

島根原子力発電所 2 号炉

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の
適切な組合せに関する検討について

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 島根原子力発電所の基準地震動
 - 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
 - 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部位の抽出結果
 - 3.1.5 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評価部位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等
 - 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
 - 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
 - 3.3.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価
 - 3.3.7 機器・配管系への影響評価
- 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
 - 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針
 - 3.4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法
 - 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
 - 3.4.6 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
 - 3.4.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価
 - 3.4.8 機器・配管系への影響評価

- 参考資料－1 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明
- 参考資料－2 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに対する梁の力学的特性
- 参考資料－3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価に用いる模擬地震波の作成方針

1. はじめに

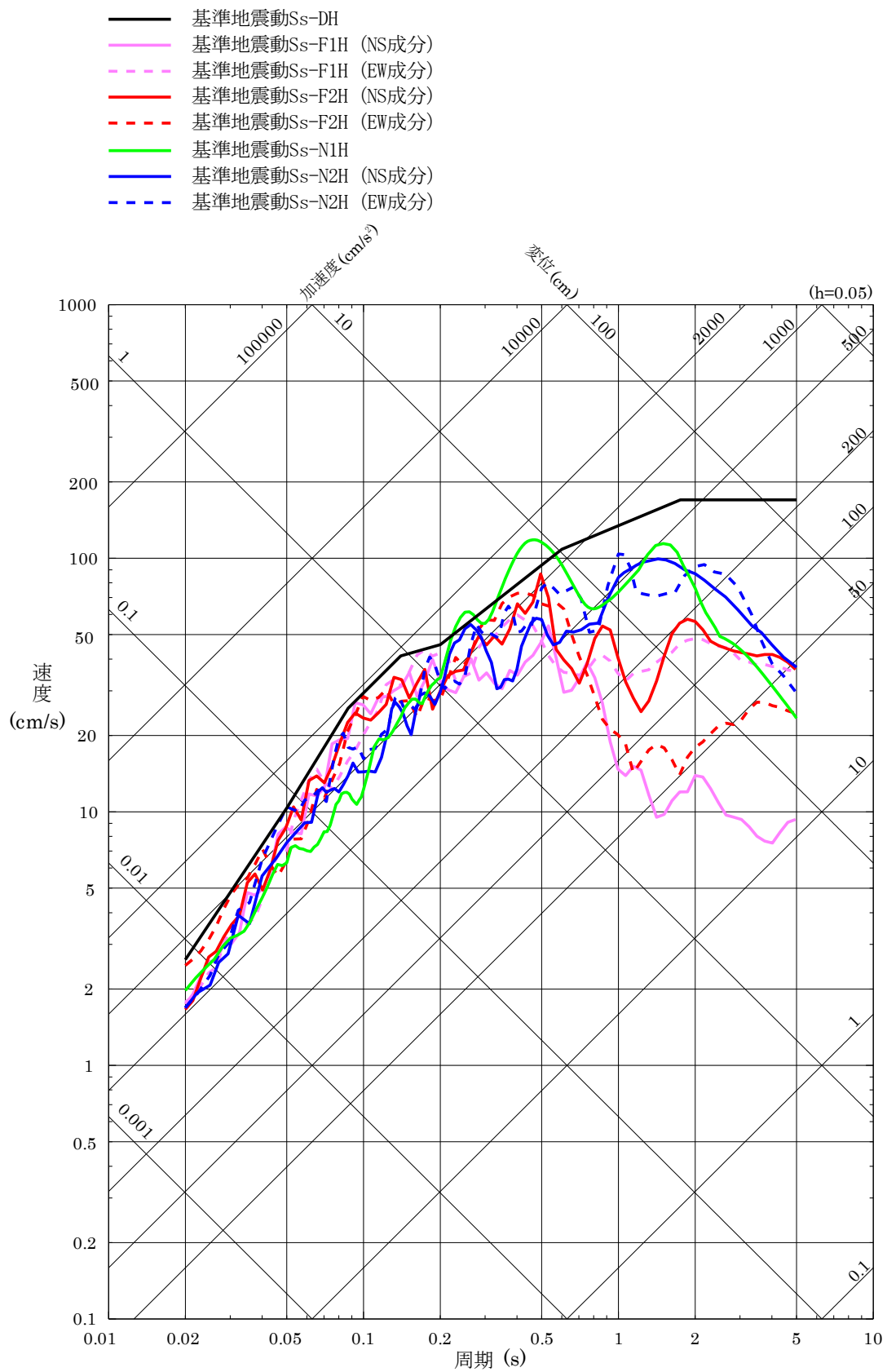
今回、新たに水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震設計に対して、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。本資料は、検討対象施設における評価対象部位の抽出方法と抽出結果、並びに影響評価の方針について記すものである。なお、評価対象部位の抽出結果及び影響評価結果については、工認段階で説明する。

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

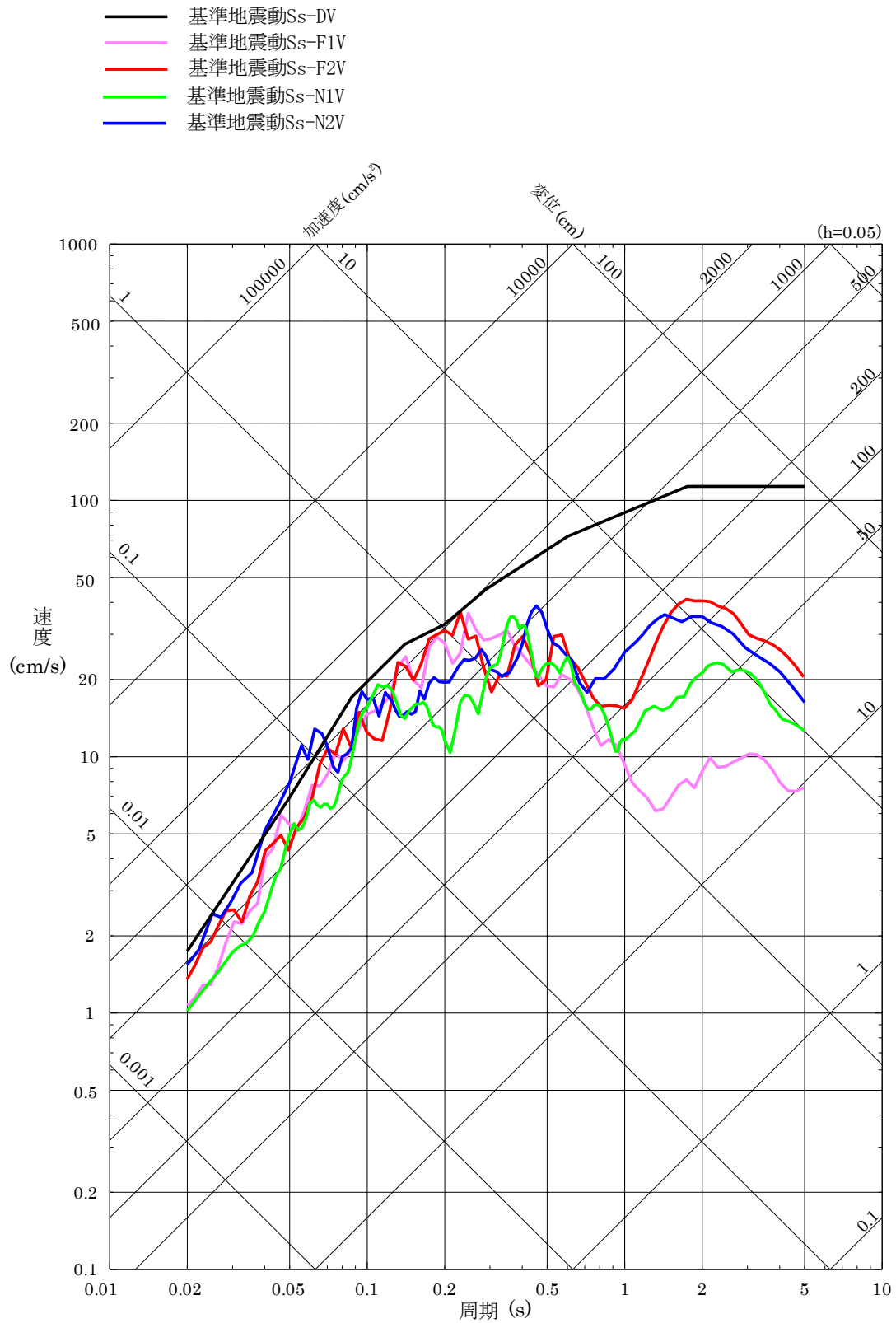
2.1 島根原子力発電所の基準地震動

島根原子力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」と「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-D 、断層モデルを用いた地震動として基準地震動 S_s-F1 及び S_s-F2 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-N1 及び S_s-N2 を策定している。

基準地震動 S_s-D 、 S_s-F1 、 S_s-F2 、 S_s-N1 及び S_s-N2 のスペクトル図（水平方向）を第2.1-1図に、基準地震動 S_s-D 、 S_s-F1 、 S_s-F2 、 S_s-N1 及び S_s-N2 のスペクトル図（鉛直方向）を第2.1-2図に示す。



第 2.1-1 図 基準地震動 S s の応答スペクトル (水平方向)



第 2.1-2 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うえで選定し、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。

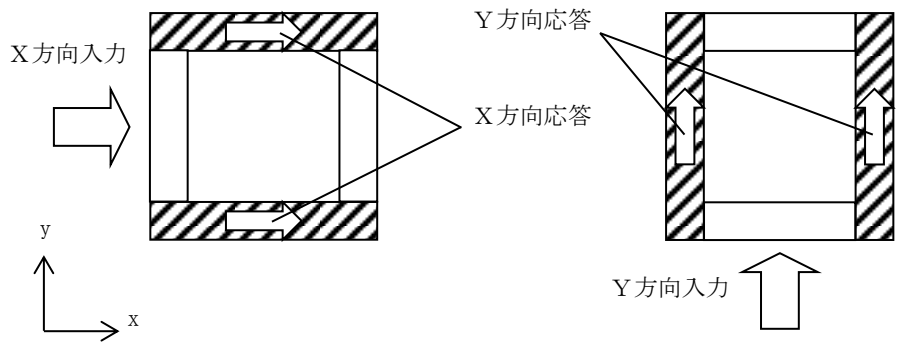
水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。したがって、建物・構築物に対し、水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

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。

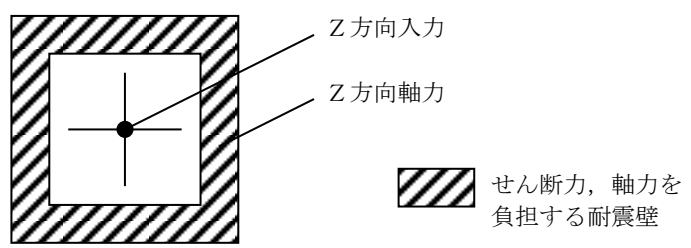
入力方向ごとの耐震要素について、第3.1.1-1図及び第3.1.1-2図に示す。

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から算出された応答を、水平1方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

また、排気筒については、斜め方向に作用する地震力に対して隅柱（主柱材）の軸力が大きくなる場合を想定した検討も実施している。

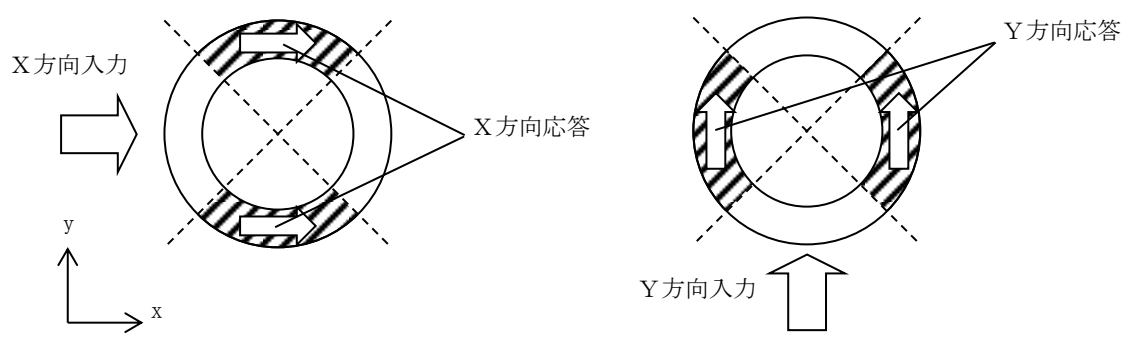


(a) 水平方向

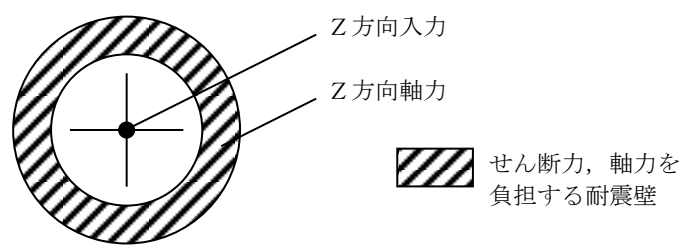


(b) 鉛直方向

第 3.1.1-1 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 3.1.1-2 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等を水平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、新たな設計上の対応策を講じる。

影響評価のフローを第3.1.2-1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、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(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次元的な建物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次元解析モデルによる精査

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次元解析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次元解析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次元解析モデルの精査は、施設の重要性、建物規模及び構造特性を考慮し、原子炉建物の3次元FEMモデルを用いた地震応答解析又は応力解析による精査を代表させて行う。

(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等を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 (注1) 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) 等の最大応答の非同時性を考慮した地震力を設定する。

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、各部位の耐震性への影響を評価する。

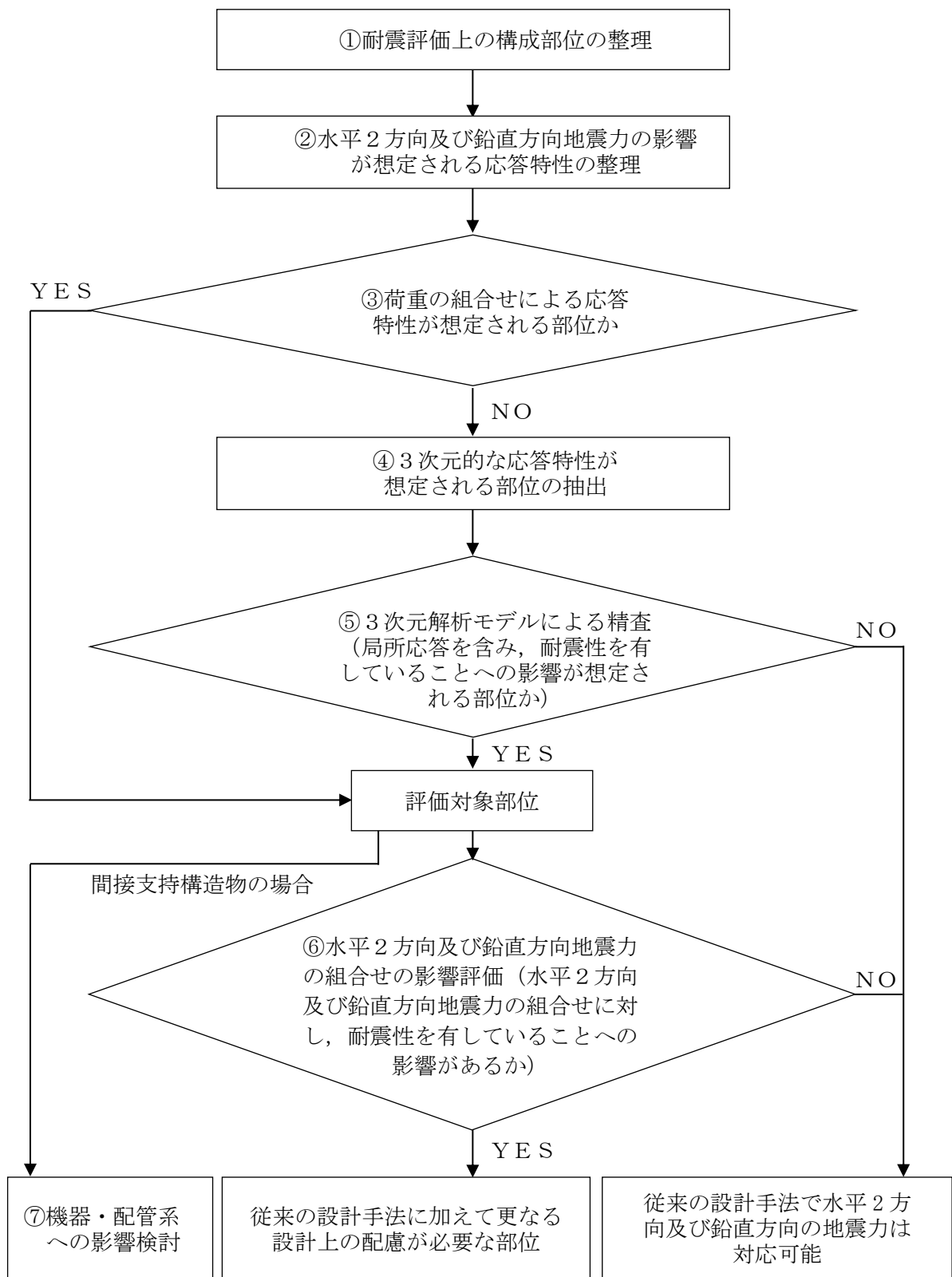
注1 : REGULATORY GUIDE 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

(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、機器・配管系に対し、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する等、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、(5)の精査にて、建物・構築物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、3次元FEMモデルによる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検討対象として抽出する。



第3.1.2-1 図 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

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を第3.1.3-1表に示す。

第3.1.3-1表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (1/2)

耐震性評価部位	原子炉建物		制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時対策所	ガスタービン 発電機建物
	燃料 プール	上部鉄骨		RC造	上部鉄骨				
柱	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
梁	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
壁	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
床 屋根	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○
基礎	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○

凡例 ○：対象の構造部材あり，－：対象の部材なし

※：本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

第3.1.3-1表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (2/2)

耐震性評価部位	1号炉原子炉建物		1号炉タービン建物		1号炉廃棄物処理建物	サイトバンカ建物	サイトバンカ建物(増築部)	1号炉排気筒	排気筒モニタ室	燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備
	S造, RC造	上部鉄骨	RC造	上部鉄骨						
柱	一般部	○	○	○	○	○	○	-	-	○
	隅部	○	○	○	○	○	○	○(主柱材)	-	○
	地下部	○	-	○	-	-	-	-	-	-
梁	一般部	○	○	○	○	○	○	○(水平材)	○	○
	地下部	○	-	○	-	-	-	-	-	-
	鉄骨トラス	-	○	-	○	-	-	-	-	-
	一般部	○	○	○	○	○	○	-	○	-
壁	円筒部	○	-	-	-	-	-	-	-	-
	地下部	○	-	○	-	-	-	-	-	-
	鉄骨ブレース	-	○	-	-	-	-	○(斜材)	-	○
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	-	○	-
	矩形 杭基礎	○	-	○	-	○	○	○	○	-
基礎	一般部	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	杭基礎	-	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材あり， -：対象の部材なし

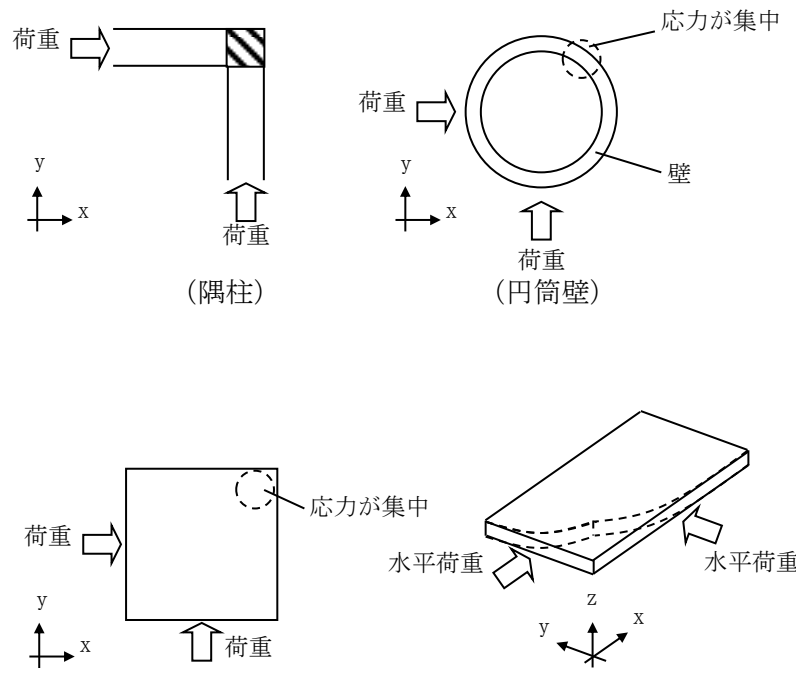
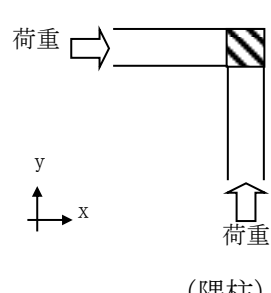
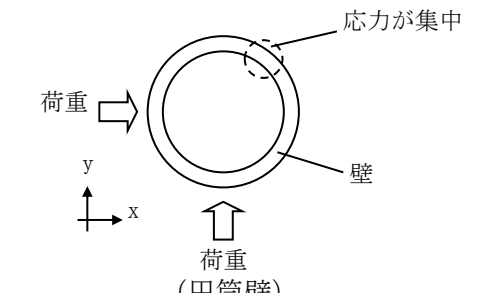
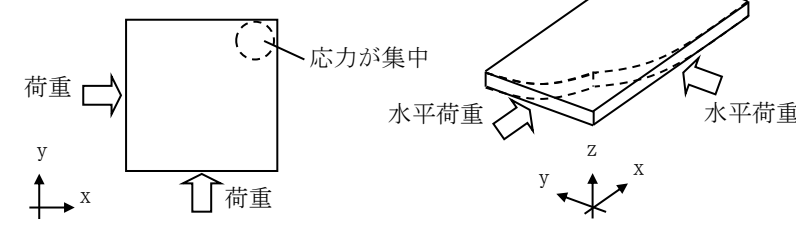
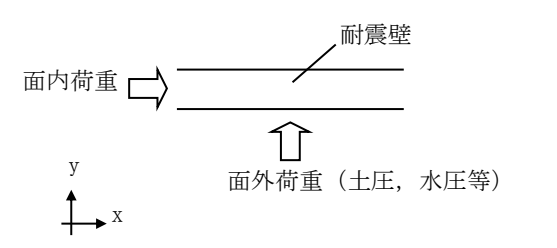
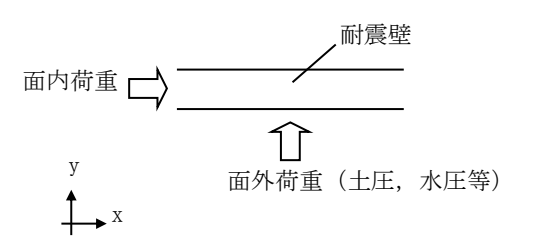
※：本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

(2) 応答特性の整理

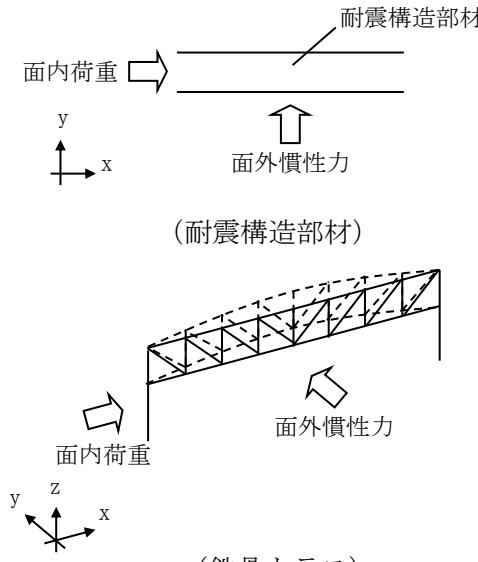
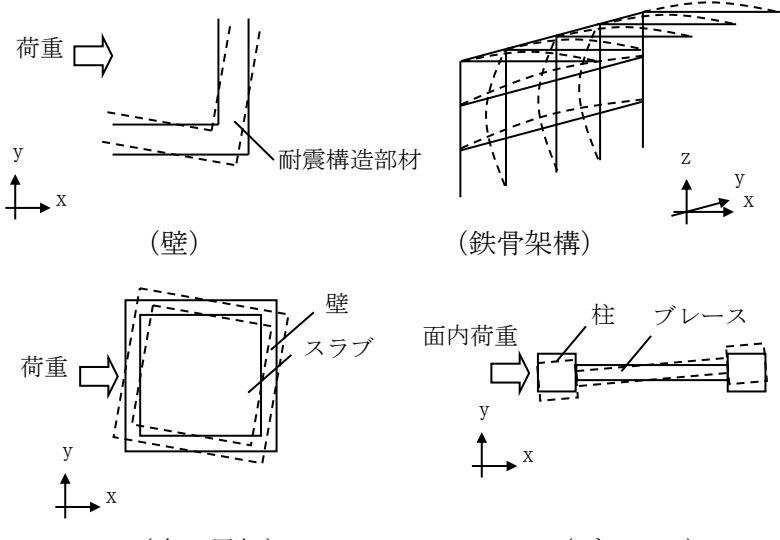
建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建物挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第3.1.3-2表及び第3.1.3-3表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力のを考え方を第3.1.3-4表に示す。

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。

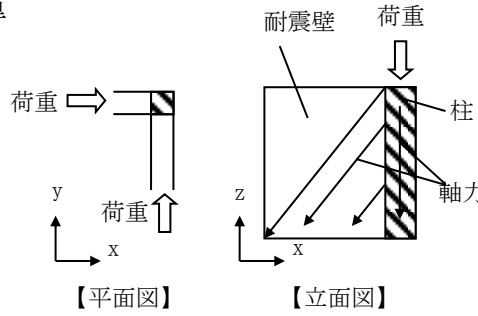
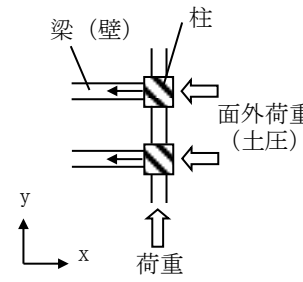
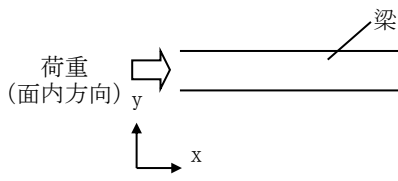
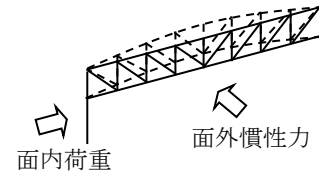
第 3.1.3-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が
 想定される応答特性
 (荷重の組合せによる応答特性)

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

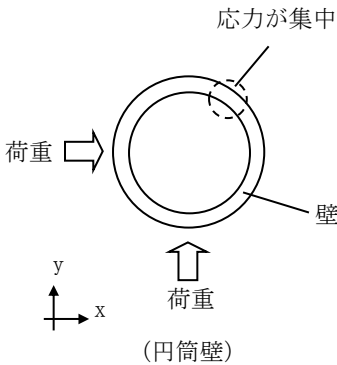
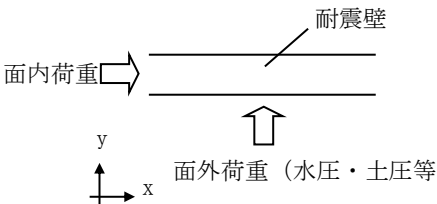
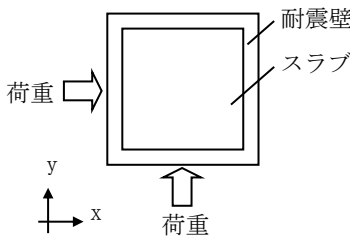
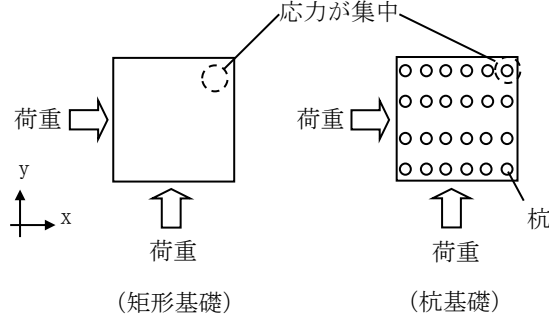
第 3.1.3-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

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

第 3.1.3-4 表 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力
の考え方 (1/2)

耐震評価上の構成部材	水平 2 方向入力の考え方	
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	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、外周部は耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にある梁及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
梁	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床及び壁の拘束により面外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荷重負担による影響は小さい。</p>
	鉄骨トラス	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床による拘束があるため、面外荷重負担による影響は小さい。</p> 

第 3.1.3-4 表 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力
の考え方 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の考え方
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本。 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> <p>面外荷重 (水圧・土圧等)</p>
	鉄骨 ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及び梁で拘束されており、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。</p>  <p>(耐震壁)</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

第 3.1.3-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3.1.3-2 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を抽出した。抽出した結果を第 3.1.3-5 表に示す。

a. 柱

柱については、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、隅柱が考えられる。

建物並びに原子炉建物（1号炉及び2号炉）及びタービン建物（1号炉及び2号炉）の上部鉄骨の隅柱は、耐震壁又は鉄骨ブレース付きの隅柱であり、軸力が耐震壁に分散されることから、応力集中による影響は小さいと考えられるため、該当しない。

排気筒（1号炉及び2号炉）の隅柱（主柱材）が①-1に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、土圧が作用する地下外周柱が考えられるが、耐震壁に囲まれており、面内の荷重を負担しないことから、影響は小さいと考えられるため、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」する部位は存在しない。

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」する部位としては、土圧が作用する地下外周梁が考えられるが、床及び壁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」する部位は存在しない。独立した円筒壁は応力の集中が考えられる。ただし、原子炉建物のドライウエル外側壁の様に、建物中央付近に位置し、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」する部位としては、土圧や水圧が作用する地下部やプール部が考えられ、各建物の地下外壁、燃料プールの一般部の壁を、①-2に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。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」する部位も存在しない。

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」する部位として、矩形の基礎及び杭基礎が考えられる。

矩形の基礎を有する各建物及び排気筒については、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した。

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」する部位としては、基礎は該当しない。

第3.1.3-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/2)

(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	原子炉建物		制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物
	燃料 プール	上部鉄骨		上部鉄骨	RC造, SRC 造, RC造				
柱	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	該当なし
梁	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	該当なし
壁	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	該当なし
基礎	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	該当なし
床 屋根	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	該当なし
基礎	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	該当なし
	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	該当なし	該当なし

凡例 ・「①-1」：応答特性「直交する水平2方向の荷重が応力として集中」

・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

※：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

第3.1.3-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/2)

(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	1号炉原子炉建物		1号炉タービン建物		1号炉廃棄物処理建物	サイトバンカ建物	サイトバンカ建物(増築部)	1号炉排気筒	排気筒モニタ室	燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備
	S造, RC造	上部鉄骨	RC造	S造, SRC造, RC造						
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	-	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	①-1	-	該当なし
	地下部	該当なし	-	該当なし	-	-	-	-	-	-
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	-	該当なし	-	-	-	-	-	-
	鉄骨トラス	-	該当なし	-	該当なし	-	-	-	-	-
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	-
	円筒部	該当なし	-	-	-	-	-	-	-	-
	地下部	①-2	-	①-2	-	-	-	-	-	-
床 屋根	鉄骨 ブレース	-	該当なし	-	-	-	-	該当なし	-	該当なし
	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	-	該当なし	-
基礎	矩形	①-1	-	①-1	①-1	①-1	①-1	①-1	①-1	-
	杭基礎	-	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例 ・「①-1」：応答特性「直交する水平2方向の荷重が応力として集中」

・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

※：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第3.1.3-1表に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、第3.1.3-3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を抽出した。抽出した結果を第3.1.3-6表に示す。

a. 柱

(3)で抽出されている以外の各建物の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済みであるため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位には該当しない。

各建物は、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についても、ねじれを加味した構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に関しても該当しない。

b. 梁

各建物(RC造)の梁一般部及び地下部は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」に該当しない。

原子炉建物(1号及び2号炉)、タービン建物(1号及び2号炉)の上部鉄骨の梁一般部及び鉄骨トラス部並びにサイトバンカ建物、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の梁一般部は、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ことから、②-1の挙動が発生する部位に該当するものとして抽出した。また、排気筒(1号及び2号炉)の梁一般部(水平材)については、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されることから、②-2に該当するものとして抽出した。

c. 壁

(3)で抽出されている以外の各建物の壁については、複数スパンにまたがって直交方向に壁や大梁のない連続した壁が存在せず、ねじれのない構造であるため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当しない。

また、排気筒(1号及び2号炉)の鉄骨ブレース(斜材)については、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されるため、②-2に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

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

e. 基礎

矩形の基礎は、(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抽出されている。

第3.1.3-6表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (1/2)

(3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	原子炉建物		制御室建物	タービン建物		廃棄物処理建物	排気筒	緊急時対策所	ガスタービン発電機建物
	燃料プール	上部鉄骨		RC造	上部鉄骨				
柱	RC造	RC造	RC造	RC造	S造, SRC造, RC造	RC造	S造, RC造	RC造	S造, SRC造, RC造
	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	不要	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	不要	不要
梁	不要	不要	不要	不要	不要	不要	②-2	不要	不要
	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
壁	不要	要①-2	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	要①-2	不要	不要	要①-2	不要	要①-2	不要	不要	不要
床 屋根	不要	不要	不要	不要	不要	不要	②-2	不要	不要
	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
基礎	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1
	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要

凡例 ・要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み

・不要：評価不要

・「①-1」：応答特性「直交する水平2方向の荷重が応力として集中」

・「①-2」：応答特性「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

(注1) 大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

※：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

第3.1.3-6表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出 (2/2)

(3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	1号炉原子炉建物		1号炉タービン建物		1号炉廃棄物処理建物	サイトバンカ建物	サイトバンカ建物(増築部)	1号炉排気筒	排気筒モニタ室	燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備
	S造, RC造	上部鉄骨	S造, SRC造, RC造	上部鉄骨						
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	-	-	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	-	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	-	-	-
梁	一般部	不要	不要 ^(注1)	不要 ^(注1)	不要	不要 ^(注1)	不要	②-2	不要	②-1
	地下部	不要	-	-	不要	-	-	-	-	-
	鉄骨トラス	-	不要 ^(注1)	不要 ^(注1)	-	-	-	-	-	-
壁	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	-	不要	-
	円筒部	不要	-	-	-	-	-	-	-	-
	地下部	要①-2	要①-2	-	要①-2	-	-	-	-	-
	鉄骨ブレース	-	不要	-	-	-	-	②-2	-	不要
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	-	不要	-
	矩形	要①-1	要①-1	-	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	要①-1	-
基礎	杭基礎	-	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例

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

(注1) 大スパン架構であるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。
 ※：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

(5) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出結果

建物・構築物において、3次元的な応答特性が想定されるとして抽出した部位を第3.1.3-7表に示す。また、各耐震評価部位の代表評価部位の抽出方法について下記に示す。

- a. 応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」
梁（一般部・鉄骨トラス）について、大スパン架構であり、鉄骨トラスの下部に上位クラス施設がある、原子炉建物（2号炉）の3次元的な応答特性について精査を行う。
- b. 応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」
梁（一般部）及び壁（鉄骨ブレース）について、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の3次元的な応答特性について精査を行う。
- c. 局所的な応答
耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について精査を行う。精査は、3.1.2(5)3次元解析モデルに基づく精査に基づき、施設の重要性、建物規模及び構造特性を考慮し、原子炉建物（2号炉）を代表として評価する。

第 3.1.3-7 表 3次元解析モデルを用いた精査が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物	代表評価部位
②-1	梁	一般部・ 鉄骨トラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建物（2号炉）</u> ・ 燃料移送ポンプエリア 竜巻防護対策設備 	大スパン架構であり，鉄骨トラスの下部に上位クラス施設がある，原子炉建物（2号炉）の鉄骨トラスを評価する。
②-2	梁	一般部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒（2号炉）</u> ・ 排気筒（1号炉） 	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の梁一般部（水平材）を評価する。
	壁	鉄骨ブレース	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒（2号炉）</u> ・ 排気筒（1号炉） 	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の鉄骨ブレース（斜材）を評価する。
局所的な応答	耐震評価部位全般		<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉建物（2号炉） 	施設の重要性，建物規模及び構造特性を考慮し，原子炉建物（2号炉）を代表として評価する。

（注）下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

凡例 ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」

・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

※：本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

(6) 3次元解析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した代表評価部位について、3次元解析モデルによる精査を行う。精査の方針を第3.1.3-8表に示す。

3次元解析モデルを用いた精査方法として、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が小さいことを確認する。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。

第 3.1.3-8 表 3次元解析モデルを用いた精査の方針

応答特性	耐震評価部位		対象建物	3次元解析モデルを用いた精査方法	3次元解析モデルを用いた精査結果
②-1	梁	一般部・鉄骨トラス	・原子炉建物 (2号炉)	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の、水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	工認の補足説明資料で準備
②-2	梁	一般部	・排気筒 (2号炉)	同上	同上
	壁	鉄骨ブレース	・排気筒 (2号炉)	同上	同上
局所的な応答	耐震評価部位全般		・原子炉建物 (2号炉)	同上	同上

凡例 ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

※：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

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部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を第3.1.4-1表に示す。また、各耐震評価部位の代表評価部位の抽出方法について下記に示す。

- (1) 応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位」
柱（隅部）について、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

基礎（矩形）について、対象建物・構築物の中で規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している原子炉建物基礎（2号炉）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

- (2) 応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」

壁（水圧・土圧作用部）について、対象建物・構築物の中で、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）の影響が大きいと考えられる燃料プール（2号炉）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

第 3.1.4-1 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響の
確認が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>排気筒（2号炉）</u> ・ 排気筒（1号炉） 	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒（2号炉）の隅柱（主柱材）を代表として評価する。
	基礎	矩形	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建物（2号炉）</u> ・ 制御室建物 ・ タービン建物（2号炉） ・ 廃棄物処理建物（2号炉） ・ 排気筒（2号炉） ・ 緊急時対策所 ・ ガスタービン発電機建物 ・ 原子炉建物（1号炉） ・ タービン建物（1号炉） ・ 廃棄物処理建物（1号炉） ・ サイトバンカ建物 ・ サイトバンカ建物（増築部） ・ 排気筒（1号炉） ・ 排気筒モニタ室 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建物（2号炉）の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	水圧作用部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>燃料プール</u> ・ 原子炉建物（2号炉） ・ タービン建物（2号炉） ・ 廃棄物処理建物（2号炉） ・ 原子炉建物（1号炉） ・ タービン建物（1号炉） ・ 廃棄物処理建物（1号炉） 	上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する燃料プールの壁を代表として評価する。

（注）下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

※：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

3.1.5 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について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。評価に当たっては、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。評価に用いる地震動を第3.1.5-1表に示す。

また影響評価は、水平2方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価又は基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) 等の最大応答の非同時性を考慮した評価により実施する。

第3.1.5-1表 評価に用いる地震動

耐震評価部位		対象建物・構築物	評価に用いる地震動
柱	隅部	・排気筒 (2号炉)	基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 及び S_s-N2 を用いることを基本とする。 なお、代表波による検討を実施する場合は、従来手法による解析結果の値に対する許容値の割合が最も小さい地震動を選定する。
基礎	矩形	・原子炉建物 (2号炉)	同上
壁	水圧作用部	・燃料プール (2号炉)	同上

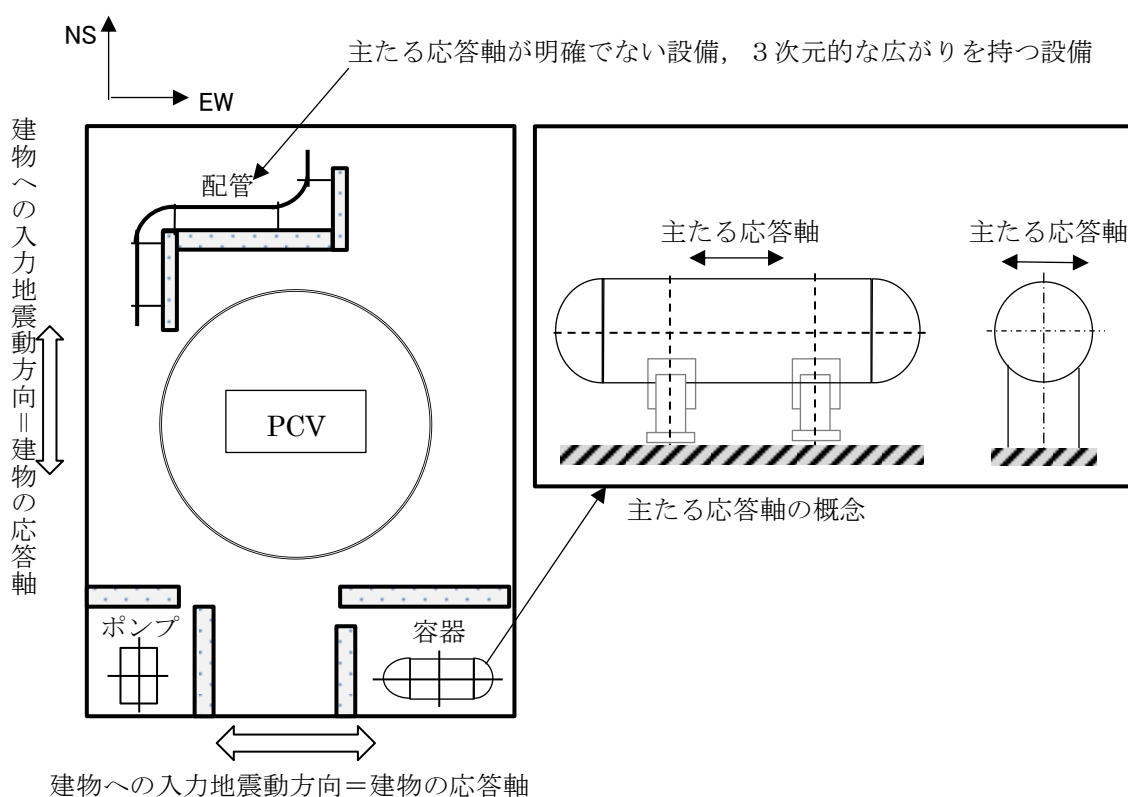
※：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

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扱いを基本としている。一方、応答軸が明確となっていない設備で、3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。設備配置及び応答軸の概念図を第 3.2.1-1 図に示す。

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



第 3.2.1-1 図 設備配置及び応答軸の概念図

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

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とする。また、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を受ける可能性がある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1：1で入力された場合の発生値の算出方法として、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方法又は新たな解析等により高度化した手法を用いることにより、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 $S_s - D$ 、 $S_s - F1$ 、 $S_s - F2$ 、 $S_s - N1$ 及び $S_s - N2$ 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。スロッシング評価については、水平2方向の影響が考えられることから、水平2方向による影響を確認する。なお、燃料プール等のスロッシングによる溢水量評価は、設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）の解析評価（「別添1 内部溢水の影響評価について」の「8. 燃料プールのスロッシングに伴う溢水評価について」）に記載のとおり、水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた場合の溢水量として、保守的に水平1方向＋鉛直方向の溢水量に、直交する水平1方向＋鉛直方向の溢水量を足し合わせ、影響を確認している。

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3.2.3-1図に示す。

なお、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。）又は組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）を適用する。この組合せ方法については、現状の耐震評価は基本的小おおむね弾性範囲でとどまる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考としているものである。

① 評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備、共振のおそれのある B クラス設備を評価対象とし、代表的な機種ごとに分類し整理する。（第3.2.3-1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方向の地震力が重畳する観点、若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3.2.3-1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のある設備に対して、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造物の検討により、機器・配管

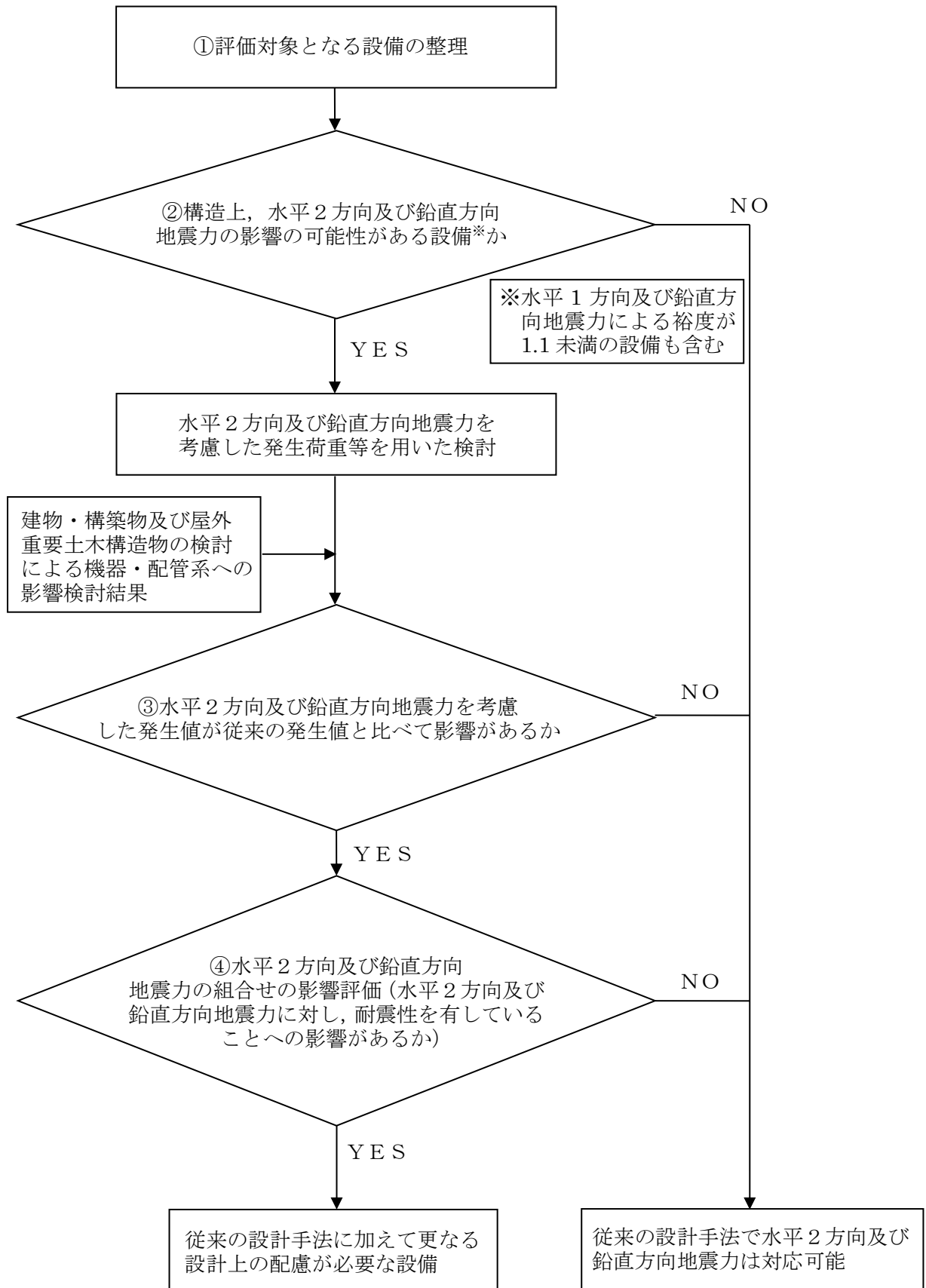
系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

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3.2.3-1図③）。

④ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

③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3.2.3-1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、詳細設計段階にて③及び④を実施することとする。



第3.2.3-1 図 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ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3.2.4-1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以下の項目により検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。なお、重大事故等対処施設等の一部については評価部位等を検討中であるため、設計が確定する工認段階で抽出、影響評価を行う。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性のある設備を抽出する。以下の場合には、水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した（別紙10-1参照）。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる機器を分類しているが、今後の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安全側となるように最大応答の非同時性を考慮したSRSS法、組合せ係数法、3軸時刻歴解析等の手法を用いて水平2方向の影響について検討を行うこととする。また、影響の分類基準としている1割の増分についても、詳細検討において必要に応じて見直しを検討することとする。

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

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置き容器等は、水平2方向の地震力を想定した場合、水平1方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した。

b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

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

- c. 水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等といえるもの

原子炉圧力容器スタビライザ、原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグは、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等のものと分類した。

- d. 従来評価において水平2方向の考慮をした評価を行っているもの

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

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

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

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

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

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

3.2.4 項で抽出した結果を別紙 10-1 に示す。これらの設備に関して、今後 3.2.3 項③「発生値の増分による抽出」に記載の方法に従い、発生値の増分の観点から評価対象部位の抽出を行ったうえで、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うえで、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 3.2.4-1 表 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設備※1		評価部位	応力分類			
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴 下部胴	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
		中間胴	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
			座屈			
		上部格子板支持面 炉心支持板支持面	支圧応力			
	シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力 一次一般膜応力+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 一次一般膜応力+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 一次一般膜応力+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 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
		スタッド	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
	制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力			
	原子炉圧力容器	円筒胴 下鏡及びスカート	円筒胴 下鏡 下鏡と円筒胴の接合部 スカートと円筒胴の接合部	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力		
			スカート	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力 軸圧縮応力		
				ハウジング	一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力	
スタブチューブ					一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力 軸圧縮応力	
					ノズル	各部位 一次一般膜応力 一次一般膜応力+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
		ドライヤ支持ブラケット 一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力				
炉心スプレイブラケット 一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力						
給水スパーチャブラケット 一次一般膜応力 一次一般膜応力+一次曲げ応力 純せん断応力						

設備※1		評価部位	応力分類	
圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
	原子炉本体の基礎	円筒部（内筒） 円筒胴（外筒）		せん断応力
				組合せ応力
		円筒部（たてリブ）	CRD開口まわり（CRD開口はり）	せん断応力
				曲げ応力
基部アンカ部（基礎ボルト）	基部アンカ部（ベースプレート）	引張応力		
		曲げ応力		
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	引張応力	
		ブラケット	せん断応力	
			曲げ応力	
	原子炉格納容器スタビライザ	パイプ	引張応力	
			せん断応力	
			圧縮応力	
			曲げ応力	
			組合せ応力	
	フランジボルト	ガセットプレート	引張応力	
			せん断応力	
			曲げ応力	
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレントビーム	レストレントビーム一般部	引張応力
			レストレントビーム端部	せん断応力
			レストレントビームボルト	組合せ応力
	ジェットポンプ計測配管貫通部シール	貫通部シール	一次一般膜応力	
			一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
			一次＋二次応力	
			一次＋二次＋ピーク応力	
	差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーよりN11ノズルまでの外管）	差圧検出管	一次一般膜応力	
			一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
一次＋二次応力				
一次＋二次＋ピーク応力				
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	蒸気乾燥器ユニット	一次一般膜応力	
		耐震用ブロック	一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 原子炉中性子計装案内管	各部位	一次一般膜応力	
			一次一般膜応力＋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	
一次一般膜応力＋一次曲げ応力				
ジェットポンプ	ライザ ディフューザ ライザブレース	一次一般膜応力		
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力		
使用済燃料貯蔵ラック	ラック部材 シートプレート及びベース	引張応力		
		せん断応力		
		組合せ応力		
	ラック取付ボルト 基礎ボルト	引張応力		
せん断応力				
		組合せ応力		

設備※ ¹	評価部位	応力分類
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	サポート部材	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	底部基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	サポート部基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
アキュムレータ	胴板	一次一般膜応力
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力
		一次＋二次応力
脚	組合せ応力	
たて置円筒形容器（ラグ支持）	胴板	一次一般膜応力
		一次一般膜応力＋一次曲げ応力
		一次＋二次応力
	ラグ	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
		引張応力
	基礎ボルト 取付ボルト	せん断応力
		組合せ応力
ECCSストレーナ	全ディスクセットの多孔プレート ディスクセット間の円筒形多孔プレート リップ コンプレッションプレート フィンガ ストラップ フランジ	一次一般膜応力＋一次曲げ応力
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット	基礎ボルト 取付ボルト	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
		一次一般膜応力＋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		
たて置円筒形容器（スカート支持）	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

設備※1		評価部位	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				
平底たて置円筒形容器	胴板		一次一般膜応力	
			一次＋二次	
	基礎ボルト 取付ボルト		引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
核計測装置	各部位		一次一般膜応力	
			一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
伝送器（矩形床置）	取付ボルト		引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
伝送器（矩形壁掛）	取付ボルト		引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
制御盤，電気盤（矩形床置）	取付ボルト		引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
制御盤，電気盤（矩形壁掛）	取付ボルト		引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
モニタリング設備（矩形床置）	取付ボルト		引張応力	
			せん断応力	
			組合せ応力	
モニタリング設備（矩形壁掛）	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	ドライウエル	ドライウエル上ふた球形部とナックル部の接合部 円筒部とナックル部の接合部 ナックル部と球形部の接合部 球形部と円筒部の接合部 円筒部と球形部の接合部	一次一般膜応力＋一次曲げ応力	
			一次＋二次応力	
		球形部の板厚変化部		一次一般膜応力＋一次曲げ応力
				一次＋二次応力
		円筒部		一次一般膜応力
				一次一般膜応力＋一次曲げ応力
		基部		一次＋二次応力
				一次一般膜応力＋一次曲げ応力
	一次＋二次応力			
	座屈			
	サブプレッションチェンバ	各部位		一次一般膜応力
				一次一般膜応力＋一次曲げ応力
				一次＋二次応力
	ベント管	ヘッド接続部 ベント管円筒部 ベント管とドライウエルとの接合部		一次一般膜応力
一次一般膜応力＋一次曲げ応力				
一次＋二次応力				

設備※1		評価部位	応力分類	
原子炉格納容器	サブプレッションチェンバサポート	サポート ベースとベースプレートの接合部	引張応力 せん断応力 圧縮応力 曲げ応力 組合せ応力	
		シアキー	せん断応力 支圧圧力	
		ベースプレート シアプレート	せん断応力 曲げ応力 組合せ応力	
		コンクリート部	圧縮応力	
		ボルト 基礎ボルト	引張応力	
		シヤラグ	内側メイルシヤラグ 外側メイルシヤラグ 内側フィメイルシヤラグ 内側フィメイルシヤラグリップ付根部 外側フィメイルシヤラグ	せん断応力 曲げ応力 組合せ応力
			内側メイルシヤラグ接触部 外側メイルシヤラグ接触部 内側フィメイルシヤラグ接触部 外側フィメイルシヤラグ接触部 コンクリート（ベースプレート部、シヤプレート部）	支圧圧力
			基礎ボルト	引張応力
			ベースプレート シヤプレート	せん断応力 曲げ応力 組合せ応力
			内側シヤラグサポート	引張応力 圧縮応力
	シヤラグ取付部		一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力	
	ハッチ類		ハッチ円筒胴	一次一般膜応力 一次一般膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
			ハッチ本体と補強板との結合部	一次一般膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
	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との取付部	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		原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	一次膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
	ダウンカマ	ダウンカマ	一次一般膜応力 一次応力（曲げ応力を含む） 一次＋二次応力	
			ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次応力（曲げ応力を含む） 一次＋二次応力 一次＋二次＋ピーク応力
		ベントヘッド	ベントヘッド	一次一般膜応力 一次一般膜応力＋一次曲げ応力 一次＋二次応力
				ベントヘッド強め輪取付部
	ベントヘッドサポート		引張応力 圧縮応力 曲げ応力 組合せ応力	

設備※1	評価部位	応力分類
ベントヘッド	強め輪	引張応力
		せん断応力
		圧縮応力
		曲げ応力
	ピン	組合せ応力
		せん断応力
		曲げ応力
		支圧圧力
ドライウェルスブレイ管 サブプレッションチェンバスブレイ管	スブレイ管	一次一般膜応力+一次曲げ応力
	スブレイ管とスブレイ管案内管 スブレイ管案内管	一次+二次応力
可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ブロウ	ブレース	圧縮応力
	ベース取付溶接部	せん断応力
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
ガスタービン発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
その他電源設備	基礎ボルト 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（多質点はりモデル解析）	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（静的触媒式水素処理装置、架台を含む）	各部位	各応力分類
通信連絡設備（アンテナ類） （矩形床置）	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
通信連絡設備（アンテナ類） （矩形壁掛）	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
1号炉取水槽流路縮小工	各部位	各応力分類
防波扉 水密扉	各部位	各応力分類
床ドレン逆止弁	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
貫通部止水処置	モルタル	せん断荷重
		圧縮荷重
屋外排水路逆止弁	基礎ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
取水槽水位計	取付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
津波監視カメラ	据付ボルト	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力

設備※1	評価部位	応力分類
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	せん断応力
		曲げ応力
		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
		吊荷荷重
原子炉建物天井クレーン	クレーン本体ガーダ	せん断応力
		曲げ応力
		浮上り量
	落下防止ラグ	圧縮応力
	トロリストoppa	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
トロリ	浮上り量	
吊具	吊荷荷重	
ガンマ線遮蔽壁	胴基部 開口集中部	せん断応力
		圧縮応力
		曲げ応力
		組合せ応力
制御棒貯蔵ハンガ	サポート	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
	振止め部	引張応力
		せん断応力
		組合せ応力
チャンネル着脱装置	ガイドレール	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	カート	せん断応力
組合せ応力		
固定ボルト	引張応力	
	せん断応力	
ローラチェーン	吊荷荷重	
チャンネル取扱ブーム	各部位	各応力分類
	ボルト	引張応力
		せん断応力
組合せ応力		
中央制御室天井照明	各部位	各応力分類
主排気ダクト	ダクト, サポート	一次応力
取水槽ガントリクレーン	ガーダ	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	脚	せん断応力
		曲げ応力
		浮上り量
	走行レール 横行レール	せん断応力
		曲げ応力
		組合せ応力
	転倒防止装置	せん断応力
		曲げ応力
組合せ応力		
トロリ	浮上り量	
吊具	吊荷荷重	

設備※1	評価部位	応力分類
除じん機	各部位	各応力分類
原子炉ウェルシールドブラグ	本体	曲げモーメント せん断応力
	支持部	圧縮力
取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護対策設備	蓋	曲げ応力
		せん断応力
	固定ボルト	組合せ応力 せん断応力
取水槽海水ポンプエリア竜巻防護対策設備	各部位	各応力分類
耐火障壁	各部位	各応力分類
建物開口部竜巻防護対策設備	各部位	各応力分類

※1 本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

3.3 屋外重要土木構造物等

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

従来の設計の考え方について、取水槽を例に第3.3.1-1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等[※]は、おおむ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等は、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等は、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。

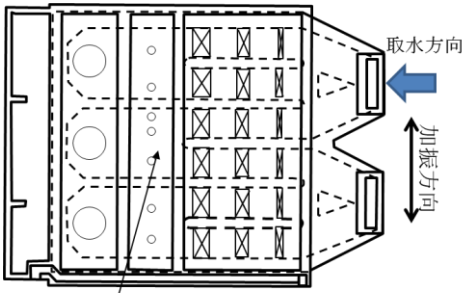
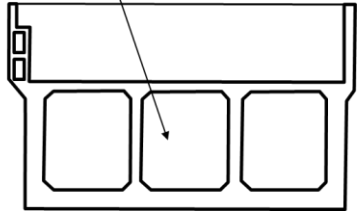
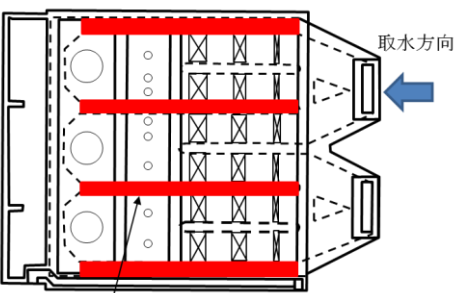
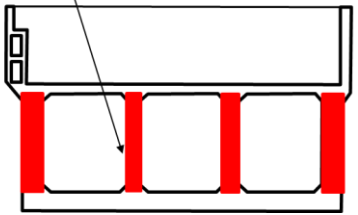
強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平1方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

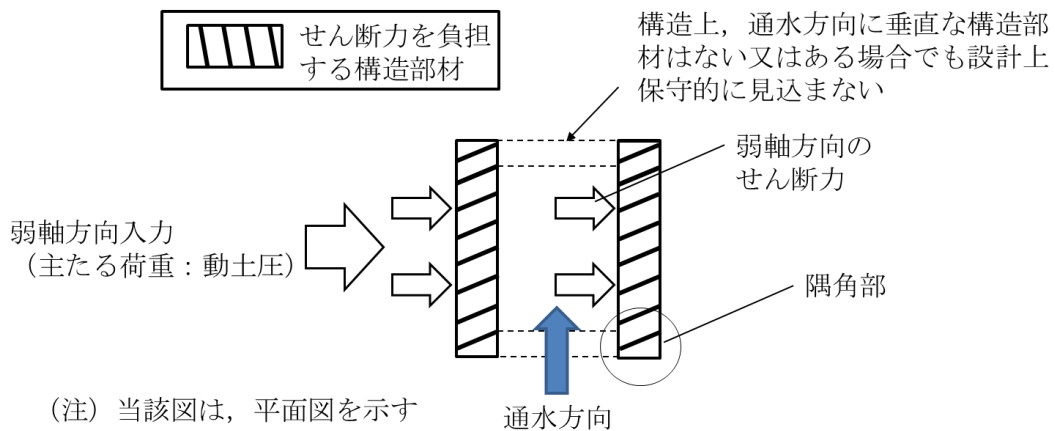
第3.3.1-1図に示すとおり、従来設計手法では、屋外重要土木構造物等の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な水路の壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

屋外重要土木構造物等のうち取水口及びガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、海水の通水機能や配管等の間接支持機能を有する構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではないことから、従来設計手法では、直交2方向ともに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。

※屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設のうち土木構造物及び波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

第 3.3.1-1 表 従来設計手法における評価対象断面の考え方（取水槽の例）

	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>加振方向に平行な部材が少ない</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> 
	<ul style="list-style-type: none"> 横断方向は、加振方向に平行な壁部材が少なく、弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 縦断方向は、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、強軸方向にあたる。
	<ul style="list-style-type: none"> 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。 弱軸方向を評価対象断面とする。 	



第 3.3.1-1 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等において、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、取水槽、取水管、取水口、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）、ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）、緊急時対策所用燃料地下タンク及び波及的影響防止のために耐震評価を実施する土木構造物（免震重要棟遮蔽壁及び1号炉取水槽ピット部）とする。なお、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、屋外重要土木構造物には該当せず、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に分類されるとともに、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が設置される重大事故等対処施設に分類される。

また、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎、第1ベントフィルタ格納槽及び屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、屋外重要土木構造物には該当せず、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が設置される重大事故等対処施設に分類され、緊急時対策所用燃料地下タンクは、屋外重要土木構造物には該当せず、常設重大事故緩和設備に分類される。

第3.3.2-1表に評価対象構造物の施設分類を示す。

第3.3.2-1表 屋外重要土木構造物等の施設分類

評価対象構造物	施設分類		
	屋外重要土木構造物	重大事故等対処施設	波及的影響
取水槽	○	○	-
取水管	○	○	-
取水口	○	○	-
屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)	○	○	-
屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)	○	-	-
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	○	○	-
屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)	○	○	-
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	-	○	-
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	-	○	-
第1ベントフィルタ格納槽	-	○	-
屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)	-	○	-
緊急時対策所用燃料地下タンク	-	○	-
免震重要棟遮蔽壁	-	-	○
1号炉取水槽ピット部	-	-	○

屋外重要土木構造物等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形式を抽出する。

抽出された構造形式については、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評価し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の組合せ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等において、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3.3.3-1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

評価対象構造物について、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うえで、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組合せの影響により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組合せの影響評価

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するとともに構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を

確認する。

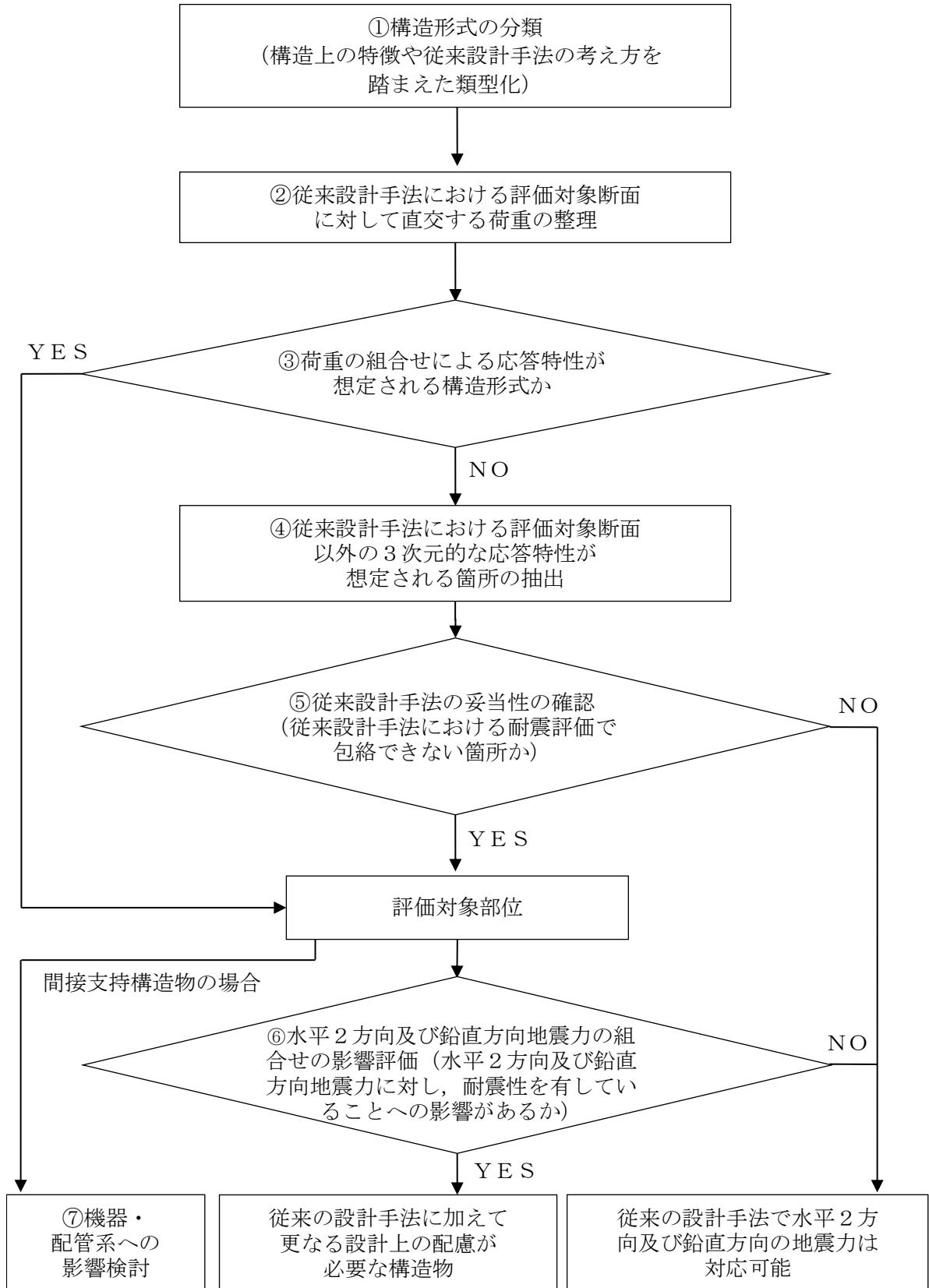
評価手法については，評価対象構造物の構造形式を考慮して選定する。

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には，機器・配管系に対して，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

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等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。

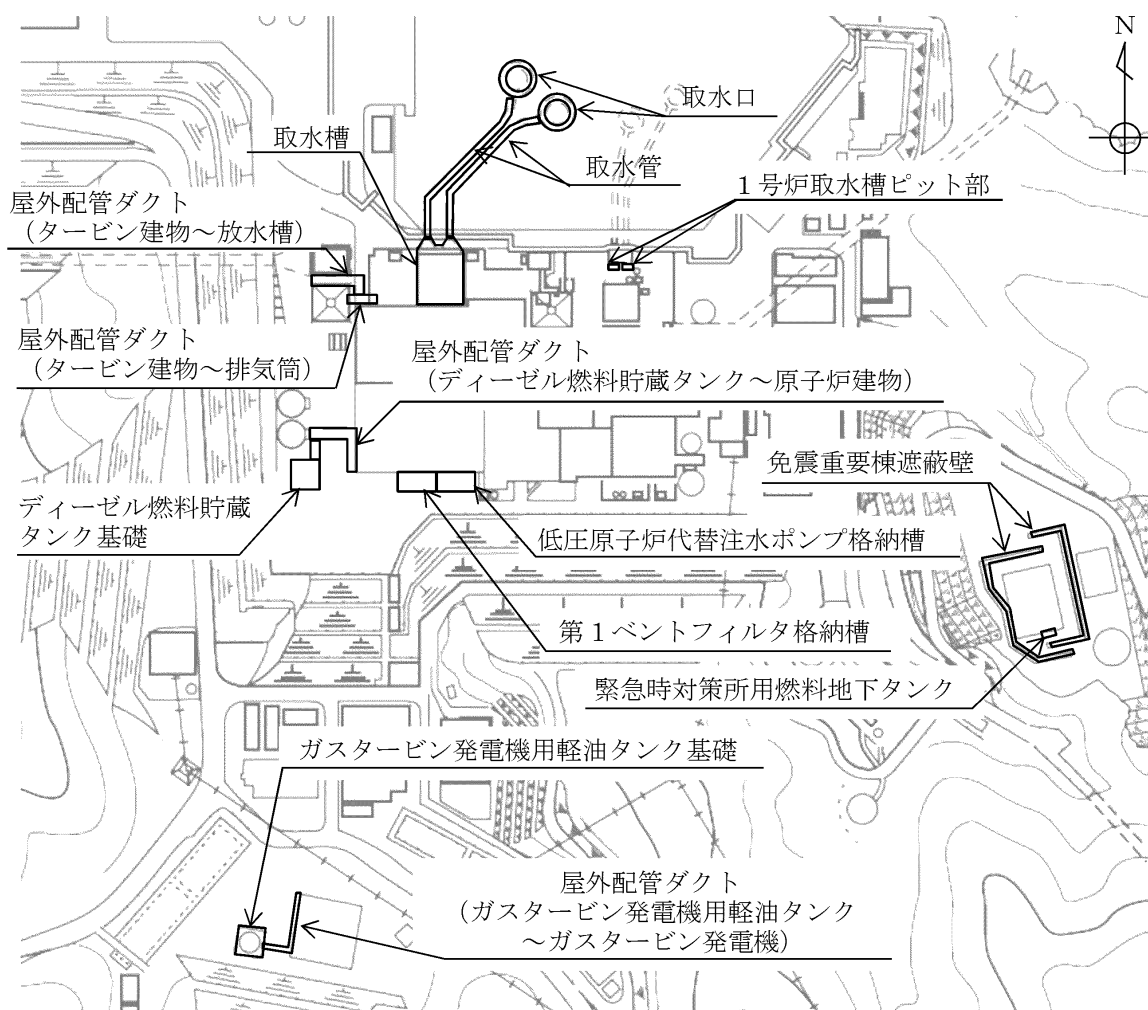


第 3.3.3-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価のフロー

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3.3.4-1図に屋外重要土木構造物等の配置図を示す。屋外重要土木構造物等は、その構造形式より①取水槽，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽，第1ベントフィルタ格納槽，ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎及び緊急時対策所用燃料地下タンクのような箱型構造物，②屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽），屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物），屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機），免震重要棟遮蔽壁及び1号炉取水槽ピット部のような同一断面が連続する線状構造物，③取水口のような円筒状構造物，④ガスタービン発電機用軽油タンク基礎のような直接基礎，⑤取水管のような管路構造物の5つの構造形式に大別される。



第3.3.4-1図 屋外重要土木構造物等配置図

- (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 3.3.4-1 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 3.3.4-1 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
① 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	
② 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	
③ 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3.3.4-2表に3.3.4(1)で整理した構造形式ごとに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②摩擦力や③慣性力は、①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、①動土圧及び動水圧による影響を考慮する。

箱型構造物は、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)等を有することから、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧が作用する。

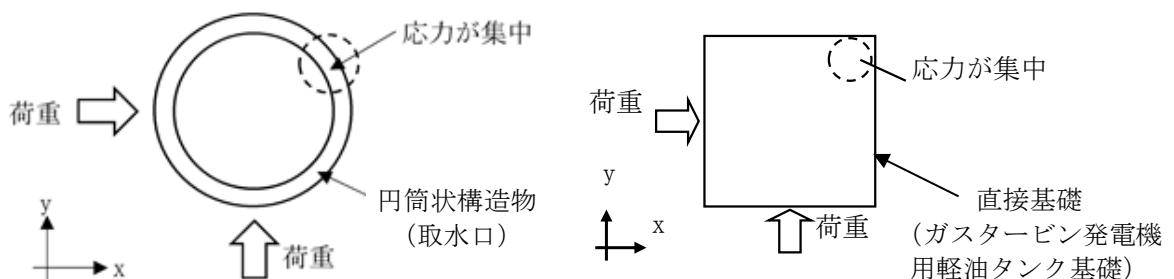
線状構造物については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻側(小口)の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧は作用しない。

円筒状構造物及び直接基礎については、第3.3.4-2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。

直接基礎については、上載構造物により、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慣性力が作用する。

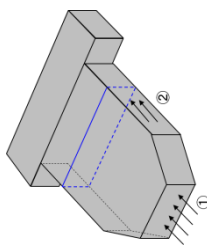
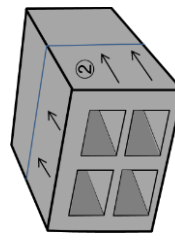
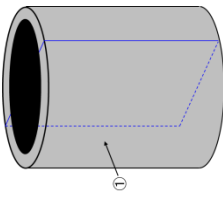
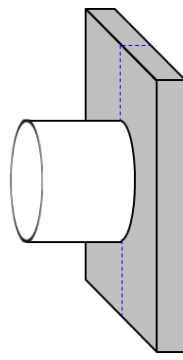
管路構造物については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻側(小口)の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧は作用しない。一方、取水管は延長が長い構造であることから、従来設計手法において、管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており、水平2方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っている。

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①動土圧及び動水圧が作用する箱型構造物、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、③慣性力が作用する直接基礎、及び従来設計手法において水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を考慮している管路構造物を抽出する。



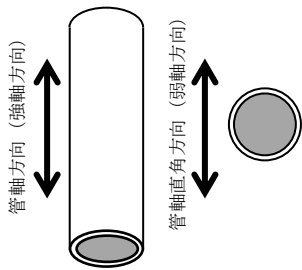
第3.3.4-2図 円筒状構造物及び直接基礎にかかる応答特性

第 3.3.4-2(1)表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価対象構造物の抽出

構造形式の分類	①箱型構造物 (取水槽, 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽, 第 1 ベントフィルタ格納槽, ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎, 緊急時対策所用燃料地下タンク)	②凝状構造物 (屋外配管ダクト(タービン建物～ 排気筒), 屋外配管ダクト(タービ ン建物～放水槽), 屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク～原 子炉建物), 屋外配管ダクト(ガス タービン発電機用軽油タンク～ガ スタービン発電機)及び免震重要棟 遮蔽壁, 1 号炉取水槽ピット部)	③円筒状構造物 (取水口)	④直接基礎 (ガスタービン発電機用軽油タン ク基礎)
荷重の作用状況	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面 (注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 ② 摩擦力 ③ 慣性力</p>	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面 (注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 ② 摩擦力 ③ 慣性力</p>	 <p>— 従来設計手法における評価対象断面 (注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 ② 摩擦力 ③ 慣性力</p>	 <p>--- 従来設計手法における評価対象断面 (注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 ② 摩擦力 ③ 慣性力</p>
従来設計手法における評価対象断面に 評価断面に対して直交 する荷重の影響程度	○	○	○	○
抽出結果	○	×	○	○

※ 本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

第 3.3.4-2(2)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

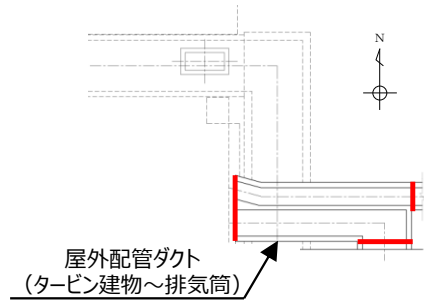
構造形式の分類	⑤ 管路構造物 (取水管)
荷重の作用状況	 <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>① 動土圧及び動水圧 作用しない</p> <p>② 摩擦力 側壁，頂版に作用</p> <p>③ 慣性力 全ての部材に作用</p>
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず，①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。また，管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており，従来設計手法において水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せが考慮されている。
抽出結果	○

※ 本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

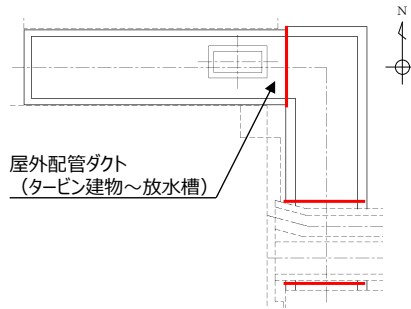
- (4) 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

(3)で抽出されなかった線状構造物として大別した屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）、屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）及び免震重要棟遮蔽壁は、第 3.3.4-3 図に示すとおり、構造物の配置上、屈曲部、隅角部及び他構造物との一体化部を有する。線状構造物の屈曲部、隅角部及び他構造物との一体化部では、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懸念されるため、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）、屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）について、構造目地を踏まえて 3 次元的な応答特性が想定される箇所を抽出する。

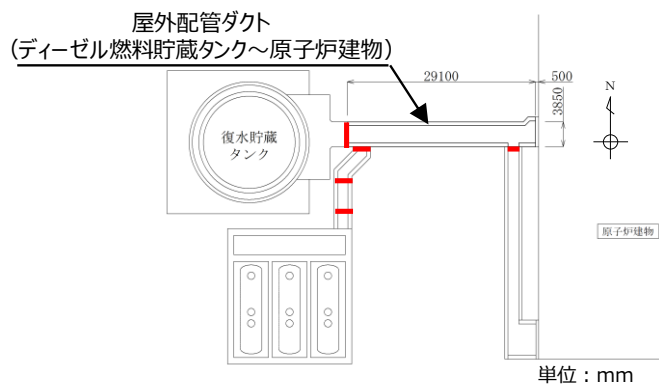
なお、免震重要棟遮蔽壁については、第 3.3.4-3 図に示すとおり、屋外の上位クラス施設である緊急時対策所に波及的を及ぼす範囲に屈曲部や隅角部は存在しないことから、3 次元的な応答特性が想定される箇所としては対象外である。



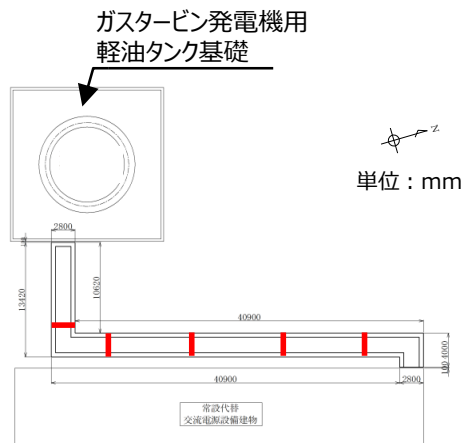
①屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）平面図



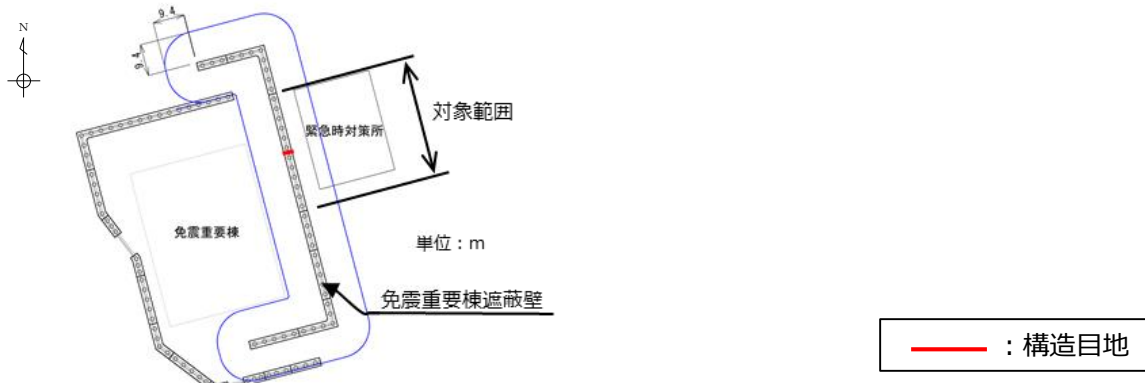
②屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）平面図



③屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）平面図



④屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）平面図



⑤免震重要棟遮蔽 平面図

第 3. 3. 4-3 図 線状構造物の屈曲部及び隅角部

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

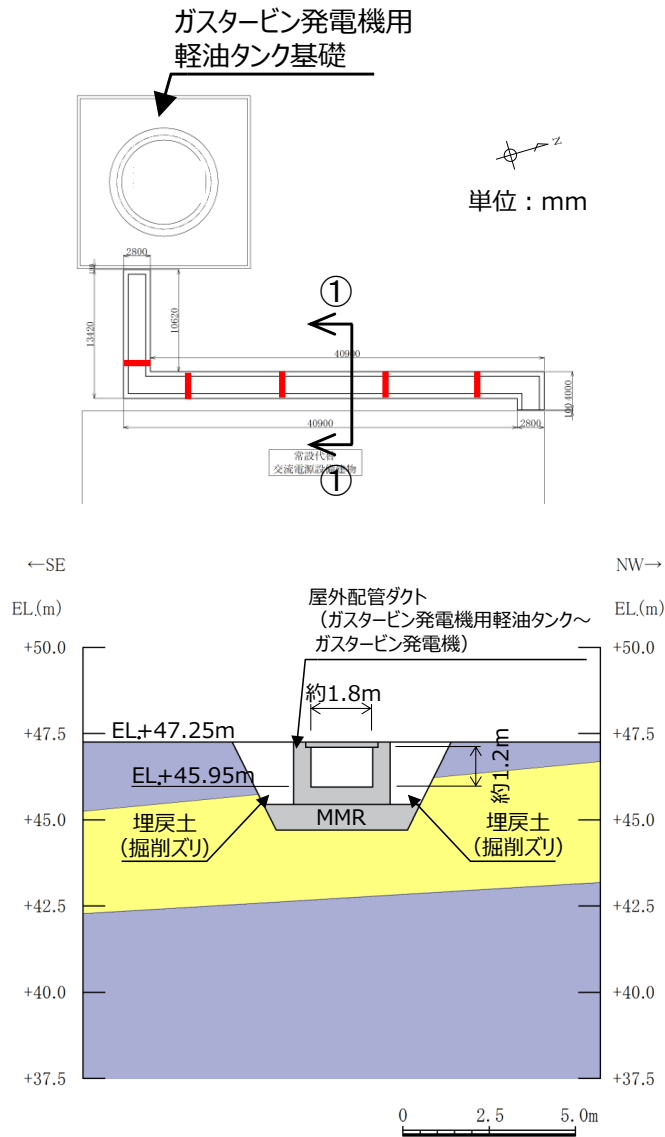
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）及び屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は，隅角部に構造目地を設けるため，独立した線状構造物が接しているのみであり，3次元的な応答特性は想定されず，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の屈曲部では，妻壁に相当する部位の面積が小さく，慣性力の影響も小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

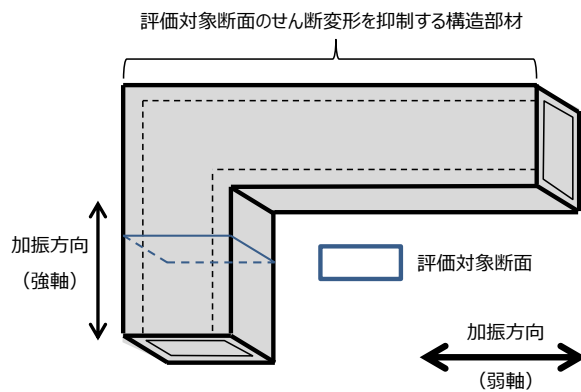
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の従来設計では，第3.3.4-4，5図に示すとおり，ほぼ等間隔に構造目地が設けられており，構造物に応力集中が発生しない設計としておるとともに，十分な支持性能を有する岩盤にMMR（マンメイドロック）を介して設置されているため，構造物の延長方向に影響するような強軸方向の変形については影響をほとんど受けない。また，弱軸方向については，屈曲部や隅角部における3次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する箇所や構造部材）を期待せず，評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計であり，十分に保守的な評価となっている。

以上のことから，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽），屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物），及び屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の屈曲部や隅角部での水平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。

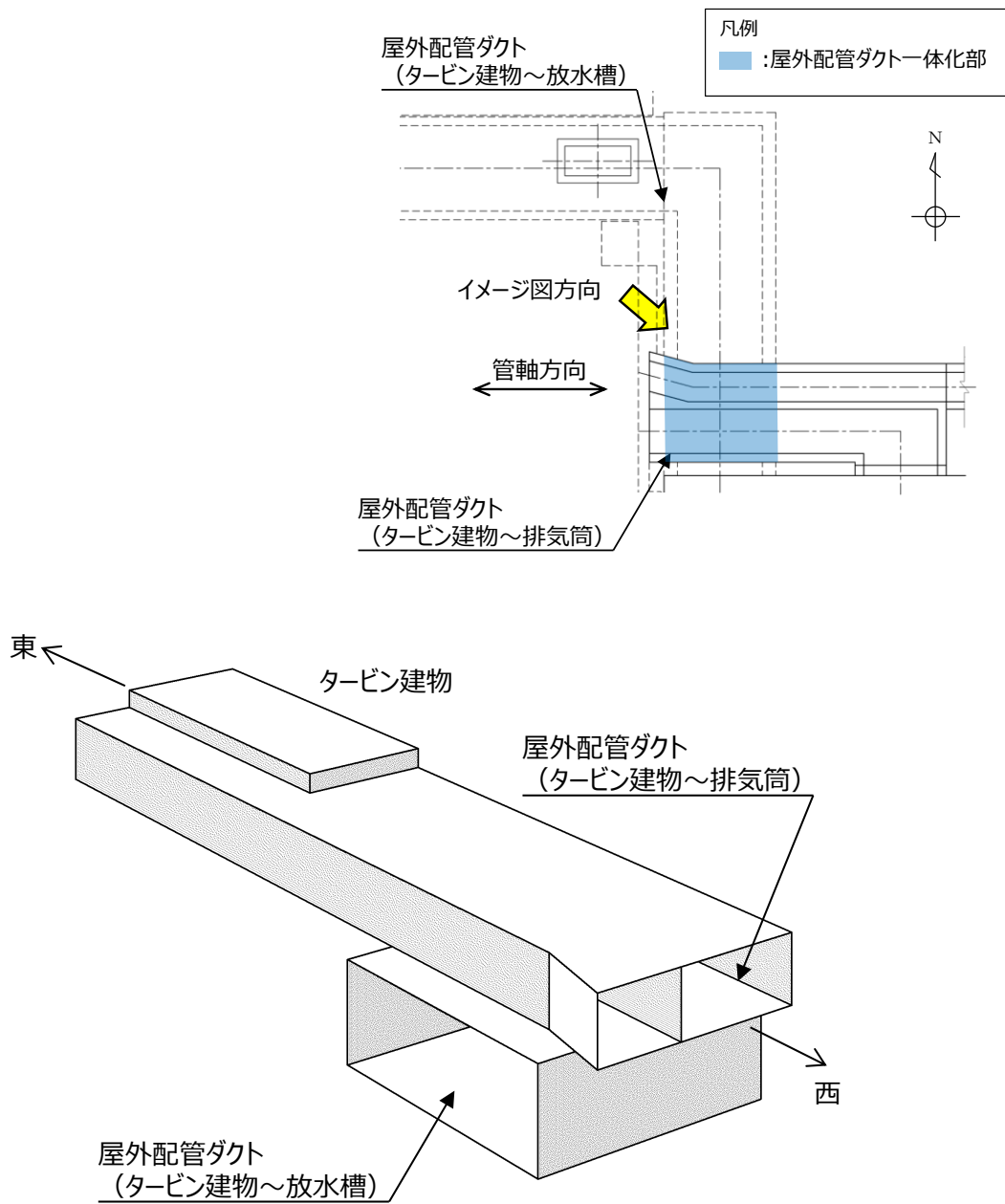
ただし，第3.3.4-6図に示すとおり，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版の一部が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の頂板の一部と一体化している部位については，妻壁に相当する部位があり，3次元的な拘束効果が発生するため，従来設計では評価していない配力鉄筋への影響を確認する必要がある。よって，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部については，弱軸方向への変形により発生する軸方向の引張力が配力鉄筋に与える影響を確認するため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施することとする。



第 3.3.4-4 図 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）平面図及び①-①断面図



第 3.3.4-5 図 屈曲部・隅角部における 3 次元的な拘束効果（屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の隅角部）



第 3.3.4-6 図 屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)と屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽) との一体化部イメージ

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の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、従来評価における評価対象断面に対して垂直な荷重が作用する箱型構造物、線状構造物のうち屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部、円筒状構造物及び直接基礎を抽出する。また、従来の設計手法で対応している構造物として、管路構造物があり、これについても詳細設計段階において水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

箱型構造物である取水槽、ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽及び緊急時対策所用燃料地下タンクを対象に水平2方向の影響評価を行う。なお、評価対象構造物のうち、主たる荷重を受ける妻壁の面積が最も大きい構造物は取水槽であり（第3.3.5-1表参照）、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が大きいと考えられる。

線状構造物では、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部を対象に水平2方向の影響評価を行う。

円筒状構造物では、取水口を対象に水平2方向の影響評価を行う。

直接基礎では、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎を対象に水平2方向の影響評価を行う。

管路構造物では、取水管を対象に水平2方向の影響評価を行う。

第3.3.5-1～9図に各構造物の概要図を示す。

第3.3.5-1表 代表構造物の選定整理表

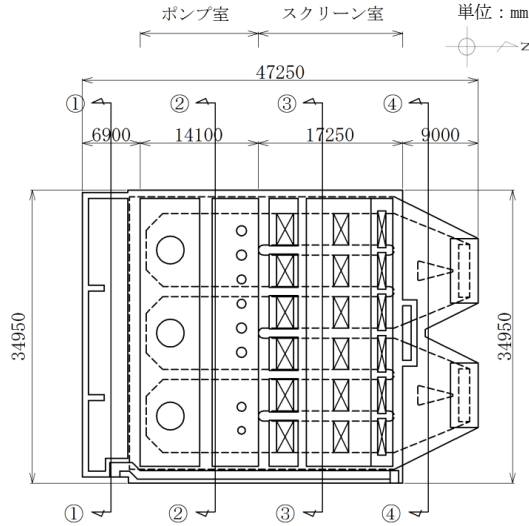
構造形式	構造物（施設）名	規模			備考
		長辺	短辺	高さ ^{注1}	
箱型構造物	取水槽	約48m	約35m	約21m	妻壁の面積（短辺×高さ）が最大
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	約21m	約20m	約7m	
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	約27m	約14m	約16m	
	第1ベントフィルタ格納槽	約25m	約14m	約14m	
	緊急時対策所用燃料地下タンク	約13m	約4m	約4m	

注1 高さは地中部の躯体高さを示す

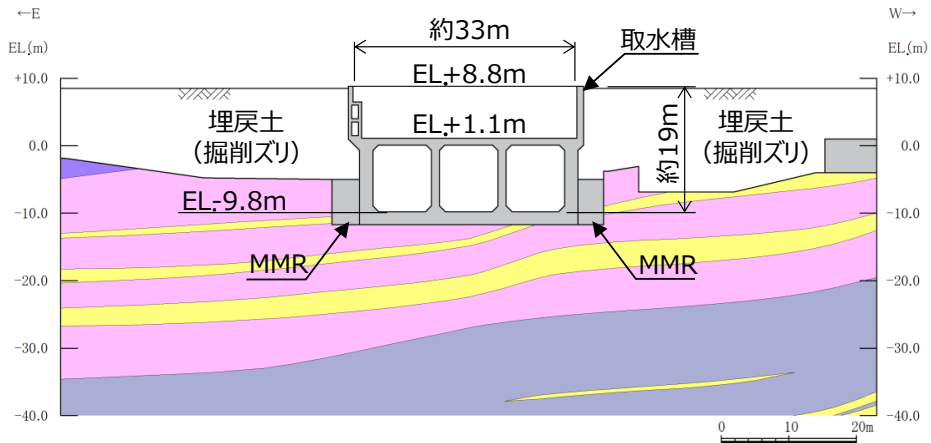
※本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

(1) 取水槽【箱型構造物の代表】

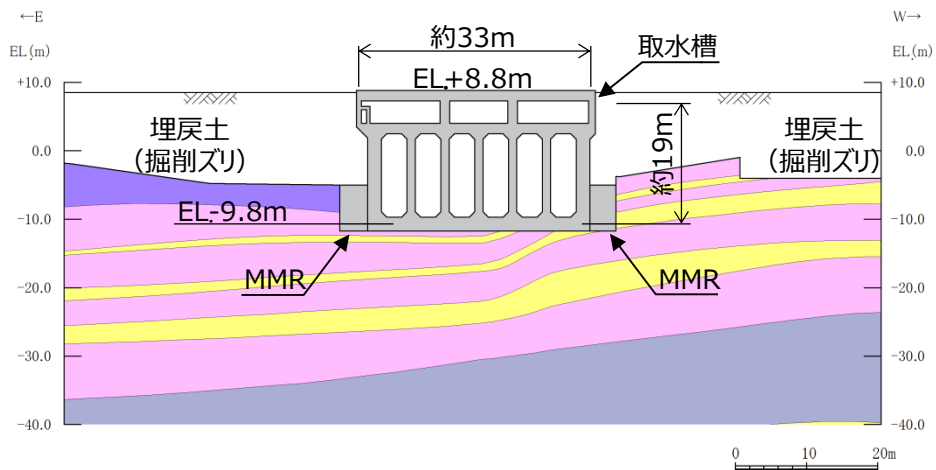
第 3.3.5-1~3 図に取水槽の平面図及び断面図を示す。



第 3.3.5-1 図 取水槽 平面図



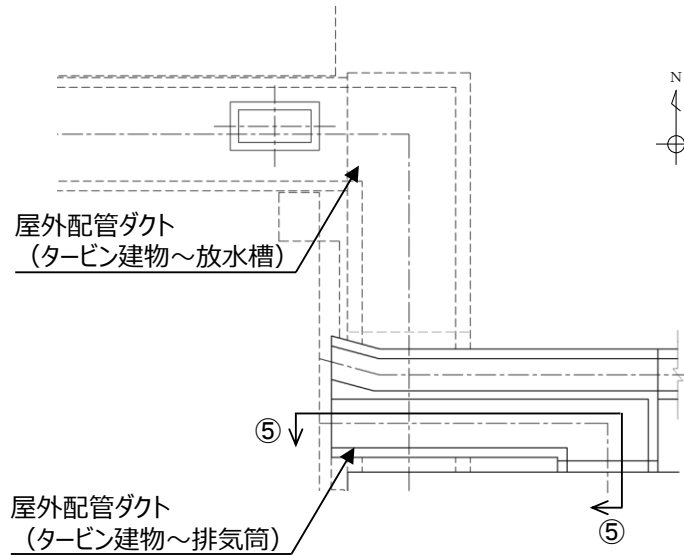
第 3.3.5-2 図 取水槽 断面図 (②-②断面)



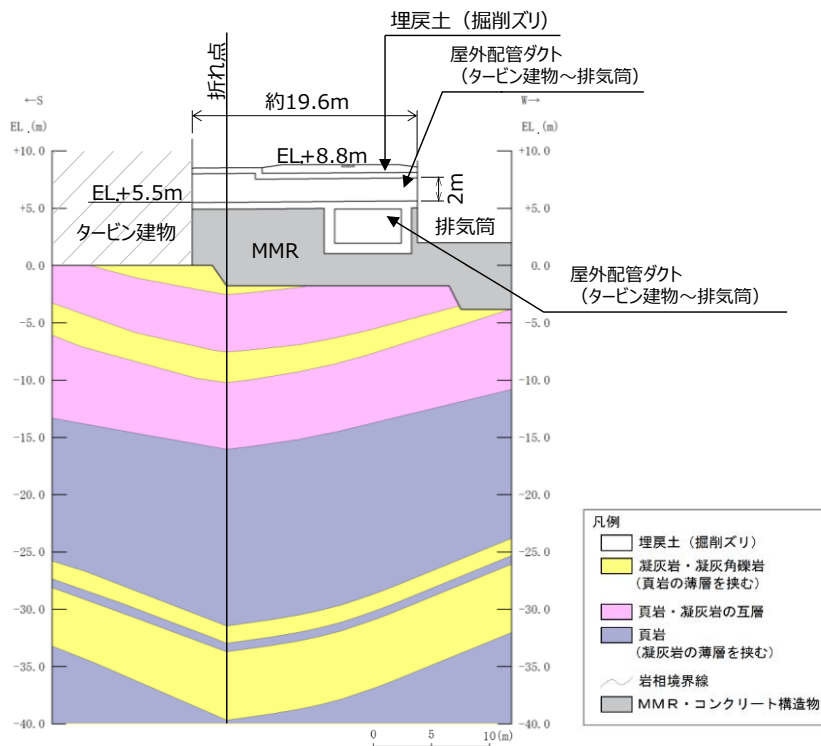
第 3.3.5-3 図 取水槽 断面図 (③-③断面)

(2) 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部【線状構造物】

第 3.3.5-4～5 図に屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部の平面図及び断面図を示す。



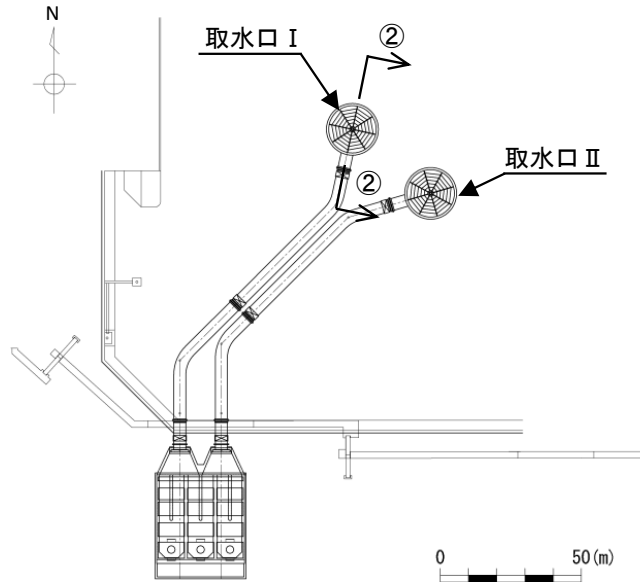
第 3.3.5-4 図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部 平面図



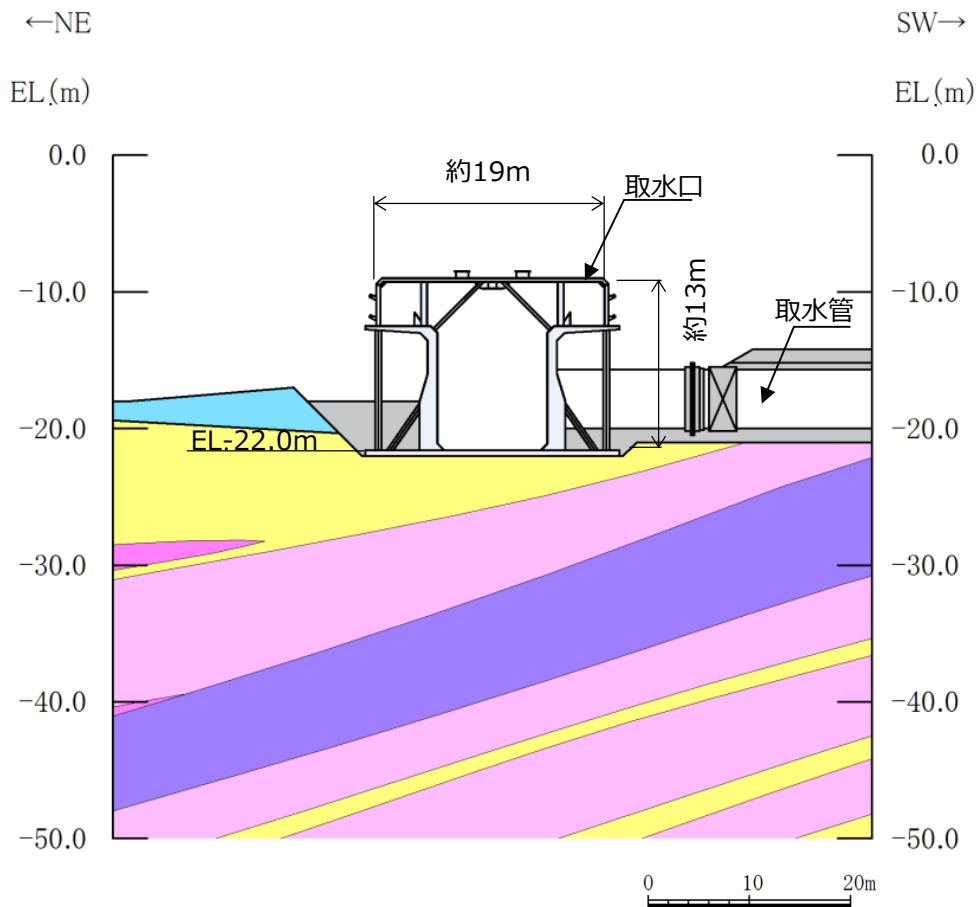
第 3.3.5-5 図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部 断面図（⑤-⑤断面）

(3) 取水口【円筒状構造物】

第 3.3.5-6~7 図に取水口の平面図及び断面図を示す。



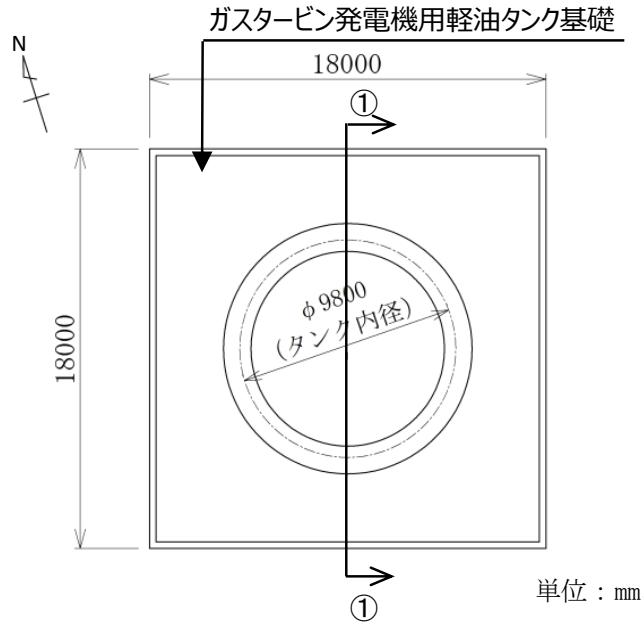
第 3.3.5-6 図 取水口 平面図



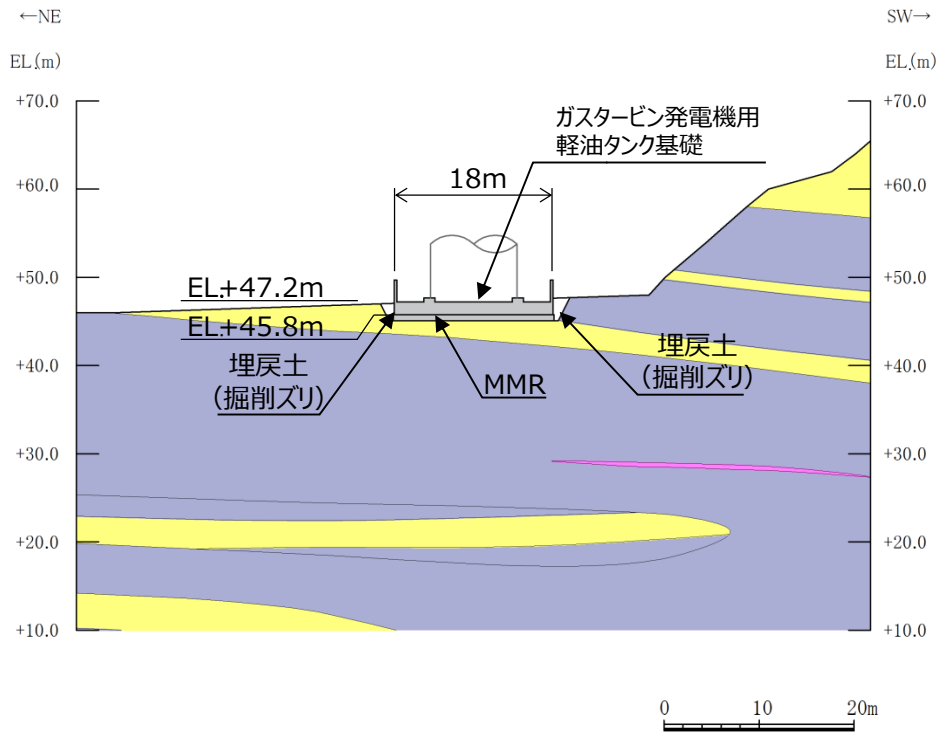
第 3.3.5-7 図 取水口 断面図 (②-②断面)

(4) ガスタービン発電機用軽油タンク基礎【直接基礎】

第 3.3.5-8~9 図にガスタービン発電機用軽油タンク基礎の平面図及び断面図を示す。



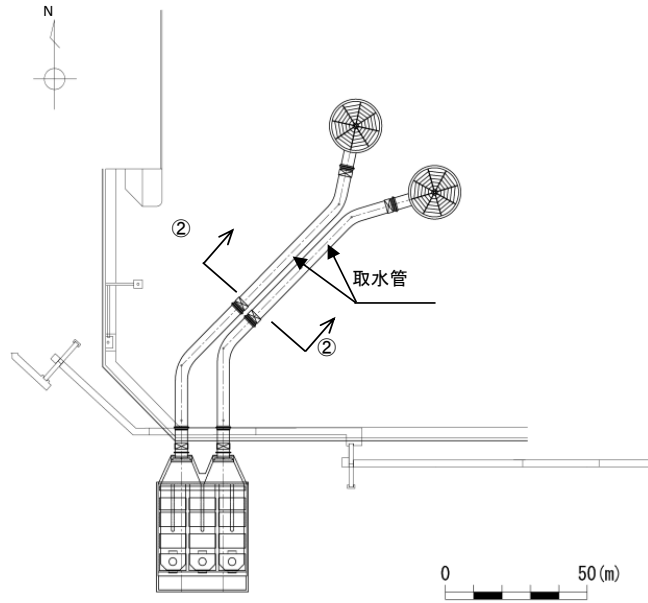
第 3.3.5-8 図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図



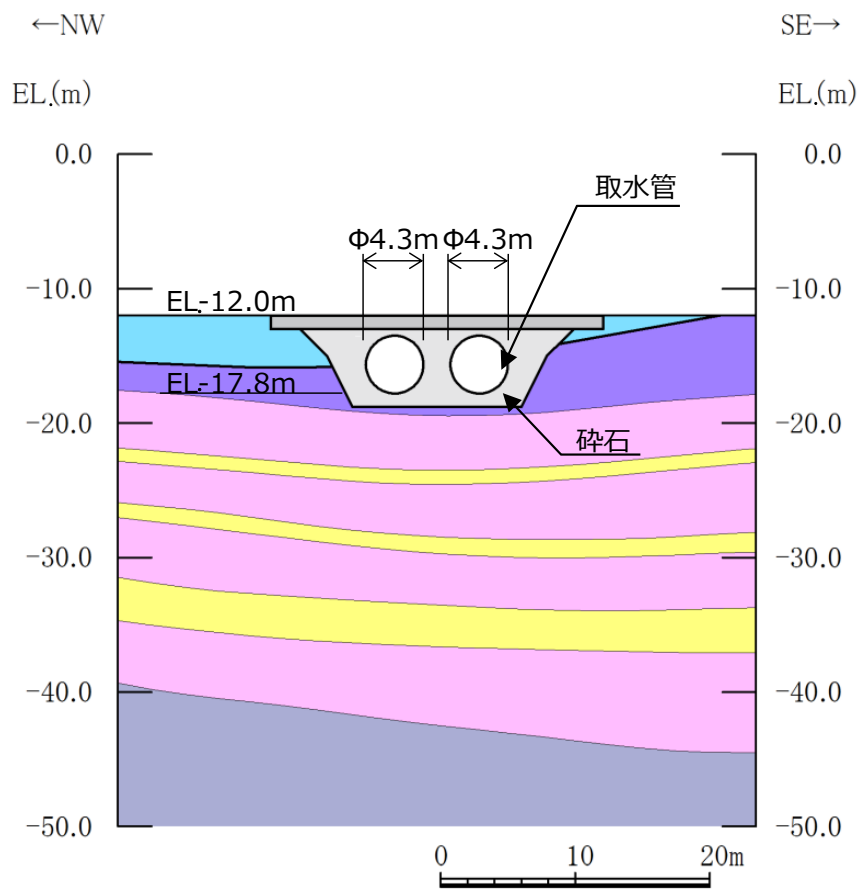
第 3.3.5-9 図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (①-①断面)

(5) 取水管【管路構造物】

第 3.3.5-10~11 図に取水管の平面図及び断面図を示す。



第 3.3.5-10 図 取水管 平面図



第 3.3.5-11 図 取水管 断面図 (②-②断面)

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規準・同解説－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999）」（以下、「RC規準」という。）に準拠し耐震評価を実施する。

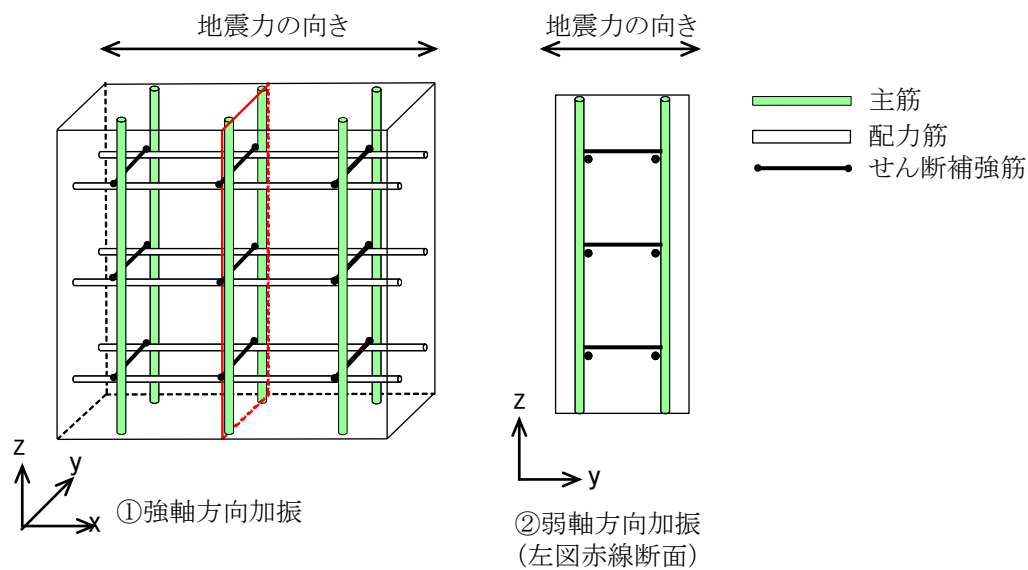
RC規準では、耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して、コンクリートのみで負担できるせん断耐力と、鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって、壁部材の生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば、鉄筋によるせん断負担は無く鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

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3.3.6-1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3.3.6-2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。

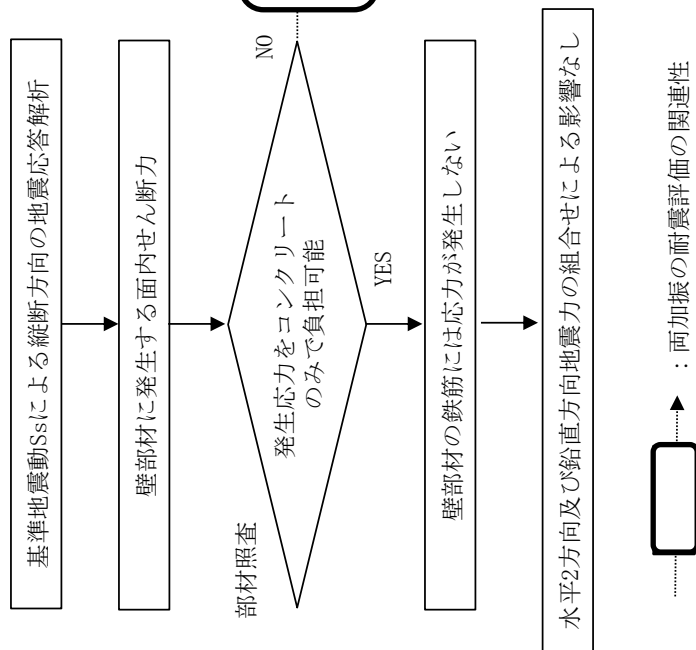


		①強軸方向加振	②弱軸方向加振	備考
断面力	My (y軸まわりの曲げモーメント)	△	×	
	Mx (x軸まわりの曲げモーメント)	×	○	
	Nz (鉛直方向軸力)	○	○	互いに干渉する可能性あり
	Nzx (zx平面内せん断)	○	×	
	Qz (z方向面外せん断)	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

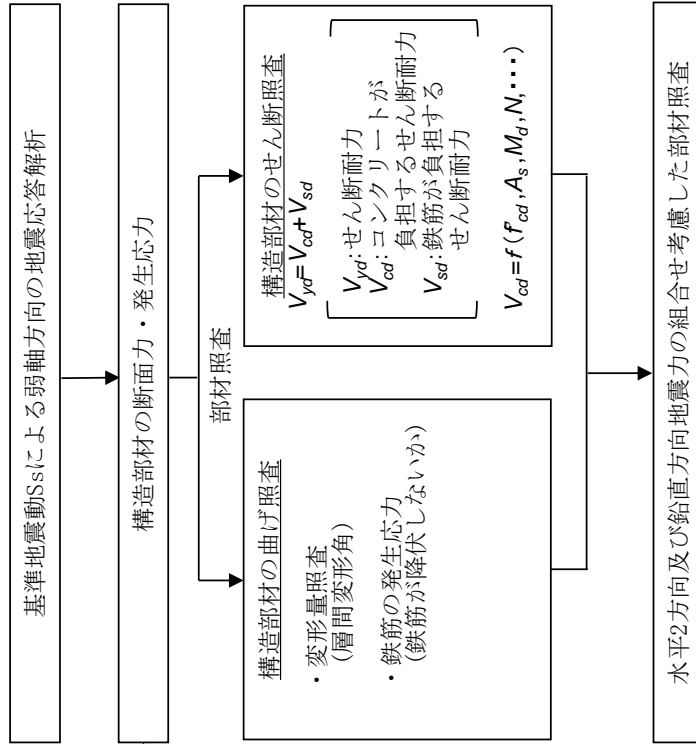
(○：発生する可能性あり，△：発生する可能性があるが極めて軽微，×：発生しない)

第 3.3.6-1 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 3.3.6-2 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) 線状構造物

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、対象構造物である屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部は、妻壁に相当する部位があり、3次元的な拘束効果が発生するため、従来設計では評価していない配力鉄筋への影響を確認する必要がある。

以上のことから、線状構造物のうち屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部の影響評価は箱型構造物と同様の方法で行い、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。

(3) 円筒状構造物

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、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、最大応答の非同時性を考慮したSRSS法又は米国 Regulatory Guide 1.92[※] の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考とした組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）に基づいて地震力を設定する。この組合せ方法については、現状の耐震評価は基本的小おむね弾性範囲でとどまる体系であることに加え、基本的に線形モデルにて実施している等類似している。

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。

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

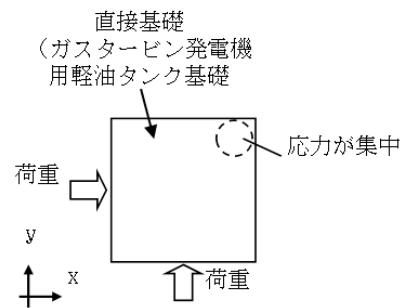
(4) 直接基礎

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、対象構造物であるガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、第3.3.6-3図に示すとおり、幅18m×奥行き18m、厚さ約1.4mの鉄筋コンクリート造の構造物であり、MMR（マンメイドロック）を介して岩盤に支持されている。

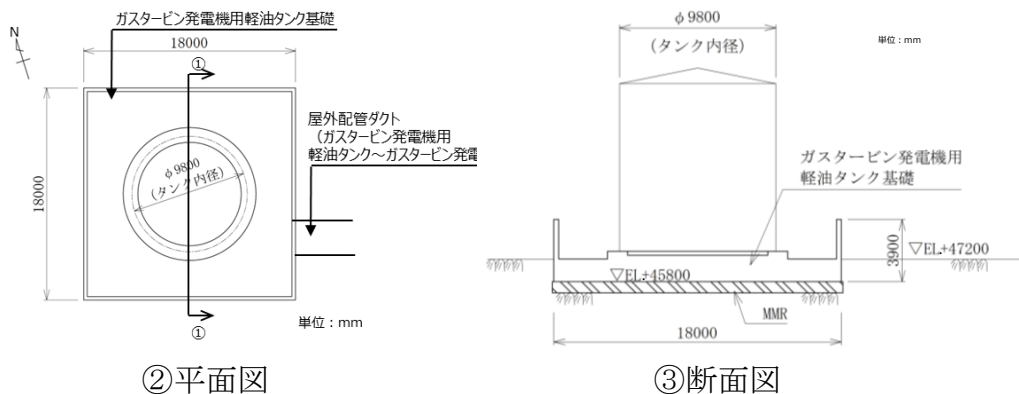
直接基礎（ガスタービン発電機用軽油タンク基礎）は、平面形状が正方形であり、水平2方向による応力集中が想定される構造的特徴を有している。

以上のことから、直接基礎の影響評価は箱型構造物と同様の方法で行い、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、水平1方向加振にて発生する応力を、直交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。



①直接基礎における応答特性



②平面図

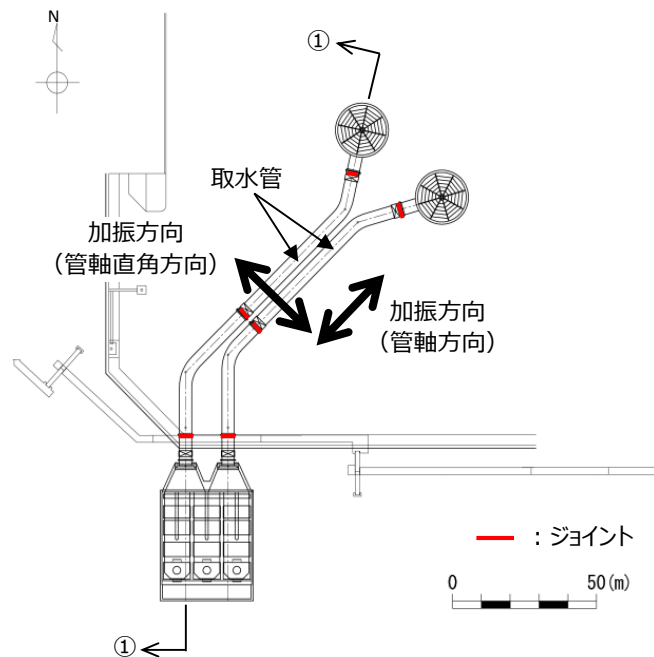
③断面図

第3.3.6-3図 島根2号炉のガスタービン発電機用軽油タンク基礎
平面図及び断面図

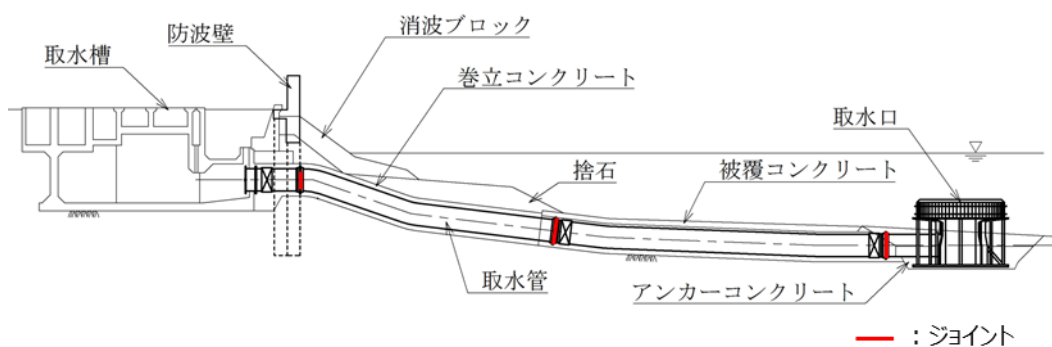
(5) 管路構造物

対象構造物である取水管は、第 3.3.6-4, 5 図に示すとおり、延長が長い構造であることから、従来設計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行っており、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を同時に作用させて評価を行っている。

以上のことから、取水管の水平 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 3.3.6-4 図 取水管 平面図



第 3.3.6-5 図 取水管縦断図 (①-①断面図)

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には、機器・配管系に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

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。

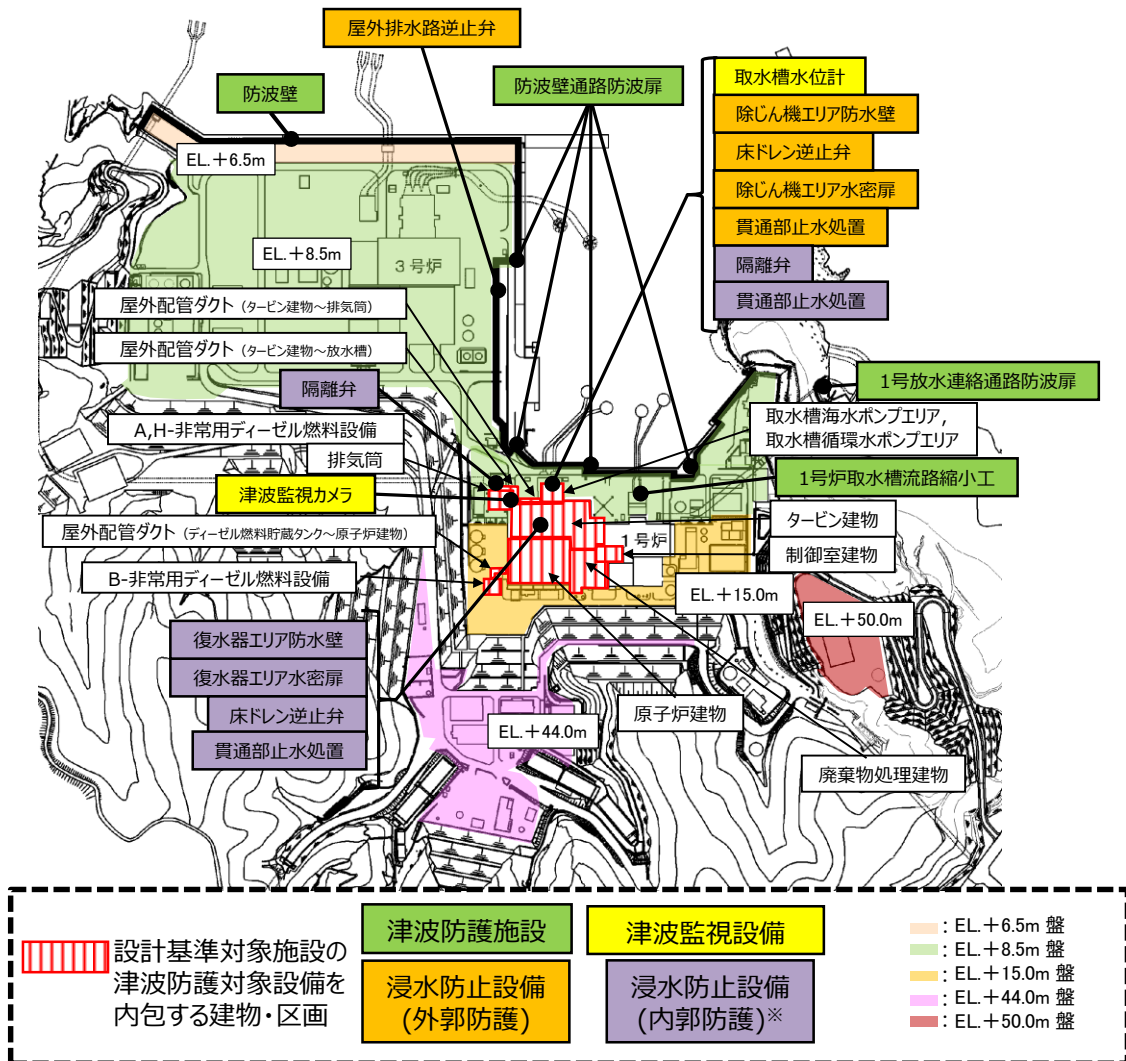
なお、屋外重要土木構造物等の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、地震応答解析結果から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位については検討対象として抽出する。

3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

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

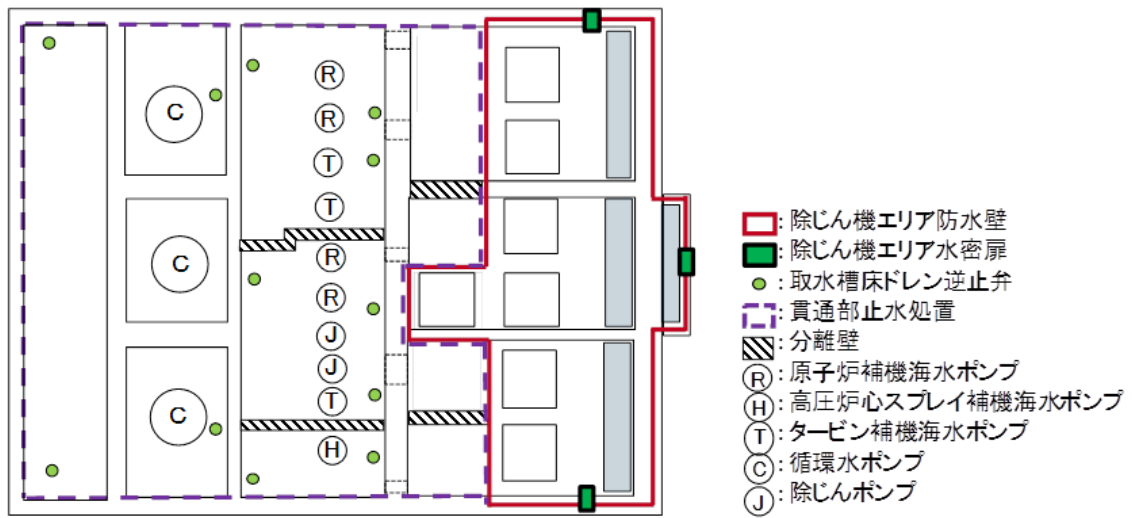
(1) 評価対象となる設備の整理

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する対象設備は，津波防護施設である防波壁，1号炉取水槽流路縮小工及び防波扉，浸水防止設備である床ドレン逆止弁，貫通部止水処置，屋外排水路逆止弁，水密扉，防水壁，立形ポンプ，横形ポンプ，配管及び隔離弁，津波監視設備である取水槽水位計及び津波監視カメラとする。各構造物の位置図を第3.4.1-1図及び第3.4.1-2図に示す。



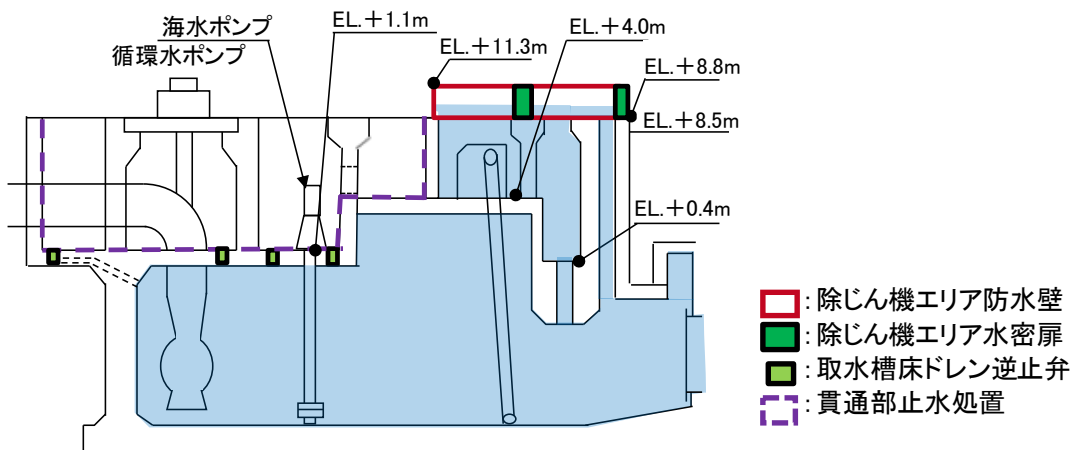
※ 基準地震動Ssによる地震力に対してバウンダリ機能保持のみを要求する機器・配管を除く

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



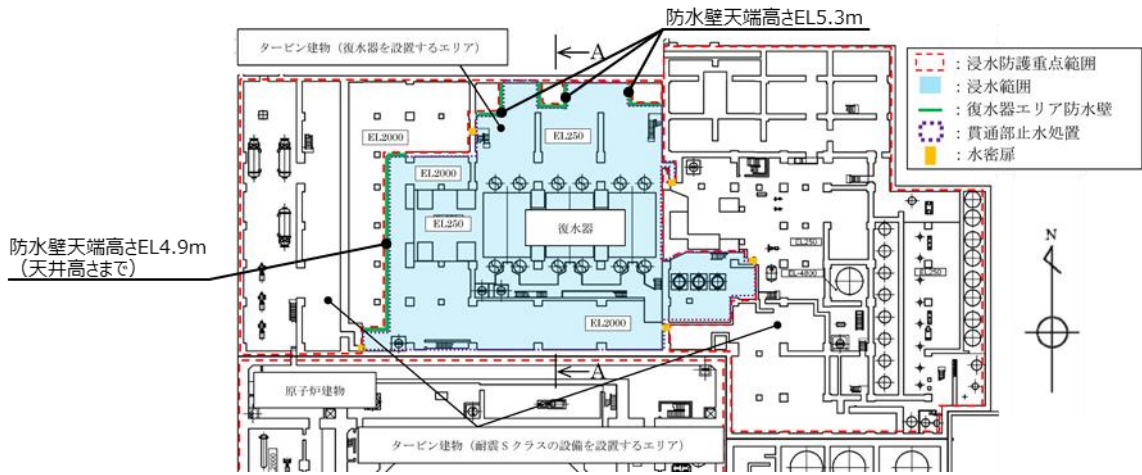
(取水槽平面図)

第 3. 4. 1-2 図 浸水防止設備位置図 (1/4)

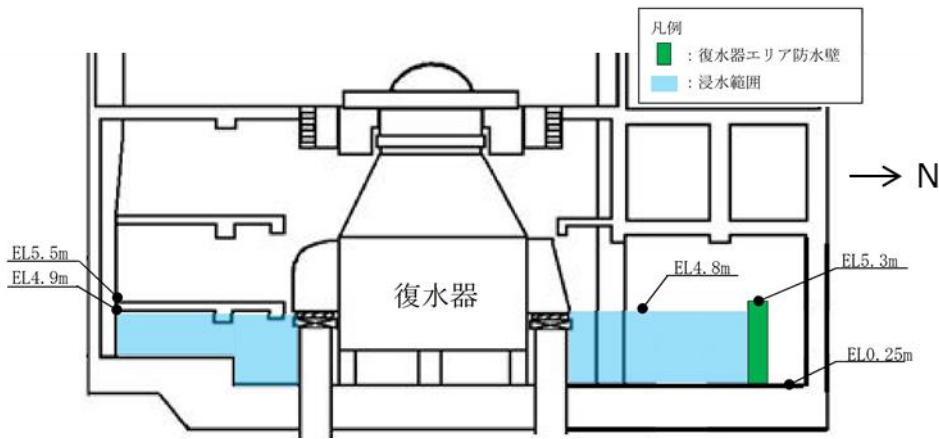


(取水槽断面図)

第 3. 4. 1-2 図 浸水防止設備位置図 (2/4)

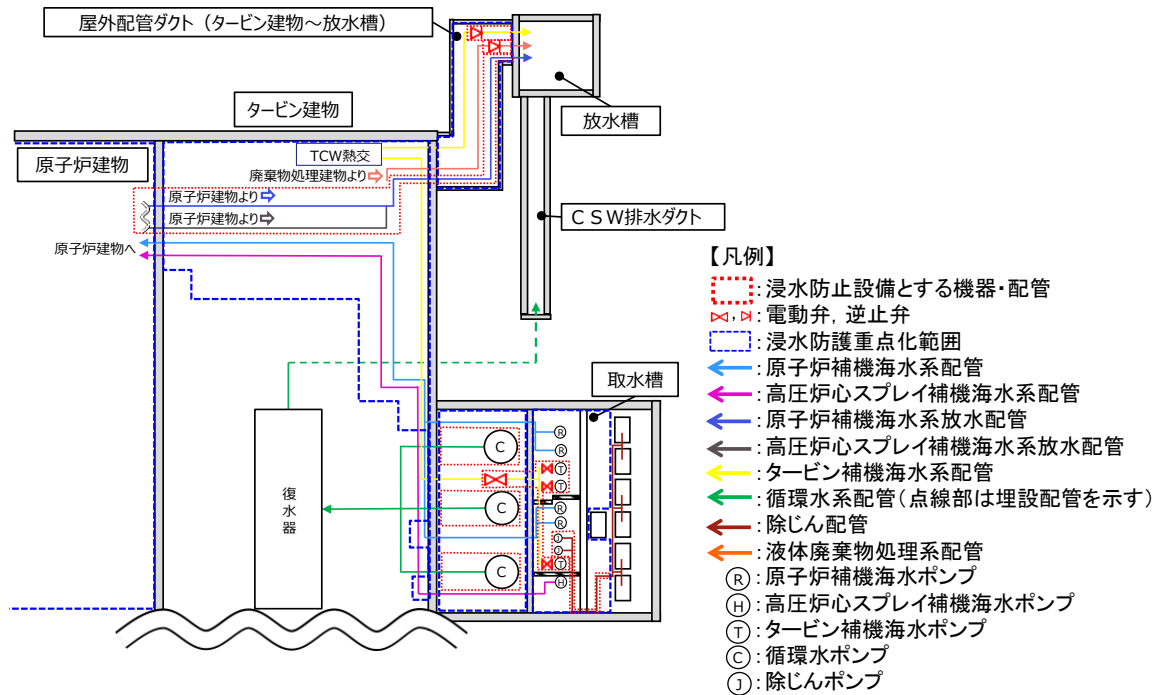


(タービン建物地下一階平面図)



(A-A断面)

第 3. 4. 1-2 図 浸水防止設備位置図 (3/4)



第 3.4.1-2 図 浸水防止設備位置図 (4/4)

(2) 評価対象物の抽出

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の分類を第 3.4.1-1 表に示す。評価対象構造物は、第 3.4.1-1 表に示すとおり、「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」に準じて設計されていることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、その方針に基づいて実施する。

なお、評価対象構造物の構造的な特徴を踏まえ、防波壁及び防水壁について、3.4.5 項以降に水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響を整理する。

第 3.4.1-1 表 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の分類

施設，設備分類	施設，設備名称	区分
津波防護施設	防波壁	「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については 3.4.5 項以降に整理する。
	1号炉取水槽流路縮小工	「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお，間接支持構造物の影響評価は，「3.3 屋外重要土木構造物等」又は津波防護施設の設計方針に基づく。
	防波扉	
浸水防止設備	防水壁	「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については 3.4.5 項以降に整理する。
	床ドレン逆止弁	「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお，間接支持構造物の影響評価は，「3.1 建物・構築物」，「3.3 屋外重要土木構造物等」又は津波防護施設の設計方針に基づく。
	貫通部止水処置	
	屋外排水路逆止弁	
	水密扉	
	立形ポンプ（タービン補機海水ポンプ，循環水ポンプ）	
	横形ポンプ（除じんポンプ）	
	配管 ^(注1)	
隔離弁 ^(注2)		
津波監視設備	取水槽水位計	「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお，間接支持構造物の影響評価は，「3.1 建物・構築物」，「3.3 屋外重要土木構造物等」又は津波防護施設の設計方針に基づく。
	津波監視カメラ	

(注1) 原子炉補機海水系，高圧炉心スプレイ補機海水系，循環水系，タービン補機海水系，除じん系及び液体廃棄物処理系

(注2) タービン補機海水ポンプ出口弁，タービン補機海水ポンプ第二出口弁，タービン補機海水系逆止弁及び液体廃棄物処理系逆止弁

※ 本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

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

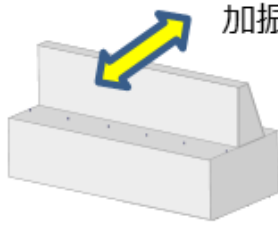
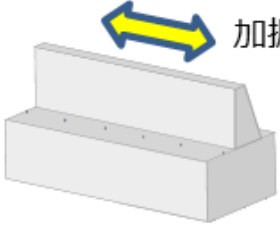
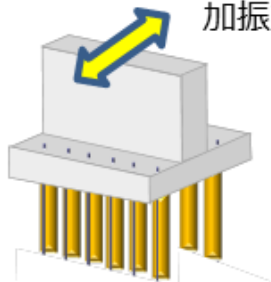
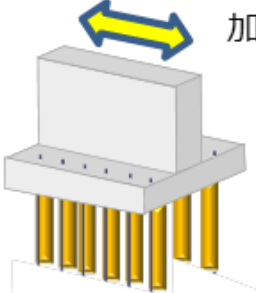
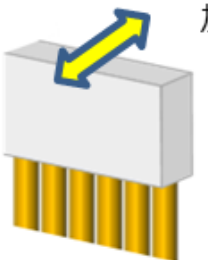
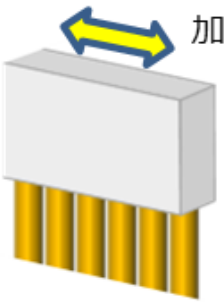
津波防護施設及び浸水防止設備における従来設計手法の考え方について、防波壁を例に第 3.4.2-1 表に示す。津波防護施設及び浸水防止設備は、地中構造物と地上構造物に分けられる。地上構造物は、躯体の慣性力や基礎部分に係る動土圧等の外力が主たる荷重となる。地中構造物については、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。地中構造物、地上構造物のうち、屋外重要土木構造物等同様、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有する線状構造物は、3次元的な応答の影響が小さいため、2次元断面での耐震評価を行っている。

線状構造物は、ほぼ同一の断面が長手方向に連続する構造的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 3.4.2-1 表に示すとおり、線状構造物に関する従来設計手法では、津波防護施設及び浸水防止設備の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、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 3.4.2-1 表 従来設計手法における評価対象断面の考え方
(防波壁の例)

	横断方向の加振	縦断方向の加振
波返重力擁壁	 <p>加振方向</p>	 <p>加振方向</p>
鋼管杭式逆丁擁壁	 <p>加振方向</p>	 <p>加振方向</p>
多重鋼管杭式擁壁	 <p>加振方向</p>	 <p>加振方向</p>
特徴	・加振方向に対する抵抗力が小さい。	・加振方向に同一構造が連続している。
	・横断方向は加振方向に対する抵抗力が小さく、弱軸方向にあたる。	・縦断方向は加振方向に同一構造が連続しており、強軸方向にあたる。
	・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。 ・弱軸方向を評価対象断面とする。	

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針

評価対象構造物において、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形式を抽出する。

抽出された構造形式については、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評価し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。

3.4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

評価対象構造物において、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3.4.4-1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

評価対象構造物について、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うえで、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組合せの影響により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組合せの影響評価

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するとともに構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

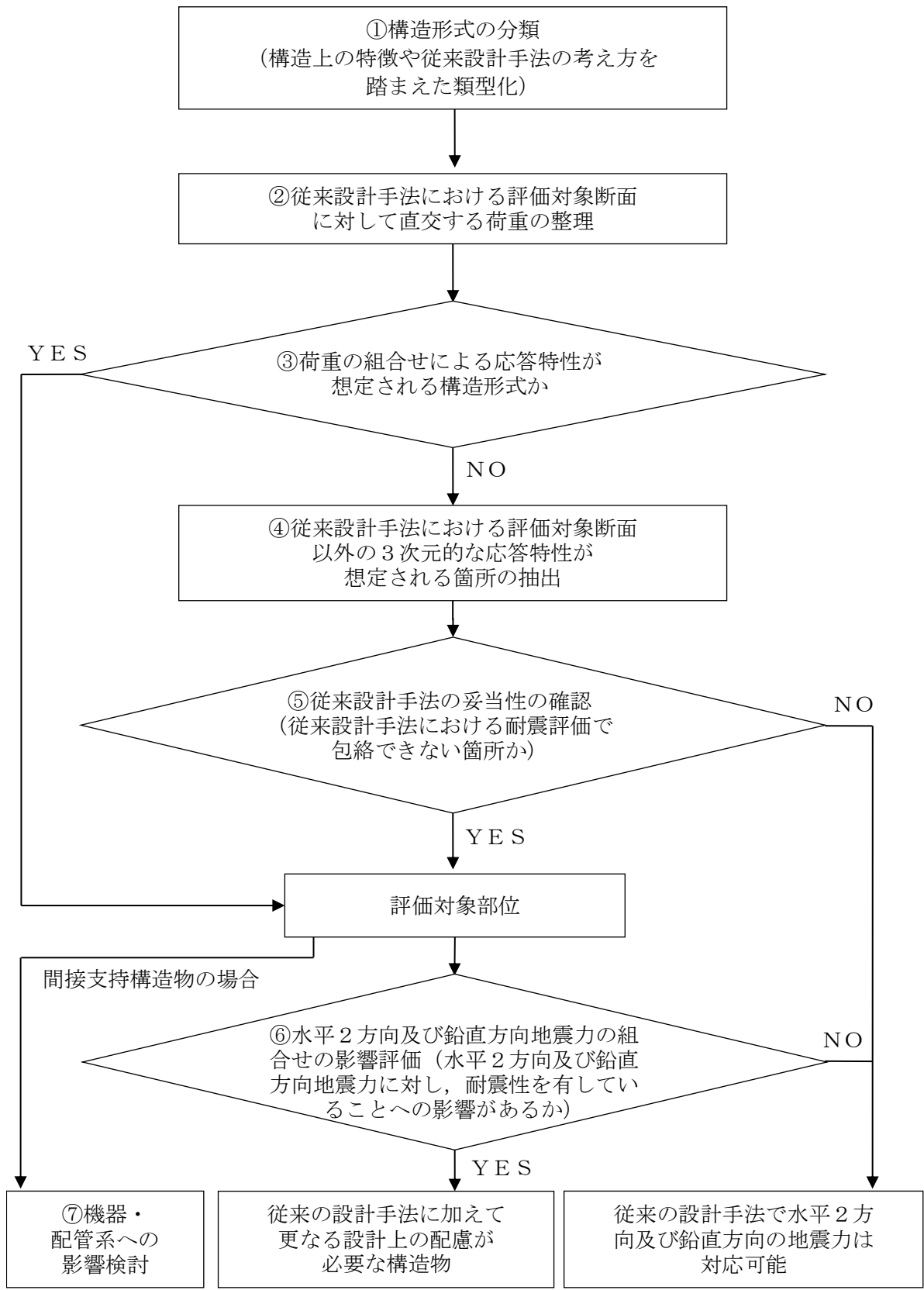
評価手法については、評価対象構造物の構造形式を考慮し選定する。

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には、機器・配管系に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

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、津波防護施設及び浸水防止設備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. 4-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価のフロー

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

(1) 構造形式の分類

評価対象構造物のうち防波壁、防波壁通路防波扉及び防水壁については、その構造形式により①防波壁（波返重力擁壁，鋼管杭式逆T擁壁，多重鋼管杭式擁壁）の上部工，防波壁（波返重力擁壁）の下部工及び防水壁のような同一断面が連続する線状構造物，②防波壁（鋼管杭式逆T擁壁，多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁連絡防波扉の下部工のような鋼管杭基礎の2つの構造形式に大別される。

(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3.4.5-1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 3.4.5-1 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
① 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	
② 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	
③ 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

3.4.5(1)で整理した構造形式ごとに3.4.5(2)で整理した荷重作用による影響程度を、各構造物の概略図と特徴を踏まえて以下に示す。

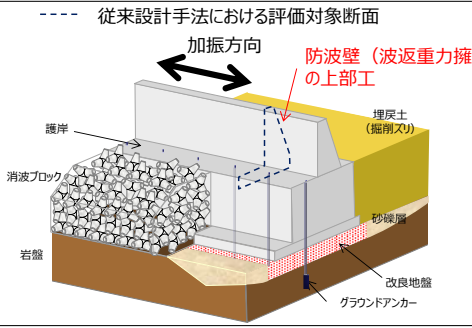
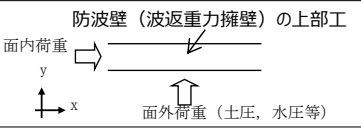
① 線状構造物

- ・防波壁（波返重力擁壁）の上部工

第3.4.5-2表に防波壁（波返重力擁壁）の上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の上部工は擁壁タイプの線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第3.4.5-2表 防波壁（波返重力擁壁）上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（波返重力擁壁）上部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	妻壁が土や水と接触していないため、動土圧及び動水圧は作用しない
		②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する
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（波返重力擁壁）の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

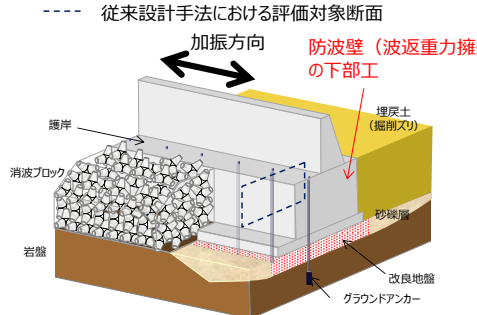

※ 本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

・防波壁（波返重力擁壁）の下部工

第 3.4.5-3 表に防波壁（波返重力擁壁）の下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の下部工は擁壁タイプの線状構造物であり，明確な弱軸・強軸を示し，強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さい。また，水平 2 方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられるが，強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第 3.4.5-3 表 防波壁（波返重力擁壁）下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（波返重力擁壁）下部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	妻壁が土や水と接触していないため，動土圧及び動水圧は作用しない
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（波返重力擁壁）の下部工には，左記に示すような水平 2 方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・下部工は強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

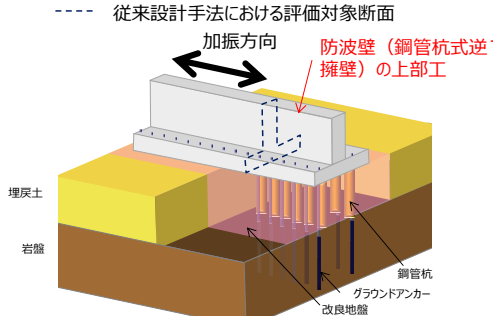

※ 本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工

第3.4.5-4表に防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工は擁壁タイプの線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第3.4.5-4表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）上部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）上部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況	 <p>--- 従来設計手法における評価対象断面 加振方向 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工 埋戻土 岩盤 鋼管杭 グラウンドアンカー 改良地盤</p>	①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	作用しない
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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	 <p>防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工 面内荷重 y x 面外荷重（土圧、水圧等）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

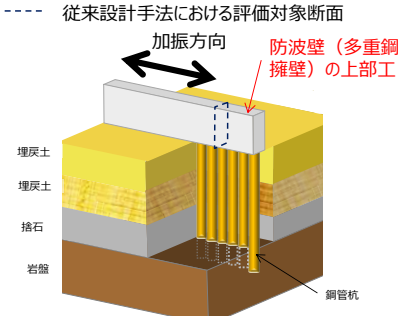
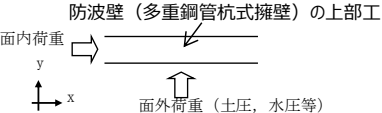
※ 本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

第 3. 4. 5-5 表に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は擁壁タイプの線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第 3. 4. 5-5 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）上部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁）上部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	作用しない
		②摩擦力	作用しない
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価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直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工には、左記に示すような水平 2 方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。 	
抽出結果	×		

※ 本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

・防水壁

第3.4.5-6表に防水壁の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防水壁は鋼板等で構成された線状構造物であり、明確な弱軸・強軸を示し、強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。

第3.4.5-6表 防水壁の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	①線状構造物（防水壁）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	作用しない
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	<p>・従来設計手法における評価対象断面に対して直角方向（強軸方向）に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p>		
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		<p>・防水壁には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・防水壁には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力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は小さい。</p>	
抽出結果	×		

※ 本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

② 鋼管杭基礎

- ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工

第3.4.5-7表に、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

鋼管杭基礎（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁））は、水平2方向入力による応力の集中が考えられる。

下部工では、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方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。

第3.4.5-7表 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）下部工の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	②鋼管杭基礎（防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）下部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用
		②摩擦力	主に胴体部に作用
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	・胴体部において、①動土圧及び動水圧による荷重、上部工からの荷重が作用するため影響の程度が大きい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工には、左記に示すような水平2方向入力による応力の集中が考えられる。 ・下部工では、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方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 	
抽出結果	○		

※ 本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

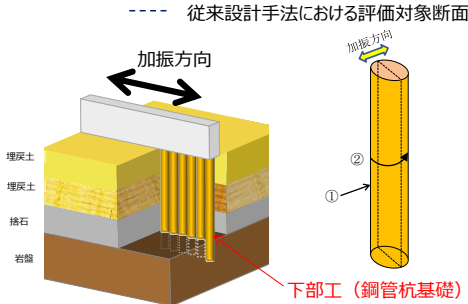
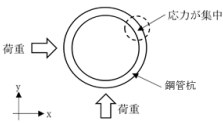
・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工

第 3.4.5-8 表に，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

鋼管杭基礎（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工）は，水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。

下部工では，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 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。

第 3.4.5-8 表 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	②鋼管杭基礎（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）下部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用
		②摩擦力	主に胴体部に作用
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	・胴体部において，①動土圧及び動水圧による荷重，上部工からの荷重が作用するため影響の程度が大きい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭基礎である防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工には，左記に示すような水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。 ・下部工では，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 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 	
抽出結果	○		

※ 本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

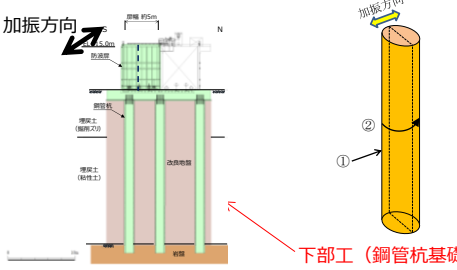
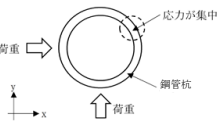
・防波壁通路防波扉の下部工

第 3. 4. 5-9 表に，防波壁通路防波扉の下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響程度を示す。

防波壁通路防波扉の下部工は，水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。

下部工では，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 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。

第 3. 4. 5-9 表 防波壁通路防波扉の下部工の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響

構造形式の分類	②鋼管杭基礎（防波壁連絡通路防波扉の下部工）		
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況		①動土圧及び動水圧	主に胴体部に作用
		②摩擦力	主に胴体部に作用
		③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度	・胴体部において，①動土圧及び動水圧による荷重，上部工からの荷重が作用するため影響の程度が大きい。		
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		<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭基礎である防波壁連絡通路防波扉の下部工には，左記に示すような水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。 ・下部工では，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 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 	
抽出結果	○		

※ 本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

以上のことから，荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として，鋼管杭基礎（防波壁（鋼管杭式逆 T 擁壁，多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁連絡防波扉の下部工）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)で抽出しなかった線状構造物として大別した防波壁（波返重力擁壁，鋼管杭式逆T擁壁，多重鋼管杭式擁壁）の上部工及び防波壁（波返重力擁壁）の下部工は，構造物の配置上，屈曲部や隅角部を有する。また，浸水防止設備のうち防水壁は隅角部を有する。

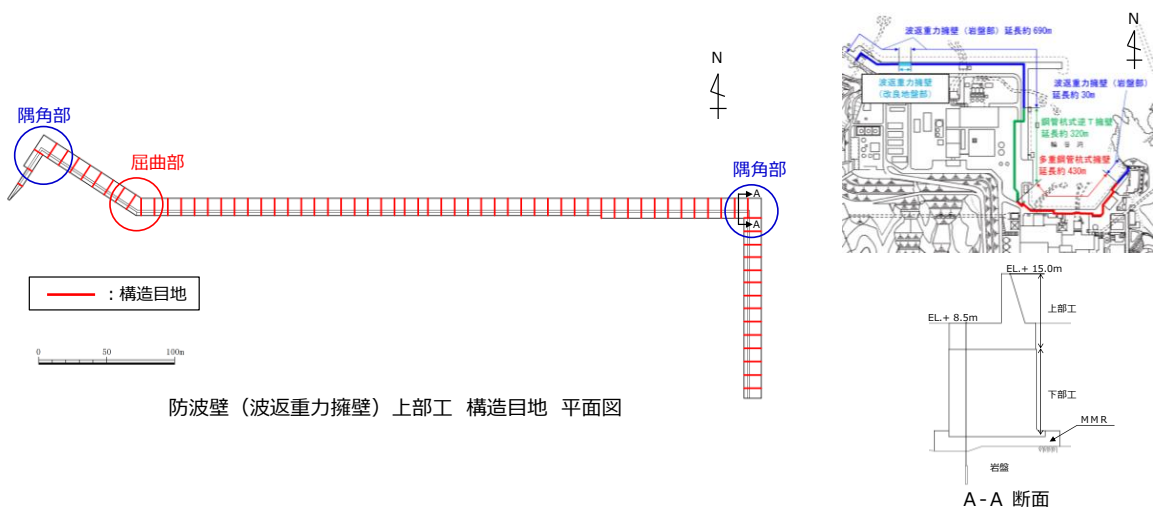
① 防波壁（波返重力擁壁）の上部工及び下部工

第3.4.5-1図に，防波壁（波返重力擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の上部工の屈曲部では，妻壁に相当する部位の面積が小さく，慣性力の影響も小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については，隅角部に構造目地を設けるため，独立した線状構造物が接しているのみであり，3次元的な応答特性は想定されず，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

また，防波壁（波返重力擁壁）の下部工の屈曲部や隅角部では，独立した線状構造物が接しているのみであり，3次元的な応答特性は想定されず，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。



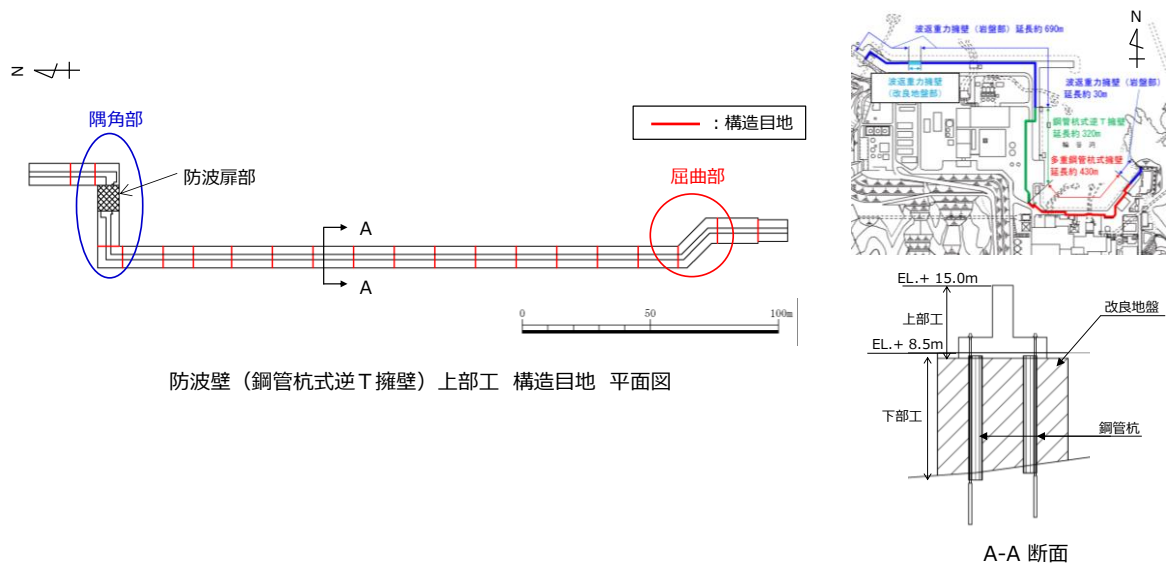
第3.4.5-1図 防波壁（波返重力擁壁）の構造目地（平面図）

② 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工

第 3.4.5-2 図に、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の上部工の屈曲部では、妻壁に相当する部位の面積が小さく、慣性力の影響も小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については、隅角部に施工時目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3次元的な応答特性は想定されず、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

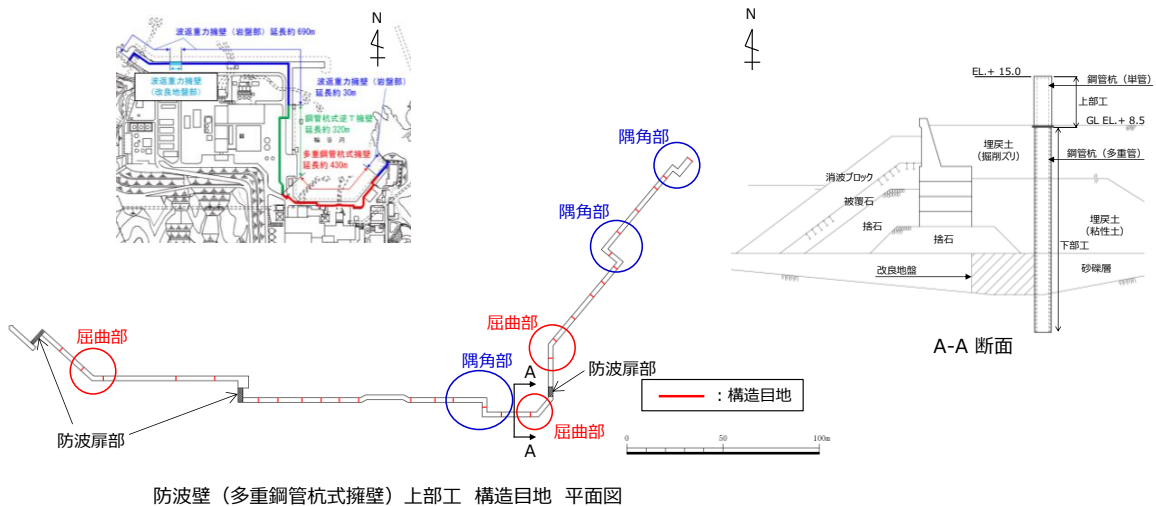


第 3.4.5-2 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の構造目地（平面図）

③ 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

第 3.4.5-3 図に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の屈曲部及び隅角部では、妻壁に相当する部位を有することから、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懸念される。



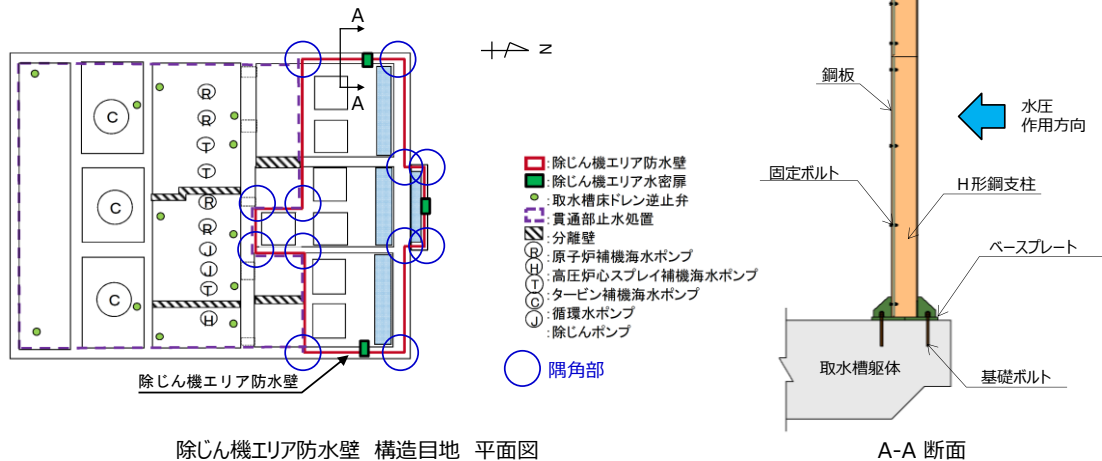
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）上部工 構造目地 平面図

第 3.4.5-3 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地（平面図）

④ 防水壁の隅角部

第3.4.5-4図に、除じん機エリア防水壁の平面図を示す。

防水壁の隅角部では、妻壁に相当する部位を有することから、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懸念される。



第3.4.5-4図 除じん機エリア防水壁の平面図

以上のことから、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の屈曲部及び隅角部並びに防水壁の隅角部について、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。

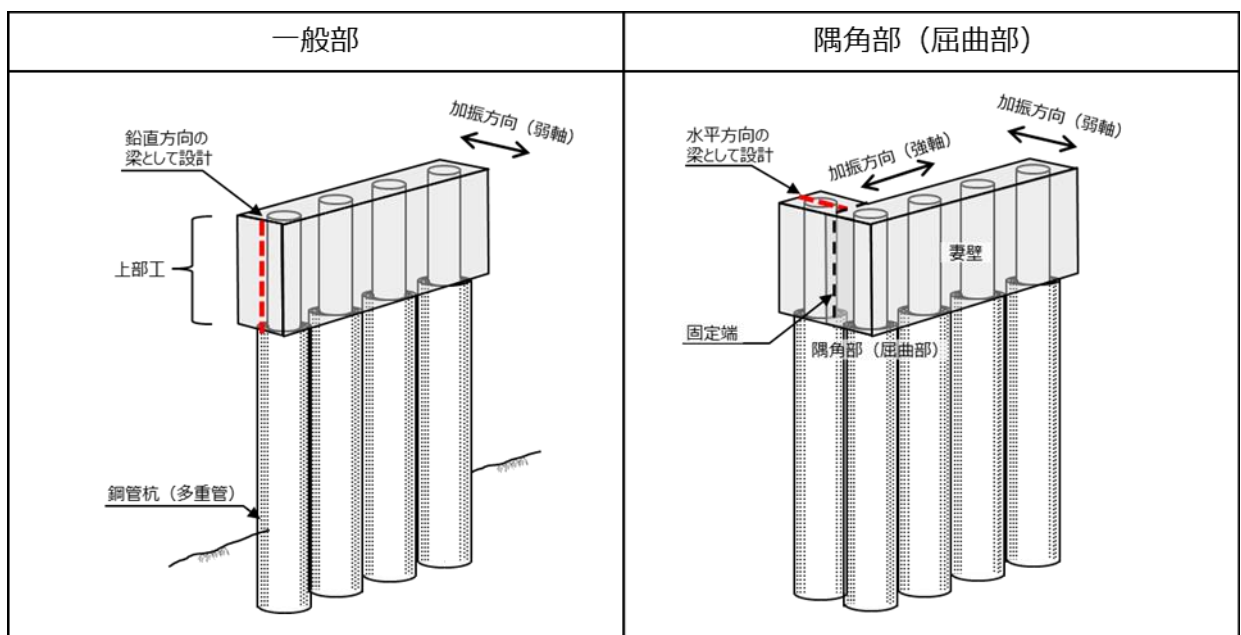
(5) 従来設計手法の妥当性の確認

①防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の屈曲部及び隅角部

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の従来設計において、第3.4.5-10表に示すとおり、一般部では、上部工が下部工と一体構造であることから、これを適切にモデル化し、上部工を鉛直方向の梁として設計する。屈曲部や隅角部では、妻壁側は一般部と同様に設計するが、妻壁と交差する壁は妻壁側を固定端とし、上部工が下部工と一体構造であることを適切にモデル化し、上部工を水平方向の梁として設計する。

したがって、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、本資料の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価においては対象外である。

第3.4.5-10表 防波壁上部工の一般部及び屈曲部・隅角部
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）)



②防水壁の隅角部

防水壁の設計において、一般部は防水壁を設置している基礎等を固定端とする鉛直方向の片持ち梁として設計するが、隅角部は基礎等と妻壁側を固定端とした設計となる。したがって、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。

3.4.6 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

3.4.5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、線状構造物のうち防水壁の隅角部及び鋼管杭基礎のうち防波壁（鋼管杭式逆T擁壁，多重鋼管杭式擁壁），防波壁連絡防波扉の下部工を抽出する。また，従来の設計手法で対応している構造物として，線状構造物のうち防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工があり，これについても詳細設計段階において水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

第3.4.6-1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 ^{注1} 中の対応番号
線状構造物	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工	従来設計
	防水壁の隅角部	⑤
鋼管杭基礎	防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の下部工	③
	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工	③
	防波壁通路防波扉の下部工	③

注1 第3.4.4-1図に示す影響評価フロー

※ 本表は，詳細設計段階において細部を変更する可能性がある

3.4.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価

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ついては、従来の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、評価対象断面に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく同時刻の地震時荷重等を適切に組み合わせることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

鋼管杭基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価の曲げ軸力照査の算定式の例として、第3.4.7-1図を示す。

$$R_{max} = \max\left(\frac{\sigma(t)_1}{\sigma_a}, \frac{\sigma(t)_2}{\sigma_a}\right)$$

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

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

$M(t)_{弱}$ ：時刻 t における弱軸断面方向の曲げモーメント

$M(t)_{強}$ ：時刻 t における強軸断面方向の曲げモーメント

$N(t)_{弱}$ ：時刻 t における弱軸断面の軸力

$N(t)_{強}$ ：時刻 t における強軸断面の軸力

Z ：鋼管杭の断面係数 A ：鋼管杭の断面積

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

第3.4.7-1図 鋼管杭基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価（曲げ軸力照査の算定式の例（東海第二））

3.4.8 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。

別紙 10－1 機器・配管系に関する説明資料

- ・第 1 表 構造強度評価
- ・第 2 表 動的/電氣的機能維持評価
- ・補足説明資料

第1表 構造強度評価

設備*	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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1.1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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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				
設備*1	上部同 下部同	一次一般脚応力	△	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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4】	①-1の影響有無の説明	○	-				
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	同上							
	炉心シユラウド	一次一般脚応力	△	同上				同上	×	-	
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	同上							
		座屈	△	同上							
		支圧応力	△	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。							
	シユラウドサポ- ト	レグ	一次一般脚応力	△				評価部位は円周配置であるため、水平地震の方向ごと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4】	同上	×	-
			一次一般脚応力+一次曲げ応力	△				同上			
		軸圧縮応力	△	同上							
		シリンド- ア- ト	一次一般脚応力	△				評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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4】			
一次一般脚応力+一次曲げ応力			△	同上							
上部格子板		グリッドプレート	一次一般脚応力	△	評価部位は格子構造であることから、水平地震の方向ごと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。	同上	×	-			
	一次一般脚応力+一次曲げ応力		△	同上							
炉心支持板	補強ビ-ム 支持板	一次一般脚応力	△	水平地震の方向ごと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。	同上	×	-				
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	同上							
	スタッド	一次一般脚応力	△	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。				同上	×	-	
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	同上							
中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般脚応力	△	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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4】	同上	×	-				
		一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	同上							

設備 ^{※1}	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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1.1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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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	
炉 心 造 物	制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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4】	×	—	
		円筒脚 下腕 スカーフトと円筒脚の接合部	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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4】	×	—	
	円筒脚 下腕及びスカーフト	一次一般応力	△	B	同上			
		一次一般応力+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			
		一次一般応力	△	B	同上			
		一次一般応力+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			
	原子炉 圧力 容器	ハウジング	軸圧縮応力	△	B	同上		
			一次一般応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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4】		
制御棒貫通孔		一次一般応力+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			
		一次一般応力	△	B	同上			
制御棒貫通孔	一次一般応力+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				
	軸圧縮応力	△	B	同上				

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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 水平方向とその他の直交方向が相関する振動モード(れこれれ振動等)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	
ノズル	各部位	一次一般応力	○	-	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。			
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	-	同上			
		一次+二次応力	○	-	同上		×	
		一次+二次+ピーク応力	○	-	同上			
原子炉圧力容器 ブラケット類	スタビライザーブラケット	一次一般応力	△	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つており、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ごと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】			
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	C	同上			
		一次一般応力	△	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ごとに考慮した評価を行っている。【補足説明資料2】		×	
	炉心スプレイブラケット	一次一般応力+一次曲げ応力	△	D	同上			
		一次一般応力	○	-	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。			×
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	-	同上			
	給水スパージャーブラケット	一次一般応力	○	-	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。			
一次一般応力+一次曲げ応力		○	-	同上				
一次一般応力		○	-	同上				
一次一般応力+一次曲げ応力		○	-	同上				
支持力構造機器 原子炉圧力容器基礎 bolt	基礎bolt	引張応力	△	C	boltは円周状に配置され、水平地震の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向地震における最大応力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8】			
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のbolt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力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8】		×	
		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*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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るといえるもの 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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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 新たな応力成分が 発生しないこと 理由
圧力容器支持構造物 原子炉本体の基礎	円筒部 (内筒) 円筒部 (外筒)	せん断応力	△	B	評価部位は円形の一樣断面であることから、水平地震の方向ごとに最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】		
		組合せ応力	△	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。したがって、水平2方向への入力の影響は軽微である。		
	円筒部 (たてリブ)	せん断応力	△	B	評価部位は円形の一樣断面であることから、水平地震の方向ごとに最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】		
		組合せ応力	△	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。したがって、水平2方向への入力の影響は軽微である。		
	CRD開口まわり (CRD開口はり)	せん断応力	△	B	評価部位は円形の一樣断面であることから、水平地震の方向ごとに最大応力点が変わる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】		
		曲げ応力	△	B	同上		×
	基部アソカ部 (基礎ボルト)	引張応力	△	C	ボルトは円筒状に配置され、水平地震の方向ごとに最大応力の発生点異なる。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向の地震における最大応力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8】		
		曲げ応力	△	C	ボルトは円筒状に配置され、水平地震の方向ごとに最大応力の発生点異なる。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向の地震における最大応力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8】		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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	
原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	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つているため、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ごとにその地震荷重は分担される。【補足説明資料1】			
	ブラケット	せん断応力 曲げ応力	△ △	C C	同上 同上	×	—	
原子炉圧力容器付属構造物	パイプ	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つているため、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ごとにその地震荷重は分担される。【補足説明資料1】			
		せん断応力	△	C	同上			
		圧縮応力	△	C	同上			
		曲げ応力	△	C	同上			
	フランジボルト ガセットプレート	組合せ応力		△	C	同上	×	—
		引張応力		△	C	同上		
		せん断応力		△	C	同上		
		曲げ応力		△	C	同上		
		組合せ応力		△	C	同上		
				△	C	同上		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響なし △：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、構造上真担しないもの 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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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 理由 新たな応力成分が発生しないこと 理由	
原 子 炉 圧 力 容 器 付 属 構 造 物	制御機駆動機軸へ ウジンギン支持金具	曲げ応力	△	B	水平方向地震力が作用する際に、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。			
		引張応力	△	B	水平方向地震力が作用する際に、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。	×	-	
	ジェットポンプ計 測配管貫通部シール	せん断応力	△	B	同上			
		組合せ応力	△	B	同上			
		一次一般応力	○	-	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力を使用しており、接続配管において地震入力方向に作用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。	×	-	
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	-	同上			
	差圧検出・ほう酸 水注入系配管 (テイラーよりN11ノズルまでの水管)	一次一般応力	○	-	3次元的に配置されているため、水平それぞれ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。			
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	-	同上			
		一次+二次応力	○	-	同上			
		一次+二次+ピーク応力	○	-	同上			
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。			
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	C	同上	×	-	
	耐震用ブロック	繰せん断応力	△	D	水平2方向入力時の地震力を4つの耐震用ブロックのうち2つで分担した荷重を方向ごとに考慮した評価を行っている。【補足説明資料2】			

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(なれど(2)に対応) (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
設備*1	気水分離器及びスタンドパイプ 原子炉中性子計装案内管	一次一般断応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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4】	×	—
		一次一般断応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
	スバー ज्या 炉内配管	一次一般断応力	○	—	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。	○	
		一次一般断応力+一次曲げ応力	○	—	同上		
	ジェットポンプ	一次一般断応力	○	—	非対象構造であるため3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	
		一次一般断応力+一次曲げ応力	○	—	同上		
使用済燃料貯蔵ラック	ライザ アイフューザ ライザブレース	引張応力	○	—	水平それぞれ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。	○	
		せん断応力	○	—	同上		
		組合せ応力	○	—	同上		
	ラック部材 シートプレート及びベース	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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7】	○	
		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7】	×	
		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。		
使用済燃料貯蔵ラック	ラック取付ボルト 基礎ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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7】	○	
		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7】	×	
		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※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上負担しないもの 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 水平方向とその他の直交方向が相関する振動モード(れいわれ振動等)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 新たな応力成分が発生しないこと 理由
設備※1 鋼鉄・破損燃料貯蔵 ラック	ラック部材	引張応力	○	—	水平2方向の地震力を受けた場合、最大応力発生箇所は異なるものの、田形柱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。		
		せん断応力	○	—	同上		
		組合せ応力	○	—	同上		
	サポータ部材	引張応力	△	C	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方向の地震力が作用した場合においても水平1方向の応答が支配的となる。【補足説明資料3】		
		せん断応力	△	A	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構造となっている。したがって、水平2方向入力の影響はない。【補足説明資料3】		
		組合せ応力	△	C	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方向の地震力が作用した場合においても水平1方向の応答が支配的となる。【補足説明資料3】		
	底部基礎ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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7】		
		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7】		
		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。		
	サポータ部基礎ボルト	引張応力	△	C	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方向の地震力が作用した場合においても水平1方向の応答が支配的となる。【補足説明資料3】		
		せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直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。		
		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。		
アキュムレータ	脚板 脚	一次一般断力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		一次一般断力+一次曲げ応力	○	—	同上		
		一次+二次応力	○	—	同上		
		組合せ応力	○	—	同上		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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るといえるもの 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
設備※1 たて置円筒形容器 (ラグ支持)	脚版	一次一般断応力	△	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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る場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	①-1の影響有無の説明	×	-
		一次一般断応力+一次曲げ応力	△	同上			
		一次+二次応力	△	同上			
	ラグ	組合せ応力	△	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	△	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	△	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、荷重の重ね合わせは発生せず、影響は軽微である。			
	基礎ボルト	組合せ応力	△	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。			
		一次一般断応力	△	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向ごと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る場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】			
		引張応力	△	ボルトは円筒状に配置され、水平地震の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。水平2方向の入力を想定した場合にも水平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8】			
		せん断応力	△	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8】			
立形ポンプ	基礎ボルト 取付ボルト	組合せ応力	△	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。			
		一次一般断応力	△	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。			
		一次一般断応力+一次曲げ応力	△	水平2方向の影響は軽微である。			
ECCストレーナ	全ディスクセットの多孔プレート ディスクセット間の円筒形多孔プレート リブ コンプレッションプレート フィンガ ストラップ フランジ	一次一般断応力	△	ボルトは短形配座であり、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7】			
		引張応力	△	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7】			
構形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補給海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット	基礎ボルト 取付ボルト	せん断応力	△	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。			
		組合せ応力	△	同上			
		組合せ応力	△	同上			

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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るといえるもの 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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(れじれ振動等)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有無 ×：発生しない ○：発生する	上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
設備*1 横置円筒形容器	脚板	一次一般応力	△	A	①-1の影響有無の説明 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ため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。【補足説明資料6】	○	-
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	A			
		一次+二次応力	△	A			
	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ため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。【補足説明資料6】	×	-
		引張応力	△	A			
		せん断応力	△	C			
		組合せ応力	△	C			
	基礎ボルト	一次一般応力	△	B	評価部位は円形の断面であることから、水平地震の方向ごと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る場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	-	-
		一次+二次応力	△	B			
		組合せ応力	△	B			
たて置円筒形容器 (スカート支持)	脚板	一次一般応力	△	A	①-1の影響有無の説明 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ため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。【補足説明資料6】	×	-
		一次+二次応力	△	A			
		組合せ応力	△	A			
	スカート	座屈	△	B	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8】	-	-
		引張応力	△	C			
		せん断応力	△	C			
		組合せ応力	△	C			

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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	上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
水圧制御ユニット	フレーム	引張応力	○	-	非対称構造であるため3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。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。
		せん断応力	○	-	同上		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
		引張応力	○	-	評価においてフレームの応答を使用しており、フレーム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。		
平底たて置円筒形容器	脚版 基礎ボルト 取付ボルト	一次一般脚応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごとに最大応力が異なる。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4】	×	-
		一次+二次	△	B	同上		
		引張応力	△	C	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向ごとに最大応力が異なる。水平2方向の入力を想定した場合にも水平2方向の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8】		
		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8】		
		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。		
		一次一般脚応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごとに最大応力が異なる。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4】		
核計測装置	各部位	一次一般脚応力+一次曲げ応力	△	B	同上	×	-

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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るといえるもの 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
伝送器 (矩形床置)	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7】		
		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7】	×	—
		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。		
伝送器 (矩形壁掛)	取付ボルト	引張応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直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。	×	—
		組合せ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
制御盤、電気盤 (矩形床置)	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7】		
		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7】	×	—
		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。		
制御盤、電気盤 (矩形壁掛)	取付ボルト	引張応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直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。	×	—
		組合せ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
モニタリング設備 (矩形床置)	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7】		
		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7】	×	—
		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*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上負担しないもの 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
モニタリング設備 (矩形壁掛)	取付ボルト	引張応力	○	－	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直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。	×	－
		組合せ応力	○	－	水平2方向入力の影響がある。		
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごと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4】		
原子炉格納容器	ドライウエル	一次+二次応力	△	B	同上		
		一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごと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4】	×	－
		一次+二次応力	△	B	同上		
		一次一般応力	△	B	同上		
	円筒部	一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごと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4】		
		一次+二次応力	△	B	同上		
	基部	一次一般応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごと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4】		
		一次+二次応力	△	B	同上		
		せん断	△	B	同上		
		一次一般応力	○	－	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。		
サブレンジョン チェンバ	各部位	一次一般応力+一次曲げ応力	○	－	同上		
		一次+二次応力	○	－	同上		
		一次一般応力	○	－	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。		
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	－	同上		
ベント管	ヘッド接続部 ベント管円筒部 ベント管とドライウエルとの接合部	一次一般応力+一次曲げ応力	○	－	同上		
		一次+二次応力	○	－	同上		
3次元モデルを用いた解析により、従来よりねじれた振動モードを考慮した評価を実施している。	○						3次元モデルを用いた解析により、従来よりねじれた振動モードを考慮した評価を実施している。

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、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	
原子 炉 格 納 器	評価部位 サポ ート ベ ース と ベ ー ス ブ レ ー ト の 接 合 部	引張応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
		せん断応力	○	-	同上			
		圧縮応力	○	-	同上			
		曲げ応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	同上			
		せん断応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
	評価部位 シ ア キ ー	支圧圧力	○	-	同上		×	-
		せん断応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
		曲げ応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	同上			
		圧縮応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
		引張応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上負担しないもの 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の影響の有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(れじれ振動等)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
シヤラダ	内側メイルシヤラダ 外側メイルシヤラダ 内側フイメイルシヤラダ 外側フイメイルシヤラダ	せん断応力	△	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おり、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、方向ごとにその地震荷重は分散される。【補足説明資料1】		
		曲げ応力	△	C	同上		
		組合せ応力	△	C	同上		
	基礎ボルト	支圧圧力	△	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おり、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、方向ごとにその地震荷重は分散される。【補足説明資料1】		
		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おり、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、方向ごとにその地震荷重は分散される。【補足説明資料1】		
		せん断応力	△	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おり、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、方向ごとにその地震荷重は分散される。【補足説明資料1】	×	-
	ベーンズプレート シヤブプレート	曲げ応力	△	C	同上		
		組合せ応力	△	C	同上		
		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おり、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、方向ごとにその地震荷重は分散される。【補足説明資料1】		
	シヤラダ取付部	圧縮応力	△	C	同上		
		一次一般応力+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おり、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合には、方向ごとにその地震荷重は分散される。【補足説明資料1】		
		一次+二次応力	△	C	同上		
ハッチ類	ハッチ円筒胴	一次一般応力	○	-	評価部位は水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向の入力の影響がある。		
		一次一般応力+一次曲げ応力	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次一般応力+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ごとに異なる。したがって、水平2方向の入力の影響がある。	×	-
	ハッチ本体と補強板との結合部	一次+二次応力	○	-	同上		

原子炉格納容器

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上負担しないもの 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1方向の地震による応力と同等 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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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	上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
原子炉格納容器配管貫通部	原子炉格納容器間とスリーブとの取付部	一次膨張力+一次曲げ応力	○	-	評価においては3次元的に配管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交方向の応答が生じるため、水平2方向入力方向の影響がある。	×	-
		一次+二次応力	○	-	同上		
原子炉格納容器気配線貫通部	原子炉格納容器間とスリーブとの取付部	一次膨張力+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ごとに異なる。したがって、水平2方向入力方向の影響がある。	×	-
		一次+二次応力	○	-	同上		
ダウンカメラ	ダウンカメラ	一次一般膨張力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力方向の影響がある。		
		一次応力 (曲げ応力を含む)	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次+二次+ピーク応力	○	-	同上		
		一次一般膨張力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力方向の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれた評価を実施している。
ベントヘッド	ベントヘッドとダウンカメラの結合部	一次一般膨張力+一次曲げ応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力方向の影響がある。		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次一般膨張力+一次曲げ応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力方向の影響がある。		
		一次+二次応力	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
ベントヘッド	ベントヘッド強め輪取付部	引張応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力方向の影響がある。		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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1.1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	
ペントヘッド	強め輪	引張応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
		せん断応力	○	-	同上			
		圧縮応力	○	-	同上			
		曲げ応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	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評価値を実施している。
		せん断応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
ドライウエルスブレイ管 サブレイ管とスプレイ管 スプレイ管	ピン	曲げ応力	○	-	同上			
		せん断応力	○	-	同上			
		圧縮応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	同上			
		一次一般応力+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ごとに異なる。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評価値を実施している。
		一次+二次応力	○	-	同上			
可燃性ガス濃度制御系再 結合装置フロウ	ベース ベース取付溶接部	圧縮応力	△	A	ベースはプロロ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。そのためアプレシスが受け持つ荷重が評価対象としていない軸方向の転倒モードのみと考えられ、軸直方向の水圧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。			
		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	ボルトは短形配置であり、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7】		×	
		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7】		×	
		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	ボルトは短形配置であり、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7】			
ディーゼル発電機	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、影響は軽微である。【補足説明資料7】		×	
		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※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上より水平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方向の地震力も1方向の地震力と同程度と見なせるもの 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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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理由
ガスタービン発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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7】		
		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方向地震力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7】	×	—
		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。		
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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7】		
		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方向地震力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7】	×	—
		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。		
配管、サポート	配管、サポート	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	○	
		各応力分類	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
矩形構造の架構設備(静的解析) 静的解析式水素処理装置、 架台を含む	各部位	引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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7】		
		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方向地震力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7】	×	—
		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。		
通信連絡設備(アンテナ類)(矩形床置)	各部位	引張応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直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。	×	—
		組合せ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
1号炉取水槽流路縮小工	各部位	各応力分類	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
		引張応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
		せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直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。	×	—
防波扉 水密扉	各部位	各応力分類	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、軸軸と弱軸の関係が明確であり、鉛直方向に変形するのではなく、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。【補足説明資料6】	×	—
		引張応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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1.1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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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	上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
床トレン逆止弁	基礎ボルト	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方向入力の影響はない。		
		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7】	×	
		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。		
貫通部止水処置	モルタル	せん断荷重	△	C	対象となる貫通部は建物軸に沿った配置となっていることから、せん断荷重及び圧縮荷重は、水平1方向の地震力による荷重が支配的であり、他の水平方向の地震力による荷重は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	
		圧縮荷重	△	C	同上		
		引張応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
屋外排水路逆止弁	基礎ボルト	せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直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。	×	
		組合せ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
		引張応力	△	C	ボルトは短形配置であり、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7】		
取水槽水位計	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、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	
		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	ボルトは短形配置であり、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7】		
津波監視カメラ	据付ボルト	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、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	
		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	ボルトは短形配置であり、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7】		

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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るといえるもの 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 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(それぞれ振動等)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
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリーディング脱線防止ラック(本体) トロリ脱線防止ラック(本体) 走行レール 横行レール	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、方向ごとに発生応力が異なる。【補足説明資料5】	○	-
		曲げ応力	△	A	同上		
		組合せ応力	△	A	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、方向ごとに発生応力が異なる。【補足説明資料3】		
原子炉建物天井クレーン	吊具 クレーン本体ガード 落下防止ラック トロリストップ	吊荷重	△	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た評価を実施している。		
		曲げ応力	△	D	同上		
		浮上り量	△	D	同上		
ガンマ線遮蔽壁	胴基部 開口真中部	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、方向ごとに発生応力が異なる。【補足説明資料4】	○	-
		曲げ応力	△	D	同上		
		組合せ応力	△	D	同上		
		浮上り量	△	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。		
ガンマ線遮蔽壁	胴基部 開口真中部	せん断応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごと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4】	×	-
		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方向入力の影響は軽微である。		
		曲げ応力	△	B	評価部位は円形の縦断面であることから、水平地震の方向ごと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4】		
		組合せ応力	△	B	同上		

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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1方向の地震といえるもの 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	
制御棒貯蔵ハンガ	サポート	引張応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
		せん断応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	同上			
	振上め部	引張応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。		○	
		せん断応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	同上			
基礎ボルト	基礎ボルト	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、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。【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7】	×	-	
	ガイドレール	せん断応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
		曲げ応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	同上			
		せん断応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。		○	
チャンネル着脱装置	カート	曲げ応力	○	-	同上			
		組合せ応力	○	-	同上			
		せん断応力	○	-	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。			
	固定ボルト	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、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。【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7】	×	-	
		吊荷重	△	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方向入力の影響はない。	×	-	

設備*1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上より最大応力の発生箇所が異なるもの 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方向の地震力を受けた場合、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	①-1の影響有無の説明	①-2 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 (3.2.4項(2)に対応)	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	
								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
設備*1	各部位	各応力分類	○	—	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、ねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。	
		引張応力	△	C	ポルトは短形配置であり、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7】	×	—	
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のポ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7】	×	—	
		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。	×	—	
チャンネル取扱ブーム	各部位	各応力分類	○	—	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、ねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。	
		一次応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。	○	—	
		せん断応力	○	—	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	—	
		曲げ応力	○	—	同上	同上	○	—
		組合せ応力	○	—	同上	同上	○	—
		せん断応力	○	—	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	—	
		曲げ応力	○	—	同上	同上	○	—
		浮上り量	○	—	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差動が異なるため、方向ごと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】	○	—	
		曲げ応力	△	A	同上	同上	○	—
		組合せ応力	△	A	同上	同上	○	—
		取水槽ガントリクレーン	走行レール 横行レール	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差動が異なるため、方向ごと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3】	○
曲げ応力	△			A	同上	同上	○	—
組合せ応力	△			A	同上	同上	○	—
せん断応力	△			A	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。	○	—	
曲げ応力	△			A	同上	同上	○	—
組合せ応力	△			A	同上	同上	○	—
浮上り量	○			—	3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向ごとに異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。	○	—	
吊荷重	△			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方向入力の影響はない。	○	—	

設備※1	評価部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無 (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、構造上真担しないもの 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	上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	
除じん機	各部位	各応力分類	○	—	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、ねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。	
	本体	曲げモーメント	△	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。	×	—	
		せん断応力	△	C		×		
支持部	圧縮力	△	C	同上	×	—		
取水槽循環水ポンプエリア 電巻防護対策設備	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		
		組合せ応力	△	C		同上		
		せん断応力	△	C		水平2方向入力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力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7】		
取水槽海水ポンプエリア 電巻防護対策設備	各部位	各応力分類	△	A	水平2方向が同時に作用した場合には、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、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。【補足説明資料6】	×	—	
		各部位	各応力分類	△		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、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。【補足説明資料6】
		各部位	各応力分類	△		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、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。【補足説明資料6】
耐火障壁	各部位	各応力分類	△	A	水平2方向が同時に作用した場合には、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、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。【補足説明資料6】	×	—	
建物開口部電巻防護対策 設備	各部位	各応力分類	△	A	水平2方向が同時に作用した場合には、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、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。【補足説明資料6】	×	—	

※1：本表は、詳細設計段階において細部を変更する可能性がある。

第2表 動的/電氣的機能維持評価

機種	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無(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	①-10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無いこと 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	現行の機能確認試験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	現行の機能確認試験速度における詳細評価 [※] で最弱部である弁箱(主蒸気止め弁ヨーク部(立置き))に対して、水平2方向入力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	最弱部であるフレームに対して、現行の機能維持確認試験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。	×	-
横形機器用電動機	△	D	最弱部である軸受に対して、現行の機能維持確認試験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	現行の機能確認試験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(機関本体)	△	A	現行の機能確認試験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、IEA04601に記載の機能維持確認試験速度は1.8Gであるが、旧JNES試験より46まで機能維持を確認しているため、2方向合成加速度が46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試験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。	×	-
制御盤、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、基本的には全ての梁、扉等の強度部材に強化されているため、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。【補足説明資料9】	×	-
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の挿入試験結果において、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方向入力に対して共振点はないものと考えられる。よって、X、Y2方向入力の影響は軽微である。	×	-
取水槽水位計	△	A	挿入試験結果において、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。よって、X、Y2方向入力に対して共振点はないものと考えられる。よって、X、Y2方向入力の影響は軽微である。	×	-
津波監視カメラ	△	A	挿入試験結果において、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。よって、X、Y2方向入力に対して共振点はないものと考えられる。よって、X、Y2方向入力の影響は軽微である。	×	-

機種	①-1 水平2方向の地震力の重畳による影響の有無(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	①-10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無いこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
ガスタービン発電機 (機関本体, 減速機)	△	A	①-10の影響有無の説明 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。	×	—
ガスタービン発電機 (燃料制御ユニット)	○	—	燃料制御ユニットについては、水平2方向合成による応答増加の影響がある。	×	—
通信連絡設備 (アンテナ類)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—

※：J E A G 4 6 0 1 で定められた評価部位の裕度評価

別紙 10－1 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，原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグ）
2. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ドライヤ支持ブラケット）
3. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）
4. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）
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（応答軸が明確である設備）
7. 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）
8. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円周配置されたボルト）
9. 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，原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグ）

1.1 はじめに

本項は，原子炉压力容器スタビライザ（以下「R P Vスタビライザ」という。）（第1-1図），原子炉格納容器スタビライザ（以下「P C Vスタビライザ」という。）（第1-2図）及びシヤラグ（第1-3図）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。

R P Vスタビライザ，P C Vスタビライザ及びシヤラグは，地震時の水平方向荷重を周方向45°間隔の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，R P Vスタビライザを代表に記載する。

1.2 現行評価の手法

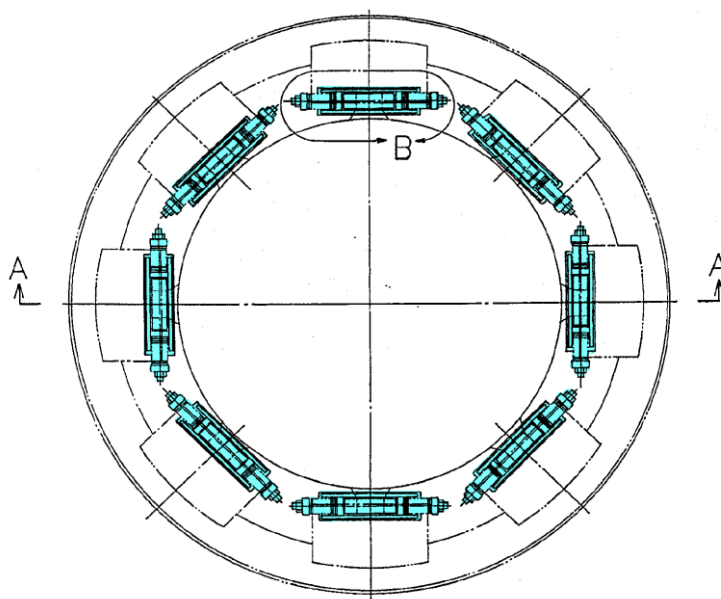
R P Vスタビライザは，周方向45°間隔で8体設置されており，第1-4図に地震荷重と各R P Vスタビライザが分担する荷重の関係を示す。

水平方向の地震荷重に関して現行評価では，R P Vスタビライザ6体に各水平方向地震力（X方向，Y方向）の最大地震力が付加されるものとしている。

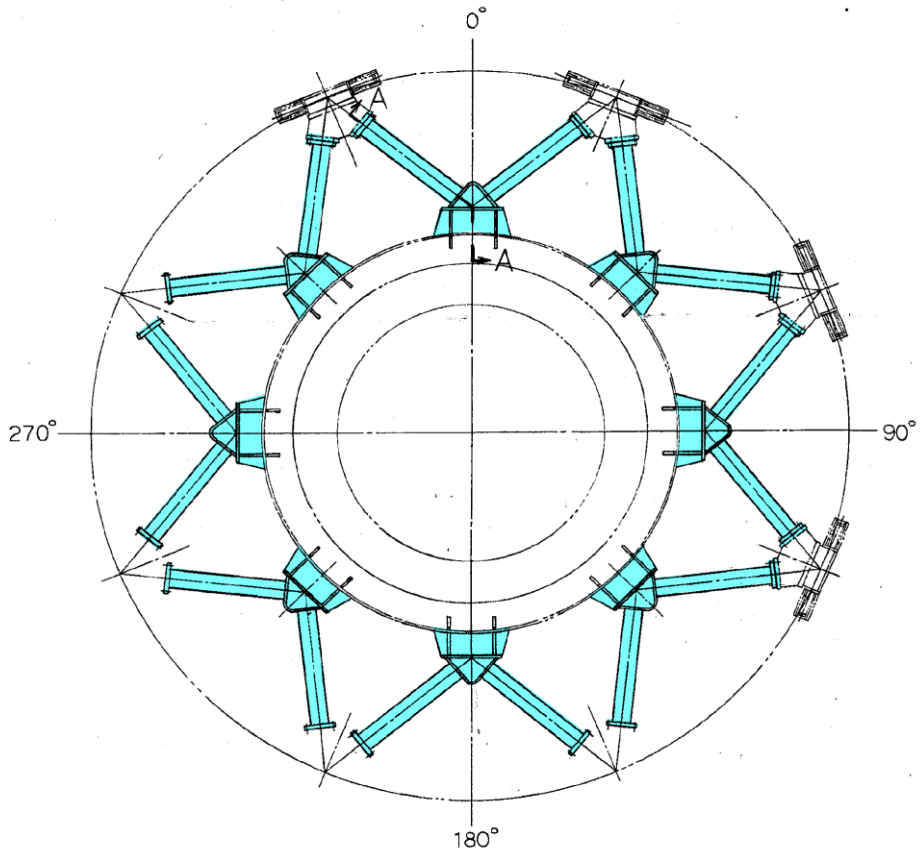
$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_x}{4}, \frac{F_y}{4} \right)$$

ここで，

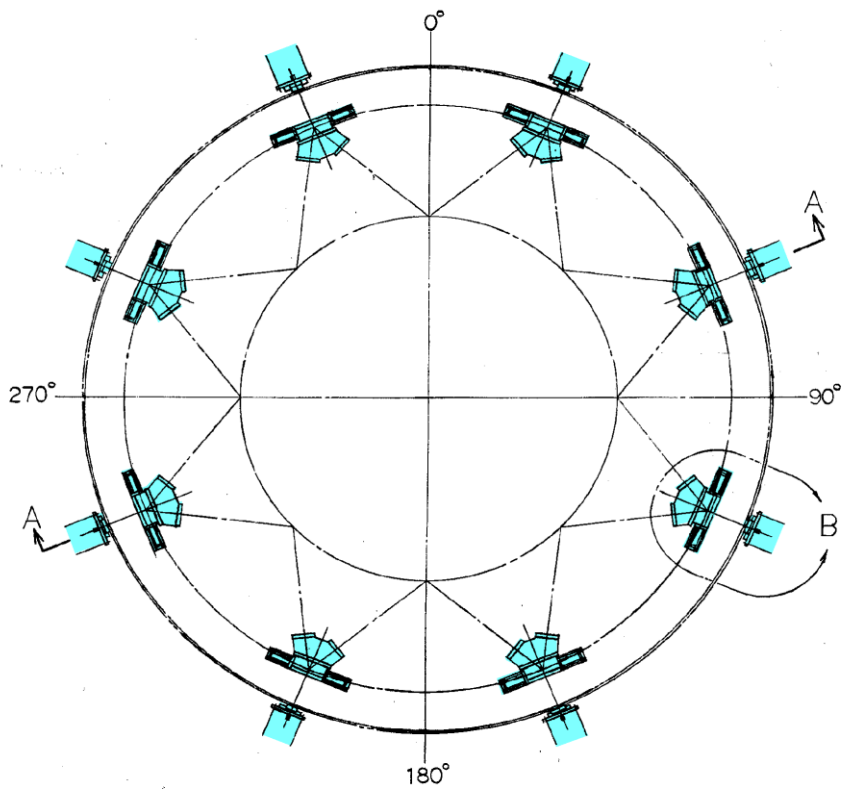
- f : R P Vスタビライザ1個が受け持つ最大地震荷重
- F_x : X方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重
- F_y : Y方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重



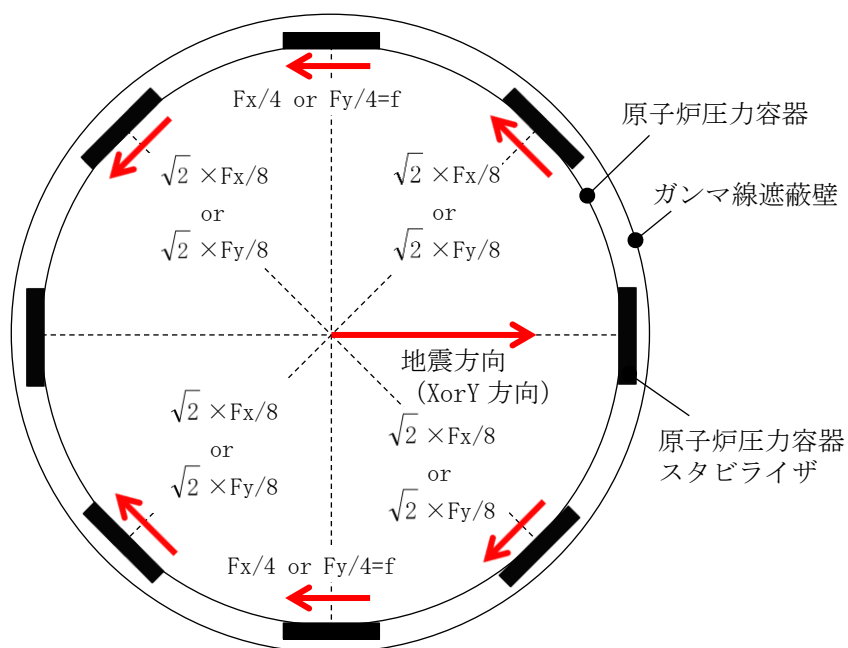
第1-1図 原子炉压力容器スタビライザ



第1-2図 原子炉格納容器スタビライザ



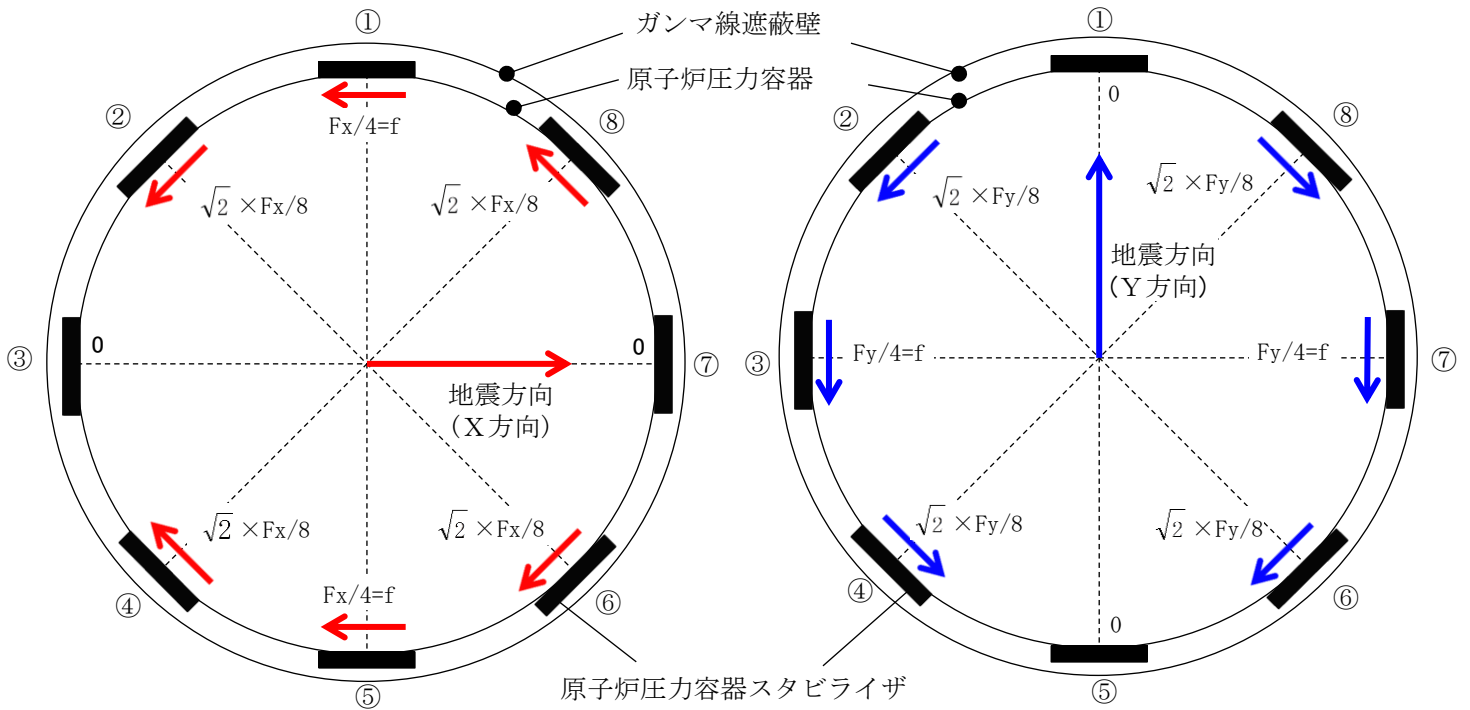
第1-3図 シヤラゲ



第 1-4 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 1 方向）

1.3 水平 2 方向同時加振の影響

R P Vスタビライザは、水平 2 方向の地震力を受けた場合においても、第 1-5 図及び第 1-1 表に示すように、方向別地震荷重 F (F_x 又は F_y) に対する最大反力を受け持つ部位が異なる。



< X方向加振時 >

< Y方向加振時 >

第1-5図 原子炉压力容器スタビライザの水平地震荷重の分担

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		$F_x/4 = f$	$F_y/4 = f$

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1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方向応答結果を算術和する。
- ② 最大応答の非同時性を考慮したSRSS法： $F_y = F_x$ と仮定し、X方向、Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果を二乗和平方根にて合成する。

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 原子炉压力容器スタビライザ各点における水平2方向の考慮

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

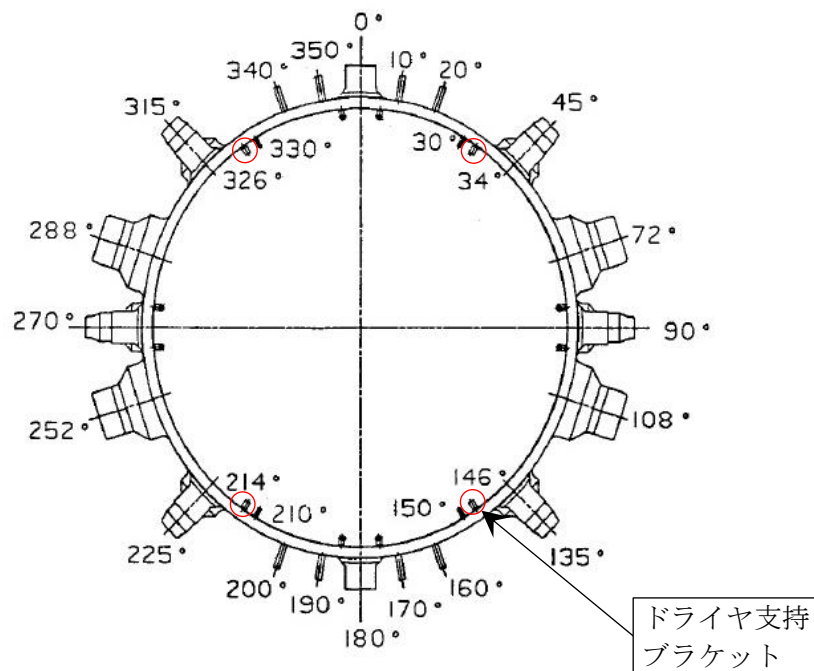
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（ドライヤ支持ブラケット）

2.1 はじめに

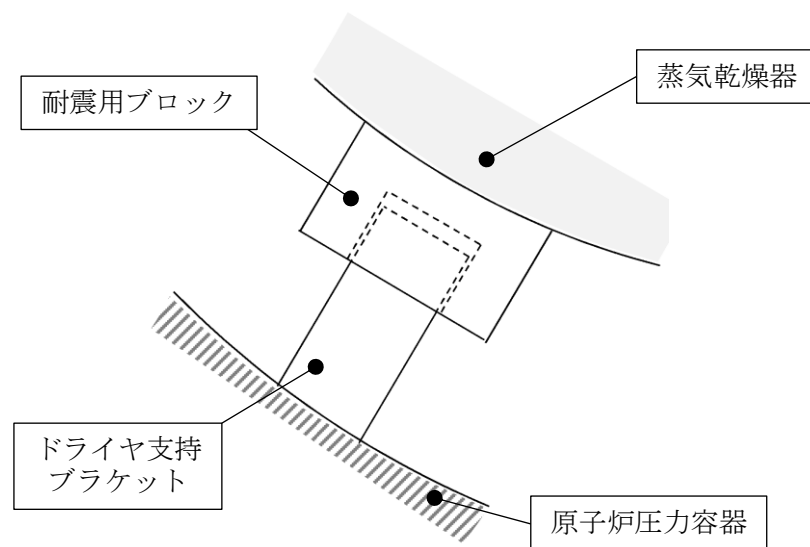
本項は、ドライヤ支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

2.2 現行評価の手法

ドライヤ支持ブラケットは、4体配置されており、位置関係は第2-1図のとおりである。



第2-1図 ドライヤ支持ブラケット位置図



第2-2図 ドライヤ支持ブラケットと耐震用ブロックの取合いイメージ

ドライヤ支持ブラケットは、第2-2図のとおりドライヤ支持ブラケットの直交方向のせん断荷重を負担する構造であり、4体で耐震用ブロックを介し蒸気乾燥器を支持する設計である。しかし、耐震用ブロックとドライヤ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。

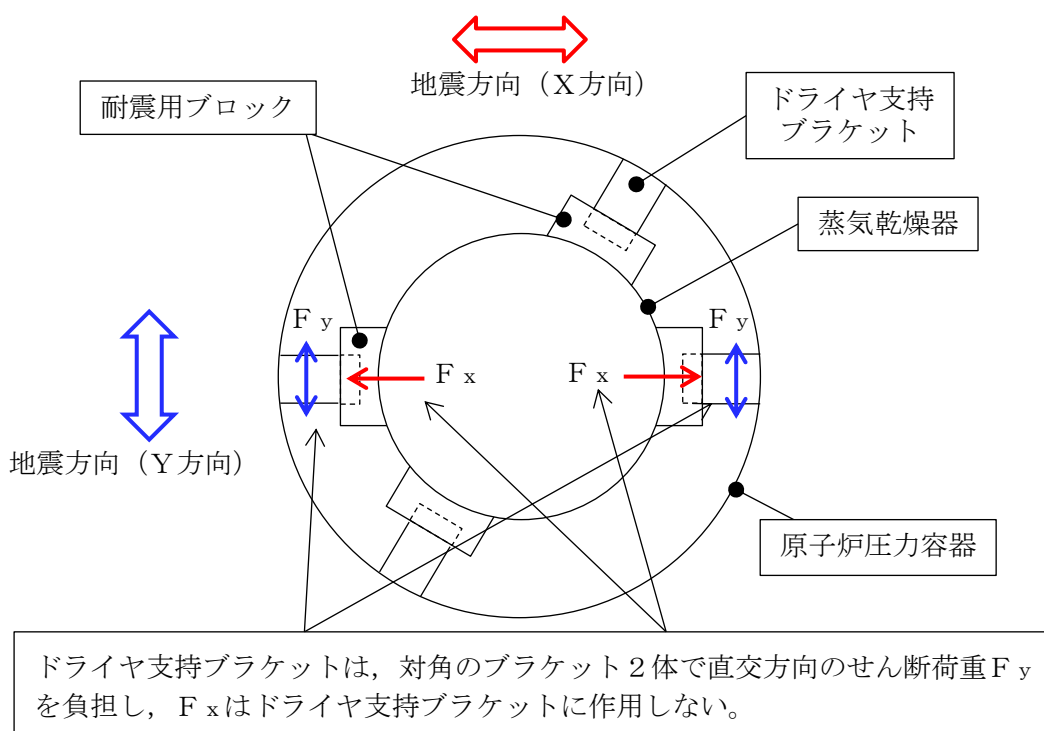
第2-3図に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$F_y = \frac{F}{2}$$

F : 蒸気乾燥器から受ける地震時の水平方向荷重

F_x : 対象とする対角のブラケット2体の軸方向に発生する水平方向荷重

F_y : 対象とする対角のブラケット2体の直交方向に発生する水平方向荷重



第2-3図 評価におけるブラケットの負荷荷重

2.3 水平2方向同時加振の影響

ドライヤ支持ブラケットは、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、ブラケットと耐震用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体でその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（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）

3.1 はじめに

本項は、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）のサポートに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

3.2 サポートの構造

本サポートは、ラックの耐震上弱軸方向となる短辺方向の転倒防止を目的として、使用済燃料貯蔵プール壁面から腕を張り出す形で設置されており、ラックの短辺方向側を支持し、長辺方向側は荷重を受けない構造となっている（第3-1図）。

3.3 水平2方向地震力による影響について

現行評価において、サポートの応力は、地震力によりラックから入力される荷重（反力）、サポート自身の荷重（自重及び自身の慣性力）と、部材の断面特性を用いて下記の地震条件時についてそれぞれ求めている。

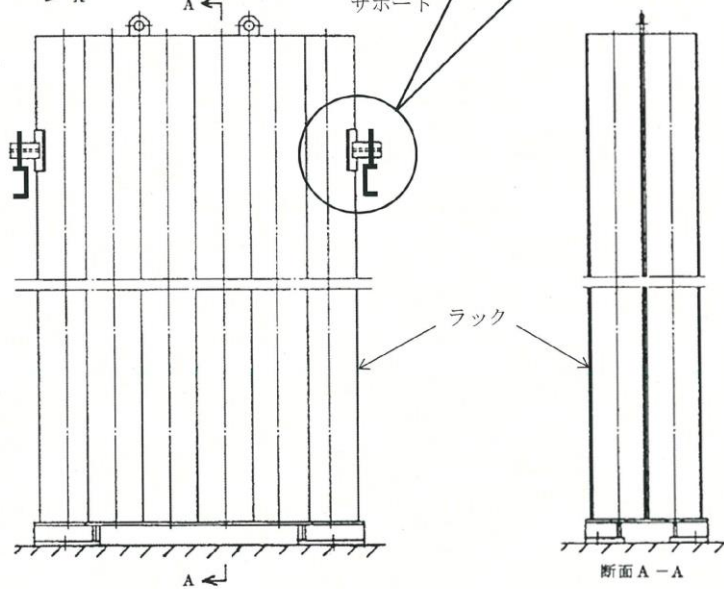
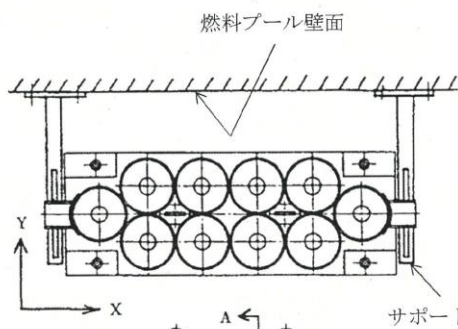
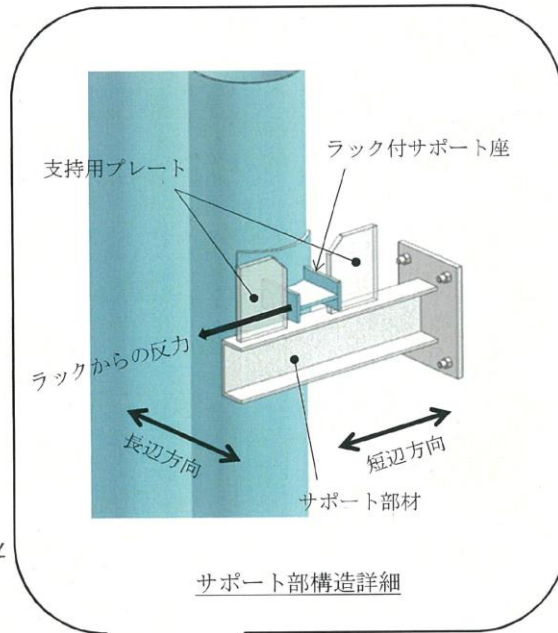
- ・長辺方向（水平X方向）＋鉛直方向
- ・短辺方向（水平Y方向）＋鉛直方向

長辺方向（X方向）の地震の場合、サポートはラックを支持していないため、ラックから入力される荷重（反力）は生じず、サポート自身の慣性力による応力のみが発生する。短辺方向（Y方向）の地震の場合、サポートにはラックからの反力と自身の慣性力による応力が発生する。サポート自身の慣性力は、いずれの方向の地震においても、ラックからの反力と比較して小さい。

したがって、サポートの応力は、水平1方向（短辺方向（Y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。

[サポート取合部の説明]

- ・短辺方向側は、ラック付のサポート座を支持用プレートではさみ込むように拘束して支持されている。
- ・長辺方向側は、拘束する構造となっていない。



全景

第3-1図 制御棒・破損燃料貯蔵ラック設置状態

4. 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）

4.1 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をFEMで確認した結果をまとめたものである。

円筒形容器については、別紙10-1にて記載しているとおり、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。本項には、別紙10-1にて記載していることを解析にて確認することを目的として、円筒形容器のFEM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基づく胴の応力強さを対象としたものである。

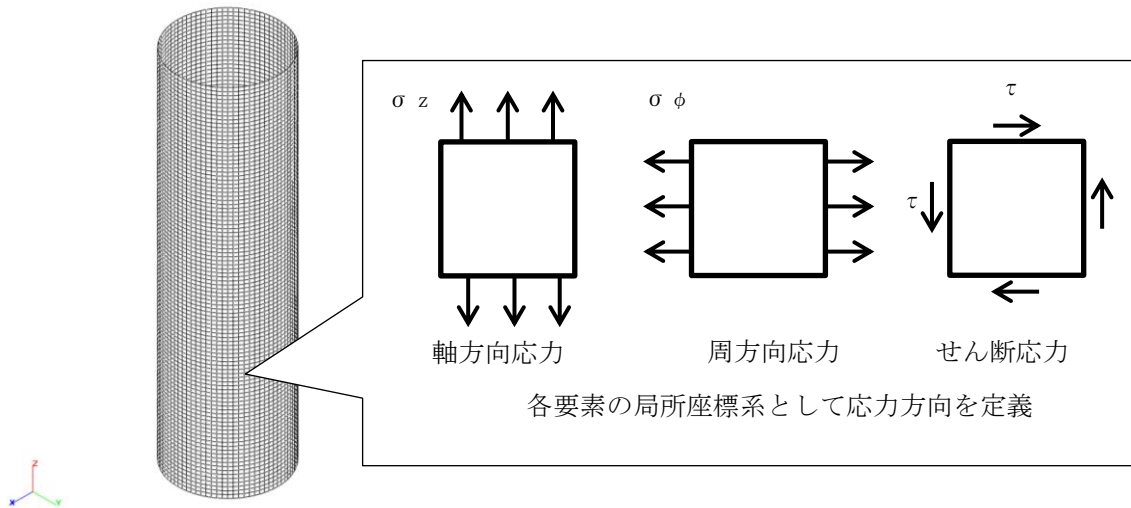
具体的な確認項目として、以下2点を確認した。

- 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

4.2 影響評価検討

評価検討モデル及び応力の定義について第4-1図に示す。なお、応力については要素ごとの局部座標系として第4-1図に示すように定義する。検討方法を以下に示す。

- ・ 検討方法 : 水平地震力1GをX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
- ・ 解析手法 : 静的解析
- ・ 対象部位及び応力 : 容器基部における応力強さ
- ・ 水平2方向同時加振時の考慮方法
 - 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 4-1 図 評価検討モデル及び各応力の定義

4.3 検討結果

4.3.1 軸方向応力

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 4-2 図に示す。この結果より、最大応力点は $0^\circ / 180^\circ$ 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 方向入力時の最大応力点は $90^\circ / 270^\circ$ 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 4-1 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 ($0^\circ / 90^\circ$ 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 $\sigma_{z,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{z,s}(\theta)$ 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 $\sigma_{z,x}(\theta)$ 、Y 方向入力時応力 $\sigma_{z,y}(\theta)$) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{z,c}(\theta) = \text{MAX}(\sigma_{z,c(x)}(\theta), \sigma_{z,c(y)}(\theta))$$

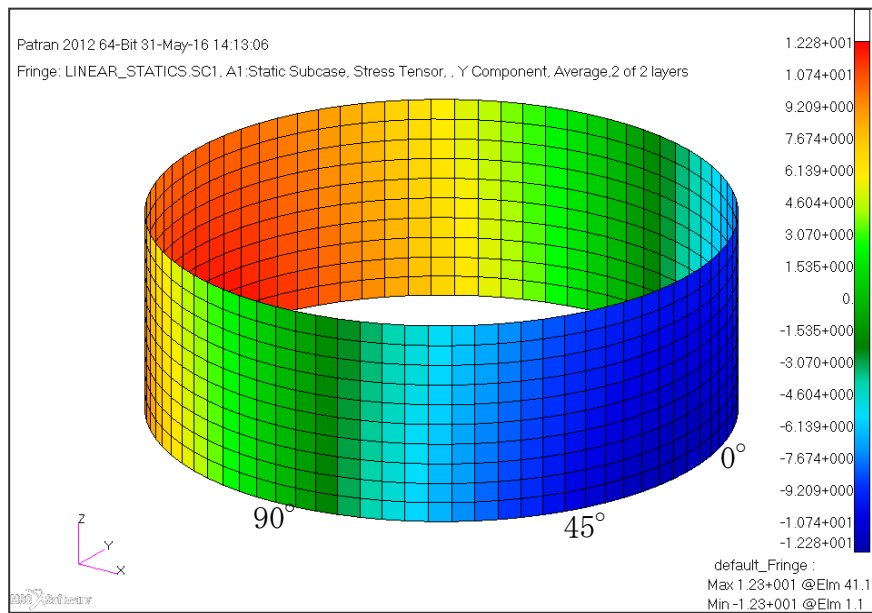
ただし、 $\sigma_{z,c(x)}(\theta)$ は $\sigma_{z,x}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{z,y}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸方向応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{z,c(y)}(\theta)$ は $\sigma_{z,y}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{z,x}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの軸方向応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\sigma_{z,c(x)}(\theta) = \sigma_{z,x}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{z,y}(\theta)$$

$$\sigma_{z,c(y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{z,x}(\theta) + \sigma_{z,y}(\theta)$$

<S R S S 法>

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



第 4-2 図 水平地震時軸方向応力コンター図 (X 方向入力)

第 4-1 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) $\sigma_{z, X}(\theta)$	Y 方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{z, Y}(\theta)$	2 方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{z, c}(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_{z, s}(\theta)$
0° 方向	12.28	0.00	12.28 $\sigma_{z, c}(X)(0^\circ) = 12.28$ $\sigma_{z, c}(Y)(0^\circ) = 4.91$	12.28
22.5° 方向	11.34	4.70	13.22 $\sigma_{z, c}(X)(22.5^\circ) = 13.22$ $\sigma_{z, c}(Y)(22.5^\circ) = 9.24$	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.15 $\sigma_{z, c}(X)(45^\circ) = 12.15$ $\sigma_{z, c}(Y)(45^\circ) = 12.15$	12.28
67.5° 方向	4.70	11.34	13.22 $\sigma_{z, c}(X)(67.5^\circ) = 9.24$ $\sigma_{z, c}(Y)(67.5^\circ) = 13.22$	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28 $\sigma_{z, c}(X)(90^\circ) = 4.91$ $\sigma_{z, c}(Y)(90^\circ) = 12.28$	12.28

4.3.2 周方向応力

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 4-3 図に、周方向応力分布を第 4-2 表に示す。軸方向応力と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が確認できる。

また、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>

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

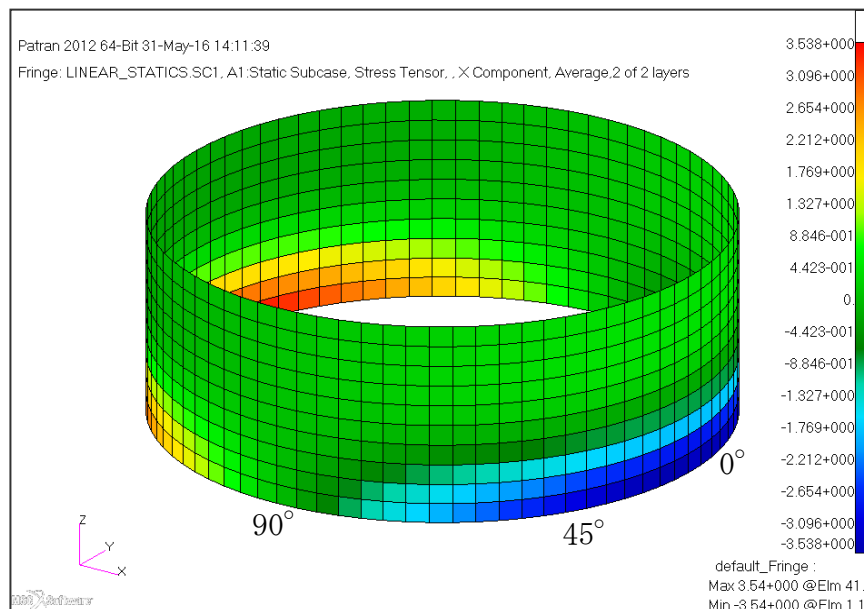
ただし、 $\sigma_{\phi,c(x)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に1、 $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの周方向応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{\phi,c(y)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に1、 $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの周方向応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\sigma_{\phi,c(x)}(\theta) = \sigma_{\phi,x}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{\phi,x}(\theta) + \sigma_{\phi,y}(\theta)$$

<S R S S法>

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



第4-3図 水平地震時周方向応力コンター図 (X方向入力)

第4-2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

4.3.3 せん断応力

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4-4図に示し、せん断応力分布を第4-3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、最大応力と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が確認できる。

また、軸方向応力、周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 $\tau_c(\theta)$ 及び $\tau_s(\theta)$ は、水平1方向入力時のせん断応力解析結果(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>

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

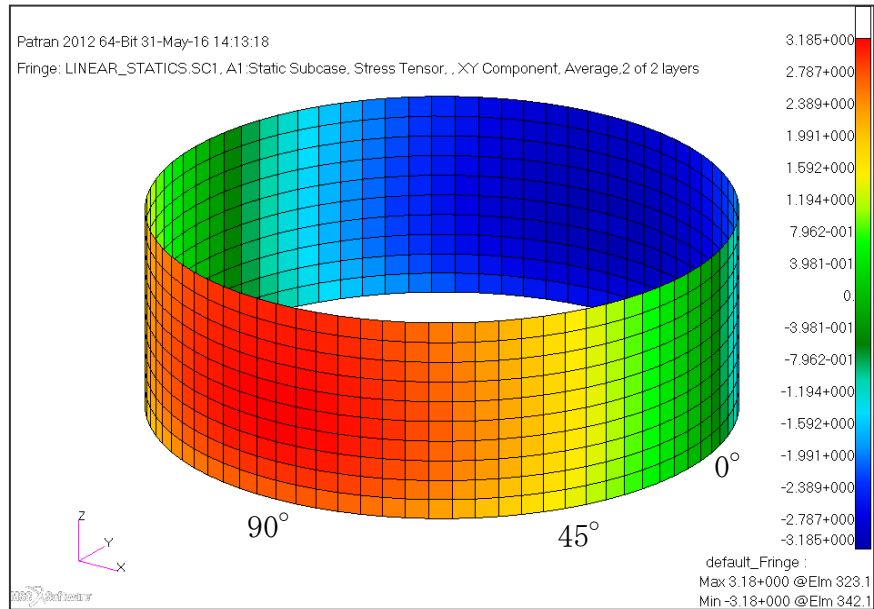
ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$ は $\tau_x(\theta)$ に1、 $\tau_y(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれのせん断応力を組み合わせた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$ は $\tau_y(\theta)$ に1、 $\tau_x(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれのせん断応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_x(\theta) + 0.4 \times \tau_y(\theta)$$

$$\tau_{c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \tau_x(\theta) + \tau_y(\theta)$$

<SRSS法>

$$\tau_s(\theta) = \sqrt{\tau_x(\theta)^2 + \tau_y(\theta)^2}$$



第 4-4 図 水平地震時せん断応力コンター図 (X方向入力)

第 4-3 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 $\tau_c(\theta)$	SRSS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

4.3.4 応力強さ

胴の応力強さ σ は、第 4-1 表～第 4-3 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_z 、周方向応力 σ_ϕ 及びせん断応力 τ を組み合わせ、耐震評価結果として用いている。

<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 $\sigma_{1,x}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,x}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,x}(\theta)$ は以下のとおりに表される。

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

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

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

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

$$\sigma_x(\theta) = \text{MAX} (|\sigma_{1,x}(\theta) - \sigma_{2,x}(\theta)|, |\sigma_{2,x}(\theta) - \sigma_{3,x}(\theta)|, |\sigma_{3,x}(\theta) - \sigma_{1,x}(\theta)|)$$

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 4-1 表より $\sigma_{z,x}(0^\circ) = 12.28$ 、第 4-2 表より $\sigma_{\phi,x}(0^\circ) = 3.54$ 、第 4-3 表より $\tau_x(0^\circ) = 0$ であるため、

$$\sigma_{1,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (0.00)^2} \right) = 12.28$$

$$\sigma_{2,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (0.00)^2} \right) = 3.54$$

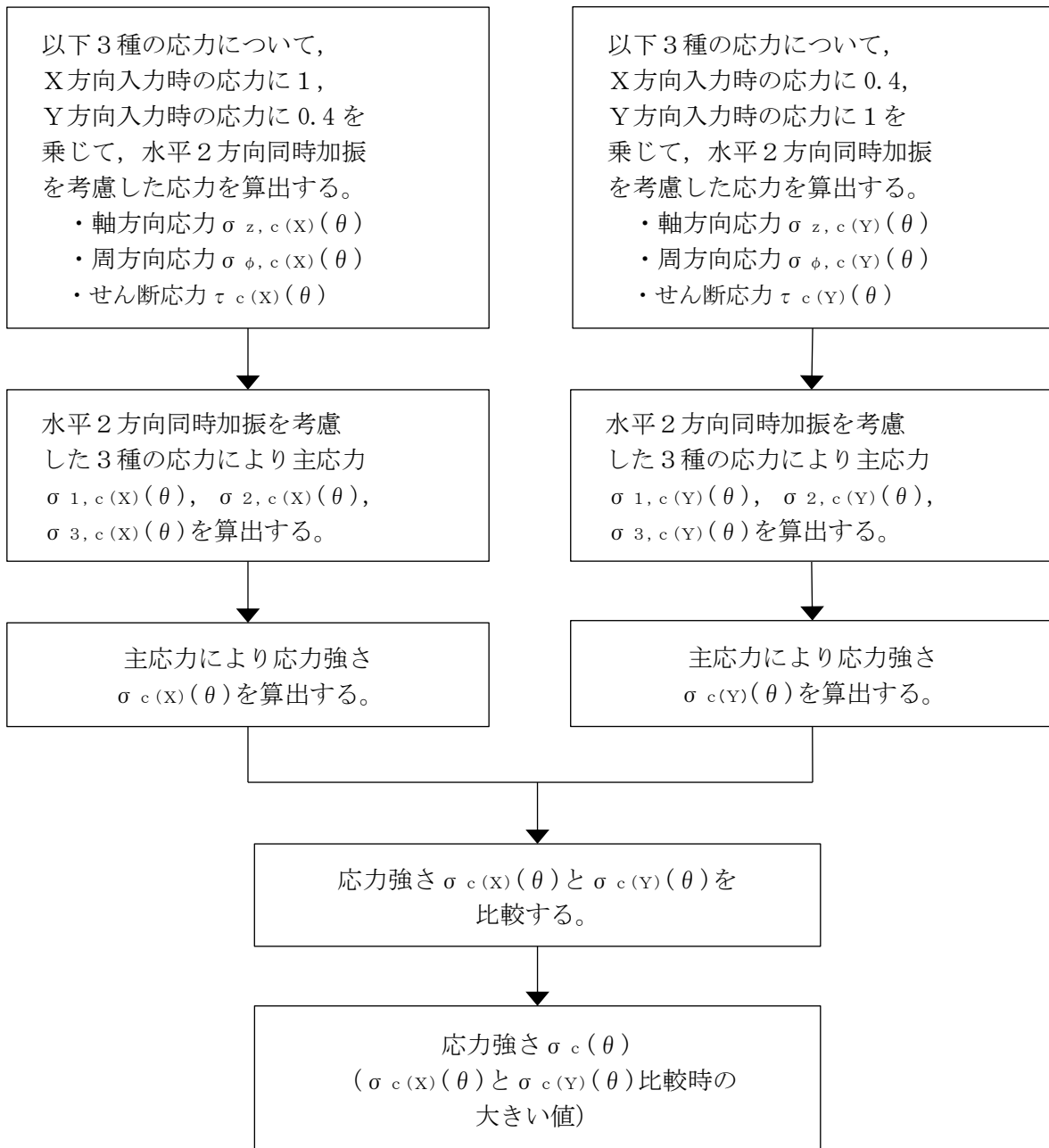
$$\sigma_{3,x}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_x(0^\circ) = \text{MAX} (|12.28 - 3.54|, |3.54 - 0.00|, |0.00 - 12.28|) = 12.28$$

<組合せ係数法による水平 2 方向同時加振を考慮した応力強さ $\sigma_c(\theta)$ >

$\sigma_c(\theta)$ の算出フローを第 4-5 図に示す。



第4-5図 組合せ係数法による応力強さ算出フロー

X方向入力時の応力に1，Y方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた水平2方向同時加振を考慮した応力は以下のとおりとなる。

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

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

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

水平2方向同時加振を考慮した各応力により，主応力 $\sigma_{1,c(X)}(\theta)$ ， $\sigma_{2,c(X)}(\theta)$ ， $\sigma_{3,c(X)}(\theta)$ は以下のとおりに表される。

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

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

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

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

$$\sigma_{c(X)}(\theta) = \text{MAX} \left(\begin{aligned} &|\sigma_{1,c(X)}(\theta) - \sigma_{2,c(X)}(\theta)|, \\ &|\sigma_{2,c(X)}(\theta) - \sigma_{3,c(X)}(\theta)|, \\ &|\sigma_{3,c(X)}(\theta) - \sigma_{1,c(X)}(\theta)| \end{aligned} \right)$$

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方向同時加振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 $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ を比較し，大きい値を $\sigma_c(\theta)$ とする。

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

ここで $\theta=0^\circ$ の場合，第4-1表より $\sigma_{z,c(X)}(0^\circ)=12.28$ ，第4-2表より $\sigma_{\phi,c(X)}(0^\circ)=3.54$ ，第4-3表より $\tau_{c(X)}(0^\circ)=1.08$ であるため，

$$\sigma_{1,c(X)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (1.08)^2} \right) = 12.41$$

$$\sigma_{2,c(X)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (1.08)^2} \right) = 3.41$$

$$\sigma_{3,c(X)}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって，応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(X)}(0^\circ) = \text{MAX}(|12.41 - 3.41|, |3.41 - 0.00|, |0.00 - 12.41|) = 12.41$$

同様に，第4-1表より $\sigma_{z,c(Y)}(0^\circ)=4.91$ ，第4-2表より $\sigma_{\phi,c(Y)}(0^\circ)=1.42$ ，第4-3表より $\tau_{c(Y)}(0^\circ)=2.70$ であるため，

$$\sigma_{1,c(Y)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(4.91 + 1.42 + \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times (2.70)^2} \right) = 6.38$$

$$\sigma_{2,c(Y)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(4.91 + 1.42 - \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times (2.70)^2} \right) = -0.05$$

$$\sigma_{3,c(Y)}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、応力強さ $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ は以下のように算出される。

$$\sigma_{c(Y)}(0^\circ) = \text{MAX} (|6.38 - (-0.05)|, |-0.05 - 0.00|, |0.00 - 6.38|) = 6.43$$

応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ と $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ の比較により、組合せ係数法による水平2方向同時加振を考慮した応力強さ $\sigma_c(0^\circ)$ は、

$$\sigma_c(0^\circ) = \text{MAX} (12.41, 6.43) = 12.41$$

となる。

<SRSS法による水平2方向同時加振を考慮した応力強さ $\sigma_s(\theta)$ >

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

$$\sigma_{1,s}(\theta) = \frac{1}{2} (\sigma_{z,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{z,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2})$$

$$\sigma_{2,s}(\theta) = \frac{1}{2} (\sigma_{z,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{z,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2})$$

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

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

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

ここで $\theta = 0^\circ$ の場合には、第4-1表より $\sigma_{z,s}(0^\circ) = 12.28$, 第4-2表より $\sigma_{\phi,s}(0^\circ) = 3.54$, 第4-3表より $\tau_s(0^\circ) = 2.70$ であるため、

$$\sigma_{1,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} (12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (2.70)^2}) = 13.05$$

$$\sigma_{2,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} (12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times (2.70)^2}) = 2.77$$

$$\sigma_{3,s}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_s(0^\circ) = \text{MAX} (|13.05 - 2.77|, |2.77 - 0.00|, |0.00 - 13.05|) = 13.05$$

$\theta = 0^\circ$ の場合にSRSS法、組合せ係数法を用いて算出した応力強さを第4-4表にまとめる。

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

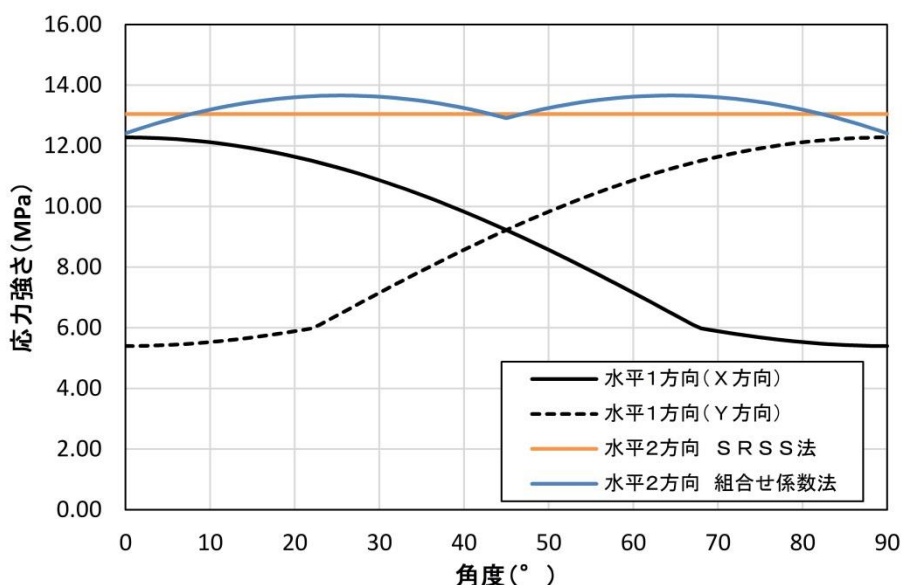
	X方向 入力時	Y方向 入力時	SRS法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_z(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)}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

注1: 本表記載の数値は計算例を示すものであり, 実際の評価とは桁数処理の関係上, 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4-5表及び第4-6図に示す。

第4-5表 水平地震時の応力強さ分布

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4-6図 水平地震時応力強さ分布図

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、組合せ係数法では 24.75° / 65.25° 方向に2つのピークを持つ分布となった。応力強さは0° / 45° / 90° 方向付近では、S R S S法の方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° / 65.25° 方向付近では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法による最大応力強さは水平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(第4-6表参照)、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。

第4-6表 水平地震時の最大応力強さ及び水平2方向による影響

		最大応力強さ (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	—
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

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「FHM」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。

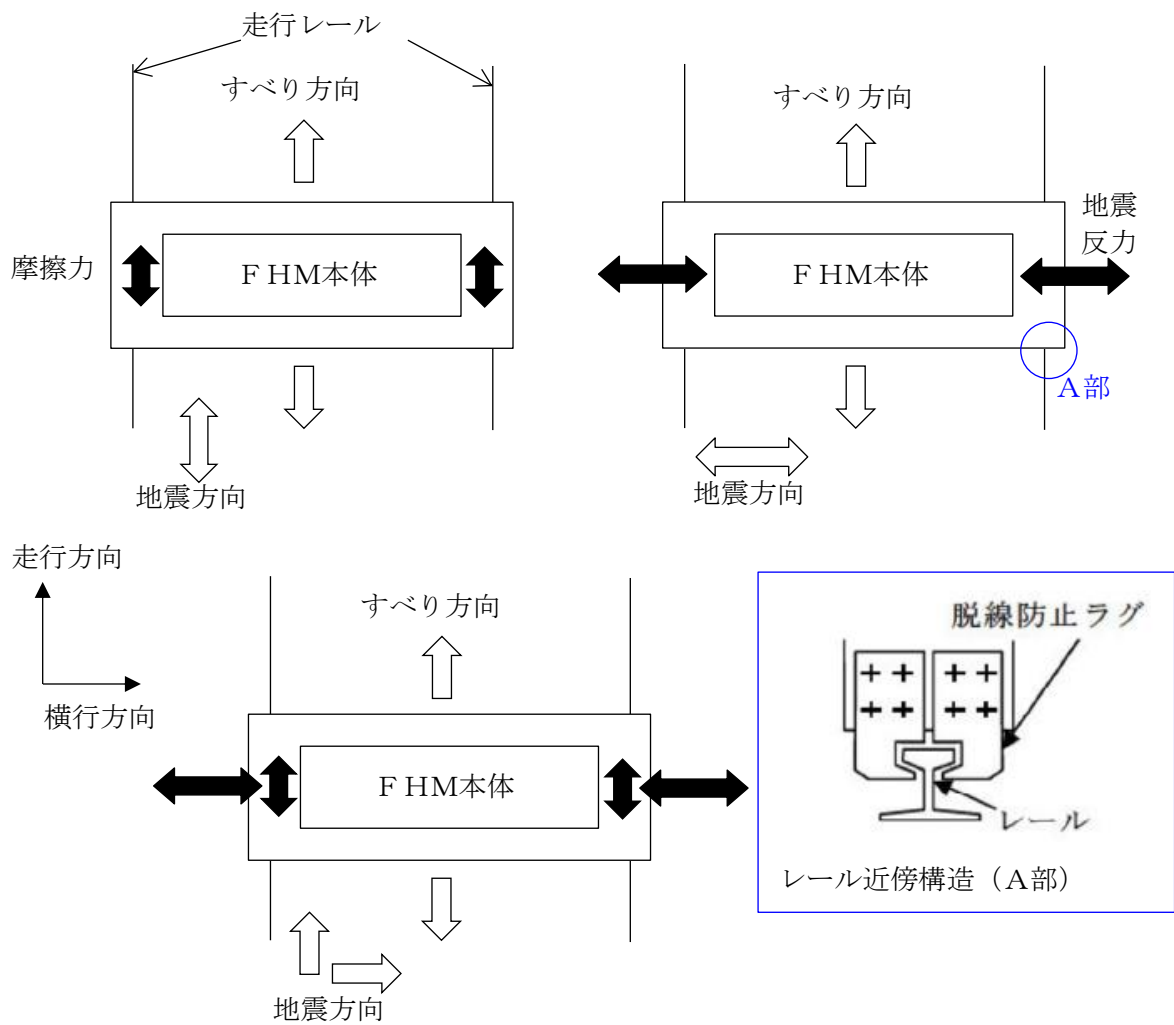
5.2 現行評価の手法

FHMはレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建物との固定はないが、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、FHM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、FHMが横行方向に建物と固定された体系では、地震入力がFHM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、FHMの車輪とレールの接触面（踏面）を介してFHM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（FHM本体への影響は軽微）と考えられる。

上記より、FHM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。

なお、FHMについては、鉛直地震動が従来の静的地震力から動的地震力へ変更となっていることを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向同時加振を想定した場合の現行評価の妥当性について今後詳細検討を行うこととする。



第5-1図 燃料取替機の負担する水平地震荷重

6. 水平2方向同時加振の影響評価について（応答軸が明確である設備）

6.1 はじめに

本項は、応答軸が明確である設備について、水平2方向の地震力を考慮した場合においても設備の有する耐震性に対して影響軽微であることを説明するものである。

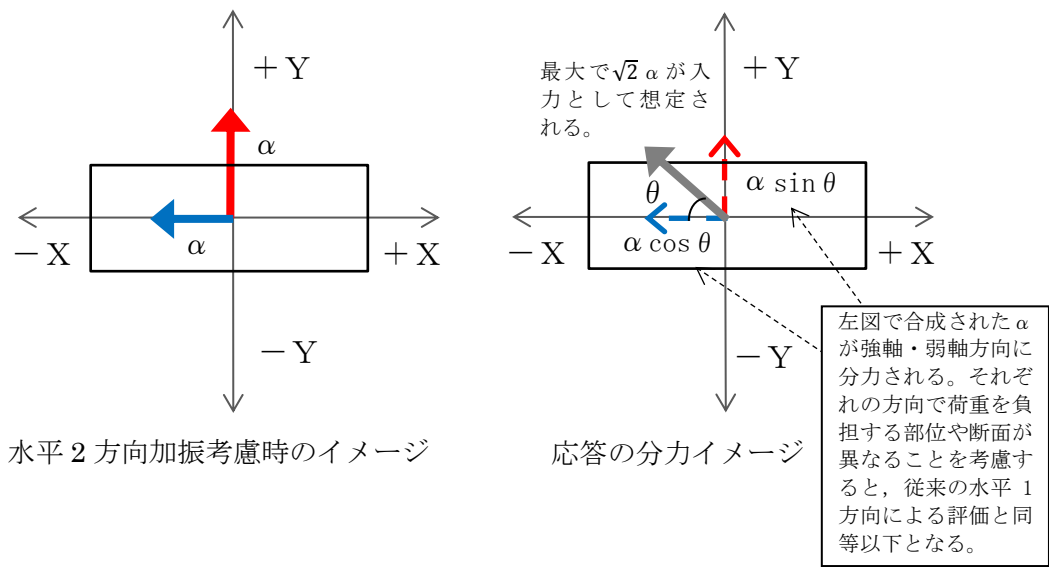
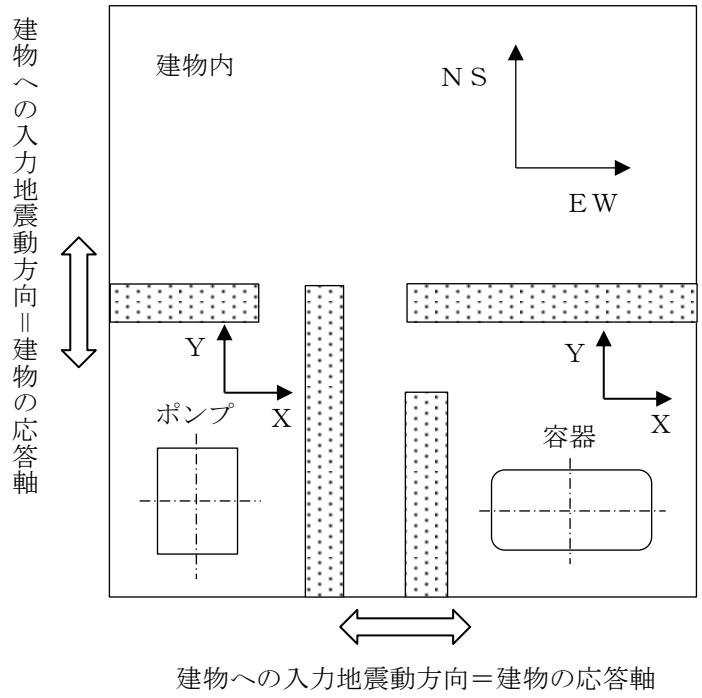
6.2 設備の有する耐震性に対して影響軽微であることの説明

設備の応答軸（弱軸・強軸）の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きが明確な設備（以下、「応答軸が明確な設備」という。）があり、このような設備については従来設計手法として、解析時にNS・EW方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を設備のX方向及びY方向から入力し、最大応答で評価する等、保守的な評価を実施している。このような応答軸が明確な設備については、水平2方向の地震力による従来設計手法への影響が懸念されるようなことはないと考ええる。その理由を以下に示す。

応答軸が明確な設備については、従来設計手法においても建物・構築物のNS・EW方向の応答を包絡した地震力を設備の各応答軸（第6-1図 X, Y方向）へ入力しているため、設備にとって厳しい方向となる弱軸方向への入力を用いた評価を実施している。

水平2方向の地震力を想定した場合、2方向の地震力が合成されるとすると、最大値が同時に発生する場合、最大で $\sqrt{2}$ 倍の大きさの入力となることが考えられるが、応答軸が明確な設備は対角方向へ転倒し難く、設備の応答軸方向へ応答し易いため、応答はそれぞれの応答軸方向（弱軸／強軸）に分解され、強軸側の応答は十分に小さくなる。また、強軸方向に比べて転倒し易い弱軸方向が、最も厳しい条件となるため、実質的には弱軸方向に1方向を入力した場合の応答レベルと同等となる。各方向における最大値の生起時刻の非同時性を考慮すると、さらにその影響は小さくなり、弱軸1方向入力による評価と大きく変わらない結果となる。

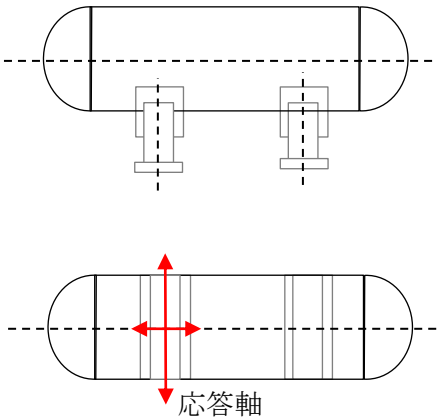
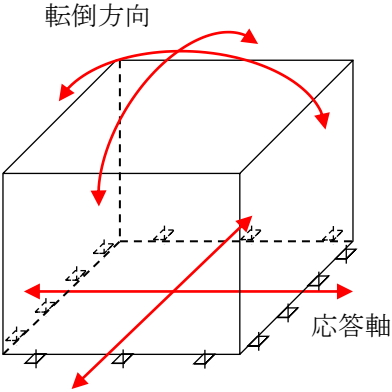
設計手法としてNS・EW方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を入力して保守的な評価を実施していることも考えると、応答軸が明確な設備については、水平2方向の地震力を考慮した場合においても影響軽微であるといえる。



第 6-1 図 水平 2 方向同時加振時の応答イメージ

上述の考え方は、設備の応答軸の方向と入力方向の関係によることから、部位・応力分類によらず、各設備の耐震評価における入力方法によって影響軽微か否かを判断できると考える。第 6-1 表に応答軸が明確な設備の例を示す。

第6-1表 応答軸が明確な設備について

設備	構造図	説明	備考
横置円筒形容器		<p>横置円筒形容器は矩形形状の支持脚により支持されており強軸と弱軸の関係が明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW包絡地震力を用いている。</p>
空調ファン、空調ユニット、横形ポンプ、電気盤（ボルト）、ディーゼル発電機（ボルト）等		<p>空調ファン等は矩形に配置されたボルトにて支持されている。対角方向の剛性が高く、水平地震力に対して斜め方向へ転倒することなく、弱軸/強軸方向にしか応答せず、その方向に地震を入力した評価を実施している。</p>	<p>NS・EW包絡地震力を用いている。</p>

7. 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）

7.1 はじめに

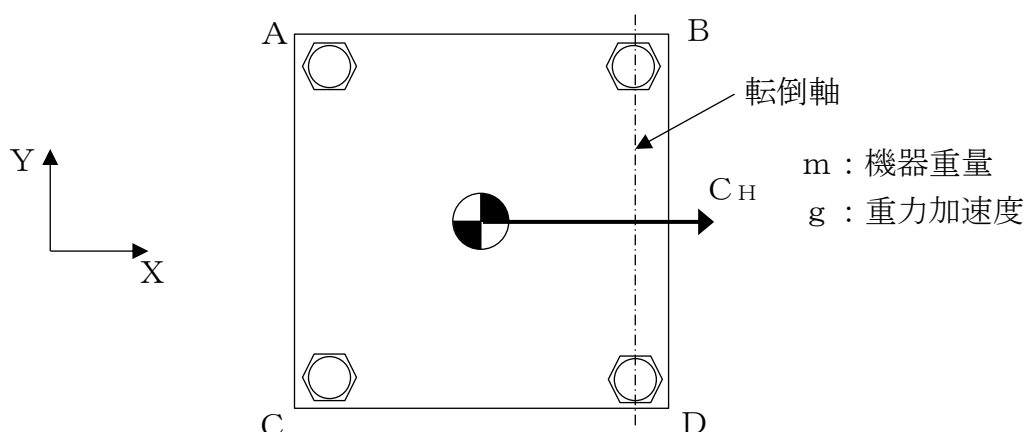
本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討を行った。

7.2 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7-1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7-1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、

$$F_H = m g C_H$$

と表せ、 F_H によりボルトB、Dの中心を結んだ軸を中心に転倒モーメントが生じる。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7-2図に示すとおりである。

機器が転倒を起こさない場合、転倒支点まわりの転倒モーメントとボルトからの反力が釣り合うため、水平方向地震動によりボルトが受ける全引張力 F_b は、

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

となる。

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

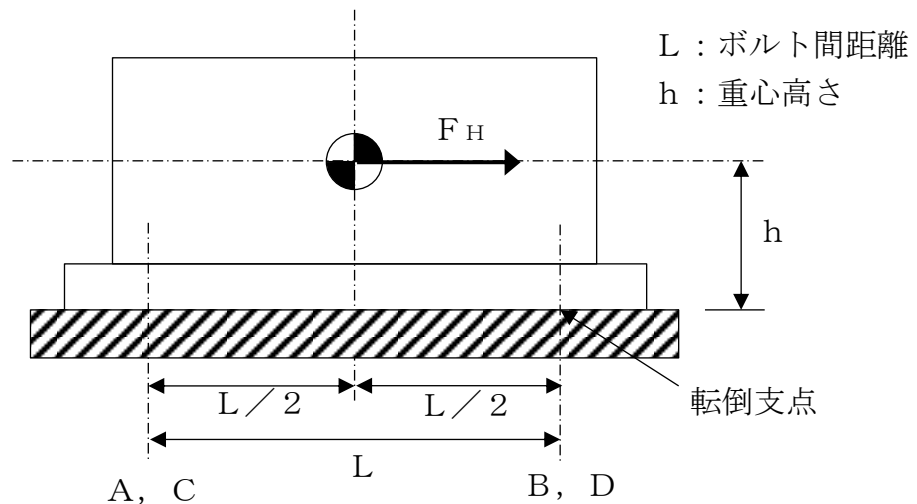
受けると考え、

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

である。水平1方向地震力を考慮する場合、ボルトA、Cで全引張力を負担することから、 $n_f = 2$ であるため、ボルトに発生する引張応力 σ_b は、

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{m g C_H h}{2A_b L}$$

となる。

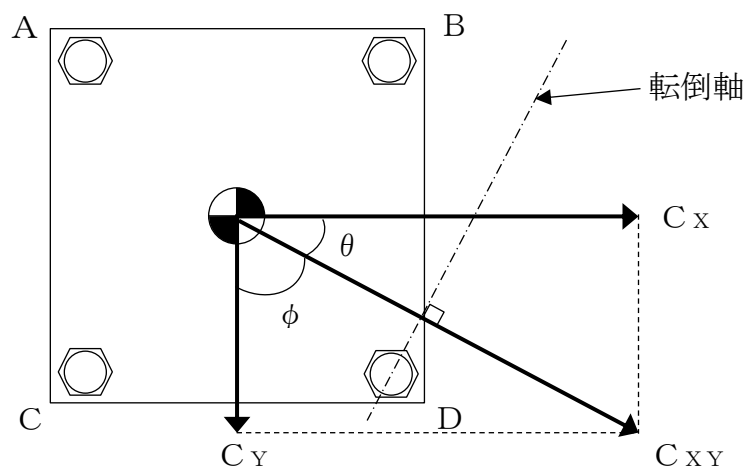
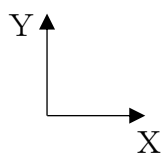


第7-2図 水平1方向の地震力による力

(2) 水平2方向に地震力が作用する場合

第7-3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作用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 ($0.4C_x = C_y$) と仮定する。

m : 機器重量
 g : 重力加速度



第7-3図 水平2方向の地震力による応答（概要）

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

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

と表せる。このとき、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、

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

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7-4図に示すようにボルトDの中心を通り水平方向の震度 C_{XY} と直交する直線を転倒軸とすると、ボルトA、B、Cに発生する引張力は転倒軸からの距離に比例するため、

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

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。

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

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

であり、引張力 F_A は以下のとおりとなる。

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

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、

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

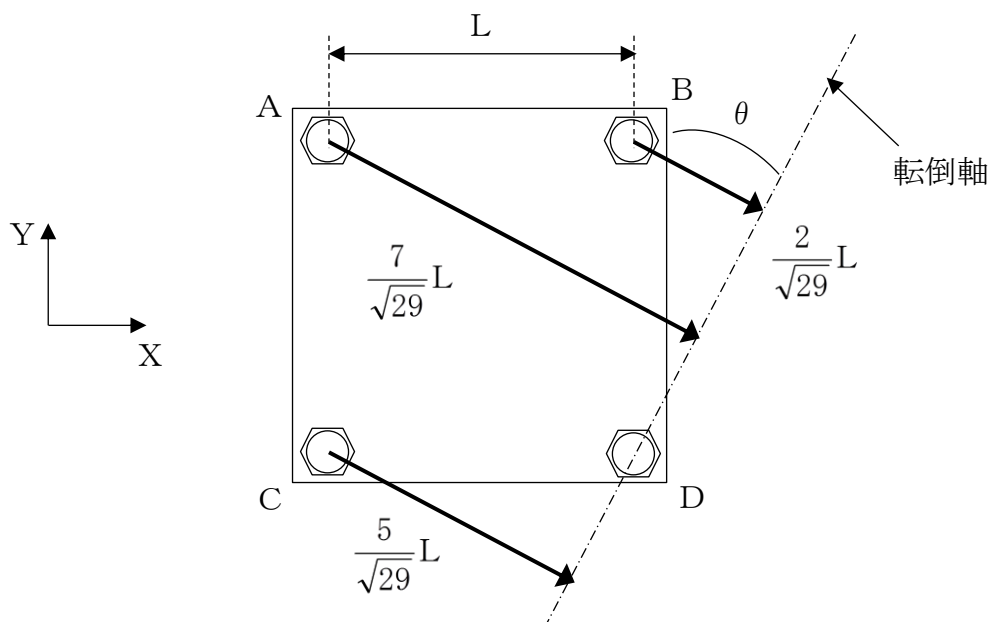
であり、水平1方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_A}{2A_b} = \frac{1}{2A_b L} (m g C_H h)$$

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

$$\begin{aligned}\sigma_{b'} &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2 A_b L} (m g C_{XY} h) \\ &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2 A_b L} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} \times (m g C_X h) \\ &= 1.04 \sigma_b\end{aligned}$$

となる。したがって、水平2方向地震を考慮した場合、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。



第7-4図 対角方向に応答する場合の転倒軸からの距離

7.3 せん断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するが、全ボルトに対するせん断力 Q_b は、

$$Q_b = F_H$$

であり、せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト全本数 n でせん断力 Q_b を受けるため、

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

となる。

水平1方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b 及び水平2方向の地震力を考慮した場合のせん断力 $Q_{b'}$ は $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ であるため、

$$Q_b = m g C_X$$

$$Q_b' = m g C_{XY} = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_x = 1.08 m g C_x$$

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。

8. 水平2方向同時加振の影響評価について（円周配置されたボルト）

8.1 はじめに

本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の円周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。

8.2 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8-1図のように水平1方向の震度 $C_H = \text{MAX}(C_X, C_Y)$ が与えられる場合を考慮する。ここで機器の質量を m 、重力加速度を g とする。

$C_X > C_Y$ 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、

$$F_H = m g C_X$$

と表せ、 F_H により最外列のボルトを通る転倒軸を中心に転倒モーメントが生じる。このとき、系の重心に生じる力は、第8-2図に示すとおりである。

F_H により生じる転倒モーメント M は

$$M = F_H h = m g C_X h$$

となり、各ボルトに加わる引張力の分布を第8-3図のとおりとしたとき、引張力が最大となる転倒軸から最も遠いボルトに加わる引張力は、

$$F_1 = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} M = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} m g C_X h$$

である。

ボルトに発生する引張応力 σ_b は引張力を断面積 A_b のボルト1本で受けるため、

$$\sigma_b = \frac{F_1}{A_b} = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \frac{m g C_X h}{A_b}$$

となる。

(2) 水平2方向に地震力が作用する場合

第8-1図における水平方向震度 C_H について、水平2方向（X方向及びY方向）の震度 C_X 、 C_Y を組み合わせる場合を考慮する。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作用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。

このとき、水平方向の震度は、 $C_H = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ となり、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、

$$F_H = m g C_H = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

と表せ、 F_H により最外列のボルトを通る転倒軸を中心に転倒モーメントが生じる。このとき、系の重心に生じる力は、第8-2図に示すとおりである。

F_H により生じる転倒モーメント M は

$$M = F_H h = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X h$$

となり、各ボルトに加わる引張力の分布を第8-3図のとおりとしたとき、引張力が最大となる転倒軸から最も遠いボルトに加わる引張力は、

$$F_1 = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} M = \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X h$$

である。

ボルトに発生する引張応力 σ_b' は引張力を断面積 A_b のボルト1本で受けるため、

$$\sigma_b' = \frac{F_1}{A_b} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} \frac{L_1}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \frac{m g C_X h}{A_b} = 1.08 \sigma_b$$

となる。したがって、水平2方向地震を考慮した場合、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。

8.3 せん断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するが、全ボルトに対するせん断力 Q_b は、

$$Q_b = F_H$$

であり、せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト全本数 n でせん断力 Q_b を受けるため、

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

となる。

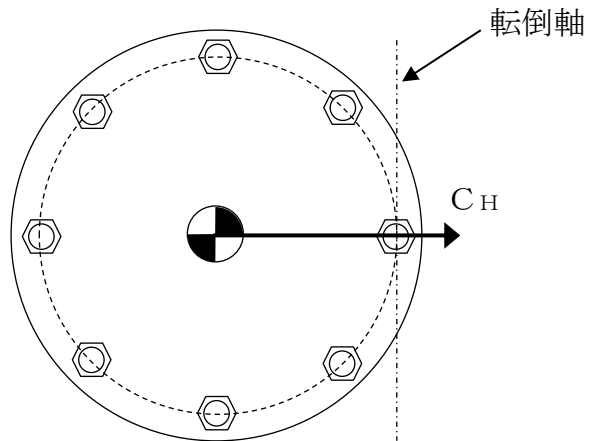
水平1方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b 及び水平2方向の地震力を考慮した場合のせん断力 Q_b' は、水平2方向を組み合わせた水平方向震度 $C_H = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ であるため、

$$Q_b = m g C_X$$

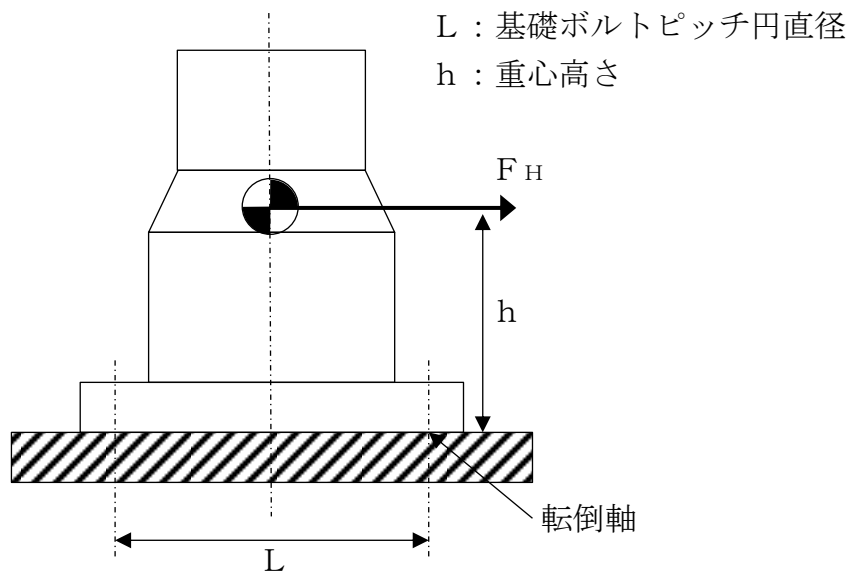
$$Q_b' = m g \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X = 1.08 m g C_X$$

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

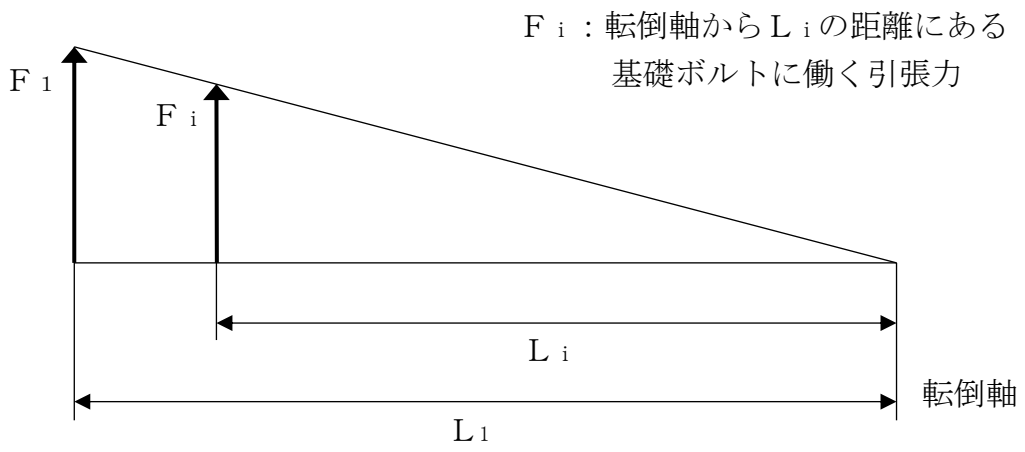
せん断応力は増加するが，その影響は軽微である。



第8-1図 水平方向の地震力による応答（概要）



第8-2図 水平方向の地震力による力



第 8-3 図 ボルトに働く引張力

9. 水平2方向同時加振の影響評価について（電気盤）

9.1 はじめに

本項は、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。

9.2 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と考ええる。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考ええる。

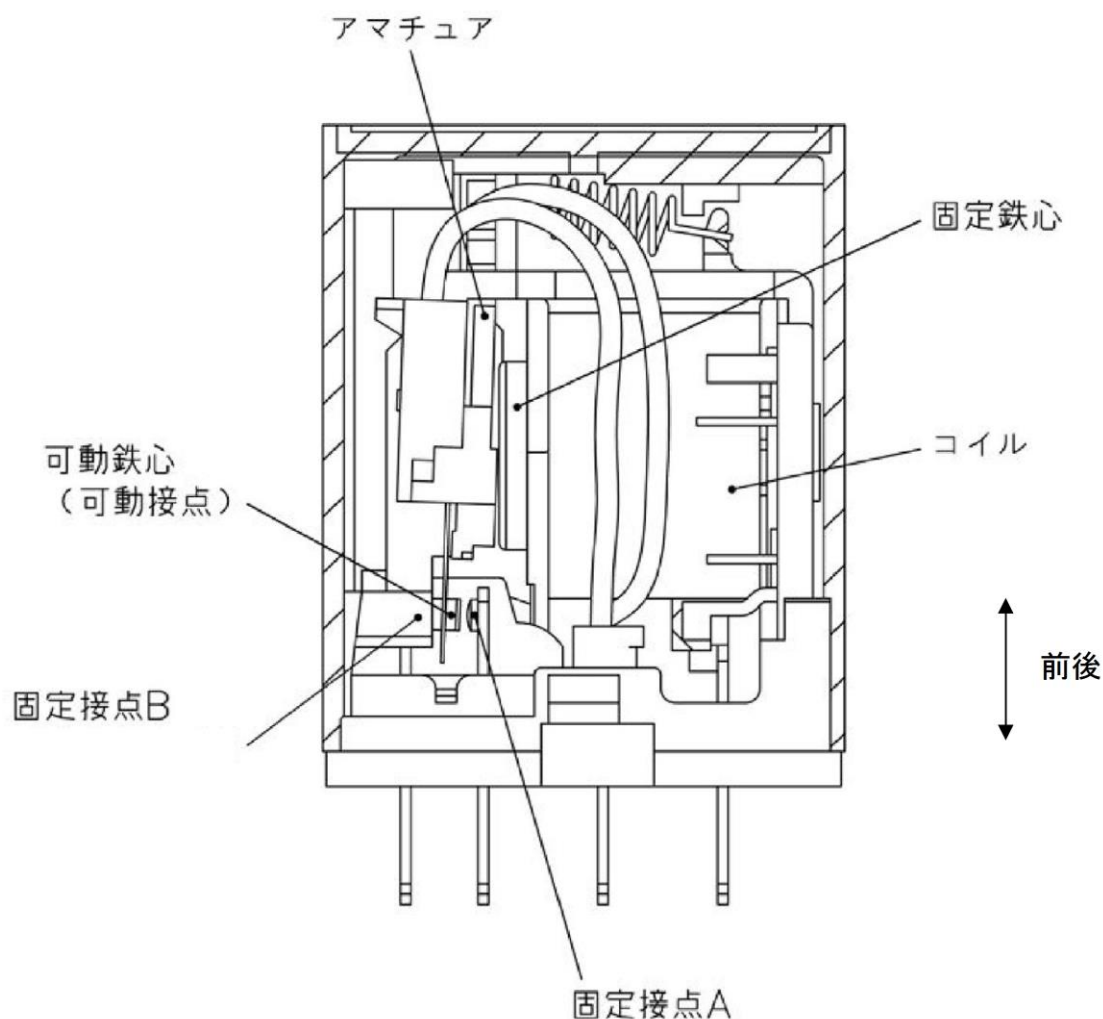
次項より、代表としてメタクラ取付器具を考慮し、器具の構造から検討した結果をまとめる。

なお、これら以外の器具については、今後の詳細検討において構造・型式等の観点から網羅的に整理し、影響が軽微であることを確認することとする。

9.2.1 補助リレー

(1) 構造及び作動機構の概要

第9-1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、可動接点は1方向（上下方向又は左右方向）にのみ動くことができる構造になっている。



第9-1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

第9-1図より、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力による可動鉄心（可動接点）の振動に伴う接点の誤接触又は誤開放（上下方向又は左右方向）

ただし、補助リレーは取付部をボルト固定していること、また器具可動部の振動方向が1方向（上下方向又は左右方向）のみであることより、誤動作に至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、機能維持評価用加速度と補助リレーの既往試験での機能確認済加速度を第9-1表に示す。

第9-1表 補助リレーの機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
機能維持評価用加速後 (G) ^{※2}	1.02	1.28
機能確認済加速度 (G)		

※1：機能維持評価用加速度は前後及び左右方向の最大値，機能確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

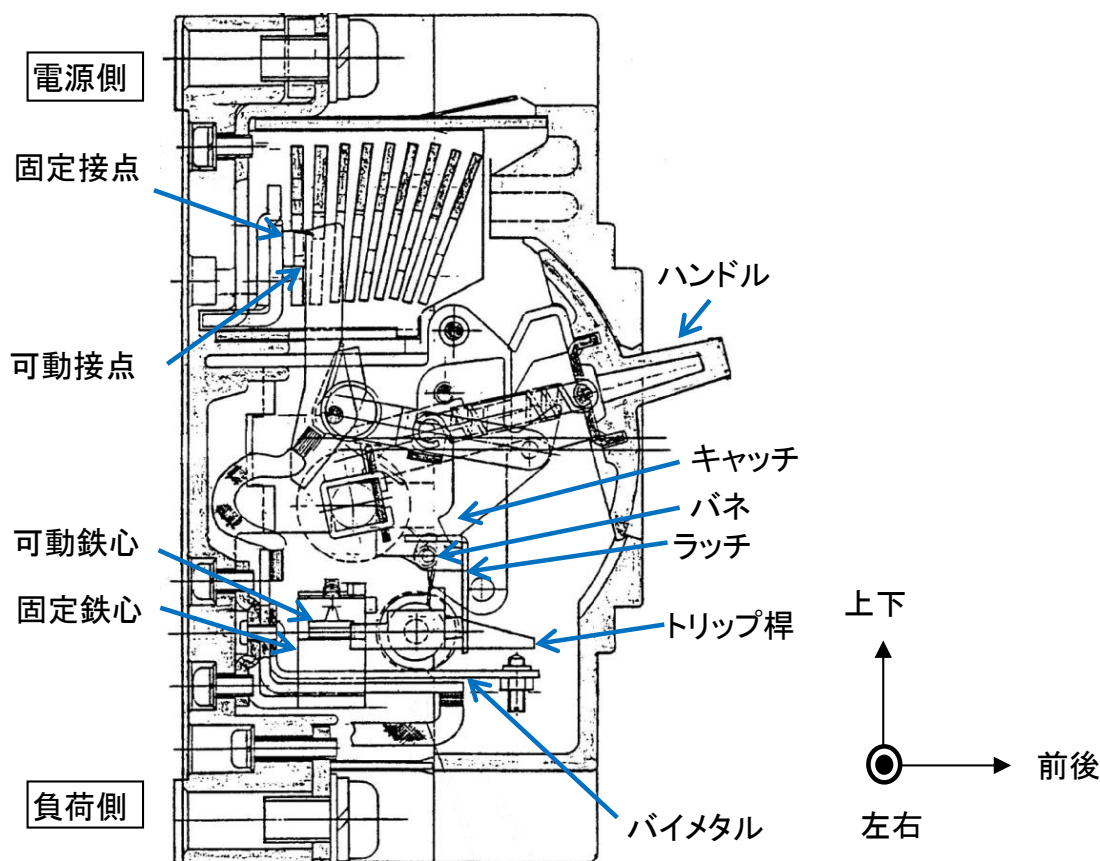
※2：原子炉建物 E L. 23,800mm 基準地震動 S s (暫定値)

9.2.2 ノーヒューズブレーカ (MCCB)

(1) 構造及び作動機構の概要

第9-2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及び完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の作動原理及び内部構造を示す。

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合いが外れ、キャッチがばねにより回転することにより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9-2図 MCCB (熱動電磁式) 構造図

(2) 水平2方向地震力に対する影響検討

第9-2図より、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・ハンドルの逆方向への動作（上下方向）
- ・接点の乖離（前後方向，左右方向）
- ・ラッチ外れによるトリップ（前後方向，上下方向）

上記より，MCCB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・非接触による乖離，左右はずれによる乖離）から，誤動作に至る事象は多次元的な影響はないと考えられる。

ラッチ外れについては，2軸（前後方向，上下方向）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方向の影響はないと考えられる。

なお，既往試験では，ハンドルの移動に起因する誤動作事象は発生していない。

(3) 機能確認済加速度

参考として，機能維持評価用加速度とMCCBの既往試験での機能確認済加速度を第9-2表に示す。

第9-2表 MCCBの機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
機能維持評価用加速後 (G) ^{※2}	1.02	1.28
機能確認済加速度 (G)		

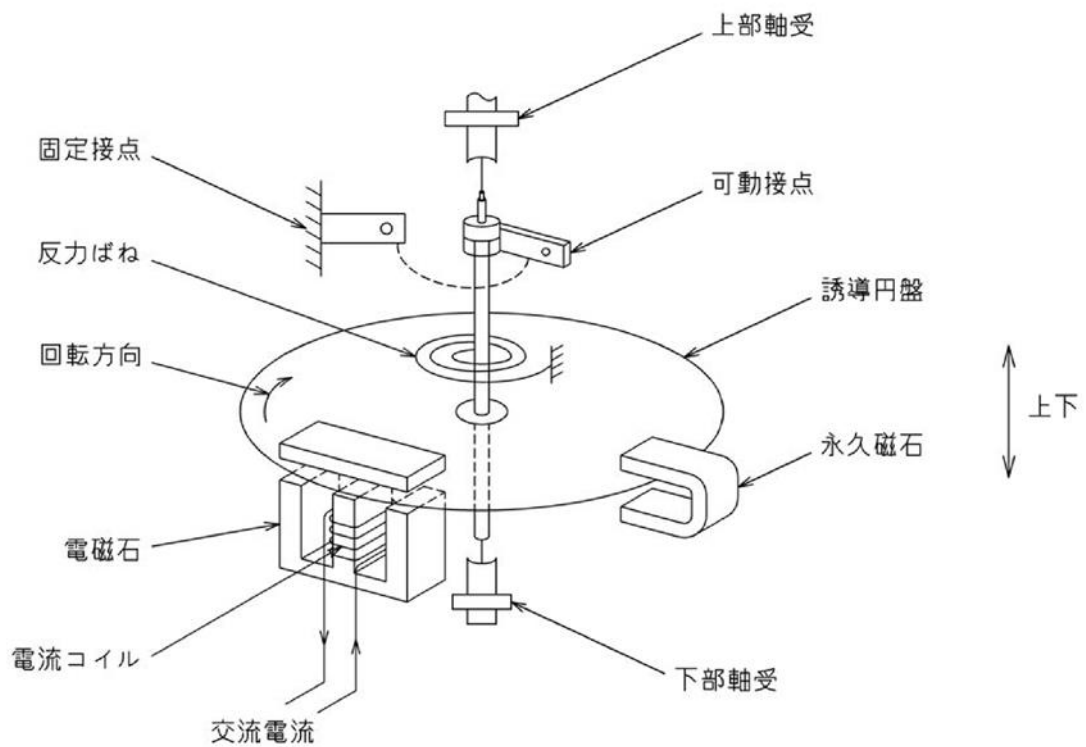
※1：機能維持評価用加速度は前後及び左右方向の最大値，機能確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

※2：原子炉建物 E L. 23,800mm 基準地震動 S s（暫定値）

9.2.3 過電流リレー（保護リレー）

(1) 構造及び作動機構の概要

第9-3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つ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型リレーであり、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9-3図 過電流リレー構造図

(2) 水平2方向地震力に対する影響検討

第9-3図より、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・誘導円板の接触による固渋（上下方向）
- ・可動接点の振動による接点の誤接触（前後方向，左右方向）

誘導円板の固渋については，上下方向に生じるものであるため，水平2方向の影響はない。

接点の誤接触については，昭和56年日本機械学会論文集「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，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。しかしながら，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円板の回転挙動が発生したが，地震波加振試験では円板の回転挙動が発生しないことが確認されており，水平2方向地震力の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，機能維持評価用加速度と過電流リレーの既往試験での機能確認済加速度を第9-3表に示す。

第9-3表 過電流リレーの機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
機能維持評価用加速後 (G) ^{※2}	1.02	1.28
機能確認済加速度 (G)		

※1：機能維持評価用加速度は前後及び左右方向の最大値，機能確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

※2：原子炉建物 E L. 23,800mm 基準地震動 S s（暫定値）

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明

1. はじめに

本資料は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討において、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出について、部材の特性から影響を考慮しないとした部位について、抽出根拠が明確になるよう、代表的な建物について、対象部位の図面を示すものである。

対象部位の図面を示す建物として、原子炉建物を代表として示す。

2. 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出に関する補足説明

2. 1 原子炉建物

原子炉建物の断面図を第2.1-1図に、伏図を第2.1-2図及び第2.1-3図に示す。

なお、平面図については基準階として 2 階（E L 23.8m）並びに上部構造のクレーン階伏図（E L 51.7m）を代表として示す。

a. 柱

独立した隅柱は直交する地震荷重が同時に作用するが、第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり、原子炉建物の隅柱は耐震壁付きの隅柱であり直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

b. 梁

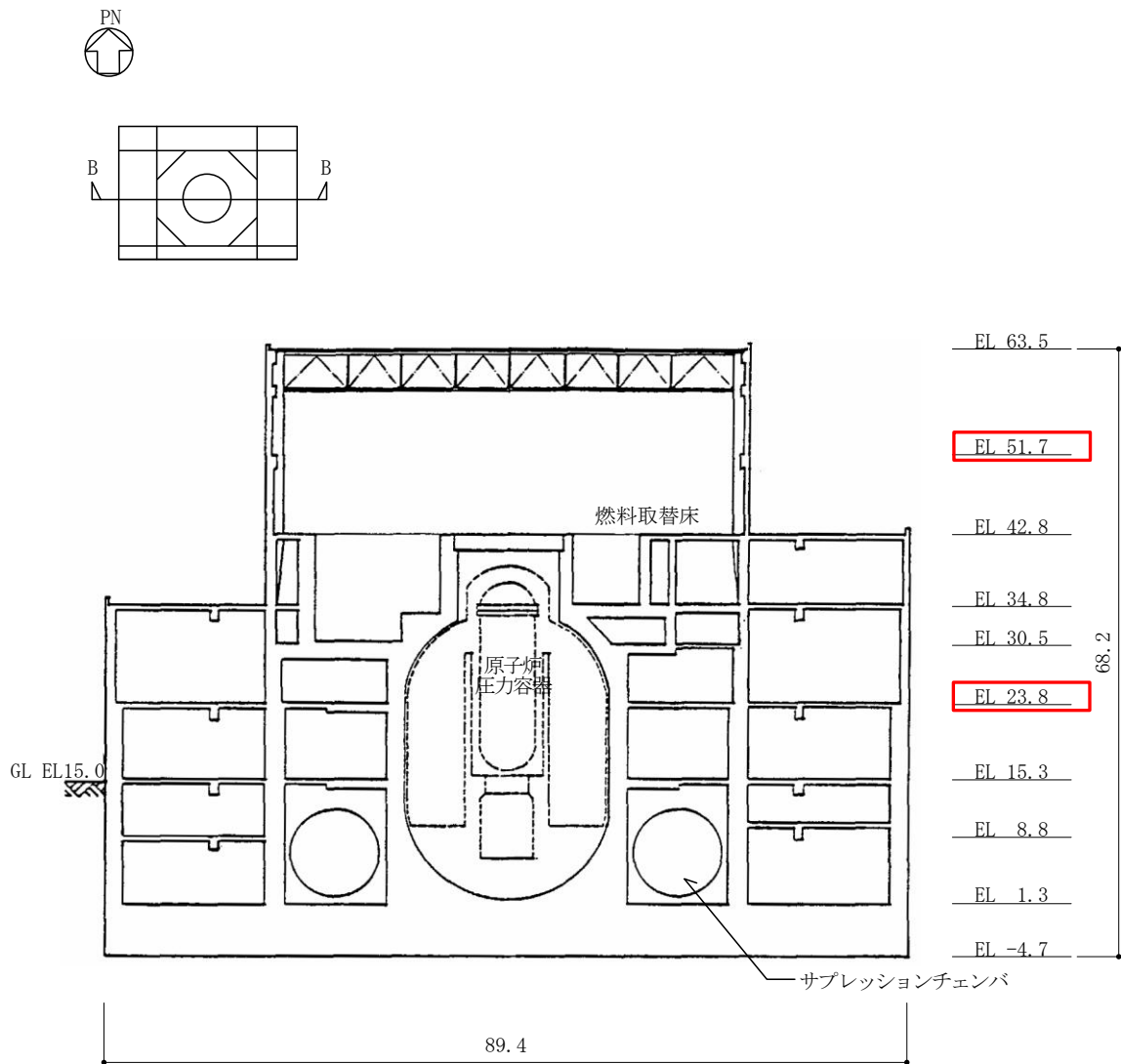
梁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり原子炉建物の梁は床及び壁に拘束されているため、面外荷重負担による影響は小さい。

c. 壁

壁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また、第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり原子炉建物の耐震壁は直交方向に釣り合いよく配置されているため、直交する水平 2 方向の荷重による影響は小さい。

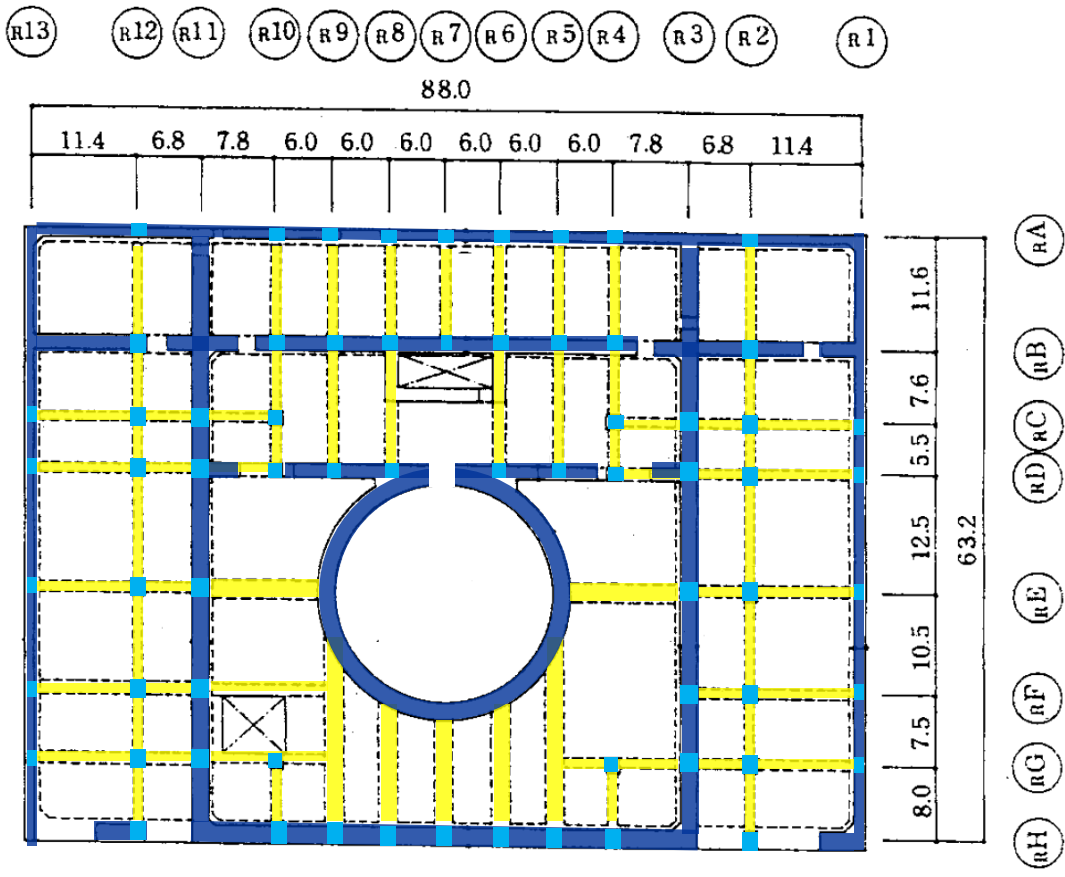
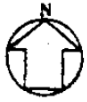
d. 床及び屋根

床及び屋根については、第2.1-2図及び第2.1-3図に示すとおり四辺を壁及び梁で拘束されているため、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。



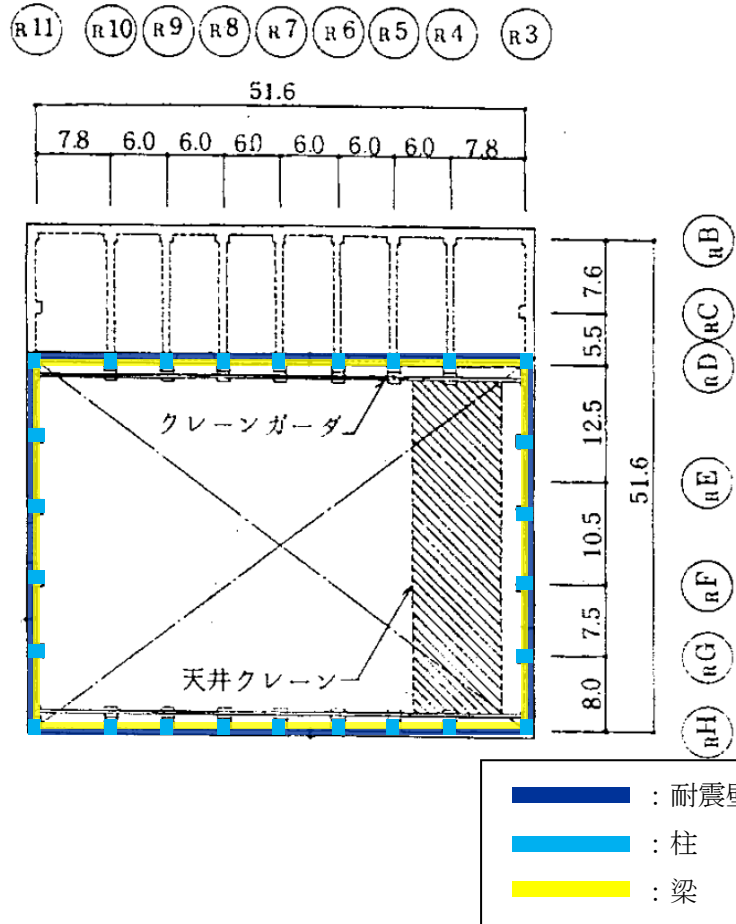
赤枠線内の平面図を示す

第 2.1-1 図 原子炉建物 断面図 (単位 : m)



	: 耐震壁
	: 柱
	: 梁 (外周部除く)

第 2.1-2 図 原子炉建物 2階伏図 (E L 23.8) (単位 : m)



第 2.1-3 図 原子炉建物 クレーン階伏図 (E L 51.7) (単位 : m)

水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに対する梁の力学的特性

1. はじめに

本資料は、水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに対する評価対象部位として梁（一般部・鉄骨トラス）を抽出しない理由について、梁の力学的特性を補足説明するものである。

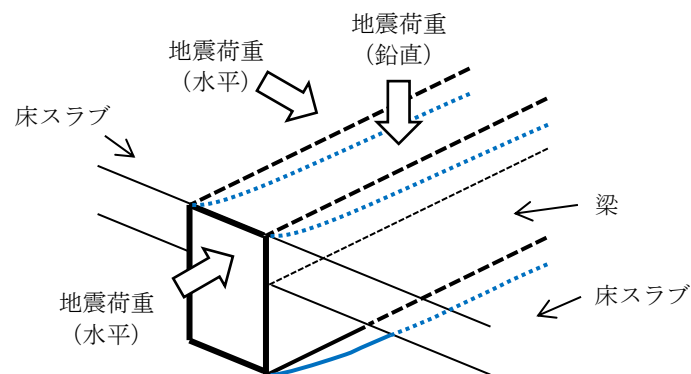
2. 梁の力学的特性

(1) 梁（一般部）

鉛直方向の地震荷重に対して設計されており、直交する水平方向の地震荷重に対しては床スラブで拘束されているため、梁には大きな応力は生じない。地震荷重に対する梁の力学的特性を第2-1図に示す。

(2) 鉄骨トラス

鉛直方向の地震荷重に対して設計されており、直交する水平方向の地震荷重に対しては床スラブやつなぎばりで拘束されているため、鉄骨トラスには大きな応力は生じない。



第2-1図 地震荷重に対する梁の力学的特性

3. まとめ

梁は直交方向の地震力に対しては有効となる直交部材が存在することから、「荷重の組合せによる応答特性が想定される部位」として抽出しない。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価に用いる 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-D 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-N1 については、水平方向の地震動に方向性がないことから、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1方向について模擬地震波を作成し入力する等の方法が考えられる。本資料は、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として策定された基準地震動 S_s-D 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-N1 の水平方向の模擬地震波の作成方針を下記に示す。

(1) 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に対する模擬地震波

基準地震動 S_s-D の模擬地震波について、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、基準地震動を作成した方法と同一の方法で、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、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。応答スペクトルのコントロールポイントを第2-1表に、振幅包絡線の経時的变化を第2-2表に示す。

なお、念のために2000年鳥取県西部地震の2号地盤の鉛直アレイ観測点(T.P.-5.0m)における観測記録から、当該サイトにおいて、水平2方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として、基準地震動 S_s-D を同時に水平2方向に入力した場合のオービット(第2-1図)と、観測記録の水平2方向のオービット(第2-2図)との比較を行った。

第2-1図から、全く同じ地震動を同時に水平2方向に入力した場合、オービットは現実的に考えにくい 45° 方向に直線的な軌跡を示す。一方、第2-2図より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

(2) 「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に対する模擬地震波

基準地震動 S_s-N1 は「震源を特定せず策定する地震動」として、2004年

北海道留萌支庁南部地震の観測記録より策定された地震動である。基準地震動 $S_s - N1$ における水平方向の地震動は、観測記録から推定される解放基盤表面相当位置の地震動に基づき作成されている。模擬地震波については、基準地震動 $S_s - N1$ の作成方法と同一の方法で、基準地震動 $S_s - N1$ で用いた観測記録と水平方向に直交する観測記録から作成する。

3. 位相特性の異なる模擬地震波の作成例

基準地震動 $S_s - D$ 及び基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形と、それぞれの地震波を2方向入力した場合のオービットを第3-1図に示す。

第3-1図に示すように、基準地震動 $S_s - D$ と新たに作成した基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波のオービットはランダムな軌跡を示している。

また、基準地震動 $S_s - D$ 及び基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の応答スペクトルを第3-2図に示す。なお、目標とする応答スペクトル値に対する、基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の S/I 比は1.0以上、応答スペクトル比は0.85以上である。応答スペクトル比を第3-3図に示す。

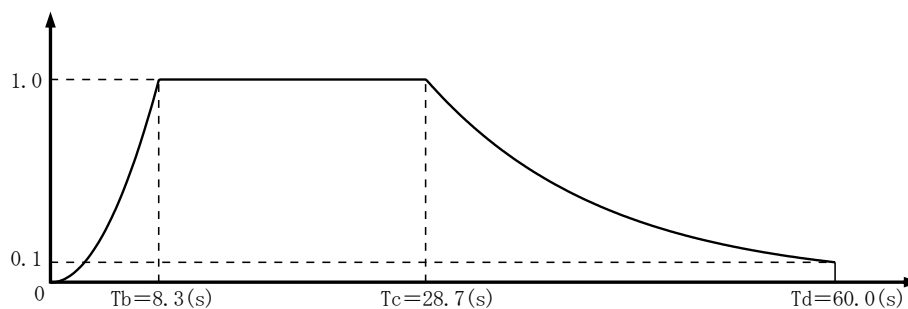
第3-2図に示すように、基準地震動 $S_s - D$ と新たに作成した基準地震動 $S_s - D$ と位相特性の異なる模擬地震波の応答スペクトルは、ほぼ同じである。

第2-1表 応答スペクトルのコントロールポイント

S s - D コントロール ポイント	周期 (s)	A 0.020	B 0.050	C 0.087	D 0.14	E 0.20	F 0.29	G 0.60	H 1.75	I 5.00
	速度 (cm/s)	2.611	10.35	25.62	41.22	45.63	61.16	108.5	170.0	170.0

第2-2表 振幅包絡線の経時的変化

模擬 地震波	最大加速度 (cm/s ²)	マグニチュード M	等価震源距離 X _{eq} (km)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
				T _b	T _c	T _d (継続時間)
S s - D	820	7.7	17.3	8.3	28.7	60.0

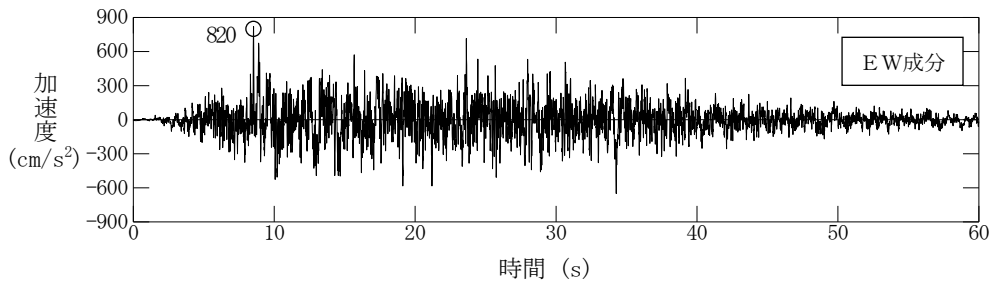
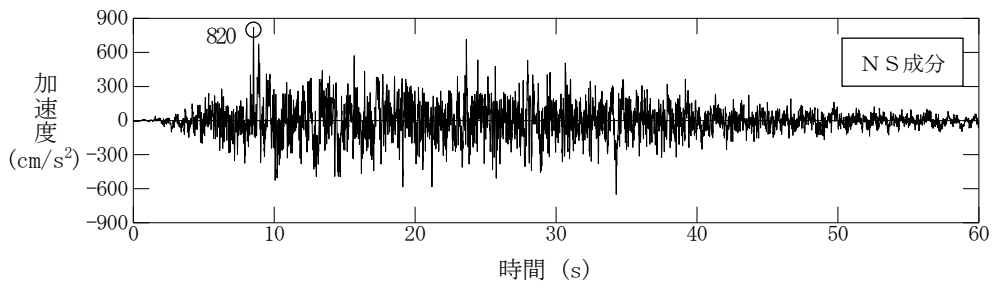


$$T_b = 10^{0.5M-2.93}$$

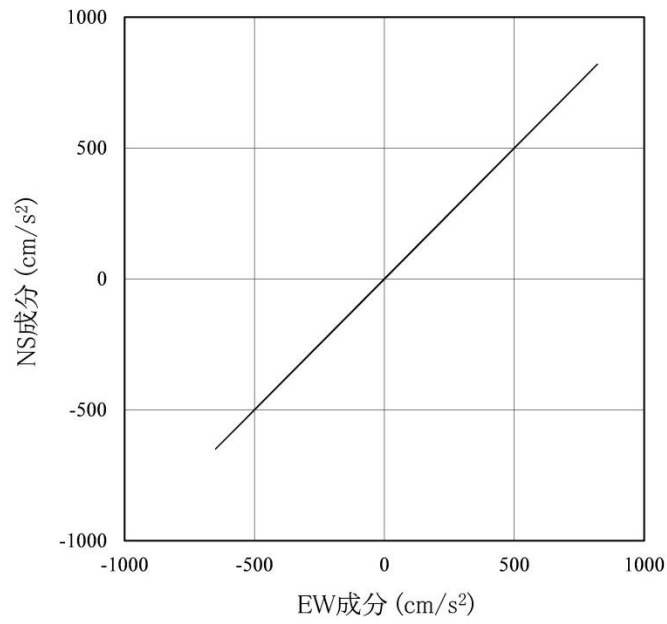
$$T_c - T_b = 10^{0.3M-1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M+0.541\log X_{eq}-0.6}$$

$$\text{振幅包絡線} : E(T) = \begin{cases} (T/T_b)^2 & 0 \leq T \leq T_b \\ 1.0 & T_b \leq T \leq T_c \\ e^{\frac{\ln(0.1)}{T_d-T_c}(T-T_c)} & T_c \leq T \leq T_d \end{cases}$$

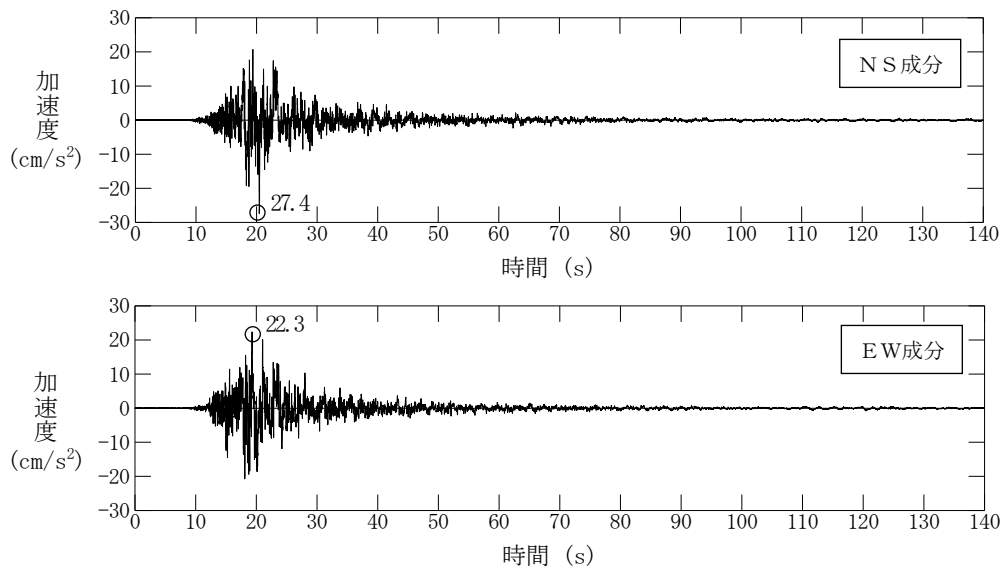


(a) 加速度時刻歴波形

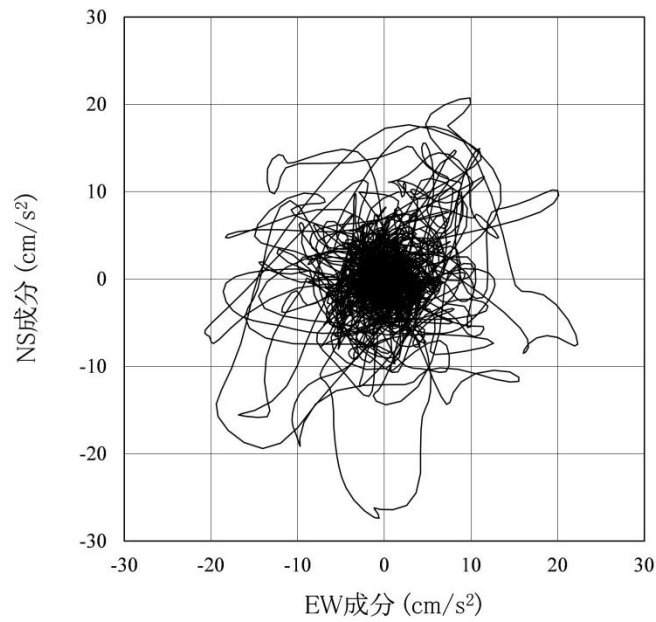


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

第2-1図 基準地震動 S s - D

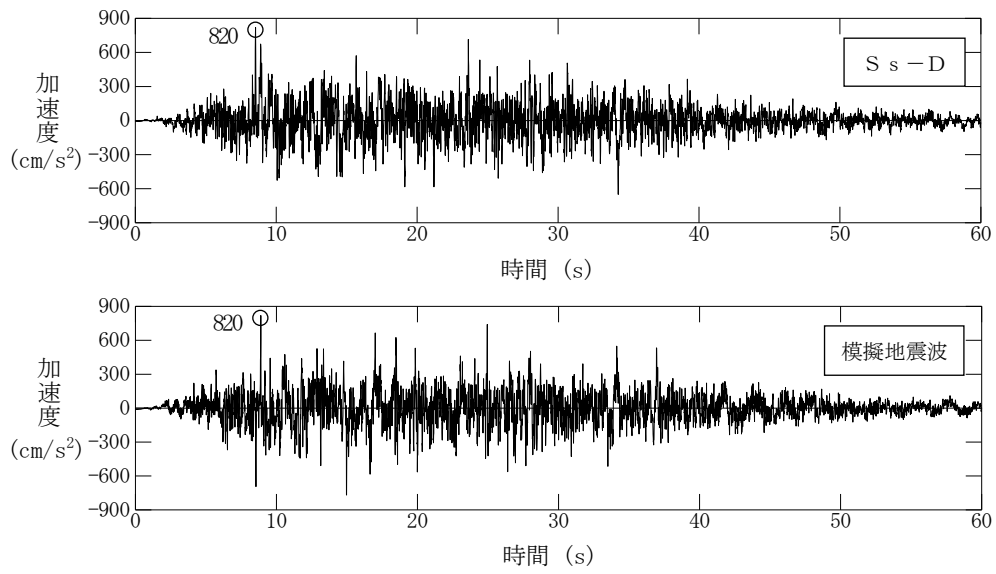


(a) 加速度時刻歴波形

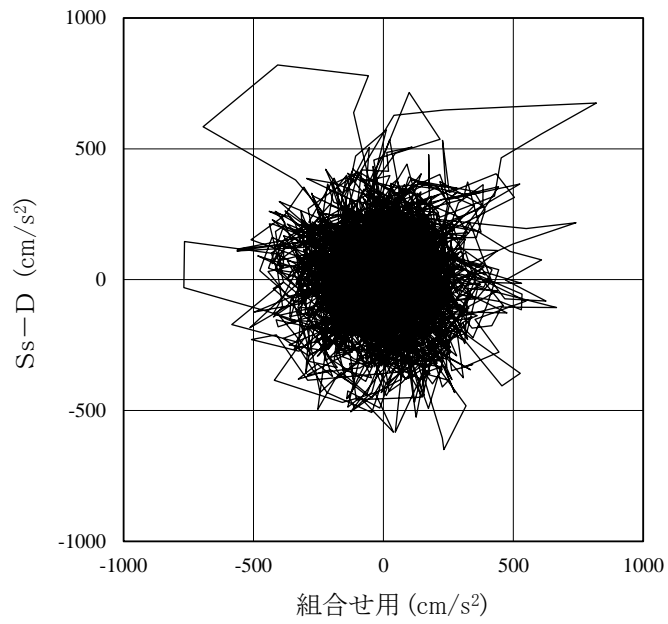


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

第2-2図 2000年鳥取県西部地震観測記録
(2号地盤の鉛直アレイ観測点 T. P. -5.0m)

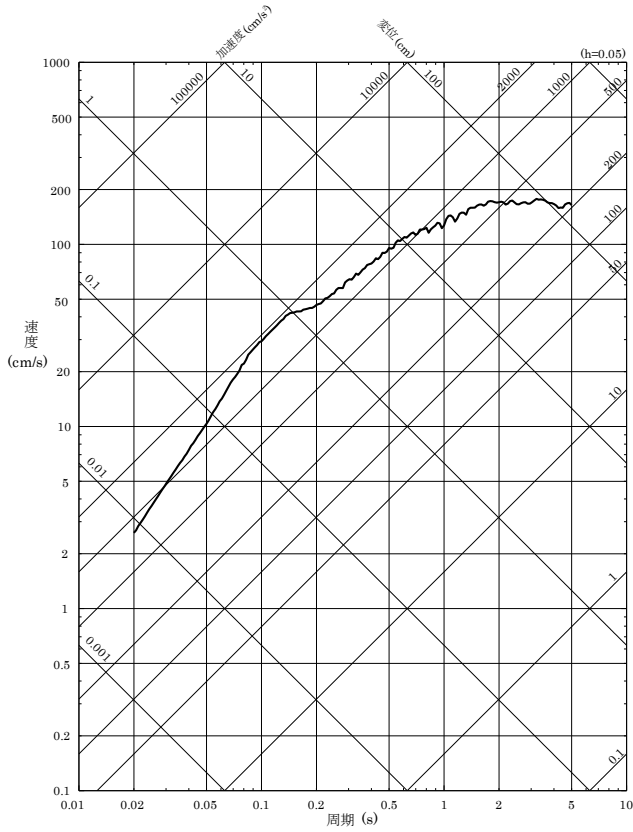


(a) 加速度時刻歴波形

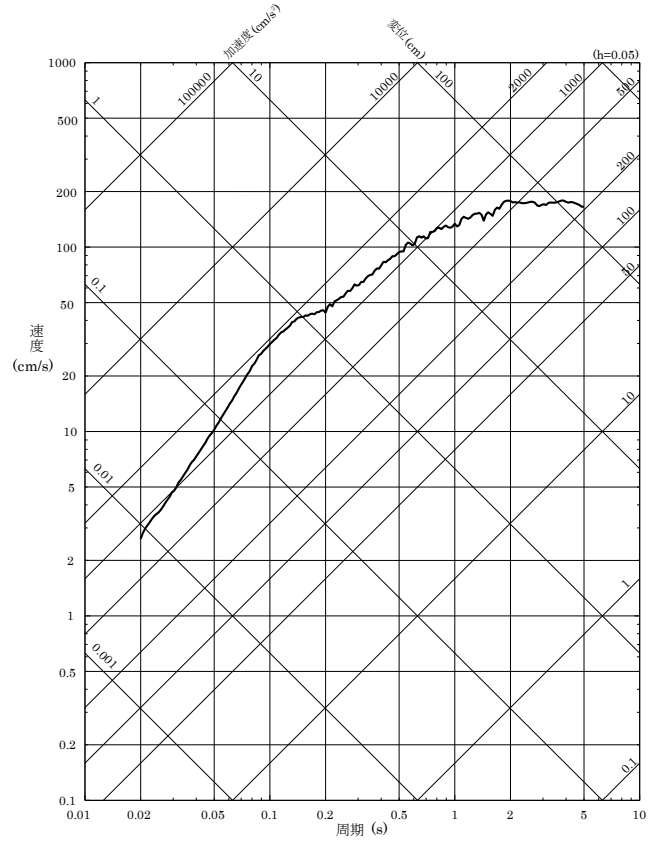


(b) 水平2方向の加速度成分のオービット

第3-1図 基準地震動 $S_s - D$ 及び位相特性の異なる模擬地震波

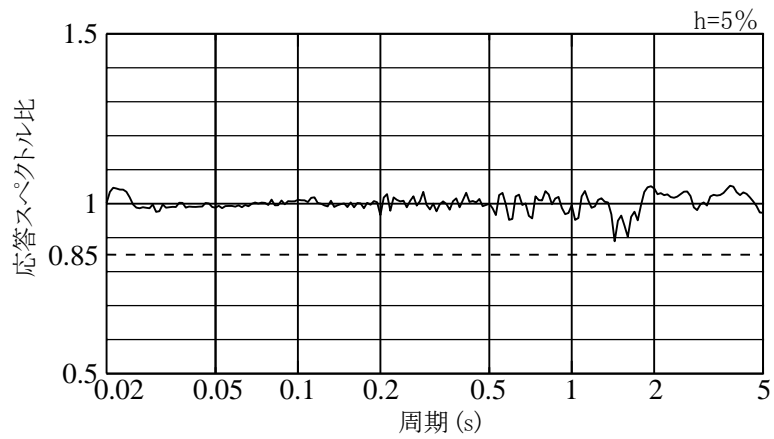


(a) 基準地震動 S s - D



(b) 基準地震動 S s - D と位相特性の異なる
模擬地震波

第3-2図 応答スペクトル



第3-3図 基準地震動 S s - D と位相特性の異なる模擬地震波の
応答スペクトル比

島根原子力発電所 2 号炉

液状化影響の検討方針について

別紙-11 液状化影響の検討方針について

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化強度特性の網羅性，代表性
 - 3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性
 - 3.1.1 液状化試験試料採取位置の選定
 - 3.1.2 液状化試験試料採取位置の代表性確認
 - 3.2 液状化試験結果
 - 3.2.1 液状化試験方法
 - 3.2.2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
 - 3.2.3 試験結果の分類
 - 3.3 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認
 - 3.4 簡易設定法
 - 3.5 液状化強度特性の設定方針
4. 液状化影響の評価方針
 - 4.1 液状化影響の検討方針
 - 4.2 液状化検討対象施設の選定
5. 参考文献

1. 液状化評価の基本方針

本資料では、耐震設計における液状化影響の検討方針を示す。

設計基準対象施設（建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設）及び重大事故等対処施設においては、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状の影響を考慮した場合においても、当該施設の安全機能が損なわれる恐れがないように設計する。

設計基準対象施設は、防波壁の設置及び地盤改良を実施したことにより地下水の流れが遮断され地下水位が上昇する恐れがあることを踏まえ、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備を設置する。設計基準対象施設（建物、構築物）である原子炉建物等においては、地下水位低下設備の機能に期待して設計地下水位を設定する。また、設計基準対象施設（屋外重要土木構造物及び津波防護施設）及び重大事故等対処施設においては、地下水位低下設備の機能に期待せず、自然水位より保守的に設定した水位を設計地下水位として設定する。なお、各施設の設計地下水位は詳細設計段階において設定する。

設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の動的解析において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえたうえで実施した液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法による液状化強度特性を設定する。

設計基準対象施設及び重大事故等対処施設においては、設置状況を考慮し、液状化の影響を検討する必要がある液状化検討対象候補施設を抽出する。液状化検討対象施設については、施設が岩盤中に設置されているか、施設周辺の地下水位が十分に低いかの観点から選定する。

第1-1図に液状化評価の流れ、第1-1表に液状化評価の基本方針を示す。

液状化評価については道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（（社）日本道路協会、H24.3）（以下、「道路橋示方書」という）を基本とするが、液状化評価の対象外となっている50%粒径が10mmを超過する、又は、10mm以下であっても10%粒径が1mmを超過する土層については、粒径2mm未満の砂を含む場合は念のため液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施し、粒径2mm未満の砂を含まない場合は土質性状等を踏まえて液状化の有無を確認する。

また、島根原子力発電所の津波防護施設や護岸等は、港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会、H19年版）（以下、「港湾基準」という）に基づき設計されていることを踏まえ、港湾基準に基づいた液状化評価も行うが、土の粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれない土層については、粒径2mm未満の砂を含む場合は念のため液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施し、粒径2mm未満の砂を含まない場合は土質性状等を踏まえて液状化の有無を確認する。なお、島根原子力発電所の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に該当する建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設は、堅固な地盤上に設置されており、液状化の影響検討を行う地盤

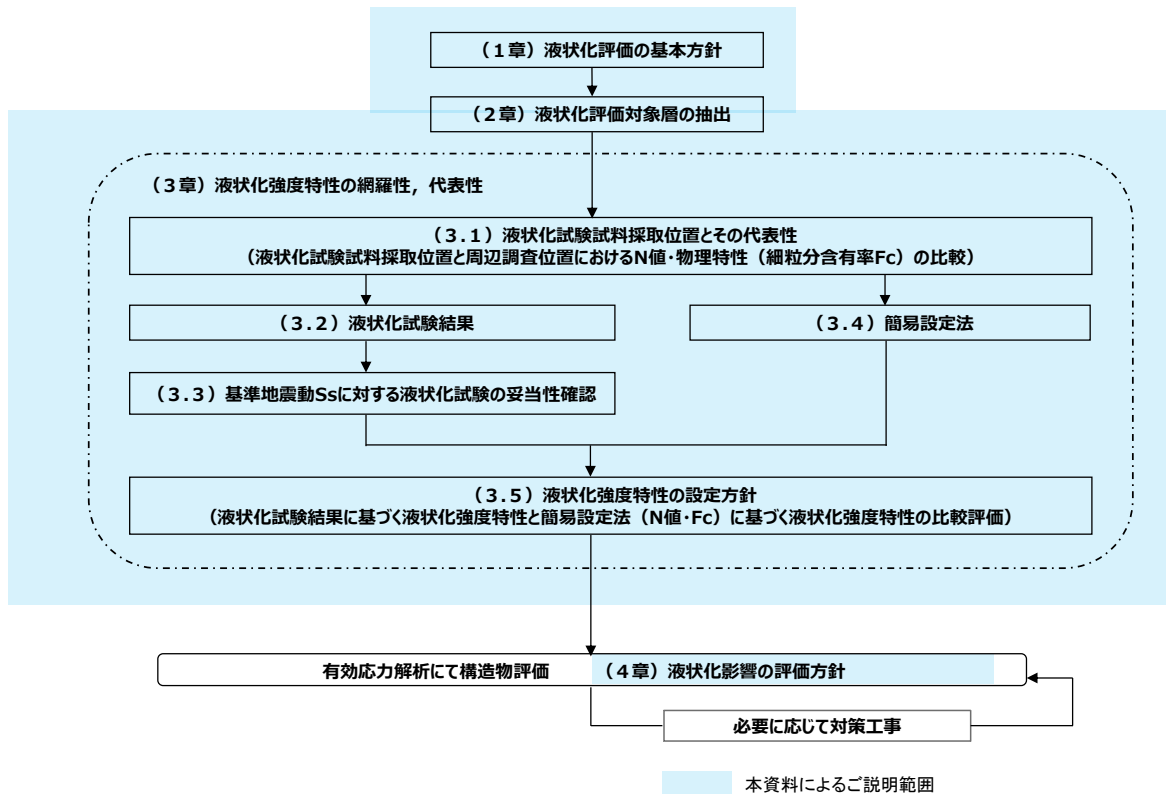
は構造物の「周辺地盤」である。

液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『液状化』又は『繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）』、若しくは『非液状化』と判定する。

液状化強度特性は、港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター、H19年版）（以下、「設計事例集」という）に準拠し、有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法（以下、「簡易設定法」という）により設定する。なお、液状化試験結果が繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）、若しくは非液状化となる土層も、念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。また、簡易設定法より設定した液状化強度特性は、液状化試験結果による液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。

島根原子力発電所の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に該当する建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設は、堅固な地盤上に設置されていることから、設計地下水位以深の周辺地盤において埋戻土（掘削ズリ）又は砂礫層が分布している構造物の中から、工認段階において液状化影響評価対象施設を選定する。

なお、波及的影響評価において抽出される屋外下位クラス施設に対する基本方針は、波及的影響評価の中で整理を行う。



第1-1 図 液状化評価の流れ

第1-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象土層			道路橋示方書 及び港湾基準 における液状 化評価の対象	当社評価		
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験 による判定	液状化強度特性 の設定の考え方	液状化強度特性 の保守性
被 覆 層	盛土	完新世	E-2~E-8, A~E 埋戻土 (掘削スリ)	× 対象外	設計事例集に準拠 し、FLIPの簡易設 定法に基づき設定する。	簡易設定法に基づき設定 した液状化強度特性 が、液状化試験結果 による液状化強度特 性と比べ保守的であ ることを確認する。
	崖錐・海底堆積物	完新世	E-1, E-7, E-8 砂礫層	○ 対象		

2. 液状化評価対象層の抽出

第2-1表に敷地の地質層序表を示す。敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類からなる成相寺層及び貫入岩類、並びにそれらを覆う被覆層から構成される。成相寺層は海成層で、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層及び上部頁岩部層に区分される。

被覆層は、崖錐・海底堆積物及び盛土からなる。崖錐・海底堆積物は主に礫混じり砂質土及び礫混じり粘性土からなり、約2m～5mの厚さで、斜面中腹や裾部、あるいは谷部等の傾斜面に分布する。また、盛土は1号炉、2号炉及び3号炉建設時の埋立地等に分布する。

敷地の被覆層である盛土は、埋戻土（掘削ズリ）と埋戻土（粘性土）に分類している。

埋戻土（掘削ズリ）は、発電所建設時の敷地造成において発生した新第三紀中新世の成相寺層の岩砕が主体となっており、広く分布する。

埋戻土（粘性土）は、護岸建設時に、背面の止水性を担保するために幅20m程度にわたり裏込めしたものである。第2-1図に被覆層のボーリング柱状図を示す。

敷地の被覆層である崖錐・海底堆積物は、砂礫層として分類している。

液状化評価対象層については、道路橋示方書及び港湾基準に基づいて対象層を抽出した。第2-2図に道路橋示方書の液状化評価対象層の抽出フローを示す。

また、第2-3図に港湾基準の液状化判定に用いる粒度分布図を示す。

第2-4図に発電所建設前の地形立体図を示す。1号炉、2号炉及び3号炉の建設に当たり、周辺の山を掘削して敷地を造成し、原子炉建物、取水槽等の施設を岩盤上に設置した。敷地の前面（北側）に護岸を設置し、敷地造成において発生した岩砕を主体とする埋戻土（掘削ズリ）により埋戻した。なお、護岸背面の止水性を担保するための埋戻土（粘性土）が1、2号炉北側に分布し、砂礫層として分類した崖錐・海底堆積物が1号炉東側、3号炉北側及び輪谷湾周辺において局所的に分布する。

対象設備周辺の地層の分布状況について第2-5図、第2-6図及び第2-7図に整理した。

埋戻土（掘削ズリ）は、敷地全体において概ね全域にわたって広範囲に分布する。

埋戻土（粘性土）は、1、2号炉北側護岸背面にのみ分布する。

砂礫層は、1号炉東側のEL. +15m以下の敷地、3号炉北側のEL. +8.5m以下の敷地及び輪谷湾周辺において局所的に分布する。

敷地内における購入地盤材料の使用箇所を第2-8図に示す。取水管、3号炉東側護岸・岸壁、1、2号炉北側護岸、防波堤等において、砕石、基礎捨石、被覆石を使用している。

購入地盤材料は天然石材であり、粒度調整されたものである。

敷地内でEL. +15m以下に分布する地盤材料の抽出結果を第2-2表に示す。

埋戻土（粘性土）は、護岸建設時に、背面の止水性を担保するために施工して

いる。埋戻土（粘性土）の分布状況，試験に用いた試料の採取位置を第2-9図に，採取した埋戻土（粘性土）の写真を第2-10図に示す。また，塑性図による粘性土の分類を第2-11図に示す。

第2-11図より，埋戻土（粘性土）は，土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）より，低液性限界の粘土（CL）に分類される。A線より下側の場合はシルトに分類されるが，埋戻土（粘性土）は塑性指数 I_p が大きいため粘土に分類される。

基礎捨石は，1，2号炉北側護岸，防波堤等に使用している。寸法200mmから250mm程度の材料を使用しているため間隙が大きく，十分な透水性を有する。基礎捨石の設置状況の写真を第2-12図に示す。

被覆石は，1，2号炉北側護岸等に使用している。寸法700mmから800mm程度の材料を使用しているため間隙が大きく，十分な透水性を有する。被覆石の寸法及び設置状況の写真を第2-13図に示す。

道路橋示方書に基づき液状化評価対象層を抽出した結果を第2-14図に示す。液状化の判定を行う必要がある土層は砂礫層のみである。

港湾基準に基づき液状化評価対象層を抽出した結果を第2-15図に示す。粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれないため，液状化の判定を行う必要がある土層はない。

道路橋示方書では，50%粒径が10mm以下で，かつ，10%粒径が1mm以下である土層について液状化評価対象層としているが，本評価では50%粒径が10mmを超過する，又は，50%粒径が10mm以下であっても10%粒径が1mmを超過する土層についても，同様に抽出対象とする。

港湾基準では，粒度による土の分類を行い，粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれる土を液状化評価対象層としているが，範囲以外に含まれる土についても同様に抽出対象とする。

以上より，敷地内の液状化評価対象層として，被覆層の分布状況，道路橋示方書及び港湾基準に基づく液状化評価対象層の抽出結果を踏まえ，保守的に埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を抽出した。

第2-1 表 敷地の地質層序表

地質時代		地層名		主要構成地質	
新生代	第四紀	完新世	被覆層	盛土	埋戻土(掘削ズリ)・埋戻土(粘性土)
				崖錐・海底堆積物	礫混じり砂質土・礫混じり粘性土
	新第三紀	中新世		貫入岩類	ドレライト・安山岩
			成相寺層	上部頁岩部層	黒色頁岩
				火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩
				下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩

標尺 (m)	層高 (m)	深度 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	記事
7.58	0.80	0.80		盛土	淡灰			0.05AS以深パラス
1								
2								
3				玉石混じり砂礫	暗黄灰	暗灰	緩い	部分的にL=10~20cmの短柱状で採取される玉石を多く含有。玉石は硬質で短柱状コア主体。礫間充填物は、若干細粒分(粘土)含有する中、粗砂が主体。礫・玉石含有率は40~50%程度。
4								
5								
6								
7	1.38	6.20	7.00					
8				礫混じり砂質シルト	暗褐灰	赤褐		上部硬質なφ20mm内外の角礫多く含有。下部に従い砂と風化礫多く含有する粘土。含水少なく粘着力大。
9								
10								
11								
12	-3.12	4.50	11.50					
13								
14				玉石				細粒分流出し、礫・玉石密集。部分的にコア採取率著しく低くなる。φ10~50mmの礫とL=10~20cm前後で採取される玉石多い。又max=50cm 礫・玉石は新鮮・硬質。
15								
16								
17	-8.62	5.50	17.00					
18				粘土質砂礫				全体に粘土分多く含有。礫はφ10~30mm主体。部分的にL=10cmで採取される玉石点存在。礫間充填物は粘土混じり砂~砂礫。
19								
20								
21	-12.62	4.00	21.00					
22				礫混じり粘性土	黒灰			上部均質であり、GL-23.50m以深有機物(木片)や小礫砂を多く含有する粘土。
23	-14.12	1.50	22.50					
24				軟岩	灰	黒灰		上部凝灰角礫岩 凝灰岩~泥岩~凝灰礫。GL-23.0m付近うすく粘土化認められる。GL-23.0~24.0m間コア肌粗く、酸化変色著しい。以深、泥岩は破碎状、凝灰岩は新鮮・硬質となる。亀裂沿いに礫状風化。岩質は硬質で短柱状コア主体。CL~CM級岩盤。
25								
26	-17.62	3.50	26.00					

深度m
6.50



深度m
10.50

7.00
埋戻土(掘削ズリ)



深度m
20.50

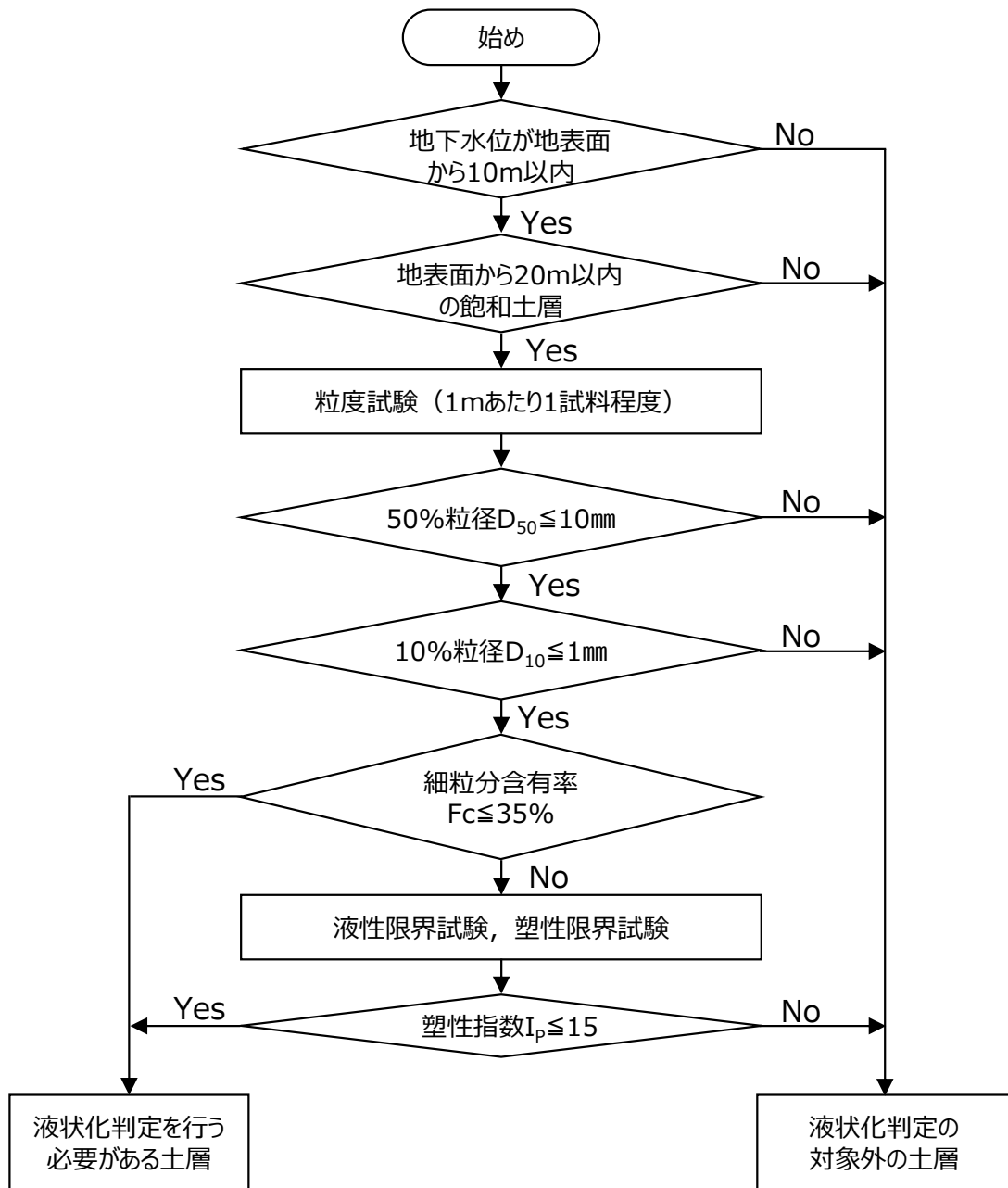
11.00
埋戻土(粘性土)



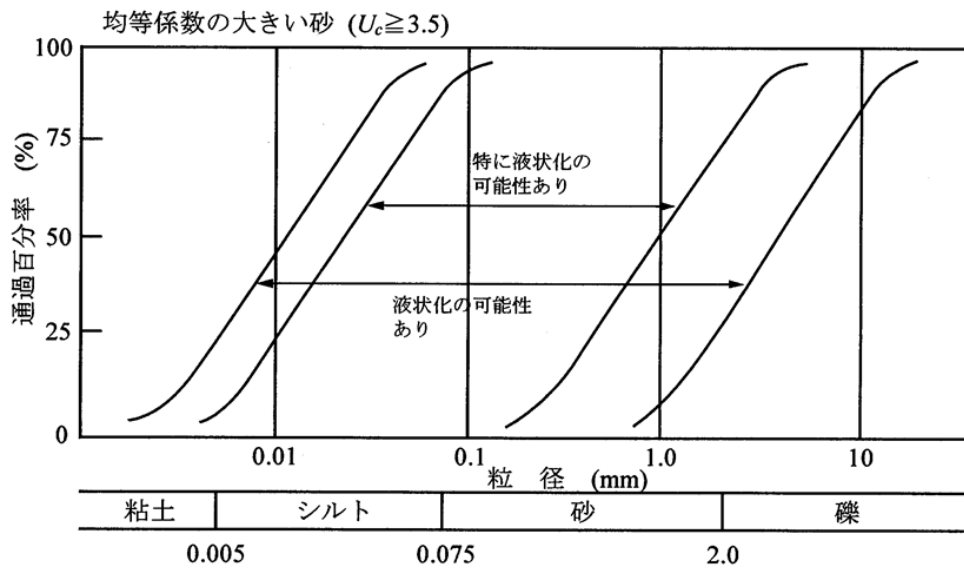
21.00

砂礫層

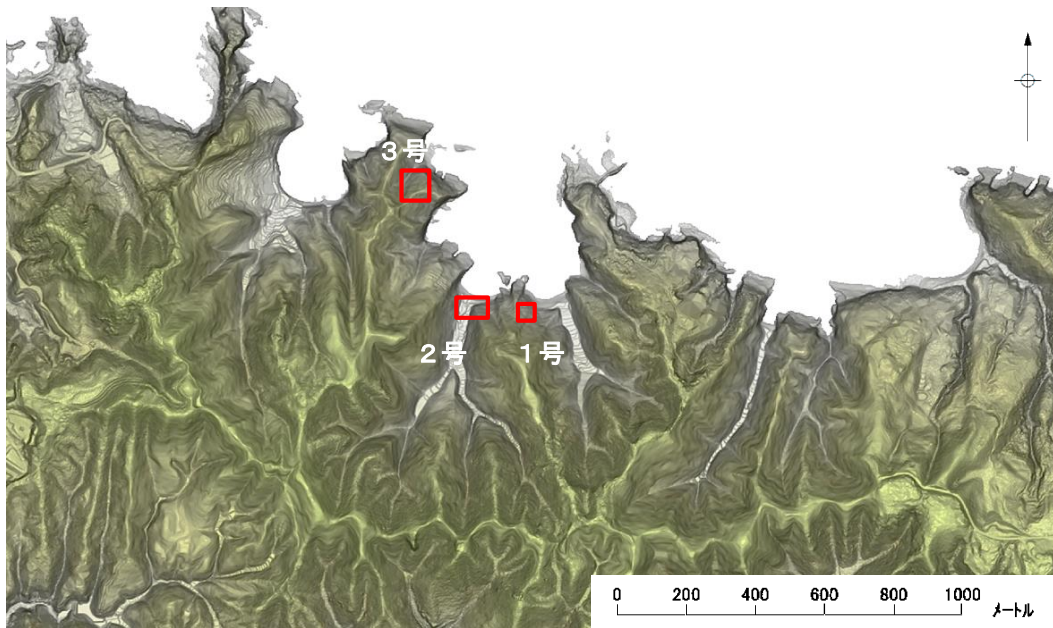
第2-1 図 敷地内の被覆層について



第2-2 図 液状化評価の対象層の抽出フロー 道路橋示方書

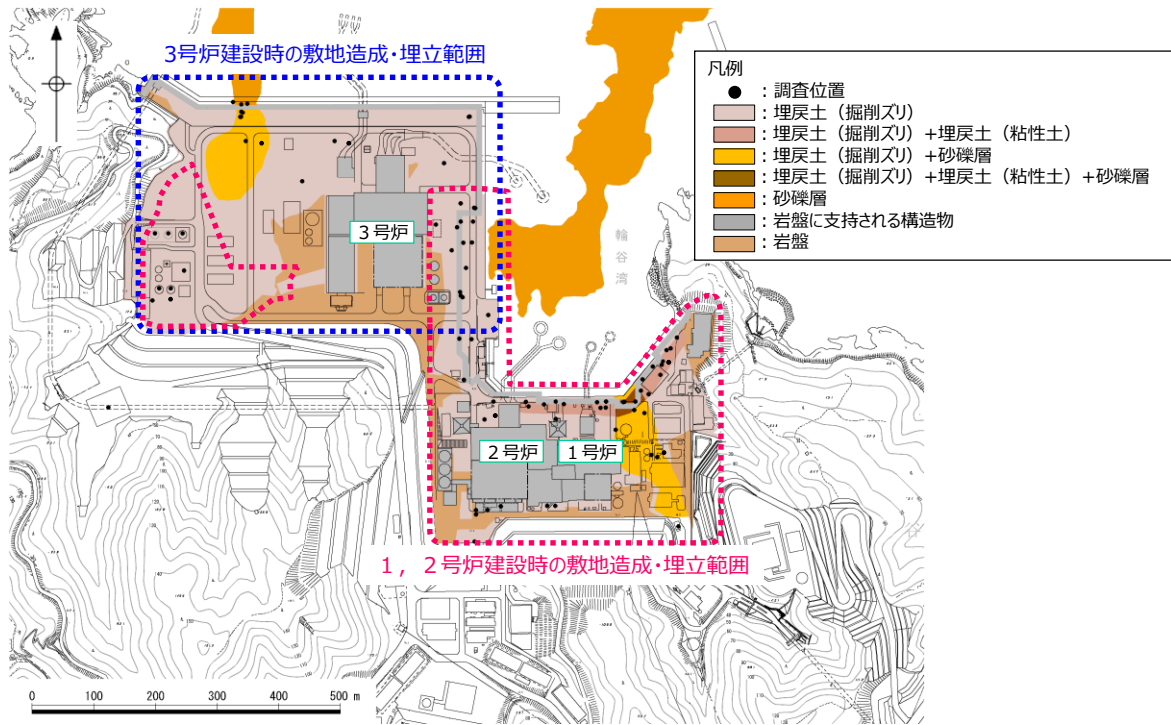


第2-3 図 粒度による液状化判定 港湾基準

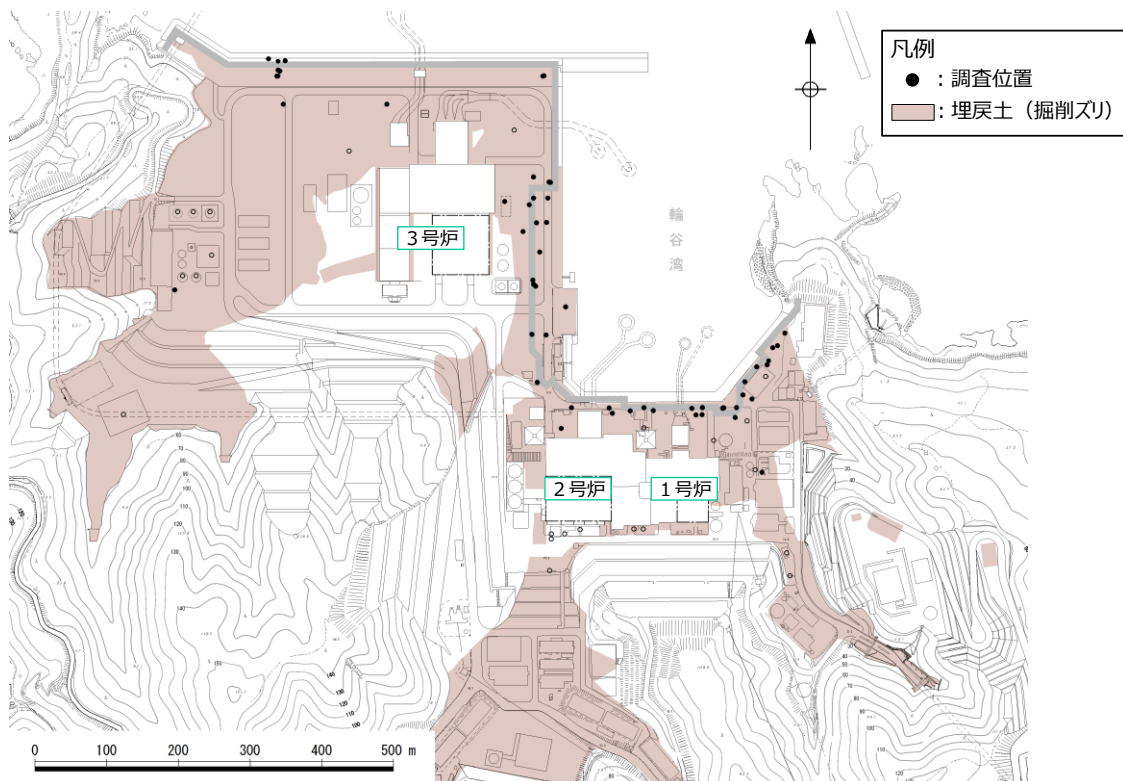


※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに、空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの

第2-4 図 発電所建設前の地形立体図

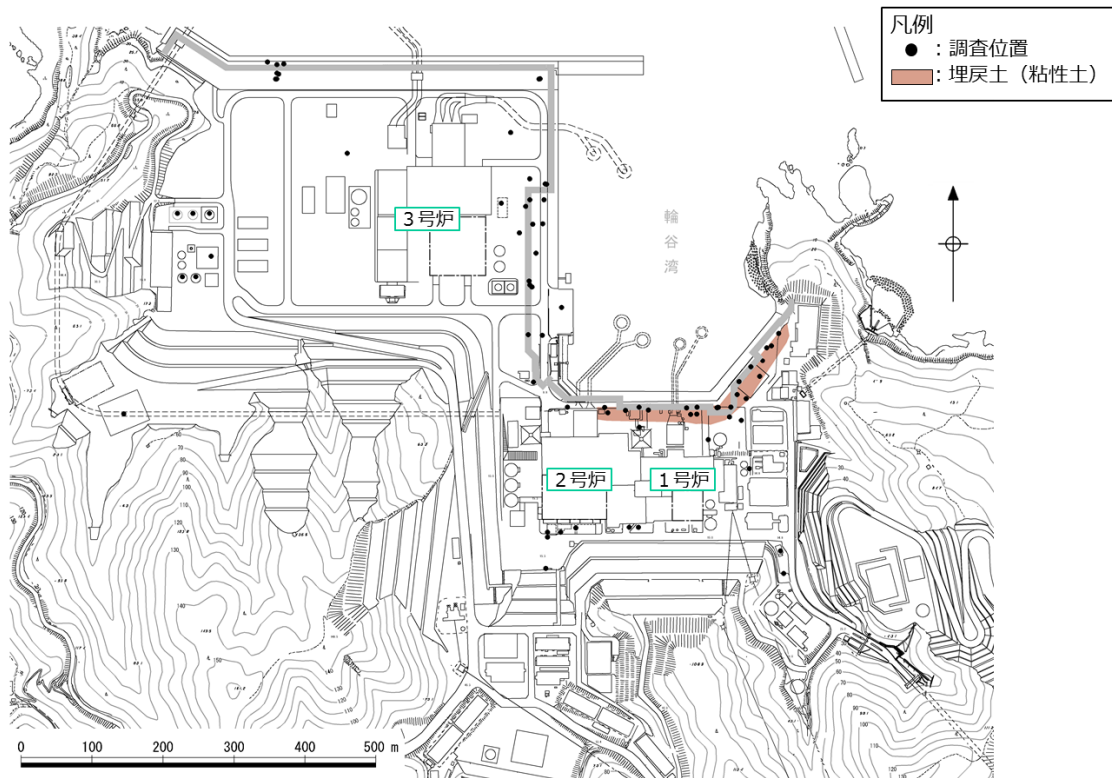


第2-5 図 敷地の被覆層（平面図）

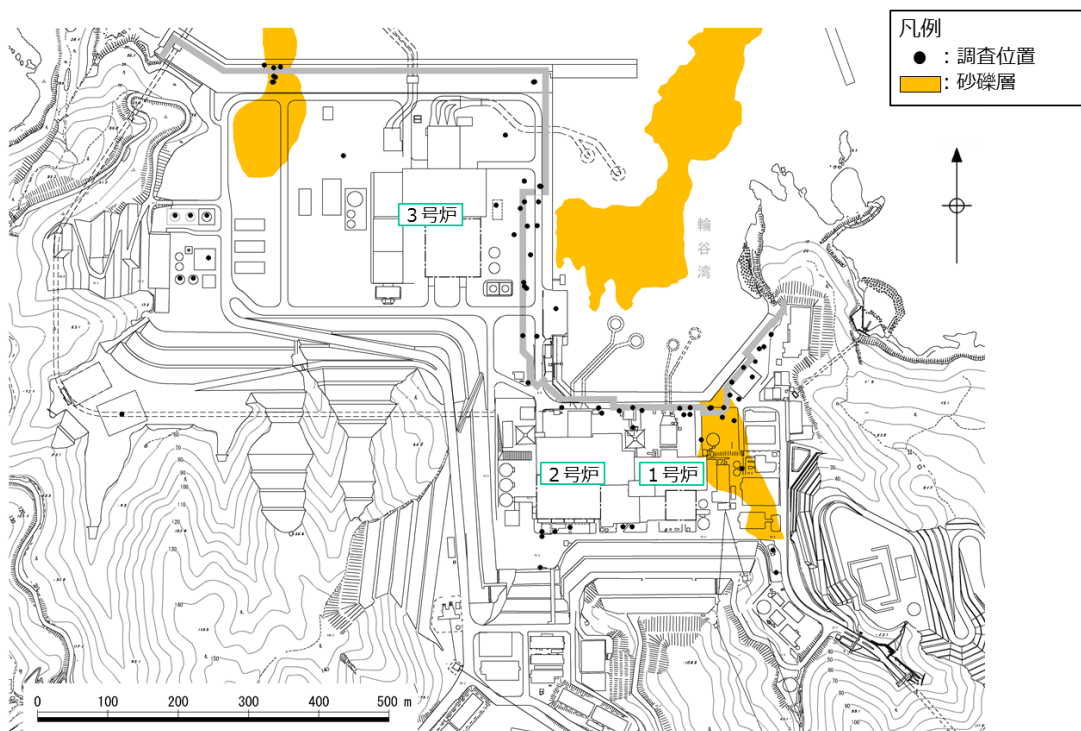


第2-6 図 敷地の地層分布状況（平面図）

(a) 埋戻土（掘削ズリ）分布図

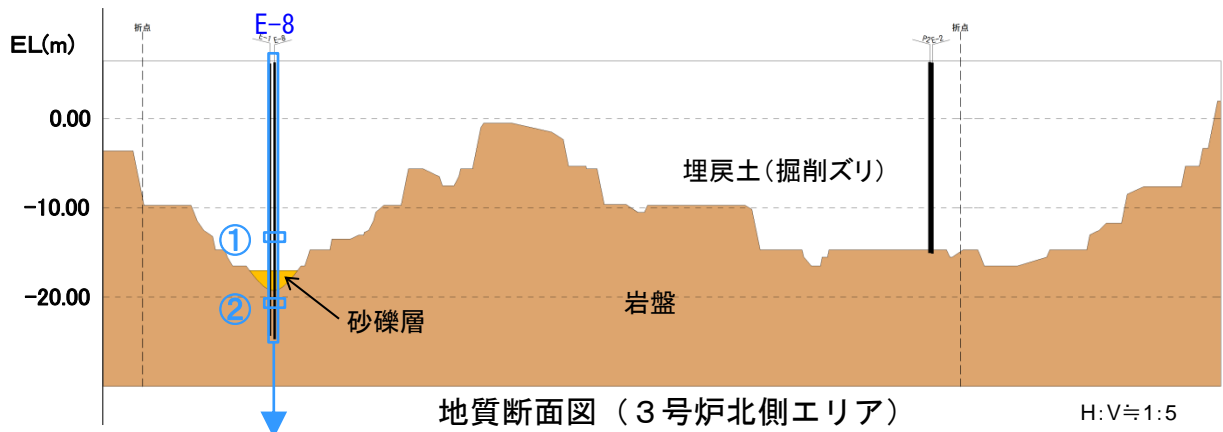


第2-6 図 敷地の地層分布状況（平面図）
 (b) 埋戻土（粘性土）分布図



※輪谷湾周辺の砂礫層分布（自社調査（H7））

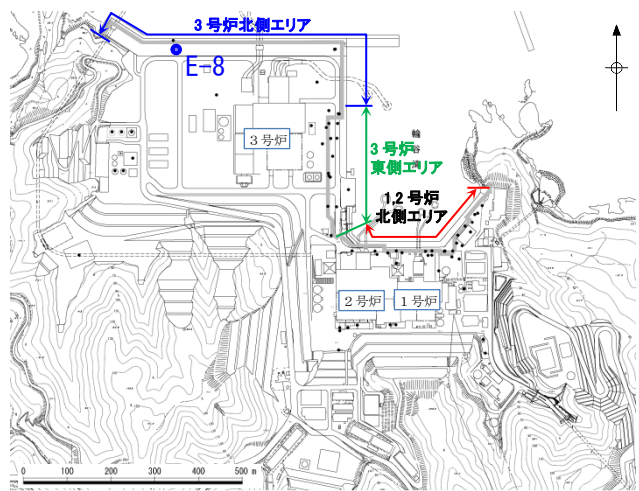
第2-6 図 敷地の地層分布状況（平面図）
 (c) 砂礫層分布図



地質断面図 (3号炉北側エリア)

H:V≒1:5

標尺	層高	層厚	深	柱状	土質	色	相対	相	相	記
(m)	(m)	(m)	(m)	図	区分	調	密	稠	度	事
1	4.82	1.50	1.50		玉石混り砂質礫	暗褐色	中位	非	常	試掘区間の埋戻土。片状の玉石点存在。φ70mmの片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
2					玉石混り砂質礫	暗褐色	中位	非	常	玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
3					玉石混り砂質礫	暗褐色	中位	非	常	玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
4					玉石混り砂質礫	暗褐色	中位	非	常	玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
5					玉石混り砂質礫	暗褐色	中位	非	常	玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
6	0.82	4.00	5.50		コンクリート砂質礫	灰	密	な		旧表面コンクリート
7	0.52	0.30	5.80		砂質礫	暗褐色	密	な		細礫~粗砂主体。含水中位。
8	-0.18	0.70	6.50		砂質礫	暗褐色	密	な		細礫~粗砂主体。含水中位。
9					砂質礫	暗褐色	密	な		細礫~粗砂主体。含水中位。
10	-3.03	2.85	9.35		シルト暗褐色	暗褐色	緩	い		粗砂~細礫主体。一部φ50mm前後の片状礫。垂角礫が混入。全般的にシルト混入。高含水で崩壊性に富む。
11	-4.13	1.10	10.45		玉石	淡青	緩	い		L=50cmの礫石、捨石。凝灰岩質でやや軟質。伏在角礫で割れやすい。コア採取時に分離する。抽削でコア表面は粉体化。
12	-5.08	0.95	11.40		玉石	淡青	緩	い		L=50cmの礫石、捨石。凝灰岩質でやや軟質。伏在角礫で割れやすい。コア採取時に分離する。抽削でコア表面は粉体化。
13	-5.38	0.30	11.70		玉石	淡青	緩	い		L=50cmの礫石、捨石。凝灰岩質でやや軟質。伏在角礫で割れやすい。コア採取時に分離する。抽削でコア表面は粉体化。
14	-7.38	2.00	13.70		粘土質砂質礫	暗褐色	中			φ30mm以下の角礫。細礫主体。礫間には砂~シルト質、含水高い。
15	-8.98	1.60	15.30		玉石混り砂質礫	暗褐色	非	常		L=10cm柱状~片状の玉石、φ50mm以下の角礫。礫間には細礫~粗砂、全体に細粒分あり。
16					玉石混り砂質礫	暗褐色	非	常		L=10cm柱状~片状の玉石、φ50mm以下の角礫。礫間には細礫~粗砂、全体に細粒分あり。
17					玉石混り砂質礫	暗褐色	非	常		L=10cm柱状~片状の玉石、φ50mm以下の角礫。礫間には細礫~粗砂、全体に細粒分あり。
18					玉石混り砂質礫	暗褐色	非	常		L=10cm柱状~片状の玉石、φ50mm以下の角礫。礫間には細礫~粗砂、全体に細粒分あり。
19					玉石混り砂質礫	暗褐色	非	常		L=10cm柱状~片状の玉石、φ50mm以下の角礫。礫間には細礫~粗砂、全体に細粒分あり。
20	-13.68	4.70	20.00		玉石混り粘土質砂質礫	青褐色	中			L=20cm柱状~片状の玉石、φ50mm以下の角礫。礫間には細礫~粗砂、全体に細砂~細粒分。
21					玉石混り粘土質砂質礫	青褐色	中			L=20cm柱状~片状の玉石、φ50mm以下の角礫。礫間には細礫~粗砂、全体に細砂~細粒分。
22	-15.88	2.20	22.20	①	コンクリート	灰	中			基礎コンクリート。
23	-17.03	1.15	23.35		礫質粗砂	淡灰	中			上層10cm弱は暗灰色の細砂、以下は半固結状の砂。
24	-17.48	0.45	23.80		玉石混り砂質礫	淡灰	中			固結状~未固結状。菱状の玉石伴う。Gl-24.8m~25.0m間にL=3~5cmの木片状。
25	-18.68	1.20	25.00		礫質砂質粘土	暗褐色	軟			高含水、φ20mm以下の礫、砂を混入。木片状。
26	-19.18	0.50	25.50		礫質砂質粘土	暗褐色	軟			高含水、φ20mm以下の礫、砂を混入。木片状。
27	-20.58	1.40	26.90	②	粘土質砂質礫	暗褐色	中			φ20mm以下の礫~細礫主体。全体に粘土質。
28	-22.28	1.70	28.60		玉石混り砂質礫	暗赤褐色	中			基底礫層。片状~20cm柱状の玉石が混入。φ50mm以下の垂円礫主体。礫間には細礫~砂が充填。
29					凝灰岩	淡青	中			凝灰岩、凝灰岩~火山礫凝灰岩~Gl-30.0m以下は泥質。5cm~20cm柱状コア主体。一部片状~円盤状コア。Gl-29m以下の割目は開口し細粒分が流入する。
30					凝灰岩	淡青	中			凝灰岩、凝灰岩~火山礫凝灰岩~Gl-30.0m以下は泥質。5cm~20cm柱状コア主体。一部片状~円盤状コア。Gl-29m以下の割目は開口し細粒分が流入する。
31	-24.68	2.40	31.00		凝灰岩	淡青	中			凝灰岩、凝灰岩~火山礫凝灰岩~Gl-30.0m以下は泥質。5cm~20cm柱状コア主体。一部片状~円盤状コア。Gl-29m以下の割目は開口し細粒分が流入する。
32					凝灰岩	淡青	中			凝灰岩、凝灰岩~火山礫凝灰岩~Gl-30.0m以下は泥質。5cm~20cm柱状コア主体。一部片状~円盤状コア。Gl-29m以下の割目は開口し細粒分が流入する。



敷地平面図

深度

20.50m

21.00m

①



埋戻土(掘削ズリ)

26.50m

27.00m

②

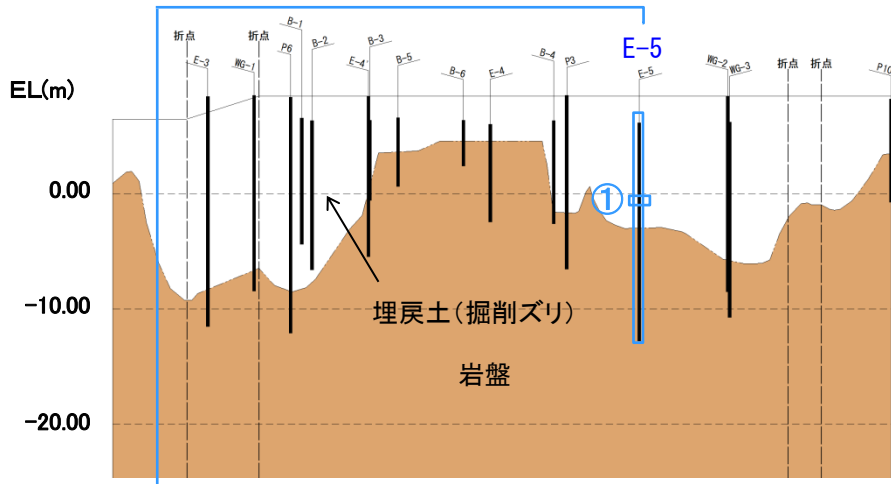


砂礫層

コア写真

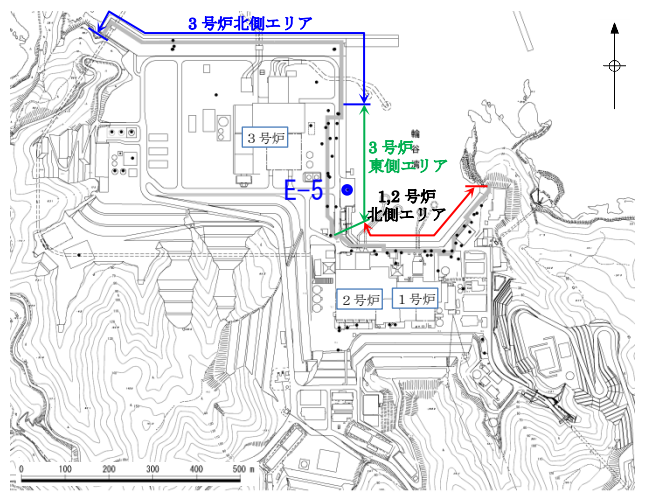
第2-7 図 敷地の地層分布状況 (断面図)

(a) 3号炉北側エリア分布図



地質断面図 (3号炉東側エリア) H:V≒1:5

標尺 (m)	層高 (m)	深さ (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対稠度	相対稠度	記事
1	4.69	1.50	1.50	砂質礫	暗褐色				試掘区間の埋戻し土、礫はφ50mm以下の碎石状の角礫、隙間は細礫、粗砂が充填。低含水。
2				玉石混り砂質礫	暗褐色		緩い	非常に密な	玉石を片状~30cm柱状にて採取。φ50mm~30mm以下の角礫混入する。隙間は細礫~粘土質砂からなり、礫混入量にばらつきあり、一部風化礫層状。全漏水する。
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14	-7.31	12.00	13.50	シルト・砂・玉石	淡褐色		緩い	非常に密な	L=500~800mm転石主体、一部の転石は表面や割れ目沿いで固結粘土状に軟化する。隙間も不均質で風化起源のシルト質細砂土~長砂細片が混じる海砂状のシルト混り中砂。φ10mm前後の小礫が混じる。
15									
16	-9.91	2.60	16.10	凝灰岩・軟岩	青灰・青褐色				基盤岩。円盤状~10cm柱状コア。全般にコアは脆く、深度に伴い硬質となる。GL-1.7m付近は白濁化して軟化する。
17									
18	-11.71	1.80	17.90	凝灰岩・軟岩	青褐色				縦亀裂が伏在する100cm柱状コア。岩片は比較的硬質。伏在亀裂沿いやや脆く割れやすい。
19	-12.81	1.10	19.00						
20									

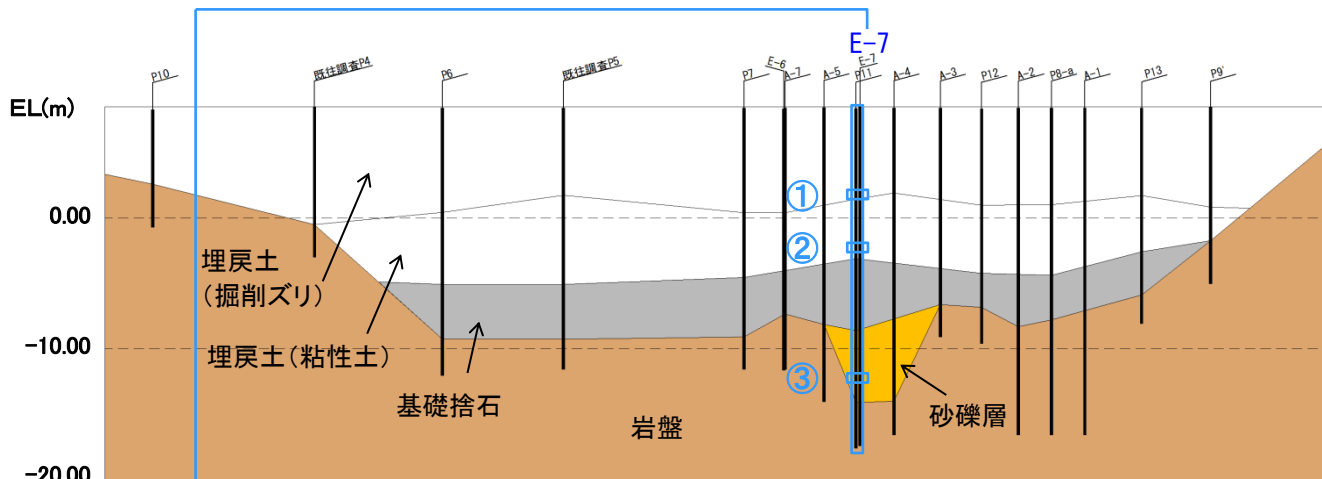


敷地平面図



埋戻土(掘削ズリ) コア写真

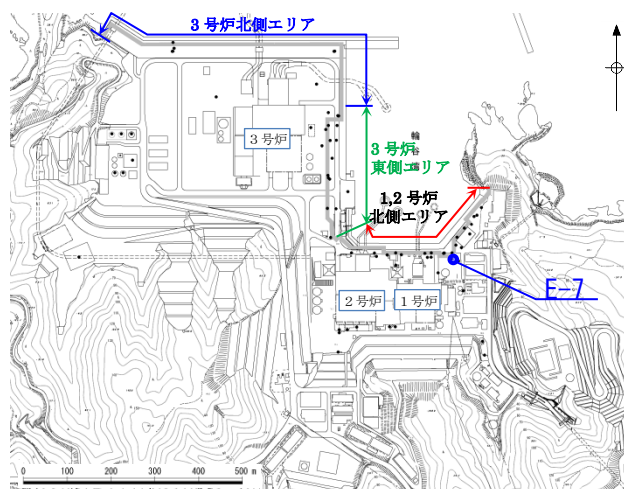
第2-7 図 敷地の地層分布状況 (断面図)
(b) 3号炉東側エリア分布図



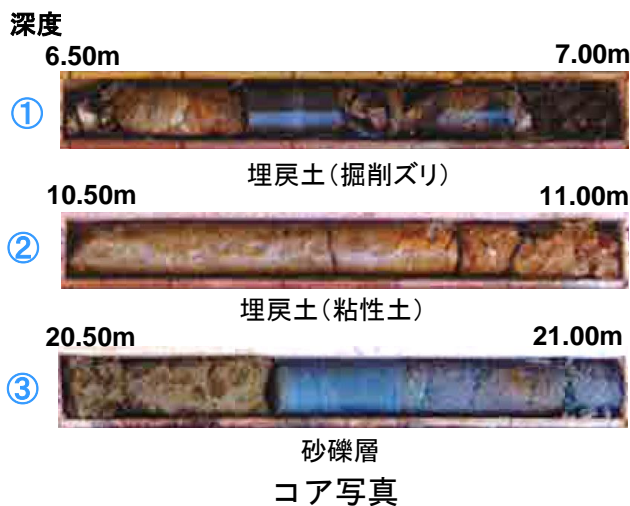
地質断面図 (1, 2号炉北側エリア)

H:V=1:5

標高	層厚	深度	柱状	土質	色相	相対	相対	記
(m)	(m)	(m)	図	区分	調	密度	稠度	事
7.58	0.80	0.80		盛土	淡灰			0.05AS以降パラス
1				玉石混じり砂礫	暗黄灰 / 暗灰		硬い / 中位	部分的にL=10~20cmの粗粒状で採取される玉石を多く含む。玉石は凝灰質・粘性土コア主体。隙間充填物は、若干細粒分(粘土)含有する中〜粗砂が主体。凝・玉石含有率は40~50%程度。
2				凝灰質な砂礫	暗黄灰 / 赤褐			上部硬質なφ20mm内外の角礫多く含む。下部に従い砂と黒化礫多く含有する粘土。含水少なく粘着力大。
3				玉石				細粒分流出し、凝・玉石密集。部分的にコア採取率著しく低くなる。φ10~50mmの凝とL=10~20cm前後で採取される玉石多い。又max=50cm。凝・玉石は新鮮・硬質。
4				粘土質砂礫				全体に粘土分多く含む。凝はφ10~30mm主体。部分的にL=10cmで採取される玉石点存在。隙間充填物は粘土混じり砂〜砂礫。
5				凝混じり粘性土	黒灰			上部均質であり、GL-21.50m以降有機物(木片)や小礫砂を多く含む粘土。
6				灰 / 黒灰				上部凝灰角礫岩。凝灰岩〜泥岩〜凝灰礫。GL-23.0m付近より粘土化認められる。GL-23.0~24.0m間コア肌粗く、酸化変色著しい。以下、泥岩は破砕状、凝灰岩は新鮮・塊状となる。亀裂沿いに塊状酸化。岩質は凝灰質で短柱状コア主体。GL-24.0m凝灰岩。
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								

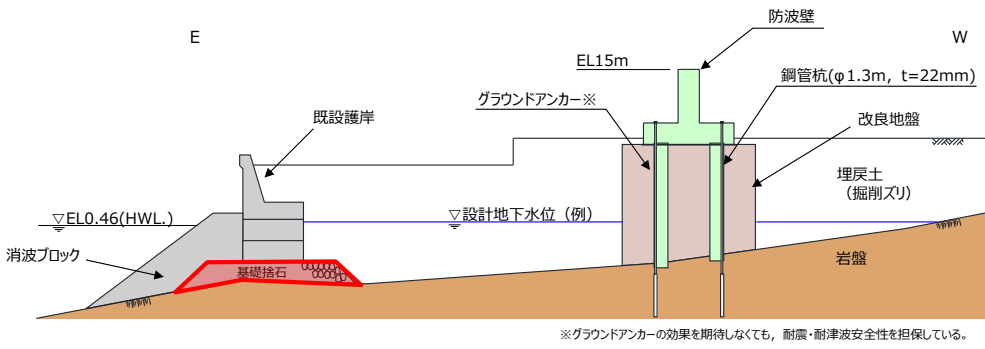
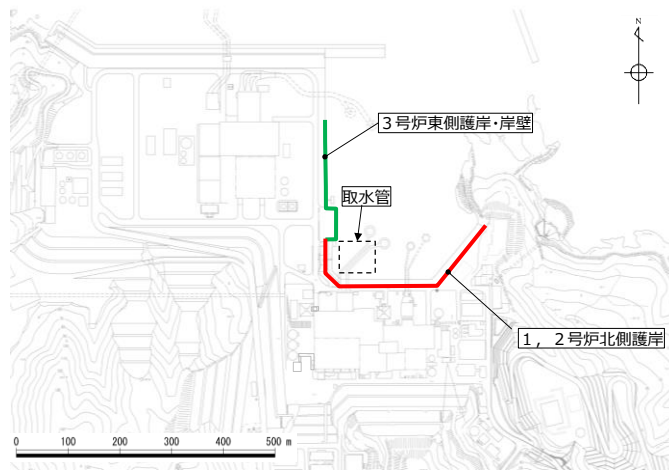


敷地平面図

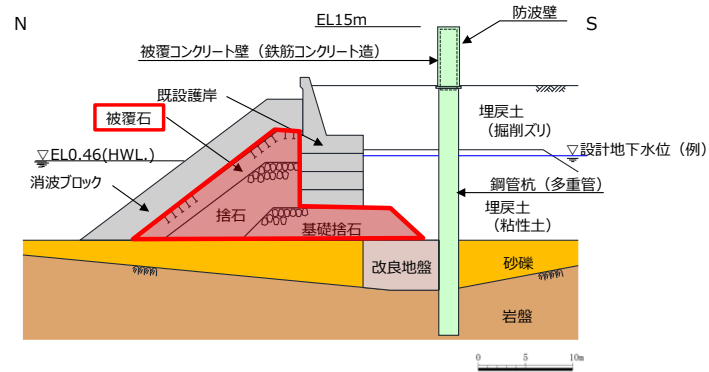


第2-7 図 敷地の地層分布状況 (断面図)

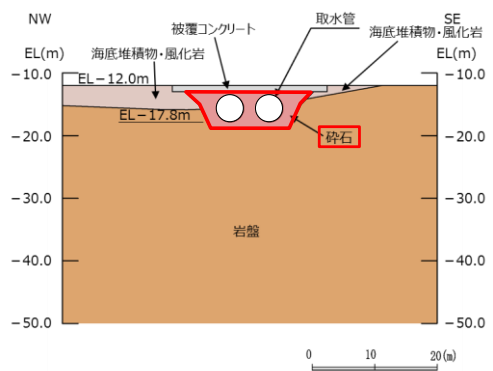
(c) 1, 2号炉北側エリア分布図



3号炉東側護岸



1, 2号炉北側護岸

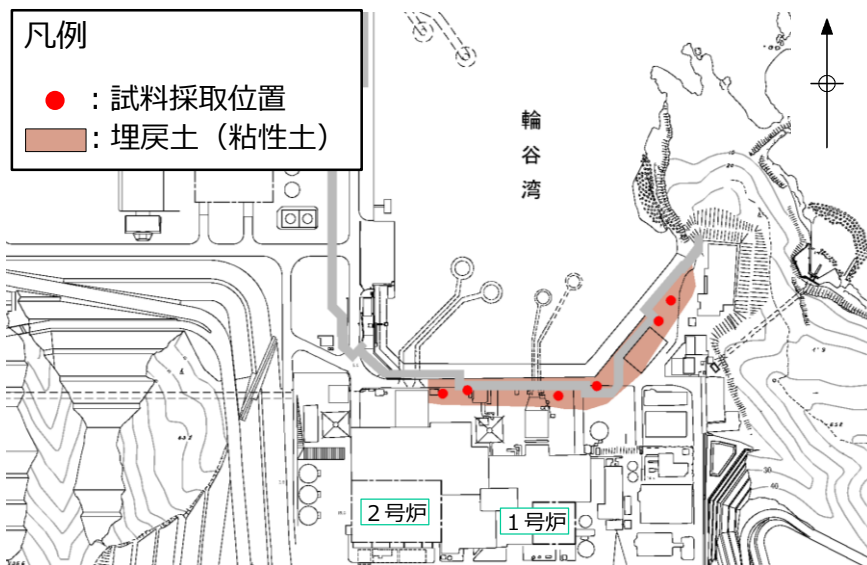


取水管

第2-8 図 購入地盤材料の使用箇所

第2-2 表 地盤材料の液状化判定の要否 (EL. +15m以下)

地盤材料	規 格	分布場所・使用場所	液状化判定の要否
埋戻土 (掘削ズリ)	-	・概ね全域に分布	粒径2mm未満の砂を含むため、道路橋示方書に基づき液状化判定を実施する。
埋戻土 (粘性土)	-	・1, 2号炉北側護岸 背面に分布	粘土質であるため対象外とする(土の液性限界・塑性限界試験(JIS A 1205)結果: $I_p=27.3$)。
砂礫層 (崖錐・海底 堆積物)	-	・1号炉東側に局所的に分布 ・3号炉北側に局所的に分布 ・輪谷湾内に分布	粒径2mm未満の砂を含むため、道路橋示方書に基づき液状化判定を実施する。
碎石	20~80mm (底部のみ5~20mm)	・取水管	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること、十分な透水性を有することから、対象外とする。
基礎捨石	200~250mm程度 (30kg/個以上)	・1, 2号炉北側護岸 ・3号炉東側護岸・岸壁	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること、十分な透水性を有することから、対象外とする。
被覆石	700~800mm程度 (1.5t/個)	・1, 2号炉北側護岸	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること、十分な透水性を有することから、対象外とする。

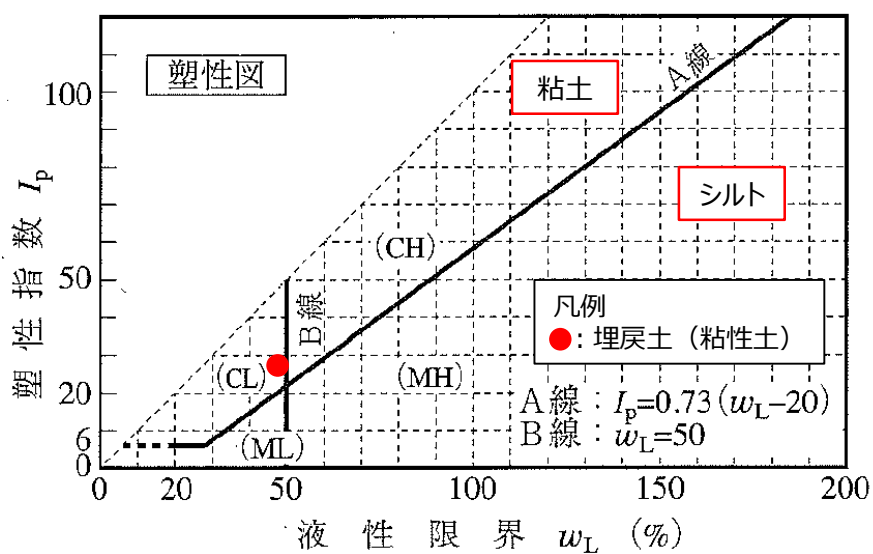


第2-9 図 埋戻土 (粘性土) の分布状況及び試料採取位置



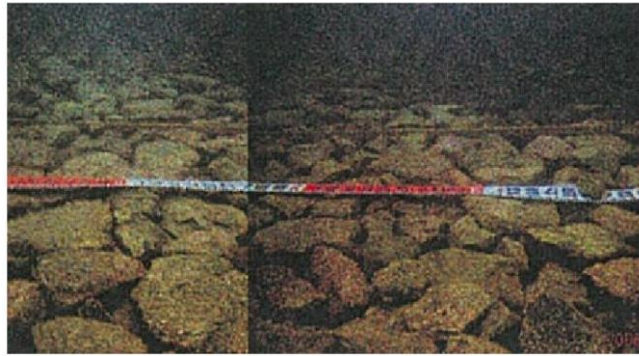
第2-10 図 採取した埋戻土 (粘性土)

	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p
埋戻土 (粘性土) (平均値, 試験数: 22)	48.5	21.2	27.3



※ 地盤工学会, H22: 土質試験 基本と手引き に加筆

第2-11 図 塑性図による粘性土の分類



基礎捨石設置状況（防波堤）
第2-12 図 基礎捨石の設置状況

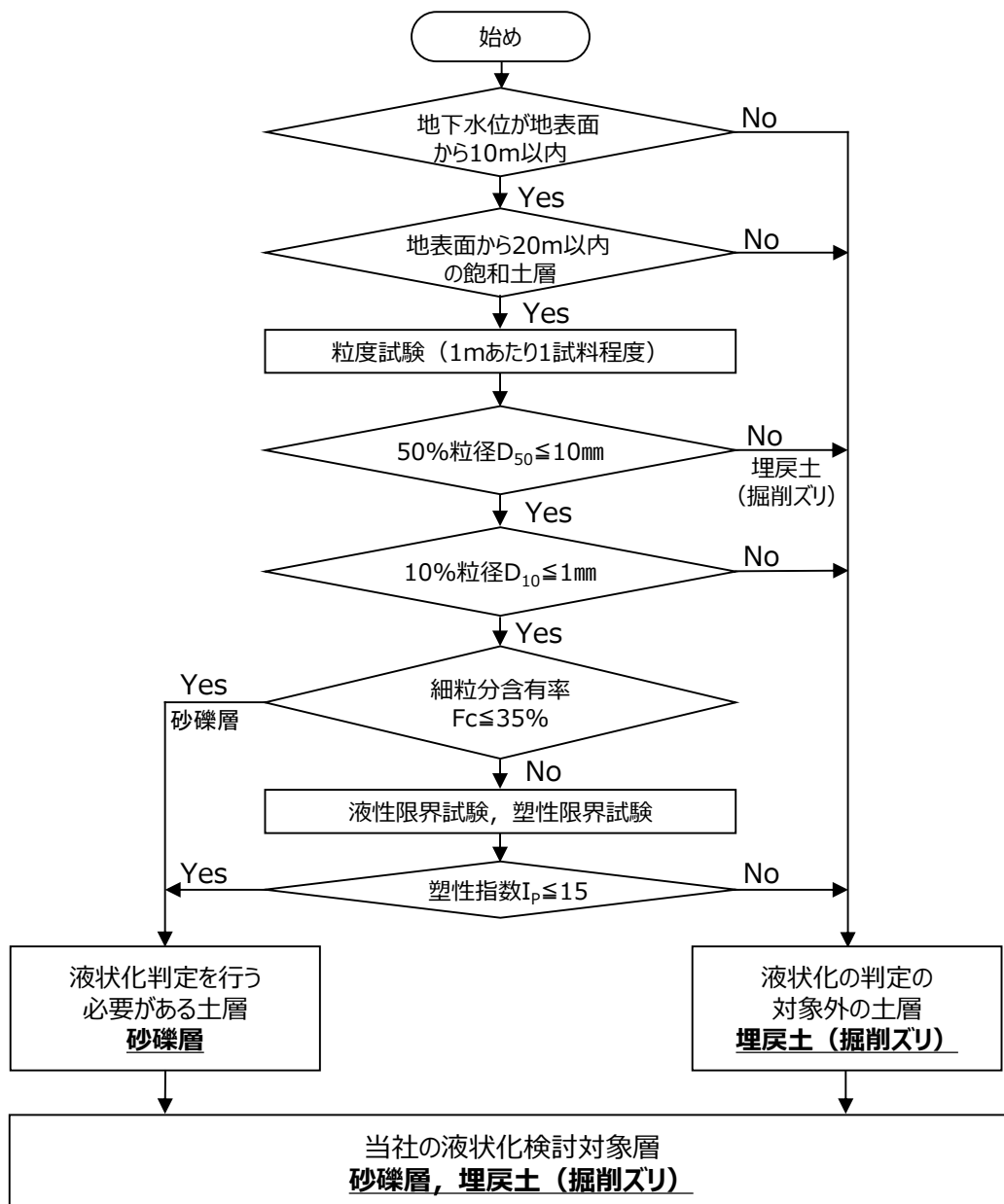


被覆石寸法（1，2号炉北側護岸）

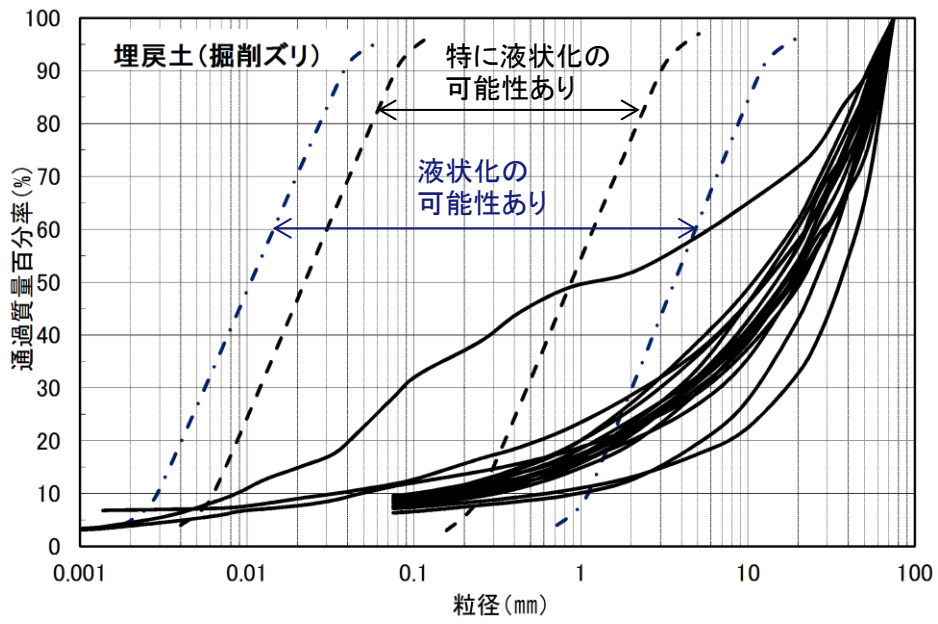


被覆石設置状況（1，2号炉北側護岸）
第2-13 図 被覆石の寸法及び設置状況

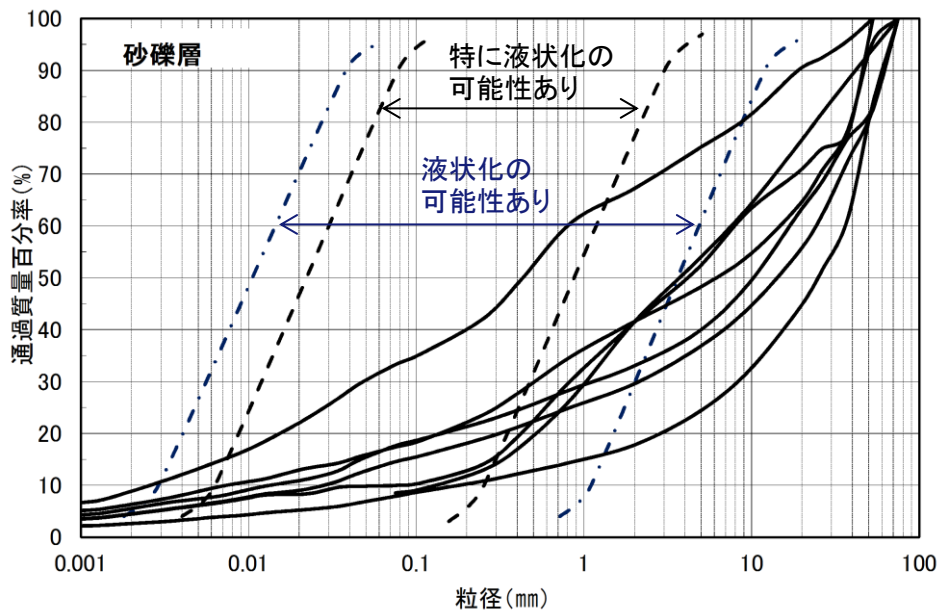
地層名	50%粒径 (平均) (mm)	10%粒径 (平均) (mm)	細粒分含有率 (平均)(%)
埋戻土 (掘削ズリ)	16.5	-	-
砂礫層	9.1	0.0651	15.6



第2-14 図 道路橋示方書に基づく抽出結果



埋戻土(掘削ズリ)の粒度による液状化判定



砂礫層の粒度による液状化判定

第2-15 図 港湾基準に基づく抽出結果

3. 液状化強度特性の網羅性，代表性

3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性

3.1.1 液状化試験試料採取位置の選定

液状化試験試料の採取方法としては，先行他サイトの審査実績及び審査状況を踏まえると，ロータリー式三重管サンプラー，GPサンプリング，凍結サンプリング及び表層試料採取の4種類（①～④）がある。各試料採取方法の概要及び試料採取結果等を以下に示す。

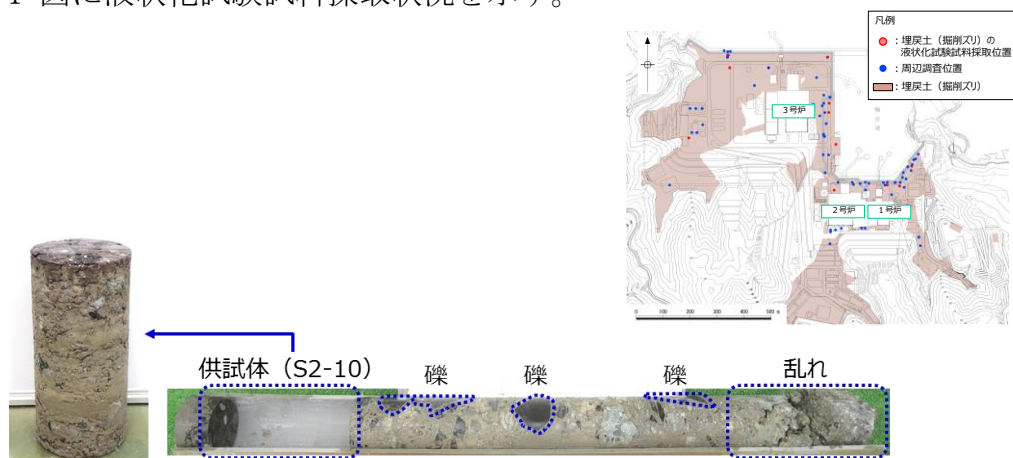
①ロータリー式三重管サンプラー

ロータリー式三重管サンプラーは，アウターチューブ，インナーチューブ及びライナーからなる三重管構造である。ボーリングロッドの回転がアウターチューブに伝わるがインナーチューブは回転しない機構を有しており，試料はインナーチューブ内側のライナーに収納される。乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。

埋戻土（掘削ズリ）の採取にあたり，ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取（ $\Phi 88\text{mm}$ ）を実施した。採取した試料は，局所的に発生する乱れを除いて乱れの少ない試料であった。一方，埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石を伴うため，土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）を踏まえると液状化試験に採用可能な区間は限定的であり，約110mの掘進長に対して供試体として使用可能なものは4体（約1m）であった。

土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520），及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき，供試体直径が $\Phi 300\text{mm}$ の場合，試料の最大粒径は60mm程度まで許容されるが，埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石も含むことから，採取数（液状化試験に採用可能な供試体数）の改善は困難である。

第3-1-1 図に液状化試験試料採取状況を示す。



第3-1-1 図 E-2地点の液状化試験試料採取状況（供試体（S2-10）抜き出し後）

②GPサンプリング

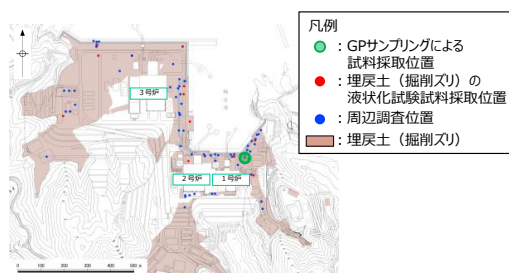
GPサンプリングは、コアチューブの中にポリマー溶液を内封する単管構造である。サンプリング時に取り込んだ試料がポリマー溶液をサンプラー先端から押し出すことによりポリマー溶液が潤滑剤の役割を果たし、乱れの原因である試料とコアチューブとの摩擦を低減することにより、乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。

ロータリー式三重管サンプラーによる埋戻土（掘削ズリ）の採取に合わせ、1地点のみGPサンプリングにより試料採取（Φ100mm）を実施したが、回転切削に伴う礫間の緩みによりコアが動いてコア詰まり（コアチューブ内のコアが自立せずに詰まる）を起こして掘進が不能となること、コアチューブ引き上げ時に掘削したコアがコアリフターをすり抜けて孔底に脱落することから、以降の試料採取を取り止めた。

また、採取されたコアは、掘進時に発生した不連続面に沿って乱れているもの、自立しないもので占められていたことから、供試体として採用可能なものは得られなかった。また、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石を伴うため、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）を踏まえると液状化試験に採用可能な区間は限定的であった。

土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき、供試体直径がΦ300mmの場合、試料の最大粒径は60mm程度まで許容されるが、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石も含むことから、採取数（液状化試験に採用可能な供試体数）の改善は困難である。

第3-1-2図にGPサンプリングにより採取した埋戻土（掘削ズリ）を示す。



第3-1-2 図 GPサンプリングにより採取した埋戻土（掘削ズリ）

③凍結サンプリング

凍結サンプリングは、原位置で地盤を凍結させ、その状態で試料を採取する方法であるため、乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。

凍結サンプリングの適用地盤は凍結に必要な飽和度の高い地盤であることから、埋戻土（掘削ズリ）のうち地下水位以浅の採取には適用不可と判断した。

乱れの少ない試料を採取した場合、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石を伴うため、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき、液状化試験に採用可能な区間は限定的である。

④表層試料採取

表層試料採取は、地表付近の埋戻土（掘削ズリ）を対象として試料の採取を行う方法である。

採取した試料について、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に準拠し、供試体寸法に対して適合しない礫を除くことにより、試験基準を満足する供試体を作製可能である。

敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））は敷地造成において発生した岩砕を主体とする材料により埋戻した人工地盤であることから、既往の埋戻土（掘削ズリ）の粒径加積曲線となるよう粒度調整を行った。また、敷地の埋立工事における施工管理基準値となるよう密度調整を行った。

今回、既往のロータリー式三重管サンプラー及びGPサンプリングによる採取実績を踏まえ、液状化試験データ数を確実に増やす観点から、表層試料採取により追加試料を採取した。

液状化試験試料採取方法及び採取結果を第3-1-1表に示す。

第3-1-1 表 液状化試験試料採取方法及び採取結果

	① ローター式 三重管サンプラー	② GPサンプリング	③ 凍結サンプリング	④ 表層試料採取
構造	三重管	単管（GP-D）	凍結管による地盤凍結	—
特徴	乱れの少ない試料を採取可能。	乱れの少ない試料を採取可能。	乱れの少ない試料を採取可能。	試料の寸法調整、粒度調整、密度調整が可能。
適用範囲	粘性土、砂質土、礫混り土	粘性土、砂質土、礫混り土	砂質土、礫混り土 ※凍結に必要な飽和度の高い地盤に適する。	表層に分布する試料
実施有無	○	○	× (適用不可のため実施しない)	○ (第730回審査会合以降、追加実施)
試料採取結果	約110mの掘進長に対して供試体として採用可能なものは4体（約1m）であった。 乱れの少ない試料を採取したが、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石も含むため試験に採用可能な区間は限定的であった。	掘進時にコア詰まり及びコアの脱落が発生した。 採取されたコアは、掘進時に発生した不連続面に沿って乱れているもの、自立しないもので占められていたことから、供試体として採用可能なものは得られなかった。	—	採取した試料の寸法調整により、試験基準に適合する供試体を作製した。 粒度調整、密度調整により、現地地盤を再現した供試体を作製した。
	供試体：4体	供試体：0体	—	供試体：10体

第3-1-3 図に敷地内の試料採取地点位置図を示す。

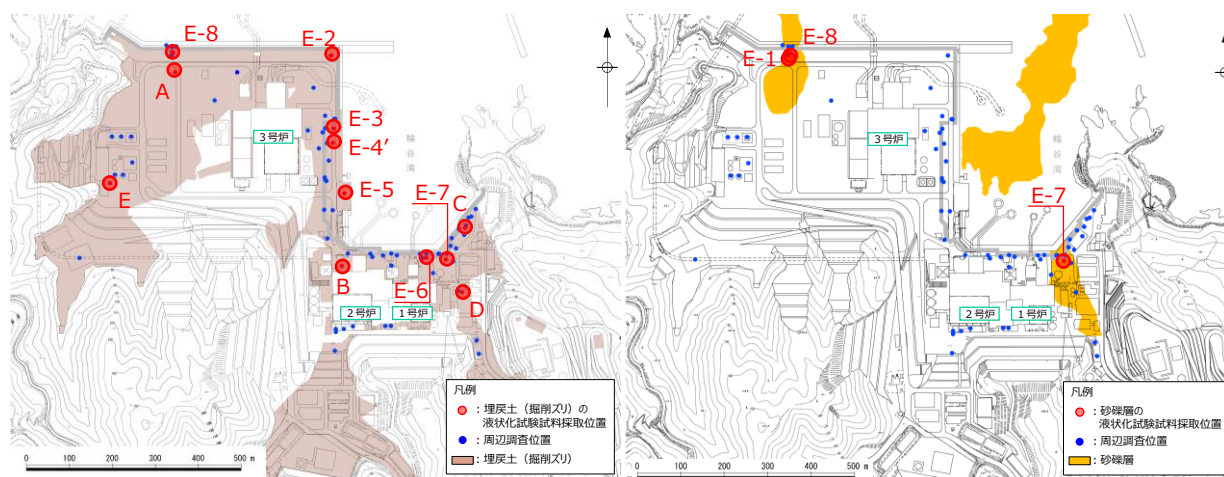
敷地内の液状化評価対象層として、埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の分布状況から以下のとおり地点を選定し、試料を採取して液状化試験を実施する。

埋戻土（掘削ズリ）は3号炉西側から1，2号炉東側に広く分布している。このうち、地下水位以下で埋戻土（掘削ズリ）が厚く分布している護岸法線に沿った地点を広範囲に選定し、ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取した（E-2～E-8）。なお、埋戻土（掘削ズリ）に対する液状化試験の位置及びデータ数について、代表性・網羅性の確保及び保守的な液状化強度の設定の観点から、これまで液状化試験データが得られていない位置を選定し、表層試料採取を追加実施した（A～E）。

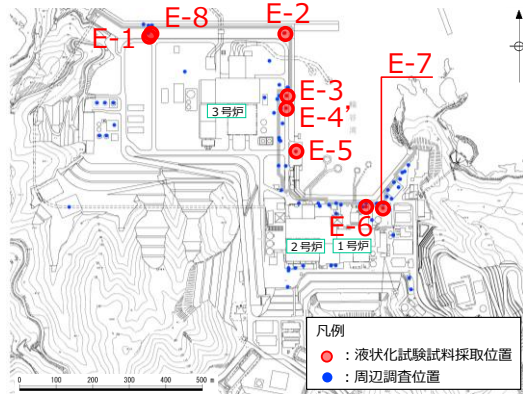
砂礫層は局所的に分布していることから、分布箇所である3号炉北側西端及び1，2号炉北側東端の地点を選定し、ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取した（E-1，E-7，E-8）。

ロータリー式三重管サンプラーにより、地表から岩盤まで不攪乱試料の採取を実施した。供試体作製が可能な試料（巨礫の有無，必要高さ，自立性等）を確認し、液状化試験を実施した。

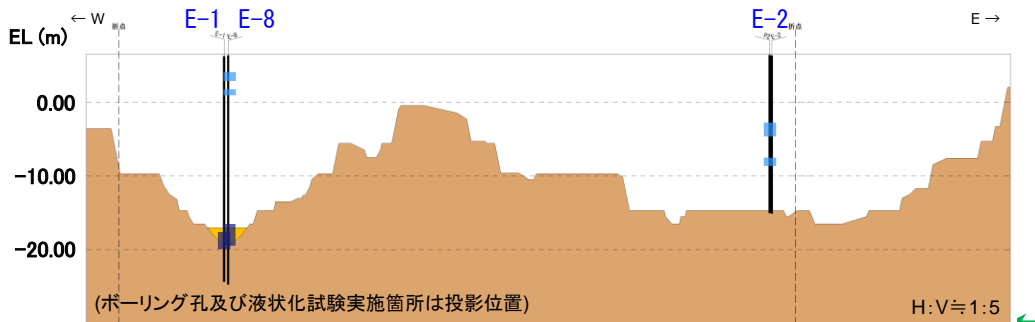
併せて、近傍においてボーリング調査を実施し、標準貫入試験及び粒度試験用の試料採取を実施した。ロータリー式三重管サンプラーによる液状化試験実施箇所を第3-1-4 図に示す。



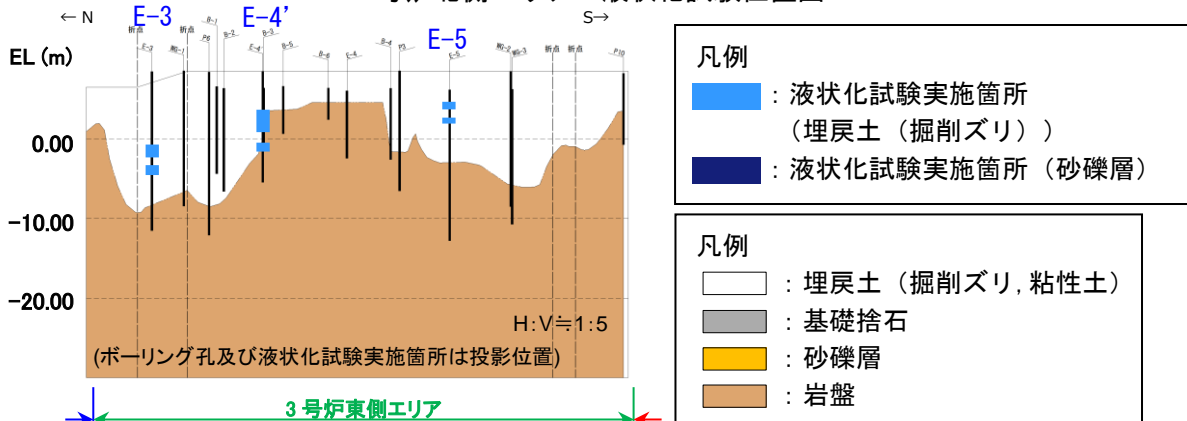
第3-1-3 図 試料採取地点位置図



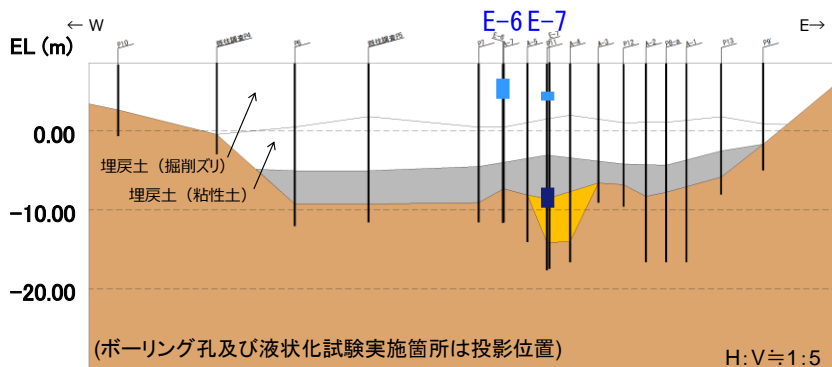
液状化試験箇所位置図（平面図）



3号炉北側エリア 液状化試験位置図



3号炉東側エリア 液状化試験位置図



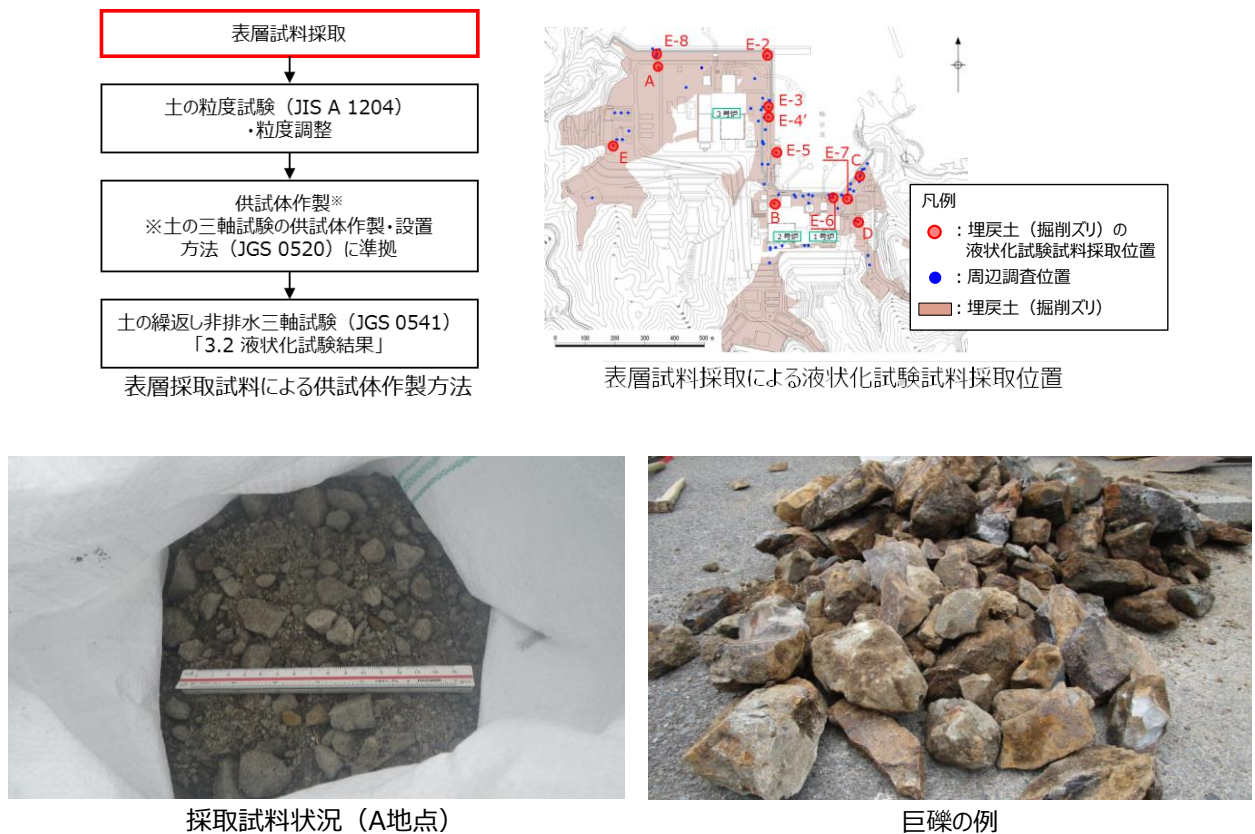
1, 2号炉北側エリア 液状化試験位置図

第3-1-4 図 ロータリー式三重管サンプラーによる液状化試験実施箇所

敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））は敷地造成において発生した岩砕を主体とする材料により埋戻した人工地盤であることから、埋戻土（掘削ズリ）の粒径加積曲線となるように粒度調整を行い、敷地の埋立工事における施工管理基準値となるよう密度調整を行うことにより、人工地盤である敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））を再現した供試体を作製する。

路盤材以深の埋戻土（掘削ズリ）を対象として表層試料採取を実施した（A～E地点）。また、表層試料採取にあたり、巨礫を除いて採取した。

第 3-1-5 図に採取試料状況及び巨礫の例を示す。

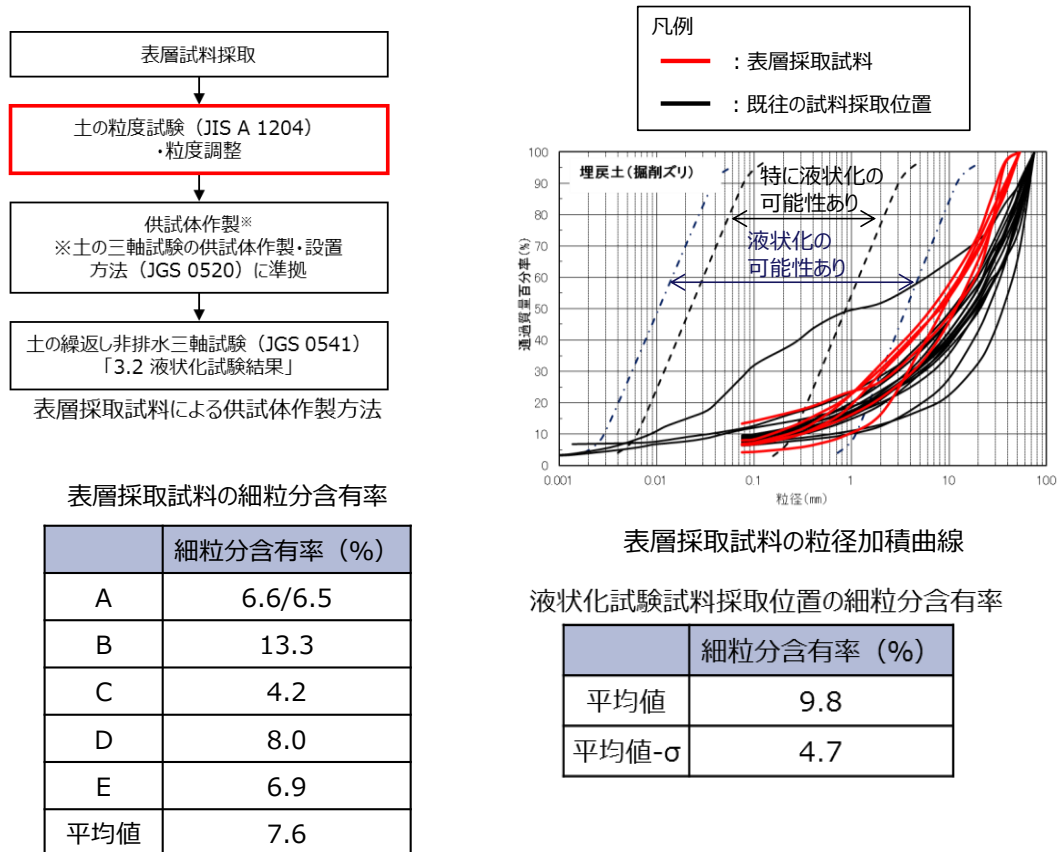


第 3-1-5 図 採取状況及び巨礫の例

既往の試料採取位置の粒径加積曲線と同等になるよう、最大粒径 53mm として表層採取試料の粒度調整を実施した。粒度調整後の表層採取試料の粒径加積曲線を第 3-1-6 図に示す。

表層採取試料の細粒分含有率を第 3-1-6 図に示す。表層採取試料の細粒分含有率の平均値は、既往の試料採取位置の細粒分含有率の平均値及び平均値-1σ 値の範囲内である。

土の三軸試験の供試体作製・設置方法 (JGS 0520) に基づき、表層採取試料による供試体を作製した。



第 3-1-6 図 表層採取試料及び既往の試料採取位置の粒径加積曲線及び細粒分含有率

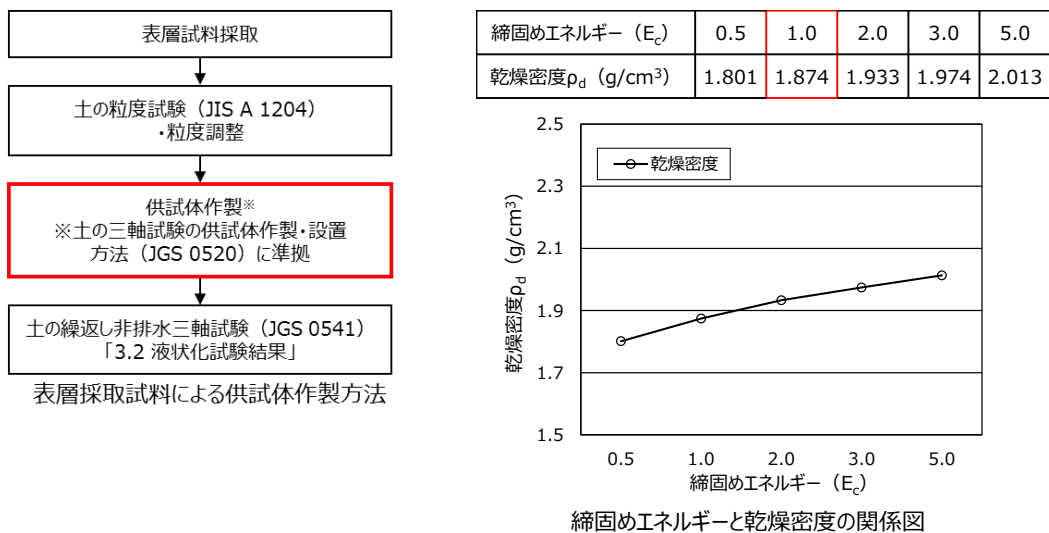
3号炉建設時の敷地の埋戻しに当たり、大型締固め試験により乾燥密度 ρ_d を算出した（締固めエネルギー $1.0E_c$ の乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ ）。乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ を踏まえ、礫補正後乾燥密度 $\rho_d'=1.95\text{g/cm}^3$ を算出し、施工管理基準値とした。

礫補正後乾燥密度とは、粒径53mm以下の材料を対象に実施した大型締固め試験結果に対し、53mm以上の礫を含む実際の埋戻土（掘削ズリ）の乾燥密度を算出するための補正である。したがって、表層採取試料の最大粒径は53mmであることから、表層採取試料による供試体作製に当たっては、乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ を目標値とした。

供試体作製は、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）に準拠して実施した。試料を5層に分けてモールド（直径100mm）に入れ、静的締固め法により作製した。

以上の方法により表層採取試料による供試体を作製し、土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）を実施した。

第3-1-7 図に表層採取試料による供試体の乾燥密度を示す。



表層採取試料による供試体の乾燥密度

	乾燥密度 (g/cm^3)		乾燥密度 (g/cm^3)
A①	1.866	C②	1.873
A②	1.877	C③	1.873
B①	1.868	C④	1.877
B②	1.871	D①	1.872
C①	1.875	E①	1.875

第3-1-7 図 表層採取試料による供試体の乾燥密度

3.1.2 液状化試験試料採取位置の代表性確認

液状化試験試料採取位置における基本物性（粒径加積曲線，N値・細粒分含有率）について，第3-1-8～17 図に示す。

液状化試験試料採取位置の代表性確認を目的に，液状化試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体との比較，検討を行った。比較する指標としては，N値，細粒分含有率を選定する。第3-1-2 表に各基準類における液状化強度比 R_L と基本物性の相関性を示す。

N値は，各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式がいずれもN値をパラメータとした式であり，また，有効応力解析（FLIP）の簡易設定法にN値がパラメータとして用いられており，液状化強度比 R_L との相関が最も高いと考えられることから，指標として選定する。

細粒分含有率は，各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式において，液状化強度比 R_L を補正するパラメータとして用いられており，液状化強度比 R_L との相関が高いと考えられることから，指標として選定する。

E-2～E-8の埋戻土層の基本物性に関する評価は以下のとおり。

【E-2の埋戻土（掘削ズリ）】

- E-2は3号炉北側エリアのEL.+6.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.-15m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- E-2の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布について， D_{50} は10mm以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- N値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-3の埋戻土（掘削ズリ）】

- E-3は3号炉東側エリアのEL.+8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.-10m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- E-3の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布について， D_{50} は10mm以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- N値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-4'の埋戻土（掘削ズリ）】

- E-4'は3号炉東側エリアのEL.+8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL.0m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- E-4'の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は， D_{50} は10mm以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- N値は概ね30程度である。また，細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-5の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・ E-5は3号炉東側エリアのEL. +6.0m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL. -3m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- ・ E-5の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、 D_{50} は10mm以上となっており、道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・ N値は概ね10程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-6の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・ E-6は1, 2号炉北側エリアのEL. +8.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL. -10m）にかけて、上から順に埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、基礎捨石が存在する。
- ・ そのうち、E-6の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、 D_{50} は10mm以上となっており、道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・ N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-7の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・ E-7は1, 2号炉北側エリアのEL. +8.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL. -10m）にかけて、上から順に埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、基礎捨石、砂礫層が存在する。
- ・ そのうち、E-7の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性がある土層には該当しない。
また、 D_{50} は10mm以下、 D_{10} は1mm以下であるが、 I_p が15以上であるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・ N値は概ね10程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-8の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・ E-8は3号炉北側エリアのEL. +6.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL. -20m）にかけて、上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し、岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。
- ・ そのうち、E-8の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、 D_{50} は10mm以上となっており、道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・ N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

次に、砂礫層の基本物性に関する評価は以下のとおり。

【E-1の砂礫層】

- E-1は3号炉北側エリアのEL. +6.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL. -20m）にかけて、上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し、岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。
- そのうち、E-1の砂礫層の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性のある土層には該当しない。
また、 D_{50} が10mm以下、 D_{10} が1mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。
- N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね20%程度である。

【E-7の砂礫層】

- E-7は1, 2号炉北側エリアのEL. +8.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL. -10m）にかけて、上から順に埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、基礎捨石、砂礫層が存在する。
- そのうち、E-7の砂礫層の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性のある土層には該当しない。
また、 D_{50} が10mm以下、 D_{10} が1mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。
- N値は概ね10程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-8の砂礫層】

- E-8は3号炉北側エリアのEL. +6.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL. -20m）にかけて、上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し、岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。
- そのうち、E-8の砂礫層の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性のある土層には該当しない。
また、 D_{50} が10mm以下、 D_{10} が1mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。
- N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね20%程度とばらつきが大きい。

各基準における設計で設定する地盤物性値のばらつきに対する考え方は、「地盤工学会基準 JGS 4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）」や「港湾基準」、「道路橋示方書」によると、平均値を原則とし、ばらつきを考慮する場合は変動係数等などに応じて設定するという考え方が示されている。

液状化試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体とのN値等の比較に際しては、各基準における地盤物性値のばらつきに対する考え方を参考に、「平均値」及び平均値から標準偏差 σ を減じた「平均値-1 σ （以下「-1 σ 値」という）」について整理した。

第3-1-3 表に各基準類における地盤物性値のばらつきに対する考え方を示す。

【地盤工学会基準 JGS 4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（2006）】

- ・設計に用いる「特性値」の決定にあたっては、過去の経験にもとづき、地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。
- ・この特性値は、原則として導出値の平均値（期待値）である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく、統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。
- ・特性値を示すにあたっては、地盤の特性を記述するために、特性値に加えて、導出値のばらつきの指標（たとえば標準誤差や変動係数）を含めることが望ましい。

【港湾基準】

- ・性能照査に用いる地盤定数の設計用値は、原則として地盤工学会基準 JGS 4001 に基づき、推定する。
- ・地盤定数の代表値である特性値は、データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には、原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし、データ数が不足している場合（10個未満）及び導出値のばらつきが大きい場合には、導出値の平均値を補正したうえで、特性値を設定する必要がある。
- ・特性値は、導出値のばらつきに関する補正係数 b_1 を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。

【道路橋示方書】

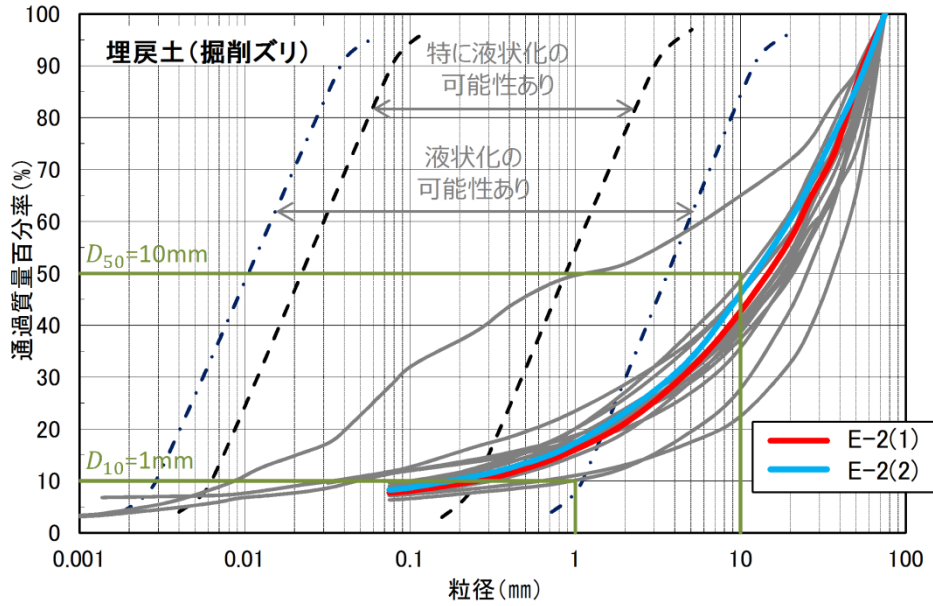
- ・地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが、設計に用いる地盤定数は、基礎に作用する荷重に対して、その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって、地盤定数は、計算式の精度や特性を考慮したうえで、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。
- ・自然地盤から得られる計測データは多様で、しかもばらつくのが普通である。

データのばらつきだけでなく、データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。

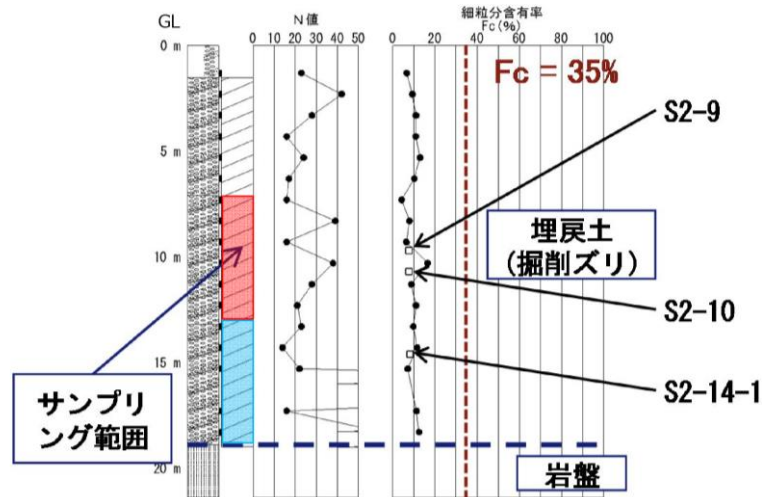
液状化試験を実施した箇所のうち、埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の液状化試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体や防波壁近傍におけるN値や物理特性（細粒分含有率）の比較を行い、代表性を確認した。第3-1-18 図に比較対象位置図を、第3-1-19 図に各土層の基本物性の比較結果を示す。なお、各種試験は、JIS に基づき実施した。

E-2～E-8 地点の埋戻土（掘削ズリ）は、敷地全体と比べて、N値及び細粒分含有率ともに、液状化試験試料採取位置の平均値及び -1σ 値が、敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であることから、液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。また、埋戻土（掘削ズリ）は敷地全体に分布するため、場所によって埋戻土（掘削ズリ）の性状が異なる懸念があることから、敷地の広範囲にわたって設置された防波壁に着目して、液状化試験試料採取位置と3つの構造形式の防波壁近傍の基本物性を比較したところ、N値及び細粒分含有率ともに、液状化試験試料採取位置の平均値が、防波壁近傍のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であることから、液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。

E-1, E-7, E-8 地点の砂礫層の細粒分含有率は、液状化試験試料採取位置の平均値及び -1σ 値が、敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であった。また、N値は、液状化試験試料採取位置の平均値は敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であり、液状化試験試料採取位置の -1σ 値は敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲から僅かに外れているものの概ね一致していることから、液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。なお、砂礫層は敷地の局所的な範囲で確認されており、液状化試験試料採取位置と敷地全体の調査位置とは近接している。



E-2 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

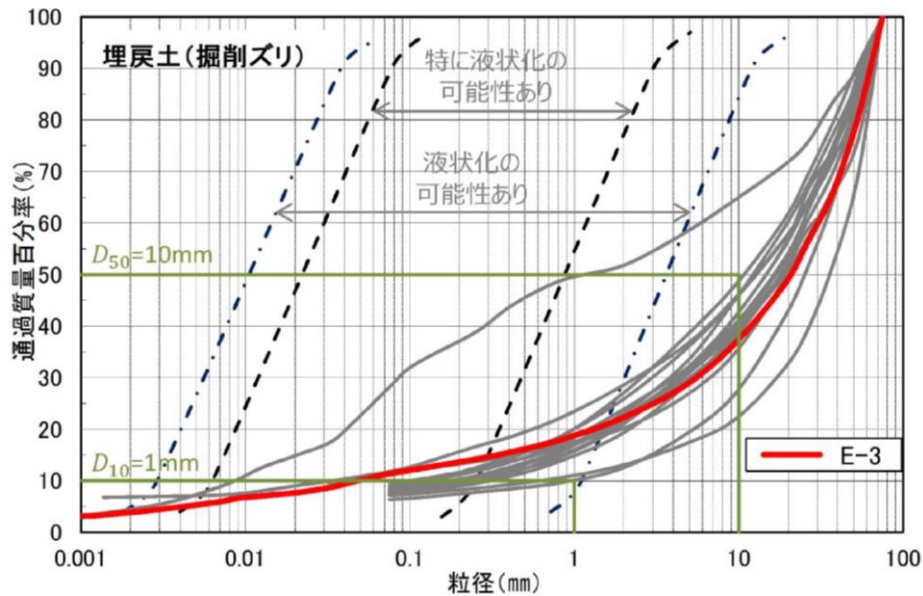


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

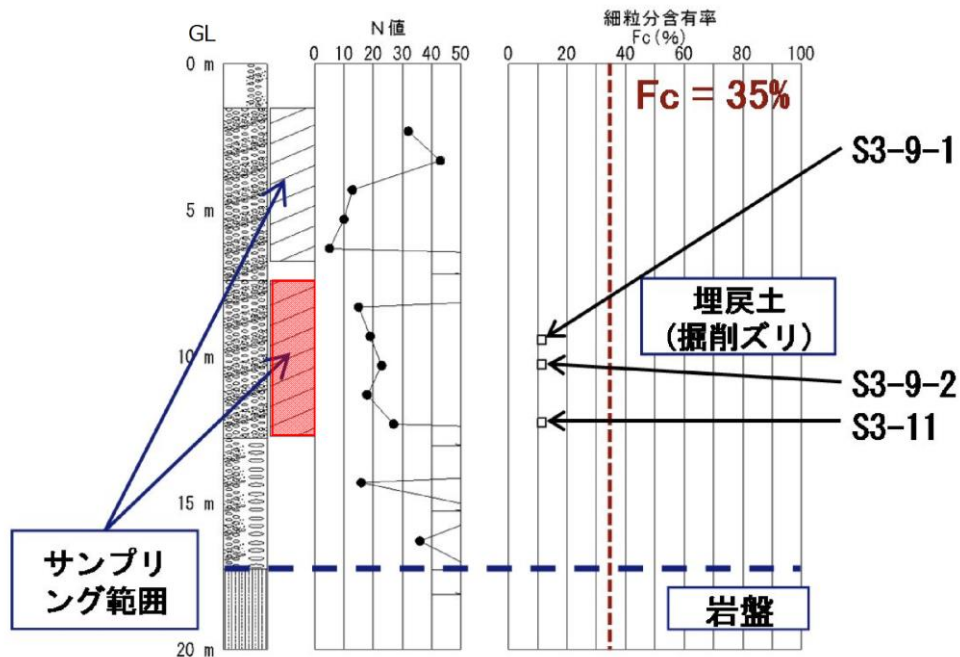
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- (Red) : E-2(1)の採取深度
- (Blue) : E-2(2)の採取深度

E-2 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第 3-1-8 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-2 の埋戻土 (掘削ズリ))



E-3 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

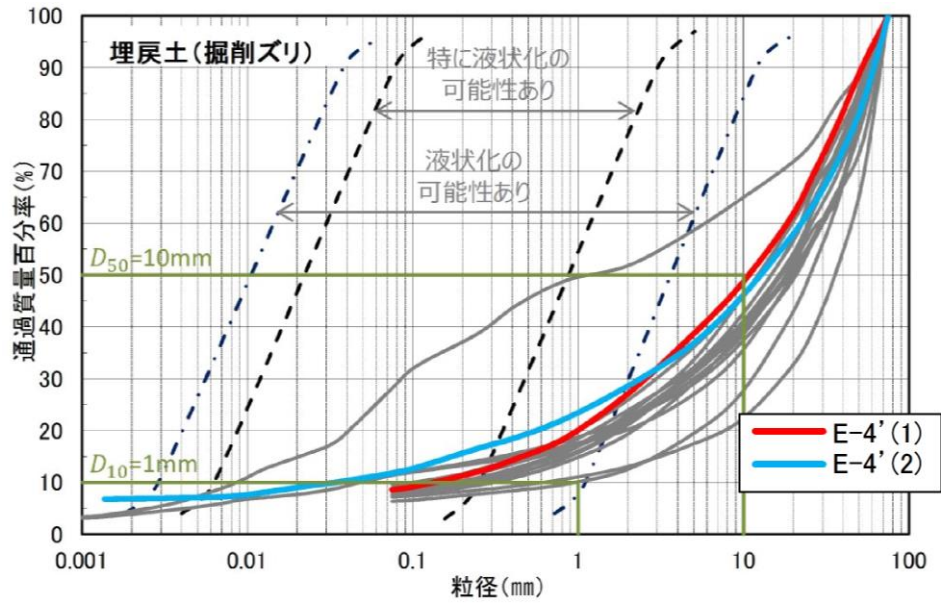


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

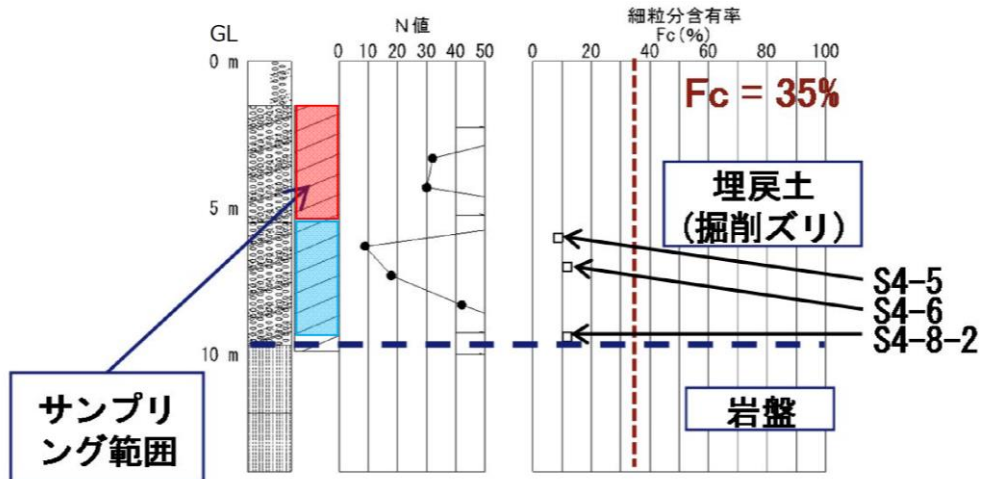
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-3の採取深度

E-3 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第 3-1-9 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-3 の埋戻土 (掘削ズリ))



E-4' 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

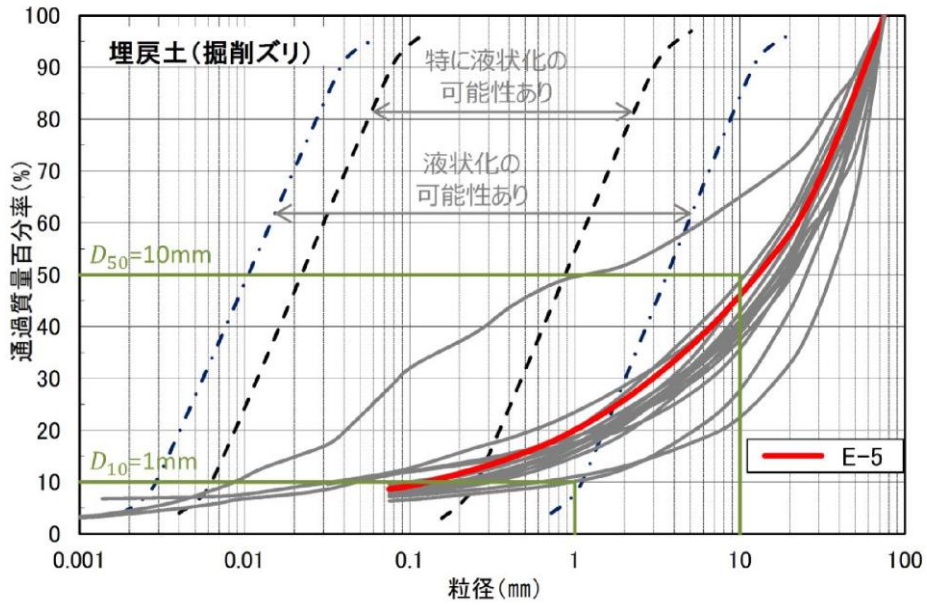


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

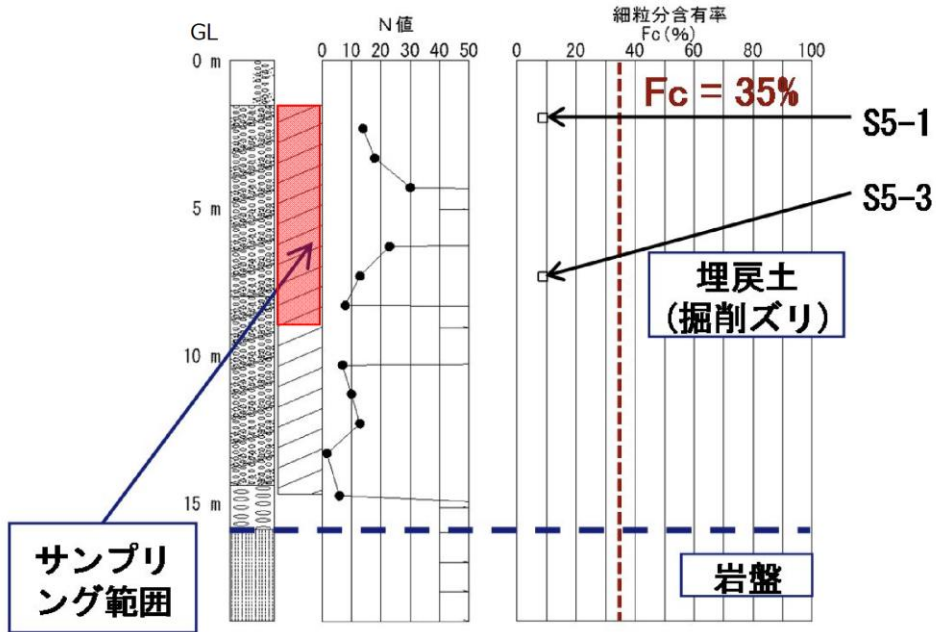
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- (Red) : E-4'(1)の採取深度
- (Blue) : E-4'(2)の採取深度

E-4' 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第3-1-10 図 液状化試験試料採取位置の基本物性(E-4'の埋戻土(掘削ズリ))



E-5 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

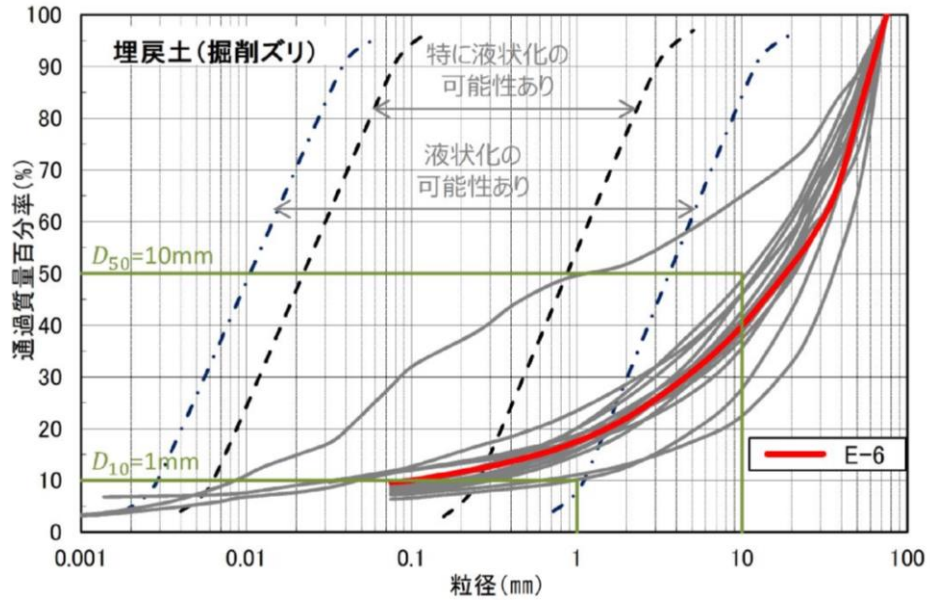


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

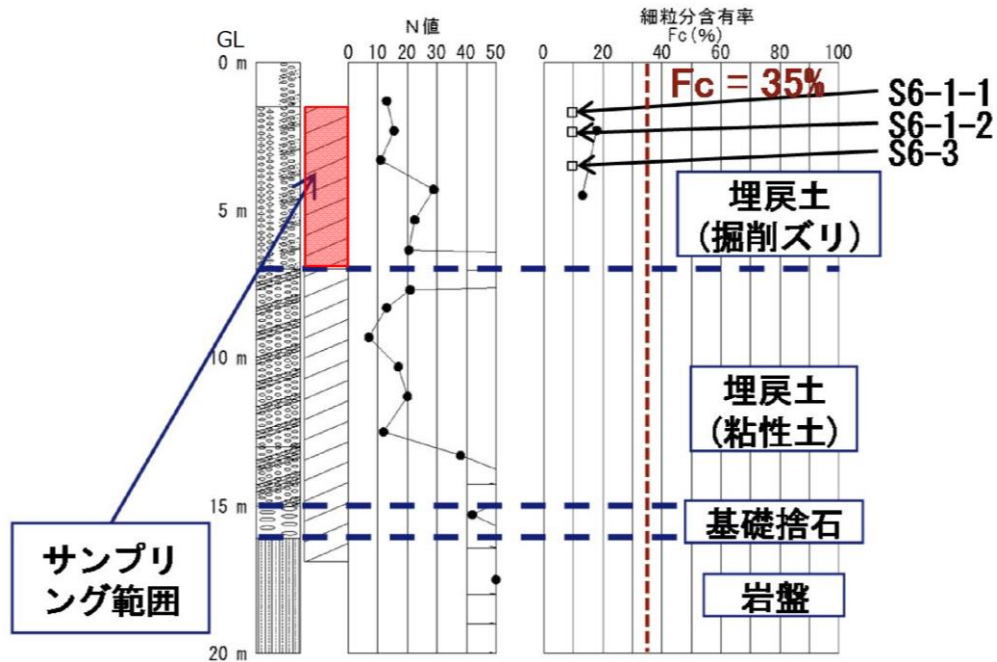
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-5の採取深度

E-5 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第 3-1-11 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-5 の埋戻土 (掘削ズリ))



E-6 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

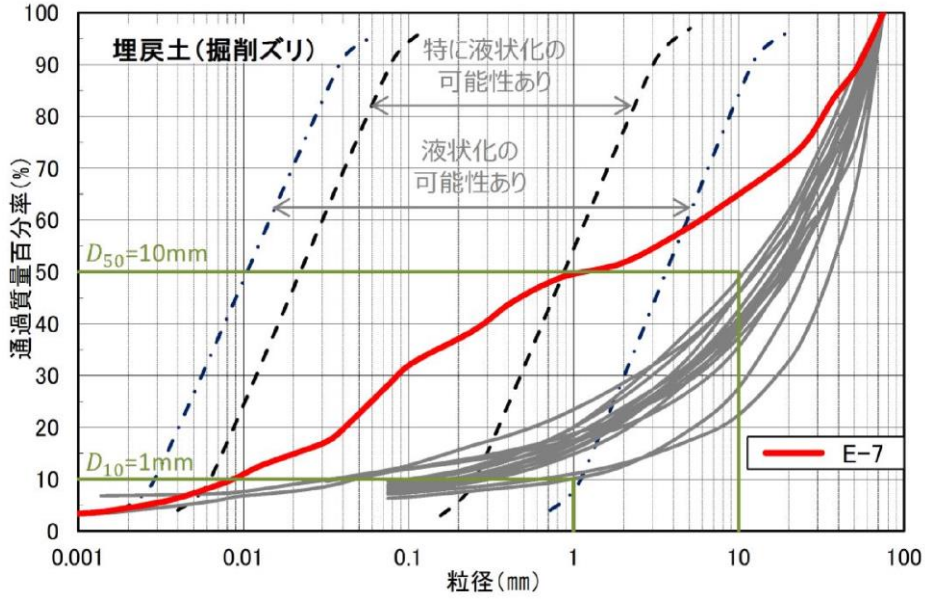


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

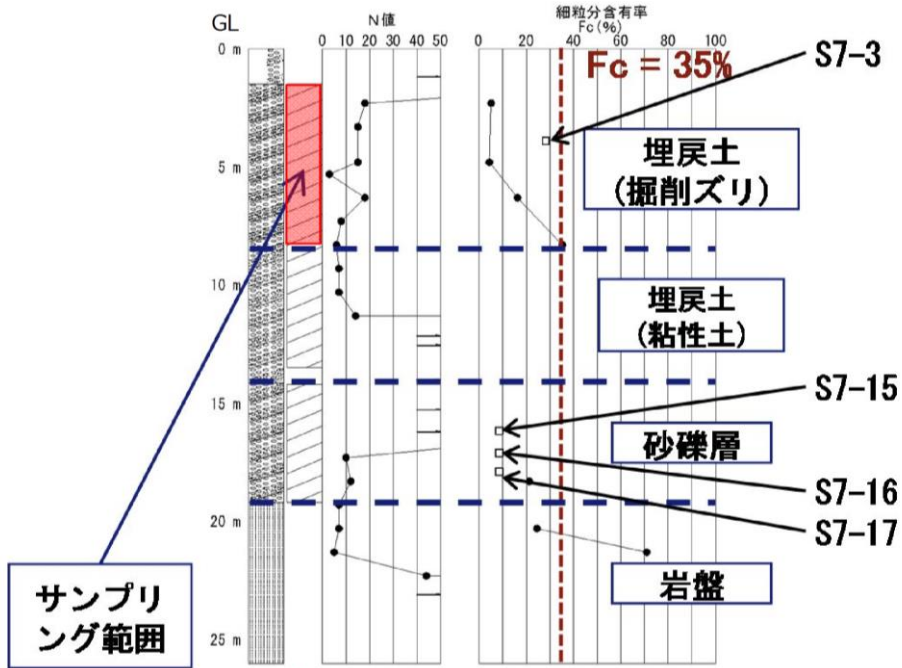
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-6の採取深度

E-6 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第 3-1-12 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-6 の埋戻土 (掘削ズリ))



E-7 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

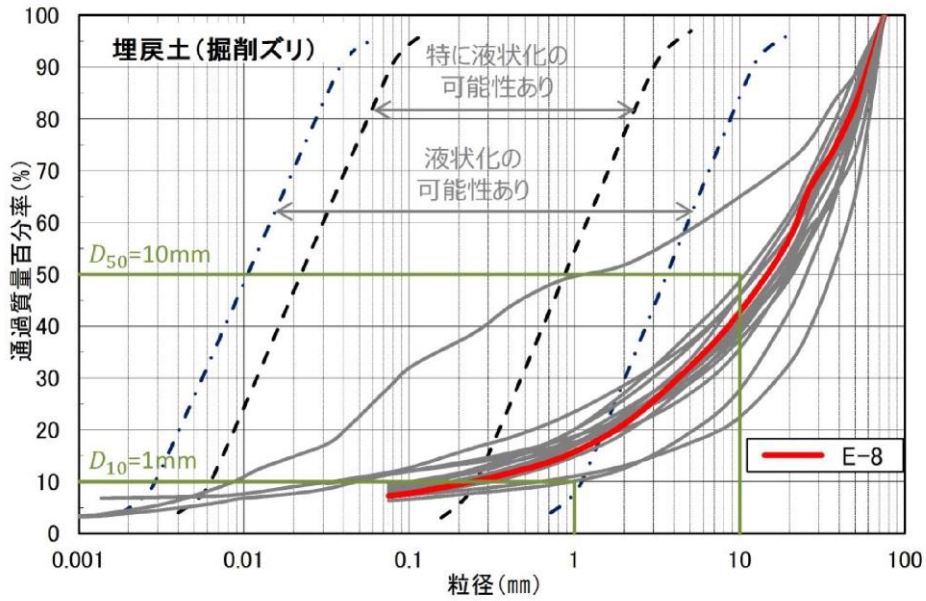


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

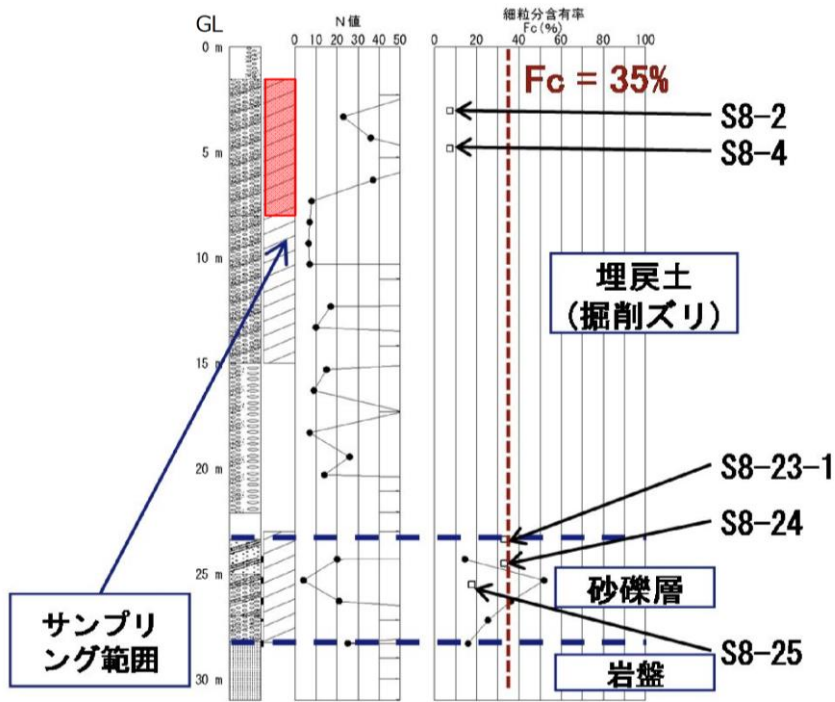
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-7の採取深度

E-7 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第 3-1-13 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-7 の埋戻土 (掘削ズリ))



E-8 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

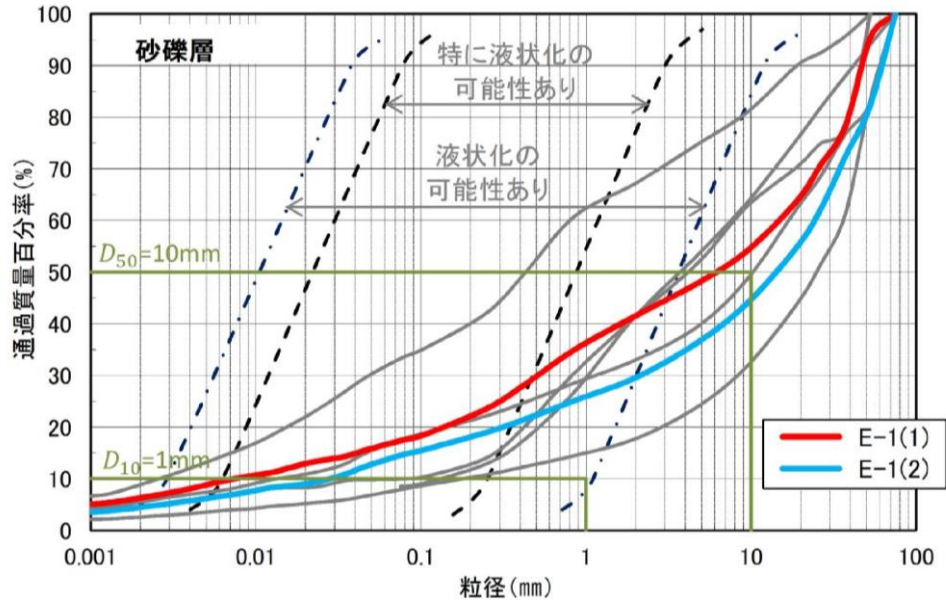


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

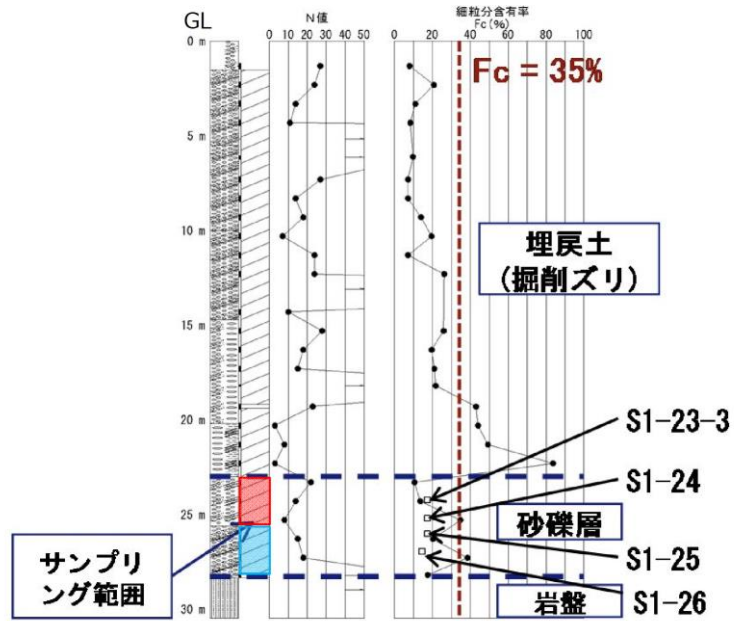
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-8の採取深度

E-8 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果

第 3-1-14 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-8 の埋戻土 (掘削ズリ))



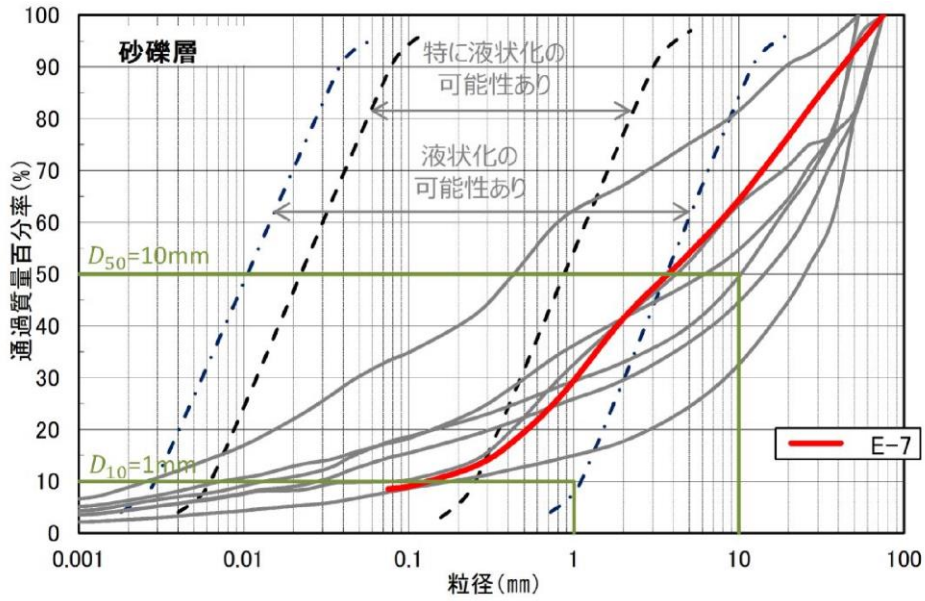
E-1 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



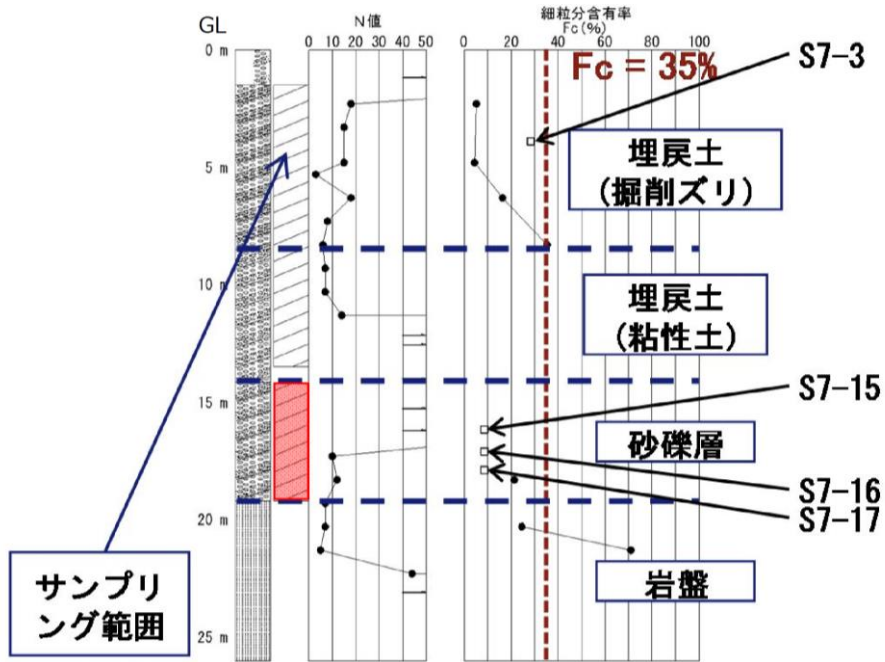
細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- (red) : E-1(1)の採取深度
- (blue) : E-1(2)の採取深度

E-1 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果
 第 3-1-15 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-1 の砂礫層)



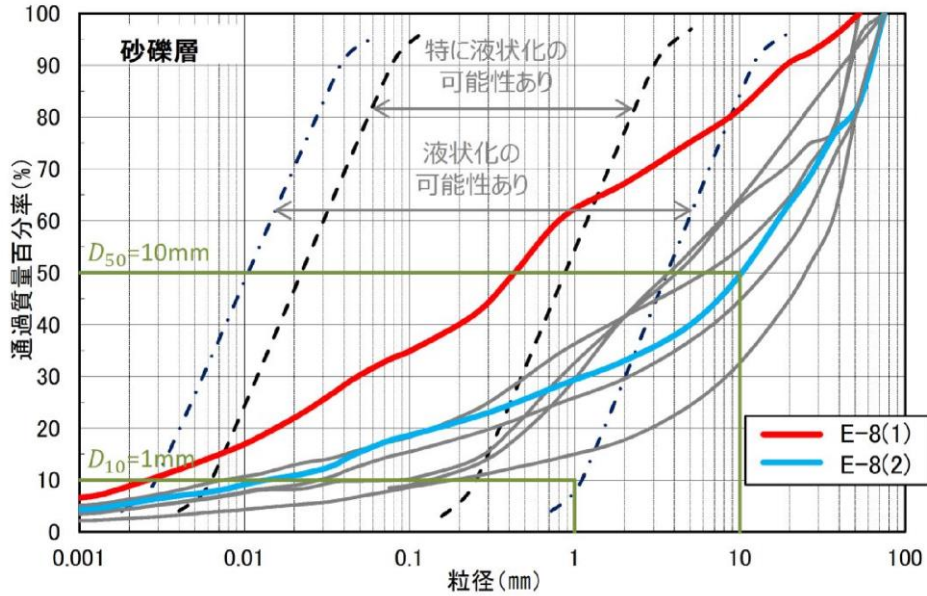
E-7 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



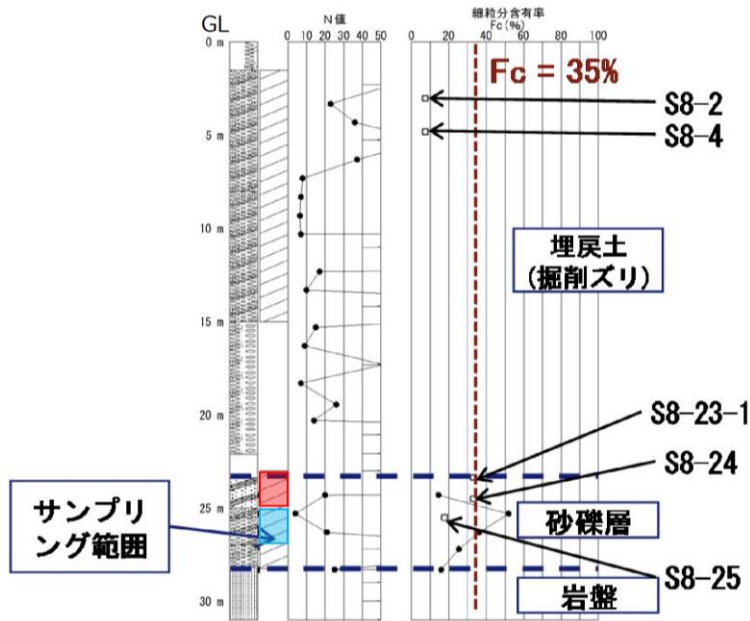
細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-7の採取深度

E-7 地点のボーリング調査試料及び液状化試験試料の試験結果
 第 3-1-16 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-7 の砂礫層)



E-8 地点の液化化試験試料の粒径加積曲線



細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液化化試験試料の試験結果
- (赤) : E-8(1)の採取深度
- (青) : E-8(2)の採取深度

E-8 地点のボーリング調査試料及び液化化試験試料の試験結果
 第 3-1-17 図 液化化試験試料採取位置の基本物性 (E-8 の砂礫層)

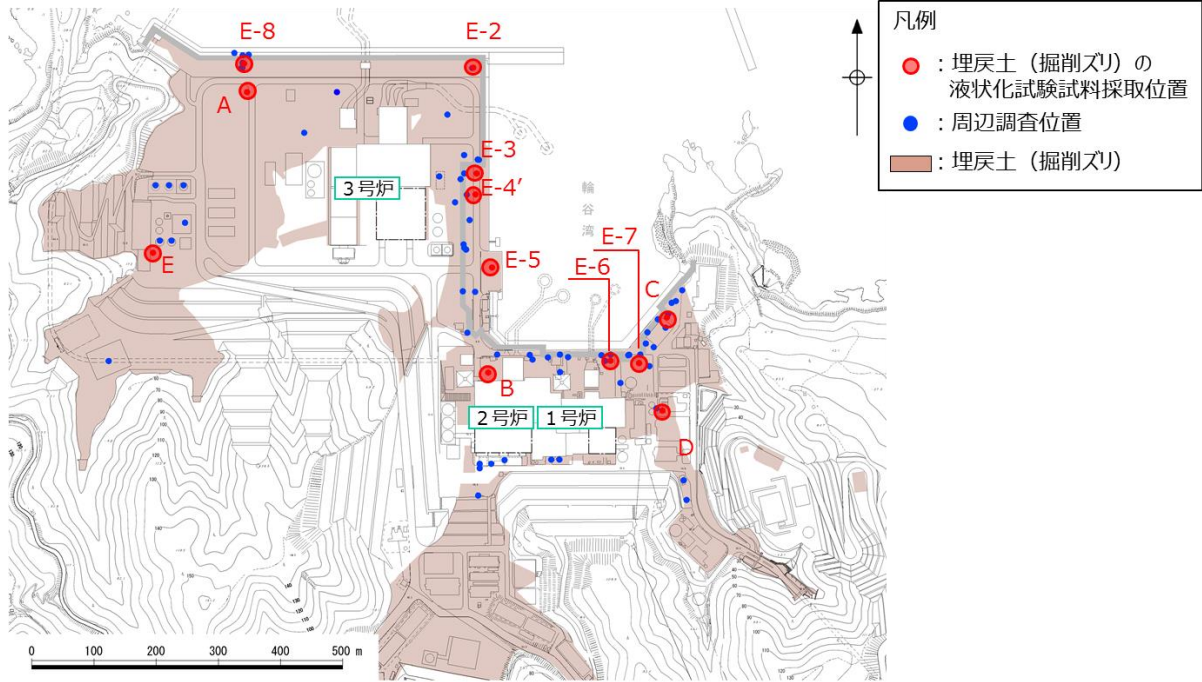
第3-1-2 表 各基準類における液状化強度比 R_L と基本物性の相関性

基準類名	液状化強度比 R_L の算定に用いる主物性	液状化強度比 R_L の補正に用いる物性
道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 日本道路協会, H24 (下水道施設の耐震対策指針と解説, 日本下水道協会, H18) (河川砂防技術基準(案)同解説 設計編, 日本河川協会編, H9) (高圧ガス設備等耐震設計指針, 高圧ガス保安協会, H12)	N値 (有効上載圧を考慮した補正を行う)	細粒分含有率 F_c
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, H19 (部分改訂, H24)		細粒分含有率 F_c
建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, H13 (水道施設耐震工法指針・同解説, 日本水道協会, H9)		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, H24		細粒分含有率 F_c 平均粒径 D_{50}
港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, H19 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 運輸省港湾局監修, H9		細粒分含有率 F_c

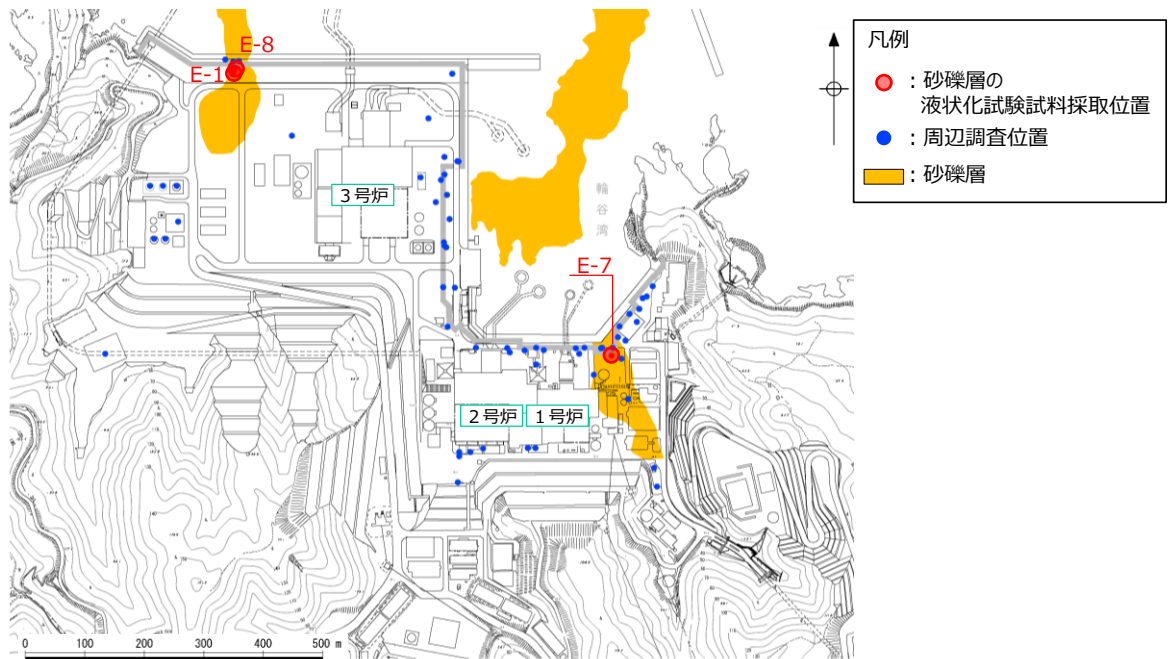
第3-1-3 表 各基準類における地盤物性値のばらつきに対する考え方

基準類名	地盤物性値のばらつきに対する考え方
地盤工学会基準 JGS4001	<ul style="list-style-type: none"> 設計に用いる「特性値」の決定にあたっては、過去の経験にもとづき、地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。 この特性値は、原則として導出値の平均値(期待値)である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく、統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。 特性値を示すにあたっては、地盤の特性を記述するために、特性値に加えて、導出値のばらつきの指標(たとえば標準誤差や変動係数)を含めることが望ましい。
港湾基準	<ul style="list-style-type: none"> 性能照査に用いる地盤定数の設計用値は、原則として地盤工学会基準JGS4001に基づき、推定する。 地盤定数の代表値である特性値は、データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には、原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし、データ数が不足している場合(10個未満)及び導出値のばらつきが大きい場合には、導出値の平均値を補正した上で、特性値を設定する必要がある。 特性値は、導出値のばらつきに関する補正係数b_1を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。
道路橋示方書	<ul style="list-style-type: none"> 地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが、設計に用いる地盤定数は、基礎に作用する荷重に対して、その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって、地盤定数は、計算式の精度や特性を考慮したうえで、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。 自然地盤から得られる計測データは多様で、しかもばらつきのがたつである。データのばらつきだけでなく、データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。

※ σ : 標準偏差

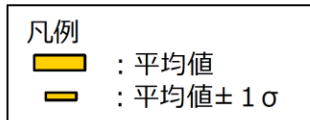
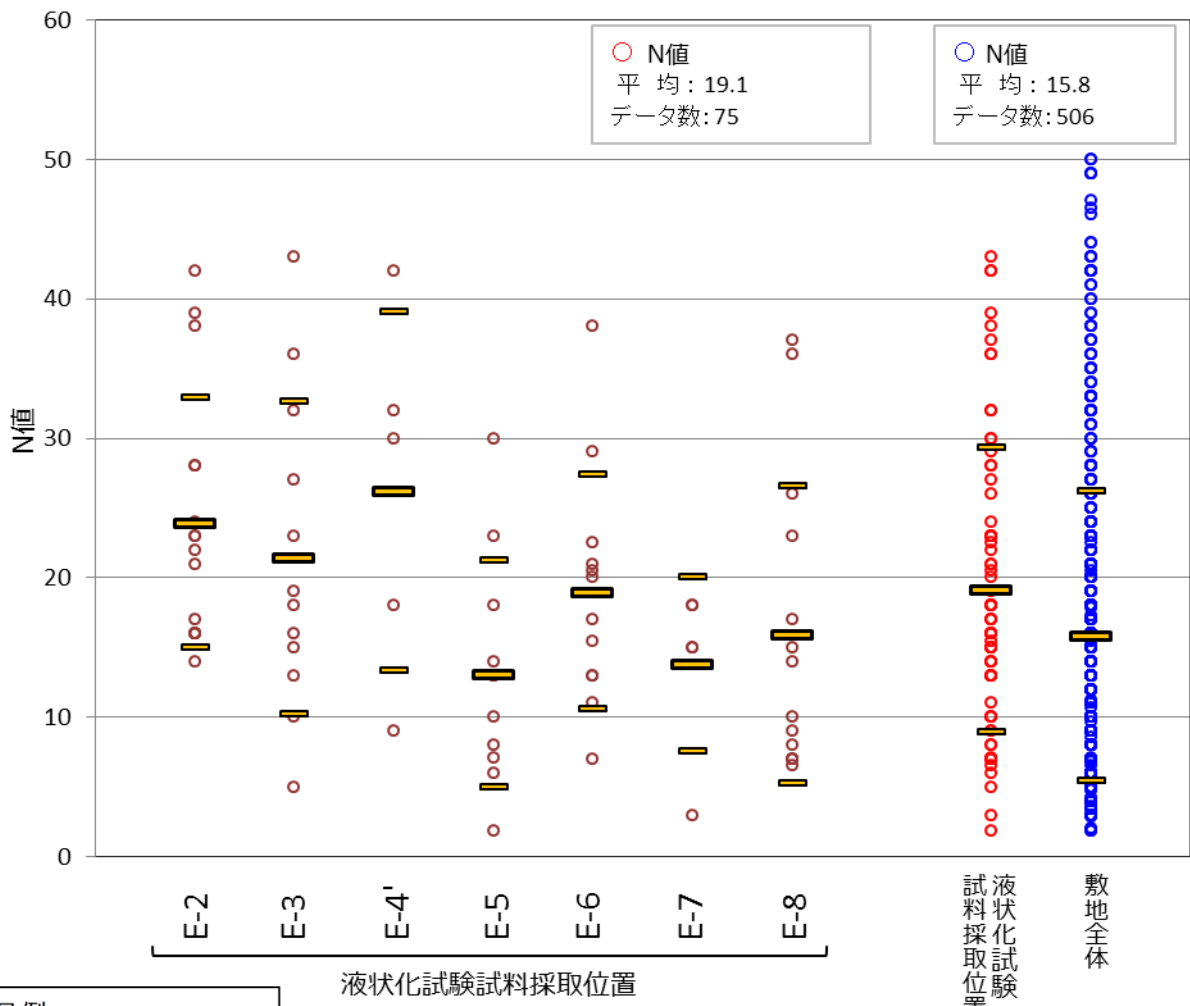
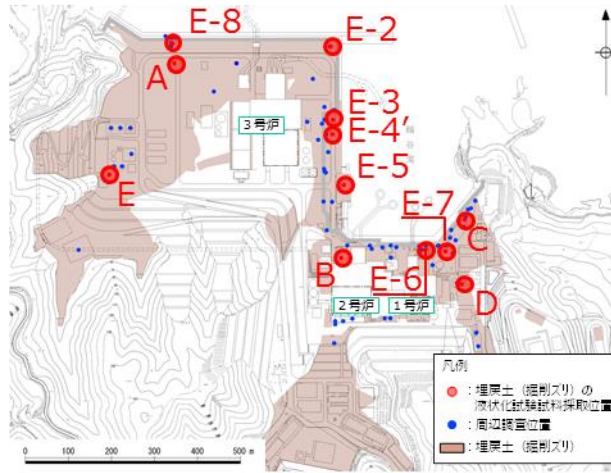


埋戻土(掘削ズリ)



砂礫層

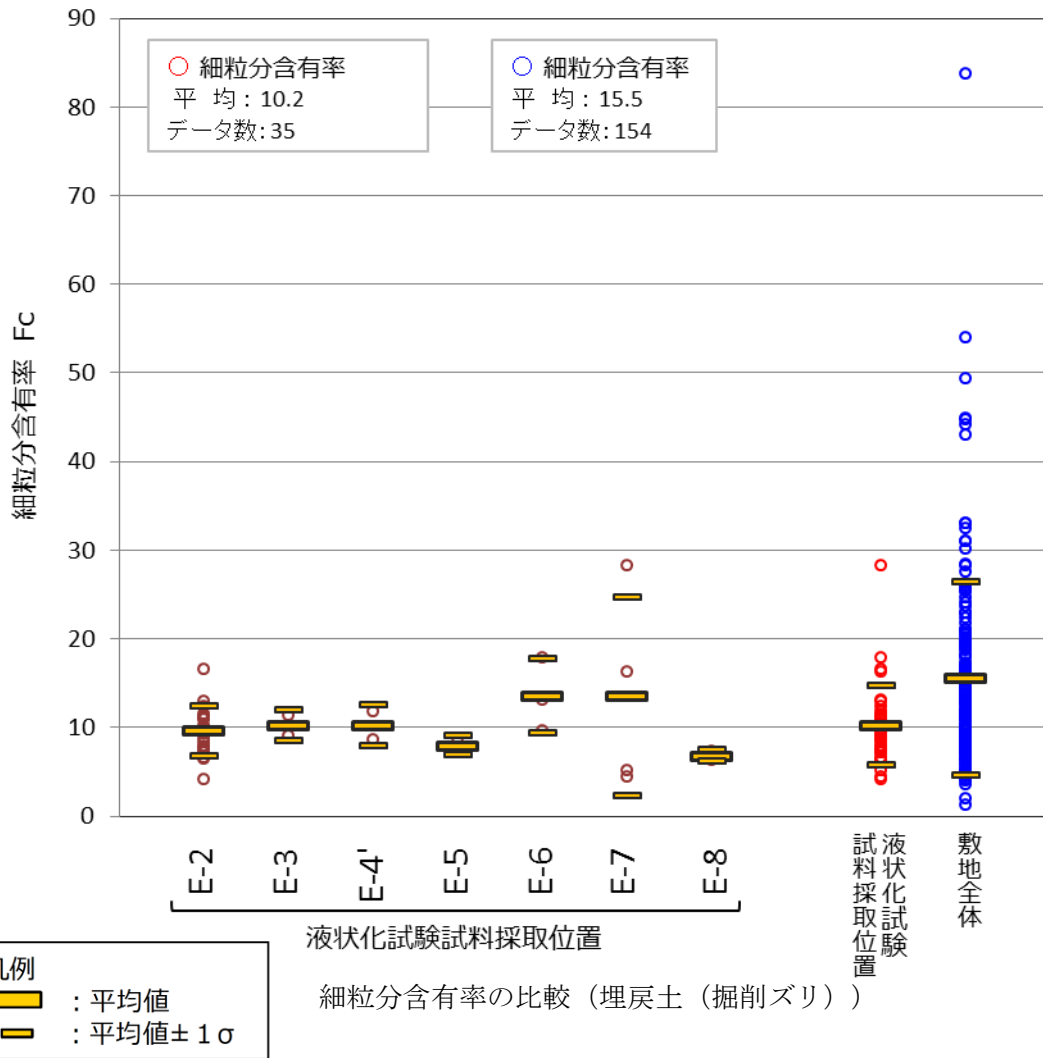
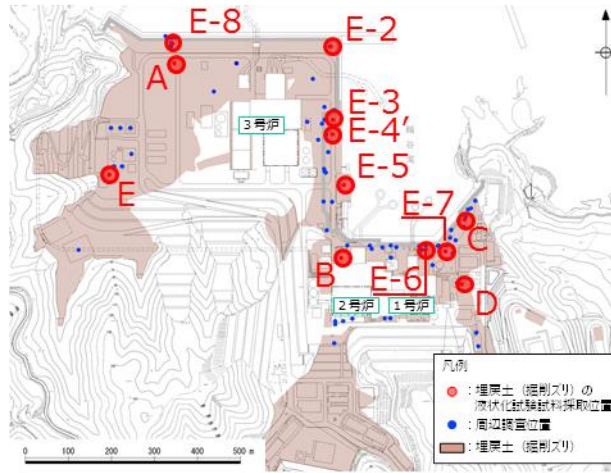
第3-1-18 図 比較対象位置図



N値の比較 (埋戻土 (掘削ズリ))

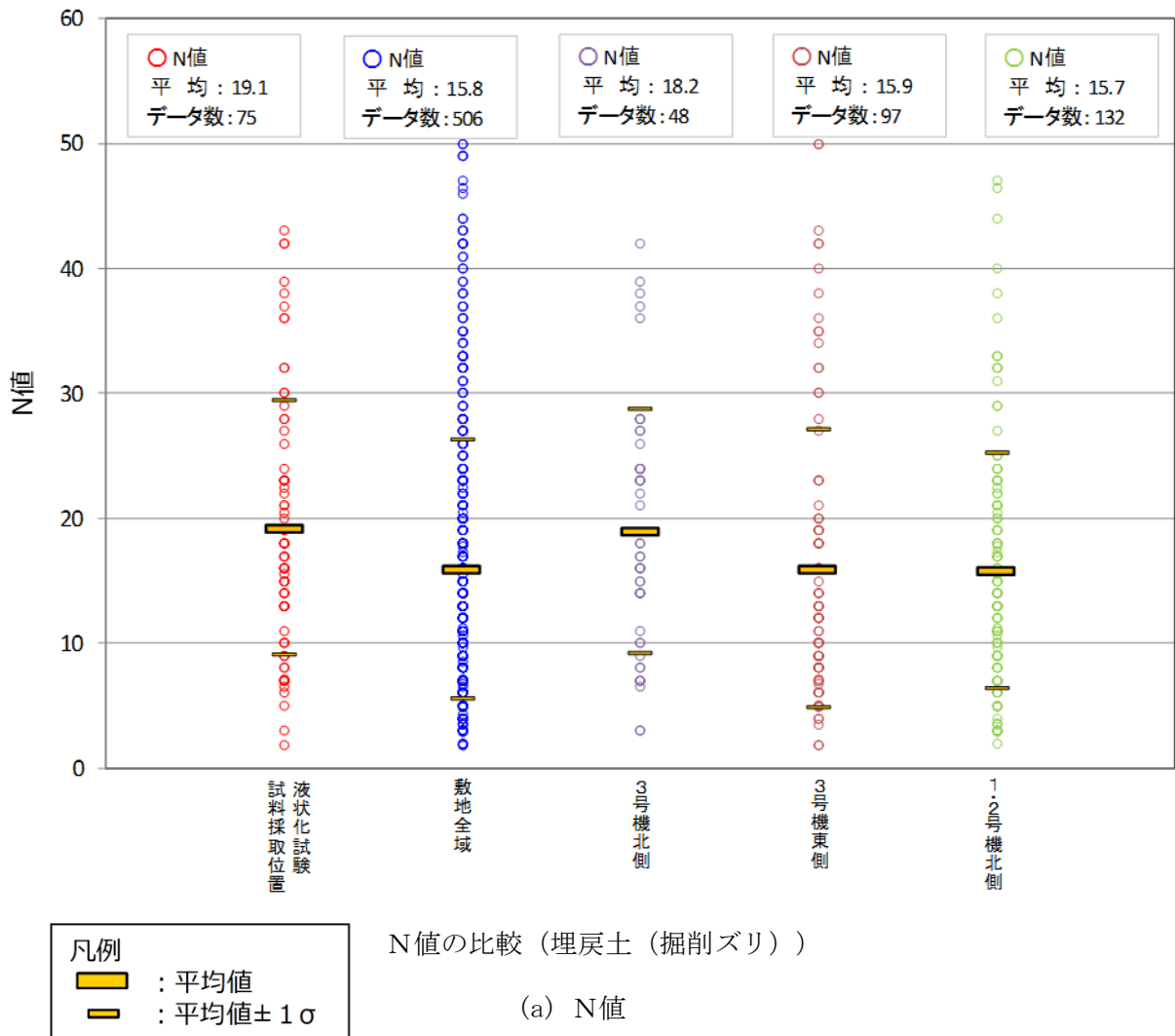
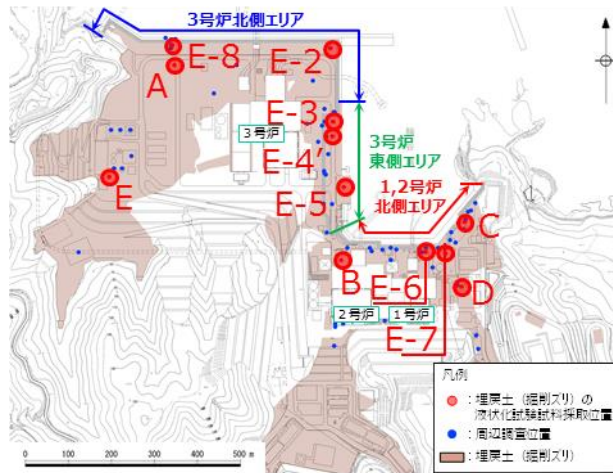
(a) N値

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (埋戻土 (掘削ズリ))

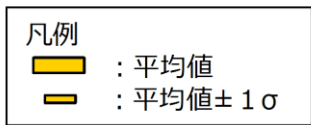
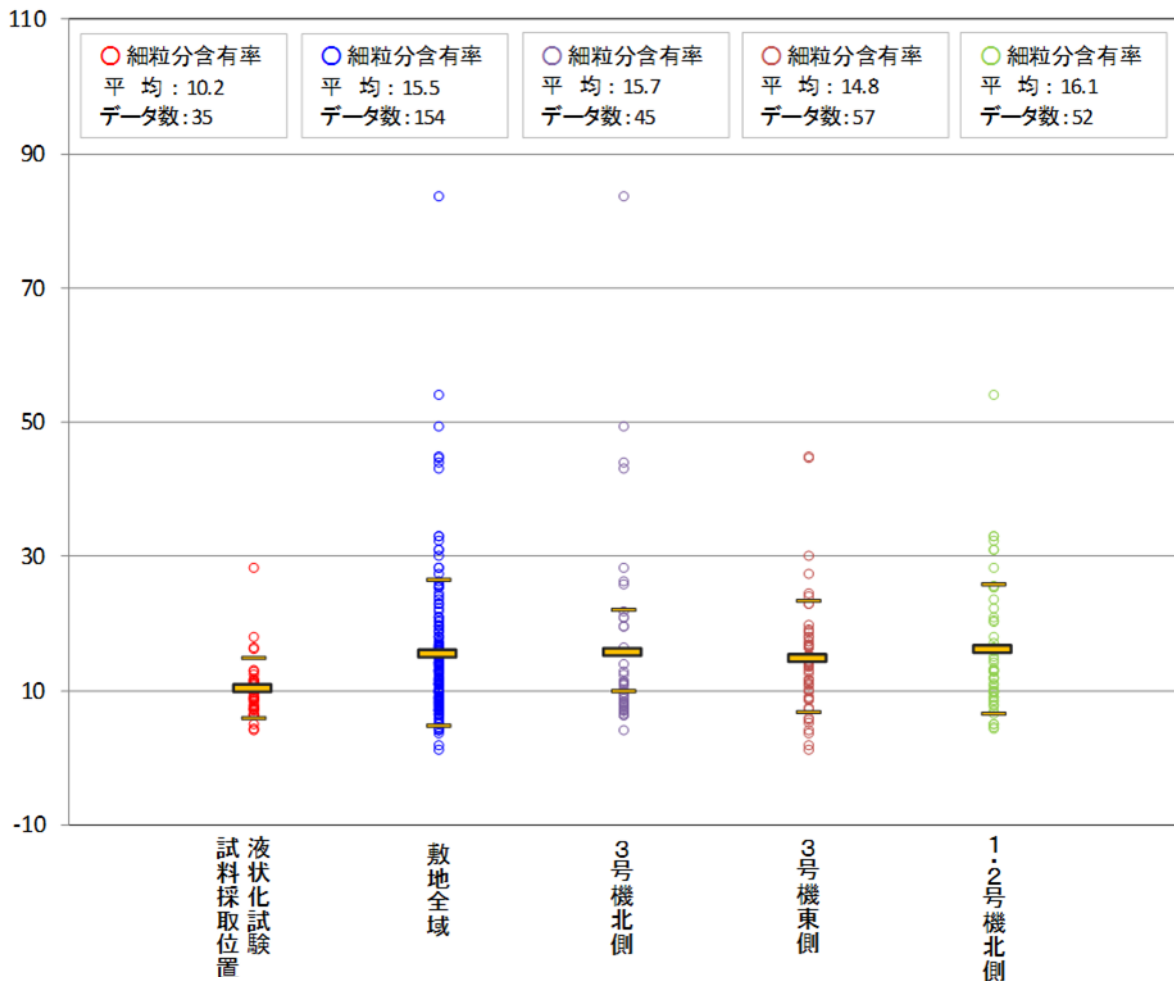
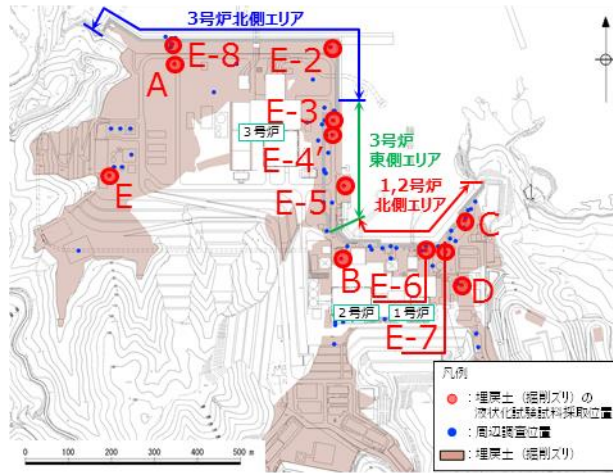


(b) 細粒分含有率

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (埋戻土 (掘削ズリ))



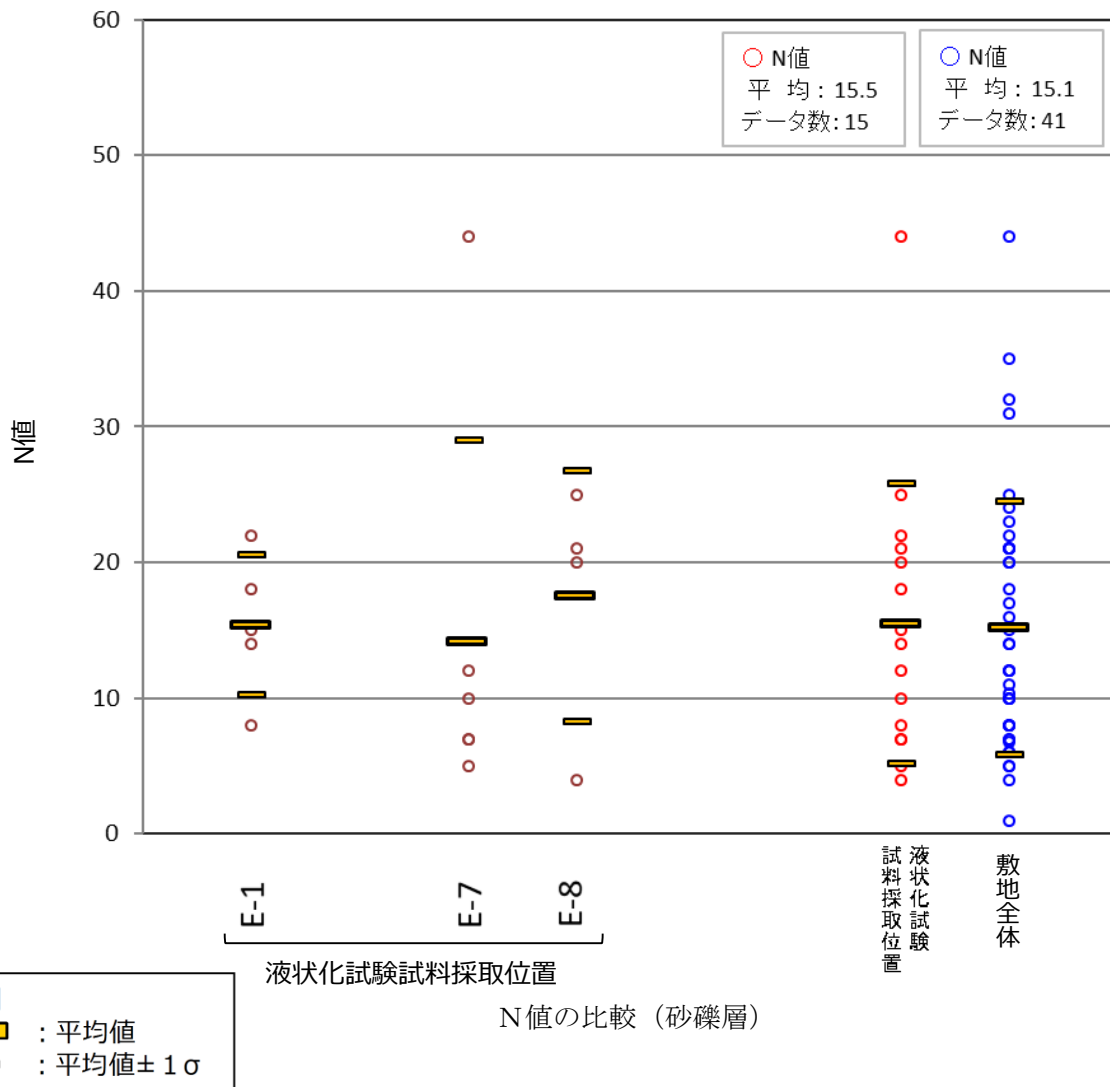
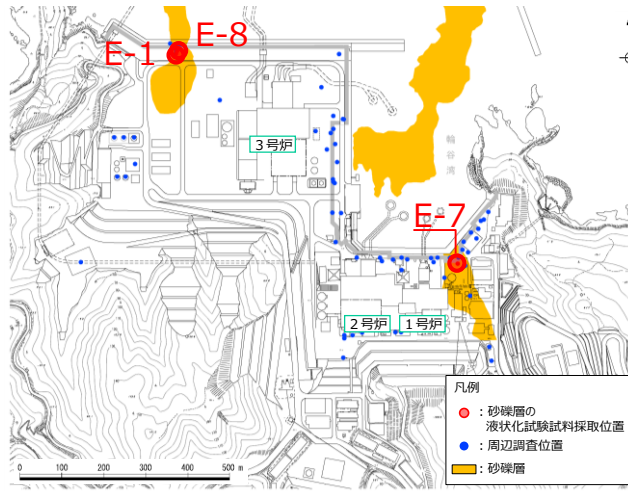
第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較 (埋戻土 (掘削ズリ))



細粒分含有率の比較（埋戻土（掘削ズリ））

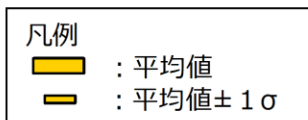
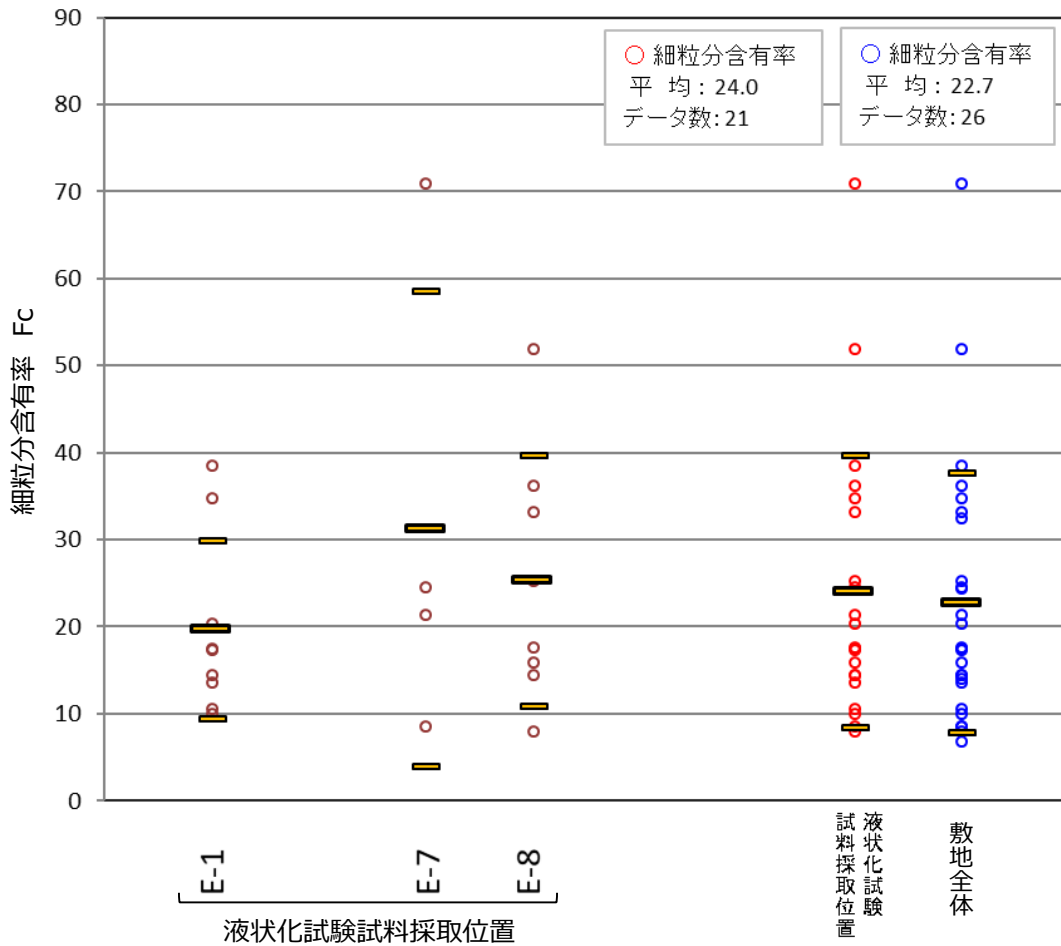
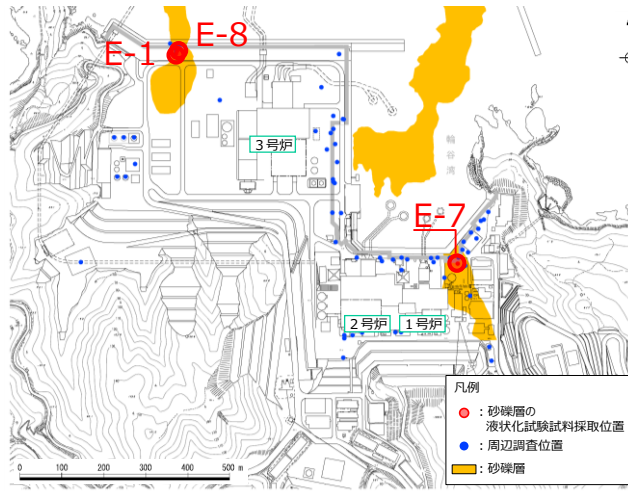
(b) 細粒分含有率

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較（埋戻土（掘削ズリ））



(a) N値

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (砂礫層)



細粒分含有率の比較 (砂礫層)

(b) 細粒分含有率

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (砂礫層)

3.2 液状化試験結果

3.2.1 液状化試験方法

地盤工学会では、地盤の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）（地盤工学会，H21）が規定されている。実務的には、地盤の液状化強度特性を求める試験方法として、繰返し非排水三軸試験のほかに、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験等が用いられる。（安田，H3）

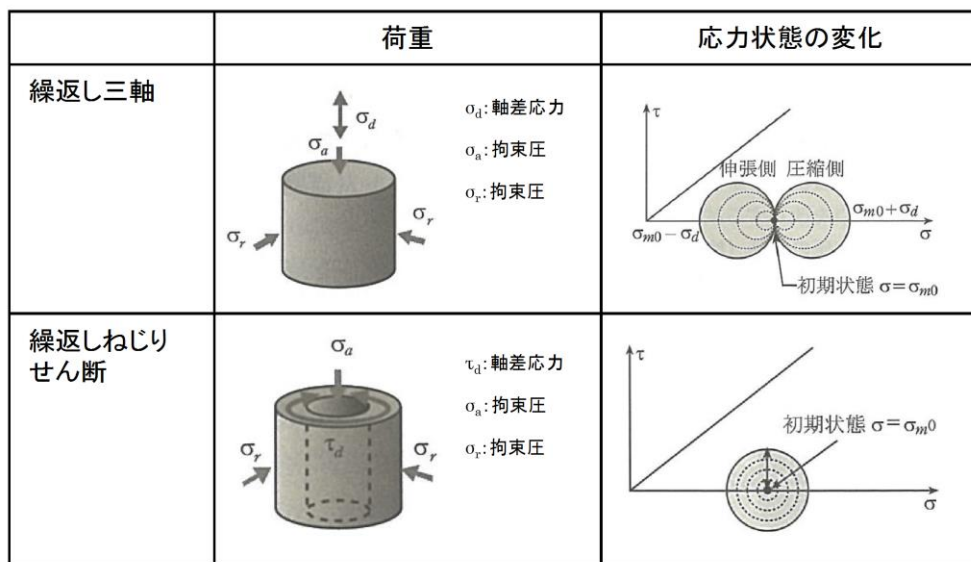
第3-2-1図に一般的な液状化試験方法の例を、第3-2-2 図に液状化試験結果の例を示す。

繰返し非排水三軸試験では、等方に拘束圧をかけた状態で軸方向に外力を繰返し与えて液状化させるので、圧縮側と引張側で応力経路やひずみの生じ方が異なる。一方、繰返しねじりせん断試験では、円周方向に回転させるように外力を加える。原地盤の拘束圧に近い異方応力状態での試験も可能である。また、応力経路も原地盤に近い挙動となる。

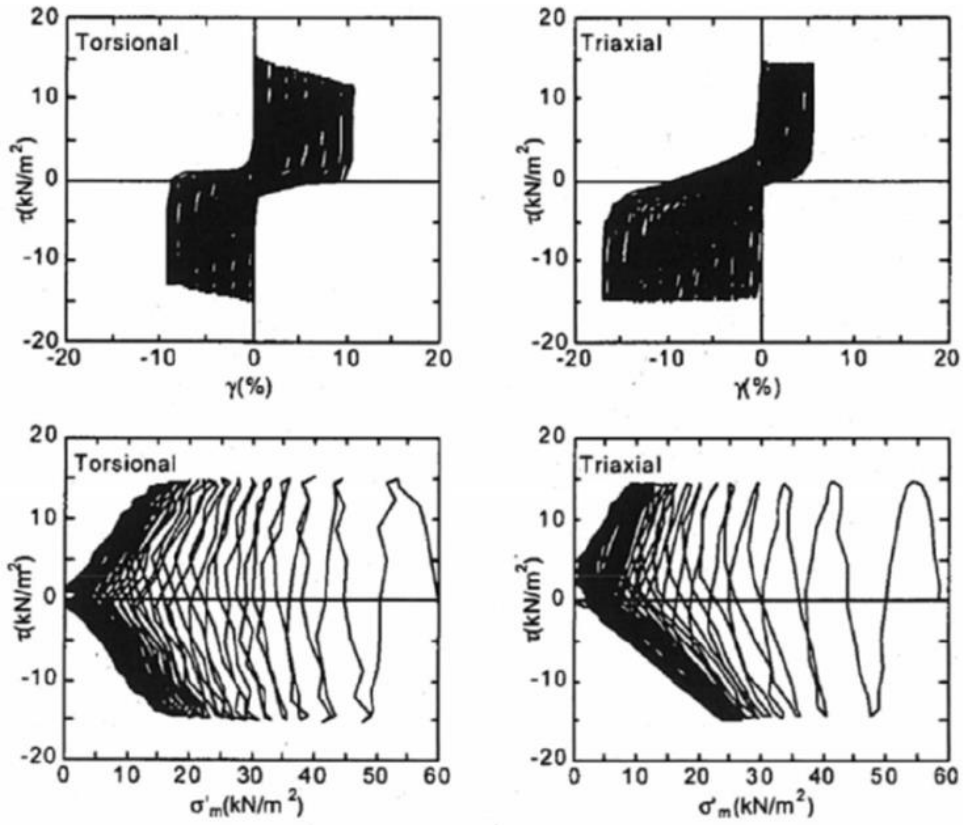
ただし、実務では装置や操作が比較的容易であり、実績の多い繰返し非排水三軸試験が用いられることが多い。また、繰返しねじりせん断試験では中空の円筒状の供試体を用いるので、粒径が大きい試料には適用が困難である。

以上を踏まえ、埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を対象とした液状化試験を実施するに当たり、繰返し非排水三軸試験を採用した。

実施した繰返し非排水三軸試験の概要を第3-2-3 図に示す。



第3-2-1 図 一般的な液状化試験方法の例
（吉田，H22）



(a) 繰返しねじりせん断試験

(b) 繰返し非排水三軸試験

第3-2-2 図 液状化試験結果の例

[上図：応力-ひずみ関係，下図：応力経路]

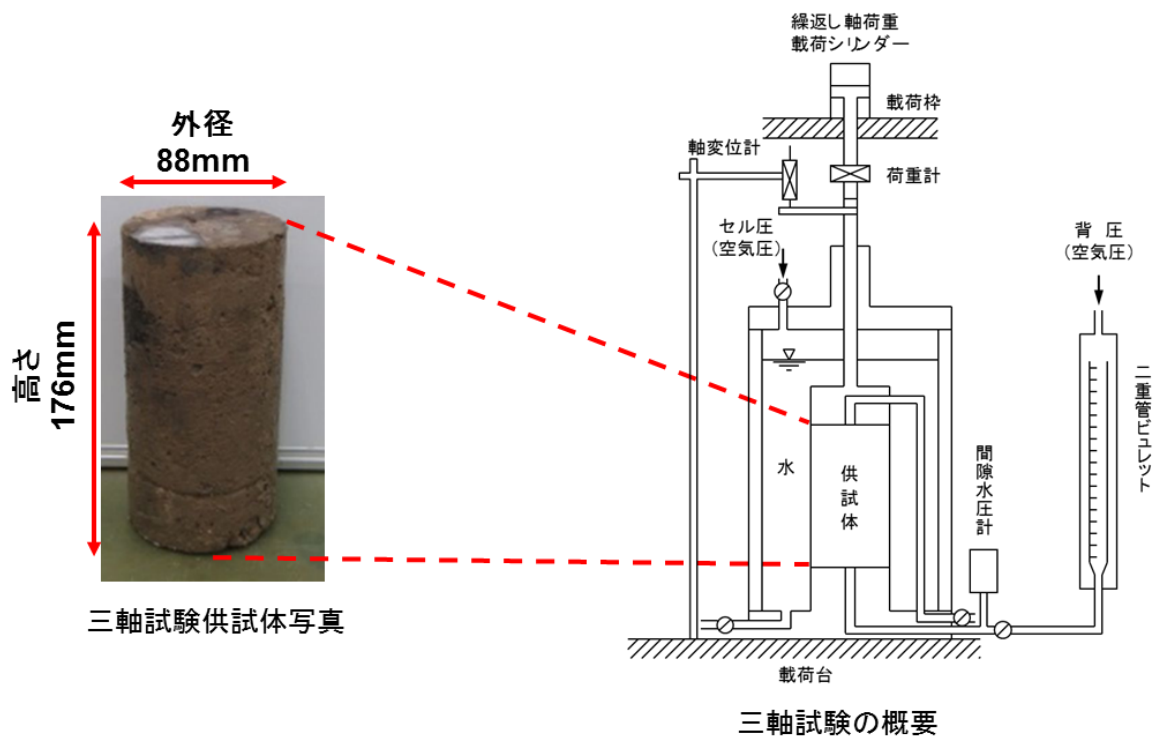
(土木学会，H15)

試験の概要

- ・土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541-2009）を参考に実施。なお，供試体はロータリー式三重管サンプラー及び表層試料採取により採取した試料とした。

【試験概要】

- ・供試体寸法：外径88mm，高さ176mm
- ・载荷波形：正弦波（0.1Hz）
- ・拘束圧：供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定
- ・両振幅軸ひずみ10%に達するまで試験を実施する。
- ・所定の両振幅軸ひずみ（1，2，5，10%）及び過剰間隙水圧比0.95の繰返し回数を評価。



第3-2-3 図 繰返し非排水三軸試験の概要

3.2.2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方

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書（土木学会，H15）では，地盤の液状化及びそれに関連する事象の定義として，以下のように記載されている。第3-2-4 図に地盤の強度とダイレイタンシー特性の概要を示す。

【液状化】

地震の繰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。

【サイクリックモビリティ】

繰返し载荷において土が「繰返し軟化」する過程で，限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなくても，ひずみが大きく成長しようとする時，正のダイレイタンシー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し，せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に，密な砂や礫質土，過圧密粘土のように正のダイレイタンシー特性が著しい土において顕著に現れる。

【繰返し軟化】

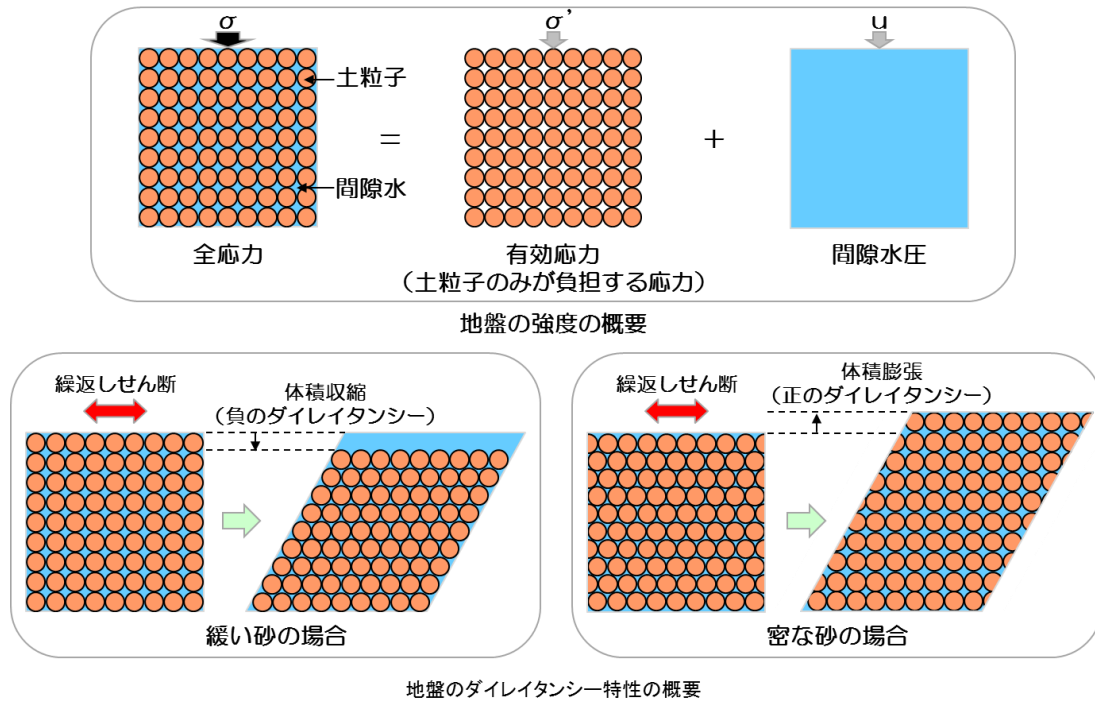
繰返し载荷による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し，それが繰返し回数とともに徐々に増大するが，土の持つダイレイタンシー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

これらの事象のうちサイクリックモビリティは，その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている（第3-2-1 表参照）。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また，第3-2-5 図及び第3-2-6 図に緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を示し，液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。

- ・サイクリックモビリティとは，砂などの繰返し载荷において，有効拘束圧がゼロに近づいてから，载荷時にせん断剛性の回復，除荷時に有効応力の減少を繰り返していくが，ひずみは有限の大きさとどまる現象であり，液状化とは区別して用いられることがある。（地盤工学会，H18）
- ・地盤の液状化は，緩い砂地盤が繰返しせん断を受け，せん断振幅が急増し，地盤全体が泥水状態となり，噴砂や噴水を伴うことが多いので，現象的にサイクリックモビリティとは異なる。（井合，H20）
- ・サイクリックモビリティにおいて，有効応力がゼロになるのは，せん断応力がゼロになる瞬間だけであり，せん断応力が作用している間は有効応力が存在するので，間隙水圧比が100%に達した後でも，繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。（吉見，H3）
- ・密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が0になっても，その後せん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加（回復）し，有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリ

ックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。(安田, H3)

これらの知見を踏まえて、液状化試験結果を、「液状化」、「繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）」及び「非液状化」の3つに大別することとした。

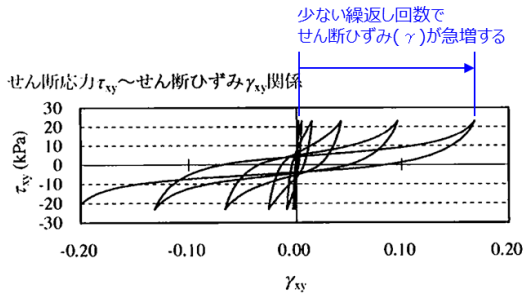


第3-2-4 図 地盤の強度とダイレイタンス特性の概要

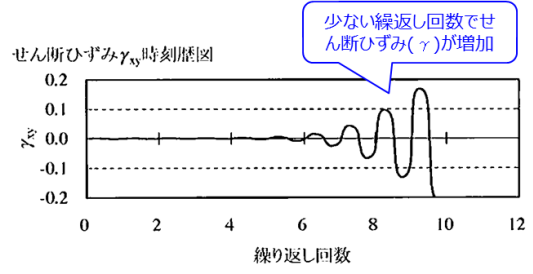
第3-2-1 表 液状化試験結果の分類

○:該当する ×:該当しない

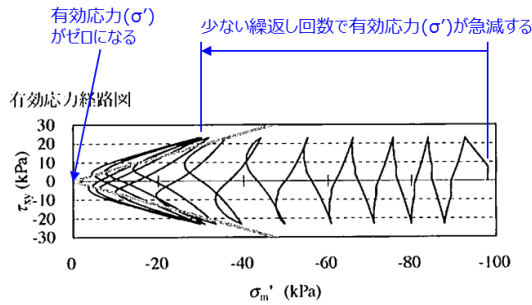
判定項目	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリックモビリティ	
・ 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○	○	○	×
・ 有効応力がゼロまで低下する。	○	×	○	×
・ 液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。)	○	×	×	×
・ 正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	×	○	○	○



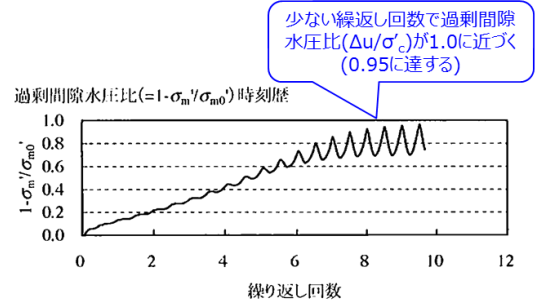
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係



(c) せん断ひずみ



(b) 有効応力経路

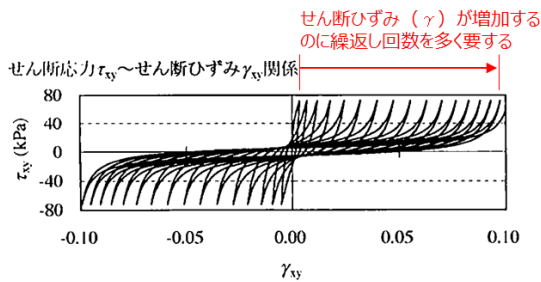


(d) 過剰間隙水圧比

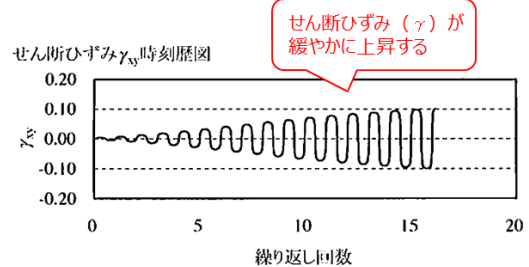
液状化試験の例 (液状化する場合)

1) 井合進: サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌, H20.10

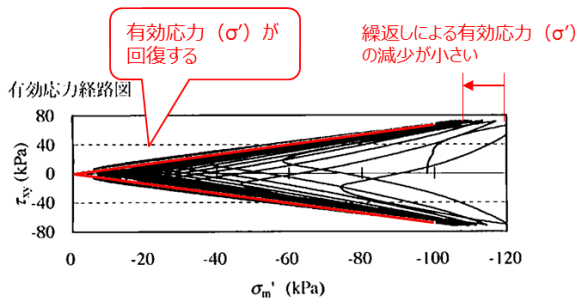
第3-2-5 図 緩い砂の液状化試験結果



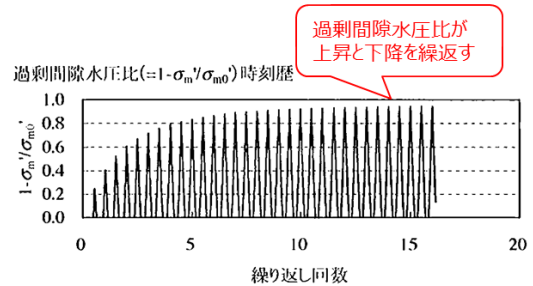
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係



(c) せん断ひずみ



(b) 有効応力経路



(d) 過剰間隙水圧比

液状化試験の例 (繰返し軟化 (サイクリックモビリティを含む) の場合)

1) 井合進, 飛田哲男, 小堤治: 砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルによるストレスダイレイタンス関係, 京都大学防災研究所年報, 第51号

第3-2-6 図 密な砂の液状化試験結果

3.2.3 試験結果の分類

第3-2-2～16 表に各土層の液状化試験結果を、第3-2-7～21 図に各土層の液状化試験結果の例を、第3-2-17 表に液状化試験結果のまとめを示す。

【E-2 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・いずれの試料においても、過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき(0.95を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-3 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・いずれの試料においても、過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき(0.95を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-4' 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・S4-5は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき(0.95を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S4-6, S4-8-2は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返すが、0.95を上回らなかった。

【E-5 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき(0.95を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-6 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・S6-1-2は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき(0.95を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S6-1-1, S6-3は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき(0.95を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-7 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき(0.95を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-8地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・ S8-4 ③は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・ S8-2, S8-4 ④は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【A地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・ A①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。
- ・ A②は過剰間隙水圧比が0.95を上回る前に両振幅軸ひずみDAが10%を上回った。

【B地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・ B①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。
- ・ B②は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返すが、0.95を上回らなかった。

【C地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・ C①～④は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【D地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・ D①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返すが、0.95を上回らなかった。

【E地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・ E①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-1 地点（砂礫層）】

- ・S1-23-3, S1-24及びS1-25は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S1-26は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-7 地点（砂礫層）】

- ・S7-15及びS7-17は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S7-16は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-8 地点（砂礫層）】

- ・S8-23-1及びS8-25は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S8-24は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験は、土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）に準拠し実施した。

試験結果は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇する。また、有効応力は保持している、若しくは減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。一方、E-4' 地点及びD地点では過剰間隙水圧比が0.95を上回らなかった。これらの状況から、埋戻土（掘削ズリ）は非液状化、若しくは繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であると判断した。

供試体直径の1/5を超える礫を含む供試体については、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）を満足しないため、試験結果を参考値とし、以降の評価には採用しない。埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験結果のうち、供試体直径の1/5を超える礫を含む供試体について、液状化試験後の写真を第3-2-18表に示す。

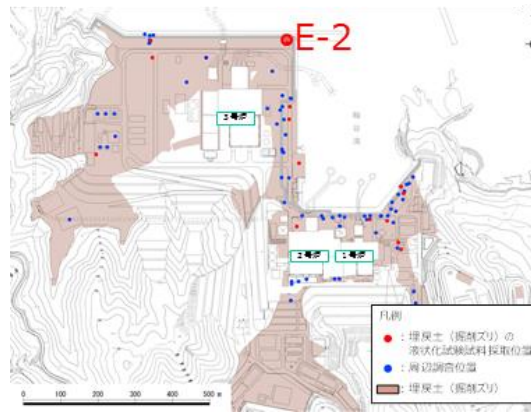
砂礫層の液状化試験は、土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）に準拠し実施した。試験結果は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇する。また、有効応力は保持している、若しくは減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。これらの状況から、砂礫層は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であると判断した。

これらの区分を整理して、第3-2-19表に示す。

すべての土層で、液状化試験結果は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）あるいは非液状化を示している。このことは、50%粒径が10mm超過、又は、10%粒径が1mm超過である、粗粒で均等係数が低い礫質土では透水係数が高く液状化しにくいという道路橋示方書の記載に整合する。

埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定法（FL法）が適用できないと考えられることから、埋戻土（掘削ズリ）について、液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。

第3-2-2 表 液状化試験結果 (E-2 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

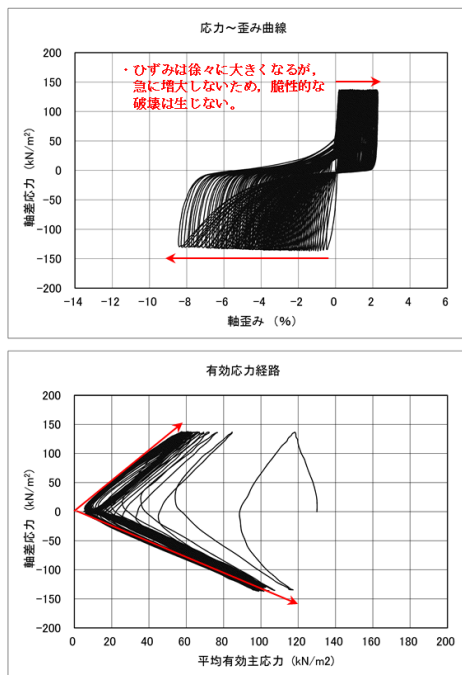


試料番号		S2-9	S2-10	S2-14-1	
深度 (m)		9.20~10.20	10.20~11.20	14.12~15.12	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		1	1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.714	2.716	2.723	
圧密応力 σ'_0 (kN/m ²)		130	130	130	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_0$		0.463	0.522	0.551	
繰返し回数	軸ひずみ幅 両振幅	DA = 1%	1.5	2.5	0.6
		DA = 2%	2.5	9.5	1.5
		DA = 5%	6.0	37.6	5.0
		DA = 10%	-	92.9	7.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}	3.0	7.0	3.0	

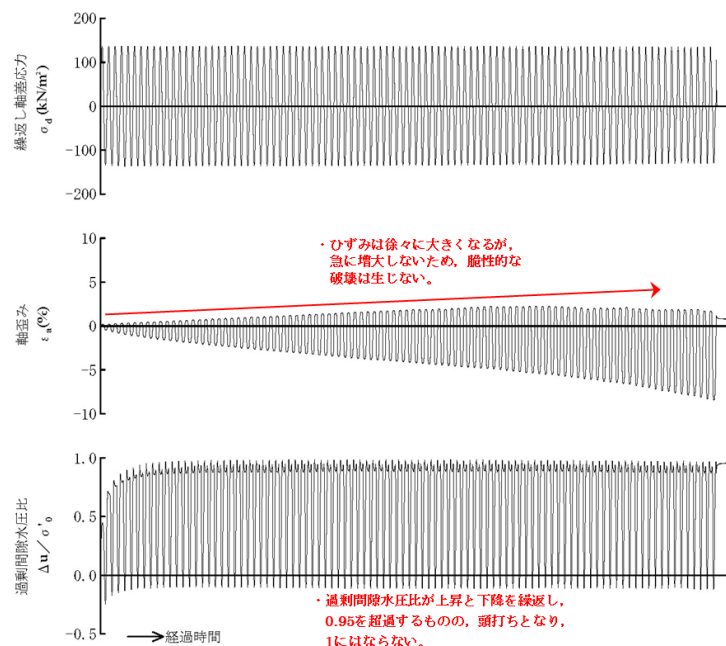
■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



・有効応力がほぼゼロまで低下するが、ダイレイタンス特性により有効応力が回復する。

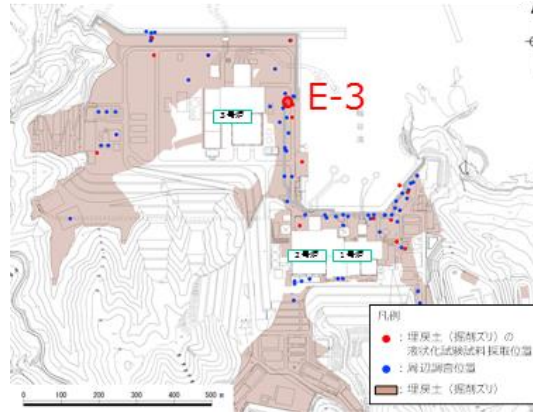


・ひずみは徐々に大きくなるが、急に増大しないため、脆性的な破壊は生じない。

・過剰間隙水圧比が上昇と下降を繰返し、0.95 を超えるものの、頭打ちとなり、1にはならない。

第3-2-7 図 液状化試験結果の例 (E-2 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-3 表 液状化試験結果 (E-3 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

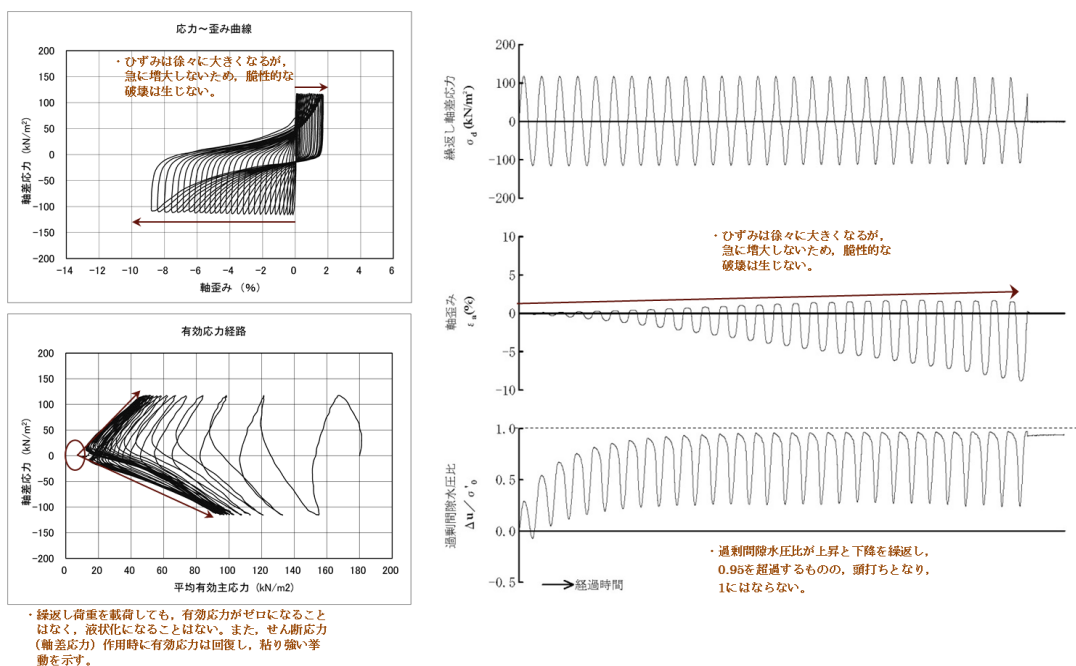


試料番号		S3-9-1	S3-9-2	S3-11	
深度 (m)		9.10~9.75	9.85~10.65	11.80~12.70	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		1	1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.641	2.619	2.685	
圧密応力 σ'_0 (kN/m ²)		180	180	180	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$		0.258	0.323	0.357	
繰返し回数	軸ひずみ振幅	DA = 1%	20.9	4.5	3.5
		DA = 2%	28.9	7.5	5.5
		DA = 5%	49.8	14.1	10.0
		DA = 10%	97.9	26.9	-
過剰間隙水圧比 95% $N_{0.95}$		40.0	12.0	9.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

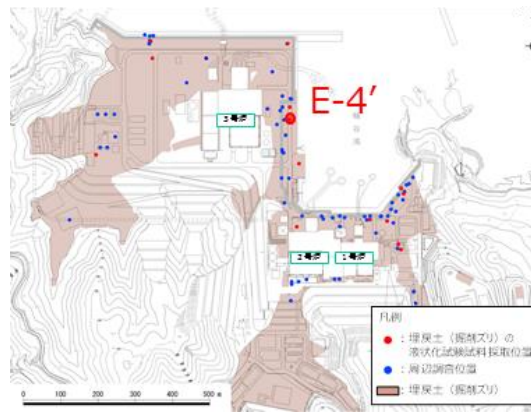
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-8 図 液状化試験結果の例 (E-3 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-4 表 液状化試験結果 (E-4' 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

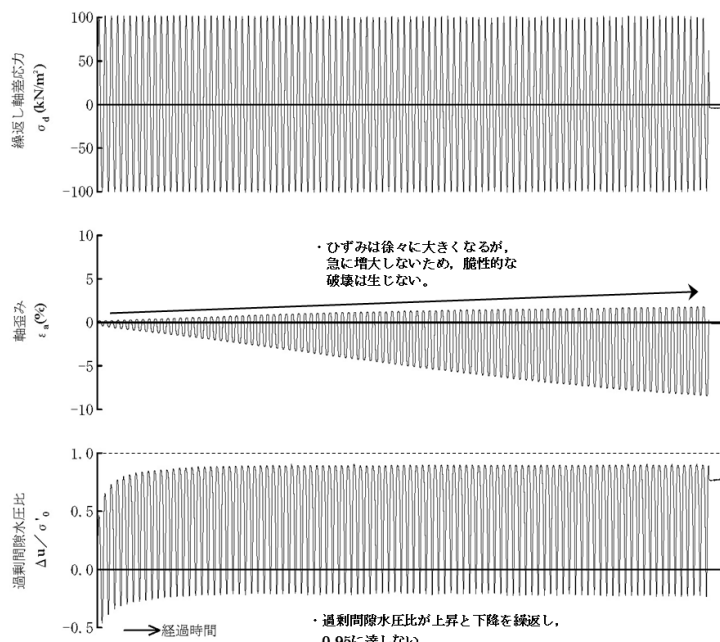
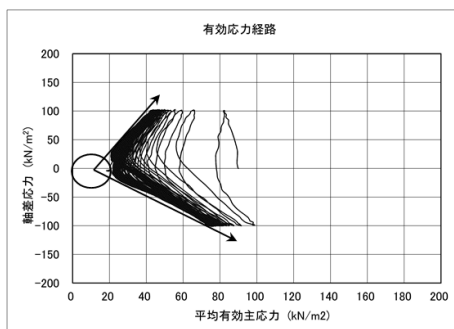
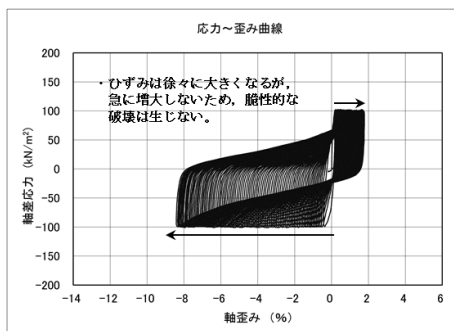


試料番号		S4-5	S4-6	S4-8-2		
深度 (m)		5.50~6.50	6.50~7.50	8.90~9.90		
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)				
供試体 No.		1	2	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.746	2.733	2.648		
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		90	90	90		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$		0.336	0.435	0.560		
繰返し回数	軸両振幅 ひずみ	DA = 1%	9.5	10.6	4.0	0.5
		DA = 2%	14.9	21.2	13.6	0.9
		DA = 5%	27.7	45.9	38.7	2.5
		DA = 10%	49.8	90.4	94.7	5.5
	過剰間隙水圧比 95% $N_{u,95}$	20.0	52.0	=	=	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

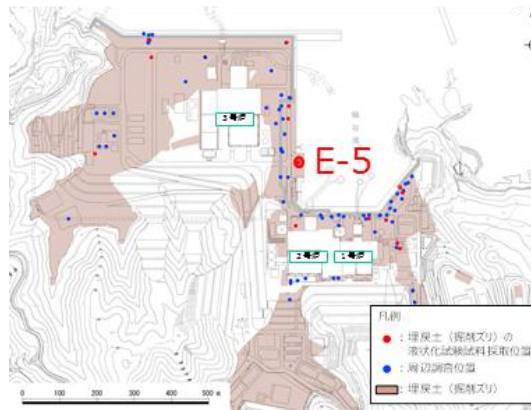
下線: 下図に例示する試験結果



・繰返し荷重を載荷しても、有効応力がゼロになることはなく、液状化になることはない。

第3-2-9 図 液状化試験結果の例 (E-4' 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-5 表 液状化試験結果 (E-5 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

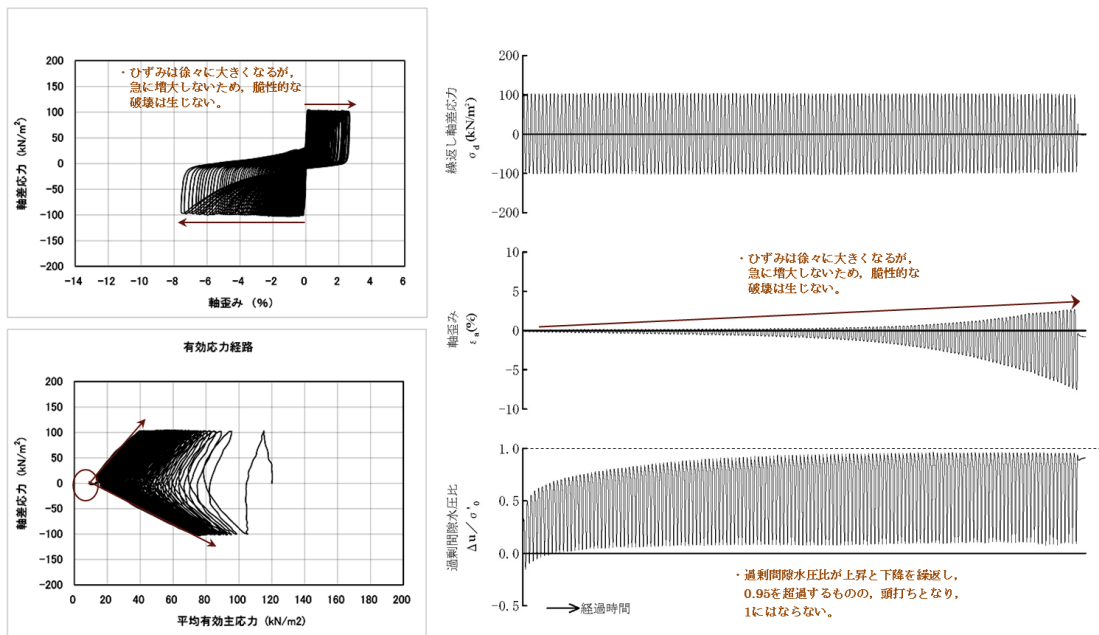


試料番号		S5-1	S5-3	
深度 (m)		1.50~2.35	3.35~3.98	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.		1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.687	2.705	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		120	120	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$		0.426	0.647	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	66.9	15.8
		DA = 2%	94.6	29.2
		DA = 5%	121.6	62.2
		DA = 10%	145.0	115.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}	91.0	41.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

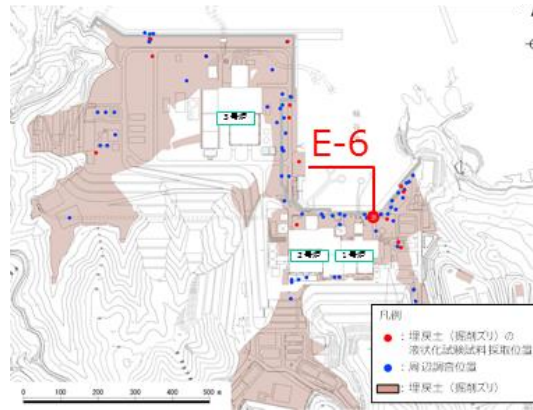
下線: 下図に例示する試験結果



・繰返し荷重を載荷しても、有効応力がゼロになることなく、液状化になることはない。また、せん断応力 (軸差応力) 作用時に有効応力は回復し、粘り強い挙動を示す。

第3-2-10 図 液状化試験結果の例 (E-5 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-6 表 液状化試験結果 (E-6 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

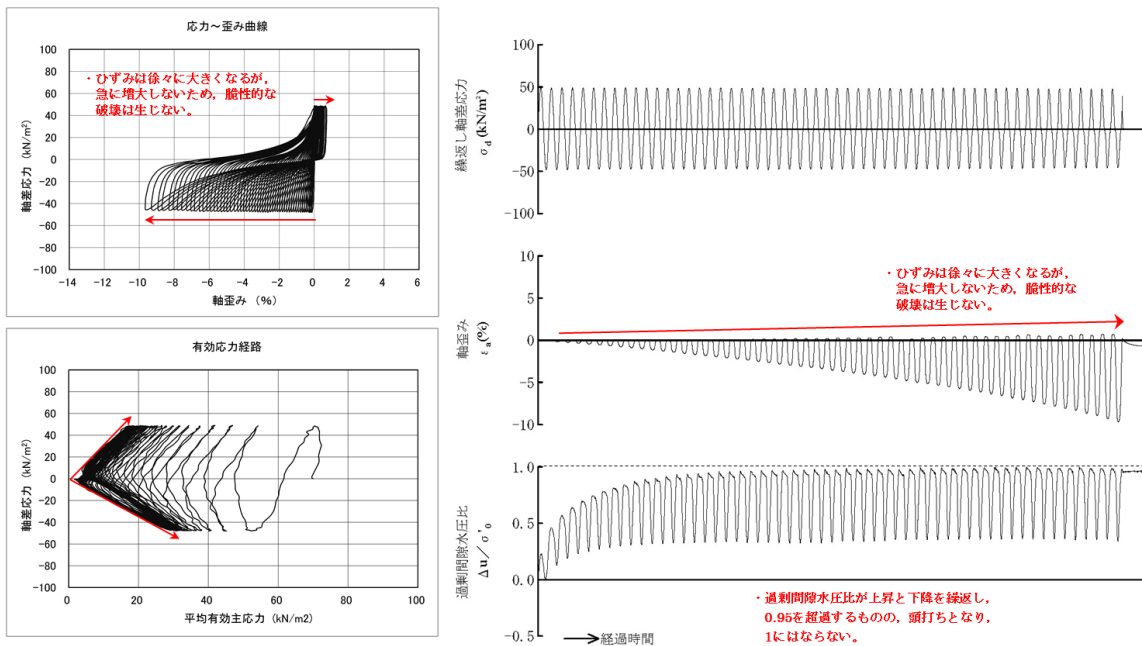


試料番号		S6-1-1	S6-1-2	S6-3	
深度 (m)		1.50~1.86	1.86~2.86	3.00~4.00	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		1	1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.663	2.685	2.695	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		70	70	70	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_0$		0.276	0.461	0.345	
繰返し回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	30.6	8.0	10.0
		DA = 2%	41.9	17.8	16.9
		DA = 5%	69.9	34.7	35.6
		DA = 10%	118.7	47.9	54.0
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		43.0	30.0	17.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

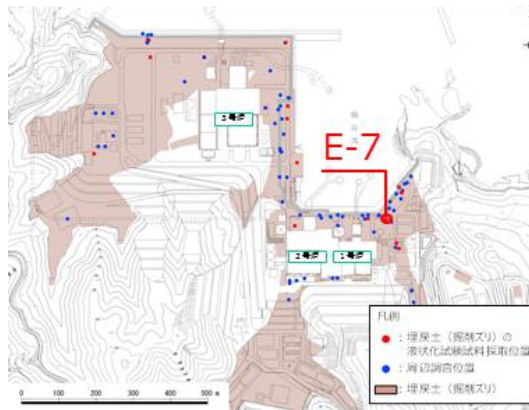
下線: 下図に例示する試験結果



・有効応力がほぼゼロまで低下するが、ダイレイタンス特性により有効応力が回復する。

第3-2-11 図 液状化試験結果の例 (E-6 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-7 表 液状化試験結果 (E-7 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

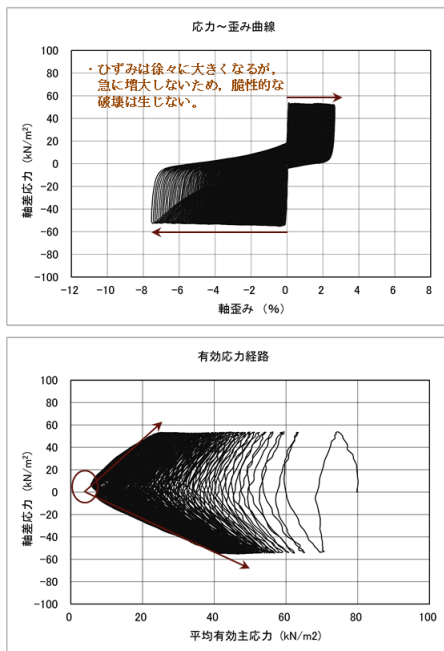


試料番号		S7-3			
深度 (m)		3.40~4.40	3.40~4.40	3.40~4.40	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		1	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.701	2.701	2.701	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		80	80	80	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$		0.336	0.457	0.366	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	96.6	0.8	9.0
		DA = 2%	167.7	2.5	21.3
		DA = 5%	252.8	10.9	52.9
		DA = 10%	324.6	24.8	99.3
	過剰間隙水圧比 95% N_{95}		127.0	14.0	38.0

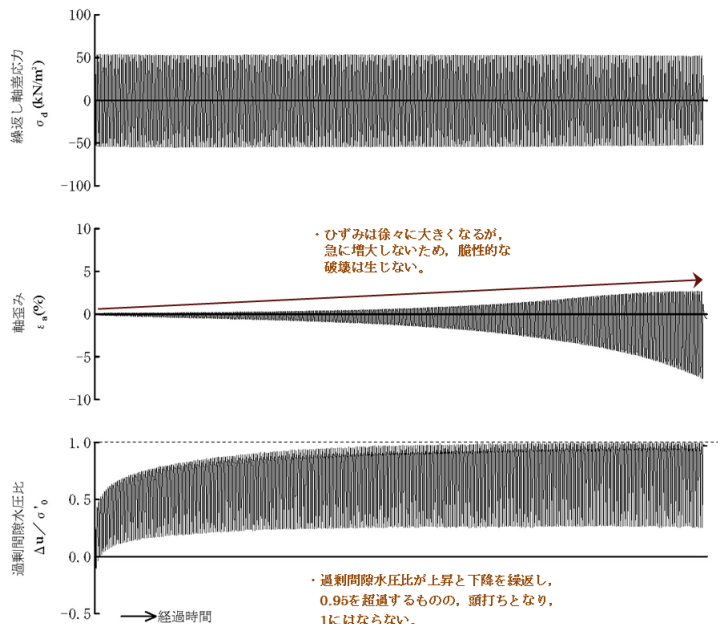
■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近く (0.95 を超えるもの)

□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



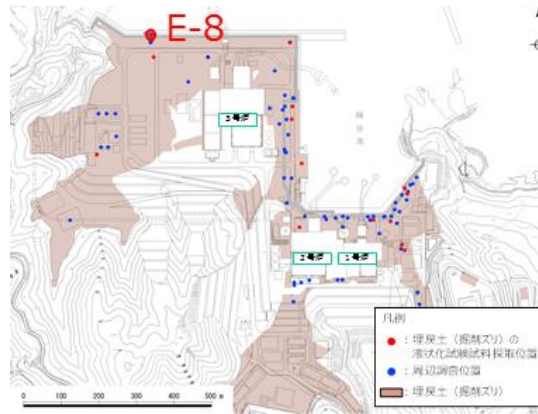
・繰返し荷重を載荷しても、有効応力がゼロになることはなく、液状化になることはない。また、せん断応力 (軸差応力) 作用時に有効応力が回復し、粘り強い挙動を示す。



・過剰間隙水圧比が上昇と下降を繰返し、0.95 を超過するもの、頭打ちとなり、1 にはならない。

第3-2-12 図 液状化試験結果の例 (E-7 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-8 表 液状化試験結果 (E-8 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

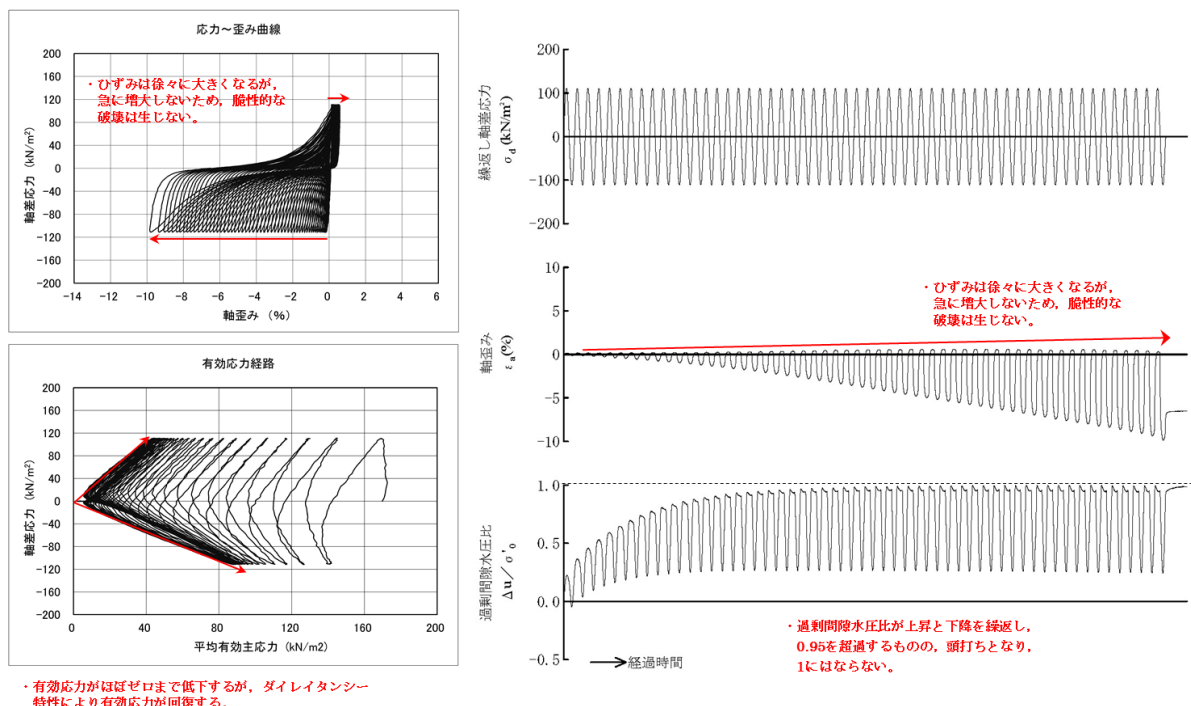


試料番号		S8-2	S8-4		
深度 (m)		2.50~3.50	4.50~5.00		
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.672	2.670		
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)		170	170		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$		0.327	0.351	0.403	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	9.5	5.5	2.0
		DA = 2%	16.8	10.9	5.5
		DA = 5%	31.6	23.6	22.8
		DA = 10%	55.8	34.8	66.8
過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		19.0	6.0	3.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

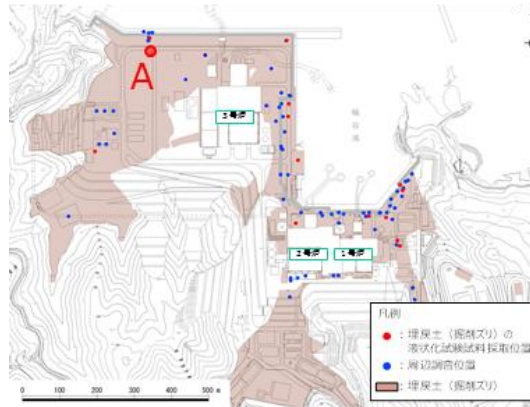
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-13 図 液状化試験結果の例 (E-8 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-9 表 液状化試験結果 (A地点の埋戻土 (掘削ズリ))

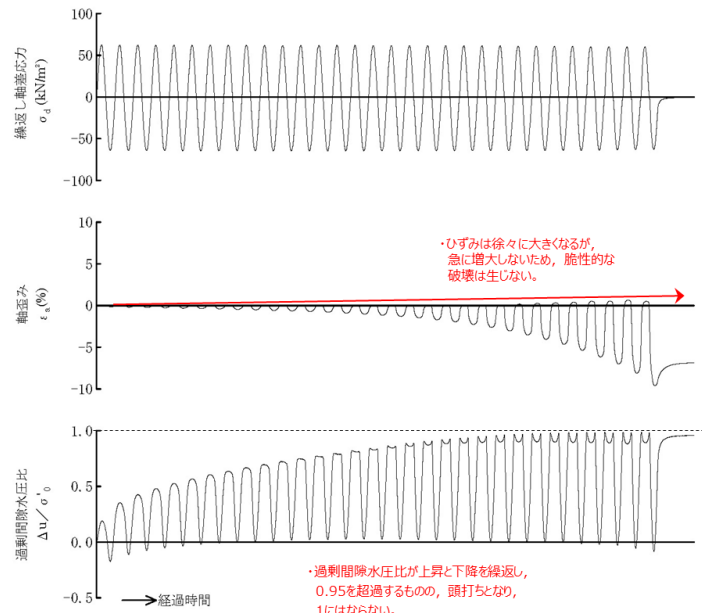
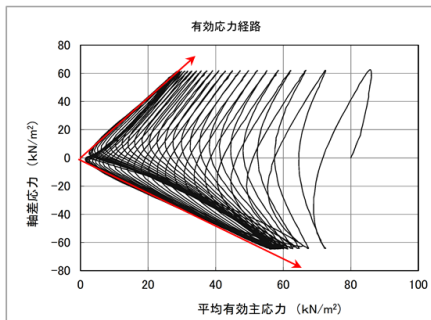
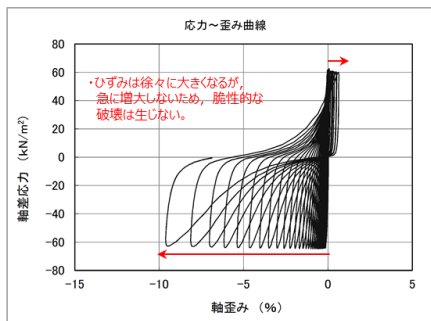


試験番号		A		
深度 (m)	0.30~0.70	0.30~0.70		
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.	1	2		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.647	2.647		
圧密応力 σ'_{vc} (kN/m ²)	80	80		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_{vc}$	0.395	0.498		
繰返し回数	軸ひずみ幅	DA = 1%	14.9	7.0
		DA = 2%	20.5	10.0
		DA = 5%	26.2	13.0
		DA = 10%	31.0	16.0
	過剰間隙水圧比 95%	N_{95}	22.0	-

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

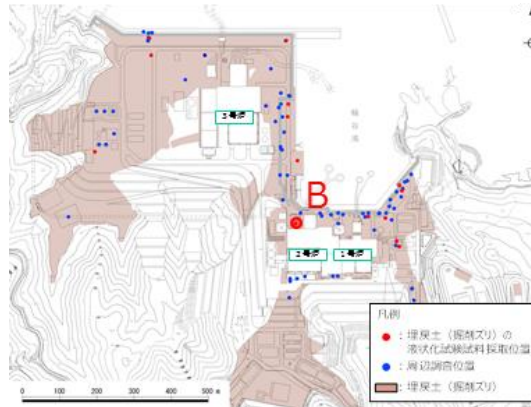
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-14 図 液状化試験結果の例 (A地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-10 表 液状化試験結果 (B地点の埋戻土 (掘削ズリ))

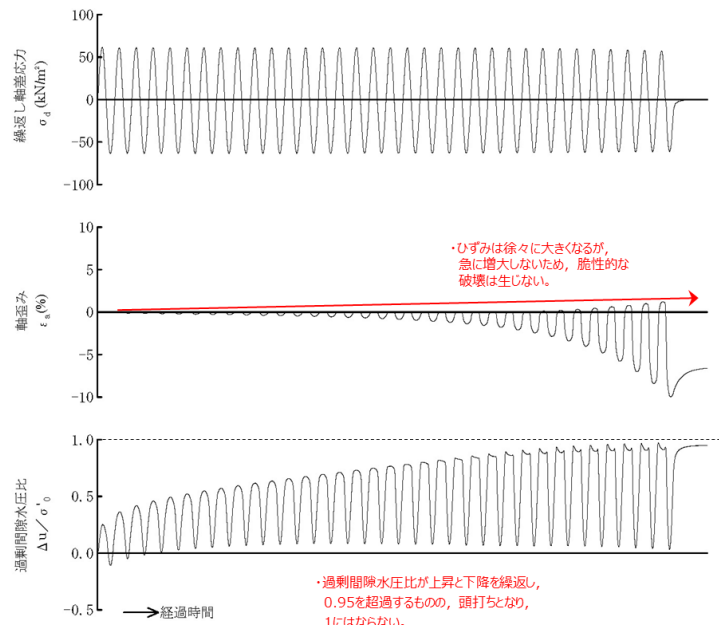
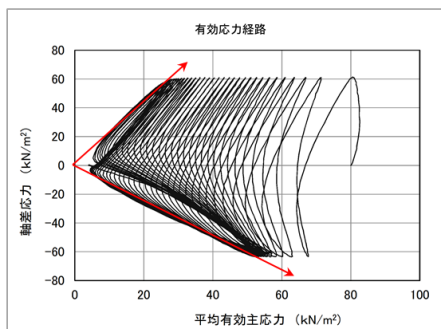
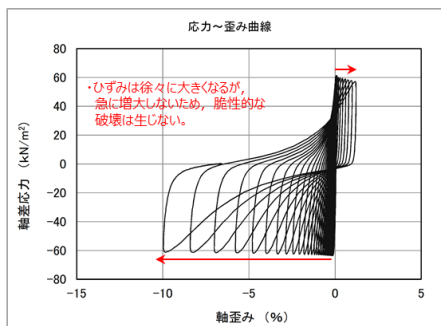


試料番号		B		
深度 (m)		0.30~0.90	0.30~0.90	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.		1	2	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.684	2.684	
圧密応力 σ'_{v0} (kN/m ²)		80	80	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_{v0}$		0.388	0.452	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	18.9	12.0
		DA = 2%	24.7	15.0
		DA = 5%	29.8	17.0
		DA = 10%	33.6	19.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{L95}	29.0	-	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

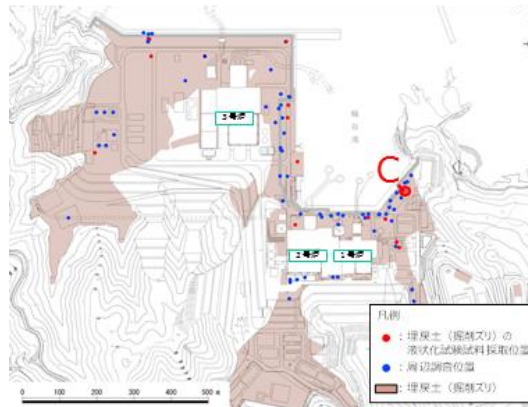
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-15 図 液状化試験結果の例 (B地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-11 表 液状化試験結果 (C地点の埋戻土 (掘削ズリ))

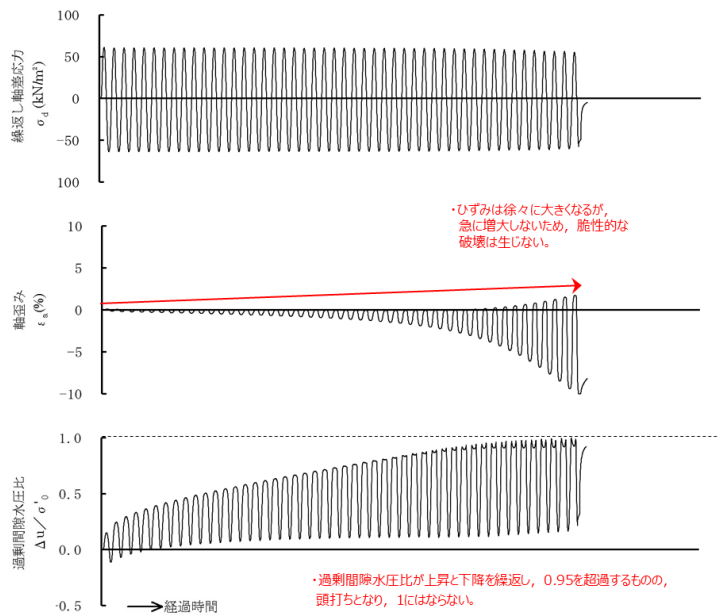
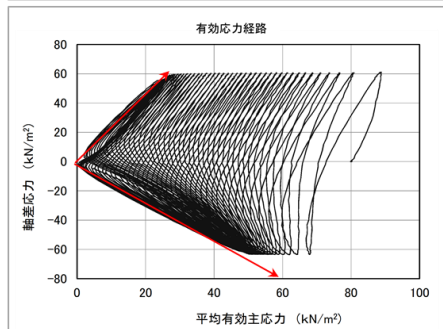
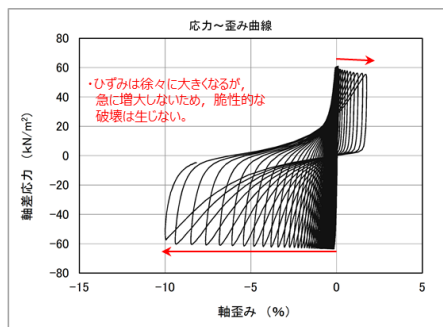


試料番号		C				
深度 (m)		0.30~0.90	<u>0.30~0.90</u>	0.30~0.90	0.30~0.90	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)				
供試体 No.		1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.659	<u>2.659</u>	2.659	2.659	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		120	<u>80</u>	80	80	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_c$		0.350	<u>0.391</u>	0.514	0.655	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	28.0	<u>24.0</u>	6.5	1.5
		DA = 2%	36.0	<u>33.0</u>	11.0	4.5
		DA = 5%	42.0	<u>40.0</u>	17.0	8.0
		DA = 10%	47.0	<u>46.0</u>	21.0	10.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{95}		43.0	<u>39.0</u>	18.0	9.5

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近く(0.95 を超えるもの)

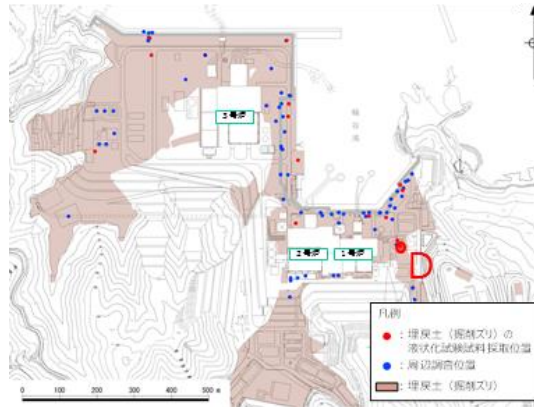
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-16 図 液状化試験結果の例 (C地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-12 表 液状化試験結果 (D地点の埋戻土 (掘削ズリ))

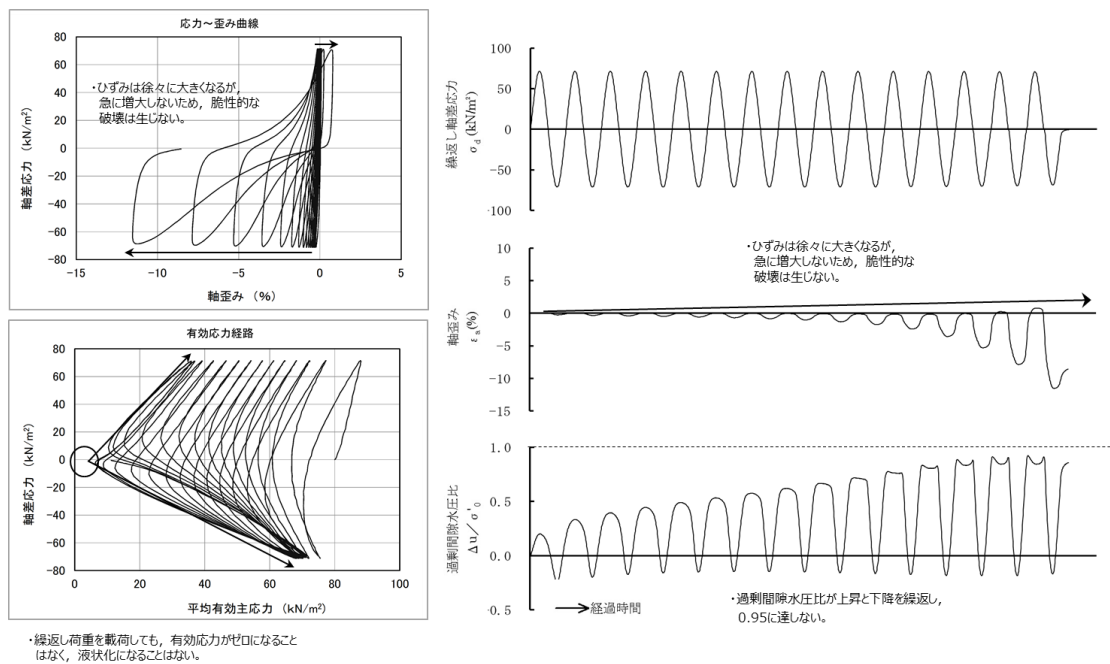


試料番号	D		
深度 (m)	0.30~0.50		
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.653		
圧密応力 σ'_{v0} (kN/m ²)	80		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_{v0}$	0.446		
繰返し回数	軸ひずみ幅	DA = 1%	8.5
		DA = 2%	11.0
		DA = 5%	13.0
		DA = 10%	15.0
	過剰間隙水圧比	95% N_{u95}	=

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

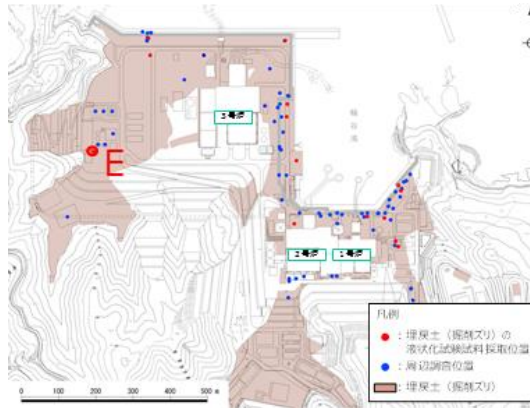
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-17 図 液状化試験結果の例 (D地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-13 表 液状化試験結果 (E 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

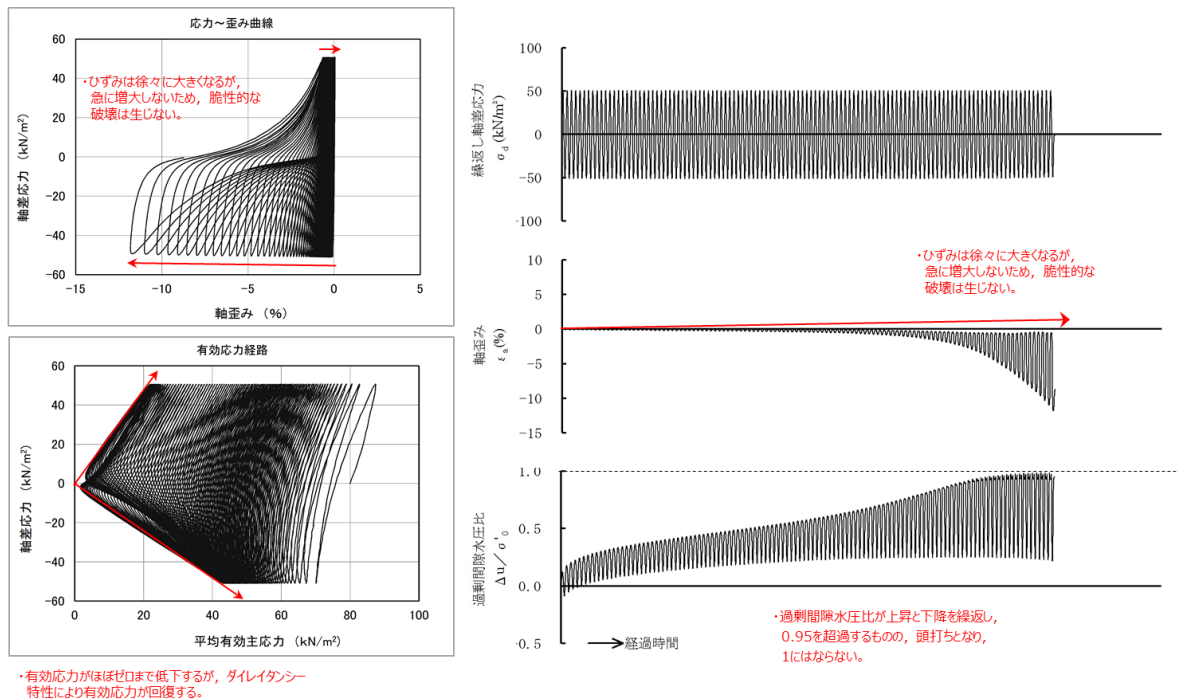


試料番号	E		
深度 (m)	0.30~0.70		
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.678		
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)	80		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$	0.317		
繰返し回数	軸ひずみ	DA = 1%	84.0
	幅	DA = 2%	94.0
		DA = 5%	104.0
		DA = 10%	114.0
繰返し回数	過剰間隙水圧比 95% N_{U95}	100.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

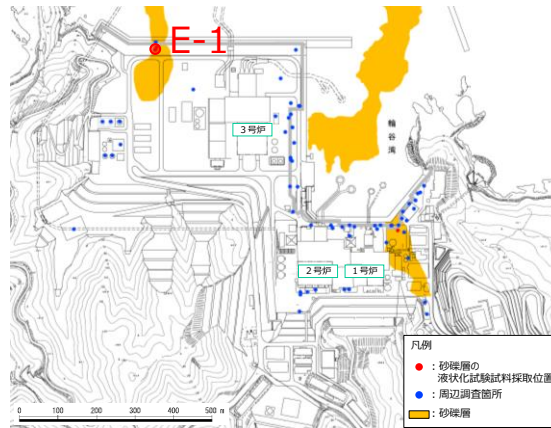
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-18 図 液状化試験結果の例 (E 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-14 表 液状化試験結果 (E-1 地点の砂礫層)

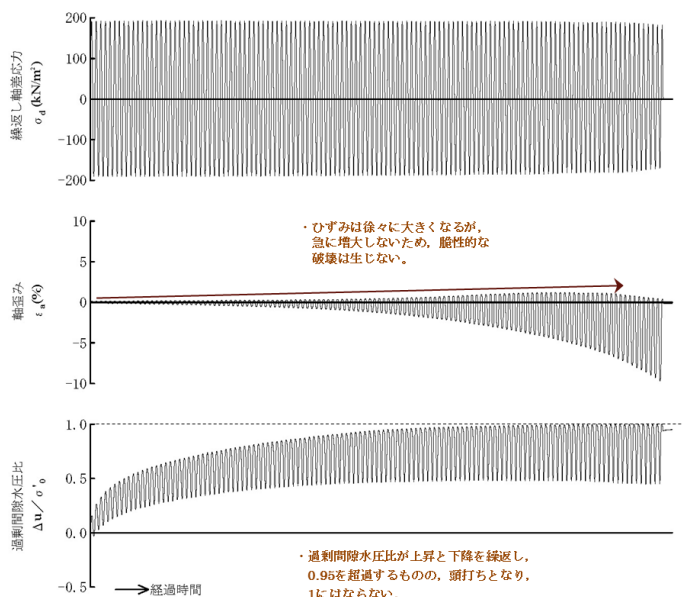
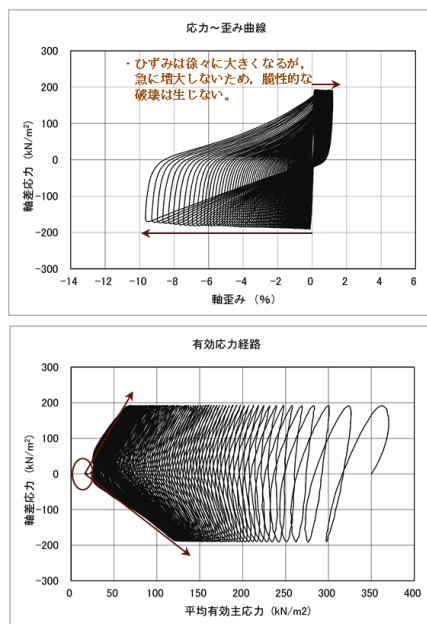


試験番号		S1-23-3		S1-24	S1-25	S1-26	
深度 (m)		23.93~24.55		24.85~25.55	25.55~26.50	26.50~27.40	
土質材料		砂礫層					
供試体 No.		1	2	1	1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.690		2.685	2.724	2.730	
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)		350		350	350	350	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$		0.301	0.273	0.381	0.281	0.323	
繰返し回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	4.5	44.7	1.5	15.1	3.0
		DA = 2%	9.5	66.7	4.5	22.7	5.0
		DA = 5%	18.6	95.0	10.8	33.6	8.5
		DA = 10%	30.6	122.8	19.5	44.7	-
	過剰間隙水圧比 95% N_{95}	16.0	64.0	9.0	29.0	4.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

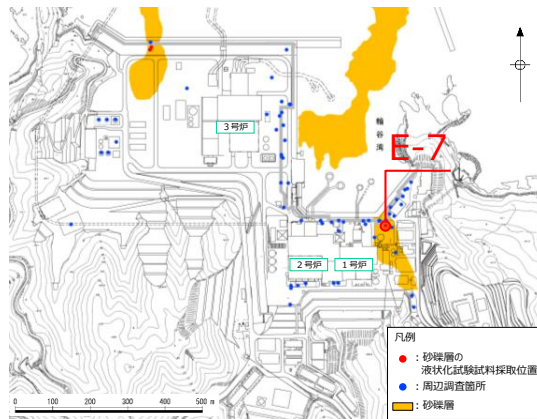
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



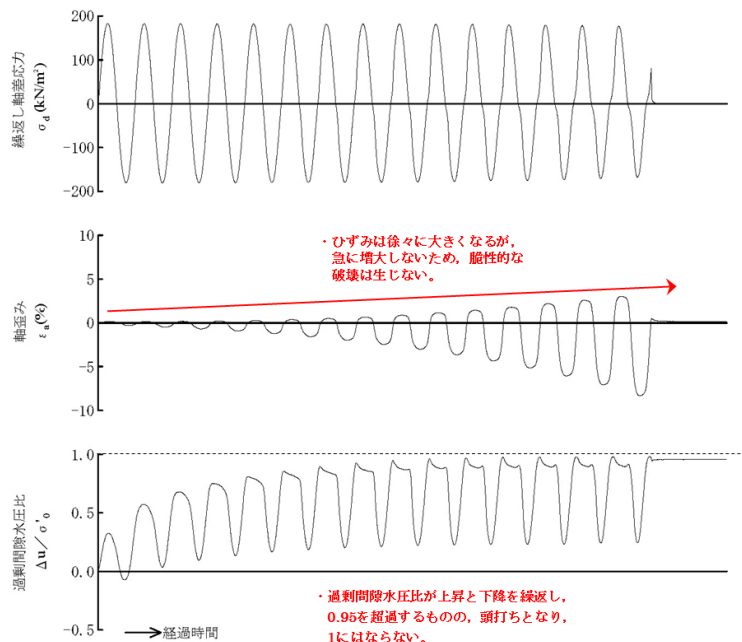
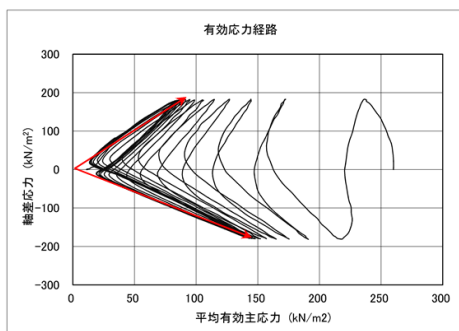
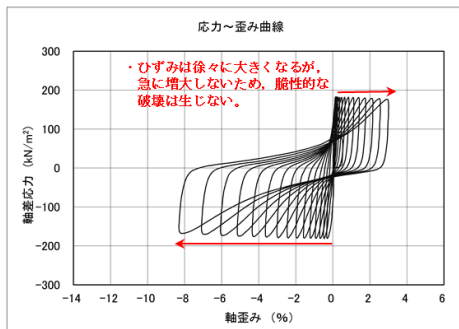
第3-2-19 図 液状化試験結果の例 (E-1 地点の砂礫層)

第3-2-15 表 液状化試験結果 (E-7地点の砂礫層)



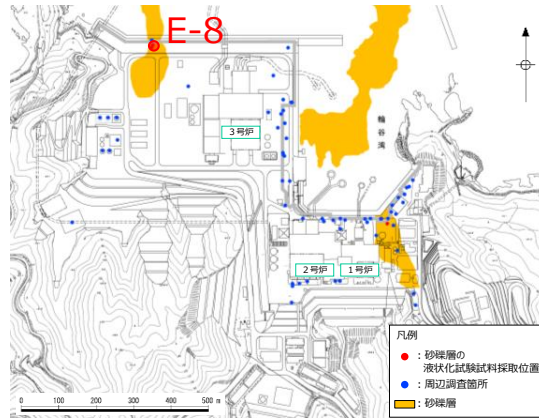
試料番号		S7-15	S7-16		S7-17	
深度 (m)		15.70~16.60	16.00~16.80		17.60~18.60	
土質材料		砂礫層				
供試体 No.		1	1	2	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.702	2.707		2.709	
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)		260	260		260	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_v$		0.401	0.300	0.350	0.324	
繰返し回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	0.7	21.0	3.5	5.5
		DA = 2%	2.0	28.7	6.0	8.0
		DA = 5%	6.0	39.6	10.4	12.3
		DA = 10%	11.8	48.6	14.4	16.4
	過剰間隙水圧比 95% N_{v95}	6.0	27.0	9.0	9.0	

: 最大間隙水圧比が1.0に近づく(0.95を超えるもの)
 : DA=5%の値を繰返し回数 N とする
 下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-20 図 液状化試験結果の例 (E-7地点の砂礫層)

第3-2-16 表 液状化試験結果 (E-8 地点の砂礫層)

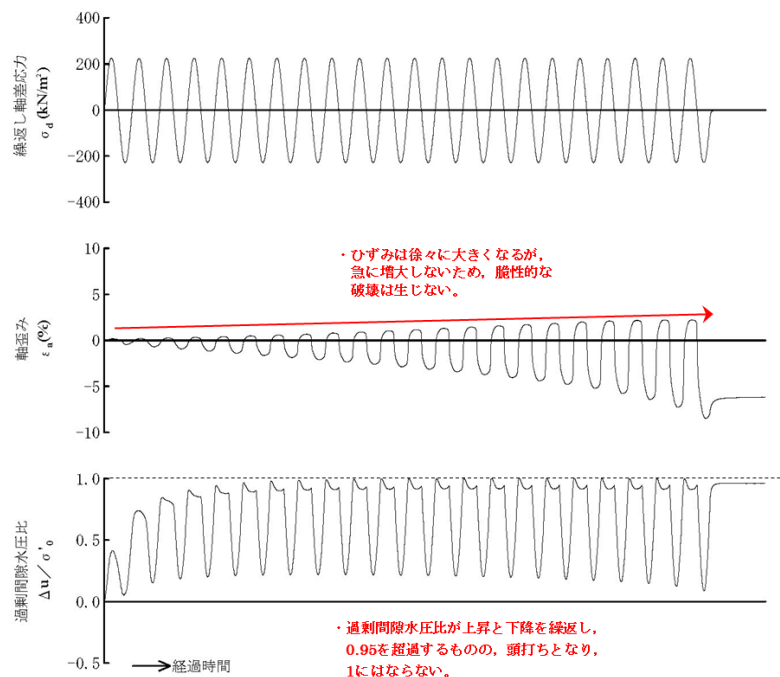
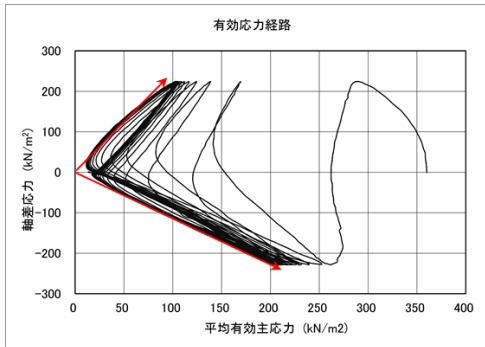
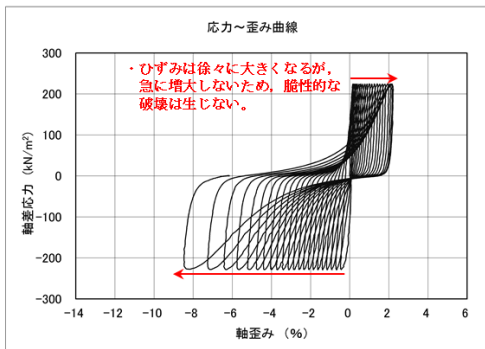


試料番号		S8-23-1	S8-24		S8-25			
深度 (m)		23.00~23.70	24.00~25.00		25.00~26.00			
土質材料		砂礫層						
供試体 No.		1	1	2	1	2	3	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.700	2.647		2.706			
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		360	360		360			
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_c$		0.302	0.314	0.276	0.301	0.352	0.251	
繰返し回数	軸ひずみ振幅	DA = 1%	1.0	2.5	3.0	5.5	0.8	24.7
		DA = 2%	3.5	5.5	7.5	10.0	3.0	38.0
		DA = 5%	10.5	13.7	16.0	17.5	7.5	56.7
		DA = 10%	19.7	21.7	24.5	25.6	13.6	67.9
	過剰間隙水圧比 95% N_{95}	12.0	5.0	11.0	9.0	5.0	34.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-21 図 液状化試験結果の例 (E-8 地点の砂礫層)

第3-2-17 表 液状化試験結果のまとめ
(a) 埋戻土（掘削ズリ）(1)

	E-2			E-3		
	埋戻土（掘削ズリ）					
試料番号	S2-9 ^{*2}	S2-10	S2-14-1 ^{*2}	S3-9-1 ^{*2}	S3-9-2 ^{*2}	S3-11 ^{*2}
過剰間隙水圧比95%を超えない。 ^{*1}	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	×	○	○	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。（有効応力が回復する。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクル 比 [*] リテ	サイクル 比 [*] リテ	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-4'			E-5		
	埋戻土（掘削ズリ）					
試料番号	S4-5① ^{*2}	S4-5② ^{*2}	S4-6	S4-8-2 ^{*2}	S5-1	S5-3 ^{*2}
過剰間隙水圧比95%を超えない。 ^{*1}	×	×	○	○	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○	○	○	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。（有効応力が回復する。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	繰返し 軟化	繰返し 軟化	非液状化	非液状化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-6			E-7		
	埋戻土（掘削ズリ）					
試料番号	S6-1-1 ^{*2}	S6-1-2 ^{*2}	S6-3① ^{*2}	S7-3①	S7-3③ ^{*2}	S7-3④ ^{*2}
過剰間隙水圧比95%を超えない。 ^{*1}	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×	○	○	○
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。（有効応力が回復する。）	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-8		
	埋戻土（掘削ズリ）		
試料番号	S8-2 ^{*2}	S8-4③ ^{*2}	S8-4④ ^{*2}
過剰間隙水圧比95%を超えない。 ^{*1}	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×
液体状となり流動しない。（ひずみが急増しない。）	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。（有効応力が回復する。）	○	○	○
現象の整理	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	サイクル 比 [*] リテ

※1:JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

※2:供試体直径の1/5を超える礫を含む一部の供試体についても試験を実施し、液状化判定の参考とした。

第3-2-17 表 液状化試験結果のまとめ
(a) 埋戻土（掘削ズリ）(2)

試料番号	A		B		C	
	A①	A②	B①	B②	C①	C②
過剰間隙水圧比95%を超えない。*	×	○	×	○	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×	○	×	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクルク 比*リテ	非液状化	サイクルク 比*リテ	非液状化	サイクルク 比*リテ	サイクルク 比*リテ

試料番号	C		D	E
	C③	C④	D①	E①
過剰間隙水圧比95%を超えない。*	×	×	○	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	○	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○
現象の整理	サイクルク 比*リテ	サイクルク 比*リテ	非液状化	サイクルク 比*リテ

*:JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

第3-2-17 表 液状化試験結果のまとめ
(b) 砂礫層

試料番号	E-1					E-7
	砂礫層					
試料番号	S1-23-3① ^{※2}	S1-23-3②	S1-24	S1-25 ^{※2}	S1-26 ^{※2}	S7-15
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○	○	×	○
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化	サイクルク 比*リテ	繰返し 軟化

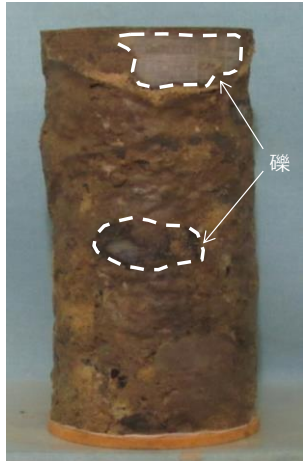


試料番号	E-7			E-8		
	砂礫層					
試料番号	S7-16① ^{※2}	S7-16②	S7-17	S8-23-1	S8-24①	S8-24②
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	○	○	×	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクルク 比*リテ	サイクルク 比*リテ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	サイクルク 比*リテ	サイクルク 比*リテ

試料番号	E-8		
	砂礫層		
試料番号	S8-25① ^{※2}	S8-25②	S8-25③
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○
現象の整理	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

*1:JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

*2:供試体直径の1/5を超える礫を含む一部の供試体についても試験を実施し、液状化判定の参考とした。

第3-2-18 表 埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験結果（参考値）

	E-3	E-6	E-8
試料番号	S3-9-2	S6-3	S8-2
写真			

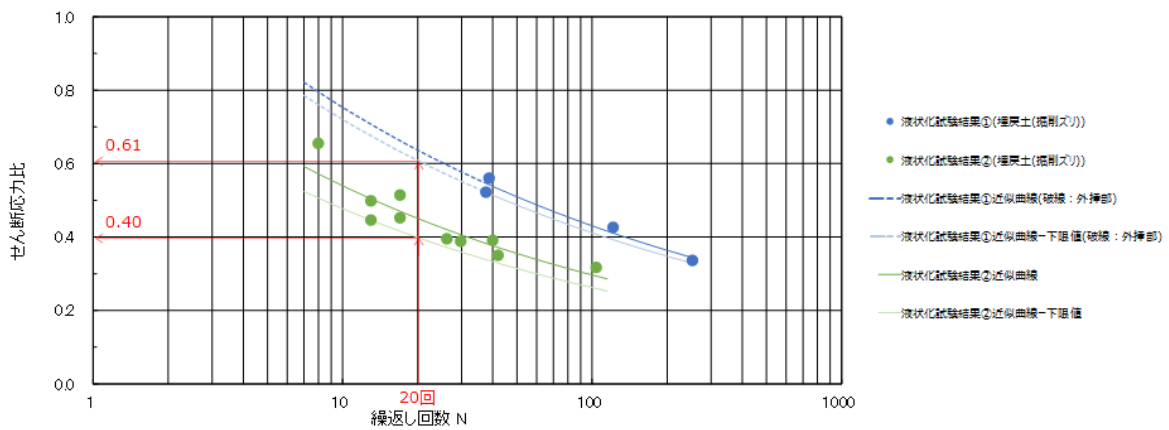
第3-2-19 表 液状化試験結果の分類

対象層	埋戻土（掘削ズリ）	砂礫層
液状化試験の状況	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が0.95を上回るが、有効応力は0にならない。 なお、一部の供試体では、過剰間隙水圧比が0.95を下回る。 有効応力は減少するが、回復する。 ひずみが緩やかに上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が0.95を上回るが、有効応力は0にならない。 有効応力は減少するが、回復する。 ひずみが緩やかに上昇する。
試験結果の分類	<ul style="list-style-type: none"> 試験結果は、非液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であり、液状化ではない。 有効応力は維持又は回復するため、支持力が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 試験結果は、繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であり、液状化ではない。 有効応力は維持又は回復するため、支持力が期待できる。
基準地震動Ssに対する液状化判定	基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認	

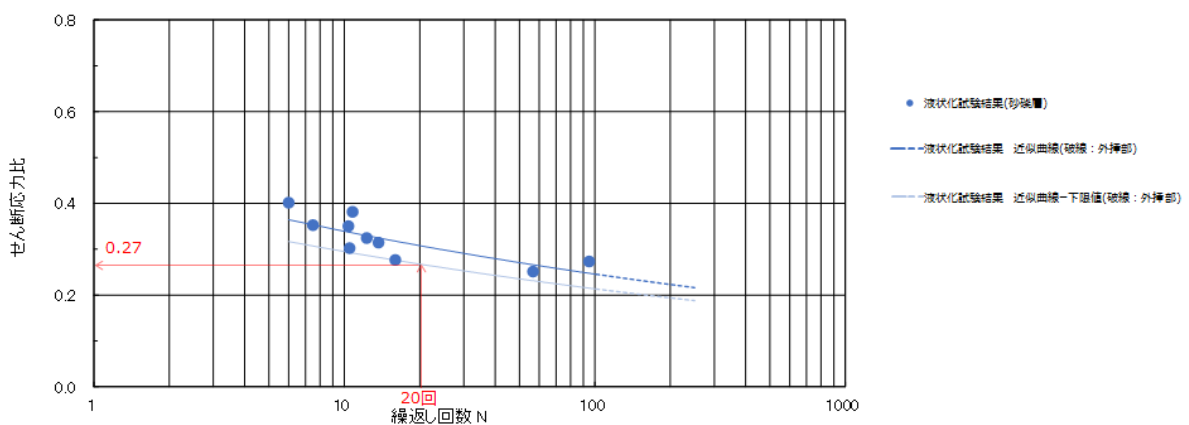
液状化試験結果（埋戻土（掘削ズリ））による液状化強度曲線を第3-2-22図に示す。液状化強度曲線は、試験結果から得られる近似曲線が試験結果の下限値を通るように保守的に設定する。

表層採取試料による供試体は、人工地盤である敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））を再現するため粒度調整及び密度調整を行い作製した。一方、敷地の埋立工事から1，2号炉エリアで30年以上，3号炉エリアで10年以上経過しており，被覆層（埋戻土（掘削ズリ））は経年的な圧密を受けていることから，液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）は液状化試験結果②（表層試料採取）の上側に位置する。

上記と同様に，液状化試験結果（砂礫層）による液状化強度曲線を第3-2-23図に示す。



第3-2-22 図 埋戻土（掘削ズリ）の液状化強度曲線



第3-2-23 図 砂礫層の液状化強度曲線

3.3 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認

敷地内の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は、試験結果が液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられる。このため、液状化試験実施箇所が多い埋戻土（掘削ズリ）について、液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることを確認する。第3-3-1 図に累積損傷度理論に基づく評価のフローを、第3-3-2 図に累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法を示す。

液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることについて、地震応答解析によって確認するに当たり、代表地震動を使用する。第3-3-3 図に基準地震動 S_s の加速度時刻歴波形（水平方向）を示す。

なお、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動（ $S_s - D$ 、 $S_s - F1$ 、 $S_s - F2$ ）においては、繰返し応力及び繰返し回数に着目し、水平最大加速度が大きく、継続時間が長い地震動が液状化評価において最も厳しいと考えられることから、 $S_s - D$ を選定する。

液状化試験選定箇所を第3-3-4 図に示す。

埋戻土（掘削ズリ）に対する液状化試験は、埋戻土（掘削ズリ）が3号炉北側西端から1,2号炉北側東端までの全域に分布していることから、網羅性を確保するため、広い範囲において実施した。一方、砂礫層に対する液状化試験は、砂礫層が局所的に分布していることから、分布箇所である3号炉北側西端及び1,2号炉北側東端の地点を選定し実施した。

液状化試験の妥当性確認に当たって、液状化試験箇所が多い埋戻土（掘削ズリ）に対して行った液状化試験を敷地全体の代表として、妥当性確認を行う。なお、妥当性確認を行う地点として、防波壁沿い全線において比較地点①～⑧を選定する。

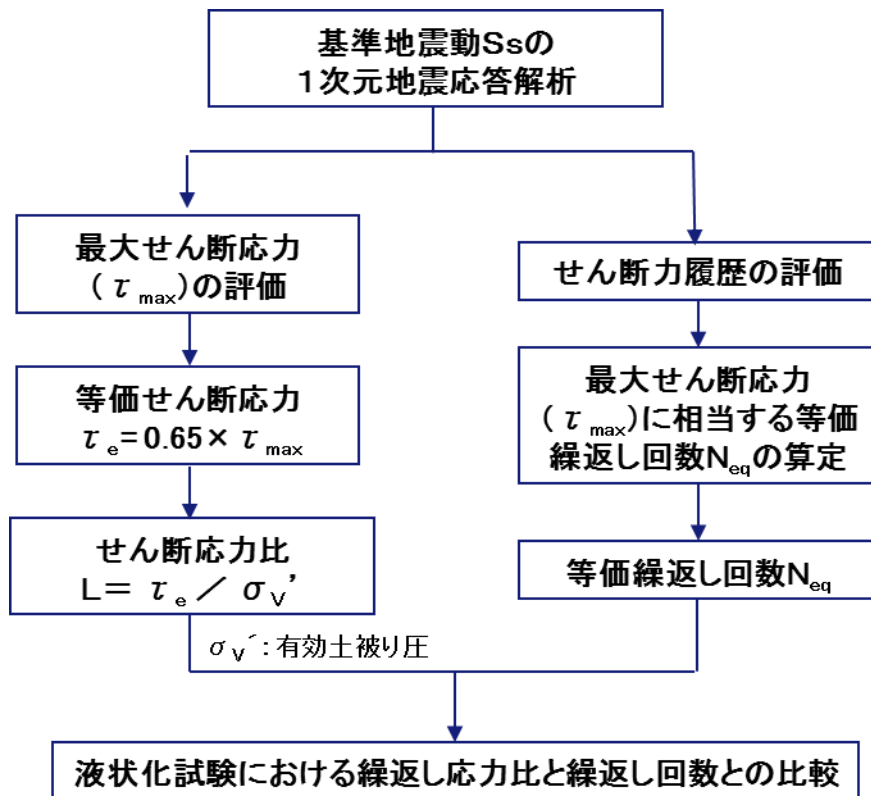
第3-3-5 図に各地点の解析用物性値及び解析モデルを示す。また、評価結果を第3-3-1 表及び第3-3-6 図に示す。

液状化評価対象層のうち埋戻土（掘削ズリ）について、液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）及び液状化試験結果②（表層試料採取）から各せん断応力比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、一次元時刻歴非線形解析の結果を累積損傷度理論に基づいて整理したせん断応力比及び等価繰返し回数と比較した。

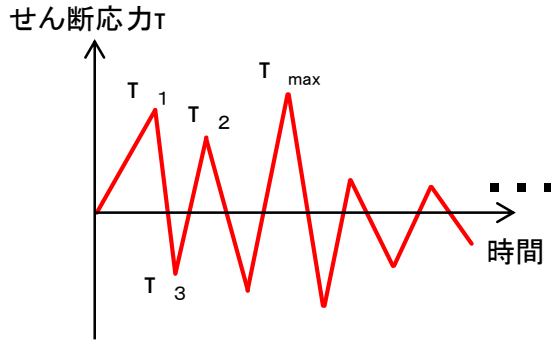
基準地震動 $S_s - D$ 、 $S_s - N1$ 、 $S_s - N2$ による最大せん断応力比は0.4～0.7程度であり、また、等価繰返し回数は地震動継続時間の長い $S_s - D$ を除き数10～300回程度であり、液状化試験と同程度であることから、今回実施した液状化試験は、当該地盤の基準地震動 S_s 相当が作用した状態を概ね再現できていると判断した。

なお、 $S_s - D$ による等価繰返し回数は地震動継続時間が長いため500～1,000回程度となるが、一方で液状化試験において $S_s - D$ によるせん断応力比を作用

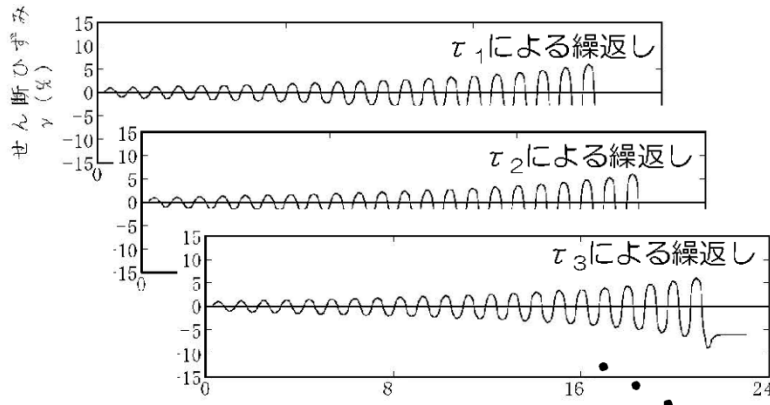
させた場合、両振幅ひずみが5%となる繰返し回数は、近似曲線から5～30回程度となる。埋戻土（掘削ズリ）は液状化試験結果から、非液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）を示すため、繰返し回数による直接的な比較が難しい材料であるが、 $S_s - D$ のせん断応力比に相当する試験を実施していることから概ね再現できていると判断した。



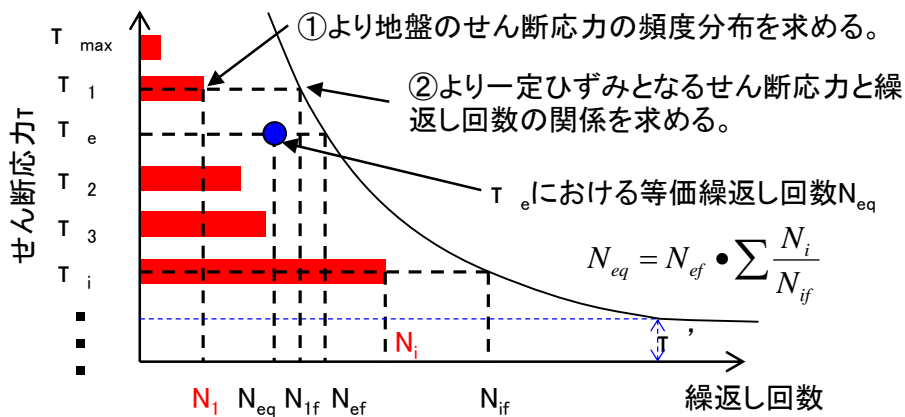
第3-3-1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価のフロー



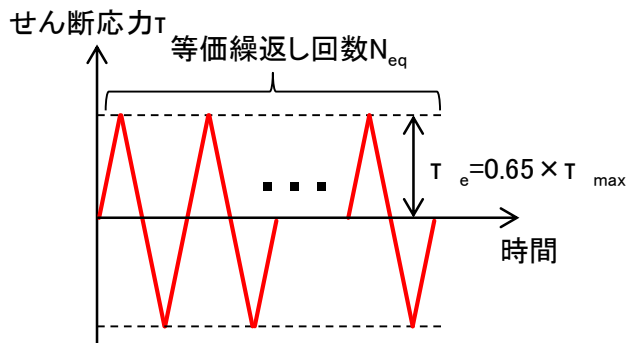
①対象地盤の地震応答解析におけるせん断応力履歴



②試験による一定せん断応力振幅時の繰返し回数とせん断ひずみ

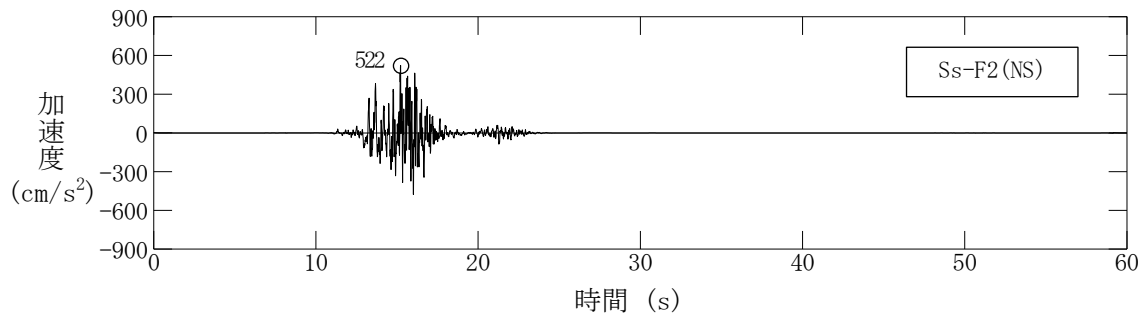
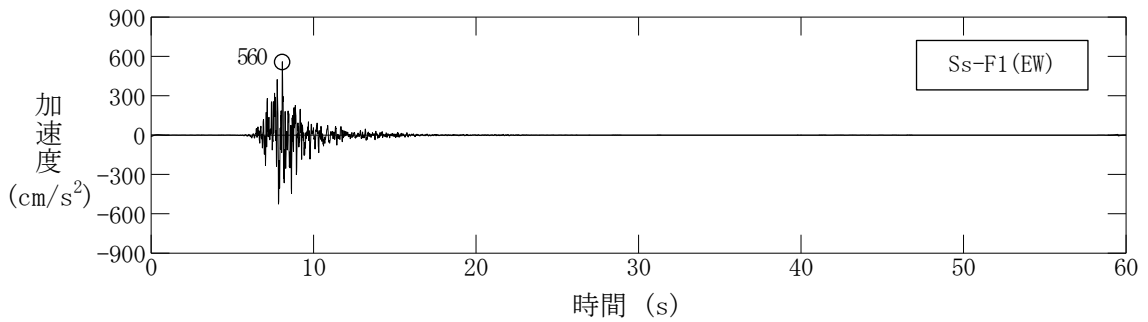
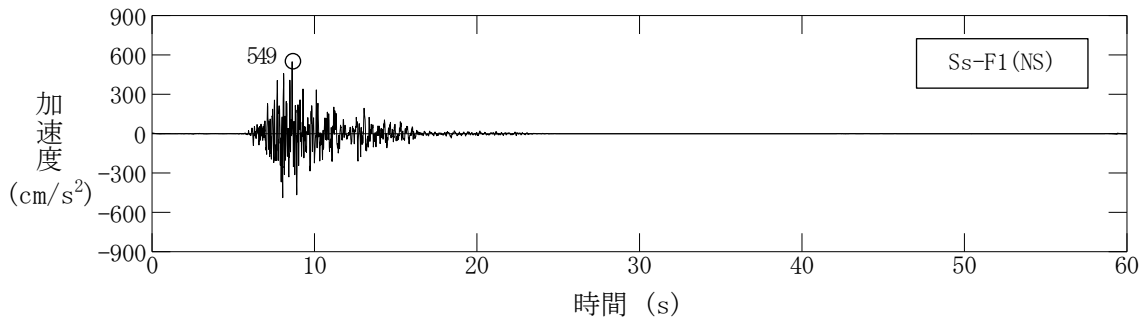
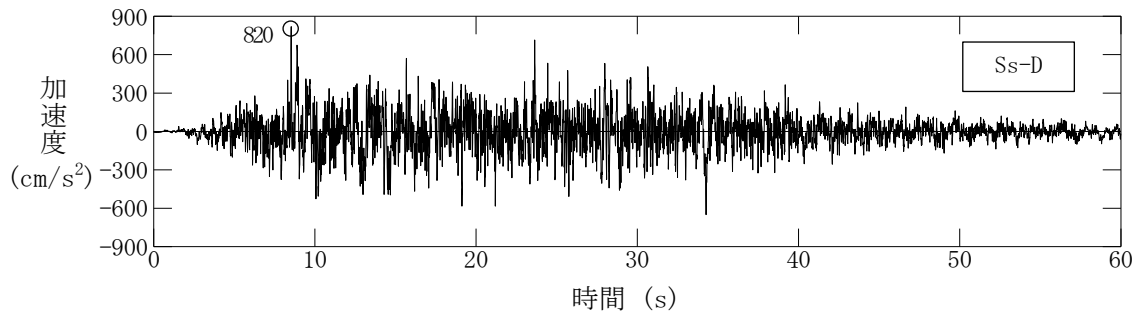


③累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

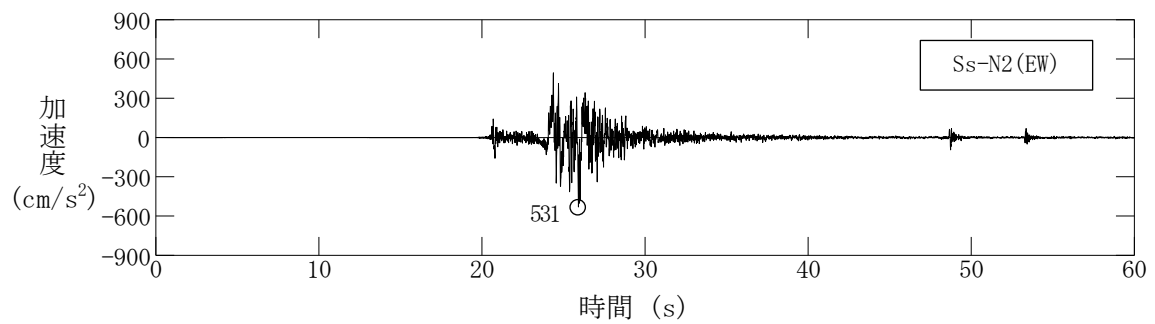
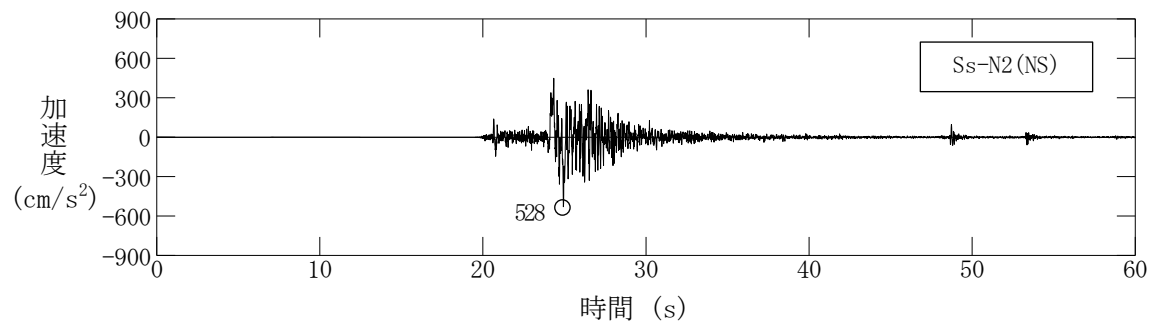
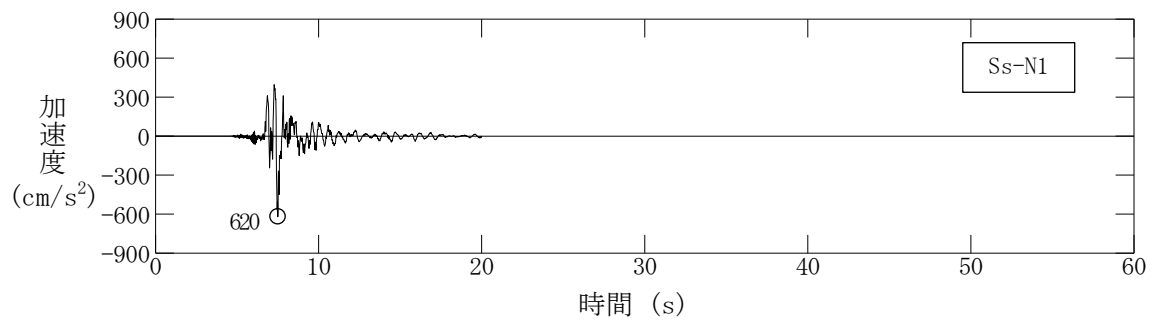
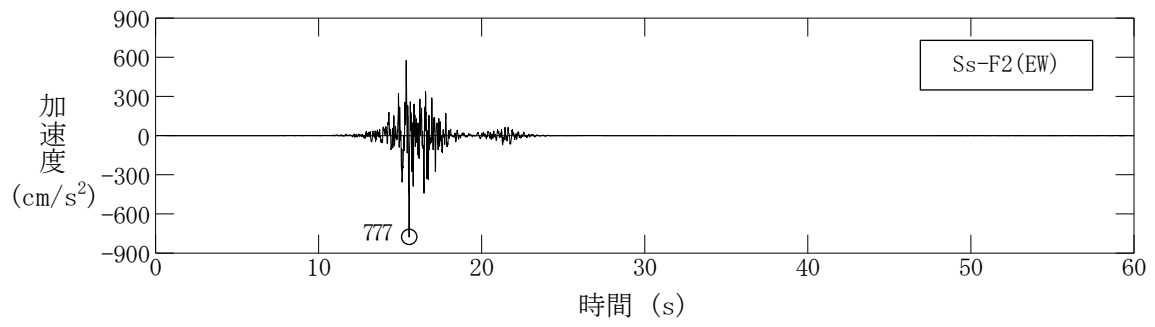


④対象地盤の地震応答解析と等価な一定せん断応力比と等価繰返し回数

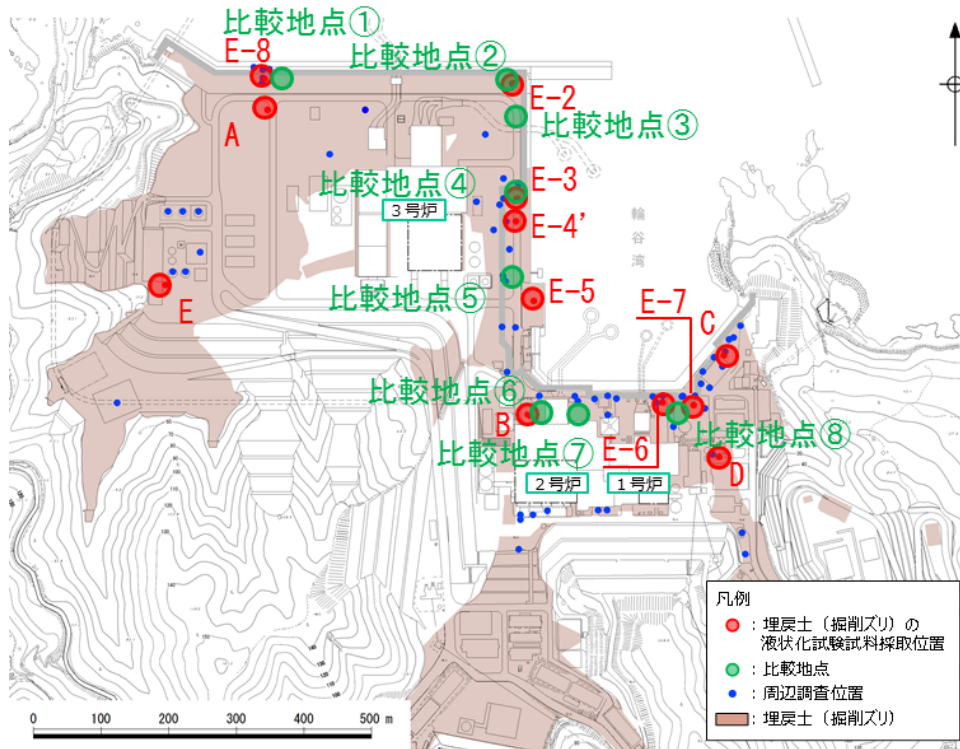
第3-3-2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法



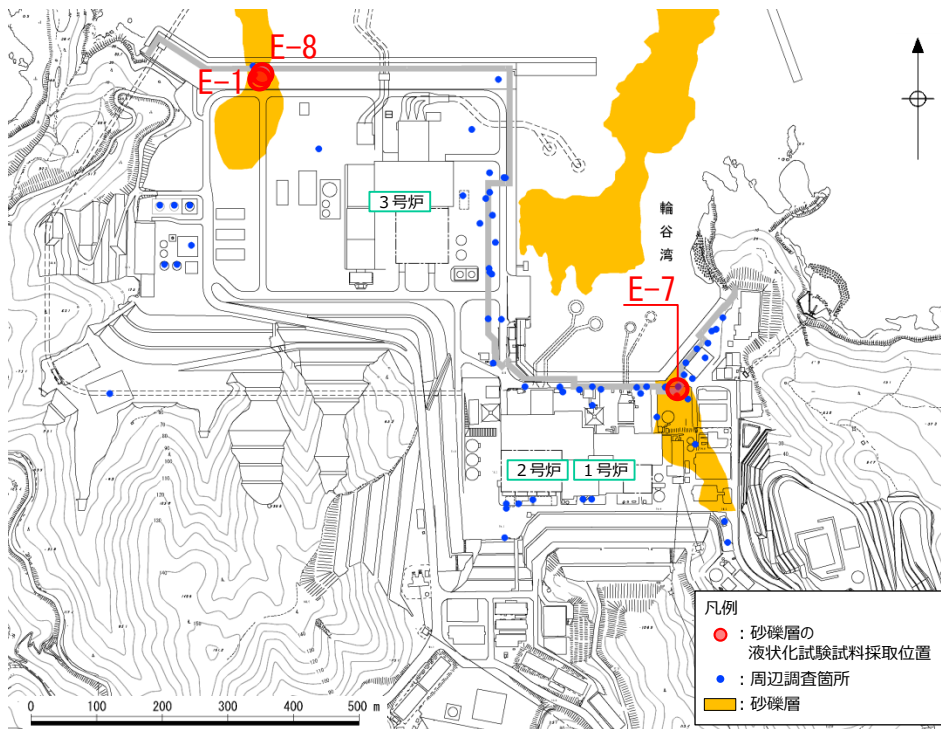
第3-3-3 図 基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）
 (S s - D, S s - F 1 (NS), S s - F 1 (EW), S s - F 2 (NS))



第3-3-3 図 基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）
 (S s - F 2 (EW), S s - N 1, S s - N 2 (NS), S s - N 2 (EW))

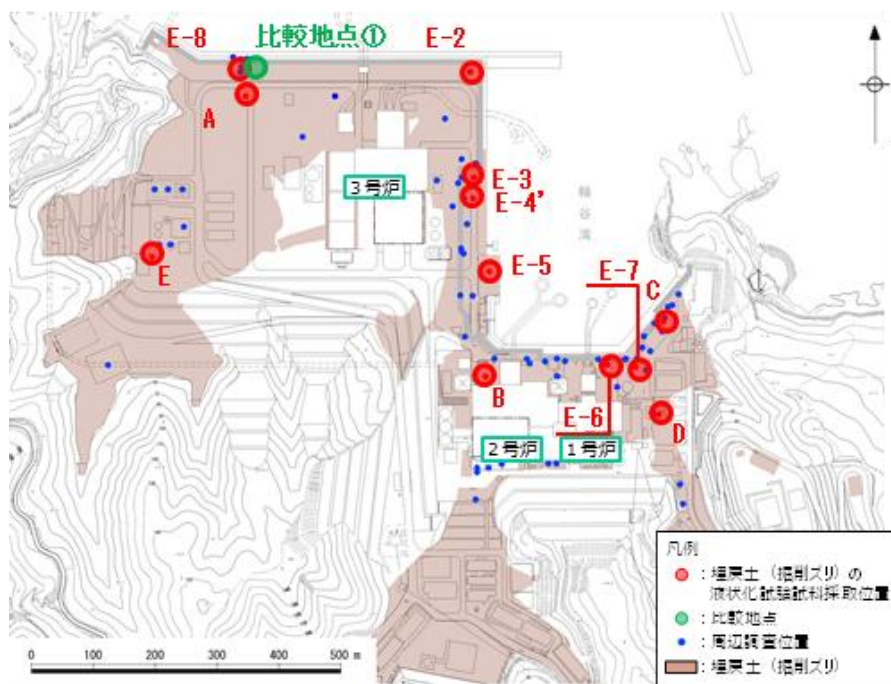


埋戻土 (掘削ズリ)



砂礫層

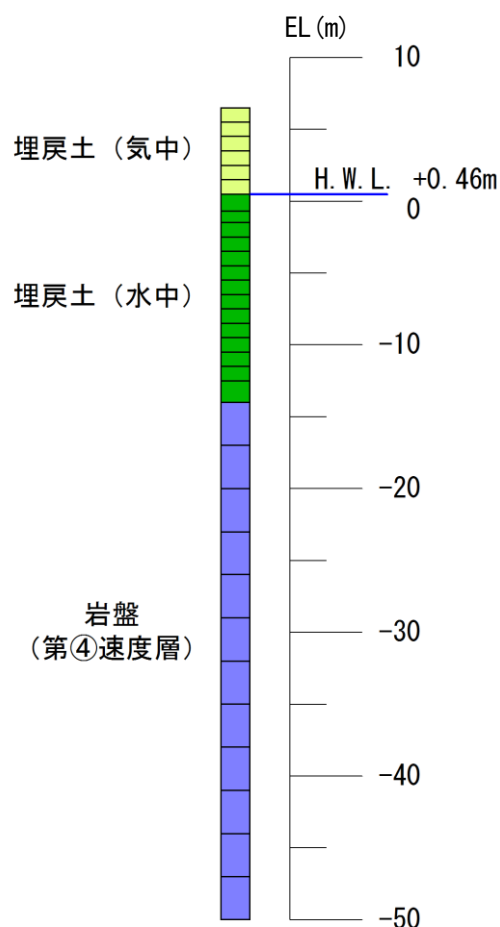
第3-3-4 図 液状化試験試料採取位置



地盤物性値

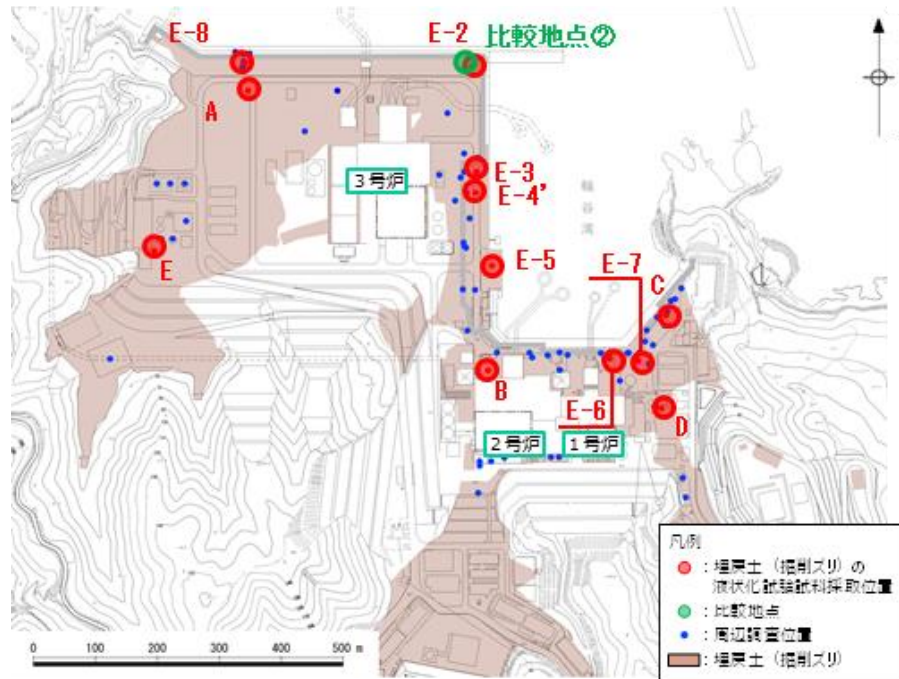
土層	標高 (EL m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^{*1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	6.500 ~ 5.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	5.500 ~ 4.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	4.500 ~ 3.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	3.500 ~ 2.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	2.500 ~ 1.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	1.500 ~ 0.460	6.040	108.192	19.6	—	—	172600
埋戻土(水中)	0.460 ~ -0.700	7.200	124.532	20.7	10.6	—	189400
	-0.700 ~ -1.500	8.000	134.920	20.7	10.6	—	199700
	-1.500 ~ -2.500	9.000	144.460	20.7	10.6	—	208900
	-2.500 ~ -3.500	10.000	155.060	20.7	10.6	—	218900
	-3.500 ~ -4.500	11.000	165.660	20.7	10.6	—	228600
	-4.500 ~ -5.500	12.000	176.260	20.7	10.6	—	238200
	-5.500 ~ -6.500	13.000	186.860	20.7	10.6	—	247600
	-6.500 ~ -7.500	14.000	197.460	20.7	10.6	—	256700
	-7.500 ~ -8.500	15.000	208.060	20.7	10.6	—	265800
	-8.500 ~ -9.500	16.000	218.660	20.7	10.6	—	274600
	-9.500 ~ -10.500	17.000	229.260	20.7	10.6	—	283300
	-10.500 ~ -11.500	18.000	239.860	20.7	10.6	—	291900
岩盤 (第④速度層)	-11.500 ~ -12.500	19.000	250.460	20.7	10.6	—	300400
	-12.500 ~ -14.000	20.500	263.710	20.7	10.6	—	310800
	-14.000 ~ -17.000	23.500	293.260	24.5	14.4	1520	—
	-17.000 ~ -20.000	26.500	336.460	24.5	14.4	1520	—
	-20.000 ~ -23.000	29.500	379.660	24.5	14.4	1520	—
	-23.000 ~ -26.000	32.500	422.860	24.5	14.4	1520	—
	-26.000 ~ -29.000	35.500	466.060	24.5	14.4	1520	—
	-29.000 ~ -32.000	38.500	509.260	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	41.500	552.460	24.5	14.4	1520	—
	-35.000 ~ -38.000	44.500	595.660	24.5	14.4	1520	—
-38.000 ~ -41.000	47.500	638.860	24.5	14.4	1520	—	
-41.000 ~ -44.000	50.500	682.060	24.5	14.4	1520	—	
-44.000 ~ -47.000	53.500	725.260	24.5	14.4	1520	—	
-47.000 ~ -50.000	56.500	768.460	24.5	14.4	1520	—	

※1 掘削スリ: $G_0=749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)



(a) 基本物性 (比較地点①)

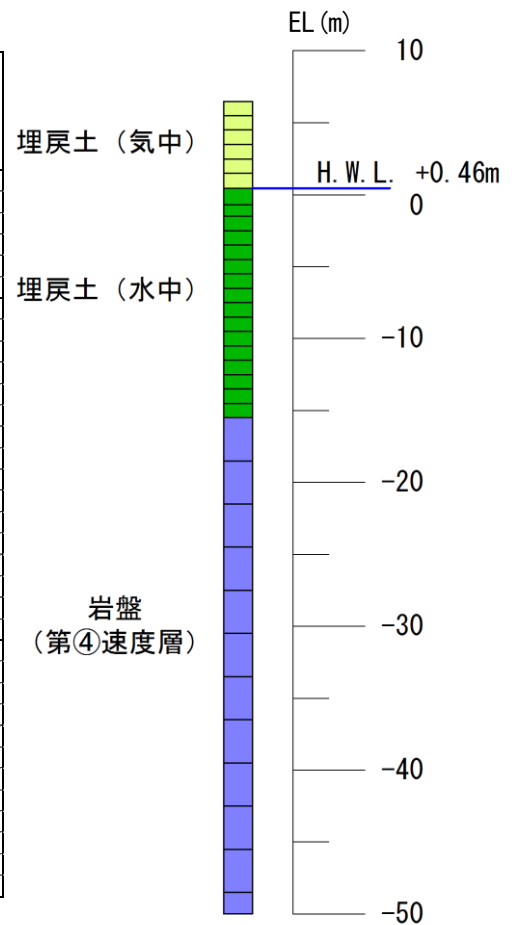
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

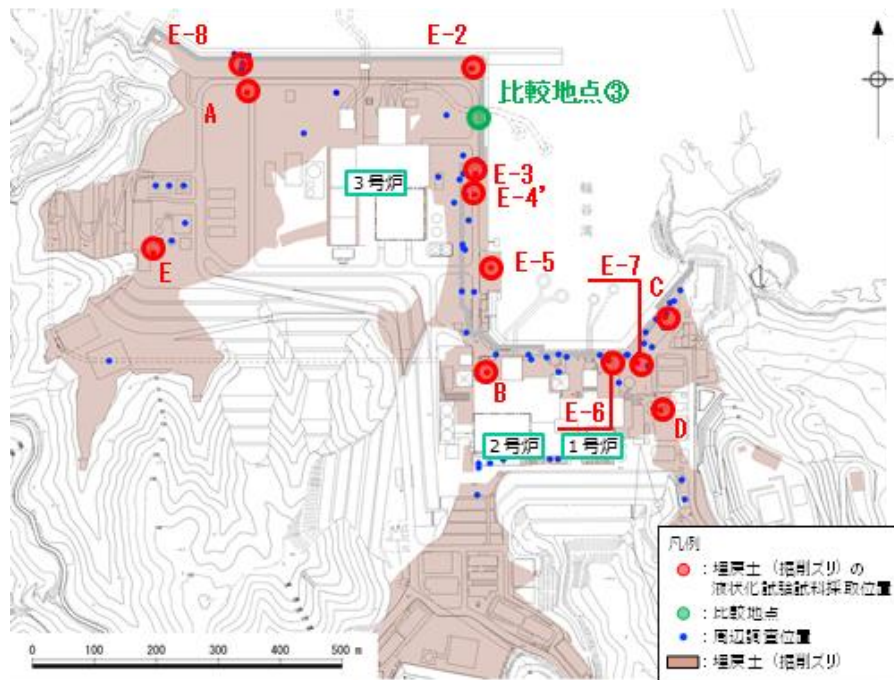
土層	標高 (EL.m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m^2)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 $G_0^{※1}$ (kN/m^2)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m^3)	水中 γ' (kN/m^3)		
埋戻土(気中)	6.500 ~ 5.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	5.500 ~ 4.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	4.500 ~ 3.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	3.500 ~ 2.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	2.500 ~ 1.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	1.500 ~ 0.460	6.040	108.192	19.6	—	—	172600
埋戻土(水中)	0.460 ~ -0.700	7.200	124.532	20.7	10.6	—	189400
	-0.700 ~ -1.500	8.000	134.920	20.7	10.6	—	199700
	-1.500 ~ -2.500	9.000	144.460	20.7	10.6	—	208900
	-2.500 ~ -3.500	10.000	155.060	20.7	10.6	—	218900
	-3.500 ~ -4.500	11.000	165.660	20.7	10.6	—	228600
	-4.500 ~ -5.500	12.000	176.260	20.7	10.6	—	238200
	-5.500 ~ -6.500	13.000	186.860	20.7	10.6	—	247600
	-6.500 ~ -7.500	14.000	197.460	20.7	10.6	—	256700
	-7.500 ~ -8.500	15.000	208.060	20.7	10.6	—	265800
	-8.500 ~ -9.500	16.000	218.660	20.7	10.6	—	274600
	-9.500 ~ -10.500	17.000	229.260	20.7	10.6	—	283300
	-10.500 ~ -11.500	18.000	239.860	20.7	10.6	—	291900
	-11.500 ~ -12.500	19.000	250.460	20.7	10.6	—	300400
	-12.500 ~ -13.500	20.000	261.060	20.7	10.6	—	308700
岩盤 (第④速度層)	-13.500 ~ -14.500	21.000	271.660	20.7	10.6	—	316900
	-14.500 ~ -15.500	22.000	282.260	20.7	10.6	—	325000
	-15.500 ~ -18.500	25.000	309.160	24.5	14.4	1520	—
	-18.500 ~ -21.500	28.000	352.360	24.5	14.4	1520	—
	-21.500 ~ -24.500	31.000	395.560	24.5	14.4	1520	—
	-24.500 ~ -27.500	34.000	438.760	24.5	14.4	1520	—
	-27.500 ~ -30.500	37.000	481.960	24.5	14.4	1520	—
	-30.500 ~ -33.500	40.000	525.160	24.5	14.4	1520	—
	-33.500 ~ -36.500	43.000	568.360	24.5	14.4	1520	—
	-36.500 ~ -39.500	46.000	611.560	24.5	14.4	1520	—
-39.500 ~ -42.500	49.000	654.760	24.5	14.4	1520	—	
-42.500 ~ -45.500	52.000	697.960	24.5	14.4	1520	—	
-45.500 ~ -48.500	55.000	741.160	24.5	14.4	1520	—	
-48.500 ~ -50.000	56.500	773.560	24.5	14.4	1520	—	

※1 掘削ズリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)



(b) 基本物性 (比較地点②)

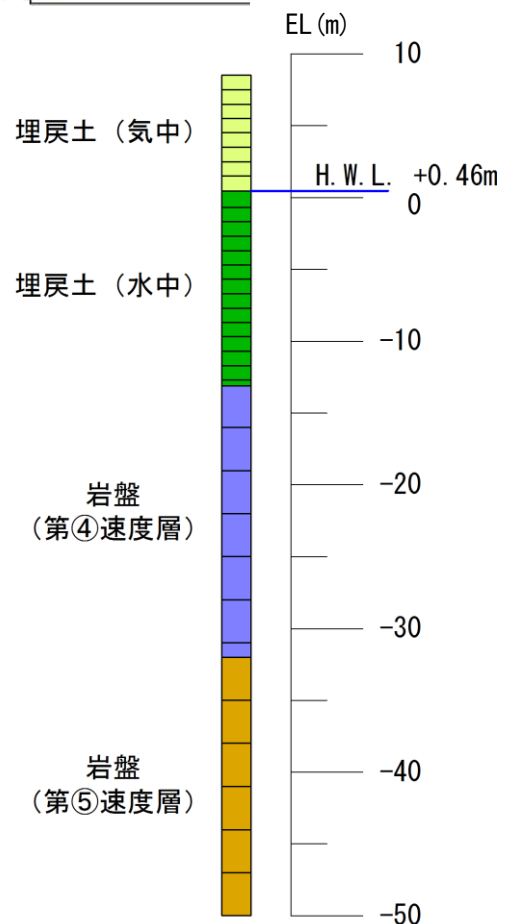
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

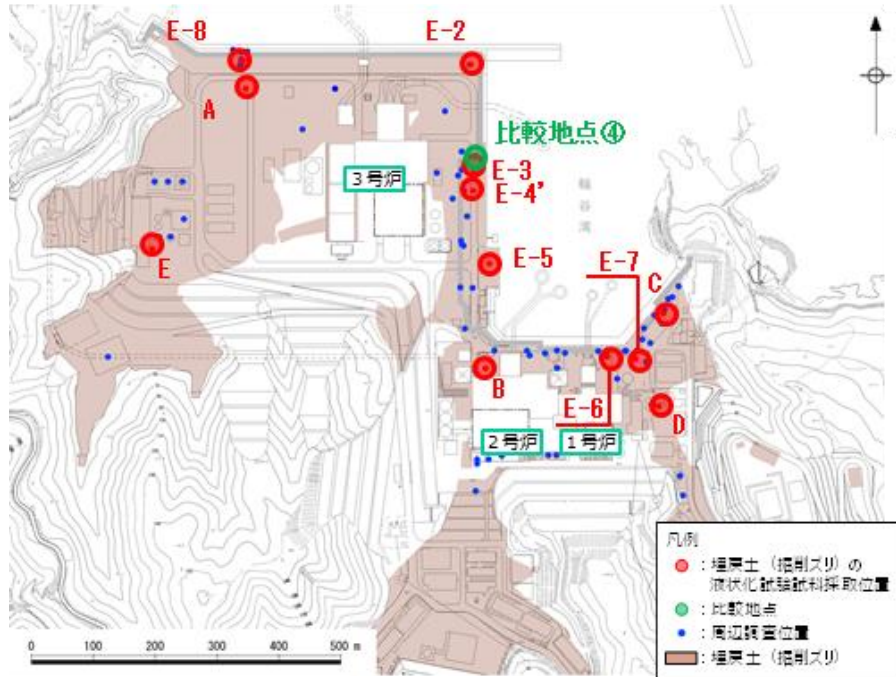
土層	標高 (EL-m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^{*1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土 (気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700	
埋戻土 (水中)	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ~ -3.700	12.200	196.380	20.7	10.6	—	255800
	-3.700 ~ -4.700	13.200	206.980	20.7	10.6	—	264800
	-4.700 ~ -5.700	14.200	217.580	20.7	10.6	—	273700
	-5.700 ~ -6.700	15.200	228.180	20.7	10.6	—	282500
	-6.700 ~ -7.700	16.200	238.780	20.7	10.6	—	291000
	-7.700 ~ -8.700	17.200	249.380	20.7	10.6	—	299500
	-8.700 ~ -9.700	18.200	259.980	20.7	10.6	—	307900
	-9.700 ~ -10.700	19.200	270.580	20.7	10.6	—	316100
岩盤 (第④速度層)	-10.700 ~ -11.700	20.200	281.180	20.7	10.6	—	324200
	-11.700 ~ -12.700	21.200	291.780	20.7	10.6	—	332200
	-12.700 ~ -13.125	21.625	299.333	20.7	10.6	—	337900
	-13.125 ~ -16.000	24.500	322.285	24.5	14.4	1520	—
	-16.000 ~ -19.000	27.500	364.585	24.5	14.4	1520	—
	-19.000 ~ -22.000	30.500	407.785	24.5	14.4	1520	—
	-22.000 ~ -25.000	33.500	450.985	24.5	14.4	1520	—
岩盤 (第⑤速度層)	-25.000 ~ -28.000	36.500	494.185	24.5	14.4	1520	—
	-28.000 ~ -31.000	39.500	537.385	24.5	14.4	1520	—
	-31.000 ~ -32.000	40.500	566.185	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	43.500	596.035	25.2	15.1	1900	—
	-35.000 ~ -38.000	46.500	641.335	25.2	15.1	1900	—
	-38.000 ~ -41.000	49.500	686.635	25.2	15.1	1900	—
-41.000 ~ -44.000	52.500	731.935	25.2	15.1	1900	—	
-44.000 ~ -47.000	55.500	777.235	25.2	15.1	1900	—	
-47.000 ~ -50.000	58.500	822.535	25.2	15.1	1900	—	

*1 掘削スリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)

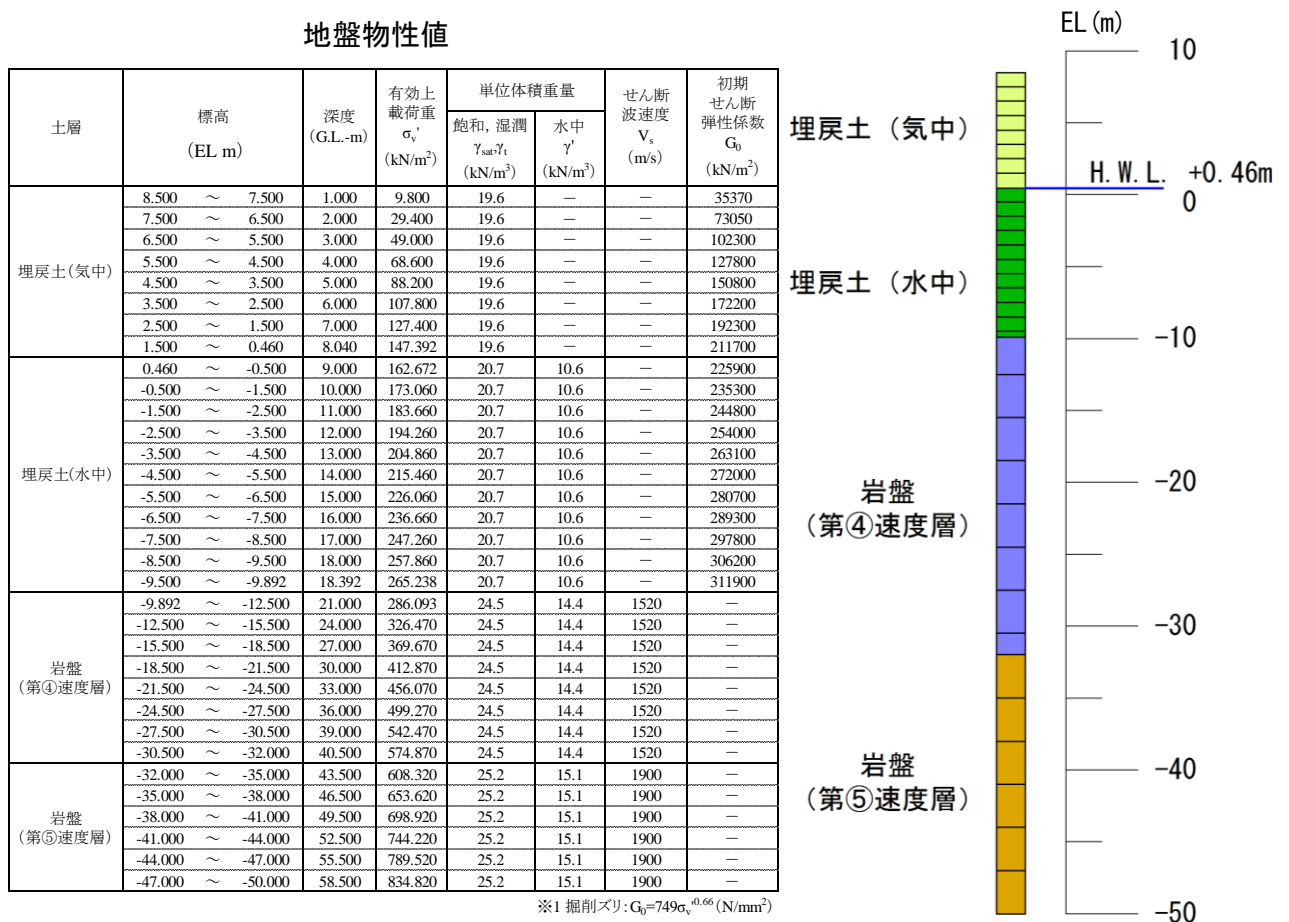


(c) 基本物性 (比較地点③)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル

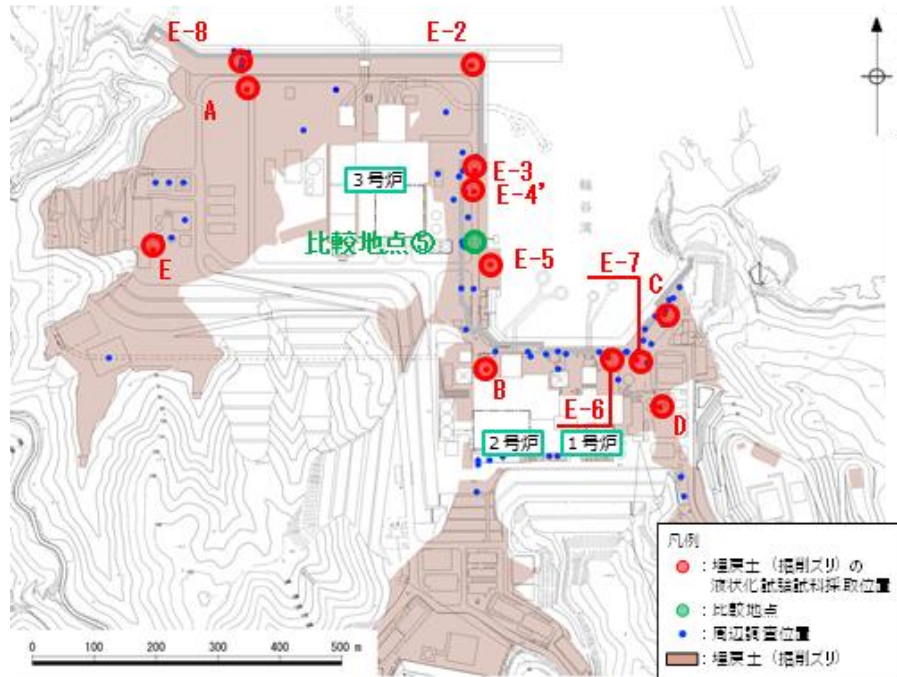


地盤物性値



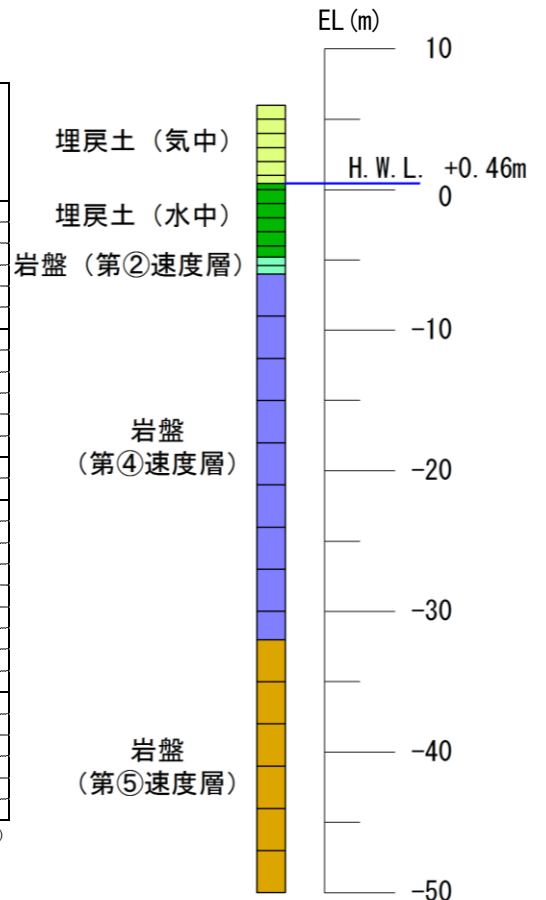
(d) 基本物性 (比較地点④)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

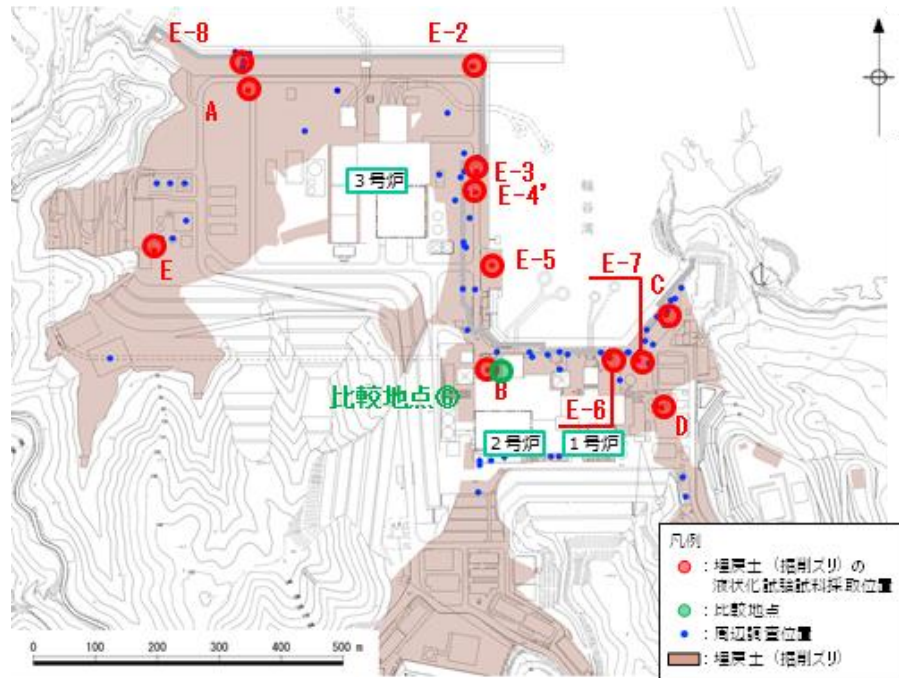
土層	標高 (EL m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 C_0 ^{※1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	6.000 ~ 5.000	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	5.000 ~ 4.000	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	4.000 ~ 3.000	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	3.000 ~ 2.000	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	2.000 ~ 1.000	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
埋戻土(水中)	1.000 ~ 0.460	5.540	103.292	19.6	—	—	167400
	0.460 ~ 0.000	6.000	111.022	20.7	10.6	—	175600
	0.000 ~ -1.000	7.000	118.760	20.7	10.6	—	183600
	-1.000 ~ -2.000	8.000	129.360	20.7	10.6	—	194200
	-2.000 ~ -3.000	9.000	139.960	20.7	10.6	—	204600
岩盤 (第②速度層)	-3.000 ~ -4.000	10.000	150.560	20.7	10.6	—	214700
	-4.000 ~ -4.804	10.804	160.121	20.7	10.6	—	223600
	-5.400 ~ -6.000	12.000	176.210	23.3	13.2	620	—
岩盤 (第④速度層)	-6.000 ~ -9.000	15.000	201.770	24.5	14.4	1520	—
	-9.000 ~ -12.000	18.000	244.970	24.5	14.4	1520	—
	-12.000 ~ -15.000	21.000	288.170	24.5	14.4	1520	—
	-15.000 ~ -18.000	24.000	331.370	24.5	14.4	1520	—
	-18.000 ~ -21.000	27.000	374.570	24.5	14.4	1520	—
	-21.000 ~ -24.000	30.000	417.770	24.5	14.4	1520	—
	-24.000 ~ -27.000	33.000	460.970	24.5	14.4	1520	—
岩盤 (第⑤速度層)	-27.000 ~ -30.000	36.000	504.170	24.5	14.4	1520	—
	-30.000 ~ -32.000	38.000	540.170	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	41.000	577.220	25.2	15.1	1900	—
	-35.000 ~ -38.000	44.000	622.520	25.2	15.1	1900	—
	-38.000 ~ -41.000	47.000	667.820	25.2	15.1	1900	—
岩盤 (第⑤速度層)	-41.000 ~ -44.000	50.000	713.120	25.2	15.1	1900	—
	-44.000 ~ -47.000	53.000	758.420	25.2	15.1	1900	—
	-47.000 ~ -50.000	56.000	803.720	25.2	15.1	1900	—



※1 掘削スリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)

(e) 基本物性 (比較地点⑤)

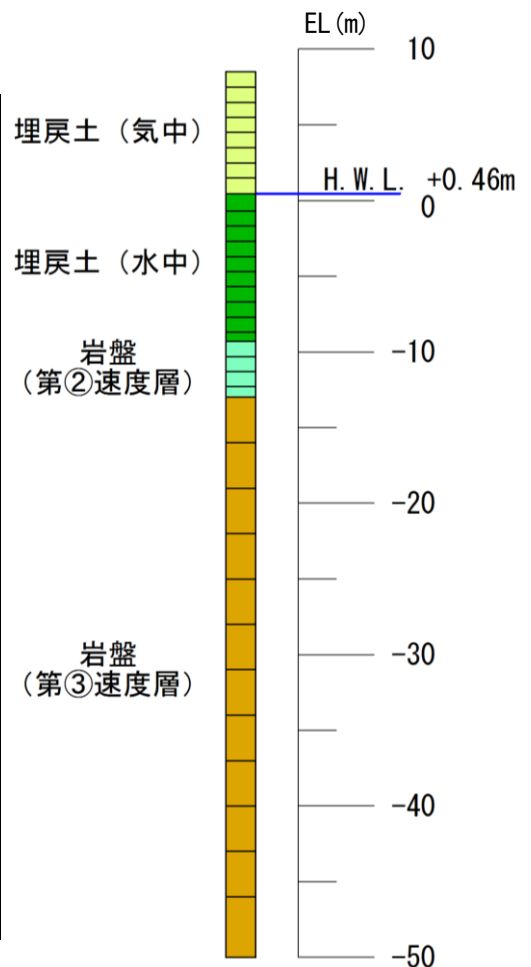
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

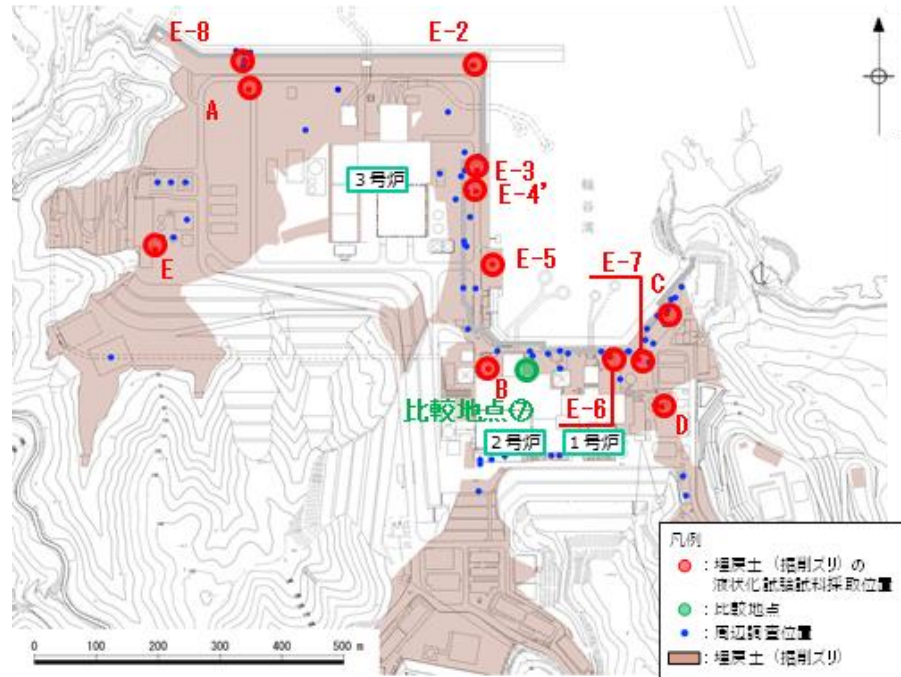
土層	標高 (EL-m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^{*1} (kN/m ²)
				飽和、湿潤 γ_{sat} (kN/m ³)	水中 γ (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
埋戻土(水中)	1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ~ -3.700	12.200	196.380	20.7	10.6	—	255800
	-3.700 ~ -4.700	13.200	206.980	20.7	10.6	—	264800
	-4.700 ~ -5.700	14.200	217.580	20.7	10.6	—	273700
岩盤 (第②速度層)	-5.700 ~ -6.700	15.200	228.180	20.7	10.6	—	282500
	-6.700 ~ -7.700	16.200	238.780	20.7	10.6	—	291000
	-7.700 ~ -8.700	17.200	249.380	20.7	10.6	—	299500
	-8.700 ~ -9.300	17.800	257.860	20.7	10.6	—	306200
	-9.300 ~ -10.300	18.800	267.490	23.0	12.9	900	—
	-10.300 ~ -11.300	19.800	280.390	23.0	12.9	900	—
	-11.300 ~ -12.300	20.800	293.290	23.0	12.9	900	—
岩盤 (第③速度層)	-12.300 ~ -13.000	21.500	304.255	23.0	12.9	900	—
	-13.000 ~ -16.000	24.500	330.370	24.5	14.4	1600	—
	-16.000 ~ -19.000	27.500	373.570	24.5	14.4	1600	—
	-19.000 ~ -22.000	30.500	416.770	24.5	14.4	1600	—
	-22.000 ~ -25.000	33.500	459.970	24.5	14.4	1600	—
	-25.000 ~ -28.000	36.500	503.170	24.5	14.4	1600	—
	-28.000 ~ -31.000	39.500	546.370	24.5	14.4	1600	—
	-31.000 ~ -34.000	42.500	589.570	24.5	14.4	1600	—
	-34.000 ~ -37.000	45.500	632.770	24.5	14.4	1600	—
	-37.000 ~ -40.000	48.500	675.970	24.5	14.4	1600	—
-40.000 ~ -43.000	51.500	719.170	24.5	14.4	1600	—	
-43.000 ~ -46.000	54.500	762.370	24.5	14.4	1600	—	
-46.000 ~ -50.000	58.500	812.770	24.5	14.4	1600	—	

*1 掘削ズリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)



(f) 基本物性 (比較地点⑥)

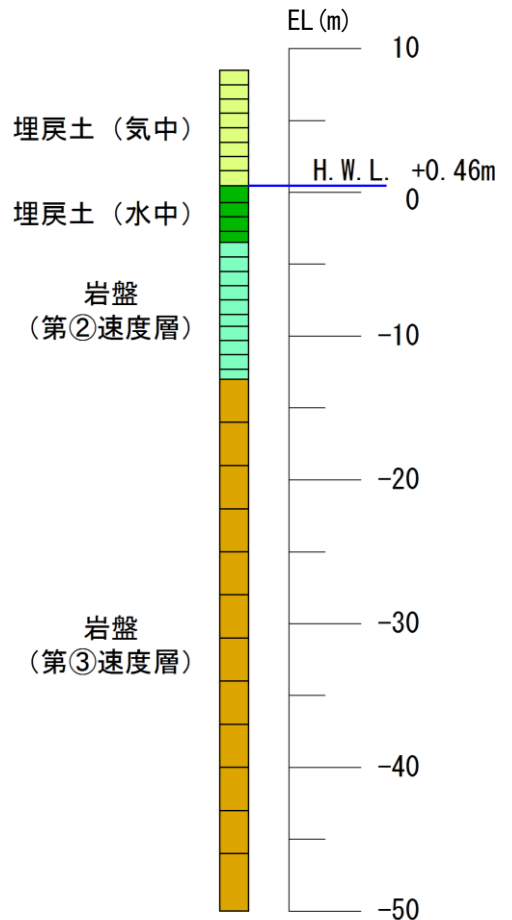
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

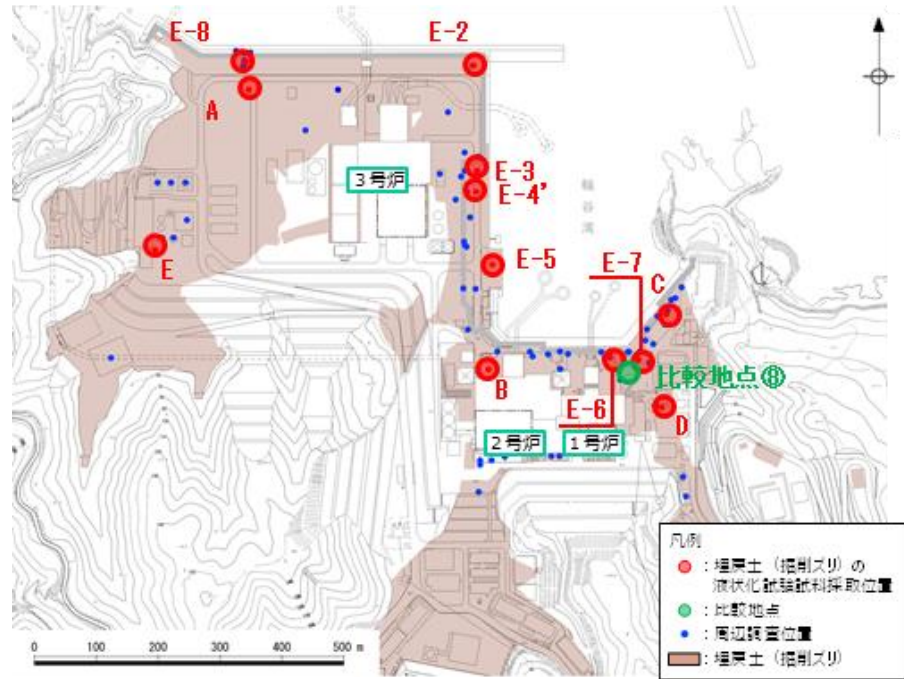
土層	標高 (EL m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ'_v (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^{*1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土 (気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
埋戻土 (水中)	1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
岩盤 (第②速度層)	-2.700 ~ -3.498	11.998	195.309	20.7	10.6	—	254900
	-3.498 ~ -4.500	13.000	206.002	23.0	12.9	900	—
	-4.500 ~ -5.500	14.000	218.915	23.0	12.9	900	—
	-5.500 ~ -6.500	15.000	231.815	23.0	12.9	900	—
	-6.500 ~ -7.500	16.000	244.715	23.0	12.9	900	—
	-7.500 ~ -8.500	17.000	257.615	23.0	12.9	900	—
	-8.500 ~ -9.300	17.800	269.225	23.0	12.9	900	—
	-9.300 ~ -10.300	18.800	280.835	23.0	12.9	900	—
岩盤 (第③速度層)	-10.300 ~ -11.300	19.800	293.735	23.0	12.9	900	—
	-11.300 ~ -12.300	20.800	306.635	23.0	12.9	900	—
	-12.300 ~ -13.000	21.500	317.600	23.0	12.9	900	—
	-13.000 ~ -16.000	24.500	343.715	24.5	14.4	1600	—
	-16.000 ~ -19.000	27.500	386.915	24.5	14.4	1600	—
	-19.000 ~ -22.000	30.500	430.115	24.5	14.4	1600	—
	-22.000 ~ -25.000	33.500	473.315	24.5	14.4	1600	—
	-25.000 ~ -28.000	36.500	516.515	24.5	14.4	1600	—
	-28.000 ~ -31.000	39.500	559.715	24.5	14.4	1600	—
	-31.000 ~ -34.000	42.500	602.915	24.5	14.4	1600	—
	-34.000 ~ -37.000	45.500	646.115	24.5	14.4	1600	—
-37.000 ~ -40.000	48.500	689.315	24.5	14.4	1600	—	
-40.000 ~ -43.000	51.500	732.515	24.5	14.4	1600	—	
-43.000 ~ -46.000	54.500	775.715	24.5	14.4	1600	—	
-46.000 ~ -50.000	58.500	826.115	24.5	14.4	1600	—	

*1 掘削スリ: $C_0 = 749\sigma_v^{0.66}$ (N/mm²)



(g) 基本物性 (比較地点⑦)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値



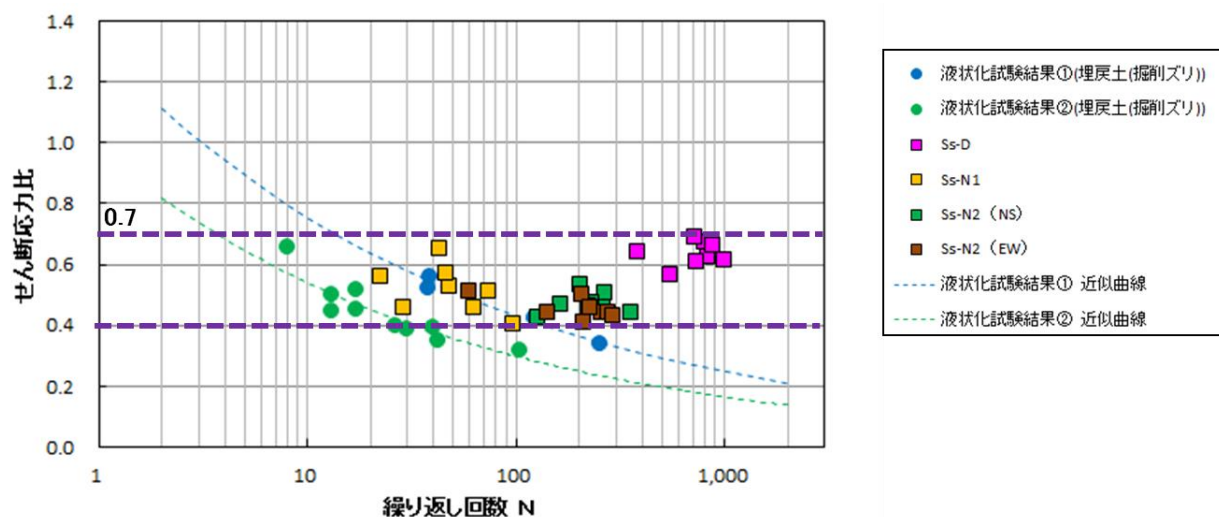
(h) 基本物性 (比較地点⑧)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル

第3-3-1 表 地震応答解析における最大せん断応力と等価繰返し回数 (埋戻土 (掘削ズリ))

基準地震動 S s	Ss-D		Ss-N1		Ss-N2(NS)		Ss-N2(EW)	
	L	N _{eq}	L	N _{eq}	L	N _{eq}	L	N _{eq}
比較地点①	0.67	801.1	0.51	73.2	0.51	266.5	0.44	256.1
比較地点②	0.69	713.1	0.53	48.1	0.53	202.6	0.44	278.3
比較地点③	0.63	834.0	0.40	96.9	0.46	260.8	0.43	290.9
比較地点④	0.64	384.5	0.46	28.7	0.47	164.1	0.44	142.7
比較地点⑤	0.66	879.2	0.65	42.9	0.47	230.9	0.50	205.4
比較地点⑥	0.61	728.6	0.46	62.7	0.46	223.4	0.41	210.9
比較地点⑦	0.62	998.0	0.57	45.9	0.44	356.9	0.46	225.7
比較地点⑧	0.57	544.4	0.56	22.4	0.42	127.2	0.51	59.4

最大せん断応力比: $L = \tau_e / \sigma'_v$
 τ_e : 等価せん断応力 ($= 0.65 \times \tau_{max}$),
 σ'_v : 有効土被り圧
 N_{eq} : 等価繰返し回数



第3-3-6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (埋戻土 (掘削ズリ))

3.4 簡易設定法

港湾基準では、有効応力解析（FLIP）に使用する地盤の物性に関するパラメータの設定方法について、原位置で行われた詳細な土質データを用いて検討することを基本としているが、簡易設定法による方法も明記されている。

簡易設定法は、港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠し、液状化強度比 R_L と相関が高いN値、有効上載圧及び細粒分含有率を用いて、有効応力解析（FLIP）の解析理論に則った液状化強度特性を設定することができる。

有効応力解析（FLIP）は、解析において土粒子と間隙水の両方を取り扱うことによって、過剰間隙水圧の上昇を模擬できるとともに、過剰間隙水圧の上昇に伴う土要素の剛性及び強度の低下、すなわち液状化現象を模擬することができる解析コードである。さらに、地盤の液状化に伴う構造物の変形等、地盤と構造物の相互作用を模擬することができる。

有効応力解析（FLIP）で用いる有効応力モデルのパラメータのうち、液状化特性（過剰間隙水圧の発生）を設定するパラメータを第3-4-1表に示す。

第3-4-1表 有効応力解析（FLIP）で用いる有効応力モデルの主なパラメータ

分類	モデルパラメータ	
液状化特性	Φ_p	変相角
	w_1	過剰間隙水圧上昇の全体を規定するパラメータ
	p_1	過剰間隙水圧上昇の前半を規定するパラメータ
	p_2	過剰間隙水圧上昇の後半を規定するパラメータ
	c_1	液状化強度の下限値を規定するパラメータ
	S_1	液状化の終局状態を規定するパラメータ

液状化特性を設定するパラメータは、繰返し非排水三軸試験結果を踏まえ、FLIPで試行的な繰返し計算を行い、全てのせん断応力比における整合性を確認して設定する方法が標準的とされている。

一方、簡易設定法は標準的な液状化パラメータ設定法を基に、これらのパラメータを、通常地盤調査で比較的入手しやすい標準貫入試験のN値等と関連付けて設定する方法である。

簡易設定法では、原位置のN値及び有効上載圧より求まる等価N値をもとに簡易的に求めた液状化強度曲線が、FLIPを用いた繰返し三軸試験のシミュレーション結果に合うように求める。その液状化パラメータのうち p_2 については、以下の式で算出する。

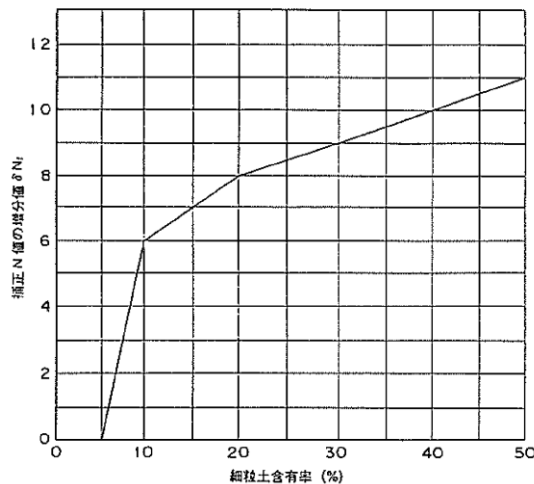
$$(N)_{0.66} = (N - 1.828(\sigma'_v - 0.66)) / (0.399(\sigma'_v - 0.66) + 1)$$

$$N_a = (1/0.66)^{0.5} \times (N)_{0.66} + dNt$$

※dNtは森田ら(1997)の右図から求める

ここに、 $(N)_{0.66}$: 等価N値
 σ'_v : 有効上載圧

$$p_2 = -0.0166N_a + 1.215$$

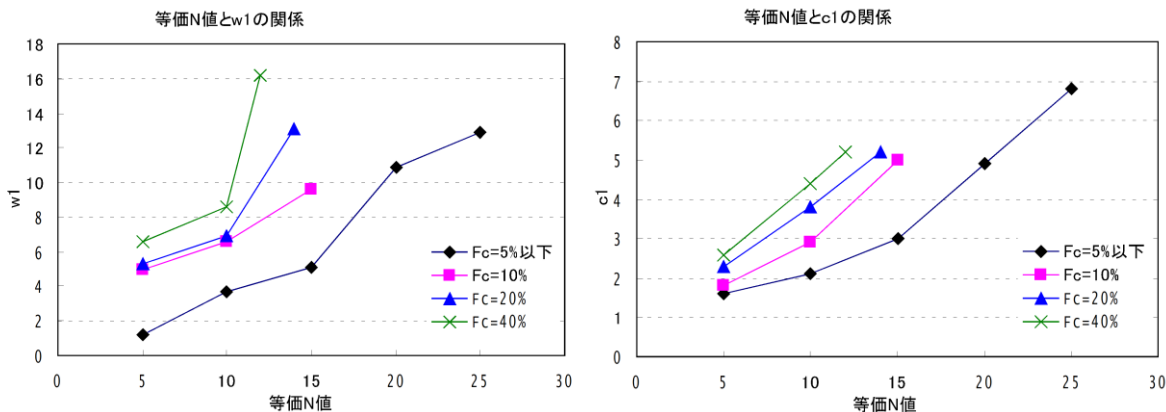


第3-4-1図 細粒分含有率に応じた補正N値の増分値

w_1 , c_1 については、最新の研究成果に基づき第3-4-2図から算出する。なお、変相角 $\phi_p=28$ 度、 $p_1=0.5$ 、 $s_1=0.005$ については、「液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法(森田ら)」に基づき固定値とする。

今回、保守的に液状化強度特性を設定するため、標準貫入試験で求めたN値については、次頁のとおり取り扱う。

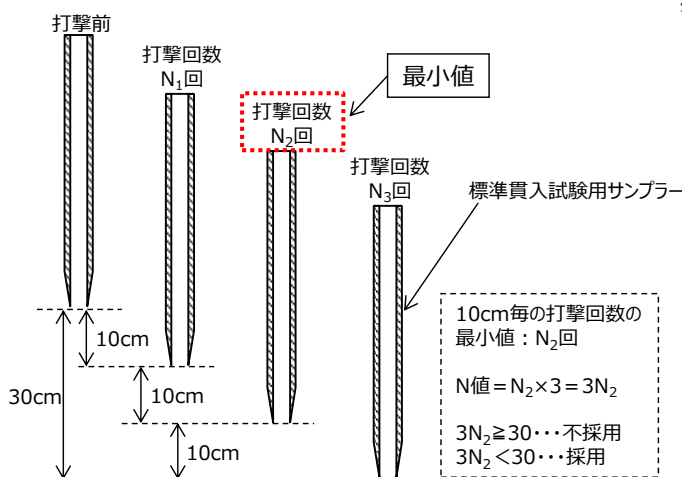
上述の方法等で求まる液状化パラメータに基づき、FLIPにおいて各せん断応力比に対する繰返し回数を計算すると、第3-4-4~5図に示す簡易設定法に基づく液状化強度曲線が設定される。なお、敷地全体としての評価を行うことにより代表性・網羅性を確保する観点から、埋戻土(掘削ズリ)及び砂礫層のN値及び細粒分含有率については、敷地全体の平均値を用いる。



第3-4-2 図 等価N値と液状化パラメータ w1 及び c1 の関係

標準貫入試験 (JIS A 1219) ※により得られたN値について、今回、以下のとおり扱うことにより、保守的に液状化強度特性を設定する。

- ① N値=50以上：非常に密な地盤であるため、液状化強度特性の設定に使用しない。
- ② N値=30以上：密な地盤であるため、保守的に補正し、以下のとおり扱う。
 - ・ 10cm毎の打撃回数の最小値を3倍した値とし、その値が30以上の場合、結果を液状化強度特性の設定に使用しない。
 - ・ 10cm毎の打撃回数の最小値を3倍した値とし、その値が30未満の場合、結果を液状化強度特性の設定に使用する。
- ③ N値=30未満：液状化強度特性の設定にそのまま使用する。



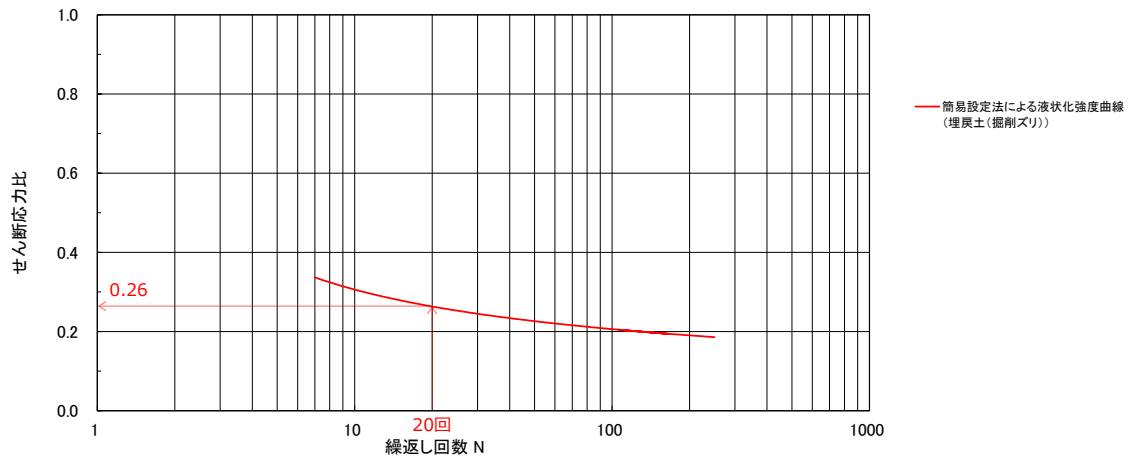
※標準貫入試験 (JIS A 1219) は、標準貫入試験用サンプラーを動的貫入することによって原位置における地盤の硬軟、締まり具合又は土層の構成を判定するためのN値を得るために行う。試験は、質量63.5kgのハンマーを76cmの高さから自由落下させ、標準貫入試験用サンプラーを打ち込む。N値は、標準貫入試験用サンプラーを30cm打ち込むために必要な打撃回数である。

第3-4-3 図 N値の評価概要図 (②N値=30以上)

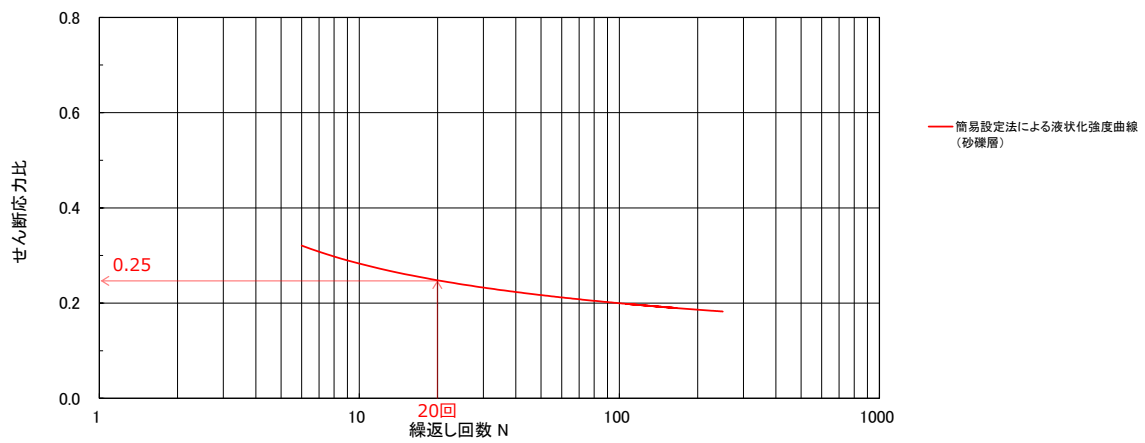
第 3-4-2 表 簡易設定法における N 値の考え方

	打撃回数			N値 (JIS A 1219) (N ₁ + N ₂ + N ₃)	N値 (補正) (最小値の3倍)	評価結果 (今回)
	N ₁	N ₂	N ₃			
①	50	-	-	50	-	使用しない
	17	33	-	50	-	使用しない
	17	11	22	50	-	使用しない
②	15	12	18	45	36	使用しない
	15	9	18	42	27	27
③	8	10	5	23	-	23

簡易設定法による液状化パラメータで計算した液状化強度曲線を第3-4-4～5
図に示す。



3-4-4 図 埋戻土（掘削ズリ）の液状化強度曲線



第3-4-5 図 砂礫層の液状化強度曲線

・簡易設定法の適用範囲

「液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法（森田ら）」では、FLIPを用いて解析を行う場合の種々のパラメータの設定方法として標準貫入試験のN値から簡易的に設定する方法が示されており、この検討で用いられているせん断応力比は、0.2～0.9程度 ($F_c=10\sim 20\%$) と幅の広い値としている。

島根2号炉における埋戻土（掘削ズリ）の累積損傷度理論に基づく評価において、基準地震動 S_s での最大せん断応力比は0.4～0.7程度である。

島根2号炉における埋戻土（掘削ズリ）の最大せん断応力比は、森田らの検討で使用されているせん断応力比に含まれていることから、簡易設定法が適用できると考えられる。

表-6 等価N値(N_{e66})に対するせん断応力比 τ_1/σ_m' (細粒分含有率 $F_c \geq 10\%$ の場合)

(a) $F_c = 10\%$ の場合

(N) _{e66}	N _a	10回	15回	26回
5	12	0.24	0.22	最小 0.21
10	18	0.35	0.31	0.28
15	24	0.69	0.54	0.43

(b) $F_c = 20\%$ の場合

(N) _{e66}	N _a	10回	15回	26回
5	14	0.26	0.24	0.22
10	20	0.41	0.36	0.32
14	25	0.85 最大	0.66	0.51

液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法（森田ら）より引用

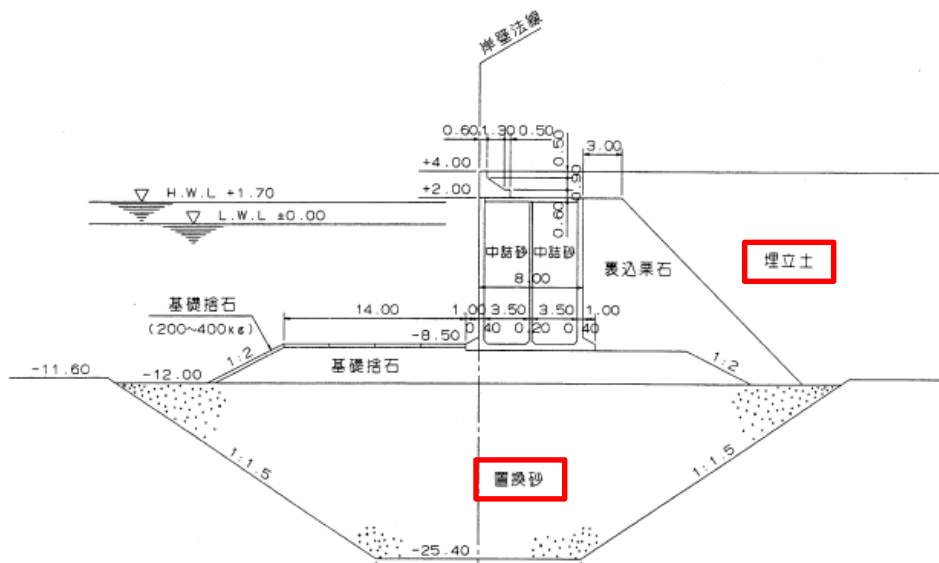
第3-4-6 図 簡易設定法の根拠資料

・簡易設定法の実績

「液状化解析プログラムFLIPによる動的解析の実務（財団法人沿岸技術研究センター）」では、兵庫県南部地震における神戸RF3岸壁及び神戸港T栈橋の被災状況に対して、簡易設定法により液状化パラメータを設定した再現解析にて検証を行った実績が示されている。

「神戸RF3岸壁」は重力式構造物を、「神戸港T栈橋」は杭式構造物を対象としており、「神戸RF3岸壁」においては、埋立土及び置換砂の液状化パラメータを簡易設定法で設定し、概ね被災状況を再現できている。

以上の実績を踏まえ、島根2号炉における防波壁等に対する液状化影響評価において簡易設定法が適用できると判断した。



第3-4-7 図 神戸RF3岸壁 標準断面図

第3-4-3 表 液状化パラメータの簡易設定法の実績

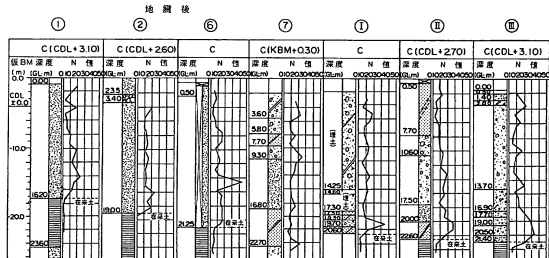
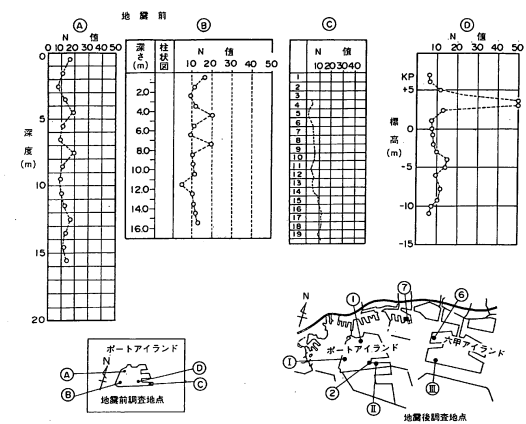
地震名	対象施設	被災状況	再現解析
平成7年 兵庫県南部 地震	神戸 RF3岸壁	水平変位 3.7m	水平変位 3.09m
	神戸港 T栈橋	水平変位 1.4~1.5m	水平変位 2.01m

液状化解析プログラムFLIPによる動的解析の実務（財団法人沿岸技術研究センター）より引用

N値及び粒径加積曲線について、島根2号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層と、神戸港の埋立土との比較を第3-4-8 図に示す。

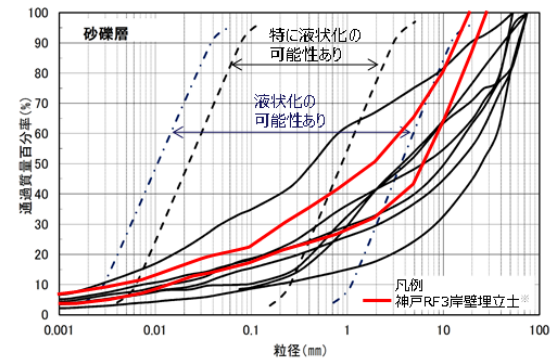
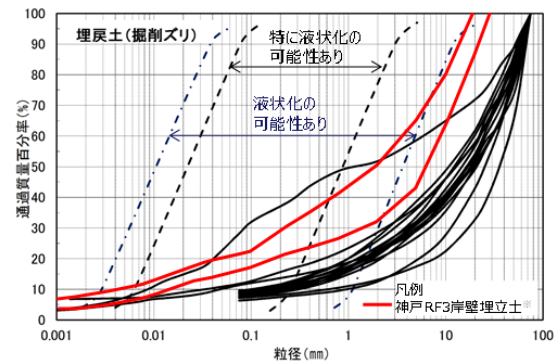
神戸港の埋立土のN値は、いずれも5～10前後、最大20程度を示しており、島根2号炉と同程度である。神戸港の埋立土の粒径は、島根2号炉の埋戻土（掘削ズリ）より小さく、砂礫層と同程度であるが、両者とも粒径が広い範囲にわたって分布し、礫を含む土層である。

以上より、簡易設定法により液状化パラメータを設定した再現解析にて検証を行った実績のある神戸港の埋立土に対し、島根2号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の土質性状は類似していることから、簡易設定法の適用は妥当であると判断した。



神戸港の埋立土のN値

兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察（運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料）より引用



粒径加積曲線の比較

※兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察（運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料）より引用

第3-4-8 図 島根2号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層と神戸港埋立土の比較

3.5 液状化強度特性の設定方針

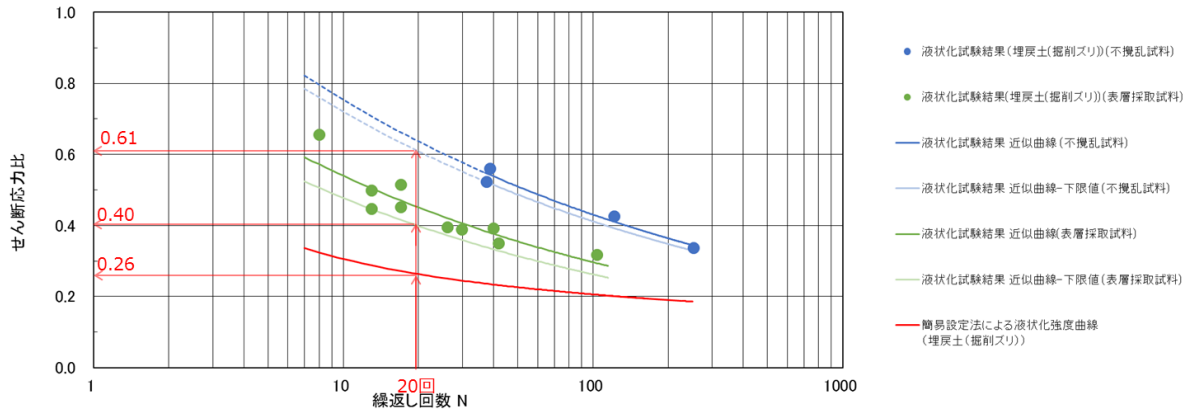
液状化試験結果より、液状化を示す土層はないが、繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）、若しくは非液状化となる土層（埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層）については、念のため液状化強度特性を設定し、保守的に構造物への影響評価を実施する。

各土層での液状化強度特性は、液状化試験を踏まえ、港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠し、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法により設定する。簡易設定法は、液状化強度比 R_L と相関が高いN値、有効上載圧及び細粒分含有率を用いて有効応力解析（FLIP）の解析理論に則った液状化強度特性を設定することができる。なお、簡易設定法で用いるN値は保守的な設定値（N値が30以上の場合は、10cm毎の打撃回数の最小値を3倍した値とし、その値が30以上の場合は不採用とする）とする。

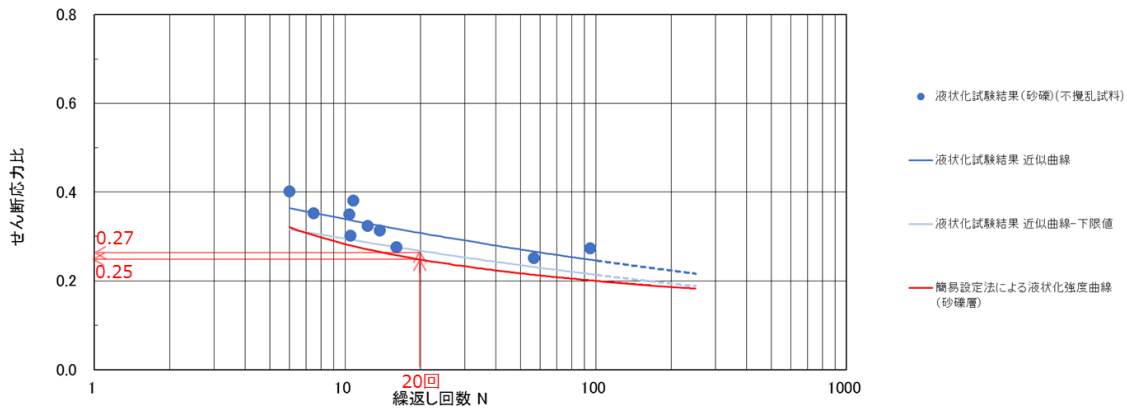
また、簡易設定法により設定された液状化強度特性は、液状化試験結果下限値の液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。

第3-5-1 図に簡易設定法による液状化強度曲線と液状化試験結果による液状化強度曲線を示す。

簡易設定法により設定した液状化強度曲線（埋戻土（掘削ズリ））は、液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）及び液状化試験結果②（表層試料採取）による液状化強度曲線の下側に位置する。そのため、簡易設定法による液状化強度比 R_L （0.26）は、液状化試験①（ロータリー式三重管サンプラー）による液状化強度比 R_L （0.61）及び液状化試験結果②（表層試料採取）による液状化強度比 R_L （0.40）を下回り、保守的であることを確認した。また、簡易設定法により設定した液状化強度曲線（砂礫層）は液状化試験結果による液状化強度曲線の下側に位置し、簡易設定法による液状化強度比 R_L （0.25）は液状化試験による液状化強度比 R_L （0.27）を下回り、保守的であることを確認した。



(a) 埋戻土 (掘削ズリ)



(b) 砂礫層

第3-5-1 図 簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較

4. 液状化影響の評価方針

4.1 液状化影響の検討方針

液状化評価については道路橋示方書を基本として、道路橋示方書において液状化評価の対象となっている砂礫層に加えて、液状化評価の対象外となっている埋戻土（掘削ズリ）についても液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施した。液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）』、若しくは『非液状化』と判定した。それぞれの試験結果及び、港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠した有効応力解析（F L I P）の簡易設定法を踏まえ、液状化強度特性を設定し、構造物への影響評価を実施する。なお、試験結果が『非液状化』となる土層も、念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。

液状化強度特性については、簡易設定法により設定するが、これにより設定される液状化強度特性が、液状化試験結果下限値の液状化強度特性よりも保守的であることを確認している。また、簡易設定法で用いるN値は保守的な設定値としている。

以上を踏まえ、有効応力解析（F L I P）の実施に当たっては、簡易設定法に基づき設定した液状化強度特性を適用する。

構造物の影響評価については、液状化に伴う影響を考慮するため、有効応力解析を実施する。有効応力解析においては、解析コード「F L I P」等を用いる。液状化試験結果に比べて保守的な簡易設定法により有効応力解析の液状化パラメータを設定し、構造物の影響評価を実施する。解析コード「F L I P」については、Iai et. al (1992) 及びIai et. al (1995)において、液状化及びサイクリックモビリティを示す地層についての適用性が検証されている。Iai et. al (1992)においては、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、解析コード「F L I P」を用いた解析を実施し、解析結果が室内試験結果と良好な対応を示したと報告している。Iai et. al (1995)においては、解析コード「F L I P」を用いて、1993年釧路沖地震の再現解析を実施している。1993年釧路沖地震の観測波はサイクリックモビリティの影響を示すスパイク状の地震波となっており、解析コード「F L I P」において地震観測値の密な地盤の液状化パラメータを設定することで、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告している。よって、設置許可段階における構造物評価の見通しについては、解析コード「F L I P」を用いることとした。

なお、工事認可段階における構造物評価に当たっては、今回説明した液状化強度特性の妥当性及び採用した解析コードの適用性について、設計事例集で兵庫県南部地震における港湾施設の被災状況の再現性を検証することで確認されている。

第4-1-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象土層			道路橋示方書 及び港湾基準 における液状 化評価の対象	当社評価		
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験 による判定	液状化強度特性 の設定の考え方	液状化強度特性 の保守性
被 覆 層	盛土	完新世	E-2~E-8, A~E 埋戻土 (掘削スリ)	×	設計事例集に準拠 し, FLIPの簡易設 定法に基づき設定する。	簡易設定法に基づき設定 した液状化強度特性 が, 液状化試験結果 による液状化強度特 性と比べ保守的であ ることを確認する。
	崖錐・海底堆積物	完新世	E-1, E-7, E-8 砂礫層	○ 対象		

4.2 液状化検討対象施設の選定

設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設置状況を考慮し、液状化の影響を検討する必要がある液状化検討対象候補施設を抽出する。抽出に当たっては、設計基準対象施設（建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設）及び重大事故等対処施設を対象に検討する。なお、海中や岩盤上に設置される取水口、取水管及び1号放水連絡通路防波扉については、周囲に液状化評価対象層が分布しないことから、抽出対象外とする。

液状化検討対象候補施設の一覧を第4-2-1表に、液状化検討対象候補施設、可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートの配置図を第4-2-1図に示す。また、液状化検討対象候補施設について、液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローを第4-2-2図に示す。

詳細設計段階で設定する設計地下水位に対する液状化検討対象施設の選定等に当たって、第4-2-3図に示す地下水位低下設備が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を予測した浸透流解析の結果を使用する。なお、原子炉建物等の建物、構築物については、地下水位低下設備の機能に期待した浸透流解析の結果を使用する。

地下水位の設定方針において、自然水位（地下水位低下設備を考慮しない場合の地下水位）より保守的に設定した水位とする施設については、以下に示す浸透流解析の結果を踏まえ、液状化検討対象施設の選定フローのうち「②施設周辺の地下水位が十分に低い」の判定を行う。

なお、可搬型重大事故等対処設備による重大事故等への対応に必要なアクセスルートは、地震時の液状化に伴う地中埋設構造物の浮き上がりの影響を受けることなく通行性を確保する設計とする。

ここでは、液状化検討対象施設の選定の考え方を示し、詳細設計段階において、設定した設計地下水位に基づき液状化検討対象施設の選定を行う。

4.2.1 液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定における観点を以下に示す。

(1) 液状化検討対象施設の選定

液状化検討対象施設は以下の項目で抽出する。

- ①施設が岩盤中に設置されているか
- ②施設周辺の地下水位が十分に低いか

観点例：周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。

(2) 液状化検討対象施設の解析手法の選定

a. 液状化検討対象施設（建物、構築物）

上記（1）にて選定された施設について、液状化等により施設に悪影響を与える恐れがある場合は、地盤の液状化等の影響を考慮した評価を行う（③）。

また、対象施設が機器・配管系の間接支持構造物である場合は、床応答の観点も考慮して解析手法を選定するものとする。

b. 液状化検討対象施設（建物、構築物を除く）

上記（1）にて選定された施設について、施設周辺に改良地盤、マンメイドロック（MMR）及び他構造物（以下、「改良地盤等」という。）があり、液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）※の影響を緩和している場合、その改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）により施設に悪影響を与える恐れがあるか判断する。

③施設周辺に改良地盤等があり、液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）の影響を緩和しているか

④改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）により施設に悪影響を与える恐れがあるか

観点例：施設が改良地盤等に囲まれており、液状化等の影響がない。

施設周辺の地形等から、側方流動の影響がない。

③で施設周辺に改良地盤等がない場合、又は④で悪影響を与える恐れがある場合は、液状化考慮と液状化非考慮で耐震安全性評価上どちらが保守的になるかを確認するため、一次元又は二次元の全応力及び有効応力による地震応答解析を実施したうえで、全応力解析と有効応力解析それぞれの結果から構造物上下端の層間変位を比較するなどして、保守的となる解析手法を選定する（⑤）。

なお、地盤改良が必要となった場合は、上記で選定した解析手法により、その範囲の妥当性を確認する。

また、対象施設が機器・配管系の間接支持構造物である場合は、床応答の観点も考慮して解析手法を選定するものとする。

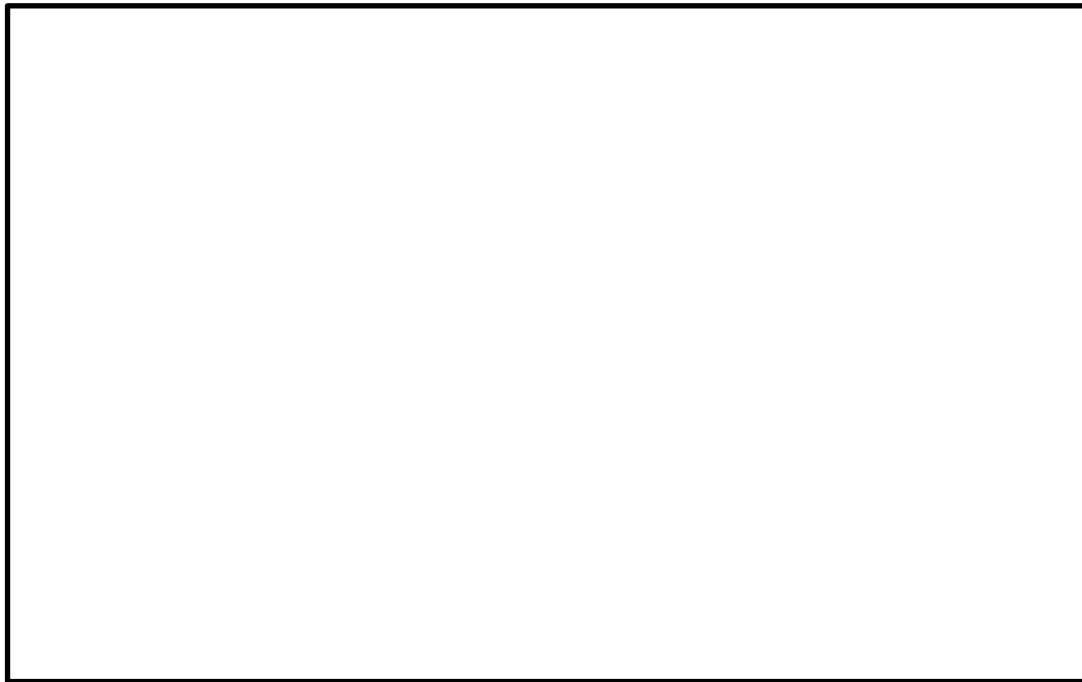
以上を踏まえ、詳細設計段階で設定する設計地下水位に対する液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の考え方を確認する目的で、液状化検討対象施設を選定した結果（例）を第4-2-2 表に、選定した液状化検討対象施設（例）に対し、設計基準対象施設・重大事故等対処施設の解析手法について検討した結果（例）を第4-2-3 表に、各施設の設置状況を第4-2-4 図～第4-2-15 図に示す。なお、詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設の選定及び選定解析手法の選定を行う。

※液状化と繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）の区分については「3. 液状化強度特性の網羅性、代表性」にて説明。

第4-2-1 表 液状化検討対象候補施設 一覧

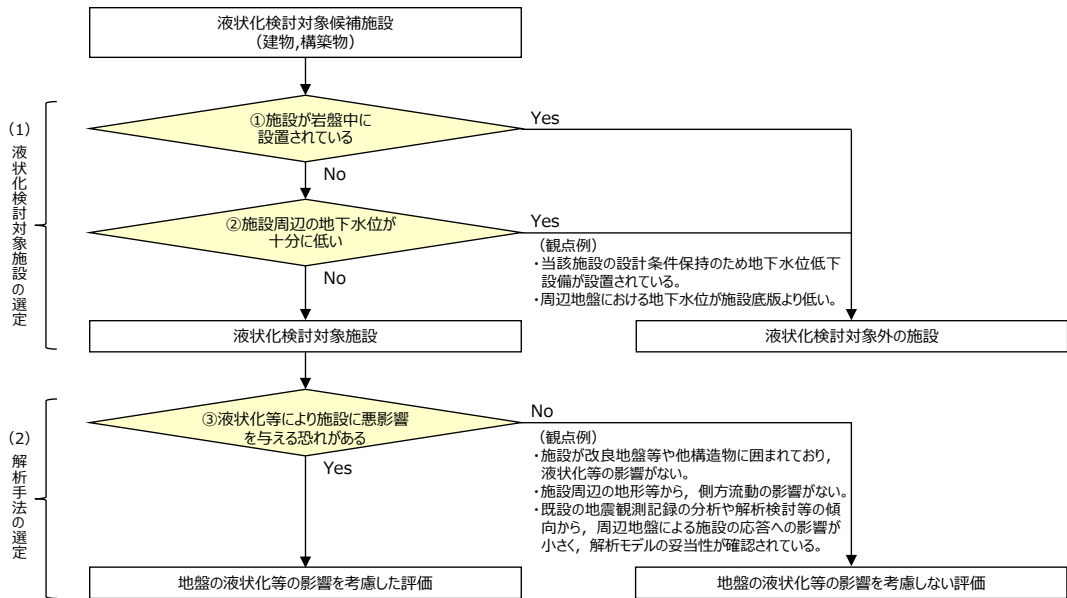
施設分類	施設名称	基礎形式	支持層	基礎下端高さ ^{※1} (EL. m)	地下水位の設定方針	
設計基準対象施設	建物、構築物	原子炉建物	直接基礎	岩盤	-4.7	地下水位低下設備の機能に期待して、設計地下水位を設定する
		タービン建物	直接基礎	岩盤	0.0	
		廃棄物処理建物	直接基礎	岩盤	0.0	
		制御室建物	直接基礎	岩盤	+0.1	
		排気筒	直接基礎	岩盤	+2.0	
	屋外重要土木構造物	取水槽	直接基礎	岩盤	-11.7	自然水位 ^{※2} より保守的に設定した水位
		屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	直接基礎	岩盤	+4.9	
		屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)	直接基礎	岩盤	+1.0	
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	直接基礎	岩盤	+8.35	
		屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)	直接基礎	岩盤	+10.4	
	津波防護施設	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	杭基礎	岩盤	-19.1	
		防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	杭基礎	岩盤	-10.65	
		防波壁 (波返重力擁壁)	直接基礎	岩盤・改良地盤	-13.0	
		1号炉取水槽流路縮小工	直接基礎	岩盤	-7.1	
		防波壁通路防波扉	杭基礎	岩盤	-15.9	
	重大事故等対処施設	第1ベントフィルタ格納槽	直接基礎	岩盤	+0.7	
		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	直接基礎	岩盤	-1.3	
緊急時対策所建物 ^{※3}		直接基礎	岩盤	+48.25		
緊急時対策所用燃料地下タンク		直接基礎	岩盤	+46.6		
ガスタービン発電機建物 ^{※3}		直接基礎	岩盤	+44.0		
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎		直接基礎	岩盤	+45.8		
屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油ダクト～ガスタービン発電機)		直接基礎	岩盤	+45.45		

※1 各施設の代表的な基礎下端高さを示す。 ※2 地下水位低下設備を考慮しない場合の地下水位 ※3 重大事故等対処施設のうち建物、構築物

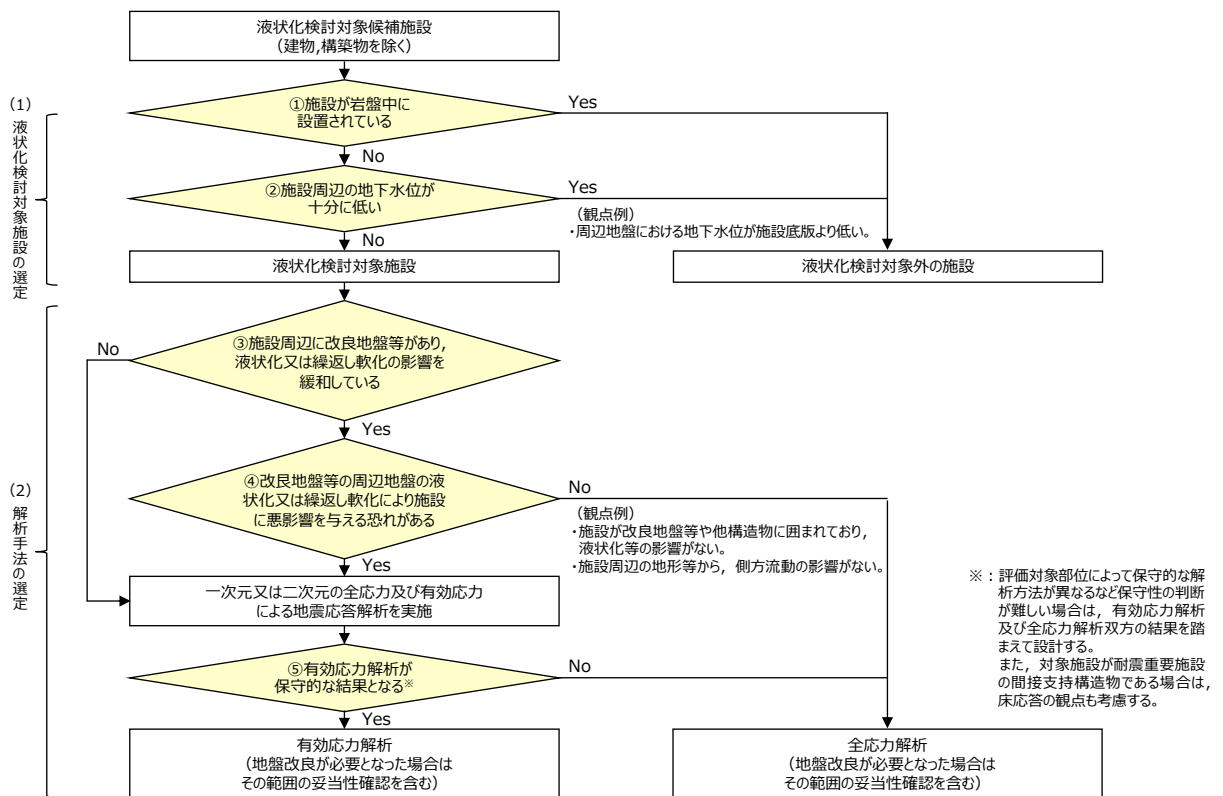


第4-2-1 図 液状化検討対象候補施設，可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルート 配置図

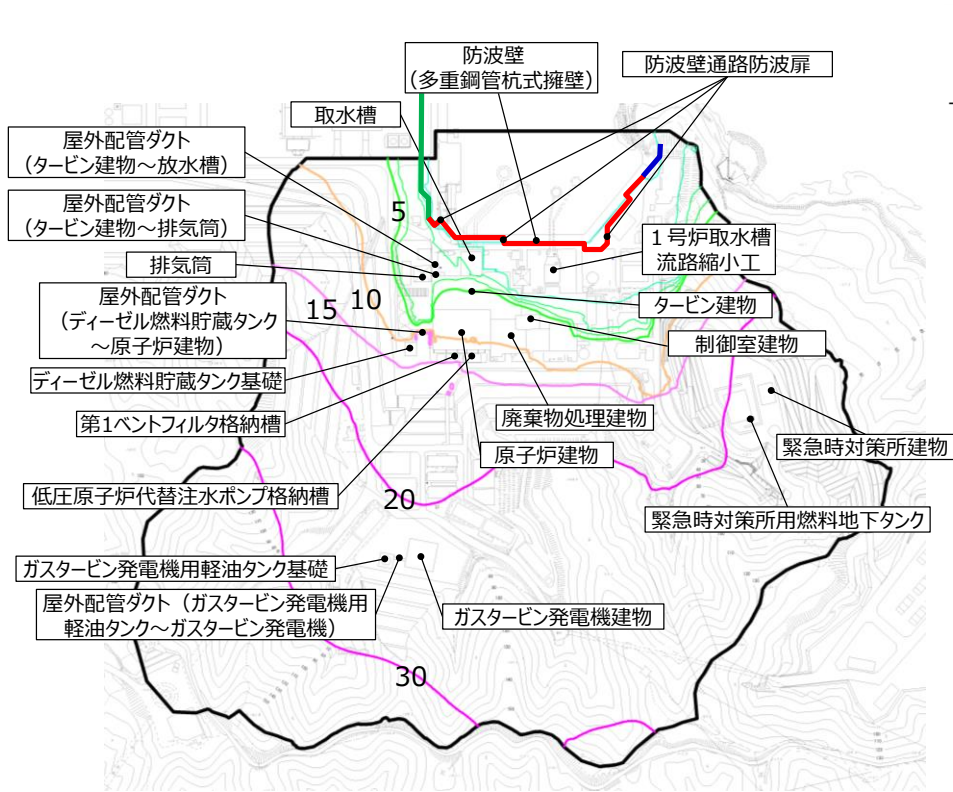
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



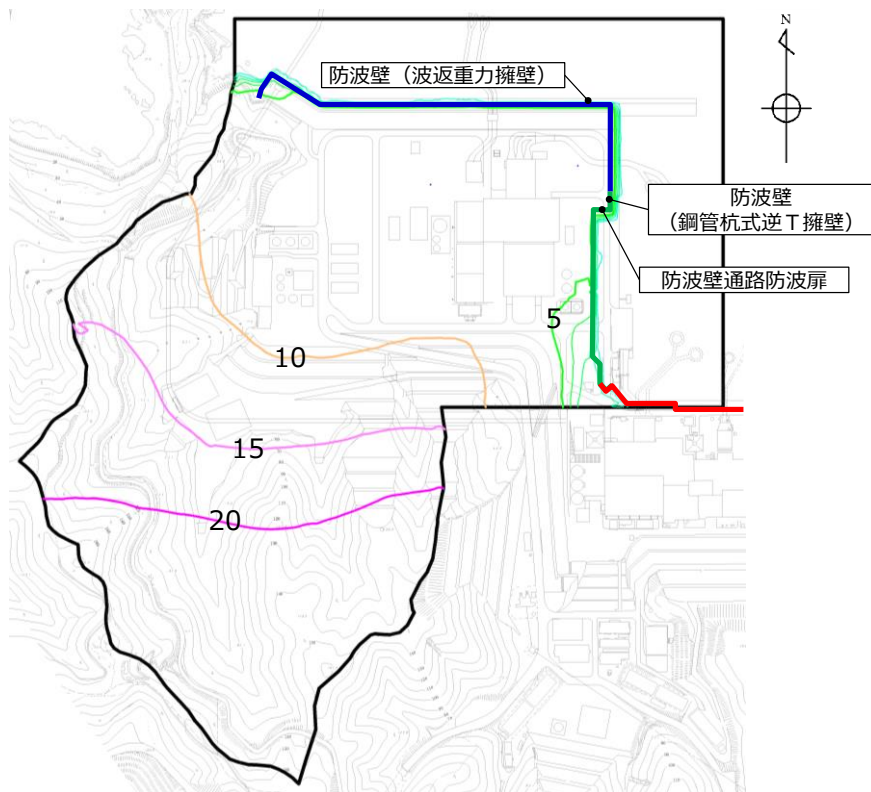
第4-2-2 図(1) 液状化検討対象施設の選定及び解析手法
選定フロー（建物、構築物）



第4-2-2 図(2) 液状化検討対象施設の選定及び解析手法
選定フロー（建物、構築物を除く）



1, 2号炉エリア



3号炉エリア

第4-2-3 図 地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布算定結果 (例)

第4-2-2 表 液状化検討対象施設の選定結果（例）

施設分類	施設名称	項目		液状化検討対象施設※ ○：対象 ×：対象外		
		①施設が岩盤中に設置されている	②施設周辺の地下水位が十分に低い			
設計基準対象施設	建物、構築物	原子炉建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		タービン建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		廃棄物処理建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		制御室建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		排気筒	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
	屋外重要土木構造物	取水槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波壁（波返重力擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		1号炉取水槽流路縮小工	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波壁通路防波扉	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
重大事故等対処施設	第1バントフィルタ格納槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○	
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○	
	緊急時対策所建物	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
	緊急時対策所用燃料地下タンク	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
	ガスタービン発電機建物	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×	
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。	×		

※ 詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設の選定を行う。

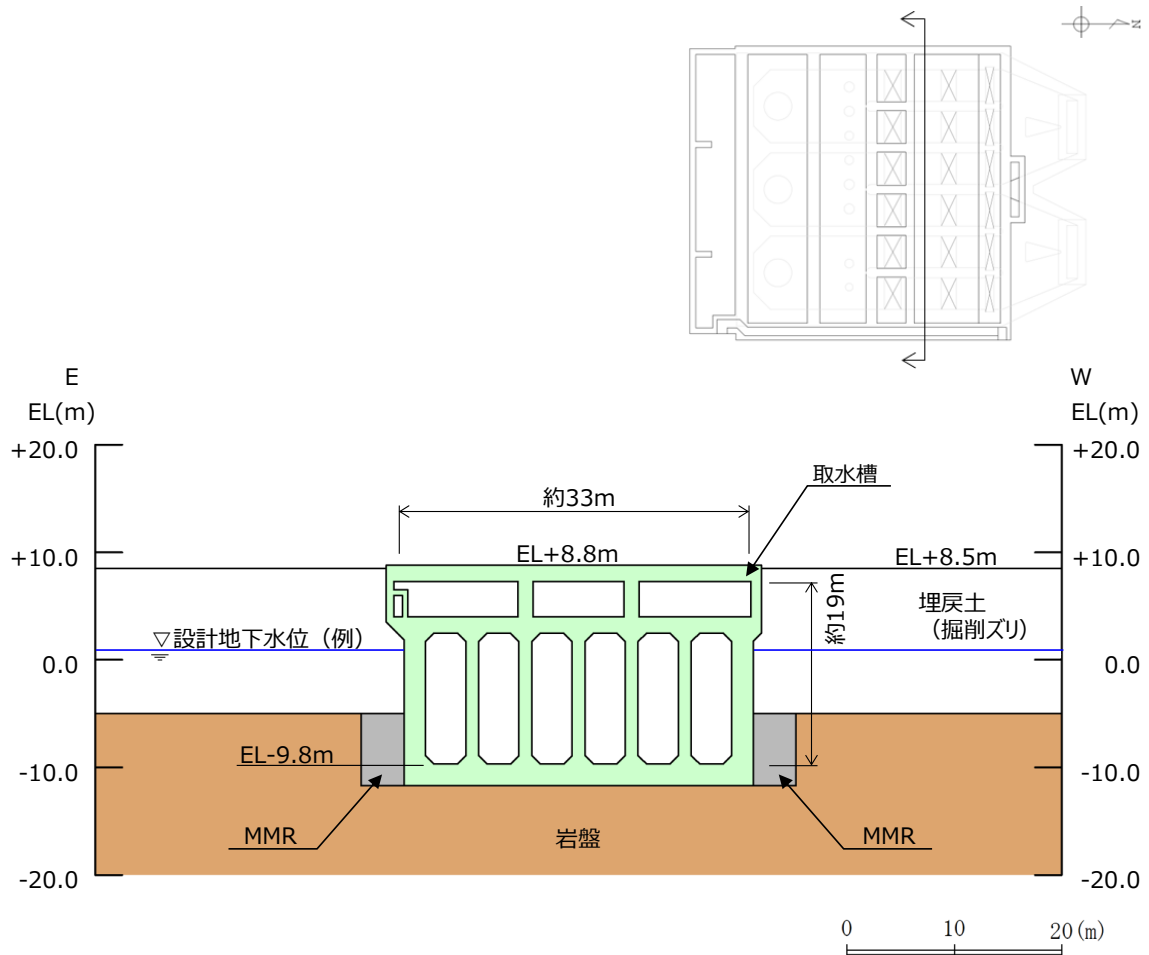
第4-2-3 表 液状化検討対象施設の解析手法選定結果（例）

施設分類	施設名称	項目		一次元又は二次元の全応力及び有効応力による地震応答解析を実施し、解析手法を選定※ ○：対象 ×：対象外		
		③施設周辺に改良地盤等がある	④改良地盤等の周辺地盤の液状化又は繰返し軟化により施設に悪影響を与える恐れがある			
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	取水槽	No	-	○	
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	No	-	○	
		屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	No	-	○	
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ、その外側に液状化検討対象層がないことから、液状化の影響はない。	×
		屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	Yes	Yes	施設側方に改良地盤等があるが、液状化検討対象層とも接している。また、改良地盤等の外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	No	-	○	
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	Yes	Yes	施設下部は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
		防波壁（波返重力擁壁）	No	-	○	
		1号炉取水槽流路縮小工	No	-	○	
		防波壁通路防波扉	Yes	Yes	施設下部は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
	重大事故等対処施設	第1バントフィルタ格納槽	Yes	Yes	施設は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ、その外側に液状化検討対象層がないことから、液状化の影響はない。	×

※ 詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設を選定した上で解析手法の選定を行う。

・取水槽

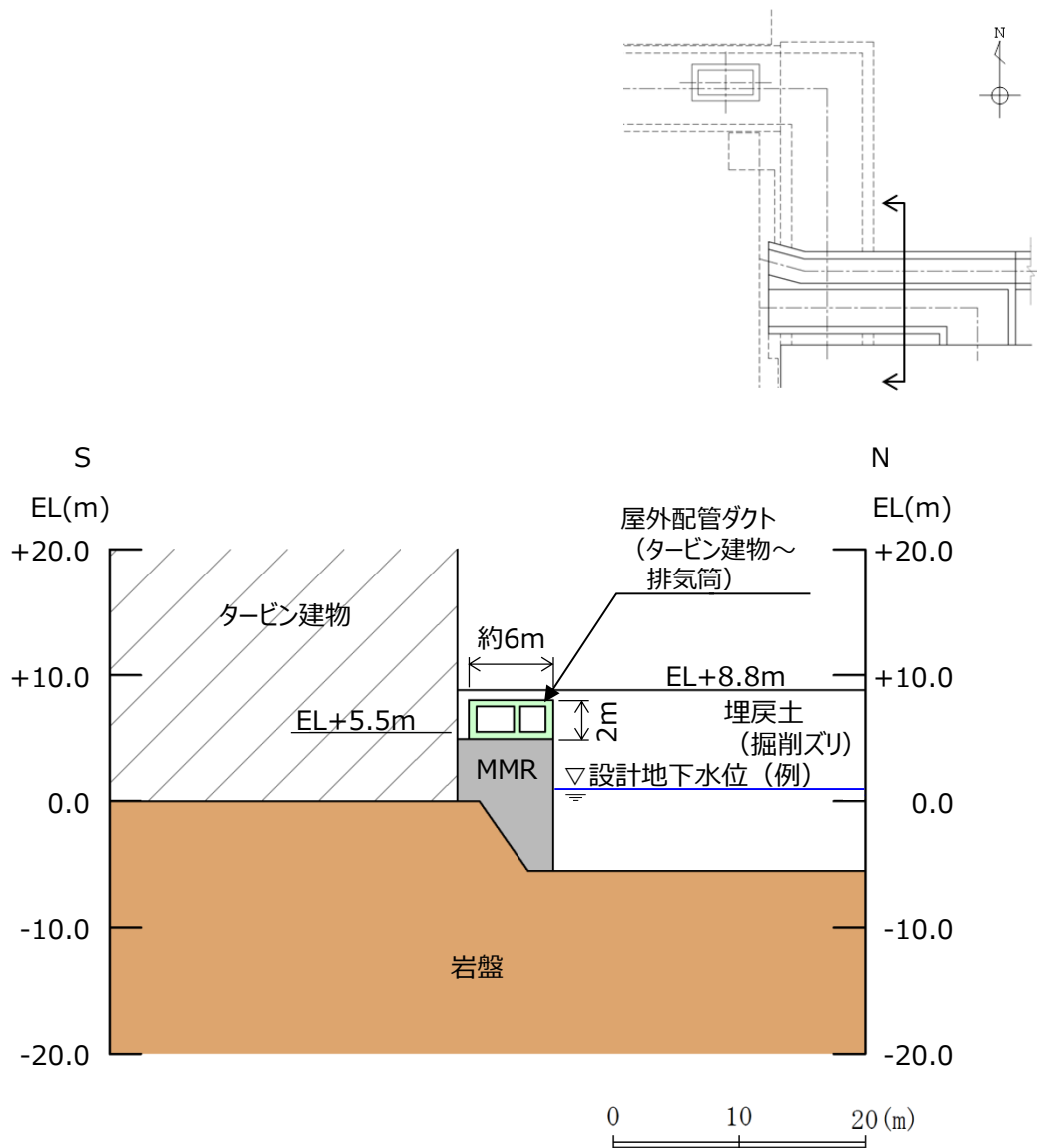
取水槽の設置状況を第4-2-4 図に示す。取水槽は岩盤上に設置されており、周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-4 図 取水槽 平面図

・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）

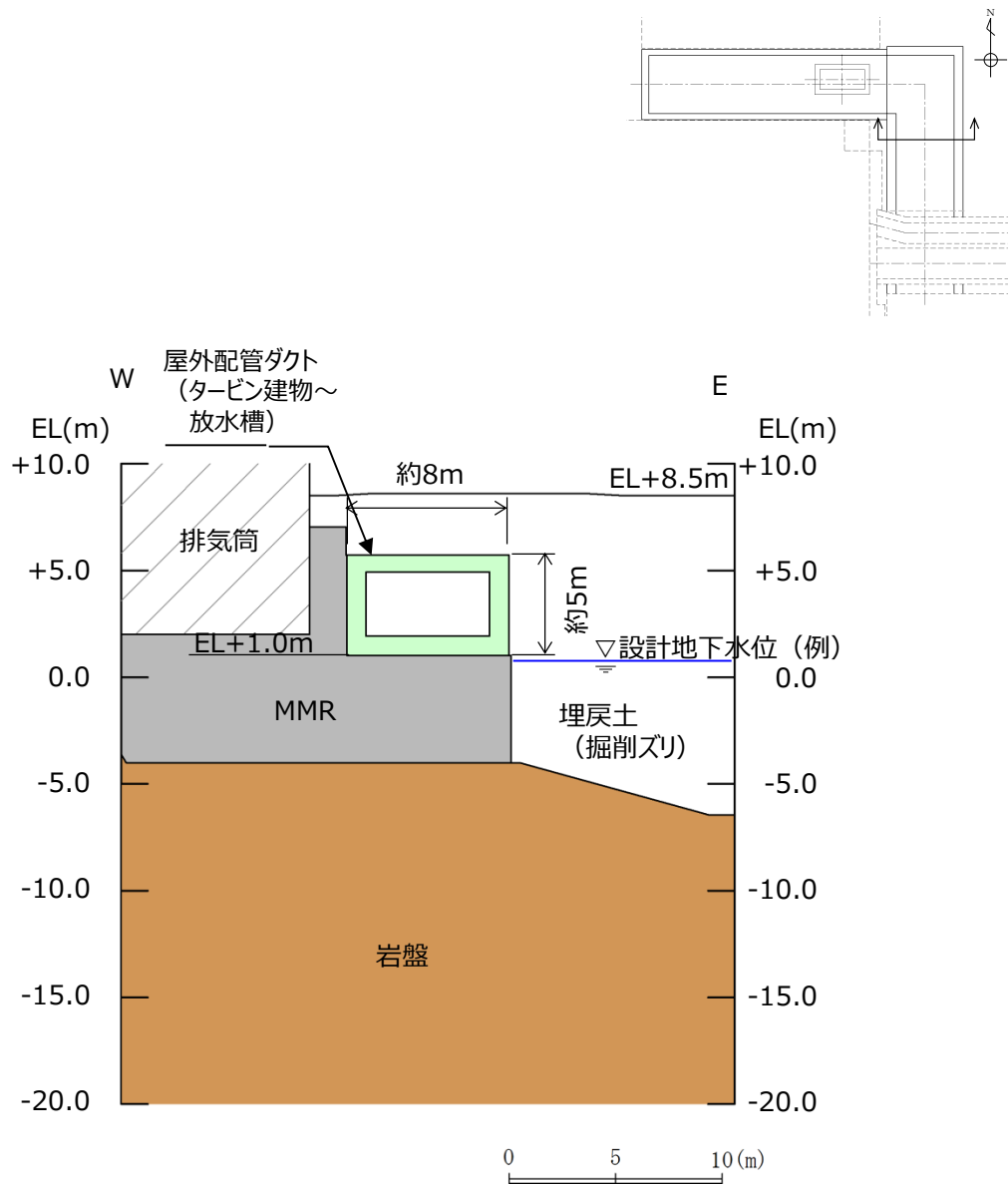
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の設置状況を第4-2-5 図に示す。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）はMMRを介して岩盤上に設置されており、周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-5 図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 断面図

・屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）

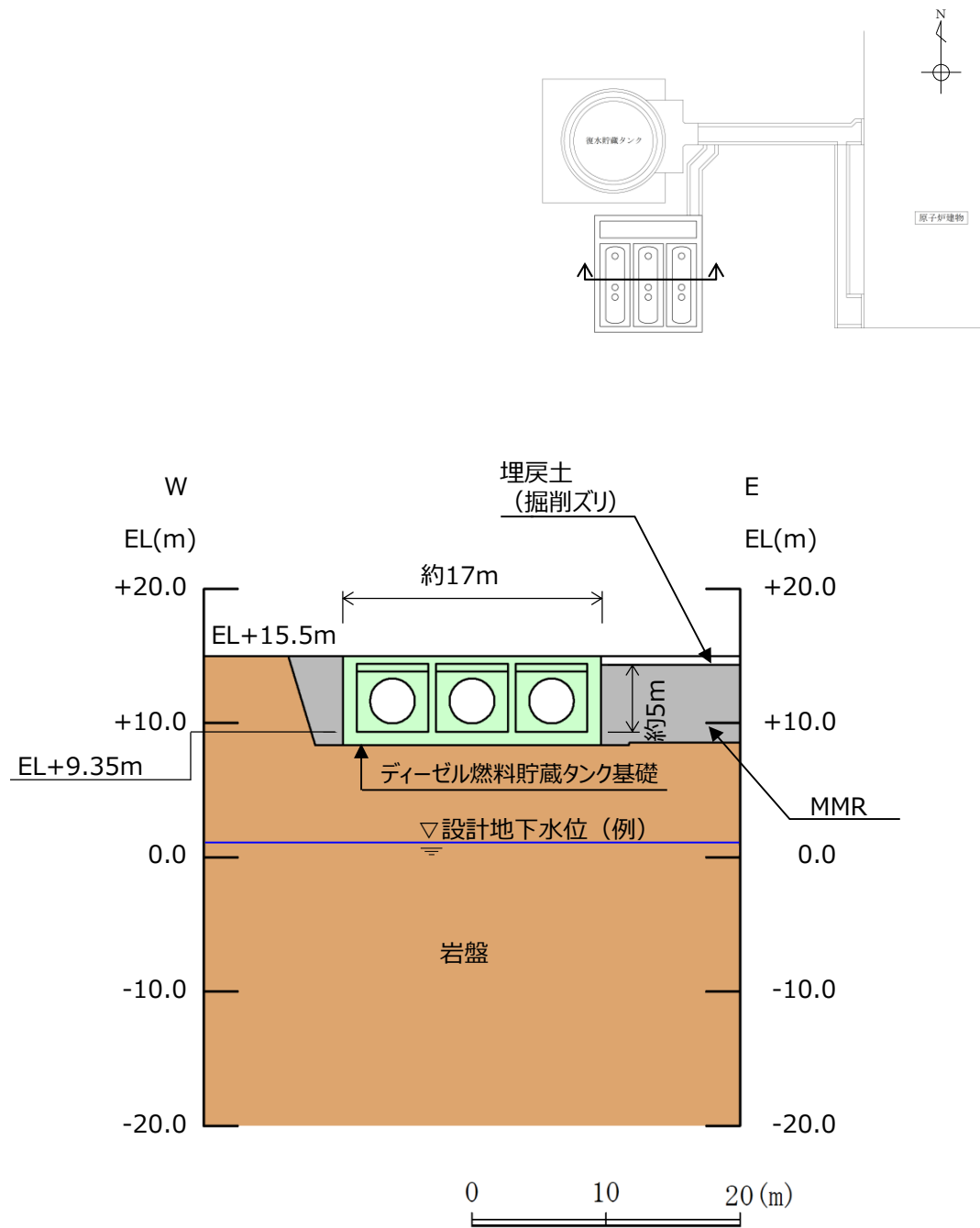
屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の設置状況を第4-2-6 図に示す。屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）はMMRを介して岩盤上に設置されており、周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-6 図 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 断面図

・ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎

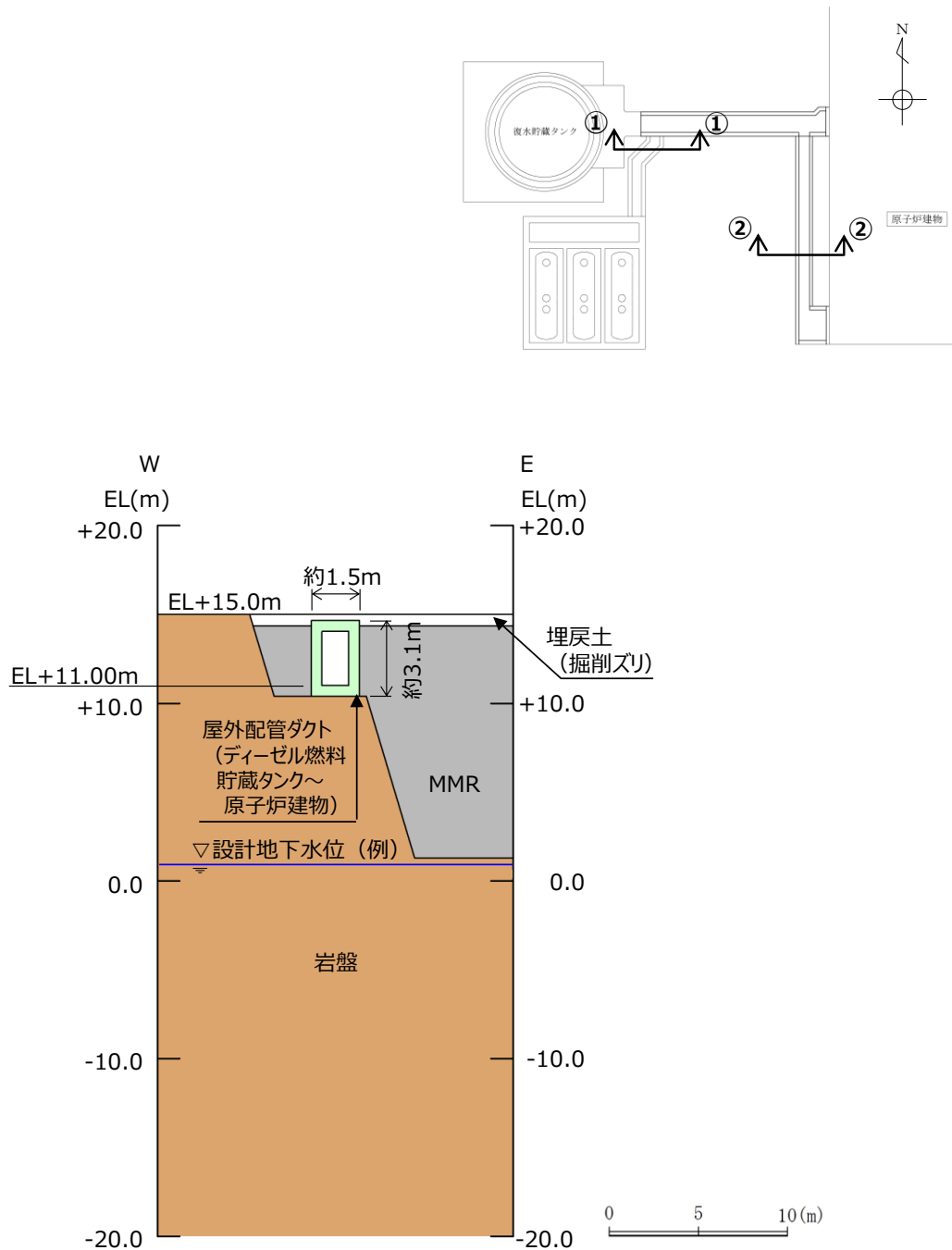
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の設置状況を第4-2-7 図に示す。ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は岩盤上に設置されており，周辺はMMRが分布している。



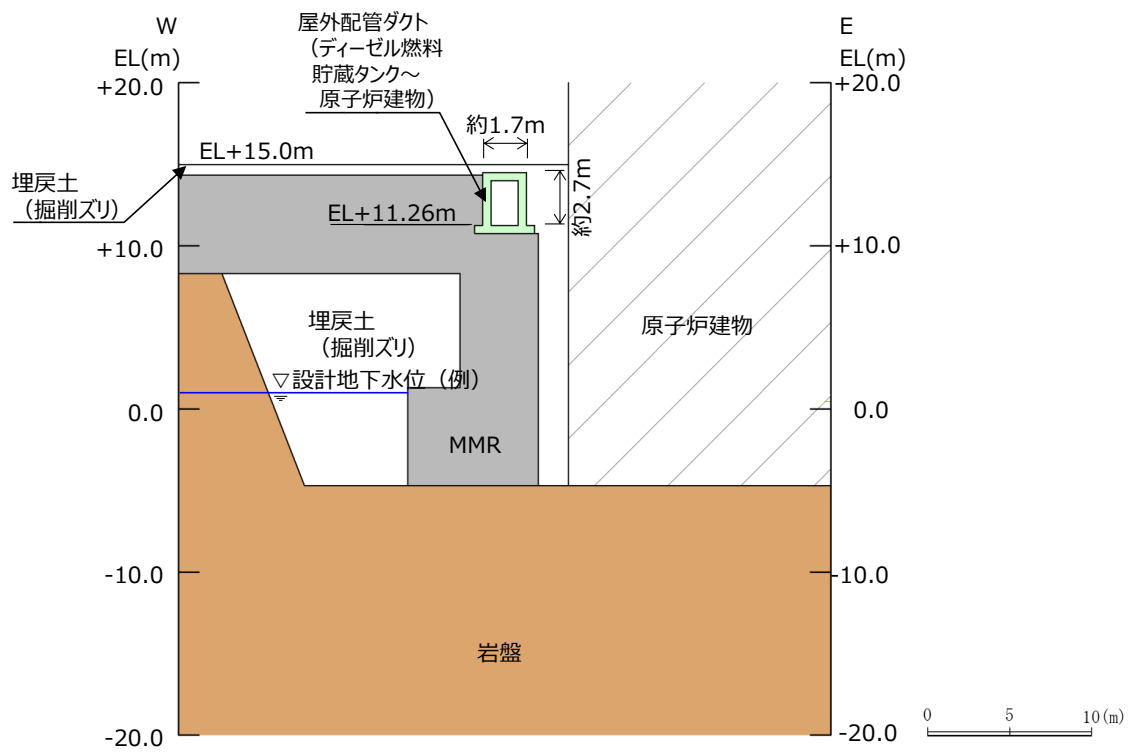
第4-2-7 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図

・屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）

屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の設置状況を第4-2-8 図及び第4-2-9 図に示す。屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は岩盤上及びMMRを介して岩盤上に設置されており、周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



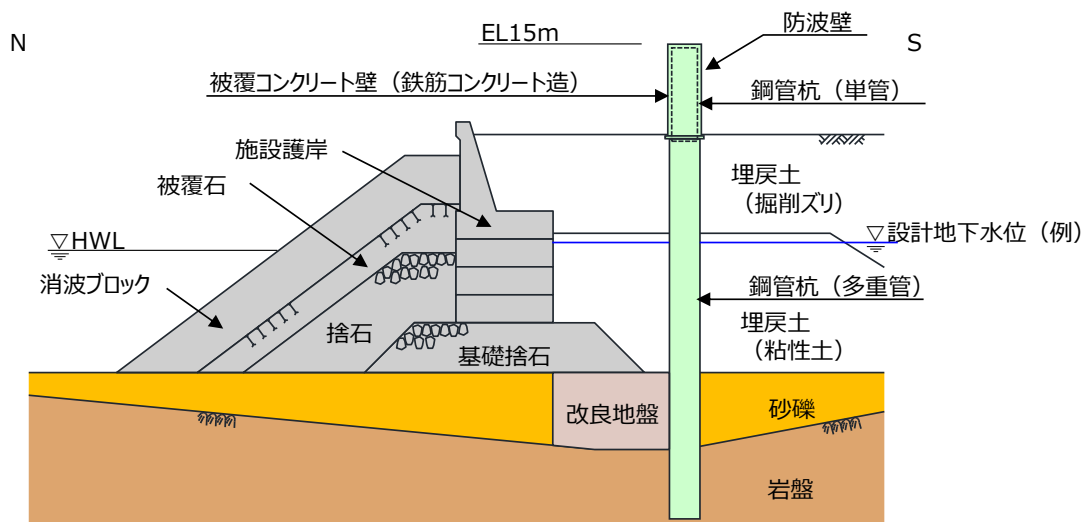
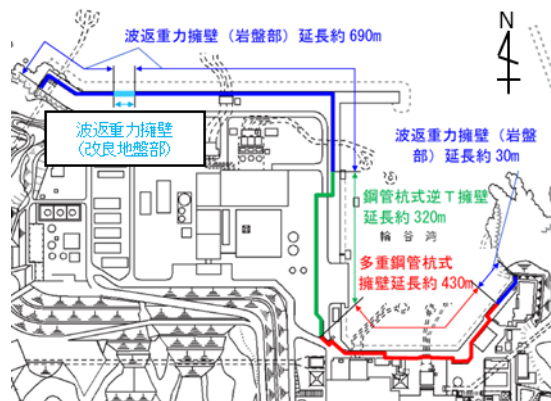
第4-2-8 図 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）①－①断面図



第4-2-9 図 屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) ②-②
断面図

・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

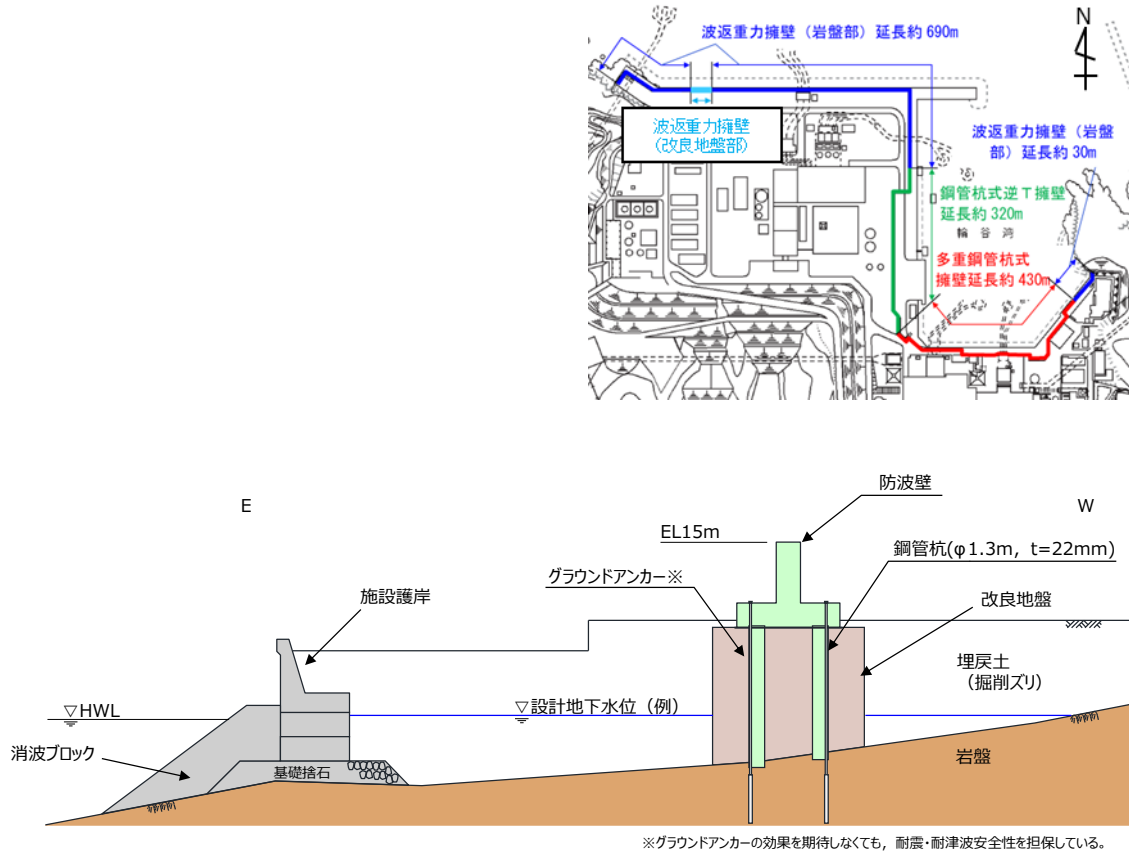
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における地下水位・設備の設置状況を第4-2-10 図に示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は鋼管杭（多重管）により岩盤支持されており、周辺は埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）及び砂礫層が分布している。



第4-2-10 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 断面図

・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

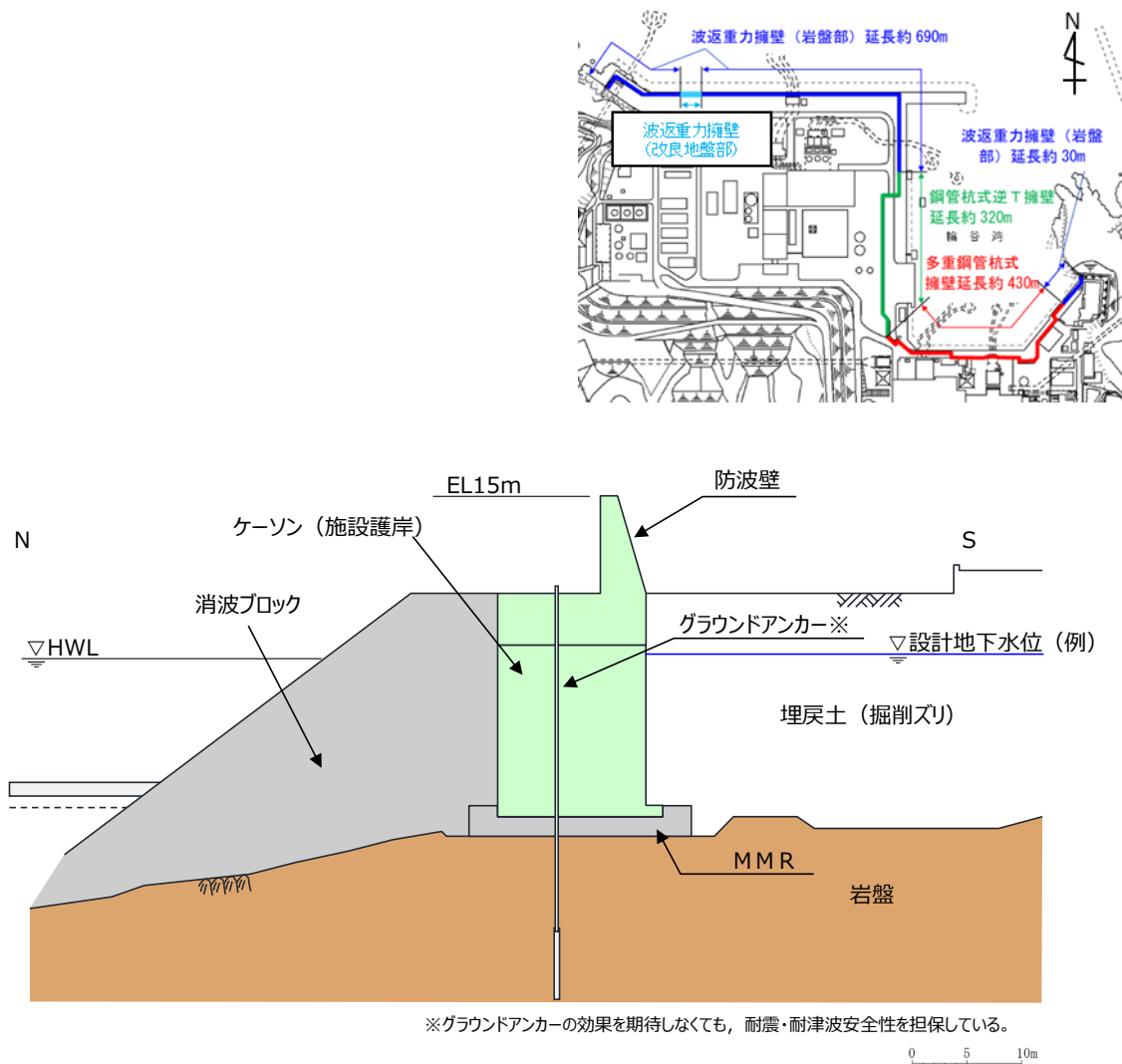
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設置状況を第4-2-11 図に示す。防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は鋼管杭により岩盤支持されており、周辺は改良地盤及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-11 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 断面図

・防波壁（波返重力擁壁）

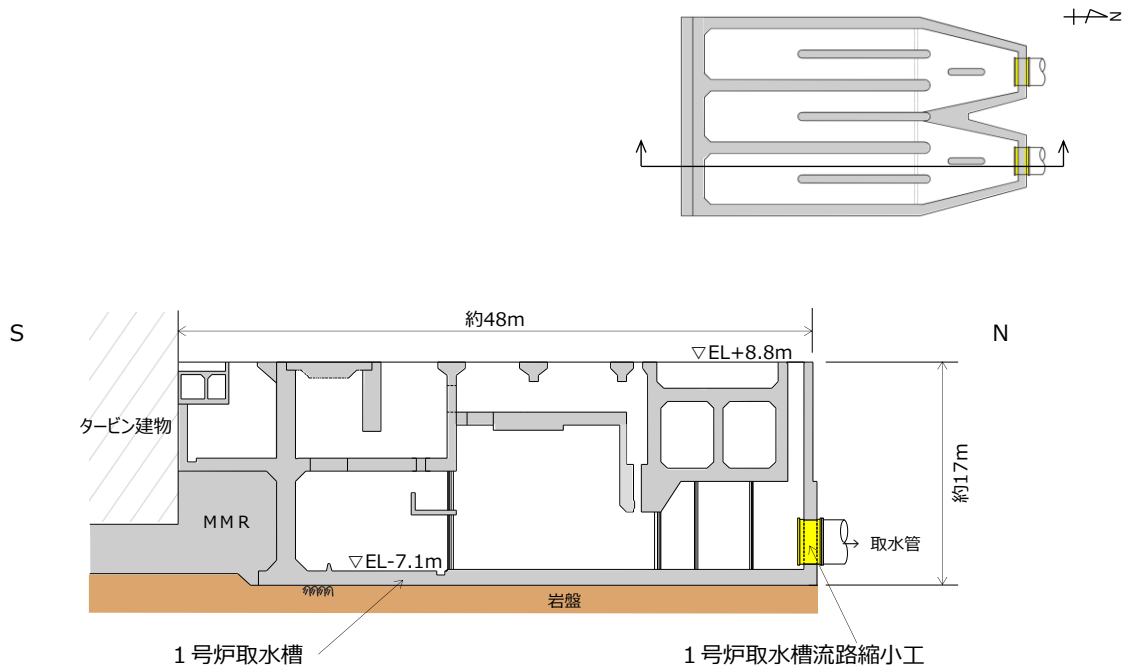
防波壁（波返重力擁壁）の設置状況を第4-2-12 図に示す。防波壁（波返重力擁壁）はMMRを介して岩盤上に設置されており，周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-12 図 防波壁（波返重力擁壁（岩盤部）） 断面図

- ・ 1号炉取水槽流路縮小工

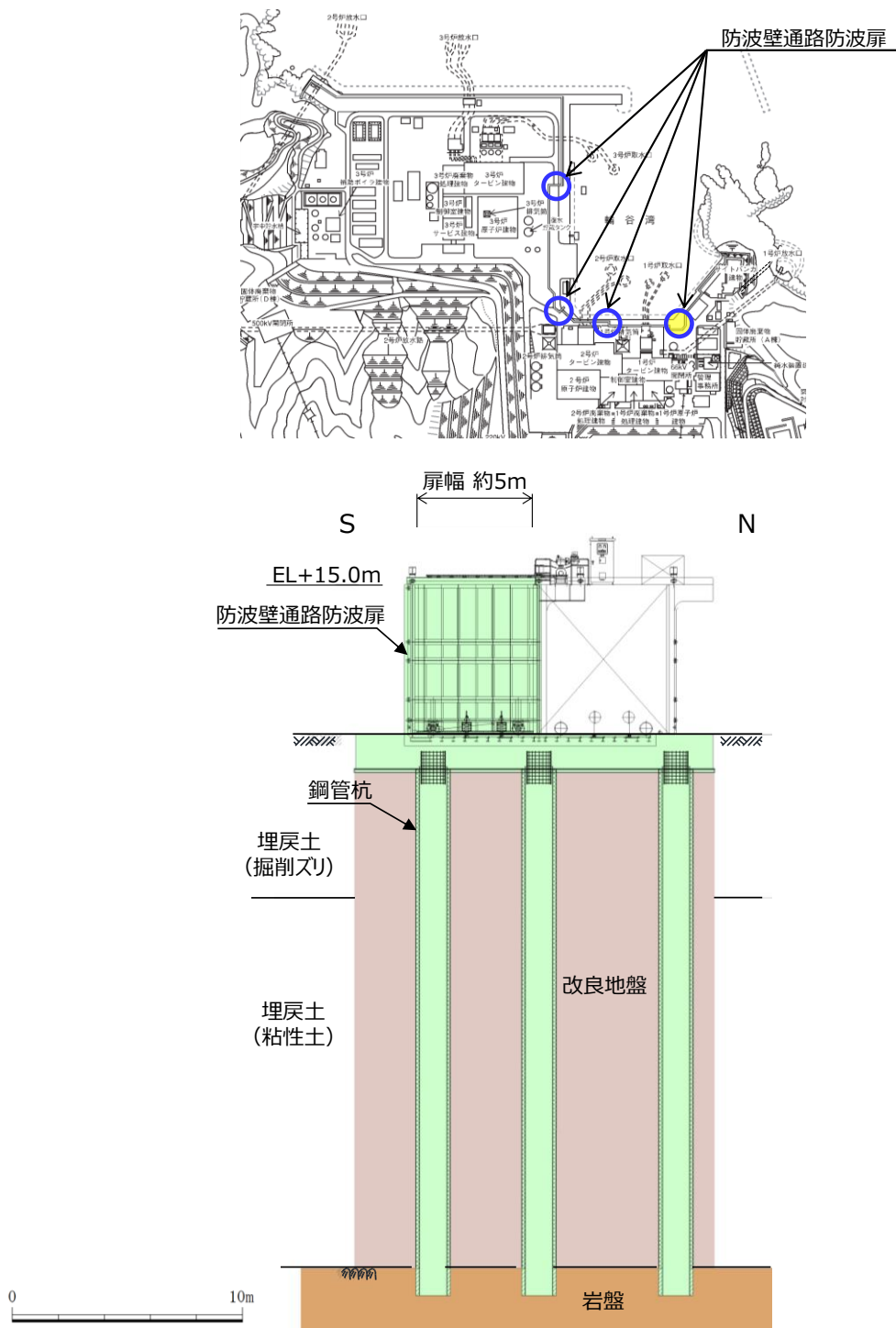
1号炉取水槽流路縮小工の設置状況を第4-2-13 図に示す。1号炉取水槽流路縮小工は1号炉取水槽北側壁を介して岩盤上に設置されており、周辺はMMR、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。



第4-2-13 図 1号炉取水槽流路縮小工 断面図

・防波壁通路防波扉

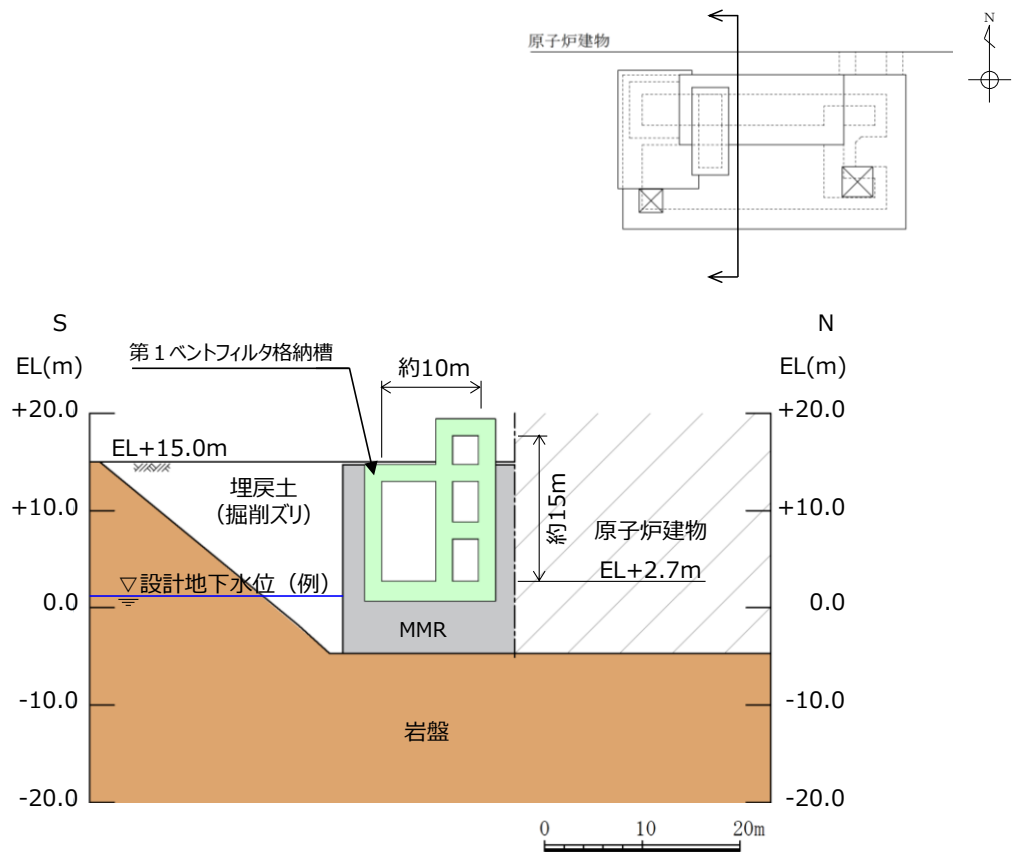
防波壁通路防波扉（1, 2号炉北側）の設置状況を第4-2-14 図に示す。防波壁通路防波扉（1, 2号炉北側）は鋼管杭により岩盤支持されており、周辺は改良地盤、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。



第4-2-14 図 防波壁通路防波扉（1, 2号炉北側） 正面図

・第1 ベントフィルタ格納槽

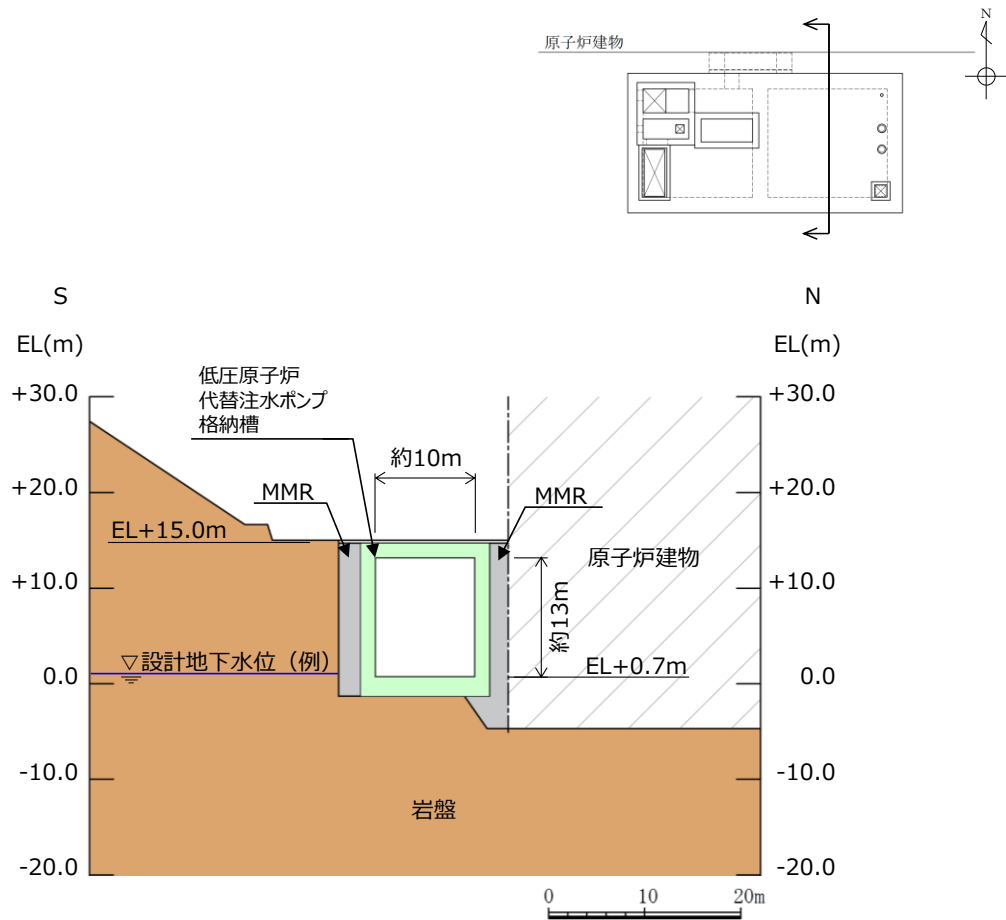
第1 ベントフィルタ格納槽の設置状況を第4-2-15 図に示す。第1 ベントフィルタ格納槽はMMRを介して岩盤上に設置されており、周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-15 図 第1 ベントフィルタ格納槽 断面図

・ 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の設置状況を第4-2-16 図に示す。低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は岩盤上に設置されており，周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-16 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図

5. 参考文献

- ・道路橋示方書：道路橋示方書・同解説（V耐震設計編），（社）日本道路協会，H24.3
- ・港湾基準：港湾の施設の技術上の基準・同解説，（社）日本港湾協会，H19年版
- ・港湾構造物設計事例集，沿岸技術研究センター，H19年版
- ・地盤工学会基準JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則（H18）
- ・地盤工学会，H21：地盤材料試験の方法と解説，平成21年11月
- ・安田，H3：液状化の調査から対策工まで，安田進，鹿島出版会，H3.5
- ・吉田，H22：地盤の地震応答解析，吉田望，鹿島出版会，H22.10
- ・土木学会，H15：過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響，土木学会地震工学委員会レベル2地震動による液状化研究小委員会 レベル2地震動による液状化に関するシンポジウム論文集，pp397-400，H15.6
- ・地盤工学会，H18：地盤工学用語辞典，pp219-220，H18.3
- ・井合進，H20：サイクリックモビリティCyclic Mobility，地盤工学会誌，56-8，H20.3
- ・吉見吉昭，H3：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，H3.5
- ・井合進，飛田哲男，小堤治（H20）：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，H20
- ・鉄道総合技術研究所（H24）：鉄道構造物等設計標準・同解説，H24.9
- ・Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T(1992): STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol,32, No. 2, pp.1-15.
- ・Iai. S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y. and Abiko, K. (1995): RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol,35, No.1, pp.115-131.
- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，（社）土木学会，H14年制定
- ・建築物荷重指針・同解説，日本建築学会，H16年版
- ・建築物の構造関係技術基準解説書，国土交通省住宅局建築指導課，国土交通省国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所，日本建築行政会議 監修，H19.8
- ・森田ら，H9：液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法，運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料，No.869，H9.6
- ・第四期FLIP研究会14年間のまとめWG，H23：液状化解析プログラムFLIPによる動的解析の実務，財団法人沿岸技術研究センター，H23.8
- ・地盤工学会，H22：土質試験 基本と手引き
- ・兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察：運輸省港湾技術研究所，港湾技研資料，No.813，H7

島根原子力発電所 2 号炉

既設設備に対する
耐震補強等について

1. はじめに

本資料では、建設工認あるいは改造工認（以下、併せて「既工認」という。）で認可されている構造からの変更点のうち耐震性に影響のあるものをまとめている。なお、本資料に記載している設備の構造については、詳細設計段階で追加変更が生じる可能性がある。

2. 既設設備の既工認からの構造変更点について

建物・構築物，機器・配管系，屋外重要土木構造物における既工認からの構造変更実績の一覧を添付資料1に示す。また、これらの構造変更実績のある設備について、変更点の概要を添付資料2に示す。添付資料2に示した各設備の構造変更を反映し、耐震評価を行う。

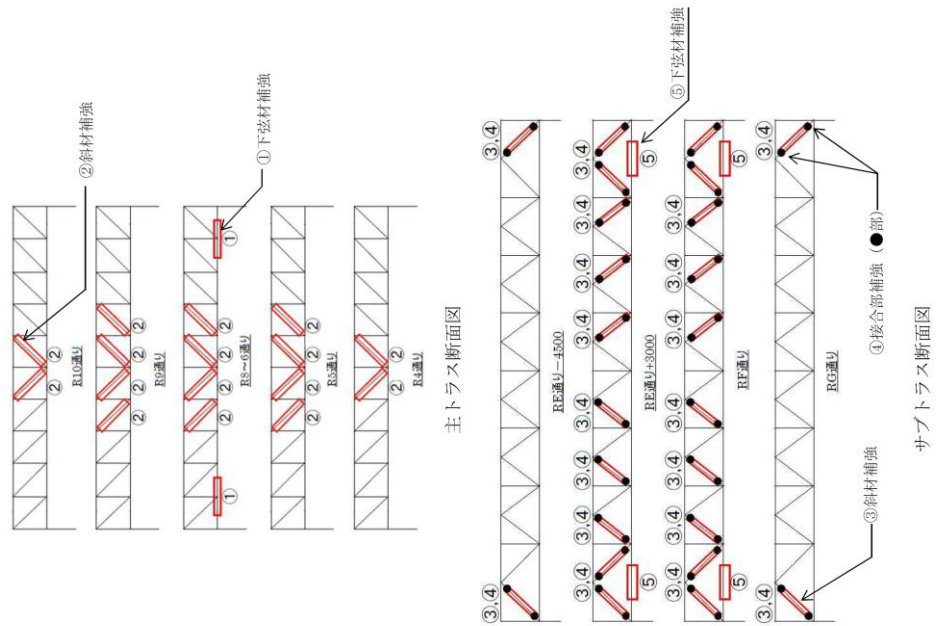
また、既設設備の構造変更に関して、設置変更許可申請段階の設計方針等の記載への反映要否について添付資料3に整理する。

島根 2 号炉 既工認からの構造変更実績のある設備

	施設・設備名称		構造変更の概要	備考	
建物・構築物	原子炉建物屋根トラス		・主トラス, サブトラスに補強材を追設		
	排気筒		・補助柱を追設 ・主柱リブ補強 ・鉄塔脚部補強		
機器・配管系	原子炉格納容器	スタビライザ	・フランジボルトの材質変更		
		電気配線貫通部	・支持構造物を追設		
	残留熱除去系熱交換器		・熱交換器の下部胴板に支持構造物を追設		
	原子炉補機冷却系熱交換器		・熱交換器脚部の支持構造物に補強部材を追設		
	制御棒駆動水圧系水圧制御ユニット		・架構部に補強部材を追設		
	原子炉補機海水ポンプ		・長尺化 ・支持構造物の追設および位置変更		
	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ		・長尺化 ・支持構造物の追設		
	圧力低減設備	ダウンコマ	・補強リブを追設		
		ベントヘッド	・支持構造物の取替		
		ベント管	・補強リブを追設		
	燃料取替機		・トロリ補強 ・ブリッジおよびトロリ脱線防止ラグ補強 ・走行レール交換		
	原子炉建物天井クレーン		・落下防止ラグおよびトロリストoppaの形状変更		
	配管系			・配管の追設	例として格納容器フィルタベント系配管を示す
				・サポートの追設および強化	例として残留熱除去系配管を示す
屋外重要土木構造物	取水槽		・スクリーン室に後施工せん断補強鉄筋を追設		

原子炉建物屋根トラスの耐震強化による変更点

変更概要

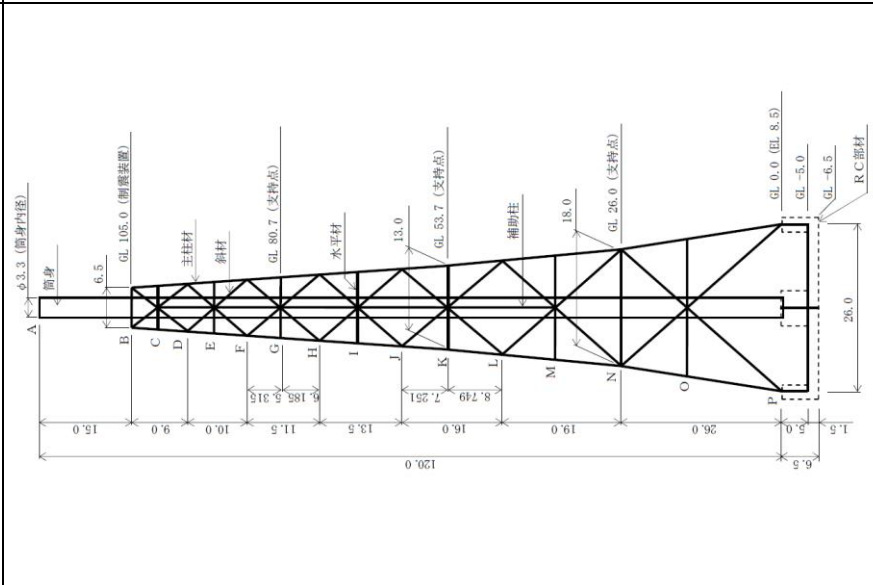
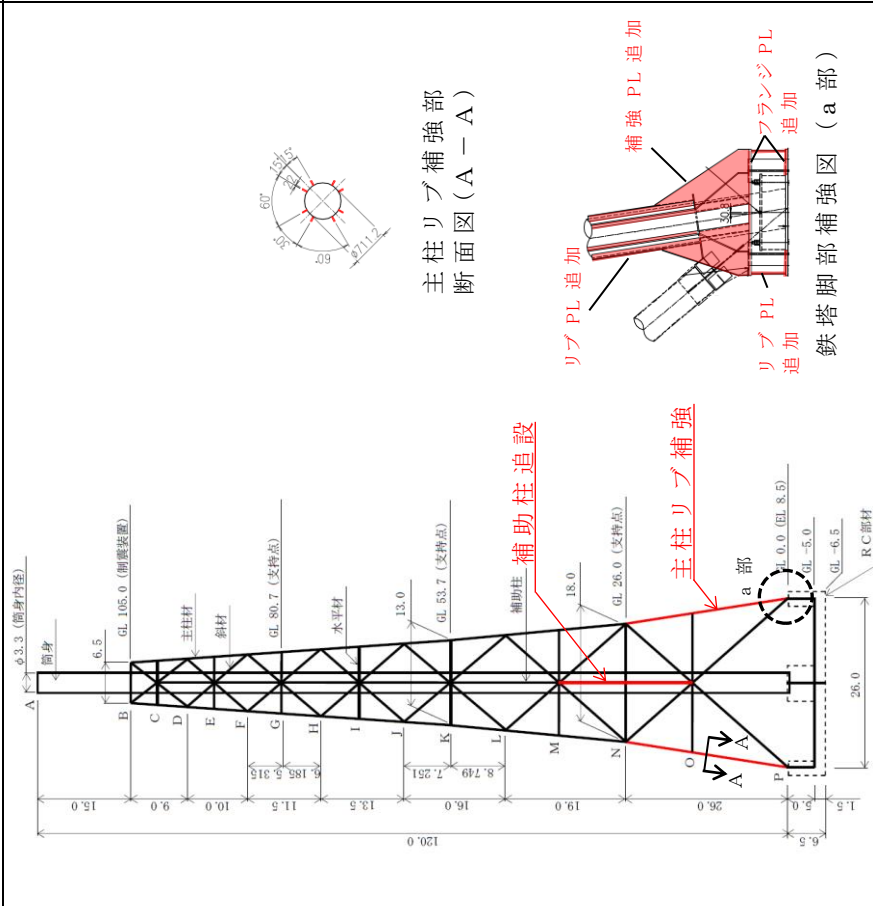


変更概要		備考	
No	箇所及び補強方法	補強前	補強後
①	主トラス下弦材 補強材追加		 補強材 PL-16 補強後
②	主トラス斜材 補強材追加		 補強材 4Ls-90×90×10 補強後
③	サブトラス斜材 補強材追加		 補強材 4Ls-65×65×6 補強後
④	サブトラス斜材 接合部補強		 接合部補強 (PL-19, ボルト) 補強後
⑤	サブトラス下弦材 補強材追加		 補強材 2Cs-150×75×9×12.5 補強後

備考

- ・主トラス
- ① 下弦材補強材追加
- ② 斜材補強材追加
- ・サブトラス
- ③ 斜材補強材追加
- ④ 接合部補強
- ⑤ 下弦材補強材追加

排気筒の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
		<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> • 補助柱を追設 • 主柱リブ補強 • 鉄塔脚部補強

原子炉格納容器（スタビライザ）の耐震強化による変更点

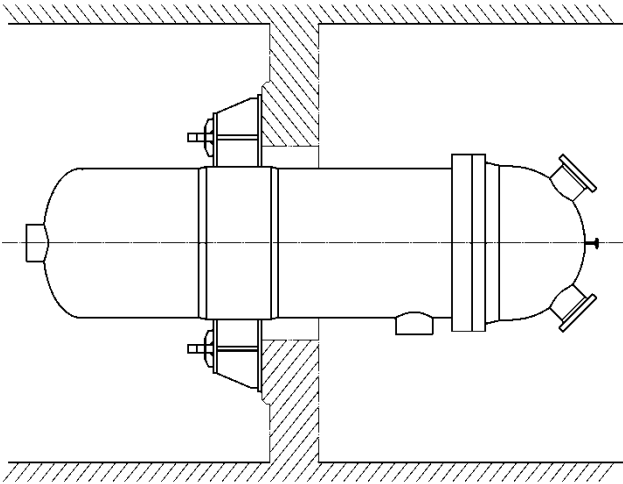
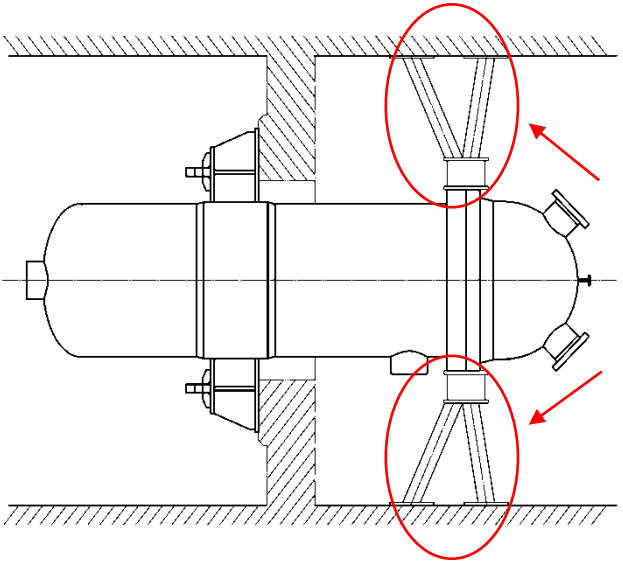
変更前	変更後	備考
	<p style="color: red; text-align: center;">フランジボルト取替</p>	<p>フランジボルトの材質変更 (SNCM439 → SNB24-1)</p>

図中変更なし

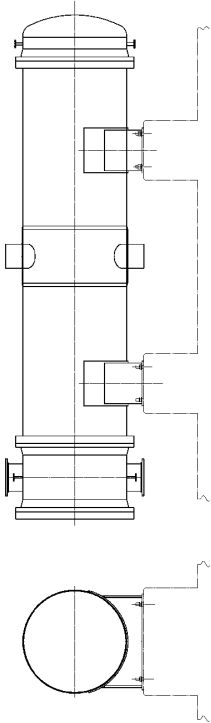
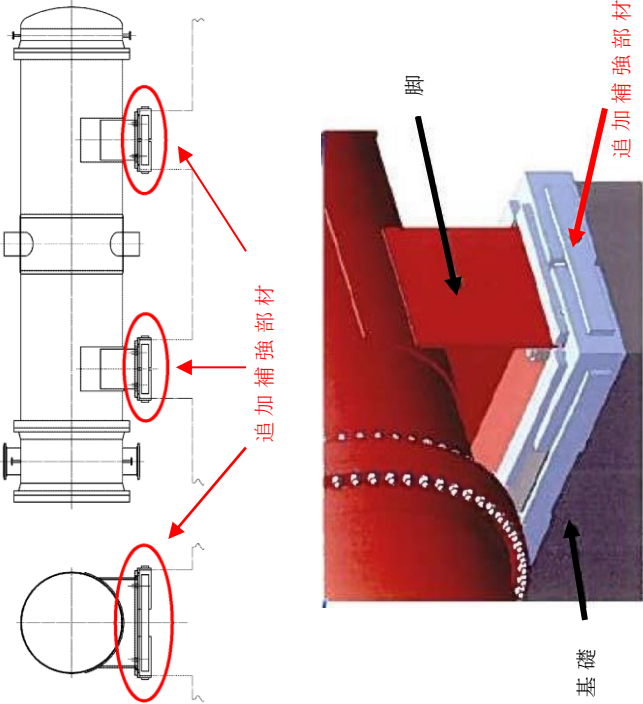
原子炉格納容器（電気配線貫通部）の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
		<p>支持構造物を追設</p>

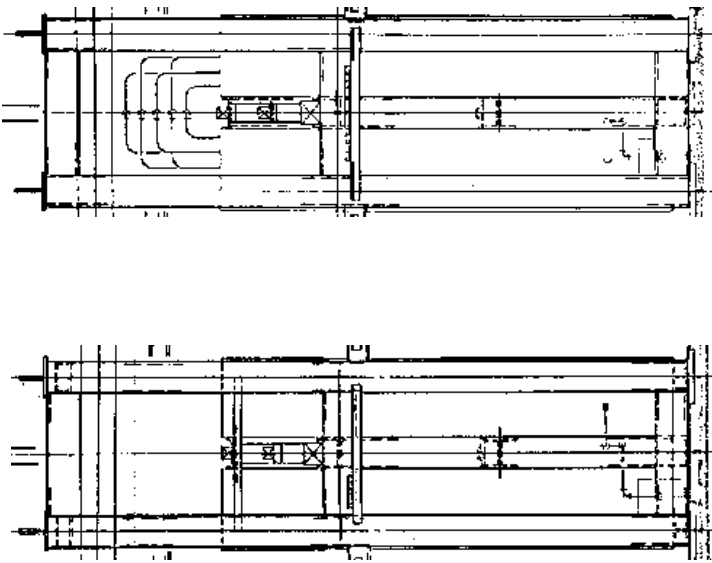
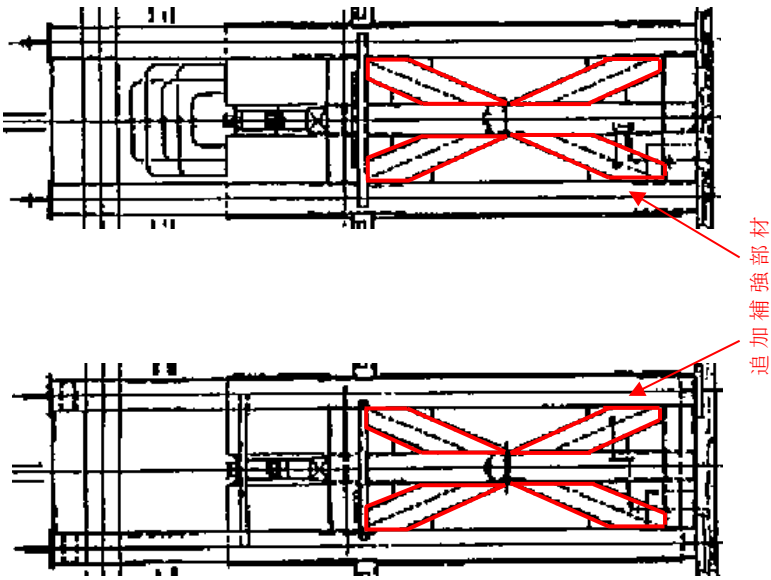
残留熱除去系熱交換器の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
	 <p data-bbox="1190 846 1219 1034">追加支持構造物</p>	<p data-bbox="421 362 450 439">備考</p> <p data-bbox="421 286 450 586">支持構造物を追設</p>

原子炉補機冷却系熱交換器の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
	 <p>追加補強部材</p> <p>追加補強部材</p> <p>追加補強部材</p> <p>脚</p> <p>基礎</p>	<p>補強部材を追設</p>

制御棒駆動水圧系水圧制御ユニットの耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
		<p>補強部材を追設</p>

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの長尺化による変更点

変更前	変更後	備考
		<ul style="list-style-type: none"> • ポンプを長尺化 • 支持構造物の追設

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

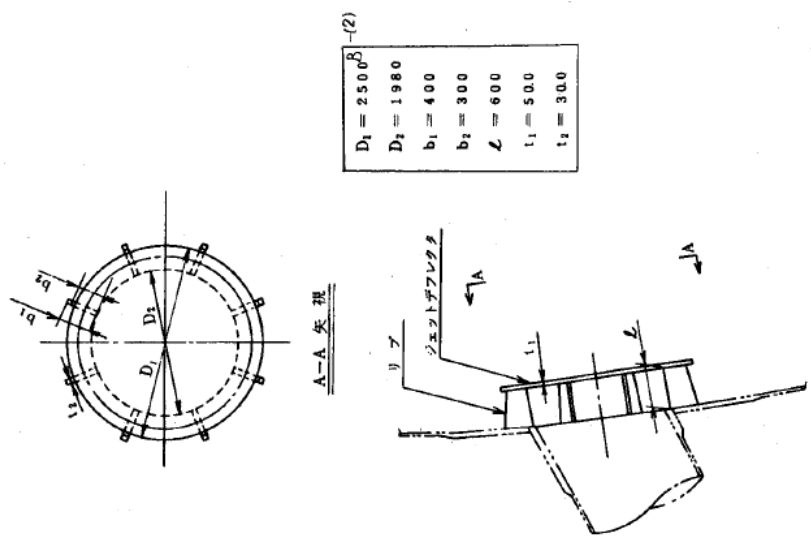
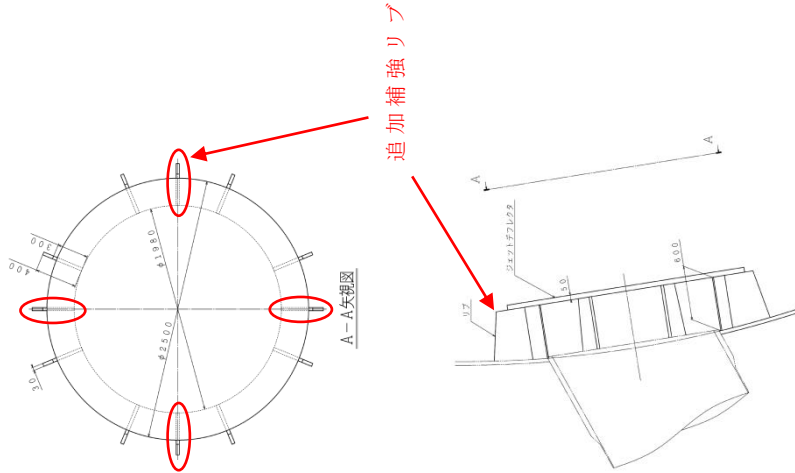
圧力低減設備（ダウンカマ）の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
		<p>補強リブを追設</p>

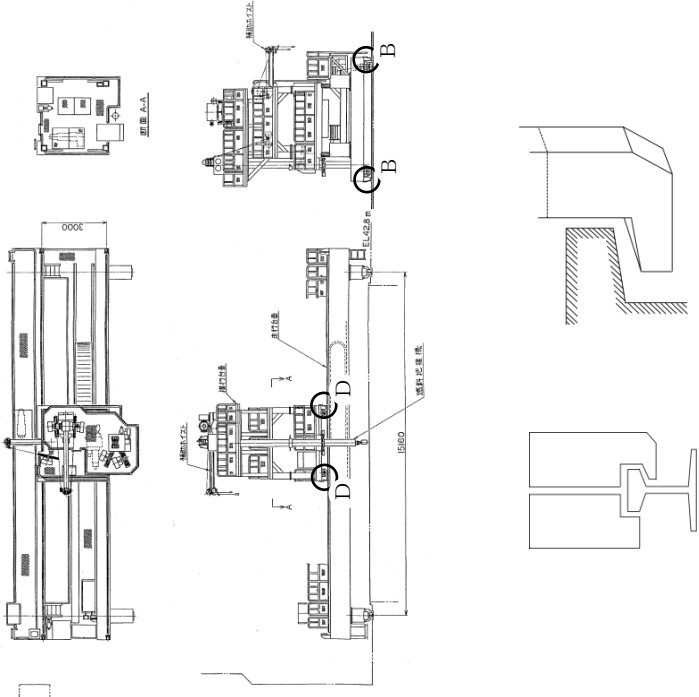
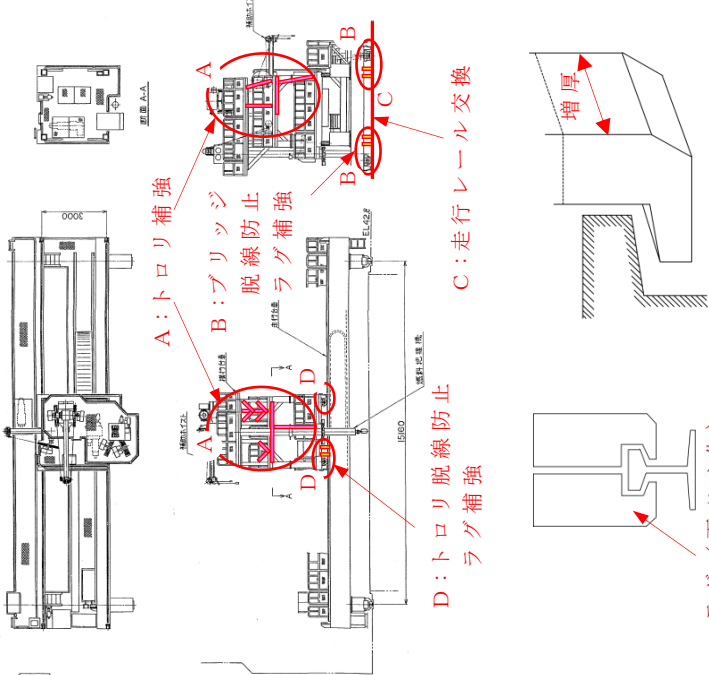
圧力低減設備（ベントヘッド）の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
<p> $L = 2554.8$ $d_1 = 75$ $d_2 = 73$ $d_3 = 75$ $b_1 = 75$ $b_2 = 51$ $b_3 = 150$ $b_4 = 80$ $t_1 = 190$ $t_2 = 360$ $t_3 = 3.6$ $t_4 = 0.8$ $t_5 = 120$ $t_6 = 200$ $t_7 = 120$ </p>	<p> $L = 2554.8$ $d_1 = 75$ $d_2 = 73$ $d_3 = 75$ $b_1 = 75$ $b_2 = 51$ $b_3 = 150$ $b_4 = 80$ $t_1 = 190$ $t_2 = 360$ $t_3 = 3.6$ $t_4 = 0.8$ $t_5 = 120$ $t_6 = 200$ $t_7 = 120$ </p> <p>支持構造物取替</p>	<p>備考</p> <p>支持構造物の取替</p>

圧力低減設備（ベント管）の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考							
 <p style="text-align: center;">A-A 矢視</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>$D_1 = 2500$</td> </tr> <tr> <td>$D_2 = 1980$</td> </tr> <tr> <td>$b_1 = 400$</td> </tr> <tr> <td>$b_2 = 300$</td> </tr> <tr> <td>$L = 600$</td> </tr> <tr> <td>$t_1 = 500$</td> </tr> <tr> <td>$t_2 = 300$</td> </tr> </table>	$D_1 = 2500$	$D_2 = 1980$	$b_1 = 400$	$b_2 = 300$	$L = 600$	$t_1 = 500$	$t_2 = 300$	 <p style="text-align: center;">A-A 矢視</p> <p style="text-align: center;">追加補強リブ</p>	<p>補強リブを追加</p>
$D_1 = 2500$									
$D_2 = 1980$									
$b_1 = 400$									
$b_2 = 300$									
$L = 600$									
$t_1 = 500$									
$t_2 = 300$									

燃料取替機の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
 <p>B, D:ブリッジおよびトロロリ脱線防止ラグ</p>	 <p>A:トロロリ補強 B:ブリッジ脱線防止ラグ補強 C:走行レール交換 D:トロロリ脱線防止ラグ補強 増厚</p> <p>B, D:ブリッジおよびトロロリ脱線防止ラグ補強</p>	<p>・A:トロロリ補強 〔一階柱, 二階柱, 二階床の追加および補強〕</p> <p>・B:ブリッジ脱線防止ラグ補強 〔片側2箇所→6箇所, 形状変更(厚さ, 両フック)〕</p> <p>・C:走行レール交換 〔サイズアップ〕</p> <p>・D:トロロリ脱線防止ラグ補強 〔片側2箇所→4箇所, 形状変更(厚さ, 両フック)〕</p>

原子炉建物天井クレーンの耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
<p>A:落下防止ラグ B:トロリストップ</p>	<p>A:落下防止ラグ (形状変更) B:トロリストップ (形状変更)</p>	<p>落下防止ラグの形状 トロリストップの形状</p> <p>落下防止ラグおよびトロリストップの形状変更</p>

配管系の変更点（配管の追設）

変更前	変更後	備考
		例として格納容器 フォトリソレジスト 配管（窒素ガス制御 系と非常用の連絡部 処理系を改造し、フ イタル装置に向かう 配管を追設）

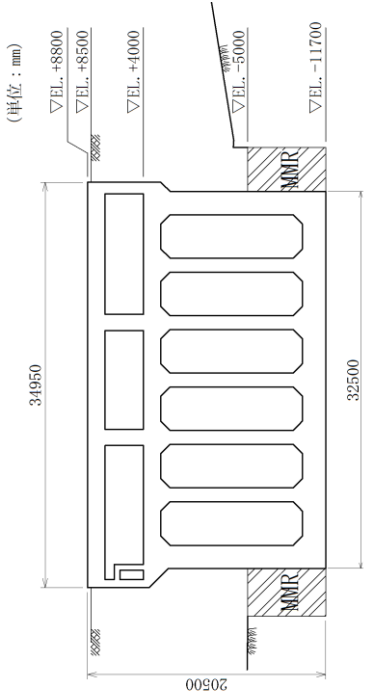
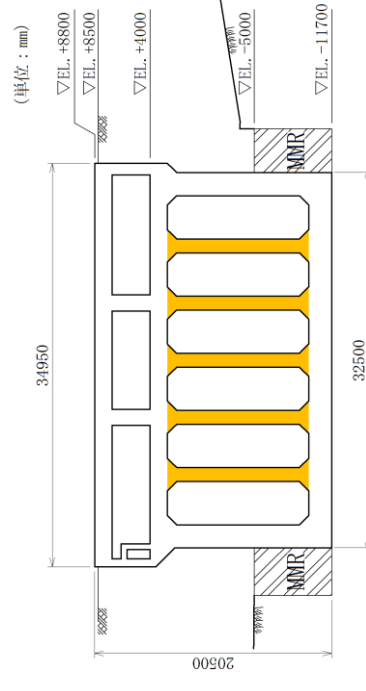
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

配管系の変更点（サポートの追設および強化）

変更前	変更後	備考
		例として残留熱除去系配管を 示す （配管の変更はなし） （配管系の耐震強化の例）

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

取水槽の耐震強化による変更点

変更前	変更後	備考
 <p>(単位：mm)</p> <p>▽EL. +8800 ▽EL. +8500 ▽EL. +4000 ▽EL. -5000 ▽EL. -11700</p> <p>34950 20500 32500</p> <p>MMR</p> <p>取水槽（スクリーン室）</p>	<p> : 後施工せん断補強鉄筋による補強箇所 </p>  <p>(単位：mm)</p> <p>▽EL. +8800 ▽EL. +8500 ▽EL. +4000 ▽EL. -5000 ▽EL. -11700</p> <p>34950 20500 32500</p> <p>MMR</p> <p>取水槽（スクリーン室）</p>	<p>スクリーン室に後施工せん断補強鉄筋（ポットボードバー工法）の追設</p>

既設設備の構造変更に対する設計方針等への記載反映の要否について

既設設備の構造変更に関して，設置変更許可申請段階の設計方針等の記載への反映要否について整理する。検討に際しては，設計方針等への反映が必要となる項目として①～③の観点で確認を行い，その整理結果を表 1 に示す。

① 解析手法

解析モデルの作成，地震応答解析，設計用減衰定数等の地震応答解析手法として，既往設計方針の記載の範囲に加えて，新たな解析手法を採用する。

② 許容限界

評価に用いる許容限界として，構造変更により既往設計方針の記載の範囲に加えて，新たな許容限界を採用する。

③ 主要構造

原子炉建物、原子炉格納容器等の主要施設に対する基本構造の記載に対して変更が生じる。

表 1 に示すとおり，既許可の設計方針等に反映すべき事項として，機器・配管系の解析手法における非線形時刻歴応答解析の適用が抽出されたが，既に設計方針等に反映しており，新たに記載すべき事項は抽出されなかった。

表1 構造変更に対する設計方針等への反映要否

	施設・設備 名称	構造変更の概要		設計方針等への反映の要否		
				項目	要否	備考
建物・ 構築物	原子炉建物 屋根トラス	・主トラス、サブトラスに補強材を追設		①解析手法	—	新たな解析手法を用いないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要
				③主要構造	—	基本構造に変更はないため、反映は不要
	排気筒	・補助柱を追設 ・支柱リブ補強 ・鉄塔脚部補強		①解析手法	—	新たな解析手法を用いないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要
				③主要構造	—	主要構造としての記載なし
機器・ 配管系	原子炉格納 容器	スタビライザ	・フランジボルトの材質変更	①解析手法	—	新たな解析手法を用いないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要
				③主要構造	—	基本構造に変更はないため、反映は不要
		電気配線 貫通部	・支持構造物を追設	①解析手法	—	新たな解析手法を用いないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要
				③主要構造	—	基本構造に変更はないため、反映は不要
	残留熱除去 系熱交換器	・熱交換器の下部胴板に支持構造物を追設		①解析手法	—	新たな解析手法を用いないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要
				③主要構造	—	主要構造としての記載なし
	原子炉補機 冷却系熱交換器	・熱交換器脚部の支持構造物に補強部材を追設		①解析手法	—	新たな解析手法を用いないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要
				③主要構造	—	主要構造としての記載なし
制御棒駆動 水圧系水圧 制御ユニット	・架構部に補強部材を追設		①解析手法	—	新たな解析手法を用いないため、反映は不要	
			②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要	
			③主要構造	—	主要構造としての記載なし	

	施設・設備 名称	構造変更の概要		設計方針等への反映の要否		
				項目	要否	備考
機器・ 配管系	原子炉補機 海水ポンプ	・長尺化 ・支持構造物の追設お よび位置変更		①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
				③主要構造	—	主要構造としての記載 なし
	高圧炉心ス プレイ補機 海水ポンプ	・長尺化 ・支持構造物の追設		①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
				③主要構造	—	主要構造としての記載 なし
	圧力低減設 備	ダウンカ マ	・補強リ ブを追 設	①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
				③主要構造	—	基本構造に変更はない ため、反映は不要
		ベントヘ ッド	・支持構 造物の 取替	①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
				③主要構造	—	基本構造に変更はない ため、反映は不要
		ベント管	・補強リ ブを追 設	①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要
				②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
				③主要構造	—	基本構造に変更はない ため、反映は不要
燃料取替機	・トロリ補強 ・ブリッジおよびトロ リ脱線防止ラグ補強 ・走行レール交換		①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要	
			②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要	
			③主要構造	—	主要構造としての記載 なし	

	施設・設備 名称	構造変更の概要	設計方針等への反映の要否		
			項目	要否	備考
機器・ 配管系	原子炉建物天 井クレーン	・落下防止ラグおよび トロリストッパの形 状変更	①解析手法	○	解析手法として非線形 時刻歴応答解析を使用 することを「第4条： 地震による損傷の防止 第1部 1. 基本方針 1.2 追加要求事項に 対する適合性 (2) 安 全設計 1.4 耐震設計 1.4.1 設計基準対象施 設の耐震設計 1.4.1.3 地震力の算定方法 (2) 動的地震力」に 反映済
			②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
			③主要構造	—	主要構造としての記載 なし
	配管系	・配管の追設	①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要
			②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
			③主要構造	—	基本構造に変更はない ため、反映は不要
		・サポートの追設およ び強化	①解析手法	—	新たな解析手法を用い ないため、反映は不要
			②許容限界	—	新たな許容限界を用い ないため、反映は不要
			③主要構造	—	基本構造に変更はない ため、反映は不要

	施設・設備 名称	構造変更の概要	設計方針等への反映の要否		
			項目	要否	備考
屋外重 要土木 構造物	取水槽	・スクリーン室に後施工せん断補強鉄筋を追設	①解析手法	○	解析手法として3次元FEMモデルによる静的非線形解析を使用することを「第4条：地震による損傷の防止 第1部 1.基本方針 1.2追加要求事項に対する適合性 (2) 安全設計 1.4 耐震設計 1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計 1.4.1.4 荷重の組合せと許容限界 (4) 許容限界」に 反映済
			②許容限界	—	新たな許容限界を用いないため、反映は不要
			③主要構造	—	主要構造としての記載なし