東海第二発電所　審査資料	
資料番号	PD-2-10　改 13
提出年月日	平成 29 年 8 月 31 日

東海第二発電所

津波による損傷の防止

平成 29 年 8 月

日本原子力発電株式会社

本資料のうち，□は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

下線部：今回提出資料

目　　次

第 1 部
1.　基本方針
1.1　要求事項の整理
1.2　追加要求事項に対する適合性
(1)　位置，構造及び設備
(2)　安全設計方針
(3)　適合性説明
1.3　気象等
1.4　設備等
1.5　手順等

第 2 部
Ⅰ．はじめに
Ⅱ．耐津波設計方針
1．基本事項
1.1　設計基準対象施設の津波防護対象の選定
1.2　敷地及び敷地周辺における地形及び施設の配置等
1.3　基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域
1.4　入力津波の設定
1.5　水位変動・地殻変動の評価
1.6　設計または評価に用いる入力津波

2．設計基準対象施設の津波防護方針
2.1　敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
2.2　敷地への浸水防止（外郭防護１）
(1) 遡上波の地上部からの到達，流入防止
(2) 取水路，放水路等の経路からの津波の流入防止
2.3　漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護２）
2.4　重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）
(1) 浸水防護重点化範囲の設定
(2) 浸水防護重点化範囲における浸水対策
2.5　水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止
(1) 非常用海水冷却系の取水性
(2) 津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能保持確認
2.6　津波監視設備

3. 施設・設備の設計方針
3.1　津波防護施設の設計
3.2　浸水防止設備の設計
3.3　津波監視設備
3.4　施設・設備の設計・評価に係る検討事項

下線部：今回提出資料

添 付 資 料

１　審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）
２　設計基準対象施設の津波防護対象設備とその配置について
３　耐津波設計における現場確認プロセスについて
４　津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについて
５　敷地内の遡上経路の沈下量算定評価について
６　管路解析のモデルについて
７　管路解析のパラメータスタディについて
８　港湾内の局所的な海面の励起について
９　入力津波に用いる潮位条件について
１０　津波防護対策の設備の位置付けについて
（１７）　常用海水ポンプ停止の運用手順について
（１８）　残留熱除去系海水ポンプの水理実験結果について
（１９）　貯留堰設置位置及び天端高さの決定の考え方について
（２０）　基準津波に伴う砂移動評価
（２１）　非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
（２２）　津波漂流物の調査要領について
（２７）　漂流物の移動量算出の考え方
（２３）　燃料等輸送船の係留索の耐力について
（２４）　燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について
（１５）　耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて
（３２）　耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
（１１）　防潮堤及び貯留堰における津波荷重の設定方針について
（２６）　基準類における衝突荷重の算定式
（２５）　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について
（３３）　防潮扉の設計と運用について
（３４）　放水路ゲートの設計と運用について
（３０）　貯留堰の構造及び仕様について
（３１）　貯留堰継ぎ手部の漏水量評価について
（１６）　貫通部止水対策箇所について
（２９）　地震後の防波堤の津波による影響評価について
（１２）　日立港日立港区及び常陸那珂港区の整備計画に基づく防波堤等モデル化した津波遡上解析結果について
（１３）　防波堤の有無による敷地南側の津波高さについて
（１４）　防潮堤設置に伴う隣接する周辺の原子炉施設への影響について
（２８）　津波の流況をふまえた漂流物の取水口到達可能性評価について

（３５）　鋼製防護壁の設計方針について
（３６）　鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について
（３７）　鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の設計方針について
（３８）　設計基準対象施設の安全重要度分類クラス３の設備の津波防護について

注：採番されていない資料は，今後追加予定の添付資料
(11)～(38)は，今後追加される添付資料により，添付資料番号が変更になる。

東海第二発電所の防潮堤については，地下部の構造の変更，地盤改良等の実施及び敷地北側における設置ルートを変更することを現在説明させていただいております。

本資料は，上記変更及び設置ルート変更に伴う各影響については未反映であり，今後，審査資料に適時反映してまいります。

添付資料（２５）

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造成立性について

目次

１．防潮堤の要求機能と性能目標について
（１）防潮堤に要求される機能
（２）防潮堤高さの設定方針
（３）設計方針
１）構造概要
２）設計手順
３）評価断面の選定及び解析モデルの設定方針
４）杭構造形式（支持方式）の選定に係る方針
５）杭間隔の設定方針
６）群杭効果の設定方針
７）鋼管杭の設計方針
８）上部工（鉄筋コンクリート壁）の設計方針
９）止水ジョイント部の設計方針
１０）地盤高さの嵩上げの設計方針
１１）表層地盤改良及びシートパイル等の設定方針
１２）構内排水路と防潮堤の交差部
１３）海水引込み管と防潮堤と交差部
１４）東海発電所 取水路・放水路と防潮堤の交差部
１５）構造物評価における地下水位の設定方針

２．施工実績（本設杭構造）

３．道路橋示方書の適用性について

（１）適用性検討の評価方針

１）検討位置

２）東海第二発電所の地盤の基本固有周期

３）道路橋示方書の加速度応答スペクトル

４）東海第二発電所の加速度応答スペクトル

５）基準地震動Ｓ$_s$と道路橋示方書のレベル２地震動の加速度応答スペクトルの比較

４．杭構造基礎に関する設計基準類

５．参考資料

（１）構造物への影響が大きい地震動について

（２）室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による液状化強度との比較検討

（３）各種構造図

１．防潮堤の要求機能と性能目標について

（１）防潮堤に要求される機能

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に関する要求機能や性能目標等について第１表に示す。

津波防護施設として防潮堤に求められる要求機能は，「繰返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること」，「基準地震動S_sに対して要求される機能を損なう恐れがないよう，構造物全体としての変形能力に対し十分な構造強度を有すること」である。

上記の機能を確保するための性能目標は，遡上津波に対して余裕を考慮した防潮堤高さを確保するとともに構造体の境界部等の止水性を維持し，基準地震動S_sに対して止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の配置図を第１図に，正面図及び断面図を第２図に，部位の概要図を第３図に示す。

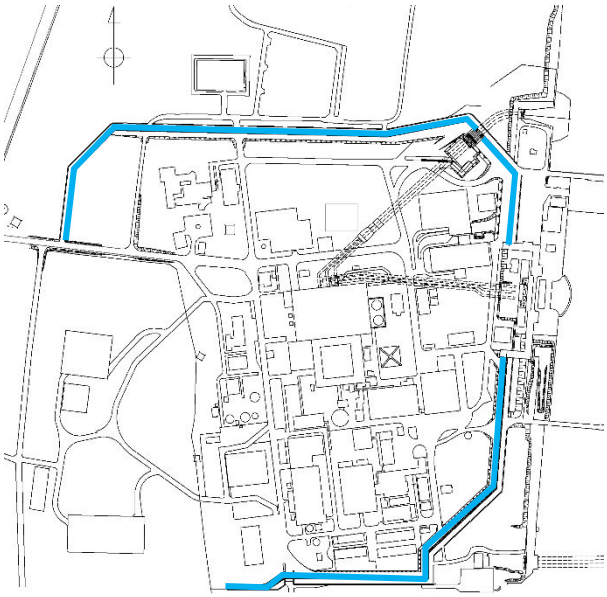
赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

第１表　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に関する要求機能と設計評価方針

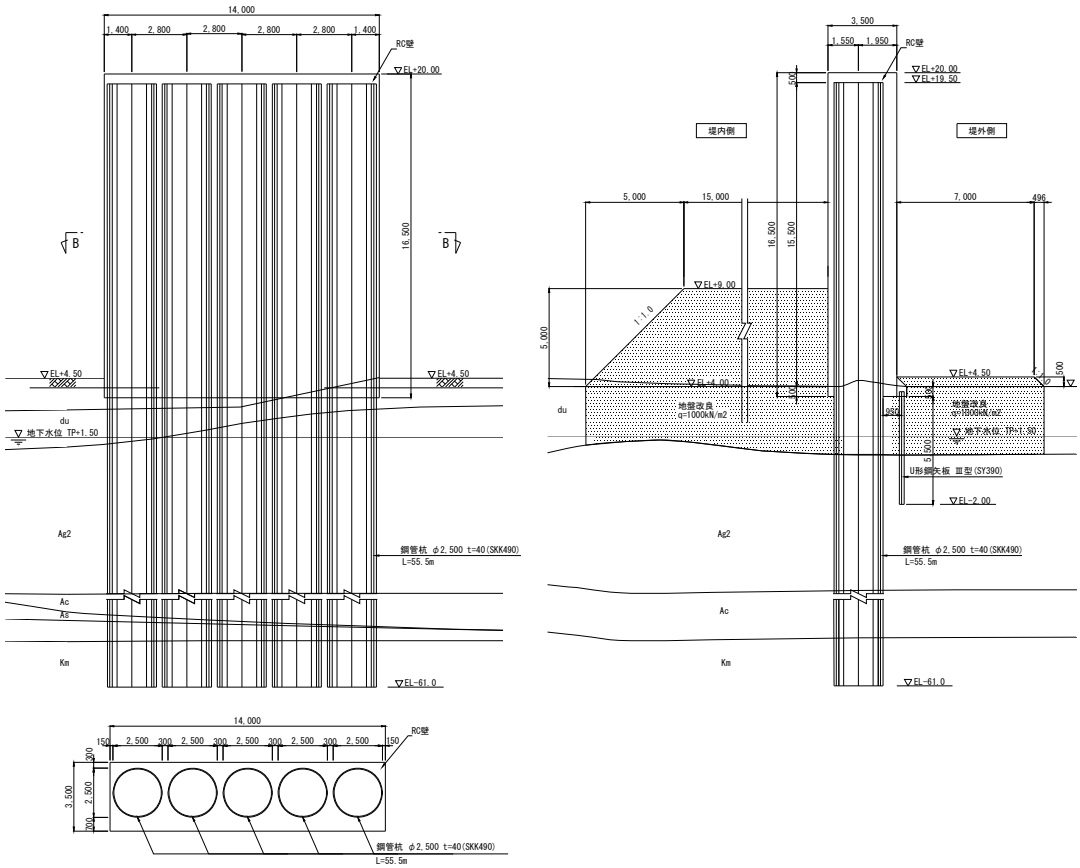
津波防護に関する施設は，津波の発生に伴い，津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。「津波防護に関する施設の設計について」の要求機能，機能設計，構造強度設計を以下に示す。

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計					上段：設計に用いる許容限界
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計（評価方針）	評価対象部位		応力等の状態	損傷モード	下段：おおむね弾性の使用限界
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁	基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.1 津波防護施設の設計 津波防護施設については，その構造に応じ，波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し，越流時の耐性にも配慮した上で，入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるよう設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え，入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため，以下の項目について，設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ① 荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ：常時＋津波，常時＋津波＋地震（余震） ② 荷重の設定 a)津波による荷重（波圧，衝撃力）の設定に関して，考慮する知見（例えば，国交省の暫定指針等）及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として，サイト特性（余震の震源，ハザード）が考慮され，合理的な頻度，荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液状化が発生する場合，防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③ 許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として，当該構造物全体の変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し，津波防護機能を保持すること。（なお，機能損傷に至った場合，補修にある程度の期間が必要となることから，地震，津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。） 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド 6.3 津波防護施設、浸水防止設備等 津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能（津波防護機能、浸水防止機能）を保持すること	・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう，津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ｓｓに対し，津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう，構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対し，十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さの設定及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ｓｓに対し，主要な構造部材の構造健全性を維持することで，津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても， ①想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さ（浸水高さT.P.+15.4m～T.P.+17.9mに余裕を考慮した天端高さT.P.+18.0m～T.P.+20.0m）の設定により，敷地を取り囲むように設置する設計とする。 ②防潮堤の上部工は，原則として５本の上部構造の天端から連続する鋼製の杭を鉄筋コンクリートで一体化させた壁を構築し，止水性を保持する設計とする。 ③防潮壁は，鉄筋コンクリート製の上部構造を上部構造の天端から連続する鋼製の杭で，十分な支持性能を有する地盤に支持する設計とする。 ④上部構造の内側の地盤高さを嵩上げすることにより止水性を保持する設計とする。 ⑤上部構造の施工境界部や異種構造物間との境界部は，波圧による変形に追随する止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ⑥津波の波力による浸食や洗掘，地盤内からの浸水に対して耐性を有する表層改良により，止水性を保持する設計とする。 ・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ｓｓに対し， ⑦鋼製や鉄筋コンクリート製の耐性のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。 ⑧上部構造は，杭を梁で連結させる構造とすることで変位を抑制し，鉄筋コンクリートによる止水性を保持する設計とする。 ⑨上部構造の施工境界部や異種構造物間との境界部は，試験等により地震時の変形に追随し止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講じる設計とする。 ⑩上部構造の内側の地盤高さの嵩上げが地震時に滑動・内部すべりを起こさない幅や強度を確保することで，津波時における止水性を保持する設計とする。 ⑪表層改良は，セメント系の改良体とすることで，地震時に損壊しない設計とする。 ⑫シートパイルは，鋼材を連結し連続する構造とし，ボイリングによる地中からの止水性を保持する設計とする。	・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，想定される津波高さ（浸水高さT.P.+15.4m～T.P.+17.9mに余裕を考慮した天端高さT.P.+18.0m～T.P.+20.0m）の設定により，敷地を取り囲むように設置する設計とする。 ②防潮堤の上部工は，原則として５本の上部構造の天端から連続する鋼製の杭を鉄筋コンクリートで一体化させた壁を構築し，止水性を保持する設計とする。 ③防潮壁は，鉄筋コンクリート製の上部構造を上部構造の天端から連続する鋼製の杭で，十分な支持性能を有する地盤に支持する設計とする。 ④上部構造の内側の地盤高さを嵩上げすることにより止水性を保持する設計とする。 ⑤上部構造の施工境界部や異種構造物間との境界部は，波圧による変形に追随する止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ⑥津波の波力による浸食や洗掘，地盤内からの浸水に対して耐性を有する表層改良により，止水性を保持する設計とする。 ・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ｓｓに対し， ⑦鋼製や鉄筋コンクリート製の耐性のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。 ⑧上部構造は，杭を梁で連結させる構造とすることで変位を抑制し，鉄筋コンクリートによる止水性を保持する設計とする。 ⑨上部構造の施工境界部や異種構造物間との境界部は，試験等により地震時の変形に追随し止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講じる設計とする。 ⑩上部構造の内側の地盤高さの嵩上げが地震時に滑動・内部すべりを起こさない幅や強度を確保することで，津波時における止水性を保持する設計とする。 ⑪表層改良は，セメント系の改良体とすることで，地震時に損壊しない設計とする。 ⑫シートパイルは，鋼材を連結し連続する構造とし，ボイリングによる地中からの止水性を保持する設計とする。	・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼製の杭，鉄筋コンクリート製の上部構造，地盤高さの嵩上げ，セメント系の表層改良体で構成し，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに，主要な構造体の境界部や防潮壁前面の地盤には，止水ゴム等や表層改良体を設置し，有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。 ・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ｓｓによる地震時荷重に対し，鋼製の杭，鉄筋コンクリート製の上部構造，地盤高さの嵩上げ，セメント系の表層改良体で構成し，津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするとともに，主要な構造体の境界部や防潮壁前面の地盤には，止水ゴム等や表層改良体を設置し，有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため，作用する押し込み力や引抜力が許容支持力以下に留まることを確認する。	下部工	基礎地盤	押込力，引抜力	支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえ，極限支持力以下とする。 極限支持力以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である鋼管杭が，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	下部工	鋼管杭	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	上部工	鉄筋コンクリート（鉄筋コンクリート梁壁）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。（コンクリート標準示方書【構造性能照査編】でも確認。） 降伏応力度以下 せん断強度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である鋼管杭が，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	上部工	鋼管杭（鋼管杭鉄筋コンクリート）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」及び「鉄骨鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置するゴムジョイント，シートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。 また，止水ゴム等が止水性能を保持するための接続アンカーや鋼製防護部材は，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	上部工	止水ジョイント部 止水ゴム等	変形，引張り	有意な漏えいに至る変形，引張り	メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容引張り力以下とする。 メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容引張り力以下とする。
								止水ジョイント部 鋼製アンカー	引張り，せん断，引抜き	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下 せん断強度以下
								止水ジョイント部 止水ゴム等の鋼製防護部材	曲げ，引張り，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計基準」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下 せん断強度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，地盤として滑動しない抵抗性を保持する設計とするため，地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと及び受働崩壊角にすべりが発生しないことを確認する。	地盤高さの嵩上げ（改良体）		せん断	地盤高さの嵩上げ部の底面が滑動に至る状態，上部構造背面の地盤がすべりに至る状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，受働せん断面方向等のせん断耐力以内とする。 せん断耐力以内
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，洗掘防止対策やボイリング対策としての機能を保持するため，表層改良体にせん断破壊が生じないことを確認する。	表層改良体		せん断	表層改良体がせん断破壊に至る状態	安全裕度を考慮したせん断強度以下とする。 せん断強度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重に対し，ボイリング対策としての機能を保持するため，鋼矢板にせん断破壊が生じないことを確認する。	シートパイル		せん断	部材がせん断破壊に至る状態	安全裕度を考慮したせん断強度以下とする。 せん断強度以下

構造成立性を確認するための地震動は，基準地震動Ｓｓのうち構造物への影響が大きいことを確認した２波（Ｓｓ-D1及びＳｓ-31）とする。(5．参考資料(1)参照)

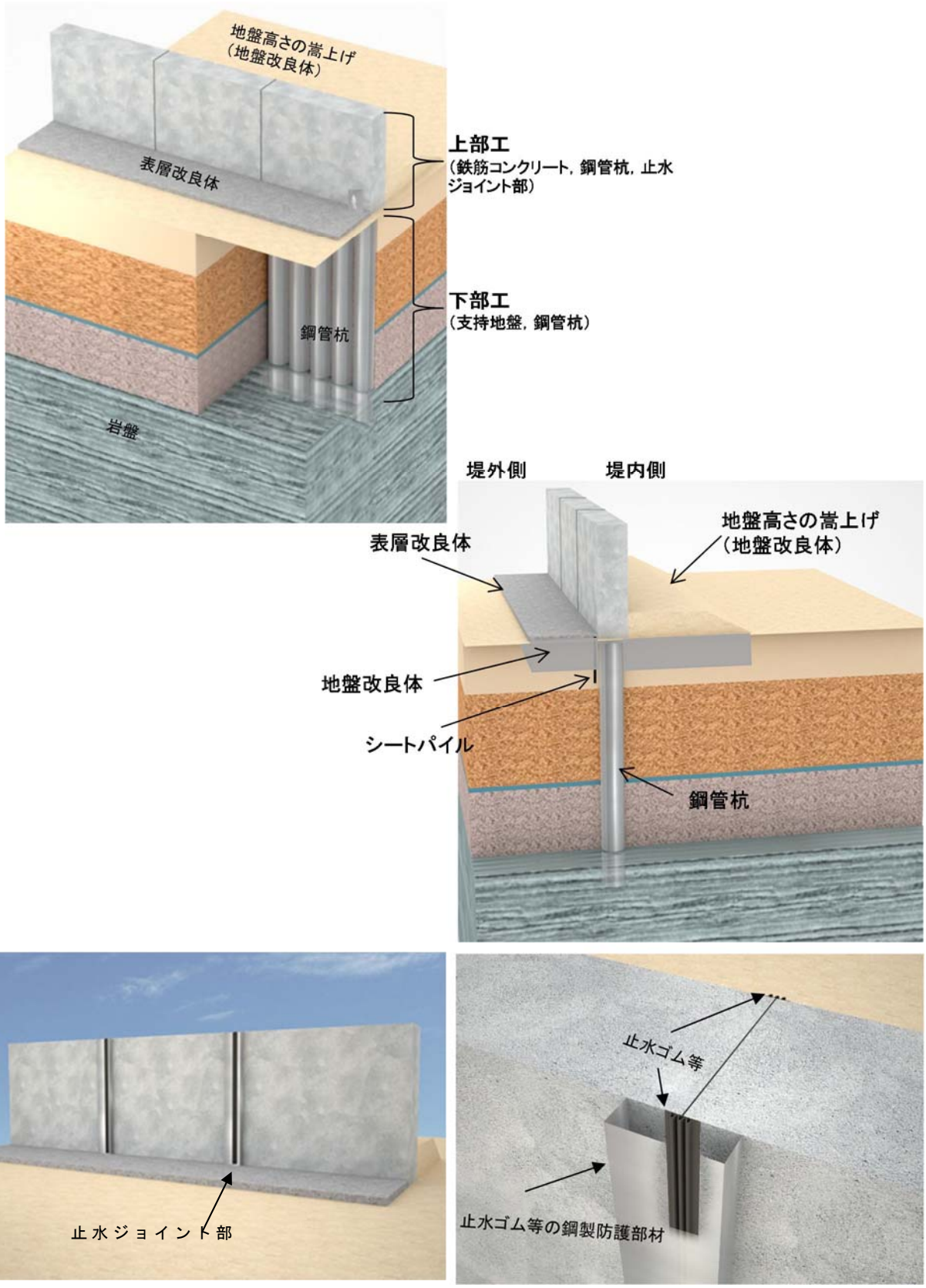


第１図　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁位置図



（１ 施 工 ブ ロ ッ　　注）仕様については今後の検討で多少変更が想定される

第２図　正面図及び断面図



第３図　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の概要図

（２）防潮堤高さの設定方針

防潮堤は，防潮堤の設計に用いる津波高さ（入力津波高さ）に対して余裕をもった防潮堤高さを設定している。

入力津波高さと防潮堤高さの関係を第２表に示す。

第２表　入力津波高さと防潮堤高さの関係

	敷地側面 北側	敷地前面 東側	敷地側面 南西側
入力津波高さ （潮位のばらつき等考慮）	T.P.＋15.4m	T.P.＋17.9m	T.P.＋16.8m
防潮堤高さ	T.P.＋18.0m	T.P.＋20.0m	T.P.＋18.0m
設計裕度	2.6m	2.1m	1.2m

（３）設計方針

１）構造概要

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，鋼管杭を地盤に対して一列に打設し，上部工は鋼管杭と鉄筋コンクリートを連結させ設置する。

上部工は，下部工の鋼管杭から上部工に連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材と，堤外側に設置する鉄筋を密に配置した鉄筋コンクリート梁壁部材で構成される。これら部材を鉄筋で強固に一体化した鋼管杭５本を１ブロックとした壁体を連続して設置する。このブロック間の境界には，止水性を確保するための止水ジョイントを設置する。

また，防潮壁の堤内側には，津波による波力低減を目的とした改良体による地盤高さの嵩上げを行うとともに，洗掘防止対策やボイリング対策として，堤内・外の表層部の地盤改良を実施する。

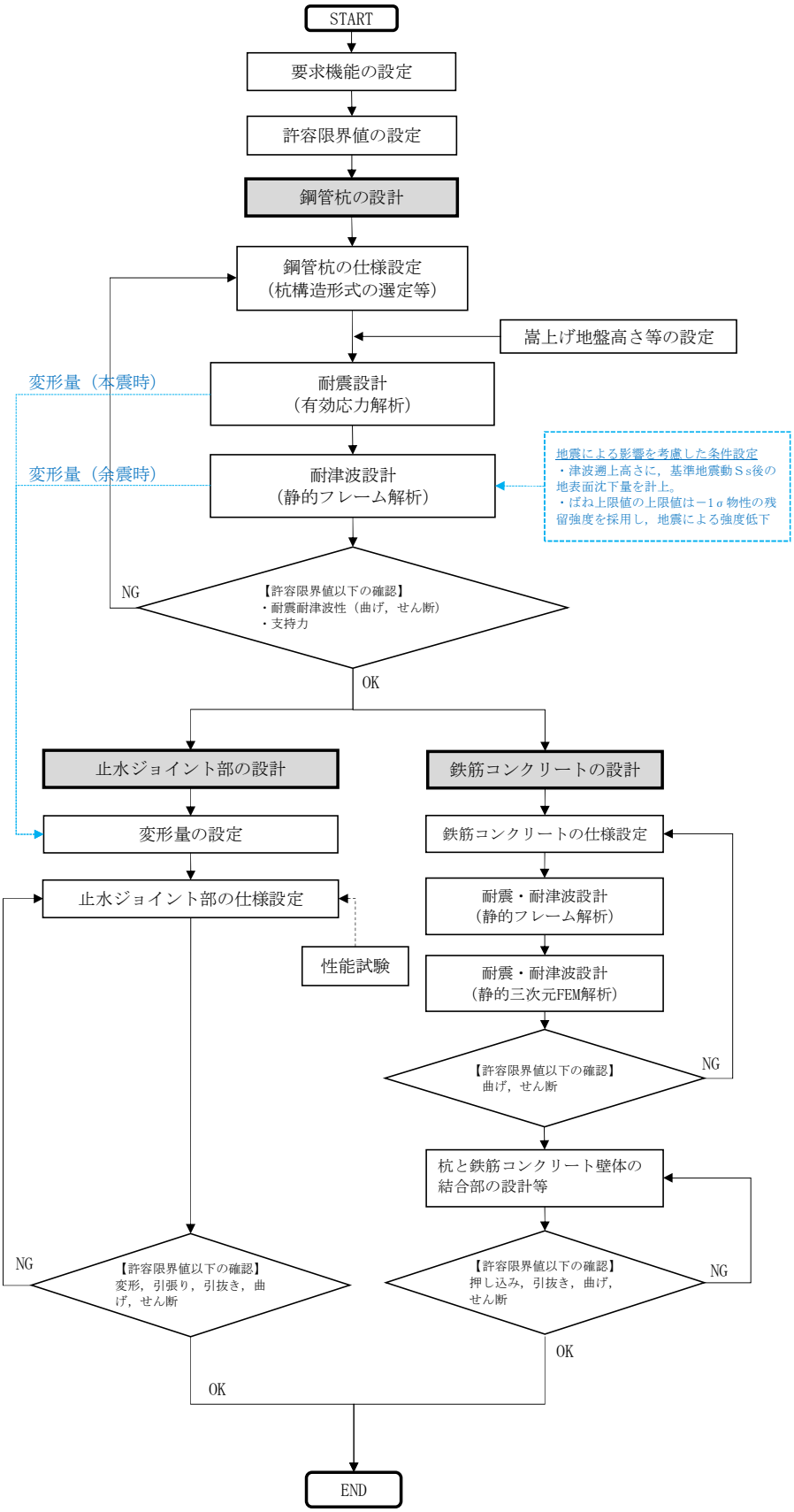
２）設計手順

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の耐震・耐津波評価は，津波防護施設であること，Ｓクラスの設計基準対象施設であることを踏まえ，第３表の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価項目に従い，各構造部材の構造設計を行う。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造健全性評価の検討フローを第４図に示す。

第３表　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価項目

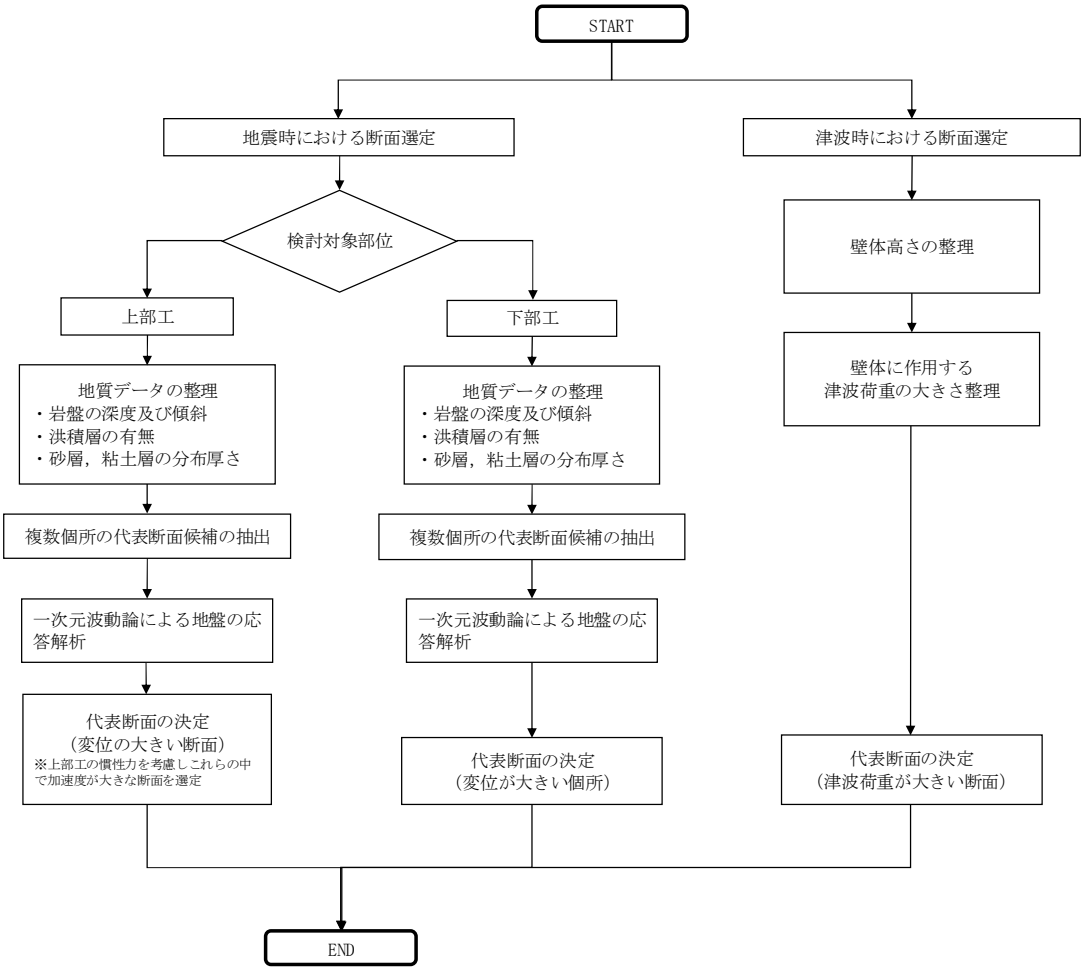
評価対象部位			設計荷重	応力等の状態	設計に用いる許容限界 （上段：設計に用いる許容限界，下段：概ね弾性の使用限界）
下部工	基礎地盤		基準地震動ＳＳによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や衝突，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重	押込力，引抜力	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえ，極限支持力以下とする。
					極限支持力以下
	鋼管杭			曲げ，せん断	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
					降伏応力度以下
上部工	鉄筋コンクリート（鉄筋コンクリート梁壁）			曲げ，せん断	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。（コンクリート標準示方書【構造性能照査編】でも確認。）
					降伏応力度以下，せん断強度以下
	鋼管杭（鋼管杭鉄筋コンクリート）			曲げ，せん断	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」及び「鉄骨鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
					降伏応力度以下
	止水ジョイント部	止水ゴム等		変形，引張り	メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容引張り力以下とする。
					許容変形量以下，許容引張り力以下
		鋼製アンカー		引張り，せん断，引抜き	「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
					降伏応力度以下，せん断強度以下
		止水ゴム等の鋼製防護部材		曲げ，引張り，せん断	「鋼構造設計基準」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
					降伏応力度以下，せん断強度以下
地盤高さの嵩上げ（改良体）				せん断	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，受働せん断面方向等のせん断耐力以内とする。
					せん断耐力以内
表層改良体				せん断	安全裕度を考慮したせん断強度以下とする。
					せん断強度以下
シートパイル			基準地震動Ｓｓによる地震時荷重	せん断	安全裕度を考慮したせん断強度以下とする。
					せん断強度以下



第４図　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造健全性評価の検討フロー

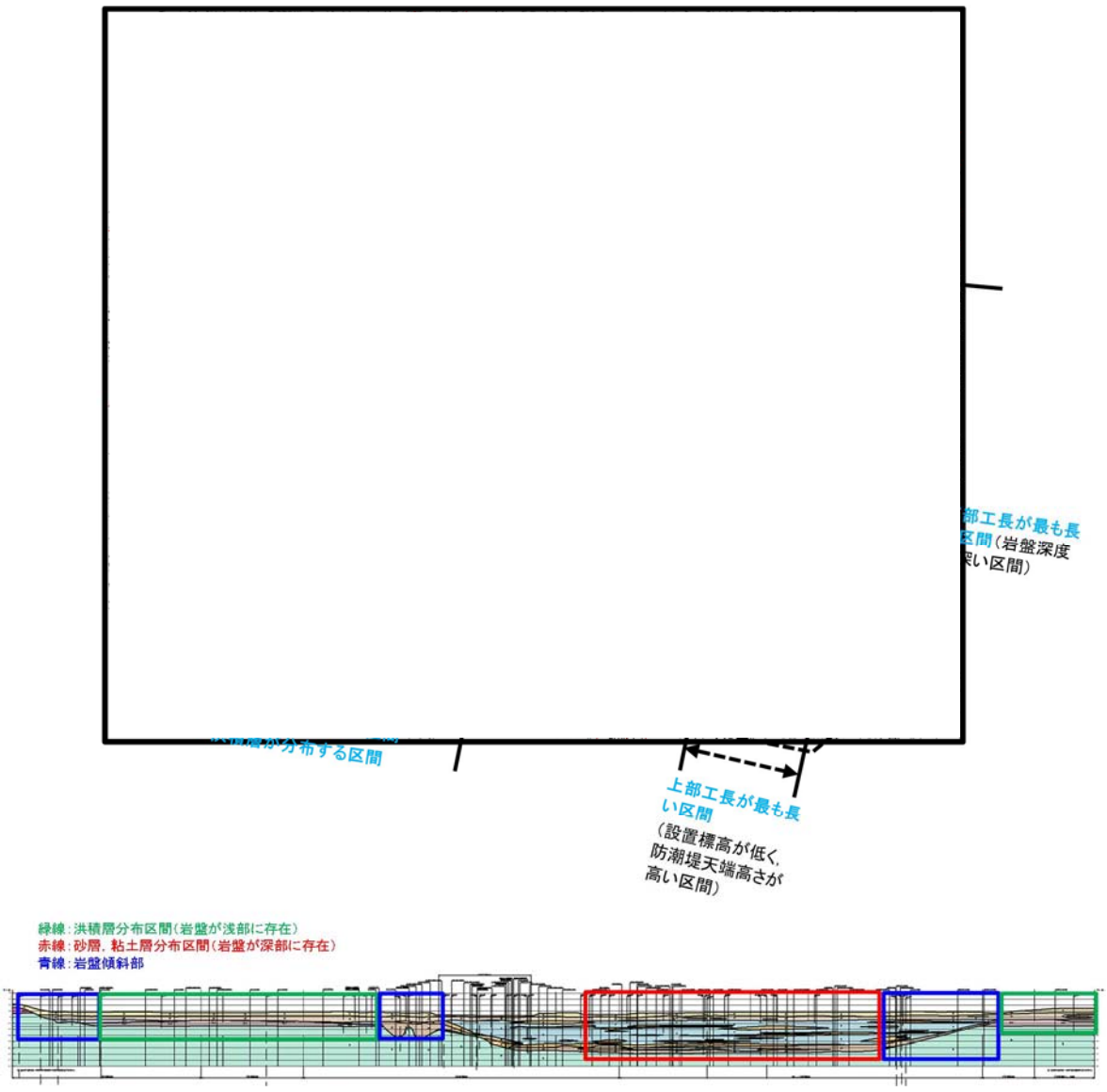
３）評価断面の選定及び解析モデルの設定方針

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は敷地の全域に渡り設置することから，岩盤の深度や地質分布の不確かさを考慮し，種々の解析条件を設定し評価する。また，敷地の地質・地質構造の特徴や遡上津波の特性等を踏まえ，考慮が必要な着目点を抽出し，それらを網羅的に考慮した代表断面選定及び解析モデルの設定を行う。断面選定フローを第５図に，代表断面の候補地点を第５図（２）に，断面選定における着眼点を第４表に示す。



第５図　評価断面の選定フロー

代表断面の候補地点は，防潮壁の上部工及び下部工の評価結果に影響を及ぼすと考えられる地質的な特徴や津波波圧が大きくなる区間を考慮して抽出し，過圧密粘土層の層厚が最も厚い地点①及び最も薄い地点②，第四紀層が最も厚く堆積する地点③，岩盤の傾斜角が最も大きな地点④，岩盤深度が浅い地点⑤，津波波圧が最も大きくなる地点③とした。



第５図（２）　代表断面の候補地点

第４表　代表断面選定における着眼点

着目点	概要	抽出される地点
過圧密粘土層の層厚の影響	防潮堤は敷地全域に渡り設置されるが，地質調査は全てのエリアを十分に網羅していない可能性を考え，地質分布の不確かさを考慮して，特に過圧密粘土層の層厚の変化が地震応答解析へ与える影響を評価する。	過圧密粘土層が厚く分布している地点，薄く分布している地点を選定する。（地点①，地点②，地点③）
岩盤の深度（下部工長さ）	敷地の岩盤上面深度は，敷地南部では約T.P.-15mであり，北部では約 T.P.-60mであることから，構造物の設置位置により，構造物直下の岩盤深度の差異が地震応答解析に与える影響を評価する。	岩盤深度が深い地点および浅い地点を選定する。 岩盤深度が深い地点（地点①，地点②，地点③） 岩盤深度が浅い地点（地点⑤）
岩盤の傾斜	敷地の第四系は概ね水平に堆積しているが，岩盤上面の深度が変化する区間が存在するため，岩盤の傾斜による構造物への影響を検討する必要がある。 傾斜による地盤の差異が構造物へ影響を与える影響を評価する。	岩盤の傾斜が急であるほど，１ユニット内における杭の応答の差異及び上部工への影響の可能性が考えられることから，傾斜角が最も大きい地点を選定する。（地点④）

代表断面を選定するに当たっては，一次元応答解析を実施し，最大相対変位および最大応答加速度の確認を行った。一次元応答解析結果を第５表に示す。

杭体においては地盤の変位が与える影響が厳しい条件となることから，地震時の下部工の評価としては地中の杭長が最も長い地点③が選定される。また，地震時における上部工の評価としては，地盤の変位に加えて上部工に作用する慣性力を考慮し，杭長が長く地震時の加速度が大きい地点③が同様に選定される。

また，津波時においては，壁高が最も高く，津波荷重が最も大きく作用する地点③が選定される。

なお，岩盤傾斜の影響評価については，防潮堤ルートの中で最も急勾配の地点④を選定して実施する。

第５表　一次元応答解析結果

地点	最大相対変位量 （cm）	最大応答加速度 （cm／s^2）
①	20	500
②	20	500
③	20	600
④	7	750
⑤	5	800

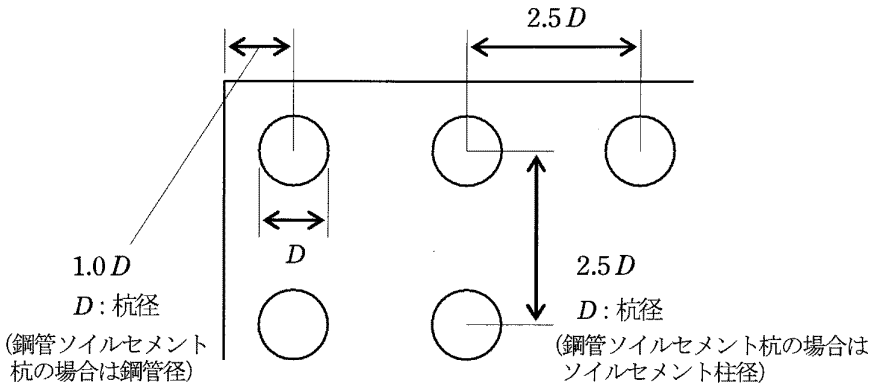
４）杭構造形式（支持方式）の選定に係る方針

鋼管杭の支持方式は，支持杭と摩擦杭に大別されるが，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の支持方式としては，十分な支持力を有する岩盤（Ｋｍ層）に杭を根入れさせる岩着支持構造を選定する。

５）杭間隔の設定方針

杭の間隔については，上部工の形状や寸法，杭の寸法や本数，群杭の影響，施工条件等を考慮し決定する。

道路橋示方書では，杭の最小中心間隔が杭径の 2.5 倍未満である場合において群杭効果を考慮し，杭の軸方向支持力，水平方向地盤反力係数等を単杭の場合より低減することが規定されている。第６図に杭の中心間隔の考え方を示す。



第６図　杭の最小中心間隔及びフーチング縁端距離

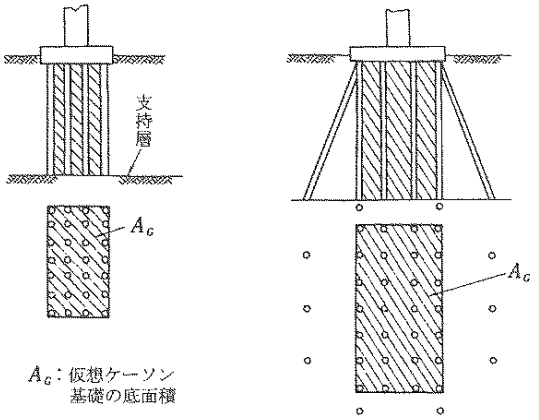
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計においては，繰返し襲来する津波の波圧や基準地震動Ｓ$_{s}$等による荷重及びこれらに耐え得る大口径，高強度の鋼管杭の仕様を考慮した上で，適切な杭配置を検討するが，杭の最小中心間隔が杭径の 2.5 倍未満と

なる場合は，群杭効果を見込んだ設計を行う。

6）群杭効果の設定方針

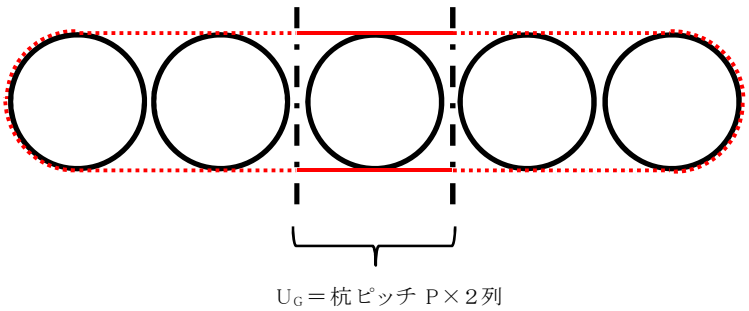
群杭の支持力は，杭中心間隔に応じた群杭の影響を考慮して，道路橋示方書の仮想ケーソン基礎の考え方を適用する。

杭中心間隔がある程度より密になると，杭と杭間の土塊が一体となって，あたかも 1 基のケーソン基礎としての挙動を示すようになり，杭 1 本当たりの支持力が低下するため，杭基礎を仮想ケーソン基礎と考えて支持力の上限値を算定する。仮想ケーソン基礎のイメージを第 7 図に示す。



第 7 図　仮想ケーソン基礎のイメージ（道路橋示方書）

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁のように 1 列杭の場合においても，同様に第 8 図の考え方を適用する。



第 8 図　仮想ケーソン基礎の考え方による群杭の周長

・単杭の周長　$U = \pi \times D$

・群杭を考慮した場合の周長　$U_G = 2 \times P$

ここに，P：杭ピッチ(m)

群杭を考慮した場合の摩擦力は下式とする。

$$Q_f = U_G \Sigma L_i \tau_i$$

Q_f：群杭を考慮した場合の摩擦力(kN)

U_G：斜線を施した部分の周長(m)

（1 本の杭に対して第８図の 2 本の赤実線とする）

L_i：壁体底面から先端土層までの各層の層厚(m)

τ_i：各層の土のせん断抵抗力度(kN／m^2)

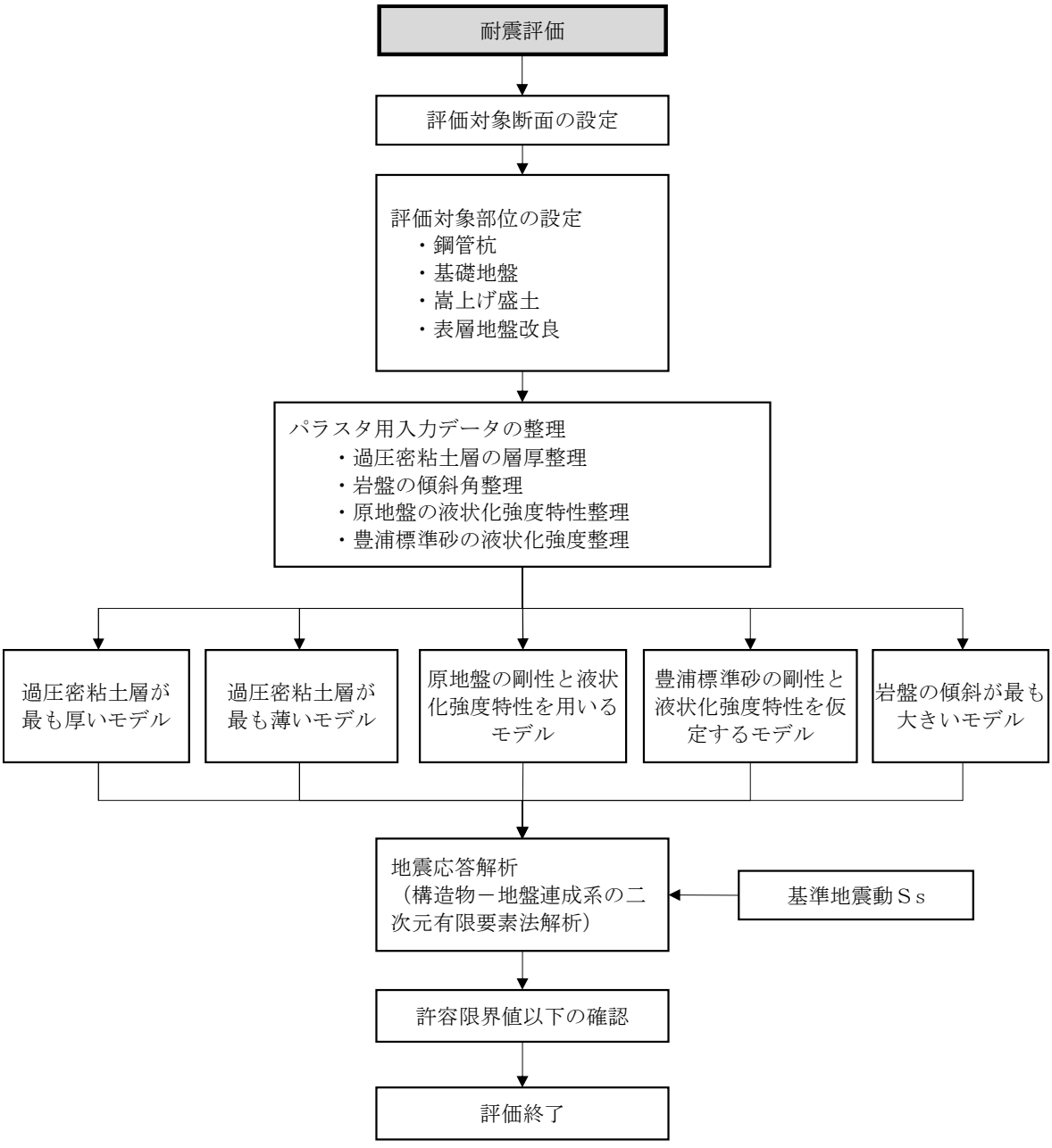
7）鋼管杭の設計方針

鋼管杭の設計では，選定した代表断面において原地盤モデルでの評価に加え，岩盤の深度や地質分布の不確かさを考慮し，保守的な解析条件での評価を実施する。

地震時評価は有効応力解析を実施し，津波時及び余震との重畳時（津波＋余震）は静的フレーム解析を行い，杭体に発生する断面力を算定し，応力照査を実施する。

①　耐震設計（有効応力解析）

耐震評価では，二次元地震応答解析を行い，地震時の鋼管杭の構造健全性について検討する。検討は，有効応力の変化に伴う地盤の挙動の変化を考慮することができる有効応力解析を用いる。鋼管杭の構造成立性の確認のための耐震評価の検討フローを第９図に示す。



第９図　鋼管杭の構造成立性の確認のための耐震評価の検討フロー

a．地震応答解析の基本条件

地震応答解析に用いる解析モデルは，地質断面図に基づき作成する。鉛直方向は新第三系地盤である久米層（岩盤）が比較的浅い位置に存在する南側断面では T.P.－80m，岩盤が深い位置に存在する北側断面については T.P.－130m までモデル化する。水平方向は杭位置を中心に左右 100m までモデル化する。杭は梁要素でモデル化し線形要素とする。地盤はマルチスプリング要素でモデル化した非線形要素と水位以深は間隙水圧要素を配置する。

入力地震動は，一次元波動論により，東海第二発電所の解放基盤表面深度である T.P.－370m から T.P.－80m あるいは T.P.－130m までをモデル化した剥ぎ取り地盤モデルを用いて，T.P.－80m あるいは T.P.－130m 位置で評価した地震動（2E）を用いる。

地震応答解析により算定された杭及び地盤の応答値を用いて，杭体の断面力に対する，曲げモーメント・軸力及びせん断応力の照査を行い，許容限界以下であることを確認する。

（a）曲げモーメント・軸力に対する照査

曲げモーメント・軸力は，以下の式で算出する。

$$\sigma = \frac{M}{Z} + \frac{N}{A}$$

M ：最大曲げモーメント（N･mm）

Z ：断面係数（mm^3）

N ：軸力（N）

A ：有効断面積（mm^2）

（ｂ）せん断力に対する照査

せん断力は，以下の式で算出する。

$$\tau = \frac{S}{A}$$

Ｓ ：せん断力（N）

Ａ ：有効断面積（mm^2）

ｂ．解析モデルの設定

解析モデルは，原地盤モデルでの評価に加え，岩盤の深度や地質分布の不確かさに着目し，それらが杭の構造健全性に与える影響を評価できるよう保守的な解析条件での評価を実施する。

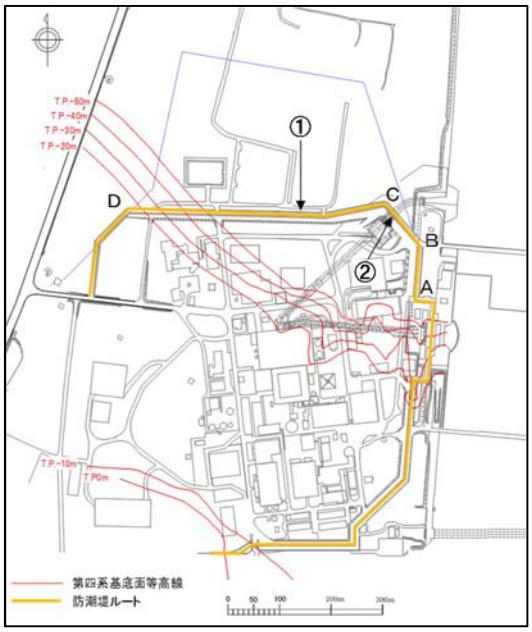
敷地の北側の地層には，過圧密粘土層（Ａｃ層）と砂層（Ａｓ層）が互層となり概ね水平整層で分布している。各地層の層厚にはバラツキがあることから，過圧密粘土層の層厚が防潮堤に与える影響について把握することを目的として，敷地内の地質データを整理し，過圧密粘土層の層厚が最も厚い地盤と，最も薄い地盤とした解析モデルでその影響を確認する。

また，防潮堤直下には岩盤深度が変化する区間が存在するため，岩盤の傾斜角が防潮堤に与える影響について検討を行う。また，敷地内の地質データを整理し，傾斜角が最も大きい区間の解析モデルで，防潮堤１ユニットの内の応答値の影響を確認する。

さらに，上記の解析ケースに加え，地質分布の不確かさに

着目し，保守的な検討として，液状化検討対象層である全ての砂層・砂礫層に対し，豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定することで強制的に液状化させる条件を与えた解析モデルで検討する。

取水構造物より北側エリアの過圧密粘土層の層厚分布について第１０図に，岩盤の傾斜角のデータについて第１１図に，岩盤の傾斜の違いによる断面のモデル化について第１２図に示す。



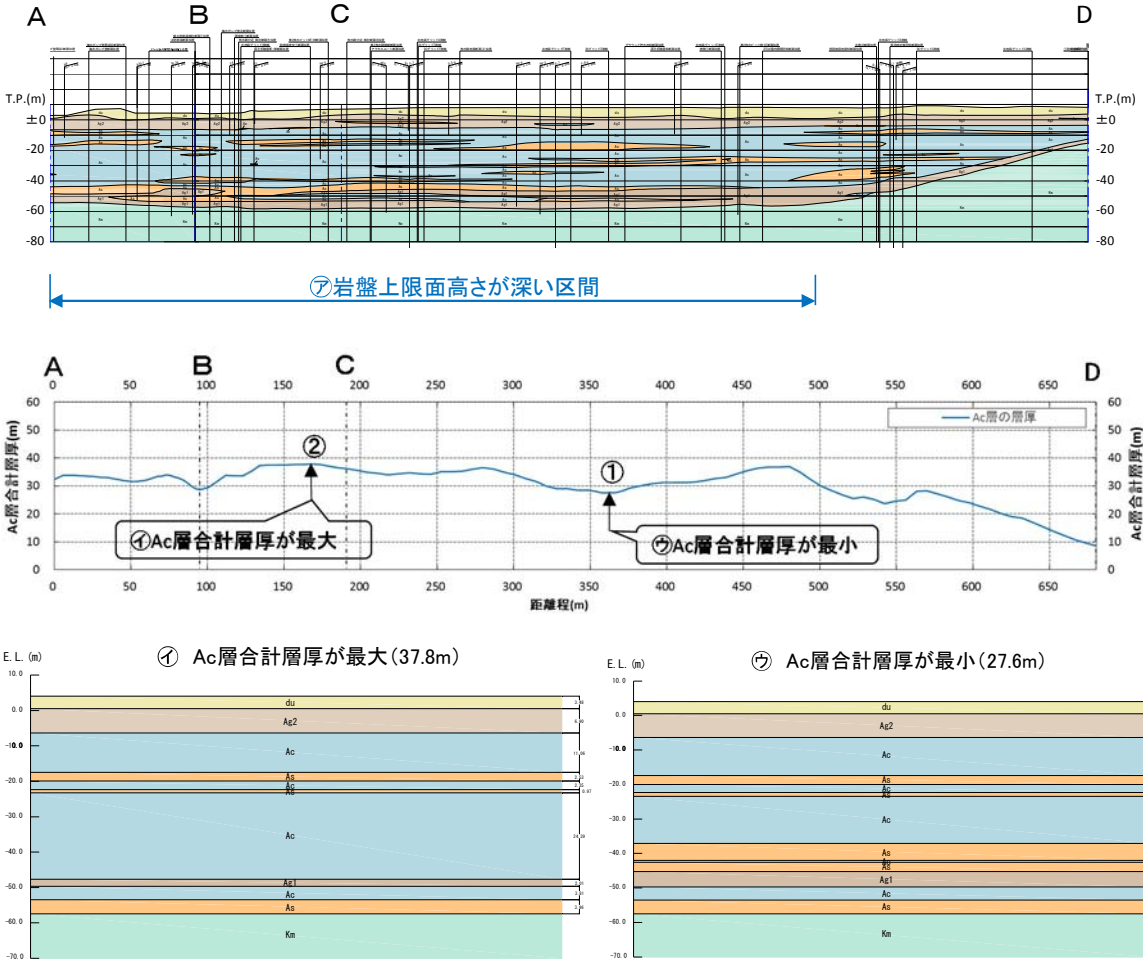
■過圧密粘土層（Ａｃ層）の厚さについて

過圧密粘土層（Ａｃ層）が厚く分布している区間（第四紀層の層厚が厚い北側エリア）を対象として検討した。

㋐　非液状化層である過圧密粘土層（Ａｃ層）が厚く分布し，岩盤上限面高さが深い（T.P.約－57m～T.P.約－58m）の区間において検討する。

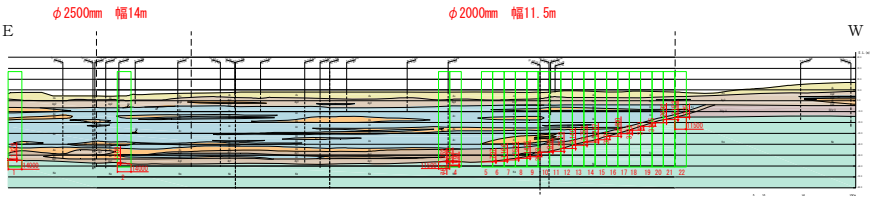
㋑　㋐の区間において，非液状化層であるＡｃ層の合計層厚が最大となる断面を選定。

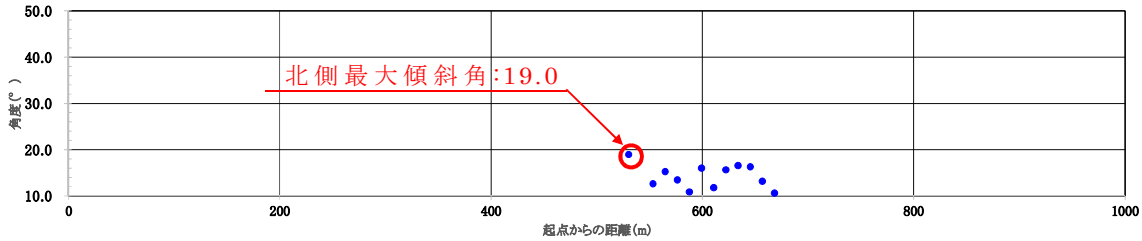
㋒　㋐の区間において，非液状化層であるＡｃ層の合計層厚が最小，すなわち液状化検討対象層厚がほぼ最大となる断面を選定。



第１０図　過圧密粘土層の層厚分布図（北側エリア）

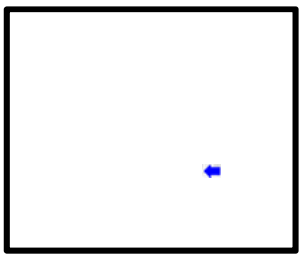
【敷地の北側】

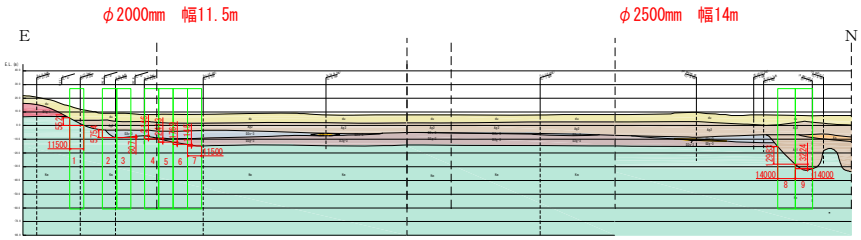


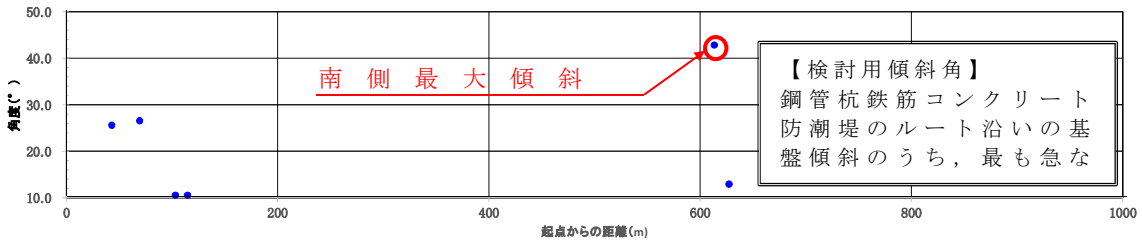


※全エリアのうち傾斜角 10 度以以上を

【敷地の南側】

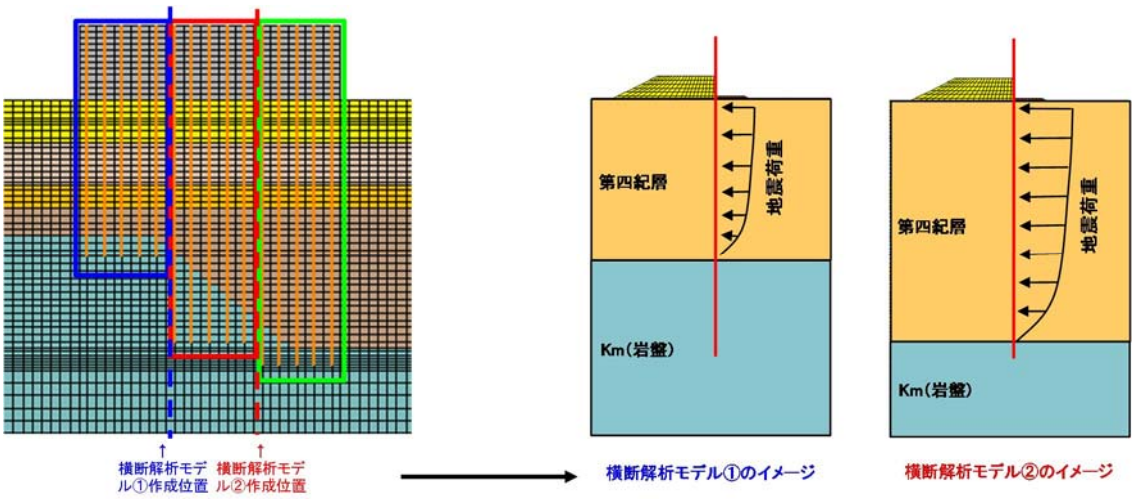






※全エリアのうち傾斜角 10 度以以上を

第１１図　岩盤の傾斜角整理図



第１２図　岩盤の傾斜の違いによる断面のモデル化

（縦断方向断面及び横断方向断面）

ｃ．地質条件を考慮した解析条件での評価結果

有効応力解析により，過圧密粘土層の層厚の大小による評価及び豊浦標準砂の地盤物性を用いて評価を実施した。解析検討ケース一覧表を第６表に，評価結果を第１３図に示す。

いずれのケースにおいても，鋼管杭の応力度照査において短期許容応力度以下であることを確認した。

過圧密粘土層の影響については，過圧密粘土層が厚い（37.8m）モデルの方が，薄い（27.6m）モデルよりも安全率が若干小さくなる傾向となった。過圧密粘土層は両モデルで 10m 程度の相違があることから，過圧密粘土層の分布のバラツキがあったとしても，解析評価結果に大きな影響を及ぼすものではないと判断される。

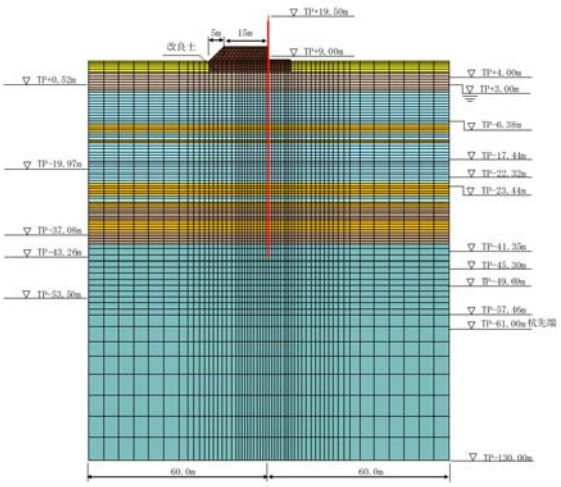
また，豊浦標準砂を用いた評価（ケース２）においては，液状化する地層が認められ，杭体に作用する土圧が大きくなるため，原地盤の物性を用いた評価（ケース１）と比較しせん断や曲げに対する安全率は小さくなるものの，杭体の健全性においては問題がないことを確認した。

第６表　解析検討ケース一覧表

評価ケース	断面（地点）	内容
1	③	原地盤の剛性と液状化強度特性を用いるモデル
2	③	豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル
3	③	過圧密粘土層が最も厚いモデル
4	③	過圧密粘土層が最も薄いモデル
5	③	過圧密粘土層が最も厚いモデル＋豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル
6	③	過圧密粘土層が最も薄いモデル＋豊浦標準砂の剛性と液状化強度特性を仮定したモデル
7	④	岩盤の傾斜が最も大きいモデル

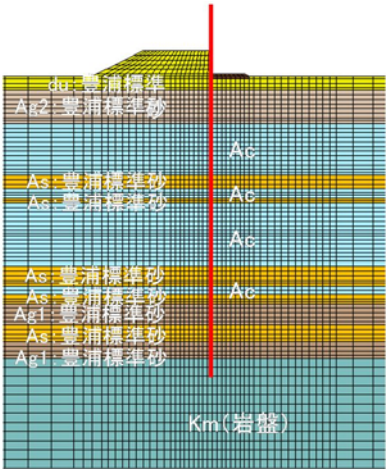
（ケース１）

原地盤モデル（地盤改良考慮）



（ケース２）

豊浦標準砂を仮定したモデル



曲げ・軸力に対する照査

	発生応力度 σ（N／mm²） （M／Z＋P／A）	許容応力度 σ sa（N／mm2） （SKK490）	安全率 σ sa／σ	判定
ケース１	131.30	277.5	2.11	OK
ケース２	167.31	277.5	1.66	OK

せん断に対する照査

	発生応力度 τ（N／mm²）	許容応力度 τ sa（N／mm2） （SKK490）	安全率 τ sa／τ	判定
ケース１	13.93	157.5	11.31	OK
ケース２	31.00	157.5	5.08	OK

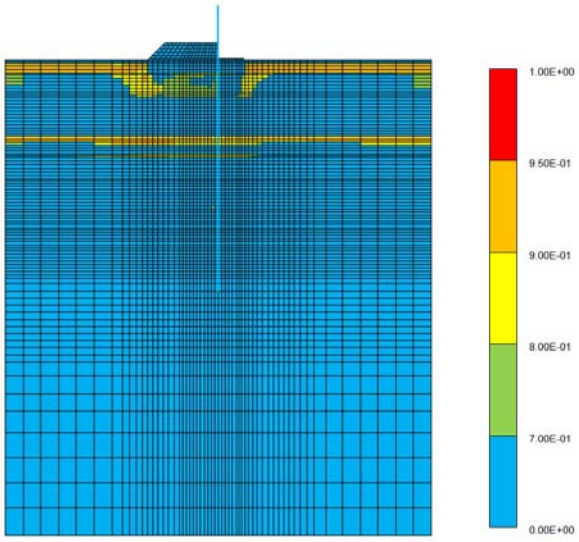
残留変位量

		水平変位（m）	鉛直変位（m）
ケース１	上部工天端～上部工下端の相対変位量	－0.0434	－0.0078
ケース２		0.1090	－0.00169

第１３図（１）　評価結果

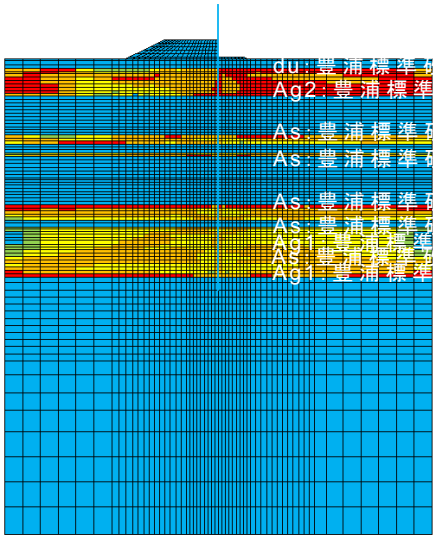
（ケース１）

原地盤モデル（地盤改良考慮）

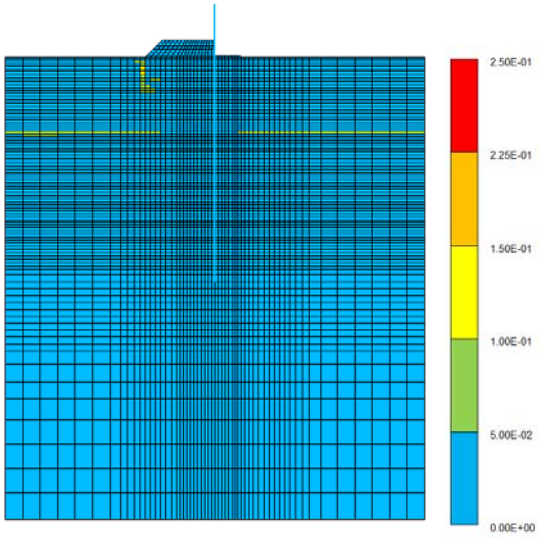


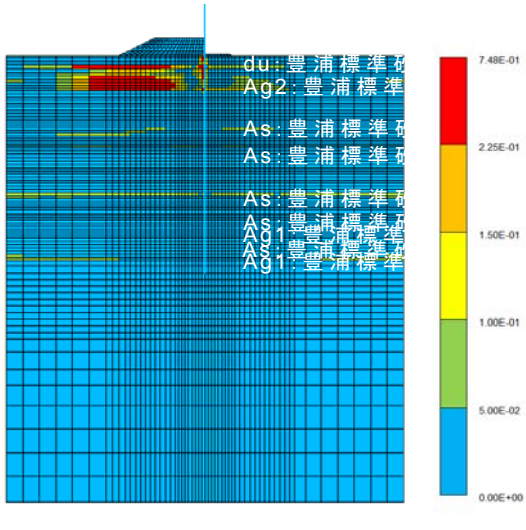
（ケース２）

豊浦標準砂を仮定したモデル



過剰間隙水圧比分布図



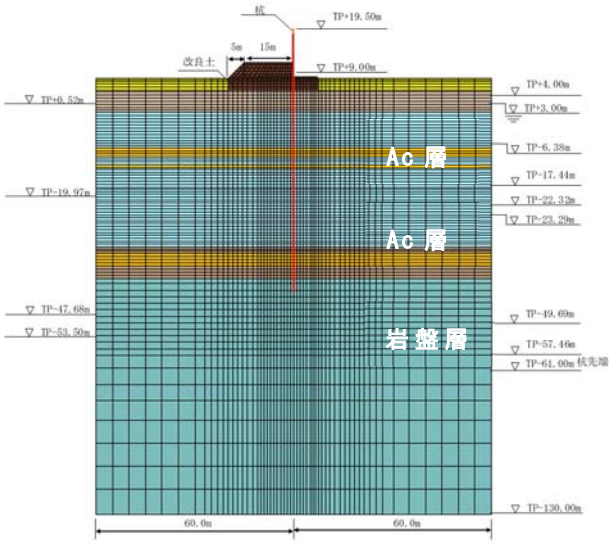


最大せん断ひずみ分布図

第１３図（２）　評価結果

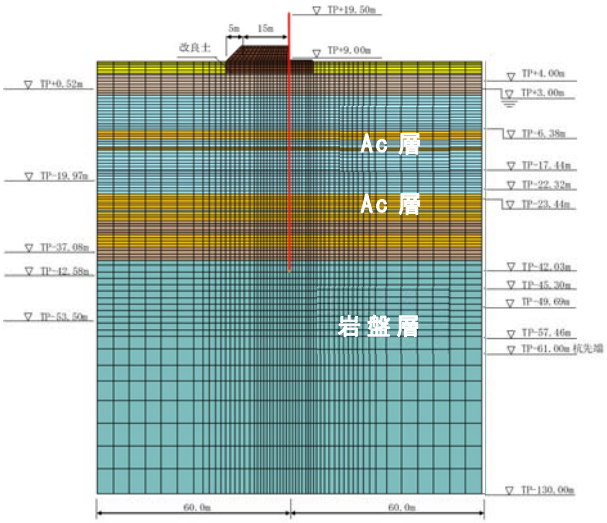
（ケース３）

Ａｃ層層厚最大＋原地盤砂礫層



（ケース４）

Ａｃ層層厚最小＋原地盤砂礫層



曲げ・軸力に対する照査

	発生応力度 σ（N／mm²） （M／Z＋P／A）	許容応力度 σsa(N／mm²) (SKK490)	安全率 σsa／σ	判定
ケース３	134.96	277.5	2.06	OK
ケース４	130.55	277.5	2.13	OK

せん断に対する照査

	発生応力度 τ（N／mm²）	許容応力度 τsa(N／mm²) (SKK490)	安全率 τsa／τ	判定
ケース３	14.34	157.5	10.98	OK
ケース４	13.94	157.5	11.30	OK

残留変位量

		水平変位（ｍ）	鉛直変位（ｍ）
ケース３	上部工天端～上部工下端の相対変位量	－0.0452	－0.0078
ケース４		－0.0431	－0.0078

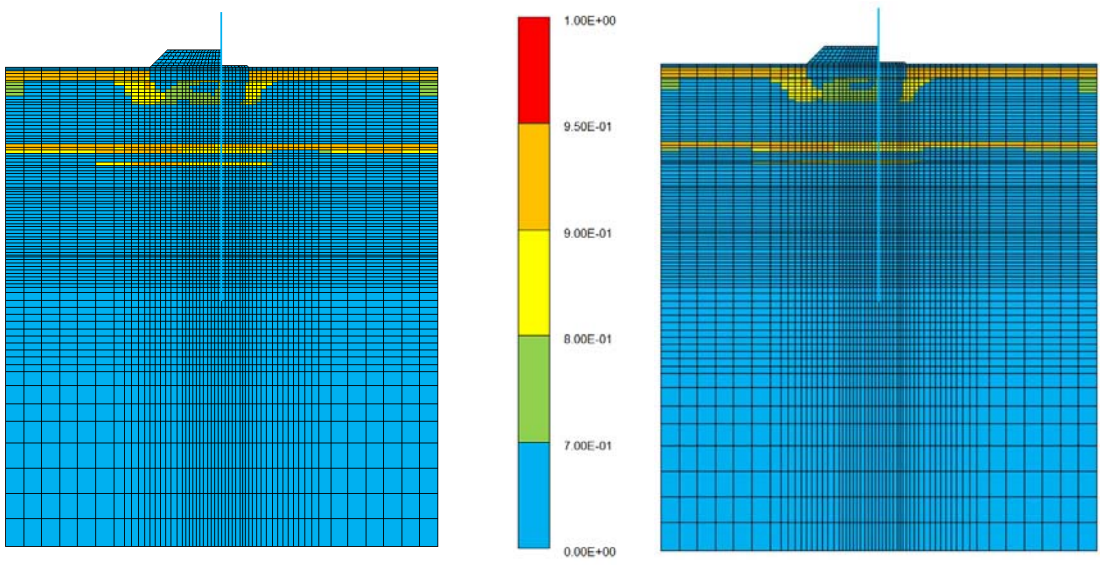
第１３図(３)　評価結果

（ケース３）

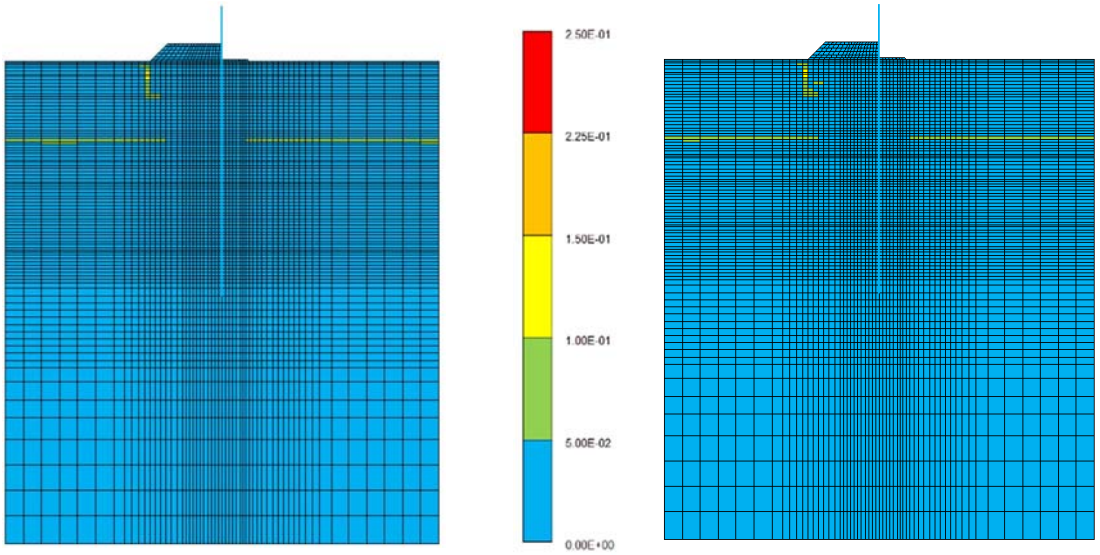
Ａｃ層層厚最大＋原地盤砂礫層

（ケース４）

Ａｃ層層厚最小＋原地盤砂礫層



過剰間隙水圧比分布図

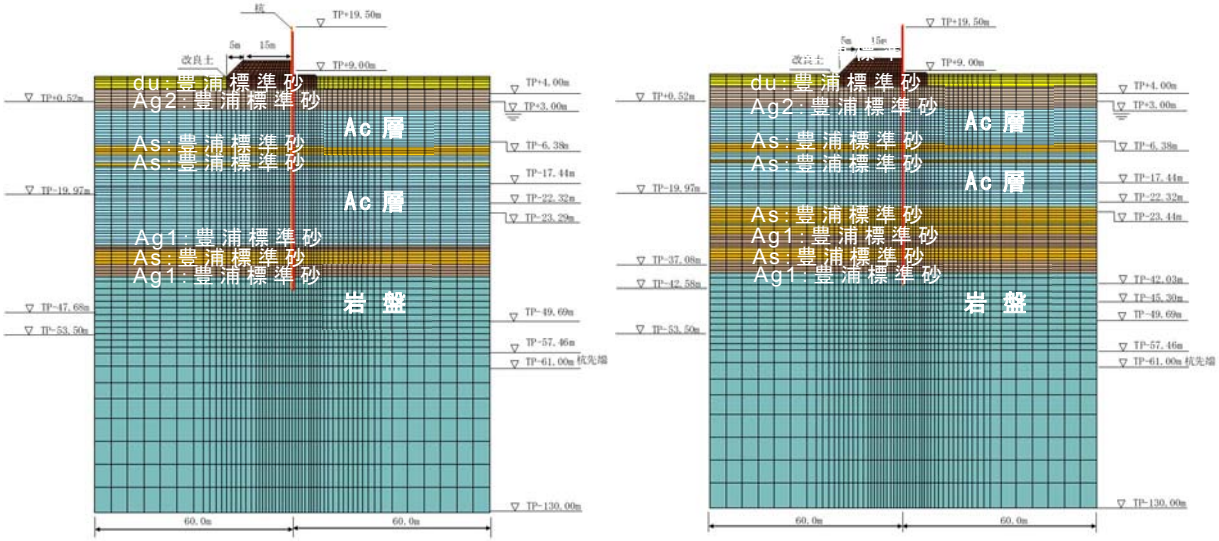


最大せん断ひずみ分布図

第１３図（４）　評価結果

（ケース５）　　（ケース６）

Ａｃ層層厚最大＋豊浦標準砂　　Ａｃ層層厚最小＋豊浦標準砂



Ac層と岩盤以外について，強制的に液状化させる仮定として豊浦標準砂の物性を設定

曲げ・軸力に対する照査

	発生応力度 σ（N／mm²） （M／Z＋P／A）	許容応力度 σsa(N／mm²) (SKK490)	安全率 σsa／σ	判定
ケース５	144.97	277.5	1.91	OK
ケース６	123.98	277.5	2.24	OK

せん断に対する照査

	発生応力度 τ（N／mm²）	許容応力度 τsa(N／mm²) (SKK490)	安全率 τsa／τ	判定
ケース５	19.36	157.5	8.14	OK
ケース６	19.25	157.5	8.18	OK

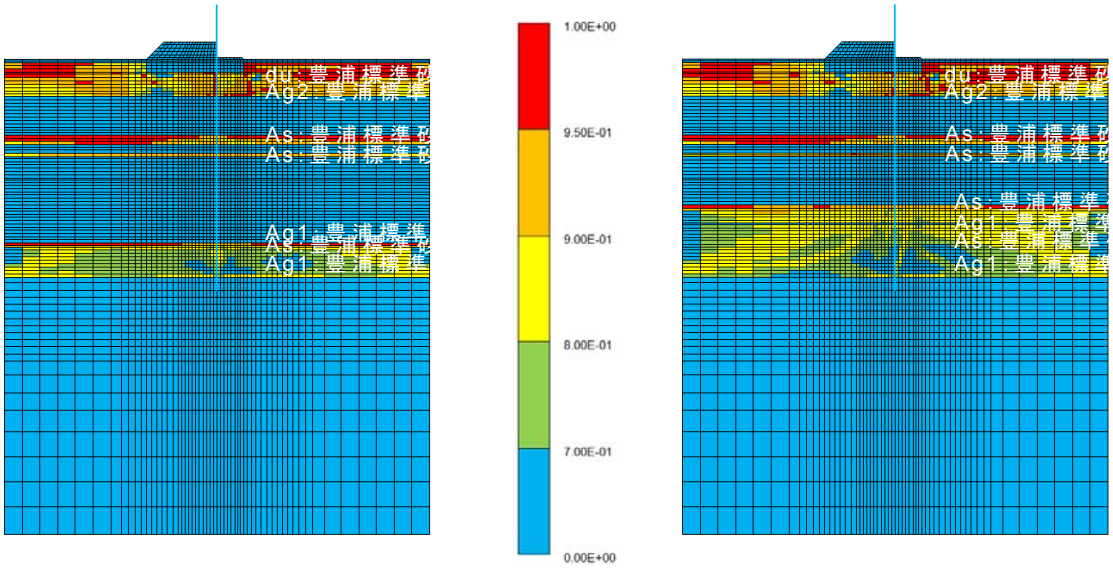
残留変位量

		水平変位（m）	鉛直変位（m）
ケース５	上部工天端～上部工下端の相対変位量	－0.0304	－0.0162
ケース６		－0.0470	－0.0104

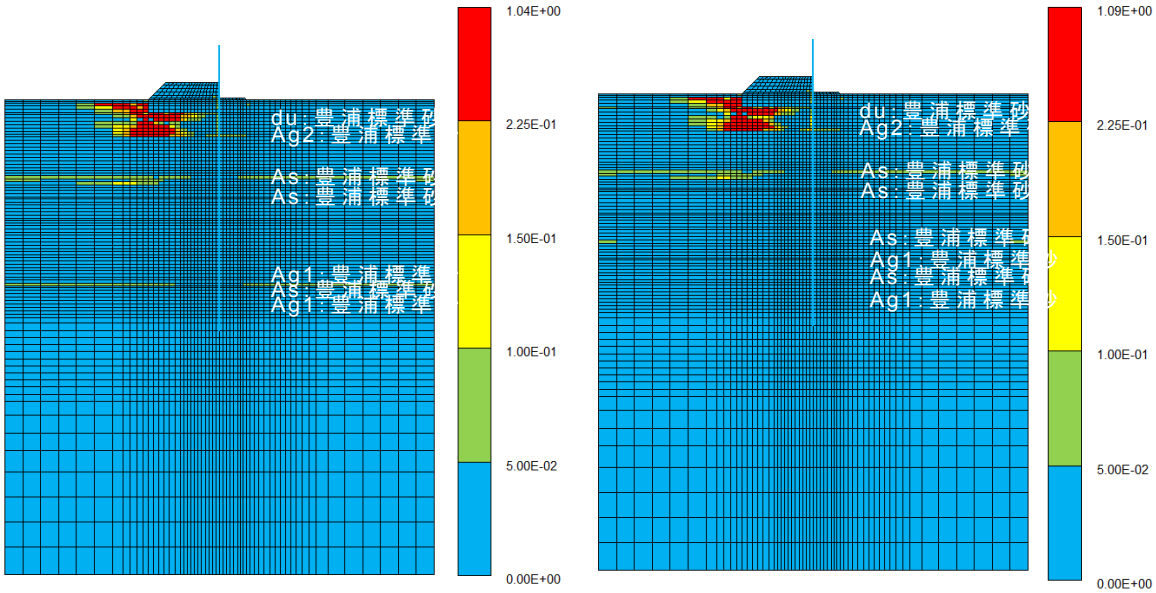
第１３図(５)　評価結果

（ケース５）　　（ケース６）

Ａｃ層層厚最大＋豊浦標準砂　　Ａｃ層層厚最小＋豊浦標準砂



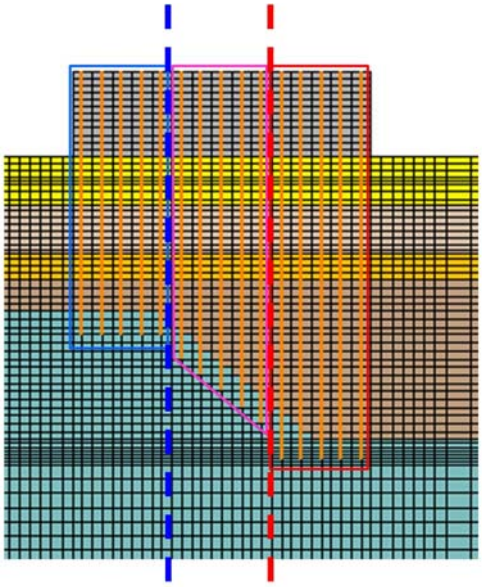
過剰間隙水圧比分布図



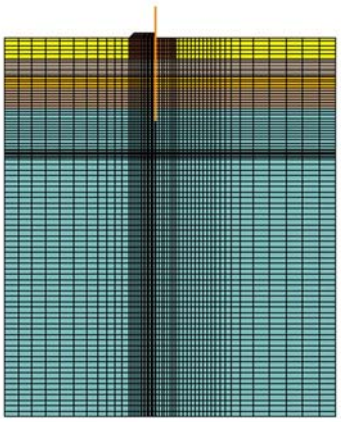
最大せん断ひずみ分布図

第１３図(６)　評価結果

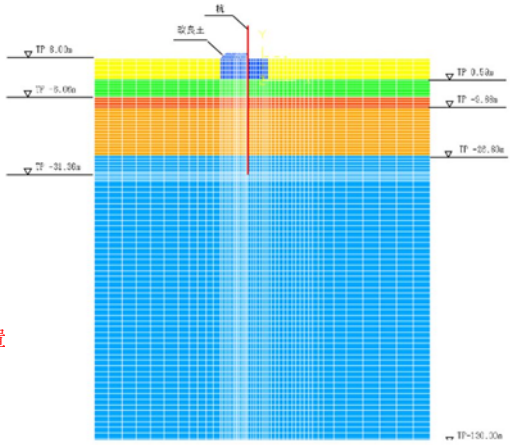
（ケース７）



横断解析モデル①作成位置



横断解析モデル①



横断解析モデル②作成位置

横断解析モデル②

曲げ・軸力に対する照査

	発生応力度 σ（N／mm²） （M／Z＋P／A）	許容応力度 σ sa（N／mm²） （SKK490）	安全率 σ sa／σ	判定
ケース７（北端部）	解析中	277.5	解析中	解析中
ケース７（南端部）	解析中	277.5	解析中	解析中

せん断に対する照査

	発生応力度 τ（N／mm²）	許容応力度 τ sa（N／mm²） （SKK490）	安全率 τ sa／τ	判定
ケース７（北端部）	解析中	157.5	解析中	解析中
ケース７（南端部）	解析中	157.5	解析中	解析中

残留変位量

		水平変位（m）	鉛直変位（m）
ケース７（北端部）	上部工天端～上部工下端の相対変位量	解析中	解析中
ケース７（南端部）		解析中	解析中

第１３図（７）　評価結果

d．岩盤傾斜部における地震動の増幅特性について

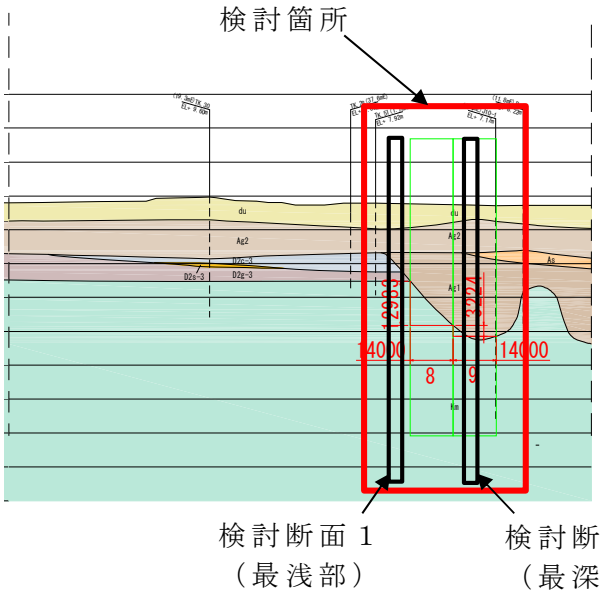
海水ポンプ室南側の地点④において，岩盤の傾斜が地震動の増幅特性に影響を及ぼす可能性について確認するため，岩盤深度の異なる２地点で１次元地震応答解析を実施した。

検討箇所を第１４図に示す。

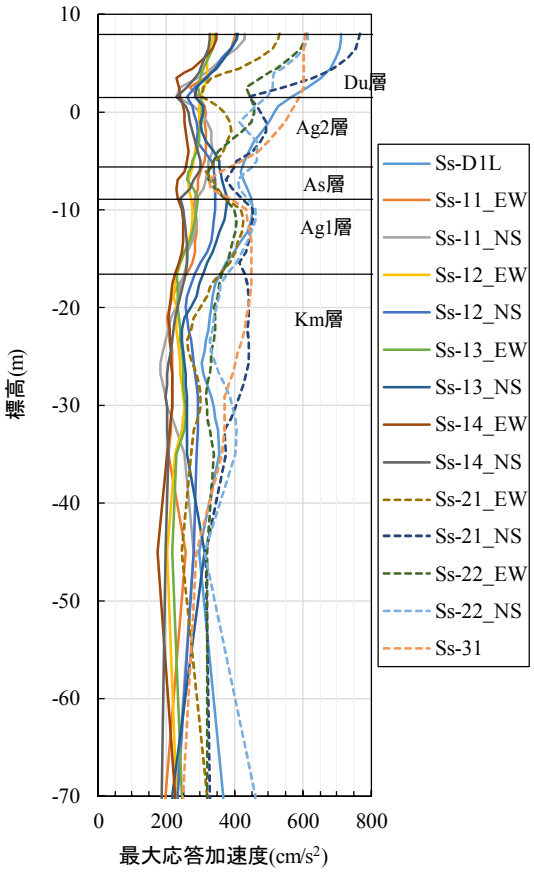
対象とする地震動は，東海第二発電所におけるS_s地震動すべてとし，最大加速度分布の比較結果を第１５図に示す。

検討断面１及び検討断面２を比較すると，両者の最大加速度分布に優位な差は認められない。

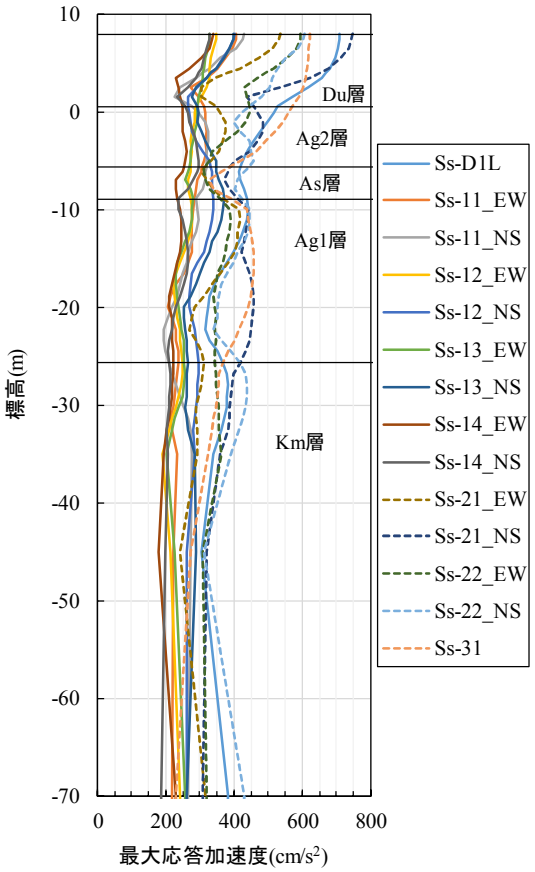
加速度の増幅は地表面付近の du 層と Ag2 層で若干認められるが，深部においては認められない。したがって，岩盤の傾斜は，地震動の増幅に影響を及ぼさないと判断される。



第１４図　岩盤傾斜部の検討断面位置



検討断面１
（最浅部）



検討断面２
（最深部）

第１５図　最大加速度分布の比較結果

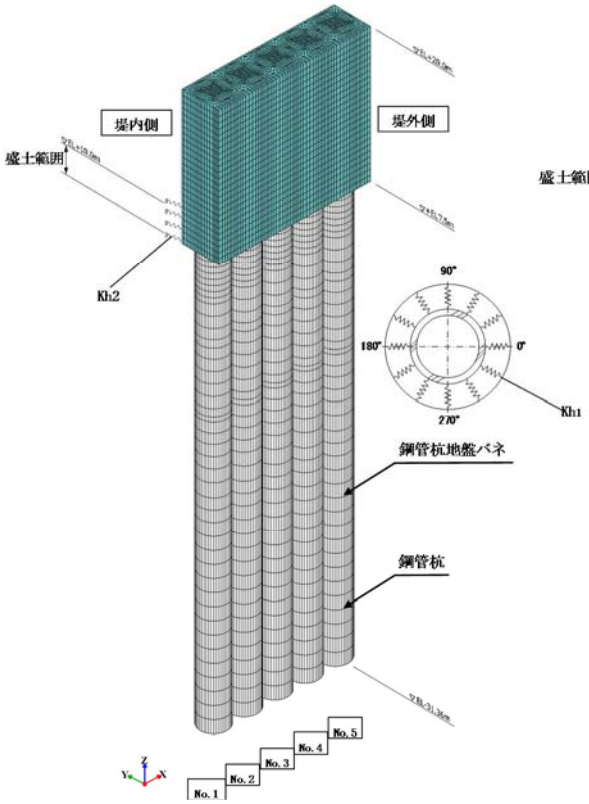
ｅ．岩盤傾斜部の振動特性について

岩盤傾斜部の振動特性の違いによるねじれ挙動の発生を確認するため，三次元ＦＥＭモデルを用いて固有値解析を実施した。

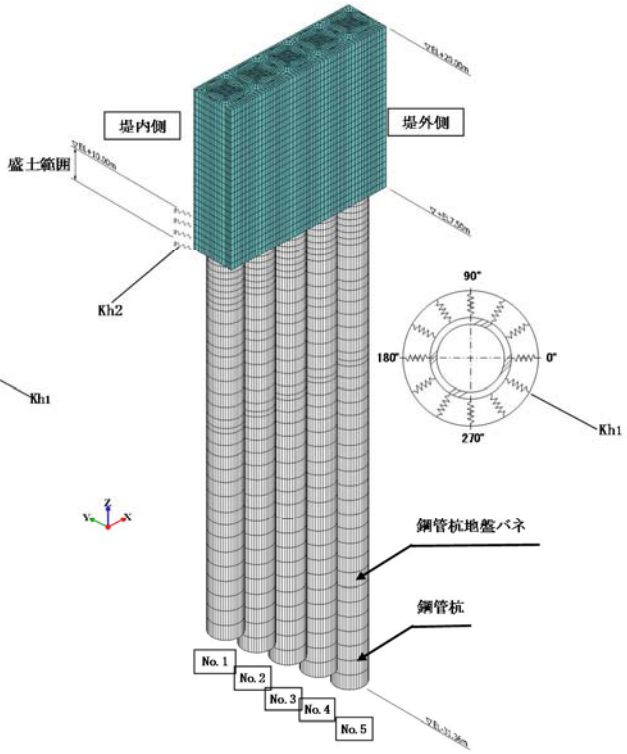
解析ケースは，岩盤の傾斜に対して杭の下端深度を同一とした場合及び岩盤根入れを1Ｄとした場合の２ケースで実施した。三次元ＦＥＭモデルを第１６図に，固有モードを第１７図に，地表面の応答加速度と振動数の関係を第１８図に，固有値解析結果を第７表に示す。

杭の下端深度を同一としたケースにおいては，防潮堤のねじれモードが確認された最も低次のモードは４次モードであえり，固有振動数は 21.45Hz である。この４次モードは刺激係数や有効質量比が小さく，ねじれ卓越モードにはならないことを確認した。また，基準地震動Ｓｓとの共振の有無を確認するため，ねじれモードの振動数と基準地震動Ｓｓの応答スペクトルを比較した結果，共振しないことを確認した。

また，岩盤への根入れを１Ｄとしたケースにおいても，ねじれモードは４次モードとなり，固有振動数は 21.46Hz である。同じく，刺激係数や有効質量比は小さいことから，ねじれ卓越モードにはならないことを確認した。また，基準地震動Ｓｓとの共振の有無を確認した結果，共振しない結果であることを確認した。

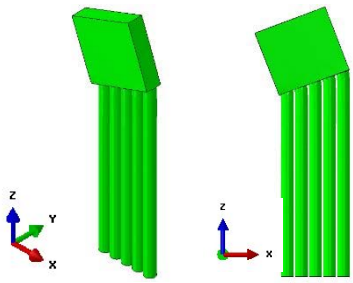


杭長同一モデル

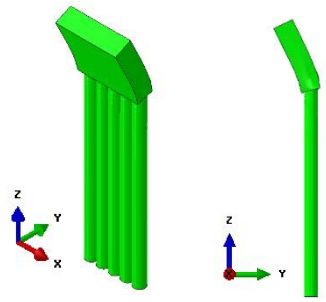


岩盤根入れ１Ｄモデル

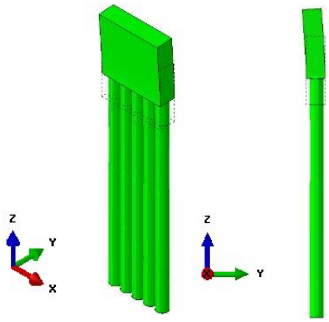
第１６図　三次元ＦＥＭモデル



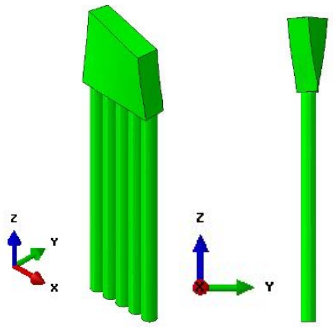
全体１次，Ｘ方向１次



全体２次，Ｙ方向１次ｚ

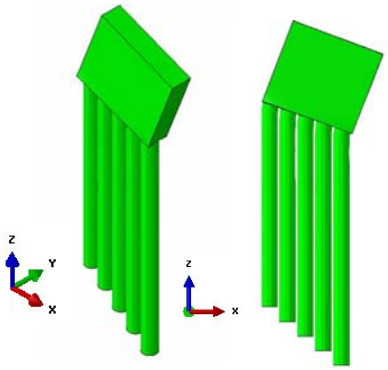


全体３次，Ｚ方向１次

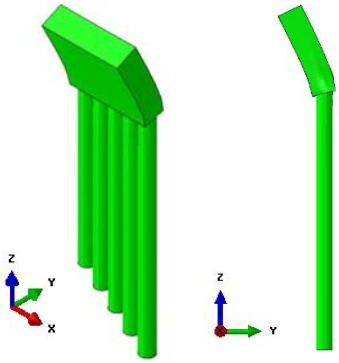


全体４次，ねじれ１次

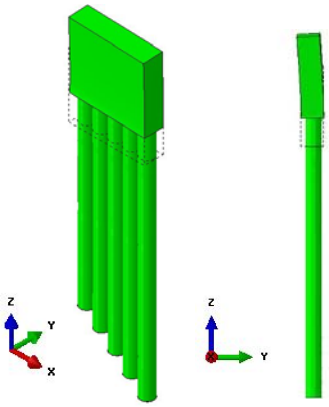
第１７図（1）　杭の下端深度同一モデルの固有モード図



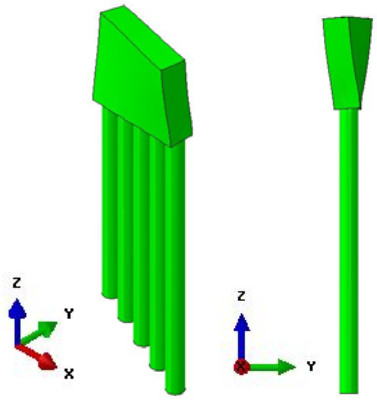
全体１次，Ｘ方向１次



全体２次，Ｙ方向１次ｚ

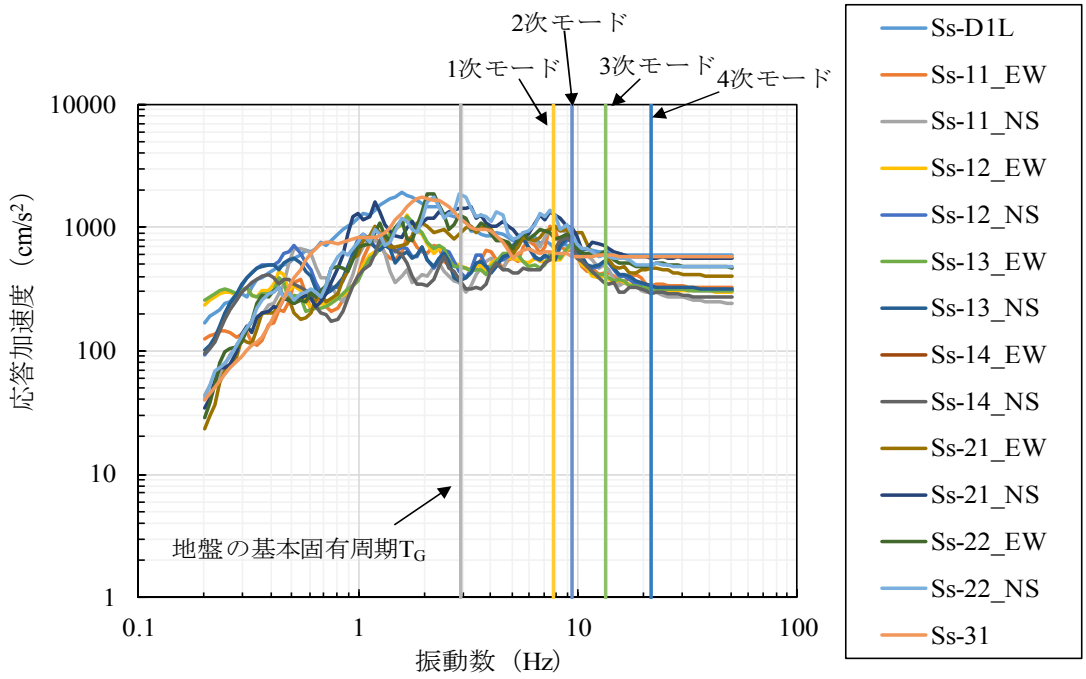


全体３次，Ｚ方向１次

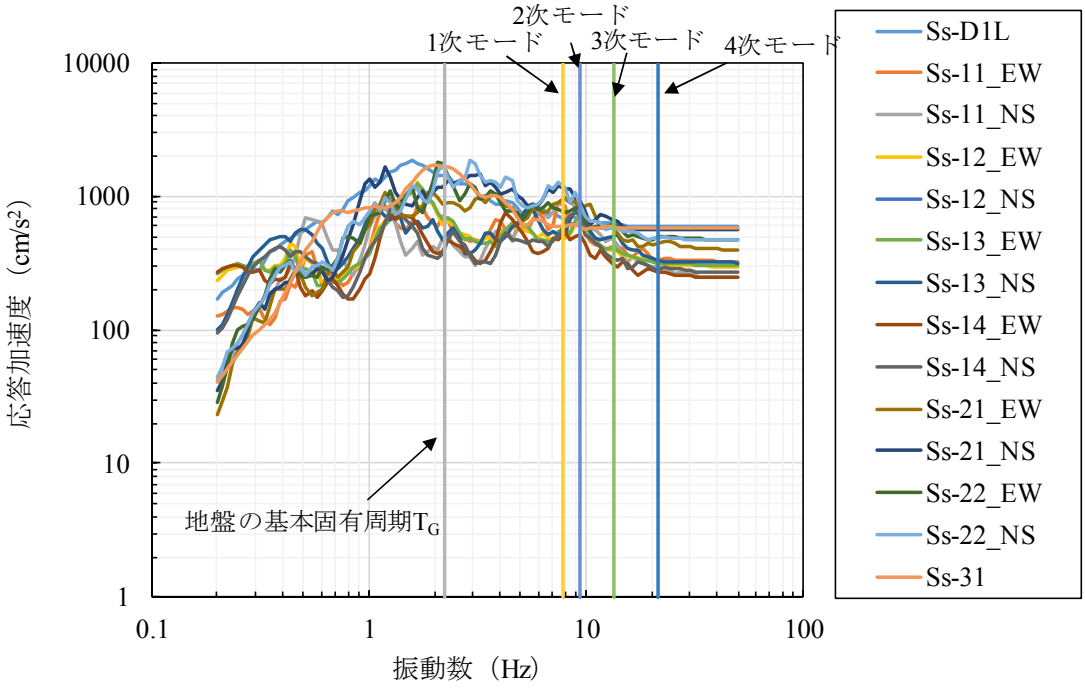


全体４次，ねじれ１次

第１７図（2）　岩盤根入れ１Ｄモデルの固有モード図

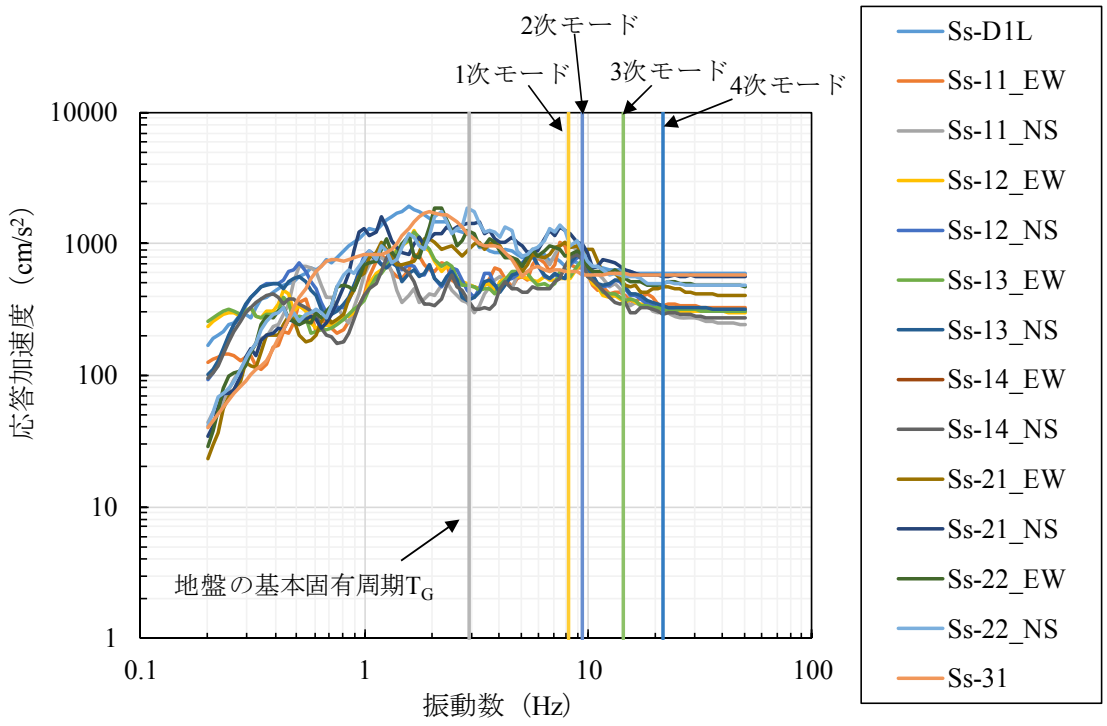


検討断面 1

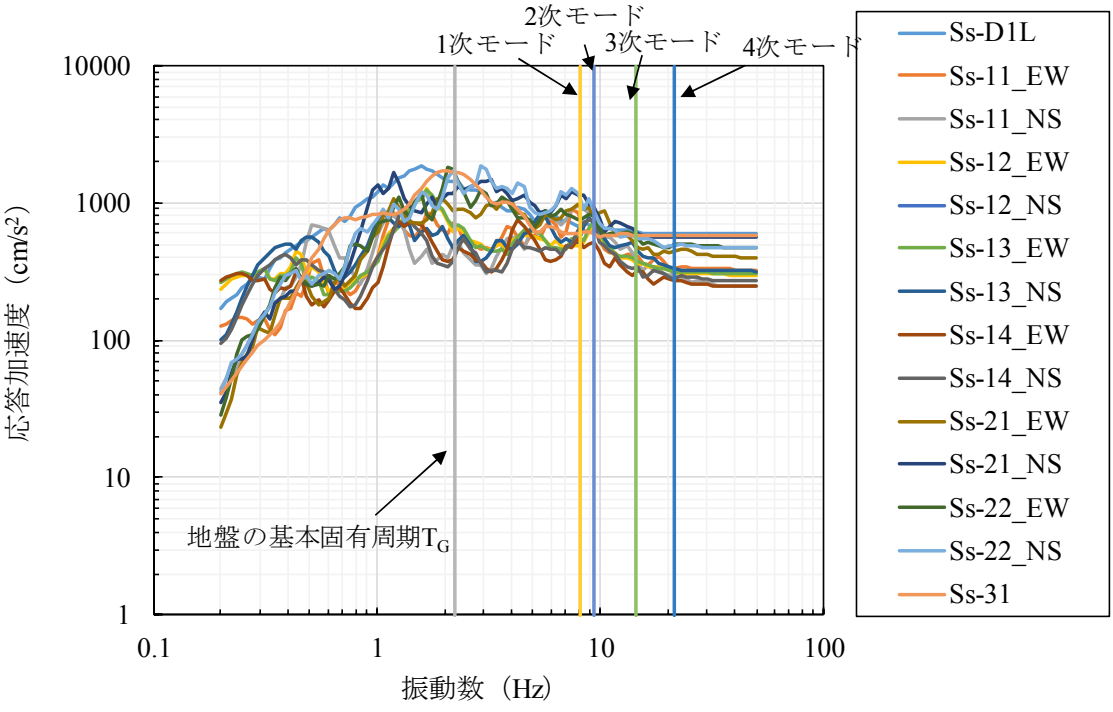


検討断面 2

第１８図（1）　杭の下端深度同一モデルの地表面の応答加速と振動数の関係



検討断面 1



検討断面 2

第１８図（２）　岩盤根入れ１Ｄモデルの地表面の応答加速と振動数の関係

第７表（1）　杭の下端深度同一モデルの固有値解析結果

次数	固有振動数 f(Hz)	X方向 刺激係数	X方向 モーダル有効質量 (tf)	X方向 モーダル有効質量 比率	Y方向 刺激係数	Y方向 モーダル有効質量 (tf)	Y方向 モーダル有効質量 比率	Z方向 刺激係数	Z方向 モーダル有効質量 (tf)	Z方向 モーダル有効質量 比率	備考
1	7.81	-24.189	585.1	41.0%	0.002	0.0	0.0%	0.035	0.0	0.0%	X方向1次
2	9.46	-0.004	0.0	0.0%	-24.470	598.8	42.0%	-2.439	5.9	0.4%	Y方向1次
3	13.42	0.025	0.0	0.0%	-1.672	2.8	0.2%	35.557	1264.3	88.7%	Z方向1次
4	21.45	-0.872	0.8	0.1%	0.000	0.0	0.0%	-0.001	0.0	0.0%	ねじれ1次
5	29.63	0.000	0.0	0.0%	0.102	0.0	0.0%	-0.007	0.0	0.0%	
6	29.65	-0.141	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	
7	29.76	-0.029	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	
8	29.77	0.000	0.0	0.0%	-0.026	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	
9	29.78	-0.093	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	
10	47.00	-18.072	326.6	22.9%	0.001	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	
11	51.40	0.002	0.0	0.0%	5.159	26.6	1.9%	-0.278	0.1	0.0%	
12	55.77	-0.003	0.0	0.0%	-12.454	155.1	10.9%	0.795	0.6	0.0%	
13	62.36	0.098	0.0	0.0%	0.078	0.0	0.0%	0.094	0.0	0.0%	
14	63.23	2.693	7.2	0.5%	-0.028	0.0	0.0%	-0.152	0.0	0.0%	
15	63.68	0.713	0.5	0.0%	0.003	0.0	0.0%	0.013	0.0	0.0%	
16	64.08	-1.850	3.4	0.2%	0.017	0.0	0.0%	0.109	0.0	0.0%	
17	64.15	0.107	0.0	0.0%	0.011	0.0	0.0%	0.091	0.0	0.0%	
18	64.32	0.001	0.0	0.0%	-0.048	0.0	0.0%	0.047	0.0	0.0%	
19	64.57	-0.487	0.2	0.0%	0.006	0.0	0.0%	0.043	0.0	0.0%	
20	64.60	-0.245	0.1	0.0%	0.003	0.0	0.0%	0.024	0.0	0.0%	

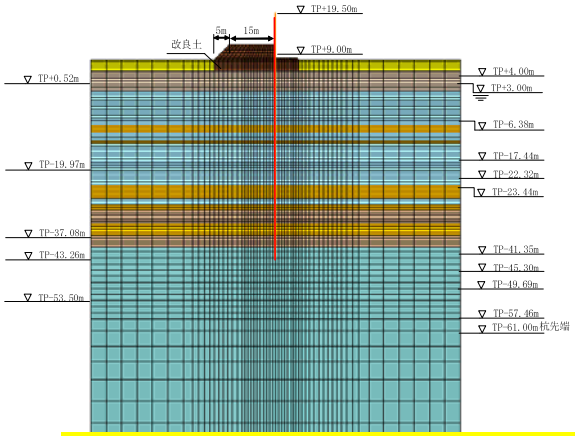
第７表（2）　岩盤根入れ１Ｄモデルの固有値解析結果

次数	固有振動数 f(Hz)	X方向 刺激係数	X方向 モーダル有効質量 (tf)	X方向 モーダル有効質量 比率	Y方向 刺激係数	Y方向 モーダル有効質量 (tf)	Y方向 モーダル有効質量 比率	Z方向 刺激係数	Z方向 モーダル有効質量 (tf)	Z方向 モーダル有効質量 比率	備考
1	8.11	24.221	586.7	42.8%	-0.153	0.0	0.0%	-2.400	5.8	0.4%	X方向1次
2	9.46	-0.248	0.1	0.0%	-24.482	599.4	43.8%	-2.112	4.5	0.3%	Y方向1次
3	14.43	1.700	2.9	0.2%	-1.466	2.2	0.2%	34.929	1220.0	89.1%	Z方向1次
4	21.46	-0.908	0.8	0.1%	0.002	0.0	0.0%	-0.086	0.0	0.0%	ねじれ1次
5	29.64	0.088	0.0	0.0%	0.070	0.0	0.0%	-0.009	0.0	0.0%	
6	31.27	-0.080	0.0	0.0%	-0.030	0.0	0.0%	0.003	0.0	0.0%	
7	32.96	-0.098	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	0.002	0.0	0.0%	
8	34.84	0.142	0.0	0.0%	-0.041	0.0	0.0%	0.000	0.0	0.0%	
9	36.78	0.253	0.1	0.0%	-0.102	0.0	0.0%	0.005	0.0	0.0%	
10	47.47	-18.095	327.4	23.9%	0.051	0.0	0.0%	-0.273	0.1	0.0%	
11	51.44	-0.087	0.0	0.0%	-5.179	26.8	2.0%	0.232	0.1	0.0%	
12	55.79	0.144	0.0	0.0%	12.476	155.6	11.4%	-0.566	0.3	0.0%	
13	63.34	1.679	2.8	0.2%	-0.467	0.2	0.0%	-3.139	9.9	0.7%	
14	64.19	0.495	0.2	0.0%	-0.075	0.0	0.0%	-0.280	0.1	0.0%	
15	67.00	-0.177	0.0	0.0%	0.175	0.0	0.0%	1.431	2.0	0.1%	
16	67.83	1.633	2.7	0.2%	-0.412	0.2	0.0%	-3.647	13.3	1.0%	
17	68.44	-0.279	0.1	0.0%	0.063	0.0	0.0%	0.724	0.5	0.0%	
18	71.53	0.065	0.0	0.0%	-0.351	0.1	0.0%	-3.898	15.2	1.1%	
19	72.51	0.092	0.0	0.0%	0.002	0.0	0.0%	0.027	0.0	0.0%	
20	76.59	0.960	0.9	0.1%	0.314	0.1	0.0%	4.558	20.8	1.5%	

ｆ．杭の仕様について

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造の成立性の検討に当たっては，杭の仕様を SKK490 としているが，安全裕度を損なうことなく杭の軽量化を図る場合を想定し杭の材質を SM570 とした場合について，検討を行った。なお，評価断面は断面③の，ケース１の原地盤モデルを用いた。検討の結果，杭の仕様を変更しても，構造成立性に問題がないことを確認した。

杭の仕様を第８表，曲げ・軸力に対する照査結果を第９表，せん断に対する照査結果を第１０表に示す。



第１９図　原地盤モデル（地盤改良考慮）

第８表　杭の仕様

	杭径	厚さ
SKK490	2.5m	40mm
SM570	2.5m	29mm

第９表　曲げ・軸力に対する照査結果

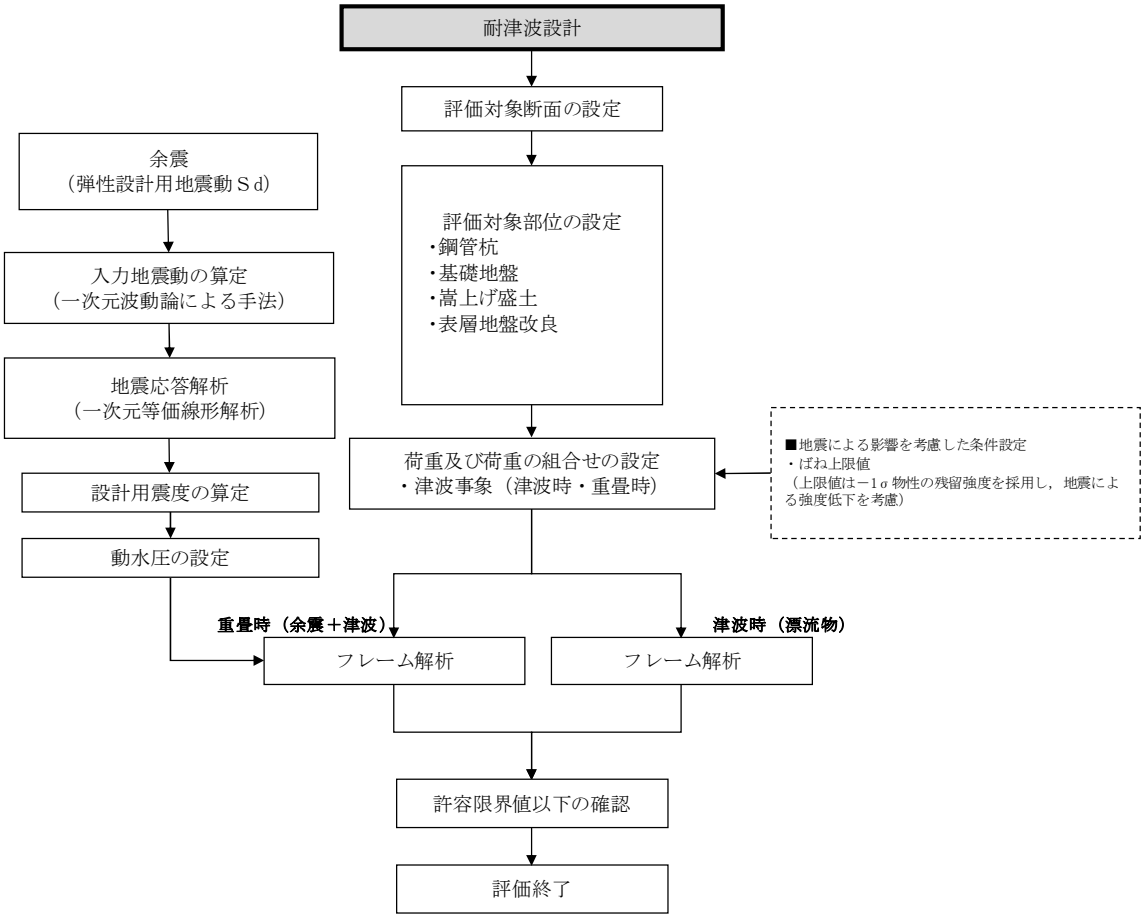
	発生応力度 σ（N／mm²） （M／Z＋P／A）	許容応力度 σsa(N／mm²)	安全率 σsa／σ	判定
SKK490	131.30	277.5	2.11	OK
SM570	153.31	382.5	2.49	OK

第１０表　せん断に対する照査結果

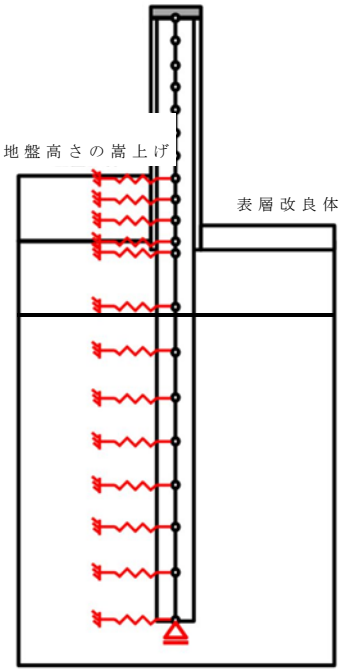
	発生応力度 τ（N／mm²）	許容応力度 τsa(N／mm²)	安全率 τsa／τ	判定
SKK490	13.93	157.5	11.31	OK
SM570	18.36	217.5	11.85	OK

② 耐津波設計（静的フレーム解析）

耐津波設計においても，保守的に鋼管杭のみで耐えうる構造を確保するため，鋼管杭を二次元梁要素でモデル化し，鋼管杭に地盤ばねを接続したフレーム解析を行う。設計外力は，死荷重，積雪の長期荷重，津波による波力と漂流物衝突荷重，余震荷重等とする。地盤ばねは静的物性及びせん断強度により計算する。鋼管杭とこれに係る部位の鋼管杭の耐津波評価の検討フローを第２０図に，耐津波解析モデル概念図を第２１図に示す。



第２０図　鋼管杭の耐津波評価の検討フロー



第２１図　解析モデル概念図

ａ．静的地盤ばね

二次元静的フレーム解析に用いる地盤ばねは，道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編に従い水平方向地盤反力係数を求め，さらに上限値を設定するバイリニア型とする。

静的フレーム解析では津波波力および漂流物荷重を主たる荷重として扱うため，地盤高さの嵩上げ（改良体）による地盤抵抗を地盤高さの嵩上げ上面から杭先端までの範囲で考慮する。

水平方向地盤ばね　$k_{h} = \mu\eta_k\alpha_k k_H DH$

k_h：水平方向地盤ばね定数（kN／m）

η_k：群杭効果を考慮した補正係数

α_k：単杭における補正係数

ばねの上限値　$P_h = P_{HU}DH$

P_h：受動土圧強度(kN／m^2)

$P_{HU}= \eta_p \alpha_p p_u$

η_p：群杭効果を考慮した水平方向反力の上限値の補正係数

α_p：単杭における水平地盤反力度の上限値の補正係数

p_u：地震時受動土圧強度(kN／m^2)

なお，津波時の評価は，地震による影響を考慮することとし，地盤ばねに用いる剛性は静弾性係数を用い剛性の低減を図る（地震時評価は，初期剛性を用いているが，津波時は地震後の保守的な剛性を考慮することとし，表層付近において地震時の収束剛性よりも小さい静弾性係数を用いる)。

また，地盤ばねは上限値を設定することによるバイリニア型とするが，この際に用いる上限値は－1σ物性の残留強度を採用し，地震による強度低下を考慮する（地震時のばね上限値は，健全な地盤の平均強度を用いて設定するが，津波時は地震後の保守的な上限値を用いることとし，平均－1σの残留強度を用いて設定する)。

ｂ．静的フレーム解析の結果

津波時及び余震＋津波時の曲げ・軸力に対する照査結果を第１１表に，せん断に対する照査結果を第１２表に示す。

照査の結果，杭の構造成立性を確認した。

第１１表　津波時及び余震＋津波時の曲げ・軸力に対する照査結果

	発生応力度 σ（N／mm^2）（M／Z＋P／A）	許容応力度 σsa(N／mm^2)（SKK490）	安全率 σsa／σ	判定
津波時※１	212	278	1.3	OK
余震＋津波※２	74	278	3.8	OK

※１　津波時の検討に当たっては，基準津波による津波荷重の４倍相当の荷重を用いた（水理模型実験および数値シミュレーション結果に基づき算出した津波荷重の４倍相当）地盤高さの嵩上げの高さは，検討の進捗により（余震＋津波時モデルよりも高さは低い）で設定している。
※２　検討用津波荷重は，防潮堤天端からの静水圧を使用した。

第１２表　津波時及び余震＋津波時のせん断に対する照査結果

	発生応力度 σ（N／mm^2）（M／Z＋P／A）	許容応力度 σsa(N／mm^2)（SKK490）	安全率 σsa／σ	判定
津波時※１	28	158	5.6	OK
余震＋津波※２	10	158	16.3	OK

※１　津波時の検討に当たっては，基準津波による津波荷重の４倍相当の荷重を用いた（水理模型実験および数値シミュレーション結果に基づき算出した津波荷重の４倍相当）地盤高さの嵩上げの高さは，検討の進捗により（余震＋津波時モデルよりも高さは低い）で設定している。
※２　検討用津波荷重は，防潮堤天端からの静水圧を使用した。

８）上部工（鉄筋コンクリート壁）の設計方針

鉄筋コンクリート壁に要求される性能は，杭間の止水性を確保するものである。そのため，繰返し襲来する津波荷重が作用した場合の杭間に生じる荷重に対して弾性状態に留まる設計を行う。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工は，下部工の鋼管杭から上部工に連続する鋼管を被覆した①被覆型の鋼管コンクリート構造の部材（以下「鋼管杭鉄筋コンクリート（ＳＲＣ造)」という。）及びその構造の堤外側に設置した②鉄筋コンクリート梁の主筋を密に配置しせん断耐力筋で補強した壁部材（以下「鉄筋コンクリート梁壁」という。）から構成される。鋼管杭鉄筋コンクリート（ＳＲＣ造）と鉄筋コンクリート梁壁は，鉄筋を全部材の外周にも配置することで一体化し，鋼管杭鉄筋コンクリート（ＳＲＣ造）５本ごとを１ブロックとして構成する。

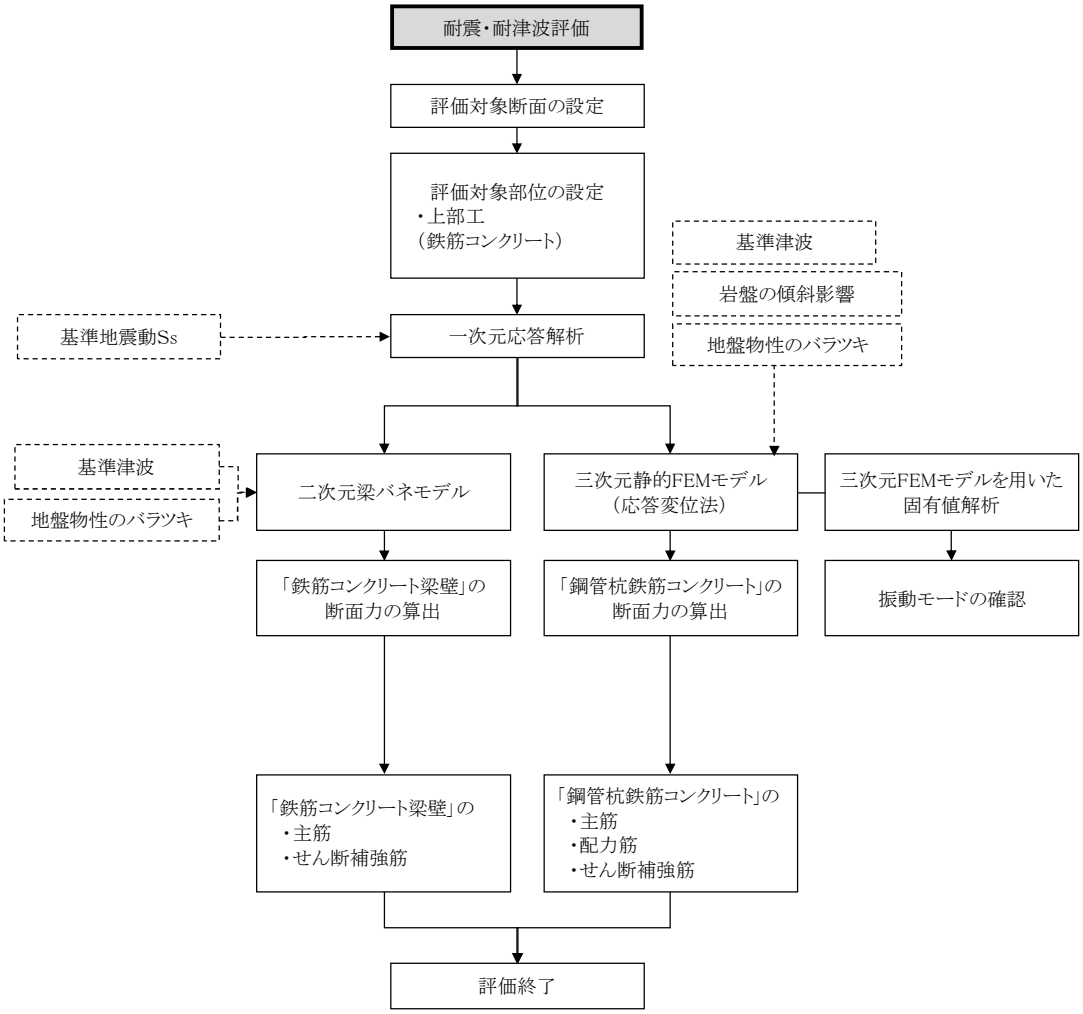
津波や漂流物に対しては，堤外側の鉄筋コンクリート梁壁に津波や漂流物の荷重が伝わり，鉄筋コンクリート梁構造として鋼管杭鉄筋コンクリート（ＳＲＣ造）を支点とした連続梁として抵抗する。その支点反力が鋼管杭鉄筋コンクリート（ＳＲＣ造）の鋼管に伝わり，下部工の鋼管杭へ荷重伝達される。また，堤外側の鉄筋コンクリート梁壁により，１ブロック内の止水性を確保するとともに，ブロック間は別途に止水ジョイントを設けて止水する。

地震時に対しては，下部工の鋼管杭の応答変位により各杭間に生じる相対変位から発生する荷重に対して，鋼管杭鉄筋コンクリート（ＳＲＣ造）間を結んでいる鉄筋コンクリート梁壁に

より抵抗する。鉄筋コンクリート梁壁には，せん断耐力筋が密に配置されており，梁壁のせん断抵抗力により構造物全体の健全性を確保するように設計する。

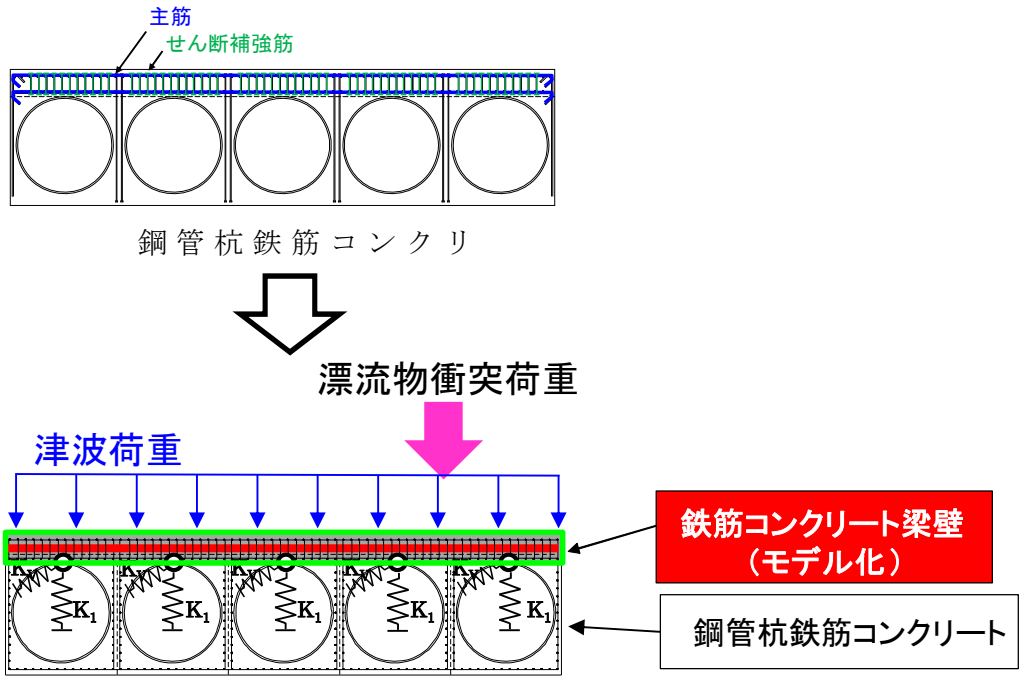
なお，鋼管杭と鉄筋コンクリート構造との合成構造については，土木分野では，橋梁の高橋脚の曲げ及びせん断耐力改善のため，鋼管ＲＣ合成構造を適用し，多くの高速道路等の高架橋で採用されている実績を持つ。

上部工の構造成立性の確認のための設計フローを第２２図に，評価手法と配筋の決定イメージを第２３図に示す。

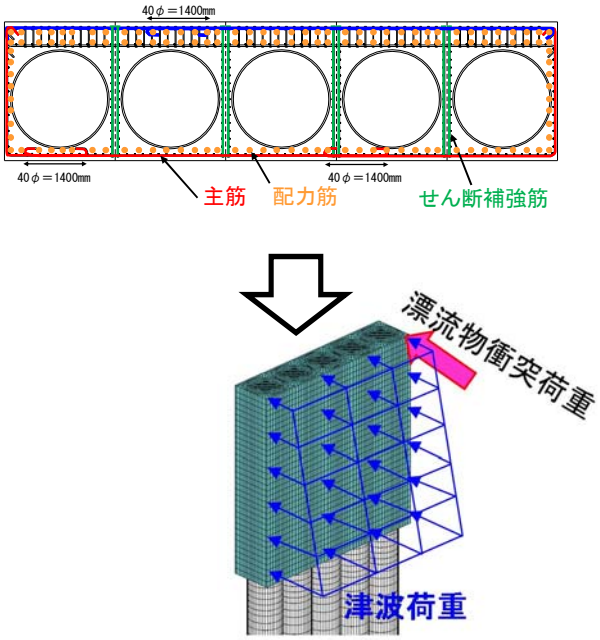


第２２図　上部工の構造成立性の確認のための設計フロー

【二次元梁ばねモデル】



【三次元 FEM モデル】

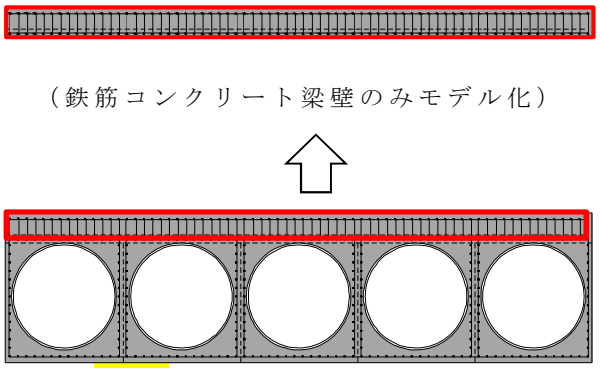


・主　筋：梁壁主筋と同径・同ピッチの鉄筋を配置し，5本の柱を束ねる。
・配力筋：主筋の面積比 1／3 を配置し，応力度照査で許容値以内を確認する。
・せん断補強筋：梁壁せん断補強鉄筋と同径・同ピッチを配置。

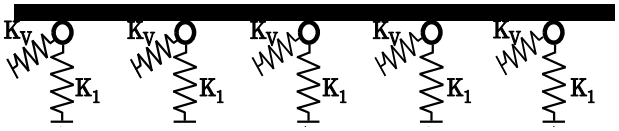
第２３図　評価手法と配筋の決定イメージ図

① 地震時・津波時の設計方針

鉄筋コンクリート梁壁の断面照査を行うため，保守的に鉄筋コンクリート梁壁のみを弾性支承上の梁でモデル化し（一本の連続梁としたモデル），配置する鉄筋の仕様を検討する。鋼管杭のばねは道路橋示方書に基づき鉛直，水平ばねの諸元を設定する。解析モデル概念図を第１８図に，二次元梁モデル概念図を第２４図に示す。



第２４図　解析モデル概念図



第１９図　二次元梁モデル概念図

鉛直ばね定数K_vは，以下の式により算出する。

$$K_v = \mathrm{a}\frac{A_p E_p}{\mathrm{L}}$$

ここで，A_p：杭の純断面積（mm^2）

E_p：鋼管のヤング係数（$\mathrm{kN}/\mathrm{mm}^2$）

L：杭長（m）

a：施工法別に杭の根入れ比（L/D）から決まる係数

杭の水平ばね（軸直角方向ばね）定数K_1(kN／m)は，以下の式により算出する。

$$K_1 = \frac{3EI\beta^3}{(1+\beta h)^3 + 0.5} \quad , \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{k_{HE}D}{4EI}}$$

EI：杭の曲げ剛性（kN･m^2）

h：設計上の地盤面から上の杭の軸方向長さ（m）

β：杭の特性値（m^{-1}）

k_{HE}：群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数（kN／m^3）

D：杭径（m）

水平ばねに用いる群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数k_{HE}については，以下の式により算出する。

$$k_{HE} = \eta_k \cdot \alpha_k \cdot k_H$$

η_k：群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数の補正係数（=2／3）

α_k：単杭における水平方向地盤反力係数の補正係数（=1.5）

k_H：地震時の水平方向地盤反力係数（kN／m^3）

地盤ばねについては，安全側の設計とするため，地盤のばらつきを考慮し，両端それぞれに＋1σ，－1σに対応するばねを設置して，中央部分は平均値とする。

水平方向のばねは，杭の特性値βが考慮されるため，地盤

の剛性が考慮されることになり，βを算出する際に地盤反力係数が用いられるが，これに地盤の変形係数E_0が考慮されているため，この部分にばらつきを与える。すなわち，地盤物性値として与えられている初期せん断剛性G_0の＋１σ，－１σ物性値を用いて＋１σ，－１σ時の変形係数を算出し，地盤反力係数へ反映する。

地盤の変形係数E_0は，以下の式により算出する。

$$E_0 = 2(1+\nu_d)G_0$$

E_0：変形係数（kN／m^2）

ν_d：動ポアソン比

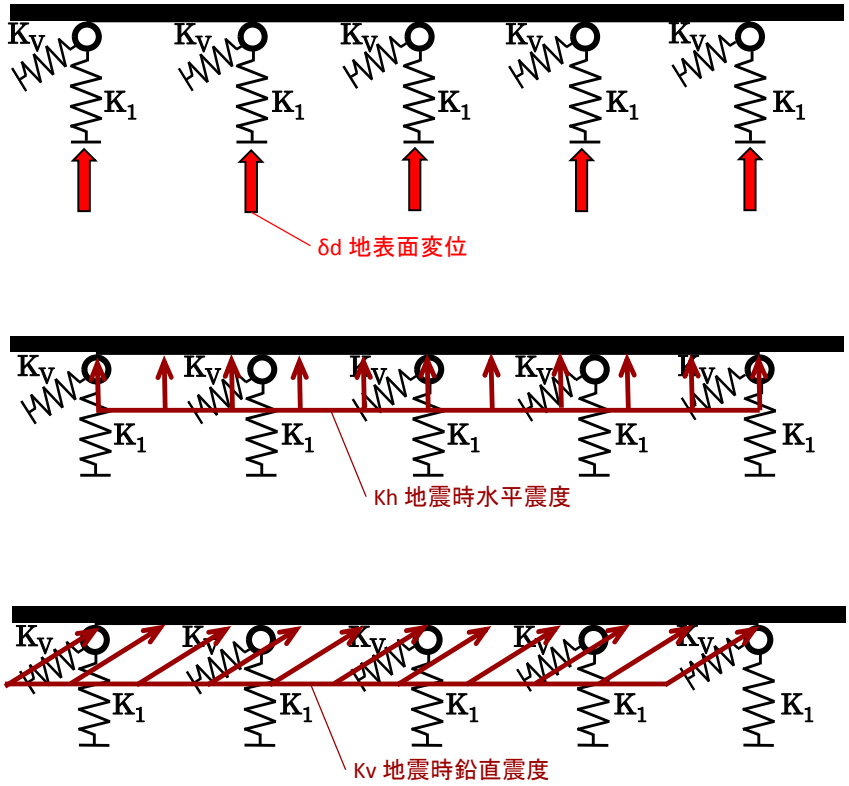
G_0：地盤の剛性（kN／m^2）

地震時は，一次元波動理論に基づく地震応答解析より算定した地表面応答変位を強制変位としてばね位置に面外へ載荷する。

鉄筋コンクリート梁壁の慣性力については，水平方向及び鉛直方向の両方向に分布荷重として載荷する。地震時に考慮する荷重及び変位の概念図を第２５図に示す。

津波荷重については，１ブロックあたりに作用する津波荷重を全て梁モデルに分布荷重として載荷する（高さ方向の分布は考慮せず，全津波波圧を梁に分布荷重として載荷する）。

漂流物の衝突荷重については，曲げモーメントが最大となる位置に集中荷重として作用させる。



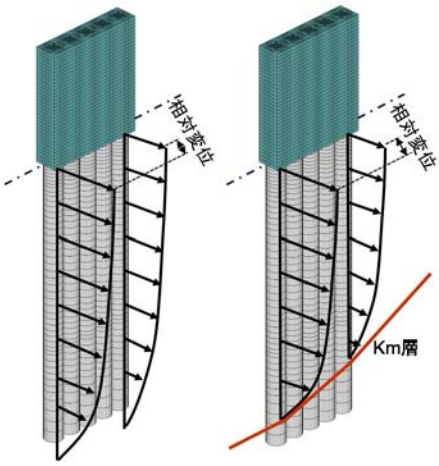
第２５図　地震時に考慮する荷重及び変位の概念図

② 三次元モデルによる解析

三次元モデルを用いた静的応力解析により，上部工の鉄筋コンクリート部材に生じる応力状態を確認し断面照査を行う。更に，岩盤の深度や傾斜により，鋼管杭鉄筋コンクリート（ＳＲＣ造）と鉄筋コンクリート梁壁の一体性に影響を及ぼすようなねじれ挙動が生じないことを確認するため，固有値解析を実施する。三次元ソリッドによるモデル化の概念図を第２６図に，岩盤傾斜部における上部構造への影響検討イメージを第２７図に示す。また，地震時，津波時，余震＋津波時及び地震時（岩盤傾斜モデル）の解析結果を第２８図に，照査結果一覧を第１３表に示す。

評価の結果，地震時，津波時，余震＋重畳時のいずれにおいても，発生する最小主応力はコンクリートの圧縮強度を十分下回ること，発生する最大主ひずみは鉄筋の許容引張応力度のひずみ以下であることから，上部工の構造成立性に問題がないことを確認した。

また，岩盤の傾斜を考慮したモデルにおいても，上部工の構造成立性に問題がないことを確認した。



（一般部）　（岩盤傾斜部）

【一般部】
- 防潮堤１ユニットの三次元ＦＥＭモデルを作成し，杭側方に水平地盤バネを配置する。
- 地盤のばらつきを考慮するため，両端の杭には－１σ物性及び＋１σ物性を用いた一次元地盤応答解析に基づく水平地盤バネを配置する。
- 応答変位法に用いる変位のうち，両端の杭については±１σ物性による地盤の応答変位を作用させる。また，中央部の杭には平均物性による地盤の応答変位を作用させる。
- 杭及び上部工に作用させる地震時慣性力についても，上記と同様の方法で算出した加速度を作用させる。

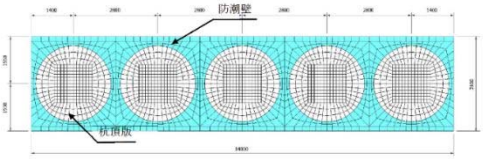
【岩盤傾斜部】
- 岩盤傾斜部について，最も傾斜の厳しい場所を選定する。

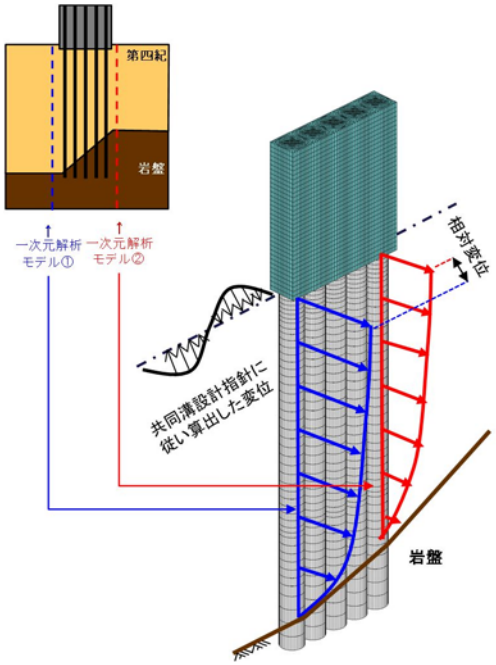
第２６図　三次元ソリッドによるモデル化の概念図

【一次元地震応答解析】
- 検討用岩盤傾斜角を考慮し，岩盤の深度を変化させた解析モデルにより，一次元地震応答解析を実施することで，傾斜部を考慮した地盤変位と慣性力を算定する。
- なお，共同溝設計指針に従い算定した表面波による相対変位と比較し，厳しい方の地盤変位を採用する。

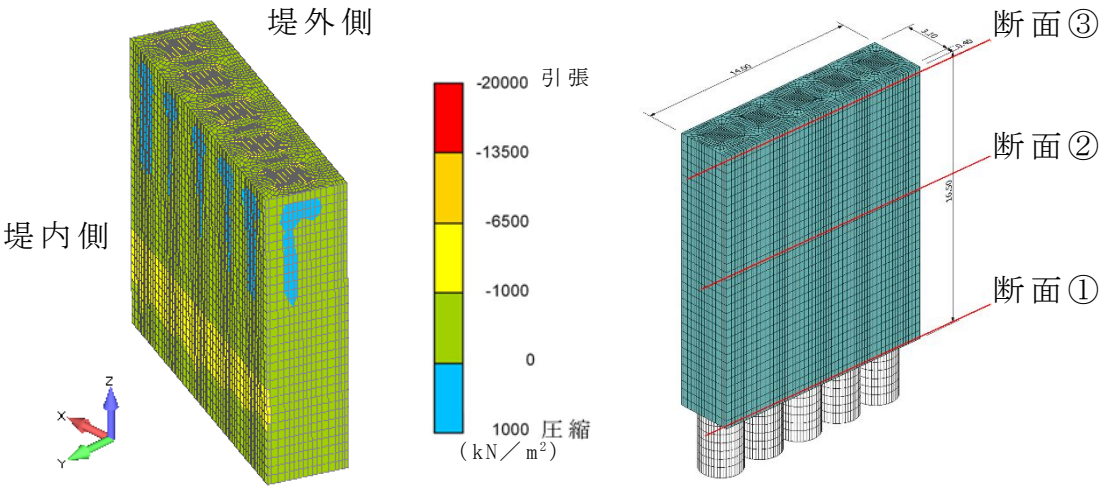
【三次元ＦＥＭモデルによる検討】
- 三次元 FEM 解析モデルに対し，検討用岩盤傾斜角を考慮した岩盤の深部分布に基づき，地盤バネを配置する。

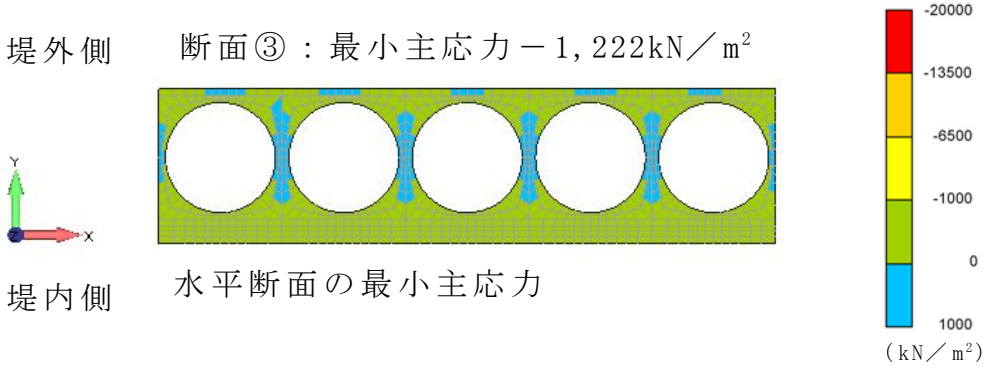
鉄筋コンクリート梁壁・SRC 造の一体構造の有効性確認
- 上部工内の応力分布を確認し，鉄筋に生じる

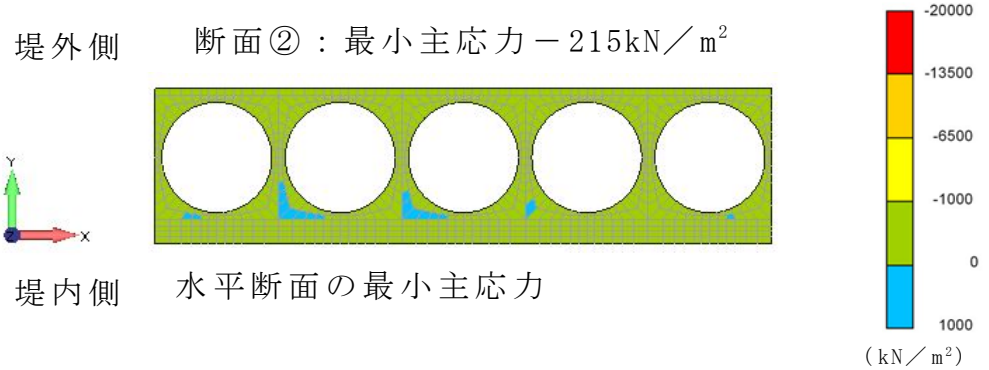


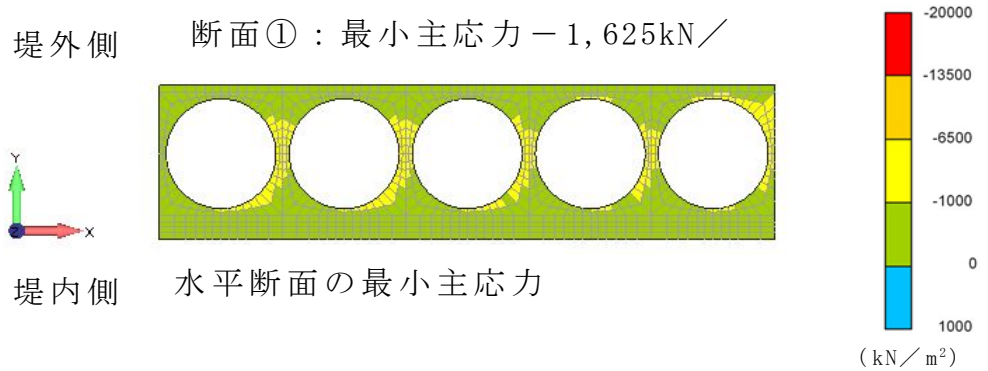


第２７図　岩盤傾斜部における上部構造への影響検討イメージ図

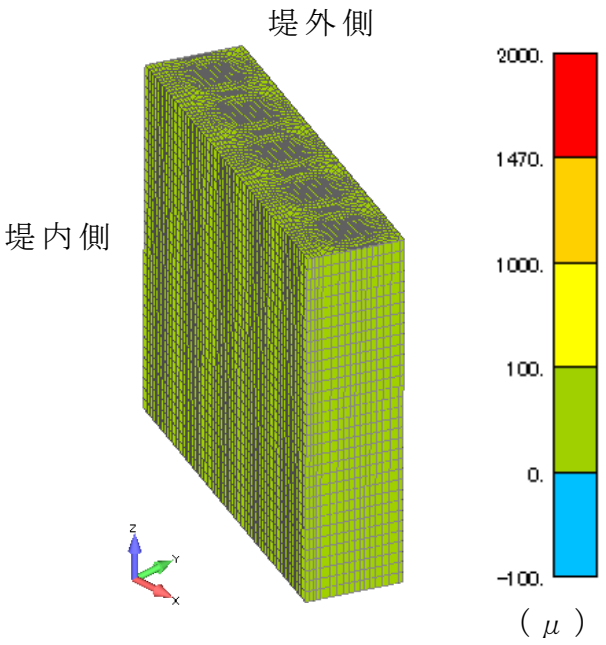






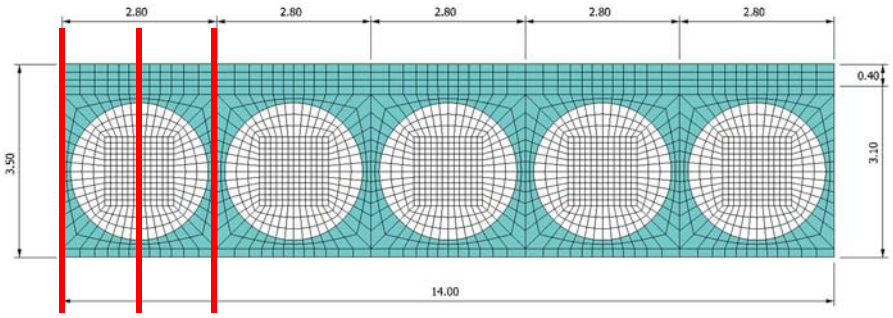


第２８図(1)　地震時の解析結果（最小主応力分布（圧縮側））

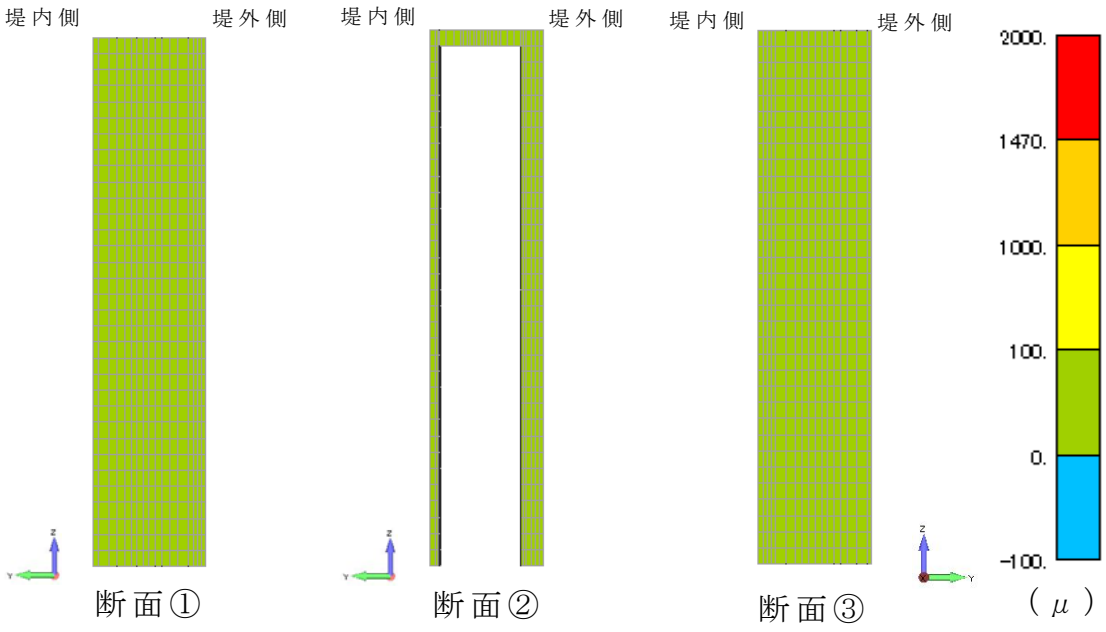


- 発生する最大主ひずみは，最大で 100μ 以下程度であり，RC 壁体は RC 部材として弾性範囲内である。

（参考）鉄筋の短期引張許容応力度：σ_{st}=294N／mm^2 であることから，これを鉄筋の弾性係数で割り，短期許容引張応力度のひずみを算定すると 1470μ となる。

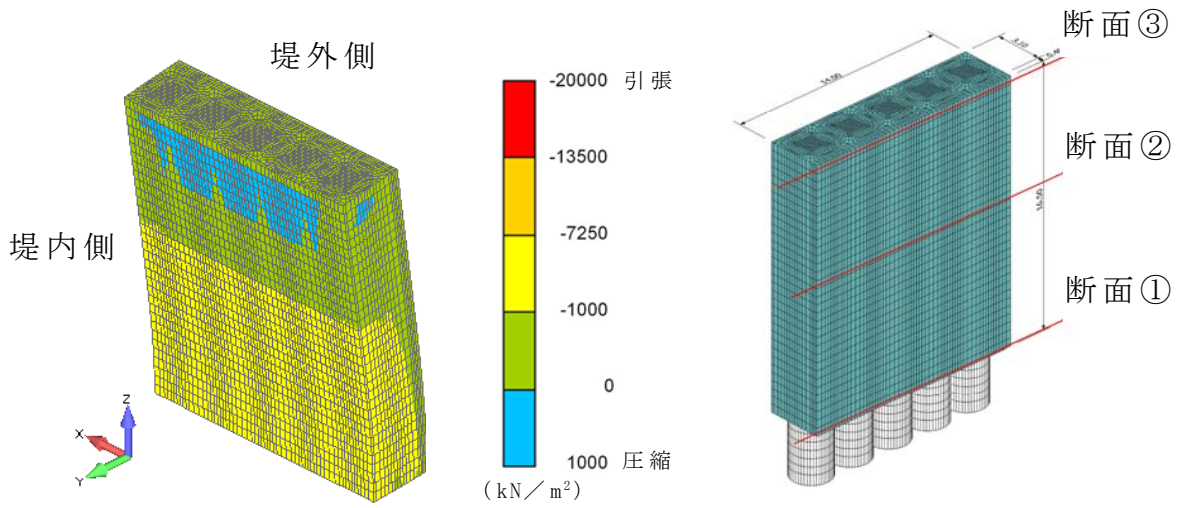


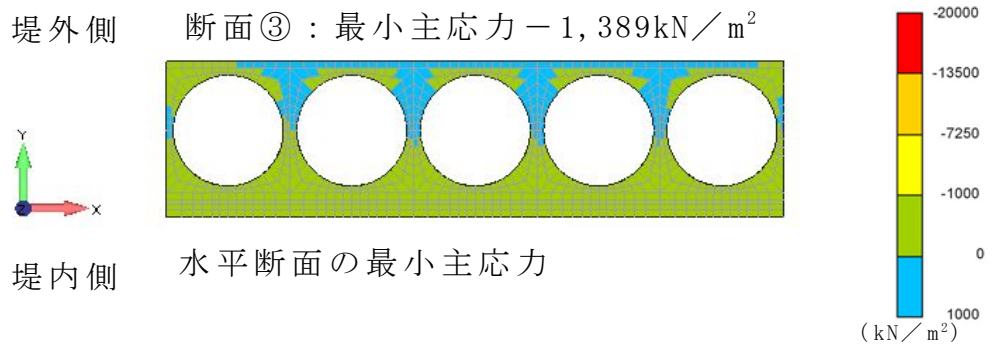
断面① 断面② 断面③

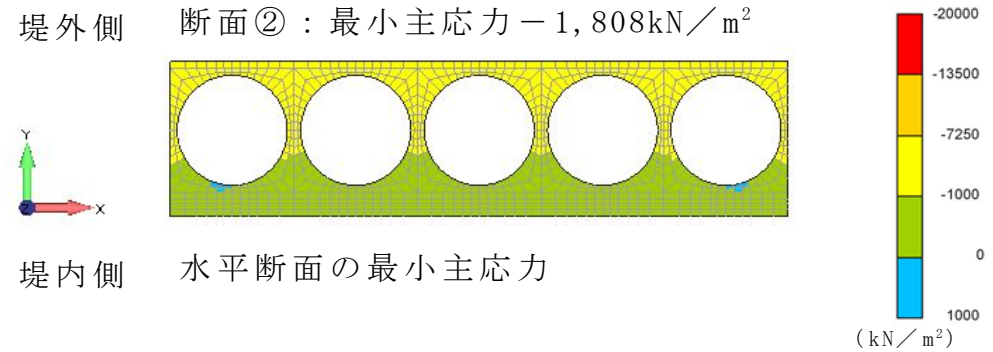


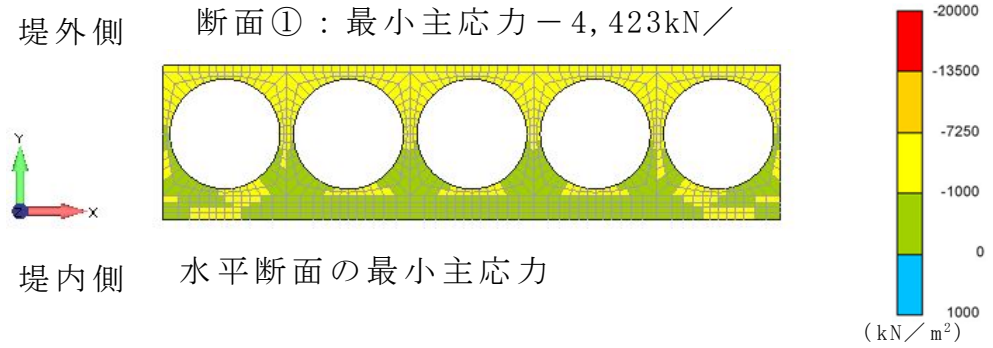
断面① 断面② 断面③

第２８図(2)　地震時の解析結果（最大主ひずみ分布（引張側））

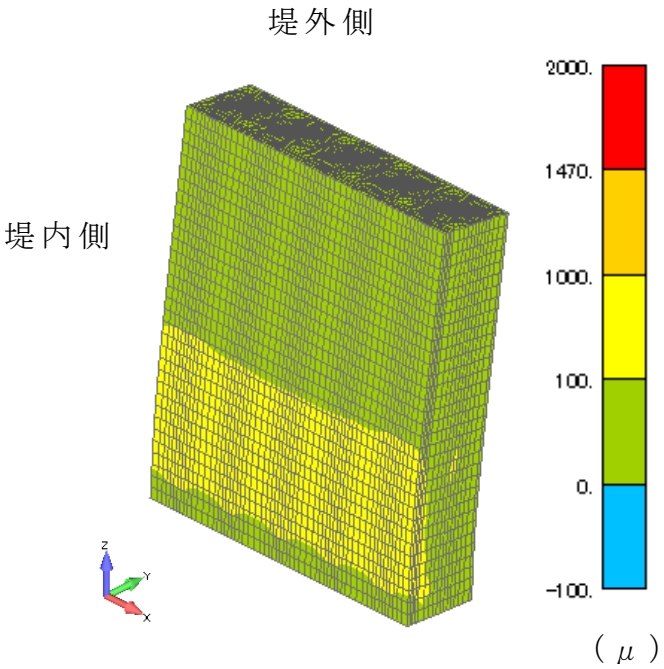






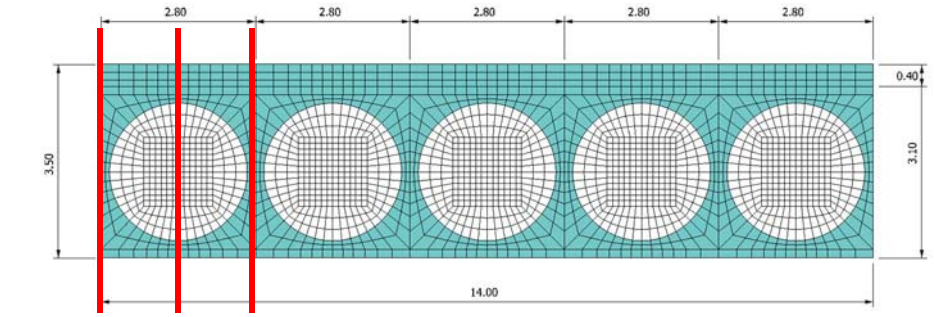


第２８図(3)　津波時の解析結果（最小主応力分布（圧縮側））

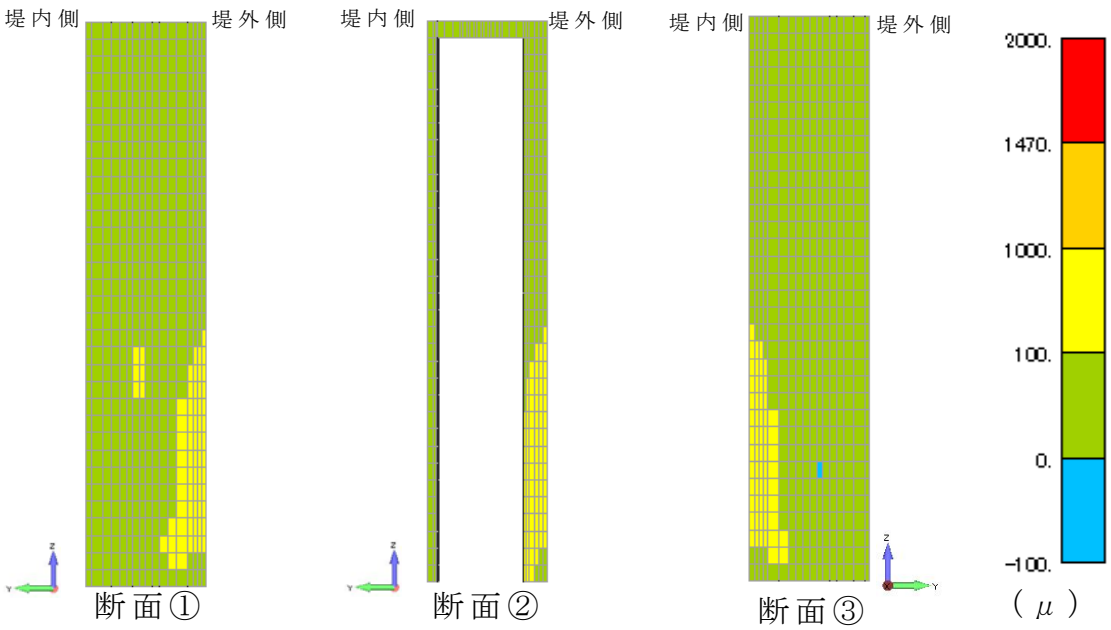


- 発生する最大主ひずみは，最大で 1000μ 以下程度であり，RC 壁体は RC 部材として弾性範囲内である。

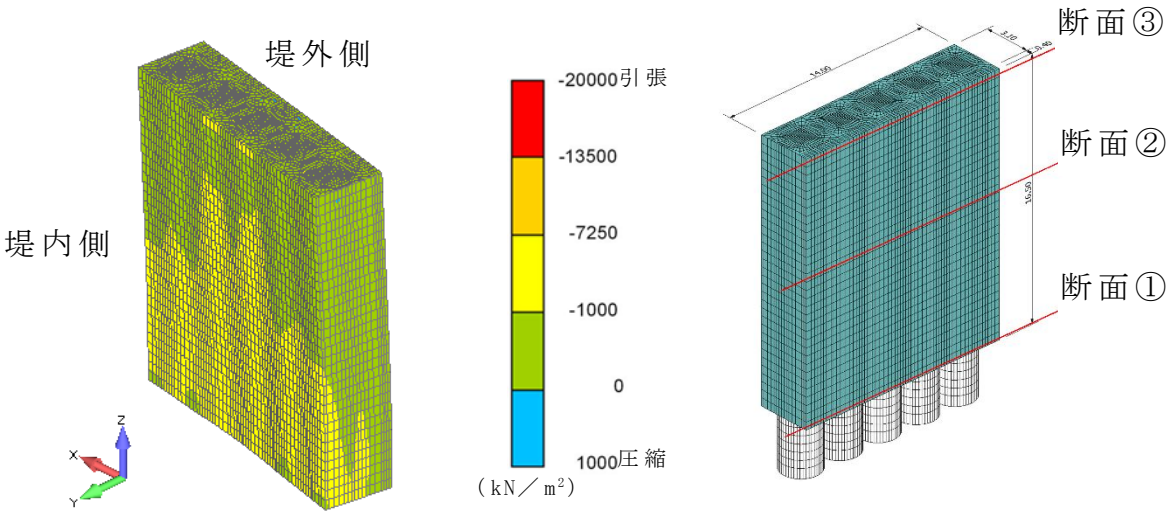
（参考）鉄筋の短期引張許容応力度：σ_{st}=294N／mm^2 であることから，これを鉄筋の弾性係数で割り，短期許容引張応力度のひずみを算定すると 1470μ となる。

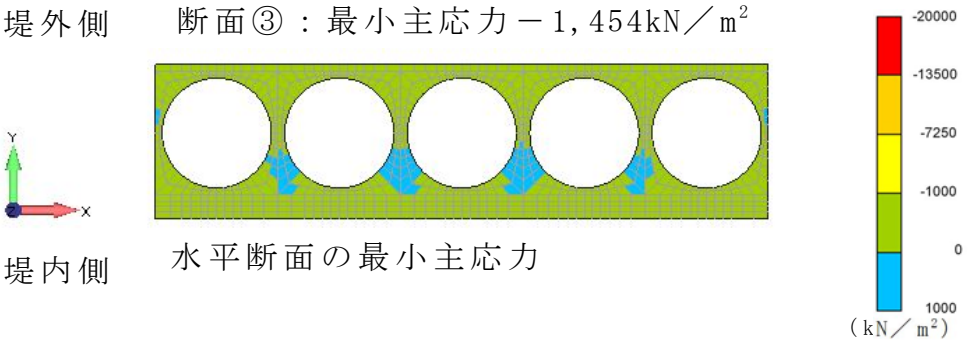


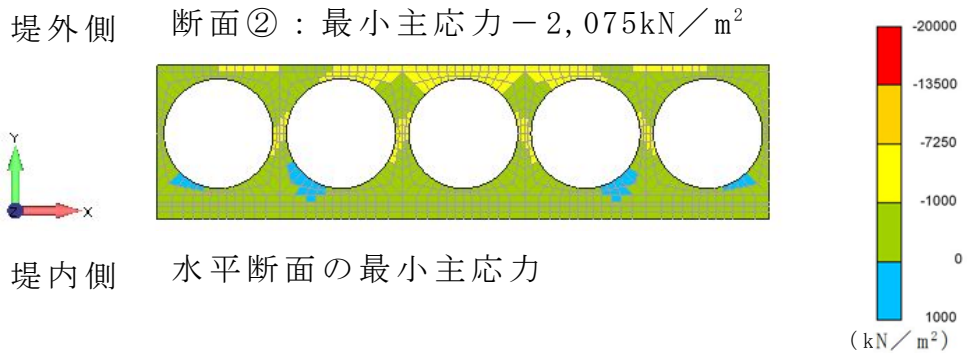
断面① 断面② 断面③

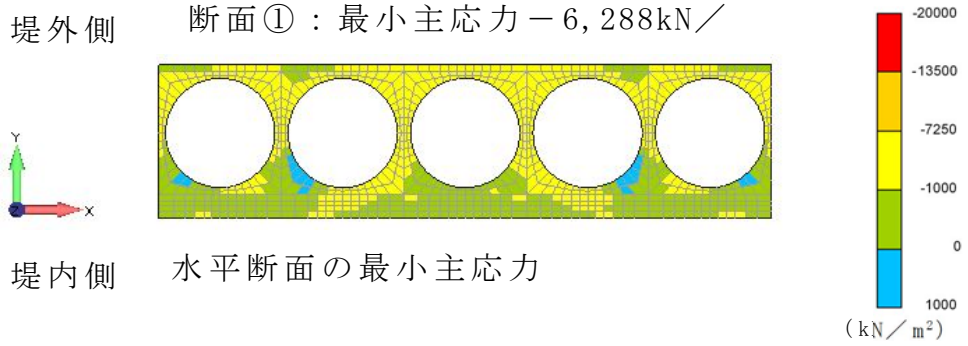


第２８図(4)　津波時の解析結果（最大主ひずみ分布（引張側））

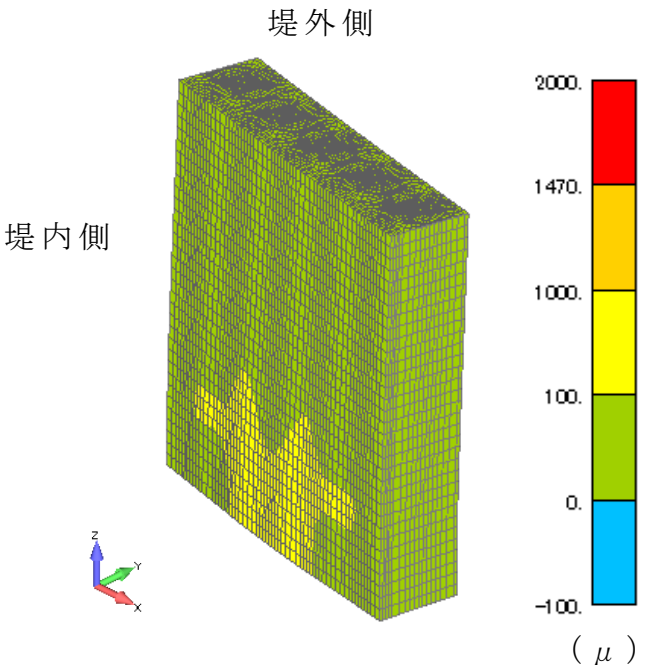






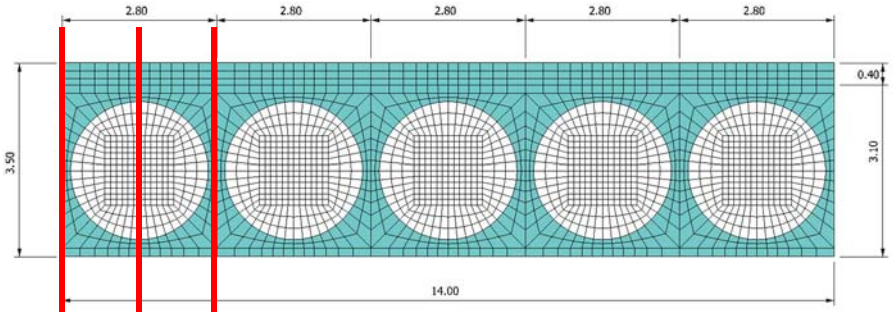


第２８図(5)　余震＋津波時の解析結果（最小主応力分布（圧縮側））

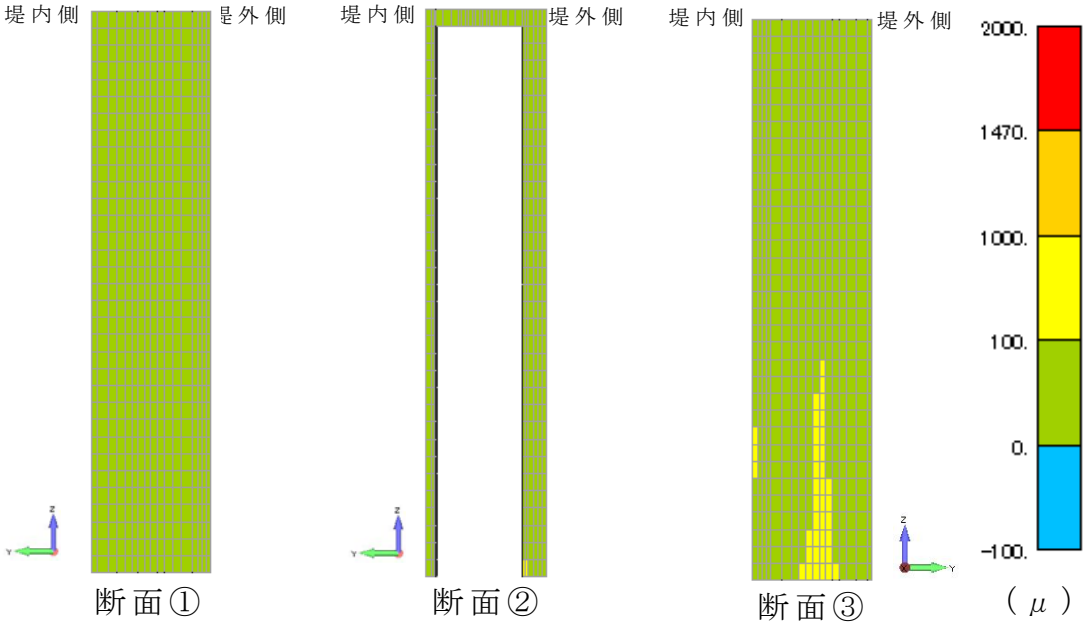


- 発生する最大主ひずみは，最大で 1000μ以下程度であり，RC 壁体は RC 部材として弾性範囲内である。

（参考）鉄筋の短期引張許容応力度：σ_{st}=294N／mm^{2}であることから，これを鉄筋の弾性係数で割り，短期許容引張応力度のひずみを算定すると 1470μとなる。

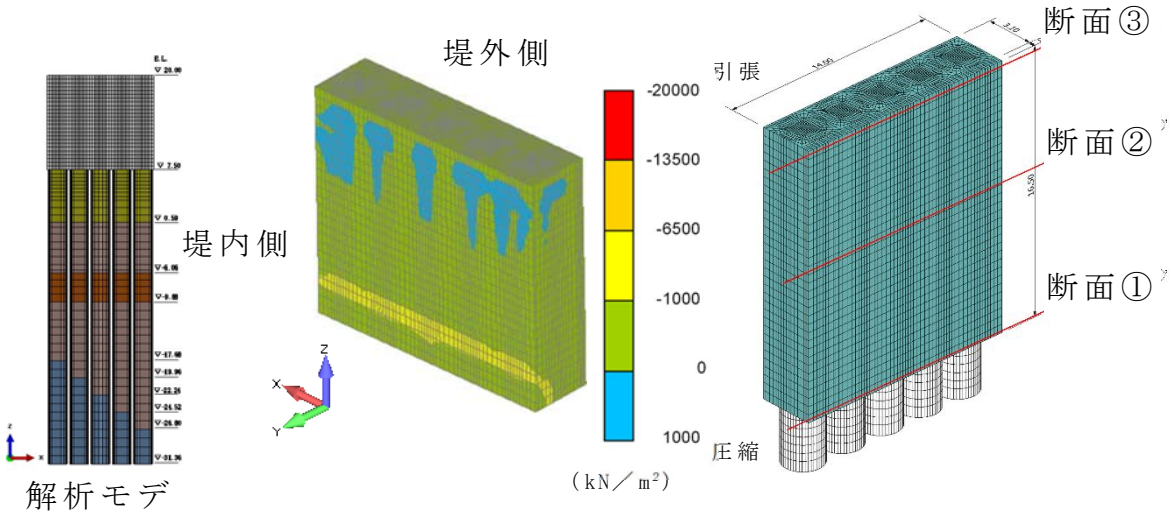


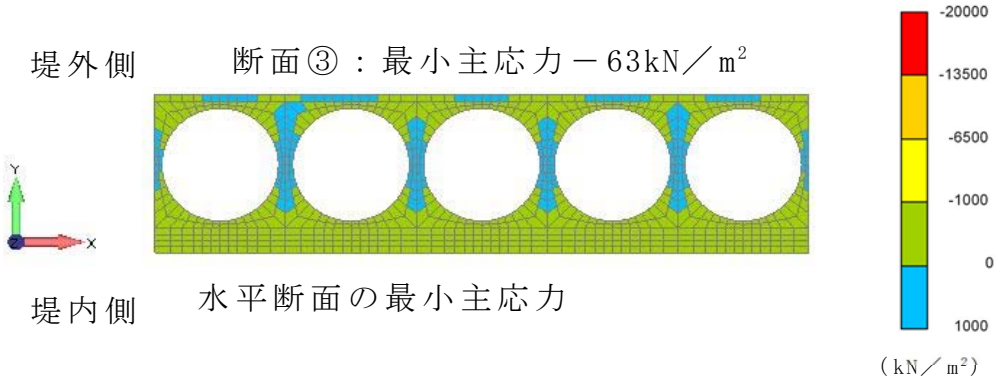
断面① 断面② 断面③

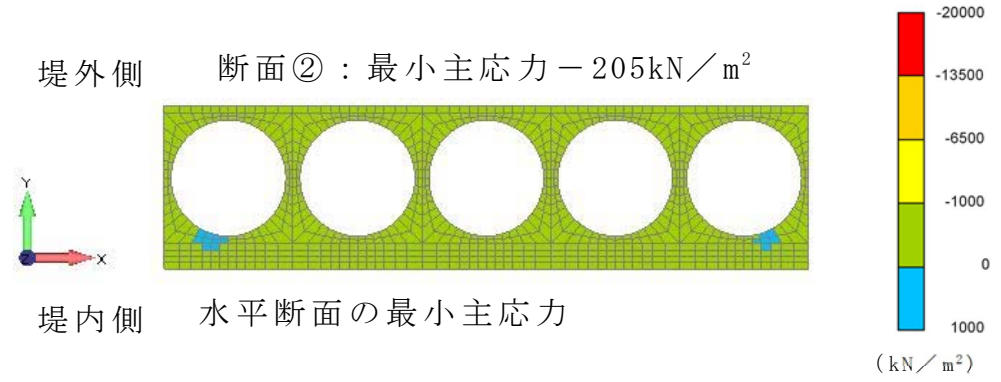


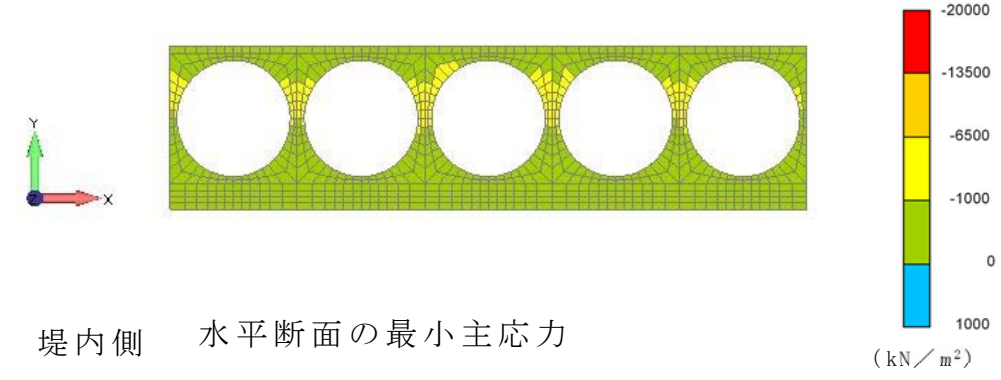
断面① 断面② 断面③

第２８図(6)　余震＋津波時の解析結果（最大主ひずみ分布（引張側））

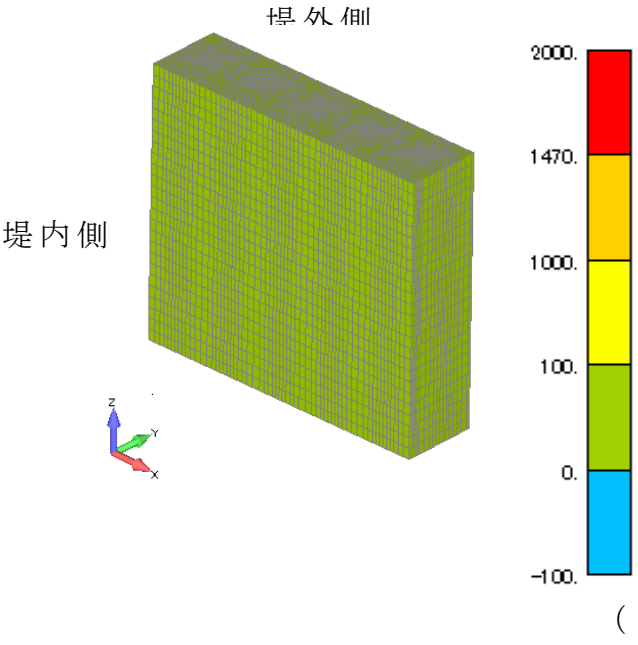






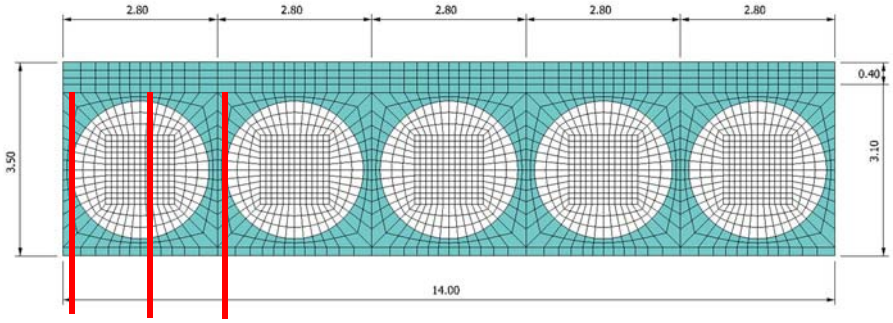


第２８図(7)地震時（岩盤傾斜モデル）の解析結果（最小主応力分布（圧縮側））

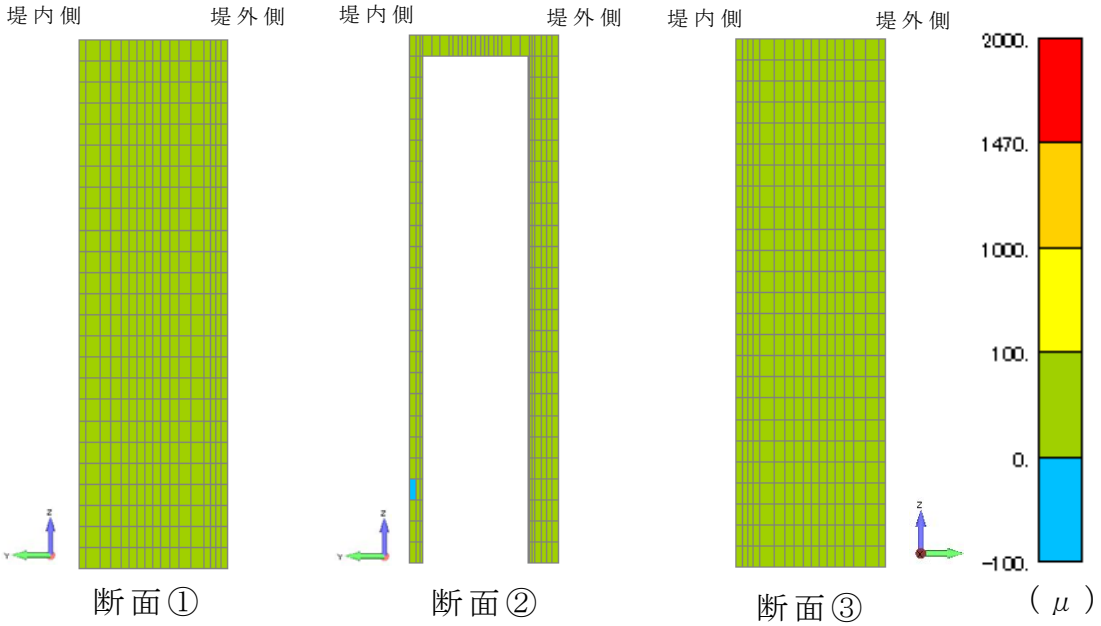


- 発生する最大主ひずみは，最大で 1000μ以下程度であり，RC 壁体は RC 部材として弾性範囲内である。

（参考）鉄筋の短期引張許容応力度：σ_{st}=294N／mm^2 であることから，これを鉄筋の弾性係数で割り，短期許容引張応力度のひずみを算定すると 1470μ となる。



断面① 断面② 断面③



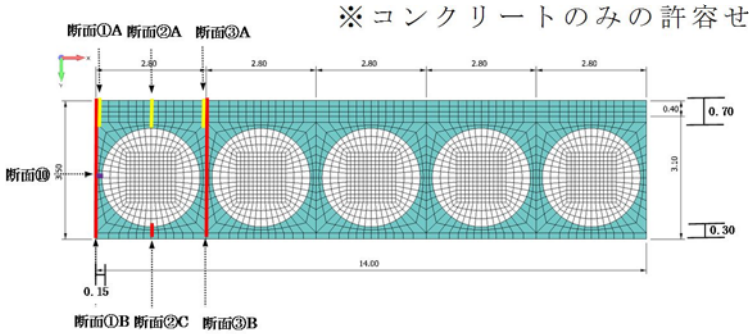
第２８図(8)地震時（岩盤傾斜モデル）の解析結果

（最大主ひずみ分布（引張側））

第１３表(1)　地震時の照査結果一覧

	発生応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	安全率	判定
コンクリート (断面③B)	0.43	13.5	31.40	OK
鉄筋（引張） (断面③B)	27.36	294	10.74	OK
鉄筋（圧縮） (断面③B)	2.97	294	98.99	OK
せん断 (断面③B)	0.45	0.68※	1.51	OK

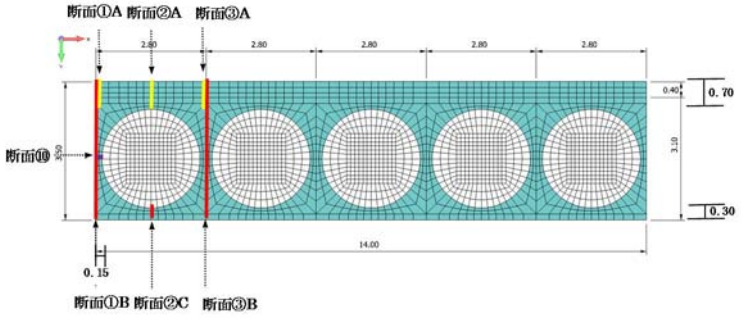
※コンクリートのみの許容せん断応力度



第１３表(2)　津波時の照査結果一覧

	発生応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	安全率	判定
コンクリート (断面⑩)	2.94	13.5	4.59	OK
鉄筋（引張） (断面③Ａ)	58.19	294	5.05	OK
鉄筋（圧縮） (断面②Ａ)	13.75	294	21.38	OK
せん断 (断面②Ｃ)	112.73※1	294※2	2.61	OK

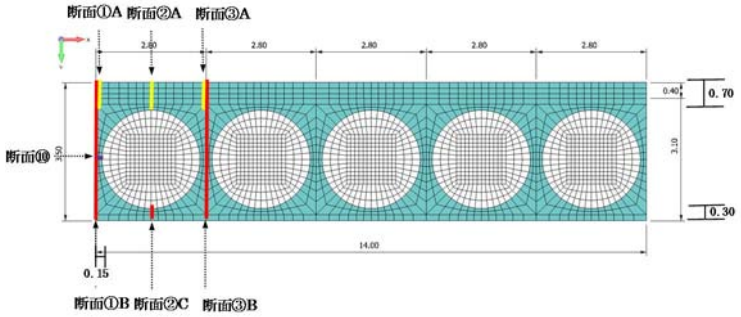
※1 せん断補強鉄筋に作用する応力度
※2 せん断補強筋の許容せん断応力度



第１３表(3)　余震＋津波時の照査結果一覧

	発生応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	安全率	判定
コンクリート（断面⑩）	1.21	13.5	11.16	OK
鉄筋（引張）（断面③Ａ）	47.47	294	6.19	OK
鉄筋（圧縮）（断面③Ｂ）	11.99	294	24.52	OK
せん断（断面②Ｃ）	237.28※1	294※2	1.24	OK

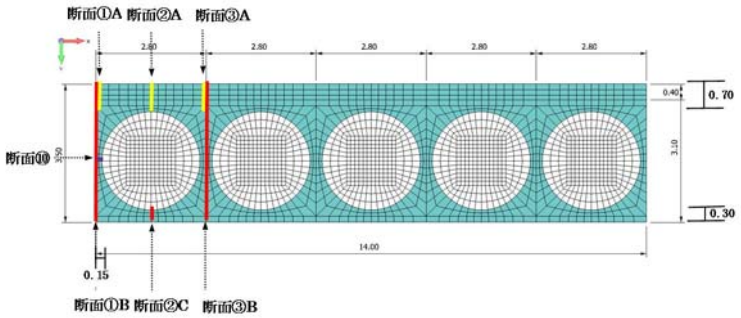
※1 せん断補強鉄筋に作用する応力度
※2 せん断補強筋の許容せん断応力度



第１３表(4)　地震時（岩盤傾斜モデル）の照査結果一覧

	発生応力度 (N／mm^2)	許容値 (N／mm^2)	安全率	判定
コンクリート（断面⑩）	0.55	13.5	24.55	OK
鉄筋（引張）（断面①Ｂ）	17.68	294	16.63	OK
鉄筋（圧縮）（断面③Ｂ）	2.63	294	111.79	OK
せん断（断面⑩）	0.55	0.68※	1.24	OK

※コンクリートのみの許容せん断応力度



③ 梁バネモデルと三次元 FEM モデルの応力比較

地震時及び津波時の梁バネモデルと三次元 FEM モデルでの照査結果を第１４表に示す。

梁バネモデルの安全率が低くなる傾向があることから解析モデルに梁バネモデルを採用することは保守性があることを確認した。

第１４表(1)　地震時の梁バネモデルと三次元 FEM モデルの比較

		梁バネモデル	三次元 FEM モデル
圧縮応力度 σｃ(Ｎ/ｍｍ²)	発生応力	1.93(6.99)	0.13(103.85)
	許容応力度	13.5	13.5
引張応力度 σｓ(Ｎ/ｍｍ²)	発生応力	36.69(8.01)	8.22(35.77)
	許容応力度	294	294
せん断力 τ （ｋＮ）	発生せん断力	170.07(6.16)	98.00(10.70)
	許容せん断耐力	1,048	1,048

( )値は安全率を示す。

第１４表(2)　津波時の梁バネモデルと三次元 FEM モデルの比較

		梁バネモデル	三次元 FEM モデル
圧縮応力度 σｃ(Ｎ/ｍｍ²)	発生応力	9.09(1.49)	1.55(8.71)
	許容応力度	13.5	13.5
引張応力度 σｓ(Ｎ/ｍｍ²)	発生応力	172.87(1.70)	58.19(5.05)
	許容応力度	294	294
せん断力 τ （ｋＮ）	発生せん断力	671.61(1.56)	441.00(2.38)
	許容せん断耐力	1,048	1,048

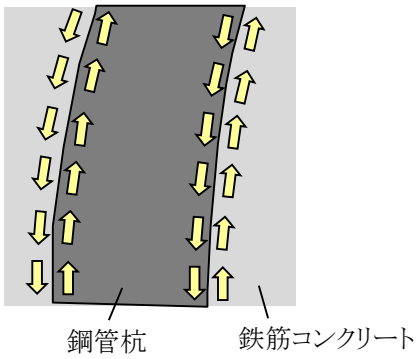
( )値は安全率を示す。

④ 鉄筋コンクリートと鋼管杭の付着に係る設計方針

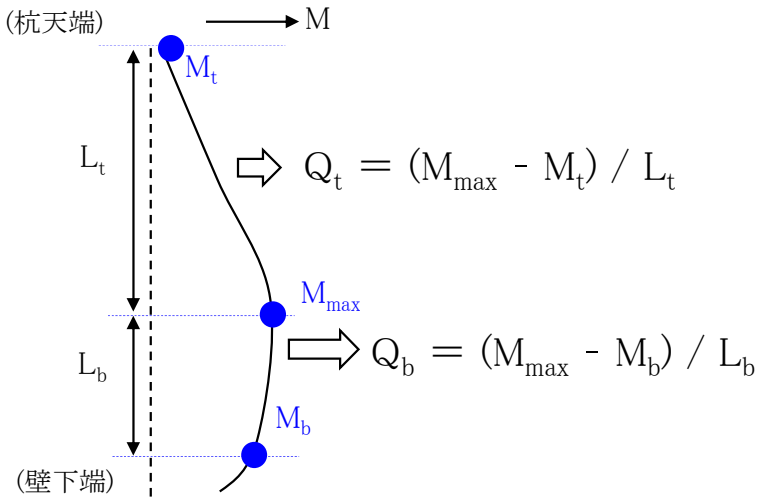
鉄筋コンクリートと鋼管杭の付着を強固なものとするため，スタッドを配置して確実な接合を行う方針とする。

杭の曲げ変形により，鋼管杭と鉄筋コンクリートの間にずれを生じさせるせん断力に対して，鋼・合成構造標準示方書（土木学会）等のせん断耐力式に基づき，必要なスタッドを配置する。せん断力は，杭の曲げモーメント分布の勾配として求め，各区間の平均的なせん断力とする。

鋼管杭と鉄筋コンクリートの境界部に生じるせん断力イメージを第２９図に，杭の曲げモーメント分布とせん断力の算出法を第３０図に示す。



第２９図　鋼管杭と鉄筋コンクリートの境界部に生じるせん断力イメージ図

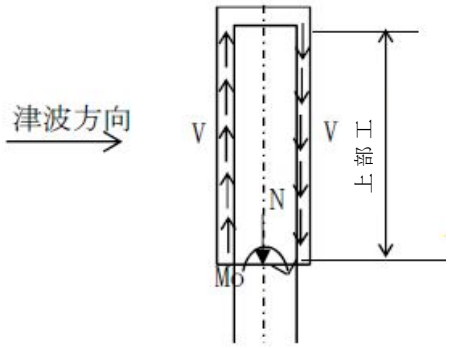


第３０図　杭の曲げモーメント分布とせん断力の算出法

⑤ 鋼管杭と鉄筋コンクリートとの接合部

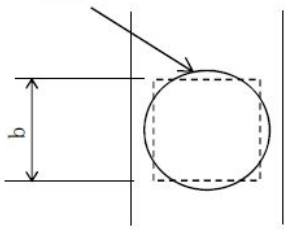
鋼管杭と鉄筋コンクリートの接合部は，鉄筋コンクリートが鋼管杭に生じる曲げモーメント及び杭軸力に追随し，杭軸方向に互いにズレない設計とする。

なお，鋼管杭と鉄筋コンクリート間のズレ(せん断応力)はコンクリートの付着力で鋼管に伝わるものとして評価し，杭周りのせん断応力度が付着強度以下であることを確認する。杭周りのせん断応力算出図を第３１図に示す。



N：最大鉛直バネ反力

φ2.50m 鋼管杭



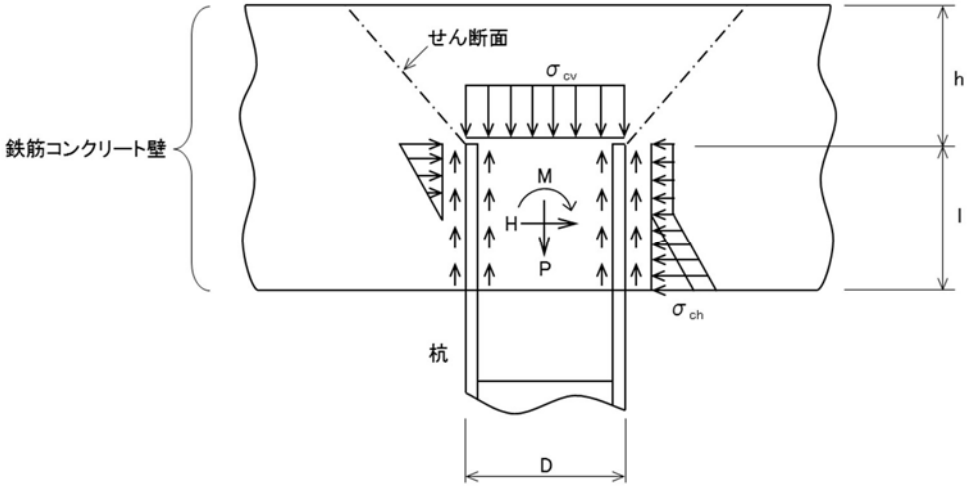
鋼管杭の周長を等価正方形としてせん断応力を算出

第３１図　杭周りのせん断応力算出図

なお，更に保守的な検討として，鋼管杭と鉄筋コンクリートの接合部の付着力がゼロの場合を想定し，杭頭部の照査を行う。

鋼管杭と鉄筋コンクリートとの結合部については，道路橋示方書で示される結合方法 A による設計（杭頭を鉄筋コンク

リート壁躯体へ埋込み，埋込んだ部分によって杭頭拘束曲げモーメントに抵抗する方法）を参照し，杭頭部に作用する押し込み力，引抜き力，水平力及びモーメントのすべての外力に対して安全であることを照査する。すなわち，鉄筋コンクリート壁を構成するコンクリートの垂直支圧応力度，押抜きせん断応力度，引抜きせん断応力度を照査し，更に端部の鋼管杭については，水平押抜きせん断応力度及び支圧応力度を照査する。杭頭部に作用する荷重分布図を第３２図に示す。



第３２図　杭頭部に作用する荷重分布図

⑥ 構造物間の衝突に関する照査

防潮壁境界部は空隙を設けない構造とすることから，隣接する躯体同士が地震時に衝突する恐れがある。

よって，衝突しても鉄筋コンクリート壁体が損傷を受けないことを確認する。

具体的には，以下の式により隣接する防潮壁躯体あるいは鉄筋コンクリート防潮壁側の竪壁の慣性力を防潮壁側面に載荷して，支圧応力の照査を実施する。ここで，慣性力と防潮壁側面の概念図を第３３図に示す。

鉄筋コンクリート防潮壁側に働く慣性力Ｆ：

$$F = ma$$

ｍ：鉄筋コンクリート防潮壁側の慣性力

ａ：地震時加速度

防潮壁側支圧応力度 σ_{cv}：

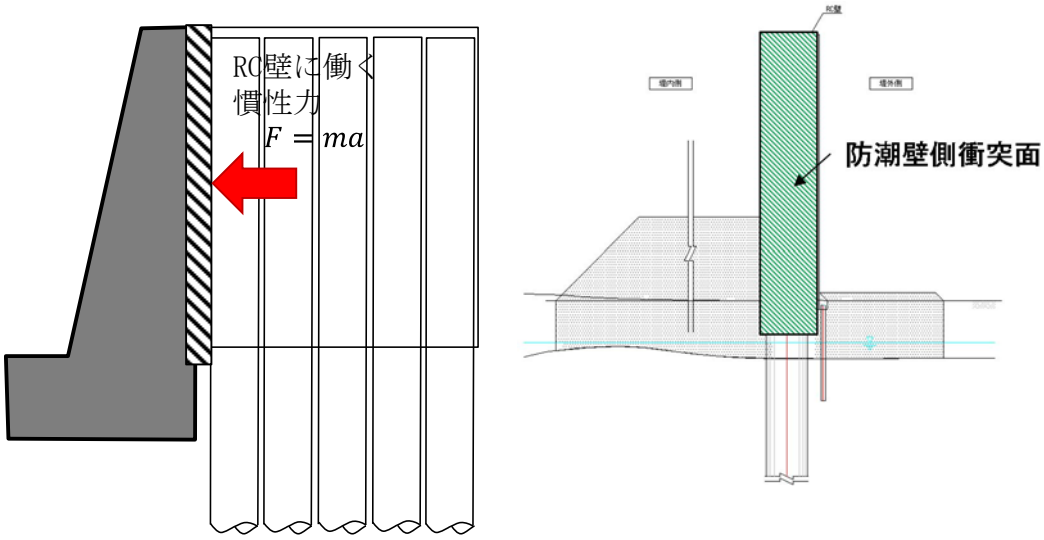
$$\sigma_{cv} = \frac{F}{b \cdot h} \leq \sigma_{ca}$$

ｂ：防潮壁の幅

ｈ：防潮壁高さ

σ_{ca}：支圧応力度の許容応力度

（道路橋示方書Ⅳ下部構造編に従う）



第３３図　慣性力と防潮壁側面の概念図

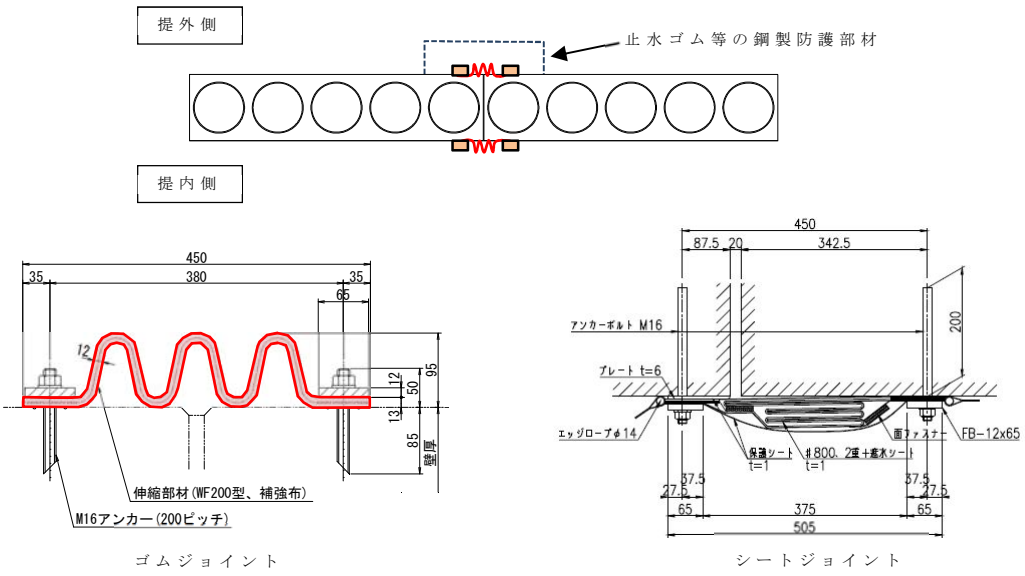
９）止水ジョイント部の設計方針

① 概要

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工は，鉄筋コンクリートからなるが，ひび割れ防止等の観点で一定間隔の施工ブロックを設定し，その境界に止水性を確保するための止水ジョイント部を設ける。

止水ジョイント部は，地震時に構造物間に生じる相対変位と，その後の津波や余震により構造物間に生じる相対変位に対して止水性を確保するため，伸縮性を有するものとし，堤内側及び堤外側の両面に止水ゴム等を設置する。また，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と地中連続壁タイプの鉄筋コンクリート防潮壁等，異種構造物間の境界にも堤内側及び堤外側の両面に止水ゴム等を設置する。

なお，堤外側の止水ジョイント部には，止水ゴム等における漂流物防止対策として，止水ゴム等の鋼製防護部材を設置する。止水ジョイント部の概念図を第３４図に示す。



第３４図　止水ジョイント部の概念図

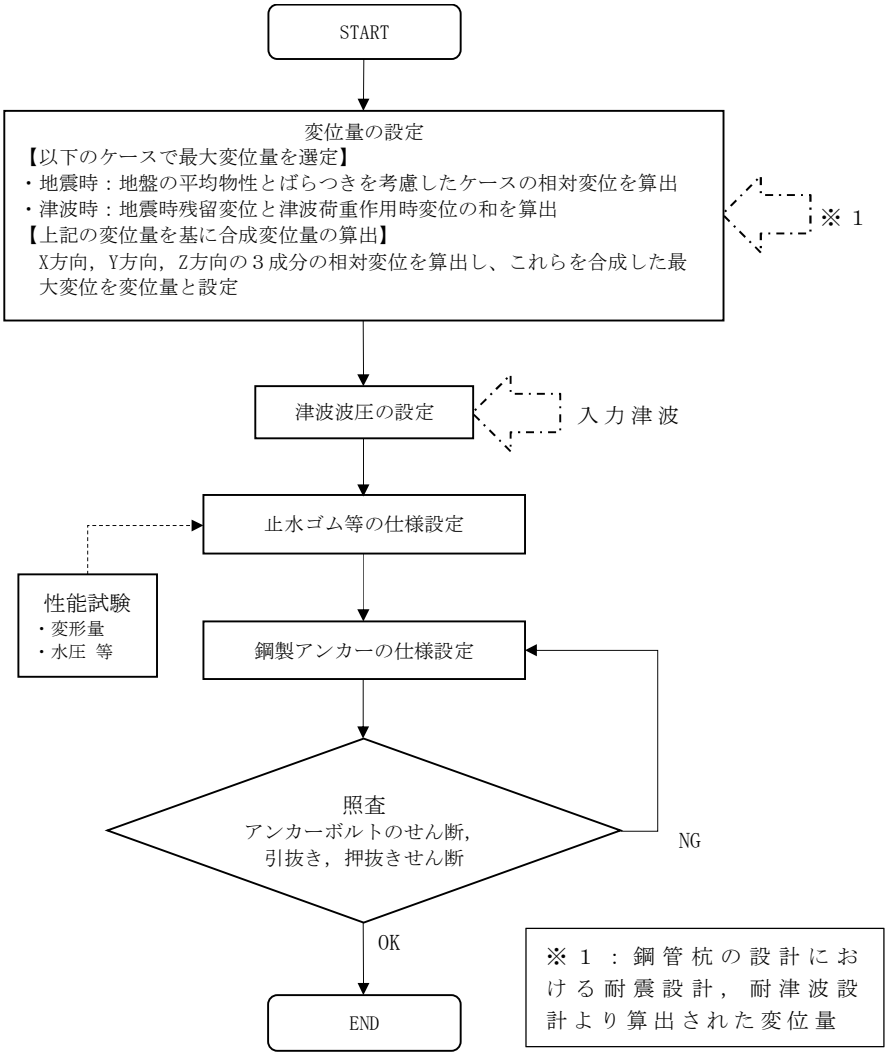
② 評価方針

止水ジョイント部の構造健全性評価については，基準地震動S_sを用いた地震応答解析及び津波荷重を用いた静的フレーム解析により算出された変位量及び入力津波を用い津波波圧式より算出した津波波圧に対し，止水ゴム等の止水性が維持できることを確認し，止水ゴム等の仕様を設定する。

止水ジョイント部の設計フローを第３５図に示す。

止水ゴム等の仕様設定は，性能試験（漏水試験・変形試験）により津波波圧に耐え，止水機能を維持できる変形量となるよう設定するとともに，構造物間に生じる相対変位に対し追従可能な材料を設定する。

なお，止水ゴム等の取り付け部の鋼製アンカーに発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認するとともに，止水ゴム等における漂流物防止対策として，止水ゴム等の鋼製防護部材を設置し発生する曲げ及びせん断応力等が短期許容応力度以下であることを確認する。

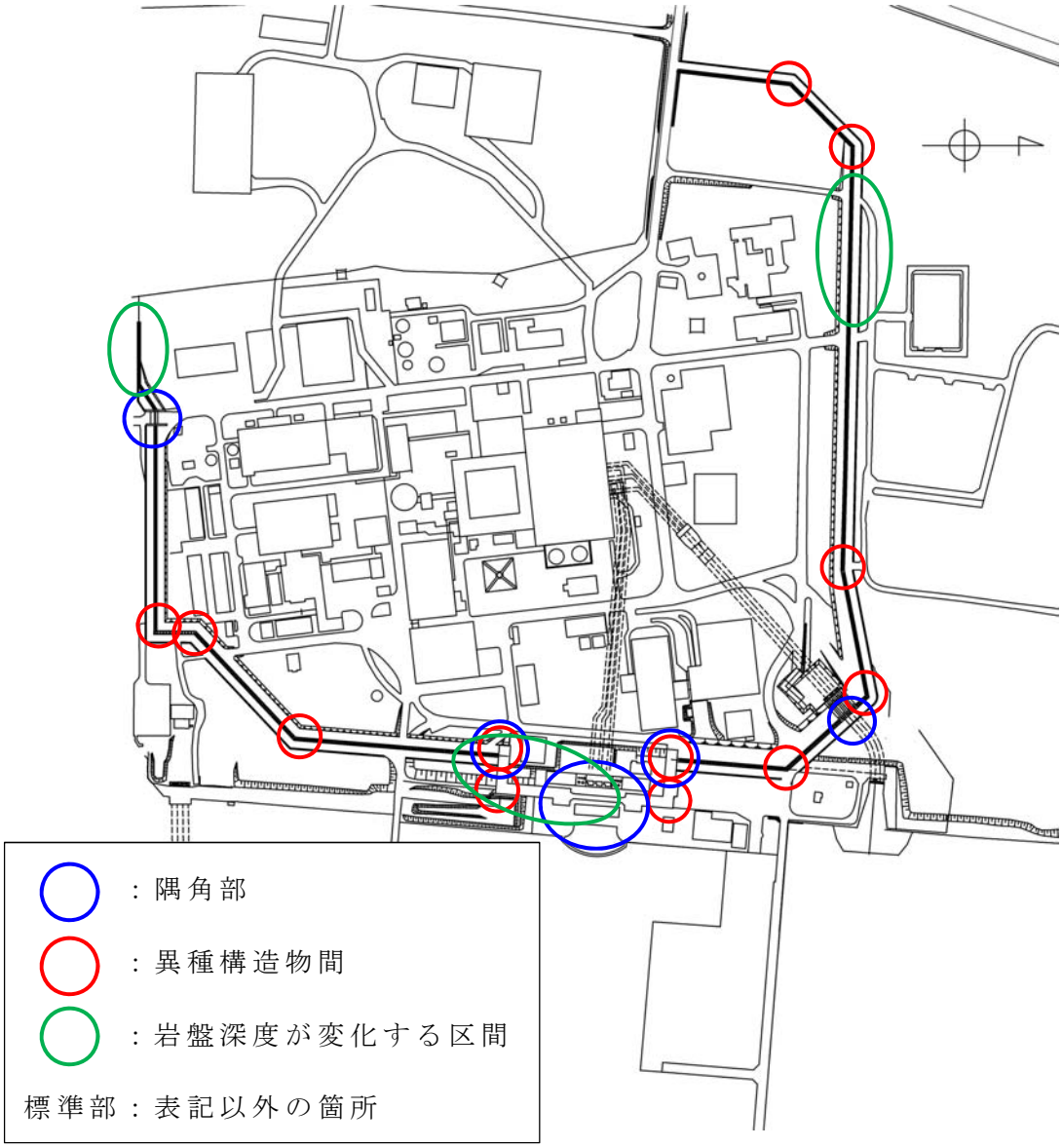


第３５図　止水ジョイント部の設計フロー

③ 相対変位の設定方針

防潮堤各部の相対変位の設定方針を以下に示す。ここで，各部の防潮堤の各部（標準部，隅角部，異種構造物間）位置図を第３６図に示す。

なお，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁標準部は，異種構造物間，隅角部を除く区間である。



第３６図　防潮堤の各部（標準部，隅角部及び異種構造物間）位置図

ａ．鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁標準部

地震時相対変位量

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の標準部は，隣り合う防潮壁同士が同一の挙動を示すと考えられるため，地震時においては，地盤のせん断波速度 Vs の平均物性，＋１σ物性，－１σ物性による地震時応答解析で得られる応答変位に基づき相対変位を設定する。

地震時の設計用相対変位は，以下の式により水平２方向（ｘ方向，ｙ方向）及び鉛直方向（ｚ方向）それぞれについて算出する。

さらに，ｘ方向，ｙ方向及びｚ方向の相対変位から求められる合成方向変位を算出する。ここで，地震時の相対変位の概念図を第３７図に示す。

x 方向の相対変位 δ x：

δ x＝max[abs{δ x(＋1σ)－δ x(平均)}，abs{δ x(平均)－δ x(－1σ)}]

y 方向の相対変位 δ y：

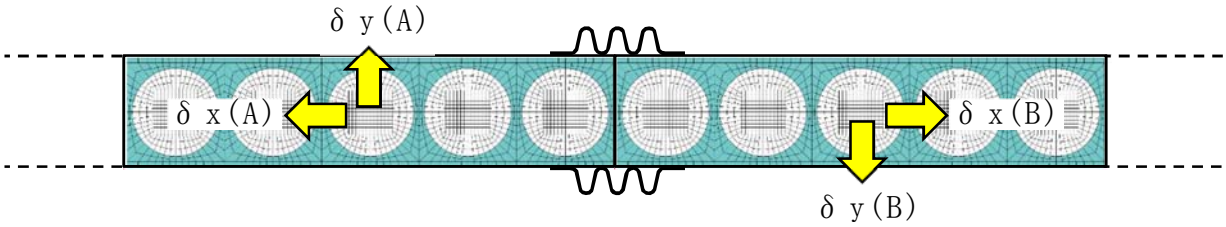
δ y＝max[abs{δ y(＋1σ)－δ y(平均)}，abs{δ y(平均)－δ y(－1σ)}]

z 方向の相対変位 δ z：

δ z＝max[abs{δ z(＋1σ)－δ z(平均)}，abs{δ z(平均)－δ z(－1σ)}]

合成方向変位（3 方向合成） δ ：

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$



第３７図　地震時の相対変位の概念図

津波時相対変位量

津波時においては，地震時の残留変位を防潮壁ブロック間の相対変位として設定する。

津波時の設計用相対変位は，以下の式により水平２方向（ｘ方向，ｙ方向）及び鉛直方向（ｚ方向）それぞれについて算出する。

さらに，ｘ方向，ｙ方向及びｚ方向の相対変位から求められる合成方向変位を算出する。

なお，止水ジョイント部の設計で考慮する荷重は，津波波圧式により算出した津波波圧を設計荷重とする。ここで，津波時の相対変位の概念図を第３８図に示す。

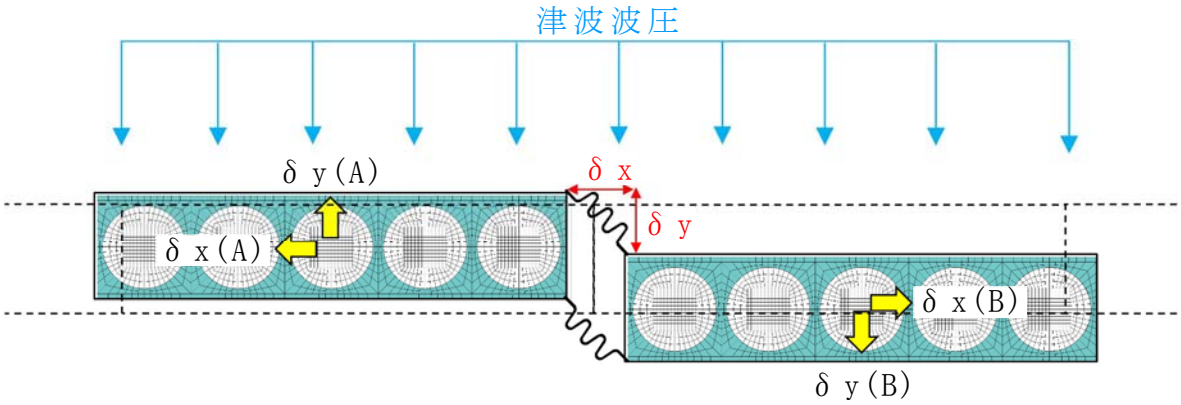
x 方向の相対変位 δ x： δ x＝ δ x(B)－ δ x(A)

y 方向の相対変位 δ y： δ y＝ δ y(B)－ δ y(A)

z 方向の相対変位 δ z： δ z＝ δ z(B)－ δ z(A)

合成方向変位（3 方向合成） δ ： $\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$

δ x(A)， δ x(B)， δ y(A)， δ y(B)，δ z(A)， δ z(B)：地震時の残留変位



第３８図　津波時の相対変位の概念図

重畳時（余震＋津波時）相対変位量

重畳時（余震＋津波時）においては，地震時の残留変位と余震による応答変位を防潮壁ブロック間の相対変位として設定する。

重畳時（余震＋津波時）の設計用相対変位は，以下の式により水平２方向（ｘ方向，ｙ方向）及び鉛直方向（ｚ方向）それぞれについて算出する。さらに，ｘ方向，ｙ方向及びｚ方向の相対変位から求められる合成方向変位を算出する。

なお，止水ジョイント部の設計で考慮する荷重は，津波波圧式により算出した津波波圧を設計荷重とする。また，動水圧，防潮壁の横断方向と縦断方向の慣性力をブロックごとの応答加速度に依存する設計荷重とする。ここで，重畳時（余震＋津波時）の相対変位の概念図を第３９図に示す。

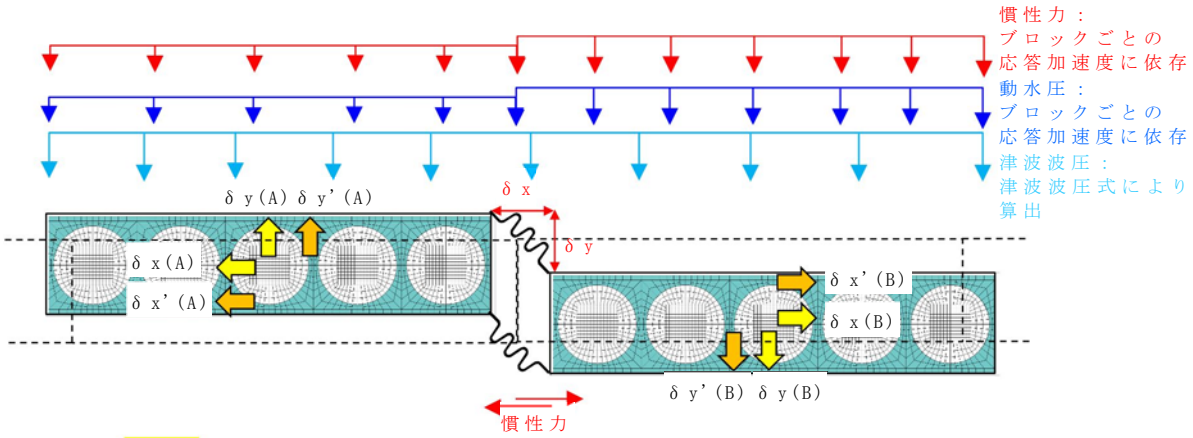
x 方向の相対変位 δ x：δ x＝｛δ x(B)＋δ x’(B)｝－｛δ x(A)＋δ x’(A)｝

y 方向の相対変位 δ y：δ y＝｛δ y(B)＋δ y’(B)｝－｛δ y(A)＋δ y’(A)｝

z 方向の相対変位 δ z：δ y＝｛δ z(B)＋δ z’(B)｝－｛δ z(A)＋δ z’(A)｝

合成方向変位（3 方向合成） δ ：$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$　　δ x(A)，δ x(B)，δ y(A)，δ y(B)，δ z(A)，δ z(B)：地震時の残留変位

δ x’(A)，δ x’(B)，δ y’(A)，δ y’(B)，δ z’(A)，δ z’(B)：余震による応答変位

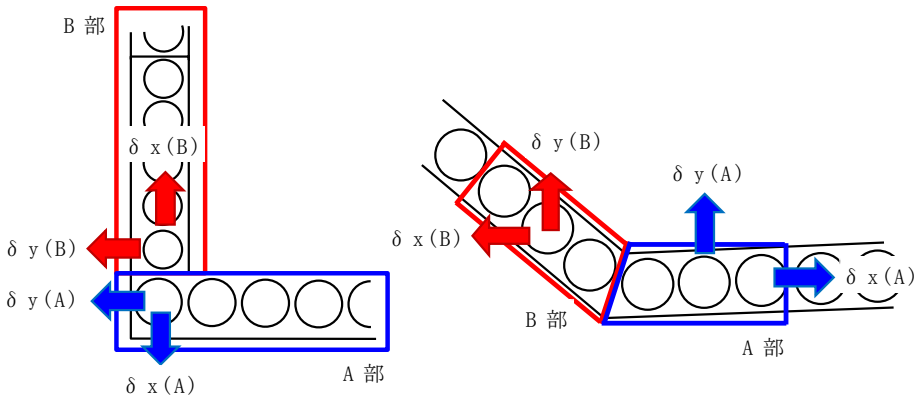


第３９図　重畳時（余震＋津波時）の相対変位の概念図

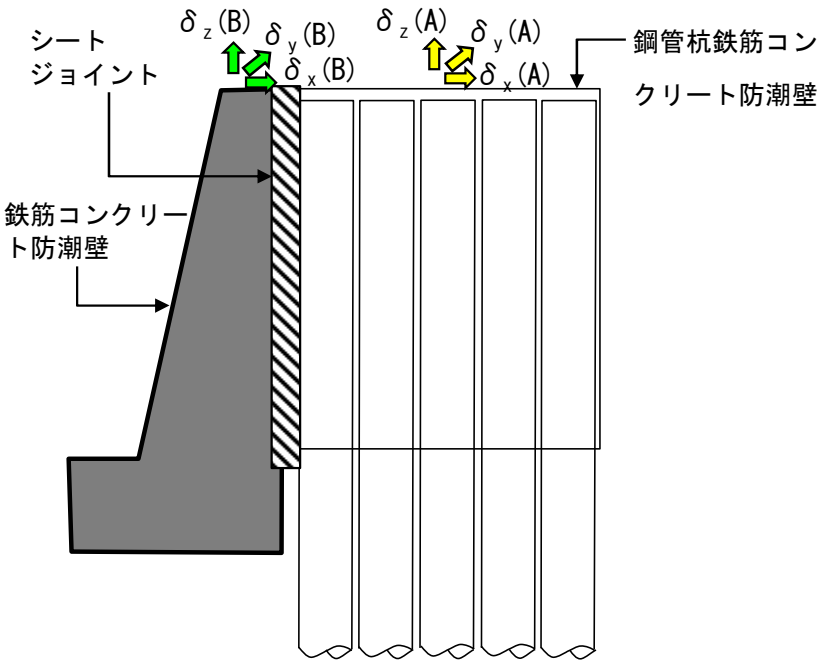
b．隅角部及び異種構造物間

隅角部及び異種構造物間の変位量の設定は，標準部と同様に最大変位量を設定する。

隅角部及び異種構造物間の相対変位 概念図を第４０図及び第４１図に示す。



第４０図　隅角部の相対変位 概念図



第４１図　異種構造物間の相対変位 概念図

④ 止水ゴム等の適用方針

止水ゴム等は津波波圧に耐えうる材料を選定する。

また，止水ゴム等は構造物間に生じる相対変位に対し，その相対変位に追従可能な材料を選定することとする。

止水ゴム等は，変位量に応じゴムジョイント，シートジョイントの使い分けを計画している。

⑤ 止水ゴム等の性能試験について

止水ジョイント部は，地震時に構造物間に生じる相対変位と，その後の津波や余震により構造物間に生じる相対変位に対して止水性を確保するため，伸縮性を有するものとし，堤内側及び堤外側の両面に止水ゴム等を設置する。これを踏まえ，止水ゴム等の性能を確認するために耐圧試験等を実施する。

ゴムジョイントの試験は，所定の変位を与えた上で津波波圧相当の荷重での耐圧試験を実施する。

ゴムジョイントの耐候性については，メーカーによる試験結果を確認した結果，ゴムジョイントに使用されるゴムの伸びが半減する期間が約 38 年（気温条件：30℃）で，ゴムの伸びが半減しても有意な硬化はなく，十分な変形性能（伸び率 225%）を有している。

シートジョイントの試験は，継続載荷試験，津波波圧相当の荷重での耐圧試験及び母材の耐候性試験（紫外線を照射し，初期値と照射後の引張強度の確認）を実施する。

止水ゴム等の耐圧試験例を第４２図に示す。また，止水ゴム等の性能試験結果を第１５表に示す。

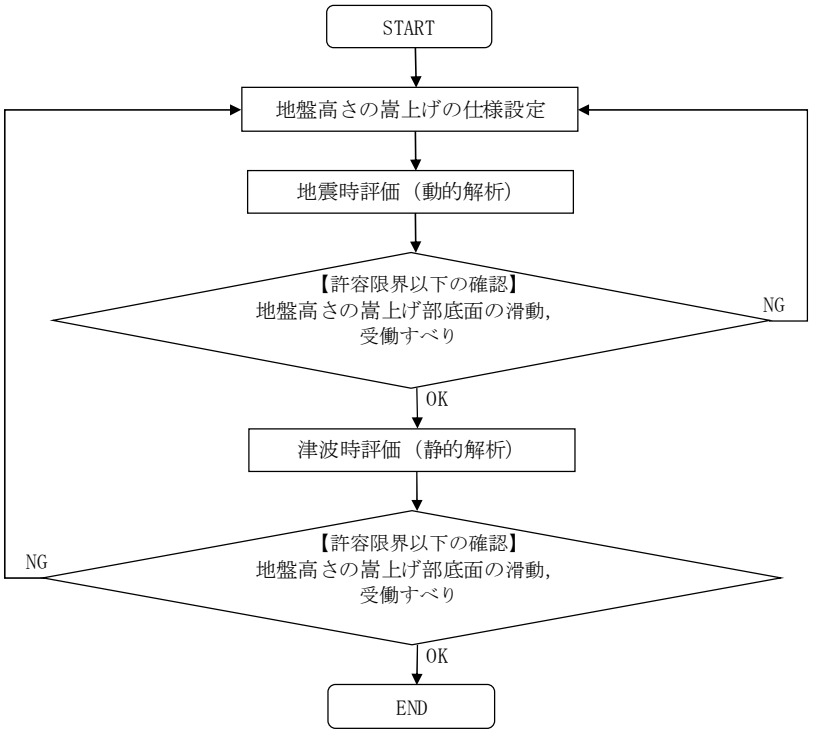
第４２図　止水ゴム等の耐圧試験例

第１５表　試験結果

止水ゴム等	試験内容	試験結果
シートジョイント	耐圧試験（0.26MPa，1hr）	良
	耐圧試験（0.55MPa，1hr）	良
	継続載荷試験（56.45kN／30cm，10分）	良
	繰返載荷試験（56.45kN／30cm，10回）	良
	継続載荷試験（56.45kN／30cm，10分，取付角45°）	良
	繰返載荷試験（56.45kN／30cm，10回，取付角45°）	良
	耐候性試験	計画中
ゴムジョイント	耐圧試験（0.26MPa，1hr，伸び250mm）	良
	耐圧試験（0.26MPa，1hr，剪断300mm）	良
	耐圧試験（0.26MPa，1hr，伸び125mm，剪断150mm）	良
	耐圧試験（0.55MPa，1hr，伸び250mm）	計画中
	耐圧試験（0.55MPa，1hr，剪断300mm）	計画中
	耐圧試験（0.55MPa，1hr，伸び125mm，剪断150mm）	計画中

１０）地盤高さの嵩上げの設計方針

地盤高さの嵩上げは，津波荷重に対する上部工の変位の抑制を目的とした地盤である。したがって，地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと，地盤高さの嵩上げ幅が受働崩壊角の影響範囲よりも広いこと及び受働すべりが発生しないことを確認する。地盤高さの嵩上げの検討フローを第４３図に示す。



第４３図　地盤高さの嵩上げの検討フロー

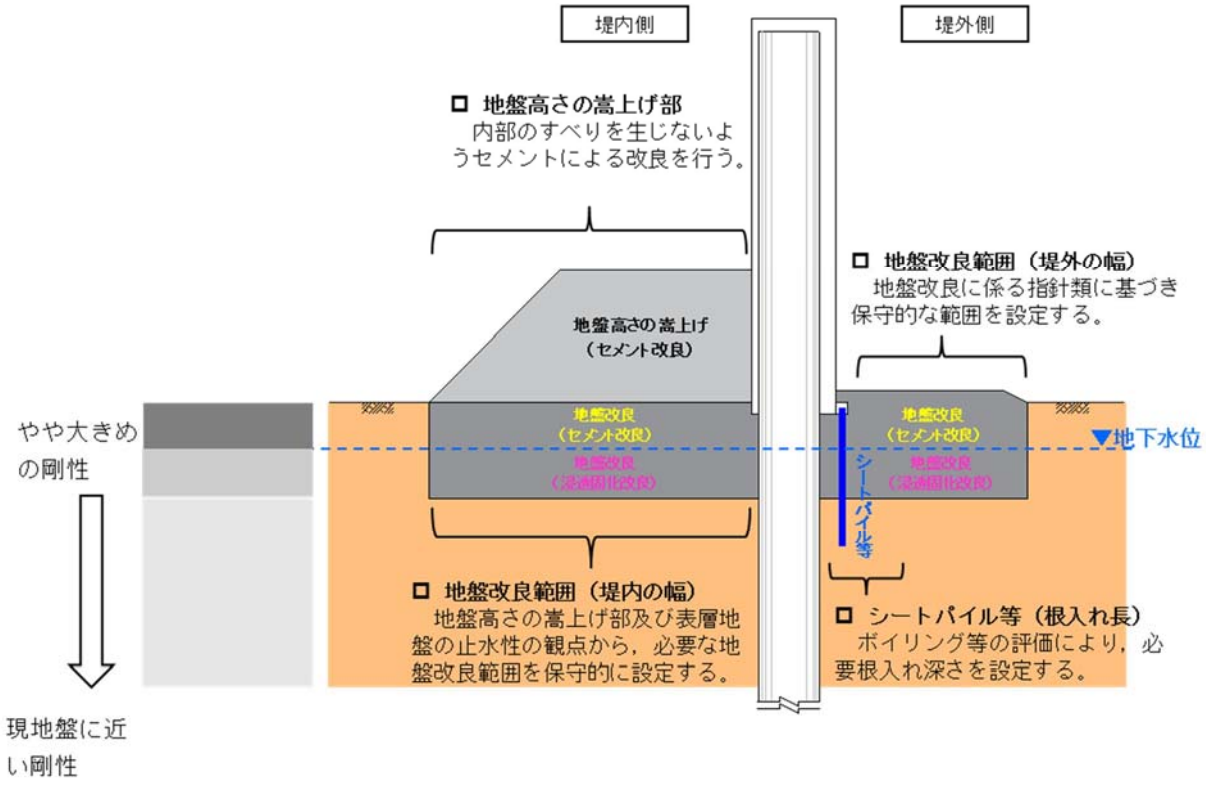
地盤高さの嵩上げ部の滑動・すべりの照査は，地震時と津波時に対して行うこととし，道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）の直接基礎における基礎底面地盤のせん断抵抗力の照査方法を適用する。嵩上げ幅の確認については，建築基礎構造指針を適用する。また，すべり安全率については，耐津波設計に係る工認審査ガイドを適用する。

１１）表層地盤改良及びシートパイル等の設定方針

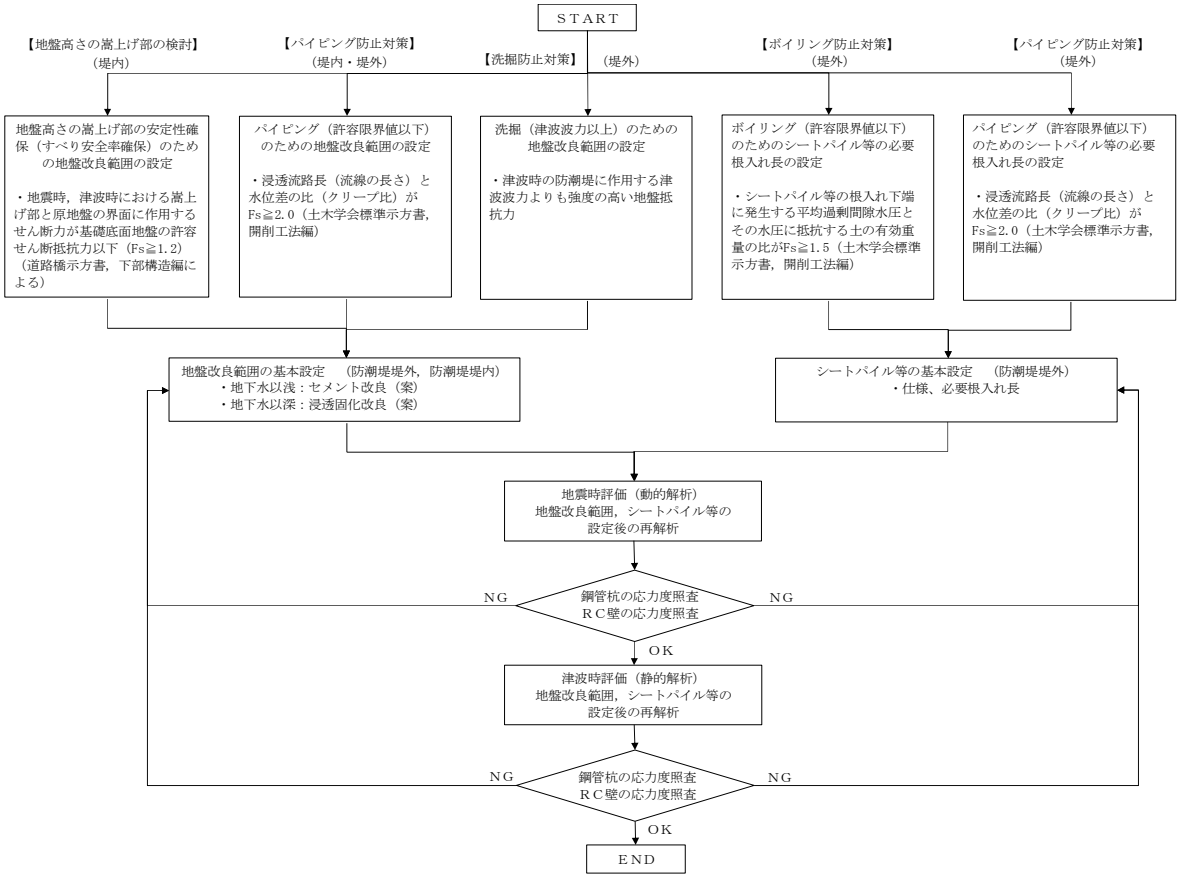
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁周りの表層付近の地盤においては，地震時における変形や津波による洗掘などに対して，浸水防護をより確実なものとするために，地盤改良の実施及びシートパイル等の設置を行う。第４４図に地盤改良及びシートパイル等のイメージ図を，第４５図に地盤改良・シートパイル等の設定に係るフローを示す。

表層地盤改良の深さ方向の範囲は，表層地盤の過剰間隙水圧比が比較的高い範囲や杭体に生じる断面力の低減等を考慮し，保守的に設定する。また，堤内側の表層地盤改良の幅は，地盤高さの嵩上げが地震時に損傷に至らない範囲を保守的に設定する。堤外側の表層地盤改良の幅は，地盤改良に係る指針類に基づき保守的な範囲を設定する。

地盤改良工法は，改良対象地盤の物性，地下水位，施工性などを考慮して選定する。また，地盤剛性の急変部により杭体に局所的な応力を発生させないように，地盤剛性が上層から下層に向けて，やや大きめの剛性から原地盤に近い剛性に移行するような改良仕様を設定する。地下水位以浅はセメント改良工法を，地下水位以深は浸透固化工法を基本的に選定する。地盤高さの嵩上げ部は，地盤内部のすべりに対する安全率を確保するためにセメント改良工法を選定する。



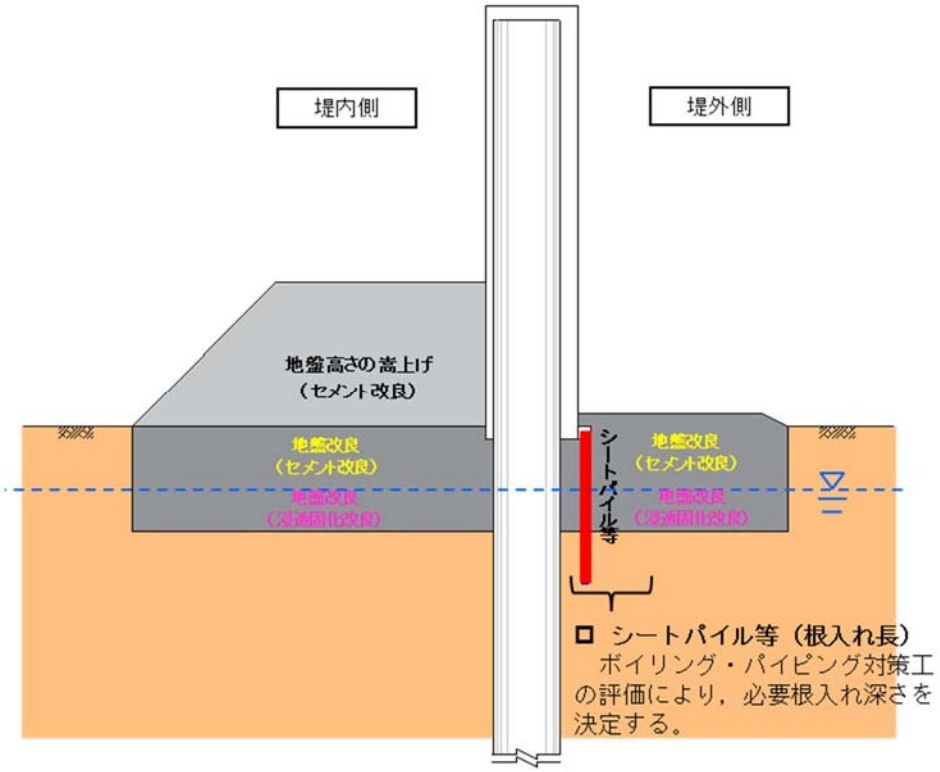
第４４図　地盤改良及びシートパイル等のイメージ図



第４５図　地盤改良・シートパイル等の設定に係るフロー（洗掘防止等対策）

a）ボイリング，パイピング防止対策の検討方針

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁には，津波時において堤外側と堤内側の水位差による，堤外側から堤内側への浸透圧に対して，堤外側にシートパイル等の設置や堤内外の表層地盤改良により，堤内側の地盤の有効重量が浸透圧よりも十分に大きくなるようにすることで，安全性を確保する方針とする。第４６図にボイリング，パイピング防止対策工の概念図を示す。



第４６図　ボイリング，パイピング防止対策工概念図

① ボイリング防止対策

津波時において防潮堤の堤外側と堤内側の水位差による堤外側から堤内側への浸透圧に対して，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の堤外側にシートパイル等を設置し，堤内側の地盤の有効重量が浸透圧よりも十分に大きくなるようにすることで，安全性を確保する方針とする

ボイリングの検討は，堤内側の土の有効重量とシートパイル先端位置に作用する平均過剰間隙水圧との比を取って下式より照査する。第４７図にボイリング防止対策の説明図を示す。

$$F_s = \frac{w}{u}$$

ここに，

u：土止め壁先端に作用する平均過剰間隙水圧

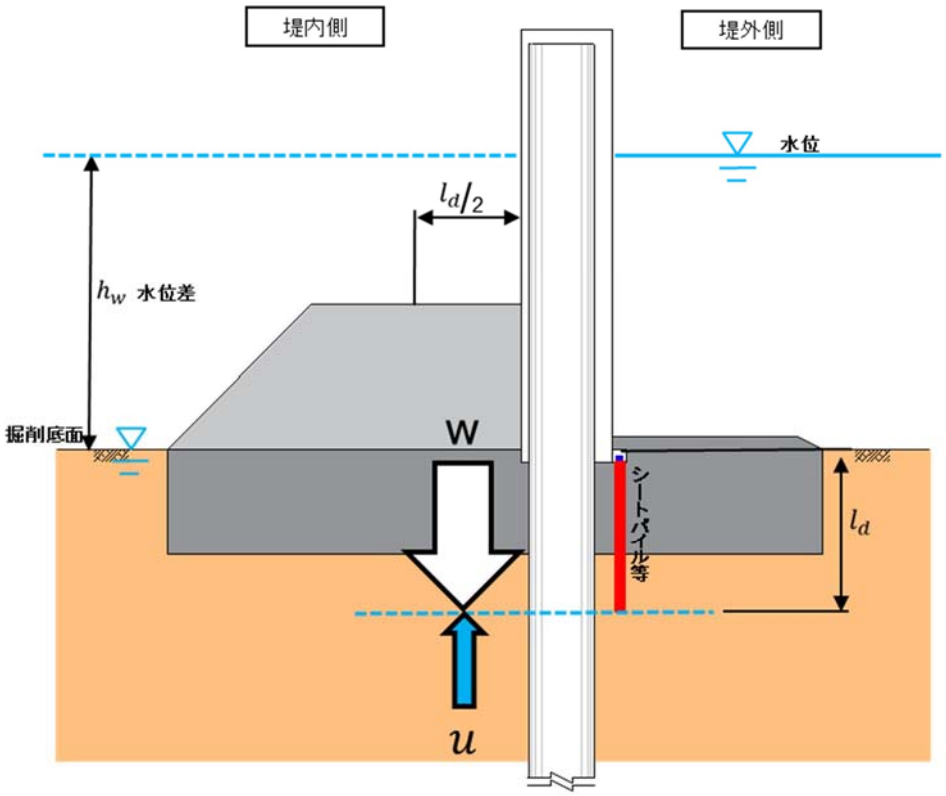
W：土の有効重量

$$w = \gamma' l_d$$

γ'：土の水中単位体積重量

l_d：土止め壁の根入れ深さ

なお，安全率(Fs)は，土木学会トンネル標準示方書，開削工法編に準拠し，Fs≧1.5 を確保する。



第４７図　ボイリング防止対策の説明図

② パイピング防止対策

津波時において防潮堤の堤外側と堤内側の水位差による堤外側から堤内側への浸透圧に対して，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の堤外側のシートパイル等の設置や堤内外の表層地盤改良により，堤内側の地盤の有効重量が浸透圧よりも十分に大きくなるようにすることで，安全性を確保する方針とする。第４８図にパイピング防止対策の説明図を示す。

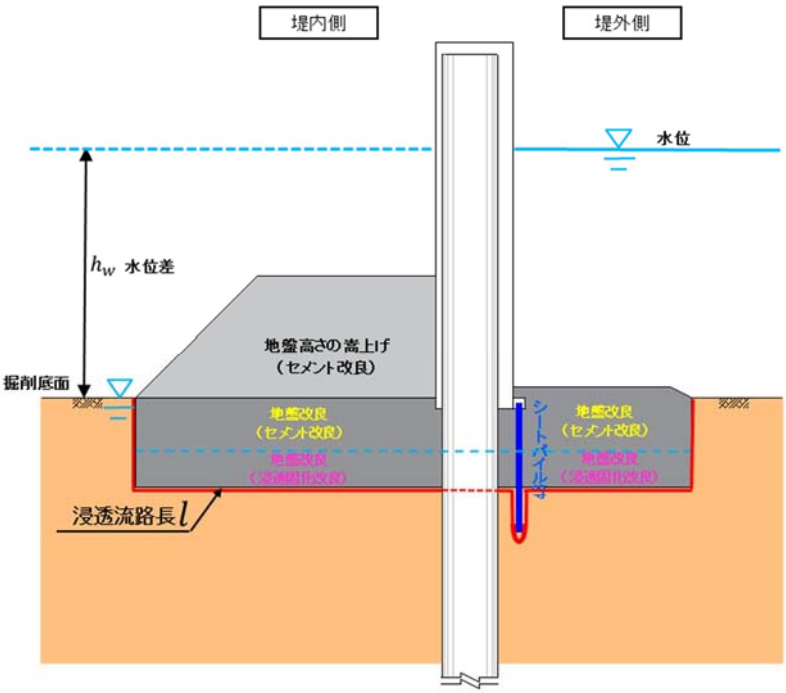
パイピングに対する検討は浸透流路長と水位差の比を考慮した下式により算出する。

$$l / h_w \geqq Fs$$

ここに，l：浸透流路長

h_w：水面から掘削底面までの高さ（水位差）

なお，安全率（Fs）は，土木学会トンネル標準示方書，開削工法編に準拠し，Fs≧2.0 を確保する。



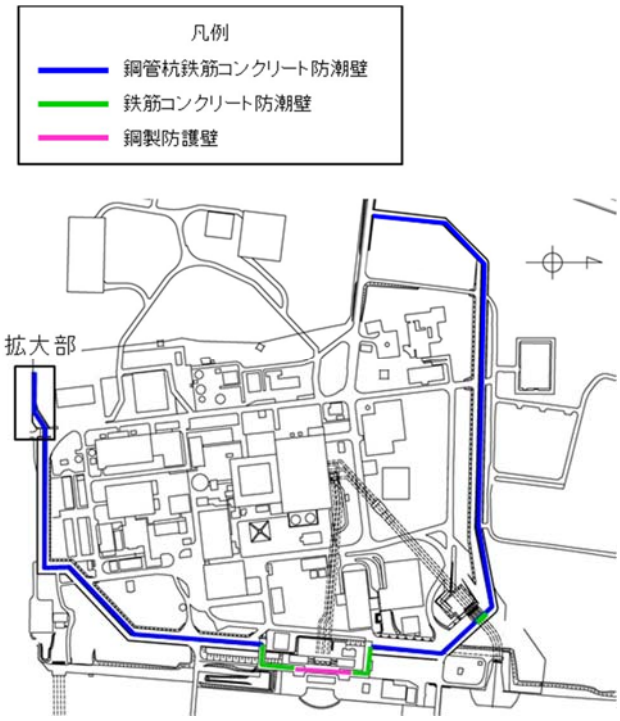
第４８図　パイピング防止対策の説明図

b）洗掘防止対策の検討方針

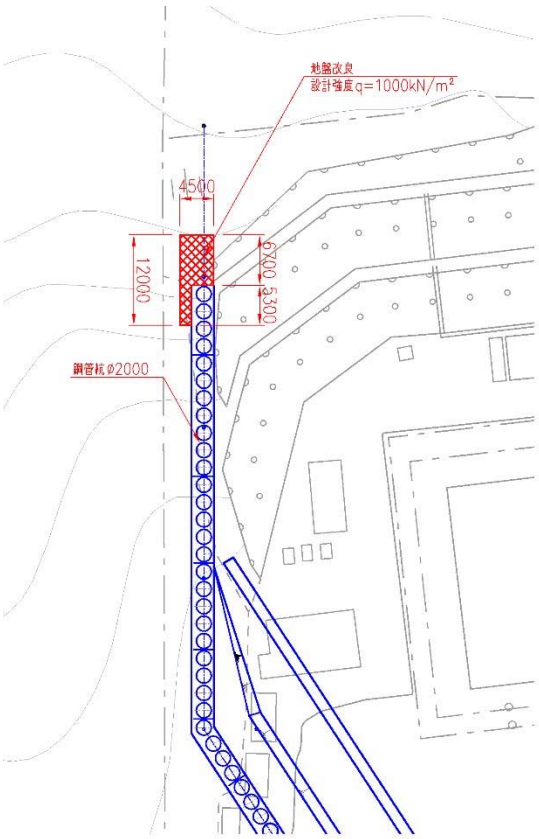
津波に対して，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の前面の洗掘防止対策は，津波時において壁に作用する津波波圧に対して，防潮壁前面の表層地盤強度が津波波圧よりも大きくなるように，十分な安全裕度を持たせた地盤のせん断強度を確保する地盤改良強度を設定する。

津波波圧 ≦ 防潮壁前面の表層地盤せん断強度

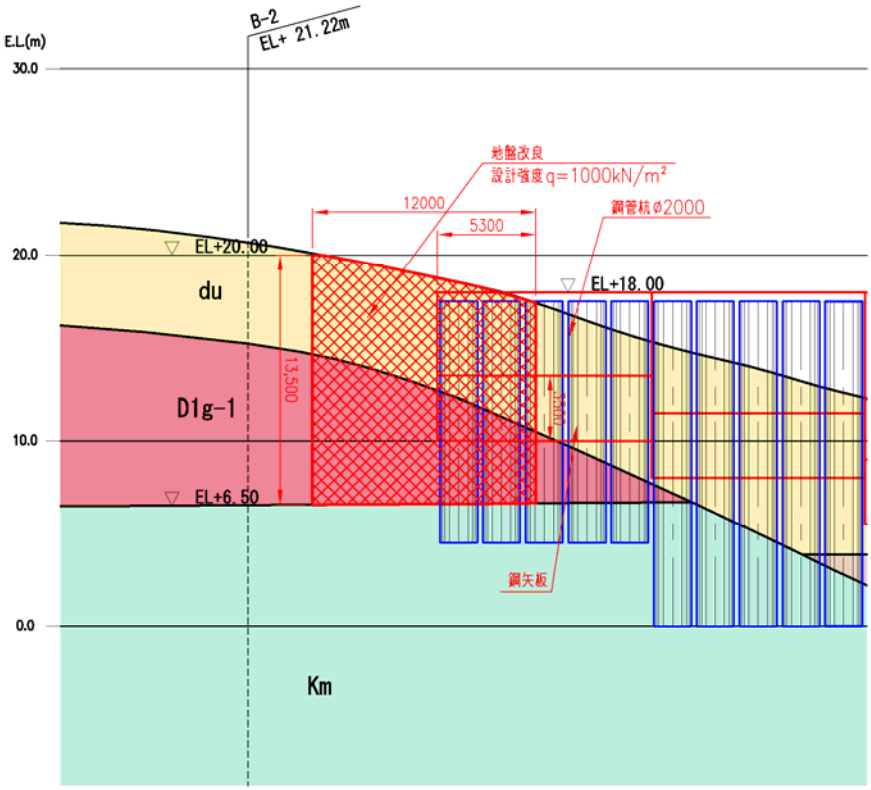
また，敷地南西部においては，防潮堤が南側丘陵地に寄り付くことから，津波の遡上による洗掘防止対策として，寄り付き部の範囲を地盤改良する。地盤改良の対象は，du 層，D1g-1 層とし，防潮堤の天端である T.P.＋18m に余裕を持たせて T.P.＋20m までの範囲を対象とする。防潮壁寄り付き部の平面図を第４９図，第５０図に，断面図を第５１図に示す。



第４９図　防潮壁全体平面図



第５０図　防潮壁寄り付き部拡大平面図



第５１図　防潮壁寄り付き部断面図

ｃ）防潮壁底部の地盤根入れ長の設計方針

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の堤外側，堤内側には地盤改良を実施しているため，地震による表層地盤の沈下は軽微であると判断するが，保守的に地下水位を原地表面高さとした有効応力解析により残留沈下量を算出する。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，底部を地盤に十分に根入れすることで，津波による下部からの浸水を確実に防護する構造とする。

防潮壁底部の地盤根入れ長が，地震時に生じる地盤面の沈下量以上であることを確認する。第５２図に地震に伴う防潮壁の地表面沈下量算定に関する概念図を示す。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁底部の地盤根入れ長

＞　地震による地盤面沈下量　＝　①＋②＋③

なお，考慮する地震時の沈下量は，以下の沈下量とする。

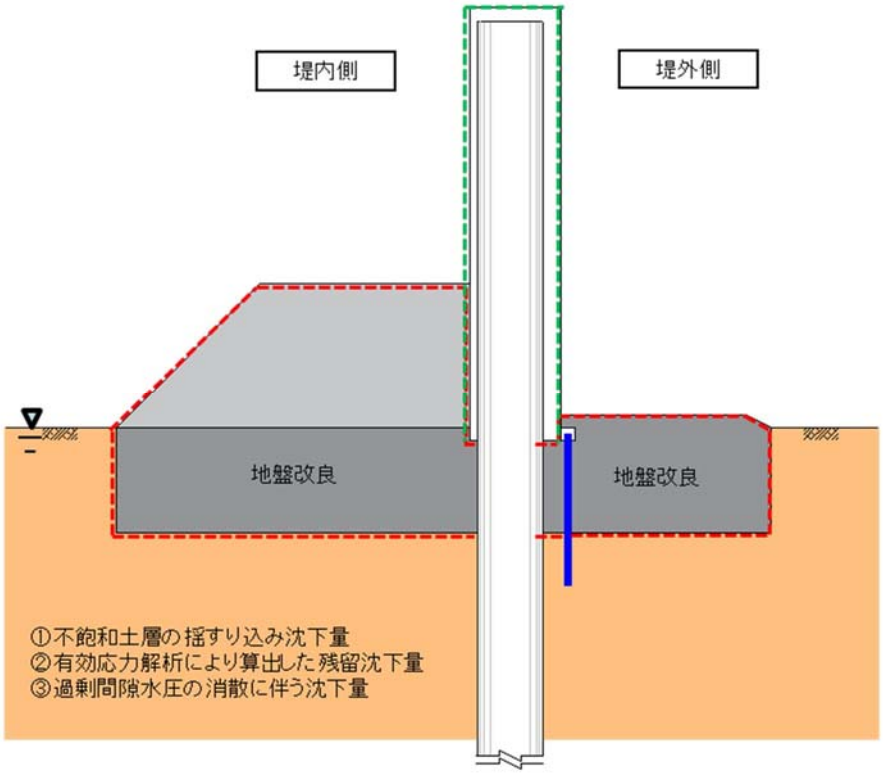
①不飽和土層の揺すり込み沈下量

②有効応力解析により算出した残留沈下量

③過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量

揺すり込み沈下量は，「鉄道構造物等設計標準・同解説，土構造編（平成２５年編），耐震設計編（平成２４年改編）」に準じて算出する。

また，有効応力解析結果より求められる防潮壁堤外側地盤の残留鉛直変位量及び液状化検討対象層のせん断ひずみから算定される地層ごとの過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量を算出する。



第５２図　地震に伴う防潮壁の地表面沈下量算定に関する概念図

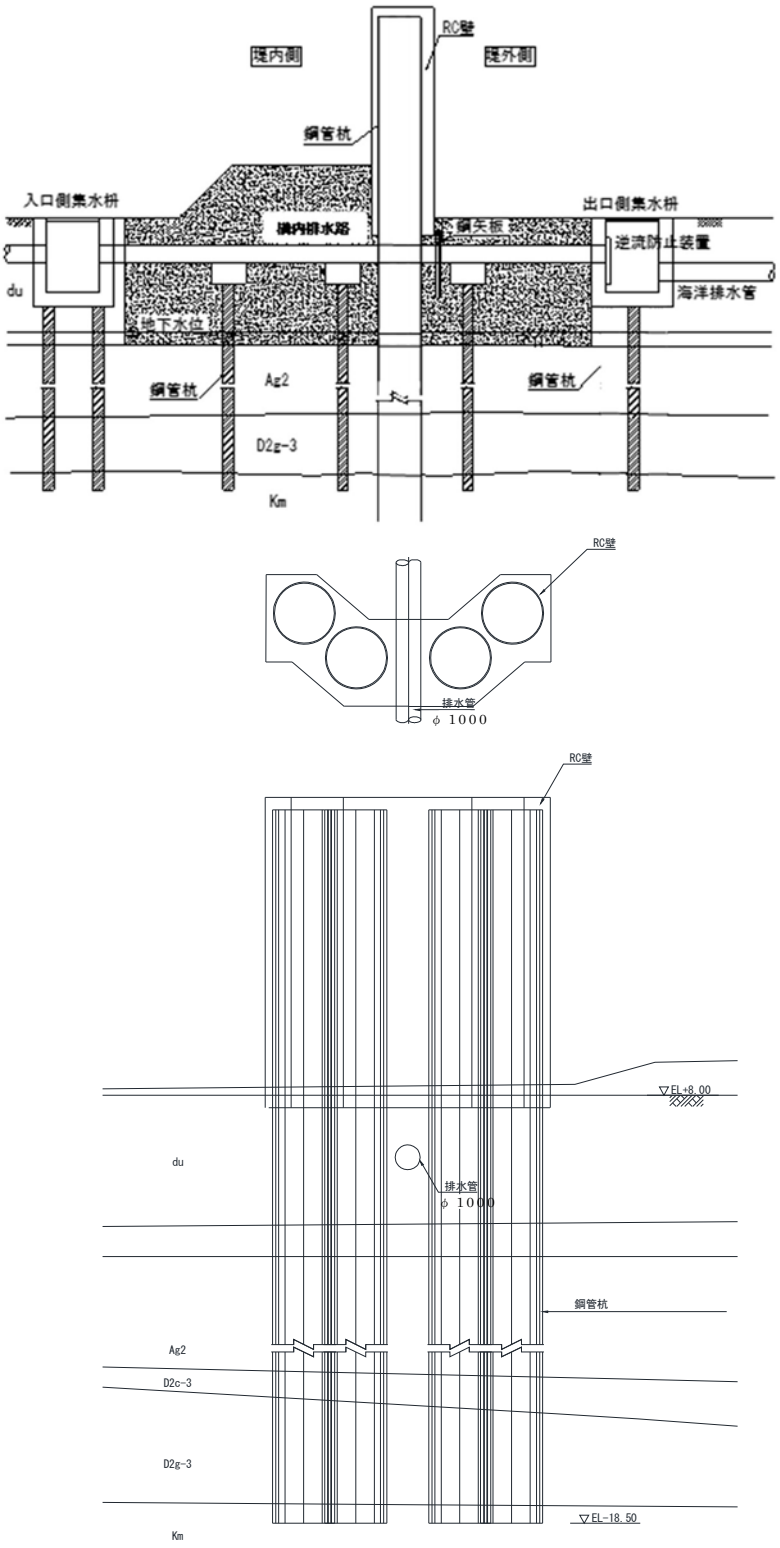
１２）構内排水路と防潮堤の交差部

防潮堤内の降雨等を想定した構内排水路については，第５３図に示すとおり，複数箇所で防潮堤を横断して設置される。

構内排水路は直径１ｍの鋼製の管路であり，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁はこれを跨いで設置する。

第５３図　構内排水路設置位置図

構内排水路交差部の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の鋼管杭は第５４図に示す通り杭を一部重ねて配置した構造とする。

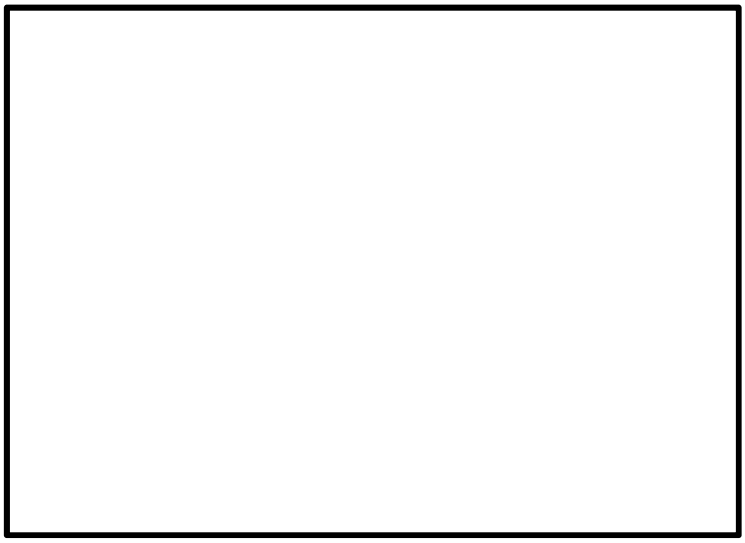


第５４図　構内排水路と鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁との交差部断面図

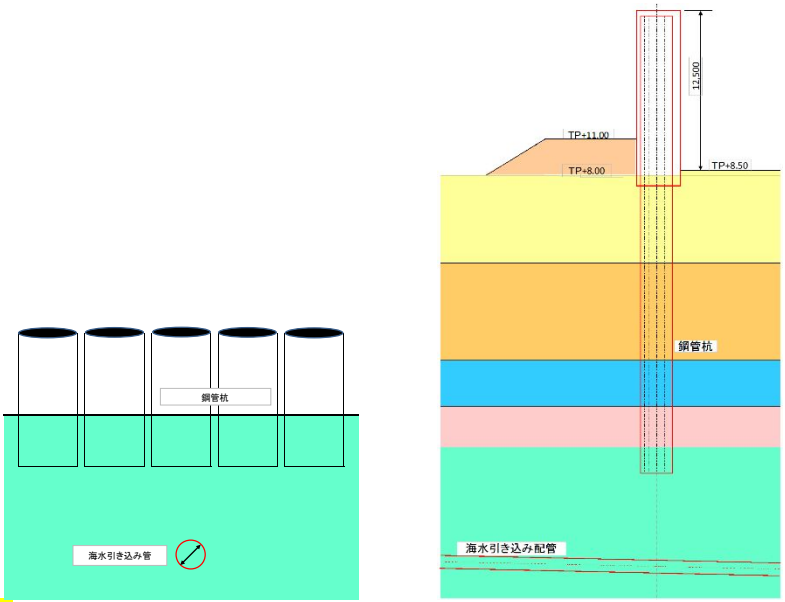
１３）海水引込み管と防潮堤の交差部

海水引込み管は，鋼管杭鉄筋コンクリートの下部構造である鋼管杭先端よりも深い深度に設置される。第５５図に海水引込み管の位置図を，第５６図に交差部の断面イメージ図を示す。

鋼管杭の先端と海水引き込み管の天端の離隔距離は，『トンネル標準示方書　シールド工法編』を参考に，地震時応答解析に基づいた確認を行った後，安全な離隔距離を設定する。



第５５図　海水引込み管位置図



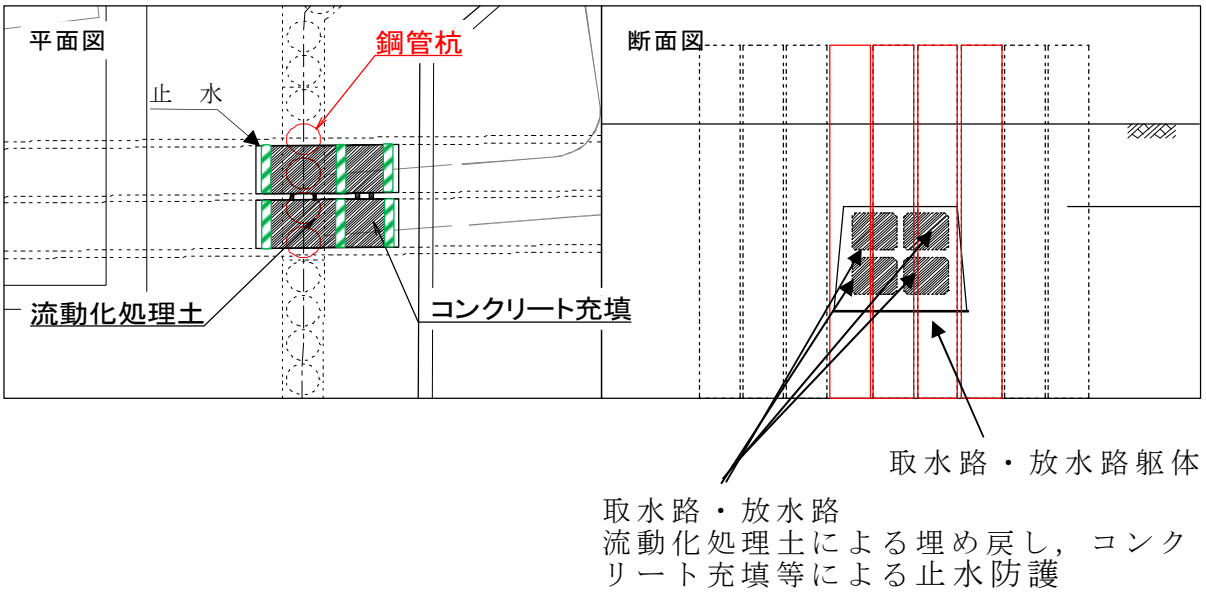
第５６図　海水引込み管と鋼管杭の交差部断面イメージ図

１４）東海発電所 取水路・放水路と防潮堤の交差部

東海発電所 取水路・放水路は，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の南東部で交差する。第５７図に東海発電所 取水路・放水路と防潮堤の交差位置図を示す。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と干渉する取水路・放水路の範囲は，基本的に撤去する。防潮堤の設置する範囲の前後においては，鉄筋コンクリートによる止水壁を設置することで止水性を高める設定とする。また，取・放水路の内空は，鋼管杭を設置する止水壁間は流動化処理土により埋め戻し，海側の止水壁間はコンクリートを充填することで，津波に対してより一層の止水防護構造を設定とする。防潮壁横断部の取水路・放水路止水対策イメージ図を第５８図に示す。

第５７図　東海発電所 取水路・放水路交差部位置図



第５８図　防潮壁横断部の取水路・放水路止水対策イメージ図

１５）構造物評価における地下水位の設定方針

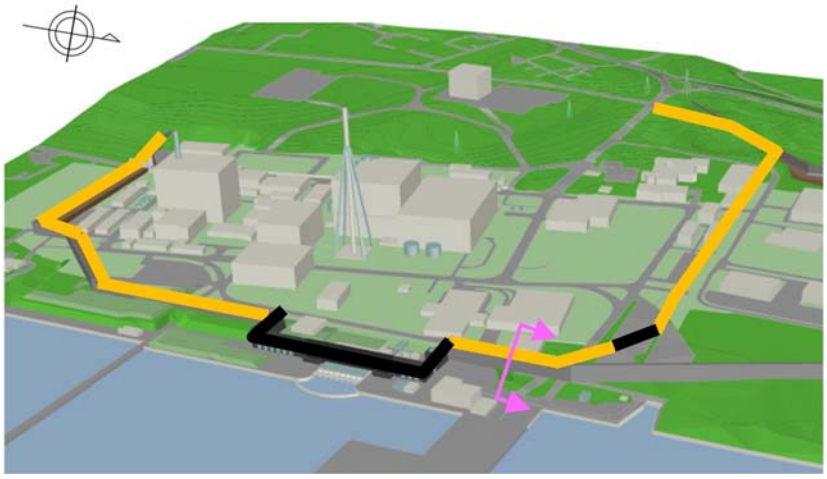
防潮堤の堤内側の水位については，洗掘防止等の目的で設置される表層部の地盤改良体により上昇する可能性が想定される。

このため，構造物評価時の地下水位は，保守的に地表面に設定することとする。

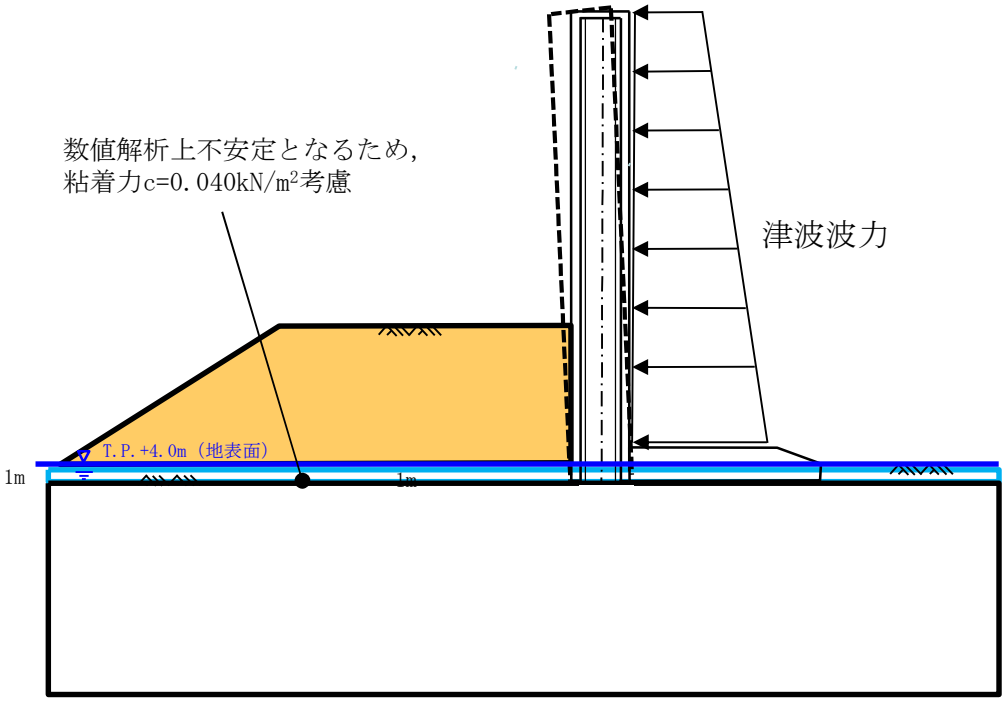
ただし，有効応力解析での評価では，地表面まで水要素を配置させると数値解析上不安定とならないよう，地表面から 1m 範囲にはわずかな粘性を考慮できるよう全応力要素を設定する（粘着力 c の設定は，平均－1σ残留強度物性とする）。

解析評価断面位置図を第５９図に，地震時，津波時，余震＋津波（重畳時）における地下水位の設定図を第６０図に示す。

解析評価断面位置における地下水位は TP＋1.5m（地表面 T.P.＋4m）であり，地下水位 1.5m 水位が上昇したこととなる（浸透流解析では，鋼管杭の間隔が 0.3m であった場合でも地下水位が 0.2m 上昇する結果を得ているため，十分に保守的な設定である）。



第５９図　解析評価断面位置図



第６０図　地震時，津波時，余震＋津波（重畳時）における地下水位の設定図

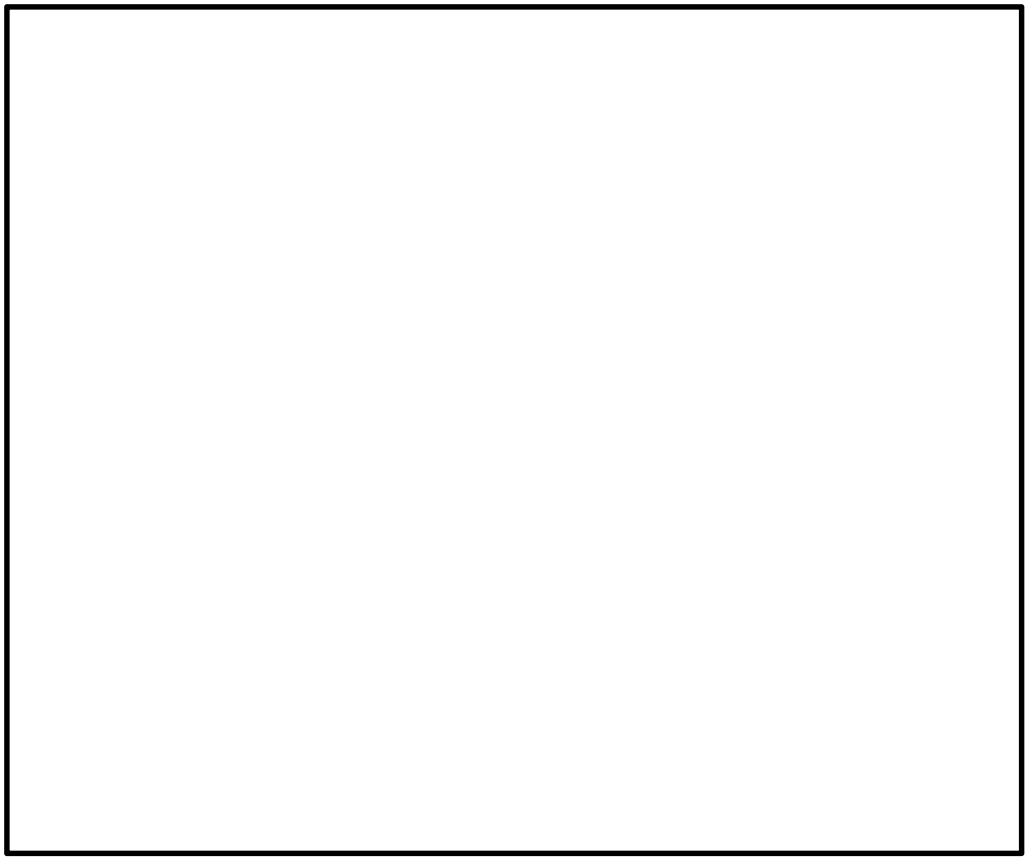
２．施工実績（本設杭構造）

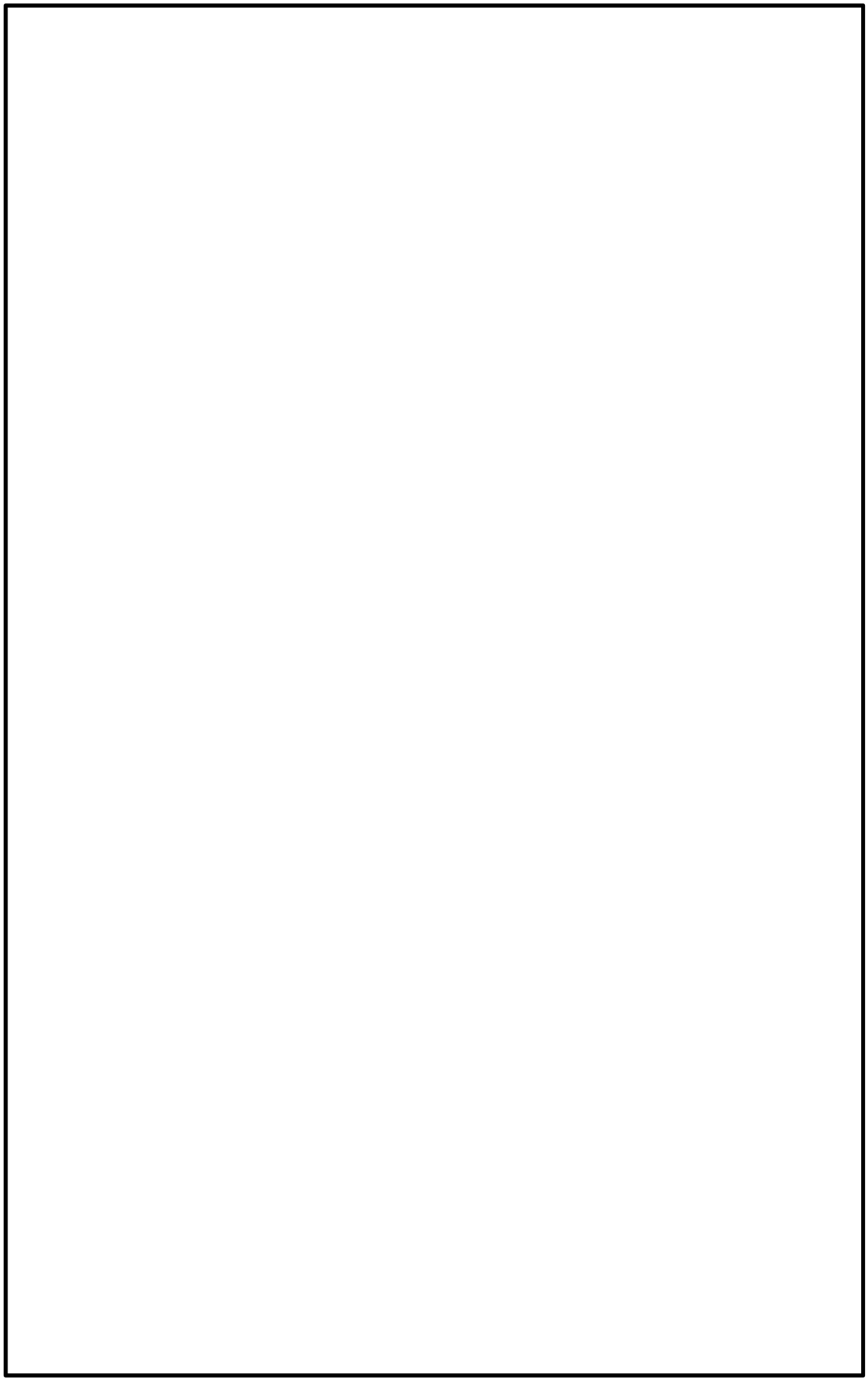
杭の最小中心間隔が 2.5D 未満であり，かつ一列配置とした本設構造物の実績について調査した結果を第７表に，施工事例写真を第６１図に示す。

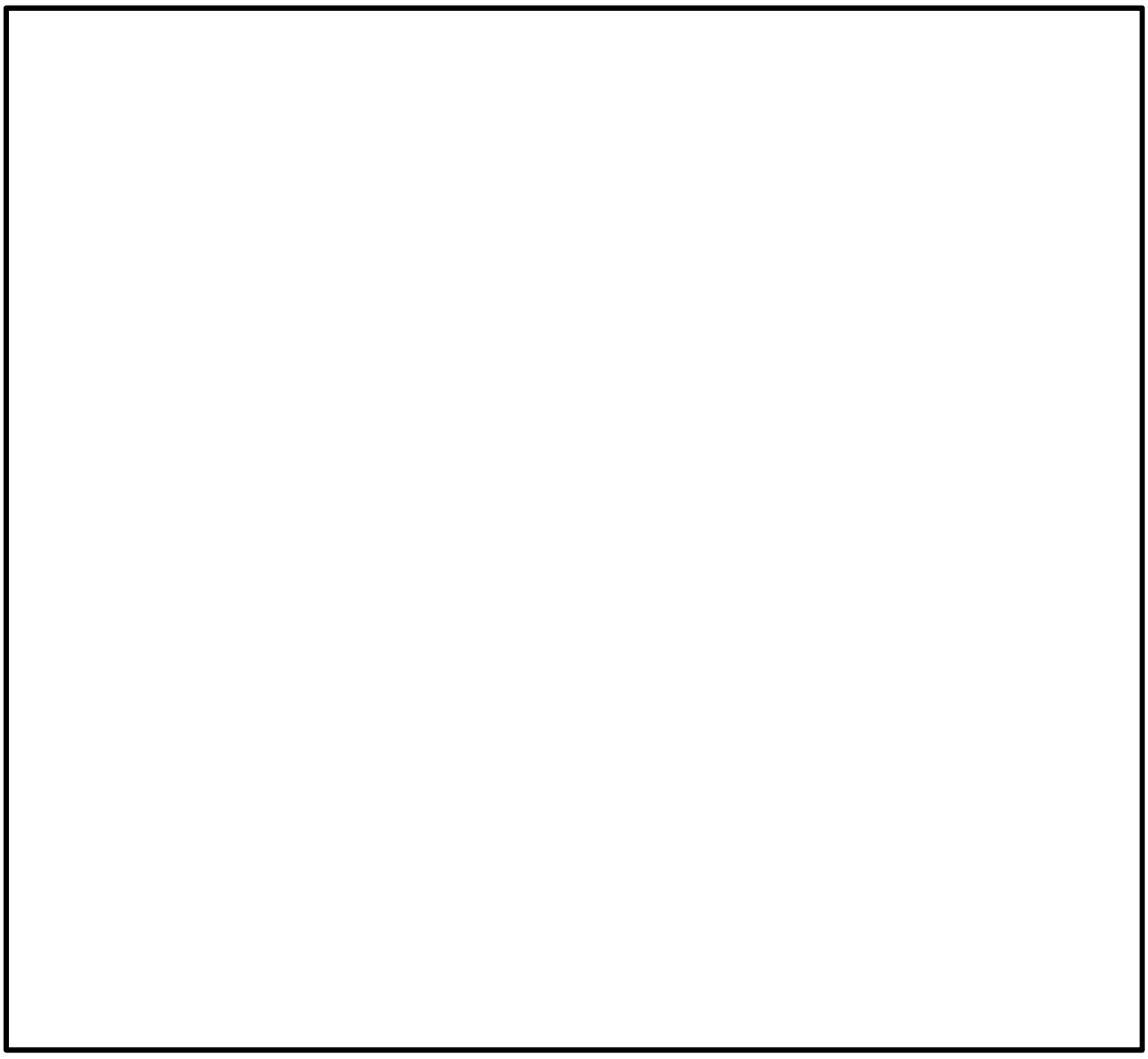
第７表　一列杭の本設構造物の実績

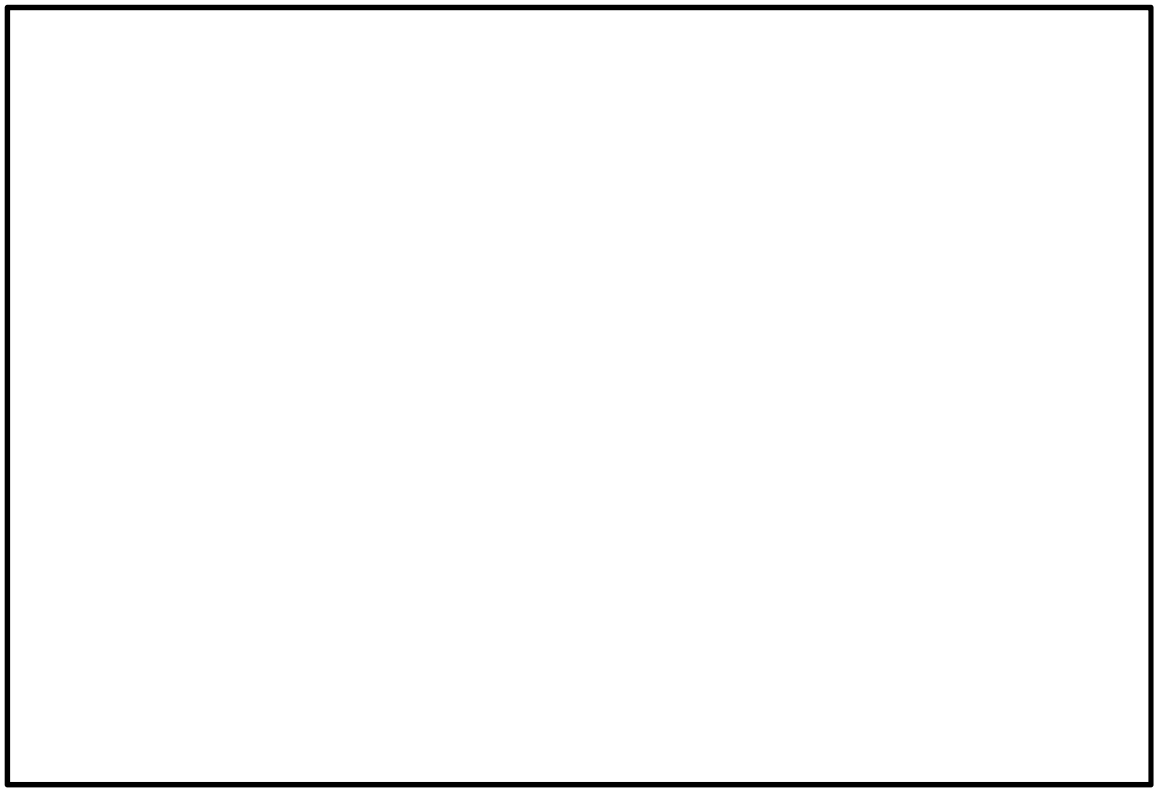
工事区分	件数			
	国土交通省等	都道府県	民間（高速道路，鉄道，ガス等）	計
河川護岸	10 件	115 件	1 件	126 件
海岸岸壁	39 件	47 件	1 件	87 件
道路（高速道路，橋梁，トンネル等）	13 件	55 件	26 件	94 件
造成（擁壁，法面，改良等）	2 件	8 件	3 件	13 件
その他	2 件	5 件	7 件	14 件

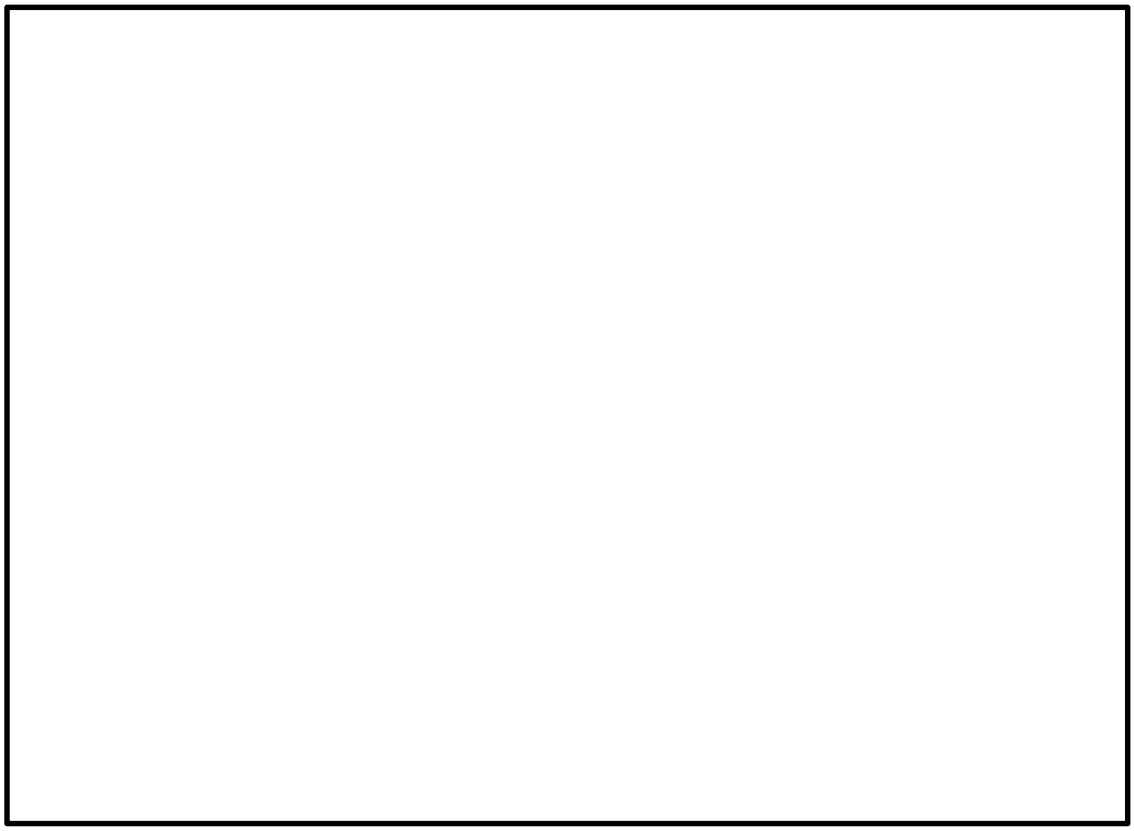
（2017 年 6 月　日本原子力発電㈱調査）

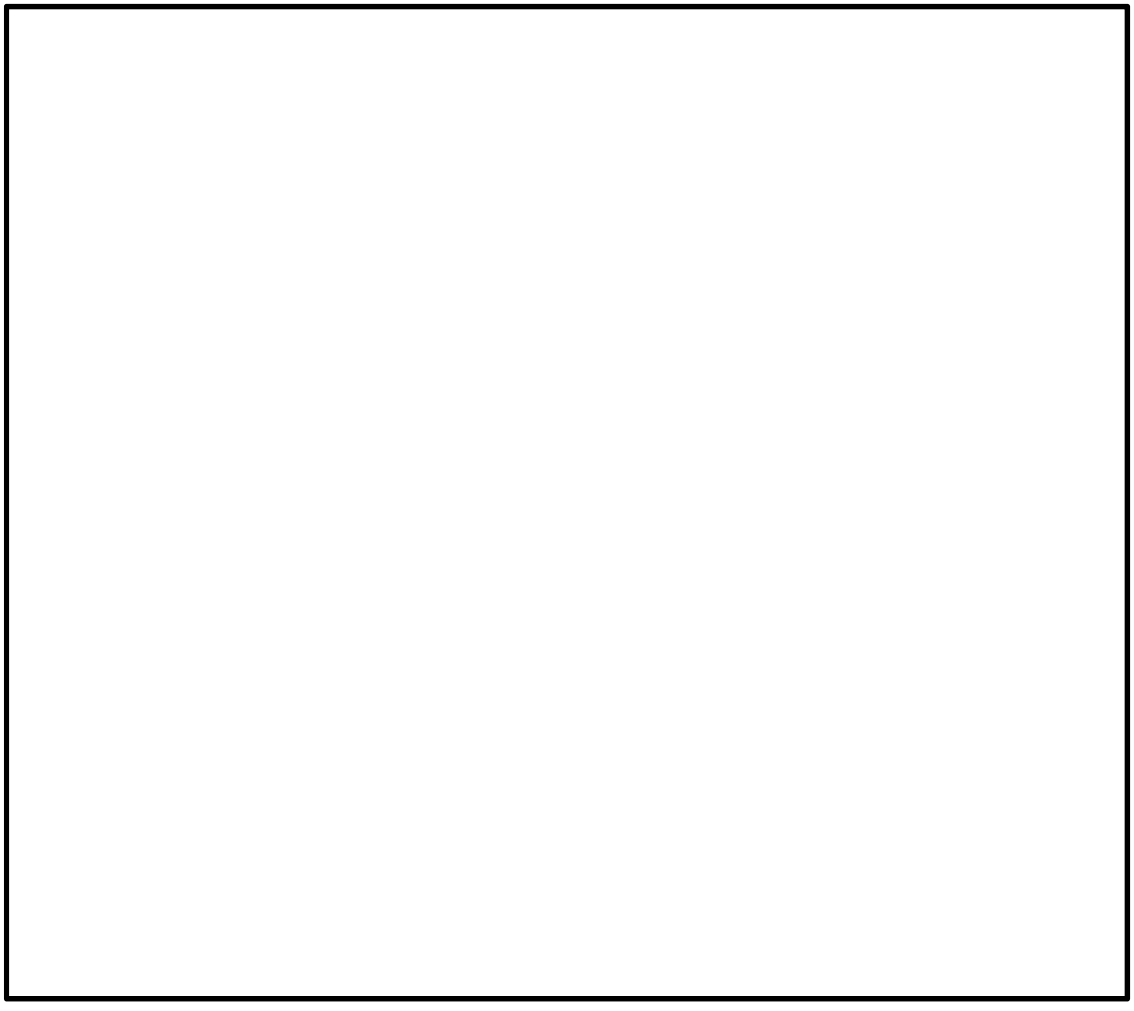


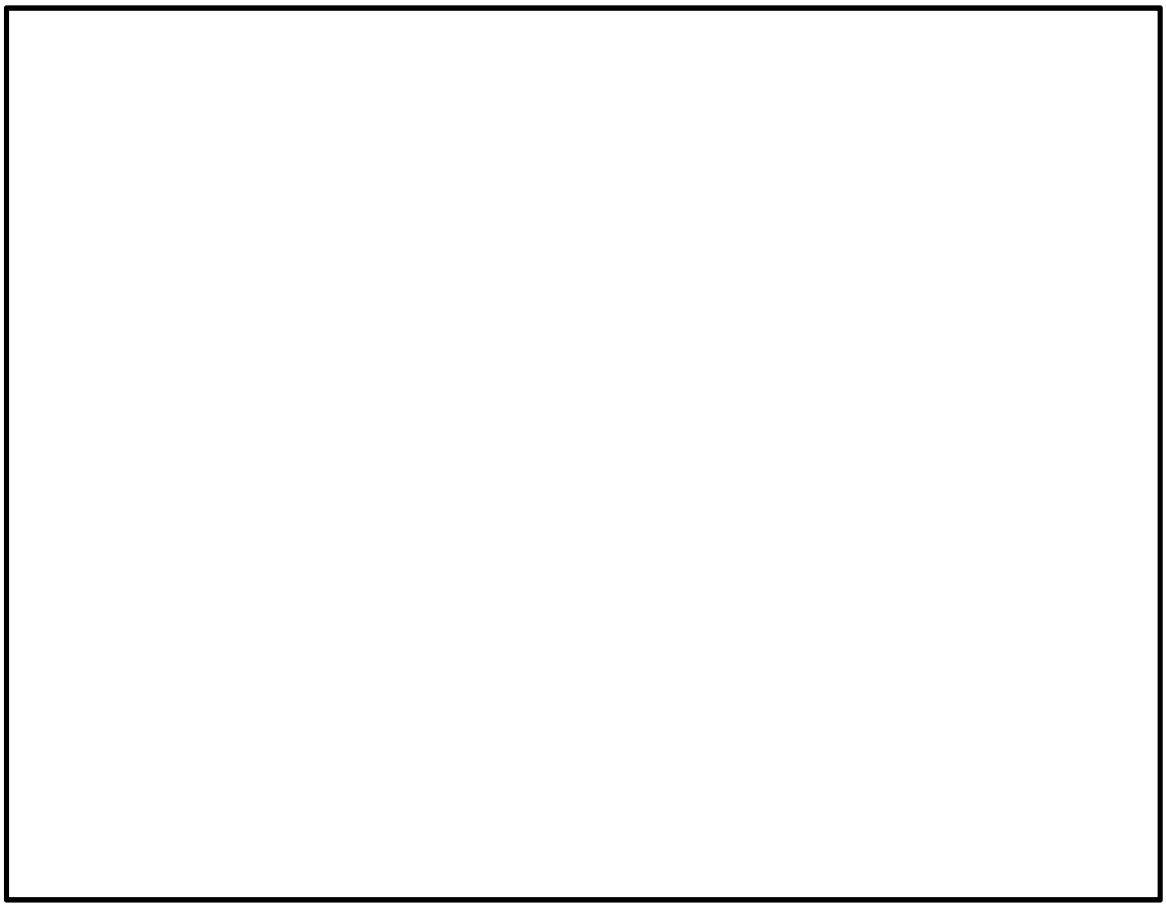


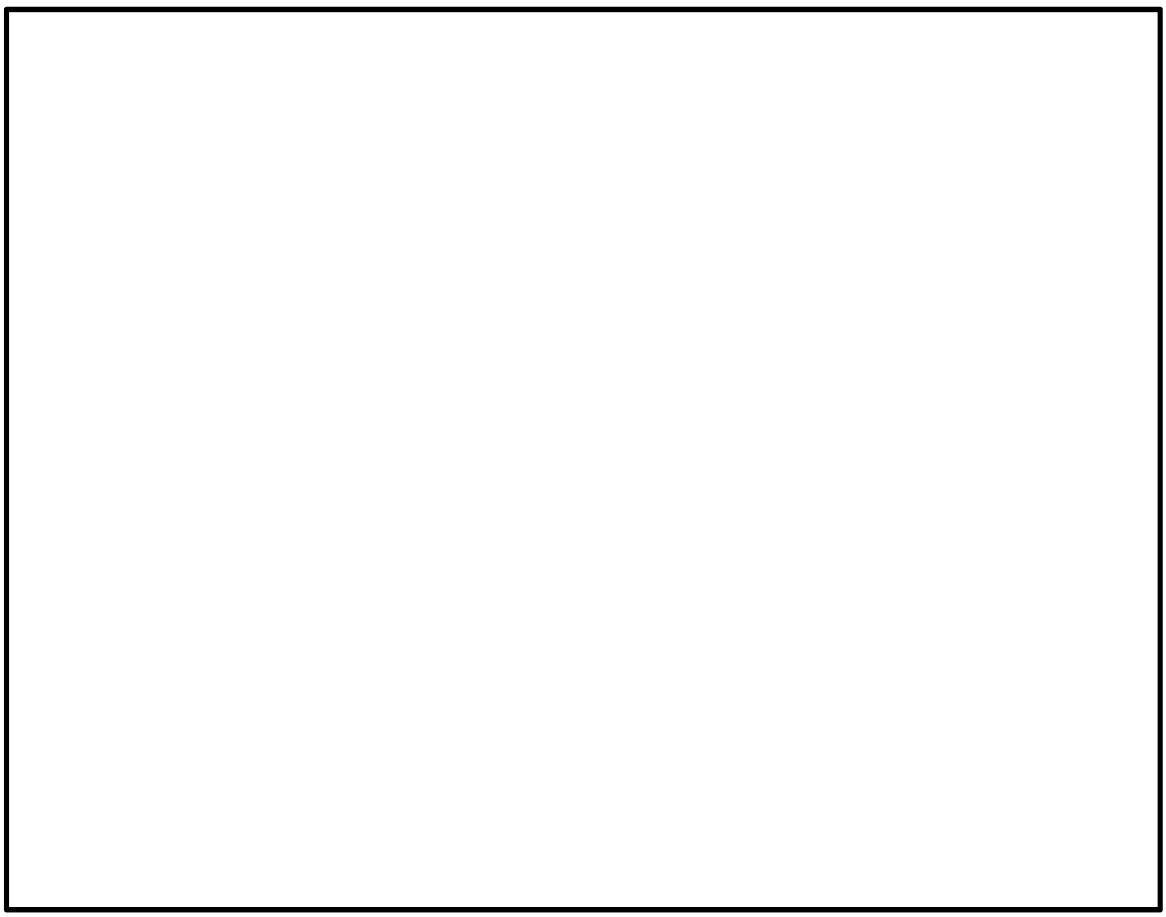


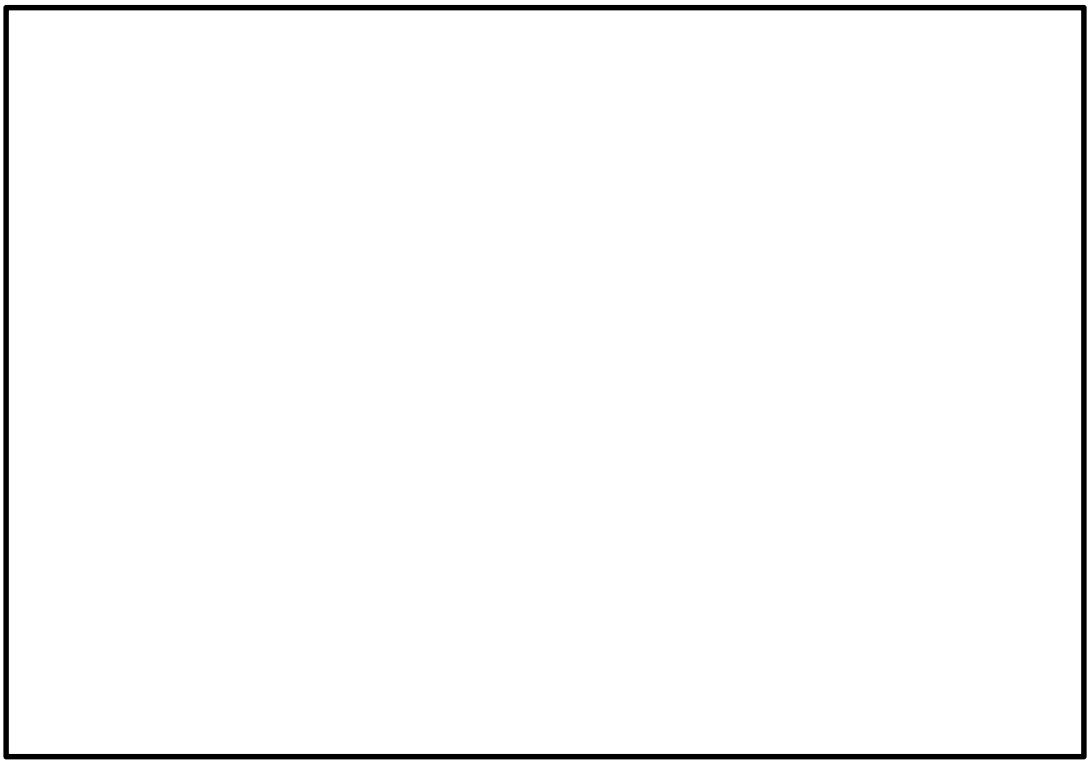


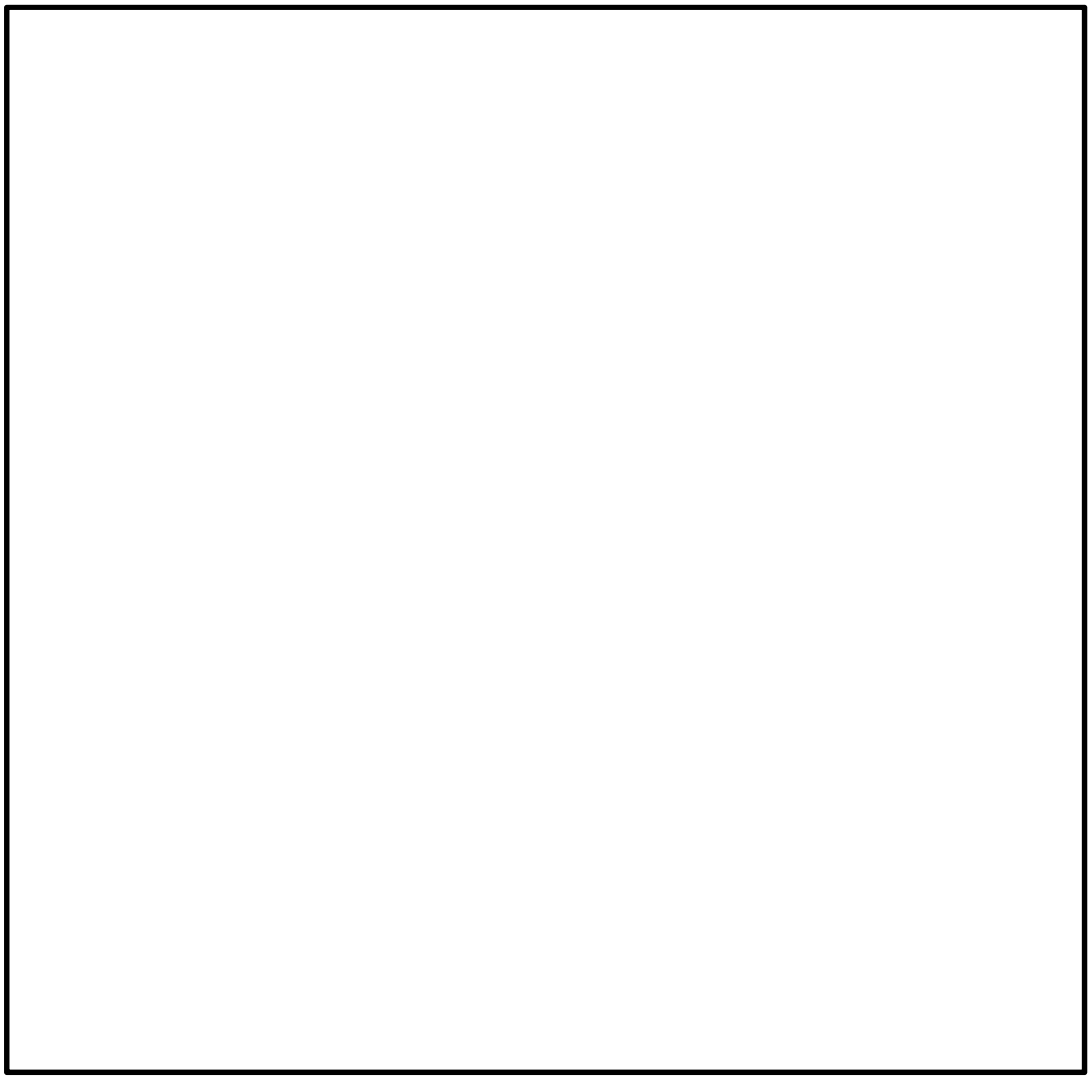


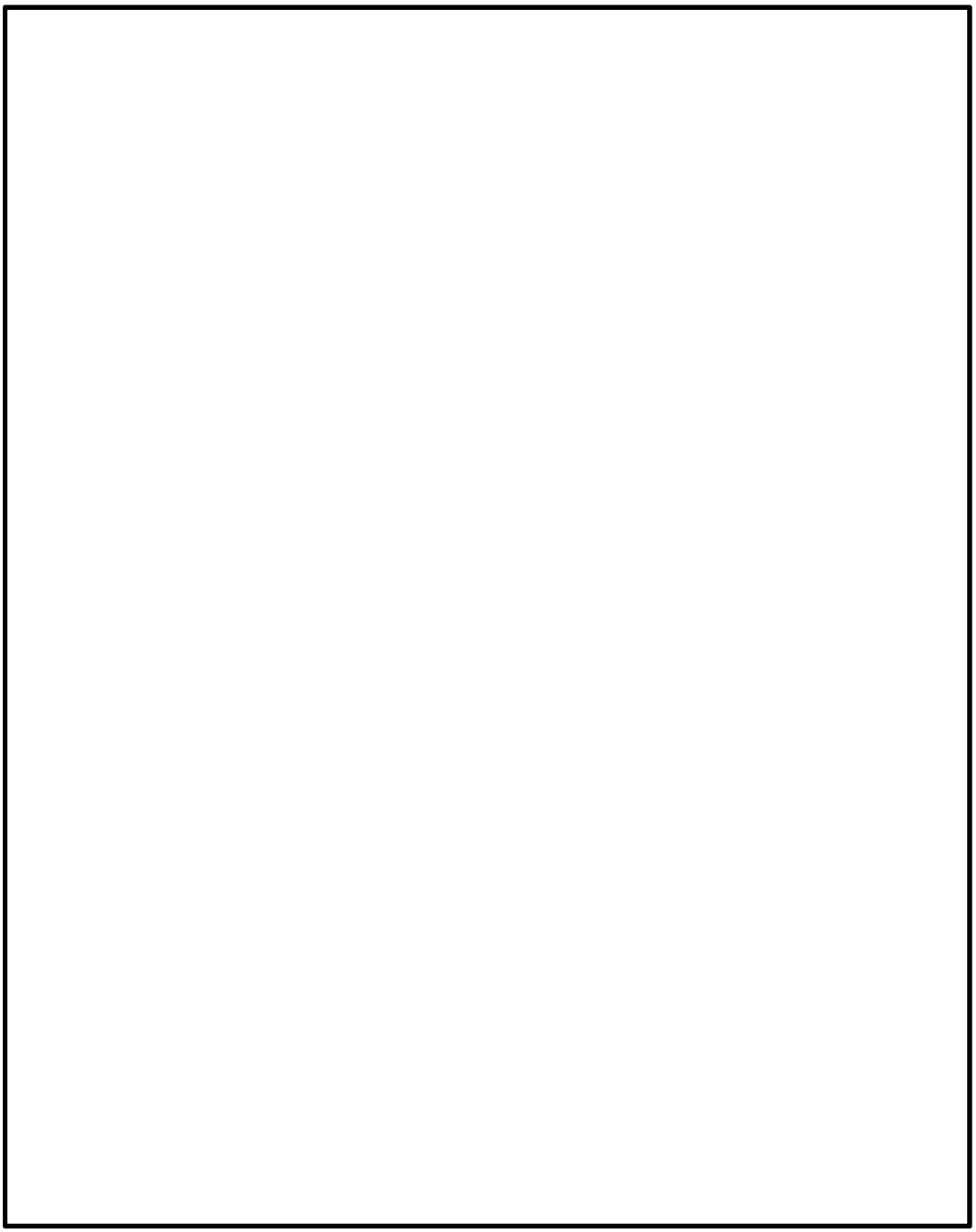


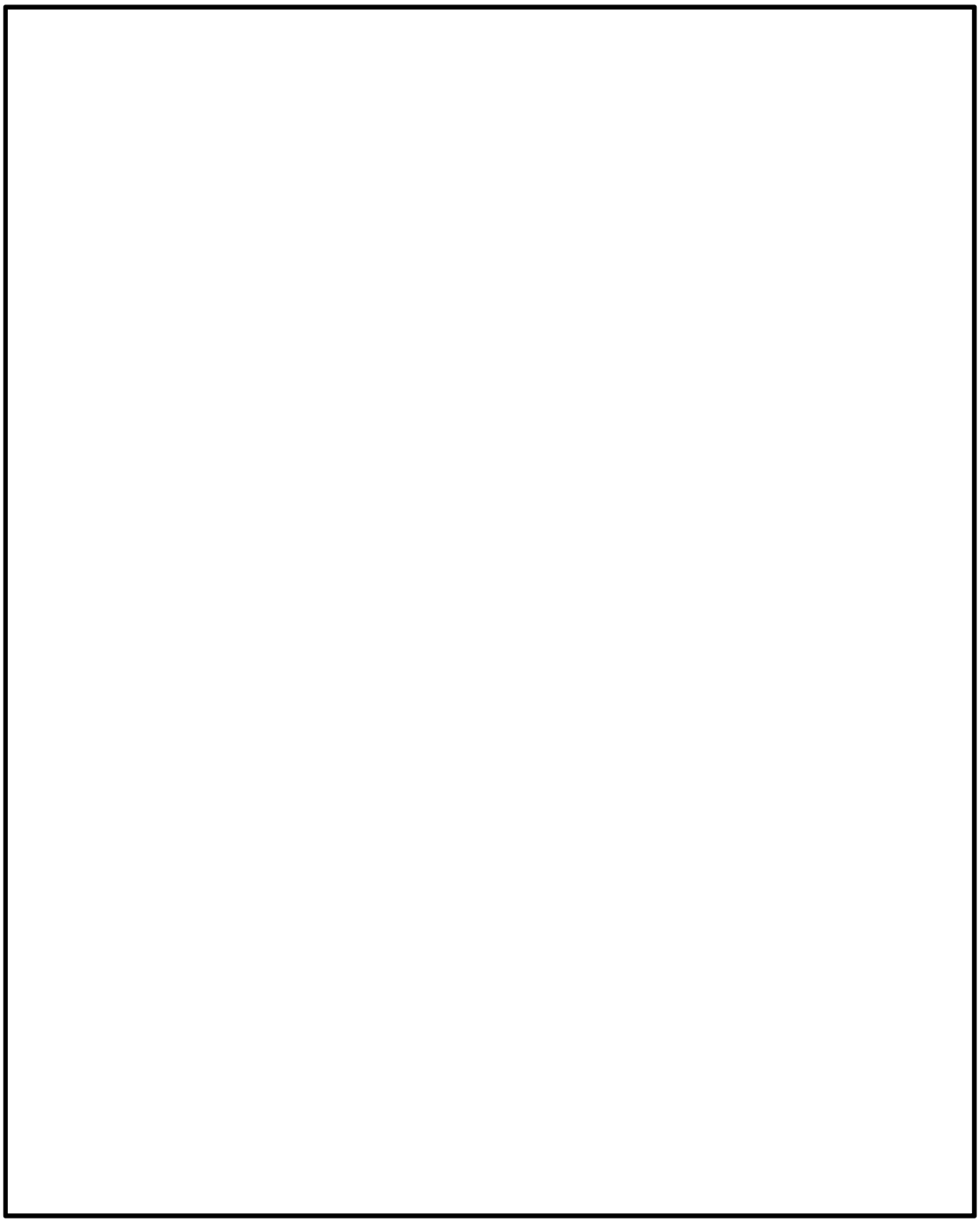












なお，これら施工実績の中で，設計情報が確認できたものについては，土圧算定や地盤反力係数の算定，液状化の判定など随所にわたって道路橋示方書が引用されていることを確認した。

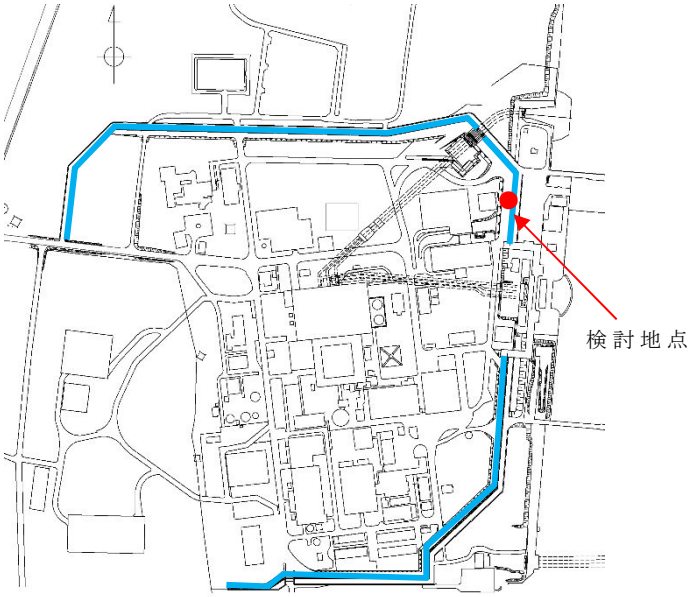
３．道路橋示方書の適用性について

（１）適用性検討の評価方針

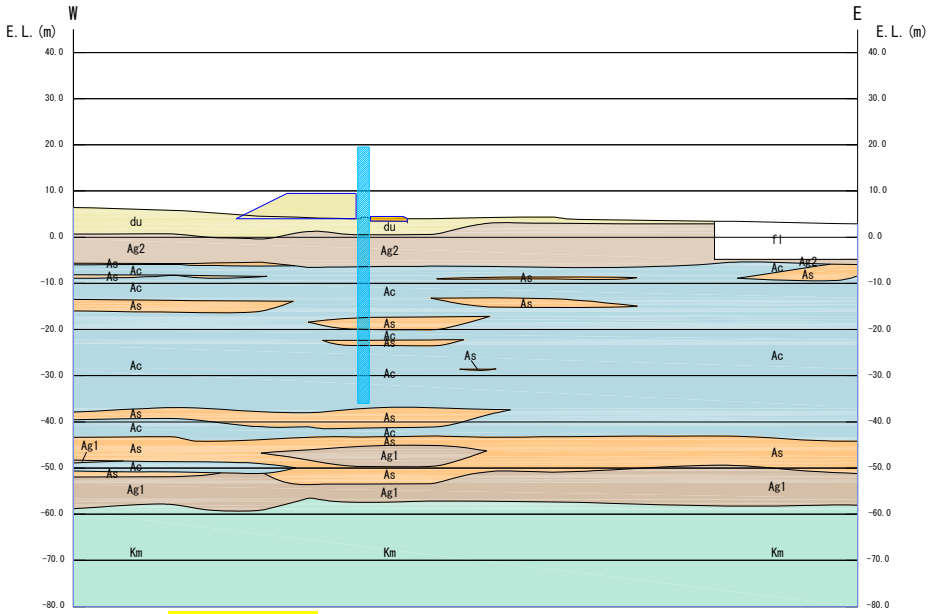
東海第二発電所における杭基礎の設計では，主に道路橋示方書を適用することから，道路橋示方書において耐震性能の照査に用いられているレベル２地震動と東海第二発電所の基準地震動Ｓ$_s$の加速度応答スペクトルのレベルを比較した。

１）検討位置

検討位置は，二次元有効応力解析等で防潮堤の強度計算を実施する断面の位置であり，摩擦杭を適用する岩盤の深い地点を選定した。検討地点の位置図を第６２図に，検討地点の地質断面図を第６３図に示す。



第６２図　検討地点の位置図



第６３図　検討地点の地質断面図

２）東海第二発電所の地盤の基本固有周期

検討地点における地盤の基本固有周期を算出して，道路橋示方書における地盤種別の判定を行う。地盤の基本固有周期は以下の式による。

$$T_G = 4\sum_{i=1}^{n}\frac{H_i}{V_{si}}$$

T_G：地盤の基本固有周期（s）

H_i：i 番目の地盤の厚さ（m）

V_{si}：i 番目の地層の平均せん断弾性波速度（m/s）

i ：当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面まで n 層に区分される地表面から i 番目の地層の番号

耐震設計上の基盤面はＫｍ層とし，それ以浅の地層を対象に地盤の固有周期を算出した。

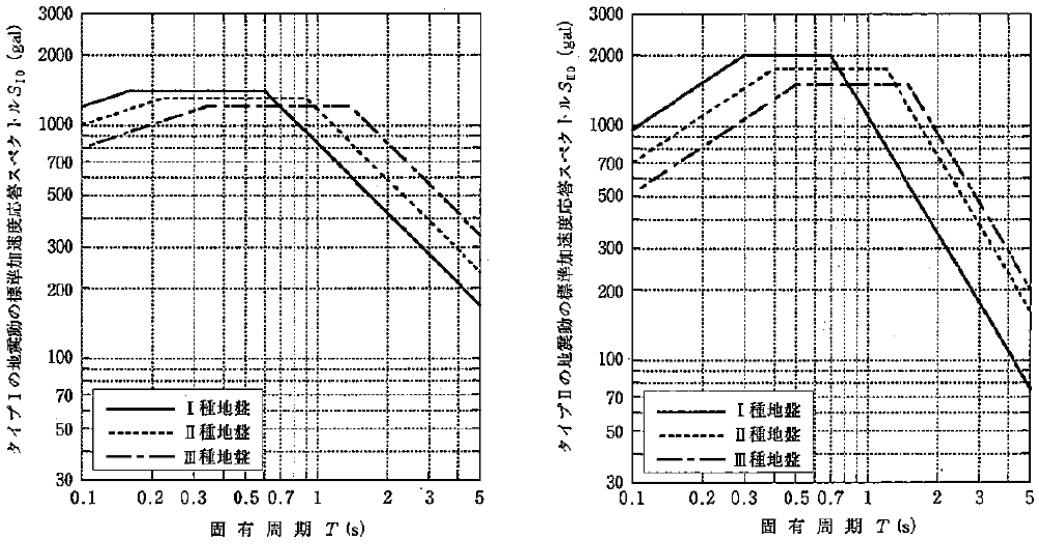
道路橋示方書における耐震設計上の地盤種別は，第１６表に基づき行い，Ⅲ種地盤（固有周期 1.08 秒）となった。

第１６表　道路橋示方書における耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の基本固有周期T_G（s）
Ⅰ種	$T_G < 0.2$
Ⅱ種	$0.2 \leqq T_G < 0.6$
Ⅲ種	$0.6 \leqq T_G$

３）道路橋示方書の加速度応答スペクトル

道路橋示方書では，地盤種別ごとに耐震設計に用いる加速度応答スペクトルを与えている。また，地震動の種別もプレート境界型地震動を対象にした TypeⅠと内陸直下型地震動を想定した TypeⅡで判別している。道路橋示方書で示されている地震動の標準加速度応答スペクトルを第６４図に示す。



（TypeⅠ地震動）　　（TypeⅡ地震動）

第６４図　地震動の標準加速度応答スペクトル（道路橋示方書）

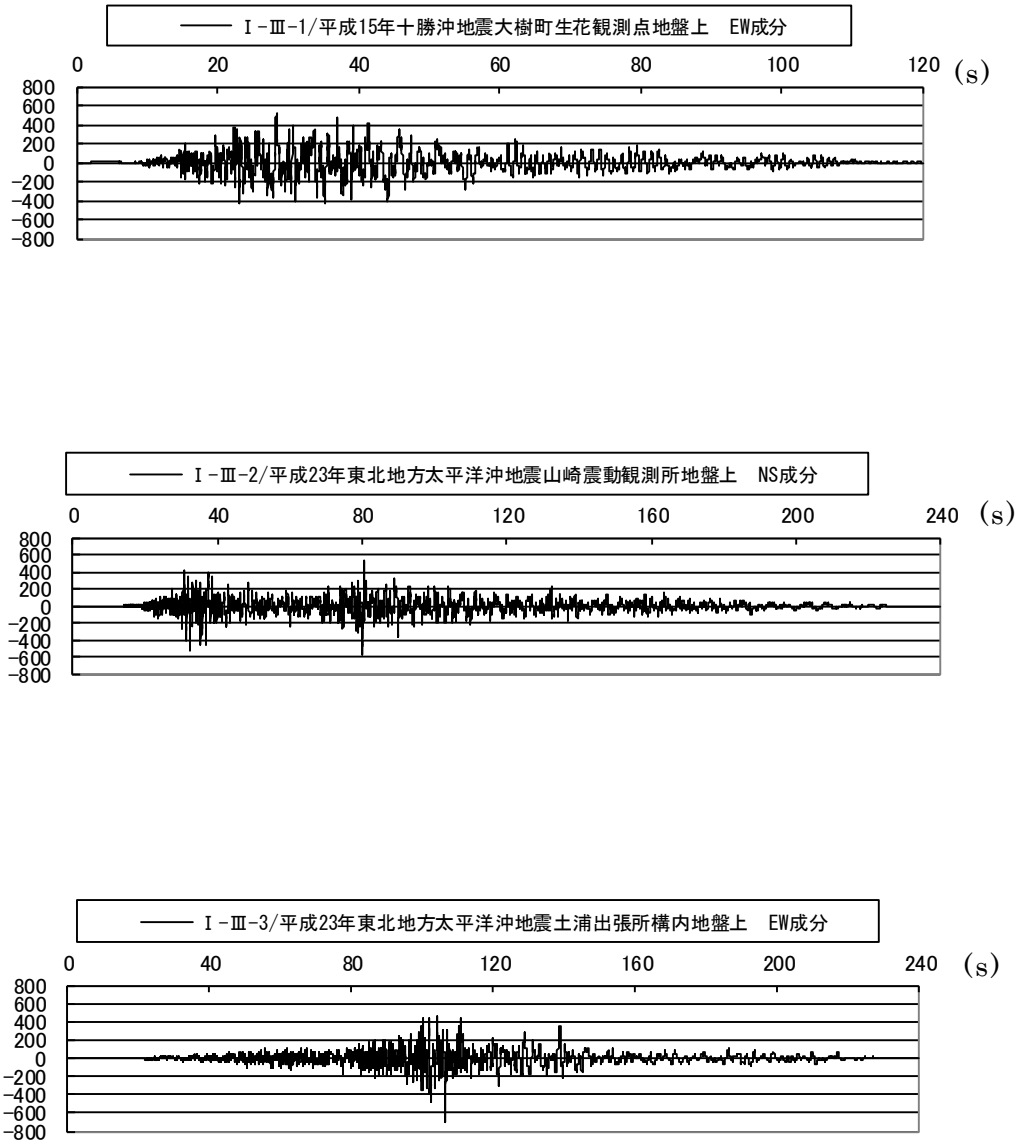
なお，道路橋示方書の耐震設計では，観測された波形を第６４図に示したスペクトルに近い特性を有するように振幅調整を行い用いている。

Ⅲ種地盤の動的解析で用いられている地震動は第１７表に示すとおりであり，３波の平均値で照査を行うとしている。また，TypeⅠ，TypeⅡそれぞれの地震波を第６５図及び第６６図に示す。

第１７表　Ⅲ種地盤の動的解析で用いられる地震動

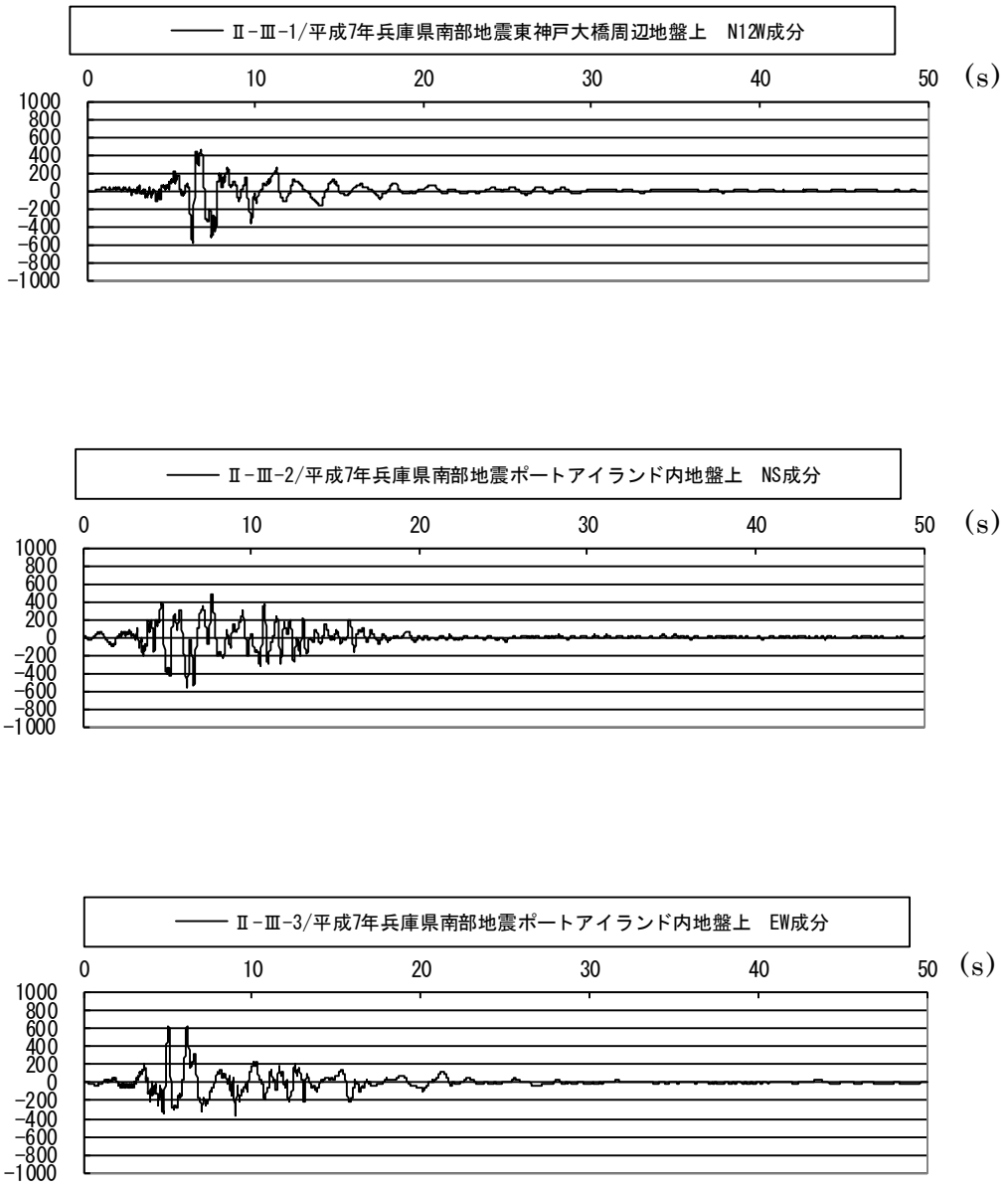
（道路橋示方書）

Type Ⅰ	Ⅰ-Ⅲ-1	平成 15 年十勝沖地震大樹町生花観測点地盤上　EW 成分
	Ⅰ-Ⅲ-2	平成 23 年東北地方太平洋沖地震山崎震動観測所地盤上　NS 成分
	Ⅰ-Ⅲ-3	平成 23 年東北地方太平洋沖地震土浦出張所構内地盤上　EW 成分
Type Ⅱ	Ⅱ-Ⅲ-1	平成 7 年兵庫県南部地震東神戸大橋周辺地盤上　N12W 成分
	Ⅱ-Ⅲ-2	平成 7 年兵庫県南部地震ポートアイランド内地盤上　NS 成分
	Ⅱ-Ⅲ-3	平成 7 年兵庫県南部地震ポートアイランド内地盤上　EW 成分



第６５図　Ⅲ種地盤 Type Ⅰ 地震動で用いられる地震波

（道路橋示方書）



第６６図　Ⅲ種地盤 TypeⅡ地震動で用いられる地震波

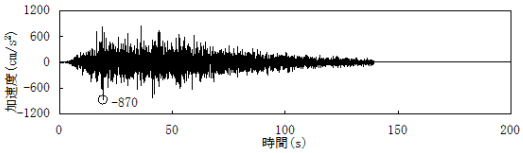
（道路橋示方書）

４）東海第二発電所の加速度応答スペクトル

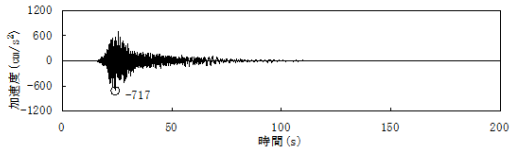
東海第二発電所の基準地震動Ｓｓの一覧表を第１８表に，加速度時刻歴波形（水平（ＮＳ方向））を第６７図に，加速度時刻歴波形（水平（ＥＷ方向））を第６８図に示す。

第１８表　東海第二発電所の基準地震動Ｓｓ

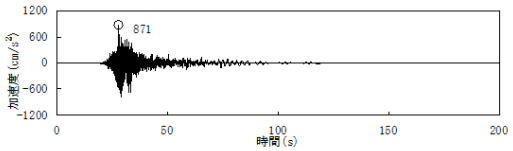
地震動	最大加速度[cm/s²]		
	NS 成分	EW 成分	UD 成分
Ｓｓ-D1	870		560
Ｓｓ-11	717	619	579
Ｓｓ-12	871	626	602
Ｓｓ-13	903	617	599
Ｓｓ-14	586	482	451
Ｓｓ-21	901	887	620
Ｓｓ-22	1009	874	736
Ｓｓ-31	610		280



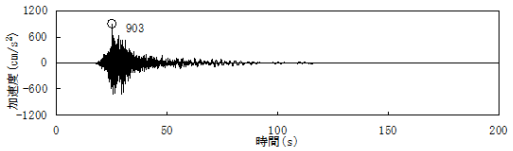
Ｓｓ－Ｄ１



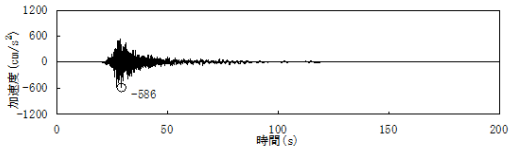
Ｓｓ－１１



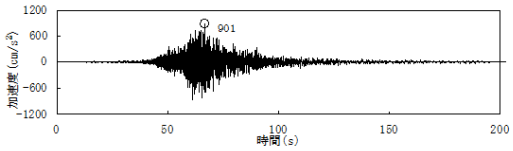
Ｓｓ－１２



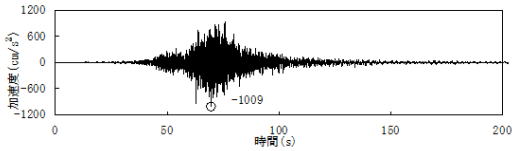
Ｓｓ－１３



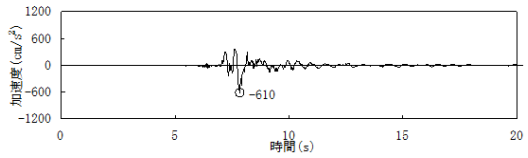
Ｓｓ－１４



Ｓｓ－２１

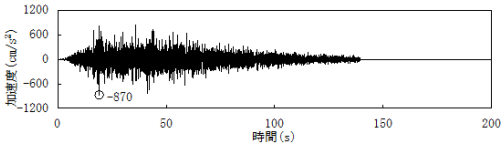


Ｓｓ－２２

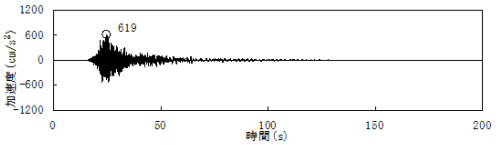


Ｓｓ－３１

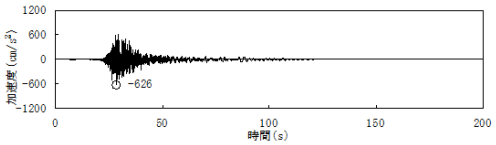
第６７図　東海第二発電所の加速度時刻歴波形（水平（ＮＳ方向））



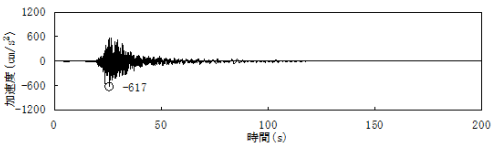
Ｓｓ－Ｄ１



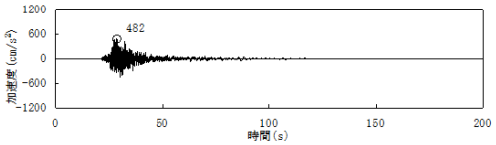
Ｓｓ－１１



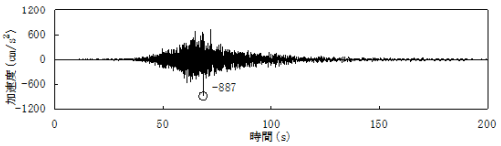
Ｓｓ－１２



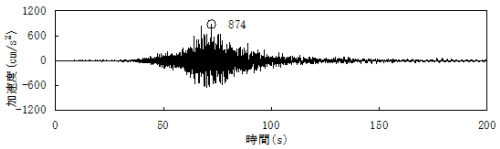
Ｓｓ－１３



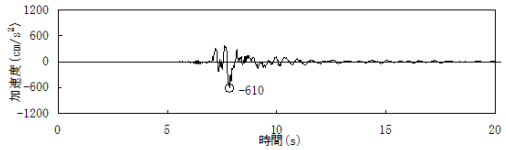
Ｓｓ－１４



Ｓｓ－２１



Ｓｓ－２２



Ｓｓ－３１

第６８図　東海第二発電所の加速度時刻歴波形（水平（ＥＷ方向））

５）基準地震動Ｓｓと道路橋示方書のレベル２地震動の加速度応答スペクトルの比較

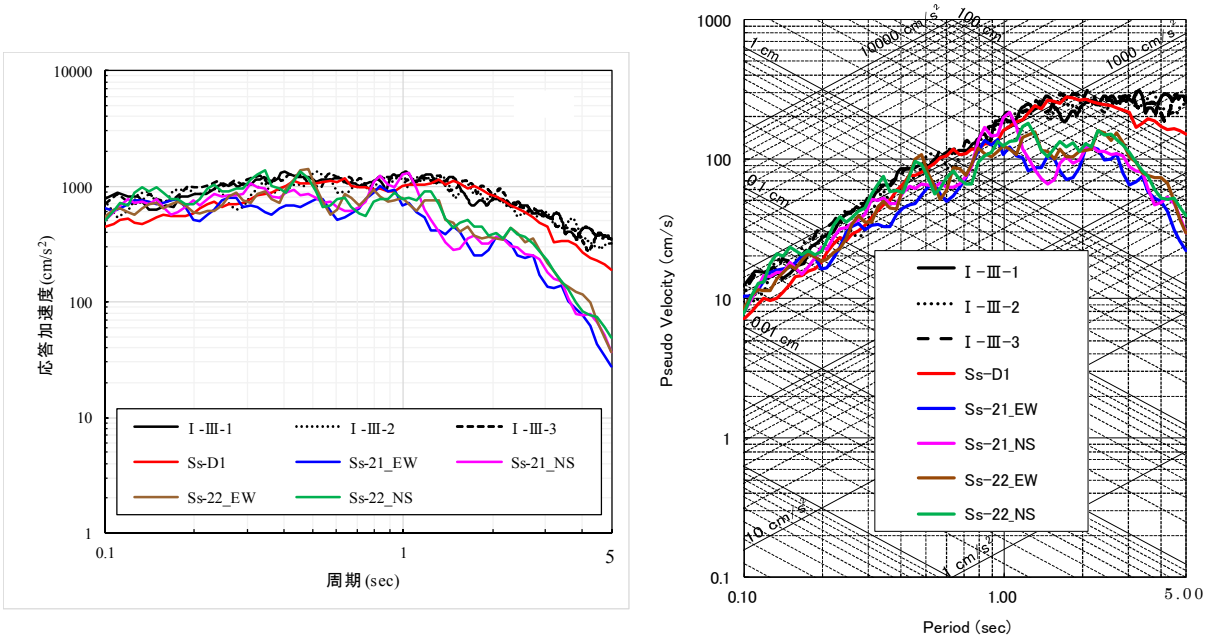
東海第二発電所の地震波及び道路橋示方書の地震波を用いて，加速度応答スペクトル及び疑似速度応答スペクトルを作成した。

東海第二発電所で用いる地震動は，検討地点の地層構成を基に，一次元等価線形解析により地表面まで引き上げた時刻歴応答加速度を用いて応答スペクトルを作成した。

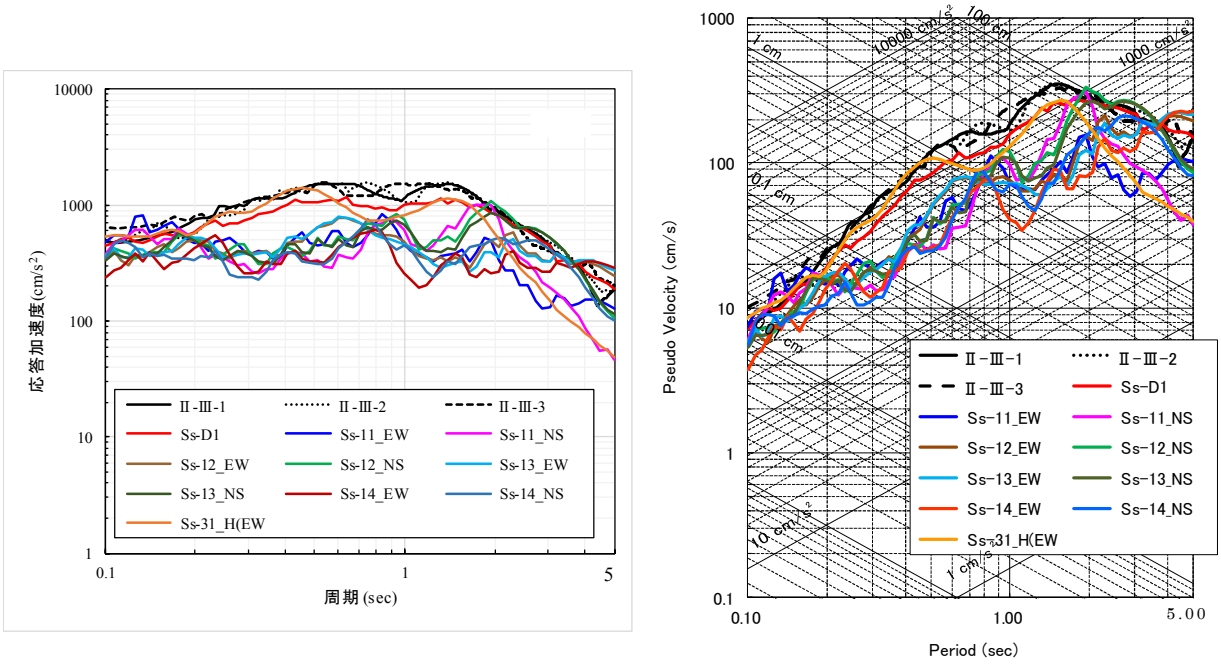
また，応答スペクトルを比較する際，道路橋示方書の TypeⅠ地震動については，プレート境界型地震動であるため東海第二発電所のＳｓ-21及びＳｓ-22を対象とし，TypeⅡ地震動については，内陸直下型地震動を対象としているため東海第二発電所のＳｓ-11～Ｓｓ-14 及びＳｓ-31 波と比較した。なお，東海第二発電所のＳｓ-D1波についてはTypeⅠ，TypeⅡ両方と比較した。スペクトル解析結果を第６９図及び第７０図に示す。

応答スペクトルを比較した結果，道路橋示方書の応答スペクトルが全ての地震動を概ね包含する結果となった。

以上より，道路橋示方書の地震動と東海第二発電所の基準地震動Ｓｓのレベルが地表面において，ほぼ同等であることを確認した。



第６９図　基準地震動Ｓｓと TypeⅠ地震動との比較



第７０図　基準地震動Ｓｓと TypeⅡ地震動との比較

４．杭構造基礎に関する設計基準類

杭構造基礎に係る設計基準としては，道路橋示方書・同解説（公益社団法人 日本道路協会）の他，杭基礎設計便覧（公益社団法人日本道路協会），杭基礎施工便覧（公益社団法人日本道路協会）に代表される。

（１）道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編（公益社団法人日本道路協会）

道路橋下部構造の技術基準として，杭基礎の種類や選定方法，設計手法等がとりまとめられており，橋梁下部構造以外の土木構造物の杭基礎においても，同基準を参考として計画・設計している。下部構造の技術基準の変遷を第１９表に示す。

（２）杭基礎設計便覧

道路橋示方書・同解説を補完するものとして，道路橋示方書の背景や設計の基本的な考え方，新しい研究成果等を紹介したもの。

（３）杭基礎施工便覧

道路橋示方書・同解説を補完するものとして，道路橋示方書の規定の解説や既存工法の説明，施工計画に関するもの，施工管理の具体的な内容，施工上のトラブル事例と対策等について紹介したもの。

杭基礎設計便覧・杭基礎施工便覧

昭和 61 年	杭基礎設計便覧	刊行
平成 4 年	杭基礎設計便覧	改訂
	杭基礎施工便覧	刊行
平成 18 年	杭基礎設計便覧	改訂
	杭基礎施工便覧	改訂
	（現段階での最新基準）	

第１９表　下部構造の技術基準の変遷

年・月	名称	内容
S39.3(1964)	道路橋下部構造設計指針 くい基礎設計編	設計の一般事項
S41.11(1966)	道路橋下部構造設計指針 調査及び設計一般	クーロン土圧による土圧計算 粘性土に粘着力を考慮 許容応力度・許容支持力の規定
S43.3(1968)	道路橋下部構造設計指針橋台・橋脚設計篇直接基礎設計篇	斜橋の橋台に働く土圧，地震荷重の統一的な算定方法を規定 直接基礎の設計の規定
S43.10(1968)	道路橋下部構造設計指針くい基礎の施工篇	鉄筋コンクリート杭，PC杭，鋼杭を中心に規定 継手，杭頭仕上げについて規定
S45.3(1970)	道路橋下部構造設計指針ケーソン基礎設計篇	くい基礎・ケーソン基礎・直接基礎の範囲を示す 鉛直，水平の荷重分担要素の明確化 ケーソンの設計に必要な項目の規定
S48.1(1973)	道路橋下部構造設計指針　場所打ち杭の設計施工篇	場所打ち杭の定義(深礎も場所打ち杭) 杭の設計径，コンクリートのヤング係数，許容支持力度を規定具体的な施工手引きとして，機械掘削・人力掘削に分けた。
S55.5(1980)	道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編の刊行	部材照査方法に関してコンクリート橋編と整合 杭基礎の鉛直支持力の算定方法を改訂 中掘り杭工法の設計施工規定
H2.2(1990)	道路橋示方書 IV 下部構造編	各種基礎の設計法の適用範囲に関する解説の充実 地盤反力係数の算定式やフーチングの剛体判定式の統合 岩盤上直接基礎の許容支持力度や弾性体基礎の許容変位量の規定 高強度水中コンクリートや太径鉄筋の規定 暴風時の取り扱いの見直し
H5.11(1993)	道路橋示方書 IV 下部構造編	下部構造の設計における活荷重の載荷方法の見直し 胸壁設計における断面力算定式の見直し
H8.12(1996)	道路橋示方書 IV 下部構造編	橋梁の各部位に地震時保有水平耐力法を導入したことに伴う照査方法の規定 部材のじん性向上のための細目 建設費縮減のための構造形状の単純化 鋼管矢板基礎の規定 ケーソン基礎設計法の改訂
H14.3(2002)	道路橋示方書 IV 下部構造編	死荷重作用時の鉄筋の許容応力度の規定 コンクリート部材の塩害対策規定 フーチングの曲げ及びせん断に対する設計法の見直し 直接基礎の極限支持力算定式の見直し プレボーリング杭工法，鋼管ソイルセメント杭工法，バイブロハンマ杭工法の規定 場所打ち杭，中掘り杭，鋼管矢板基礎及び地中連続壁基礎の支持力推定式の見直し
H24.3(2012)	道路橋示方書 IV 下部構造編	従来よりも降伏点の高い鉄筋SD390，SD490を規定 橋台部ジョイントレス構造の設計を規定 橋台背面アプローチ部の規定 道路橋基礎に求められる基本事項を規定 回転杭工法の規定

５．参考資料

（１）構造物への影響が大きい地震動について

基準地震動Ｓｓ全波による引上げ解析を行い，その解析結果を基に構造物への影響が大きい地震動を確認する。

１）検討方針

① 基準地震動Ｓｓ全波による一次元地盤応答解析は，防潮堤設置位置のうち，岩盤深度及び地質のバラツキによる影響を確認するために５地点を選定し，各地点の地質モデルを用いて実施する。

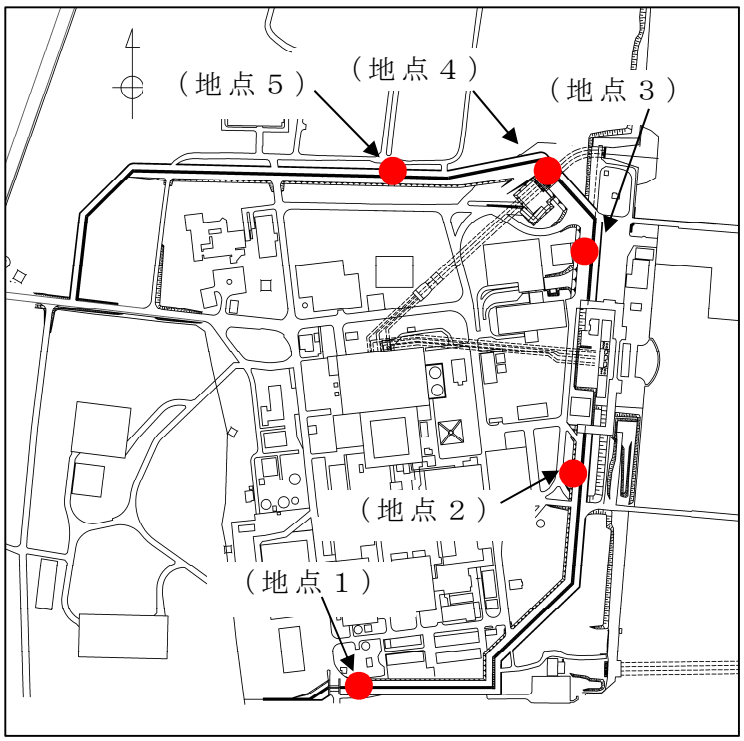
② 基準地震動Ｓｓ全波による一次元地盤応答解析結果として以下の項目を出力し，これらの項目を総合的に評価することにより構造物に影響が大きい地震動を確認する。

・最大応答加速度

・杭下端と地表面の最大相対変位

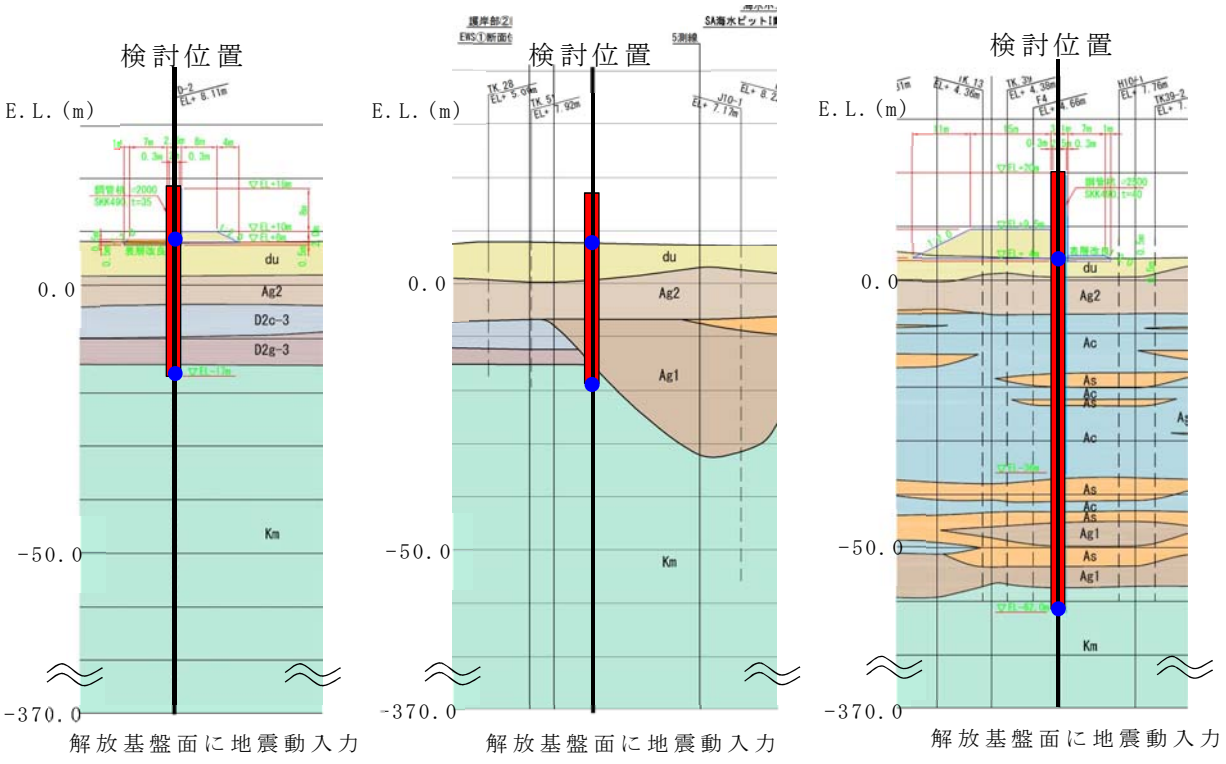
・最大せん断応力

一次元地盤応答解析の実施位置を参考図１，地質断面図を参考図２に示す。

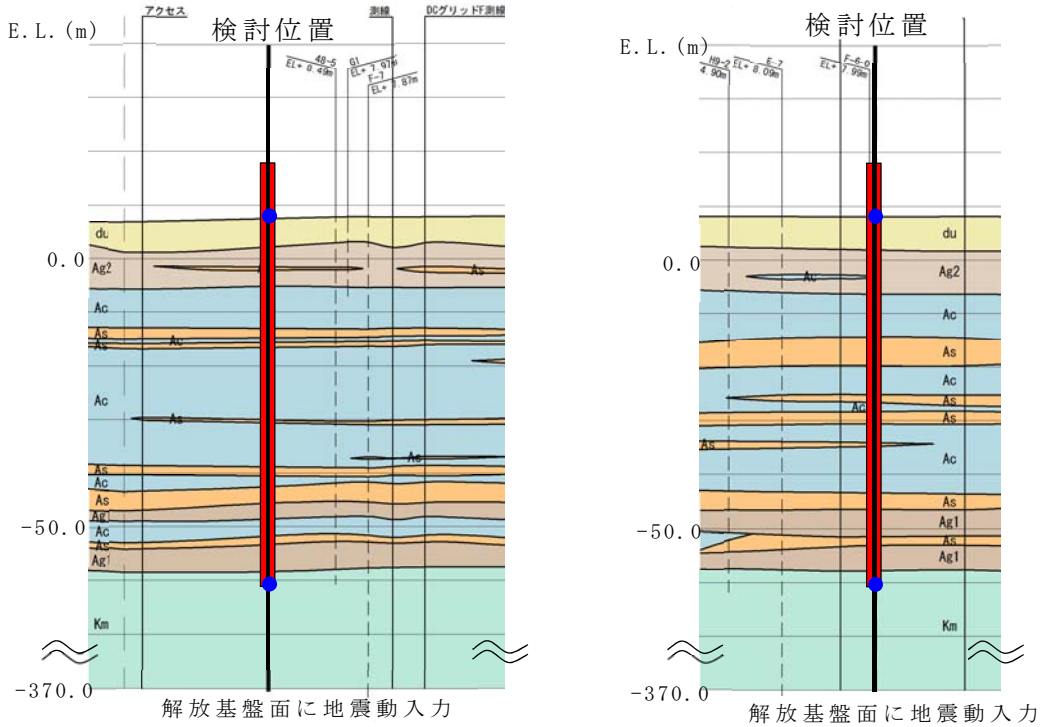


地点１	基本的に水平成層であるが，洪積層が堆積し，Ｋｍ層が浅部に存在する箇所
地点２	Ｋｍ層上面の傾斜部が最も浅部に存在する箇所
地点３	地表面標高が最も低く，Ｋｍ層が深部に存在する箇所
地点４	Ａｃ層の合計層厚が最大の箇所
地点５	Ａｃ層の合計層厚が最小の箇所

参考図１　一次元地盤応答解析の実施位置



（地点１）　（地点２）　（地点３）



（地点４）　（地点５）

● 最大相対変位算出位置

参考図２　地質断面図

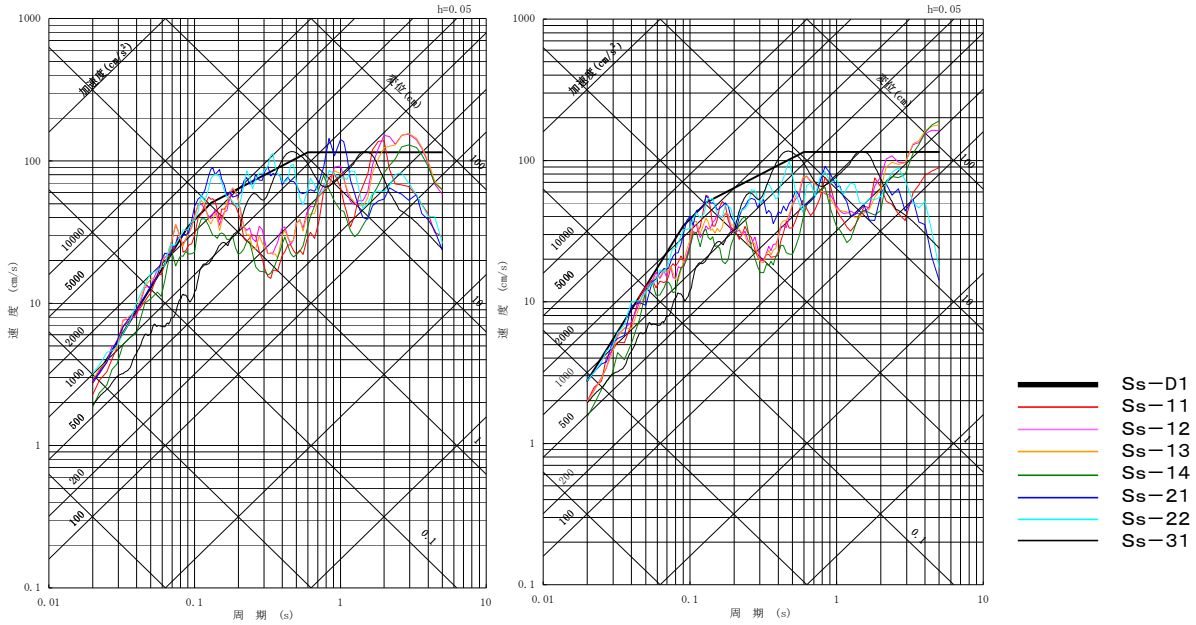
２）検討用地震動

一次元地盤応答解析に用いる基準地震動Ｓ$_s$の一覧を参考表１に，疑似速度応答スペクトルを参考図３に，加速度時刻歴波形を参考表２に示す。

なお，構造物に対しては水平動の影響が支配的であることから，水平動で検討する。

参考表１　基準地震動Ｓ$_s$

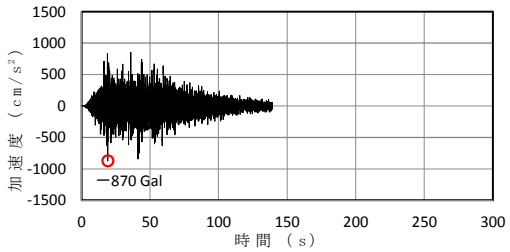
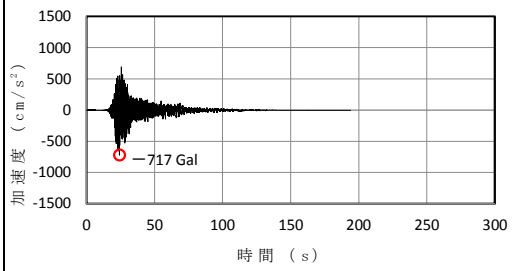
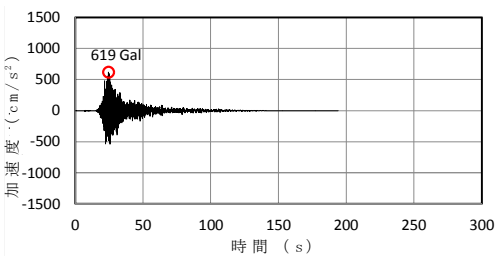
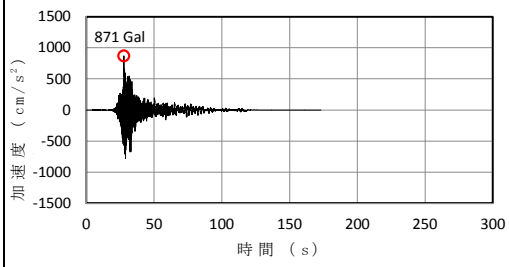
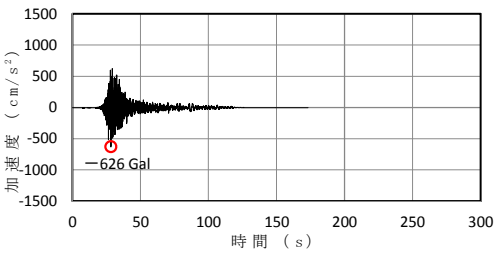
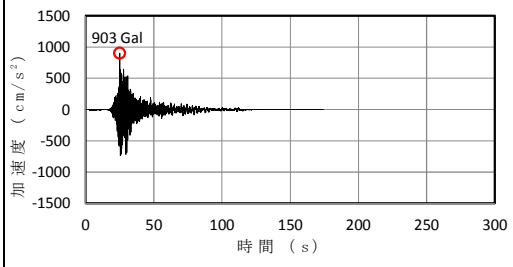
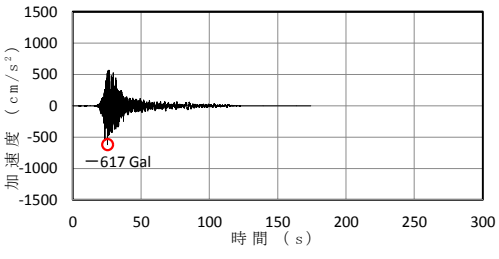
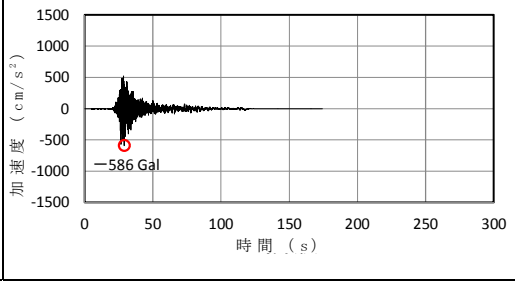
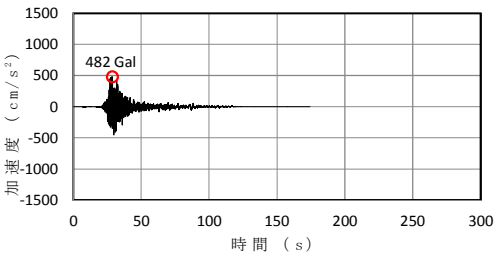
基準地震動		最大加速度（cm/s^2）	
		NS方向	EW方向
Ｓ$_s$－D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870	
Ｓ$_s$－11	Ｆ１断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点 1）	717	619
Ｓ$_s$－12	Ｆ１断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点 2）	871	626
Ｓ$_s$－13	Ｆ１断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点 3）	903	617
Ｓ$_s$－14	Ｆ１断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層の連動による地震（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点 2）	586	482
Ｓ$_s$－21	2011 年東北地方太平洋沖型地震（短周期レベルの不確かさ）	901	887
Ｓ$_s$－22	2011 年東北地方太平洋沖型地震（SMGA 位置と短周期レベルの不確かさの重畳）	1009	874
Ｓ$_s$－31	2004 年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610	



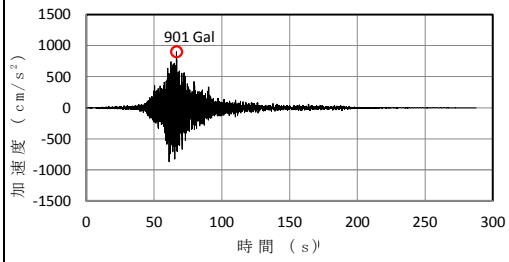
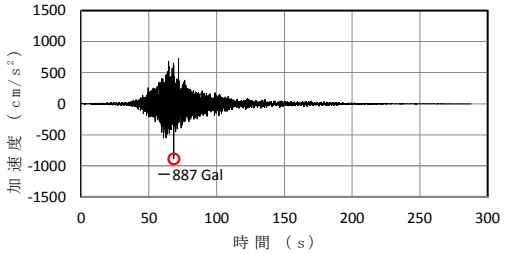
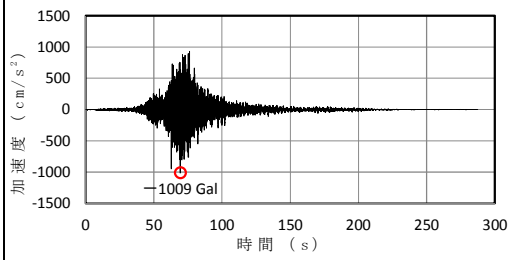
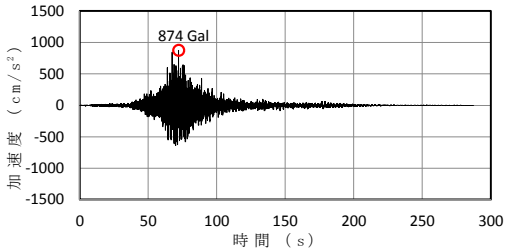
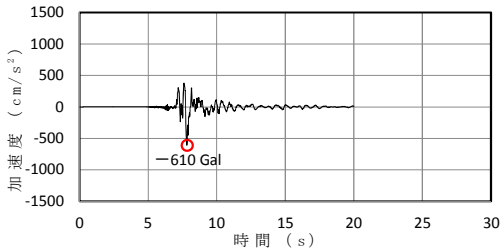
（ＮＳ方向）　　（ＥＷ方向）

参考図３　疑似速度応答スペクトル

参考表２（１）　基準地震動Ｓｓの加速度時刻歴波形（1／2）

	ＮＳ	ＥＷ
Ｓｓ－Ｄ1		
Ｓｓ－11		
Ｓｓ－12		
Ｓｓ－13		
Ｓｓ－14		

参考表２（２）　基準地震動Ｓｓの加速度時刻歴波形（2／2）

	ＮＳ	ＥＷ
Ｓｓ－21		
Ｓｓ－22		
Ｓｓ－31		

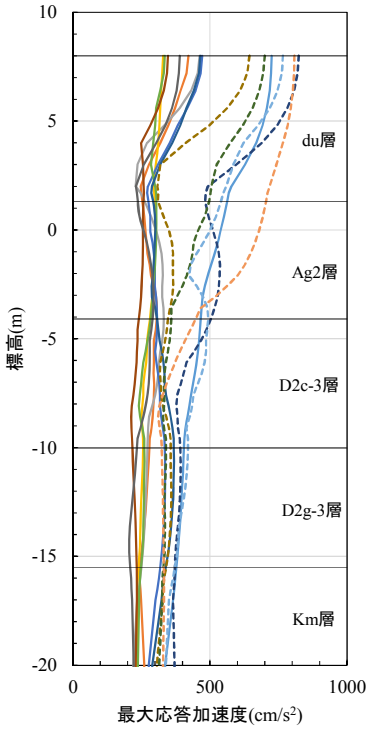
３）一次元地盤応答解析結果

基準地震動Ｓ$_{s}$の引上げ解析による最大応答加速度分布，最大相対変位分布，最大せん断応力分布，最大せん断ひずみ分布を以下に示す。

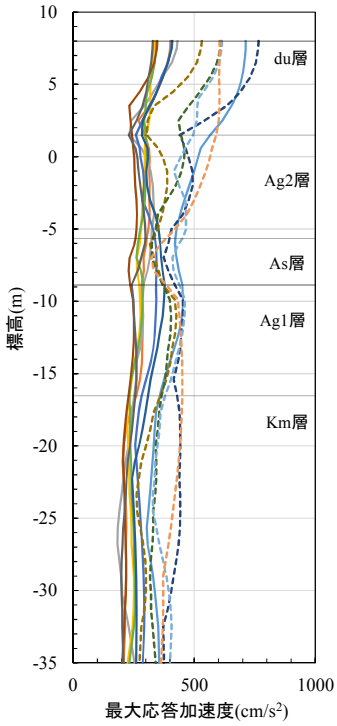
① 最大応答加速度分布

基準地震動Ｓ$_{s}$の引上げ解析による最大応答加速度分布を参考図４に示す。地表面の最大応答加速度が大きくなる地震動は，Ｓ$_{s}$－Ｄ1，Ｓ$_{s}$－21，Ｓ$_{s}$－22，Ｓ$_{s}$－31である。

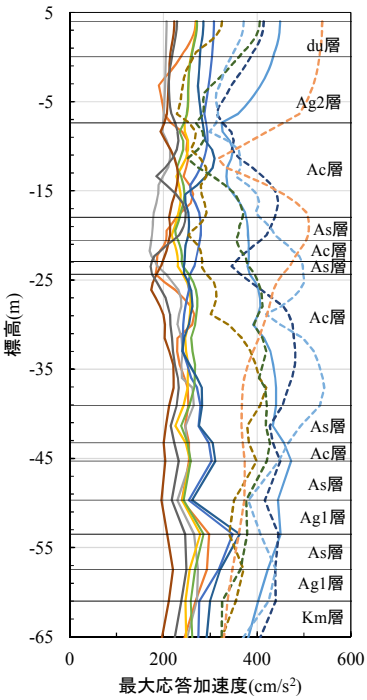
（地点１）



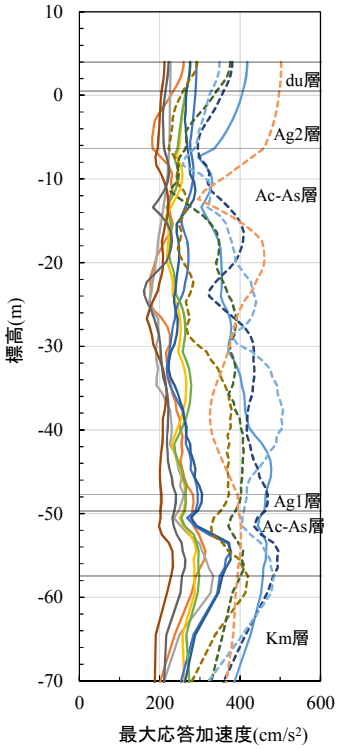
（地点２）



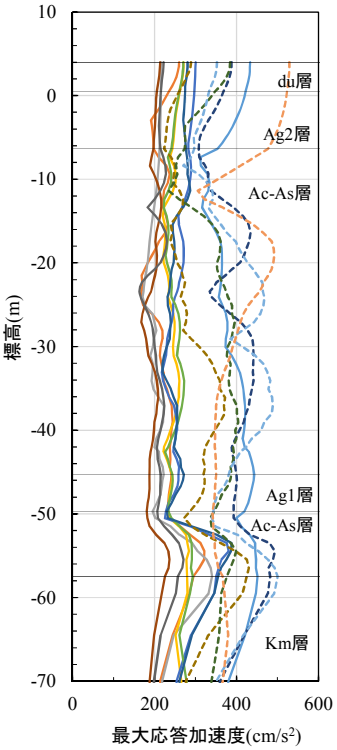
（地点３）

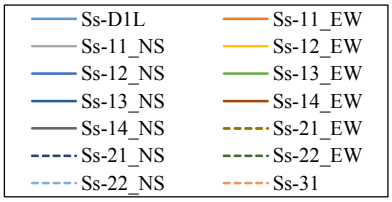


（地点４）



（地点５）

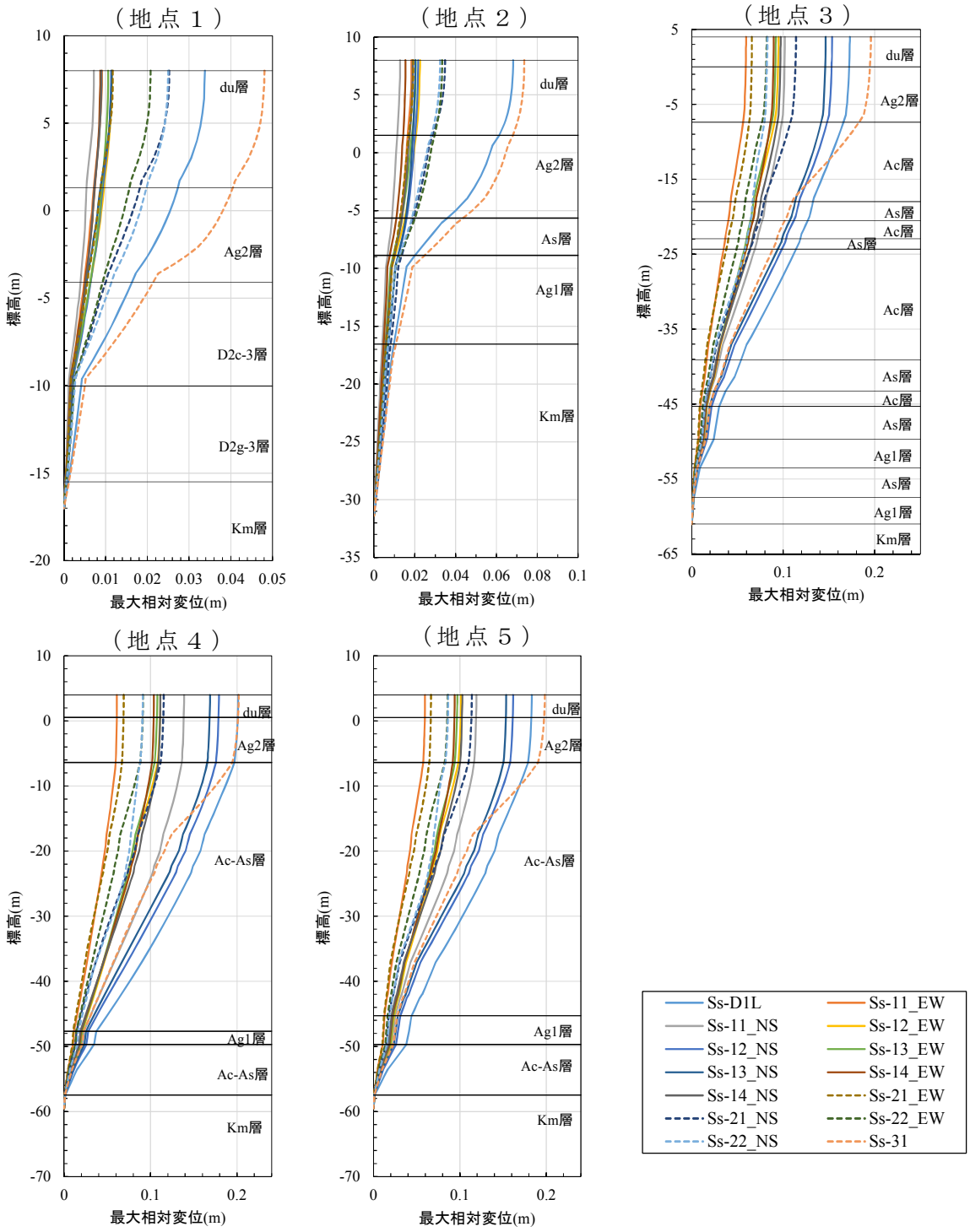




参考図４　最大応答加速度分布

② 最大相対変位分布

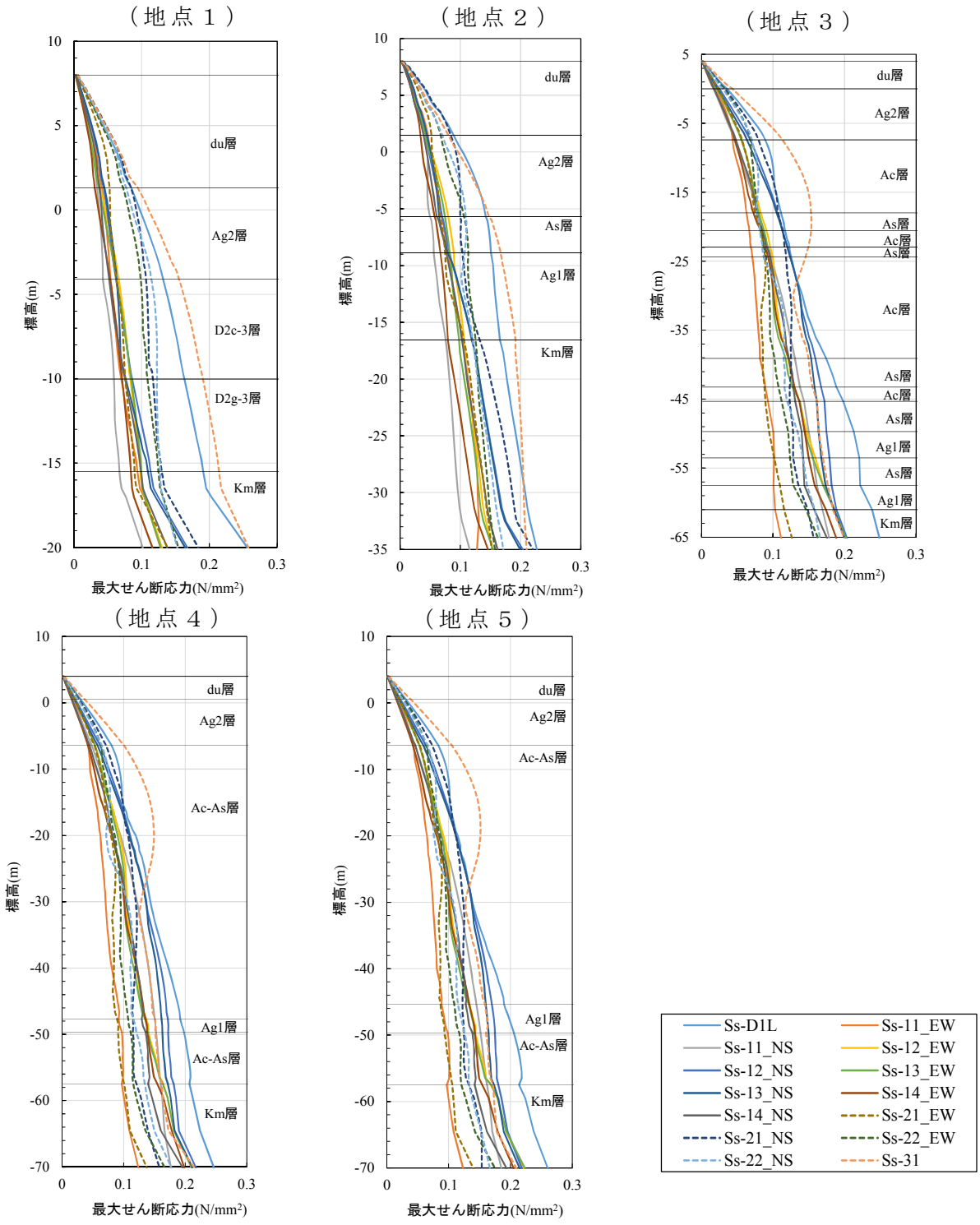
基準地震動Ｓｓの引上げ解析による最大相対変位分布を参考図５に示す。杭下端と地表面の最大相対変位が大きくなる地震動は，Ｓｓ－Ｄ１，Ｓｓ－31である。



参考図５　最大相対変位分布

③ 最大せん断応力分布

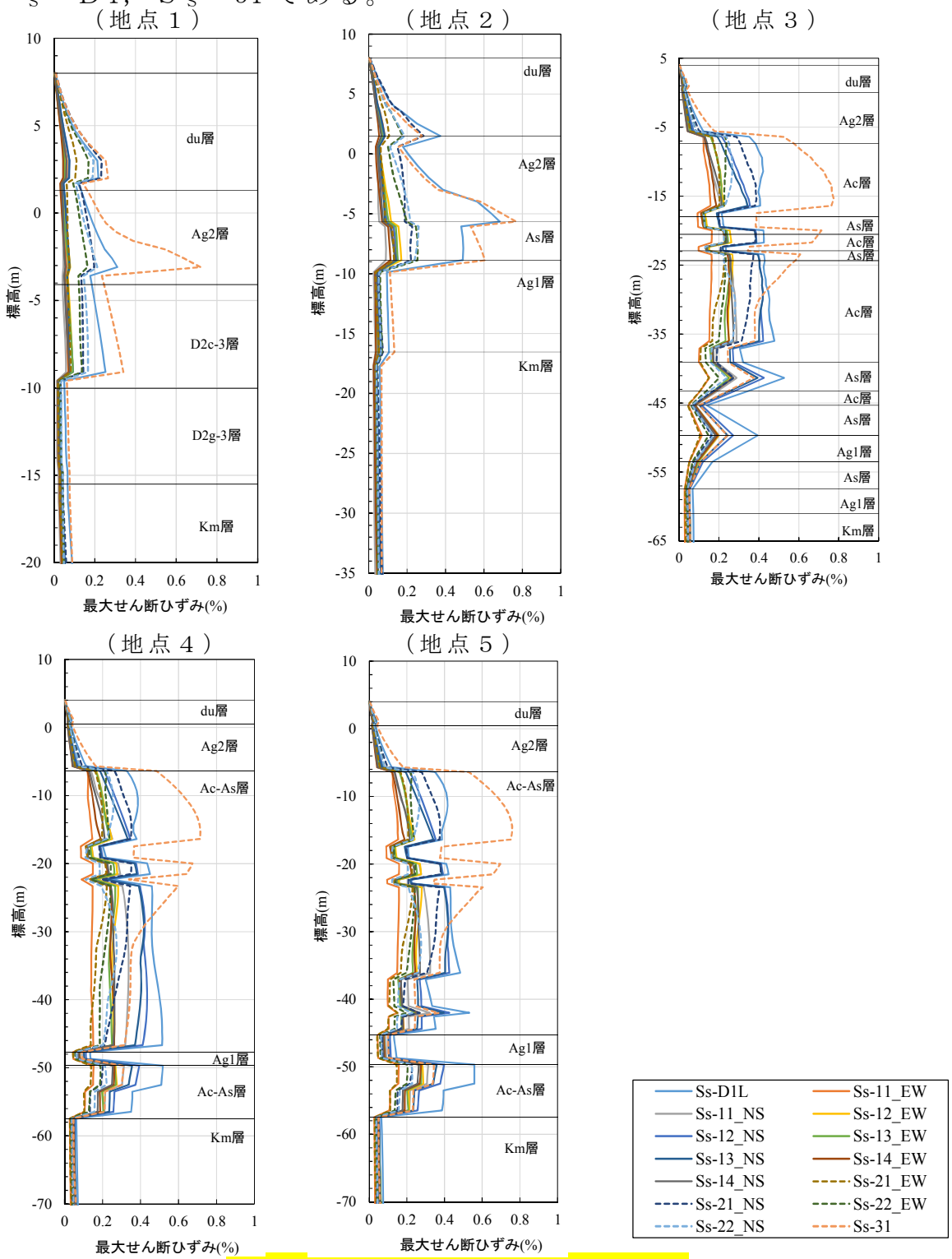
基準地震動Ｓｓの引上げ解析による最大せん断応力分布を参考図６に示す。最大せん断応力が大きくなる地震動は，Ｓｓ－Ｄ１，Ｓｓ－31である。



参考図６　最大せん断応力分布

④ 最大せん断ひずみ分布

基準地震動Ｓｓの引上げ解析による最大せん断ひずみ分布を参考図７に示す。最大せん断ひずみが大きくなる地震動は，Ｓｓ－Ｄ１，Ｓｓ－31である。



参考図７　最大せん断ひずみ分布

４）まとめ

構造物に影響が大きい地震動を以下に示す。

参考表３　構造物に影響が大きい地震動

	影響が大きい地震動	備考
最大加応答加速度	Ｓｓ－Ｄ1，Ｓｓ－21， Ｓｓ－22，Ｓｓ－31	
最大相対変位	Ｓｓ－Ｄ1，Ｓｓ－31	杭下端と地表面の 最大相対変位
最大せん断応力	Ｓｓ－Ｄ1，Ｓｓ－31	
最大せん断ひずみ	Ｓｓ－Ｄ1，Ｓｓ－31	

上記より，最大相対変位や最大せん断ひずみが大きくなるＳｓ－Ｄ1及びＳｓ－31が構造物に対して影響の大きい地震動であると考えられる。

また，液状化に対する影響が大きい地震動は，継続時間が長い地震動であるＳｓ－Ｄ1（63.39秒）であると考えられる。

（２）室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による液状化強度との比較検討

１）概要

敷地内に分布する液状化検討対象層について，Ｎ値及び細粒分含有率F_cから道路橋示方書式により算定されるR_L（GL-20m 以深含む）と，室内液状化強度試験データに基づき設定した液状化強度特性とを比較し，室内液状化強度試験データに基づき設定した液状化強度特性の保守性について確認した。

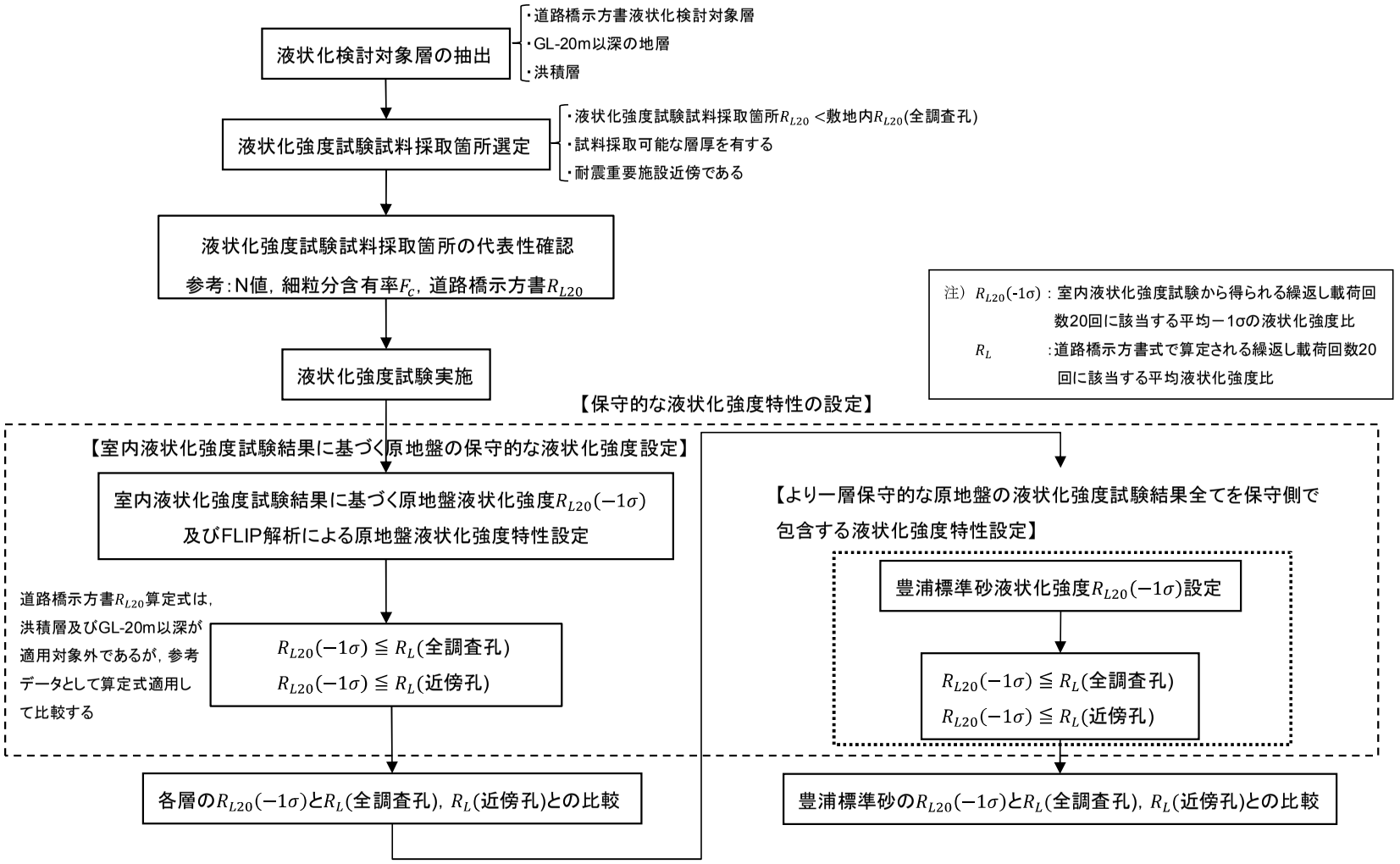
また，敷地には分布しない均質砂で，液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度試験データを液状化検討対象層に仮定した解析評価を実施するため，豊浦標準砂の液状化強度特性についても設定する。

なお，道路橋示方書において液状化の検討対象層とならない洪積層についても，安全側に液状化検討対象層と設定する。

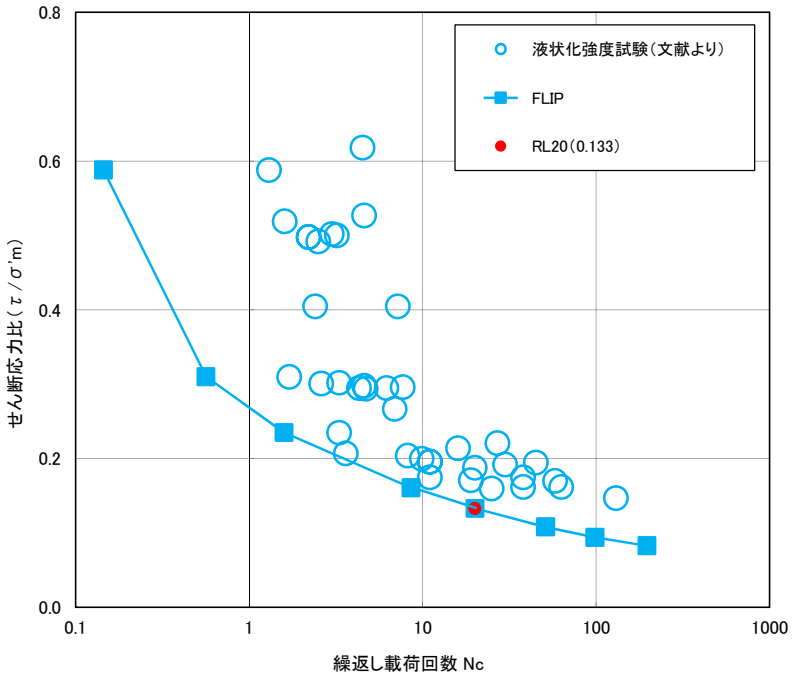
参考表４に液状化強度特性の設定方針，参考図８に液状化強度特性の設定フローを示す。また，参考図９に豊浦標準砂の液状化強度特性（-1σ）を，参考図１０に豊浦標準砂の液状化強度特性と敷地内に分布する液状化検討対象層の液状化強度特性との比較図を示す。

参考表４　液状化強度特性の設定方針

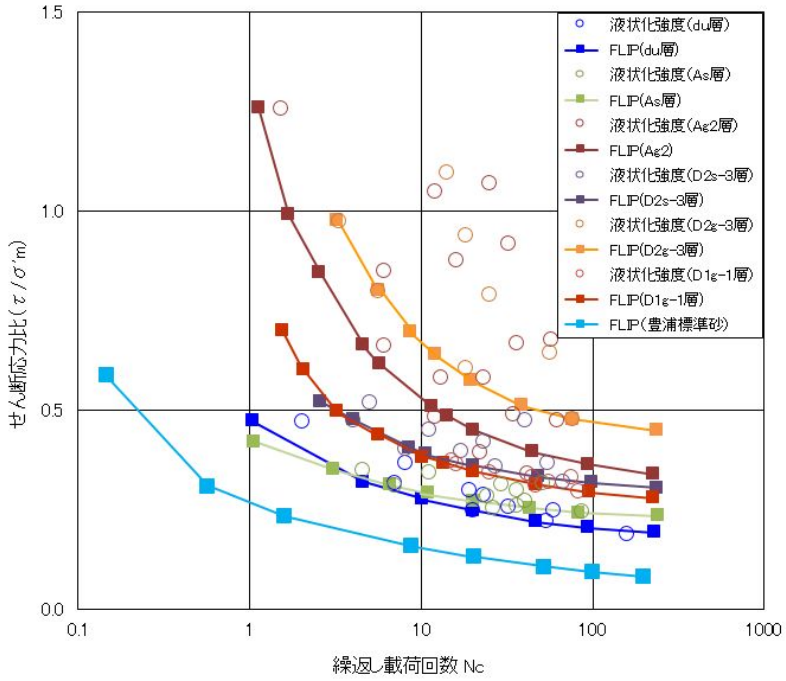
<table>
<tr><td colspan="3">液状化強度特性の
比較対象土層</td><td rowspan="2">道路橋示方書における液状化検討対象か否かの区分</td><td colspan="2">有効応力解析に用いる液状化強度特性の設定及び保守的な仮定</td></tr>
<tr><td>堆積年代</td><td>土層名</td><td>層相</td><td>現地盤の液状化強度特性の設定</td><td>液状化強度特性をより一層保守的に仮定</td></tr>
<tr><td rowspan="3">沖積層</td><td>du</td><td>砂</td><td>対象</td><td rowspan="6">現地盤試料の液状化強度試験に基づき設定する液状化強度特性</td><td rowspan="6">敷地に存在しない均質で液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度試験データを包含する液状化強度特性</td></tr>
<tr><td>Ag2</td><td>礫</td><td>対象</td></tr>
<tr><td>As</td><td>砂</td><td>GL-20m まで対象</td></tr>
<tr><td rowspan="2">洪積層</td><td>D2g-3</td><td>礫</td><td>対象外</td></tr>
<tr><td>D2s-3</td><td>砂</td><td>対象外</td></tr>
</table>



参考図８　　液状化強度比較検討フロー



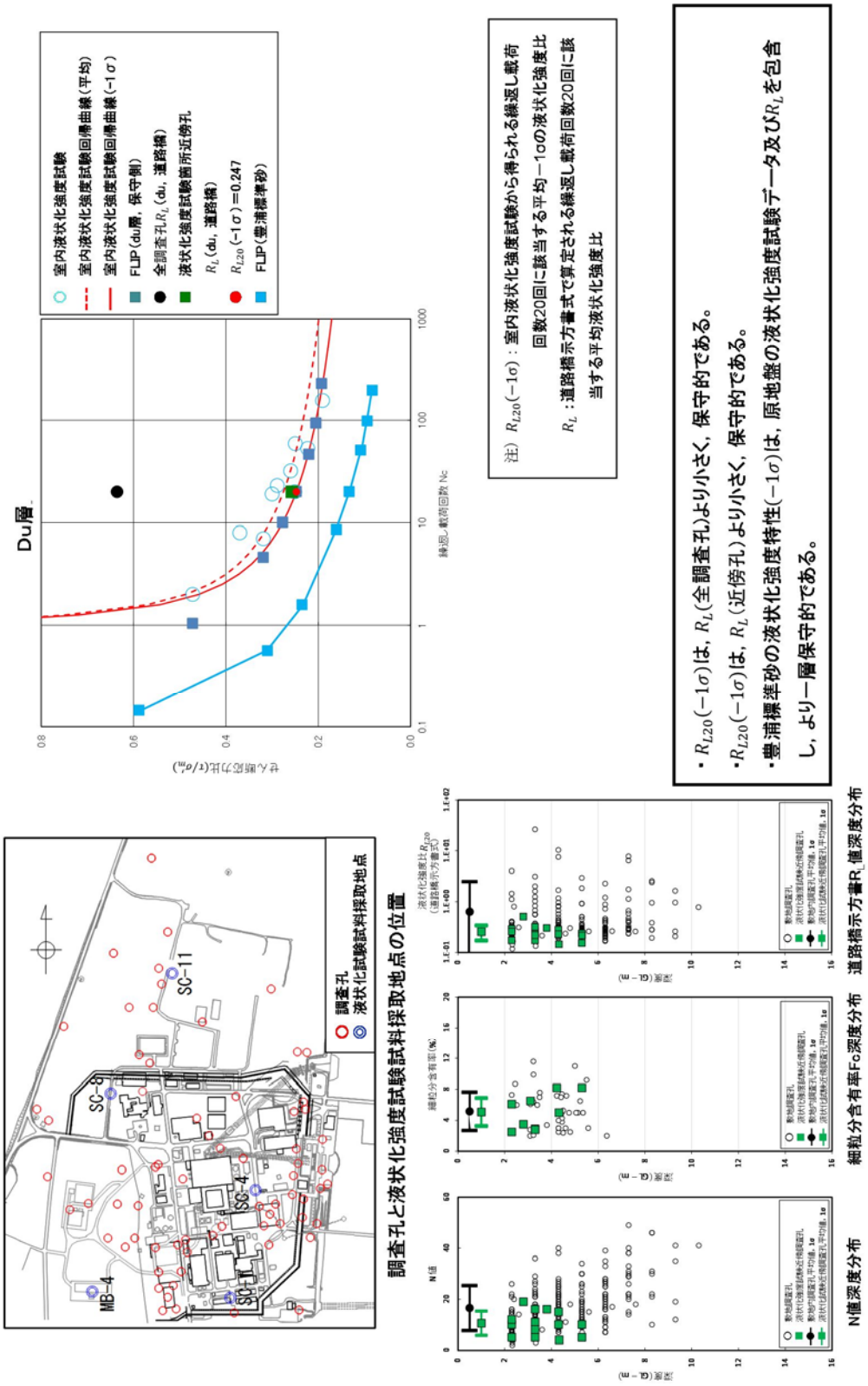
参考図９　FLIP による豊浦標準砂の液状化強度特性



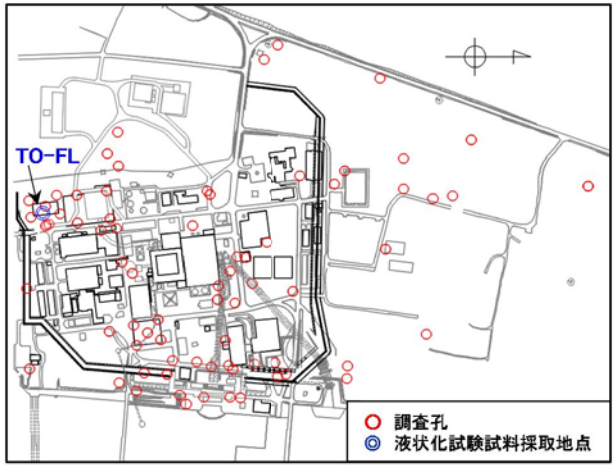
参考図１０　東海第二発電所の原地盤の液状化強度試験データとその全てを包含する FLIP の液状化強度特性（豊浦標準砂）

２）室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式によるR_Lとの比較

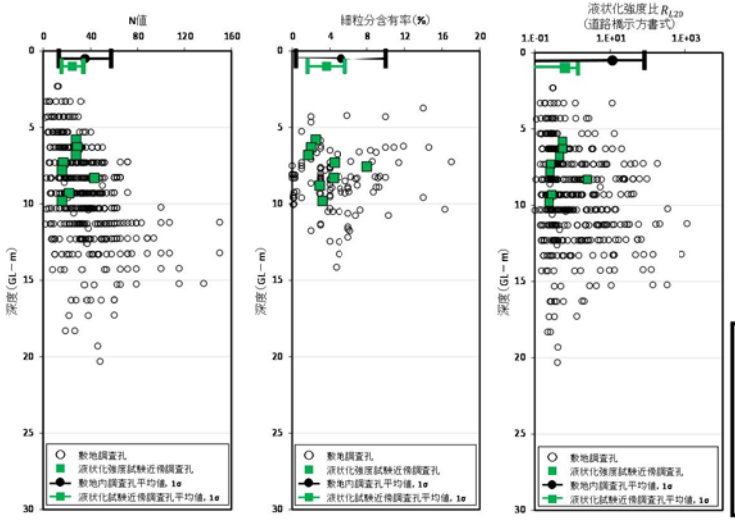
参考図１１に液状化検討対象層の室内液状化強度試験結果と敷地内調査孔の道路橋示方書式で算定されるR_Lとの比較結果を示す。

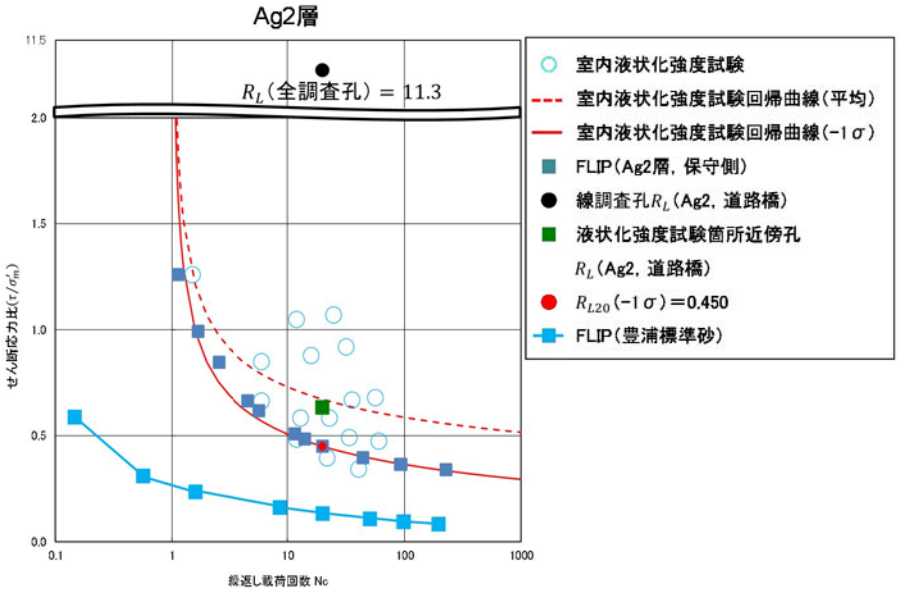


参考図１１（1）　液状化強度設定（du層）



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置

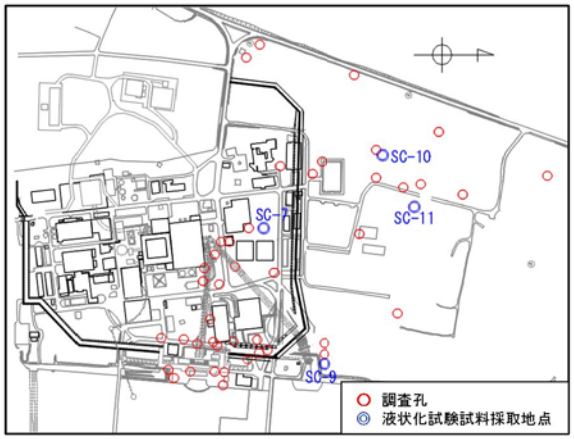




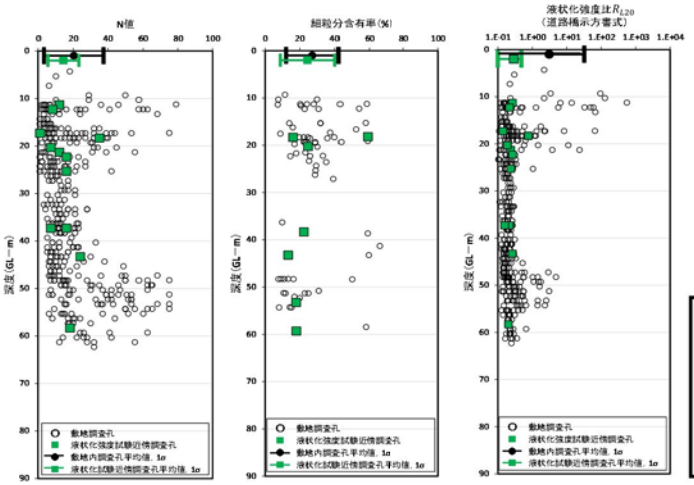
注）$R_{L20}(-1\sigma)$：室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均－1σの液状化強度比
R_L：道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

- $R_{L20}(-1\sigma)$は，R_L(全調査孔)より小さく，保守的である。
- $R_{L20}(-1\sigma)$は，R_L(近傍孔)より小さく，保守的である。
- 豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は，原地盤の液状化強度試験データ及びR_L(全調査孔)，R_L(近傍孔)を包含し，より一層保守的である。

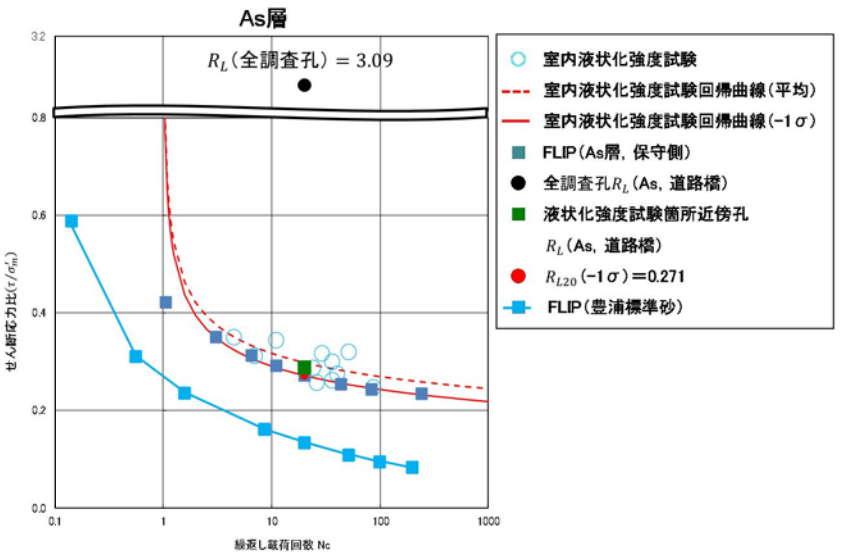
参考図１１(2)　液状化強度設定（Ag2 層）



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



N値深度分布　細粒分含有率Fc深度分布　道路橋示方書R_L値深度分布

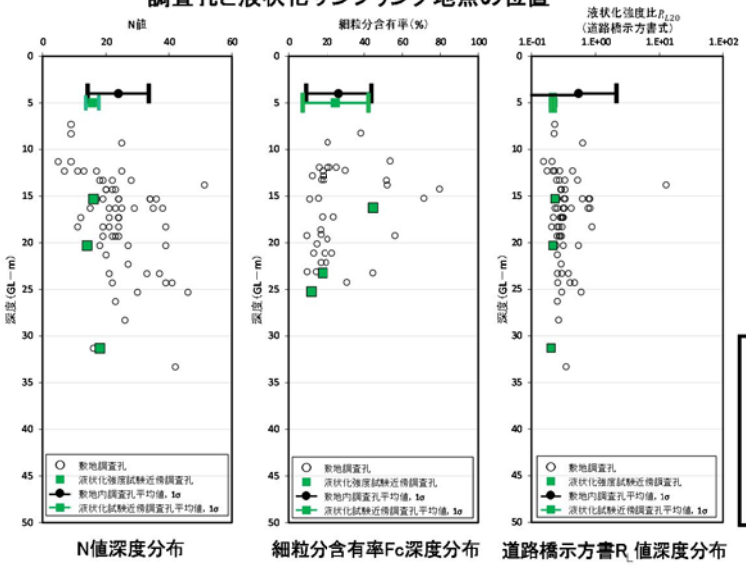


注）$R_{L20}(-1\sigma)$：室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均－1σの液状化強度比
R_L　：道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

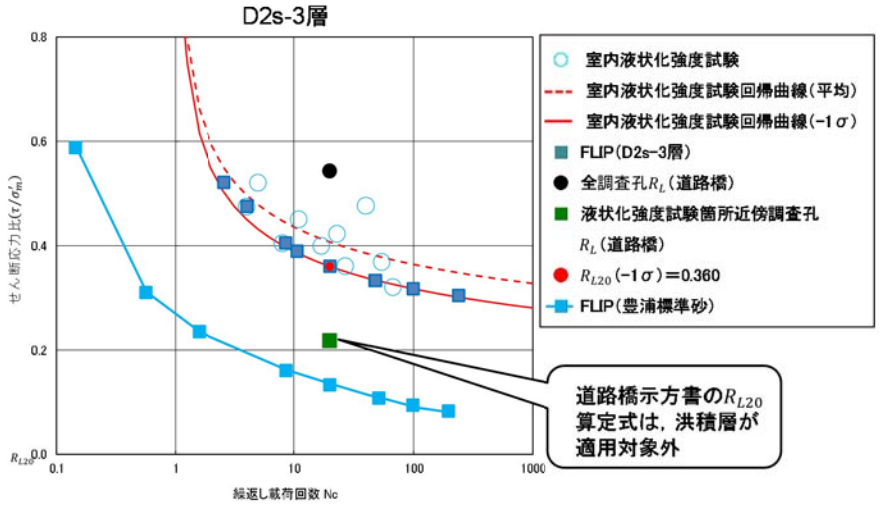
・$R_{L20}(-1\sigma)$は，R_L(全調査孔) より小さく，保守的である。
・$R_{L20}(-1\sigma)$は，R_L(近傍孔)より小さく，保守的である。
・豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は，原地盤の液状化強度試験データ及びR_L(全調査孔)，平均R_L(近傍孔)を包含し，より一層保守的である。

参考図１１(3)　液状化強度設定（As 層）

調査孔と液状化サンプリング地点の位置



N値深度分布　細粒分含有率Fc深度分布　道路橋示方書R_L値深度分布



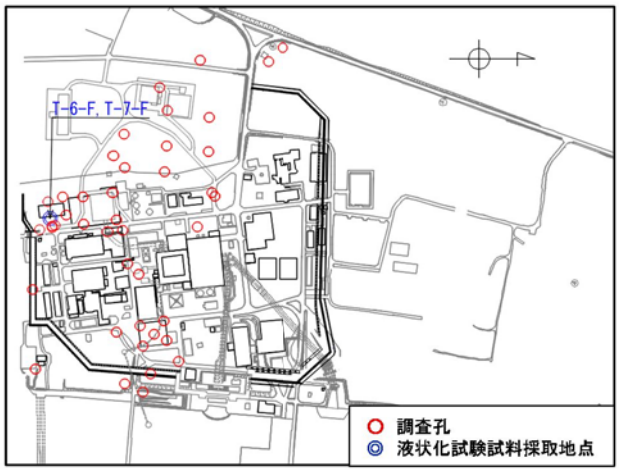
注）$R_{L20}(-1\sigma)$：室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均－1σの液状化強度比

R_L　：道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

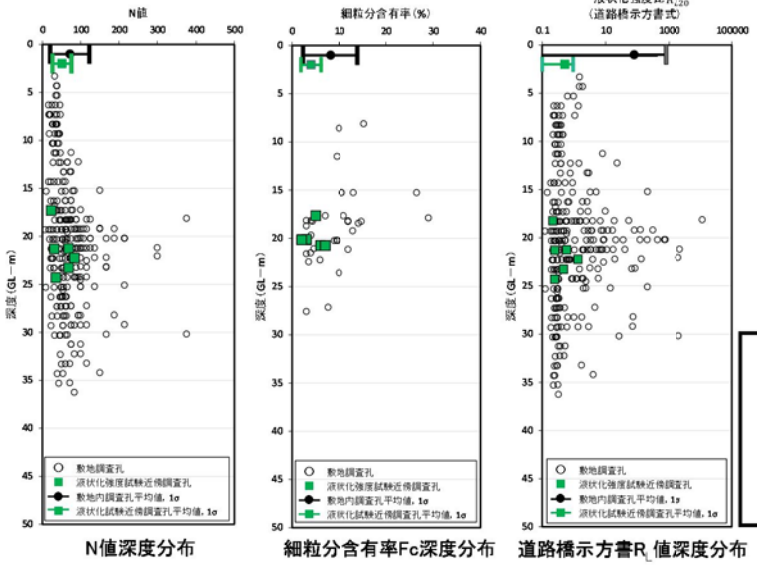
・$R_{L20}(-1\sigma)$は，N値とFcを用いてのR_L（全調査孔）より小さく，保守的である。

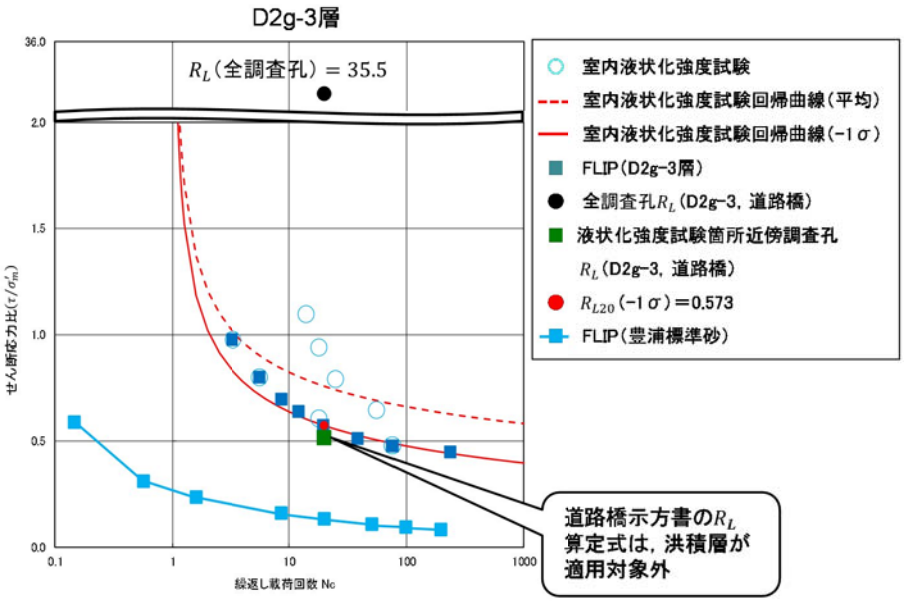
・$R_{L20}(-1\sigma)$は，N値とFcを用いてのR_L（近傍孔）よりやや大き目であるものの，豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は，原地盤の液状化強度試験データ及びR_L（全調査孔），R_L（近傍孔）を包含し，より一層保守的である。

参考図１１(4)　液状化強度設定（D2s-3層）



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置





注）$R_{L20}(-1\sigma)$：室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均－1σの液状化強度比

R_L　：道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

・$R_{L20}(-1\sigma)$は，N値とFcを用いてのR_L(全調査孔)より小さく，保守的である。

・$R_{L20}(-1\sigma)$は，N値とFcを用いてのR_L(近傍孔)よりやや大き目であるものの，豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は，原地盤の液状化強度試験データ及びR_L(全調査孔)，R_L(近傍孔)を包含し，より一層保守的である。

参考図１１(5)　液状化強度設定（D2g-3 層）

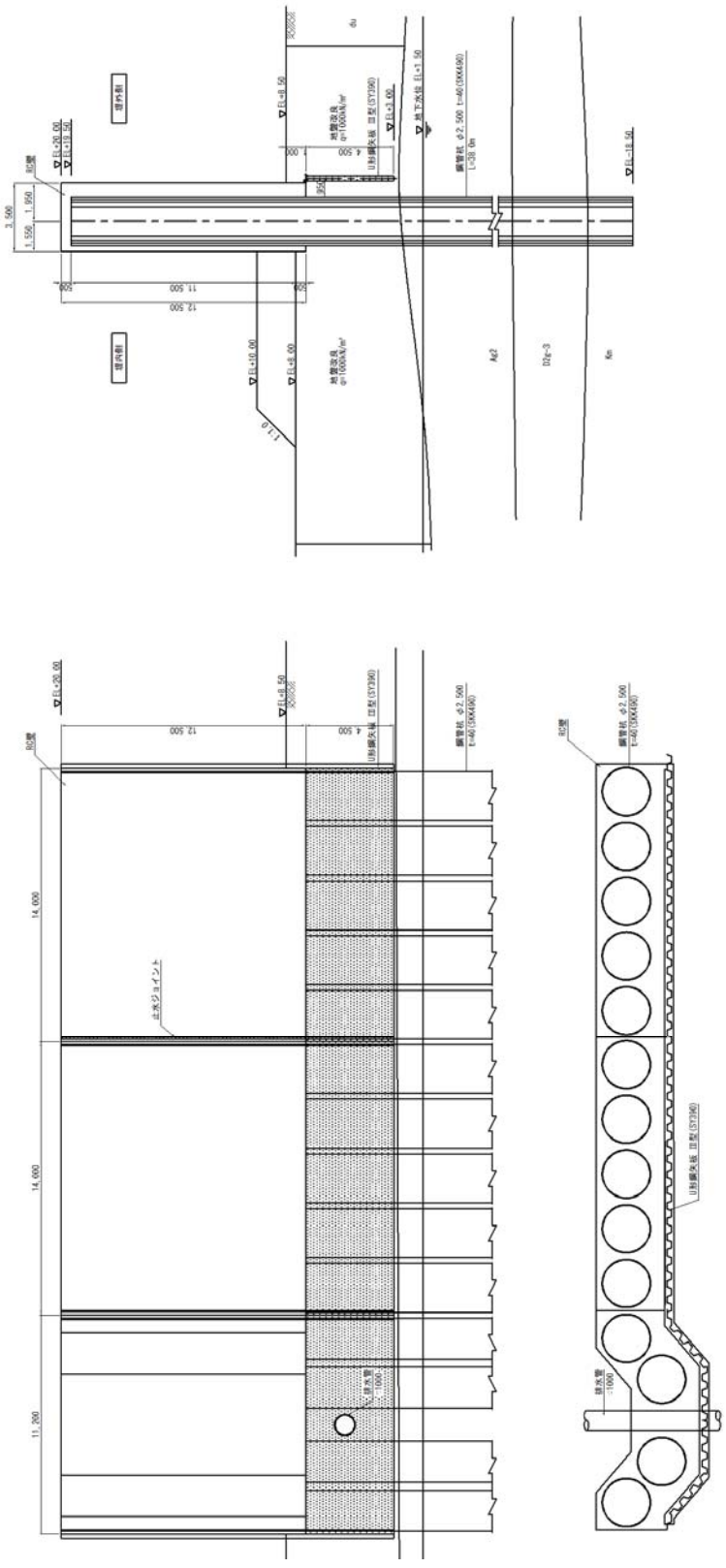
3）まとめ

敷地内の液状化検討対象層について，室内液状化強度試験結果$R_{L20}(-1\sigma)$及び豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)と敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所近傍調査孔の道路橋示方書によるR_Lとの比較検討を行った。

- 沖積層（du 層，As 層，Ag2 層）の室内液状化強度試験結果$R_{L20}(-1\sigma)$は，液状化強度試験箇所近傍調査孔のＮ値から算定した平均R_Lより小さく保守的な設定となっていることを確認した。
- 洪積層（D2g-3 層，D2s-3 層）の室内液状化強度試験結果$R_{L20}(-1\sigma)$は，道液状化強度試験箇所近傍調査孔のＮ値から算定した平均R_Lよりやや大きめの値となったが，Ｎ値を用いた道路橋示方書式は，沖積層のＮ値及び細粒分含有率F_cと沖積層の液状化強度比R_{L20}との関係から定めたものであり，洪積層の液状化強度が一般的に高めの傾向となる要因である年代効果の続成作用等の影響を考慮できる評価式になっておらず，洪積層には本来適用対象外である。したがって，道路橋示方書式を洪積層に適用して算定した液状化強度R_Lは信頼性に乏しいため，洪積層の液状化強度特性については，室内液状化強度試験データに基づき設定するのが妥当であると判断される。
- 豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は，現地盤の室内液状化強度試験データに基づく液状化強度及び道路橋示方書式による液状化強度を包含していることから，豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した解析評価は，構造物に対して最も厳しい条件での評価結果となる。

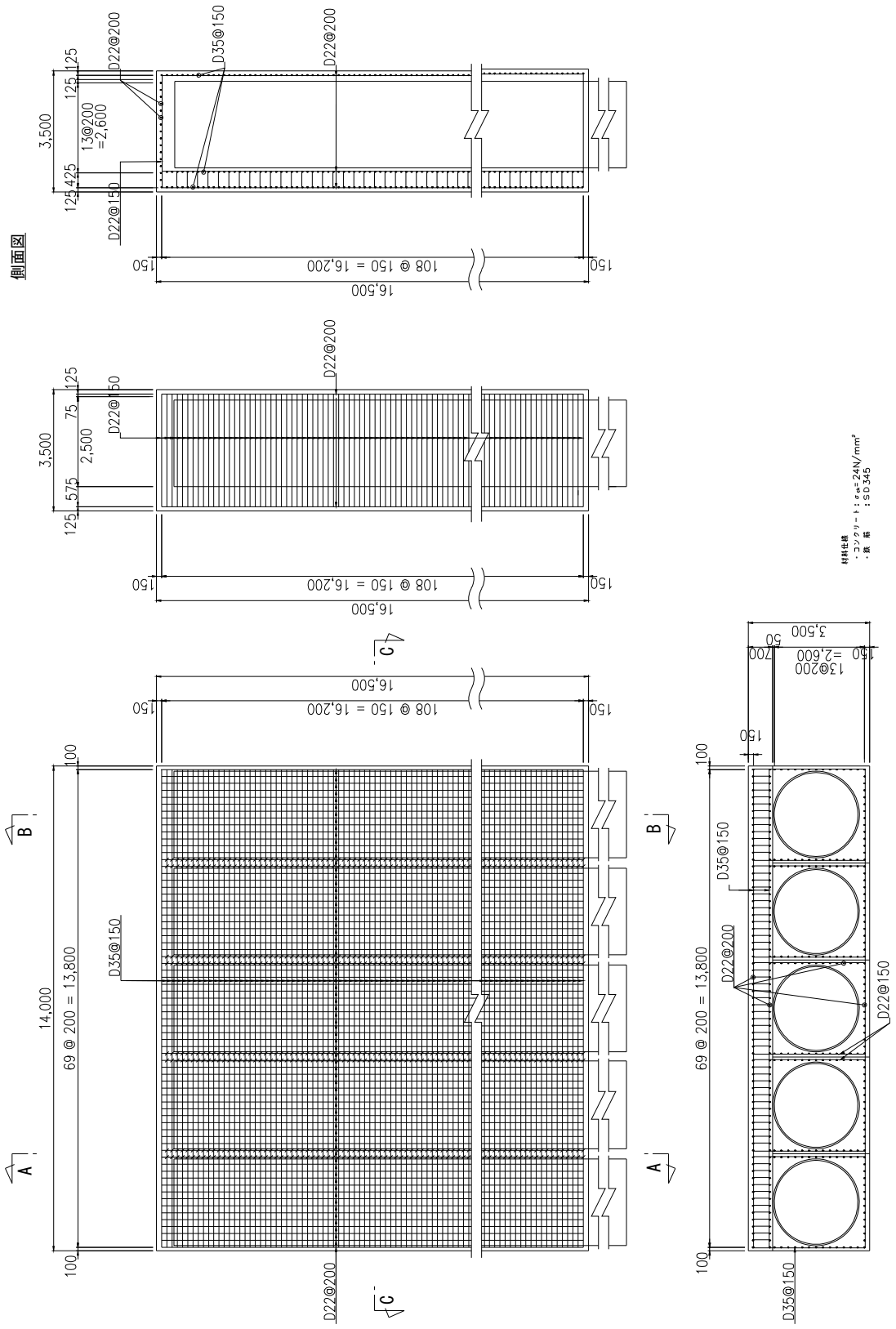
（3）各種構造図

1）地盤改良，シートパイル



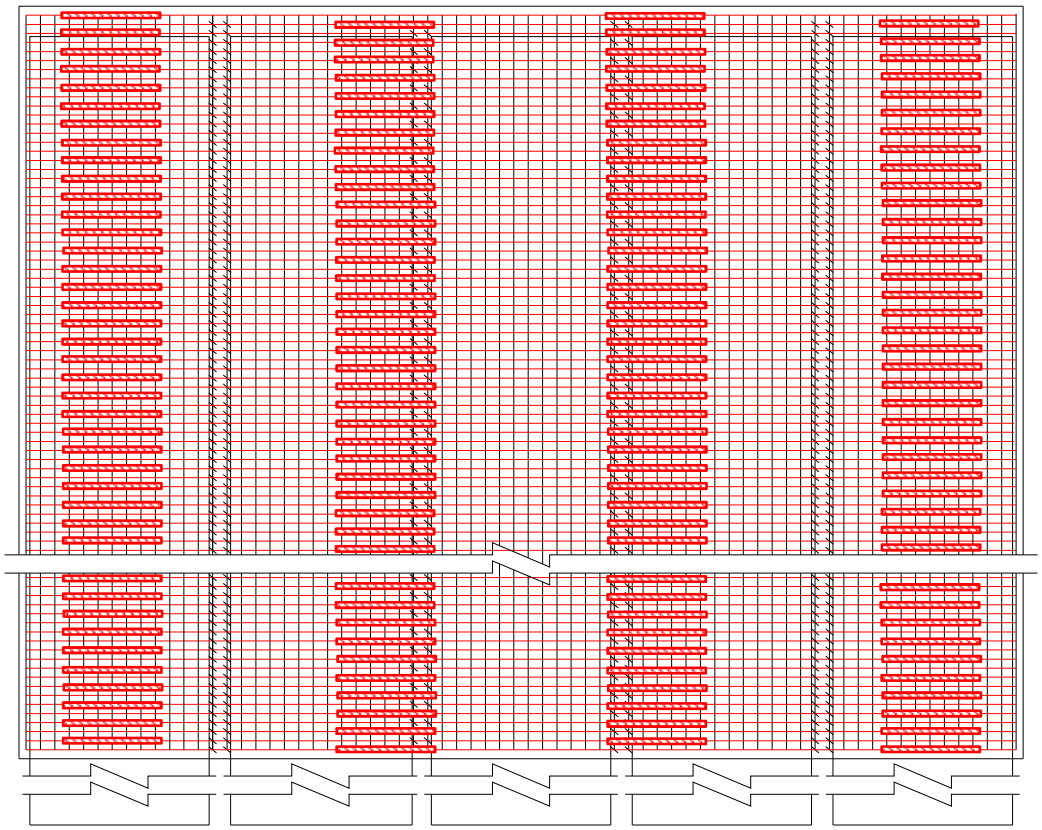
参考図１２　立面図

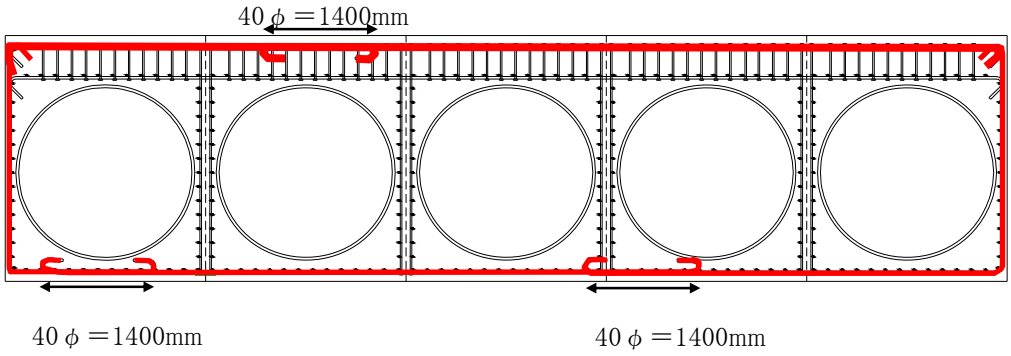
2） 上部工配筋図



参考図１３　上部工配筋図

３）鉄筋コンクリートの詳細配筋図（側面）





：鉄管コンクリート構造の鉄筋（5 本の柱を束ねる鉄筋）

：鉄筋継手位置(40φ=1400mm・千鳥配置)

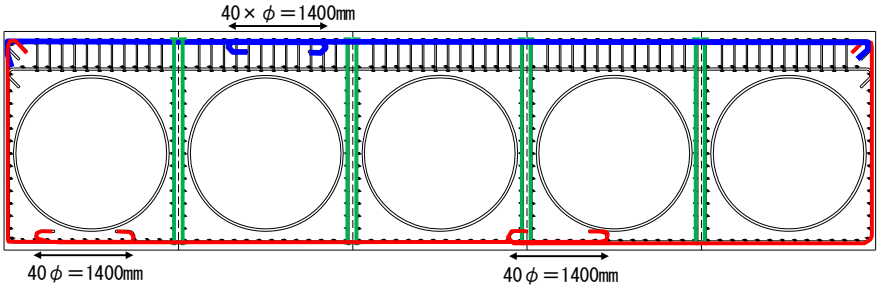
参考図１４　鉄筋コンクリートの詳細配筋図

４）鉄筋コンクリート梁壁と鋼管杭鉄筋コンクリートの一体化

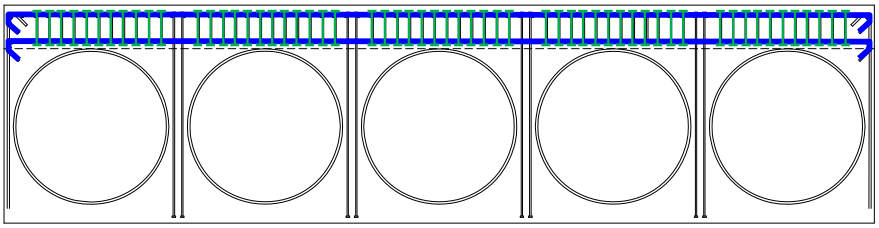
鉄筋コンクリートの配筋

「5本の柱を束ねる鉄筋」および「梁壁の鉄筋」は鉄筋により結合される。

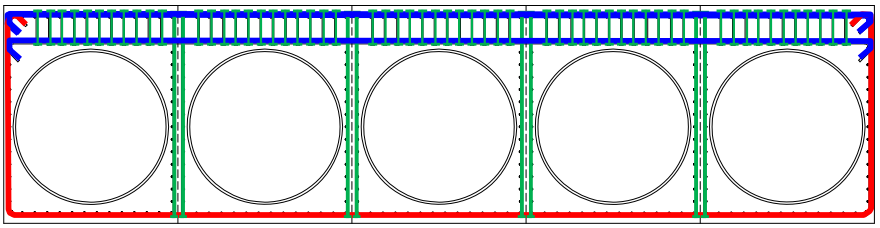
鉄管コンクリート構造の鉄筋
（5本の柱を束ねる鉄筋）



梁壁の鉄筋
（主筋およびせん断補強筋）

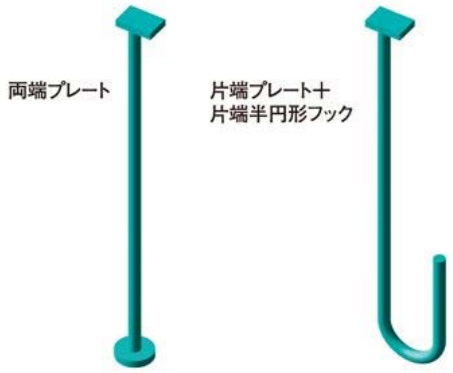


両方の鉄筋は，一部を共有して配置される。



５）機械式定着

せん断補強鉄筋の端部には，機械式定着を適用する。



機械式鉄筋定着ガイドライン
（平成 28 年 7 月　国土交通省より発行）

壁部材への適用状況

土木地中構造物への適用状況

添付資料２９

地震後の防波堤の津波による影響評価について

目　次

１．防波堤の施設概要

２．防波堤の漂流物化に係る検討方針

３．地震時評価

（１）解析方法

（２）荷重及び荷重の組合せ

（３）入力地震動

（４）解析モデル

（５）使用材料及び材料の物性値

（６）評価結果

（７）基準地震動 Ss による防波堤への影響評価のまとめ

４．津波時評価

（１）評価方法

（２）傾斜堤の津波時安定性

（３）ケーソン堤の津波時安定性

（４）防波堤漂流物の重要施設への到達の可能性評価

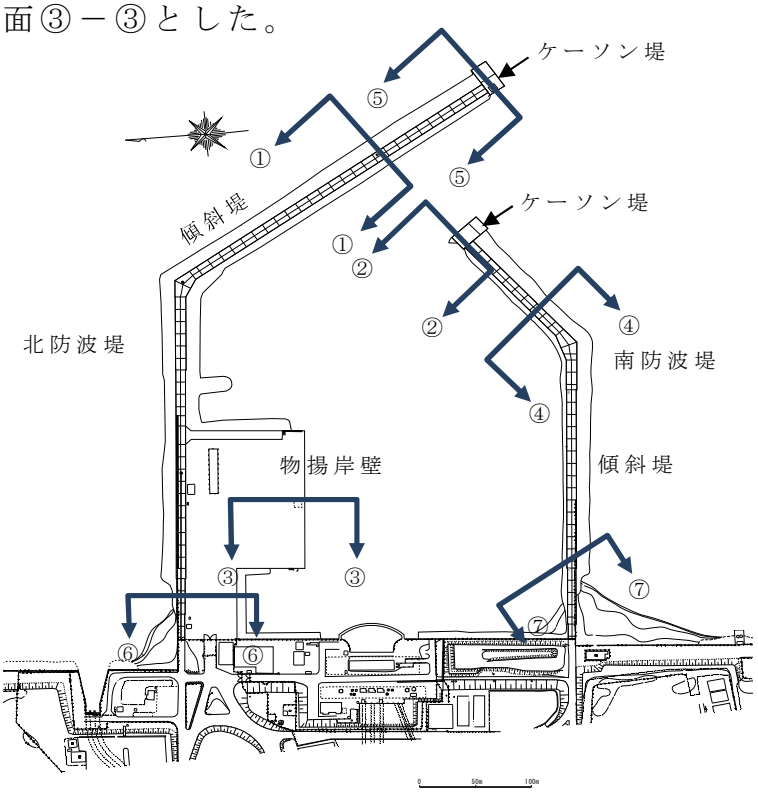
（５）取水施設における取水機能の成立性

（６）津波のよる防波堤損壊の影響評価のまとめ

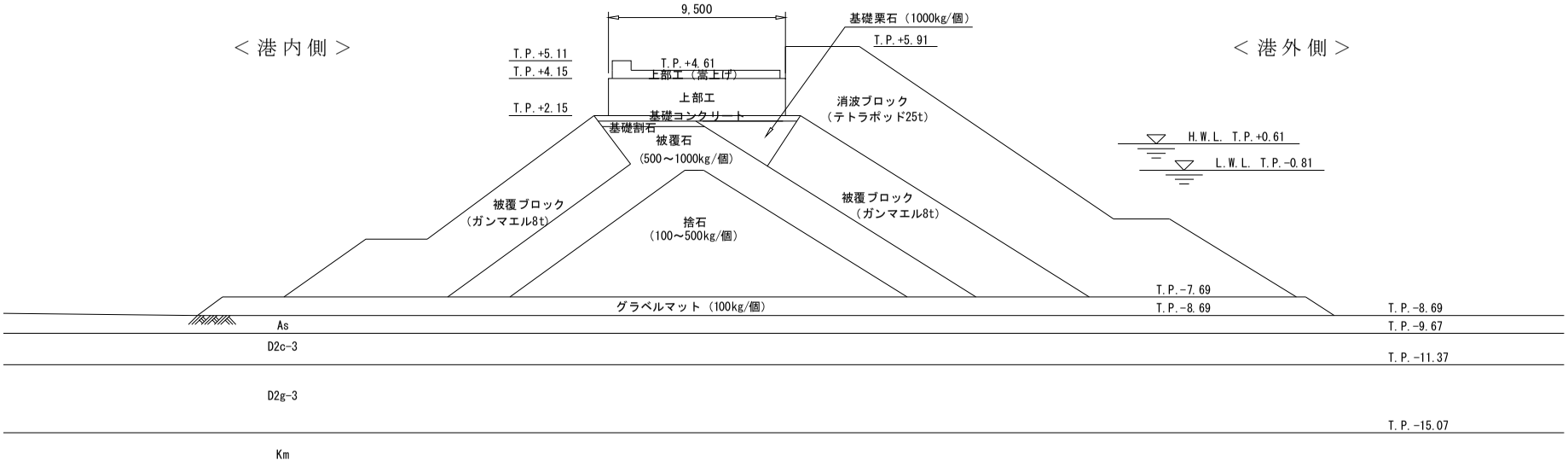
１．防波堤の施設概要

東海第二発電所の防波堤は，傾斜堤，ケーソン堤及び物揚岸壁からなる。傾斜堤は捨石や消波ブロック類からなり，上端には上部工を設置し道路として使用している。ケーソン堤は傾斜堤の先端部に２函ずつ設置されている。また，物揚岸壁は北側の防波堤にあり，港内側は控え杭式鋼管矢板の岸壁からなる。平面図及び構造断面図を第１図～第８図に，東海港深浅図を第９図に示す。

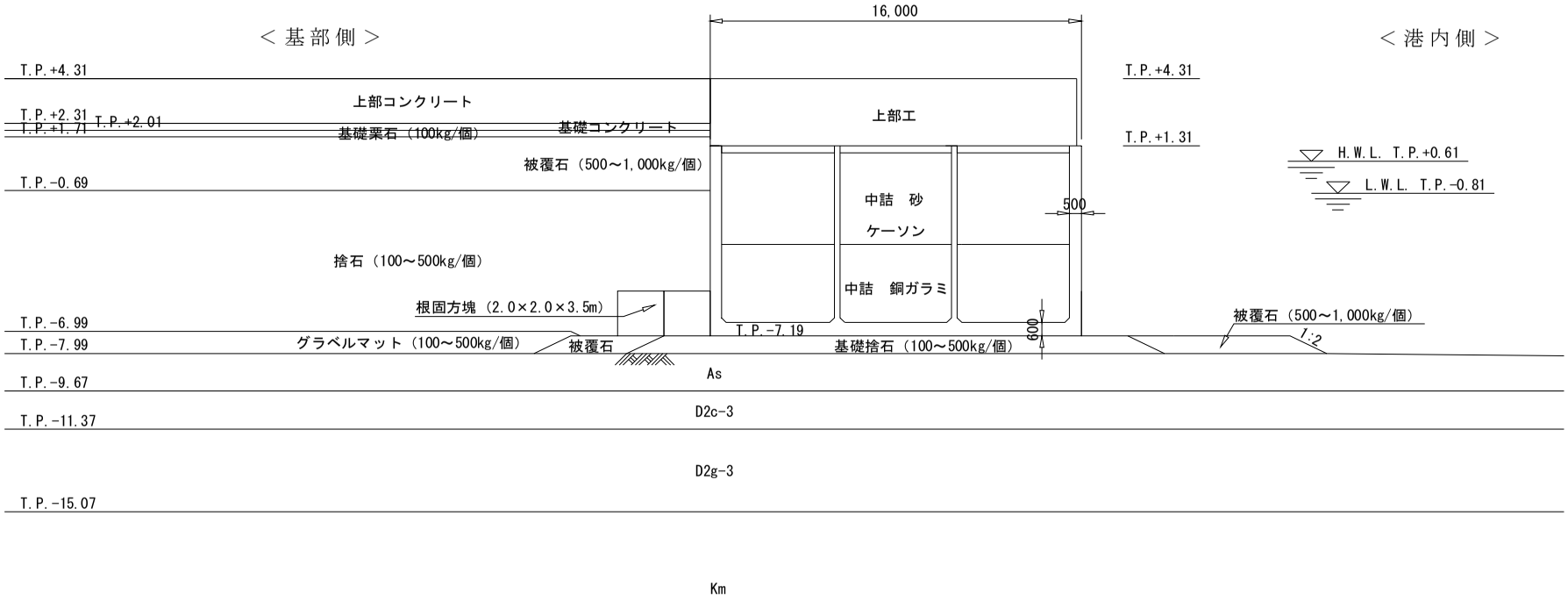
評価を行う断面は，構造形式の異なる傾斜堤，ケーソン堤，物揚岸壁の３断面を選定した。傾斜堤の評価位置は，水深が深い北防波堤先端付近とし，また，大型船舶の緊急離岸のための航路も考慮し，航路幅が最も狭隘となる断面①－①を選定した。ケーソン堤の評価断面は，同様に緊急離岸航路を考慮し南防波堤ケーソン堤断面②－②とした。物揚岸壁の評価断面は，構造や水深が一様なため，大型船舶が接岸する中央位置の断面③－③とした。



第１図　港湾施設平面図

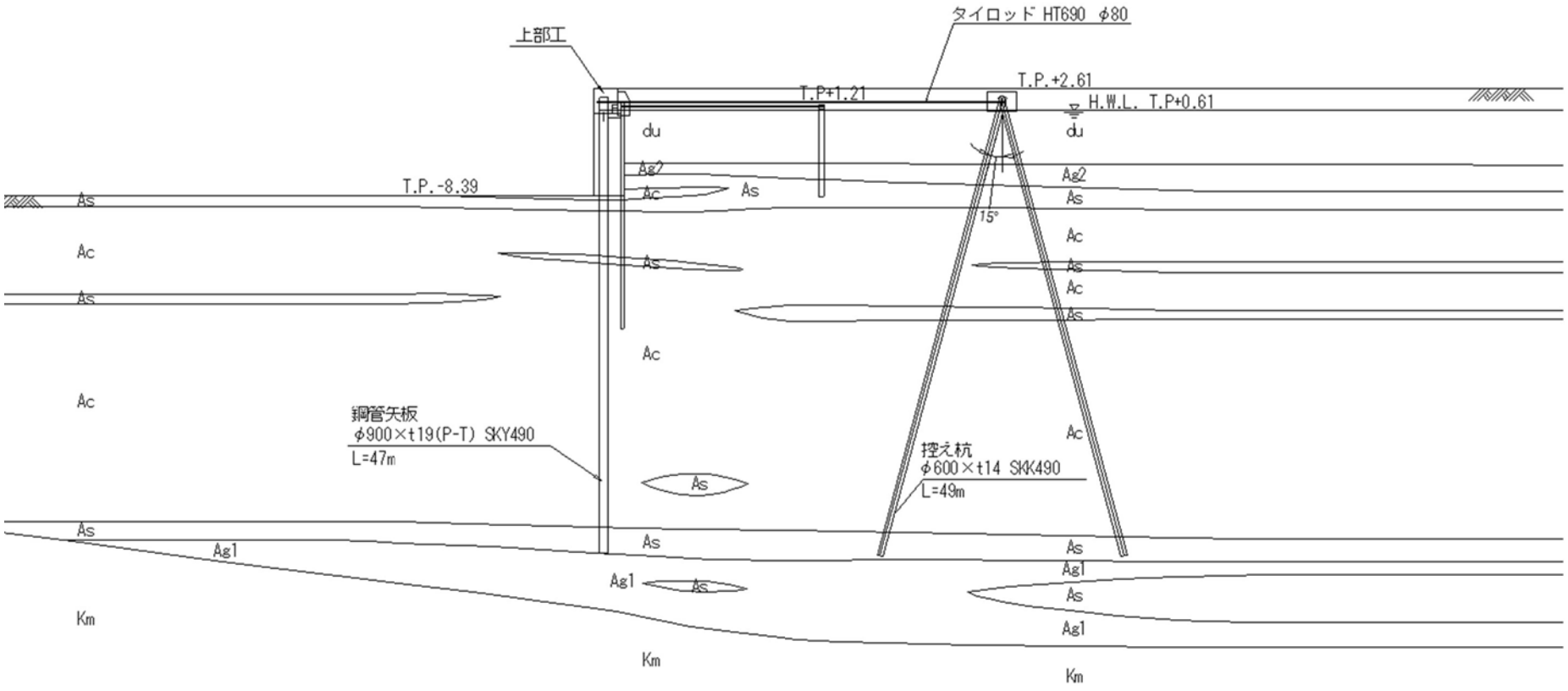


第２図　北側防波堤傾斜堤断面（①－①）

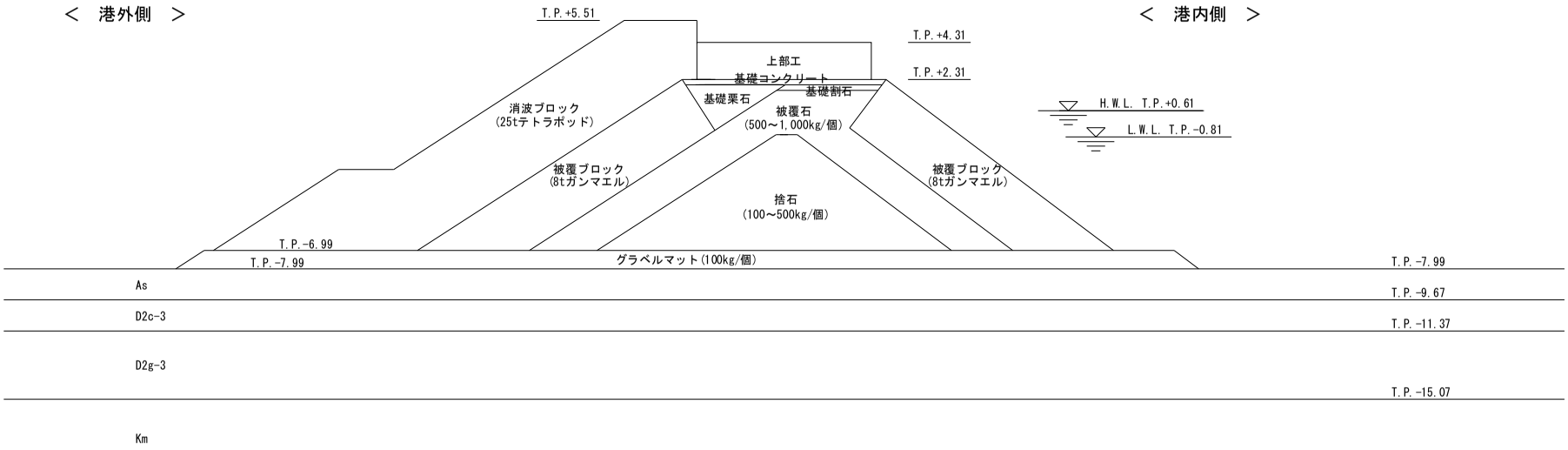


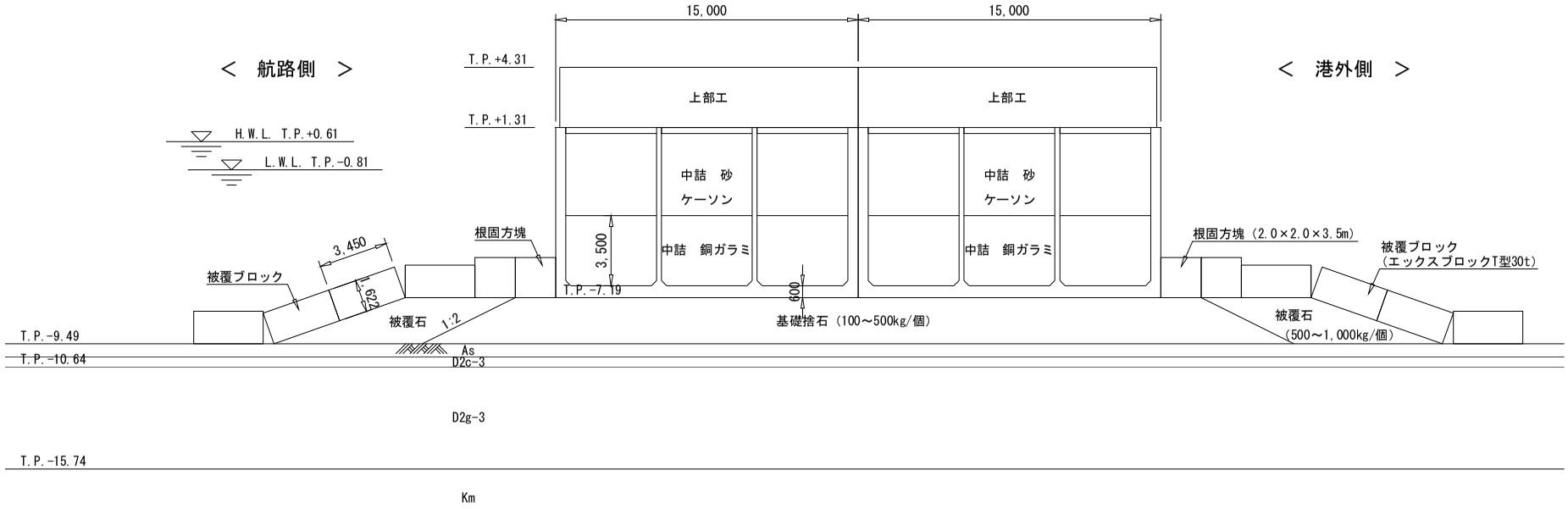
第３図　南側防波堤ケーソン堤断面（②－②）

＜港内側＞　　＜港外側＞

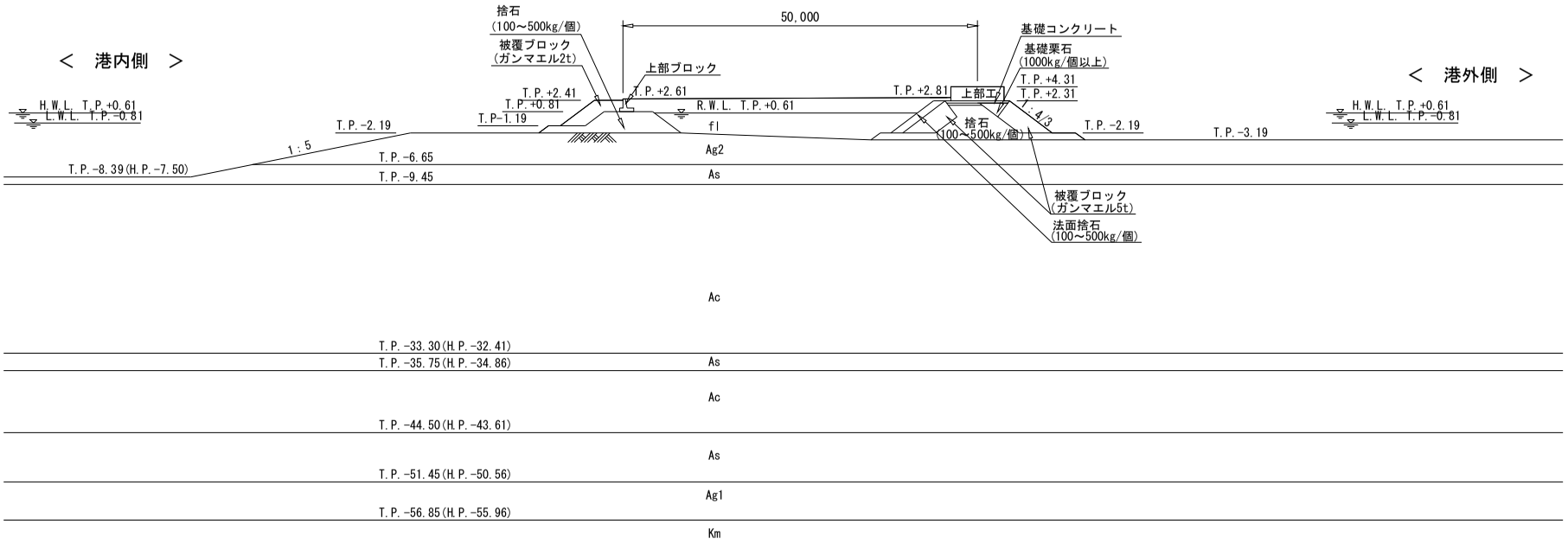


第４図　物揚岸壁断面（③－③）

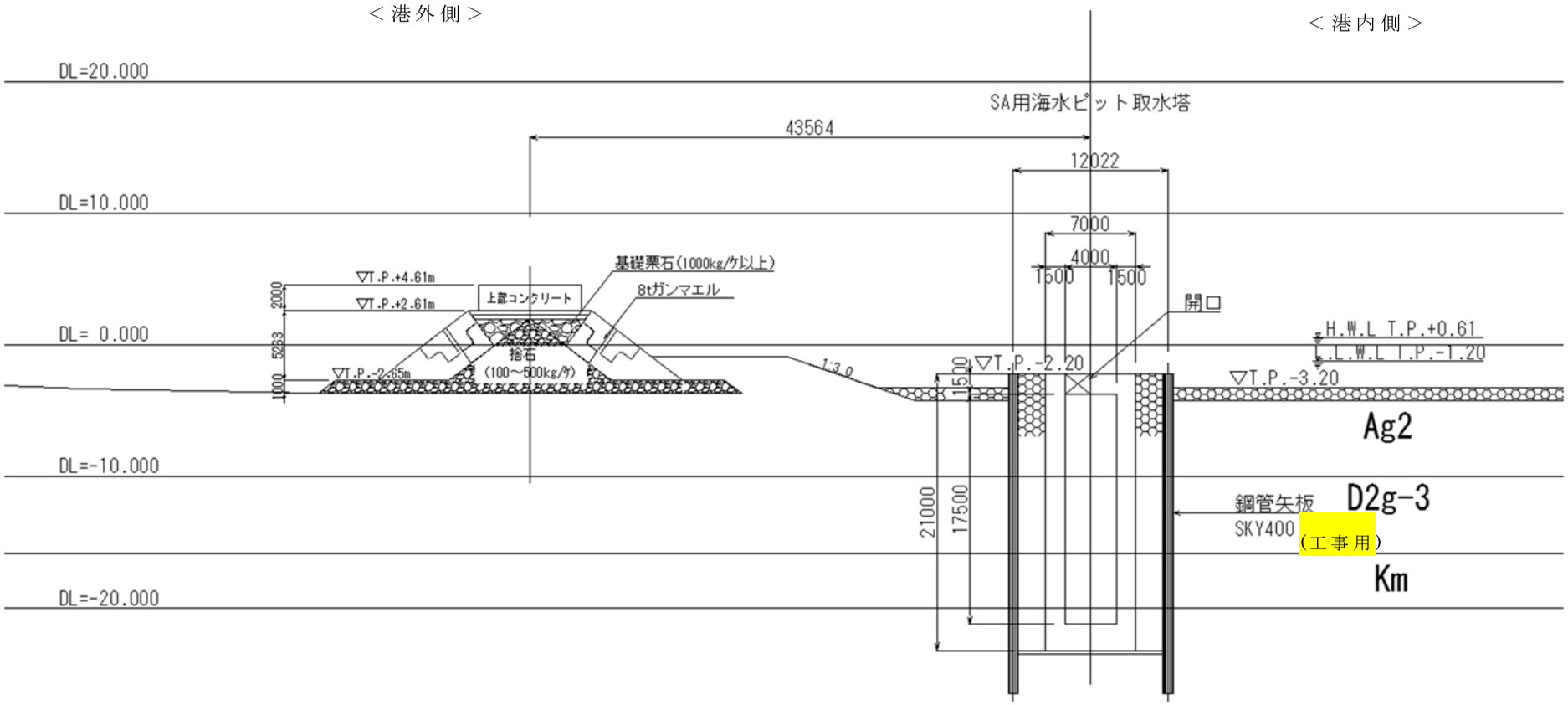

＜ 港外側 ＞
＜ 港内側 ＞
T.P.+5.51
T.P.+4.31
T.P.+2.31
上部工
基礎コンクリート
基礎栗石
基礎割石
消波ブロック
(25tテトラポッド)
被覆石
(500～1,000kg/個)
H.W.L. T.P.+0.61
L.W.L. T.P.-0.81
被覆ブロック
(8tガンマエル)
被覆ブロック
(8tガンマエル)
捨石
(100～500kg/個)
T.P.-6.99
T.P.-7.99
グラベルマット(100kg/個)
T.P.-7.99
As
T.P.-9.67
D2c-3
T.P.-11.37
D2g-3
T.P.-15.07
Km



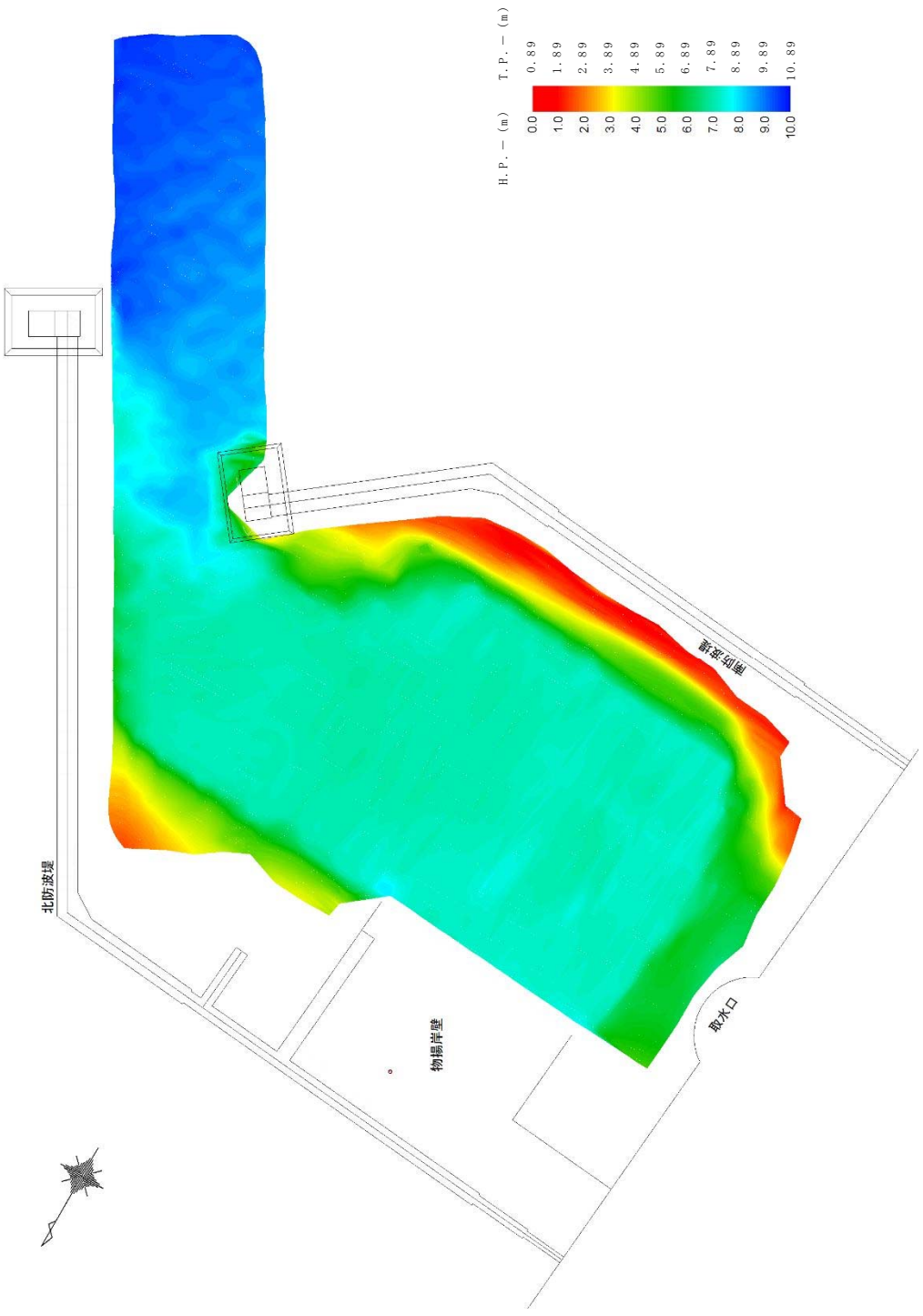
第６図　北側防波堤ケーソン堤断面（⑤－⑤）



第７図　物揚岸壁進入路断面（⑥－⑥）



第８図　南防波堤陸側断面（⑦－⑦）



第９図　東海港深浅図（2016 年 12 月 12 日測量）

２．防波堤の漂流物化に係る検討方針

基準地震動Ｓｓ及び基準津波により損傷した防波堤が漂流物化した場合，取水施設である取水口及びＳＡ用海水ピット取水塔の取水機能並びに貯留堰の海水貯留機能に波及的影響を及ぼすこととなる。

このため，防波堤の基準地震動Ｓｓ及び基準津波による耐性を確認するとともに，防波堤を構成する部材の漂流物化の可能性，取水施設への到着の有無について評価を行う。

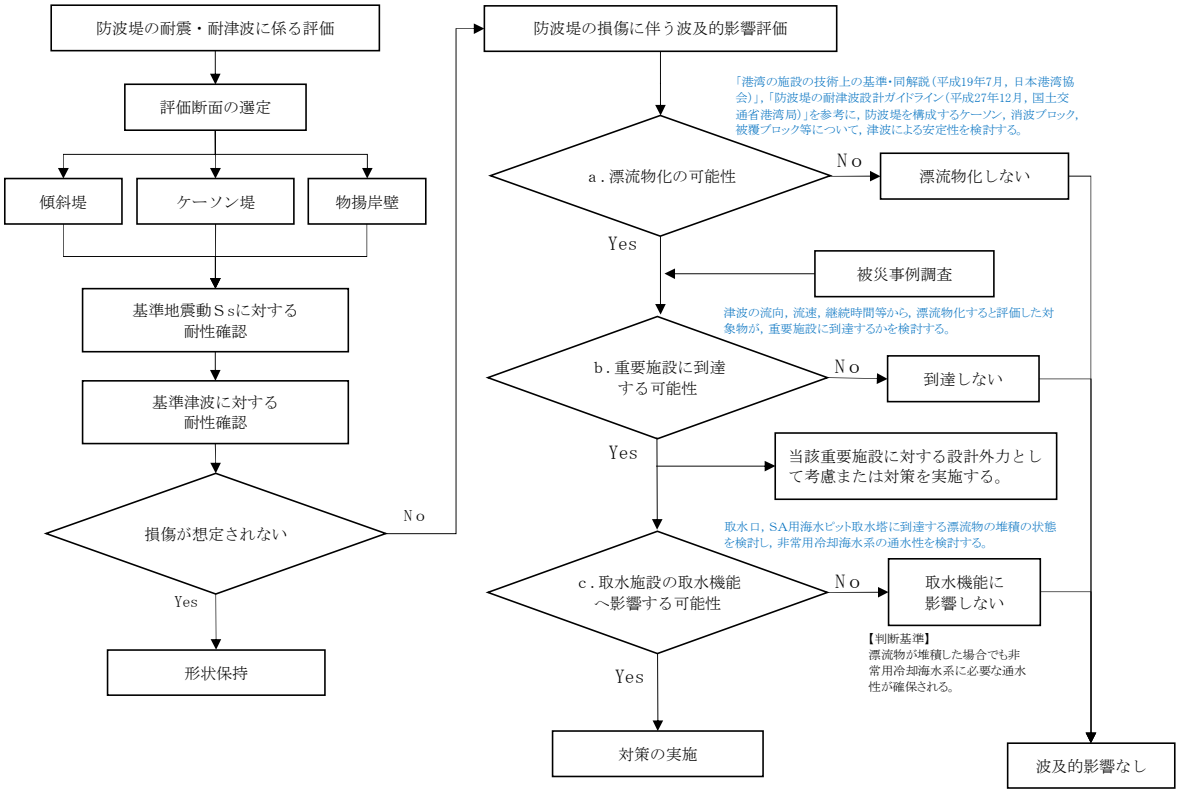
その結果，取水施設への到達が否定できない場合，漂流物化した防波堤の構成部材に対して，取水施設に期待される機能への影響を確認する。

防波堤の漂流物化に伴う波及的影響検討対象施設と想定される損傷モードについて第１表に，防波堤の漂流物化に係る波及的影響検討対象施設図を第１０図に，波及的影響検討フローを第１１図に示す。

第１表　波及的影響検討対象施設と損傷モード一覧表

波及的影響検討対象施設	損傷モード
１．取水口	・漂流物による閉塞 ・漂流物の堆積による取水量の減少
２．貯留堰	・漂流物の衝突による損傷 ・漂流物の堆積による貯留容量の減少
３．ＳＡ用海水ピット取水塔	・漂流物の衝突による損傷 ・漂流物による閉塞 ・漂流物の堆積による取水量の減少

第１０図　波及的影響検討対象施設図



第１１図　防波堤の漂流物化による波及的影響検討フロー

３．地震時評価

（１）解析方法

防波堤の基礎地盤には，液状化検討対象層が分布しているため，地震後の状態を確認する上で，二次元有効応力解析（ＦＬＩＰ Ver.7.3.0_2）を用いた地震応答解析を行う。

１）構造部材

ケーソン及び上部工は，剛体として挙動するため線形弾性体としてモデル化する。

傾斜堤を構成する捨石，被覆石等の石材はマルチスプリング要素でモデル化し，傾斜堤の基礎部ではない消波ブロックは節点荷重でモデル化する。

物揚岸壁の鋼管矢板，鋼管杭は，バイリニア型の非線形はり要素でモデル化し，タイロッドは，引張り方向に抵抗し，圧縮方向には抵抗しないバイリニア型の非線形バネ要素とする。

２）地盤

地盤の動的変形特性には，Hardin-Drnevich モデルを適用したマルチスプリング要素により，割線せん断剛性比と履歴減衰率のせん断ひずみ依存性を考慮する。

３）減衰定数

減衰特性は，数値計算の安定のための Rayleigh 減衰と，地盤の履歴減衰を考慮する。

（２）荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，以下の通り設定する。

１）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．常時荷重

常時荷重として，構造物及び海水の自重を考慮する。

物揚岸壁については，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」に準じて，上載荷重（15kN/m^2）を考慮する。

b．地震荷重

地震荷重として，基準地震動Ｓｓによる地震力を考慮する。

２）荷重の組合せ

荷重の組合せを第２表に示す。

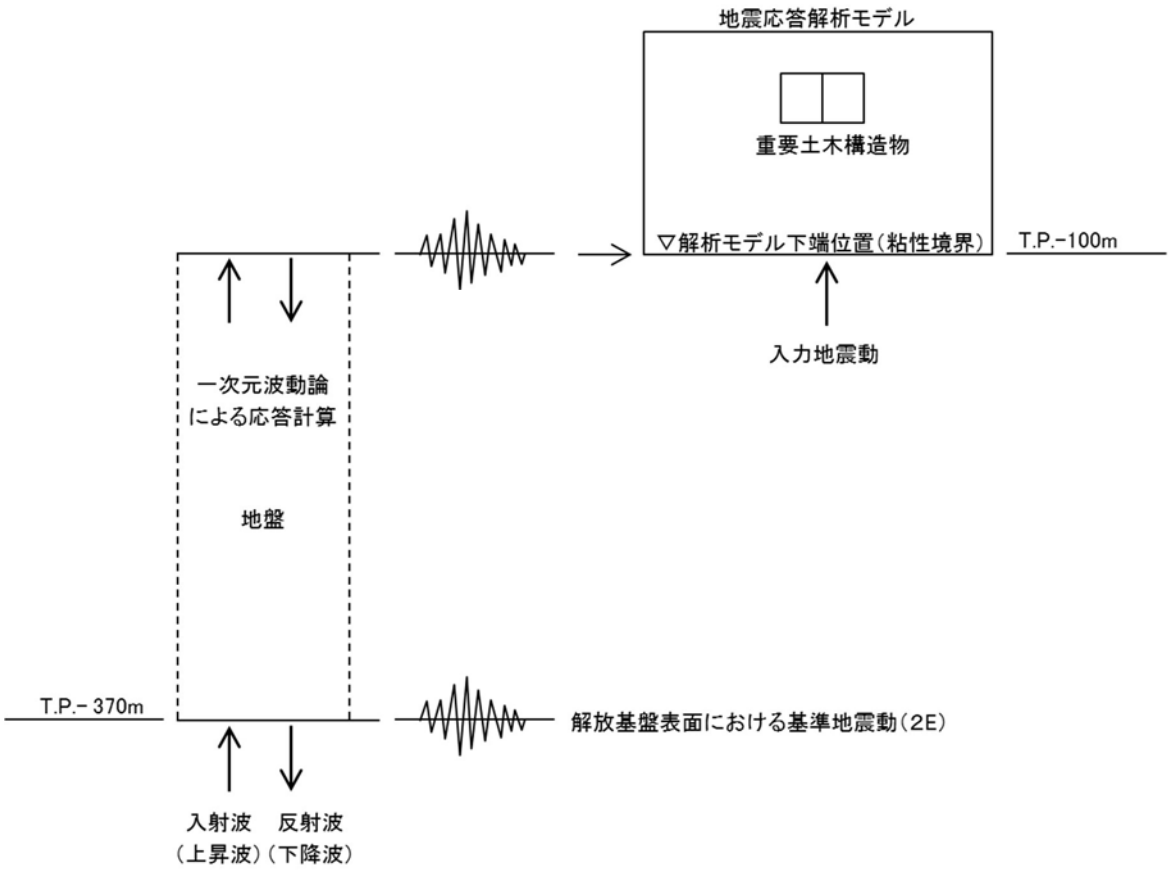
第２表　荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（Ｓｓ）	a＋b

（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Ｓｓを一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地震波を用いる。

入力地震動算定の概念図を第１２図に示す。



第１２図　入力地震動算定の概念図

（４）解析モデル

地震応答解析モデルを第１３図及び第１４図に示す。

１）解析領域

解析領域は，側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう，構造物と側方境界及び底面境界との距離が十分長くなるよう広く設定する。

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

構造物のコンクリート部材は線形平面要素，鋼部材は非線形はり要素又は非線形バネ要素でモデル化する。また，傾斜堤の石材はマルチスプリング要素，消波ブロックは節点荷重でモデル化する。

４）地盤のモデル化

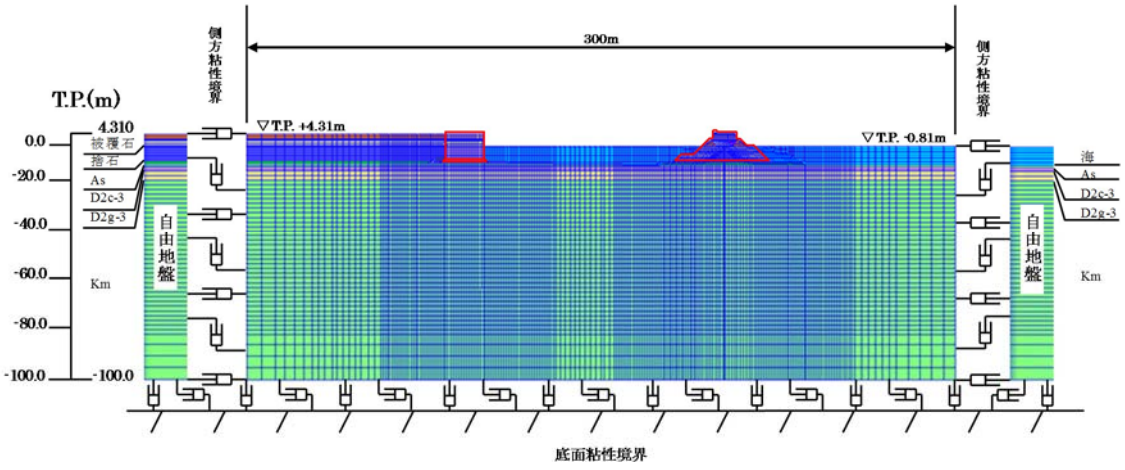
地盤は，地質区分に基づき，平面ひずみ要素でモデル化する。

５）ジョイント要素

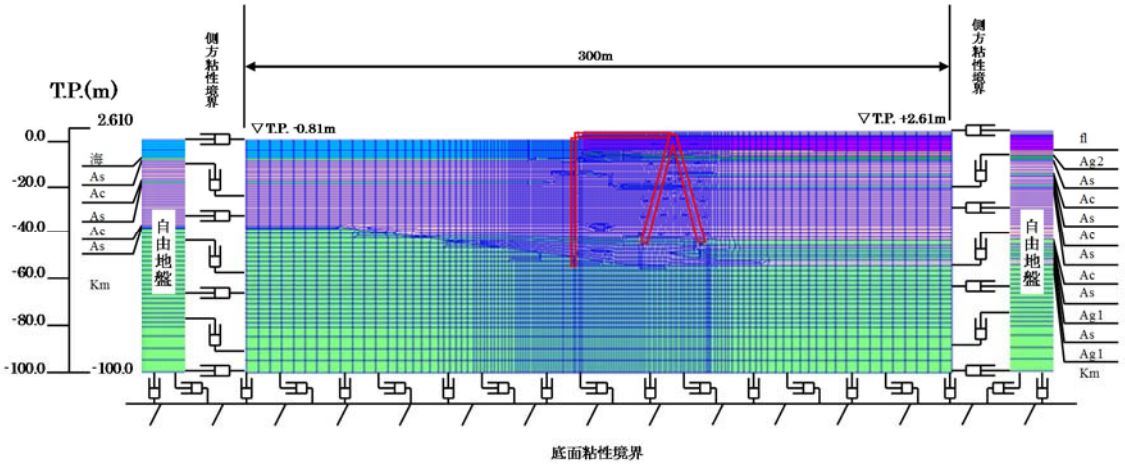
構造物と地盤の境界部にジョイント要素を設けることにより，構造物と地盤の剥離・すべりを考慮する。

６）水位条件

海面の水位は，基準津波時の水位評価に用いた朔望平均干潮位 L.W.L. T.P.-0.81m とする。



第１３図　地震応答解析モデル（傾斜堤，ケーソン堤断面）



第１４図　地震応答解析モデル（物揚岸壁断面）

（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３表に，材料の物性値を第４表に示す。

第３表　使用材料

材料	部位	諸元
コンクリート	上部工	設計基準強度　24.0N/mm2
	基礎	設計基準強度　18.0N/mm2
	ケーソン（気中）	設計基準強度　24.0N/mm2
	ケーソン（海中）	設計基準強度　24.0N/mm2
鋼材	鋼管矢板，控え工鋼管杭	SKY490，SKK490
	タイロッド	HT690

第４表　材料の物性値

材料	部位	単位体積重量（kN/m3）	ヤング係数（kN/mm2）	ポアソン比
コンクリート	上部工	24.0	25	0.2
	基礎	22.6	22	0.2
	ケーソン（気中）	21.8	25	0.2
	ケーソン（海中）	21.8	25	0.2
	根固方塊	22.6	22	0.2
鋼材	鋼管矢板，控え工鋼管杭	77.0	200	0.3
	タイロッド	－	200	－

２）地盤の物性値

解析に用いる地盤の物性値と液状化パラメータを第５表に示す。液状化検討対象層である du 層，Ag2 層，As 層，Ag1 層及び D2g-3 層について液状化強度特性を設定する。液状化パラメータについては，液状化強度試験結果より設定する。

試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を第１５図に示す。なお，液状化強度特性が保守的に評価されるように，液状化強度試験値の平均-1σの液状化強度特性を再現するように設定する。

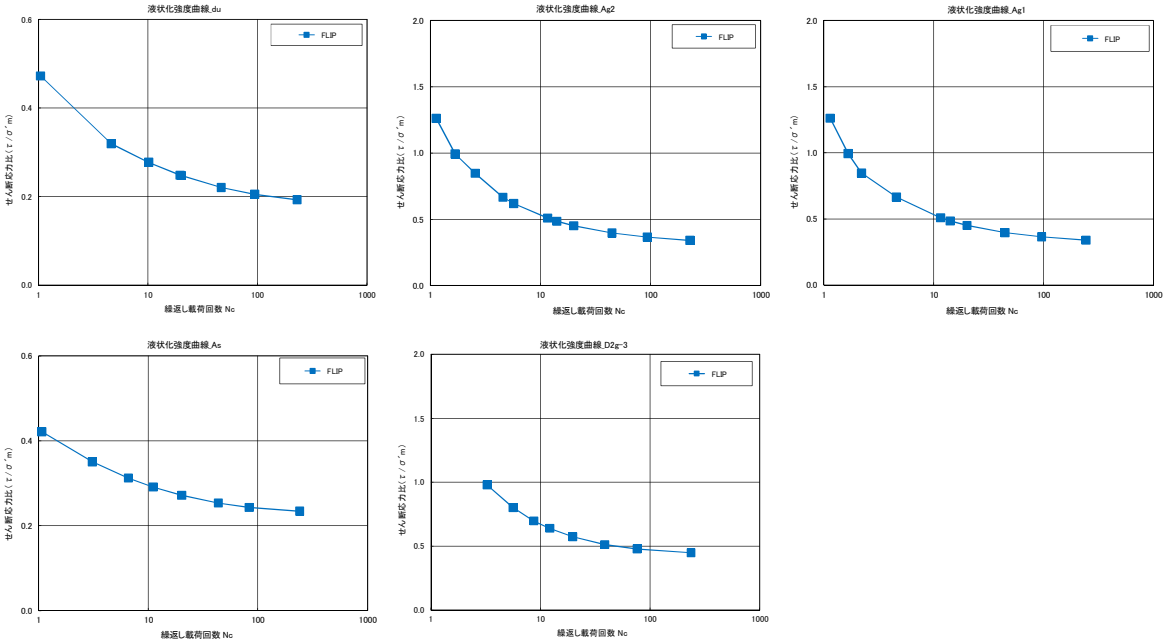
第５（１）表　地盤の物性値と液状化パラメータ

名称	記号	単位	du	Ag2	Ac	As
単位体積質量	ρ	t/m^3	1.98	2.01	1.65	1.74
間隙率	n	－	0.43	0.40	0.61	0.55
基準せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2	253,389	278,044	121,857	143,367
基準体積弾性係数	K_{ma}	kN/m^2	443,431	463,407	111,702	250,892
基準平均有効主応力	σ_{ma}'	kN/m^2	358	497	480	378
拘束圧依存係数	mG,mK	－	0.50	0. 50	0.50	0.50
ポアソン比	ν	－	0.26	0.25	0.10	0.26
内部摩擦角	ϕ	°	37.3	37.4	29.1	41.0
粘着力	c	kN/m^2	0	0	25	0
最大減衰定数	h_{max}	－	0.220	0.233	0.200	0.216
液状化パラメータ	ϕ p	°	34.8	34.9	－	38.3
	s1	－	0.047	0.028	－	0.046
	w1	－	6.5	56.5	－	6.9
	p1	－	1.26	9.00	－	1.00
	p2	－	0.80	0.60	－	0.75
	c1	－	2.00	3.40	－	2.27

第５（２）表　地盤の物性値と液状化パラメータ

名称	記号	単位	Ag1	D2c-3	D2g-3	Km
単位体積質量	ρ	t/m^3	2.01	1.77	2.15	$1.72-1.03\times10^{-4}\times Z$
間隙率	n	－	0.40	0.52	0.30	0.54
基準せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m^2	392,183	285,240	1,361,843	$\rho\times V_s^2$
基準体積弾性係数	K_{ma}	kN/m^2	653,638	414,277	2,383,225	$2(1+\nu)/3/(1-2\nu)\times G_{ma}$
基準平均有効主応力	σ_{ma}'	kN/m^2	814	696	1167	動的変形試験における有効上載圧と静ポアソン比より深度毎に設定
拘束圧依存係数	mG,mK	－	0.50	0.50	0.50	0.00
ポアソン比	ν	－	0.25	0.22	0.26	$0.16+0.00025\times Z$
内部摩擦角	ϕ	°	37.4	35.6	44.4	$23.2+0.099\times Z$
粘着力	c	kN/m^2	0	26	0	$358-6.03\times Z$
最大減衰定数	h_{max}	－	0.221	0.186	0.130	履歴減衰率のせん断ひずみ依存性試験データを最小二乗法誤差で再現する最大履歴減衰率を設定
液状化パラメータ	ϕ p	°	34.9	－	41.4	－
	s1	－	0.029	－	0.030	－
	w1	－	51.6	－	45.2	－
	p1	－	12.0	－	8.00	－
	p2	－	0.60	－	0.60	－
	c1	－	3.35	－	3.82	－

Z：標高



第１５図　液状化強度曲線

３）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 τ_f は Mohr-Coulomb 式により規定する。

４）荷重の入力方法

ａ．常時荷重

常時荷重である自重は，鉄筋コンクリートや鋼管矢板等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

地震荷重は，解放基盤表面で定義される基準地震動Ｓｓを，一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地震波を用いて算定する。

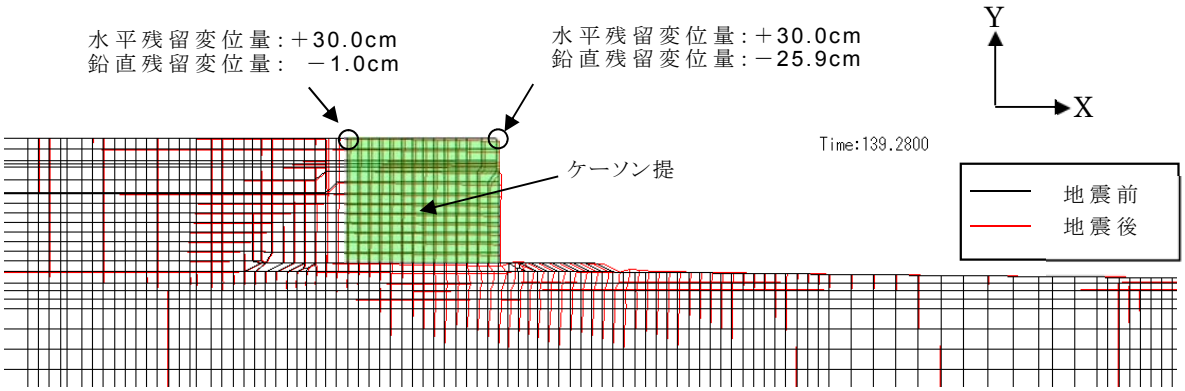
（６）評価結果

現状のケーソン堤，傾斜堤，物揚岸壁に対する評価結果を示す。

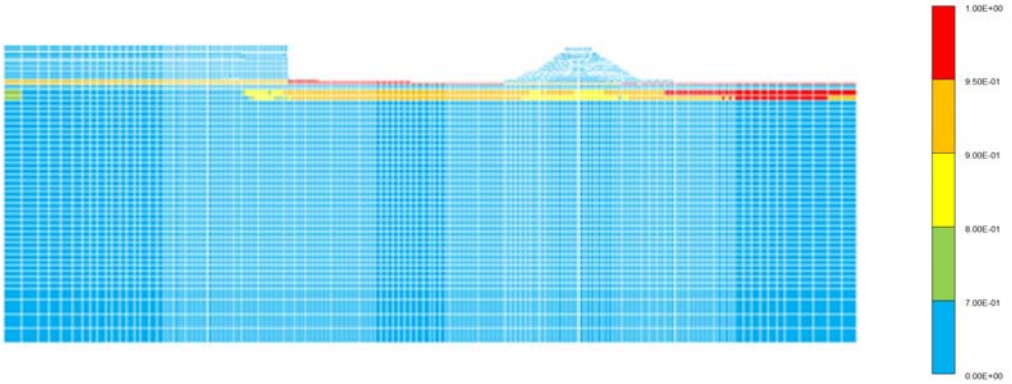
１）ケーソン堤

ケーソン堤は基準地震動Ｓｓ後に多少傾斜し，水平残留変位量は約 30cm，鉛直残留変位量は約 26cm である。

したがって，基準地震動Ｓｓ後，津波襲来前のケーソン堤の状態としては，ほぼ当初の位置，高さを確保しているものと判断される。残留変位図を第１６図，過剰間隙水圧比分布図を第１７図に示す。



第１６図　残留変位図（ケーソン堤）

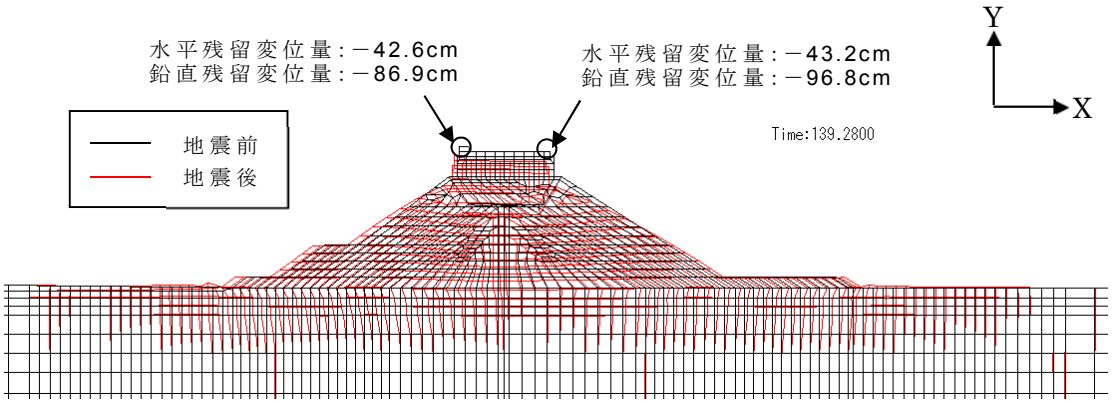


第１７図　過剰間隙水圧比分布図

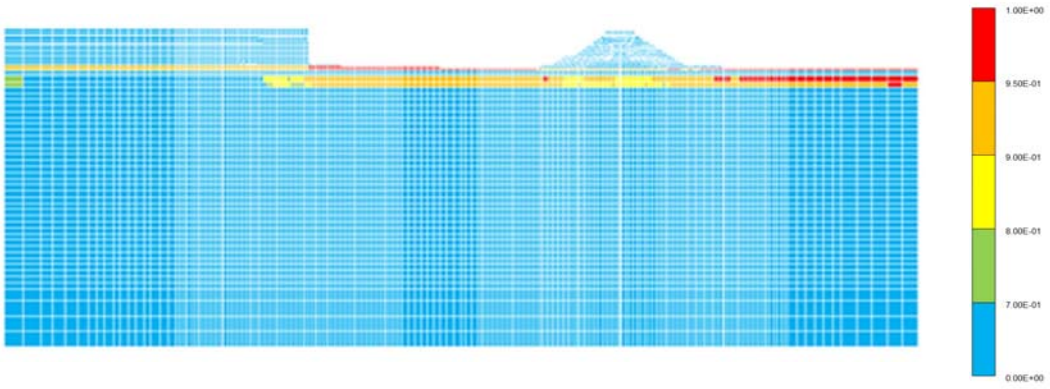
２）傾斜堤

傾斜堤の基準地震動Ｓｓによる水平残留変位量は約 43cm，鉛直残留変位量は堤外側で約 97cm である。

したがって，基準地震動Ｓｓ後，津波襲来前の傾斜堤の状態としては，ほぼ当初の位置に存在するものの，傾斜堤天端高さとしては約 1m 低い状態にあると判断される。残留変位図を第１８図，過剰間隙水圧比分布図を第１９図に示す。



第１８図　残留変位図（傾斜堤）



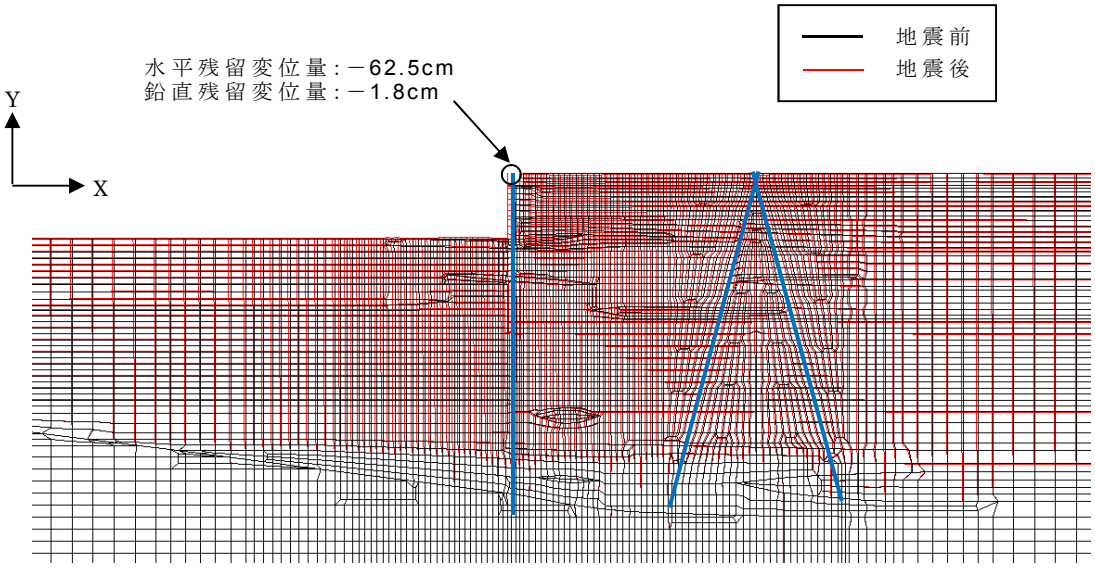
第１９図　過剰間隙水圧比分布図

３）物揚岸壁

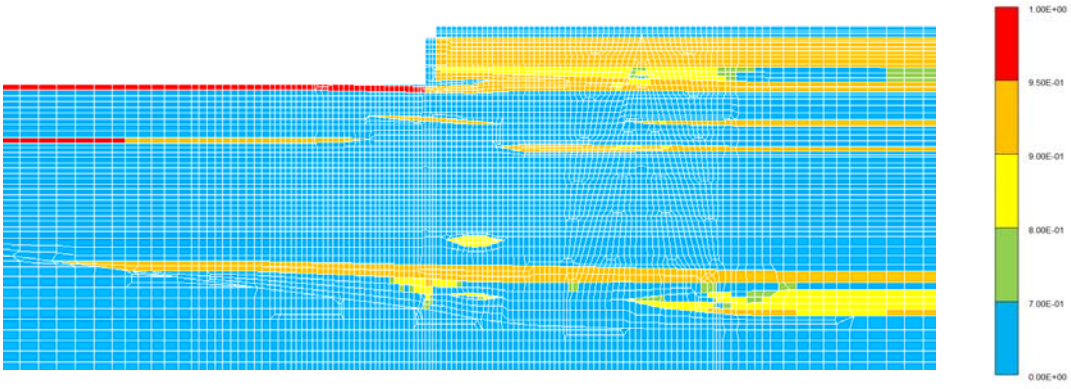
ａ．残留変位量

前面鋼管矢板は，基準地震動Ｓｓにより多少前面に変形し，水平残留変位量は約 63cm，鉛直残留変位量は約 2cm である。

残留変位図を第２０図，過剰間隙水圧比分布図を第２１図に示す。



第２０図　残留変位図（物揚岸壁）



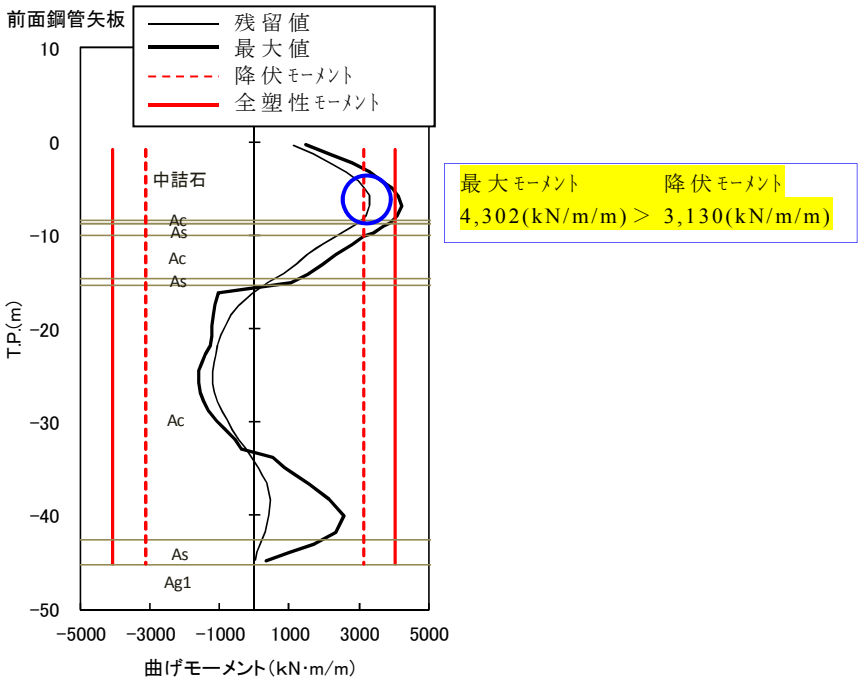
第２１図　過剰間隙水圧比分布図

b．照査結果

前面鋼管矢板の最大曲げモーメント分布図を第２２図，タイロッドの軸方向伸び量時刻歴図を第２３図，控え工鋼管杭（斜杭）の最大曲げモーメント図を第２４図，控え工鋼管杭（斜杭）の最大曲げモーメント位置における軸力を考慮した合成照査図（M-N図）を第２５図，控え工鋼管杭（斜杭）の最大軸力分布図を第２６図，支持力の照査結果を第６表に示す。

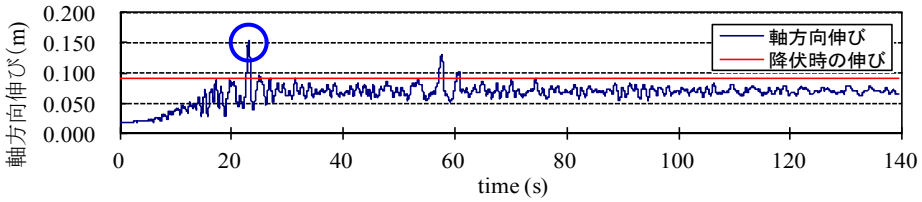
前面鋼管矢板は，曲げに対して海底面付近で降伏モーメントを超過する。また，前面鋼管矢板を支えるタイロッドは，降伏時の伸びを超過する。さらに，控え工鋼管杭（斜杭）は，作用軸力が地盤の極限支持力以下であるが，最大曲げモーメント位置における軸力を考慮した合成照査において，降伏モーメントを超過する。

① 前面鋼管矢板



第２２図　前面鋼管矢板の最大曲げモーメント分布図

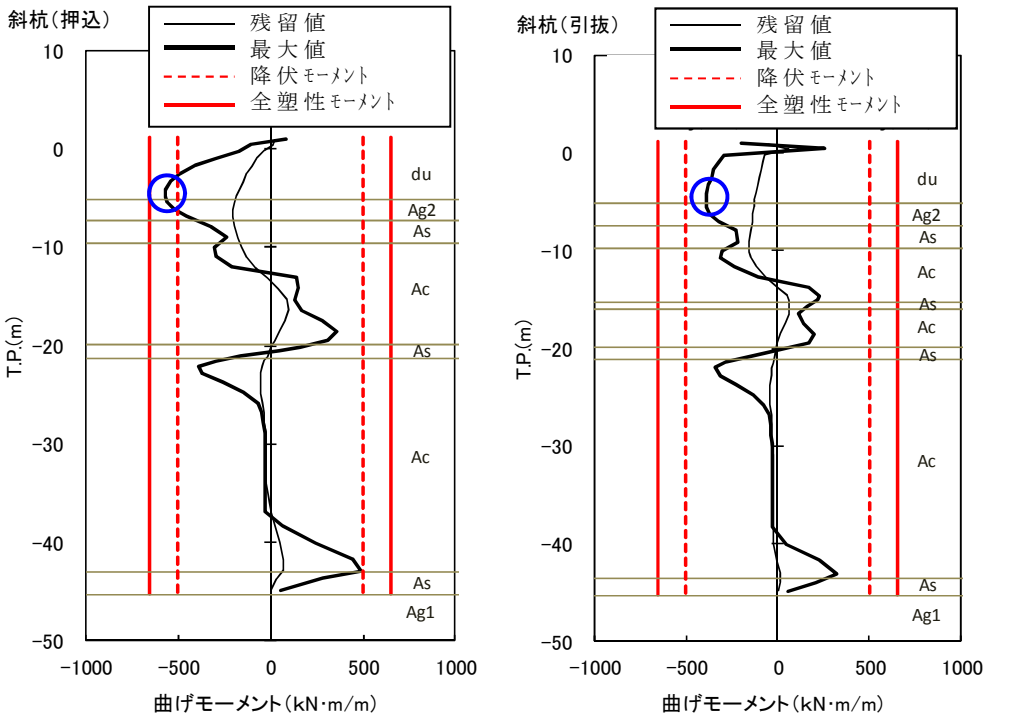
② タイロッド



最大伸び		降伏時伸び
0.159(m)	＞	0.090(m)

第２３図　タイロッドの軸方向伸び時刻歴図

③ 控え工鋼管杭（斜杭）

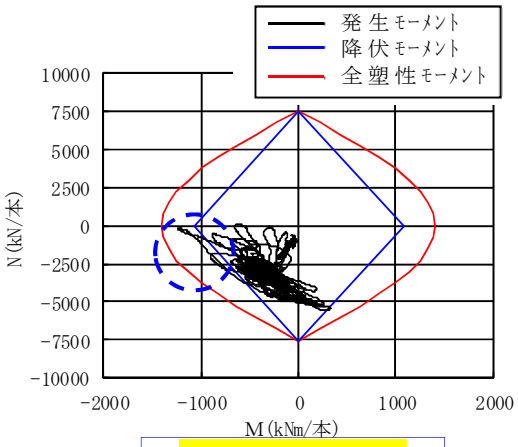


最大モーメント		降伏モーメント
571(kN/m/m)	＞	499(kN/m/m)

最大モーメント		降伏モーメント
391(kN/m/m)	＜	499(kN/m/m)

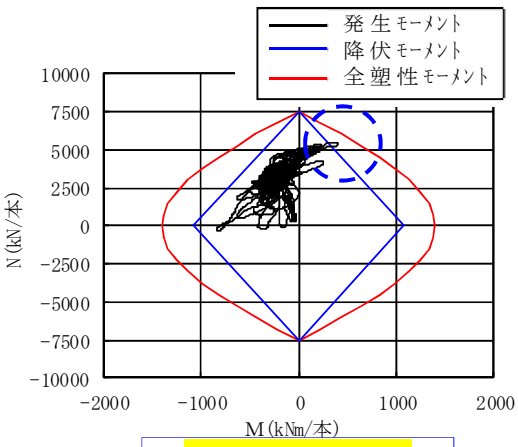
第２４図　控え工鋼管杭（斜杭）の最大曲げモーメント図

（押込杭）



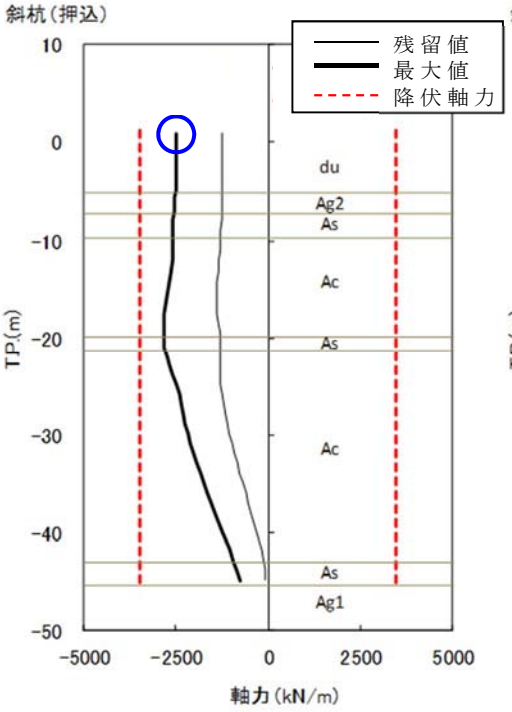
降伏モーメントに達する

（引抜杭）

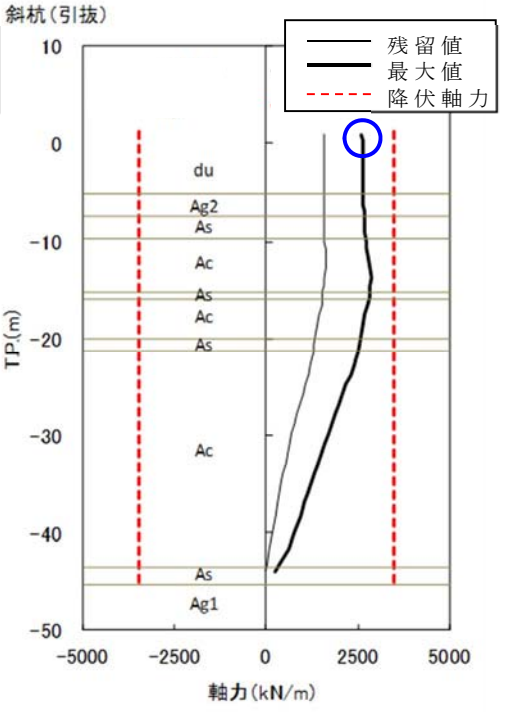


降伏モーメントに達する

第２５図　控え工鋼管杭（斜杭）のM-N図（最大モーメント位置）



支持力照査用軸力：
2,612(kN/m)×2.16(m)※1=5,642kN/本



支持力照査用軸力：
2,608(kN/m)×2.16(m)※1=5,633kN/本

※1　控え工鋼管杭間隔

第２６図　控え工鋼管杭（斜杭）の最大軸力分布図

第６表　控え工鋼管杭（斜杭）の支持力照査結果

	作用軸力 （kN/本）	極限支持力※2 （kN/本）	判定
押込杭	5,642	10,267	O.K
引抜杭	5,633	10,040	O.K

※2　極限支持力の算出：道路橋示方書・同解説　Ⅳ下部構造編にて算定

c．物揚岸壁の評価結果

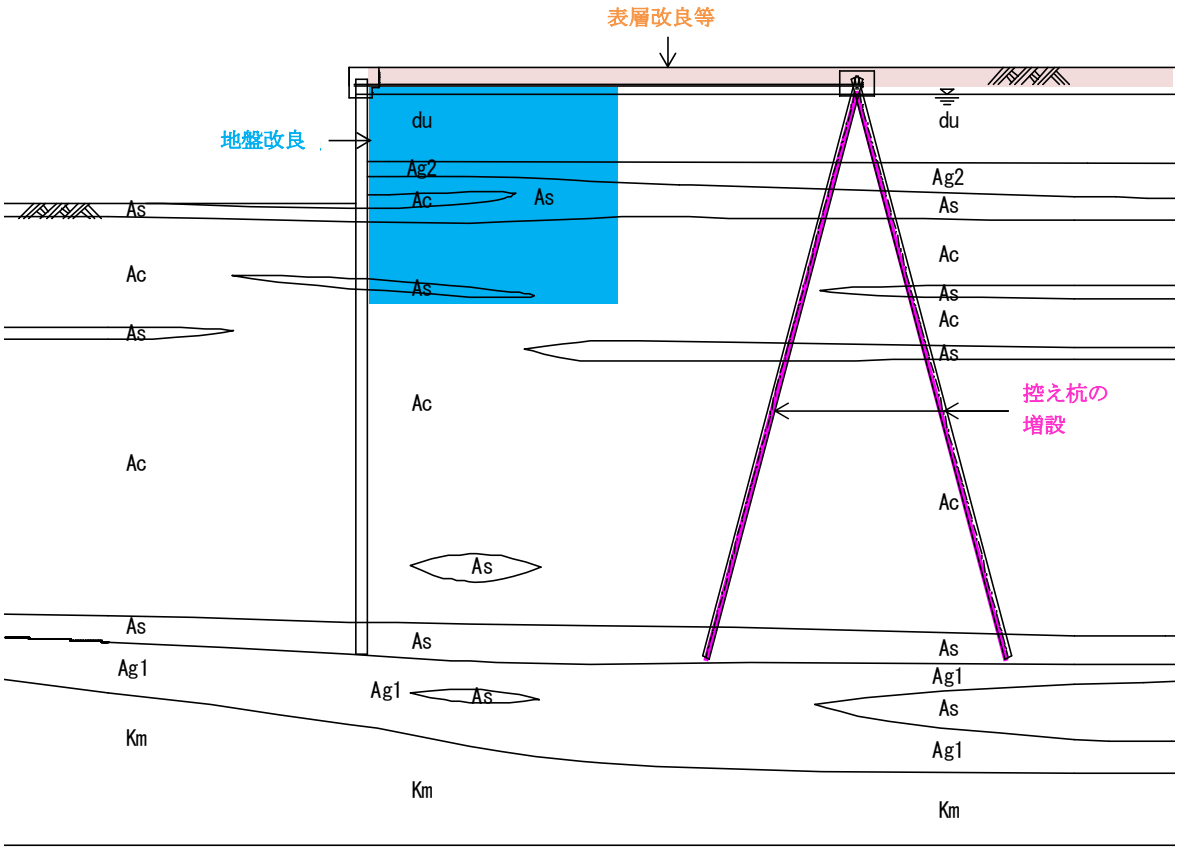
基準地震動Ｓｓにより，物揚岸壁の前面鋼管矢板は，曲げに対して全塑性モーメントに至り，降伏点を超過する。また，タイロッドならびに，控え工鋼管杭（斜杭）についても，降伏点を超過する。

したがって，物揚岸壁は，基準地震動Ｓｓに対して全ての構造部材が降伏点を超過し，健全性が確保されないことから耐震対策を実施すると共に，漂流物化しない設計方針とする。

d．物揚岸壁対策の方針

物揚岸壁においては，前面鋼管矢板，タイロッド，ならびに控え工鋼管杭の発生断面力を低減させるために，地盤改良，控え工の増設等による対策を検討し，基準地震動Ｓｓ後においても，物揚岸壁が健全な状態を維持するように設計する。

また，津波襲来時の越流による前面鋼管矢板背後地盤の洗掘防止に対しては，表層改良等により，津波襲来時の土砂流出等を防止する方針とする。第２７図に物揚岸壁の対策工イメージを示す。



第２７図　物揚岸壁の対策工イメージ図

（７）基準地震動Ｓｓによる防波堤への影響評価のまとめ

基準地震動Ｓｓが防波堤に及ぼす影響としては，主に傾斜堤の沈下であるが，地震後の残留変位量の評価結果から，大規模な損傷には至らないと考えられる。したがって，基準地震動Ｓｓ後に航路への影響はないものと考えられる。また，物揚岸壁においては，対策工を実施する方針とすることにより，物揚岸壁の健全性を維持することから，基準地震動Ｓｓによる大型船舶の緊急離岸に関しては，影響はないものと判断される。

４．津波時評価

（１）評価方法

津波に対する防波堤の安定性を評価するにあたっては，防波堤を構成する各部材の重量や形状に対して，津波の水位や流速，波圧データに基づき評価を行う。

１）傾斜堤（被覆材・ブロック類）

傾斜堤の被覆材やブロック類の安定性検討としては，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月)」に準じて，イスバッシュ式※1を用いて評価する。この式は米国の海岸工学研究センターが潮流による洗掘を防止するための捨石質量として示したものであり，水の流れに対する被覆材の安定質量を求めるものである。

※1 「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月)」のイスバッシュ式

$$M_d = \frac{\pi \rho_r U_d^6}{48 g^3 (y_d)^6 (S_r - 1)^3 (\cos\theta - \sin\theta)^3}$$

M ： 捨石等の安定質量(t)
ρr：捨石等の密度(t/m^3)
U ：捨石等の上面における水の流れの速度(m/s)
g ：重力加速度(m/s^2)
y ：イスバッシュ(Isbash)の定数
（埋込まれた石は 1.20，露出した石は 0.86）
Sr：捨石等の水に対する比重
θ ：水路床の軸方向の斜面の勾配（°）

なお，上式に用いるイスバッシュ係数は，各検討状態において設定するものとし，基準津波襲来時においては，マウンド被覆材が露出した状態として 0.86 とする。また，基準津波襲来後の状態においては，海底表層の液状化による緩い状態の地盤面に落下し埋もれることから，イスバッシュ係数は 1.20 と設定する。

２）ケーソン堤

ケーソン堤については，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」の滑動，転倒※2に基づき安定性を評価する。なお，津波波力は，「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省，平成 27 年 12 月）」の式※3を用いる。

※２　「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」の滑動，転倒照査式

○堤体の滑動照査式

$$f_d\left(W_d - P_{B_d} - P_{U_d}\right) \geq \gamma_a P_{H_d}$$

f：壁体底面と基礎との摩擦係数

W：堤体の重量（kN/m）

P_B：浮力（kN/m）

P_U：津波の揚圧力（kN/m）

P_H：津波の水平波力（kN/m）

γ_a：構造解析係数

○堤体の転倒照査式

$$a_1 W_d - a_2 P_{B_d} - a_3 P_{U_d} \geq \gamma_a a_4 P_{H_d}$$

W：堤体の重量（kN/m）

P_B：浮力（kN/m）

P_U：津波の揚圧力（kN/m）

P_H：津波の水平波力（kN/m）

a_1～a_4　：各作用のアーム長（m）

γ_a：構造解析係数

※３「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省，平成 27 年 12 月）」の津波波力算定式

$$\eta^* = 3.0 a_I$$
$$p_1 = 3.0 \rho_0 g a_I$$
$$p_u = p_1$$

ここに，

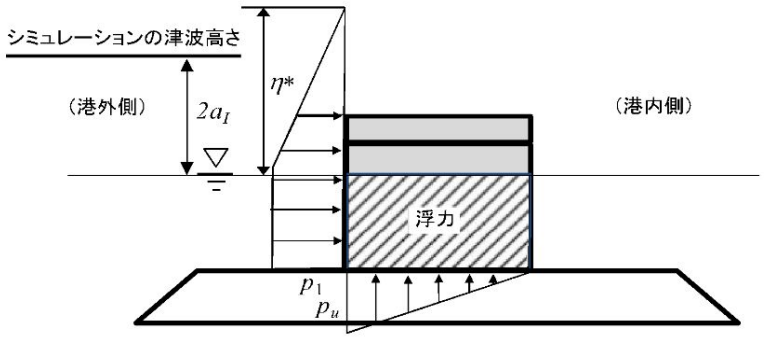
η^*　：静水面上の波圧作用高さ（m）

a_I　：入射津波の静水面上の高さ（振幅）（m）

$\rho_0 g$　：海水の単位体積重量(kN/m^3)

p_1　：静水面における波圧強度（kN/m^2）

p_u　：直立壁前面下端における揚圧力（kN/m^2）



（２）傾斜堤の津波時安定性

１）基準津波襲来時（１波目）での限界流速

イスバッシュ式を適用する防波堤マウンドの被覆材等の種類とその重量及び算定した限界流速について第７表に示す。なお，基準津波襲来時においては，マウンド被覆材が露出した状態としてイスバッシュ係数は，0.86 とする。

第７表　被覆材等の安定性に係る限界流速（１）

部位	規格	限界流速 (ｲｽﾊﾞｯｼｭ式より算定)
上部工	600t/基（傾斜堤部）	12.0m/s
被覆ブロック	32t 根固め方塊ブロック	7.2m/s
	30t 被覆ブロック	5.5m/s
	8t ガンマエル	2.5m/s
	5t ガンマエル	2.3m/s
	2t ガンマエル	2.0m/s
消波ブロック	16t テトラポット	2.8m/s
	25t テトラポット	3.7m/s
石類	基礎割石 100kg/個以下	1.1m/s
	基礎栗石 1000kg/個	1.9m/s
	被覆石 500～1000kg/個	1.7m/s
	グラベルマット等 100～500kg/個	1.3m/s

２）基準津波襲来後（２波目以降）の限界流速

イスバッシュ式を適用する防波堤マウンドの被覆材等の種類とその重量及び算定した限界流速について第８表に示す。なお，基準津波襲来後の状態においては，海底表層の液状化による緩い状態の地盤面に落下し埋もれることから，イスバッシュ係数は，1.20 とする。

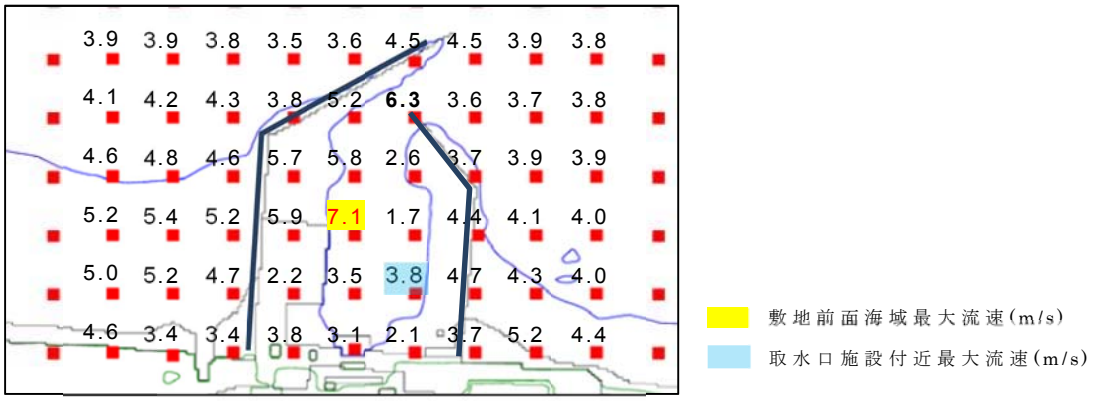
第８表　被覆材等の安定性に係る限界流速（２）

部位	規格	限界流速 （ｲｽﾊﾞｯｼｭ式より算定）
上部工	600t/基（傾斜堤部）	16.8m/s
被覆ブロック	32t 根固め方塊ブロック	10.1m/s
	30t 被覆ブロック	10.0m/s
	8t ガンマエル	8.0m/s
	5t ガンマエル	7.4m/s
	2t ガンマエル	6.4m/s
消波ブロック	16t テトラポット	8.9m/s
	25t テトラポット	9.6m/s
石類	基礎割石 100kg/個以下	3.6m/s
	基礎栗石 1000kg/個	6.2m/s
	被覆石 500～1000kg/個	5.5m/s
	グラベルマット等 100～500kg/個	4.1m/s

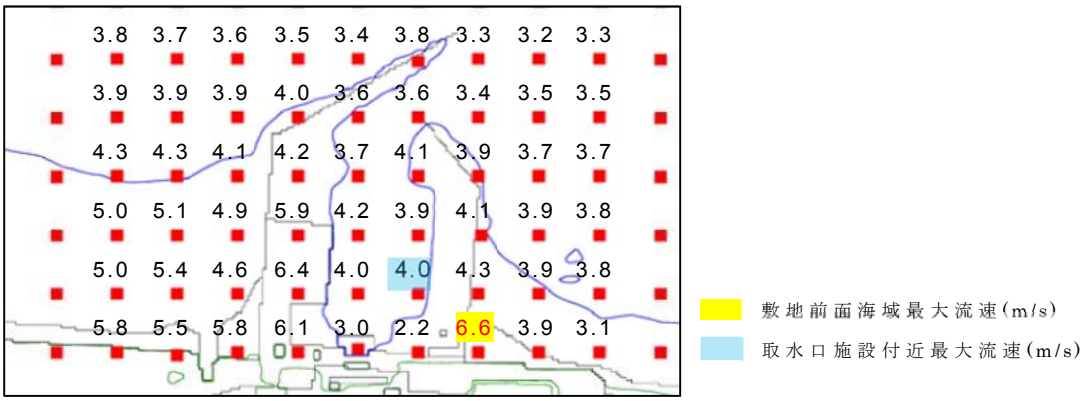
３）敷地前面海域の流速

基準津波に対して，防波堤がある場合とない場合及び耐震評価結果から保守的に防波堤を１ｍ沈下させた場合の３つのケースで津波シミュレーションを実施し流速を確認した。その結果，防波堤範囲における最大流速は，防波堤がある場合の約 7.0m/s であることから，基準津波襲来時（１波目）においては，30t 被覆ブロック以下の重量の被覆材については，安定性が確保されずに漂流物化する。一方，基準津波襲来後（２波目以降）においては，海底表層の液状化による緩い状態の地盤面に落下し埋もれることから，限界流速が増加するため，2t 被覆ブロック以下の重量のマウンドの被覆材については，安定性が確保されずに漂流物化するものと考える。

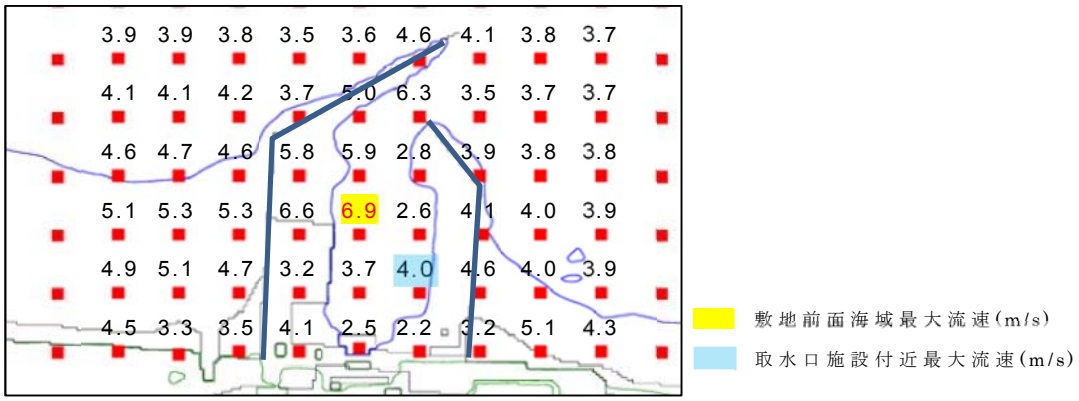
敷地前面海域における最大流速分布図を第２８図～第３０図，漂流物化の可能性があるマウンドの被覆材について第９表及び第３１図示す。



第２８図　前面海域における最大流速分布図（防波堤あり）



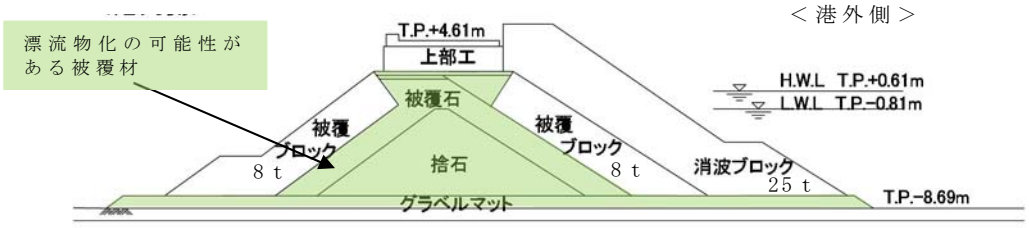
第２９図　前面海域における最大流速分布図（防波堤なし）



第３０図　前面海域における最大流速分布図（防波堤 1m 沈下）

第９表　漂流物化の可能性があるマウンドの被覆材

部位	規格
被覆ブロック	2t ガンマエル　（北，南側防波堤等の一部範囲）
石類	基礎割石 100kg/個以下
	基礎栗石 1000kg/個
	被覆石 500～1000kg/個
	グラベルマット等 100～500kg/個



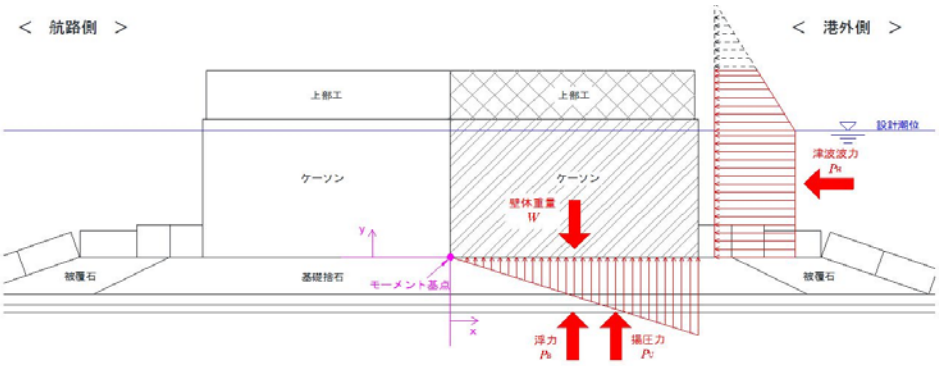
第３１図　漂流物化の可能性がある範囲図

（二次元有効応力解析断面）

（３）ケーソン堤の津波時安定性

ケーソン堤における基準津波時の津波波力を「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省，平成 27 年 12 月）」の式※3を用いて算定し，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」※2に準じて，ケーソン堤の滑動，転倒照査を行った。

ケーソン堤位置の最大津波高さは，南防波堤で T.P.+13m 程度であり，滑動，転倒照査の結果，安定性は確保されない結果となった。ケーソン堤照査図を第３２図に示す。



第３２図　ケーソン堤照査図

（４）防波堤漂流物の重要施設への到達の可能性評価

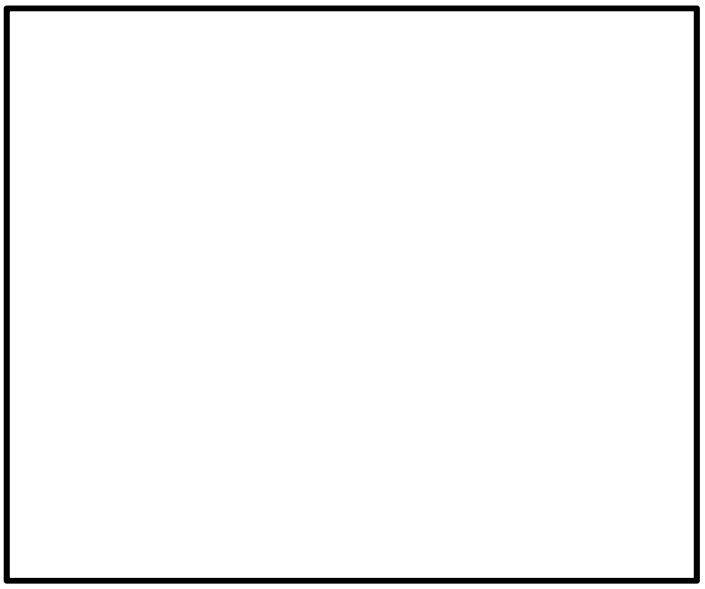
１）傾斜堤

傾斜堤においては，基準津波襲来後（２波目以降）に，海底表層の液状化による緩い状態の地盤面に落下し埋もれることから，限界流速が増加するため，2t 被覆ブロック以下の重量のマウンドの被覆材については，安定性が確保されずに漂流物化するものと考える。しかし，取水施設付近での最大流速は概ね 4m/s 程度であり限界流速を下回ることから，マウンドの被覆材が漂流物化したとしても，これらの施設へ到達する可能性は低いと考えられるが，保守的に漂流物化する可能性があるものとして取り扱う。

２）ケーソン堤

海域の沖合に４函設置されているケーソン堤は，取水施設から直線距離にして 350m～550m 程度の離隔距離がある。ケーソン堤に関する既往の津波被災事例を調査した結果，マウンドの洗掘によるケーソン堤の転倒が確認されている。また，津波によるケーソン堤の漂流距離は，最大 150m 程度の事例（東北地方太平洋沖地震，田老漁港，1,000t 級ケーソン）が報告されている。

東海第二発電所のケーソン堤は，5,000t 級の重量構造物であり，取水施設まで十分な離隔距離があることから，漂流物として取水施設までの到達を考慮しない。第３３図に取水設備からの離隔距離図を示す。



第３３図　取水設備からの離隔距離図

３）物揚岸壁

物揚岸壁は，耐震性を確保する対策工及び岸壁背後地の洗掘防止対策工を実施することから，物揚岸壁構造部材ならびに背後地の土砂の漂流物化はないものと考える。

（５）取水施設における取水機能の成立性

１）取水口

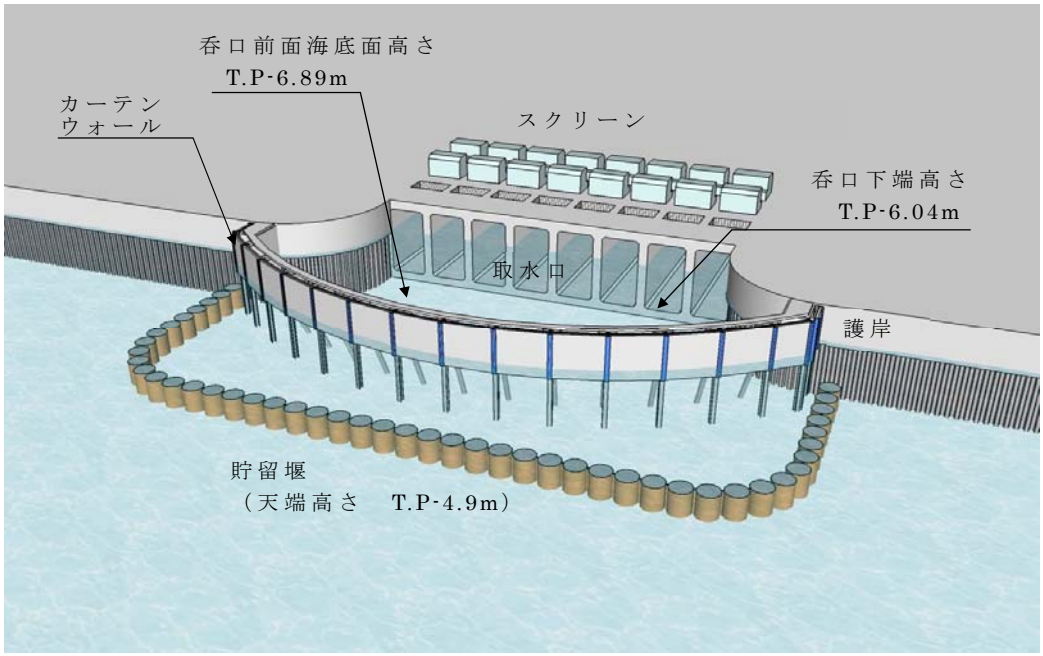
取水口周りの概念図を第３４図に示す。

取水口の呑口は８口あり，幅 42.8m，高さ 10.35m（1 口当たりの内部寸法は幅 4.1m，高さ 8.35m）である。また，呑口下端高さは T.P.－6.04m，呑口前面の海底面高さは T.P.－6.89m であり，取水口前面（カーテンウォール外側）には，天端高さ T.P.－4.9m の貯留堰を設置する。

仮にマウンドの被覆材が漂流物化し，取水口周りに到達したとしても貯留堰やカーテンウォールの鋼管杭等の存在，呑口前面の海底面高さ（T.P.－6.89m）と呑口下端高さ（T.P.－6.04m）に約 85cm の段差があることから，漂流物が取水口前面又は固定バースクリーンへ到達し難いことは明らかであるが，保守的にマウンドの被覆材が漂流物化し，取水口前面に堆積した場合の取水機能を検討する。

マウンドの被覆材が貯留堰から固定式バースクリーンまで堆積したと仮定し，マウンドの被覆材（100kg/個の捨石程度）の透水係数を 10^{2}cm/s※4として算出される通水量は約 14m^{3}/s※5となる。ここで，マウンドの被覆材の石材は砂利より間隙が大きく，透水性は高いと考えられるが，保守側に砂利相当の透水係数を用いた。

また，非常用ポンプ７台の必要取水量は，1.2m^{3}/s※6であり，被覆材の堆積を仮定した場合の通水量が上回ることから，取水機能が失われることはない。



第３４図　取水口周りの概念図

※4　マウンドの被覆材の透水係数：

「水理公式集（土木学会）　P375　表 1.1」より

表 1.1　透水係数の概略値と決定法[1)a]

k (cm/s)	10^2	1.0	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}
土砂の種類	きれいな砂利		きれいな砂 きれいな砂利まじりの砂	細砂，シルト， 砂とシルトの混合砂		難透水性土 粘　土
決定法	揚水試験法，定水位法，実験公式			変水位法		

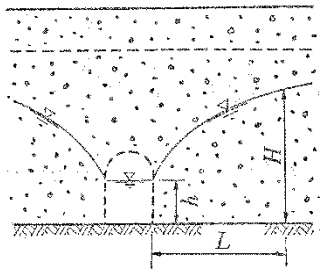
※5　捨石の堆積箇所における通水量：

「水理公式集（土木学会）　P383　表 1.5」より

・集水暗きょの取水量公式

$$Q=\frac{k(H^2-h^2)\cdot l}{L}$$

〔解説〕本式は準一様流の仮定より得られ、Dupuit-Forchheimer の式と呼ばれている。



※左式は水路両面からの流入量のため，算出は 1/2 倍とする。

・捨石の透水係数 $k=1\times10^{2}$cm/s

・静水面＝L.W.L.＝T.P.－0.81m
　※常時を想定、水位が低い方が保守側

・水路床高＝T.P.－6.89m

・H＝(T.P.－0.81m)－(T.P.－6.89m)＝6.08m

・h＝(T.P.－5.66m)－(T.P.－6.89m)＝1.23m

・ℓ＝32.8m
　水路幅（スクリーン室幅 4.1m×8 箇所）

・L＝42.33m
　流路長（貯留堰～スクリーンの距離）

$$Q=\frac{k\times\left(H^2-h^2\right)\times\ell}{L}\times\frac{1}{2}=\frac{1\times10^{2}\times10^{-2}\times\left(6.08^2-1.23^2\right)\times32.8}{42.33}\times\frac{1}{2}=13.7\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

※6　非常用ポンプ必要取水量：

ポンプ名称	定格流量（m^3／h）	運転台数（台）	取水量合計	
			（m^3／h）	（m^3／min）
残留熱除去系海水ポンプ	886	4	3,544	59.07
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	273	2	546	9.10
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	233	1	233	3.88
合計			4,323	72.05

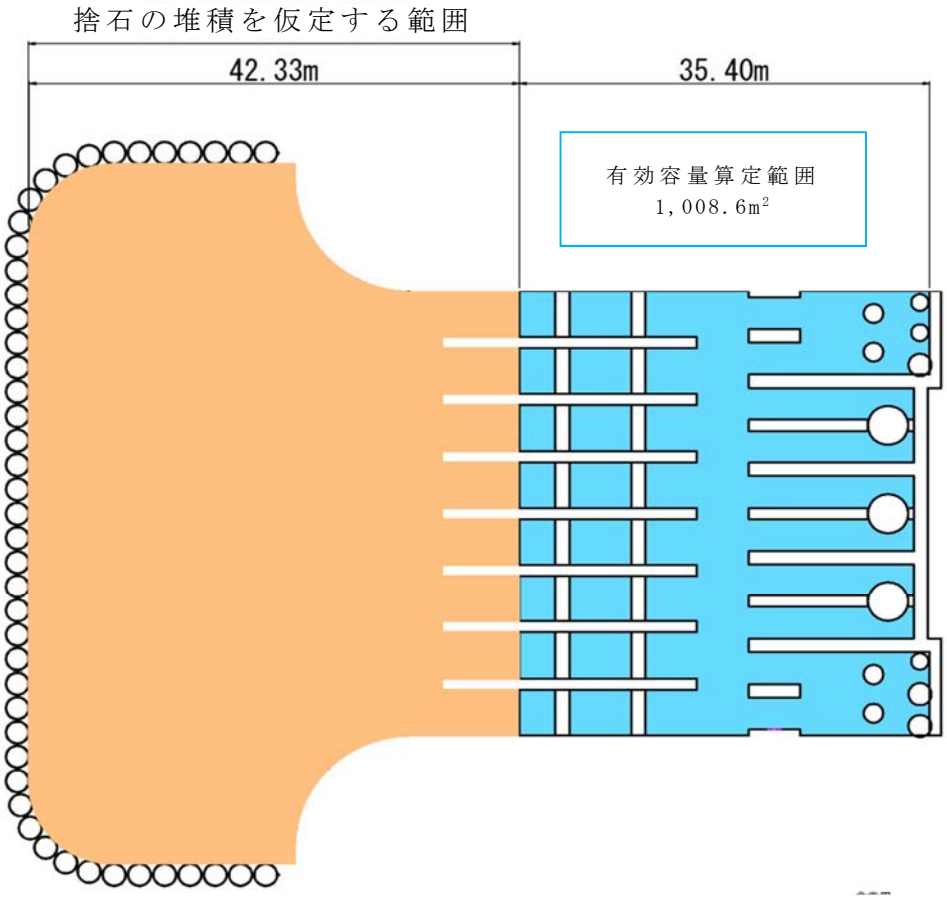
必要取水量：72.05m^3/min＝1.2m^3/s

2）貯留堰

貯留堰は，取水口の前面に設置されており，50t の漂流物の衝突荷重を考慮した設計としている。仮に最大重量の漂流物である 2t 被覆ブロックが衝突したとしても，損壊はしない。また，マウンドの被覆材が漂流物化し，貯留堰を越えて貯留堰内に流入する可能性は低いと考えられるものの，保守的に貯留堰内に到達したものと仮定し，引き波時の貯留機能を検討する。

被覆材が貯留堰からスクリーンまでの約 40m 範囲を埋めつくしたとしても，スクリーン内部の貯留量が約 517m^3（第３６図）であり，引き波時間約３分間の非常用ポンプ必要取水量約 220m^3（≒72.05m^3/min×3min）を確保することが出来る。

貯留堰の有効容量平面図を第３５図に，有効容量縦断面図を第３６図に，貯留堰前面の引き波の継続時間を第３７図に示す。



第３５図　有効容量平面図

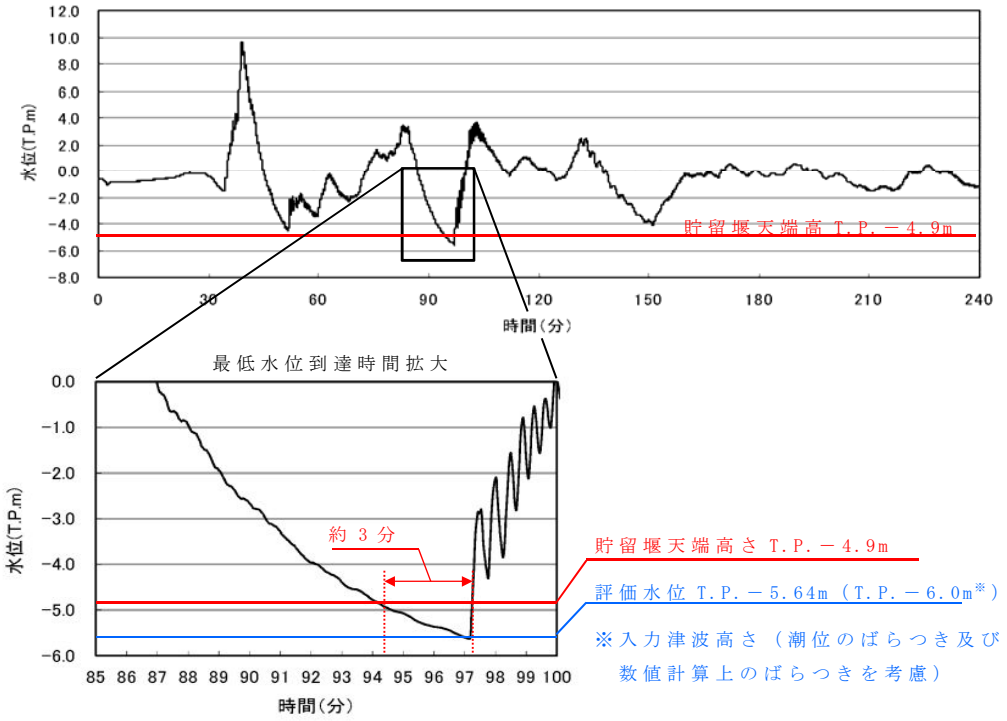
（面積×高さ）－（スロッシングによる溢水量）
＝（1,008.6m²×0.76m）－249m³　※7
＝517m³

有効容量算定範囲
高さ:0.76m
(T.P.－4.9m)－(T.P.－5.66m)

第３６図　有効容量縦断面図

※7　スロッシングによる溢水量：

「貯留堰の設置位置及び天端高さの決定の考え方」から引用



第３７図　引き波の継続時間

３） ＳＡ用海水ピット取水塔

ＳＡ用海水ピット取水塔の平面図を第３８図，断面図を第３９図に示す。ＳＡ用海水ピット取水塔は，海底面からＲＣ構造の立坑が１ｍ程度突出した構造であり，立坑内には鋼製の取水管を設置している。

当該取水塔は，50t の漂流物の衝突荷重を考慮した設計としている。仮に最大重量の漂流物である 2t 被覆ブロックが衝突したとしても，損壊しない。

取水塔上面には，漂流物の流入防止として取水塔の側壁上部に沿って円周上に約 60cm 間隔で設置する幅約 30cm，高さ約 30cm の支柱の上部に約 30cm 角の格子状の鋼材により開口を設けた蓋を設置するため，漂流物化した防波堤のマウンド被覆材のうち，100kg/個（形状：立方体１辺　約 32cm～35cm）のものに対しても，進入を防止出来る。

仮に，漂流物化するマウンド被覆材が，ＳＡ用海水ピット取水塔周辺を覆いつくしたとして，ＳＡ用海水ピットの取水機能を検討する。

漂流物化したマウンドの被覆材が，ＳＡ用海水ピット取水塔を中心に円形に堆積したと仮定し，マウンドの被覆材（100kg/個の捨石程度）の透水係数を 10^{2}cm/s※8 として算出される通水量は約 1.5m^{3}/s※9 となる。ここで，マウンドの被覆材の石材は砂利より間隙が大きく，透水性は高いと考えられるが，保守側に砂利相当の透水係数を用いた。また，ＳＡ用海水ピット取水塔の必要取水量は 0.75m^{3}/s※10であり，マウンドの被覆材の堆積を仮定した場合の通水量が上回ることから，取水機能が失われることはない。ＳＡ

用海水ピット取水塔部の漂流物堆積イメージ図を第４０図に示す。

※８　捨石の堆積箇所における通水量：

「水理公式集（土木学会）　P378　表 1.3」より

・通常井戸の取水量公式

$$Q=\frac{\pi k(H^2-h_0^2)}{2.3\log_{10}(R/r_0)}$$

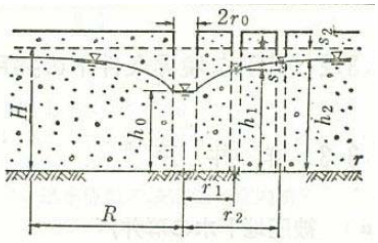
平衡式(揚水試験)

$$Q=\frac{\pi k(h_2^2-h_1^2)}{2.3\log_{10}(r_2/r_1)}$$

あるいは

$$k=\frac{0.733\,Q\log_{10}(r_2/r_1)}{(h_1+h_2)(s_1-s_2)}$$

〔解説〕本表A欄の解説を参照のこと．井底だけから流入する観測井を $r\geqq 0.6H$ の範囲に設ける場合には，観測井底を不透水層から $H/2$ の高さの位置に設け，その水位を用いてもよい[5]．



完全貫入井戸

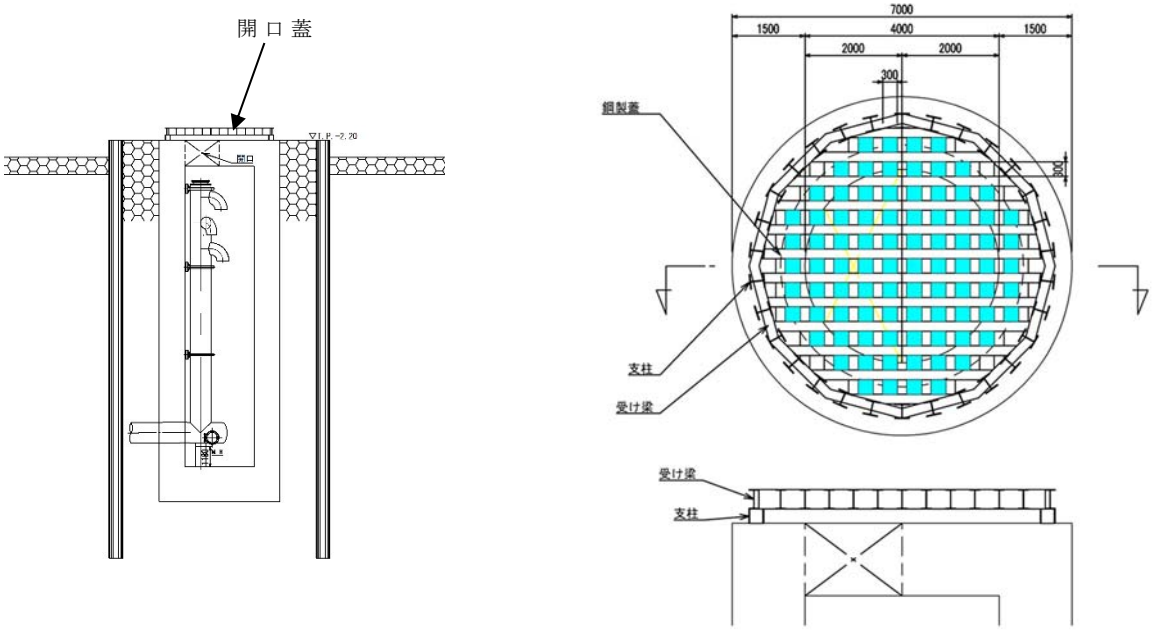
・漂流物の透水係数 $k=1\times10^{2}$cm/s　※捨石の透水係数
・原地下水位＝T.P.－0.81m
　※水位が L.W.L、漂流物が L.W.L の高さまで堆積した状態を想定
・水路床高＝T.P.－2.20m　※SA 用海水ピット取水塔の天端高さ
・H＝（T.P.－0.81m）－（T.P.－2.20m）＝1.39m
・h_0＝（T.P.－2.20m）－（T.P.－2.20m）＝0.00m
・堆積範囲の半径 R＝129m
　※マウンドの被覆材が SA 用海水ピット取水塔を中心に円形に堆積した状態を想定
・取水口の半径 r_0＝2.85m（防護蓋の支柱の内側の半径）

$$Q=\frac{\pi\times k\times\left(H^2-h_0^{\,2}\right)}{2.3\times\log_{10}(R/r_0)}=\frac{\pi\times1\times10^{2}\times10^{-2}\times\left(1.39^2-0^2\right)}{2.3\times\log_{10}(129/2.85)}=1.593\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

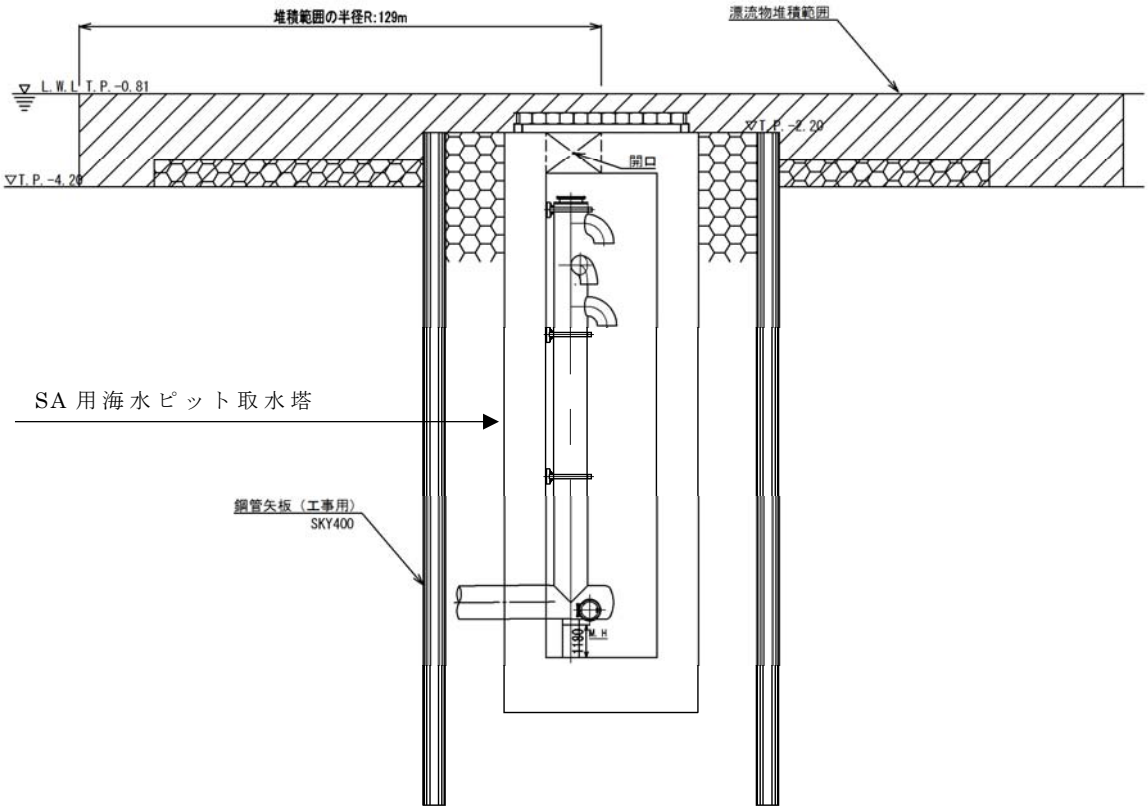
※９　ＳＡ用海水ピット取水塔の必要取水量：

2,680m^3／h＝0.75m^3／s

第３８図　ＳＡ用海水ピット取水塔の平面図



第３９図　ＳＡ用海水ピット取水塔の断面図（案）



第４０図　ＳＡ用海水ピット取水塔部漂流物堆積イメージ図

（６）津波による防波堤損壊の影響評価のまとめ

基準津波が防波堤に及ぼす影響としては，防波堤のマウンドの被覆材の漂流物化が考えられるが，取水施設周辺の流速が小さいことから取水施設へ到達する可能性は低いものと考えられる。

防波堤損壊により漂流物化したマウンドの被覆材が取水施設に到達したとしても，各取水施設は漂流物の衝突に対して十分な耐力を確保している。また，仮にマウンドの被覆材が取水施設の周辺に堆積したとしても，マウンドの被覆材の透水性能が高いことから，取水施設は取水機能を満足する。したがって，防波堤損壊により取水施設が取水機能を失うことはないものと判断する。

漂流物による各取水施設への影響評価結果を以下に示す。

・取水口において，堆積したマウンド被覆材の通水量約 14m^3/s が，非常用ポンプ７台の必要取水量 1.2m^3/s を上回るため，取水口の取水機能を満足する。

・貯留堰において，貯留堰からスクリーンまでの範囲をマウンド被覆材が埋めつくしたとしても，スクリーン内部の貯留量約 517m^3 により，引き波時間約３分間の非常用ポンプ必要取水量約 220m^3 を確保しており，引き波時の取水機能を満足する。

・ＳＡ用海水ピット取水塔において，堆積したマウンド被覆材の通水量約 1.5m^3/s が，ＳＡ用海水ピット取水塔の必要取水量 0.75m^3/s を上回るため，ＳＡ用海水ピット取水塔の取水機能を満足する。

添付資料（３５）

鋼製防護壁の設計方針について

下線部：今回提出資料

目　次

１．　鋼製防護壁の要求機能と設計方針について

（１）　鋼製防護壁に要求される機能

（２）　鋼製防護壁高さの設定方針

（３）　設計方針

１）　構造概要

２）　鋼製防護壁と地中連続壁基礎の構造概要

３）　設計手順

４）　地中連続壁基礎の設計方針

５）　鋼製防護壁（上部工）の設計方針

６）　アンカーボルトの設計

７）　止水ジョイント部の設計方針

８）　止水機構の設計方針

２．　施工実績

２．１　鋼製門型ラーメン構造

（１）　施工事例１：鋼殻ブロックの施工事例（橋梁箱桁）

（２）　施工事例２：国道工事（国土交通省）

（３）　施工事例３：高速道路工事（高速道路株式会社）

２．２　直接定着式アンカーボルトの実績

（１）　施工事例１：国道工事（国土交通省）

（２）　施工事例２：臨港道工事（国土交通省）

３．　地中連続壁基礎に関する設計基準類

（１）　道路橋示方書･同解説Ⅳ下部構造編(公社法人日本道路協会)

（２）　地中連続壁基礎工法施工指針(案)(地中連続壁基礎協会)

８）止水機構の設計方針

止水機構は，上部工の鋼製防護壁の底面と既設取水構造物間の応答変位の違いにより相対変位が生じるため，止水性維持のために止水機構を設置する。止水機構は止水板に水密ゴムを設置することで浸水を防ぐ構造としている。水密ゴムはダム，水門等において十分に実績のあるものを採用しているが，基準津波を考慮して漏水試験にて性能を確認している。以下に設計方針を示す。

（ａ）設計条件

設計条件は以下のとおり。

・津波荷重：基準津波

・地震荷重：基準地震動Ｓｓ

・止水機構の許容可動範囲：海側700mm，陸側500mm，上下±50mm

・適用規格：道路橋示方書・同解説Ⅱ鉄鋼編（日本道路協会）（平成24年）

水門鉄管技術基準（水門扉編）（電力土木技術協会）（平成28年）

ダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省）（平成28年）

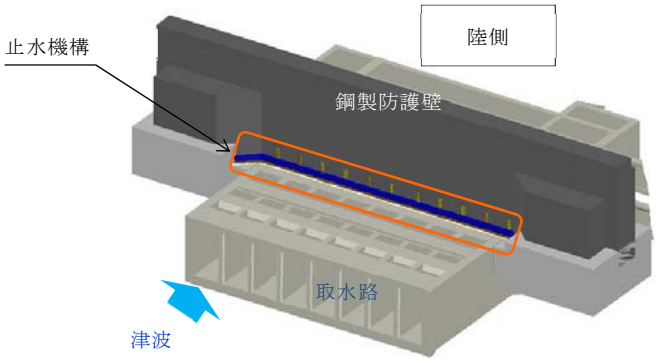
（ｂ）構　造

鋼製防護壁と既設取水路間の止水構造は，津波による荷重，鋼製防護壁と取水路の相対変位による追従性を確保する必要があることから，止水板が可動できるよう止水板を押えて支持する構造とし，止水板の底面と側面に設置した水密ゴムにて水密性を確保する構造とする。

また，止水板には漂流物による影響も考慮し保護プレートを設置し，さらに，止水板からの微少な漏えいも考慮し敷地内に浸水させないよう陸側に止水膜を設置し，敷地内の浸水を防止する構造とする。

また，水密ゴムは，追従性を向上させるため，表面にライニング（樹脂）を施工する方針とする。

第1図に止水機構の設置位置，第2図に止水機構の構造図，第1表に止水機構に係る各部位の役割･機能を示す。



第１図　止水機構の設置位置

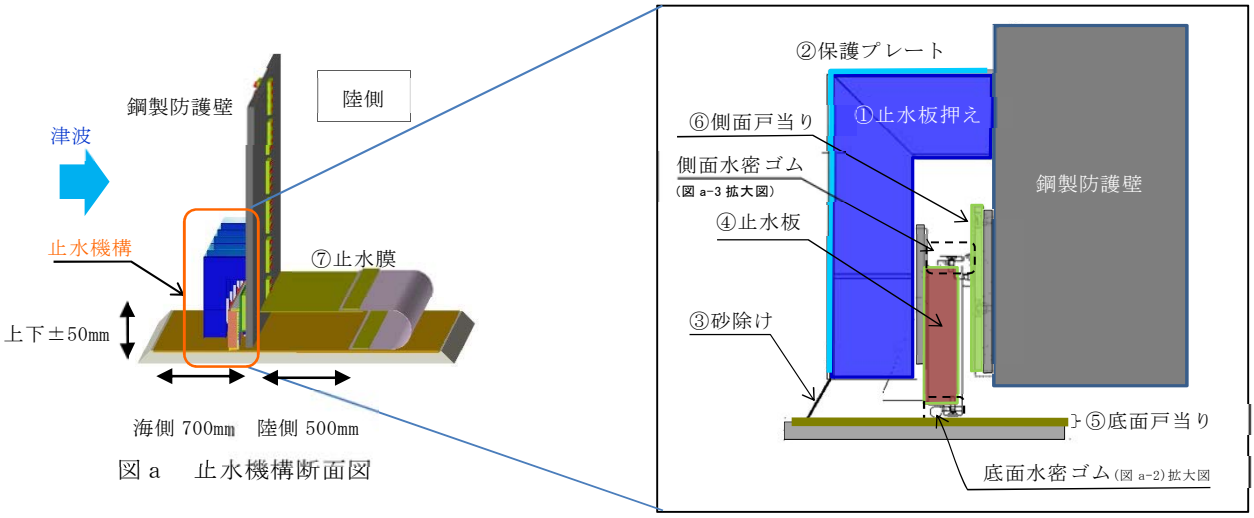


図 a　止水機構断面図

図 a-1　止水機構断面図

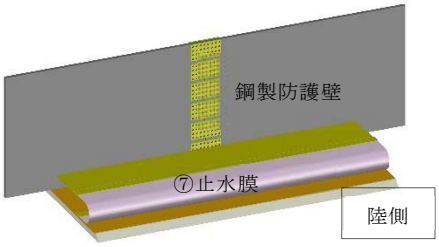


図 b　止水機構　背面の構造

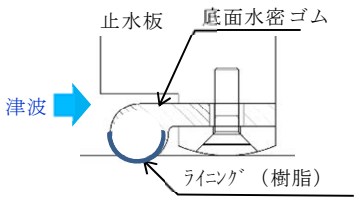


図 a-2　底面水密ゴム拡大図

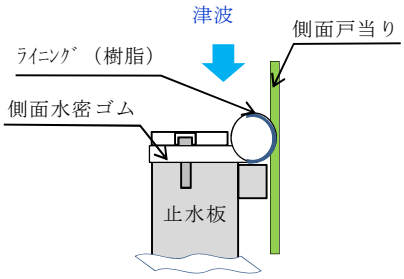


図 a-3　側面水密ゴム拡大図

第2図　止水機構の構造図

5 条　添付(35)-4

第1表　止水機構に係る各部位の役割・機能

各部位の役割・機能については以下のとおり。名称は下図に示す。

名称	役　割・機　能	材　料
① 止水板押え	・止水板を支持する。 ・漂流物等から止水板を防護する。	鋼製
② 保護プレート	・漂流物等から止水板を防護する。 ・止水板への異物混入を防止する。	鋼製
③ 砂除け	・底面戸当り面への砂等の異物混入を防止する。	ナイロン
④ 止水板	・止水機構の扉体の機能。 ・底面及び側面の戸当りに面する部位に水密ゴムを設置し浸水を防止する。	鋼製　＋ 合成ゴム
⑤ 底面戸当り	・止水板の底面水密ゴムとのシール性を確保する。 ・床部より100㎜嵩上げし異物混入を防止する	ステンレス
⑥ 側面戸当り	・止水板の側面水密ゴムとのシール性を確保する。	ステンレス
⑦ 止水膜	・水密ゴムからの微少な漏えいを保持する。 ・陸側からの異物混入を防止する。	膜材

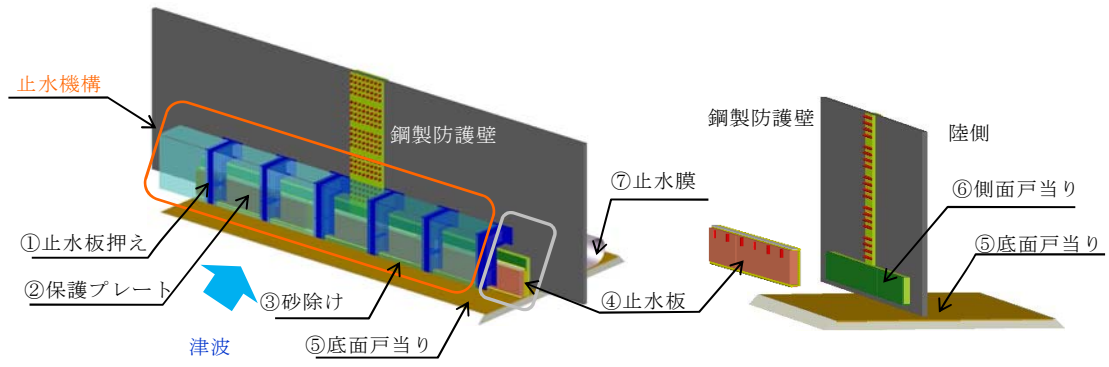
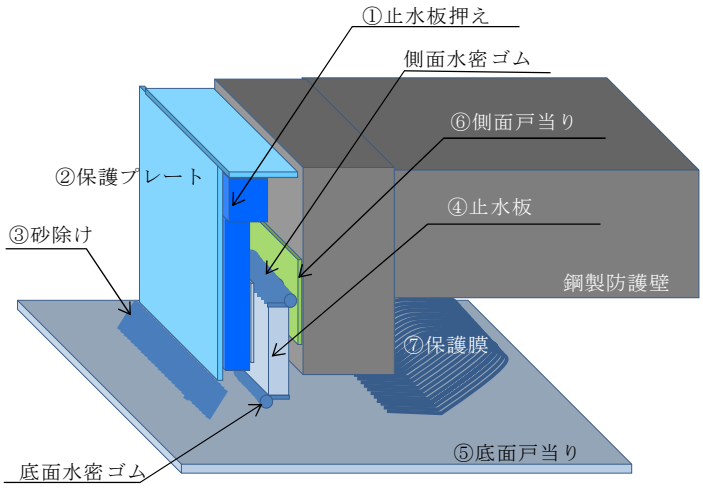


図　止水機構の各名称

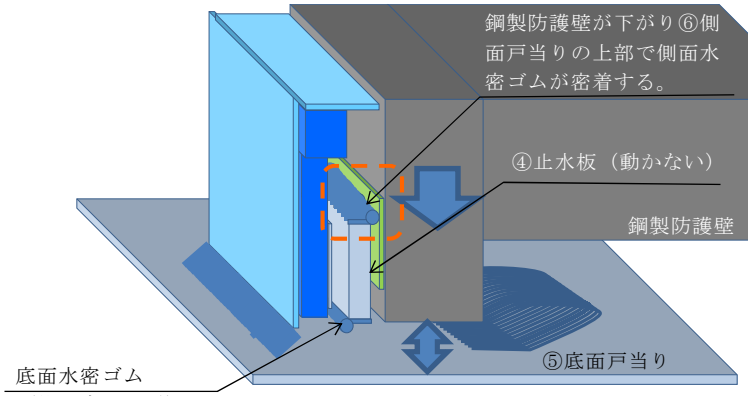
（ｃ）止水機構の動作について

止水機構の垂直方向の動作を第3図に示す。



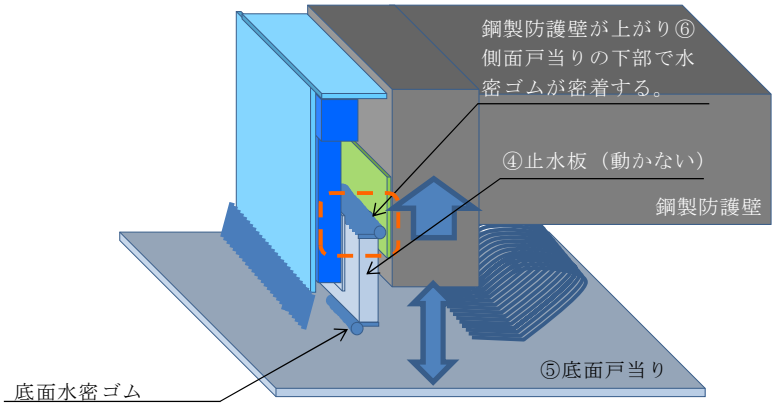
＜通常状態＞

＜通常状態＞
・④止水板は，①止水板押えと鋼製防護壁の間に設置しており，変位に追従するため，固定はしていない。
・側面水密ゴムは，鋼製防護壁の⑥側面戸当りに接触し水密ゴムへの面圧を得ている。
・底面水密ゴムは，基準津波に対して⑤底面戸当りと接触し水密ゴムへの面圧が得られている。



＜地震時（鋼製防護壁が下がる状態）＞

＜地震時（鋼製防護壁が下がる状態）＞
・鋼製防護壁が下がる場合は，④止水板は，鋼製防護壁に固定されていないため，現状位置を保持する。
・側面水密ゴムは，⑥側面戸当りの上部で密着する。
・底面水密ゴムは，現状位置と変わらない。



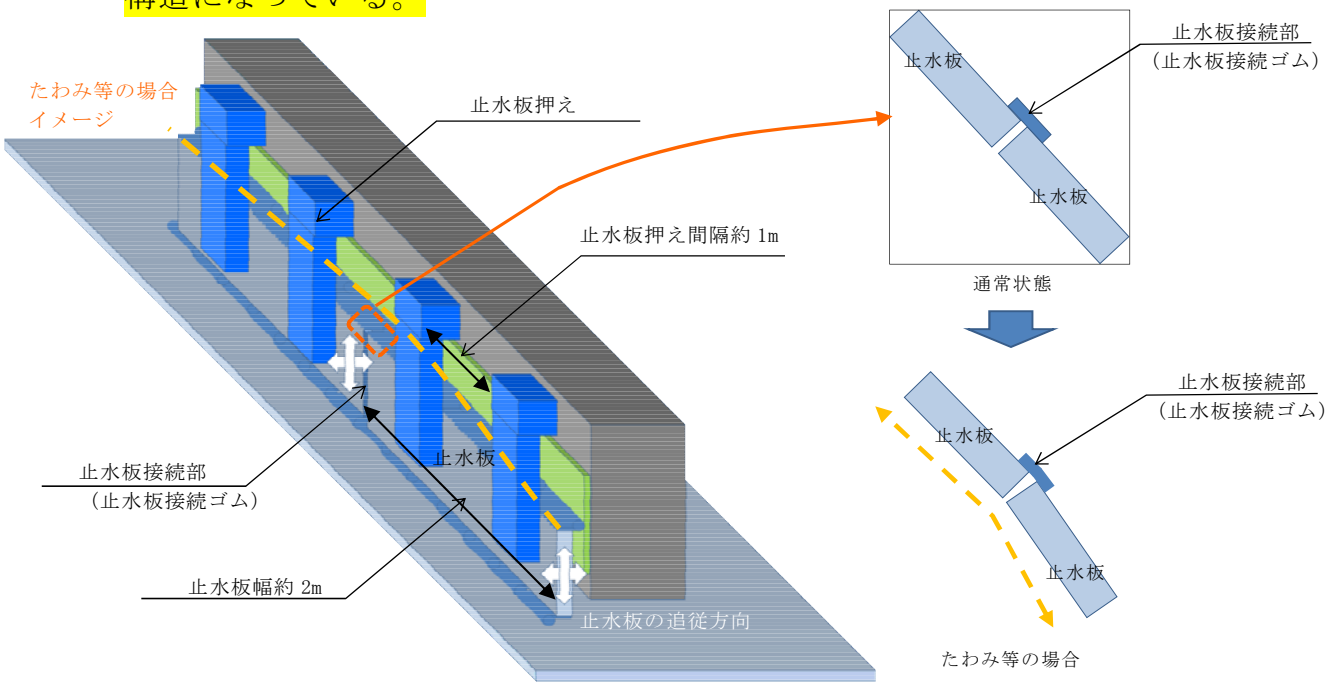
＜地震時（鋼製防護壁が上がる状態）＞

＜地震時（鋼製防護壁が上がる状態）＞
・鋼製防護壁が上がる場合は，④止水板は，鋼製防護壁に固定されていないため，現状位置を保持する。
・側面水密ゴムは，⑥側面戸当りの下部で密着する。
・底面水密ゴムは，現状位置と変わらない。

第３図　止水機構の動作について

（ｄ）止水板の追従性について

止水板は，防潮堤の振動モードにより追従する必要があるため以下の構造になっている。



第 4 図　鋼製防護壁の止水板の追従イメージ

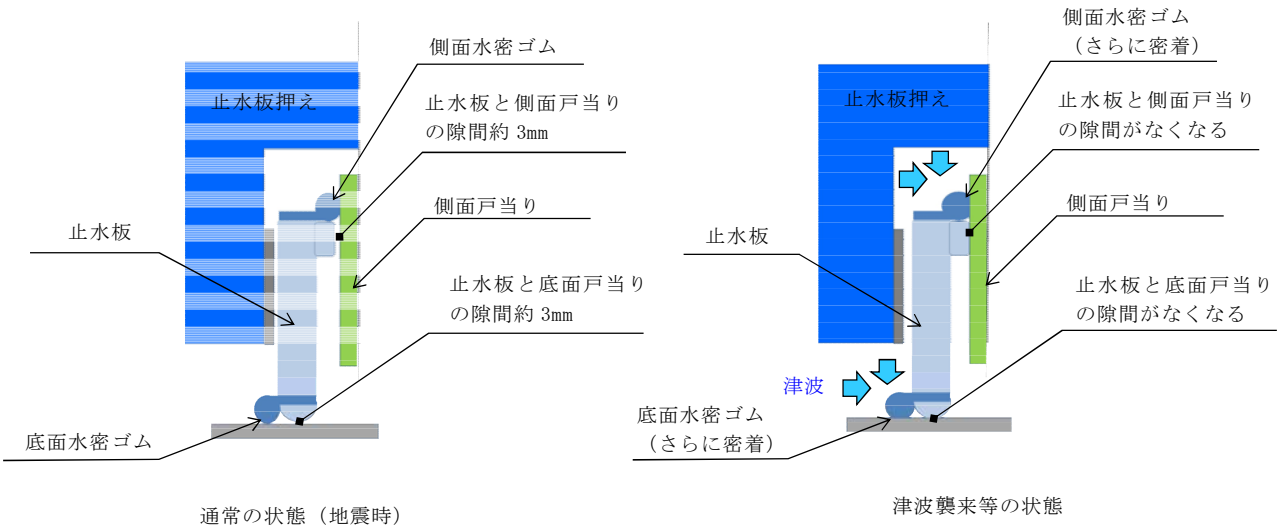
止水板は，幅が約 2m の鋼材を接続して鋼製防護壁の下部に設置される。止水板は，止水板押えにより約 1m 間隔で 2 箇所支持される。また，止水板同士を接続する接続ゴムは，水密ゴム（平形）を採用し側面，底面の水密ゴム（Ｐ形）と同じ材質のものを採用し水密性を確保している。

止水板接続ゴムは伸縮性に優れているため，鋼製防護壁の振動モードに対し水平，鉛直方向に追従することができる。鋼製防護壁全長にすると水平方向に±約2m，鉛直方向に約0.6mの変位に追従することができる。第4図に鋼製防護壁の止水板の追従イメージを示す。

（ｅ）止水板の支持方法について

止水板は通常の状態において，側面戸当り及び底面戸当りとの隙間が約3㎜で調整され，水密ゴムのみで密着するよう止水板の位置は調整されている。このため，通常の状態（地震時含む）には，止水板は拘束されていないため，水密ゴムの摩擦抵抗だけで追従しやすい状態にある。

津波の襲来等の場合は，止水板に水圧がかかると，通常の状態に調整されている約3㎜の隙間がなくなり，止水板は側板戸当り側に押し付けら，水密ゴムの密着性がさらに高まる構造である。第5図に止水板の支持方法を示す。



第5図　止水板の支持方法について

（ｆ）水密ゴムの選定について

止水機構に使用している水密ゴム（Ｐ形）は，一般的にダム・水門等に採用実績があるものを採用している。水密ゴムは，低水圧～高水圧の領域に対して適しており，防護壁の止水機構に適応している。水密ゴムは第2表に示すダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省）を適用する。

第2表　ダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省）抜粋

表3.3.4-1　水密ゴムの硬さ等

項　　目	諸　数　値
引張り強さ	14.7N/mm²以上
硬さ（ショア）	40°～80°
吸水率(重量比)	5％以下
破断時の伸び	300％以上
比　　重	1.1～1.6

表3.3.4-3　水密ゴムの形状と特性

ゴム形状	Ｐ　形	Ｌ，Ｙ形	ケーソン形	平　形
使用箇所	側部および上部	側　部	四　方	底　部
適用水深	低圧～高圧	低　圧	高　圧	低圧～高圧
硬さ（ショア）	50°～70°	50°～60°	50°～70°	50°～60°

（ｇ）漏水試験

設計圧力における漏水試験のため，止水機構の水密ゴム（Ｐ形）について，試験装置を製作し，漏水試験により設計圧力に耐えることを確認した。漏水試験による許容漏水量はダム・堰施設技術基準（案）（国土交通省）より求める。第4図に試験装置概要を示す。

＜試験条件＞

・試験圧力　：　0.20MPa以上　　防潮堤天端高さの静水圧

・試験時間　：　10分保持　（ダム・堰施設技術基準（案）より）

・許容漏水量：　204mℓ/min　⇒　10分あたり2.0 ℓ

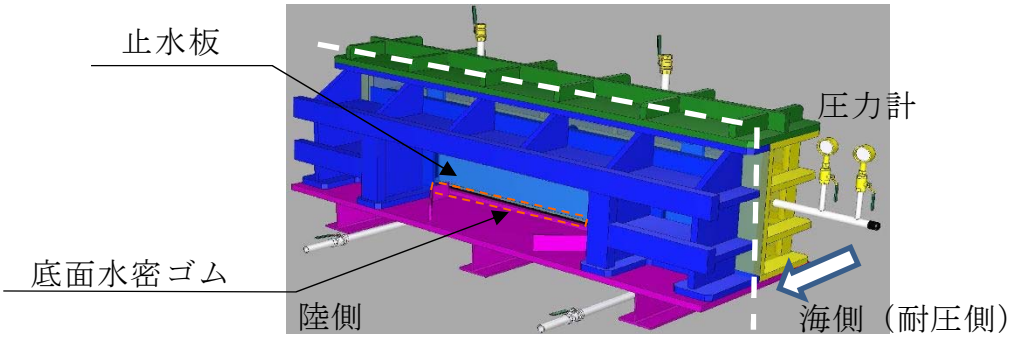
$$W = 10.2L \times P$$

W：漏水量（mℓ/min）　　P：設計圧力　0.2MPa

L：長辺の長さ(cm)　（試験装置の長さ100cm）

＜試験装置＞

漏水試験装置の概要は第4図に示す。



第4図　試験装置概要（上:鳥瞰図　下：試験装置）

＜試験結果＞

止水板の底面に設置した水密ゴムからの漏えい量を測定した。その結果,漏えい量は許容漏えい量に対し,わずかな漏えい量であり,水密ゴムの採用に問題のないことを確認した。わずかな漏えい量については，陸側に設置している止水膜にて保持する設計とする。

第3表に漏水試験結果及び，第5図に試験時の状況を示す。

第3表　漏水試験結果

	試験圧力（MPa）	時間（分）	漏えい量※（ℓ/10分）	許容漏えい量（ℓ/10分）	判定
試験体１	0.2	10	0.020	2.0	○
試験体２	0.2	10	0.029	2.0	○

※：漏えい量は１ｍあたり10分間漏えい量。

実機における止水機構の全長は約50mである。このため，底面水密ゴム(約50m)と側面水密ゴム(約50m)の合計約100ｍを考慮すると，実機における漏えい量は，第3表に示す漏えい量の100倍となる。

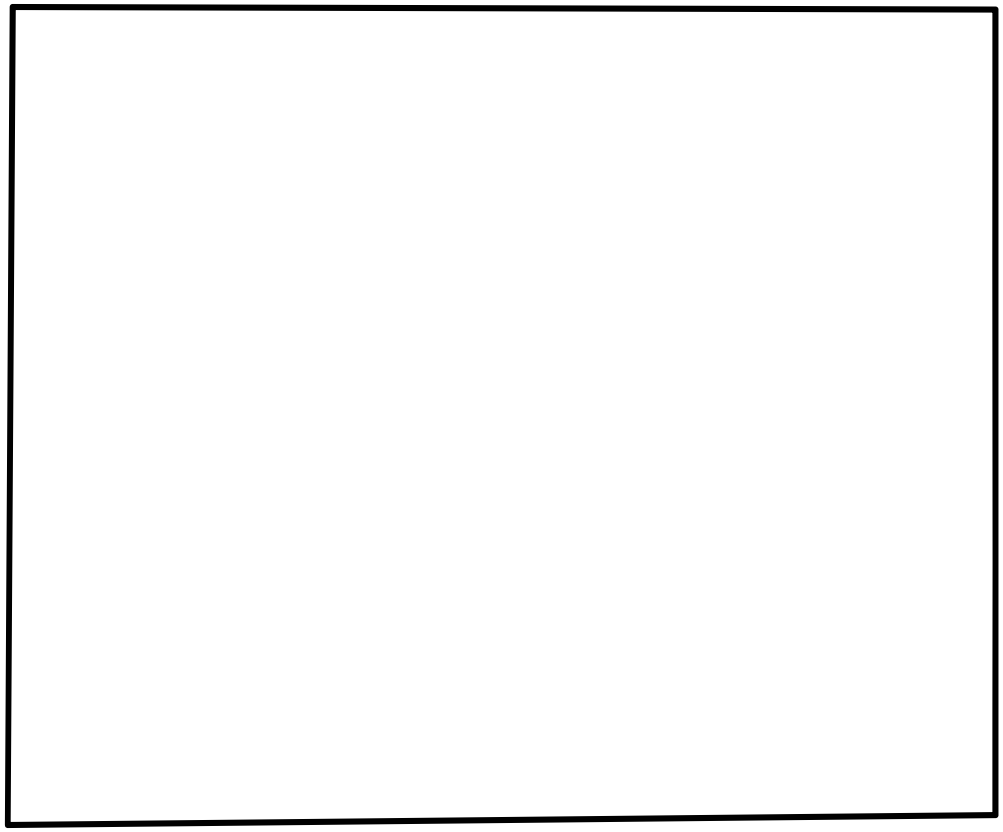
第5図　試験時の状況（10分保持後）

（ｈ）水密ゴムの維持管理について

水密ゴムの耐用年数は約20年を予定している。通常の維持管理として外観点検及び定期的な硬度測定によるトレンド管理を実施する。その結果，必要に応じて，耐用年数の見直し等を実施する。

（ｉ）採用実績の例

止水機構の構造は，角落しを組合せた構造として整理することができる。そのため，水門鉄管技術基準，ダム・堰施設技術基準（案）に基づき設計・製作を行う。水力発電所等の採用実績は多数存在している。第6図にＡ電力水力発電所の例を示す。



角落し全景

第６図　Ａ電力水力発電所の例

【参考①】

前述まで，設計条件による水密ゴムの性能を確認した。ここでは，水密ゴムの摩耗や砂の噛み込みによる状態を想定した漏水試験を実施し，水密ゴムの機能を確認した。

＜試験条件＞

・試験体　：地震（S_s相当）による摩耗試験（砂噛み込み）
策定前の基準地震動S_sによる取水路の１次元地盤応答解析(SHAKE)の解析結果より，地表面の加速度と速度の最大のものを選択し，さらに2次元動的連成解析(FLIP)の解析結果も包絡する条件にて摩耗試験を実施した。

・試験圧力：以下の圧力による漏水試験（砂噛み込み）
0.17MPa以上　防潮堤敷地高さ(T.P.＋3m)からの静水圧
0.66MPa以上　防潮堤天端高さ(T.P.＋20m)の
静水圧×3倍以上

・試験時間　：10分保持　（ダム・堰施設技術基準（案）より）

・許容漏水量：

$W = 10.2L \times P$

W：漏水量（mℓ/min）

P：設計圧力　0.17MPa，0.66MPa

L：長辺の長さ(cm)　（試験装置の長さ100cm）

0.17MPaの場合：　173mℓ/min　⇒　10分あたり1.7 ℓ

0.66MPaの場合：　673mℓ/min　⇒　10分あたり6.7 ℓ

＜試験結果＞

漏えい量は許容漏えい量に対し，わずかな漏えい量であり，地震による摩耗や砂の噛みこませた状態における状態においても，水密ゴムの機能に影響のないことを確認した。わずかな漏えい量については，陸側に設置している止水膜にて保持する設計とする。第4表に漏水試験結果を示す。

第4表　漏水試験結果（参考）

	試験圧力（MPa）	時間（分）	漏えい量※（ℓ/10分）	許容漏えい量（ℓ/10分）	判定
1回目	0.17	10	0.039	1.7	○
	0.66	10	0.625	6.7	○
2回目	0.17	10	0.440	1.7	○
	0.66	10	0.525	6.7	○

※漏えい量は１ｍあたり10分間の漏えい量。

実機における止水機構の全長は約50mである。このため，底面水密ゴム（約50m）と側面水密ゴム（約50m）の合計約100ｍを考慮すると，実機における漏えい量は，第4表に示す漏えい量の100倍となる。

【参考②】

止水構造として，保護プレートや砂除けにて異物の混入を防ぐ設計をしている。ここでは，仮に木材等の噛み込みを想定し底面水密ゴムが損傷した場合を想定して評価を行う。止水板１枚あたり（2m幅）の漏水量について評価する。第7図に底面水密ゴムの損傷想定位置と時刻歴波形（取水口前面）を示す。

＜計算式＞

$$Q = C A \sqrt{2 g h}$$

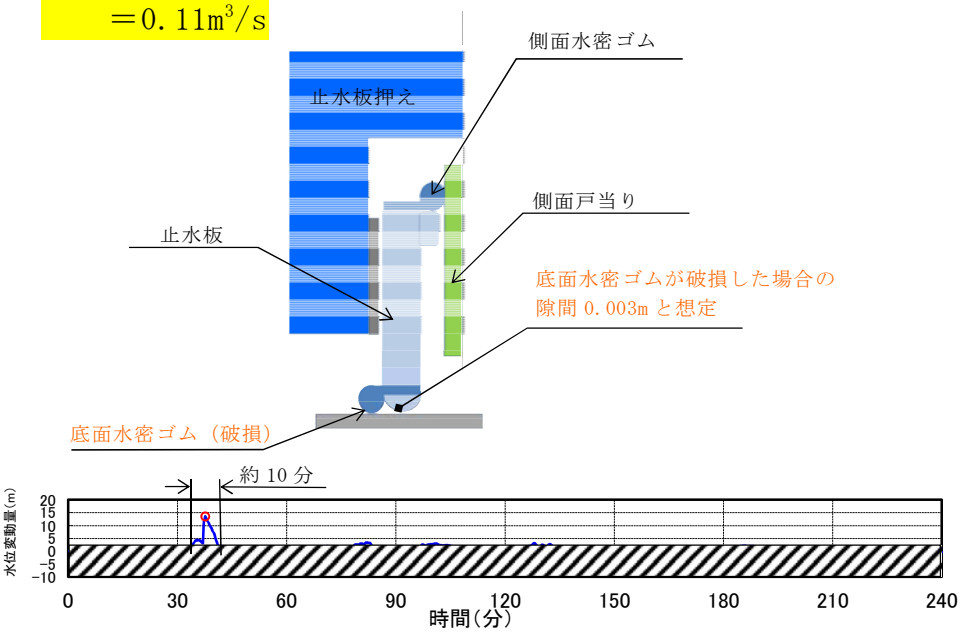
C：流入係数　（1.0）　　g：重力加速度　（9.8m/s^2）

A：通過面積m^2　（0.003×2＝0.006m^2）

h：水頭　m　　（防潮堤天端高さ20m-3m設置ﾚﾍﾞﾙ＝17m）

$Q = 1.0 \times 0.006 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 17}$

＝0.11m^3/s



第７図　底面水密ゴムの損傷想定位置と時刻歴波形（取水口前面）

計算の結果，1秒あたり約0.11m^{3}であった。基準津波による時刻歴波形からT.P.＋3mを超える時間は約10分であるため，敷地内に浸水した場合は最大で約66m^{3}程度になる。

添付資料（３７）

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の設計方針について

目次

１．鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の要求機能と設計方針について

（１）鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）に要求される機能

（２）鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）高さの設定方針

（３）設計方針

１）構造概要

２）設計手順

３）防潮壁・放水路・地中連続壁基礎の設計方針

４）止水ジョイント部の設計方針

２．地中連続壁基礎に関する設計基準類

１．鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の要求機能と設計方針について

（１）鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）に要求される機能

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の平面位置図を第 1-1 図に，構造図を第 1-2 図に示す。なお，鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）については，地中連続壁基礎を下部工とし，放水路及び防潮壁を上部工とする。

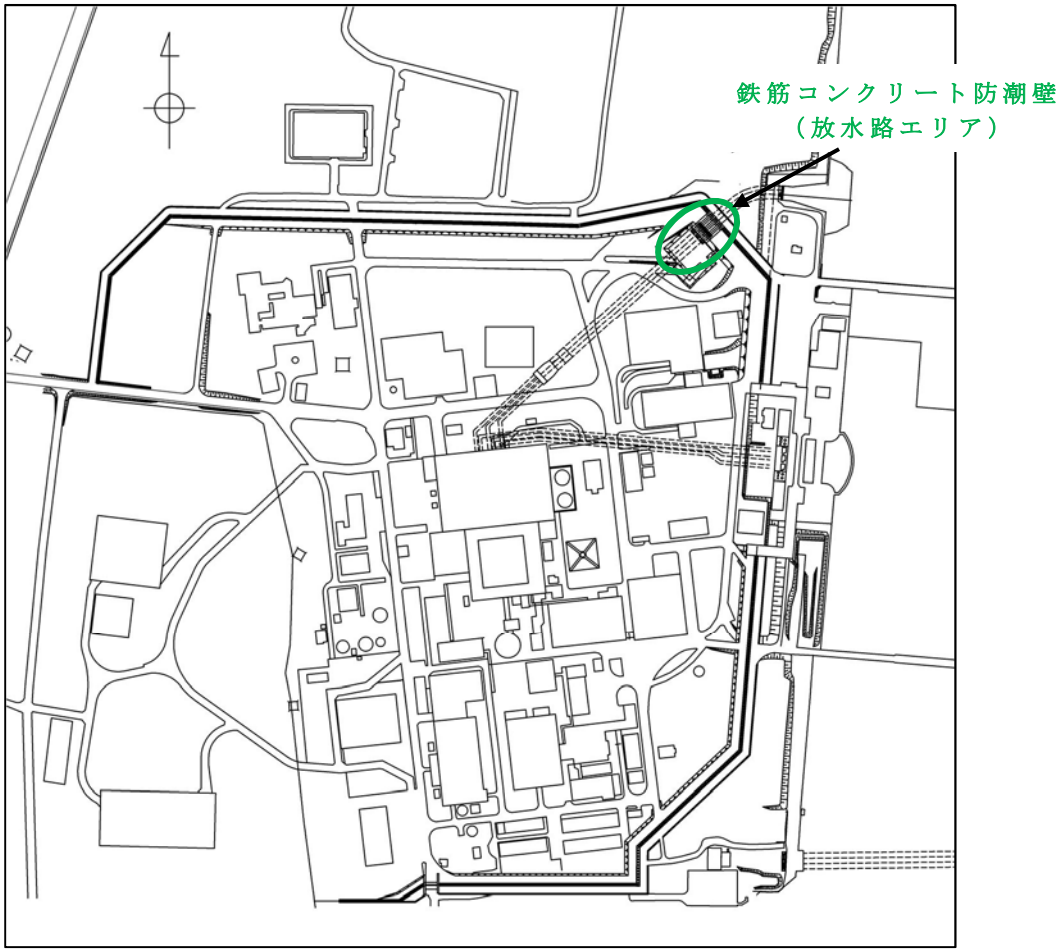
鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）に関する要求機能と設計評価方針について第 1-1 表に，鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の評価対象部位を第 1-3 図に示す。

津波防護施設として防潮壁に求められる要求機能は，繰返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること，基準地震動Ｓ$_{s}$に対して要求される機能を損なう恐れがないよう，構造物全体としての変形能力に対し，十分な構造強度を有することである。

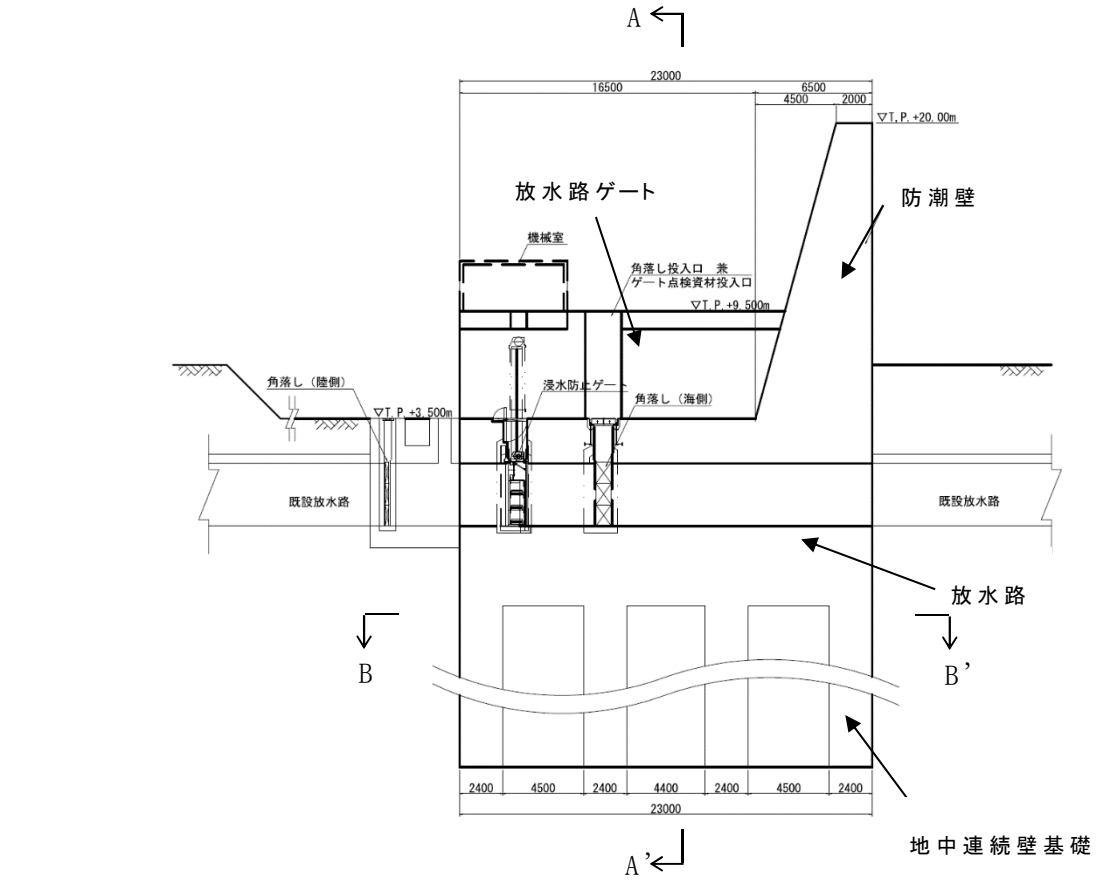
上記の機能を確保するための性能目標は，遡上津波に対して余裕を考慮した防潮壁高さを確保するとともに，構造体の境界部等の止水性を維持し，基準地震動Ｓ$_{s}$に対して止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。

また，既設の放水路については，基準地震動Ｓ$_{s}$を想定した設計がなされていないため，地震時に損壊し襲来した津波が敷地内へ浸水することが懸念される。したがって，放水路エリアでは，既設の放水路を撤去した後，基準地震動Ｓ$_{s}$に対して構造成立性を確保できる放水路を新設して，鉄筋コンクリート防潮壁及び地中連続壁基礎との一体化を図る。

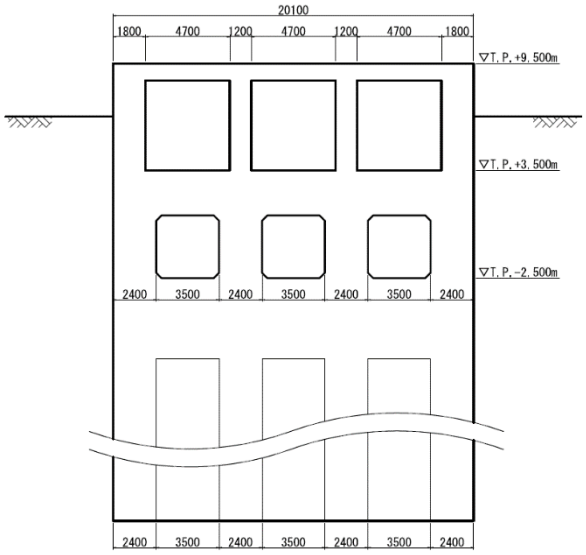
なお，放水路からの津波の浸水を防ぐために放水路ゲートを設置する。



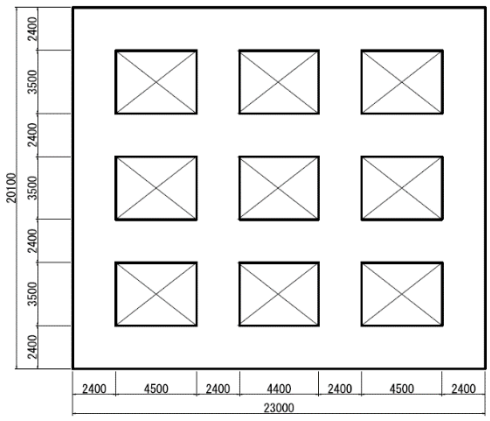
第 1-1 図　平面位置図



断面図



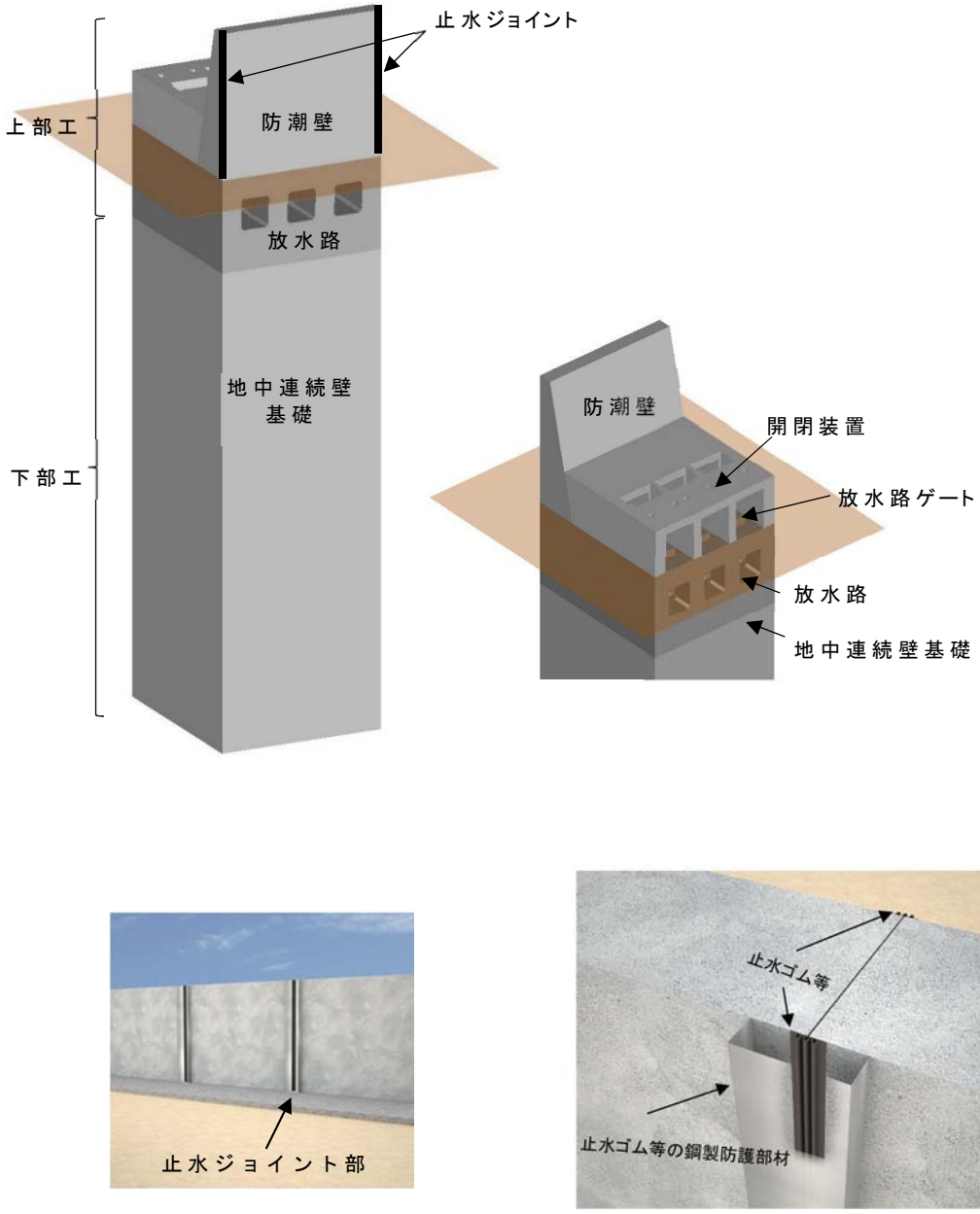
A-A'



B-B'

注）仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

第 1-2 図　鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）構造図



第 1-3 図　鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の評価対象部位

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

第 1-1 表（1）　鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）に関する要求機能と設計評価方針

津波防護に関する施設は，津波の発生に伴い，津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。「津波防護に関する施設の設計について」の要求機能，機能設計，構造強度設計を以下に示す。

施設名	要求機能		機能設計		構造強度設計							上段：設計に用いる許容限界
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計（評価方針）	評価対象部位			応力等の状態	損傷モード	下段：おおむね弾性の使用限界
鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）	基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド 5.1 津波防護施設の設計 津波防護施設については，その構造に応じ，波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し，越流時の耐性にも配慮した上で，入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるよう設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え，入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため，以下の項目について，設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。 ① 荷重組合せ a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ：常時＋津波，常時＋津波＋地震（余震） ② 荷重の設定 a)津波による荷重（波圧，衝撃力）の設定に関して，考慮する知見（例えば，国交省の暫定指針等）及びそれらの適用性。 b)余震による荷重として，サイト特性（余震の震源，ハザード）が考慮され，合理的な頻度，荷重レベルが設定される。 c)地震により周辺地盤に液状化が発生する場合，防潮堤杭基礎に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ③ 許容限界 a)津波防護機能に対する機能保持限界として，当該構造物全体の変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し，津波防護機能を保持すること。（なお，機能損傷に至った場合，補修にある程度の期間が必要となることから，地震，津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。） 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド 6.3 津波防護施設，浸水防止設備等 津波防護機能を有する施設，浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は，常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して，当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに，その施設に要求される機能（津波防護機能，浸水防止機能）を保持すること。	・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう，津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。 ・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，基準地震動Ｓｓに対し，津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう，構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）に対し，十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さの設定及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。 ・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，基準地震動Ｓｓに対し，主要な構造部材の構造健全性を維持することで，津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。	・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても， ①想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さ（浸水高さ T.P.+15.4m～T.P.+17.9mに余裕を考慮した天端高さ T.P.+20.0m）の設定により，東二放水路上部に設置する設計とする。 ②防潮壁は，鉄筋コンクリート製の上部構造を地中連続壁基礎によって，十分な支持性能を有する地盤に支持する設計とする。 ③上部構造の異種構造物間との境界部は，波圧による変形に追随する止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。 ・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，基準地震動Ｓｓに対し， ④鉄筋コンクリート製の耐性のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。 ⑤上部構造は，地中連続壁基礎と鉄筋コンクリートで一体化させる構造とすることで変位を抑制し，止水性を保持する設計とする。 ⑥上部構造の異種構造物間との境界部は，試験等により地震時の変形に追随し止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講じる設計とする。	・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鉄筋コンクリート製の上部構造及び下部構造で構成し，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに，主要な構造体の境界部には，止水ゴム等を設置して有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。 ・鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，基準地震動Ｓｓによる地震時荷重に対し，鉄筋コンクリート製の上部構造及び下部構造で構成し，津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするとともに，主要な構造体の境界部には，止水ゴム等を設置して有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。	基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため，作用する押込力が許容支持力以下に留まることを確認する。	下部工		基礎地盤	押込力	支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ 共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえ，極限支持力以下とする。 極限支持力以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である地中連続壁基礎が，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	下部工		地中連続壁基礎	曲げ せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である放水路が，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	上部工		放水路	曲げ せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，構造部材である防潮壁が，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	上部工		防潮壁	曲げ せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下
						基準地震動Ｓｓによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置する止水ゴム，止水シートが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。 また，止水ゴム等が止水性能を保持するための接続アンカーや鋼製防護部材は，おおむね弾性状態に留まることを確認する。	上部工	止水ジョイント部	止水ゴム等	変形 引張り	有意な漏えいに至る変形，引張り	メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容引張り力以下とする。 許容変形量以下 許容引張り力以下
							上部工	止水ジョイント部	鋼製アンカー	引張り せん断 引抜き	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下 せん断強度以下
							上部工	止水ジョイント部	止水ゴム等の鋼製防護部材	曲げ 引張り せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計基準」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下 せん断強度以下

（２）鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）高さの設定方針

敷地前面東側に位置する鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は，遡上津波に対して余裕を考慮した防潮壁高さを設定している。入力津波高さと防潮堤高さの関係を第 1-2 表に示す。

第 1-2 表　入力津波高さと防潮堤高さの関係

	敷地側面 北側	敷地前面 東側	敷地側面 南側
入力津波高さ （潮位のばらつき等考慮）	T.P.+15.4m	T.P.+17.9m	T.P.+16.8m
防潮堤高さ	T.P.+18.0m	T.P.+20.0m	T.P.+18.0m
設計裕度	2.6m	2.1m	1.2m

（３）設計方針

１）構造概要

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）では，地震荷重，津波荷重及び漂流物衝突荷重等に対して構造成立性を確保する鉄筋コンクリートの防潮壁を構築し，敷地内への津波の浸水を防止する。防潮壁直下に構築する放水路は，地震荷重や放水路を逆流する津波荷重に耐えるカルバート構造とし，敷地内への浸水をゲートにより防止する。地中連続壁基礎は，岩盤に壁厚以上根入れし，防潮壁及び放水路に作用する地震荷重や津波荷重等に耐える構造とする。なお，地震荷重や津波荷重等に耐える構造とした防潮壁，放水路及び地中連続壁基礎は，全て鉄筋コンクリートで一体化した構造とする。防潮壁には，隣接する鋼管杭で支持された鉄筋コンクリート壁との境界部に伸縮性を有する止水ジョイント部を設置する。

防潮壁の形状は，上部厚さを約 2m，下部厚さを約 6.5m としており，放水路を横断方向約 20ｍ×縦断方向に約 23ｍとする。また，地中連続壁基礎は，壁厚約 2.4m となる鉄筋コンクリートで隔壁及び側壁を構築し，T.P.約－60m に分布する岩盤に支持させる。

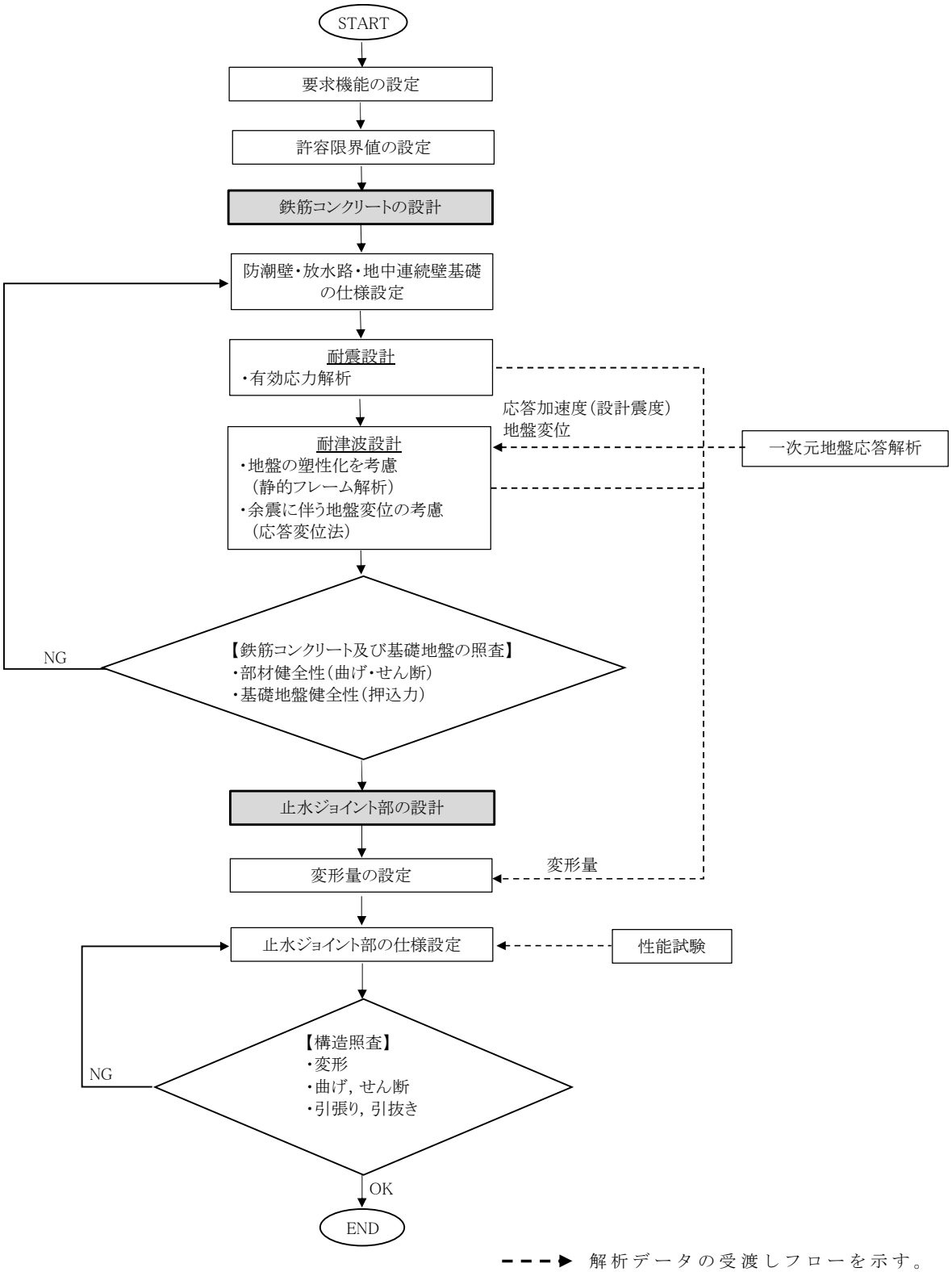
２）設計手順

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の耐震・耐津波評価は，津波防護施設であること，Ｓクラスの設計基準対象施設であることを踏まえ，第 1-3 表に示した鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の評価項目に従い，各構造部材の構造健全性評価を行う。

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の構造健全性評価の検討フローを第 1-4 図に示す。

第 1-3 表　鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の評価項目

構造強度設計				上段：設計に用いる許容限界 下段：おおむね弾性の使用限界
評価対象部位			応力等の状態	
下部工	基礎地盤		押込力	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえ，極限支持力以下とする。
				極限支持力以下
	地中連続壁基礎		曲げ せん断	「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
				降伏応力度以下
上部工	放水路		曲げ せん断	「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
				降伏応力度以下
	防潮壁		曲げ せん断	「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
				降伏応力度以下
	止水ジョイント部	止水ゴム等	変形 引張り	メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容引張り力以下とする。
				許容変形量以下 許容引張り力以下
		鋼製 アンカー	引張り せん断 引抜き	「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
				降伏応力度以下 せん断強度以下
		止水ゴム等の鋼製防護部材	曲げ 引張り せん断	「鋼構造設計基準」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
				降伏応力度以下 せん断強度以下



第 1-4 図　鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の

構造健全性評価の検討フロー

３）防潮壁・放水路・地中連続壁基礎の設計方針

防潮壁は，津波に対する止水性を確保する必要がある。また，放水路及び地中連続壁基礎は，地震及び津波の荷重に対する基礎として防潮壁からの荷重を支持する必要がある。そのため，各部位は鉄筋コンクリートで一体化した構造とし，繰返し襲来する地震及び津波荷重が作用した場合に対して弾性状態に留まる設計とする。また，設計荷重によって基礎に発生する押込力が，基礎を支持する基礎地盤の極限支持力以内に留まる設計とする。

地中連続壁基礎から立ち上がる鉛直方向の主鉄筋を放水路の底版コンクリート内に，道路橋示方書で規定される定着長以上埋め込むことで，地中連続壁基礎と放水路の底版の結合は剛結とする。

地震時では液状化を精緻に評価するために二次元有効応力解析，津波時及び重畳時（津波＋余震時）では静的二次元解析を実施し，躯体に発生する断面力を用いた応力度照査を実施するとともに，基礎底面の地盤反力を用いた支持力照査を実施する。

① 耐震設計（有効応力解析）

設計対象構造物-地盤の連成モデルによる二次元地震応答解析を行い，本震時の部材健全性及び基礎地盤健全性を確認する。地震応答解析については，地盤の有効応力の変化の影響を反映した地震時地盤挙動を求めることができる有効応力解析法を用いることとし，解析により得られる部材の発生断面力に基づく鉄筋コンクリートの各照査対象応力及び基礎地盤の地盤反力が許容限界以下となるよう設計する。

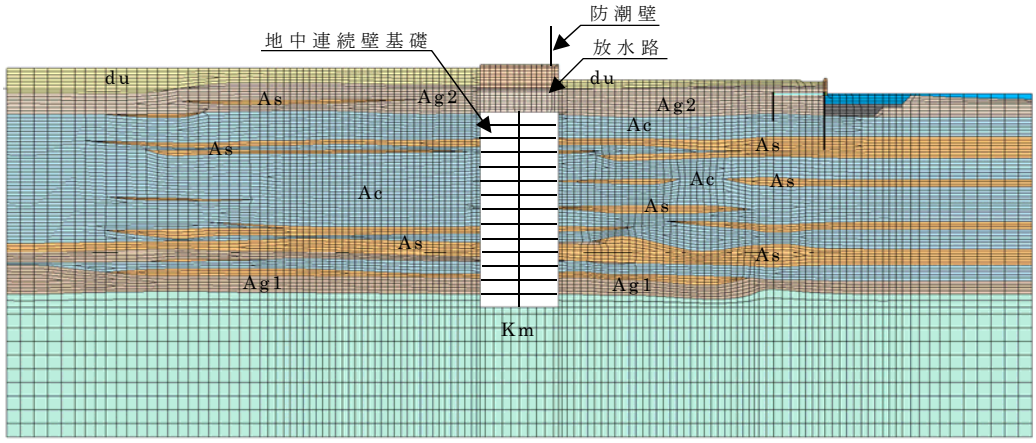
液状化強度特性については，平均－１σの値を用いることで保守性を考慮する。さらに，地質分布の不確かさに着目し，原地盤の液状化強度特性を適用した基準地震動Ｓｓによる解析の結果，最も厳しいケースにおいて，より一層保守的に，液状化検討対象層である全ての砂層，礫層に対し，豊浦標準砂の液状化強度特性を与えることで，強制的に液状化させる条件を仮定した解析モデルについても検討する。

a．解析モデルの作成

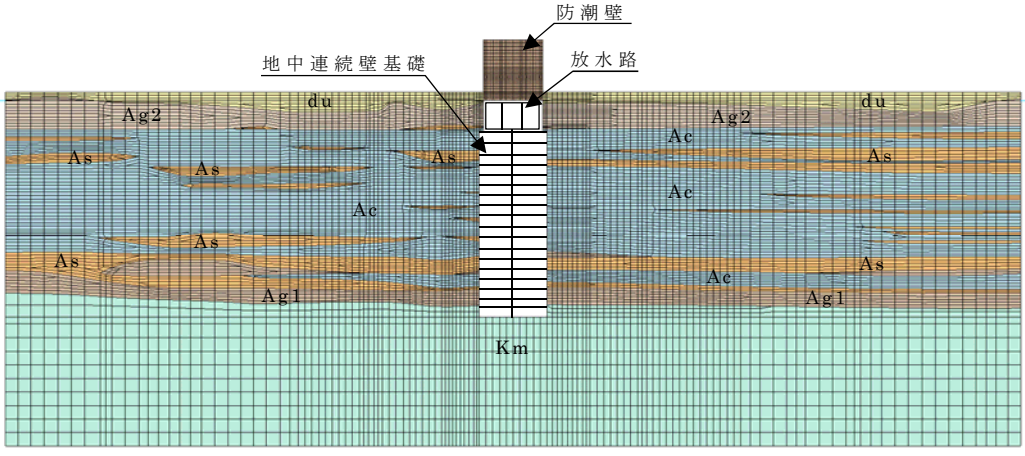
地質断面図を反映して解析モデルを作成する。鉛直方向は新第三系地盤である久米層がT.P.-60m近傍で出現するため，T.P.－100m までモデル化する。水平方向は地中連続壁基礎を中心に左右 150m までモデル化する。地震応答解析は防潮壁軸方向及び軸直交方向に対して実施し，躯体は線形はり要素または線形平面要素でモデル化する。地盤はマルチスプリング要素でモデル化した非線形要素とし，地下水位以深には間隙水要素を配置する。堤軸直交方向及び堤軸方向の地震応答解析モ

デル概念図を第 1-5 図に示す。

地質時代		地質区分		記号	岩相	備考
第四紀	完新世	砂丘層		du	砂	敷地全体に広く分布する。
		沖積低地堆積層	久慈川堆積層	Ag2	砂礫	敷地全体に広く分布する。
				Ac	粘土	久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。
				As	砂	
				Ag1	砂礫	
	更新世	低位段丘堆積層	段丘堆積層2	D2c-3	シルト	敷地南部に埋没段丘として分布する。
				D2s-3	砂	
				D2g-3	砂礫	
				D2c-2	シルト	
				D2g-2	砂礫	
		中位段丘堆積層	段丘堆積層1	lm	ローム	敷地の南西部に分布し、いわゆる額田段丘面を構成する。
				D1c-1	シルト	
				D1g-1	砂礫	
第三紀	鮮新世	久米層		Km	砂質泥岩	敷地の基盤岩である。



堤軸直交方向モデル概念図



堤軸方向モデル概念図

第 1-5 図　地震応答解析モデル概念図

b．地震応答解析

有効応力解析により，躯体及び周辺地盤の応答値を算定する。入力地震動は，一次元波動論により，東海第二発電所の解放基盤表面深度であるT.P.－370mからT.P.－100mまでをモデル化した剥ぎ取り地盤モデルを用いて，一次元波動論によりT.P.－100m位置で評価した地震動（2E）を用いる。

c．照査

（a）鉄筋コンクリートに対する照査

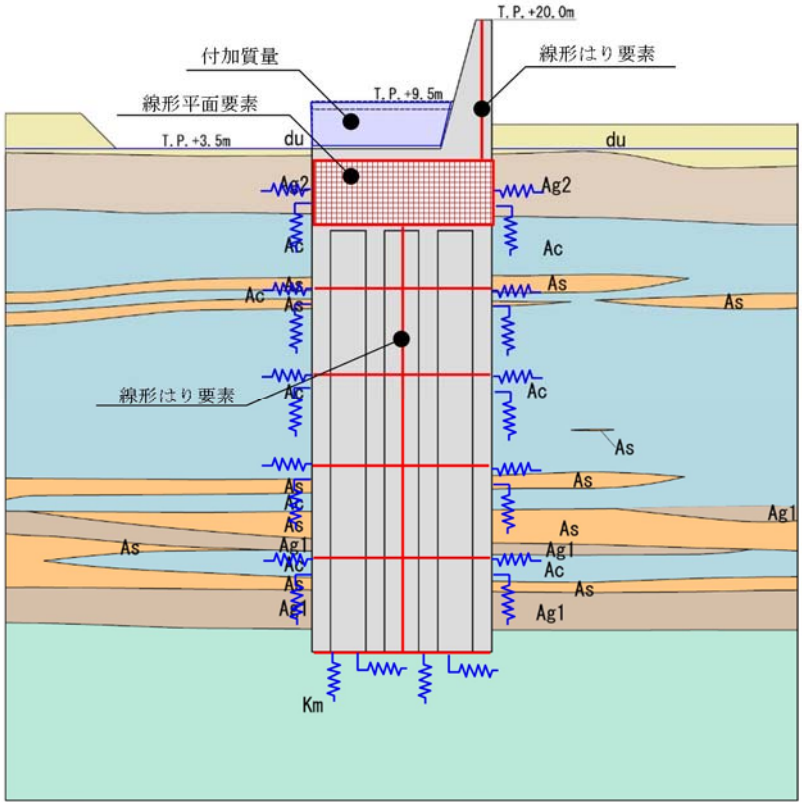
地震応答解析により算定された防潮壁，放水路及び地中連続壁基礎の発生断面力を用いて，曲げモーメント・軸力に対する照査，及びせん断に対する照査を行い，短期許容応力度以下であることを確認する。

（b）基礎地盤に対する照査

地震応答解析により算定された基礎底面に発生する地盤反力を用いて支持力に対する照査を行い，極限支持力以下であることを確認する。

② 耐津波設計（静的二次元解析）

防潮壁，地中連続壁基礎及び放水路（頂版・底版）を線形はり要素，放水路（中壁・側壁）を線形平面要素でモデル化し，地盤バネを接続した静的二次元解析を実施する。なお，防潮壁背面の放水路ゲートについては，津波波力等の作用荷重に対して防潮壁を支持する構造部材として評価せず，重量のみを付加質量として考慮する。死荷重及び積雪の長期荷重に加え，津波時では津波による波力と漂流物衝突荷重，重畳時では余震荷重等を設計荷重として考慮し，部材の発生断面力が短期許容応力度以下及び基礎地盤の地盤反力が極限支持力以下となるよう設計する。解析モデル概念図を第1-6図に示す。



第1-6図　解析モデル概念図

地盤バネは，「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編（日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，上限値を有するバイリニア型とする。津波時の地盤反力係数は静弾性係数より，重畳時の地盤反力係数は別途実施する一次元地盤応答解析より算定した収束せん断弾性係数より設定する。なお，重畳時における地盤バネの設定に用いる地盤の変形係数は，以下の式により算出する。

$$E_D = 2(1+\nu_d)G'$$

E_D：地盤の変形係数（kN／m^2）

ν_d：動ポアソン比

G'：地盤の余震時収束せん断弾性係数（kN／m^2）

バイリニア型としてモデル化した地盤バネの上限値は，津波来襲前に発生する基準地震動Ｓｓ，津波と同時に発生する余震（S_d-D1）による影響を保守的に評価するため，－1σのバラつきを考慮した残留強度の強度定数に基づき設定する。

余震時荷重としては，余震に対する一次元地盤応答解析より算定される地盤変位を応答変位法で考慮するとともに，地表面最大加速度より設定される設計震度を慣性力として考慮する。

耐津波設計における地盤反力係数及び地盤バネを第 1-4 表に示す。

第 1-4 表　地盤反力係数及び地盤バネの上限値

荷重条件	地盤反力係数	上限値
津波時	静弾性係数より	残留強度（-1σ低減値）
重畳時	収束せん断弾性係数より	残留強度（-1σ低減値）

4）止水ジョイントの設計方針

① 概要

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）と鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁との異種構造物間の境界に止水ジョイントを設置する。

止水ジョイント部は，地震時に構造物間の相対変位と，その後の津波や余震により構造物間の相対変位に対して止水性を確保するため，伸縮性を有するものとし，堤内側及び堤外側の両面に止水ゴム等を設置する。

また，堤外側の止水ジョイント部には，止水ゴム等における漂流物防止対策として，止水ゴム等の鋼製防護部材を設置する。

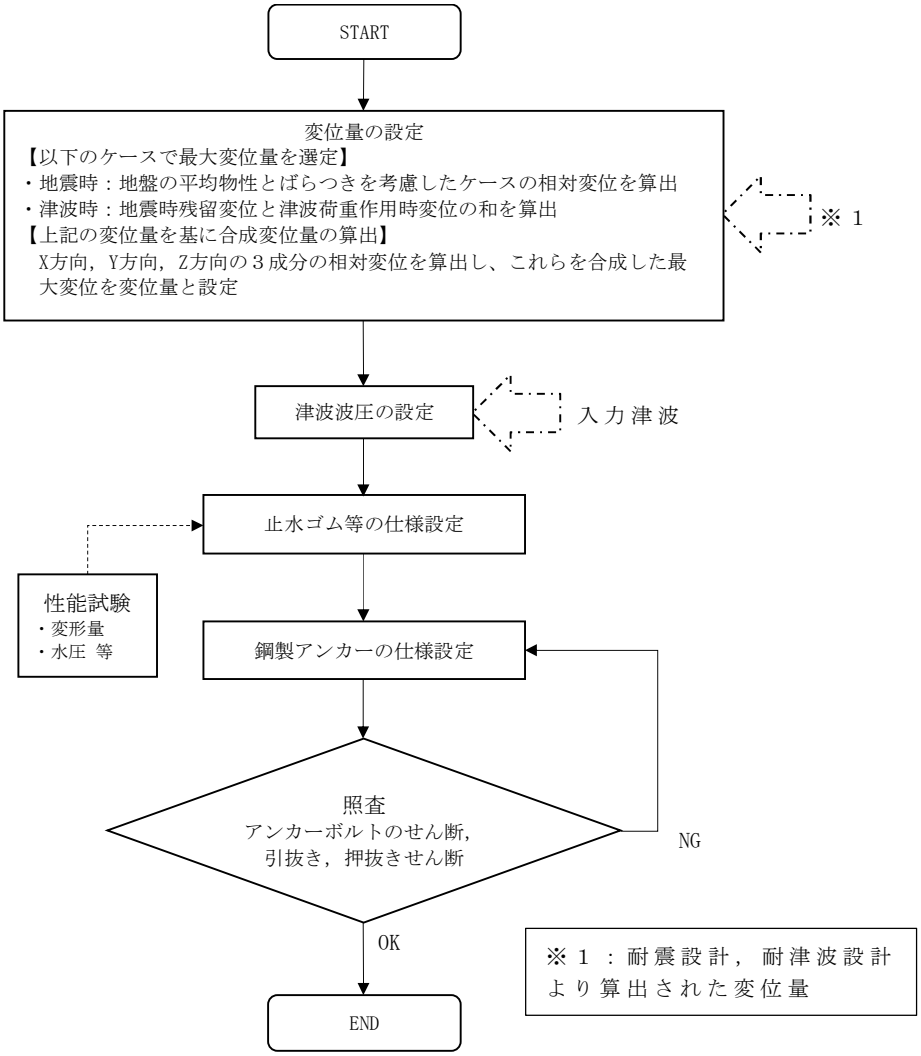
② 評価方針

止水ジョイント部の構造健全性評価については，基準地震動S_sを用いた地震応答解析及び津波荷重を用いた静的フレーム解析により算出された変位量及び入力津波を用い津波波圧式より算出した津波波圧に対し，止水ゴム等の止水性が維持できることを確認し，止水ゴム等の仕様を設定する。

止水ジョイント部の設計フローを第 1-7 図に示す。

止水ゴム等の仕様設定は，性能試験（漏水試験・変形試験）（試験については「鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について」を参照）により津波波圧に耐え，止水機能を維持できる変形量となるよう設定するとともに，構造物間の相対変位に対し追従可能な材料を設定する。

また，止水ゴム等の取り付け部の鋼製アンカーに発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認するとともに，止水ゴム等における漂流物防止対策として，止水ゴム等の鋼製防護部材を設置し発生する曲げ及びせん断応力等が短期許容応力度以下であることを確認する。



第 1-7 図　止水ジョイント部の設計フロー

２．地中連続壁基礎に関する設計基準類

地中連続壁基礎に係る設計基準としては，道路橋示方書・同解説（公益社団法人 日本道路協会），また施工の観点からの基準として地中連続壁基礎工法施工指針（案）（地中連続壁基礎協会）に代表される。

（１）道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編（公益社団法人日本道路協会：平成 24 年 3 月）

道路橋下部構造の技術基準として，各種基礎の設計手法等がとりまとめられており，橋梁下部構造以外の土木構造物の基礎においても，同基準を参考として計画・設計している。

（２）地中連続壁基礎工法施工指針（案）（地中連続壁基礎協会：平成 14 年 7 月）

道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編に基づいて設計された地中連続壁基礎の施工に適用される指針である。地中連続壁基礎の品質を確保するための施工方法等が記載されており，これらを踏まえた設計とする。

添付資料（３８）

設計基準対象施設の安全重要度分類クラス３の設備の津波防護について

設計基準対象施設において，津波に対し防護する設備は，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備を含む耐震Ｓクラスに属する設備並びに安全重要度分類のクラス１及び２に属する設備としている。

設計基準対象施設の安全重要度分類クラス３の設備（以下「クラス３設備」という。）については，損傷した場合を考慮して，代替設備により必要な機能を確保する等の対応を行う設計としており，津波防護の対象外としている。

クラス３設備のうち津波の影響を受ける設備を抽出し，代替設備により必要な機能を確保する等の対応を以下に示す。

1. 津波の影響を受けるクラス３設備の抽出について

津波の影響を受けるクラス３設備として，基準津波の遡上域に設置されているクラス３の設備を抽出する。

検討の結果，クラス３設備のうち，敷地北側の防潮堤の外側に設置されているモニタリング・ポストが津波の影響を受ける設備として抽出された。主なクラス３設備の津波の影響の有無について第１表，設置箇所を第１図に示す。また，基準津波の遡上範囲を第２図に示す。

2. 津波の影響を受けるクラス３の設備の代替設備により必要な機能を確保する等の対応について

津波の影響を受けるクラス３の設備として抽出されたモニタリング・ポストについて，代替設備により必要な機能を確保する等の対応を以下に示す。

モニタリング・ポストは，発電所周辺の放射線量の監視を行う機能があり，緊

急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能を有しているため,安全重要度分類クラス３（MS-3）に該当する。

モニタリング・ポストが津波により損傷し機能を失う事象が発生した場合については,津波の影響を受けない場所に配置している放射能観測車により当該機能を代替できる設計としている。

クラス３設備が津波により損傷した場合の対応を第１表に示す。

3. クラス３設備の津波防護について

以上より，クラス３設備については，津波の影響を受けた場合においても，代替設備により対応が可能であり，津波防護の対象外としても問題ない。

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
２．核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設						
(3) 使用済燃料貯蔵設備						
制御棒貯蔵ラック	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
(4) 燃料プール冷却浄化系						
燃料プール冷却浄化系熱交換器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
燃料プール冷却浄化系フィルタ脱塩器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
燃料プール冷却浄化系ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
燃料プール冷却浄化系　主配管	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	燃料プール冷却浄化系（MS-1を除く。）
３．原子炉冷却系統施設						
(2) 原子炉冷却材の循環設備						
第１給水加熱器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
第２給水加熱器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
第３給水加熱器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
第４給水加熱器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
第５給水加熱器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
第６給水加熱器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
高圧復水ポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
タービン駆動原子炉給水ポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
電動機駆動原子炉給水ポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
復水脱塩系脱塩器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
樹脂ストレーナ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
原子炉冷却材の循環設備　主配管	原子炉建屋 タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	復水給水系（MS-1を除く。） 抽気系 給水加熱器ドレン系 給水加熱器ベント系 復水脱塩系
(3) 残留熱除去設備						
残留熱除去設備　主配管	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	3-1	残留熱除去系（海水配管，MS-1を除く。）

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
(6) 原子炉補機冷却設備						
原子炉補機冷却系熱交換器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
原子炉補機冷却系ポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
原子炉補機冷却設備　主配管	原子炉建屋 タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	原子炉補機冷却系（MS-1を除く。）
(7) 原子炉冷却材浄化設備						
プリコートタンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
プリコートポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
４．計測制御系統施設						
(2) 制御材駆動装置						
駆動水ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
駆動水フィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
スクラム排出水容器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
(3) ほう酸水注入設備						
テストタンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
(4) 計測装置						
事故時サンプリング系設備	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	MS-1を除く。
タービン監視計器	タービン建屋 原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
タービン制御系	タービン建屋 原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
原子炉冷却材浄化系計測制御装置	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
計測制御装置	原子炉建屋 タービン建屋 廃棄物処理建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置 津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	原子炉冷却材浄化系，給水系，機器ドレン処理系，床ドレン処理系，濃縮廃液減容固化系，雑固体廃棄物焼却設備，雑固体減容処理設備等（いずれもMS-1,2を除く。）
(4) 制御用空気設備						
空気圧縮機	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
空気貯槽	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
空気除湿塔	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
除湿装置プレフィルタ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
除湿装置アフタフィルタ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
気水分離器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
後部冷却器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
制御用空気設備　主配管	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	制御用空気系（MS-1を除く。）
５．放射性廃棄物の廃棄施設						
(1) 気体，液体又は個体廃棄物貯蔵設備						
固体廃棄物貯蔵庫Ａ棟	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	5-1	
固体廃棄物貯蔵庫Ｂ棟	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	5-2	
サイトバンカプール	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
使用済樹脂貯蔵タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
クラッドスラリタンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化体貯蔵室	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
固体廃棄物移送容器	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
固体廃棄物作業建屋	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	5-3	
(2) 気体，液体又は個体廃棄物処理設備						
廃液フィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液脱塩器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
凝集沈殿装置	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理棟機器ドレンサンプポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液収集ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
サージポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液サンプルポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
凝集装置供給ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
凝縮水収集ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
凝縮水サンプルポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液収集タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
サージタンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液サンプルタンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
凝集装置供給タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
凝縮水収集タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
凝縮水サンプルタンク	サンプルタンク室	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
原子炉棟機器ドレンサンプポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
タービン建屋危機ドレンサンプポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理建屋機器ドレンサンプタンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
電磁ろ過器供給タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
超ろ過器供給タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
機器ドレン処理水タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
クラッドスラリ上澄水受タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
電磁ろ過器	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
超ろ過機	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
クラッドスラリ濃縮器	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
廃棄物処理建屋機器ドレンサンプポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
電磁ろ過器供給ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
超ろ過機供給ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
機器ドレン処理水ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
電磁ろ過器循環供給ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
クラッドスラリ上澄水ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
クラッドスラリ濃縮器循環ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
床ドレン収集タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
床ドレンサンプルタンク	サンプルタンク室	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
床ドレンフィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理棟床ドレンサンプポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
床ドレン収集ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
原子炉棟床ドレンサンプポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
タービン建屋床ドレンサンプポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理建屋床ドレンサンプタンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
廃棄物処理建屋床ドレンサンプポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
廃液中和タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理棟高電導度ドレンサンプポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液中和ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液濃縮器供給ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液濃縮器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液濃縮器加熱器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
タービン建屋高電導度ドレンサンプポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液濃縮器循環ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
廃棄物処理建屋高電導度ドレンサンプタンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
廃棄物処理建屋高電導度ドレンサンプポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
洗濯廃液ドレンタンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
洗濯廃液ドレンフィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
洗濯廃液ドレンポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
洗濯廃液ドレンサンプポンプ	サービス建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
洗濯廃液受タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
洗濯廃液ろ過器	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
洗濯廃液供給ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
プール水浄化フィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
プール水脱塩器	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
プール水浄化ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
廃液スラッジ貯蔵タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
床ドレンスラッジ貯蔵タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液中和スラッジ受タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
濃縮廃液貯蔵タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
使用済樹脂貯蔵タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
使用済粉末樹脂貯蔵タンク	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
ミキサー洗浄タンク（A）	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
ミキサー洗浄タンク（B）	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
ミキサー洗浄ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
タンクベントフィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
遠心分離器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃液スラッジポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
床ドレンスラッジ受ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
使用済樹脂ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
使用済粉末樹脂ポンプ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
減容機	ベイラ建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
濃縮廃液受タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化系供給タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化系溶解タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
減容固化系移送ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化系供給ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化系溶解ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化系粒子フィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化系高性能粒子フィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
減容固化系造粒機	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
排ガスブロア	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
焼却炉	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
１次セラミックフィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
２次セラミックフィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
排ガスフィルタ雑固体投入機	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
雑固体投入機	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
排ガス洗浄廃液サンプルタンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
排ガス洗浄廃液排水ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉排ガス洗浄水受入タンク	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉排ガス洗浄塔循環ポンプ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉排ガス洗浄水フィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉排ガス洗浄水吸着塔	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
高周波溶融炉	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉２次燃焼器燃焼室	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉２次燃焼器	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉セラミックフィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉排ガスフィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
溶融炉ガスブロワ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
排ガス再結合器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
排ガス気水分離器	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
排ガス前置フィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
排ガス前置除湿塔	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
排ガス後置フィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
排ガス空気抽出器	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
排ガスブロワ―	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
排ガスフィルタ	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
気体，液体又は個体廃棄物処理設備　主配管	原子炉建屋 タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	機器ドレン処理系 床ドレン処理系 再生廃液処理系 洗濯廃液処理系 サイトバンカプール水浄化系 固体廃棄物処理系 使用済樹脂移送系 濃縮廃液減容固化系 雑固体廃棄物焼却設備 排ガス洗浄廃液処理系 雑固体減容処理設備 （いずれもMS-1を除く。）
	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
６．放射線管理施設						
(1) 放射線管理用計測装置						
主排気筒放射線モニタ	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	6-1	
非常用ガス処理系排気筒放射線モニタ	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	6-2	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
モニタリング・ポスト	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置または，基準津波による遡上波が到達しない十分高い位置に設置	－	6-3	
	屋外	有	基準津波が遡上する位置に設置されているため，津波の影響あり	津波の影響により使用できなくなった場合には，放射能観測車で機能を代替	6-4	
放射能観測車	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	6-5	
(2) 換気設備						
原子炉棟換気系送風機	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
原子炉棟換気系排風機	タービン建屋 原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
原子炉換気系フィルタ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
タービン建屋換気系送風機	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
タービン建屋換気系排風機	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
タービン建屋換気系フィルタ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
廃棄物処理棟換気系送風機	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理棟換気系排風機	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理棟換気系フィルタ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
廃棄物処理建屋換気設備送風機	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
廃棄物処理建屋換気設備排風機	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
廃棄物処理建屋換気設備フィルタ	廃棄物処理建屋	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
(3) 生体遮蔽装置						
補助遮蔽	原子炉建屋，廃棄物処理建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋等	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置 または，津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
７．原子炉格納施設						
(3) 圧力低減設備その他の安全設備						
窒素ガス供給設備液体窒素貯蔵タンク	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	7-1	
８．その他発電用原子炉の附属施設						
(1) 非常用電源設備						
空気圧縮機	原子炉建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	非常用ディーゼル発電装置　内燃機関に附属する空気圧縮設備 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備内燃機関に附属する空気圧縮設備
非常用電源設備　主配管	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	8-1	非常用ディーゼル発電機用海水系（MS-1を除く。） 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水系（MS-1を除く。）
(2) 常用電源設備						
発電機本体	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
励磁装置	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
主要変圧器	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	8-2	

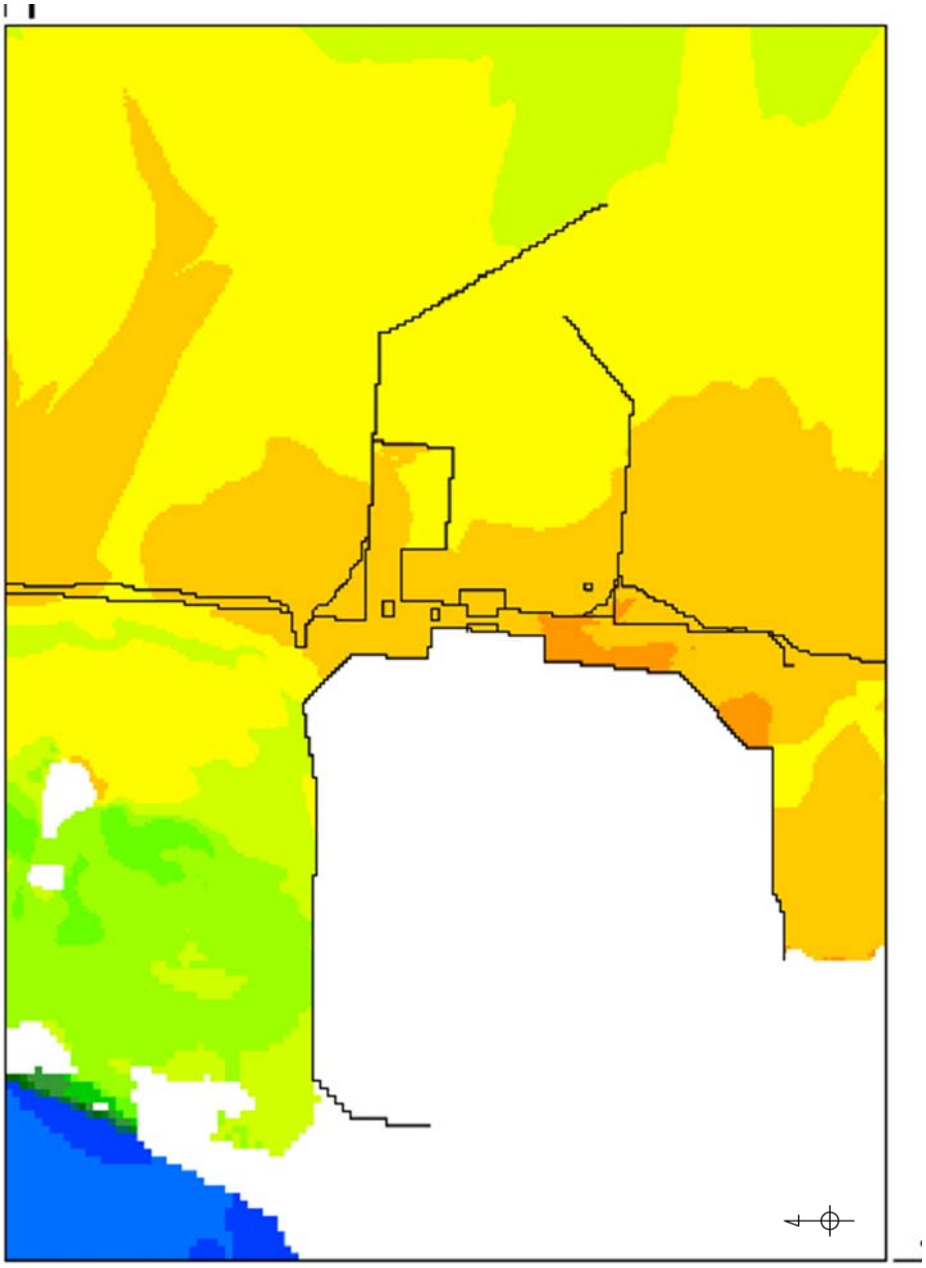
第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
起動変圧器	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	8-3	
所内変圧器	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	8-4	
予備変圧器	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	8-5	
線路用２７５ｋＶしゃ断器	屋内開閉所	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
発電機並列用２７５ｋＶしゃ断器	屋内開閉所	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
起動変圧器受電用２７５ｋＶしゃ断器	屋内開閉所	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
予備変圧器受電用２７５ｋＶしゃ断器	屋内開閉所	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	－	
(3) 補助ボイラー						
ボイラ本体	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
給水ポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	

第1表　主なクラス３設備（設計基準対象施設）の津波の影響と津波により損傷した場合の対応

機器名称	設置場所	津波の影響		津波により損傷した場合の対応	図示番号	備考
		有無	理由			
給水タンク	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
蒸気だめ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
重油貯蔵タンク	屋外	無	津波防護施設及び浸水防止設備により，基準津波が遡上・流入しない箇所に設置	－	8-6	
重油サービスタンク	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
(4) 火災防護設備						
電動駆動消火ポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
ディーゼル駆動消火ポンプ	タービン建屋	無	津波防護対象設備を内包する建屋又は区画内に設置	－	－	
(5) 緊急時対策所						
緊急時対策所	屋外	無	基準津波による遡上波が到達しない十分高い位置に設置	－	－	

第１図　主なクラス３設備の配置図



第２図　基準津波の遡上範囲