

東海第二発電所
津波による損傷の防止

平成 30 年 3 月
日本原子力発電株式会社

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）
 - 2.2.1 遡上波の地上部からの到達，流入の防止
 - 2.2.2 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）
 - 2.4.1 浸水防護重点化範囲の設定
 - 2.4.2 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
 - 2.5.1 非常用海水冷却系の取水性
 - 2.5.2 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

添 付 資 料

- 1 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
- 2 耐津波設計における現場確認プロセスについて
- 3 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
- 4 敷地内の遡上経路の沈下量算定評価について
- 5 管路解析のモデルについて
- 6 管路解析のパラメータスタディについて
- 7 港湾内の局所的な海面の励起について
- 8 入力津波に用いる潮位条件について
- 9 津波防護対策の設備の位置付けについて
- 10 常用海水ポンプ停止の運用手順について
- 11 残留熱除去系海水ポンプの水理実験結果について
- 12 貯留堰設置位置及び天端高さの決定の考え方について
- 13 基準津波に伴う砂移動評価
- 14 非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
- 15 漂流物の移動量算出の考え方
- 16 津波漂流物の調査要領について
- 17 津波の流況を踏まえた漂流物の津波防護施設等及び取水口への到達可能性評価について
- 18 地震後の防波堤の津波による影響評価について
- 19 燃料等輸送船の係留索の耐力について
- 20 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について
- 21 鋼製防護壁の設計方針について
- 22 鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について
- 23 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
- 24 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について
- 25 防潮扉の設計と運用について
- 26 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
- 27 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
- 28 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
- 29 各種基準類における衝突荷重の算定式及び衝突荷重について
- 30 放水路ゲートの設計と運用について
- 31 貯留堰継ぎ手部の漏水量評価について
- 32 貯留堰の構造及び仕様について
- 33 貫通部止水対策箇所について

- 3 4 隣接する日立港区及び常陸那珂港区の防波堤の延長計画の有無について
- 3 5 防波堤の有無による敷地南側の津波高さについて
- 3 6 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
- 3 7 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
- 3 8 敷地側面北側防潮堤設置ルート変更に伴う入力津波の設定について
- 3 9 津波対策設備毎の条文要求，施設・設備区分及び防護区分について
- 4 0 東北地方太平洋沖地震時の被害状況を踏まえた東海第二発電所の地震・津波による被害想定について
- 4 1 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）

鋼製防護壁の設計方針について

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) 設計荷重
 - 5) 地中連続壁基礎の設計方針
 - 6) 鋼製防護壁（上部工）の設計方針
 - 7) 接合部の設計
 - 8) 止水ジョイント部の設計方針
 - 9) 止水ジョイント部（底部止水機構）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）
4. 参考資料

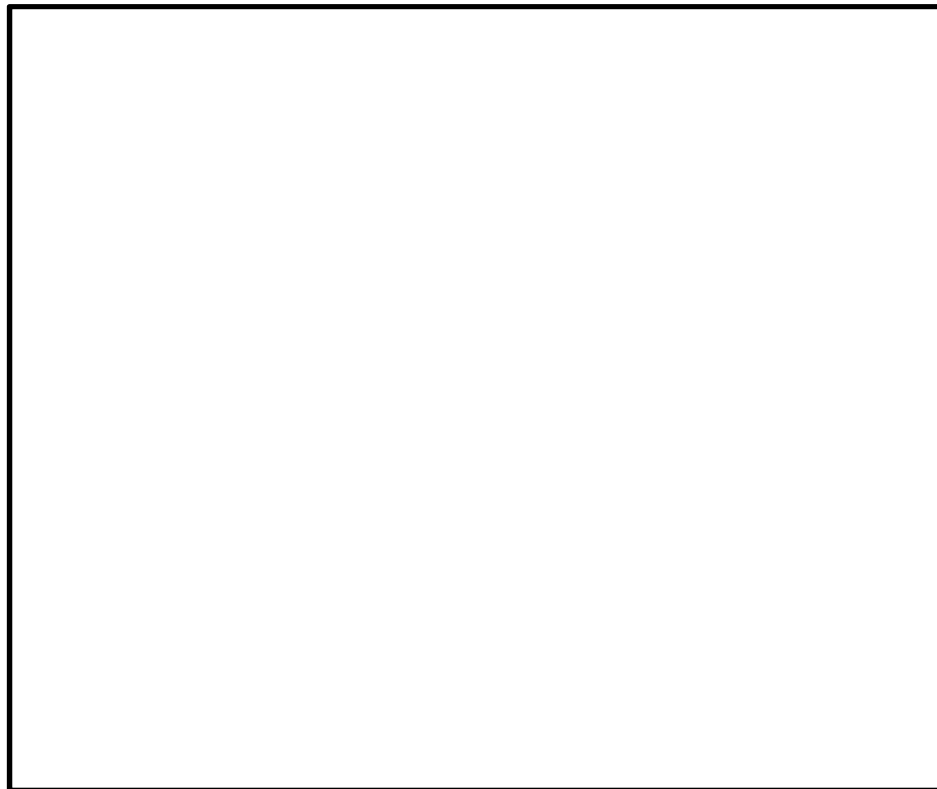
1. 鋼製防護壁の要求機能と設計方針について

(1) 鋼製防護壁に要求される機能

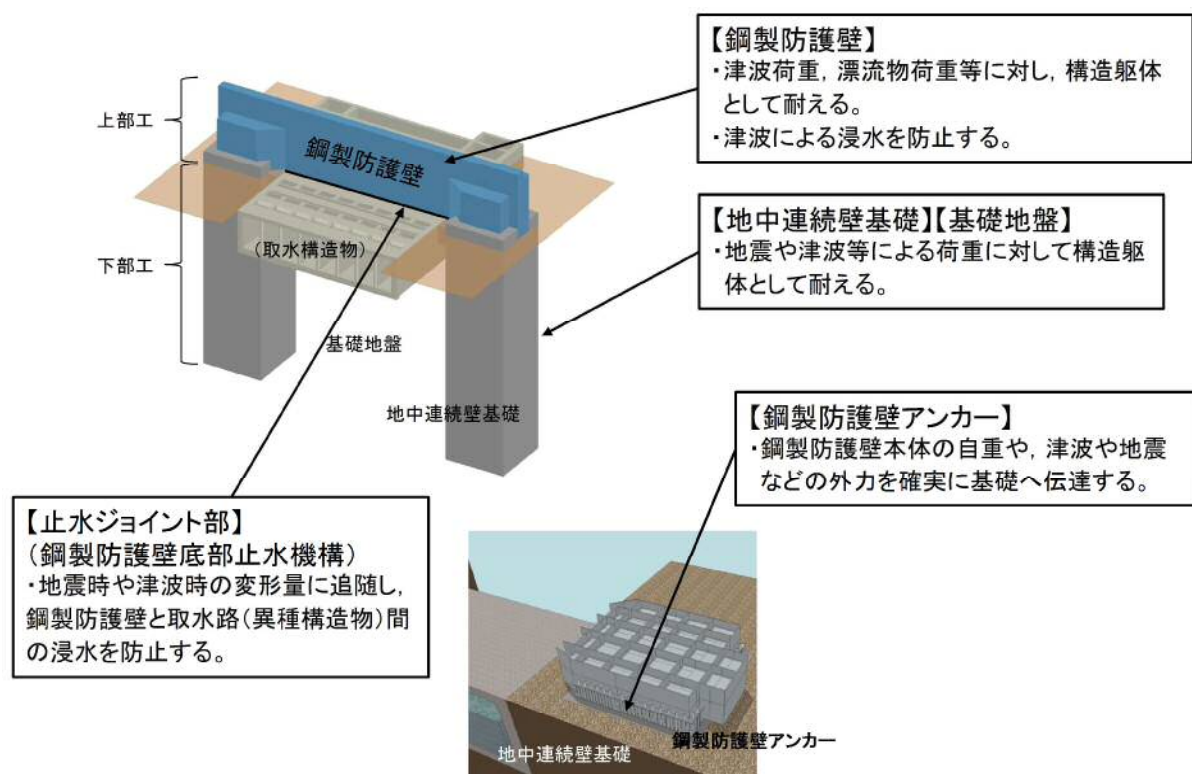
鋼製防護壁の平面位置図を第 1-1 図に，鋼製防護壁に関する要求機能と設計評価方針について第 1-1 表に，鋼製防護壁の評価対象部位を第 1-2 図～第 1-4 図に示す。

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津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。

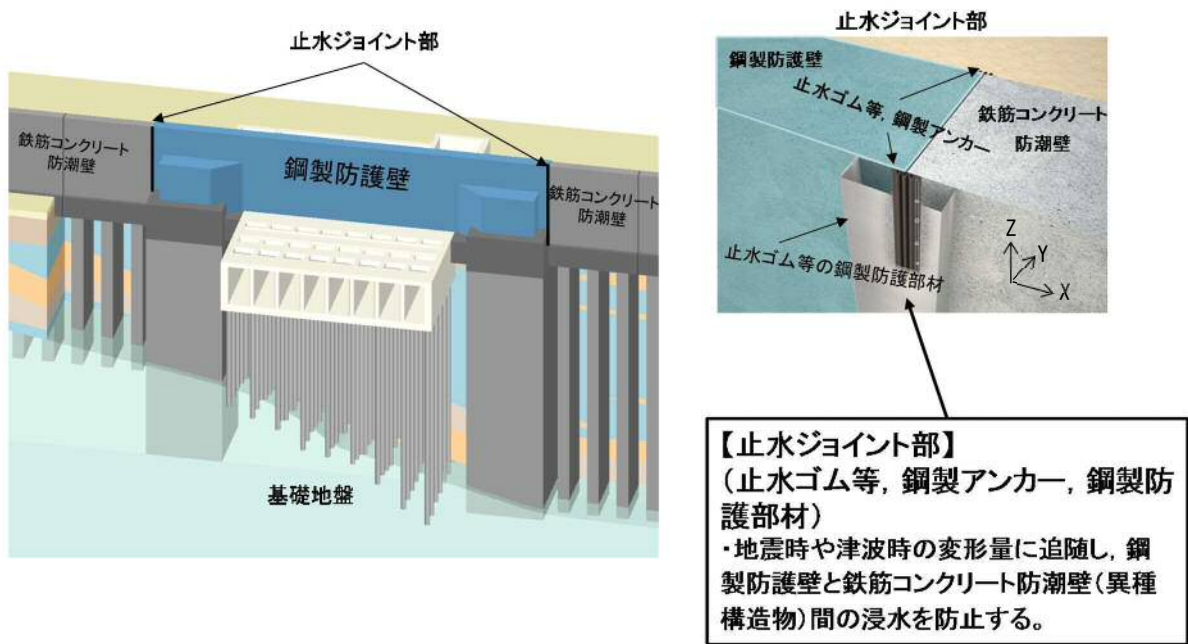


第 1-1 図 平面位置図



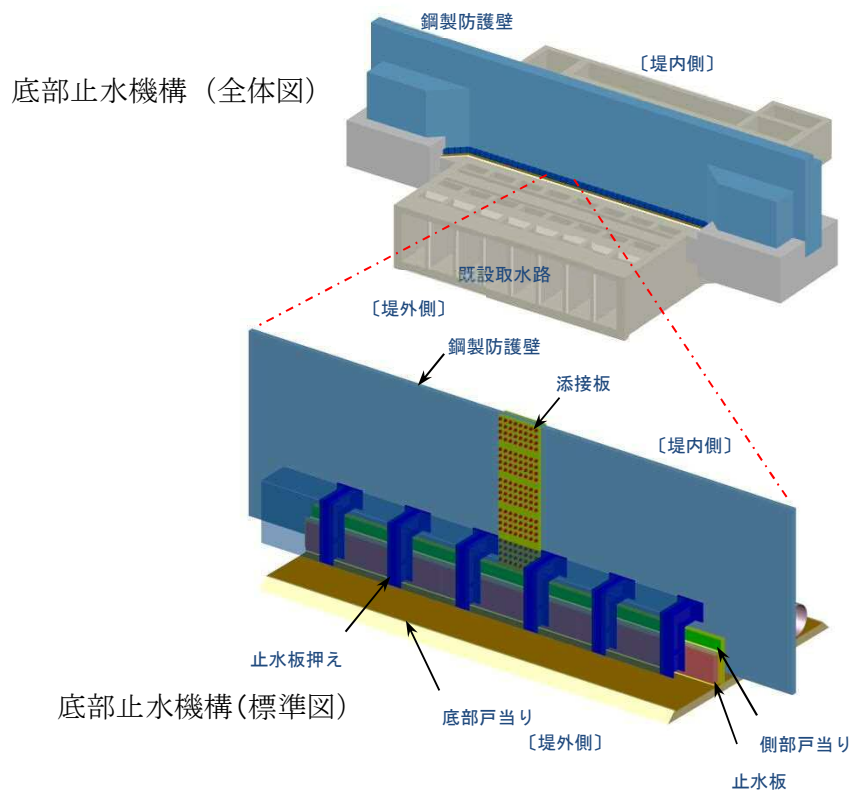
注) 仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

第 1-2 図 鋼製防護壁の評価対象部位 (その 1)



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 1-3 図 鋼製防護壁の評価対象部位（その 2）



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 1-4 図 鋼製防護壁の評価対象部位（その 3）

第 1-1 表 鋼製防護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					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					
海水ポンプ室周 り防護壁	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、合理的な傾度、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	・ポンプ室周 り防護壁は、地震 後の繰返しの襲 来を想定した入 力津波に対し、 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、 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。 ・ポンプ室周 り防護壁は、基準 地震動 S_s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。	・ポンプ室周 り防護壁は、地震 後の繰返しの襲 来を想定した週 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（浸水高さ 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、海 水ポンプ室周 りに設置する設 計とする。 ②取水口横断部 の上部構造は、 鋼製のブロック から成る津波防 護壁を構築し、 止水性を保持す ることを機能設 計上の性能目標 とする。 ・ポンプ室周 り防護壁は、基準 地震動 S_s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。	・ポンプ室周 り防護壁は、地 震後の繰返しの 襲来を想定した 週上波に対し、 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 慮した天端高さ T.P.＋20.0m） の設定により、 海水ポンプ室周 りに設置する設 計とする。 ②取水口横断部 の上部構造は、 鋼製のブロック から成る津波防 護壁を構築し、 止水性を保持す ることを機能設 計上の性能目標 とする。 ③取水口横断部 の南北に繋がる 区間は、鉄筋コン クリートにより 防潮壁を構築し 、止水性を保持 する設計とする。 ④上部構造を、 頂版コンクリー ト・フーチング コンクリートを 介して地中連続 壁基礎に連結し 、十分な支持性 能を有する地盤 に支持する設計 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 により止水処置 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 性を有するフー チング厚を設定 することにより 、止水性を保持 する設計とする。 ・ポンプ室周 り防護壁は、基 準地震動 S_sに 対し、鋼材や鉄 筋コンクリートの 耐力のある部材 を使用すること で止水性能を保 持する設計とす る。 ⑦鋼材や鉄筋コ ンクリートの耐 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、 頂版コンクリー ト・フーチング コンクリートを 介して地中連続 壁基礎に強固に 連結し、十分な 支持性能を有す る地盤に支持す るとともに、鋼 製防護壁や鉄筋 コンクリート防 潮壁による止水 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。	・ポンプ室周 り防護壁は、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、十分な支 持性能を有する 地盤に設置する 設計とともに、 主要な構造体の 境界部には止水 ゴム等を設置し 、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。 ・ポンプ室周 り防護壁は、基 準地震動 S_s 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 部材である鋼材 が、おおむね弾 性状態に留まる ことを確認する。 ・ポンプ室周 り防護壁は、基 準地震動 S_s 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 部材である鋼材 が、おおむね弾 性状態に留まる ことを確認する。	下部工	基礎地盤	支持力	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)」に基づき妥当な安全余裕を考慮した極限支持力とする。				
											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	【基準地震動 S _s ・基準津波・余震＋基準津波時に対して】「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.＋24m 津波時、余震＋T.P.＋24m 津波時に対して】「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)」に基づき降伏応力度・せん断強度とする。
											鋼製防護壁	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	【基準地震動 S _s ・基準津波時・余震＋基準津波時に対して】「道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.＋24m 津波時、余震＋T.P.＋24m 津波時に対して】「道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編)」に基づき降伏応力度とする。
							上部工	止水ジョイント部※	鋼製防護壁アンカー	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	【基準地震動 S _s ・基準津波時・余震＋基準津波時に対して】「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 1)」 「道路橋示方書・同解説(Ⅱ 鋼橋編・Ⅲ コンクリート橋編)」 「鋼構造物設計基準」「道路土工カルバート工指針」「鋼・合成構造標準示方書」「複合構造標準示方書」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.＋24m 津波時・余震＋T.P.＋24m 津波時に対して】「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説(Ⅱ 鋼橋編・Ⅲ コンクリート橋編)」 「道路土工カルバート工指針」「鋼構造物設計基準」「鋼・合成構造標準示方書」「複合構造標準示方書」に基づき降伏応力度とする。		
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な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とする。											
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」に基づき短期許容応力度とする。											
							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」に基づき短期許容応力度とする。				
							鋼製防護壁底部止水機構	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・Ⅱ 鋼橋編)」「水門鉄管技術基準」に基づき短期許容応力度とする。				

※止水ジョイント部の設計に用いる許容限界

- 基準地震動 S_s、基準津波時、余震＋基準津波時：短期許容応力度
- T.P. ＋24m 津波時、余震＋ T.P. ＋24m 津波時：降伏応力度

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

(2) 鋼製防護壁高さの設定方針

敷地前面東側に位置する鋼製防護壁は、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壁高さの関係

	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
防潮壁高さ	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

鋼製防護壁は、海水ポンプ室東側の取水口横断部に配置する。

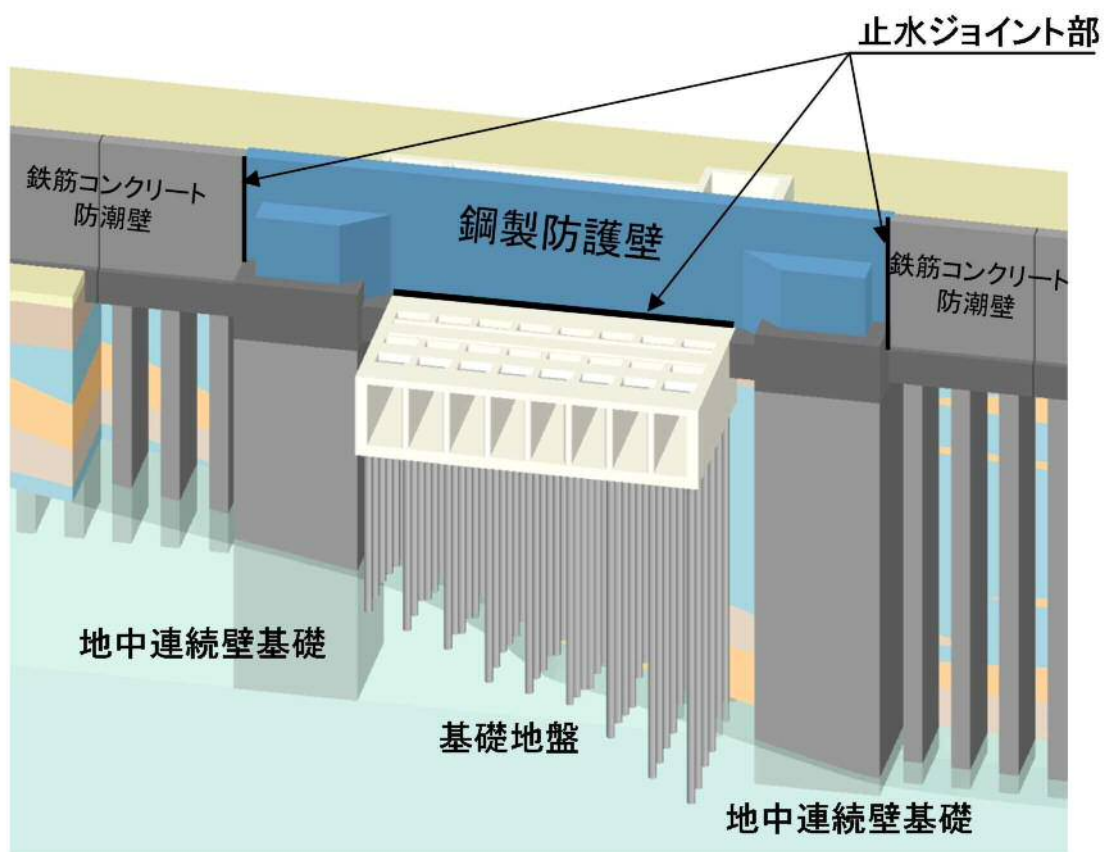
(第 1-1 図参照)

既設の取水構造物に鋼製防護壁による荷重を作用させないために、取水構造物の南北両側に上部工の基礎となる地中連続壁基礎を構築し、取水構造物を跨ぐように上部工の鋼製防護壁を構築する。

上部工の鋼製防護壁の底面と既設取水構造物との境界部には、止水性維持のために止水機構を設置する。(第 1-4 図 参照)

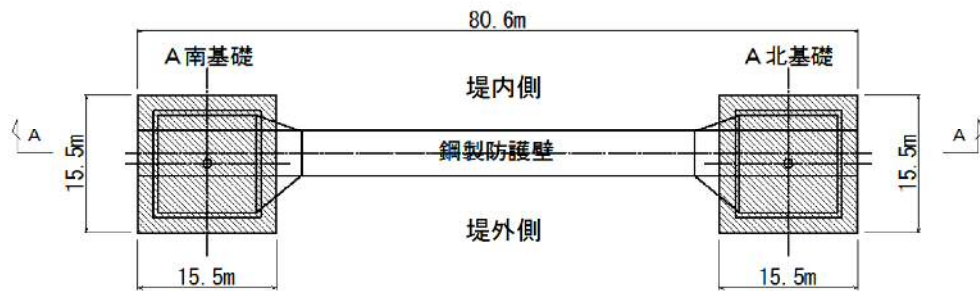
上部工の鋼製防護壁と隣接する鉄筋コンクリート防潮壁との境界部には、止水性維持のために伸縮性を有する止水ゴム等を設置する。(第 1-3 図 参照)

鋼製防護壁の構造概要図を第 1-5 図に、平面図及び正面図を第 1-6 図に示す。

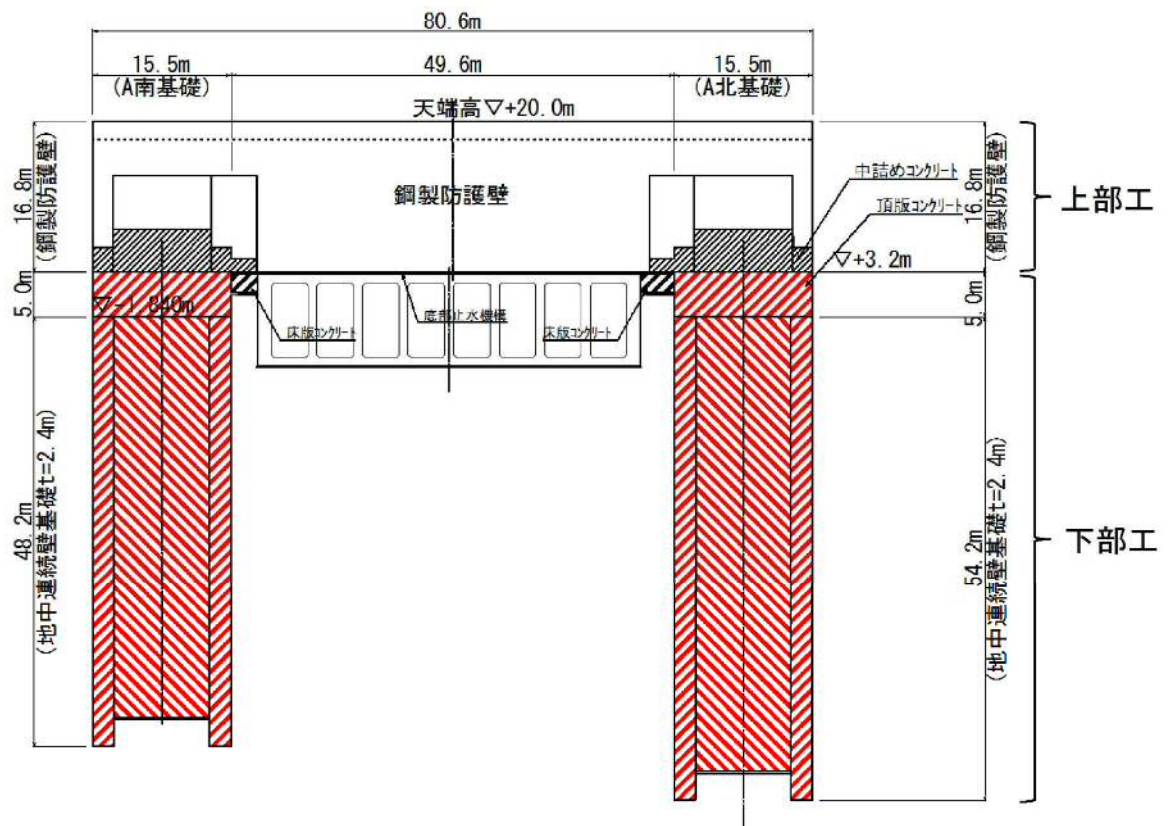


第 1-5 図 鋼製防護壁 構造概要図

平面図



A-A断面図



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 1-6 図 鋼製防護壁の平面図及び正面図

2) 鋼製防護壁と地中連続壁基礎の構造概要

① 全体構造の概要

鋼製防護壁全体の構造を第 1-7 図に示す。鋼製防護壁の構成部位と役割を第 1-3 表に示す。また、鋼製防護壁の構造図を第 1-8 図、鋼製防護壁全体の構成図を第 1-9 図、地中連続壁基礎の構成図を第 1-10 図に示す。

第 1-7 図に示すとおり、基礎部は、南北両側に配置した地中連続壁基礎にて構成され、津波荷重等を受ける鋼製防護壁を支持する。

地中連続壁基礎は、地中連続壁を構築後その内側を掘削し中実鉄筋コンクリートを打設する。地中連続壁と中実鉄筋コンクリートはジベル筋等により一体化し、両者で発生断面力を負担する。

鋼製防護壁は、鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造とする。施工性を考慮して、鋼製防護壁はブロックに分割し、各ブロックは添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合する。

第 1-8 図に鋼製防護壁の鉛直方向の分割イメージを示す。下端標高 T.P. +3.20m から天端標高 T.P. +20.0m までを頂部鋼板を含めて 10 層に分割した構造とし、各層は、第 1-7 図に示すブロックが複数結合された構造とする。

鋼製防護壁最下層の地中連続壁基礎結合部には、アンカーボルトが設置され上部工からの引抜き力を基礎上部の頂版鉄筋コンクリートに伝達する。

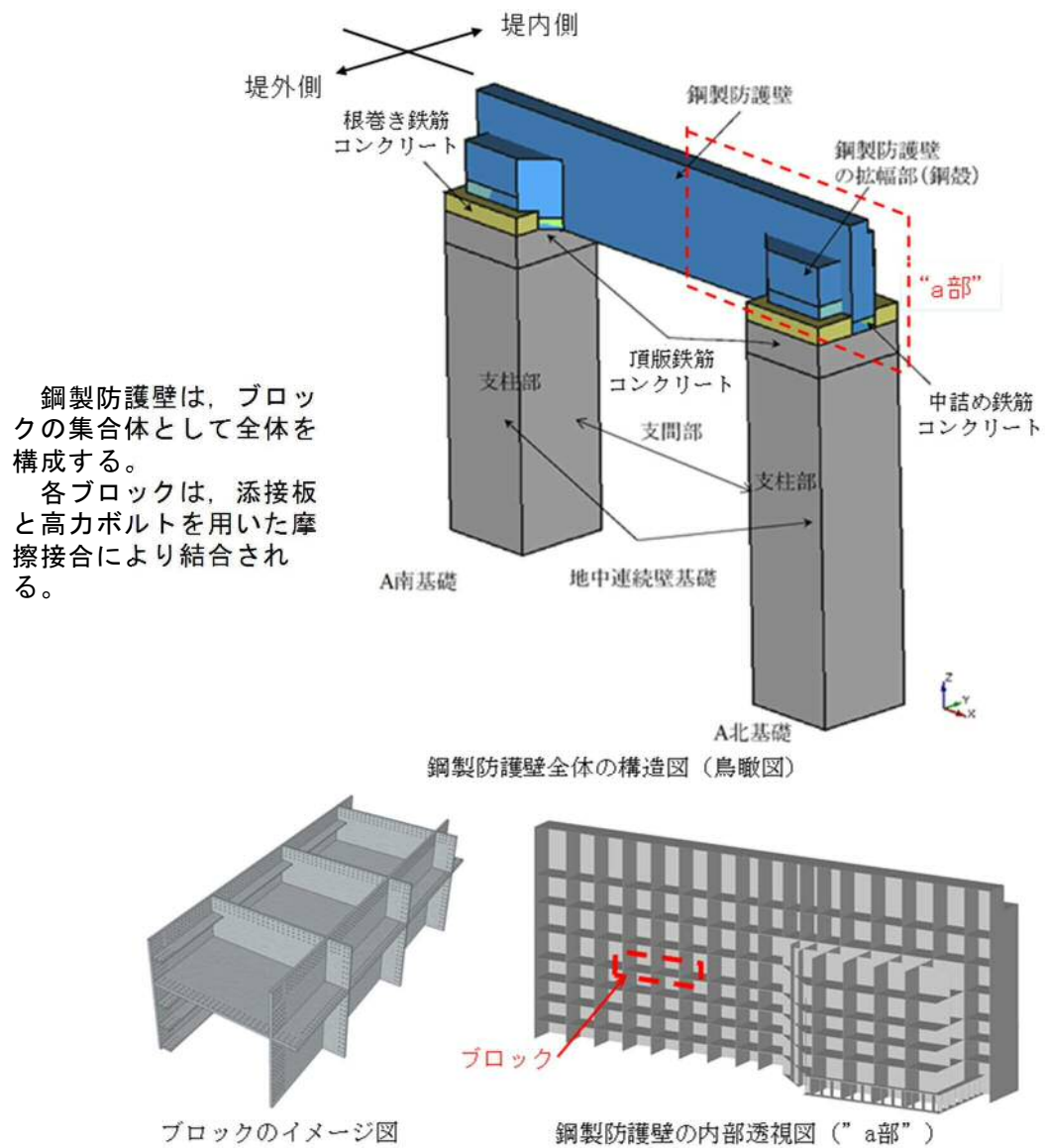
また、第 1-9、1-10 図に示すとおり鋼製防護壁の基礎部直上の鋼殻内には、必要な高さまで中詰め鉄筋コンクリートを打設する。な

お、頂版鉄筋コンクリート及び中詰め鉄筋コンクリートは鉄筋コンクリートとする。

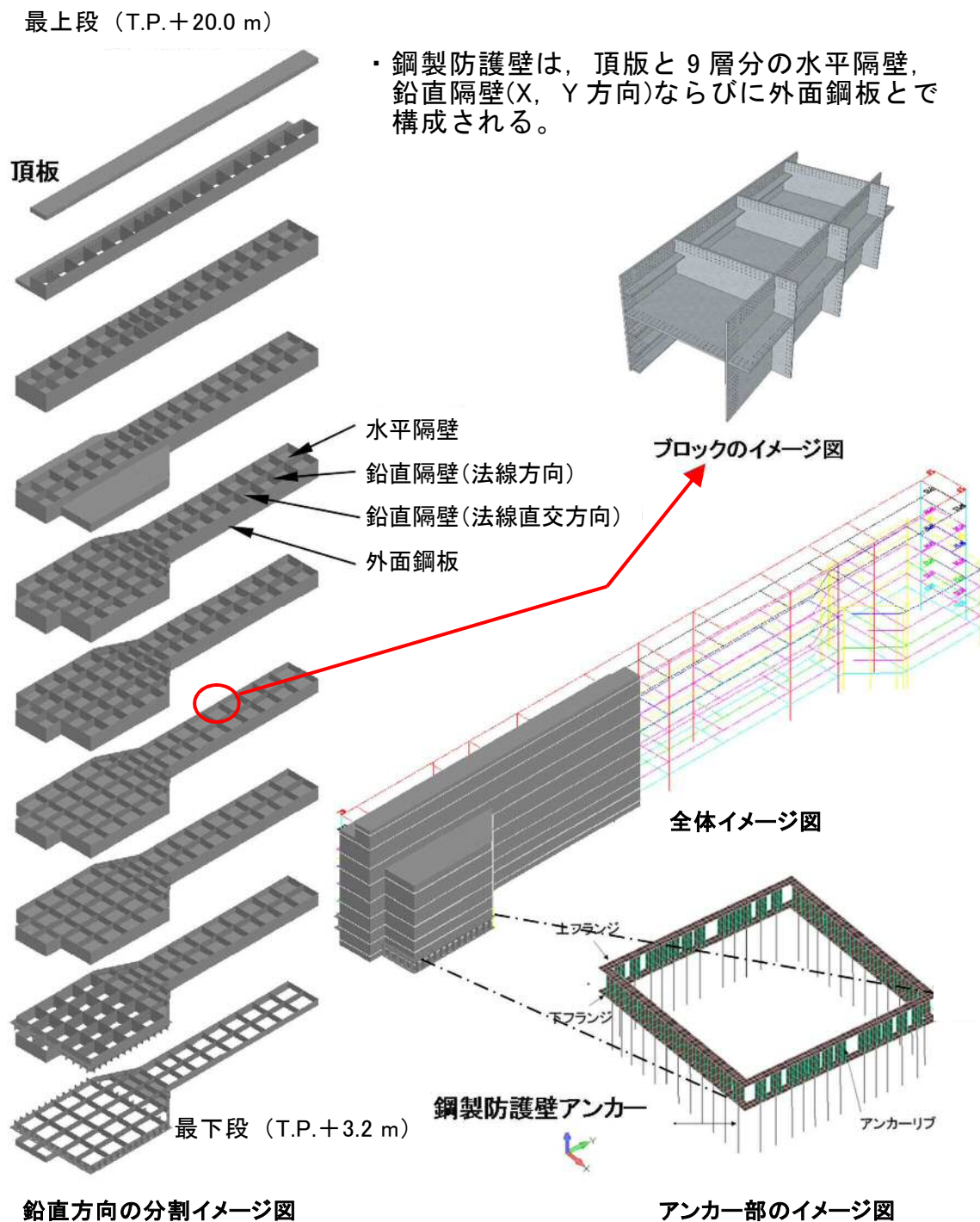
鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部について、第 1-11～1-16 図に示す。

第 1-3 表 鋼製防護壁の構成部位と役割

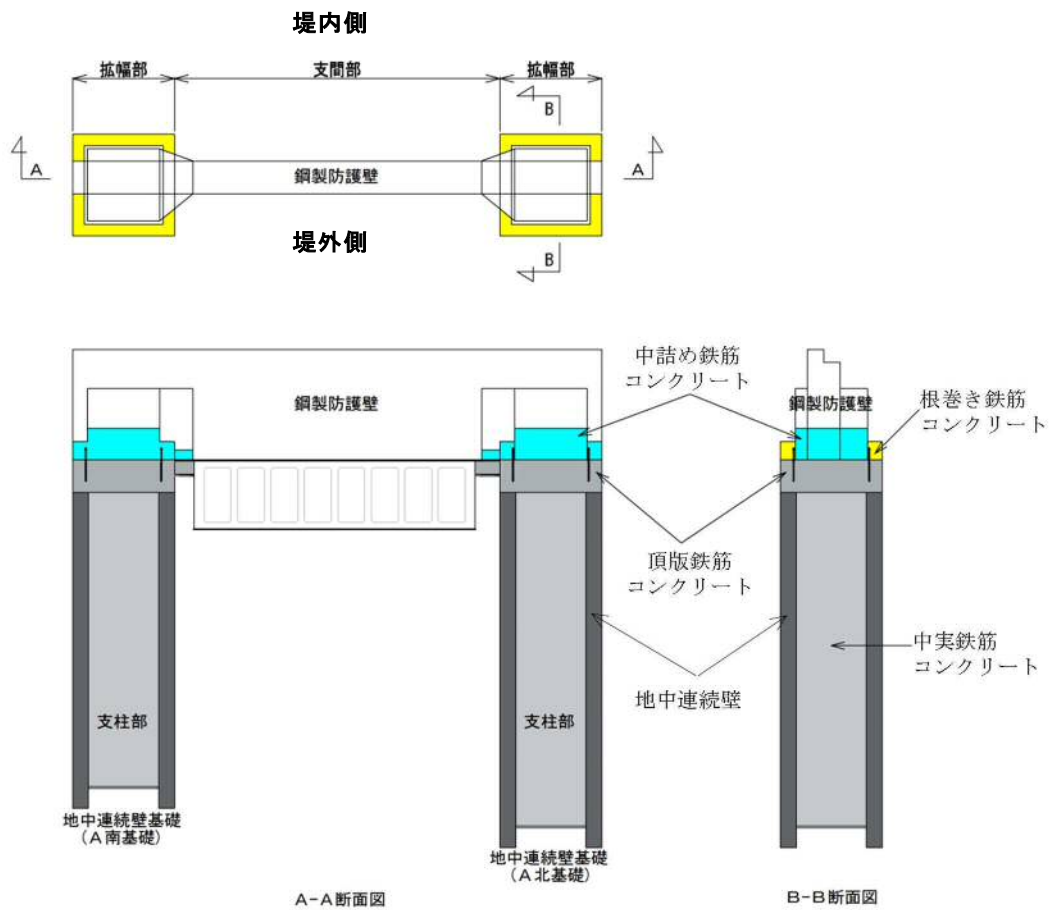
区分	分類	構成	各部位の役割
上部工	鋼製防護壁	鋼製防護壁 (支間部, 支柱部)	津波荷重等に抵抗する。
		鋼殻 (支柱部)	基礎上部の範囲を拡幅することにより, 支柱部応力の低減とアンカーボルトの配置エリアを確保する。
		中詰め鉄筋コンクリート	鋼殻内部の鉄筋コンクリートで, 支柱部周辺の鋼殻応力の低減と上部工からのせん断力と水平回転モーメント (水平トルク) を基礎頂版に伝達する。
	鋼製防護壁 アンカー	—	上部工からの引抜き力を地中連続壁基礎の頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
下部工	地中連続壁 基礎 (A 北, A 南)	頂版鉄筋コンクリート	地中連続壁の上部に構築する鉄筋コンクリート版で, 鋼製防護壁からの荷重を地中連続壁基礎に伝達させる。アンカーボルト及び中詰め鉄筋コンクリート内の鉄筋を定着させる。
		地中連続壁 (鉄筋コンクリート)	基礎外面を形成し, 基礎の主要部材となる。
		中実鉄筋コンクリート	地中連続壁内部の鉄筋コンクリートで, 地中連続壁と一体となって発生断面力を負担する。
非構造部材	根巻き鉄筋 コンクリート	—	アンカーボルト頭部の防食などを目的とした鉄筋コンクリート。非構造部材として設計する。



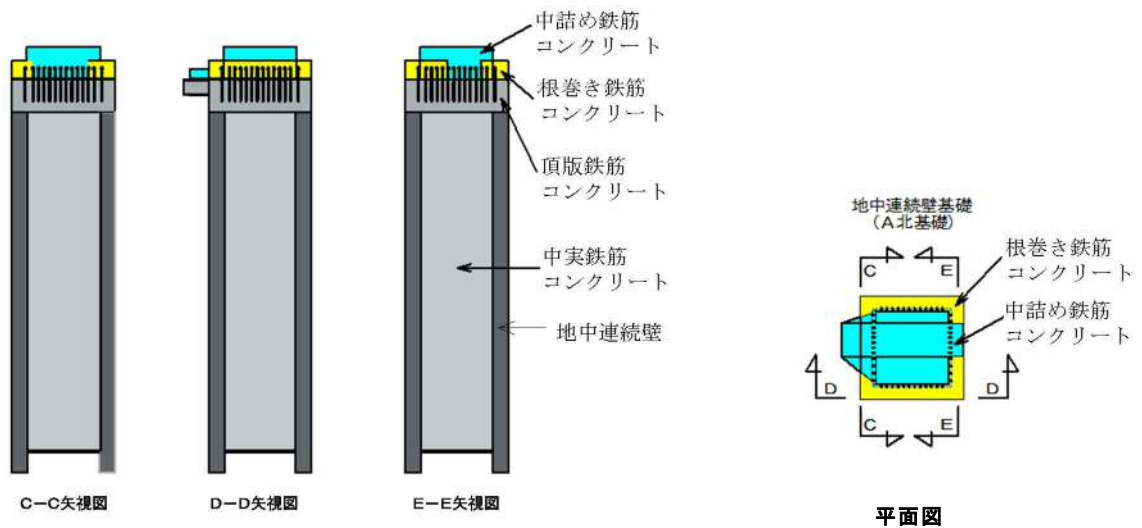
第 1-7 図 鋼製防護壁全体の構造図



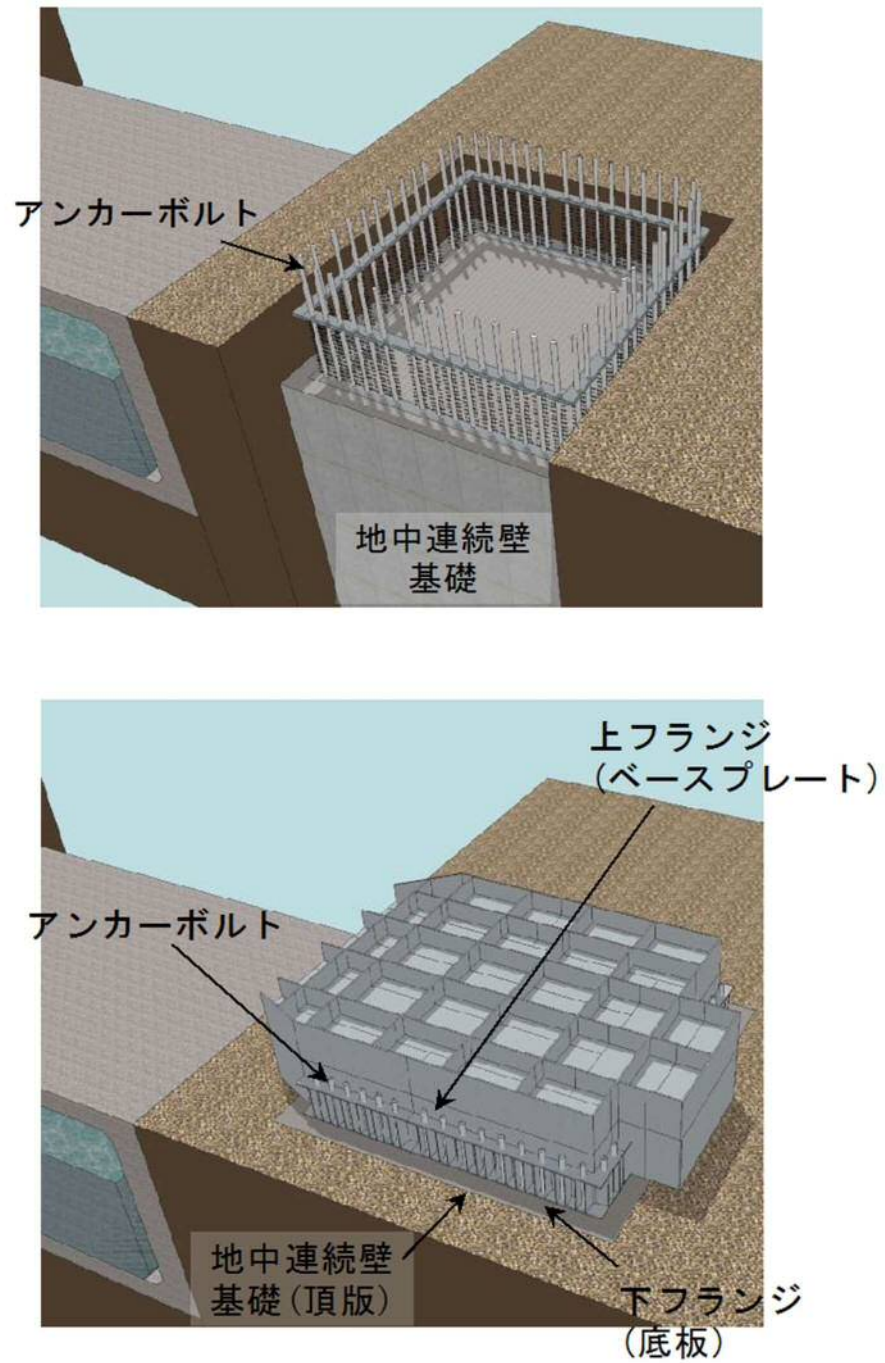
第 1-8 図 鋼製防護壁の構造図 (鋼製防護壁の鉛直方向ブロック分割)



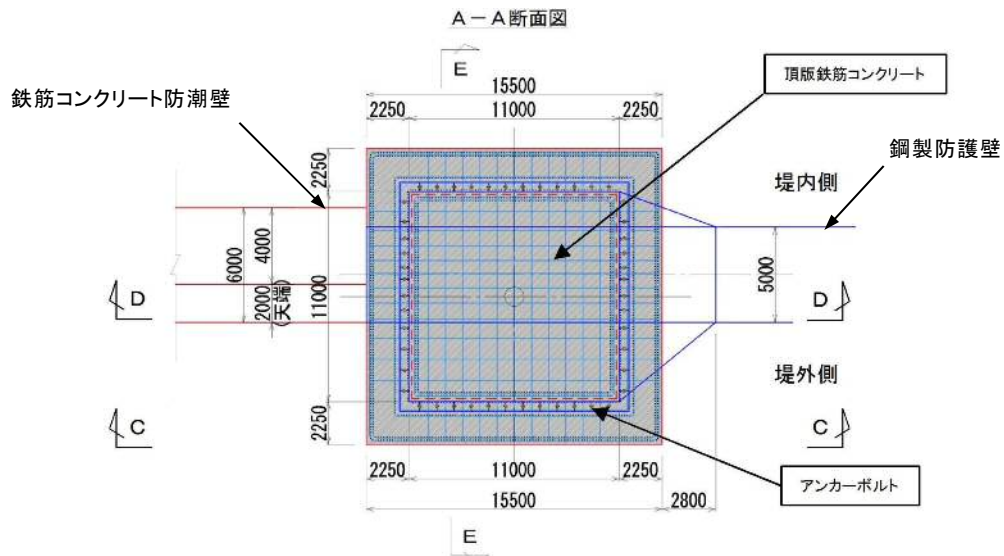
第 1-9 図 鋼製防護壁全体の構成図



第 1-10 図 地中連続壁基礎の構成図

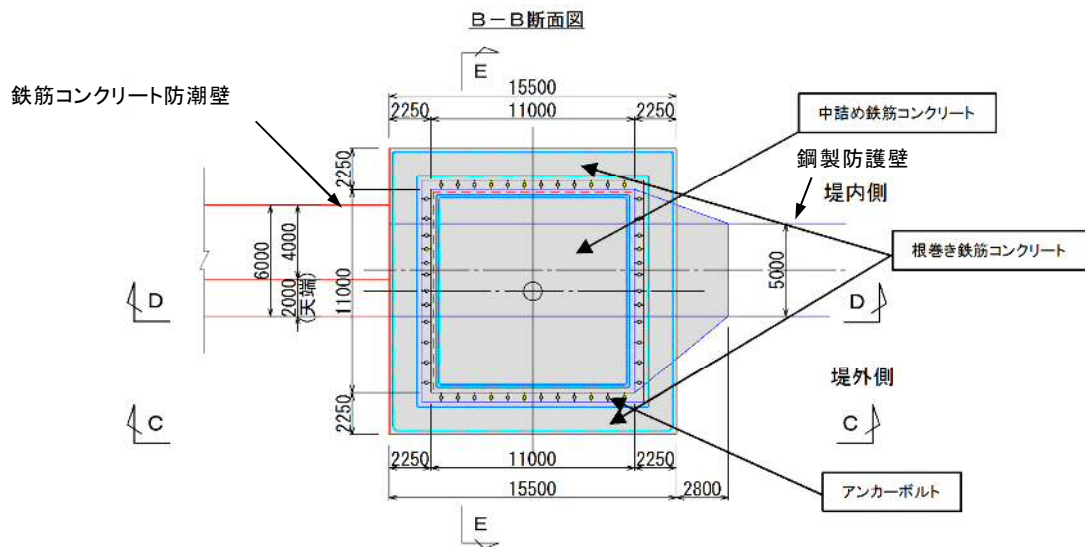


第 1-11 図 鋼製防護壁ー地中連続壁基礎 結合部イメージ図



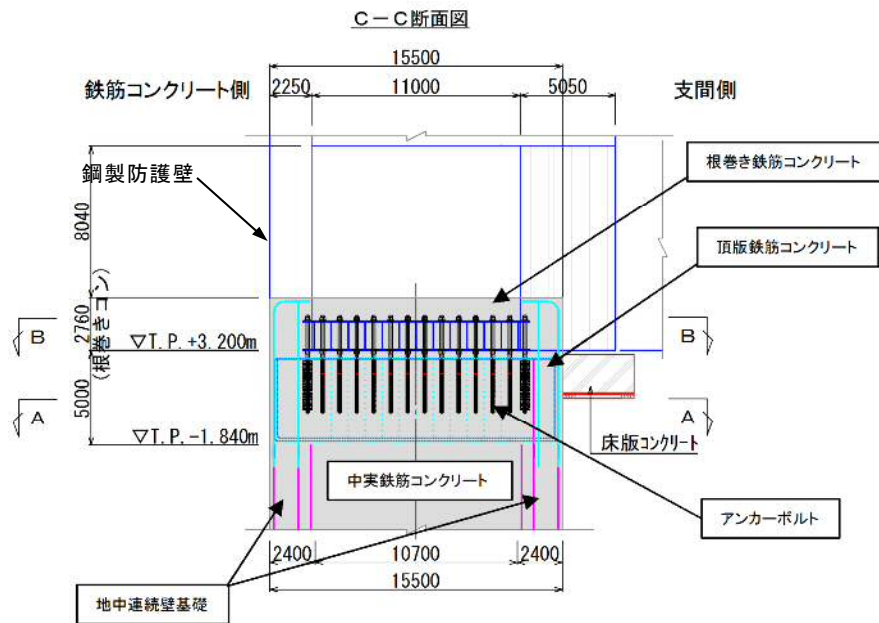
注) 仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

第 1-12 図 鋼製防護壁—地中連続壁基礎 結合部構造図 (A-A断面)



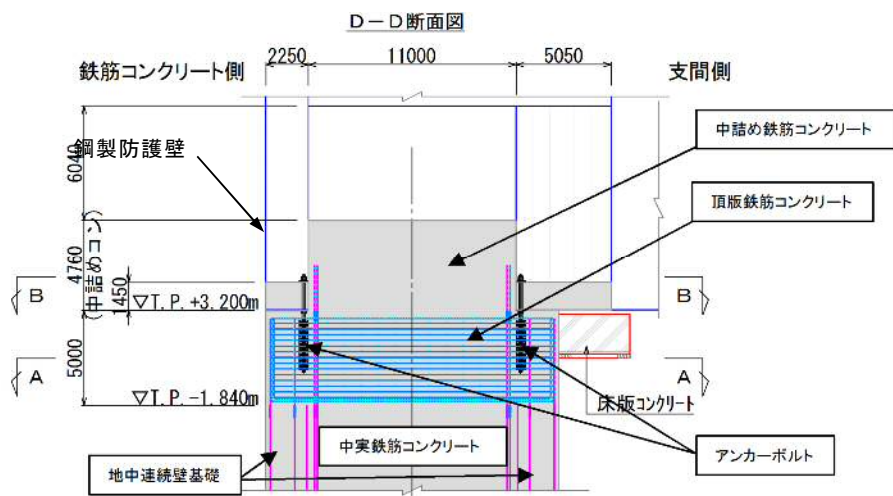
注) 仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

第 1-13 図 鋼製防護壁—地中連続壁基礎 結合部構造図 (B-B断面)



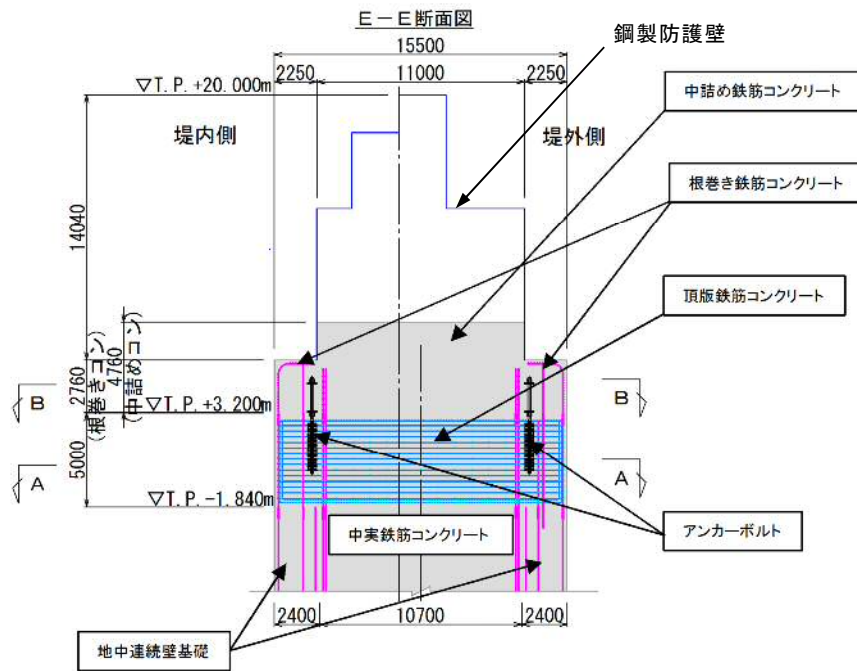
注) 仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

第 1-14 図 鋼製防護壁－地中連続壁基礎 結合部構造図 (C－C断面)



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 1-15 図 鋼製防護壁－地中連続壁基礎 結合部構造図 (D－D断面)



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 1-16 図 鋼製防護壁－地中連続壁基礎 結合部構造図（E－E 断面）

② 構造型式の選定理由

a. 取水口横断部の防護壁を鋼製とした理由

既設取水口の頂版に直接防護壁を設置した場合、防護壁の自重、津波波圧による反力、地震時慣性力を取水口に負担させることになる。その反力は非常に大きいため、両サイドに基礎を設け反力が取水口に作用しない設計とする。

両サイドの基礎は、非常に大きな荷重を負担するが、基礎設置場所には十分な広さがなく、際限なく基礎を大きくすることが出来ない状況である。そのため、自重及び地震時慣性力の低減を目的に、質量の低減を図ることが可能な鋼製を選定する。

「4. 参考資料」に鋼製防護壁ブロック架設方法のステップ図を示す。架設は、トラッククレーンにてブロックを 1 個ずつ吊上げ、

先行ブロックと突き合せてH T B（ハイテンションボルト）で接合・固定する。

本工法では、最下段については両側からブロックを接合し、張り出し側を仮受けしながら構築し、最下段を自立させたのちに、上層ブロックを積み上げて構築するため、既設構造物に大きな荷重を負担させることなく架設が可能である。

b．基礎形式に地中連続壁基礎を選定した理由

防潮壁がSクラス構造物であることから、基礎は強固な岩盤上に設置しなければならないため、約60mまで掘り下げる必要がある。また、狭隘な敷地の制約のもとで、長スパンである上部工から伝達される大きな荷重を限られた大きさの基礎で負担する必要がある。

ケーソン基礎とする場合は、厚く分布する沖積粘性土層（A c層）により施工中にケーソンが自沈し、所定の精度での施工が困難なことが推定されるが、地中連続壁基礎とすればそのような問題は解消される。

以上の理由から、基礎形式として地中連続壁基礎を選定する。

c．直接定着式アンカーボルトを選定した理由

上部工が鋼殻構造で下部工が鉄筋コンクリート構造の場合、アンカーフレーム方式により接続し、上部工の荷重を下部工に伝達する形式が多い。本件においてアンカーフレーム方式を採用した場合、頂版に設置されるアンカーフレームのプレートと、地中連続壁基礎の鉛直方向鉄筋の定着部とが干渉する。この干渉を避けるためには

基礎を大きくする必要があるが、敷地内の制約から拡張可能な大きさに制限があるため困難である。

一方、直接定着式アンカーボルトには上記のような干渉するプレートはなく、基礎の大きさ（平面形状）を敷地の制約内の大きさにおさめることができるため、これを選定する。

③ 鋼製防護壁の平面配置における制約条件

鋼製防護壁の支間部は、地震等の変位による既設構造物との接触回避や施工時の離隔を確保する必要性から以下の制約を受けるため、鋼製防護壁中心と地中連続壁基礎中心とで偏芯を設ける。

a. 上部工の制約

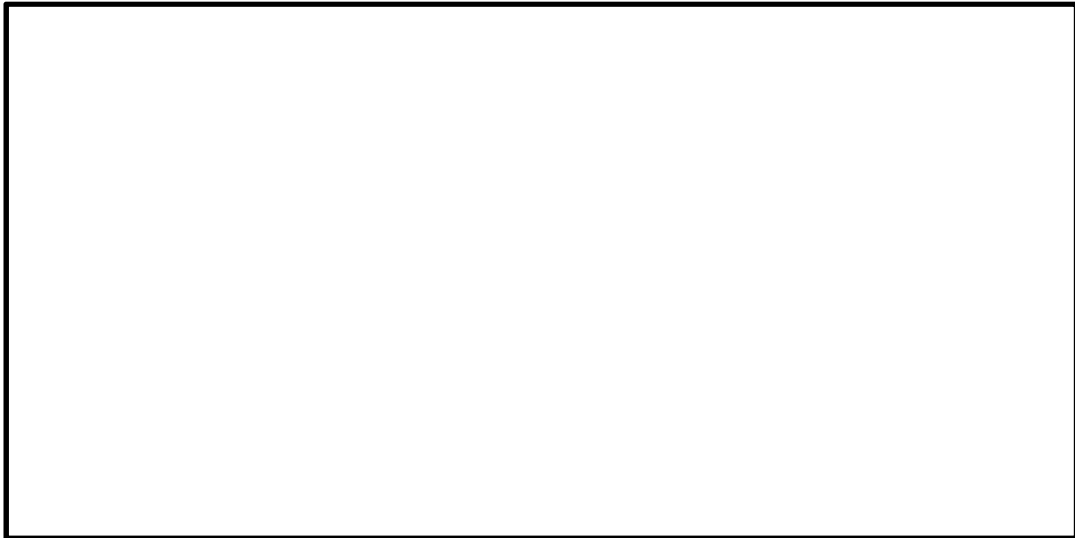
- ・ 上部工と下部工に偏芯を設けない場合、上部工の堤外側角落しとの離隔が 20cm となり、止水板押え（約 50cm）を加えると堤外側角落しに接触する。
- ・ 本震時の動的解析による変位（51cm）を踏まえ、許容変位量を 70cm 程度と設定する。
- ・ 堤外側は、上部工と堤外角落しとの離隔を、止水板押え（約 50cm）と許容変位量（約 70cm）の 120cm とすると、約 100cm の偏芯が必要となる。

b. 地中連続壁基礎の制約

- ・ 堤内側は施工上、ポンプ室クレーン・取水口との離隔を 3m 程度確保する必要がある。

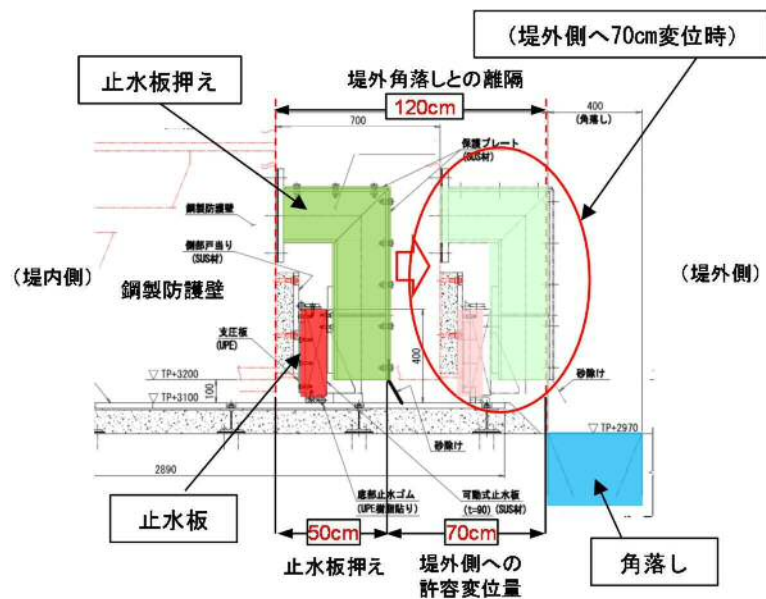
これらの制約により、上部工と下部工とで堤内方向に約 1m の偏芯を設定する。

第 1-17 図に取水路周辺の平面図，第 1-18 図に鋼製防護壁と堤外側角落しとの位置関係を示す。



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 1-17 図 取水路周辺の平面図



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 1-18 図 鋼製防護壁と堤外側角落しの位置関係図 (A-A断面)

④ 地中連続壁基礎の根入れ長の設定方針

鋼製防護壁の基礎は，津波時において南側と北側の 2 つの基礎の変位量がほぼ同等となるように地中連続壁基礎の根入れ長を設定

し、地震時においても各部位が十分な裕度を有することを確認する。

3) 設計手順

鋼製防護壁の耐震・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1-4表の鋼製防護壁の評価項目に従い、各構造部材の構造健全性及び支持性能の評価を行う。

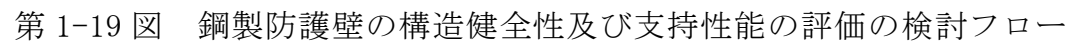
鋼製防護壁の構造健全性及び支持性能の評価の検討フローを第1-19図に、鋼製防護壁の検討モデルと評価フローを第1-20図に示す。

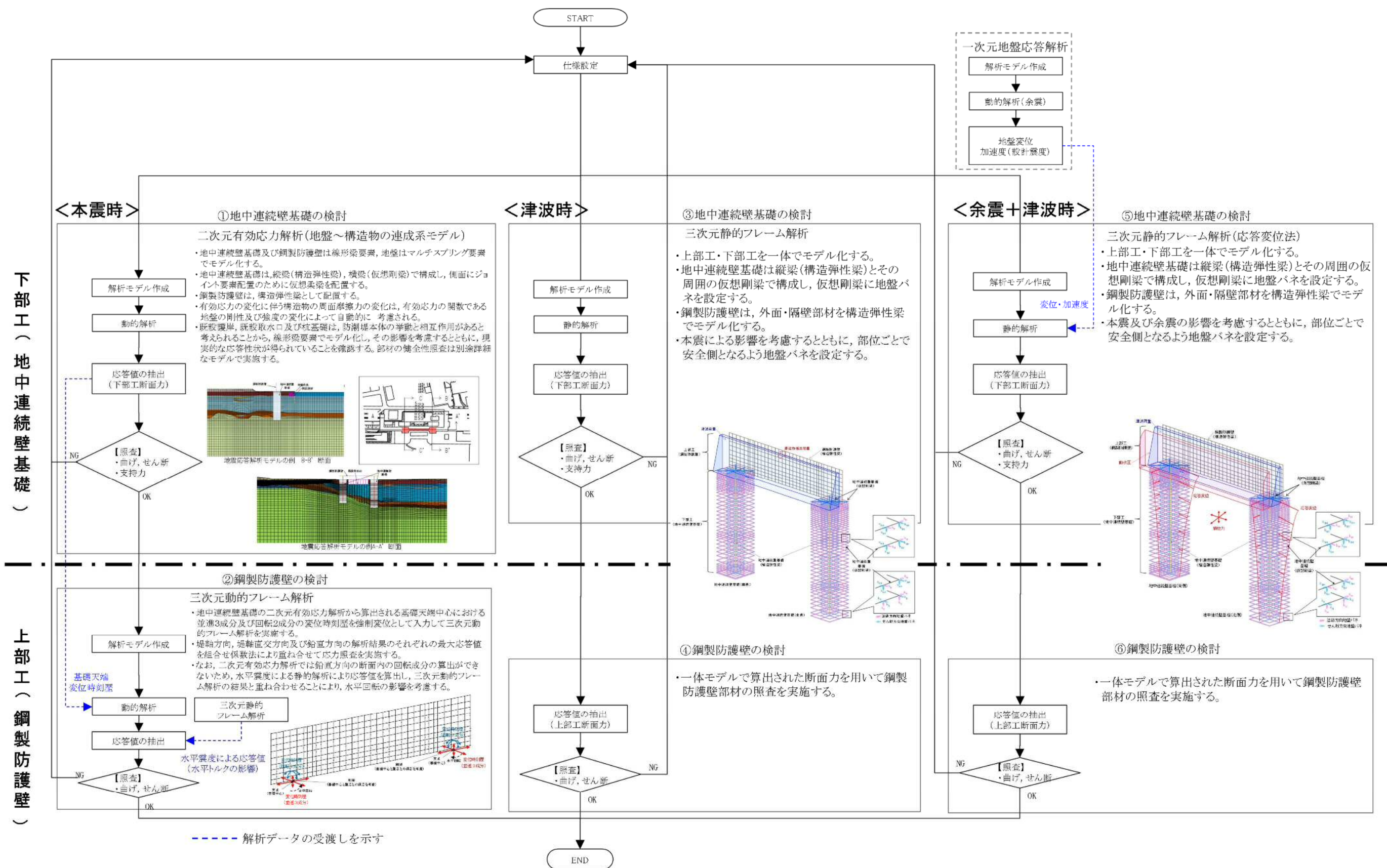
第 1-4 表 鋼製防護壁の評価項目

構造強度設計			設計に用いる許容限界	
評価対象部位		応力等の状態		
下部工	基礎地盤	支持力	「道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)」に基づき妥当な安全余裕を考慮した極限支持力とする。	
	地中連続壁基礎	曲げ せん断	【基準地震動 S_s ・基準津波・余震＋基準津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P. + 24m 津波・余震＋T.P. + 24m 津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)」に基づき降伏応力度・せん断強度とする。	
上部工	鋼製防護壁	曲げ せん断	【基準地震動 S_s ・基準津波・余震＋基準津波に対して】 「道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P. + 24m 津波・余震＋T.P. + 24m 津波に対して】 「道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編)」に基づき降伏応力度とする。	
	鋼製防護壁アンカー	引張り せん断 引抜き	【基準地震動 S_s ・基準津波・余震＋基準津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」 ¹⁾ 「道路橋示方書・同解説 (Ⅱ 鋼橋編・Ⅲ コンクリート橋編)」 ²⁾ 「鋼構造物設計基準」 ³⁾ 「道路土工カルバート工指針」 ⁴⁾ 「鋼・合成構造標準示方書」 ⁵⁾ 「複合構造標準示方書」 ⁶⁾ に基づき短期許容応力度とする。 【T.P. + 24m 津波・余震＋T.P. + 24m 津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」 「道路橋示方書・同解説 (Ⅱ 鋼橋編・Ⅲ コンクリート橋編)」 「鋼構造物設計基準」「道路土工カルバート工指針」「鋼・合成構造標準示方書」「複合構造標準示方書」に基づき降伏応力度とする。	
	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な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とする。
		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」に基づき短期許容応力度とする。
		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」に基づき短期許容応力度とする。
鋼製防護壁底部止水機構		曲げ せん断	「道路橋示方書・同解説 (Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編)」 「水門鉄管技術基準」に基づき短期許容応力度とする。	

※止水ジョイント部の設計に用いる許容限界

- ・基準地震動 S_s 、基準津波時、余震＋基準津波時：短期許容応力度
- ・T.P. + 24m 津波時、余震＋ T.P. + 24m 津波時：降伏応力度





第 1-20 図 鋼製防護壁の検討モデルと評価フロー

4) 設計荷重

設計に用いる荷重の組合せを以下に示す。

- ①基準地震動 S_s による地震荷重
- ②基準津波荷重＋漂流物衝突荷重
- ③余震＋基準津波荷重
- ④T. P. + 24m 津波荷重＋漂流物衝突荷重
- ⑤余震＋T. P. + 24m 津波荷重

※T. P. + 24m 津波は第四十三条対応事項であるが，上部工の耐津波設計における影響が大きいため本資料に記述する。

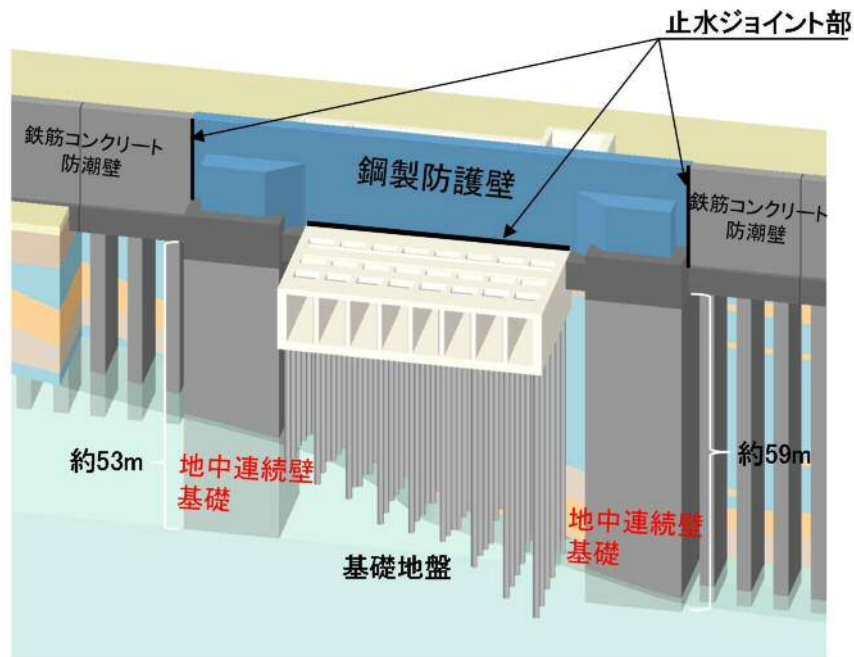
5) 地中連続壁基礎の設計方針

鋼製防護壁の基礎は，岩盤に地中連続壁の壁厚程度以上を根入れする岩着形式とした。

鋼製防護壁の基礎は，津波時において南北両側の基礎がほぼ同等の変位量となるように，それぞれの地中連続壁基礎の根入れ長を設定し，地震時において各部位が十分な裕度を有することを確認する。

地中連続壁基礎の支持性能については，基礎に作用する地盤反力が基礎地盤の極限支持力以下であることを照査する。

構造イメージ図を第 1-21 図に，また平面図を第 1-22 図に示す。

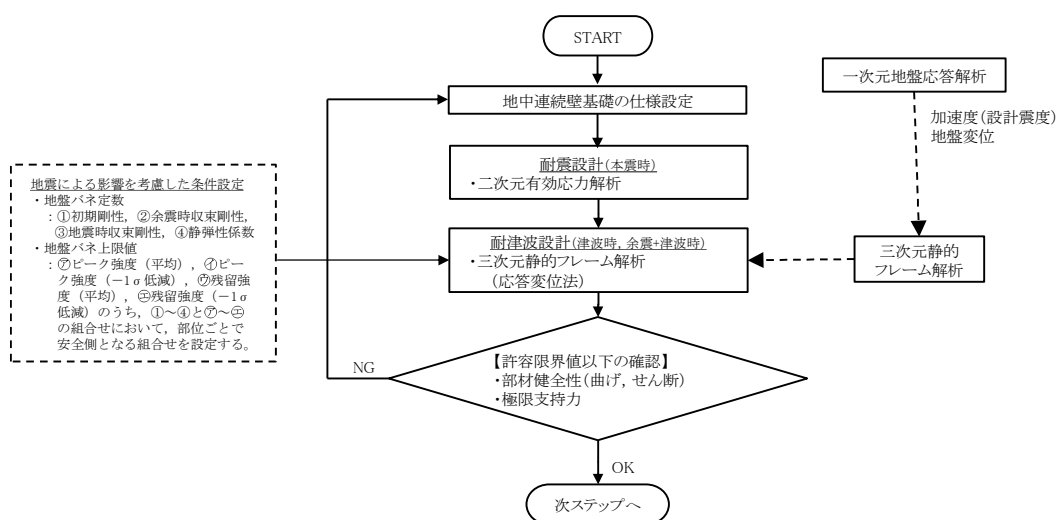


第 1-21 図 鋼製防護壁 構造イメージ図



第 1-22 図 鋼製防護壁 平面図

地中連続壁基礎の設計フローを第 1-23 図に示す。津波時及び余震＋津波時は荷重の三次元性を反映するために静的三次元解析，本震時は液状化を精緻に評価するために有効応力解析を実施し，基礎に発生する断面力を用いて応力照査を実施する。



第 1-23 図 地中連続壁基礎の設計フロー

① 耐震設計（二次元有効応力解析）

設計対象構造物～地盤の連成系モデルによる二次元地震応答解析を行い、本震時の地中連続壁基礎の構造健全性及び支持性能を確認する。地盤の液状化の影響を緻密に反映するため、有効応力の変化に伴う地盤挙動の変化を考慮することができる有効応力法を用いることとし、地震応答解析により算定される部材の発生応力が許容限界値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 S_s による解析結果のうち、最も厳しいケースにおいて、より一層保守的な検討を目的に、液状化検討対象層である全ての砂層・礫層に対して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。

なお、有効応力の変化に伴う構造物の周面摩擦力の変化は、有効応力の関数である地盤の剛性及び強度の変化によって自動的に考慮される。

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 T.P. -130m までをモデル化し、水平方向には構造物を中心に左右とも構造物幅の 5 倍程度以上の範囲をモデル化する。地中連続壁基礎は線形梁要素、地盤はマルチスプリング要素でモデル化し、地下水位以深については間隙水圧要素を配置する。

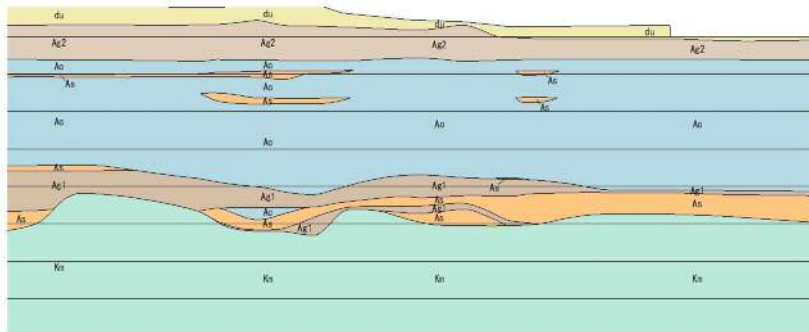
地中連続壁基礎は、縦梁（構造弾性梁）、横梁（仮想剛梁）で構成し、側面にジョイント要素配置のために仮想柔梁を配置する。

鋼製防護壁は、構造弾性梁として配置する。

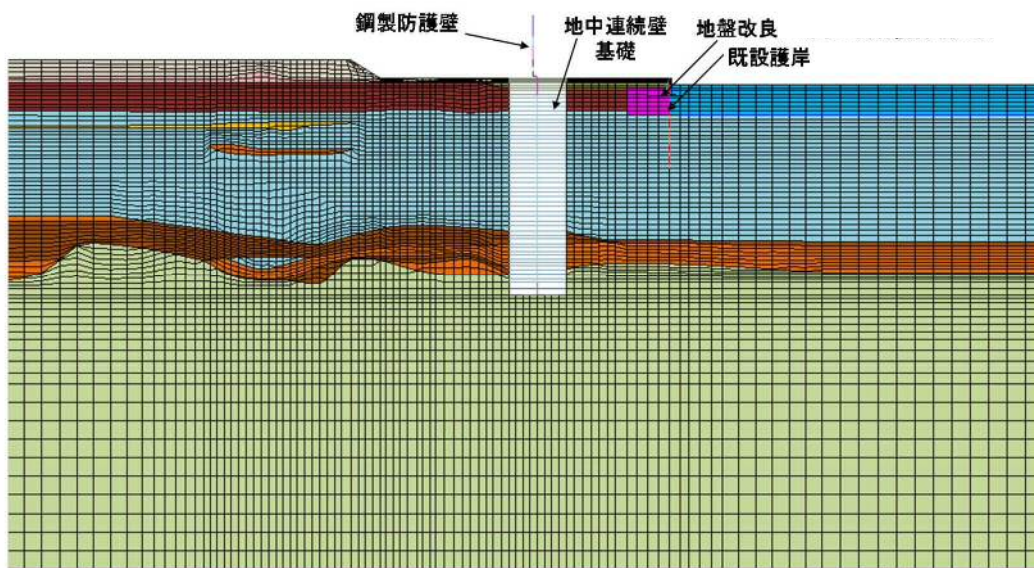
堤軸方向の既設取水口及び杭基礎は防護壁本体の挙動と相互作用があると考えられることから線形梁要素でモデル化し、堤軸直交方向の鋼製防護壁と既設取水口は独立して挙動するものと考えられることから堤軸直交方向の解析モデルについては既設取水口及び杭基礎はモデル化しない。

また、既設取水口及び杭基礎は、別途詳細モデルで健全性照査を実施するが、本モデルの解析の妥当性を評価するため、本モデルの応答値が詳細モデルの応答値より小さいことを確認する。

第 1-24 図に軸直交方向解析モデルの例、第 1-25 図に軸方向解析モデルの例を示す。



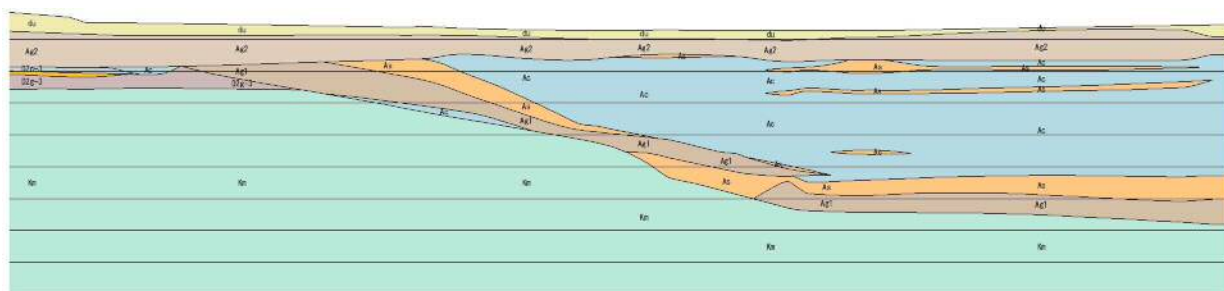
地質時代	地質区分		記号	岩相	備考	
第四紀	完新世	砂丘層	du	砂	断地全体に広く分布する。	
		沖積低地堆積層	Ag2	砂礫	断地全体に広く分布する。	
	新世	久慈川堆積層	Ac	粘土	久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。	
			As	砂		
	第四紀		Ag1	砂礫		
			D2c-3	シルト		
			D2a-3	砂		
		更新世	低位段丘堆積層	D2c-2	シルト	断地断層に埋没段丘として分布する。
				D2a-2	シルト	
		新世		Im	ローム	
中位段丘堆積層	D1c-1		シルト	断地の東西側に分布し、いわゆる扇状段丘層を構成する。		
			D1a-1	砂礫		
第三紀・第四紀	久米層		Kn	砂質泥岩	断地の基盤岩である。	



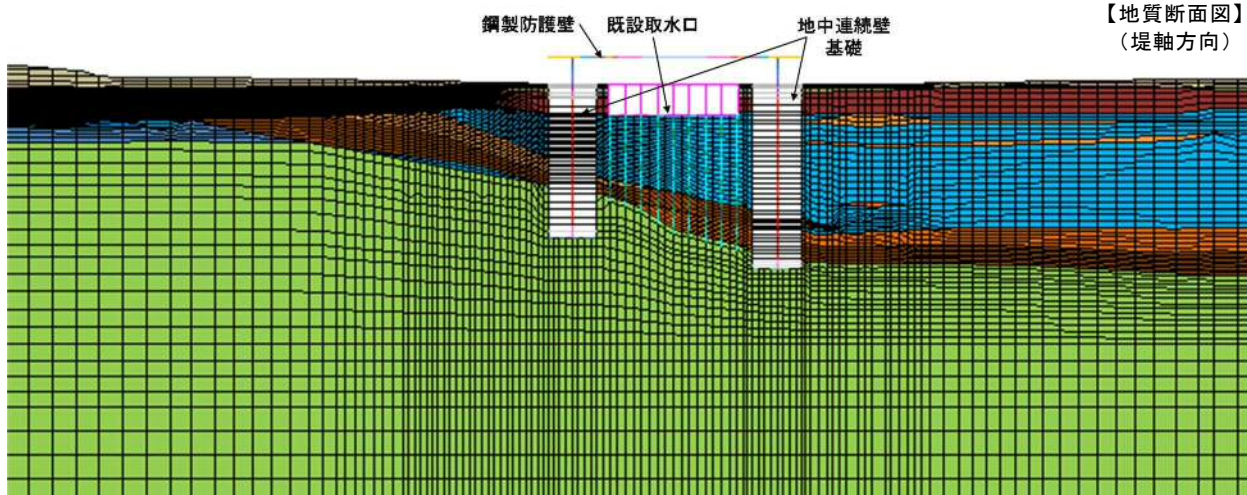
【地質断面図】
(堤軸直交方向)

(解析メッシュ図)

第 1-24 図 地震応答解析モデル（軸直交方向）の例



【地質断面図】
(堤軸方向)



(解析メッシュ図)

第 1-25 図 地震応答解析モデル (軸方向) の例

b. 地震応答解析

二次元有効応力解析により構造物及び地盤の応答値を算定する。

構造物の応答値のうち地中連続壁基礎天端位置における変位時刻歴を鋼製防護壁の設計に使用する。

入力地震動は、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. -130m 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. -130m 位置で評価した地震動 (2E) を用いる。

c. 照査

地震応答解析により算定された地中連続壁基礎の断面力を用いて、曲げモーメント・軸力に対する照査、せん断に対する照査を行い、許容限界値以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能として、基礎に作用する地盤反力が極限支持力以下であることを確認する。

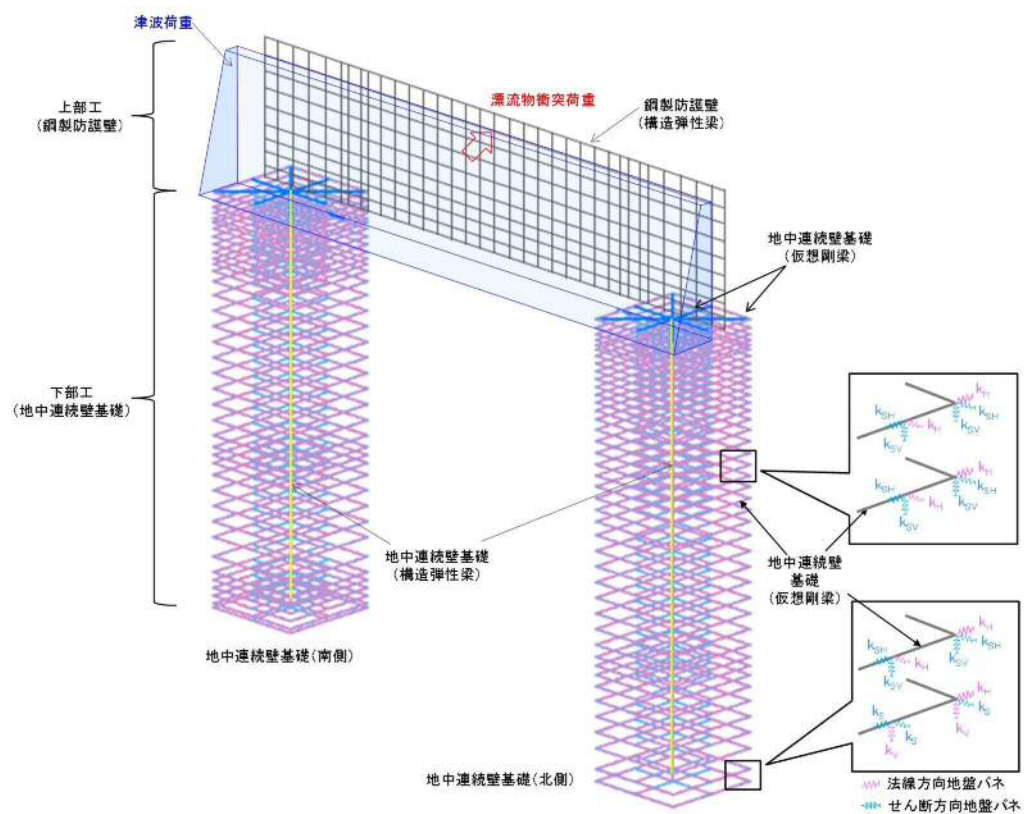
② 耐津波設計（三次元静的フレーム解析）

地中連続壁基礎及び鋼製防護壁を一体でモデル化する。

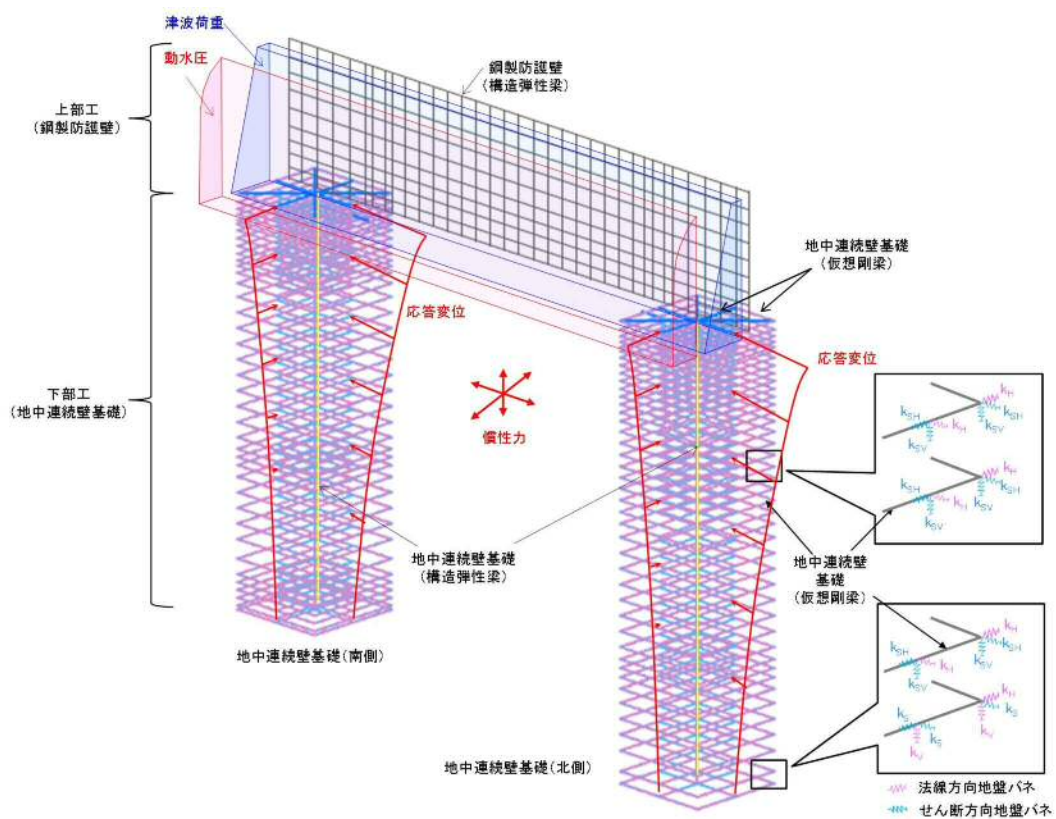
地中連続壁基礎は、縦梁（構造弾性梁）、横梁（仮想剛梁）で構成し、鋼製防護壁は構造弾性梁とする。

この横梁に地盤バネを接続したモデルで応答変位法による静的三次元フレーム解析を行い、津波時と余震＋津波時の地中連続壁基礎の構造健全性及び支持性能を確認する。自重及び積雪の長期荷重、津波による波力と漂流物衝突荷重、余震荷重等を外力として入力し、部材の発生応力が許容限界値以下となるよう設計する。津波や漂流物の荷重は、鋼製防護壁に直接的に作用し、下部工の地中連続壁基礎へ伝達される。なお、津波時における漂流物の衝突荷重は、入力津波高さに作用するものとして考慮する。解析モデル概念図を第 1-26 図に示す。

基礎地盤の支持性能として、基礎に作用する地盤反力が極限支持力以下であることを確認する。



津波時の解析モデル概念図



余震＋津波時の解析モデル概念図

第 1-26 図 地中連続壁基礎の解析モデル概念図

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）」に基づき設定し，上限値を有するバイリニア型とする。津波時及び余震＋津波時の地盤バネは，本震による影響を考慮する。

地盤反力係数及び地盤バネの上限値の内容を第1-5表に示す。地盤反力係数4種類と上限値4種類の値から，下記のとおり組合せることにより，各部位が安全側となる設計を行う。

- ・地盤による拘束度が高く上部工ならびに上下部工接続部に対する負担が大きくなると考えられる最も高い剛性と最も大きい上限値の組合せによる構成式
- ・地盤の変形が大きくなり地中連続壁基礎に対して最も厳しくなると考えられる最も低い剛性と最も小さい上限値の組合せによる構成式

第1-5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 及び 余震＋津波時	初期剛性より 余震時の収束剛性より 本震時の収束剛性より 静弾性係数より	ピーク強度（平均） ピーク強度（ -1σ 低減） 残留強度（平均） 残留強度（ -1σ 低減）

本震及び余震による剛性低下を考慮した地盤バネの算定に用いる地盤の変形係数 E_D 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' ：地盤の本震及び余震時の収束剛性（kN/m²）

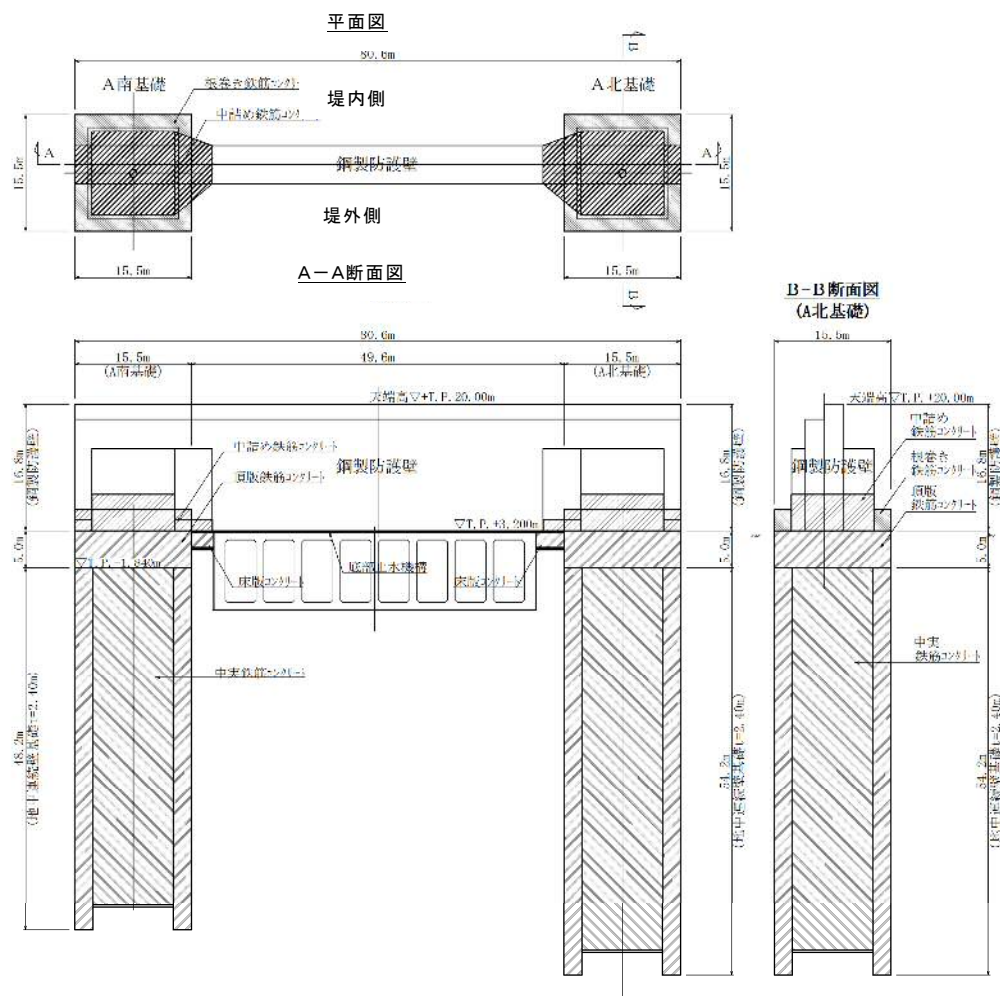
余震時荷重としては，余震時の一次元地盤応答解析により算定される応答変位分布を強制変位としてバネ端に載荷するとともに，地表面最大加速度より算定する設計震度を慣性力として考慮する。

6) 鋼製防護壁（上部工）の設計方針

鋼製防護壁（上部工）に要求される性能は，津波に対する止水性を確保することである。そのため，繰返し襲来する津波荷重が作用した場合に対して弾性状態に留まる必要がある。

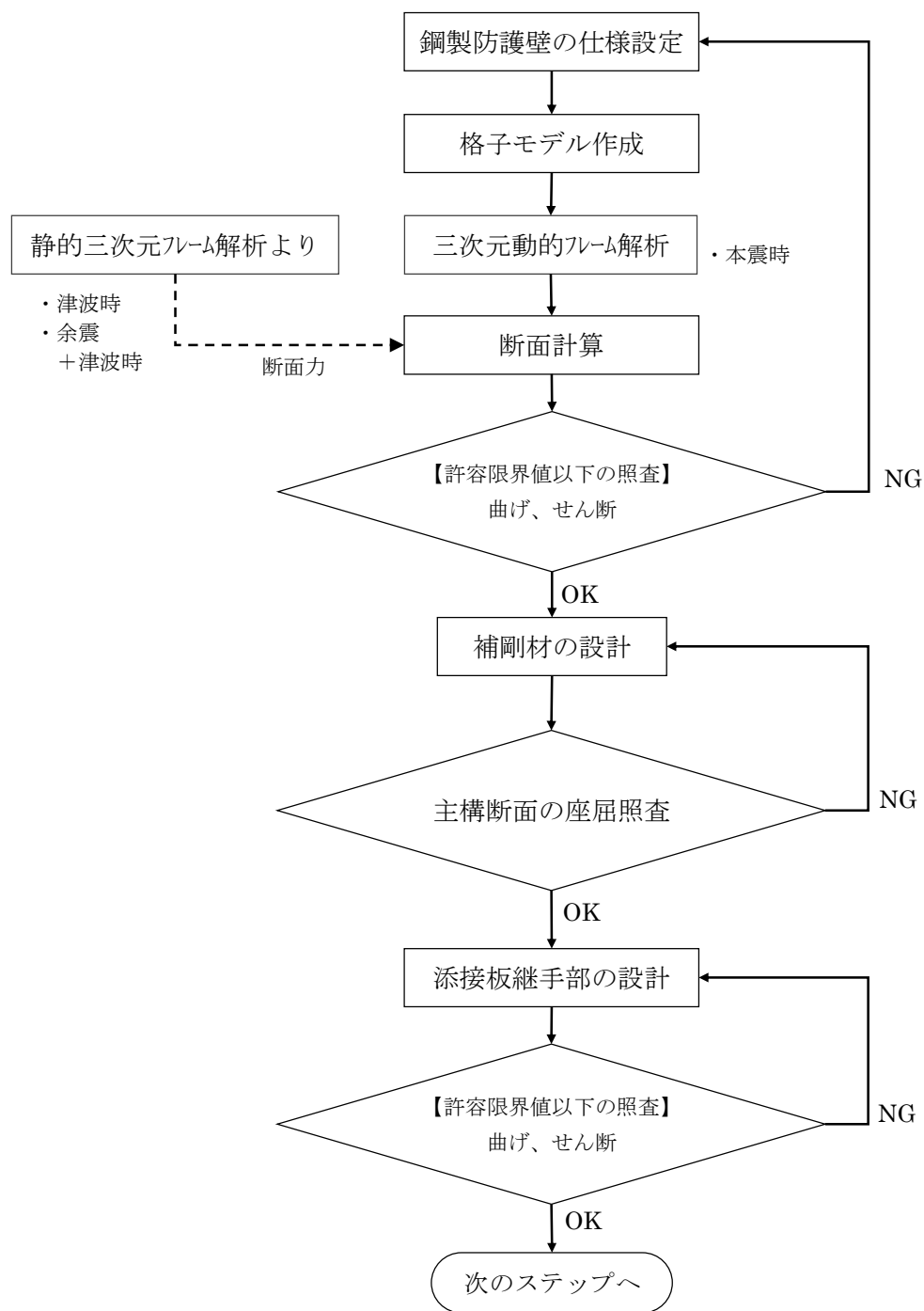
鋼製防護壁（上部工）は，下部工の地中連続壁基礎に基礎頂版を介して結合され，概ね 81m 程度の支間長で既設取水口を跨いで構築する。

鋼製防護壁の構造図を第 1-27 図に，設計フローを第 1-28 図に示す。



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 1-27 図 鋼製防護壁の構造図



本震時【三次元動的フレーム解析】

・有効応力解析により算出された変位時刻歴を与える。

津波時・余震＋津波時

・上部工・下部工一体モデルによる三次元静的フレーム解析から算出される断面力を用いて部材照査を行う。

第 1-28 図 鋼製防護壁の設計フロー

① モデル化方針

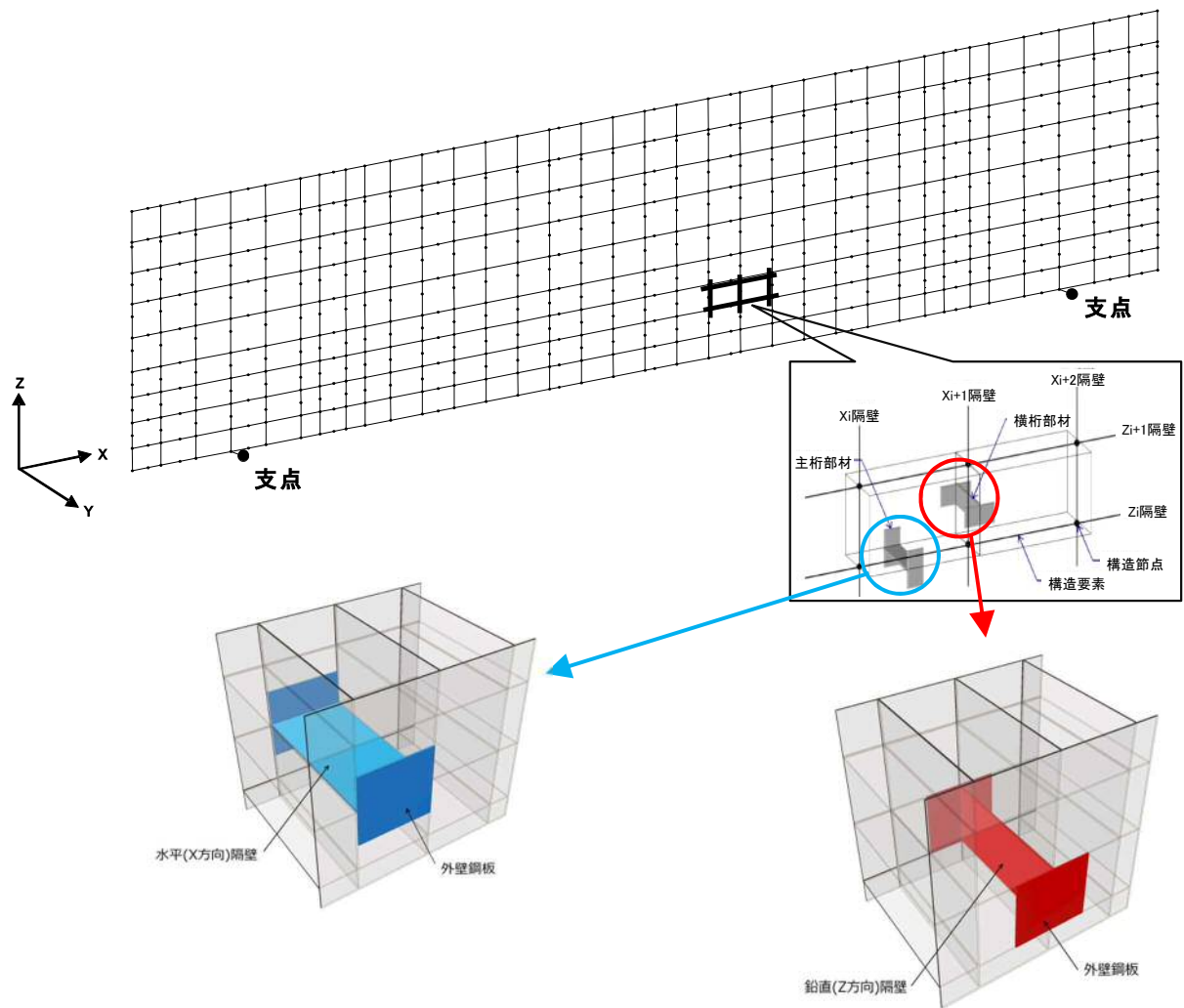
鋼製防護壁は、梁で構成される格子にモデル化し、構造評価を行う。

水平（X方向）隔壁及び鉛直（Z方向）隔壁の交差位置ならびに添接板継手位置を節点とした格子モデルとする。

鋼製防護壁部分の解析モデル図を第 1-29 図に示す。

- i) 主桁部材（水平方向）は、外壁鋼板をフランジ、水平（X方向）隔壁をウェブとみなした I 断面とする。（第 1-29 図の青色表示部分）
- ii) 横桁部材（鉛直方向）は、外壁鋼板をフランジ、鉛直（Z方向）隔壁をウェブとみなした I 断面とする。（第 1-29 図の赤色表示部分）
- iii) ねじれ剛性は、外面鋼板が連続していることから、箱断面として算出したねじれ剛性を両部材に考慮する。

格子モデルは津波荷重、地震時荷重、積雪荷重、風荷重及び漂流物の衝突荷重に耐える構造である鋼部材のみでモデル化する。



第 1-29 図 解析モデル図

② 本震時＜三次元動的フレーム解析＞

本震時は格子モデルによる三次元動的フレーム解析を行う。

本震による慣性力を鋼製防護壁に動的に作用させ、鋼材に生じる曲げ，せん断応力の照査を行い，許容限界値以下であることを確認する。なお，本震時の解析では風荷重を重畳させる。

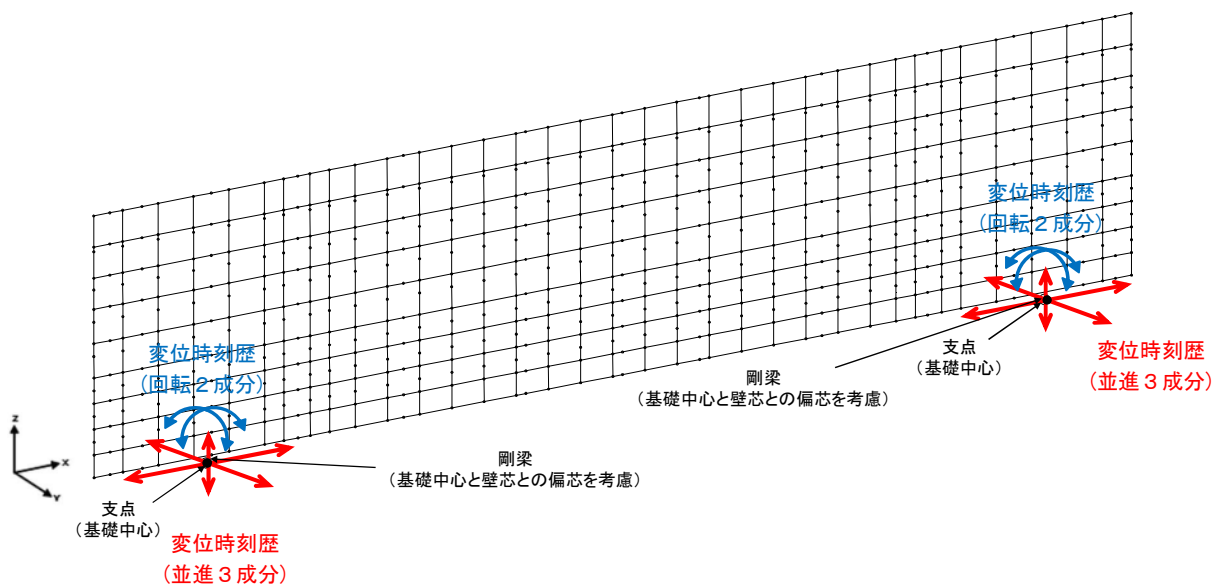
本震時の三次元動的フレーム解析モデルの概念図を第 1-30 図に示す。

- i) 地中連続壁基礎の二次元有効応力解析から算出される基礎
 天端中心における並進 3 成分（堤軸方向，堤軸直交方向及び

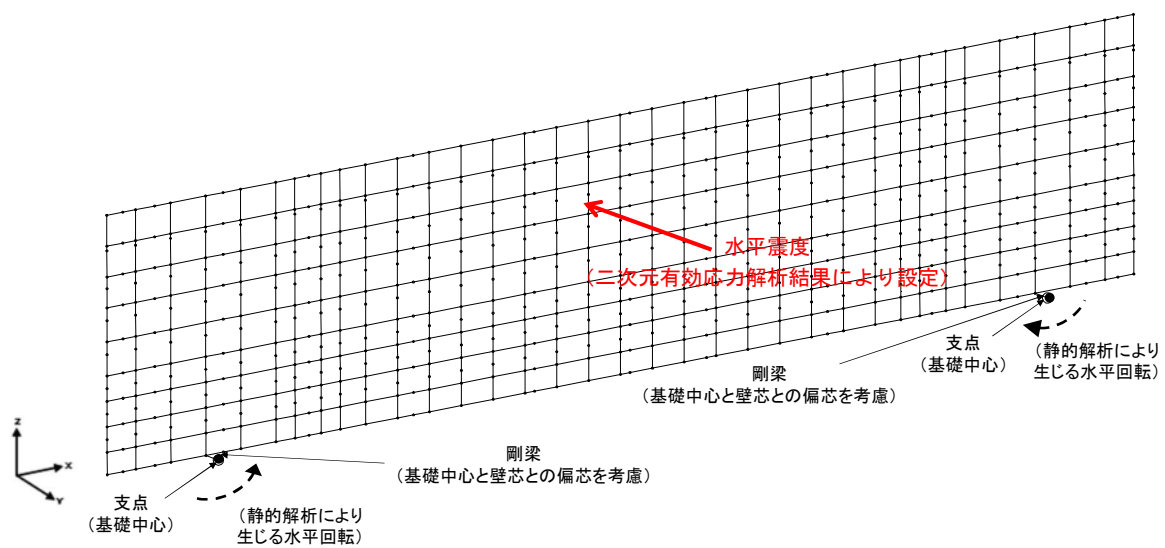
鉛直方向）及び回転 2 成分（堤軸方向，堤軸直交方向断面内の回転成分）の変位時刻歴を強制変位として与える。堤軸直交方向の変位時刻歴は南北基礎それぞれの軸直交断面の解析結果から設定する。

また，二次元有効応力解析では水平回転成分の算出ができないため，水平震度による静的解析により応答値を算出し，三次元動的フレーム解析の結果と重ね合わせることで，水平回転の影響を考慮する。静的解析で与える水平震度は，南北両断面の最大応答加速度から算定される水平震度を一律で与える場合及び時刻歴の応答差が最大となる南北各断面の応答加速度から，南北それぞれの水平震度を設定し，南北で区分して与える場合について検討し，安全側の設計となるよう設定する。

- ii) 三次元動的フレーム解析は堤軸方向，堤軸直交方向及び鉛直方向ごとに行い，解析結果のそれぞれの最大応答値を組合せ係数法により重ね合せて応力度照査を行う。なお，鉛直成分は軸方向・軸直交方向の入力組合せのうち，南北の時刻歴変位差が大きい方を基本ケースとして選定する。軸方向・軸直交方向の入力組合せにおける発生断面力を比較し，選定の妥当性を確認する。



変位時刻歴入力による動的解析



水平震度による静的解析（初期応力として考慮）

第 1-30 図 三次元動的フレーム解析モデルの概念図

③ 津波時，余震＋津波時

津波及び余震＋津波時については，第 1-26 図に示す上部工・下部工一体モデルによる三次元静的フレーム解析結果から鋼製防護壁部材の応答値を抽出し，各部材の照査を行う。

a．津波時

鋼製防護壁は，自重，積雪荷重，津波荷重及び漂流物の衝突荷重を作用させ，鋼材に生じる引張り，せん断応力の照査を行い，許容限界値以下であることを確認する。なお，漂流物の衝突荷重は曲げモーメントが最大となる位置に作用させる。

b．余震＋津波時

鋼製防護壁は，自重，積雪荷重，津波荷重並びに余震による慣性力及び動水圧を作用させ，鋼材に生じる引張り，せん断応力の照査を行い，許容限界値以下であることを確認する。なお，慣性力としての設計震度は，一次元地盤応答解析より算出される地表面の最大加速度を与える。

④ 補剛材の設計

a．補剛材の設計

主構断面となる隔壁には，「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 4.2.5」の規定に基づいた必要剛度を満たす補剛材を配置し，補剛材自体の座屈に対する安全性を確保する。

b．主構断面の座屈照査

主構断面となる隔壁は，「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 11.4.2」の解説に準じて座屈に対する安全照査を実施し，補剛材の追加配置の必要性を確認する。

⑤ 添接板継手部の設計

a. 添接板継手部の設計

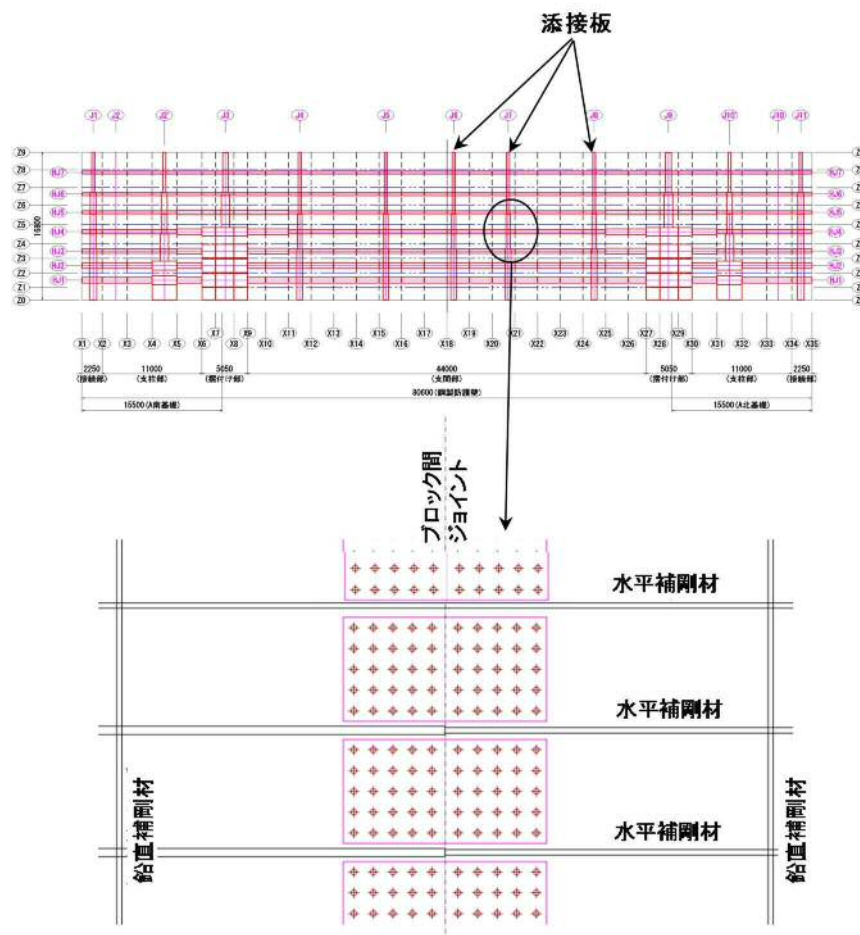
鋼殻ブロックの添接板継手部は、高力ボルト摩擦接合方式とする。

設計は、「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 7.3」に基づき行う。

母材に作用するせん断力及び曲げモーメントに対して、継手部の孔引き後の母材、添接板及び高力ボルトの安全性を照査する。

せん断力と曲げモーメントが同時に作用するため、合成した力に対しての安全性の照査も実施する。

鋼殻ブロックの添接板継手部イメージを第 1-31 図に示す。



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。

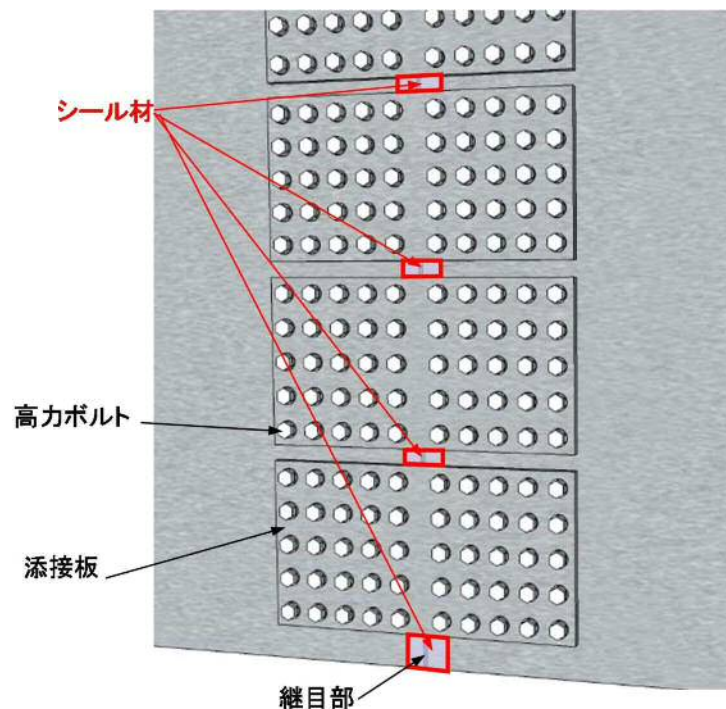
第 1-31 図 鋼殻ブロックの添接板継手部イメージ(正面図)

b. 添接板の継手部について

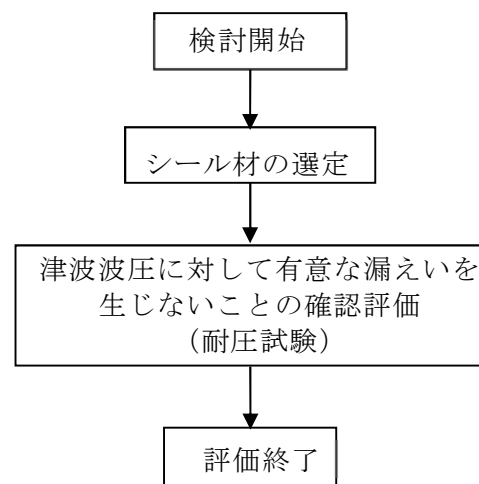
添接板の継目部には樹脂系のシール材を設置する。

シール材には津波波圧が作用するため、これに対して有意な漏えいが生じないことを実スケールの実験により確認する。

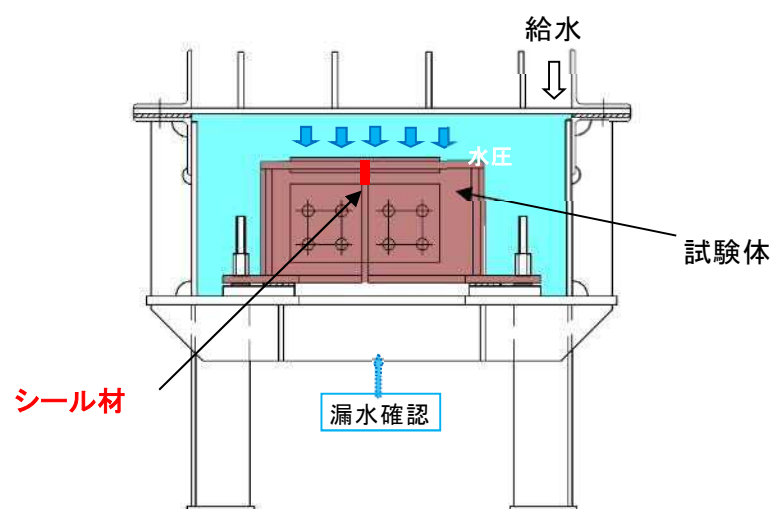
添接板継手部のシール材のイメージを第 1-32 図に、検討フローを第 1-33 図に、耐圧試験の概念図を第 1-34 に示す。



第 1-32 図 添接板継手部のシール材のイメージ(正面図)



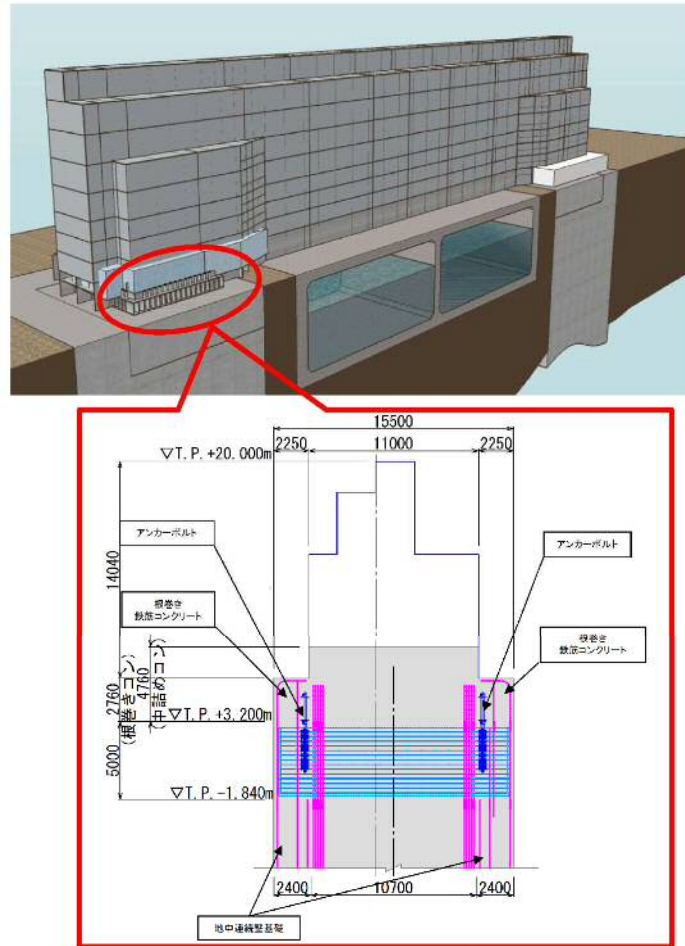
第 1-33 図 シール材の検討フロー



第 1-34 図 耐圧試験の概念図

7) 接合部の設計

接合部に要求される性能は、鋼製防護壁本体の自重や、津波や地震などの外力を確実に基礎へ伝達させることである。基礎定着部の概念図を第 1-35 図に示す。



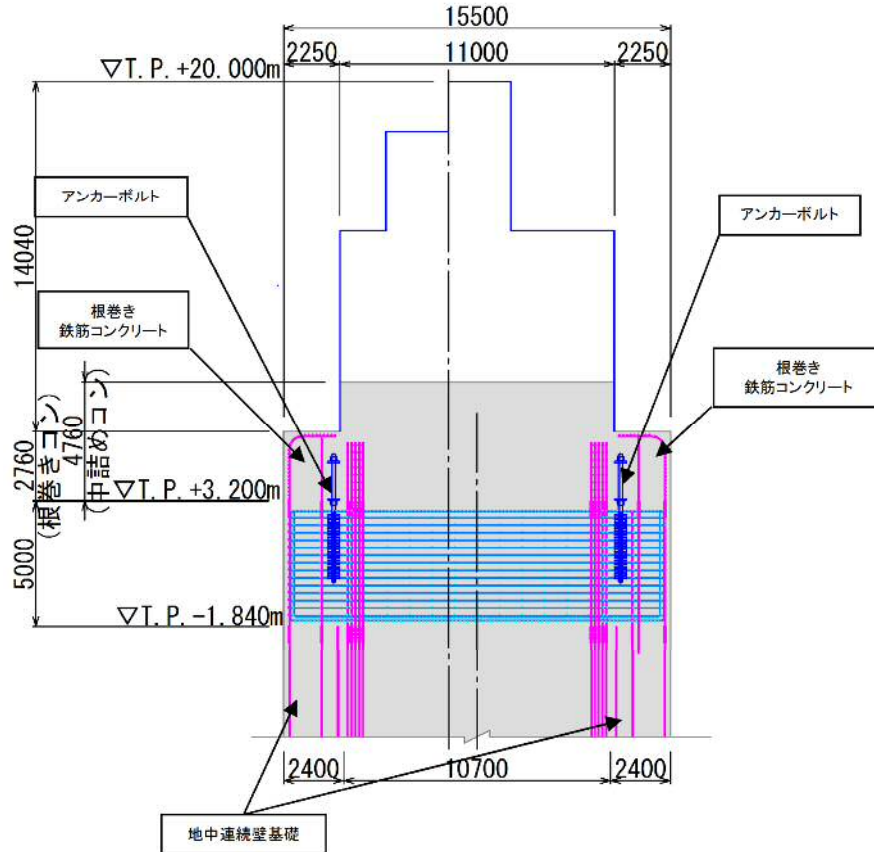
第 1-35 図 基礎定着部の概要

① 接合部の設計方針

a. 接合部の構造

直接定着式アンカーボルトを用いて、接合部の構造は頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートと地中連続壁（中実鉄筋コンクリートを含む）を鉄筋により結合して一体構造とする。

接合部の構造を第 1-36 図に示し、部材と設計上の役割を第 1-6 表に示す。



第 1-36 図 接合部の構造

第 1-6 表 部材と設計上の役割

部材名	設計上の役割
中詰め鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	鋼殻内部の鉄筋コンクリートで、水平方向のせん断力と水平回転モーメントを頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
アンカーボルト (SM520B 相当)	引抜き力を頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
頂版(フーチング) 鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	水平方向のせん断力と水平回転モーメントを地中連続壁基礎及び中実鉄筋コンクリートに伝達する。
地中連続壁基礎及び中実鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	地中連続壁基礎は、基礎外面を形成し基礎の主要部材となる。中実鉄筋コンクリートは、地中連続壁基礎内部の鉄筋コンクリートで、地中連続壁基礎と一体となって発生断面力を負担する。
根巻き鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	アンカーボルト頭部の防食などを目的とした鉄筋コンクリート。非構造部材として設計する。

b. 設計思想

アンカーボルトは本来，引抜き力及びせん断力に抵抗できる部材であることから，「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」の「7.2 アンカー部の設計方法」においては，アンカーボルトに水平方向のせん断力も許容限界以内で受けもたせる設計方法となっている。

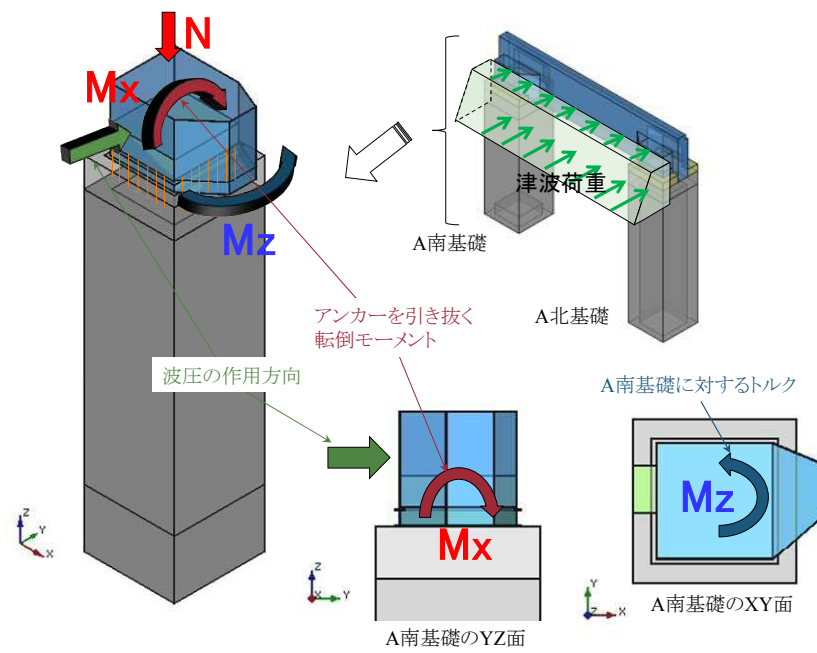
一方，鋼製防護壁においては，保守的な配慮として，接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対するアンカーボルトの抵抗力は設計上期待せず，接合部の水平回転モーメント（水平トルク）及び水平力によるせん断力に対しては，設計上鉄筋コンクリートのみの耐力でも，弾性範囲内で負担可能とするという設計思想とする。

c. 荷重の伝達メカニズム

上部構造と下部構造の接合部における並進，回転 6 成分の断面力は，接合部で一体となったアンカーボルト及び鉄筋コンクリートを介して伝達される。

なお，接合部における曲げ引張軸力に関する 3 成分の断面力は，設計上アンカーボルトのみの耐力でも，上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。また，接合部における水平方向せん断力に関する 3 成分の断面力は，設計上鉄筋コンクリートのみの耐力でも，上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。

津波荷重作用時のイメージを第 1-37 図に示し，荷重伝達のメカニズムを第 1-38 図に示す。

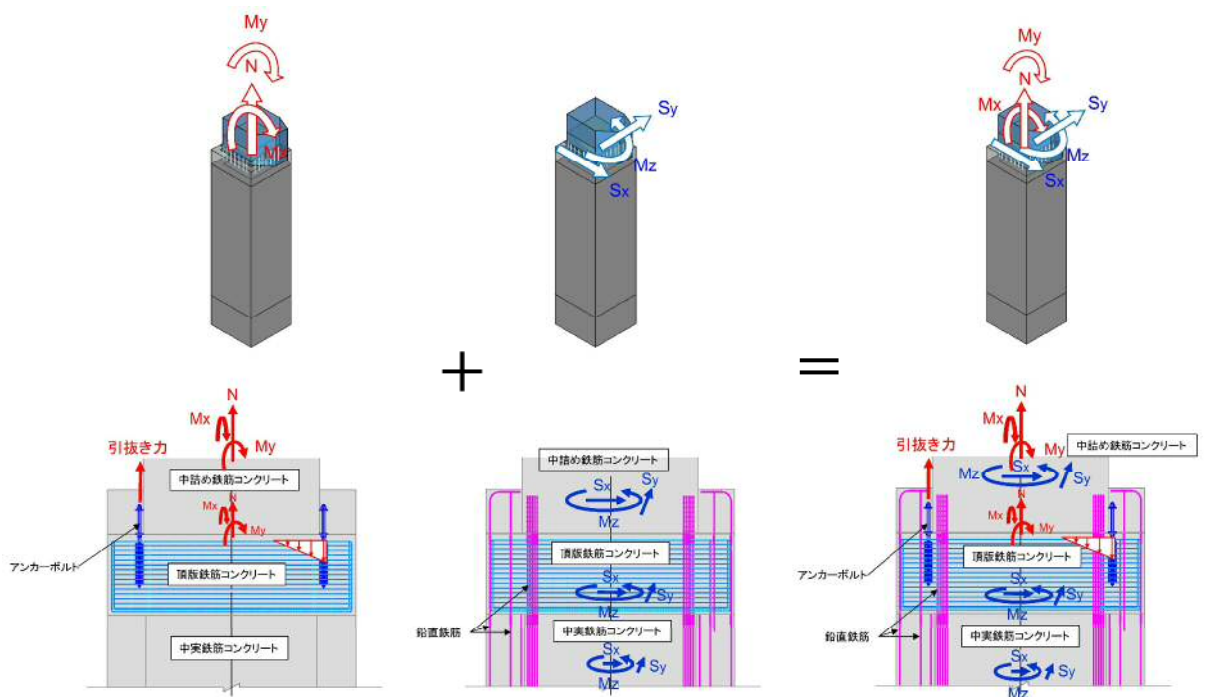


第 1-37 図 津波荷重作用時のイメージ図

アンカーボルトで抵抗

頂版鉄筋コンクリート，
中詰め鉄筋コンクリートで抵抗

アンカーボルト，
頂版鉄筋コンクリート，
中詰め鉄筋コンクリートで抵抗



引抜き力に関する
荷重伝達イメージ

水平力，水平回転モーメント
に関する荷重伝達イメージ

引抜き力及び水平力，
水平回転モーメントに
関する荷重伝達イメージ

第 1-38 図 荷重伝達のメカニズム

d. 設計方針

鋼製防護壁は浸水防護施設であることから，本震時，津波時，余震と津波の重畳時の何れに対しても，構造部材の弾性範囲内で設計を行う。

鋼製防護壁本体の自重及び地震や津波による設計荷重を確実に基礎へ伝達させる。

引抜き力に対しては、「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」に準拠して設計上アンカーボルトのみで負担できる設計とする。

水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては、「道路橋示方書（日本道路協会）」、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会）」に基づき設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担できる設計とする。

対象部材及び準拠基準を第 1-7 表に示す。

上記の設計方針に対して、三次元一体構造としての挙動を考慮できる三次元解析（COM3）を行い、直接定着式アンカーボルトの適用性および設計の妥当性を確認する。

三次元解析（COM3）の目的を下記に示す。

アンカーボルトと中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートは、それぞれが負担すべき設計荷重を弾性範囲内で受けもてる部材設計を行うが、これらの部材が一体となった三次元構造においては、設計荷重に対して各部材が幾分かの相互作用を呈することが想定されるため、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受けもつことができていることの確認を主目的として、三次元解析（COM3）を実施する。

三次元解析（COM3）により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。

三次元の詳細な解析により、アンカーボルト 1 本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認する。

設計を超える荷重に対しては、十分な靱性を有する構造であることを確認し、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。

第 1-7 表 対象部材及び準拠基準

対象部位		荷重条件	準拠基準	設計思想
接 合 部	アンカーボルト	引抜き力	・鋼構造物設計基準 (Ⅱ 鋼製橋脚編) (名古屋高速道路公社) ＜7 章アンカー部＞	・引抜き力に対しては、設計上アンカーボルトのみで負担できる設計とする
	中詰め鉄筋コンクリート, 頂版鉄筋コンクリート	水平回転モーメント 水平力	・道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編・Ⅲ コンクリート橋編) (日本道路協会) ＜4.4 ねじりモーメント作用する部材の照査＞ ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会) ＜付録 1 2.2 せん断応力度＞	・水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては、設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみに負担できる設計とする。

※ 中詰め鉄筋コンクリート部と鋼殻とは合成構造として設計する。
「鋼・合成構造標準示方書 (土木学会)」 「複合構造標準示方書 (土木学会)」

e. 鋼構造物設計基準における適用範囲

接合部の設計「鋼構造物設計基準 (名古屋高速道路公社)」の適用範囲を第 1-8 表に示す。

アンカーボルトは水平方向のせん断力に対する抵抗力も有するが、鋼製防護壁では保守的な配慮として、設計上アンカーボルトは引抜き力のみを弾性範囲内で負担できればよい役割の部材に位置づけた設計を行う。

上部構造と下部構造の接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対するアンカーボルトの抵抗力は設計上期待せず、接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対しては、設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみの耐力でも、弾性範囲内で負担できる設計とする。

この設計方針を前提として、以下に接合部の引抜き力に対するアンカーボルトの設計のみを対象とする「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」の適用について整理を行う。

なお、鋼構造物設計基準の津波防護施設への適用実績は確認されていないが、当該基準に準拠した弾性範囲内の設計及び三次元解析による設計の妥当性確認を行う方針である。

また、鋼製防護壁の設計値（試計算）として得られているアンカーボルトに発生する引張力は、参考文献 7) で確認されている引抜き力の実験値以内に収まっていることを確認している。荷重とアンカーボルトの相対ずれの関係を第 1-9 表、第 1-39 図に示す。

- 7) : 「前野裕文，後藤芳顕，上條崇，小林洋一 「鋼製橋脚に用いる実大付着型アンカーボルトの力学特性と定着部の挙動評価モデル」，構造工学論文集 Vol. 46A，2000. 3」
[現場引抜き試験結果を引用]

第 1-8 表 鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）の適用範囲

分類	「鋼構造物設計基準」の 主な該当項目		「鋼構造物設計基準」の 主な適用範囲	鋼製防護壁への適用
設計思想	1. 1	適用の範囲	上部構造と下部構造の接合部 におけるアンカー部の設計	直接定着式アンカーボルトは、鋼製防 護壁への適用に当たり、設計荷重に対 して、引抜き力は設計上弾性範囲内の アンカーボルトのみで負担できる設計 とし、水平力、水平回転モーメントによ るせん断力は設計上弾性範囲内の鉄筋 コンクリートのみで負担できる設計と することで適用範囲とする。
構造形式	7. 1	一般	直接定着方式が原則	直接定着式アンカーボルトを選定す る。
部材諸元	7. 1	一般	アンカーボルト間隔 2 D (D:公称径)	基準に基づいて配置する。
	7. 3. 1	アンカーボルト	公称径 D80～D180 (mm)	公称径 D180 のアンカーボルトの規格に 基づく。
使用材料	3. 1	使用鋼材	・ SM490A 相当 315N/mm ² ・ SM520B 相当 355N/mm ²	適用範囲内の『直接定着方式／SM520B 相当』を用いる。
	3. 2	コンクリート	フーチングコンクリート設計 基準強度 $\sigma_{ck}=21\sim27\text{N/mm}^2$	フーチング（頂版）コンクリートの設計 基準強度は 50N/mm ² であるが、保守的 な配慮として基準に記載の設計基準強 度 27N/mm ² に対応する照査応力度を許 容限界として弾性設計を行う。
構造設計	1. 3	アンカー部の 耐震設計	常時および地震時	常時及び地震時において、いずれも弾 性範囲内の設計を行なう。 津波時の荷重は地震時と同様に短期荷 重であるため、割り増し係数は地震時 と同様の値を用いる。
	7. 2. 1	アンカー部の 耐震設計	アンカーボルトの軸力は、鉄 筋コンクリート方式（複鉄筋） により算定	アンカーボルトの軸力は、2 軸複鉄筋 コンクリート断面として算定し弾性設 計を行う。 中詰め及び頂版の鉄筋コンクリート は、せん断力に対して弾性設計を行う。
許容限界	2. 14	荷重の組合せ 許容応力度の割 増し	・ レベル 1 地震時※ ¹ ：短期許 容応力度 ・ レベル 2 地震時※ ² ：アンカ ー部の耐震設計（降伏応力 度）	地震時（基準地震動 S _s ），基準津波時， 余震＋基準津波時： 短期許容応力度 T. P. +24m 津波時，余震＋T. P. +24m 津 波時： 降伏応力度
	3. 3	許容応力度	SM520B 相当 $\sigma_s=210\text{N/mm}^2$ $\tau_s=80\text{N/mm}^2$	適用するアンカーは、『直接定着方式／ SM520B 相当』とする。
	7. 2. 2	照査応力度	・ 直接定着式アンカーボルト の引抜き力 ・ 引抜きコーンせん断（鉄筋 補強あり） ・ せん断	フーチング（頂版）コンクリートの設計 基準強度は 50N/mm ² であるが、保守的 な配慮として基準に記載の設計基準強 度 27N/mm ² に対応する照査応力度を許 容限界として弾性設計を行う。

※ 1：レベル 1 地震動 発生する確率が高い地震動

※ 2：レベル 2 地震動 発生する確率は低いが大きな揺れを持つ地震動

「道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（日本道路協会）」より）

第 1-9 表 鋼製防護壁の設計引抜き力と既往の文献の実験で確認されている
引抜き力の比較

種別	アンカーボルト 仕様	荷重 (kN)	備考
実験値	D180 (SM520B 相当)	7,990	参考文献 7)
設計値 (試計算)	D180 (SM520B 相当)	北基礎 5,786 南基礎 7,258	余震+T. P. +24m 津波 時

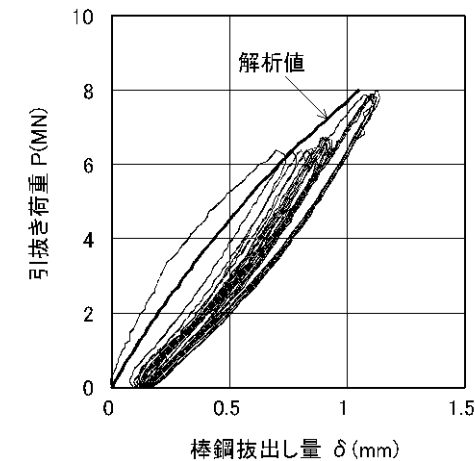


図-8 荷重とアンカーボルトの相対ずれの関係 (文献7)より
(D180 現場引抜き試験)

第 1-39 図 荷重とアンカーボルトの相対ずれの関係
(D180 現場引抜き試験)

f. コンクリート標準示方書及び道路橋示方書の適用箇所

一般に規模の大きい土木構造物については、複数の基準類を参照して設計を行う。

鋼製防護壁接合部は、「コンクリート標準示方書（土木学会）」、「道路橋示方書（日本道路協会）」、「鋼構造物設計基準等（名古屋高速道路公社）」を参照して設計を行う。中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートの水平力によるせん断力は「コンクリー

ト標準示方書[構造性能照査編] 付録1 2.2 せん断応力度（土木学会）」に準拠して設計を行う。

水平回転モーメントによるせん断力は，コンクリート標準示方書に許容応力度設計法での記載がないため，「道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋編 4.4 ねじりモーメントが作用する部材の照査」に準拠して設計を行う。適用箇所一覧を第1-10表(1)(2)に示す。

第1-10表(1) 適用箇所一覧表

「コンクリート標準示方書」の該当項目		対象部材	鋼製防護壁への適用
付録1 2.2	せん断応力度の照査	中詰め鉄筋コンクリート 頂版鉄筋コンクリート	接合部の水平力によるせん断力に対する設計

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで，

V_{ca} ：コンクリートの許容せん断力 (N)

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} ：斜め引張鉄筋の許容せん断力 (N)

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} ：斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度 (N/mm²)

b_w ：有効幅 (mm)

A_w ：斜め引張鉄筋断面積 (mm²)

j ：1/1.15

σ_{sa} ：鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

d ：有効高さ (mm)

s ：斜め引張鉄筋間隔 (mm)

第 1-10 表 (2) 適用箇所一覧表

「道路橋示方書」の 該当項目		対象部材	鋼製防護壁への適用
4.4	ねじりモーメントが作用する部材の照査	中詰め鉄筋コンクリート 頂版鉄筋コンクリート	接合部の水平回転モーメントによるせん断力に対する設計

$$\sigma_{st} = M_t \cdot a / 1.6bt \cdot ht \cdot A_{wt}$$

$$\sigma_{sl} = M_t \cdot (bt + ht) / 0.8bt \cdot ht \cdot A_{lt}$$

ここで、

σ_{st} :ねじりモーメントに対する横方向の鉄筋の応力度 (N/mm²)

σ_{sl} :ねじりモーメントに対する軸方向の鉄筋の応力度 (N/mm²)

M_t :部材断面に作用するねじりモーメント (N・mm)

A_{wt} :間隔 a で配置されるねじりモーメントに対する横方向鉄筋 1 本の断面積 (mm²)

A_{lt} :部材断面に配置されるねじりモーメントに対する軸方向鉄筋の全断面積 (mm²)

a :横方向鉄筋の間隔 (mm)

bt , ht :幅及び高さ (mm)

※:コンクリート設計強度 50 N/mm² の許容限界については「道路土工カルバート工指針 (日本道路協会)」に準拠する。

g. 接合部の設計 (基本方針及び準拠基準の併用)

設計手法には、弾性範囲内に構造物の挙動を収める許容応力度法に準拠する方法や、ある程度の塑性変形を許す保有水平耐力法に準拠する方法がある。これら 2 つの方法を併用することには問題がある。しかしながら、鋼製防護壁接合部の設計においては、「鋼構造物設計基準 (名古屋高速道路公社)」及び「道路橋示方書 (日本道路協会)」の許容応力度法に準拠して、設計荷重に対し接合部の各部材の弾性範囲内に収める設計を行う。よって、両者の設計体系が弾性範囲内で整合しており併用することに問題はない。

接合部の各部材は、荷重分担に応じて、それぞれの技術基準類に準拠し弾性範囲内の設計を実施する。さらに、三次元解析 (COM 3) により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。

(a) 荷重分担の考え方

引抜き力に対しては，設計上直接定着式アンカーボルトのみで負担できる設計とする。

水平力及び水平回転モーメントに対しては，設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担できる設計とする。

(b) 各荷重分担に応じた技術指針類の準拠

引抜き力への対応は，直接定着式アンカーボルトで設計する。

「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」（許容応力度法）

水平力及び水平回転モーメントへの対応は中詰め鉄筋コンクリート，頂版鉄筋コンクリートで設計する。「コンクリート標準示方書（土木学会）」と「道路橋示方書（日本道路協会）」（許容応力度法）

なお，「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」及び「コンクリート標準示方書（土木学会）」並びに「道路橋示方書（日本道路協会）」はともに弾性範囲内での設計に適用することから，両基準を併用することに問題はない。

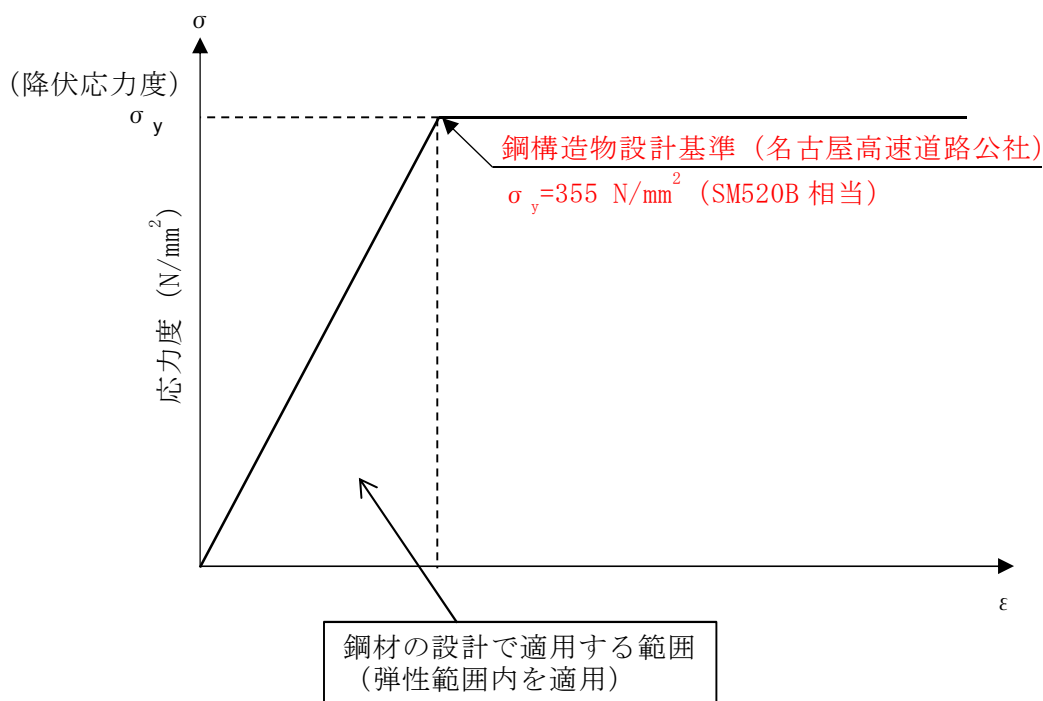
接合部の各部材は，荷重分担に応じて，それぞれの技術基準類に準拠し保守的な条件の設計を実施するが，三次元解析（COM3）により，接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い，設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。

h. 接合部における鋼材及びコンクリートの設計で適用する範囲

鋼材の応力とひずみの関係を第 1-40 図に示す。

接合部の中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートにおけるコンクリートは設計強度基準 50N/mm^2 を用いることとしている

が，直接定着式アンカーボルトの定着及びコーンせん断に関するコンクリートの応力照査には，保守的な配慮として，「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」に基づきコンクリート設計基準強度 27N/mm^2 に対応する照査応力度を許容限界に適用する。



第 1-40 図 鋼材の応力とひずみの関係

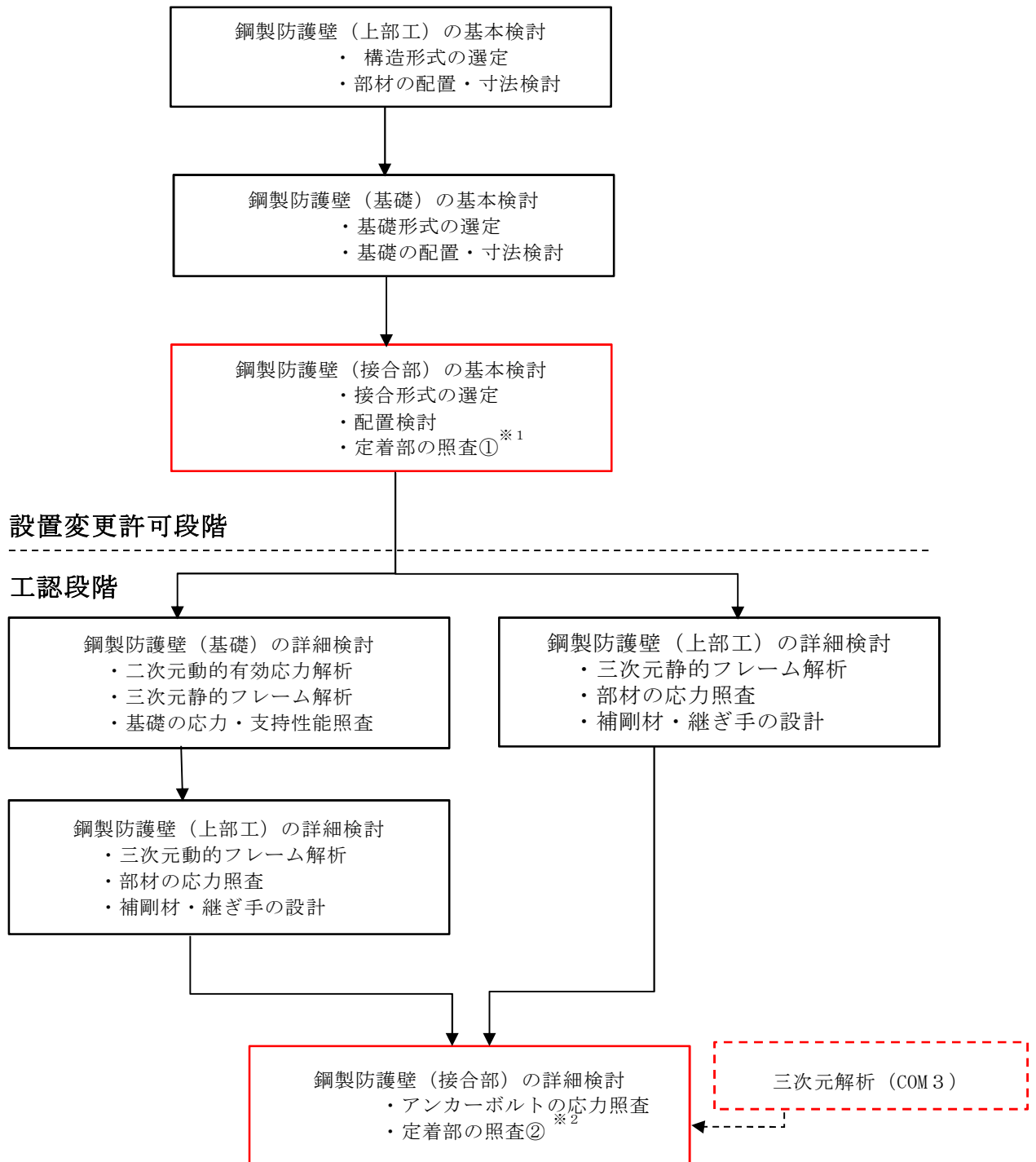
i. 接合部の検討フロー

基本検討のうち定着部の評価とは，設置変更許可段階における定着部の照査を示す。この段階での照査は，基準類に準拠して設計を行い，構造の成立性を確認することである。

工認段階における評価は，詳細な荷重・地盤条件において基準類に準拠し照査を行い，三次元解析（COM 3）により，接合部の一体化した挙動を考慮した精緻な解析を行い，各部材（アンカーボルト

ト，中詰め鉄筋コンクリート，頂版鉄筋コンクリート）が設計荷重に対して弾性範囲内であることを確認することである。

接合部の検討フローを第 1-41 図示す。



※1）定着部の照査① ⇒構造の成立性確認のための照査

【検討条件】（接合部に掛かる荷重が厳しいと考えられるケース）

・ 余震＋T.P. +24m 津波時

※2）定着部の照査② ⇒詳細な荷重・地盤条件ならびに三次元挙動評価を踏まえた詳細照査

第 1-41 図 接合部の検討フロー

② 構造の成立性

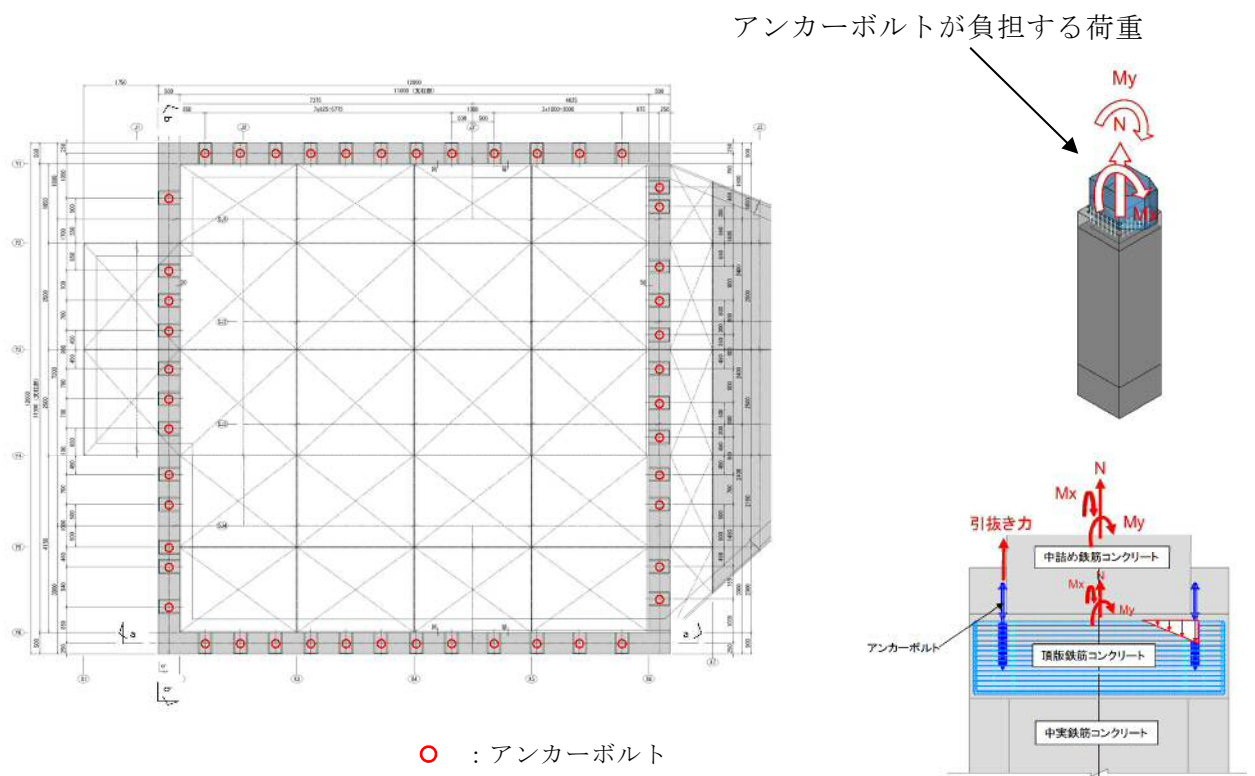
構造成立性の検討において入力する値は上部工の設計より算定される断面力を用いる。本震時は三次元動的フレーム解析，津波時，余震＋津波時は三次元静的フレーム解析の結果を用いる。

検討条件は接合部に掛かる荷重が厳しいと考えられるケースとする。

許容限界は，地震時（基準地震動 S_s ），基準津波及び余震＋基準津波は短期許容応力度とし，T.P. + 24m 津波，余震＋T.P. + 24m 津波時は降伏応力度とする。

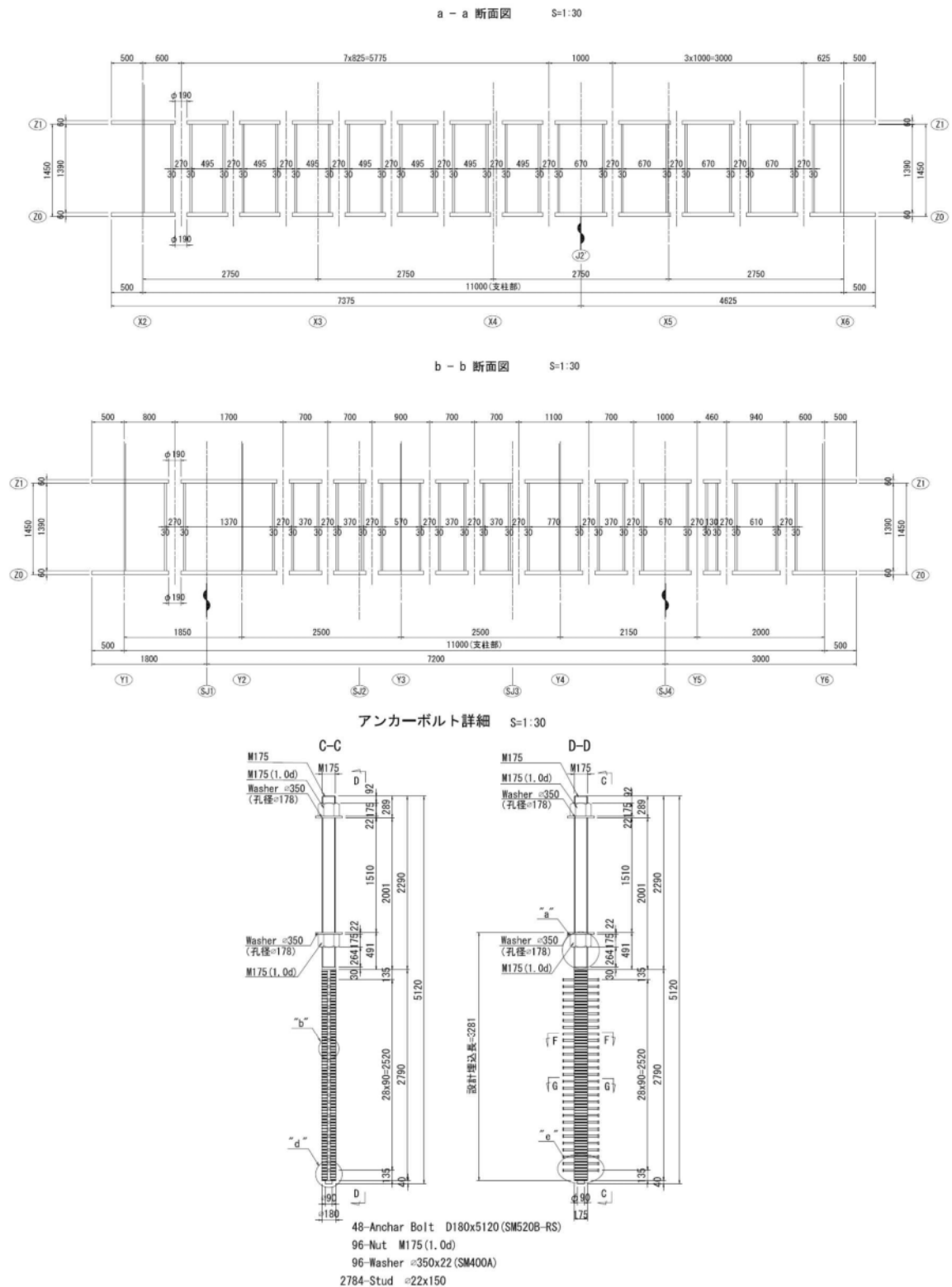
a. アンカーボルトの配置検討結果（弾性設計）

配置検討結果の平面と断面を第 1-41，42 図に示す。



注) 仕様については今後の検討によって変更の可能性がある。

第 1-42 図 アンカーボルトの平面配置



注) 仕様については今後の検討によって変更の可能性がある。

第 1-43 図 アンカーボルトの断面配置

b. アンカーボルトの応力に対する検討結果

アンカーボルトの検討条件は下記のとおりとする。

- ・ 余震＋T.P.＋24m 津波時
- ・ 地盤バネ : 1次元全応力地盤応答解析 (SHAKE) の収束剛性
- ・ 地盤バネの上限値 : ピーク強度 (-1σ 値)

アンカーボルトの設計においては、「鋼構造物設計基準」に準拠する。この基準における照査応力度は降伏応力度であるが、構造の成立性確認においては、保守的な配慮として、「コンクリート標準示方書」に基づく許容応力度の割増し係数を考慮した短期許容応力度により照査した。

アンカーボルト応力計算結果を第 1-11 表に示す。

第 1-11 表 アンカーボルト応力計算結果

(2 軸複鉄筋コンクリートの弾性設計)

タイトル	Case- 5 : CASE05 Load- 1 : K3T-1																																			
		<table><tr><td>A</td><td>(m²)</td><td>144.0000</td></tr><tr><td>A'</td><td>(m²)</td><td>0.0000</td></tr><tr><td>yu</td><td>(m)</td><td>6.0000</td></tr><tr><td>yl</td><td>(m)</td><td>-6.0000</td></tr><tr><td>Iz</td><td>(m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr><tr><td>Iy</td><td>(m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr><tr><td>Wu</td><td>(m³)</td><td>288.00000</td></tr><tr><td>Wl</td><td>(m³)</td><td>-288.00000</td></tr><tr><td>J</td><td>(m⁴)</td><td>2920.32000</td></tr><tr><td>Ao</td><td>(m²/m)</td><td>48.0000</td></tr><tr><td>Ai</td><td>(m²/m)</td><td>0.0000</td></tr></table>		A	(m ²)	144.0000	A'	(m ²)	0.0000	yu	(m)	6.0000	yl	(m)	-6.0000	Iz	(m ⁴)	1728.00000	Iy	(m ⁴)	1728.00000	Wu	(m ³)	288.00000	Wl	(m ³)	-288.00000	J	(m ⁴)	2920.32000	Ao	(m ² /m)	48.0000	Ai	(m ² /m)	0.0000
A	(m ²)	144.0000																																		
A'	(m ²)	0.0000																																		
yu	(m)	6.0000																																		
yl	(m)	-6.0000																																		
Iz	(m ⁴)	1728.00000																																		
Iy	(m ⁴)	1728.00000																																		
Wu	(m ³)	288.00000																																		
Wl	(m ³)	-288.00000																																		
J	(m ⁴)	2920.32000																																		
Ao	(m ² /m)	48.0000																																		
Ai	(m ² /m)	0.0000																																		
断面力	Mz (kN.m)	1582248.000																																		
	My (kN.m)	2855.000																																		
	N (kN)	35736.000																																		
ヤング係数比		n = 15.00																																		
応力度 (N/mm ²)	σ c σ ca	7.656 < 18.000																																		
	σ s σ sa	308.457 < 346.000																																		
	σ s' σ sa	-105.839 < 346.000																																		
圧縮最縁距離	(m)	3.1925																																		
引張最縁距離	(m)	-8.5746																																		
図心～中立軸	(m)	2.8162																																		
Z軸～中立軸角度	(°)	0.0834																																		
Gz	(m ³)	14.90098																																		
Iz	(m ⁴)	617.79276																																		
Izy	(m ⁴)	0.23012																																		
鋼種	位置 (m)	鉄筋径 (mm)	本数 (本)																																	
			鉄筋量As (cm ²)																																	
D-1	0.2500	0.00	0.000	5434.970																																
D-2	0.2500	0.00	0.000	5434.970																																
鉄筋量の合計 Σ 10869.940																																				
《鋼種の説明》 D:鉄筋(φ:丸鋼) 1:上縁～高さ 0:全周 -1:上下かぶり -2:左右かぶり																																				

σ_c : コンクリートの発生圧縮応力度

σ_s : アンカーボルトの発生引張応力度

σ_s' : アンカーボルトの発生圧縮応力度

σ_{ca} : コンクリートの短期許容応力度

許容応力度 9.0N/mm² × 割増し係数 2.0¹⁾ = 18.0N/mm²

(設計基準強度 27N/mm² に対応する短期許容応力度)

< コンクリートの照査応力度 0.85 × 27N/mm² ³⁾ = 22.95N/mm²

σ_s : アンカーボルトの短期許容引張応力度

σ_s' : アンカーボルトの短期許容圧縮応力度

許容応力度 210N/mm² × 割増し係数 1.65¹⁾ = 346.5N/mm²

< 鋼材の照査応力度 355N/mm² ³⁾

c. アンカーボルトの定着長に対する検討結果（弾性設計）

アンカーボルトの検討条件は下記のとおりとする。

- ・ 余震＋T.P.＋24m 津波時
- ・ 地盤バネ : 1次元全応力地盤応答解析（SHAKE）の収束剛性
- ・ 地盤バネの上限値 : ピーク強度（ -1σ 値）

アンカーボルトの定着長の設計においては、「鋼構造物設計基準」を用いる。

アンカーボルト定着長計算結果を第 1-12 表，アンカーボルトコーンせん断面と引抜き面の概念図を第 1-44 図に示す。

第 1-12 表 アンカーボルト定着長計算結果

異形棒鋼(スタッド付き) d2 =	180 (mm) 【 M175 】
アンカーボルト材質	SM520B
コンクリート材質	$\sigma_{ck} = 27$ (N/mm ²)

フーチング厚 = 5000(mm)

設計定着長及び埋込長は、以下の式により算出する。

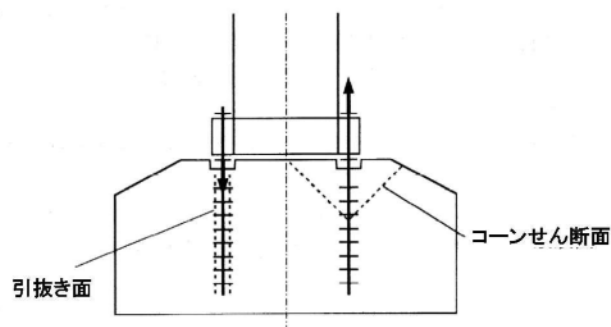
7.3.2 アンカーボルトの埋め込み長(1)による算定式

$$\begin{aligned}
 Leq &= (\sigma_{sa} \cdot A_s) / (\pi \cdot d2 \cdot \tau_a) \\
 &= (355 \times 22645.698) / (\pi \times 180.0 \times 6) \\
 &= 2369.4 \\
 \therefore Leq &= 236.9 \text{ (cm)}
 \end{aligned}$$

σ_{sa} : アンカーボルトの許容応力度 (N/mm²)
 τ_a : アンカーボルトの引抜きに対する許容応力度
 A_s : アンカーボルトの有効断面積 (mm²)
 $d2$: アンカーボルトの公称径 (mm)

$$\begin{aligned}
 Led &= Leq + Uo \\
 &= 272.9 \text{ (cm)} \\
 Uo &= 2 \times d2 \\
 &= 36.0 \text{ (cm)}
 \end{aligned}$$

τ_a : アンカーボルトの引抜きに対する照査応力度
 $2.0 \tau_a = 6.0 \text{ N/mm}^2$ (3)



第 1-44 図 コーンせん断面と引抜き面の概念図 (橋脚の例)

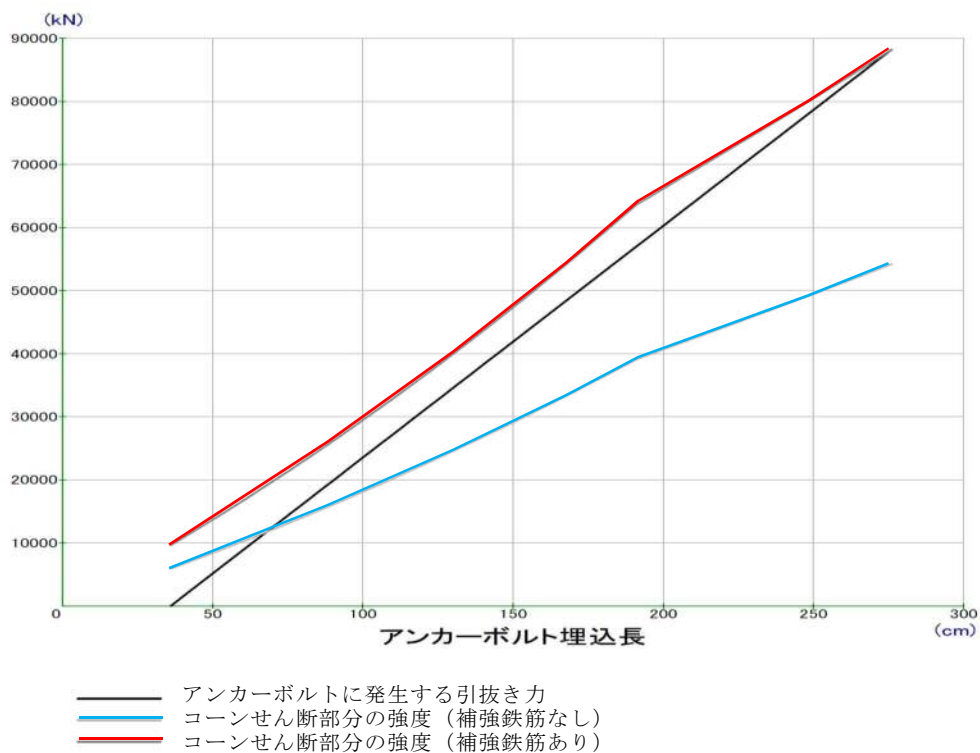
d. アンカーボルトのコーンせん断に対する検討結果（弾性設計）

アンカーボルトの検討条件は下記のとおりとする。

- ・ 余震＋T.P.＋24m 津波時
- ・ 地盤バネ ： 1次元全応力地盤応答解析（SHAKE）の収束剛性
- ・ 地盤バネの上限値 ： ピーク強度（ -1σ 値）

アンカーボルト設計においては「鋼構造物設計基準」を用いる。

アンカーボルトに発生する引抜き力と埋込長を第 1-45 図，アンカーボルトのコーンせん断に対する検討結果を第 1-46 図に示す。



第 1-45 図 アンカーボルトに発生する引抜き力と埋込長の関係

補強鉄筋の計算

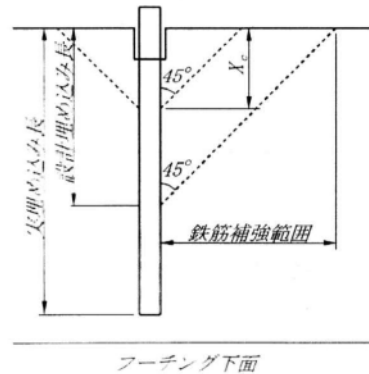
◆強度の不足分（面外）

$$\begin{aligned}\sigma_{ck} &= 27 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{sy} &= 345 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ [SD345]} \\ \sigma_{coa} &= 1.342 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{coal} &= 0.825 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ A_c(X_c) &= 65749379 \text{ (mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma &= \sigma_{coa} - 1/2 \times \sigma_{coal} \\ &= 0.929 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

◆必要鉄筋量

$$\begin{aligned}A_s &= 1.15 \times \Delta\sigma \times A_c / \sigma_{sy} \\ &= 203679.5 \text{ (mm}^2\text{)} \\ A_{s, req} &= A_s / A_c(X_c) \\ &= 3097.8 \text{ (mm}^2\text{/m}^2\text{)}\end{aligned}$$



フーチングコンクリートの応力照査

鉄筋補強範囲

$$\sigma_{coa} = 1/2 \cdot \sigma_{coal} + \Delta\sigma$$

ここで

σ_{coa} : 定着部のコーンせん断許容応力度

σ_{coal} : コンクリート強度で決まるコーンせん断強度（鉄筋補強なし）

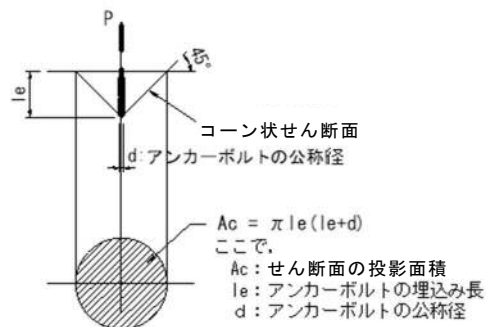
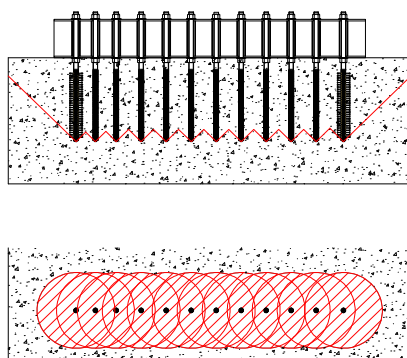
$\Delta\sigma$: 鉄筋補強によるコーンせん断強度の増加

（注） σ_{coal} : コンクリート強度で決まるコーンせん断強度

コーンせん断に対する照査応力度 $1.5 \sigma_{coal}$ ³⁾

$$1.5 \times 0.55 \text{ N/mm}^2 = 0.825 \text{ N/mm}^2$$

（設計基準強度 27 N/mm^2 に対応する照査応力度）



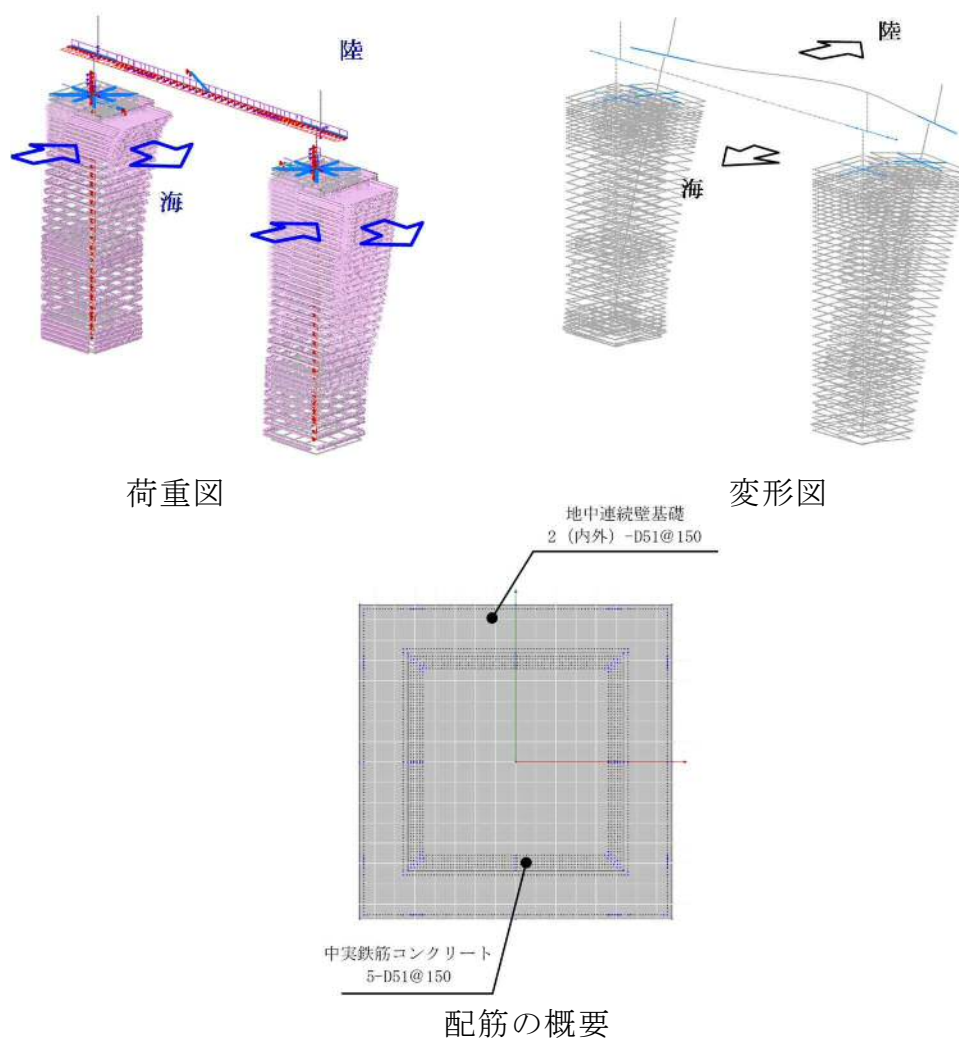
複数のアンカーボルトに対するコーンせん断面の考え方

第 1-46 図 アンカーボルトのコーンせん断に対する検討結果

e. 基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査条件
(弾性設計)

基礎の検討条件は下記のとおりとする。T.P. +24m 津波を考慮する場合の許容限界は降伏応力度であるが、保守的な配慮として、構造成立性の確認においては短期許容応力度により照査している。荷重図，変形図，配筋の概要を第 1-47 図に示す。

- ・ 余震 + T.P. +24m 津波時
- ・ 水平 2 方向地震力の影響を荷重で考慮
- ・ 地盤バネ及び地盤バネの上限値：1 次元有効応力地盤応答解析 (FLIP) の応答値



第 1-47 図 荷重図，変形図，配筋の概要

f. 基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果
(弾性設計)

北基礎の結果は下記のとおりである。基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果を第 1-48 図に示す。

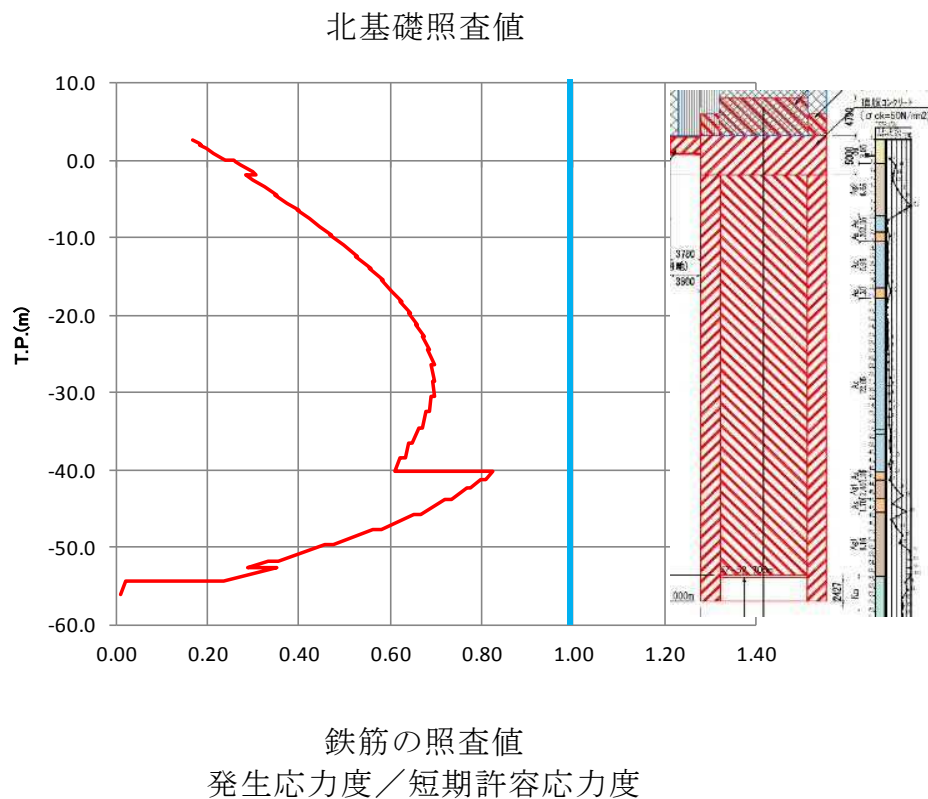
北基礎 照査値 (鉄筋) = 0.82 . . . 判定 O K

余震 + T. P. + 24m 津波時

鉄筋の照査値 : 発生応力度 / 短期許容応力度

【鉛直鉄筋】

- ・ 中実鉄筋 コンクリート
 - T. P. - 40m 以浅 : 5-D51@150
 - T. P. - 40m 以深 : 2-D51@150
- ・ 地中連続壁基礎 2-D51@150



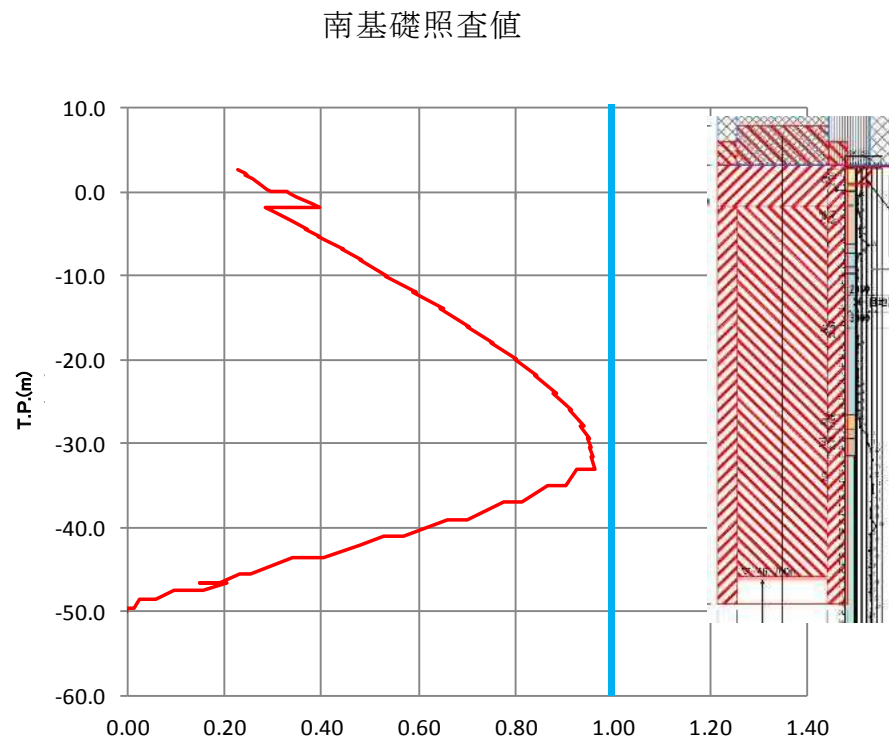
第 1-48 図 基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果

南基礎の結果は下記のとおりである。基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果を第 1-49 図に示す。

南基礎 照査値（鉄筋） =0.96 . . . 判定OK
余震+TP+24m 津波時
鉄筋の照査値：発生応力度／短期許容応力度

【鉛直鉄筋】

- ・中実鉄筋コンクリート 5-D51@150
- ・地中連続壁基礎 2-D51@150



鉄筋の照査値
発生応力度／短期許容応力度

第 1-49 図 基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果

③ 三次元解析 (COM 3)

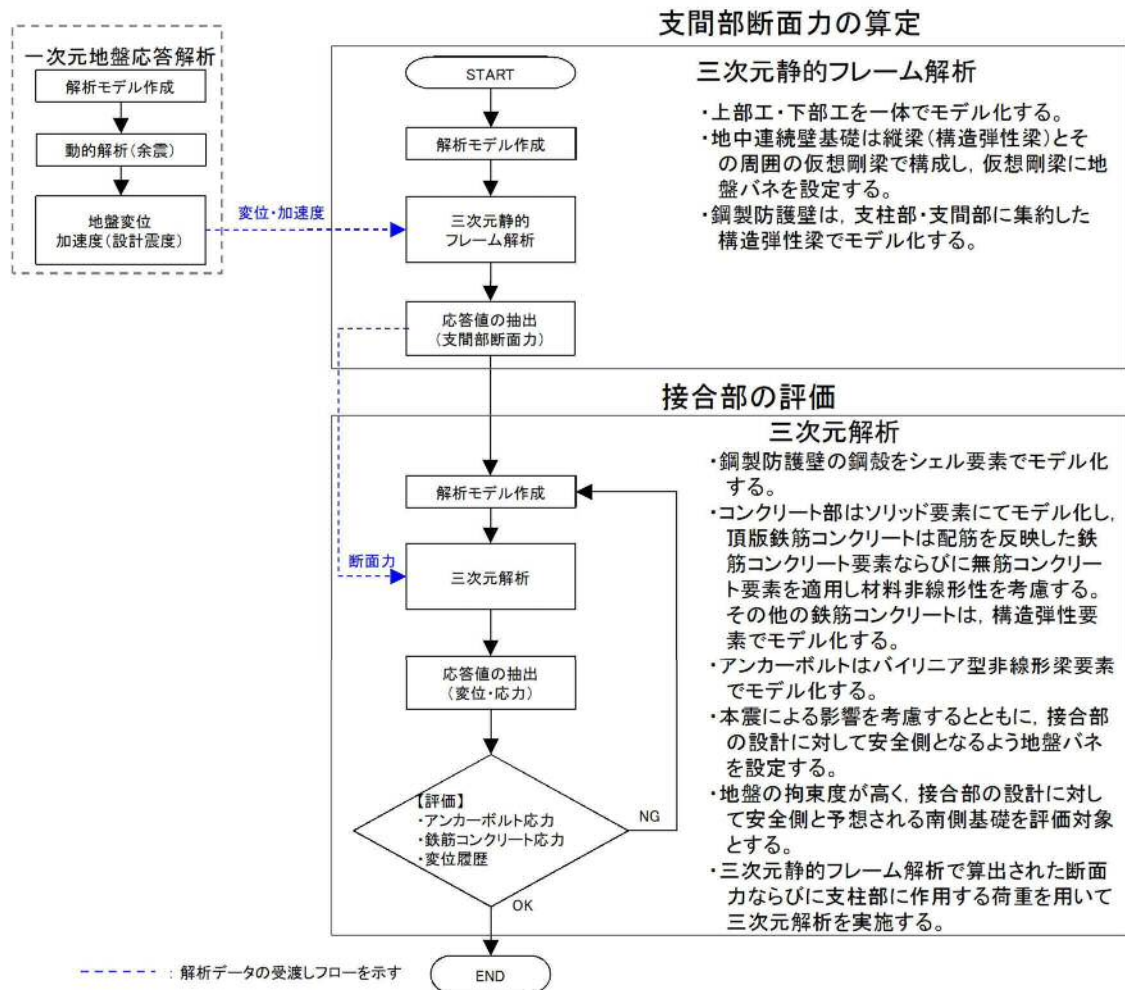
a. 検討目的

三次元解析 (COM 3) により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。

設計を超える荷重に対しては、十分な靱性を有する構造であることの確認を基本とし、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。

三次元の詳細な解析により、アンカーボルト 1 本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認する。

三次元解析 (COM 3) の解析フローを第 1-50 図に示す。



第 1-50 図 三次元解析 (COM 3) の解析フロー

b. 三次元静的フレーム解析（三次元解析（COM3）への入力荷重算定モデル）

(a) 解析の目的

津波荷重や余震影響を含む鋼製防護壁支間部の断面力を算定する。

(b) 結果の利用

三次元解析モデルに入力する支間部断面力。

(c) モデル化方針

上部工及び下部工を一体でモデル化する。

地中連続壁基礎は縦梁（構造弾性梁）とその周囲の仮想剛梁で構成し、仮想剛梁に地盤バネを設定する。

鋼製防護壁は、支柱部・支間部に集約した構造弾性梁でモデル化する。

本震による影響を考慮するとともに、接合部の設計に対して適切に地盤バネを設定する。

c. 三次元解析（COM3）

鋼製防護壁は、荷重分担に応じて部材ごとに弾性範囲内の設計を実施する。アンカーボルトと中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートは、それぞれが負担すべき設計荷重を弾性範囲内で受けもてる部材設計を行うが、これらの部材が一体となった三次元構造においては、設計荷重に対して各部材が幾分かの相互作用を呈することが想定される。このため、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な弾性範囲内の三次元解析（COM3）を行い、設計荷重に対して、各部材が弾性範囲内で受けもつことができていることの確認

を実施する。

鋼製防護壁の設計は、各部材の発生応力が弾性範囲の許容限界以内となることを必要条件として実施する方針である。すなわち、終局強度に基づく許容限界は用いないことから、三次元解析（COM3）においては、設計荷重に対する弾性範囲内での応力の算定と照査を主目的としており、このような設計荷重に対する弾性範囲内での三次元解析（COM3）による再現精度はこれまでに確認されてきていることから、同様に弾性範囲内を対象として弾性設計する場合においては、実験とほぼ等価な結果が得られると考える。

一方、鋼製防護壁の接合部について、設計荷重を超える荷重の領域についても三次元解析（COM3）を実施する目的は、解析により、その終局的な耐力の精緻な数値を追究することではなく、接合部に設置される D51 の 5 段等といった重厚な鉄筋により、非線形領域において、十分な靱性を有している挙動を呈することの確認を行うことである。

なお、三次元解析（COM3）では、様々な条件を想定したパラメータスタディ及びケーススタディの実施も可能であることから、安全性確認のための多角的な検証及び評価を行うことができる。

（a） 解析の目的

津波荷重や余震影響を受ける鋼製防護壁接合部の三次元的な挙動を評価し、設計の妥当性及び直接定着式アンカーボルトの適用性を確認する。

(b) 結果の利用

「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」によって弾性範囲内で設計したアンカーボルトをはじめとするそれぞれの部材が，一体となった構造でも弾性範囲内の応力レベルで収まっていることを確認する。

三次元の詳細な解析によってアンカーボルト 1 本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認する。

設計を超える荷重に対する裕度を確認する。

荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。

(c) モデル化方針

鋼製防護壁の鋼殻をシェル要素でモデル化する。

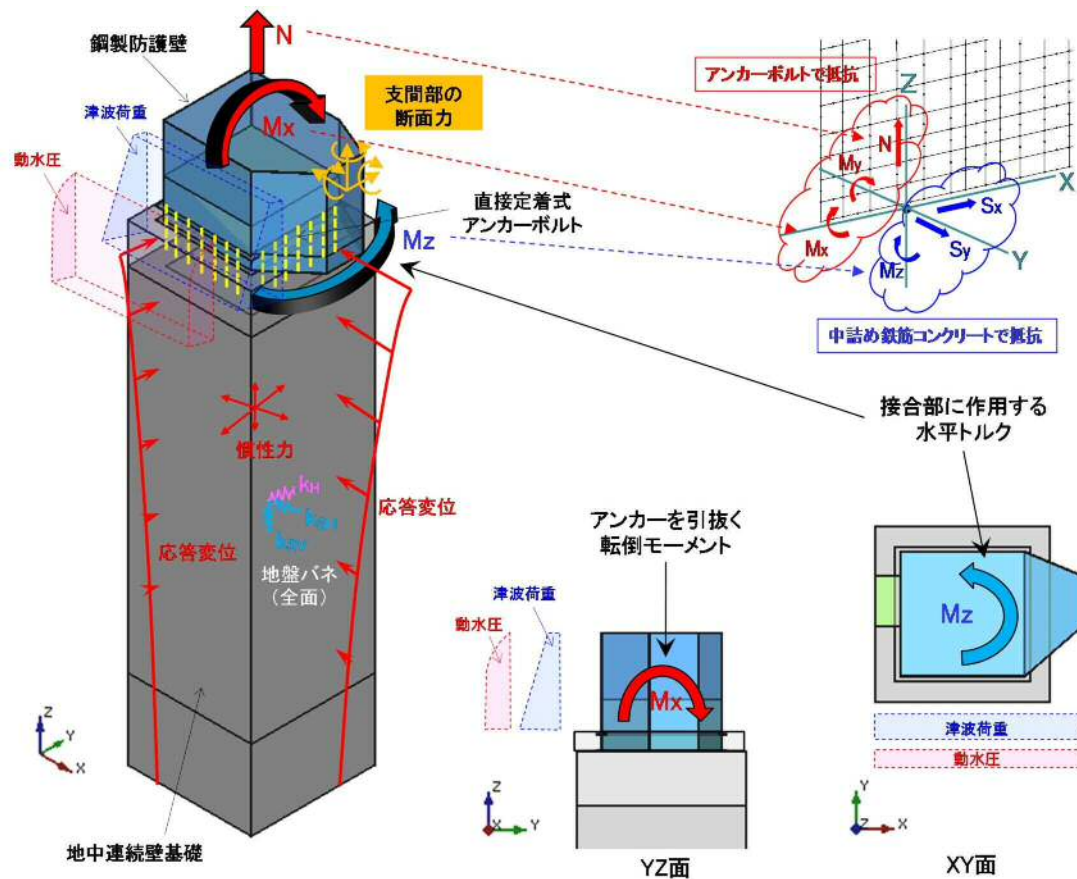
コンクリート部はソリッド要素にてモデル化し，頂版鉄筋コンクリートは配筋を反映した鉄筋コンクリート要素並びに無筋コンクリート要素を適用し材料非線形性を考慮する。その他の鉄筋コンクリートは，構造弾性要素でモデル化する。アンカーボルトはバイリニア型非線形梁要素でモデル化する。

本震による影響を考慮するとともに，接合部の設計に対して適切に地盤バネを設定する。

地盤による拘束度合が高く，接合部の設計に対して安全側と考えられる南側基礎を評価対象とする。

三次元静的フレーム解析で算出された断面力ならびに支柱部に作用する荷重を用いて三次元解析を実施する。

三次元解析モデルの概念図を第 1-51 図に示す。



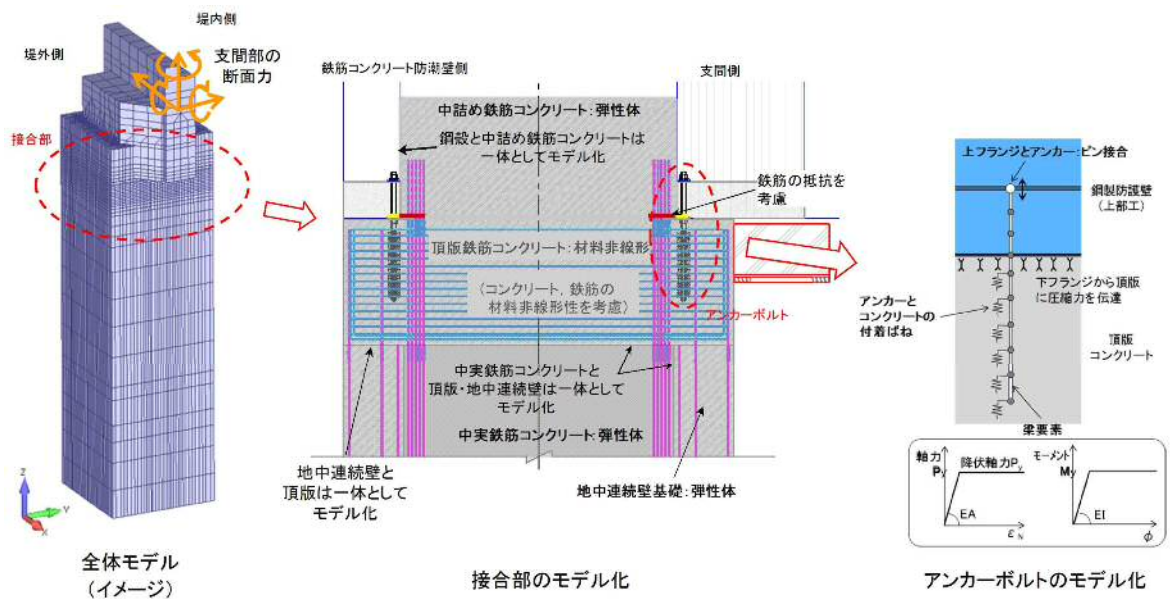
第 1-51 図 三次元解析モデルの概念図

(d) 接合部のモデル化方針

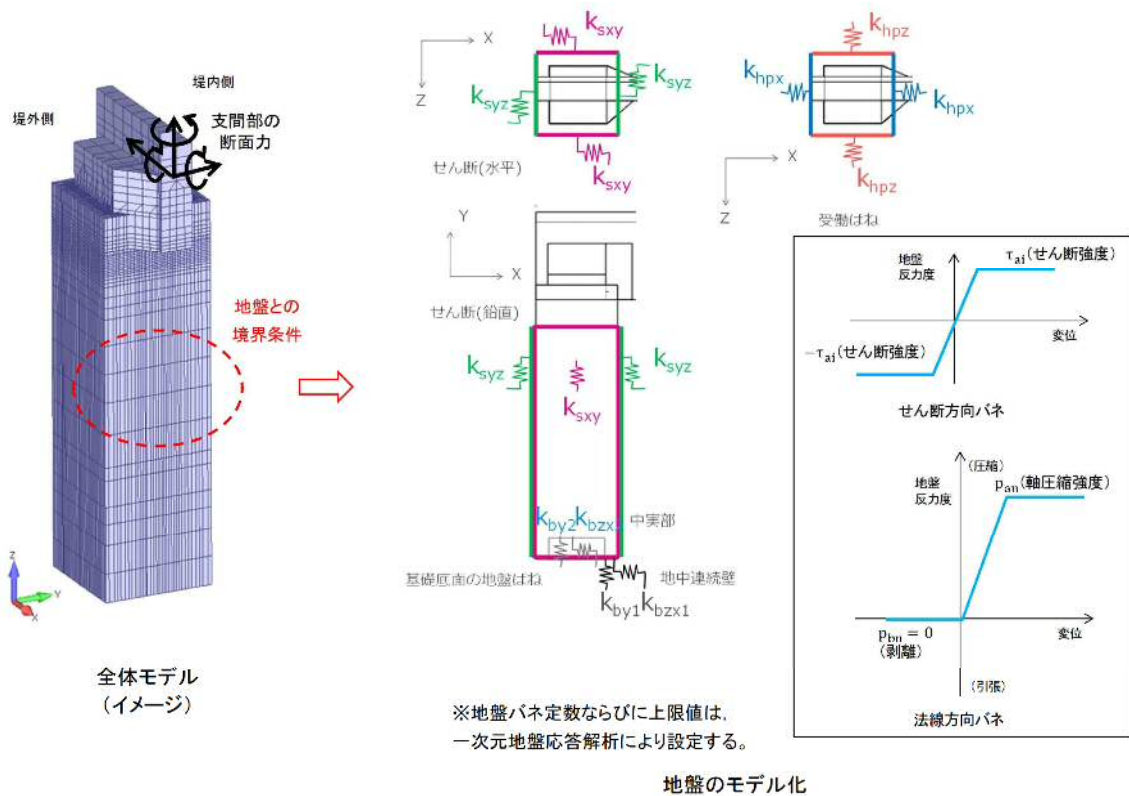
解析手法，使用するプログラム，対象荷重，目的，データの利用について第 1-13 表に示し，接合部の三次元解析モデル化方針を第 1-52 図に示す。

第 1-13 表 三次元解析概要

解析手法	三次元解析
プログラム	COM 3
対象荷重	余震＋津波時
目 的	・ 接合部の設計の妥当性確認 ・ 鉄筋コンクリートの材料特性を反映した三次元挙動評価
データ利用	・ 直接定着式アンカーボルト及び頂版鉄筋コンクリート（接合部）の評価



第 1-52 図(1) 接合部の三次元解析モデル化方針



第 1-52 図(2) 接合部の三次元解析モデル化方針

④ 三次元解析 COM 3 の妥当性確認

鉄筋コンクリートの材料非線形を考慮した精緻な三次元解析 (COM 3) により、設計の妥当性を確認するが、弾性範囲内の設計であり、『COM 3』の弾性範囲内での妥当性は実験等との比較検討で確認している。鉄道施設や電力設備については、鉄筋コンクリート構造物の耐震性能や耐力評価に『COM 3』が適用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があるものと判断できる。

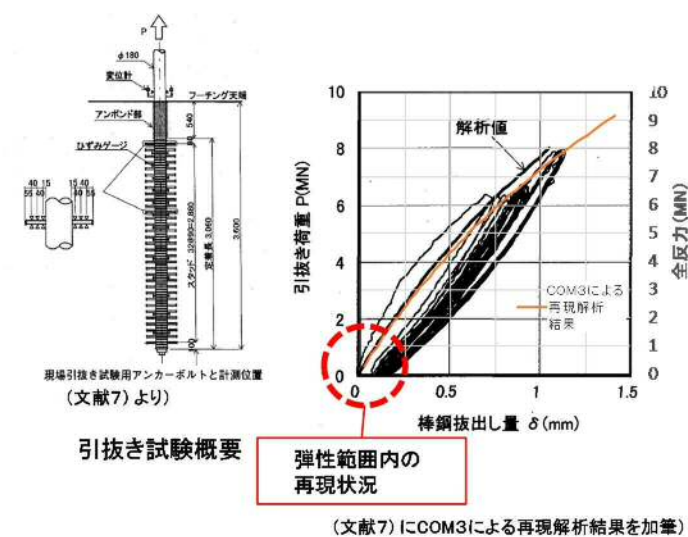
(検証 1) 直接定着式アンカーボルトの引抜き試験の再現シミュレーション

鋼製防護壁で実際に使用する直接定着式アンカーボルトについて、既往の研究⁷⁾の再現解析結果を実施した。

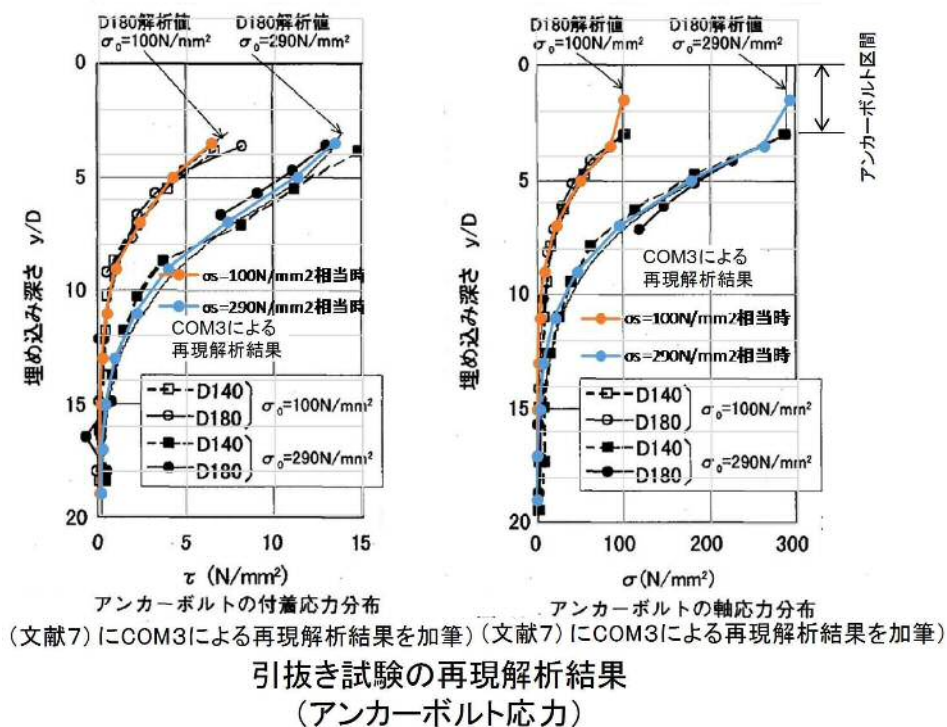
研究で実施されている供試体の引抜き試験を再現した解析の結果は、試験結果とよい一致を示しており、荷重～変位関係における弾性範囲内での再現性が高いことを確認した。

引抜き試験の再現解析結果（変位－荷重）を第 1-53 図に示し、
引抜き試験の再現解析結果（アンカーボルト応力）を第 1-54 図に示す。

7) : 「前野裕文，後藤芳顕，上條崇，小林洋一 「鋼製橋脚に
用いる実大付着型アンカーボルトの力学特性と定着部の挙
動評価モデル」，構造工学論文集 Vol. 46A，2000. 3」
[現場引抜き試験結果を引用]



第 1-53 図 引抜き試験の再現解析結果（変位－荷重）



第 1-54 図 引抜き試験の再現解析結果 (アンカーボルト応力)

(検証 2) 鋼製タワー基礎の載荷実験の再現解析

コンクリート基礎とアンカーボルトの定着に関しては、鋼製タワーの載荷実験⁸⁾との比較により確認されている⁹⁾。

鋼製タワー柱脚部を模擬した供試体に対して、非線形領域までの載荷実験に対する再現解析が実施されており、非線形領域まで概ね良好に再現されている。(検証 1)と同様、弾性範囲内での再現性が高いことを確認した。

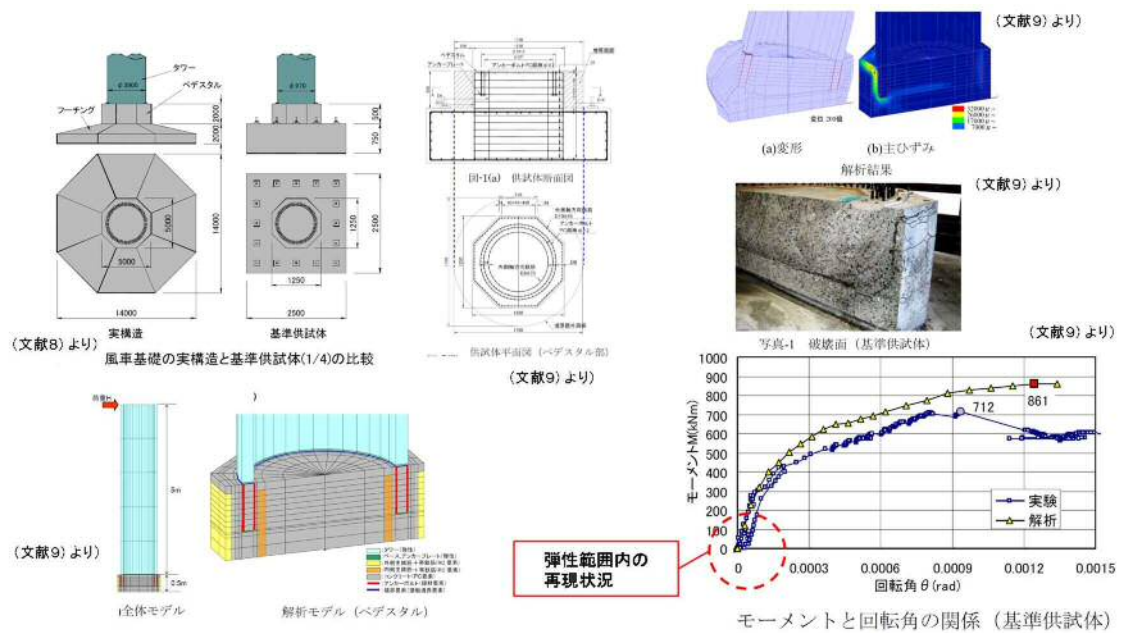
鋼製タワー基礎の載荷実験の再現解析結果を第 1-55 図に示す。

8)： 小松崎勇一，篠崎裕生，齋藤修一，原田光男 「風車基礎ペデスタルの引抜きせん断耐力に関する実験的検討」，土木学会第 63 回年次学術講演会，pp. 1093-1094，2008. 9

[風力発電の風車基礎部の破壊試験結果を引用]

- 9)：齋藤修一，小松崎勇一，原田光男 「風車基礎ペデスタルの引抜きせん断耐力に関する解析的検討」土木学会第 63 回
年次学術講演会，pp. 1095-1096，2008. 9

[小松崎ほか（2008）に係る COM 3 の適用性評価結果を引用]



第 1-55 図 鋼製タワー基礎の載荷実験の再現解析結果

⑤設計手法のまとめ

a. 設計方針

鋼製防護壁は浸水防護施設であることから，本震時，津波時，余震と津波の重畳時の何れに対しても，構造部材の弾性範囲内で設計を行う。

鋼製防護壁本体の自重及び地震や津波による設計荷重を確実に基礎へ伝達させる。

引抜き力に対しては、「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」に準拠して設計上アンカーボルトのみで負担できる設計とする。

水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては、「道路橋示方書（日本道路協会）」、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会）」、「道路土工カルバート工指針（日本道路協会）」に基づき設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担できる設計とする。

設計における適用基準と許容限界を第 1-14 表に示す。

第 1-14 表 設計における適用基準と許容限界

	部 位	照査項目	許容限界 (照査応力度) ※上段は基準津波を考慮する場合 下段はT波・24m津波を考慮する場合	許容限界が弾性範囲 内か保有水平耐力 範囲かの区分	適用基準
引抜き力 (M_y , M_z , N)	アンカーボルト	曲げ軸応力	許容応力度 $\times 1.5$	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ 鋼製橋脚編)
			降伏応力度		
		引抜き力	許容応力度 $\times 1.5$	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ 鋼製橋脚編)
			許容応力度 $\times 2.0$		
		コーンせん断 (鉄筋補強あり)	許容応力度 $\times 1.5$	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ 鋼製橋脚編)
水平力 (S_x , S_y) 水平回転モーメント (M_z)	中詰め鉄筋コンクリート 及び 頂版鉄筋コンクリート	鉄筋応力	許容応力度 $\times 1.5$	弾性範囲内	道路橋示方書・同解説(Ⅰ 共通編) (SD490)
			降伏応力度		
		コンクリート応力 (圧縮応力)	許容応力度 $\times 1.5$	弾性範囲内	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕 道路土工カルバート工指針
			許容応力度 $\times 2.0$		
		コンクリート応力 (水平力によるせん断応力)	許容応力度 $\times 1.5$	弾性範囲内	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕 道路土工カルバート工指針
			許容応力度 $\times 2.0$		
		コンクリート応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	許容応力度 $\times 1.5$	弾性範囲内	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕 道路土工カルバート工指針
			許容応力度 $\times 2.0$		

b. 直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性及び設計手法の妥当性確認

三次元解析（COM3）による確認において直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性確認は下記のとおりである。

- ・設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。
- ・三次元の詳細な解析により、アンカーボルト1本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認し、設計荷重に対して構造健全性を確保していることを確認する。

設計手法の妥当性確認は下記のとおりである。

- ・アンカーボルトと中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートは、準拠する技術基準を部材ごとに併用して、それぞれが負担すべき設計荷重を弾性範囲内で受けもつ部材設計を行うが、これらの部材が一体となった三次元構造においても、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受けもつことができていることを確認する。
- ・鋼製防護壁の接合部の中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートには設計基準強度 50N/mm^2 のコンクリートを用いるが、保守的な配慮として、アンカーボルトの定着にかかわるコンクリートの発生応力度が設計基準強度 27N/mm^2 に対応する照査応力度以内であることを確認する。
- ・設計を超える荷重に対しては、十分な靱性を有する構造であることを確認し、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。

参考文献

番号	参考文献
1)	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会)
2)	道路橋示方書 (Ⅱ鋼橋編・Ⅲコンクリート橋編)・同解説 ((社) 日本道路協会)
3)	鋼構造物設計基準 (Ⅱ鋼製橋脚編) (名古屋高速道路公社)
4)	道路土工カルバート指針 ((社) 日本道路協会)
5)	鋼・合成構造標準示方書 ((社) 土木学会)
6)	複合構造標準示方書 ((社) 土木学会)
7)	前野裕文, 後藤芳顕, 上條崇, 小林洋一 「鋼製橋脚に用いる実大付着型アンカーボルトの力学特性と定着部の挙動評価モデル」, 構造工学論文集 Vol. 46A, 2000. 3
8)	小松崎勇一, 篠崎裕生, 齋藤修一, 原田光男 「風車基礎ペDESTALの引抜きせん断耐力に関する実験的検討」, 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp. 1093-1094, 2008. 9
9)	齋藤修一, 小松崎勇一, 原田光男 「風車基礎ペDESTALの引抜きせん断耐力に関する解析的検討」 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp. 1095-1096, 2008. 9

番号	掲載理由	内容
1)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートへの水平力によるせん断力に係る設計式の引用
2)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートへの水平回転モーメントによるせん断力に係る設計式の引用
3)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	アンカーボルトへの引抜き力に係る設計式の引用
4)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	コンクリート設計基準強度 50N/mm^2 の許容限界について参照
5)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	鋼製防護壁と中詰め鉄筋コンクリートの一体化に関する引用
6)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	鋼製防護壁と中詰め鉄筋コンクリートの一体化に関する引用
7)	三次元解析 (COM 3) の妥当性確認に用いた参考文献	現場引抜き試験結果を引用
8)	三次元解析 (COM 3) の妥当性確認に用いた参考文献	風力発電の風車基礎部の破壊試験結果を引用
9)	三次元解析 (COM 3) の妥当性確認に用いた参考文献	文献 8) に係る COM 3 の適用性評価結果を引用

8) 止水ジョイント部の設計方針

① 概要

鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮堤の境界には、止水ジョイントを設置する。

止水ジョイントは、地震時やその後の津波や余震によって生じる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する。

なお、堤外側の止水ジョイント部には、漂流物の衝突対策として、止水ゴム等の鋼製防護部材を設置する。

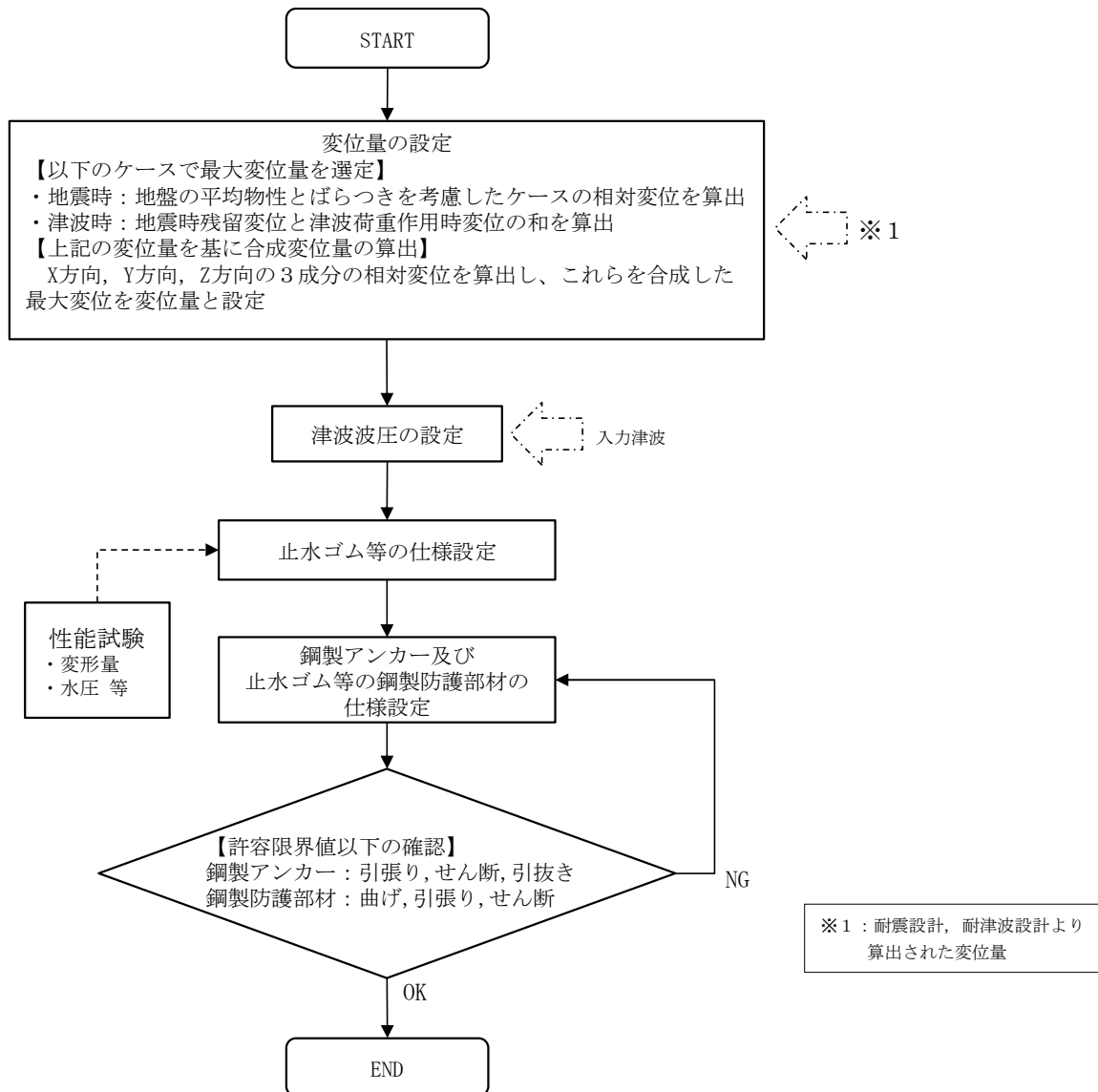
② 評価方針

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_e を用いた二次元有効応力解析及び津波荷重を用いた三次元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 1-56 図に示す。

止水ゴム等の仕様は、津波波圧に耐え、構造物間の相対変位に追従して止水機能を維持できる材料を設定し、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構造成立性について」を参照）によってこれらを確認する。

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許容限界値以下であることを確認するとともに、漂流物衝突対策として鋼製防護部材を設置し、この部材に発生する応力が許容限界値以下であることを確認する。



第 1-56 図 止水ジョイント部の設計フロー

9) 止水ジョイント部（底面止水機構）

止水機構は、上部工の鋼製防護壁の底面と既設取水路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1次止水機構と2次止水機構に大別される。

1次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であり、水密ゴムはダム、水門等において実績のあるものを採用している。2次止水機構はシートジョイントにより浸水を防ぐ構造としており、東海第二発電所の防潮堤に採用予定であるとともに、他プラントにおいても採用実績があるものである。

止水機構の選定に当たっては、鋼製防護壁と取水路の相対変位による変形量等を考慮するとともに、共通要因故障による同時機能喪失を考慮して多様性を図る設計としている。

【1 次止水機構】

(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 S_s
- ・ 止水機構の許容可動範囲：海側700mm，陸側500mm，上下±60mm
- ・ 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（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）

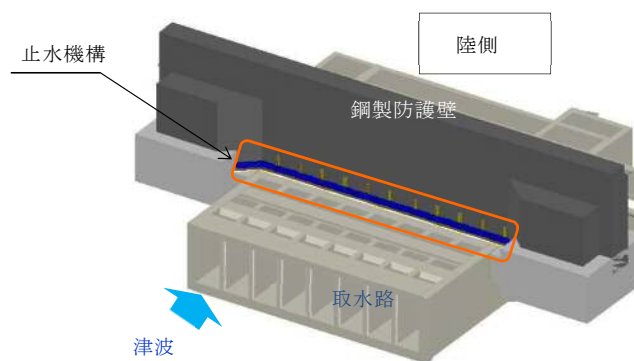
(b) 構造

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対する追従性を確保することから、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。水密ゴムは、摩擦抵抗を低減し追従性を向上させるため、表面ライニング（樹脂）を施工する方針とする。

また、止水板には漂流物による影響も考慮し、止水板押え及び保護プレートを設置する設計とする。

なお、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シートジョイントからなる2次止水機構を設置する構造とする（【2 次止水機構】参照）。

第1-57図に止水機構の設置位置、第1-58図に止水機構の構造図、第1-15表に止水機構に係る各部位の役割・機能を示す。



第 1-57 図 止水機構の設置位置

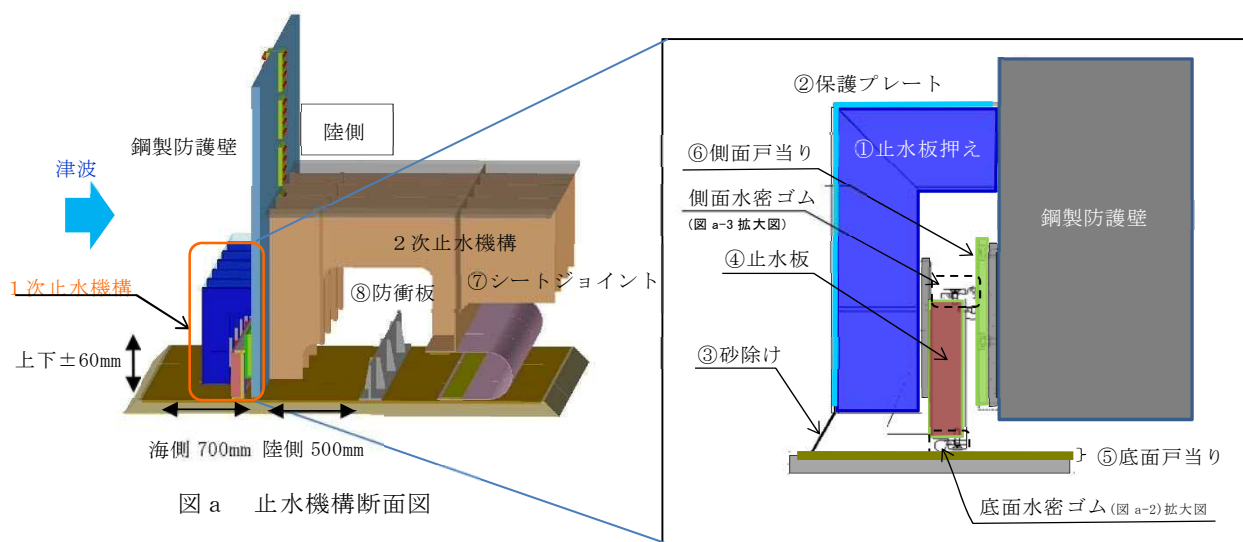


図 a 止水機構断面図

図 a-1 1次止水機構拡大図

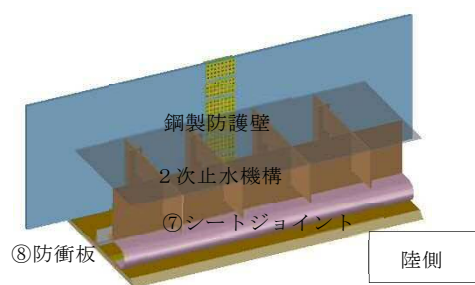


図 b 2次止水機構の構造

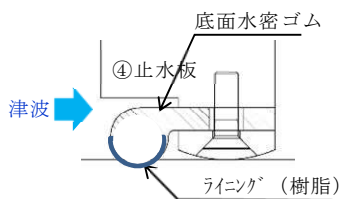


図 a-2 底面水密ゴム拡大図

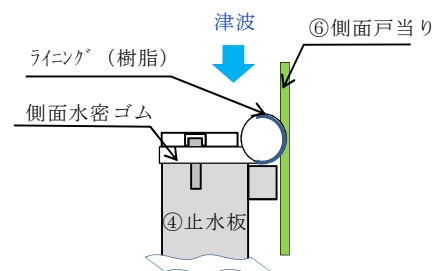


図 a-3 側面水密ゴム拡大図

第1-58図 止水機構の構造図

第1-15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。 ・ 1枚あたりの主要仕様 寸法：横2000mm×幅150mm×高さ400mm 重量：約930kg	ステンレス (表面仕上げNo. 1)※ ＋ 水密ゴム (P形ゴム)
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。(真直度、平面度の管理) ・ 床部より130mm嵩上げし異物混入を防止する。	ステンレス (表面仕上げNo. 1)※
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。(真直度、平面度の管理)	ステンレス (表面仕上げNo. 1)※
⑦ シートジョイント	・ 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。	シートジョイント
⑧ 防衝板	・ 1次止水機構の損傷又は保守に伴う取り外し時の漂流物が2次止水機構に到達することを防止する	鋼製

1次止水機構

津波

鋼製防護壁

2次止水機構

①止水板押え

②保護プレート

③砂除け

⑤底面戸当り

⑧防衝板

⑦シートジョイント

a 部詳細

鋼製防護壁

陸側

④止水板

⑤底面戸当り

⑥側面戸当り

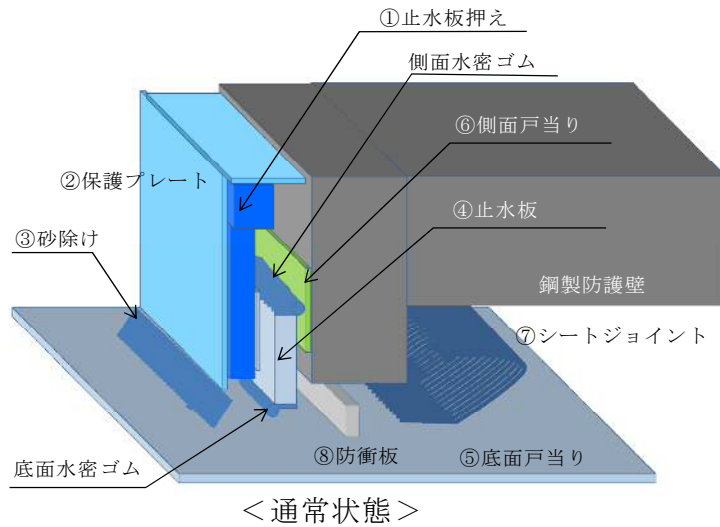
a 部詳細

止水機構の各名称

※：JIS G 4304 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯 表面仕上げ より

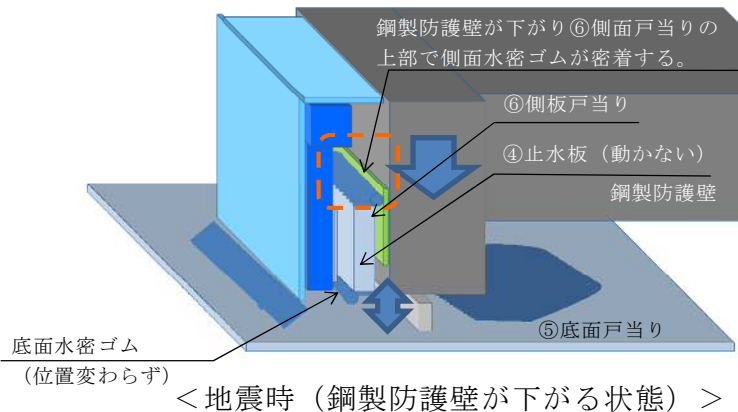
(c) 1次止水機構の動作について

1次止水機構の鉛直方向の動作を第1-59図に示す。



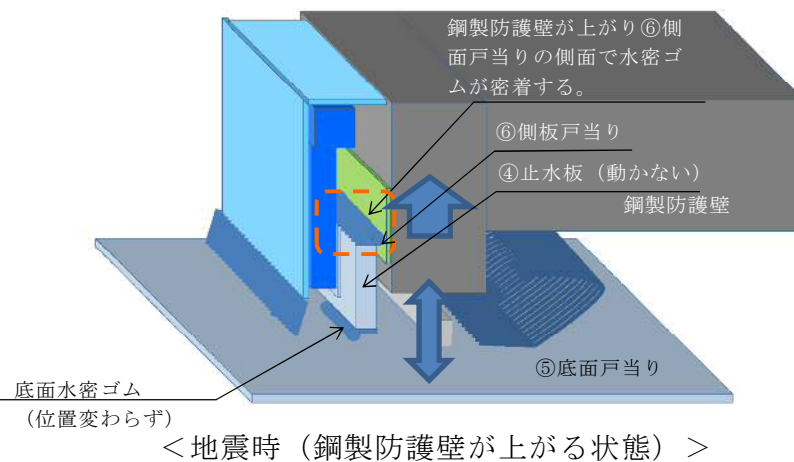
＜通常状態＞

- ・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を得ている。



＜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）＞

- ・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。

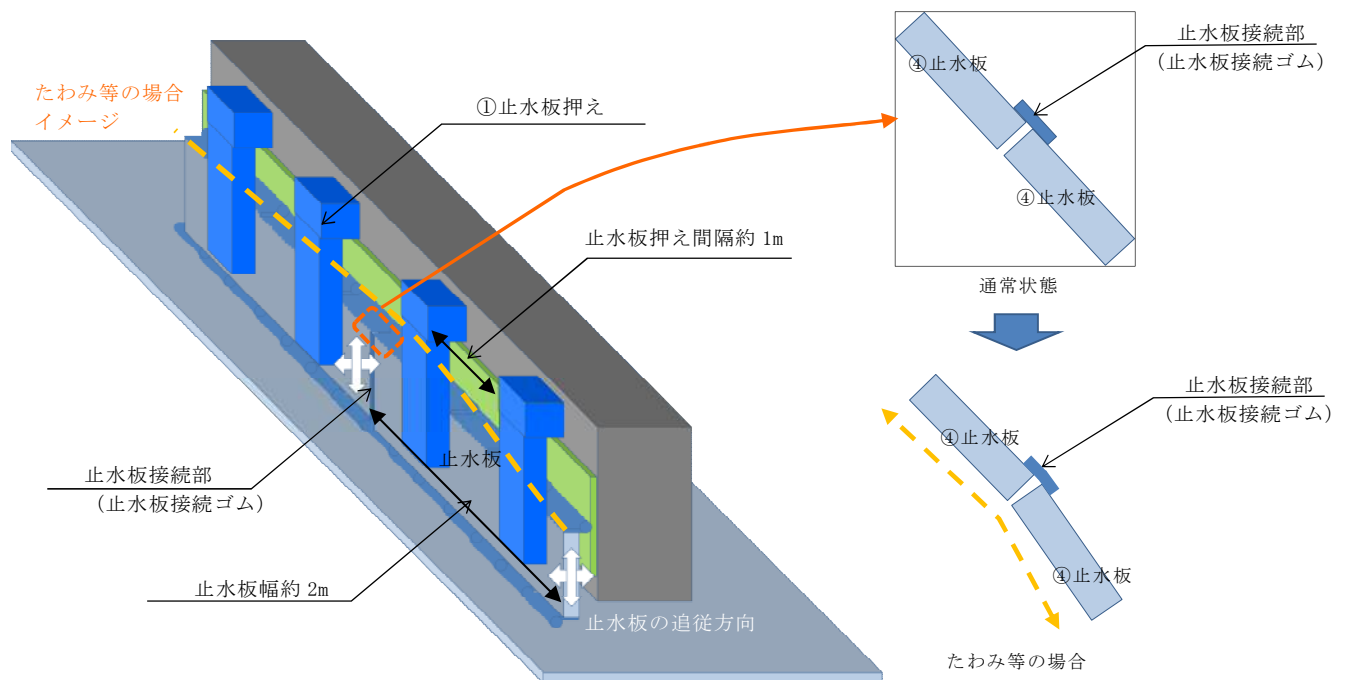
第 1-59 図 1次止水機構の鉛直方向の動作

(d) 止水板の追従性について

止水板は、鋼製防護壁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。

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。なお、接続ゴムと底面・側面水密ゴムとの接続方法は、加硫等により接続し水密性を確保する構造である。

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1-60図に鋼製防護壁の止水板の追従イメージを示す。

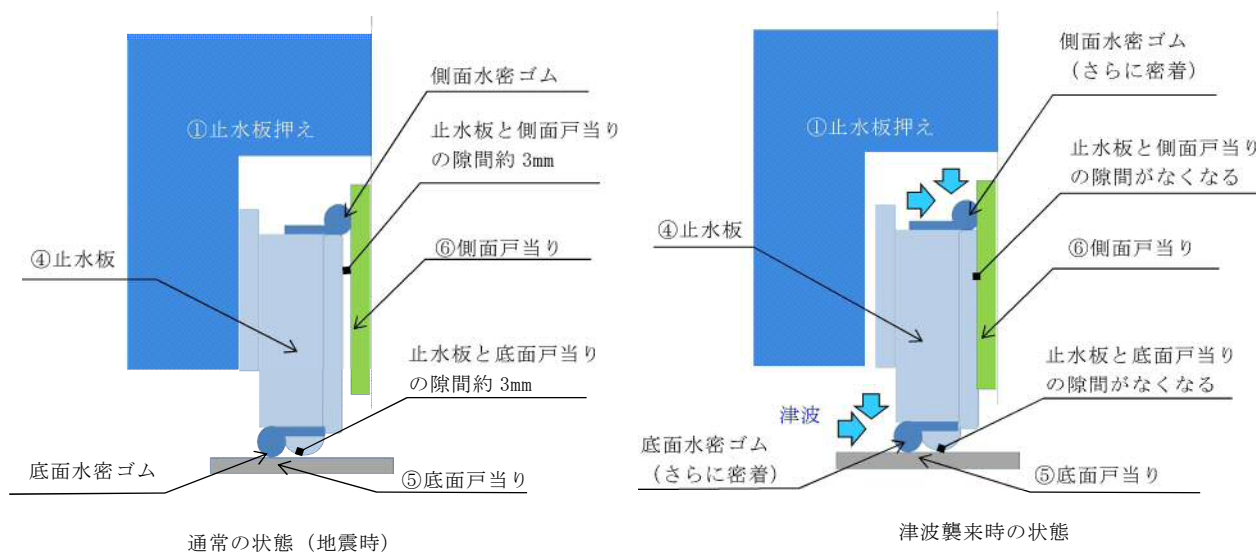


第 1-60 図 鋼製防護壁の止水板の追従イメージ

(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3mm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、止水板は水圧により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。

津波の襲来時の場合は、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3mmの隙間がなくなり、止水板は側面戸当り側に押し付けられ、水密ゴムの密着性がさらに高まる構造である。第1-61図に止水板の支持方法を示す。



第1-61図 止水板の支持方法

(f) 止水板の挙動解析について

止水板の構造は、一般的に実績のあるものを採用しており、設計上の追従性を確認している。しかしながら、止水機構の止水板のように地震時の挙動を考慮した同等の採用実績がないことから、止水機構の止水板の挙動について二次元動的解析を実施し、データを拡充させ信頼性を更に高める。第1-62図に解析モデル図を示す。本件の解析結果は、詳細設計段階で説明する。

<評価条件>

- ・ 解析コード：MARC（大規模解析対応非線形解析）
- ・ 地震動：基準地震動 S_s
- ・ 解析ケース：3ケース 地震時，津波時，津波時＋余震
- ・ 水密ゴム摩擦係数：

常時 ： 0.2（ダム・堰施設技術基準（案））（国土交通省）

劣化時の挙動把握 ： 0.2～1.2

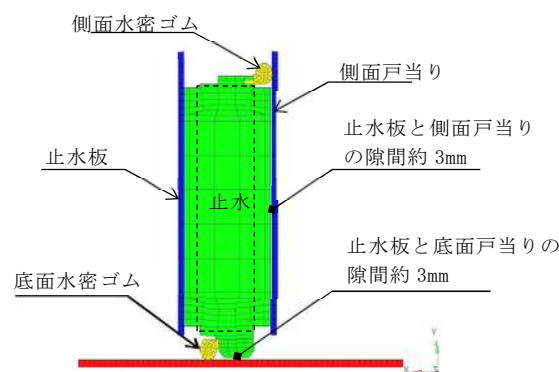
- ・ 金属間摩擦係数

止水板（接触面アルミニウム）と戸当り（ステンレス）：0.4

- ・ 評価対象部位：底面水密ゴム，側面水密ゴム，止水板，止水板押え，側面戸当り

- ・ 許容応力：引張り強度，変形量（伸び）〔水密ゴム〕

弾性設計範囲内〔止水板，その他の部材〕



第1-62図 解析モデル図

5条 添付2 1-96

＜二次元動的解析における摩擦係数の設定の考え方について＞

以下に二次元動的解析に用いる摩擦係数の考え方について示す。

a. 摩擦係数の整理

①水密ゴムの物性値

- ・ 静摩擦係数は最大0.2（乾式），動摩擦係数は最大0.22（乾式）

②摩耗試験の結果

（n）項の結果より水密ゴムに約20年間の移動量を与えても，水密ゴムのライニングの摩耗量は初期厚さ0.5mmに対して0.36mmであり，ライニングは0.14mm残存している結果であった。このため，供用後においても摩擦係数は物性値上の0.2を維持できると判断できる。

③ダム・堰施設技術基準（案）

水密ゴム（ライニングあり）とステンレスの摩擦係数は，0.2（乾式），0.1（湿式）と記載がある。なお，水密ゴム（ライニングなし）の場合は，1.2（乾式），0.7（湿式）である。

④金属間の摩擦係数

止水板（接触面：アルミニウム）と底面戸当り（ステンレス）は金属間の摩擦であるため摩擦係数は0.4としている。

止水板の摩擦係数は，金属間の摩擦係数が0.4，水密ゴムが0.2（未使用品）であることから，重量物（約930kg）である止水板の摩擦係数が地震時の挙動において支配的になる。

b. 二次元動的解析における摩擦係数の設定

①通常状態

二次元動的解析時における摩擦係数は、約20年相当の移動量に対してもライニングが維持できること、また、ライニングの維持管理を十分に実施することから0.2を採用する。

②劣化時の挙動の把握

水密ゴムのライニングについては、通常の維持管理及び摩耗試験の結果から急激に損傷等がないことを確認しているが、不測の事態を考慮しライニングの一部が喪失した状態を想定した解析を行う。

そのため、解析に用いる摩擦係数は、通常の0.2から1.2（ライニングなし）までの間とし、水密ゴムが損傷する摩擦係数のしきい値の把握と劣化状態のしきい値を超えた場合の挙動の把握を行い止水機構の挙動を把握する。

c. 水密ゴムの維持管理方針

止水機構の水密ゴムの維持管理として、外観点検（摩耗の有無等）及び定期的な硬度測定を実施し、水密ゴムの摩耗や劣化の兆候について傾向を管理する。

(g) 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，鋼製防護壁の止水機構に適応している。水密ゴムは第1-16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1-16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/mm ² 以上
硬 (シ ョ ア) さ	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 (シ ョ ア) さ	50°～70°	50°～60°	50°～70°	50°～60°

止水板に取り付ける水密ゴムについては，「(b) 構造」に示すとおり，ライニング（超高分子量ポリエチレン）を施すことにより摩擦係数の低減を図っている。第1-17表に水密ゴムの物性値，第1-18表に超高分子量ポリエチレンの物性値を示す。

第1-17表 水密ゴム（クロロプレン系合成ゴム）の物性値

	試験項目	物性値	規格値	試験条件 試験方法	備考
通常	硬さ（DURO-A型）	55	55±5	JIS K6253	
	引張り強さ（MPa）	16.3	14.7以上	JIS K6251	
	伸び（%）	500	300以上		
劣化加速	硬さ（DURO-A型）	+1	+10以内	JIS K6257	70℃×70hr
	引張り強さ変化率（%）	+2	-15以内		
	伸び変化率（%）	-4	-25以内	JIS K6258	70℃×70hr

第1-18表 超高分子量ポリエチレンの物性値

項目	物性値
引張り強さ（MPa）	44
伸び（%）	450
高度（Rスケール）	40
摩擦係数 （相手：ステンレス）	・静摩擦係数：0.10～0.20※（乾式） ・動摩擦係数：0.07～0.22※（乾式） 0.05～0.10（湿式）

※：動摩擦係数＞静摩擦係数の状況について

一般的に摩擦係数は、動摩擦係数＜静摩擦係数の関係であるが、高分子材料のように、静摩擦係数と動摩擦係数の値に大きな差が生じやすい場合に「スティック・スリップ（付着すべり）」と言われる現象が生じやすいことから、動摩擦係数が静摩擦係数より僅かに上回ったものと推定される。

(h) 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。試験装置は、基本設計段階の仕様（構造、寸法及び重量）の止水板を使用し、底面水密ゴムも実機と同仕様のを止水板の底部に取り付けて製作を実施した。試験装置への止水板の据付は、実機の据付状態を模擬するために、止水板の自重により設置する構造とした。また、水密ゴムは、未使用のものに加え、劣化状況を想定して、摩耗や砂の噛み込みによる状態での試験を実施した。なお、底面水密ゴムの止水性能の確認が目的であるため、試験装置側面からの漏水の影響を受けないために、漏えい検出範囲を中央部の1mの範囲とした。

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）」より求めた。

第1-19表に試験条件の一覧、第1-20表に試験装置の主要仕様、第1-63図に試験装置概要を示す。

第1-19表 試験条件一覧表

項目	条件	備考
水密ゴム	試験体 1	未使用品（新品：水密ゴム単体の水密性能の確認）
	試験体 2	未使用品（新品：水密ゴム単体の水密性能の確認）
	試験体 3	劣化状態を仮定（劣化モードとして、 S_s 相当の加振による摩耗及び底面戸当りと水密間に砂をかみこませた状態での水密性能の確認）
試験圧力	0.20MPa以上	保守的に、防潮堤天端高さ（T. P. +20m）から設置地盤標高（T. P. +3m）を差し引かない値（試験体 1 及び試験体 2 に対して実施）
	0.17MPa以上	防潮堤天端高さ（T. P. +20m）から設置地盤標高（T. P. +3m）を差し引いた値（試験体 3 に対して実施）
	0.66MPa以上	第43条の敷地に遡上する津波高さ（T. P. +24m）時の設計条件（約0.3MPa）の2倍の値（試験体 3 に対して実施）
試験時間	10分保持	「ダム・堰施設技術基準（案）」より
許容漏えい量*	2.0ℓ／10分	試験圧力0.20MPaに対する許容漏えい量
	1.7ℓ／10分	試験圧力0.17MPaに対する許容漏えい量
	6.7ℓ／10分	試験圧力0.66MPaに対する許容漏えい量

* 「ダム・堰施設技術基準（案）」で規定する保持時間及び許容漏えい量算定式に基づく1m当りの許容漏水量

・許容漏水量： $W=10.2L \times P$

W：漏水量（ml/min）

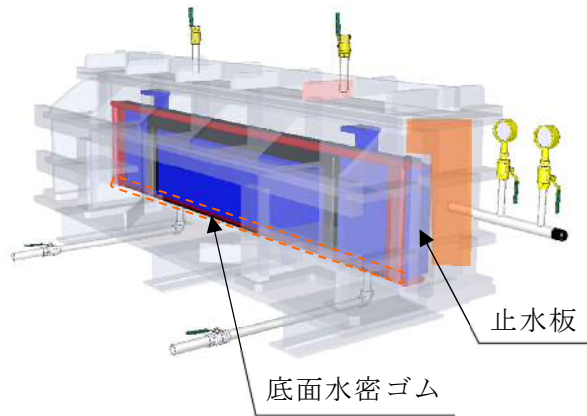
P：設計圧力

L：長辺の長さ（cm）

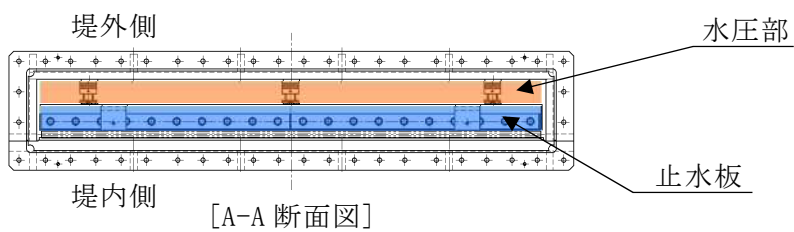
（試験装置の漏えい検出範囲長さ100cm）

第 1-20 表 試験装置主要仕様

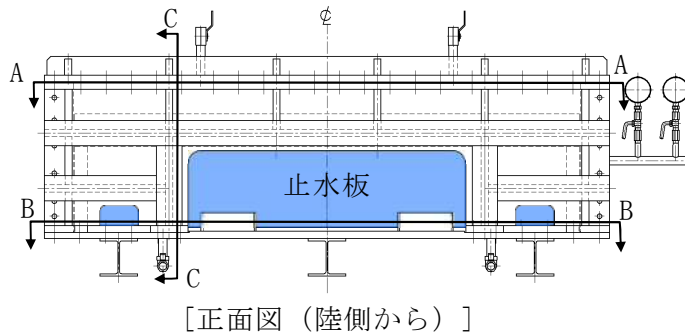
項目		仕様
試験装置	寸法	長さ約 2.3m×高さ約 0.7m×幅約 0.5m
	材質	鋼製
	設計圧力	0.7MPa
止水板	寸法	長さ約 2m×幅 0.1m×高さ 0.4m（基本設計）
	材質	ステンレス鋼
	重量	約 620kg（基本設計）



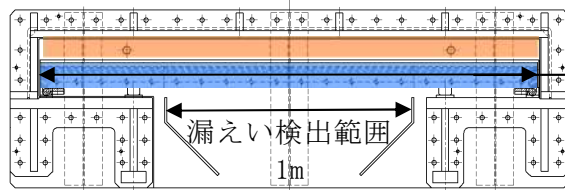
[試験装置の全体図]



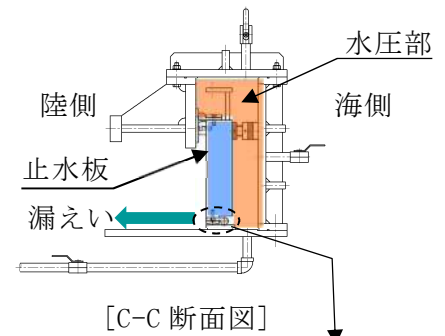
[A-A 断面図]



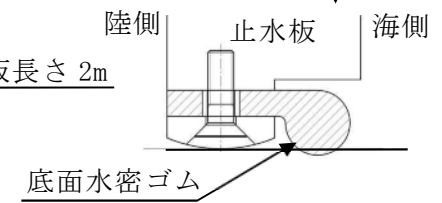
[正面図（陸側から）]



[B-B 断面図]



[C-C 断面図]



[底面水密ゴム取付部拡大図]



[試験装置全景]

[止水板概要]

第 1-63 図 試験装置概要図
5 条 添付 2 1 - 103

<試験結果>

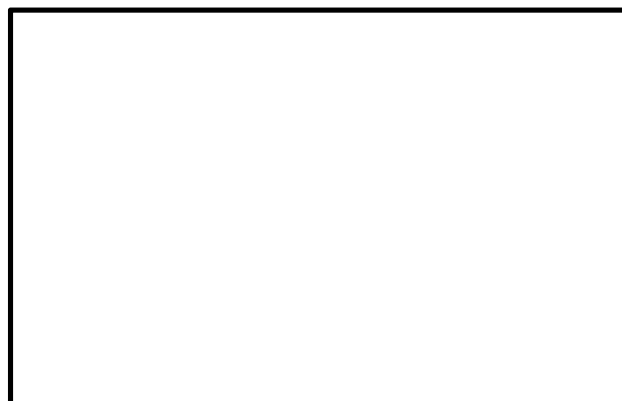
止水板の底面に設置した水密ゴムからの漏えい量を測定した。第1-21表に示した漏水試験結果のとおり、いずれの試験結果においても、ダム・堰施設技術基準（案）で規定する許容漏えい量算定式から求まる許容漏えい量を下回っており、水密ゴムの止水性能に影響のないことを確認した。

また、劣化状態を仮定した漏水試験の結果について、許容漏えい量の関係を高圧時と低圧時を比べて整理した。

高圧時の漏えい量は、低圧の時の漏えい量と同様に、少ない領域（1ℓ/10分以下）であることから、低圧、高圧に係らず水密ゴムの性能が維持できていることが確認された。

低圧時の漏えい量は、未使用品（新品）の場合には、許容漏えい量に対し、十分に低い値であったが、劣化状態を仮定した漏えい量には、わずかに漏えい量に幅があるが、許容漏えい量（未使用品の場合）に対しては、十分に少ない値であり、水密ゴムの性能に影響のない範囲であった。

第1-64図に試験時の状況、第1-65図に試験圧力と漏えい量(高圧)、第1-66図に試験圧力と漏えい量（低圧）を示す。



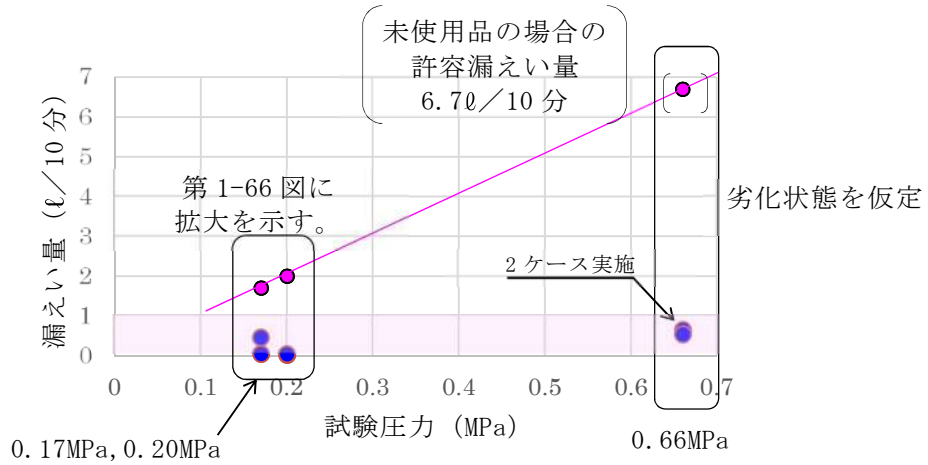
第1-64図 試験時の状況（10分保持後）

第1-21表 漏水試験結果

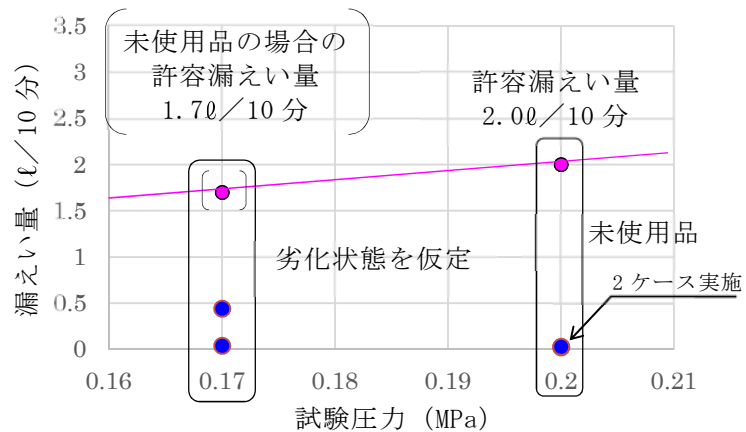
	区分	試験圧力 (MPa)	時間 (分)	漏えい量 ^{※1} (ℓ/10分)	許容 漏えい量 (ℓ/10分)	判定
試験体 1	未使用品	0.20	10	0.020	2.0	○
試験体 2		0.20	10	0.029	2.0	○
試験体 3	劣化状態 を仮定	0.17	10	0.039	1.7 ^{※2}	○
		0.66	10	0.625	6.7 ^{※2}	○
		0.17	10	0.440	1.7 ^{※2}	○
		0.66	10	0.525	6.7 ^{※2}	○

※1：漏えい量は1 mあたり10分間漏えい量。

※2：未使用品（新品）の場合の許容漏えい量



第 1-65 図 試験圧力と漏えい量（高圧）



第 1-66 図 試験圧力と漏えい量（低圧）

【参考：想定外の損傷ケース】

◆ケース①：止水板の水密ゴム全体(100m)が破損した場合

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、③砂除けの損傷を考慮し、砂、礫、小型植生等が到達し、底面水密ゴムが損傷した場合を想定した評価を行う。止水板1枚あたり(2m幅)の漏水量及び止水板全体(底面・側面水密ゴム(各50m)合計100m)の水密ゴムが損傷した場合の漏水量及び浸水量評価を行う。第1-67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>

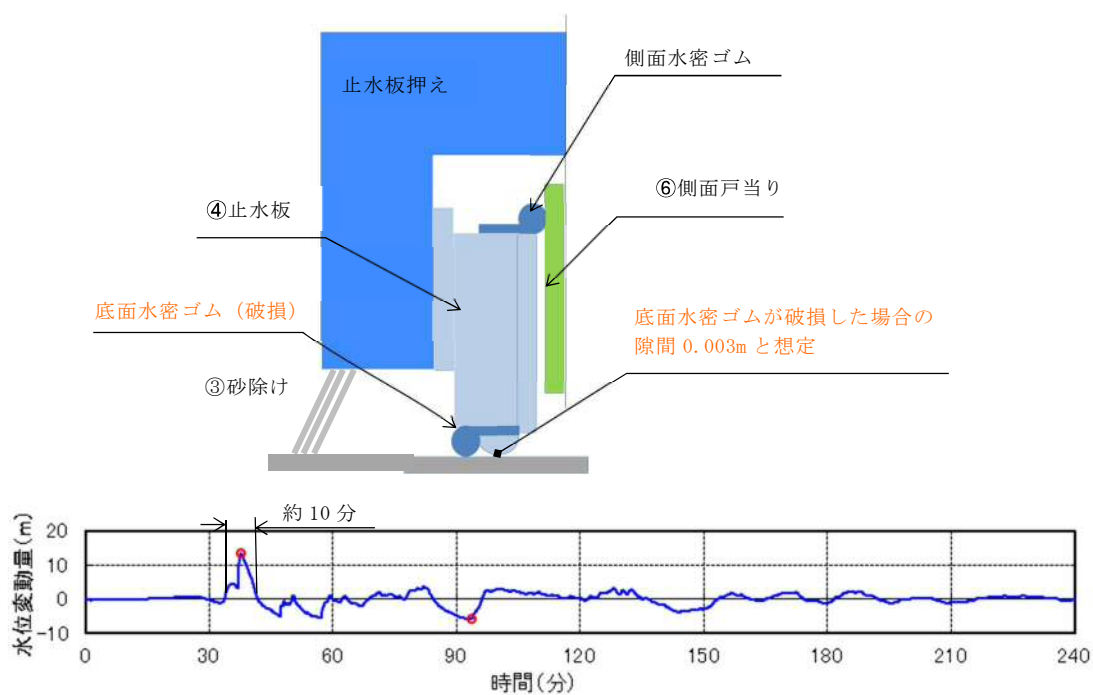
$$Q = C A \sqrt{2 g h}$$

C：流入係数 (1.0) g：重力加速度 (9.8m/s²)

A：通過面積m² (0.003×2=0.006m²)

h：水頭 m (防潮堤天端高さ20m-3m設置レベル=17m)

$$Q = 1.0 \times 0.006 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 17} = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$



第 1-67 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)

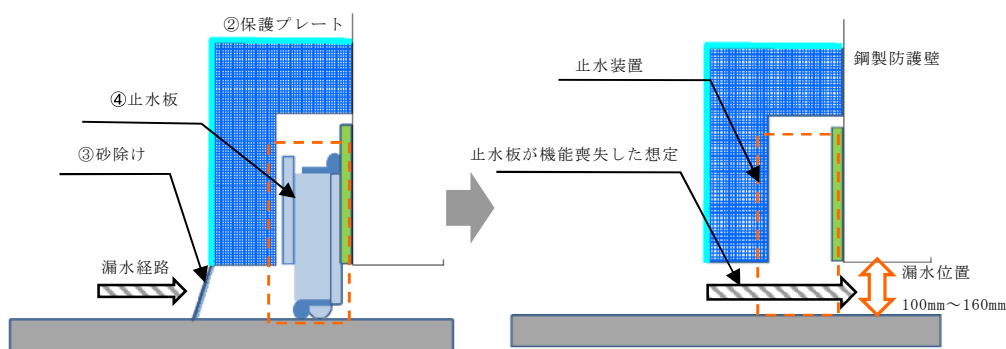
計算の結果、1秒あたり約 0.11m^3 の漏水量であった。基準津波による時刻歴波形から T.P. +3m を超える時間は約 10 分であるため、漏水量は約 $66\text{m}^3/10$ 分程度になり T.P. +3m 盤の敷地に浸水した場合は約 3cm の浸水深となった。また、止水板全体（100m）に換算すると漏水量は $3300\text{m}^3/10$ 分となり T.P. +3m 盤の敷地の浸水深は、約 1.2m になった。

以上より、隣接する非常用海水ポンプの安全機能影響を与える浸水量ではなかった。

◆ ケース②：止水板 1 枚(2m)の機能が喪失した場合

止水板 1 枚（2m）の機能が喪失した場合を想定し漏水量を評価した。

開口部は止水板がない場合の鋼製防護壁と底面の隙間部(最大 160mm)から想定した。第 1-68 図に止水板が機能喪失した場合の漏水位置を示す。



第 1-68 図 止水板が機能喪失した場合の漏水位置

<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/s²)

A : 通過面積m² (0.17×2=0.34m²)

h : 水頭 m (防潮堤天端高さT.P. +20m-T.P. +3m設置レベル=17m)

$$\begin{aligned} Q &= 1.0 \times 0.34 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 17} \\ &= 6.17 \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

計算の結果、1秒あたり約6.17m³の漏水量であった。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、漏水量は約3726m³/10分程度になりT.P. +3m盤の敷地に浸水した場合は約1.6mの浸水深になった。

以上より、隣接する非常用海水ポンプの安全機能影響を与える浸水量ではなかった。

(i) 水密ゴムの維持管理について

止水機構の水密ゴムは、取替ができるよう構造設計を行う。このため、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し、補修や取替等が必要な場合には取替等を実施する。

(j) 採用実績の例

止水機構の構造は、水門鉄管技術基準（水門鉄管協会）の角落し、ゲート構造として整理できる。

止水機構と同様に扉体同士が水密ゴムにて繋がり止水している構造としては起伏ゲートや多段式ゲート、可動防潮堤で採用されている。起伏ゲートは、全長約30mのところに2箇所継手で接続されており、継手は水密ゴムで接続されている。また、多段式ゲートの扉体の場合も長さ約10mの扉体が4ブロックに分かれ各々が水密ゴムで接続されている。扉体の規模や条件により接続部に違いはあるが、一般的に水密ゴムにて接続する構造は採用されている。

また、可動防潮堤については、継手部は水密ゴムの接続であり、更に電動駆動等の駆動源を必要としない構造である。止水板は、津波の浮力により立ち上り津波からシールする構造であることから、駆動源を持たない止水装置としての採用実績がある。

止水板の構造については、規模や設計条件により違いはあるが、多くの採用実績があり十分な実績があるといえる。第1-69図にゲート等の採用実績の例を示す。

	起伏ゲート	多段式ゲート	可動防潮堤
一般産業	1 6	1 4	1 6
電力	3	2	2
合計	1 9	1 6	1 8

ゲート等の採用実績

(A社製 2017 年 8 月)



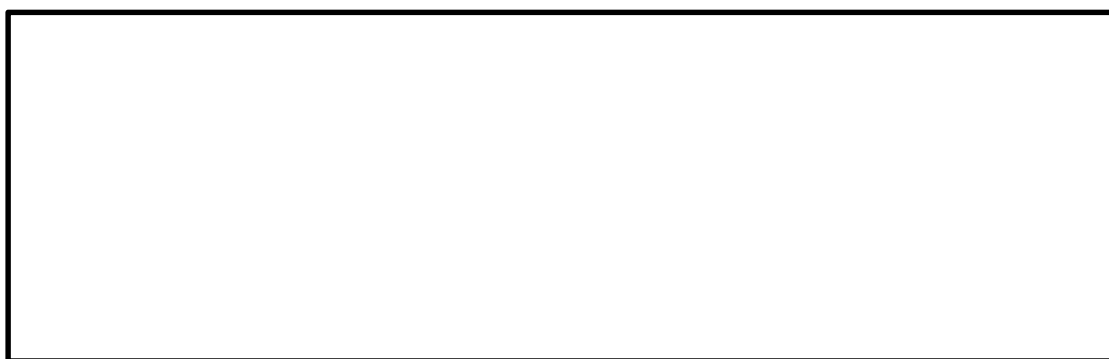
起伏ゲートの例



多段式ゲートの例

第 1-69 図 採用実績の例 (1/2)

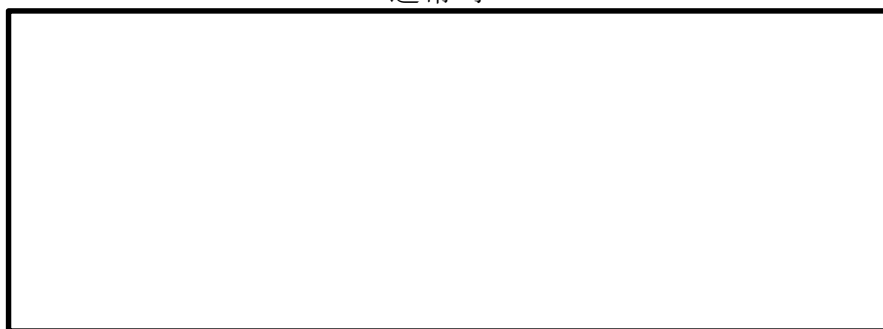
5 条 添付 2 1 -110



- 【可動防潮堤①】
- ・ 寸法：幅 4.9m×高さ 1m
 - ・ 材質：ステンレス鋼

- 【可動防潮堤②】
- ・ 寸法：幅 15.0m×高さ 3.0m
 - ・ 材質：ステンレス鋼

通常時



津波襲来時



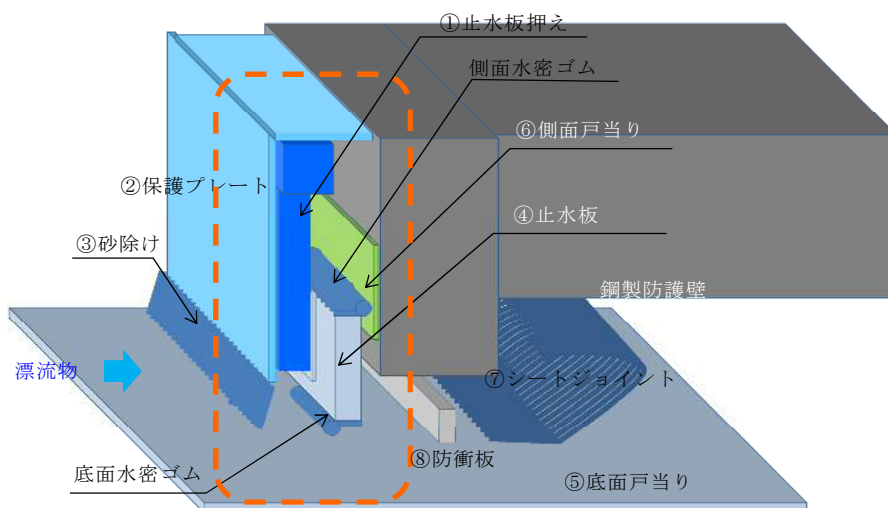
- 【可動防潮堤③（陸上設置型長径間防潮堤）】
- ・ 寸法：港湾などの長い距離に対応
 - ・ 材質：ステンレス鋼

可動防潮堤とは，無動力かつ人為操作なしに開口部閉塞を可能とすることが特長の津波・高潮防災設備。

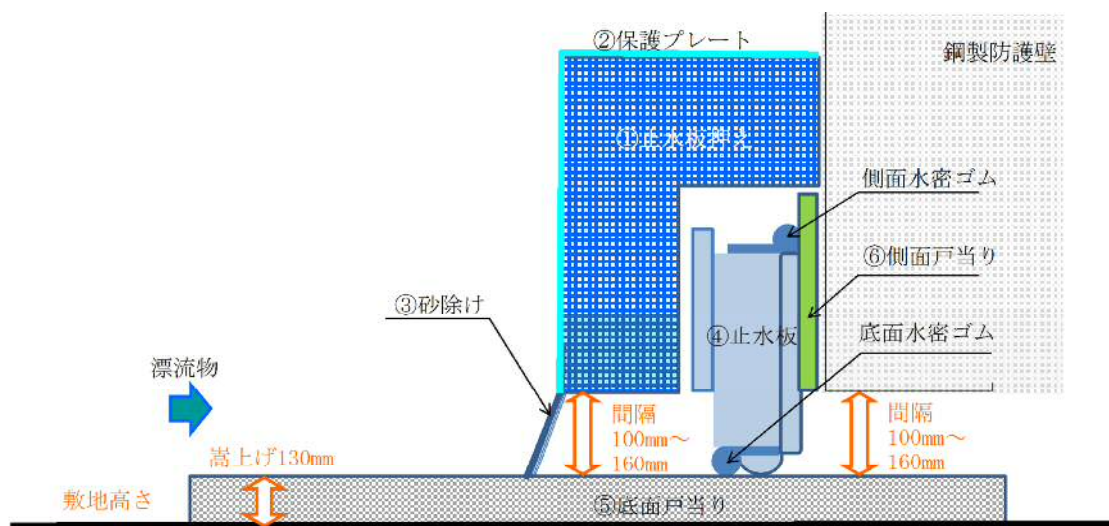
第 1-69 図 採用実績の例（2/2）

(k) 止水機構の損傷モードにおける設計方針について

鋼製防護壁の止水機構の鋼製部材における損傷モードについて整理するとともに、損傷モードに対する設計方針を整理した結果を第1-22表、鋼製防護壁の概要及び各構成部品の概要を第1-70図に示す。



鋼製防護壁の概要



第1-70図 鋼製防護壁の概要と各構成部品の概要

第 1-22 表 止水機構の構成部材の損傷モードに対する設計方針（1／3）

構成部材の設計			損傷要因	設計方針	信頼性向上 のための設計 （詳細設計）
構成部材	応力等 の状態	損傷 モード	上段（◆印）：地震時	上段（◇印）：地震時	
			下段（●印）：津波時	下段（○印）：津波時	
① 止水板 押え	曲げ， せん断	部材が弾 性域にと どまらず 塑性域に 入る状態	◆鋼製防護壁との取合い部に応力が 発生し，損傷する。 ◆④止水板との接触により損傷する。	◇構造部材設計 鋼製防護壁との取付ボルトについて， 短期許容応力度以下になるよう設計する。 ◇二次元動的解析 動的解析を実施し④止水板の挙動について 確認する。	三次元動的解 析を実施する。
			●津波波力，漂流物の衝突により損傷 する。	○構造部材設計 津波荷重，漂流物の衝突荷重を考慮し，短 期許容応力度以下になるよう設計する。	
② 保護プ レート	曲げ， せん断	部材が弾 性域にと どまらず 塑性域に 入る状態	◆①止水板押えとの取合い部に応力 が発生し，損傷する。	◇構造部材設計 構造上1～1.5m間隔で①止水板押えにボル トにより固定している。取付ボルトについ て，短期許容応力度以下になるよう設計す る。	
			●漂流物荷重の衝突により変形する。	○構造部材設計 構造上1～1.5m間隔で①止水板押えにボル トにより固定している。	

第 1-22 表 止水機構の構成部材の損傷モードにおける設計方針（2／3）

構成部材の設計			損傷要因	設計方針	信頼性向上 のための設計 （詳細設計）
構成部材	応力等 の状態	損傷 モード	上段（◆印）：地震時	上段（◇印）：地震時	
			下段（●印）：津波時	下段（○印）：津波時	
④止水板 ⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	曲げ， せん断	部材が弾 性域にと どまらず 塑性域に 入る状態	◆①止水板押えとの接触により，止水板が接触し，損傷する。 ◆地震時に④止水板が浮上り等により固着し，水密性を損なう。 ◆④止水板の挙動により，戸当りが損傷し，水密性を損なう。	◇構造部材設計 ①止水板押えから受ける荷重と⑥側面戸当りへの荷重について考慮し，短期許容応力度以下になるよう設計する。 ◇二次元動的解析 動的解析を実施し④止水板の挙動について確認する。	三次元動的解析を実施する。
			●①止水板押えの間隙部（100mm～160mm）より漂流物が侵入し，④止水板に衝突する。	○構造部材設計 ①止水板押えの間隙部（100mm～160mm）からの大型の漂流物が入らないように設計している。また，③砂除けを設置しており，砂の混入も防いでいる。④止水板は，構造上，小型の漂流物にも耐えるよう設計する。	止水機構の多重化等を検討する。

第 1-22 表 止水機構の構成部材の損傷モードにおける設計方針 (3/3)

構成部材の設計			損傷要因	設計方針	信頼性向上 のための設計 (詳細設計)
構成部材	応力等 の状態	損傷 モード	上段 (◆印) : 地震時	上段 (◇印) : 地震時	
			下段 (●印) : 津波時	下段 (○印) : 津波時	
底面水密 ゴム 側面水密 ゴム	応力, 接触 面圧, 変形 量	有意な漏 えいに至 る変形, 引 張り	◆④止水板の挙動により水密ゴムが 損傷し, 水密性を喪失するおそれ がある。 ◆水密ゴムの著しい摩耗	◇構造部設計 水密ゴムにライニングを施し, 摩擦抵抗を 低減させ, 追従性を高める。 ◇摩耗試験 実機に近い環境条件にて, 約20年相当の摩 耗試験を実施し, ライニングの耐久性を確 認する。 ◇二次元動的解析 動的解析を実施し, 水密ゴム (側面・底面) の挙動について確認する。	三次元動的解 析を実施する。
			●①止水板押えの間隙部 (100mm～ 160mm) より漂流物が侵入し, 水密 ゴムに衝突する。 ●劣化, 摩耗, 損傷, 異物噛み込み などによる止水性能の喪失	○構造部設計 ・①止水板押えの間隙部 (100mm～160mm) から, 大型の漂流物が入らないよう設計している。 ・漏水評価 水密ゴムが想定外の事象により, 損傷した 場合の敷地内への漏水量評価を実施し, 影 響のないことを確認する。 ・維持管理として, 外観点検 (摩耗の有無等) 及び定期的な硬度測定によるトレンド管理 を実施し, 水密ゴムの摩耗や劣化の兆候につ いて傾向を管理する。	止水機構の多 重化等を検討 する。

(1) 止水機構に対する漂流物による影響評価について

2.5 項において抽出した取水口へ向かう可能性が高い漂流物が鋼製防護壁の止水機構へ与る影響を評価した。

止水機構には漂流物等から止水板を保護するために「①止水板押え」、「②保護プレート」が設置されているため、大型の漂流物はここで除外される。なお、「①止水板押え」は 50t の漂流物を想定した衝突荷重を考慮した設計としているため、強度上の問題はない。

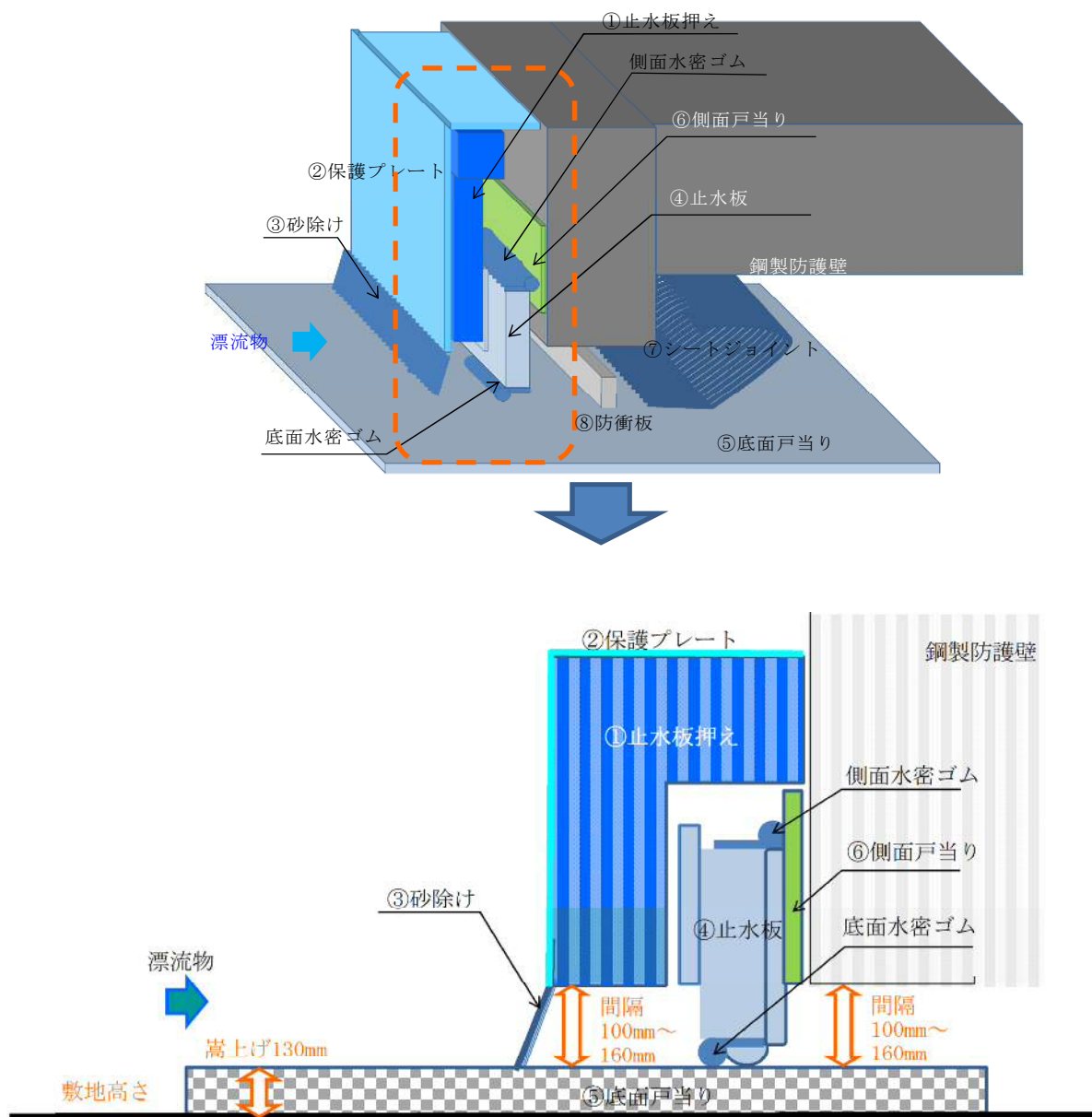
「①止水板押え」、「②保護プレート」と「⑤底面戸当り」の間を通過した止水板に到達できる漂流物の寸法は、約 100mm～160mm のもので砂、礫、小型植生（枝葉、樹皮）、その他小物の異物であるが、地盤から「⑤底部戸当り」を約 130mm 嵩上げするとともに、止水板前面に「③砂除け」を設置することにより、軽量・小型の異物混入を防止する設計であるため、基本的には通過しない構造である。第 1-23 表に止水機構の漂流物等からの防護機能の分類及び第 1-71 図に止水機構の構成部品の寸法を示す。

しかしながら、漂流物による「③砂除け」の損傷を考慮して止水板設置位置に砂、礫、小型植生等が到達し、底面水密ゴムの機能を喪失させることを想定し、(h) 項の【参考:想定外の損傷ケース】において評価する。

なお、止水機構の状況については、日常点検及び悪天候後の点検等を実施し止水機構の品質管理に努める。

第 1-23 表 止水機構の漂流物等からの防護機能の分類

構造部材	機能・用途	防護されるもの	通過の可能性が高いもの
①止水板押え及び ②保護プレート ～ ⑤底面戸当りの隙間 (100mm～160mm)	重量物・大型の漂流物からの止水板の防護及び止水板への漂流物等の到達防止	船舶、タンク、サイロ、ボンベ類、資機材類、建物外装板、カーテウォール、大型植生（幹・枝）など	砂、礫、小型植生（枝葉、樹皮）、その他小物の異物
③砂除けの設置 ⑤底面戸当りの嵩上げ (130mm)	軽量・小型の漂流物及び異物の止水板への到達防止	砂、礫、小型植生（枝葉、樹皮）、その他小物の異物	基本的に通過しない



第 1-71 図 止水機構の構成部材の寸法

(m) 止水板に対する小型漂流物の衝突荷重の評価

<目的>

止水機構には、鋼製防護壁の底面と既設取水路の応答変位の違いにより相対変位が生じるため、①止水板押えと⑤底部戸当りの間に 100～160mm の隙間を考慮している。

小型の漂流物を想定すると上記の隙間に入り込む可能性があることから、小型の漂流物による④止水板への影響について評価する。

第 1-72 図に小型漂流物の流入経路を示す。

<小型漂流物の衝突荷重の評価>

a. 止水板まで通過の可能性が高いもの

砂、礫、小型植生(枝葉、樹皮)、その他小物の異物のうち、小型の植生及び石を選定した。

b. 小型植生の衝突荷重の想定

東海発電所北側の植生調査（H28 年度）より地震後の漂流物を想定し 160mm 以下の間隔の植生とした。

- ・ 平均直径：0.12m ・ 平均樹高：12m
- ・ 重量の算定式（建築空間の緑化手法 1988 より）

$$W = k \cdot \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H \cdot w (1+p)$$

$$= 89.5 \text{kg} \div 90 \text{kg}$$

d=目通直径 0.12m（平均直径）

H=樹高 12m（8m+成長分 4m）

k=樹幹形状係数(概算の場合 0.5)

w=樹幹の単位体積重量（1100kg/m³）

p=枝葉の多少による割合(1.2)

- ・ 小型植生の衝突荷重の算定（道路橋示方書）

$$P = 0.1 \cdot W \cdot V$$

$$= 0.1 \times 90 \times 9.8 \times 10 = 0.89 \text{ kN}$$

P : 衝突荷重 (kN)

W : 漂流物の重量 (kg)

V : 流速 (m/s)

c. 石の衝突荷重の想定

①止水板押えと⑤底面戸当りの隙間が 0.16m であるため、石の大きさを $0.16\text{m} \times 0.16\text{m} \times 0.16\text{m}$ （仮定）とした。

- ・ 石の衝突荷重の算定

衝突荷重の算定に当たっては、飛来物の衝突評価の式を参考に用いた。

$$F = m v^2 / L = 7.7 \text{ kN}$$

m : 評価対象物の質量 (kg/m^3)

（単位体積当たりの密度 (kg/m^3) として

建築物荷重指針 花崗岩（みかげ石） $3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ より）

v : 流速 (m/s) 10（取水口前面）

L : 各辺の長さ (m) 0.16

（参考）道路橋示方書の場合 : 0.12kN

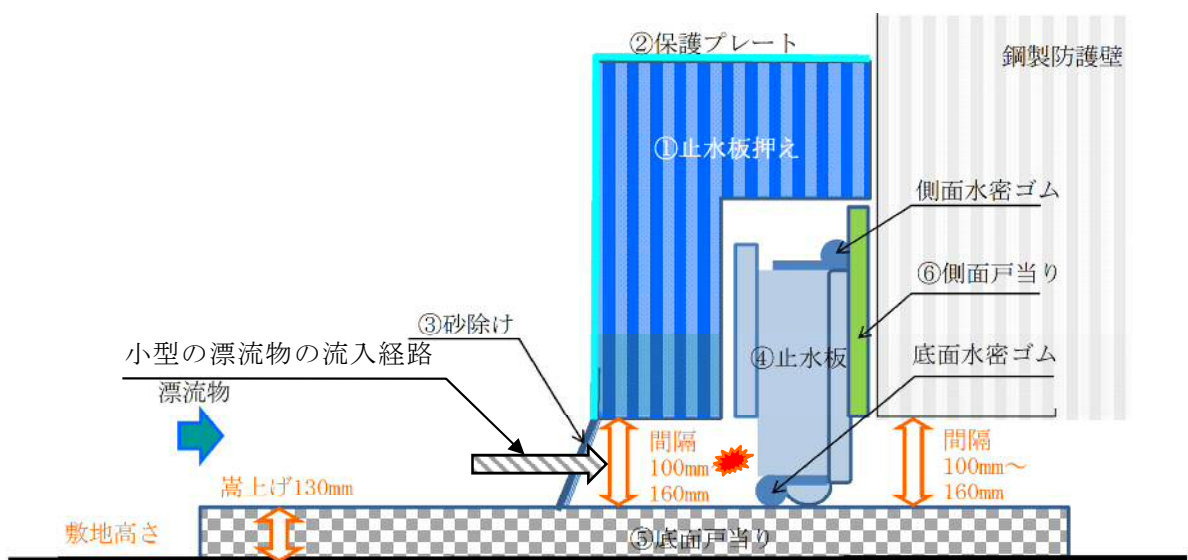
d. 止水板の衝突荷重の評価

○止水板の許容限界は 240kN

- ・許容限界　　：　短期許容応力度×1.5 倍
- ・許容応力　　：　240kN

○植生（0.89kN）及び石（7.7kN）の衝突荷重に対し、許容応力は240kNであり十分な裕度を確認した。

○なお、止水板は厚さ 150mm のステンレス鋼で重量が約 930kg（評価時の寸法と重量）であることから、想定した石の寸法が増加しても、許容応力に十分な余裕があるため問題ない。



第 1-72 図 小型漂流物の流入経路

<参考> 石の衝突荷重に用いた飛来物の衝突評価式の妥当性について

石の衝突荷重算定に用いた $F = m v^2 / L$ の式について変換すると

$$F = m v / (L / v) \text{ になる。}$$

分母は時間の次元を有することから、衝突荷重算定における物理的な考え方としては、運動量を接触時間で割ることにより荷重を求める式になる。

そのため、評価に用いた接触時間 t_{c1} は、

$$\begin{aligned} t_{c1} &= L / v \\ &= 0.16 / 10 \\ &= 0.016 \text{ s} \end{aligned}$$

となる。

一方、止水板は鋼製防護壁及び止水板押えのいずれにも固定されていない構造であることを考えると、その固有周期は概ね柔構造物（耐震設計上）の域にあるものと考えられる。そのため、止水板が一般に剛構造の目安として用いられる 20Hz の固有振動数 λ を有し、固有周期 T の 1/4 の間石と接触したものと仮定すると、この時の接触時間 t_{c2} は、

$$\begin{aligned} t_{c2} &= T / 4 \\ &= (1 / \lambda) / 4 \\ &= (1 / 20) / 4 \\ &= 0.0125 \text{ s} \end{aligned}$$

となり、 t_{c1} と同程度となる。

上述のとおり、止水板は柔構造域にあり石の接触時間は t_{c2} (0.0125s) より長くなると考えられることから、今回の評価式で用いた時間の推定式 (L / v) により得られた接触時間 t_{c1} (0.016s) は、健全性の評価としては十分に保守側と考えられる。

(n) 水密ゴムの摩耗試験について

<目的>

表面にライニングされた水密ゴムに対し，摩耗試験装置により供用後約20年相当の移動量を与え，ライニングの摩耗量を計測することにより，ライニング残存状況を確認し，摩擦係数が維持できるか確認する。

<試験条件>

a. 加振条件

加振試験装置により，以下に示す水密ゴムの供用後約20年相当の移動量を想定し加振する。

① 温度変化による移動（道路橋示方書に準拠）

・ 温度変化 : $1\text{サイクル/日} \times 365\text{日} \times 20\text{年} = 7300\text{回}$

② 地震加振による移動

・ 震度3以上震度4まで : $41\text{回}^*/\text{年} \times (20\text{年}/5\text{年})$

$$= 164\text{回} + 30\text{（裕度）} = 194\text{回}$$

※：気象庁HPより 東海村実績2010.1～2015/1まで41回）

・ 地震の継続時間 $50\text{秒} \times 194\text{回} = 9700\text{秒}$

③ 大規模地震加振による移動（S_s相当，余震＋津波荷重）

・ 最大加速度× 1.5倍で加振

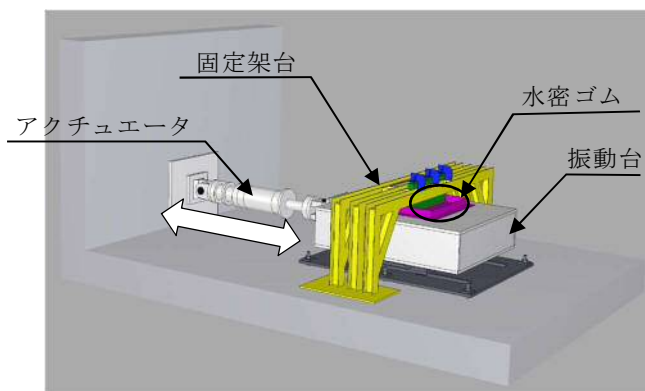
b. 環境条件

水密ゴム設置箇所の環境条件を考慮して、砂をかみこませた状態で加振する。また、津波と余震の重畳を考慮して、水压に相当する荷重を固定冶具により加えた状態で加振する。第1-73図に水密ゴム摩耗試験装置の概要、第1-74図に水密ゴム摩耗試験の概要を示す。

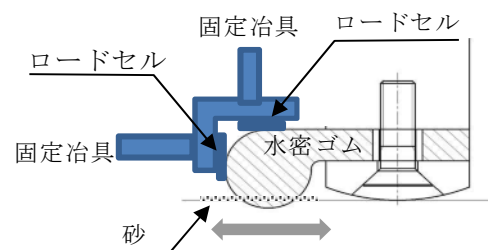
① 砂噛込み : 現地砂を使用

② 水压を考慮 : 0.17MPa※

※：防潮堤天端高さ（T.P. + 20m）～設置地盤標高（T.P. + 3m）
を差引いた値



第 1-73 図 摩耗試験装置の概要

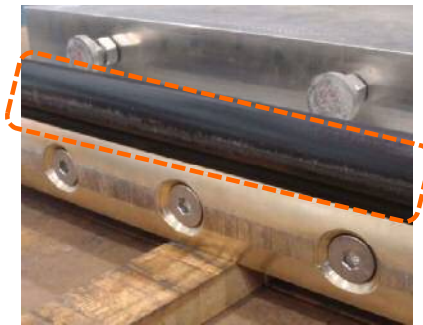


第 1-74 図 水密ゴム摩耗試験概要
(余震時+津波荷重時)

<試験結果>

2つの供試体（水密ゴム）で摩耗試験を実施し，2回の試験とも水密ゴムの摩耗量は，最大で0.36mmであった。

このため，ライニングの初期厚さ0.5mmに対して，摩耗試験後においても0.14mmライニングが残存しており，水密性の確保及び摩擦係数は維持できる結果となった。第1-75図に摩耗試験後の水密ゴムを示す。



第 1-75 図 摩耗試験後の水密ゴム

【2次止水機構】

(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 S_s
- ・ 止水機構の許容可動範囲：海側700mm，陸側500mm，上下±60mm
- ・ 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（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) 止水機構の設置目的

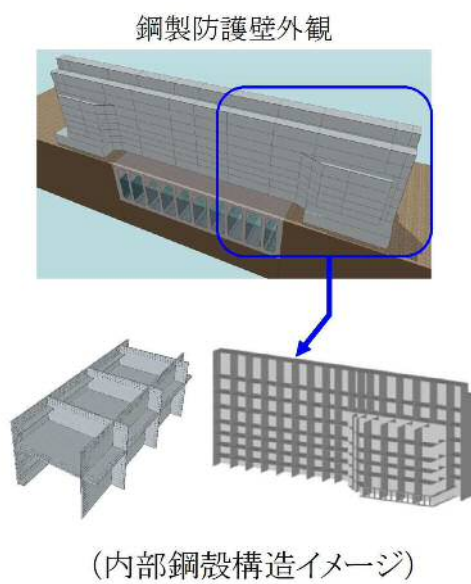
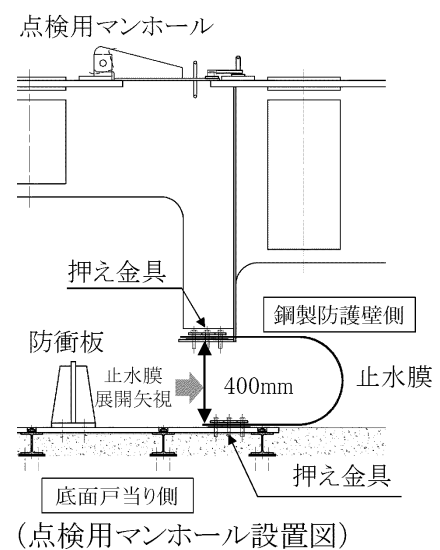
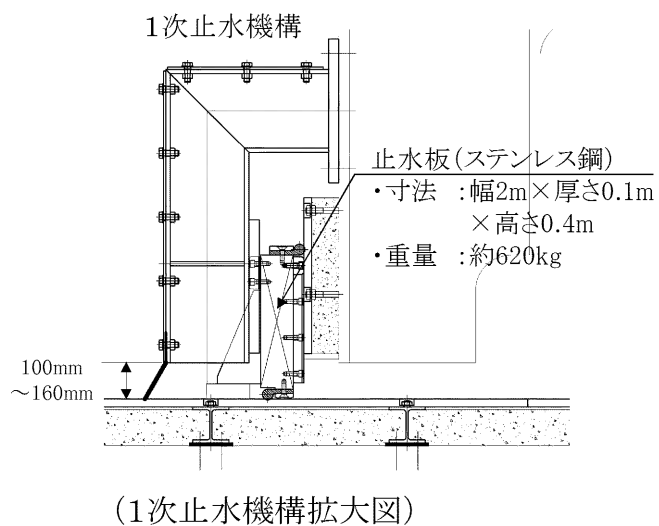
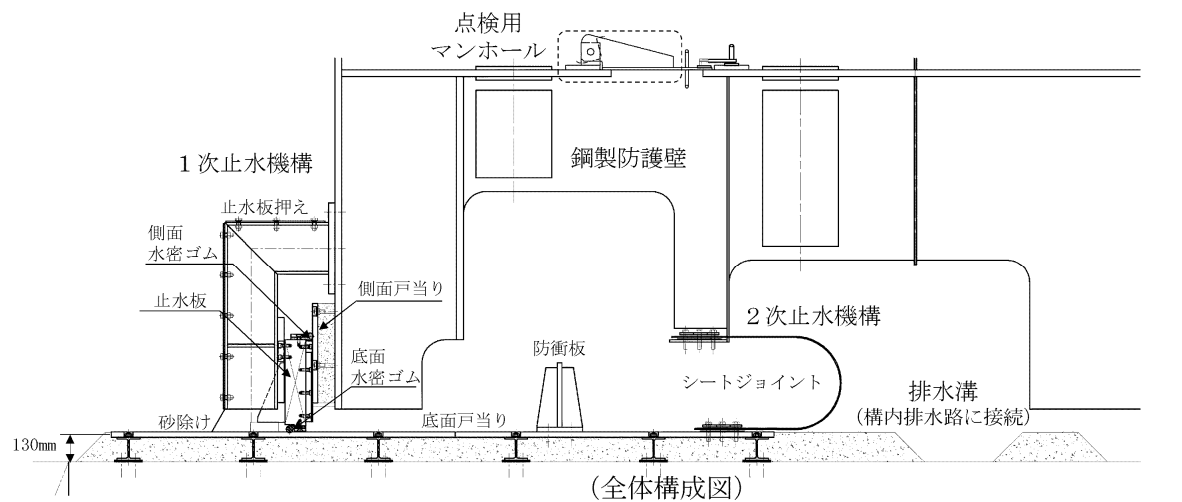
1次止水機構の損傷又は保守に伴う一時的な機能喪失時においても，津波に対する防護機能が維持できるよう，1次止水に加えて，2次止水機構を設置する。

2次止水機構については，1次止水機構との共通要因故障による機能喪失を回避するため，多様化を図ることとし，シートジョイントによる止水構造を採用する。また，1次止水機構の保守時の取り外しに伴い，漂流物が2次止水機構まで到達する可能性を考慮し，2次止水機構の損傷を防止するために2次止水機構前面に防衝板を設置する。

詳細設計においては，シートジョイントの受圧面から取付部（固定部）への荷重伝達等を考慮した構造仕様の検討，漂流物衝突を想定した影響評価，対策等について検討する。

(c) 2次止水機構の設計方針（第1-76図参照）

- a. 2次止水機構の追加設置に当たっては、共通要因故障（止水板の追従性不良等）による同時機能喪が生じないよう多様性を図ることとし、1次止水機構の構造と異なるシートジョイントによる構造を採用する。
- b. シートジョイントについては、想定する津波荷重に対して十分な耐性を有するものを採用するが、1次止水機構の取り外し時に津波の襲来を想定すると、漂流物が2次止水機構に到達する可能性があることから、2次止水機構前面に防衝板を設置し、漂流物による損傷を防止する設計とする。
- c. さらに、2次止水機構の後段には、2次止水機構からの漏水の可能性を考慮し、漏水を収集・排水可能な排水溝を設置する設計とする。排水は、構内排水路の防潮堤内側の集水枡に収集し、構内排水路逆流防止設備を通して排水する。
- d. また、2次止水機構及び防衝板の点検・保守を考慮して、鋼殻内に点検用マンホールを設置し、アクセス可能な設計とする。
- f. これら対策により、基準津波の遡上波の重要な安全機能を有する海水ポンプが設置されたエリアへの到達、流入防止を確実なものとする。



第 1-76 図 止水機構の全体構造概要

(d) 止水機構の主な損傷・機能喪失モードの整理

止水板による 1 次止水機構に想定される主な損傷・機能喪失モードを抽出するとともに、抽出結果に基づき、2 次止水機構の構造（多重性又は多様性）について検討した。検討の結果、共通要因故障を考慮すると、2 次止水機構はシートジョイントにより多様性を図る方が、止水機構全体としての信頼性に優れると判断した。

第 1-24 表に 1 次止水機構に想定される主な損傷・機能喪失モードの抽出結果及び 2 次止水機構の構造選定検討結果を示す。

また、合せて、第 1-25 表に 2 次止水機構の多重性・多様性のメリット・デメリットについて整理した。

(e) 止水機構の防護区分の整理

1 次止水機構、2 次止水機構及び防衝板並びに点検用マンホールの津波に対する防護区分について、それぞれの目的、機能要求に基づきに設定した。

上記対策の津波防護区分としては、1 次止水機構は基準津波の遡上波の地上部からの到達、流入防止対策として外郭防護 1、2 次止水機構は 1 次止水機構からの漏水対策として外郭防護 2、防衝板は 1 次止水機構の機能喪失時に想定される漂流物の影響を防止するもので 1 次止水機構の機能を一部担うことから外郭防護 1 に位置付ける。

第 1-26 表に止水機能等の津波に対する防護区分の検討結果を示す。

(f) 2次止水機構の部材について

2次止水機構の止水部材は、シートジョイントを使用する。以下にシートジョイントについての仕様を示す。

a. シートジョイントについて

シートジョイントについては、東海第二発電所の防潮堤に設置するものと同等の仕様で、他プラントにおいても使用実績がある。

防潮堤への用途として、シートジョイントは、地震時やその他の津波や余震によって生じる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て採用されている。

第 1-24 表 1 次止水機構に想定される主な損傷・機能喪失モードの抽出結果及び 2 次止水機構の構造選定検討結果

1 次止水機構		2 次止水機構	
構造	主な損傷・機能喪失モード	止水板による止水機構 (多重性)	シートジョイント による止水機構 (多様性)
止水板による 止水機構	地震時の止水板の浮き上がりにより追従性が喪失する。※	△ 現在，止水板の地震時の追従性が未確認であるため，同一構造であることを考慮すると，共通要因故障により，同時に機能喪失に至る可能性がある。	○ 構造が異なるため，同時に機能喪失しない。
	地震時に止水板が水密ゴムを噛み込み，止水性が喪失する。※		
	水密ゴムの摺動により亀裂，破損，摩耗が発生し，止水性が損失する。※		
	地震時の止水板等の変形，損傷により，止水性が喪失する。※		
	漂流物が止水板に衝突し，止水性が喪失する。	○ 1 次止水機構がある場合は，漂流物は 1 次止水機構で留まり， 2 次止水機構までは到達せず， 2 次止水機構の機能は保持される。	
		× 1 次止水機構の保守に伴う取り外し時には，漂流物が 2 次止水機構まで到達するため， 2 次止水機構の機能喪失に至る可能性がある。	○ 1 次止水機構の保守に伴う取り外し時においても，防衝板があるため，漂流物は 2 次止水機構まで到達せず， 2 次止水機構の機能は維持される。
評価		△	○

※実証試験による確認が未完のため抽出

第 1-25 表 2 次止水機構の多重性・多様性のメリット・デメリット

区 分		設計事項	設計概要	評 価
多重性	メリット	止水板を二重に設置するため、1 次止水機構の機能が喪失しても 2 次止水機構で機能は維持できる。	図 多重性の止水機構の例	△ 共通要因故障により、同時機能喪失のリスクがある
	デメリット	現在、止水板の地震時の追従性が未確認につき、同一の構造の場合、共通要因故障により同時に止水機構の機能が喪失する。		
多様性	メリット	構造が異なるため、共通要因故障による機能喪失がなく、一つの止水機構が喪失しても残りの止水機構の機能は維持できる。	図 多様性の止水機構の例 シートジョイント	○ 漂流物に対する防護が必要になるが、防衝板により対応可能
	デメリット	構造が異なるため、それぞれの機能に差があり、同一の防護レベルにならない。		

第 1-26 表 止水機能等の津波に対する防護区分の検討結果

対策設備	施設・設備区分	防護区分	目的／機能要求	備考
1 次止水機構	浸水防止設備	外郭防護 1	基準津波の遡上波の鋼製防護壁下部と取水路間の隙間から重要な安全機能を有する海水ポンプの設置されたエリアへの流入，到達を防止する。	防衝板は，1 次止水機構の機能喪失時に想定される漂流物の影響を防止するもの（影響防止装置）であるが，1 次止水機構の漂流物防止機能の一部を担うことから，防護区分は外郭防護 1 として整理する（【補足】参照）。
防衝板	影響防止装置		防衝板は，1 次止水機構の損傷又は保守に伴う取り外し時に，漂流物が 2 次止水機構に到達することを防止する。	
2 次止水機構	浸水防止設備	外郭防護 2	2 次止水機構は，1 次止水機構からの漏えいを考慮して，重要な安全機能を有する海水ポンプの設置されたエリアへの漏水を防止する。 また，安全機能への影響確認として，海水ポンプ設置エリア（防護壁外側）への浸水量評価を実施し，安全機能への影響がないことを確認する。	
点検用マンホール	浸水防止設備	外郭防護 2	1 次止水機構からの漏えいを考慮して，鋼製防護壁鋼殻内への漏水を防止する。	

【補足】

○設置許可基準規則 別記 3

3 五 ⑥ 津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物及び設置物等が破損，倒壊及び漂流する可能性がある場合には，防潮堤等の津波防護施設及び浸水防止設備に波及的影響を及ぼさないよう，漂流防止措置又は津波防護施設及び浸水防止設備への影響の防止措置を施すこと。

○基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド II 5.4.2 漂流物による波及的影響の検討

【規制基準における要求事項等】 津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物，設置物等が破損，倒壊，漂流する可能性について検討すること。上記の検討の結果，漂流物の可能性がある場合には，防潮堤等の津波防護施設，浸水防止設備に波及的影響を及ぼさないよう，漂流防止装置または津波防護施設・設備への影響防止措置を施すこと。

【確認内容】 (2) ②漂流防止装置，影響防止装置は，津波による波力，漂流物の衝突による荷重との組合せを適切に考慮して設計する方針であること。

○耐津波設計方針に係る工認審査ガイド 3.7.1 漂流物による波及的影響の検討

【規制基準における要求事項等】 「○基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」と同じ。

【確認内容】 (1) ② b) タンク，船舶等の重量物が漂流物として特定されている場合，当該重量物が漂流しないよう固定する等，漂流防止装置を設置，または，津波防護施設，浸水防止設備に対して，漂流物が衝突しないよう防護柵，防護壁等の影響防止装置を設置。

【止水機構の実規模大実証試験】

a. 止水機構の実証試験の目的

止水機構が基準地震動 S_s による地震動を受けた時の止水板の挙動を確認することにより，変位追従性，水密ゴムの健全性を確認することを目的に実規模大の試験装置を用いた試験を実施する。

b. 実証試験装置の概要

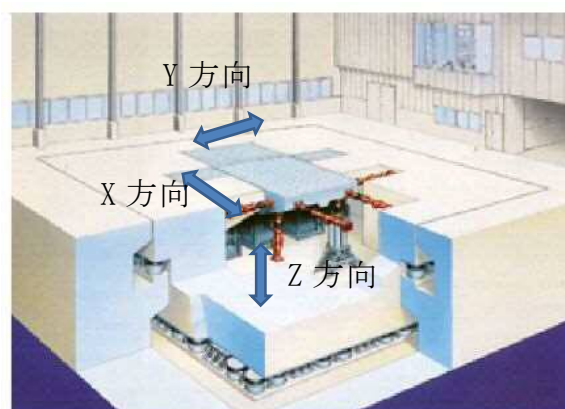
＜加振装置＞

大型 3 軸加振台（場所：茨城県つくば市 第 1-77 図参照）

装置仕様：第 1-27 表のとおり。

第 1-27 表 大型 3 軸加振台基本仕様

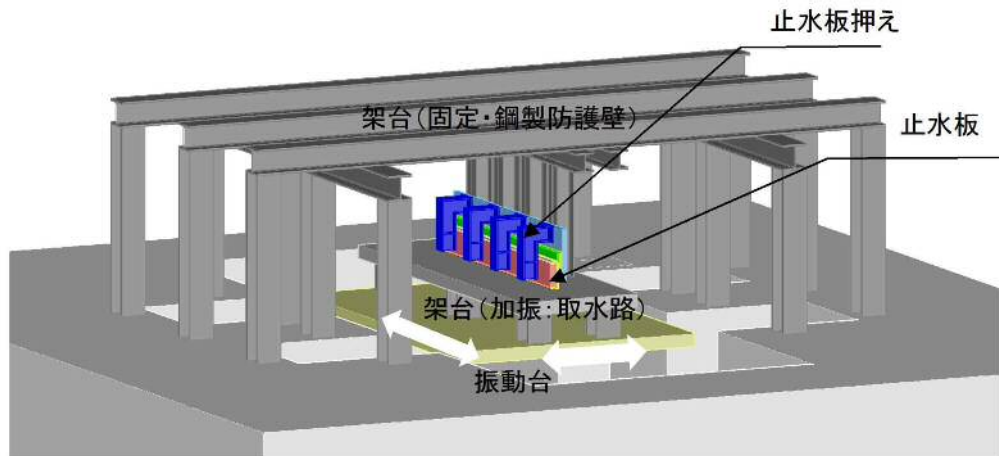
項目		基本仕様		
加速度自由度		3 軸 6 自由度		
最大積載質量		80tf		
テーブル寸法		6m×4m		
定格値	方向	X 方向 (水平)	Y 方向 (水平)	Z 方向 (鉛直)
	最大変位	±300mm	±150mm	±100mm
	最大加速度	1G	3G	1G



第 1-77 図 大型 3 軸加振台鳥瞰図

< 試験装置 > (第 1-78 図参照)

- ・ 供試体：実機と同仕様の実規模サイズの供試体を製作
- ・ 模擬範囲：止水板 2 枚（各 2m）を連結



第 1-78 図 試験装置 (参考)
※試験計画の検討により変更の可能性あり

< 試験条件 >

- ・ 地震動：基準地震動 S_s による鋼製防護壁の応答による加速度（水平・鉛直加速度を同時入力）、相対変位を考慮。

< 実証試験項目 >

- ・ 止水板の地震時及び水压を模擬した追従性：止水板の動作に異常（浮上りなど）がないことを確認する。
- ・ 水密ゴムの健全性：止水板による水密ゴムの噛み込み、摺動による亀裂・破損・摩耗等がないことを確認する。また、水密ゴムのライニングがない状態についても挙動を確認する。
- ・ 止水機構構成部材の健全性：試験を通じて構成部材に異常（変形、損傷など）がないことを確認する。

＜実施時期及び説明時期＞

試験計画の策定，試験装置の設計・製作完了後，速やかに実施（平成 30 年 4 月頃からの開始を想定）し，試験結果については平成 30 年 5 月頃に説明する。

c．実規模試験後の確認試験

実規模試験後の水密ゴムについて，外観点検を行い明らかな亀裂，破損，損傷等が認められない場合には，漏水試験を実施し評価を行う。

【止水機構の漏水量評価】

止水機構からの漏水量評価を以下の 3 ケースについて評価を実施した。
評価の結果、隣接する非常用海水ポンプの安全機能に影響を与える浸水深
ではなかった。評価結果を第 1-28 表に示す。

< ケース 1 >

1 次止水機構のみに期待するケース

< ケース 2 >

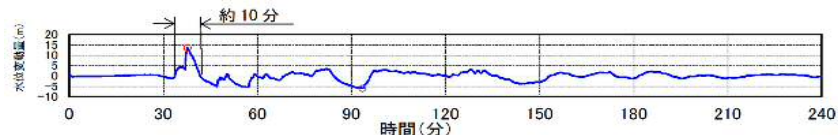
1 次止水機構に加え、2 次止水機構を設置した場合

< ケース 3 >

1 次止水機構の止水板 1 枚の機能喪失 + 2 次止水機構が喪失した場合
(想定を超えた損傷ケースによる評価)

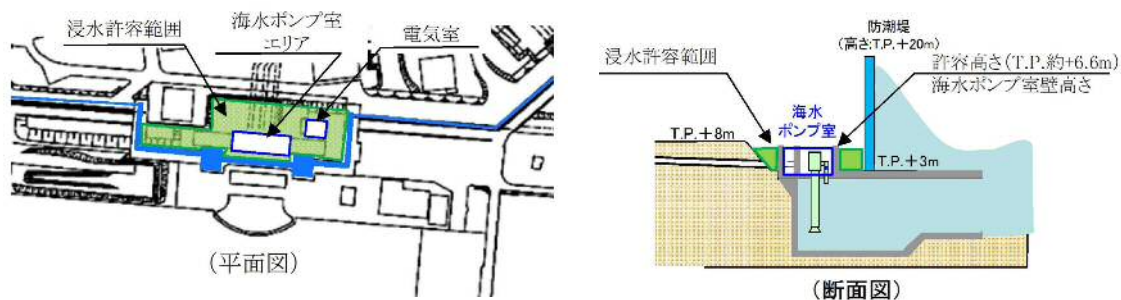
< 評価条件 >

○継続時間 : 約 10 分 (取水口前面)



○許容高さ : T.P. 約 +6.6m (海水ポンプ室壁高さ)

○浸水深エリア : 海水ポンプ室浸水深エリアを第 1-79 図に示す。



第 1-79 図 海水ポンプ室浸水深エリア

第 1-28 表 1 次止水機構及び 2 次止水機構の漏水量評価結果

	【ケース 1】 1 次止水機構のみに期待するケース (第 520 回審査会合時の説明内容)	【ケース 2】 1 次止水機構に加え、2 次止水機構を設置した 場合	【ケース 3】 1 次止水機構の止水板 1 枚の機能喪失＋ 2 次止水機構のシートジョイントが喪失した 場合
概 要	1 次止水機構の止水板 1 枚 (2m) の機能が喪失した場合の敷地の浸水深を評価する。(開口部は止水板がない場合の鋼製防護壁と底面戸当りの隙間部(最大 160mm)から評価した。)	ケース 1 にて止水板から漏水した水が 2 次止水機構で確保可能か評価する。	1 次止水機構の止水板 1 枚 (2m) の機能喪失＋2 次止水機構のシートジョイントの喪失を想定した場合の敷地の浸水深を評価する。(開口部は止水板がない場合の鋼製防護壁と底面戸当りの隙間部(最大 160mm)から評価した。)
説明図		防潮堤に設置するシートジョイントの水圧試験の結果から、0.26MPa と 0.55MPa で確認しているため、シートジョイントから漏れいすることはなく 1 次止水機構からの漏水を保持できる。 なお、シートジョイントに対する漂流物衝突影響、対策等は詳細設計段階で検討するが、【ケース 3】に示したとおり、シートジョイントの機能が喪失しても非常用海水ポンプの安全機能に影響ないことを確認している。	
漏水量／ 浸水深	止水板 1 枚喪失時の漏水量 3726m ³ /10 分、 浸水深 約 1.6m (T. P. +3m 盤より)	—	2 次止水機構の止水膜が喪失した場合、1 次止水機構からの漏水が、そのまま敷地内に浸水するため、漏水量及び浸水深はケース 1 に同じとなる。

【側部水密ゴムの設置概要について】

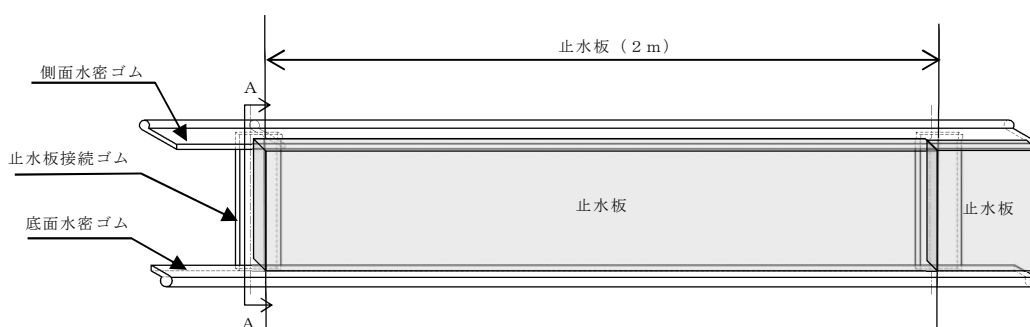
止水板と止水板の間を水密化するための、止水板接続ゴムの接続方法及び、止水板への固定方法等について概要を説明する。

<概 要>

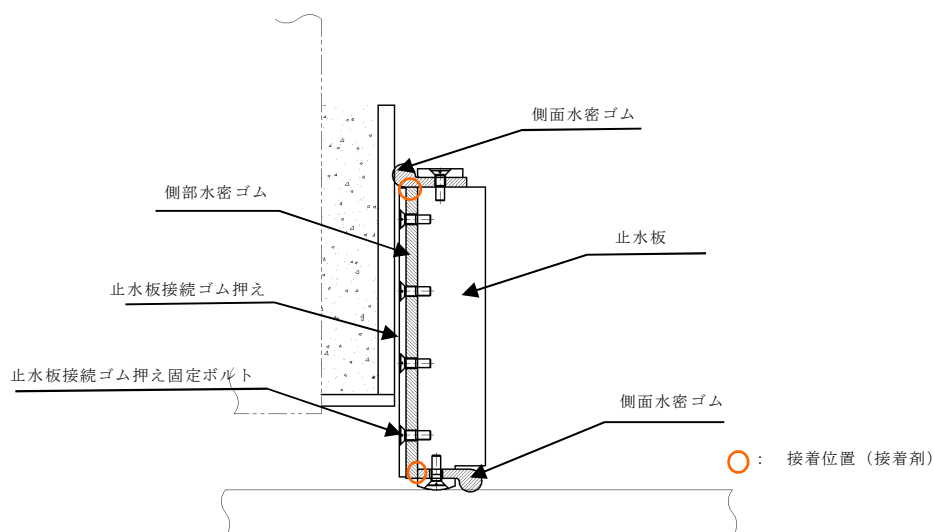
止水板と止水板の間(10mm)の水密性を確保する止水板接続ゴム（平形）は、側面・底面水密ゴムと同じ材質のものを使用し、側面・底面水密ゴムに接合した構造としている。

止水板とはボルトにより固定し、底面水密ゴムと側面水密ゴムの接続は接着剤により接着させ、止水板全体の水密性を水密ゴムで確保する。

接続位置については、止水板と側面・底面水密ゴムの構造から側面戸当り側に止水板接続ゴムを接続する。第 1-80 図に水密ゴムの全体概要図、第 1-81 図に止水板接続ゴムと止水板の固定概要について示す。



第 1-80 図 水密ゴムの全体概要図

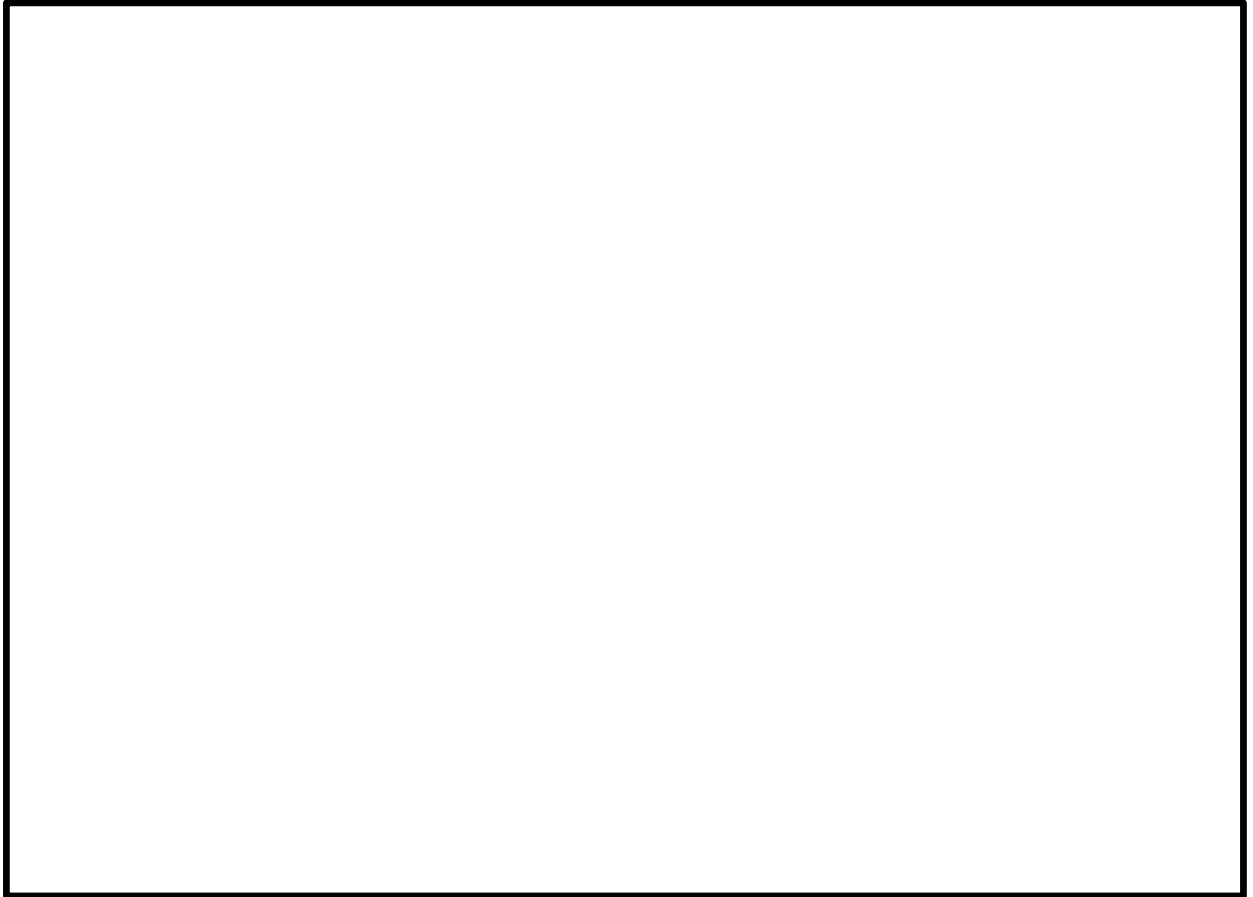


第 1-81 図 止水板接続ゴムと止水板の固定概要図 (A-A 矢視)

2. 施工実績

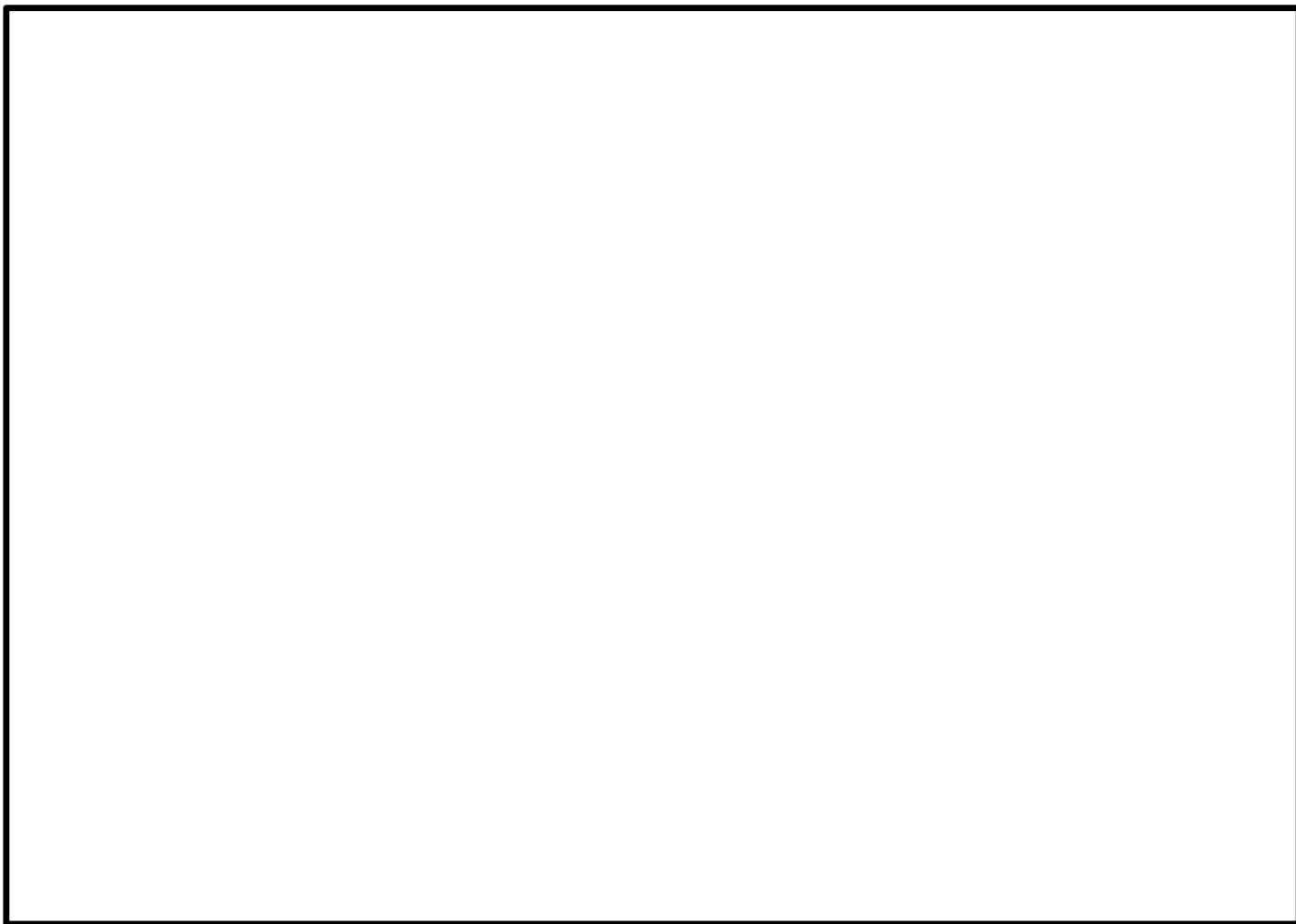
2.1 鋼製門型ラーメン構造

(1) 施工事例 1：鋼殻ブロックの施工事例（橋梁箱桁）

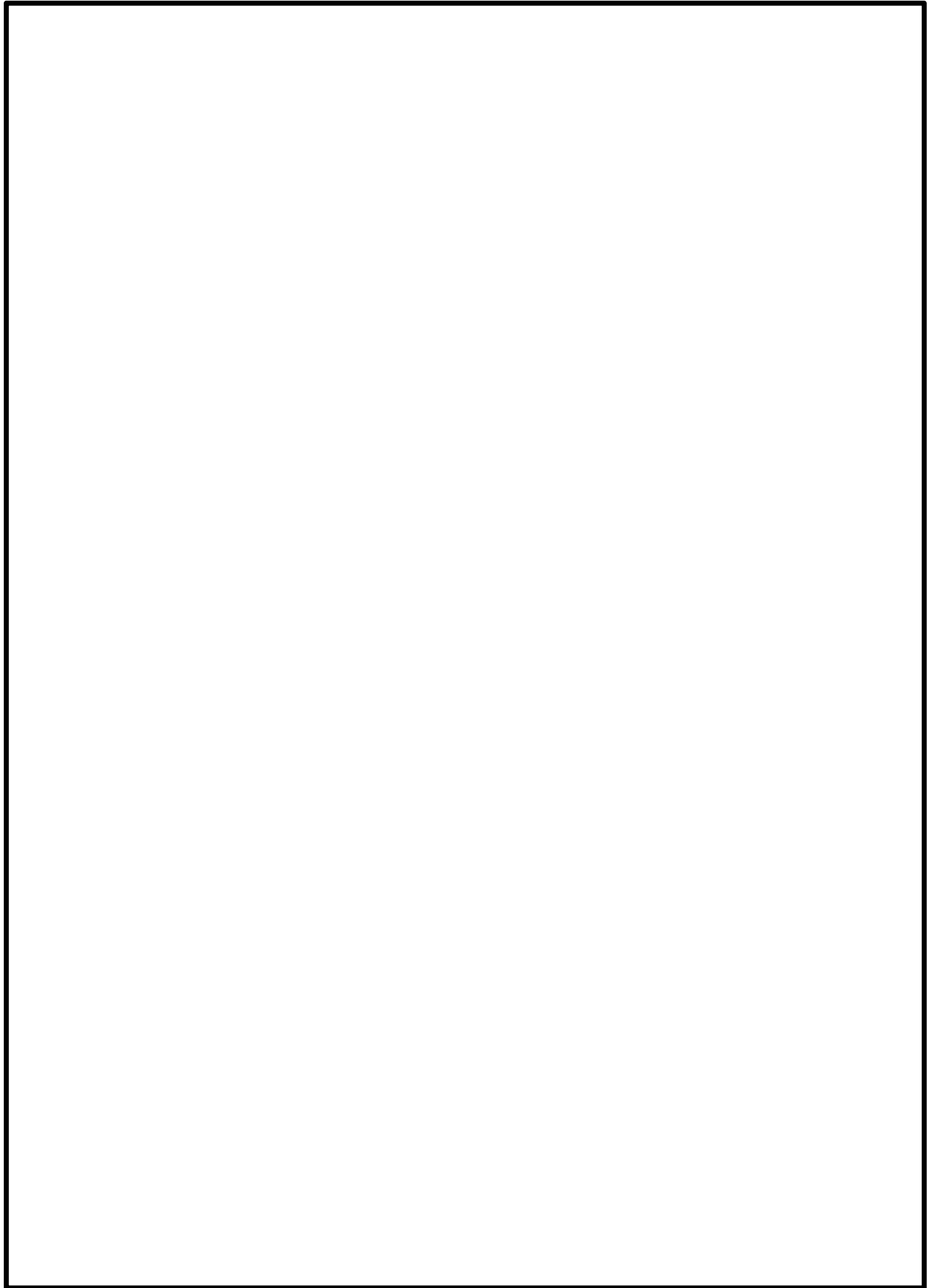


橋梁上部工の上下 2 段の鋼殻ブロックの施工事例

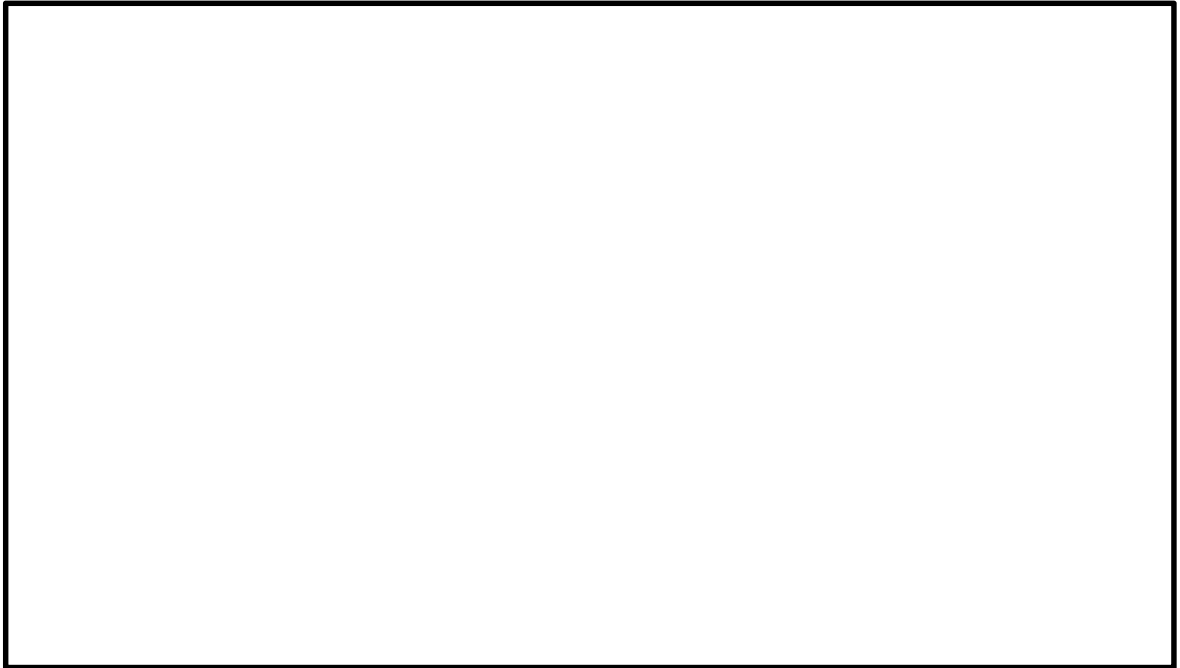
(2) 施工事例 2：国道工事（国土交通省）



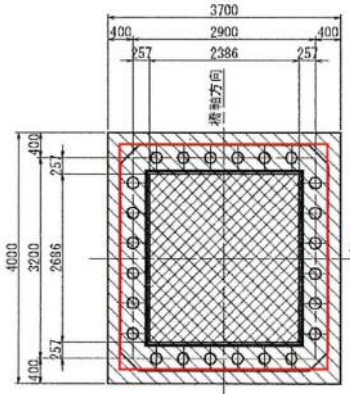
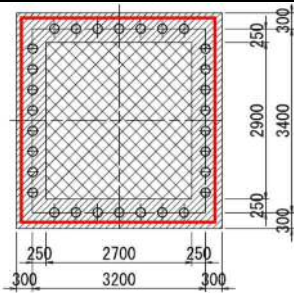
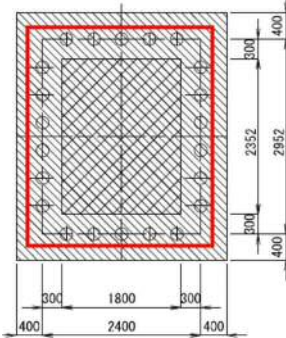
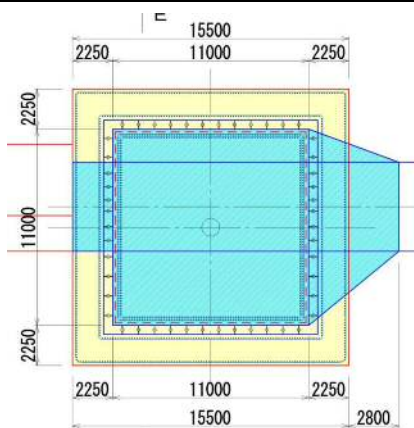
(3) 施工事例 3：高速道路工事（高速道路株式会社）



2.2 直接定着式アンカーボルトの実績

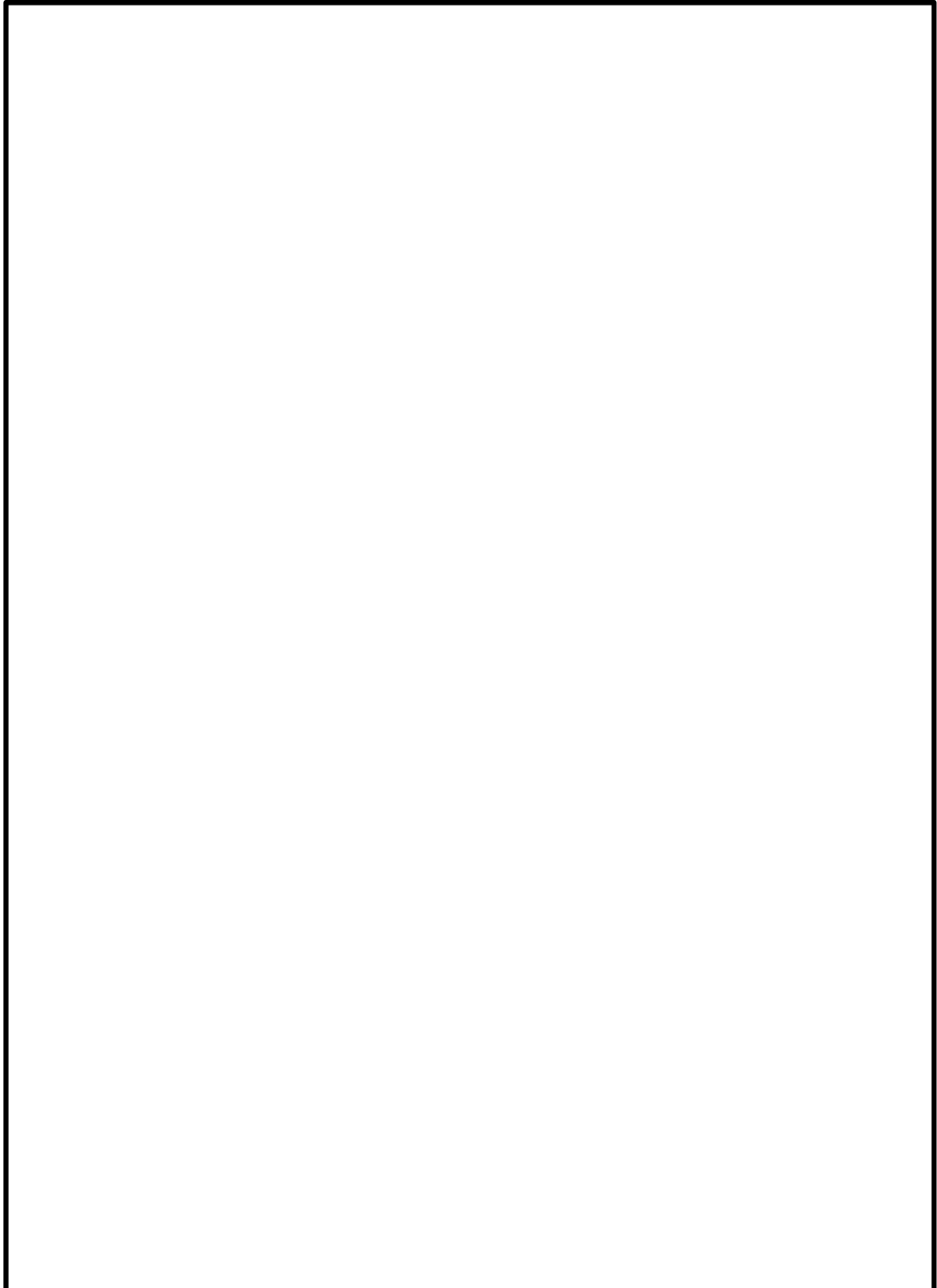


基礎の規模に対するアンカーボルト本数の比較

種別	アンカーボルト本数／ 基礎寸法	平面図
実績 A	24 本／ 3600×3300 (1.85 本/m ²)	
実績 B	30 本／ 3800×3600 (2.19 本/m ²)	
実績 C	22 本／ 3352×2800 (2.34 本/m ²)	
今回設計	48 本／ 12000×12000 (0.33 本/m ²)	

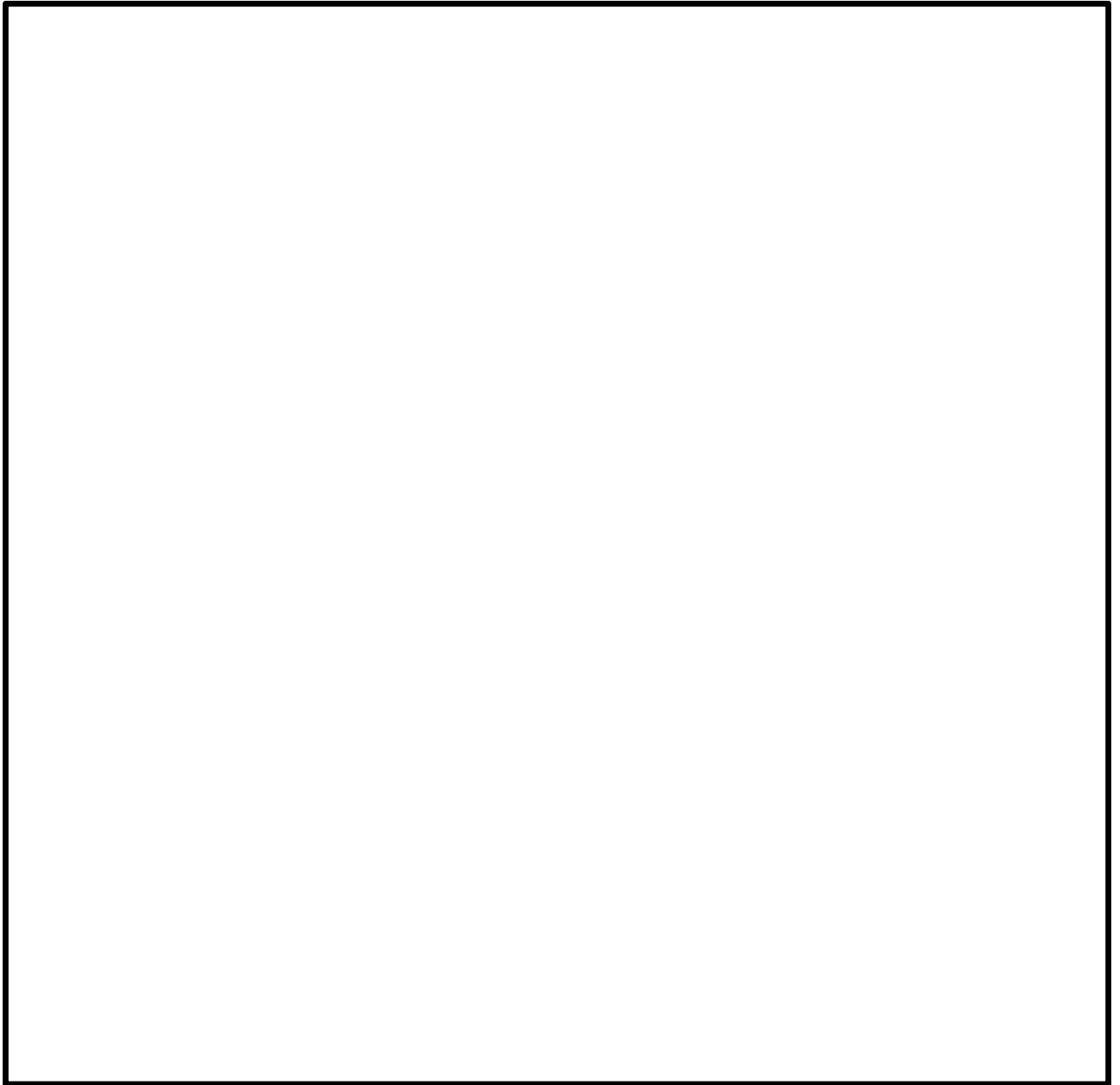
(1) 施工事例 1：国道工事（国土交通省）

アンカーボルトの仕様 D170×L3, 960mm－56 本, D150×L3, 620mm－22 本, D130×3, 310mm－22 本



(2) 施工事例 2：臨港道工事（国土交通省）

アンカーボルトの仕様 D150×4,300mm－40 本



3. 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（公社法人日本道路協会：平成 24 年 3 月）

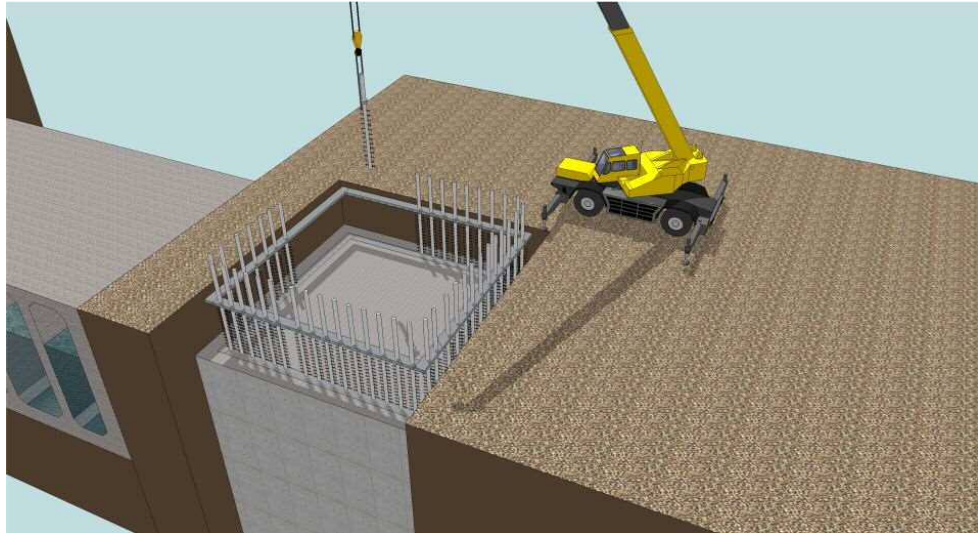
道路橋下部構造の技術基準として、各種基礎の設計手法等がとりまとめられており、橋梁下部構造以外の土木構造物の基礎においても、同基準を参考として計画・設計している。

(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。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必要がある。

4. 参考資料

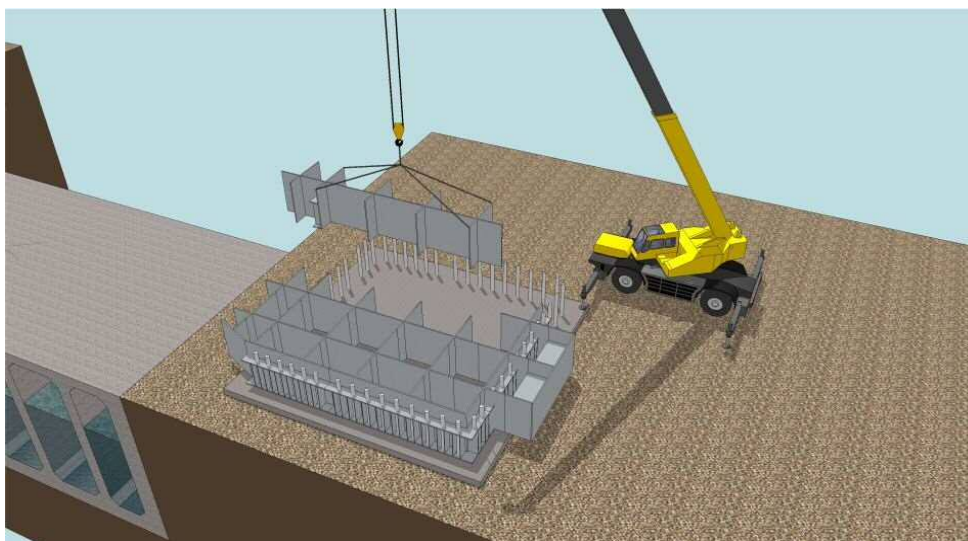
鋼製防護壁ブロック架設方法のステップ図を第 4-1 図～第 4-4 図に示す。



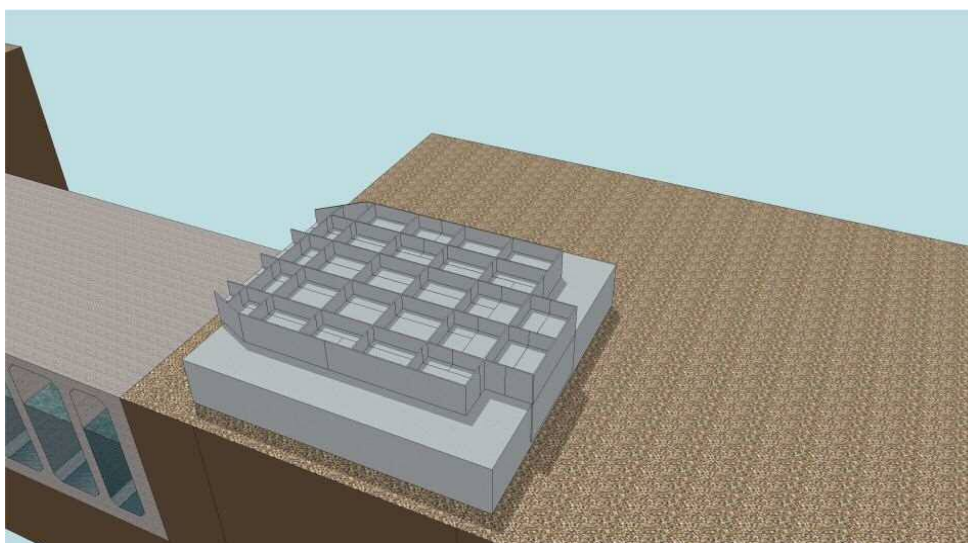
- 地中壁連続壁基礎上部にアンカーボルトを設置する。
- 所定位置に設置するため、基礎上部にはフレーム架台を設置し、据付精度を確保する。



第 4-1 図 Step. 1 アンカーボルトの設置

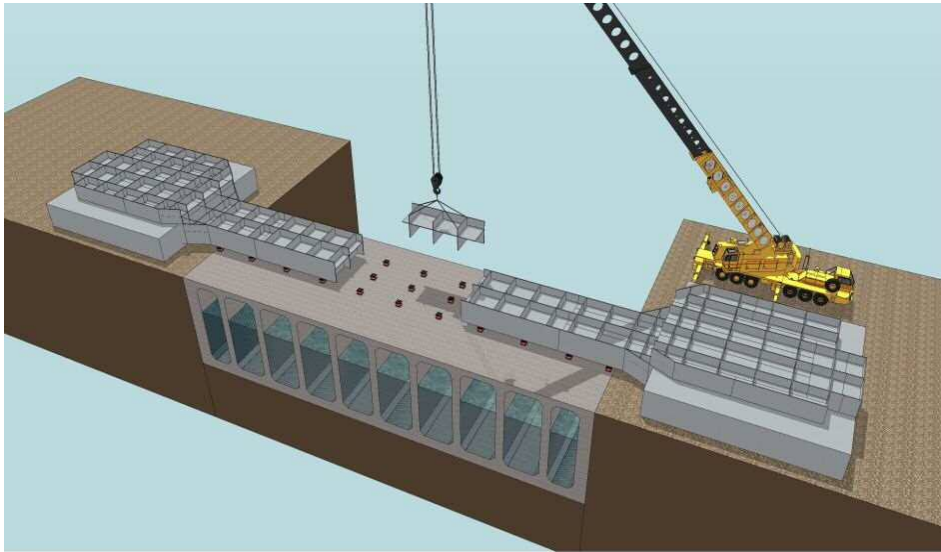


- 頂版部配筋及びコンクリート施工後に、1 段目及び2 段目の支柱部ブロックを架設する。

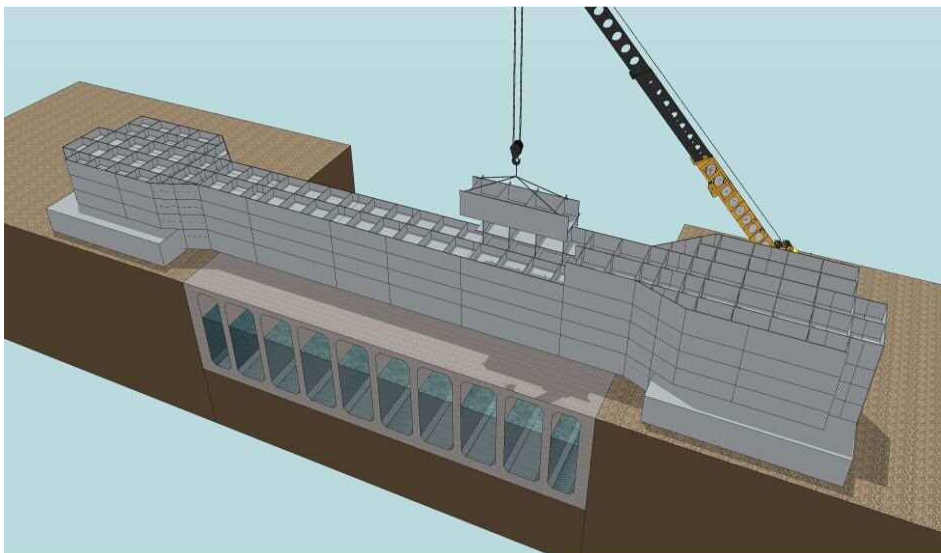


- 支柱部中詰鉄筋めコンクリートを施工する。

第 4-2 図 Step.2 支柱部ブロック設置・中詰鉄筋めコンクリート工

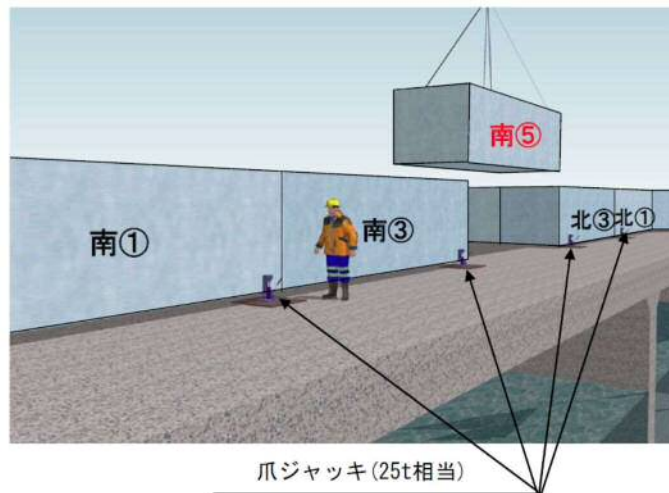


- 取水口隔壁上など上載荷重による影響を最小限にできる箇所にジャッキを配置し1段目の支間部ブロックを架設する。
- 架設時には、1段目死荷重によるたわみ量及び2段目以降の構造系の変化を考慮した逐次剛性と死荷重によるたわみ量をあらかじめ上げ越しする。
- 各段の架設完了後に全体の出来形・反りが所定の寸法内に収まるよう、事前に綿密な架設計画を立案しておく。

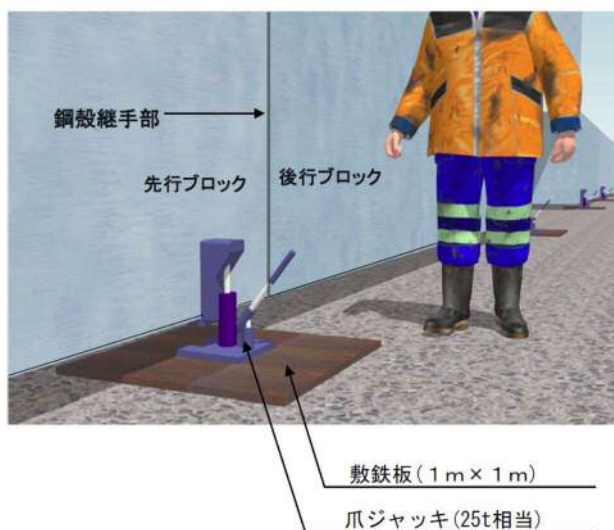


- 各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- 管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。

第4-3図 Step.3 ブロック架設工



※ 取水口頂版スラブの耐荷重は、別途、鋼殻の仮受けが可能であることを確認済みである。



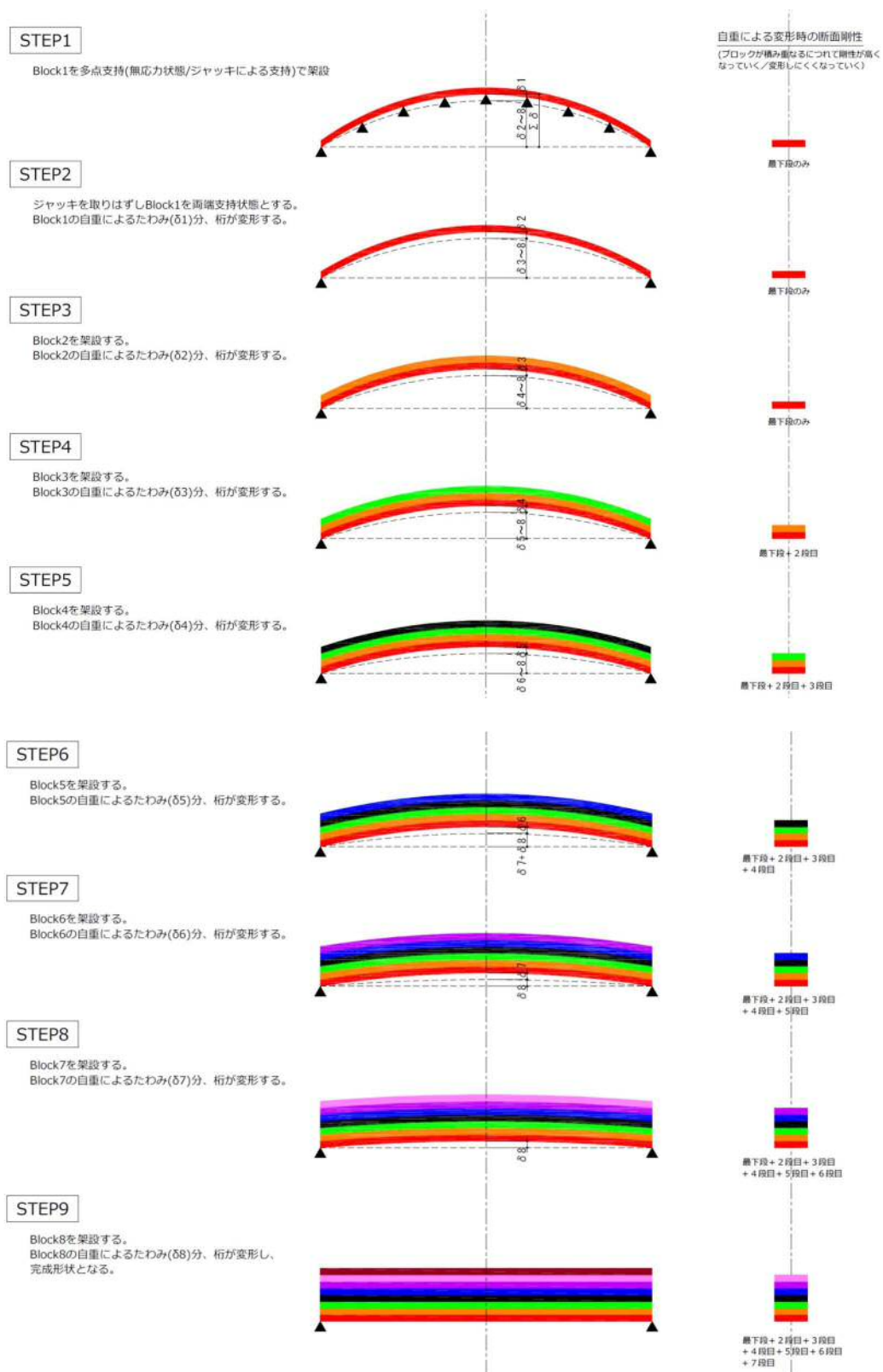
【油圧式爪ジャッキ】

株式会社タイキ



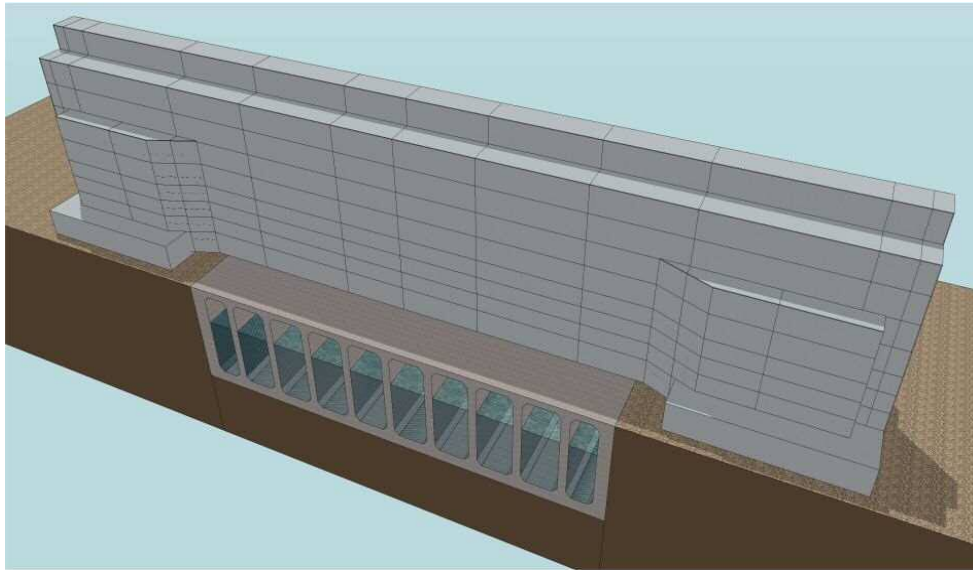
DH-25S-150
運搬キャリア付 25 ton

第 4-4 図 ジャッキによる仮受け状況 (イメージ)



- ・各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- ・管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。

第 4-5 図 上げ越し管理 (イメージ)



- 完成後は全体の出来形測定を実施し，所定の精度内に収まっていることを確認する。

第 4-6 図 Step. 4 完成

解析コード（COM3）の概要

コード名 項目	COM3
使用目的	鉄筋コンクリート構造物の3次元非線形動的／静的解析
開発機関	東京大学コンクリート研究室
開発時期	1980年～
使用したバージョン	Ver. 9.15
計算機コードの概要	COM3は、構造部材の材料非線形特性を考慮できる三次元FEM解析コードである。
検 証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証 (Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。 ・計算に用いる構成則のモデル化が適正であることは、鉄筋コンクリート版に関する載荷実験と応力～ひずみ関係を比較することで確認している*¹。 ・本解析コードに新たに組み込んだバイリニア型の地盤バネは、応答変位とバネ反力の関係が設定した理論値と一致することを確認している。 ・鋼製防護壁と基礎を接続する直接定着方式のアンカーボルトは、引抜き時の引抜き特性が実験結果をとりまとめた論文*²の結果とCOM3を用いた解析結果が良く一致することを示した。 【妥当性確認 (Validation)】 本計算機コードの検証の内容は、以下のとおりである。 ・鉄道施設や電力設備については、鉄筋コンクリート構造物の耐震性能や耐力評価に本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・コンクリート基礎とアンカーボルトの定着に関しては後述する鋼製タワーの載荷実験*³, *⁴との比較により確認している。 注記*¹: Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H. : Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, London, 2003. *²: 前野裕文, 後藤芳顕, 上條崇, 小林洋一: 鋼製橋脚に用いる実大付着型アンカーボルトの力学特性と定着部挙動の評価, 構造工学論文集, Vol.46A, pp. 1525 - 1533, 土木学会, 2000年04月 *³: 小松崎勇一, 篠崎裕生, 齋藤修一, 原田光男: 風車基礎ペDESTALの引抜きせん断耐力に関する実験的検討, 土木学会第63回年次学術講演会, pp.1093-1094, 平成20年9月 *⁴: 齋藤修一, 小松崎勇一, 原田光男: 風車基礎ペDESTALの引抜きせん断耐力に関する解析的検討, 土木学会第63回年次学術講演会, pp.1095-1096, 平成20年9月