製防護壁 断面図 (C-C 断面)

1.5.3 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリアを除く）

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリアを除く）の平面図を第 1.5-10 図に、断面図を第 1.5-11 図に示す。

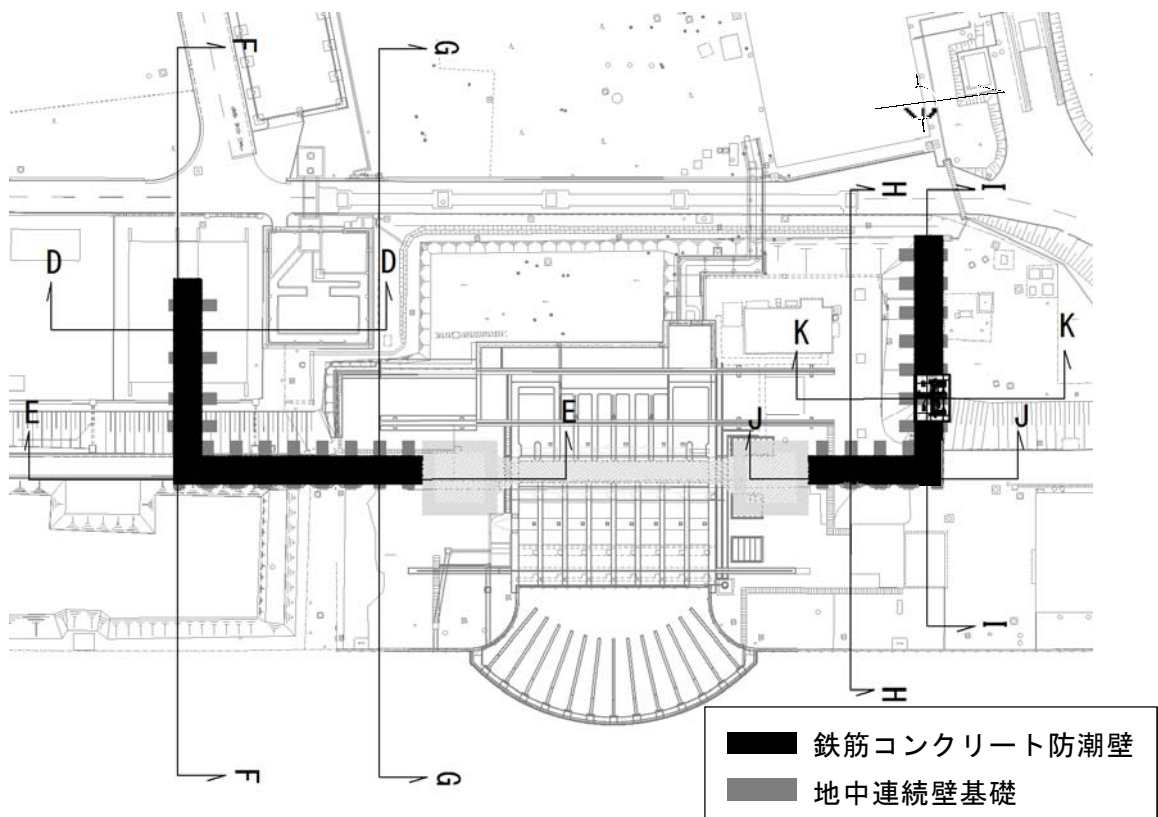
鉄筋コンクリート防潮壁は、幅 11m～20m 程度、高さ約 22m、奥行約 10m の鉄筋コンクリート造の構造物であり、ブロック間は止水ジョイントを施した構造である。鉄筋コンクリート防潮壁は、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

鉄筋コンクリート防潮壁の縦断方向は、加振方向と平行に配置される躯体を耐震設計上見込むことができるため強軸方向となる。横断方向（堤軸に対して直交する方向）は、加振方向と平行に躯体が配置されないことから、弱軸方向となる。一方、地中連続壁基礎に着目すると防潮堤の縦断方向は加振方向と平行に配置される部材が少ないことから弱軸方向となる。

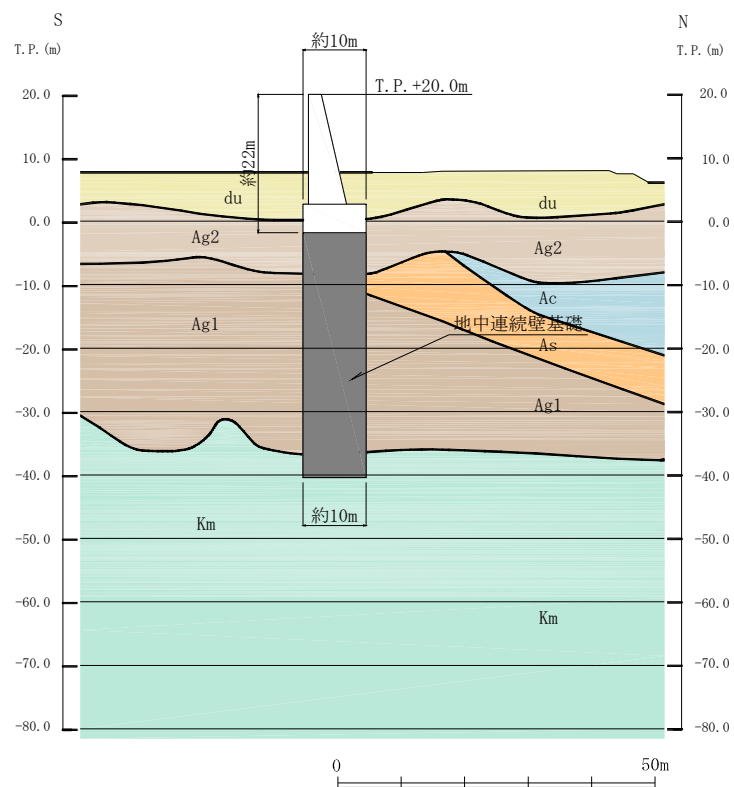
鉄筋コンクリート防潮壁周辺の地盤は新第三系の岩盤上面が南側から北側に傾斜し、その上部に第四系の地層が堆積しているため、第四系の地層は北側で厚く分布している。第四系の地層は、南側の東西方向では起伏に富み、北側の東西方向はほぼ水平に層をなしている。

耐震評価では、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件を考慮して、上部工については構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向の 4 断面、基礎部については構造の安全性に支配的な弱軸方向である縦断方向の 4 断面について、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

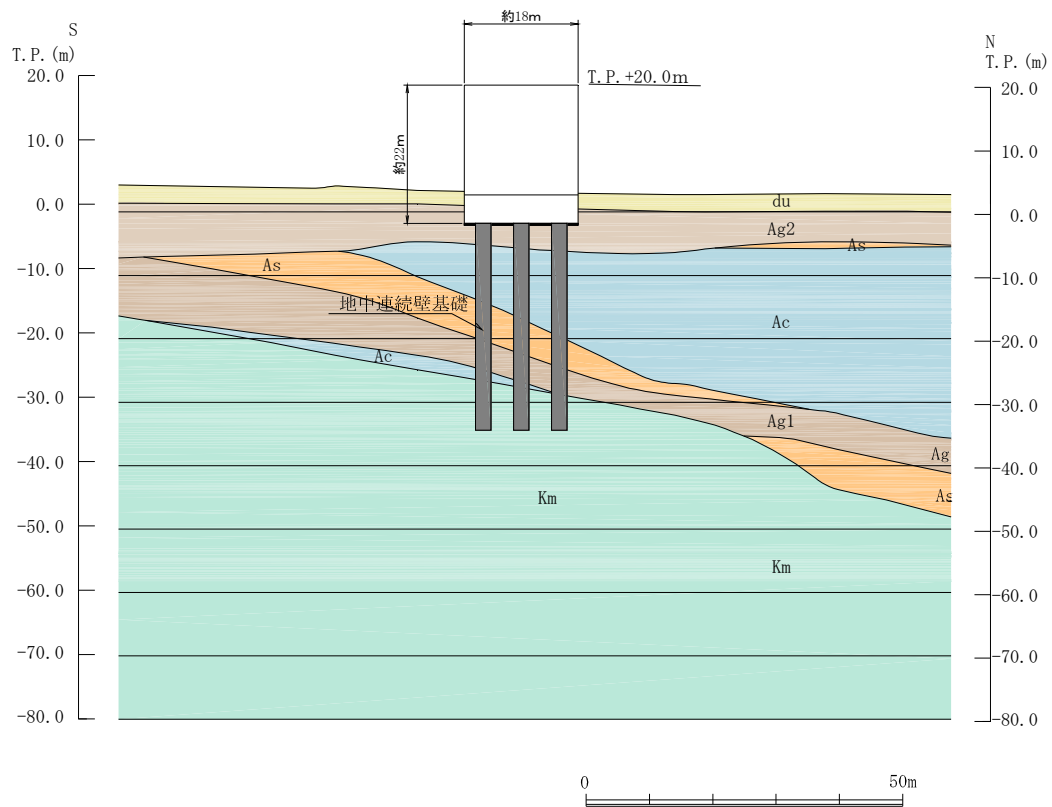
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



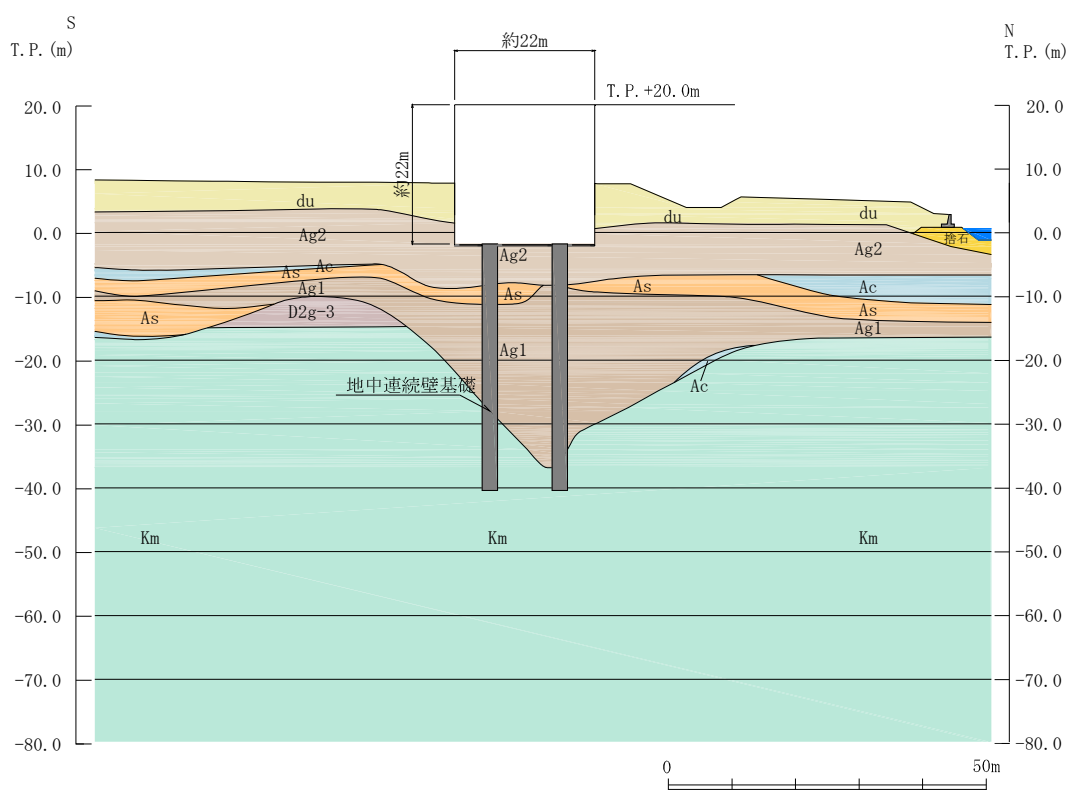
第 1.5-10 図 鉄筋コンクリート防潮壁 平面図



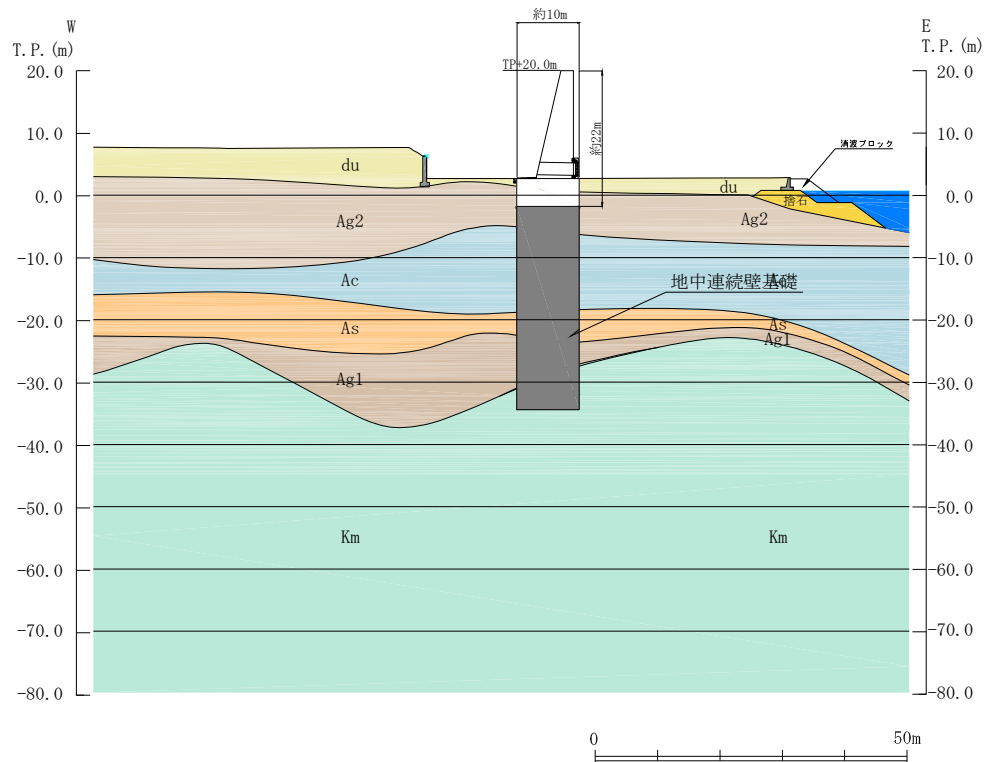
第 1.5-11 (1) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図(D-D断面)



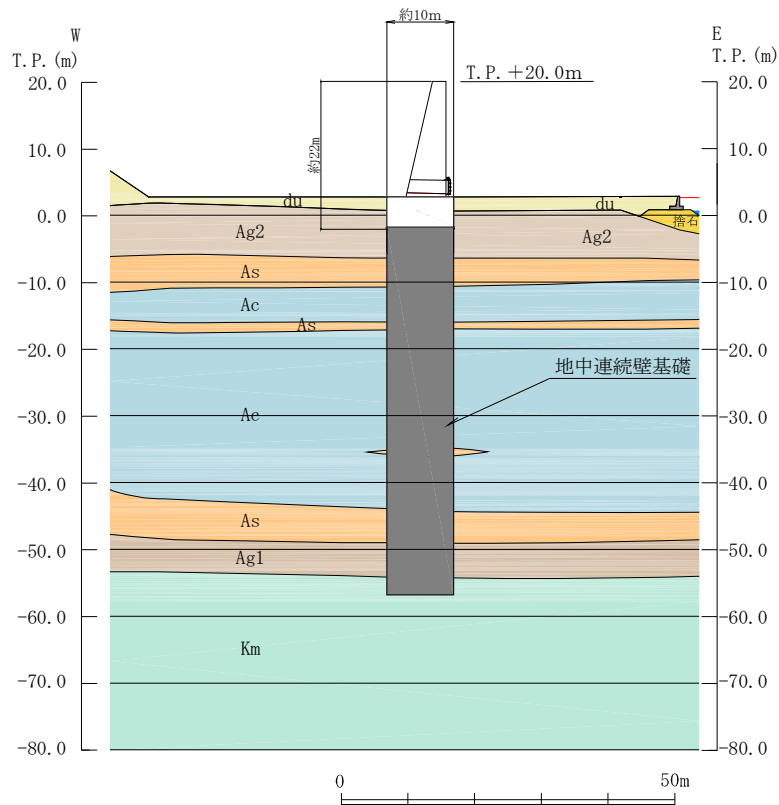
第 1.5-11 (2) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図(E-E断面)



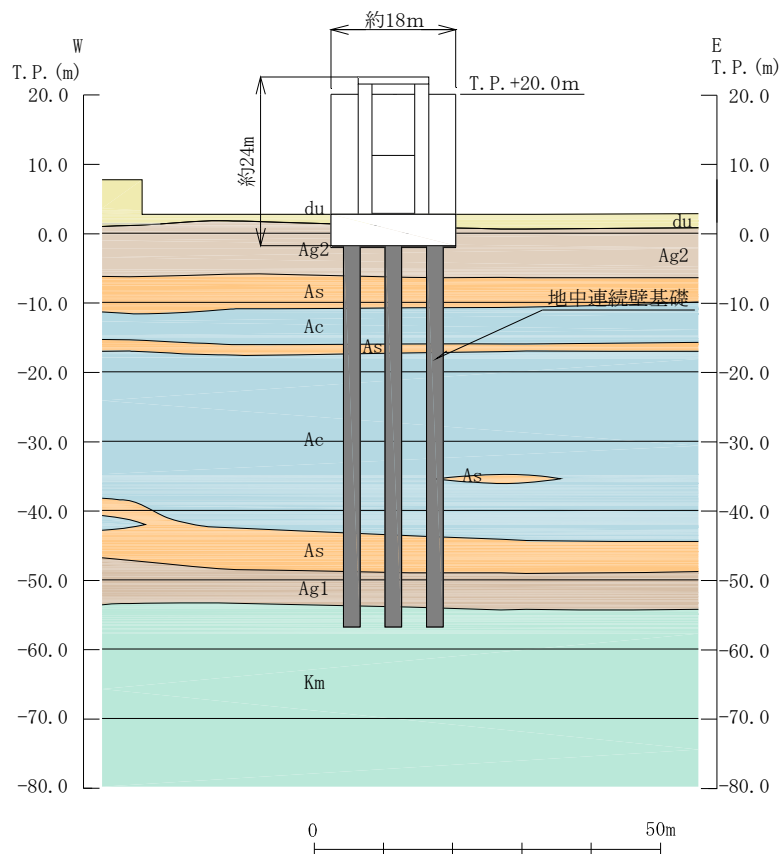
第 1.5-11 (3) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図(F-F断面)



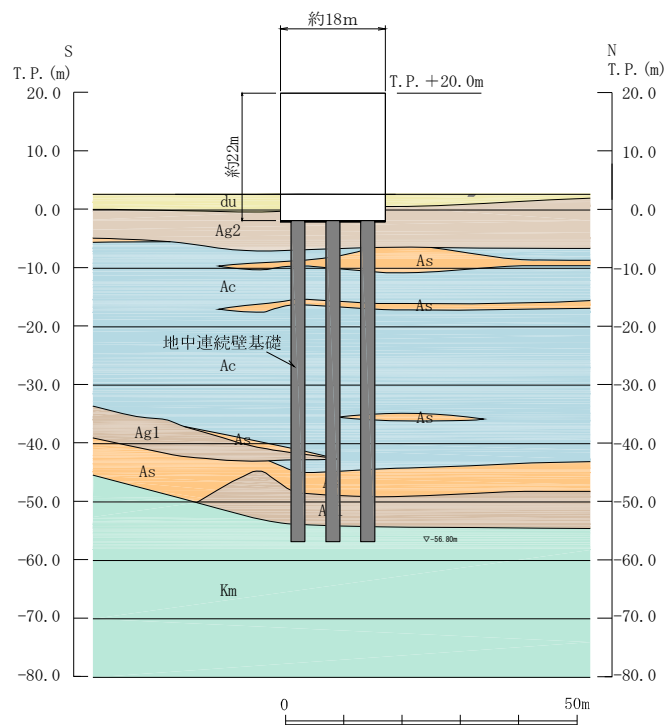
第 1.5-11 (4) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図 (G-G 断面)



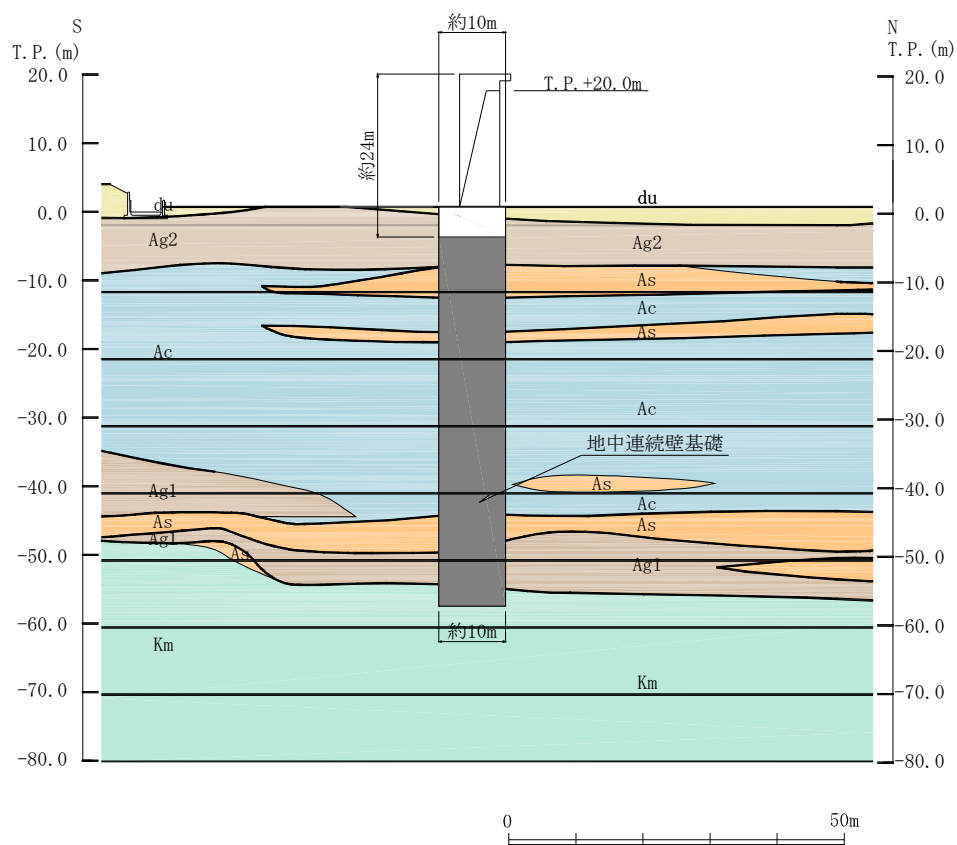
第 1.5-11 (5) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図 (H-H 断面)



第 1.5－11 (6) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図 (I－I 断面)



第 1.5－11 (7) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図 (J－J 断面)



第 1.5-11 (8) 図 鉄筋コンクリート防潮壁 断面図 (K-K 断面)

1.5.4 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

鉄筋コンクリート防潮壁のうち放水路横断部の平面図を第 1.5-12 図に、断面図を第 1.5-13 図に示す。

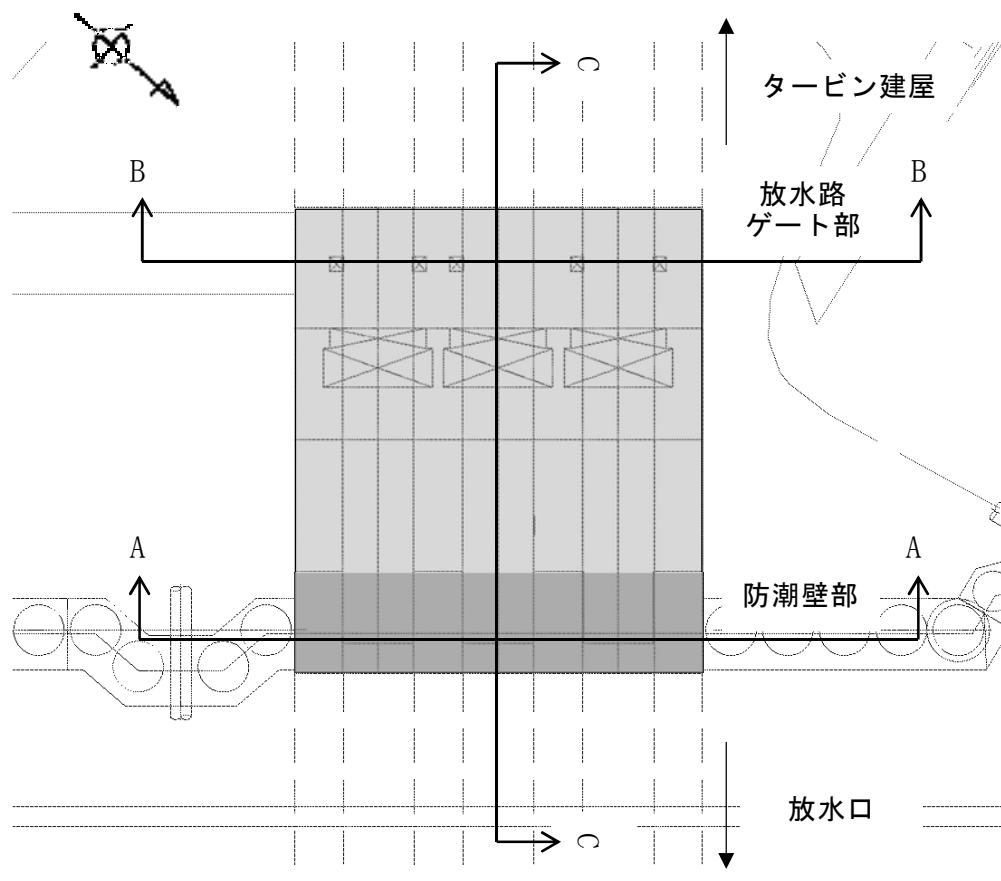
鉄筋コンクリート防潮壁は、縦断方向約 20m、高さ約 17m、横断方向約 23m の鉄筋コンクリート造の構造物であり、放水路、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

鉄筋コンクリート防潮壁の縦断方向では、防潮壁部は加振方向と平行に配置される躯体を耐震設計上見込むことができるため強軸方向となり、防水路部及び放水路ゲート部は加振方向と平行に躯体が配置されないことから、弱軸方向となる。

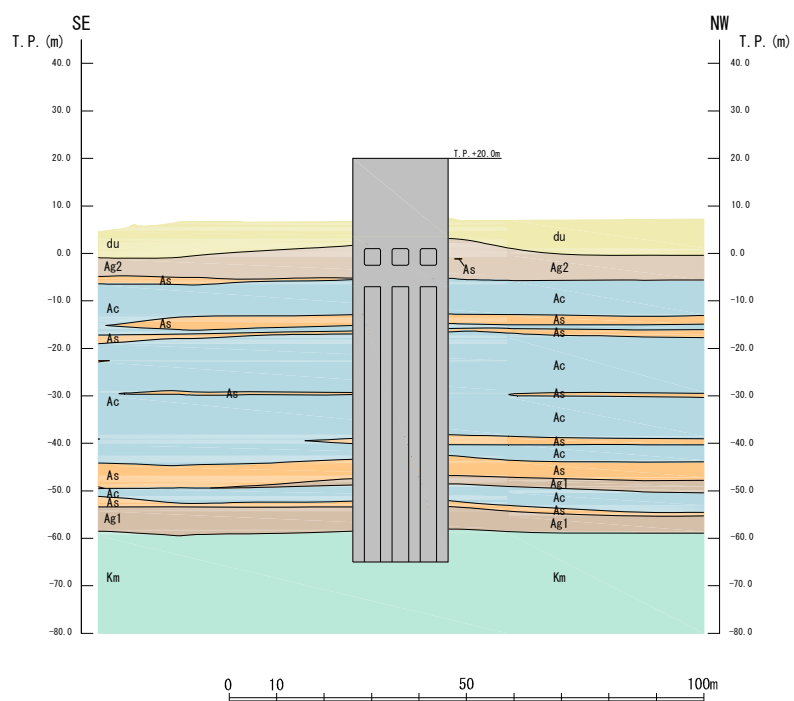
鉄筋コンクリート防潮壁周辺の第四系の地層はほぼ水平な層をなし、Ac 層が厚く分布する。

耐震評価では、構造物の構造的特徴や周辺の地盤条件を考慮して、縦断方向 2 断面及び横断方向 1 断面について、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。縦断方向の断面位置は防潮壁部と放水路ゲート部に設定する。横断方向の断面位置は構造物の中心線位置とする。

本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。

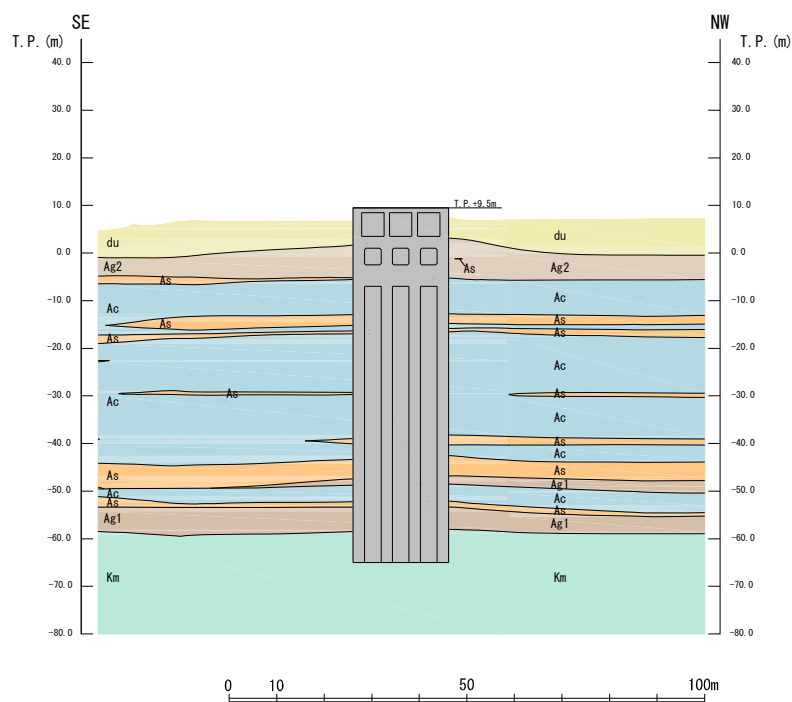


第 1.5－12 図 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア） 平面図

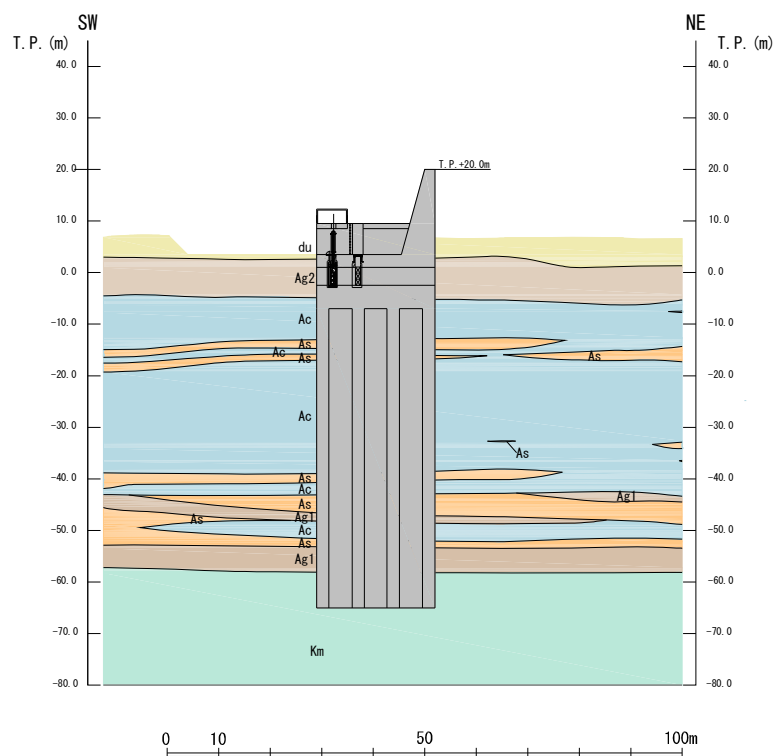


第 1.5－13 (1) 図 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

断面図（A－A断面）（防潮壁部）



第 1.5－13 (2) 図 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）断面図
(B－B断面) (放水路ゲート部)



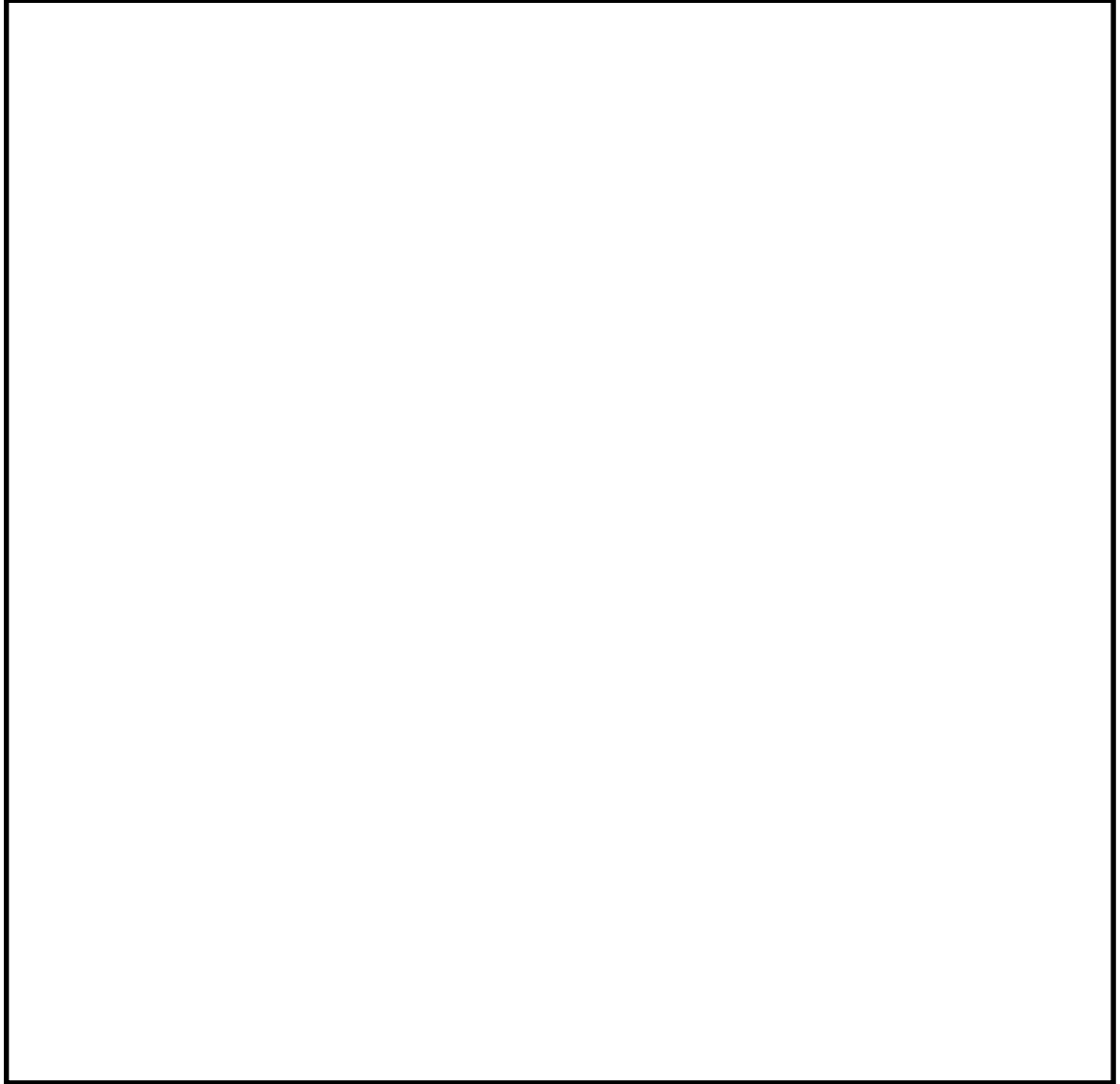
第 1.5－13 (3) 図 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）断面図
(C－C断面)

2. 重大事故等対処施設の土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

2.1 方針

耐震重要重大事故防止設備又は重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の間接支持構造物並びに重大事故時における海水の通水構造物の土木構造物の評価対象断面については、構造物の配置や荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

東海第二発電所での対象構造物は、常設代替高圧電源装置置場、常設代替高圧電源装置用カルバート、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、緊急用海水ポンプピット、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及び可搬型設備用軽油タンク基礎がある。各施設の平面配置図を第2.1-1図に示す。



第 2.1－1 図 重大事故等対処施設の土木構造物 平面配置図

2.2 常設代替高圧電源装置置場の断面選定の考え方

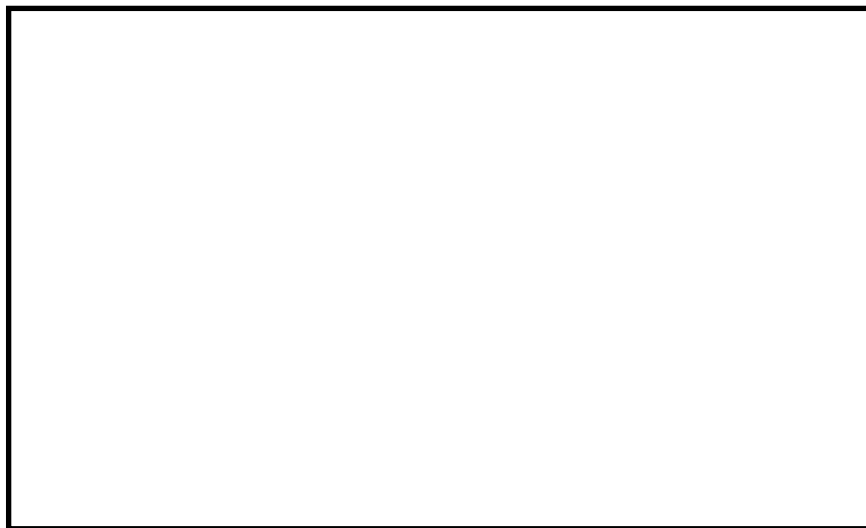
常設代替高圧電源装置置場の平面図を第 2.2-1 図に、断面図を第 2.2-2 図に示す。

常設代替高圧電源装置置場は、幅約 46m（南北方向）×約 56m（東西方向）、高さ約 47m の多層ラーメン構造の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。

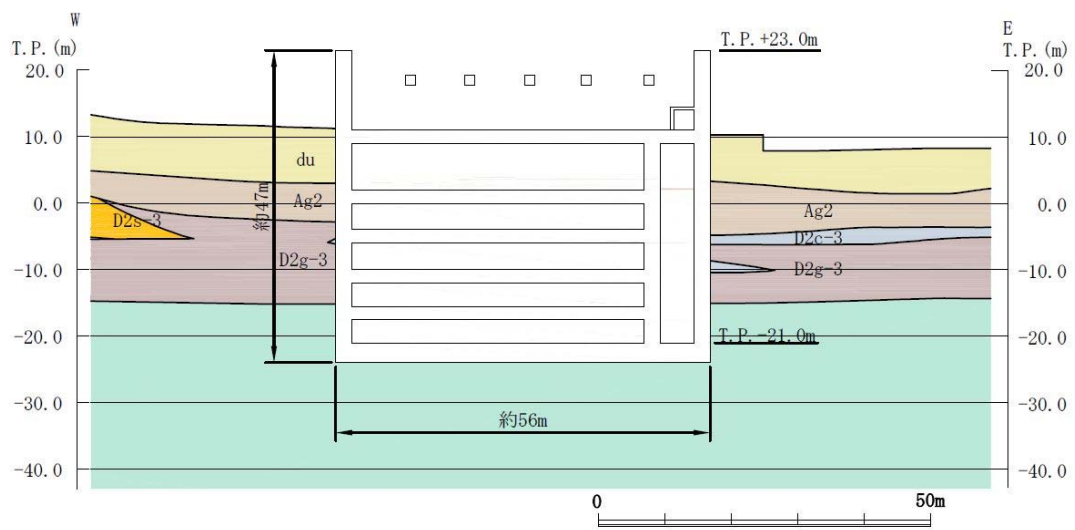
常設代替高圧電源装置置場の東西方向は加振と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことが出来るため、強軸方向となる。一方、南北方向は、設備の配置などから加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから弱軸方向となる。

耐震評価では、構造の安全性に支配的な弱軸方向である南北方向の断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

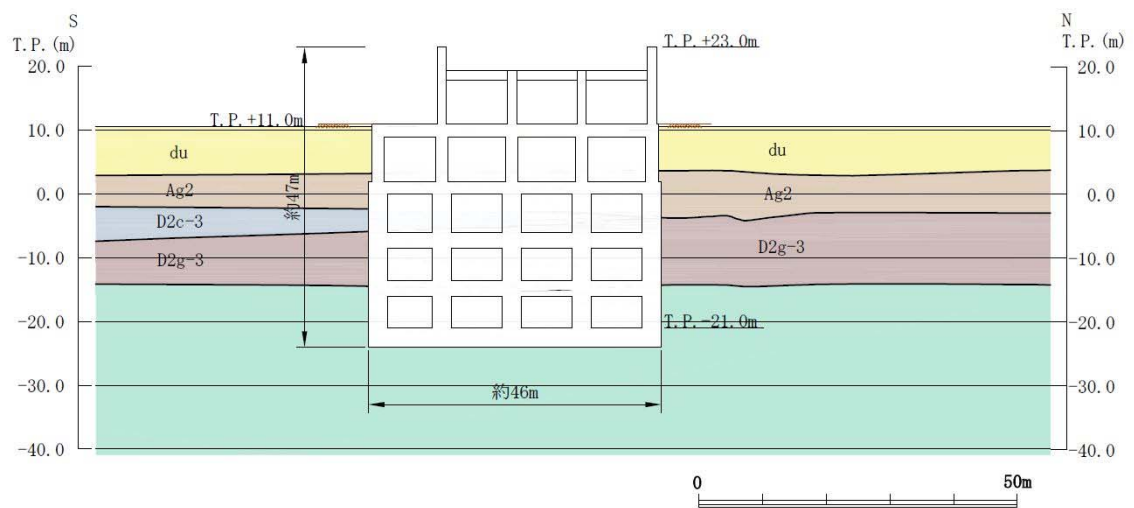
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



第 2.2-1 図 常設代替高圧電源装置置場 平面図



第 2.2-2 (1) 図 常設代替高圧電源装置置場 断面図 (東西断面)

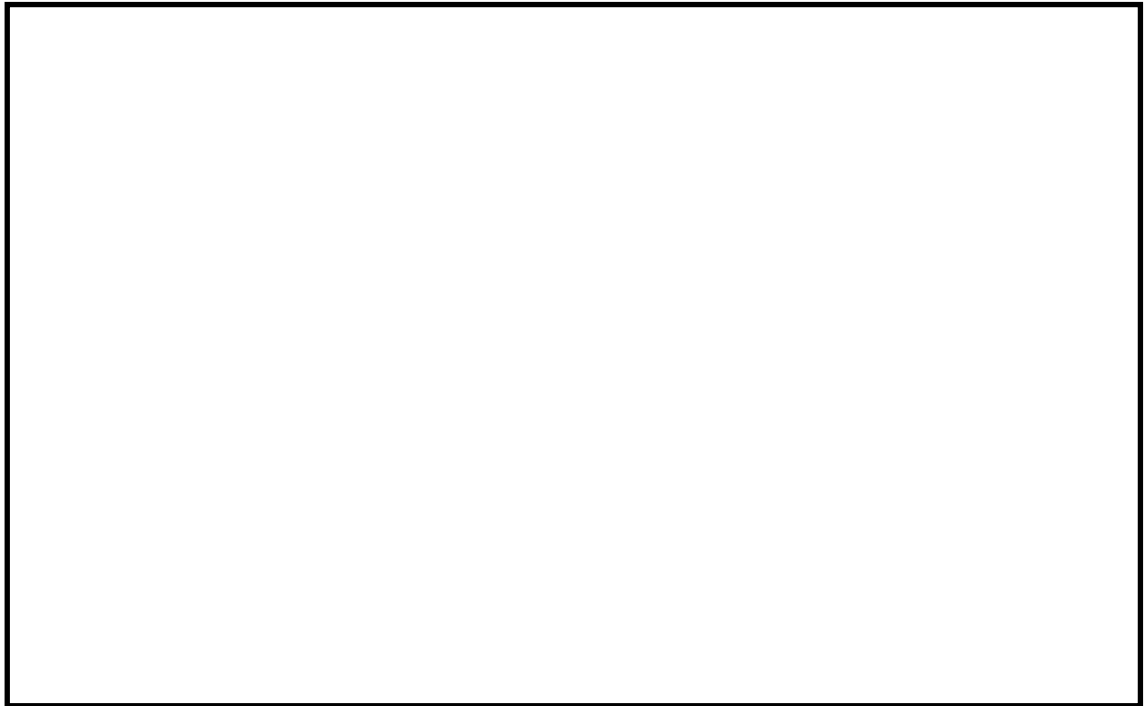


第 2.2-2 (2) 図 常設代替高圧電源装置置場 断面図 (南北断面)

2.3 常設代替高圧電源装置用カルバートの断面選定の考え方

常設代替高圧電源装置用カルバートの平面図を第 2.3-1 図に示す。

常設代替高圧電源装置用カルバートは，鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，トンネル部，立坑部及びカルバート部に区分される。以下にそれぞれの断面選定の考え方を示す。



第 2.3-1 図 常設代替高圧電源装置用カルバート 平面図

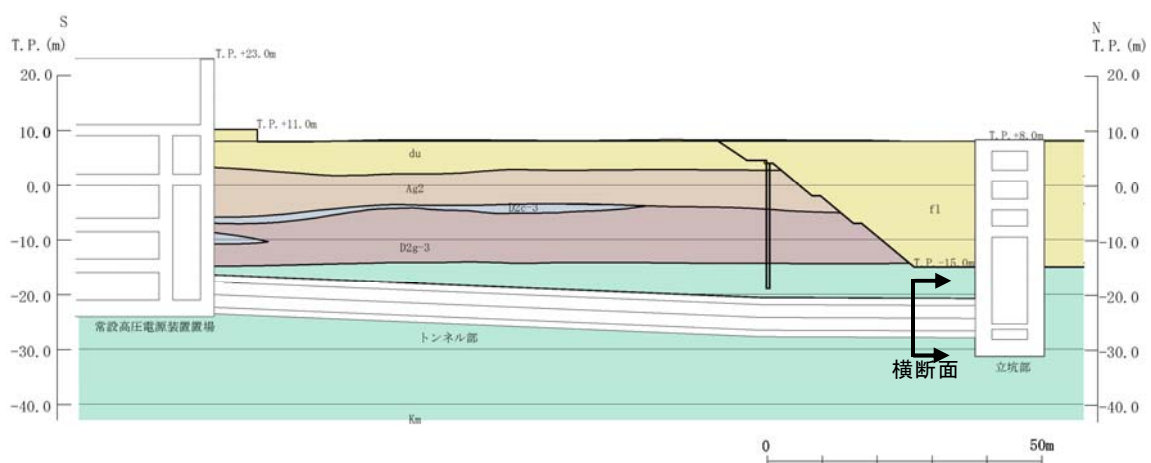
2.3.1 トンネル部

常設代替高圧電源装置用カルバートのうちトンネル部の縦断面図を第 2.3-2 図に、横断面図を第 2.3-3 図に示す。

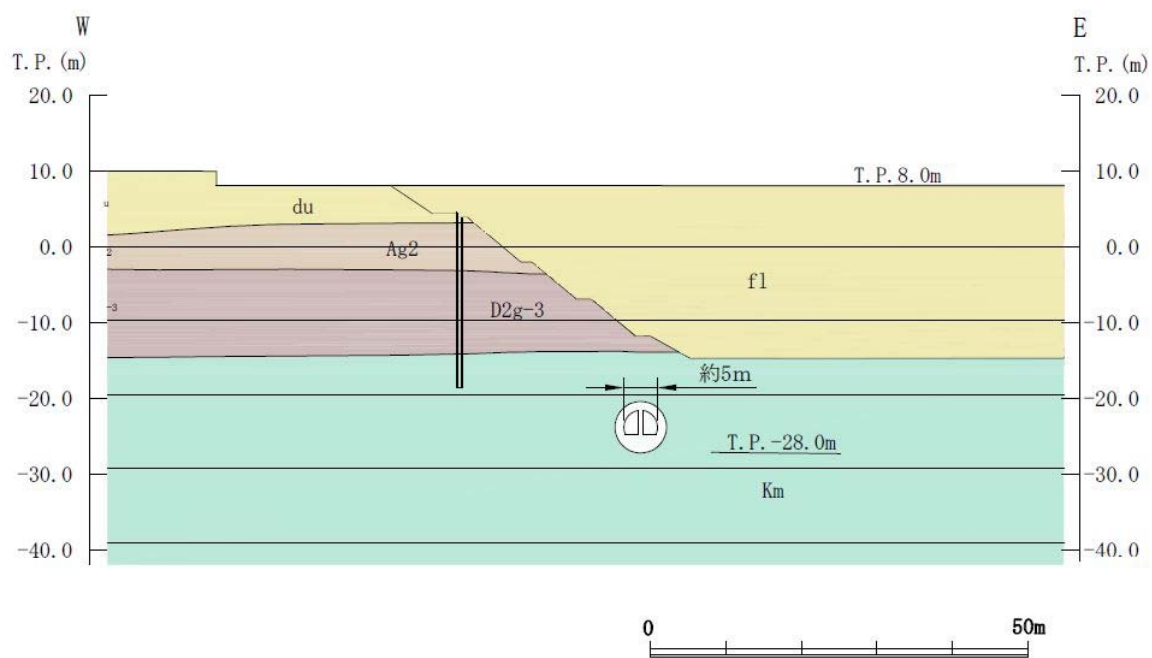
トンネル部は、延長約 150m、内径約 5m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、トンネルの軸方向（配管方向）に対して内空寸法が一様で、十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

トンネルの縦断方向（軸方向）は、加振方向と平行に配置される側壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向となる。一方、横断方向（軸方向に対し直交する方向）は、配管が一様に配置されるため、加振方向と平行に配置される構造部材がないことから、弱軸方向となる。

耐震評価では、構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向（配管方向と直交する断面）を評価対象の断面方向とし、上載荷重に着目し、土被りが最も大きくなる位置を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 2.3-2 図 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）縦断面図



第 2.3-3 図 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）

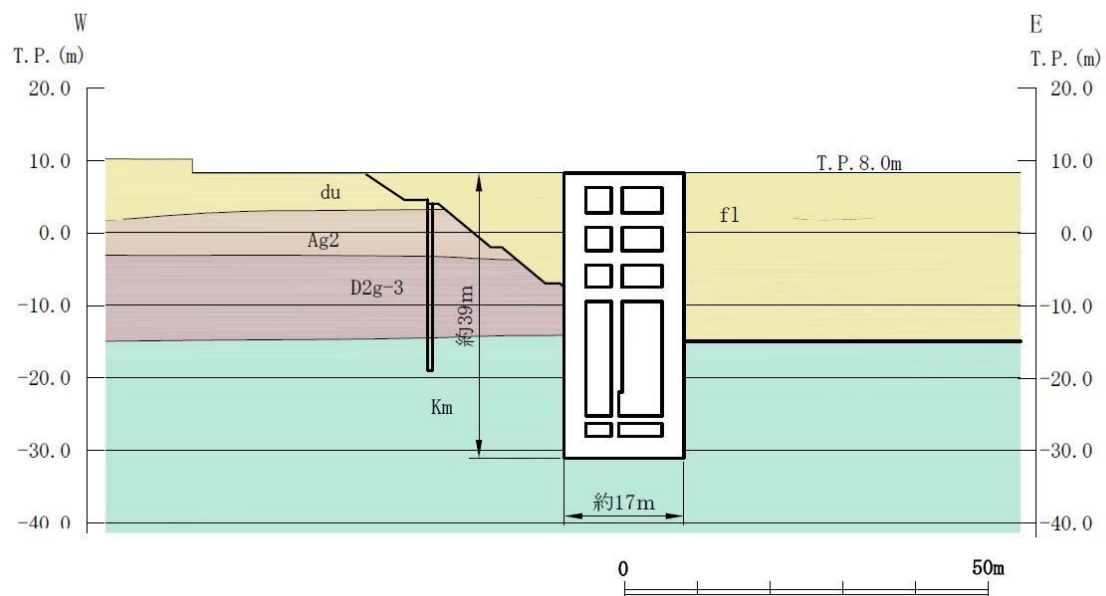
横断面図

2.3.2 立坑部

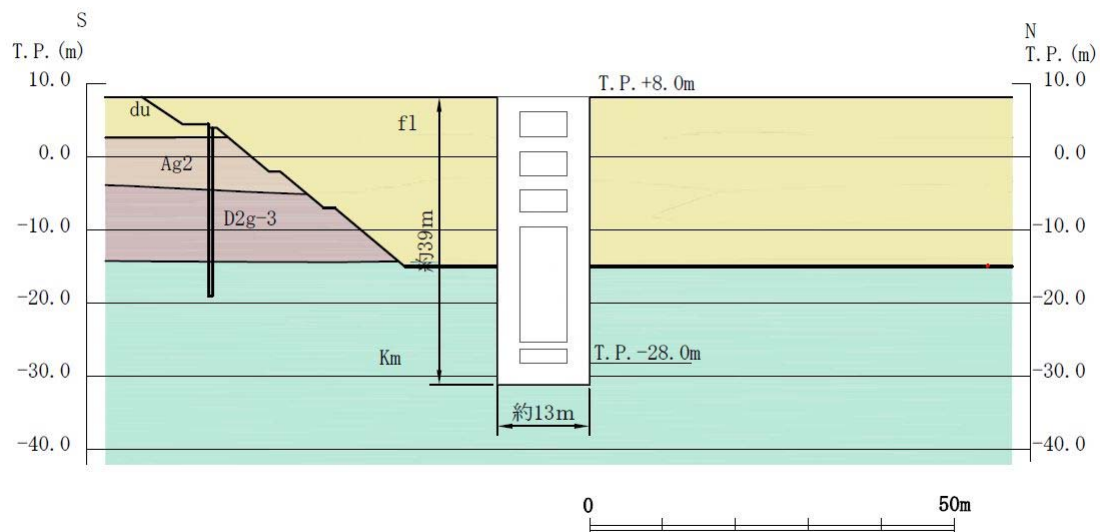
常設代替高圧電源装置用カルバートのうち立坑部の断面図を第 2.3-4 図に示す。

立坑部は、幅約 15m（東西方向）×約 11m（南北方向）、高さ約 39m の多層ラーメン構造の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。

立坑部は、角筒形の鉄筋コンクリート構造物であり、互いに直交する荷重はそれぞれ異なる構造部材で受け持つ設計とすることから、耐震評価では、立坑部の南北方向及び東西方向の 2 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 2.3-4 (1) 図 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）断面図
（東西断面）



第 2.3-4 (2) 図 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）断面図
（南北断面）

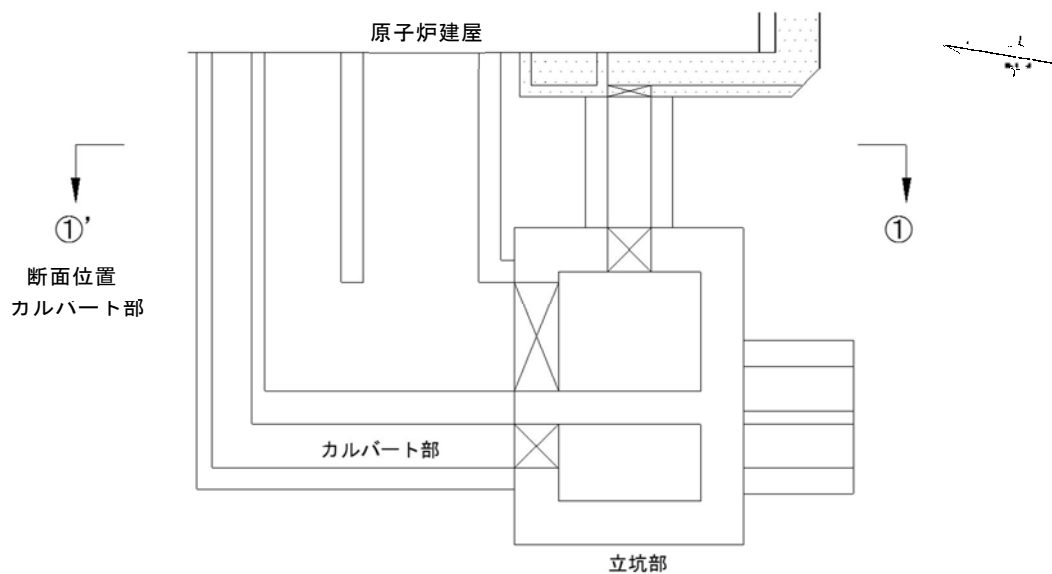
2.3.3 カルバート部

常設代替高圧電源装置用カルバートのうちカルバート部の平面図を第 2.3-5 図に，断面図を第 2.3-6 図に示す。

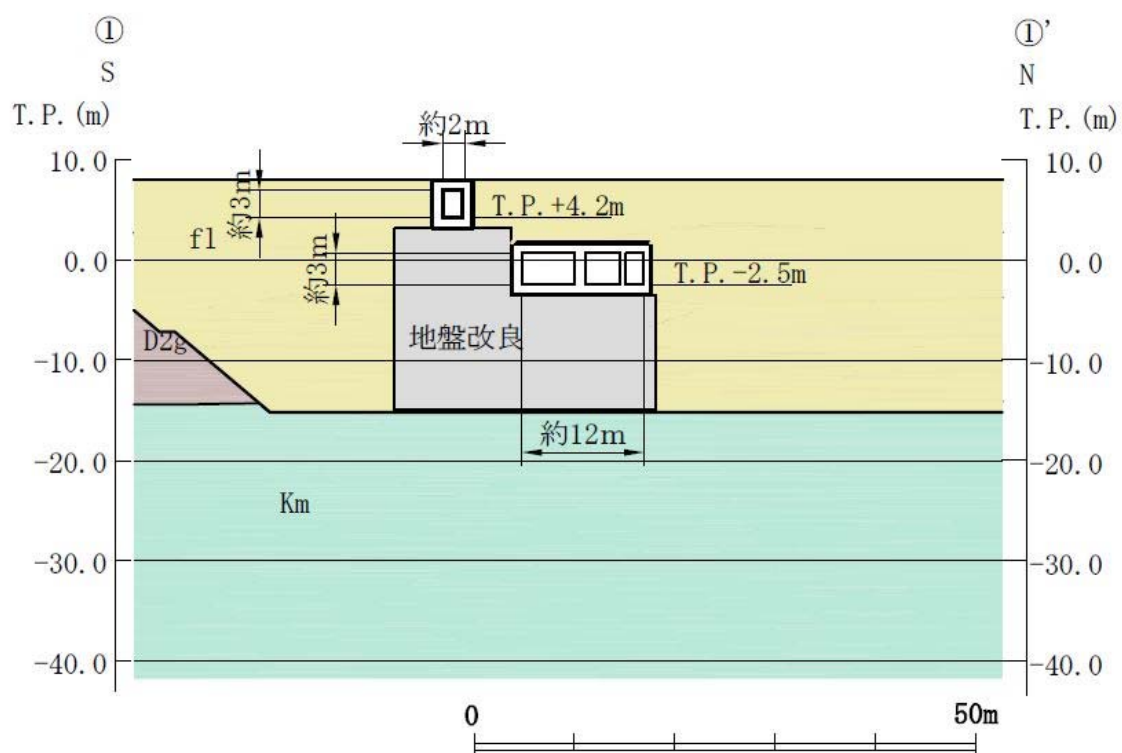
カルバート部は，延長約 29m，内空幅約 12m，内空高さ約 3m 及び延長約 6m，内空幅約 2m，内空高さ約 3m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，カルバートの軸方向（配管方向）に対して内空寸法がほぼ一様で，地盤改良体を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

カルバートの縦断方向（軸方向）は，加振方向と平行に配置される側壁を耐震設計上見込むことができるため，強軸方向となる。一方，横断方向（軸方向に対し直交する方向）は，配管が一様に配置されるため，加振方向と平行に配置される構造部材がないことから，弱軸方向となる。

耐震評価では，構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向の断面（配管方向と直交する断面）を選定し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 2.3-5 図 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



第 2.3-6 図 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）

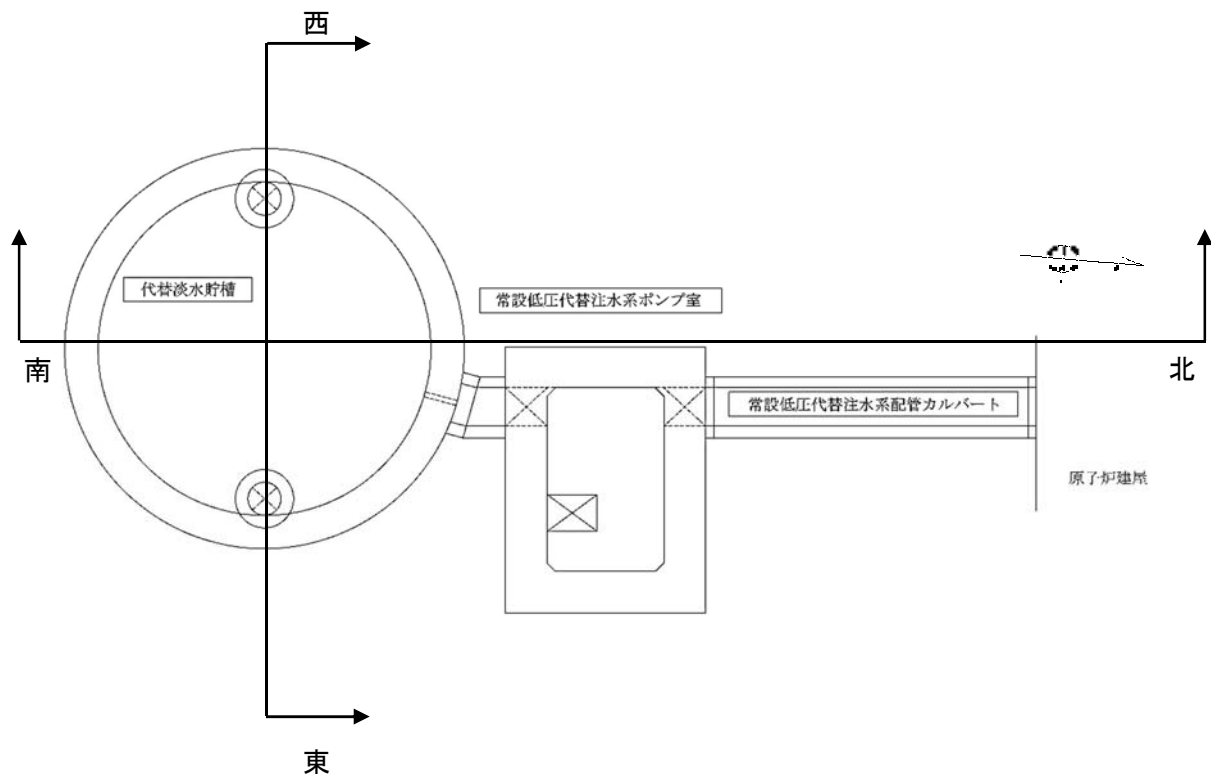
2.4 代替淡水貯槽の断面選定の考え方

代替淡水貯槽の平面図を第 2.4-1 図に、断面図を第 2.4-2 図に示す。

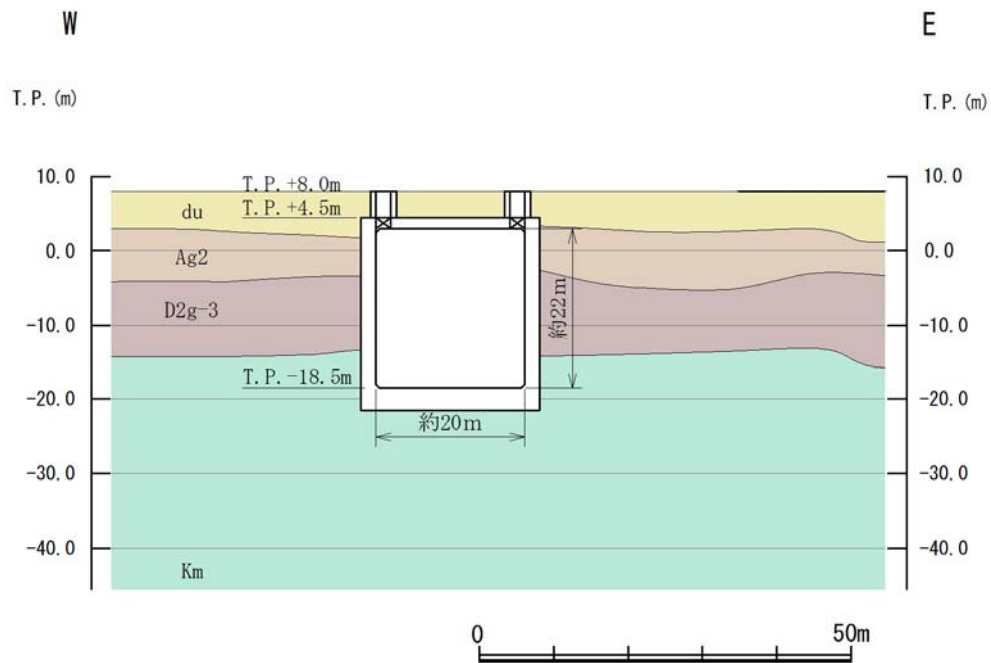
代替淡水貯槽は、内径約 20m、内空高さ約 22m の鉄筋コンクリート造の円筒形の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。

代替淡水貯槽は、円筒形の鉄筋コンクリート構造物であり、明確な弱軸方向がないことから、東西及び南北方向の 2 断面を選定し、両者から得られた地震力による断面力を組み合わせ、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

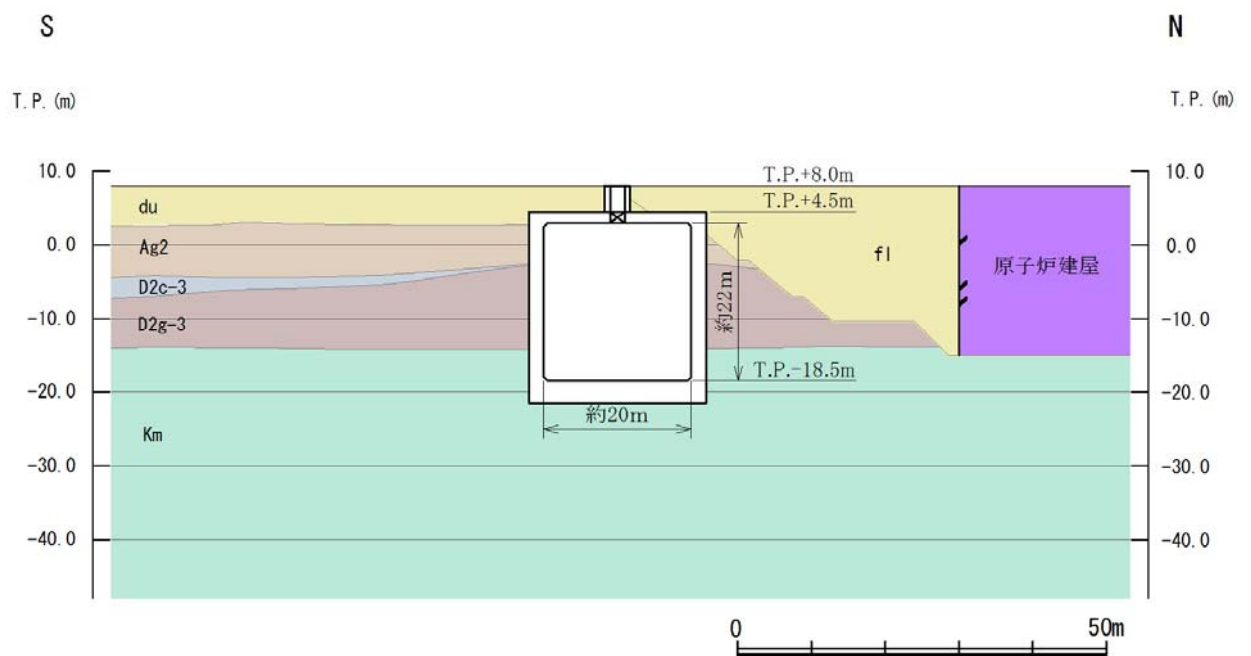
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



第 2.4-1 図 代替淡水貯槽 平面図



第 2.4-2 (1) 図 代替淡水貯槽 断面図 (東西断面)



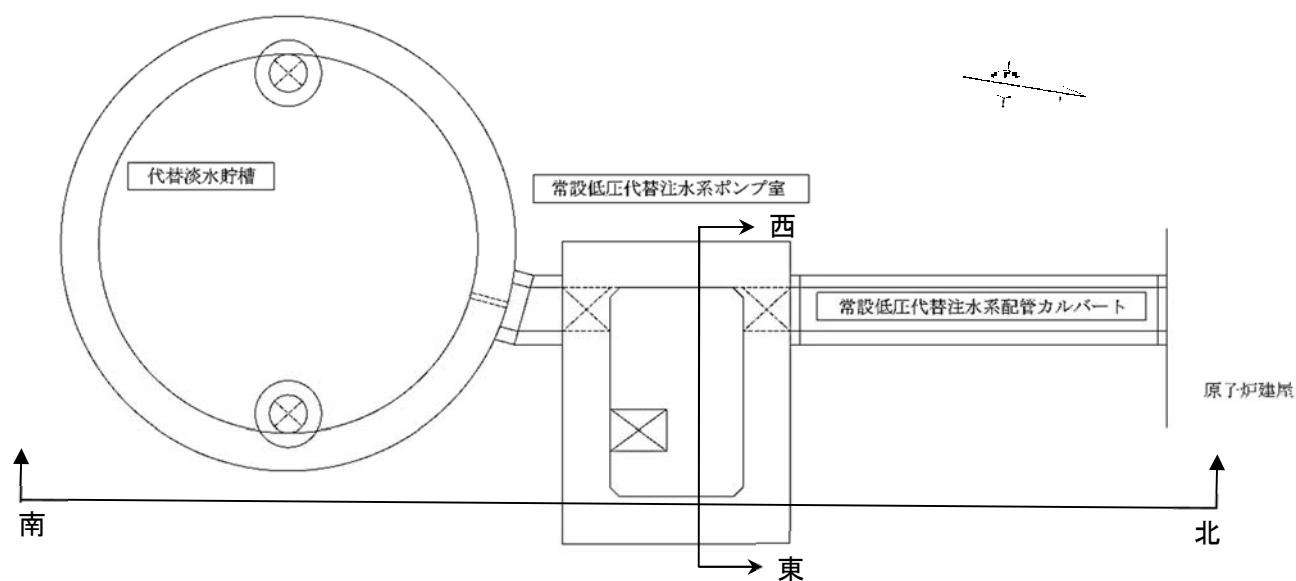
第 2.4-2 (2) 図 代替淡水貯槽 断面図 (南北断面)

2.5 常設低圧代替注水系ポンプ室の断面選定の考え方

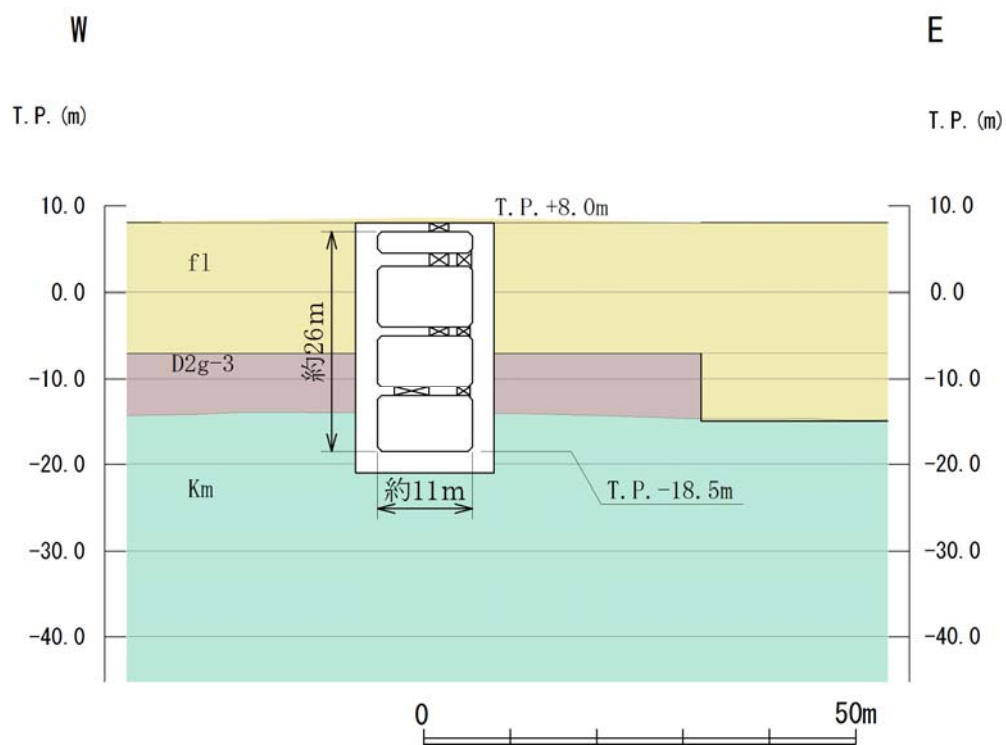
常設低圧代替注水系ポンプ室の平面図を第 2.5-1 図に、断面図を第 2.5-2 図に示す。

常設低圧代替注水系ポンプ室は、内空幅約 11m（東西方向）×約 7m（南北方向）、内空高さ約 26m の多層ラーメン構造の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。また、代替淡水貯槽と接続する配管を支持する内空幅約 2m、内空高さ約 2m の張出し部を 2 箇所有する。

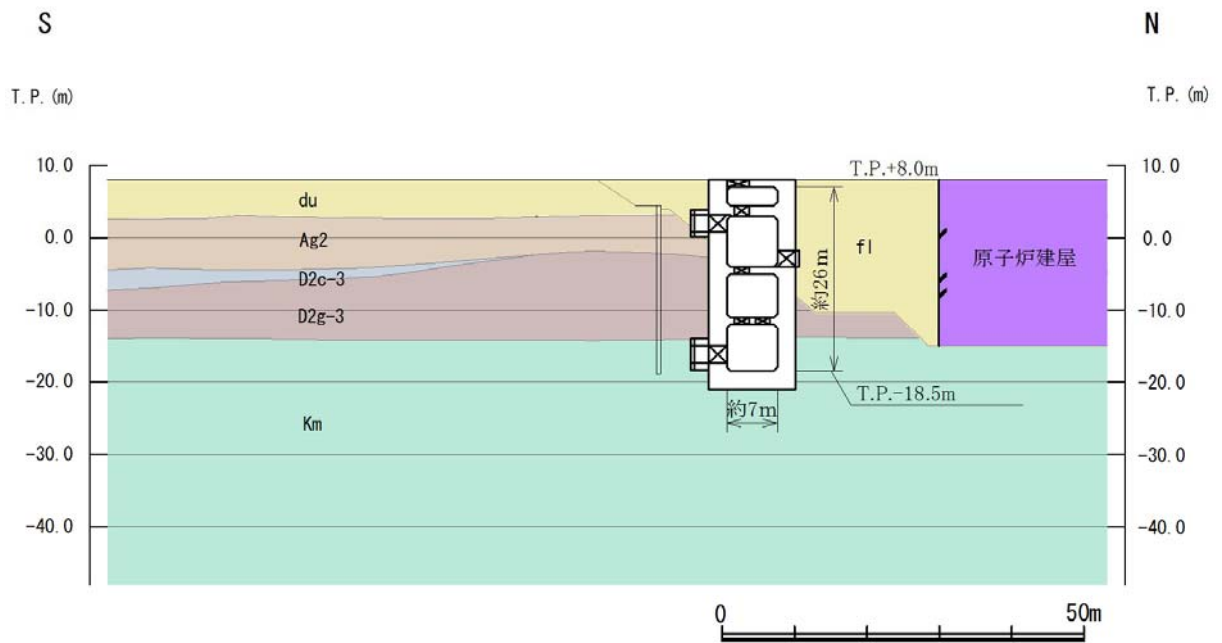
常設低圧代替注水系ポンプ室は、角筒形の鉄筋コンクリート構造物であり、互いに直交する荷重はそれぞれ異なる構造部材で受け持つ設計とすることから、耐震評価では、常設低圧代替注水系ポンプ室の東西方向及び南北方向の 2 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。また、南北断面においては、東西方向の幅で張出し部を含めた剛性及び上載荷重を考慮する。



第 2.5-1 図 常設低圧代替注水系ポンプ室 平面図



第 2.5-2 (1) 図 常設低圧代替注水系ポンプ室 断面図 (東西断面)



第 2.5-2 (2) 図 常設低圧代替注水系ポンプ室 断面図 (南北断面)

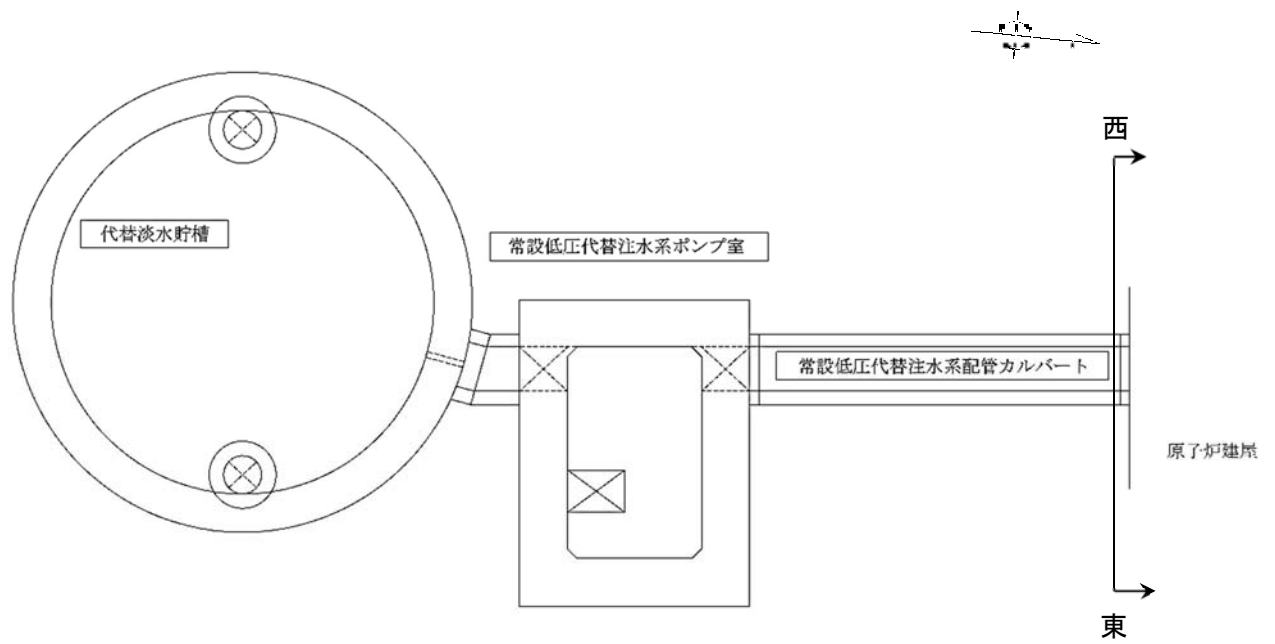
2.6 常設低圧代替注水系配管カルバートの断面選定の考え方

常設低圧代替注水系配管カルバートの平面図を第 2.6-1 図に，断面図を第 2.6-2 図に示す。

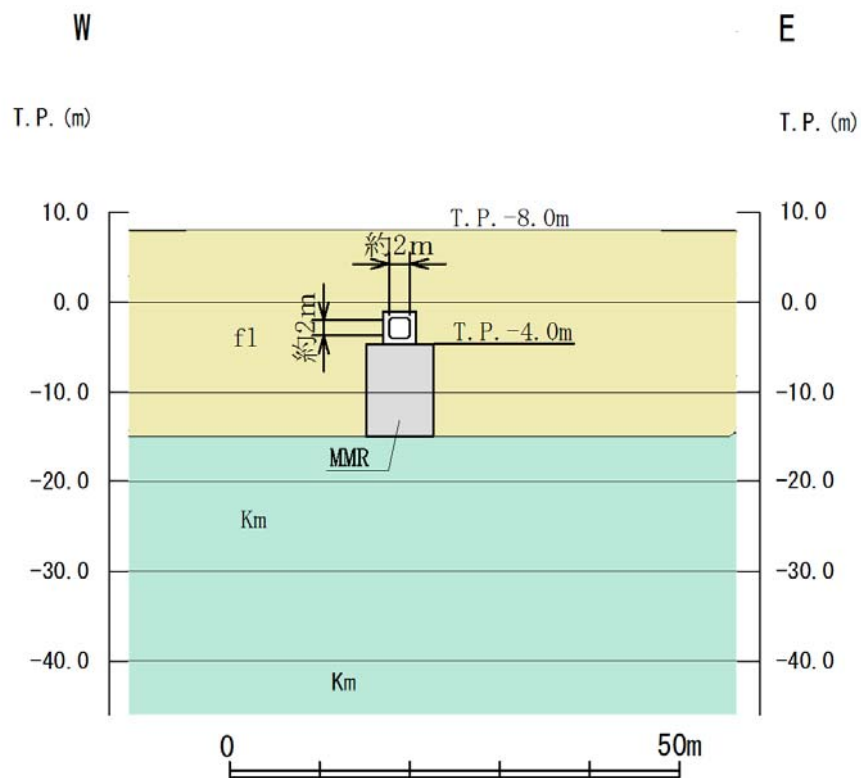
常設低圧代替注水系配管カルバートは，延長約 22m，内空幅約 2m，内空高さ約 2m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，軸方向（配管方向）に対して内空寸法が一様で，マンメイドロックを介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

常設低圧代替注水系配管カルバートの縦断方向（軸方向）は，加振方向と平行に配置される側壁を耐震設計上見込むことができるため，強軸方向となる。一方，横断方向（軸方向に対し直交する方向）は，配管が配置されるため，加振方向と平行に配置される構造部材がないことから，弱軸方向となる。

耐震評価では，構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向の断面（配管方向と直交する断面）を選定し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 2.6-1 図 常設低圧代替注水系配管カルバート 平面図



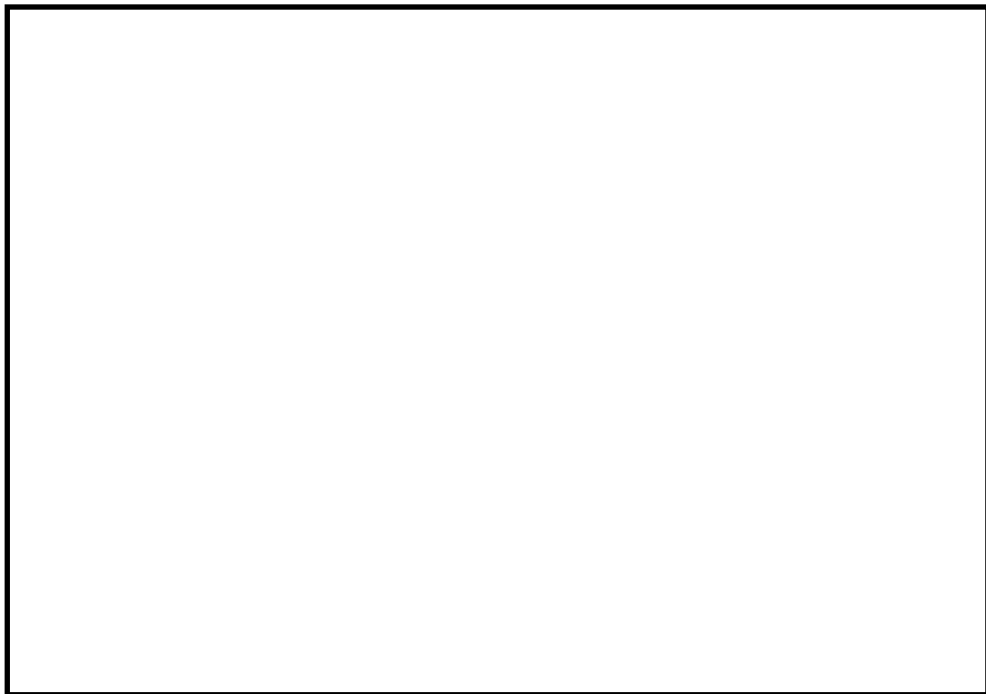
第 2.6-2 図 常設低圧代替注水系配管カルバート 断面図（東西断面）

2.7 緊急用海水ポンプピットの断面選定の考え方

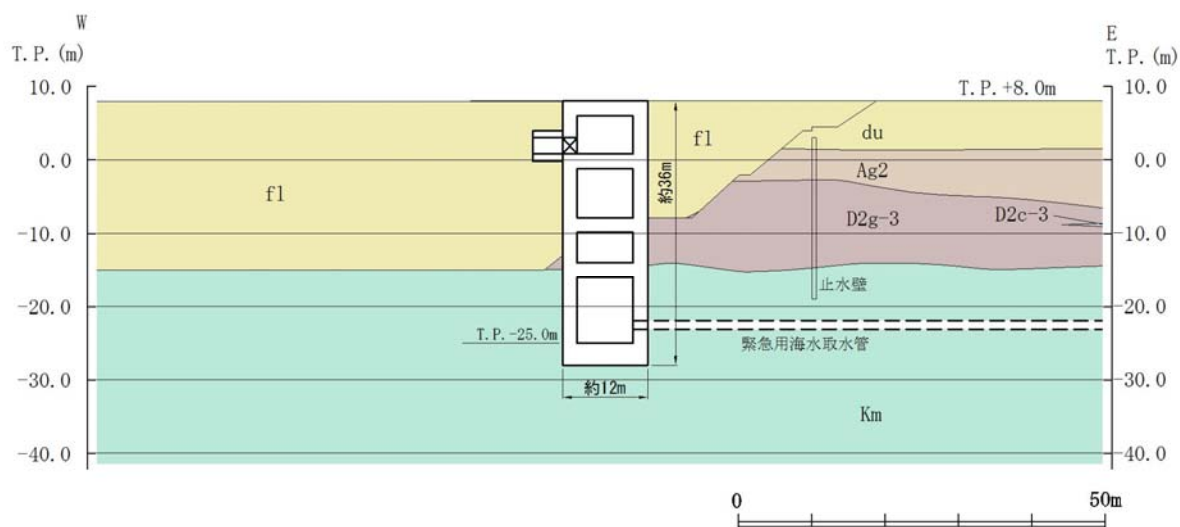
緊急用海水ポンプピットの平面図を第 2.7-1 図に，断面図を第 2.7-2 図に示す。

緊急用海水ポンプピットは，幅約 12m（東西方向）×約 12m（南北方向），高さ約 36m の多層ラーメン構造の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。また，原子炉建屋内へ接続する配管を間接支持する内空幅約 3m，内空高さ約 2m の張出し部を有する。

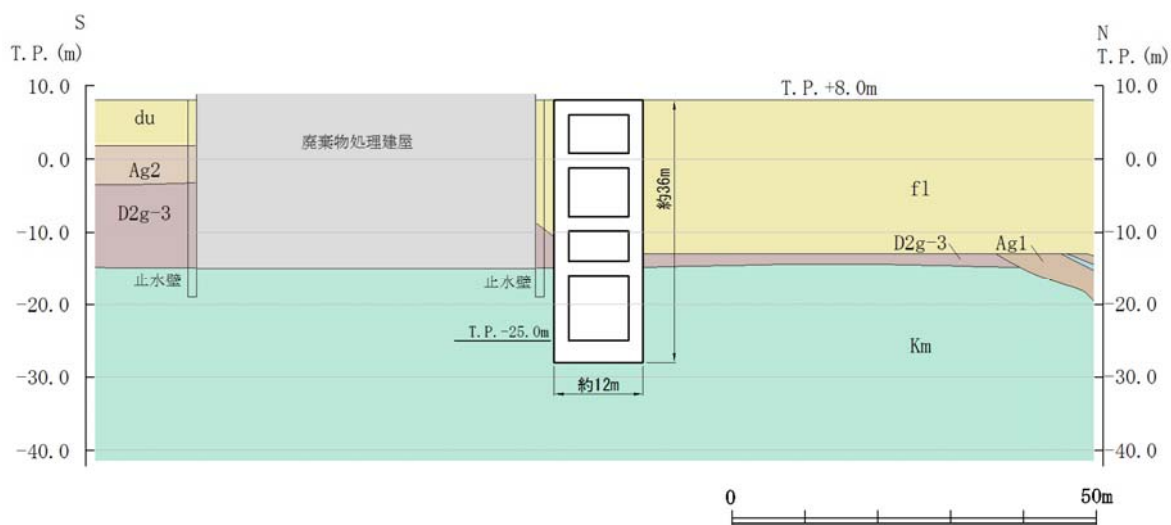
緊急用海水ポンプピットは，角筒形の鉄筋コンクリート構造物であり，互いに直交する荷重はそれぞれ異なる構造部材で受け持つ設計とすることから，耐震評価では，緊急用海水ポンプピットの東西方向及び南北方向の 2 断面を選定し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。また，東西断面においては，南北方向の幅で張出し部を含めた剛性及び上載荷重を考慮する。



第 2.7-1 図 緊急用海水ポンプピット 平面図



第 2.7-2 (1) 図 緊急用海水ポンプピット 断面図 (東西断面)



第 2.7-2 (2) 図 緊急用海水ポンプピット 断面図 (南北断面)

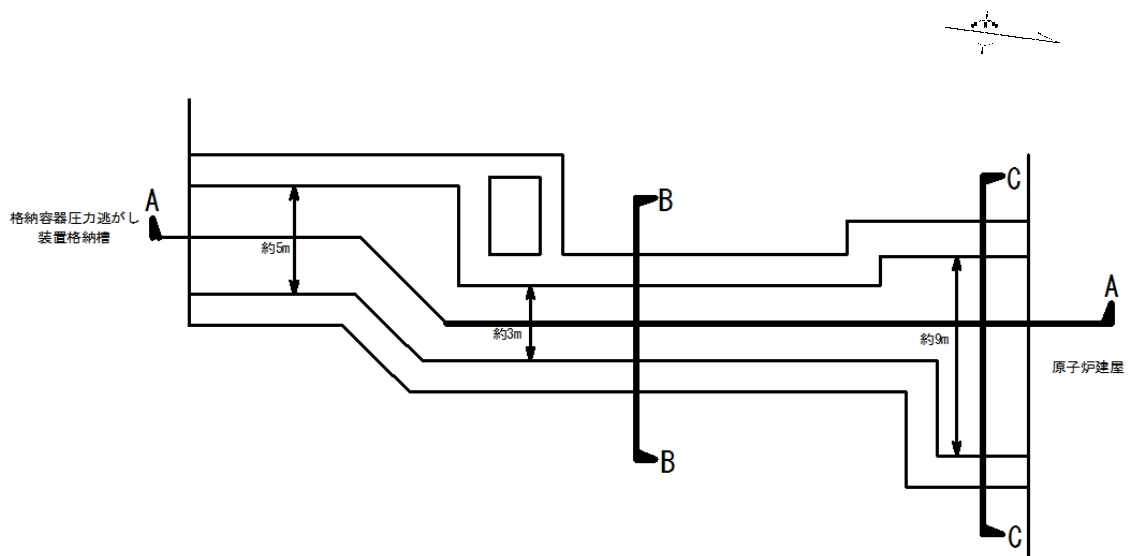
2.8 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの断面選定の考え方

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの平面図を第 2.8-1 図に，縦断面図を第 2.8-2 図に，横断面図を第 2.8-3 図に示す。

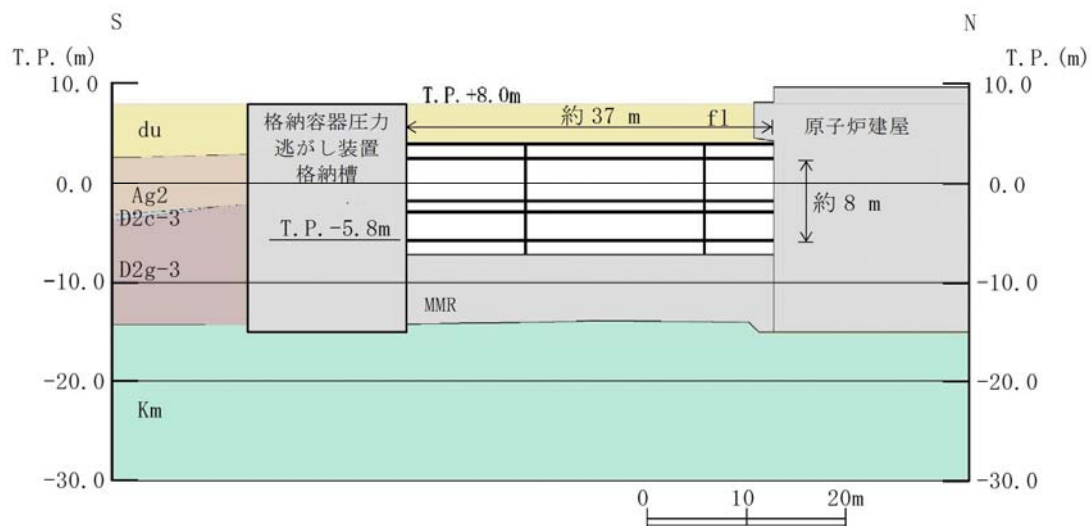
格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは，延長約 37m，内空幅約 3m（一部約 5m 及び約 9m），内空高さ約 8m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，マンメイドロック介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの縦断方向（軸方向）は，加振方向と平行に配置される側壁を耐震設計上見込むことができるため，強軸方向となる。一方，横断方向（軸方向に対し直交する方向）は，配管が一様に配置されるため，加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから，弱軸方向となる。

耐震評価では，構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向の断面（配管方向と直交する断面）を選定し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

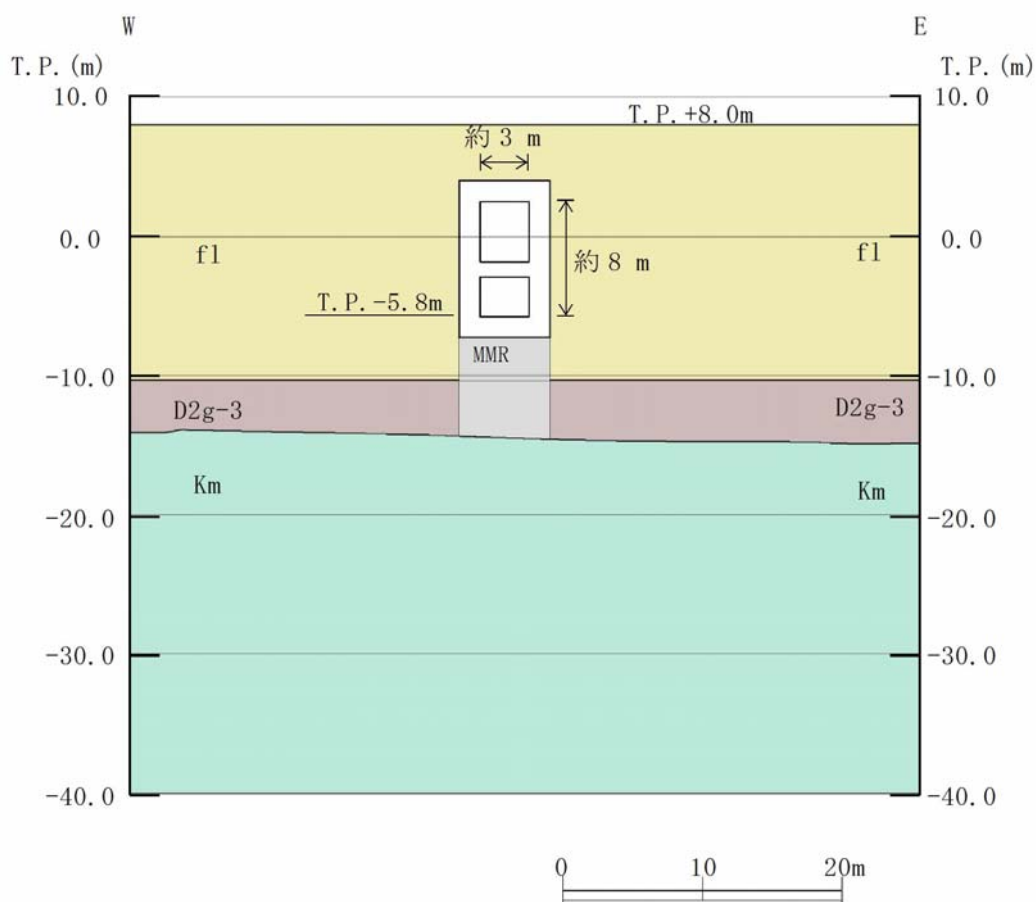


第 2.8-1 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 平面図



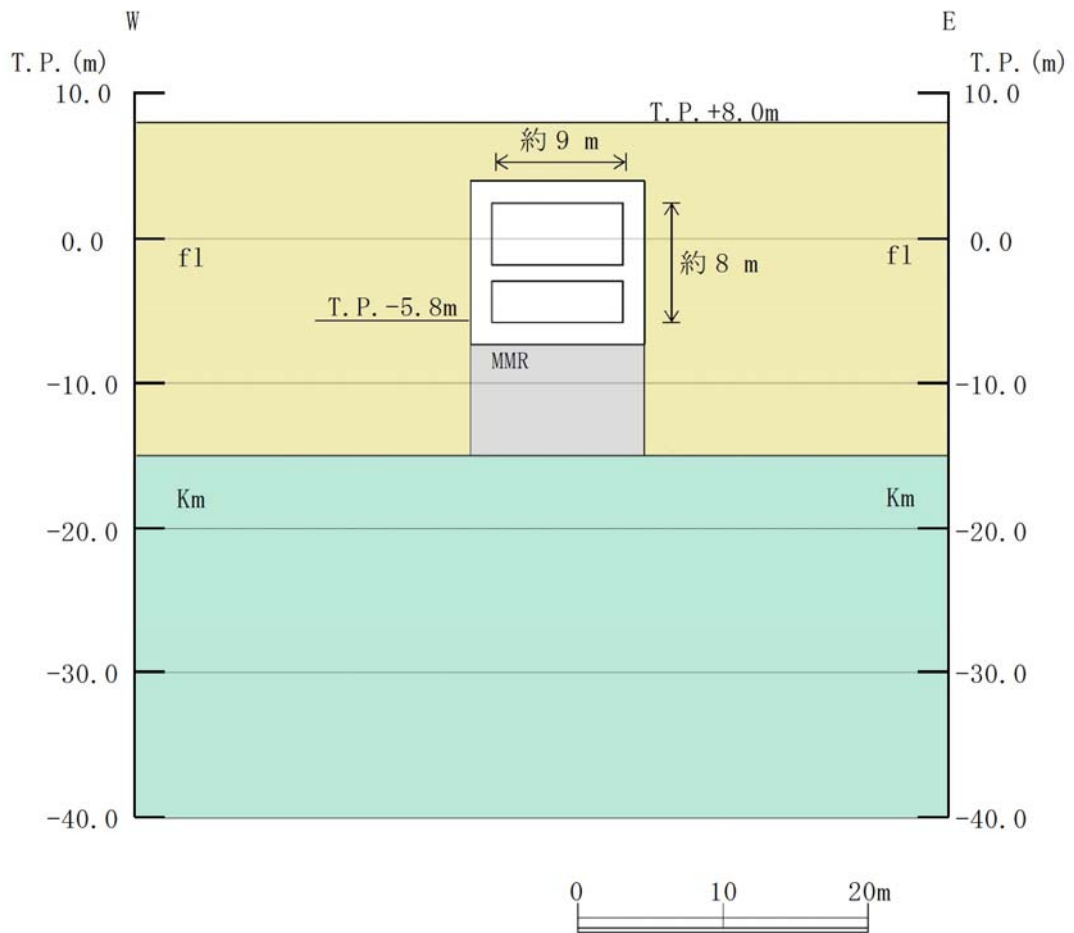
第 2.8-2 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 縦断面図

(A-A 断面)



第 2.8-3 (1) 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 断面図

(B-B 断面)



第 2.8-3 (2) 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 断面図
(C-C 断面)

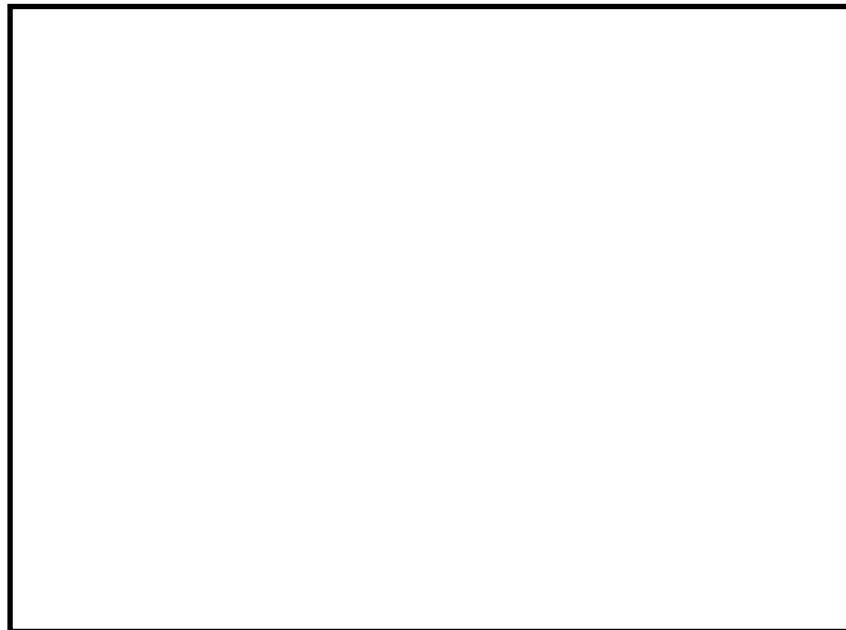
2.9 緊急用海水取水管の断面選定の考え方

緊急用海水取水管の平面図を第 2.9-1 図に、縦断面図を第 2.9-2 図に、横断面図を第 2.9-3 図に示す。

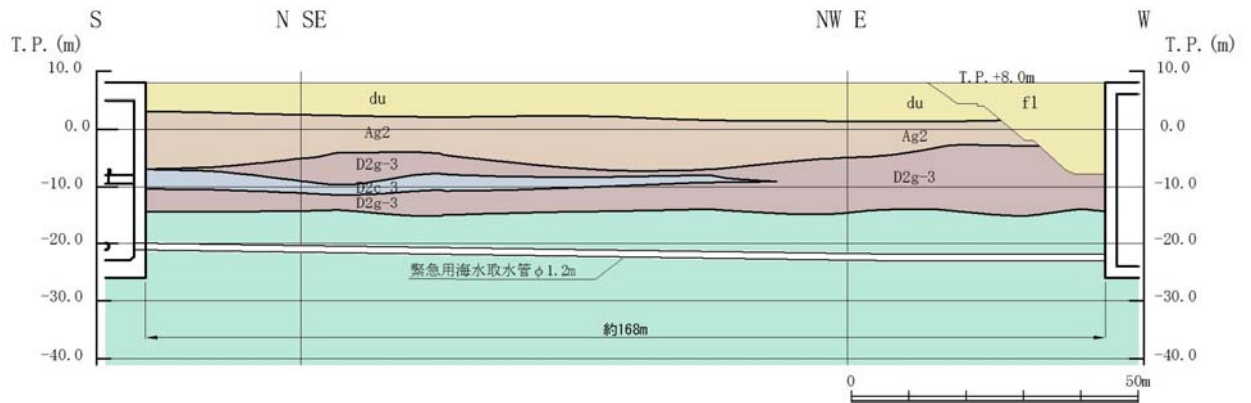
緊急用海水取水管は、S A 用海水ピットと緊急用海水ポンプピットを接続する延長約 168m で内径 1.2m の鋼管の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

緊急用海水取水管は可撓管の設置スパンが長い線状構造物であるため、管路全ての範囲を評価対象とする。また、カルバート構造物と同様に管軸方向に対して一様の断面形状を示すことから、横断方向（管周方向）が弱軸方向と判断されるが、一般的な地中埋設管路の設計では管軸方向を弱軸として設計されることを考慮し、管軸方向の発生応力を考慮した評価を行う。

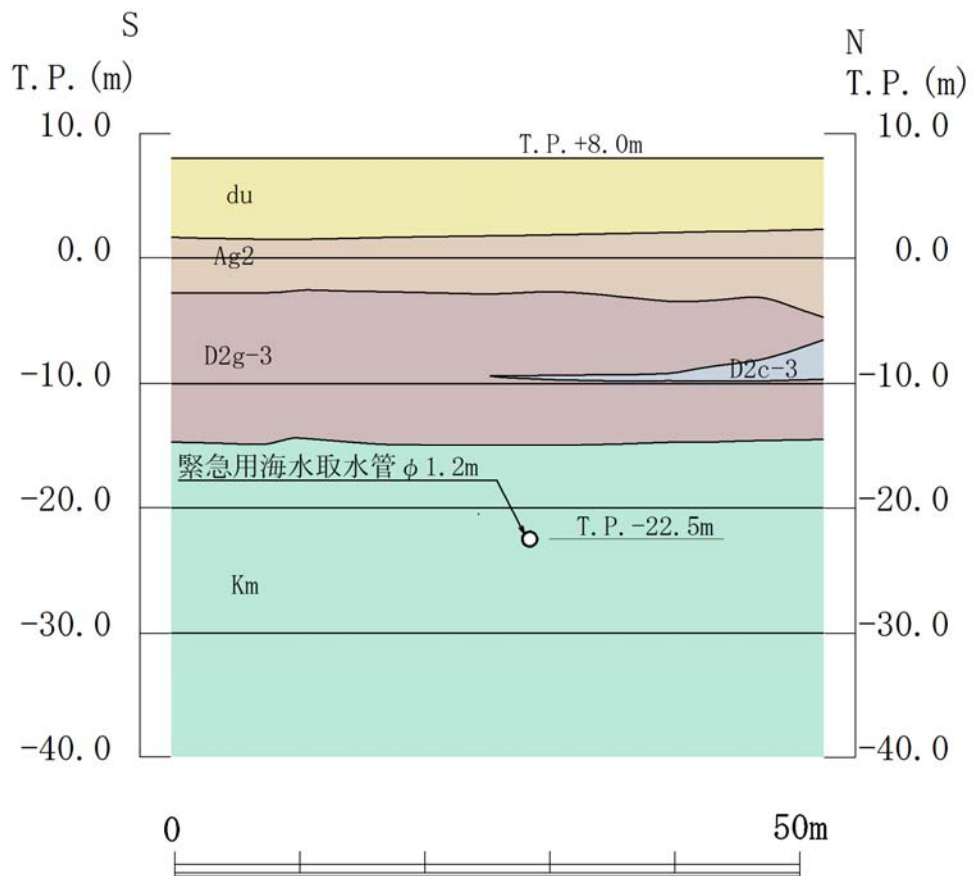
耐震評価では、上載荷重に着目し、土被りが最も大きくなる A-A 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 2.9-1 図 緊急用海水取水管 平面図



第 2.9-2 図 緊急用海水取水管 縦断面図



第 2.9-3 図 緊急用海水取水管 横断面図（A-A断面）

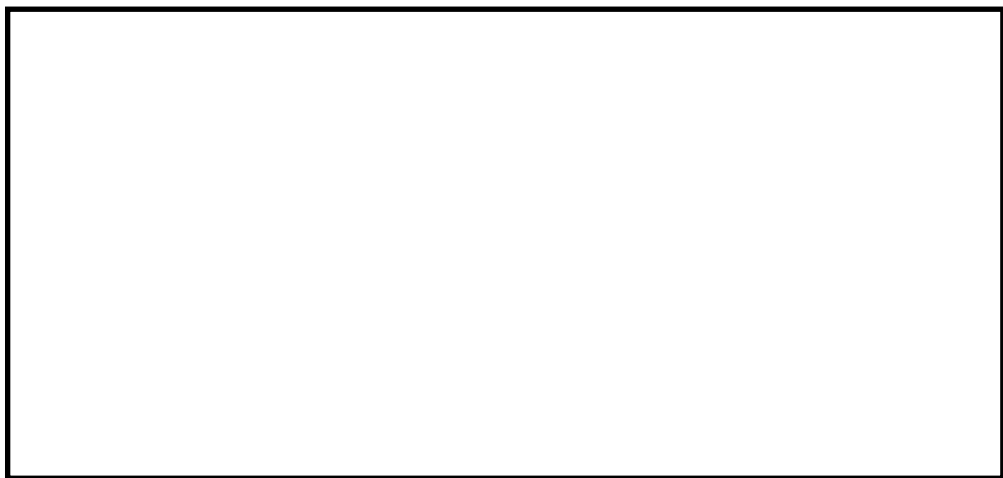
2.10 S A用海水ピットの断面選定の考え方

S A用海水ピットの平面図を第 2.10－1 図に，断面図を第 2.10－2 図に示す。

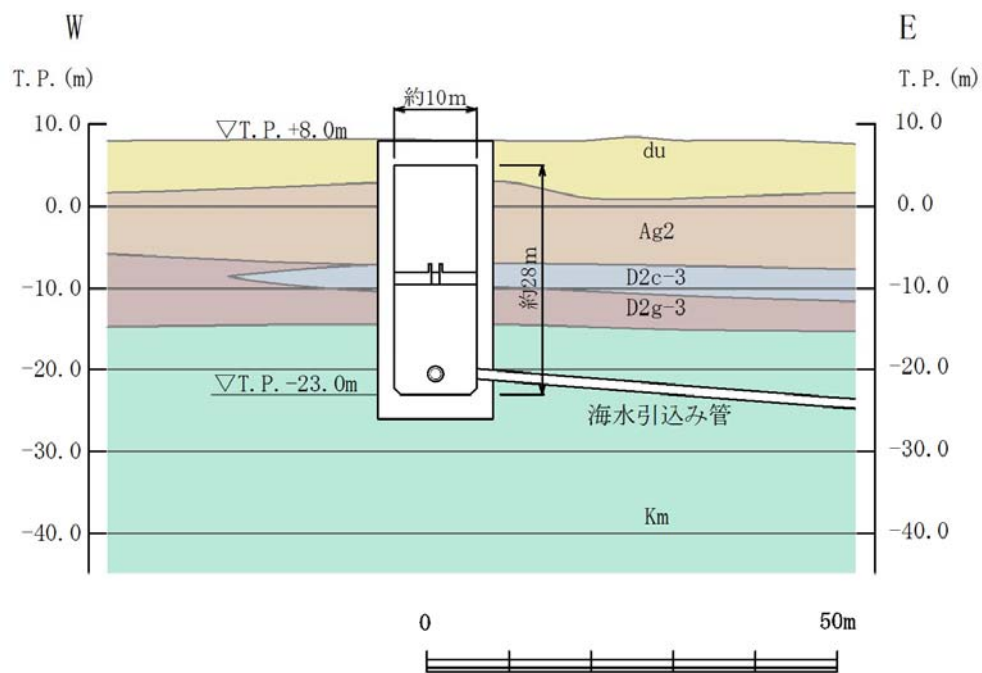
S A用海水ピットは，内径約 10m，内空高さ約 28m の円筒形の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。また，S A用海水ピットは，十分な支持性能を有する地盤内で海水引込み管及び緊急用海水取水管が接続する構造で，双方の管路はS A用海水ピットへ直交して接続される。

S A用海水ピットは，円筒形の鉄筋コンクリート構造物であり，明確な弱軸方向がないことから，S A用海水ピットに接続する海水引込み管及び緊急用海水取水管に着目し，直交する両管路の縦断方向の 2 断面を選定し，両者から得られた地震力による断面力を組み合わせ，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

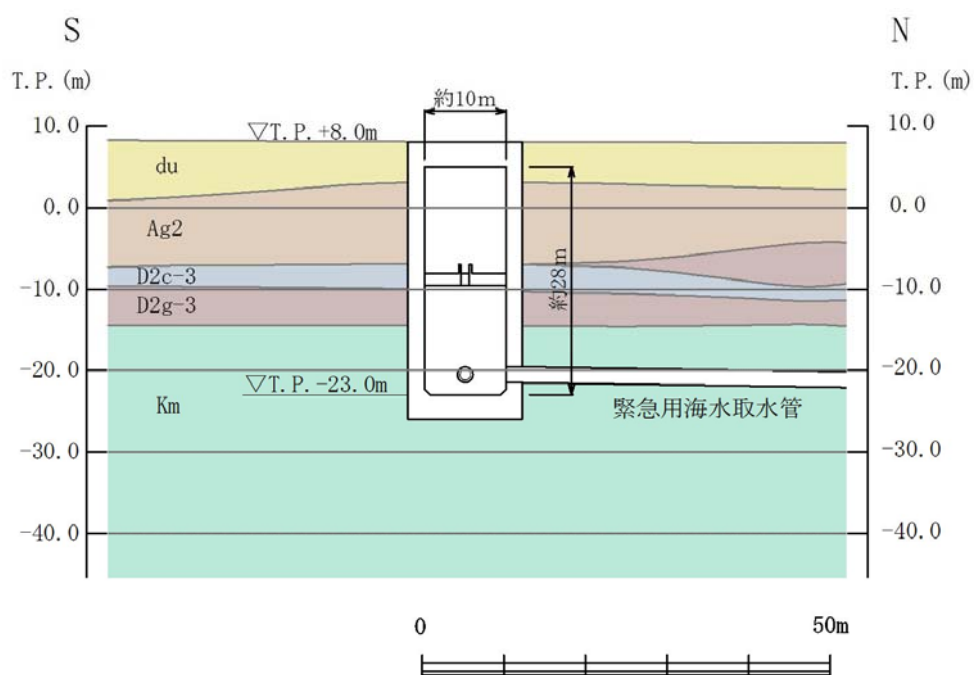
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから，有効応力解析により液状化の可能性を評価し，構造物の耐震評価を実施する。



第 2.10－1 図 S A用海水ピット 平面図



第 2.10-2 (1) 図 SA用海水ピット 断面図 (①-①断面)



第 2.10-2 (2) 図 SA用海水ピット 断面図 (②-②断面)

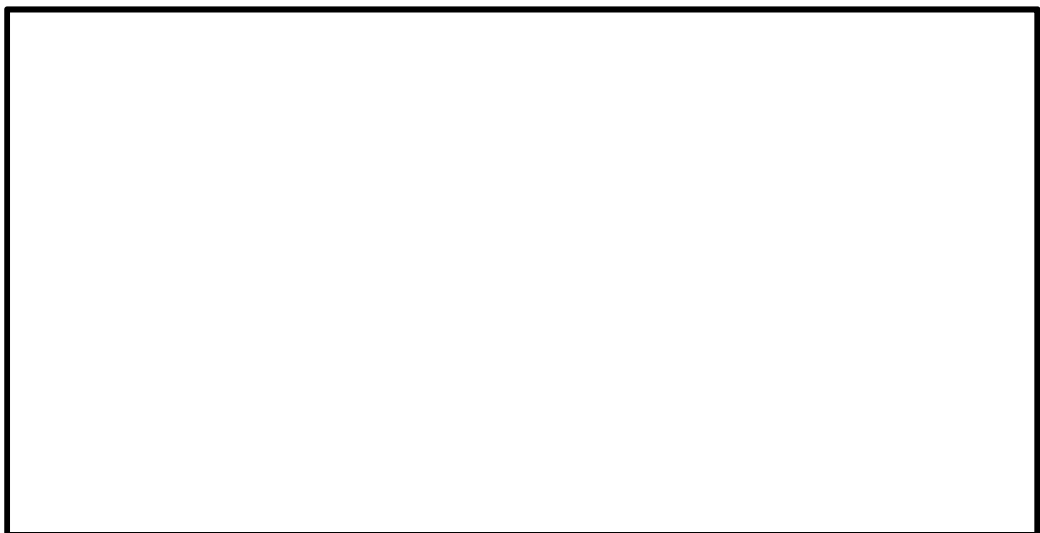
2.11 海水引込み管の断面選定の考え方

海水引込み管の平面図を第 2.11-1 図に、縦断面図を第 2.11-2 図に、横断面図を第 2.11-3 図に示す。

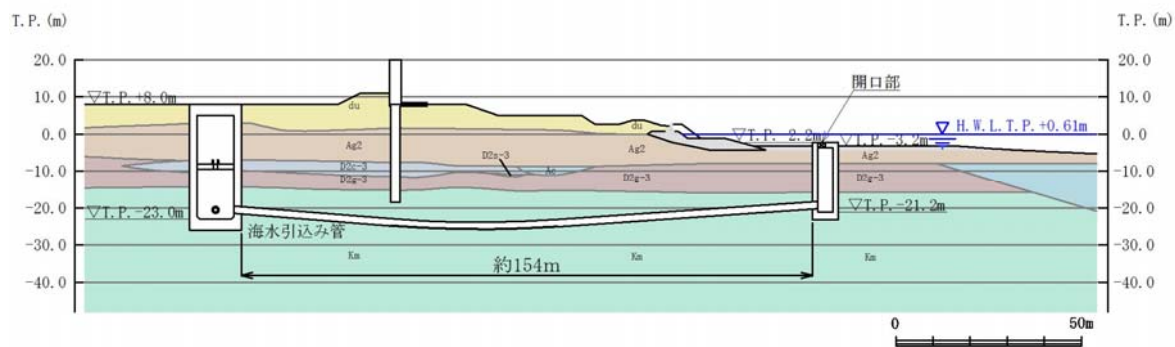
海水引込み管は、S A 用海水ピット取水塔と S A 用海水ピットを接続する延長約 154m, 内径 1.2m の鋼管の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

海水引込み管は可撓管の設置スパンが長い線状構造物であるため、管路全ての範囲を評価対象とする。また、カルバート構造物と同様に管軸方向に対して一様の断面形状を示すことから、横断方向（管周方向）が弱軸方向と判断されるが、一般的な地中埋設管路の設計では管軸方向を弱軸として設計されることを考慮し、管軸方向の発生応力を考慮した評価を行う。

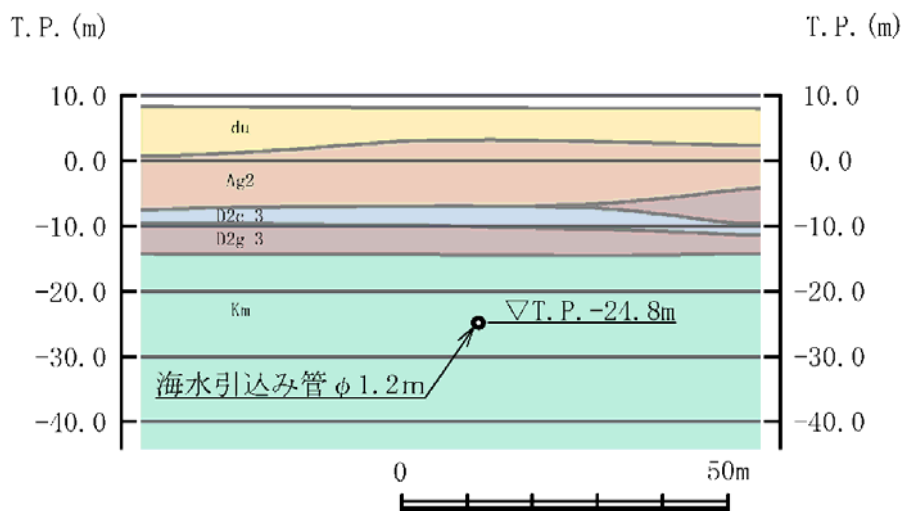
耐震評価では、上載荷重に着目し、土被りが最も大きくなる A-A 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 2.11-1 図 海水引込み管 平面図



第 2.11-2 図 海水引込み管 縦断面図



第 2.11-3 図 海水引込み管 横断面図 (A-A断面)

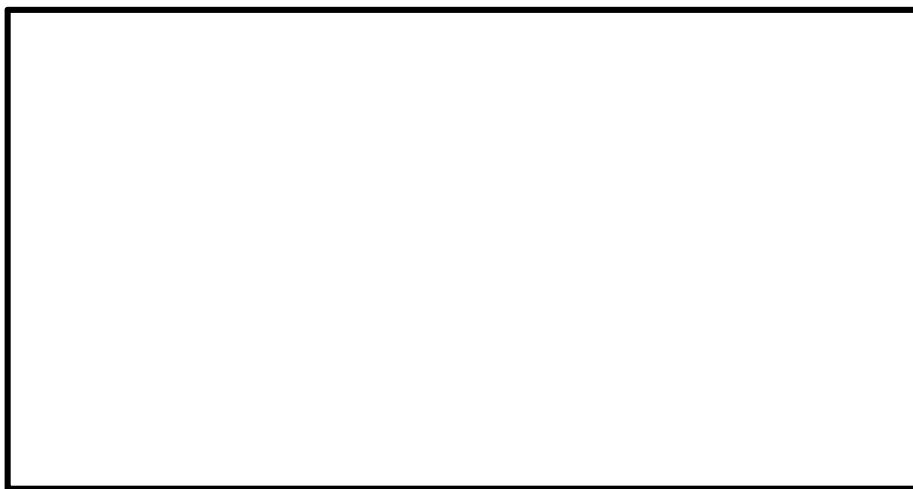
2.12 S A用海水ピット取水塔の断面選定の考え方

S A用海水ピット取水塔の平面図を第 2.12－1 図に，断面図を第 2.12－2 図に示す。

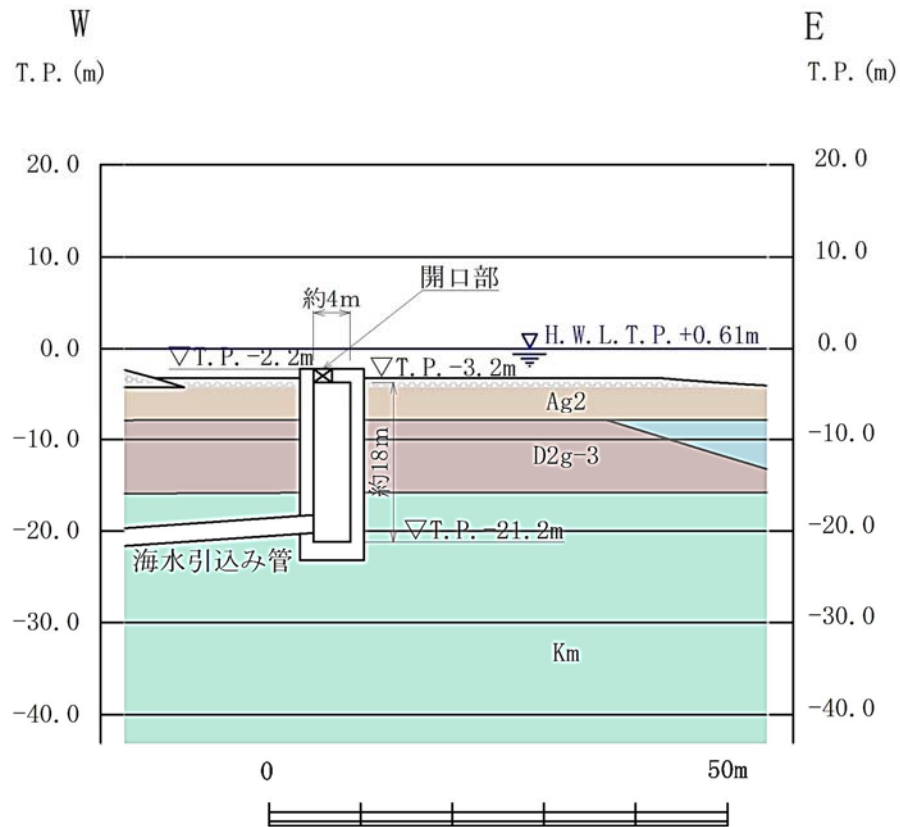
S A用海水ピット取水塔は，内径約 4m，内空高さ約 18m の円筒形の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，十分な支持性能を有する岩盤に直接設置される。また，S A用海水ピット取水塔は，十分な支持性能を有する地盤内で海水引込み管が接続する構造で，管路はS A用海水ピット取水塔へ直交して接続される。

S A用海水ピット取水塔は，円筒形の鉄筋コンクリート構造物であり明確な弱軸方向がないことから，S A用海水ピット取水塔に接続される海水引込み管に着目し，海水引込み管を縦断する断面とこれに直交する断面の 2 断面を選定し，両者から得られた地震力による断面力を組み合わせ，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

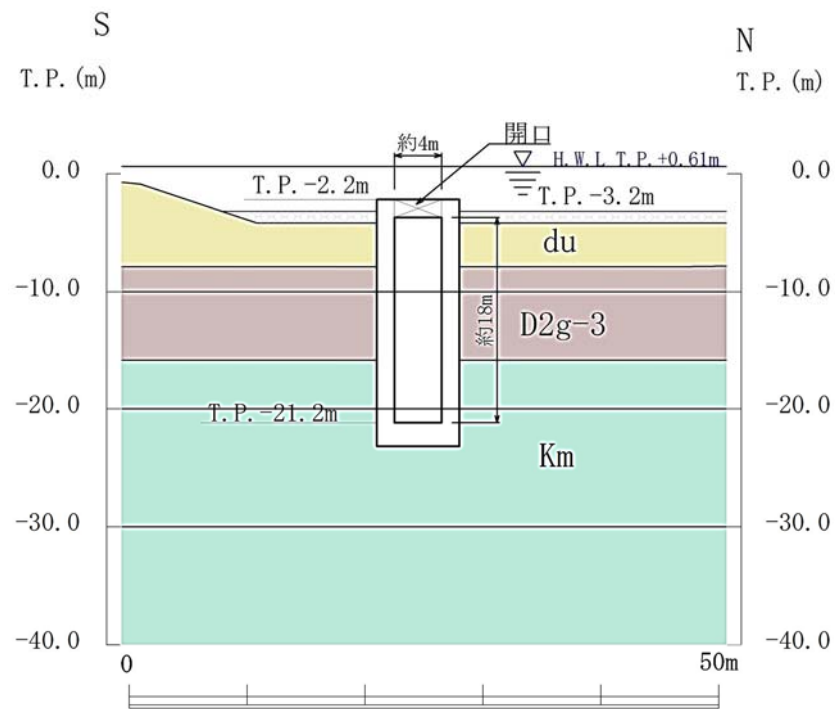
本構造物の周辺地盤においては海底下に液状化検討対象層が分布することから，有効応力解析により液状化の可能性を評価し，構造物の耐震評価を実施する。



第 2.12－1 図 S A用海水ピット取水塔 平面図



第 2.12-2 (1) 図 SA用海水ピット取水塔 断面図 (①-①断面)



第 2.12-2 (2) 図 SA用海水ピット取水塔 断面図 (②-②断面)

2.13 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎及び可搬型設備用軽油タンク基礎

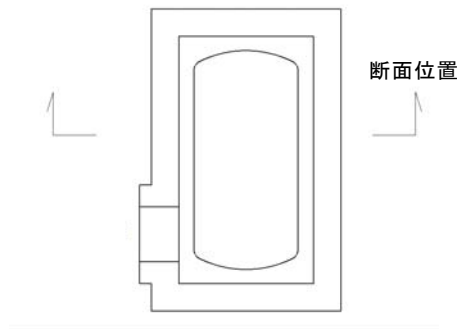
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の平面図を第 2.13-1 図に、断面図を第 2.13-2 図に示す。また、可搬型設備用軽油タンク基礎の平面図を第 2.13-3 図に、断面図を第 2.13-4 図に示す。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は内空幅約 9m（タンク軸方向）×約 5m（タンク横断方向）、内空高さ約 4m、可搬型設備用軽油タンク基礎は内空幅約 11m（タンク軸方向）×約 13m（タンク横断方向）、内空高さ約 4m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

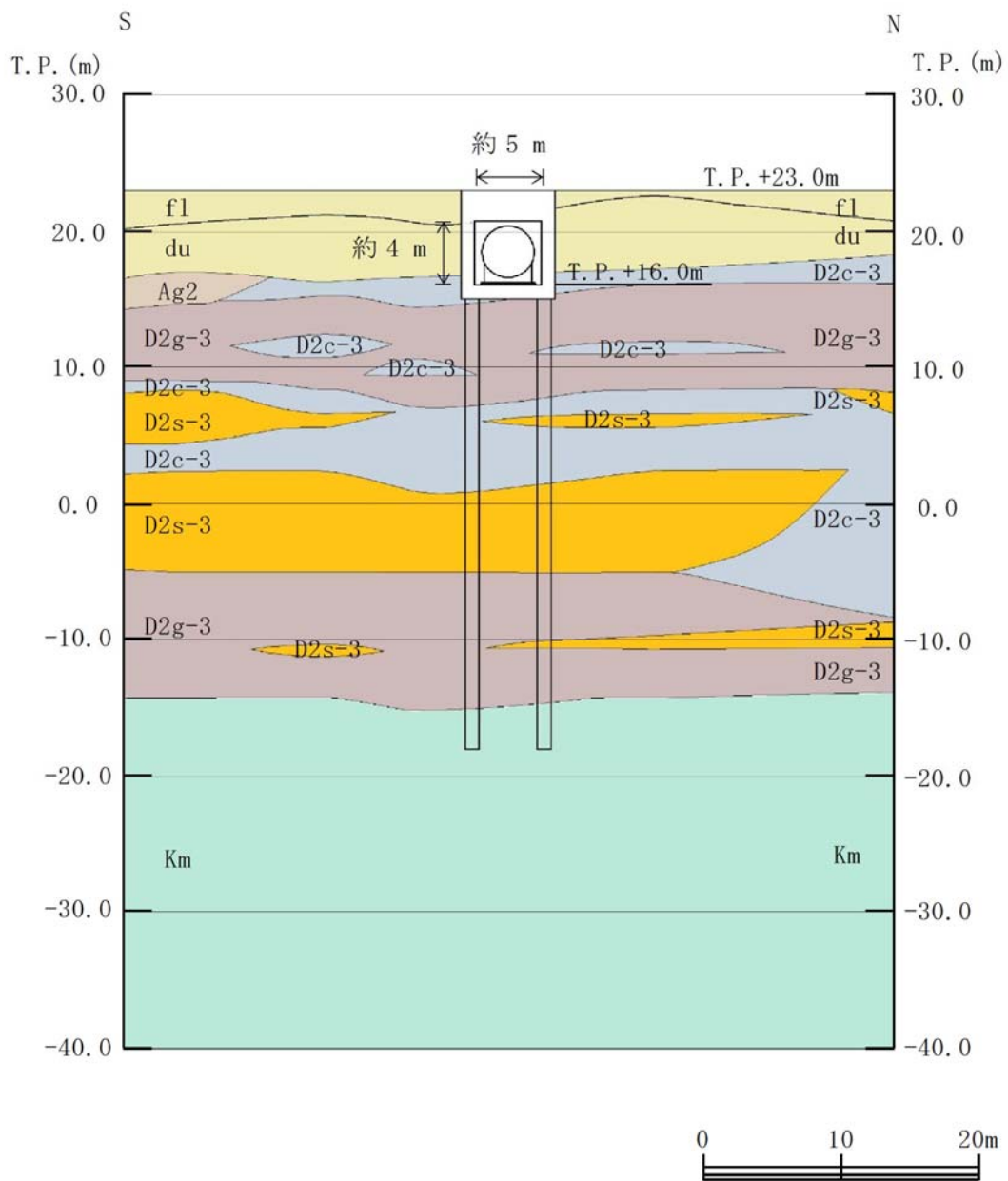
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎及び可搬型設備用軽油タンク基礎の縦断方向（タンクの軸方向）は、加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向となる。一方、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、タンクを格納するため、加振方向と平行に配置される構造部材がないことから、弱軸方向となる。

耐震評価では、構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）の断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

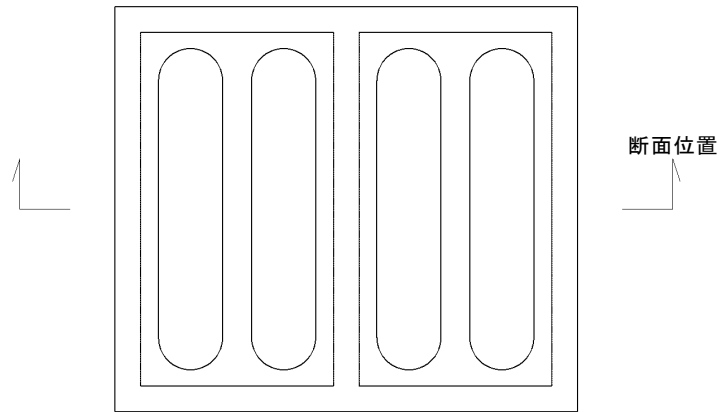
本構造物の周辺地盤においては地下水位以深に液状化検討対象層が分布することから、有効応力解析により液状化の可能性を評価し、構造物の耐震評価を実施する。



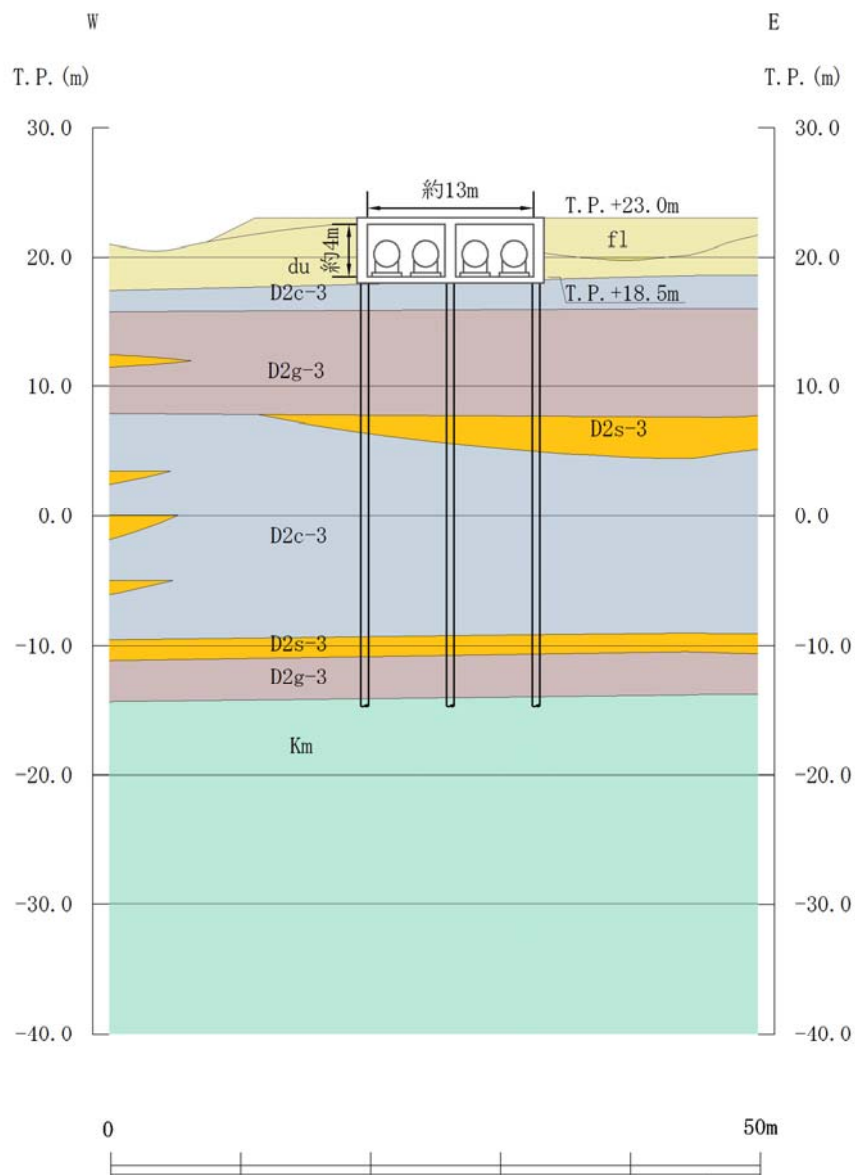
第 2.13-1 図 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 平面図



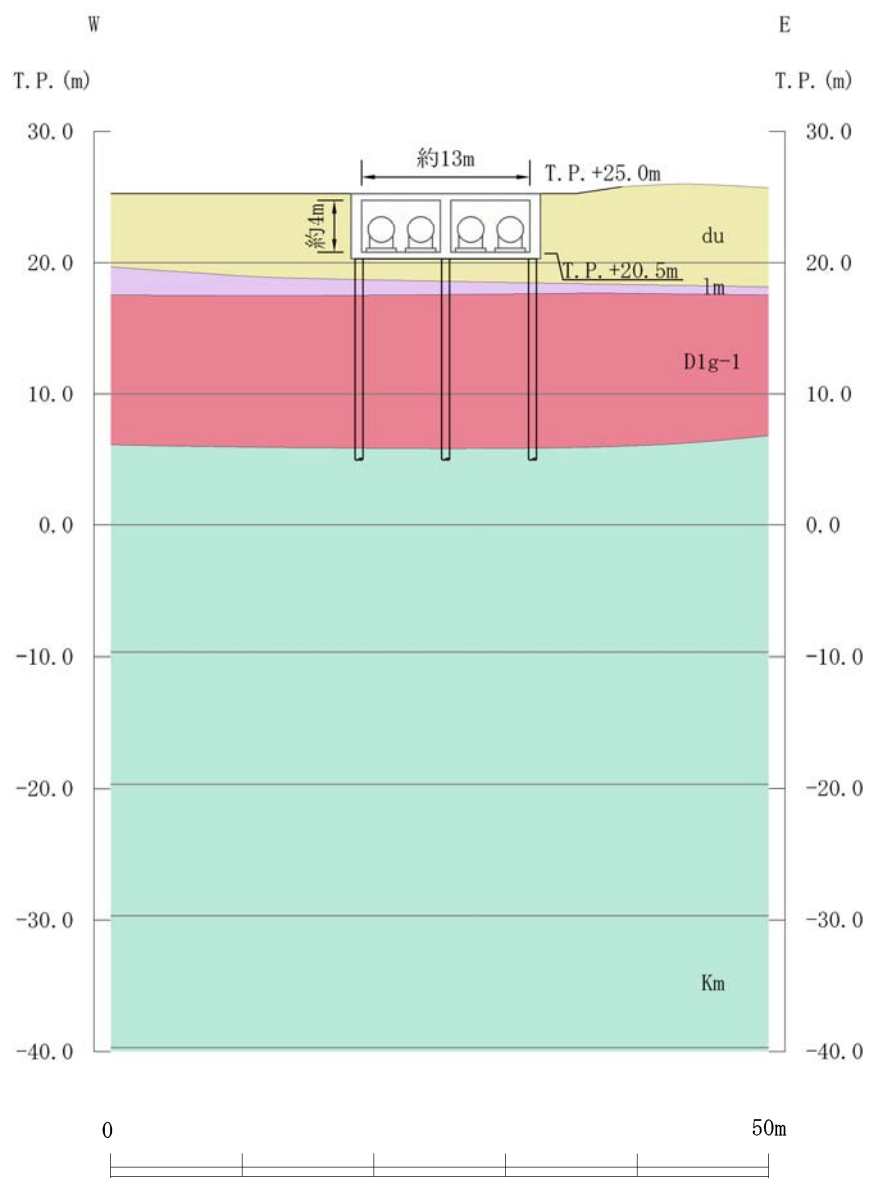
第 2.13-2 図 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 断面図



第 2.13-3 図 可搬型設備用軽油タンク基礎 平面図



第 2.13-4 (1) 図 可搬型設備用軽油タンク基礎 (西側) 断面図



第 2.13-4 図 (2) 可搬型設備用軽油タンク基礎 (南側) 断面図

東海第二発電所

使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価方針について

1. はじめに

本資料の構成は、以下の 2 項目から成る。

「Ⅰ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要」には、使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要を示す。また今回工認においては、既工認から地震応答解析モデルを変更するため、その内容について「Ⅱ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの既工認からの変更について」に示す。

Ⅰ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要

Ⅱ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの既工認からの 変更について

I 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要

使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置位置を第1-1図に示す。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器を24基収納する地上1階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート及び鉄骨造）の建物である。

使用済燃料乾式貯蔵建屋に加わる地震時の水平力は、外周部に配置された耐震壁と柱及び梁（屋根トラス）からなるフレーム構造で負担する。耐震壁には、冷却空気取り入れのための開口がある。

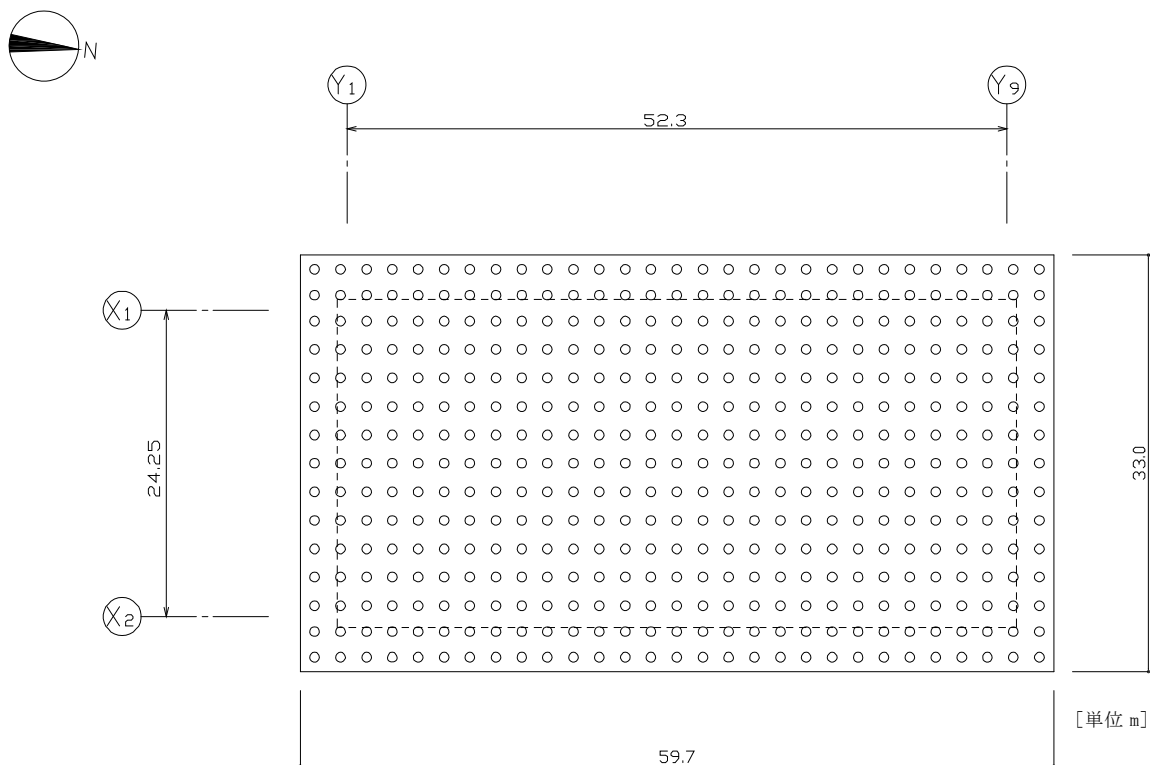
使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要を第1-2図及び第1-3図に示す。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、地上1階建で平面が約52 m（南北方向）×約24 m（東西方向）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物であり、適切に配置された耐震壁で構成された剛な構造としている。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎は、平面が約60 m（南北方向）×約33 m（東西方向）、厚さ約2.5 m（一部約2.0 m）で、鋼管杭を介して、砂質泥岩である久米層に岩着している。

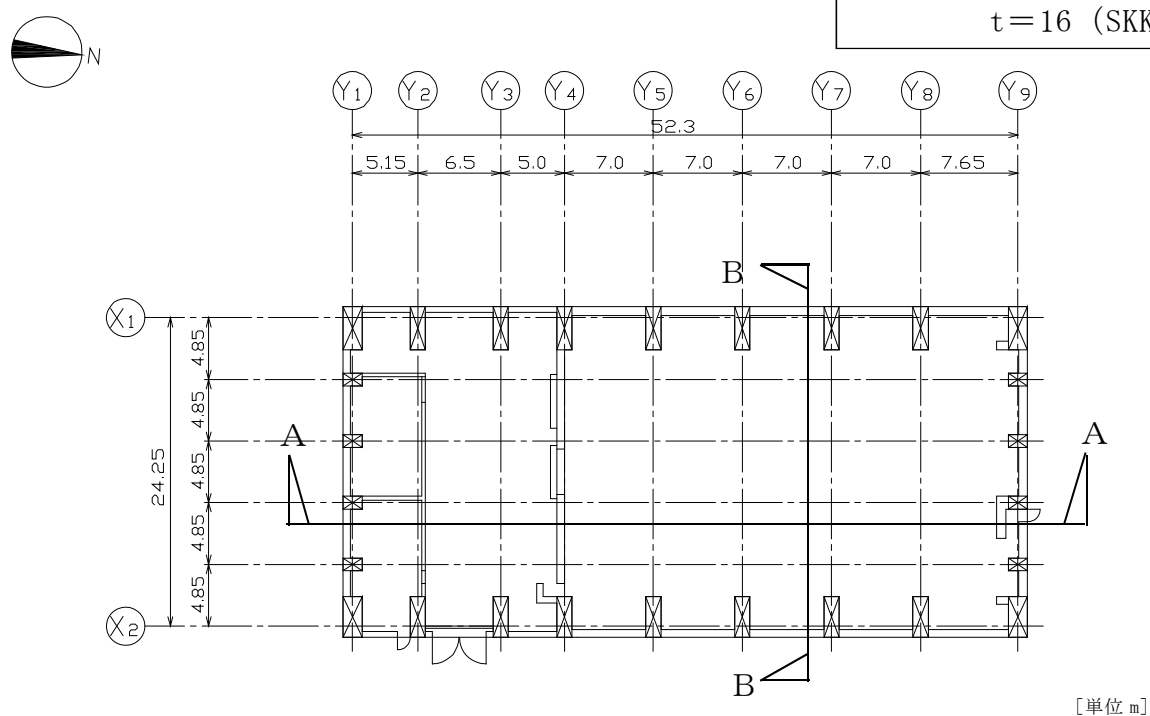


第1－1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置位置



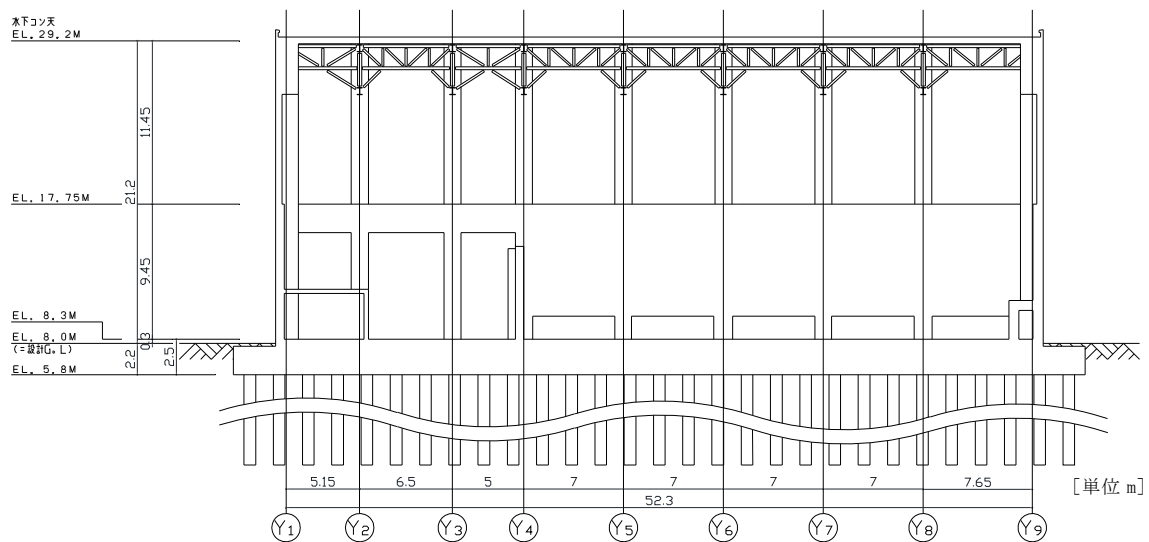
(杭伏図 : EL. -5.8 m)

杭仕様 : 鋼管杭 $\phi 812.8$,
t = 16 (SKK400)

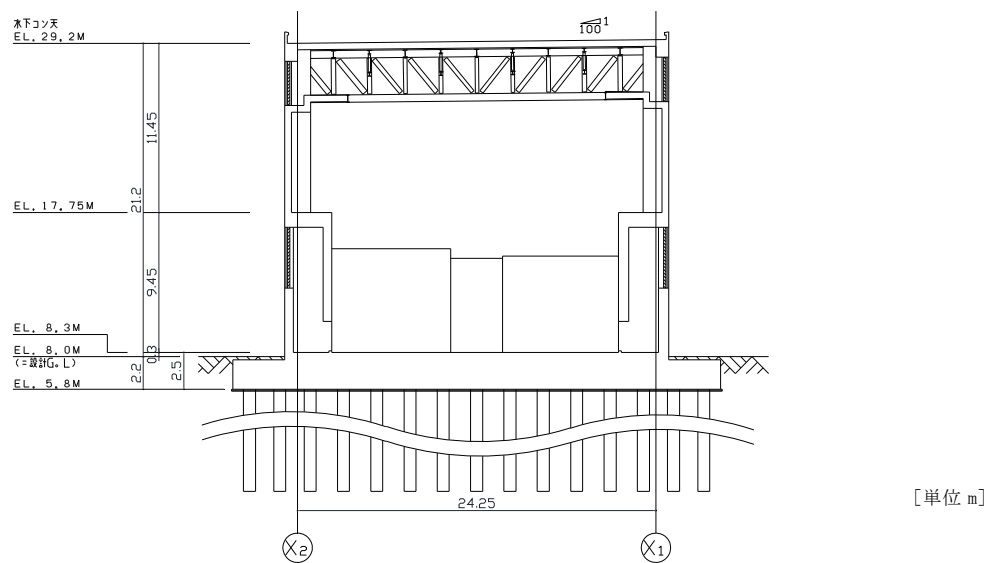


(1階平面図 : EL. 8.3 m)

第1-2図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要 (平面図)



(N S 方向, A-A 断面)



(E W 方向, B-B 断面)

第1—3図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概要 (断面図)

Ⅱ 使用済燃料乾式貯蔵建屋の 地震応答解析モデルの既工認からの変更について

1. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデルの既工認からの変更

1.1 目的

今回工認に用いる使用済燃料乾式貯蔵建屋のS Rモデルについて検討する。使用済燃料乾式貯蔵建屋はN S方向に細長い形状をしている。このような形状であるとE W方向振動に対して、中央部の振動を含め、1本棒モデルに集約するのは難しい。設計当時は1本棒モデルであるが、3次元F E Mの1次固有周期（中央部振動の固有周期）に整合するように剛性を設定していた。これは、耐震壁の剛性を小さく見積もることであり、クライテリアをせん断ひずみとした場合には保守的な設定と言える。また、設計当時の基準地震動 S_2 に対しては、この保守的なモデルを用いても弾性範囲に収まっていたため、耐震壁の復元力特性を作成していない。

今回工認では基準地震動 S_s 入力に対し、非線形領域に入ることが予想されるため、耐震壁の復元力特性を設定する必要がある。

上記を背景に、N S方向も含め、より実情に近い建屋の振動性状を評価できる耐震壁の復元力特性を考慮した解析モデルを設定することを目的とする。

1.2 今回工認モデルの設定方針

地震応答解析モデルは、以下の方針に基づいて、建設当時の工認（以下「既工認」という。）のモデルから変更する。N S方向の耐震壁には、金属キャスク冷却のために大開口が設けられている。既工認モデルでは、開口の影響を考慮したはり理論による等価剛性を設定しており、既工認モデルでは、3次元全体F E Mと1次固有周期は整合していたものの、上階の方が下階よりも剛性が大きく評価されていた。今回は、より詳細に開口の影響を考慮するために、3次元全体F E Mモデルによる剛性評価を採用することに修正する。復元力特性は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4601-1991

追補版〔社団法人日本電気協会〕（以下「J E A G 4601-1991 追補版」という。）に基づいて設定する。

E W方向の既工認モデルは、「1.1 目的」に記載したように、保守的に1本棒のモデルを構築していた。基準地震動 S_s に対する今回工認では、非線形挙動を精度良く表現するために、妻側耐震壁と耐震壁間のフレーム部をそれぞれ1本棒でモデル化し、屋根スラブレベルで屋根スラブ剛性を模擬したせん断ばねで連結する2本棒多質点系モデルに変更する。

1.3 既工認との比較

地震応答解析モデルの変更点を第1-1表に示す。

既工認では、質点系モデルの基礎底面位置に杭と地盤との動的相互作用を考慮して評価したばね（水平ばね及び回転ばね）を取り付けてモデル化している。基礎底面ばねは、地盤の成層性と半無限性を考慮した三次元薄層要素法による加振解に基づく方法により算定している。

今回工認では、既工認から地盤ばね算出に用いていた三次元薄層要素法を入力動評価にも用いることにより、杭の拘束効果を考慮した。この入力動のことを以下「有効入力動」という。

第 1-1 表 (1/3) 地震応答解析モデルの変更点 (解析条件)

項目	既工認	今回工認
材料諸元	R C 部：ヤング係数 E ・せん断弾性係数 G (従来単位)	R C 部：R C - N 規準に基づくヤング係数 E ・せん断弾性係数 G
モデル 形状※ ¹	N S 方向，E W 方向ともに 1 軸多質点系モデル	N S 方向：1 軸多質点系モデル E W 方向：建屋振動特性を考慮した 2 軸多質点系モデル 鉛直方向：モデルを新設
耐震 剛性※ ¹	N S 方向：剛床仮定に基づいた従来ベースの弾性剛性を設定 E W 方向：3 次元 F E M モデルにより屋根スラブ剛性を考慮した等価剛性を設定 鉛直方向：モデル未設定	N S 方向：3 次元 F E M モデルにより大開口の影響をより詳細に考慮した等価剛性を設定 E W 方向：耐震壁と中間フレーム部を独立させ，それぞれ従来ベースの弾性剛性を設定 鉛直方向：耐震壁配置に応じ従来ベースで剛性を設定 (単スパン集約モデル)
耐震重量	積雪荷重を未考慮	積雪荷重 30 cm×0.35 考慮 (30 tf 増)

第 1-1 表 (2/3) 地震応答解析モデルの変更点 (解析条件)

項目	既工認	今回工認
解析手法	建屋剛性は線形としてモデル化 (線形応答解析)	せん断及び曲げの非線形性を考慮 (復元力特性の設定による非線形 応答解析) ※鉛直方向は線形応答解析
入力 地震動	一次元波動論を用いた地盤応答解 析による基礎版底面レベルの応答 波	三次元薄層要素法による杭の拘束 効果を考慮した有効入力動

※1：解析モデルの妥当性は、観測記録シミュレーションより確認した。

第 1-1 表 (3/3) 地震応答解析モデルの変更点 (解析モデル形状)

	既工認	今回工認
N S 方向	<p>EL. (m)</p> <p>29.20</p> <p>17.75</p> <p>8.30 7.05 5.80</p> <p>要素名 BM03</p> <p>質点名 ND03</p> <p>ND02</p> <p>BM02</p> <p>BSTP</p> <p>ND01</p> <p>BSBM</p> <p>ROCK</p> <p>SWAY</p>	<p>EL. (m)</p> <p>29.20</p> <p>17.75</p> <p>8.30 7.05 5.80</p> <p>要素名 BM03</p> <p>質点名 ND03</p> <p>ND02</p> <p>BM02</p> <p>BSTP</p> <p>ND01</p> <p>BSBM</p> <p>ROCK</p> <p>SWAY</p>
E W 方向	<p>EL. (m)</p> <p>29.20</p> <p>17.75</p> <p>8.30 7.05 5.80</p> <p>要素名 BM03</p> <p>質点名 ND03</p> <p>ND02</p> <p>BM02</p> <p>BSTP</p> <p>ND01</p> <p>BSBM</p> <p>ROCK</p> <p>SWAY</p>	<p>EL. (m)</p> <p>29.20</p> <p>17.75</p> <p>8.30 7.05 5.80</p> <p>要素名 BM03</p> <p>質点名 ND03</p> <p>ND02</p> <p>BM02</p> <p>BSTP</p> <p>ND01</p> <p>BSBM</p> <p>ROCK</p> <p>SWAY</p> <p>壁</p> <p>フレーム</p> <p>ND03</p> <p>SP01</p> <p>ND13</p> <p>BM13</p> <p>ND12</p> <p>BM12</p>
鉛直 方向		<p>EL. (m)</p> <p>29.20</p> <p>17.75</p> <p>8.30 7.05 5.80</p> <p>要素名 BM03</p> <p>質点名 ND03</p> <p>ND02</p> <p>BM02</p> <p>BSTP</p> <p>ND01</p> <p>BSBM</p> <p>AXA2</p> <p>RF05</p> <p>RF04</p> <p>RF03</p> <p>RF02</p> <p>RF01</p> <p>RF05</p> <p>RF04</p> <p>RF03</p> <p>RF02</p> <p>RF01</p> <p>SPR1</p>

【補足資料 1】 三次元薄層要素法とは

三次元薄層要素法とは，弾性地盤における正弦的な波動伝播を求めるのに際し，地盤を水平な薄層に分割して水平方向には均質な連続体とするが，深さ方向には分割面で離散的に扱う方法である。即ち，水平方向には弾性波動論，深さ方向には有限要素法で定式化したのが三次元薄層要素法である。三次元薄層要素法では，波動伝播の解が解析的に求められるため積分する必要がなく，計算効率の点で極めて有利となるため，地盤内部に多数の加振源を有する埋込み基礎や群杭の動的相互作用解析に広く適用されている。

【補足資料 2】観測記録を用いた応答解析モデルの妥当性検討

建屋のモデル化における振動特性評価の妥当性確認として、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震（以下「東北地方太平洋沖地震」という。）時の観測記録を用いたシミュレーション解析を実施した。

1. 地震計設置位置

使用済燃料乾式貯蔵建屋には、地震時の基本的な振動性状を把握する目的で基礎上端と屋根トラス上部に各1台の地震計を設置している。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震計設置位置を第1-1図に示す。

2. シミュレーション解析結果

既工認での地震応答解析の概要図を第2-1図に、今回の工認での評価の概要図を第2-2図に示す。観測記録を用いたシミュレーション解析は、既工認モデルと今回の工認モデルの両方を用いた。

東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析結果として、両者の最大応答加速度分布の比較を第2-3図に示す。今回工認モデルは既工認モデルとほぼ同等の応答となっており、観測記録に対しては両モデルともに観測記録よりも大きい結果となっている。

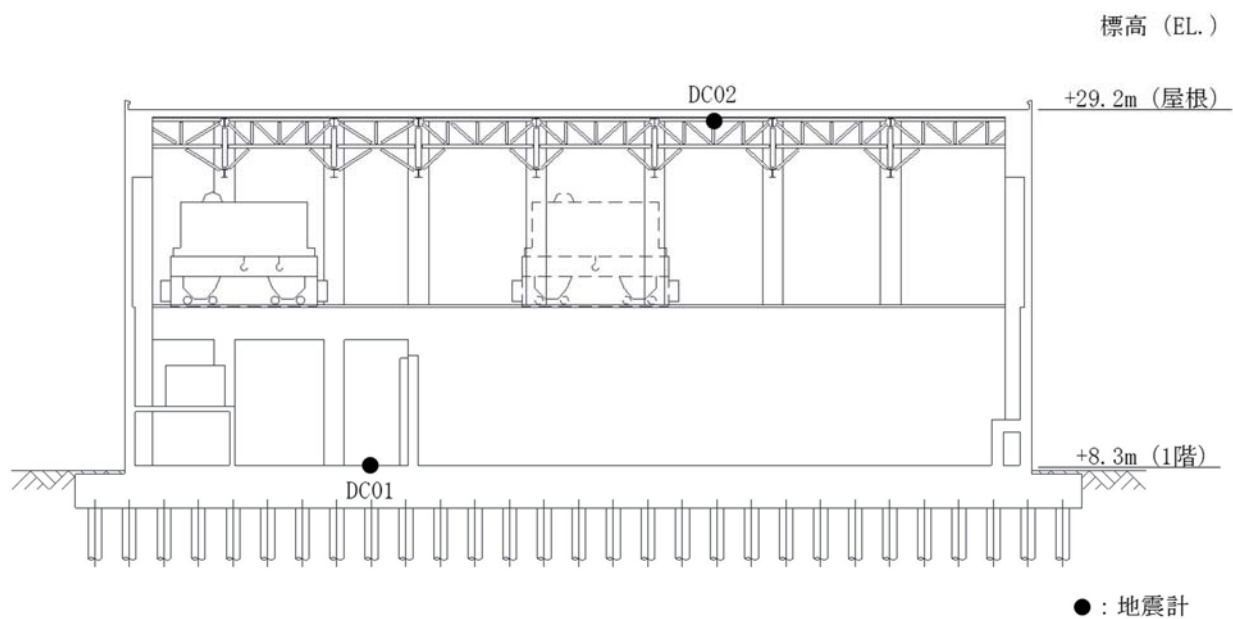
床応答スペクトルの比較を第2-4図に示す。観測記録、既工認モデル及び今回工認モデルのピークは、ほぼ同じ周期で生じていることから、建屋の剛性は適切に模擬できているものとする。

3. 工認に用いる地震応答解析モデルの妥当性について

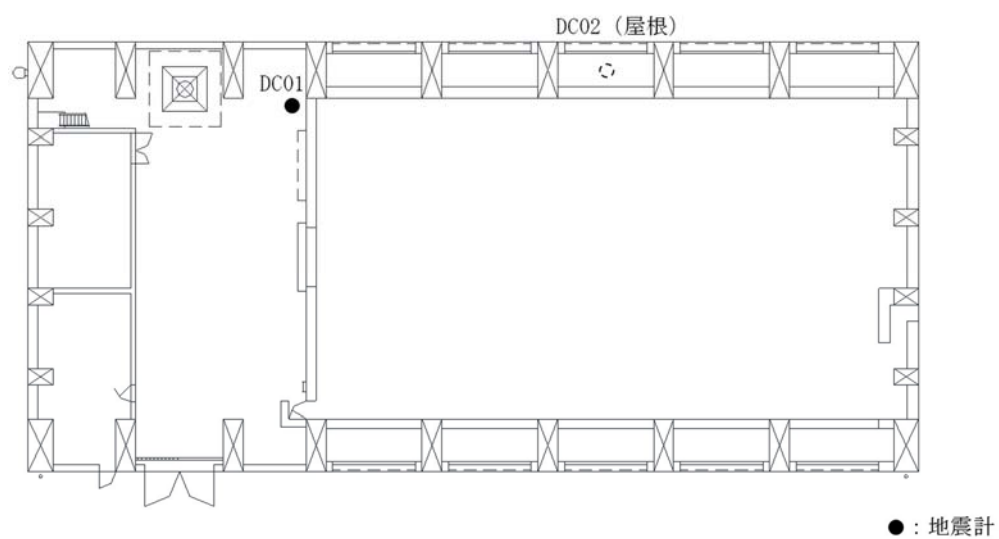
使用済燃料乾式貯蔵建屋が細長い形状をしていること等を考慮し、地震応答解析モデルを既工認から変更したが、東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析結果より、既工認モデルと今回工認モデルの観測記録の説明性は同程度であることを確認した。

以上の結果を踏まえ、使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算及び耐震計

算書に用いる応答解析モデルには，今回工認モデルを用いることとした。

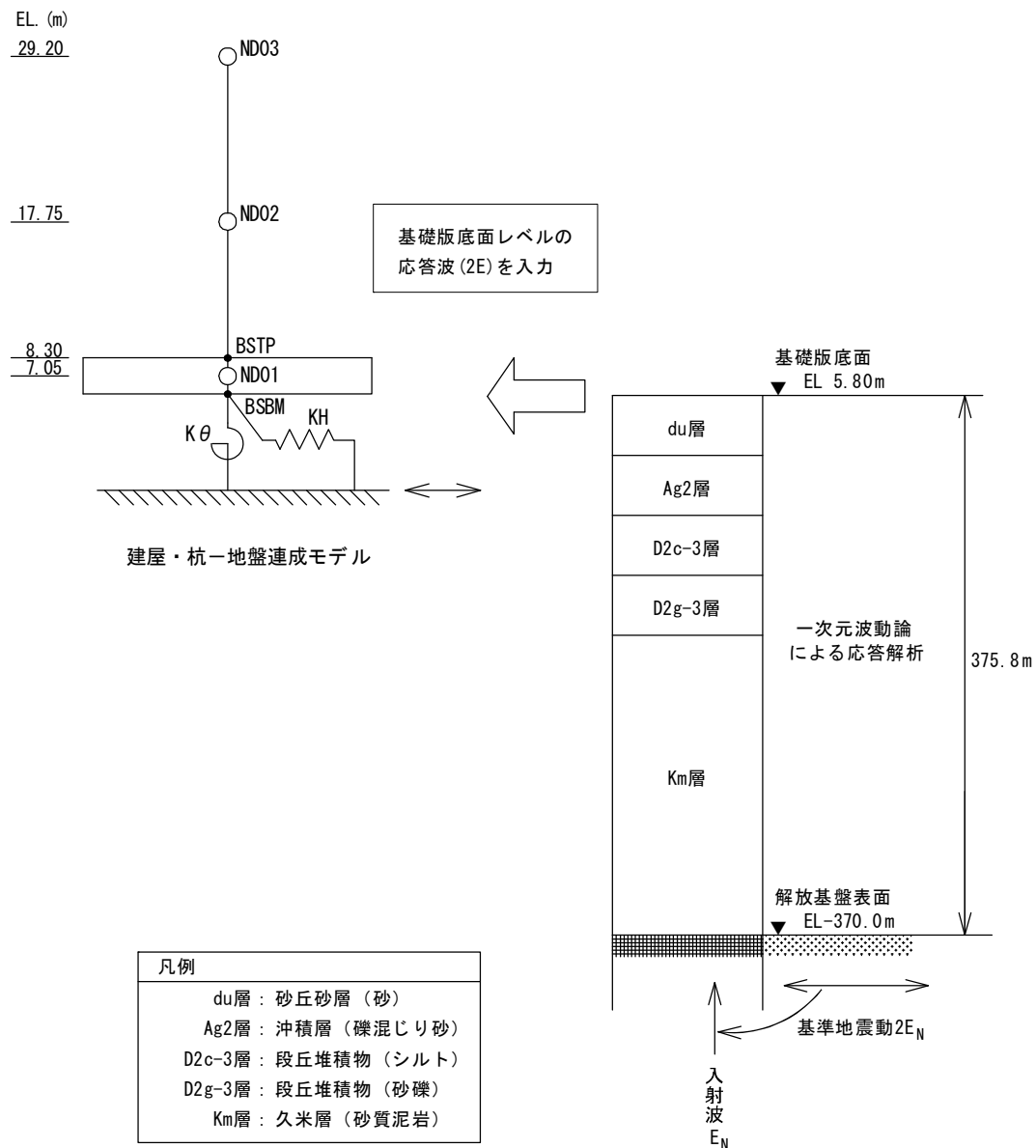


(a) 断面図

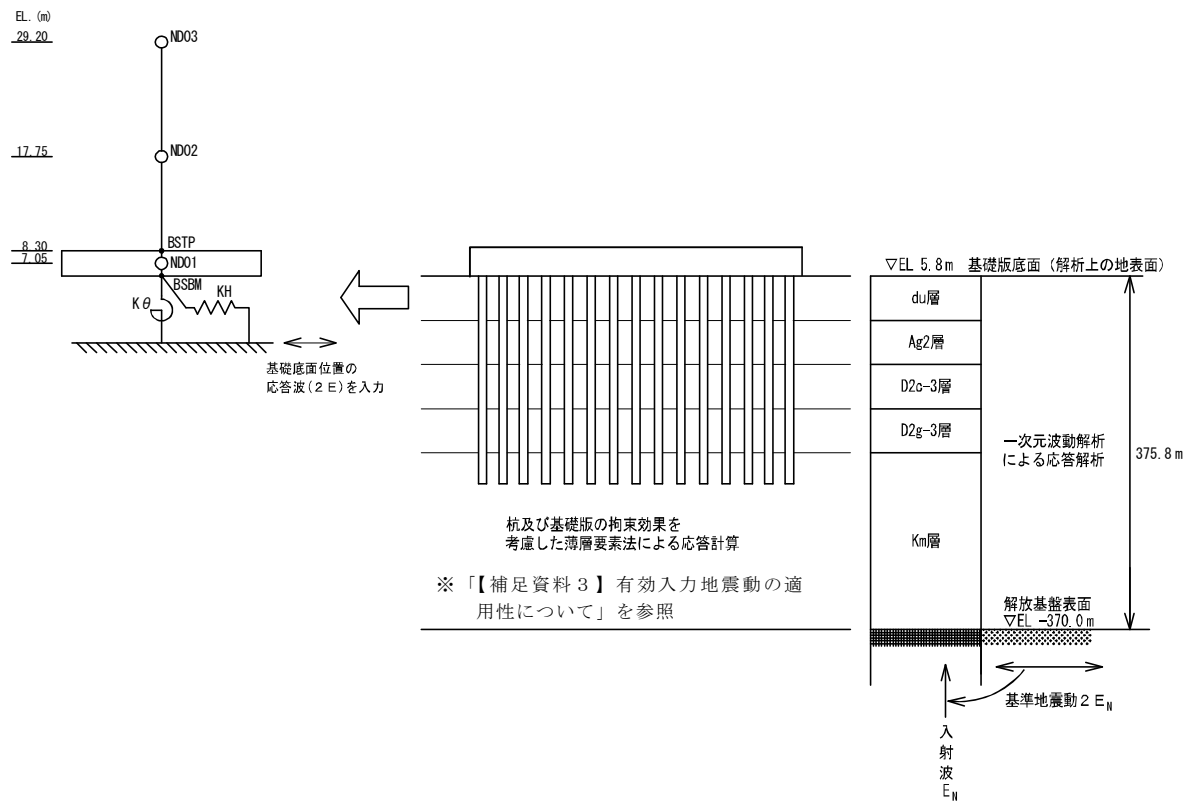


(b) 1 階 (EL. 8.3 m) 平面図

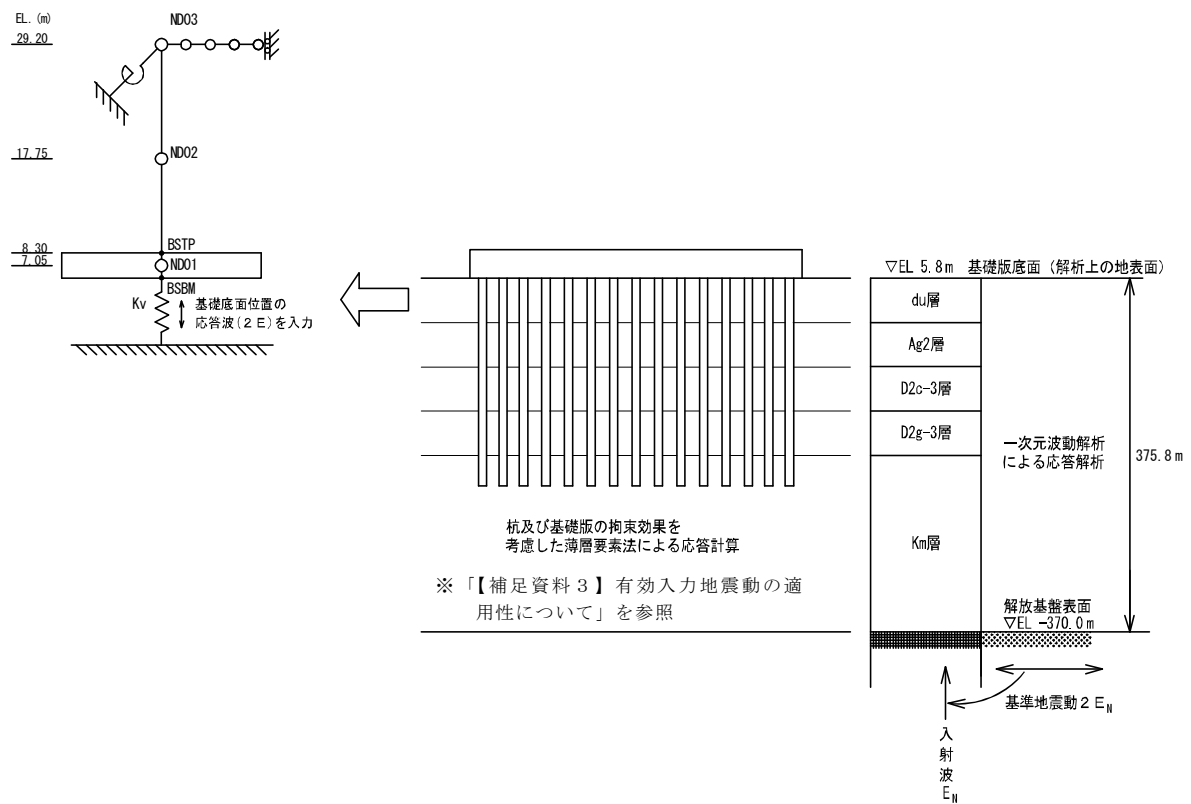
第1-1図 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震計設置位置



第2-1図 地震応答解析の概要図（既工認）

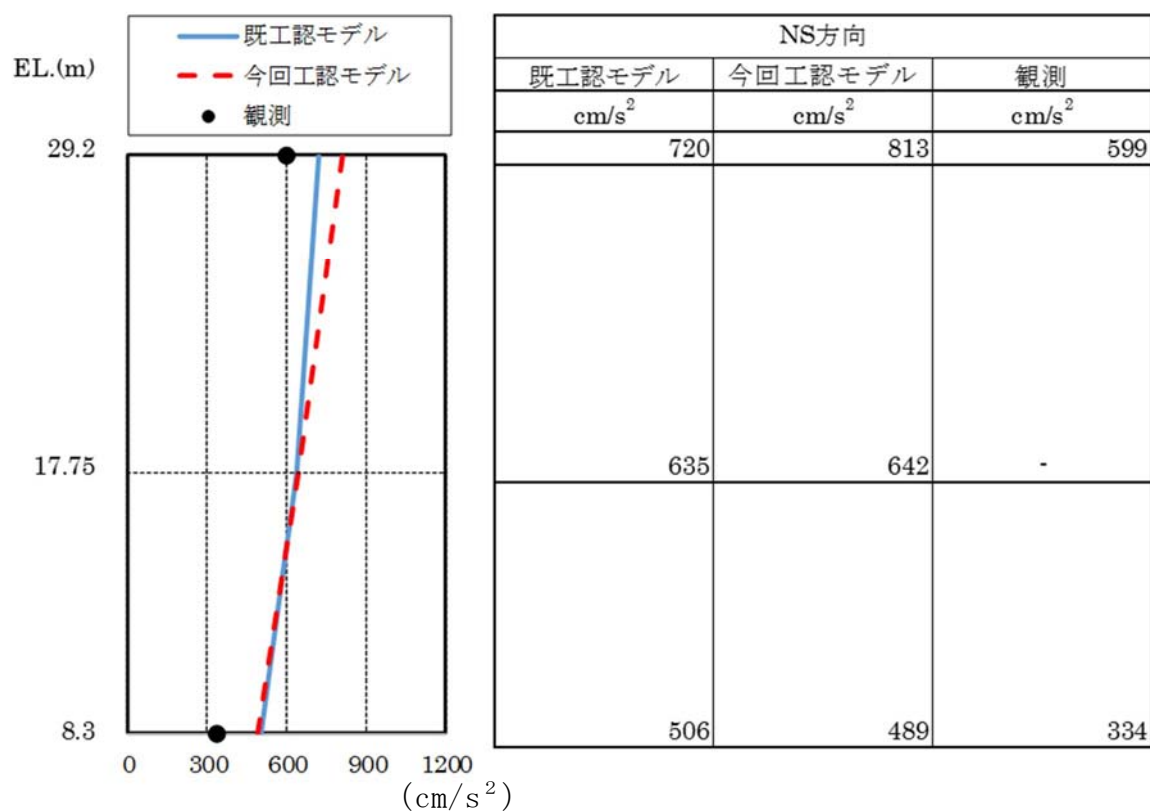


(水平方向)

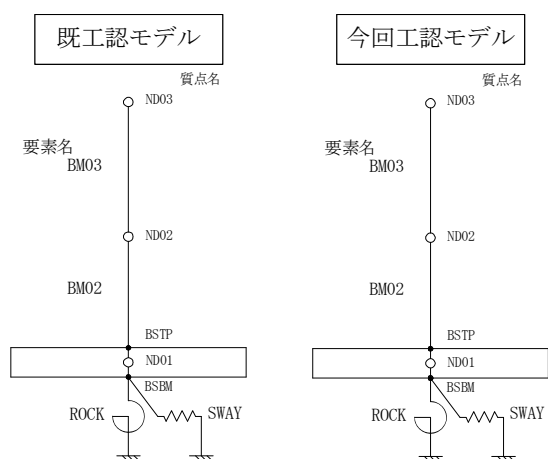


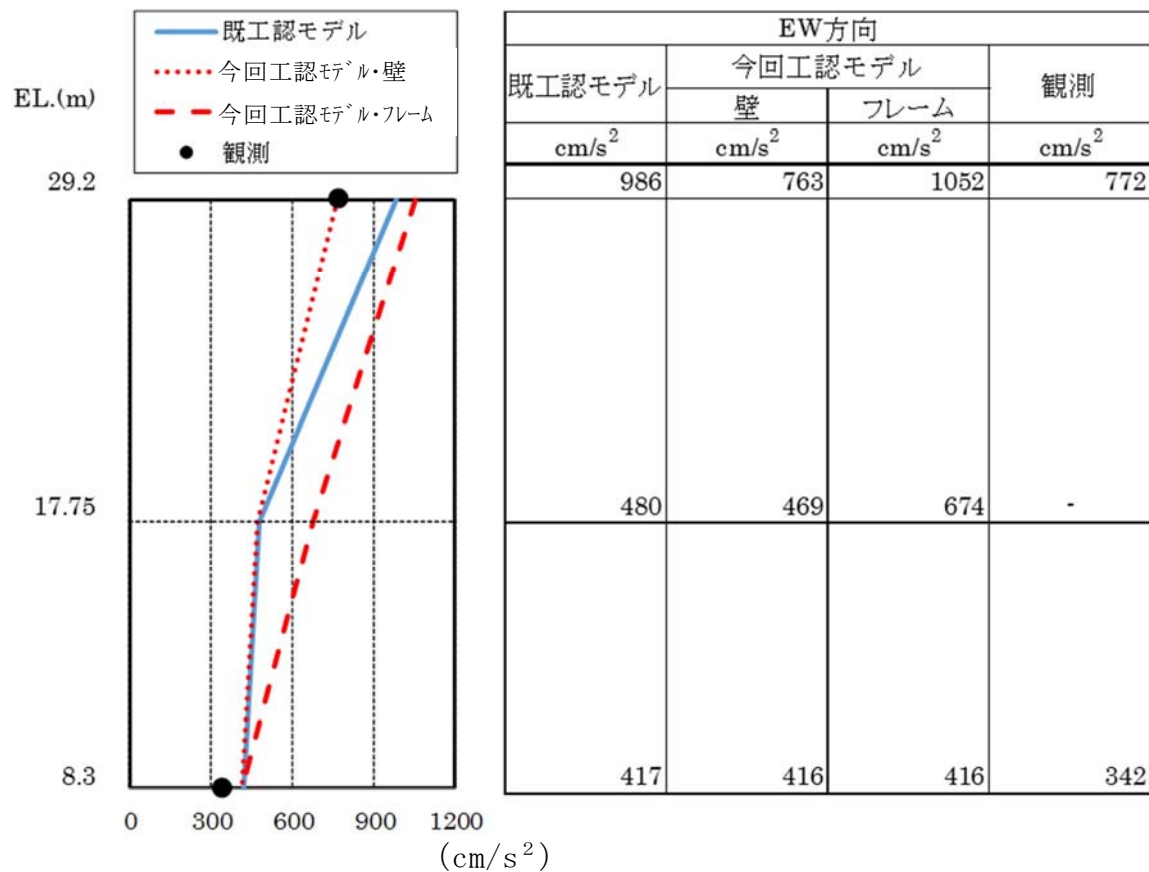
(鉛直方向)

第2-2図 地震応答解析の概要図 (今回工認での評価)

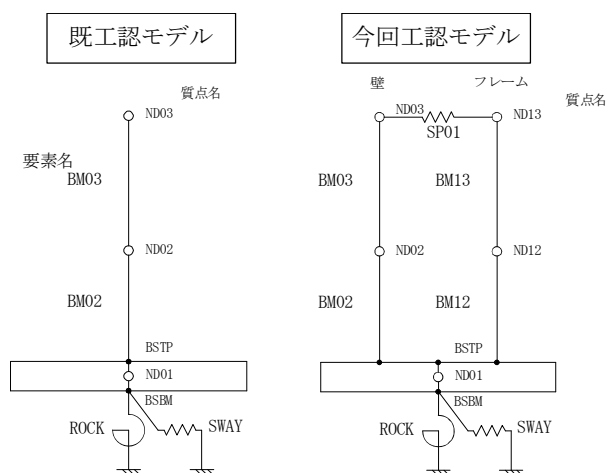


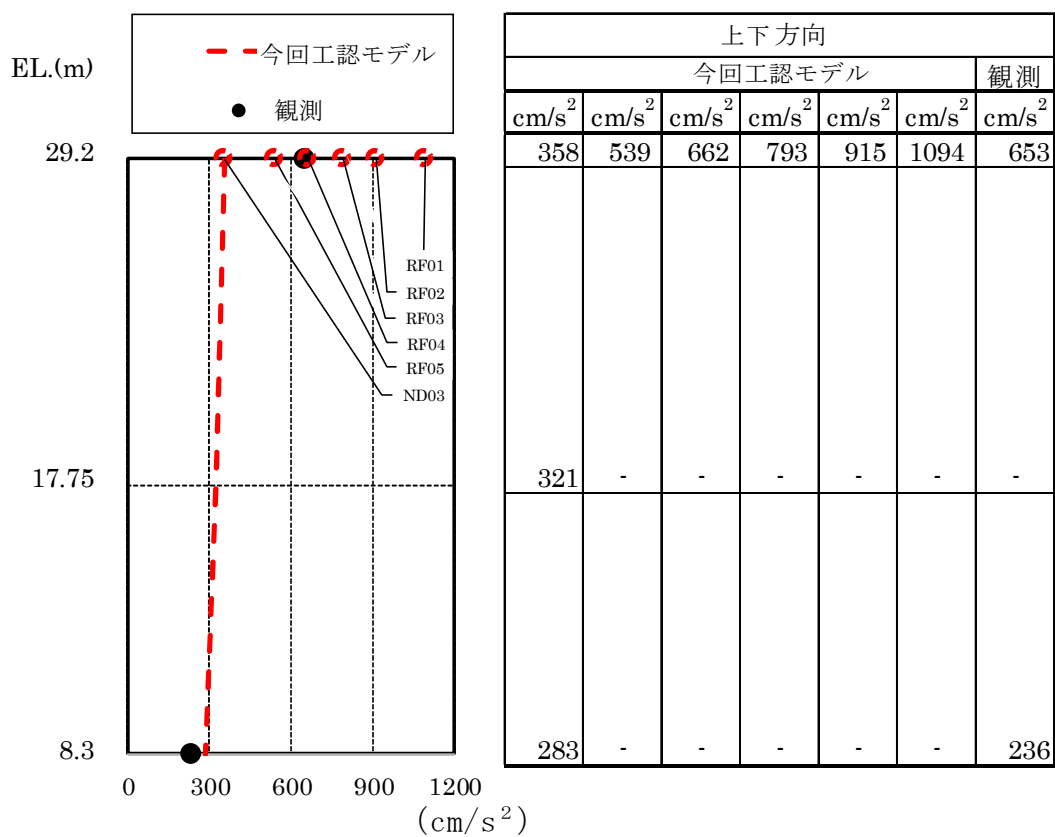
第2-3図 (1/3) 最大応答加速度分布の比較 (N S 方向)



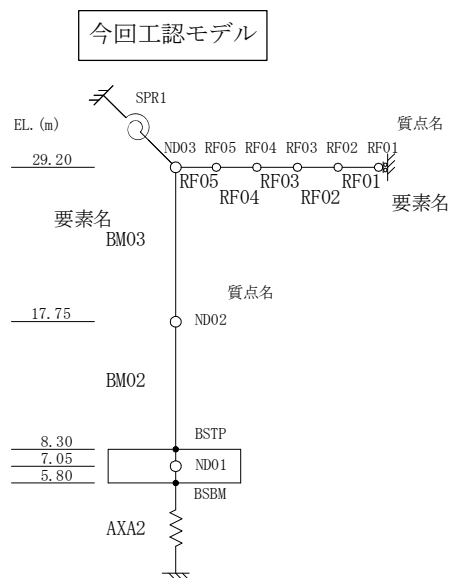


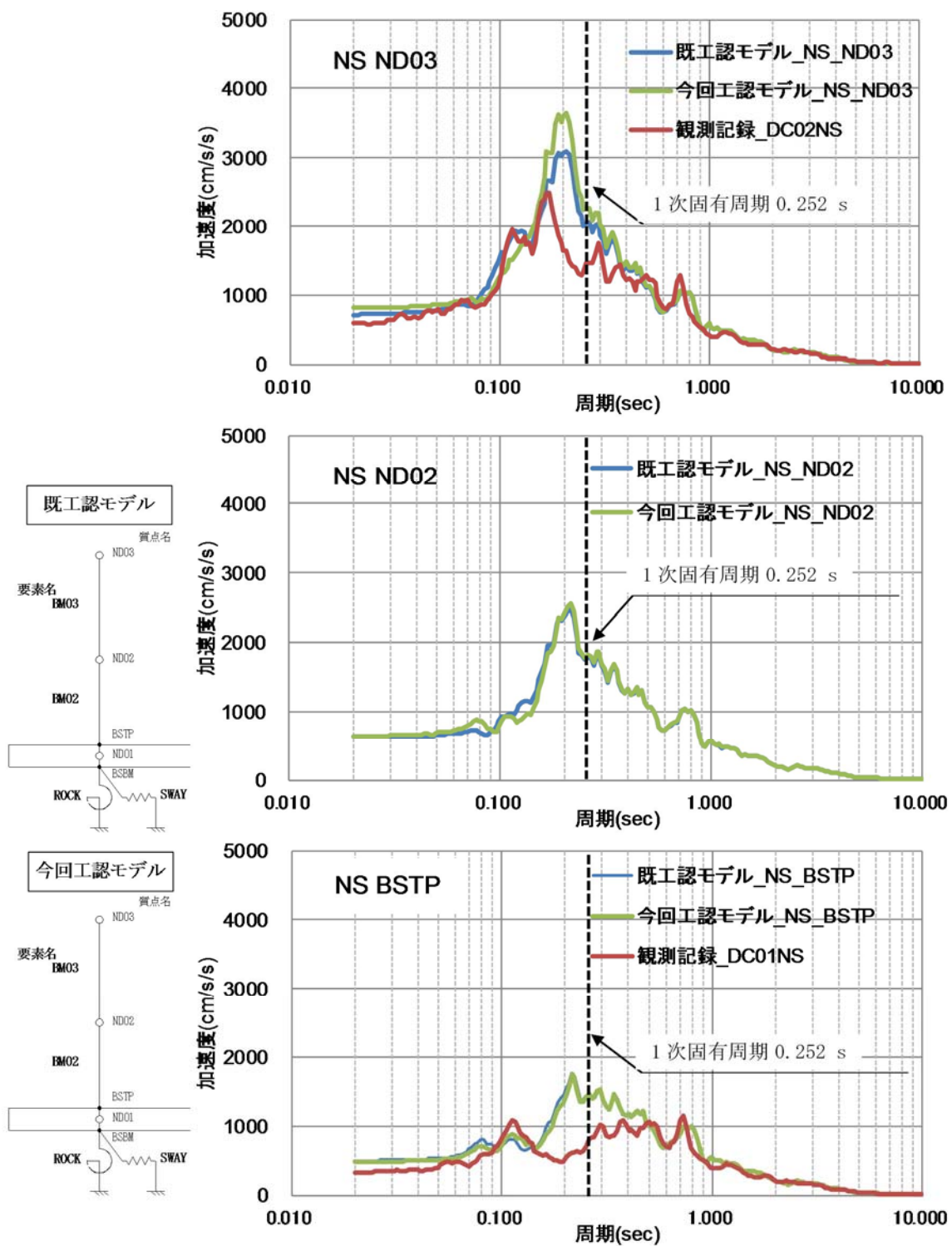
第2-3図 (2/3) 最大応答加速度分布の比較 (EW方向)



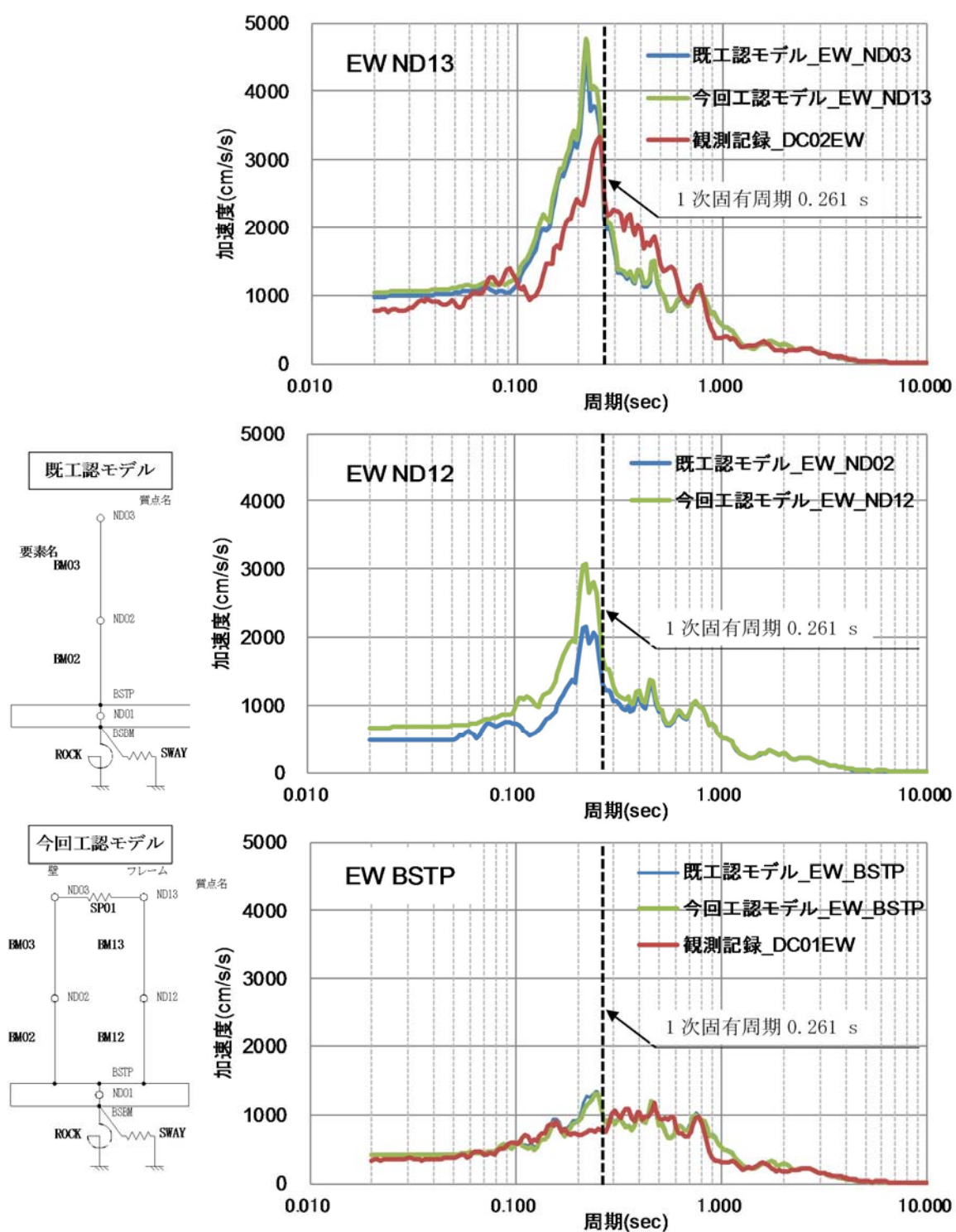


第2-3図 (3/3) 最大応答加速度分布の比較 (上下方向)

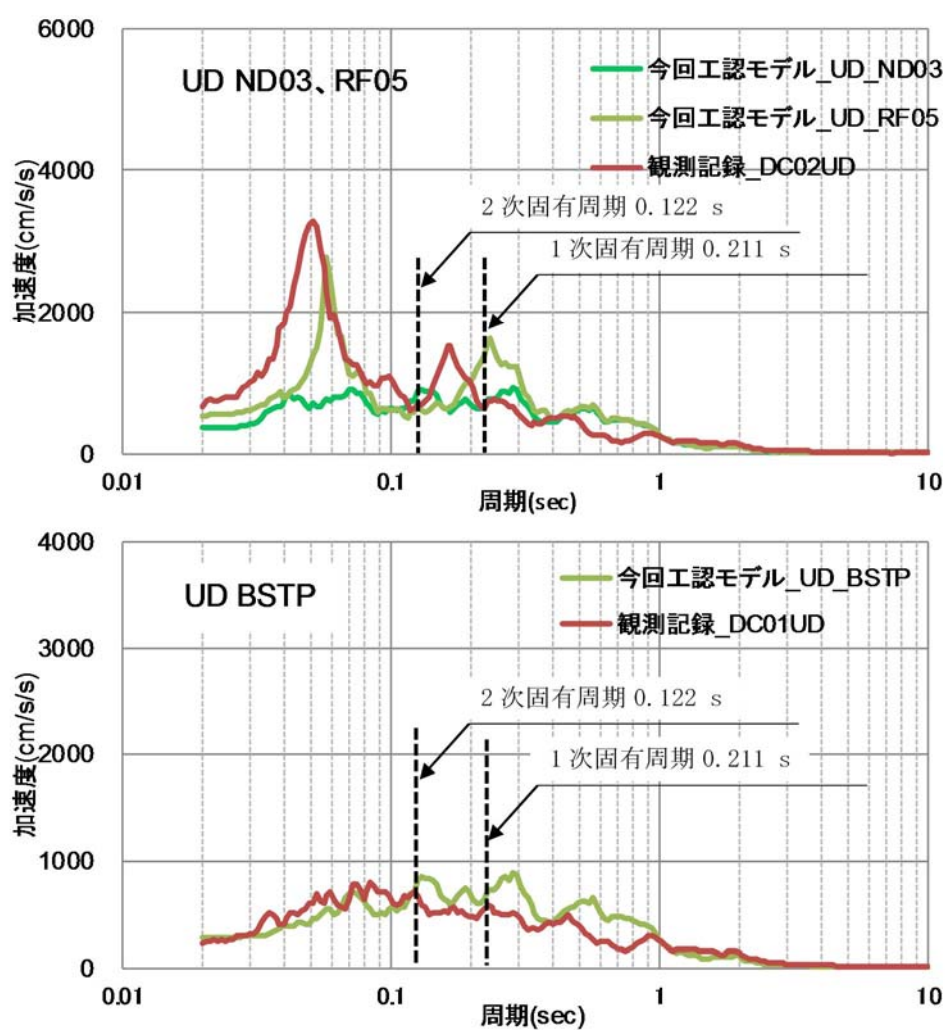




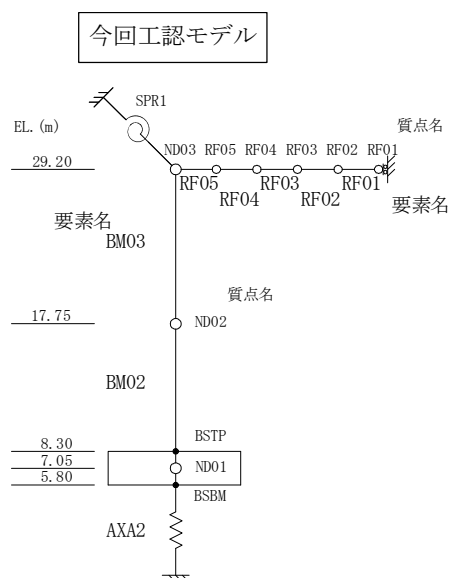
第2-4図 (1/3) 床応答スペクトルの比較 (NS方向, $h = 5\%$)



第2-4図 (2/3) 床応答スペクトルの比較 (EW方向, $h = 5\%$)



第2-4図 (3/3) 床応答スペクトルの比較 (上下方向, $h = 5\%$)



【補足資料 3】有効入力動の適用性について

1. 既工認と今回工認における地盤ばね及び入力地震動算出方法の比較

既工認では、杭を考慮した地盤ばね算出に三次元薄層要素法を用いていたが、建屋地震応答解析モデルへの入力動には基礎版底面レベルにおける露頭波を用いていた。三次元薄層要素法とは、水平方向には弾性波動論、深さ方向には有限要素法で定式化した解析手法である。

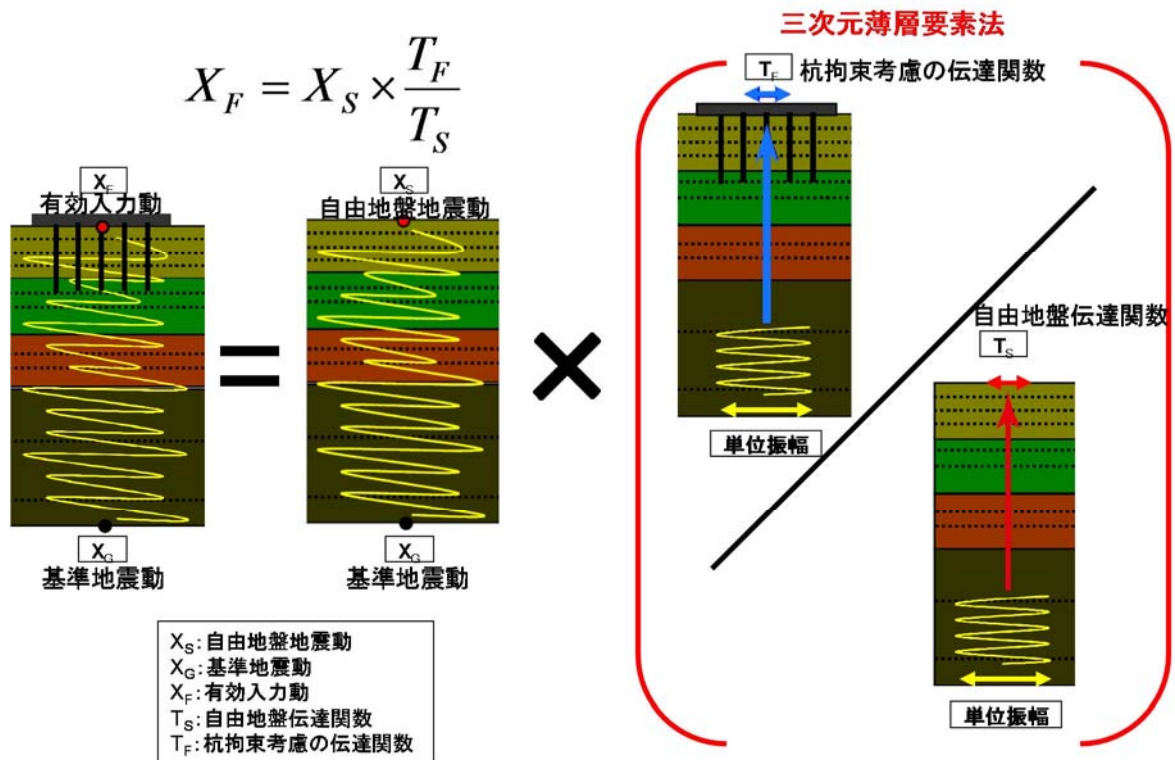
今回工認では、入力地震動評価にも同手法により杭の拘束効果を考慮した基礎版底面レベルにおける有効入力動を用いることにより、地盤ばねの設定との整合を図り、より実状に近い評価とする。第1－1図に既工認と今回工認における地盤ばね及び入力地震動算出方法の比較を示す。

	建屋モデル	①地盤ばね	②入力地震動
既工認		<p>三次元薄層要素法により杭を考慮した地盤ばねを算出</p> <p>杭の存在を考慮している範囲</p>	<p>一次元波動論により入力地震動を算出</p> <p>自由地盤地震動 基準地震動</p>
今回工認		<p>三次元薄層要素法により杭を考慮した地盤ばねを算出</p>	<p>三次元薄層要素法により杭の拘束効果を考慮した入力地震動を算出</p> <p>有効入力動 基準地震動</p>

第1－1図 既工認と今回工認における地盤ばね及び入力地震動算出方法の比較

2. 三次元薄層要素法による杭の拘束効果を考慮した有効入力動の算出方法

一次元波動論から算出される自由地盤地震動に三次元薄層要素法により算出した伝達関数比率を乗じて杭の拘束効果を考慮した有効入力動を算出する。算出方法を第2-1図に示す。

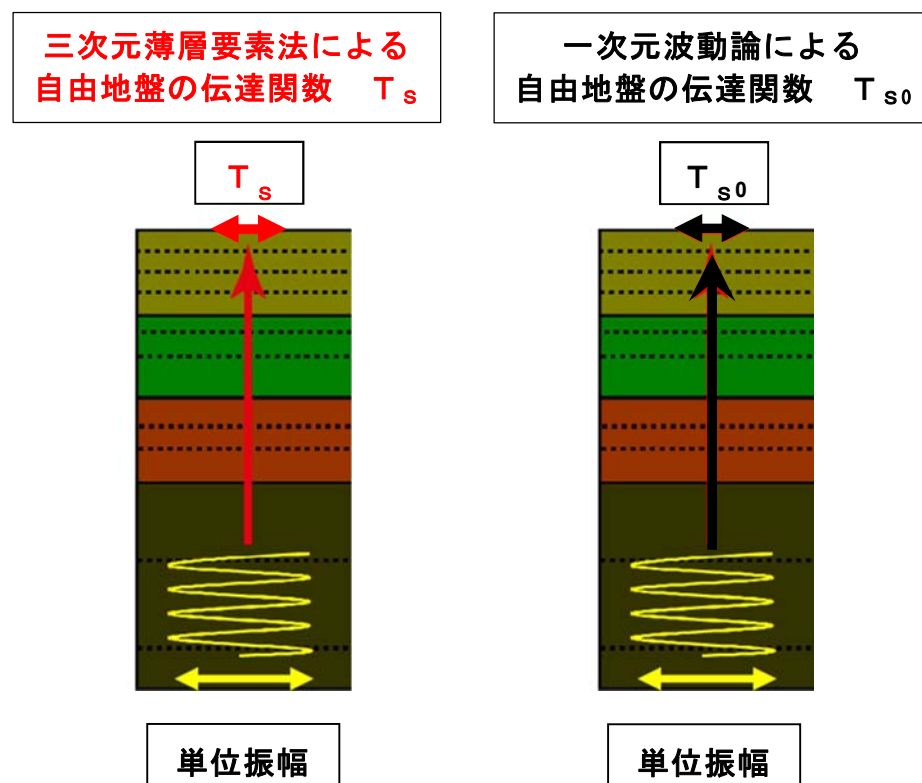


第2-1図 三次元薄層要素法による有効入力動の算出方法

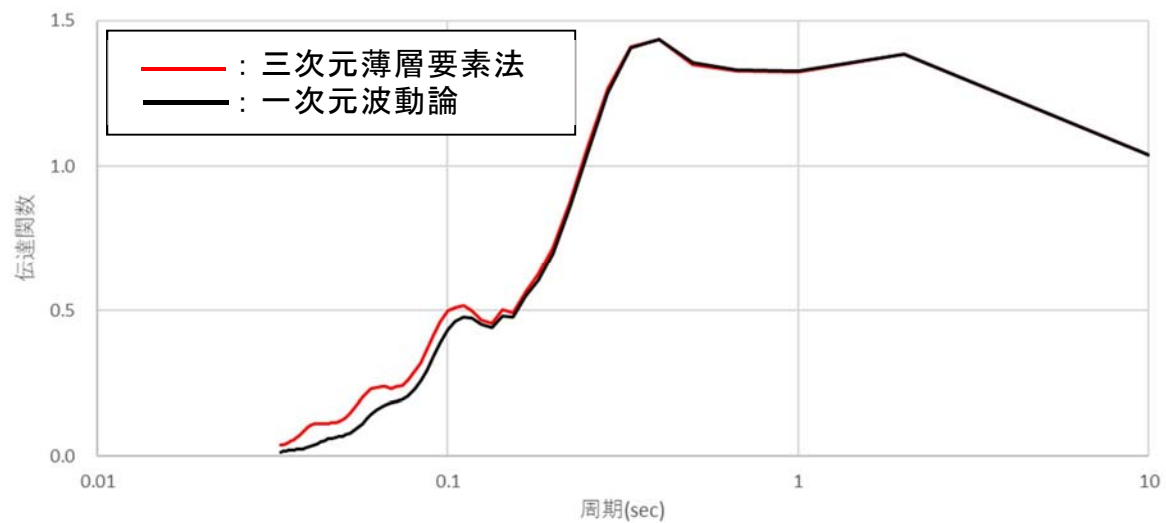
3. 三次元薄層要素法の妥当性確認

三次元薄層要素法による有効入力動の妥当性を規格基準等の記載より確認した。規格基準等には、杭基礎の拘束効果を考慮した有効入力動を設定すること及びその評価に三次元薄層要素法が用いられることが示されている。確認した規格基準等の抜粋を「補足資料4 規格基準等での有効入力動に関する記載」に示す。

また、三次元薄層要素法の妥当性を確認するため、三次元薄層要素法及び一次元波動論より算定した自由地盤の伝達関数を比較した。地盤物性は S_s —D1Hによる等価物性を代表として用いた。第3-1図に比較対象概要図、第3-2図に一次元波動論及び三次元薄層要素法による自由地盤の伝達関数を比較して示す。両者同様な結果が得られていることから三次元薄層要素法の妥当性を確認した。



第3-1図 比較対象概要図

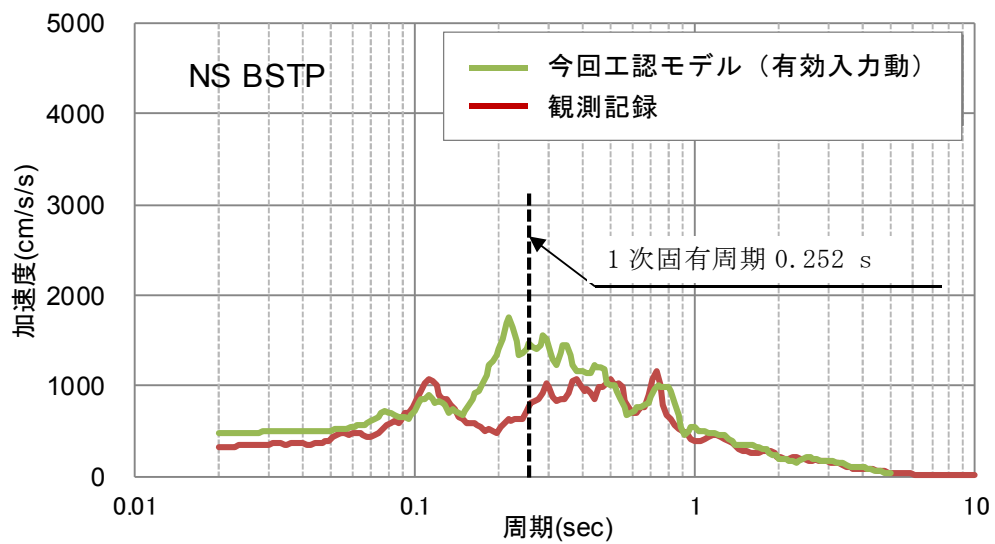
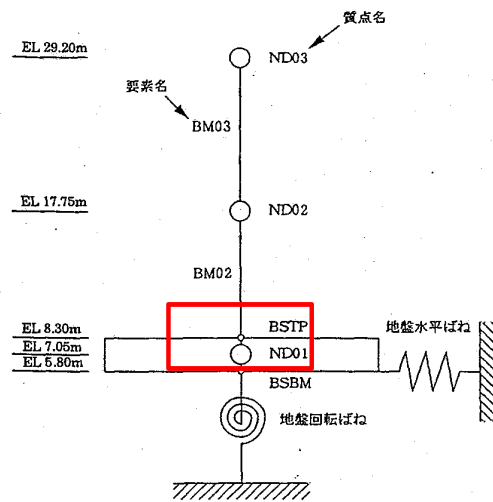


第3-2図 自由地盤伝達関数の比較

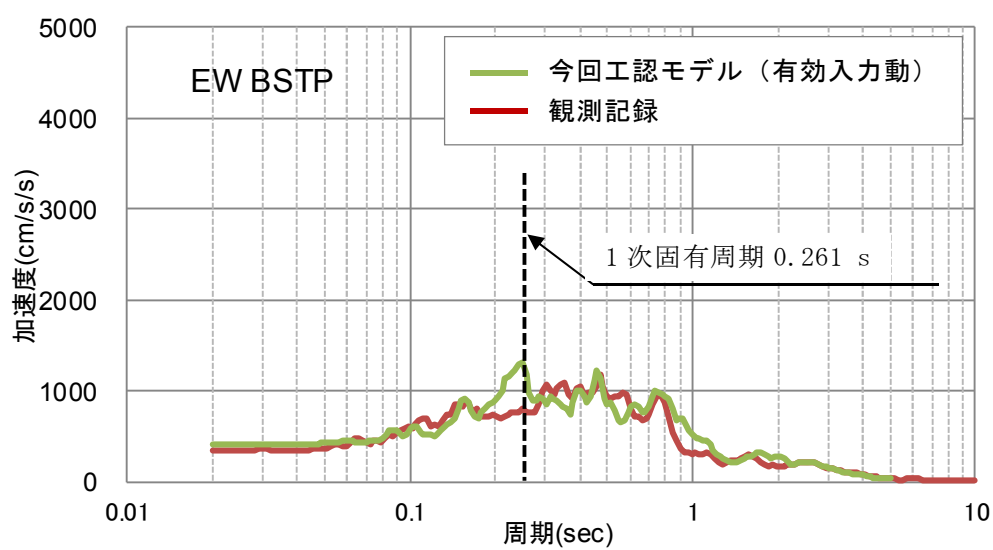
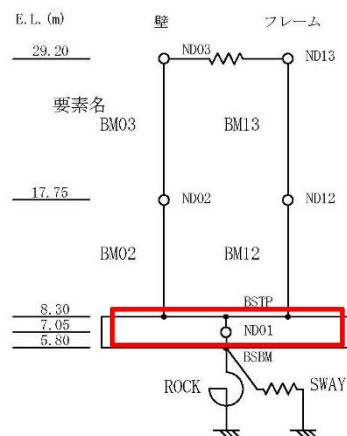
4. 杭の拘束効果を考慮した有効入力動の適用性の検討

使用済燃料乾式貯蔵建屋への杭の拘束効果を考慮した有効入力動の適用性を確認するため、東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析を行った。地震観測記録と有効入力動を用いた解析結果の基礎上の床応答スペクトルの比較を第4-1図に示す。

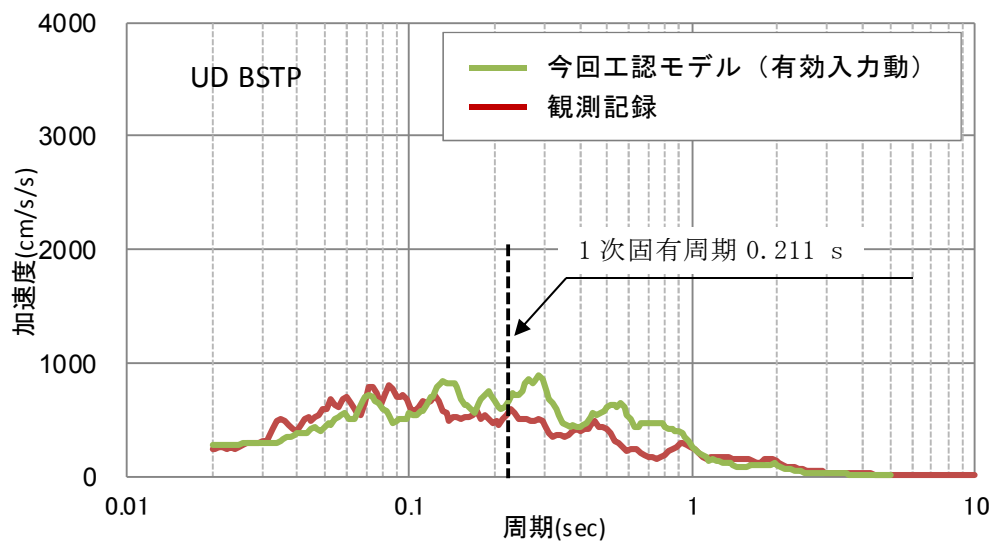
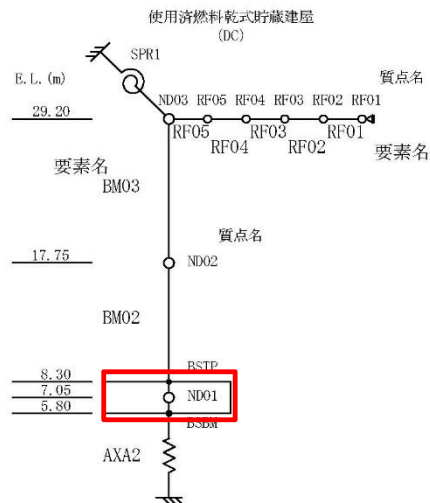
有効入力動を用いた解析結果は、建屋の1次固有周期近傍で観測記録より大きいことより、使用済燃料乾式貯蔵建屋への杭の拘束効果を考慮した有効入力動の適用性を確認した。



第4-1図 (1/3) 床応答スペクトルの比較
(NS方向, $h = 5\%$)



第4-1図 (2/3) 床応答スペクトルの比較
(EW方向, $h = 5\%$)



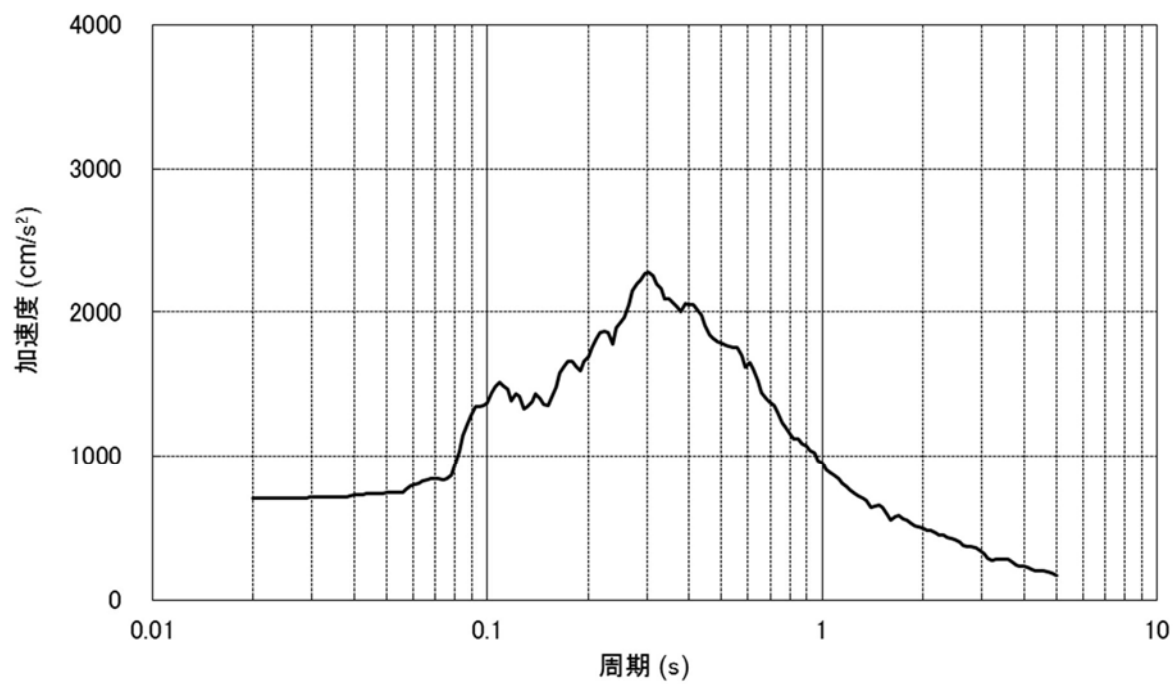
第 4-1 図 (3/3) 床応答スペクトルの比較 (上下方向, $h = 5\%$)

5. 基準地震動 S_s に対する有効入力動と自由地盤地震動の比較

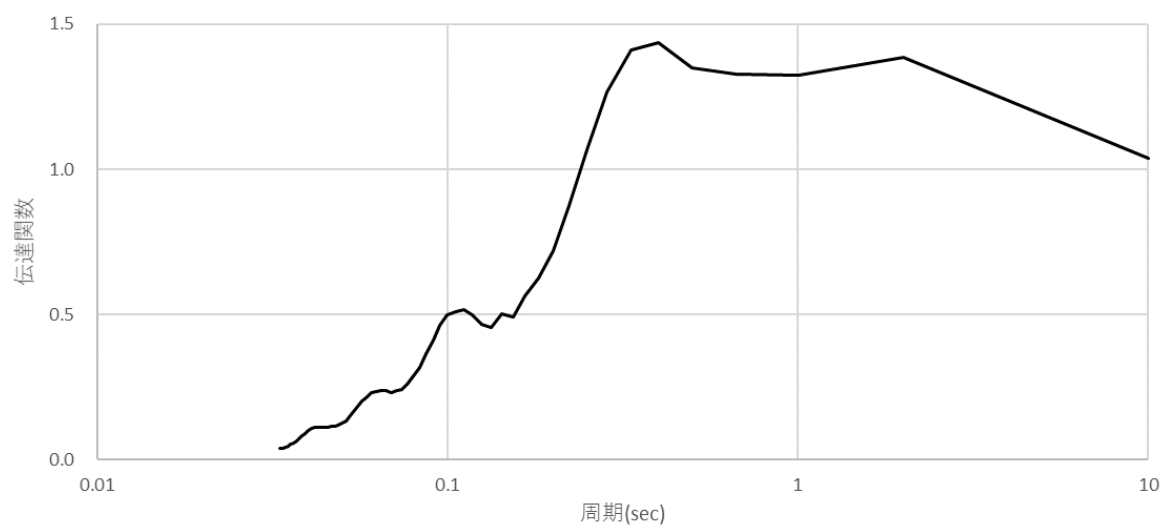
基準地震動 S_s に対する杭の拘束効果を考慮した有効入力動を既工認手法による自由地盤地震動と比較を行った。比較は代表として基準地震動 $S_s - D1H$ に対して行った。

第5-1図に一次元波動論により算定した自由地盤地震動 X_s の加速度応答スペクトルを示す。三次元薄層要素法により算定した自由地盤の伝達関数 T_s 、杭拘束考慮の伝達関数 T_F を第5-2図、第5-3図にそれぞれ示す。また、 T_s に対する T_F の比を第5-4図に示す。最終的に算定された、NS方向及びEW方向の有効入力動の加速度応答スペクトルを自由地盤地震動の加速度応答スペクトルと比較して第5-5図に示す。

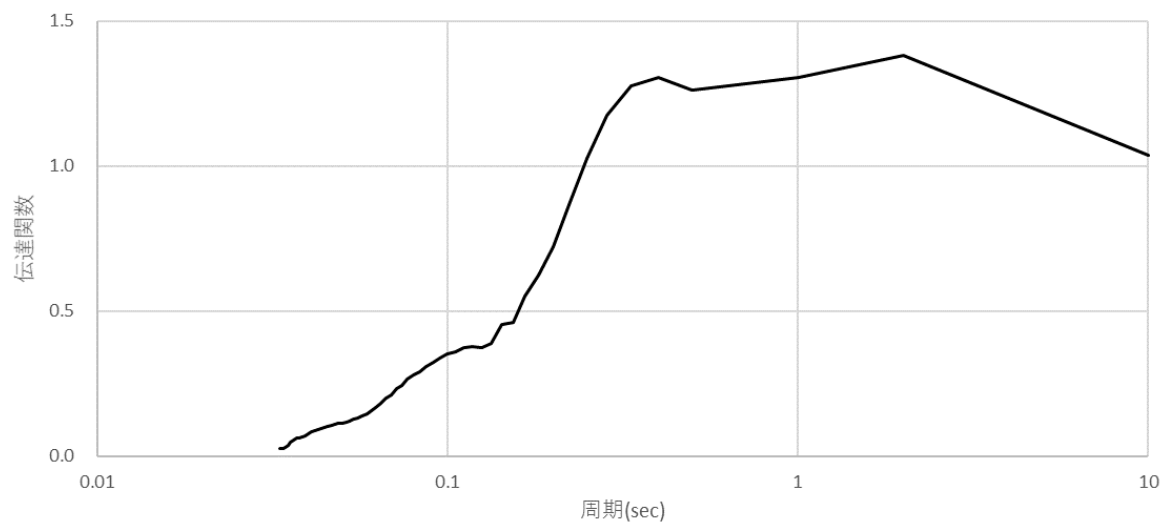
杭の拘束効果を考慮した有効入力動は自由地盤地震動よりやや小さいことを確認した。



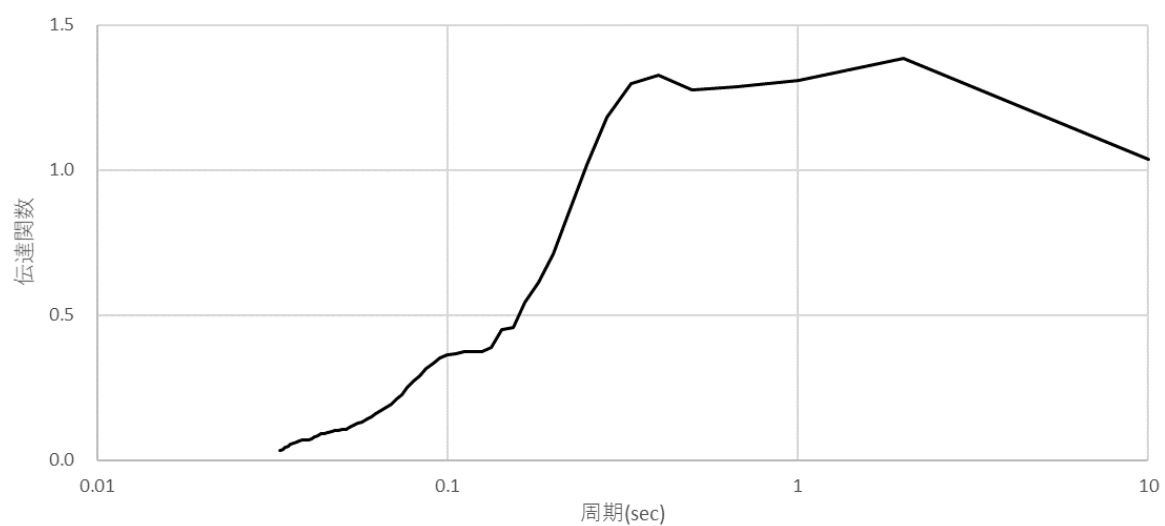
第5－1図 自由地盤地震動（ X_s ）の加速度応答スペクトル
 （ $S_s - D 1 H$, $h = 5\%$ ）



第5－2図 自由地盤伝達関数（ T_s ）

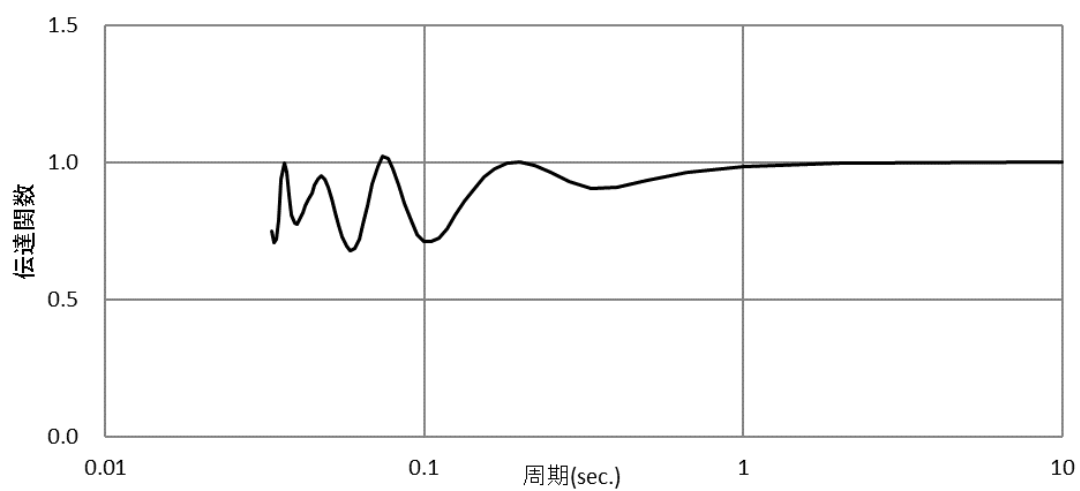


(a) N S 方向

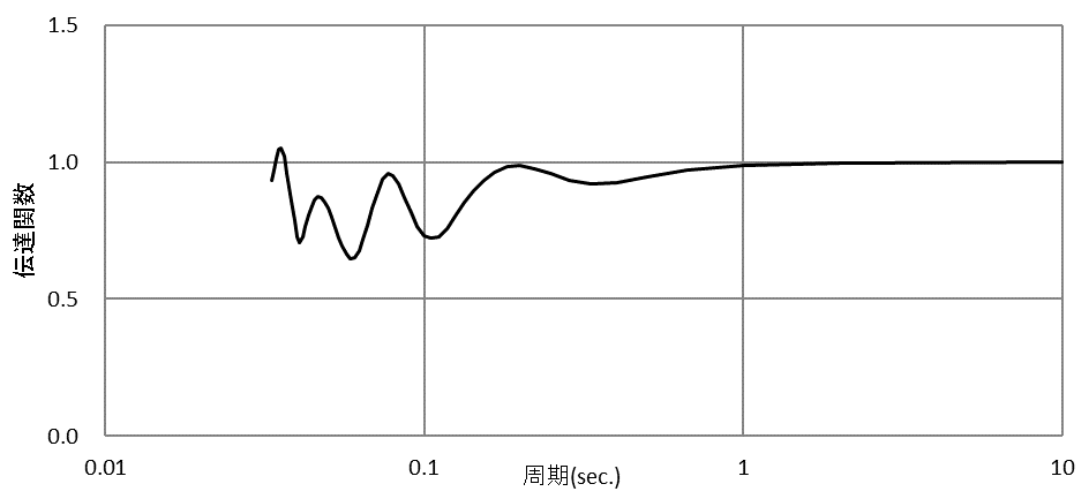


(b) E W 方向

第5-3図 杭拘束考慮の伝達関数 (T_F)

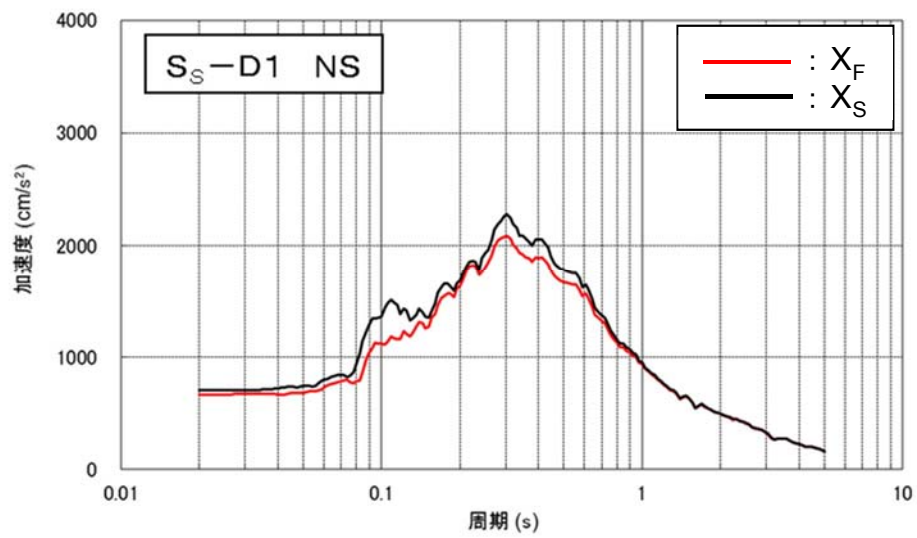


(a) N S 方向

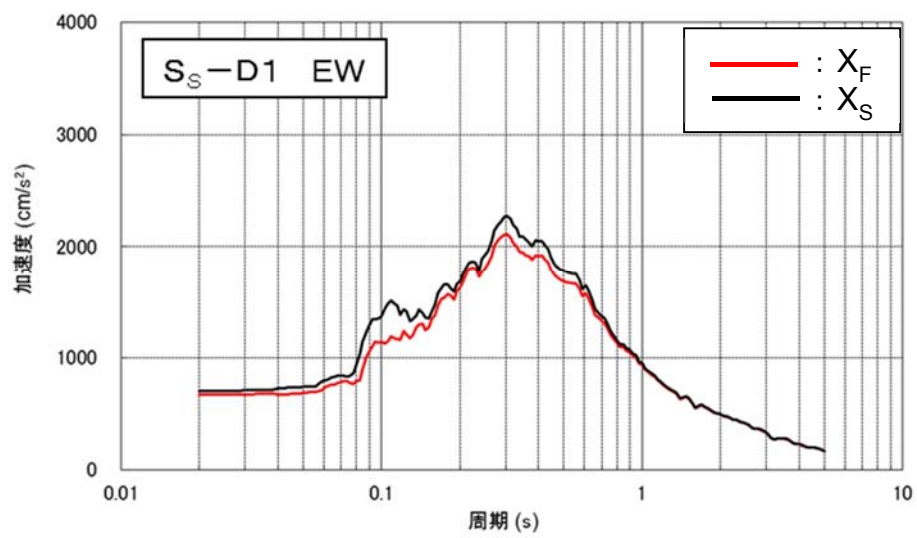


(b) E W 方向

第5-4図 T_S に対する T_F の比



(a) N S 方向



(b) E W 方向

第 5-5 図 加速度応答スペクトルの比較 ($h = 5\%$)

【補足資料 4】規格基準等での有効入力動に関する記載

1. J E A G 4616-2003 乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針（日本電気協会，2003）

b) FEM モデル

FEM モデルは，一般に地盤及び杭基礎を二次元にモデル化し，杭基礎全体モデルとして応答解析を行う。FEM モデルでは，地盤を平面ひずみ要素，杭を梁要素，建屋を質点系あるいは平面ひずみ要素にモデル化する。また，地盤を軸対称要素，群杭をリング杭要素にモデル化した軸対称 FEM モデル^(7.3.2-8)による応答解析も可能である。地盤モデルの側面と底面の境界には，波動エネルギーの逸散を考慮するため，エネルギー伝達境界あるいは粘性境界などを設けて地盤の半無限性を考慮する。FEM モデルでは，群杭と地盤を直接モデル化することが可能であり，群杭効果や埋込み効果を考慮できる。また，液状化対策などの目的で実施する地盤改良の効果を直接取り込むことができる。

杭体や地盤の非線形性は，それぞれの要素に非線形特性を組み込んだモデルによる時刻歴応答解析により考慮する。

なお，二次元 FEM モデルや軸対称 FEM モデルによる解析では，三次元的に配置されている群杭を適切に二次元又は軸対称にモデル化する必要がある。

c) SR モデル

SR モデルでは，建屋を質点系にモデル化し，基礎底面位置に群杭と地盤との動的相互作用を考慮して評価した群杭ばね（水平ばねと回転ばね）を取り付けてモデル化する。基礎底面の群杭ばねは，地盤の成層性と半無限性を考慮した三次元薄層法による加振解などを用いて，群杭効果を考慮して評価することができる。また，杭本数が多本数となる場合には，2本杭の柔性を重ね合わせる方法^{(7.3.2-9), (7.3.2-10)}や群杭係数を用いる方法などの近似解法^{(7.3.2-11), (7.3.2-12), (7.3.2-13)}により求めることができる。貯蔵建屋に埋込みが有る場合の側面地盤ばねは，質点系モデルと同様に Novak の方法などにより評価する。群杭ばねは，基礎スラブを剛体として評価した場合，水平ばね，回転ばね，水平・回転連成ばねの3成分が算定されるが，水平・回転連成ばねの影響は小さいため，通常考慮しなくてもよい。

群杭ばねは，複素数として振動数に依存した形で求められるが，時刻歴応答解析に用いる場合は「原子力発電所耐震設計技術指針 追補版（JEAG 4601）」（日本電気協会）による近似法と同様に，地盤ばねの剛性に相当する実数部は振動数 $\omega=0$ における値，すなわち，振動数に依存しない一定値として取扱うこととする。減衰に相当する虚数部は，建屋連成系の1次振動数 ω_1 における減衰定数 h_1 を通る ω の1次式とする。

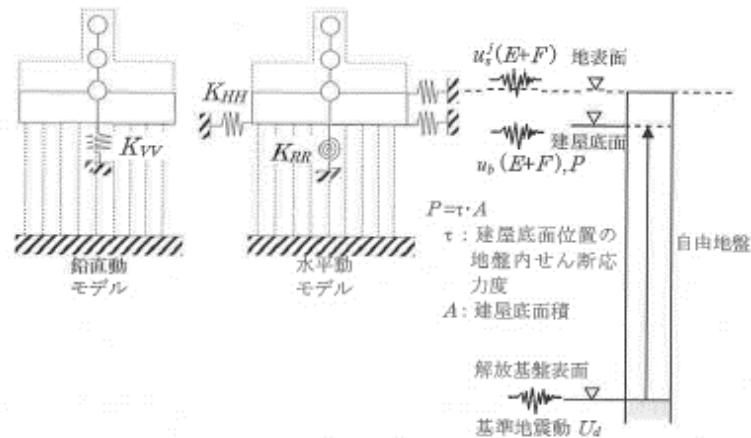
SR モデルへの入力動は，原則として，第5章「表層地盤の応答評価」に述べた自由地盤の地震応答解析結果に基づき，基礎底面深さにおける応答波形とする。ただし，群杭による拘束効果や地盤改良の影響などにより建屋への入力動が自由地盤の応答と差を生じる場合には，必要に応じて別途有効入力動を評価することとする。

なお，SR モデルによって地震応答解析を行う場合には，杭体の応力と変形は

2. J E A C 4616-2009 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程（日本電気協会，2010）

る。このとき、補正水平力 P は建屋底面位置における地盤のせん断応力度と建屋底面積との積として求める。

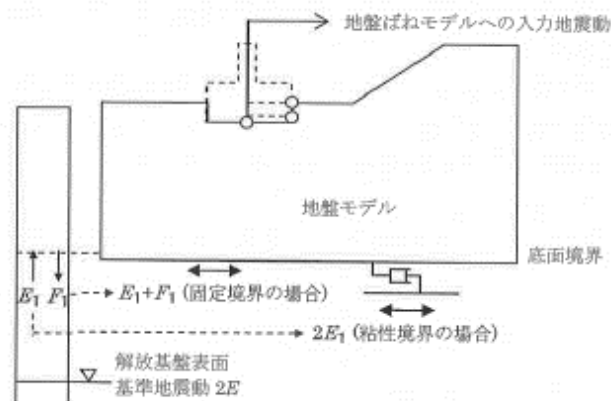
杭応答は、応答変位法により評価する。杭に作用する変動軸力は地震応答解析から得られる建屋の最大応答転倒モーメントを適切な方法により杭位置に配分して求める。杭の最大・最小軸力は、変動軸力に長期荷重による軸力及び鉛直方向の地震応答解析による軸力を組み合わせて評価する。



附図2.6-5 地盤ばねモデルへの入力地震動（一次元波動論による場合）

b) 離散系モデルによる場合

FEMモデルに代表される離散系モデルにより地盤ばねモデルへの入力地震動を評価する場合、附図2.6-6に示すように地盤のみの離散化モデルの地震応答解析を行い入力地震動を評価する。地盤ばねモデルへの入力地震動の算定においては水平動、鉛直動の二方向同時入力を原則とする。



附図2.6-6 地盤ばねモデルへの入力地震動（離散系モデルによる場合）

3. 入門・建物と地盤との動的相互作用（日本建築学会，1996）

3.3.3 基礎入力動

基礎入力動は基礎の剛性が地盤震動を拘束する効果を考慮した建物-基礎系への入力地震動であり，解析的には図 3.13 に示すごとく入力地震動を受けたときの無質量・剛体基礎の応答として求めることができる．鉛直入射 S 波 $E_0 \exp(i\omega t)$ に対する R1 基礎の基礎入力動を図 3.14 に示す．縦軸は基礎入力動の水平成分 Δ^* および回転成分 Φ^* に基礎の半幅 b を掛けた基礎端での上下変位 $\Phi^* b$ を地表面の応答振幅 U_S で基準化した値である．R1 基礎は地中梁程度の埋め込みを有する直接基礎であるが，埋め込みのない地表面基礎では水平の基礎入力動は振幅比 Δ^*/U_S が 1 で回転成分 Φ^* はゼロとなる．すなわち，基礎入力動は地表面の応答そのものになる．基礎が若干埋め込まれたことにより，上記の地表面基礎での基礎入力動の特性とは異なり，特に回転成分は振動数が高くなるにつれて大きくなる．水平成分の基礎入力動の振幅比は均質地盤 G1 においては振動数とともに減少するが，成層地盤 G2 と G3 においては地盤の固有振動数の影響を受けて波打ち，固有振動数付近では谷になる．これは地盤の固有振動数で共振する地盤の応答を基礎が拘束していることに起因する．

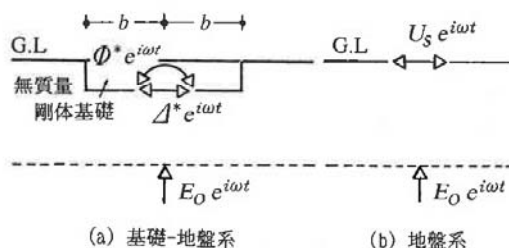


図 3.13 基礎入力動

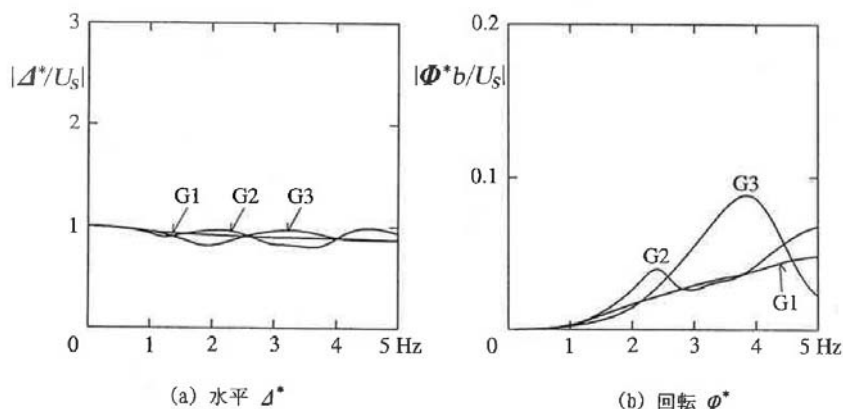


図 3.14 基礎入力動：R1 基礎

6.3.4 プログラムの流れ

図 6.3.6 に、直接境界要素法による動的相互作用解析プログラムの流れを示し、前 3 項の数式および留意点の参照箇所を位置付けた。まず、問題の定義において地盤物性、基礎形状、ならびに擾乱の種類が定義される。次に、境界要素法の要素積分とマトリックス解の評価が行われ、目的とする動的相互作用基本物理量が求められる。

境界要素積分の評価においては、対象振動数範囲に相応しい要素分割、使用するグリーン関数の選択と評価、ならびに境界要素特異積分および非特異積分の手法の選択が行われる。評価された影響関数（境界積分結果）にマトリックス演算を行う際には、外部問題において発生する内部固有値の取り扱いに注意が必要となる。

6.4 薄層要素法

薄層要素法または薄層法とは、弾性地盤における正弦的な波動伝播を求めるのに際し、地盤を水平な薄層に分割して水平方向には均質な連続体とするが、深さ方向には分割面で離散的に扱う方法に対して名付けられたものである¹⁷⁷⁾。当初、この方法は有限要素法の普及とも関係して、地盤を規則領域と不規則領域とに分けたとき、規則領域の無限の広がりには代わるエネルギー伝達境界の設定に応用されてきた^{178)~181) など}。その後、同じ薄層モデルを用いて、任意節面上に正弦的な点加振を与えたときの波動伝播の解が解析的に導きだされた^{35), 182), 183)}。その結果、これを成層地盤のグリーン関数として用いることにより、サブストラクチャー法に基づいた三次元の動的相互作用解析が著しく簡易化されることになった。

一般に、弾性地盤における波動伝播の解は波数に関する無限積分で表され、その数値計算は極めて煩雑となる。しかしながら、薄層法ではこの無限積分が解析的に求められ、解がいわゆる Closed form で与えられる。したがって、計算効率の面で極めて有利となるため、**地盤内部に多数の加振源を有する埋込み基礎や群杭の動的相互作用解析に広く適用され、最近では理論地震動の計算にも応用されている^{184)~190) など}**。本節では、この薄層法について、その基礎方程式と導出される解の最終表現を示し、解の精度を検討して薄層モデル設定の際の注意点を述べる。また、薄層法の適用例として、ここでは群杭の動的相互作用問題をとりあげ、若干の数値解析例を紹介する。

6.4.1 薄層モデルにおける加振解

まず、図 6.4.1 のような半無限成層地盤に対し、薄層モデルを以下のように設定する。

- 1) 地盤の深さ方向にモデル化領域を定め、その成層状況および解析精度を考慮して多数の水平な薄層に分割する。ここに、各薄層は均質とし、層内では深さ方向の変位分布を直線に仮定する。
- 2) 各薄層節面に対し、その節面番号を地表面より順次 $1, 2, \dots, N$ と付す。この番号は節面下の層要素についても共用する。
- 3) 地盤の半無限性を考慮するため、最下層（第 N 層）をダッシュポットまたは半無限要素でモデル化する〔図 6.4.2 参照〕。

(2) 薄層領域の精度

10 層モデルを用いて、最下層がダッシュポットの場合と半無限境界の場合について薄層領域による解の精度を検討する。ただし、前述の薄層分割による精度を考え、ここでは $r/H \geq 3$ および $n \geq 5$ をほぼ満足するようにモデルを設定してある。 $r/L=1/2$, 1 の場合について、 $\omega L/V_s$ を変数として求めた変位関数の比較を図 6.4.7 に示す。ここでも同様に、せん断波の 1 波長： λ とモデル深さ： L の関係の考えると、

$$m = \frac{\lambda}{L} \rightarrow \frac{\omega L}{V_s} = \frac{2\pi}{m} \quad (6.4.21)$$

一般の離散化手法では、対象振動数に対してモデル深さを $m=1$ 程度に選ぶ。そこで、ここでも式 (6.4.21) から $0 < \omega L/V_s \leq 6.0$ の範囲を対象とし、図の横軸には上記の $m=\lambda/L$ も示した。

まず、 r/L に着目してモデルの設定深さを考えると、図からはダッシュポットモデルの場合に $r/L \leq 1/2$ 、半無限境界モデルでは $r/L \leq 1$ となるように薄層領域を設けるのが望ましいといえる。さらにこのとき、ダッシュポットモデルおよび半無限境界モデルとも、水平加振に対しては $m \leq 4$ ($\omega L/V_s \geq 1.5$)、上下加振に対しては少なくとも $m \leq 2$ ($\omega L/V_s \geq 3.0$) となるように設定することも必要である。結局、ここでも加振点—受振点間距離： r とせん断波の 1 波長： λ の両者に対するバランスが問題となる。

(3) 薄層モデルの設定方法

以上の精度検討をまとめると、薄層モデルを設定する際の指標として、薄層分割については表 6.4.1 が、薄層領域については表 6.4.2 が提唱できよう。もちろん、現実の地盤は層序が複雑なこともあって、このように単純には設定できない場合もある。しかしながら、同表は薄層モデル設定の際のめやすになろう。

表 6.4.1 薄層分割（分割層厚）の設定指標

r/H		$\lambda/H (\omega H/V_s)$	
少なくとも	できれば	少なくとも	できれば
>3	≥ 4	$>5 (\leq 1.25)$	$\geq 6 (\leq 1.0)$

表 6.4.2 薄層領域（モデル深さ）の設定指標

r/L		$\lambda/L (\omega L/V_s)$	
ダッシュポット	半無限境界	水平加振	上下加振
$\leq 1/2$	≤ 1	$\leq 4 (\geq 1.5)$	$\leq 2 (\geq 3.0)$

6.4.4 薄層モデルによる群杭の動的相互作用解析

計算効率や成層地盤への適用性などにより、薄層モデルは埋込み基礎や杭基礎の三次元動的相互作用解析に広く用いられている。ここでは、最近注目されている群杭の動的相互作用解析について数値計算例を紹介する。

いま、図 6.4.8 (a) のような構造物—杭—地盤系を考え、サブストラクチャー法を適用して同

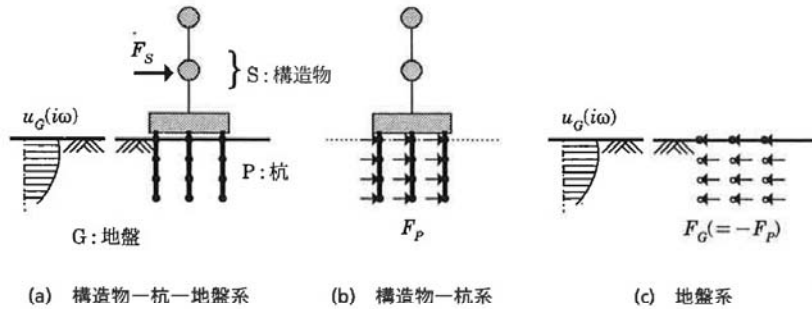


図 6.4.8 サブストラクチャー法による構造物—杭系と地盤系の分離

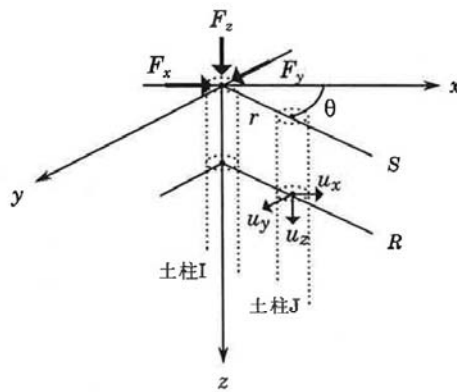


図 6.4.9 地盤系における加振力と変位の関係

図 (b), (c) のように構造物—杭系と地盤系に分離する。分離にあたっては、容積法を採用するのがこの場合には便利である。まず、同図 (c) の地盤系に着目して薄層モデルを設定し、杭と地盤とが連続する節点を薄層節面上に設ける。このように空間的に分布された節点群に対し、先の薄層解を適用して変位と加振力の関係式を求める。このとき、図 6.4.9 を参照して、杭と置き換わるすべての土柱に対し $I \neq J$ の場合には式 (6.4.8) を、 $I = J$ の場合には式 (6.4.11) または式 (6.4.13) を適用すると、変位と加振力の関係は次式で表す。

$$\begin{Bmatrix} \{u_x\} \\ \{u_y\} \\ \{u_z\} \end{Bmatrix} = [A(i\omega)] \begin{Bmatrix} \{F_x\} \\ \{F_y\} \\ \{F_z\} \end{Bmatrix} \quad (6.4.22)$$

または、これを簡単に $\{u\} = [A]\{F\}$ と表す。この関係式が求められていれば、以後はサブストラクチャー法に従い定式化すればよい。すなわち、図 6.4.8 を参照して相互作用力 F_P , F_G の釣合い条件と変位の連続条件を考慮すると、最終的な運動方程式は以下のように導かれる。

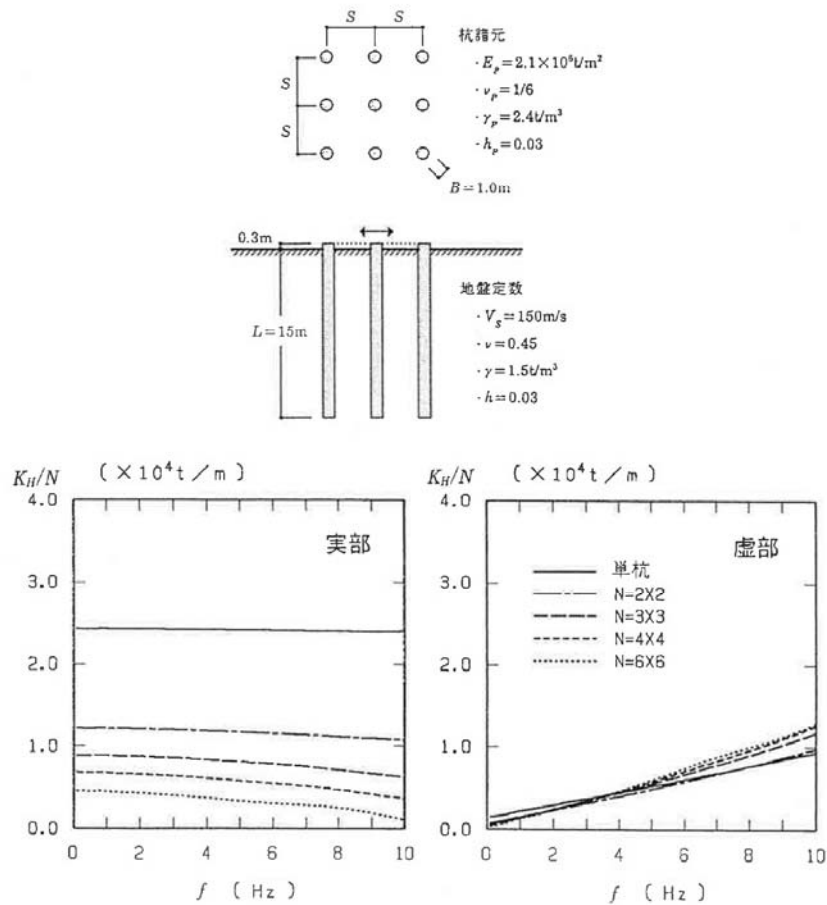
$$\left(\begin{bmatrix} [K_{SS}] & [K_{SP}] \\ [K_{PS}] & [K_{PP}] - [K_{PP}^0] + [A]^{-1} \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} [M_S] \\ [M_P] - [M_P^0] \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \{u_S\} \\ \{u_P\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_S\} \\ \{F^*\} \end{Bmatrix} \quad (6.4.23)$$

ここに,

$$\{F^*\} = [A]^{-1} \{u_0\}$$

ただし, $[K_{SS}]$, $[K_{PP}]$, ... および $[M_S]$, $[M_P]$, ... は, それぞれ構造物: S と杭: P の離散化表示による剛性マトリックスと質量マトリックスを意味する. とくに, $[K_{PP}^0]$ と $[M_P^0]$ は杭と同体積の土柱の剛性マトリックスと質量マトリックスを表す. また, $\{F_S\}$ は構造物に外部から作用する加振力ベクトルで, $\{F^*\}$ は地震時に杭に作用するドライビングフォースベクトルである. 構造物—杭—地盤系の解析では, 式 (6.4.23) の運動方程式が基本となる. 例えば, 群杭の動特性を論じるうえで重要な杭基礎のインピーダンスは, 式 (6.4.23) で構造物を無質量剛体とし, その上で加振問題 ($\{F^*\} = \{0\}$) を解けばよい. また, 同様に杭基礎の入力動は, 同式で入射問題 ($\{F_S\} = \{0\}$) を解けばよい.

数値例¹⁵⁾として, 杭径: B に対する杭中心間隔: S の比が $S/B=2.5$ の場合について, 杭本数: N をパラメーターに求めた群杭の水平インピーダンスを図 6.4.10 に示す. 同図には参考のため単



4. 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計（日本建築学会，2006）

1.2.3 慣性の相互作用と入力相互作用

相互作用を理解するには、図1.2.4に示すように、建物と地盤とを分離して考えると分かりやすい。この考え方は、後に、動的サブストラクチャー法として解説されているが、ここでは導入部としてその概要を示しておく。

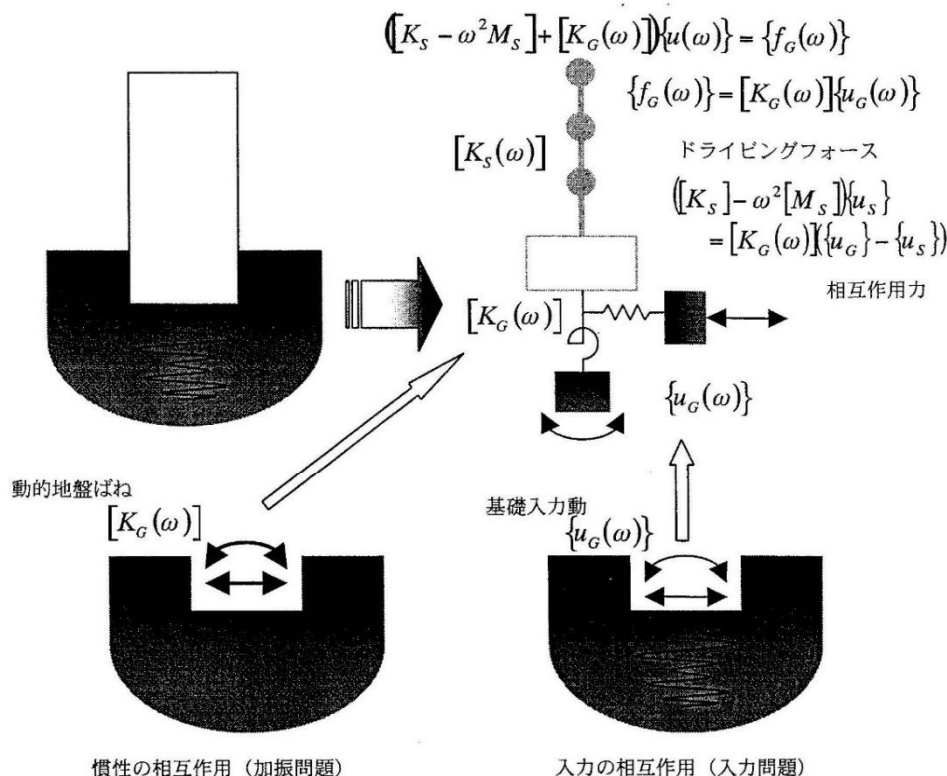


図 1.2.4 建物と地盤とを分離した解析

まず、建物が存在しない状態（建物部を切り欠いた地盤）を想定する。このときの建物と地盤との境界部での力－変位関係を、「動的地盤ばね」と呼んでいる（相互作用ばね、インピーダンスなどとも呼ぶ）。また、地震動が入射したときの建物－地盤境界部での動きを、「基礎入力動」と呼んでいる。基礎入力動は、地盤ばねを介して建物に作用する入力地震動に相当する。動的地盤ばねと基礎入力動を求める問題を、それぞれ、「加振問題」、「入力問題」と呼び、それぞれの相互作用効果を「慣性の相互作用」、「入力の相互作用」と呼ぶ。上に示した地盤ばねや地下逸散減衰は慣性の相互作用効果の一つ、入力損失は入力の相互作用効果の一つである。

動的地盤ばねと基礎入力動の積は「ドライビングフォース」と呼ばれる。ドライビングフォースは、地震動が入射したことによって生じた建物－地盤境界部の変位を、元に戻すために必要となる力である。この力が、作用・反作用の関係で上部構造に作用することになる。

したがって、上部構造物の運動方程式には、剛性行列に動的地盤ばねが加わり、外力ベクトルにドライビングフォースが与えられることになる。動的地盤ばねは、建物の存在の有無による変位差（基礎の応答変位と基礎入力動との相対変位）に比例した抵抗力を生み出す。これが建物と地盤との間でやりとりされる「相互作用力」である。

6.4 基礎入力動の評価

6.4.1 杭基礎の基礎入力動の特徴

杭基礎建物の入力動は、直接基礎のように表層地盤の地表面応答波がそのまま上部構造に入力されるのではなく、地盤内に存在する群杭が表層地盤の挙動を拘束するため、自由地盤の応答波とは異なる。図 6.4.1 は薄層法を用いて求めた杭基礎の基礎入力動を、自由地表面の応答に対する比（応答倍率）として示している。地盤モデルは 3 章の図 3.3.3 に示した地盤-2 の地盤モデル（支持層 GL-25m）であり、液状化層がない場合と考慮した場合である。杭径は 1200mm と 1500mm、杭間距離は 6m とし、杭本数は $2 \times 2=4$ 本と $6 \times 6=36$ 本としている。

地盤の 1 次固有振動数に相当する 1Hz 以下の低振動数では、基礎入力動の振幅は自由地表面を下回り、いわゆる「入力損失効果」が見られる。その低減効果は、群杭が表層地盤の挙動を拘束する効果に応じて杭本数が多く、杭径が大きくなるほど大きくなる。また液状化層を考慮した地盤では入力損失効果が顕著に見られるが、杭本数が多い杭基礎では 2Hz 付近の高振動数域で自由地盤に比べ大きくなる場合がある。これは、液状化層をもつ自由地盤では地盤の非線形化による減衰効果により増幅が抑えられるのに対し、杭基礎では杭の支持層地盤から直接杭体を伝わり上部構造に入力する地震動成分があるためである。このような杭基礎への基礎入力動の性状は、群杭効果と同様に杭径、杭長、杭間距離、地盤剛性によって異なる。杭基礎と上部構造をモデル化した一体型モデルを用いた応答解析ではこのような基礎入力動の影響は自動的に考慮されるが、分離型モデルでは別途基礎入力動を評価して SR モデルに入力する必要がある。

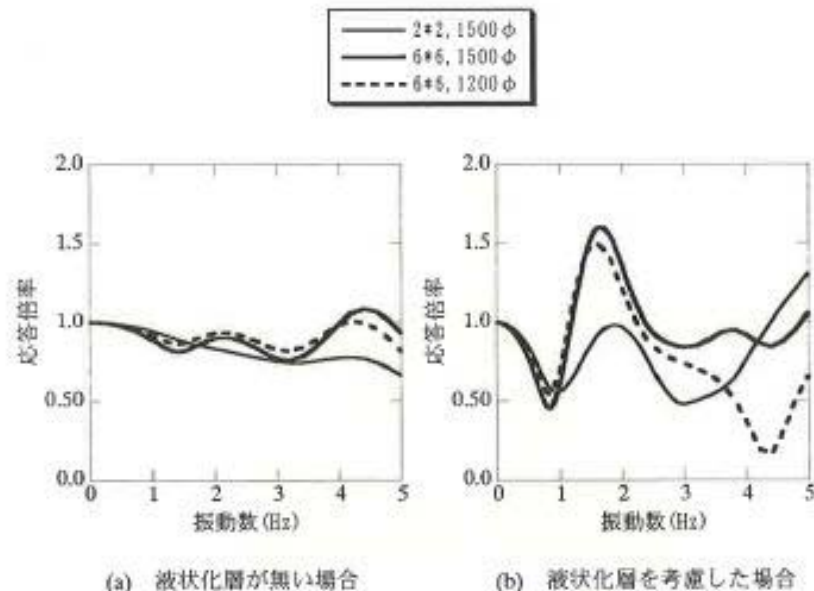


図 6.4.1 自由地表面の応答に対する杭基礎の基礎入力動の比

東海第二発電所

液状化影響の検討方針について

目次

1. 液状化影響評価の検討方針の概要	・・・ 3
2. 敷地の地質について	・・・ 6
3. 液状化検討対象層の抽出	・・・ 20
3.1 液状化検討対象層の抽出	
3.2 Ac 層の液状化強度試験結果	
4. 液状化強度試験箇所とその代表性	・・・ 35
4.1 液状化強度試験箇所の選定	
4.2 液状化強度試験選定箇所の代表性	
4.3 室内液状化強度試験結果の R_{L20} と道路橋示方書式による R_L との比較検討	
4.4 基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の有効性	
5. 施設毎の液状化影響検討の組合せ	・・・ 63
6. 有効応力解析の検討方針	・・・ 69
7. 液状化強度特性（豊浦標準砂）の仮定	・・・ 82
8. 設置許可基準規則第三条第 1 項，第 2 項に対する条文適合方針について	・・・ 86
9. 参考資料	
9.1 地下水位観測データについて	・・・ 88
9.2 土槽振動実験の再現シミュレーションについて	・・・ 94

1. 液状化影響評価の検討方針の概要

第 1.1.1 図に液状化影響評価のフローを示す。

東海第二発電所の液状化影響評価については道路橋示方書を基本とし、道路橋示方書では液状化検討対象外とされている G.L. - 20m 以深及び更新統についても液状化検討対象層として扱う。

原地盤の各液状化検討対象層の試験結果に基づき、液状化強度特性を設定し、有効応力解析により構造物への影響評価を実施する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は試験データのバラツキを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いて適切に設定する。

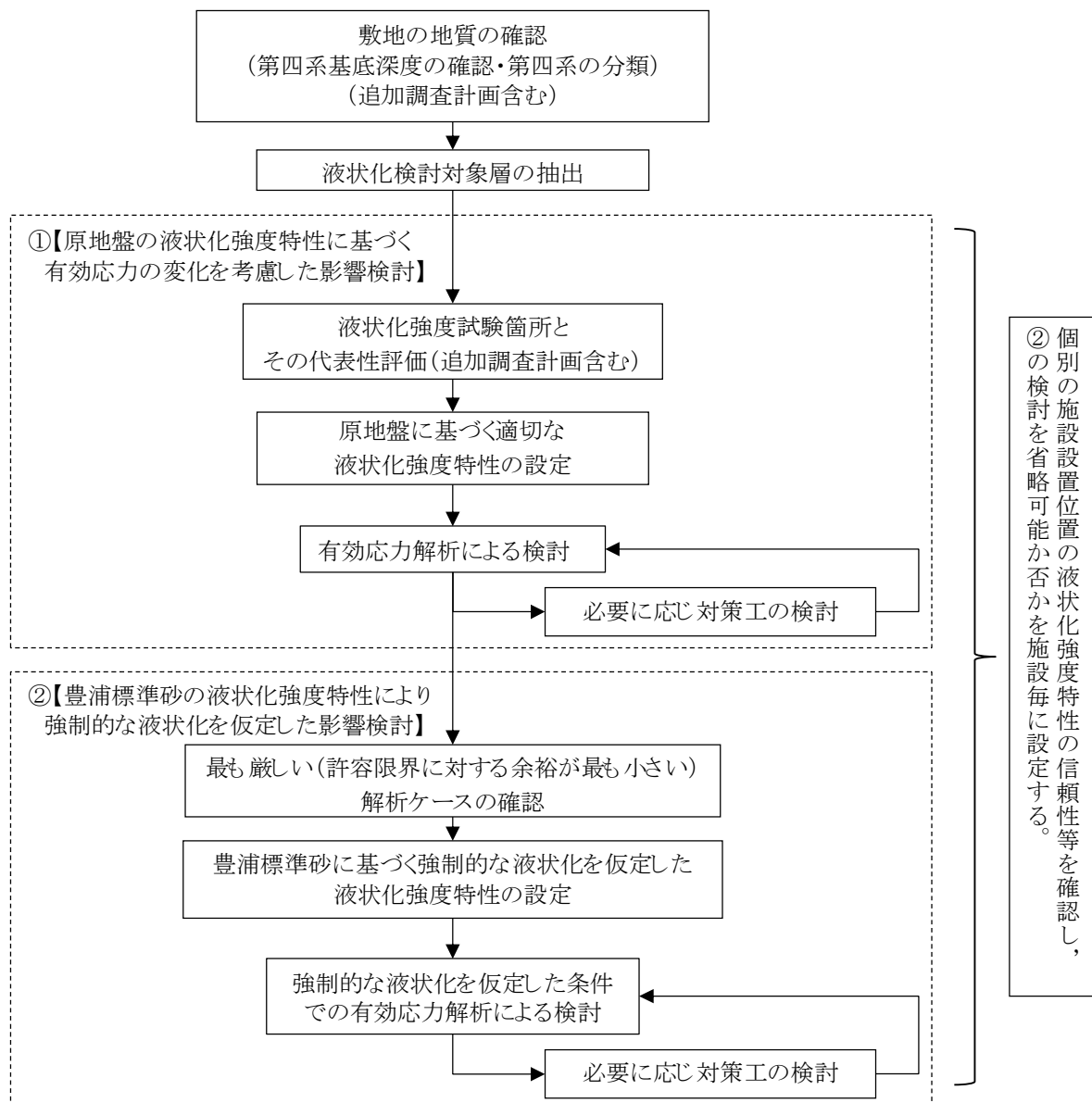
耐震重要施設等^{※1}の耐震設計において液状化影響の検討を行う場合は、原地盤に基づく液状化強度特性を用いて基準地震動 S_s に対する有効応力解析による検討(①)を行うことを基本とし、更に、当該検討において最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)解析ケースに対して、豊浦標準砂^{※2}の液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した有効応力解析による検討(②)を追加で行う。上記の検討の組合せは、個別の施設設置位置の液状化強度特性の信頼性等を確認し、施設毎に設定する。

第 1.1.2 図に原地盤に基づく液状化強度特性と豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の比較を示す。豊浦標準砂の液状化強度特性は原地盤に基づく液状化強度特性の全てを包含している。豊浦標準砂は、敷地に存在しないものであるが、極めて液状化しやすい液状化強度特性を有していることから、豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した有効応力解析は、強制的に液状化させることを仮定した影響

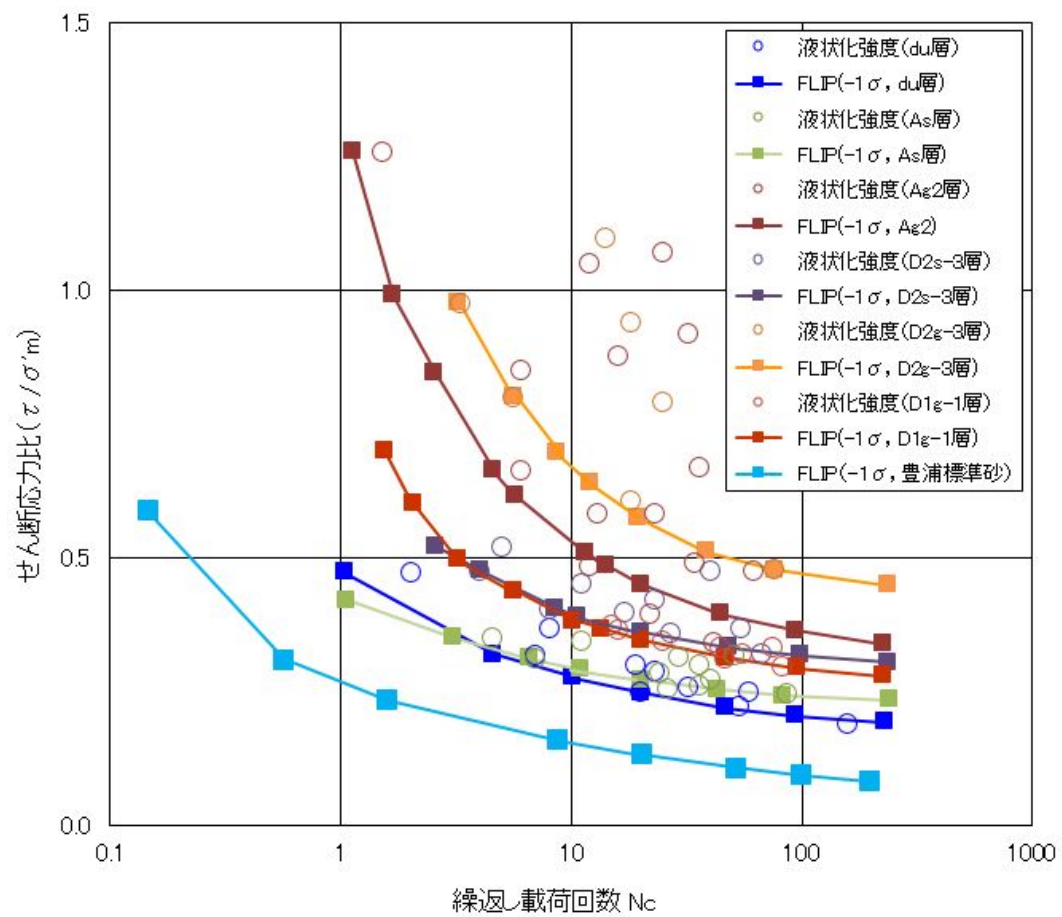
評価となる。

※1：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（特定重大事故等対処施設を除く）

※2：豊浦標準砂は，山口県豊浦で産出される天然の珪砂であり，敷地には存在しないものである。豊浦標準砂は，淡黄色の丸みのある粒から成り，粒度が揃い均質で非常に液状化しやすい特性を有していることから，液状化強度特性に関する研究等における実験などで多く用いられている。



第 1.1.1 図 液状化影響評価のフロー



第 1.1.2 図 原地盤に基づく液状化強度特性と豊浦標準砂を仮定した
液状化強度特性の比較

2. 敷地の地質について

敷地の地質層序を第 2.1.1 表に示す。敷地の地質は、下位から先白亜系の日立古生層(日立変成岩類)、白亜系の那珂湊層群、新第三系の離山層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層、第四系更新統の東茨城層群及び段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層からなる。

敷地の地質・地質構評価に係る地質調査のうち、ボーリング調査位置図を第 2.1.1 図に、敷地の地質平面図を第 2.1.2 図に示す。敷地に分布する地層のうち、最下位の日立古生層(日立変成岩類)は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。那珂湊層群は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。離山層は泥岩、凝灰岩からなる。久米層は砂質泥岩を主としている。東茨城層群と段丘堆積物は砂礫、砂及びシルトからなり、沖積層は粘土を主として砂及び礫混じり砂を挟む。各層は不整合関係で接している。砂丘砂層は均質な細～中粒砂からなり、敷地全体に広く分布する。

敷地の第四系の主な層相及び代表的なコア写真の拡大を第 2.1.2 表に示す。以降、敷地の第四系をこの層相に基づき区分する。

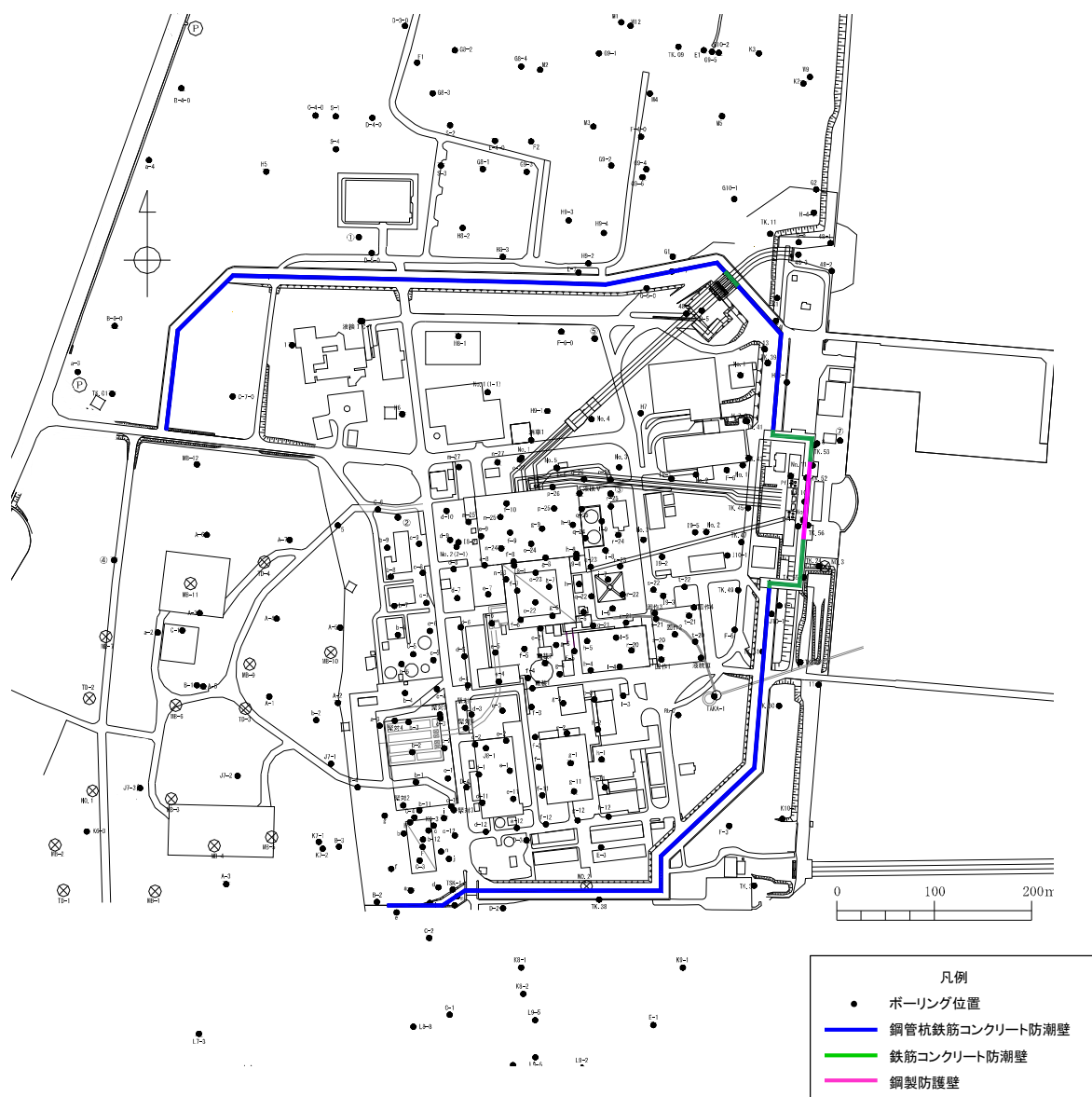
敷地の地質断面図を第 2.1.3 図に示す。敷地には、敷地全域にわたって新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層が分布し、その上位に第四系更新統の段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。

防潮堤設置位置の地質断面図を第 2.1.4 図～第 2.1.6 図に示す。地質断面図は、断面線から最も近いボーリング調査の結果を重視するとともに、周辺のボーリング調査で確認された地層の走向・傾斜や分布の連続性を加味して作成した。

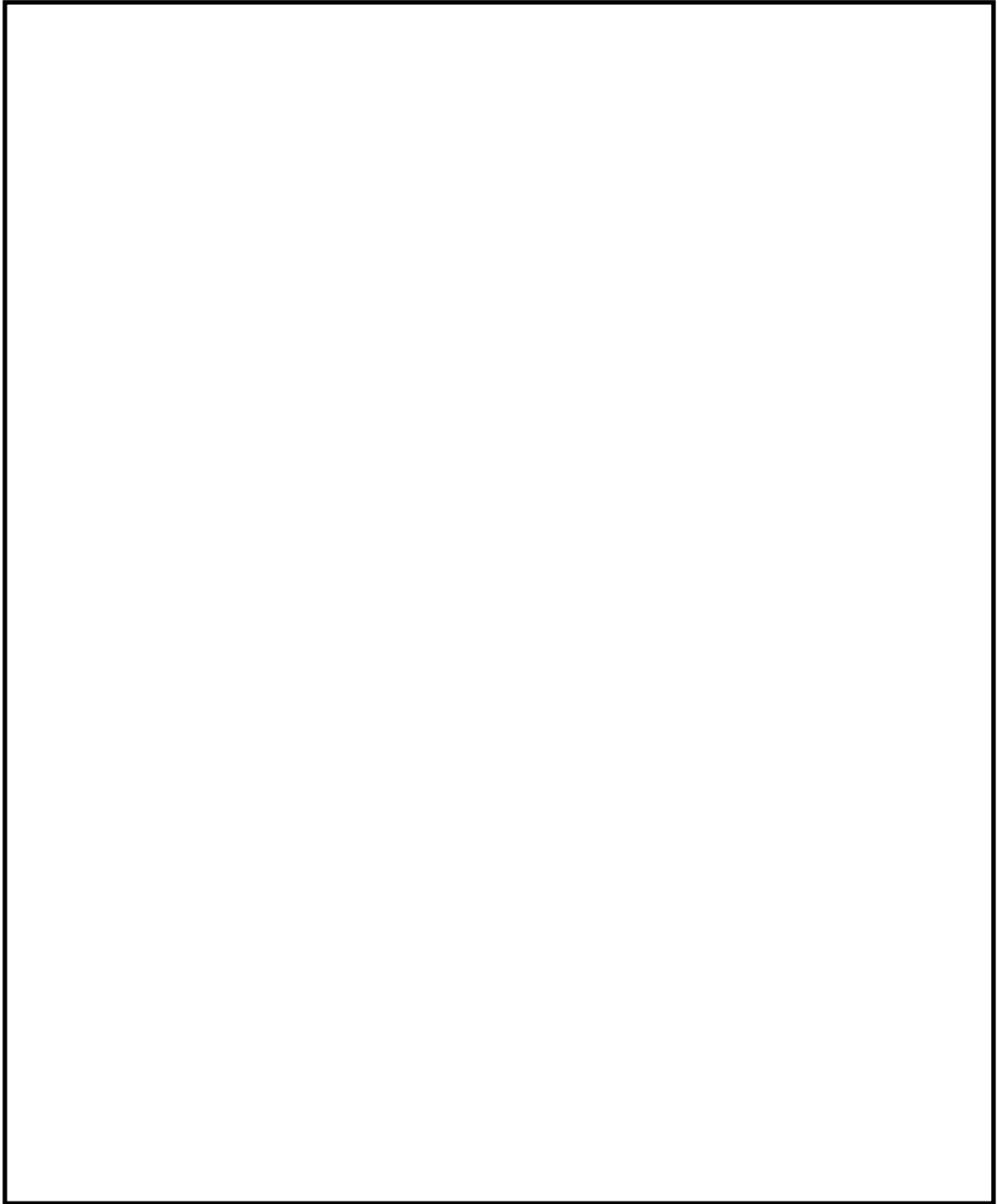
今後、追加ボーリング調査等を行い、第四系の地質構造、岩盤上面深度等について詳細に確認を行い、詳細設計にて用いられる地盤条件の精査をしていく。追加ボーリング調査計画を第 2.1.7～2.1.10 図に示す。

第 2.1.1 表 地質層序

年代層序区分			地層区分	地質記号	主な層相		備 考		
新 生 界	第四系	完新統	砂丘砂層	du	al	灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂	敷地全体に広く分布する。		
						砂礫	暗青灰色～灰褐色の粘土・砂 灰褐色～黄褐色の隣混じり砂	最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。	
						粘土			
						砂			
		更新統	沖積層	D2	Ag1	砂礫	敷地南部に分布する。 敷地周辺のI1段丘堆積物に対比される。 シルト層中の炭物質の年代： 40830±2670年BP～48330±年BPオーバー (14C年代測定法)		
					D2	D2c-3		シルト	
						D2s-3		砂	
						D2g-3		砂礫	
						D2c-2		シルト	
					D2g-2	砂礫			
	新第三系	段丘堆積物	D1	lm	ローム	敷地南西部に分布する。 敷地周辺のM2段丘堆積物に対比される。 本層上部に分布する風化火山灰層に含まれる テフラの年代： ・赤城鹿沼テフラ >45,000年BP ・赤城水沼1テフラ 55,000年BP～60,000BP			
				D1c-1	シルト				
				D1g-1	砂礫				
				東茨城層群	Hi		暗灰色～褐色の砂及びシルト 灰褐色～青灰色の砂礫	敷地西部のごく一部に分布する。	
					久米層		Km	暗オリーブ灰色の砂質泥岩	敷地全体に広く分布する。 原子炉建屋等の基礎岩盤である。
							離山層	Hn	泥岩・凝灰岩
白亜系	那珂湊層群	Nk	泥岩・砂岩	敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。					
	日立古生層 (日立変成岩類)	Hp	泥岩・砂岩・礫岩	1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。					











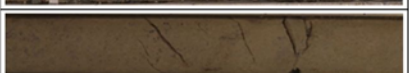




第 2.1.1 図 ボーリング調査位置図



第 2. 1. 2 図 敷地の地質平面図

第 2.1.2 表 第四系の主な層相及び代表的なコア写真の拡大

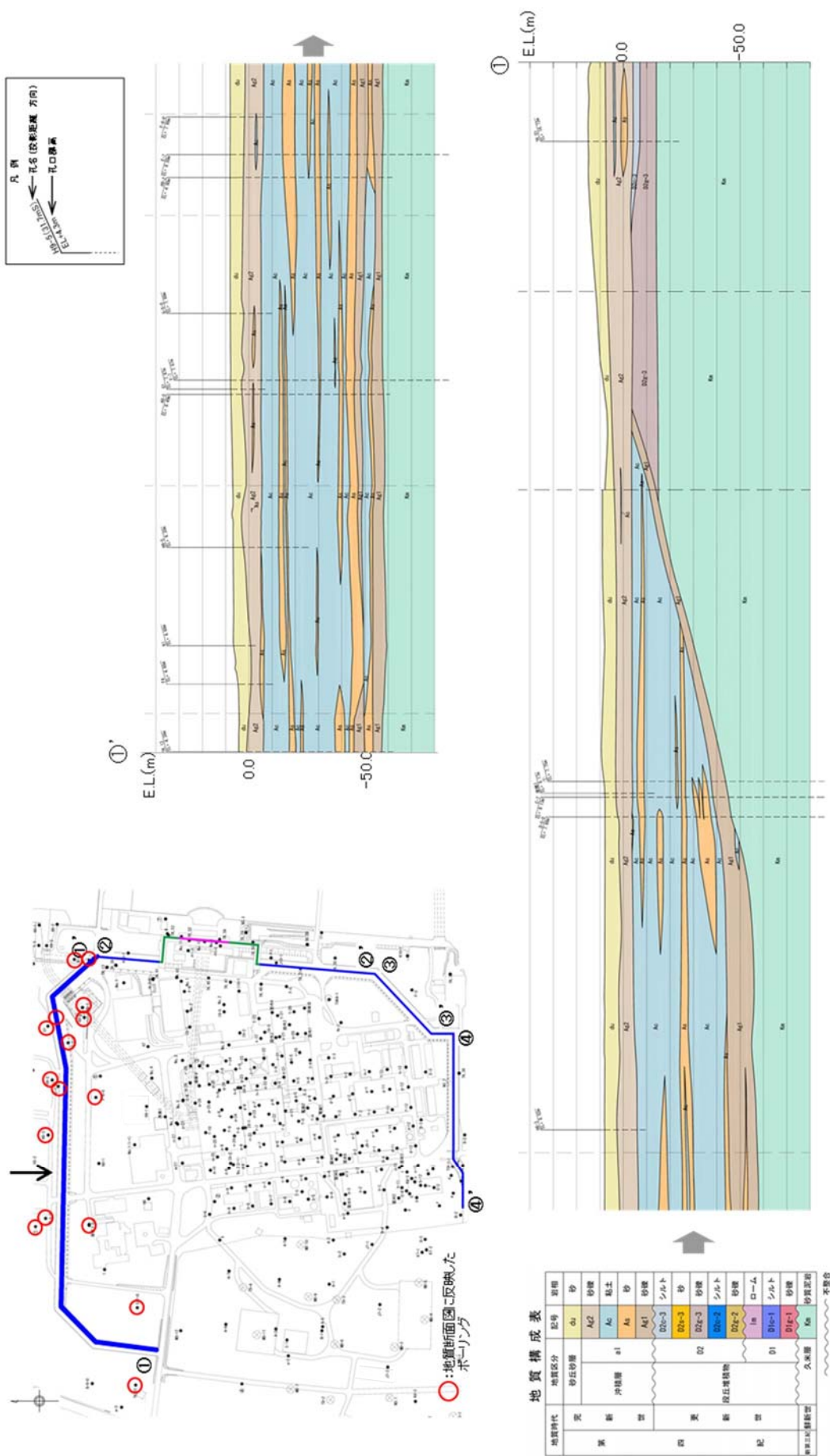
年代層序区分			地層区分	地質記号		主な層相	代表的なコア写真
新生界	第四系	完新統	砂丘砂層	du		灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂	
			沖積層	al	Ag2	砂礫	
					Ac	粘土	
					As	砂	
					Ag1	砂礫	
		更新統	段丘堆積物	D2	D2c-3	シルト	
					D2s-3	砂	
					D2g-3	砂礫	
					D2c-2	シルト	
					D2g-2	砂礫	
				D1	lm	ローム	
					D1c-1	シルト	
					D1g-1	砂礫	

~~~~~ :不整合





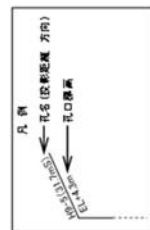




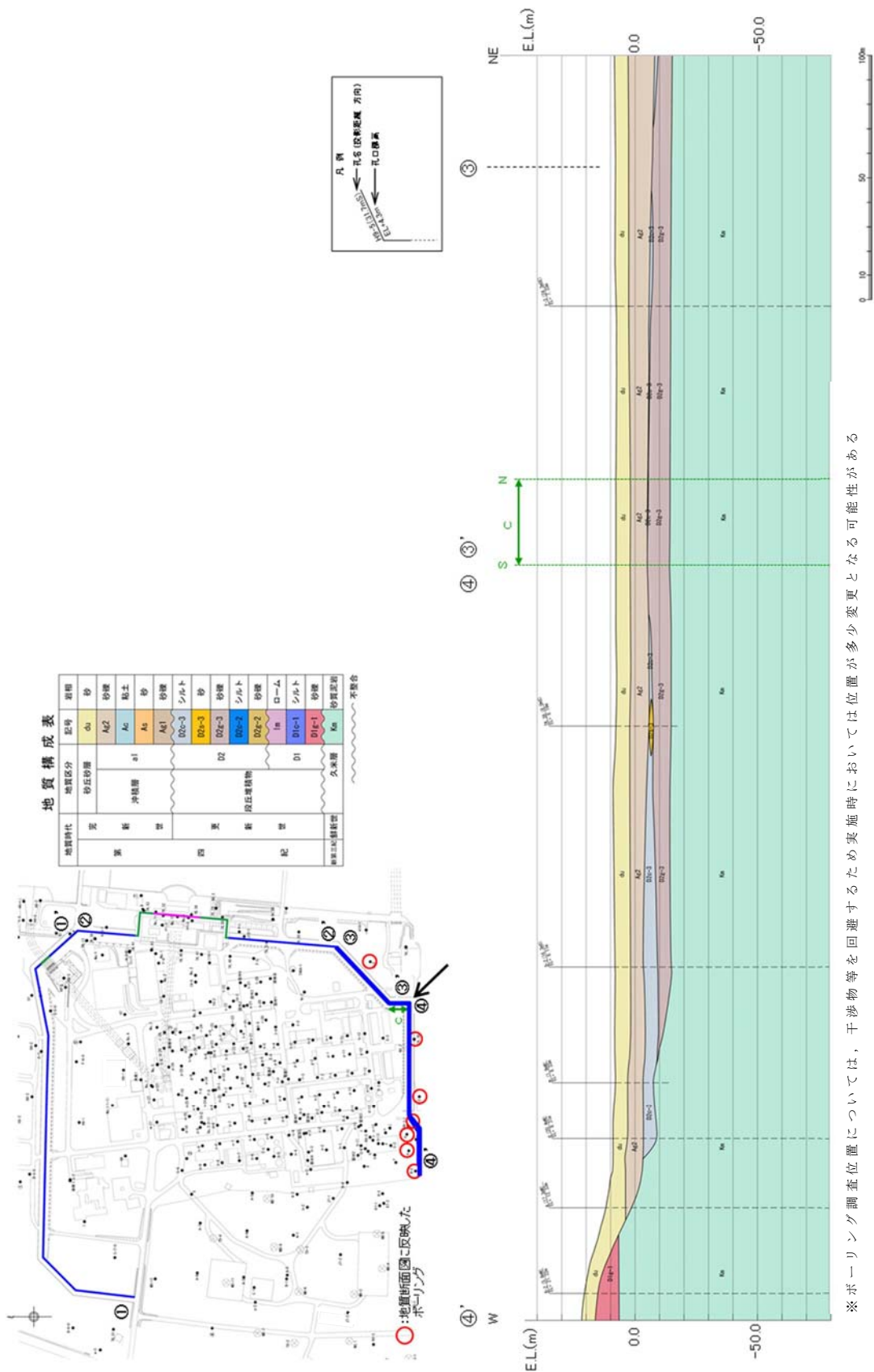




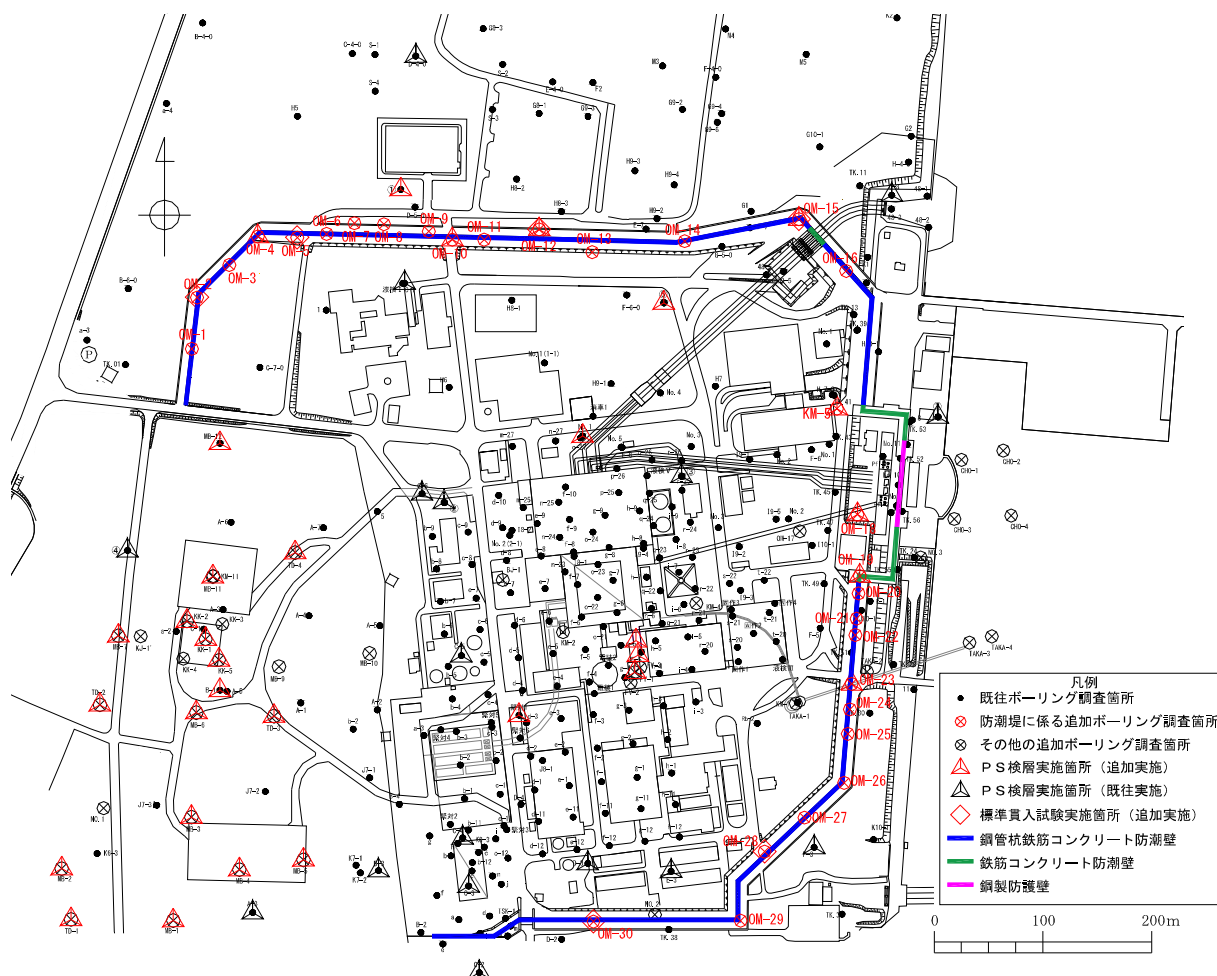
| 地質時代 | 地質区分 | 記号    | 新用    |
|------|------|-------|-------|
| 第三紀  | 更新世  | a1    | 砂     |
|      |      | a2    | 砂礫    |
|      |      | a3    | 粘土    |
|      | 第四紀  | A1    | 砂     |
|      |      | D0c-3 | シルト   |
|      |      | D0e-3 | 砂礫    |
| 第四紀  | 更新世  | D0e-2 | シルト   |
|      |      | D0e-2 | 砂礫    |
|      |      | la    | ローム   |
|      | 第四紀  | D1    | シルト   |
|      |      | D1e-1 | 砂礫    |
|      |      | D1e-2 | 砂礫    |
| 第四紀  | 更新世  | M     | 砂質正片岩 |











※ ボーリング調査位置については、干渉物等を回避するため実施時においては位置が多少変更となる可能性がある

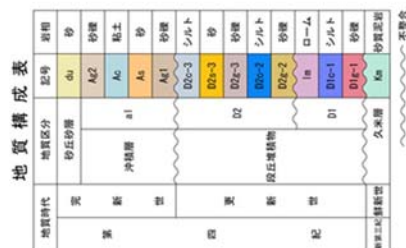
第 2.1.7 図 追加ボーリング調査計画（平面図）



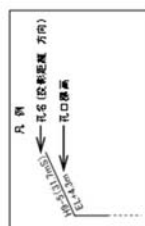


第2.1.8図 追加ボーリング調査計画（防潮堤地質断面図 その1）

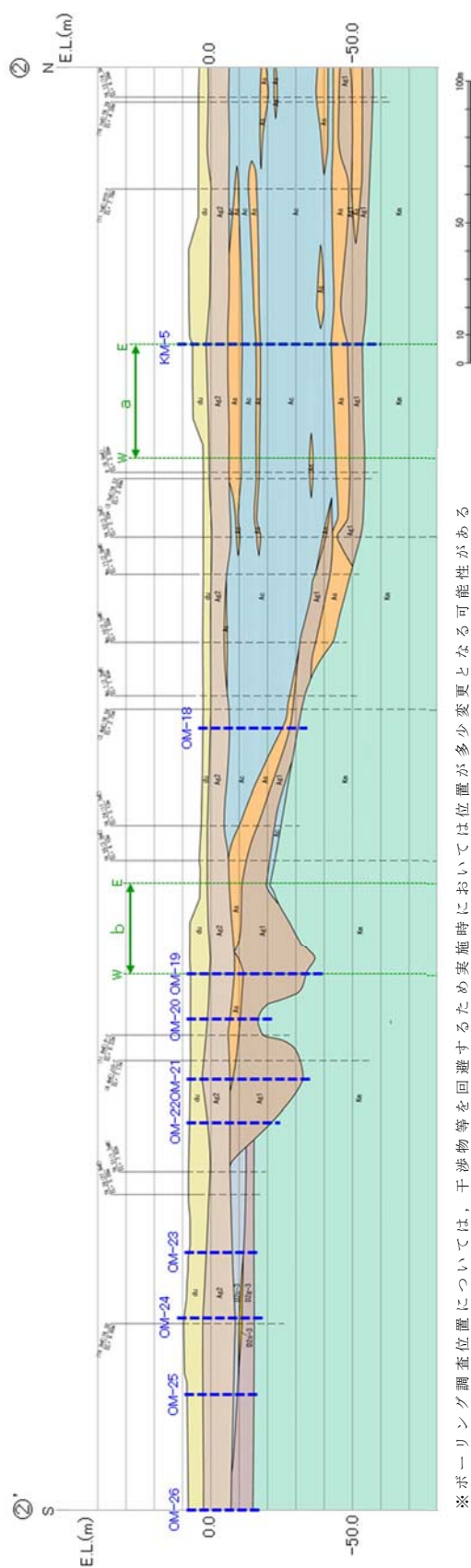




地質構成表



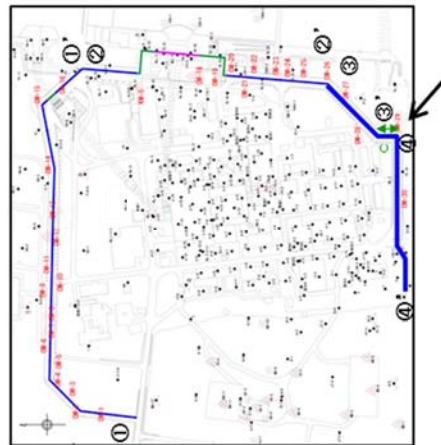
追加ボーリングの実施位置



※ボーリング調査位置については、干渉物等を回避するため実施時に位置が多少変更となる可能性がある

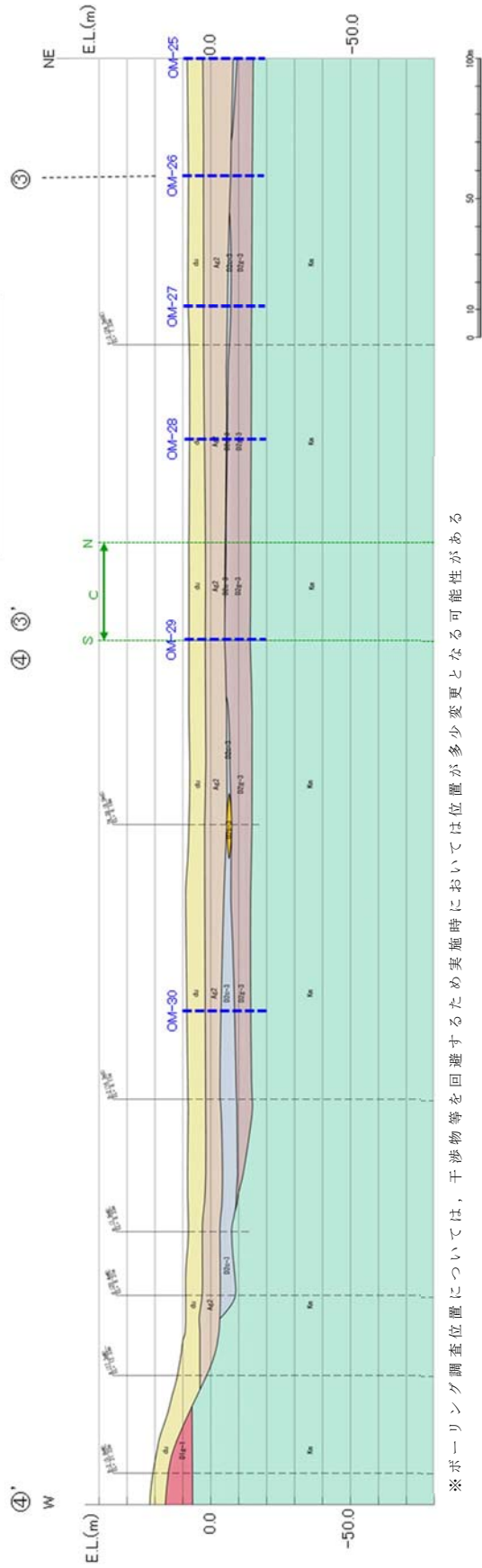
第2.1.9図 追加ボーリング調査計画（防潮堤地質断面図 その2）





地質構成表

| 地質時代 | 地質区分  | 記号    | 岩相  |
|------|-------|-------|-----|
| 新第三紀 | 砂丘砂層  | du    | 砂   |
|      |       | Au2   | 砂礫  |
|      | 沖積層   | Ac    | 粘土  |
|      |       | As    | 砂   |
| 第四紀  | D2c-3 | Au1   | 砂礫  |
|      |       | D2c-3 | シルト |
|      | D2c-2 | D2c-2 | 砂礫  |
|      |       | D2c-2 | シルト |
| 第四紀  | D2c-1 | D2c-1 | 砂礫  |
|      |       | D2c-1 | シルト |
|      | D2c-1 | D2c-1 | シルト |
|      |       | D2c-1 | シルト |
| 第四紀  | D2c-1 | D2c-1 | シルト |
|      |       | D2c-1 | シルト |
|      | D2c-1 | D2c-1 | シルト |
|      |       | D2c-1 | シルト |
| 第四紀  | D2c-1 | D2c-1 | シルト |
|      |       | D2c-1 | シルト |
|      | D2c-1 | D2c-1 | シルト |
|      |       | D2c-1 | シルト |



※ボーリング調査位置については、干渉物等を回避するため実施時ににおいては位置が多少変更となる可能性がある

第 2.1.10 図 追加ボーリング調査計画（防潮堤地質断面図 その 3）



### 3. 液状化検討対象層の抽出

#### 3.1 液状化検討対象層の抽出

道路橋示方書（道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，平成 24 年 3 月）では液状化検討対象層を完新統の以下の条件全てに該当する土層と定めている。

①地下水位が G.L. - 10m 以内であり，かつ G.L. - 20m 以内の飽和土層

②細粒分含有率が 35% 以下，又は細粒分含有率が 35% 以上でも塑性指数が 15 以下の土層

③平均粒径が 10mm 以下で，かつ 10% 粒径が 1mm 以下である土層

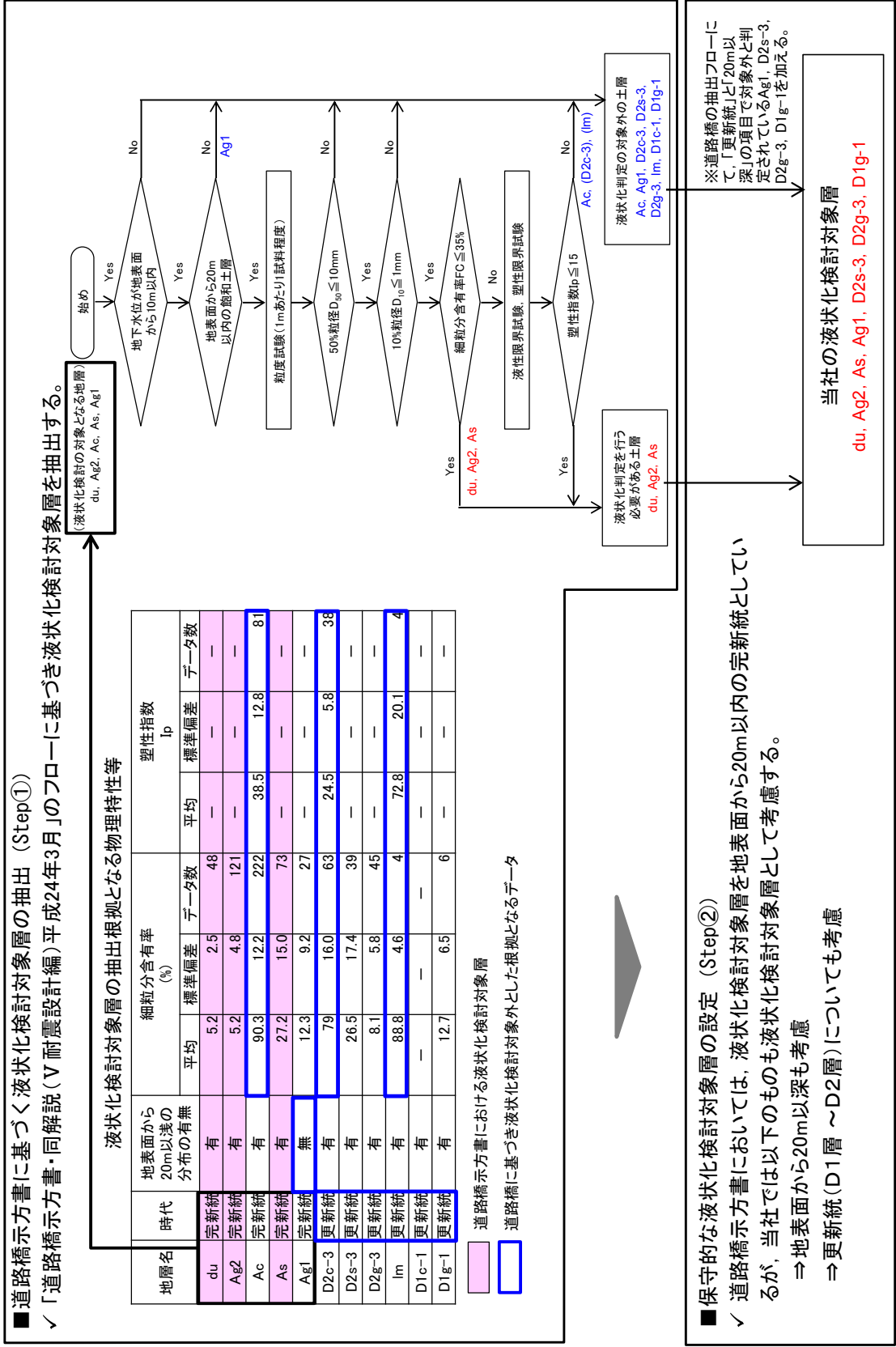
上記の条件は指針類（鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編（平成 24 年 9 月），港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 19 年））でほぼ共通している。

当該地での液状化検討対象層の抽出では，道路橋示方書で対象としている地層を基本とし，さらに，道路橋示方書では検討対象外としている更新統及び G.L. - 20m 以深の土層も抽出対象とする。

第 3.1.1 図には敷地の液状化検討対象層抽出方針，第 3.1.1 表には液状化検討対象層の抽出結果を示す。

敷地における液状化検討対象層は，du 層，Ag2 層，As 層，Ag1 層，D2s-3 層，D2g-3 層及び D1g-1 層となった。







第 3.1.1 表 液状化検討対象層の抽出結果

| 地質記号 |       | 層相  | 道路橋示方書における液状化検討対象層 | 当社における液状化検討対象層 | 備 考                                                |
|------|-------|-----|--------------------|----------------|----------------------------------------------------|
| du   |       | 砂   | ○                  | ○              |                                                    |
| a1   | Ag2   | 砂礫  | ○                  | ○              |                                                    |
|      | Ac    | 粘土  | —                  | —              |                                                    |
|      | As    | 砂   | ○                  | ○              | G.L.-20m 以深に分布する範囲についても検討対象とする。                    |
|      | Ag1   | 砂礫  | —                  | □              | G.L.-20m 以深に分布するが検討対象とする。                          |
| D2   | D2c-3 | シルト | —                  | —              |                                                    |
|      | D2s-3 | 砂   | —                  | □              | 更新統であるが検討対象とする。                                    |
|      | D2g-3 | 砂礫  | —                  | □              | 更新統であるが検討対象とする。<br>G.L.-20m 以深に分布する範囲についても検討対象とする。 |
| D1   | lm    | ローム | —                  | —              |                                                    |
|      | D1c-1 | シルト | —                  | —              |                                                    |
|      | D1g-1 | 砂礫  | —                  | □              | 更新統であるが検討対象とする。                                    |

○:検討対象

□:道路橋示方書では検討対象外だが  
検討対象とするもの

—:検討対象外

□:液状化検討対象とするもの



### 3.2 Ac 層の液状化強度試験結果

敷地の北部には砂層を間に挟在している過圧密粘土層（Ac 層）が厚く堆積している。Ac 層は細粒分含有率が 90% 以上，塑性指数  $I_p$  は 30～60 を示す高塑性粘土である。前節の液状化検討対象層の抽出では Ac 層は液状化検討対象層外と分類されるが，敷地における分布範囲が広く，液状化影響検討における重要度が高いことから液状化の可能性の有無を定量的に検討することを目的として室内液状化強度試験を実施した。

室内液状化強度試験は，砂・礫質土で実施した中空繰返しねじりせん断試験により実施した。以下に試験条件を示す。

#### 【室内液状化強度試験の試験条件】

試験方法：中空繰返しねじりせん断試験

地盤材料試験の方法と解説（公益社団法人地盤工学会，2009）に基づき，繰返し回数 200 回を上限とし，両振幅せん断ひずみ 7.5% に達するまで試験を実施した。

せん断応力比は（繰返し回数 5～50 回を目安）0.36～0.80 の間で設定した。

供試体寸法：外形 70mm×内径 30mm×高さ 100mm

載荷波形：正弦波（0.02Hz）

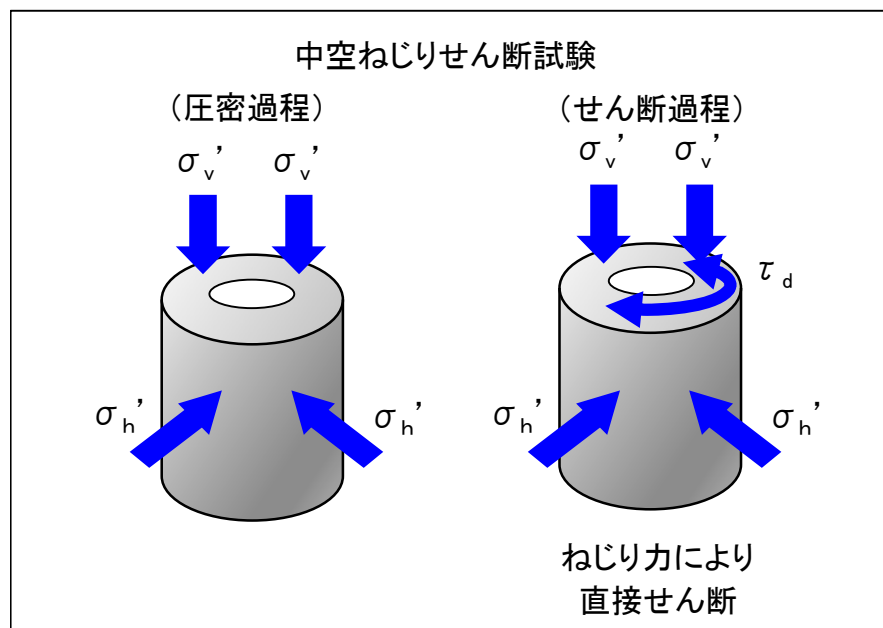
圧密圧力：供試体採取深度の有効上載圧を考慮して設定



第 3.2.1 図に中空繰返しねじりせん断試験の概要及び第 3.2.2 図に液状化強度試験試料採取箇所（Ac 層）を示す。

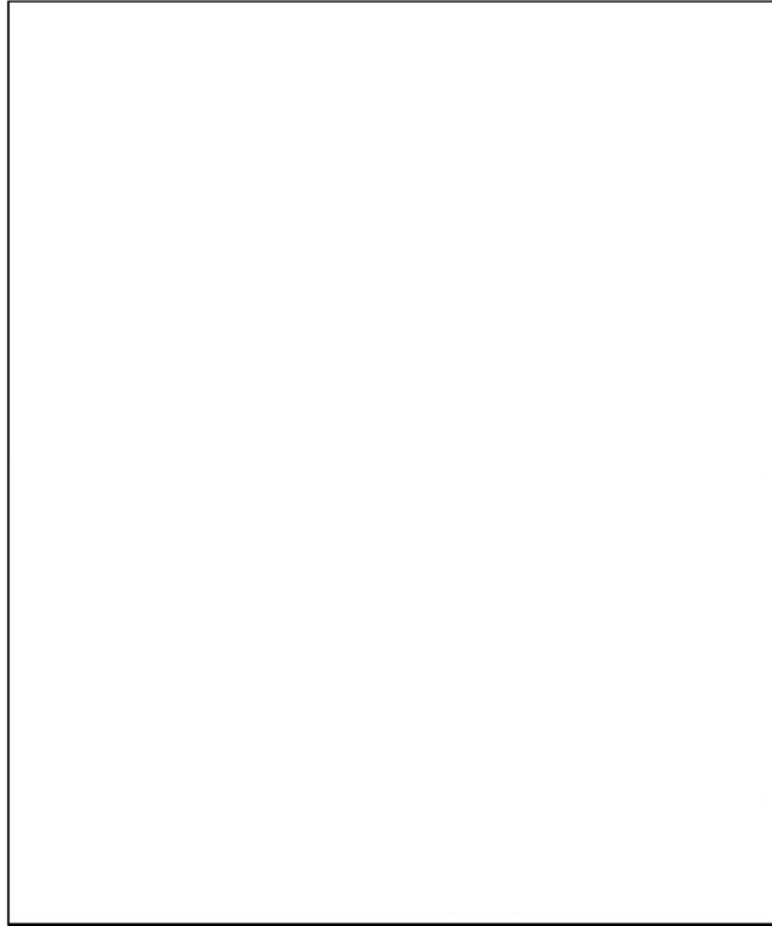
第 3.2.3 図～第 3.2.11 図に中空繰返しねじりせん断試験結果を示す。

試験を行った全ての供試体において、過剰間隙水圧比は 0.95 に達せず，Ac 層は液状化しないものであることが確認された。



第 3.2.1 図 中空繰返しねじりせん断試験の概要



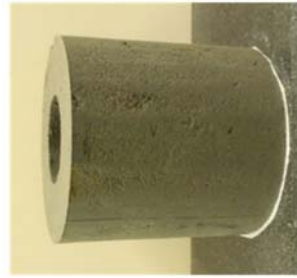


第 3.2.2 図 液状化強度試験試料採取箇所（Ac 層）

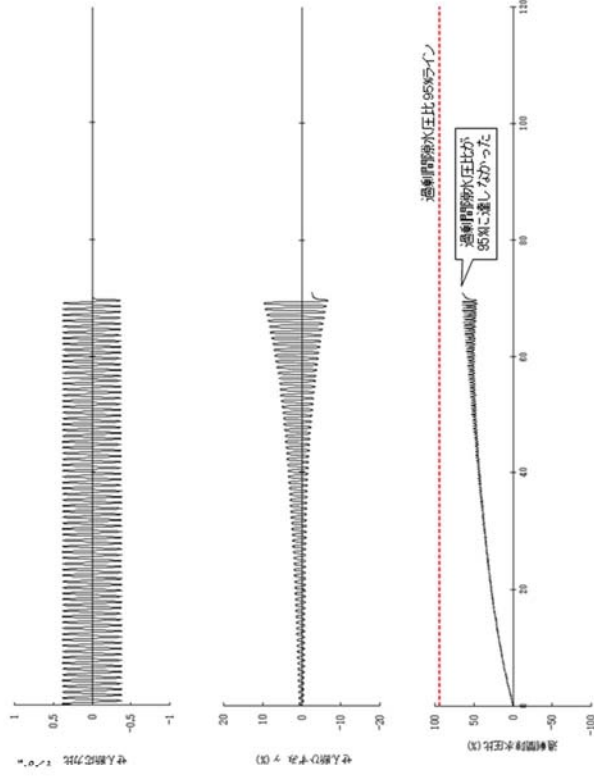


# SC-9-25(4)

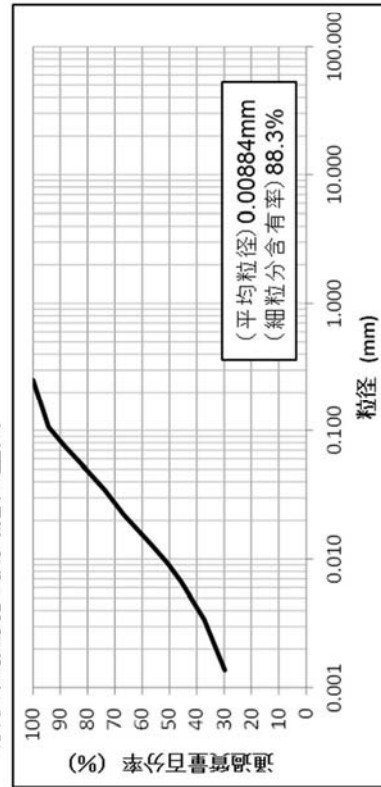
- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$



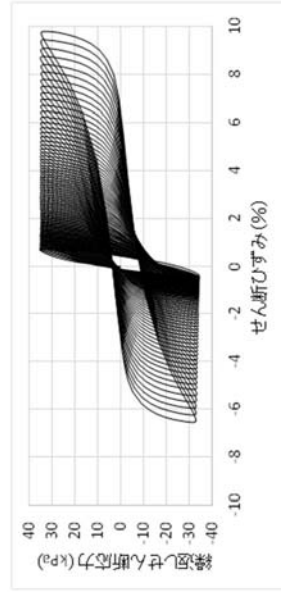
試料の写真



液状化強度試験における各計測値



試料の粒径加積曲線



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.3 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(4))

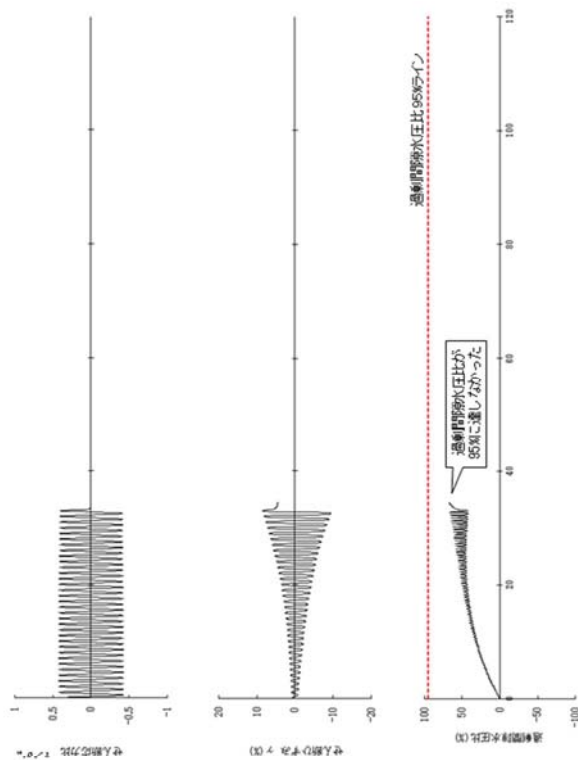


# SC-9-25(3)

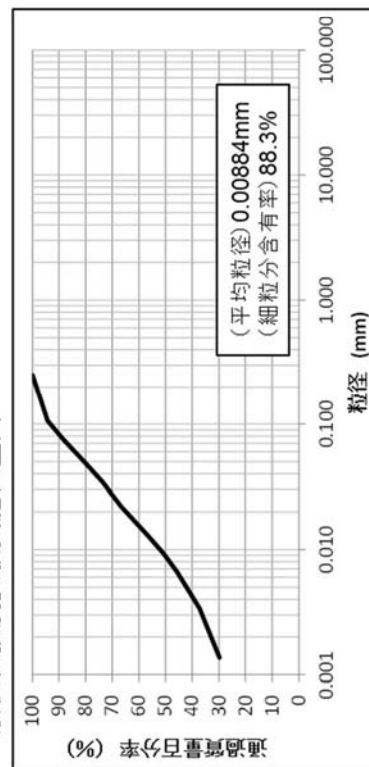
- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7\text{kN/m}^2$



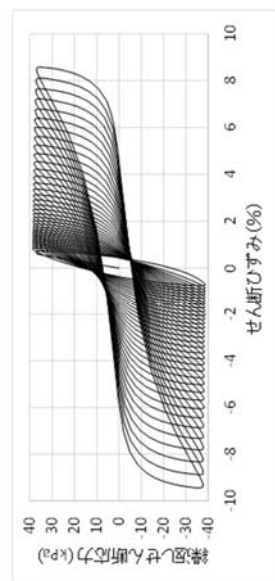
試料の写真



液状化強度試験における各計測値



試料の粒径加積曲線



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.4 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(3))



SC-9-25(2)

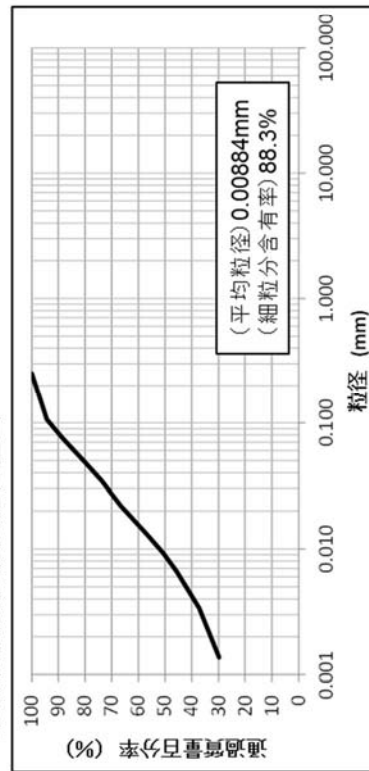
- 深度：49.00m～50.00m
- 平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$



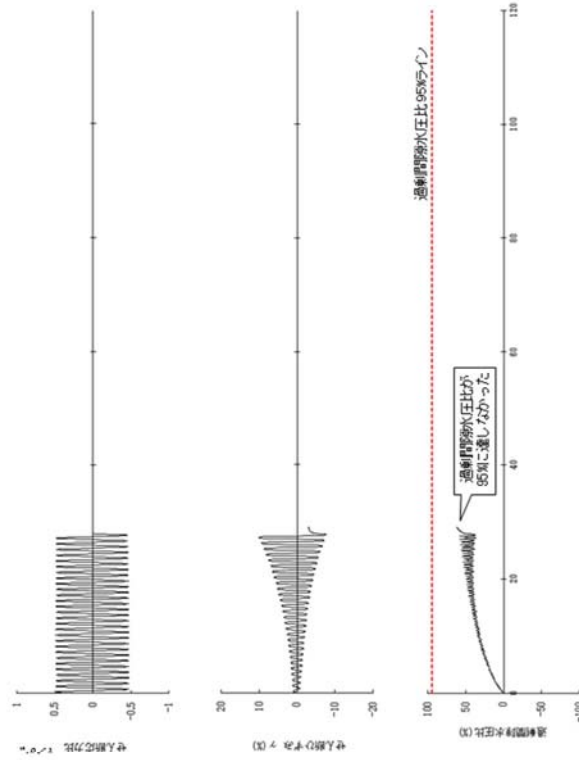
試料の写真

液状化強度試験実施位置図

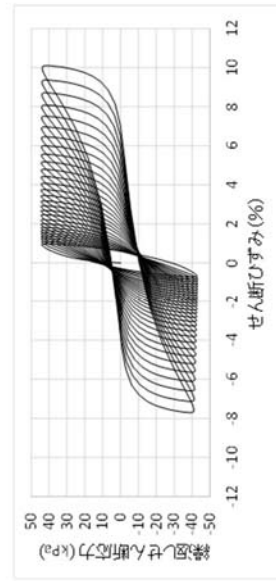
液状化強度試験箇所 (Ac層)



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



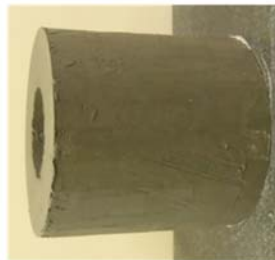
繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.5 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(2))



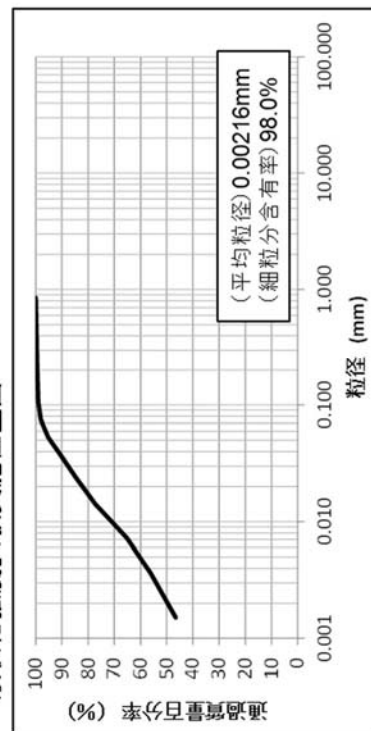
### SC-7-23~24(1)

- ・深度：28.20m~30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3 \text{ kN/m}^2$

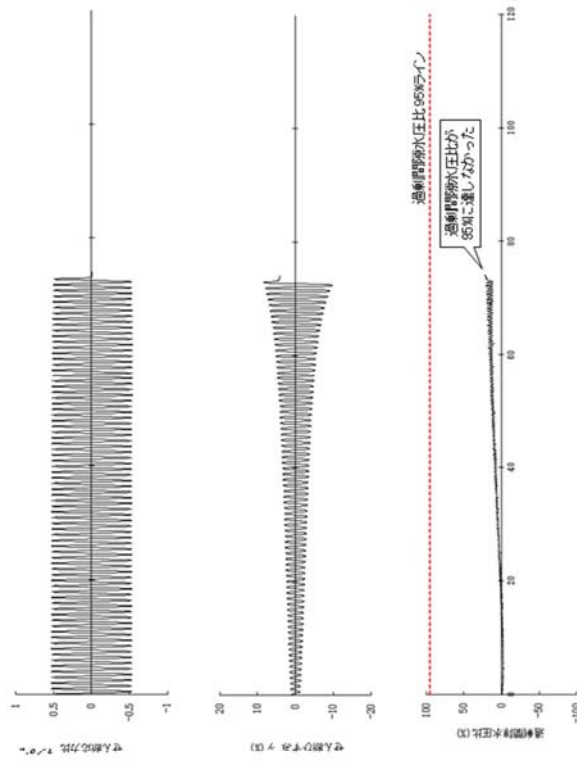


試料の写真

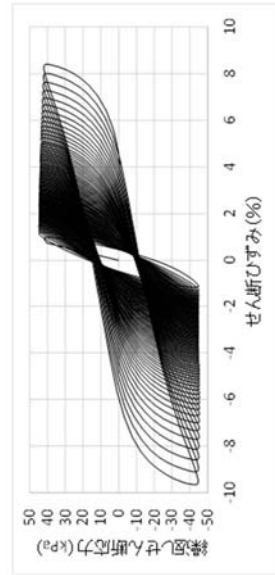
### 液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.6 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23~24(1))



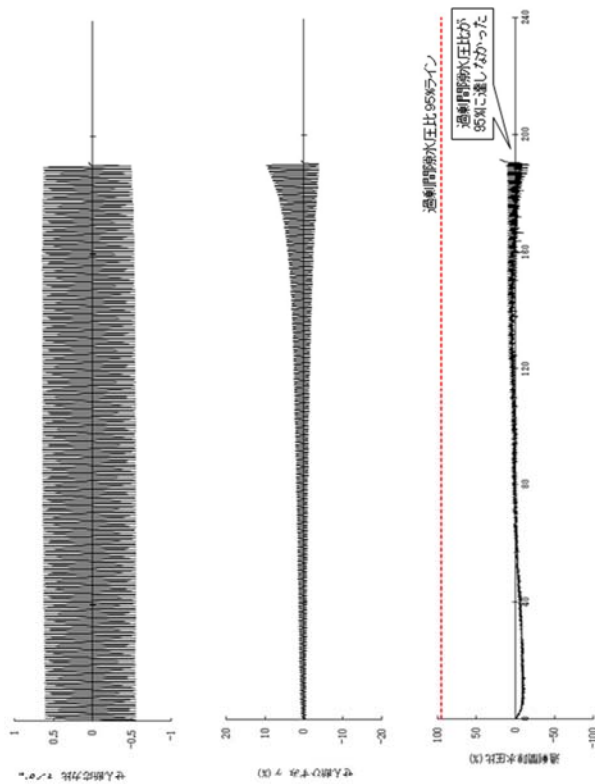
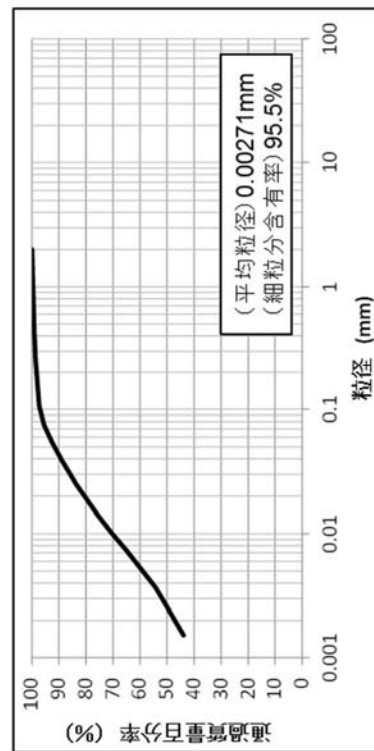
### SC-11-8～10(3)

- ・深度：9.00m～12.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 40.7\text{kN/m}^2$

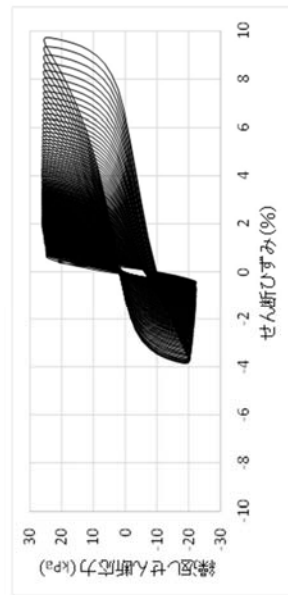


試料の写真

### 液状化強度試験実施位置図



### 液状化強度試験における各計測値



### 繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.7 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-11-8～10(3))



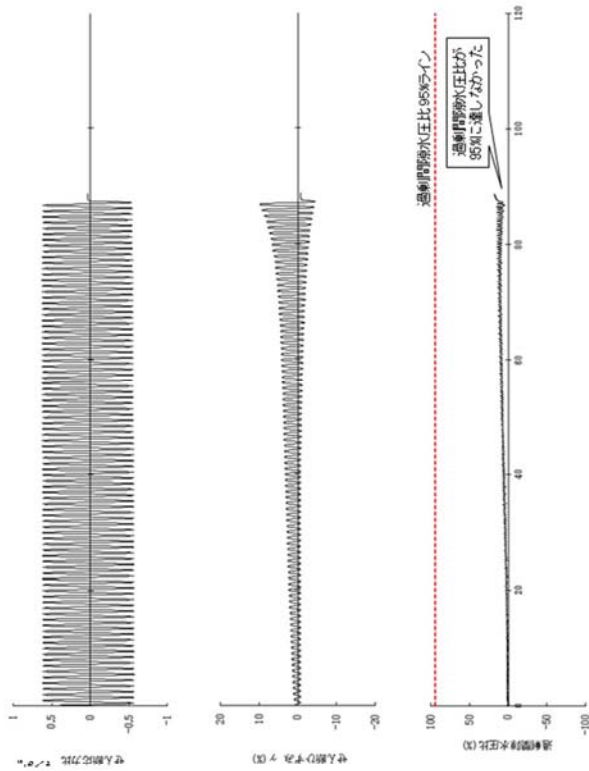
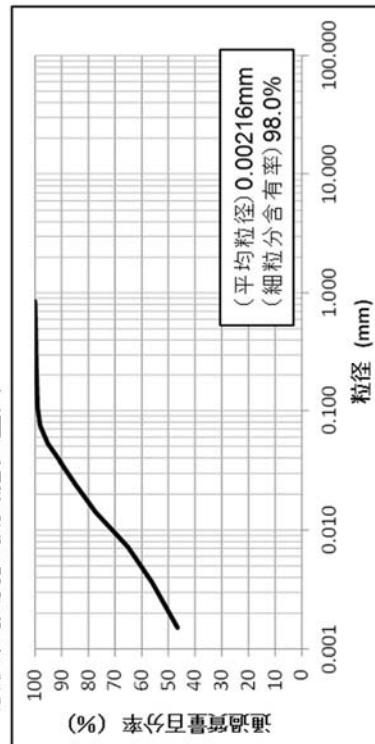
### SC-7-23～24(2)

- ・深度：28.20m～30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 81.0 \text{ kN/m}^2$

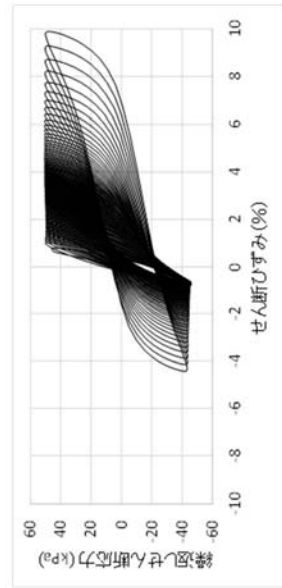


試料の写真

### 液状化強度試験実施位置図



液状化強度試験における各計測値



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.8 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23～24(2))



### SC-7-23~24(3)

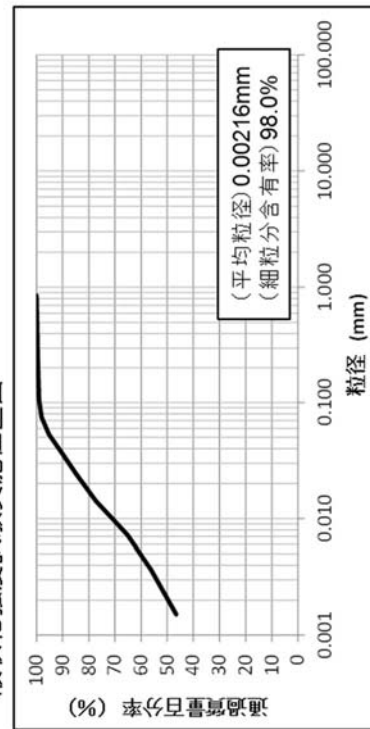
- ・深度：28.20m~30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3 \text{ kN/m}^2$



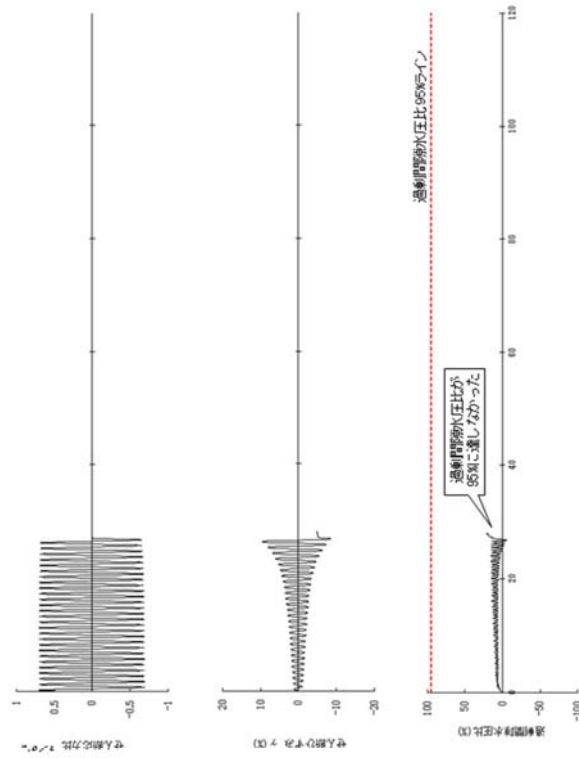
試料の写真

■ 液状化強度試験箇所(Ac層)

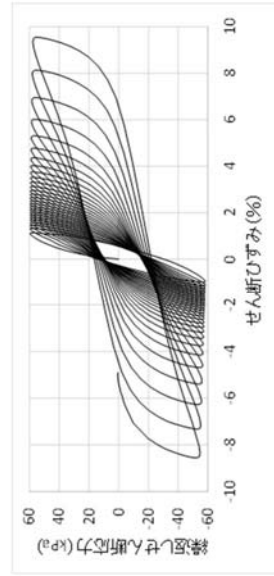
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.9 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23~24(3))



### SC-7-23～24(4)

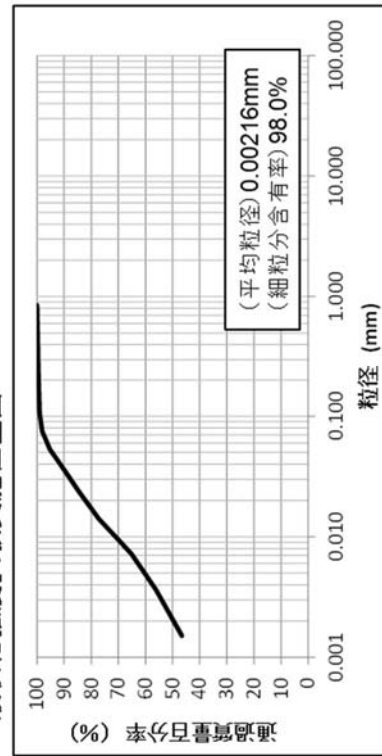
- ・深度：28.20m～30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3 \text{ kN/m}^2$



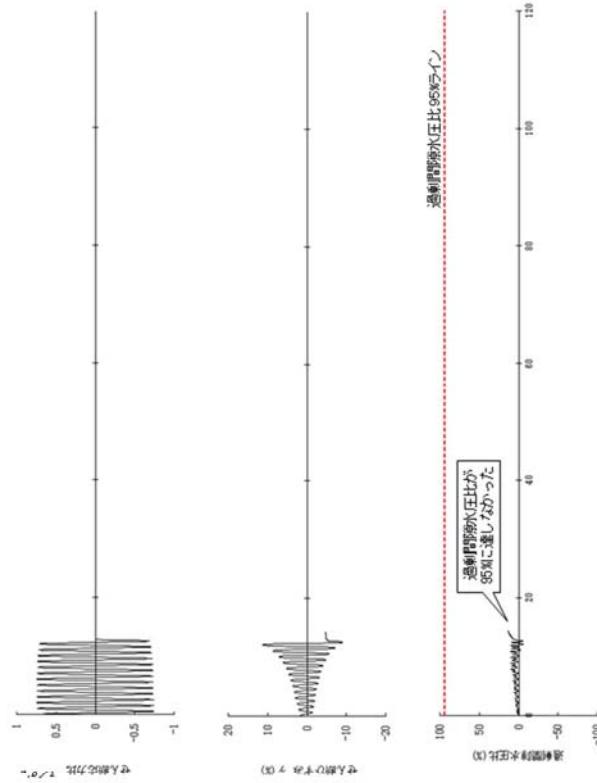
試料の写真



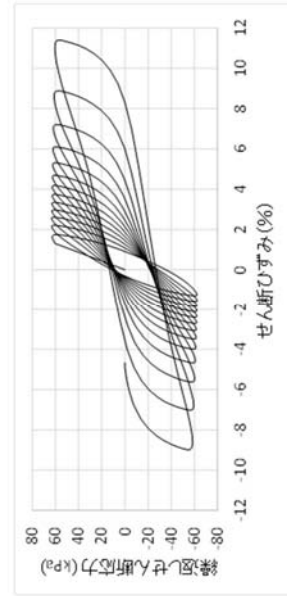
液化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液化強度試験における各計測値



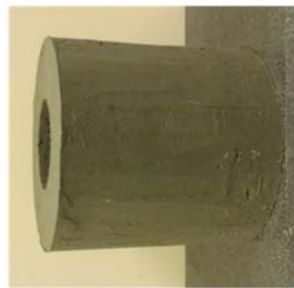
繰返しせん断力～せん断ひずみ関係

第 3.2.10 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23～24(4))



SC-11-8～10(1)

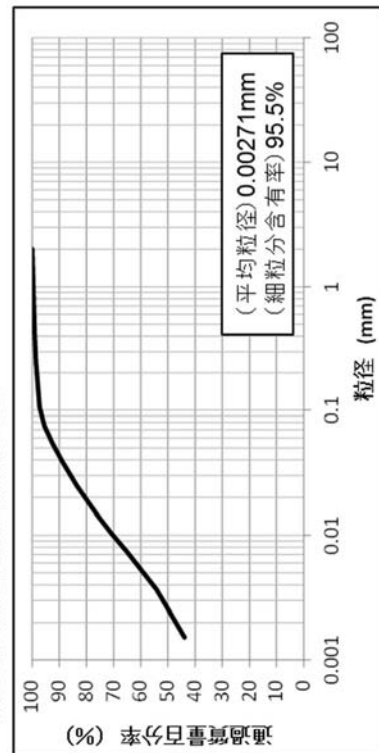
- ・深度：9.00m～12.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 40.7 \text{ kN/m}^2$



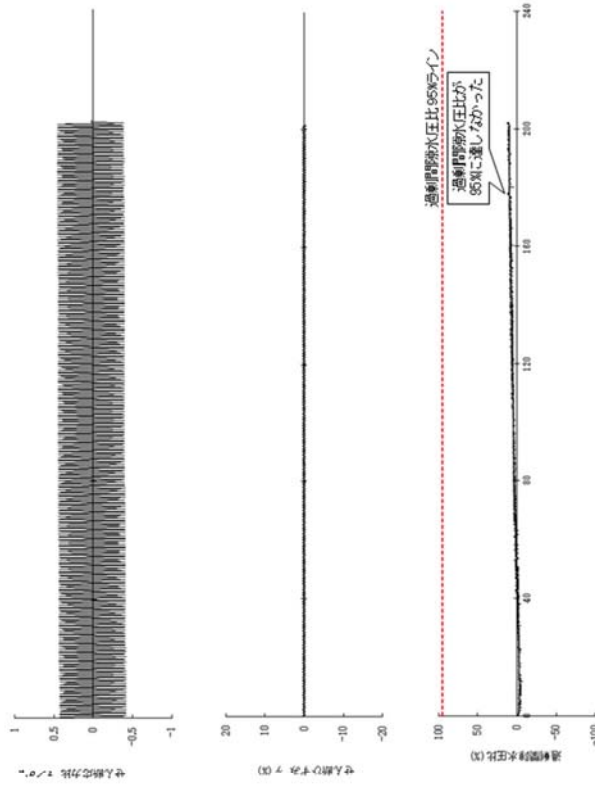
試料の写真

■ 液状化強度試験箇所(Ac層)

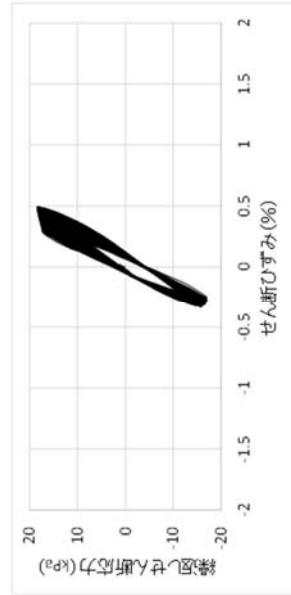
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.11 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-11-8～10(1))



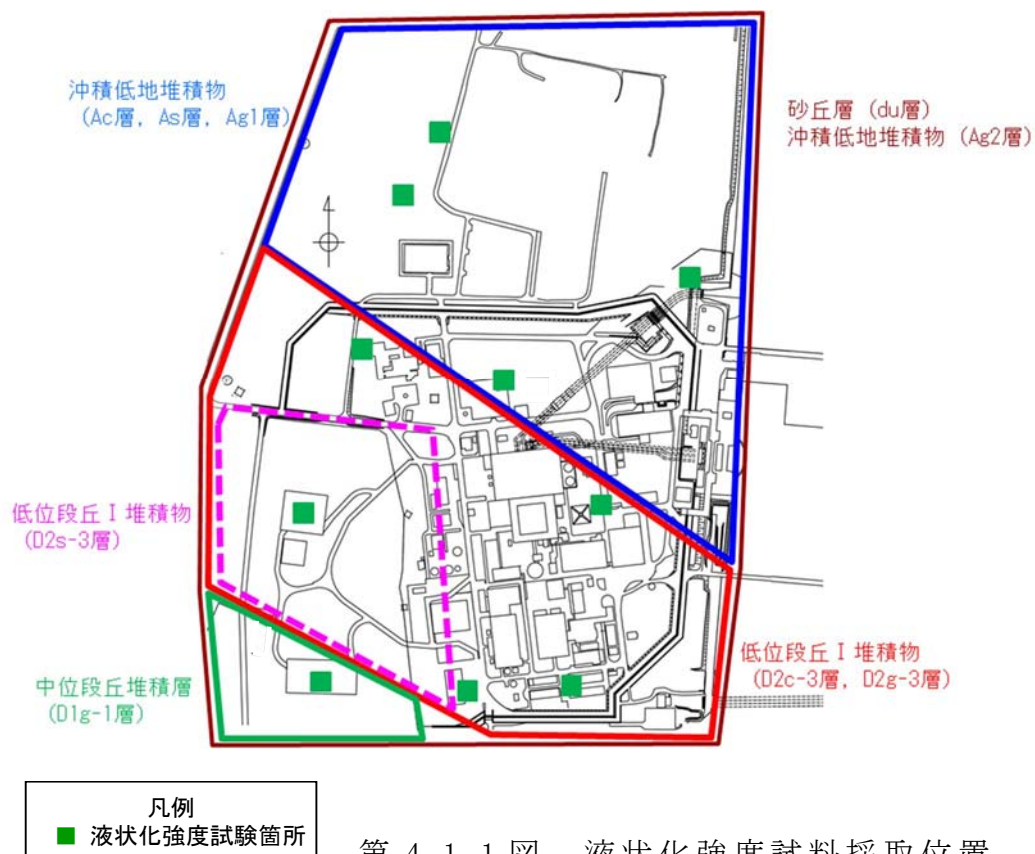
#### 4. 液状化強度試験箇所とその代表性

##### 4.1 液状化強度試験箇所の選定

敷地の地層分布と液状化検討対象層の抽出結果を踏まえて、室内液状化強度試験用試料採取箇所の選定を行った。

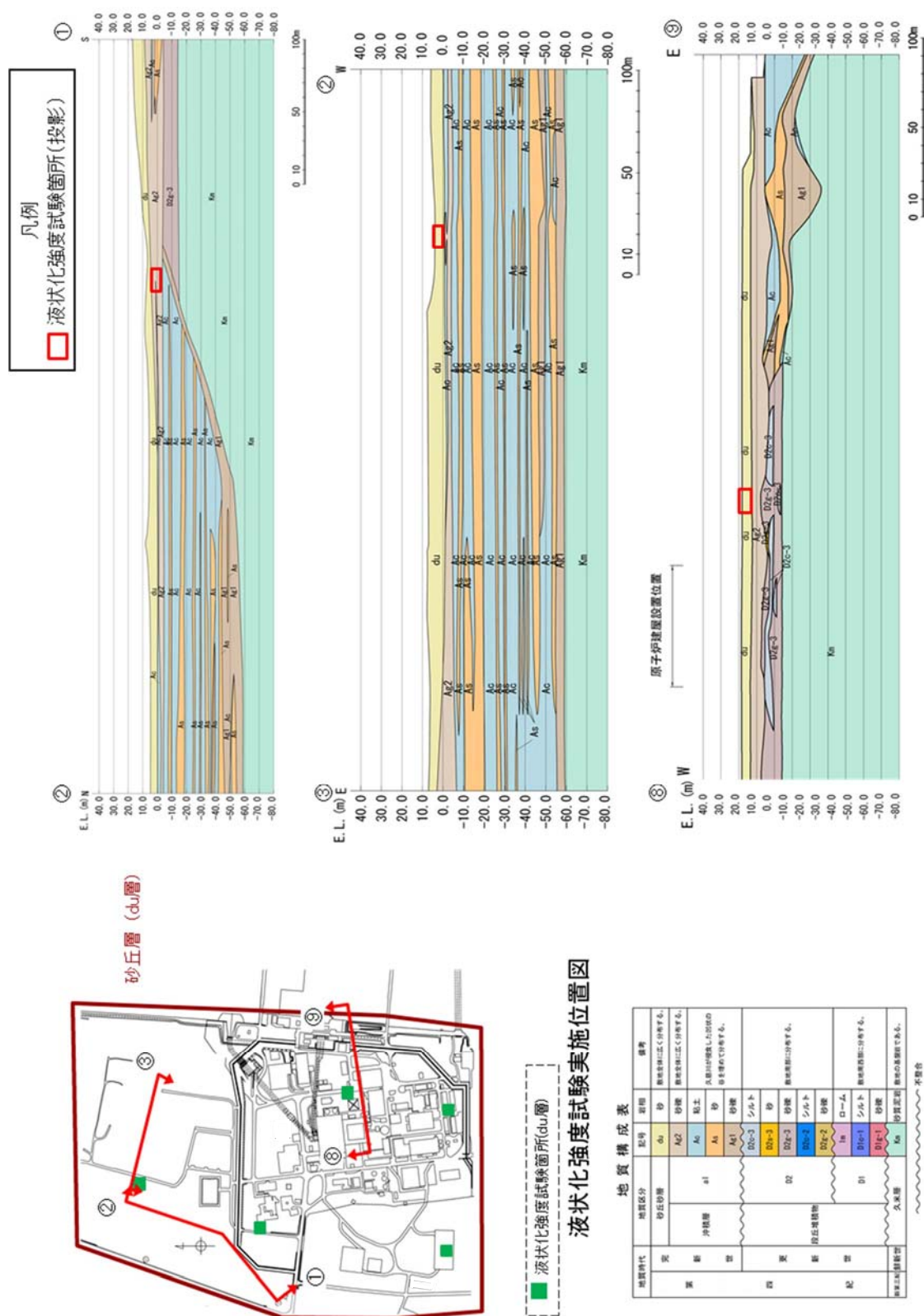
液状化強度試験の試料採取箇所の選定には、液状化強度試験試料採取箇所のN値及び細粒分含有率  $F_c$  から算定される道路橋示方書の液状化強度比  $R_L$  と、敷地全体における同層の道路橋示方書に基づく平均液状化強度比  $R_L$  と比較して保守的な値であること及び試料採取が可能な層厚を有していることを考慮した。

第 4.1.1 図に液状化強度試験試料を採取した平面位置を、第 4.1.2 図～第 4.1.8 図に各土層の液状化強度試験試料を採取した縦断位置を示す。



第 4.1.1 図 液状化強度試験試料採取位置





#### 第4.1.2図 du 層の液化化強度試験試料採取位置①



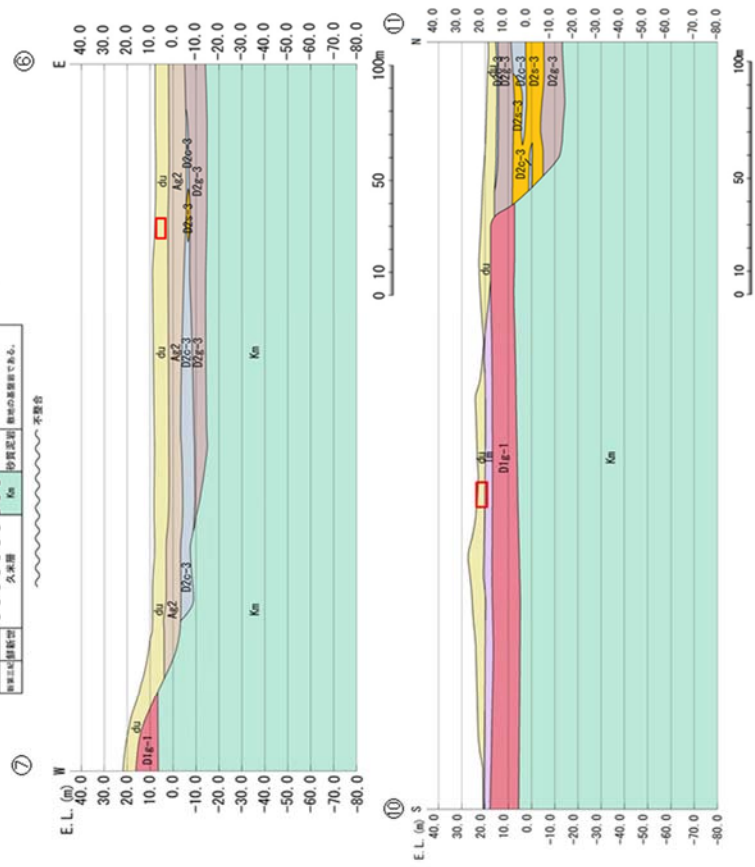


液状化強度試験実施位置図

地質構成表

| 地質時代 | 地質区分           | 記号                | 岩種  | 備考                    |
|------|----------------|-------------------|-----|-----------------------|
| 第三紀  | 砂丘砂層           | du                | 砂   | 細粒至粗粒に広く分布する。         |
|      |                | A <sub>2</sub>    | 砂礫  | 細粒至粗粒に広く分布する。         |
|      | 沖積層            | A <sub>2</sub>    | 粘土  | 久慈川が侵食した段丘の頂を埋めて分布する。 |
|      |                | A <sub>2</sub>    | 砂   |                       |
| 第四紀  | D <sub>2</sub> | A <sub>2</sub>    | 砂礫  |                       |
|      |                | D <sub>2</sub> -3 | シルト |                       |
|      | D <sub>2</sub> | D <sub>2</sub> -3 | 砂礫  | 細粒至粗粒に分布する。           |
|      |                | D <sub>2</sub> -3 | シルト |                       |
| 第四紀  | D <sub>2</sub> | D <sub>2</sub> -3 | 砂礫  |                       |
|      |                | D <sub>2</sub> -3 | シルト |                       |
|      | D <sub>2</sub> | D <sub>2</sub> -3 | 砂礫  |                       |
|      |                | D <sub>2</sub> -3 | シルト |                       |
| 第四紀  | D <sub>2</sub> | D <sub>2</sub> -3 | 砂礫  |                       |
|      |                | D <sub>2</sub> -3 | シルト |                       |
|      | D <sub>2</sub> | D <sub>2</sub> -3 | 砂礫  |                       |
|      |                | D <sub>2</sub> -3 | シルト |                       |

凡例  
液状化強度試験箇所(投影)



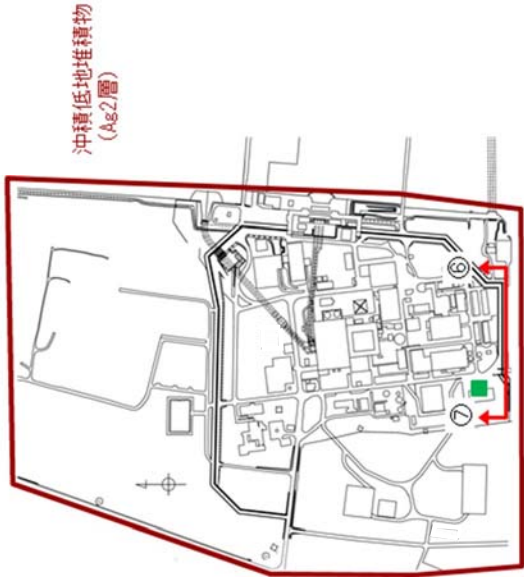
第 4.1.1.3 図 du 層の液状化強度試験試料採取位置②



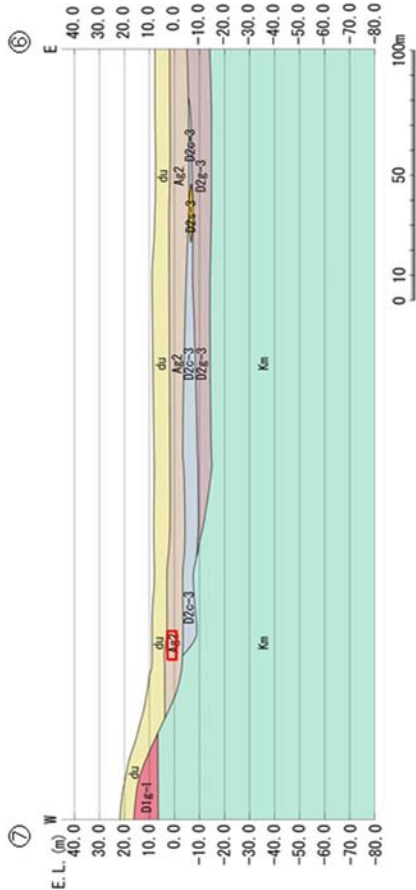
地質構成表

| 地質時代  | 地質区分 | 記号    | 岩相   | 備考                    |
|-------|------|-------|------|-----------------------|
| 第 3 紀 | 沖積層  | du    | 砂    | 礫地全体に広く分布する。          |
|       |      | Ag2   | 砂礫   | 礫地全体に広く分布する。          |
|       |      | Ac    | 粘土   | 久慈川が侵食した凹域の砂を埋めて分布する。 |
| 第 4 紀 | 沖積層  | As    | 砂    |                       |
|       |      | Ag1   | 砂礫   |                       |
|       |      | D2c-3 | シルト  |                       |
| 第 4 紀 | 沖積層  | D2c-3 | 砂    |                       |
|       |      | D2c-2 | シルト  |                       |
|       |      | D2c-1 | 砂礫   |                       |
| 第 4 紀 | 沖積層  | Im    | ローム  |                       |
|       |      | D1c-1 | シルト  |                       |
|       |      | D1c-1 | 砂礫   |                       |
| 第 4 紀 | 沖積層  | Km    | 砂質泥岩 |                       |
|       |      |       |      |                       |
|       |      |       |      |                       |

凡例  
□ 液状化強度試験箇所(投影)



液状化強度試験実施位置図



第 4.1.4 図 Ag2 層の液状化強度試験試料採取位置



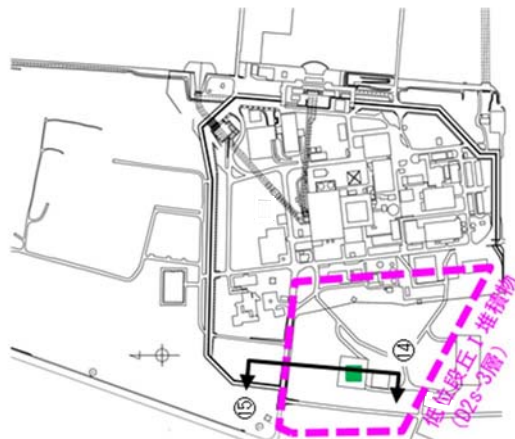




地質構成表

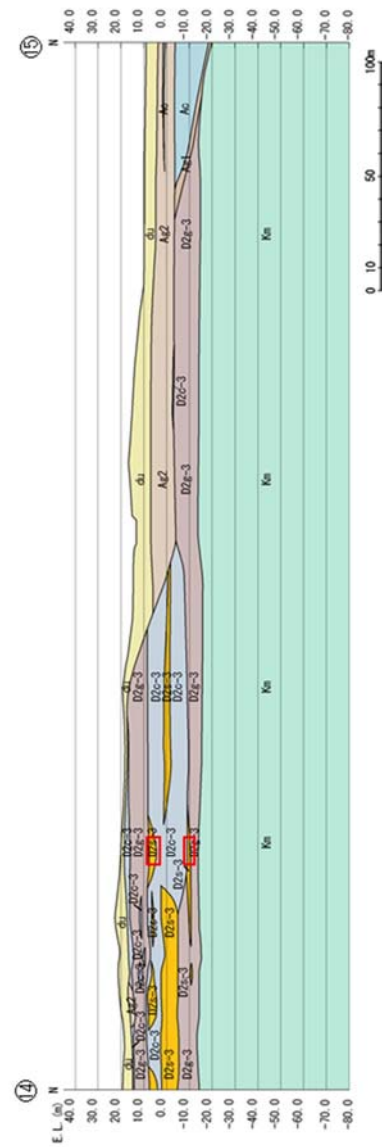
| 地質時代 | 地質区分  | 記号    | 岩相   | 備考                    |
|------|-------|-------|------|-----------------------|
| 第三紀  | 沖積層   | ds    | 砂    | 新地全体に広く分布する。          |
|      |       | A2    | 砂礫   | 新地全体に広く分布する。          |
|      |       | Ac    | 粘土   | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| 第四紀  | 沖積層   | A1    | 砂礫   |                       |
|      |       | D2s-3 | シルト  |                       |
|      |       | D2s-3 | 砂    |                       |
| 第四紀  | 段丘堆積物 | D2e-3 | 砂礫   | 新地西部に分布する。            |
|      |       | D2e-2 | シルト  |                       |
|      |       | D2e-2 | 砂礫   |                       |
| 第四紀  | 段丘堆積物 | la    | ローム  |                       |
|      |       | D1e-3 | シルト  |                       |
|      |       | D1e-1 | 砂礫   |                       |
| 第四紀  | 久米層   | Kn    | 砂質泥岩 | 新地の基盤である。             |
|      |       | Kn    | 砂質泥岩 |                       |

凡例  
□ 液状化強度試験箇所(投影)



液状化強度試験箇所(D2s-3層)

液状化強度試験実施位置図



第 4.1.6 図 D2s-3 層の液状化強度試験試料採取位置

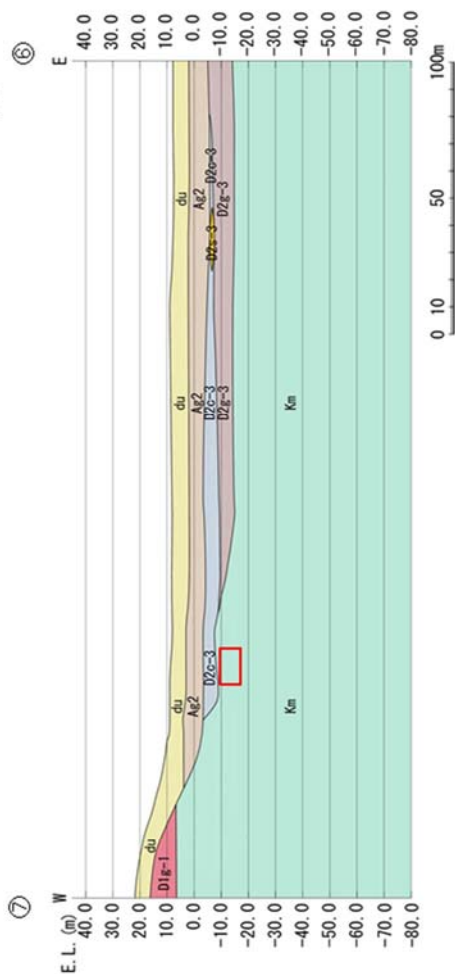




液状化強度試験実施位置図

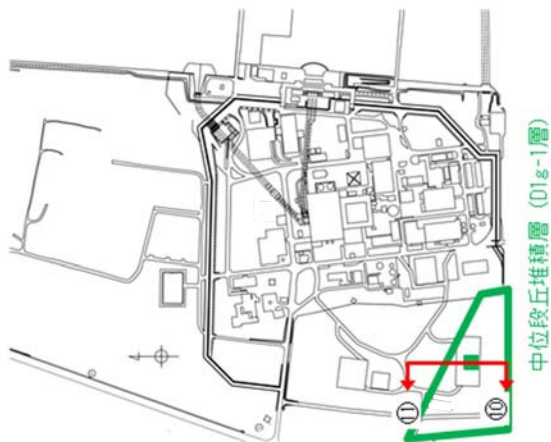
| 地質構成表  |      |       |      |
|--------|------|-------|------|
| 地質時代   | 地質区分 | 記号    | 岩相   |
| 第 四 紀  | 沖積層  | du    | 砂    |
|        | D2   | Ag2   | 砂礫   |
|        |      | Ac    | 粘土   |
| 新 世    | D2   | As    | 砂    |
|        |      | Ag1   | 砂礫   |
|        |      | D2c-3 | シルト  |
| 新 世    | D2   | D2g-3 | 砂    |
|        |      | D2g-3 | 砂礫   |
|        |      | D2c-2 | シルト  |
| 紀 世    | D1   | D2g-2 | 砂礫   |
|        |      | im    | ローム  |
|        |      | D1e-1 | シルト  |
| 新 世    | D1   | D1e-1 | 砂礫   |
|        |      | Km    | 砂質泥岩 |
| 新第三紀新世 | 久米層  |       |      |

凡例  
□ 液状化強度試験箇所(投影)

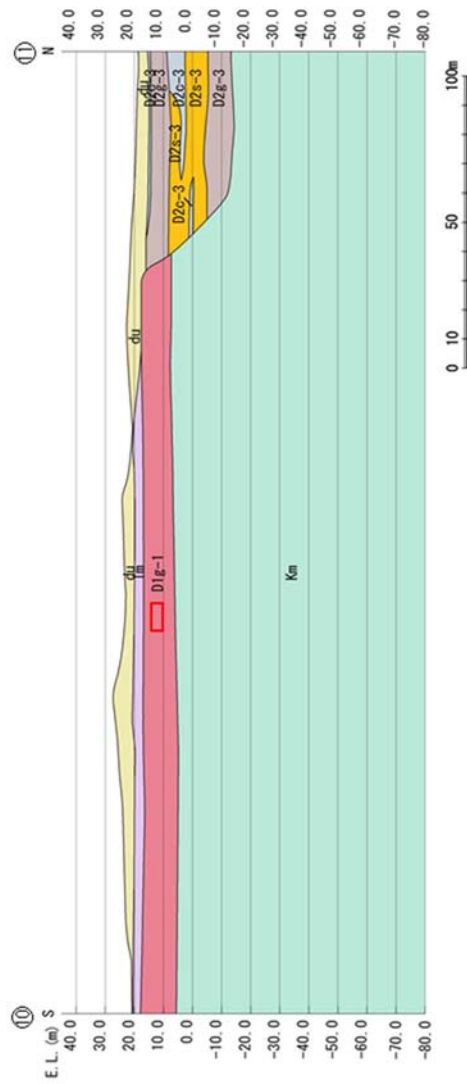


第 4.1.7 図 D2g-3 層の液状化強度試験試料採取位置





液状化強度試験実施位置図



地質構成表

| 地質時代      | 地質区分  | 記号    | 岩相   | 備考                    |
|-----------|-------|-------|------|-----------------------|
| 第 新 世     | 沖積層   | du    | 砂    | 敷地全体に広く分布する。          |
|           |       | Aq2   | 砂礫   | 敷地全体に広く分布する。          |
|           |       | Ac    | 粘土   | 敷地全体に広く分布する。          |
| 第 四 世     | D2    | As    | 砂    | 久慈川が侵食した部域の谷を埋めて分布する。 |
|           |       | Aq1   | 砂礫   |                       |
|           |       | D2c-3 | シルト  |                       |
| 第 紀       | 段丘堆積物 | D2s-3 | 砂    | 敷地西部に分布する。            |
|           |       | D2c-2 | シルト  |                       |
|           |       | D2s-2 | シルト  |                       |
| 第 紀       | D1    | fm    | ローム  |                       |
|           |       | D1c-1 | シルト  | 敷地西部に分布する。            |
|           |       | D1g-1 | 砂礫   |                       |
| 第 三 紀 新 世 | 久慈層   | Ken   | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。            |

不整合

第 4.1.8 図 D1g-1 層の液状化強度試験試料採取位置



#### 4.2 液状化強度試験選定箇所の代表性

指針類の液状化抵抗率  $F_L$  の簡易算定式は、地表面から深さ 20m ま  
でに分布する完新統を対象に、次式で示される。

$$F_L = \frac{R}{L}$$

ここに、 $F_L$  は液状化抵抗率、 $R$  は液状化強度比、 $L$  は地震時最大せん断応力比である。第 4.2.1 表は指針類での液状化強度比  $R$  の算定時に用いられる物性値を示しているが、基本は完新統の  $N$  値と細粒分含有率  $F_c$  を用いた算定式であり、平均粒径  $D_{50}$  を用いて補正している。

以上のように液状化強度比  $R$  は完新統の  $N$  値、細粒分含有率  $F_c$ 、平均粒径  $D_{50}$  と相関があり、室内液状化強度試験試料採取箇所と敷地内全調査孔の簡易式によるそれぞれの  $R$  の算定値を比較することに基づいて代表性を示す。

本検討においては、道路橋示方書の液状化強度比  $R_L$  の算定式を用いるとともに、原地盤の試料を用いた室内液状化強度試験で求められた繰返し回数 20 回に相当するせん断応力比を  $R_{L20}$  と表記するものとする。

また、液状化強度比の比較においては、指針類の物性値のバラツキに対する考え方を参考とし、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いた「平均  $-1\sigma$ 」（以下「 $-1\sigma$  値」と称す）について整理した。



第 4.2.1 表 指針類における液状化強度比 R と基本物性の関係

| 指針類名                                                                                                                                     | 液状化強度比 R の<br>算定に用いる<br>主な物性 | 液状化強度比 R の<br>補正に用いる<br>物性    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，日本道路協会，平成 24 年<br>(下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2014)<br>(河川砂防技術基準(案)同解説，日本河川協会編，1997)<br>(高圧ガス設備等耐震設計指針，高圧ガス保安協会，平成 24 年) | N 値                          | 細粒分含有率 $F_c$<br>平均粒径 $D_{50}$ |
| 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置(その 2)，日本港湾協会，平成 19 年(部分改正平成 24 年)                                                                                     |                              | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001<br>(水道施設耐震工法指針・解説，日本水道協会，2009)                                                                                    |                              | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，(財)鉄道総合技術研究所，平成 24 年                                                                                                 |                              | 細粒分含有率 $F_c$<br>平均粒径 $D_{50}$ |



#### 4.3 室内液状化強度試験結果の $R_{L20}$ と道路橋示方書式による $R_L$ との比較検討

##### 1) 概要

各土質について、敷地全体の調査孔の  $N$  値及び細粒分含有率  $F_c$  から道路橋示方書式で算定される液状化強度比（以下、 $R_L$  とする）と、室内液状化強度試験試料採取箇所の近傍調査孔の  $R_L$  とを比較し、室内液状化強度試験試料採取箇所の代表性を確認する。

各土質について代表性を確認した液状化強度試験試料採取箇所の不攪乱試料を用いた室内液状化強度試験を実施し、試験結果に基づき  $-1\sigma$  を考慮した液状化強度特性を設定する（原地盤に基づく液状化強度特性の設定）。

原地盤に基づく液状化強度試験結果から、繰り返し載荷回数 20 回に該当する液状化強度比（以下、 $RL_{20}$  とする）を算定する。

各土質について、敷地の全調査孔の  $R_L$ 、液状化強度試験試料採取箇所の近傍調査孔の  $R_L$  及び原地盤に基づく液状化強度特性の  $RL_{20}$  とを比較し、有効応力解析に用いる原地盤の液状化強度特性の保守性を確認する。

さらに、地盤を強制的に液状化させる解析条件を仮定した影響評価検討のため、敷地の原地盤には存在しない均質さで極めて液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度試験データに基づき  $-1\sigma$  を考慮した液状化強度特性も設定する（豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の設定）。

豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性は、原地盤の液状化強度特性、 $R_L$ （全調査孔）及び  $R_L$ （近傍調査孔）を全て包含していることを確認する。



道路橋示方書の  $R_L$  の算定式は、更新統及び G.L. - 20m 以深が適用対象外であるものの、本資料では更新統及び G.L. - 20m 以深についても道路橋示方書の  $R_L$  の算定式を用い、**原地盤に基づく液状化強度特性**及び**豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の設定**とを比較することで、保守的な液状化の影響検討が可能な F L I P の液状化強度特性の設定となっていることを確認する。

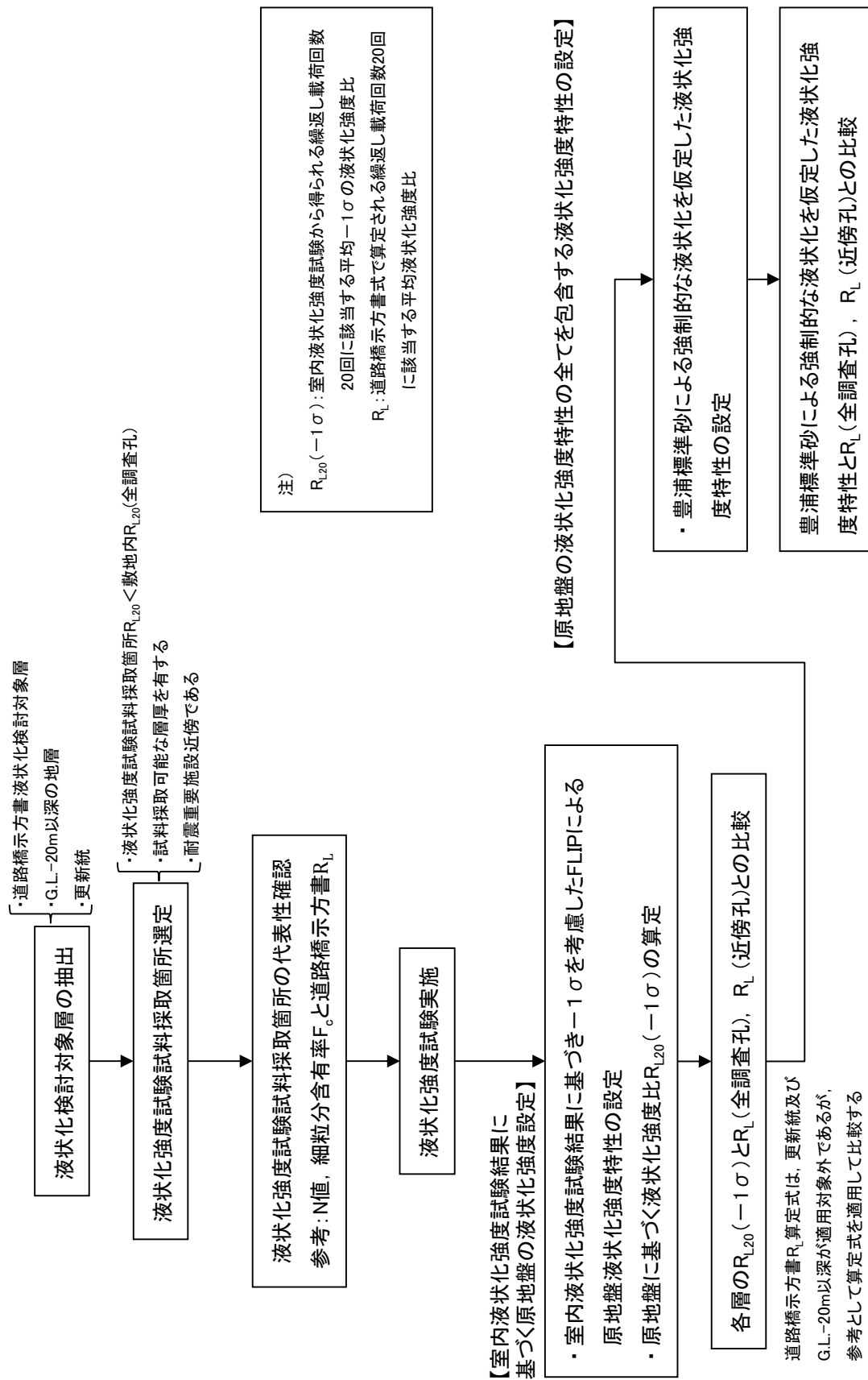
第 4.3.1 表に液状化強度特性の設定について示す。第 4.3.1 図に液状化強度比較検討フローを示す。また、第 4.3.2 図に F L I P による豊浦標準砂の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) を示す。さらに、第 4.3.3 図に**原地盤に基づく液状化強度特性**と**豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の設定**との比較を示す。



第 4.3.1 表 液状化強度特性の設定

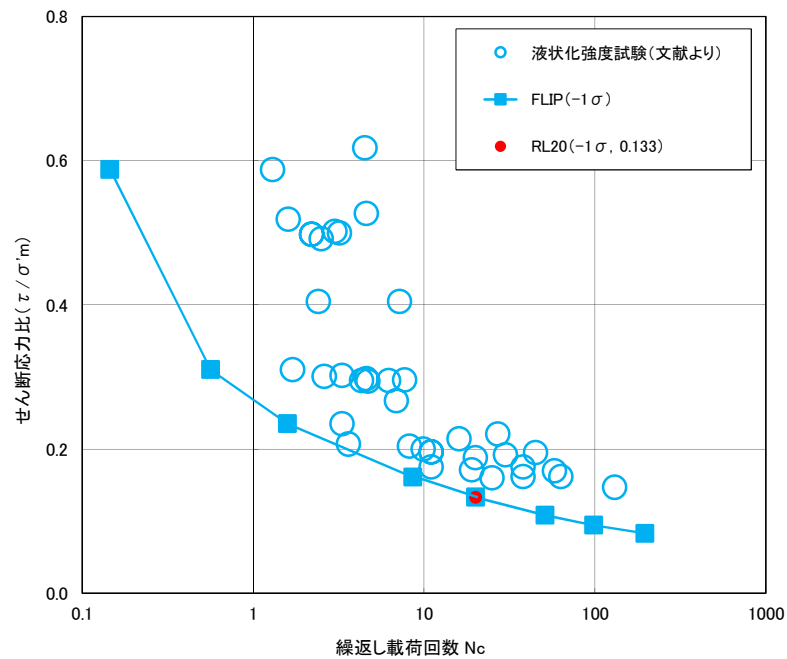
| 液状化強度特性の比較対象土層 |       |    | 道路橋示方書における液状化検討対象か否かの区分 | 有効応力解析に適用する $-1\sigma$ の液状化強度特性及びそれら全てを包含する液状化強度特性の仮定 |                                                    |
|----------------|-------|----|-------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 堆積年代           | 土層名   | 層相 |                         | 原地盤の液状化強度特性の設定                                        | 原地盤の液状化強度特性の全てを包含する液状化強度特性の仮定                      |
| 完新統            | du    | 砂  | 対象                      | 原地盤試料の液状化強度試験結果に基づき $-1\sigma$ の液状化強度特性を設定            | 敷地には存在しない均質で液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度試験データを包含する液状化強度特性を仮定 |
|                | Ag2   | 砂礫 | 対象                      |                                                       |                                                    |
|                | As    | 砂  | G. L. -20mまで対象          |                                                       |                                                    |
| 更新統            | D2g-3 | 砂礫 | 対象外                     |                                                       |                                                    |
|                | D2s-3 | 砂  | 対象外                     |                                                       |                                                    |



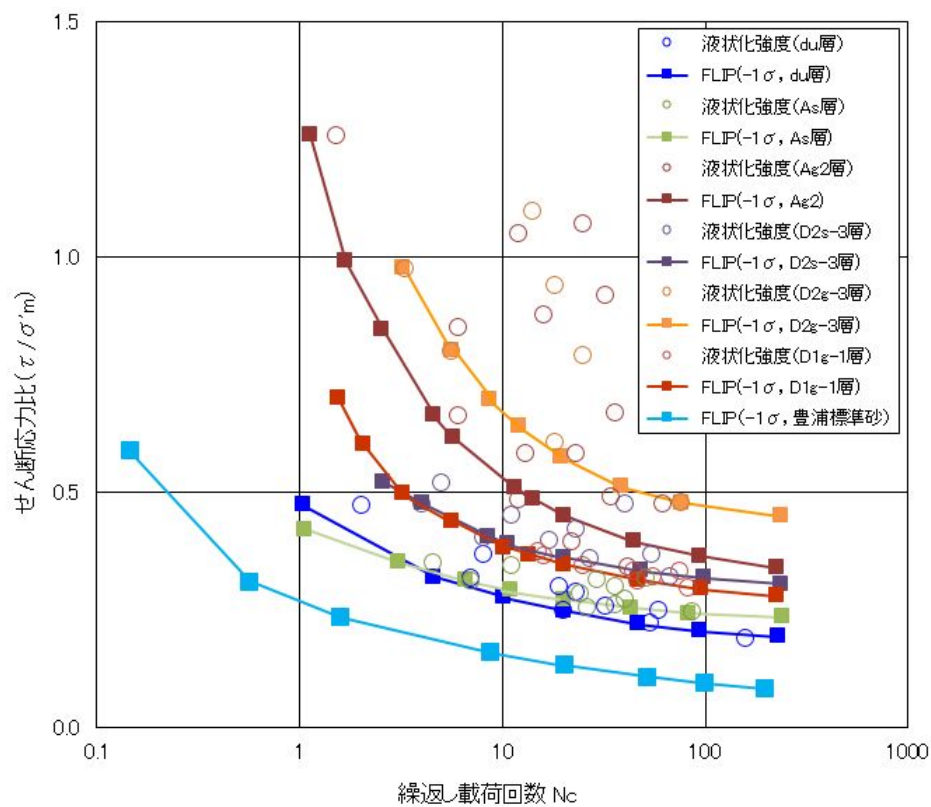


第 4.3.1 図 液状化強度比較検討フロー





第 4.3.2 図 F L I P による豊浦標準砂の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ )

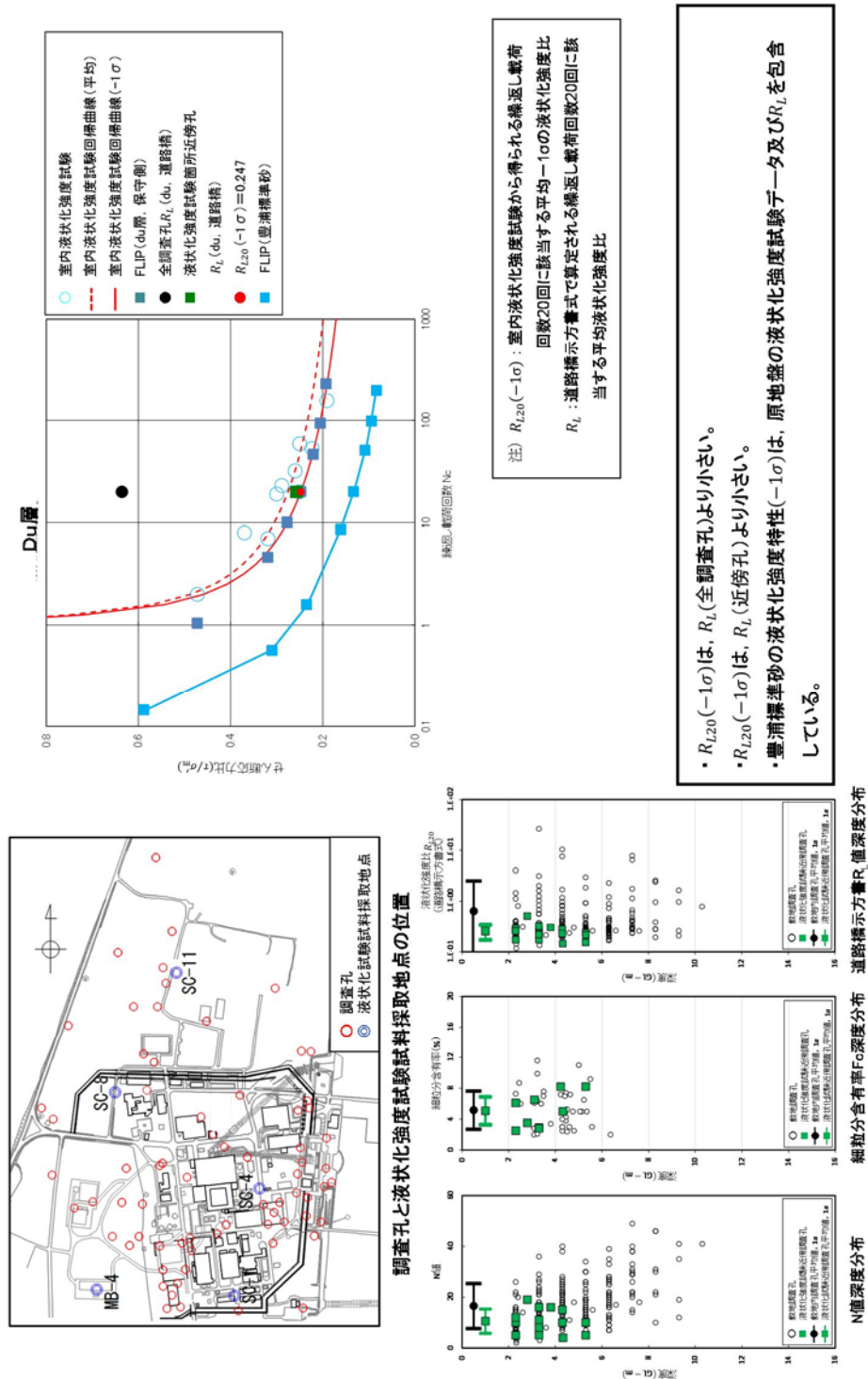


第 4.3.3 図 東海第二発電所の原地盤に基づく液状化強度試験データ  
とその全てを包含する F L I P の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ , 豊浦標準砂)



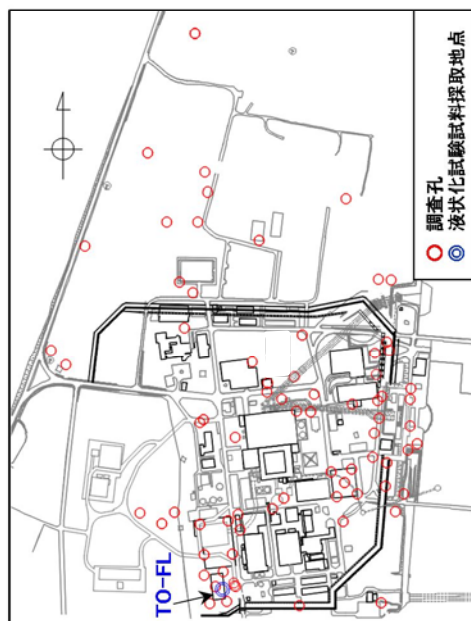
## 2) 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による $R_L$ との比較

第 4.3.4 図～第 4.3.8 図に液状化検討対象層の室内液状化強度試験結果と敷地内調査孔の道路橋示方書式による  $R_{L20}$  との比較結果を示す。

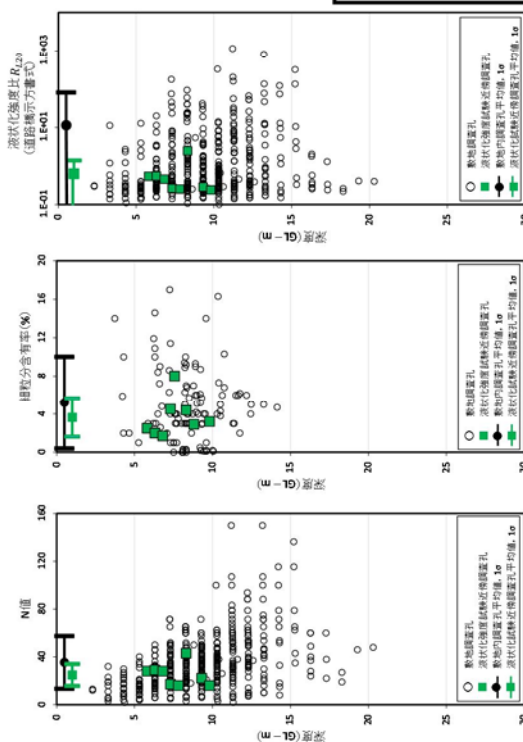


第 4.3.4 図 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による  $R_{L20}$  と比較検討 (du 層)

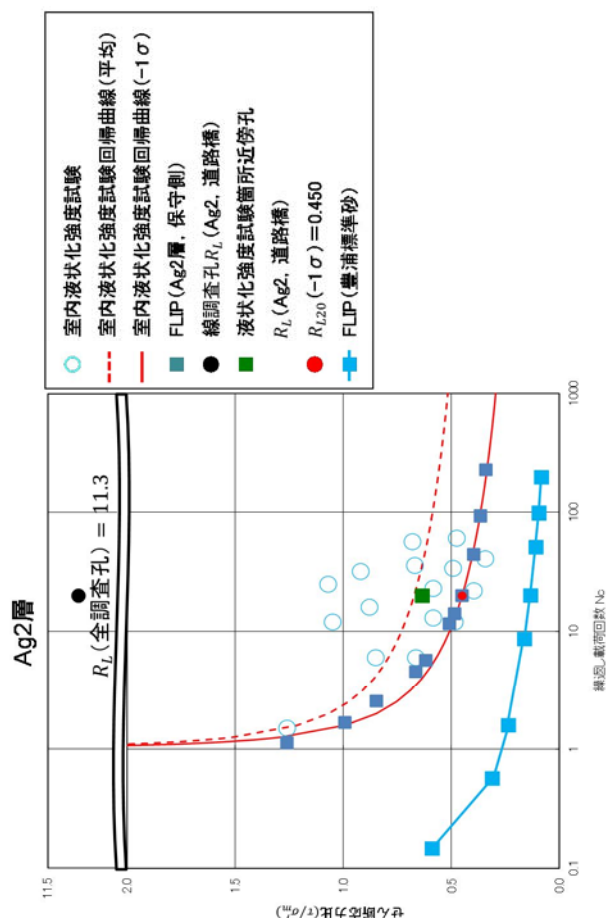




調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置

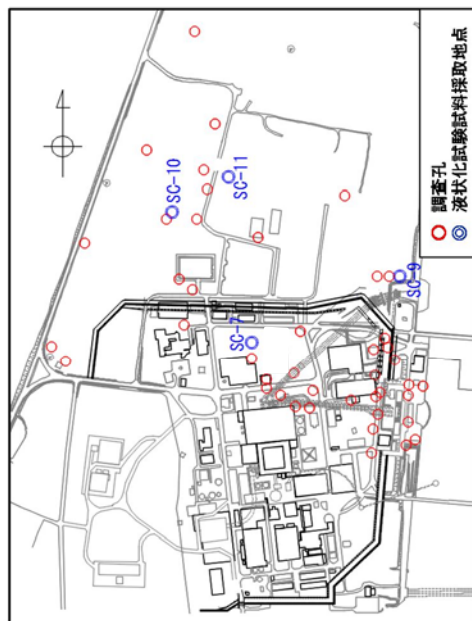


注)  $R_{L20}(-1\sigma)$  : 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 $-1\sigma$ の液状化強度比  
 $R_L$  : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

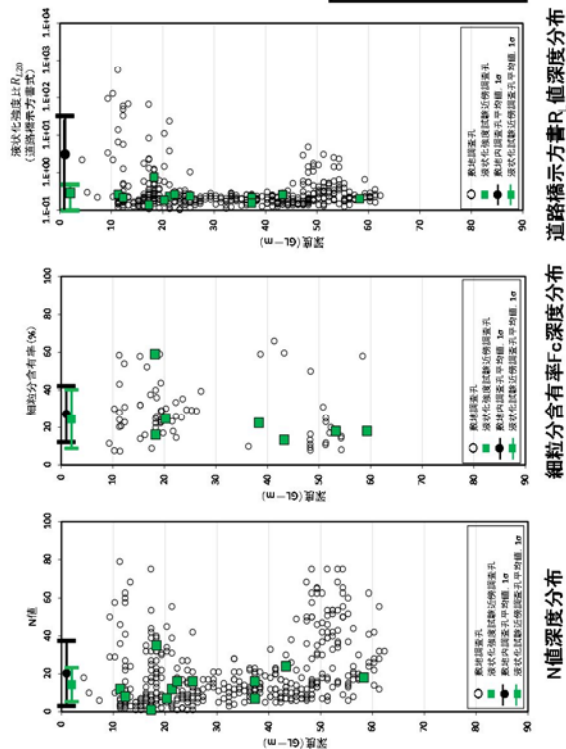
- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 $R_L$ (全調査孔)より小さい。
- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 $R_L$ (近傍孔)より小さい。
- 豊浦標準砂の液状化強度特性( $-1\sigma$ )は、原地盤の液状化強度試験データ及び $R_L$ (全調査孔)、 $R_L$ (近傍孔)を包含している。

第 4.3.5 図 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による  $R_{L20}$  との比較検討 (Ag2 層)





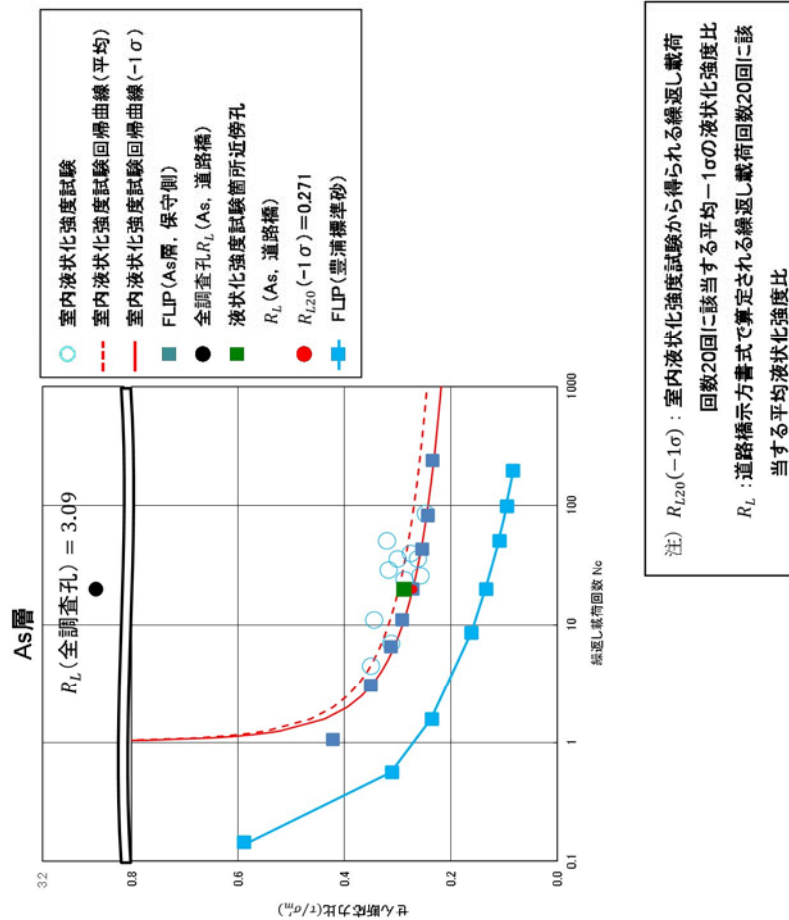
調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



道路橋示方書  $R_L$  値深度分布

細粒含有率  $F_c$  深度分布

N値深度分布

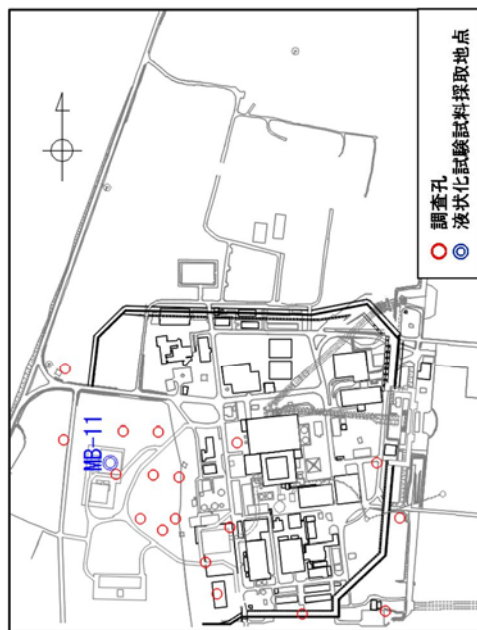


注)  $R_{L20}(-1\sigma)$  : 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均  $-1\sigma$  の液状化強度比  
 $R_L$  : 道路橋示方書で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

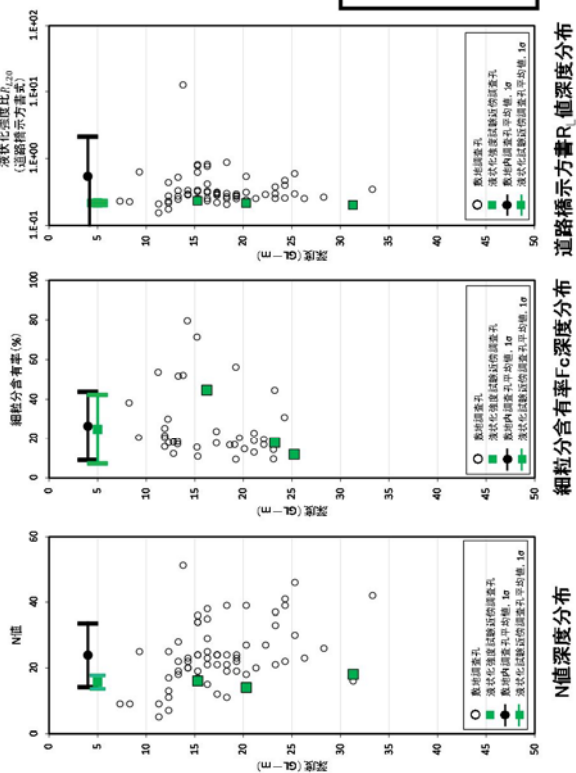
- $R_{L20}(-1\sigma)$  は,  $R_L$  (全調査孔) より小さい。
- $R_{L20}(-1\sigma)$  は,  $R_L$  (近傍孔) より小さい。
- 豊浦標準砂の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) は, 原地盤の液状化強度試験データ及び  $R_L$  (全調査孔), 平均  $R_L$  (近傍孔) を包含している。

第 4.3.6 図 液状化強度設定 (As 層) 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式のよる  $R_{L20}$  との比較検討 (As 層)

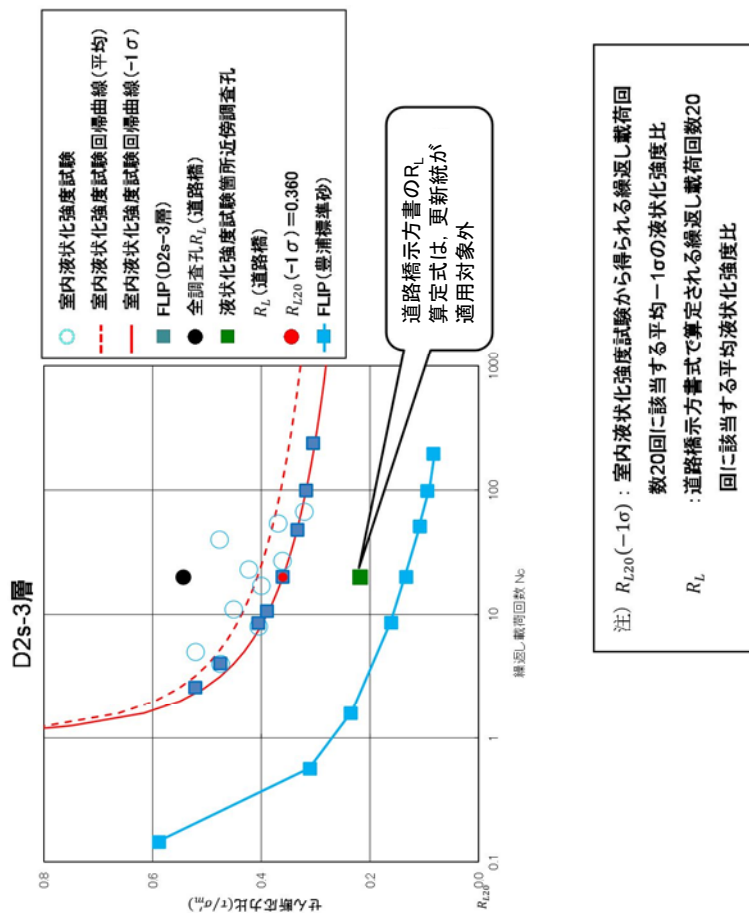




調査孔と液状化サンプリング地点の位置



道路橋示方書 $R_L$ 値深度分布

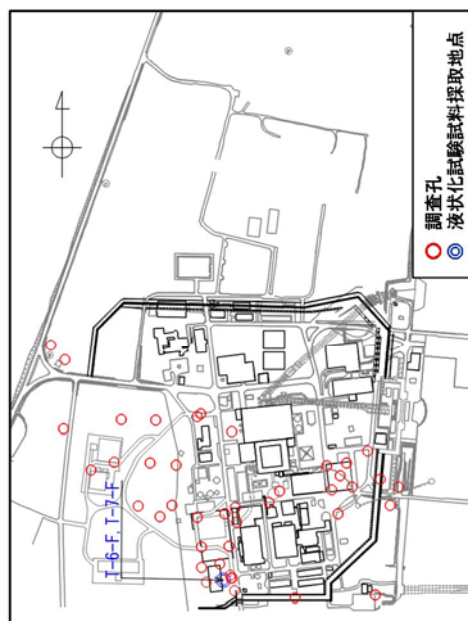


注)  $R_{L20}(-1\sigma)$  : 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 $-1\sigma$ の液状化強度比  
 $R_L$  : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

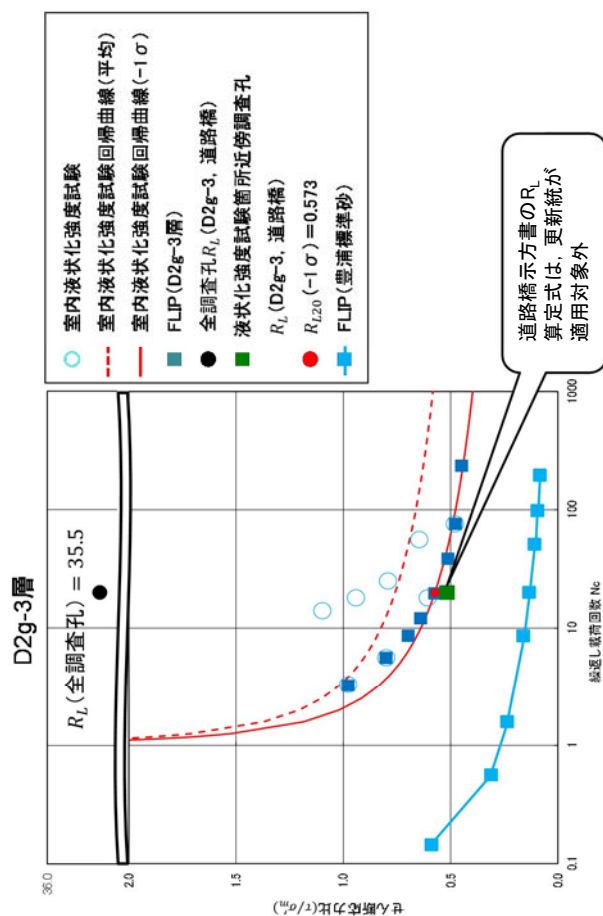
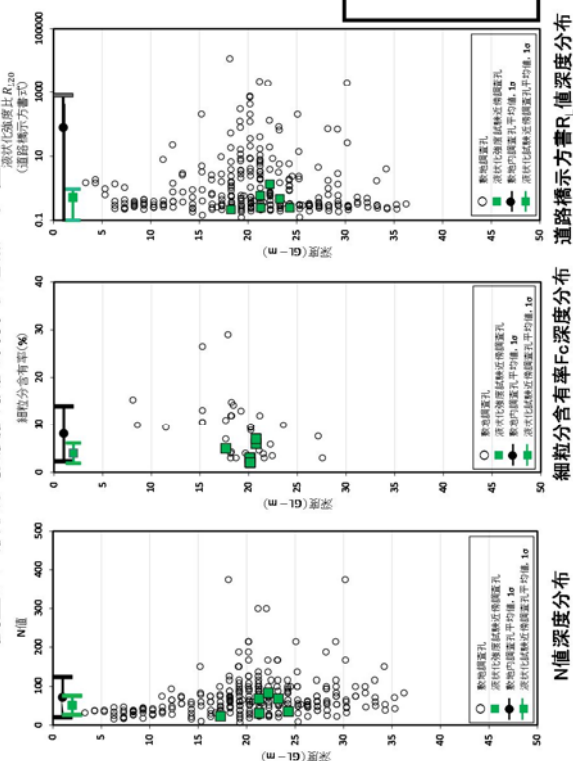
・  $R_{L20}(-1\sigma)$  は、 $N$ 値と $F_c$ を用いての $R_L$  (全調査孔) より小さい。  
 ・  $R_{L20}(-1\sigma)$  は、 $N$ 値と $F_c$ を用いての $R_L$  (近傍孔) よりやや大き目であるものの、豊浦標準砂の液状化強度特性( $-1\sigma$ ) は、原地盤の液状化強度試験データ及び $R_L$  (全調査孔)、 $R_L$  (近傍孔) を包含している。

第 4.3.7 図 液状化強度設定 (D2s-3 層) 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による  $R_{L20}$  との比較検討 (D2s-3 層)





調査点と液状化強度試験試料採取地点の位置



注)  $R_{L20}$  (-1σ) : 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均-1σの液状化強度比  
 $R_L$  : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

- $R_{L20}$  (-1σ)は、N値とFcを用いての  $R_L$  (全調査点) より小さい。
- $R_{L20}$  (-1σ)は、N値とFcを用いての  $R_L$  (近傍点) よりやや大き目であるものの、豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ) は、原地盤の液状化強度試験データ及び  $R_L$  (全調査点)、 $R_L$  (近傍点) を包含している。

第 4.3.8 図 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による  $R_{L20}$  との比較検討 (D2g-3 層)



### 3) まとめ

敷地内の液状化検討対象層に対して、**原地盤に基づく液状化強度特性**、**原地盤に基づく液状化強度特性の  $R_{L20}$  (全調査孔)**、 **$R_L$  (近傍孔)** 及び**豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性との比較検討を行った。**

- ・ 各土層の原地盤に基づく**室内液状化強度特性の  $R_{L20}$**  は、**何れの土層においても  $R_L$  (全調査孔) より小さい。**
- ・ 完新統 (du 層, As 層, Ag2 層) の液状化強度試験の  $R_{L20}$  は、**それに対応する  $R_L$  (近傍孔) より小さい。**
- ・ 更新統 (D2g-3 層, D2s-3 層) の液状化強度試験の  $R_{L20}$  は、**それに対応する  $R_L$  (近傍孔) よりやや大きめの値を示している。**しかし、道路橋示方書の  $R_L$  算定式は、完新統の  $N$  値及び細粒分含有率  $F_c$  と完新統の液状化強度比との関係から定められた式であり、更新統の液状化強度が一般的に高めの傾向となる要因である年代効果の続成作用等の影響を考慮できる評価式になっておらず、更新統は本来適用対象外である。よって、完新統の  $N$  値及び細粒分含有率  $F_c$  に基づく道路橋示方書の  $R_L$  算定式をあえて更新統に適用した場合には、**当該層の液状化強度試験結果** よりやや小さ目に  $R_L$  を評価する結果となっている。
- ・ 豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性は、**原地盤の液状化強度特性及び全ての土層の平均  $R_L$  (近傍孔) を包含している。**
- ・ 現在実施中の追加調査を踏まえ、各液状化検討対象層の液状化強度特性について、今後も引き続き検討を進める。当該施設設置位置近傍の調査孔で得られる  $N$  値と室内液状化強度試



験結果との関係を踏まえ，解析に用いる液状化強度特性が適切であるか再確認していく。



#### 4.4 基準地震動 $S_s$ に対する液状化強度試験の有効性

敷地で採取された試料を用いて実施した液状化強度試験が基準地震動  $S_s$  相当の地盤の状態（繰返し応力および繰返し回数）を模擬していることを確認するため、累積損傷度理論を適用し、評価検討を行った。

第 4.4.1 図に累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フローを、第 4.4.2 図に累積損傷度理論による等価繰返し回数の評価方法を示す。

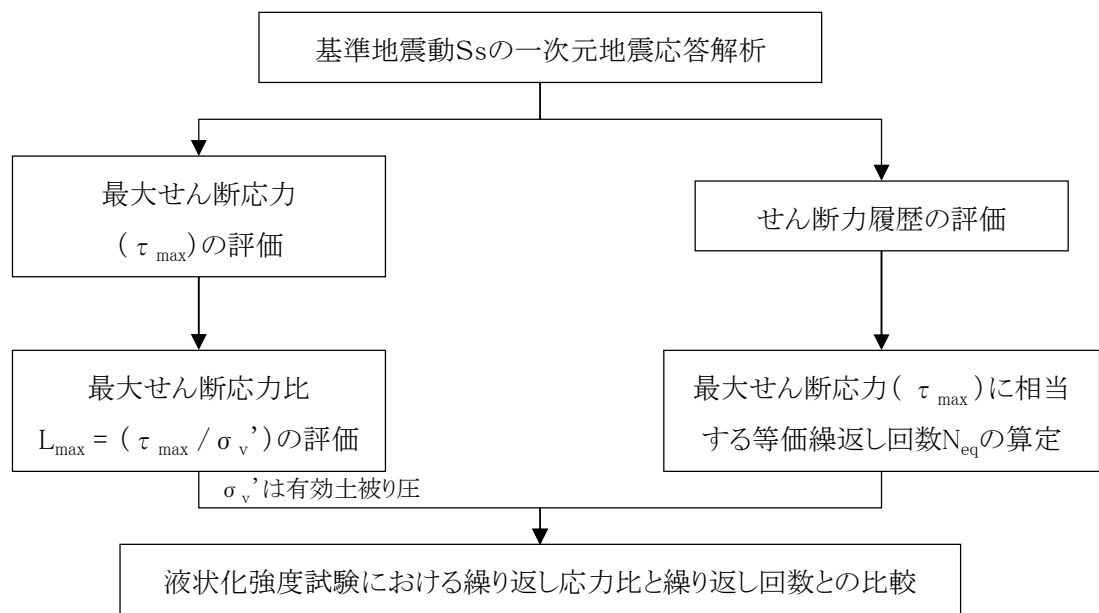
液状化強度試験結果から各せん断応力比（ $L$ ）に対して所定のせん断ひずみとなる繰返し回数を整理し、取水口南側・北側、海水ポンプ室南側・北側の地盤モデルを用いて実施した一次元有効応力解析結果を累積損傷度理論に基づいて整理した最大せん断応力比（ $L_{max}$ ）及び等価繰返し回数（ $N_{eq}$ ）と比較検討を行った。

第 4.4.3 図～第 4.4.6 図には各土層の累積損傷度理論に基づく評価結果を示す。

du 層、Ag2 層及び Ag1 層の評価結果より、解析結果による最大せん断応力比（ $L_{max}$ ）と等価繰返し回数（ $N_{eq}$ ）は、試験で実施したせん断応力比と繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動  $S_s$ -D1 相当の試験が実施出来ている。

As 層の評価結果より、液状化強度試験はせん断応力比が小さい（繰返し回数 100 回以上）のデータを包含していないことから、すべてのデータを十分に包含する豊浦標準砂の F L I P の液状化強度特性を用いた有効応力解析を実施し、耐震評価を行うこととする。





第 4.4.1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー



#### ◆ 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価

- ・累積損傷度理論は、金属の疲労破壊の分野で提案されたものである。

1回の荷重 $\tau_i$ により、損傷度 $\{1/N_f(\tau_i)\}$ が生じ、 $N_i$ 回の繰返し荷重により損傷度が累積して

$$D = \frac{N_i}{N_{if}(\tau_i)} \geq 1.0$$

で疲労破壊に達する。

- ・繰返し荷重 $\tau_i$ が $N_i$ 回作用したことによるのと同等の効果を、別の応力レベル $\tau_e$ によって得るために必要な繰返し回数(等価繰返し回数) $N_e$ は以下のように定義される。

$$N_e = \frac{N_i}{N_{if}} N_{ef}$$

ここに、

$N_i$  : せん断応力 $\tau_i$ の繰返し回数

$N_{if}$  : せん断強度 $\tau_i$ での繰返し回数

$N_e$  : せん断応力 $\tau_e$ の繰返し回数

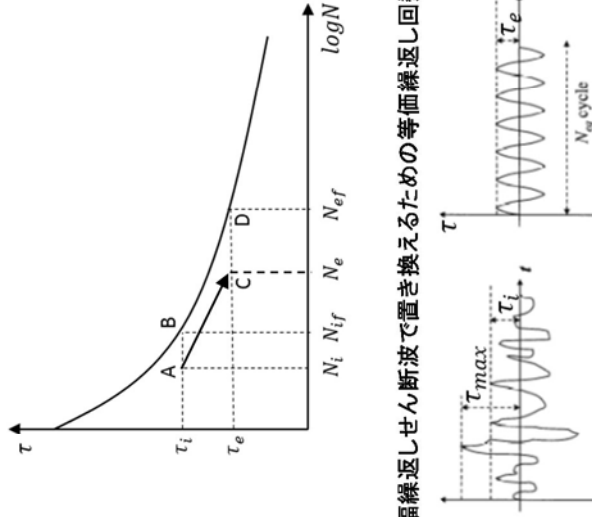
$N_{ef}$  :  $\tau_e$ なる等価振幅応力を加えた場合の破壊までの繰返し回数

- ・複数の $\tau_i$ を有する不規則波全体を等価一定せん断応力 $\tau_e$ なる単一応力レベルでの当振幅繰返しせん断波で置き換えるための等価繰返し回数 $N_{eq}$

$$\tau_e = 0.65 \times \tau_{max}$$

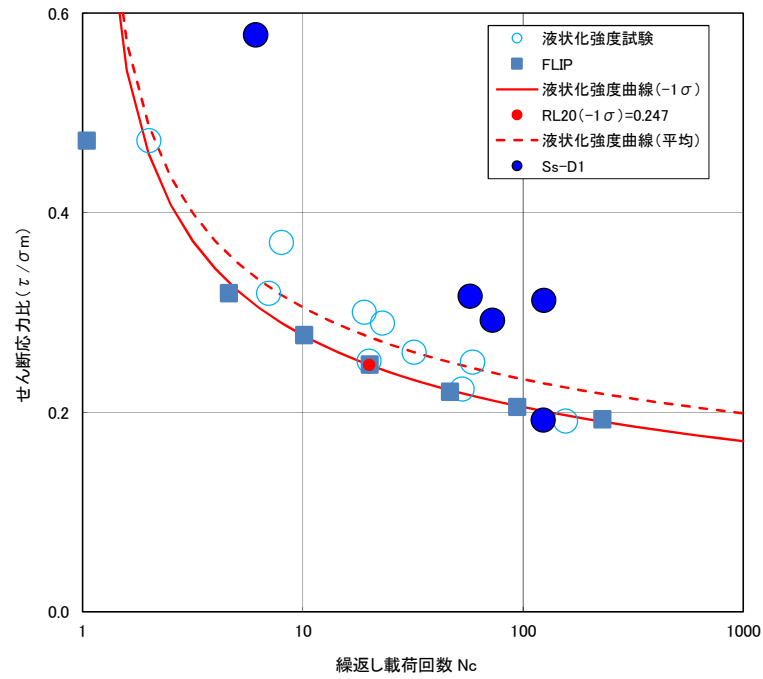
$$N_{eq} = \sum N_e = N_{ef} \sum \left( \frac{N_i}{N_{if}} \right)$$

- ・あるレベル未満のせん断応力は、 $N_{if}$ が大きいため $(N_i/N_{if}) \approx 0$ となり、ほとんど破壊に寄与しない。今回の検討では、液状化強度試験の最大繰返し回数200回に相当するせん断応力を設定し、そのせん断力以下は対象外とした。

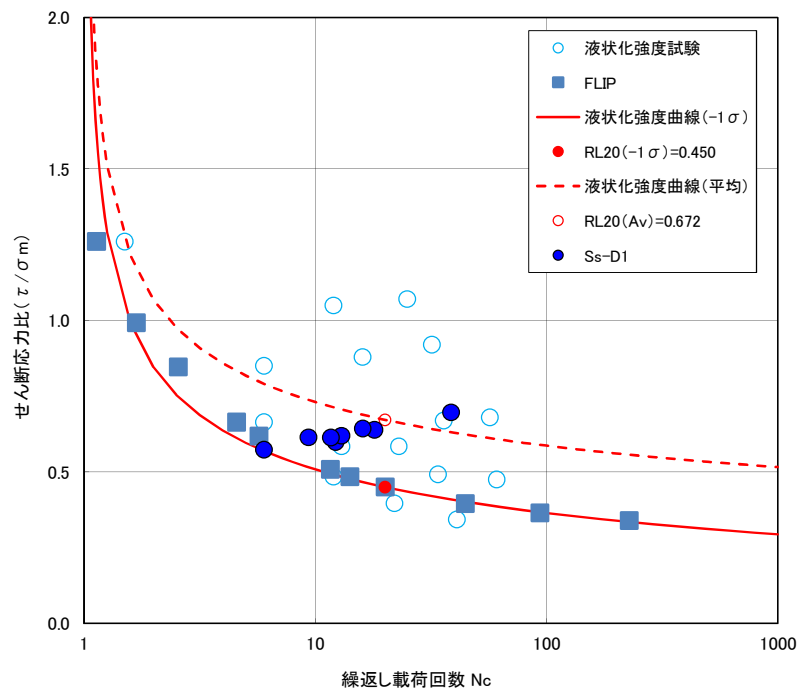


第 4.4.2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法



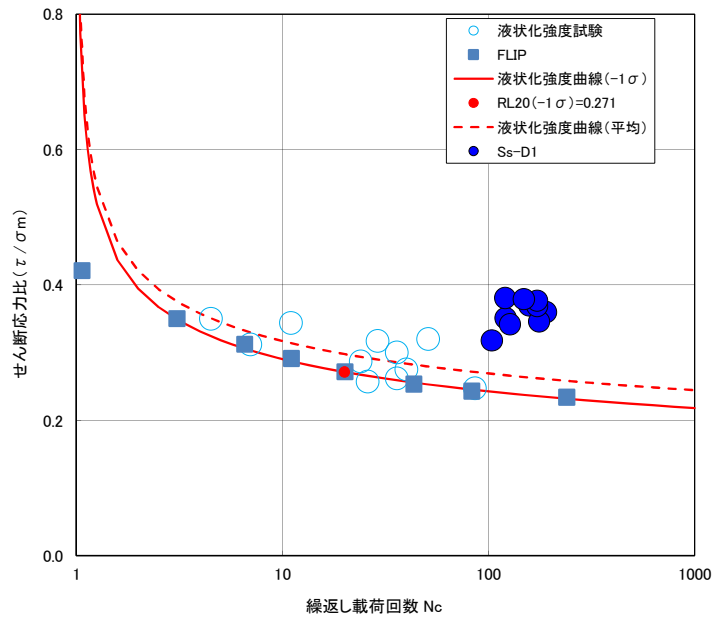


第 4.4.3 図 累積損傷度理論に基づく評価結果  
(取水口・海水ポンプ室, du 層)



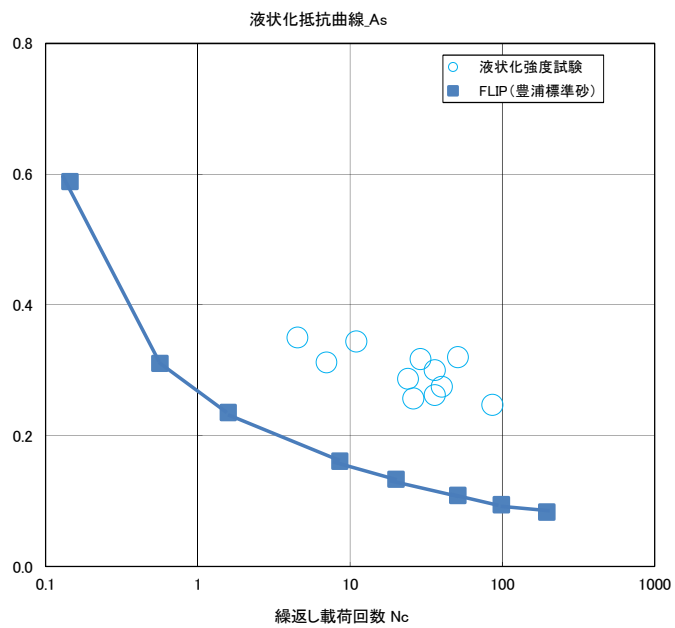
第 4.4.4 図 累積損傷度理論に基づく評価結果  
(取水口・海水ポンプ室, Ag2 層)





(a) 試験データの  $-1\sigma$  保守側の回帰曲線を再現対象とした

### FLIPの液状化強度特性



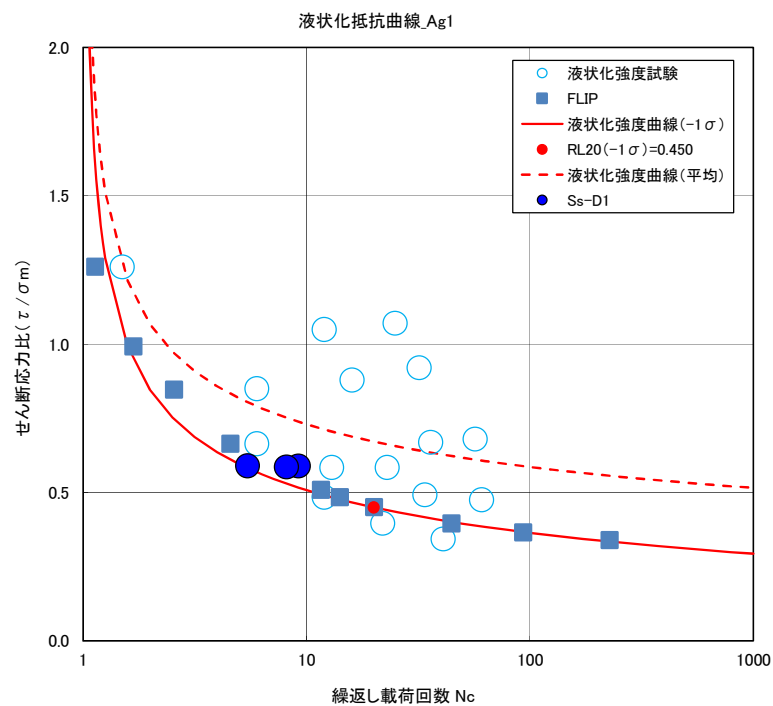
(b) 全ての試験データを包含する

### 豊浦標準砂のFLIPの液状化強度特性

第 4.4.5 図 累積損傷度理論に基づく評価結果

(取水口・海水ポンプ室, As 層)





第 4. 4. 6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果  
(取水口・海水ポンプ室, Ag1 層)



## 5. 施設毎の液状化影響検討の組合せ

### 1) 液状化影響検討の組合せの設定方針

液状化影響検討の組合せの設定フローを第 5.1.1 図に示す。

施設の詳細設計において、その周辺地盤に液状化検討対象層が存在しない場合は、液状化の影響検討は不要とする。

上記に該当しない施設について、基準地震動  $S_s$  に対して、敷地全体の原地盤に基づく液状化強度特性を用いた有効応力解析による影響検討を行う (①)

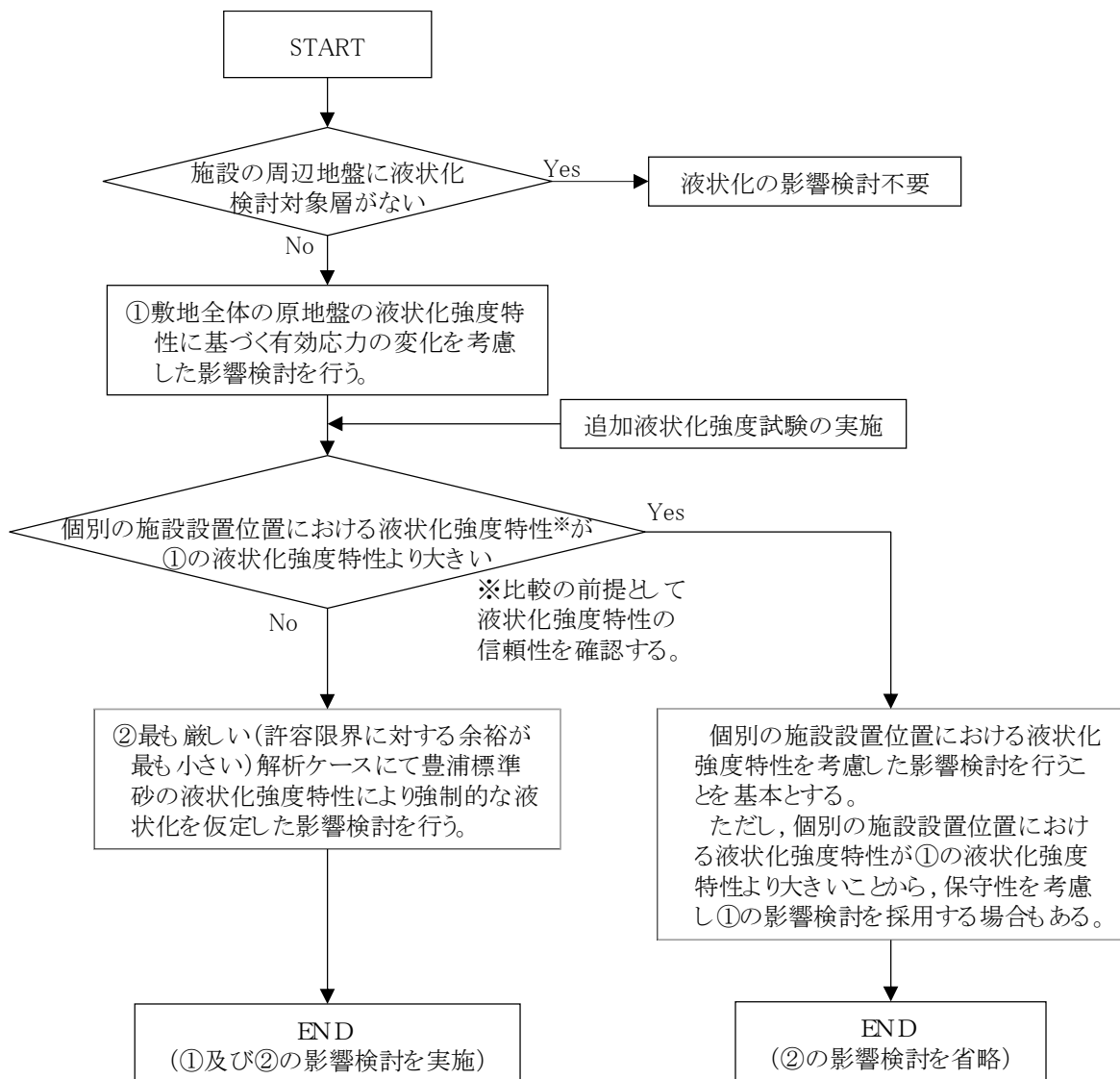
個別の施設設置位置の液状化強度特性について、信頼性を確認した上で、①の液状化強度特性より大きいかの確認を行う。

個別の施設設置位置の液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きいことの確認ができない場合は、①の検討において最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）解析ケースに対して、豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した影響検討を追加で行う (②)。

個別の施設設置位置の液状化強度が①の液状化強度特性より大きいことの確認ができた場合は、個別の施設設置位置における液状化強度特性を考慮した影響検討を行うことを基本とする。

ただし、個別の施設設置位置の液状化強度が①の液状化強度特性より大きいことから、保守性を考慮し①の影響検討を採用する場合もある。





第 5.1.1 図 液状化影響検討の組合せの設定フロー

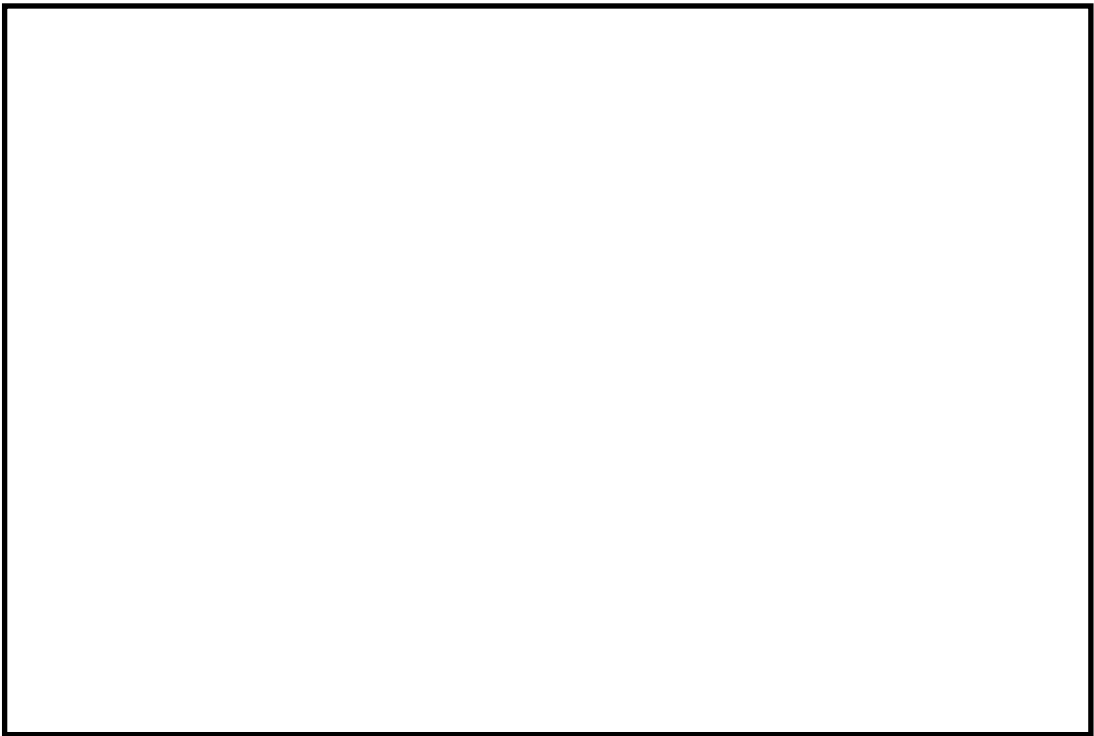
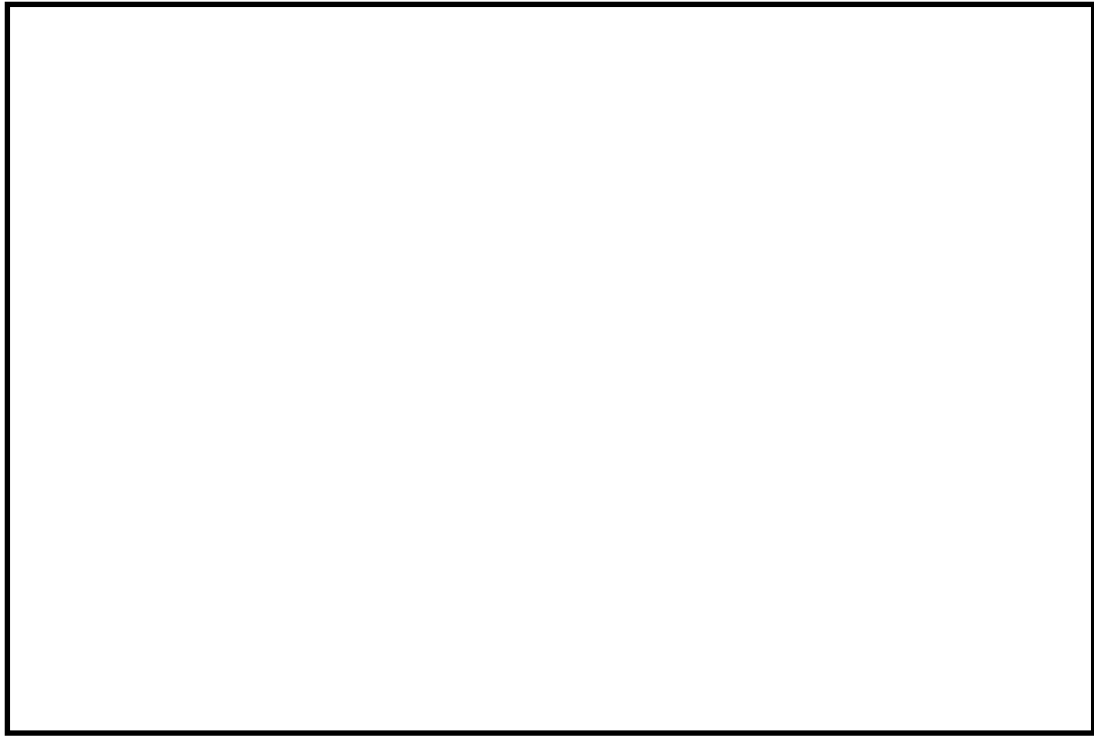


## 2) 施設毎の液状化影響検討の組合せ

対象施設の設置位置，液状化強度試験用試料採取箇所及び対象層を第 5.1.2 図に示す。また，検討フローに基づいた施設毎の液状化影響検討の組合せを第 5.1.1 表に示す。

また，第 5.1.3 図に追加液状化強度試験計画を示す。今後，当該試験結果を踏まえ，詳細設計にて用いられる液状化強度特性を精査していく。





第 5.1.2 図 対象施設の設置位置，液状化強度試験用試料採取箇所及び対象層

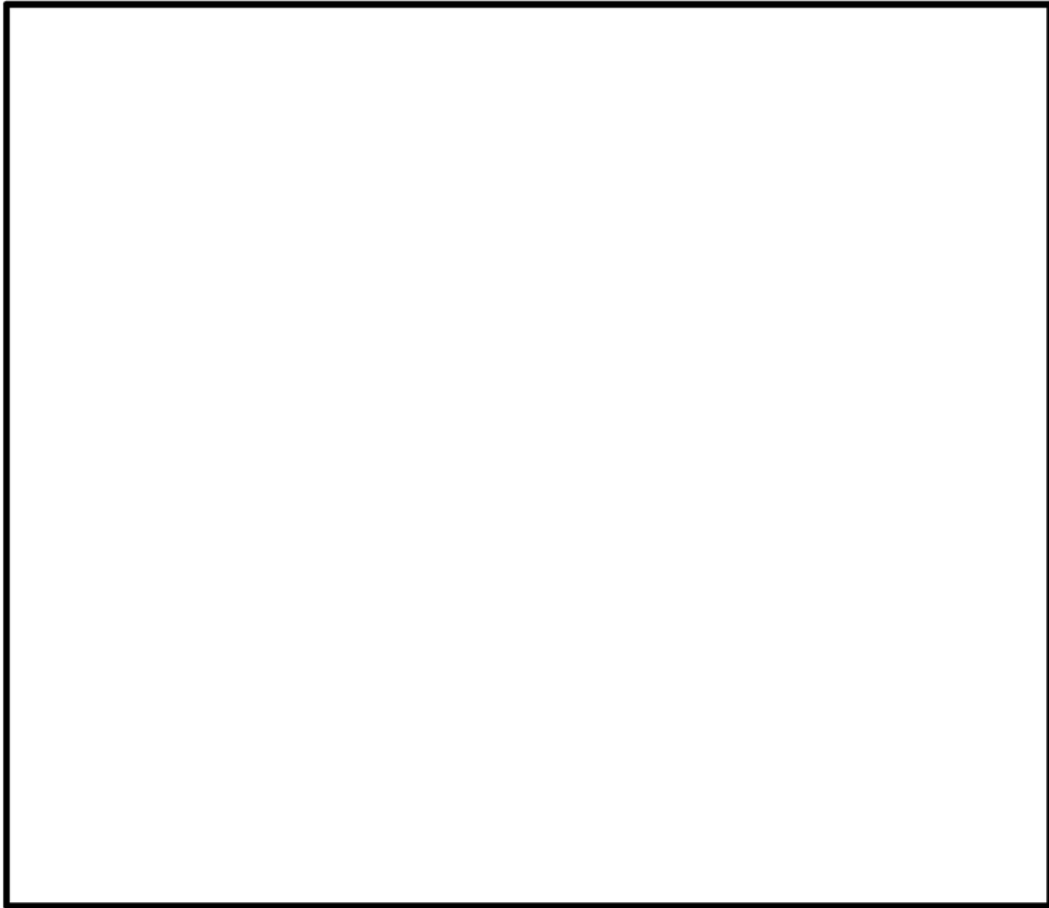


第 5.1.1.1 表 施設毎の液状化影響検討の組合せ

| 設備分類                            | 設備名称<br>【間接支持している設備名称】       | 下工の構造                | 支持層 | 周辺地盤の地層のうち、<br>液状化検討対象層                         | 液状化の<br>影響検討<br>不要 | 敷地全体の原地盤の液状化<br>強度特性に基づく<br>影響検討を実施(①) | 豊浦標準砂の液状化強度特<br>性により強制的な液状化を仮<br>定した影響検討を実施(②) |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------|-----|-------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| 対設計<br>処設計<br>処基準<br>処設計        | 使用済燃料乾式貯蔵建屋<br>【使用済燃料乾式貯蔵容器】 | 杭支持構造                | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁               | 杭支持構造                | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層,<br>D2s-3層, D2g-3層, D1-g1層 | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 銅製防護壁                        | 地中連続壁                | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                            | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 鉄筋コンクリート防潮壁                  | 地中連続壁                | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                            | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア)          | 地中連続壁                | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                            | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 原子炉建屋                        | MMRを介して<br>岩盤に直接支持   | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 取水構造物                        | 杭支持構造                | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                            | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 主排気筒                         | 杭支持構造                | 久米層 | 無し(第四系全てを地盤改良)                                  | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 【非常用ガス処理系排気筒】                | 杭支持構造                | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                            | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 屋外二重管                        | 杭支持構造                | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                            | ●                  | ●                                      | ●                                              |
| 重大事<br>故等処<br>処設計<br>処設計<br>処設計 | 貯留堰                          | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, As層, Ag1層                            | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 常設代替高圧電源装置置場                 | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 常設代替高圧電源装置用カルバート(トンネル部)      | 岩盤内に設置(トンネル)         | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置)                                    | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 【常設代替高圧電源装置配管】               | 岩盤に直接支持              | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部)        | 地盤改良体を介して<br>岩盤に直接支持 | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 常設代替高圧電源装置用カルバート(カルバート部)     | 鋼管コンクリート杭            | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 【常設代替高圧電源装置配管】               | 杭支持構造                | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 緊急時対策所建屋                     | 岩盤に直接支持              | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎(A, B)   | 岩盤内に設置(埋設管)          | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置)                                    | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 【緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク(A, B)】   | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
| 重大事<br>故等処<br>処設計<br>処設計<br>処設計 | 緊急用海水ポンプピット                  | 岩盤内に設置(埋設管)          | 久米層 | 無し(岩盤中に直接設置)                                    | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 【緊急用海水ポンプ】                   | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 緊急用海水取水管                     | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | SA用海水ピット                     | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 海水引込み管                       | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | SA用海水ピット取水塔                  | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, Ag2層, D2g-3層                               | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 格納容器圧力逃がし装置格納槽               | MMRを介して<br>岩盤に直接支持   | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 【格納容器圧力逃がし装置】                | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, du層, Ag2層, D2g-3層                          | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート          | 岩盤に直接支持              | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 【格納容器圧力逃がし装置用配管】             | 岩盤に直接支持              | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
| 重大事<br>故等処<br>処設計<br>処設計<br>処設計 | 代替淡水貯槽                       | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, du層, Ag2層, D2g-3層                          | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 低圧代替注水系ポンプ室                  | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, du層, Ag2層, D2g-3層                          | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 【低圧代替注水系ポンプ】                 | 岩盤に直接支持              | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 低圧代替注水系配管カルバート               | MMRを介して<br>岩盤に直接支持   | 久米層 | 無し※1                                            | ●                  | —                                      | —                                              |
|                                 | 【低圧代替注水系配管】                  | 岩盤に直接支持              | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 可搬型設備用軽油タンク基礎(西側)            | 杭支持構造                | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 【可搬型設備用軽油タンク(西側)】            | 杭支持構造                | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 可搬型設備用軽油タンク基礎(南側)            | 杭支持構造                | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 【可搬型設備用軽油タンク(南側)】            | 杭支持構造                | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |
|                                 | 可搬型設備用軽油タンク基礎(南側)            | 杭支持構造                | 久米層 | du層, D2s-3層, D2g-3層                             | ●                  | ●                                      | ●                                              |

※1: 排水設備により、地下水位を久米層分布深度以下として、地下水位以下に液状化検討対象層はない。





第 5.1.3 図 追加液状化強度試験計画



## 6. 有効応力解析の検討方針

### 1) 有効応力解析コード「F L I P」について

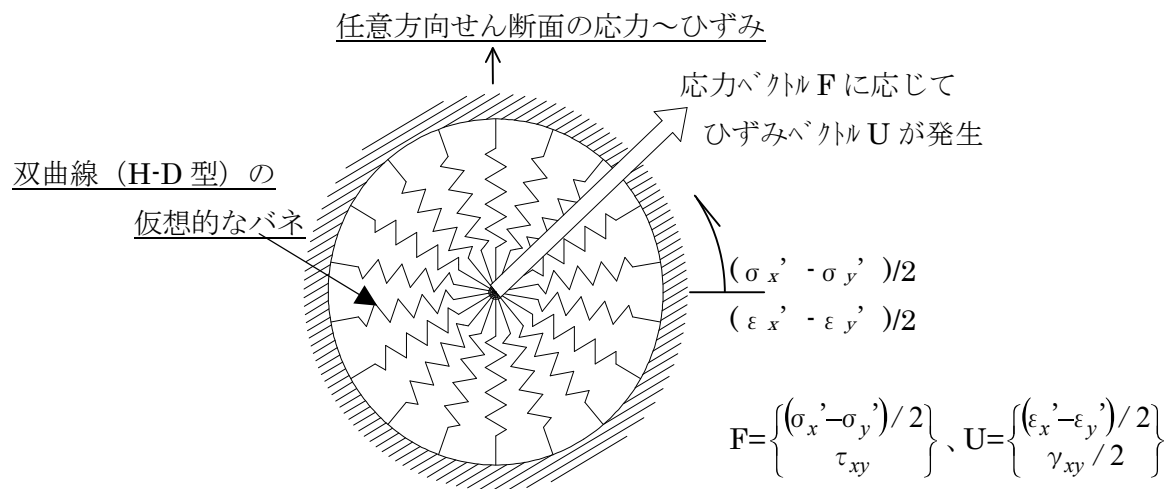
有効応力解析コード「F L I P (Finite element analysis of Liquefaction Program)」は、1988 年に運輸省港湾技術研究所(現、(独) 港湾空港技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2 次元地震応答解析プログラムである。F L I P の主な特徴として、以下の 5 点が挙げられる。

- ① 有限要素法に基づくプログラムである。
- ② 平面ひずみ状態を解析対象とする。
- ③ 地盤の液状化を考慮した地震応答解析を行い、部材断面力や残留変形等を計算する。
- ④ 土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリングモデルを採用している。
- ⑤ 液状化現象は有効応力法により考慮する。そのため、必要な過剰間隙水圧発生モデルとして井合モデルを用いている。

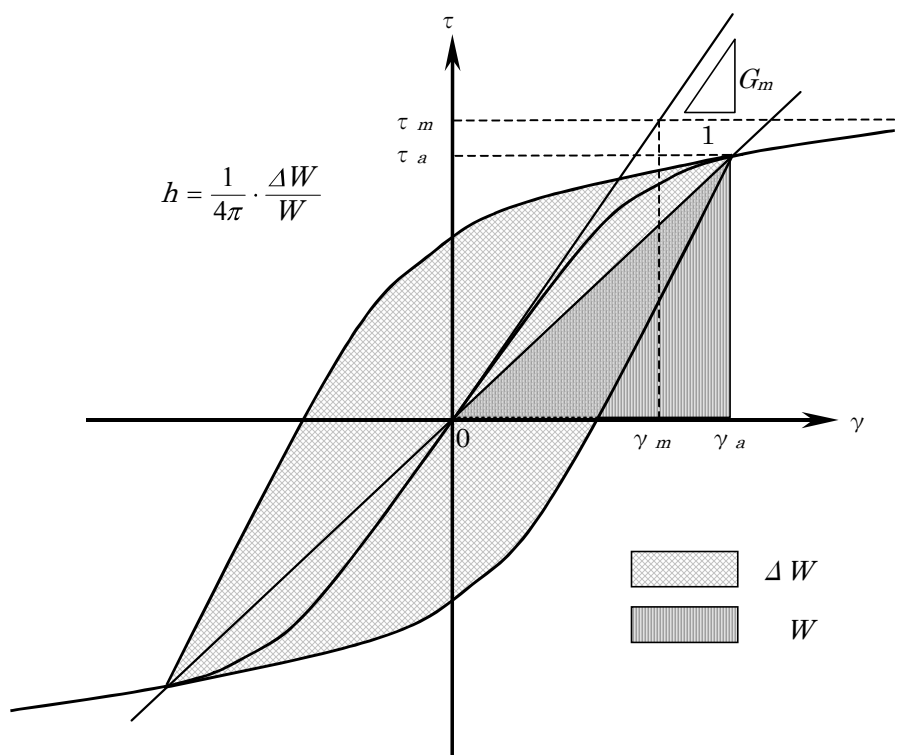
砂の変形特性を規定するマルチスプリングモデルは、任意方向のせん断面において仮想的な単純せん断バネの作用があるものとし、これらのせん断バネの作用により、土全体のせん断抵抗が発揮されるものである。土の応力-ひずみ関係は、このせん断バネの特性によって種々の表現が可能であるが、「F L I P」では双曲線 (Hardin-Drnevich) 型モデルを適用している。また、履歴ループについては、その大きさを任意に調整可能なように拡張した Masing 則を用いている。第 6.1.1 図にマルチスプリングモデルの概念図を、第 6.1.2 図に非排水条件での土の応力-ひずみ関係の



概念図を示す。



第 6.1.1 図 マルチスプリングモデルの概念図



第 6.1.2 図 非排水条件での土の応力－ひずみ関係の概念図



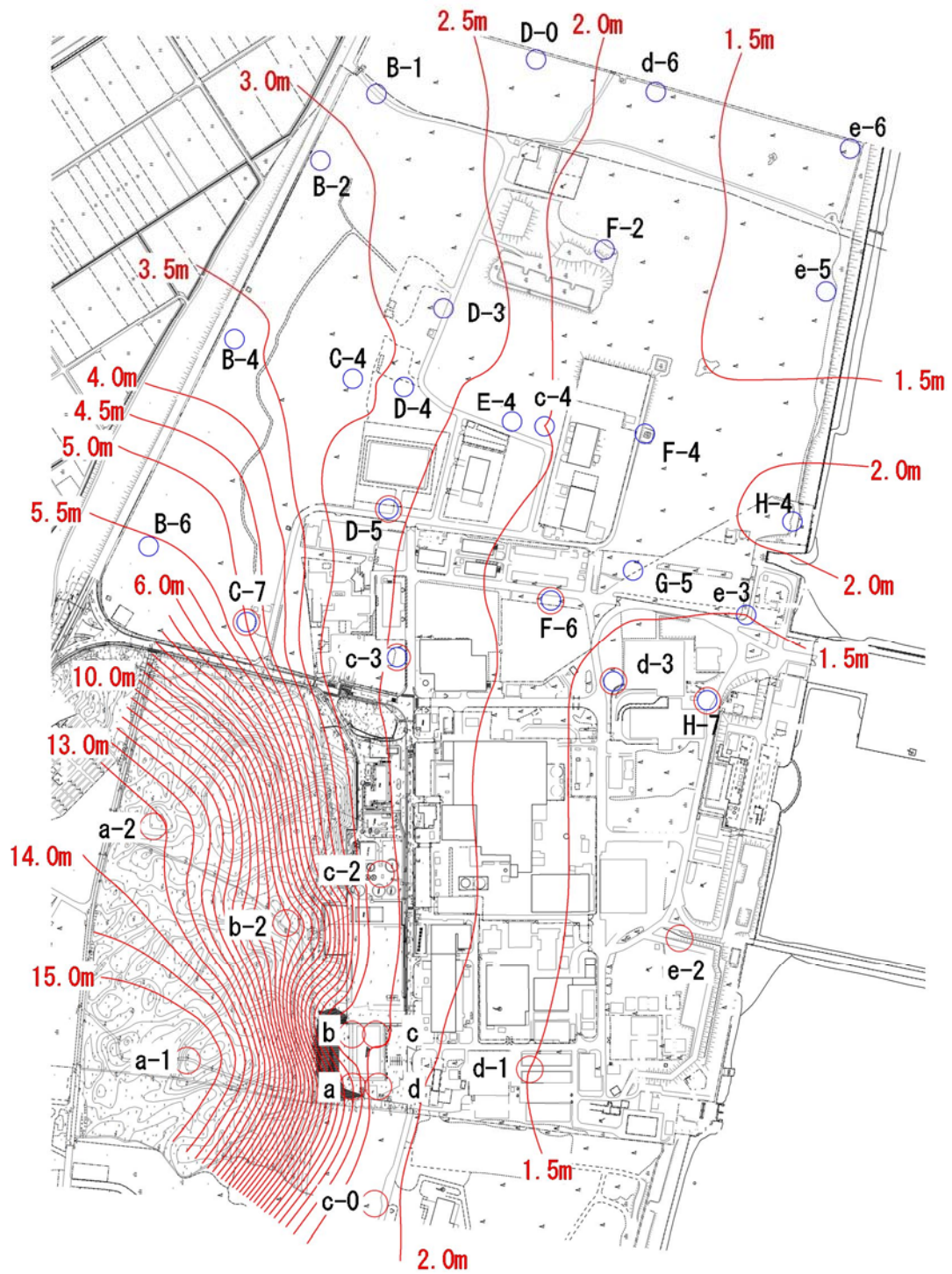
## 2) 有効応力解析における地下水位分布について

敷地においては水位観測に基づき、水位コンターを設定している。地下水位については、平成 29 年 6 月時点でのデータを用いて取り纏めを行い、地下水位コンター図を作成した。

第 6.1.3 図に観測最高地下水位コンター図、第 6.1.1 表に観測最高地下水位一覧表を示す。

今後、防潮堤の設置に伴う敷地内の地下水位の変化を想定し、有効応力解析は地下水位を地表面に設定して行うものとする。





第 6.1.3 図 観測最高地下水位コンター図



第 6.1.1 表 観測最高地下水位一覧表

| 観測孔名 | 計測期間                 | 観測最高地下水位<br>(T. P. + m) | 観測最高地下水位<br>計測時期 |
|------|----------------------|-------------------------|------------------|
| a    | 1995～1999            | 3.49                    | 1998 年 10 月 8 日  |
| b    | 1995～1999            | 2.52                    | 1998 年 9 月 25 日  |
| c    | 1995～1999            | 2.53                    | 1998 年 9 月 22 日  |
| d    | 1995～1999            | 2.28                    | 1998 年 9 月 22 日  |
| a-1  | 1995～1999, 2004～2009 | 15.42                   | 2006 年 8 月 7 日   |
| a-2  | 2004～2009            | 13.60                   | 2006 年 7 月 28 日  |
| b-2  | 2004～2009            | 9.06                    | 2006 年 7 月 30 日  |
| c-0  | 1995～1999, 2004～2009 | 2.05                    | 1998 年 9 月 19 日  |
| c-2  | 1995～1999, 2004～2017 | 2.58                    | 2012 年 7 月 7 日   |
| c-3  | 2004～2017            | 2.49                    | 2012 年 7 月 7 日   |
| c-4  | 2004～2017            | 2.00                    | 2012 年 6 月 25 日  |
| d-1  | 1995～1999, 2004～2009 | 1.50                    | 1998 年 9 月 18 日  |
| d-3  | 2004～2017            | 1.44                    | 2013 年 10 月 27 日 |
| d-6  | 2004～2017            | 1.58                    | 2013 年 10 月 28 日 |
| e-2  | 2004～2017            | 1.38                    | 2006 年 10 月 8 日  |
| e-3  | 2004～2017            | 1.50                    | 2013 年 10 月 16 日 |
| e-5  | 2004～2017            | 1.30                    | 2013 年 10 月 21 日 |
| e-6  | 2004～2017            | 1.26                    | 2013 年 10 月 21 日 |
| B-1  | 2005～2017            | 2.90                    | 2006 年 7 月 30 日  |
| B-2  | 2005～2017            | 3.09                    | 2006 年 7 月 30 日  |
| B-4  | 2005～2017            | 3.56                    | 2006 年 7 月 31 日  |
| B-6  | 2005～2017            | 5.51                    | 2006 年 8 月 17 日  |
| C-4  | 2005～2017            | 3.17                    | 2012 年 6 月 27 日  |
| C-7  | 2005～2017            | 4.99                    | 2006 年 8 月 18 日  |
| D-0  | 2006～2017            | 2.37                    | 2012 年 6 月 22 日  |
| D-3  | 2005～2017            | 2.88                    | 2006 年 10 月 7 日  |
| D-4  | 2006～2017            | 2.76                    | 2012 年 6 月 25 日  |
| D-5  | 2006～2017            | 2.54                    | 2012 年 7 月 16 日  |
| E-4  | 2006～2017            | 2.26                    | 2012 年 6 月 25 日  |
| F-2  | 2005～2015            | 1.74                    | 2013 年 10 月 30 日 |
| F-4  | 2005～2017            | 1.55                    | 2013 年 10 月 27 日 |
| F-6  | 2005～2017            | 1.77                    | 2012 年 6 月 24 日  |
| G-5  | 2005～2017            | 1.53                    | 2013 年 10 月 27 日 |
| H-4  | 2006～2017            | 2.13                    | 2013 年 10 月 16 日 |
| H-7  | 2005～2017            | 1.33                    | 2013 年 10 月 27 日 |



### 3) 液状化判定に係る評価基準値について

有効応力解析コード「FLIP」での地震応答解析結果により算出される各地盤要素の間隙水圧に対し，液状化の定義を明確にした上で，評価基準値を以下のように設定し，液状化判定を行う。

レベル 2 地震動による液状化研究小委員会活動成果報告（土木学会，2003）では，地盤の液状化の事象の定義として，以下のよう

- ・地震の繰り返しせん断力などによって，飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し，有効応力がゼロまで低下し液体状となり，その後地盤の流動を伴う現象。

液状化判定の評価基準値を設定するにあたり，規格・基準における液状化と過剰間隙水圧に関する記載事例を調査した。地盤材料試験の方法と解説（公益社団法人地盤工学会，2009）では，液状化と関連する過剰間隙水圧について，以下のように記載されている。

- ・各繰り返しサイクルにおける過剰間隙水圧  $\Delta u$  の最大値が有効拘束圧  $\sigma_0'$  の 95%になった時の繰り返し載荷回数  $N_{u95}$  を求める。  
（土の液状化強度特性を求めるための繰り返し非排水三軸試験（p. 703～749））

これらの知見を踏まえて，過剰間隙水圧を指標とした液状化の評価基準値について，“液状化の定義”及び“規格・基準における記載事例”に基づき，以下のように設定する。

- ・過剰間隙水圧  $\Delta u$  の最大値が有効拘束圧  $\sigma_0'$  の 95%に達した状



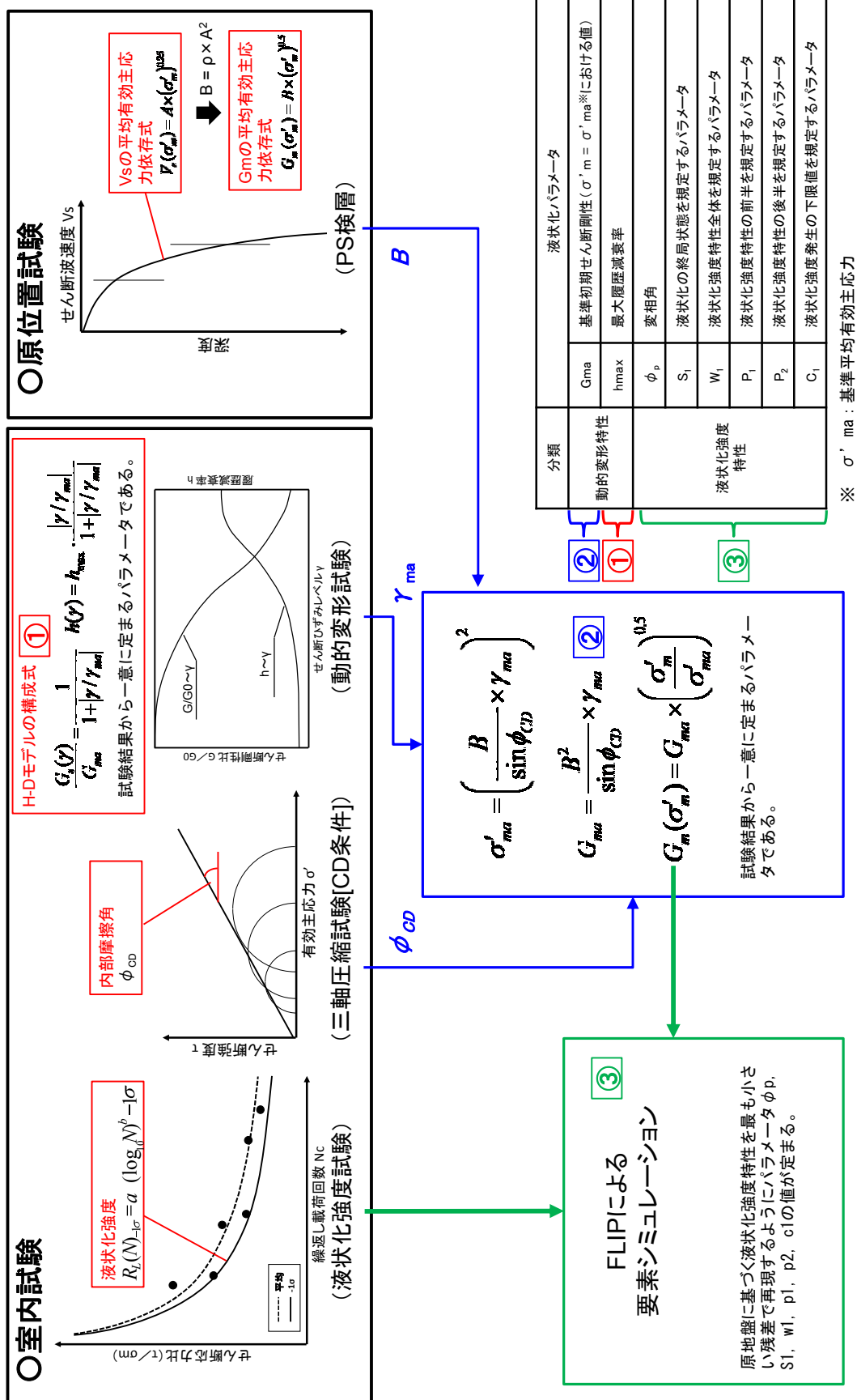
態を液状化と判定する。

第 6.1.4 図に液状化パラメータ設定の流れ，第 6.1.2 表に各層の液状化パラメータを示す。

液状化パラメータの設定は，室内試験（液状化強度試験，三軸圧縮試験（CD 条件），動的変形試験）および原位置試験（PS 検層）により動的変形特性を求め，その後「F L I P」による要素シミュレーションにより液状化強度特性を求めている。

第 6.1.5 図～第 6.1.11 図に液状化強度試験結果に基づき，保守側に設定した各層の「F L I P」の液状化強度特性を示す。





第 6.1.4 図 液状化パラメータ設定の流れ

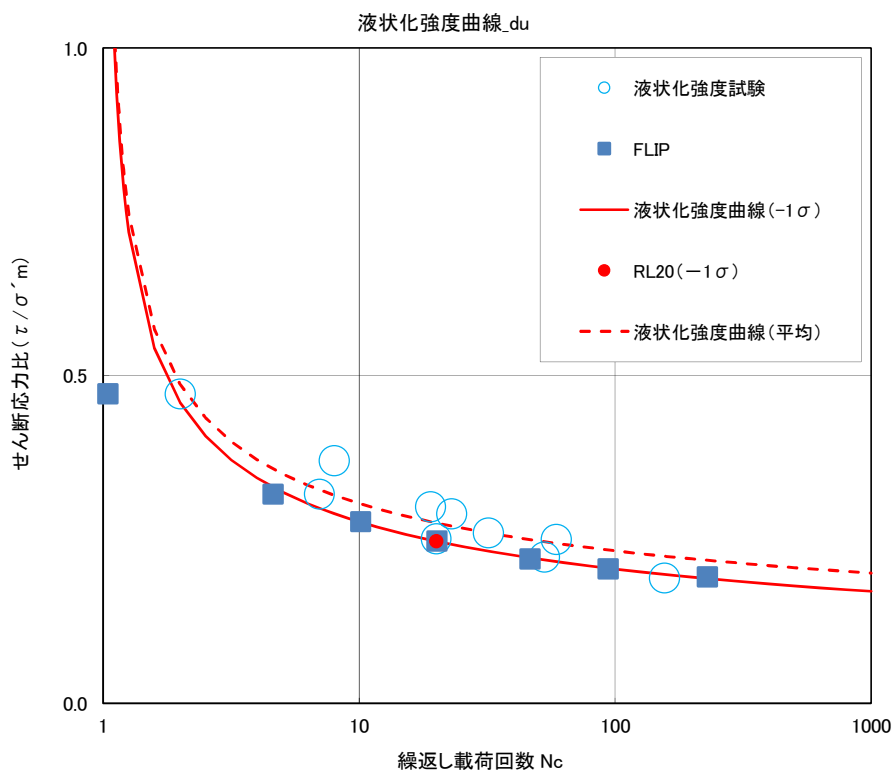


第 6.1.1.2 表 各層の液状化パラメータ

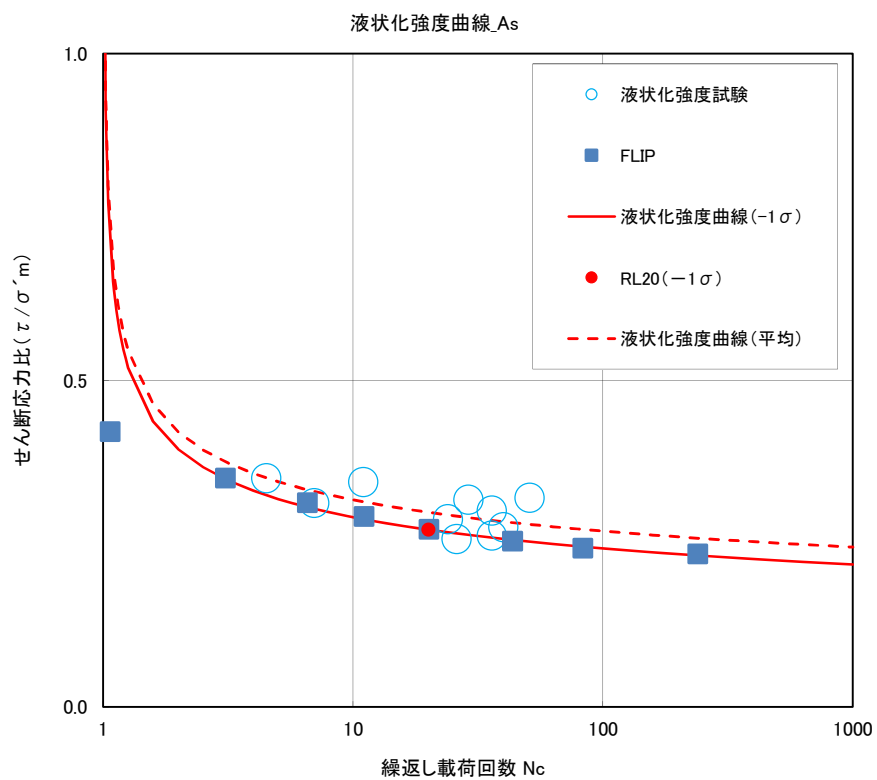
| 液状化パラメータ |          |                                                       |                                           |                 |                   |                |                |                |                |                |
|----------|----------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          | 間隙比<br>e | 基準平均有効<br>主応力 $\sigma'_{ma}$<br>[ kN/m <sup>2</sup> ] | 基準初期<br>せん断剛性Gma<br>[ kN/m <sup>2</sup> ] | 最大履歴減衰率<br>hmax | $\phi_p$<br>[ 度 ] | S <sub>1</sub> | W <sub>1</sub> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | C <sub>1</sub> |
|          |          |                                                       |                                           |                 |                   |                |                |                |                |                |
| 埋戻土      | 0.75     | 358<br>(312)<br>※( )は地下水位以浅                           | 253,529<br>(220,739)<br>※( )は地下水位以浅       | 0.220           | 34.8              | 0.047          | 6.5            | 1.26           | 0.80           | 2.00           |
|          | 0.75     | 358<br>(312)<br>※( )は地下水位以浅                           | 253,529<br>(220,739)<br>※( )は地下水位以浅       | 0.220           | 34.8              | 0.047          | 6.5            | 1.26           | 0.80           | 2.00           |
|          | 0.67     | 497<br>(299)<br>※( )は地下水位以浅                           | 278,087<br>(167,137)<br>※( )は地下水位以浅       | 0.233           | 34.9              | 0.028          | 56.5           | 9.00           | 0.60           | 3.40           |
|          | Ac       | 480                                                   | 121,829                                   | 0.200           | 非液状化層             |                |                |                |                |                |
| 第四系      | As       | 378                                                   | 143,284                                   | 0.216           | 38.3              | 0.046          | 6.9            | 1.00           | 0.75           | 2.27           |
|          | Ag1      | 814<br>(814)<br>※( )は地下水位以浅                           | 392,073<br>(392,073)<br>※( )は地下水位以浅       | 0.221           | 34.9              | 0.029          | 51.6           | 12.00          | 0.60           | 3.35           |
|          | D2c-3    | 696                                                   | 285,223                                   | 0.186           | 非液状化層             |                |                |                |                |                |
|          | D2s-3    | 966                                                   | 650,611                                   | 0.192           | 33.4              | 0.048          | 17.6           | 4.80           | 0.96           | 3.15           |
|          | D2g-3    | 1,167<br>(1,167)<br>※( )は地下水位以浅                       | 1,362,035<br>(1,362,035)<br>※( )は地下水位以浅   | 0.130           | 41.4              | 0.030          | 45.2           | 8.00           | 0.60           | 3.82           |
|          | lm       | 223                                                   | 35,783                                    | 0.151           | 非液状化層             |                |                |                |                |                |
|          | D1c-1    | 696                                                   | 285,223                                   | 0.186           | 非液状化層             |                |                |                |                |                |
| D1g-1    | 0.67     | 1,695<br>(1,710)<br>※( )は地下水位以浅                       | 947,946<br>(956,776)<br>※( )は地下水位以浅       | 0.233           | 34.9              | 0.020          | 10.5           | 7.00           | 0.50           | 2.83           |

第四系



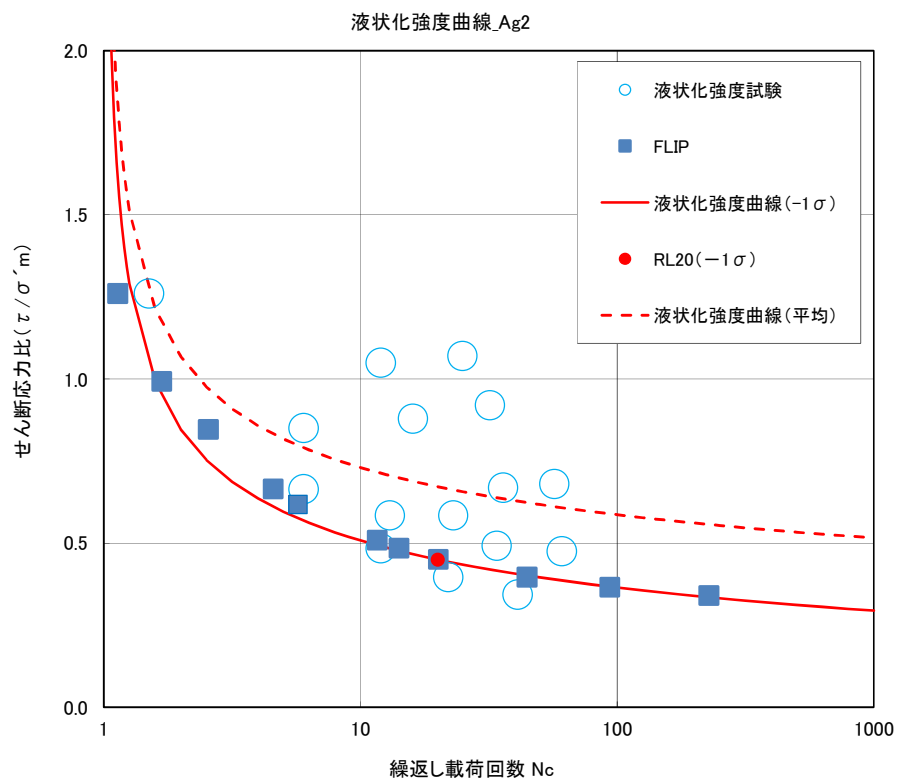


第 6.1.5 図 液状化強度特性 (du 層)

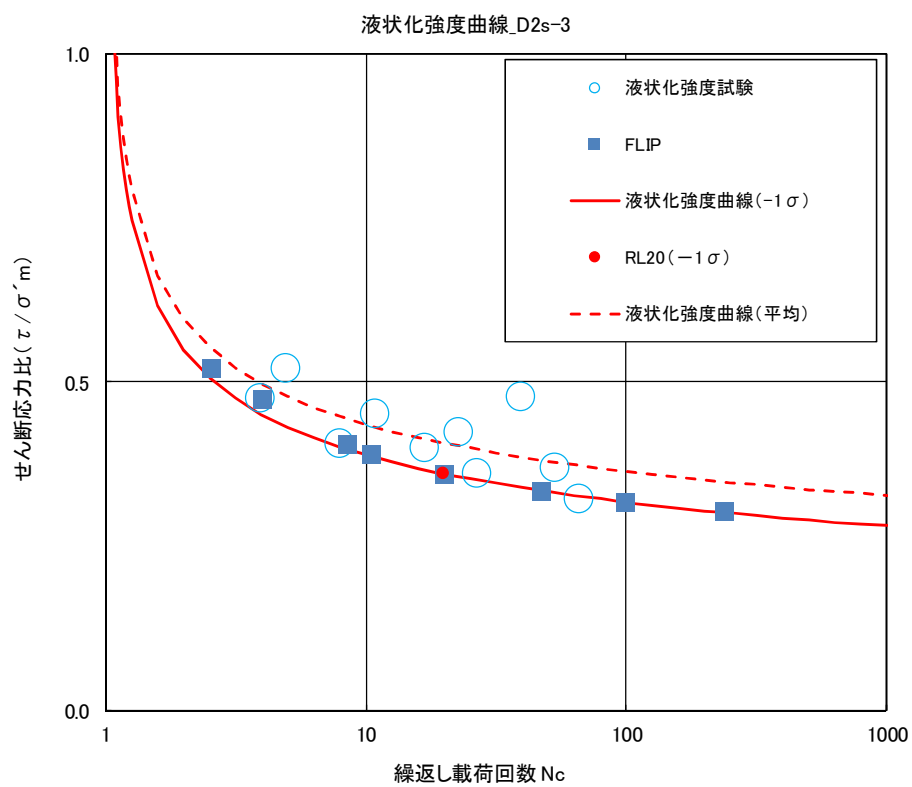


第 6.1.6 図 液状化強度特性 (As 層)



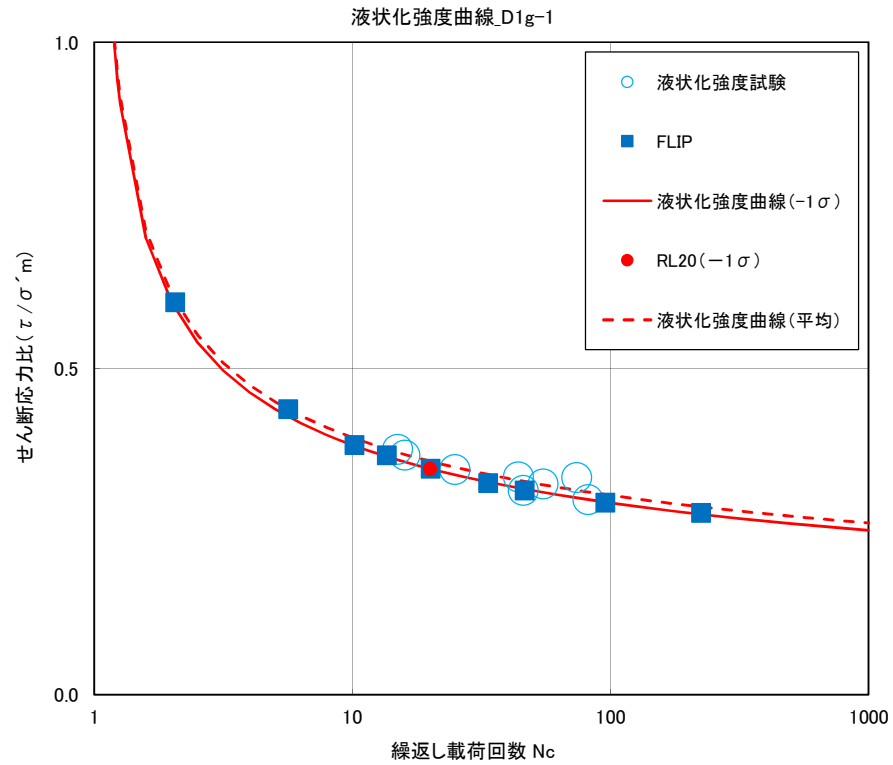


第 6.1.7 図 液状化強度特性 (Ag2 層)

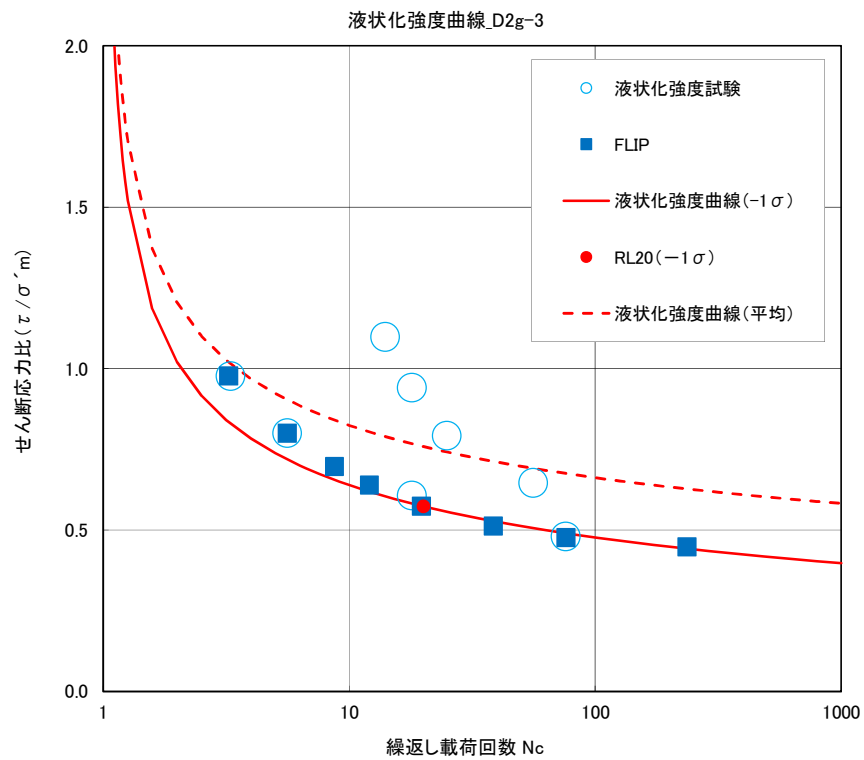


第 6.1.8 図 液状化強度特性 (D2s-3 層)



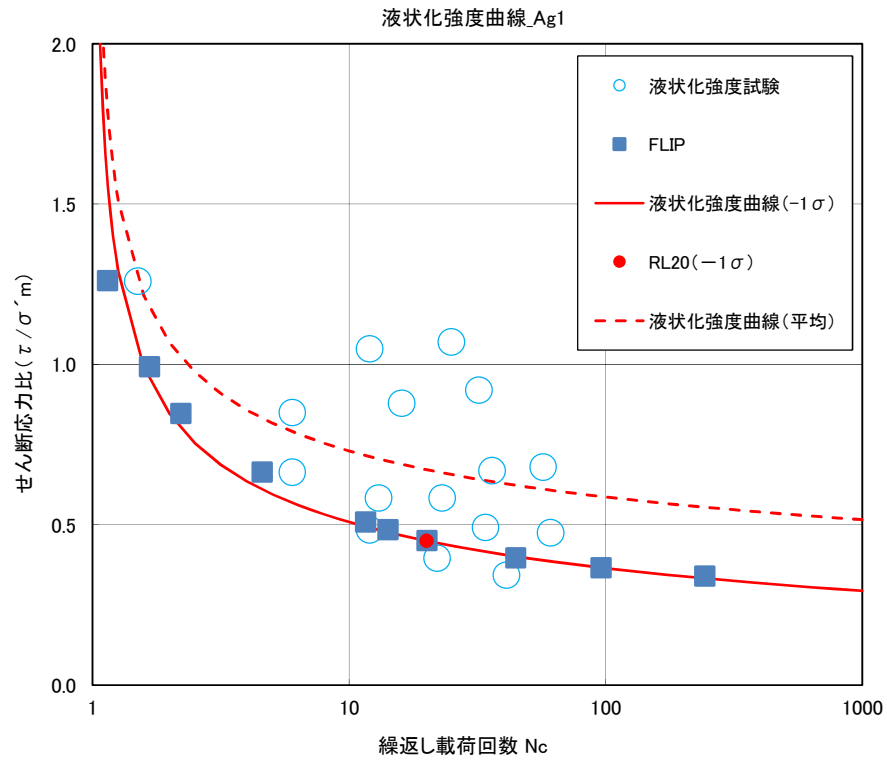


第 6.1.9 図 液状化強度特性 (D1g-1 層)



第 6.1.10 図 液状化強度特性 (D2g-3 層)





第 6.1.11 図 液状化強度特性 (Ag1 層)



## 7. 液状化強度特性（豊浦標準砂）の仮定

豊浦標準砂は、山口県豊浦で産出される天然の珪砂であり、敷地には存在しないものである。豊浦標準砂は、淡黄色の丸みのある粒から成り、粒度が揃い均質で非常に液状化しやすい特性を有していることから、液状化強度特性に関する研究等における実験などで多く用いられている。

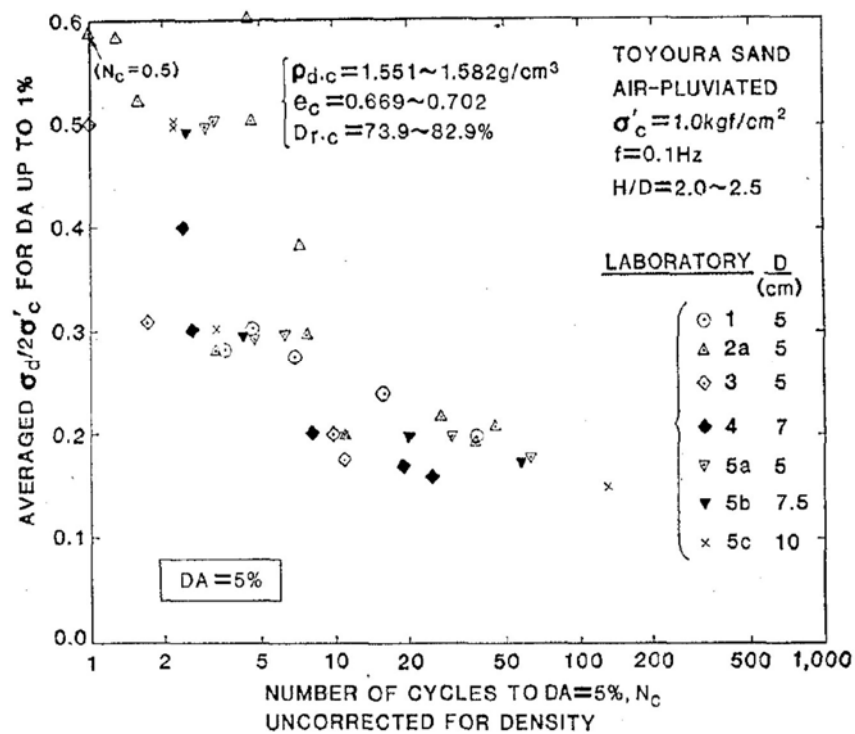
液状化評価に用いる豊浦標準砂の強度特性は、文献（CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM[Soils and Foundations, JSSMFE. 26-3. (1986)]）から引用した相対密度 73.9～82.9%の豊浦標準砂の液状化強度試験データに対し、それらを全て包含する「F L I P」の液状化特性を設定する。

第 7.1.1 図に豊浦標準砂の液状化強度試験データ、第 7.1.2 図に F L I P による豊浦標準砂の液状化強度特性を示す。

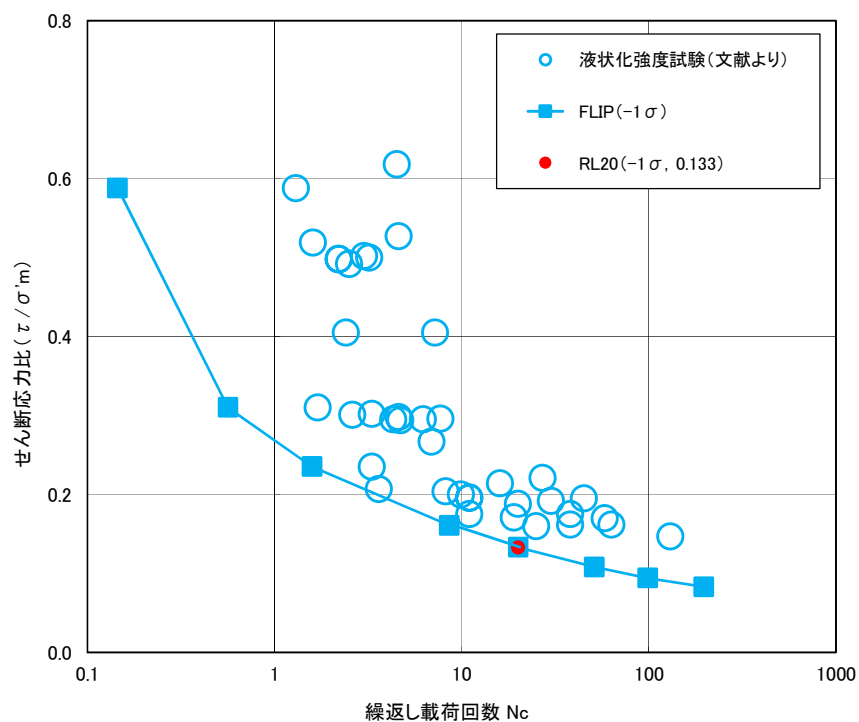
F L I P を用いて、強制的に液状化を仮定した液状化影響評価を行うため、東海第二発電所の全地層の液状化強度試験データを包含する液状化強度特性（豊浦標準砂）を F L I P に仮定した有効応力解析を行い、耐震評価を実施する。第 7.1.3 図に豊浦標準砂の液状化強度特性と原地盤の液状化強度特性の比較を示す。

豊浦標準砂と液状化評価対象層である du 層及び As 層の比較を実施した。第 7.1.1 表に平均粒径と細粒分含有率の比較、第 7.1.4 図～第 7.1.5 図に粒径加積曲線による比較を示す。豊浦標準砂と du 層及び As 層の粒度分布について比較した結果、豊浦標準砂は細粒分含有率が低く、均質な粒径であることから、より液状化し易い砂であるといえる。



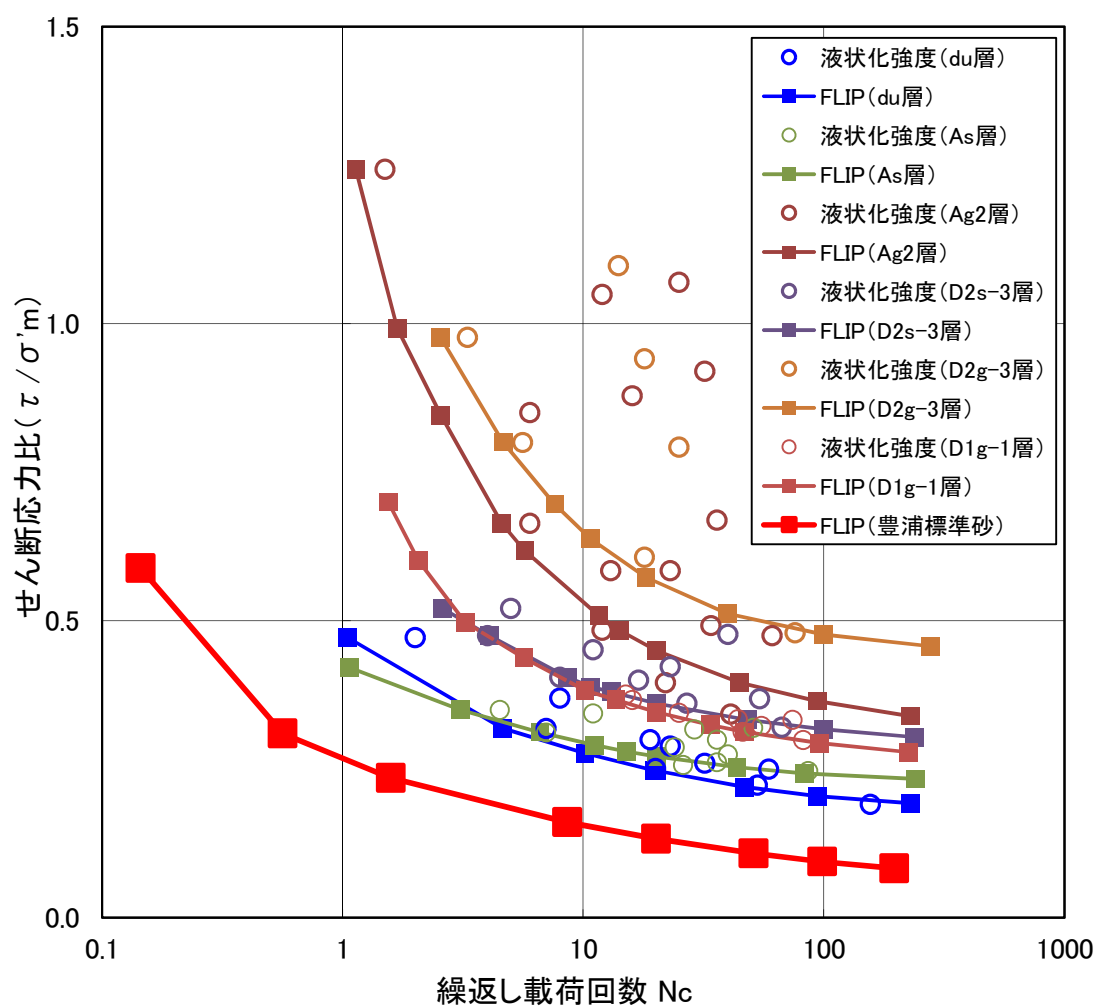


第 7.1.1 図 豊浦標準砂の液状化強度試験データ



第 7.1.2 図 FLIP による豊浦標準砂の  
液状化強度特性 (−1σ)



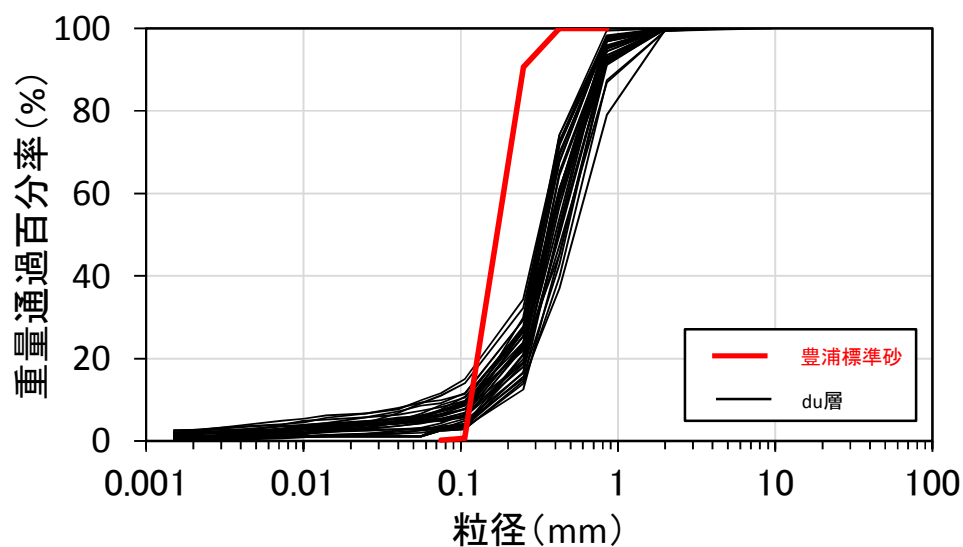


第 7.1.3 図 豊浦標準砂と原地盤の液状化強度特性の比較

第 7.1.1 表 平均粒径と細粒分含有率の比較

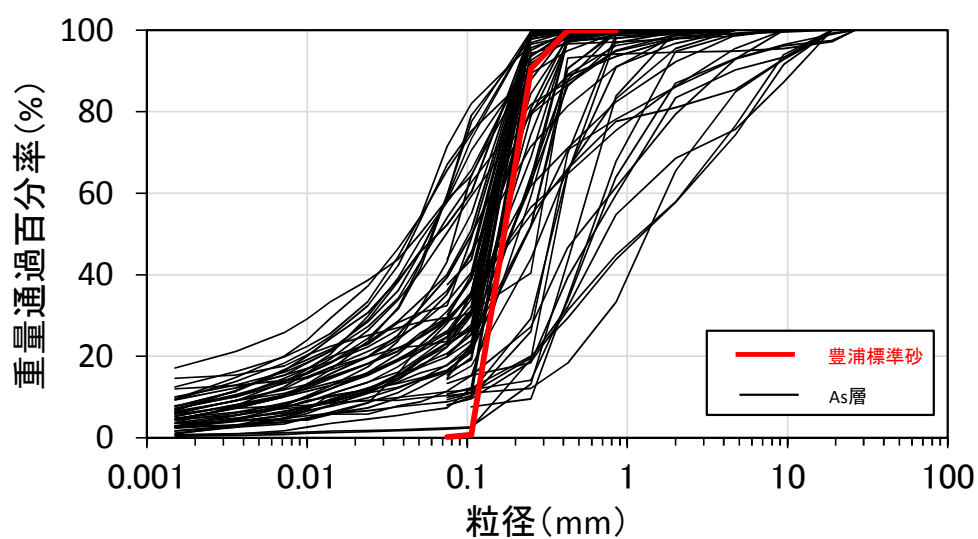
|       | 平均粒径 (mm) | 細粒分含有率 (%) |
|-------|-----------|------------|
| 豊浦標準砂 | 0.202     | 0.24       |
| du 層  | 0.384     | 5.2        |
| As 層  | 0.201     | 2.1～71.5   |





※豊浦標準砂の粒度については，文献（豊浦砂の粒度分布（土木学会第 64 回年次学術講演会，平成 21 年 9 月））より引用

第 7.1.4 図 粒径加積曲線による比較（du 層）



※豊浦標準砂の粒度については，文献（豊浦砂の粒度分布（土木学会第 64 回年次学術講演会，平成 21 年 9 月））より引用

第 7.1.5 図 粒径加積曲線による比較（As 層）



8. 設置許可基準規則第三条第1項、第2項に対する条文適合方針について

8.1 設置許可基準規則第三条第1項、第2項に対する条文適合方針

当社における耐震重要施設等※は、直接または杭を介して十分な支持性能を有する岩盤（久米層）で支持する。（第1項適合）

杭基礎構造部物においては、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても、支持機能及び杭本体の構造が成立するよう設計する。また、液状化を仮定した際の地盤変状を考慮した場合においても、その安全機能が損なわれないよう、適切な対策を講ずる設計とする。（第1項及び第2項適合）

8.2 上記の設計方針を踏まえた基礎地盤安定性評価及び耐震設計方針

(1) 基礎地盤のすべり

耐震重要施設等※の杭基礎については、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合においても、杭本体の構造が成立するように設計することから、基礎地盤安定性評価においては、杭体を貫通横断するような仮想すべり面は想定しない。

したがって、杭基礎構造を有する耐震重要施設等※については、杭基礎の先端以深の基礎岩盤を通る仮想すべり面を対象とした安定性評価を実施する。

(2) 基礎地盤の支持力

杭基礎構造を有する耐震重要施設等※について基礎地盤安定性評価及び豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させ



ることを仮定した杭基礎の耐震設計を行う際は、第四紀層の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への最大鉛直力度（接地圧）に対する支持力評価を行う。

### （3）杭基礎の設計

杭基礎構造を有する耐震重要施設等※について、豊浦標準砂の液化強度特性により強制的に液化化させることを仮定した杭基礎の耐震設計を行う際は、液化化を仮定した場合における杭と地盤の相互作用を考慮しても、杭体の構造が成立するよう設計する。

※：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（特定重大事故等対処施設を除く）



## 9. 参考資料

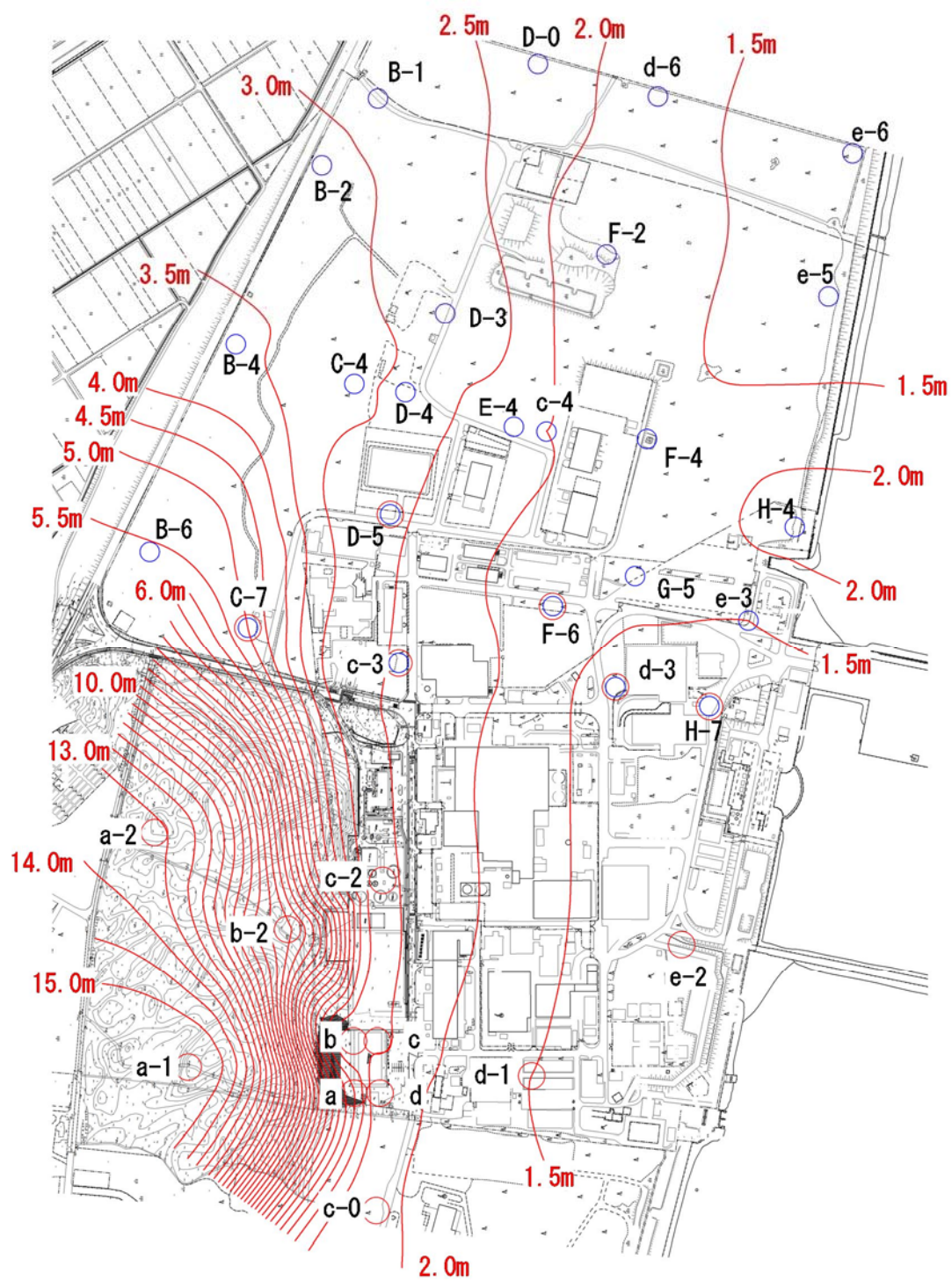
### 9.1 地下水位観測データについて

敷地内の観測最高水位に基づき地下水位を設定する。地下水位については、平成 29 年 6 月時点でのデータを用いて取り纏めを行い、地下水位コンター図を作成した。

第 9.1.1 図に観測最高地下水位コンター図、第 9.1.1 表に観測最高地下水位一覧表を示す。

このうち、堆積層が厚く分布している敷地北側の地点の地下水位観測記録を第 9.1.2 図～第 9.1.4 図に示す。





第 9. 1. 1 図 観測最高地下水位コンター図

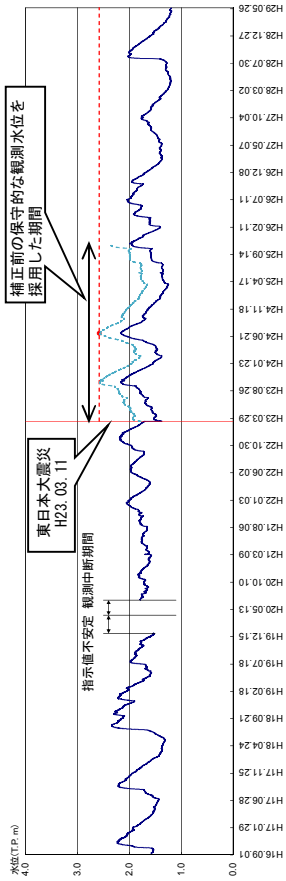


第 9.1.1 表 観測最高地下水位一覧表

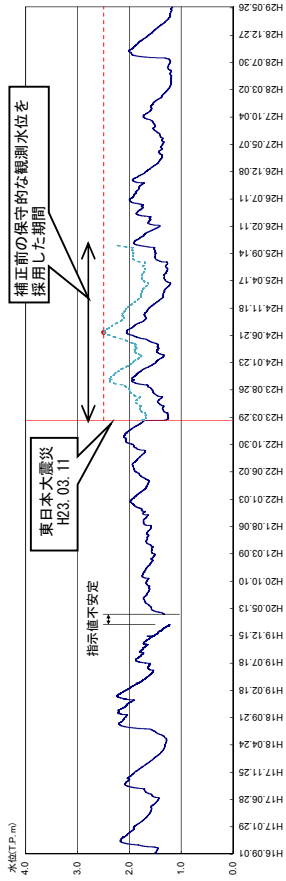
| 観測孔名 | 計測期間                 | 観測最高地下水位<br>(T. P. + m) | 観測最高地下水位<br>計測時期 |
|------|----------------------|-------------------------|------------------|
| a    | 1995～1999            | 3.49                    | 1998 年 10 月 8 日  |
| b    | 1995～1999            | 2.52                    | 1998 年 9 月 25 日  |
| c    | 1995～1999            | 2.53                    | 1998 年 9 月 22 日  |
| d    | 1995～1999            | 2.28                    | 1998 年 9 月 22 日  |
| a-1  | 1995～1999, 2004～2009 | 15.42                   | 2006 年 8 月 7 日   |
| a-2  | 2004～2009            | 13.60                   | 2006 年 7 月 28 日  |
| b-2  | 2004～2009            | 9.06                    | 2006 年 7 月 30 日  |
| c-0  | 1995～1999, 2004～2009 | 2.05                    | 1998 年 9 月 19 日  |
| c-2  | 1995～1999, 2004～2017 | 2.58                    | 2012 年 7 月 7 日   |
| c-3  | 2004～2017            | 2.49                    | 2012 年 7 月 7 日   |
| c-4  | 2004～2017            | 2.00                    | 2012 年 6 月 25 日  |
| d-1  | 1995～1999, 2004～2009 | 1.50                    | 1998 年 9 月 18 日  |
| d-3  | 2004～2017            | 1.44                    | 2013 年 10 月 27 日 |
| d-6  | 2004～2017            | 1.58                    | 2013 年 10 月 28 日 |
| e-2  | 2004～2017            | 1.38                    | 2006 年 10 月 8 日  |
| e-3  | 2004～2017            | 1.50                    | 2013 年 10 月 16 日 |
| e-5  | 2004～2017            | 1.30                    | 2013 年 10 月 21 日 |
| e-6  | 2004～2017            | 1.26                    | 2013 年 10 月 21 日 |
| B-1  | 2005～2017            | 2.90                    | 2006 年 7 月 30 日  |
| B-2  | 2005～2017            | 3.09                    | 2006 年 7 月 30 日  |
| B-4  | 2005～2017            | 3.56                    | 2006 年 7 月 31 日  |
| B-6  | 2005～2017            | 5.51                    | 2006 年 8 月 17 日  |
| C-4  | 2005～2017            | 3.17                    | 2012 年 6 月 27 日  |
| C-7  | 2005～2017            | 4.99                    | 2006 年 8 月 18 日  |
| D-0  | 2006～2017            | 2.37                    | 2012 年 6 月 22 日  |
| D-3  | 2005～2017            | 2.88                    | 2006 年 10 月 7 日  |
| D-4  | 2006～2017            | 2.76                    | 2012 年 6 月 25 日  |
| D-5  | 2006～2017            | 2.54                    | 2012 年 7 月 16 日  |
| E-4  | 2006～2017            | 2.26                    | 2012 年 6 月 25 日  |
| F-2  | 2005～2015            | 1.74                    | 2013 年 10 月 30 日 |
| F-4  | 2005～2017            | 1.55                    | 2013 年 10 月 27 日 |
| F-6  | 2005～2017            | 1.77                    | 2012 年 6 月 24 日  |
| G-5  | 2005～2017            | 1.53                    | 2013 年 10 月 27 日 |
| H-4  | 2006～2017            | 2.13                    | 2013 年 10 月 16 日 |
| H-7  | 2005～2017            | 1.33                    | 2013 年 10 月 27 日 |



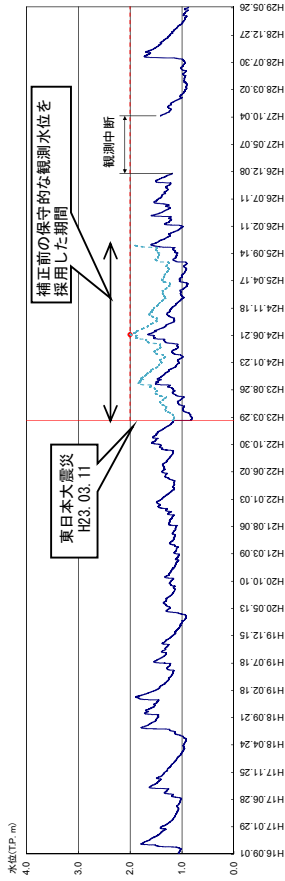
・c-2



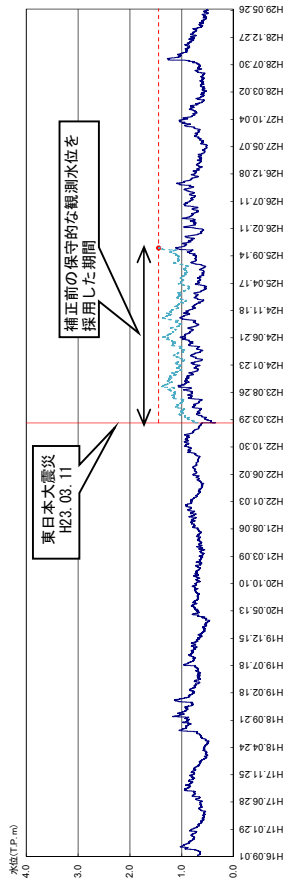
・c-3



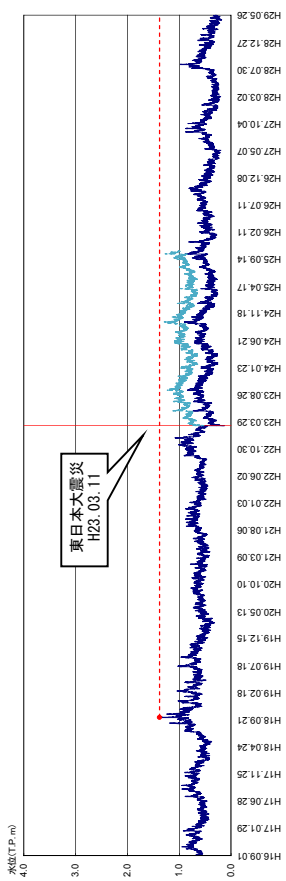
・c-4



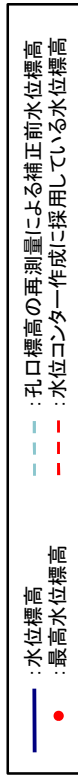
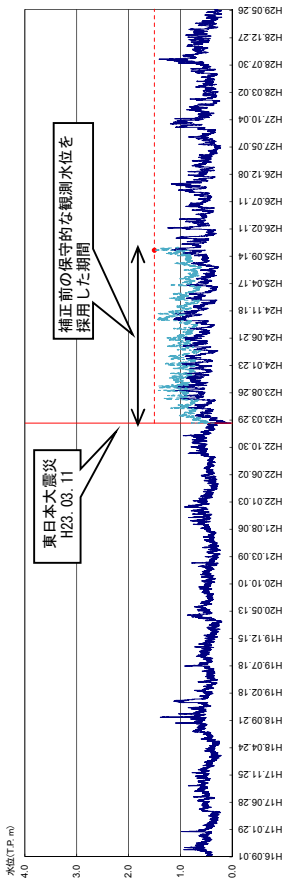
・d-3



・e-2



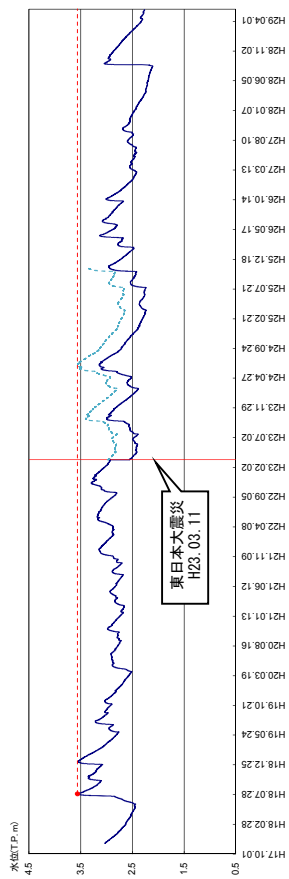
・e-3



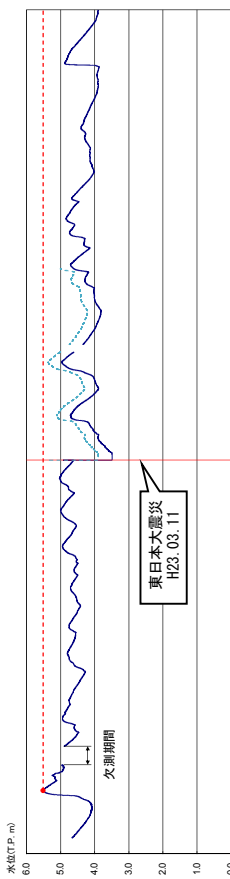
## 第 9.1.2 図 地下水位観測記録



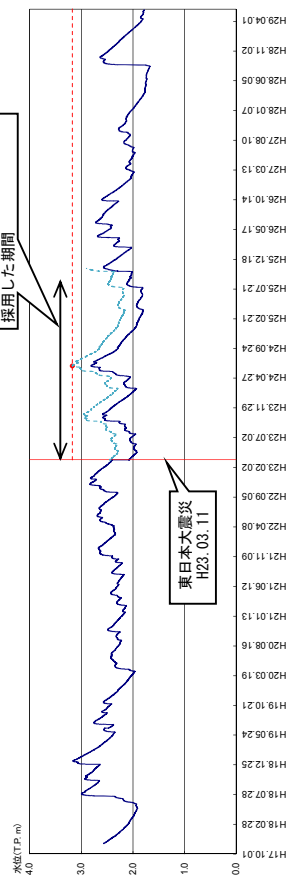
・B-4



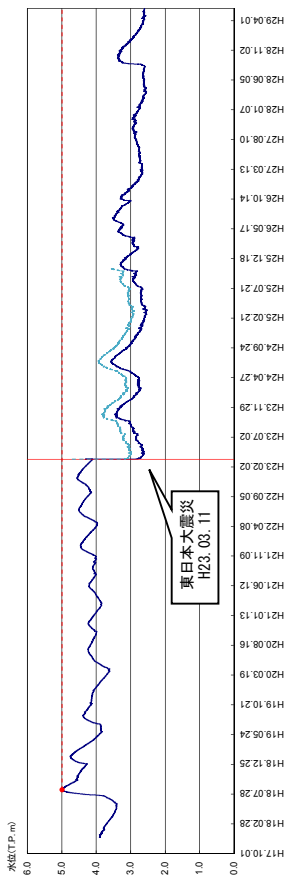
・B-6



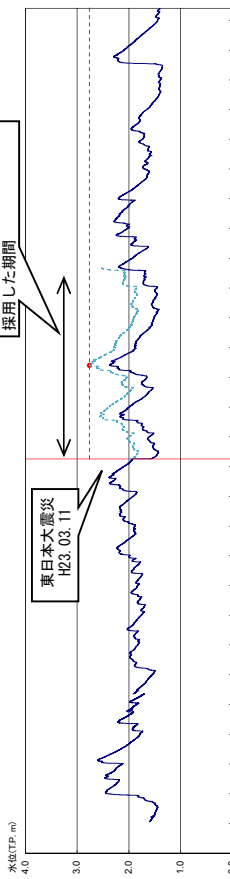
・C-4



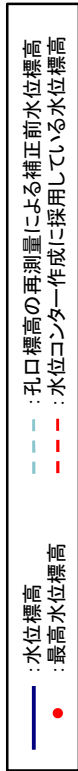
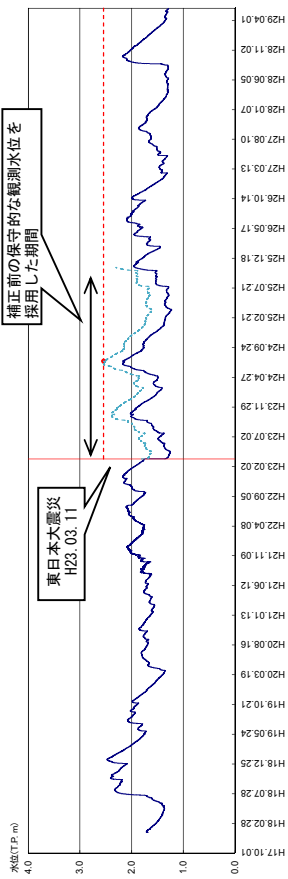
・C-7



・D-4



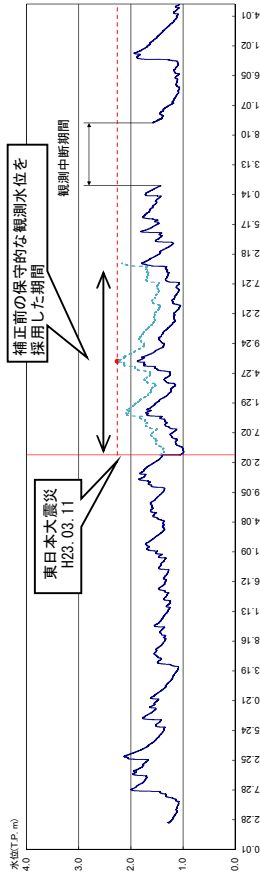
・D-5



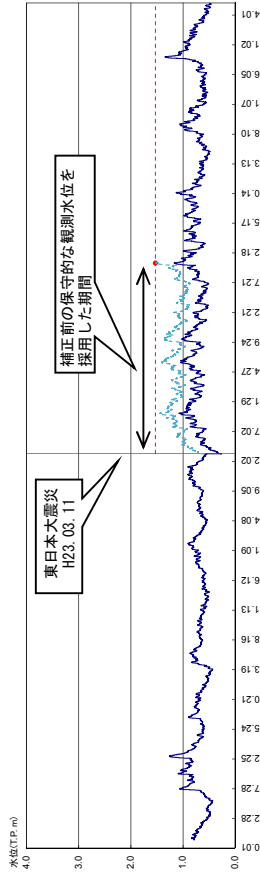
第 9.1.3 図 地下水位観測記録



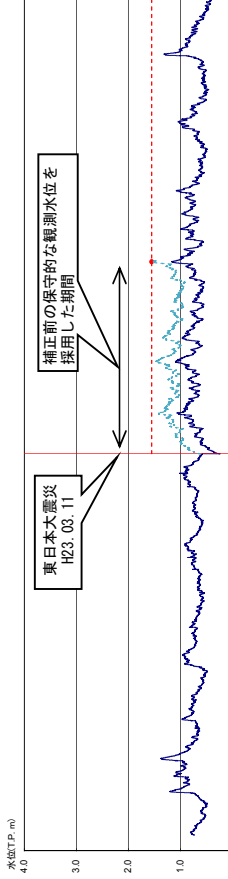
・E-4



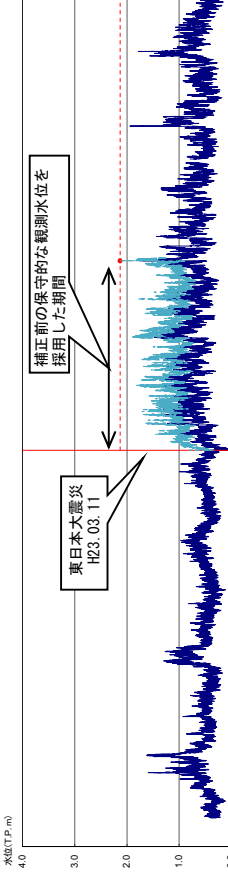
・G-5



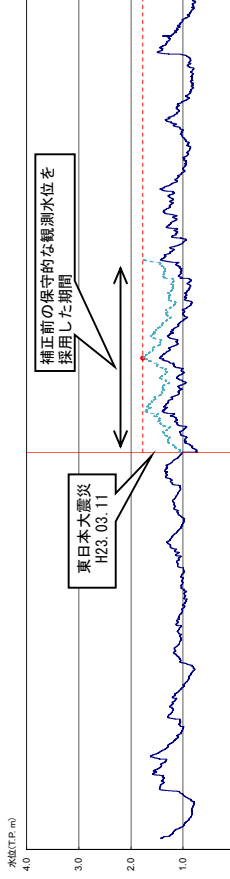
・F-4



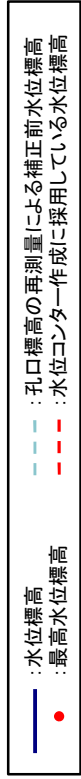
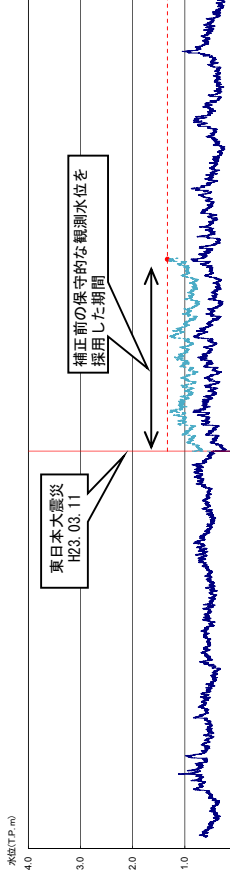
・H-4



・F-6



・H-7



第 9.1.4 図 地下水位観測 記録



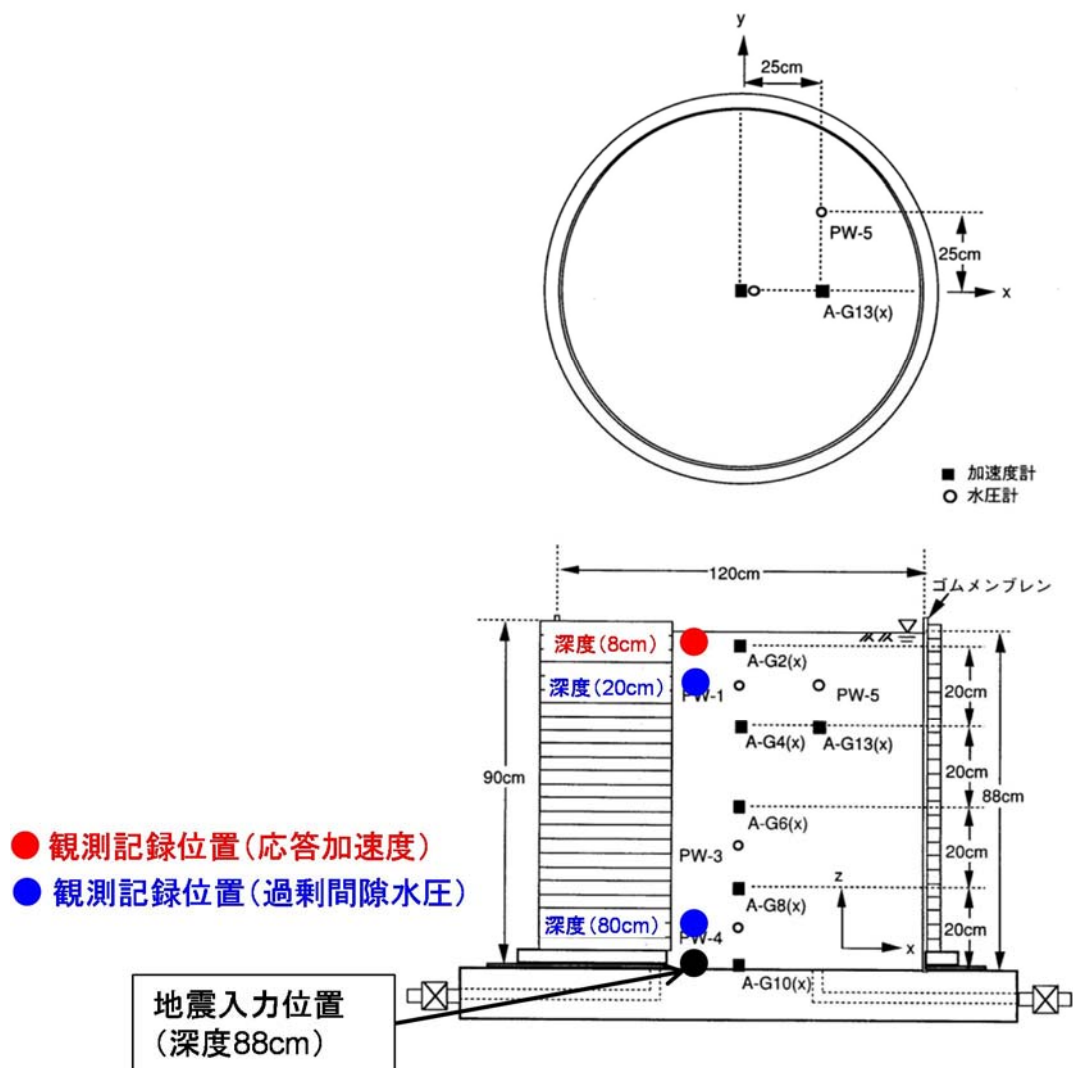
## 9.2 土槽振動実験の再現シミュレーションについて

有効応力解析による豊浦標準砂の液状化判定結果の妥当性を確認するために、豊浦標準砂を用いた土槽振動実験（藤川等（1993 年））及び F L I P による再現シミュレーションを実施した。土槽振動実験及び F L I P による再現シミュレーションは、日本海中部地震（1983 年）の加速度時刻歴を用いて実施した。

実験に用いた土槽は、内のりで高さ 90cm、直径 120cm の円柱形のせん断土槽である。模型地盤は乾燥状態の豊浦標準砂を空中落下法で作成し、地盤中の空気を二酸化炭素に置換えた後に水を注入して地盤を飽和させている。深度 88 cm 位置に日本海中部地震（1983 年）の加速度時刻歴を入力している。入力レベルの大きさにより複数の加振レベルを設定しているが、本実験では 78gal 及び 153gal の 2 レベルを再現対象とした。測定計器は、ひずみゲージ式加速度計及び間隙水圧計を、土槽底面より定ピッチにて設置している。第 9.2.1 図に土槽振動実験装置の概要を示す。

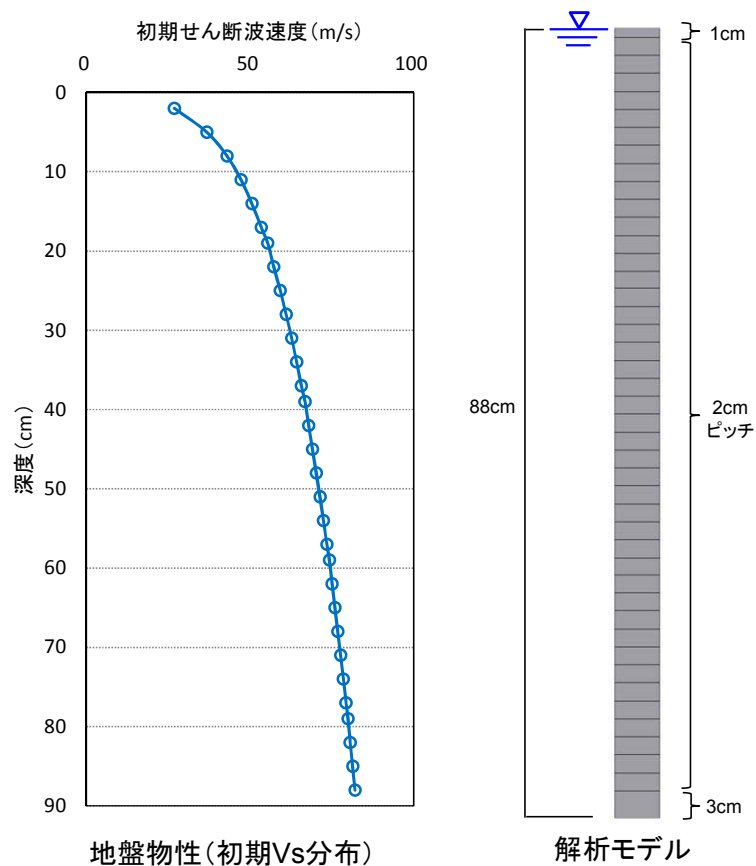
F L I P による 1 次元地盤モデルを用いて地震応答解析を実施した。解析においては、豊浦標準砂の液状化パラメータについては、文献（CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM[Soils and Foundations, JSSMFE. 26-3. (1986)]）の試験データを包含する設定とした。第 9.2.2 図に解析モデルを、第 9.2.3 図に豊浦標準砂の液状化パラメータを示す。



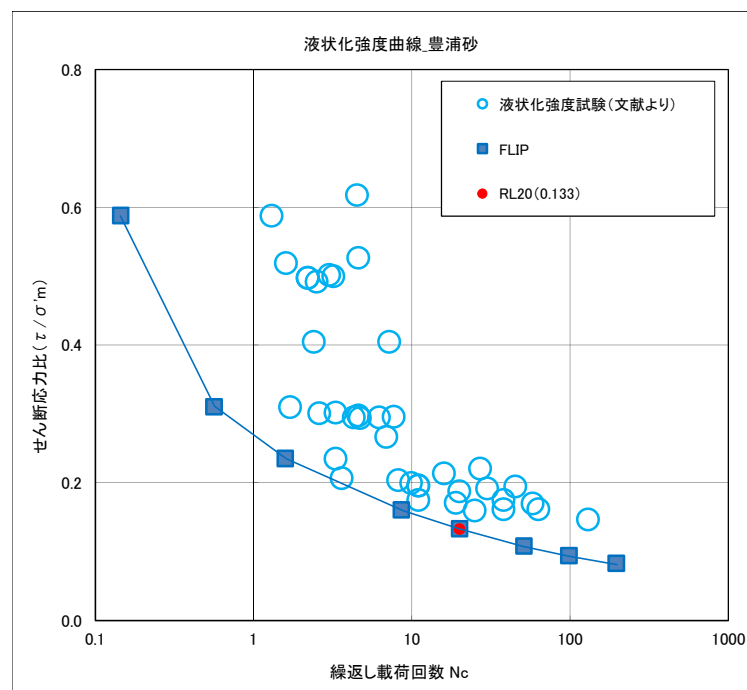


第 9.2.1 図 土槽振動実験装置の概要





第 9.2.2 図 解析モデル



第 9.2.3 図 豊浦標準砂の液状化パラメータ



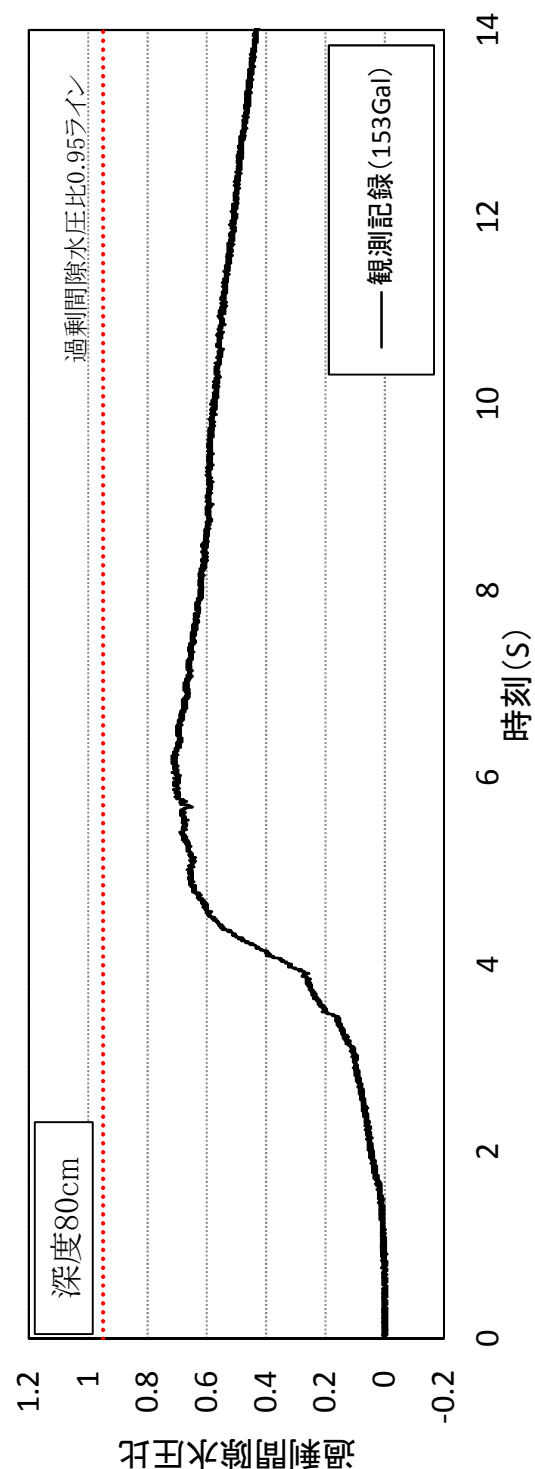
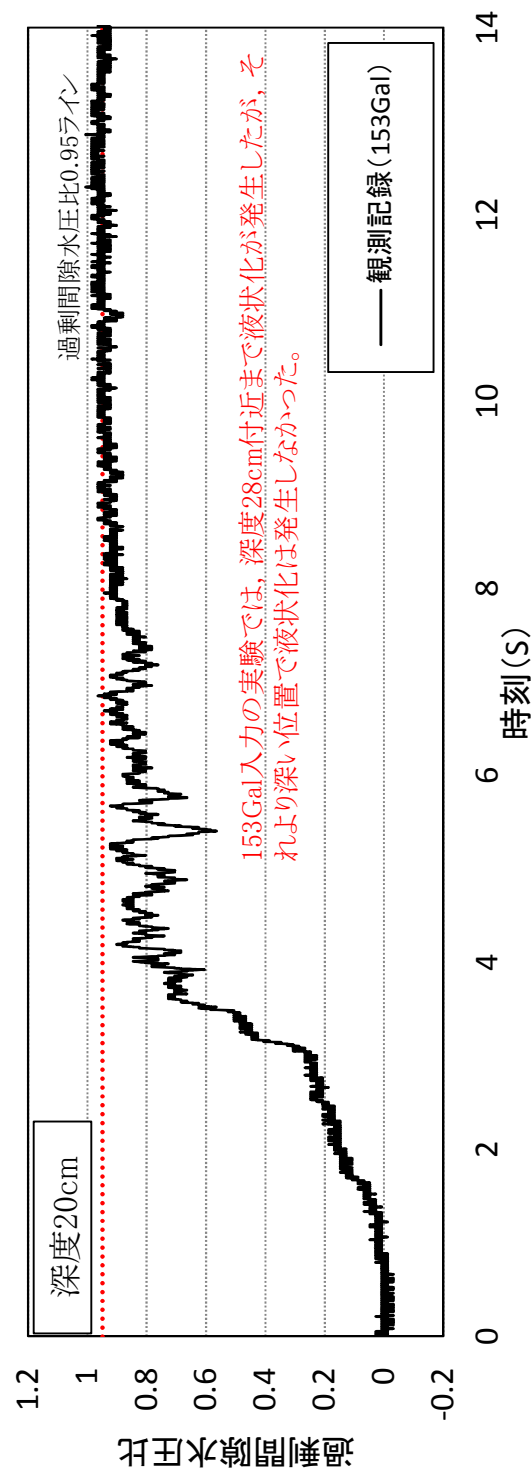
第 9.2.4 図に土槽振動実験結果を示す。入力レベル 78gal においては、全深度において液状化は発生しなかったが、入力レベル 153gal においては、深度 28 cm 付近まで液状化が発生したが、それより深い位置で液状化は発生しなかった。

豊浦標準砂の全液状化強度試験データを十分に包含する液状化パラメータを用いて、F L I P による土槽振動実験記録の再現シミュレーションを実施した結果、実験事実として豊浦標準砂の液状化を確認した入力レベル 153gal のみでなく、実験で液状化が発生しなかった入力レベル 78gal についても、F L I P は液状化が発生するものと判定する結果となった。これにより、F L I P による液状化判定の保守性を確認した。第 9.2.5 図に土槽振動実験結果とシミュレーション結果との比較を示す。

第 9.2.6 図に土槽振動実験における入力地震動と観測記録波形の比較、第 9.2.7 図に入力レベルにおける加速度応答等の比較結果、第 9.2.8 図に入力レベルにおける最大値深度分布図を示す。

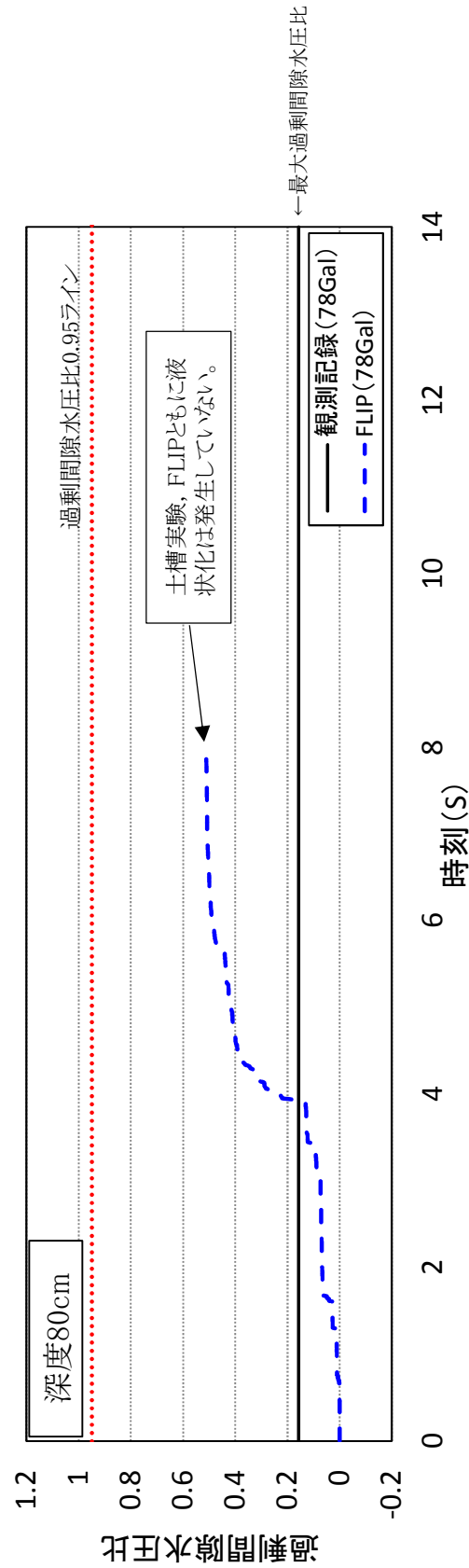
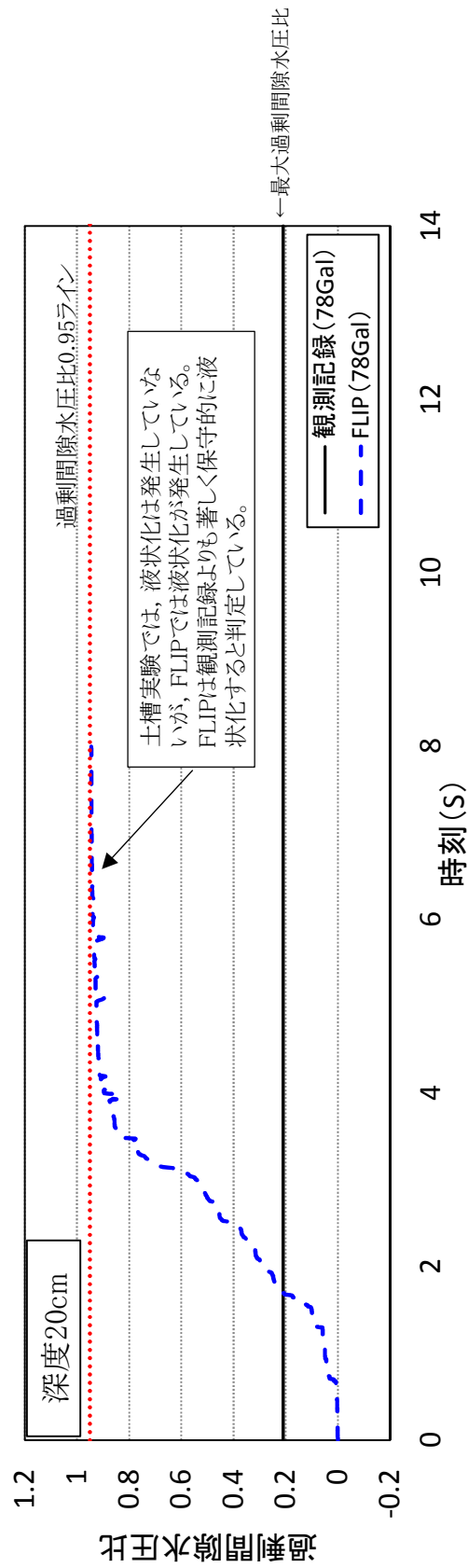
F L I P において、平均的な液状化強度特性よりもかなり保守側の液状化強度特性を用いた場合は、観測記録にみられるサイクリックモビリティ現象に起因するパルス的な応答加速度波形は再現されない結果となり、F L I P は観測記録よりも液状化しやすい側の傾向を示し、これに伴って、地盤の変形やせん断ひずみは大きめに評価され、加速度応答は小さめに評価されることが確認された。





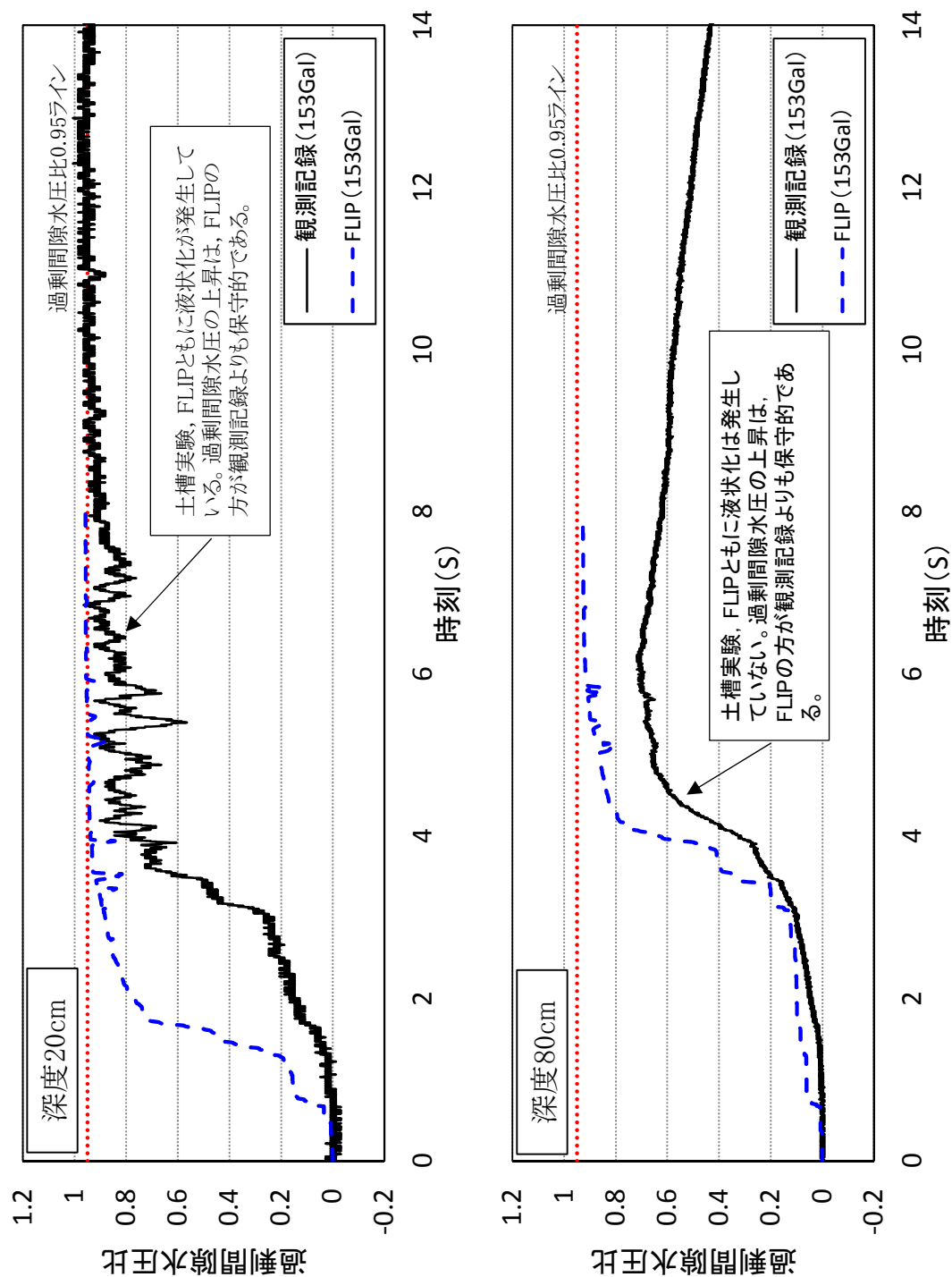
第 9.2.4 図 土槽振動実験結果





第 9.2.5.1 図 土槽振動実験結果とシミュレーション結果との比較

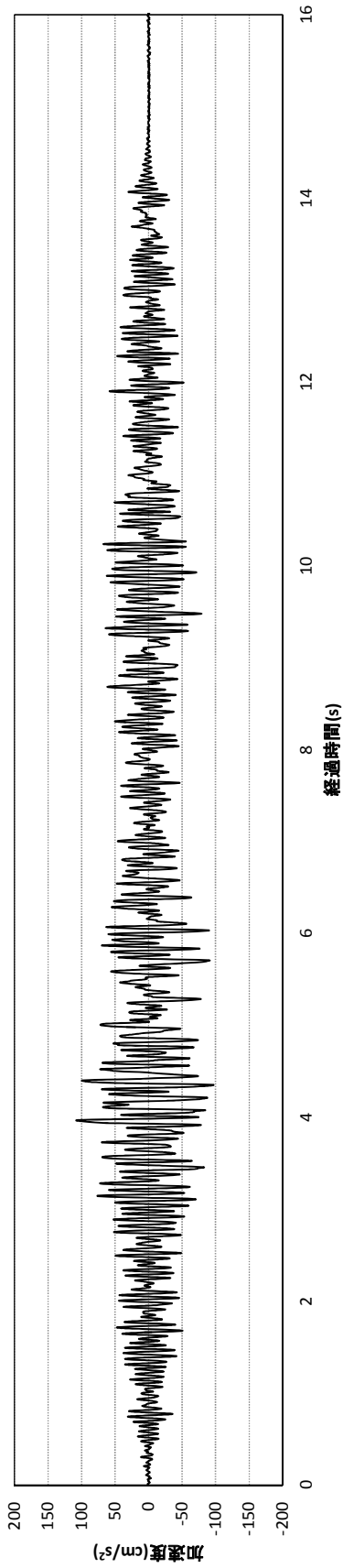




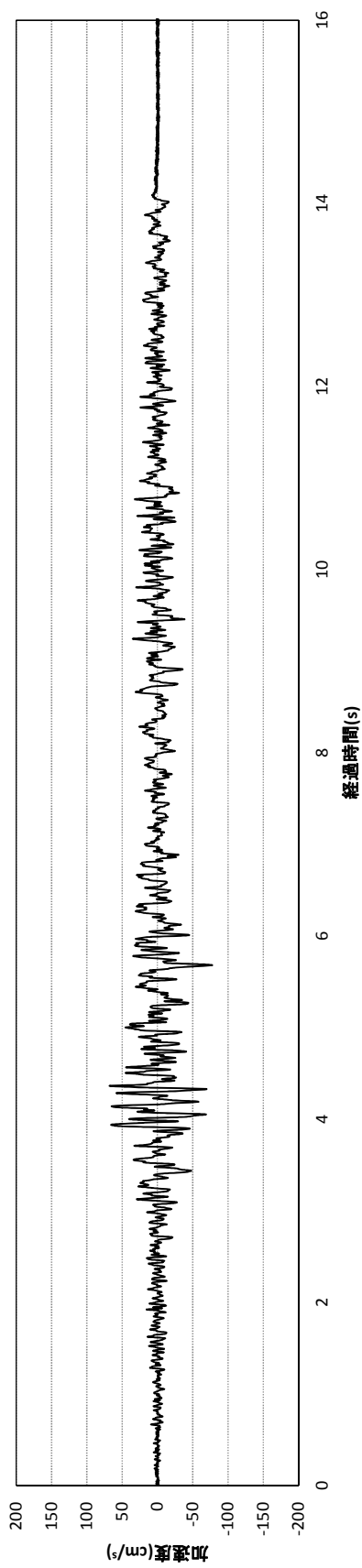
第 9.2.5.2 図 土槽振動実験結果とシミュレーション結果との比較



観測記録波形 (深度8cm)

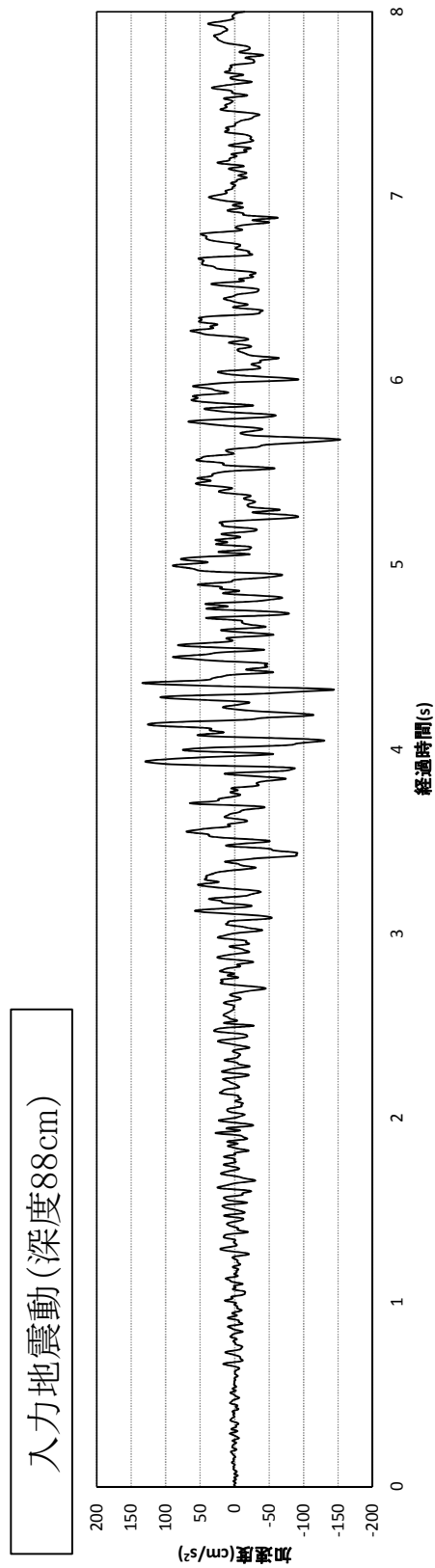
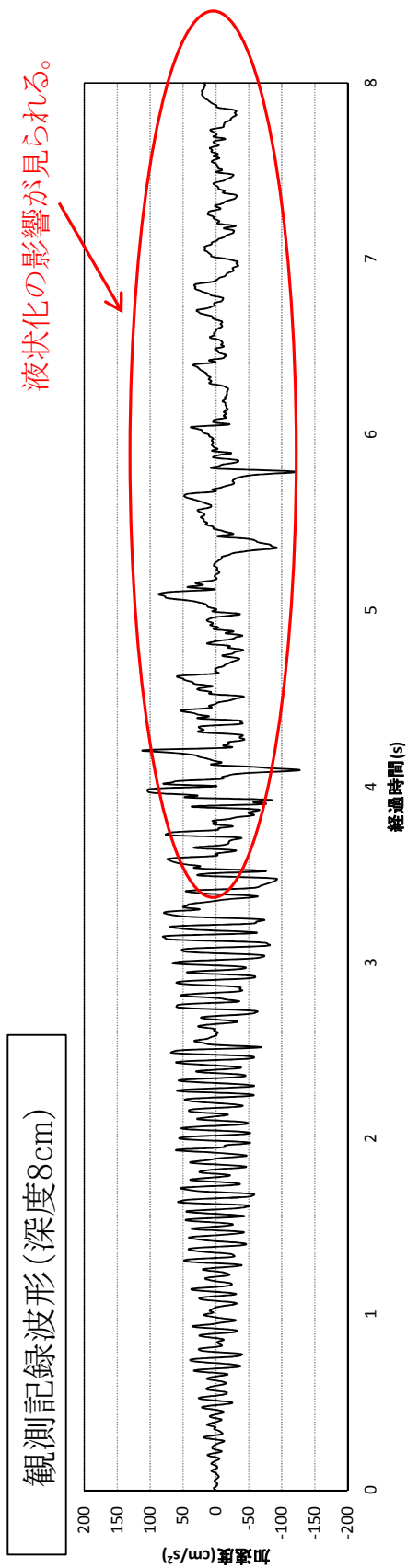


入力地震動 (深度88cm)



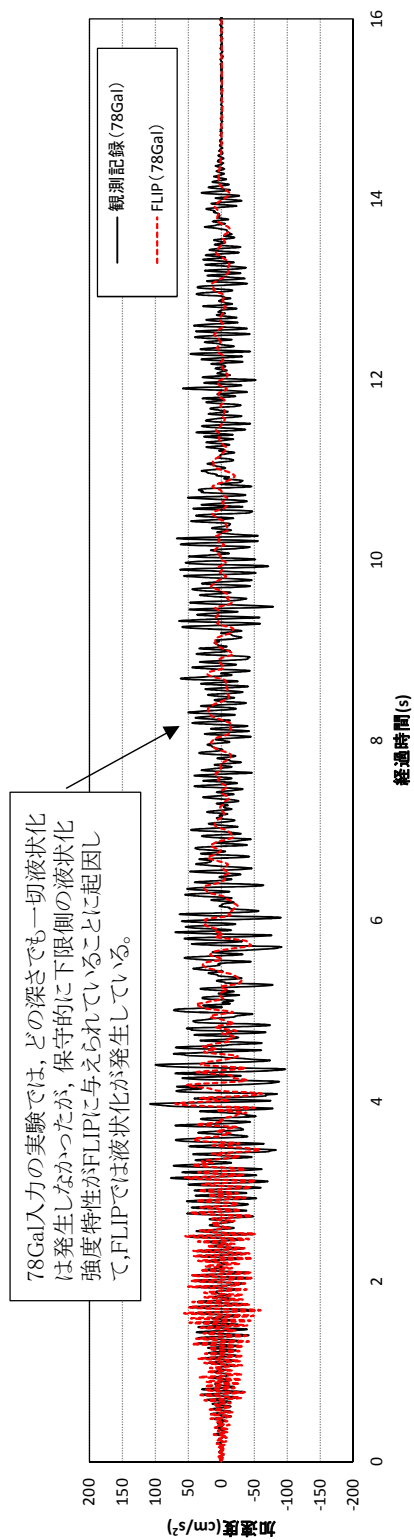
第 9.2.6.1 図 土槽振動実験における入力地震動と観測記録波形との比較



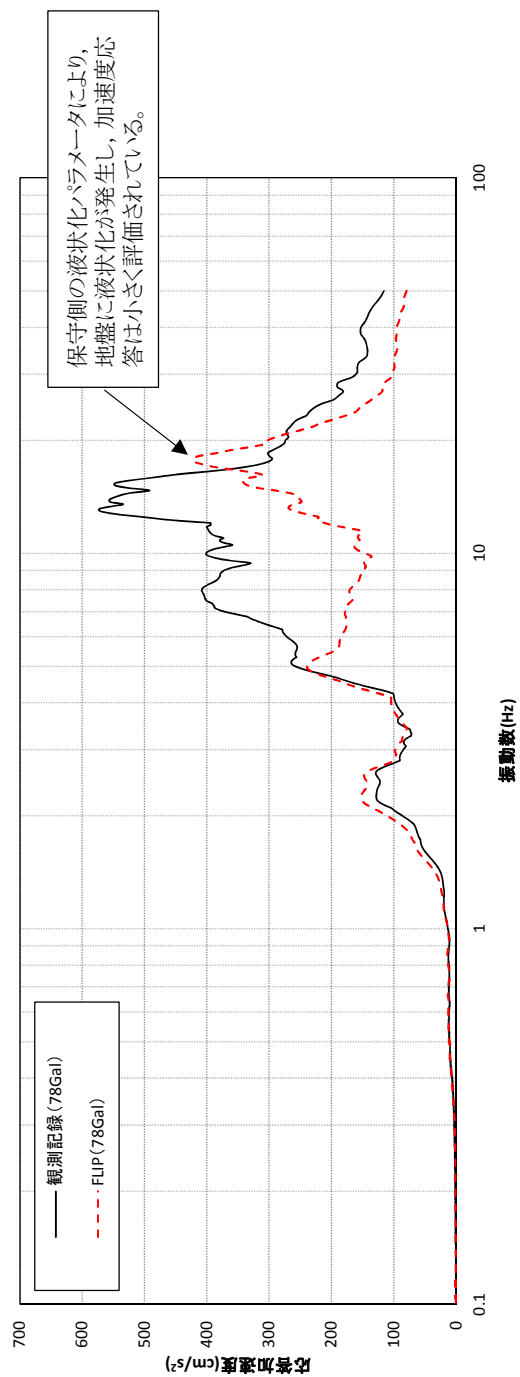


第 9.2.6.2 図 土槽振動実験における入力地震動と観測記録波形との比較





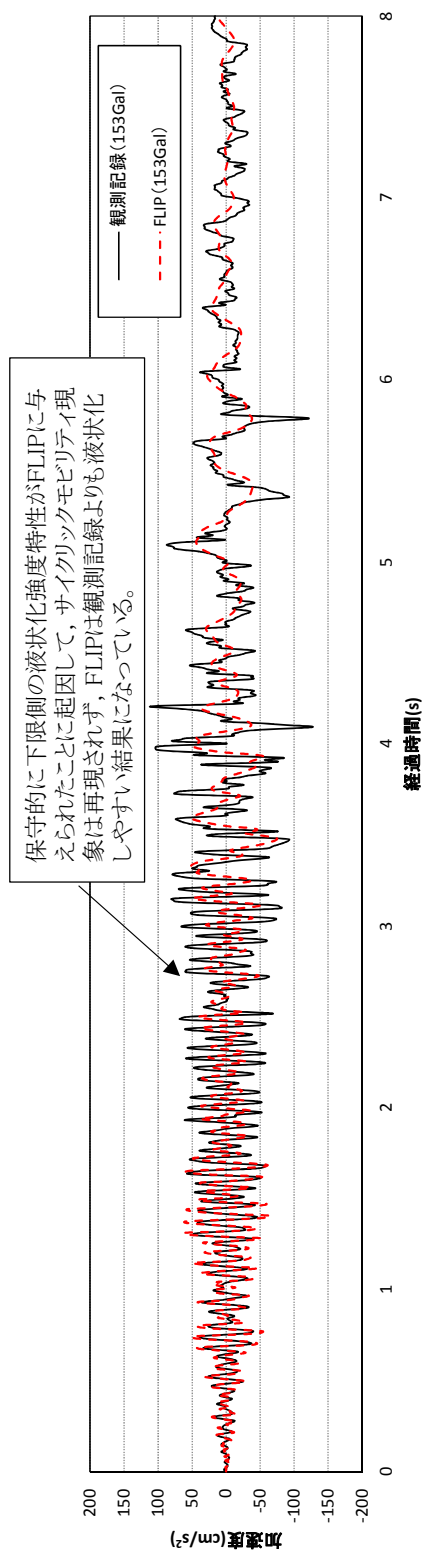
深度8cmの加速度応答の比較



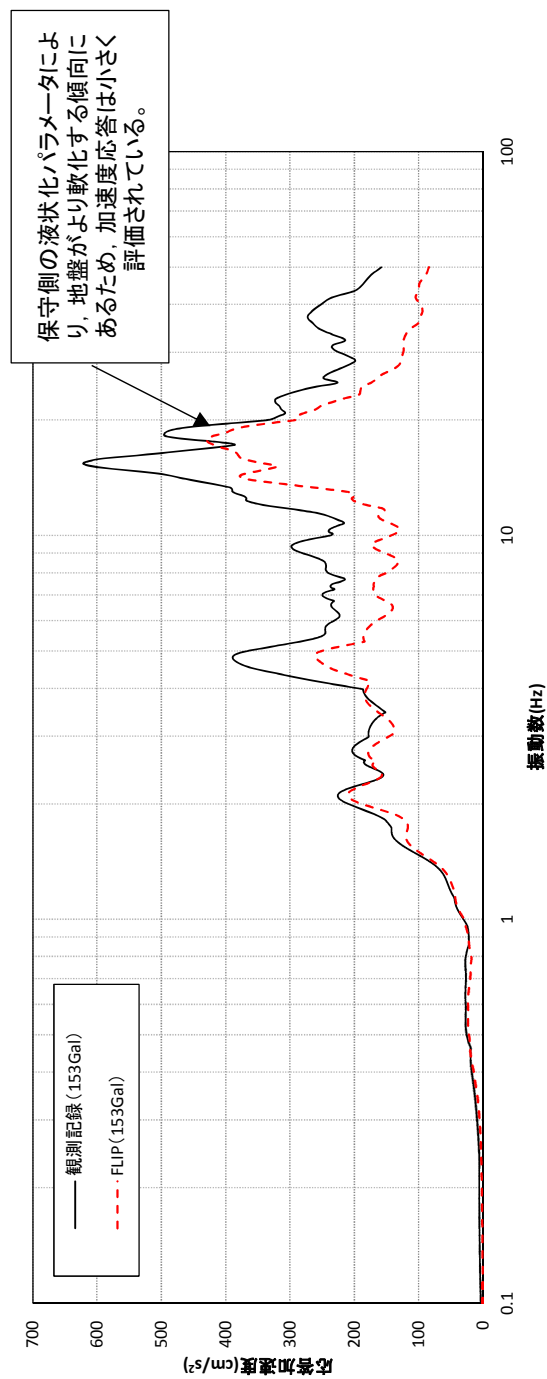
深度8cmの加速度応答スペクトルの比較 (5%減衰)

第 9.2.7.1 図 入力レベルにおける加速度応答等の比較結果





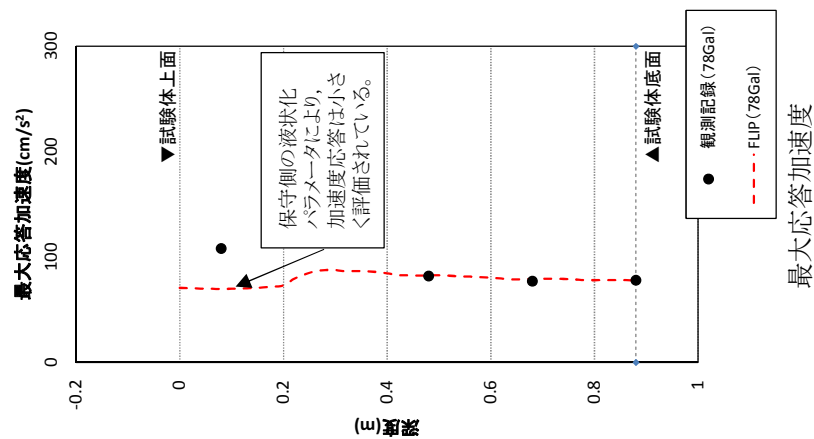
深度8cmの加速度応答の比較



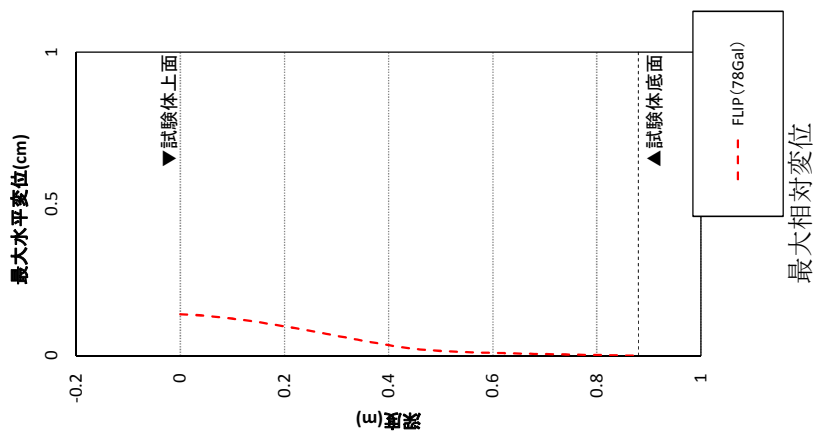
深度8cmの加速度応答スペクトルの比較 (5%減衰)

第 9.2.7.2 図 入力レベルにおける加速度応答等の比較結果

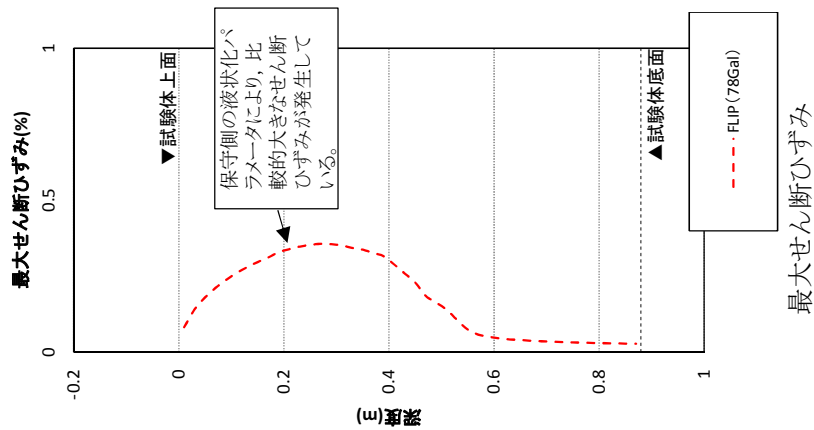




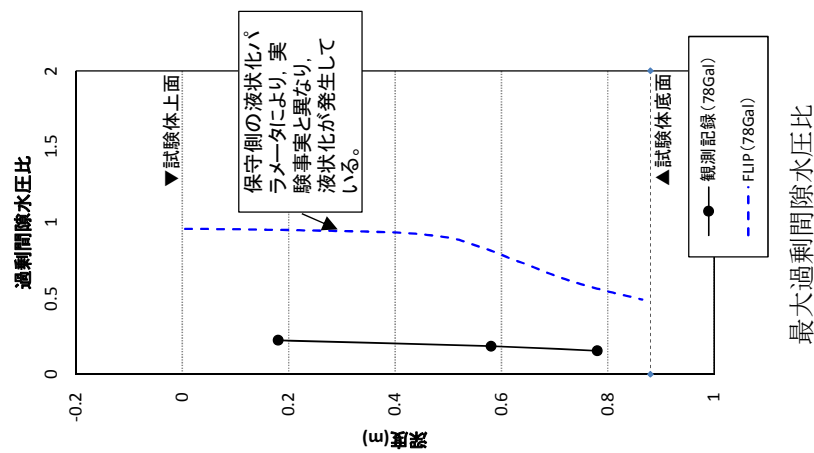
最大応答加速度



最大相対変位



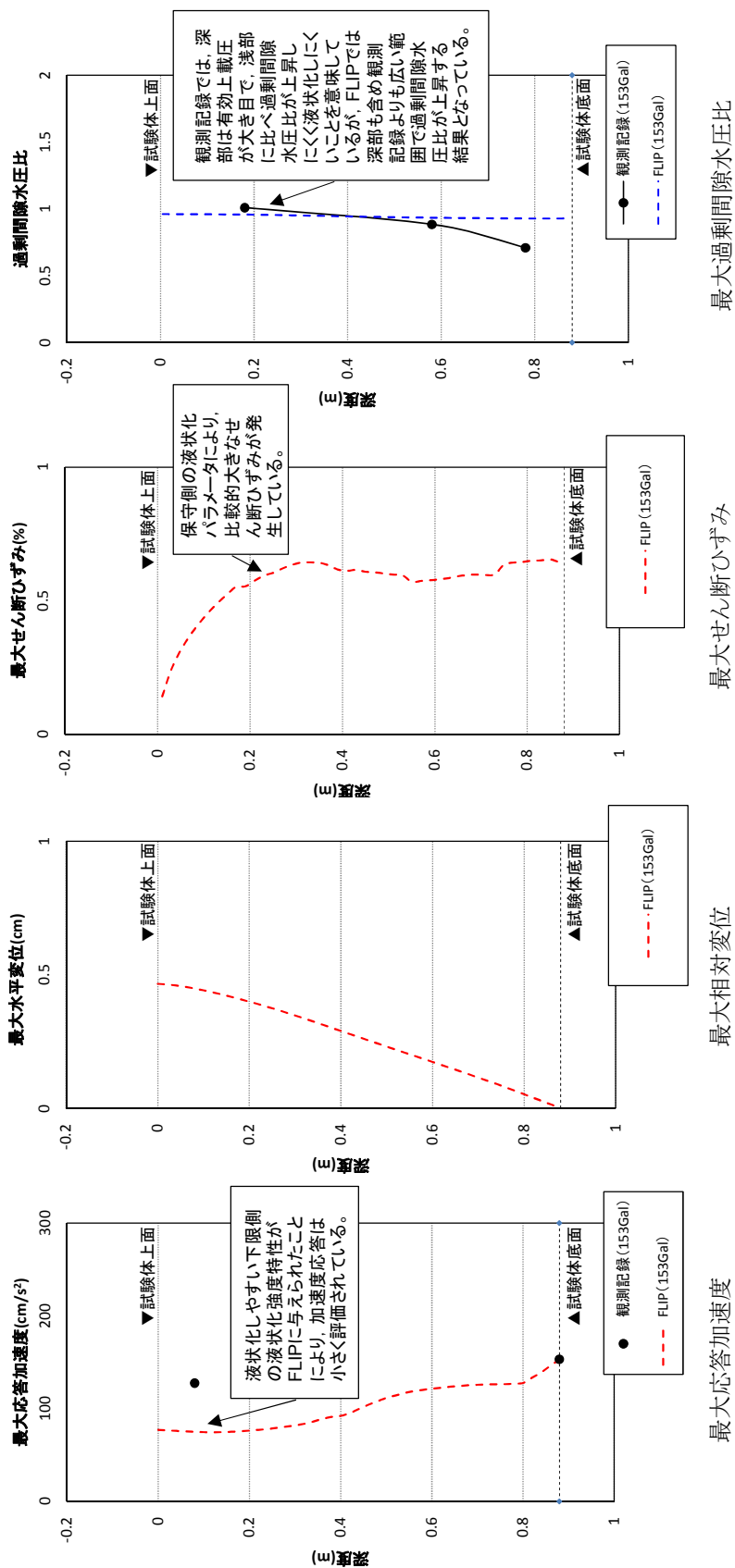
最大せん断ひずみ



最大過剰間隙水圧比

第 9.2.8.1 図 入力レベルにおける最大値深度分布図





第 9.2.8.2 図 入力レベルにおける最大値深度分布図



## 東海第二発電所

屋外二重管の基礎構造の設計方針について



## 目次

1. 屋外二重管の概要
2. 基礎構造形式について
3. 基礎構造の設計方針
4. 鋼管杭の仕様設定
5. 鉄筋コンクリート梁の仕様設定
6. 鉄筋鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造の仕様設定
7. 基礎構造の耐震設計方針（有効応力解析）



## 1. 屋外二重管の概要

残留熱除去海水系配管及びディーゼル発電機海水系配管をポンプ室から原子炉建屋まで配置するため、屋外海水配管二重管（以下「屋外二重管」という。）を設置している。

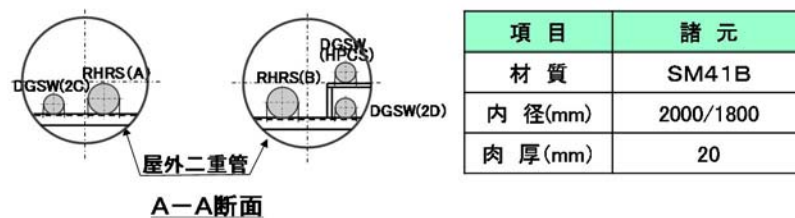
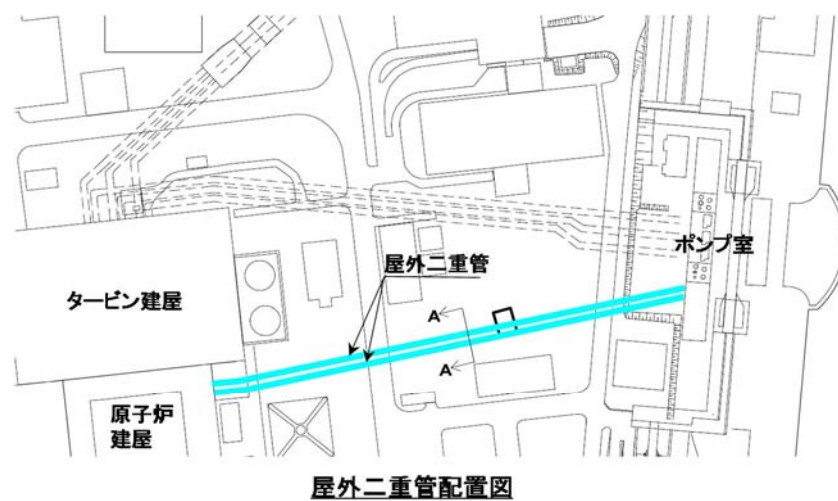
屋外二重管は、設置許可基準規則第 3 条及び第 4 条の対象となる「耐震重要施設を支持する建物・構築物」及び設置許可基準規則第 38 条及び第 39 条の対象となる「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）」に該当する。

屋外二重管は、第四系地盤に直接支持している施設であり、施設直下には液状化検討対象層である As 層，Ag1 層及び Ag2 層が分布している。なお，指針改訂に伴う耐震裕度向上工事として，平成 21 年に Ag2 層を対象とした地盤改良を実施している。

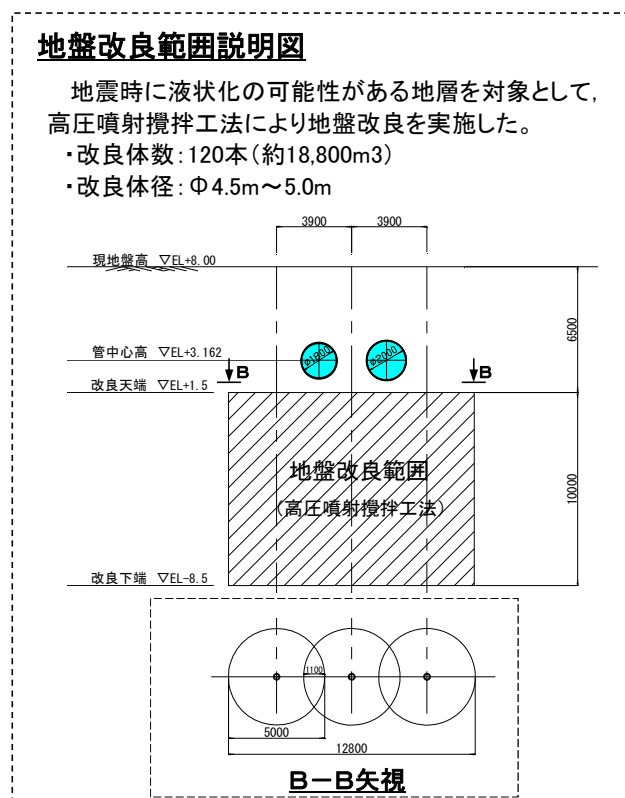
設置許可基準規則第 3 条第 1 項への適合性の観点から，当該施設については杭等を介して岩盤（久米層）で支持する構造とする。

第 1 図に屋外二重管の平面図及び断面図，第 2 図に既施工の地盤改良範囲の説明図，第 3 図に地質縦断図及び横断図を示す。





第 1 図 屋外二重管の平面位置図及び断面図



第 2 図 地盤改良範囲（既施工）説明図





(断面位置図)

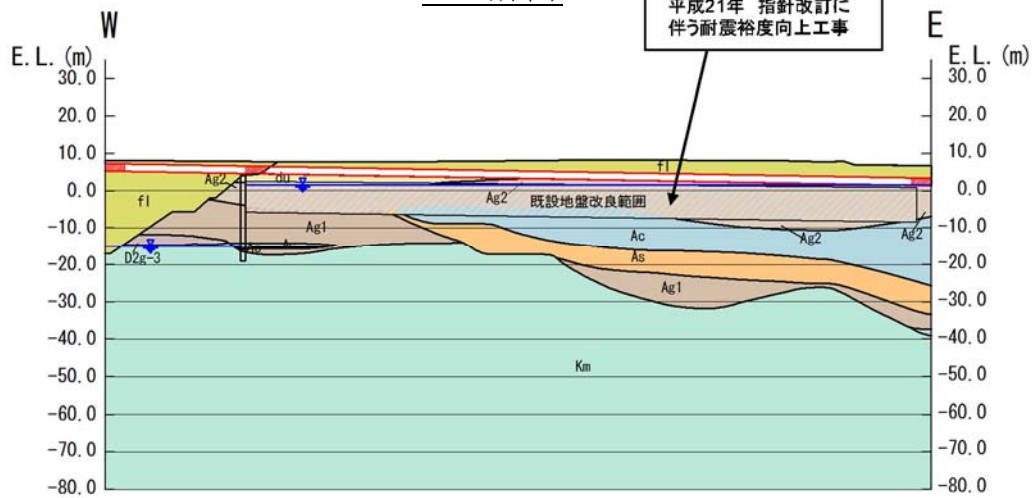
地質構成表

| 地質時代 | 地質区分         | 記号    | 岩相   | 備考                    |
|------|--------------|-------|------|-----------------------|
| 第四紀  | 沖積低地<br>堆積層  | du    | 砂    | 敷地全体に広く分布する。          |
|      |              | Ag2   | 砂礫   | 敷地全体に広く分布する。          |
|      |              | Ac    | 粘土   |                       |
|      |              | As    | 砂    | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
|      | 低丘段丘Ⅰ<br>堆積層 | Ag1   | 砂礫   |                       |
|      |              | D2g-3 | シルト  |                       |
|      |              | D2s-3 | 砂    |                       |
|      |              | D2g-2 | 砂礫   | 敷地南部に埋没段丘として分布する。     |
|      | 中位段丘<br>堆積層  | D1g-1 | シルト  |                       |
|      |              | D1g-1 | 砂礫   |                       |
| 第三紀  | 沖積層          | Km    | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。            |

~~~~~ 不整合

・屋外二重管(縦断面)

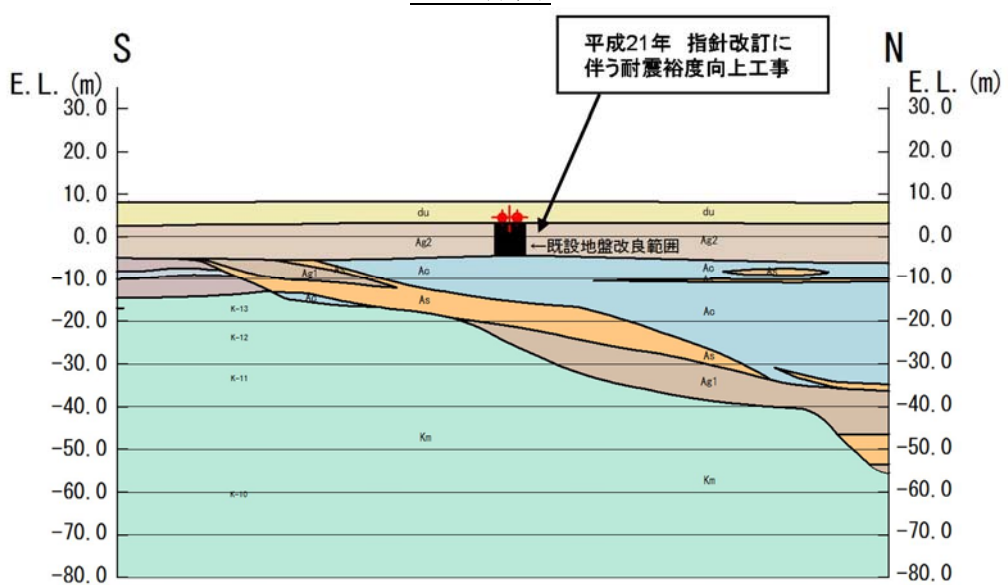
C-C 断面



※f1は、埋戻土である。

・屋外二重管(横断面)

D-D 断面



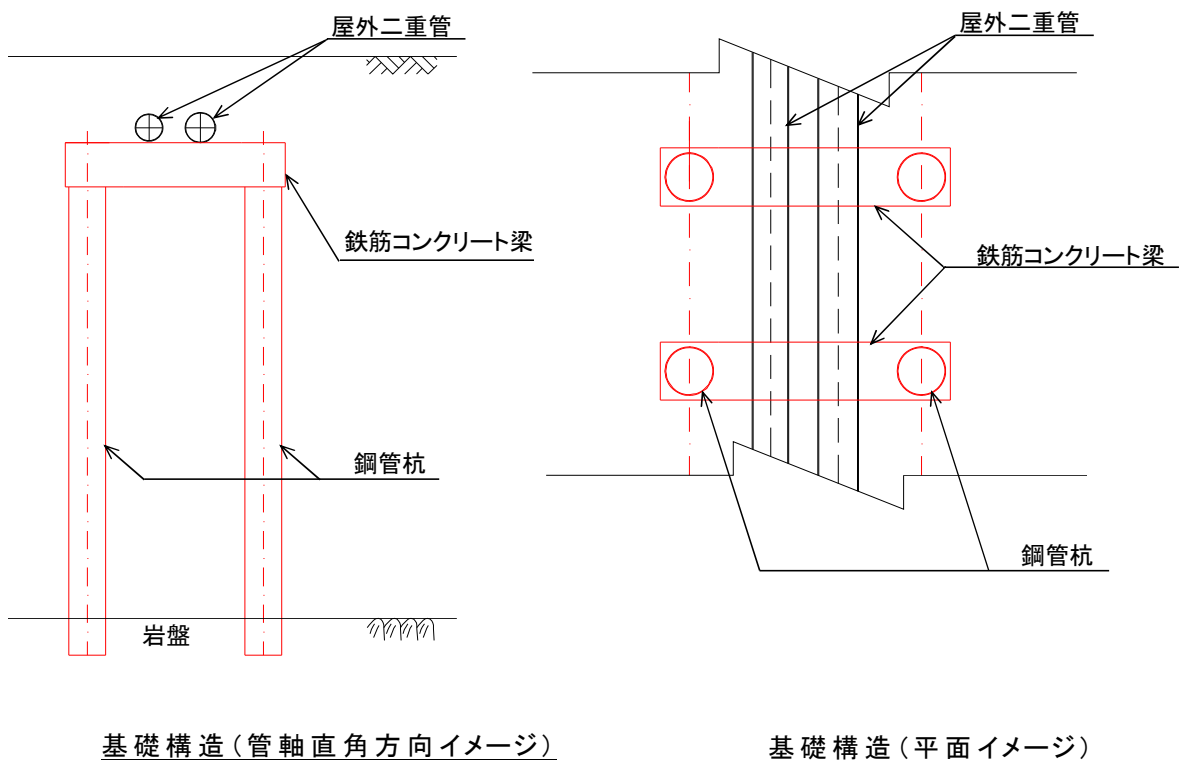
第 3 図 地質縦断面図及び横断面図

2. 基礎構造形式について

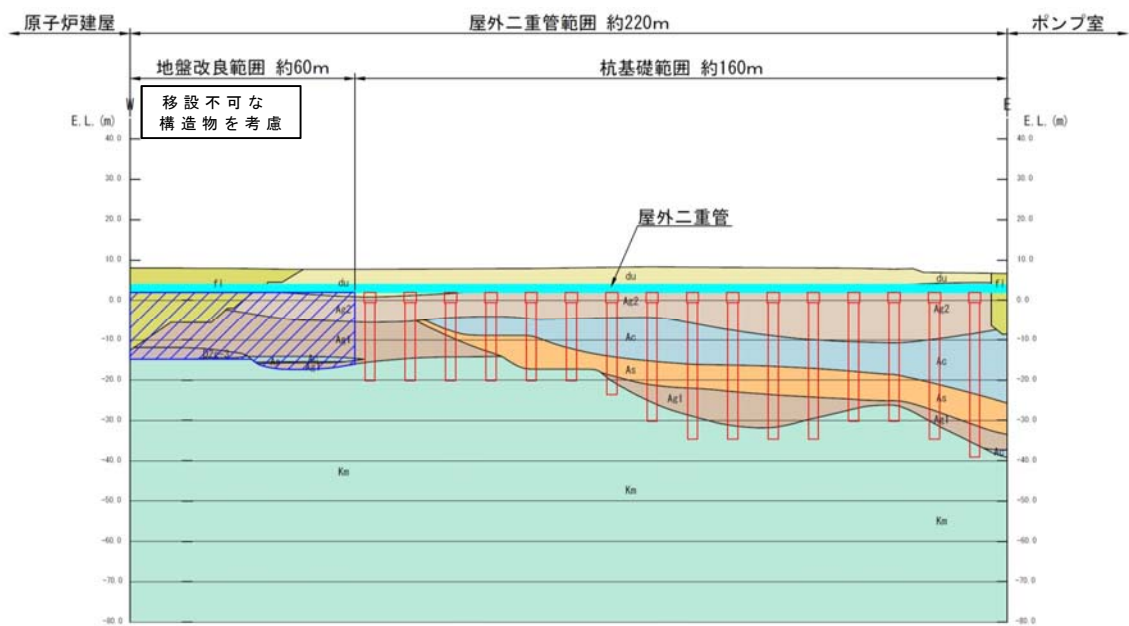
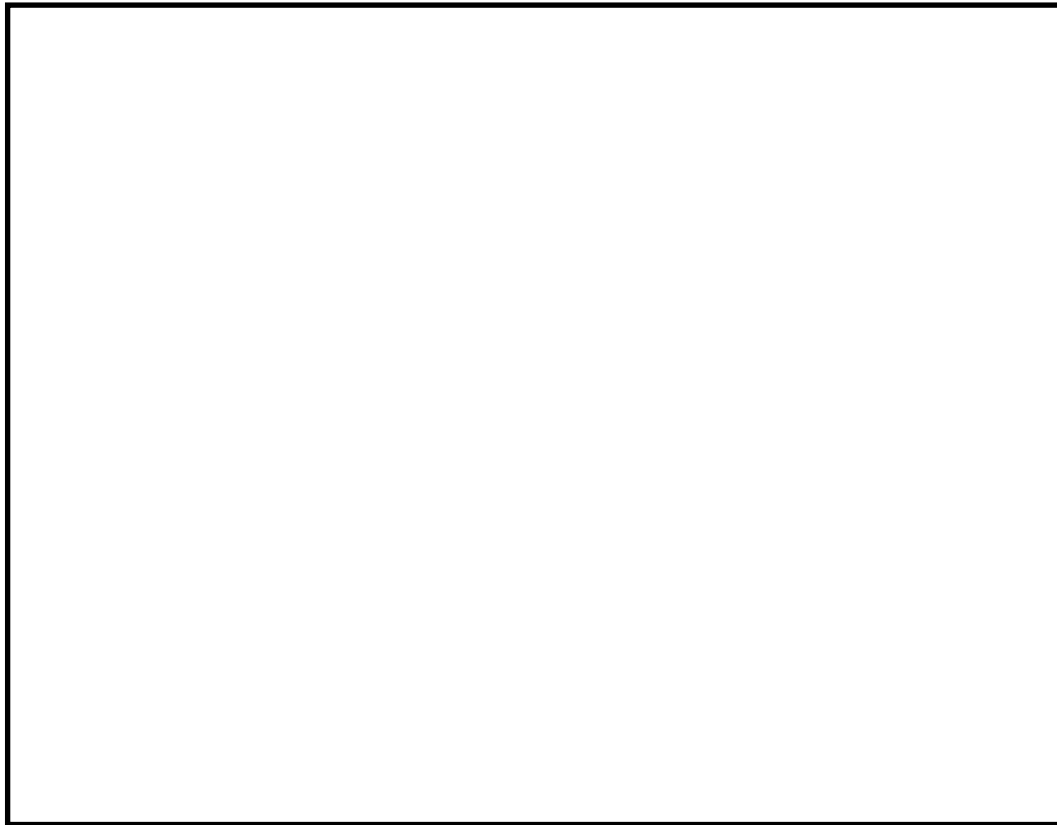
地震に伴う周辺地盤の沈下に伴って屋外二重管が沈下することを防止するため、屋外二重管の直下に沈下防止を目的とした鉄筋コンクリート梁を設置して、鋼管杭を介して岩盤で支持する構造とする。

原子炉建屋近傍で、移設不可能な既設構造物（排気筒基礎等）や埋設物との干渉によって鋼管杭の打設が困難な箇所については、屋外二重管直下を地盤改良（セメント固化工法等）することにより補強する地盤に支持させる検討を行う。

屋外二重管の基礎構造概要図を第 4 図に示す。また、基礎構造区分を第 5 図に示す。



第 4 図 屋外二重管の基礎構造概要図



縦断面図

第 5 図 屋外二重管の基礎構造区分

3. 基礎構造の設計方針

屋外二重管の基礎構造の耐震評価は、第 1 表に示す屋外二重管の基礎構造の評価項目に基づき、各構造部材の構造健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

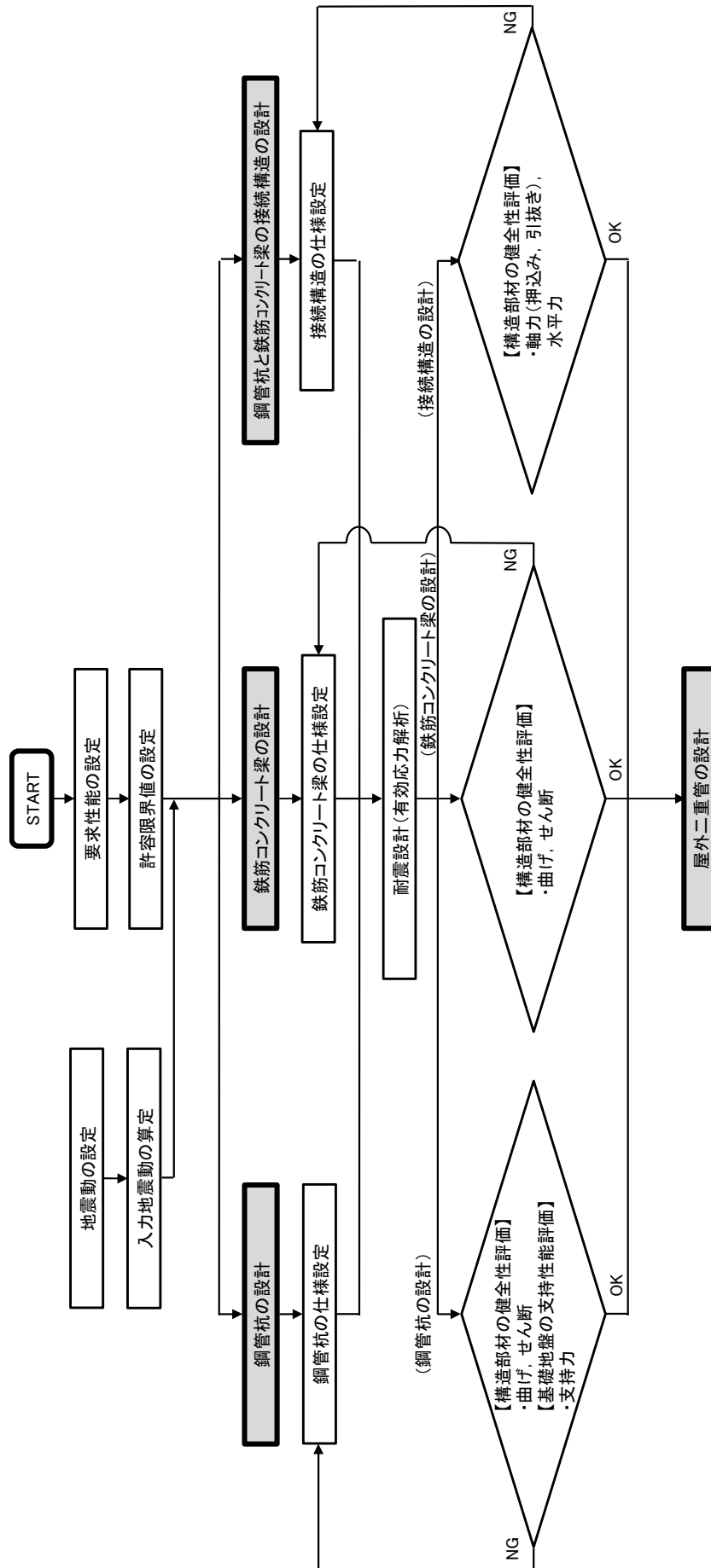
地震動は、Ss-D1（水平動及び上下動の位相反転考慮）、Ss-11、Ss-12、Ss-13、Ss-14、Ss-21、Ss-22、Ss-31（水平動の位相反転考慮）を対象とする。

また、地盤定数のばらつきを考慮して、上記の地震波のうち、屋外二重管に対して最も厳しい地震波を用いて、液状化検討対象層を強制的に液状化させるケースとして、豊浦標準砂の剛性及び液状化強度特性を仮定し、その影響を確認する。

屋外二重管の基礎構造の構造健全性及び支持性能評価の検討フローを第 6 図に示す。

第 1 表 屋外二重管の基礎構造の評価項目

| 評価方針 | 評価項目 | 部位 | 評価方法 | 許容限界 |
|------------|-----------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性 | 鋼管杭 | 発生応力が許容限界に対して妥当な安全裕度を有することを確認 | 短期許容応力度 |
| | | 鉄筋コンクリート梁 | 発生応力が許容限界に対して妥当な安全裕度を有することを確認 | 短期許容応力度 |
| | | 鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造 | 発生応力が許容限界に対して妥当な安全裕度を有することを確認 | 短期許容応力度 |
| | 基礎地盤の支持性能 | 基礎地盤 | 支持力が許容限界に対して妥当な安全裕度を有することを確認 | 安全上適切と認められる規格及び基準等による地盤の極限支持力 |



(注記) 鋼管杭の打設が不可能な箇所については、別途地盤改良等の検討を行う。

第 6 図 屋外二重管の基礎構造の構造健全性及び支持性能評価の検討フロー

4. 鋼管杭の仕様設定

屋外二重管の基礎構造の鋼管杭は、岩盤で支持する構造（支持杭）とし、その支持力を確保するために杭径程度以上を岩盤に根入れする。

杭の配列については、屋外二重管の形状や寸法、杭の寸法や本数、施工条件等を考慮し決定する。

屋外二重管の基礎構造の設計においては、基準地震動 S_s 等による荷重及びこれらに耐え得る大口径、高強度の鋼管杭の仕様を考慮した上で、適切な杭配置を検討する。

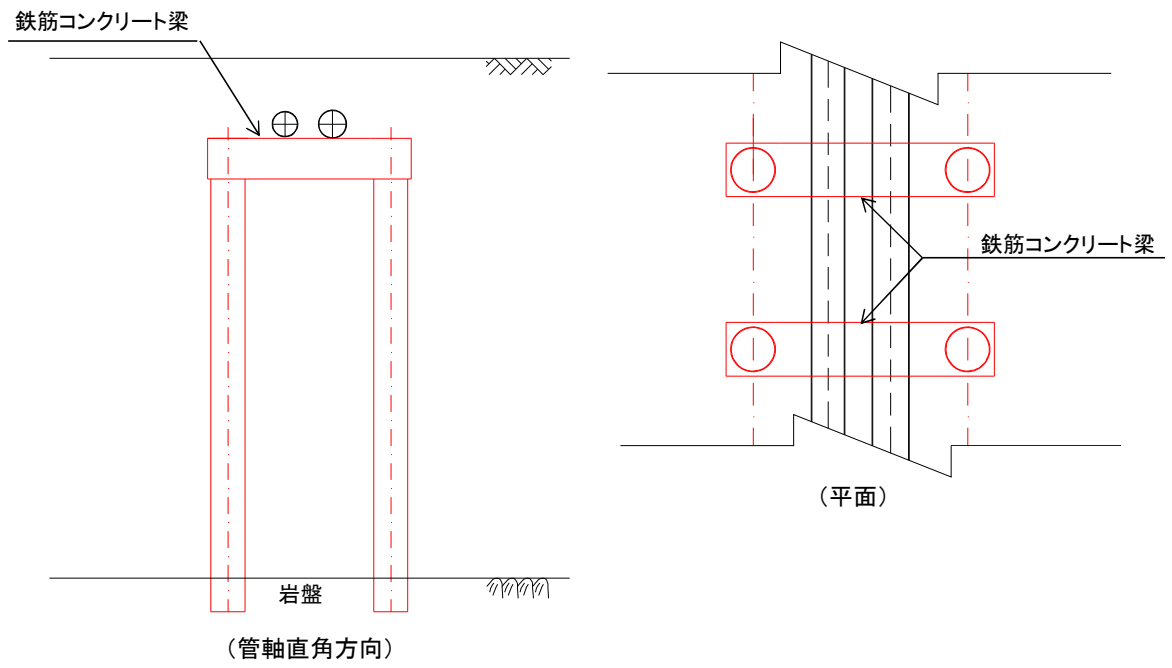
荷重ケースは地震時を想定し、長期荷重として死荷重を、短期荷重として基準地震動 S_s による地震荷重を考慮する。

5. 鉄筋コンクリート梁の仕様設定

屋外二重管の基礎構造の鉄筋コンクリート梁は、屋外二重管を受け、その荷重を鋼管杭で支持する構造とする。

荷重ケースは地震時を想定し、長期荷重として死荷重を、短期荷重として基準地震動 S_s による地震荷重を考慮する。

また、鉄筋コンクリート梁には発生応力度が短期許容応力度に十分収まる鉄筋を配置する。



第 7 図 鉄筋コンクリート梁イメージ図

6. 鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造の仕様設定

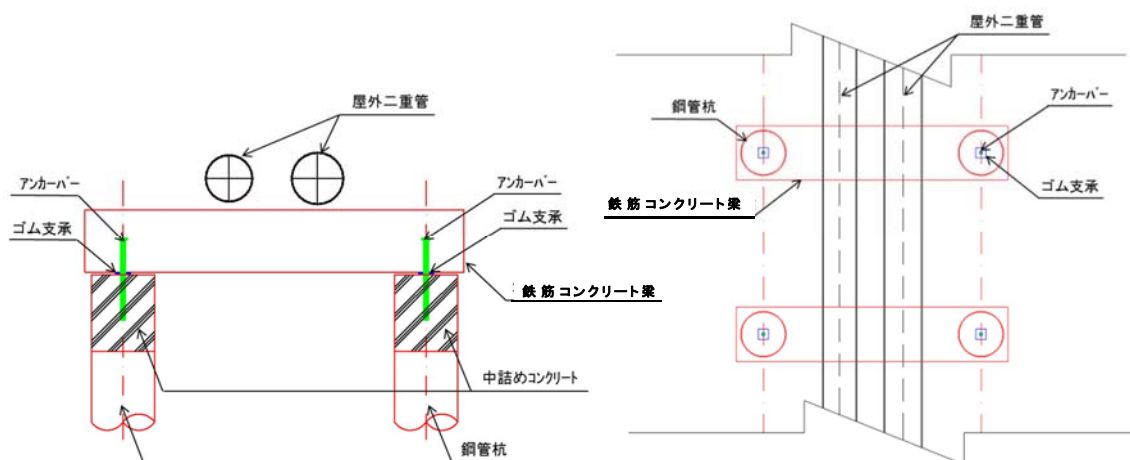
屋外二重管の基礎構造の鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造は、屋外二重管を受ける鉄筋コンクリート梁より生じる荷重を鋼管杭に伝達する構造とする。接続構造は、鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続部に過大な曲げモーメントを生じさせないヒンジとし、単純桁橋梁の支承として一般的に使用されるパッド型ゴム支承とアンカーバーの組合せによる構造とする。

この構造の機構は、鉄筋コンクリート梁より生じる鉛直力（下向き）と回転変位をゴム支承にて受け持ち、鉛直力（上向き）と水平力をアンカーバーにて受け持つ。

なお、地中部において支承部の機能を確保することを目的に、支承部への土砂流入対策を講じる。また、メンテナンスフリーとするために、鋼材は腐食代を考慮し、ゴム支承は耐久性を確保できる材質等を選定する。

荷重ケースは、地震時を想定し、長期荷重として死荷重を、短期荷重として基準地震動 S_s による地震荷重を考慮する。

鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造イメージを第 8 図に示す。



第 8 図 鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造イメージ図

7. 基礎構造の耐震設計方針（有効応力解析）

屋外二重管の基礎構造（鋼管杭、鉄筋コンクリート梁、鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造、基礎地盤）の耐震設計は、二次元地震応答解析を行い、地震時の鋼管杭、鉄筋コンクリート梁及び鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造の構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能について検討する。

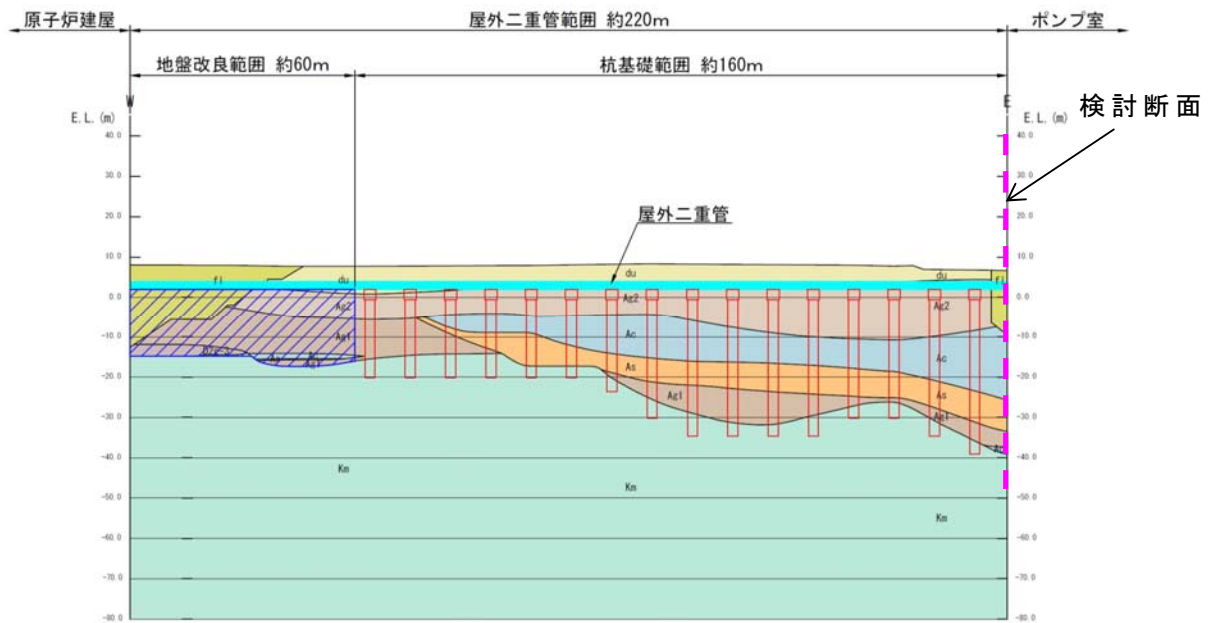
検討断面は、岩盤以浅の第四系地盤の変位が、基礎構造に与える影響を考慮するため、杭基礎範囲の中で岩盤の深いポンプ室側端部の1断面を選定する。

選定した検討断面位置を第9図に示す。

地震時応答解析は、有効応力の変化に伴う地盤の挙動の変化を考慮することができる有効応力解析を用いる。

鋼管杭、鉄筋コンクリート梁及び鋼管杭と鉄筋コンクリート梁の接続構造については、地震応答解析により算定された断面力を用いて、曲げモーメント、軸力及びせん断力に対する照査を行い、許容限界以下であることを確認することで健全性評価とする。

基礎地盤については、地震応答解析より算定された支持力が許容限界以下であることを確認することで支持性能評価とする。



第 9 図 検討断面位置

東海第二発電所

既設設備に対する耐震補強等について
(耐震)

1. はじめに

本資料では、今回工認の申請において耐震性を向上させる観点から今後実施する計画である既設設備に対する耐震補強等について整理する。

なお、今後の設計評価により補強対象の施設、設備の変更及び補強内容の変更の可能性がある。

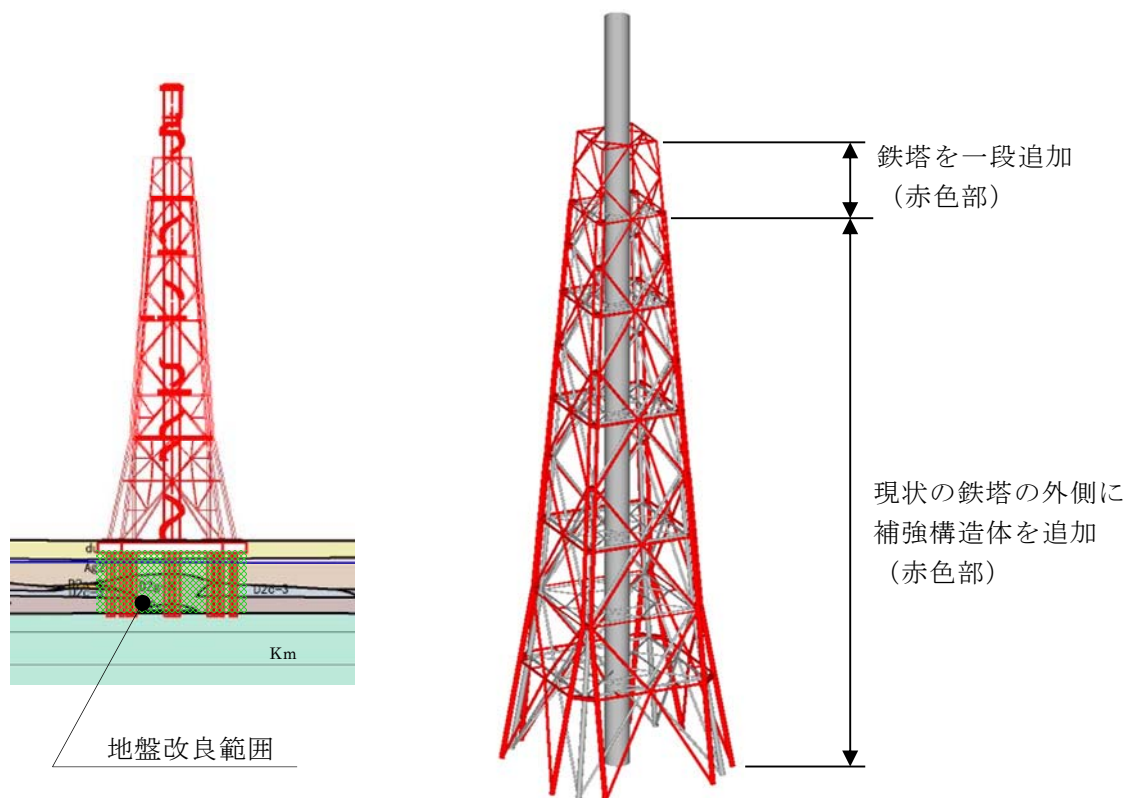
2. 既設設備に対する耐震補強等について

建物・構築物、機器・配管系、屋外重要土木構造物における耐震補強等の一覧を第1表に、耐震補強の概要を第1図～第11図に示す。

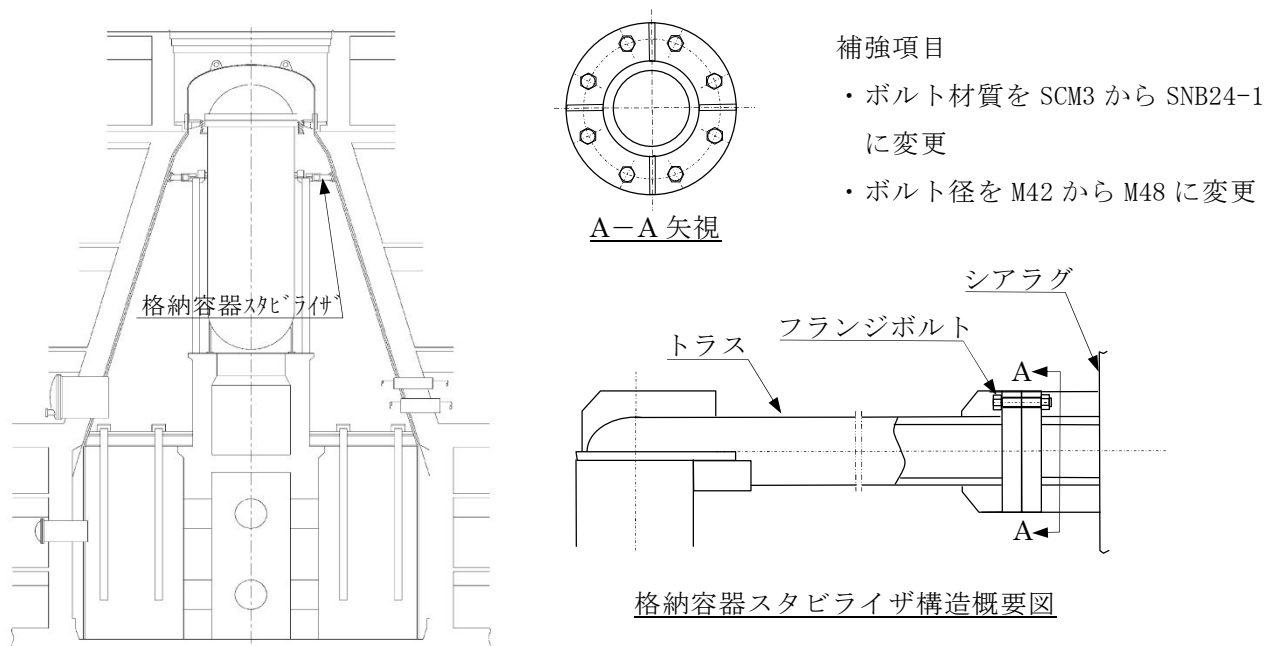
第1表 既設設備の耐震補強等一覧

| | 施設・設備
名称 | 目 的 | 内 容 | 添付図
番号 |
|-------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 建物・
構築物 | 排気筒 | 排気筒の支持機能強化 | 鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良 | 1 |
| 機器・
配管系 | 格納容器スタ
ビライザ | フランジボルトの応力
低減対策及び許容限界
値の向上 | フランジボルトの口径
変更及び高強度材料適
用 | 2 |
| | 原子炉建屋ク
レーン | 地震時落下防止による
波及的影響防止 | 落下防止対策の追設* ¹ | 3 |
| | 燃料取替機 | 同上 | ガード等の部材強化 | 4 |
| | 配管系 | 配管系の支持機能強化 | サポートの追加及び補
強 | 5 |
| | 残留熱除去系
熱交換器 | 残留熱除去系熱交換器
の支持機能強化 | 架台部への耐震補強サ
ポート追設 | 6 |
| | 水圧制御ユニ
ット | 水圧制御ユニットの支
持機能強化 | 架構部への補強梁追加 | 7 |
| | 格納容器シア
ラグ部 | 格納容器とシアラグ取
付け部の応力低減対策 | シアラグ部への補強材
追加 | 8 |
| 屋外重要
土木構造
物 | 貯留堰取付護
岸 | 地震時の護岸構造の健
全性維持による貯留堰
への波及的影響防止 | 地盤改良 | 9 |
| | 屋外二重管基
礎構造 | 屋外二重管の支持機能
強化 | 屋外二重管を支持する
基礎構造の追設 | 10 |
| | 取水構造物 | 地震時の取水構造物の
健全性維持 | 地盤改良 | 11 |

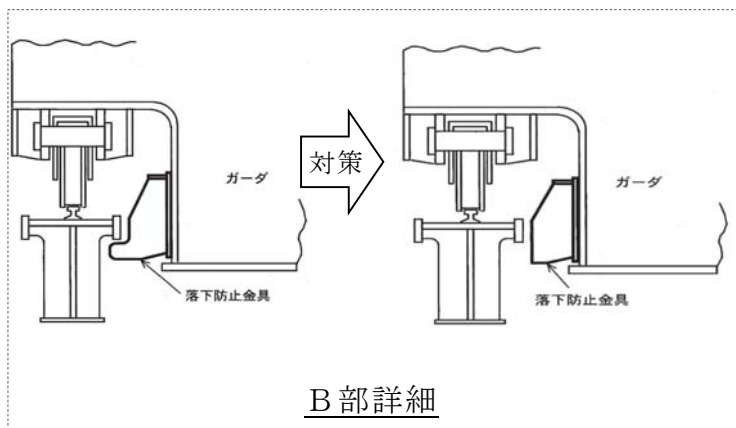
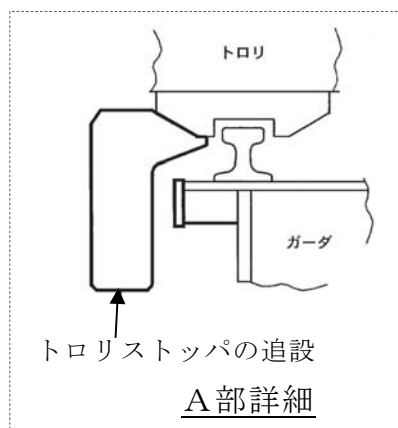
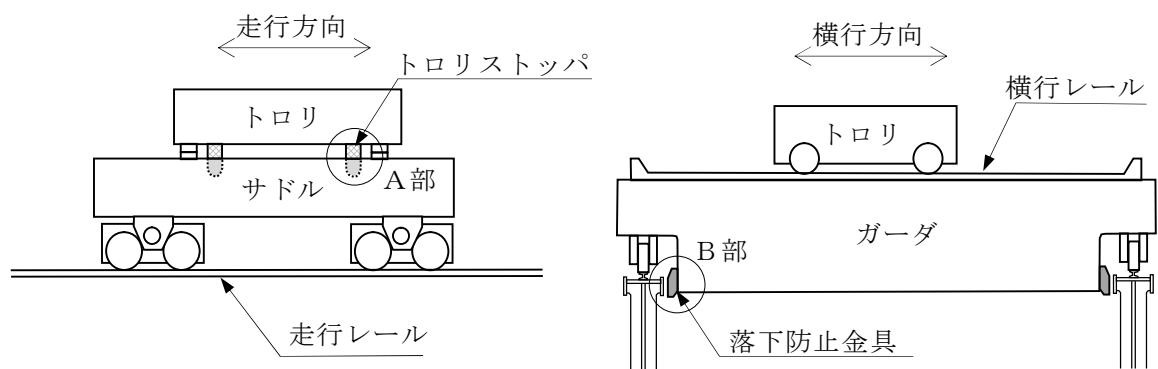
* 1 落下防止対策を添付1に示す。



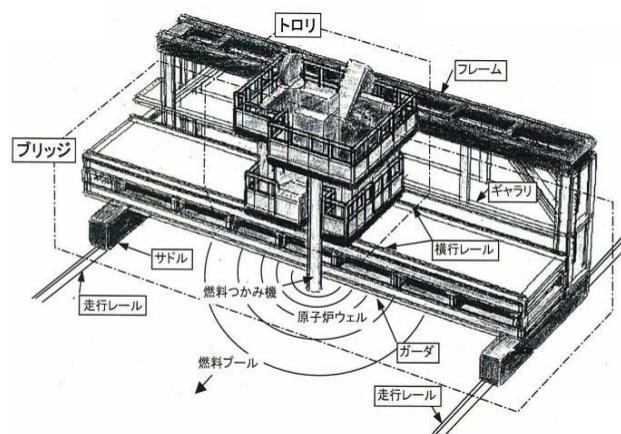
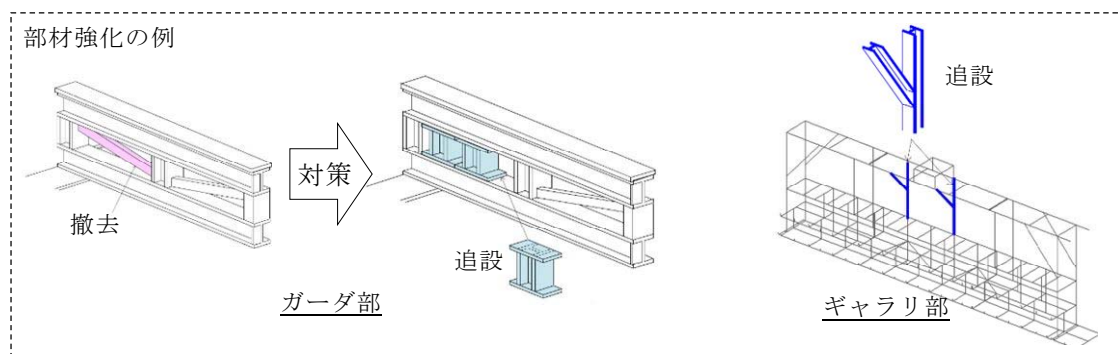
第1図 排気筒の耐震補強概要図



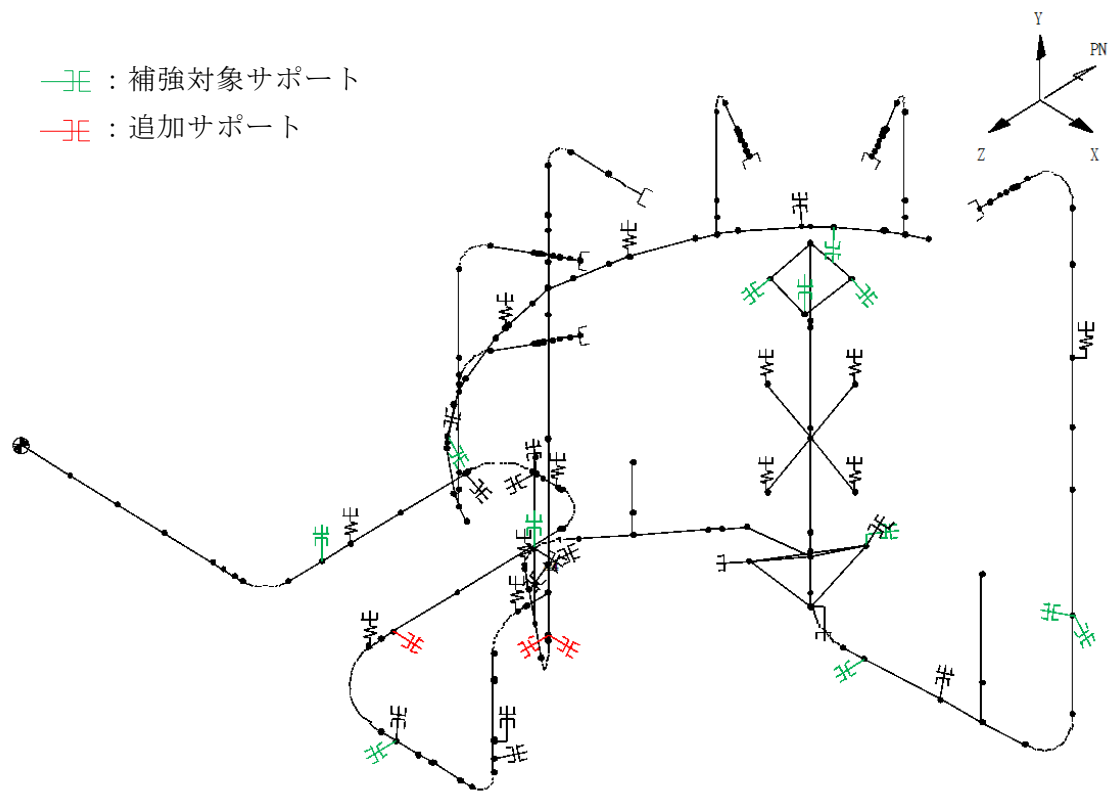
第2図 格納容器スタビライザの耐震補強概要図



第3図 原子炉建屋クレーンの落下防止対策概要図

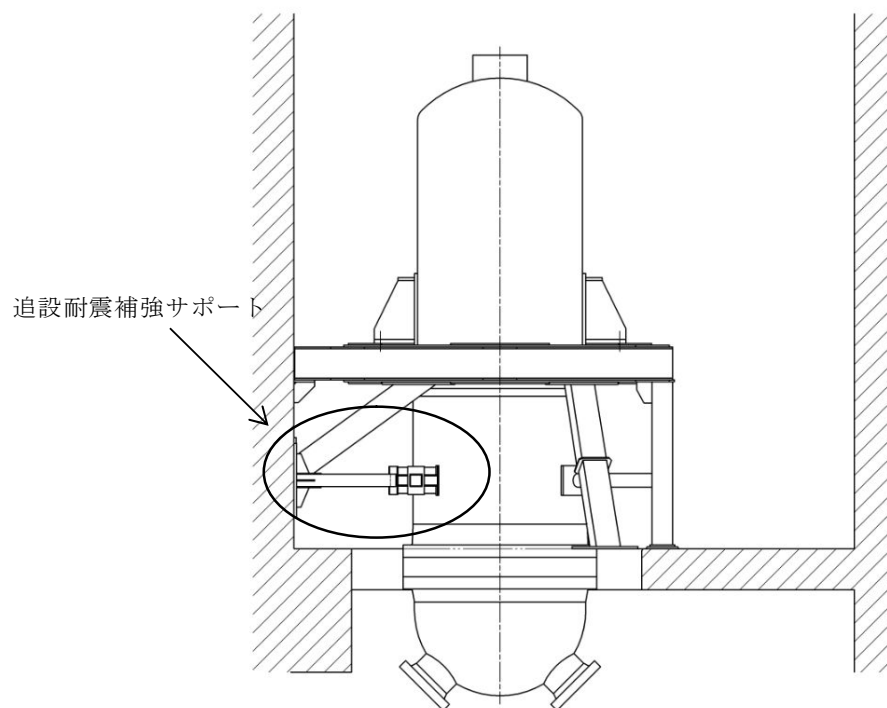


第4図 燃料取替機の耐震補強概要図

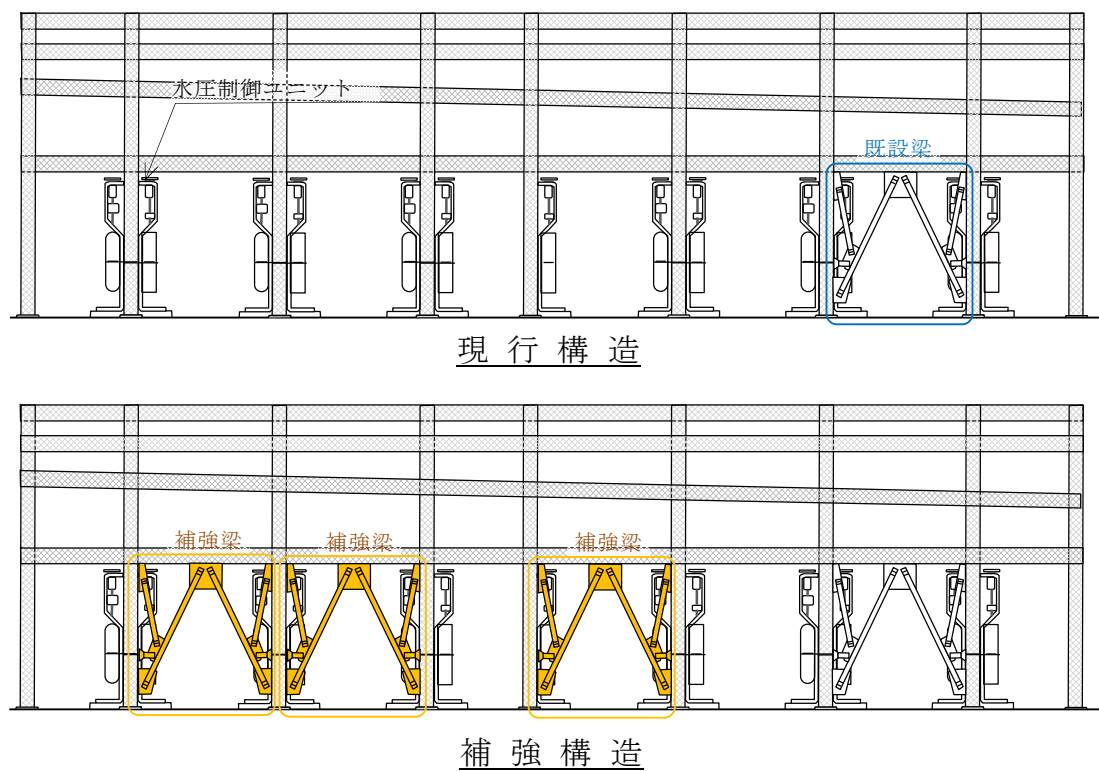


原子炉再循環系配管の耐震補強の例

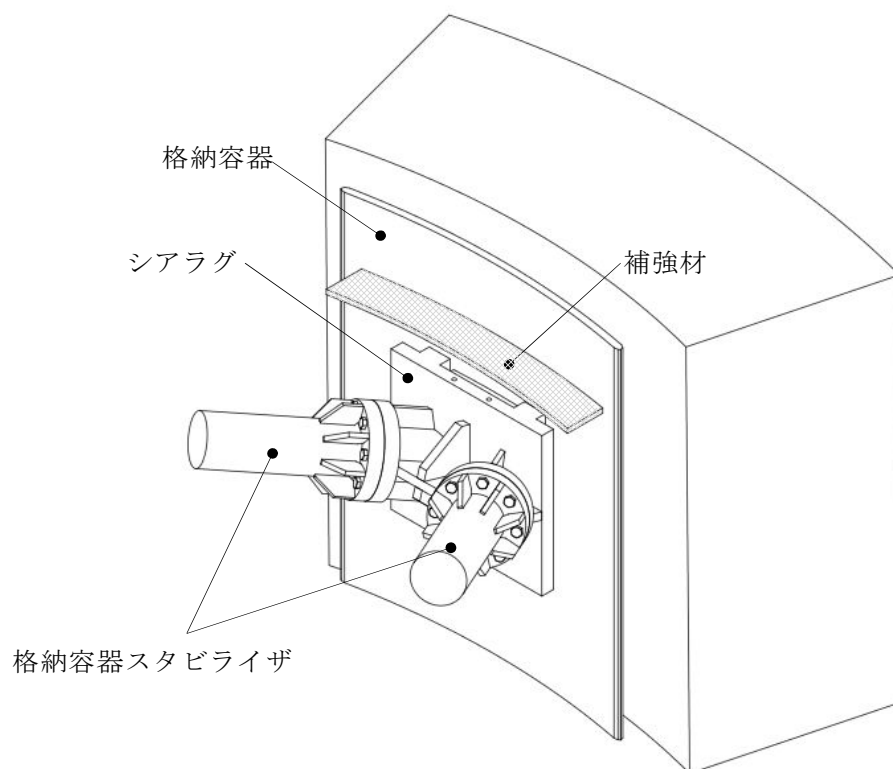
第 5 図 配管系の耐震補強概要図



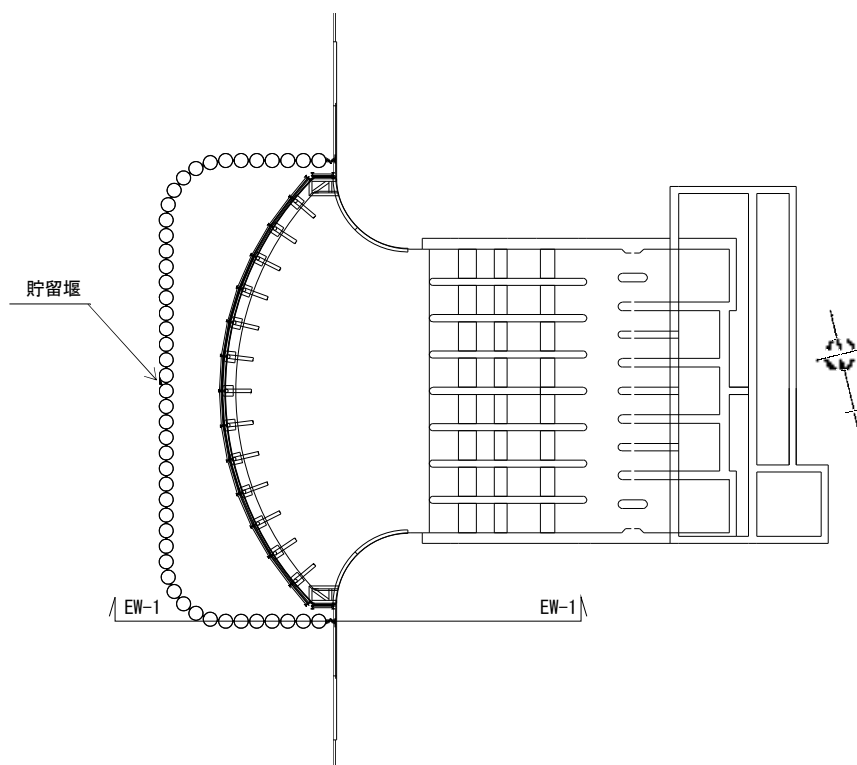
第 6 図 残留熱除去系熱交換器の耐震補強概要図



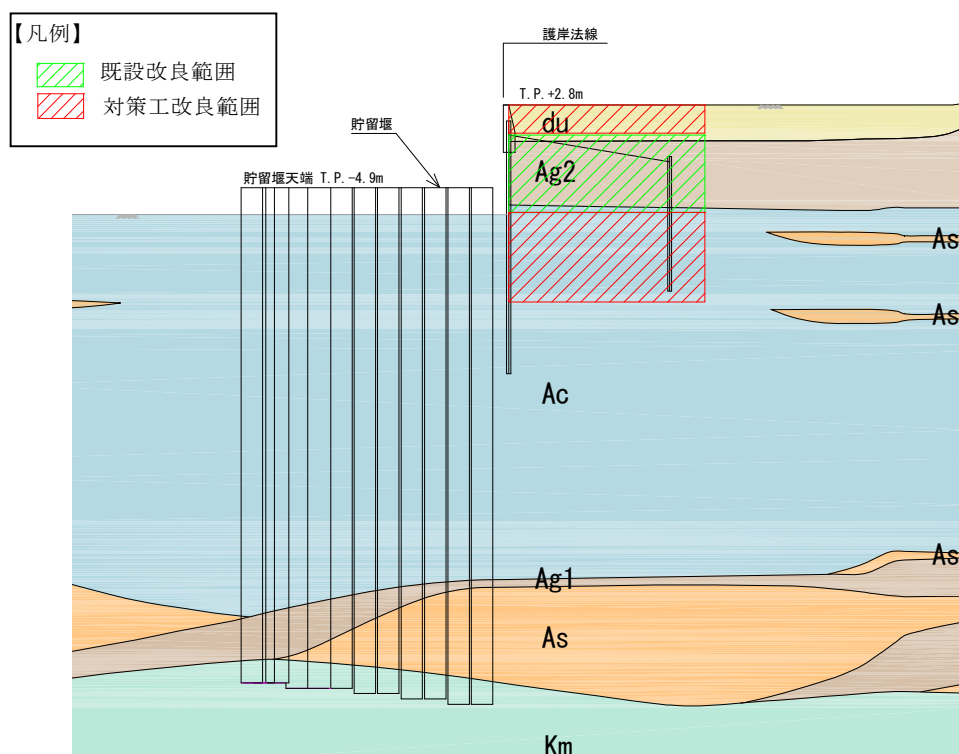
第7図 水圧制御ユニット架構の耐震補強概要図



第8図 格納容器シアラグ部の耐震補強概要図



平面図



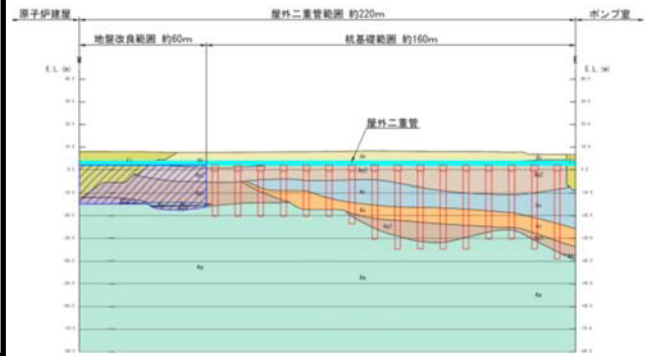
(注記) 南側の貯留堰取付護岸についても同様に耐震補強を実施する予定

横断面図 (EW1-EW1 断面)

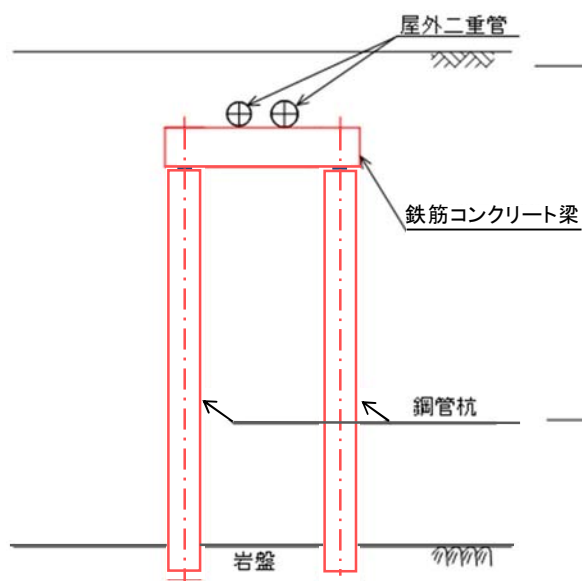
第 9 図 貯留堰取付護岸の耐震補強概要図



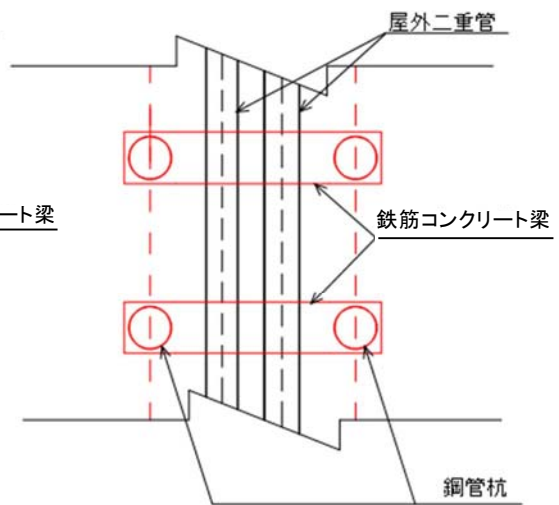
基礎平面配置図



基礎縦断配置図



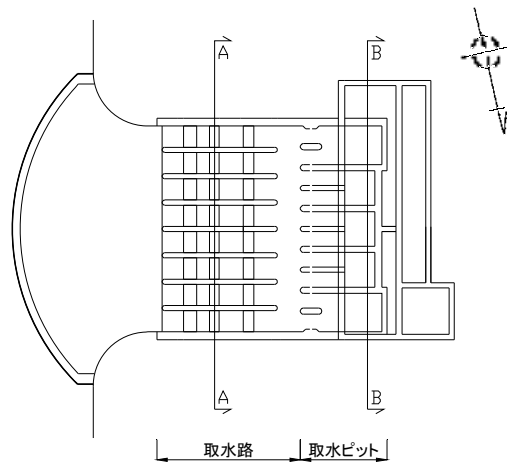
基礎構造図(管軸直交方向断面イメージ)



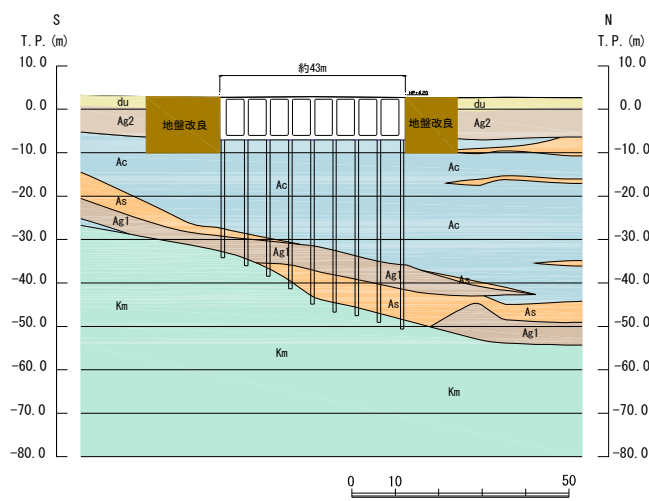
基礎構造図(平面イメージ)

(注記) 赤色表示部は追設する基礎構造部を示す。

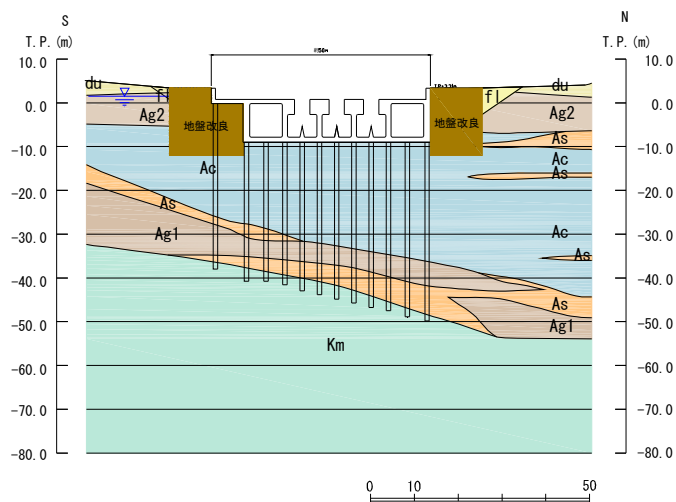
第 10 図 屋外二重管の耐震補強概要図



平面図



横断面図（A－A断面：取水路）



横断面図（B－B断面：取水ピット）

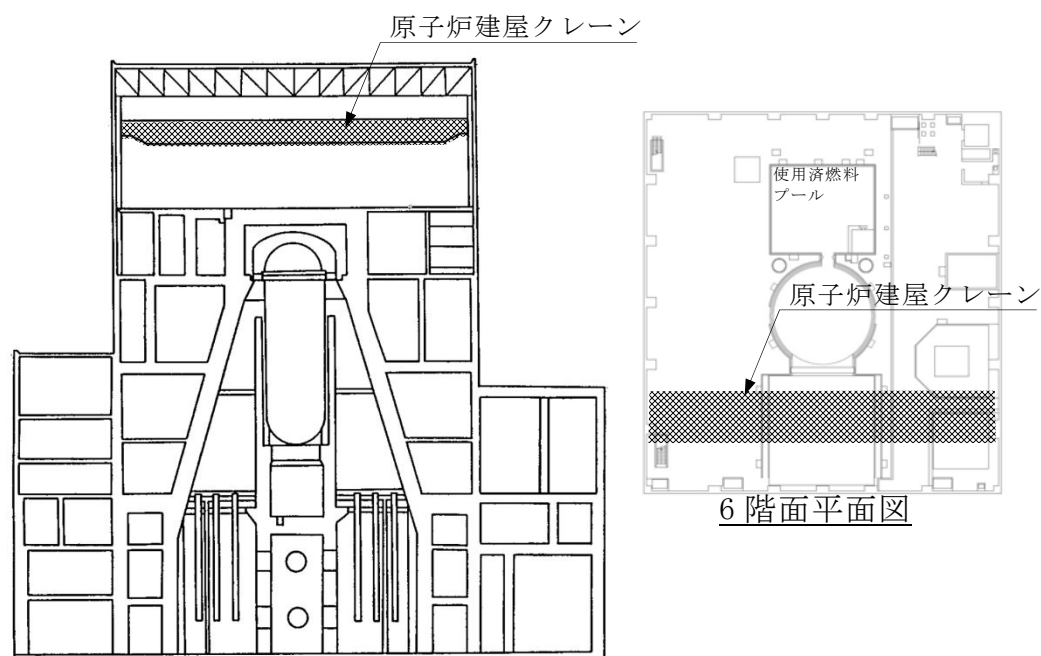
第 11 図 取水構造物の耐震補強概要図

原子炉建屋クレーンの落下防止対策について

1. 原子炉建屋クレーンの地震時の要求事項

原子炉建屋クレーンは、耐震Bクラスであるが、第1図に示すとおり原子炉建屋6階面に位置し、地震時により損傷し落下することにより、使用済燃料プール等の耐震Sクラス設備に波及的影響を及ぼす恐れがある。

このため、耐震Sクラス設備への波及的影響防止の観点から基準地震動 S_s に対して落下防止を図る必要がある。

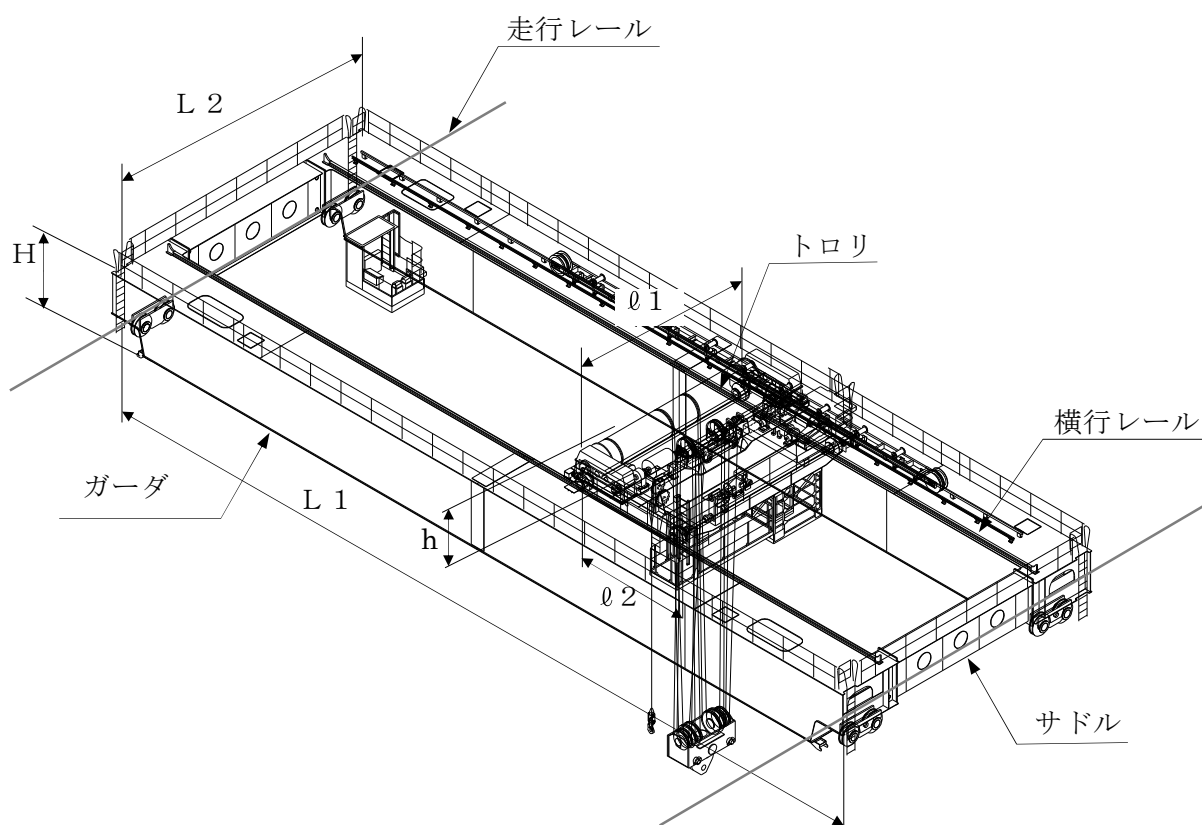


第1図 原子炉建屋クレーン配置図

2. 落下防止対策の計画概要

原子炉建屋クレーンの主要諸元及び構造概要図を第2図に示す。原子炉建屋クレーンは、原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドル(以下「クレーン本体」という。)が走行し、またクレーン本体上に設置された横行レールをトロリが横行する構造である。原子炉建屋クレーンの各構造として、クレーン本体及びトロリの落下防止対策について以下に述べる。

| 項 目 | | 諸 元 |
|------------|------------------|-------|
| トロリ | 質量 (ton) | 48.0 |
| | 高さ h (m) | 2.280 |
| | スパン $\ell 1$ (m) | 5.6 |
| | スパン $\ell 2$ (m) | 4.1 |
| クレーン
本体 | 質量 (ton) | 118.0 |
| | 高さ H (m) | 1.915 |
| | スパン L 1 (m) | 39.5 |
| | スパン L 2 (m) | 6.2 |
| 定格
荷重 | 主巻 (ton) | 125.0 |
| | 補巻 (ton) | 5.0 |



第 2 図 原子炉建屋クレーンの主要諸元及び構造概要図

(1) クレーン本体の落下防止対策

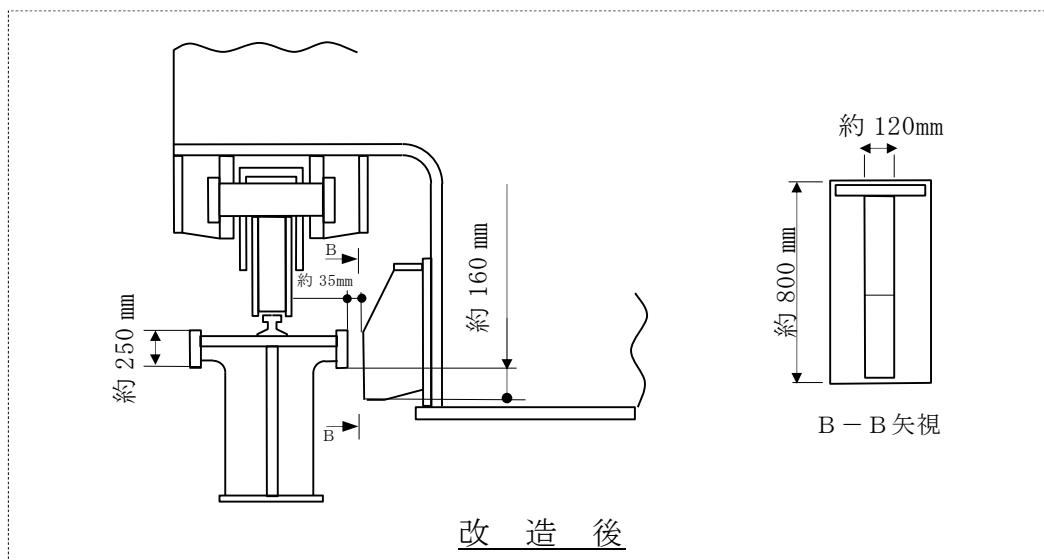
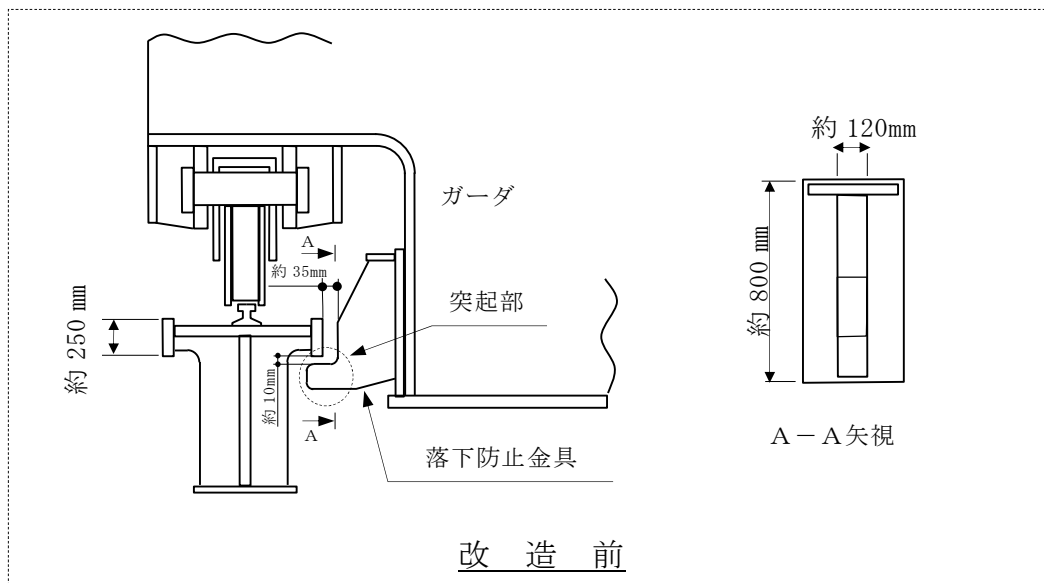
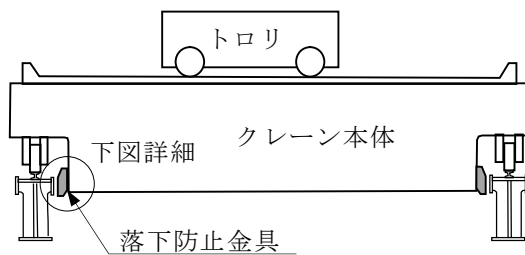
クレーン本体の落下防止対策については、ガーダに取り付けられた落下防止金具の構造を変更することにより行う。クレーン本体の落下防止対策概要を第3図に示す。

旧構造は、落下防止金具の突起部をランウェイガーダの下部まで突き出すことによりクレーン本体の浮き上がりを防止する設計としていた。本設計においては、クレーン本体の浮き上がり時に、落下防止金具の突起部とランウェイガーダとの衝突により、衝突箇所には過大な荷重が生じ、突起部が落下する可能性、原子炉建屋側への荷重伝達により波及的影響を及ぼす可能性が否定できない。参考として、設置変更許可申請時における基準地震動 S_s （以下「申請時 S_s 」という。）を用いた場合の旧構造の落下防止金具の評価結果を第1表に、評価断面を第4図に示す。

このため、落下防止金具とランウェイガーダとの関係から落下防止機能を有する長さが、クレーン本体の浮き上がり量に対して、余裕を有していることを確認することでクレーン本体の落下防止を図る設計とした。なお、審査を経て変更した基準地震動 S_s におけるクレーン本体の浮き上がり量は、約 10mm* であり、落下防止金具がクレーン本体の落下防止機能を有する長さ約 160mm よりも余裕を有することを現時点で確認している。

また、改造後寸法において落下防止金具とランウェイガーダとの通常使用時の間隙は、約 35mm としている。地震時においてクレーン本体が移動し、落下防止金具とランウェイガーダとが接触した場合のクレーン配置を第5図に示す。第5図に示すとおり、地震時においてもクレーン本体の車輪はレール上から落下しない設計としている。

*：現状の評価結果であり、今後変更の可能性はある。

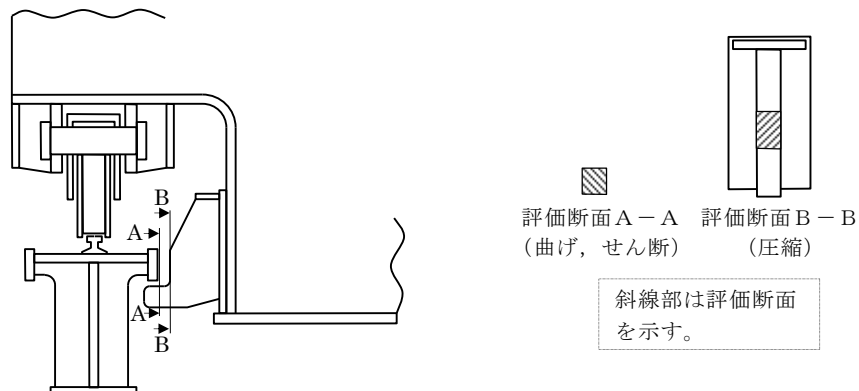


注記 本説明に用いる図は，落下防止対策の概要を模式的に示すものであり，構造物の寸法，間隙等の縮尺は実物と異なる（第4図～第7図も同様）。

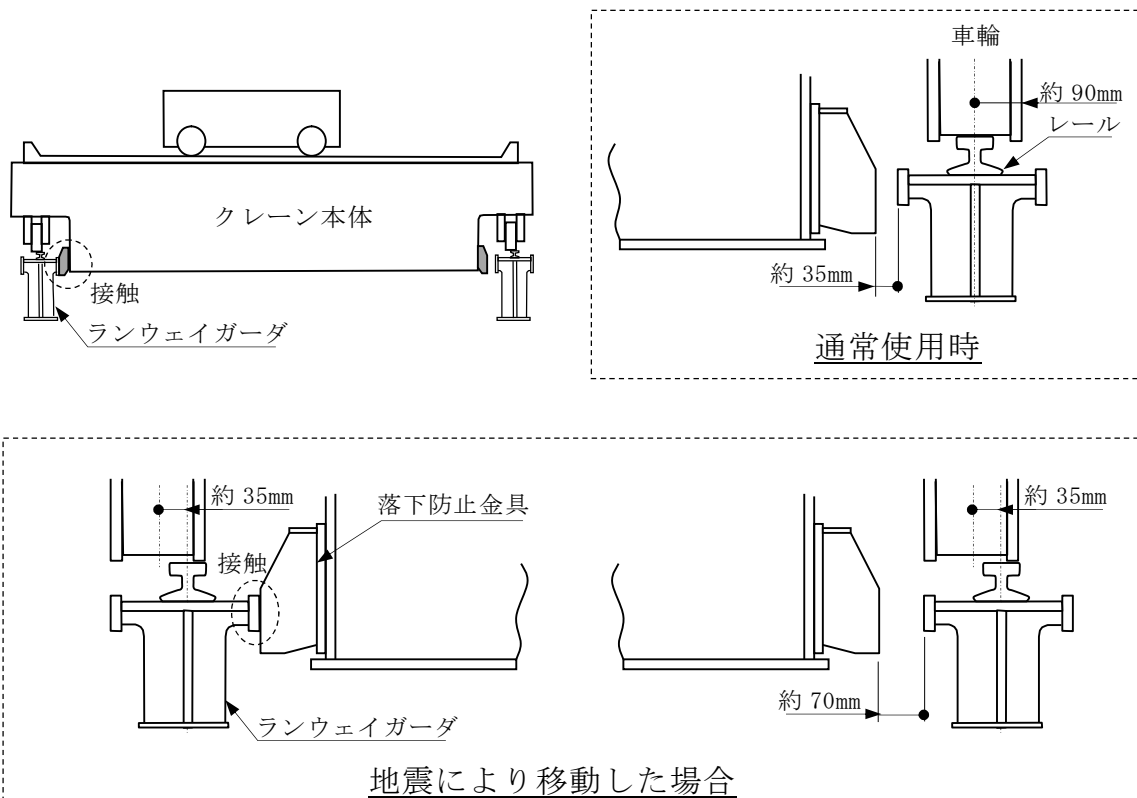
第3図 クレーン本体の落下防止対策概要図

第 1 表 申請時 S_s を用いた旧構造の落下防止金具の評価結果

| 応力分類 | 応力値(M P a) | 許容値 (M P a) |
|------|------------|-------------|
| 圧縮 | 37 | 253 |
| 曲げ | 368 | 253 |
| せん断 | 115 | 146 |



第 4 図 旧構造の評価に用いた評価断面図



第 5 図 地震により移動した場合のクレーン配置の概略図

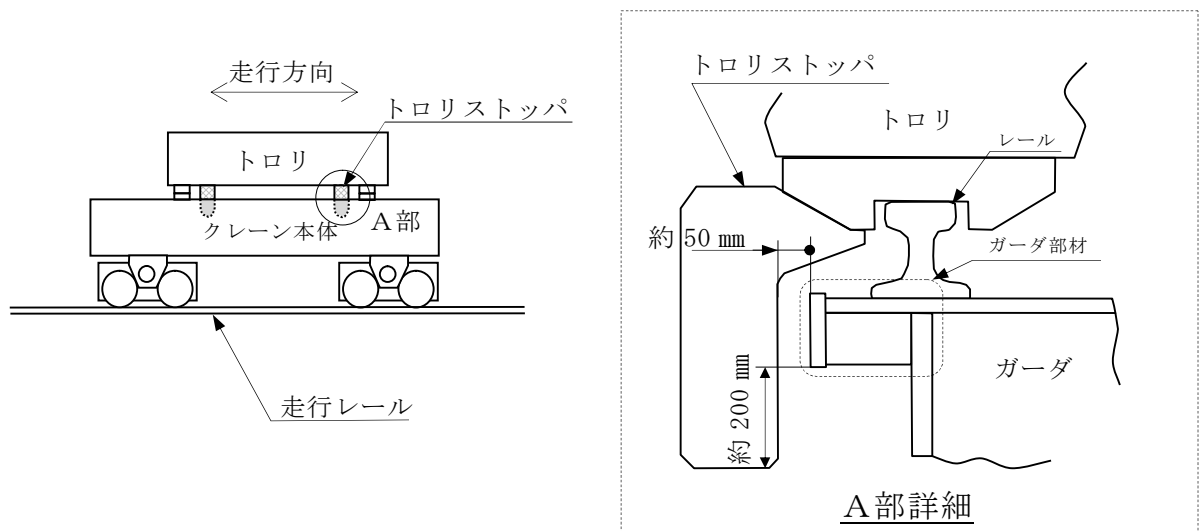
(2) トロリの落下防止対策

トロリの落下防止対策概要を第6図に示す。旧構造は、落下防止のための構造物が設置されていないため、トロリに新たにトロリストoppaを追設する。トロリストoppaを追設に当たり、トロリストoppaとガーダ部材との関係から落下防止機能を有する長さがトロリの浮き上がり量に対して、余裕を有していることを確認することでトロリの落下防止を図る設計とした。

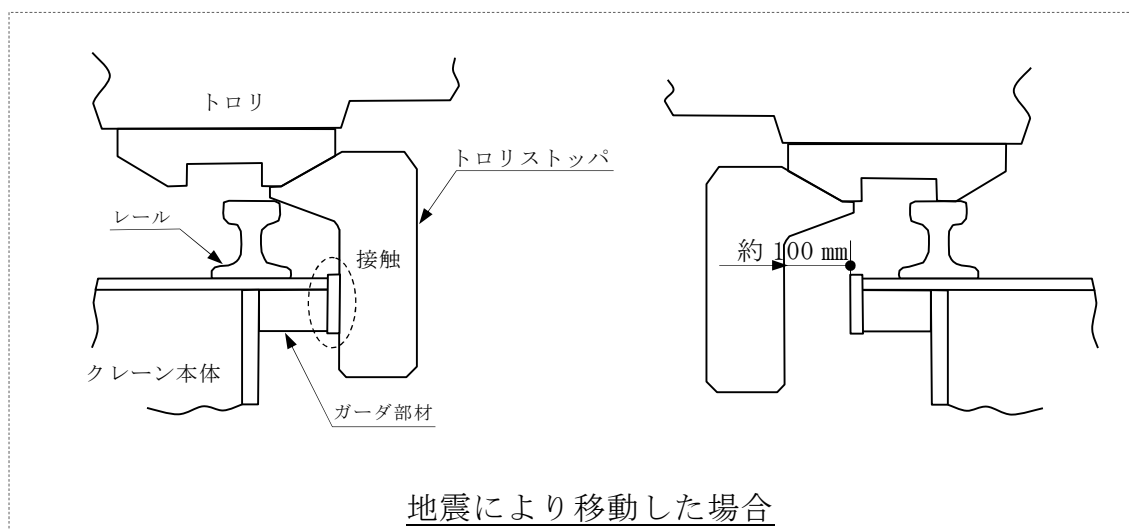
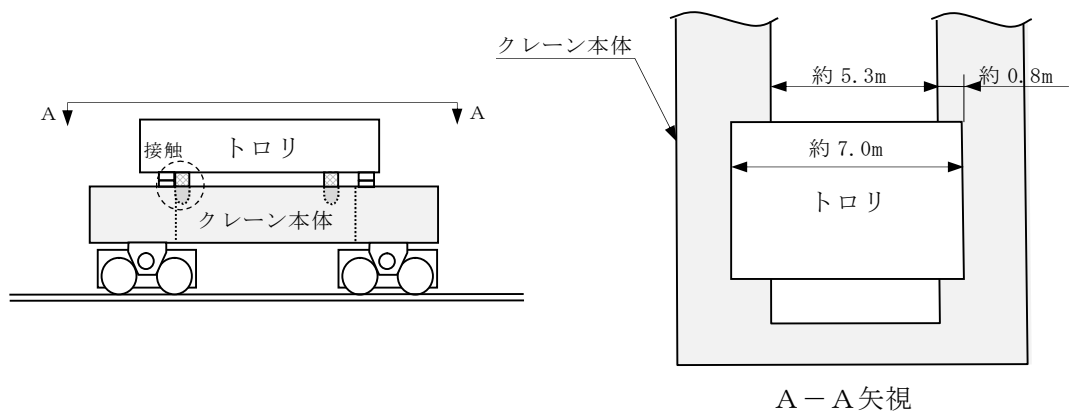
なお、審査を経て変更した基準地震動 S_s におけるトロリの浮き上がり量は、約 40mm*であり、トロリストoppaがトロリの落下防止機能を有する長さ約 200mm よりも余裕を有することを現時点で確認している。

また、改造後寸法においてトロリストoppaとガーダ部材との通常使用時の間隙は、約 50mm である。地震時においてクレーン本体が移動し、トロリストoppaとガーダ部材が接触した場合の配置を第7図に示す。第7図に示すとおり、クレーン本体の車輪はレール上から落下しない設計としている。

*：現状の評価結果であり、今後変更の可能性がある。



第6図 トロリの落下防止対策概要図

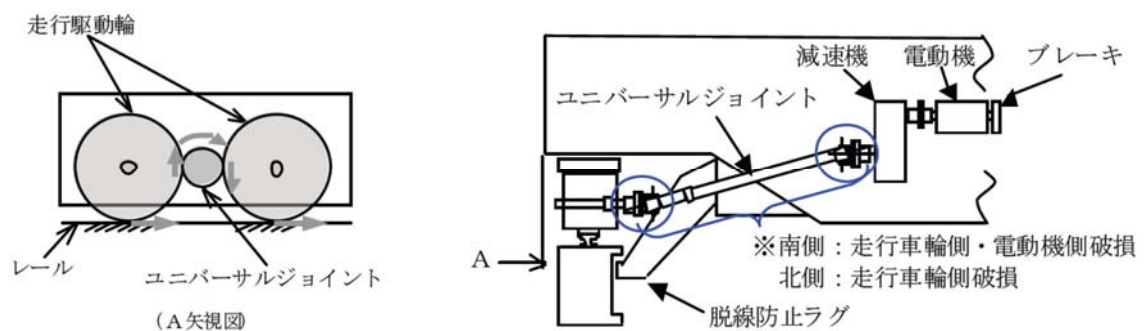


第 7 図 地震により移動した場合のトロリ配置の概略図

3. 原子炉建屋クレーンの他サイト不具合事例の確認

東海第二発電所の原子炉建屋クレーン落下防止対策に対する影響の観点から他サイトの原子炉建屋クレーンの不具合事例の確認を行った。

新潟県中越沖地震において、柏崎刈羽発電所 6 号機の原子炉建屋天井クレーンに不具合が発生している。当不具合事例は、原子炉建屋天井クレーンの走行電動用継手部（以下「ユニバーサルジョイント」という。）の車輪側のクロスピンが、地震により損傷していた事例である。第 8 図に示すとおりユニバーサルジョイントは、電動機からの動力を車輪部に伝達する装置であり、東海第二発電所の原子炉建屋クレーン落下防止対策とは関係しないものと考えられる。



第 8 図 ユニバーサルジョイント構造概要図

東海第二発電所

動的機能維持評価の検討方針 (耐震)

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正案（以下「技術基準規則解釈等の改正案」という）及び先行電力の審査状況を踏まえて、動的機能維持が必要な設備の検討方針を示す。

2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針

J E A G 4601 に定められた適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備又は評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備を抽出するとともに、抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。

2.1 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

(1) 検討対象設備

検討対象設備は、耐震 S クラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし、動的機能が必要な設備として J E A G 4601 で適用範囲が定められている機種（立形ポンプ、横形ポンプ、電動機 等）とする。なお、加振試験により機能維持を確認する設備 J E A G 4601 にて評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められている設備については検討から除外する。

(2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

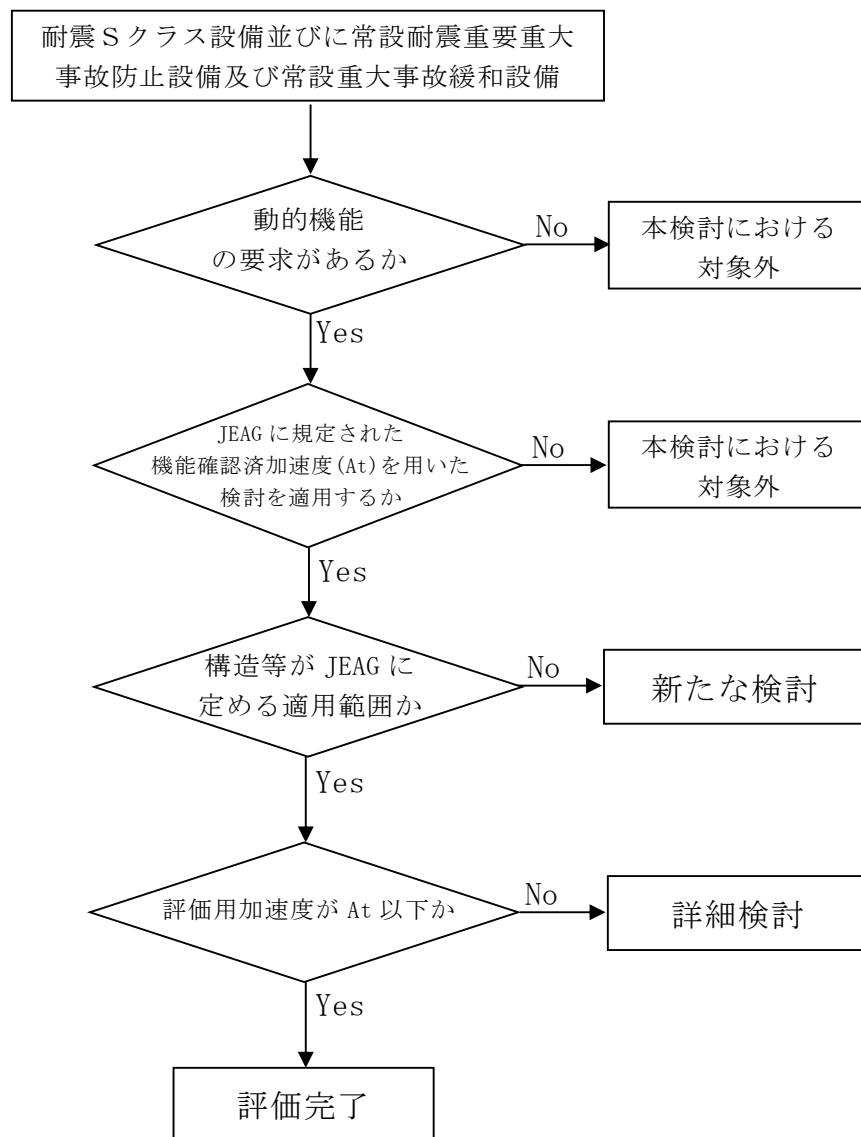
第 1 図に抽出フローを示す。検討対象設備について、J E A G 4601 に定める適用機種に対して構造、作動原理等が同じであることを確認する。同じであることが確認できない場合は、新たな検討が必要な設備として抽出する。

さらに評価用加速度が J E A G 4601 及び既往の研究等^{*}により妥当性が確認されている値に定める機能確認済加速度以内であることの確認を行い、

機能確認済加速度を超える設備については詳細検討が必要な設備として抽出する。

上記の整理結果として別表 1 に検討対象設備を示すとともに、新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報として J E A G 4601 に該当する機種名等を整理した。

※ 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 10 年度～平成 13 年度）」



第 1 図 検討が必要な設備の抽出フロー

(3) 抽出結果

第1表に新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果を示す。

新たな検討が必要となる設備として、Vベルトの方式の遠心ファン（以下「Vベルト式ファン」という。）となる中央制御室換気系空気調和機ファン，中央制御室換気系フィルタ系ファン及び非常用ガス処理系排風機並びに横形スクリー式ポンプ（以下「スクリー式ポンプ」という。），横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプ」という。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。

新たな検討が必要となる設備のうち、Vベルト式ファンについては、遠心直結式ファン又は遠心直動式ファンへの構造変更を行うため、動的機能維持評価のための新たな検討は不要となる。

また、評価用加速度が機能確認済加速度を超える設備として残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ並びにこれらポンプ用の電動機が該当する。

第 1 表(1) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

| 機種名 | 設備名称 | J E A G 4601
適用範囲
○：可
×：否（新たな
検討が必要） | At 確認
○：OK
×：NG（詳細
検討が必要） |
|----------------|------------------------------|--|------------------------------------|
| 立形ポンプ | 残留熱除去系ポンプ | ○ | ○ |
| | 高圧炉心スプレイ系ポンプ | ○ | ○ |
| | 低圧炉心スプレイ系ポンプ | ○ | ○ |
| | 残留熱除去系海水系ポンプ | ○ | × |
| | 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ | ○ | × |
| | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用
海水ポンプ | ○ | × |
| | 緊急用海水ポンプ | ○ | ○注 1 |
| 横形ポンプ | 原子炉隔離時冷却系ポンプ | ○ | ○ |
| | 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ | × | — |
| | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃
料移送ポンプ | × | — |
| | 常設低圧代替注水系ポンプ | ○ | ○注 1 |
| | 代替燃料プール冷却系ポンプ | ○ | ○ |
| | 格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ | ○ | ○注 1 |
| | 代替循環冷却系ポンプ | ○ | ○ |
| | 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ | × | — |
| | 緊急時対策所用発電機給油ポンプ | × | — |
| ポンプ駆動用
タービン | 原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービ
ン | ○ | ○ |
| 電動機 | 残留熱除去系ポンプ用電動機 | ○ | ○ |
| | 高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機 | ○ | ○ |
| | 低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機 | ○ | ○ |
| | 残留熱除去系海水系ポンプ用電動機 | ○ | × |
| | ほう酸水注入ポンプ用電動機 | ○ | ○ |
| | 中央制御室換気系空気調和機ファン用電
動機 | ○ | ○ |

注 1）今後の設計進捗によって、評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

第 1 表 (2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

| 機種名 | 設備名称 | J E A G 4601
適用範囲
○：可
×：否 (新たな
検討が必要) | At 確認
○：OK
×：NG (詳細
検討が必要) |
|-----|------------------------------|---|-------------------------------------|
| 電動機 | 中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機 | ○ | ○ |
| | 非常用ガス処理系排風機用電動機 | ○ | ○ |
| | 非常用ガス再循環系排風機用電動機 | ○ | ○ |
| | 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機 | ○ | ○ |
| | 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機 | ○ | ○注 1 |
| | 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 | ○ | × |
| | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機 | ○ | ○注 1 |
| | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 | ○ | × |
| | 常設低圧代替注水系ポンプ用電動機 | ○ | ○注 1 |
| | 代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機 | ○ | ○ |
| | 格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機 | ○ | ○注 1 |
| | 代替循環冷却系ポンプ用電動機 | ○ | ○ |
| | 緊急用海水ポンプ用電動機 | ○ | ○注 1 |
| | 緊急時対策所非常用送風機用電動機 | ○ | ○注 1 |
| | 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機 | ○ | ○注 1 |
| | 緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機 | ○ | ○注 1 |
| ファン | 中央制御室換気系空気調和機ファン | × | — |
| | 中央制御室換気系フィルタ系ファン | × | — |
| | 非常用ガス処理系排風機 | × | — |
| | 非常用ガス再循環系排風機 | ○ | ○ |
| | 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ | ○ | ○ |
| | 緊急時対策所非常用送風機 | ○ | ○注 1 |

注 1) 今後の設計進捗によって、評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

第 1 表 (3) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

| 機種名 | 設備名称 | J E A G 4601
適用範囲
○：可
×：否（新たな
検討が必要） | At 確認
○：OK
×：NG（詳細
検討が必要） |
|-----------------|--|--|------------------------------------|
| 非常用ディー
ゼル発電機 | 非常用ディーゼル発電機 | ○ | ○ |
| | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 | ○ | ○ |
| | 非常用ディーゼル発電機調速装置及び非
常用ディーゼル発電機非常調速装置 | ○ | ○ |
| | 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調
速装置及び高圧炉心スプレイ系ディー
ゼル発電機非常調速装置 | ○ | ○ |
| 往復動式ポン
プ | ほう酸水注入ポンプ | ○ | ○ |
| 制御棒 | 制御棒挿入性 | ○ | ○注 2 |

注 2) 地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障
を与えない変位に対して下回ることを確認

2.2. 動的機能維持の検討

2.2.1 新たな検討が必要な設備の検討

(1) 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針としては、技術基準規則解釈等の改正案及び先行電力の審査状況を踏まえて、公知化された検討として（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には、耐特委では動的機能の評価においては、対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず、破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、機能維持を評価する際に確認すべき事項として、基本評価項目を選定している。

今回新たな検討が必要な設備については、基本的な構造は類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し、基本評価項目を選定し機能維持評価を実施する。

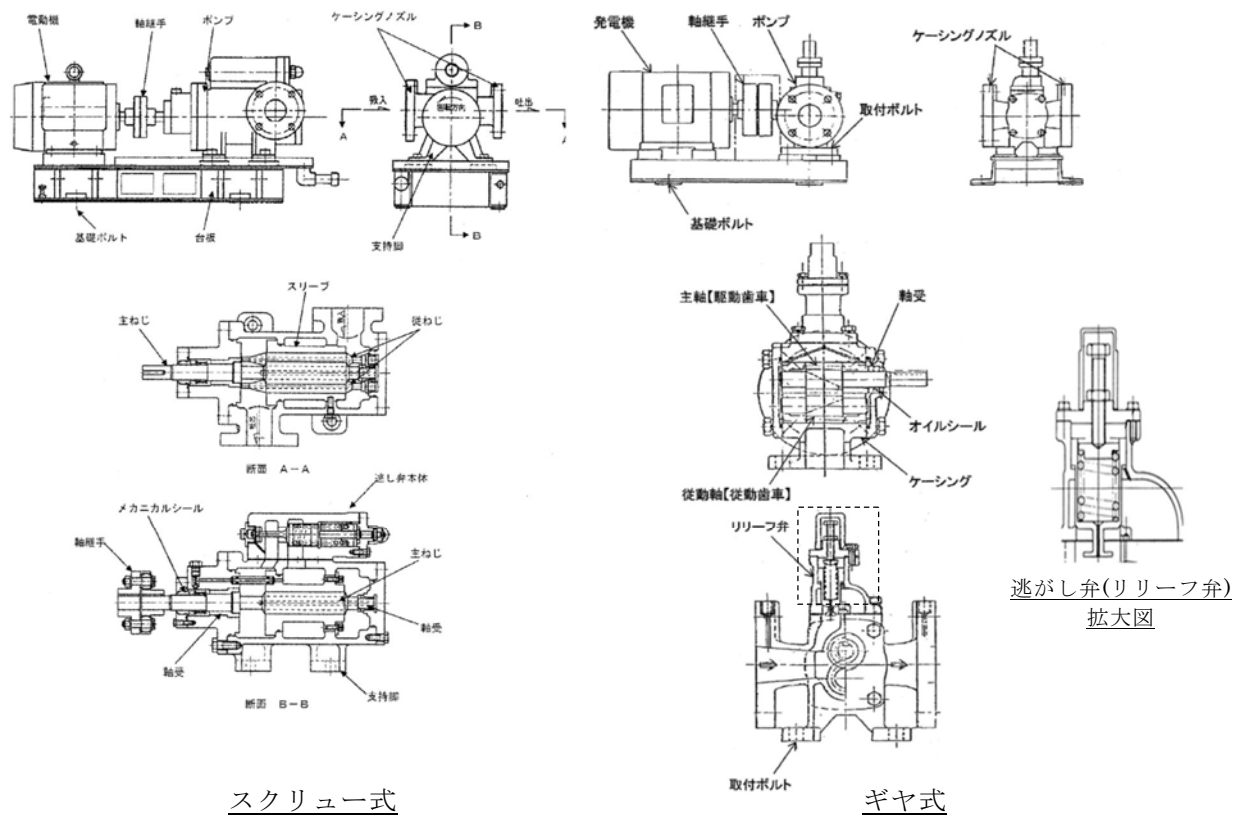
新たな検討が必要設備において、参考とする機種／型式を第2表に示すとともに、第2図及び第3図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。

スクリー式及びギヤ式ポンプは、遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）と内部流体の吐出構造が異なるが、電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること及びケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有しており基本構造が同じといえる。このため、スクリー式及びギヤ式ポンプについては、遠心式横形ポンプを参考とし、地震時異常要因分析を実施する。なお、非常用ディーゼ

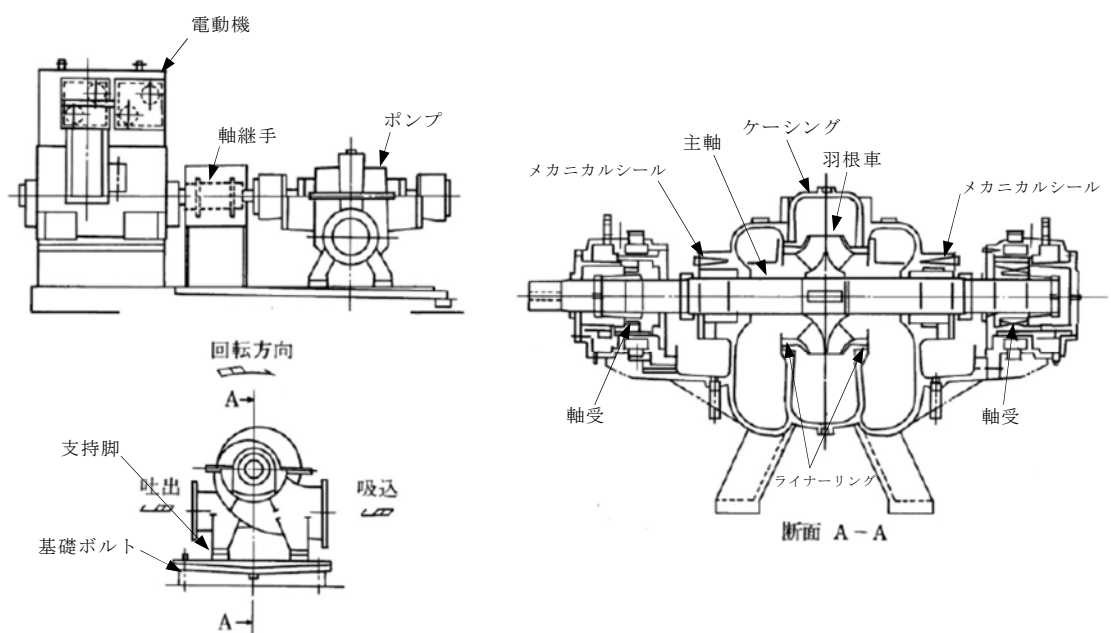
ル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては，新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり，評価する設備となる。

第2表 新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

| 新たな検討が必要な設備 | 機種／型式 | 参考とする
機種／型式 |
|---|-----------------|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・ 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ | 横形ポンプ／
スクリー式 | 横形ポンプ／
単段遠心式 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時対策所用発電機給油ポンプ | 横形ポンプ／
ギヤ式 | |



第3図 スクリュー式，ギヤ式ポンプ構造概要図



第4図 遠心式ポンプ構造概要図

(2) 新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討が必要な設備に対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考する耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。

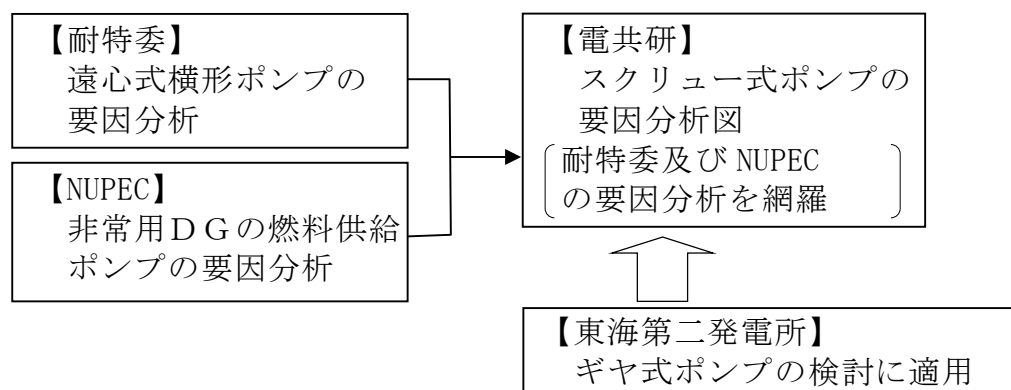
a. スクリュー式ポンプ

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の抽出

スクリュー式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研では第5図に示すとおり、耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992年3月））を網羅するように、スクリュー式ポンプに対する異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

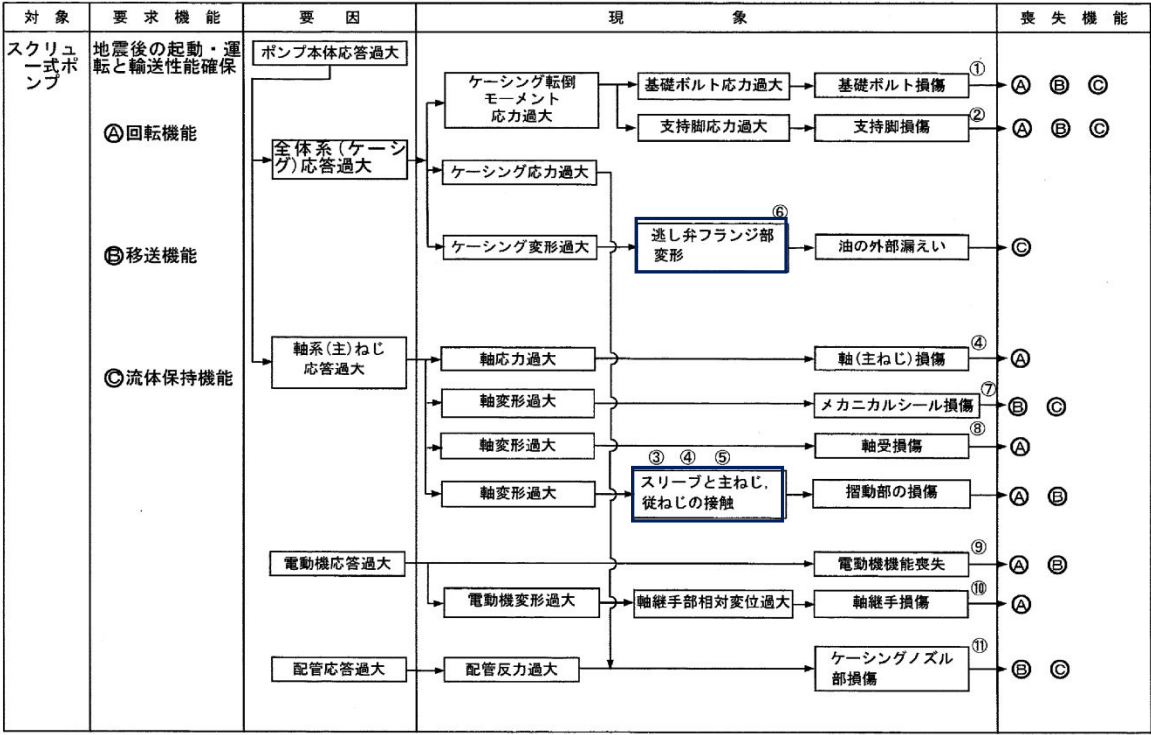
スクリュー式ポンプの要因分析図を第6図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第3表のとおりである。

※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成25年3月）



第5図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）

スクリー式ポンプとして
抽出された評価項目



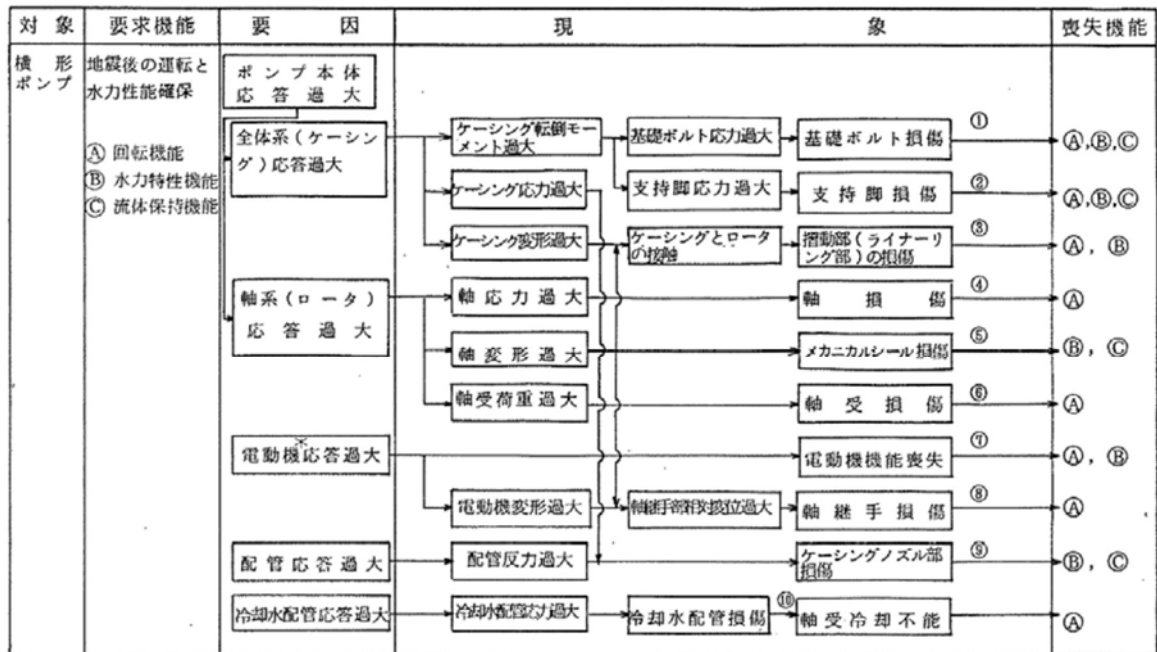
第 6 図 スクリー式ポンプの地震時異常要因分析図

第 3 表 スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

| | 評価項目 | 異常要因 |
|-------------|-----------------------------------|---|
| ① | 基礎ボルト
(取付ボルト含む) | ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。 |
| ② | 支持脚 | ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。 |
| ③
④
⑤ | 摺動部
(③スリーブ④主ねじ
⑤従ねじのクリアランス) | ポンプ全体系の応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじ又は従ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。 |
| ④ | 軸系(主ねじ) | 軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。 |
| ⑥ | 逃し弁 | ケーシングの応答が過大となり逃し弁フランジ部変形し油の外部漏えいに至り、また全体系の応答過大の応答過大による誤作動により流体保持機能が喪失する。 |
| ⑦ | メカニカルシール | 軸系ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。 |
| ⑧ | 軸受 | 軸変形が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。 |
| ⑨ | 電動機 | 電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑩ | 軸継手 | 電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。 |
| ⑪ | ケーシングノズル | 接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。 |

(b) 遠心式ポンプの評価項目

耐特委における検討として、第7図に遠心式ポンプの要因分析図を示す。
また抽出された評価項目を第4表に示す。



* 駆動用タービンの場合も同様。また、増速機も含む。

第7図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第4表 遠心式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

| | 評価項目 | 異常要因 |
|--------|------------------------------|---|
| ①
② | 基礎ボルト(取付ボルト含む)、支持脚 | ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルト含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。
またポンプ全体系の応答が過大となることで、支持脚の応力が過大となり損傷に至り、ポンプが転倒することにより機能喪失する。 |
| ③ | 摺動部
(インペラとライナーリングのクリアランス) | 軸変形が過大となり、インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ④ | 軸 | 軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑤ | メカニカルシール | 軸変形が過大となり、メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。 |
| ⑥ | 軸受 | 軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑦ | 電動機 | 電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑧ | 軸継手 | 被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑨ | ケーシングノズル | 接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 |
| ⑩ | 軸冷却水配管 | 冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで軸冷却不能に至り、回転機能が喪失する。 |

(c) スクリュー式ポンプの評価項目の検討

スクリュー式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、スクリュー式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリュー式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたスクリュー式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記の通

りである。遠心式ポンプのみで抽出された評価項目については、以下検討からは除外する。

- ・ 逃し弁（スクリー式ポンプのみで抽出）
- ・ 摺動部（スクリー式ポンプと横形ポンプとで構成部品が異なる。）
- ・ 軸冷却水配管（遠心式ポンプのみで抽出）

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

スクリー式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については、スクリー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、スクリー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

スクリー式ポンプのスクリー部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、スリーブ部については、ケーシング部に設置されている。

主ねじ又は従ねじについては、損傷によってスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため、動的機能

維持の評価項目として選定する。

④ 軸系の評価

スクリー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり、一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが、軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため、スクリー式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥ 逃し弁の評価

逃し弁はばね式であり、フランジ部の構造評価に対する確認も含め、弁に作用する最大加速度が、安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。

⑦ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

⑧ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はスクリー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑨ 電動機の評価

スクリー式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、動的機能維持済加速度

との比較により評価を行う。

⑩ 軸継手の評価

スクリー式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑪ ケーシングノズルの評価

スクリー式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、ポンプケーシングと配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため、計算書の評価対象外とする。

以上から、スクリー式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
- ・摺動部（軸系）の評価
- ・軸系としてねじの評価
- ・逃し弁の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価

b. ギヤ式ポンプ

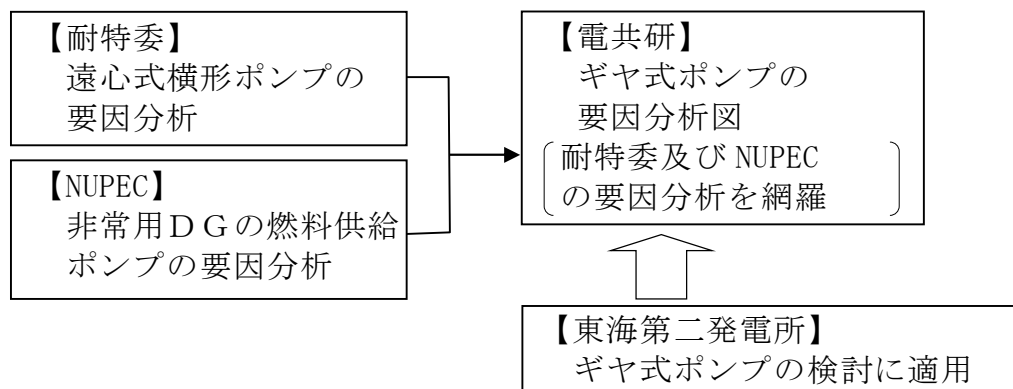
(a) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研での検討内容を用いる。電共研では、d 第 8 図に示すとおり耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用 DG の燃料供給

ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように、ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

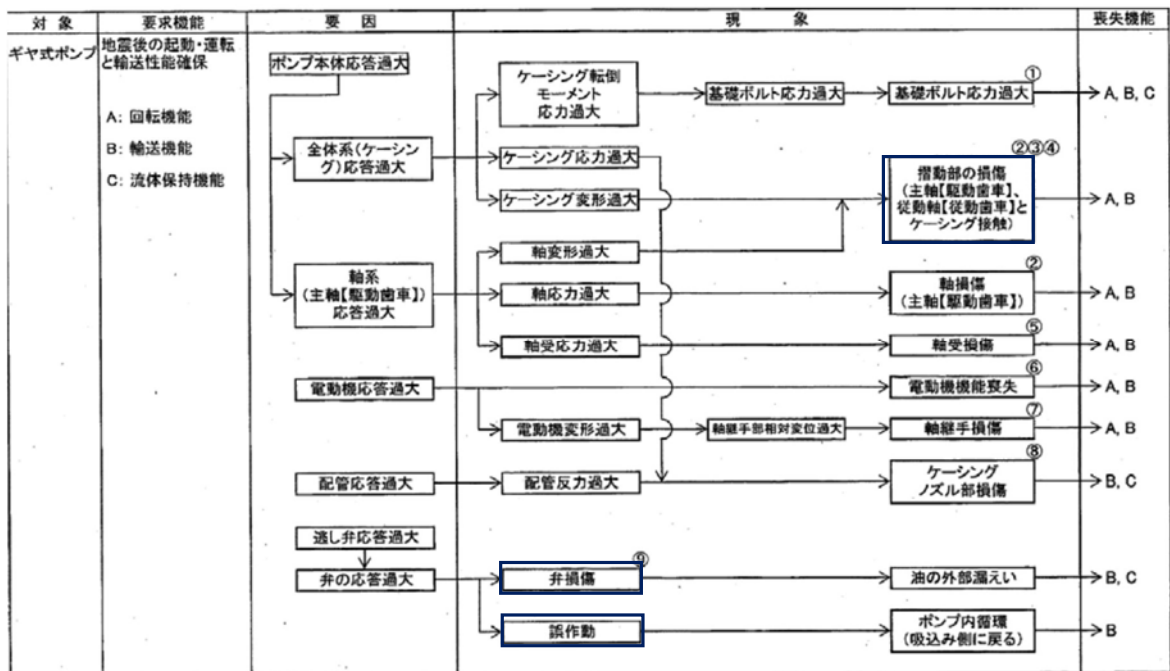
ギヤ式ポンプの要因分析図を第 9 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 5 表のとおりである。

※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）



第 8 図 地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）

ギヤ式ファンとして
抽出された評価項目



第 9 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第 5 表 ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

| | 評価項目 | 異常要因 |
|-------------|--------------------------------------|--|
| ① | 基礎ボルト
(取付ボルト含む) | ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。 |
| ②
③
④ | 摺動部
(②主軸又は③従動軸
と④ケーシングのクリアランス) | ポンプ全体系の応答が過大となることで、主軸(主動歯車)及び従動軸(従動歯車)の応答が過大となり軸部の変形により、ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ② | 軸 | 軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑤ | 軸受 | 軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑥ | 電動機 | 電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑦ | 軸継手 | 被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。 |
| ⑧ | ケーシングノズル | 接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 |
| ⑨ | 逃し弁 | 弁の応答が過大となり、弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい、ポンプ内循環が発生し、輸送機能及び流体保持機能が喪失する。 |

(b) 遠心式ポンプの評価項目

遠心式ポンプの評価項目は、a. 項「スクリー式ポンプ」での検討結果を参照。

(c) ギヤ式ポンプの評価項目の検討

ギヤ式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、ギヤ式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたギヤ式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記の通りであり、遠心式ポンプのみで抽出された評価項目については、以下検討からは除外する。

- ・ 逃し弁（ギヤ式ポンプのみで抽出）
- ・ 摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプとで構成部品が異なる。）
- ・ メカニカルシール（遠心式ポンプのみで抽出）
- ・ 軸冷却水配管（遠心式ポンプのみで抽出）

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

②③④ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

ギヤ式ポンプのギヤ部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さ

く動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、ケーシングについては、横形ポンプと同様に耐圧構造であり、使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。

主軸又は従動軸については、損傷によってギヤがケーシングと接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は、従動軸の重量に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、評価項目は、主軸（ギヤ部）を対象として行う。

② 主軸の評価

ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり、一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが、主軸の重量は、従動軸に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、主軸の健全性確認を行うことによって、一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため、ギヤ式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は「回転機能の保持」であり、その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。

当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

なお、遠心式ポンプは「ころがり軸受」を用いており、「回転機能の保持」という役割を果たすために、ベアリング内外輪間に鋼球を装備した回転機構を有する構造となっている。

一方、ギヤ式ポンプは「ブッシング」を用いており、「ころがり軸受」と同様に「回転機能の保持」という役割を果たすために、軸とブッシング

間に形成された油膜によるスベリ支持を有する構造となっている。

⑥ 電動機の評価

ギヤ式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり，耐特委（JEAG4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから，動的機能維持済加速度との比較により評価を行う。

⑦ 軸継手の評価

ギヤ式ポンプは，遠心式ポンプと同様に，軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから，軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため，計算書の評価対象外とする。

⑧ ケーシングノズルの評価

ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は，遠心式ポンプと同様に，機器と配管の接続部であるが，ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで，ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため，計算書の評価対象外とする。

⑨ 逃し弁の評価

逃し弁はばね式であるため，弁に作用する最大加速度が，安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。

以上から，ギヤ式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち，計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価
- ・主軸（ギヤ部）の評価
- ・主軸の評価
- ・軸受の評価

- ・電動機の評価
- ・逃し弁の評価

(3) まとめ

新たな検討が必要な設備について，地震時要因分析を行い，基本的な機構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に，型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い，評価項目の抽出を行った。

また，耐特委における遠心式ポンプの評価項目に対して，スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，一部構造の異なる部位があるが，これら部位に対する評価方法については，耐特委で検討された遠心式ポンプにおける評価手法と同様であること，既往の評価方法を踏まえて実施が可能であることから，耐特委の検討をもとに参考とする遠心式ポンプをベースとした評価は可能であると考える。

(2) 詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の検討については、JEAG4601－1991 追補版及び耐特委報告書にて、動的機能維持評価上必要な基本評価項目が地震時異常要因分析に基づき選定されている（第6表）。機能維持評価に当たっては、技術基準規則解釈等の改正案及び先行電力の審査状況を踏まえて、基本評価項目に対して、必要な評価項目を選定し、その妥当性を示した上で検討を実施する。

第6表 各設備における基本評価項目

| 詳細検討が必要な設備 | 機種／型式 | 基本評価項目 |
|--|---------------------|---|
| <ul style="list-style-type: none">・ 残留熱除去系海水系ポンプ・ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ | 立形ポンプ／
立形斜流ポンプ | 基礎ボルト
取付ボルト
ディスチャージケーシング
コラム
コラムサポート
軸受
軸
冷却水配管
メカニカルシール熱交換器
電動機 |
| <ul style="list-style-type: none">・ 残留熱除去系海水系ポンプ用電動機・ 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 | 電動機／
立形ころがり軸受電動機 | 端子箱
フレーム
基礎ボルト
取付ボルト
固定子
軸（回転子）
軸受
固定子と回転子とのクリアランス
軸継手 |

3. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正案を踏まえて、東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について、規格基準に基づく設計手順を整理し、比較することにより示す。規格基準に基づく手法として J E A G 4601 の当該記載部の抜粋を第 8 図に示す。

(1) 規格基準に基づく設計手順の整理

J E A G 4601 において、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度(ZPA)を用いること、また、柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモード解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより、弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2) 今回工認における東海第二発電所の設計手順

今回工認における東海第二発電所の弁駆動での応答加速度値の設定は、上記の J E A G 4601 の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。

a. 剛の場合

配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。

b. 柔の場合

配管系の固有値が柔の場合は、J E A G 4601 の手順と同様にスペクトルモード解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度 (1.2ZPA) による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また、弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において、剛領域の振動モードの影響により応答加速度の増加が考えられる場合には、剛領域の振動モードの影響を考慮するため、高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。スペクトルモーダル解析において考慮する高周波数域の範囲については、応答解析結果を用いた検討を踏まえて決定する。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を第 7 表に示す。

第 7 表に示すとおり、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては、規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

第 7 表 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

| 配管系の
固有値 | J E A G 4601 | 東海第二発電所 |
|-------------|---------------------------------|---|
| 剛の場合 | 最大加速度 (1.0ZPA) を適用する。 | 最大加速度の 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を適用する。 |
| 柔の場合 | スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。 | スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答* ¹ 又は最大加速度の 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用する。 |

* 1 高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり、(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み、地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は、配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は、静的応答解析を行うが、この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）であり、これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また、剛の範囲にない場合には、原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い、算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に、弁の詳細評価が必要となる場合には、弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお、減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。

第8図 J E A G 4601 (1991) の抜粋

別表 1 検討対象設備の抽出結果

| 施設区分／設備名称 | 動的機能維持
要求の有無 | 動的機能維持
の確認方法 | At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備
○：規定されている
×：規定されていない
－：対象外 | 検討対象設備としての抽出結果
○：検討対象とする設備
－：検討対象でない設備 | J E A G 4601
機種／型式 | | A t 確認 | | | |
|----------------------|-----------------|-------------------|---|--|-----------------------|-----------------|--------|--------------|------------------------|--|
| | | | | | 機種 | 型式 | 方向 | 評価用*1
加速度 | 機能確認済
加速度 | |
| 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 | | | | | | | | | | |
| 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備 | | | | | | | | | | |
| 代替燃料プール注水系 | | | | | | | | | | |
| 常設低圧代替注水系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.61 | 3.2(軸直角方向)
1.4(軸方向) | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.53 | 1.0 | |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.61 | 4.7 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.53 | 1.0 | |
| 可搬型代替注水大型ポンプ | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | － | － | － | － | － | |
| 代替燃料プール冷却系 | | | | | | | | | | |
| 代替燃料プール冷却系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.86 | 3.2(軸直角方向)
1.4(軸方向) | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.65 | 1.0 | |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.86 | 4.7 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.65 | 1.0 | |
| 原子炉冷却系統施設 | | | | | | | | | | |
| 原子炉冷却材再循環設備 | | | | | | | | | | |
| 原子炉冷却材再循環系 | | | | | | | | | | |
| 原子炉冷却材再循環ポンプ | 無 | － | － | － | － | － | － | － | － | |
| 原子炉冷却材の循環設備 | | | | | | | | | | |
| 残留熱除去設備 | | | | | | | | | | |
| 残留熱除去系 | | | | | | | | | | |
| 残留熱除去系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | ビットパレル形 | 水平 | 0.48 | 10.0 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 水平 | 0.48 | 2.5 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| 格納容器圧力逃がし装置 | | | | | | | | | | |
| 格納容器圧力逃がし装置
移送ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.61 | 3.2(軸直角方向)
1.4(軸方向) | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.53 | 1.0 | |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.61 | 4.7 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.53 | 1.0 | |
| 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備 | | | | | | | | | | |
| 高圧炉心スプレイ系 | | | | | | | | | | |
| 高圧炉心スプレイ系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | ビットパレル形 | 水平 | 0.48 | 10.0 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| | | | | | 電動機 | 立形すべり軸受 | 水平 | 0.48 | 2.5 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| 低圧炉心スプレイ系 | | | | | | | | | | |
| 低圧炉心スプレイ系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | ビットパレル形 | 水平 | 0.48 | 10.0 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 水平 | 0.48 | 2.5 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| 原子炉隔離時冷却系 | | | | | | | | | | |
| 原子炉隔離時冷却系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.48 | 3.2(軸直角方向)
1.4(軸方向) | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| | | | | | ポンプ駆動用タービン | R C I C
ポンプ用 | 水平 | 0.48 | 2.4 | |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 | |
| 高圧代替注水系 | | | | | | | | | | |
| 常設高圧代替注水系ポンプ | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | － | － | － | － | － | |

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

| 施設区分／設備名称 | 動的機能維持
要求の有無 | 動的機能維持
の確認方法 | At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備
○：規定されている
×：規定されていない
－：対象外 | 検討対象設備としての抽出結果
○：検討対象とする設備
－：検討対象でない設備 | J E A G 4601
機種／型式 | | A t 確認 | | |
|------------------|-----------------|-------------------|---|--|-----------------------|-------------|--------|--------------------------|------------------------|
| | | | | | 機種 | 型式 | 方向 | 評価用*1
加速度 | 機能確認済
加速度 |
| 低圧代替注水系 | | | | | | | | | |
| 常設低圧代替注水系ポンプ | | －（前段で整理済） | | | | | | | |
| 可搬型代替注水大型ポンプ | | －（前段で整理済） | | | | | | | |
| 代替循環冷却系 | | | | | | | | | |
| 代替循環冷却系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | 遠心式 | 水平 | 0.48 | 3.2(軸直角方向)
1.4(軸方向) |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.48 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.50 | 1.0 |
| 原子炉冷却材補給設備 | | | | | | | | | |
| 原子炉隔離時冷却系 | | | | | | | | | |
| 原子炉隔離時冷却系ポンプ | | －（前段で整理済） | | | | | | | |
| 原子炉補機冷却設備 | | | | | | | | | |
| 残留熱除去系海水系 | | | | | | | | | |
| 残留熱除去系海水系ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形斜流式 | 水平 | 0.38 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.48 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 水平 | 0.38 | 2.5 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.48 | 1.0 |
| 代替残留熱除去系海水系 | | | | | | | | | |
| 可搬型代替注水大型ポンプ | | －（前段で整理済） | | | | | | | |
| 緊急用海水系 | | | | | | | | | |
| 緊急用海水ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形斜流式 | 水平 | 0.61 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.53 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころがり軸受 | 水平 | 0.61 | 2.5 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.53 | 1.0 |
| 計測制御系統施設 | | | | | | | | | |
| 制御材 | | | | | | | | | |
| 制御棒 | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | 制御棒 | BWR
標準型式 | 水平 | 11.2mm | 40mm |
| | | | | | | | 鉛直 | 詳細設計段階で鉛直方向地震による影響を整理する。 | |
| ほう酸水注入設備 | | | | | | | | | |
| ほう酸水注入系 | | | | | | | | | |
| ほう酸水注入ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 往復動式ポンプ | 横形 | 水平 | 0.93 | 1.6 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.80 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.93 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.80 | 1.0 |
| 放射線管理施設 | | | | | | | | | |
| 放射線管理用計測装置 | | | | | | | | | |
| 換気設備 | | | | | | | | | |
| 中央制御室換気系 | | | | | | | | | |
| 中央制御室換気系空調機ファン | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | ファン | － | － | － | － |
| | | | | | | | － | － | － |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.86 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.65 | 1.0 |
| 中央制御室換気系フィルタ系ファン | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | ファン | － | － | － | － |
| | | | | | | | － | － | － |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.86 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.65 | 1.0 |

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

| 施設区分／設備名称 | 動的機能維持
要求の有無 | 動的機能維持
の確認方法 | At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備
○：規定されている
×：規定されていない
－：対象外 | 検討対象設備としての抽出結果
○：検討対象とする設備
－：検討対象でない設備 | J E A G 4601
機種／型式 | | A t 確認 | | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|---|--|-----------------------|----------|--------|--------------|--------------|
| | | | | | 機種 | 型式 | 方向 | 評価用*1
加速度 | 機能確認済
加速度 |
| 緊急時対策所換気系 | | | | | | | | | |
| 緊急時対策所非常用送風機 | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直動式 | 水平 | 0.90 | 2.6 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.78 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.90 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.78 | 1.0 |
| 原子炉格納施設 | | | | | | | | | |
| 圧力低減設備その他の安全設備 | | | | | | | | | |
| 原子炉格納容器安全設備 | | | | | | | | | |
| 格納容器スプレイ冷却系 | | | | | | | | | |
| 残留熱除去系ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 代替格納容器スプレイ冷却系 | | | | | | | | | |
| 常設低圧代替注水系ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 可搬型代替注水大型ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 代替循環冷却系ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 緊急用海水ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 格納容器下部注水系 | | | | | | | | | |
| 常設低圧代替注水系ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 可搬型代替注水大型ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 原子炉建屋放水設備 | | | | | | | | | |
| 可搬型代替注水大型ポンプ | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備 | | | | | | | | | |
| 非常用ガス処理系 | | | | | | | | | |
| 非常用ガス処理系排風機 | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | ファン | － | － | － | － |
| | | | | | | | － | － | － |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 1.4 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.0 | 1.0 |
| 非常用ガス再循環系 | | | | | | | | | |
| 非常用ガス再循環系排風機 | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直動式 | 水平 | 1.4 | 2.6 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.0 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 1.4 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.0 | 1.0 |
| 可燃性ガス濃度制御系 | | | | | | | | | |
| 可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロワ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | ファン | 遠心直動式 | 水平 | 1.11 | 2.6 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.84 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 1.11 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.84 | 1.0 |
| その他発電用原子炉の附属設備 | | | | | | | | | |
| 非常用電源設備 | | | | | | | | | |
| 非常用発電装置 | | | | | | | | | |
| 非常用ディーゼル発電機 | | | | | | | | | |
| 非常用ディーゼル発電機 | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 非常用ディーゼル発電機 | 機関本体 | 水平 | 0.72 | 1.1 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.75 | 1.0 |
| | | | | | 調速装置 | UG型 | 水平 | 0.72 | 1.8 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.75 | 1.0 |
| 非常用ディーゼル発電機
燃料移送ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | － | － | － | － |
| | | | | | | | － | － | － |
| | | | | | 電動機 | 横形ころがり軸受 | 水平 | 0.44 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.59 | 1.0 |

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

| 施設区分／設備名称 | 動的機能維持
要求の有無 | 動的機能維持
の確認方法 | At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備
○：規定されている
×：規定されていない
－：対象外 | 検討対象設備としての抽出結果
○：検討対象とする設備
－：検討対象でない設備 | J E A G 4601
機種／型式 | | A t 確認 | | |
|------------------------------|-----------------|-------------------|---|--|-----------------------|--------------|--------|--------------|--------------|
| | | | | | 機種 | 型式 | 方向 | 評価用*1
加速度 | 機能確認済
加速度 |
| 非常用ディーゼル発電機
用海水ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形
斜流式 | 水平 | 0.72 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.48 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころ
がり軸受 | 水平 | 0.38 | 2.5 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.48 | 1.0 |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 | | | | | | | | | |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル
発電機 | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 非常用ディー
ゼル
発電機 | 機関本体 | 水平 | 0.72 | 1.1 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.75 | 1.0 |
| | | | | | 調速装置 | UG型 | 水平 | 0.72 | 1.8 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.75 | 1.0 |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル
発電機燃料移送ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | － | － | － | － |
| | | | | | | | － | － | － |
| | | | | | 電動機 | 横形ころ
がり軸受 | 水平 | 0.44 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.59 | 1.0 |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル
発電機用海水ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 立形ポンプ | 立形
斜流式 | 水平 | 0.72 | 10.0 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.48 | 1.0 |
| | | | | | 電動機 | 立形ころ
がり軸受 | 水平 | 0.38 | 2.5 |
| | | | | | | | 鉛直 | 1.48 | 1.0 |
| 常設代替高圧電源装置 | | | | | | | | | |
| 常設代替高圧電源装置 | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | － | － | － | － | － |
| 常設代替高圧電源装置燃料
移送ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | － | － | － | － |
| | | | | | | | － | － | － |
| | | | | | 電動機 | 横形ころ
がり軸受 | 水平 | 0.44 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.59 | 1.0 |
| 緊急時対策所用発電機 | | | | | | | | | |
| 緊急時対策所用発電機 | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | － | － | － | － | － |
| 緊急時対策所用発電機給油
ポンプ | 有 | JEAG4601
による確認 | × | ○ | 横形ポンプ | － | － | － | － |
| | | | | | | | － | － | － |
| | | | | | 電動機 | 横形ころ
がり軸受 | 水平 | 0.80 | 4.7 |
| | | | | | | | 鉛直 | 0.71 | 1.0 |
| 可搬型代替低圧電源車 | | | | | | | | | |
| 可搬型代替低圧電源車 | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | － | － | － | － | － |
| タンクローリー | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | － | － | － | － | － |
| 可搬型窒素供給装置用電源車 | | | | | | | | | |
| 可搬型窒素供給装置用電源車 | 有 | 加振試験
による確認 | － | － | － | － | － | － | － |
| タンクローリー | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 補機駆動用燃料設備 | | | | | | | | | |
| 可搬型 | | | | | | | | | |
| タンクローリー | －（前段で整理済） | | | | | | | | |
| 弁 | | | | | | | | | |
| 一般弁 | | | | | | | | | |
| グローブ弁 | 有 | JEAG4601
による確認 | ○ | － | － | － | － | － | － |
| ゲート弁 | 有 | JEAG4601
による確認 | ○ | － | － | － | － | － | － |
| バタフライ弁 | 有 | JEAG4601
による確認 | ○ | － | － | － | － | － | － |
| 逆止弁 | 有 | JEAG4601
による確認 | ○ | － | － | － | － | － | － |
| 特殊弁 | | | | | | | | | |
| 主蒸気隔離弁 | 有 | JEAG4601
による確認 | ○ | － | － | － | － | － | － |
| 安全弁 | 有 | JEAG4601
による確認 | ○ | － | － | － | － | － | － |
| 制御棒駆動系スクラム弁 | 有 | JEAG4601
による確認 | ○ | － | － | － | － | － | － |

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。