

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

水平 2 方向及び鉛直方向の
適切な組合せに関する検討について
(耐震)

目次

1. はじめに
 2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動
 - 2.1 柏崎刈羽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手法の考え方
 - 3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針
 - 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
 - 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
 - 3.4 浸水防止設備及び津波監視設備
 - 3.4.1 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
- 別紙 9-1 機器・配管系に関する説明資料
- 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のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。本資料は、検討対象施設における評価対象部位の抽出方法と抽出結果、並びに影響評価の方針について記すものである。

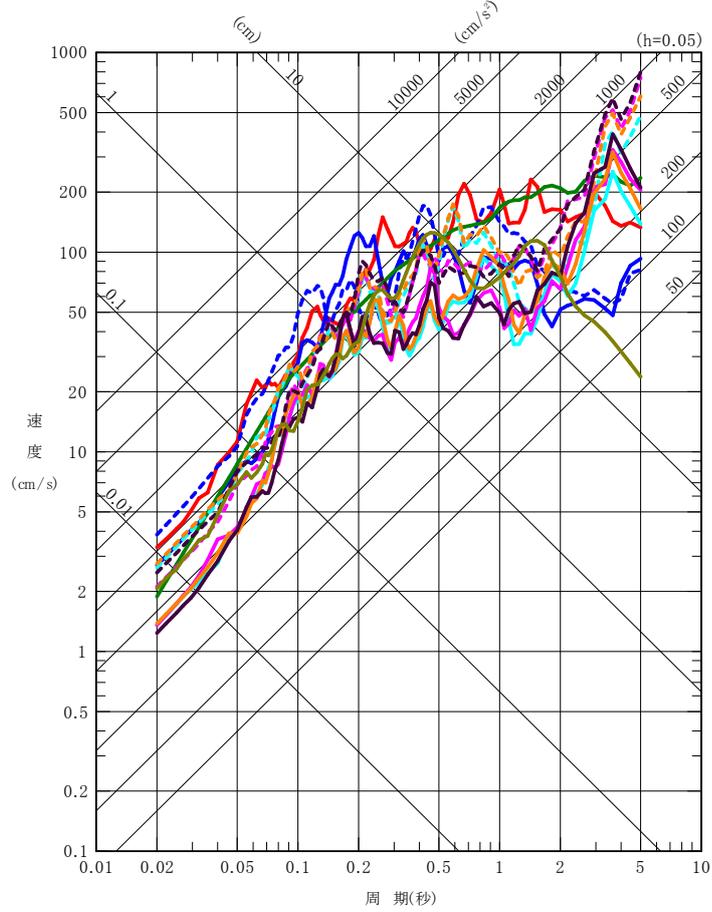
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

2.1 柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動

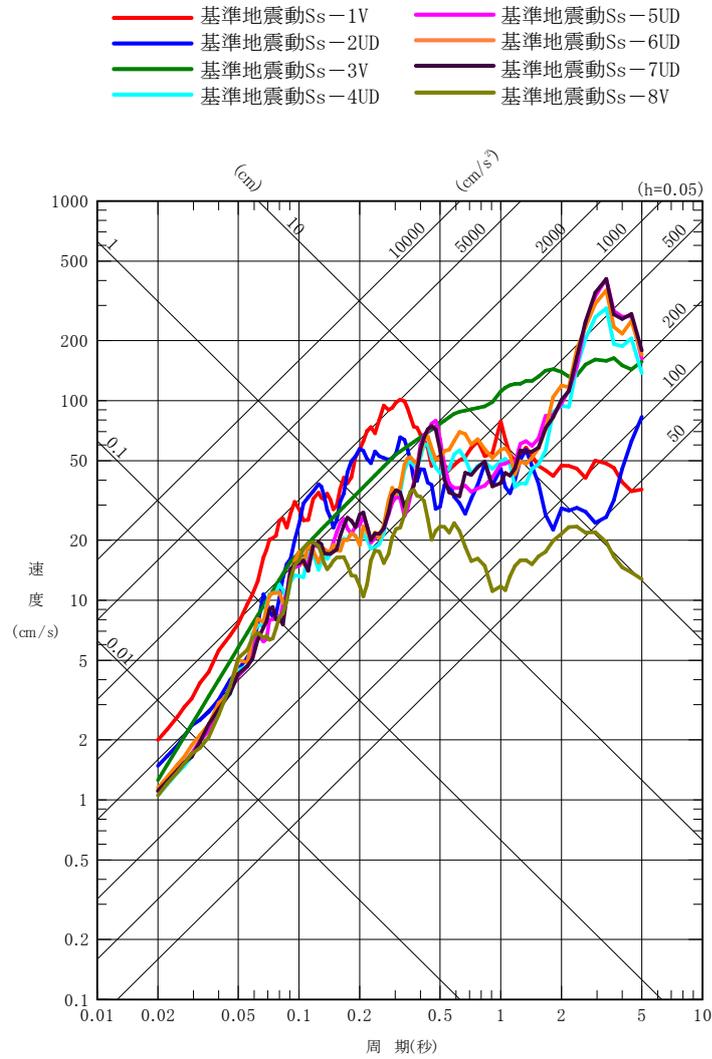
柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、その結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動として基準地震動 S_s-1 及び S_s-3 、断層モデルを用いた地震動として S_s-2 、 S_s-4 ～ S_s-7 を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動 S_s-8 を策定している。

基準地震動 S_s-1 ～ S_s-8 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-1 ～ S_s-8 のスペクトル図（鉛直方向）を第 2.1-2 図に示す。

- 基準地震動Ss-1H
- 基準地震動Ss-2NS
- - - 基準地震動Ss-2EW
- 基準地震動Ss-3H
- 基準地震動Ss-4NS
- - - 基準地震動Ss-4EW
- 基準地震動Ss-5NS
- - - 基準地震動Ss-5EW
- 基準地震動Ss-6NS
- - - 基準地震動Ss-6EW
- 基準地震動Ss-7NS
- - - 基準地震動Ss-7EW
- 基準地震動Ss-8H



第 2.1-1 図 基準地震動の応答スペクトル（水平方向）（大湊側）



第 2.1-2 図 基準地震動の応答スペクトル（鉛直方向）（大湊側）

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上で選定し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

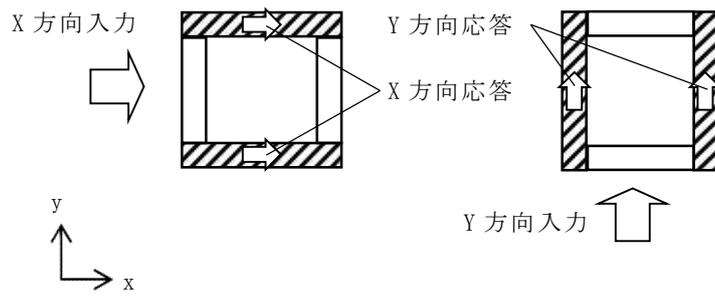
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルに方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子炉格納施設等における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

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。

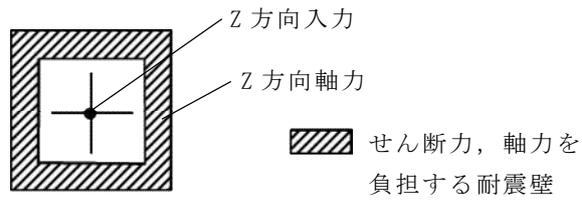
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に生じる軸力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

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。

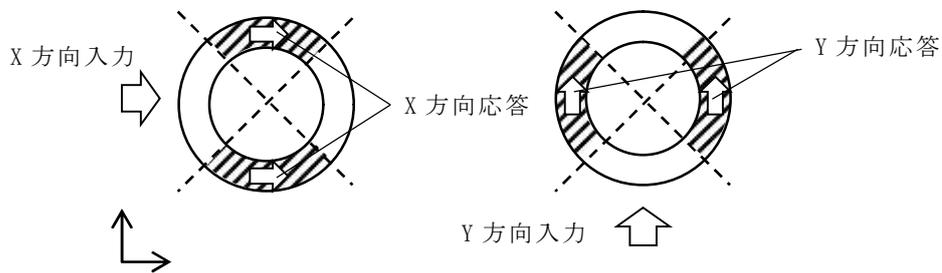


(a) 水平方向

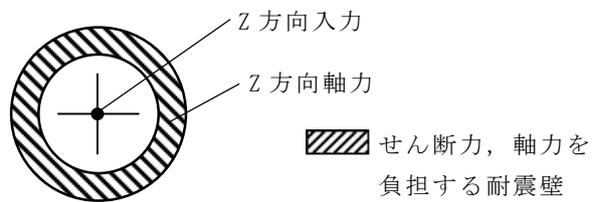


(b) 鉛直方向

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。

影響検討のフローを第 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、各建屋・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 次元的な建屋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次元解析モデルによる精査は、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、原子炉建屋(6号及び7号炉)及び原子炉格納容器(6号及び7号炉)の3次元解析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

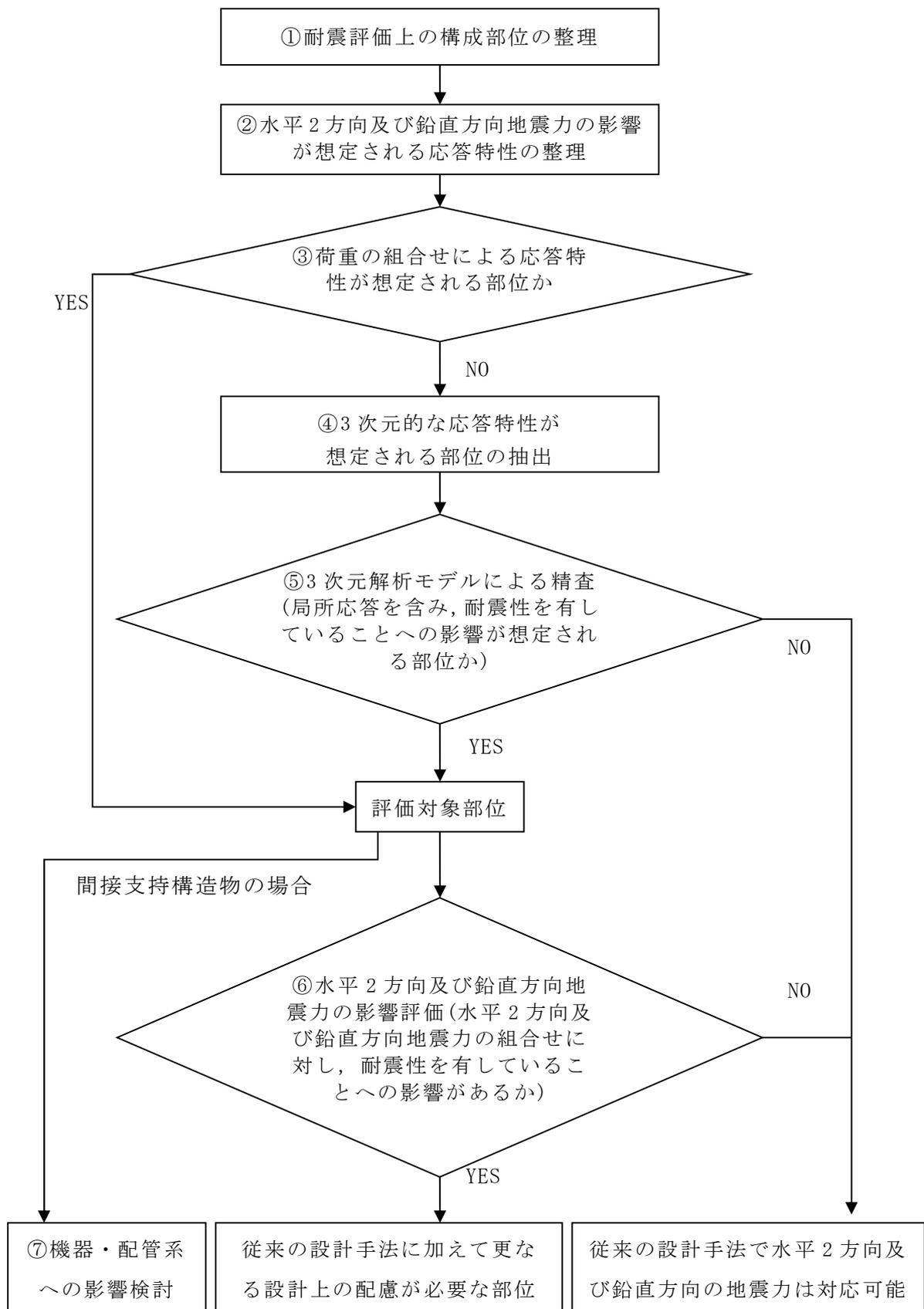
水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、従来設計手法の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果等を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92(注)の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)に基づいて地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力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)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。



第 3. 1. 2-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響検討のフロー

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（6号炉）（1/4）

耐震性評価部位		原子炉建屋			タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	
			原子炉 格納容器	使用済燃料 プール	上部鉄骨				上部鉄骨
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造			S 造, SRC 造, RC 造
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	隅部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	
壁	一般部	○	○	○	○	—	—	○	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—	
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	—	—	
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	
	杭基礎	—		—	—	—	—	○	

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の部材なし

※本表は，今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

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（7号炉）（2/4）

耐震性評価部位		原子炉建屋			タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	
			原子炉 格納容器	使用済燃料 プール	上部鉄骨				上部鉄骨
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造			S 造, SRC 造, RC 造
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	隅部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	
壁	一般部	○	○	○	○	—	—	○	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—	
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	—	—	
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	
	杭基礎	—		—	—	—	—	○	

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の部材なし

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（6号及び7号炉）（3/4）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	5号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
			RC造	RC造	上部鉄骨	RC造	復水貯蔵槽	
		RC造			S造, SRC造, RC造		RC造	S造, SRC造, RC造
柱	一般部	○	○	○	○	—	○	○
	隅部	○	○	○	○	—	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
梁	一般部	○	○	○	○	—	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
	鉄骨トラス	—	—	○	—	—	○	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	○
	地下部	○	○	—	○	—	—	○
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○
基礎	矩形	○	○	—	○	—	—	○
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の部材なし

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（6号及び7号炉）（4/4）

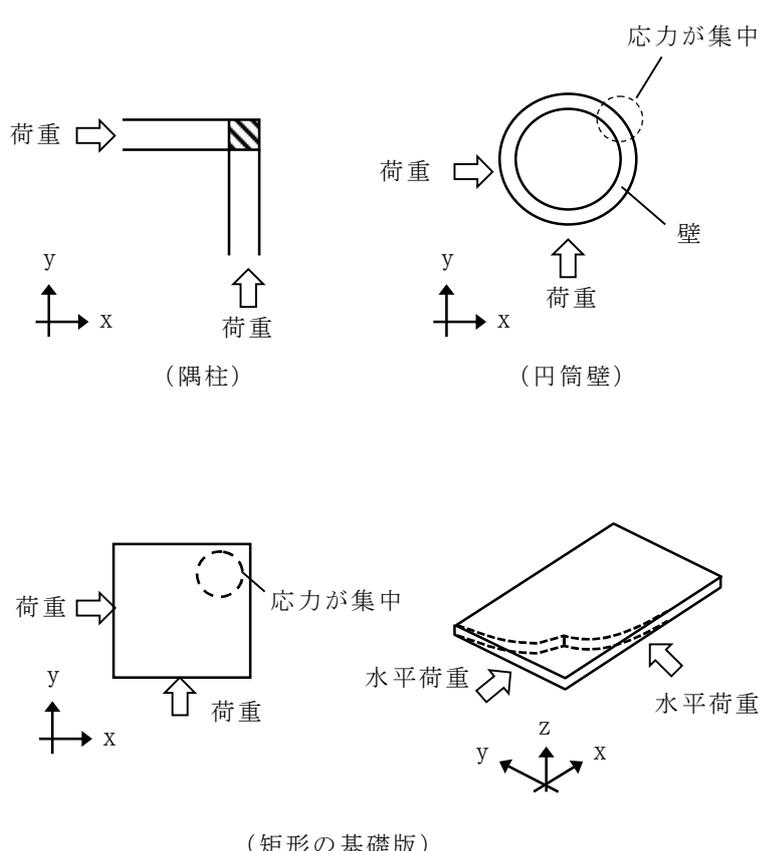
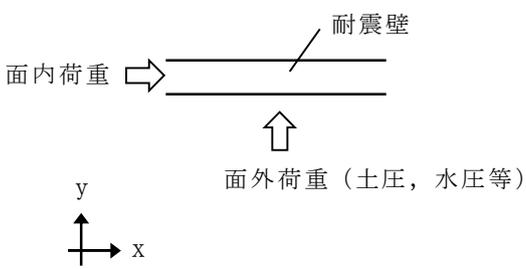
耐震性評価部位		5号炉タービン建屋		5号炉 サービス 建屋	5号炉 主排気筒	5号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC造	上部鉄骨			
					S造, SRC造 RC造	RC造
柱	一般部	○	○	○	—	—
	隅部	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	○	—	—
梁	一般部	○	○	○	○	—
	地下部	○	—	○	—	—
	鉄骨トラス	—	○	—	—	—
壁	一般部	○	—	○	—	○
	地下部	○	—	○	—	—
	鉄骨ブレース	—	○	—	○	—
床 屋根	一般部	○	○	○	—	—
基礎	矩形	○	—	○	○	○
	杭基礎	—	—	—	○	○

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の部材なし

(2) 応答特性の整理

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

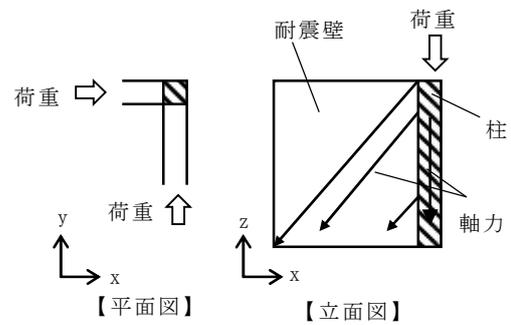
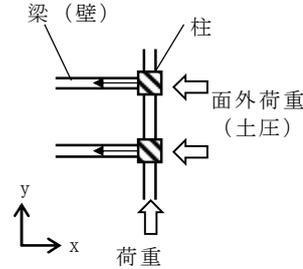
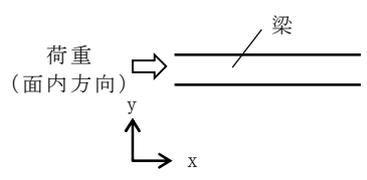
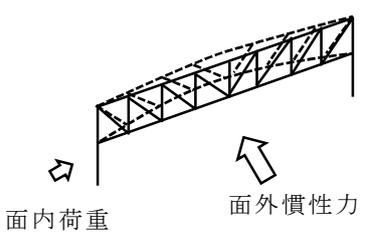
第 3.1.3-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

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</p> <p>(例)</p>  <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(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</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

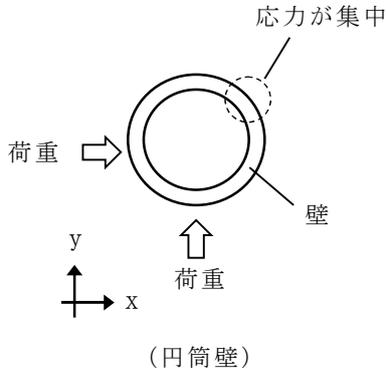
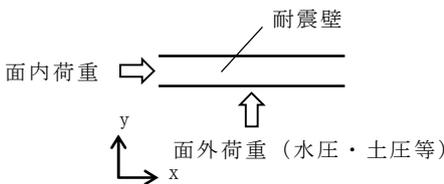
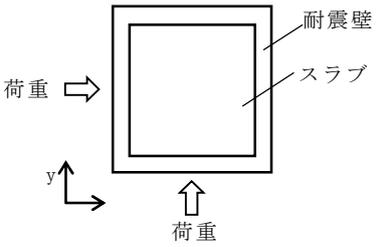
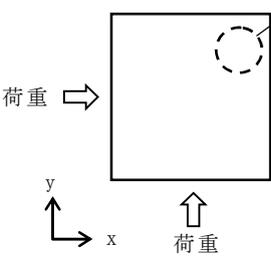
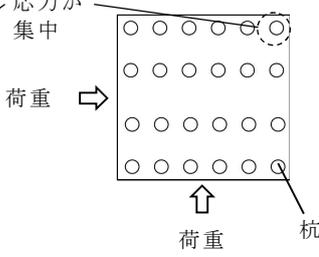
第 3.1.3-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

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

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

耐震評価上の構成部位		水平 2 方向入力のかえ方
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か影響は小さい。</p>  <p>【平面図】 【立面図】</p>
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向 (土圧) の荷重が作用する。ただし、外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にある梁及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
梁	一般部	<p>大スパン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 方向入力のかえ方 (2/2)

耐震評価上の構成部位		水平 2 方向入力のかえ方
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>応力が集中</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

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

建屋（RC 造）並びに原子炉建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋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。

主排気筒の隅柱が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。円筒壁は応力の集中が考えられるため、原子炉格納容器（6 号及び 7 号炉）の一般部の壁を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、土圧や水圧が作用する地下部やプール部が考えられ、各建屋の地下外壁、使用済燃料プール（6 号及び 7 号炉）・復水貯蔵槽（6 号及び 7 号炉）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」する部位としては、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屋、主排気筒（5号、6号及び7号炉）及び格納容器圧力逃がし装置基礎（5号、6号及び7号炉）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。また杭基礎を有する格納容器圧力逃がし装置基礎（5号、6号及び7号炉）及び主排気筒（5号炉）の基礎についても、①-1に該当するものとして抽出した。なお、原子炉格納容器の基礎については、原子炉建屋の基礎として抽出することとした。

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 (6 号炉) (1/4)
(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		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	S 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	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	①-1	—
	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	—
	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	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

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、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

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 (7 号炉) (2/4)
(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		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	S 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	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	①-1	—
	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	—
	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	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

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」

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 (6 号及び 7 号炉) (3/4)
(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		コントロール 建屋	5 号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
			RC 造	RC 造	上部鉄骨	RC 造	復水貯蔵槽	
		S 造, SRC 造, RC 造			RC 造		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
	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
	地下部	該当なし	該当なし	—	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
	地下部	該当なし	該当なし	—	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	①-2	該当なし	該当なし
	地下部	①-2	①-2	—	①-2	—	—	①-2
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	矩形	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」

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 (6 号及び 7 号炉) (4/4)
 (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		5 号炉タービン建屋		5 号炉 サービス 建屋	5 号炉 主排気筒	5 号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造			
柱	一般部	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	①-1	—
	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	—
	地下部	該当なし	—	該当なし	—	—
	鉄骨トラス	—	該当なし	—	—	—
壁	一般部	該当なし	—	該当なし	—	該当なし
	地下部	①-2	—	①-2	—	—
	鉄骨フレーム	—	該当なし	—	該当なし	—
床 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	—	—
基礎	矩形	①-1	—	①-1	①-1	①-1
	杭基礎	—	—	—	①-1	①-1

- 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」

(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屋の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済みであるため、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。

各建屋は、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

各建屋（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するため、面外方向の変形を抑制することから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」には該当しない。

原子炉建屋（5号、6号及び7号炉）、タービン建屋（5号、6号及び7号炉）及び廃棄物処理建屋の上部鉄骨部の梁一般部及び鉄骨トラス部は、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、主排気筒（5号、6号及び7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屋の壁については、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。

タービン建屋（6号及び7号炉）の鉄骨ブレースについては、上部架構の妻側片面にブレースが配置されていないため、②-2に該当するものとして抽出した。また、主排気筒（5号、6号及び7号炉）の鉄骨ブレースについては、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

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

e. 基礎

矩形の基礎及び杭基礎は、(3)の荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニングで抽出されている。

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 (6 号炉) (1/4)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	S 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	—	—	不要	不要	不要	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁	一般部	不要	—	—	②-1	不要	不要 (注 1)	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	不要 (注 1)	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	②-2	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	②-1	不要	不要 (注 1)	—	—
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

- 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、今後の審査進捗 (詳細設計) に応じて見直しを行います。

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 (7 号炉) (2/4)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	S 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	—	—	不要	不要	不要	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁	一般部	不要	—	—	②-1	不要	不要 (注 1)	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	不要 (注 1)	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	②-2	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	②-1	不要	不要 (注 1)	—	—
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

- 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。

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 (6 号及び 7 号炉) (3/4)
(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		コントロール 建屋	5 号炉原子炉建屋		廃棄物処理建屋			サービス 建屋
				上部鉄骨		復水貯蔵槽	上部鉄骨	
		RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造
柱	一般部	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
	地下部	不要	不要	—	不要	—	—	不要
梁	一般部	不要	不要	不要 (注 1)	不要	—	不要 (注 1)	不要
	地下部	不要	不要	—	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	要①-2	不要	不要
	地下部	要①-2	要①-2	—	要①-2	—	—	要①-2
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	不要	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要 (注 1)	不要	不要	不要 (注 1)	不要
基礎	矩形	要①-1	要①-1	—	要①-1	—	—	要①-1
	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。

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 (6 号及び 7 号炉) (4/4)
(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		5 号炉タービン建屋		5 号炉 サービス 建屋	5 号炉 主排気筒	5 号炉 格納容器 圧力逃がし 装置基礎
		RC 造	上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造			
柱	一般部	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	不要	不要	要①-1	—
	地下部	不要	—	不要	—	—
梁	一般部	不要	不要 (注 1)	不要	②-2	—
	地下部	不要	—	不要	—	—
	鉄骨トラス	—	不要 (注 1)	—	—	—
壁	一般部	不要	—	不要	—	不要
	地下部	要①-2	—	要①-2	—	—
	鉄骨フレス	—	不要	—	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要 (注 1)	不要	—	—
基礎	矩形	要①-1	—	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	—	—	—	要①-1	要①-1

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。

(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、下部に上位クラス施設がある、原子炉建屋（6号及び7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）について、重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する主排気筒（6号及び7号炉）の3次元的な応答特性について精査を行う。
タービン建屋（6号及び7号炉）の鉄骨ブレースについては、下部に上位クラス設備はないが、上部架構の妻側片面にブレースが配置されていないため、今後の詳細設計において、上部架構の3次元的な応答特性について精査の必要性の有無を含め検討する。
- 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、原子炉建屋（6号及び7号炉）及び原子炉格納容器（6号及び7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	・原子炉建屋（6号及び7号炉）	鉄骨トラスの下部に上位クラス設備がある，原子炉建屋（6号及び7号炉）の鉄骨トラスを評価する
②-2	梁	一般部	・ <u>主排気筒（6号及び7号炉）</u> ・主排気筒（5号炉）	重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する主排気筒の支柱材を評価する。
	壁	鉄骨 ブレース	・ <u>タービン建屋（6号及び7号炉）</u> ・ <u>主排気筒（6号及び7号炉）</u> ・主排気筒（5号炉）	重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する主排気筒の支柱材を評価する。 タービン建屋については，上部架構の3次元的な応答特性について精査の必要性の有無を含め検討する。
局所的な応答	耐震評価部位全般		・原子炉建屋（6号及び7号炉） ・原子炉格納容器（6号及び7号炉）	施設の重要性，建屋規模及び構造特性を考慮し，原子炉建屋（6号及び7号炉）及び原子炉格納容器（6号及び7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，今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

(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 FEM 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 FEM 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	・原子炉建屋 (6号及び7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	・主排気筒 (6号及び7号炉)	同上	同上
	壁	鉄骨ブレース	・タービン建屋 (6号及び7号炉) ^(注1) ・主排気筒 (6号及び7号炉)	同上	同上
局所的な応答	耐震評価部位全般		・原子炉建屋 (6号及び7号炉) ・原子炉格納容器 (6号及び7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」

(注1) 詳細設計において、上部架構の3次元的な応答特性について精査の必要性の有無を含め検討する。

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

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内筒を支持する主排気筒（6号及び7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。

壁（一般部）について、円筒壁であり直交する水平2方向の荷重により応力が集中すると考えられ原子炉格納容器（6号及び7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・杭基礎）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屋基礎（6号及び7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。また、重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する主排気筒（6号及び7号炉）の基礎については、3次元解析モデルによる精査にて、3次元的な応答特性を考慮した影響評価を行う。

(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使用済燃料プール（6号及び7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>主排気筒 (6号及び7号炉)</u> ・主排気筒 (5号炉) 	重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する主排気筒の支柱材を代表として評価する。
	壁	一般部	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>原子炉格納容器 (6号及び7号炉)</u> 	円筒壁であり直交する水平 2 方向の荷重により応力が集中するため原子炉格納容器を代表として評価する。
	基礎	矩形・杭基礎	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>原子炉建屋 (6号及び7号炉)</u> ・<u>タービン建屋 (6号及び7号炉)</u> ・<u>主排気筒 (6号及び7号炉)</u> ・格納容器圧力逃がし装置基礎 (5号, 6号及び7号炉) ・コントロール建屋 ・原子炉建屋 (5号炉) ・廃棄物処理建屋 ・サービス建屋 (5号, 6号及び7号炉) ・タービン建屋 (5号炉) ・主排気筒 (5号炉) 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。また、塔状構造物で重要設備である非常用ガス処理系用内筒を支持する主排気筒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>使用済燃料プール (6号及び7号炉)</u> ・復水貯蔵槽 ・原子炉建屋 (6号及び7号炉) ・タービン建屋 (6号及び7号炉) ・コントロール建屋 ・原子炉建屋 (5号炉) ・廃棄物処理建屋 ・サービス建屋 (5号, 6号及び7号炉) ・タービン建屋 (5号炉) 	上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料プールの壁を評価する。

(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、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

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) に基づい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	・主排気筒 (6号及び7号炉)	基準地震動 S_s -1~8まで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。
壁	一般部	・原子炉格納容器 (6号及び7号炉)	同上
基礎	矩形	・原子炉建屋 (6号及び7号炉) ・主排気筒 (6号及び7号炉)	同上
壁	水圧作用部	・使用済燃料プール (6号及び7号炉)	同上

※本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

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手法の考え方

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）に基準地震動を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

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

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

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

3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

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、耐震 B クラス設備については共振のおそれのあるものを評価対象とする。

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

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

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

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

水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 Ss-1~8 を対象とするが、複数の基準地震動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にて評価する。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響評価方法

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

① 評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備、共振のおそれのある耐震 B クラス施設を評価対象とし、代表的な機種ごとに分類し整理する（第3.2.3-1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方向の地震力が重複する観点、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、詳細検討の進捗に伴い③及び④を実施することとする。



第 3. 2. 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。

(1) 水平2方向の地震力が重複する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合、水平2方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の特徴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性状及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した（別紙9-1参照）。

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

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した（別紙9-1参照）。

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

原子炉圧力容器スタビライザは、周方向 8 箇所を支持する構造で配置され、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して分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同様のものと分類した（別紙 9-1 参照）。

D. 従来評価において、保守性（水平 2 方向の考慮を含む）を考慮した評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮済みとして分類した（別紙 9-1 参照）。

(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発生しない。

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機器は無かった。

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

3.2.4 で抽出した結果を別紙 9-1 に示す。これらの設備に関して、今後、3.2.3③「発生値の増分による抽出」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上で、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、建物・構造物及び屋外重要土木構造物の検討結果より機器・配管系の耐震性への影響を与えると判断された設備についても同様に発生値の増分の観点から評価対象部位の抽出を行った上で、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

第 3.2.4-1 表 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設備※1		部位	応力分類	
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部フランジ	一次一般膜応力	
		下部フランジ	一次膜応力+一次曲げ応力	
		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
				一次膜応力+一次曲げ応力
				軸圧縮応力
	上部格子板	シリンダプレート 下部胴		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
		リム胴板	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力	
	炉心支持板	グリッドプレート		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	補強ビーム 支持板		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
	制御棒案内管	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	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
			一次+二次応力	
			一次+二次+ピーク応力	
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ ハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
			一次+二次応力	
			一次+二次+ピーク応力	
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	座屈 (軸圧縮)	
			一次一般膜応力	
一次膜応力+一次曲げ応力				
一次+二次応力				
		一次+二次+ピーク応力		
		座屈 (軸圧縮)		

※1 本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

設備 ^{※1}		部位	応力分類		
原子炉圧力容器	ノズル	各部位	一次一般膜応力		
			一次膜応力+一次曲げ応力		
			一次+二次応力		
			一次+二次+ピーク応力		
			座屈（軸圧縮）		
	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力		
			一次膜応力+一次曲げ応力		
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力		
			一次膜応力+一次曲げ応力		
		蒸気乾燥器ホールダウンブラケット	一次一般膜応力		
			一次膜応力+一次曲げ応力		
		上部ガイドロッドブラケット 下部ガイドロッドブラケット	一次一般膜応力		
			一次膜応力+一次曲げ応力		
			純せん断応力		
		給水スパーチャブラケット 低圧注水スパーチャブラケット	一次一般膜応力		
			一次膜応力+一次曲げ応力		
			純せん断応力		
		原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート	一次膜応力+一次曲げ応力
					一次+二次応力
					一次+二次+ピーク応力
座屈（軸圧縮）					
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト		一次応力（引張）		
			一次応力（せん断）		
			一次応力（組合せ）		

設備 ^{※1}		部位	応力分類
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	一次応力 (引張)
		ブラケット	一次応力 (せん断) 一次応力 (曲げ)
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力 (せん断)
			一次応力 (圧縮)
			一次応力 (曲げ)
	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			支圧応力
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力
		耐震用ブロックせん断面	純せん断応力
		耐震用ブロック支圧面	支圧応力
	気水分離器及びスタンドパイプシュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	スパージャ 原子炉内配管	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
	使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力 (引張)
			一次応力 (せん断)
			一次応力 (組合せ)
基礎ボルト		一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
	サポート部材 サポート部基礎ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
	底部基礎ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	

設備 ^{※1}	部位	応力分類	
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー	一次一般膜応力	
		一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
		一次+二次+ピーク応力	
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能 用アキュムレータ (6号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用ア キュムレータ (6号炉)	Uバンド及びリブ	一次応力 (せん断)	
		一次応力 (曲げ)	
		一次応力 (組合せ)	
	ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
	支柱	一次応力 (せん断)	
一次応力 (曲げ) 一次応力 (組合せ)			
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用ア キュムレータ (7号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用ア キュムレータ (7号炉)	胴板	一次一般膜応力	
		一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
	脚	一次応力 (組合せ)	
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	
		一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
		脚	一次応力 (組合せ)
	基礎ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
	耐震強化サポート (7号炉のみ)	一次応力 (引張)	
一次応力 (せん断) 一次応力 (組合せ)			
	アンカボルト (7号炉のみ)	一次応力 (せん断)	
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	一次一般膜応力	
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断) 一次応力 (組合せ)	
ECCS ストレーナ	各部位 (ボルト以外)	一次膜応力+一次曲げ応力	
	ボルト	一次応力 (引張)	

設備 ^{※1}	部位	応力分類
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 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (圧縮)
		一次応力 (曲げ)
		一次応力 (組合せ)
	取付ボルト	一次応力 (引張)
一次応力 (せん断)		
一次応力 (組合せ)		
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力
		一次+二次応力
	基礎ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
核計装設備	各部位	一次一般膜応力
		一次膜応力+一次曲げ応力
伝送器 (矩形床置)	取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
伝送器 (矩形壁掛)	取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
伝送器 (円形壁掛)	取付ボルト	一次応力 (引張)
伝送器 (円形吊下)	取付ボルト	一次応力 (引張)
制御盤, 電源盤 (矩形壁掛)	取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
制御盤, 電源盤 (矩形床置)	取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)

設備 ^{※1}	部位	応力分類
原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート	圧縮ひずみ
		引張ひずみ
	ライナアンカ	変位
ドライウエル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力
	上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次+二次応力
	フランジプレート	せん断
		曲げ
	ガセットプレート	せん断
下部ドライウエルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付） 下部ドライウエルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）	鏡板	一次膜応力+一次曲げ応力
	鏡板のスリーブとの結合部	一次+二次応力
	スリーブのフランジプレートとの結合部	一次+二次応力
	フランジプレート	せん断
		曲げ
クエンチャサポート基礎	ガセットプレート	せん断
	ベアリングプレート	曲げ
	基礎ボルト	引張
	コンクリート	圧縮
		基礎ボルト引張荷重
	ベースプレート	引張
下部ドライウエルアクセストンネル	下部サポートパイプ(7号炉のみ)	せん断
		圧縮
上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サプレッション・チェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	各部位	組合せ
	胴板	一次一般膜応力
		一次膜応力+一次曲げ応力
		一次+二次応力
	胴板のフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力
		一次+二次応力
	フランジプレート	せん断
上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サプレッション・チェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック		曲げ
	ガセットプレート	せん断
	コンクリート部	圧縮

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉格納容器	下部ドライウェル機器搬入用ハッチ 下部ドライウェル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		胴板と鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次一般膜応力
	原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの結合部 端板	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			せん断
		フランジプレート	曲げ
			せん断
			コンクリート部
	原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		フランジプレート	せん断
			曲げ
			せん断
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ	引張	
		せん断	
		圧縮	
	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部（地震時水平力伝達用シアプレート） 原子炉本体基礎接合部（地震時水平力伝達用シアプレート） 原子炉本体基礎接合部（半径方向水平力伝達用頭付きスタッド）	せん断	
		曲げ	
		せん断	
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部 水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
ドライウェルスプレイ管 サプレッション・チェンバースプレイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	

設備 ^{※1}	部位	応力分類
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース	一次応力 (圧縮)
	ベース取付溶接部	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
一次応力 (組合せ)		
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次+二次応力
	スカート	一次応力 (組合せ)
		一次+二次応力 (座屈)
	基礎ボルト	一次応力 (引張)
一次応力 (せん断)		
一次応力 (組合せ)		
その他電源設備	取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
配管本体, サポート (多質点梁モデル解析)	配管, サポート	一次応力
		一次+二次応力
矩形構造の架構設備 (静的触媒式水素再結合装置, 架台を含む)	各部位	各応力分類
ガスタービン発電機	転倒評価	応答変位
	取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
一次応力 (組合せ)		
通信連絡設備 (アンテナ類)	ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
取水槽水位計	取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
監視カメラ	据付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
	据付部材	一次応力 (組合せ)

設備 ^{※1}		部位	応力分類
貫通部止水処置		シール材	シール材に生じる変位
浸水防止ダクト		各部位	各応力分類
床ドレンライン浸水防止治具		各部位	各応力分類
原子炉ウェル遮蔽プラグ		本体	せん断応力度
原子炉圧力容器支持構造	原子炉本体の基礎	円筒部(内筒)	せん断
		円筒部(外筒)	組合せ
		円筒部(たてリブ)	せん断
			組合せ
		アンカボルト	引張
		コンクリート	基礎ボルトの引張荷重
		ベアリングプレート	曲げ
		ブラケット部	せん断
曲げ			
ブラケット部下面の水平プレート		曲げ	
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	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		一次応力(組合せ)	
	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)	一次応力(せん断)	
		吊具荷重	
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		浮上り量	
	脱線防止ラグ	一次応力(圧縮)	
	トロリストッパ	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		一次応力(組合せ)	
トロリ	浮上り量		
吊具	吊具荷重		
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	
		圧縮	
		曲げ	
		組合せ	

3.3 屋外重要土木構造物

3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

屋外重要土木構造物における従来設計手法の考え方について、取水路を例に第 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は、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有することから、3 次元的な応答の影響は小さいため、2 次元断面での耐震評価を行っている。

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

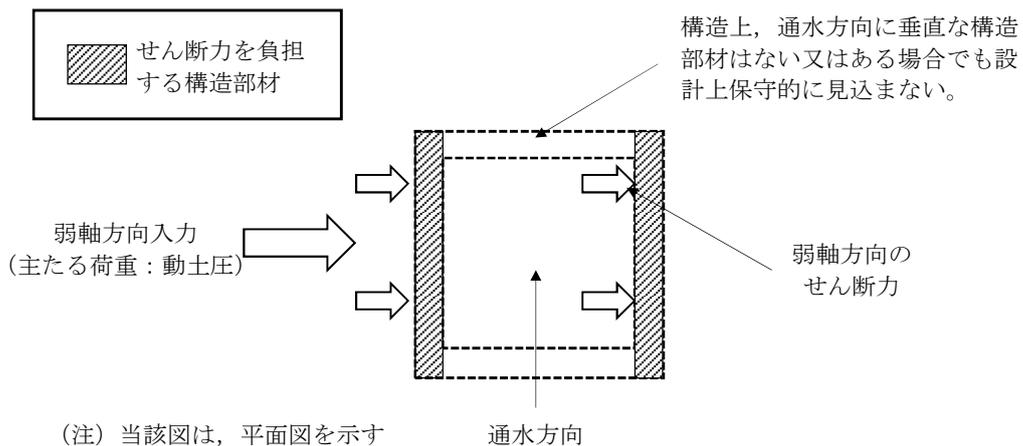
強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

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

屋外重要土木構造物のうち軽油タンク基礎は、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、従来設計では、長軸方向及び短軸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。

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（取水路の例）

	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		
	<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において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した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、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路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（取水護岸、燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁）とする。また、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の間接支持構造物のうち第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める。

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

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、水平2方向及び鉛直方向地震力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

屋外重要土木構造物について、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物形式の抽出

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

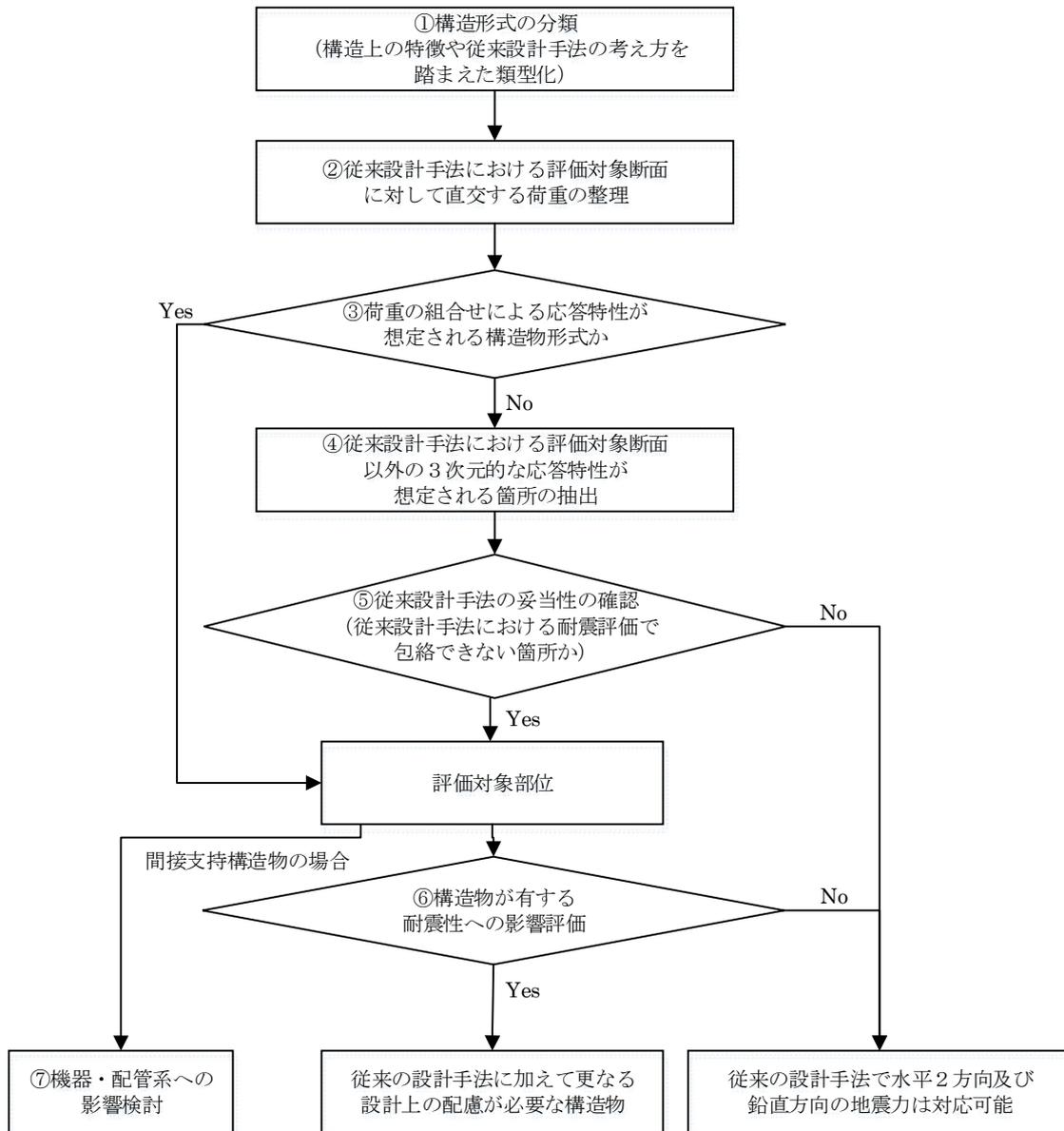
評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、構造部材の設計上の許容値に対する評価を実施し、構造部材が有する耐震性への影響を確認する。

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

⑦ 機器・配管系への影響検討

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。

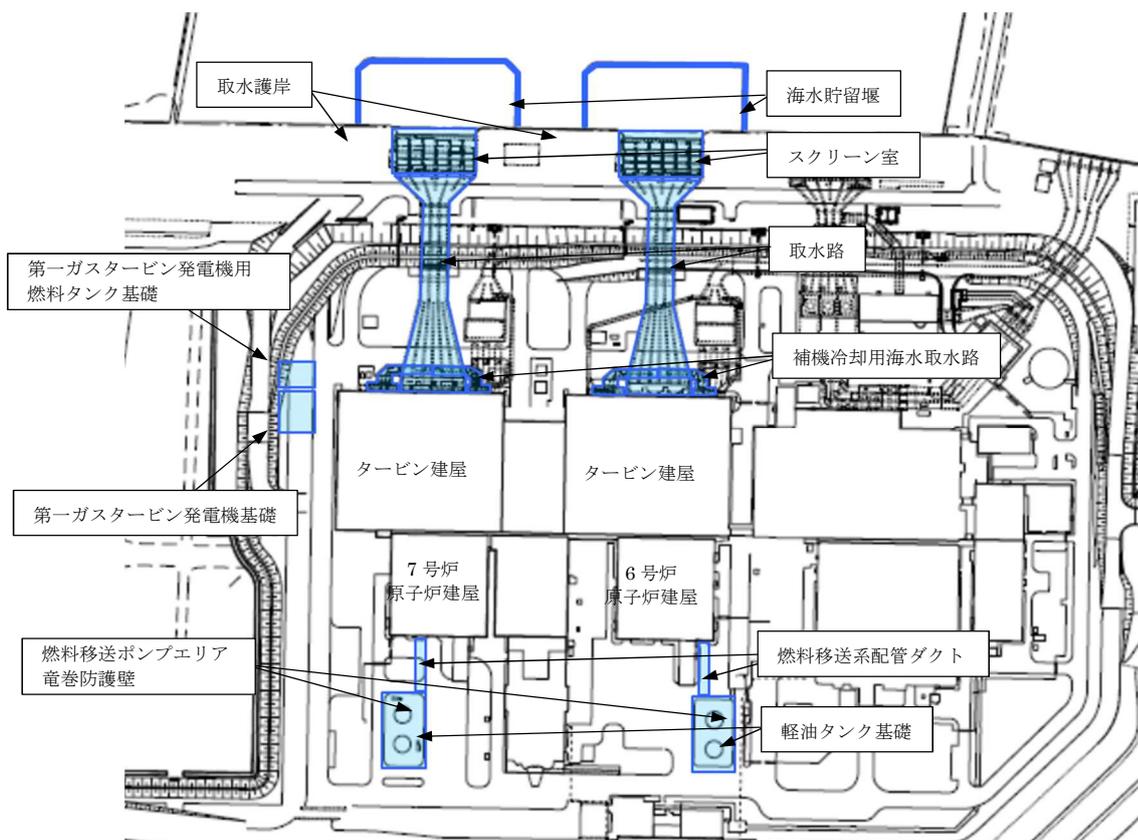


第 3.3.3-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価のフロー

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の配置図を示す。屋外重要土木構造物は、その構造形式より①燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路のような同一断面が連続する線状構造物、②軽油タンク基礎、第一ガスタービン発電機基礎、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎のような基礎構造物、③取水護岸のような護岸構造物、④燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁のような壁構造物の4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

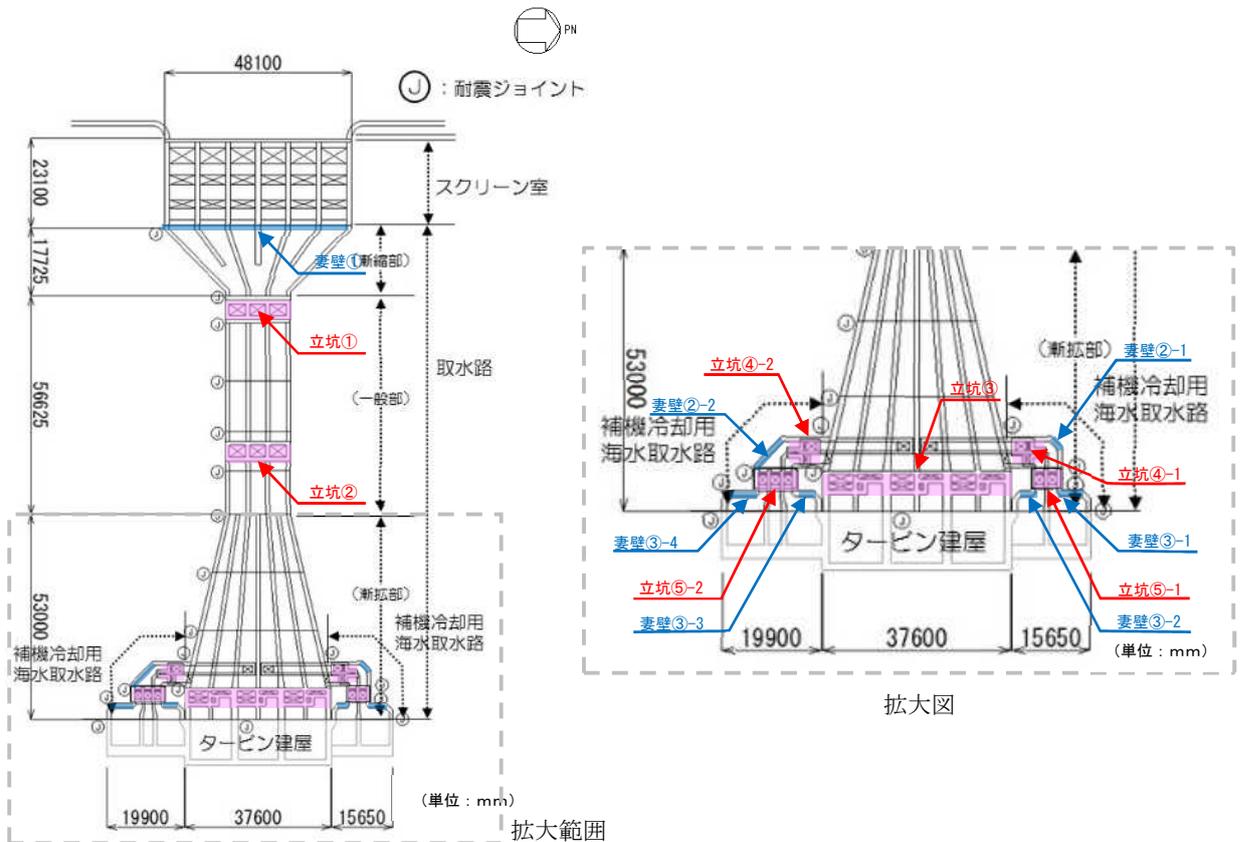
第 3.3.4-2 表に 3.3.4(1) で整理した構造形式ごとに 3.3.4(2) で整理した荷重作用による影響程度を示す。

屋外重要土木構造物の地震時の挙動は、屋外重要土木構造物がおおむね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。②や③は、①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による影響を考慮する。

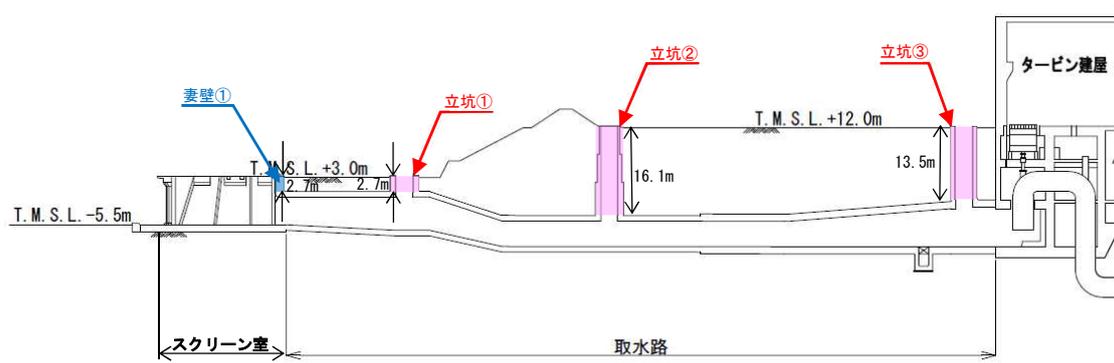
線状構造物、護岸構造物及び壁構造物については、その構造上の特徴として、大部分は従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①は作用しないが、取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在するとともに、スクリーン室及び補機冷却用海水取水路には妻壁部が存在する。当該箇所には立坑及び妻壁を介して評価対象断面に対して直交する①が作用する。

基礎構造物は、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とタンク等の機器重量に起因する③が作用する。

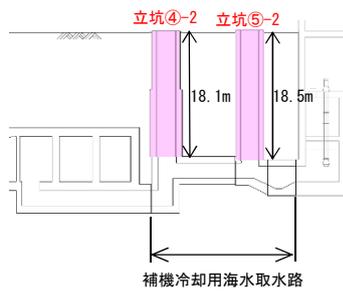
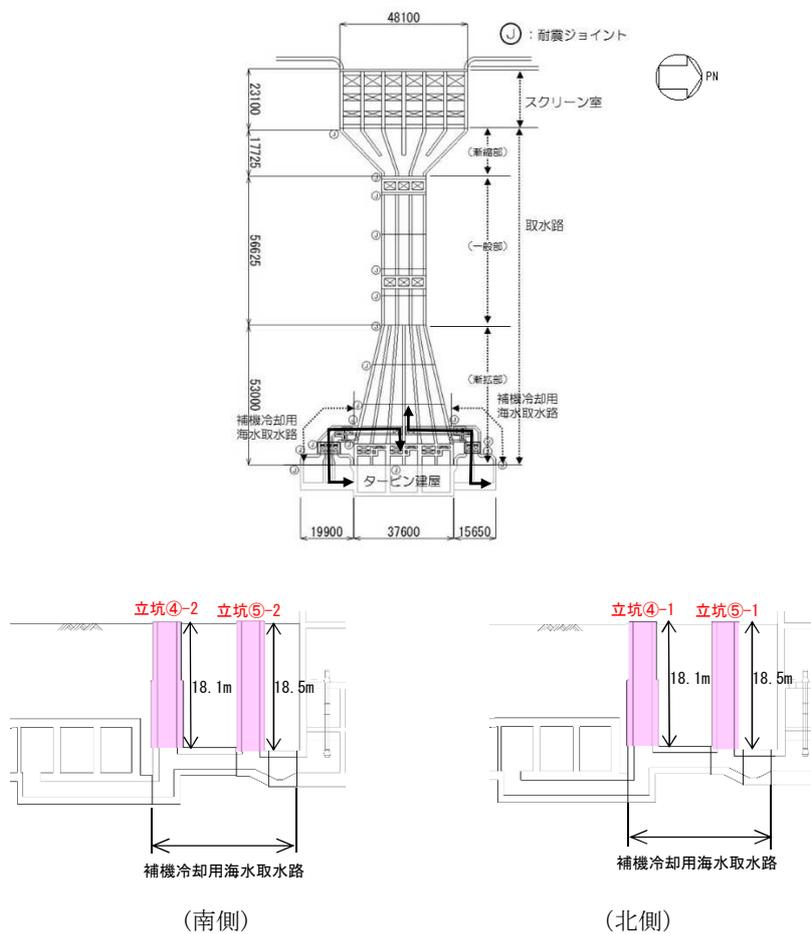
以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①が作用する取水路立坑部及び妻壁部と、①と③が作用する基礎構造物を抽出する。



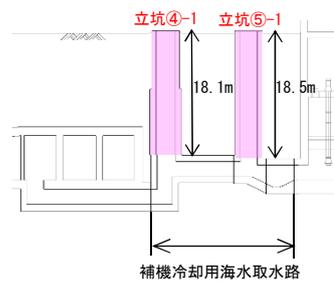
第 3.3.4-2 図 7 号炉スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路平面図



第 3.3.4-3 図 7号炉スクリーン室，取水路縦断面図



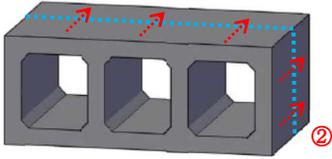
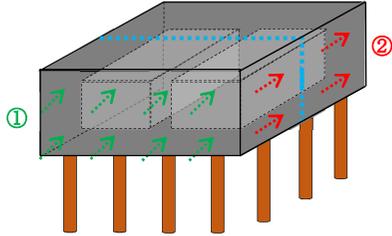
(南側)



(北側)

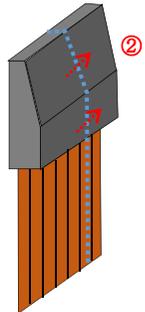
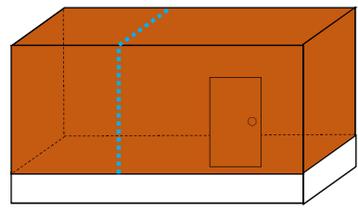
第 3.3.4-4 図 7号炉補機冷却用海水取水路縦断面図

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

3.3.4(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)	①線状構造物 (燃料移送系配管ダクト, 海水貯留堰, スクリーン室, 取水路, 補機冷却用海水取水路)	②基礎構造物 (軽油タンク基礎, 第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)												
3.3.4(2)で整理した荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="454 767 1182 928"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>作用しない</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>側壁, 頂版に作用</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>	①動土圧及び動水圧	作用しない	②摩擦力	側壁, 頂版に作用	③慣性力	全ての部材に作用	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p> <table border="1" data-bbox="1209 767 1944 928"> <tr> <td>①動土圧及び動水圧</td> <td>従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に作用</td> </tr> <tr> <td>②摩擦力</td> <td>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用</td> </tr> <tr> <td>③慣性力</td> <td>全ての部材に作用</td> </tr> </table>	①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に作用	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	③慣性力	全ての部材に作用
①動土圧及び動水圧	作用しない													
②摩擦力	側壁, 頂版に作用													
③慣性力	全ての部材に作用													
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する側面に作用													
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													
③慣性力	全ての部材に作用													
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度	<p>(一般部) 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。 (立坑部, 妻壁部) 取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在するとともに, スクリーン室及び補機冷却用海水取水路には妻壁部が存在する。立坑及び妻壁を介して①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</p>	<p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に, ①動土圧及び動水圧による荷重が, 底面にタンク等の機器重量に起因する③慣性力が作用するため影響大。</p>												
抽出結果	<p>一般部: × 立坑部: ○ 妻壁部: ○</p>	<p>○</p>												

(○: 影響検討実施)

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

3.3.4(1)で整理した構造形式の分類 (対象構造物)	③護岸構造物 (取水護岸)	④壁構造物 (燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁)		
3.3.4(2)で整理した荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>		
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	作用しない
	②摩擦力	上部工背面に作用	②摩擦力	作用しない
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず、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。		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するが、地上構造物であり①動土圧及び動水圧並びに②摩擦力による荷重が作用しないため影響小。	
抽出結果	×		×	

(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

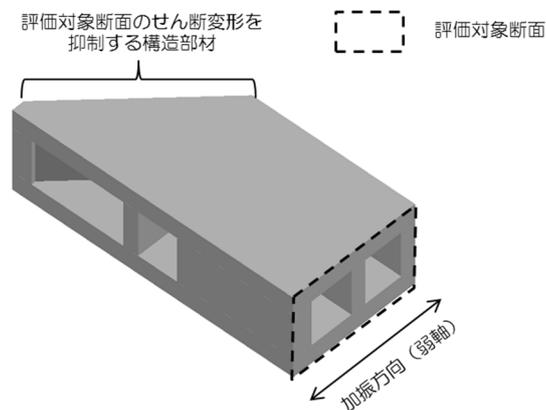
線状構造物として大別した補機冷却用海水取水路は、構造物の配置上、屈曲部を有する。線状構造物の屈曲部では、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。

以上のことから、補機冷却用海水取水路の屈曲部について水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する。

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

補機冷却用海水取水路の従来設計では、第 3.3.4-5 図に示すとおり、屈曲部（妻壁②）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。また、補機冷却用海水取水路は直接若しくはマンメイドロックを介して西山層に設置されており、躯体が底版で拘束されていることから、屈曲部における強軸方向の曲げの影響はない。

以上のことから、補機冷却用海水取水路における屈曲部での水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は、従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。



第 3.3.4-5 図 屈曲部における 3 次元的な拘束効果

(6) 構造物が有する耐震性への影響評価（評価対象部位の抽出）

3.3.4(3)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線状構造物の立坑部及び妻壁部と基礎構造物を対象とする。

a. 立坑部

取水路及び補機冷却用海水取水路の立坑部は、水路上部に複数箇所存在（立坑①～⑤）する。このうち、従来評価における評価対象断面に対して直交する荷重として支配的な動土圧及び動水圧を受ける立坑の高さに着目すると、第3.3.4-3表に示すとおり、立坑②～⑤と比較し、立坑①は高さが低い。

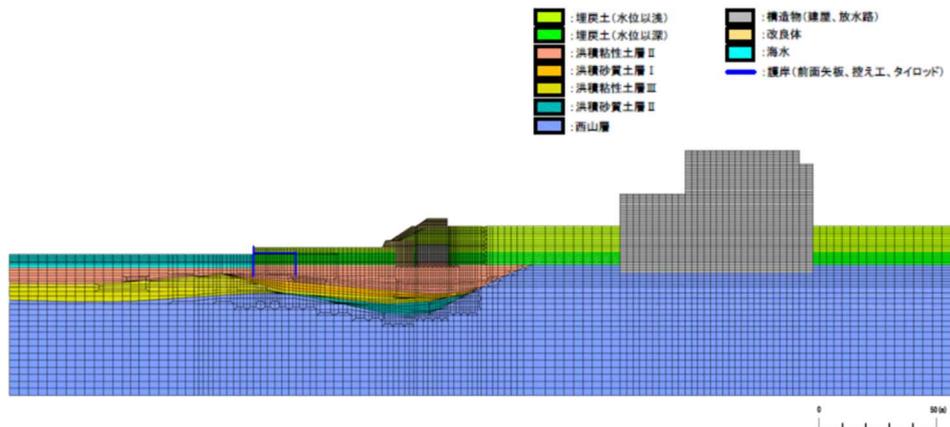
第3.3.4-3表 立坑の高さ

立坑	高さ(m)
①	2.7
②	16.1
③	13.5
④-1,2	18.1
⑤-1,2	18.5

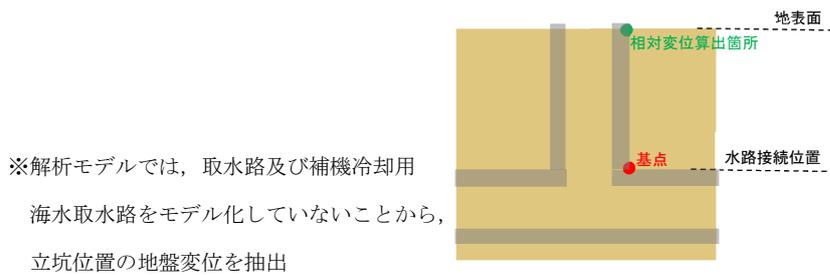
立坑②～⑤は、立坑の高さ（土被り厚さ）に大きな差がないことから、動土圧の主要因である地盤変位に着目し、立坑の水路接続位置と地表面間の地盤の最大相対水平変位を比較する。

地盤変位は、液状化の影響を考慮するために二次元有効応力解析（解析コード「FLIP Ver. 7.2.3_5」）により算定する。第3.3.4-6図の解析モデルに示すとおり、解析断面は6号炉の汀線直交断面とし、タービン建屋及び地盤をモデル化している。地盤の物性値は、「柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉 設計基準対象施設について 第4条：地震による損傷の防止 別紙-11 液状化影響の検討方針について」の検討方針に基づく。液状化の評価対象として取り扱う埋戻土層及び洪積砂質土層Ⅰ、Ⅱ(0-1)の有効応力解析に用いる液状化パラメータは、液状化試験結果に基づき、地盤のばらつき等を考慮し、保守的に設定した。検討を実施する地震動は、基準地震動 S_s のうち、加速度が大きい S_s-1 と、継続時間が長い $S_s-3,7$ とする。なお、地盤変位の算定方法は、「柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉 津波による損傷の防止について 別添1 添付資料2 地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について」に示すとおりである。

地盤変位の算定結果を第3.3.4-4表に示す。地盤の最大相対水平変位は、立坑③～⑤と比較し、立坑②が大きいことから、立坑の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価は、立坑②を代表として実施する。



第 3.3.4-6 図 地盤変位解析モデル図



第 3.3.4-7 図 地盤変位算定の概要

第 3.3.4-4 表 立坑部の地盤変位

地震動	地盤の最大相対水平変位 (m)			
	立坑②	立坑③	立坑④-1, 2	立坑⑤-1, 2
Ss-1	0.595	0.233	0.361	0.269
Ss-3	0.586	0.236	0.370	0.272
Ss-7	0.827	0.448	0.612	0.514

b. 妻壁部

スクリーン室及び補機冷却用海水取水路には、スクリーン室の妻壁①と補機冷却用海水取水路の妻壁②、③が存在する。補機冷却用海水取水路の妻壁②については、3.3.4(5)に示したとおり、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め、評価対象から除く。

妻壁①、③について、第3.3.4-5表に示すとおり、妻壁①と比較し妻壁③は設置位置が深く、妻壁部に作用する動土圧及び動水圧の影響が大きいことから、妻壁③を選定する。

4箇所存在する妻壁③は、設置深さ及び妻壁の内法高さが同じであり、動土圧及び動水圧の影響に大きな差はないと考えられることから、「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。）を参考に壁部材の耐力に着目し代表を選定する。RC規準における壁部材のコンクリートの許容水平せん断力算定式を第3.3.4-9図に示す。第3.3.4-6表に示すとおり、妻壁③-1～4は、壁部材の厚さが同じであり、壁の幅が最も小さい妻壁③-2が最も許容水平せん断力が小さくなることから、妻壁③-2を代表として水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

第3.3.4-5表 妻壁の設置深さ※

妻壁	深さ(m)
①	2.5
③-1	22.5
③-2	22.5
③-3	22.5
③-4	22.5

※地表面～妻壁下端の高さ

水平荷重を受ける耐震壁のコンクリートの許容水平せん断力 Q_A は(1)式による。

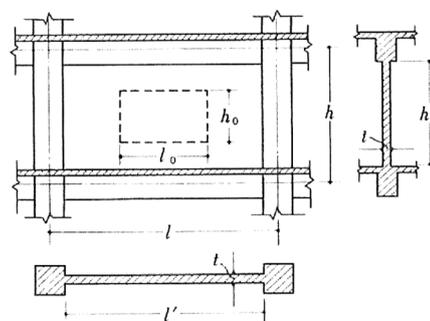
$$Q_A = r t l f_s \dots \dots \dots (1)$$

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

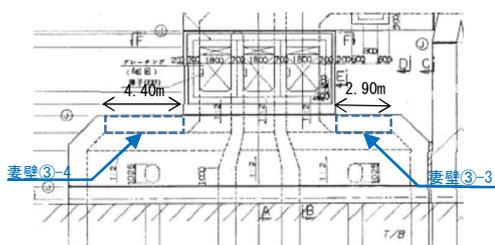
$$\left. \begin{aligned} r_1 &= 1 - \frac{l_o}{l} \\ r_2 &= 1 - \sqrt{\frac{h_o l_o}{h l l}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

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

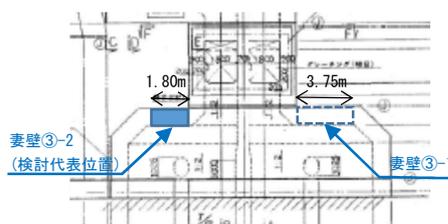
- 記号 t : 壁板の厚さ
 l : 壁板周辺の柱中心間距離
 h : 壁板中心の梁中心間距離
 l_o : 開口部の長さ
 h_o : 開口部の高さ
 l' : 壁板の内法長さ
 h' : 壁板の内法高さ
 f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度



第 3.3.4-9 図 壁部材のコンクリートの許容水平せん断力の算定式



(補機冷却用海水取水路南側平面図)



(補機冷却用海水取水路北側平面図)

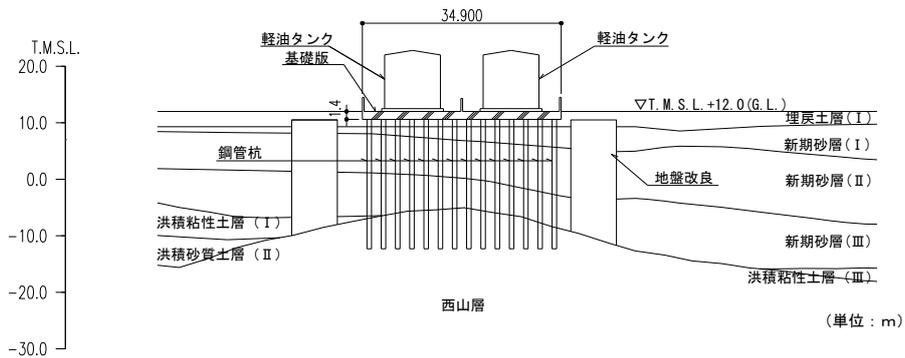
第 3.3.4-10 図 補機冷却用海水取水路平面図

第 3.3.4-6 表 補機冷却用海水取水路妻壁部の構造諸元

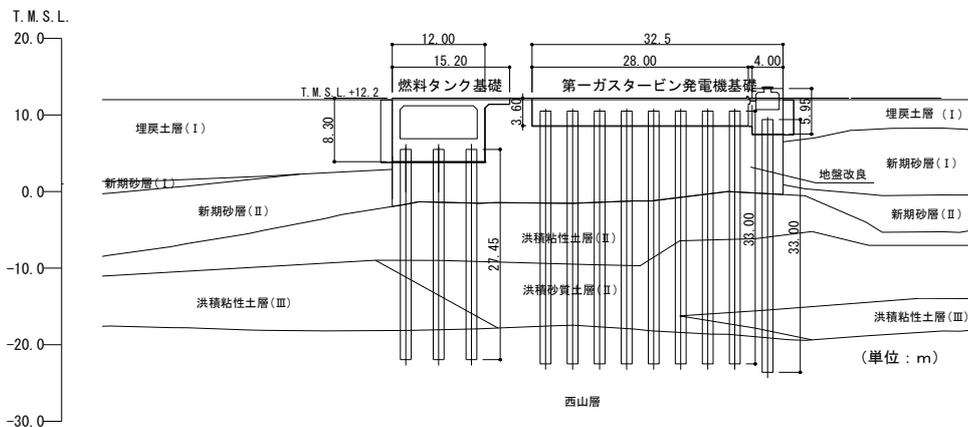
妻壁	厚さ (m)	幅 (m)
③-1	1.00	3.75
③-2	1.00	1.80
③-3	1.00	2.90
③-4	1.00	4.40

c. 基礎構造物

基礎構造物である第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、動土圧及び動水圧を受ける部位である基礎側面の高さが軽油タンク基礎及び第一ガスタービン発電機基礎の側面高さに比べて大きいため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響は大きいと考えられる。したがって、基礎構造物の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価は、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎を代表として実施する。



第 3.3.4-9 図 7 号炉軽油タンク基礎断面図 (EW 断面)



第 3.3.4-10 図 第一ガスタービン発電機基礎及び燃料タンク基礎断面図 (EW 断面)

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は、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路の立坑部は立坑②、妻壁部は妻壁③-2、基礎構造物は第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 (躯体、杭) を代表として実施する。

3.4 浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1 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、浸水防止設備である閉止板、水密扉、浸水防止ダクト、止水ハッチ、貫通部止水処置、床ドレン浸水防止治具、津波監視設備における津波監視カメラ、取水槽水位計とする。各構造物の位置図を第 3.4.1-1 図に示す。



(屋内：6号炉 タービン建屋 T.M.S.L. -5100)

第3.4.1-1 図 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (1/7)



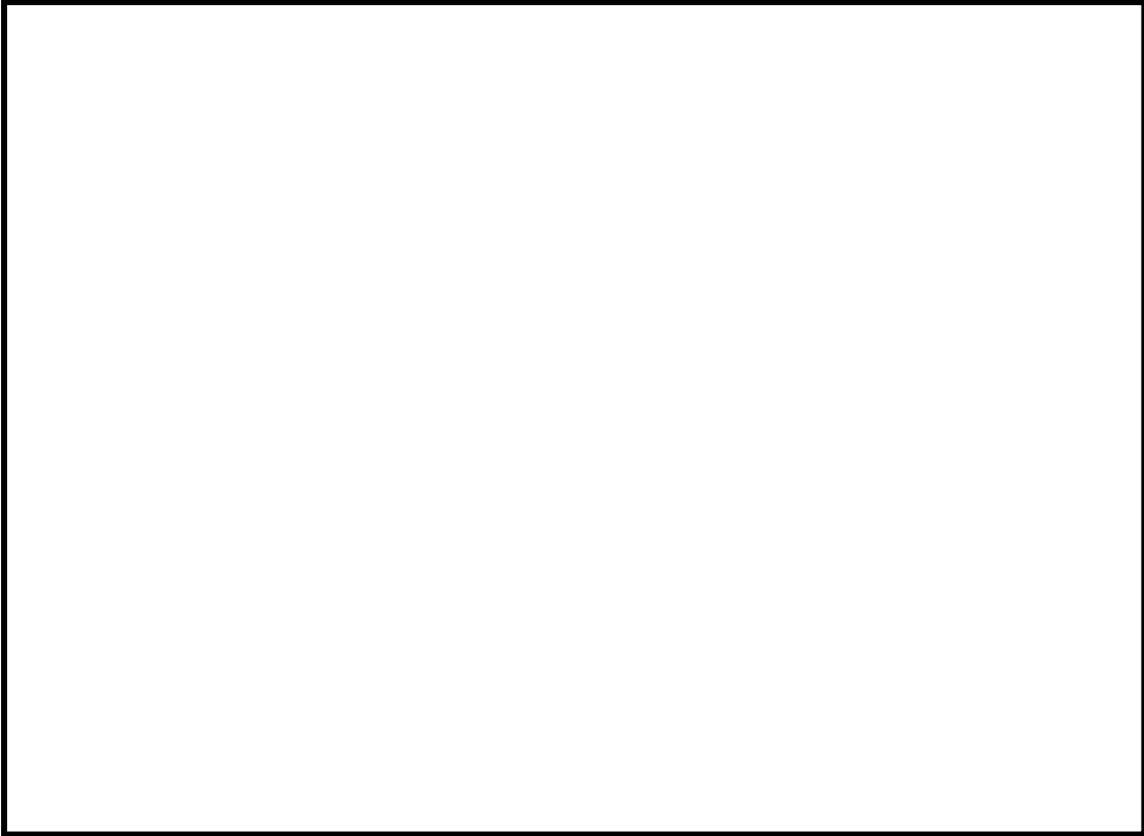
(屋内：6号炉 タービン建屋 T.M.S.L.-1100)

第3.4.1-1 図 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (2/7)



(屋内：6号炉 タービン建屋 T.M.S.L. 4900)

第3.4.1-1 図 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (3/7)



(屋内 : 7 号炉 タービン建屋 T.M.S.L. -5100)

第 3.4.1-1 図 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (4/7)



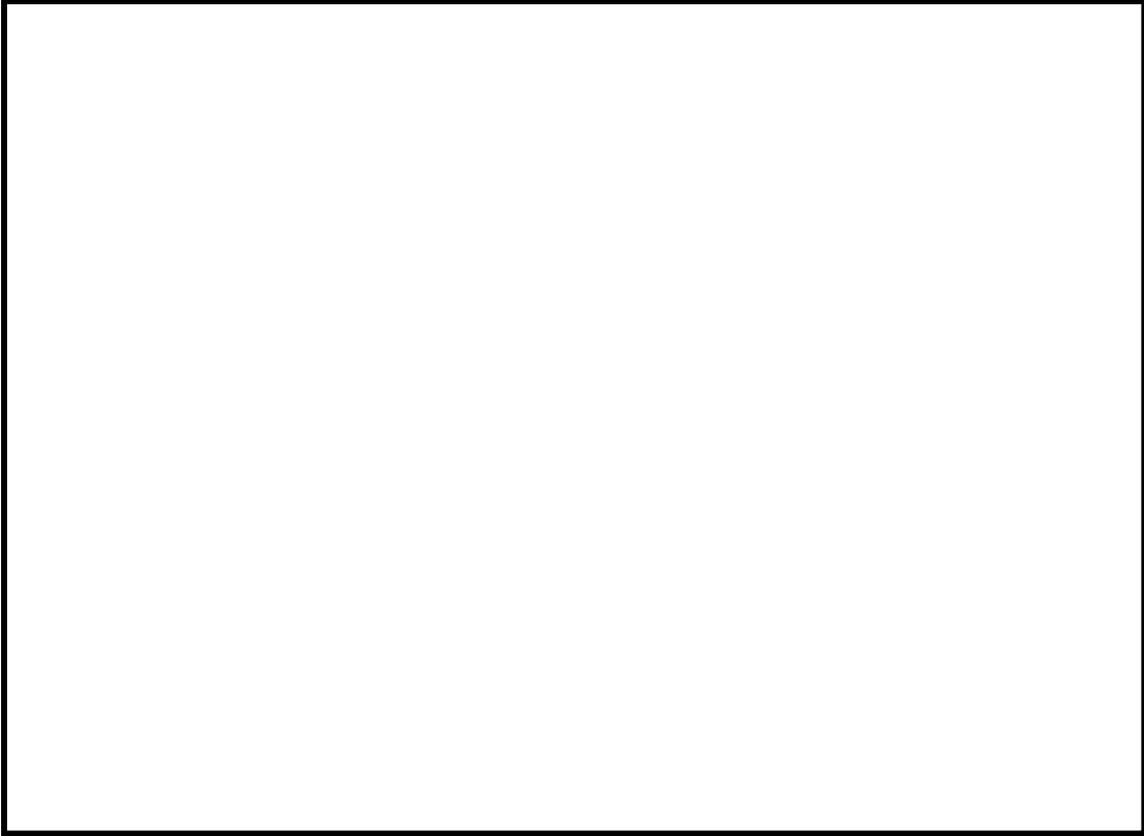
(屋内：7号炉 タービン建屋 T.M.S.L. -1100)

第3.4.1-1 図 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (5/7)



(屋内：7号炉 タービン建屋 T.M.S.L. 4900)

第3.4.1-1 図 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (6/7)



(屋外)

第 3. 4. 1-1 図 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (7/7)

(2) 評価対象物の抽出

評価対象構造物のうち、閉止板、止水ハッチ及び水密扉については「3.1 建物・構築物」、浸水防止ダクト、貫通部止水処置、床ドレン浸水防止治具、津波監視カメラ、取水槽水位計については、「3.2 機器・配管系」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。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。

第3.4.1-1表 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
浸水防止設備	閉止板	建物・構築物
浸水防止設備	止水ハッチ	建物・構築物
浸水防止設備	水密扉	建物・構築物
浸水防止設備	浸水防止ダクト	機器・配管系
浸水防止設備	貫通部止水処置	機器・配管系
浸水防止設備	床ドレン浸水防止治具	機器・配管系
津波監視設備	津波監視カメラ	機器・配管系
津波監視設備	取水槽水位計	機器・配管系

別紙 9-1 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※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
炉心シュラウド	上部フランジ 下部フランジ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	炉心支持板支持面	支圧応力	△	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。	×	—
シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円周配置であるため水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
		軸圧縮応力	△	B	同上。		
炉心支持構造物	シリンダプレート 下部胴	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
上部格子板	リム胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	グリッドプレート	一次一般膜応力	△	B	評価部位は格子構造であるため水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
炉心支持板	補強ビーム 支持板	一次一般膜応力	△	B	水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	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	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		

※1 本表は、今後の審査進捗(詳細設計)に応じて見直しを行います。

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ ハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈(軸圧縮)	△	B	同上。		
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈(軸圧縮)	△	B	同上。		
	ノズル	各部位	一次一般膜応力	○	-	評価においては3次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。
			一次膜応力+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。			
座屈(軸圧縮)			○	-	同上。			
ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザ ブラケット	一次一般膜応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、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】	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。			
	蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力	△	D	従来より水平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。したがって、水平2方向入力による影響はない。【補足説明資料2】	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。			
	蒸気乾燥器ホルドダウン ブラケット	一次一般膜応力	△	C	地震時の機能要求が無いことから地震荷重を考慮しない評価(構造評価)を実施しているため影響はない。	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。			

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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	ブラケット類	上部ガイドロッドブラケット	一次一般膜応力	△	C	地震時の機能要求が無いことから地震荷重を考慮しない評価(構造評価)を実施しているため影響はない。	×	-
		下部ガイドロッドブラケット	一次膜応力+一次曲げ応力	△	C			
			純せん断応力	△	C			
	給水スパーチャブラケット 低圧注水スパーチャブラケット	一次一般膜応力	○	-	評価においては3次元的に配置されている原子炉内配管の応答を使用しており、原子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。	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	-				
		純せん断応力	○	-				
原子炉圧力容器スカート	スカート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動の方向ごとに最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
		一次+二次応力	△	B				
		一次+二次+ピーク応力	△	B				
		座屈(軸圧縮)	△	B				
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点異なる。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
		一次応力(せん断)	△	C				
		一次応力(組合せ)	△	C				
原子炉圧力容器付属構造物	ロッド	一次応力(引張)	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、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】	×	-	
		一次応力(せん断)	△	C				
	ブラケット	一次応力(せん断)	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、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】			
		一次応力(曲げ)	△	C				
制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力(せん断)	△	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。	×	-	
		一次応力(圧縮)	△	B				
		一次応力(曲げ)	△	B				

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1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	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			支圧応力	△	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。		
			座屈(軸圧縮)	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。		
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力	△	C	従来評価で評価が厳しくなる方向に地震荷重を与えているため、水平2方向の地震力が作用した場合において、水平1方向の地震荷重と同等となる。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
	耐震用ブロックせん断面	純せん断応力	△	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。	×	-	
		耐震用ブロック支圧面	支圧応力	△	C			地震の水平力は4箇所の耐震用ブロックのうち相対する2箇所で受けるものとして評価しているが、水平2方向入力では4箇所の耐震用ブロックに荷重が分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。
原子炉圧力容器内部構造物	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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だけでも水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
原子炉圧力容器内部構造物	スパージャ 原子炉内配管	各部位	一次一般膜応力	○	-	3次元的に配置されているため、水平それぞれ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。	○	従来より、3次元はりモデルの応答解析結果を用い、耐震評価を実施しており、ねじれる状態についても耐震評価に用いる同種の荷重として算出される。
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。		

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力(引張)	○	—	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の一樣断面でないため、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。	○	3次元FEMモデルを作成し、耐震評価を実施している。
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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。		
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材	一次応力(引張)	○	—	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の一樣断面でないため、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。	×	—
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	サポート部材 サポート部基礎ボルト	一次応力(引張)	△	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。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3】		
		一次応力(せん断)	△	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】		
		一次応力(組合せ)	△	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。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3】		
	底部基礎ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー	一次一般膜応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向地震荷重は荷重条件として考慮していない。したがって、水平2方向入力の影響はない。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		一次+二次応力	△	C	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	C	同上。		
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向地震荷重は荷重条件として考慮していない。したがって、水平2方向入力の影響はない。		
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能用アキュムレータ(6号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ(6号炉)	U-バンド及びリブ	一次応力(せん断)	△	A	構造上水平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方向入力の影響はない。	×	-
		一次応力(曲げ)	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平1方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(組合せ)	△	C	同上。		
	ボルト	一次応力(引張)	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平1方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	△	A	構造上水平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方向入力の影響はない。		
	支柱	一次応力(せん断)	○	-	水平2方向の影響がある。		
		一次応力(曲げ)	○	-	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	-	同上。		
	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ(7号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ(7号炉)	胴板	一次一般膜応力	△	A		
一次膜応力+一次曲げ応力			△	A	同上。		
一次+二次応力			△	A	同上。		
脚		一次応力(組合せ)	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上。		
		一次+二次応力	△	A	同上。		
	脚	一次応力(組合せ)	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらない。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		基礎ボルト	一次応力(引張)	△	A		
	一次応力(せん断)		△	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、影響は軽微となる。		
	一次応力(組合せ)		△	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。		
	耐震強化サポート(7号炉のみ)	一次応力(引張)	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	△	A	同上。		
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。		
アンカボルト(7号炉のみ)	一次応力(せん断)	○	-	水平2方向が同時に作用した場合に、一部のアンカボルトで強軸側と弱軸側の荷重を併せて負担するため、水平2方向入力の影響がある。			
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	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	○	X又はY方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。水平2方向入力によって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。		
		一次応力(組合せ)	△	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。		
ECCS ストレーナ	各部位(ボルト以外)	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	-
	ボルト	一次応力(引張)	△	D	同上。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
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 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】	×	-
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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。		
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力(引張)	○	-	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。	○	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。
		一次応力(せん断)	○	-	同上。		
		一次応力(圧縮)	○	-	同上。		
		一次応力(曲げ)	○	-	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	-	同上。		
	取付ボルト	一次応力(引張)	○	-	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。		
		一次応力(せん断)	○	-	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	-	同上。		
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力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。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。		
		一次応力(組合せ)	△	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。		
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
伝送器(矩形床置)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】	×	-
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由	
伝送器(矩形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—	
		一次応力(せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平2方向入力の影響はない。			
		一次応力(組合せ)	○	—	水平2方向入力の影響がある。			
伝送器(円形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	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。	×	—	
伝送器(円形吊下)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用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。	×	—	
制御盤、電気盤(矩形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—	
		一次応力(せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平2方向入力の影響はない。			
		一次応力(組合せ)	○	—	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	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】	×	—	
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】			
		一次応力(組合せ)	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。			
原子炉格納容器	原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート	圧縮ひずみ	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
			引張ひずみ	○	—	同上。		
		ライナアンカ	変位	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
	ドライウエル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	×	—
			一次+二次応力	△	B	同上。		
		フランジプレート	せん断	△	C	鉛直方向の荷重(死荷重又は圧力荷重)が支配的であり、水平方向の地震力の影響は小さい。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
			曲げ	△	C	同上。		
		ガセットプレート	せん断	△	C	鉛直方向の荷重(死荷重又は圧力荷重)が支配的であり、水平方向の地震力の影響は小さい。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		コンクリート部	圧縮	△	C	鉛直方向の荷重(死荷重又は圧力荷重)が支配的であり、水平方向の地震力の影響は小さい。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
下部ドライウェルアクセス ンネルスリーブ及び鏡板(機 器搬入用ハッチ付) 下部ドライウェルアクセス ンネルスリーブ及び鏡板(所 員用エアロック付)	鏡板 鏡板のスリーブとの結合部	一次膜応力+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方向入力の影響がある。	×	—
	スリーブのフランジプレート との結合部	一次+二次応力	○	—	同上。		
	フランジプレート	せん断	○	—	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	○	—	同上。		
	ガセットプレート	せん断	○	—	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。		
コンクリート部	圧縮	○	—	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。			
原子炉格納容器 クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張	○	—	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。	○	配管反力に基づいて評価を実施しており、従来よりねじれを考慮した評価を実施している。
	下部サポートパイプ(7号炉のみ)	せん断	○	—	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。		
		圧縮	○	—	同上。		
	ガセットプレート ベアリングプレート	せん断	○	—	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。		
		曲げ	○	—	同上。		
	基礎ボルト	引張	○	—	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。		
	コンクリート	圧縮	○	—	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。		
基礎ボルト引張荷重		○	—	同上。			
下部ドライウェルアクセス ンネル	各部位	組合せ	○	—	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	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サブプレッション・チェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。手計算により機器の軸と軸直方向の各々の評価を行っており、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。(K7)。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D -	同上。		
		一次+二次応力	△ ○	D -	同上。		
	胴板のフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。手計算により機器の軸と軸直方向の各々の評価を行っており、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。(K7)。		
		一次+二次応力	△ ○	D -	同上。		
	フランジプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		曲げ	△	D	同上。		
	ガセットプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
	コンクリート部	圧縮	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
	原子炉格納容器 下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力	△ ○	D -		
一次膜応力+一次曲げ応力			△ ○	D -	同上。		
一次+二次応力			△ ○	D -	同上。		
胴板と鏡板との結合部		一次膜応力+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方向入力の影響がある。		
		一次+二次応力	○	-	同上。		
原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの結合部 端板	一次一般膜応力	○	-	評価においては3次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。		
		一次+二次応力	○	-	同上。		
	フランジプレート	せん断	○	-	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。		
		曲げ	○	-	同上。		
	ガセットプレート	せん断	○	-	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。		
	コンクリート部	圧縮	○	-	同上。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
原子炉格納容器	スリーブ スリーブのフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		一次+二次応力	△	D	同上。		
	フランジプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
		曲げ	△	D	同上。		
	ガセットプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
コンクリート部	圧縮	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。			
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ	引張	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平方向荷重の影響が小さい。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		せん断	△	C	同上。		
		圧縮	△	C	同上。		
	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部(地震時水平力伝達用シアプレート) 原子炉本体基礎接合部(地震時水平力伝達用シアプレート)	せん断	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、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5】		
		曲げ	△	C	同上。		
	原子炉本体基礎接合部(半径方向水平力伝達用頭付きスタッド)	せん断	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっていることから、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5】		
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	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。	○	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。
	水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次+二次応力	○	-	同上。		
ドライウェルスプレイ管 サブプレッション・チェンバスプレイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	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。	○	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。
		一次+二次応力	○	-	同上。		

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ブロワ	ブレース	一次応力(圧縮)	△	A	ブレースはブロワの重心とサポートプレート設置位置のずれによる軸方向転倒防止のため設置している。そのためブレースが受けもつ荷重は現在評価対象としている軸方向の転倒モーメント分のみであり、軸直方向の水平地震荷重はベース溶接部のせん断で受けもつと考えられる。したがって、水平2方向入力の影響は受けない。	×	-
	ベース取付溶接部	一次応力(引張)	△	A	溶接部の配置は矩形であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはなく、2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	-	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。		
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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。		
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】	×	-
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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。		
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	スカート	一次応力(組合せ)	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。		
		一次+二次応力(座屈)	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。		
一次応力(組合せ)		△	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	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
その他電源設備	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】	×	-
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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。		
配管本体, サポート(多質点梁モデル解析)	配管, サポート	一次応力	○	-	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。
		一次+二次応力	○	-	同上。		
矩形構造の架構設備(静的触媒式水素再結合装置, 架台を含む)	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
ガスタービン発電機	転倒評価	応答変位	△	C	車輛の転倒は、走行直角方向のみが対象となるため、水平1方向のみの地震力が支配的であり、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		一次応力(組合せ)	△	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)	ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点異なる。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	△	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、影響は軽微となる。		
		一次応力(組合せ)	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
取水槽水位計	取付ボルト	一次応力(引張)	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
		一次応力(せん断)	△	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。		
		一次応力(組合せ)	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
監視カメラ	据付ボルト	一次応力(引張)	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
		一次応力(せん断)	△	A	壁掛けのボルトは、壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため、水平2方向入力の影響はない。		
		一次応力(組合せ)	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
	据付部材	一次応力(組合せ)	○	-	水平2方向入力の影響がある。		

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平 2 方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4 項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの B：水平 2 方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平 2 方向の地震力を考慮しているもの	①-1 の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
貫通部止水処置	シール材	シール材に生じる変位	△	C	対象となる貫通部は建屋軸に沿った配置となっていることから、シール材に加わるせん断方向及び圧縮方向の変位は、水平 1 方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
浸水防止ダクト	各部位	各応力分類	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
床ドレンライン浸水防止治具	各部位	各応力分類	○	—	水平 2 方向入力の影響がある。	×	—
原子炉ウェル遮蔽プラグ	本体	せん断応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。	×	—
原子炉圧力容器支持構造 原子炉本体の基礎	円筒部 (内筒) 円筒部 (外筒)	せん断	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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 方向入力の影響は軽微である。	×	—
		組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	円筒部 (たてリブ)	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向ごとに最大応力発生箇所が異なるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	アンカボルト	引張	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	コンクリート	基礎ボルトの引張荷重	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	ベアリングプレート	曲げ	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震動の方向ごとに最大応力の発生点が異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	ブラケット部	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向ごとに最大応力発生箇所が異なるため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
		曲げ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		
	ブラケット部下面の水平プレート	曲げ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大応力点は地震方向で異なる。したがって、水平 2 方向入力の影響は軽微である。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平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理由 新たな応力成分が発生しないこと理由
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	一次応力(せん断)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では、それぞれの水平方向地震力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。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6】	○	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。
		一次応力(曲げ)	△	A	同上。		
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。		
	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)	一次応力(せん断)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では、それぞれの水平方向地震力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。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6】		
		吊具	吊具荷重	△	C		
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガード	一次応力(せん断)	△	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。	○	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。
		一次応力(曲げ)	△	D	同上。		
		浮上り量	△	D	同上。		
	脱線防止ラグ	一次応力(圧縮)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平2方向で異なる挙動を示すため、水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		トロリストッパ	一次応力(せん断)	△	A		
	一次応力(曲げ)		△	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。	○	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。
	一次応力(組合せ)		△	D	同上。		
	トロリ	浮上り量	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。		
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。	×	—
		圧縮	△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用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。		
		曲げ	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。		
		組合せ	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震動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方向入力の影響は軽微である。		

第2表 動的/電氣的機能維持評価

機種	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○:影響あり △:影響軽微	影響軽微とした分類 A:水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B:水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C:水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D:従来評価にて保守性を考慮しており水平2方向の地震力を考慮しても影響が軽微であるもの	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
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。	○	X又はY方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。水平2方向入力によって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
横形ポンプ	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
ポンプ駆動用タービン	△	B	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である弁箱(主蒸気止め弁ヨーク部(立置き))に対して、水平2方向による最大応力の発生箇所が異なるため影響は軽微である。	×	—
立形機器用電動機	△	D	最弱部であるフレームに対し、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※において十分な裕度が確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
横形機器用電動機	△	D	最弱部である軸受に対し、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※において十分な裕度が確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
空調ファン	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機(機関本体)	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機(ガバナ)	○	—	ガバナについては水平2方向合成による応答増加の影響がある。	×	—
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。	×	—
制御棒挿入性	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—
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、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答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8】	×	—
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向同時入力においても共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2方向同時入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
取水槽水位計	△	A	水位計の掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向同時入力においても共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2方向同時入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
監視カメラ	△	A	監視カメラ本体の掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向同時入力時においても共振点は無いと考えられる。よって、X、Y2方向同時入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
ガスタービン発電機	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—
通信連絡設備(アンテナ類)	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—

※JEAG4601で定められた評価部位の裕度評価

別紙 9-1 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）	1
2. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）	4
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）	6
4. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）	8
5. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）	20
6. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）	24
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）	25
8. 水平 2 方向同時加振の影響評価について（電気盤）	31

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）

1.1 はじめに

本項は、原子炉压力容器スタビライザ（以下「RPV スタビライザ」という。）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。

1.2 現行評価の手法

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

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

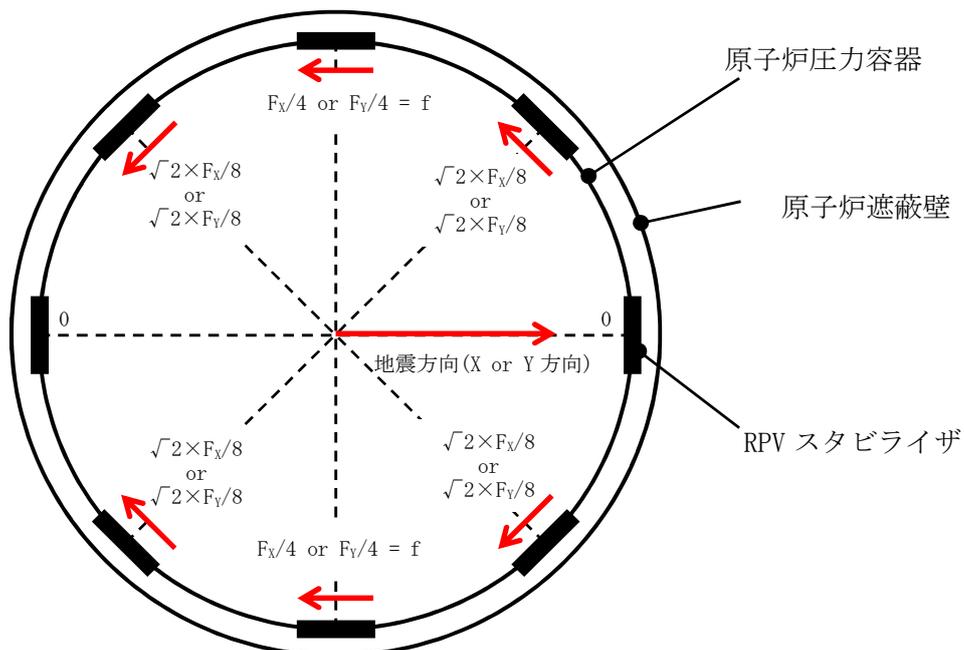
$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_X}{4}, \frac{F_Y}{4} \right)$$

ここで、

f : RPV スタビライザ1個が受けもつ最大地震荷重

F_X : X方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

F_Y : Y方向地震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の水平地震荷重の分担（水平1方向）

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

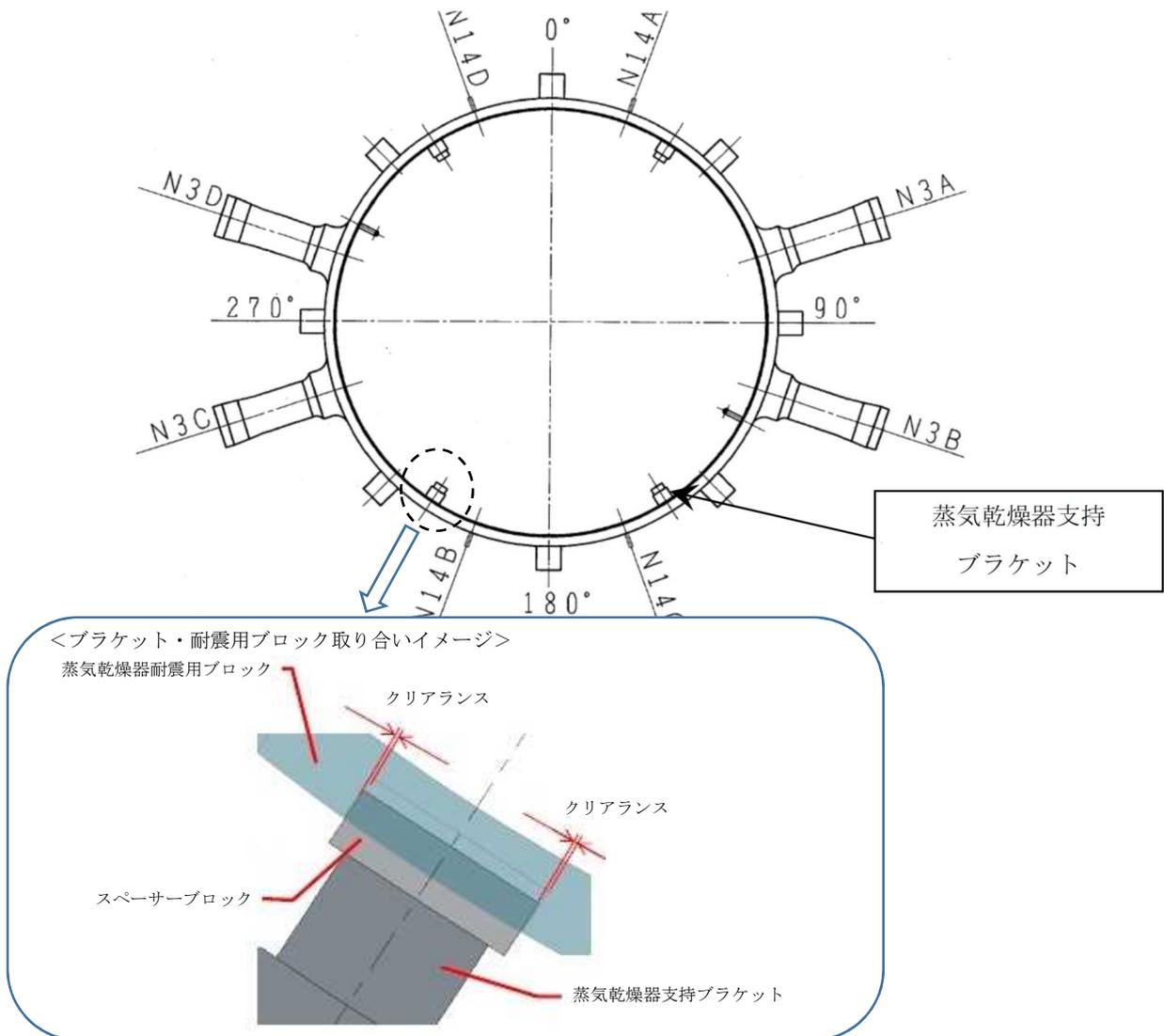
2 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

2.1 はじめに

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

2.2 現行評価の手法

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



第2-1図 蒸気乾燥器支持ブラケットの位置

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

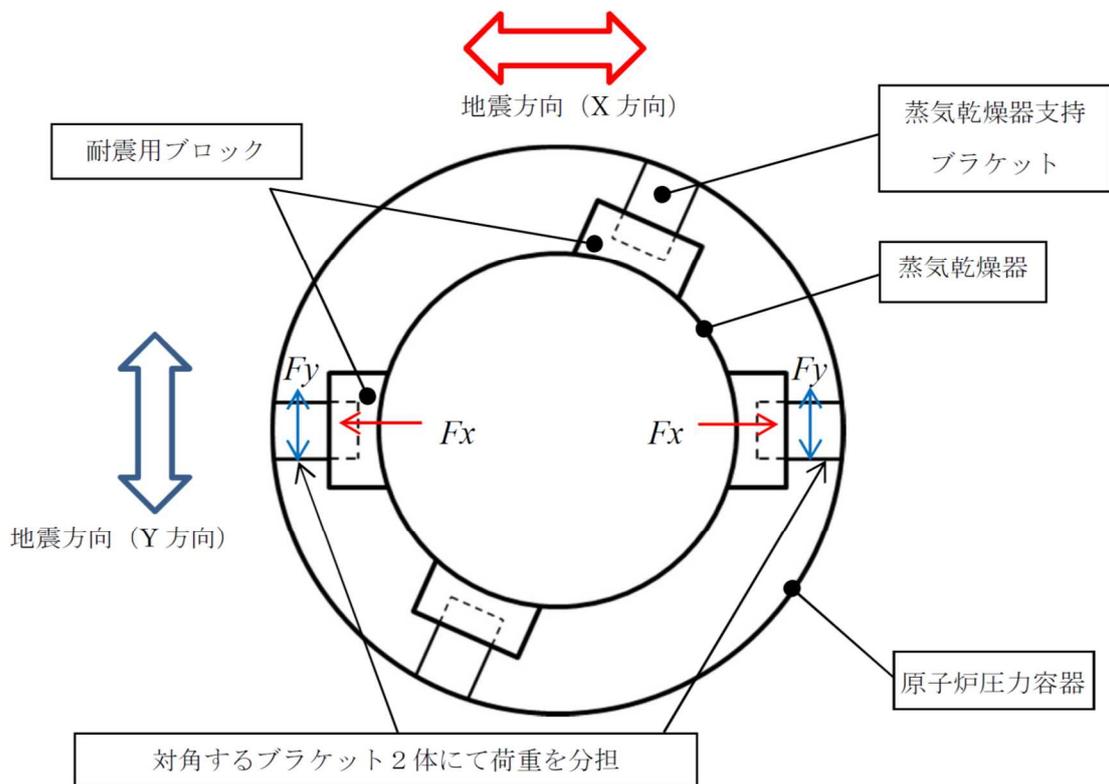
第 2-2 図に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

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

F : 蒸気乾燥器から受ける地震時の水平方向荷重

F_x : X 方向地震よりブラケットに発生する水平方向荷重

F_y : Y 方向地震よりブラケットに発生する水平方向荷重



第 2-2 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

蒸気乾燥器支持ブラケットは、現行評価において、水平 2 方向の地震荷重を同時に考慮し、ブラケットと耐震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方向の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のそれぞれについて求めている。

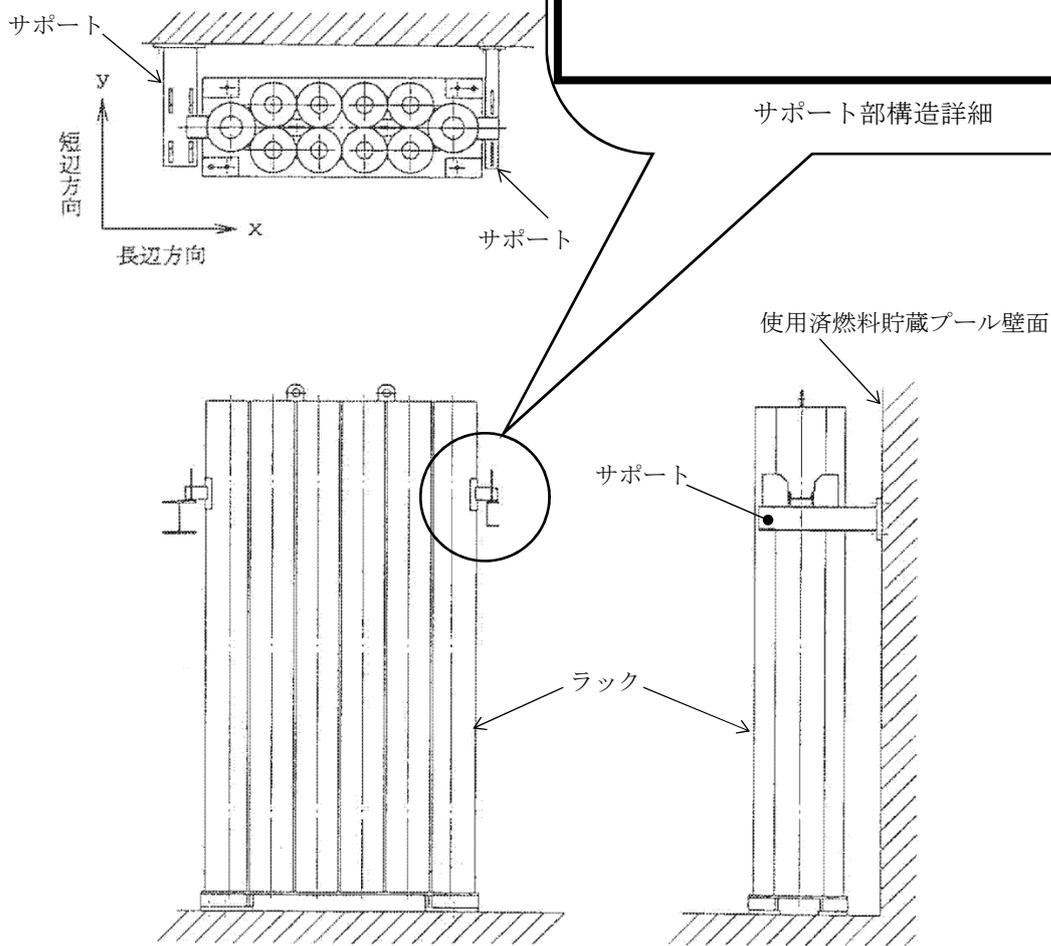
- ・長辺方向(水平 x 方向) + 鉛直方向
- ・短辺方向(水平 y 方向) + 鉛直方向

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。ラック自身の慣性力は、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9-1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9-1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。

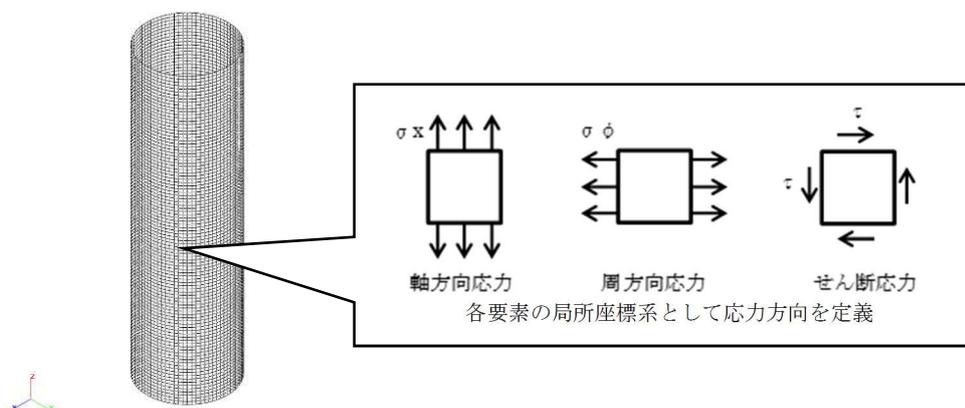
具体的な確認項目として、以下2点を確認した。

- ①X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 : たて置き円筒形容器をシェル要素にてモデル化
- ・拘束点 : 容器基部を拘束
- ・荷重条件 : モデル座標のX方向に水平地震力1Gを負荷
- ・解析手法 : 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）
 - SRSS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 σ_x

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンター図を第 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 方向から水平地震力を入力した場合においても、最大応力点は $90^\circ / 270^\circ$ 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 SRSS 法のそれぞれを用いた水平 2 方向入力時の応力 $\sigma_{x,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{x,s}(\theta)$ は、水平 1 方向入力時の軸方向応力解析結果 (X 方向入力時応力 $\sigma_{x,X}(\theta)$, Y 方向入力時応力 $\sigma_{x,Y}(\theta)$) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

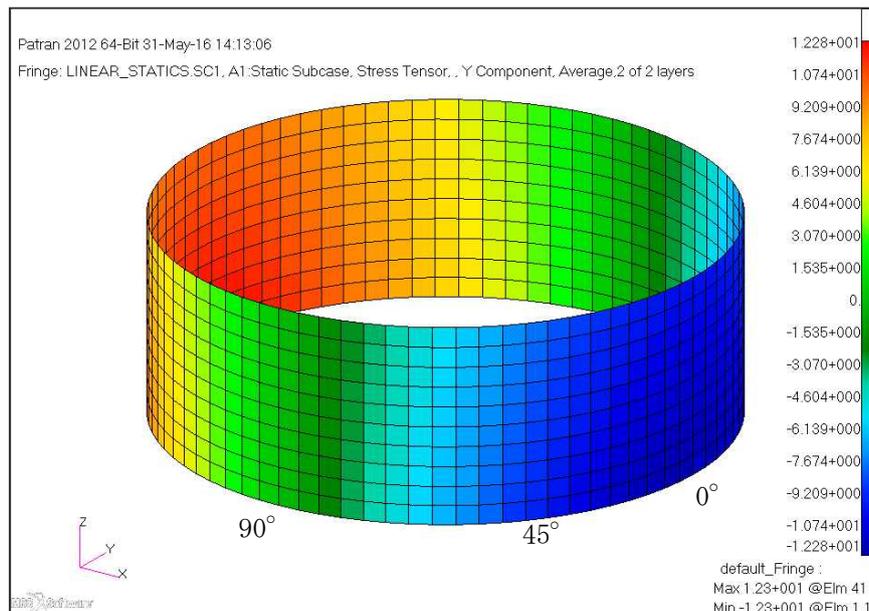
$$\sigma_{x,c}(\theta) = \max(\sigma_{x,c(X)}(\theta), \sigma_{x,c(Y)}(\theta))$$

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

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

<SRSS 法>

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



第 4-2 図 水平地震時軸方向応力コンター図

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

4.3.2 周方向応力 σ_ϕ

容器基部における水平地震時の周方向応力コンター図を第 4-3 図に、周方向応力分布を第 4-2 表に示す。軸方向応力同様に最大応力点は 0°/180°位置に発生しており、最大応力点が異なることについて確認できる。

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

<組合せ係数法>

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

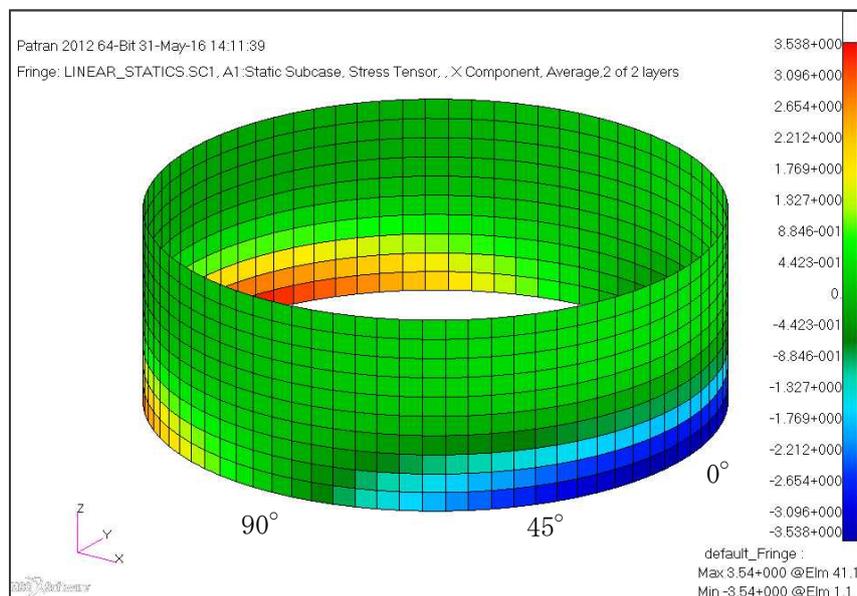
ただし、 $\sigma_{\phi,c(X)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの周方向応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,y}(\theta)$ に 1、 $\sigma_{\phi,x}(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

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

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

<SRSS 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

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 $\sigma_{\phi,c}(\theta)$	SRSS 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 τ

容器基部における水平地震時のせん断応力コンター図を第 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 $90^\circ / 270^\circ$ 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について確認できる。

また、2 方向入力時の影響についても軸方向応力、周方向応力と同様に中間部 ($0^\circ / 90^\circ$ 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 SRSS 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>

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

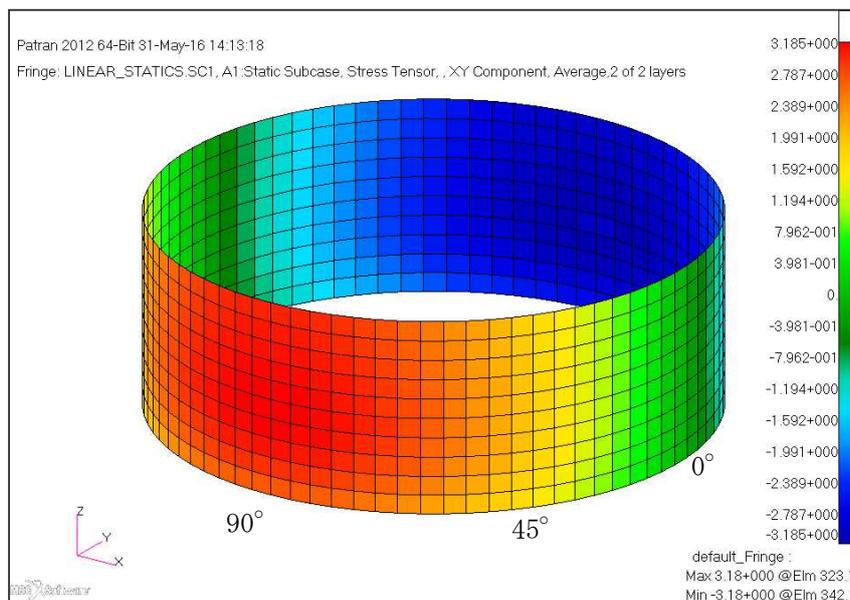
ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$ は $\tau_x(\theta)$ に 1、 $\tau_y(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれのせん断応力を組み合わせた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$ は $\tau_y(\theta)$ に 1、 $\tau_x(\theta)$ に 0.4 の係数を乗じて X・Y 方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表される。

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

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

<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

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 σ

胴の応力強さ σ は、第4-1～3表に示したX方向、Y方向、2方向入力時それぞれの軸方向応力 σ_x 、周方向応力 σ_ϕ 及びせん断応力 τ を組み合わせ、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。

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

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

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

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

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

なお、Y方向入力時の応力強さ $\sigma_y(\theta)$ 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 $\sigma_{x,x}(0^\circ)=12.28$ 、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

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

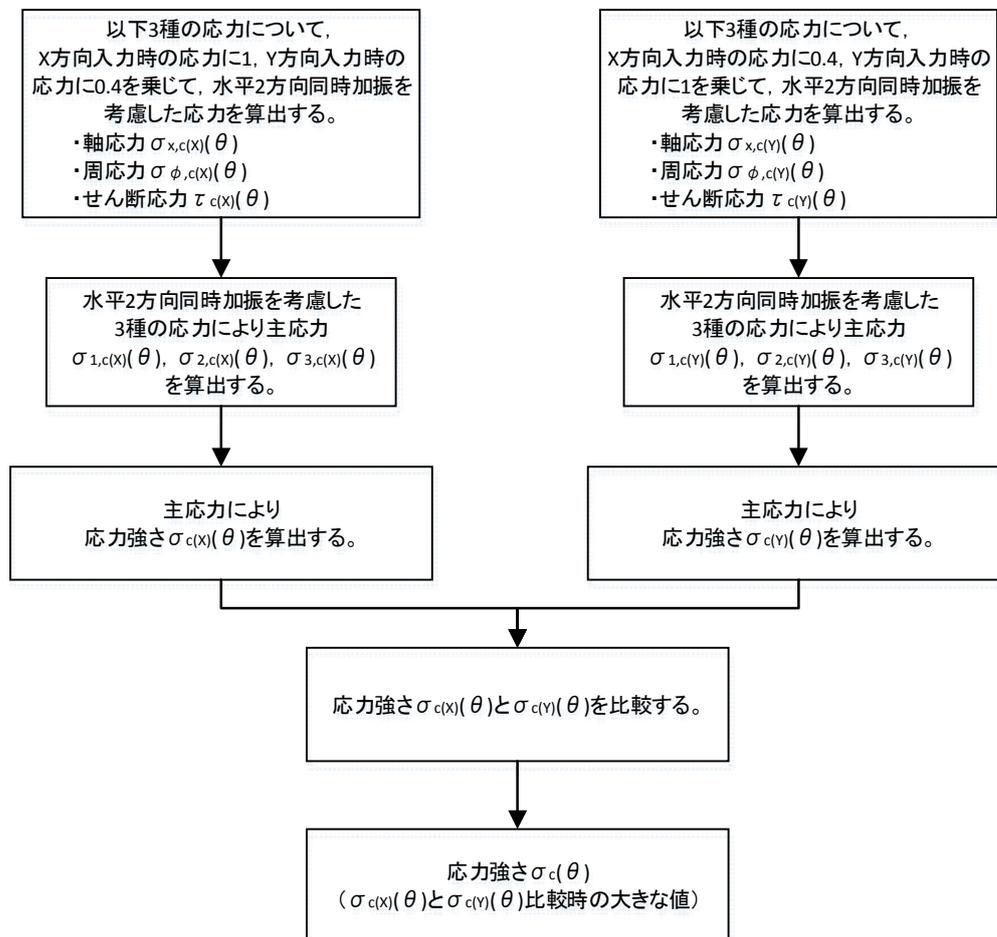
$$\sigma_{2,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \left(12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2} \right) = 3.54$$

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

となる。したがって、

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

< 組合せ係数法による水平2方向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。

$$\begin{aligned}\sigma_{x,c(X)}(\theta) &= \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta) \\ \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) &= \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta) \\ \tau_{c(X)}(\theta) &= \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)\end{aligned}$$

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。

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

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

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

同様に, Y 方向入力時の応力に 1, X 方向入力時の応力に 0.4 を乗じて組み合わせた水平 2 方向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, 大きな値を $\sigma_c(\theta)$ とする。

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

ここで $\theta=0^\circ$ の場合, 第 4-1 表より $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ)=12.28$, 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,

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

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

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

同様に, 第 4-1 表より $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ)=4.91$, 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

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

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

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

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

$$\sigma_c(0^\circ) = \max(12.41, 6.43) = 12.41$$

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。

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

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

$$\sigma_{3,s} = 0$$

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

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

ここで $\theta = 0^\circ$ の場合には、第 4-1 表より $\sigma_{x,s}(0^\circ) = 12.28$ 、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、

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

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

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

となる。したがって、

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

$\theta = 0^\circ$ の場合に 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 SRSS法, 組合せ係数法を用いて算出した応力強さ ($\theta=0^\circ$)

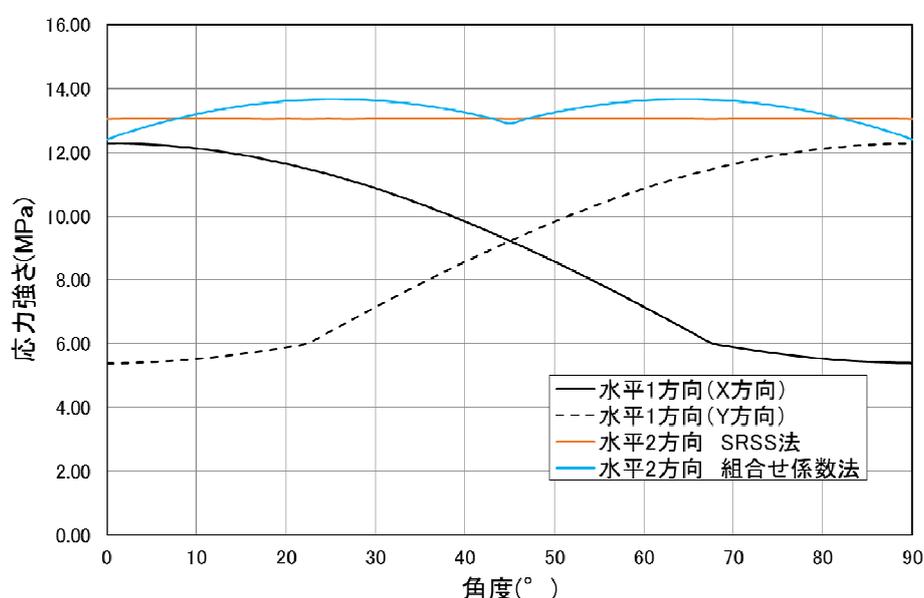
	X	Y	SRSS法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_x(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)} =$ 3.54	$3.54 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 3.54	$3.54 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 1.42
$\tau(\theta)$	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	0	0
$\sigma(\theta)$	-	-	MAX ($ 13.05 - 2.77 $, $ 2.77 - 0 $, $ 0 - 13.05 $) = 13.05	MAX ($ 12.41 - 3.41 $, $ 3.41 - 0 $, $ 0 - 12.41 $) = 12.41	MAX ($ 6.38 - (-0.05) $, $ -0.05 - 0 $, $ 0 - 6.38 $) = 6.43
				Max(12.41, 6.43) = 12.41	

(注) 本表記載の数値は計算例を示すものであり, 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 $\sigma_c(\theta)$	SRSS 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 SRSS 法では全方向において一定であるのに対して、組合せ係数法では 24.75° / 65.25° 方向に 2 つのピークをもつ分布となった。応力強さは 0° / 45° / 90° 方向付近では SRSS 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 SRSS 法を約 5% 上回る結果となった。

水平 2 方向入力時の SRSS 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言える。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	SRSS 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（ダイヤフラムフロア）

5.1 はじめに

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

5.2 ダイヤフラムフロアの構造

ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製格納容器（以下「RCCV」という。）をドライウェルとサプレッション・チェンバに仕切る構造物である。ダイヤフラムフロアは鉄筋コンクリート製のスラブであり、RCCV及び原子炉本体基礎で支持されている。ダイヤフラムフロアとRCCVの接合部にはシアプレートが放射状に設置されており、円周方向及び鉛直方向の力の伝達を行う。原子炉本体基礎との接合部には、ダイヤフラムフロアが原子炉本体基礎に上載する構造とし、原子炉本体基礎上面にシアプレート及び頭付きスタッドが放射状に設置されており、円周・半径方向力の伝達を行う（第5-1図）。

5.3 現行評価の手法

ダイヤフラムフロアに作用する水平方向の地震力は、NS、EW方向のうち最大となるものを用いる。

鉄筋コンクリートスラブは軸力、曲げ応力により発生する引張応力度、圧縮応力度及び面外せん断力について評価を実施している。

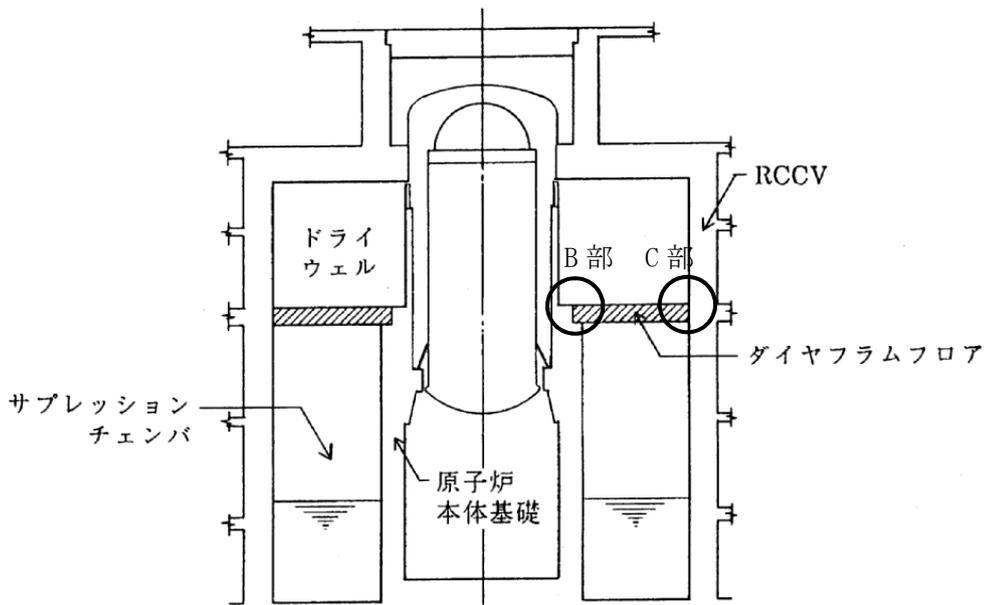
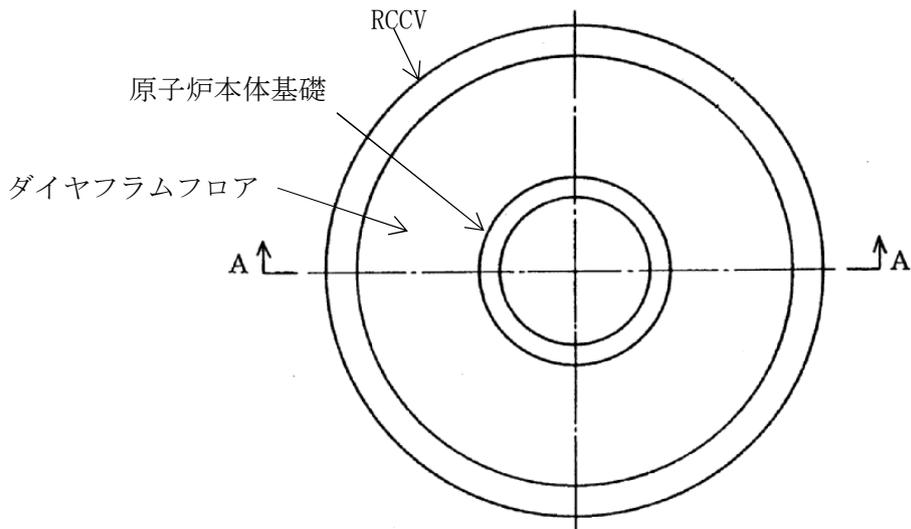
シアプレート及び頭付きスタッドは、地震時の水平力又は鉛直力によるせん断応力度と曲げモーメントによる曲げ応力度について評価を実施している。

5.4 水平2方向同時加振の影響

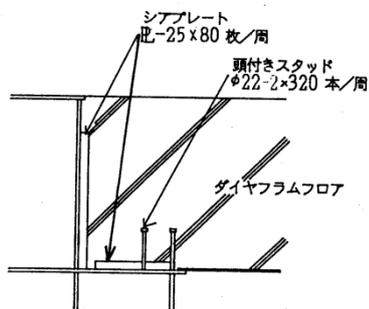
鉄筋コンクリートスラブに作用する荷重は鉛直方向の荷重が支配的であり、水平2方向の地震を組み合わせた場合でも、引張応力度、圧縮応力度及び面外せん断力に与える影響は軽微である。

地震時にダイヤフラムフロア全体に加わる水平力 Q とした場合、ダイヤフラムフロア端部に加わる水平力 q は \sin 分布として与えている（第5-2図）ため、地震方向との角度 θ が 90° の位置で最大となることから、NS、EW方向で最大となる地震力の位置は異なる（第5-3図）。

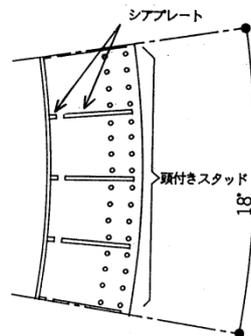
さらに、水平2方向同時加振時の水平力の合力は、水平1方向加振時の最大の水平力と比較し、SRSS法を用いた場合は同値、組合せ係数法を用いた場合は最大で約1.08倍の値となる（第5-4図）ため、水平2方向同時加振の影響は軽微である。



A-A断面図

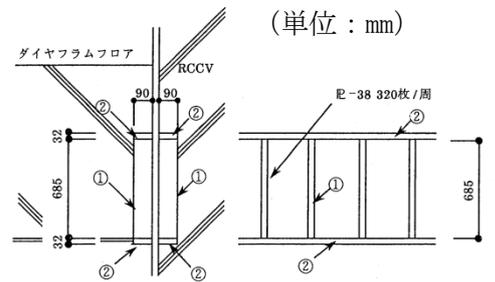


断面図



平面図

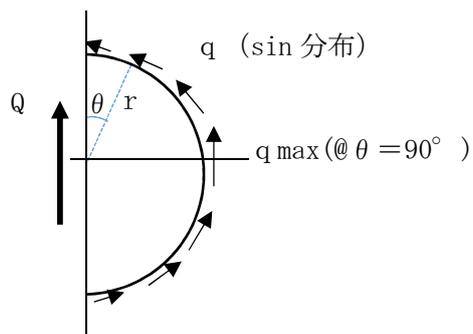
B部詳細



注 ①: 地震時水平力伝達用シアプレート
②: 鉛直力伝達用シアプレート

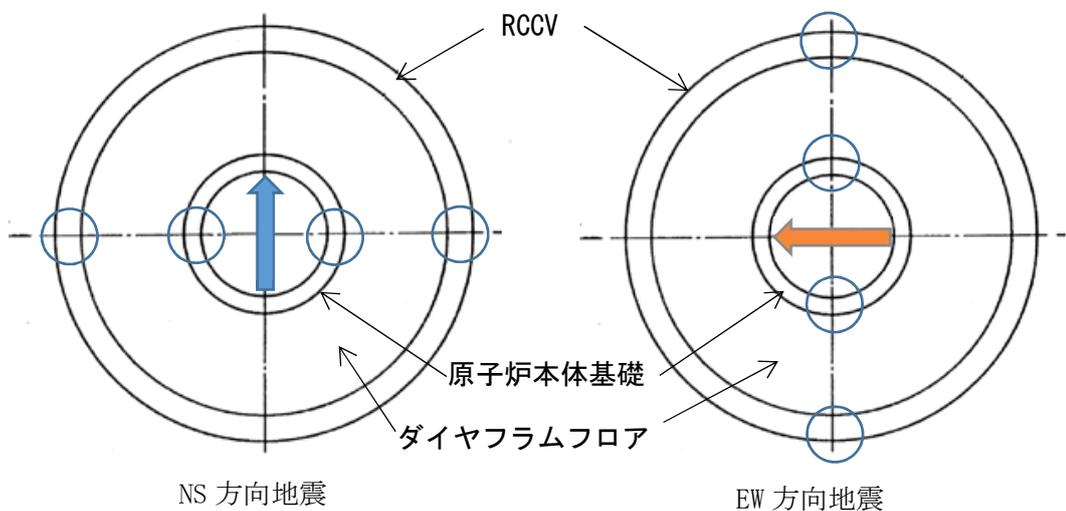
C部詳細

第5-1図 ダイヤフラムフロアの構造 (6号炉の例)



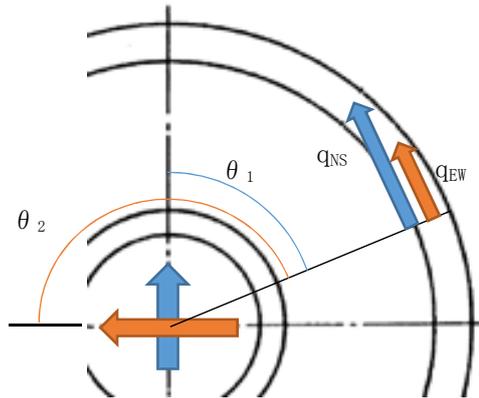
Q:地震時にダイヤフラムフロア全体が受ける水平力
 q:ダイヤフラム端部に作用する水平力
 r:ダイヤフラムフロア半径

第 5-2 図 ダイヤフラムフロア端部における水平力の分布



○ 地震時にシアプレート及び頭付きスタッドが受ける水平力が最大となる位置

第 5-3 図 シアプレート及び頭付きスタッドに与える各方向地震による最大水平力発生点



NS 加振時水平力 : $q_{NS} = Q / \pi r \times \sin \theta_1$
 EW 加振時水平力 : $q_{EW} = Q / \pi r \times \sin \theta_2$
 $= Q / \pi r \times \sin(\pi/2 + \theta_1)$
 $= Q / \pi r \times \cos \theta_1$

← : NS 方向加振時 ← : EW 方向加振時

< 組合せ係数法を用いた 2 方向加振時水平力 >

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

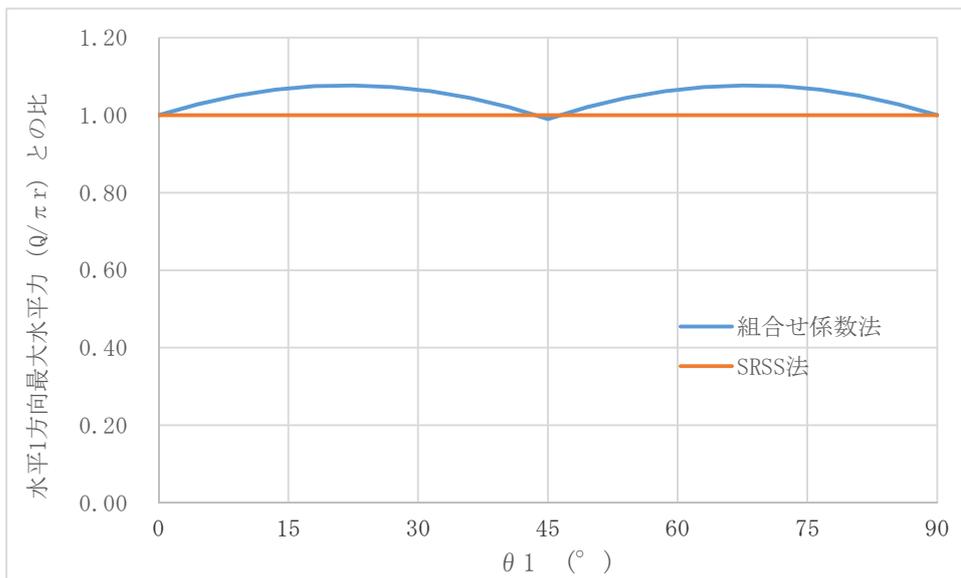
$$= Q / \pi r \times \max(\sin \theta_1 + 0.4 \times \cos \theta_1, 0.4 \times \sin \theta_1 + \cos \theta_1)$$

< 最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法を用いた 2 方向加振時水平力 >

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

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

$$= Q / \pi r$$



第 5-4 図 水平 2 方向同時加振時の水平力分布について

6 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）

6.1 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。

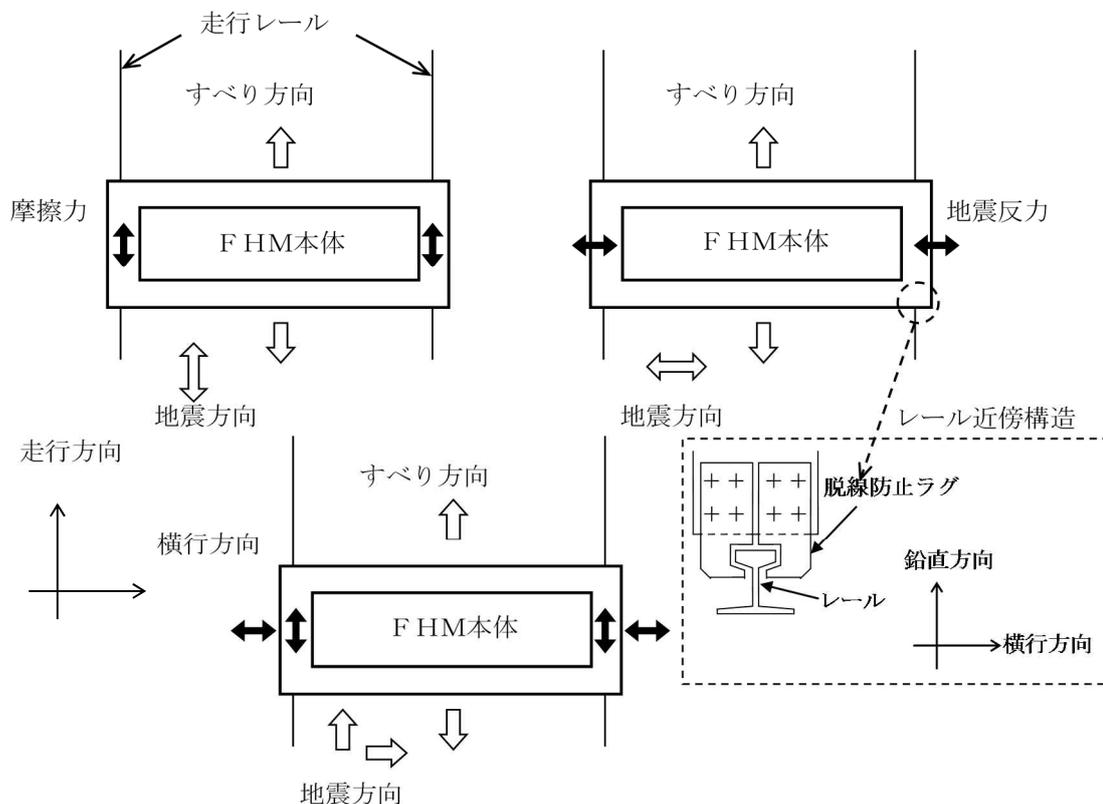
6.2 現行評価の手法

FHMはレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建屋との固定はないが、地震時に横行方向（走行レールに対し直角方向）にすべりが生じた場合は、レールに沿って取り付けられている脱線防止ラグがレールの側面と接触し、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が横行方向に建屋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の詳細検討において行うこととする。



第6-1図 燃料取替機の負担する水平地震荷重

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

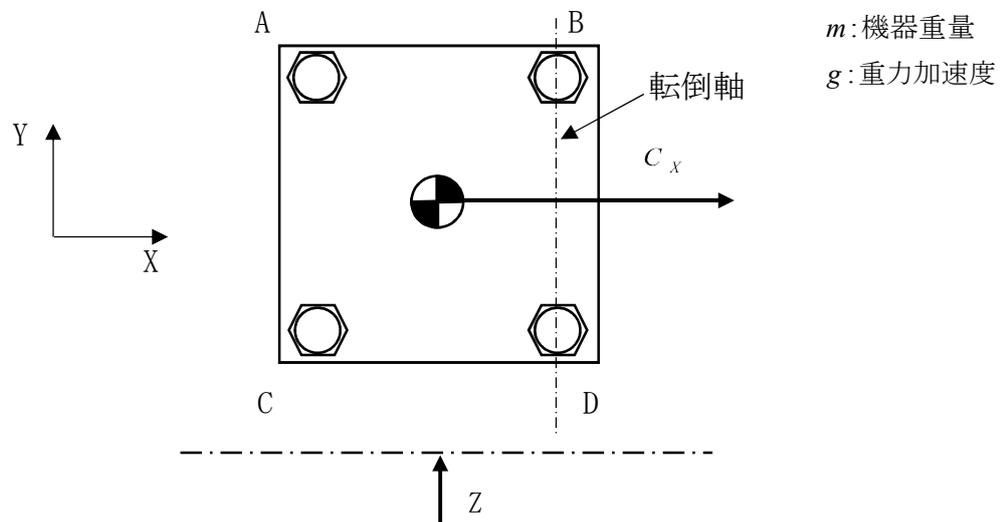
本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討をおこなった。

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_x 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）

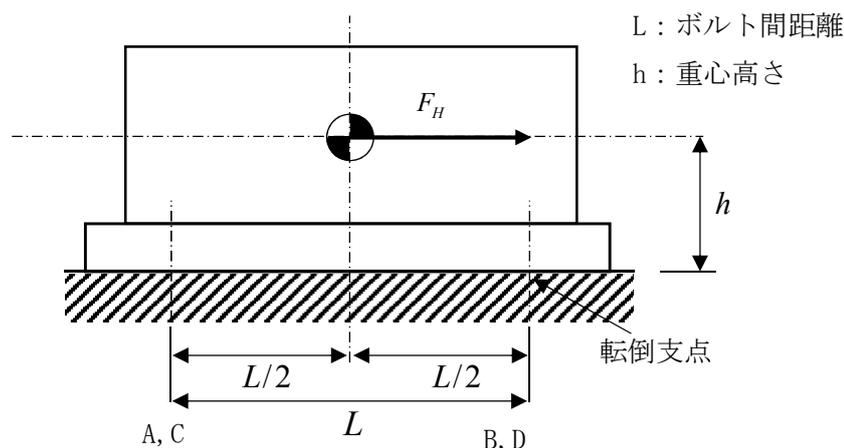
この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は

$$F_H = mgC_x \quad (\text{式1})$$

と表せ、 F_H によりボルトBとボルトDの中心を結んだ軸を中心に転倒モーメントを生じる。

この転倒モーメントはボルトA、Cにより負担される。

このとき、系の重心に生じる力は、第 7-2 図に示すとおりである。



第 7-2 図 水平 1 方向の地震力による力 (Z 矢視図)

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に発生する全引張力 F_b は

$$F_b = \frac{1}{L}(mgC_x h) \quad (\text{式 2})$$

となる。

ボルトに掛かる引張応力 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、

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b} \quad (\text{式 3})$$

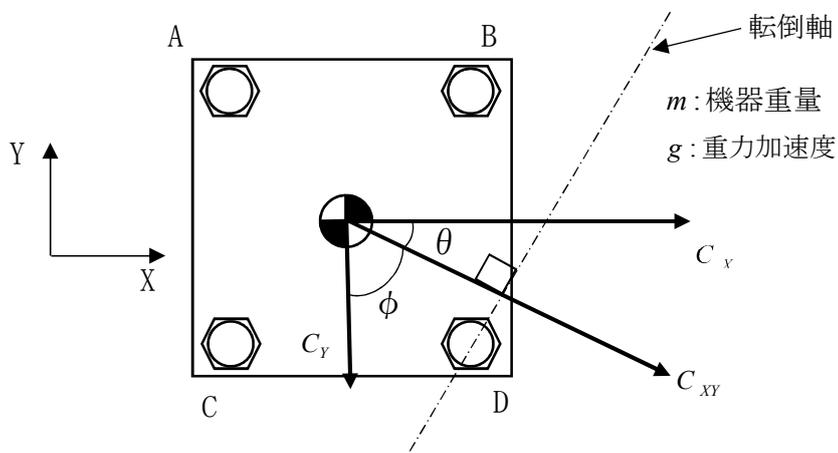
である。水平 1 方向地震力を考慮する場合、ボルト A, C で全引張力を負担することから、 $n_f = 2$ であり、ボルトに掛かる引張応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{mgC_x h}{2A_b L} \quad (\text{式 4})$$

となる。

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



第7-3図 水平2方向の地震力による応答 (概要)

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

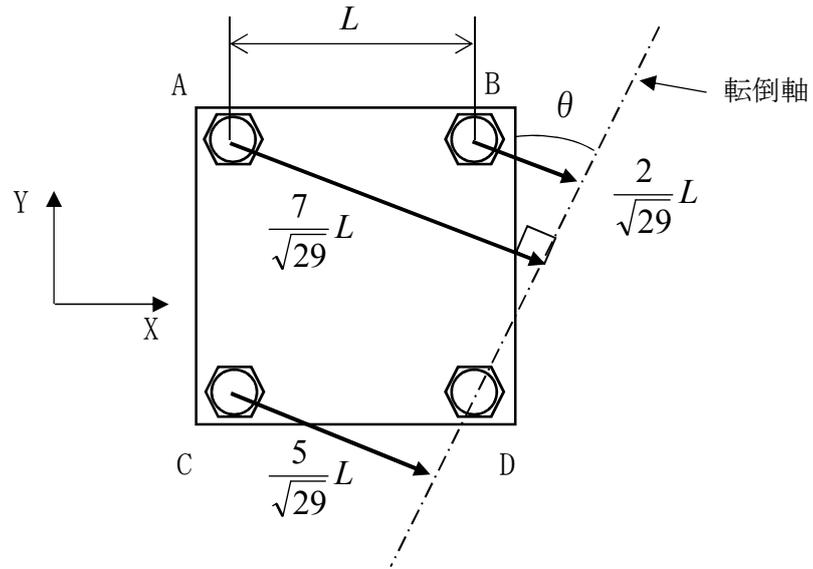
$$\begin{aligned} C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\ &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_X \\ &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \end{aligned} \quad (\text{式5})$$

と表せる。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \quad (\text{式6})$$

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た場合、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、



第 7-4 図 対角方向に応答する場合の転倒軸からの距離

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、

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

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、(式 6) 及び (式 7) より、

$$mg C_{XY} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} L F_A \quad (\text{式 8})$$

であり、引張力 F_A は以下のとおりとなる。

$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L} (mgC_{XY}h) \quad (\text{式 9})$$

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

$$\sigma_b' = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_bL} (mgC_{XY}h) \quad (\text{式 10})$$

であり、水平 1 方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_bL} (mgC_Xh) \quad (\text{式 4 再掲})$$

に対して、(式 5) より震度 $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ であることから (式 10) は

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_bL} (mgC_{XY}h) \\ &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_bL} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} (mgC_Xh) \\ &= \frac{7 \times 5.8}{39} \times \frac{mgC_Xh}{2A_bL} \\ &= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\ &\cong 1.04\sigma_b \end{aligned} \quad (\text{式 12})$$

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。

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、

$$Q_b = F_H \quad (\text{式 13})$$

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、

$$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b} \quad (\text{式 14})$$

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 (式 5) より震度 $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$ であるため、

$$Q_b = mgC_X \quad (\text{式 15})$$

$$Q_b' = mgC_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \cong 1.08mgC_X \quad (\text{式 16})$$

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（電気盤）

8.1 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。

8.2 水平2方向加振の影響について

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

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

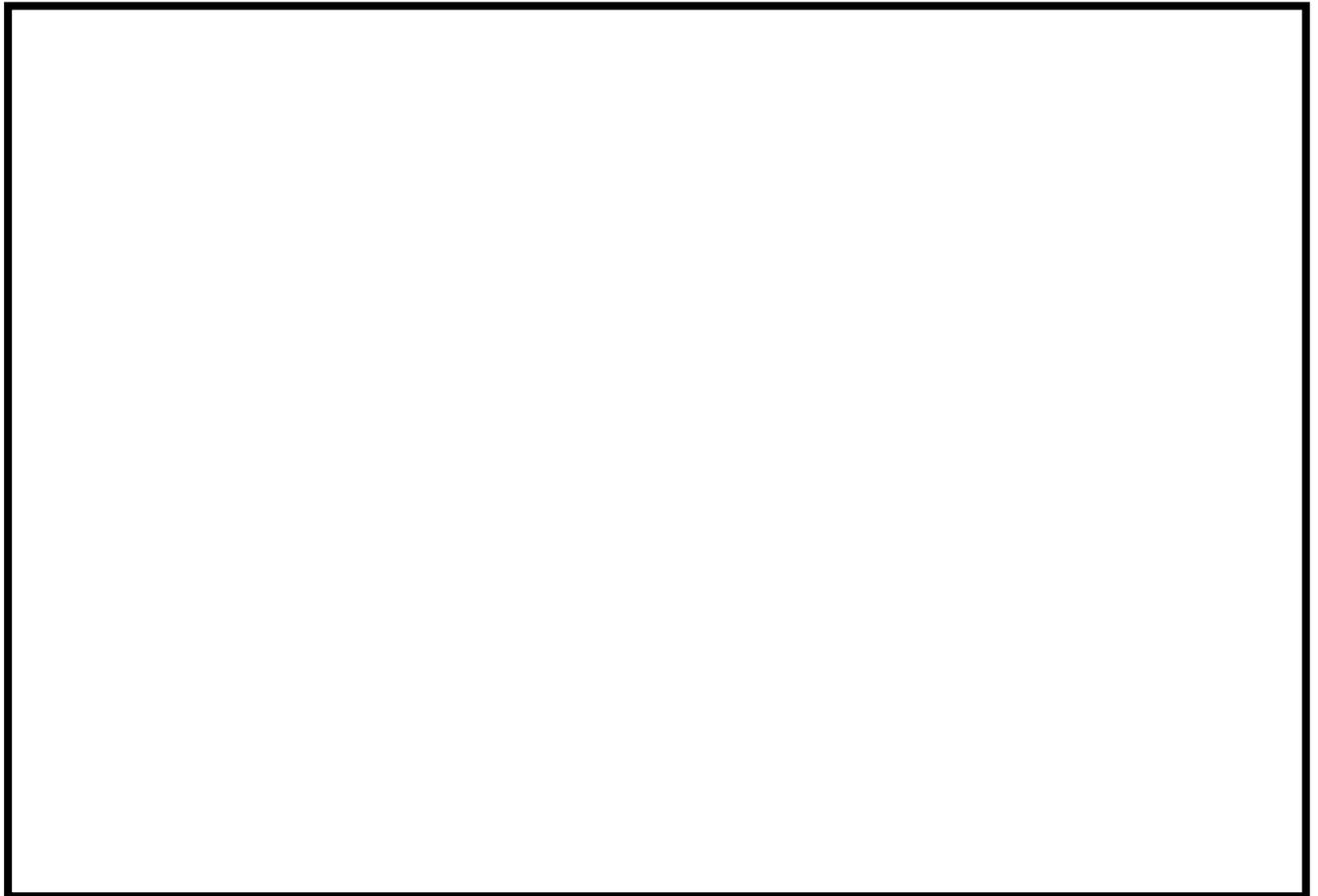
なお、これら以外の器具については、今後の詳細検討において構造・型式等の観点から網羅的に整理し、影響が軽微であることを確認することとする。

8.2.1 補助リレー

(1) 構造，作動機構の概要

第 8-1 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，可動接点は左右方向にのみ動くことのできる構造になっている。



第 8-1 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 8-1 図から，器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

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

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

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と補助リレーの既往試験での確認済加速度を第 8-1 表に示す。

第 8-1 表 補助リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
発生加速度(G) ^{※2}	0.83	0.83
確認済加速度(G)		

※1：発生加速度は前後及び左右方向の最大値，確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

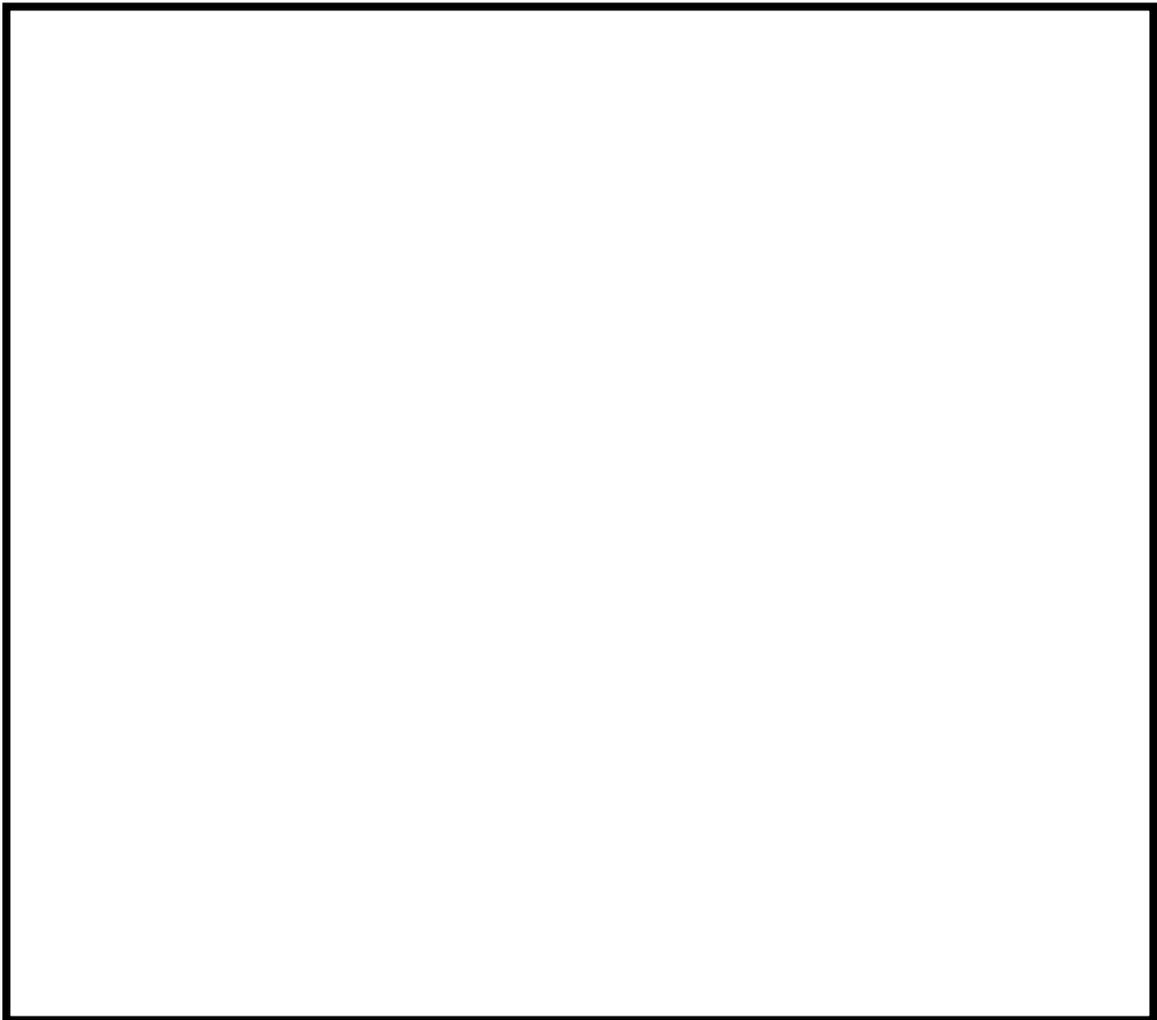
※2：6号炉原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m 基準地震動 S_s (暫定値)

8.2.2 ノーヒューズブレーカ (MCCB)

(1) 構造, 作動機構の概要

第 8-2 図に MCCB の構造及び作動機構を示す。配線用遮断器には熱動電磁式と完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の動作原理と内部構造を示す。

熱動電磁式は、過電流が流れるとバイメタルが彎曲し、トリップ桿によりラッチの掛け合いが外れ、キャッチがバネにより回転し、リンクに連結された可動接点が作動し回路を遮断する。また、短絡電流等の大電流が流れた場合は、固定鉄心の電磁力で可動鉄心が吸引されトリップ桿が作動し、以降は上述と同じ動作により回路を遮断する。



第 8-2 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8-2図から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

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

上記より、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、左右方向はずれによる）から、これらについては誤動作に至る事象は多次元的な影響はないものと考えられる。

ラッチ外れについては2軸（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方向の影響はないものと考えられる。

なお、既往試験においては、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、発生加速度とMCCBの既往試験での確認済加速度を第8-2表に示す。

第8-2表 MCCBの発生加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
発生加速度(G) ^{※2}	0.83	0.83
確認済加速度(G)		

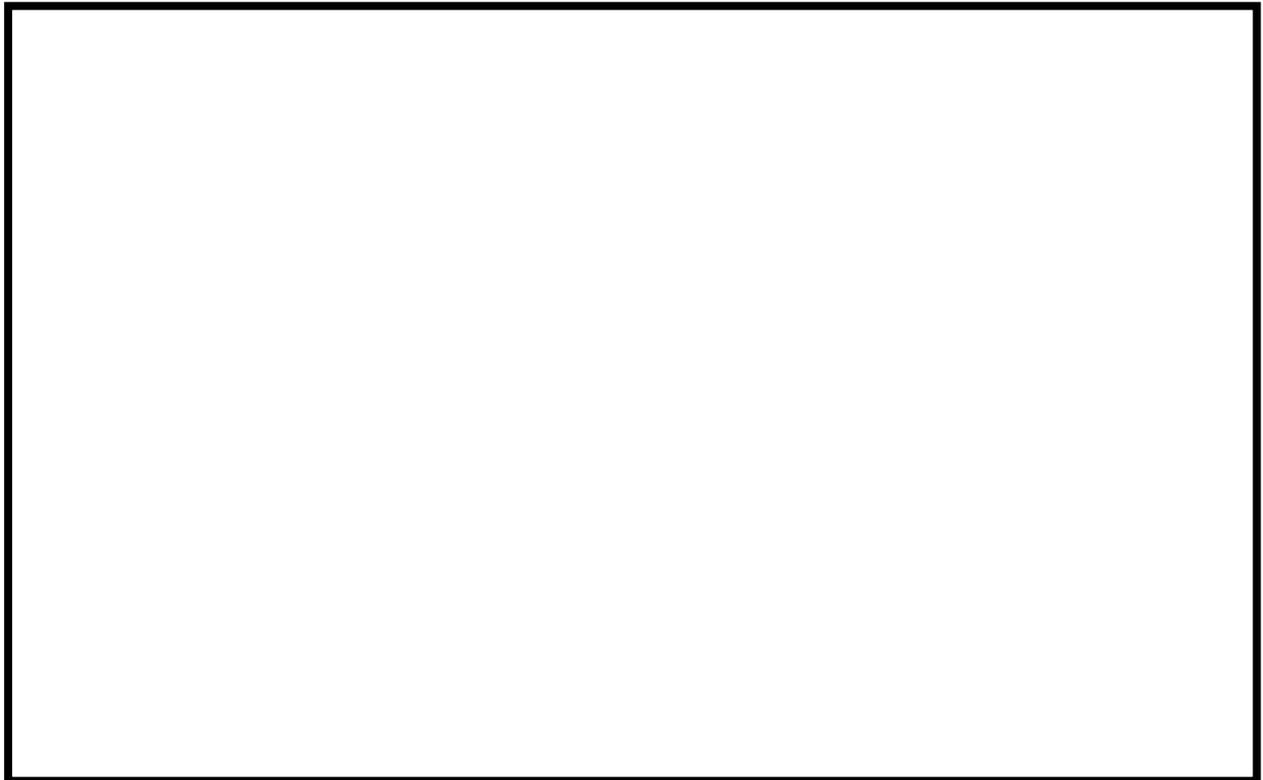
※1：発生加速度は前後及び左右方向の最大値，確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

※2：6号炉原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m 基準地震動 S_s（暫定値）

8.2.3 過電流リレー（保護リレー）

（1）構造，作動機構の概要

第 8-3 図に過電流リレー（保護リレー）の構造を示す。過電流リレーは，電流コイル 1 個を持つ電磁石が動作トルクを発生し，制動磁石の制動により限時特性を得る円板形リレーであり，タップ値以上の過電流が流れると接点が動作し，警報や遮断器引き外しを行う。なお，過電流リレーはボルトにて，盤の扉面に強固に取り付けられている。



第 8-3 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8-3図から、器具の誤動作モードとして以下が考えられる。

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

円板の固渋については上下方向のため、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年の日本機械学会講演論文集「誘導円板型リレーの地震時誤動作に関する研究」において、円板が水平2方向入力により、回転し接点接触により、誤動作が生じることが報告されている。しかし、平成13年度に行われた電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」において、水平2方向加振時に鉛直方向加振を加えた試験を実施しており、正弦波加振試験では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を確認している。したがって、地震波による水平2方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と過電流リレーの既往試験での確認済加速度を第8-3表に示す。

第8-3表 過電流リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方向	水平 ^{※1} (前後・左右)	上下
発生加速度(G) ^{※2}	0.83	0.83
確認済加速度(G)		

※1：発生加速度は前後及び左右方向の最大値、確認済加速度は前後及び左右方向の最小値を記載

※2：6号炉原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m 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、代表的な建屋について、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屋として、原子炉建屋（6号炉）及びタービン建屋（6号炉）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. 原子炉建屋（6号炉）

原子炉建屋（6号炉）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 1 階（T.M.S.L. 12.3）並びに上部構造のクレーン取付階伏図（T.M.S.L. 38.2）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、原子炉建屋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

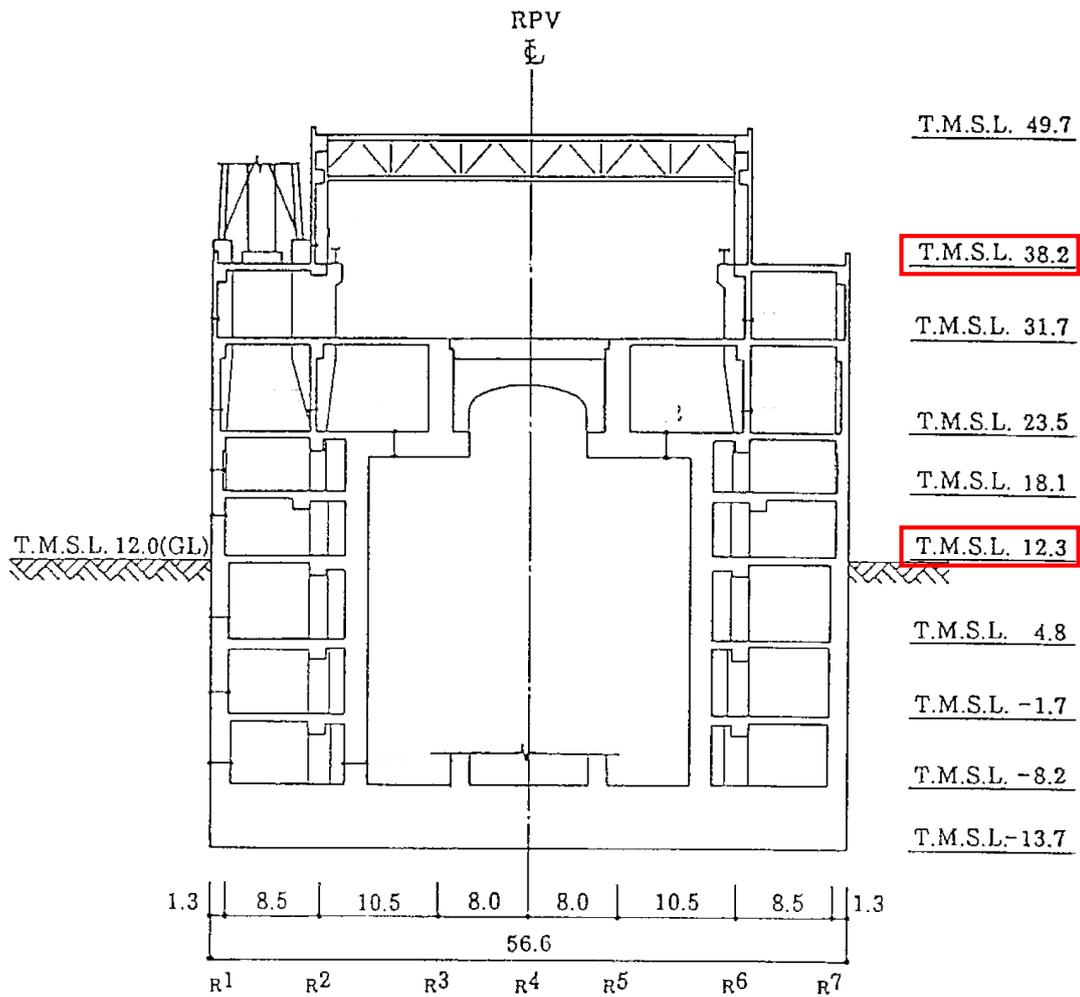
梁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また第 2-1-2 図及び第 2-1-3 図に示すとおり原子炉建屋の梁は床及び壁に拘束されているため、面外荷重負担による影響は小さい。

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屋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。

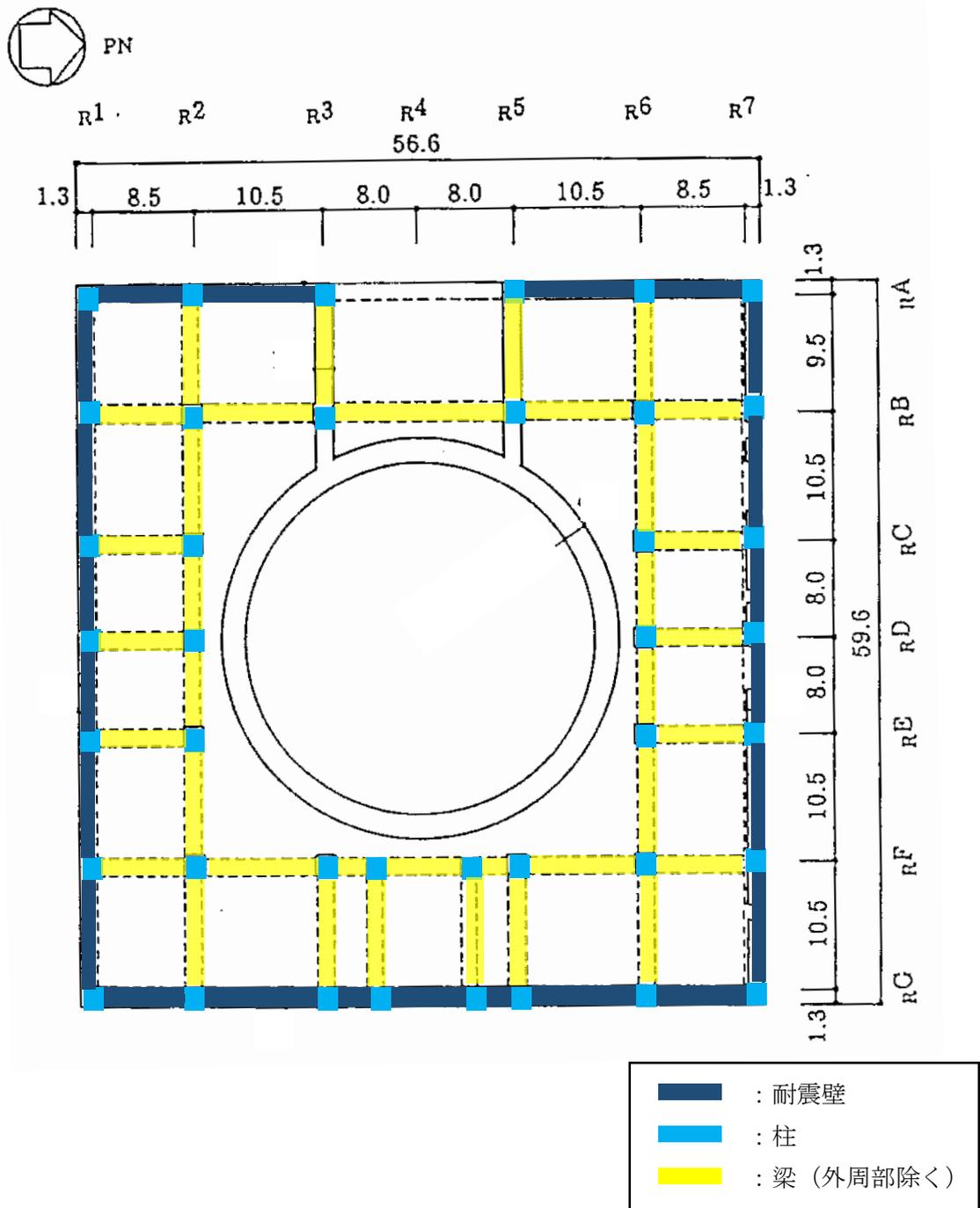
d. 床及び屋根

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。

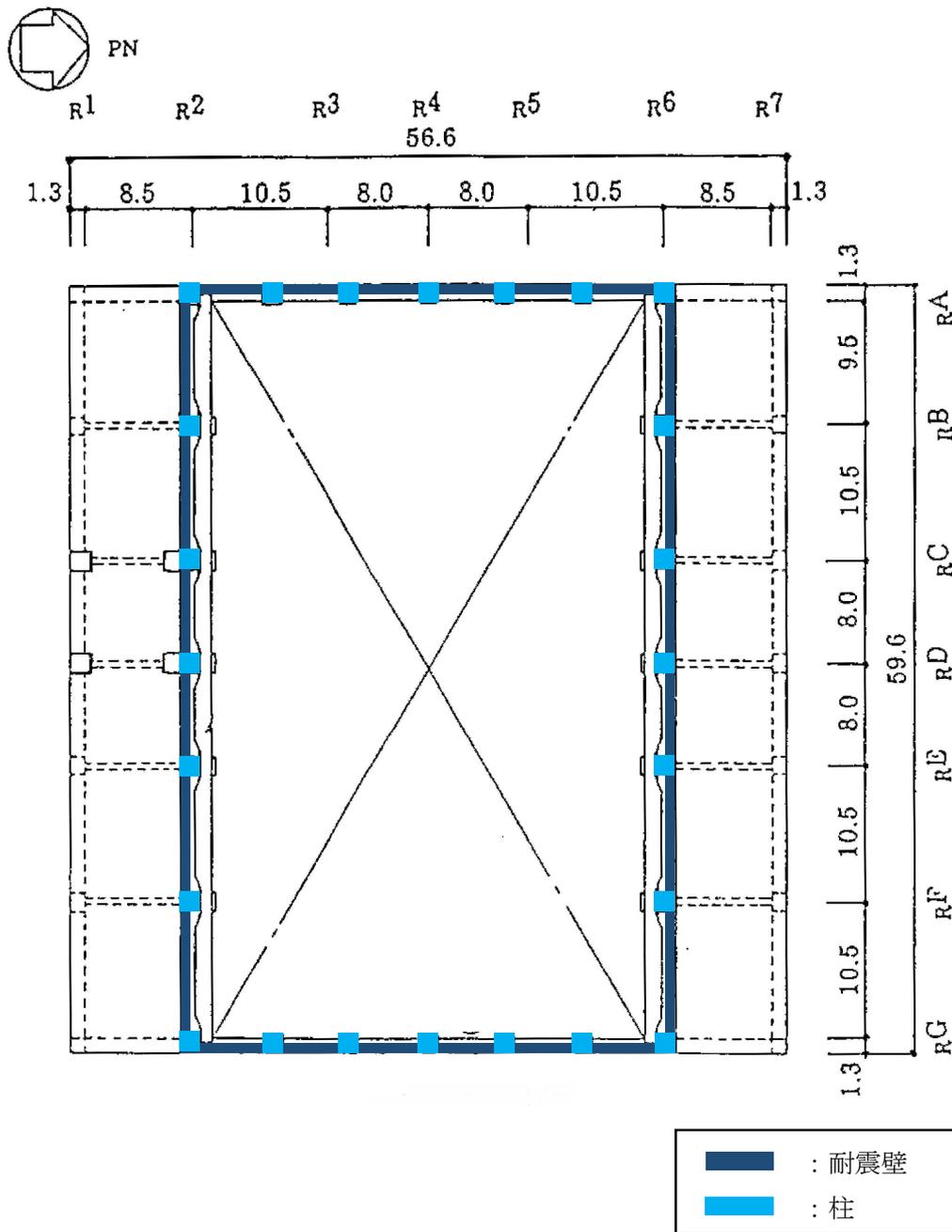


赤枠内の平面図を示す

第 2-1-1 図 原子炉建屋 (6 号炉) 断面図 (単位 : m)



第 2-1-2 図 原子炉建屋 1 階伏図 (T.M.S.L.12.3) (単位 : m)



第 2-1-3 図 原子炉建屋 クレーン取付階伏図 (T.M.S.L.38.2) (単位 : m)

2-2. タービン建屋（6号炉）

タービン建屋（6号炉）の断面図を第 2-2-1 図に、伏図を第 2-2-2 図及び第 2-2-3 図に示す。なお、平面図については基準階として 1 階（T.M.S.L. 12.3）並びに上部構造の 3 階（T.M.S.L. 30.9）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 2-2-2 図及び第 2-2-3 図に示すとおり、タービン建屋（6号炉）の隅柱は耐震壁又は鉄骨ブレース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

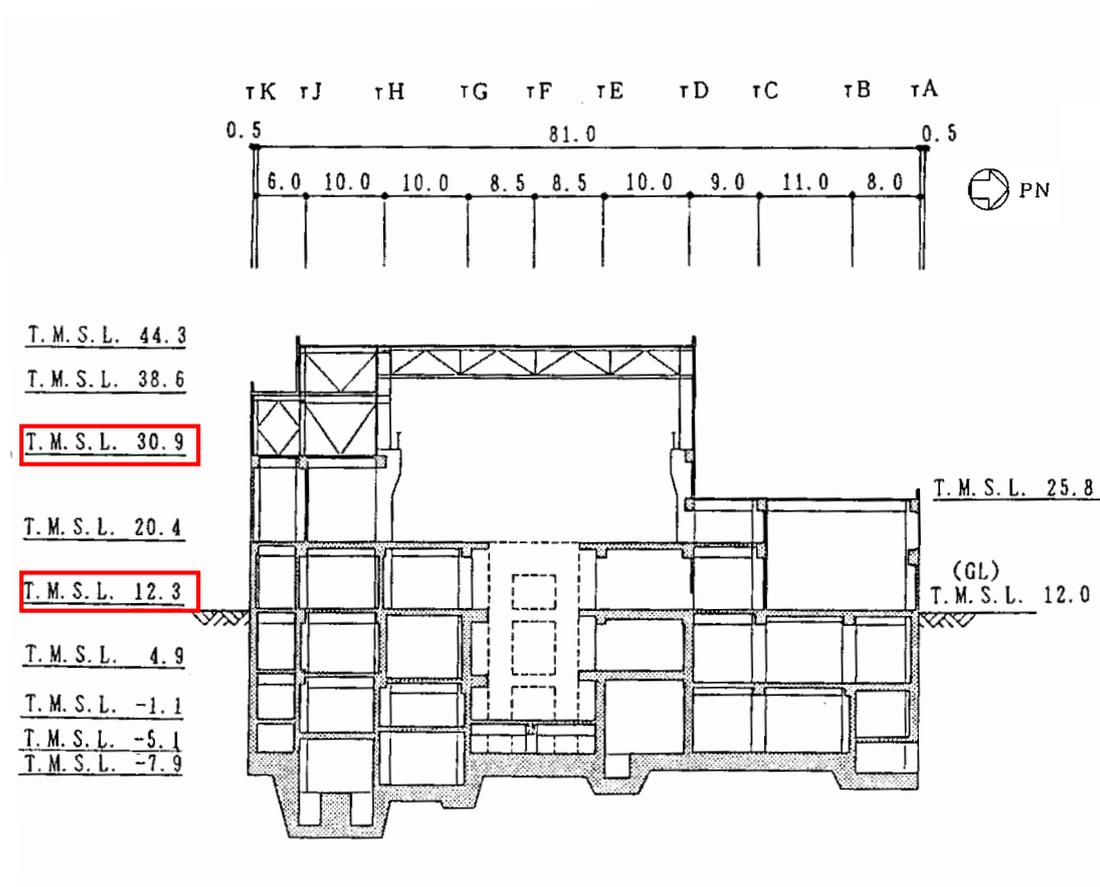
梁については、1 方向のみ荷重を負担することが基本であり、また第 2-2-2 図及び第 2-2-3 図に示すとおりタービン建屋（6号炉）の梁は床及び壁に拘束されているため、面外荷重負担による影響は小さい。

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 2-2-2 図及び第 2-2-3 図に示すとおりタービン建屋（6号炉）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。ただし、上部架構については、妻側片面にブレースが配置されていない構造となっている。

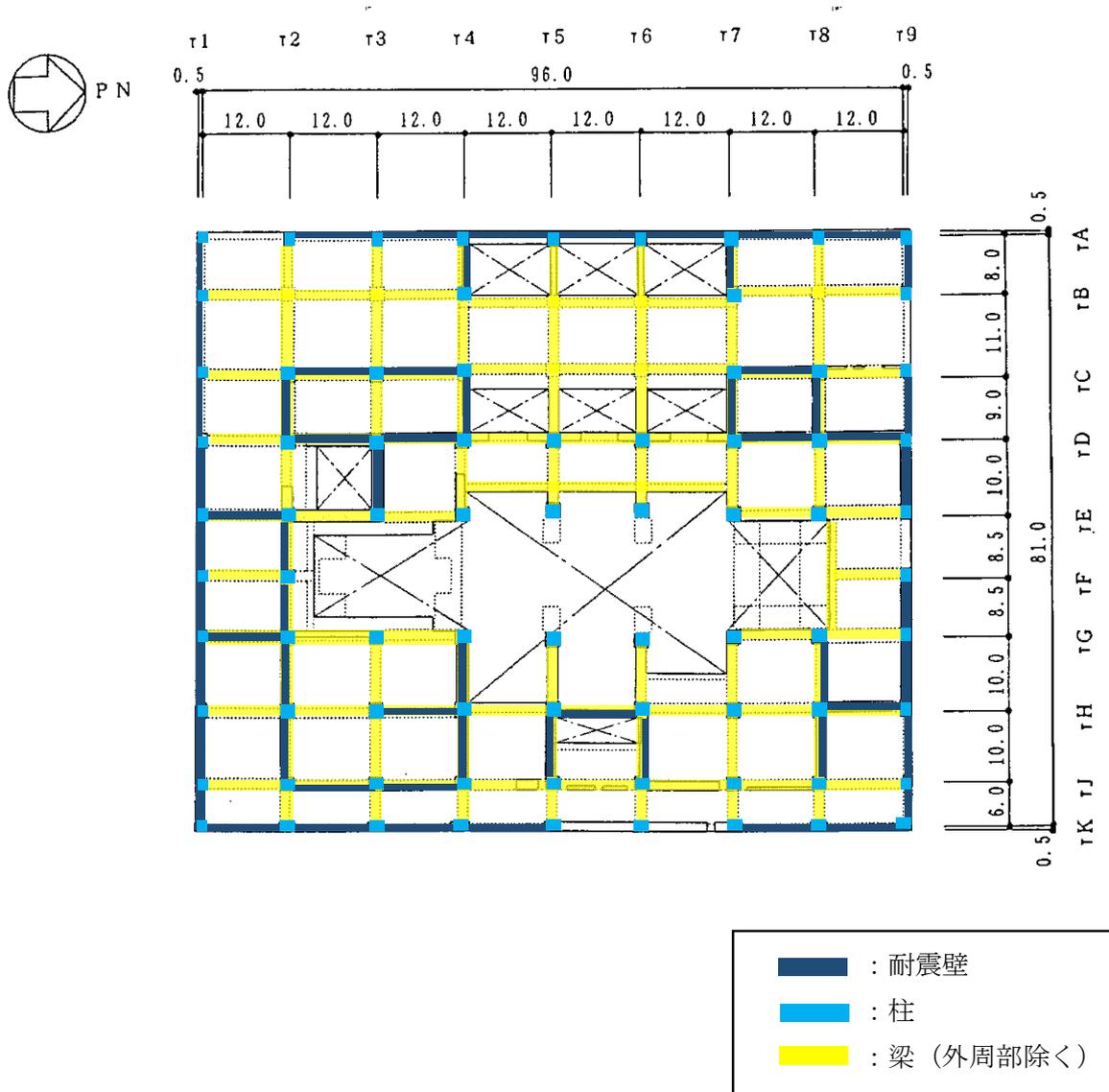
d. 床及び屋根

床及び屋根については、第 2-2-2 図及び第 2-2-3 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。

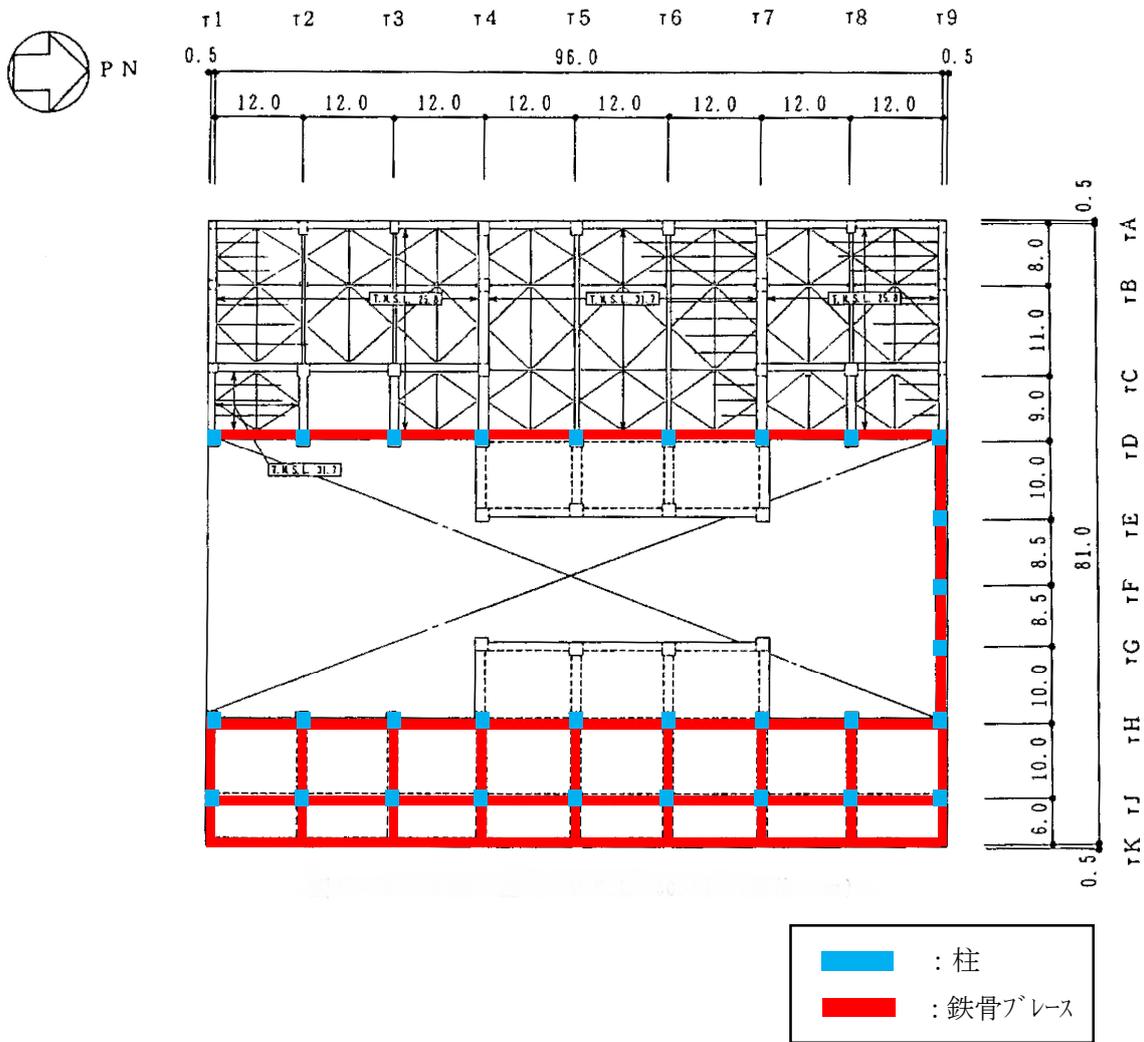


赤枠内の平面図を示す

第 2-2-1 図 タービン建屋 (6 号炉) 断面図 (単位 : m)



第 2-2-2 図 タービン建屋 (6 号炉) 1 階伏図 (T.M.S.L. 12.3) (単位 : m)



第 2-2-3 図 タービン建屋 (6 号炉) 3 階伏図 (T.M.S.L. 30.9) (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。

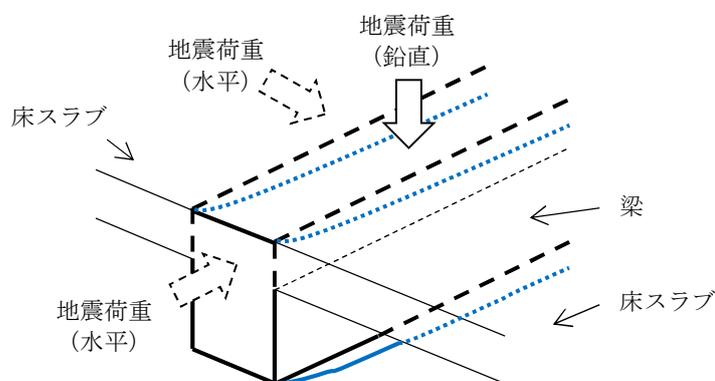
2. 梁の力学的特性

(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。

(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 Ss-1 及び Ss-3 並びに「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 Ss-8 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 Ss-1 及び Ss-3 並びに「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 Ss-8 の水平方向の模擬地震波の作成方針を下記に示す。

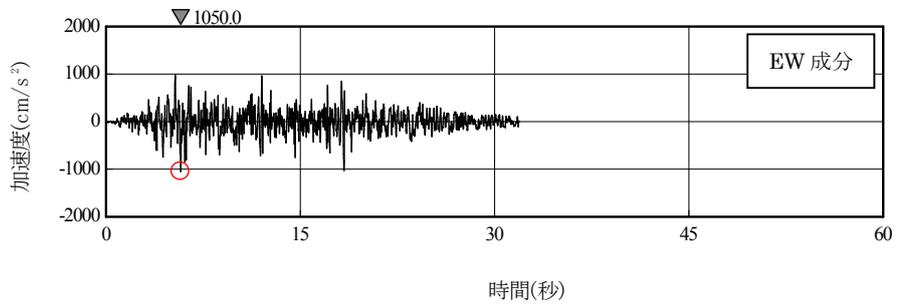
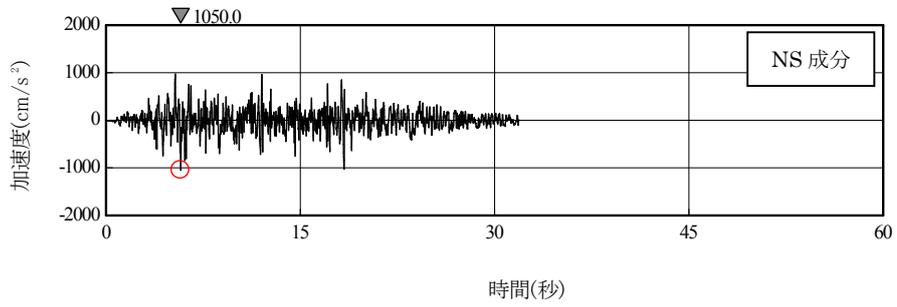
(1) 応答スペクトルに基づく地震動として策定された基準地震動に対する模擬地震波

基準地震動 Ss-1 及び Ss-3 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。

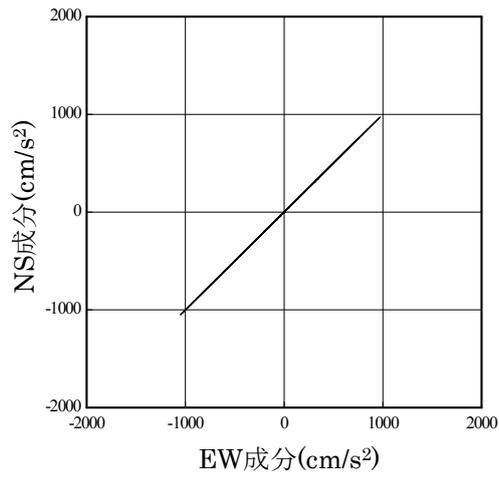
なお、念のために大湊側鉛直アレイ観測点 (T. M. S. L. -180m) の観測記録から、当該サイトにおいて、水平2方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として、基準地震動 Ss-1 を同時に水平2方向に入力した場合のオービット (第2-1図) と、観測記録の水平2方向のオービット (第2-2図及び第2-3図) との比較を行った。第2-1図から、全く同じ地震動を同時に水平2方向に入力した場合、オービットは現実的に考えにくい45°方向に直線的な軌跡を示す。一方、第2-2図及び第2-3図より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

(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 Ss-8 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 Ss-8 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敷地地盤の物性等を踏まえて作成されている。模擬地震波については、基準地震動 Ss-8 の作成方法と同一の方法で、基準地震動 Ss-8 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。

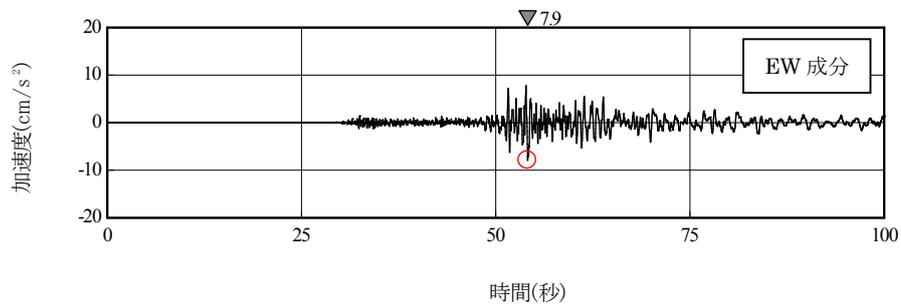
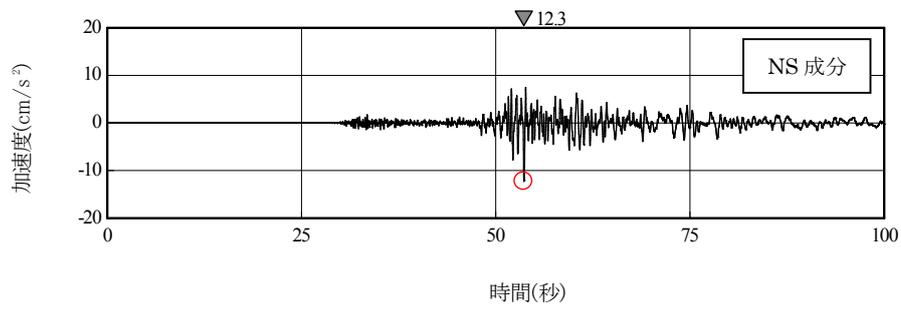


(a) 加速度時刻歴波形

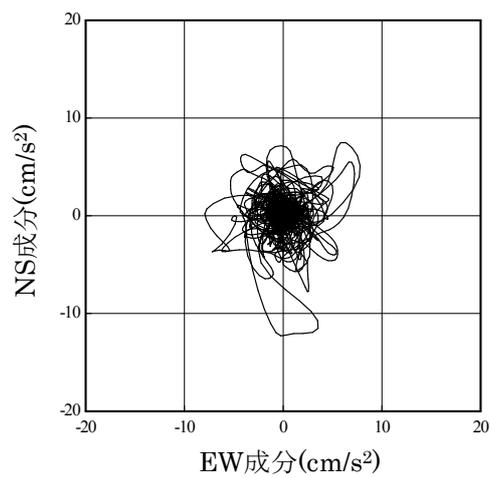


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

第 2-1 図 基準地震動 Ss-1H

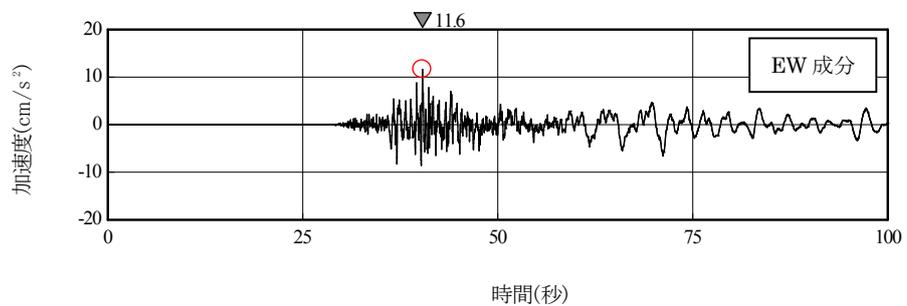
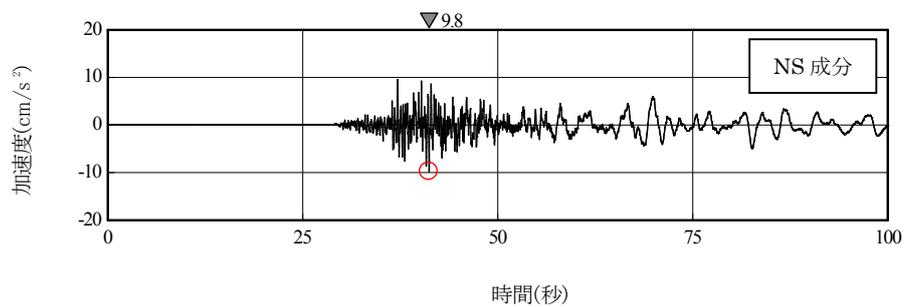


(a) 加速度時刻歴波形

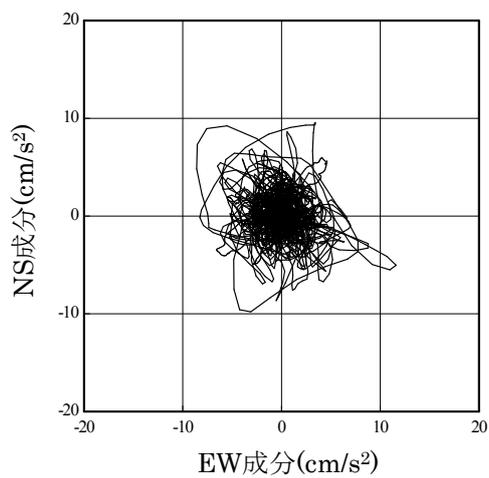


(b) 水平 2 方向の加速度成分のオービット

第 2-2 図 2007 年能登半島地震観測記録 (大湊側鉛直アレイ観測点 T.M.S.L.-180m)



(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 2-3 図 2011 年長野県北部地震観測記録 (大湊側鉛直アレイ観測点 T.M.S.L.-180m)

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

基礎地盤傾斜が 1/2,000 を超えることに
対する耐震設計方針について
(耐震)

目 次

1. 概要
2. 基礎地盤傾斜に対する影響検討
 2. 1 影響検討対象
 2. 2 影響検討方針
3. 原子炉建屋を例とした基礎地盤傾斜に対する影響検討
 3. 1 基礎地盤傾斜による地震荷重及び地震と組み合わせるべき荷重への影響
 3. 2 耐震設計における原子炉建屋基礎地盤傾斜による影響の考慮方針の検討

1. 概要

「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に「許容される傾斜が各建物及び構築物に対する要求性能に応じて設定されており、動的解析の結果に基づいて求められた基礎の最大不等沈下量及び残留不等沈下量による傾斜が許容値を超えてないことを確認する。一般建築物の構造的な障害が発生する限界（亀裂の発生率、発生区間等により判断）として建物の変形角を施設の傾斜に対する評価の目安に、 $1/2,000$ 以下となる旨の評価していることを確認する。なお、これは、基本設計段階での目安値であり、機器、設備等の仕様が明らかになる詳細設計段階において詳細に評価を行うこととなる。」との記載があるが、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉において、基礎地盤の安定性評価の結果、原子炉建屋の傾斜が基準地震動 S_s に対し一時的に $1/2,000$ を超える結果となっていることから建物・構築物及び機器・配管系が傾斜する影響を検討する。

2. 基礎地盤傾斜に対する影響検討

2. 1 影響検討対象

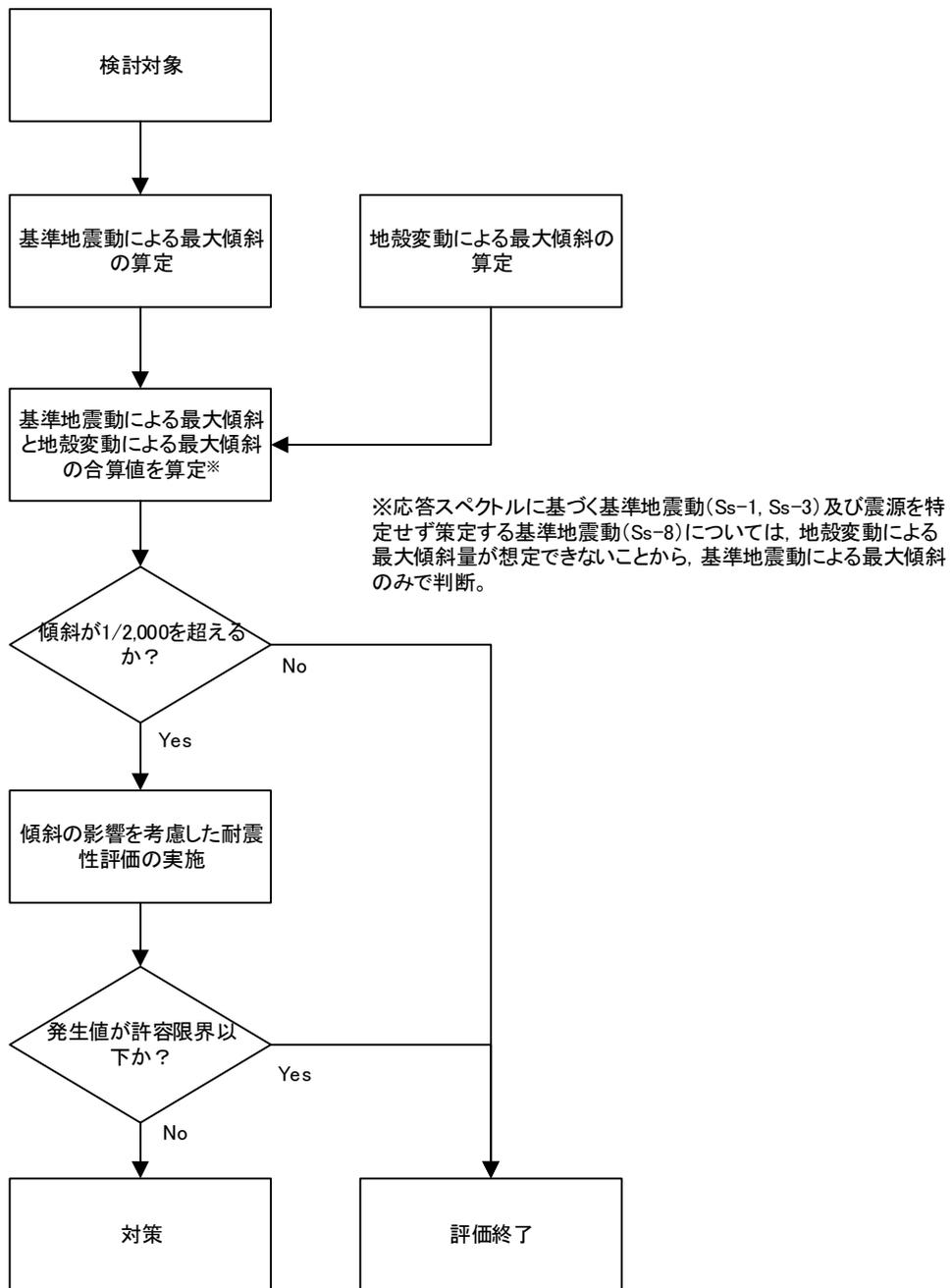
基礎地盤傾斜の影響は、以下を対象として検討する。

- (1) 設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類の S クラスに属する設備
- (2) (1)の間接支持構造物である建物・構築物
- (3) 屋外重要土木構造物
- (4) 重大事故等対処施設のうち、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
- (5) (4)の間接支持構造物である建物・構築物
- (6) (1)～(5)に対する波及的影響防止のために耐震性評価を実施する施設

2. 2 影響検討方針

基礎地盤傾斜の影響検討フローを第 1 図に示す。

検討対象に対して、基準地震動による地震時の最大傾斜と地殻変動による最大傾斜を算定し、合算値が目安値である $1/2,000$ を超えるかを判断する。ただし、応答スペクトルに基づく基準地震動 (S_s-1, S_s-3) 及び震源を特定せず策定する基準地震動 (S_s-8) については、地殻変動による最大傾斜が想定できないことから、基準地震動の最大傾斜のみで判断する。傾斜が $1/2,000$ を超える対象については、傾斜の影響を考慮した耐震性評価を実施する。なお、第 1 表に示すとおり、地殻変動による最大傾斜は建屋を問わず、各基準地震動で同程度の大きさであること、検討対象は全て大湊側の建物・構築物であることから、検討用の地殻変動による最大傾斜として各基準地震動における 5 号、6 号又は 7 号炉原子炉建屋傾斜の最大値を用いる。



第1図 基礎地盤傾斜の影響検討フロー

第1表 地殻変動の最大傾斜*

断層	F-B断層 〔Ss-2〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度) 〔Ss-4〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度) 〔Ss-5〕	長岡平野西縁断層～山 本山断層～十日町断層 帯西部の連動 (傾斜角50度) 〔Ss-6〕	長岡平野西縁断層～山 本山断層～十日町断層 帯西部の連動 (傾斜角35度) 〔Ss-7〕
6号炉 原子炉建屋	1/19,900	1/13,200	1/6,100	1/9,100	1/5,000
7号炉 原子炉建屋	1/20,000	1/13,300	1/6,000	1/9,200	1/4,900
5号炉 原子炉建屋	1/19,800	1/13,200	1/6,100	1/9,400	1/5,100

* 柏崎刈羽原子力発電所 6号炉及び7号炉 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について（平成28年12月26日，第425回審査会合資料1-3-1）より抜粋

3. 原子炉建屋を例とした基礎地盤傾斜に対する影響検討

6号及び7号炉原子炉建屋を例とした基礎地盤傾斜に対する影響を検討する。

原子炉建屋の基礎地盤の安定性評価結果を第2表及び第3表に示す。第2表に示す基準地震動による地震時の最大傾斜と地殻変動による最大傾斜の合算値の最大値 1/1,900 及び第3表に示す基準地震動による最大傾斜の6号炉の最大値 1/1,600, 7号炉の最大値 1/1,700 を包絡する 1/1,000 を検討用の傾斜とする。また，建屋傾斜が 1/2,000 を超えるのは最大不等沈下による一時的なものである（第2図及び第3図参照）が，基礎地盤の残留不等沈下が 1/1,000 という仮定で行う。

第2表 原子炉建屋の基準地震動による最大傾斜と地殻変動による最大傾斜の合算値*

断層		F-B断層 〔Ss-2〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角50度) 〔Ss-4〕	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角35度) 〔Ss-5〕	長岡平野西縁断層帯～ 山本山断層帯～十日町 断層帯西部の連動 (傾斜角50度) 〔Ss-6〕	長岡平野西縁断層帯～ 山本山断層帯～十日町 断層帯西部の連動 (傾斜角35度) 〔Ss-7〕
6号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/19,900	1/13,200	1/6,100	1/9,100	1/5,000
	②地震動による 最大傾斜	1/2,500	1/4,200	1/4,100	1/4,000	1/4,200
	①+② 最大傾斜	1/2,200	1/3,200	1/2,500	1/2,800	1/2,300
7号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/20,000	1/13,300	1/6,000	1/9,200	1/4,900
	②地震動による 最大傾斜	1/2,700	1/3,200	1/3,500	1/2,900	1/3,000
	①+② 最大傾斜	1/2,400	1/2,600	1/2,200	1/2,200	1/1,900
5号炉 原子炉建屋	①地殻変動による 最大傾斜	1/19,800	1/13,200	1/6,100	1/9,400	1/5,100
	②地震動による 最大傾斜	1/4,000	1/5,200	1/4,400	1/5,600	1/5,300
	①+② 最大傾斜	1/3,300	1/3,700	1/2,600	1/3,500	1/2,600

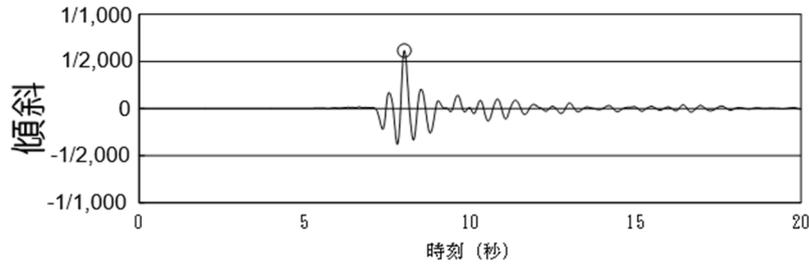
※ ② 地震動による最大傾斜は、各断層モデルに対応する基準地震動Ssを入力地震動としたケースの最大傾斜

第3表 原子炉建屋の基準地震動による最大傾斜*

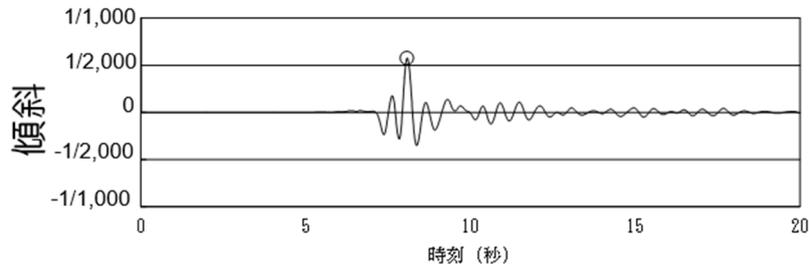
評価対象	上段：最大相対変位 (cm)， 下段：最大傾斜										
	Ss-1		Ss-2	Ss-3		Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	
6号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.8 〔6.79〕	3.0 (正,逆) 〔6.78〕	2.2 〔23.56〕	2.4 〔35.69〕	—	1.3 〔51.87〕	1.4 〔51.88〕	1.4 〔51.87〕	1.2 〔51.43〕	3.5 〔8.01〕	—
	1/2,000	1/1,800	1/2,500	1/2,300	—	1/4,200	1/4,100	1/4,000	1/4,700	1/1,600	—
6号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	1.5 〔5.76〕	—	1.4 〔22.52〕	1.2 〔25.00〕	1.5 (正,逆) 〔17.49〕	1.2 〔51.96〕	1.1 〔46.56〕	1.2 〔54.60〕	1.4 〔46.97〕	1.7 〔8.02〕	1.7 (逆,正) 〔8.01〕
	1/3,900	—	1/4,300	1/4,900	1/4,000	1/5,000	1/5,100	1/5,000	1/4,200	1/3,500	1/3,400
7号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	3.3 〔5.77〕	—	1.9 〔21.54〕	2.8 〔19.15〕	—	1.2 〔51.91〕	1.4 〔46.56〕	1.6 〔51.92〕	1.2 〔46.58〕	3.3 〔8.07〕	—
	1/1,700	—	1/2,900	1/2,000	—	1/4,500	1/4,100	1/3,600	1/4,600	1/1,700	—
7号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.4 〔5.74〕	—	2.2 〔20.83〕	1.9 〔19.12〕	2.1 (正,逆) 〔17.50〕	1.8 〔52.57〕	1.7 〔46.54〕	2.0 〔51.94〕	1.9 〔46.95〕	2.5 〔8.03〕	—
	1/2,500	—	1/2,700	1/3,000	1/2,800	1/3,200	1/3,500	1/2,900	1/3,000	1/2,400	—
5号炉 原子炉建屋 汀線平行断面	2.5 〔18.79〕	—	1.9 〔23.54〕	2.1 〔36.55〕	2.1 (正,逆) 〔19.61〕	1.3 〔51.87〕	1.4 〔46.49〕	1.1 〔51.88〕	1.0 〔46.49〕	3.0 〔8.00〕	3.1 (逆,正) 〔7.99〕
	1/3,200	—	1/4,400	1/3,900	1/3,900	1/6,300	1/5,900	1/7,500	1/8,200	1/2,700	1/2,700
5号炉 原子炉建屋 汀線直交断面	2.3 〔9.18〕	—	2.1 〔22.53〕	1.6 〔37.21〕	1.8 〔17.51〕	1.6 〔51.96〕	1.9 〔46.56〕	1.5 〔51.96〕	1.6 〔46.96〕	2.3 〔8.03〕	—
	1/3,600	—	1/4,000	1/5,200	1/4,500	1/5,200	1/4,400	1/5,600	1/5,300	1/3,600	—

※ 下線は、各号炉における最大相対変位及び最大傾斜の最大値を示す。 ※ Ss-1, 3, 8の左側に、位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。
 ※ Ss-1, 3, 8の右側に、位相反転ありの場合の最大相対変位及び最大傾斜が位相反転なしの場合の最大相対変位及び最大傾斜を上回った場合の最大相対変位及び最大傾斜を記載。
 ※ Ss-1, 3, 8の右側に記載の、(逆,正)は水平反転、(正,逆)は鉛直反転、(逆,逆)は水平反転かつ鉛直反転を示す。 ※ () は、発生時刻 (秒) を示す。

* 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について (平成28年12月26日, 第425回審査会合資料1-3-1) より抜粋



第2図 6号炉原子炉建屋の傾斜 (Ss-8) *



第3図 7号炉原子炉建屋の傾斜 (Ss-8) *

* 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉 原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について (平成28年12月26日, 第425回審査会合資料1-3-1) より抜粋

3. 1 基礎地盤傾斜による地震荷重及び地震と組み合わせるべき荷重への影響

基準地震動 Ss と組み合わせるべき荷重は死荷重, 圧力荷重及び機械的荷重が挙げられる。以降で各荷重に対する建屋傾斜の影響を検討する。

3. 1. 1 基準地震動 Ss により定まる地震力への影響

耐震性評価用のせん断力, 曲げモーメント及び床応答スペクトル等の地震力は地震による加速度を入力として算定される。そこで, 建屋傾斜の有無による地震加速度への影響を検討する。

建屋傾斜が発生している状況の地震加速度を第4図に示す。検討用の傾斜 (1/1,000) により水平方向, 鉛直方向の地震加速度はそれぞれ以下のように表される。

○傾斜時に発生する水平地震加速度:

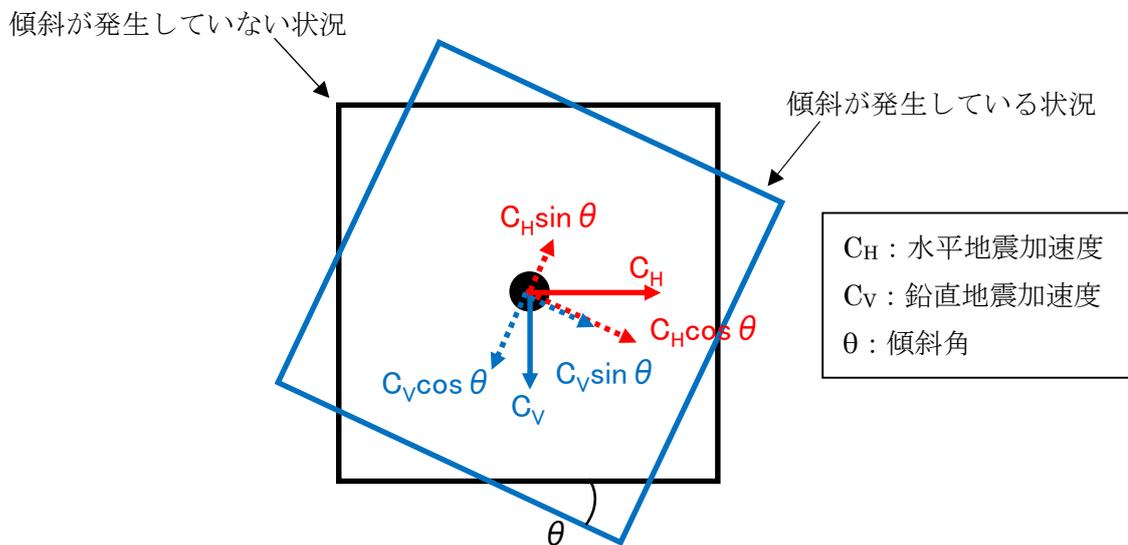
$$C_H \cos\theta + C_V \sin\theta = \frac{1000}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_H + \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_V \cong 1.000 C_H + 0.001 C_V \cong C_H$$

○傾斜時に発生する鉛直地震加速度:

$$C_V \cos\theta - C_H \sin\theta = \frac{1000}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_V - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1000^2}} C_H \cong 1.000 C_V - 0.001 C_H \cong C_V$$

傾斜が発生している場合の水平地震加速度及び鉛直地震加速度は傾斜が発生していない

場合の地震加速度と同等であり、傾斜が発生している場合の地震力についても、傾斜が発生していない場合と同等になると考えられる。



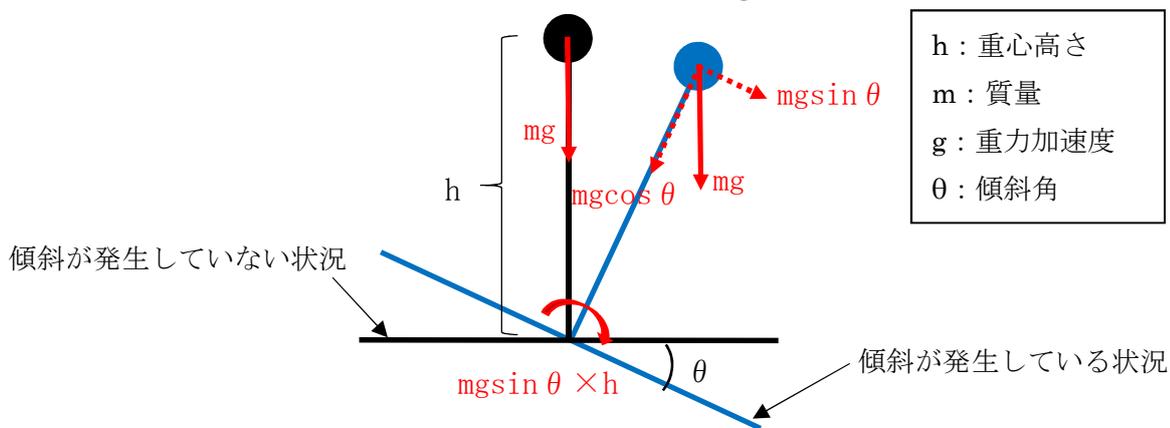
第4図 傾斜が発生している状況での地震加速度概念図

3. 1. 2 死荷重への影響

建屋傾斜が発生している状況での死荷重を第5図に示す。傾斜が発生していない場合、死荷重は鉛直方向のみに作用する。傾斜が発生している場合、水平方向に自重の分力が発生し、鉛直方向は水平方向に分力されるため、従来作用していた荷重より小さくなる。すなわち、傾斜を考慮すると水平方向の曲げモーメント及びせん断力が新たに発生し、鉛直方向の荷重は $mg\cos\theta$ となり、従来作用していた荷重 mg よりも減少する。

○傾斜時に新たに発生する曲げモーメント : $mg\sin\theta \times h$

○傾斜時に新たに発生するせん断力 : $mg\sin\theta$



第5図 傾斜が発生している状況での荷重概念図

3. 1. 3 圧力荷重及び機械的荷重への影響

圧力荷重は傾斜による影響が無いため変化しない。また、機械的荷重は、安全弁吹出し時の反力荷重、スクラム反力及びポンプの振動等があるが傾斜による影響が無いため変化しない。

3. 1. 4 建屋傾斜による荷重への影響検討結果

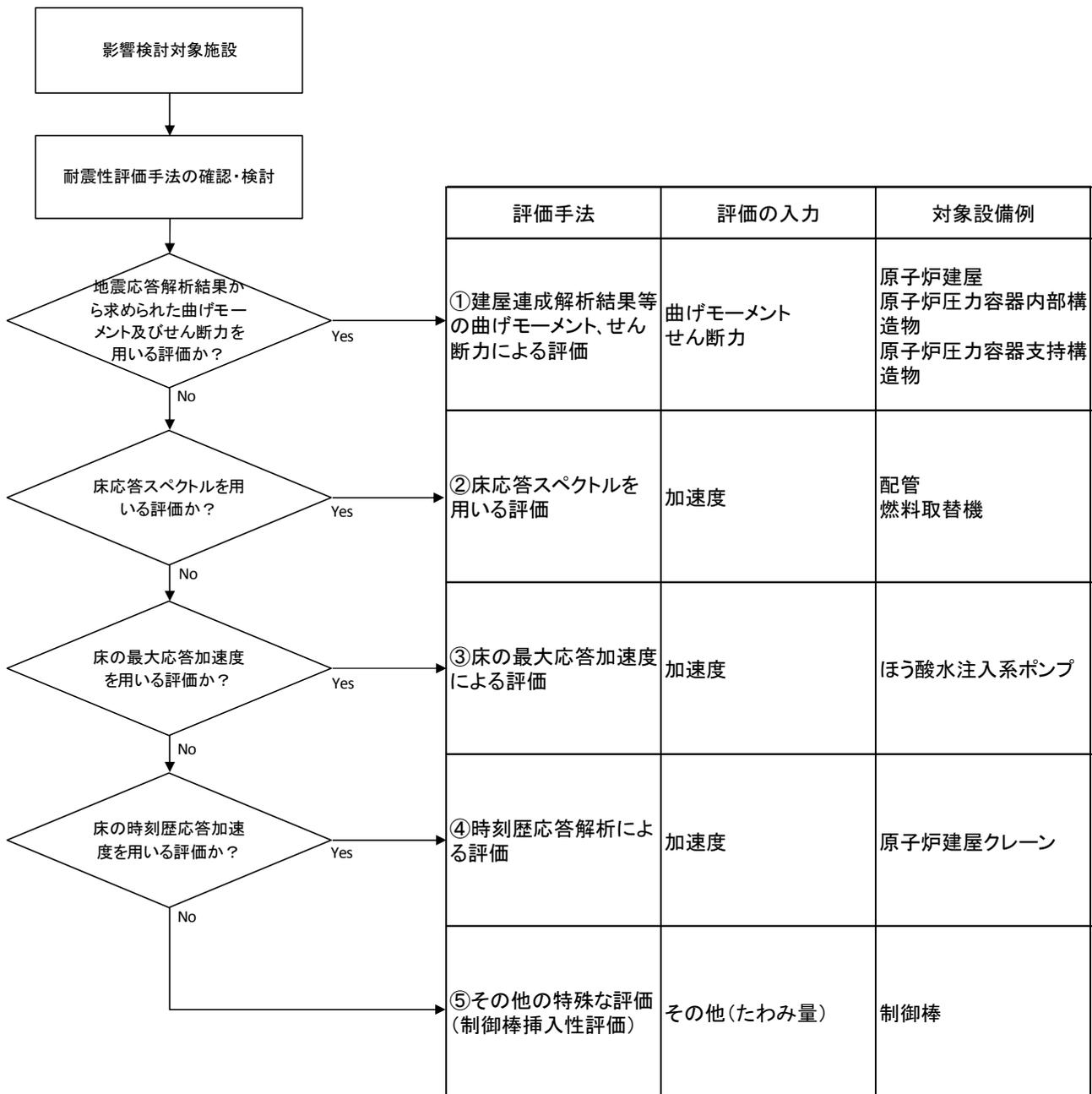
建屋傾斜による荷重への影響検討結果を第4表に示す。建屋傾斜が発生している状況では、死荷重による曲げモーメント及びせん断力が水平方向に新たに発生する。

第4表 建屋傾斜による荷重への影響検討結果

	水平方向	鉛直方向
Ss による地震力	地震加速度は傾斜が発生している場合と傾斜が発生していない場合を比較すると同等であるため、Ss による地震力も同等である。	同左
死荷重	基礎地盤が傾くことにより新たに、曲げモーメント ($mg\sin\theta \times h$)、せん断力 ($mg\sin\theta$) が発生する。	軸力が mg から $mg\cos\theta$ に減少する。
圧力荷重 機械的荷重	変化なし	同左

3. 2 耐震設計における原子炉建屋基礎地盤傾斜による影響の考慮方針の検討

残留不等沈下による基礎地盤の傾斜が 1/1,000 という仮定をした場合に、死荷重により新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を耐震設計で考慮する。建屋傾斜を考慮すべき対象について耐震性評価手法を分類し、評価手法ごとに基礎地盤の傾きにより新たに発生する荷重の反映方針を検討する。なお、傾斜時の死荷重による鉛直方向の荷重については傾斜がない場合よりも小さくなるため、設計で考慮しない。評価手法の分類を第6図に示す。



第6図 耐震性評価手法の分類

3. 2. 1 入力条件毎の反映方法の検討

評価手法を整理した結果、耐震性評価の入力として曲げモーメント及びせん断力を用いる評価と加速度を用いる評価に大きく分類される。それぞれに対する反映方法を検討する。

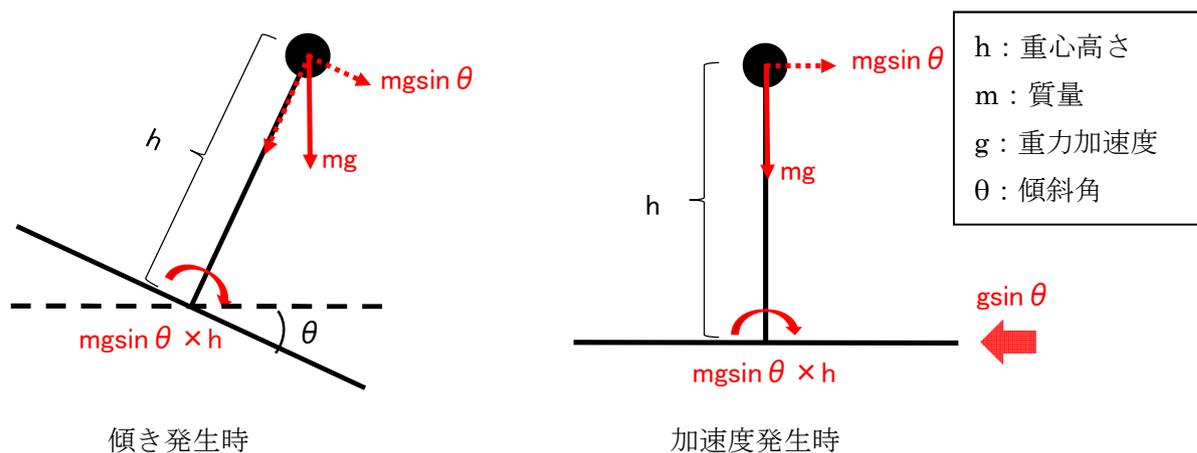
3. 2. 1. 1 曲げモーメント及びせん断力を入力とする評価

基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を算定し、傾斜を考

慮せずに算定した曲げモーメント及びせん断力に上乘せする。

3. 2. 1. 2 加速度を入力とする評価

基礎地盤の傾きにより新たに発生するせん断力及び曲げモーメントは第7図に示すとおり，水平方向に加速度 $g \sin \theta$ が発生した状態と等価であることから，傾斜を考慮せずに算定した水平加速度に $g \sin \theta$ を上乘せする。



第7図 傾き発生時と加速度発生時の荷重状態

3. 2. 2 耐震性評価手法毎の反映方法の検討

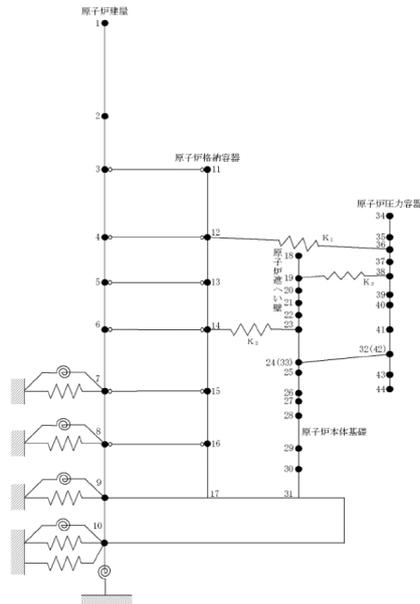
第6図にて分類した評価手法毎の反映方法を検討する。

3. 2. 2. 1 建屋連成解析結果等の曲げモーメント及びせん断力による評価 (第6図の①)

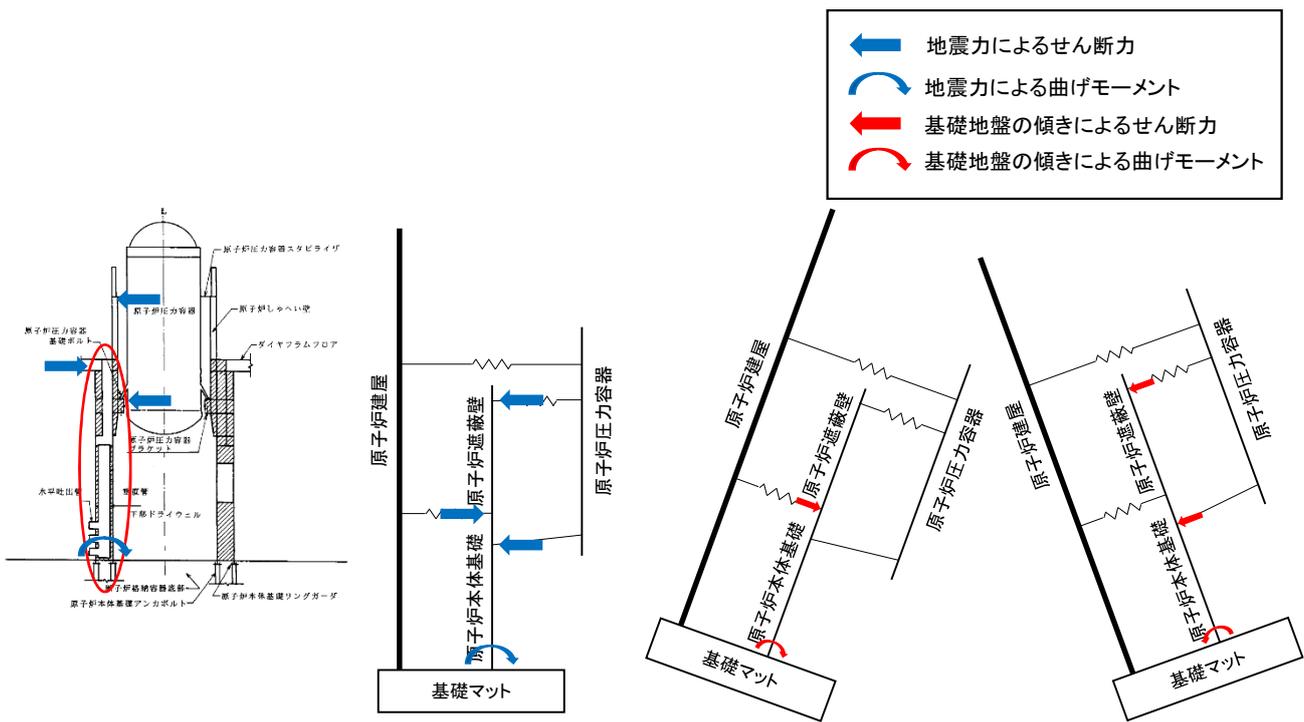
原子炉建屋内の原子炉压力容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎等の大型機器・構造物は，原子炉建屋基礎版やダイヤフラムフロアを介して原子炉建屋からの地震の入力があることを考慮して，第8図に示すように連成させたモデルを使用し，基準地震動 S_s による地震応答解析を実施することによって大型機器・構造物の評価用曲げモーメントやせん断力を算定している。

原子炉本体基礎を例として算定した曲げモーメントやせん断力が伝達されるイメージと基礎地盤の傾きにより発生する曲げモーメント及びせん断力を第9図に示す。

建屋傾斜による影響の反映方法として，基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメントやせん断力を地震応答解析で算定した値に加算する。なお，基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメントやせん断力は水平方向に加速度 $g \sin \theta$ が負荷されている状態と等価であるため， $g \sin \theta$ を入力とした静的解析を実施することにより算定する。



第8図 原子炉建屋と大型機器を連成させた地震応答解析モデル例



地震発生時

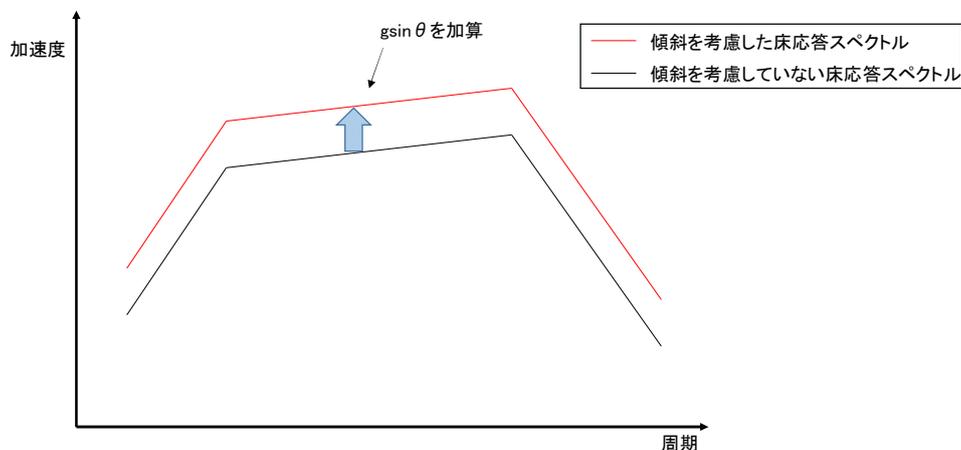
傾き発生時

第9図 原子炉本体基礎に作用する曲げモーメント及びせん断力のイメージ

3. 2. 2. 2 床応答スペクトルを用いる評価 (第6図の②)

配管や燃料取替機は床応答スペクトルを入力として評価している。建屋傾斜による影響

の反映方法として、基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を、加速度として水平方向の床応答スペクトルの全周期に $g\sin\theta$ を加算する。加算するイメージを第10図に示す。



第10図 傾斜を考慮した床応答スペクトルのイメージ

3. 2. 2. 3 床の最大応答加速度による評価 (第6図の③)

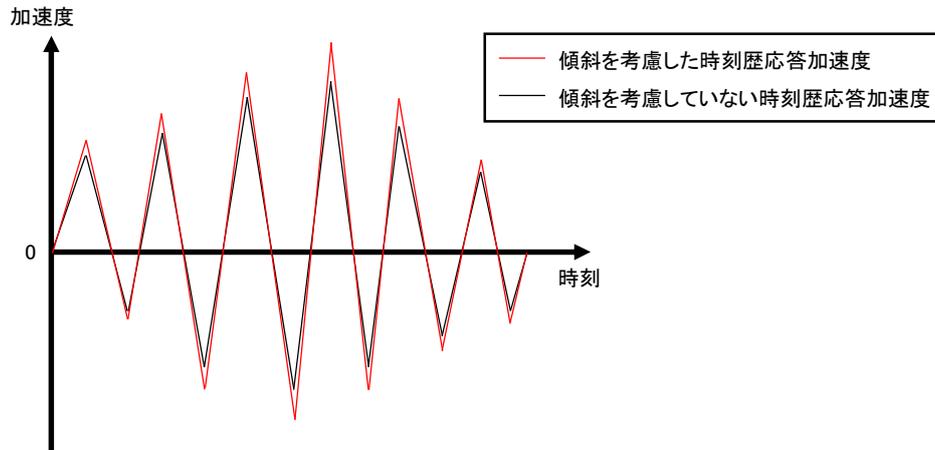
剛な設備の構造健全性評価や動的機器の機能維持評価に床の最大応答加速度を用いている。建屋傾斜による影響の反映方法として、基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を、水平方向加速度として床の最大応答加速度に $g\sin\theta$ を加算する。

3. 2. 2. 4 時刻歴応答解析による評価 (第6図の④)

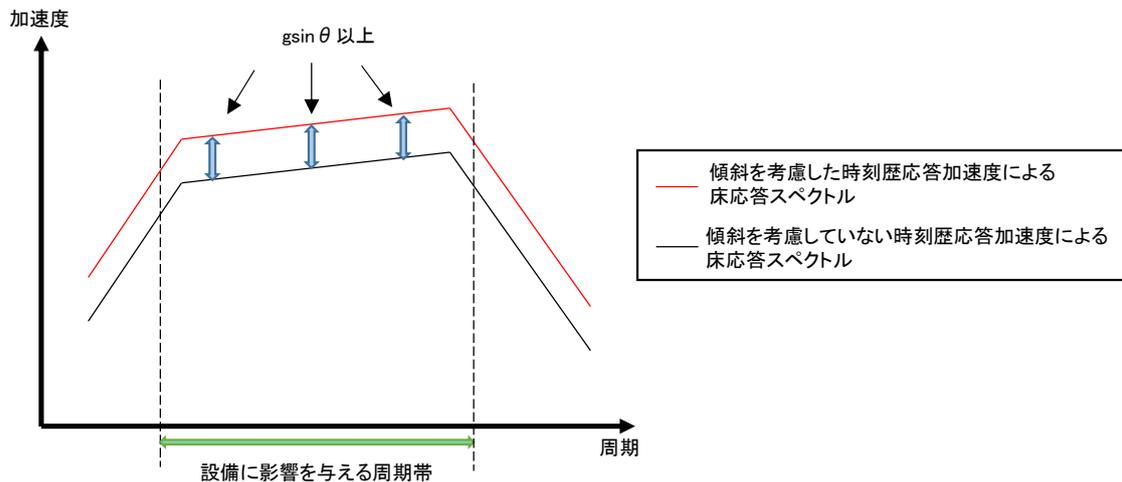
原子炉建屋クレーンは浮き上がりを考慮するため、クレーンガーダの各車輪にギャップ要素を持つ非線形 FEM 解析モデルを用いて時刻歴応答解析を行う。建屋傾斜による影響の反映方法として、基礎地盤の傾きにより新たに発生する曲げモーメント及びせん断力を加速度として上乘せするために、入力として用いる時刻歴応答加速度を係数倍する。係数倍するイメージを第11図に示す。

係数については、第12図に示すように、建屋傾斜の影響を考慮した時刻歴応答加速度による床応答スペクトルが、建屋傾斜の影響を考慮していない時刻歴応答加速度による床応答スペクトルより、設備に影響を与える周期帯において $g\sin\theta$ 以上大きくなるように設定する。

なお、原子炉建屋クレーンについては、自重解析及び時刻歴応答解析を実施するが、自重解析に傾斜を考慮すると鉛直方向の荷重が小さくなるため、建屋傾斜の影響は時刻歴応答解析の入力条件として考慮する。



第 1 1 図 傾斜を考慮した時刻歴応答加速度のイメージ



第 1 2 図 傾斜を考慮した時刻歴応答加速度による床応答スペクトルのイメージ

3. 2. 2. 5 その他の特殊な評価（制御棒挿入性評価）（第 6 図の⑤）

制御棒挿入ラインを形成する各機器の設置状況を第 1 3 図に示す。燃料集合体は下部では燃料支持金具に、上部では上部格子板で支持され、燃料支持金具は制御棒案内管上に設置され、制御棒案内管は制御棒駆動機構ハウジングを介して原子炉圧力容器に接続され、制御棒駆動機構ハウジングは原子炉圧力容器に溶接接続されている。また、制御棒は制御棒駆動機構ハウジングに内蔵された制御棒駆動機構によって駆動する。なお、柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉では改良型制御棒駆動機構（第 1 4 図参照）が使用されている。改良型制御棒駆動機構は、通常時はモータによってボールネジを回転させることでボールナット・中空ピストンを上昇させ制御棒を挿入し、スクラム時は水圧によって中空ピストンを上昇させ制御棒を挿入する精密な駆動機構となっており、制御棒と制御棒駆動機構はボールネジ、ボールナット及び中空ピストンを介して接続されていることから、1/1,000 程度の建屋

傾斜による影響はないと考えられる。

したがって、燃料集合体、燃料支持金具、制御棒案内管、制御棒駆動機構ハウジング、制御棒駆動機構、制御棒、原子炉圧力容器は、一体的な構造となっている。

なお、制御棒挿入性を確保するため周辺機器には下記のクリアランスが設定されている。

- ① 制御棒挿入ラインとしての燃料集合体間のクリアランス（第13図中①）

（制御棒の厚さ：）

- ② 制御棒挿入ラインとしての燃料支持金具内の空隙の幅（第13図中②）

（制御棒の幅：）

- ③ 制御棒挿入ラインとしての制御棒案内管の内径（第13図中③）

（制御棒の幅：）

制御棒は通常運転時の全引抜状態においても、その頂部が燃料集合体に一部挿入されている状態であり、スクラム時には原子炉緊急停止系からのスクラム信号によりアクチュムレータに充填された高圧水によって、制御棒は約4mのストロークを2.8秒以内に強制的に挿入される。

スクラムにおける制御棒挿入時の主な抵抗要因としては以下が挙げられる。

- ① 地震時の燃料集合体のたわみによる燃料集合体と制御棒間の摩擦力

制御棒は燃料集合体間に挿入されるため、地震力により燃料集合体がたわみ制御棒挿入ラインが変形することで、制御棒と燃料集合体の摩擦力が増加し、制御棒挿入時の抵抗となる。

- ② 制御棒挿入ラインにおける機器のガタつきによる抵抗

制御棒挿入ラインとそれを形成する各機器の中心軸のズレ（ガタつき）が、制御棒挿入時の抵抗となる。

制御棒挿入性評価においては、第15図に示すような燃料集合体、原子炉建屋、原子炉格納容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎、原子炉圧力容器、原子炉圧力容器内部構造物及び原子炉圧力容器支持構造物等を連成させたモデルを用いて基準地震動 S_s に対する地震応答解析により燃料集合体の最大たわみ量を計算する。別途、実機の制御棒挿入ラインを形成する各機器の中心軸のズレを模擬した実規模試験体での加振試験で規定時間内に制御棒が全挿入されることが確認されたたわみ量を許容たわみ量とする（第16図参照）。解析により求めた最大たわみ量と試験にて設定した許容たわみ量を比較することで、制御棒挿入性評価を行う。

以上より、制御棒挿入性に対する建屋傾斜の影響検討は、前述したスクラム時における制御棒挿入時の2つの抵抗要因に対して行うこととする。

- ① 燃料集合体のたわみによる燃料集合体と制御棒間の摩擦力への影響検討

建屋傾斜の影響により燃料集合体のたわみが新たに発生することにより、燃料集合体

と制御棒の摩擦が増えると考えられるが、両機器が制御棒のローラを介して接触している場合は摩擦自体が小さく、ローラ以外で接触する場合でもスクラム力と比較してその摩擦は十分に小さい値となると考えられる。

建屋傾斜の影響により新たに発生する燃料集合体のたわみ量を地震応答解析で算定した最大たわみ量に加算し評価することで建屋傾斜の影響を考慮した評価となる。建屋傾斜により新たに発生するたわみのイメージを第17図に示す。なお、建屋傾斜により新たに発生するたわみ量は水平方向に加速度 $g \sin \theta$ が負荷されている状態と等価であるため、 $g \sin \theta$ を入力とした静的解析を実施することにより算定する。

試験にて規定時間内の制御棒挿入性が確認されている燃料集合体のたわみ量は40mmである。一方、基準地震動 S_s による燃料集合体の最大たわみ量は30mm程度(暫定値)、1/1,000の建屋傾斜による加速度 $g \sin \theta$ が約 $0.01m/s^2$ であり、燃料集合体のたわみ量は0.1mm未満と見込まれるため、燃料集合体のたわみによる燃料集合体と制御棒間の摩擦への影響は小さく制御棒挿入性は確保されることが考えられる。

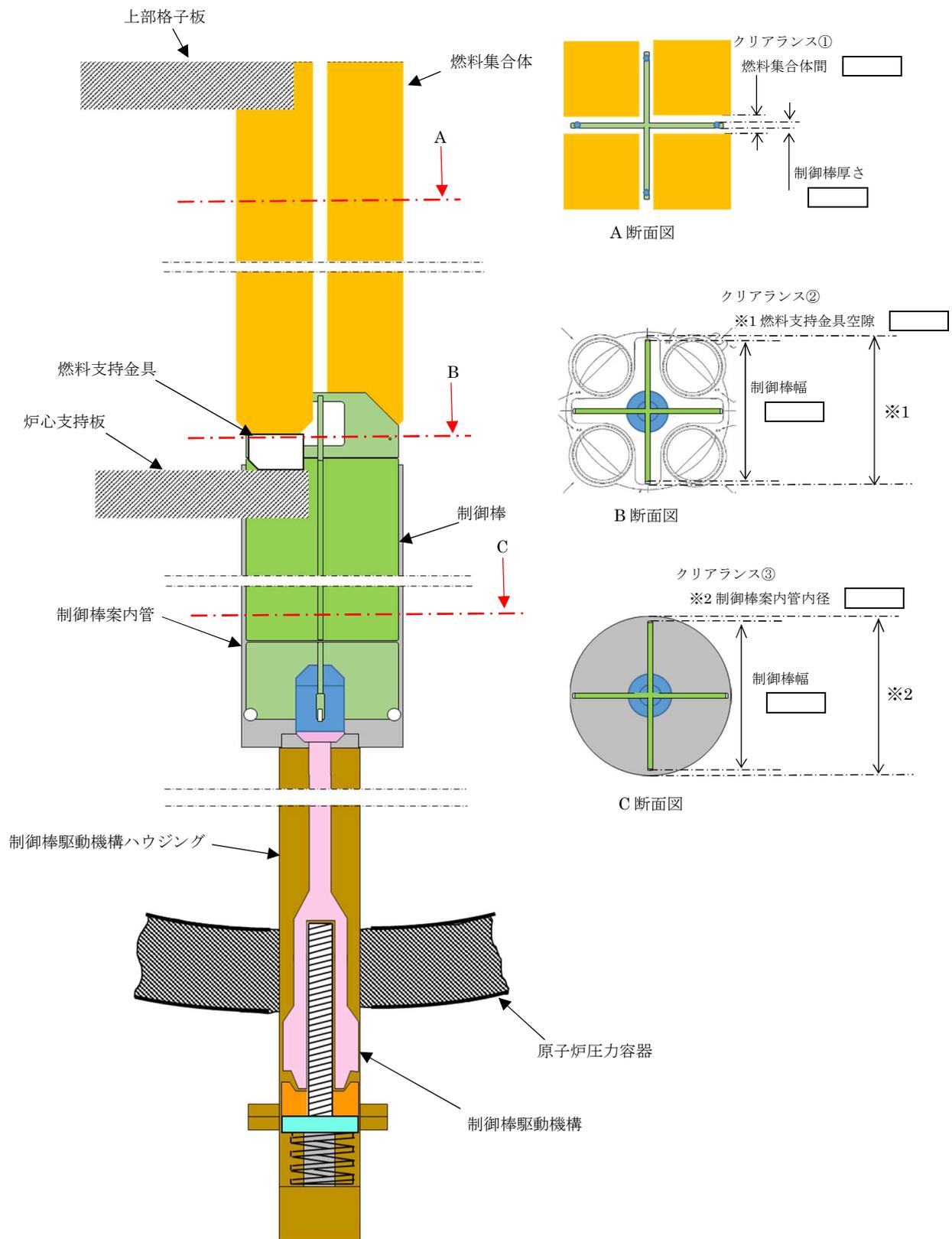
② 制御棒挿入ラインにおける機器のガタつきによる抵抗への影響検討

制御棒挿入ラインにおける機器のうち制御棒案内管と制御棒駆動機構ハウジングの接合部は芯出しを目的としてテーパ形状及び球面座にて接触しているため、建屋傾斜の影響によりその相対位置がずれることは無い(第18図参照)。

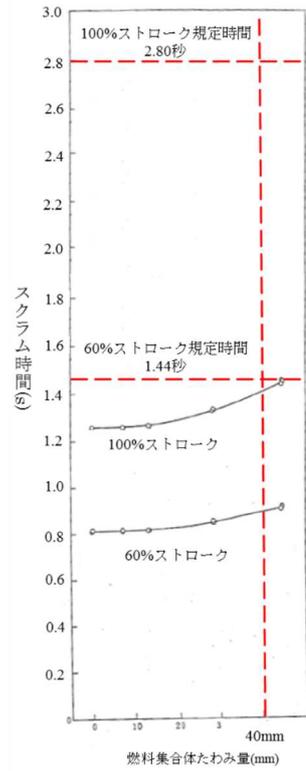
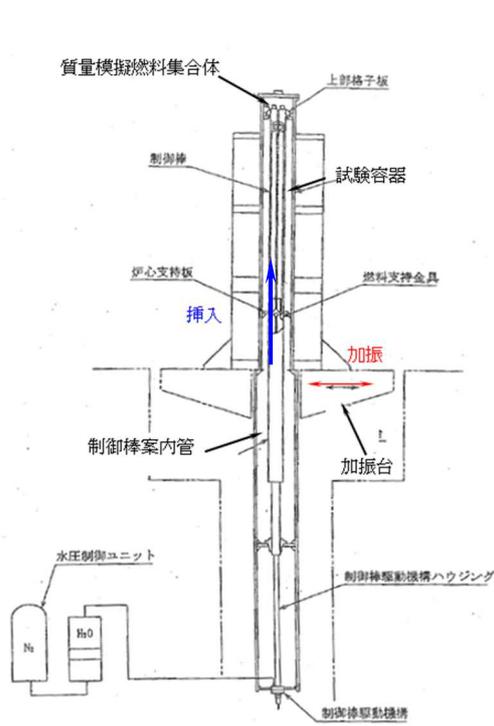
一方、制御棒案内管と炉心支持板孔との接合部は、の嵌め合い公差が存在するため(第19図参照)、建屋傾斜によって機器が片寄せとなる可能性がある(第20図参照)ものの、制御棒挿入試験での動的な加振力は1/1,000程度の傾斜にて発生するわずかな力よりはるかに大きいものであり、従来の試験にて包絡されているとみなせる。また、嵌め合い公差は機器自体の形状によって定まる値であり、建屋傾斜の影響を受けるものではない。

そもそも、制御棒挿入ラインには、制御棒のサイズに対して数mm程度のクリアランスが存在しており(第13図参照)、の嵌め合い公差によるガタつきが制御棒挿入性に影響を及ぼすことはない。

以上を踏まえて、建屋傾斜による制御棒挿入性への影響については軽微であり、基準地震動 S_s における制御棒挿入性は確保されることが考えられるが、上記検討内容の詳細については今後の詳細設計において説明を行うこととする。



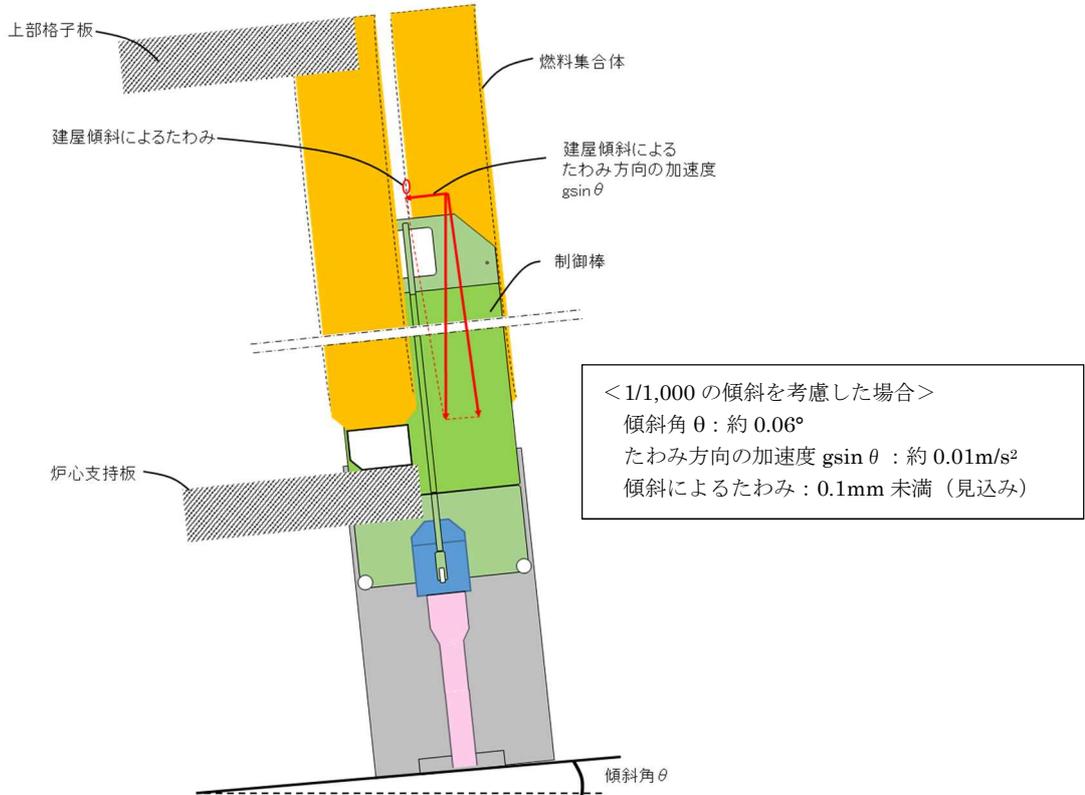
第 1 3 図 制御棒挿入ライン関連機器配置概念図



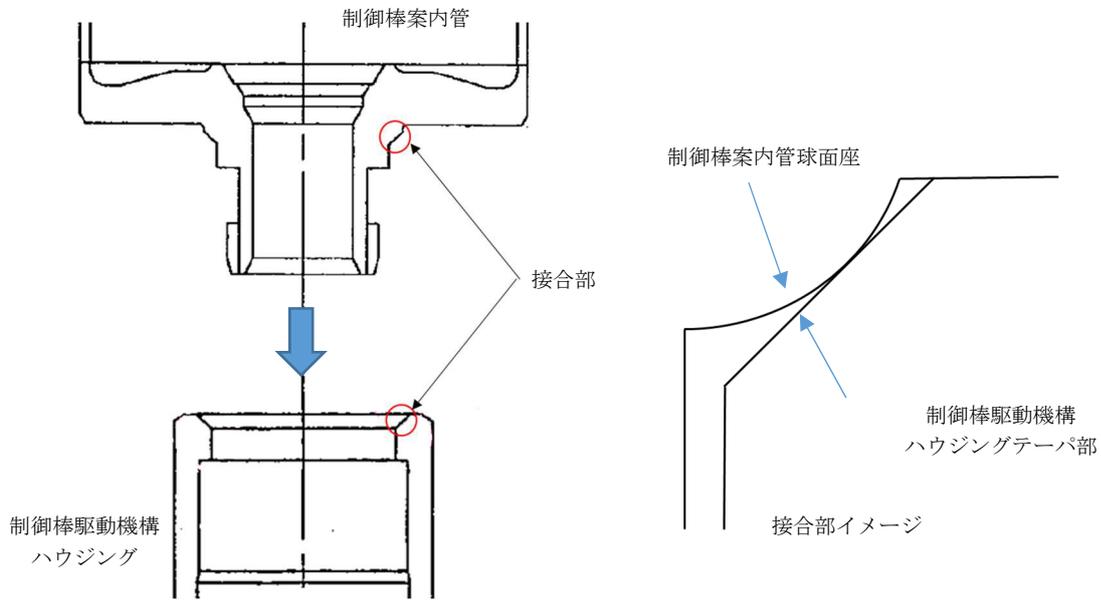
< 試験装置例 >

< 試験結果イメージ >

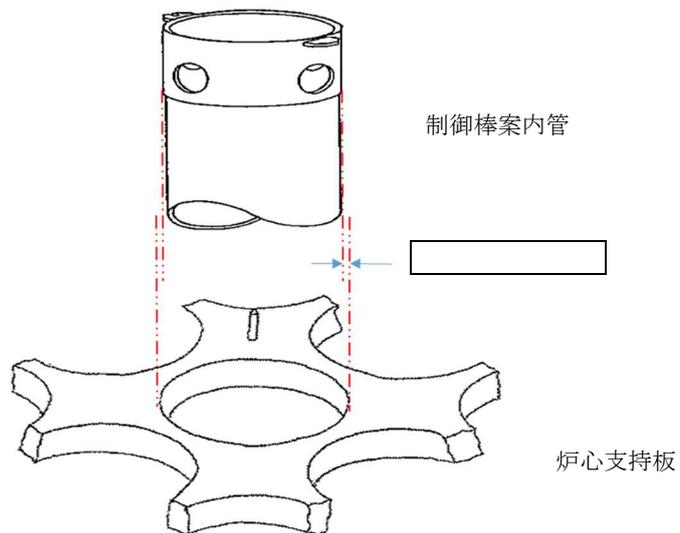
第 16 図 制御棒挿入試験の概要



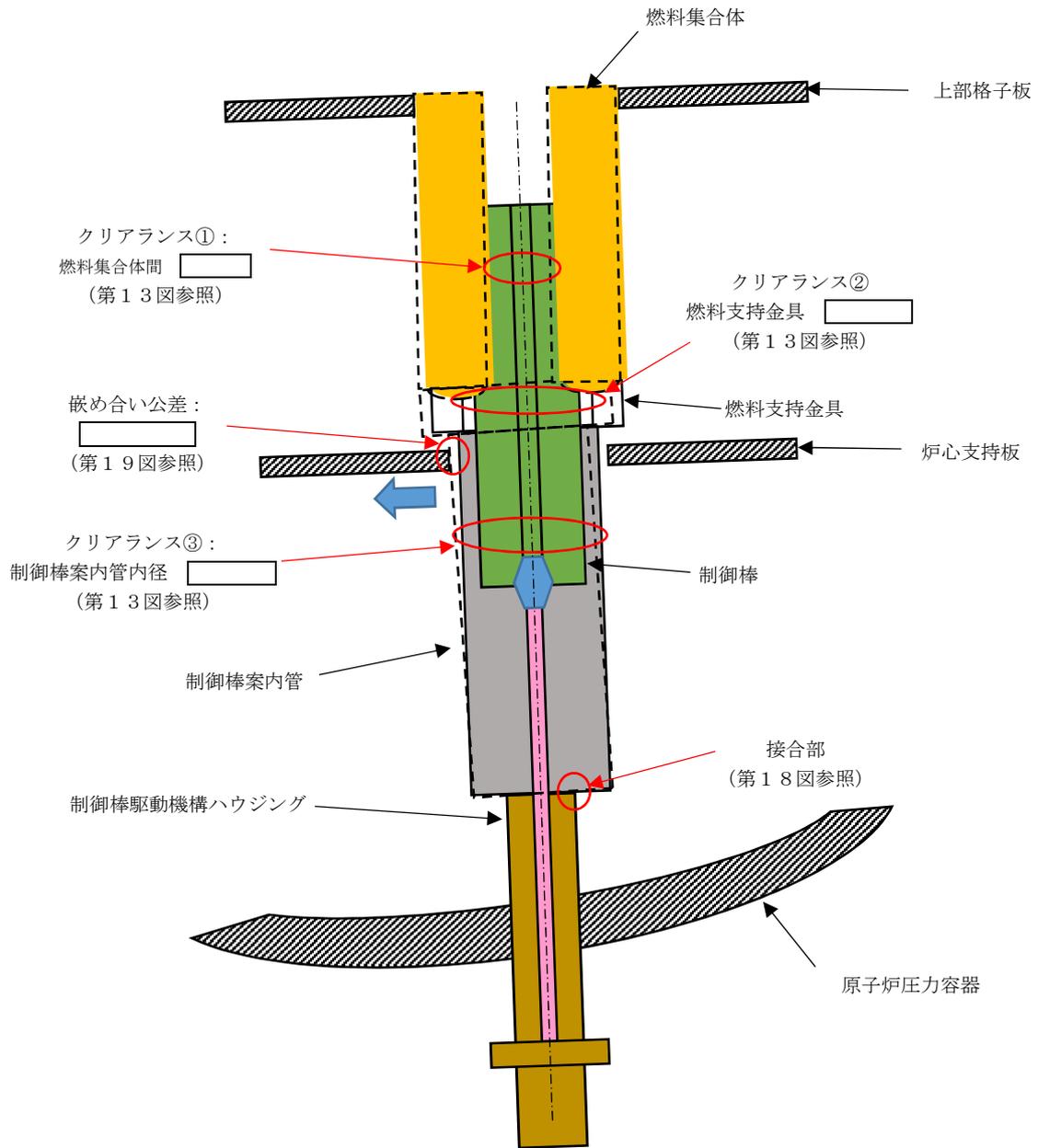
第 17 図 建屋傾斜が発生している状況での燃料集合体のたわみのイメージ



第18図 制御棒案内管・制御棒駆動機構ハウジング接合部概念図



第19図 制御棒案内管・炉心支持板接合部概念図



第 20 図 建屋傾斜時における機器のガタつきの発生状況 (イメージ)

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

液状化影響の検討方針について
(耐震)

これまでの経緯及び本検討の位置づけ

「柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について」において、取水路等を支持する古安田層※に対する支持性能の補足として、以下のように説明をしている。

- 支持地盤（古安田層）は、シルト主体の地層であり、液状化が懸念される地盤ではないと判断できる。
- 道路橋示方書・同解説（H14）や建築基礎構造設計指針（2001）では、地表面から20m以浅の沖積層を液状化判定が必要な土層としており、古安田層の一部に分布する砂層は、中期更新世の地層かつ深度20m以深の非常に密な地盤であることから、その対象とはならない。
- ただし、この古安田層の砂層については、詳細設計段階において基準地震動 S_s に対する液状化に関する詳細な検討を行う。

本検討は、耐震設計・耐津波設計基本方針における液状化の構造物への影響評価の考え方についてとりまとめたものである。また、構造物影響評価の考え方を説明する上で、詳細設計段階における評価の前提となる液状化試験結果について併せて説明する。なお、液状化に対する構造物への影響評価の見通しについても説明する。

※ 安田層下部層の MIS10～MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

※ 本資料では、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）で用いられている『洪積層』という用語を使用する。なお、道路橋示方書では、洪積層について「第四紀のうち古い地質時代（更新世）における堆積物による土層に概ね対応すると考えてよい」とされている。

目次

1. 液状化評価の基本方針	・・・	3
2. 液状化評価対象層の抽出	・・・	7
3. 液状化試験位置とその代表性		
3. 1 液状化試験位置の選定	・・・	19
3. 2 液状化試験選定個所の代表性確認	・・・	25
3. 3 追加調査位置	・・・	50
4. 液状化試験結果		
4. 1 液状化試験方法	・・・	54
4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方	・・・	58
4. 3 試験結果の分類	・・・	63
5. 基準地震動 S_s に対する液状化判定 (FL 法)	・・・	83
6. 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認	・・・	89
7. 液状化強度特性の設定	・・・	104
8. 液状化影響の検討方針	・・・	113
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し		
9. 1 代表構造物の抽出	・・・	115
9. 2 取水路	・・・	117
9. 3 常設代替交流電源設備基礎	・・・	149
10. 参考文献	・・・	171
11. 参考資料		
11. 1 評価対象構造物の断面図	・・・	172
11. 2 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足	・・・	181
11. 3 液状化に関連する基本物性に関する補足	・・・	191
11. 4 液状化関連の文献整理	・・・	198
11. 5 新潟県中越沖地震時の地盤変状	・・・	217

1. 液状化評価の基本方針

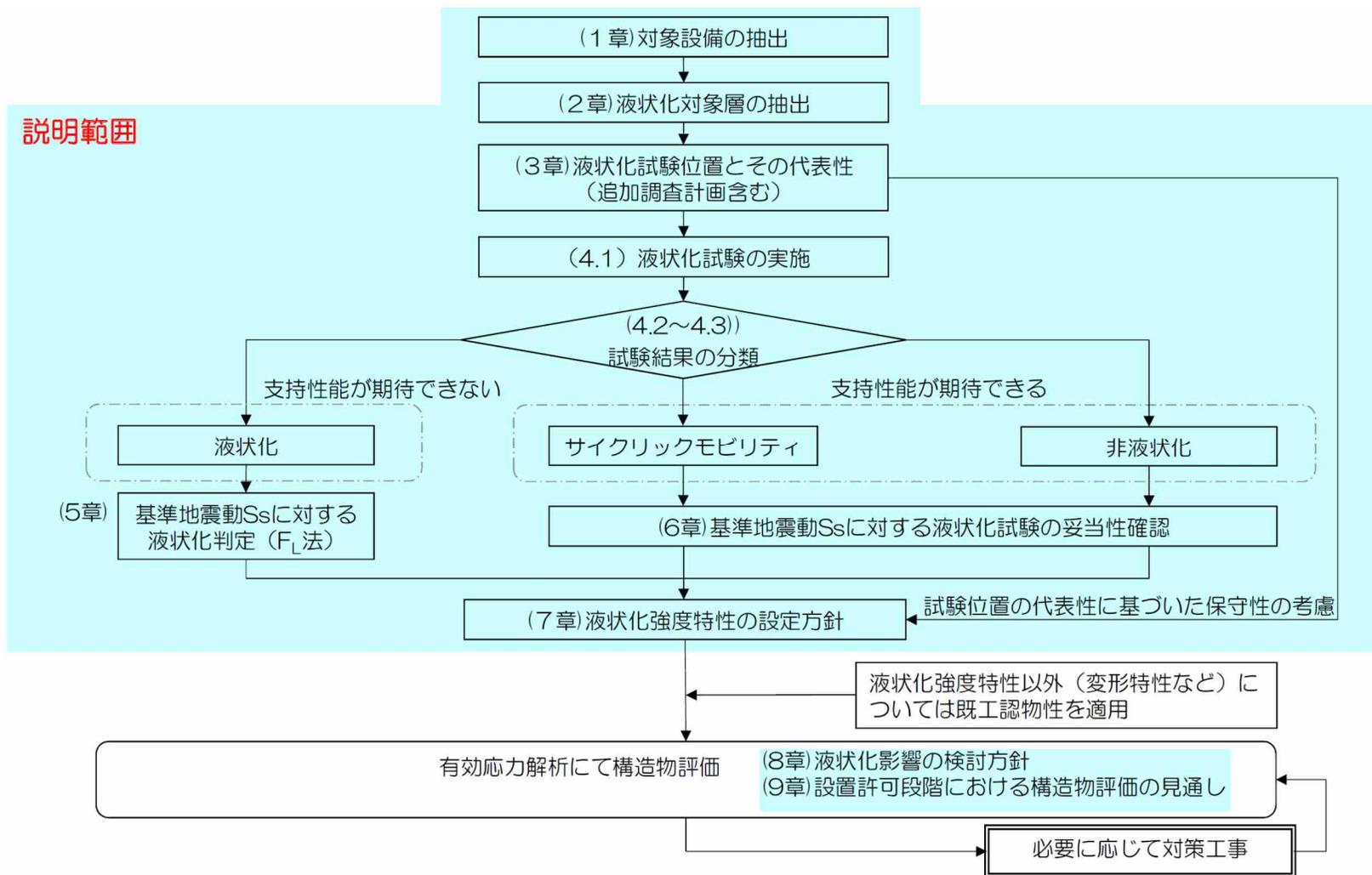
第 11-1-1 図に液状化評価の流れ，第 11-1-1 表に液状化評価の基本方針を示す。

液状化評価については道路橋示方書を基本として，道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層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する。液状化試験に基づいて，地震時の地盤の状態を『液状化』，『サイクリックモビリティ』及び『非液状化』と判定する。

それぞれの試験結果に基づいて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。設定した液状化強度特性については，試験結果を基本に設定するが，基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。

液状化評価の対象となる施設は，屋外の設計基準対象施設（屋外重要土木構造物，津波防護施設）及び重大事故等対処施設を対象に抽出した。第 11-1-2 表に液状化評価の対象設備を示す。また，荒浜側には液状化評価の対象となる施設はないが，津波評価の前提となる液状化に伴う地盤の沈下等を評価するために，荒浜側に分布する砂層については，荒浜側防潮堤の縦断方向の地質断面図を代表例として，液状化対象層の抽出を行った。

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 11-1-1 図 液状化評価の流れ

第 11-1-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象砂層			道路橋示方書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	
埋戻土層	—	A-1 埋戻土層	○ 対象	液状化	試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。	試験結果を基本として、基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。	
新期砂層 ・沖積層	完新世 (沖積層)	A-3 新期砂層・沖積層		サイクリック モビリティ			
古安田層 (古安田層 中の砂層が 対象)	更新世 (洪積層)	新しい	× 対象外	非液状化	※		
					A-1 洪積砂層 I 洪積砂層 II		A-2 洪積砂層 I
		古い		A-2 洪積砂層 II	非液状化		非液状化であると考えられるが、保守的な構造物評価を実施するため、液状化強度特性を設定する。
				0-1 洪積砂質土層 I 洪積砂質土層 II			

※ A-2 地点の洪積砂層 I については非液状化であると考えられるが、A-1 地点の洪積砂層 I・II と同時代に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層 II と同程度であることを踏まえ、A-1 地点の洪積砂層 II の試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

第 11-1-2 表 液状化評価の対象設備

設備分類		設備名称	構造概要	支持層
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	スクリーン室	鉄筋コンクリート構造	古安田層
		取水路	鉄筋コンクリート構造	古安田層
		補機冷却用海水取水路 ^{※1}	鉄筋コンクリート構造	西山層
		海水貯留堰 ^{※2}	鋼管矢板構造	古安田層, 西山層
		軽油タンク基礎	鉄筋コンクリート + 杭基礎構造	西山層
		燃料移送系配管ダクト	鉄筋コンクリート + 杭基礎構造	西山層
	津波防護施設	海水貯留堰 ^{※2}	鋼管矢板構造	古安田層, 西山層
重大事故等対処施設		常設代替交流電源設備基礎	鉄筋コンクリート + 杭基礎構造	西山層
		格納容器圧力逃がし装置基礎	鉄筋コンクリート + 杭基礎構造	西山層

※1：マンメイドロックを介して西山層に直接支持，※2：海水貯留堰は屋外重要土木構造物と津波防護施設の兼用。海水貯留堰の周辺には液状化評価対象層は存在しないことから，液状化評価対象設備からは除外する。

2. 液状化評価対象層の抽出

第 11-2-1 表に敷地の地質層序表を示す。敷地の地質は、下位から新第三系の寺泊層及び椎谷層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の西山層、下部更新統の灰爪層、それらを不整合で覆う中部更新統の古安田層、上部更新統の大湊砂層及び番神砂層、完新統の新时期砂層・沖積層からなる。

評価対象範囲の地盤に分布する砂層としては、古安田層中の砂層、新时期砂層・沖積層、埋戻土層がある。

古安田層は、敷地のほぼ全域にわたって分布し、主に粘土～シルトからなり、砂、砂礫等を挟在する。また、本層は、MIS10～MIS7 と MIS6 との境界付近の海進、海退に伴う堆積物を含むものと推定され、中部更新統と判断される。

敷地の古安田層は全域に広く分布しており、古安田層中の砂層は、主に Ata-Th テフラを含むシルト主体の MIS7 の地層に挟在している。また、MIS7 の堆積物の基底には砂礫層が分布している。第 11-2-1 図に古安田層上限面図及びボーリング柱状図を示す。

新时期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。本層は、主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜、砂丘を形成しており、下位層を不整合に覆う。

液状化評価対象層については、道路橋示方書に基づいて対象層を抽出した。第 11-2-2 図に液状化評価対象層の抽出フローを示す。

道路橋示方書では、沖積層を液状化評価対象層としているが、本評価では洪積層（古安田層）についても、同様に抽出対象とした。また、地表面から 20m 以深は対象外となっているが、本評価では地表から 20m 以深の砂層も抽出対象とした。

対象設備のうち、スクリーン室、取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎の地盤には砂層が分布している。これらの施設に着目して地質断面図を作成し、砂層の分布状況について第 11-2-3 図に整理した。

6 号及び 7 号炉の取水路及び常設代替交流電源設備基礎の周辺地盤については、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部には Ata-Th テフラが同程度の標高で広く確認されること、その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから、MIS7 の同時期に堆積した地層である。

常設代替交流電源設備及び 7 号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤には、細粒～中粒砂からなる新时期砂層・沖積層が分布している。

6 号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤には、古安田層中の砂層が一部分布している。この砂層は、取水路付近の砂層からは西山層の高まり等により連続していないものの、古安田層中

に挟在する砂層が同様に分布していることから、取水路付近の砂層と同様に MIS7 の同時期に堆積した地層である。

6号及び7号炉の取水路の地盤については、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部には Ata-Th テフラが同程度の標高で広く確認されること、その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから、MIS7 の同時期に堆積した地層である。

以上より、大湊側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

荒浜側に分布する砂層については、荒浜側防潮堤の縦断方向の地質断面図を代表例として、砂層の分布状況について第 11-2-4 図に整理した。

3号炉及び4号炉海側の地盤には、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部には Ata-Th テフラが広く確認されること、その下部には砂層が同程度の標高に分布していることから、大湊側と同様に MIS7 の同時期に堆積した地層である。

4号炉海側には、古安田層の上位に新期砂層・沖積層が連続して分布している。

1号炉及び2号炉海側の地盤には、3号炉及び4号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層がおおむね 10m 以上の厚さで連続して分布していることから、この砂層は同時期に堆積した砂層である。なお、古安田層の基底に一部分布する砂層は、3号炉及び4号炉海側に分布する MIS7 の砂層と同じ地層と想定される。

1号炉海側の防潮堤端部には、4号炉海側と同様に新期砂層・沖積層が分布している。

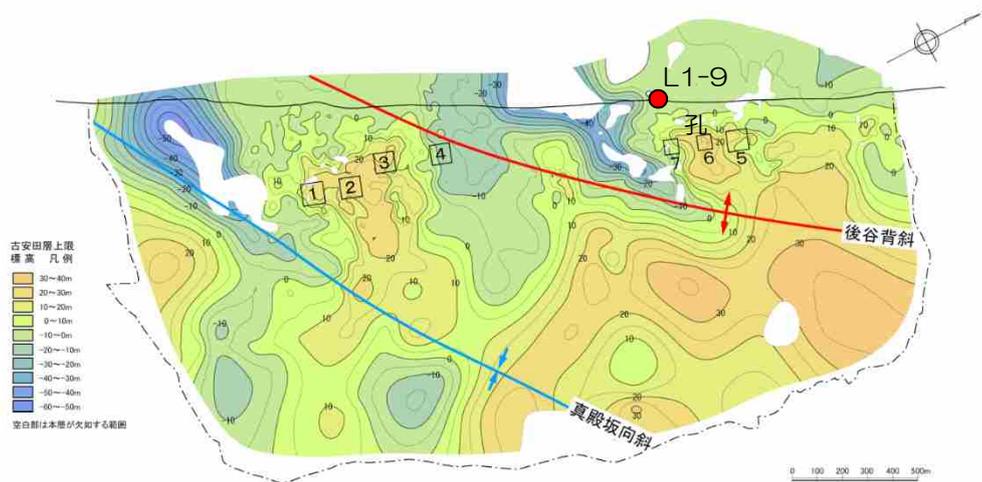
以上より、荒浜側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、主に3号炉及び4号炉海側に分布する古安田層中の砂層、主に1号炉及び2号炉海側に分布する古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

第 11-2-1 表 敷地の地質層序表

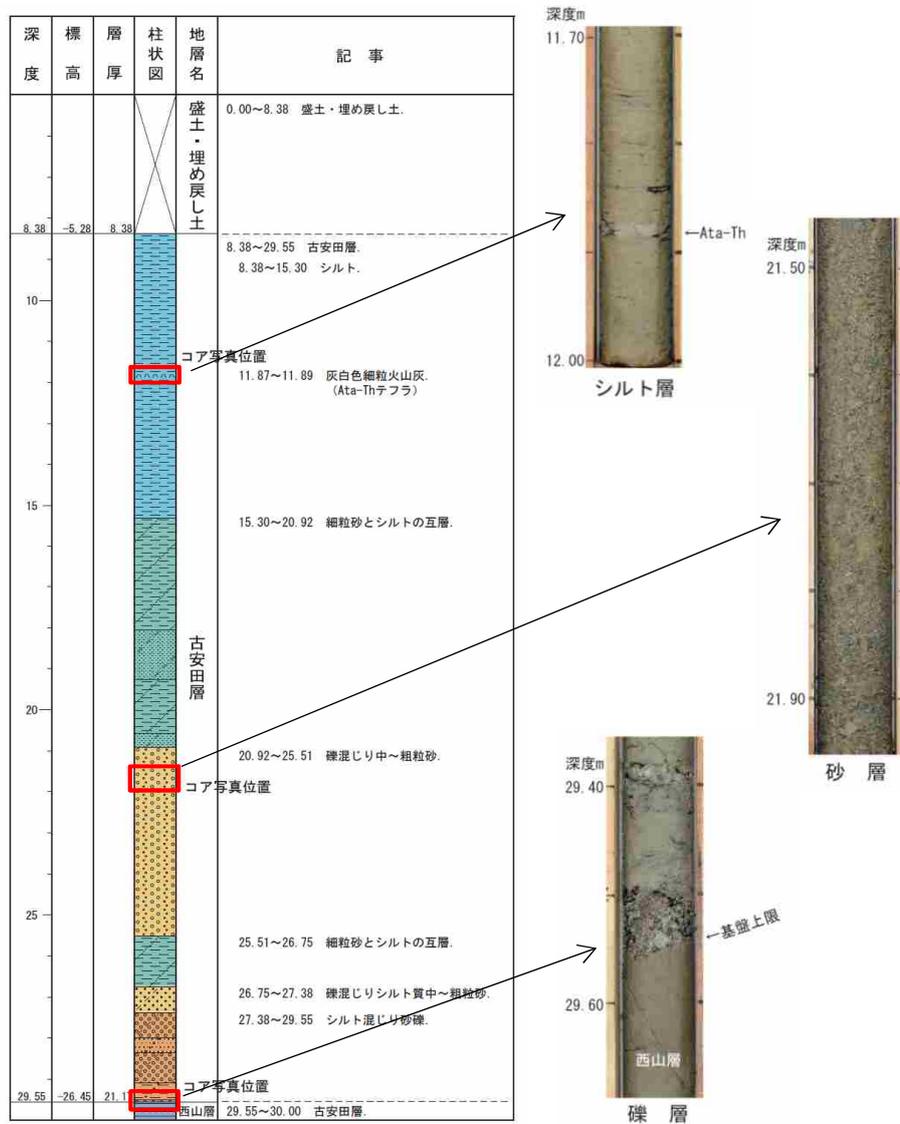
時代	地層名	主な層相・岩質	テフラ・放射年代	
第四紀	完新世	新期砂層・沖積層	上部は灰白色の細～中粒砂 下部は茶褐色の細～中粒砂，腐植物を含む ← 腐植 (6, 150±170年)	
	後期	番神砂層	灰白色～赤褐色の中～粗粒砂	
		大湊砂層	褐色～黄褐色の中～粗粒砂， シルトの薄層を含む ← NG (約13万年前)	
	中期	古安田層	A ₄ 部層	最上部は砂 粘土～シルト，砂を多く挟む ← γ-1 (約20万年前)
			A ₃ 部層	粘土～シルト 縞状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む
			A ₂ 部層	粘土～シルト 砂，厚い砂礫，有機物を挟む ← Ata-Th (約24万年前)
			A ₁ 部層	粘土～シルト 砂，砂礫を挟む ← Kkt (約33-34万年前)
	前期	西山層	灰爪層	凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩 ← Iz (約1.5Ma)
			N ₃ 部層	砂質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 貝化石を含む
			N ₂ 部層	シルト質泥岩 縞状泥岩，凝灰岩，ノジュールを多く挟む ← Fup (約2.2Ma) ← Tsp (約2.3Ma) ← Az (約2.4Ma)
	鮮新世	後期	N ₁ 部層	シルト質～粘土質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む ← Nt-17 (340±20万年) ← Nt-7 (350±20万年)
			椎谷層	砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む
		中新世	中期	寺泊層

~~~~~ 不整合

※ MIS : 海洋酸素同位体ステージ (Marine oxygen Isotope Stage)



(a)古安田層上限面図



(b)古安田層ボーリング柱状図 (L1-9 孔)

第 11-2-1 図 古安田層中の砂層について

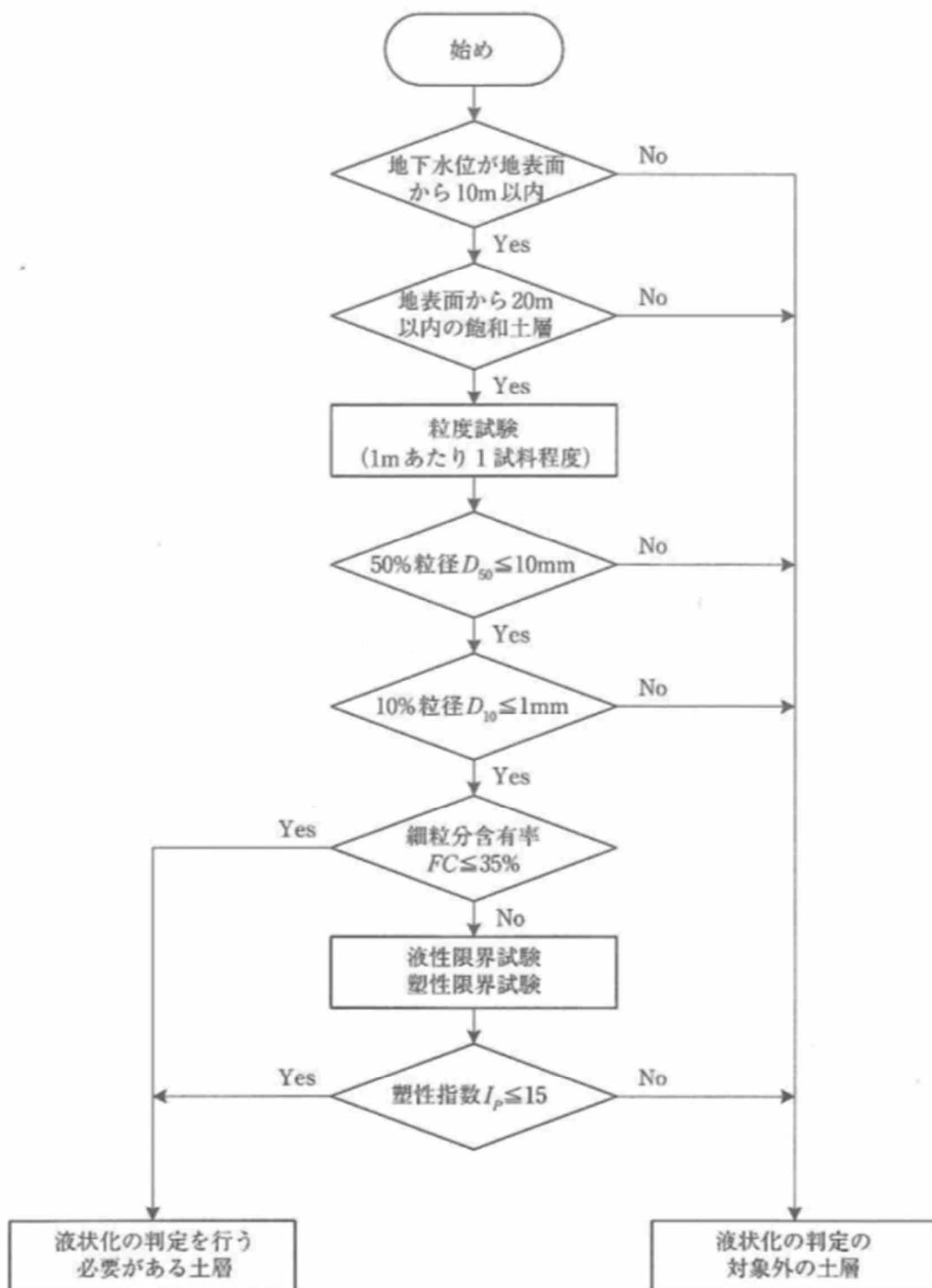


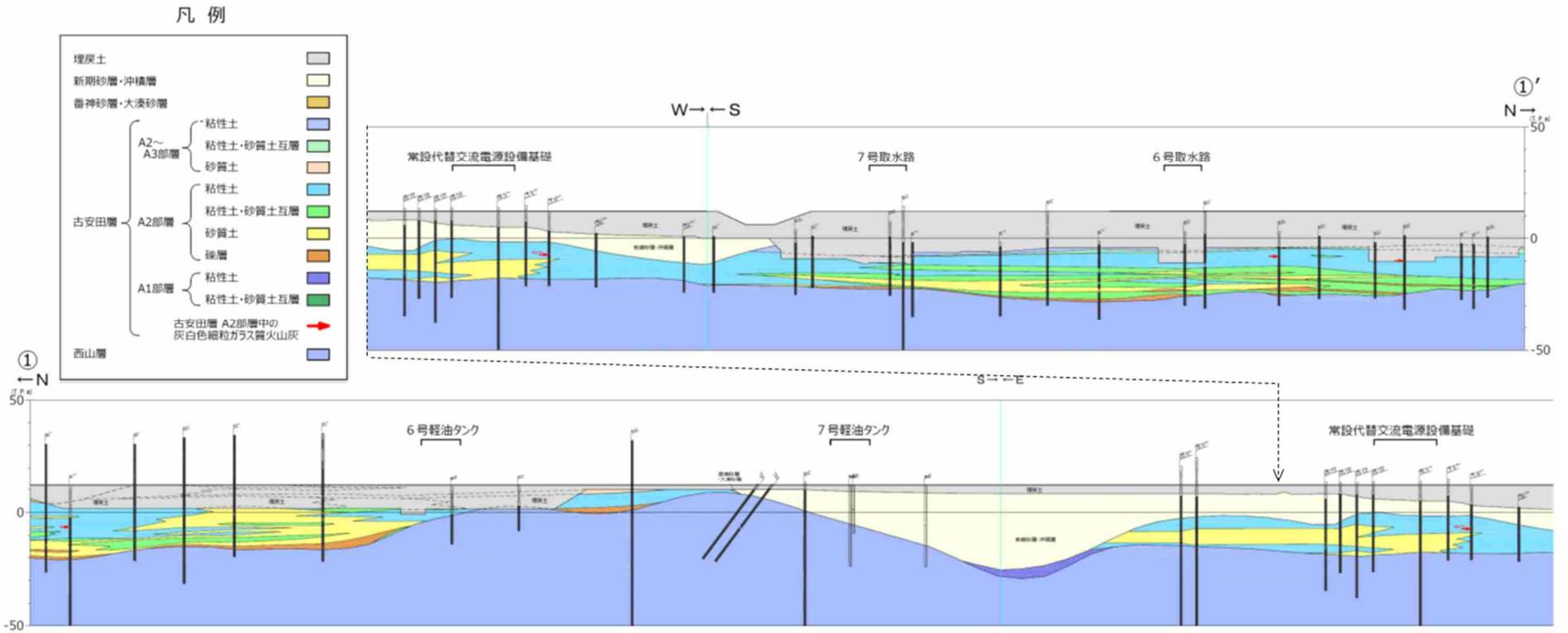
図-解8.2.1 液状化の判定を行う必要がある土層の評価の手順

第 11-2-2 図 液状化評価の対象層の抽出フロー  
 道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（社）日本道路協会， H24.3）



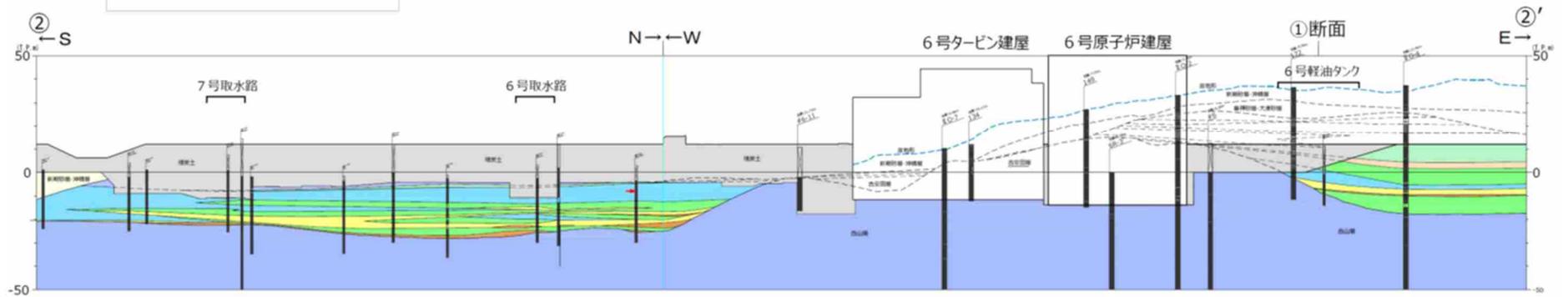
第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布

(a) 大湊側 全体平面図

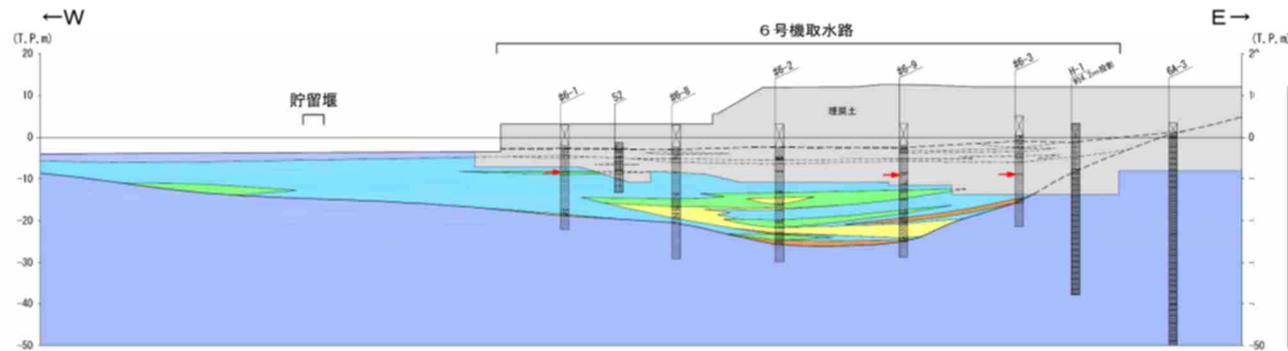


第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布  
(b) 地質断面図 ① - ①' 断面

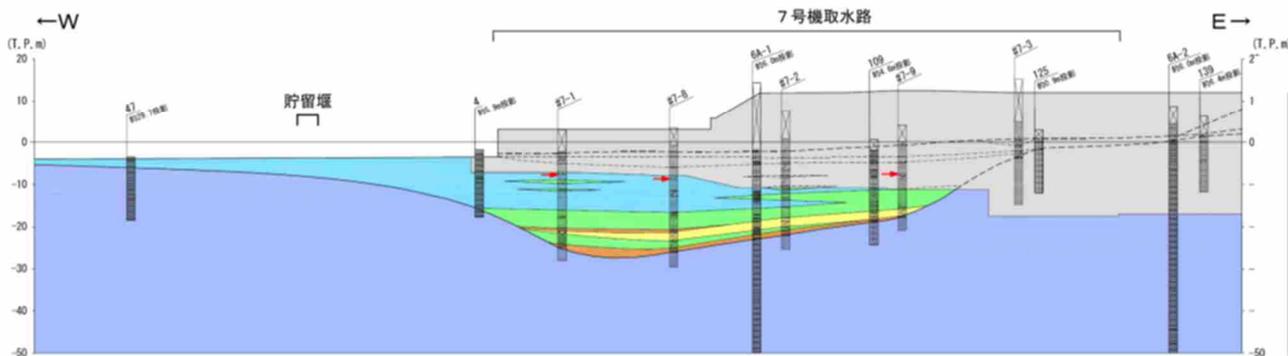
凡例



第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布  
(c) 地質断面図 ② - ②' 断面

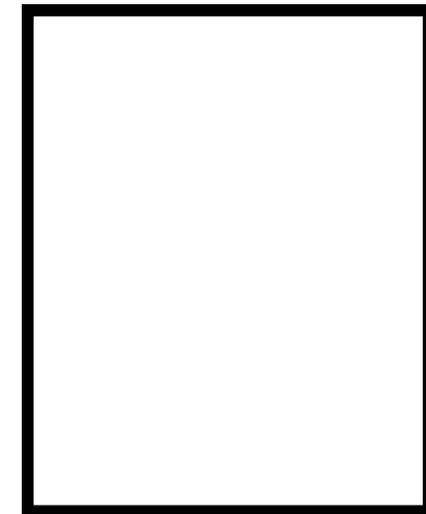


A-A' 断面



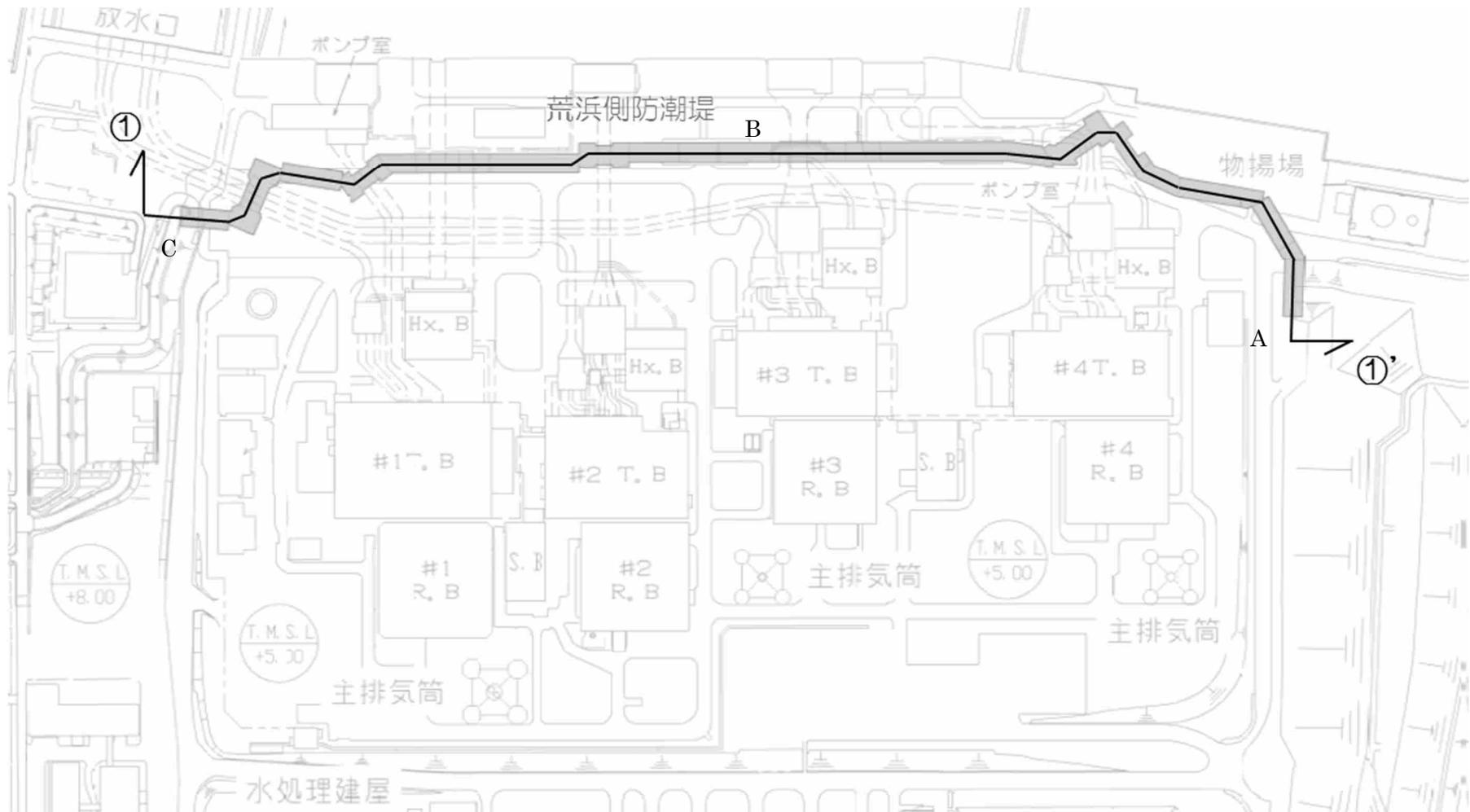
B-B' 断面

第 11-2-3 図 大湊側の砂層分布 (d) 地質断面図 取水路縦断面



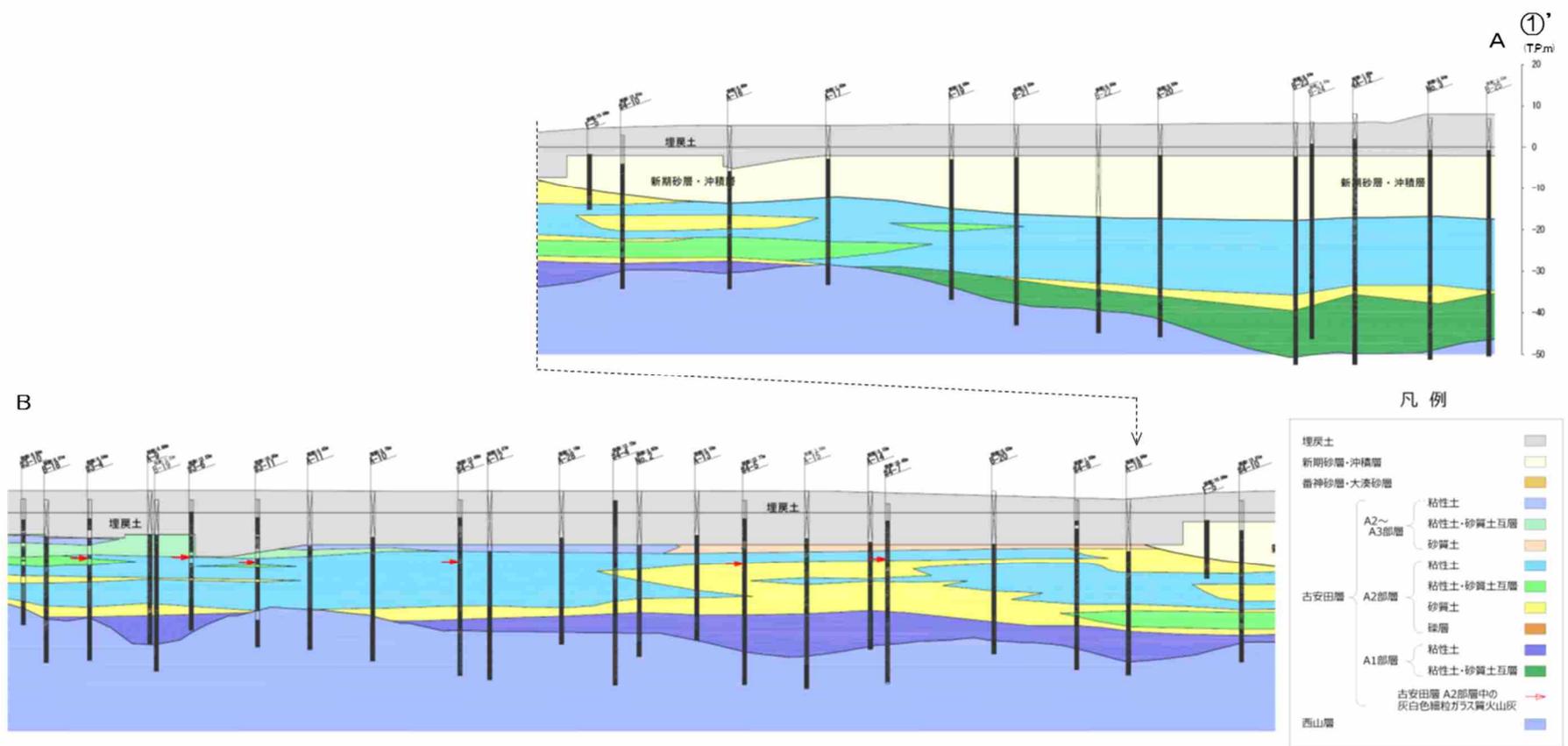
凡例

|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| 埋炭土                         |               |
| 新期砂層・沖積層                    |               |
| 番神砂層・大湊砂層                   |               |
| 古安田層                        | A2~A3部層 { 粘性土 |
|                             | 粘性土・砂質土互層     |
|                             | 砂質土           |
| A2部層                        | 粘性土           |
|                             | 粘性土・砂質土互層     |
|                             | 砂質土           |
| A1部層                        | 礫層            |
|                             | 粘性土           |
|                             | 粘性土・砂質土互層     |
| 古安田層 A2部層中の<br>灰白色細粒ガラス質火山灰 |               |
| 西山層                         |               |

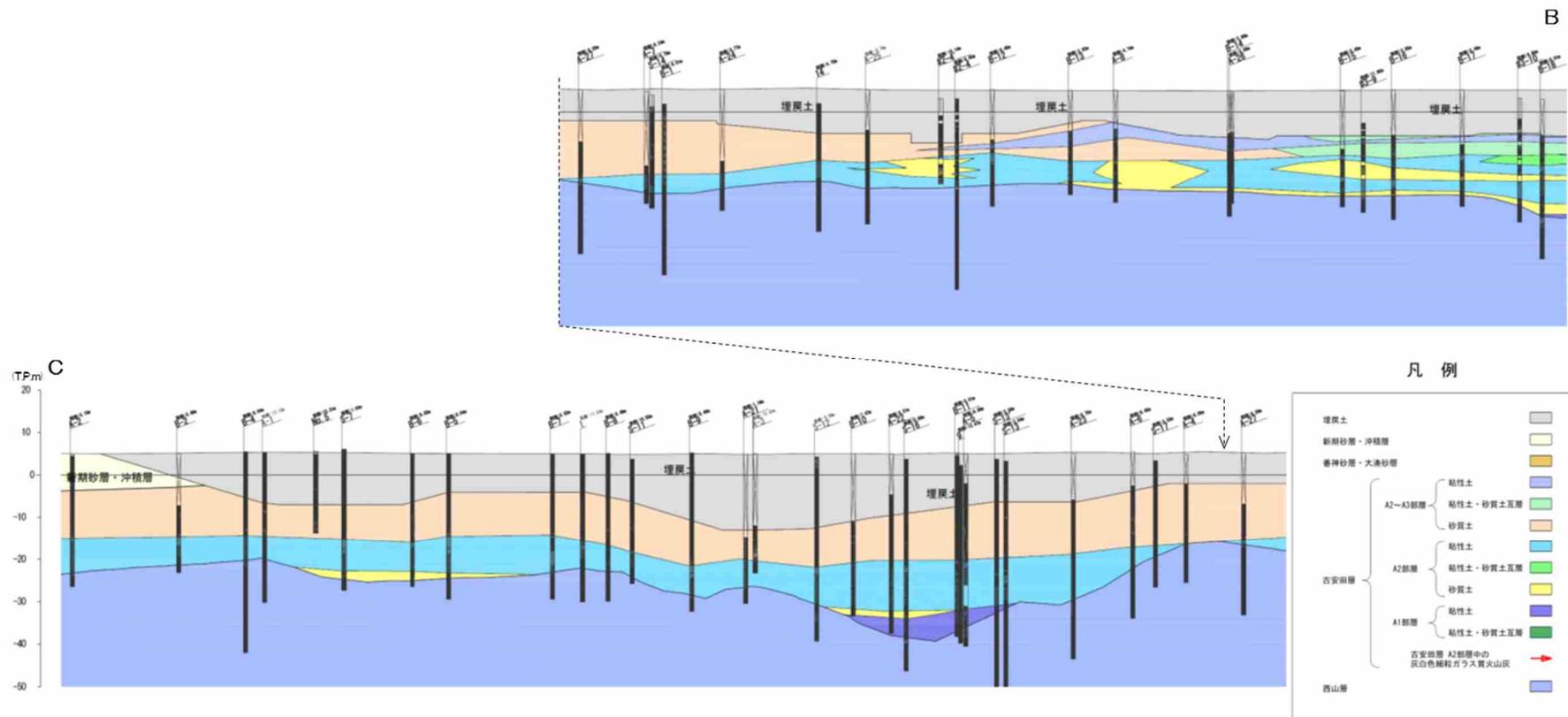


第 11-2-4 図 荒浜側の砂層分布

(a) 荒浜側 全体平面図



第 11-2-4 図 荒浜側の砂層分布  
(b) ① - ①' (A~B) 断面



第 11-2-4 図 荒浜側の砂層分布  
 (c) ① - ①' (B~C) 断面

### 3. 液状化試験位置とその代表性

#### 3.1 液状化試験位置の選定

大湊側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

液状化試験については、砂層の分布状況から比較的砂層が厚く堆積している6号炉取水路付近の地点を選定し（O-1）、試料を採取して液状化試験を実施した。

常設代替交流電源設備基礎や7号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤に分布している新期砂層・沖積層については、敷地の全域に分布していることから4号炉で確認している新期砂層・沖積層と連続する地層であると想定される。

第11-3-1図に大湊側の試料採取地点位置図（O-1）を示す。

荒浜側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、主に3～4号炉海側に分布する古安田層中の砂層、主に1～2号炉海側に分布する古安田層中の砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を抽出した。

荒浜側については、砂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した。

- 1～2号炉海側の古安田層中の砂層は、3～4号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層が連続して分布していることから、1号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A-1）。
- 3～4号炉海側の古安田層中の砂層は、その分布状況から4号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A-2）。
- 新期砂層・沖積層は、10m以上の層厚で連続して分布していることから、比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A-3）。

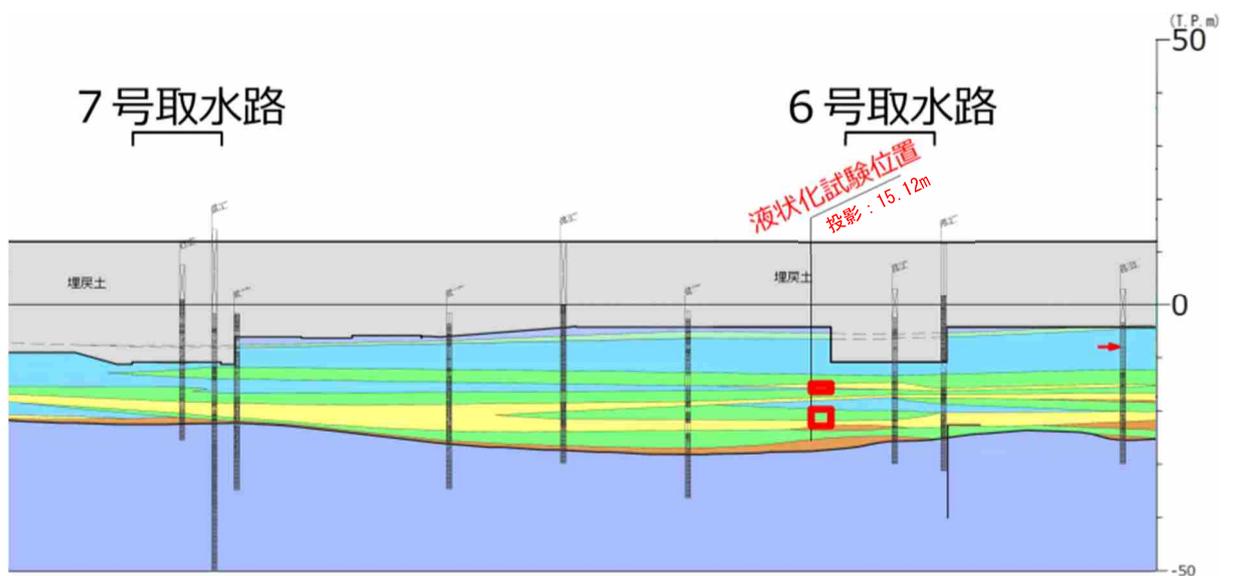


(a) 平面図

第 11-3-1 図 大湊側 試料採取地点位置図 (O-1)

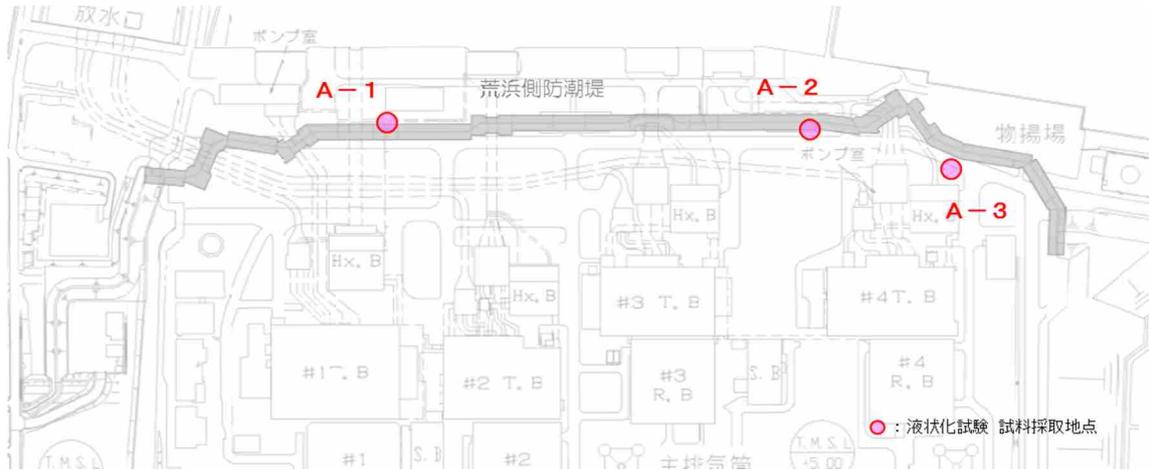
凡例

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 埋戻土                           |           |
| 新期砂層・沖積層                      |           |
| 番神砂層・大湊砂層                     |           |
| A2~<br>A3部層                   | 粘性土       |
|                               | 粘性土・砂質土互層 |
|                               | 砂質土       |
| 古安田層                          | 粘性土       |
|                               | 粘性土・砂質土互層 |
|                               | 砂質土       |
|                               | 礫層        |
| A1部層                          | 粘性土       |
|                               | 粘性土・砂質土互層 |
| 古安田層 A2部層中の<br>灰白色細粒ガラス質火山灰 → |           |
| 西山層                           |           |



(b) 断面図

第 11-3-1 図 大湊側 試料採取地点位置図 (O-1)

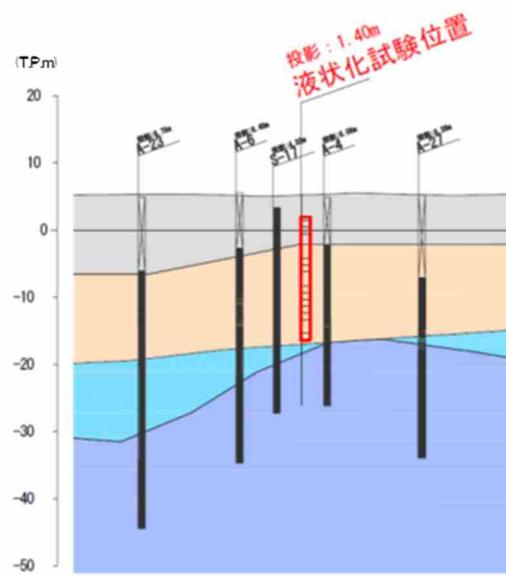


(a) 平面図

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)

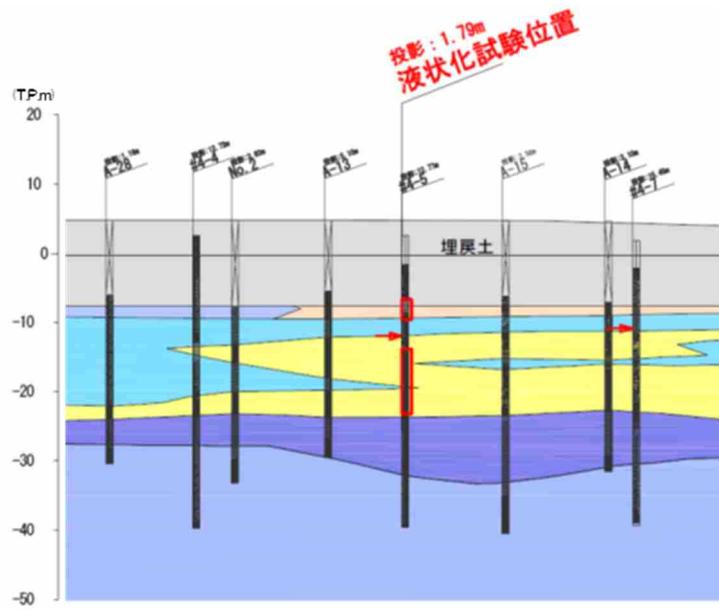
凡例

|                             |           |   |
|-----------------------------|-----------|---|
| 埋炭土                         | ■         |   |
| 新期砂層・沖積層                    | ■         |   |
| 番神砂層・大湊砂層                   | ■         |   |
| A2～A3部層                     | 粘性土       | ■ |
|                             | 粘性土・砂質土互層 | ■ |
|                             | 砂質土       | ■ |
| 古安田層 A2部層                   | 粘性土       | ■ |
|                             | 粘性土・砂質土互層 | ■ |
|                             | 砂質土       | ■ |
|                             | 礫層        | ■ |
| A1部層                        | 粘性土       | ■ |
|                             | 粘性土・砂質土互層 | ■ |
| 西山層                         | ■         |   |
| 古安田層 A2部層中の<br>灰白色細粒ガラス質火山灰 | →         |   |



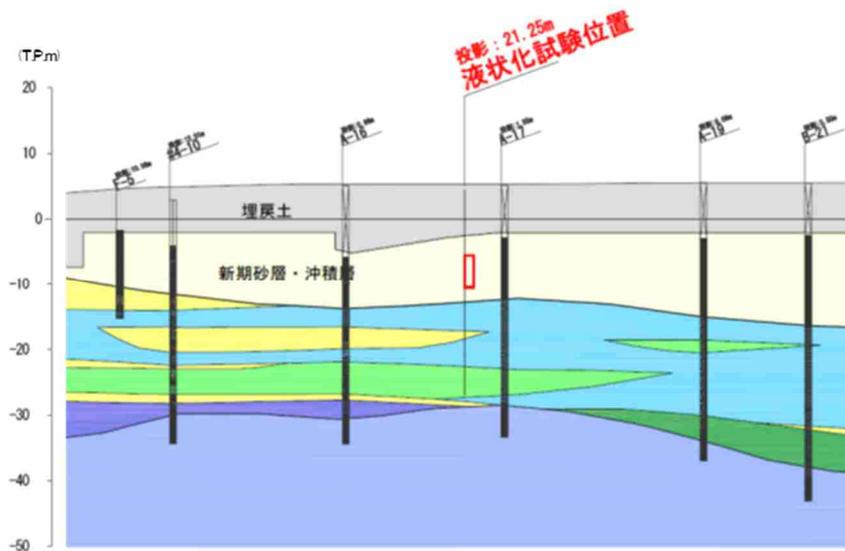
(b) 断面図 (A-1)

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



(c) 断面図 (A-2)

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



(d) 断面図 (A-3)

第 11-3-2 図 荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)

### 3.2 液状化試験選定個所の代表性確認

液状化試験個所における基本物性（粒径加積曲線，N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）について，第 11-3-3～6 図に示す。

これらの基本物性について，液状化試験選定個所の代表性確認を目的に，液状化試験個所と周辺調査個所の比較，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し，参考指標として粒径加積曲線及び密度（相対密度，乾燥密度）を選定した。第 11-3-1 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）の簡易パラメータ設定法に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，指標として選定した。

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，液状化強度比との相関が高いと考えられることから，指標として選定した。

粒径加積曲線や密度（相対密度，乾燥密度）は，基本的な土の物性値であることから，参考指標として選定した。

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 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（2006）」や「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）」，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。

液状化試験個所と周辺調査個所の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 $\sigma$ を減じた「平均値-1 $\sigma$ （以下「-1 $\sigma$ 値」と称す）」について整理した。

#### 【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（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。

#### 【港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）】

- 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】

- 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顧慮した上で、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ふつうである。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。

各液状化試験個所とその対象地層の周辺調査個所における基本物性を整理した。第 11-3-7 図に液状化試験個所と周辺調査個所の位置図、第 11-3.8～14 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。

A-1 地点の洪積砂層 I は、周辺調査個所と比べて、N 値が同程度であり細粒分含有率が小さいこと、A-1 の洪積砂層 II は、細粒分含有率が若干大きいものの N 値が小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、当該地層は層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。

A-2 地点の洪積砂層 I は、周辺調査個所と比べて、N 値及び細粒分含有率の  $-1\sigma$  値が大きいものの、液状化強度との相関が最も高い N 値の平均値は小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、A-2 地点の洪積砂層 I は、A-1 地点の洪積砂層 I、II と同時代に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層 II と同程度であることを踏まえ、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価しているものの、物性設定においては保守的にサイクリックモビリティを示す A-1 地点の洪積砂層 II の試験結果を用いる方針とする。

A-2 地点の洪積砂層 II は、周辺調査個所と比べて、N 値及び細粒分含有率が同程度若しくは小さいことから、代表性を有していると評価した。なお、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価している A-2 地点の洪積砂層 II は、主にサイクリックモビリティ

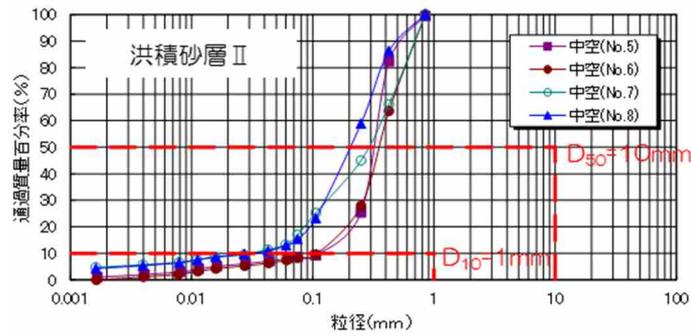
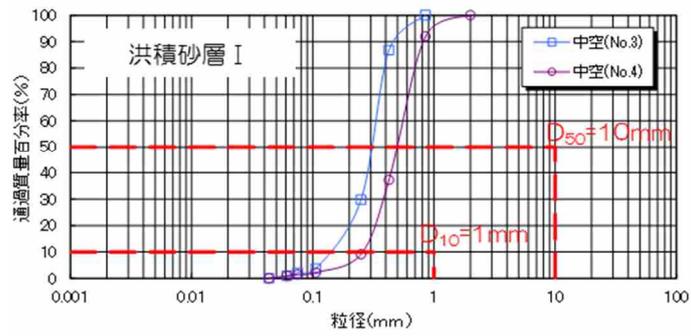
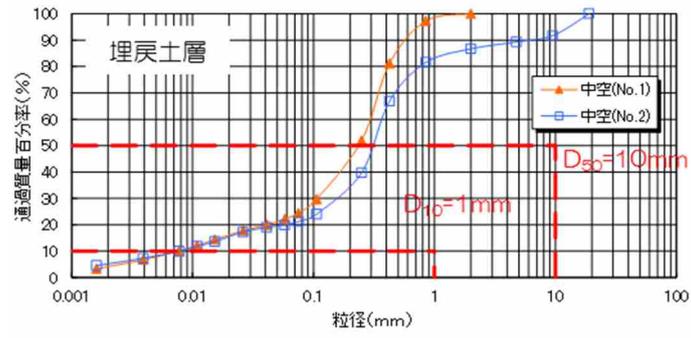
イを示すA-1地点の洪積砂層Ⅰ、Ⅱ及びA-2地点の洪積砂層Ⅰの下位に分布する砂層であり、より古い時代に堆積した砂層である。

O-1地点の洪積砂質土層Ⅰ、Ⅱは、周辺調査個所と比べて、細粒分含有率の大きい試料が1試料あることで平均値が若干大きいもののN値が同程度であることから、代表性を有していると評価した。ただし、液状化試験個所の粒径加積曲線が周辺調査個所よりばらつきが大きいこと、6、7号炉の申請であることも踏まえ、N値のデータが少ない7号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。

A-3地点の新期砂層・沖積層は、荒浜側の周辺調査個所と比べて、N値及び細粒分含有率がいずれも小さく下限付近であることから、試験は保守的な個所で実施していると評価した。

A-3地点の新期砂層・沖積層は、大湊側の周辺調査個所と比べて、細粒分含有率が小さいものの、N値が大きいことから、大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。

A-1地点の埋戻土層は、N値のみの比較ではあるものの、液状化強度との相関が最も高いN値が周辺調査個所と比べて小さく下限付近であることから、試験は保守的な個所で実施していると評価した。

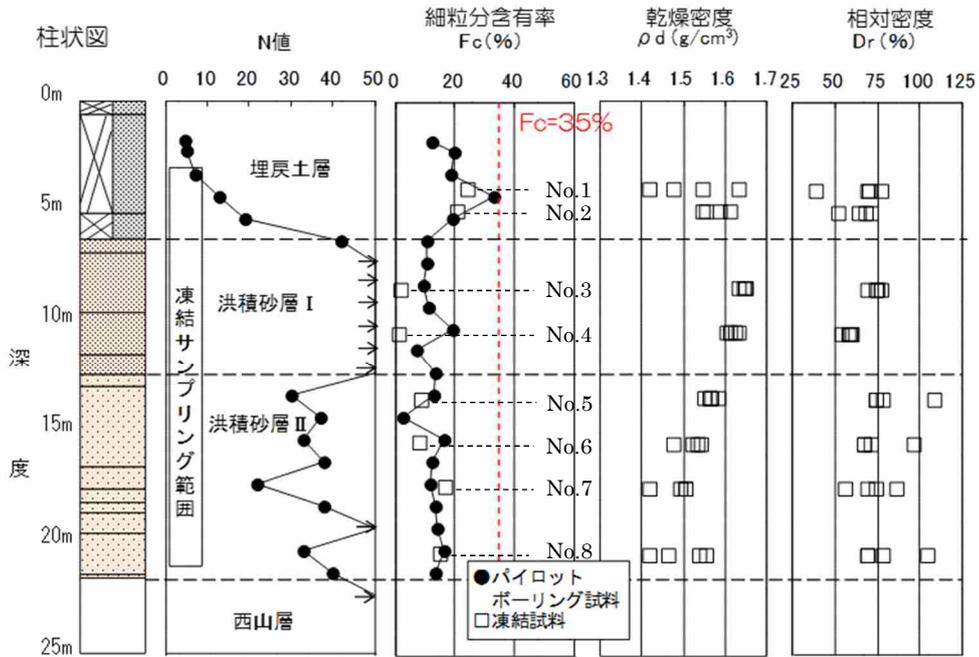


(a) 粒径加積曲線

第 11-3-3 図 液状化試験個所の基本物性 (A-1)

細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

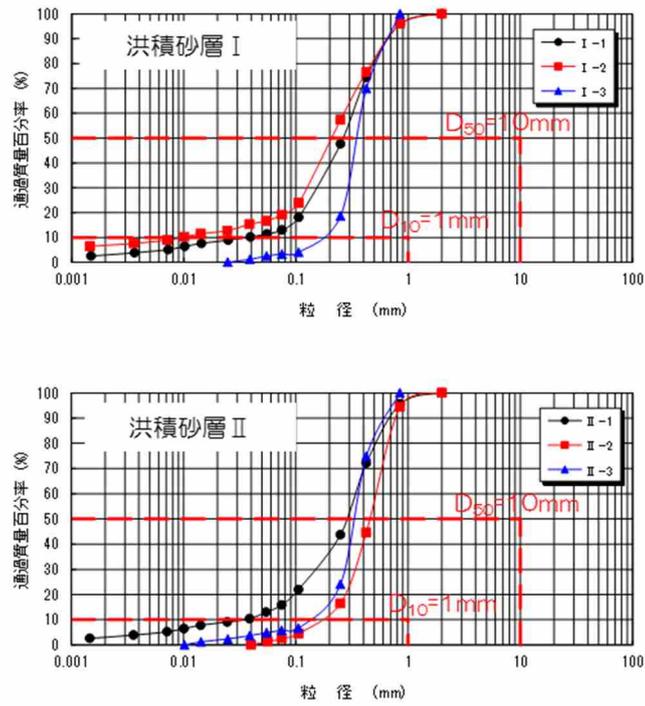
相対密度： $D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$ ， $e_{\max}$ ：最大間隙比， $e_{\min}$ ：最小間隙比，  
 $e$ ：間隙比（間隙の体積÷土粒子の体積）



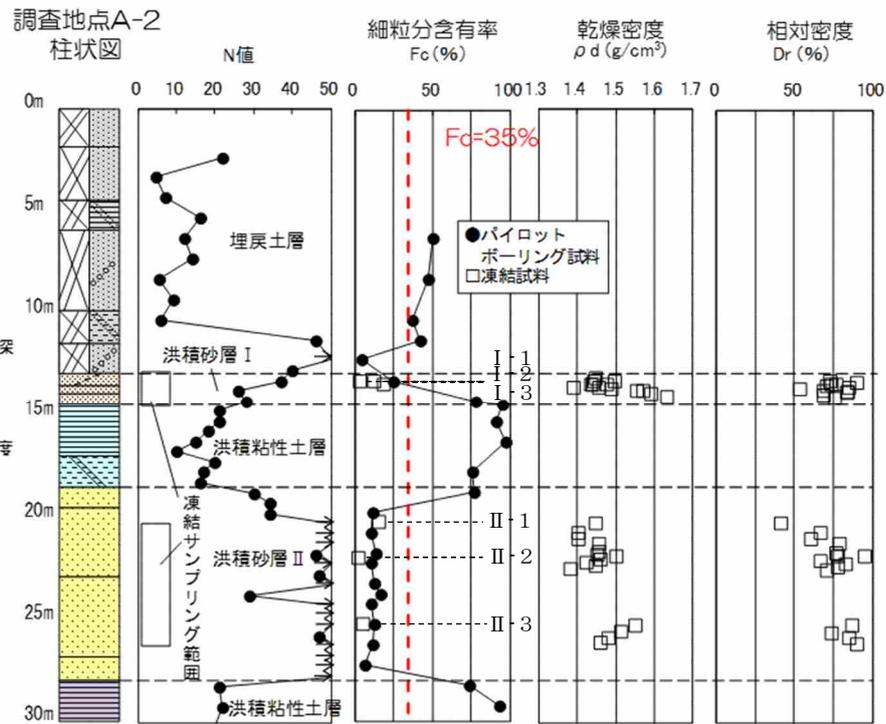
※古安田層中の砂層は、N値50以上の砂層（洪積砂層 I）とN値50以下の地層（洪積砂層 II）に区分して試験を実施した。

(b) 基本物性（N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度）の深度分布

第 11-3-3 図 液状化試験個所の基本物性（A-1）



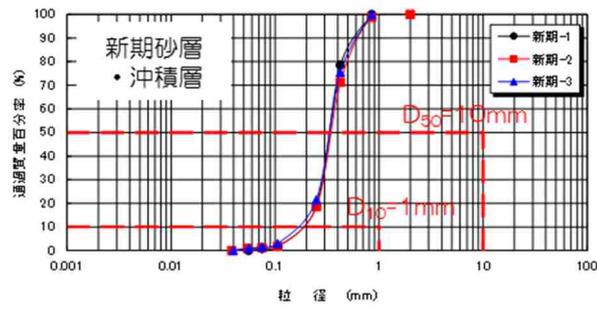
(a) 粒径加積曲線



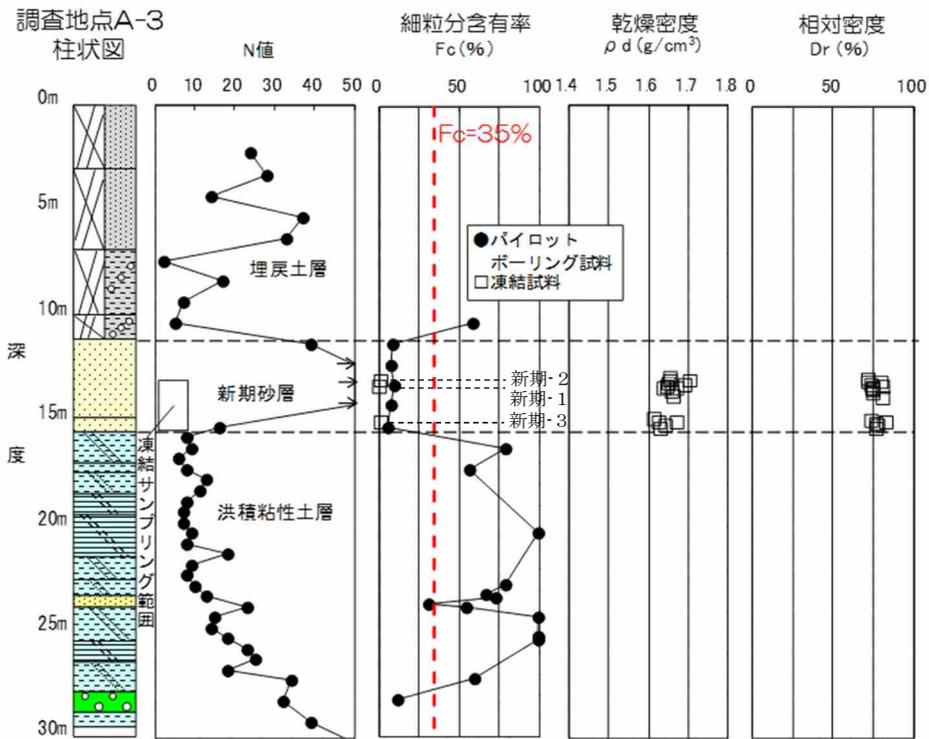
※古安田層中の砂層は、上から洪積砂層 I と洪積砂層 II に区分して試験を実施した。

(b) 基本物性 (N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度) の深度分布

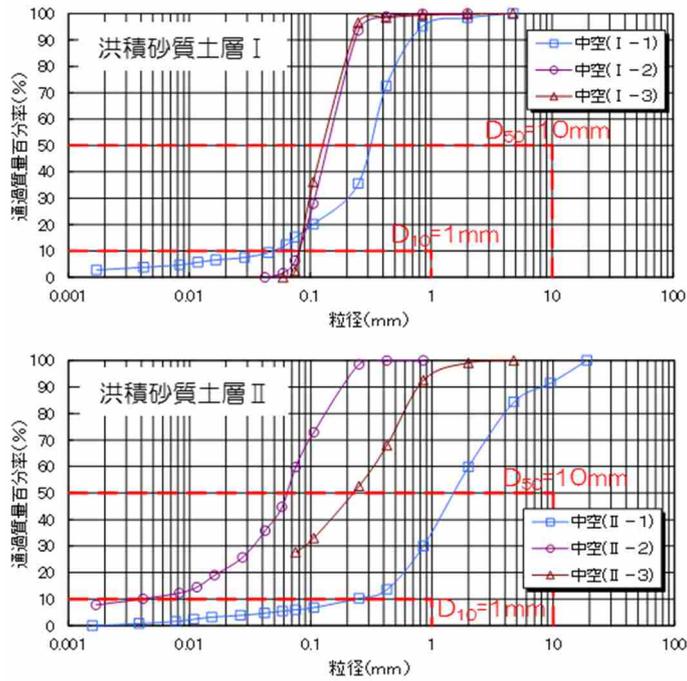
第 11-3-4 図 液状化試験個所の基本物性 (A-2)



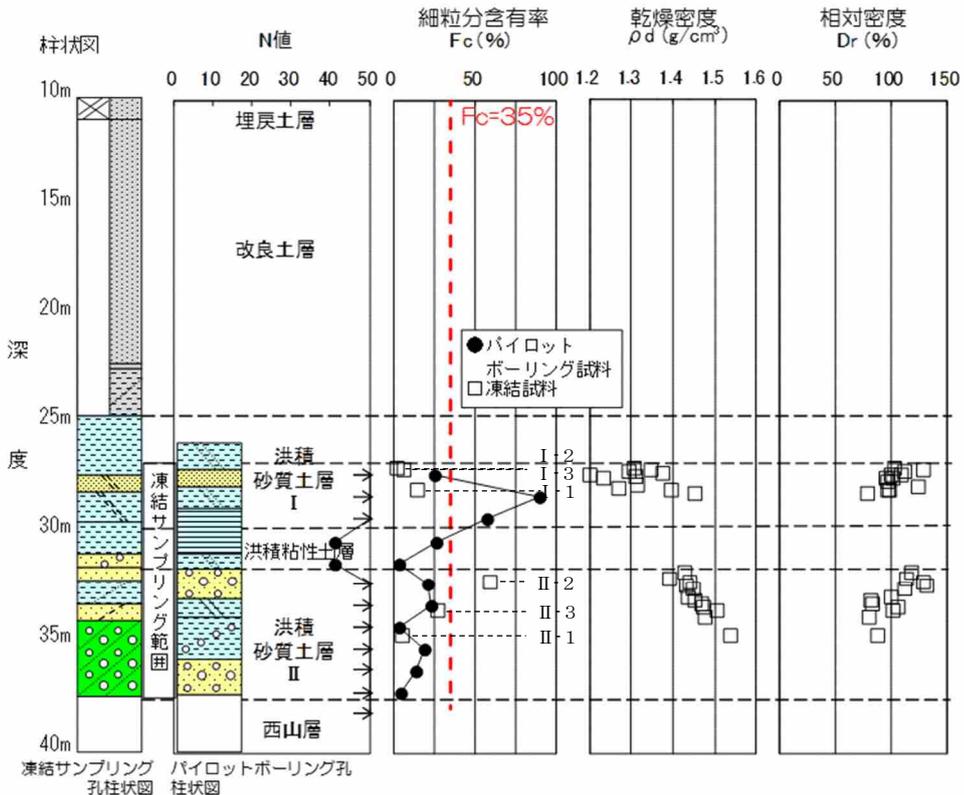
(a) 粒径加積曲線



(b) 基本物性 (N値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度) の深度分布  
 第 11-3-5 図 液状化試験個所の基本物性 (A-3)



(a) 粒径加積曲線



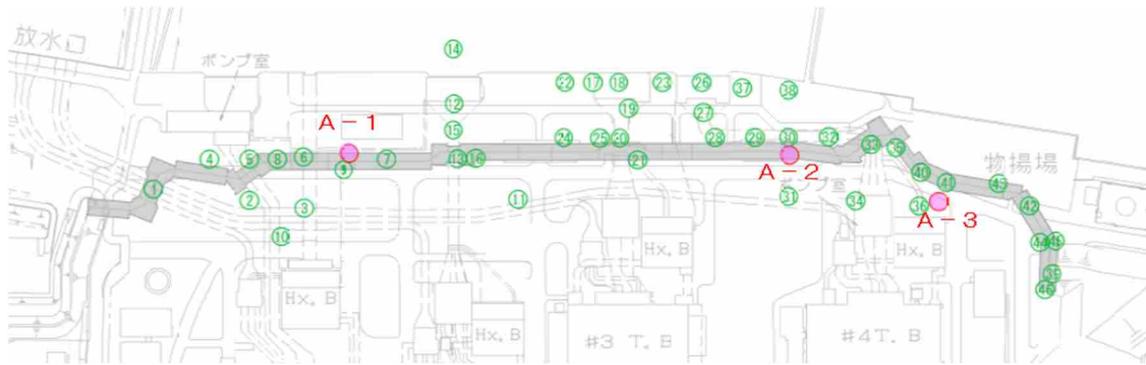
※古安田層中の砂層は同時代の地層であるが、上位を洪積砂質土層 I、下位を洪積砂質土層 II と区分し、それぞれの拘束圧に応じて液状化試験を実施した。

(b) 基本物性 (N 値・細粒分含有率・乾燥密度・相対密度) の深度分布  
第 11-3-6 図 液状化試験個所の基本物性 (O-1)

第 11-3-1 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                   | 液状化強度比の補正に用いる物性                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <p>道路橋示方書</p> <p>(下水道施設の耐震対策指針と解説, 日本下水道協会, 2006)</p> <p>(河川砂防技術基準(案)同解説 設計編, 日本河川協会編, 1997)</p> <p>(高圧ガス設備等耐震設計指針, 高圧ガス保安協会, 2000)</p> | <p><b>N値</b></p> <p>(有効上載圧を考慮した補正を行う)</p> | <p>細粒分含有率 <math>F_c</math></p>                                 |
| <p>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, 2007</p> <p>(部分改訂, 2012)</p>                                                                        |                                           | <p>細粒分含有率 <math>F_c</math></p>                                 |
| <p>建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, 2001</p> <p>(水道施設耐震工法指針・同解説, 日本水道協会, 1997)</p>                                                                   |                                           | <p>細粒分含有率 <math>F_c</math></p>                                 |
| <p>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, 2012</p>                                                                                          |                                           | <p>細粒分含有率 <math>F_c</math></p> <p>平均粒径 <math>D_{50}</math></p> |

- : 液状化試験 試料採取位置
- : 標準貫入試験位置または物理特性試料採取位置  
(○内数値は位置番号, 荒浜側①~④⑥, 大湊側④⑨~⑥②)



(a) 荒浜側

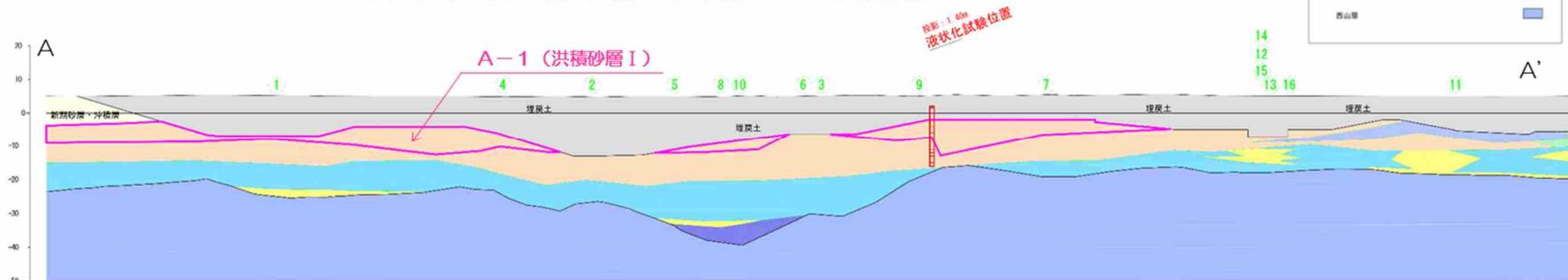


(b) 大湊側

第 11-3-7 図 液状化試験個所と周辺調査個所の位置図



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）



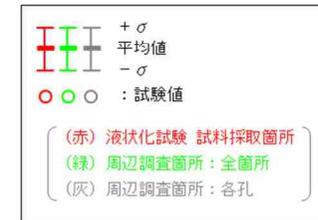
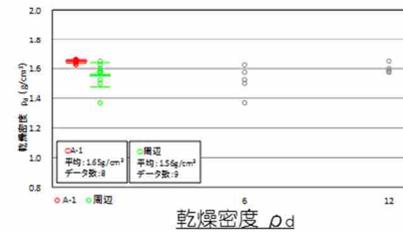
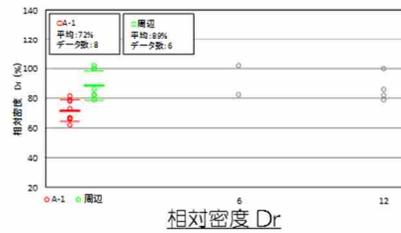
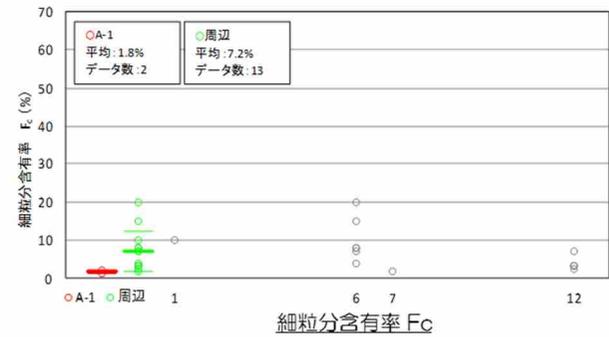
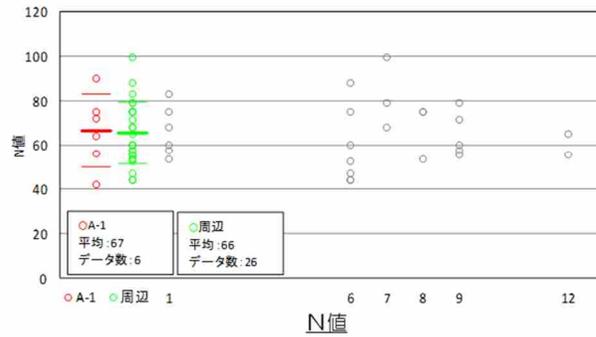
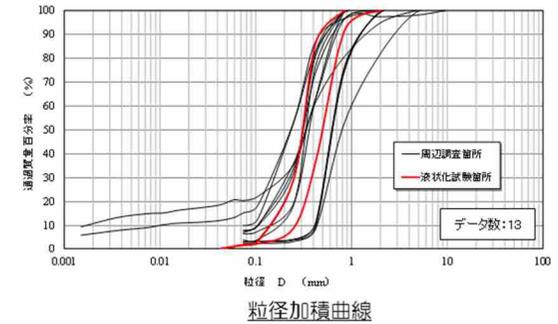
N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）

(a) 比較対象位置図

第 11-3-8 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-1 地点の洪積砂層 I）

- **N値**：液状化試験箇所と周辺調査箇所の平均値及び-1σ値は同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。

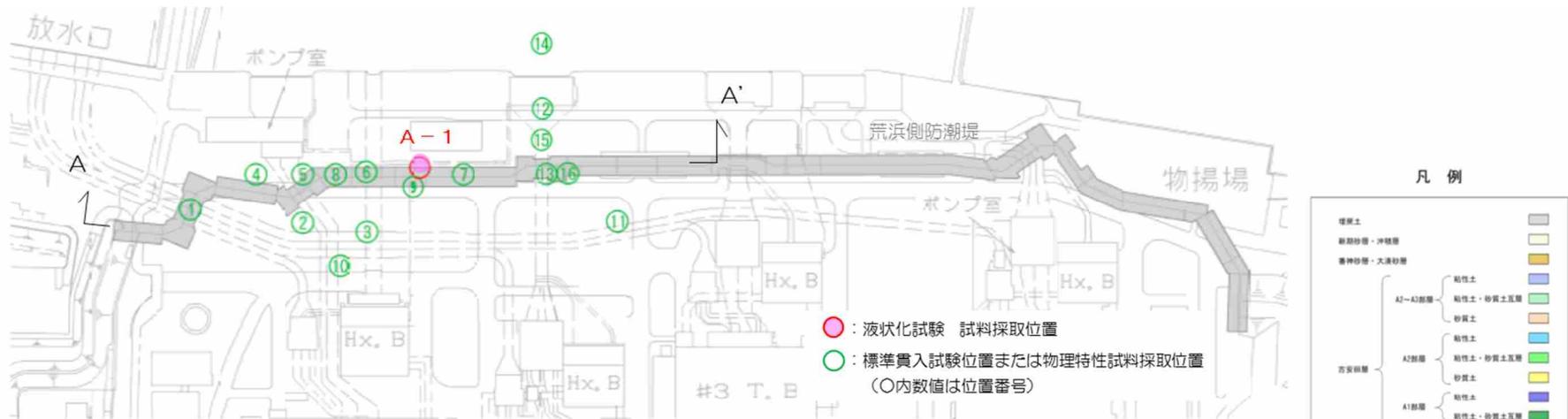
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。  
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。  
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より大きい。



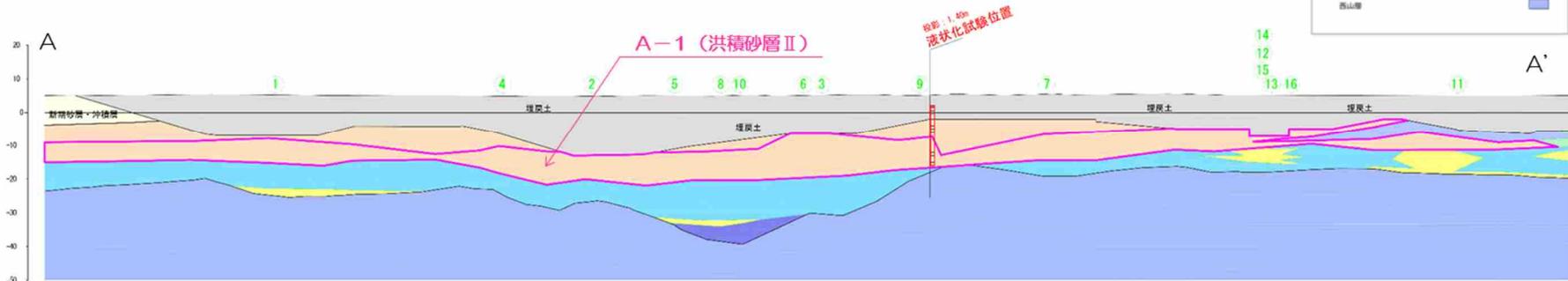
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1 (洪積砂層 I)

(b) 基本物性比較

第 11-3-8 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-1 地点の洪積砂層 I)



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-1 (洪積砂層Ⅱ)



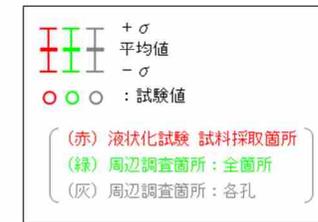
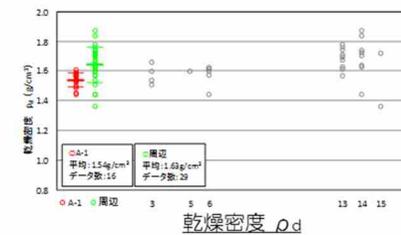
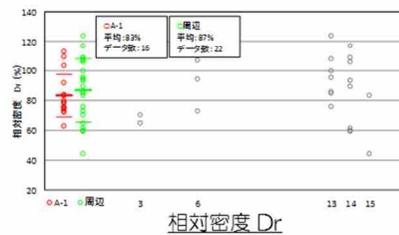
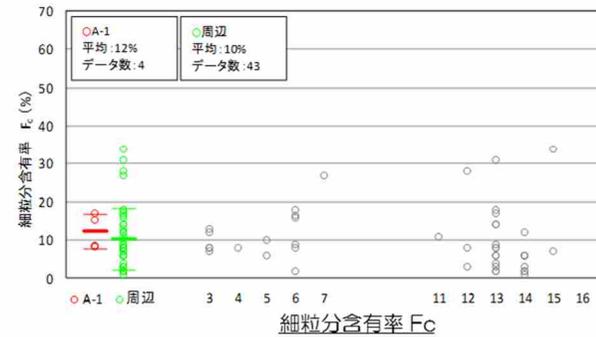
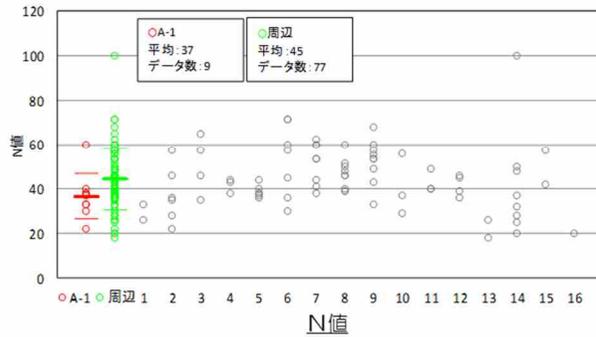
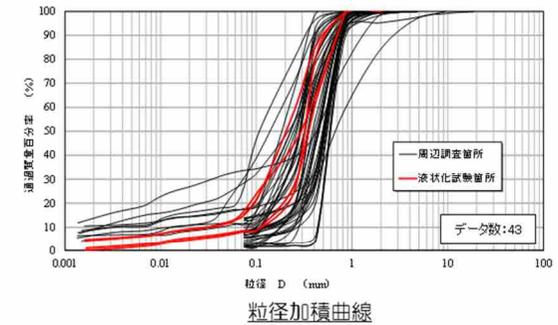
N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-1 (洪積砂層Ⅱ)

(a) 比較対象位置図

第 11-3-9 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は周辺調査箇所より若干大きい（ばらつきが小さい）。

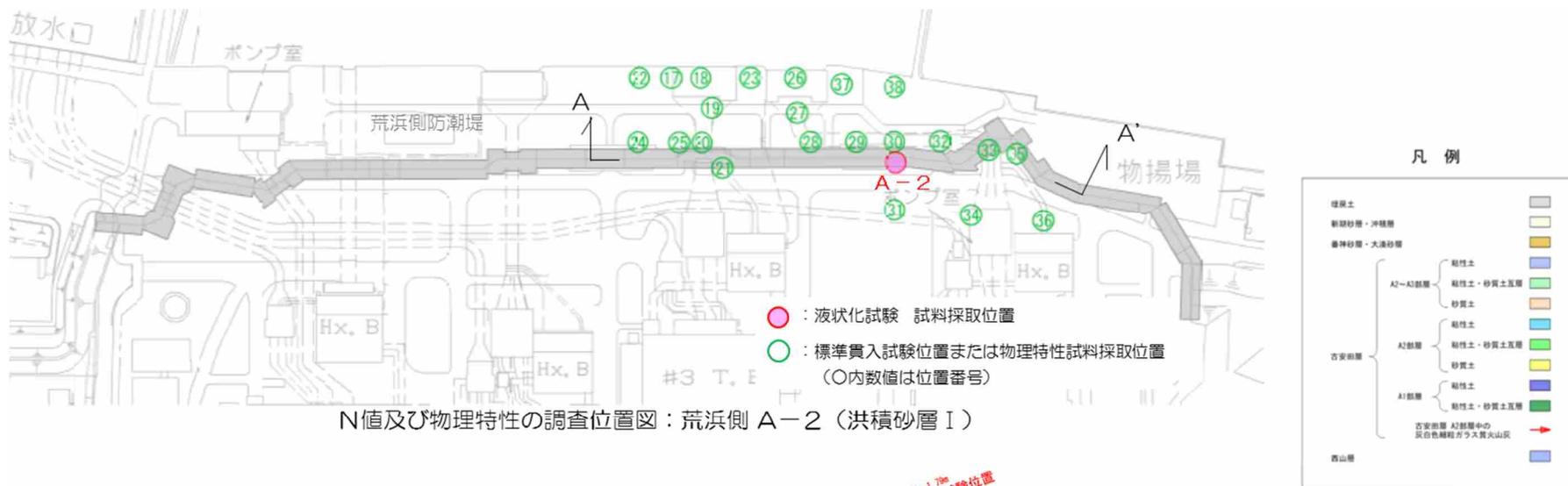
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。  
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所と同程度である。  
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。



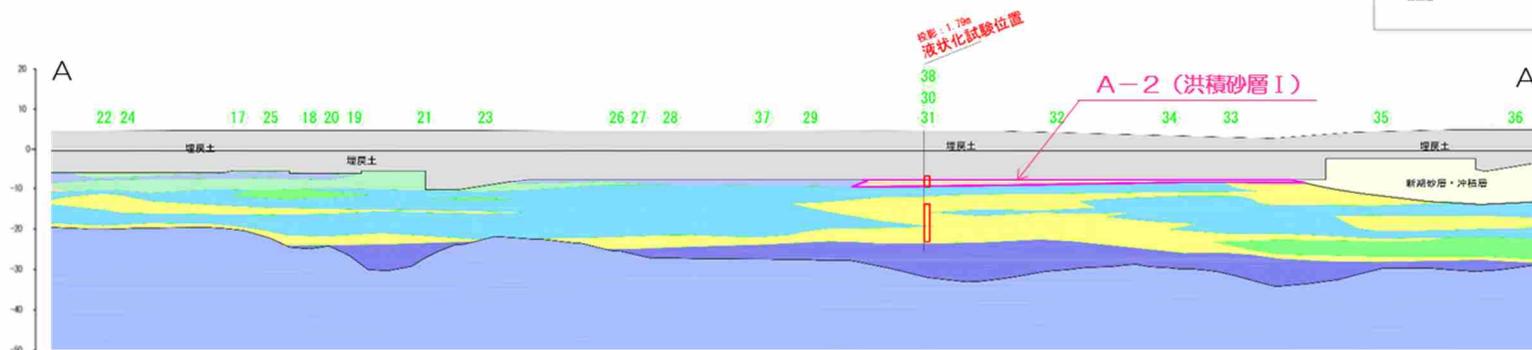
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1 (洪積砂層Ⅱ)

(b) 基本物性比較

第 11-3-9 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）



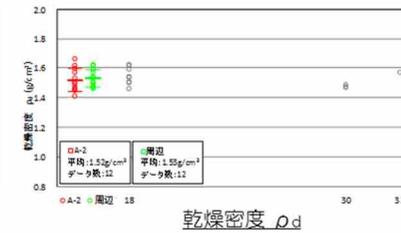
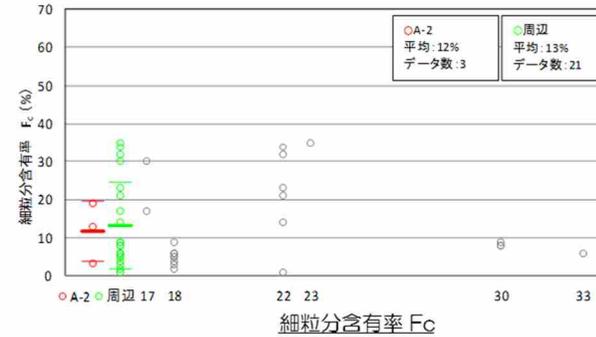
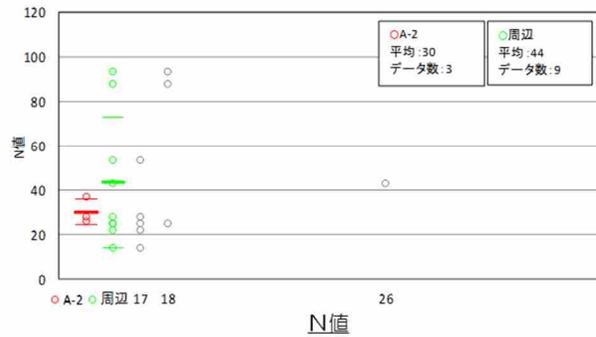
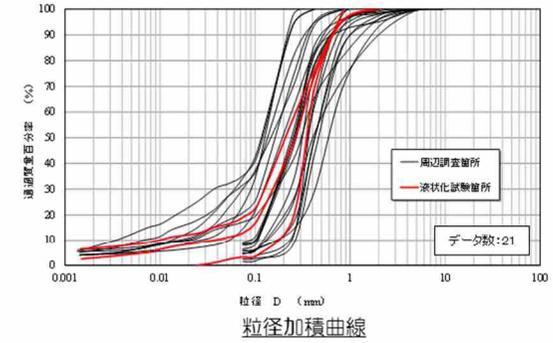
N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）

(a) 比較対象位置図

第 11-3-10 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-2 地点の洪積砂層 I）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より大きい（ばらつきが小さい）。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は、周辺調査箇所と同程度であり、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より若干大きい。

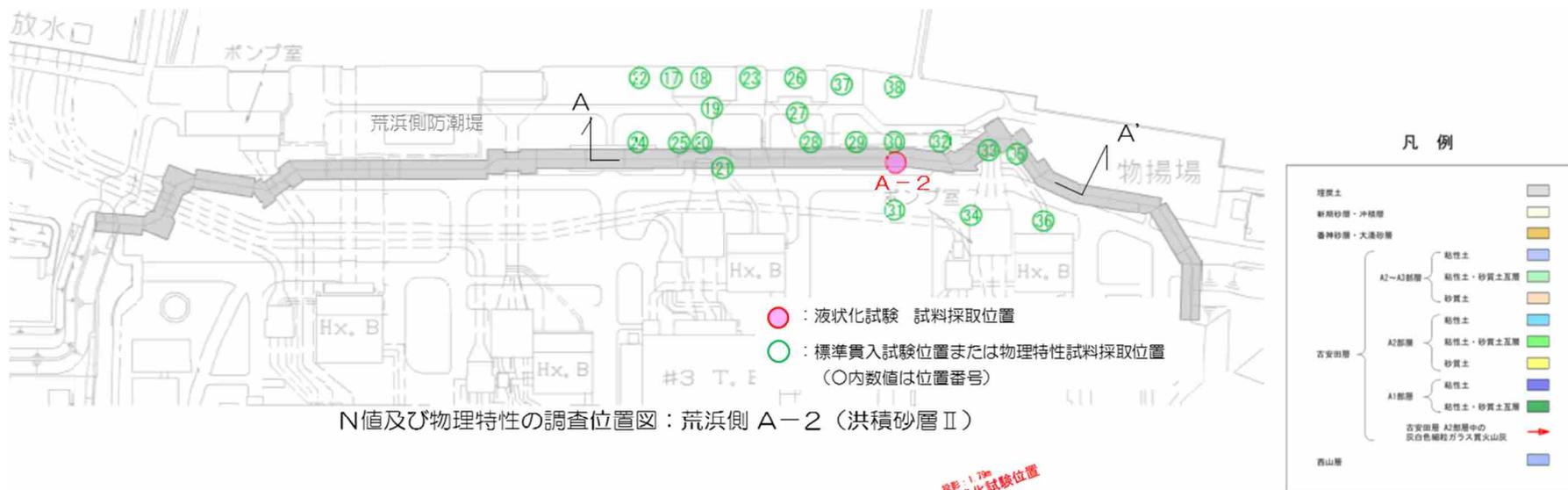
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。  
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所と同程度である。  
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より若干小さい。



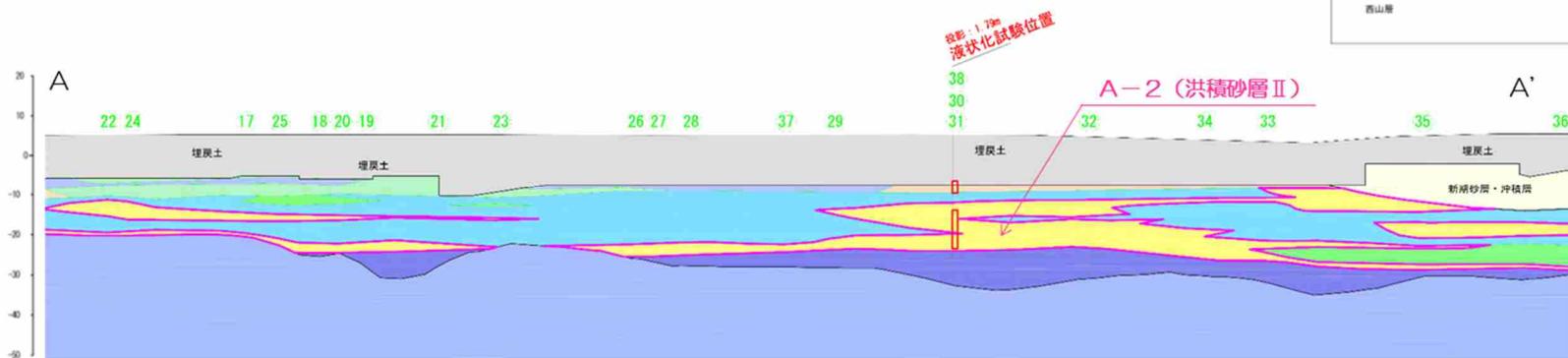
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2 (洪積砂層 I)

(b) 基本物性比較

第 11-3-10 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-2 地点の洪積砂層 I)



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）



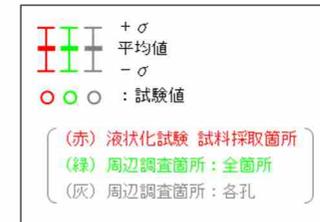
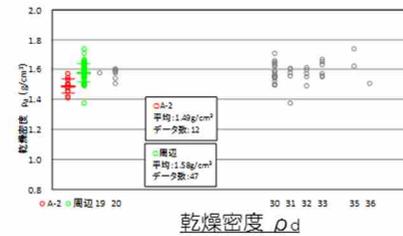
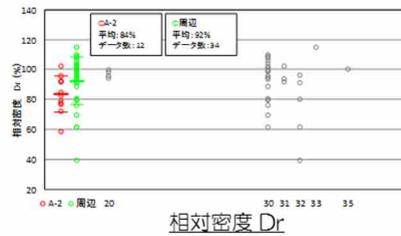
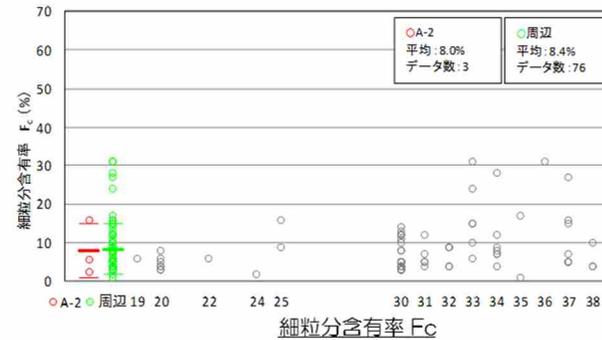
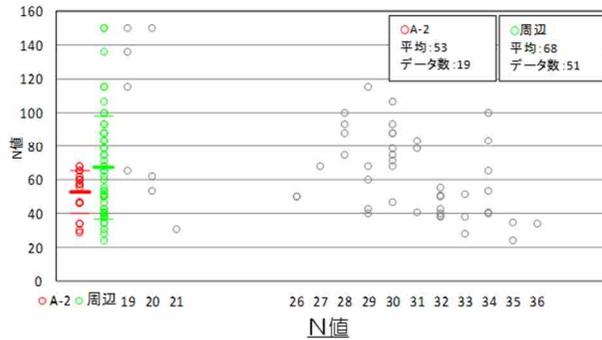
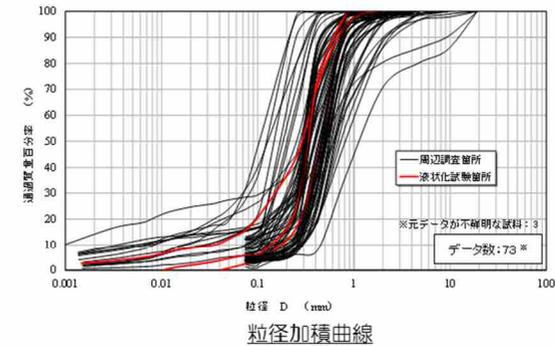
N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）

(a) 比較対象位置図

第 11-3-11 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所と同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所と同程度であり、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より小さい。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。  
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。  
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。



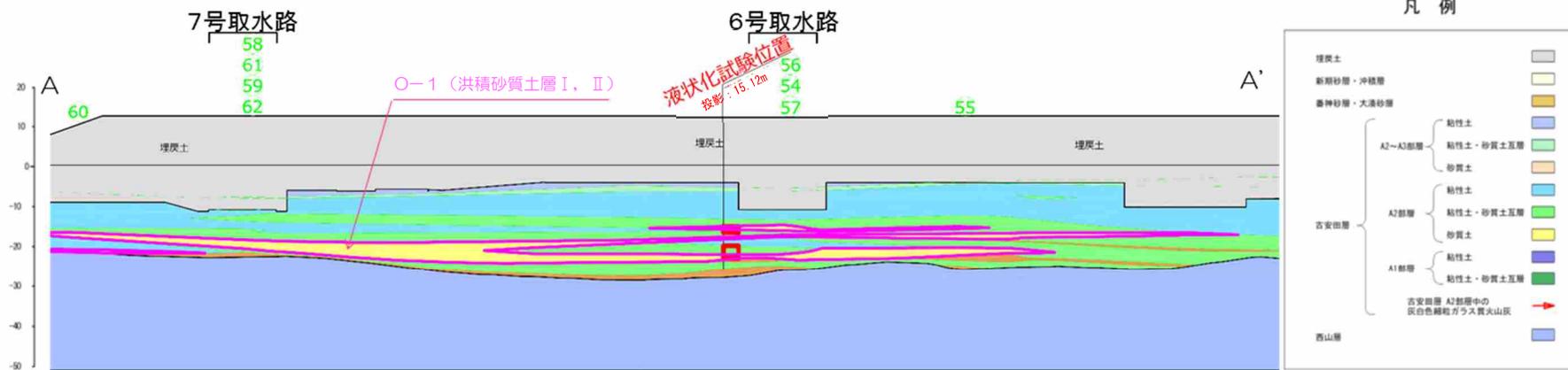
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2 (洪積砂層Ⅱ)

(b) 基本物性比較

第 11-3-11 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-2 地点の洪積砂層Ⅱ)



N値及び物理特性の調査位置図：大湊側 O-1（洪積砂質土層 I, II）



N値及び物理特性の整理対象層：大湊側 O-1（洪積砂質土層 I, II）

(a) 比較対象位置図

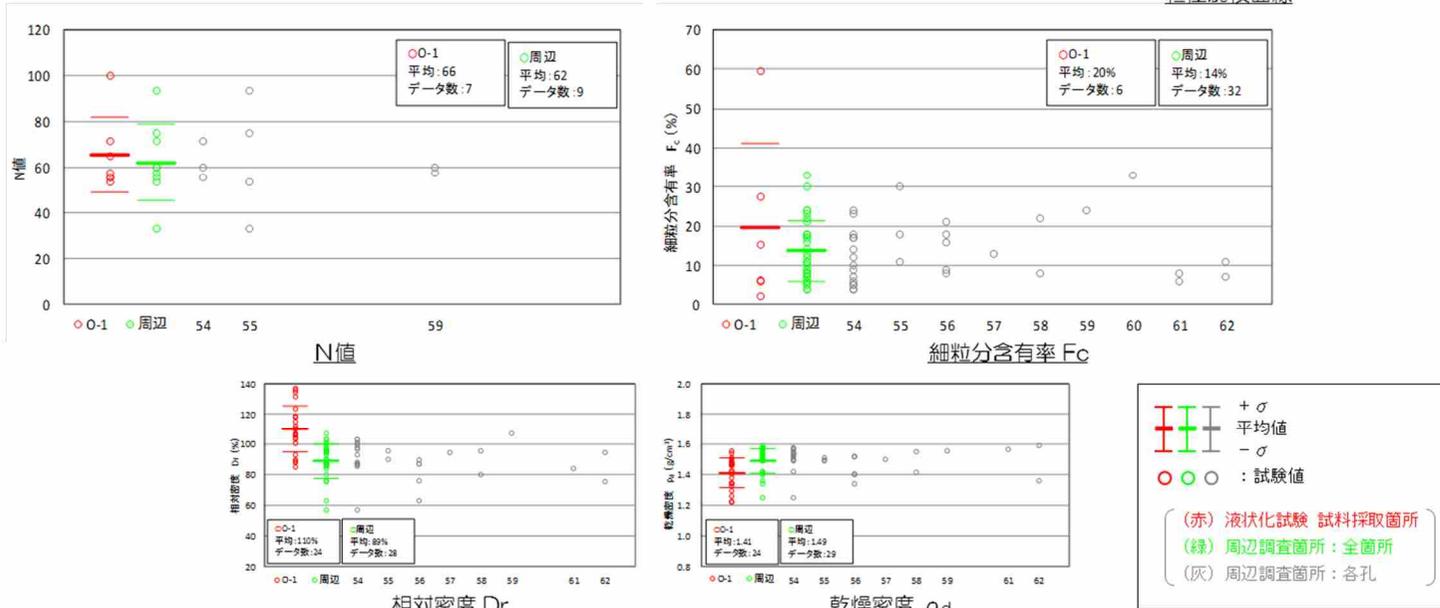
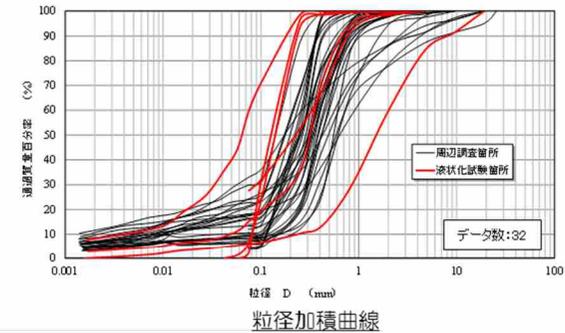
第 11-3-12 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（O-1 地点の洪積砂質土層 I, II）

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所と同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より大きく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より小さい（ばらつきが大きい）。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所はばらつきが大きく、周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っていないデータがある。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より大きい。

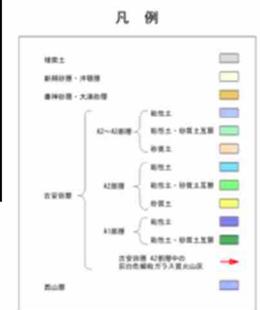
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。



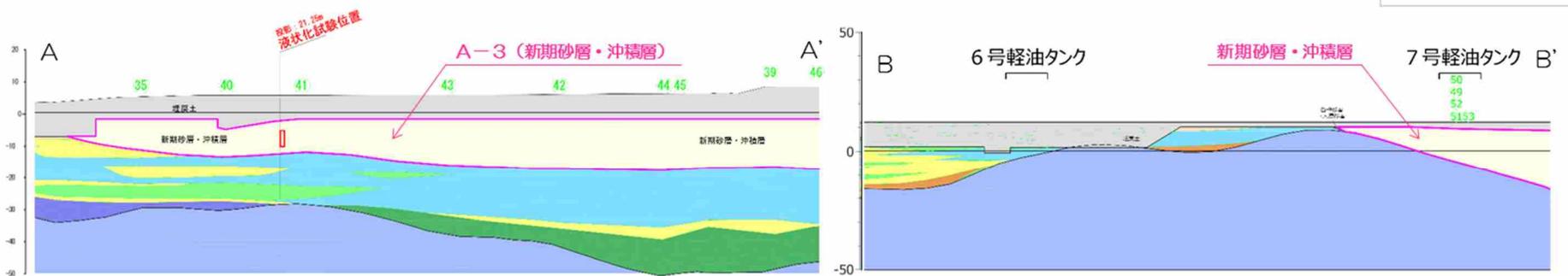
N値及び物理特性の比較 大湊側 O-1 (洪積砂質土層 I, II)

(b) 基本物性比較

第 11-3-12 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (O-1 地点の洪積砂質土層 I, II)



N値及び物理特性の調査位置図：A-3（新期砂層・沖積層）



N値及び物理特性の整理対象層：A-3（新期砂層・沖積層）

(a) 比較対象位置図

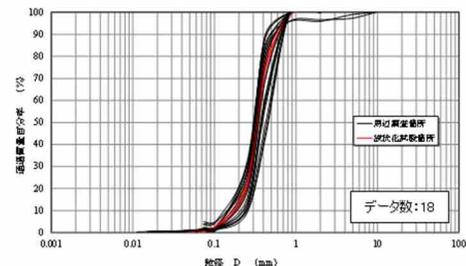
第 11-3-13 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較（A-3 地点の新期砂層・沖積層）

- **N値**：液状化試験箇所のN値は、荒浜側周辺調査箇所より小さく下限付近であり、大湊側の周辺調査箇所より大きい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は荒浜側の周辺調査箇所と同程度であり、大湊側の周辺調査箇所より小さい。

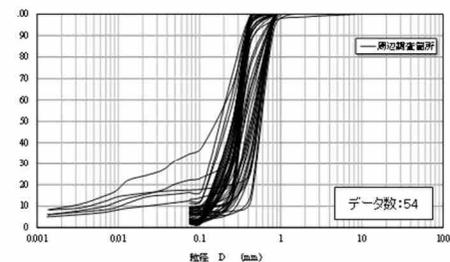
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っており、荒浜側はばらつきが小さく、よく一致している。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。

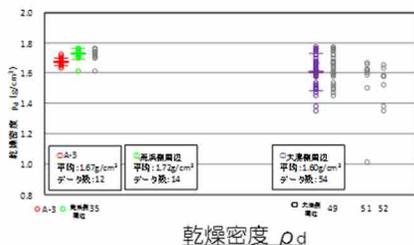
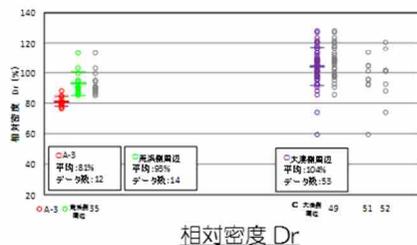
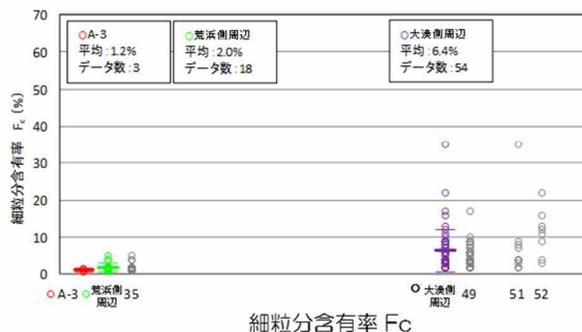
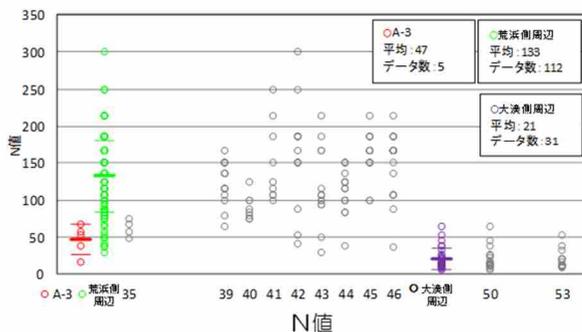
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、荒浜側の周辺調査箇所より小さく、大湊側の周辺調査箇所より大きい。



粒径加積曲線 (荒浜側)



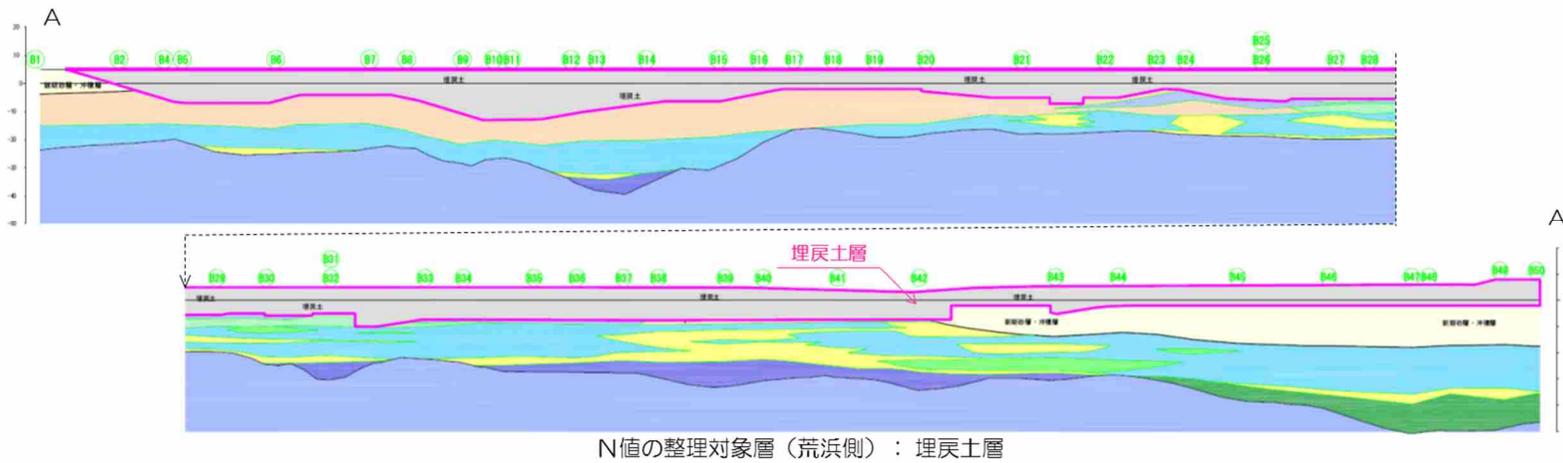
粒径加積曲線 (大湊側)



N値及び物理特性の比較 A-3 (新时期砂層・沖積層)

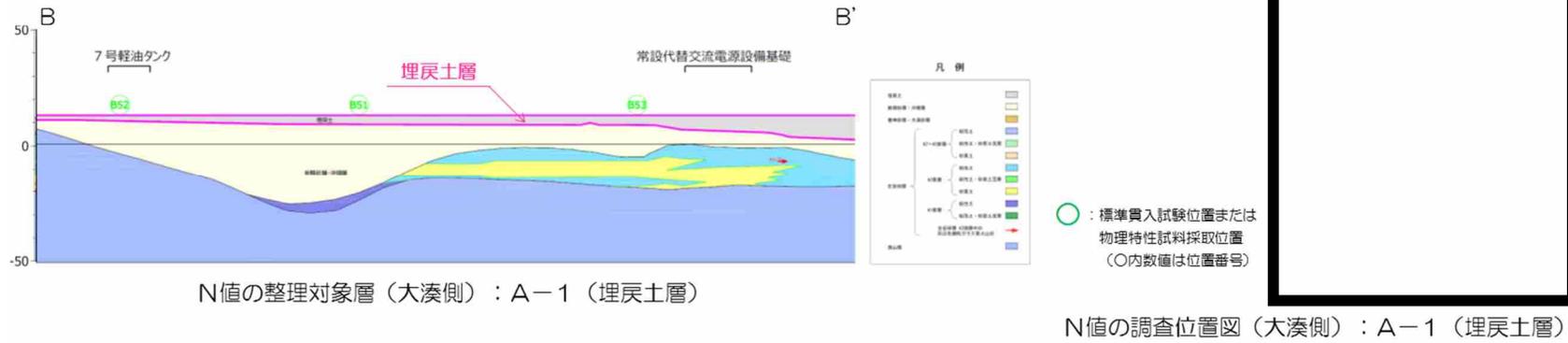
(b) 基本物性比較

第 11-3-13 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較 (A-3 地点の新时期砂層・沖積層)



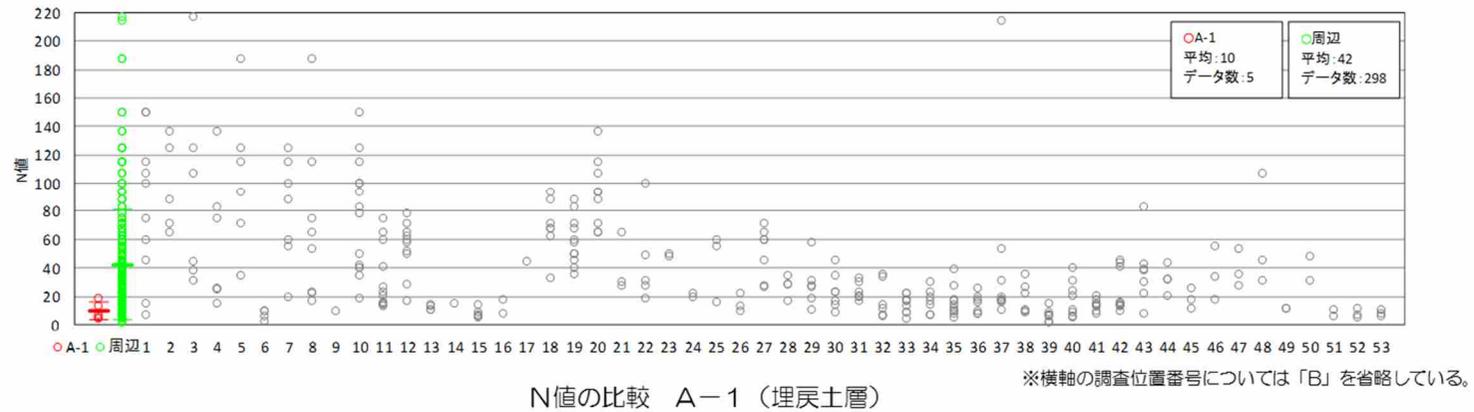
(a) 比較対象位置図 (荒浜側)

第 11-3-14 図 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較 (A-1 の埋戻土層)



(b) 比較対象位置図（大湊側）

■ **N値**：液状化試験箇所とのN値は、周辺調査箇所より小さく、下限付近である。



(b) 基本物性比較

第 11-3-14 図 液状化試験箇所と周辺調査箇所の基本物性比較（A-1 の埋戻土層）

第 11-3-2 表 液状化試験個所と周辺調査個所の基本物性比較のまとめ

| 地層区分                     |       | N値 | 細粒分含有率 | 追加調査実施 |
|--------------------------|-------|----|--------|--------|
| A-1<br>洪積砂層 I            | 平均値   | ■  | ■      | ○      |
|                          | -1σ 値 |    |        |        |
| A-1<br>洪積砂層 II           | 平均値   | ■  | ■      | ○      |
|                          | -1σ 値 |    |        |        |
| A-2<br>洪積砂層 I            | 平均値   | ■  | ■      | ※      |
|                          | -1σ 値 |    |        |        |
| A-2<br>洪積砂層 II           | 平均値   | ■  | ■      | -      |
|                          | -1σ 値 |    |        |        |
| O-1<br>洪積砂質土層 I,<br>II   | 平均値   | ■  | ■      | ○      |
|                          | -1σ 値 |    |        |        |
| A-3<br>新期砂層・沖積層<br>(荒浜側) | 平均値   | ■  | ■      | -      |
|                          | -1σ 値 |    |        |        |
| A-3<br>新期砂層・沖積層<br>(大湊側) | 平均値   | ■  | ■      | ○      |
|                          | -1σ 値 |    |        |        |
| A-1<br>埋戻土層              | 平均値   | ■  | -      | ○      |
|                          | -1σ 値 |    | -      |        |

■ : 周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が小さい  
(変動率 < -10%)

■ : 周辺調査箇所と液状化試験箇所が同程度  
(-10% ≤ 変動率 ≤ 10%)

■ : 周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が大きい  
(変動率 > 10%)

※ 液状化強度特性の設定は、保守的に A-1 (洪積砂層 II) の液状化試験結果を用いる。

### 3.3 追加調査位置

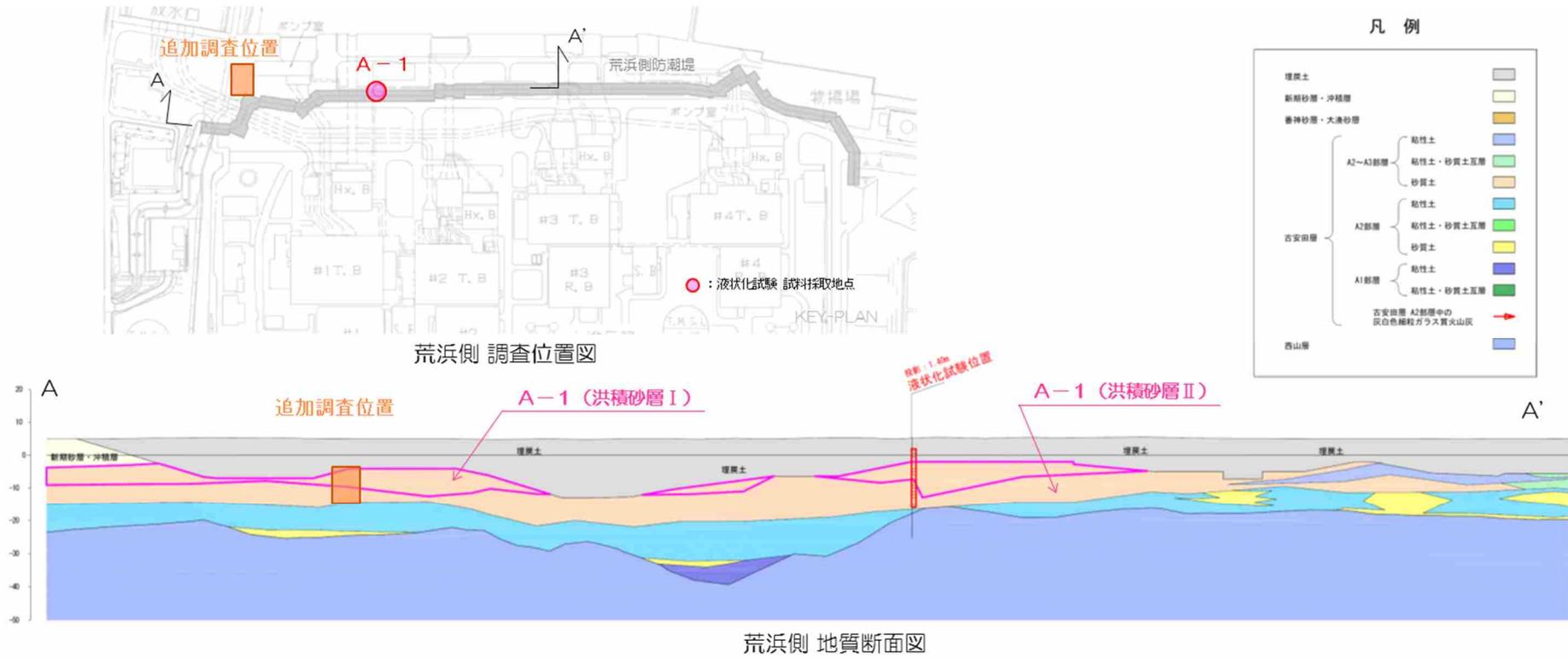
3.1 及び 3.2 の検討結果を踏まえて、第 11-3-15 図に追加調査実施予定地を示す。

荒浜側における A-1 地点の洪積砂層 I, II 及び A-2 地点の洪積砂層 I は、地質の連続性等の評価や周辺調査個所の N 値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし、層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。なお、A-2 地点の洪積砂層 I は、A-1 地点の洪積砂層 I, II と同時に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層 II と同程度であることを踏まえ、物性設定においては保守的に A-1 地点の洪積砂層 II の試験結果を用いる方針とする。追加調査位置は、事前調査を実施し、A-1 地点の洪積砂層 I, II の両層を採取できる場所を選定する。

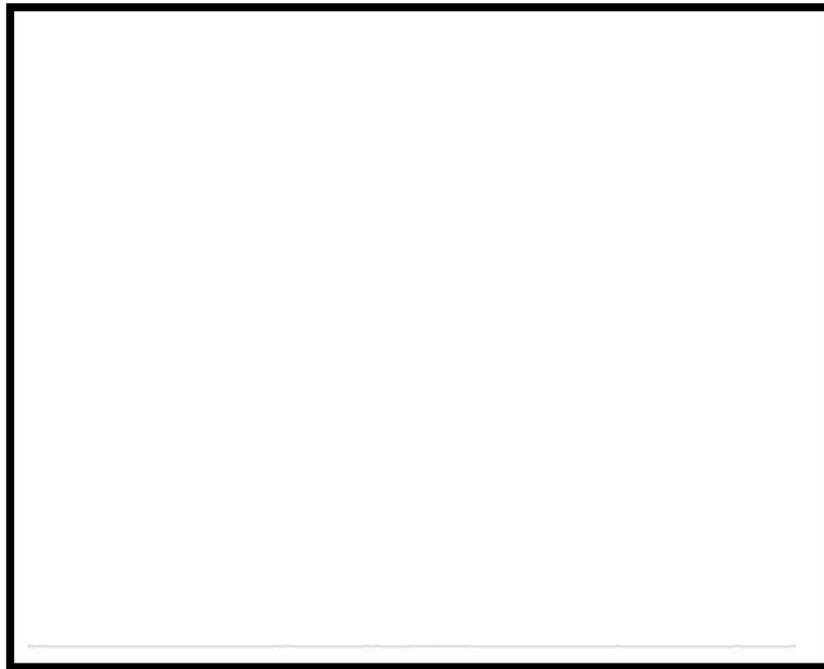
O-1 地点の洪積砂質土層 I, II は、地質の連続性等の評価や周辺調査個所の N 値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし、6, 7 号炉の申請であることを踏まえ、7 号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、古安田層中に挟在する砂層から試料が確実に採取できる場所を選定する。

A-3 地点の新期砂層・沖積層は、大湊側の周辺調査個所と比べて、細粒分含有率が小さいものの、N 値が大きいことから、大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、新期砂層・沖積層から試料が確実に採取できる場所を選定する。

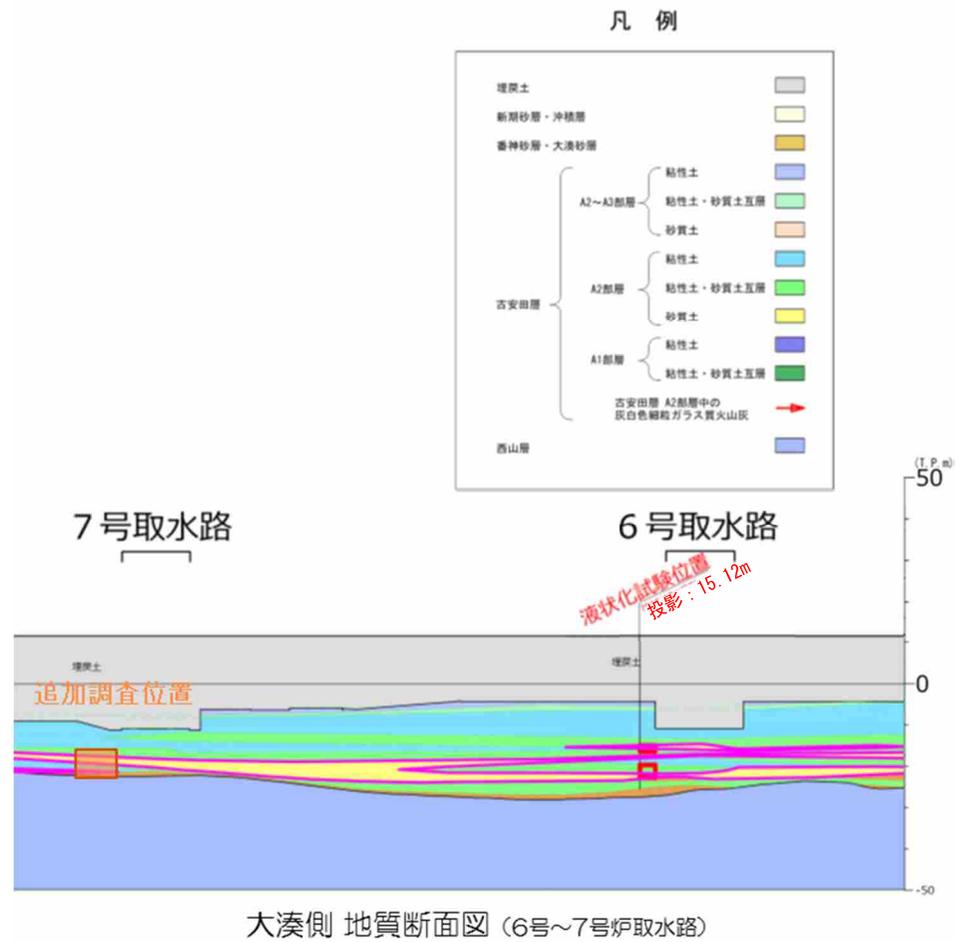
埋戻土層については、液状化試験を実施した A-1 地点の N 値が周辺調査個所に比べて小さく下限付近であることから、試験は保守的な個所で実施している評価した。ただし、大湊側での N 値のデータが少ないことから、大湊側の埋戻土層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。追加調査位置は、事前調査を実施し、埋戻土層から試料が確実に採取できる場所を選定する。



(a) 荒浜側：A-1 地点の洪積砂層 I, II 及び A-2 地点の洪積砂層 I  
第 11-3-15 図 追加調査実施予定地



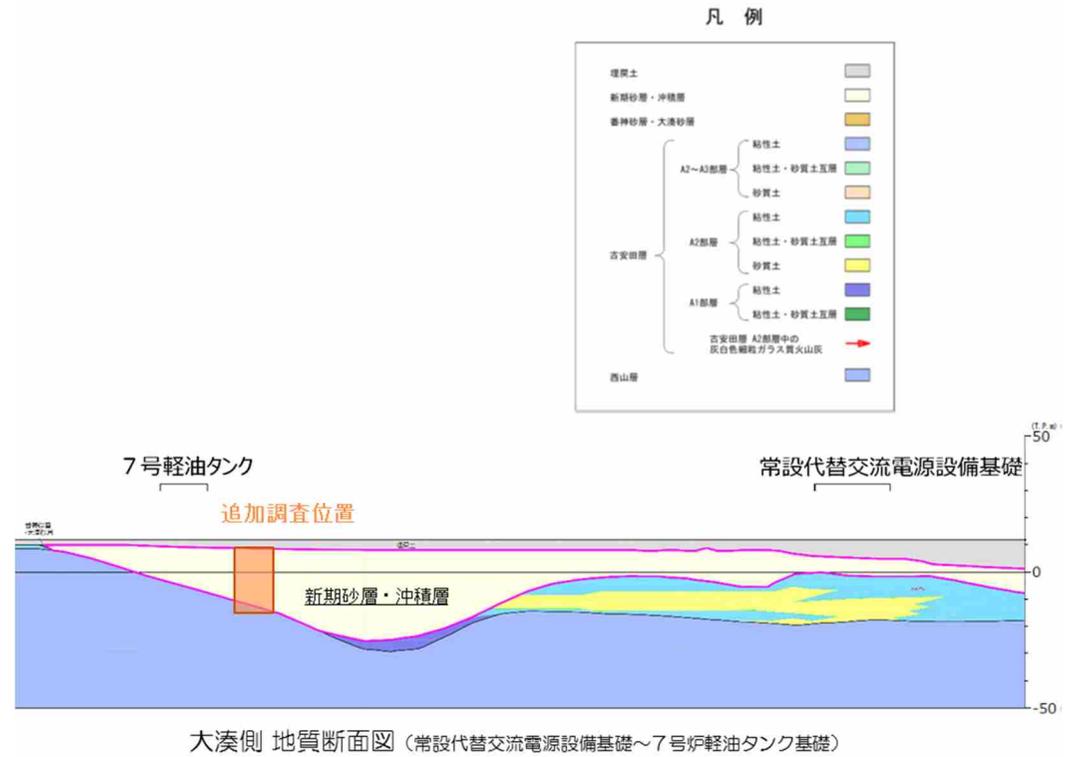
大湊側 調査位置図



(b) 大湊側：O-1地点の洪積砂質土層 I，II 及び大湊側の埋戻土層  
第 11-3-15 図 追加調査実施予定地



大湊側 調査位置図



(c) 大湊側：新期砂層・沖積層  
第 11-3-15 図 追加調査実施予定地

#### 4. 液状化試験結果

##### 4.1 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）が規程されている。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，1991） 第 11-4-1 図に一般的な液状化試験方法の例を示す。

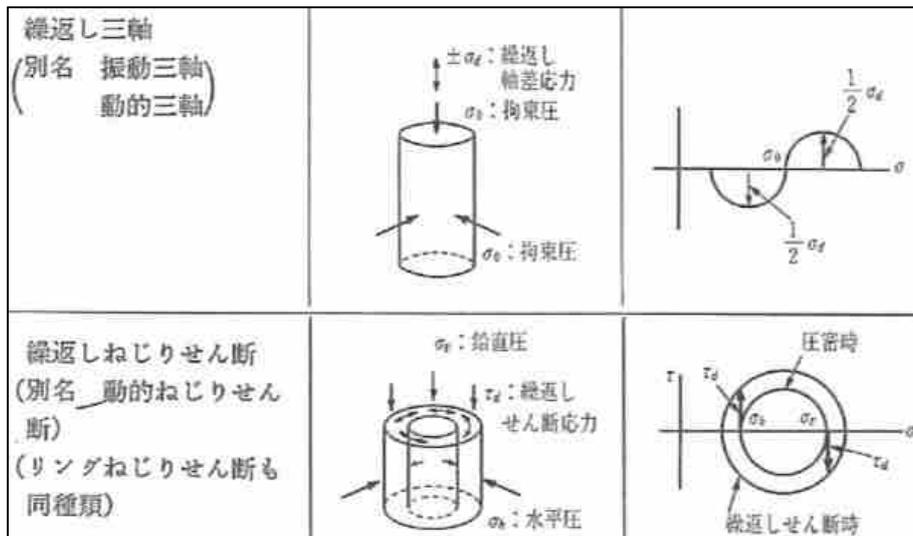
三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して、ねじりせん断試験は比較的広範囲な応力経路又はひずみ経路を供試体に与えられる。（地盤工学会，2009） 三軸試験では圧縮側と引張側で挙動が異なり、応力経路は上下では対称ではないし、ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係、応力経路ともほぼ対称な形をしている。（土木学会，2003：第 11-4-2 図）

以上を踏まえ、洪積層である古安田層中の砂層や N 値の比較的大きい新期砂層・沖積層を対象とした試験を実施するにあたり、高せん断応力比の液状化試験を実施する必要があることから、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験を採用した。

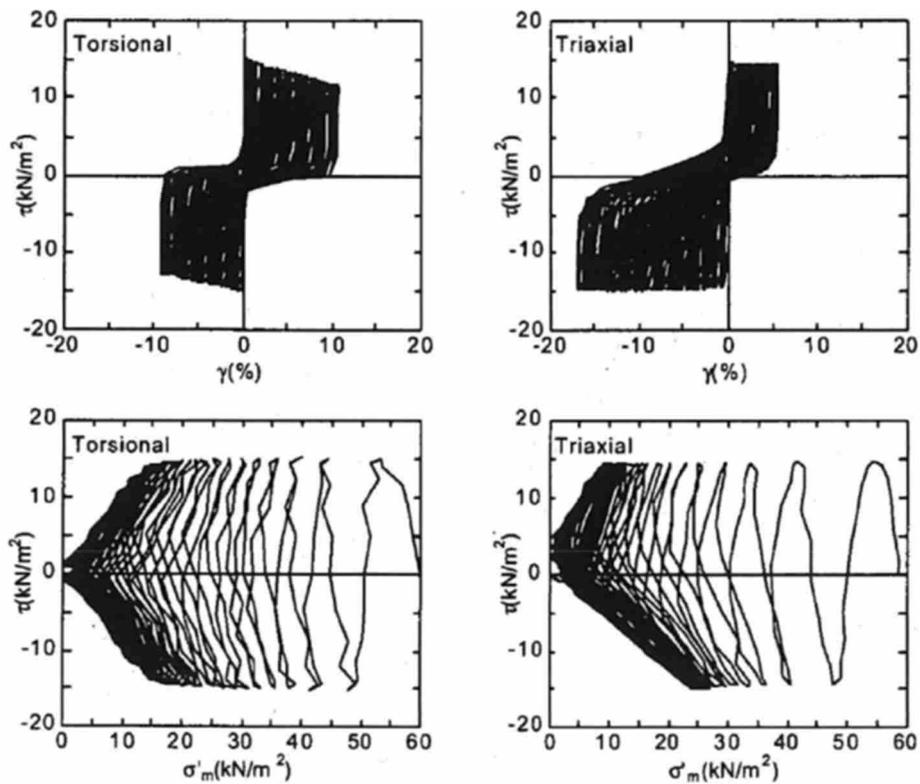
実施した中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要を第 11-4-3 図に、試料採取に用いた凍結サンプリングの概要を第 11-4-4 図に示す。

載荷状況

応力状態



第 11-4-1 図 一般的な液状化試験方法の例  
(安田, 1991 抜粋)



(a)繰返しねじりせん断試験

(b)繰返し三軸試験

第 11-4-2 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, 2003)

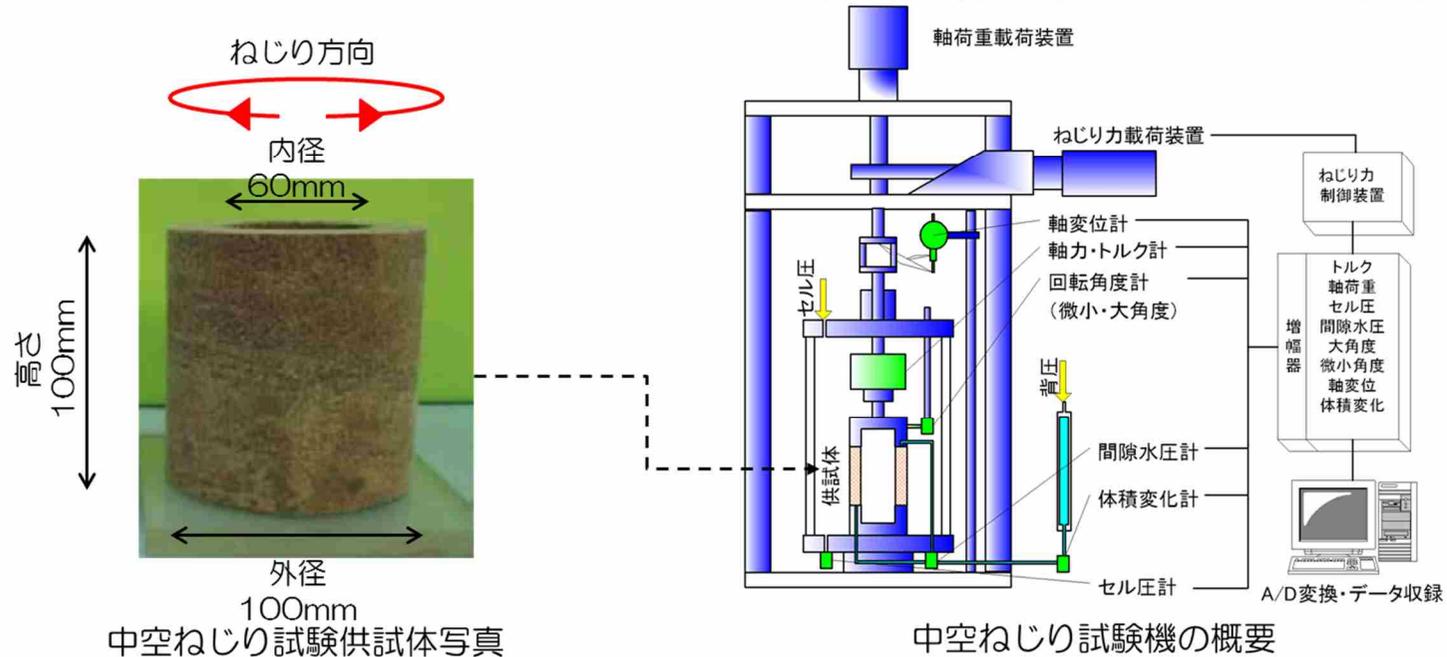
【試験の概要】

- 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法（地盤工学会：JGS 0543-2000）（以下、中空ねじり試験という。）を参考に実施。

【試験条件】

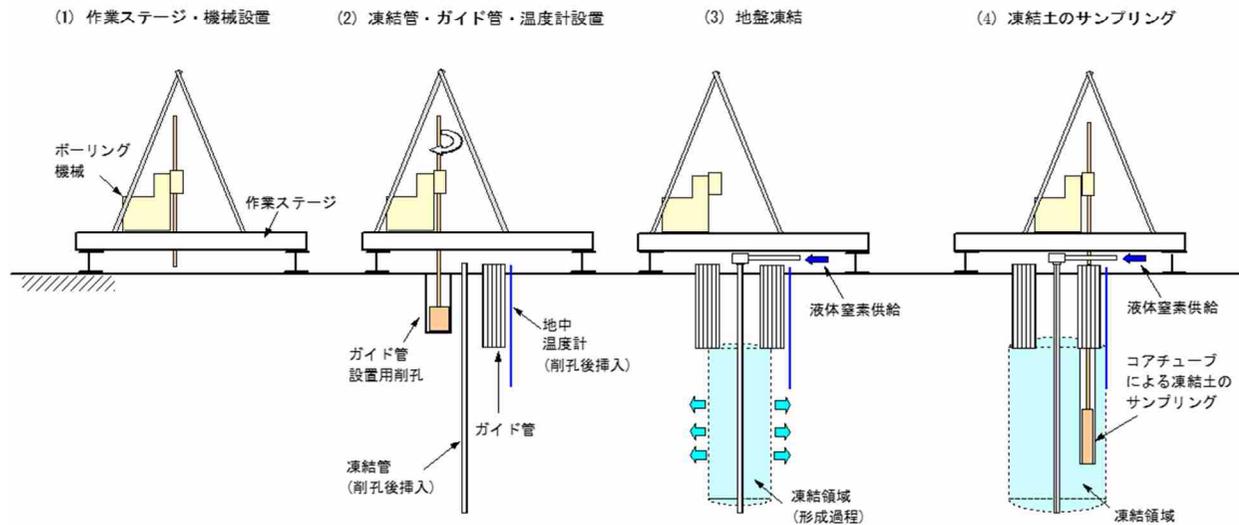
- 供試体寸法：外径100mm（内径60mm），高さ100mm（一部供試体は，外径70mm（内径30mm），高さ100mm）
- 载荷波形：正弦波（0.1Hz）
- 拘束圧：供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定

- 繰返し回数200回を上限として，過剰間隙水圧比0.95および両振幅せん断ひずみ15%に達するまで試験を実施。（JGS 0541-2000を参考）
- 所定の両振幅せん断ひずみ（1.5%，2%，3%，7.5%，15%）および過剰間隙水圧比0.95の繰返し回数を評価。（JGS 0541-2000を参考）



第 11-4-3 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験の概要

- 凍結サンプリングは、砂・砂質土地盤や砂礫地盤を対象に高品質な不攪乱試料を採取する手法。
- 凍結管に液体窒素を流し込み、ゆっくりと地盤を凍結させた後に、コアサンプリングを行う。
- サンプリング手順は以下の通り
  - ① 既往調査より対象土層の厚い箇所を確認し、凍結サンプリング計画地点を決定。
  - ② 凍結サンプリング計画地点近傍にてパイロットボーリング（孔径φ86mm）を行い、サンプリング対象層の深度を確認。
  - ③ 液体窒素を流し込み、地中温度計が0度付近になるまで地盤の凍結を行う。
  - ④ 凍結が確認された後、コアチューブによる試料のサンプリングを行う。



凍結サンプリングの概要



試験供試体例  
 (左上：洪積砂層 I 右上：洪積砂層 II  
 下：新期砂層・沖積層 )

第 11-4-4 図 凍結サンプリングの概要

#### 4.2 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，2003）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11-4-5図に地盤の強度とダイレイタンス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っても，ひずみが大きく成長しようとする時，正のダイレイタンス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スー特性が著しい土において顕著に現れる。

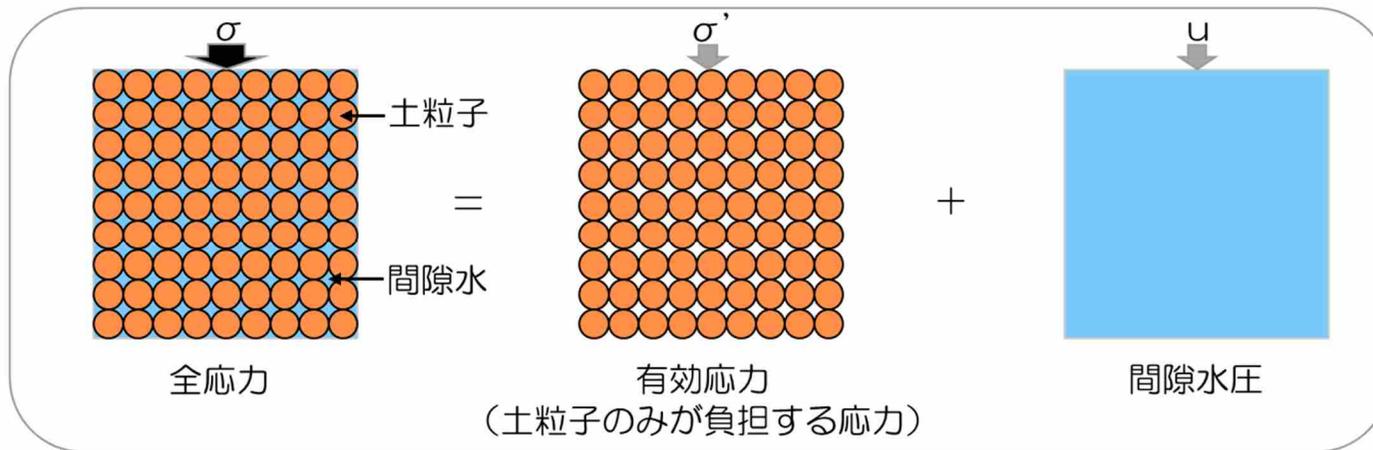
##### 【繰返し軟化】

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，土のもつダイレイタンス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。

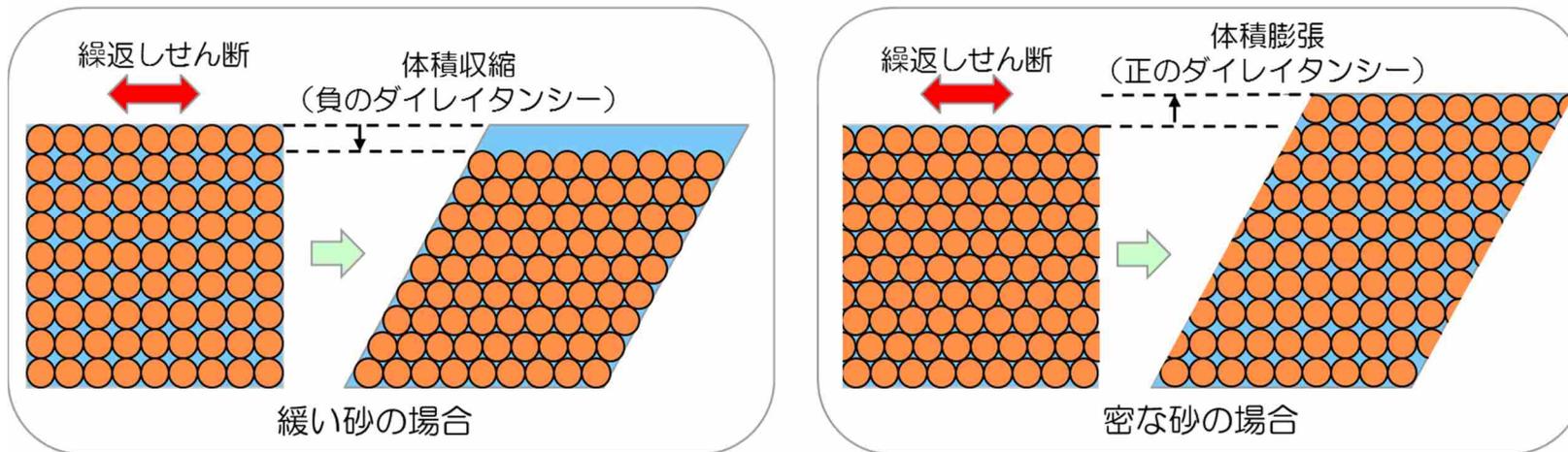
これらの事象のうちサイクリックモビリティは、その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また、第 11-4-6 図及び第 11-4-7 図に緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を示し、液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。

- 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, 2006)
- 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰り返しせん断を受け、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, 2008)
- 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, 1991)
- 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, 1991)

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

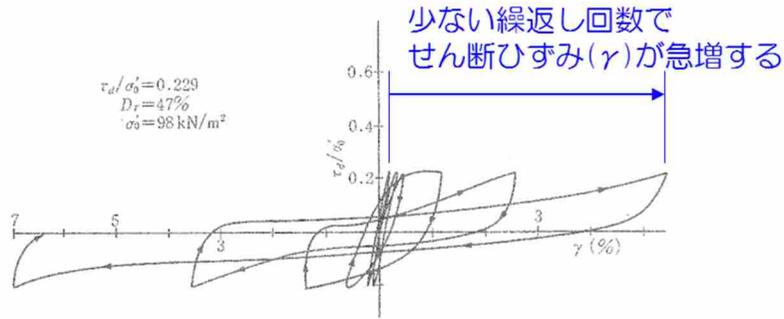


地盤の強度の概要

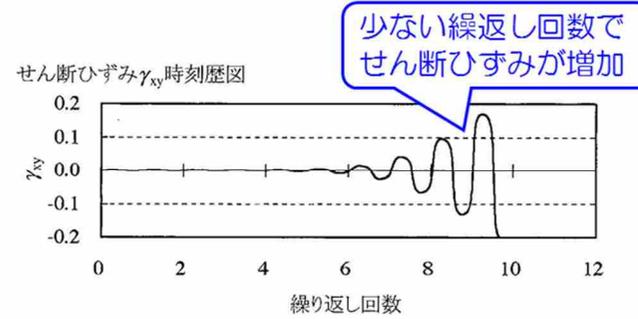


第 11-4-5 図 地盤の強度とダイレイタンス特性の概要

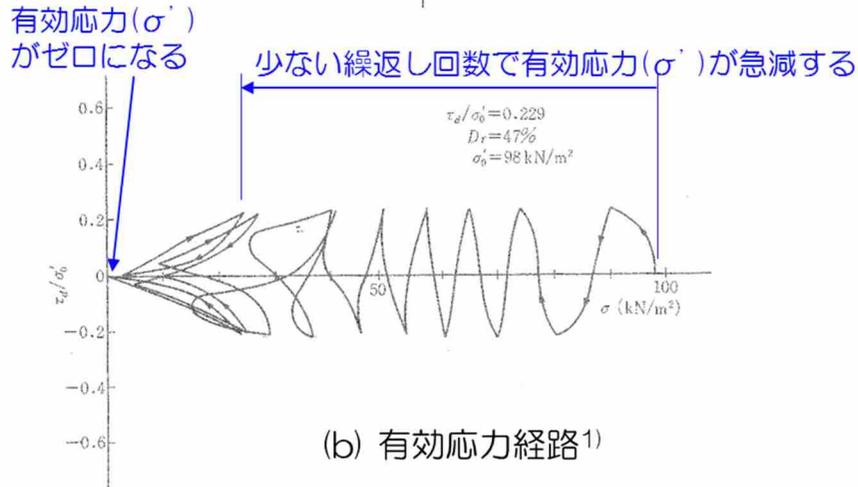
【液状化試験のイメージ (1)】



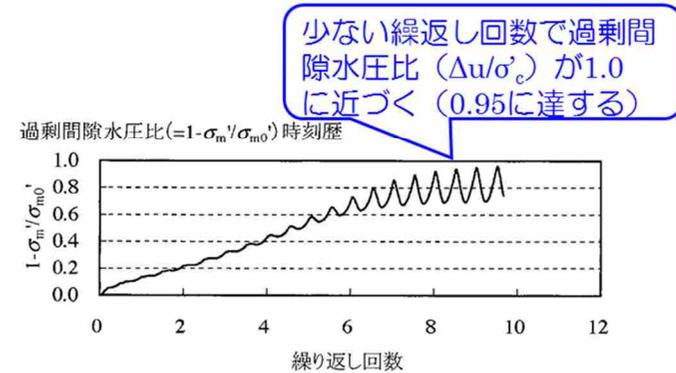
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係<sup>1)</sup>



(c) せん断ひずみ<sup>2)</sup>



(b) 有効応力経路<sup>1)</sup>



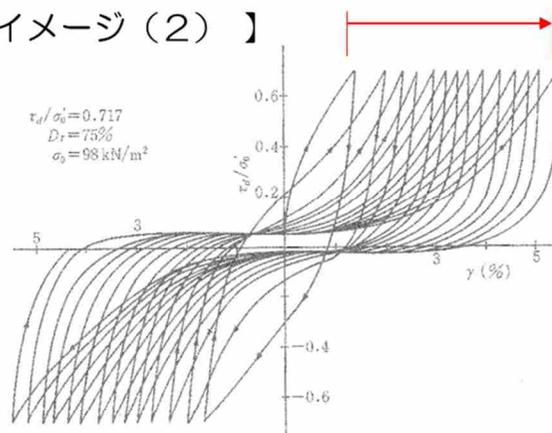
(d) 過剰間隙水圧比<sup>2)</sup>

液状化試験の例 (液状化する場合)

1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984  
 2) 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.291-304，2008.

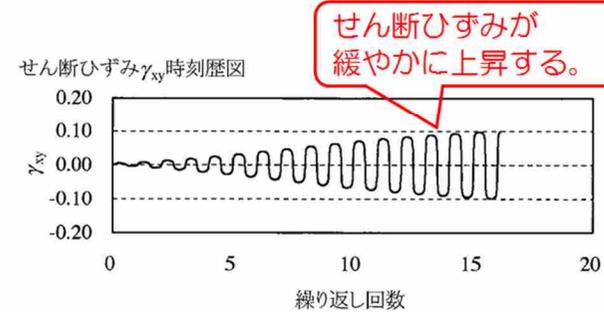
第 11-4-6 図 緩い砂の液状化試験結果

【液状化試験のイメージ (2)】

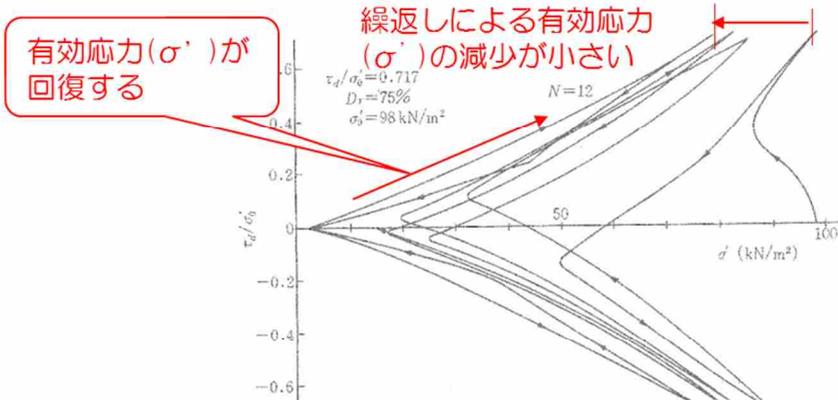


(a) せん断応力-せん断ひずみ関係<sup>1)</sup>

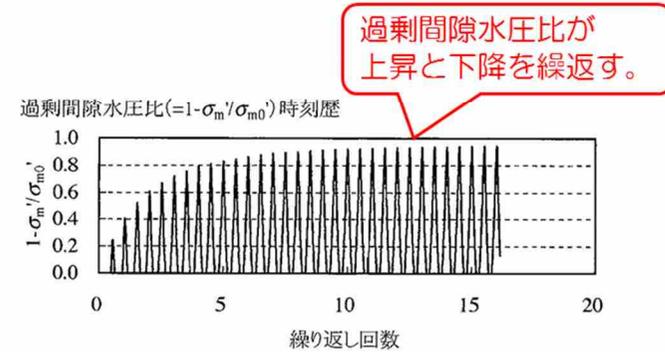
せん断ひずみ( $\gamma$ )が増加する  
のに繰返し回数を多く要する



(c) せん断ひずみ<sup>2)</sup>



(b) 有効応力経路<sup>1)</sup>



(d) 過剰間隙水圧比<sup>2)</sup>

液状化試験の例 (サイクリックモビリティの場合)

1) 永瀬英生: 多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性, 東京大学博士論文, 1984.  
2) 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, 2008.

第 11-4-7 図 密な砂の液状化試験結果

#### 4.3 試験結果の分類

第 11-4-1～8 表に各土層の液状化試験結果を、第 11-4-8～15 図に各土層の液状化試験結果の例を、第 11-4-9 表に液状化試験結果のまとめを、第 11-4-16 図に液状化試験後の供試体状況を示す。

A-1 地点の埋戻土層の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 1.0 に近づき (0.95 を上回り)、有効応力がゼロとなる。また、その繰り返しせん断を受けても、有効応力の回復はみられず、せん断ひずみが急激に上昇する。これらの状況から、この試験結果は液状化していると判断した。

A-3 地点の新期砂層・沖積層及び A-1 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に 1.0 に近づく (0.95 を上回る)。これに伴って、有効応力は減少するが、繰り返しせん断を受けることで回復する。また、せん断ひずみは緩やかに上昇する。これらの状況から、この試験結果はサイクリックモビリティであると判断した。

A-2 地点の洪積砂層 I・II 及び 0-1 地点の洪積砂質土層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 0.95 を上回ることがなく、試験実施の間、有効応力を保持している。また、せん断ひずみが緩やかに上昇し、試験終了直前で急激にせん断ひずみが増大する傾向である。A-2 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験後の供試体状況をみると、明確なせん断破壊が確認され、このせん断ひずみの増大はせん断破壊によって発生したものと考えられる。これらの状況から、この試験結果は非液状化であると判断した。

これらの区分を整理して、第 11-4-10 表に示す。

埋戻土層以外の土層は、比較的 N 値が高く、液状化試験結果はサイクリックモビリティあるいは非液状化を示している。このことは、道路橋示方書において、一般に N 値が高く、続成作用を受けている洪積層等は、液状化に対する抵抗が高いため、一般には液状化の可能性は低いという記載に整合する。

埋戻土層については試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定法 (FL 法) を実施し、基準地震動 S<sub>s</sub> 作用時の液状化の有無を判定する。埋戻土層以外の土層については液状化を示さず、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とから、液状化試験が基準地震動 S<sub>s</sub> 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。

第 11-4-1 表 液状化試験結果 (A-1 地点の埋戻土層)

| 試料番号                                  |                          | #1-0-1              |      |      |      | #1-0-2      |            |      |      |     |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------|------|------|-------------|------------|------|------|-----|
| 深度 G.L.- (m)                          |                          | 3.50~4.50           |      |      |      | 4.50~5.50   |            |      |      |     |
| 土質材料                                  |                          | 埋戻土層                |      |      |      | 埋戻土層        |            |      |      |     |
| 供試体 No.                               |                          | 1                   | 2    | 3    | 4    | 1           | 2          | 3    | 4    |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                          | 2.710               |      |      |      | 2.720       |            |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                          | 50                  |      |      |      | 100         |            |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                          | 0.25                | 0.30 | 0.20 | 0.35 | <u>0.26</u> | 0.21       | 0.24 | 0.29 |     |
| 繰返回数                                  | せん断ひずみ<br>両振幅            | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 7.5  | 5.5  | 103  | 3.5         | <u>4.5</u> | 54   | 29   | 5.5 |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 8.5  | 7    | 106  | 5           | <u>5</u>   | 56   | 32   | 6.5 |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 10   | 9    | 111  | 7.5         | <u>6</u>   | 59   | 36   | 8   |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 16   | 15   | 119  | 27          | <u>8</u>   | 64   | 46   | 12  |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=15\%$  | 21   | 23   | 127  | 109         | <u>10</u>  | 68   | 54   | 15  |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{U95}$ |                     | 15   | 16   | 116  | 35          | <u>9</u>   | 64   | 45   | 14  |

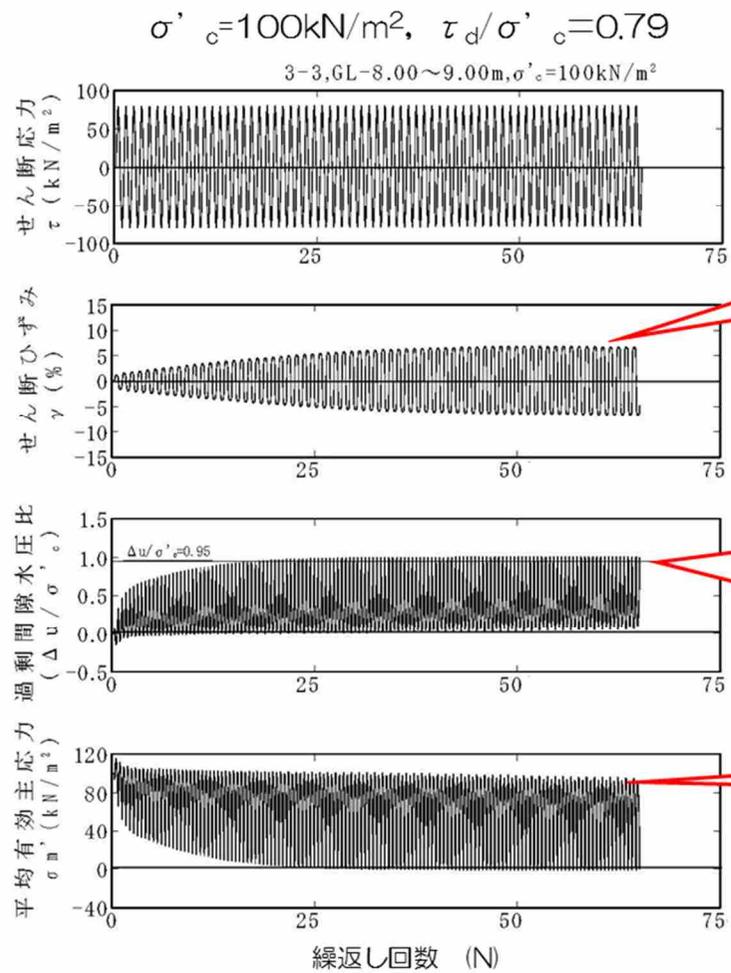
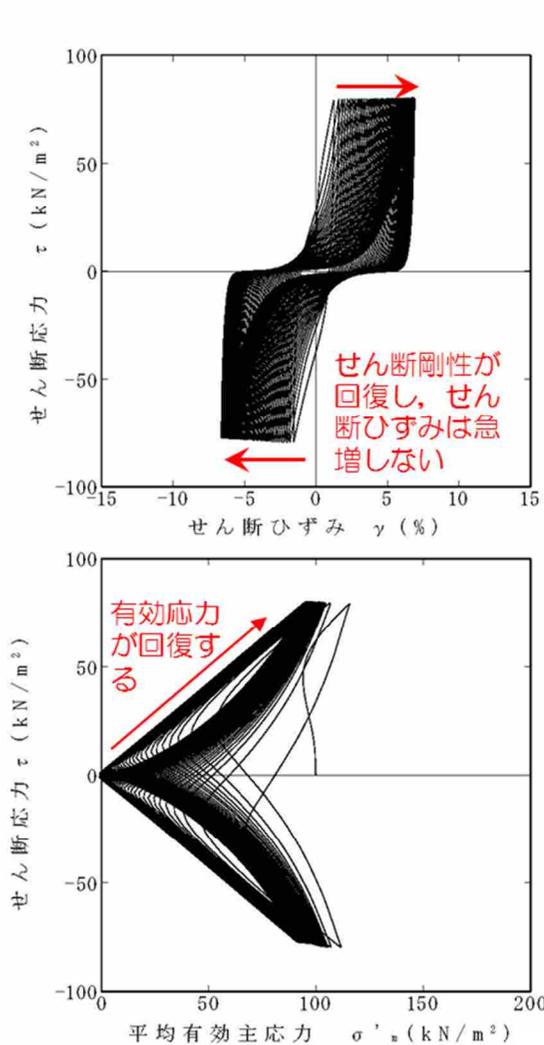
: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



第 11-4-2 表 液状化試験結果 (A-1 地点の洪積砂層 I)

| 試料番号                                  |                                    | #1-1-1              |      |             |            | #1-1-2      |      |      |      |     |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------|------|-------------|------------|-------------|------|------|------|-----|
| 深度 G.L.- (m)                          |                                    | 8.00~9.00           |      |             |            | 10.00~11.00 |      |      |      |     |
| 土質材料                                  |                                    | 洪積砂層 I              |      |             |            | 洪積砂層 I      |      |      |      |     |
| 供試体 No.                               |                                    | 1                   | 2    | <u>3</u>    | 4          | 1           | 2    | 3    | 4    |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                                    | 2.739               |      |             |            | 2.732       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                                    | 100                 |      |             |            | 150         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma'_c$             |                                    | 0.47                | 0.59 | <u>0.79</u> | 0.97       | 0.48        | 0.61 | 0.44 | 0.39 |     |
| 繰返回数                                  | せん断 <sup>両</sup> 振幅 <sup>ひすみ</sup> | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 4    | 0.9         | <u>0.5</u> | 0.3         | 1.5  | 0.5  | 0.9  | 3   |
|                                       |                                    | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 6.5  | 2           | <u>0.7</u> | 0.5         | 2.5  | 0.6  | 1.5  | 5   |
|                                       |                                    | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 14   | 6.5         | <u>1</u>   | 0.7         | 5    | 0.9  | 4    | 8.5 |
|                                       |                                    | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 48   | 32          | <u>14</u>  | 9           | 18   | 7.5  | 17   | 25  |
|                                       |                                    | $\gamma_{DA}=15\%$  | 102  | 96          | —          | 41          | 53   | 23   | 41   | 48  |
| 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{U95}$              |                                    | 40                  | 31   | <u>18</u>   | 19         | 21          | 15   | 22   | 25   |     |

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_c$ ) が、上昇と下降を繰返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

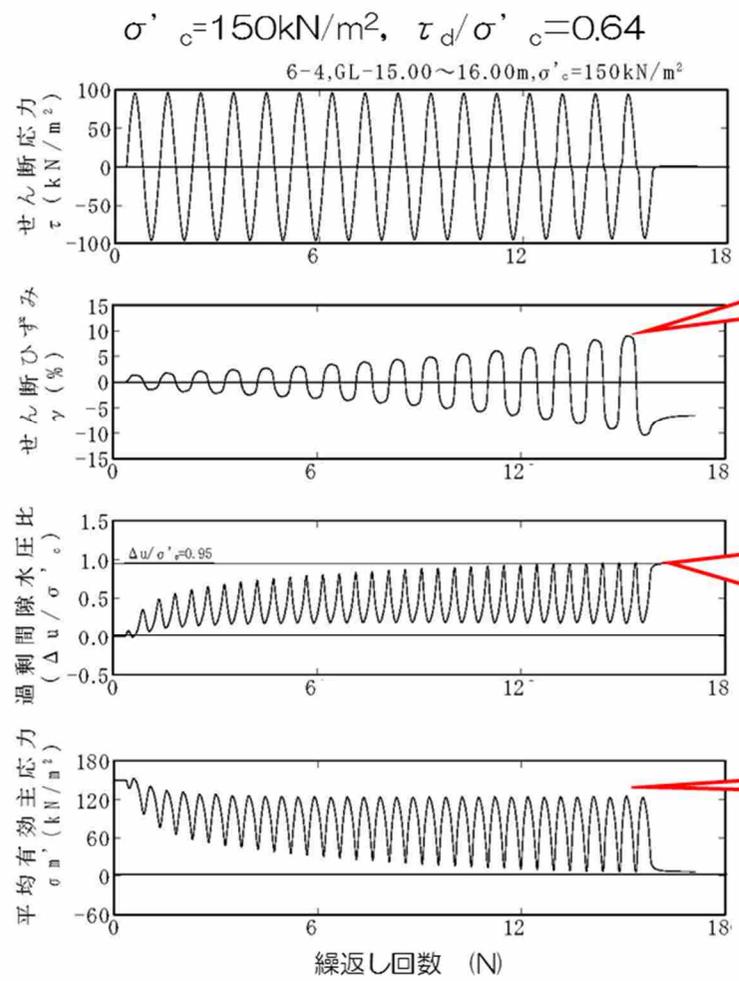
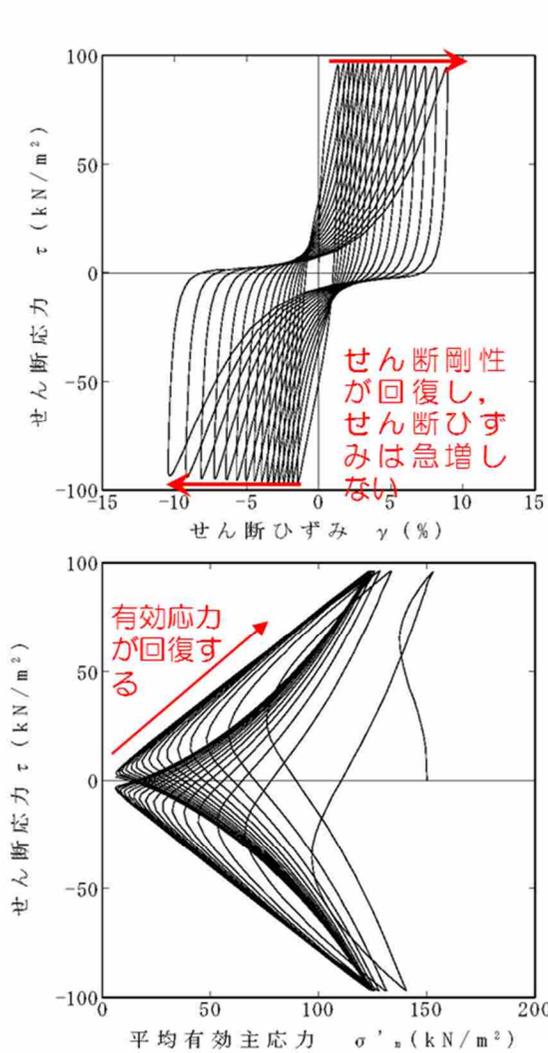
有効応力が回復する。

第 11-4-9 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層 I)

第 11-4-3 表 液状化試験結果 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)

| 試料番号                                  |                          | #1-2-1              |      |      |      | <u>#1-2-2</u>      |      |      |             | #1-2-3      |      |      |      | #1-2-4      |      |      |      |     |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------|------|------|--------------------|------|------|-------------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-----|
| 深度 G.L.- (m)                          |                          | 13.00~14.00         |      |      |      | <u>15.00~16.00</u> |      |      |             | 17.00~18.00 |      |      |      | 20.00~21.00 |      |      |      |     |
| 土質材料                                  |                          | 洪積砂層Ⅱ               |      |      |      | 洪積砂層Ⅱ              |      |      |             | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      | 洪積砂層Ⅱ       |      |      |      |     |
| 供試体 No.                               |                          | 1                   | 2    | 3    | 4    | 1                  | 2    | 3    | <u>4</u>    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                          | 2.714               |      |      |      | <u>2.688</u>       |      |      |             | 2.684       |      |      |      | 2.685       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                          | 150                 |      |      |      | <u>150</u>         |      |      |             | 200         |      |      |      | 200         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |                          | 0.51                | 0.41 | 0.46 | 0.36 | 0.39               | 0.45 | 0.50 | <u>0.64</u> | 0.40        | 0.35 | 0.48 | 0.38 | 0.40        | 0.46 | 0.50 | 0.62 |     |
| 繰返回数                                  | せん断ひずみ<br>両振幅            | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 0.4  | 0.8  | 1    | 10                 | 2    | 1.5  | 0.8         | <u>0.5</u>  | 2    | 4.5  | 0.6  | 7           | 2    | 0.9  | 0.8  | 0.6 |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 0.6  | 1    | 2    | 11                 | 2.5  | 3.5  | 1           | <u>0.7</u>  | 3.5  | 7.5  | 0.8  | 12          | 3.5  | 1.5  | 1.5  | 0.7 |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 0.9  | 4    | 2.5  | 20                 | 6    | 7    | 4           | <u>1</u>    | 6.5  | 14   | 2    | 20          | 7    | 4.5  | 5    | 1.5 |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 7    | 30   | 17   | 65                 | 26   | 20   | 18          | <u>7</u>    | 15   | 30   | 7    | 39          | 27   | 16   | 19   | 9   |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=15\%$  | 16   | 56   | 32   | 102                | 48   | 37   | 33          | <u>13</u>   | 22   | 43   | 13   | 56          | 52   | 25   | 31   | 18  |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{U95}$ |                     | 16   | 40   | 22   | 61                 | 31   | 27   | 24          | <u>14</u>   | 19   | 33   | 13   | 42          | 31   | 22   | 30   | -   |

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_c$ ) が、上昇と下降を繰返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

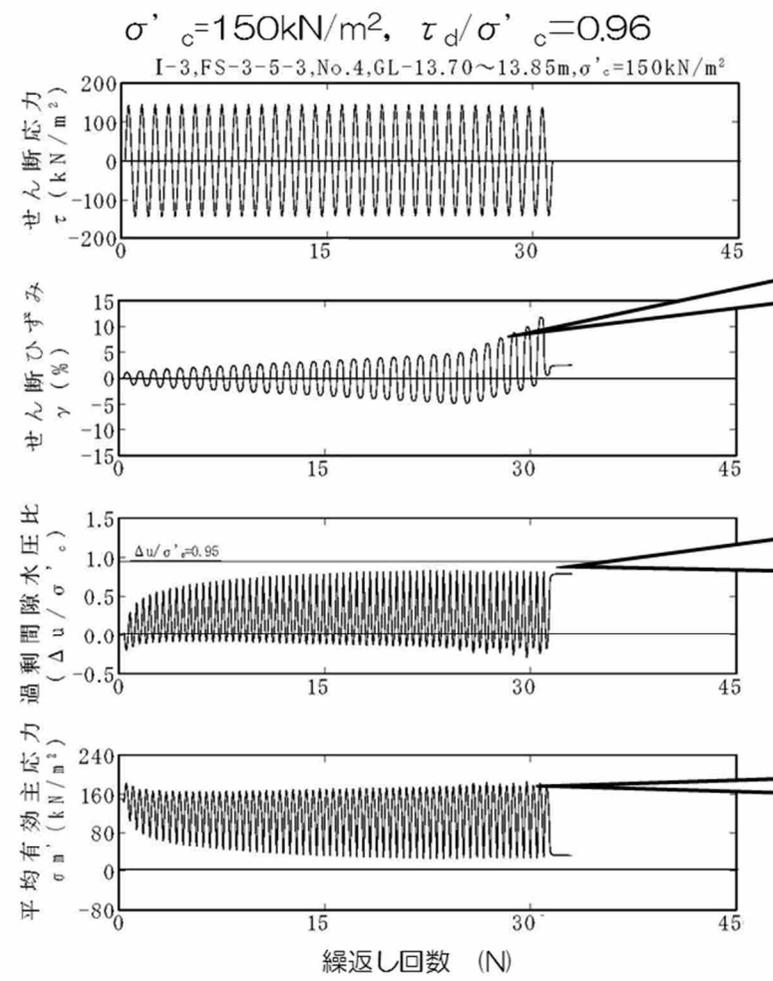
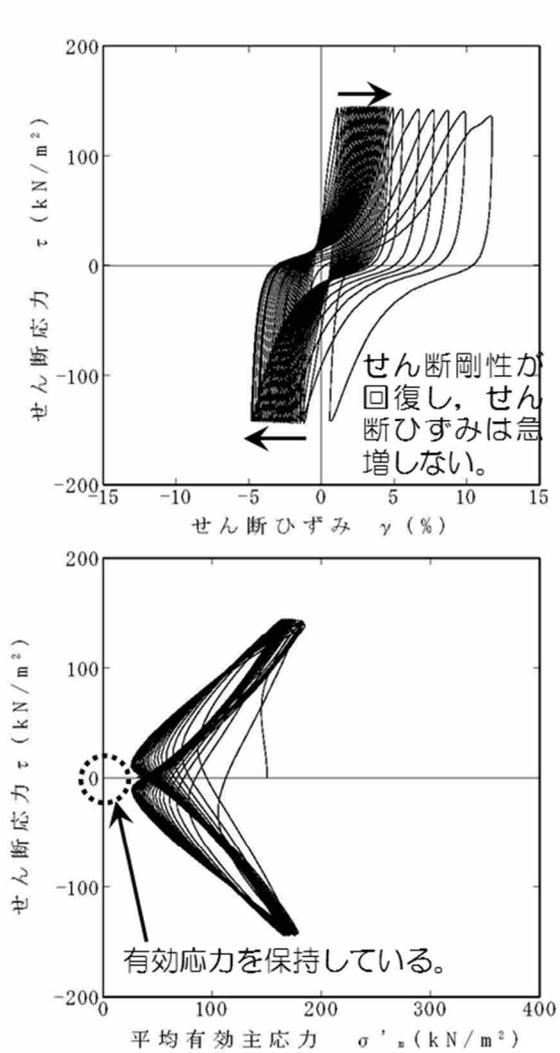
有効応力が回復する。

第 11-4-10 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)

第 11-4-4 表 液状化試験結果 (A-2 地点の洪積砂層 I)

| 試料番号                                  |               | #4-1-1              |      |      |      | #4-1-2      |      |      |      | #4-1-3             |      |      |             |            |
|---------------------------------------|---------------|---------------------|------|------|------|-------------|------|------|------|--------------------|------|------|-------------|------------|
| 深度 G.L.- (m)                          |               | 13.20~14.14         |      |      |      | 13.36~13.99 |      |      |      | <u>13.21~13.85</u> |      |      |             |            |
| 土質材料                                  |               | 洪積砂層 I              |      |      |      | 洪積砂層 I      |      |      |      | 洪積砂層 I             |      |      |             |            |
| 供試体 No.                               |               | 1                   | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1                  | 2    | 3    | 4           |            |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.665               |      |      |      | 2.656       |      |      |      | <u>2.754</u>       |      |      |             |            |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 150                 |      |      |      | 150         |      |      |      | <u>150</u>         |      |      |             |            |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 0.60                | 0.43 | 0.92 | 1.18 | 0.79        | 1.03 | 1.20 | 0.61 | 1.01               | 0.71 | 0.81 | <u>0.96</u> |            |
| 繰返し回数                                 | せん断ひずみ<br>面振幅 | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 10   | 5    | 0.7  | 0.4         | 0.9  | 0.5  | 0.4  | 9                  | 0.5  | 0.9  | 0.6         | <u>0.6</u> |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 23   | 9    | 1    | 0.5         | 3    | 0.6  | 0.6  | 18                 | 0.7  | 2    | 0.8         | <u>0.9</u> |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 44   | 21   | 4    | 0.7         | 13   | 0.9  | 0.9  | 37                 | 1    | 8    | 2           | <u>2.5</u> |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 60   | 56   | 23   | 5           | 51   | 4.5  | 6.5  | 91                 | 5    | 43   | 17          | <u>18</u>  |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=15\%$  | 71   | 62   | 35   | -           | 63   | 7    | 9    | -                  | 7    | -    | 29          | -          |
| 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$                 |               | -                   | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    | -                  | -    | -    | -           |            |

下線：次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_c$ ) が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

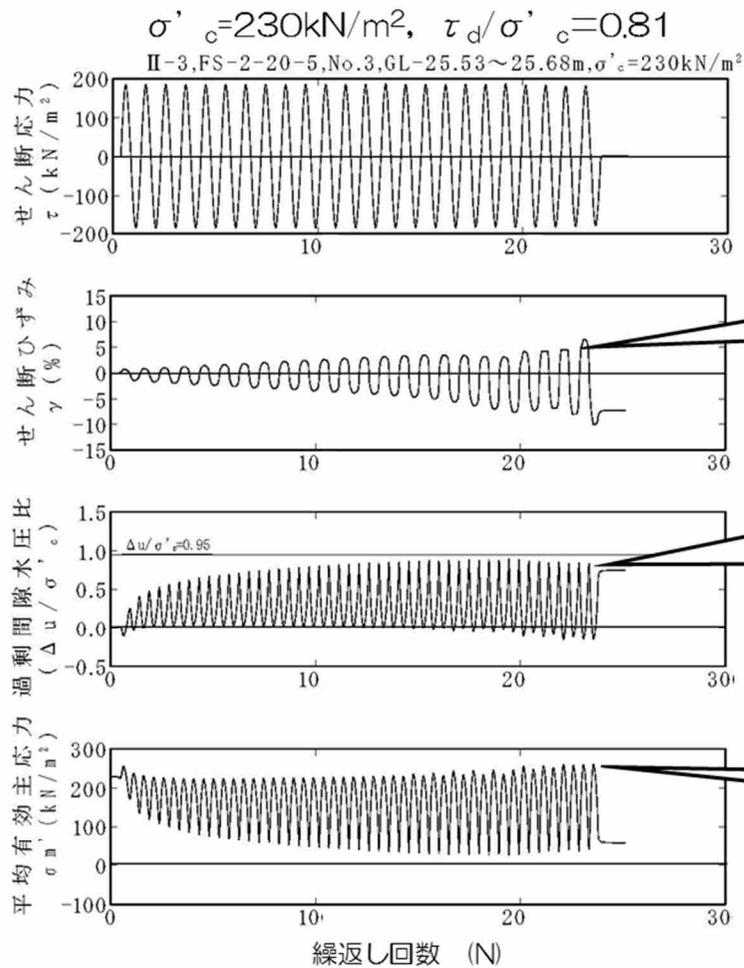
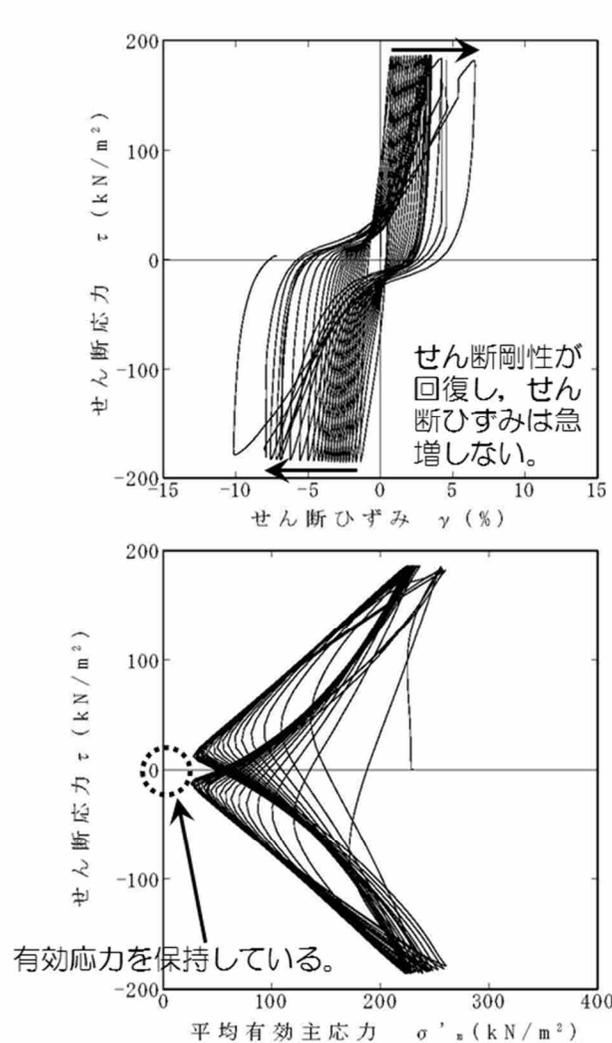
有効応力が回復する。

第 11-4-11 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 I)

第 11-4-5 表 液状化試験結果 (A-2 地点の洪積砂層 II)

| 試料番号                                  |               | #4-2-1              |      |      |      | #4-2-2      |      |      |      | #4-2-3      |      |             |            |     |
|---------------------------------------|---------------|---------------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|-------------|------------|-----|
| 深度 G.L.- (m)                          |               | 20.20~21.96         |      |      |      | 21.96~22.62 |      |      |      | 25.15~26.23 |      |             |            |     |
| 土質材料                                  |               | 洪積砂層 II             |      |      |      | 洪積砂層 II     |      |      |      | 洪積砂層 II     |      |             |            |     |
| 供試体 No.                               |               | 1                   | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3           | 4          |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.680               |      |      |      | 2.679       |      |      |      | 2.721       |      |             |            |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 230                 |      |      |      | 230         |      |      |      | 230         |      |             |            |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 0.42                | 0.80 | 0.63 | 0.36 | 0.57        | 0.66 | 0.80 | 0.70 | 0.71        | 0.86 | <u>0.81</u> | 0.76       |     |
| 繰返回数                                  | せん断ひずみ<br>両振幅 | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 1.5  | 0.3  | 0.8  | 200         | 2.5  | 0.9  | 0.3  | 0.3         | 2    | 0.8         | <u>0.7</u> | 0.9 |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 3.5  | 0.4  | 1.5  | -           | 6    | 2    | 0.5  | 0.4         | 5.5  | 1.5         | <u>1</u>   | 2.5 |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 7    | 0.7  | 3.5  | -           | 14   | 5.5  | 0.7  | 0.6         | 17   | 4.5         | <u>3</u>   | 6   |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 20   | 3    | 15   | -           | 46   | 22   | 3.5  | 2           | 74   | 17          | <u>14</u>  | 22  |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=15\%$  | -    | 7.5  | -    | -           | 78   | -    | 6.5  | 4.5         | 110  | -           | <u>24</u>  | 36  |
| 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$                 |               | -                   | -    | -    | -    | 61          | -    | -    | -    | 87          | -    | -           | -          |     |

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_c$ ) が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

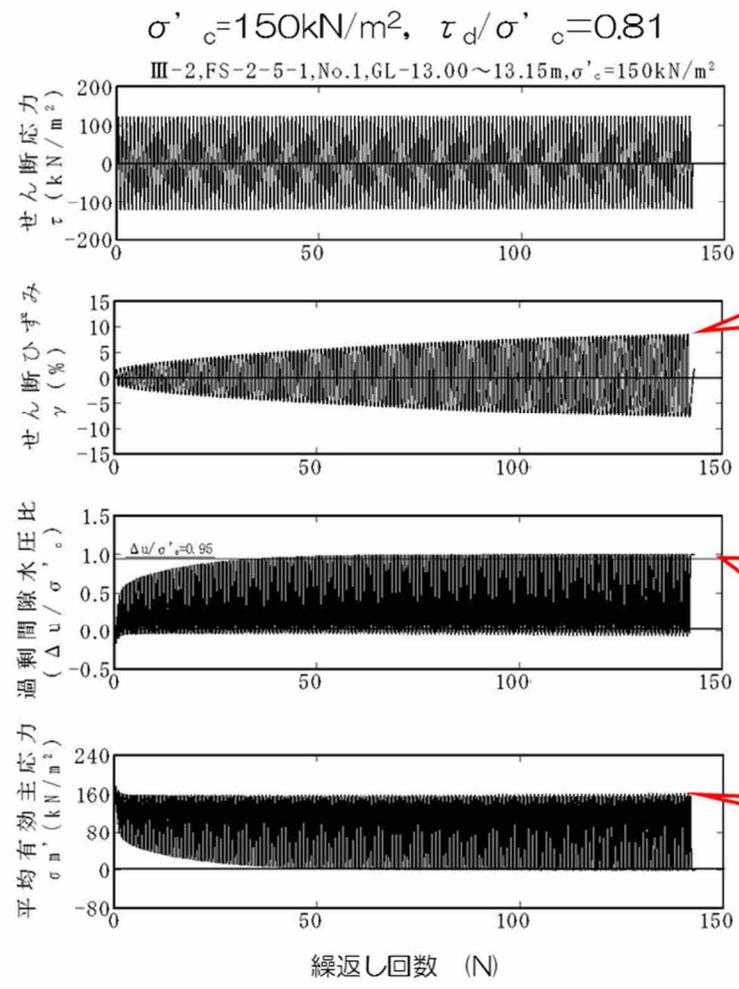
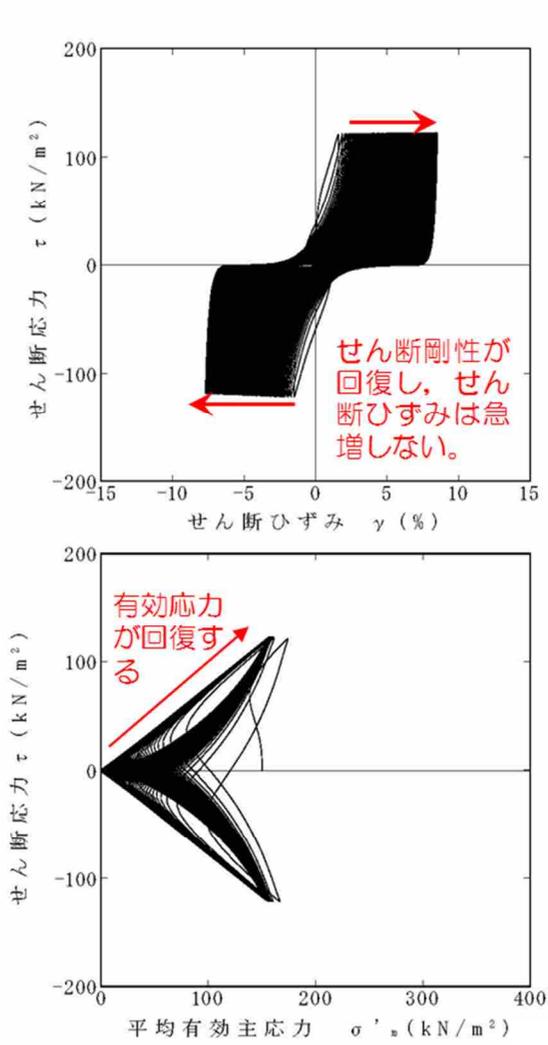
有効応力が回復する。

第 11-4-12 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 II)

第 11-4-6 表 液状化試験結果 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

| 試料番号                                  |              | #4-3-1         |      |      |      | <u>#4-3-2</u>      |            |      |      | #4-3-3      |      |      |      |     |
|---------------------------------------|--------------|----------------|------|------|------|--------------------|------------|------|------|-------------|------|------|------|-----|
| 深度 G.L.- (m)                          |              | 13.04~13.51    |      |      |      | <u>13.00~13.68</u> |            |      |      | 14.96~15.43 |      |      |      |     |
| 土質材料                                  |              | 新期砂層・沖積層       |      |      |      | 新期砂層・沖積層           |            |      |      | 新期砂層・沖積層    |      |      |      |     |
| 供試体 No.                               |              | 1              | 2    | 3    | 4    | <u>1</u>           | 2          | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |              | 2.719          |      |      |      | <u>2.780</u>       |            |      |      | 2.685       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |              | 150            |      |      |      | <u>150</u>         |            |      |      | 150         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |              | 0.81           | 0.70 | 0.62 | 0.49 | <u>0.81</u>        | 0.91       | 0.72 | 0.54 | 0.60        | 0.81 | 0.70 | 1.02 |     |
| 繰返し回数                                 | せん断ひずみ<br>振幅 | $r_{DA}=1.5\%$ | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 2                  | <u>0.5</u> | 0.3  | 0.6  | 0.9         | 0.8  | 0.3  | 0.7  | 0.3 |
|                                       |              | $r_{DA}=2.0\%$ | 0.6  | 0.8  | 0.9  | 3.5                | <u>0.7</u> | 0.4  | 0.8  | 1.5         | 1.5  | 0.5  | 0.9  | 0.4 |
|                                       |              | $r_{DA}=3.0\%$ | 0.9  | 2    | 2    | 8.5                | <u>1</u>   | 0.6  | 2    | 4           | 5    | 0.7  | 3    | 0.5 |
|                                       |              | $r_{DA}=7.5\%$ | 15   | 19   | 18   | 50                 | <u>24</u>  | 9    | 24   | 21          | 32   | 9    | 22   | 8   |
|                                       |              | $r_{DA}=15\%$  | 76   | 96   | 53   | 146                | <u>112</u> | 91   | 77   | 65          | 94   | 43   | 60   | 77  |
| 過剰間隙水圧比 95% $N_{U95}$                 |              | 28             | 28   | 30   | 40   | <u>38</u>          | 44         | 34   | 24   | 38          | 25   | 28   | 39   |     |

: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_c$ ) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

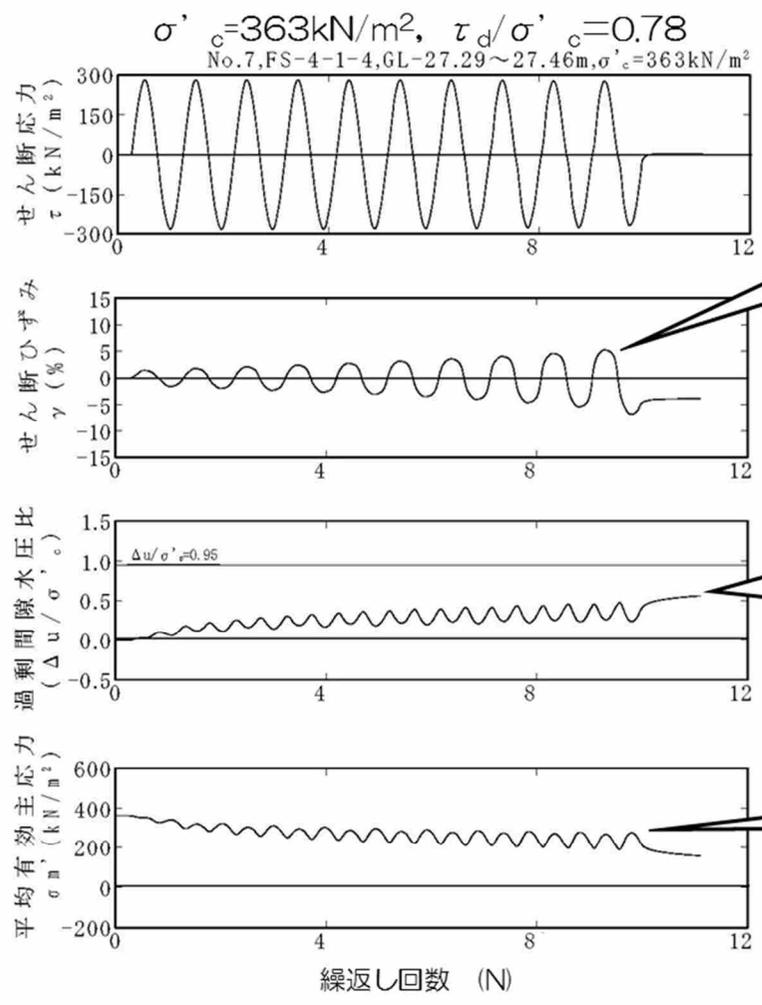
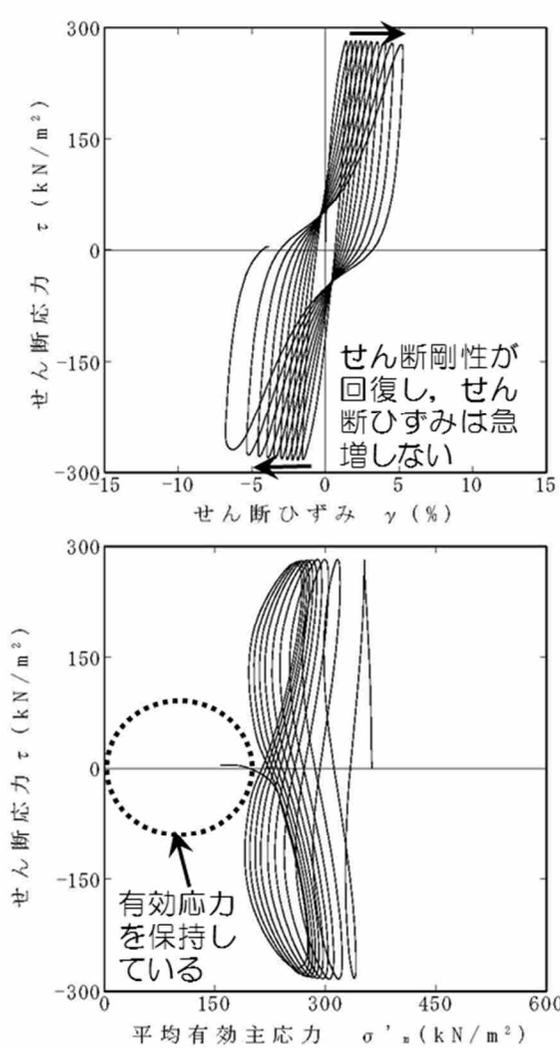
有効応力が回復する。

第 11-4-13 図 液状化試験結果の例 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

第 11-4-7 表 液状化試験結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)

| 試料番号                                  |              | #6-1-1              |      |      |      | #6-1-2             |      |             |            | #6-1-3      |      |      |      |     |
|---------------------------------------|--------------|---------------------|------|------|------|--------------------|------|-------------|------------|-------------|------|------|------|-----|
| 深度 G.L.- (m)                          |              | 27.68~28.16         |      |      |      | <u>26.95~27.63</u> |      |             |            | 26.88~27.48 |      |      |      |     |
| 土質材料                                  |              | 洪積砂質土層 I            |      |      |      | 洪積砂質土層 I           |      |             |            | 洪積砂質土層 I    |      |      |      |     |
| 供試体 No.                               |              | 1                   | 2    | 3    | 4    | 1                  | 2    | <u>3</u>    | 4          | 1           | 2    | 3    | 4    |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |              | 2.649               |      |      |      | <u>2.677</u>       |      |             |            | 2.669       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |              | 363                 |      |      |      | <u>363</u>         |      |             |            | 363         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |              | 0.51                | 0.60 | 0.78 | 0.64 | 0.51               | 0.61 | <u>0.78</u> | 0.68       | 0.51        | 0.46 | 0.35 | 0.64 |     |
| 繰返し回数                                 | せん断ひずみ<br>振幅 | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 8.5  | 0.9  | 0.5  | 0.7                | 0.9  | 0.7         | <u>0.5</u> | 0.5         | 0.5  | 42   | 200> | 0.9 |
|                                       |              | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 18   | 5.5  | 0.7  | 0.9                | 6    | 1           | <u>0.7</u> | 0.7         | 0.7  | 200> | -    | 3.5 |
|                                       |              | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 30   | 26   | 1.5  | 2                  | 35   | 12          | <u>1</u>   | 1           | 1    | -    | -    | 15  |
|                                       |              | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 54   | 71   | 5    | 7                  | 121  | 46          | <u>7</u>   | 6           | 8.5  | -    | -    | 45  |
|                                       |              | $\gamma_{DA}=15\%$  | -    | -    | -    | -                  | 127  | 53          | -          | -           | 12   | -    | -    | -   |
| 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$                 |              | -                   | -    | -    | -    | -                  | -    | -           | -          | -           | -    | -    | -    |     |

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比( $\Delta u / \sigma'_c$ )が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

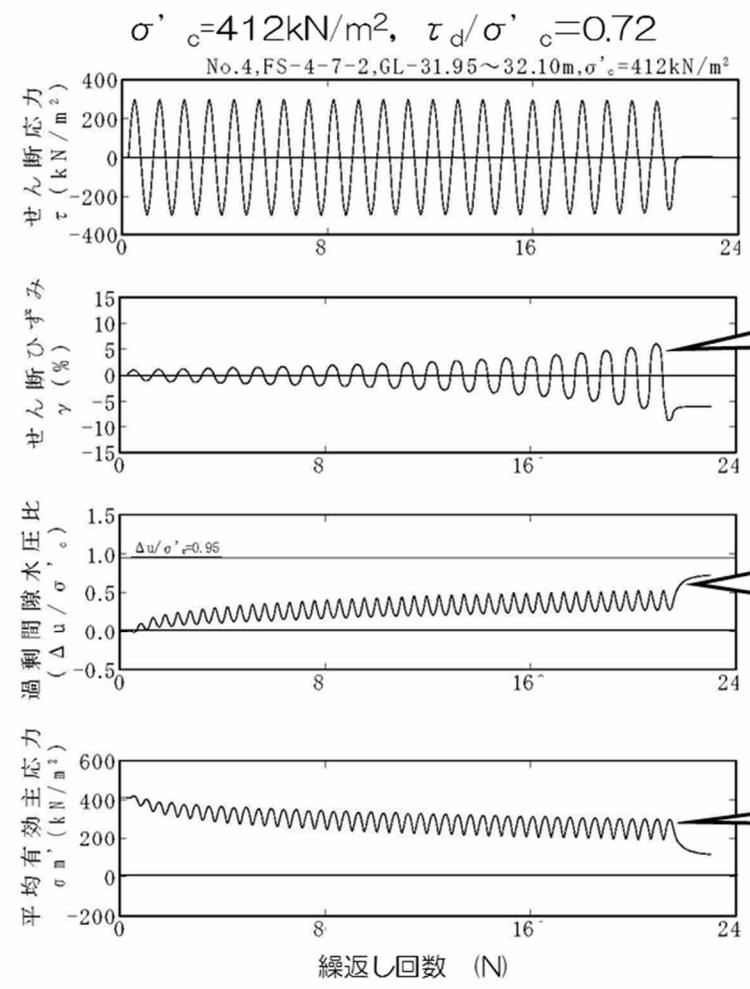
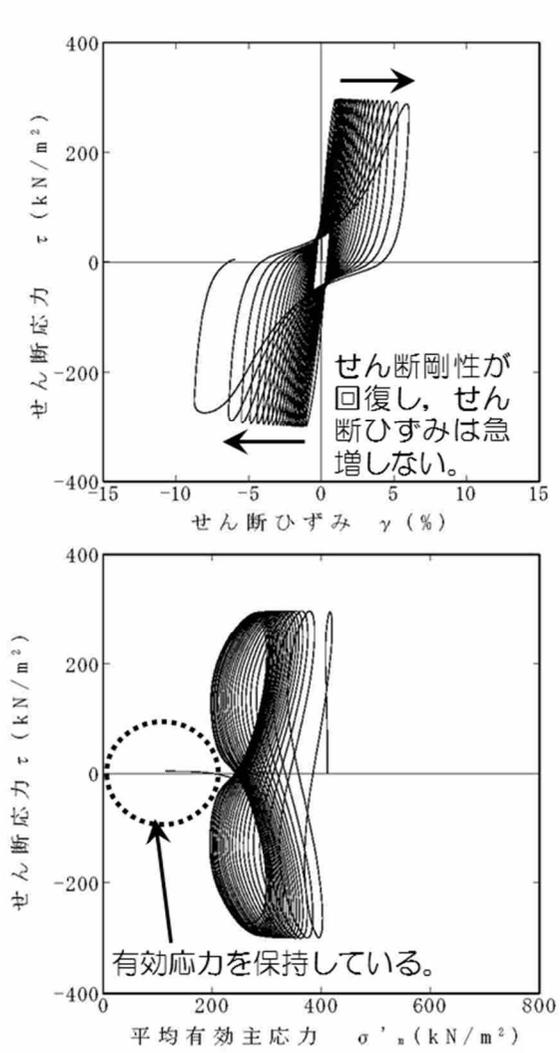
有効応力を保持している。

第 11-4-14 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)

第 11-4-8 表 液状化試験結果 (O-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ)

| 試料番号                                  |                          | #6-2-1              |      |      |             | #6-2-2      |      |      |      | #6-2-3      |      |      |      |     |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|------|------|-------------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-----|
| 深度 G.L.- (m)                          |                          | <u>31.65~34.75</u>  |      |      |             | 32.10~32.95 |      |      |      | 32.95~33.55 |      |      |      |     |
| 土質材料                                  |                          | 洪積砂質土層Ⅱ             |      |      |             | 洪積砂質土層Ⅱ     |      |      |      | 洪積砂質土層Ⅱ     |      |      |      |     |
| 供試体 No.                               |                          | 1                   | 2    | 3    | <u>4</u>    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                          | <u>2.664</u>        |      |      |             | 2.646       |      |      |      | 2.672       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                          | <u>412</u>          |      |      |             | 412         |      |      |      | 412         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |                          | 0.59                | 0.52 | 0.79 | <u>0.72</u> | 0.51        | 0.58 | 0.69 | 0.64 | 0.57        | 0.53 | 0.70 | 0.65 |     |
| 繰返回数                                  | せん断ひずみ<br>面振幅            | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 1.5  | 6.5  | 0.3         | <u>0.7</u>  | 5.5  | 0.8  | 0.6  | 1           | 1    | 2    | 0.7  | 0.9 |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 5    | 11   | 0.5         | <u>1</u>    | 24   | 1.5  | 0.9  | 5.5         | 4    | 6    | 1    | 2   |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 13   | 19   | 1           | <u>5</u>    | 61   | 7    | 2.5  | 17          | 14   | 15   | 3.5  | 5   |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 36   | 38   | 2           | <u>17</u>   | 111  | 25   | 8.5  | 38          | 37   | 34   | 9.5  | 16  |
|                                       |                          | $\gamma_{DA}=15\%$  | -    | -    | -           | -           | 116  | 30   | -    | -           | 43   | 43   | 11   | -   |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{L95}$ |                     | -    | -    | -           | -           | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    | -   |

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_e$ ) が上昇と下降を繰返し、0.95に達しない。

有効応力を保持している。

第 11-4-15 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 II)

|                                                                                    |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| A-1 (埋戻土層)                                                                         | A-3 (新期砂層・沖積層)                                                                      | A-1 (洪積砂層 I)                                                                         | A-1 (洪積砂層 II)                                                                        |
|   |   |   |   |
| 供試体側面にしわが確認される。                                                                    | 供試体側面にしわが確認される。                                                                     | 供試体側面にしわが確認される。                                                                      | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  |
| A-2 (洪積砂層 I)                                                                       | A-2 (洪積砂層 II)                                                                       | O-1 (洪積砂質土層 I)                                                                       | O-1 (洪積砂質土層 II)                                                                      |
|  |  |  |  |
| 供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。                                                            | 供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。                                                             | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  |

第 11-4-16 図 液状化試験後の供試体状況

第 11-4-9 表 液状化試験結果のまとめ

|                          | A-1<br>埋戻<br>土層 | A-3<br>新期砂層<br>・沖積層 | A-1<br>洪積砂層Ⅰ    | A-1<br>洪積砂層Ⅱ    | A-2<br>洪積砂層Ⅰ    | A-2<br>洪積砂層Ⅱ    | O-1<br>洪積砂質土<br>層Ⅰ | O-2<br>洪積砂質土<br>層Ⅱ |
|--------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 形成時期                     | -               |                     |                 |                 |                 |                 |                    |                    |
|                          |                 | 沖積層                 | 洪積層             |                 |                 |                 |                    |                    |
| N値おおむね50以上               | ×               | ○                   | ○               | ×               | ×               | ○               | ○                  | ○                  |
| 平均相対密度80%以上              | ×               | ○                   | ○               | ○               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 液状化試験試料<br>採取深度 (GL m)   | -3.5~<br>-5.5   | -13.0~<br>-15.4     | -8.0~<br>-11.0  | -13.0~<br>-21.0 | -13.2~<br>-14.1 | -20.2~<br>-26.2 | -26.9~<br>-28.2    | -31.7~<br>-34.8    |
| 過剰間隙水圧比が<br>0.95※を上回らない。 | ×               | ×                   | ×               | ×               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 過剰間隙水圧比が回復<br>する。        | ×               | ○                   | ○               | ○               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| せん断破壊発生の有無               | ×               | ×                   | ×               | ×               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 現象の整理                    | 液状化             | サイクリック<br>モビリティ     | サイクリックモ<br>ビリティ | サイクリックモ<br>ビリティ | 非液状化            | 非液状化            | 非液状化               | 非液状化               |

※JGS 0541-2000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ことによる。

第 11-4-10 表 液状化試験結果の分類

| 対象層              | A-1 (埋戻土層)                                                                                                              | A-1 (洪積砂層Ⅰ)<br>A-1 (洪積砂層Ⅱ)<br>A-3 (新期砂層・沖積層)                                                                                                | A-2 (洪積砂層Ⅰ)<br>A-2 (洪積砂層Ⅱ)<br>O-1 (洪積砂質土層Ⅰ)<br>O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 液状化試験の状況         | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が1.0に近づく(0.95を上回る)。</li> <li>有効応力がゼロになる。</li> <li>ひずみが急激に上昇する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づく(0.95を上回る)。</li> <li>有効応力が減少するが、回復する。</li> <li>ひずみが緩やかに上昇する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。</li> <li>有効応力を保持している。</li> <li>ひずみが緩やかに上昇する。</li> </ul> |
| 試験結果の分類          | 試験結果は、液状化である。                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>試験結果は、サイクリックモビリティである。</li> <li>有効応力が回復するため支持力が期待できる。</li> </ul>                                      | 試験結果は、非液状化である。                                                                                                     |
| 基準地震動Ssに対する液状化判定 | 基準地震動Ssに対する液状化判定(F <sub>L</sub> 法)を実施                                                                                   | 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認                                                                                                                      |                                                                                                                    |

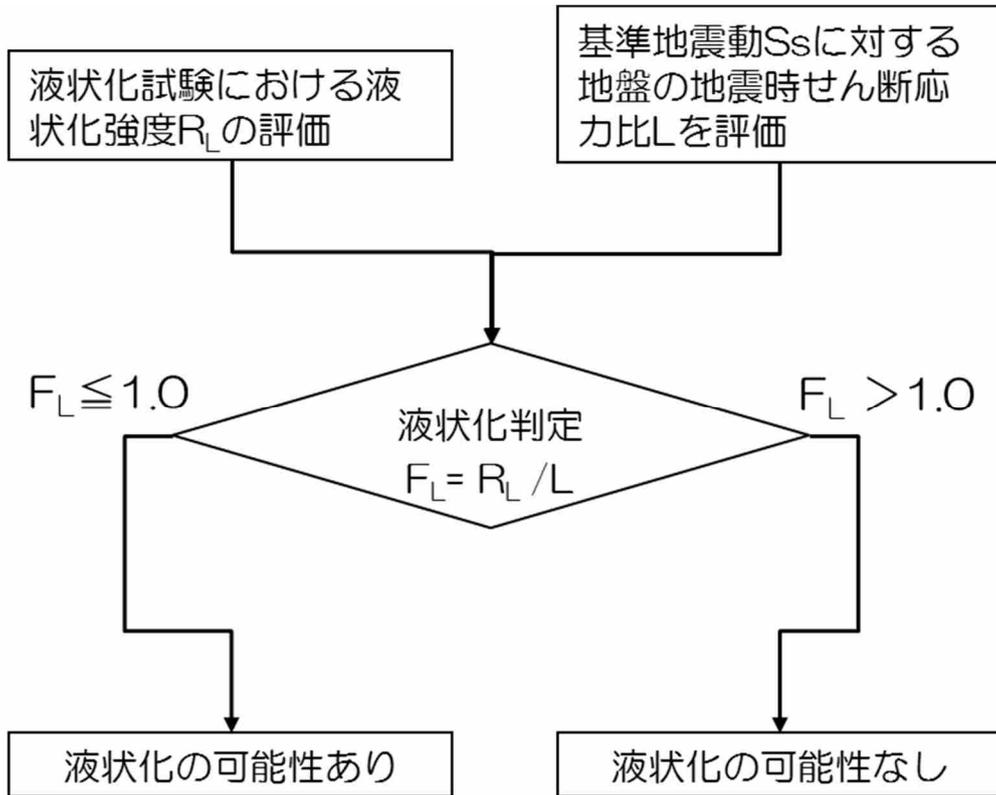
## 5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 (FL 法)

A-1 地点の埋戻土層については液状化試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定 (FL 法) を実施し、基準地震動  $S_s$  作用時の液状化の有無を判定する。第 11-5-1 図に FL 法による液状化判定のフローを示す。

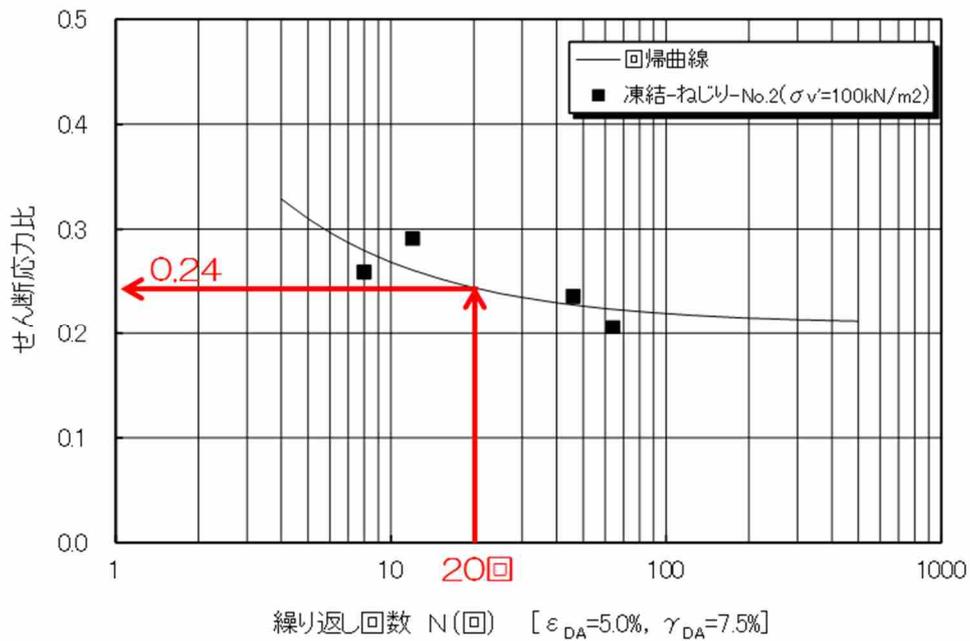
液状化判定 (FL 法) に用いる A-1 地点の埋戻土層の液状化強度  $R_L$  は、前述の液状化試験結果に基づいて設定する。第 11-5-2 図に液状化試験結果に基づく液状化強度  $R_L$  を示す。

基準地震動  $S_s$  が作用した際の A-1 地点の埋戻土層に発生するせん断応力比を一次元逐次非線形解析より求める。第 11-5-3 図に解析用物性値及び解析モデルを、第 11-5-4 図に地震応答解析結果を示す。

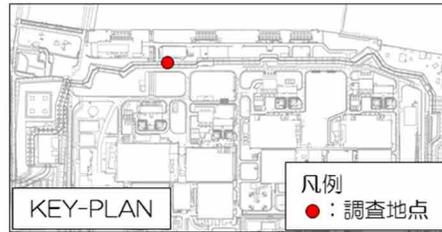
地震応答解析結果における最大せん断応力と液状化試験から求まる液状化強度  $R_L$  を比較し、第 11-5-1 表に示す。液状化判定 (FL 法) の結果、A-1 地点の埋戻土層は、全ての基準地震動  $S_s$  に対して液状化する可能性があると判断される。



第 11-5-1 図 FL法による液状化判定のフロー



第 11-5-2 図 液状化試験結果に基づく液状化強度  $R_L$  (埋戻土層)

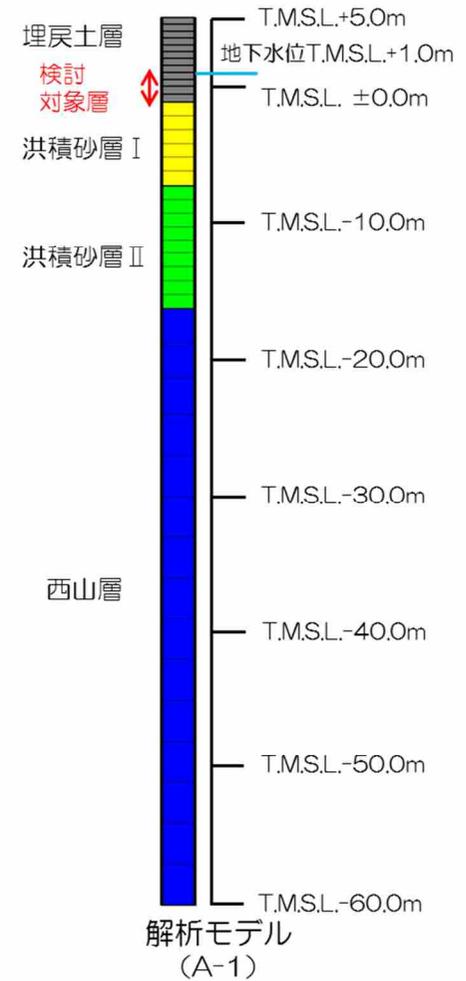


地盤物性値

| 地層区分             |                            | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$     | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| 埋戻土層             |                            | 18.6<br>(19.6)*1                          | 0.33<br>(0.49)*1   | $1980 \times \sigma_v'^{0.667}$         | ひずみ依存性を<br>考慮     |
| 古<br>安<br>田<br>層 | 洪積砂層Ⅰ                      | 19.1                                      | 0.47               | $1.53 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積砂層Ⅱ                      | 18.6                                      | 0.48               | $1.49 \times 10^5$                      |                   |
| 西<br>山<br>層      | 西山層上限面 ~<br>T.M.S.L.-62.0m | 16.9                                      | 0.43               | $5.02 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-77.0m            | 16.9                                      | 0.43               | $5.99 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-103.0m           | 16.9                                      | 0.43               | $6.62 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-128.0m           | 16.9                                      | 0.43               | $7.28 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-192.0m           | 16.9                                      | 0.43               | $7.73 \times 10^5$                      |                   |
| ~T.M.S.L.-284.0m | 16.9                       | 0.43                                      | $8.20 \times 10^5$ |                                         |                   |
| 解放基盤             |                            | 16.9                                      | 0.43               | $9.17 \times 10^5$                      | —                 |

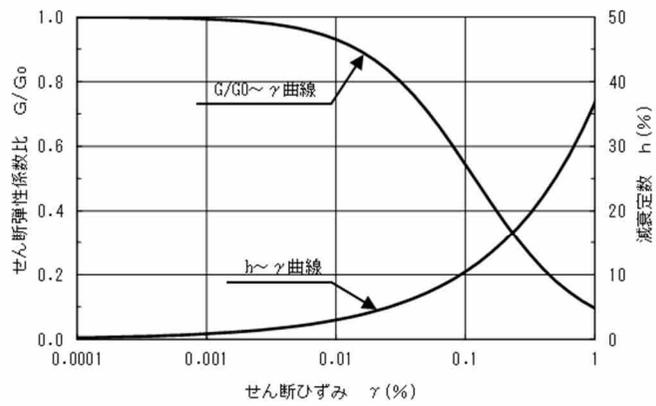
\* 1 : 地下水位以深の物性値

(既工認物性)

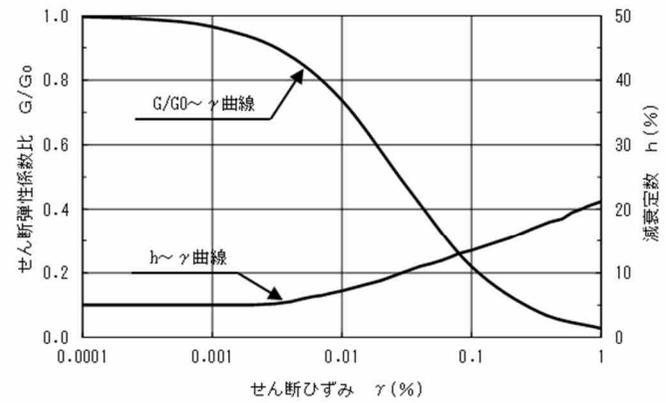


(a) 基本物性

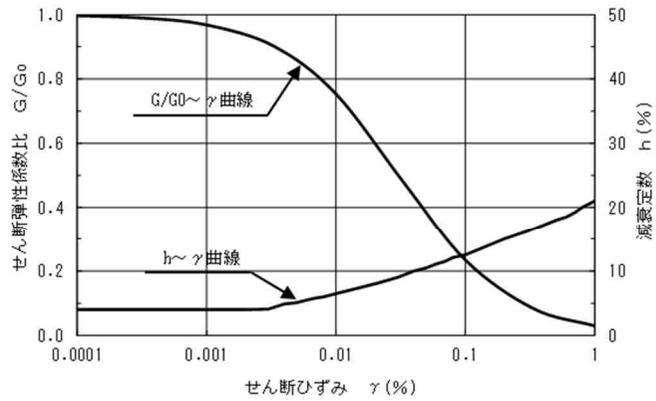
第 11-5-3 図 解析用物性値及び解析モデル (A-1 地点)



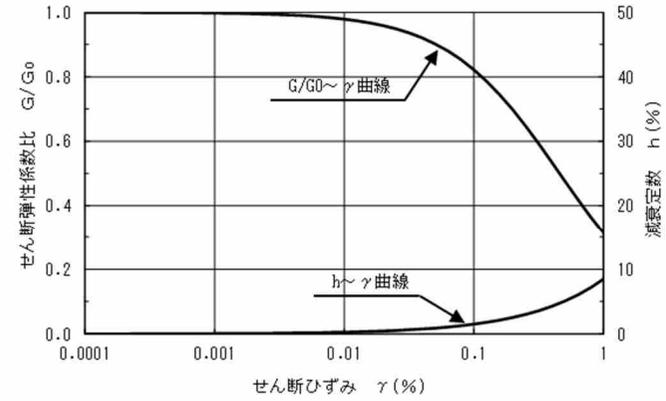
埋戻土層



洪積砂層 I



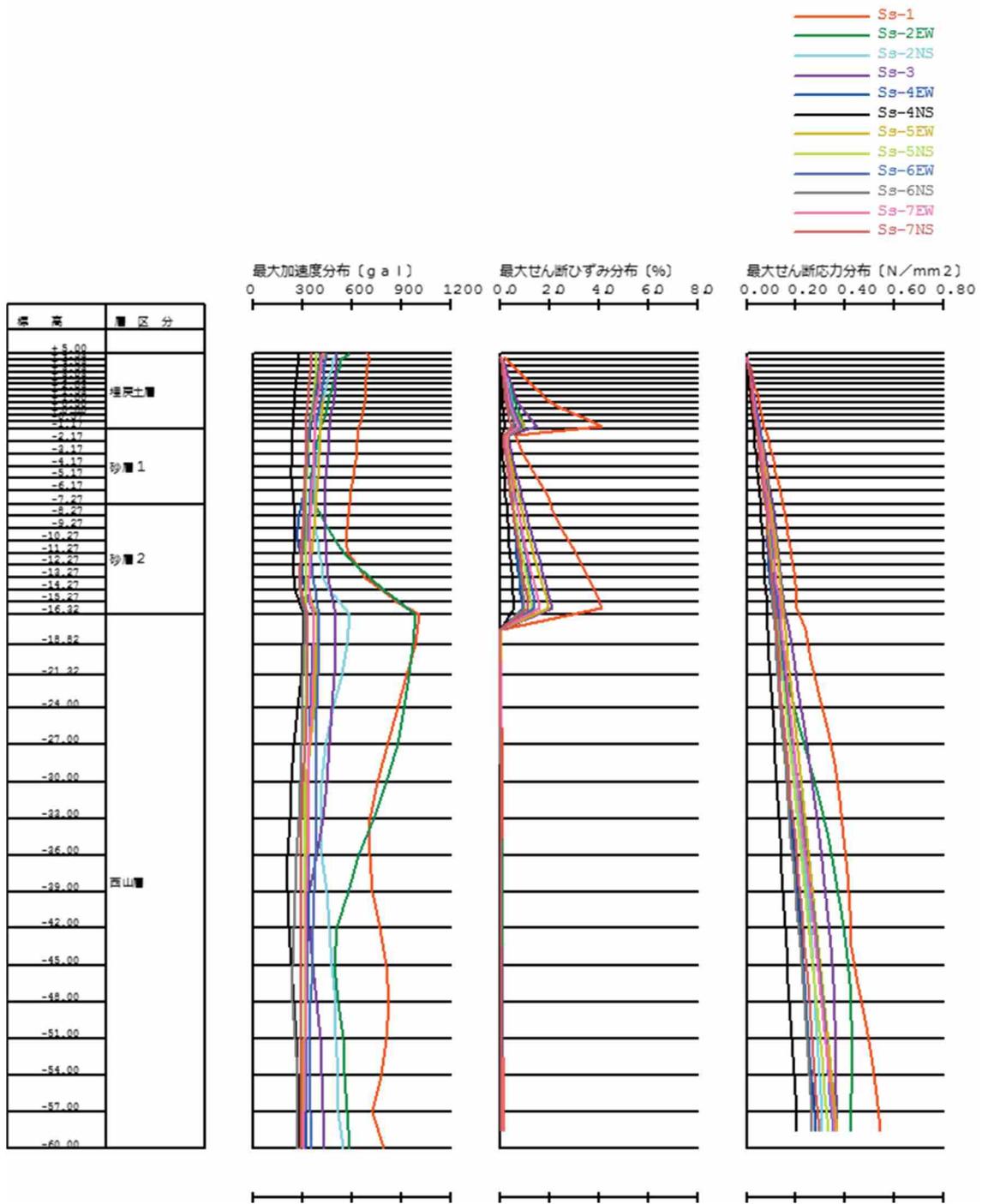
洪積砂層 II



西山層

(b) せん断剛性及び減衰のひずみ依存性

第 11-5-3 図 解析用物性値及び解析モデル (A-1 地点)



第 11-5-4 図 地震応答解析結果 (A-1 地点)

第 11-5-1 表 埋戻土層の液状化判定 (FL法) 結果

| 基準<br>地震動 Ss | 最大せん断応力比<br>L | 液状化強度<br>R <sub>L</sub> | F <sub>L</sub> 値<br>=R <sub>L</sub> /L | 評価  |
|--------------|---------------|-------------------------|----------------------------------------|-----|
| Ss1          | 0.76          | 0.24                    | 0.32                                   | 液状化 |
| Ss2EW        | 0.51          |                         | 0.47                                   | 液状化 |
| Ss2NS        | 0.47          |                         | 0.51                                   | 液状化 |
| Ss3          | 0.57          |                         | 0.42                                   | 液状化 |
| Ss4EW        | 0.44          |                         | 0.55                                   | 液状化 |
| Ss4NS        | 0.30          |                         | 0.80                                   | 液状化 |
| Ss5EW        | 0.51          |                         | 0.47                                   | 液状化 |
| Ss5NS        | 0.44          |                         | 0.55                                   | 液状化 |
| Ss6EW        | 0.49          |                         | 0.49                                   | 液状化 |
| Ss6NS        | 0.43          |                         | 0.56                                   | 液状化 |
| Ss7EW        | 0.47          |                         | 0.51                                   | 液状化 |
| Ss7NS        | 0.40          |                         | 0.60                                   | 液状化 |

## 6. 基準地震動 Ss に対する液状化試験の妥当性確認

新期砂層・沖積層及び古安田層中の砂層については、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、液状化試験が基準地震動 Ss 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 11-6-1 図に累積損傷度理論に基づく評価のフローを、第 11-6-2 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。

なお、埋戻土層においては、5 章に示した FL 法の判定結果から、基準地震動 Ss において地盤に発生するせん断応力比よりも小さいせん断応力比で液状化する結果となっている。

評価にあつて、液状化試験個所である A-1 地点、A-2 地点、A-3 地点及び O-1 地点の地盤モデルを用いて、一次元逐次非線形解析を実施した。第 11-5-3 図、第 11-6-3 図及び第 11-6-4 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 11-6-1 表及び第 11-6-5～11 図に示す。

A-1 地点の洪積砂層 I について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。低拘束圧部の基準地震動 Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第 11-6-5 図参照）

A-1 地点の洪積砂層 II について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。（第 11-6-6 図参照）

A-2 地点の洪積砂層 I について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-1、Ss-3 及び Ss-5EW 以外の基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第 11-6-7 図参照）

A-2 地点の洪積砂層 II について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-2NS、Ss-4EW、Ss-4NS、Ss-5NS、Ss-6EW、Ss-6NS 及び Ss-7NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外である

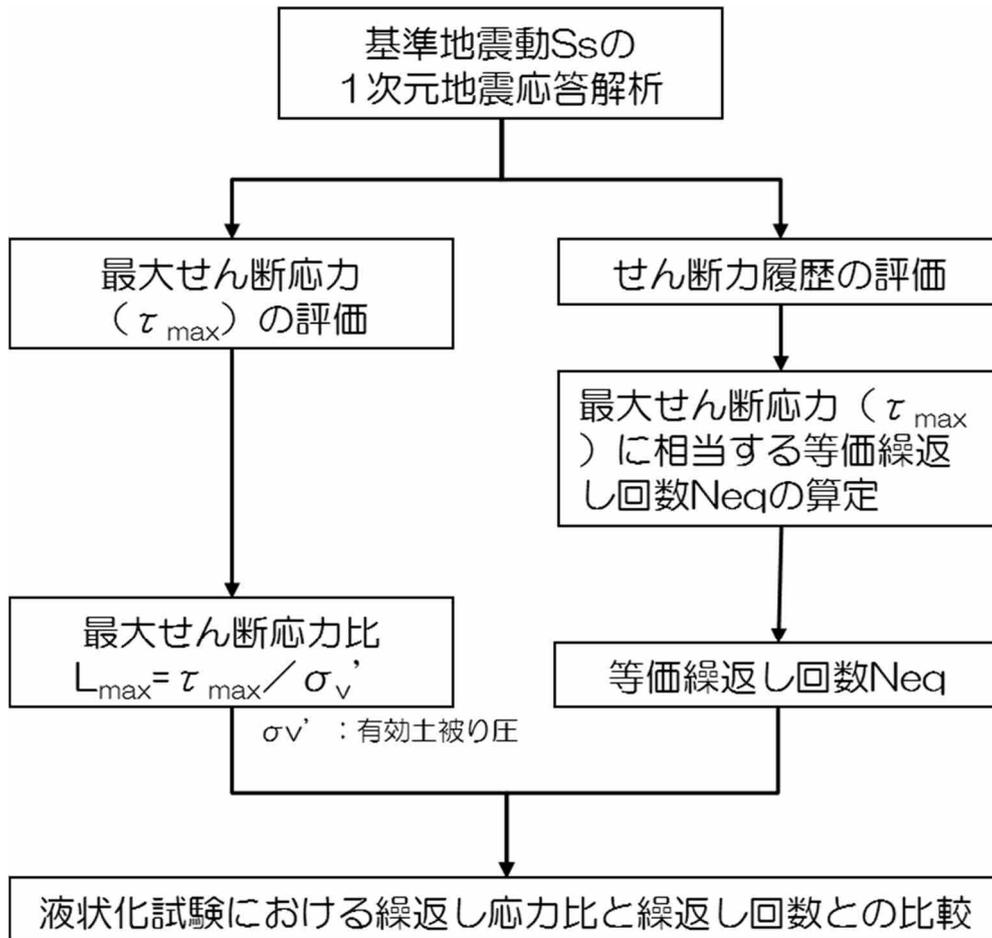
が、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-8 図参照)

A-3 地点の新期砂層・沖積層について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-9 図参照)

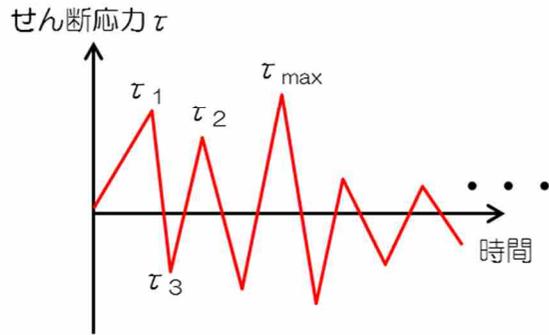
O-1 地点の洪積砂質土層 I について、全ての基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-10 図参照)

O-1 地点の洪積砂質土層 II について、全ての基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-11 図参照)

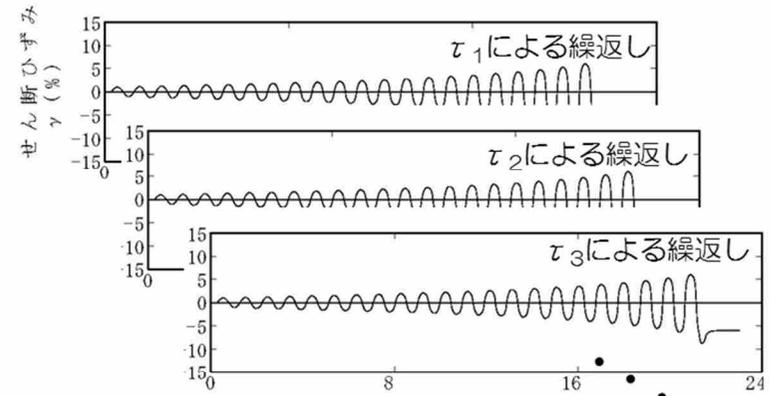
新期砂層・沖積層及び古安田層中の砂層における液状化試験の結果は、基準地震動 Ss 時の最大せん断応力比及び等価繰返し回数と同程度である。よって、今回実施した試験は、当該地盤に基準地震動 Ss 相当が作用した状態をおおむね再現できていると判断される。



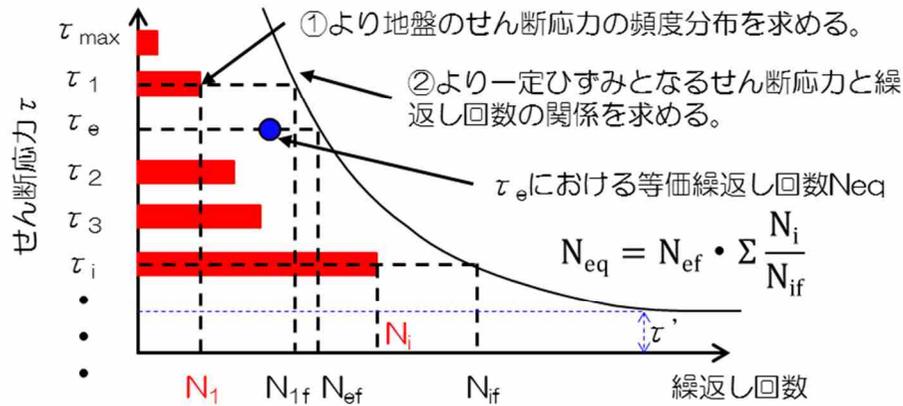
第 11-6-1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価のフロー



①対象地盤の地震応答解析におけるせん断応力履歴

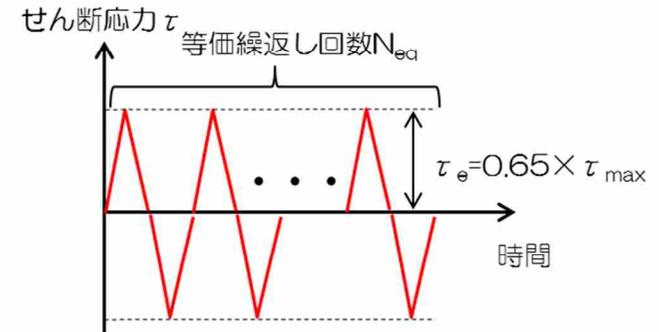


②試験による一定せん断応力振幅時の繰返し回数とせん断ひずみ



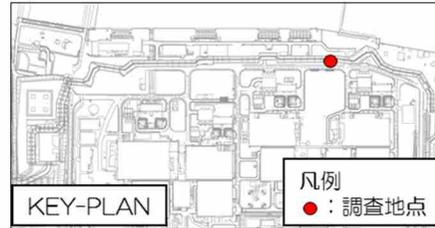
③累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

$\tau'$  : あるレベル以下のせん断応力については、累積損傷度に寄与しないため、評価対象外とする。本検討では、液状化試験の最大繰返し回数 200 回に相当するせん断応力を設定した。



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 11-6-2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

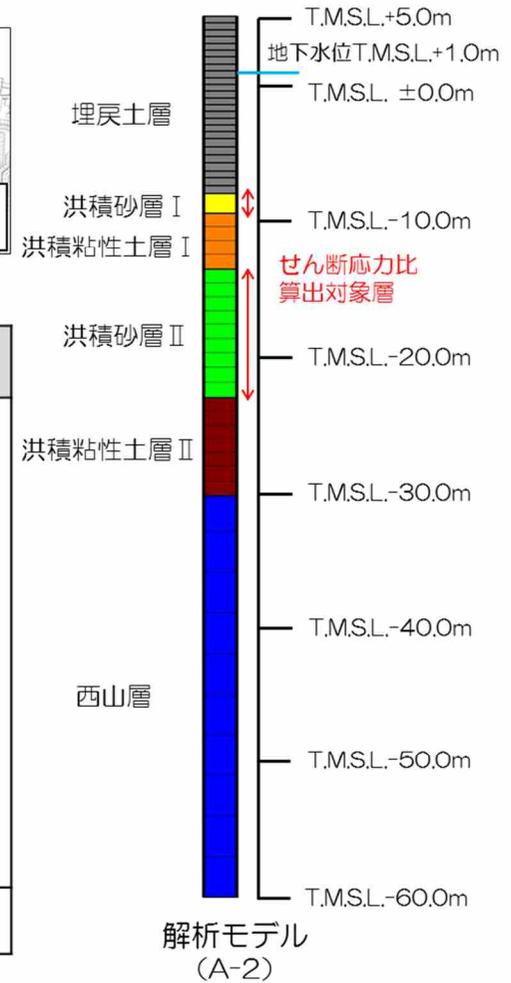


地盤物性値

| 地層区分             |                            | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| 埋戻土層             |                            | 18.6<br>(19.6)*1                          | 0.33<br>(0.49)*1 | $1980 \times \sigma_v'^{0.667}$         | ひずみ依存性を<br>考慮     |
| 古<br>安<br>田<br>層 | 洪積砂層Ⅰ                      | 18.3                                      | 0.47             | $2.29 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積粘性土層Ⅰ                    | 17.8                                      | 0.48             | $1.24 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積砂層Ⅱ                      | 18.5                                      | 0.48             | $2.06 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積粘性土層Ⅱ                    | 17.8                                      | 0.48             | $1.74 \times 10^5$                      |                   |
| 西<br>山<br>層      | 西山層上限面 ~<br>T.M.S.L.-66.0m | 15.6                                      | 0.46             | $3.23 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-103.0m           | 15.8                                      | 0.45             | $3.86 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-150.0m           | 16.9                                      | 0.44             | $5.39 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-248.0m           | 17.4                                      | 0.43             | $6.81 \times 10^5$                      |                   |
| 解放基盤             |                            | 17.8                                      | 0.41             | $9.18 \times 10^5$                      | —                 |

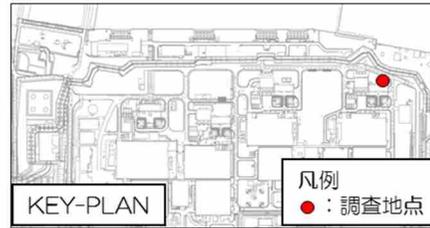
\* 1 : 地下水位以深の物性値

(既工認物性)



(a) 基本物性 (A-2 地点)

第 11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル

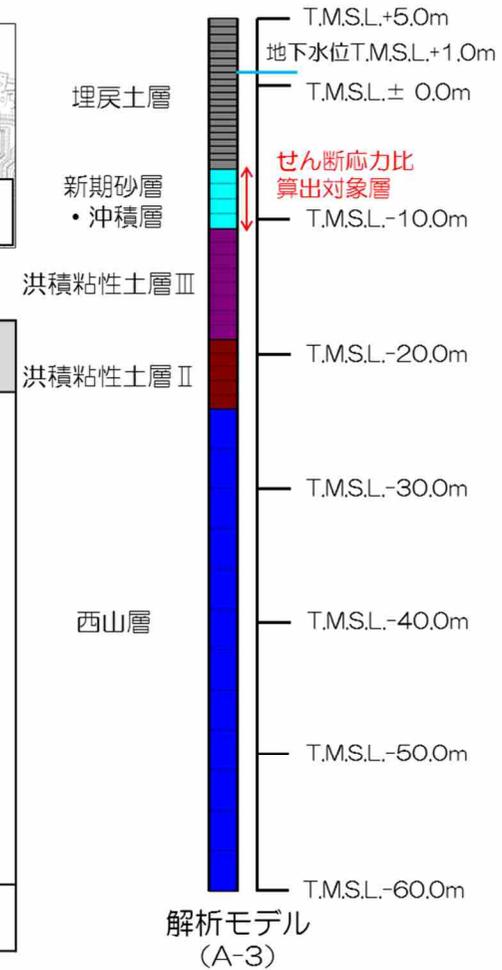


地盤物性値

| 地層区分             |                            | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| 埋戻土層             |                            | 18.6<br>(19.6)*1                          | 0.33<br>(0.49)*1 | $1980 \times \sigma_v'^{0.667}$         | ひずみ依存性を<br>考慮     |
| 新期砂層・沖積層         |                            | 19.9                                      | 0.48             | $1.82 \times 10^5$                      |                   |
| 古<br>安<br>田<br>層 | 洪積粘性土層Ⅲ                    | 17.8                                      | 0.49             | $8.82 \times 10^4$                      |                   |
|                  | 洪積粘性土層Ⅱ                    | 17.8                                      | 0.48             | $1.74 \times 10^5$                      |                   |
| 西<br>山<br>層      | 西山層上限面 ~<br>T.M.S.L.-66.0m | 15.6                                      | 0.46             | $3.23 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-103.0m           | 15.8                                      | 0.45             | $3.86 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-150.0m           | 16.9                                      | 0.44             | $5.39 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-248.0m           | 17.4                                      | 0.43             | $6.81 \times 10^5$                      |                   |
| 解放基盤             |                            | 17.8                                      | 0.41             | $9.18 \times 10^5$                      | —                 |

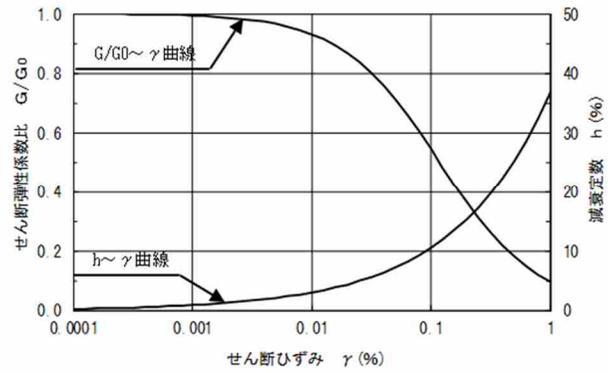
\* 1 : 地下水位以深の物性値

(既工認物性)

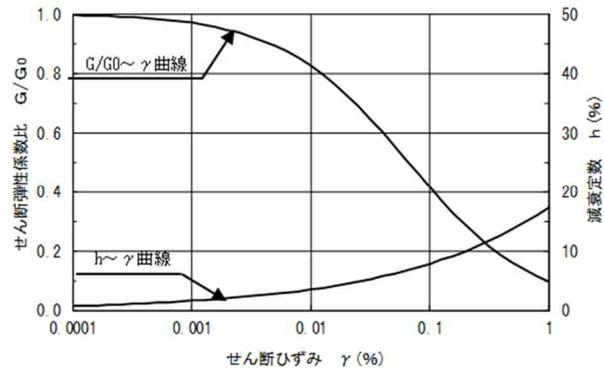


(b) 基本物性 (A-3 地点)

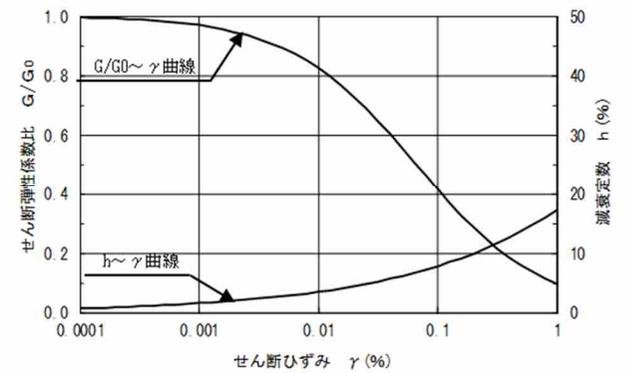
第 11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル



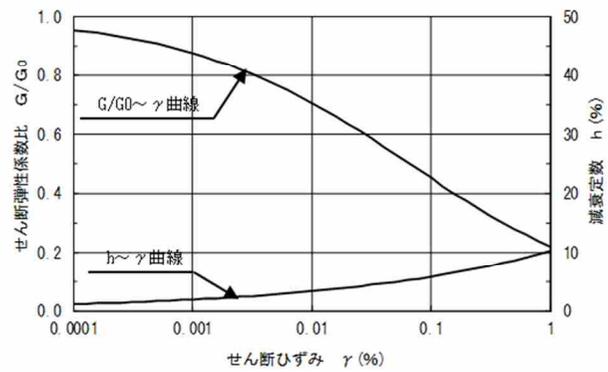
埋戻土層



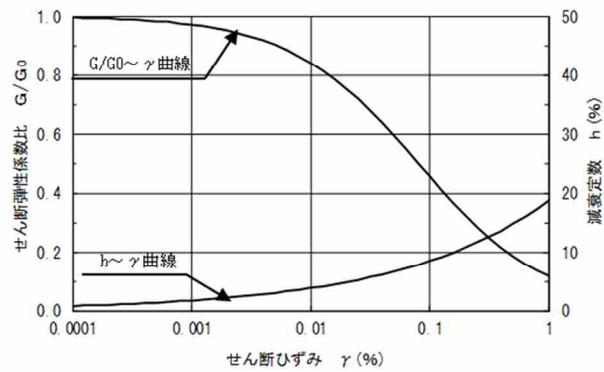
洪積砂層 I, II



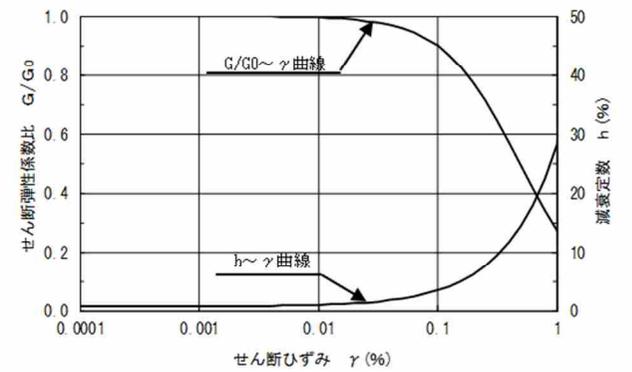
新期砂層・沖積層



洪積粘性土層 I, II



洪積粘性土層 III



西山層

(c) せん断剛性及び減衰のひずみ依存性 (A-2 及び A-3 地点)

第 11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル

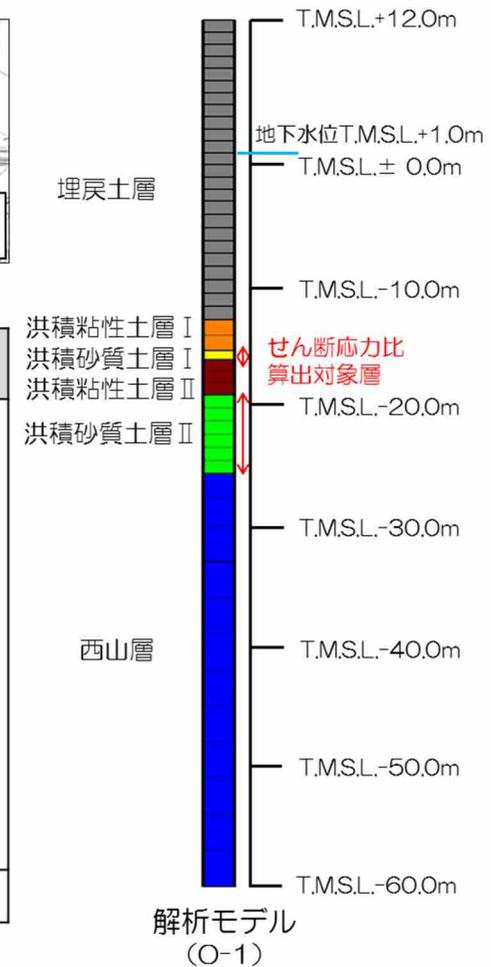


地盤物性値

| 地層区分             |                            | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| 埋戻土層             |                            | 18.6<br>(19.6)*1                          | 0.41<br>(0.49)*1 | $1980 \times \sigma_v'^{0.667}$ *2      | ひずみ依存性を<br>考慮     |
| 古<br>安<br>田<br>層 | 洪積粘性土層Ⅰ                    | 17.8                                      | 0.49             | $9.63 \times 10^4$                      |                   |
|                  | 洪積砂質土層Ⅰ                    | 18.6                                      | 0.48             | $1.82 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積粘性土層Ⅱ                    | 17.7                                      | 0.49             | $1.13 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積砂質土層Ⅱ                    | 18.6                                      | 0.48             | $2.07 \times 10^5$                      |                   |
| 西<br>山<br>層      | 西山層上限面 ~<br>T.M.S.L.-33.0m | 17.0                                      | 0.45             | $4.16 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-90.0m            | 16.6                                      | 0.45             | $4.75 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-136.0m           | 17.3                                      | 0.43             | $6.13 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-155.0m           | 19.3                                      | 0.42             | $8.33 \times 10^5$                      |                   |
| 解放基盤             |                            | 19.9                                      | 0.42             | $1.05 \times 10^6$                      | -                 |

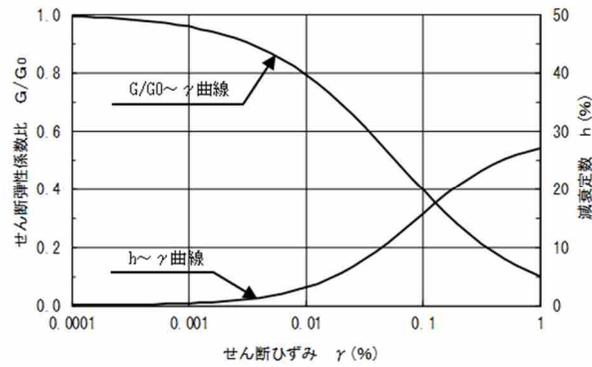
\* 1 : 地下水位以深の物性値  
\* 2 : 下限値  $2.75 \times 10^4$  kN/m<sup>2</sup>

(既工認物性)

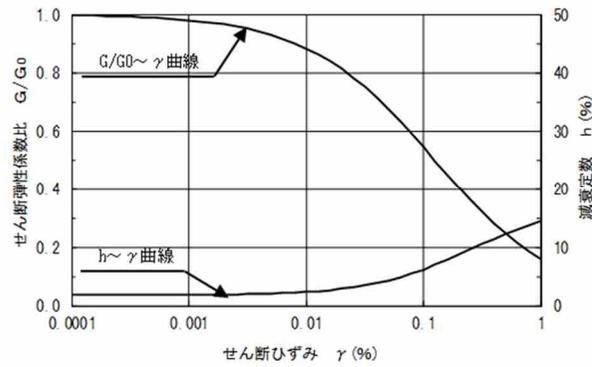


(a) 基本物性 (O-1 地点)

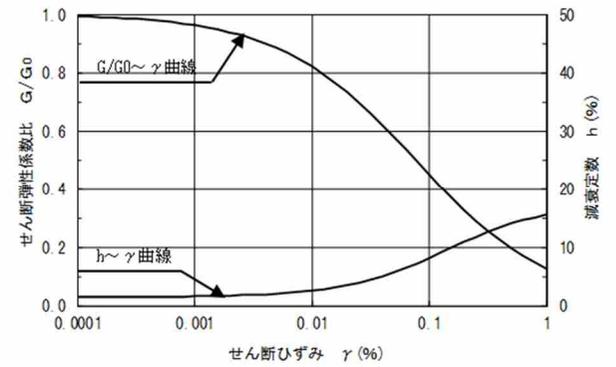
第 11-6-4 図 解析用物性値及び解析モデル



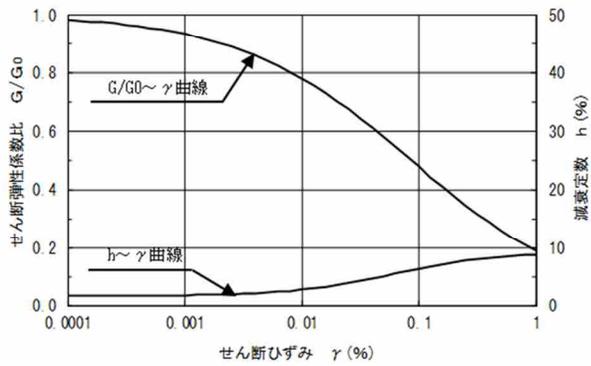
埋戻土層



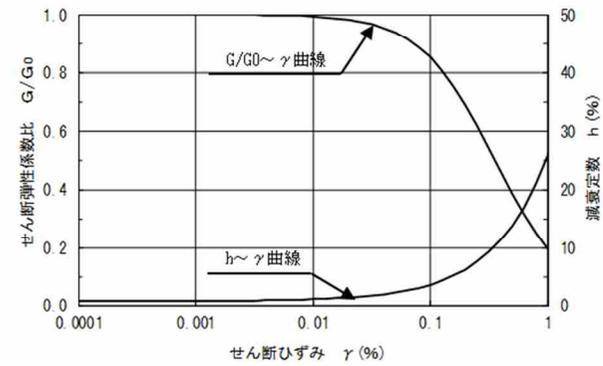
洪積粘性土層 I



洪積砂質土層 I, II



洪積粘性土層 II



西山層

(b) せん断剛性及び減衰のひずみ依存性 (O-1 地点)

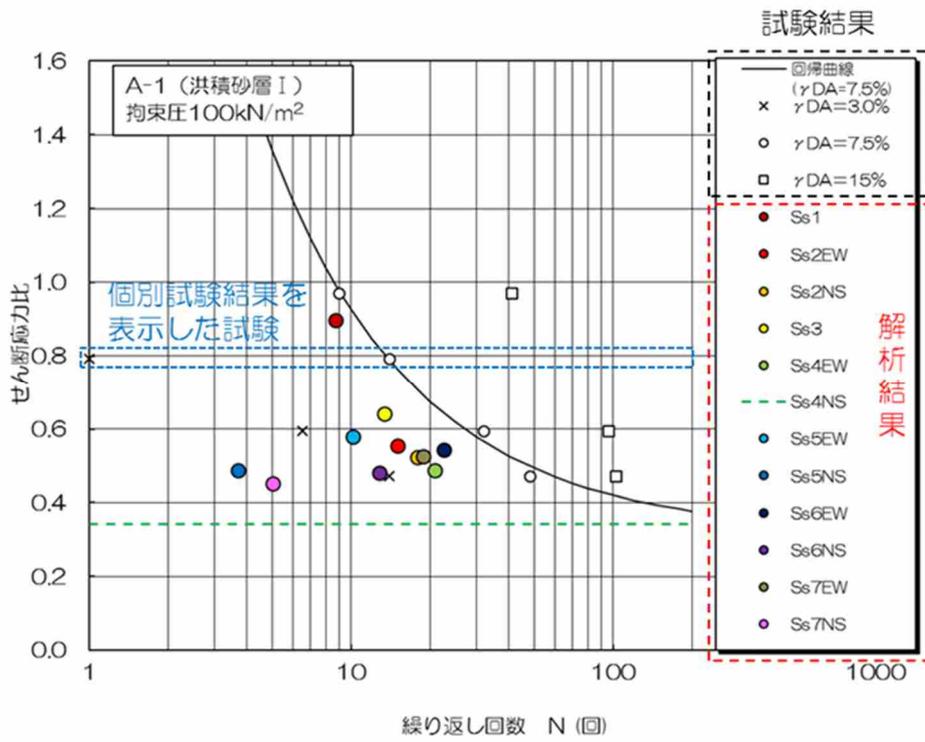
第 11-6-4 図 解析用物性値及び解析モデル

第 11-6-1 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

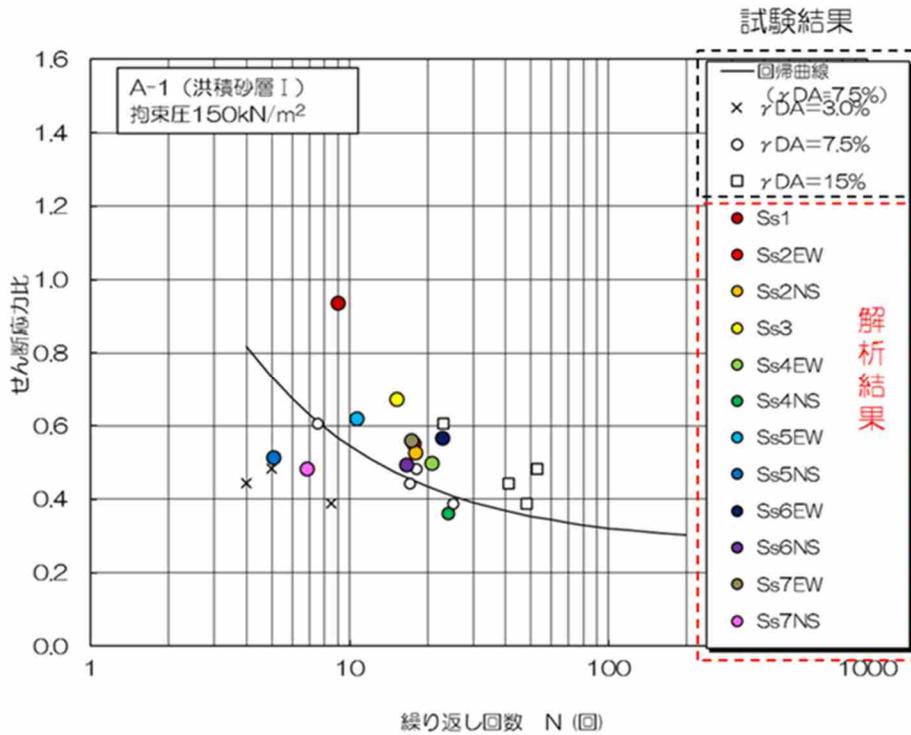
| 基準地震動Ss | A-1                                        |                 |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 | A-2              |                 |                  |                 | A-3              |                 | O-1              |                 |                  |                 |
|---------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|         | 洪積砂層Ⅰ<br>(土被り圧<br>100kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅰ<br>(土被り圧<br>150kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅱ<br>(土被り圧<br>150kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅱ<br>(土被り圧<br>200kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅰ            |                 | 洪積砂層Ⅱ            |                 | 新期砂層・沖積層         |                 | 洪積砂質土層Ⅰ          |                 | 洪積砂質土層Ⅱ          |                 |
|         | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> |
| Ss1     | 0.90                                       | 8.7             | 0.94                                       | 9.0             | 0.96                                       | 7.4             | 0.95                                       | 7.2             | 0.88             | 6.1             | 0.91             | 8.2             | 0.98             | 6.0             | 0.43             | -※1             | 0.46             | -※1             |
| Ss2EW   | 0.55                                       | 15.0            | 0.55                                       | 17.6            | 0.52                                       | 19.1            | 0.47                                       | 24.2            | 0.53             | -※1             | 0.64             | 126.8           | 0.55             | 20.4            | 0.32             | -※1             | 0.34             | -※1             |
| Ss2NS   | 0.52                                       | 17.8            | 0.53                                       | 17.9            | 0.53                                       | 19.1            | 0.51                                       | 20.3            | 0.53             | -※1             | 0.60             | -※1             | 0.56             | 20.9            | 0.25             | -※1             | 0.25             | -※1             |
| Ss3     | 0.64                                       | 13.3            | 0.67                                       | 15.1            | 0.68                                       | 12.6            | 0.69                                       | 12.5            | 0.68             | 22.1            | 0.72             | 16.6            | 0.73             | 11.2            | 0.43             | -※1             | 0.44             | -※1             |
| Ss4EW   | 0.49                                       | 20.9            | 0.50                                       | 20.7            | 0.50                                       | 22.1            | 0.47                                       | 25.1            | 0.48             | -※1             | 0.53             | -※1             | 0.48             | 60.9            | 0.34             | -※1             | 0.37             | -※1             |
| Ss4NS   | 0.34                                       | -※1             | 0.36                                       | 23.9            | 0.37                                       | 40.9            | 0.37                                       | 31.3            | 0.39             | -※1             | 0.42             | -※1             | 0.40             | -※1             | 0.22             | -※1             | 0.23             | -※1             |
| Ss5EW   | 0.58                                       | 10.1            | 0.62                                       | 10.6            | 0.64                                       | 9.2             | 0.65                                       | 8.6             | 0.64             | 53.1            | 0.70             | 13.5            | 0.68             | 8.2             | 0.44             | -※1             | 0.48             | -※1             |
| Ss5NS   | 0.49                                       | 3.7             | 0.51                                       | 5.1             | 0.53                                       | 4.7             | 0.53                                       | 4.9             | 0.52             | -※1             | 0.61             | -※1             | 0.54             | 4.4             | 0.24             | -※1             | 0.25             | -※1             |
| Ss6EW   | 0.54                                       | 22.5            | 0.57                                       | 22.7            | 0.57                                       | 20.4            | 0.57                                       | 20.3            | 0.57             | -※1             | 0.62             | -※1             | 0.59             | 22.6            | 0.40             | -※1             | 0.44             | -※1             |
| Ss6NS   | 0.48                                       | 12.8            | 0.50                                       | 16.5            | 0.50                                       | 14.8            | 0.49                                       | 14.7            | 0.52             | -※1             | 0.57             | -※1             | 0.53             | 10.8            | 0.27             | -※1             | 0.27             | -※1             |
| Ss7EW   | 0.53                                       | 18.8            | 0.56                                       | 17.3            | 0.58                                       | 15.3            | 0.59                                       | 14.2            | 0.58             | -※1             | 0.67             | 38.7            | 0.62             | 15.1            | 0.48             | -※1             | 0.51             | -※1             |
| Ss7NS   | 0.45                                       | 5.0             | 0.48                                       | 6.8             | 0.50                                       | 5.3             | 0.50                                       | 5.5             | 0.51             | -※1             | 0.56             | -※1             | 0.52             | 7.1             | 0.29             | -※1             | 0.31             | -※1             |
| Ss8     |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                 | 0.33             | -※1             | 0.35             | -※1             |

最大せん断応力比： $L_{max} = \tau_{max} / \sigma_v'$ ， $\tau_{max}$ ：最大せん断応力， $\sigma_v'$ ：有効土被り圧， $N_{eq}$ ：等価繰返し回数

- ※1 解析から得られる最大せん断応力比 ( $L_{max}$ ) が、試験結果から設定した回帰曲線の繰返し回数200回の値よりも小さいものについては、累積損傷度理論にも基づく等価繰返し回数の評価対象外であるため「-」と表記
- ※2 試験は等方等圧試験であり、実地盤と応答解析を比較するため、静止土圧係数 ( $K_0$ ：一般値0.5) により、等価せん断応力を補正して最大せん断応力を等価繰返し回数と対比する。 $\tau_e \times 3 / (1 + 2K_0) = 0.65 \times 3 / 2 \times \tau_{max} \doteq \tau_{max}$ ， $\tau_e$ ：等価せん断応力

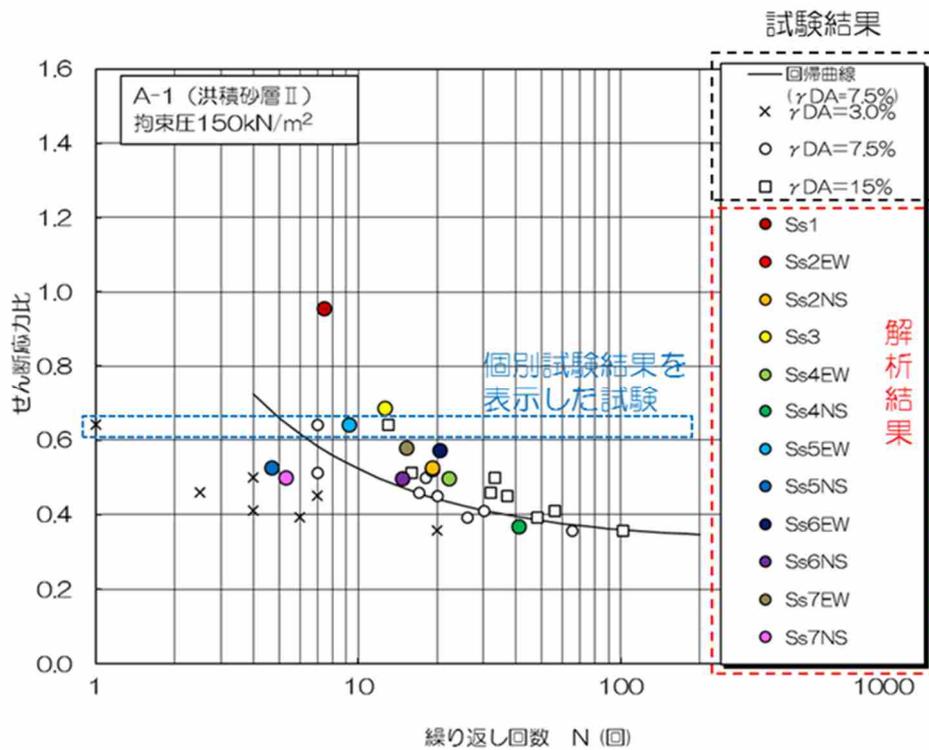


(a) 拘束圧 100kN/m<sup>2</sup>

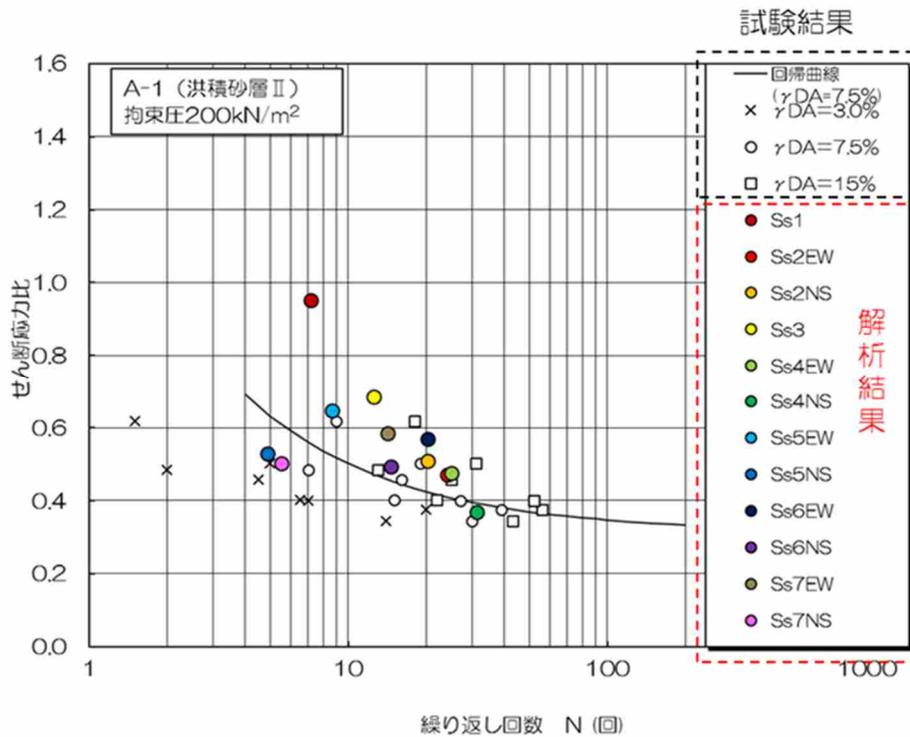


(b) 拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>

第 11-6-5 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-1 地点の洪積砂層 I)

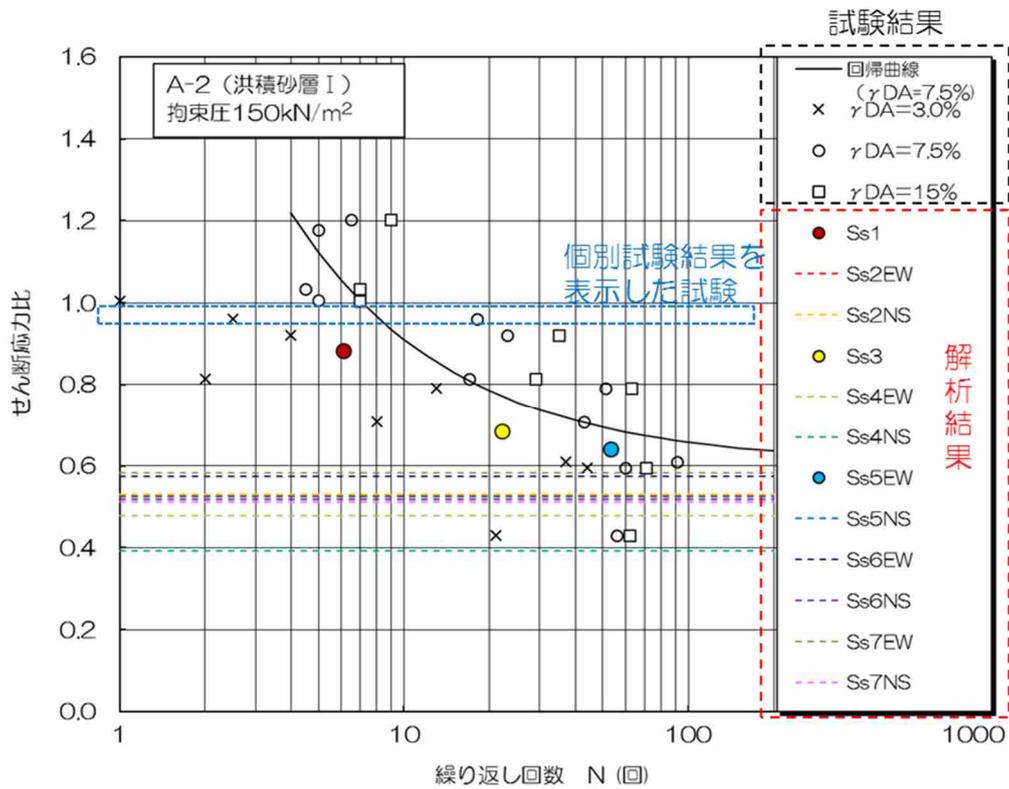


(a) 拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>

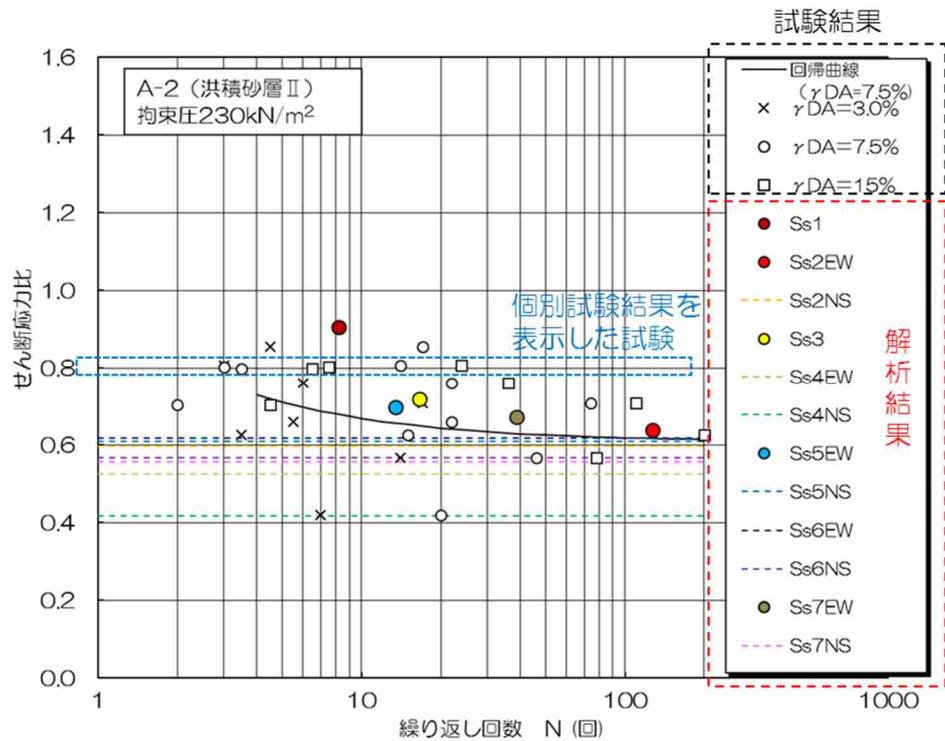


(b) 拘束圧 200kN/m<sup>2</sup>

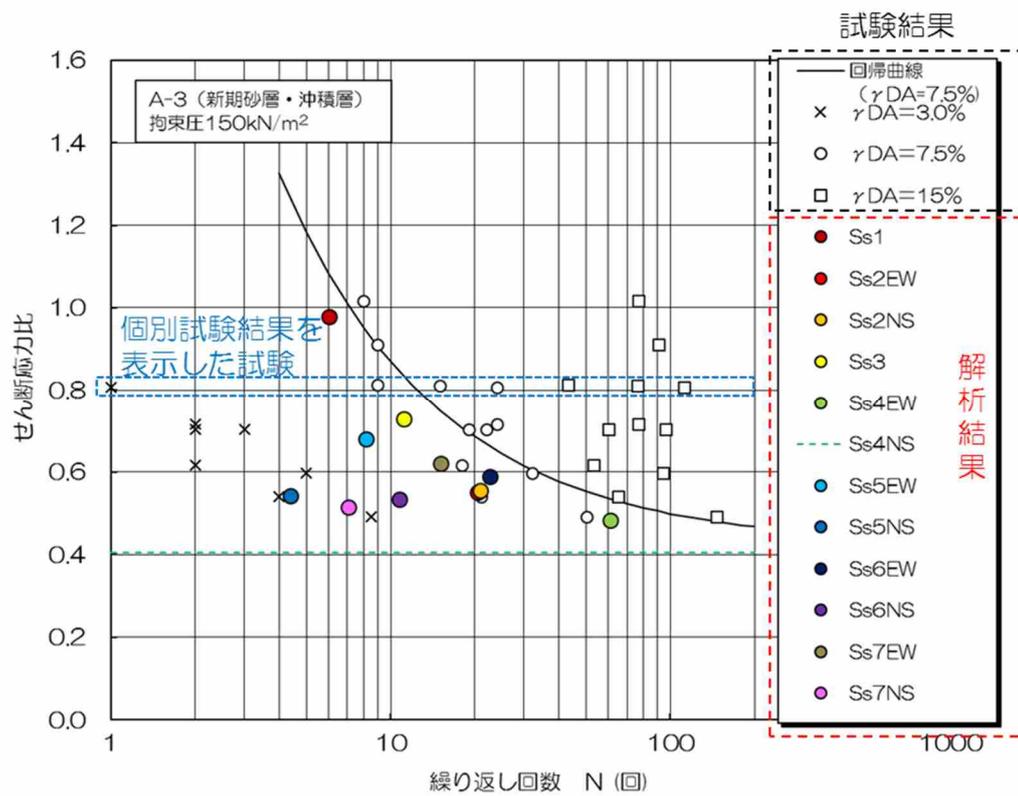
第 11-6-6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-1 地点の洪積砂層Ⅱ)



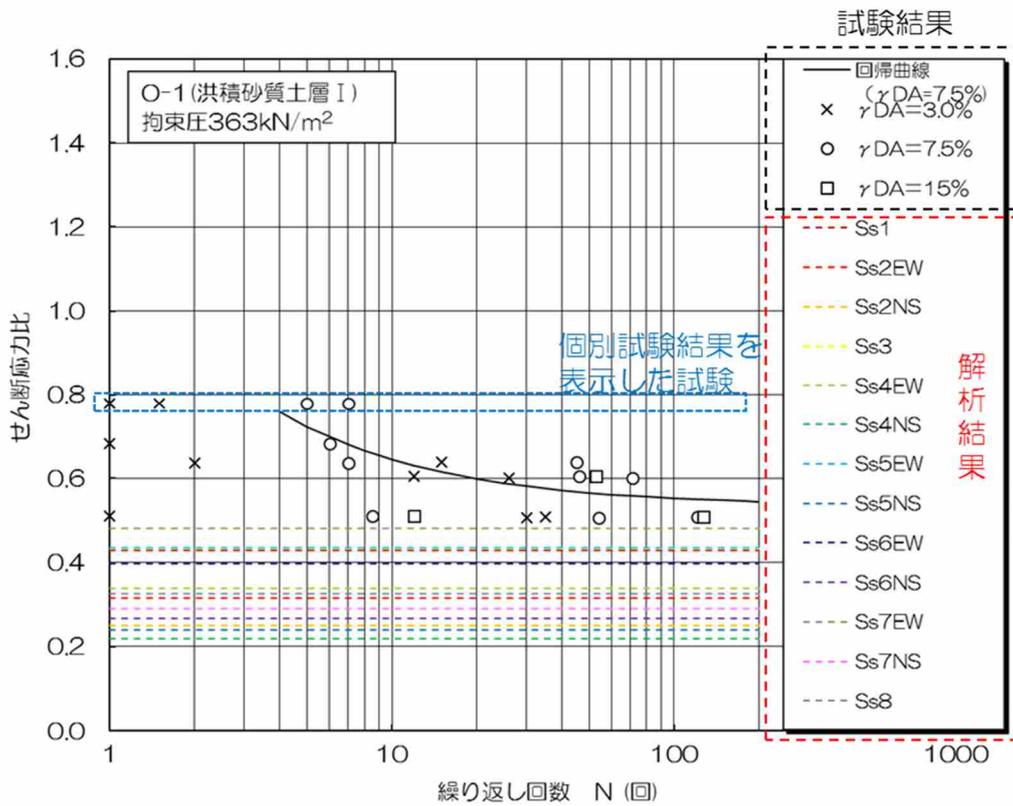
第 11-6-7 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-2 地点の洪積砂層 I)



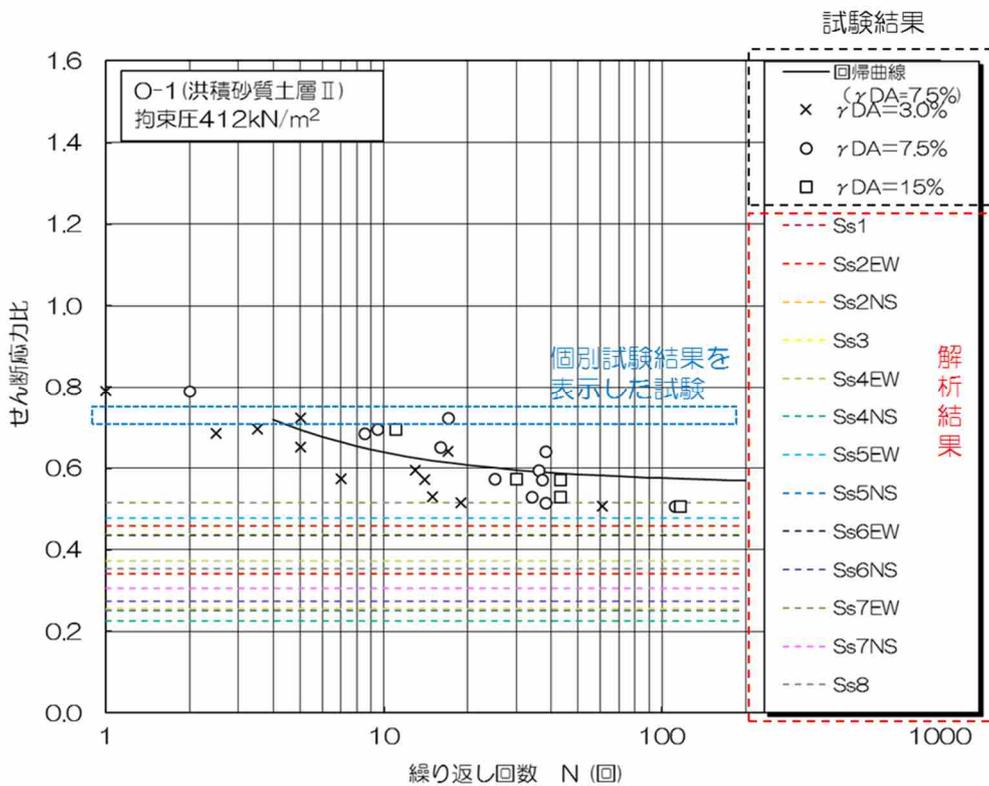
第 11-6-8 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-2 地点の洪積砂層 II)



第 11-6-9 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)



第 11-6-10 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)



第 11-6-11 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 II)

## 7. 液状化強度特性の設定

第 2 章で示した地層の同一性及び第 3 章で示した液状化試験個所の保守性・代表性の結果に基づいて、各土層で実施した液状化試験結果をそれぞれに適用し、各土層の液状化強度特性を設定して、構造物の影響評価を実施する。第 11-7-1 図に液状化強度特性の設定のフローを、第 11-7-2 図に地質断面の概要と調査位置の概要を、第 11-7-1 表に液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験個所の関係を示す。

なお、試験結果が非液状化となる土層についても、念のため試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、保守的な構造物影響評価を実施する。3/4 号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層（A-2 地点の洪積砂層Ⅰ）については、試験結果が非液状化であるが、地層の同一性を考慮して、A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ及び O-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ）については、試験結果が非液状化であるが、それぞれの試験で得られたせん断ひずみと繰返し回数に基づいて、液状化強度特性を設定する。

各土層での液状化強度特性は、液状化試験を基本として、各土層で得られた基本物性のばらつきも考慮することで、保守的な設定とする。設定の方法について、第 3 章の液状化試験個所の代表性の結果に基づいて、液状化試験個所が周辺調査個所に対して保守的な個所で実施していると考えられる土層（埋戻土層、新期砂層・沖積層（荒浜側））と、液状化試験個所が周辺調査個所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）に大別して設定する。

液状化試験個所が周辺調査個所に対して保守的な個所で実施していると考えられる土層（埋戻土層、新期砂層・沖積層（荒浜側））については、液状化試験個所の基本物性が、周辺調査個所の下限相当となっていることから、試験結果を各土層の代表値とすることが保守的と考えられる。ただし、試験結果の下限に相当する液状化強度  $R_L$  を評価して、これを満足する液状化強度特性を設定することで、さらに保守的な設定とする。具体的には、試験結果においてせん断ひずみ両振幅が 7.5% となる点に対して回帰曲線の評価し、この回帰曲線を下方に移動し、試験値の下限を通る曲線と、繰返し回数 20 回との交点を求め、液状化試験の下限值に相当する液状化強度  $R_L$  として評価する。なお、道路橋示方書では、繰返し回数 20 回で軸ひずみ両振幅が 5%（せん断ひずみ両振幅 7.5%）に達するのに要するせん断応力振幅を初期有効拘束圧で除した値を液状化強度  $R_L$  として定義している。第 11-7-3 図に液状化試験結果の下限に相当する液状化強度  $R_L$  の評価結果を示す。

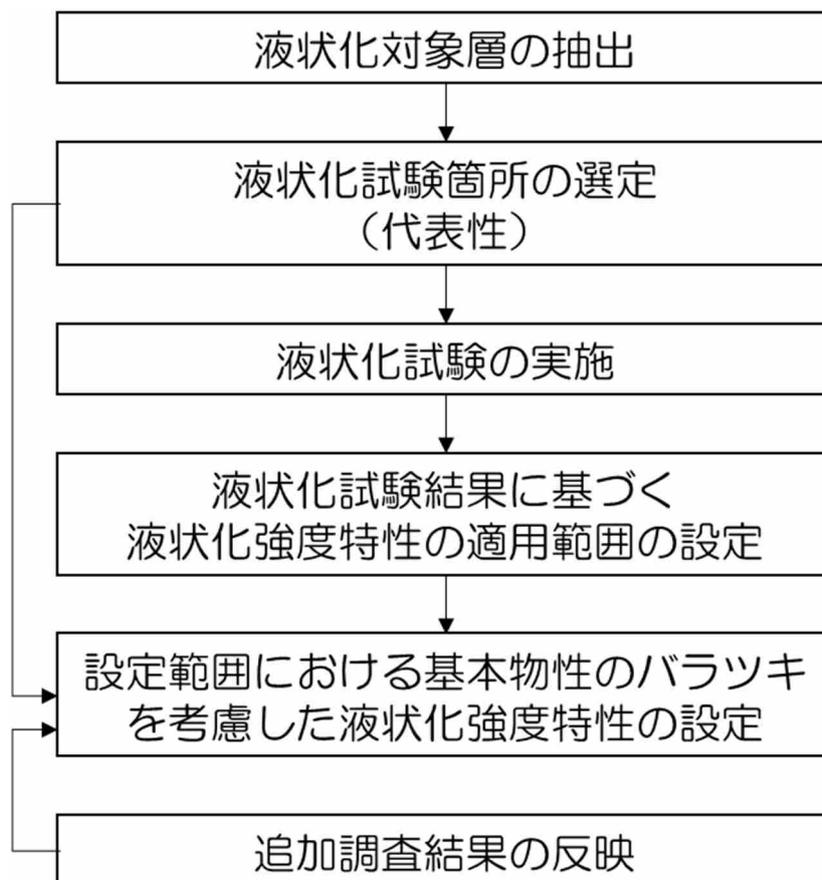
液状化試験の下限值に相当する液状化強度  $R_L$  は、A-1 地点の埋戻土層で 0.19、A-3 地点の新期砂層・沖積層で 0.55 となり、構造物影響評価の解析においては、これを満足するように液状化強度特性を設定する。

液状化試験個所が周辺調査個所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）については、液状化試験個所の基本物性が、周辺調査個所と同程度になってい

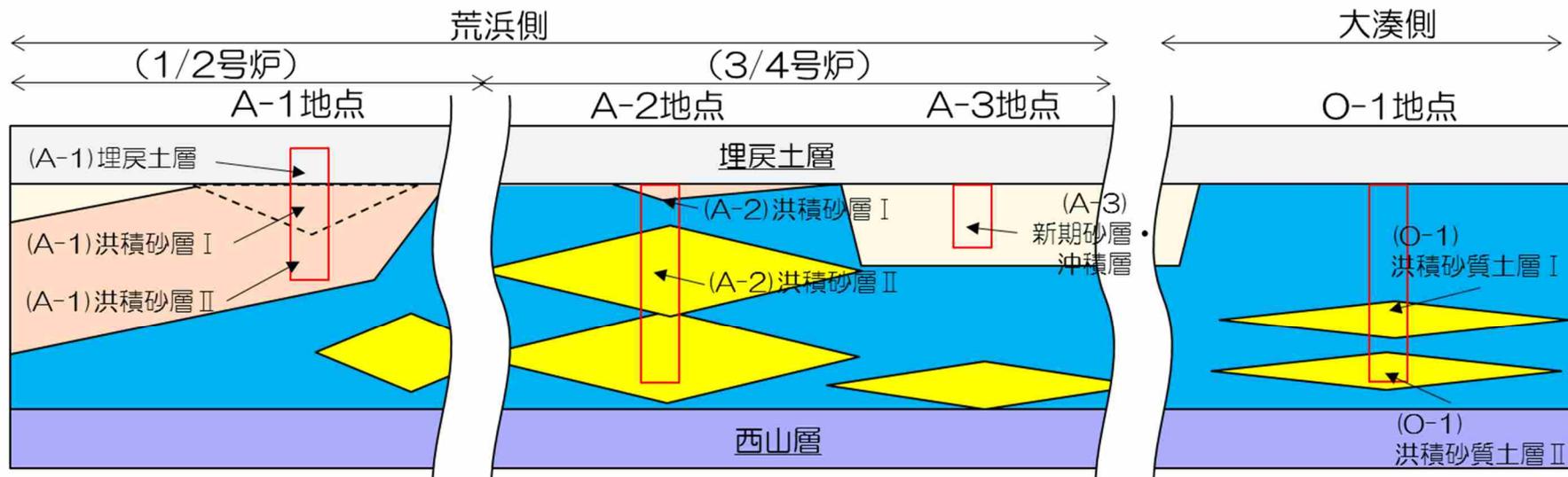
るところから、試験結果を各土層の代表値とすることは妥当であると考えられる。ただし、N 値のばらつきを液状化試験のばらつきと仮定して液状化強度  $R_L$  を保守的に低減させ、これを満足する液状化強度特性を設定する。具体的には、試験結果においてせん断ひずみ両振幅が 7.5%となる点に対して回帰曲線を求め、繰返し回数 20 回とせん断応力比を評価し、当該地層の N 値の平均値に対する平均値-1 $\sigma$ の値の比を乗して、N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度  $R_L$  として評価する。第 11-7-4 図に N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度  $R_L$  の評価結果を示す。

N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度  $R_L$  は、A-1 地点の洪積砂層 I で 0.53 (拘束圧 100kN/m<sup>2</sup>) 及び 0.34 (拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>)、A-1 地点の洪積砂層 II で 0.30 (拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>) 及び 0.29 (拘束圧 200kN/m<sup>2</sup>)、A-2 地点の洪積砂層 II で 0.36、O-1 地点の洪積砂質土層 I で 0.45、O-1 地点の洪積砂質土層 II で 0.45 となり、構造物影響評価の解析においては、これを満足するように液状化強度特性を設定する。

なお、第 3 章で述べるように追加試験を計画しており、追加調査の結果を適切に反映し、設定した液状化強度特性の保守性を確認する。また、必要に応じて液状化強度特性の見直しを実施する。



第 11-7-1 図 液状化強度特性の設定のフロー



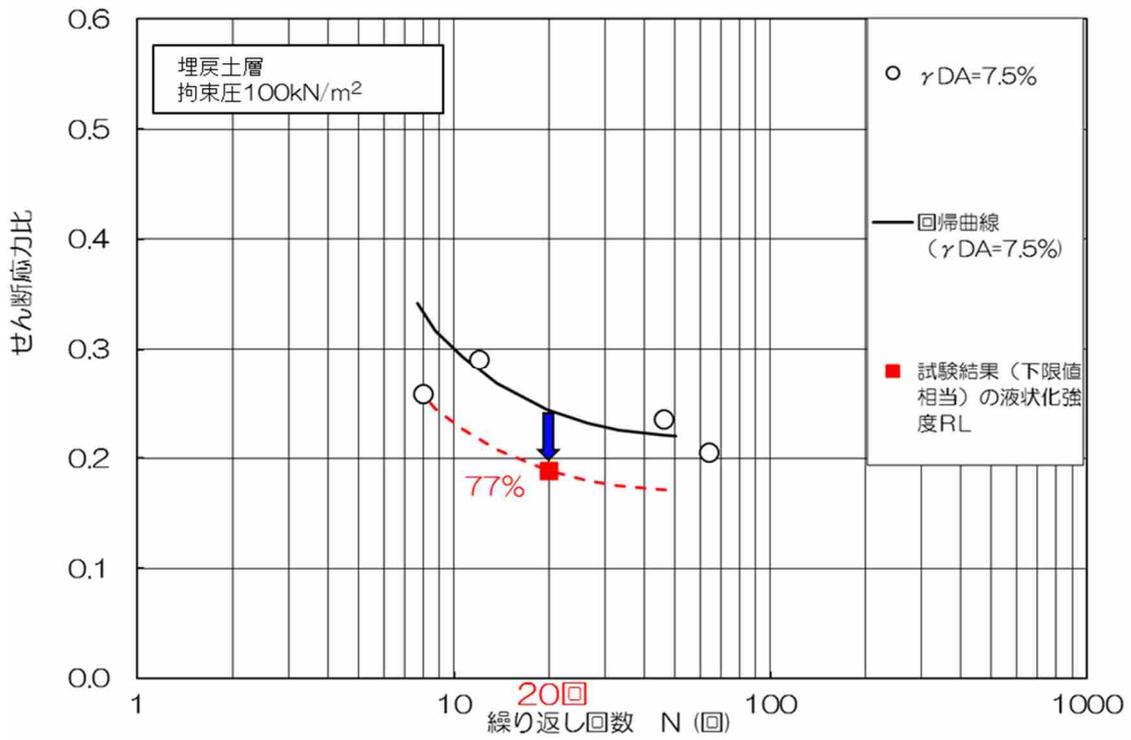
第 11-7-2 図 地質断面の概要と調査位置の概要

第 11-7-1 表 液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験個所の関係

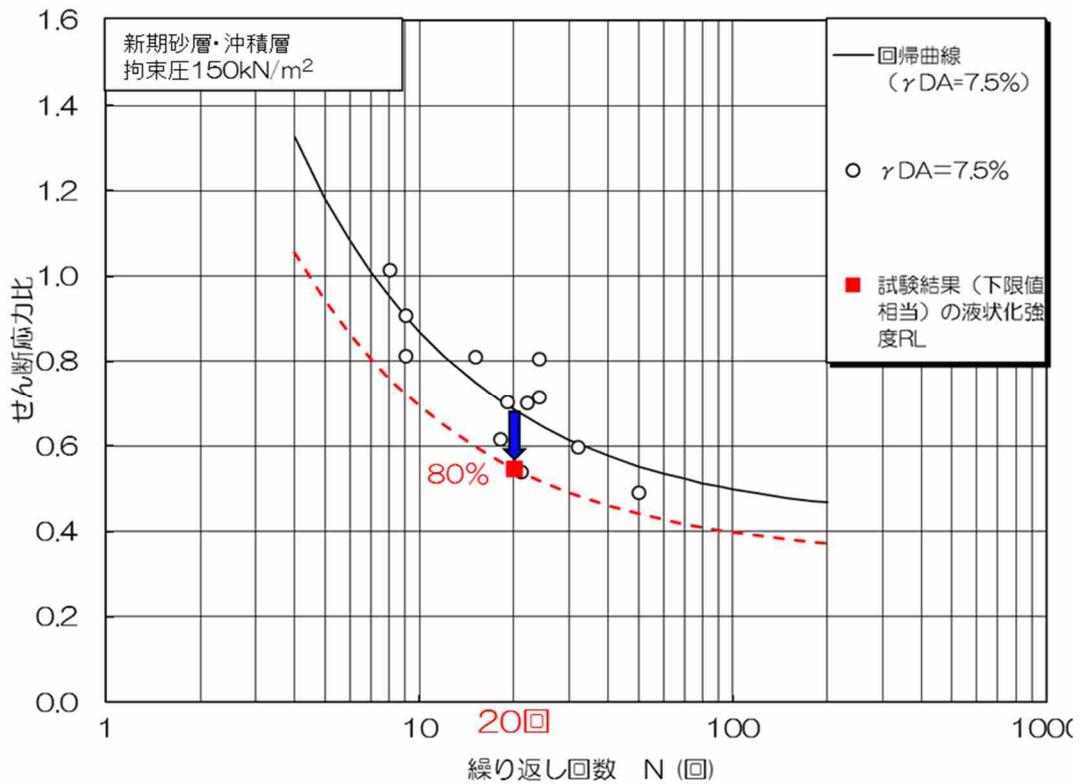
| 今回対象構造物 |          | (1号炉)            | (2号炉側)            | (3/4号炉側)           | 6/7号炉<br>取水路・軽油タンク基礎・GTG基礎等 |  |
|---------|----------|------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| 対象土層    | 埋戻土層     | A-1<br>埋戻土層      |                   |                    |                             |  |
|         | 新期砂層・沖積層 | A-3<br>新期砂層・沖積層  |                   | [追加調査]<br>新期砂層・沖積層 |                             |  |
|         | 古安田層     | 比較的<br>新しい<br>砂層 | N値<br>平均50以上      | A-1<br>洪積砂層Ⅰ       | (出現しない)                     |  |
|         |          |                  | N値<br>平均50以下      | A-1<br>洪積砂層Ⅱ       |                             |  |
|         |          | 比較的古い砂層          | A-2<br>洪積砂層Ⅱ (※2) |                    | 0-1<br>洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ (※2)       |  |
|         |          | 洪積粘性土層           | (非液状化層)           |                    |                             |  |
|         | 西山層      | (非液状化層)          |                   |                    |                             |  |

※1：3/4号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層については、試験結果が非液状化であるが、地層の同一性を考慮して、A-1地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

※2：古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層については、試験結果が非液状化であるが、念のため液状化強度特性を設定した構造物影響評価を実施する。液状化強度特性は、荒浜側についてはA-2地点の洪積砂層Ⅱ、大湊側については0-1地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

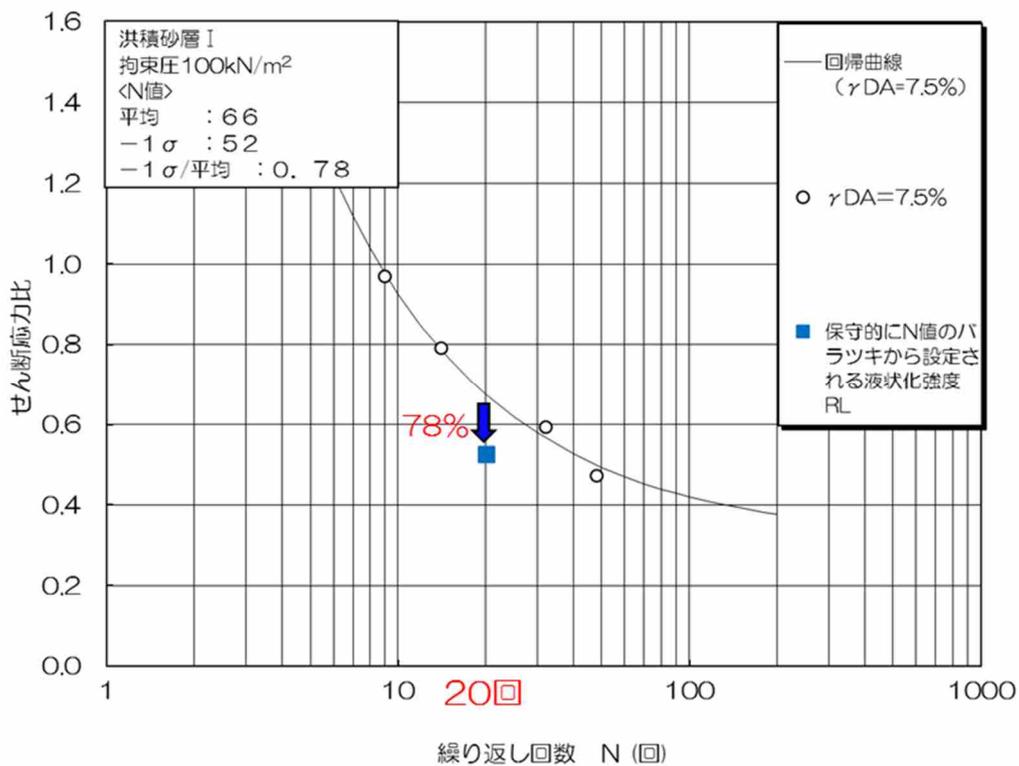


(a) 埋戻土層 (拘束圧 100kN/m<sup>2</sup>)

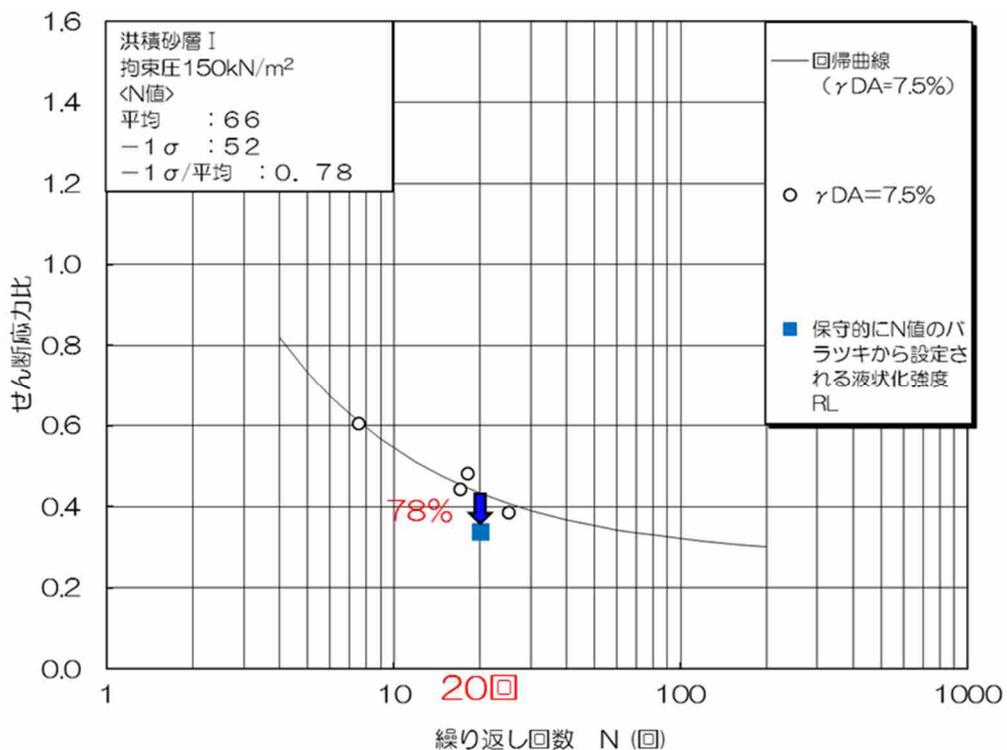


(b) 新期砂層・沖積層 (拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>)

第 11-7-3 図 液状化強度特性の設定  
(液状化試験結果の下限に相当する液状化強度  $R_L$ )



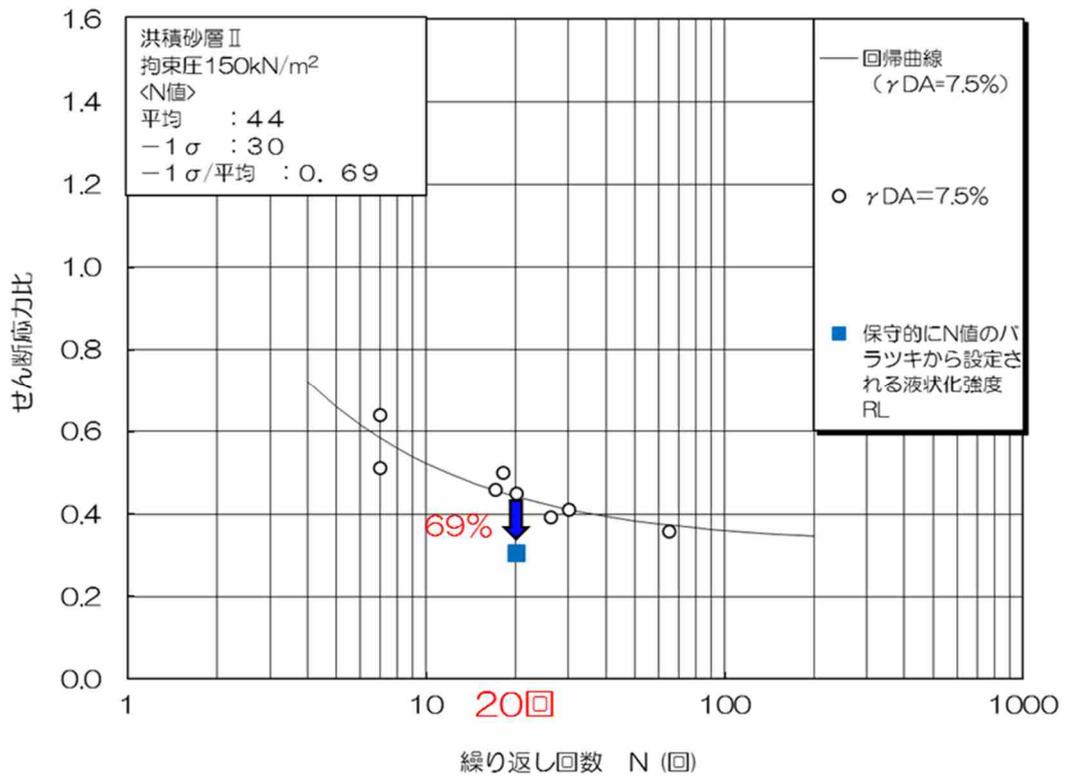
(a) A-1 地点の洪積砂層 I (拘束圧 100kN/m<sup>2</sup>)



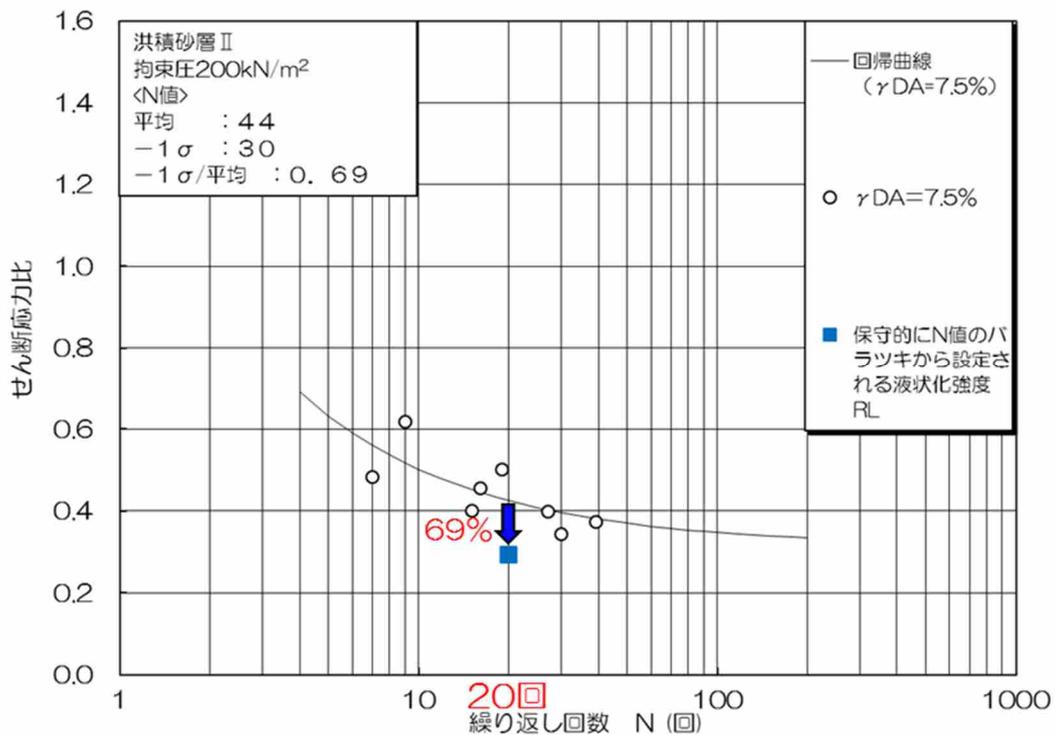
(b) A-1 地点の洪積砂層 I (拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度 R<sub>L</sub>)

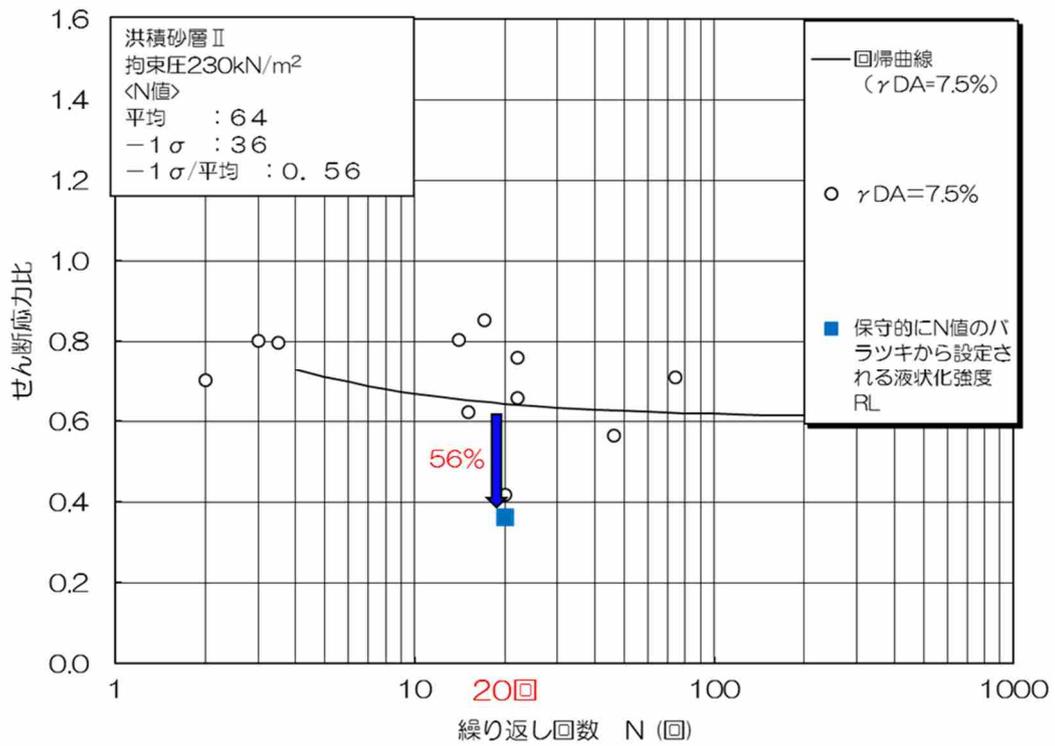


(c) A-1 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 150kN/m<sup>2</sup>)



(d) A-1 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 200kN/m<sup>2</sup>)

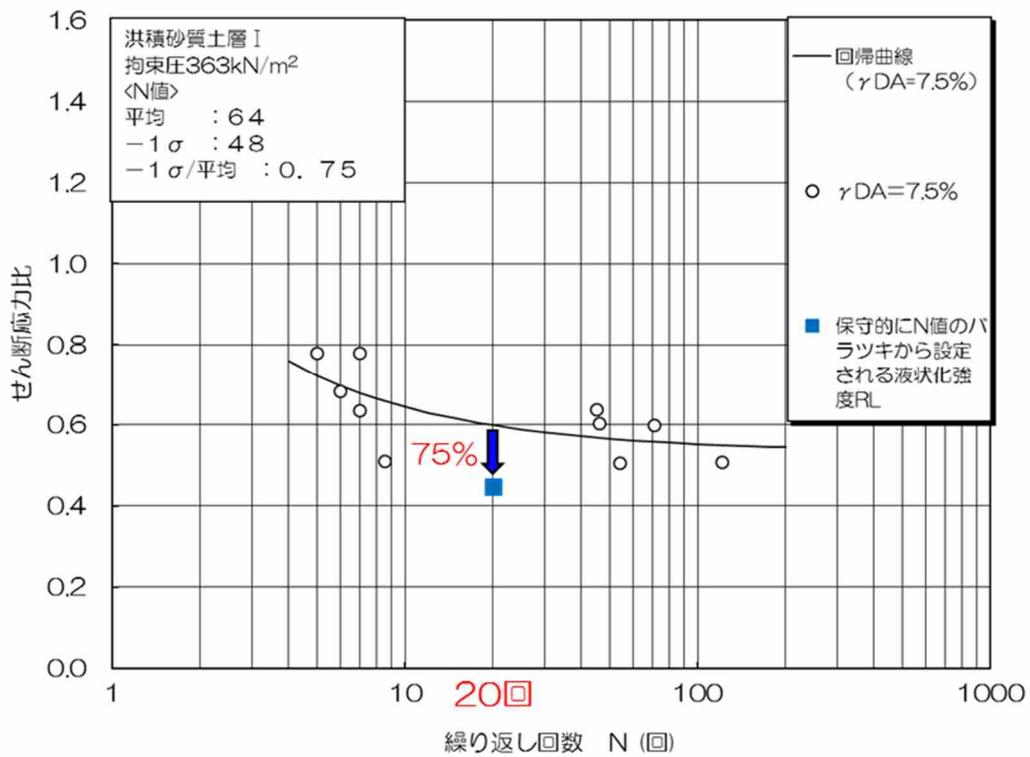
第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定  
(N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 RL)



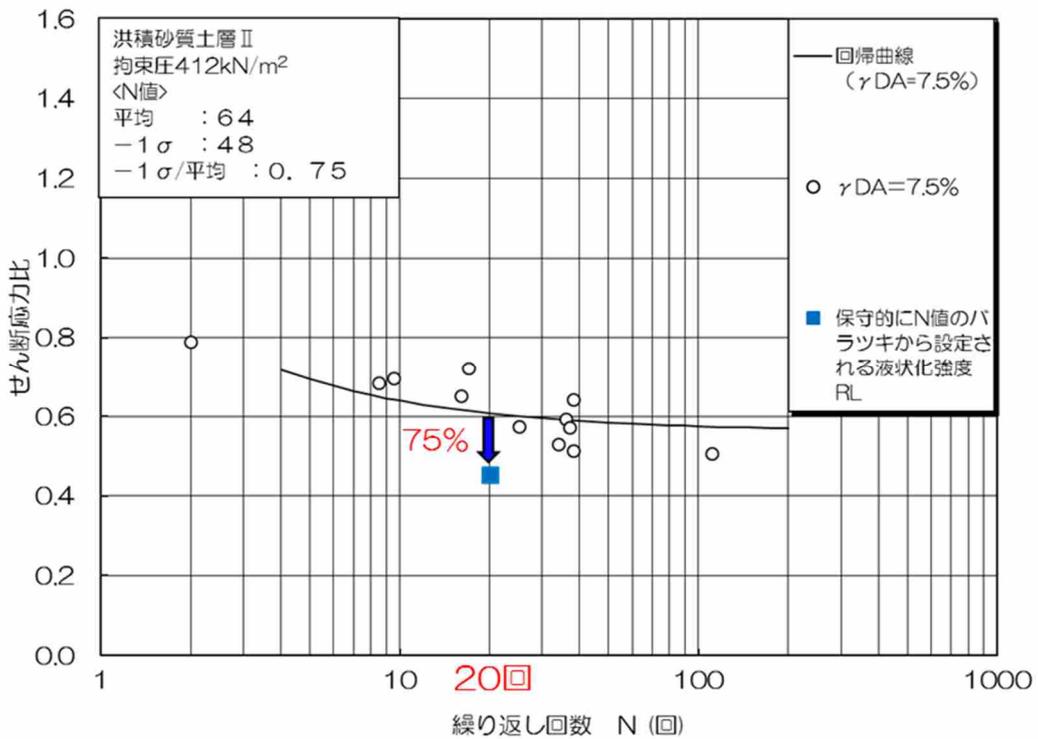
(e) A-2 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 230kN/m<sup>2</sup>)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度  $R_L$ )



(f) O-1 地点の洪積砂質土層 I (拘束圧 363kN/m<sup>2</sup>)



(g) O-1 地点の洪積砂質土層 II (拘束圧 412kN/m<sup>2</sup>)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 R<sub>L</sub>)

## 8. 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外となっている洪積層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『液状化』、『サイクリックモビリティ』及び『非液状化』と判定した。それぞれの試験結果に基づいて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。設定した液状化強度特性については、試験結果を基本に設定するが、基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。

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「FLIP」等を用いる。液状化試験結果に基づいて保守的に設定した液状化強度  $R_L$  を満足するように、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「FLIP」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「FLIP」を用いた解析を実施し、解析結果が室内試験結果と良い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「FLIP」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「FLIP」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「FLIP」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、2007年新潟県中越沖地震における取水路の鉛直変位等構造物の被害状況の再現性を検証することで確認する。また、構造物評価によっては、必要に応じて追加対策を実施する。

第 11-8-1 表 液状化評価の基本方針

| 本検討の対象砂層                      |              |                 | 道路橋示方書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<br>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                         |
| 埋戻土層                          | —            | A-1<br>埋戻土層     | ○<br>対象            | 液状化             | 試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。       | 試験結果を基本として、基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。 |
| 新期砂層<br>・沖積層                  | 完新世<br>(沖積層) | A-3<br>新期砂層・沖積層 |                    | サイクリック<br>モビリティ |                              |                                     |
| 古安田層<br>(古安田層<br>中の砂層が<br>対象) | 更新世<br>(洪積層) | 新しい             | ×<br>対象外           | 非液状化            | ※                            |                                     |
|                               |              |                 |                    |                 | A-1<br>洪積砂層 I<br>洪積砂層 II     | A-2<br>洪積砂層 I                       |
|                               |              | 古い              |                    | A-2<br>洪積砂層 II  | 0-1<br>洪積砂質土層 I<br>洪積砂質土層 II |                                     |
|                               |              |                 |                    |                 |                              |                                     |

※ A-2 地点の洪積砂層 I については非液状化であると考えられるが、A-1 地点の洪積砂層 I・II と同時代に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層 II と同程度であることを踏まえ、A-1 地点の洪積砂層 II の試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する

## 9. 設置許可段階における構造物評価の見通し

### 9.1 代表構造物の抽出

設置許可段階における構造物評価の見通しについて、代表構造物を選定した。第 11-9-1 表に設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定を示す。

地盤の液状化による構造物評価への影響としては、地中に埋設した構造物への影響が考えられることから、代表構造物の選定に当たっては基礎形式に着目し、直接基礎形式及び杭基礎形式のそれぞれから選定する。

直接基礎構造物には、取水路・スクリーン室、補機冷却用海水取水路がある。補機冷却用海水取水路はマンメイドロックを介して西山層に支持しているため、直接基礎の代表構造物としては、支持地盤が古安田層である「取水路・スクリーン室」を抽出する。

杭基礎構造物には、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び格納容器圧力逃がし装置基礎がある。地盤が液状化した場合には変形が大きくなる傾向となることから、杭基礎構造物が地盤の変形の影響を受ける程度に着目すると、杭部は杭長が長いほど、鉄筋コンクリート部は地中部の側面高さが高いほど影響が大きくなると考えられる。このため、杭基礎の代表構造物としては、杭長が他の構造物よりも長く、鉄筋コンクリート部の地中高さが高い「常設代替交流電源設備基礎」を抽出する。

選定した代表構造物について代表断面を選定し、代表断面について構造物影響評価を実施する。構造物評価の成立性及び必要に応じた追加対策は、代表断面における構造物評価の結果をそれ以外の位置・構造物の見通しに展開する。

第 11-9-1 表 設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定

| 設備分類      |           | 設備名称          | 基礎形式（杭長）   | 支持地盤              | 鉄筋コンクリート部の地中部の側面高さ | 構造概要       |
|-----------|-----------|---------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| 設計基準対象施設  | 屋外重要土木構造物 | 取水路・スクリーン室    | 直接基礎       | 古安田層              | —                  | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 補機冷却用海水取水路    | 直接基礎       | 西山層 <sup>※1</sup> | —                  | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 軽油タンク基礎       | 杭基礎（約 20m） | 西山層               | 約 1.5m             | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 燃料移送系配管ダクト    | 杭基礎（約 25m） | 西山層               | 約 3 m              | 鉄筋コンクリート構造 |
| 重大事故等対処施設 |           | 常設代替交流電源設備基礎  | 杭基礎（約 30m） | 西山層               | 約 8 m              | 鉄筋コンクリート構造 |
|           |           | 格納容器圧力逃がし装置基礎 | 杭基礎（約 30m） | 西山層               | 約 2.5m             | 鉄筋コンクリート構造 |

※1：マンメイドロックを介して西山層に支持

## 9.2 取水路

### 9.2.1 構造概要及び評価断面

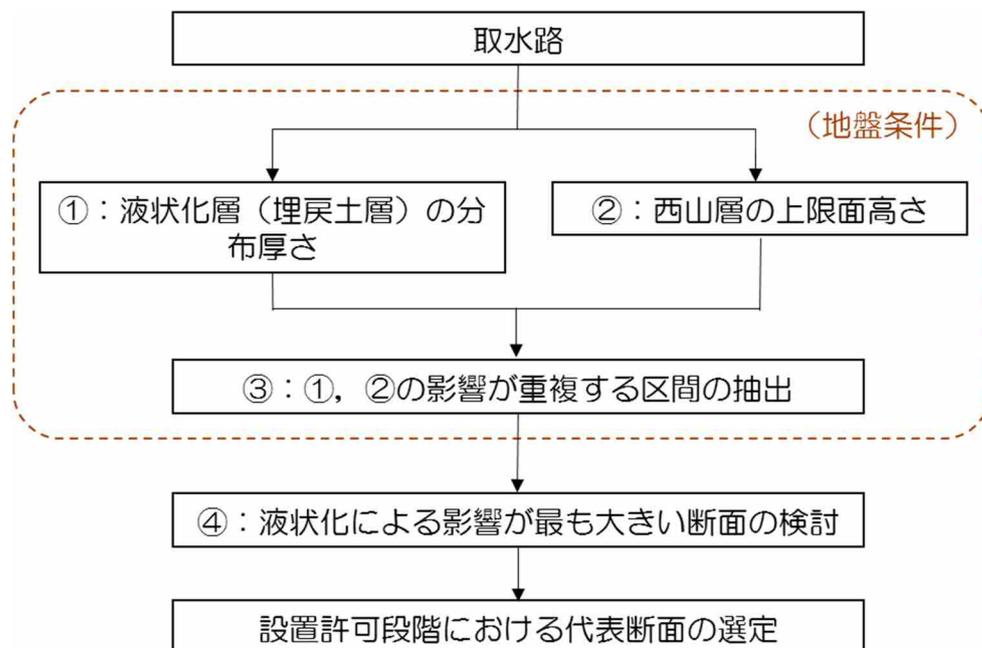
「取水路・スクリーン室」について液状化による設備への影響の見通しとして、液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し、構造物の評価を実施する。第 11-9-1 図に取水路における代表断面の選定フローを示す。

構造物評価への液状化の影響として、地盤条件の観点から①液状化層（埋戻土層）の分布厚さ、西山層より浅部の地盤での地震動増幅特性の観点から②西山層の上限面の高さに着目し、代表断面を選定する。

液状化層（埋戻土層）の分布厚さは、6/7号炉ともに取水路（一般部）から取水路（漸拡部）にかけて厚くなっている。西山層の上限面高さは、6号炉では取水路（一般部）において、7号炉ではスクリーン室から取水路（一般部）にかけて、深くなっている。両者の影響が重複する区間として、6/7号炉ともに取水路のうち一般部の区間が抽出される。詳細を第 11-9-2 図に示す。

6/7号炉の取水路（一般部）を比較すると、双方ともに取水路（一般部）の断面は古安田層を掘り込んでいるものの、7号炉の南側の側方は埋戻土層となっている。構造物側方に分布する古安田層の変形抑制効果を考慮すると、取水路（一般部）は、6号炉よりも7号炉の方が、液状化現象が構造物の耐震性に与える影響が大きいと考えられる。詳細を第 11-9-3 図に示す。

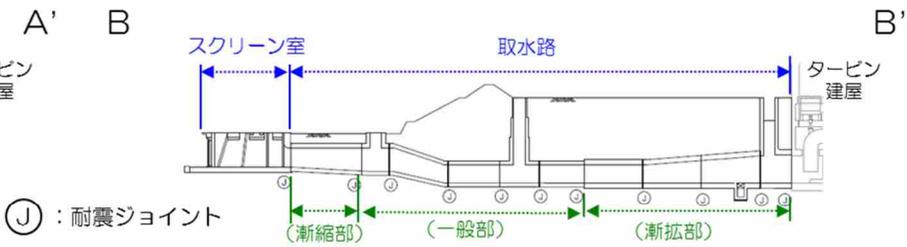
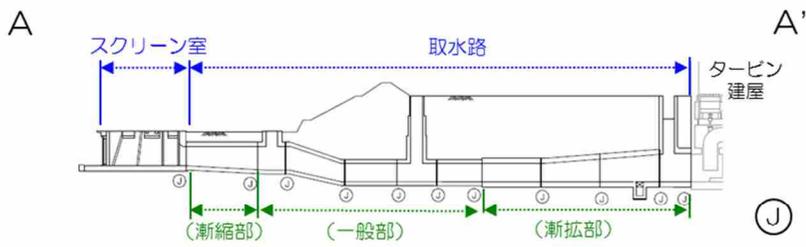
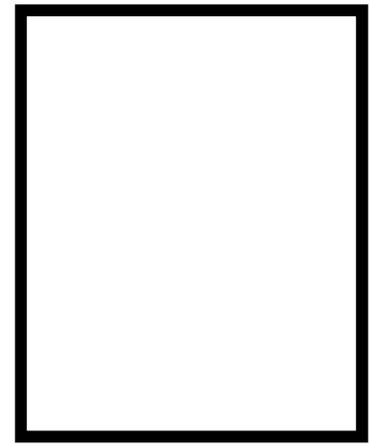
以上のことから、代表断面として、7号炉取水路（一般部）を選定し、2次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。



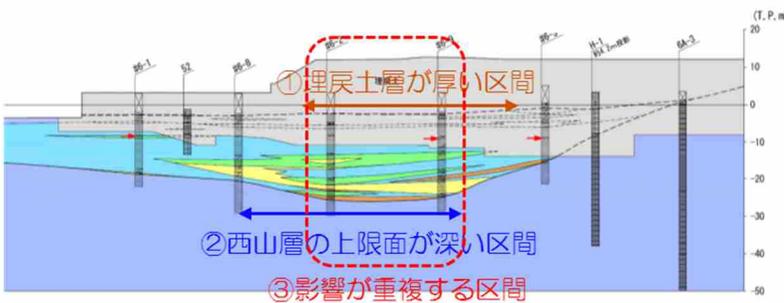
第 11-9-1 図 取水路における代表断面の選定フロー

凡例

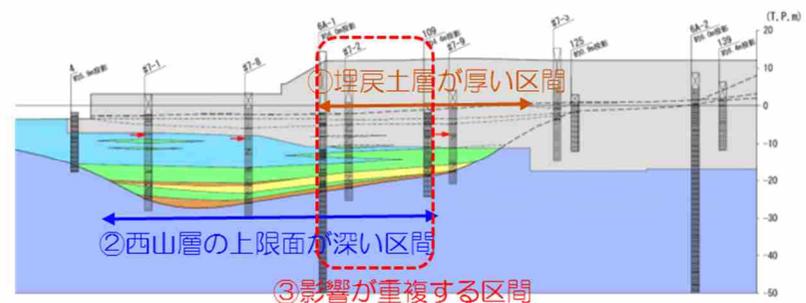
|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 埋戻土                         | ■ |
| 新期砂層・沖積層                    | ■ |
| 善神砂層・大湊砂層                   | ■ |
| A2～A3部層                     | ■ |
| 粘性土                         | ■ |
| 粘性土・砂質土互層                   | ■ |
| 砂質土                         | ■ |
| 古安田層                        | ■ |
| A2部層                        | ■ |
| 粘性土・砂質土互層                   | ■ |
| 砂質土                         | ■ |
| 礫層                          | ■ |
| A1部層                        | ■ |
| 粘性土                         | ■ |
| 粘性土・砂質土互層                   | ■ |
| 古安田層 A2部層中の<br>灰白色細粒ガラス質火山灰 | → |
| 西山層                         | ■ |



Ⓧ：耐震ジョイント

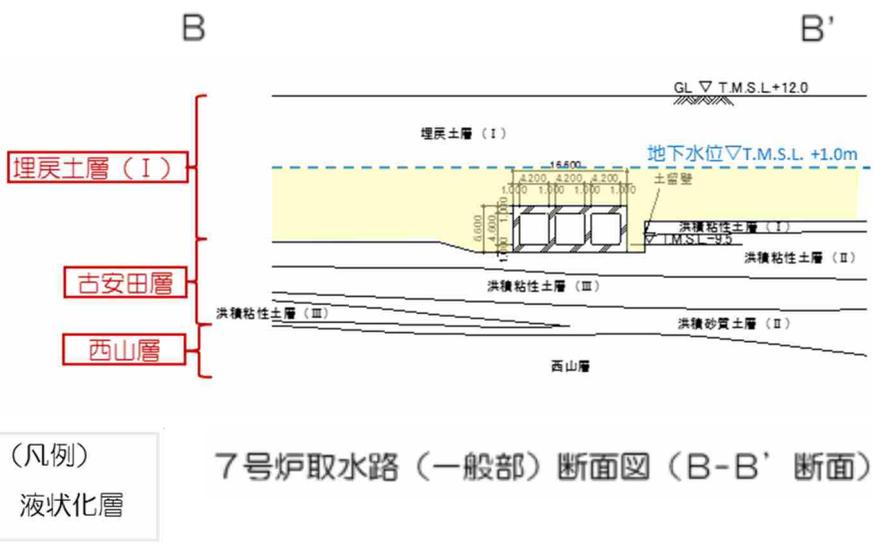
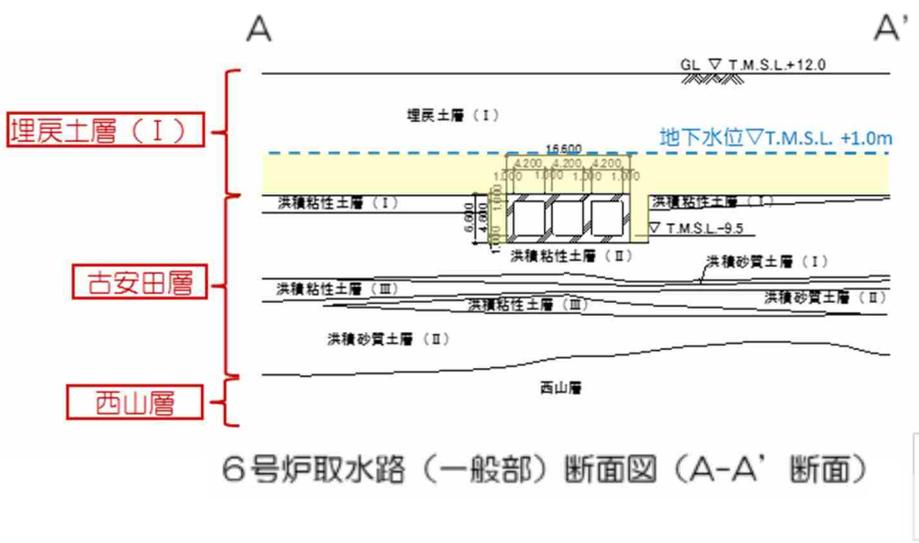
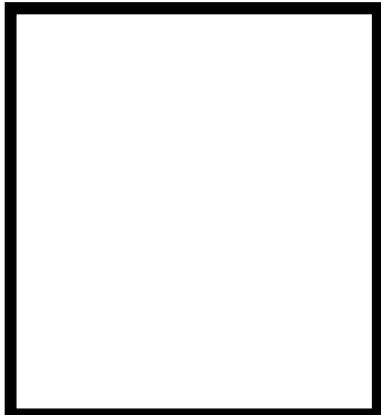


6号炉取水路縦断図 (A-A' 断面)



7号炉取水路縦断図 (B-B' 断面)

第 11-9-2 図 取水路における代表断面



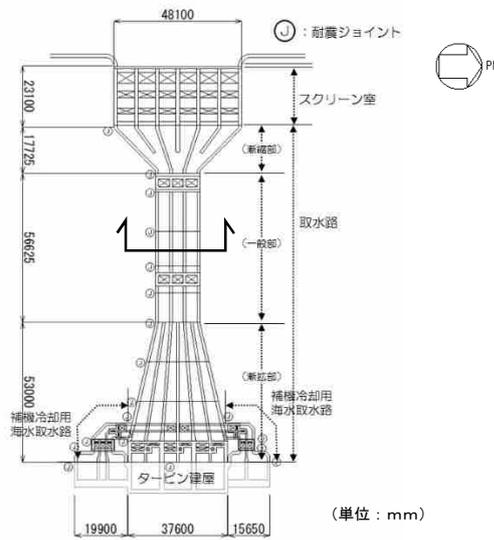
(凡例)  
 液状化層

第 11-9-3 図 取水路における代表断面

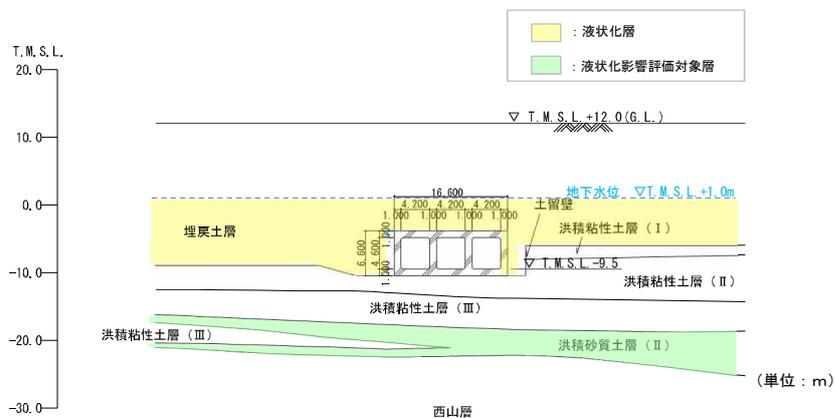
### 9.2.2 評価方針

取水路は、設計基準対象施設のうち屋外重要土木構造物に分類される鉄筋コンクリート製の地中埋設構造物である。7号炉取水路の平面図を第11-9-4図に、一般部の断面図を第11-9-5図に示す。

取水路の耐震評価では、設計基準対象施設として第11-9-2表の項目に示す評価を行う。構造部材の健全性評価については、地震応答解析に基づく鉄筋コンクリートの発生応力等が許容限界を超えないことを確認する。また、基礎地盤の支持性能については、鉛直方向の最大合力（最大鉛直力）が許容限界を超えないことを確認する。取水路の評価フローを第11-9-6図に示す。



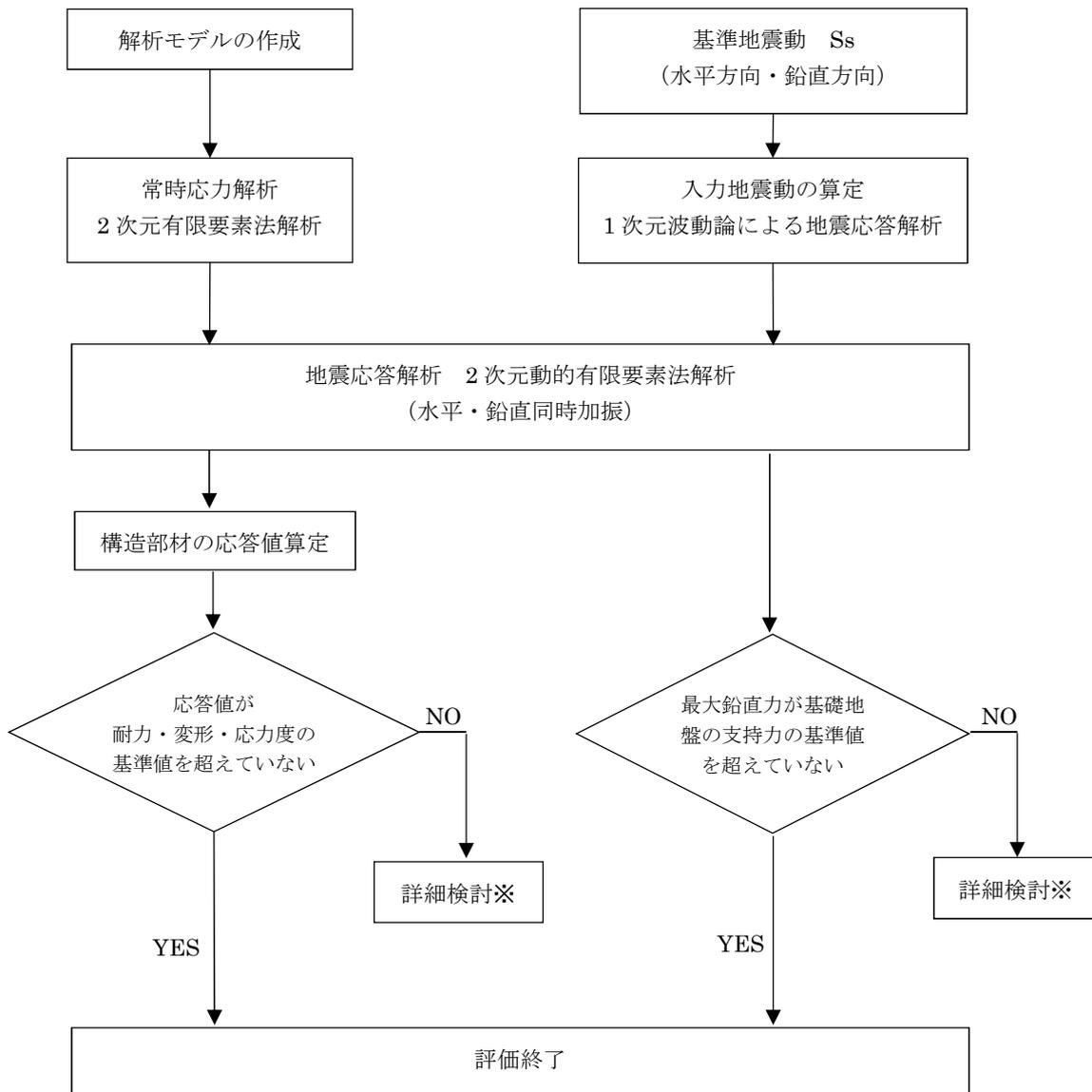
第11-9-4図 7号炉取水路平面図



第11-9-5図 7号炉取水路（一般部）断面図

第 11-9-2 表 取水路の評価項目

| 評価方針       | 評価項目      | 地震力         | 部位       | 評価方法                     | 許容限界           |
|------------|-----------|-------------|----------|--------------------------|----------------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性  | 基準地震動 $S_s$ | 鉄筋コンクリート | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認     | 限界層間変形角, せん断耐力 |
|            | 基礎地盤の支持性能 | 基準地震動 $S_s$ | 基礎地盤     | 鉛直方向の最大合力が許容限界を超えないことを確認 | 極限支持力          |



※検討の内容に応じて、必要なプロセスへ戻る

第 11-9-6 図 取水路の評価フロー

### 9.2.3 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005年6月
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年制定）
- ・ 道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（(社)日本道路協会，平成14年3月）
- ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説（(社)日本港湾協会，2007年版）

### 9.2.4. 評価条件

#### 9.2.4.1 解析方法

地震応答解析は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて，基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形応答解析を行う。取水路の側方及び上方は埋戻土層で囲まれていることから，過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，有効応力モデルを用いる。

地震応答解析は，埋戻土層の液状化の影響を考慮する必要があるため，解析コード「FLIP Ver.7.2.3\_5」を使用する。

#### (1) 構造部材

取水路の構造部材は，非線形はり要素でモデル化し，曲げモーメントー曲率関係の非線形性を修正武田モデルで考慮する。

#### (2) 地盤

地盤は，Hardin-Drnevich モデルを適用し，動せん断弾性係数及び減衰定数の非線形特性を考慮する。

#### (3) 減衰定数

減衰特性は，固有値解析にて求まる固有振動数及び減衰比に基づく Rayleigh 減衰と，地盤及び構造物の履歴減衰を考慮する。

#### 9.2.4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、以下のとおり設定する。

##### (1) 耐震安全性評価上考慮する状態

取水路の耐震安全性評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

###### a. 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態とする。

ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

###### b. 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

###### c. 設計用自然条件

地中埋設構造物であることから、積雪及び風は考慮しない。

###### d. 重大事故時の状態

重大事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (2) 荷重

地震応答解析において考慮する荷重を以下に示す。

###### a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、構造物及び内水の自重を考慮する。

###### b. 地震荷重 ( $K_{Ss}$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  による地震力を考慮する。

##### (3) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 11-9-3 表に示す。

第 11-9-3 表 荷重の組合せ

| 外力の状態         | 荷重の組合せ       |
|---------------|--------------|
| 地震時 ( $S_s$ ) | $G + K_{Ss}$ |

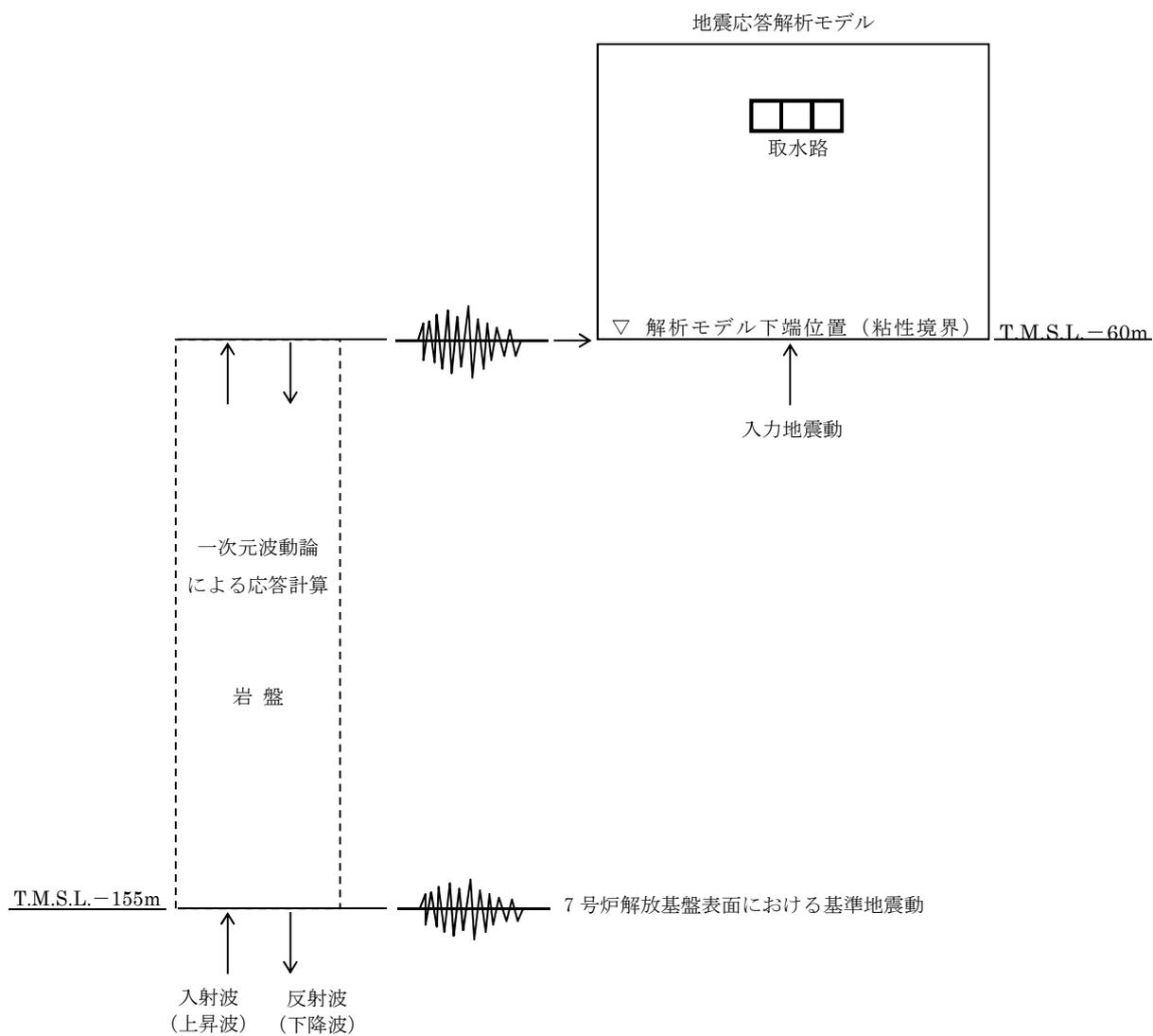
ここで,  $G$  : 固定荷重

$K_{Ss}$  : 地震荷重

### 9.2.4.3 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を、1次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価したものをを用いる。

入力地震動の算定には、解析コード「SLOK Ver2.0」を使用する。入力地震動算定の概念図を第 11-9-7 図に示す。



第 11-9-7 図 入力地震動算定の概念図

#### 9.2.4.4 解析モデル

地震応答解析モデルを第 11-9-8 図に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、側面境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側面境界及び底面境界との距離を十分に広く設定する。

##### (2) 境界条件

解析領域の側面及び底面には、エネルギーの逸散効果を評価するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

構造物は、非線形はり要素でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

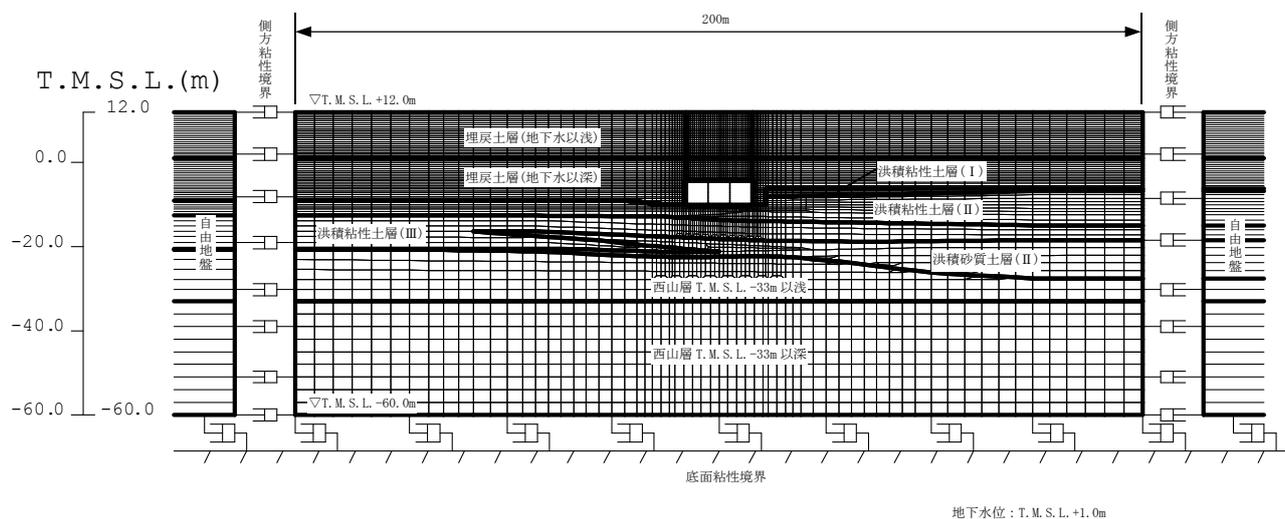
地盤は、地質区分に基づき、平面ひずみ要素でモデル化する。

##### (5) ジョイント要素

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。

##### (6) 水位条件

取水路周辺の残留水位は、地震荷重に伴う液状化による変形を保守的に考慮するために、朔望平均満潮位 (T.M.S.L.+0.49m) に余裕を考慮した T.M.S.L.+1.00m とする。



第 11-9-8 図 地震応答解析モデル

#### 9.2.4.5 使用材料及び材料の物性値

##### (1) 構造物の物性値

使用材料を第 11-9-4 表に，材料の物性値を第 11-9-5 表に示す。

第 11-9-4 表 使用材料

| 材料     | 諸元                                                     |
|--------|--------------------------------------------------------|
| コンクリート | 設計基準強度 23.5N/mm <sup>2</sup> (240kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| 鉄筋     | SD345 相当 (SD35)                                        |

第 11-9-5 表 材料の物性値

| 材料     | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比             |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| コンクリート | 24 <sup>*1</sup>               | 25 <sup>*2</sup>               | 0.2 <sup>*2</sup> |
| 鉄筋     |                                | 200 <sup>*2</sup>              | 0.3 <sup>*2</sup> |

※1 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

※2 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)」に基づき設定する

(2) 地盤の物性値

a. 液状化試験の結果

液状化層と判定する埋戻土層と非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータは、繰返しねじりせん断試験結果より設定する。

埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値を第 11-9-6 表に示す。

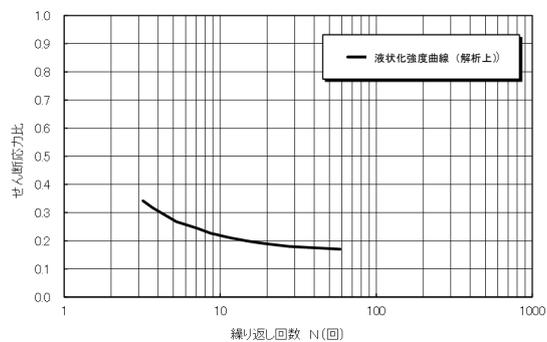
試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を第 11-9-9 図に、液状化パラメータを第 11-9-7 表に示す。なお、液状化特性が保守的（液状化しやすい）に評価されるように、液状化パラメータを設定する（試験結果より繰返し回数が少ない状態で同程度のひずみが発生するように設定することから、液状化が発生しやすい設定となっている）。

第 11-9-6 表 試験結果  
(埋戻土層)

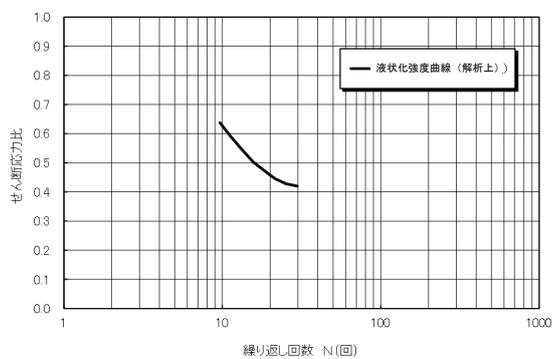
|       | 必要とする物性値              |           |          | 物性値            |
|-------|-----------------------|-----------|----------|----------------|
|       | 名称                    | 記号        | 単位       |                |
| 物理的性質 | 単位体積重量                | $\rho$    | $t/m^3$  | 2.00           |
|       | 間隙率                   | $n$       | —        | 0.41           |
| 力学的性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —         | —        | 第11-9-9図<br>参照 |
|       | せん断弾性係数               | $G_{ma}$  | $kN/m^2$ | 5.11E+04       |
|       | 内部摩擦角                 | $\phi$    | °        | 41.1           |
|       | 粘着力                   | $C$       | $kN/m^2$ | 0.0            |
|       | 履歴減衰上限値               | $h_{max}$ | —        | 0.271          |

(洪積砂質土層（Ⅱ）)

|       | 必要とする物性値              |           |          | 物性値            |
|-------|-----------------------|-----------|----------|----------------|
|       | 名称                    | 記号        | 単位       |                |
| 物理的性質 | 単位体積重量                | $\rho$    | $t/m^3$  | 1.90           |
|       | 間隙率                   | $n$       | —        | 0.53           |
| 力学的性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —         | —        | 第11-9-9図<br>参照 |
|       | せん断弾性係数               | $G_{ma}$  | $kN/m^2$ | 2.07E+05       |
|       | 内部摩擦角                 | $\phi$    | °        | 45.0           |
|       | 粘着力                   | $C$       | $kN/m^2$ | 0.0            |
|       | 履歴減衰上限値               | $h_{max}$ | —        | 0.155          |



(埋戻土層)



(洪積砂質土層 (II))

第 11-9-9 図 液状化強度曲線

第 11-9-7 表 液状化パラメータ

| 液状化パラメータ   | $\phi_p(^{\circ})$ | $w_1$ | $p_1$ | $p_2$ | $c_1$ | $S_1$ |
|------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 埋戻土層       | 28.0               | 2.400 | 0.500 | 0.800 | 1.920 | 0.005 |
| 洪積砂質土層(II) | 28.0               | 4.600 | 0.500 | 0.600 | 3.910 | 0.005 |

b. 解析用地盤物性値

地盤の物性値を第 11-9-8 表に示す。埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値については、地震時における過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため、繰返しねじりせん断試験を基に設定した液状化特性を設定する。

第 11-9-8 表 地盤の物性値

| パラメータ          |                                     | 埋戻土層<br>(地下水以浅) | 埋戻土層<br>(地下水以深) | #67洪積<br>粘性土層Ⅰ | #67洪積<br>粘性土層Ⅱ | #67洪積<br>粘性土層Ⅲ | #67洪積<br>砂質土層Ⅱ | 西山層TMSL<br>-33m以浅 | 西山層TMSL<br>-33m以深 |   |
|----------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|---|
| 動的<br>変形<br>特性 | 単位体積重量 $\rho$ ( $t/m^3$ )           | 1.90            | 2.00            | 1.82           | 1.80           | 1.86           | 1.90           | 1.73              | 1.69              |   |
|                | 間隙率 $n$                             | 0.41            | 0.41            | 0.51           | 0.51           | 0.48           | 0.53           | 0.56              | 0.56              |   |
|                | せん断波速度 $V_s$ (m/sec)                | —               | —               | 230            | 250            | 290            | 330            | 490               | 530               |   |
|                | せん断弾性係数 $G_{ms}$ ( $kN/m^2$ )       | 5.11E+04        | 5.11E+04        | 9.63E+04       | 1.13E+05       | 1.56E+05       | 2.07E+05       | 4.15E+05          | 4.75E+05          |   |
|                | 体積弾性係数 $K_{ms}$ ( $kN/m^2$ )        | 1.33E+05        | 1.33E+05        | 2.51E+05       | 2.95E+05       | 4.07E+05       | 5.40E+05       | 1.08E+06          | 1.24E+06          |   |
|                | 基準化拘束圧 $\sigma_{ms}^*$ ( $kN/m^2$ ) | 98.0            | 98.0            | 98.0           | 98.0           | 98.0           | 190.0          | 98.0              | 98.0              |   |
|                | 拘束圧依存の係数 $m_c, m_k$                 | 0.667           | 0.667           | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0.500          | 0.000             | 0.000             |   |
|                | ポアソン比 $\nu$                         | 0.33            | 0.33            | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33              | 0.33              |   |
|                | 粘着力 $C$ ( $kN/m^2$ )                | 10.8            | 0.0             | 0.0            | 191.0          | 218.0          | 0.0            | —                 | —                 |   |
|                | 内部摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )           | 33.8            | 41.1            | 33.0           | 27.3           | 27.9           | 45.0           | Cu=1370-5.04Z     | Cu=1370-5.04Z     |   |
|                | 履歴減衰上限値 $h_{max}$                   | 0.271           | 0.271           | 0.144          | 0.087          | 0.087          | 0.155          | 0.257             | 0.257             |   |
|                | 変相角 $\phi_p$ ( $^\circ$ )           | —               | 28.0            | —              | —              | —              | 28.0           | —                 | —                 |   |
|                | 液状<br>化特<br>性                       | 液状化パラメータ        | $w_1$           | —              | 2.400          | —              | —              | —                 | 4.600             | — |
| $p_1$          |                                     |                 | —               | 0.500          | —              | —              | —              | 0.500             | —                 | — |
| $p_2$          |                                     |                 | —               | 0.800          | —              | —              | —              | 0.600             | —                 | — |
| $c_1$          |                                     |                 | —               | 1.920          | —              | —              | —              | 3.910             | —                 | — |
| $S_1$          |                                     |                 | —               | 0.005          | —              | —              | —              | 0.005             | —                 | — |

c. ジョイント要素の設定

構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向、接線方向に分けて設定する。法線方向では、常時状態における鉛直応力以上の引張が生じた場合、剛性及び応力をゼロとして剥離を考慮する。接線方向では、構造物と地盤のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。静止摩擦角  $\phi_f$  は Mohr-Coulomb 式により規定される。C,  $\phi$  は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 14 年 3 月）」（第 11-9-9 表）に基づき、第 11-9-10 表に示すとおり設定する。

第 11-9-9 表 摩擦角と付着力（日本道路協会）

| 条 件                | 摩擦角 $\phi_B$ (摩擦係数 $\tan \phi_B$ )     | 付着力 $c_B$            |
|--------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 土とコンクリート           | $\phi_B = \frac{2}{3} \phi$            | $c_B = 0$            |
| 土とコンクリートの間に栗石を敷く場合 | $\tan \phi_B = 0.6$<br>$\phi_B = \phi$ | } の小さい方<br>$c_B = 0$ |
| 岩とコンクリート           | $\tan \phi_B = 0.6$                    |                      |
| 土と土又は岩と岩           | $\phi_B = \phi$                        | $c_B = c$            |

ただし、 $\phi$ : 支持地盤のせん断抵抗角 ( $^\circ$ )  $c$ : 支持地盤の粘着力 ( $kN/m^2$ )

第 11-9-10 表 ジョイント要素の強度特性

|           | 粘着力 C ( $kN/m^2$ ) | 内部摩擦角 ( $^\circ$ ) |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 埋戻土層      | 0                  | 27.4               |
| 洪積粘性土層（Ⅱ） | 0                  | 18.2               |

ジョイント要素のばね定数は，数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として，港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い， $k_n=k_s=1.0 \times 10^6(\text{kN/m}^3)$ とする。

### (3) 荷重の入力方法

#### a. 固定荷重

固定荷重である自重は，鉄筋コンクリートの単位体積重量を踏まえ，構造物の断面の大きさに応じて算定する。

#### b. 地震荷重

地震荷重である地震力は9.2.4.3章にて設定している入力地震動をモデル底面に入力する。

#### 9.2.4.6 許容限界

##### (1) 曲げに対する許容限界

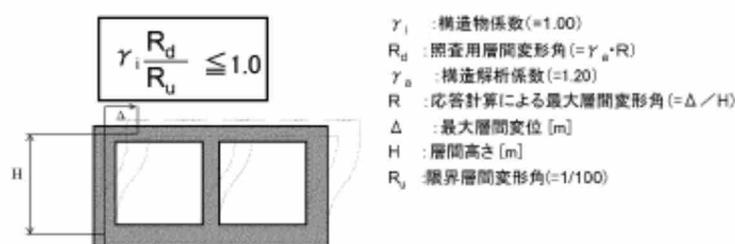
曲げに対する照査は第 11-9-10 図に示すとおり、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005 年 6 月」（以下「土木学会マニュアル」とする）に基づき，照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認する。

土木学会マニュアルでは，曲げ系の破壊に対する限界状態は，コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされている。

圧縮縁コンクリートひずみが 1%の状態及び層間変形角 1/100 に至る状態は，かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが，屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。これらの状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。土木学会マニュアルに従い，層間変形角が 1/100 以下であれば，圧縮縁コンクリートひずみが 1%の状態以下であると判断できるため，許容限界を 1/100 と設定する。

また，曲げ照査に用いる照査用層間変形角は，地震応答解析により得られた層間変形角に安全係数（構造物解析係数）1.2 を乗じる。したがって，当該値を許容限界として設定することで，曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

なお，曲げに対する照査については，最大の水平相対変位が生じる時刻について，層間変形角による評価を実施する。



第 11-9-10 図 層間変形角による曲げ照査

(2) せん断に対する許容限界

せん断に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、「せん断耐力評価式（等価せん断スパン比）を用いた方法」により算定する。

a. せん断耐力評価式を用いたせん断耐力評価

1) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここに、 $V_{cd}$ ：コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sd}$ ：せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72(\text{N/mm}^2)$ となる場合は $f_{vcd} = 0.72(\text{N/mm}^2)$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{となる場合は} \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100P_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{となる場合は} \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_o/M_d (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{となる場合は} \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_o/M_d (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{となる場合は} \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{\alpha/d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \text{となる場合は} \beta_a = 1.0$$

$f'_{cd}$ ：コンクリート圧縮強度の設計用値( $\text{N/mm}^2$ )で設計基準強度 $f'_{ck}$ を材料係数 $\gamma_{mc}(1.3)$ で除したもの

$P_v = A_s/(b_w \cdot d)$ ：引張鉄筋比

$A_s$ ：引張側鋼材の断面積

$b_w$ ：部材の有効幅

$d$ ：部材の有効高さ

$N'_d$ ：設計軸圧縮力

$M_d$ ：設計曲げモーメント

$M_o = N'_d \cdot D/6$ ： $M_d$ に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打消すのに必要なモーメント(デコンプレッションモーメント)

$D$ ：断面高さ

$\alpha/d$ ：せん断スパン比

$\gamma_{bc}$ ：部材係数(1.3)

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z / \gamma_{bs}$$

$A_w$ ：区間  $s$  におけるせん断補強鉄筋の総断面積

$f_{wyd}$ ：せん断補強鉄筋の降伏強度を材料係数 $\gamma_{ms}(1.0)$ で除したもので、400N/

mm<sup>2</sup>以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 $f'_{ck}$ が 60N/mm<sup>2</sup>以上のときは、800N/mm<sup>2</sup>以下とする。

$\alpha$  : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角

$s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で  $d/1.15$  とする。

$\gamma_{bs}$  : 部材係数(1.1)

## 2) ディープビーム式

$$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$$

ここに、  $V_{cda}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sda}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cda} = \beta_a \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{da} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_a = \sqrt[4]{1/d} \quad \text{ただし、} \beta_a > 1.5 \text{ となる場合は} \beta_a = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100P_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は} \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1+(\alpha/d)^2}$$

$\gamma_{bc}$  : 部材係数(1.3)

$$V_{sda} = \varphi \cdot V_{sd}$$

$$\varphi = -0.17 + 0.3a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし、} 0 \leq \varphi \leq 1$$

$p_{wb}$  : せん断補強鉄筋比(%)

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能な  $\beta_a$  を考慮している。これは、地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の载荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式における評価においては、複数の安全係数（部材係数、構造解析係数）を見込む。

なお、せん断に対する照査については、地震応答解析において部材のせん断照査が厳しくなる時刻（層間変形角最大時刻）について、土木学会マニュアルに基づき、等価せん断スパンを考慮した照査手法を用いて評価を実施する。層間変形角が最大となる時刻と、せん断力が最大となる時刻の整合性は、補足確認する。

### (3) 安全係数の考え方

耐震安全性評価に当たっては、構造部材の曲げ照査については限界層間変形角を、構造部材のせん断照査についてはせん断耐力を許容限界値とした終局状態を想定した評価を実施する。

耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。

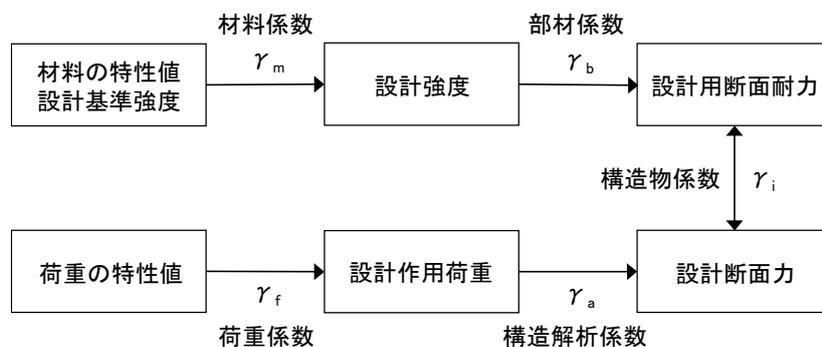
安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第11-9-11図に示す。

安全係数の設定については、取水路の構造的な特徴を踏まえ、その適用性を判断した上で参考とする規格・基準類を9.2.3章から選定した。

第11-9-11表に、曲げ及びせん断照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。

安全係数については、各規格・基準類で、必ずしも一定の値が定められているわけではないことから、取水路の特徴、耐震評価における解析手法及び物性値の設定根拠等を考慮し、第11-9-11表に示すとおり設定する。

また、地盤物性のばらつきの考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差( $\sigma$ )のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。



※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

第11-9-11図 安全係数の考え方

第 11-9-11 表(1) 曲げ評価において考慮する安全係数

| 安全係数   |            | 値    | 設定根拠                                                |
|--------|------------|------|-----------------------------------------------------|
| 材料係数   | $\gamma_m$ | 1.00 | 地震応答解析により応答値を求めていることから、照査手法に整合する適用規格より設定            |
| 部材係数   | $\gamma_b$ | 1.00 | 適用規格に基づき、限界層間変形角の設定に当たっては保守的な配慮が行われていることから設定        |
| 構造物係数  | $\gamma_i$ | 1.00 | 適用規格に基づき、基準地震動 $S_s$ による地震力を適用することで十分に考慮されていることから設定 |
| 荷重係数   | $\gamma_f$ | 1.00 | 適用規格より設定                                            |
| 構造解析係数 | $\gamma_a$ | 1.20 | 適用規格より設定                                            |

第 11-9-11 表(2) せん断評価において考慮する安全係数

| 安全係数   |        |               | 値    | 設定根拠                                               |
|--------|--------|---------------|------|----------------------------------------------------|
| 材料係数   | コンクリート | $\gamma_{mc}$ | 1.30 | 適用規格より設定                                           |
|        | 鉄筋     | $\gamma_{ms}$ | 1.00 | 適用規格より設定                                           |
| 部材係数   | コンクリート | $\gamma_{bc}$ | 1.30 | 適用規格より設定                                           |
|        | 鉄筋     | $\gamma_{bs}$ | 1.10 | 適用規格より設定                                           |
| 構造物係数  |        | $\gamma_i$    | 1.00 | 適用規格に基づき、基準地震動 $S_s$ による地震力を適用することで十分に考慮されているとして設定 |
| 荷重係数   |        | $\gamma_f$    | 1.00 | 適用規格より設定                                           |
| 構造解析係数 |        | $\gamma_a$    | 1.05 | 適用規格より設定                                           |

#### (4) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能に対する照査は、取水路底版下の地盤に作用する鉛直方向の最大合力（最大鉛直力）が「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき算定した極限支持力を下回ることを確認する。

極限支持力算定式（直接基礎）

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \right\}$$

ここに、

$Q_u$ ：荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力 (kN)

$c$ ：地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$q$ ：上載荷重 (kN/m<sup>2</sup>) で， $q = \gamma_2 D_f$

$A_e$ ：有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)

$\gamma_1, \gamma_2$ ：支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

ただし，地下水位以下では水中単位体積重量を用いる。

$B_e$ ：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2e_B$$

$B$ ：基礎幅 (m)

$e_B$ ：荷重の偏心量 (m)

$D_f$ ：基礎の有効根入れ深さ (m)

$\alpha, \beta$ ：基礎の形状係数 (=1，帯状基礎の係数を適用)

$\kappa$ ：根入れ効果に対する割増係数 (=1)

$N_c, N_q, N_\gamma$ ：荷重の傾斜を考慮した支持力係数

$S_c, S_q, S_\gamma$ ：支持力係数の寸法効果に関する補正係数

## 9.2.5. 評価結果

### 9.2.5.1 曲げに対する照査結果

曲げに対する照査結果を第 11-9-12 表に示す。取水路(一般部)の照査用層間変形角は、いずれも許容限界値(限界層間変形角)以下である。

第 11-9-12 表 曲げに対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置  | 照査用層間変形角<br>$R_d^{*1}$ | 限界層間変形角<br>$R_u$ | 照査値<br>$R_d/R_u$ |
|-------|-------|------------------------|------------------|------------------|
| Ss-1  | 頂版～底版 | 0.25/100               | 1/100            | 0.25             |
| Ss-2  | 頂版～底版 | 0.15/100               | 1/100            | 0.15             |
| Ss-3  | 頂版～底版 | 0.30/100               | 1/100            | 0.30             |
| Ss-4  | 頂版～底版 | 0.13/100               | 1/100            | 0.13             |
| Ss-5  | 頂版～底版 | 0.23/100               | 1/100            | 0.23             |
| Ss-6  | 頂版～底版 | 0.22/100               | 1/100            | 0.22             |
| Ss-7  | 頂版～底版 | 0.27/100               | 1/100            | 0.27             |
| Ss-8  | 頂版～底版 | 0.18/100               | 1/100            | 0.18             |

※1 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.2.5.2 せん断に対する照査結果

せん断に対する照査結果を第 11-9-13 表に示す。取水路(一般部)の照査用せん断力は、いずれもせん断耐力評価式を用いた方法による許容限界値(せん断耐力)以下である。

なお、照査用せん断力がせん断耐力評価式を用いた方法によるせん断耐力を上回る場合は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル、土木学会原子力土木委員会、2005年6月」に基づき、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度で求めたせん断耐力で照査を行うと、せん断に対する照査結果は、十分な裕度を有している。

第 11-9-13 表 せん断に対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置 | 照査用せん断力<br>V <sub>d</sub> (kN) <sup>※1</sup> | せん断耐力<br>V <sub>yd</sub> (kN) | 照査値<br>V <sub>d</sub> /V <sub>yd</sub> |
|-------|------|----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Ss-1  | 頂版   | 1032                                         | 2758                          | 0.37                                   |
|       | 底版   | 1172                                         | 3085                          | 0.38                                   |
|       | 側壁   | 1177                                         | 1708                          | 0.69                                   |
|       | 隔壁   | 725                                          | 898                           | 0.81                                   |
| Ss-2  | 頂版   | 759                                          | 2776                          | 0.27                                   |
|       | 底版   | 832                                          | 2894                          | 0.29                                   |
|       | 側壁   | 750                                          | 1588                          | 0.47                                   |
|       | 隔壁   | 556                                          | 913                           | 0.61                                   |
| Ss-3  | 頂版   | 864                                          | 2683                          | 0.32                                   |
|       | 底版   | 1005                                         | 3008                          | 0.33                                   |
|       | 側壁   | 1077                                         | 1574                          | 0.68                                   |
|       | 隔壁   | 829(833) <sup>※2</sup>                       | 875(1941) <sup>※2</sup>       | 0.95(0.43) <sup>※2</sup>               |
| Ss-4  | 頂版   | 735                                          | 2749                          | 0.27                                   |
|       | 底版   | 833                                          | 2941                          | 0.28                                   |
|       | 側壁   | 717                                          | 1571                          | 0.46                                   |
|       | 隔壁   | 498                                          | 920                           | 0.54                                   |
| Ss-5  | 頂版   | 836                                          | 2646                          | 0.32                                   |
|       | 底版   | 1003                                         | 2952                          | 0.34                                   |
|       | 側壁   | 739                                          | 1389                          | 0.53                                   |
|       | 隔壁   | 689                                          | 891                           | 0.77                                   |
| Ss-6  | 頂版   | 825                                          | 2741                          | 0.30                                   |
|       | 底版   | 946                                          | 2993                          | 0.32                                   |
|       | 側壁   | 1050                                         | 1689                          | 0.62                                   |
|       | 隔壁   | 652                                          | 891                           | 0.73                                   |
| Ss-7  | 頂版   | 802                                          | 2680                          | 0.30                                   |
|       | 底版   | 956                                          | 3016                          | 0.32                                   |
|       | 側壁   | 1048                                         | 1625                          | 0.64                                   |
|       | 隔壁   | 766                                          | 871                           | 0.88                                   |
| Ss-8  | 頂版   | 755                                          | 2685                          | 0.28                                   |
|       | 底版   | 838                                          | 2858                          | 0.29                                   |
|       | 側壁   | 648                                          | 1400                          | 0.46                                   |
|       | 隔壁   | 607                                          | 878                           | 0.69                                   |

※1 照査用せん断力V<sub>d</sub>=発生せん断力×構造解析係数γ<sub>a</sub>

地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

※2 材料非線形解析を用いた方法による結果を（ ）内に示す

### 9.2.5.3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を第 11-9-14 表に示す。最大鉛直力は、いずれも許容限界値（極限支持力）以下である。

第 11-9-14 表 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

| 基準地震動 | 最大鉛直力<br>V (kN) ※1 | 極限支持力<br>Q <sub>u</sub> (kN) | 照査値<br>V/Q <sub>u</sub> |
|-------|--------------------|------------------------------|-------------------------|
| Ss-1  | 5750               | 24000                        | 0.24                    |
| Ss-2  | 5120               | 29600                        | 0.17                    |
| Ss-3  | 5690               | 25800                        | 0.22                    |
| Ss-4  | 4880               | 52900                        | 0.09                    |
| Ss-5  | 4890               | 48400                        | 0.10                    |
| Ss-6  | 5130               | 24200                        | 0.21                    |
| Ss-7  | 5200               | 19000                        | 0.27                    |
| Ss-8  | 5080               | 29300                        | 0.17                    |

※1 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.2.6 まとめ

設置許可段階において液状化に伴う構造物の影響を検討する代表構造物として選定した 7 号炉取水路（一般部）の基準地震動 Ss に対する構造物評価の見通しについて確認した。

地震応答解析（有効応力解析）の結果、取水路（一般部）は、基準地震動 Ss に対し、構造部材の曲げ、せん断及び基礎地盤に作用する最大鉛直力が許容限界値以下であることから、十分な構造強度を有している見通しを得た。

## 構造物の浮き上がりに係る評価方針について

本資料では、中空断面を有する構造物における液状化発生時の浮き上がりについて、評価の方針を示す。

地盤の液状化に伴う構造物の浮き上がりに対する主な簡易評価手法としては、浮き上がり計算法がある。

浮き上がり計算法は、液状化による過剰間隙水圧の上昇に伴う揚圧力の増加を考慮した、力の釣り合いに基づく方法であり、共同溝設計指針（日本道路協会，1986）、トンネル標準示方書（土木学会，2006）、鉄道構造物等設計標準・同解説（鉄道総合技術研究所，2012）及び水道施設耐震工法指針・解説（1997）に示されている。

各指針の概要を第 11-9-15 表に整理する。

浮き上がりに対する安全率  $F_s$  の算定は、共同溝設計指針、トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説では、いずれも同じ評価方法が採用されている。これは、水道施設耐震工法指針・解説は円形の管路を対象としており、他 3 者は矩形構造物を対象としているためと考えられる。柏崎刈羽地点の評価対象構造物は、矩形のボックスカルバート構造であることから、共同溝設計指針、トンネル標準示方書及び鉄道構造物等設計標準・同解説に示される以下の式を用いて評価を実施する。

$$F_s = (W_s + W_B + Q_s + Q_B) / (U_s + U_D)$$

$W_s$  : 上載土の荷重（水の重量を含む）

$W_B$  : 構造物の自重

$Q_s$  : 上載土のせん断抵抗

$Q_B$  : 構造物側面の摩擦抵抗

$U_s$  : 構造物底面に作用する静水圧による揚圧力

$U_D$  : 構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力

第 11-9-15 表 浮き上がり計算法の比較

|                     | 共同溝設計指針<br>(日本道路協会, 1986)                 | トンネル標準示方書<br>(土木学会, 2006)                              | 鉄道構造物等<br>設計標準・同解説<br>(鉄道総合技術研究所, 2012)                | 水道施設耐震工法<br>指針・解説<br>(日本水道協会, 1997)    |
|---------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 安全率 $F_s$ の<br>算定式* | $\frac{W_S + W_B + Q_S + Q_B}{U_S + U_D}$ | $\frac{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B}{\gamma_i (U_S + U_D)}$ | $\frac{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B}{\gamma_i (U_S + U_D)}$ | $\frac{W_B + Q_1}{V_0 \cdot \gamma_s}$ |
| 力の定義*               |                                           |                                                        |                                                        |                                        |
| 適用構造物               | 共同溝 (矩形)                                  | 開削トンネル (矩形)                                            | 開削トンネル (矩形)                                            | 管路 (円形)                                |
| 所要安全率               | 1.1                                       | 1.0                                                    | 1.0                                                    | 1.0                                    |

$\gamma_i$  : 構造物係数

※共同溝設計指針とトンネル標準示方書, 鉄道構造物等設計標準・同解説の算定式の相違は, 力の定義におけるせん断抵抗  $Q_s$  ・摩擦抵抗  $Q_B$  を, 片側で「 $Q$ 」とするか「 $Q/2$ 」とするかの表記上の相違であり, 算定内容は同一。

非液状化層におけるせん断抵抗 $Q_S$ 及び摩擦抵抗 $Q_B$ の算定は、柏崎刈羽地点の評価対象地盤は、砂質土に限らず粘性土や地盤改良層が分布しており、せん断抵抗角 $\phi$ と粘着力 $c$ を用いた回帰式が最も適していること、地盤改良の効果は主に粘着力 $c$ として表現されることから、トンネル標準示方書に示される以下の式を用いて評価を実施する。

$$Q_S = f_{uw} (c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi) H'$$

$$Q_B = f_{us} (c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi) H$$

$c$  : 粘着力

$\phi$  : せん断抵抗角

$K_0$  : 静止土圧定数

$\sigma'_v$  : 有効上載圧

$H'$  : 上載土の厚さ

$H$  : 構造物の高さ

$f_{uw}$ ,  $f_{us}$  : 液状化時の浮き上がりに関する安全係数

( $f_{uw}=1.0$ ,  $f_{us}=1.0$  が示されている)

所要安全率は、最も保守的な設定としている共同溝設計指針を踏まえ、1.1とする。

また、評価の結果を踏まえ、必要に応じて構造物周辺の地盤改良等の浮き上がり防止対策を実施する。

浮き上がり防止対策の設計方針を第11-9-16表に示す。

第11-9-16表 浮き上がり防止対策の設計方針

|     | 上載土のせん断抵抗 $Q_S$ の増加 | 構造物側面の摩擦抵抗 $Q_B$ の増加 | 1mを超える根入れ <sup>※</sup> |
|-----|---------------------|----------------------|------------------------|
| 概念図 |                     |                      |                        |

※共同溝設計指針において、粘性土層への根入れが1m以下の場合には安全側の配慮から過剰間隙水圧による揚圧力を底面に作用させること、粘性土層への根入れが1mを越える場合には浮き上がりの検討の対象外とすること、とされている。

**【参考文献】**

- 日本道路協会：共同溝設計指針，1986.
- 土木学会：トンネル標準示方書 開削工法・同解説，2006.
- 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.
- 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 1997年版，1997.

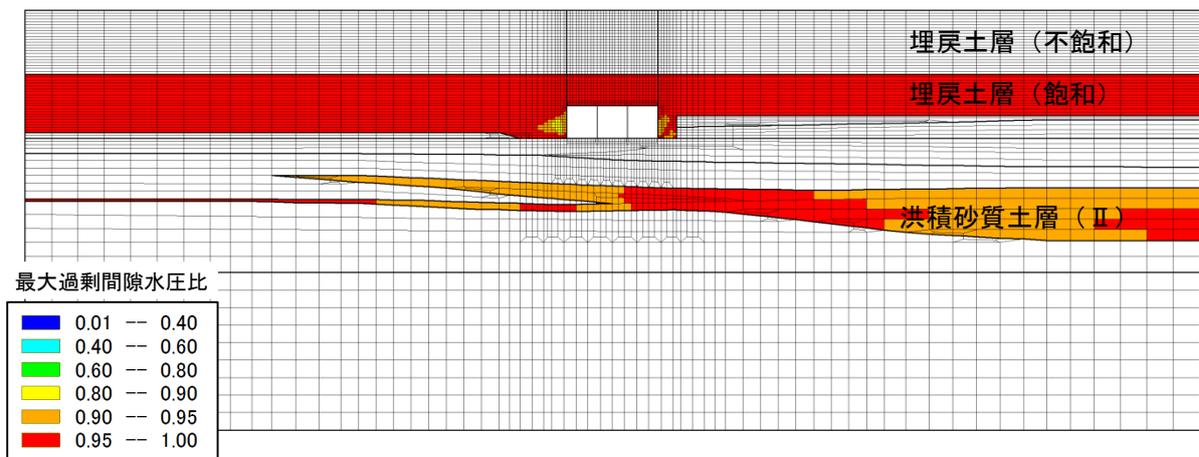
### 洪積砂質土層の液状化の有無について

7号炉取水路（一般部）の基準地震動 Ss に対する地震応答解析（有効応力解析 FLIP）の結果から、洪積砂質土層の液状化の有無について示す。

本検討における液状化パラメータは、液状化層と判定する埋戻土層と、非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）とに設定する。さらに、液状化特性が保守的に評価されるよう、液状化パラメータを設定している。（9.2.4.5 章参照）

最大過剰間隙水圧比について、曲げ及びせん断の照査が最も厳しい結果となった基準地震動 Ss-3 の解析結果を第 11-9-12 図に示す。埋戻土層においては、構造物周辺以外の領域では最大過剰間隙水圧比が 0.95 を超えていることから、液状化が生じる解析結果となっている。洪積砂質土層（Ⅱ）においても、最大過剰間隙水圧比が 0.95 を超える領域があることから、部分的に液状化が生じる解析結果となっている。

以上のことから、保守的な液状化パラメータにおける結果としては、洪積砂質土層は部分的に液状化が生じる評価となる見通しである。



第 11-9-12 図 7号炉取水路（一般部）の最大過剰間隙水圧比（Ss-3）

## 取水路の沈下量について

7号炉取水路（一般部）の基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析（有効応力解析 FLIP）の結果から、取水路の沈下量について示す。

本検討における液状化パラメータは、液状化層と判定する埋戻土層と、非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）とに設定する。さらに、液状化特性が保守的に評価されるよう、液状化パラメータを設定している。（9.2.4.5章参照）

取水路の変位量について、曲げ及びせん断の照査が最も厳しい結果となった基準地震動  $S_s-3$  の解析結果を第 11-9-17 表に示す。沈下量は、時刻歴最大で約 2cm、残留で約 1cm 程度となっている。また、水平変位量は、時刻歴最大で約 20cm、残留で 1cm 以下程度となっている。

なお、上述の変位量は、評価断面における対象ブロック単体の変位量であるが、耐震ジョイントの健全性評価に当たっては、隣接ブロックとの相対変位量により評価を実施する。

第 11-9-17 表 7号炉取水路（一般部）の変位量（ $S_s-3$ ）

## (1) 鉛直変位量（沈下量）

| 地震動     | 算定位置 | 時刻歴最大 (cm) | 残留 (cm) |
|---------|------|------------|---------|
| $S_s-3$ | 底版中央 | 2.07       | 0.86    |

## (2) 水平変位量

| 地震動     | 変位方向      | 時刻歴最大 (cm) | 残留 (cm) |
|---------|-----------|------------|---------|
| $S_s-3$ | 右変形時（北向き） | 11.6       | —       |
|         | 左変形時（南向き） | 20.6       | 0.54    |

### 取水路の取水機能維持に関する評価方針

取水路の取水機能に係る基本設計方針として、検討項目を第 11-9-18 表に示す。検討に際しては、地盤の液状化の影響を考慮する。

構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能に係る評価は、本編資料に示した見通しのとおりである。

耐震ジョイントの健全性は、工事計画認可の段階において、隣接ブロックとの相対変位として確認を行う方針としている。耐震ジョイントの限界変位量は、モックアップ試験による変形許容限界の確認を行う方針としている。

発生変位量（水平変位、沈下）は、補足資料 3 に示すとおり、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析（有効応力解析 FLIP）の結果を参照する。

浮き上がり量は、補足資料 1 に示すとおり、浮き上がりが発生しないことを確認することから、変位量は小さい見通しである。

以上のとおり、構造部材の健全性、基礎地盤の支持性能に加えて、発生変位量（水平、沈下、浮き上がり）がジョイント変形許容限界を超えないことを確認することにより、取水機能維持を確認する方針としている。

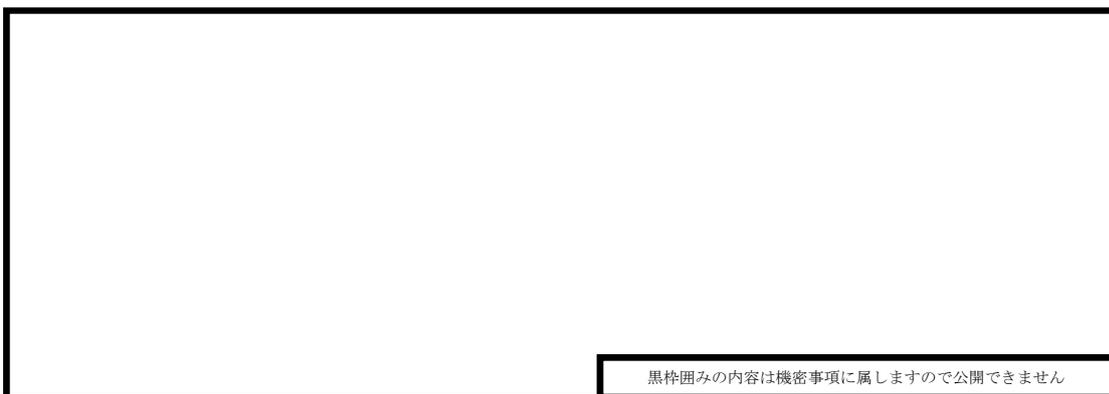
第 11-9-18 表 取水路の取水機能に係る検討項目

| 評価方針        | 評価項目        | 地震力         | 部位       | 評価方法                                           | 許容限界          |
|-------------|-------------|-------------|----------|------------------------------------------------|---------------|
| 通水断面を維持すること | 構造部材の健全性    | 基準地震動 $S_s$ | 鉄筋コンクリート | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認                           | 限界層間変形角、せん断耐力 |
|             | 基礎地盤の支持性能   | 基準地震動 $S_s$ | 基礎地盤     | 鉛直方向の最大合力が許容限界を超えないことを確認                       | 極限支持力         |
|             | 耐震ジョイントの健全性 | 基準地震動 $S_s$ | ジョイント    | ブロック間の相対変位量（水平、沈下、浮き上がり）がジョイント変形許容限界を超えないことを確認 | 変形許容限界        |

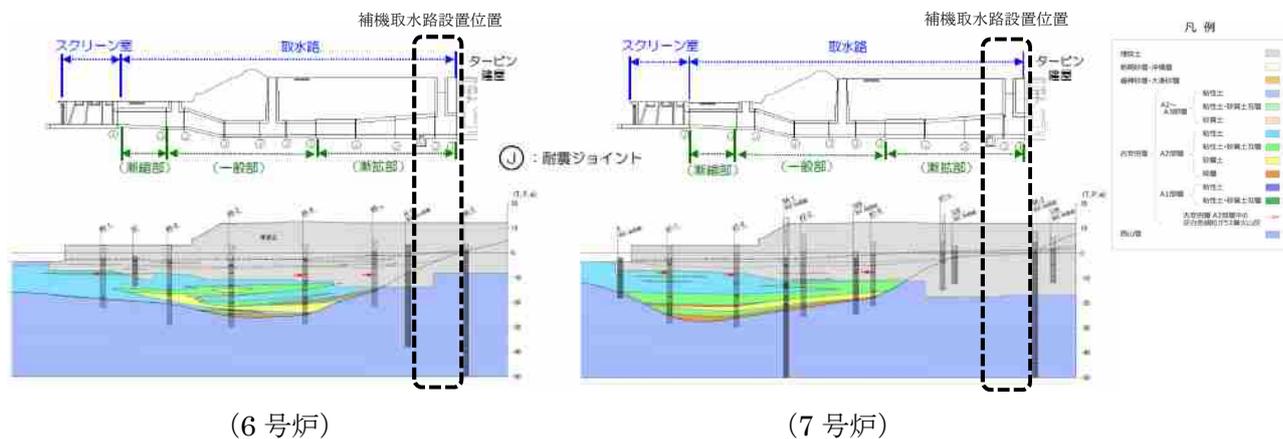
なお、取水路ブロック間の相対変位に伴い取水路に勾配が生じる可能性については、第 11-9-18 表に示す通水断面を維持することを確認することにより、取水機能に影響がないことを確認できる見通しである。

津波水位低下時については、原子炉補機冷却海水ポンプの継続運転が可能となるよう、ポンプの取水可能水位が 6 号炉 T.M.S.L.-5.24m、7 号炉 T.M.S.L.-4.92m に対して、設置高さ T.M.S.L.-3.5m の海水貯留堰を設置し、十分な量の海水を貯留する。(第 11-9-13 図)

また、補機冷却用海水取水路は、西山層又はMMR（マンメイドロック）に設置していることから、タービン建屋との相対変位量は小さい見通しである。(第 11-9-14 図)



第 11-9-13 図 取水路の概要（6号炉の例）



第 11-9-14 図 取水路の地質縦断図

### 9.3 常設代替交流電源設備基礎

#### 9.3.1 構造概要及び評価断面

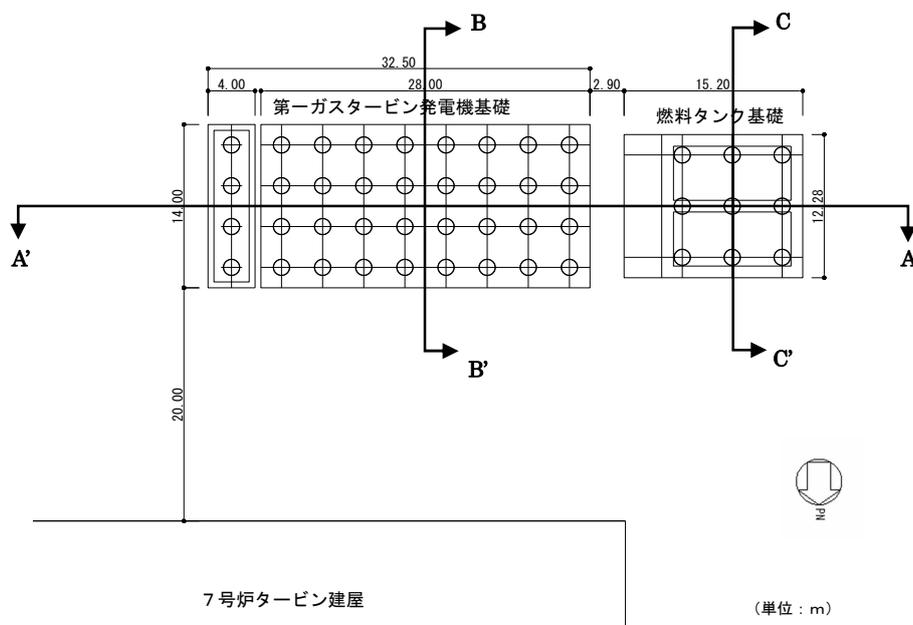
常設代替交流電源設備基礎について液状化による設備への影響の見通しとして、液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し、構造物の評価を実施する。

常設代替交流電源設備基礎は、第一ガスタービン発電機基礎と燃料タンク基礎で構成され、鉄筋コンクリート構造の躯体（基礎版及びタンク格納槽）と、それを支持する鋼管杭からなる。常設代替交流電源設備基礎の平面図を第 11-9-15 図に、常設代替交流電源設備基礎のうち第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面図（NS 断面）を第 11-9-16 図に示す。

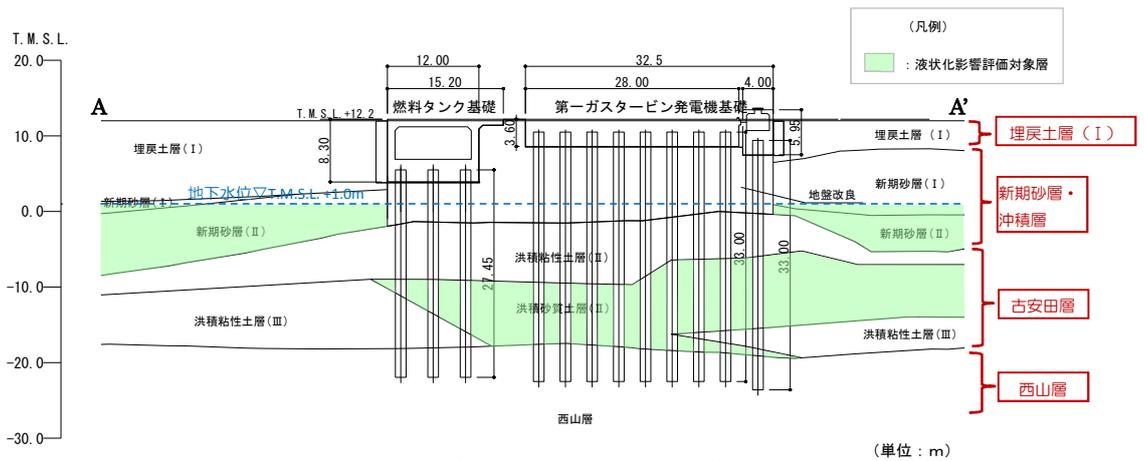
常設代替交流電源設備基礎は基礎構造物であり、各断面で地盤条件に大きな差異はないことから、近接構造物に着目し、代表断面を選定する。

第一ガスタービン発電機基礎と燃料タンク基礎は東西方向に隣接して配置されており、EW 断面では、互いの変形抑制効果が期待できる。第一ガスタービン発電機基礎の北側に 7 号炉タービン建屋があることから、NS 断面の評価ではこの変形抑制効果が期待できるが、燃料タンク基礎の北側はタービン建屋よりも海側のエリアとなるため、NS 断面の評価ではタービン建屋の変形抑制効果が期待できない。

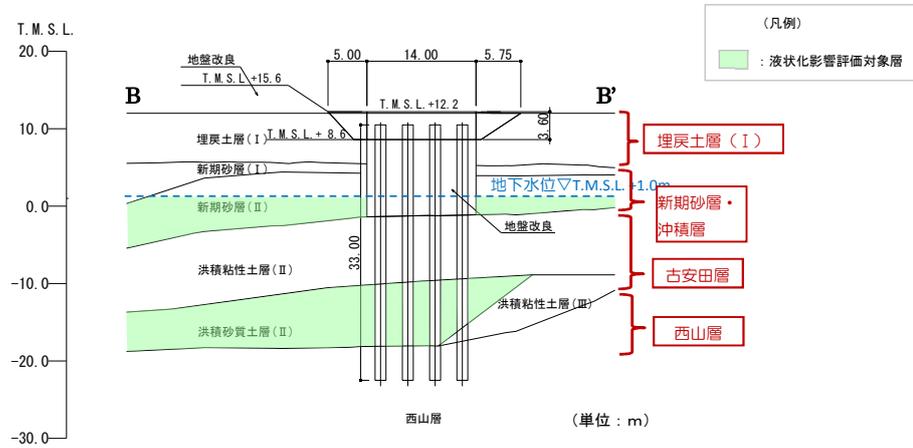
以上のことから、代表断面として、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 NS 断面を選定し、2次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。評価は、基準地震動 Ss に対して第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎に要求される機能の維持を確認するために、地震応答解析（有効応力解析）に基づき実施する。



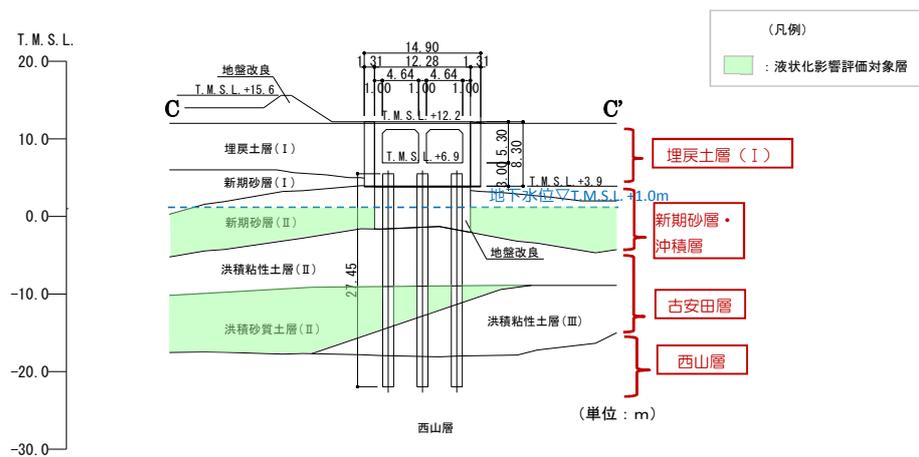
第 11-9-15 図 常設代替交流電源設備基礎 平面図



(1) 第一ガスタービン発電機基礎及び燃料タンク基礎 (EW 断面)



(2) 第一ガスタービン発電機基礎 (NS 断面)



(3) 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 (NS 断面)

第 11-9-16 図 常設代替交流電源設備基礎断面図

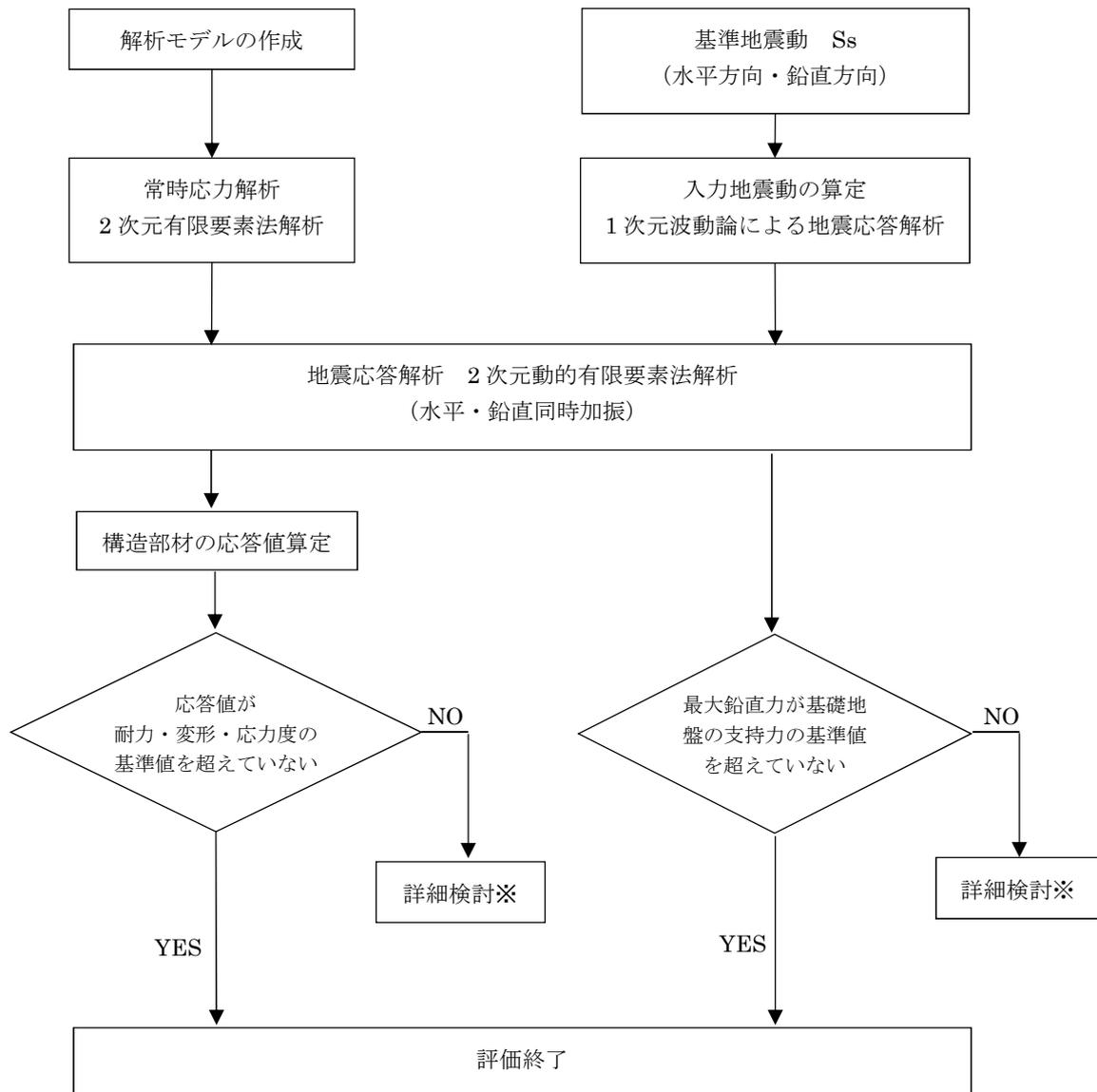
### 9.3.2 評価方針

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の耐震評価では、基礎構造物として第 11-9-19 表の項目に示す評価を行う。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析に基づく鉄筋コンクリート及び鋼管杭の発生応力等が許容限界を超えないことを確認する。また、基礎地盤の支持性能については、最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認する。第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価フローを第 11-9-17 図に示す。

第 11-9-19 表 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価項目

| 評価方針       | 評価項目      | 地震力      | 部位           | 評価方法                 | 許容限界           |
|------------|-----------|----------|--------------|----------------------|----------------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性  | 基準地震動 Ss | 鉄筋コンクリート（躯体） | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認 | 限界層間変形角，せん断耐力  |
|            |           | 基準地震動 Ss | 鋼管杭          | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認 | 終局曲げ強度，終局せん断強度 |
|            | 基礎地盤の支持性能 | 基準地震動 Ss | 基礎地盤         | 最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認 | 極限支持力          |



※検討の内容に応じて、必要なプロセスへ戻る

第 11-9-17 図 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の評価フロー

### 9.3.3 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，土木学会原子力土木委員会，2005年6月
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年制定）
- ・ 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—（(社)日本建築学会，1999改訂）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（(社)日本建築学会，2010改訂）
- ・ 道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（(社)日本道路協会，平成14年3月）
- ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説（(社)日本港湾協会，2007年版）
- ・ 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009，日本電気協会原子力規格委員会，2009年12月

### 9.3.4 評価条件

#### 9.3.4.1 解析方法

地震応答解析は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて，基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴非線形応答解析を行う。第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎周辺には埋戻土層，新期砂層及び洪積砂質土層が存在することから，過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため，有効応力モデルを用いる。

地震応答解析は，埋戻土層，新期砂層及び洪積砂質土層の液状化の影響を考慮する必要があるため，解析コード「FLIP Ver.7.2.3\_5」を使用する。

#### (1) 構造部材

箱形構造である鉄筋コンクリート構造の躯体及び前背面の妻壁は等価剛性の平面ひずみ要素で，鋼管杭は非線形はり要素でモデル化する。

#### (2) 地盤

地盤は，Hardin-Drnevich モデルを適用し，動せん断弾性係数及び減衰定数の非線形特性を考慮する。

#### (3) 減衰定数

減衰特性は，固有値解析にて求まる固有振動数及び減衰比に基づく Rayleigh 減衰と，地盤及び構造物の履歴減衰を考慮する。

### 9.3.4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、以下のとおり設定する。

#### (1) 耐震安全性評価上考慮する状態

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の耐震安全性評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### a. 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態とする。

ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

##### b. 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### c. 設計用自然条件

地中埋設構造物であることから、積雪及び風は考慮しない。

##### d. 重大事故時の状態

重大事故時の影響を受けないことから考慮しない。

#### (2) 荷重

地震応答解析において考慮する荷重を以下に示す。

##### a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、構造物の自重及び機器荷重を考慮する。

##### b. 地震荷重 ( $K_{Ss}$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  による地震力を考慮する。

#### (3) 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 11-9-20 表に示す。

第 11-9-20 表 荷重の組合せ

| 外力の状態         | 荷重の組合せ       |
|---------------|--------------|
| 地震時 ( $S_s$ ) | $G + K_{Ss}$ |

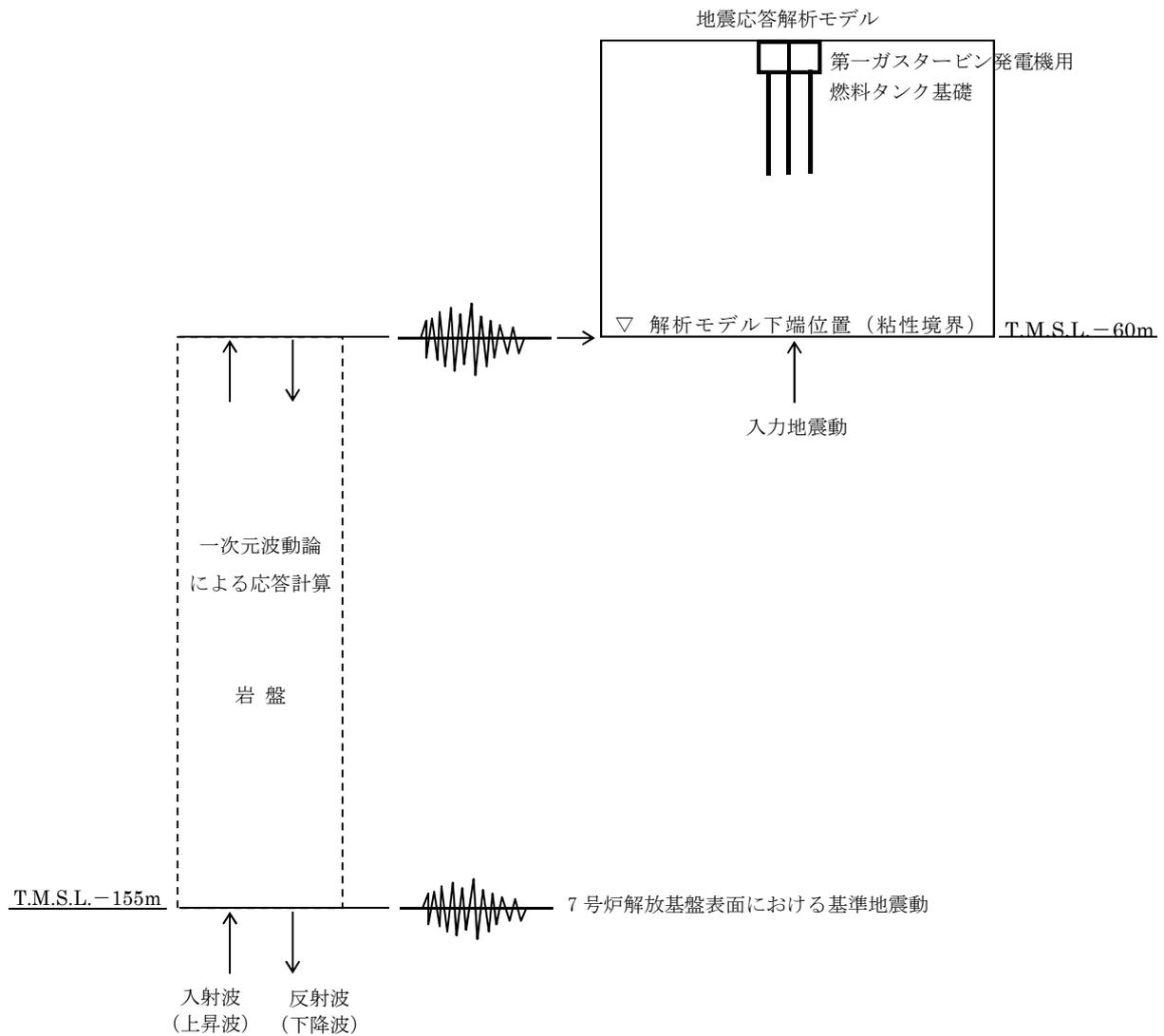
ここで、 $G$  : 固定荷重

$K_{Ss}$  : 地震荷重

### 9.3.4.3 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を、1次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価したものをを用いる。

入力地震動の算定には、解析コード「SLOK Ver2.0」を使用する。入力地震動算定の概念図を第 11-9-18 図に示す。



第 11-9-18 図 入力地震動算定の概念図

#### 9.3.4.4 解析モデル

地震応答解析モデルを第 11-9-19 図に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、側面境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側面境界及び底面境界との距離を十分に広く設定する。

##### (2) 境界条件

解析領域の側面及び底面には、エネルギーの逸散効果を評価するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート構造の躯体は平面ひずみ要素で、鋼管杭は非線形はり要素でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

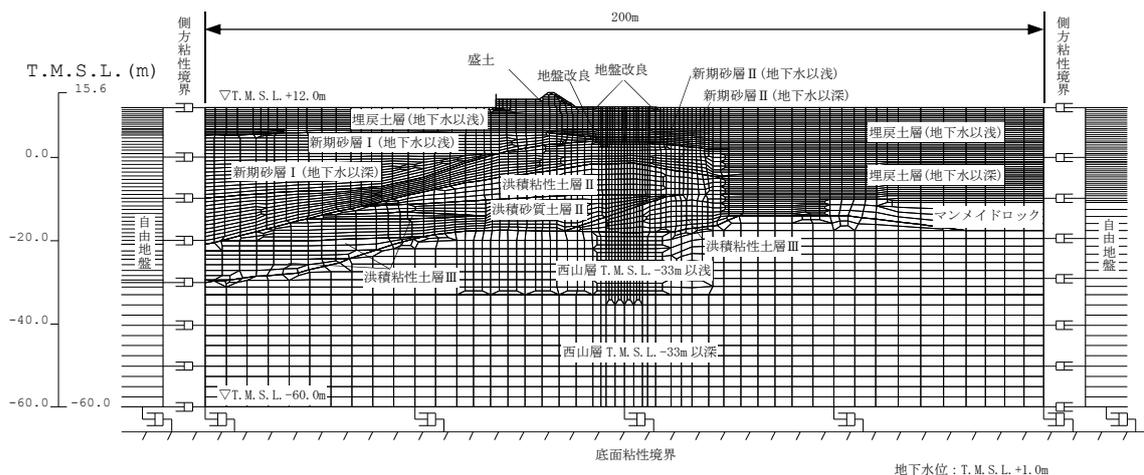
地盤は、地質区分に基づき、平面ひずみ要素でモデル化する。

##### (5) ジョイント要素

構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部にジョイント要素を設けることを基本とし、境界部での剥離・すべりを考慮する。

##### (6) 水位条件

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎周辺の地下水位は、地震荷重に伴う液状化による変形を保守的に考慮するために、朔望平均満潮位 (T.M.S.L.+0.49m) に余裕を考慮した T.M.S.L.+1.00m とする。



第 11-9-19 図 地震応答解析モデル

### 9.3.4.5 使用材料及び材料の物性値

#### (1) 構造物の物性値

使用材料を第 11-9-21 表に、材料の物性値を第 11-9-22 表に示す。

第 11-9-21 表 使用材料

| 材料     | 諸元                         |
|--------|----------------------------|
| コンクリート | 設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup> |
| 鉄筋     | SD490                      |
| 鋼管杭    | SKK490                     |

第 11-9-22 表 材料の物性値

| 材料     | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比             |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| コンクリート | 24 <sup>※1</sup>               | 28 <sup>※2</sup>               | 0.2 <sup>※2</sup> |
| 鉄筋     |                                | 200 <sup>※2</sup>              | 0.3 <sup>※2</sup> |
| 鋼管杭    | 77                             | 200                            | 0.3               |

※1 鉄筋コンクリートとしての単位体積重量

※2 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)」に基づき設定する

(2) 地盤の物性値

a. 液状化試験の結果

液状化層と判定する埋戻土層と非液状化層と判定するが念のため液状化強度特性を設定する洪積砂質土層（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータは、繰返しねじりせん断試験結果より設定する。

新期砂層（Ⅰ）（Ⅱ）の有効応力解析に用いる液状化パラメータ及び地盤物性値は、追加調査を実施することとしているため、設置許可段階における見通しを得るための構造物評価においては、埋戻土層の値を用いる。

埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値を第 11-9-23 表に示す。

試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を第 11-9-20 図に、液状化パラメータを第 11-9-24 表に示す。なお、液状化特性が保守的（液状化しやすい）に評価されるように、液状化パラメータを設定する（試験結果より繰返し回数が少ない状態で同程度のひずみが発生するように設定することから、液状化が発生しやすい設定となっている）。

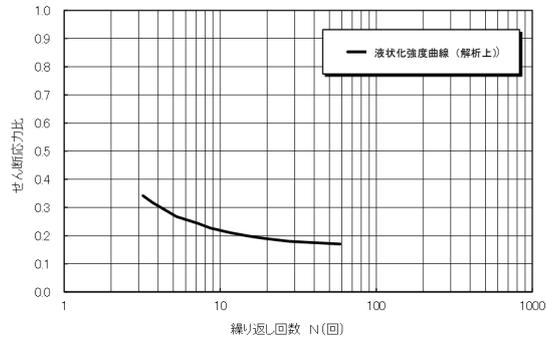
第 11-9-23 表 試験結果

(埋戻土層)

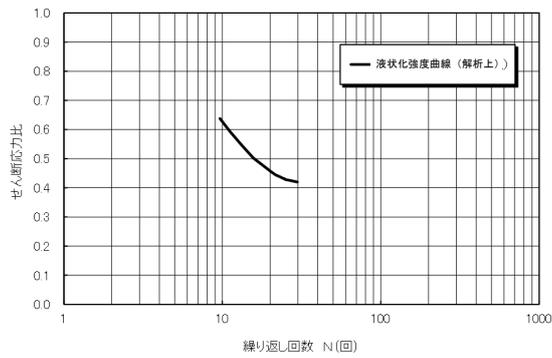
|           | 必要とする物性値              |           |            | 物性値             |
|-----------|-----------------------|-----------|------------|-----------------|
|           | 名称                    | 記号        | 単位         |                 |
| 物理的<br>性質 | 単位体積重量                | $\rho$    | $t/m^3$    | 2.00            |
|           | 間隙率                   | $n$       | —          | 0.41            |
| 力学的<br>性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —         | —          | 第11-9-20図<br>参照 |
|           | せん断弾性係数               | $G_{ma}$  | $kN/m^2$   | 5.11E+04        |
|           | 内部摩擦角                 | $\phi$    | $^{\circ}$ | 41.1            |
|           | 粘着力                   | $C$       | $kN/m^2$   | 0.0             |
|           | 履歴減衰上限値               | $h_{max}$ | —          | 0.271           |

(洪積砂質土層（Ⅱ）)

|           | 必要とする物性値              |           |            | 物性値             |
|-----------|-----------------------|-----------|------------|-----------------|
|           | 名称                    | 記号        | 単位         |                 |
| 物理的<br>性質 | 単位体積重量                | $\rho$    | $t/m^3$    | 1.90            |
|           | 間隙率                   | $n$       | —          | 0.53            |
| 力学的<br>性質 | 液状化強度曲線<br>(液状化パラメータ) | —         | —          | 第11-9-20図<br>参照 |
|           | せん断弾性係数               | $G_{ma}$  | $kN/m^2$   | 2.07E+05        |
|           | 内部摩擦角                 | $\phi$    | $^{\circ}$ | 45.0            |
|           | 粘着力                   | $C$       | $kN/m^2$   | 0.0             |
|           | 履歴減衰上限値               | $h_{max}$ | —          | 0.155           |



(埋戻土層)



(洪積砂質土層 (II))

第 11-9-20 図 液状化強度曲線

第 11-9-24 表 液状化パラメータ

| 液状化パラメータ   | $\phi_p$ (°) | $w_1$ | $p_1$ | $p_2$ | $c_1$ | $S_1$ |
|------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 埋戻土層       | 28.0         | 2.400 | 0.500 | 0.800 | 1.920 | 0.005 |
| 洪積砂質土層(II) | 28.0         | 4.600 | 0.500 | 0.600 | 3.910 | 0.005 |

b. 解析用地盤物性値

地盤の物性値を第 11-9-25 表に示す。埋戻土層及び洪積砂質土層（Ⅱ）の物性値については、地震時における過剰間隙水圧の上昇を適切に評価するため、繰返しねじりせん断試験結果を基に設定した液状化特性を設定する。

第 11-9-25 表 地盤の物性値

| パラメータ    |                                    | 埋戻土層<br>(地下水以浅) | 埋戻土層<br>(地下水以深) | #67洪積<br>粘性土層Ⅰ | #67洪積<br>粘性土層Ⅱ | #67洪積<br>粘性土層Ⅲ | #67洪積<br>砂質土層Ⅱ | 西山層TMSL<br>-33m以浅 | 西山層TMSL<br>-33m以深 | マンメイドロック | 地盤改良     | 盛土       |
|----------|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| 単位体積重量   | $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )         | 1.90            | 2.00            | 1.82           | 1.80           | 1.86           | 1.90           | 1.73              | 1.69              | 1.75     | 1.98     | 1.82     |
| 間隙率      | $n$                                | 0.41            | 0.41            | 0.51           | 0.51           | 0.48           | 0.53           | 0.56              | 0.56              | 0.45     | 0.45     | 0.45     |
| せん断波速度   | $V_s$ (m/sec)                      | —               | —               | 230            | 250            | 290            | 330            | 490               | 530               | 1040     | 570      | 1000     |
| せん断弾性係数  | $G_{max}$ (kN/m <sup>2</sup> )     | 5.11E+04        | 5.11E+04        | 9.63E+04       | 1.13E+05       | 1.56E+05       | 2.07E+05       | 4.15E+05          | 4.75E+05          | 1.91E+06 | 6.43E+05 | 1.82E+06 |
| 体積弾性係数   | $K_{max}$ (kN/m <sup>2</sup> )     | 1.33E+05        | 1.33E+05        | 2.51E+05       | 2.95E+05       | 4.07E+05       | 5.40E+05       | 1.08E+06          | 1.24E+06          | 4.98E+06 | 1.68E+06 | 4.75E+06 |
| 標準化拘束圧   | $\sigma_{ms}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 98.0            | 98.0            | 98.0           | 98.0           | 98.0           | 190.0          | 98.0              | 98.0              | 98.0     | 98.0     | 98.0     |
| 均等圧依存の係数 | $m_{vm}, m_{vs}$                   | 0.667           | 0.667           | 0.000          | 0.000          | 0.000          | 0.500          | 0.000             | 0.000             | 0.000    | 0.000    | 0.000    |
| 圧アングラ    | $v$                                | 0.33            | 0.33            | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33           | 0.33              | 0.33              | 0.33     | 0.33     | 0.33     |
| 粘着力      | $c$ (kN/m <sup>2</sup> )           | 10.8            | 0.0             | 0.0            | 191.0          | 218.0          | 45.0           | Cu=1370-5.04Z     | Cu=1370-5.04Z     | 1840.0   | 2530.0   | 1300.0   |
| 内部摩擦角    | $\phi$ (°)                         | 33.8            | 41.1            | 33.0           | 27.3           | 27.9           | 45.0           | —                 | —                 | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
| 履歴減衰上限値  | $h_{max}$                          | 0.271           | 0.271           | 0.144          | 0.087          | 0.087          | 0.155          | 0.257             | 0.257             | 0.190    | 0.061    | 0.083    |
| 液状化特性    | 液状化パラメータ                           |                 |                 |                |                |                |                |                   |                   |          |          |          |
|          | $\psi_b$                           | —               | 28.0            | —              | —              | —              | 28.0           | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|          | $w_1$                              | —               | 2.400           | —              | —              | —              | 4.600          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|          | $p_1$                              | —               | 0.500           | —              | —              | —              | 0.500          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|          | $p_2$                              | —               | 0.800           | —              | —              | —              | 0.600          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|          | $c_1$                              | —               | 1.920           | —              | —              | —              | 3.910          | —                 | —                 | —        | —        | —        |
|          | $s_1$                              | —               | 0.005           | —              | —              | —              | 0.005          | —                 | —                 | —        | —        | —        |

c. ジョイント要素の設定

構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部にジョイント要素を設けることを基本とし、境界部での剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向、接線方向に分けて設定する。法線方向では、引張応力が生じた場合、剛性及び応力をゼロとして剥離を考慮する。接線方向では、構造物と地盤改良の境界部及び地盤改良と地盤の境界部のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。静止摩擦力  $\tau_f$  は Mohr-Coulomb 式により規定される。構造物と地盤改良との境界部の  $C, \phi$  は「港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会，2007年版）」に基づき、 $C=0, \phi=15^\circ$  とする。また、地盤改良と地盤との境界部の  $C, \phi$  は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）（第11-9-26表）」に基づき、第11-9-27表に示すとおり設定する。

第 11-9-26 表 摩擦角と付着力（日本道路協会）

| 条 件                | 摩擦角 $\phi_b$ (摩擦係数 $\tan \phi_b$ )             | 付着力 $c_B$ |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------|
| 土とコンクリート           | $\phi_b = \frac{2}{3} \phi$                    | $c_B = 0$ |
| 土とコンクリートの間に栗石を敷く場合 | $\tan \phi_b = 0.6$<br>$\phi_b = \phi$ } の小さい方 | $c_B = 0$ |
| 岩とコンクリート           | $\tan \phi_b = 0.6$                            | $c_B = 0$ |
| 土と土又は岩と岩           | $\phi_b = \phi$                                | $c_B = c$ |

ただし、 $\phi$ : 支持地盤のせん断抵抗角 (°)  $c$ : 支持地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

第 11-9-27 表 ジョイント要素の強度特性

|         | 粘着力 C (kN/m <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角 (°) |
|---------|----------------------------|-----------|
| 構造物-地盤間 | 0                          | 15.0      |
| 改良体-地盤間 | 0                          | 41.1      |

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分に大きな値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、 $k_n=k_s=1.0 \times 10^6(\text{kN/m}^3)$ とする。

### (3) 荷重の入力方法

#### a. 固定荷重

固定荷重である自重は、鉄筋コンクリート及び鋼管杭の単位体積重量を踏まえ、構造物の断面の大きさに応じて算定する。機器荷重は、機器の設置位置で付加重量として考慮する。

#### b. 地震荷重

地震荷重である地震力は 9.3.4.3 章にて設定している入力地震動をモデル底面に入力する。

#### 9.3.4.6 許容限界

##### (1) 鋼管杭に対する許容限界

###### a. 曲げ

鋼管杭の曲げに対する許容限界は、「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009, 日本電気協会原子力規格委員会, 2009年12月」(以下「キャスク指針」とする)に基づき算定する終局曲げ強度に対応する曲率(終局曲率)とする。

###### b. せん断

鋼管杭のせん断に対する許容限界は、「キャスク指針」に基づき算定する終局せん断強度とする。

##### (2) 躯体に対する許容限界

###### a. 曲げ

躯体の曲げに対する許容限界は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, 土木学会原子力土木委員会, 2005年6月」(以下「土木学会マニュアル」とする)に基づき, 層間変形角 1/100 とする。

###### b. せん断

躯体のせん断に対する許容限界は, 工事計画認可における設計では, 「土木学会マニュアル」に基づき算定したせん断耐力等とするが, 設置許可段階における見通しを得るための構造物評価においては, コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002年制定)及び壁部材は鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 1999改訂)に基づき, 保守的に鉄筋コンクリートの短期許容せん断応力度とする。

##### (3) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能に対する照査は, 杭頭に作用する最大鉛直力が「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社)日本道路協会, 平成14年3月)」に基づき算定した極限支持力とする。

極限支持力算定式 (杭基礎)

$$R_a = \frac{\gamma}{n}(R_u - W_s) + W_s - W$$

ここに,

$R_a$  : 杭頭における杭の軸方向許容押込み支持力 (kN)

$n$  : 安全率 (=1.2, キャスク指針に従い  $S_s$  地震時を適用)

$\gamma$  : 極限支持力推定法の相違による安全率の補正係数 (=1.0, 支持力推定式を適用)

$R_u$ ※1：地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

$W_S$ ：杭で置換えられる部分の土の有効重量 (kN)

$W$ ：杭及び杭内部の土の有効重量 (kN)

※1  $R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$

ここに,

$R_u$ ：地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

$A$ ：杭先端面積 (m<sup>2</sup>)

$q_d$ ：杭先端における単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$U$ ：杭の周長 (m)

$L_i$ ：周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

(液状化影響評価対象層の周面摩擦力は考慮しない)

$f_i$ ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

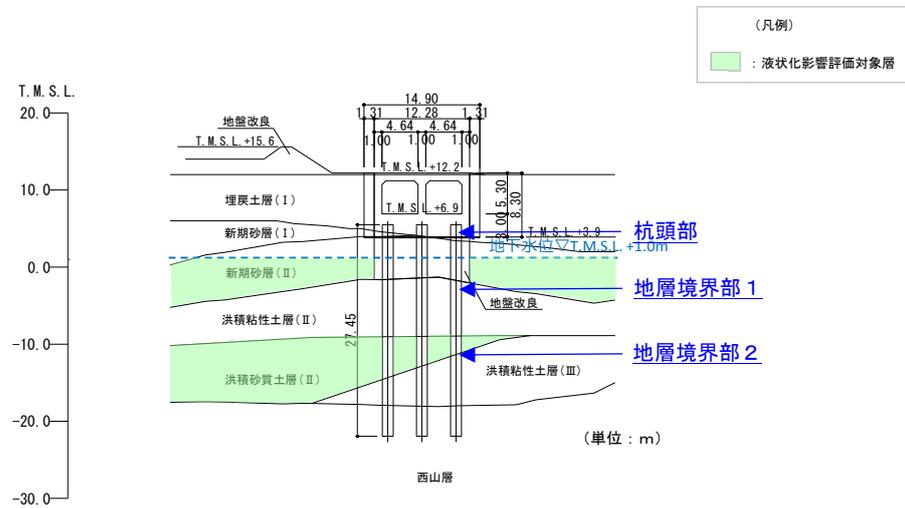
### 9.3.5 評価結果

#### 9.3.5.1 鋼管杭に対する照査結果

鋼管杭の照査位置は、第 11-9-21 図に示すとおり、杭頭部、地層境界部 1（地盤改良と洪積粘性土層 II との境界）並びに地層境界部 2（洪積砂質土層 II と洪積粘性土層 III との境界）を選定する。

鋼管杭の曲げに対する照査結果を第 11-9-28 表に示す。鋼管杭の照査用応答値は、いずれも許容限界値（終局曲率）以下である。

せん断に対する照査結果を第 11-9-29 表に示す。鋼管杭の照査用応答値は、いずれも許容限界値（終局せん断強度）以下である。



第 11-9-21 図 鋼管杭の照査位置図

第 11-9-28 表 鋼管杭の曲げに対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置 <sup>※1</sup> | 照査用曲率 <sup>※2</sup><br>$\phi$ (1/m) | 終局曲率<br>$\phi u$ (1/m) | 照査値  |
|-------|--------------------|-------------------------------------|------------------------|------|
| Ss-1  | 杭頭部                | 3.123E-04                           | 6.666E-03              | 0.05 |
|       | 地層境界部 1            | 1.285E-03                           | 6.627E-03              | 0.19 |
|       | 地層境界部 2            | 1.339E-03                           | 6.619E-03              | 0.20 |
| Ss-2  | 杭頭部                | 1.639E-04                           | 8.966E-03              | 0.02 |
|       | 地層境界部 1            | 4.096E-04                           | 9.150E-03              | 0.04 |
|       | 地層境界部 2            | 4.570E-04                           | 9.103E-03              | 0.05 |
| Ss-3  | 杭頭部                | 4.281E-04                           | 6.189E-03              | 0.07 |
|       | 地層境界部 1            | 1.936E-03                           | 6.462E-03              | 0.30 |
|       | 地層境界部 2            | 3.365E-03                           | 6.171E-03              | 0.55 |
| Ss-4  | 杭頭部                | 2.127E-04                           | 8.563E-03              | 0.02 |
|       | 地層境界部 1            | 5.862E-04                           | 8.021E-03              | 0.07 |
|       | 地層境界部 2            | 4.283E-04                           | 8.040E-03              | 0.05 |
| Ss-5  | 杭頭部                | 2.170E-04                           | 8.367E-03              | 0.03 |
|       | 地層境界部 1            | 6.139E-04                           | 7.840E-03              | 0.08 |
|       | 地層境界部 2            | 4.892E-04                           | 7.855E-03              | 0.06 |
| Ss-6  | 杭頭部                | 2.601E-04                           | 7.597E-03              | 0.03 |
|       | 地層境界部 1            | 7.302E-04                           | 7.582E-03              | 0.10 |
|       | 地層境界部 2            | 5.358E-04                           | 7.565E-03              | 0.07 |
| Ss-7  | 杭頭部                | 2.525E-04                           | 7.722E-03              | 0.03 |
|       | 地層境界部 1            | 7.874E-04                           | 7.712E-03              | 0.10 |
|       | 地層境界部 2            | 5.255E-04                           | 7.645E-03              | 0.07 |
| Ss-8  | 杭頭部                | 2.334E-04                           | 7.467E-03              | 0.03 |
|       | 地層境界部 1            | 8.224E-04                           | 7.452E-03              | 0.11 |
|       | 地層境界部 2            | 5.352E-04                           | 7.467E-03              | 0.07 |

※1 地層境界部 1：地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界

地層境界部 2：洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界

※2 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

第 11-9-29 表 鋼管杭のせん断に対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置 <sup>※1</sup> | 照査用せん断力 <sup>※2</sup><br>Q(kN) | 終局せん断強度<br>Qu(kN) | 照査値<br>Q/Qu |
|-------|--------------------|--------------------------------|-------------------|-------------|
| Ss-1  | 杭頭部                | 499                            | 9420              | 0.05        |
|       | 地層境界部 1            | 3705                           | 9420              | 0.39        |
|       | 地層境界部 2            | 2802                           | 9420              | 0.30        |
| Ss-2  | 杭頭部                | 358                            | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1            | 1745                           | 9420              | 0.19        |
|       | 地層境界部 2            | 917                            | 9420              | 0.10        |
| Ss-3  | 杭頭部                | 599                            | 9420              | 0.06        |
|       | 地層境界部 1            | 4177                           | 9420              | 0.44        |
|       | 地層境界部 2            | 3353                           | 9420              | 0.36        |
| Ss-4  | 杭頭部                | 411                            | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1            | 2314                           | 9420              | 0.25        |
|       | 地層境界部 2            | 411                            | 9420              | 0.04        |
| Ss-5  | 杭頭部                | 423                            | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1            | 2380                           | 9420              | 0.25        |
|       | 地層境界部 2            | 580                            | 9420              | 0.06        |
| Ss-6  | 杭頭部                | 455                            | 9420              | 0.05        |
|       | 地層境界部 1            | 2955                           | 9420              | 0.31        |
|       | 地層境界部 2            | 576                            | 9420              | 0.06        |
| Ss-7  | 杭頭部                | 428                            | 9420              | 0.05        |
|       | 地層境界部 1            | 2955                           | 9420              | 0.31        |
|       | 地層境界部 2            | 523                            | 9420              | 0.06        |
| Ss-8  | 杭頭部                | 405                            | 9420              | 0.04        |
|       | 地層境界部 1            | 2599                           | 9420              | 0.28        |
|       | 地層境界部 2            | 455                            | 9420              | 0.05        |

※1 地層境界部 1：地盤改良と洪積粘性土層Ⅱとの境界

地層境界部 2：洪積砂質土層Ⅱと洪積粘性土層Ⅲとの境界

※2 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.3.5.2 躯体に対する照査結果

躯体の曲げに対する照査結果を第 11-9-30 表に示す。躯体の照査用応答値は、いずれも許容限界値（限界層間変形角）以下である。

せん断に対する照査結果を第 11-9-31 表に示す。躯体の照査用応答値は、いずれも許容限界値（せん断耐力）以下である。

第 11-9-30 表 躯体の曲げに対する照査結果

| 基準地震動 | 評価位置  | 照査用層間変形角<br>$R_d^{*1}$ | 限界層間変形角<br>$R_u$ | 照査値<br>$R_d/R_u$ |
|-------|-------|------------------------|------------------|------------------|
| Ss-1  | 頂版～底版 | 0.015/100              | 1/100            | 0.02             |
| Ss-2  | 頂版～底版 | 0.007/100              | 1/100            | 0.01             |
| Ss-3  | 頂版～底版 | 0.015/100              | 1/100            | 0.02             |
| Ss-4  | 頂版～底版 | 0.008/100              | 1/100            | 0.01             |
| Ss-5  | 頂版～底版 | 0.010/100              | 1/100            | 0.01             |
| Ss-6  | 頂版～底版 | 0.010/100              | 1/100            | 0.01             |
| Ss-7  | 頂版～底版 | 0.010/100              | 1/100            | 0.01             |
| Ss-8  | 頂版～底版 | 0.013/100              | 1/100            | 0.01             |

※1 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

第 11-9-31 表 躯体のせん断に対する照査結果（頂版，底版，側壁，隔壁）

| 基準地震動 | 評価位置 | 照査用せん断応力<br>$\tau_d$ (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>※1</sup> | 短期許容せん断応力<br>$\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値<br>$\tau_d / \tau_a$ |
|-------|------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| Ss-1  | 頂版   | 0.20                                                    | 1.12                                       | 0.18                     |
|       | 底版   | 1.19                                                    | 2.09                                       | 0.57                     |
|       | 側壁   | 0.42                                                    | 1.40                                       | 0.30                     |
|       | 隔壁   | 0.55                                                    | 1.12                                       | 0.49                     |
| Ss-2  | 頂版   | 0.09                                                    | 1.12                                       | 0.08                     |
|       | 底版   | 0.47                                                    | 2.09                                       | 0.22                     |
|       | 側壁   | 0.34                                                    | 1.40                                       | 0.24                     |
|       | 隔壁   | 0.27                                                    | 1.12                                       | 0.24                     |
| Ss-3  | 頂版   | 0.22                                                    | 1.12                                       | 0.20                     |
|       | 底版   | 1.36                                                    | 2.09                                       | 0.65                     |
|       | 側壁   | 0.47                                                    | 1.40                                       | 0.34                     |
|       | 隔壁   | 0.54                                                    | 1.12                                       | 0.48                     |
| Ss-4  | 頂版   | 0.09                                                    | 1.12                                       | 0.08                     |
|       | 底版   | 0.57                                                    | 2.09                                       | 0.27                     |
|       | 側壁   | 0.32                                                    | 1.40                                       | 0.23                     |
|       | 隔壁   | 0.33                                                    | 1.12                                       | 0.29                     |
| Ss-5  | 頂版   | 0.11                                                    | 1.12                                       | 0.10                     |
|       | 底版   | 0.63                                                    | 2.09                                       | 0.30                     |
|       | 側壁   | 0.34                                                    | 1.40                                       | 0.24                     |
|       | 隔壁   | 0.37                                                    | 1.12                                       | 0.33                     |
| Ss-6  | 頂版   | 0.11                                                    | 1.12                                       | 0.10                     |
|       | 底版   | 0.62                                                    | 2.09                                       | 0.30                     |
|       | 側壁   | 0.37                                                    | 1.40                                       | 0.26                     |
|       | 隔壁   | 0.37                                                    | 1.12                                       | 0.33                     |
| Ss-7  | 頂版   | 0.12                                                    | 1.12                                       | 0.11                     |
|       | 底版   | 0.67                                                    | 2.09                                       | 0.32                     |
|       | 側壁   | 0.41                                                    | 1.40                                       | 0.29                     |
|       | 隔壁   | 0.37                                                    | 1.12                                       | 0.33                     |
| Ss-8  | 頂版   | 0.15                                                    | 1.12                                       | 0.13                     |
|       | 底版   | 0.73                                                    | 2.09                                       | 0.35                     |
|       | 側壁   | 0.44                                                    | 1.40                                       | 0.31                     |
|       | 隔壁   | 0.48                                                    | 1.12                                       | 0.43                     |

※1 照査用せん断応力  $\tau_d$  = 発生せん断応力 × 構造解析係数  $\gamma_a$   
 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

第 11-9-31 表 躯体のせん断に対する照査結果（妻壁）

| 基準地震動 | 照査用せん断応力<br>$\tau_d$ (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>※1</sup> | 短期許容せん断応力<br>$\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値<br>$\tau_d / \tau_a$ |
|-------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| Ss-1  | 0.95                                                    | 2.10                                       | 0.45                     |
| Ss-2  | 0.58                                                    | 2.10                                       | 0.28                     |
| Ss-3  | 1.26                                                    | 2.10                                       | 0.60                     |
| Ss-4  | 0.63                                                    | 2.10                                       | 0.30                     |
| Ss-5  | 0.69                                                    | 2.10                                       | 0.33                     |
| Ss-6  | 0.72                                                    | 2.10                                       | 0.34                     |
| Ss-7  | 0.63                                                    | 2.10                                       | 0.30                     |
| Ss-8  | 1.07                                                    | 2.10                                       | 0.51                     |

※1 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.3.5.3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を第 11-9-32 表に示す。最大鉛直力は、いずれも許容限界値（極限支持力）以下である。

第 11-9-32 表 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

| 基準地震動 | 最大鉛直力 <sup>※1</sup><br>V (kN) | 極限支持力<br>Q <sub>u</sub> (kN) | 照査値<br>V/Q <sub>u</sub> |
|-------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Ss-1  | 15600                         | 34100                        | 0.46                    |
| Ss-2  | 5750                          | 34100                        | 0.17                    |
| Ss-3  | 19400                         | 34100                        | 0.57                    |
| Ss-4  | 7170                          | 34100                        | 0.21                    |
| Ss-5  | 8550                          | 34100                        | 0.25                    |
| Ss-6  | 10100                         | 34100                        | 0.30                    |
| Ss-7  | 9970                          | 34100                        | 0.29                    |
| Ss-8  | 10800                         | 34100                        | 0.32                    |

※1 地盤物性のばらつきに関する安全係数を乗じていない値

### 9.3.6 まとめ

設置許可段階において液状化に伴う構造物の影響を検討する代表構造物として選定した第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の基準地震動  $S_s$  に対する構造物評価の見通しについて確認した。

地震応答解析（有効応力解析）の結果，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は，基準地震動  $S_s$  に対し，構造部材の曲げ，せん断及び基礎地盤に作用する最大鉛直力が許容限界値以下であることから，十分な構造強度を有している見通しを得た。

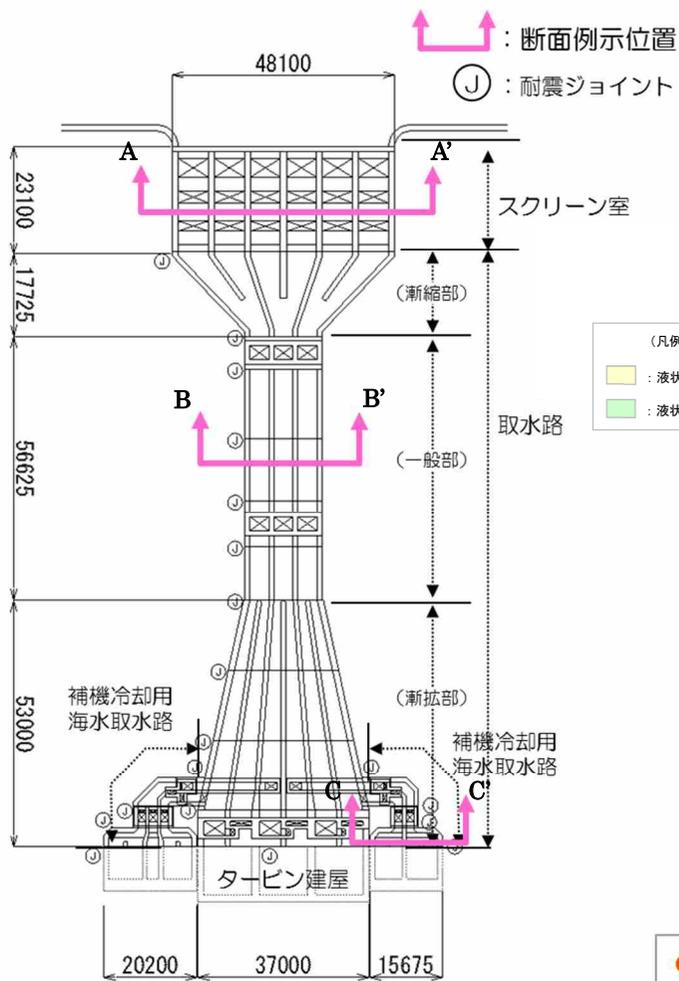
## 10. 参考文献

- ・(社)日本道路協会(2012):道路橋示方書・同解説(V耐震設計編),平成24年3月.
- ・安田進(1991):液状化の調査から対策工まで,鹿島出版会,1991年5月.
- ・地盤工学会(2009):地盤材料試験の方法と解説,平成21年11月.
- ・土木学会(2003):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,pp397-400,2003年6月.
- ・地盤工学会(2000):土質試験の方法と解説(第一回改訂版),平成12年3月.
- ・地盤工学会(2006):地盤工学用語辞典,pp219-220,平成18年3月.
- ・井合進(2008):サイクリックモビリティ Cyclic Mobility,地盤工学会誌,56-8,2008年8月.
- ・吉見吉昭(1991):砂地盤の液状化(第二版),技報堂出版,1991年,5月.
- ・永瀬英生(1984):多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性,東京大学博士論文,1984.
- ・井合進,飛田哲男,小堤治(2008):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.291-304,2008.
- ・日本港湾協会(2007):港湾の施設の技術上の基準・同解説,平成19年7月.
- ・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.
- ・龍岡文夫(1980):サイクリック・モビリティ(Cyclic Mobility),土と基礎,28-6,1980年6月.
- ・国生剛治,吉田保夫,西好一,江刺靖行(1983):密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討(その1)密な砂の動的強度特性,電力中央研究所報告 研究報告:383025,昭和58年10月.
- ・鉄道総合技術研究所(2012):鉄道構造物等設計標準・同解説,平成24年9月.
- ・亀井祐聡,森本巖,安田進,清水善久,小金井健一,石田栄介(2002):東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響,地盤工学会論文報告集,Vol.42, No.4, 101-110.
- ・吉見吉昭(1994):砂の乱さない試料の液状化抵抗~N値~相対密度関係,土と基礎,Vol.42, No. 4, pp. 63-67, 1994.
- ・Imai T. & Tonouchi K. (1982): Correlation of N Value with ESOP II S-wave Velocity and shear Modulus.

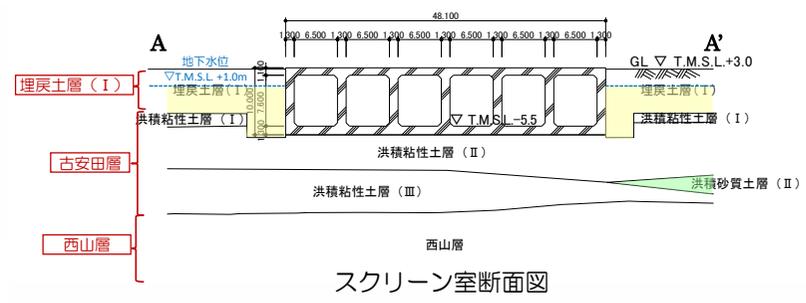
## 11. 参考資料

### 11.1 評価対象構造物の断面図

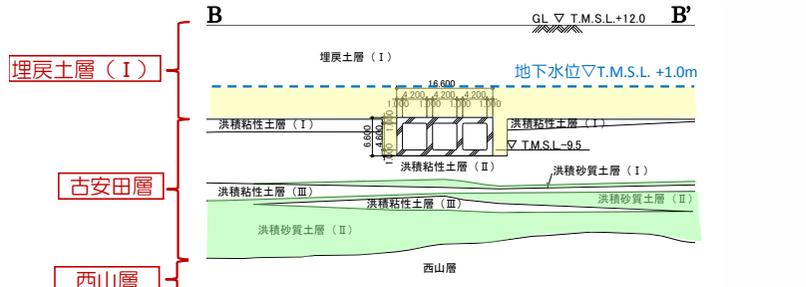
液状化評価の対象となる構造物の断面図を第 11-11-1～9 図に示す。



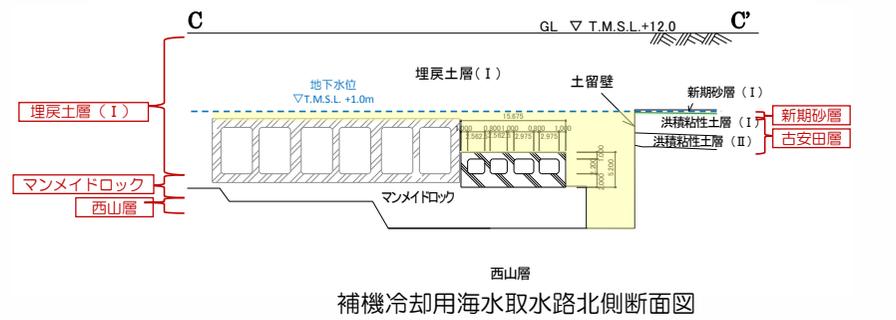
(凡例)  
 □ : 液状化層  
 □ : 液状化影響評価対象層



スクリーン室断面図



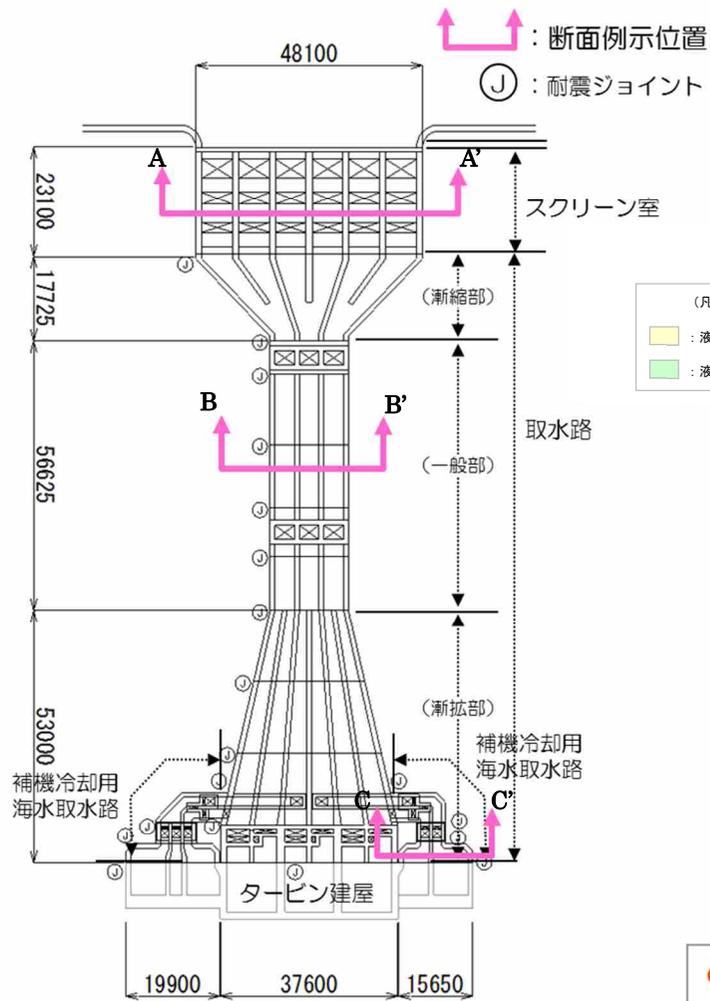
取水路一般部断面図



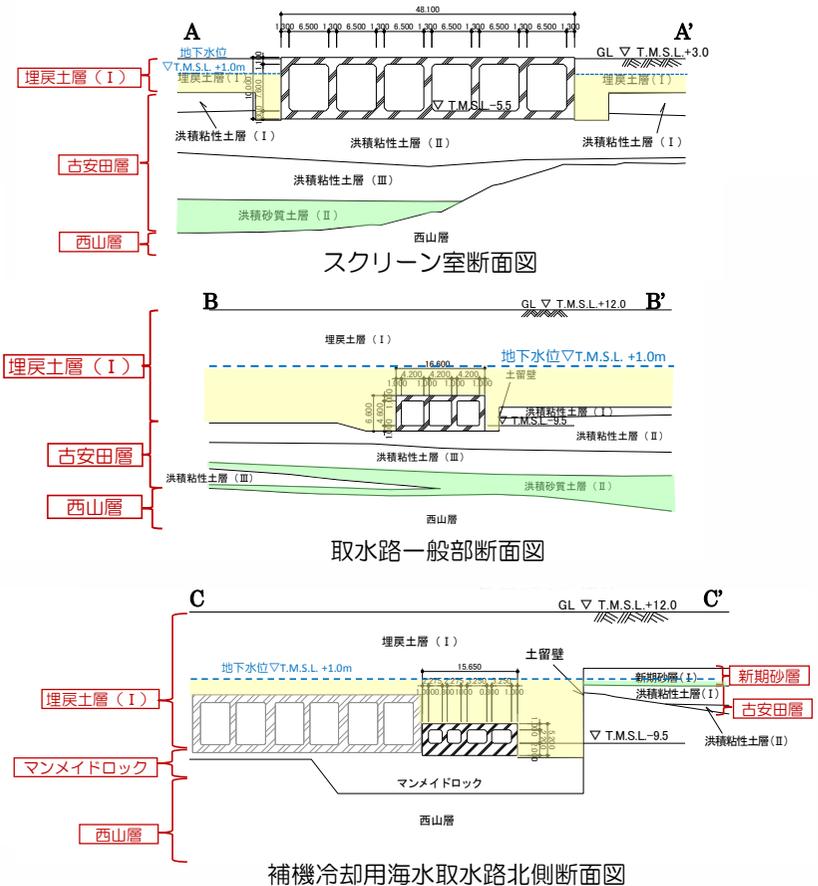
補機冷却用海水取水路北側断面図

● 6号炉取水路の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）および影響評価対象層（洪積砂質土層）が存在する。

第 11-11-1 図 6号炉取水路断面図

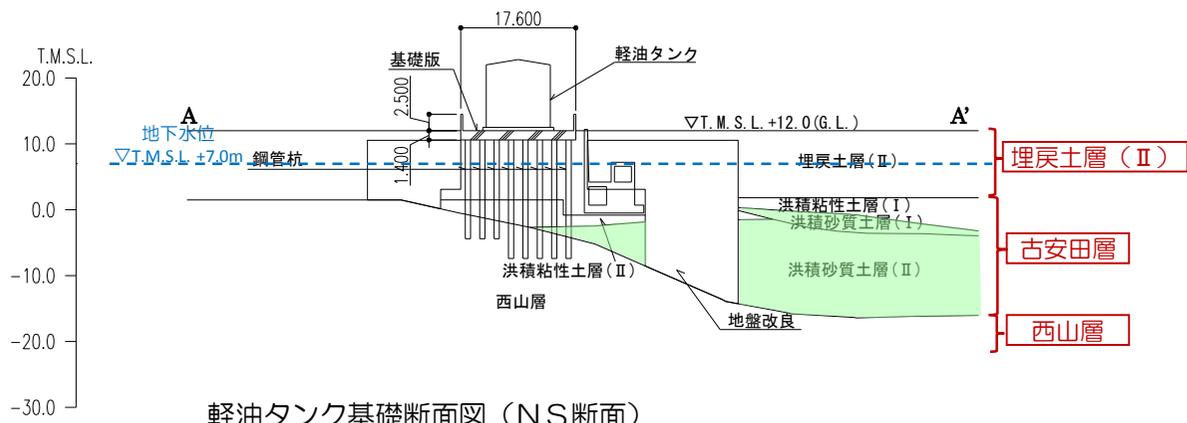
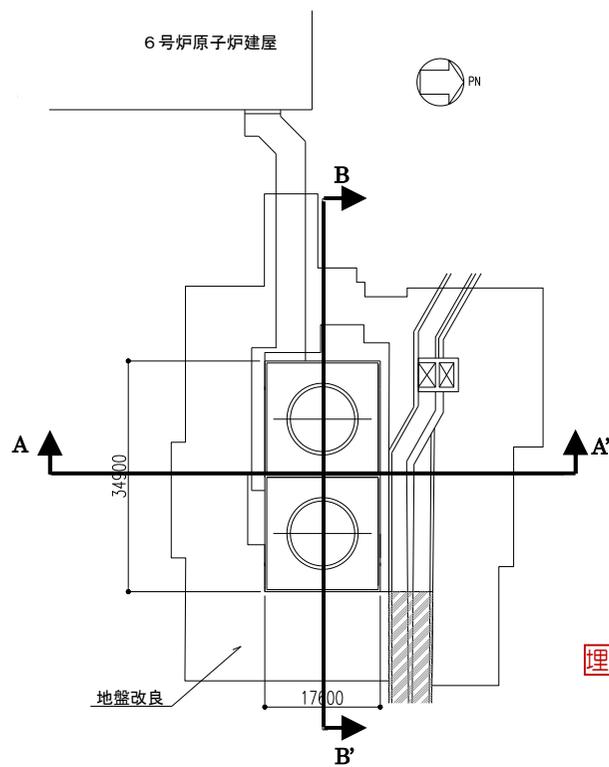


(凡例)  
 □ : 液状化層  
 □ : 液状化影響評価対象層

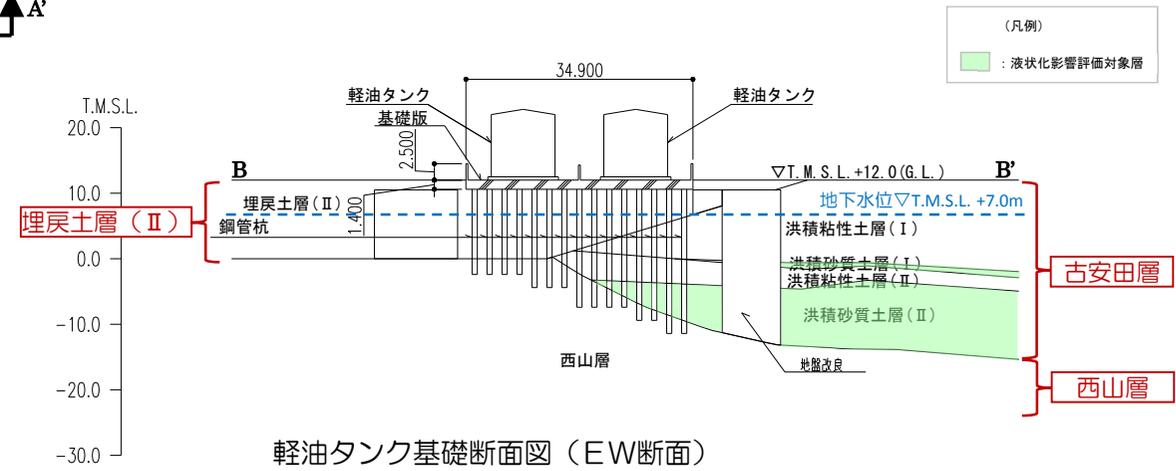


● 7号炉取水路の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）および影響評価対象層（洪積砂質土層）が存在する。

第 11-11-2 図 7号炉取水路断面図



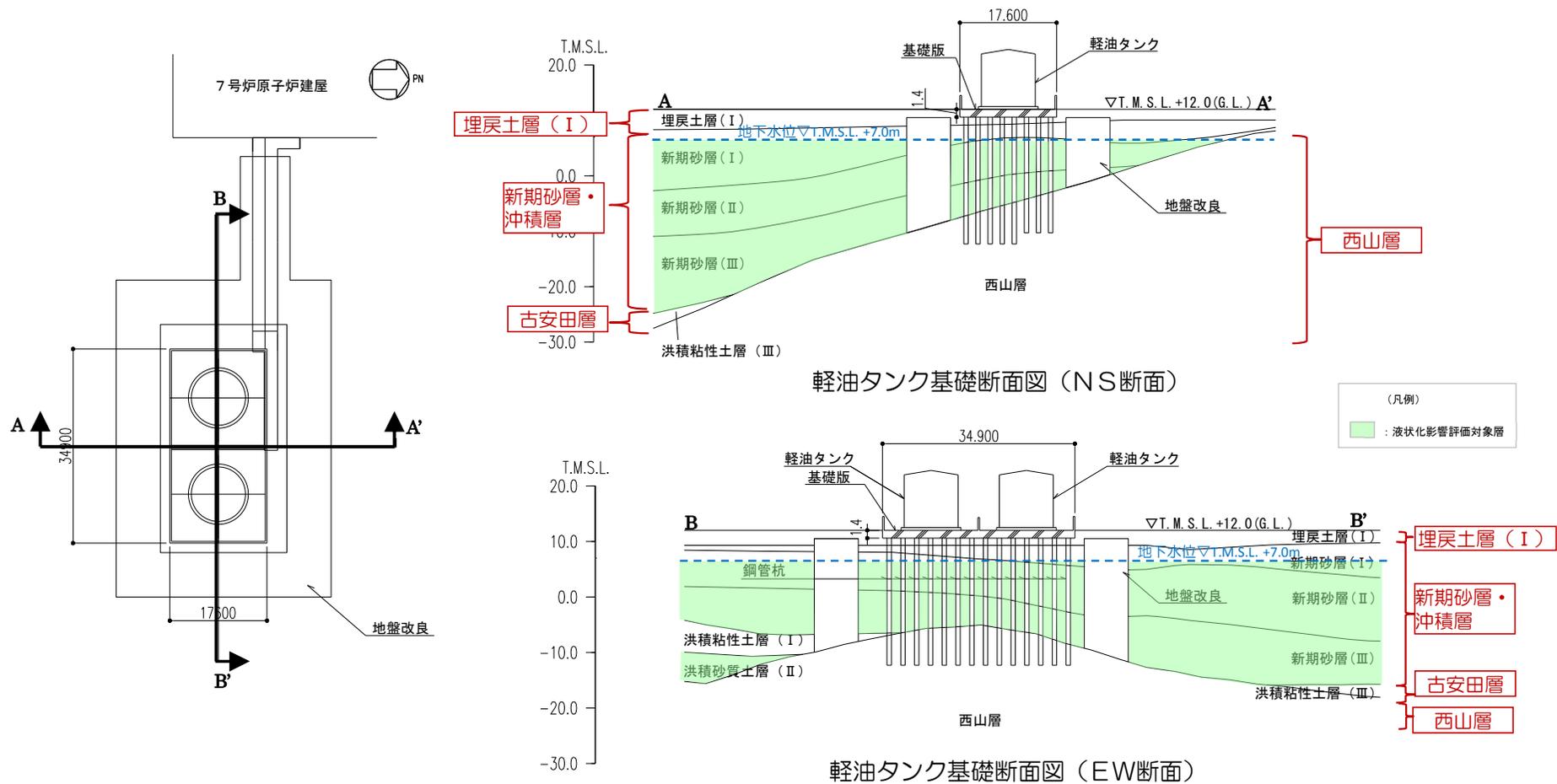
軽油タンク基礎断面図 (NS断面)



軽油タンク基礎断面図 (EW断面)

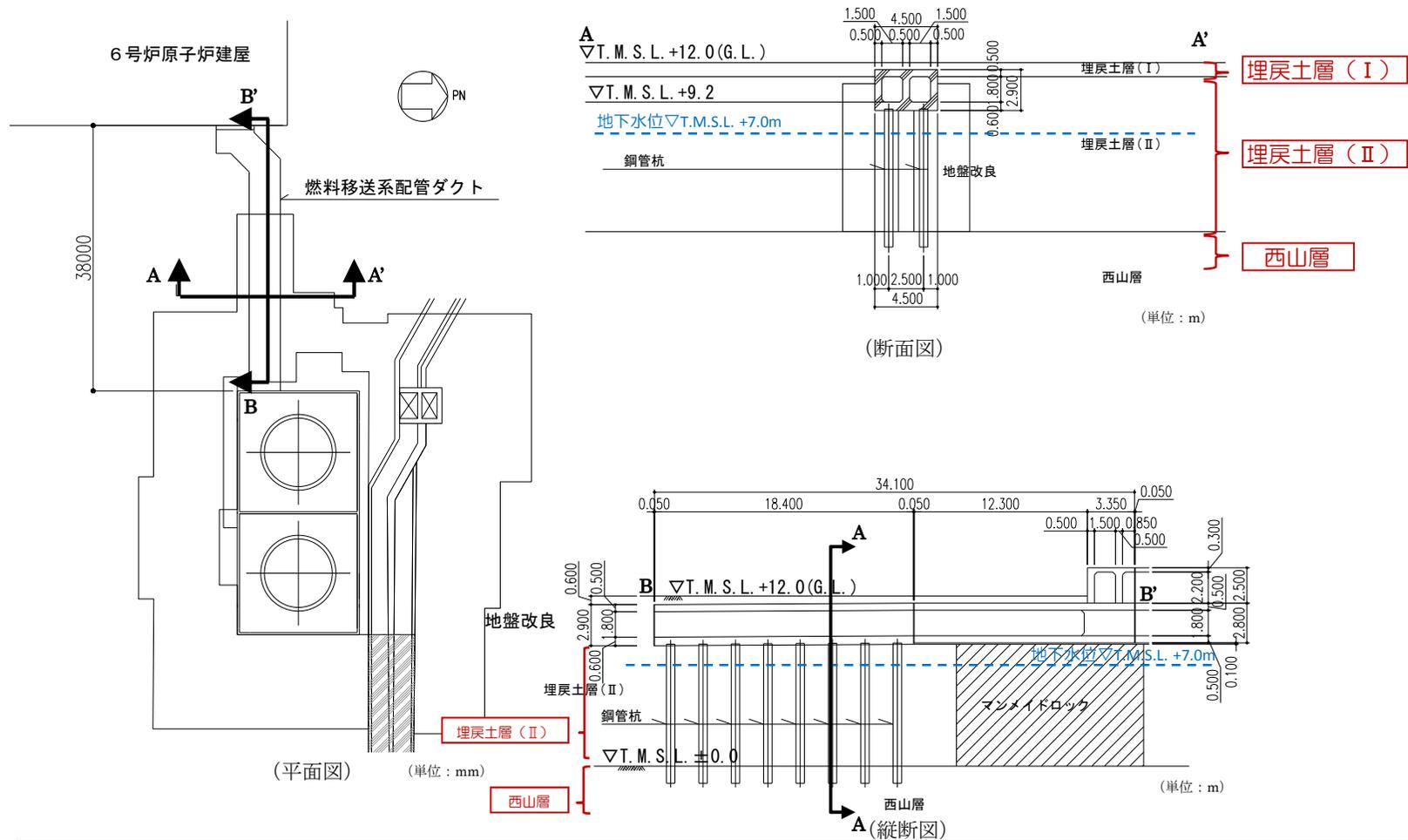
● 6号炉軽油タンク基礎の周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（洪積砂質土層）が存在する。  
 ※埋戻土層(II)は、建設時に掘削した西山層（泥岩）を埋め戻したものである。

第 11-11-3 図 6号炉軽油タンク基礎断面図



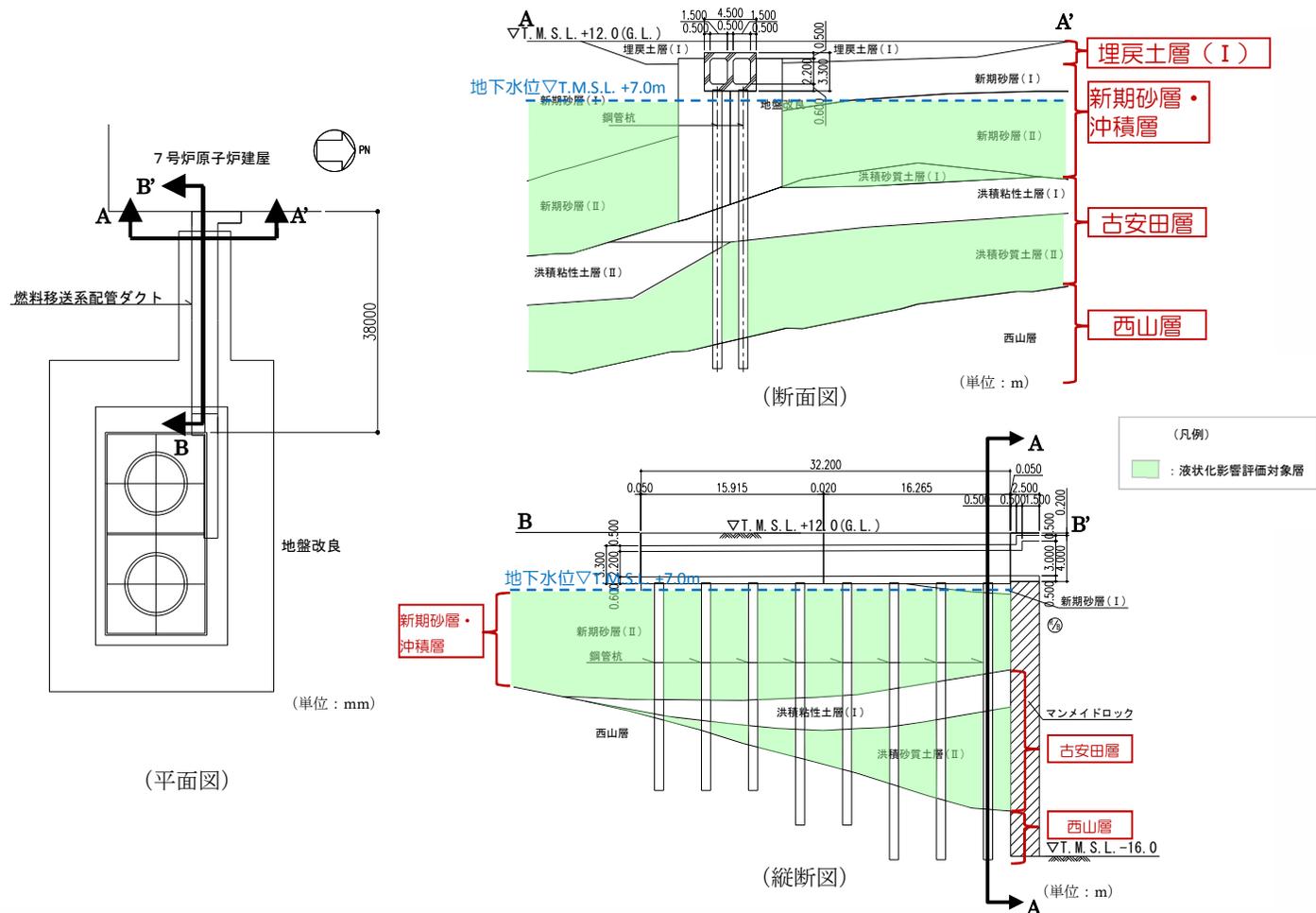
● 7号炉軽油タンク基礎の周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（新期砂層・沖積層，洪積砂質土層）が存在する。

第 11-11-4 図 7号炉軽油タンク基礎断面図



- 6号炉燃料移送系配管ダクトの周辺には、地下水位以下に液状化層および影響評価対象層は存在しない。  
※埋戻土層(II)は、建設時に掘削した西山層(泥岩)を埋め戻したものである。

第 11-11-5 図 6号炉燃料移送系配管ダクト断面図

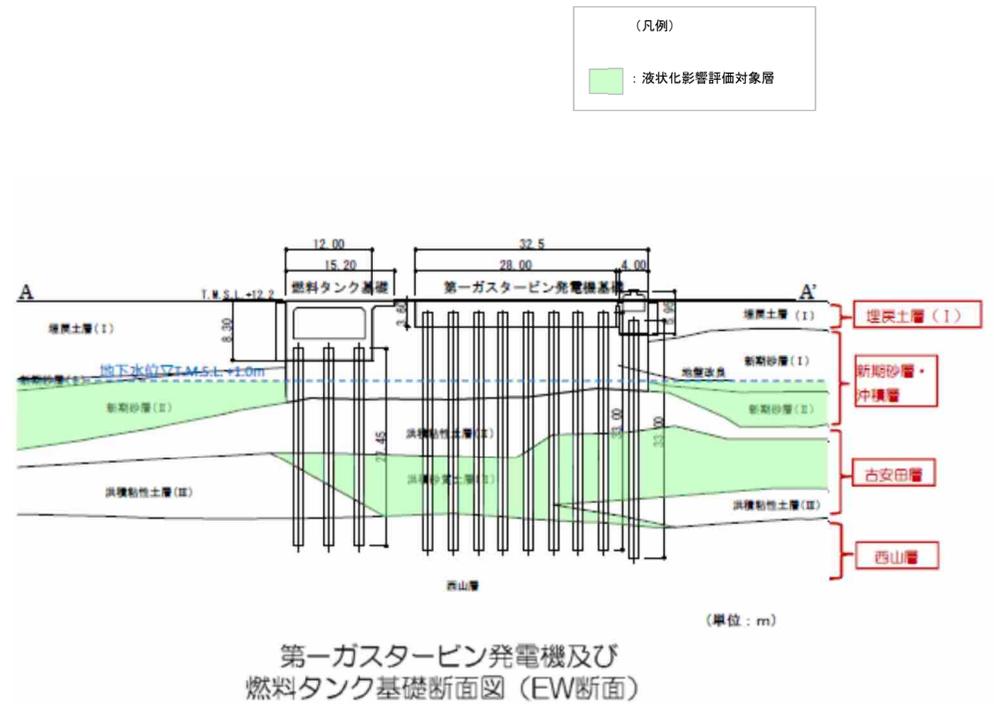


● 7号炉燃料移送系配管ダクトの周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（新期砂層・沖積層）が存在する。

第 11-11-6 図 7号炉燃料移送系配管ダクト断面図

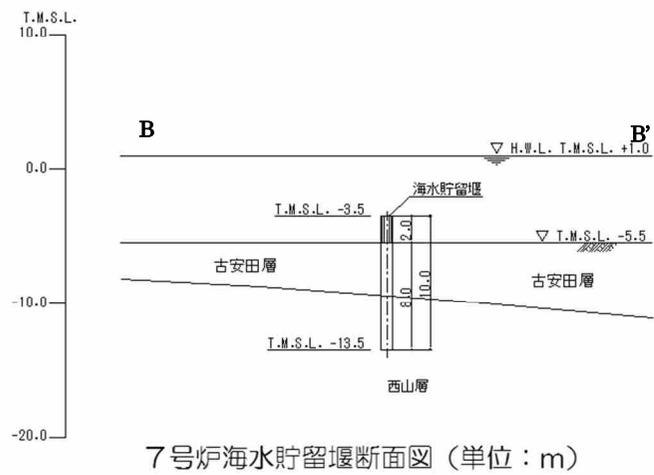
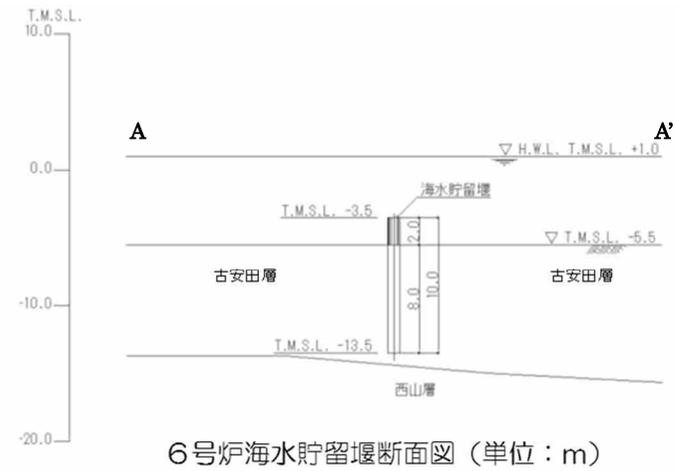
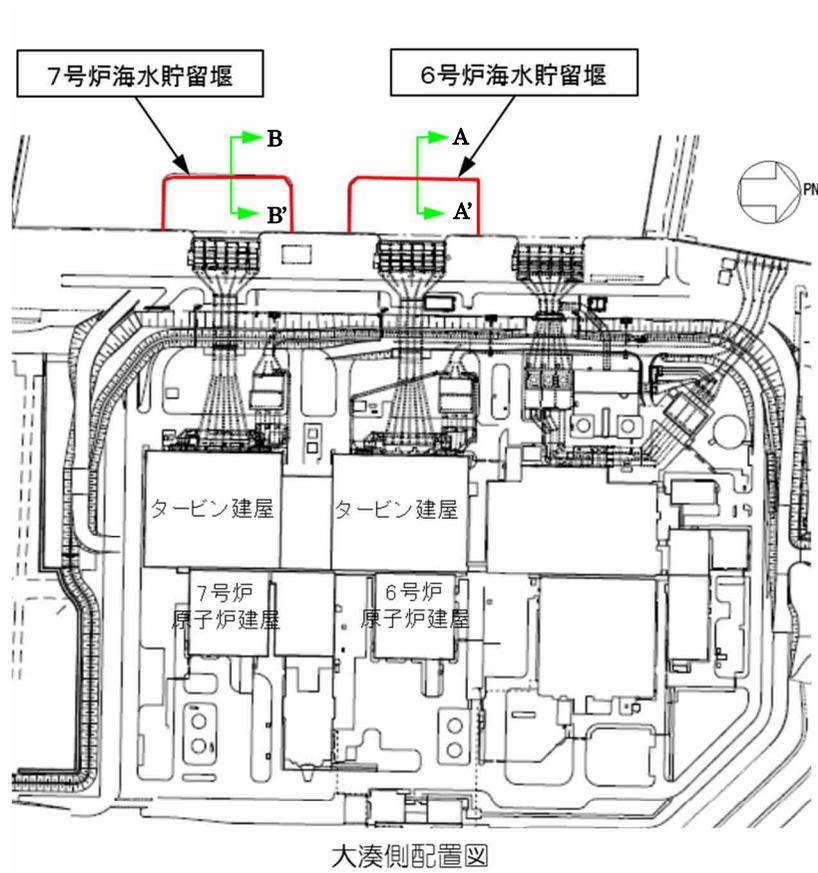


大湊側配置図



- 第一ガスタービン発電機及び燃料タンク基礎の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）および影響評価対象層（新期砂層・沖積層，洪積砂質土層）が存在する。

第 11-11-7 図 第一ガスタービン発電機及び燃料タンク基礎断面図



● 海水貯留堰の周辺には、液状化層および影響評価対象層は存在しない。

第 11-11-8 図 海水貯留堰断面図

## 11.2 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足

新期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。本層は、主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜、砂丘を形成しており、下位層を不整合に覆う。新期砂層・沖積層は、荒浜側防潮堤付近で確認されており、比較的淘汰が良く、固結の程度が低い。第 11-11-1 表に敷地の地質層序表を、第 11-11-9 図に敷地の地質図を、第 11-11-10 図に新期砂層・沖積層の露頭状況を示す。

1号海水機器建屋南側法面では、古安田層中に砂質土が確認されている。この砂質土には最上部に腐植質シルトを挟在する個所があり、上位の新期砂層・沖積層と不整合で境している。ここでは新期砂層・沖積層と古安田層の不整合が、T.M.S.L.-2m付近に確認されている。古安田層中の砂層には、葉理が認められ、新期砂層・沖積層に比べシルト質で固結の程度が高い。第 11-11-11 図に古安田層中の砂層の露頭状況を示す。

以上より、荒浜側にみられる新期砂層・沖積層を古安田層中の砂層の層位関係を直接確認しており、これらの対比は可能である。

一方、新期砂層・沖積層及び古安田層中の砂層の N 値の差異について検討を実施した。検討に当たっては、N 値に影響のある物性として、細粒分含有率 ( $F_c$ )、相対密度 ( $D_r$ ) 及び初期せん断弾性係数 ( $G_0$ ) を抽出し、N 値への影響について比較した。

亀井ほか (2002) では、東京低地における沖積砂質土を対象に、細粒分と N 値の関係を整理しており、これによると、細粒分が減少するほど N 値が大きくなる傾向が認められる。第 11-11-12 図に A-3 地点における N 値と細粒分含有率の関係を示すが、A-3 地点における調査結果でも亀井ほか (2002) と同様の傾向が認められる。第 11-11-13 図に各層における粒径加積曲線の結果を示す。新期砂層・沖積層には細粒分がほとんど含まれておらず、細粒分含有率は洪積砂層より小さいことから、粒度組成の違いが N 値に影響していると考えられる。

第 11-11-14 図に N 値と相対密度の関係を示す。吉見 (1994) では、相対密度と N 値の関係を整理しており、相対密度が増加するほど N 値が大きくなる傾向が認められる。新期砂層・沖積層の相対密度は洪積砂層と比較してやや大きい傾向にあり、相対密度の違いが N 値の違いに影響している可能性があると考えられる。

第 11-11-15 図に N 値と初期せん断弾性係数の関係を示す。新期砂層・沖積層の初期せん断弾性係数は洪積砂層と比較してやや大きい傾向にあり、初期せん断弾性係数の違いが N 値の違いに影響している可能性があると考えられる。

第 11-11-2 表に各物性の N 値への影響について、整理して示す。N 値に影響のある物性として、細粒分含有率、相対密度、初期せん断弾性係数を抽出し、検討した結果、新期砂層・沖積層と洪積砂層の各物性の関係は、N 値の関係と整合しており、特に細粒分含有率の違いが N 値の違いに影響していると考えられる。

また、第 11-11-16 図に新期砂層・沖積層のコア写真の一例を示すが、新期砂層・沖積

層のボーリングコアは形状を維持して採取できているため、現世の砂丘砂と比較して続成作用が進んでいると考えられる。

第 11-11-1 表 敷地の地質層序表

| 時代  | 地層名  | 主な層相・岩質  | テフラ・放射年代                            |                                            |                                             |
|-----|------|----------|-------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 第四紀 | 完新世  | 新期砂層・沖積層 | 上部は灰白色の細～中粒砂<br>下部は茶褐色の細～中粒砂，腐植物を含む | 腐植 (6, 150 ± 170年)                         |                                             |
|     |      | 後期       | 番神砂層                                | 灰白色～赤褐色の中～粗粒砂                              |                                             |
|     | 大湊砂層 |          | 褐色～黄褐色の中～粗粒砂，<br>シルトの薄層を含む          | NG (約13万年前)                                |                                             |
|     | 更新世  | 中期       | A <sub>1</sub> 部層                   | 最上部は砂<br>粘土～シルト，砂を多く挟む                     | y-l (約20万年前)                                |
|     |      |          | A <sub>2</sub> 部層                   | 粘土～シルト<br>織状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む             |                                             |
|     |      |          | A <sub>3</sub> 部層                   | 粘土～シルト<br>砂，厚い砂礫，有機物を挟む                    | Ata-Th (約24万年前)                             |
|     |      |          | A <sub>4</sub> 部層                   | 粘土～シルト<br>砂，砂礫を挟む                          | Kkt (約33-34万年前)                             |
|     | 前期   | 灰爪層      | 凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩                     | Iz (約1.5Ma)                                |                                             |
|     |      | 西山層      | N <sub>1</sub> 部層                   | 砂質泥岩<br>砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む<br>貝化石を含む          |                                             |
|     |      |          | N <sub>2</sub> 部層                   | シルト質泥岩<br>織状泥岩，凝灰岩，ノジュールを多く挟む              | Fup (約2.2Ma)<br>Tsp (約2.3Ma)<br>Az (約2.4Ma) |
|     | 第三紀  | 鮮新世      | N <sub>3</sub> 部層                   | シルト質～粘土質泥岩<br>砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む<br>珪質海綿化石を含む | Nt-17 (340 ± 20万年)<br>Nt-7 (350 ± 20万年)     |
|     |      |          | 椎谷層                                 | 砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む                         |                                             |
| 中新世 |      | 後期       |                                     |                                            |                                             |
|     |      | 中期       | 寺泊層                                 | 黒色泥岩，砂岩・泥岩互層                               |                                             |

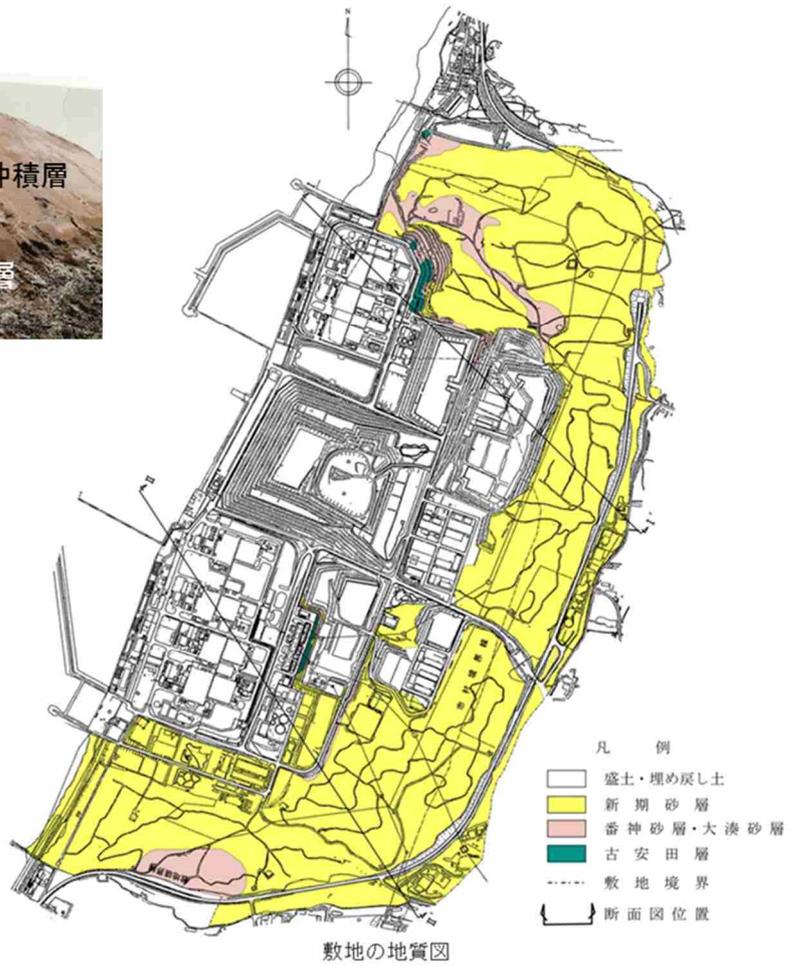
~~~~ 不整合



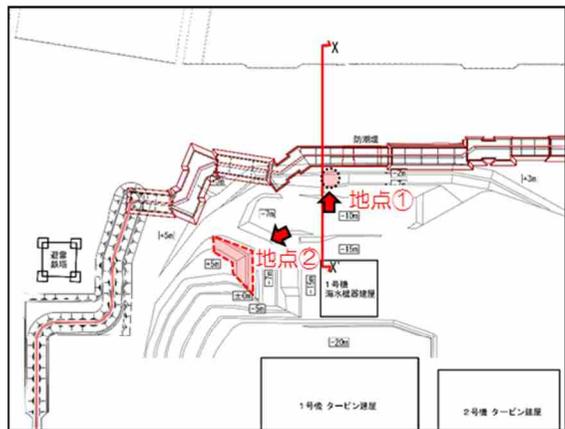
2号造成北側法面



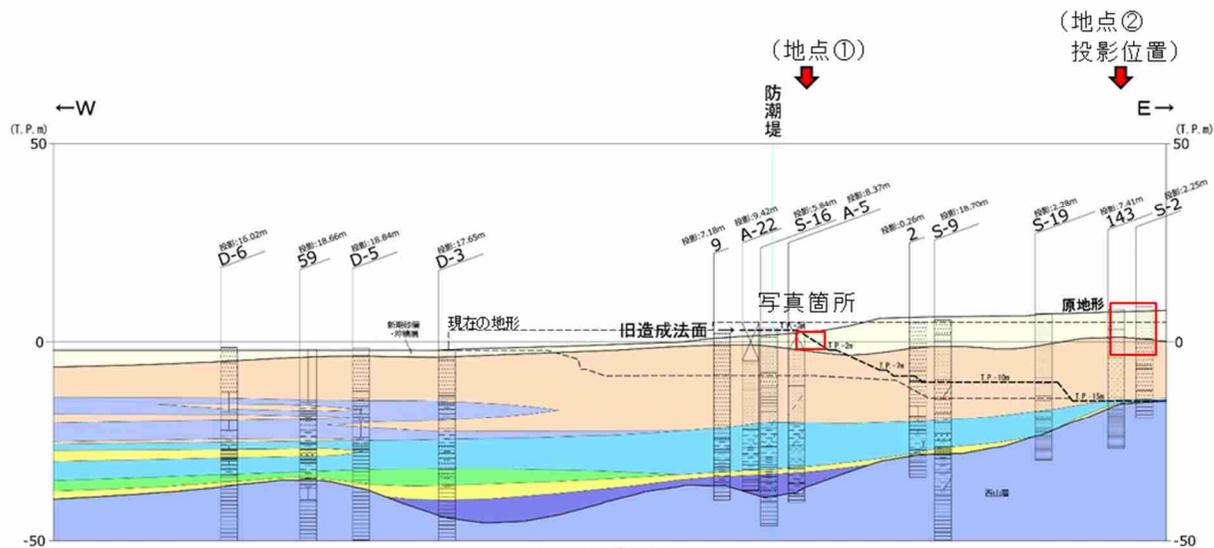
2号造成北側法面
(新期砂層・沖積層拡大)



第 11-11-9 図 敷地の地質図



位置図



X-X' 断面

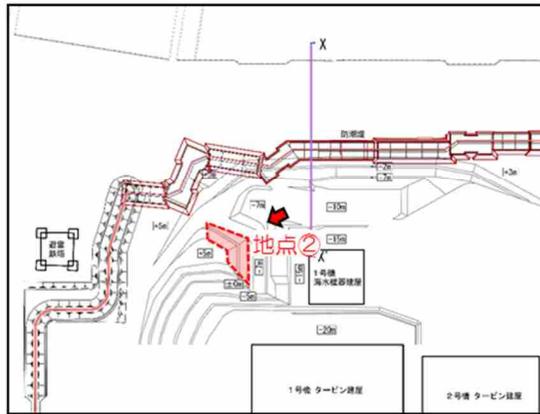


1号海水機器建屋西側法面 T.M.S.L.+3m~-2m
新期砂層・沖積層 (地点①)

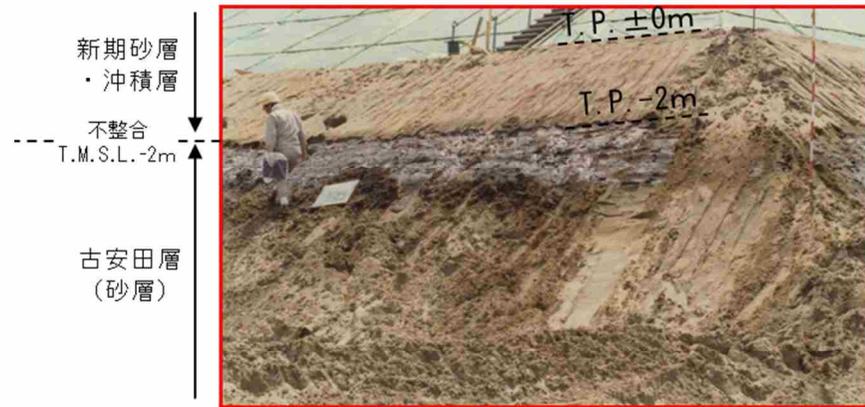
地質凡例

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 埋戻土 | |
| 新期砂層・沖積層 | |
| 番神砂層・大湊砂層 | |
| A ₂ ~A ₃ 部層 | 粘性土 |
| | 粘性土・砂質土互層 |
| | 砂質土 |
| 古安田層 | 粘性土 |
| | 粘性土・砂質土互層 |
| | 砂質土 |
| A ₁ 部層 | 粘性土 |
| | 粘性土・砂質土互層 |
| | 砂質土 |
| 西山層 | |

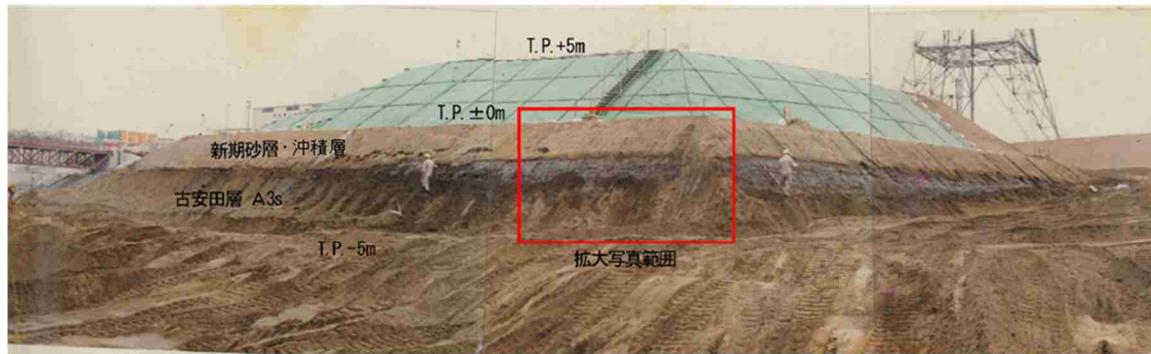
第 11-11-10 図 新期砂層・沖積層の露頭状況



位置図



新期砂層・沖積層と古安田層 (砂層) 地層境界

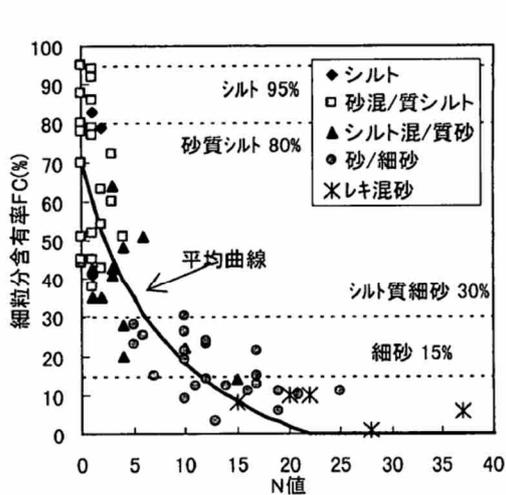


1号海水機器建屋南側法面 T.M.S.L. ±0~-5m全景 (地点②)



1号海水機器建屋南側法面 T.M.S.L. -5m~-7m
古安田層中の砂層 (地点②)

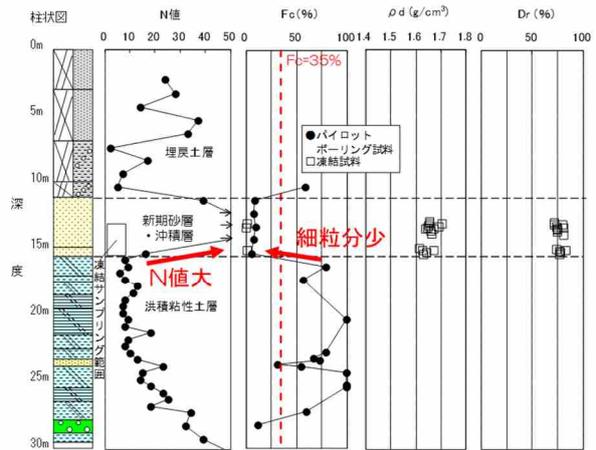
第 11-11-11 図 古安田層中の砂層の露頭状況



沖積層のN値と細粒分含有率の関係 (亀井ほか, 2002[※])

※亀井祐聡、森本麻、安田進、清水善久、小金井健一、石田栄介 (2002)

: 東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液化強度に及ぼす影響、地盤工学会論文報告集、Vol.42、No.4、101-110

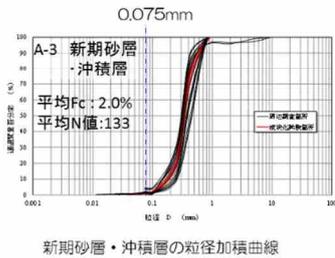


A-3地点における調査結果

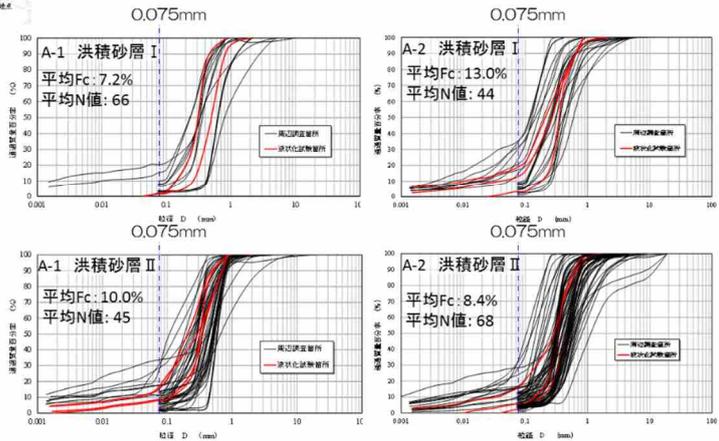
第 11-11-12 図 N 値と細粒分含有率の関係 (A-3 地点)



荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)

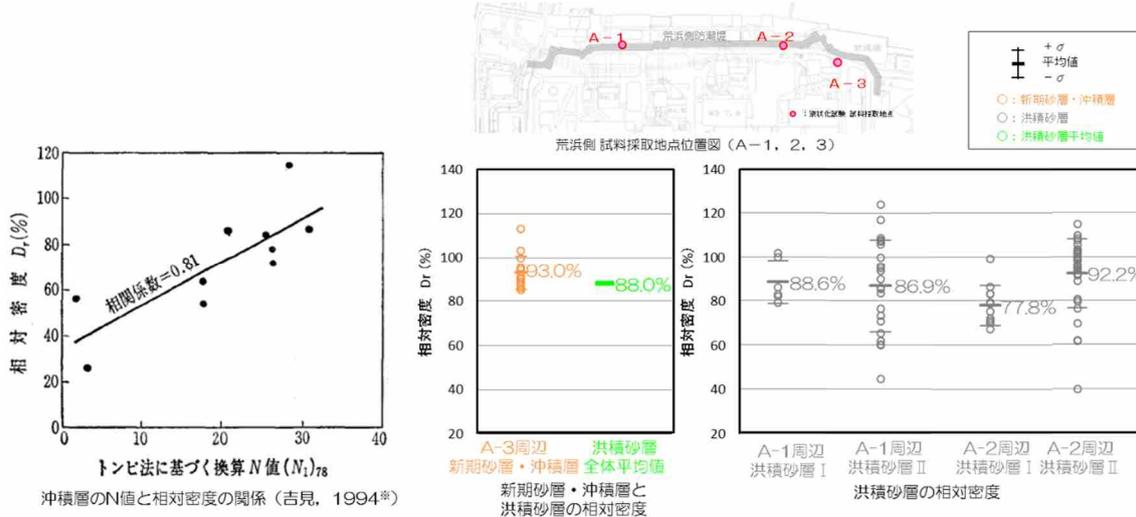


新期砂層・沖積層の粒径加積曲線



洪積砂層の粒径加積曲線

第 11-11-13 図 各層における粒径加積曲線



第 11-11-14 図 N 値と相対密度の関係

■ 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編では、せん断弾性速度 (V_s) を下式によって N 値から推定してもよいとしている。 ($G_0 = \rho V_s^2$)

砂質土の場合

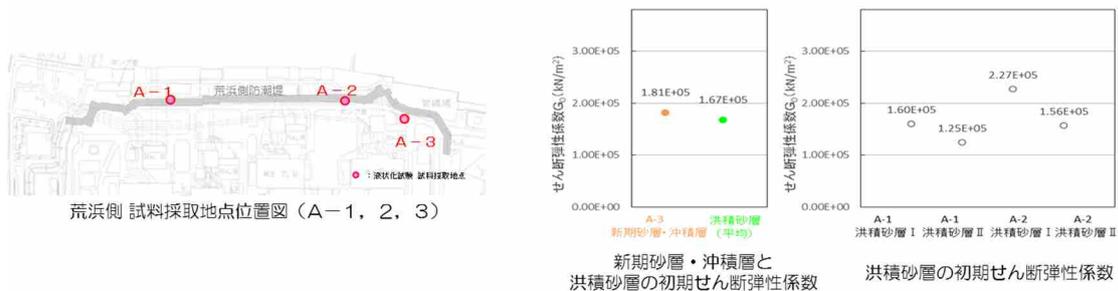
$$V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$$

ここに、 V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性速度
 N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

■ Imai et al. (1982) ^{*}によると、 N 値とせん断弾性係数との間には、下式のような関係にあるとしている。

$$G_m = 144N^{0.88}$$

ここに、 G_m : せん断弾性係数



第 11-11-15 図 N 値と初期せん断弾性係数の関係

第 11-11-2 表 各物性の N 値への影響

| 物性 | N 値との関係 | 検討結果 (物性の比較) | N 値への影響 |
|---|--|--------------|---------|
| 細粒分含有率 (F ₀) | <p>細粒分が減少するほど N 値が大きくなる傾向が認められる。</p> <p>吹積層のN値と細粒分の関係</p> | | ○ |
| 相対密度 (D _r) | <p>相対密度が増加するほど N 値が大きくなる傾向が認められる。</p> <p>N値と相対密度の関係</p> | | △ |
| 初期せん断弾性係数 (G ₀)
(G ₀ = ρVs ²) | <p>せん断弾性速度 (V_s) (砂質土の場合)
 $V_s = 80N_i^{1/3}$ (1 ≤ N_i ≤ 50)
 V_s: i 番目の地層の平均せん断弾性速度
 N_i: 標準貫入試験による i 番目の地層の平均N値</p> <p>N値とせん断弾性係数との間には、右式のような関係にあるとしている。</p> <p>$G_m = 144N^{0.88}$
 G_m: せん断弾性係数</p> | | △ |



F5-16孔における新期砂層・沖積層



F5-16孔ボーリング位置図

- 防潮堤付近で行ったボーリングによると、新期砂層・沖積層のボーリングコアは形状を維持して採取できているため、現世の砂丘砂と比較して続成作用が進んでいると考えられる。

第 11-11-16 図 新期砂層・沖積層のコア写真 (F5-16 孔)

【参考文献】

- 1) 亀井祐聡, 森本巖, 安田進, 清水善久, 小金井健一, 石田栄介: 東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響, 地盤工学会論文報告集, Vol.42, No.4, pp.101-110, 2002年8月.
- 2) 吉見吉昭(1994): 砂の乱さない試料の液状化抵抗～N 値～相対密度関係, 土と基礎, Vol.42, No. 4, pp. 63-67, 1994.
- 3) (社)日本道路協会 (2012): 道路橋示方書・同解説 (V耐震設計編), 平成 24 年 3 月.
- 4) Imai T.& Tonouchi K. (1982): Correlation of N Value with ESOPT II S-wave Velocity and shear Modulus.

11.3 液状化に関連する基本物性に関する補足

液状化に関連する基本物性に関して、第 11-11-17 図にN値（標準貫入試験）について、第 11-11-18 図に細粒分含有率（Fc）について、第 11-11-19 図に乾燥密度及び間隙比について、第 11-11-20 図に相対密度（Dr）について、第 11-11-21 図に粒径加積曲線について示す。

N値とは

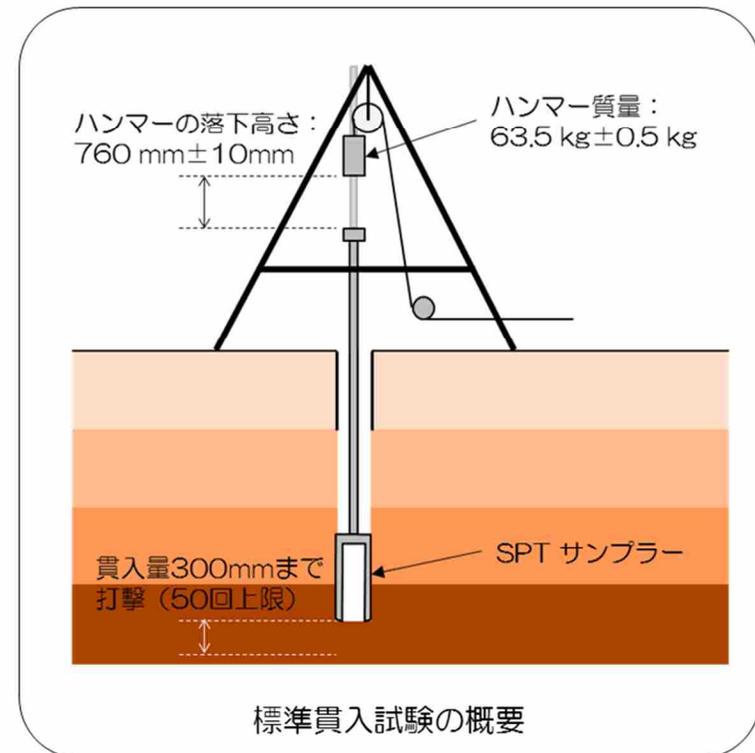
- N値は、原位置で行う標準貫入試験により求まる値であり、地盤の硬さ・強度や締まりの程度の評価に用いられる。N値が高い方が地盤が硬く・密であり、小さい方が地盤が軟らかく・疎である。
- N値は、地盤上または地盤中に構築する構造物の設計等において、地盤の強度（内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c 、支持力度、液状化強度など）や地盤の剛性（S波速度、弾性係数など）を推定するために一般的に用いられている。

試験方法

- 標準貫入試験は、「標準貫入試験方法」(JIS A 1219:2001)に基づいて実施する。
- 試験は、質量63.5 kg \pm 0.5 kgのハンマーを760 mm \pm 10mmの高さから落下させて、SPT サンプラーを打ち込む。50回を打撃回数の限度として、300mm貫入するに必要な打撃回数（N値）を求める。
- また、打撃回数50回において、貫入量が300mm未満のものについては、以下の換算によりN値を評価した。

$$N \text{ 値} = \frac{300\text{mm}}{\text{打撃回数50回における打込み深度(mm)}} \times 50$$

（例）打撃回数50回において打込み深度が200mmの場合のN値は75となる。



第 11-11-17 図 N値（標準貫入試験）について

細粒分含有率 (Fc) とは

- 細粒分含有率 (Fc) は、地盤を構成する土粒子の全質量に対する細粒分（粒径0.075mm未満）の質量割合であり、土質材料を分類する際の指標として用いられ、液状化判定の対象層選定の指標としても用いられる。
- 細粒分含有率 (Fc) は、土質材料の分類以外にも、液状化強度の推定など地盤の工学的性質に及ぼす細粒分の影響を検討する際のパラメータとしてよく用いられている。また、盛土材の適否を検討する際にも細粒分含有率が用いられる。

試験方法

- 細粒分含有率試験は、「土の細粒分含有率試験方法」(JIS A 1223:2000)に基づいて実施する。
- 試料の乾燥質量 (m_s) を測定する。次に、ふるい目開き0.075mmに残った試料の乾燥質量 (m_{0s}) を測定し、細粒分含有率 (Fc) を評価する。

$$F_c = \frac{m_s - m_{0s}}{m_s} \times 100$$



第 11-11-18 図 細粒分含有率 (Fc) について

乾燥密度、間隙比とは

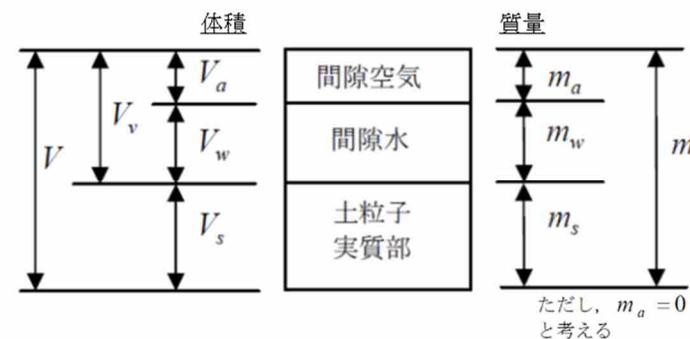
- 乾燥密度、間隙比は、土の湿潤密度、含水比試験及び土粒子の密度試験から求まる湿潤密度、含水比及び土粒子の密度から算出され、土の締め具合を表す基本的な土の物性値である。なお、間隙比は相対密度の算出にも用いられる。

試験方法

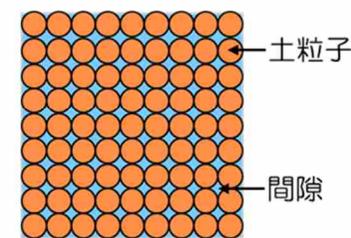
- 湿潤密度は「土の湿潤密度試験方法」(JIS A 1225:2009)に、含水比は「土の含水比試験方法」(JIS A 1203:2009)に、土粒子の密度は「土粒子の密度試験方法」(JIS A 1202:2009)に基づいて実施する。
- 「土の湿潤密度試験方法」においては、乱さない供試体の質量と体積を室内で直接測定して求める。「土の含水比試験方法」においては、試料の乾燥前後の質量を測定して求める。「土粒子の密度試験方法」においては、土粒子の質量と体積を測定して求める。
- 乾燥密度(ρ_d)及び間隙比(e)は、下式により算出する。

$$\rho_d = (\rho_t / (1 + w/100)) = m_s / V$$

$$e = (\rho_s / \rho_d) - 1 = V_v / V_s$$



| | |
|------------|----------------------------------|
| 土の湿潤密度 | $\rho_t = m / V$ |
| 土の乾燥密度 | $\rho_d = m_s / V$ |
| 土粒子の(質量)密度 | $\rho_s = m_s / V_s$ |
| 含水比(%) | $w = \frac{m_w}{m_s} \times 100$ |
| 間隙比 | $e = \frac{V_v}{V_s}$ |



地盤内の土粒子と間隙のイメージ

第 11-11-19 図 乾燥密度及び間隙比について

相対密度とは

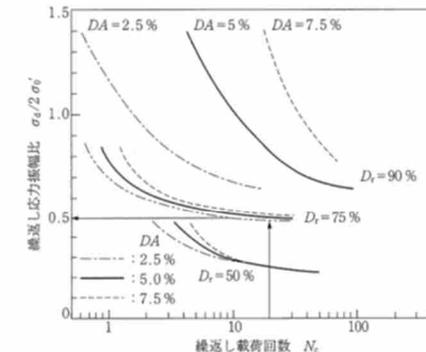
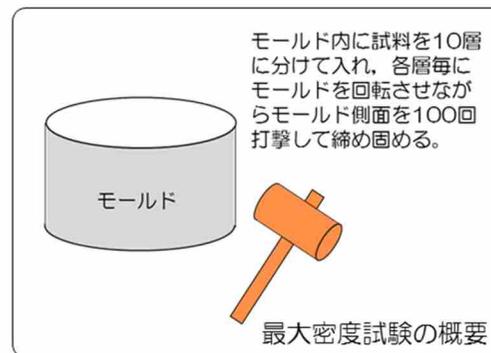
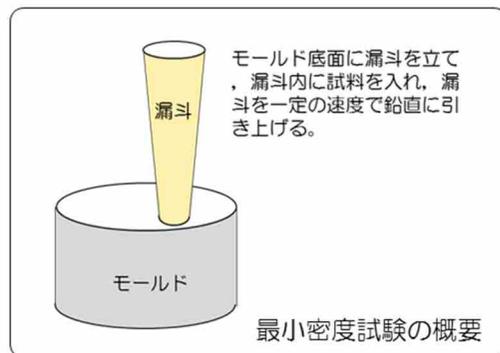
- 相対密度は、下式で定義される地盤の締めりを表す指標である。相対的に、相対密度が大きい方が地盤は密で、小さい方が疎である。
- 砂の相対密度は、力学特性を表すパラメータとして利用されている。なお、相対密度はそれぞれの密度の誤差が相対密度に大きな誤差となって反映されるという特徴を持っており、特に細粒分を多く含む場合には誤差が大きくなる特性がある。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

e : 試料の間隙比 (間隙の体積 ÷ 土粒子の体積)
 e_{\max} : 最小密度試験による試料の間隙比
 e_{\min} : 最大密度試験による試料の間隙比

試験方法

- 最大、最小密度の試験は、「砂の最小密度・最大密度試験方法」(JIS A 1224:2000)に基づいて実施する。
- 「砂の最小密度・最大密度試験方法」においては、「2mmふるいを通し、75 μ mふるいに95%以上残留する砂」を基本としており、採取した試料のうち粒径2mm以上の礫を除去して試験を実施した。
- 地盤工学会(2000)によれば、「更新世中期や前期に堆積した砂のように極めて密な砂の場合、相対密度は100%を越えることが普通である。」とされている。



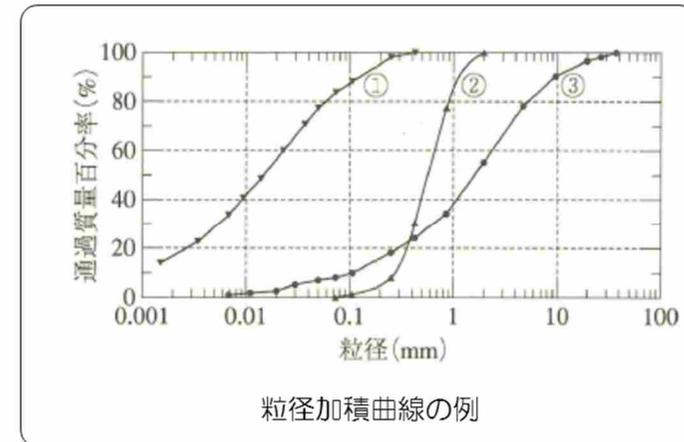
第 11-11-20 図 相対密度 (D_r) について

粒径加積曲線とは

- 土を構成する土粒子の粒度の分布状態を粒度といい，土粒子の分布状態を粒径とその粒径より小さい粒子の質量百分率の関係を示した曲線を粒径加積曲線という。
- 粒径加積曲線は，土の締固め特性や透水性及び液状化強度などの力学的性質の推定，建設材料としての適性の判定や掘削工・基礎工などの施工法の決定などに利用されている。

試験方法

- 土の粒度試験は，「土の粒度試験方法」(JIS A 1204:2009)に基づいて実施する。
- 「土の粒度試験方法」においては，粒径2mm以上の土粒子はふるい分析を，2mm未満の土粒子は沈降分析を行った後に古い分析を行う。



第 11-11-21 図 粒径加積曲線について

【参考文献】

- 1) 地盤工学会(2009)：地盤材料試験の方法と解説，平成 21 年 11 月.

11.4 液状化関連の文献整理

液状化に関連した文献を整理して，第 11-11-22 図に中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について，第 11-11-23 図にサイクリックモビリティについて，第 11-11-24 図に有効応力解析について示す。

表 3-3 室内液状化試験装置の種類と特徴

| 項目
種類 | 応力状態 | モ ー ル 円 | 応力経路
(全応力)
1→2→3→4 | 拘束状態 | ひずみ状態 | 繰返し荷重 |
|---|-------------|---------|--------------------------|--|------------------|------------------------|
| 原地盤 | | | | 異方応力状態
(K_0 圧密)
(初期せん断応力
が加わることも
ある) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 多方向ランダム
波 |
| 繰返し三軸
(別名 振動三軸)
動的三軸) | | | | 等方応力状態 | 軸対称変形 | 一方向正弦波 |
| 繰返しねじりせん断
(別名 動的ねじりせん断)
(リングねじりせん断も
同種類) | | | | 等方または異方
応力状態
(K_0 圧密可)
(初期せん断応
力も加えられる) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 一方向
正弦波またはラ
ンダム波 |
| 繰返し
単純
せん断 | NGI 型 | | | 異方応力状態
(単 K_0 圧密;
K_0 未知)
(初期せん断応
力も可) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 多方向
正弦波またはラ
ンダム波 |
| | Cambridge 型 | | | 異方応力状態
(K_0 圧密)
(初期せん断応
力も可) | 平面ひずみ
単純せん断変形 | 一方向
正弦波またはラ
ンダム波 |

(a) 安田 (1991)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

繰返しねじりせん断装置（動的ねじりせん断装置）

- 繰返しねじりせん断試験では中空円筒や中実円柱の供試体を用い、これにねじりせん断力を加える。
- 円筒や円柱では半径方向にせん断ひずみの値が異なってくるため、その影響をなるべく少なくするため、中空円筒の供試体の方がよく用いられる。
- 供試体には図3-8 (a) に示したように初期の拘束圧や初期せん断力を加えておいた後、繰返しせん断力を加える。
- 地盤内での応力状態に合わせて異方応力（軸圧と側圧が異なる）にしたり、斜面内や構造物下の地盤の状態を再現するために初期せん断力を加えたり、さらに、側圧でも外圧と内圧とを違って三主応力が異なるようにすることができる。

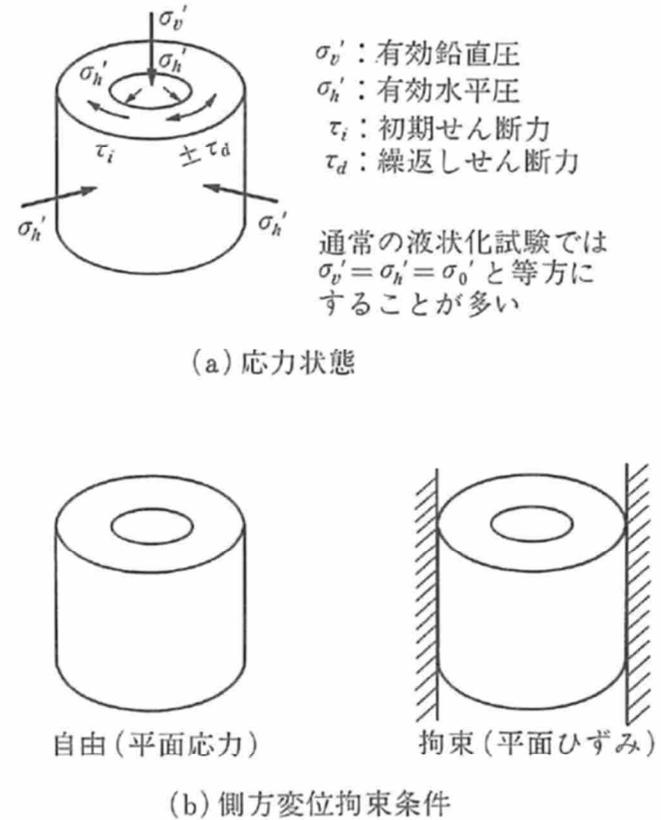
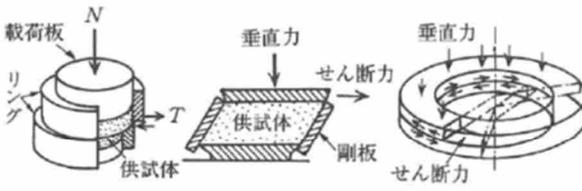
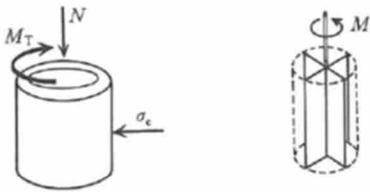
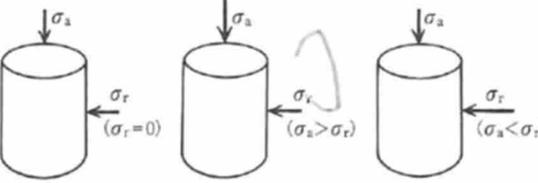
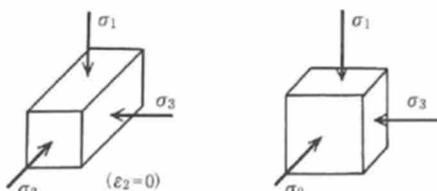


図 3-8 繰返しねじりせん断試験における応力，側方変位拘束条件

(b) 安田 (1991)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

表-7.1.1 せん断試験の種類

| | 種類 | 試験の原理 | 応力の載荷方法 |
|----------|--|---|--|
| せん断応力載荷型 | 側方変位拘束型
土の一面せん断試験 (第4章)
単純せん断試験 (第8章)
リングせん断試験 (第8章)
岩盤不連続面の一面せん断試験 (第12章) |  | 特定のせん断または供試体の境界面に垂直力とせん断力を直接載荷 (主応力方向変化) |
| | 側方変位非拘束型
ねじりせん断試験 (第5章)
繰返しねじりせん断試験 (第7章)
室内ペーンせん断試験 (第8章) |  | |
| 主応力載荷型 | 軸対称型
土の一軸圧縮試験 (第2章)
三軸圧縮試験 (第3章)
三軸伸張試験 (第3章)
繰返し三軸試験 (第6, 7章)
岩石の一軸圧縮試験 (第9章)
岩 (岩石) の三軸圧縮試験 (第10章)
圧裂による岩石の引張り強さ試験 (第11章) |  | 供試体の境界面に主応力を載荷し、結果として生じるせん断断面上の垂直応力・せん断応力を算定 (主応力方向固定) |
| | 三主応力型
平面ひずみ試験 (第8章)
三主応力制御試験 (第8章) |  | |

(b) 地盤工学会 (2009)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

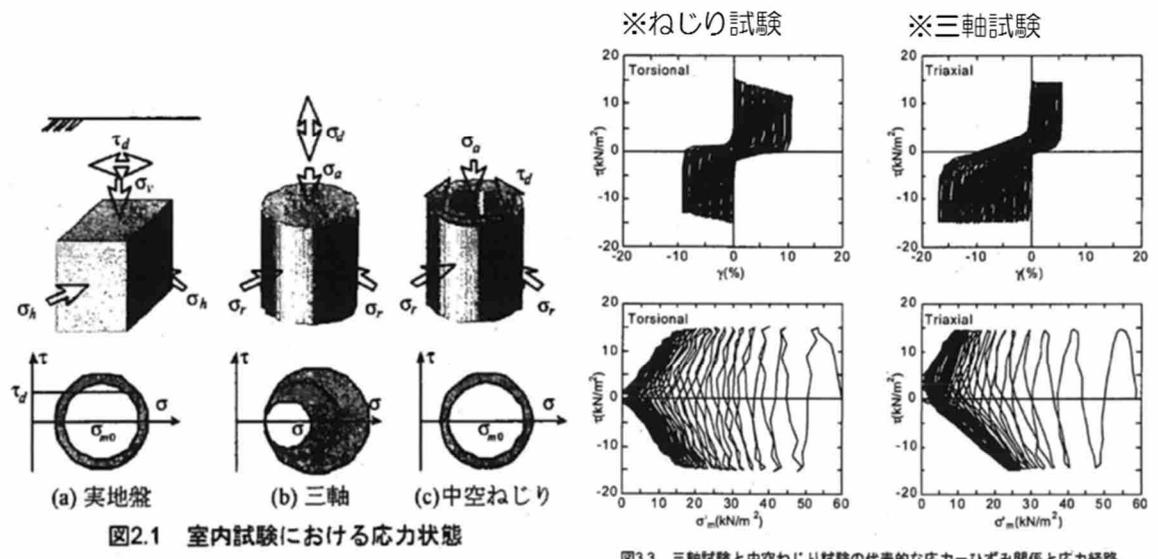
第5章 ねじりせん断試験

- ▶ねじりせん断試験は，中空円筒供試体の上または下端にトルクを加えて円周方向にねじることによって供試体全体にせん断変形を与える試験であり，直接型せん断試験の一種である。
- ▶他の直接型せん断試験と比較すると，供試体の側方応力条件が明確であることと供試体の水平・鉛直面に共役なせん断応力を確実に作用させることができるという利点を有する。したがって，供試体に作用する主応力の大きさと方向が容易に求められる。
- ▶三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して以下のような利点を有する。
 - ①主応力方向が連続的に回転するような応力状態も再現することができる。
 - ②軸方向に対して直角方向にせん断できる。
 - ③比較的広範囲な応力経路またはひずみ経路を供試体に与えられる。
- ▶ねじりせん断試験では，制御できる応力の自由度が大きいことから，さまざまな応力状態のもとでの土の基本的な挙動を明らかにすることができる。

(d) 地盤工学会 (2009)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

- ▶ 現在液状化強度を求めるために最も普通に行われている振動三軸試験では、図2.1 (b)に示すように側圧を一定に保ったまま軸力を変動させせん断応力を変動させるものであり、せん断応力の変動とともに有効拘束圧も変化する。
- ▶ より原位置に近い応力状態を再現できる試験機に中空ねじり試験機がある。この試験では図2.1 (c)に示すように軸力、側圧を一定に保ったまません断応力を加えるので、試料の半径方向の応力変動が無視できるとすればほぼ実地盤に対応している。
- ▶ 三軸試験では圧縮側と引っ張り側で挙動が異なり、応力経路は上下では対象ではないし、ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係、応力経路ともほぼ対称な形をしている。



(e) 澤田ほか (2003)

第 11-11-22 図 中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法について

サイクリックモビリティー

cyclic mobility

砂などの繰返し載荷において、有効拘束圧 (effective confining pressure) がゼロに近づいてから、載荷時にせん断剛性 (shear modulus) 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をサイクリックモビリティーといい、液状化*とは区別して用いられることがある。地震のような繰返しせん断応力を受ける場合には、有効拘束圧がゼロかそれに近いところで大きなひずみが生じる。一方ではひずみが大きくなると、再び剛性が回復してくるので、いわゆる液状化状態ではなくなる。有効拘束圧がゼロの付近でどの程度大きなひずみが発生するかは、主に砂の密度と繰返し載荷でのせん断応力の大きさや繰返し回数 (number of cycles) に依存しており、密度が小さいほど、また、液状化以後に繰返しせん断応力が大きく、繰返し回数が多いほど大きなひずみが発生する。逆に、密度の大きい砂では、一時的に有効拘束圧がゼロまたはその近くになっても、引き続き載荷に対して大きなひずみが発生しない。

(a) 地盤工学会 (2006)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティーについて

液状化（密な砂の場合）

- ▶ やや密な砂では、図-1に示すように一時的に σ' がゼロになっても、図-1中のA→Bのように引き続きせん断応力を供試体に加えても、供試体のひずみが無限に大きくなるわけではない。
- ▶ 密な砂では、せん断応力が働いていない時に、一時的に有効拘束圧がゼロになってもせん断応力が加わり、せん断ひずみが生ずると体積が膨張しようとするダイレイタンスーの現象が生じる。
- ▶ 非排水状態にある飽和砂のように等体積状態であれば、体積膨張しようとするれば、負の過剰間隙水圧が発生することになり、有効拘束圧が増加することになる。図-1の場合でもA→Bのプロセスで過剰間隙水圧が大幅に減少している。したがって、有効拘束圧の増加に伴うせん断抵抗力の増加が生ずることになる。この傾向は密な砂ほど大きくなる。
- ▶ 非排水状態での繰返し荷重に対する飽和砂の強度は密になるほど、特に間隙水圧の上昇そのもので定義するのは適切ではなく、発生したひずみの大きさで、定義する方がよりよいということになる。

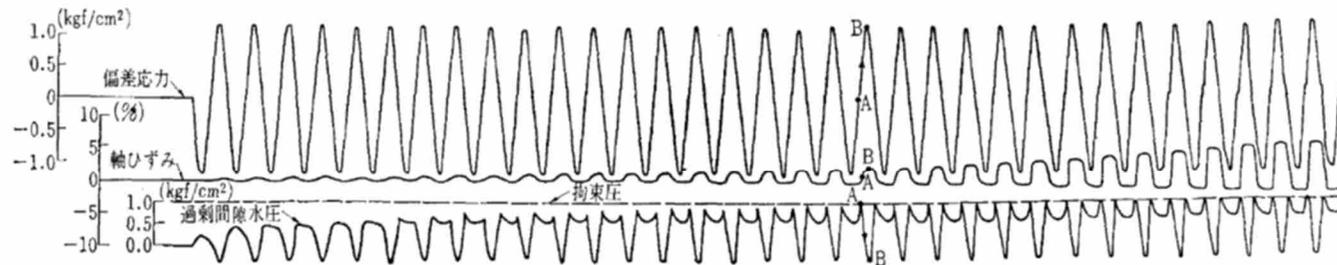


図-1 不飽和状態 ($w=8\%$) でタンピングして作製した Monterey No. 0 砂の振動三軸試験結果 ($D_r=79\%$, 背圧 1 kgf/cm^2 , 初期圧密応力 $\sigma_c'=1 \text{ kgf/cm}^2$, 偏差応力比 $\sigma_{dp}/2\sigma_c'=0.55$, 供試体寸法: 高さ 153 mm , 直径 61 mm , 空圧式繰返し荷重 (1 Hz))。

(b) 龍岡 (1980)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

液状化（密な砂の場合）

- ▶ サイクリックモビリティとは、「密な砂地盤が繰り返しせん断を受け、過剰間隙水圧の増加に伴って、せん断ひずみ振幅が徐々に増大する現象である。」としている（図-1）。
- ▶ 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰り返しせん断を受け、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。
- ▶ 密な砂では、ゆるい砂でみられるようなひずみの急増は見られず、変形が限定される傾向が著しい。この点で、サイクリックモビリティ現象を示す密な砂地盤は、構造設計における ductility（ねばり）の効果と同等の工学的特性を有するものと評価される。

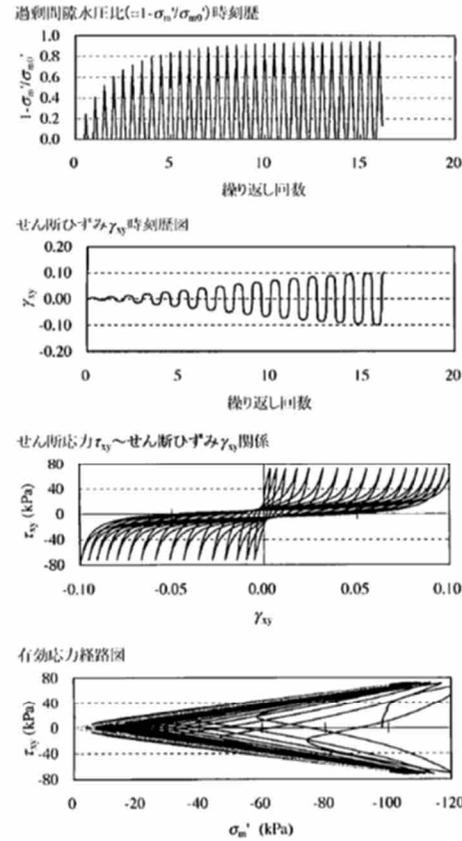


図-1 密な砂の非排水繰返しせん断挙動の例¹⁾

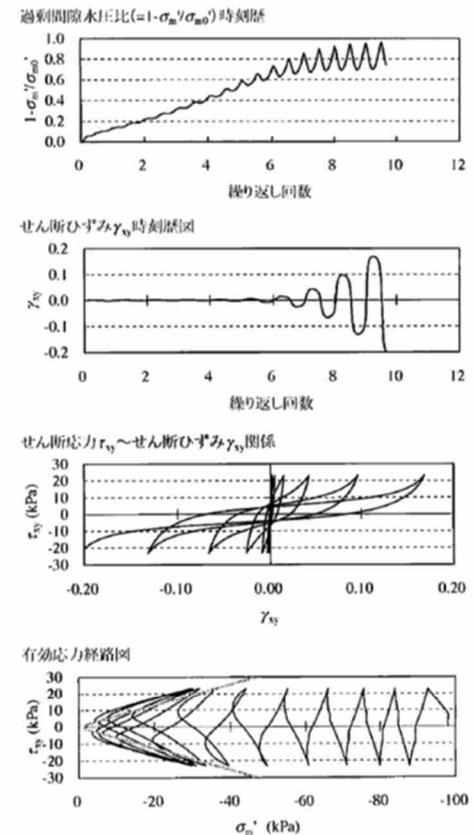


図-2 ゆるい砂の非排水繰返しせん断挙動の例¹⁾

(c) 井合 (2008)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

間隙水圧上昇を伴う繰返しせん断変形（サイクリックモビリティー）

- ▶ ゆるい砂の液状化と異なる点は、密な砂では、せん断ひずみがある限度を超えると、せん断によって堆積が膨張しようとする傾向（正のダイラタンシー）が現れるので、非排水条件のもとでは、せん断ひずみが大きくなると間隙水圧が減少し、したがって有効応力が回復することである。
- ▶ その結果、間隙水圧比が100%に達した後の過剰間隙水圧は、図-2.11に示すような変動を示す。
- ▶ すなわち、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。
- ▶ 密な砂では、緩い砂でみられるような破局的なクイックサンドは起こらず、有限なひずみ振幅をもつせん断変形が繰り返されるにすぎない。

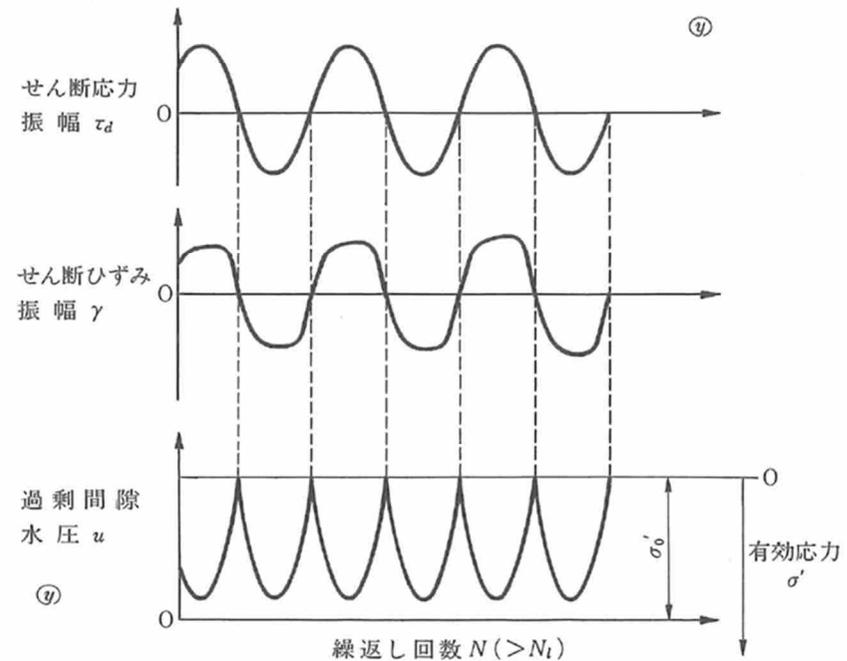


図-2.11 密な飽和砂の繰返し単純せん断試験において、間隙水圧比が100%に達した後のせん断ひずみと過剰間隙水圧の変化(模式図)

(d) 吉見 (1991)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

サイクリックモビリティ

- ▶ ゆる詰めと密詰めでの応力経路と応力～ひずみ関係を示すと図4-5となる。ゆる詰めの場合は応力経路が原点に近づいてゆき有効拘束圧が0になった後、せん断力が加わると、大きなひずみが発生する。
- ▶ 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
に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。

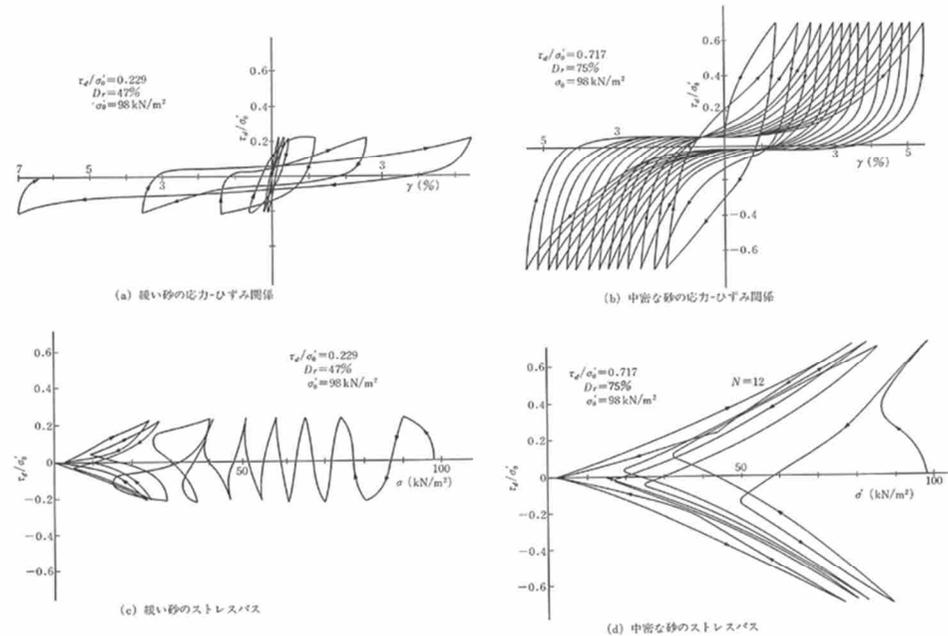


図 4-5 ゆる詰めと密な試料の応力経路および応力～ひずみ関係の比較（繰返しねじりせん断試験，富士川砂）²⁾

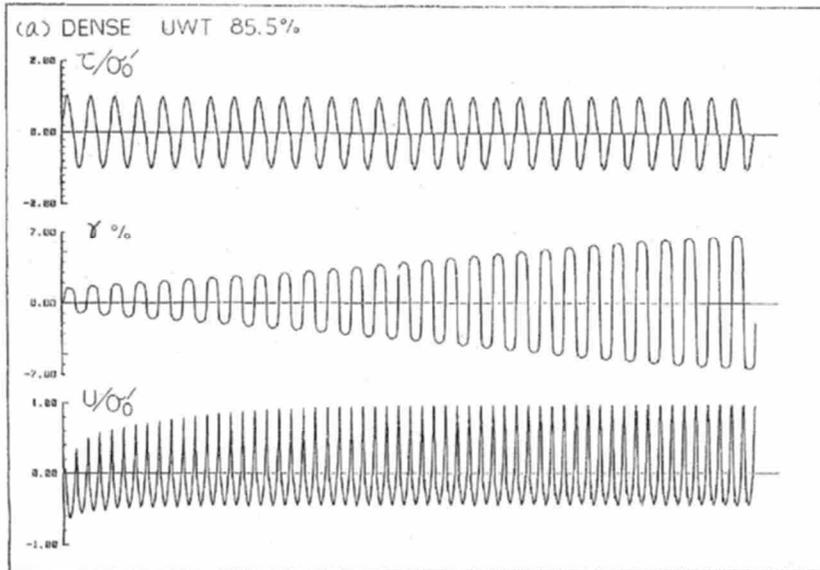
(e) 安田 (1991)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

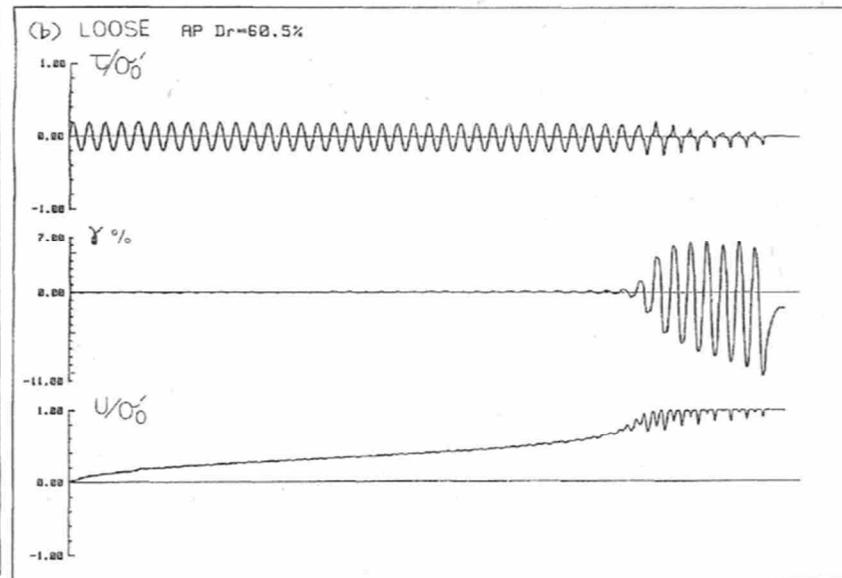
液状化（密な砂の特徴）

- ▶ ゆるい砂では応力径路がいわゆる「変相線」を越えた時点から除荷される時に砂が言わば泥水液体状となり、流動性を帯びてひずみが無限に生じる。
- ▶ 密な砂では応力径路が「変相角」を越えてからも液体状にならずせん断応力の除荷載荷に応じて破壊線に平行に応力径路が移動し有効応力がくり返し回復するようないわゆる“Cyclic Mobility”現象を示す。

※密な砂



※ゆるい砂



(f) 国生ほか (1983)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

液状化（密な砂の特徴）

あるひずみ振幅の範囲内ではせん断抵抗が非常に低下し、一見、ゆるい砂と同様な挙動を示すが、その範囲を越えると有効応力が回復してくるために急激にせん断抵抗が増すことになる。载荷のくり返し数が増すに従って、このひずみ範囲は徐々に増大するが、ゆるい砂のようにひずみが急激にのびることは決してない。

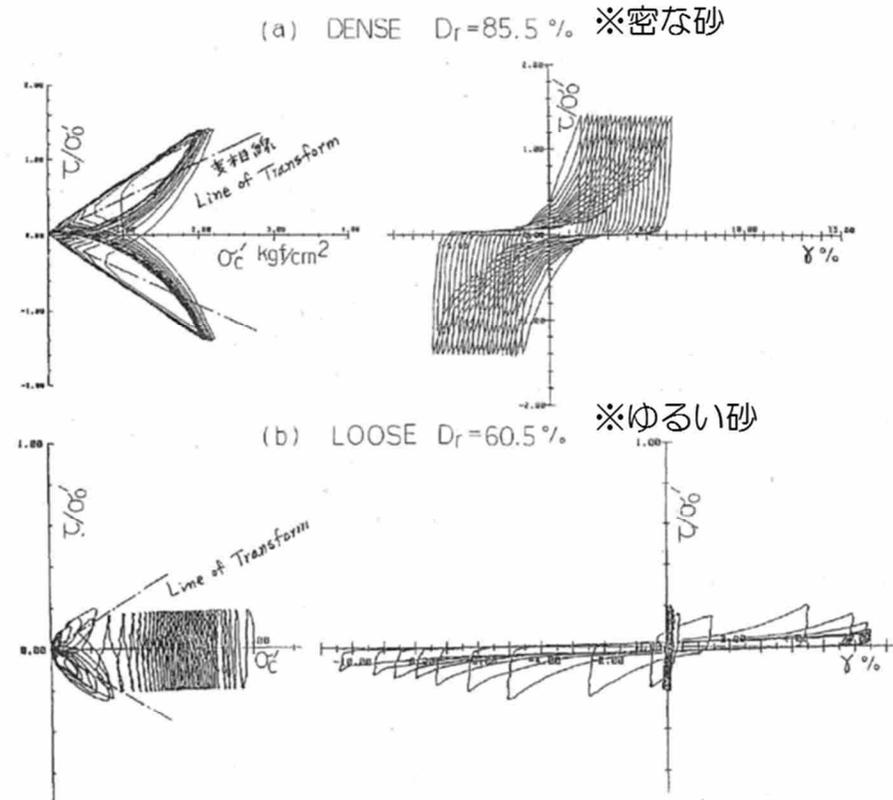


図3-2 密な砂(a)とゆるい砂(b)の中空ねじりせん断試験による有効応力経路（左側）と応力・ひずみ関係
Effective Stress Path and Stress - Strain Curve for Dense Sand (a) and Loose Sand (b)

(g) 国生ほか (1983)

第 11-11-23 図 サイクリックモビリティについて

第5章 係留施設

1 総説

【省令】(通則)

第二十五条 係留施設は、船舶の安全かつ円滑な利用を図るものとして、地象、気象、海象その他の自然状況及び船舶の航行その他の当該施設周辺の水域の利用状況に照らし、適切な場所に設置するものとする。

【省令】(係留施設に関し必要な事項)

第三十四条 この章に規定する国土交通大臣が定める要件その他の係留施設の要求性能に関し必要な事項は、告示で定める。

【告示】(係留施設)

第四十七条 係留施設の要求性能に関し省令第三十四条の告示で定める事項は、次条から第七十三条までに定めるとおりとする。

1.1 総論

- (1) 係留施設には、岸壁、棧橋、物揚場、浮棧橋、船揚場、係船浮標、係船杭、ドルフィン、デタッチドピア及びエアークッション艇発着施設等がある。岸壁、棧橋及び物揚場のうち、地震対策の観点から特に重要な施設でその耐震性能を強化する必要がある施設を耐震強化施設といい、地震動の作用後に当該施設に求められる機能に応じて、耐震強化施設(特定(緊急物資輸送対応))、耐震強化施設(特定(幹線貨物輸送対応))、耐震強化施設(標準(緊急物資輸送対応))に分類される。
- (2) 係留施設の構造形式は、自然条件、利用条件、施工条件及び経済性等を考慮して決定する。係留施設の構造形式は、重力式係船岸、矢板式係船岸、自立矢板式係船岸、二重矢板式係船岸、柵式係船岸、根入れを有するセル式係船岸、置きセル式係船岸、直杭式横棧橋、斜め組杭式横棧橋、ジャケット式棧橋等に分類される。
- (3) 係留施設のレベル1地震動及びレベル2地震動に対する標準的な性能照査順序の例を図-1.1.1及び図-1.1.2に示す。なお、詳細については、構造形式ごとの記述を参照することができる。

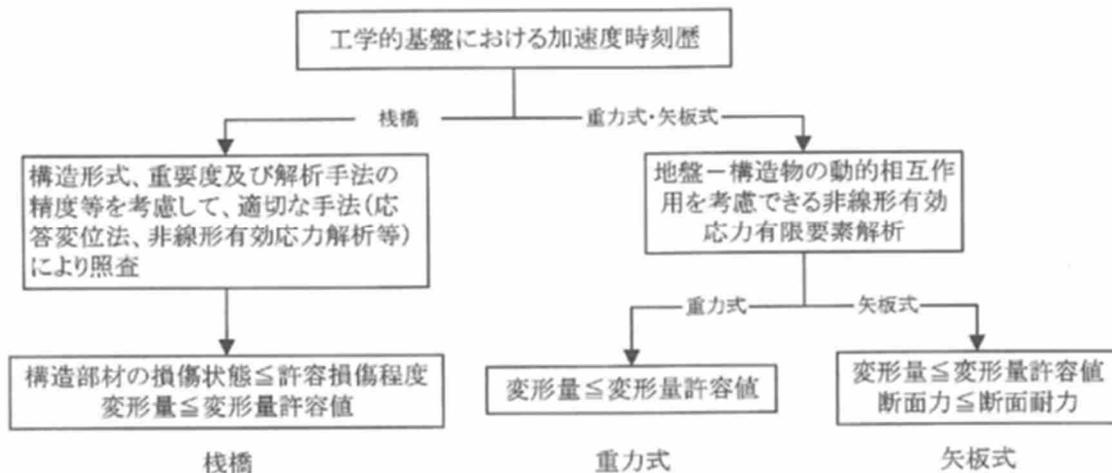


図-1.1.2 レベル2地震動に対する性能照査順序の例

(a) 日本港湾協会 (2007)

第 11-11-24 図 有効応力解析について

(9) 地震動に対する性能照査（詳細法）

- ① 重力式岸壁のレベル2地震動に対する耐震性能照査は、適切な地震応答解析あるいは実験により具体的に施設の変形量等を算定して行う。なお、レベル2地震動に関する偶発状態における変形量の標準的な限界値については、本編第5章1.4耐震強化施設のレベル2地震動に対する変形量の限界値の標準的な考え方を参照して、適切に設定することができる。

施設の変形等に対する性能照査手法は、大別すると、地震応答解析による方法と、振動台等による振動実験による方法の二種類がある。

(a) 地震応答解析による方法

地震応答解析は表-2.2.3のように分類できる。以下に、この分類にしたがって、各種の地震応答解析法を説明する。地震応答解析手法によっては、変形等の照査を行う目的には適さないものもあるため、下記の説明を踏まえて、目的に応じた解析手法を選択する必要がある。

表-2.2.3 地震応答解析の分類

| | |
|--------------------|-------------------------------|
| 解析法
(飽和地盤の取り扱い) | 有効応力解析法、全応力解析法
(固層及び液層、固層) |
| 計算対象領域(次元) | 一次元、二次元、三次元 |
| 一般的な計算モデル | 重複反射モデル、質点モデル、有限要素モデル |
| 材料特性 | 線形、等価線形、非線型 |
| 計算領域 | 時間領域解析法、周波数領域解析法 |

1) 有効応力解析法と全応力解析法

液状化の予測・判定という観点や、土の変形挙動の予測という観点から見ると、地震応答解析は有効応力解析法に基づくものと全応力解析法に基づくものに分けることができる。特に、地震動作用時の港湾の施設の変形予測に際しては、地盤内の過剰間隙水圧の発生に伴う有効応

力の減少（その極端な状態が液状化である）を考慮する必要がある場合が多い。これは、有効応力の減少など土の応力状態の変化に伴い、土の応力-ひずみ関係や減衰特性などが変化し、地盤の変形特性や応答特性が変化するためである。有効応力解析法は地盤に発生する過剰間隙水圧を計算により直接求めることができる方法であるが、全応力解析法では過剰間隙水圧の変化が計算されない。このため、例えば地盤の地震応答の計算において、ある程度以上の過剰間隙水圧（条件にもよるが、過剰間隙水圧比で概ね0.5以上）が発生する場合には、全応力解析法による計算結果は実際の地震応答とかなり異なる可能性が大きい。

単なる地震応答計算であれば、簡便な全応力解析法を実務で用いることも多いが、液状化の発生が懸念されるような港湾の施設の変形照査においては、有効応力解析法を用いることが基本である。

(b) 日本港湾協会（2007）

第11-11-24図 有効応力解析について

7.3 地盤応答解析

7.3.1 一般

地点依存の動的解析により、表層地盤の挙動を算定する際は、建設地点の土の動力学特性や地層構成などに基づき、動的解析により求めるものとする。ただし、詳細な検討を必要としない場合等は、簡易解析法により算定してもよい。

7.3.3 動的解析による方法

7.3.3.1 一般

動的解析による方法により表層地盤の挙動を算定する場合は、土の動力学特性および地盤を適切にモデル化した時刻歴非線形動的解析法によるのがよい。

7.3.3.4 地盤の液状化の可能性のある場合

液状化の可能性のある地盤では、過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下を考慮した有効応力解析による動的解析法を用いて表層地盤の挙動を評価するのがよい。

【解説】

液状化の可能性のある地盤における地盤の動的解析手法は、基本的には有効応力法による時刻歴動的解析法を用いるのがよい。有効応力法では、地盤を土と水とに分けて考える。有効応力法に用いられる基礎

方程式は、土に関する釣合方程式、水に関する釣合方程式、および水の流入・流出と土骨格の体積変化の関係などを考慮している。

液状化は、過剰間隙水圧の上昇に伴い地盤の有効応力が減少し、地盤の剛性や強度が極端に低下する現象である。しかし、密度の大きい地盤では過剰間隙水圧が上昇して一時的に有効応力が減少してもサイクリックモビリティにより、地盤の剛性や強度が回復する。このように液状化は複雑な現象であり、これを表現するため、様々な地盤構成則が提案されている。それらには大きく分けて以下のタイプがある。

- 1) ひずみを弾性成分と塑性成分に分け、降伏、塑性化および硬化に関する三つの関数により、応力-ひずみ関係とダイレイタンスー関係を一体化して考慮する。
- 2) ひずみを弾性・塑性成分に分けず、せん断応力とせん断ひずみの関係を一つの数式で表現し、ダイレイタンスー特性は別途モデル化する^{1),2)}。そのため、2)の方法は1)の方法に比べて理論的な厳密さに欠ける点があるが、必要なパラメータの設定方法が比較的容易であるなどの利点があり、適切に用いれば実務上十分な精度を有している。

上述したように、有効応力解析は地盤を土と水とに分けて考えるので、原理的には最も精度が高い解析法であるが、解析に用いられるパラメータの数が多く、その設定には精緻な地盤諸数値を必要とする。そのため、原位置でサンプリングした乱れの少ない試料を用いた詳細な室内土質試験を実施してパラメータを設定しなければ、解析手法と解析条件の精度のバランスに差が生じることもある。したがって、有効応力解析を実施して地盤の挙動を評価する際には、各パラメータが解析結果に与える感度を十分に勘案する必要がある。

参考文献

- 1) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 2, pp. 1-15, 1992.
- 2) 福武毅芳・松岡元：任意方向繰返し単純せん断における応力・ひずみ関係，土木学会論文集，No. 463/III-22号，pp. 75-84, 1993.

(c) 鉄道総合技術研究所 (2012)

第 11-11-24 図 有効応力解析について

Iai et.al(1992)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、有効応力解析プログラムFLIPを用いた解析を実施した。その結果、FLIPによる解析結果は、室内試験結果と良い対応を示したと報告している。

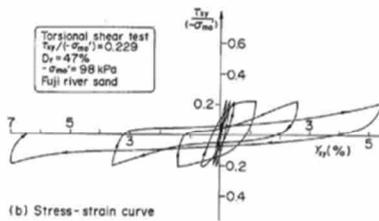
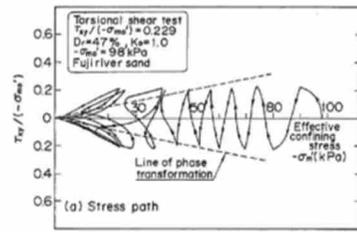


Fig. 1. Stress path and stress-strain curve for loose sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

実験結果

ゆるい砂 (相対密度Dr=47%)

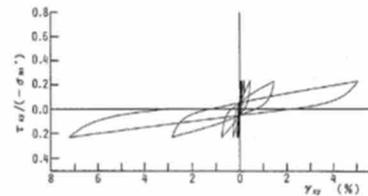
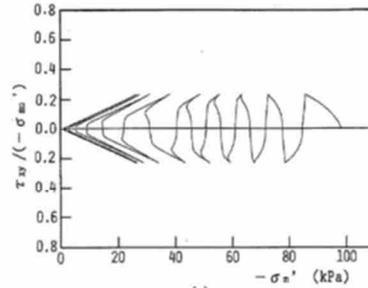


Fig. 9. Computed results of loose sand to be compared with the laboratory results in Fig. 1. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

解析結果

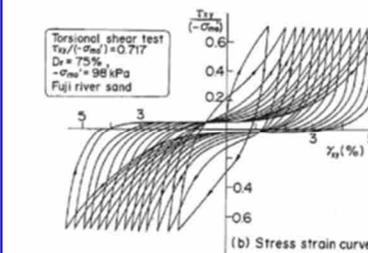
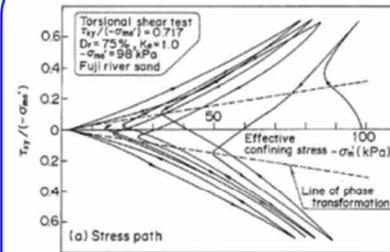


Fig. 2. Stress path and stress-strain curve for dense sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

実験結果

密な砂 (相対密度Dr=75%)

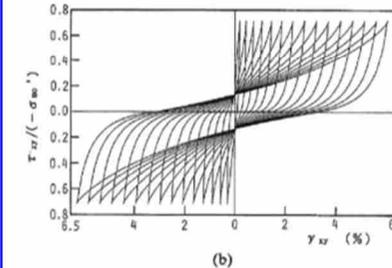
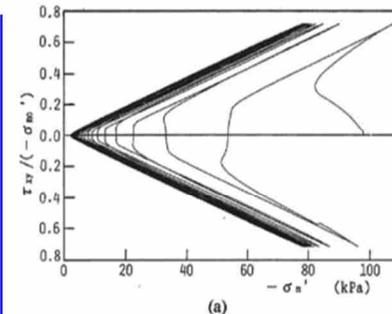


Fig. 10. Computed results of dense sand to be compared with the laboratory results in Fig. 2. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

解析結果

(d)Iai et.al(1992)

第 11-11-24 図 有効応力解析について

4 条・別紙 11-214

Iai et.al(1995)は、有効応力解析プログラムFLIPを用いて、1993年釧路沖地震のシミュレーション解析を実施した。本検討では、密な地盤に対して液状化パラメータを設定している。FLIPによる地表面加速度は、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。

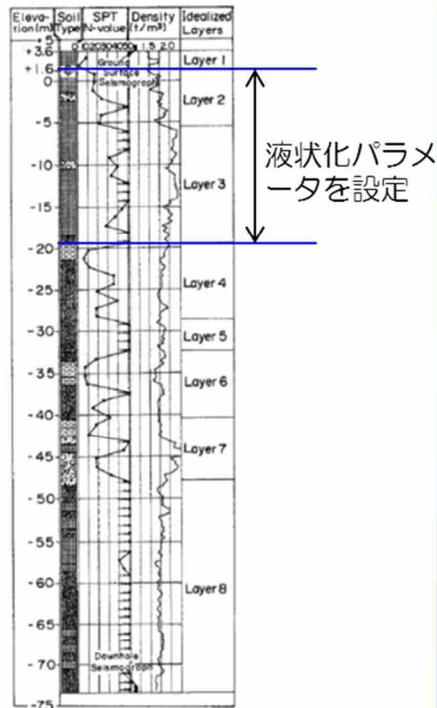


Fig. 21. Idealized soil layers for response analysis
解析モデル

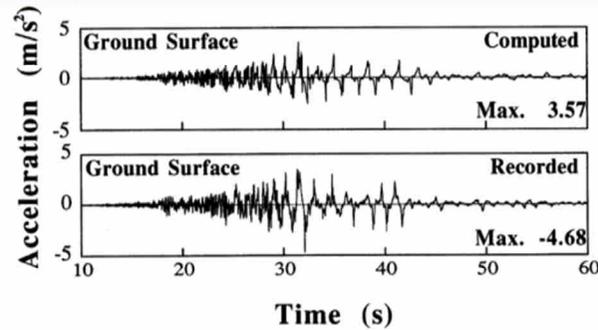


Fig. 24. Recorded and computed accelerations at the ground surface

地表面加速度の比較（上段：解析値，下段：観測値）

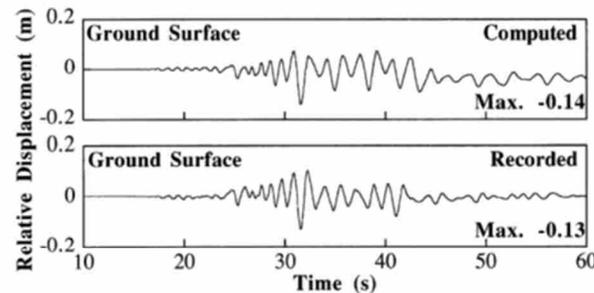


Fig. 25. Recorded and computed displacements at the ground surface relative to the base at a depth of 77 meters

地表面変位の比較（上段：解析値，下段：観測値）

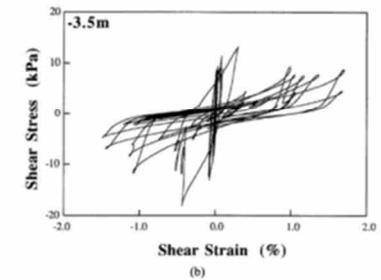
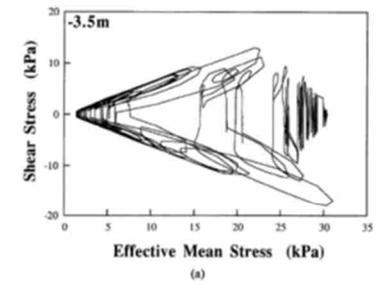


Fig. 26. Computed stress path and stress-strain relation at a depth of 3.5 meters in Layer 2; (a) stress paths and (b) stress strain relation

解析値の一例

（上段：有効応力経路，下段：せん断応力-せん断ひずみ関係）

(e)Iai et.al(1992)

第 11-11-24 図 有効応力解析について

4 条-別紙 11-215

【参考文献】

- 1) 安田進(1991)：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，1991年5月．
- 2) 地盤工学会(2009)：地盤材料試験の方法と解説，平成21年11月．
- 3) 澤田俊一，三上武子，吉田望，竹島康人，藤井紀之：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』，pp.397-400，2003年．
- 4) 地盤工学会(2006)：地盤工学用語辞典，pp.219-220，平成18年3月．
- 5) 龍岡文夫：サイクリック・モビリティ（Cyclic Mobility），土と基礎，技術手帳，pp.105-106，1980年6月．
- 6) 井合進：サイクリックモビリティ，地盤工学会誌56（8），pp.76-77，2008年8月．
- 7) 吉見吉昭(1991)：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，1991年，5月．
- 8) 国生剛治，吉田保夫，西好一，江刺靖行(1983)：密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討（その1）密な砂の動的強度特性，電力中央研究所報告 研究報告：383025，昭和58年10月．
- 9) 日本港湾協会(2007)：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19年7月．
- 10) 鉄道総合技術研究所(2012)：鉄道構造物等設計標準・同解説，平成24年9月．
- 11) 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.

11.5 新潟県中越沖地震の地盤変状

(1) 敷地周辺の被災状況

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震の被災状況について、土木学会は調査団を派遣し、報告書「2007年新潟県中越沖地震の被害とその特徴」をまとめている。以下にその概要を示す。

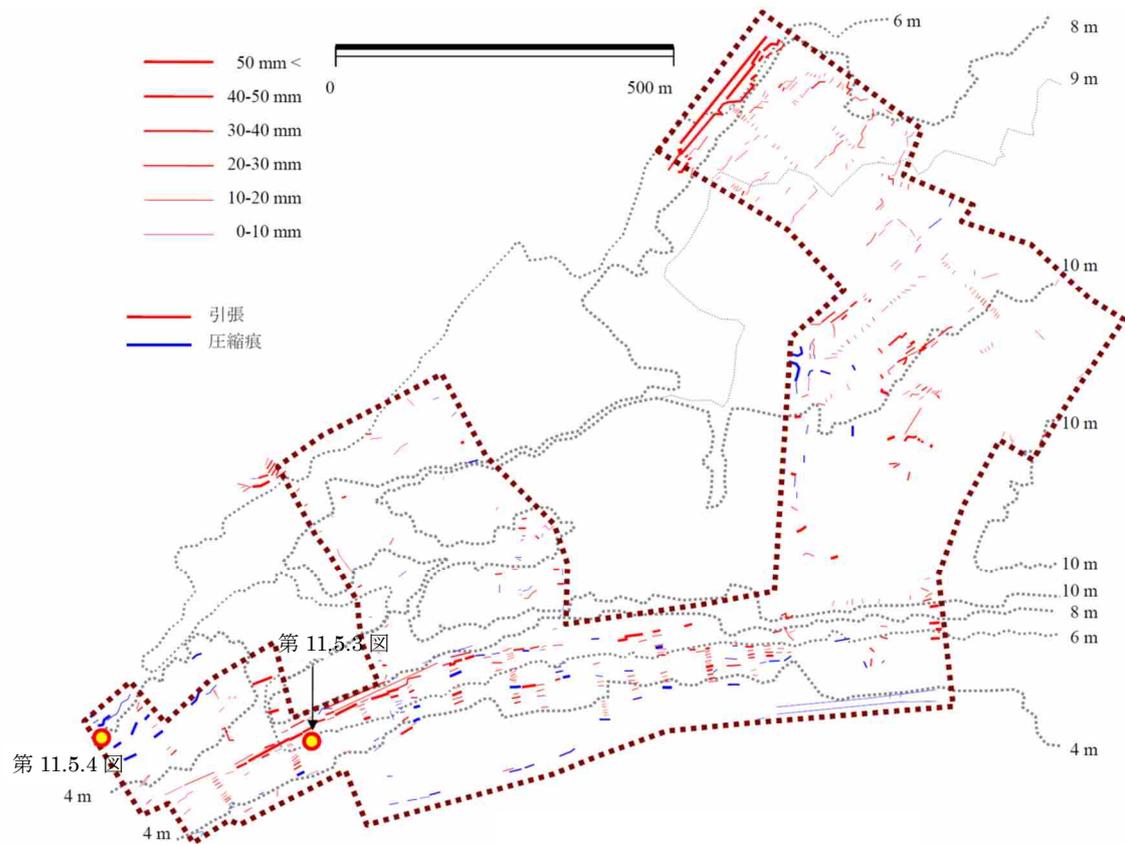
第11-11-25図は、2007年の柏崎とその周辺の衛星写真と1912年（明治45年）当時の地形図とを比較したものである。1912年の地形図には日本海側に連続する砂丘が示されている。当該部分において道路亀裂調査を実施（第11-11-26~28図）しており、一般に道路の亀裂の密度は道路幅や舗装厚さの影響を受け必ずしも下位の地盤の変状を直接表すものではないが、亀裂の大きさや密度が大きい部分で地盤変状が顕著であることが推測できるとし、これらの亀裂は砂丘斜面が低い部分に向かってわずかながら移動したことを示す痕跡と捉えられると考察している。

第11-11-29図は柏崎市の北東部の鯖石川下流の1912年と2007年の状況を比較したものである。かつての鯖石川は下流部に向かって次第にその周期を長くするような蛇行が発達しており、この旧河道に沿って地盤変状と被害（例えば、旧三日月湖跡の道路被害（第11-11-30図）等）が目立っているとしている。

第11-11-32図は、柏崎市と刈羽村を中心に、液状化によって宅地の被害が集中した地区を示したものである。鯖石川氾濫原と旧河道及び荒浜新砂丘後背地で液状化が著しかった。この地域は1964年の新潟地震でも液状化の被害を蒙り、2004年新潟県中越地震によっても深刻な被害を受けた家屋が多かったとしている。



第11-11-25図 1912年頃の柏崎（左）と2007年の柏崎（右）
（土木学会（2010）に一部加筆）



第 11-11-26 図 柏崎市街地の舗装道路に現れた亀裂
 (土木学会 (2010) に一部加筆)



第 11-11-27 図 砂丘肩部分に現れた亀裂開口
 (土木学会 (2010) に一部修正)



第 11-11-28 図 砂丘麓部分の圧縮痕
 (土木学会 (2010) に一部修正)



第 11-11-29 図 鯖石川下流部分の 1912 年（上）と 2007（下）の状況
（土木学会（2010）に一部加筆）



第 11-11-30 図 旧三日月湖跡の道路被害
（土木学会（2010））



第 11-11-31 図 河道沿いの道路被害
（土木学会（2010））

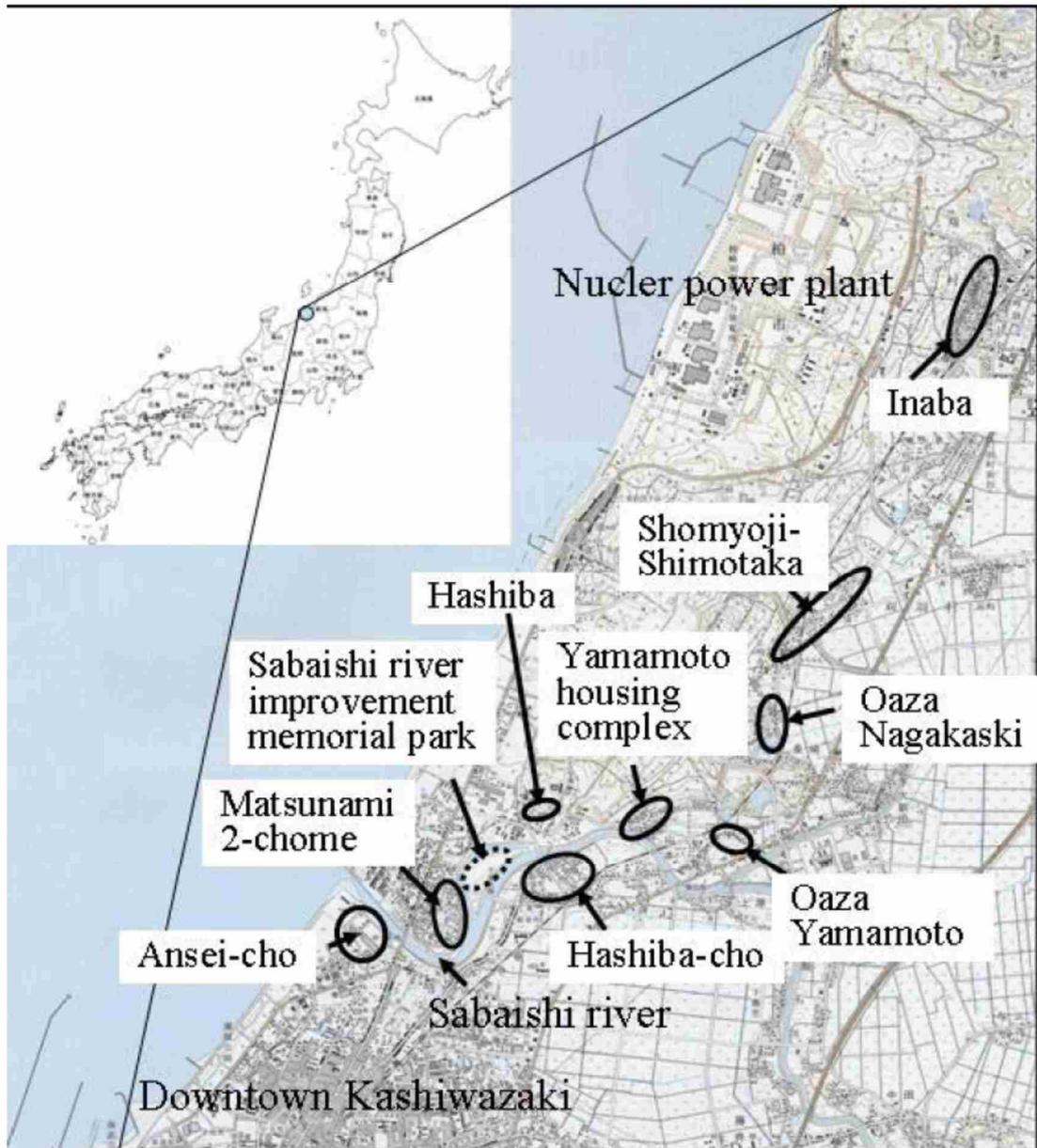


図 11-11-32 図 液状化被害が集中した主な住宅地域
(土木学会 (2010))

(2) 敷地内の地盤変状

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震における敷地内の地盤変状について、地震前後に撮影された航空写真測量データに基づき作成した図のうち、第11-11-33図及び第11-11-34図に地盤鉛直変動、第11-11-35図及び第11-11-36図に亀裂・噴砂位置を示す。亀裂及び噴砂が発生している状況を拡大した航空写真の一例を、第11-11-37図に示す。

a) 地盤鉛直変動

荒浜側における特徴的な地盤変状としては、1号炉海水機器建屋近傍で最大で約1.6mの沈下が確認されている。海側エリアにおいては、3m盤と5m盤の段差位置におけるブロック積み擁壁の損傷によって顕著な沈下が確認されている。

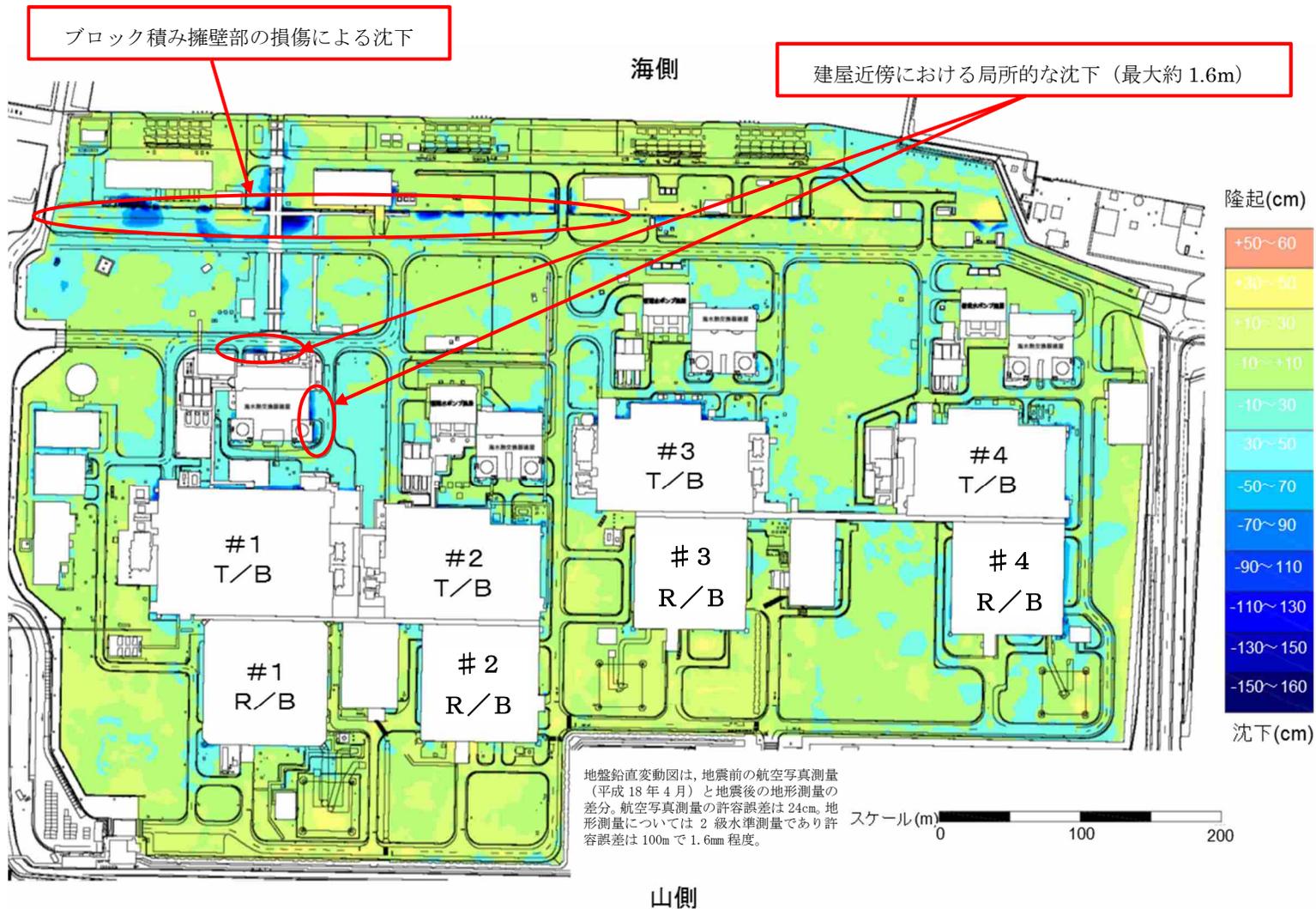
大湊側における特徴的な地盤変状としては、5号炉海水熱交換機器建屋近傍で最大約1.0mの沈下が確認されている。6号及び7号炉の原子炉建屋及びタービン建屋周囲の地下部分は連続地中壁で囲まれており、荒浜側のような埋戻土がないため、これらの建屋周辺地盤では顕著な沈下はなかった。海側エリアにおいては、荒浜側ほどの顕著な沈下はなかった。

建屋近傍や段差個所等の局所的な沈下を除けば、沈下量は荒浜側、大湊側ともに最大で0.3～0.5m程度であった。

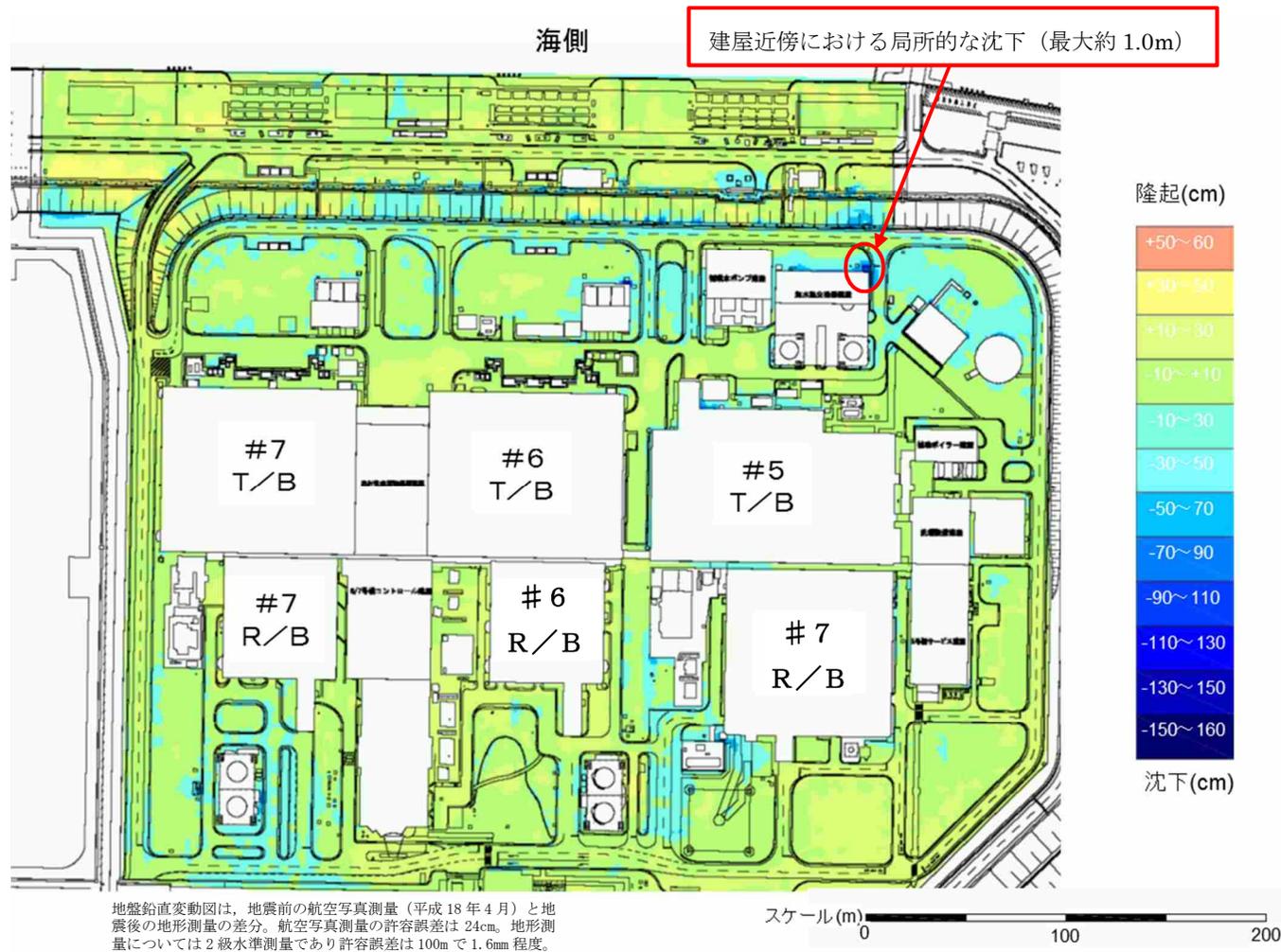
b) 亀裂・噴砂

噴砂は荒浜側では海側エリアに多くが確認されており、大湊側では敷地山側の駐車場付近に確認されている。海側エリアでは護岸のはらみ出しが確認されており、地下水位以下にある飽和した埋戻土層の液状化に起因するものと考えられる。

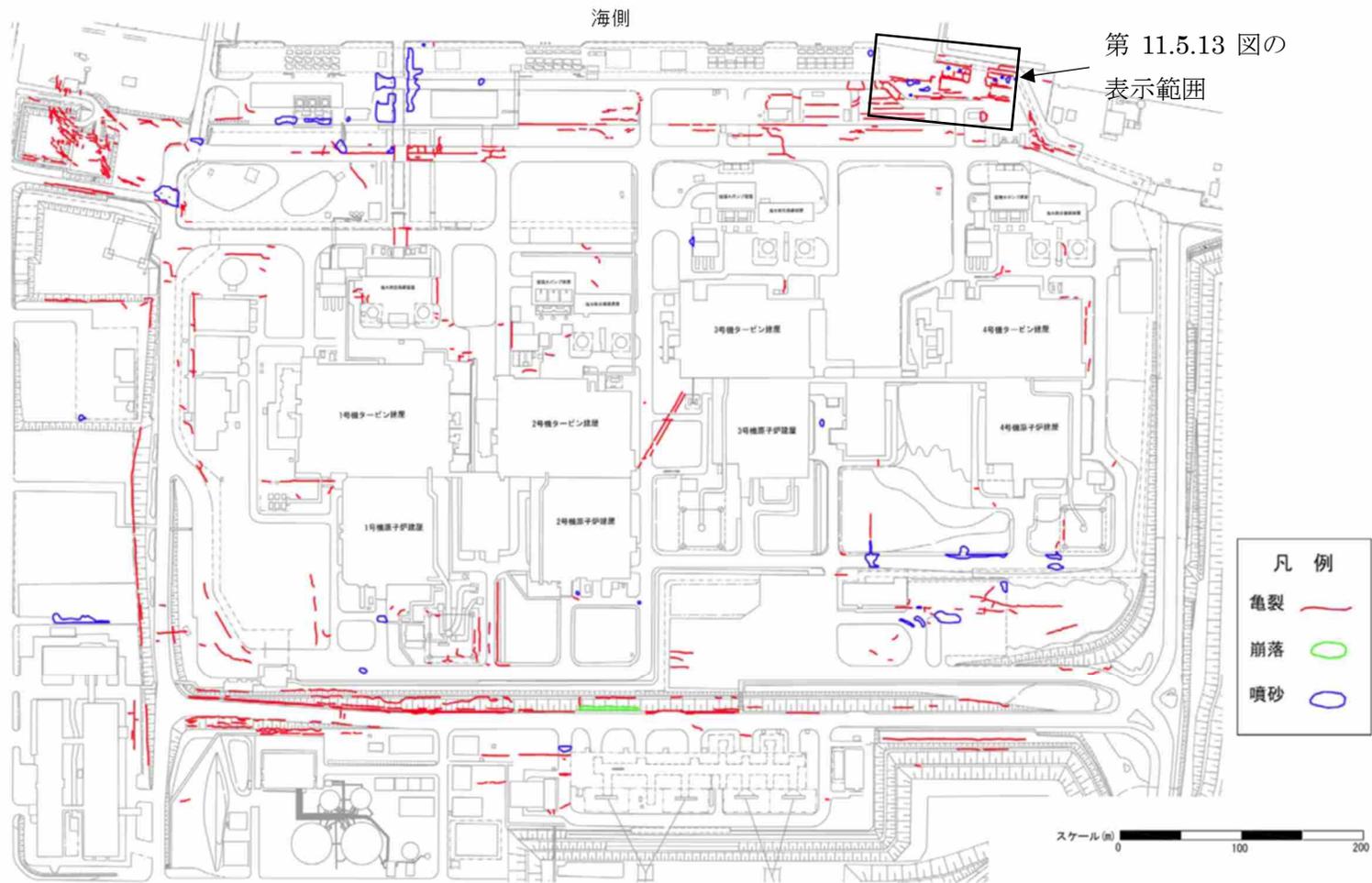
地表面に発生した亀裂の多くは直線状であり、地中埋設物の存在による埋戻土の相対沈下や法面の変状の影響であると考えられる。



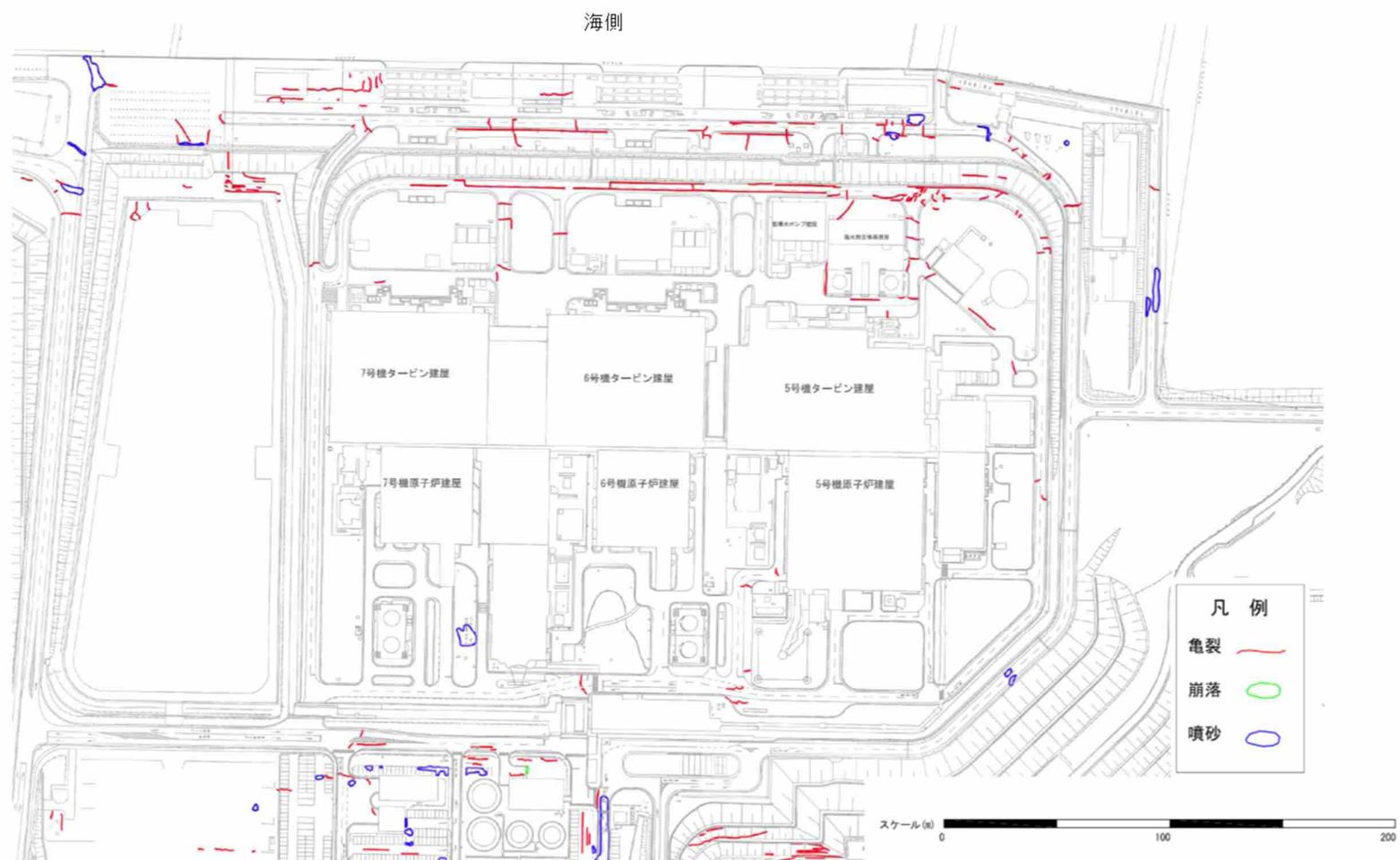
第 11-11-33 図 新潟県中越沖地震における敷地内の地盤鉛直変動 (a) 荒浜側
 (耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG (第 4 回) (2008) に一部加筆)



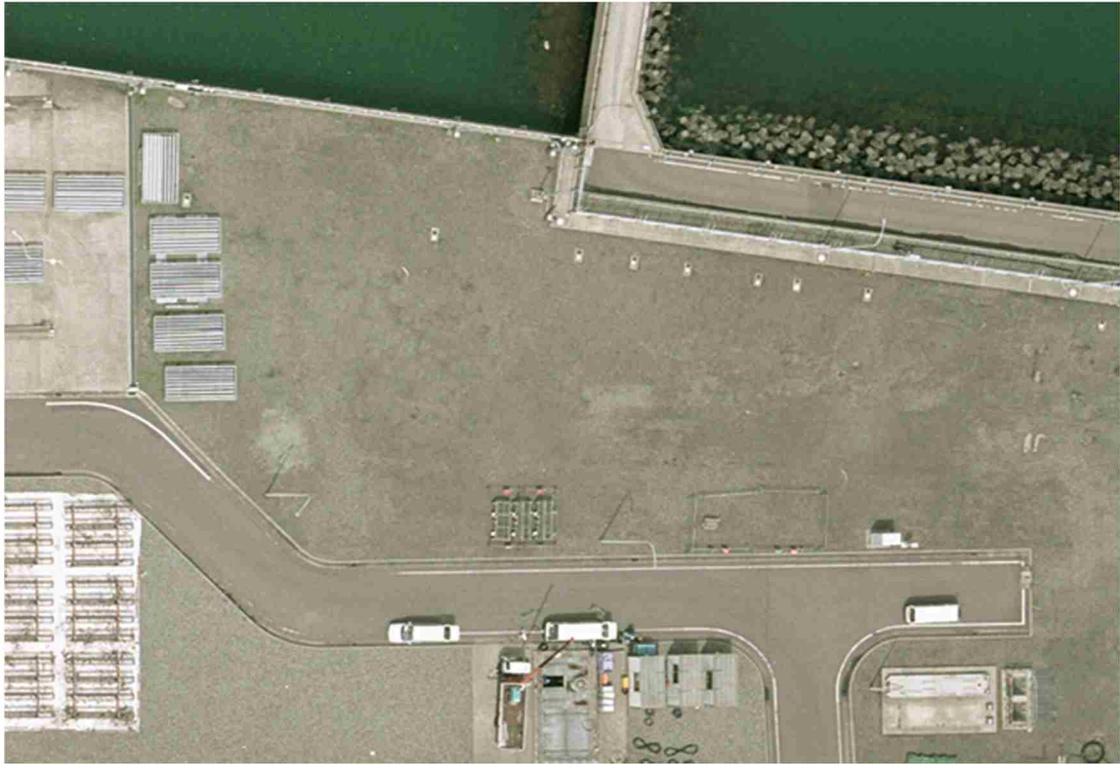
第 11-11-34 図 新潟県中越沖地震における敷地内の地盤鉛直変動図 (b)大湊側
 (耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG (第 4 回) (2008) に一部加筆)



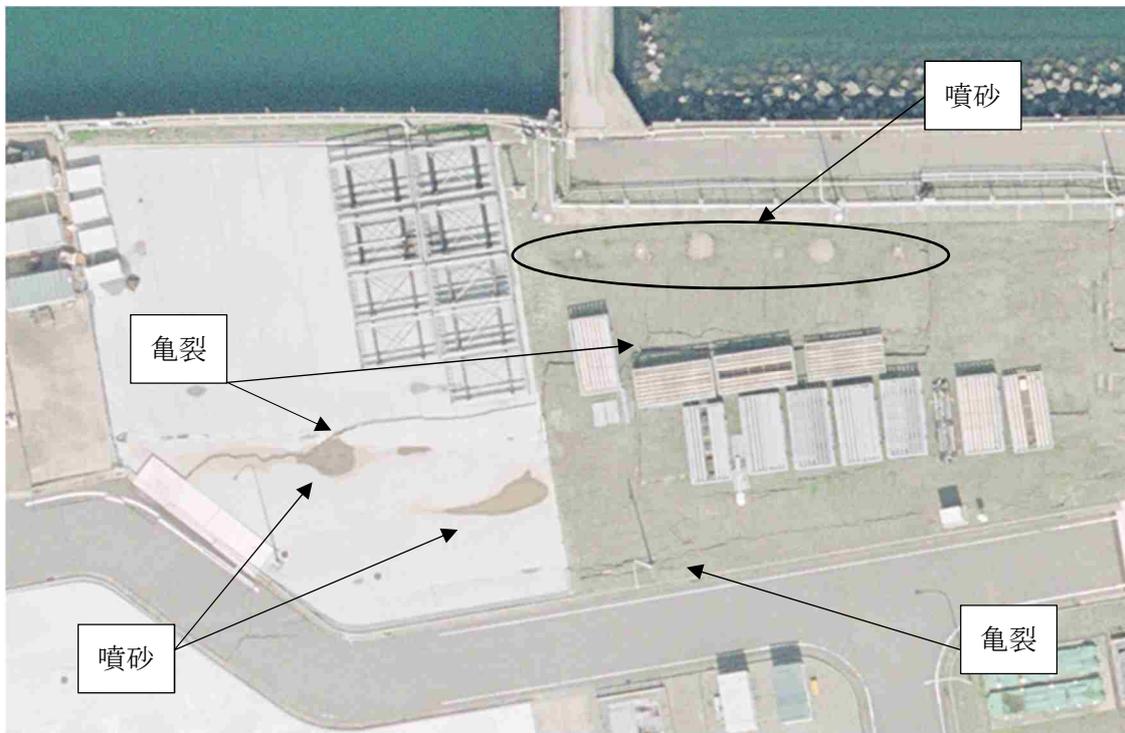
第 11-11-35 図 新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂・噴砂位置 (a)荒浜側
(耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG (第 3 回) (2007))



第 11-11-36 図 新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂・噴砂位置 (b)大湊側
 (耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG (第 3 回) (2007))



(a) 新潟県中越地震前（平成 18 年撮影）



(b) 新潟県中越地震後（平成 19 年撮影）

第 11-11-37 図 新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂及び噴砂の状況
 (耐震・構造設計小委員会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG (第 3 回) (2007))

(3) 参考文献

- 1) 小長井ほか：2007年新潟県中越沖地震の被害とその特徴，2010 土木学会地震被害調査小委員会，2006年～2010年に発生した国内外の地震被害報告書，2010.
- 2) 東京電力（株）：新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について，経済産業省総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同WG，第3回会合配布資料（合同 W3-1），pp7-9，2007.12.25.
- 3) 東京電力（株）：新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について，経済産業省総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同WG，第4回会合配布資料（合同 W4-1-1），pp10-11，2008.2.15.

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

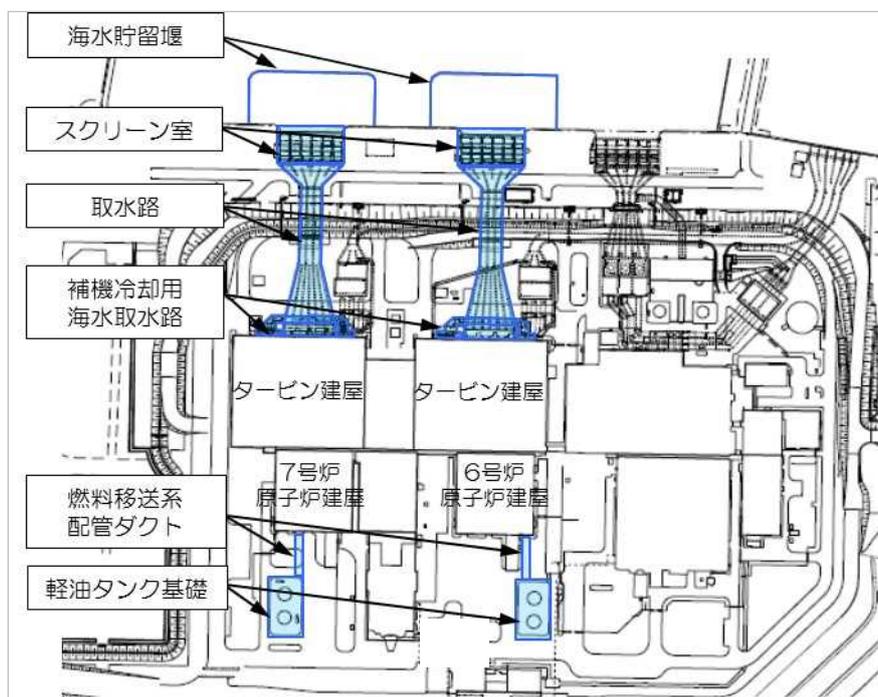
屋外重要土木構造物の耐震評価における
断面選定について
(耐震)

1. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

1.1 方針

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

柏崎刈羽発電所 6号及び7号炉での対象構造物は、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰である。各施設の平面配置図を第12-1-1図に示す。



第12-1-1図 平面配置図

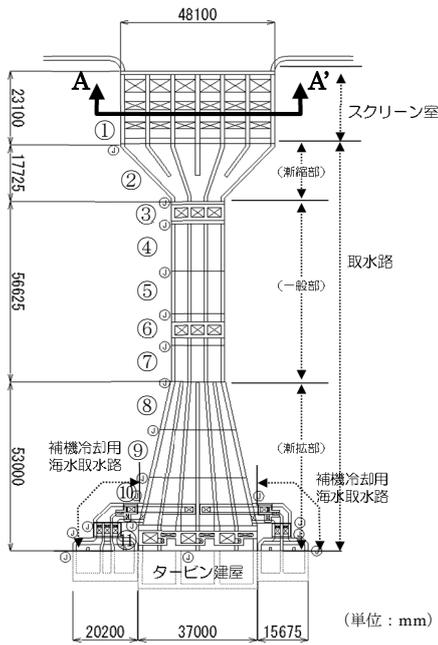
1.2 スクリーン室の断面選定の考え方

第 12-1-2 図，第 12-1-3 図及び第 12-1-4 図にスクリーン室の平面図，断面図及び縦断図を示す。

スクリーン室は，6号及び7号炉ともに，延長約 23m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，取水方向に対して内空寸法が一様で，頂版には取水方向におおむね規則的に開口が存在する。また，スクリーン室は，古安田層洪積粘性土層に直接設置されている。

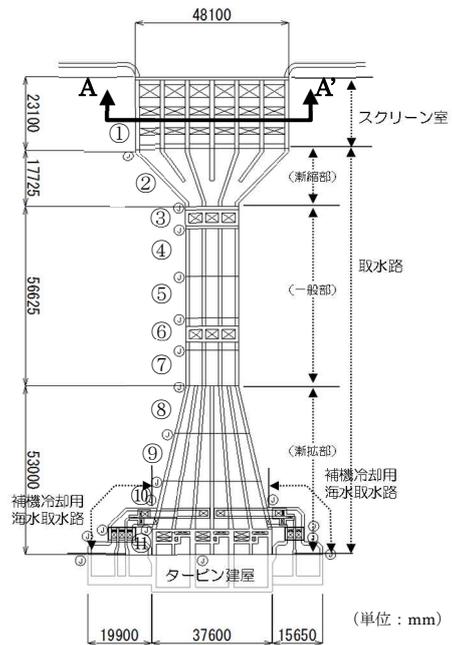
今回の工事計画認可申請書（以下「今回工認」という。）では，スクリーン室の取水方向全長で開口を含めた平均的な剛性及び上載荷重を考慮し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

スクリーン室の検討断面では，地下水位以下に，液状化層（埋戻土層）及び液状化影響評価対象層（古安田層洪積砂質土層）が分布することから，耐震評価では有効応力解析を実施する。



⑩：耐震ジョイント

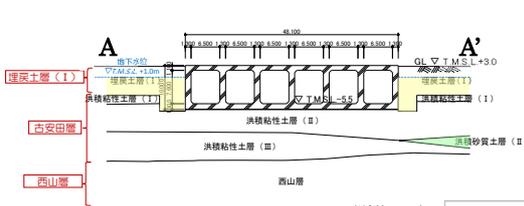
(6号炉)



⑩：耐震ジョイント

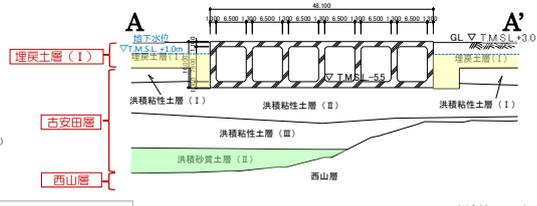
(7号炉)

第 12-1-2 図 6号及び7号炉スクリーン室 平面図



(単位：m)

(6号炉)

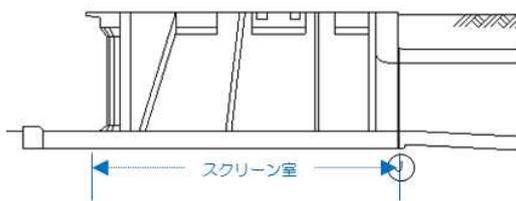


(単位：m)

(7号炉)

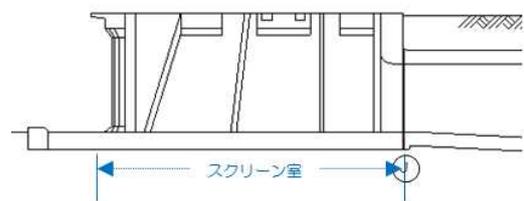
(凡例)
 ■：液状化層
 ■：液状化影響評価対象層

第 12-1-3 図 6号及び7号炉スクリーン室 断面図



⑩：耐震ジョイント

(6号炉)



⑩：耐震ジョイント

(7号炉)

第 12-1-4 図 6号及び7号炉スクリーン室 縦断面図

1.3 取水路の断面選定の考え方

第 12-1-5 図に取水路の平面図を示す。

取水路は、6号及び7号炉ともに、延長約127mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に対して複数の断面形状を示し、海側から大きく漸縮部、一般部、漸拡部に分けられる。また、取水路は、古安田層洪積粘性土層に直接設置若しくはマンメイドロックを介して西山層に設置されている。

今回工認では、構造物の構造的特徴や地盤条件等を考慮した上で断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

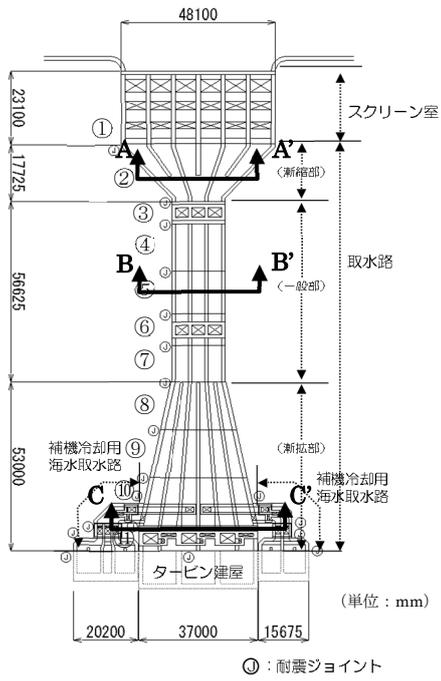
第 12-1-6 図～第 12-1-8 図及び第 12-1-1 表、第 12-1-2 表に取水路の縦断図、断面図及び構造諸元を示す。

取水路漸縮部は、一体の構造物であるが、取水方向に幅が漸縮するとともに、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状に変わる構造となっている。また、縦断方向で土被り厚は同じであり、その他の設置地盤条件もほぼ同様となっている。以上のことから、スクリーン室とほぼ同等の設置条件にあるものの、構造的特徴として6連から3連のボックスカルバート形状に変わることを踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が少なく耐震上厳しいと判断される A - A' 断面を耐震評価の対象として選定する。

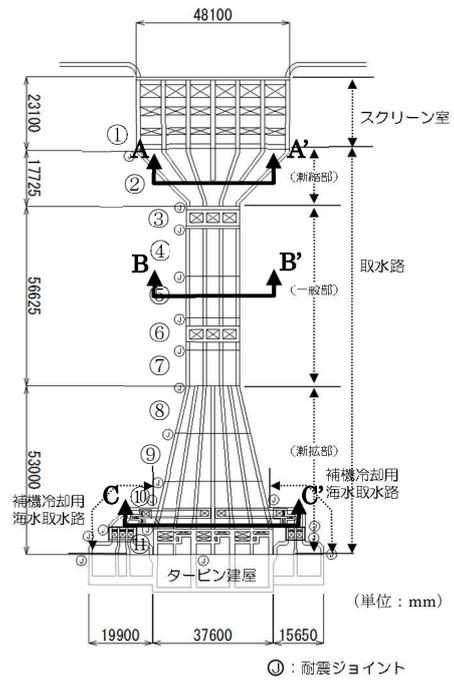
取水路一般部は、取水方向に幅が一様な3連のボックスカルバート形状の構造となっていることから、耐震評価の対象は、設置地盤条件に着目し、西山層の上限面の高さが深い区間で最も土被り厚が大きく耐震上厳しいと判断されるブロック⑤の B - B' 断面を選定する。

取水路漸拡部は、取水方向に幅が漸拡する6連のボックスカルバート形状の構造となっている。また、縦断方向で土被り厚はほぼ同様であり、その他の設置地盤条件もほぼ同様となっている。以上のことから、耐震評価の対象は、構造的特徴を踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるブロック⑩のタービン建屋側の C - C' 断面を選定する。

取水路の検討断面では、地下水位以下に、液状化層（埋戻土層）及び液状化影響評価対象層（古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。



(6号炉)



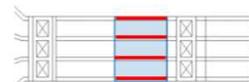
(7号炉)

第 12-1-5 図 6 号及び 7 号炉取水路 平面図

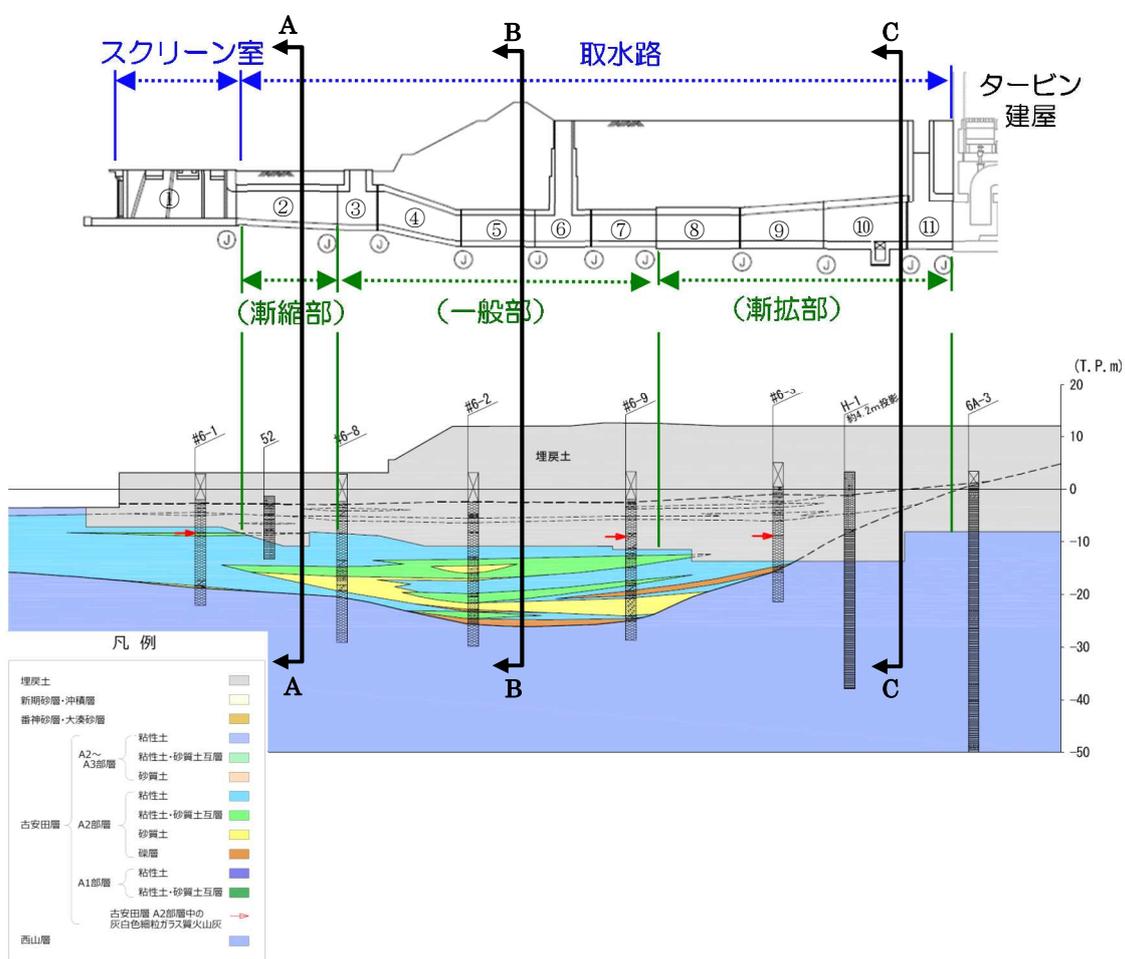
第 12-1-1 表 6 号炉取水路 構造諸元

| ブロック番号 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
|----------|--------|--------------|--------------|-----------|------|------|--------------|-----------|-----------|-----------|----|
| 設備区分 | スクリーン室 | 取水路
(漸縮部) | 取水路
(一般部) | | | | 取水路
(漸拡部) | | | | |
| 幅 (m) | 48.1 | 48.1~16.6 | 立坑 | 16.6 | 16.6 | 立坑 | 16.6 | 17.3~23.9 | 24.0~30.5 | 30.5~37.0 | 立坑 |
| 高さ (m) | 10.0 | 7.0~8.0 | | 8.0~6.6 | 6.6 | | 6.6 | 7.2 | 7.2~8.3 | 8.3~9.5 | |
| 壁面積率 | 0.19 | 0.20 | | 0.24 | 0.24 | | 0.24 | 0.37 | 0.28 | 0.23 | |
| 頂版開口 | 有 | 無 | | 無 | 無 | | 無 | 無 | 無 | 無 | |
| 機器荷重 | 有 | 無 | | 無 | 無 | | 無 | 無 | 無 | 無 | |
| 土被り厚 (m) | 0 | 2.5 | 2.5~14.7 | 14.7~19.2 | 15.8 | 15.6 | 15.6~14.5 | 14.5~13.3 | | | |

※ここで壁面積率とは、横断面のせん断変形が鉛直部材の壁率に依存することを考慮して、構造物各ブロックの全体平面積（青色部分）に対する鉛直部材の平面積（赤色部分）と定義する



壁面積率 (例：ブロック5)

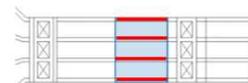


第 12-1-6 図 6 号炉取水路 縦断面図

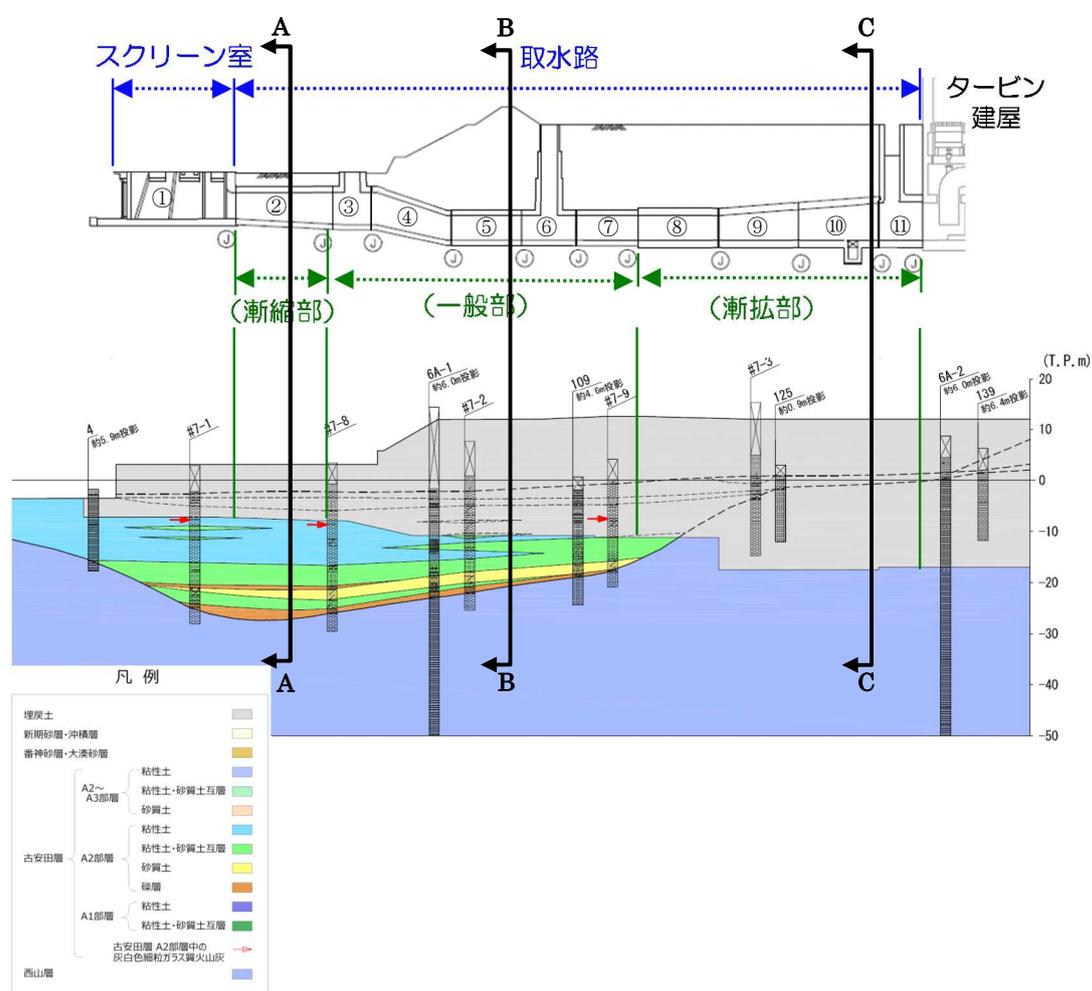
第 12-1-2 表 7号炉取水路 構造諸元

| ブロック番号 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
|----------|--------|--------------|--------------|----------|-----------|--------------|------|-----------|--------------|-----------|----|
| 設備区分 | スクリーン室 | 取水路
(漸縮部) | 取水路
(一般部) | | | 取水路
(漸拡部) | | | 取水路
(漸拡部) | | |
| 幅 (m) | 48.1 | 48.1~16.6 | | 16.6 | 16.6 | | 16.6 | 17.3~24.0 | 24.0~30.9 | 30.9~37.6 | |
| 高さ (m) | 10.0 | 7.0~8.0 | | 8.0~6.6 | 6.6 | | 6.6 | 7.2 | 7.2~8.3 | 8.3~9.5 | |
| 壁面積率 | 0.19 | 0.20 | | 0.24 | 0.24 | | 0.24 | 0.37 | 0.28 | 0.22 | |
| 頂板開口 | 有 | 無 | 立坑 | 無 | 無 | 立坑 | 無 | 無 | 無 | 無 | 立坑 |
| 機器荷重 | 有 | 無 | | 無 | 無 | | 無 | 無 | 無 | 無 | |
| 土被り厚 (m) | 0 | 2.5 | | 2.5~13.8 | 13.8~19.2 | | 15.8 | 15.6 | 15.6~14.5 | 14.5~13.3 | |

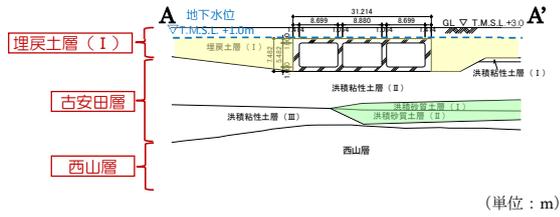
※ここで壁面積率とは、横断面のせん断変形が鉛直部材の壁面に依存することを考慮して、構造物各ブロックの全体平面積（青色部分）に対する鉛直部材の平面積（赤色部分）と定義する



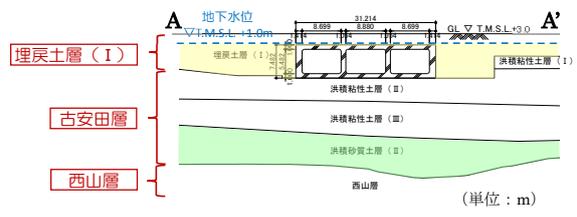
壁面積率（例：ブロック⑤）



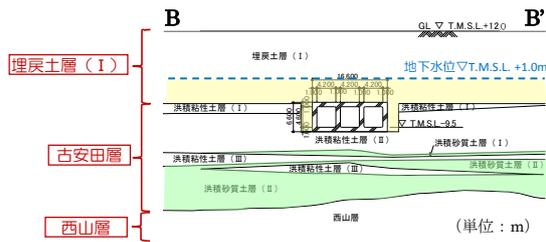
第 12-1-7 図 7号炉取水路 縦断面図



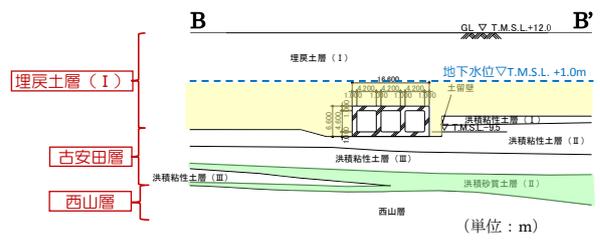
(6号炉取水路漸縮部)



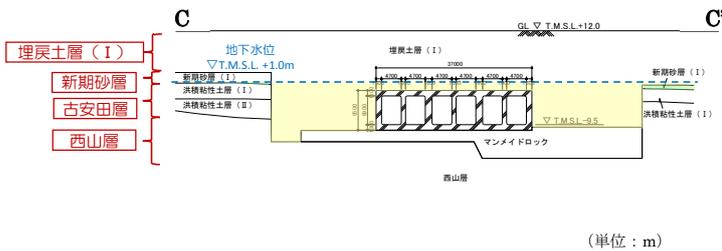
(7号炉取水路漸縮部)



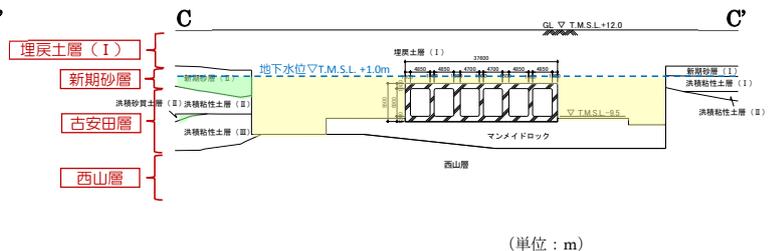
(6号炉取水路一般部)



(7号炉取水路一般部)



(6号炉取水路漸拡部)



(7号炉取水路漸拡部)



第 12-1-8 図 6号及び7号炉取水路 断面図

1.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方

第 12-1-9 図～第 12-1-11 図に補機冷却用海水取水路の平面図, 縦断図及び断面図を示す。

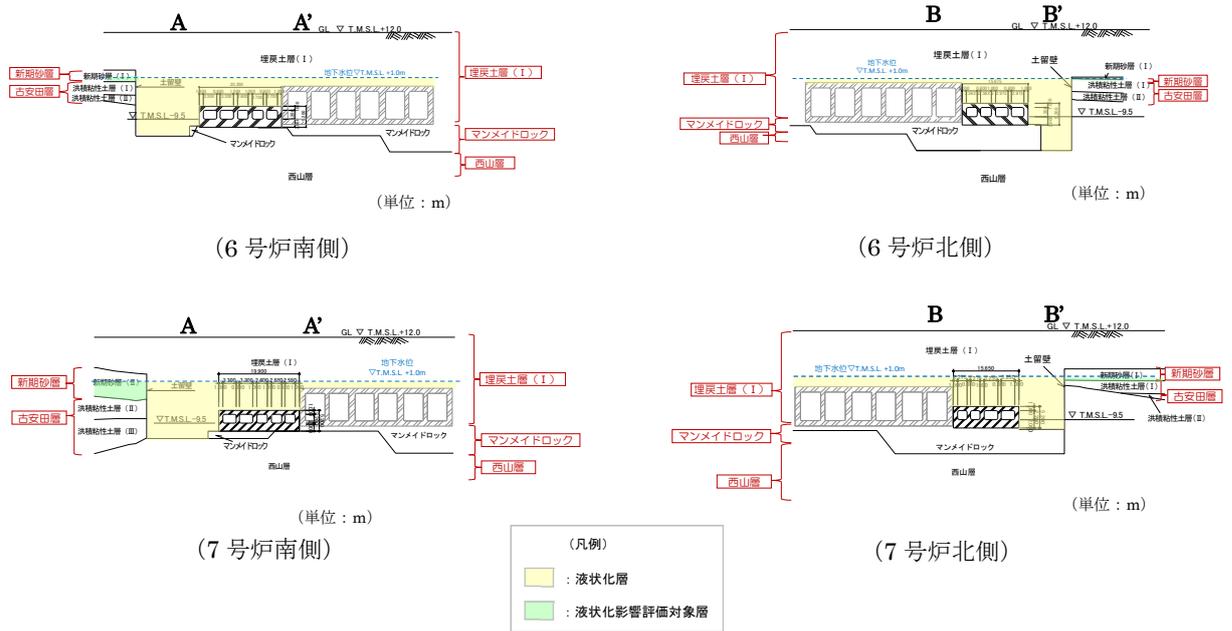
補機冷却用海水取水路は, 6 号及び 7 号炉ともに, 取水路漸拡部からそれぞれ北側, 南側に分岐した鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 取水方向に対して複数の断面形状を示し, 直接若しくはマンメイドロックを介して西山層に設置されている。

今回工認では, 構造物の構造的な特徴や地盤条件等を考慮した上で断面を選定し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

補機冷却用海水取水路 (北側) は, 取水路漸拡部から 2 連のボックスカルバート形状で分岐し, 2 連から 4 連 (柱部 2 本) のボックスカルバート形状に変わるとともに, タービン建屋近傍で幅が大きくなる構造である。また, 補機冷却用海水取水路 (南側) は, 取水路漸拡部から 2 連のボックスカルバート形状で分岐し, 2 連から 5 連 (柱部 2 本) のボックスカルバート形状に変わるとともに, タービン建屋近傍で幅が大きくなる構造である。

以上のことから, 耐震評価の対象は, 構造的な特徴を踏まえ, 構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるタービン建屋接続位置を選定し, 北側 4 連 (柱部 2 本) ボックスカルバート部のブロック北③及び南側 5 連 (柱部 2 本) ボックスカルバート部のブロック南③を選定する。モデル化においては, ブロック全体の妻壁及び柱部を含めた平均的な剛性を考慮し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

補機冷却用海水取水路の検討断面では, 地下水位以下に, 液状化層 (埋戻土層) が分布することから, 耐震評価では有効応力解析を実施する。



第 12-1-11 図 6 号及び 7 号炉補機冷却用海水取水路 断面図

1.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方

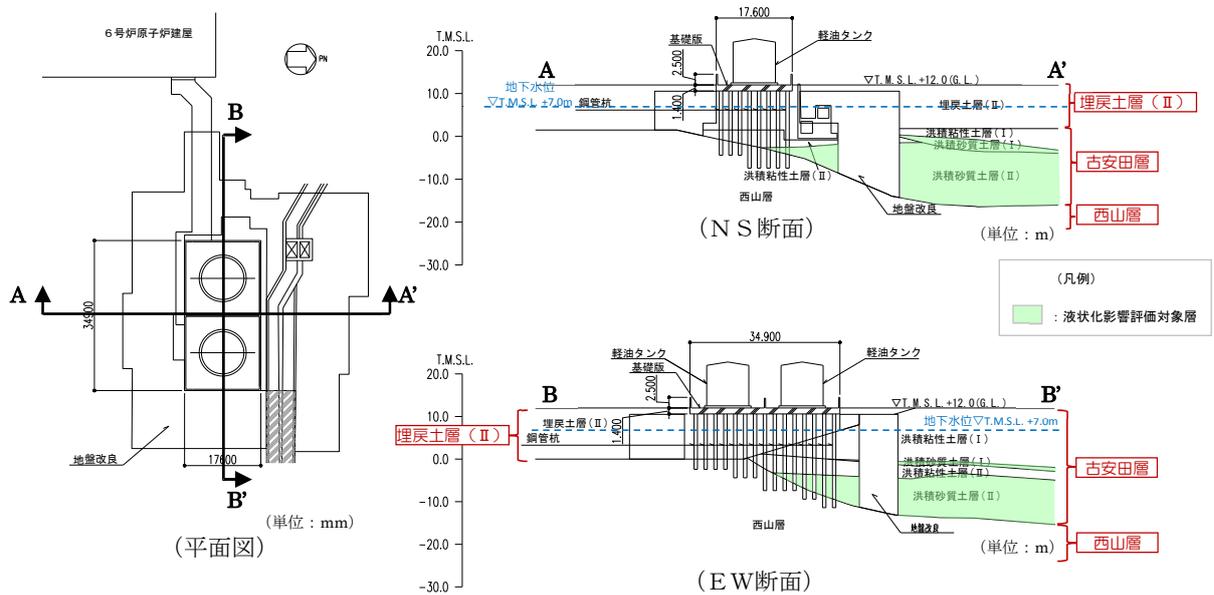
第 12-1-12 図及び第 12-1-13 図に軽油タンク基礎の平面図及び断面図を示す。

軽油タンク基礎は、6号及び7号炉ともに、鉄筋コンクリート造の基礎版が杭を介して西山層に支持される地中構造物で、幅約 18m (NS 方向) × 約 35m (EW 方向)、高さ約 1.4m の基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一様な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差はないと考えられる。

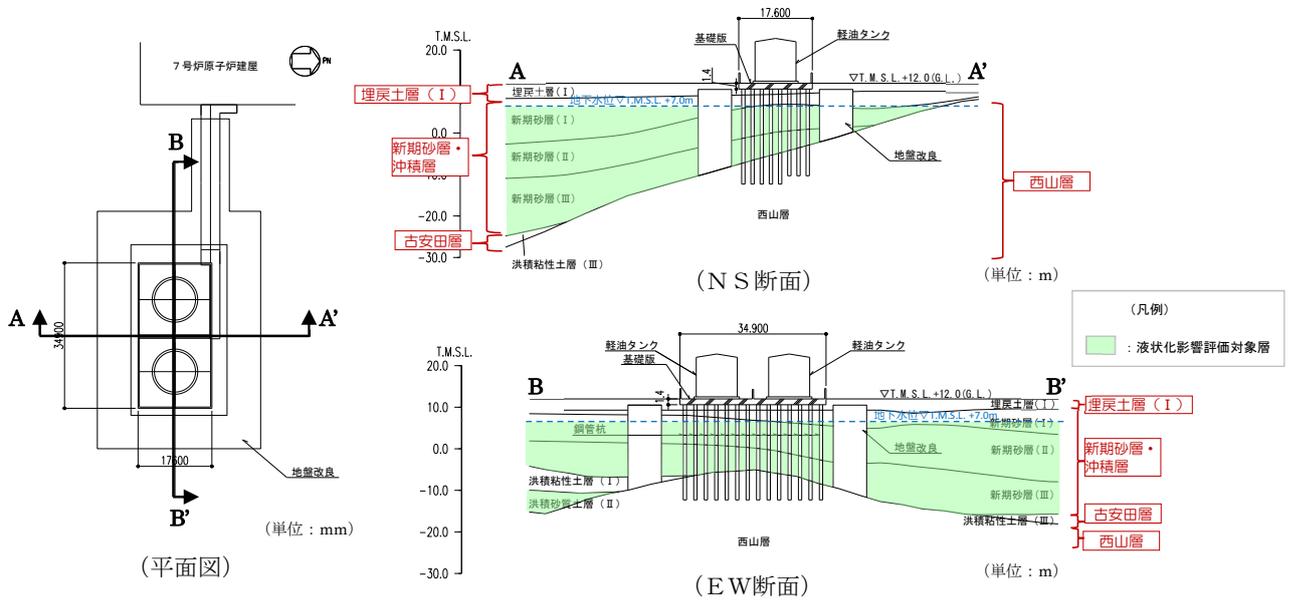
今回工認では、基礎版の長軸方向及び短軸方向の 2 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

6号炉軽油タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層（古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。埋戻土層（Ⅱ）は、建設時に掘削した西山層泥岩を材料として埋め戻した粘性土であり、性状の確認を目的とした物理試験を実施した上で、非液状化層として扱う。

7号炉軽油タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層（新期砂層・沖積層、古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。



第 12-1-12 図 6号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図



第 12-1-13 図 7号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図

1.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方

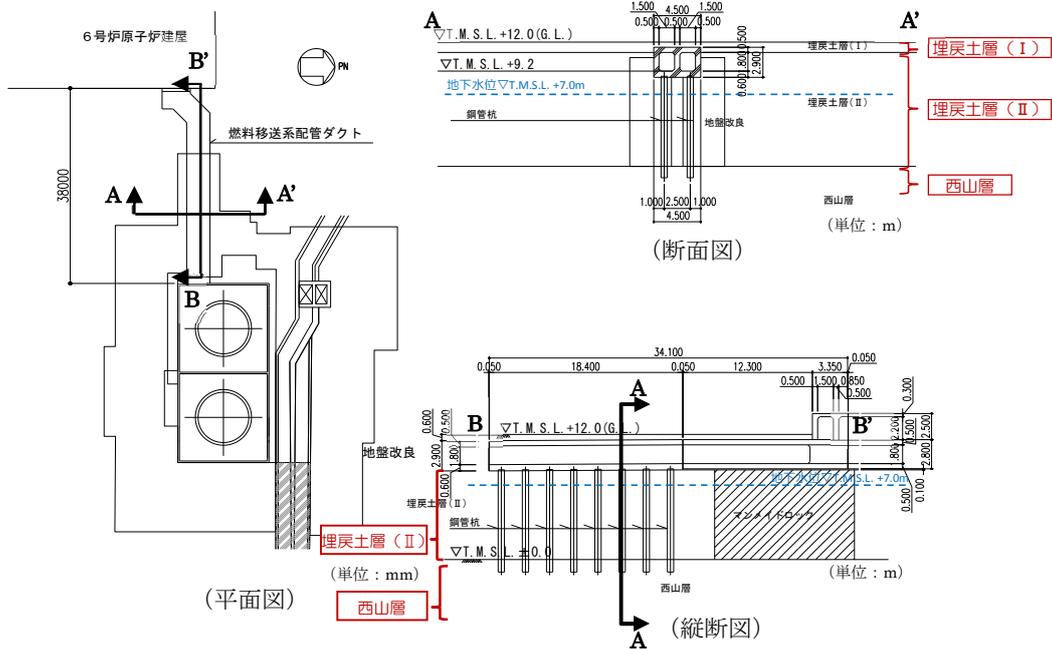
第 12-1-14 図及び第 12-1-15 図に燃料移送系配管ダクトの平面図, 断面図及び縦断図を示す。

6 号炉燃料移送系配管ダクトは, 軽油タンク側は鉄筋コンクリート造のダクトが杭を介して, 6 号炉原子炉建屋側はマンメイドロックを介して西山層に支持される地中構造物である。7 号炉燃料移送系配管ダクトは, 鉄筋コンクリート造のダクトが杭を介して西山層に支持される地中構造物である。また, 6 号及び 7 号炉ともにダクト及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施している。

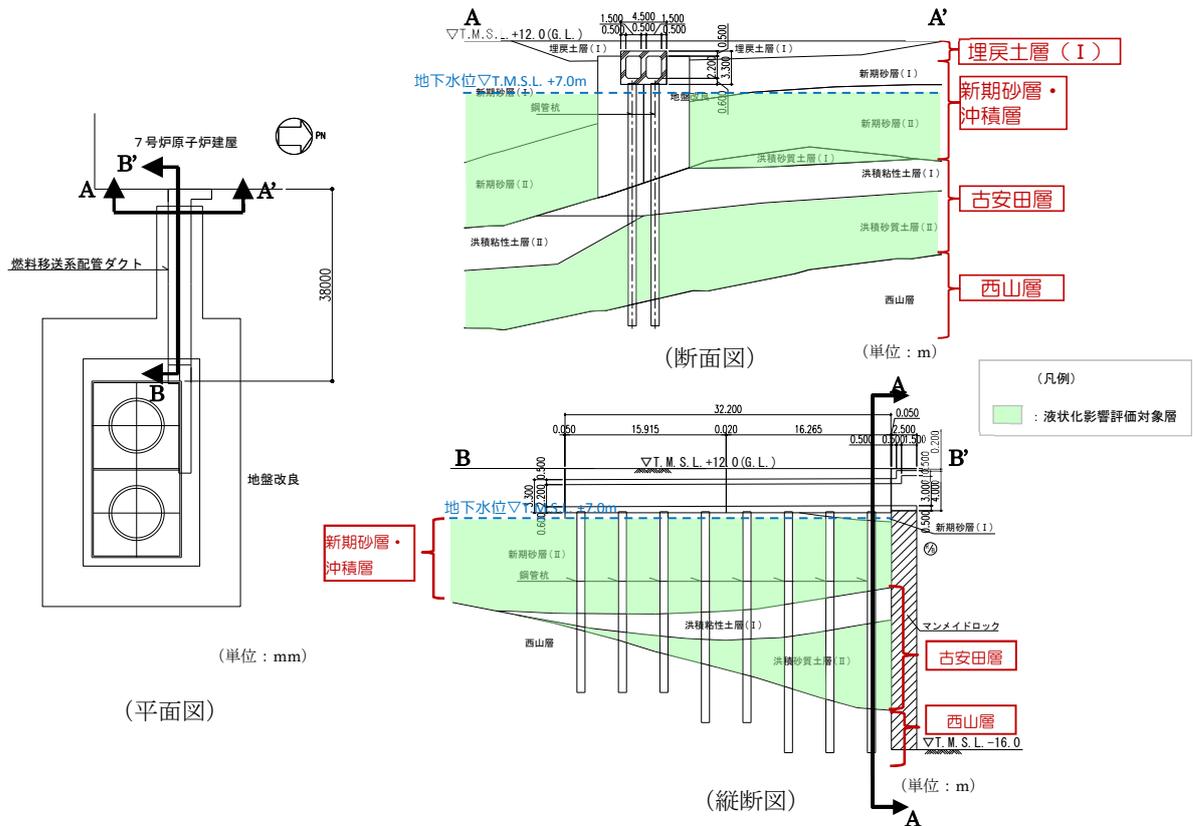
今回工認では, 6 号炉は, 軸方向に一様なダクト形状を示すことから, 支持構造に着目し, 杭基礎部とマンメイドロックに直接設置するダクトのうち, より曲げ変形が大きくなると考えられる杭基礎部の断面を選定し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。7 号炉は, 軸方向に一様な杭支持構造のダクト形状を示しており, ダクトが接する側方及び下方の地盤は軸方向にほぼ同じ条件であることから, 杭部分の曲げ変形がより大きくなると考えられる最も杭長が長い断面を選定し, 基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

6 号炉燃料移送系配管ダクトの検討断面では, 地下水位以下に, 液状化層及び液状化影響評価対象層は分布しない。埋戻土層 (II) は, 建設時に掘削した西山層泥岩を材料として埋め戻した粘性土であり, 性状の確認を目的とした物理試験を実施した上で, 非液状化層として扱う。

7 号炉燃料移送系配管ダクトの検討断面では, 地下水位以下に, 液状化影響評価対象層 (新期砂層・沖積層, 古安田層洪積砂質土層) が分布することから, 耐震評価では有効応力解析を実施する。



第 12-1-14 図 6号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図



第 12-1-15 図 7号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図

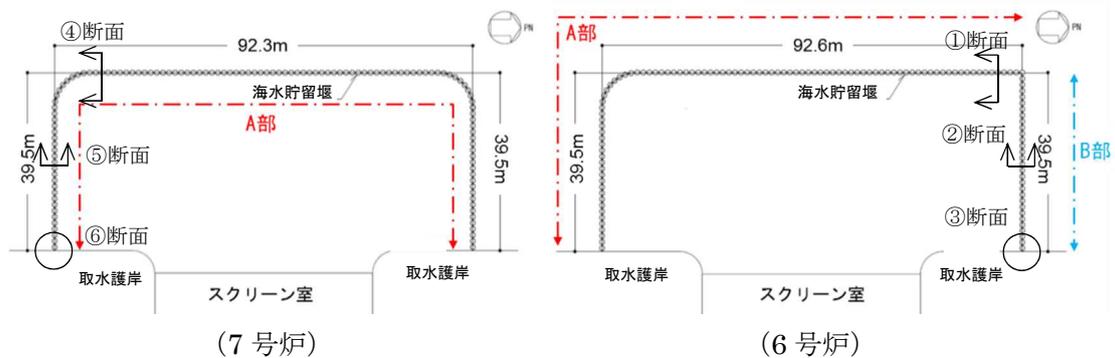
1.7 海水貯留堰の断面選定の考え方

第 12-1-16 図に海水貯留堰の平面図，第 12-1-17 図に海水貯留堰の断面図，第 12-1-18 図に古安田層基底面図を示す。

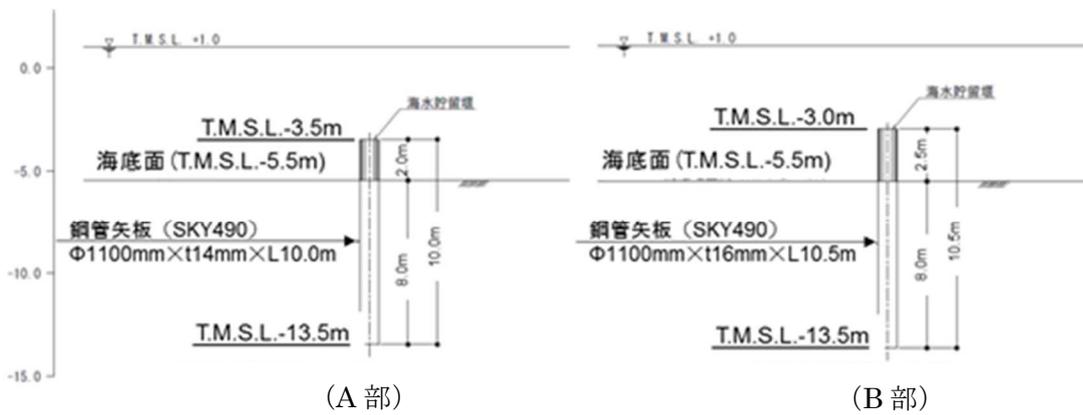
海水貯留堰は，取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり，取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは 8m であり，西山層若しくは古安田層洪積粘性土層に直接設置される。鋼管矢板は，海水を貯留するために海底面から A 部で 2.0m，B 部で 2.5m 突出している。

海水貯留堰の断面選定においては，海水貯留堰の配置を考慮して鋼管矢板が汀線直交方向に連結した部分，汀線平行方向に連結した部分及び取水護岸との接続部から選定する。また，地震時の影響を考慮して海底面から突出した部分が長い B 部を優先する。地盤条件としては，地震時の応答が大きくなると考えられる古安田層の基底面が深い位置を選定する。

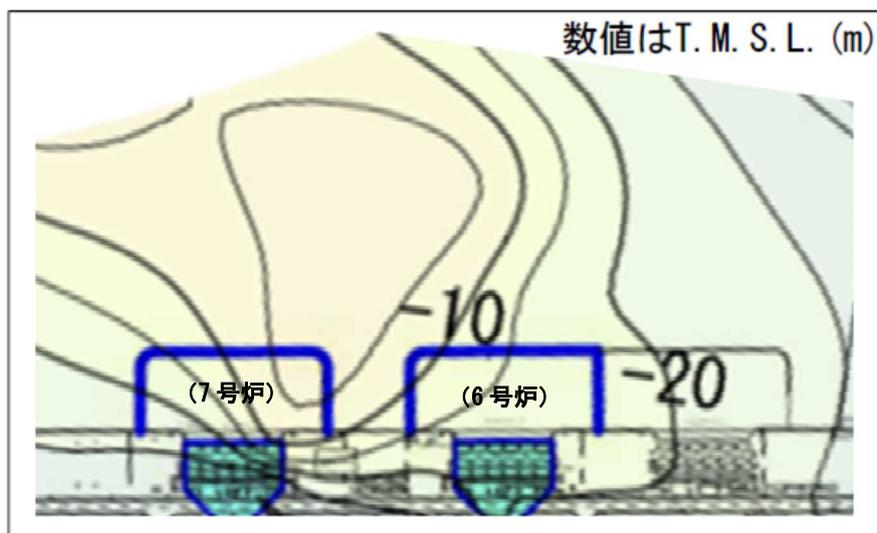
選定した断面位置を第 12-1-16 図に示す。6 号炉海水貯留堰においては汀線平行方向で古安田層の基底面が深い①断面を，汀線直交方向で古安田層の基底面が深く突出長が長い②断面を，取水護岸部との接続部として③断面を選定する。7 号炉海水貯留堰においては，汀線平行方向及び汀線直交方向において古安田層の基底面が深い④断面及び⑤断面を，取水護岸部との接続部として⑥断面を選定する。



第 12-1-16 図 6 号及び 7 号炉海水貯留堰 平面図



第 12-1-17 図 6号及び7号炉海水貯留堰 断面図



第 12-1-18 図 古安田層基底面図

2. 重大事故等対処施設の土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

2.1 方針

重大事故等対処施設の土木構造物の評価対象断面については、構造物の配置や荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

柏崎刈羽発電所 6 号及び 7 号炉での対象構造物は、第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎である。各施設の平面配置図を第 12-2-1 図に示す。

2.2 第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面選定の考え方

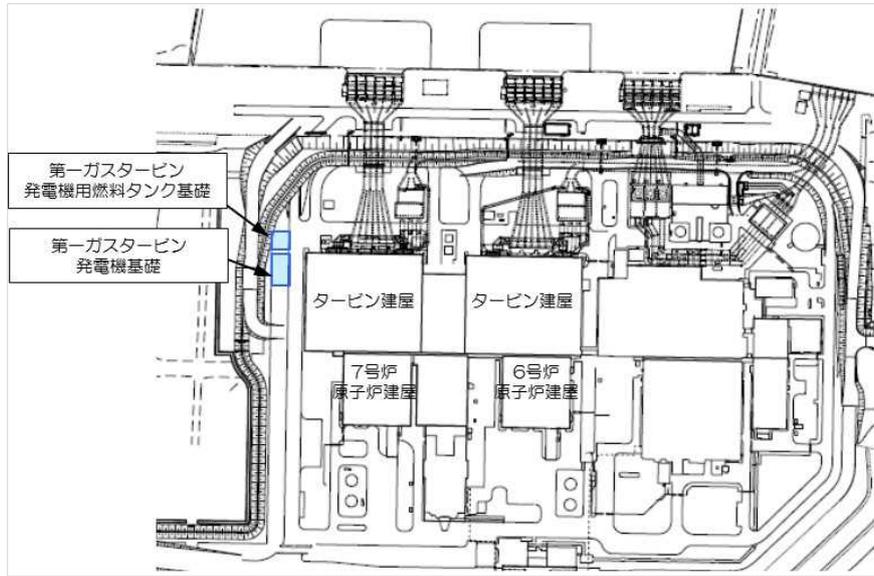
第 12-2-2 図に第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面図を示す。

第一ガスタービン発電機基礎は、鉄筋コンクリート造の基礎版が杭を介して西山層に支持される地中埋設構造物で、幅約 14m (NS 方向) × 約 33m (EW 方向)、高さ約 3.6~6.0m の基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一様な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差はないと考えられる。

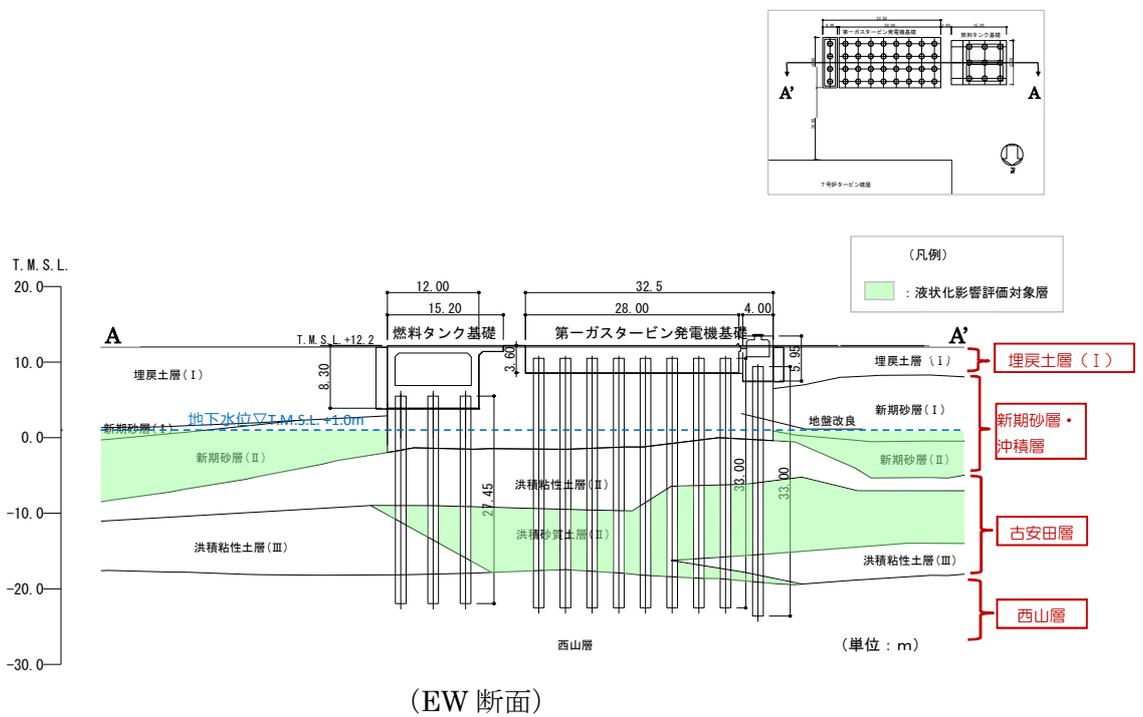
第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、鉄筋コンクリート造のピットが杭を介して西山層に支持される地中構造物で、幅約 12m (NS 方向) × 約 12m (EW 方向)、高さ約 8.3m のピットを等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一様な構造となっている。また、ピット及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差はないと考えられる。

今回工認では、基礎版及びピットの長軸方向及び短軸方向の 2 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

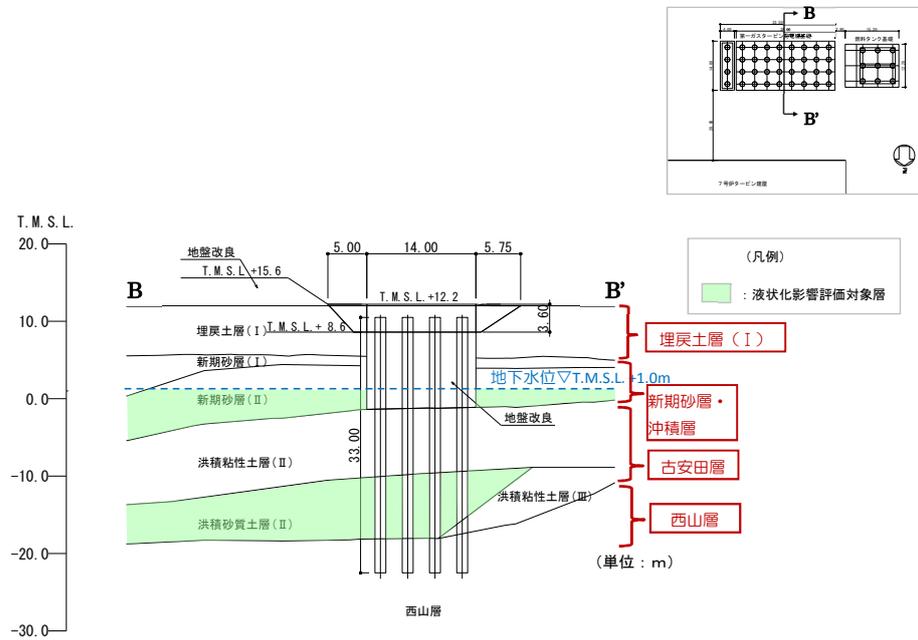
第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層（新期砂層・沖積層，古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。



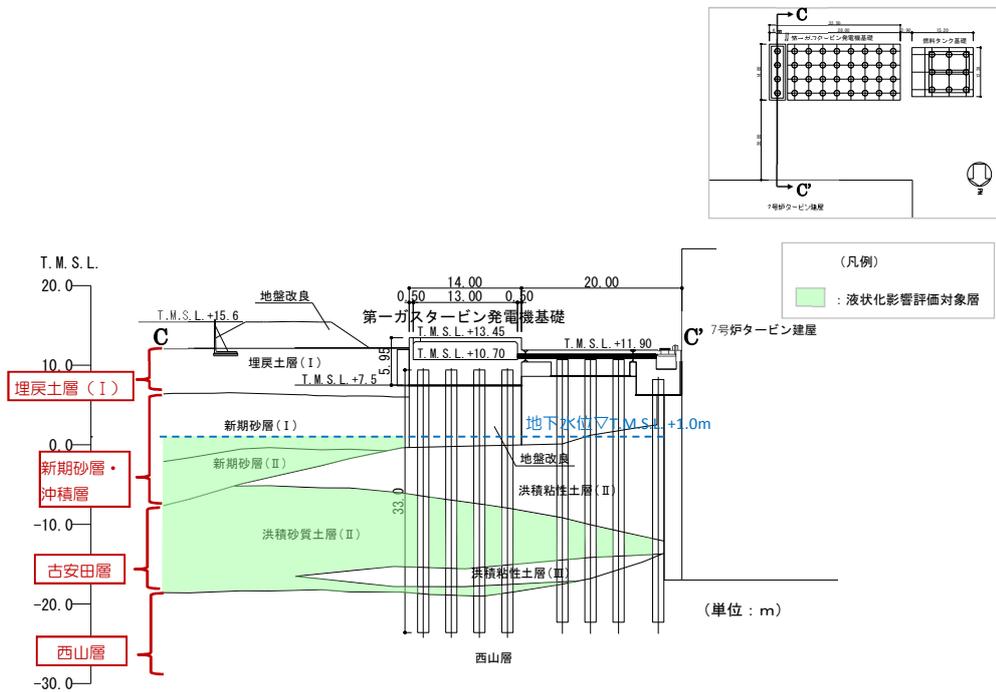
第 12-2-1 図 平面配置図



第 12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用
 燃料タンク基礎断面図 (1/3)

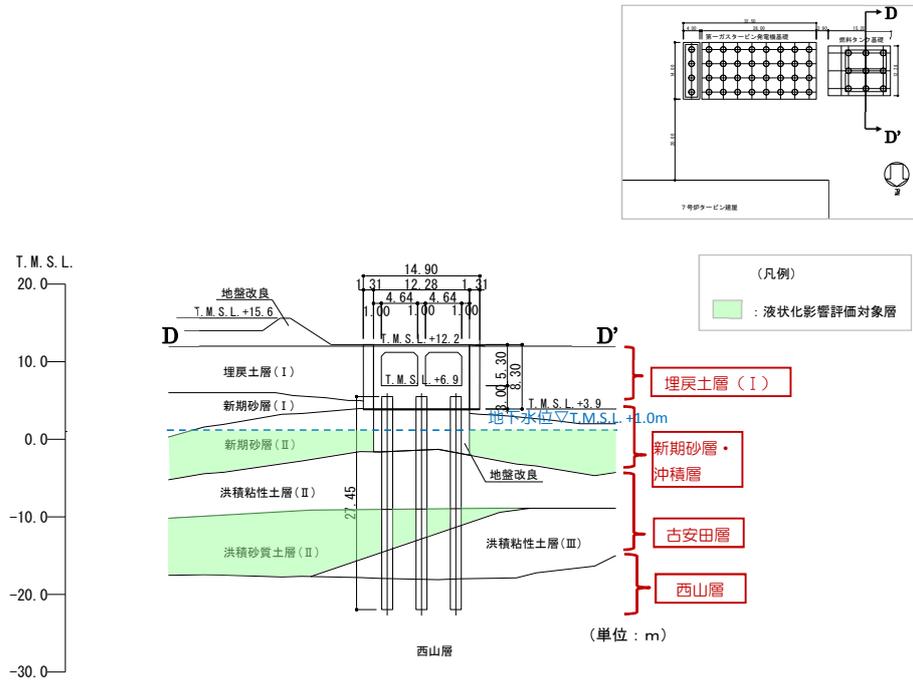


(第一ガスタービン発電機基礎 NS断面①)



(第一ガスタービン発電機基礎 NS断面②)

第 12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用
燃料タンク基礎断面図 (2/3)



(第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 NS断面)

第 12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用
 燃料タンク基礎断面図 (3/3)

柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉

地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価について
(耐震)

地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価について

1. はじめに

燃料被覆管の応力評価に関しては、燃料の健全性を確認する観点から、原子炉設置変更許可申請書添付Ⅷ及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において通常運転時及び異常な過渡変化時に発生する内外圧力差による応力、熱応力などを考慮し、解析コードを用いて燃料被覆管の応力設計比の評価を行っている。また、工事計画認可申請書及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（耐震解析）において、崩壊熱除去可能な形状の維持の観点から、地震時の一次応力も考慮した応力評価を実施している。

一方、平成 29 年 6 月 21 日原子力規制委員会『実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則等の一部改正並びにそれらの意見募集等について（案）』において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、基準地震動 S_s の地震が発生した場合でも、燃料被覆管の閉じ込め機能が維持できることとして、地震力並びに地震力と重畳する可能性のある 1 次応力及び 2 次応力を加味した評価を実施することが要求され、設置許可基準規則等が改正されることとなった。

本資料は、上記を踏まえて燃料被覆管の応力評価への地震動の影響について説明するものである。

2. 評価項目の選定

BWR 燃料集合体は「沸騰水型原子炉に用いられる 8 行 8 列型の燃料集合体について（昭和 49 年 12 月 25 日原子炉安全専門審査会）」に従い、構造強度設計で以下を考慮している。

- (1) 燃料被覆管にかかる応力は、設計応力強さ限界を超えないこと。
- (2) 累積疲労サイクル数は、設計疲労寿命を超えないこと。
- (3) 使用中に燃料棒の変形等による過度の寸法変化を生じないこと。

上記の内、(1) 及び (2) について地震影響を考慮した評価を行う。(3) は燃料集合体に異常な寸法形状変化を生じさせないため、燃料被覆管製造時における残留応力除去、上下部タイププレート及びスペーサによる燃料棒の保持等により考慮されている項目であることから評価対象としない。

3. 燃料被覆管応力評価条件

基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d が発生した場合でも閉じ込め機能が確保されることを確認する。平成 29 年 2 月 15 日原子力規制委員会資料に基づく燃料被覆管の応力評価条件を表 1 に示す。

評価対象燃料は、原子炉設置変更許可済の 9×9 燃料 (A 型) 及び 9×9 燃料 (B 型) とする。

表 1 燃料被覆管の応力評価条件^{※1}

| 要求機能 | 考慮すべき応力と地震動 | 許容応力 |
|--------------|-----------------------------------|-------------|
| 燃料被覆管の閉じ込め機能 | 1 次応力 (Sd を考慮)
+2 次応力 (Sd を考慮) | 降伏応力 (Sy) |
| | 1 次応力 (Ss を考慮)
+2 次応力 (Ss を考慮) | 設計引張強さ (Su) |

※1 : 本評価においては Sd を包絡する Ss を考慮し、かつ、Sy を許容応力として評価することで、評価ケースを便宜上一本化する。

4. 燃料被覆管応力評価方法^[1]

燃料被覆管応力評価は、厚肉円筒式を用いた簡易弾性解析により、せん断歪エネルギー説 (von Mises 理論) に基づき被覆管の相当応力を求め設計比を評価する。応力計算は、燃料被覆管に発生するすべての応力を三軸方向 (半径方向、円周方向及び軸方向) について解析し、それらより相当応力を評価する。

応力設計比は、燃料棒寸法、被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、許容応力などの統計的入力変数の関数となる。入力変数の統計的分布は、製造実績、実機運転データ等を考慮して設定された値を用いる。これらをモンテカルロ法により統計評価を行う。モンテカルロ法による評価では、1 回の試行毎に乱数が用いられ、統計的分布に従い設定された入力条件から 1 つの応力設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより応力設計比の 95% 確率上限値を求める。応力設計比の 95% 確率上限値が 1 以下であることで燃料の健全性を確認する。

なお、被覆管温度、燃料棒内圧は燃料棒熱・機械設計解析コードから得られるものであり、他の入力も含めて許認可解析で保守的に設定されたものと同じものを用いる。

5. 疲労評価

燃料の疲労限界に対する設計基準は、累積損傷の法則 (Miner の仮説) 及び Langer-O'Donnell の考え方に基づく。具体的には炉内滞在期間 8 年を仮定して温度・圧力及び出力の予測サイクルによる疲労に加え、地震動による繰返し荷重を考慮し、累積疲労係数が 1.0 未満であることを確認する。

6. 評価結果

燃料被覆管応力評価結果（暫定条件による概算値）を添付に示す。許認可で考慮している応力に加えて地震による応力を考慮した場合においても、応力設計比は最大で0.69（9×9燃料（A型））及び0.72（9×9燃料（B型））であった。よって地震を考慮しても1.0より小さく十分余裕があることを確認した。

疲労についてはジルカロイの設計疲労曲線を用いて、Sdより厳しいSsでの最大応力振幅から、許容サイクル数を 2.76×10^4 回（9×9燃料（A型））及び 1.0×10^4 回（9×9燃料（B型））として疲労係数を求めたところ、疲労係数の増分は0.00435（9×9燃料（A型））及び0.012（9×9燃料（B型））であった。よって全寿命を通した累積疲労係数（約0.003（9×9燃料（A型））及び約0.006（9×9燃料（B型）））に、複数回の地震動による疲労係数増分を加えても累積疲労係数は1.0より十分小さいことを確認した。

7. その他検討事項

燃料集合体の浮き上がりの可能性については、冷却材による流体力、水平方向加速度（10G）、鉛直方向加速度（2G）においても、浮き上がりの影響がない（燃料支持金具から外れない）ことが過去の解析評価により確認されている^[2]。

上記に加え、制御棒挿入時の突き上げや燃料と上部格子板との摩擦を考慮した場合においてもほぼ同様の結果となることが別の試験及び解析で確認されている^[3]。

なお、6号炉と7号炉はおおむね同一構造であること及び両炉の燃料集合体は同一設計であることから、7号炉を代表で評価した。

添付資料1

柏崎刈羽7号炉 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価について

添付資料2

柏崎刈羽7号炉 地震影響を考慮した燃料被覆管疲労評価について

参考文献

- [1] 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和63年5月12日 原子力安全委員会了承）
- [2] 平成17年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査機器耐力 その2（BWR制御棒挿入性）に係る報告書（平成18年9月原子力安全基盤機構）

- [3] 浜岡原子力発電所3, 4号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価に関わる報告のうち耐震設計上重要な機器・配管系の耐震安全性評価（補足説明資料）（平成19年10月23日, 中部電力株式会社）

柏崎刈羽 7 号炉 地震による応力を考慮した燃料被覆管応力評価について

通常運転時に発生する応力に加え地震による応力を考慮した燃料被覆管の応力評価結果を以下に示す。

燃料タイプ：9×9 燃料（A 型）

解析コード：簡易弾性解析コード FURST Ver. 5（設置許可，設計認可と同じ※1）

評価部位：スペーサ間，スペーサ部

評価点：燃料寿命初期，中期，末期

運転状態：応力評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 8.57MPa[abs]）

考慮する応力：①内外圧力差に基づく応力（一次応力）

②水力振動に基づく応力（一次応力）

③楕円度に基づく応力（一次応力）

④スペーサの接触圧に基づく応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力）

⑤半径方向温度差に基づく熱応力（二次応力）

⑥円周方向温度差に基づく熱応力（二次応力）

地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，最大値を固定値として入力する。

⑦スペーサ間の燃料棒のたわみに基づく応力（一次応力）

⑧チャンネルボックスのたわみに基づく応力（二次応力）

鉛直方向の地震加速度を考慮する場合には，さらに以下の応力を考慮する。

⑨鉛直地震加速度に基づく応力（一次応力）

⑩膨張スプリングの圧縮力に基づく応力（一次応力）

許容応力：一次+二次応力に対して降伏応力（ S_y ）

入力値：水平加速度 1.88G（暫定条件による概算値）

鉛直加速度 1.23G（同上）

燃料集合体相対変位 20.8mm（同上）

表 1 7号炉 9×9 燃料（A 型）被覆管応力の評価結果※1

| | スペーサ間（応力設計比） | スペーサ部（応力設計比） |
|------|--------------|--------------|
| | 一次+二次応力 | 一次+二次応力 |
| 寿命初期 | 0.69 | 0.53 |
| 寿命中期 | 0.25 | 0.24 |
| 寿命末期 | 0.21 | 0.20 |

燃料タイプ：9×9 燃料（B 型）

解析コード：簡易弾性解析コード BSPAN2 Ver. 2.2（設置許可，設計認可と同じ※1）

評価部位：スペーサ間，スペーサ部

評価点：燃料寿命初期，中期，末期

運転状態：応力評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 MPa[abs]）

考慮する応力：①冷却材による外圧および燃料要素内圧によって生じる応力（一次応力）

②燃料被覆管楕円度による曲げ応力（一次応力）

③流力振動による応力（スペーサ間部評価のみ）（一次応力）

④支持格子での保持力による応力（スペーサ部評価のみ）（二次応力）

⑤燃料被覆管の径方向温度勾配による応力（二次応力）

⑥燃料被覆管の周方向温度勾配による応力（二次応力）

⑦熱湾曲矯正による応力（二次応力）

⑧ウォータチャンネルと燃料要素の熱膨張差による応力（二次応力）

⑨膨張スプリング及び内部スプリングによる応力（二次応力）

地震による影響を評価する場合は下記応力を追加する。ここで燃料集合体の加速度（水平方向）は燃料集合体軸方向で分布を持つが，最大値を固定値として入力する。

⑩支持格子間のたわみに基づく応力（一次応力）

⑪チャンネルボックスのたわみに基づく応力（二次応力）

鉛直方向の地震加速度は燃料要素単位長重量に加速度を考慮することでみかけの重量増加として扱い，⑩に加味することで計算する。

許容応力：一次+二次応力に対して降伏応力（Sy）

入力値：水平加速度 1.88G（暫定条件による概算値）

鉛直加速度 1.23G（同上）

燃料集合体相対変位 20.8mm（同上）

表 2 7号炉 9×9 燃料（B 型）被覆管応力の評価結果※1

| | スペーサ間（応力設計比） | スペーサ部（応力設計比） |
|------|--------------|--------------|
| | 一次+二次応力 | 一次+二次応力 |
| 寿命初期 | 0.68 | 0.72 |
| 寿命中期 | 0.33 | 0.29 |
| 寿命末期 | 0.27 | 0.25 |

※1：地震時に被覆管に発生する応力は，燃料棒を梁モデルと見立てて水平方向の加速度及びチャンネルボックスの曲がりによる強制変位を受けた際の応力計算式，鉛直方向に燃料棒が加振された場合に燃料棒断面にかかる圧縮及び引張り応力の計算式で計算する。これは，運転時及び過渡時に発生する応力の計算式を材料力学に基づいて設定している点と同様であり，応力計算方法は同じである。FURST，BSPAN2 はこれらを組み合わせて計算することが可能である。

柏崎刈羽 7号炉 地震影響を考慮した燃料被覆管疲労評価について

通常運転時に発生する振動サイクルに加え地震による振動サイクルを考慮した燃料被覆管疲労評価結果を以下に示す。

燃料タイプ：9×9 燃料（A 型）

解析コード：有限要素法解析コード ANSYS Ver. 14

評価部位：下部端栓溶接部

評価点：燃料寿命初期，中期，末期

運転状態：評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 8.57MPa[abs]）

地震荷重の繰返し数：120 回

許容サイクル数：最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線に基づき評価

入力値：水平加速度 1.88G（暫定条件による Ss 応答加速度概算値）

鉛直加速度 1.23G（同上）

燃料集合体相対変位 20.8mm（暫定条件による Ss 応答変位概算値）

水平加速度 0.90G（暫定条件による Sd 応答加速度概算値）

鉛直加速度 0.63G（同上）

燃料集合体相対変位 9.3mm（暫定条件による Sd 応答変位概算値）

表 3 7号炉 9×9 燃料（A 型）被覆管疲労評価結果

| | 応力振幅
(N/mm ²) | 許容サイクル数 | 地震荷重の
繰返し数 | 疲労係数の増分 |
|-------------|------------------------------|--------------------|---------------|---------|
| 基準地震動 Ss | 85 | 2.76×10^4 | 120 | 0.00435 |
| 弾性設計用地震動 Sd | 37 | 1.0×10^6 | | 0.00012 |

燃料タイプ：9×9 燃料（B 型）

解析コード：有限要素法解析コード ANSYS Ver. 13

評価部位：下部端栓溶接部

評価点：燃料寿命初期，中期，末期

運転状態：評価上最も厳しい条件として圧力過渡（冷却材圧力 MPa[abs]）

地震荷重の繰返し数：120 回

許容サイクル数：最大応力振幅からジルカロイ設計疲労曲線に基づき評価

入力値：水平加速度 1.88G（暫定条件による Ss 応答加速度概算値）

鉛直加速度 1.23G（同上）

燃料集合体相対変位 20.8mm（暫定条件による Ss 応答変位概算値）

水平加速度 0.90G（暫定条件による Sd 応答加速度概算値）

鉛直加速度 0.63G（同上）

燃料集合体相対変位 9.3mm（暫定条件による Sd 応答変位概算値）

表 4 7号炉 9×9 燃料（B 型）被覆管疲労評価結果

| | 応力振幅
(N/mm ²) | 許容サイクル数 | 地震荷重の
繰返し数 | 疲労係数の増分 |
|-------------|------------------------------|---------------------|---------------|---------|
| 基準地震動 Ss | 112 | 1.0×10 ⁴ | 120 | 0.012 |
| 弾性設計用地震動 Sd | 44 | 1.0×10 ⁶ | | 0.00012 |

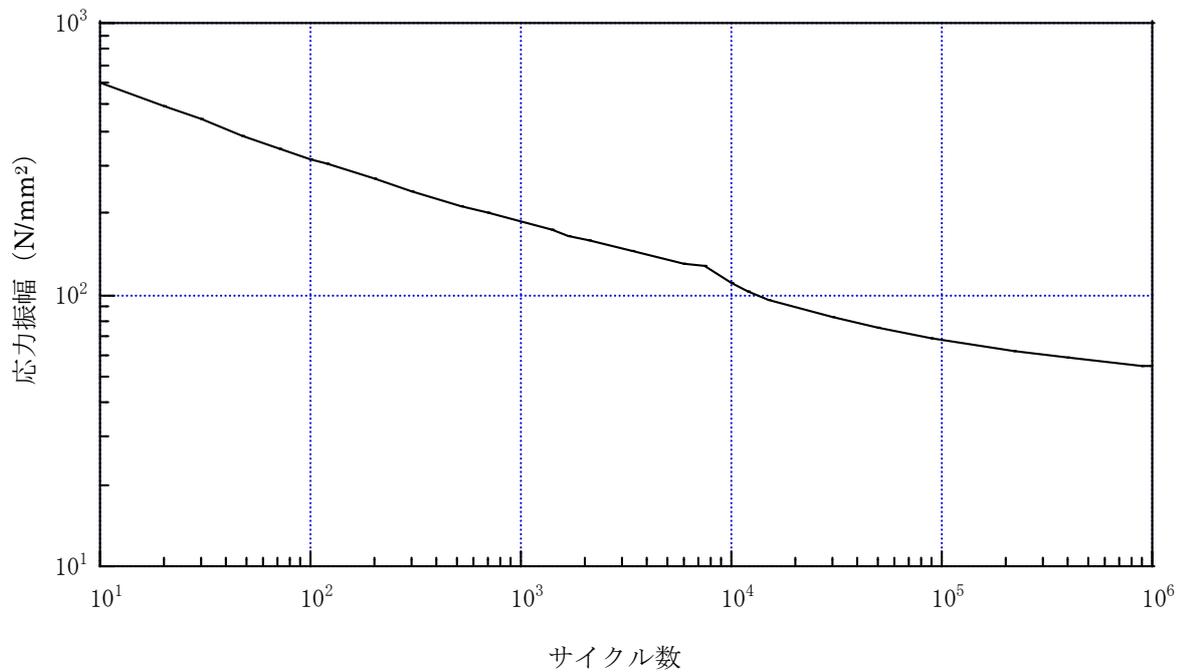


図 2 ジルカロイの設計疲労曲線※²

※2：ジルカロイ設計疲労曲線は、ジルカロイ-2の未照射材及び照射材についての疲労試験結果をベースに、ジルカロイ-4等の機械特性及び疲労特性がジルカロイ-2とほぼ同等であることを確認し、ジルカロイ-2、3及び4共通の設計曲線として設定したものである。Langer-O' Donnell は、設計曲線を保守側に見積もるため、未照射材及び照射材それぞれについて応力を1/2、サイクル数を1/20とし、未照射材及び照射材の両者の包絡線を Langer-O' Donnell の設計疲労曲線^[1]としている。なお、BWR の燃料被覆管はジルカロイ-2を用いている。

参考文献

- [1] W. J. O'Donnell and B. F. Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components", Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964)