

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-2-10 改 12
提出年月日	平成 29 年 8 月 28 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。

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

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設計方針及び液状化の検討について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

注：採番されていない資料は、今後追加予定の添付資料

(11)～(36)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。

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) 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)

4. 参考資料

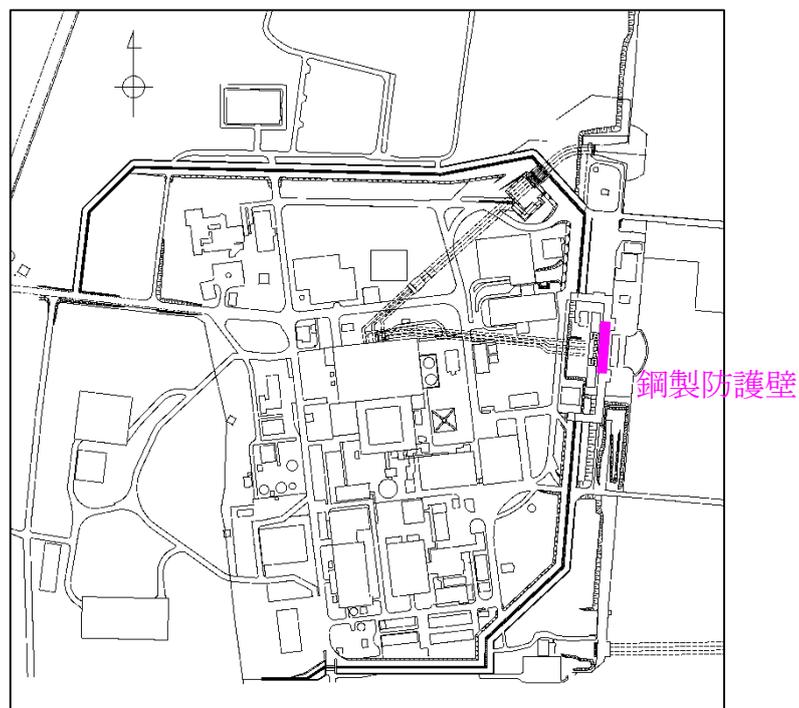
1. 鋼製防護壁の要求機能と設計方針について

(1) 鋼製防護壁に要求される機能

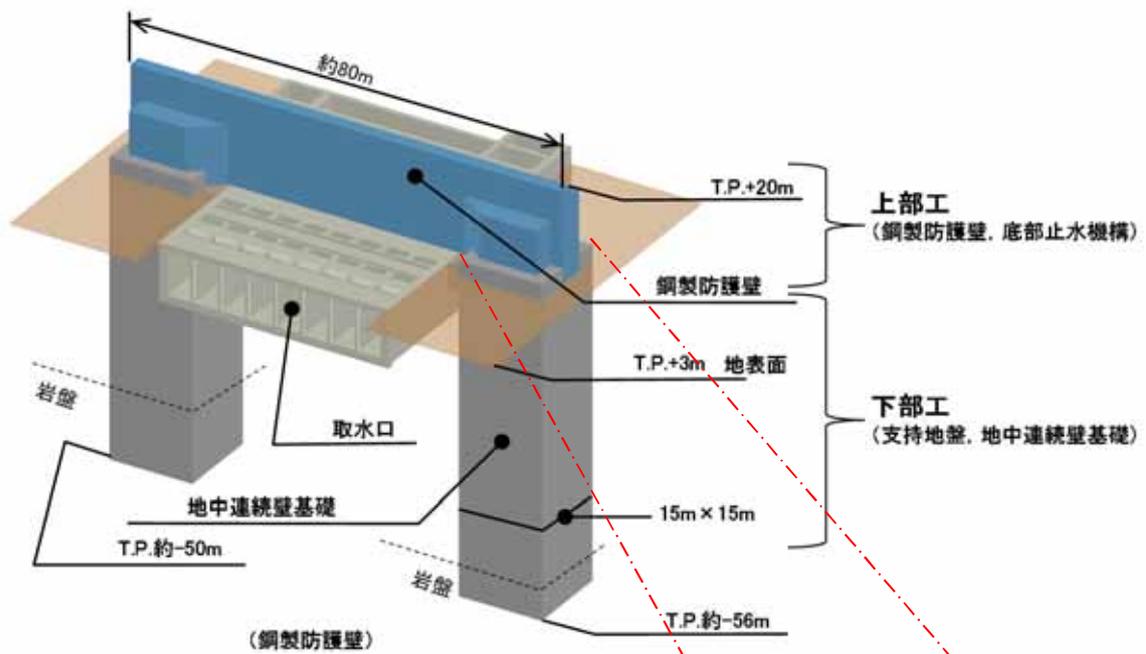
鋼製防護壁の平面位置図を第 1-1 図に、鋼製防護壁に関する要求機能と設計評価方針について第 1-1 表に、鋼製防護壁の評価対象部位を第 1-2 図～第 1-4 図に示す。

津波防護施設としての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。

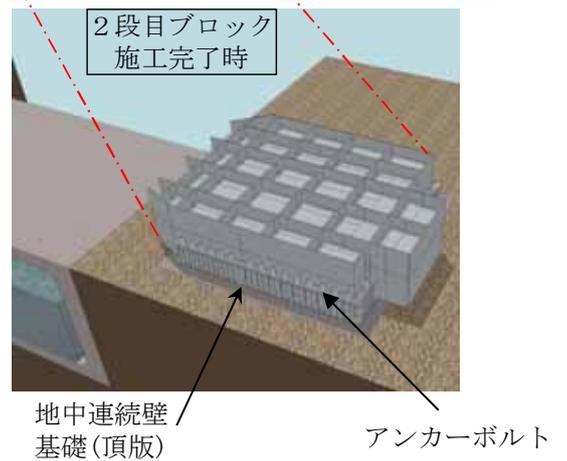
上記の機能を確保するための性能目標は、遡上津波に対して余裕を考慮した防潮堤高さを確保するとともに構造物の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対して止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。



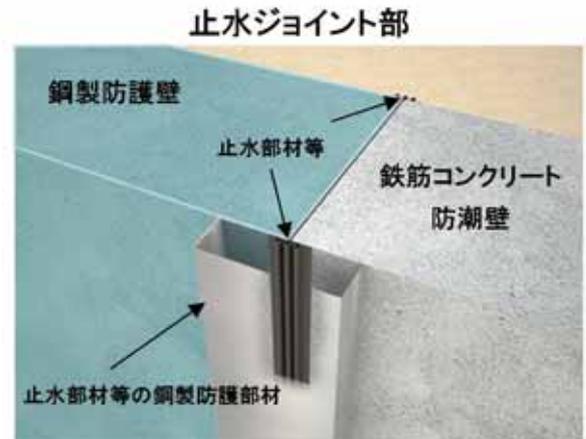
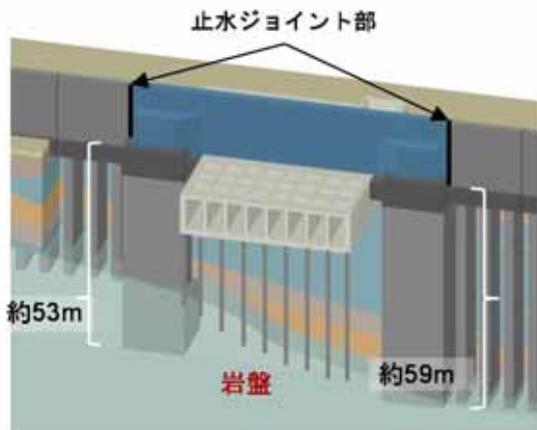
第 1-1 図 平面位置図



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。

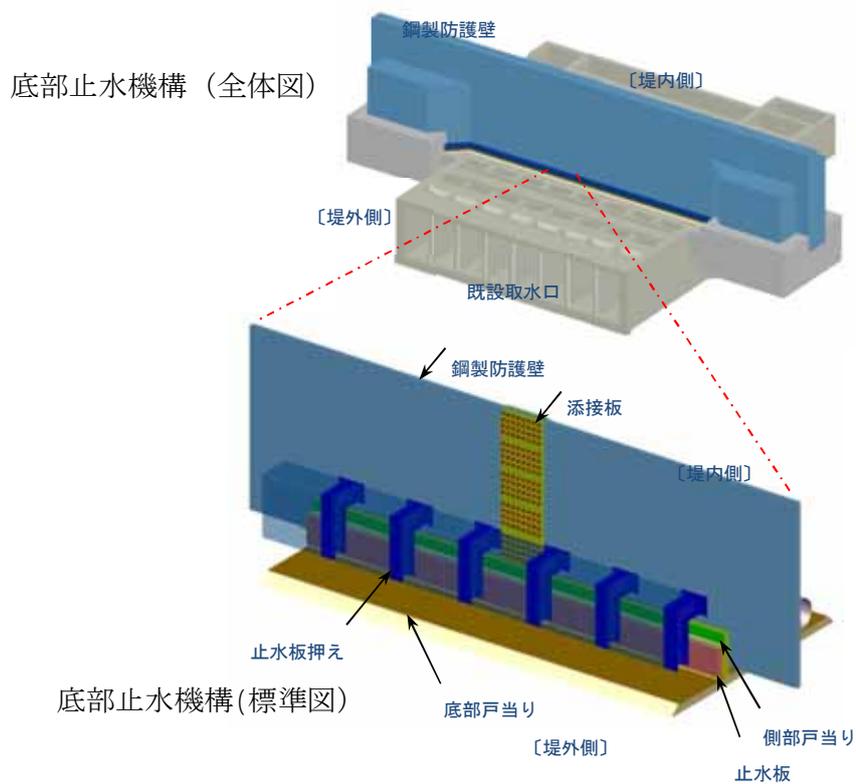


第 1-2 図 鋼製防護壁の評価対象部位 (その 1)



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)



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。

赤字：荷重条件

緑字：要求機能

青字：対応方針

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
海水ポンプ室周り防護壁	<p>基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド</p> <p>5.1 津波防護施設設計</p> <p>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。</p> <p>(1) 要求事項に適合する設計方針であることを確認する。</p> <p>(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。</p> <p>① 荷重組合せ</p> <p>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）</p> <p>② 荷重の設定</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>③ 許容限界</p> <p>a) 津波防護機能に対する機能保持限界として、当該構造物全体の变形能力（終局耐力時の变形）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。）</p>	<p>・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、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。</p> <p>・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。</p> <p>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、止水性を保持する設計とする。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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従する止水性を確保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。</p> <p>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。</p>	<p>・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。</p> <p>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、止水性を保持する設計とする。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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従する止水性を確保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。</p> <p>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。</p>	<p>・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支持される設計とするため、地中連続壁基礎が降伏に至らないことを確認する。</p> <p>・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支持される設計とするため、地中連続壁基礎が降伏に至らないことを確認する。</p> <p>・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支持される設計とするため、地中連続壁基礎が降伏に至らないことを確認する。</p>	下部工	支持地盤	前面地盤の塑性化	支持機能を喪失する状態	「道路標示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」を踏まえ、許容塑性化率 60%以下、許容浮上り面積率 60%以下とする。	
							基礎底面の浮上り			許容塑性化率 60%以下 許容浮上り面積率 60%以下
						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		「道路標示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編・V 耐震設計編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
	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	「道路標示方書・同解説（I 共通編・II 鋼橋編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。						
					降伏応力度以下					
	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	「道路標示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」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 せん断耐力以下					
上部工	止水ゴム等	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						
				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						
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	「道路標示方書・同解説（I 共通編・II 鋼橋編）」「水門鉄管技術基準」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) 鋼製防護壁高さの設定方針

鋼製防護壁は、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高さを設定している。入力津波高さと防潮壁高さの関係を第1-2表に示す。鉄鋼製防護壁は敷地前面東側に配置する。

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

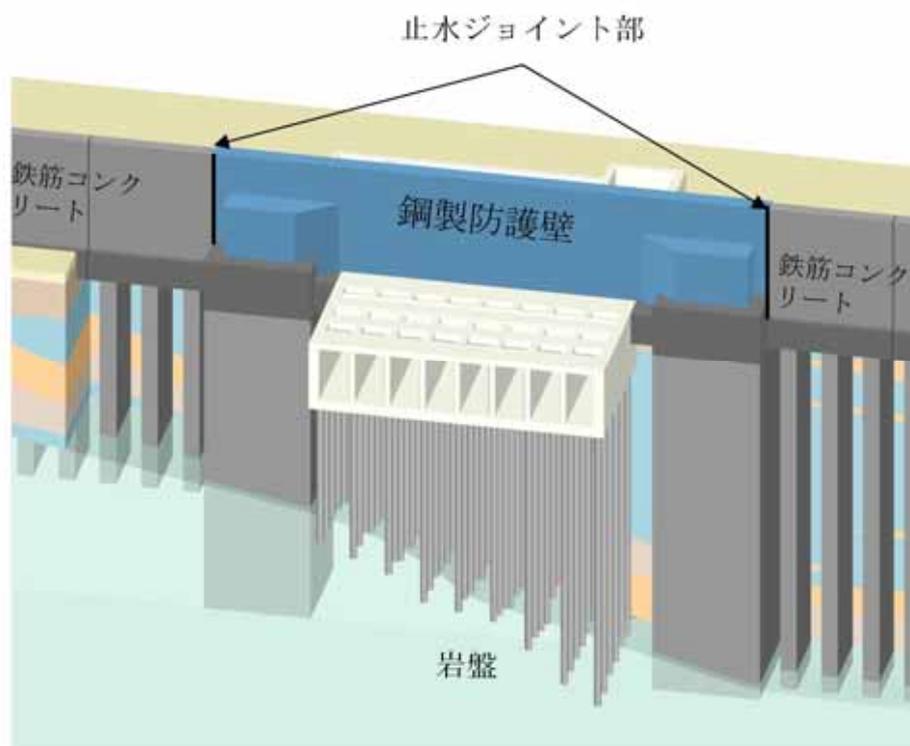
鋼製防護壁は、海水ポンプ室東側の取水口横断部に配置する。

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。

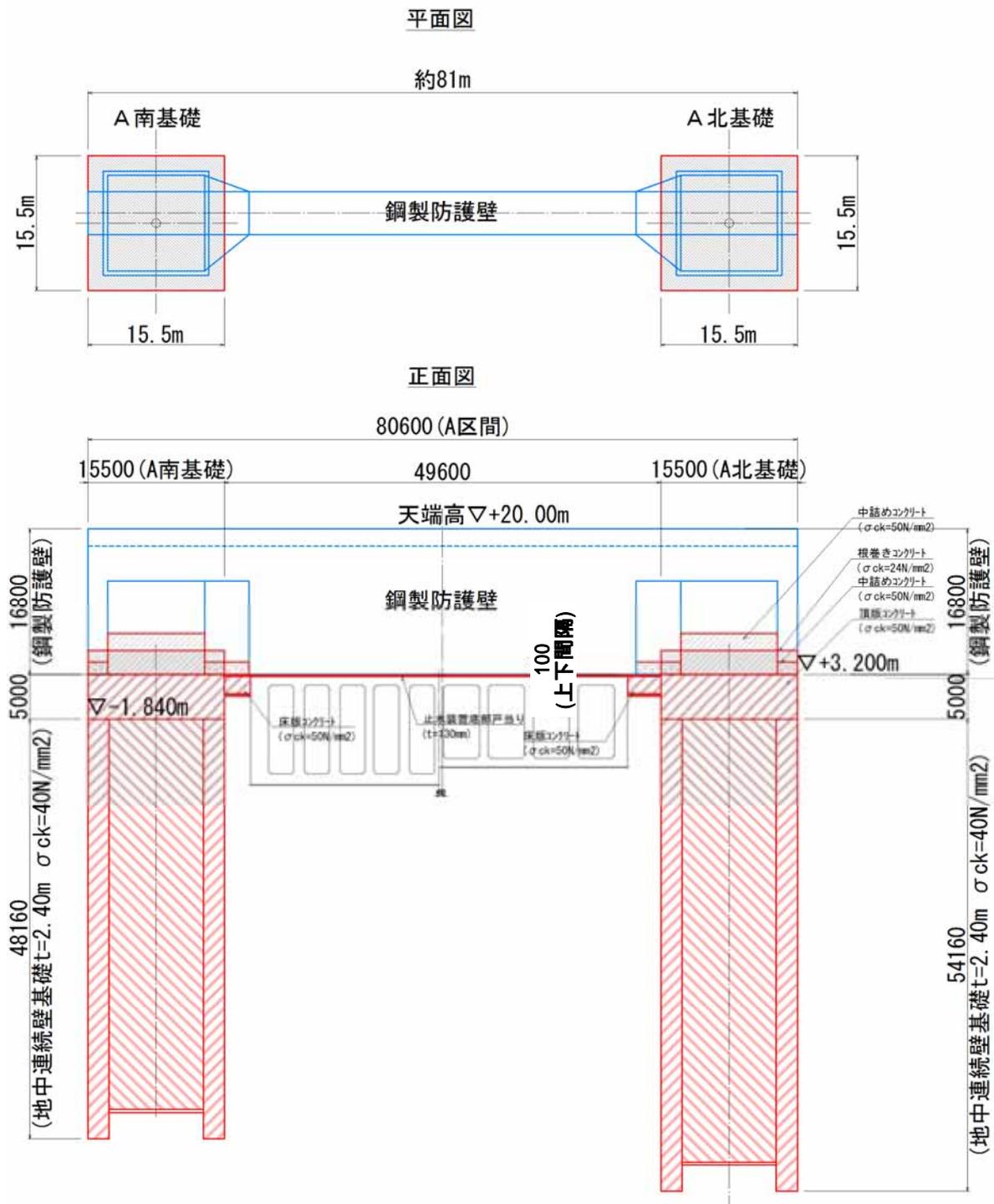
上部工の鋼製防護壁の底面と既設取水構造物との境界部には、止水性維持のために止水機構を設置する。

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。

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



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 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

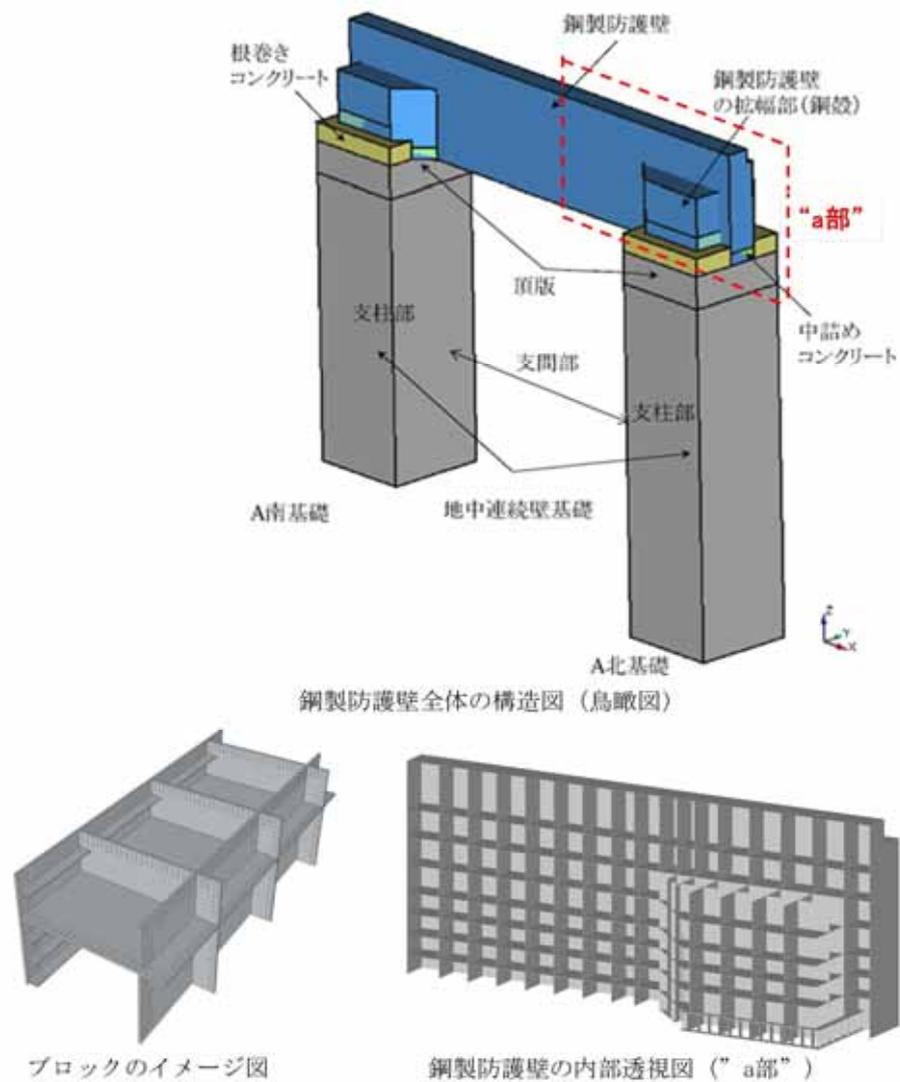
① 全体構造の概要

鋼製防護壁全体の構造を第 1-7 図に示す。鋼製防護壁全体の概略の構成を第 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造図を第 1-9 図、地中連続壁基礎の構成図を第 1-10 図に示す。

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。

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。

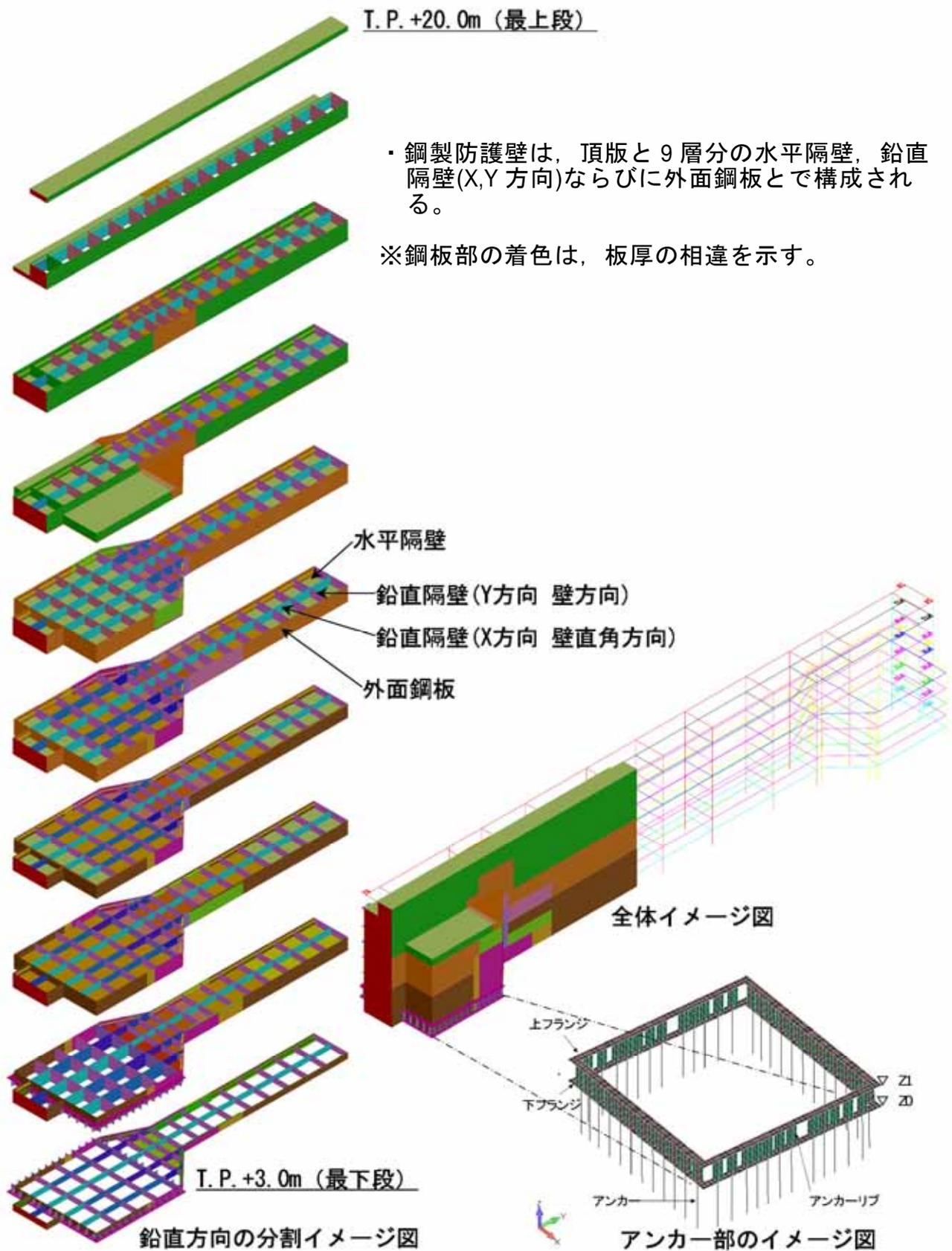
基礎部と鋼製防護壁は、基礎部上部の頂版コンクリート内に設置されたアンカーボルトにより結合する。鋼製防護壁の基礎部直上の鋼殻内には、必要な高さまで中詰めコンクリートを打設する。なお、頂版コンクリート及び中詰めコンクリートは鉄筋コンクリート造とする。



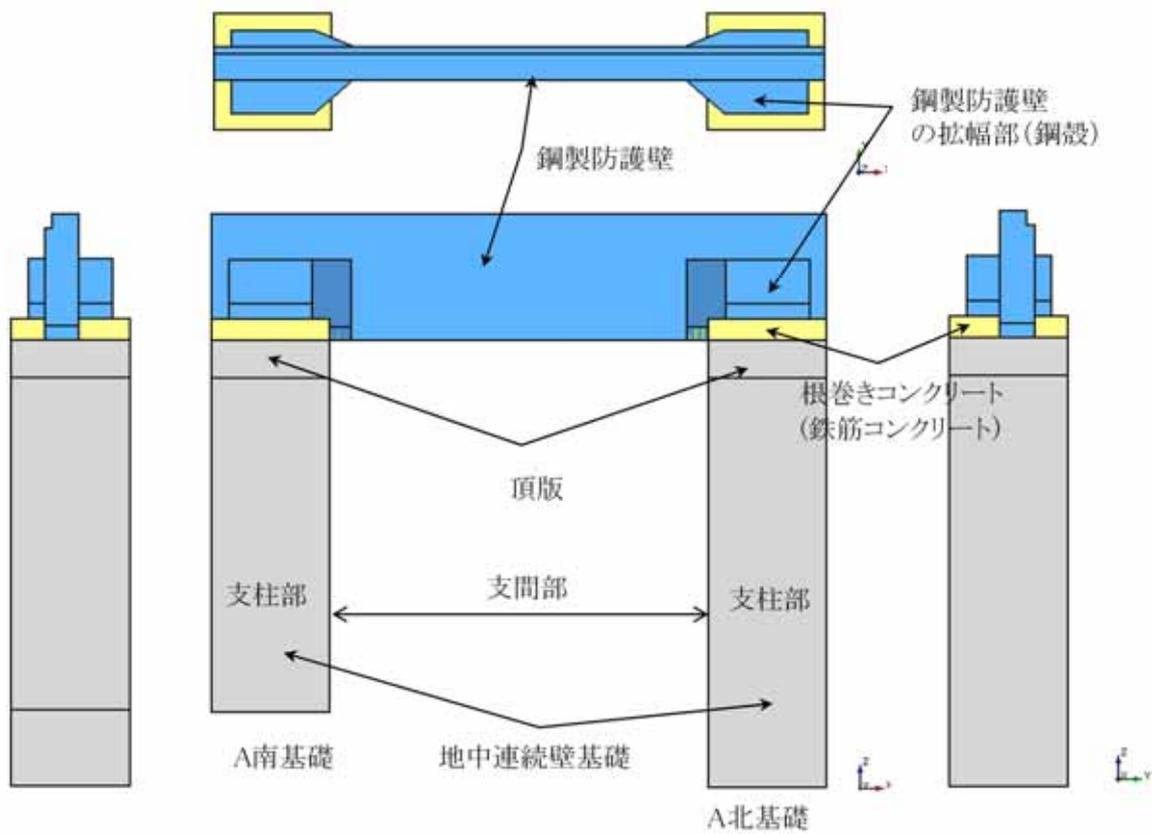
第 1-7 図 鋼製防護壁全体の構造図

第 1-3 表 鋼製防護壁全体の概略の構成

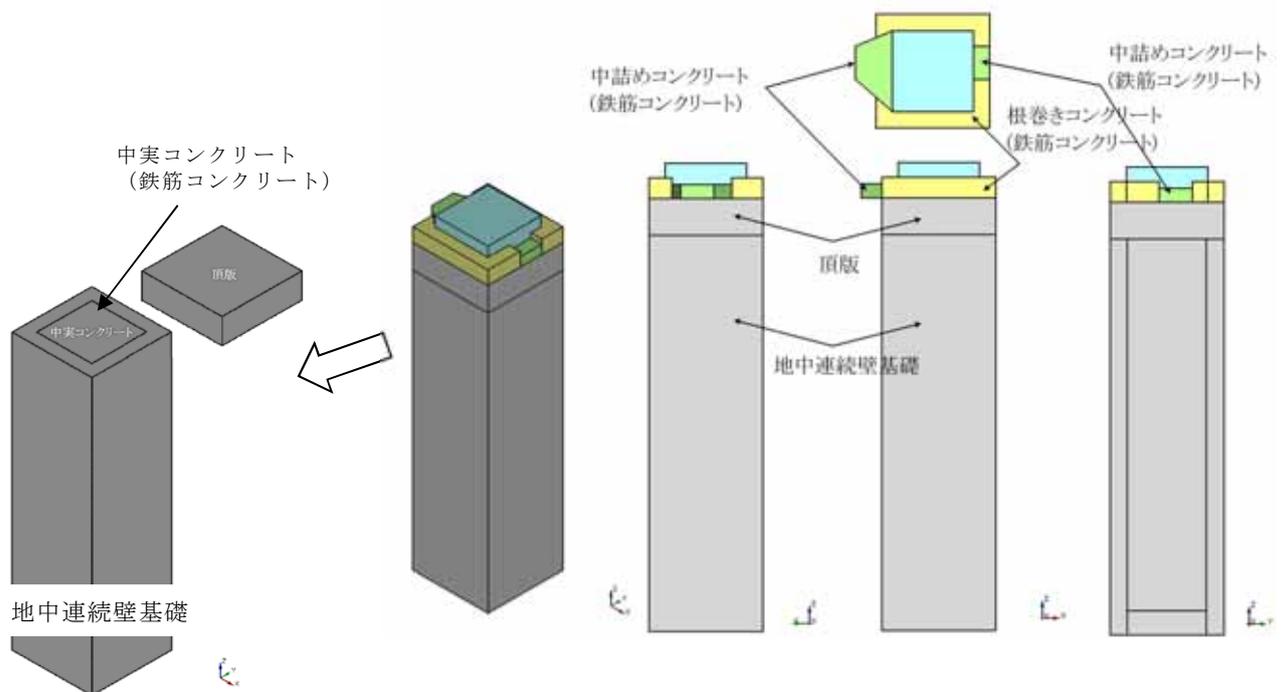
No.	分類	構成	備考
1	鋼製防護壁	鋼製防護壁 (支間部, 支柱部)	
		鋼殻 (支柱部)	
		中詰めコンクリート	鋼殻内部の鉄筋コンクリート
2	アンカーボルト	—	鋼殻と頂版コンクリートの定着
3	根巻きコンクリート	—	定着アンカーの防食などを目的とした鉄筋コンクリート
4	地中連続壁基礎 (A 北, A 南)	頂版コンクリート	鉄筋コンクリート
		地中連続壁	鉄筋コンクリート
		中実コンクリート	地中連続壁内部の鉄筋コンクリート



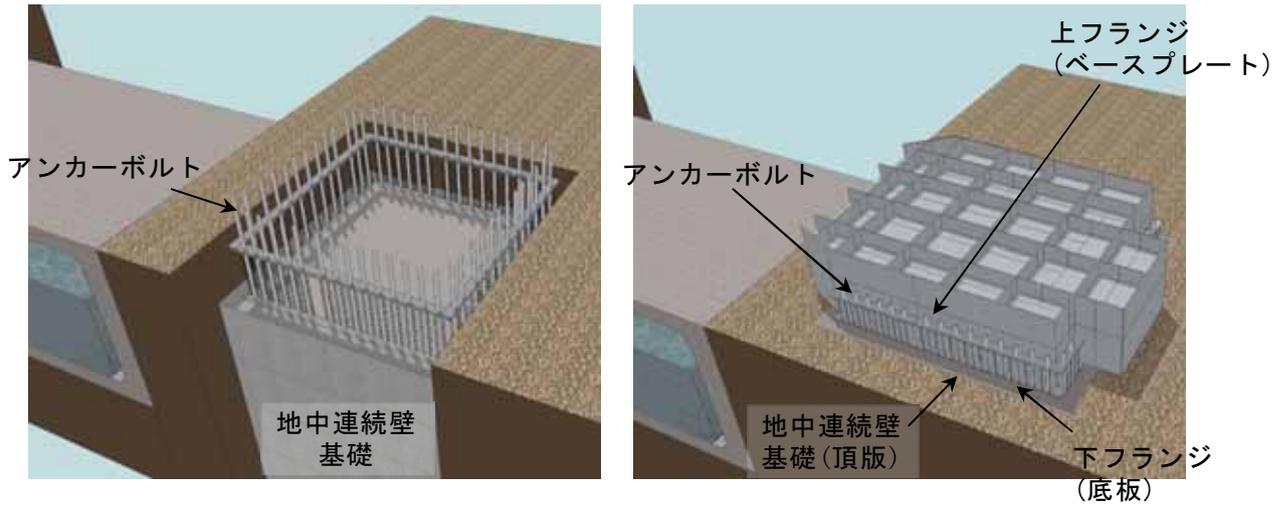
第 1-8 図 鋼製防護壁の構造図 (鋼製防護壁の鉛直方向ブロック分割)



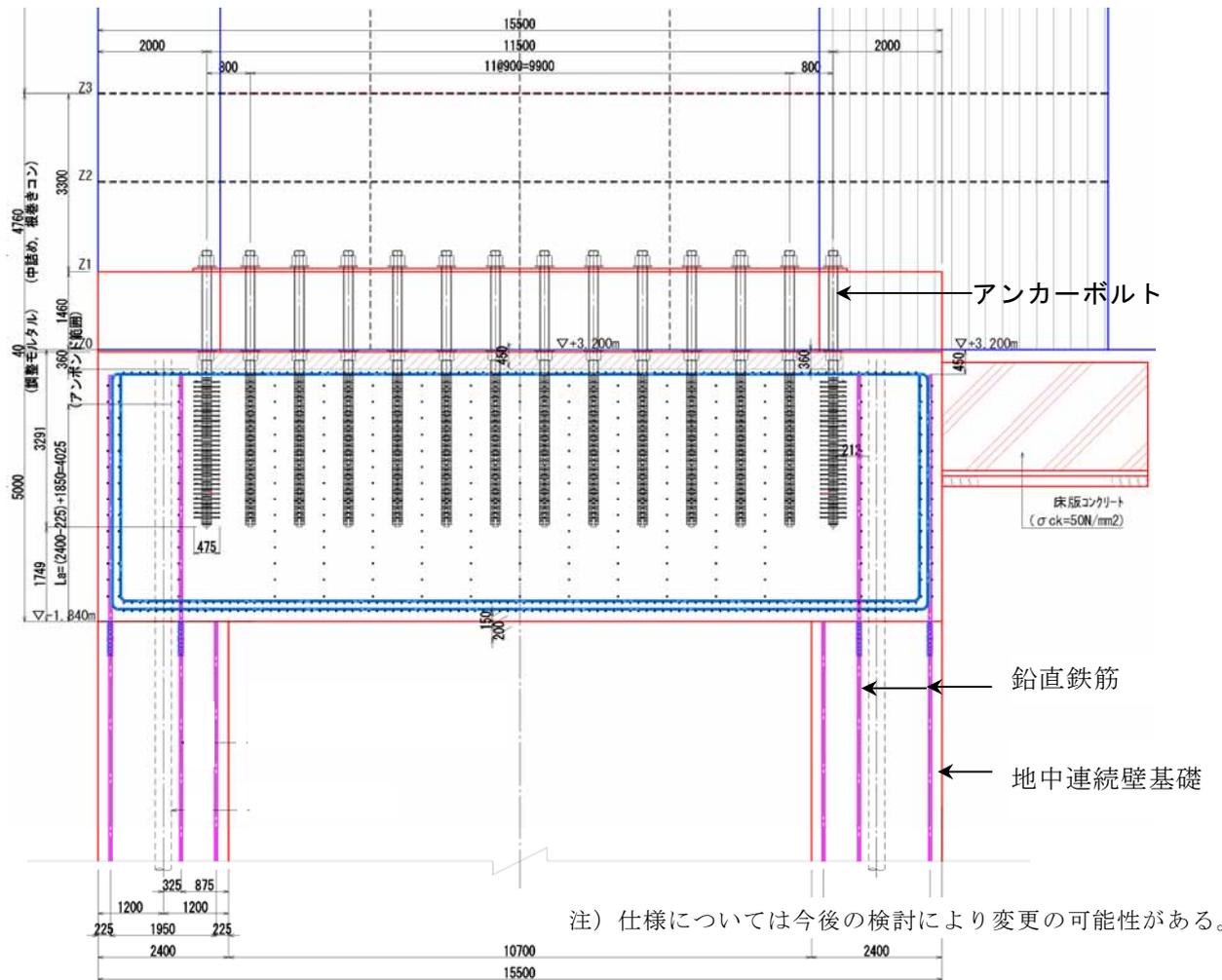
第 1-9 図 鋼製防護壁全体の構造図



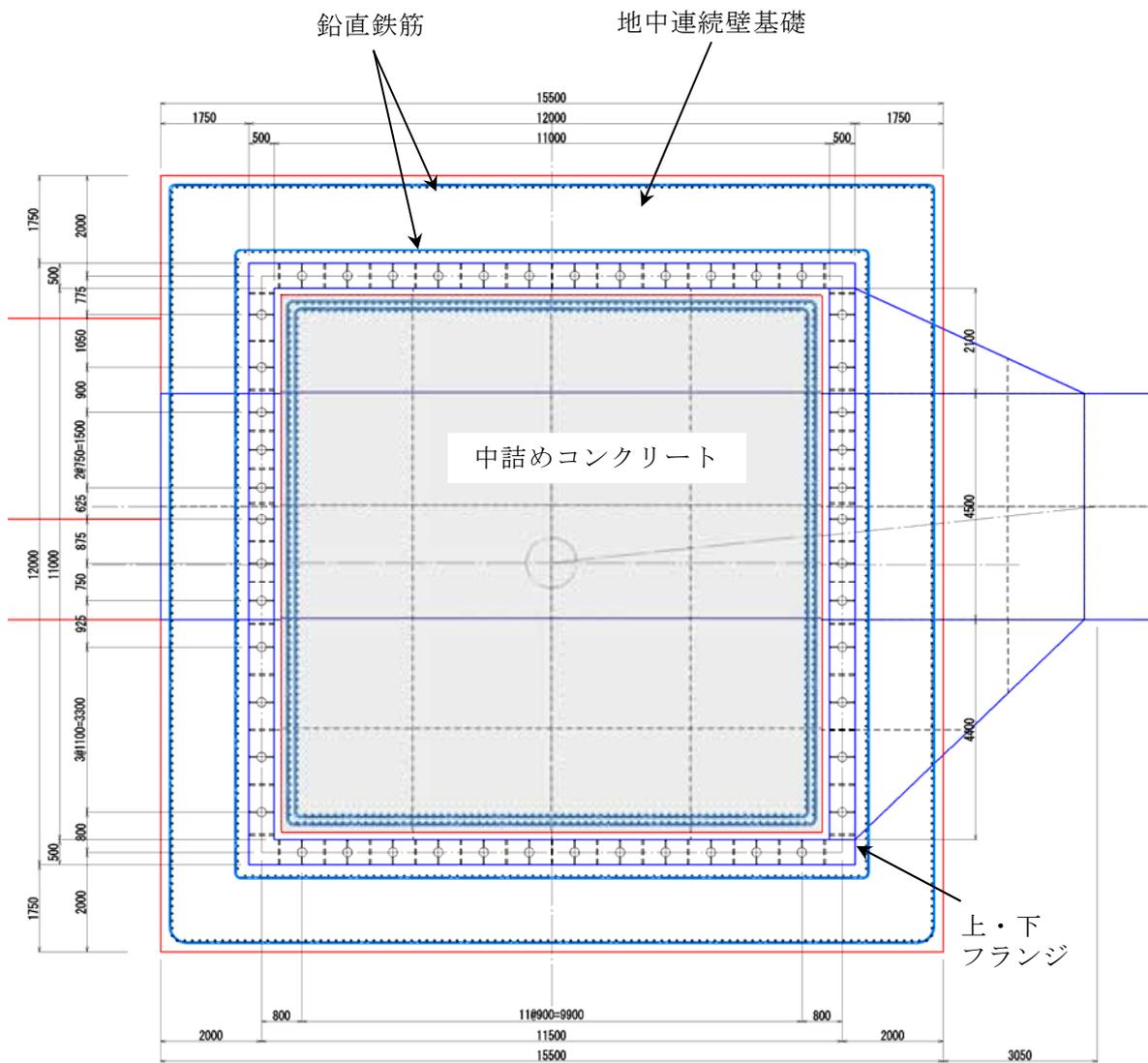
第 1-10 図 地中連続壁基礎の構成図



第 1-11 図 鋼製防護壁-地中連続壁基礎 結合部イメージ図



第 1-12 図 鋼製防護壁-地中連続壁基礎 結合部縦断面図



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 1-13 図 鋼製防護壁-地中連続壁基礎 結合部水平面図

② 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、地震時、津波時においてほぼ同等の変位量となるように地中連続壁基礎の根入れ長を算定した。

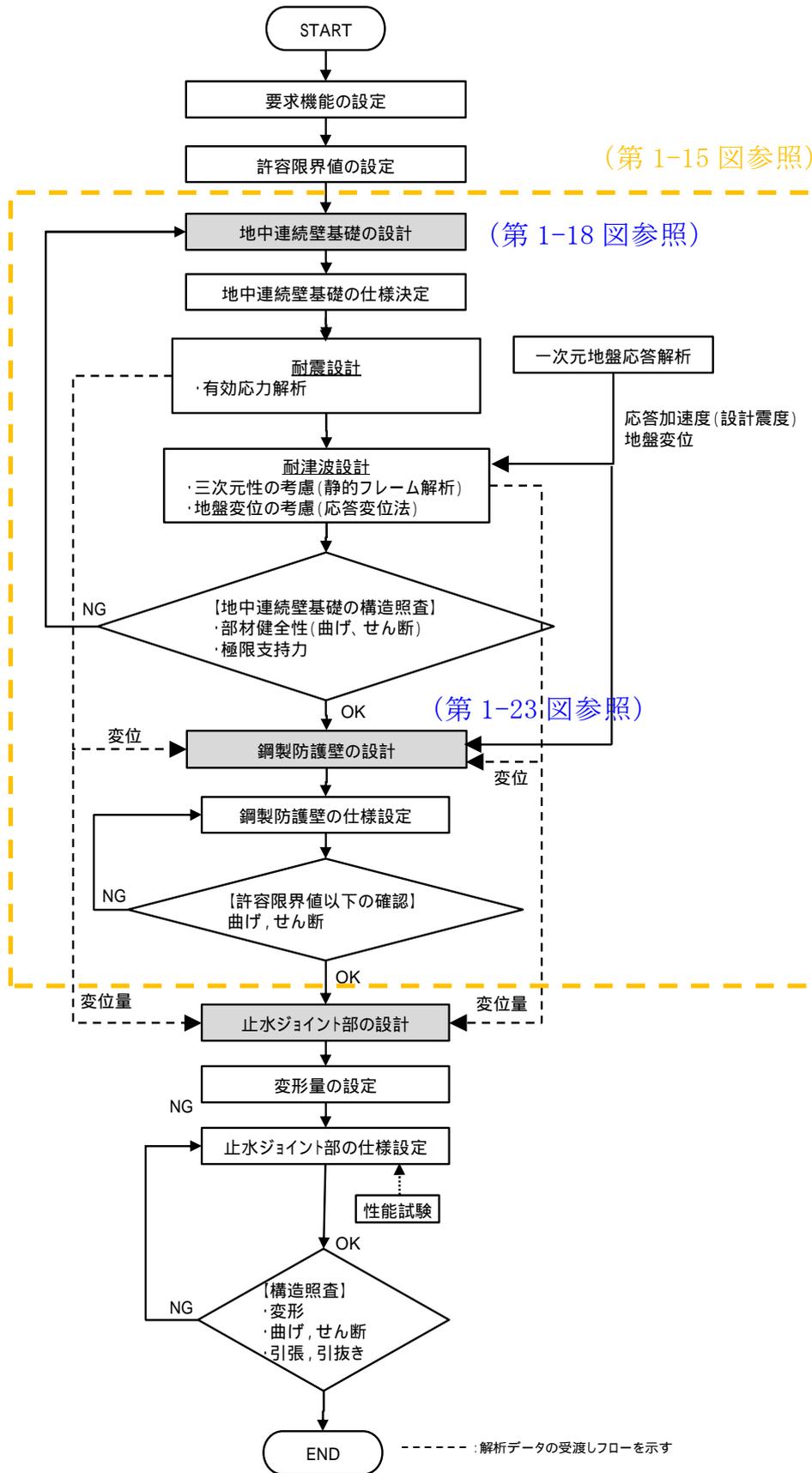
3) 設計手順

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評価を行う。

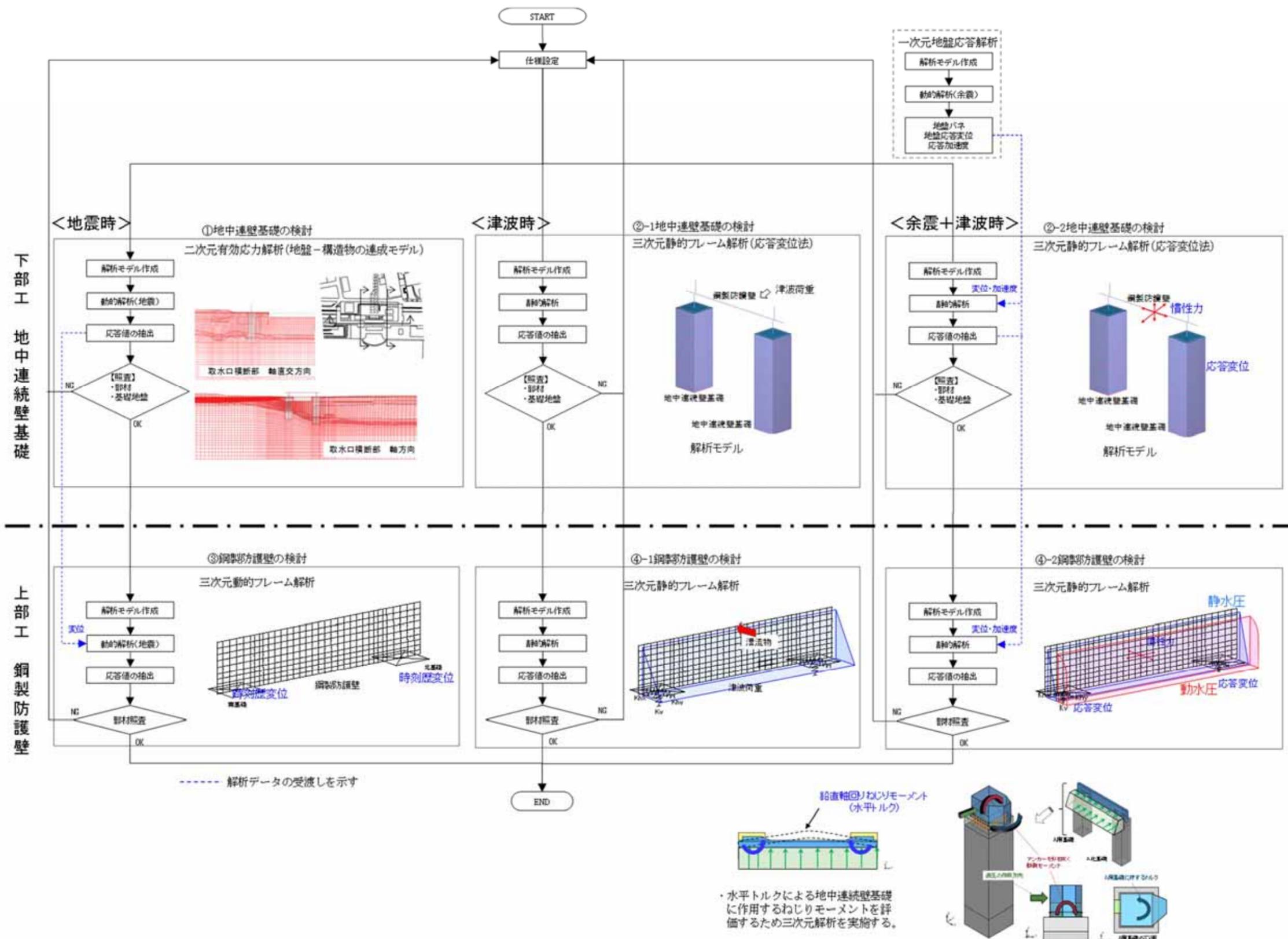
鋼製防護壁の構造健全性評価の検討フローを第1-14図に、鋼製防護壁の検討モデルと評価フローを第1-15図に示す。

第1-4表 鋼製防護壁の評価項目

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	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	
	地中連続壁基礎	曲げ せん断	「道路橋示方書・同解説(I 共通編・IV 下部構造編・V 耐震設計編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏モーメント以下 せん断耐力以下	
上部工	鋼製防護壁	曲げ せん断	「道路橋示方書・同解説(I 共通編・II 鋼橋編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下	
	アンカーボルト	引張り せん断 引抜き	「道路橋示方書・同解説(I 共通編・IV 下部構造編)」 「鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)」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 せん断耐力以下	
	止水ゴム等	変形	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以下とする。	
		引張り	許容変形量以下 許容引張り力以下	
	止水ジョイント部	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
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」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 1-14 図 鋼製防護壁の構造健全性評価の検討フロー



第 1-15 図 鋼製防護壁の検討モデルと評価フロー

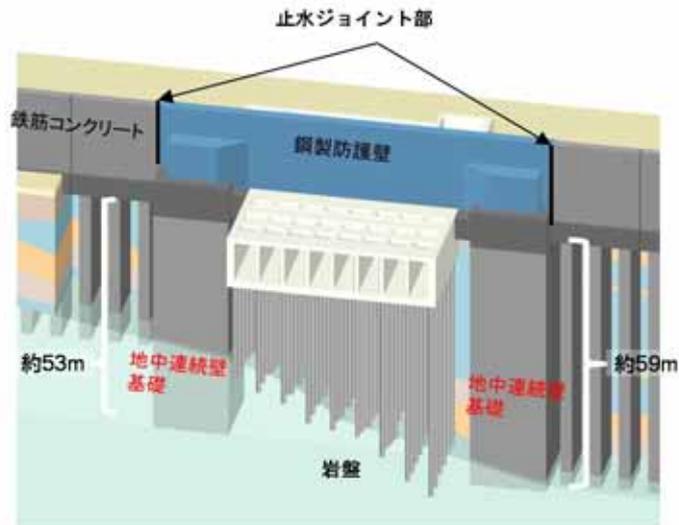
4) 地中連続壁基礎の設計方針

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。

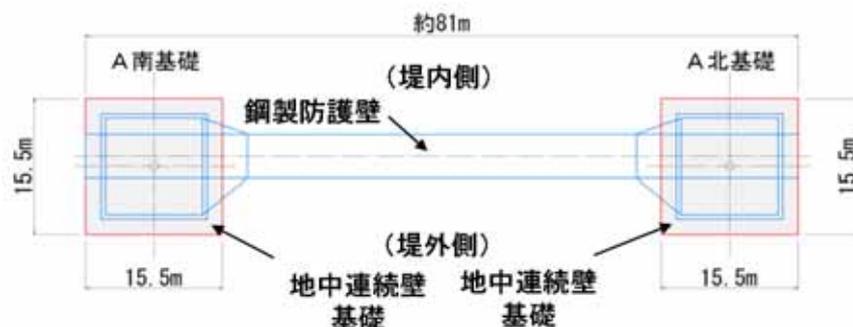
鋼製防護壁の基礎は、津波時においてほぼ同等の変位量となるように地中連続壁基礎の根入れ長を設定し、地震時においても各部位が十分な余裕を有することを確認する。

地中連続壁基礎の支持性能に対しては、押込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 1-16 図に、また平面図を第 1-17 図に示す。

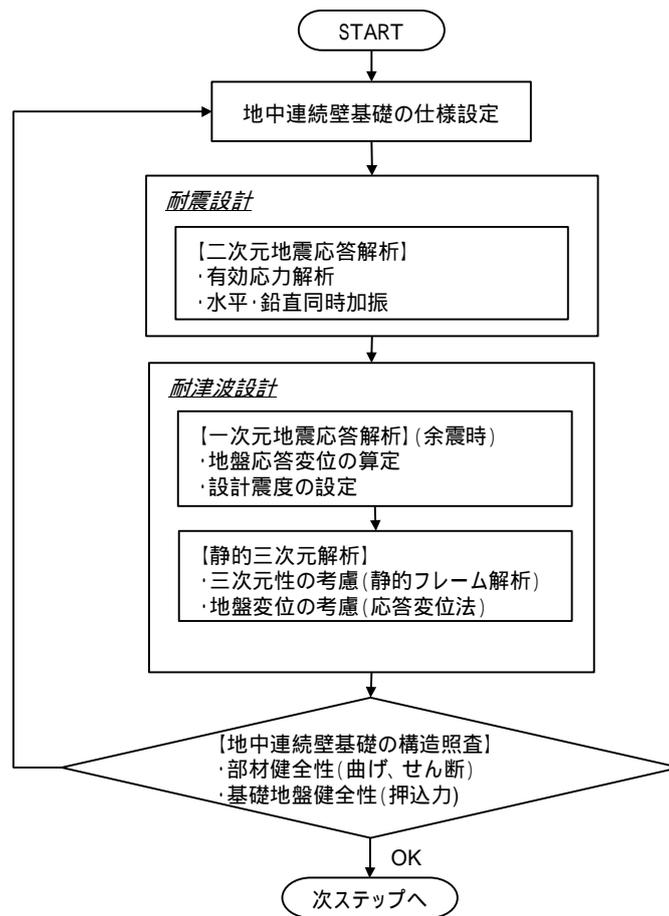


第 1-16 図 鋼製防護壁 構造イメージ図



第 1-17 図 鋼製防護壁 平面図

地中連続壁基礎の設計フローを第 1-18 図に示す。津波時及び余震との重畳時（津波＋余震）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，壁体に発生する断面力を用いて応力照査を実施する。



第 1-18 図 地中連続壁基礎の設計フロー

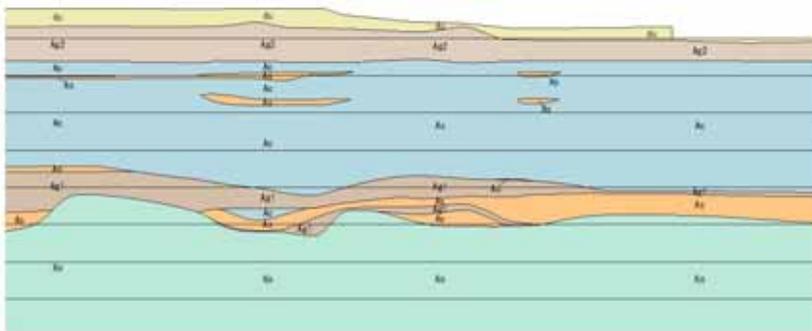
① 耐震設計（有効応力解析）

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、本震時の地中連続壁基礎の構造健全性を確認する。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短期許容応力度以下となるよう設計する。

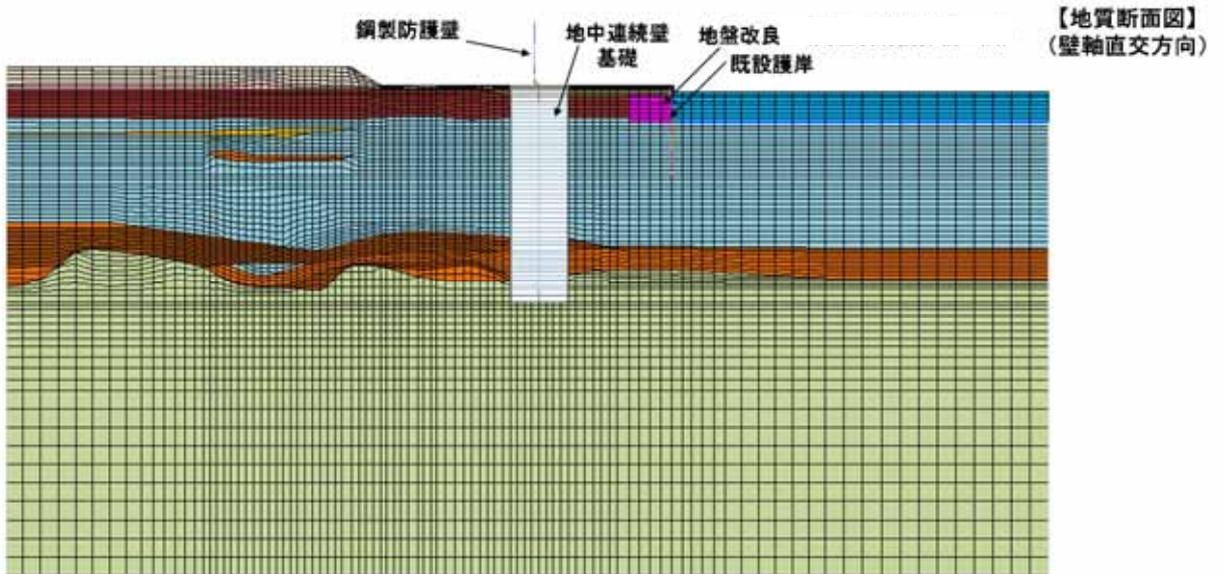
液状化強度特性については、平均 -1σ の値を用いることで保守性を考慮する。さらに、地質分布の不確かさに着目し、原地盤の液状化強度特性を適用した基準地震動 S_s による解析の結果、最も厳しいケースにおいて、より一層保守的に、液状化検討対象層である全ての砂層、礫層に対し、豊浦標準砂の液状化強度特性を与えることで、強制的に液状化させる条件を仮定した解析モデルについても検討する。

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 T.P. -130m までをモデル化する。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。

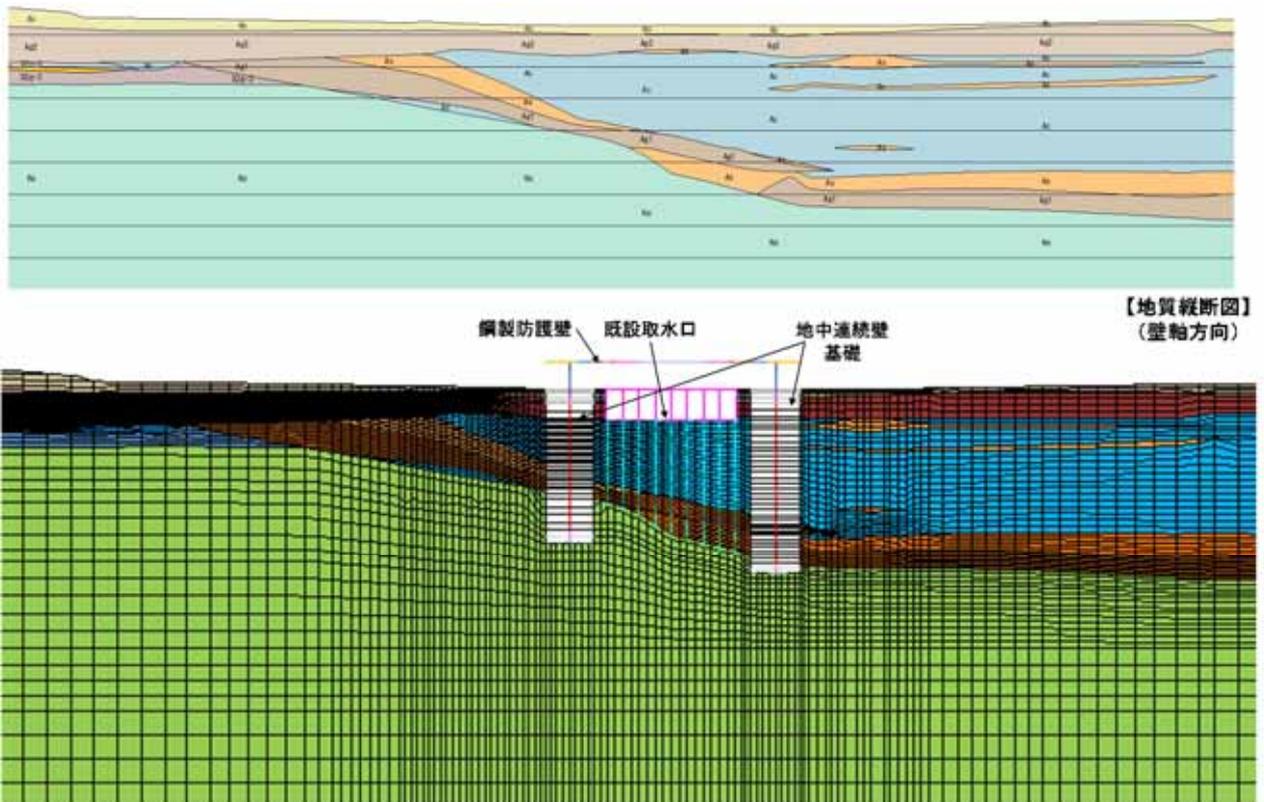


地質時代	地層区分	記号	層名	備考
新 第三 紀	沖積地 層群	Ag1	砂	軟弱な層に多く分布する。
		Ag2	砂礫	軟弱な層に多く分布する。
		Ag3	粘土	水割れが起きし、圧縮性 を有する層に多く分布する。
旧 第三 紀	低位階在 地層群	Ag4	砂礫	
		Ag5	シルト	
		Ag6	砂	軟弱な層に多く分布して いる。
		Ag7	シルト	
紀	中位階在 地層群	Ag8	砂礫	
		Ag9	シルト	
		Ag10	砂	軟弱な層に多く分布し、 この層に軟弱な層を 構成する。
第三紀新第三紀	古層群	Ag11	砂礫	軟弱な層に多く分布する。



(解析メッシュ図)

第 1-19 図 地震応答解析モデル (軸直交方向) の例



(解析メッシュ図)

第 1-20 図 地震応答解析モデル (軸方向) の例

b. 地震応答解析

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。

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

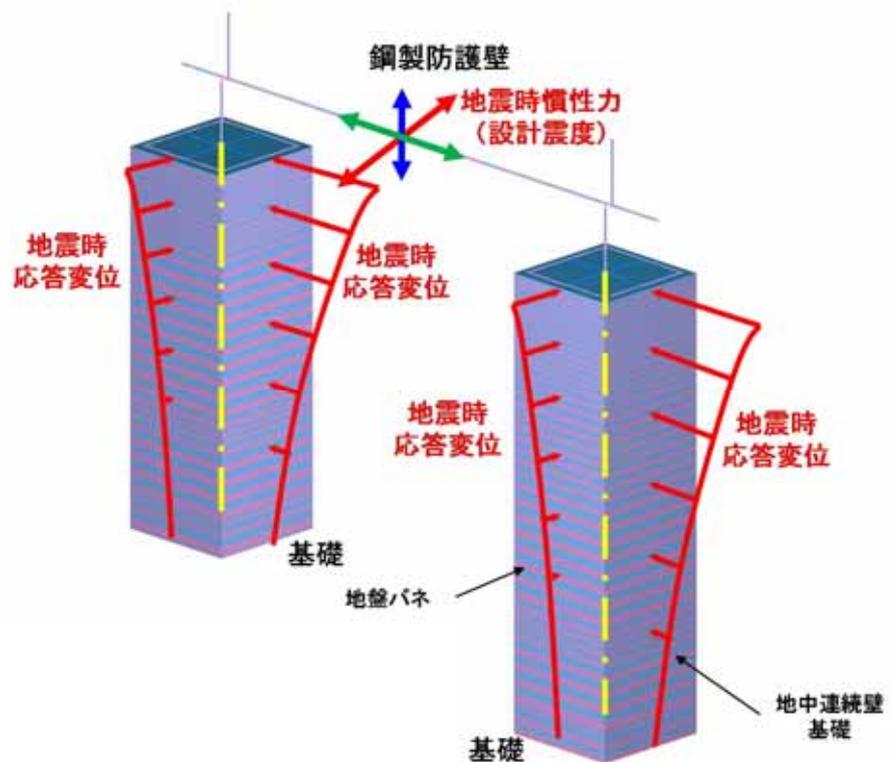
地震応答解析により算定された地中連続壁基礎の断面力を用いて、曲げモーメント・軸力に対する照査、せん断に対する照査を行い、許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能として、基礎底面に発生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（静的三次元解析）

地中連続壁基礎を三次元梁要素とし、フーチング及び鉄筋コンクリートを三次元平面要素として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解析を行なう。死荷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、部材の発生応力が短期許容応力度以下となるよう設計する。解析モデル概念図を第 1-21 図に示す。

基礎地盤の支持性能として、基礎底面に発生する地盤反力が極限支持力以下であることを確認する。



第 1-21 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IV下部構造編に準拠して設定し、上限値を有するバイリニア型とする。地盤反力係数は、静弾性係数及び余震時の収束剛性から算定する。余震時の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。

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

E_D ：地盤の変形係数 (kN/m²)

ν_d ：動ポアソン比

G_0 ：地盤の余震時収束剛性 (kN/m²)

地盤反力係数及び地盤バネの上限値の算定内容を第 1-5 表に示す。保守性を考慮するため、地盤反力係数を本震時の収束剛性、地盤バネの上限値を残留せん断強度の -1σ 値より算定した場合についても解析を行う。

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	静弾性係数より算定	残留強度 (-1σ 低減値)
重畳時	余震時の収束剛性より算定	残留強度 (-1σ 低減値)

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。

5) 鋼製防護壁（上部工）の設計方針

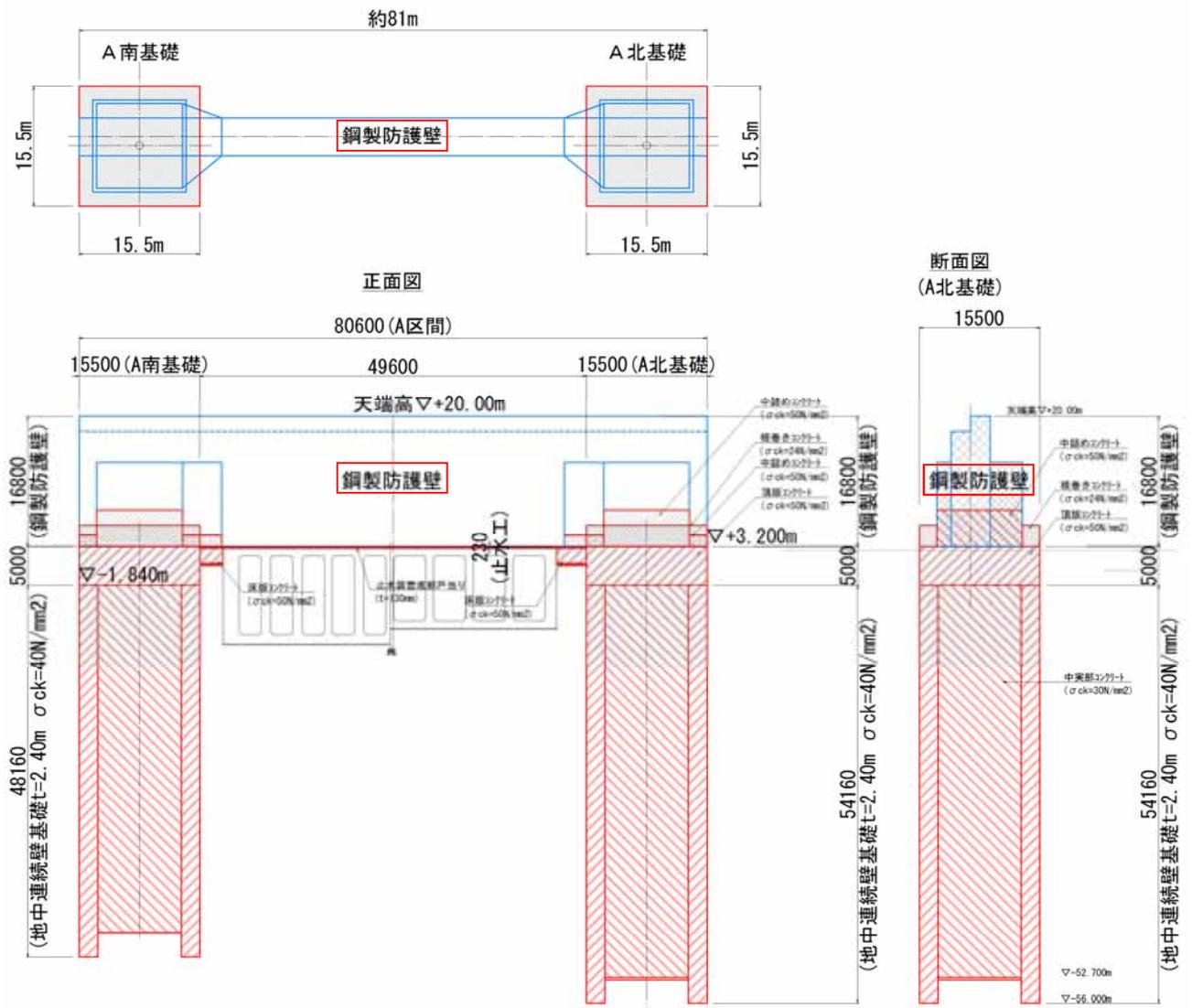
上部工となる鋼製防護壁に要求される性能は、津波に対する止水性を確保することである。そのため、繰返し襲来する津波荷重が作用した場合に對して弾性状態に留まる必要がある。

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。

鋼製防護壁は、基礎頂版を支点とする梁として設計する。

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、保守的に防潮堤天端に作用するものとして考慮する。隣接する鉄筋コンクリート防潮壁との異種構造物間には止水ジョイント部を設けて止水性を確保する。

鋼製防護壁の構造図を第 1-22 図に、設計フローを第 1-23 図に示す。

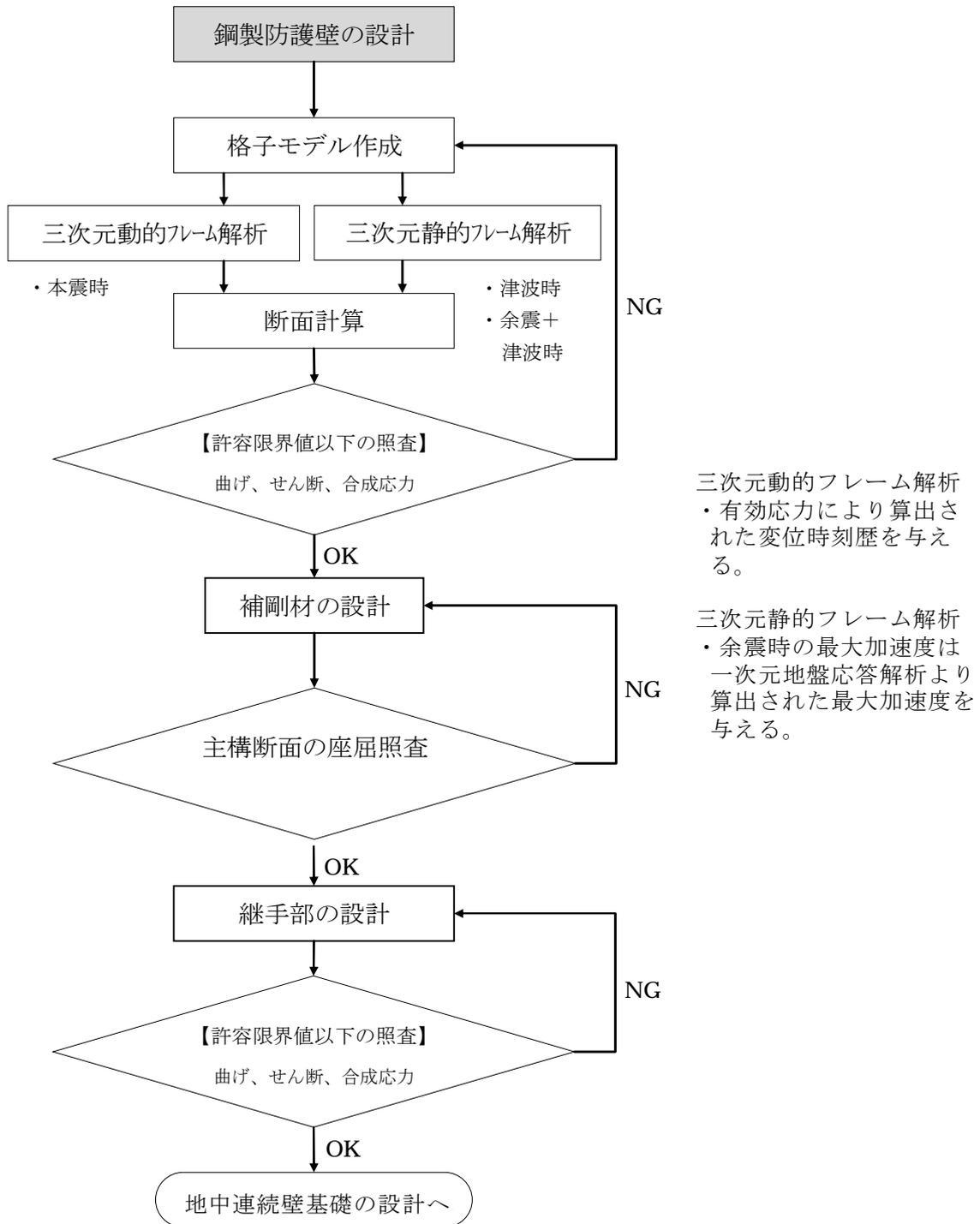


注) 仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

第 1-22 図 鋼製防護壁の構造図

① 鋼製防護壁の設計フロー

a. 設計フロー



第 1-23 図 鋼製防護壁の設計フロー

b. 三次元動的フレーム解析

本震時において格子モデルによる動的フレーム解析を行う。

検討方向は、壁軸直角方向と壁軸方向とする。

【解析での考慮】

- i) 上部工に本震による慣性力を動的に作用させ、鋼製防護壁に生じる鋼材の引張・せん断応力を照査する。なお、風荷重を重畳させる。
- ii) 有効応力により算出された変位時刻歴を与える。

c. 三次元静的フレーム解析

津波時、余震+津波時において格子モデルによる静的フレーム解析を行う。

検討方向は、余震+津波時については、壁軸直角方向、壁軸方向および鉛直方向とする。津波時は、壁軸直角方向のみとする。

【解析での考慮】

- i) 余震時の最大加速度は一次元地盤応答解析より算出された最大加速度を与える。
- ii) 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載荷する。

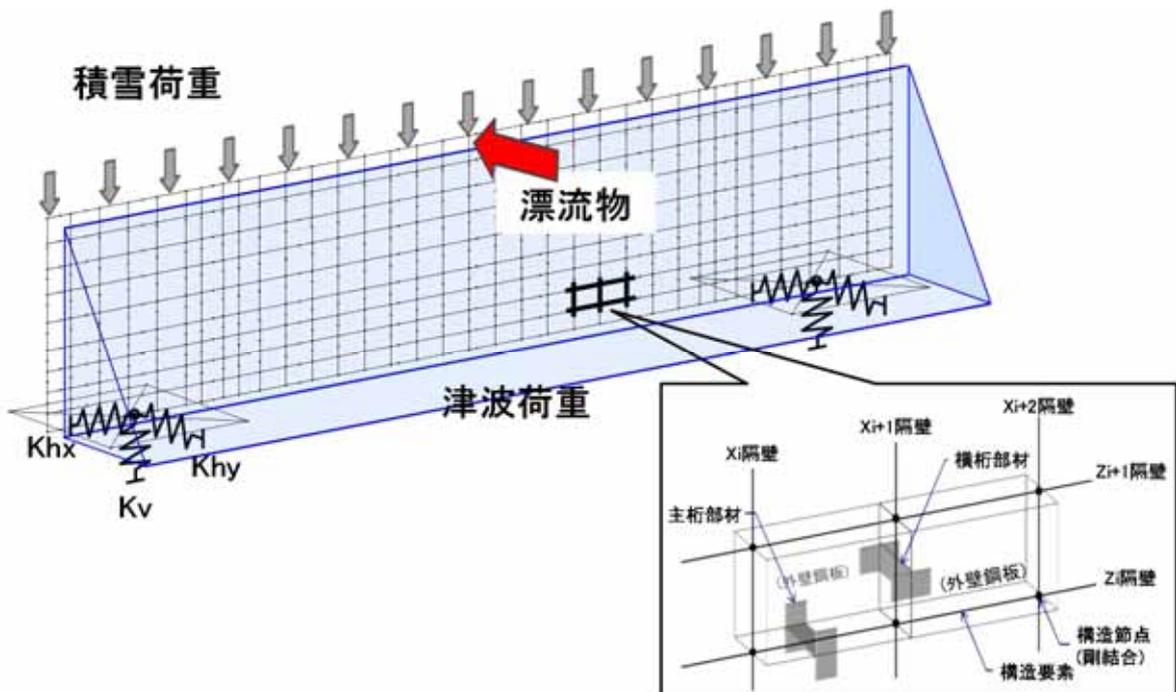
d. モデル化方針

鋼製防護壁のみを，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）隔壁および鉛直（Z方向）隔壁の交差位置を節点とした格子モデルとする。

解析モデル図を第 1-24 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。
- 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。
- 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。



第 1-24 図 解析モデル図

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

本震時は変位時刻歴を解析モデル支点（地中連続壁基礎）に与える。

津波時および余震＋津波時の解析モデル支点（地中連続壁基礎）には地盤の壁軸方向，壁軸直角方向及び鉛直抵抗を模擬する基礎バネを設置する。

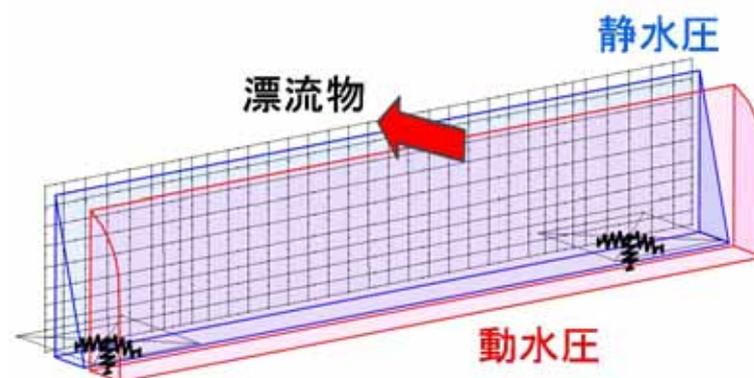
基礎バネの算定方法は，取水口を挟む北側，南側の地中連続壁基礎を各々モデル化して，これに単位荷重を作用させて，その際の変位量からバネ値を算出する。

基礎バネと梁要素はピン結合され，水平方向バネには水平方向反力，鉛直方向バネには鉛直方向反力が伝わる。

津波荷重は，鋼製防護壁にかかる静水圧を格子モデルに載荷する。余震時には，動水圧も同時に載荷する。

漂流物の衝突荷重については，最も曲げモーメントが大きくなる位置に載荷する。

解析モデルに作用させる荷重イメージを第 1-25 図に示す。

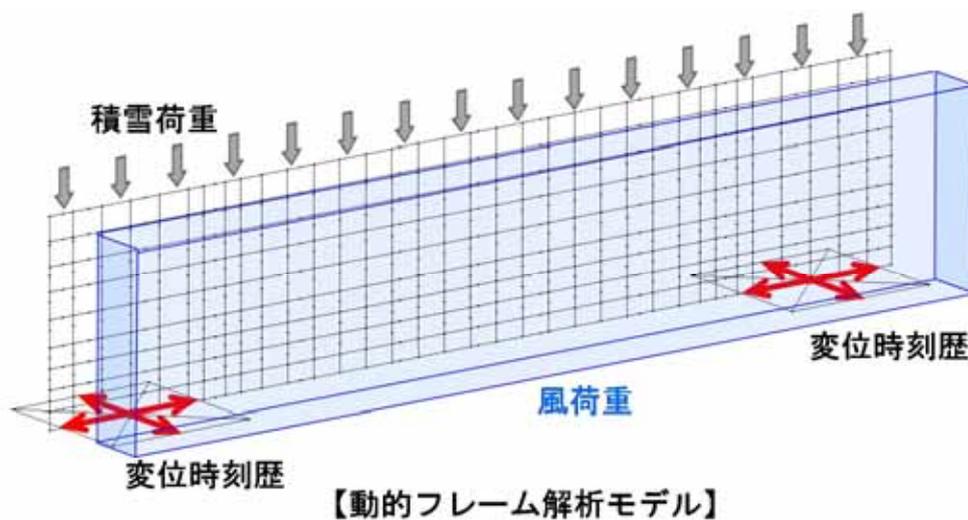


第 1-25 図 解析モデル図（荷重図）

② 本震時〈動的フレーム解析〉

上部工に本震による慣性力を動的に作用させ、鋼製防護壁に生じる鋼材の引張・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。なお、風荷重を重畳させる。本震時 動的フレーム解析モデル図を第 1-26 図に示す。

- i) 本震時に対しては、地中連続壁基礎天端中心に変位時刻歴を与え、動的解析を実施して部材の照査を実施する。
- ii) 壁軸方向・壁軸直交方向および鉛直方向の各成分の応答値を組合せ係数法により重ね合わせて照査する。



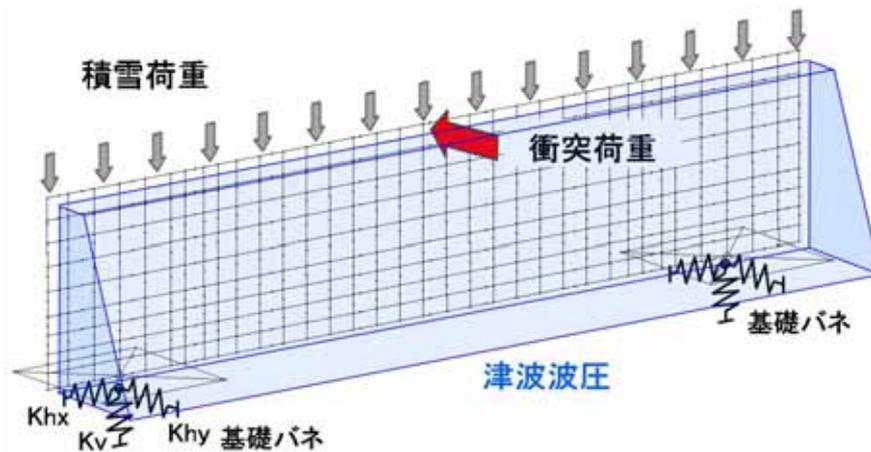
第 1-26 図 本震時 動的フレーム解析モデル図

③ 津波時，余震＋津波時〈静的フレーム解析〉

a. 津波時の設計

上部工に津波荷重が作用した場合の鋼製防護壁に生じる鋼材の引張・せん断応力を照査し，許容限界以下であることを確認する。なお，漂流物の衝突荷重を重畳させる。津波時 静的フレーム解析モデル図を第 1-27 図に示す。

- i) 構造物に作用する荷重は，死荷重，積雪荷重，津波荷重及び漂流物の衝突荷重を載荷する。

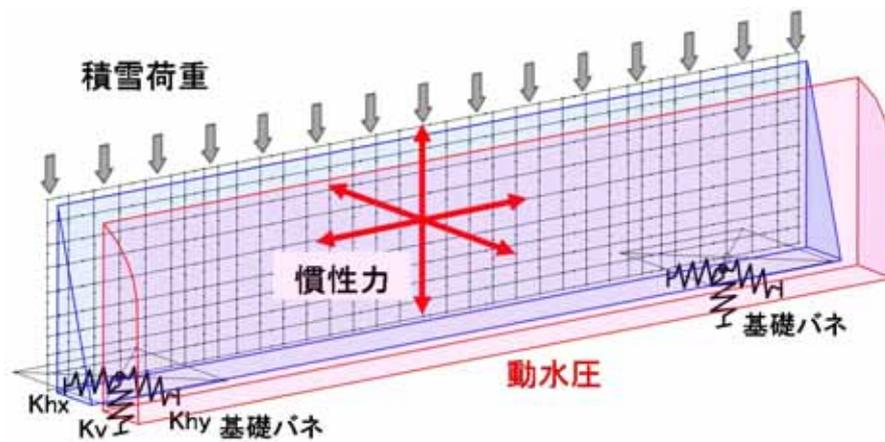


第 1-27 図 津波時 静的フレーム解析モデル図

b. 余震+津波時

上部工に余震による慣性力と津波荷重が作用した場合の鋼製防護壁に生じる鋼材の引張・せん断応力を照査し，許容限界以下であることを確認する。余震+津波時 静的フレーム解析モデル図を第 1-28 図に示す。

- i) 一次元地盤応答解析から算出される地盤変位に基づいて，三次元応答変位法静的解析から算出される基礎天端の変位・回転角を与える。
- ii) 最大加速度は，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。
- iii) 構造物に作用する荷重は，死荷重，積雪荷重，津波荷重及び余震の影響による慣性力及び動水圧を載荷する。



第 1-28 図 余震+津波時 静的フレーム解析モデル図

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 継手部の設計

a. 継手部の設計

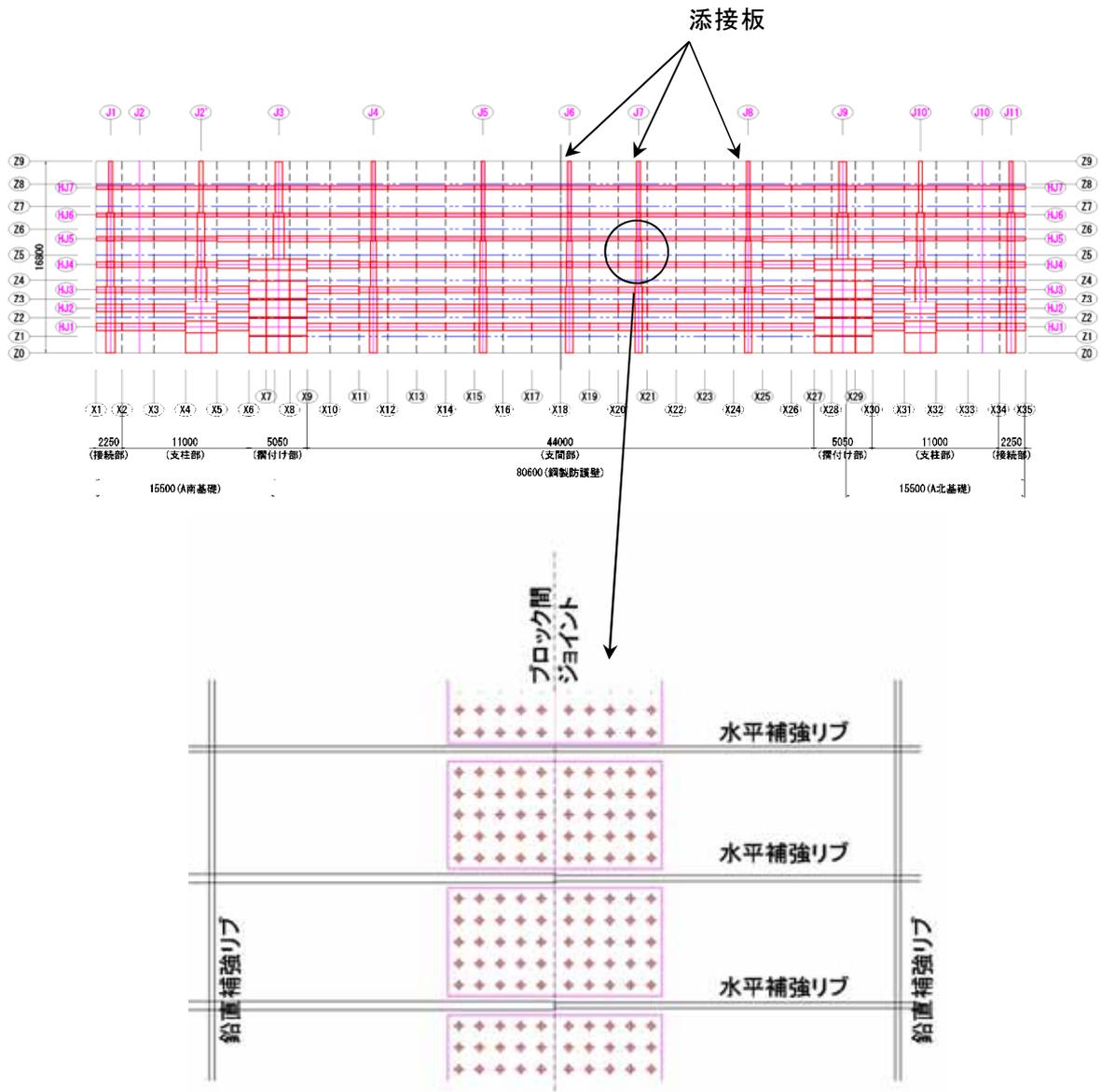
鋼殻ブロックの継手部は、高力ボルト摩擦接合方式とする。

設計は、「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 7.3」に準拠して行う。

母材に作用するせん断力および曲げモーメントに対して、継手部の孔引き後の母材、添接板およ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。

鋼殻ブロックの継手部イメージを第 1-29 図に示す。

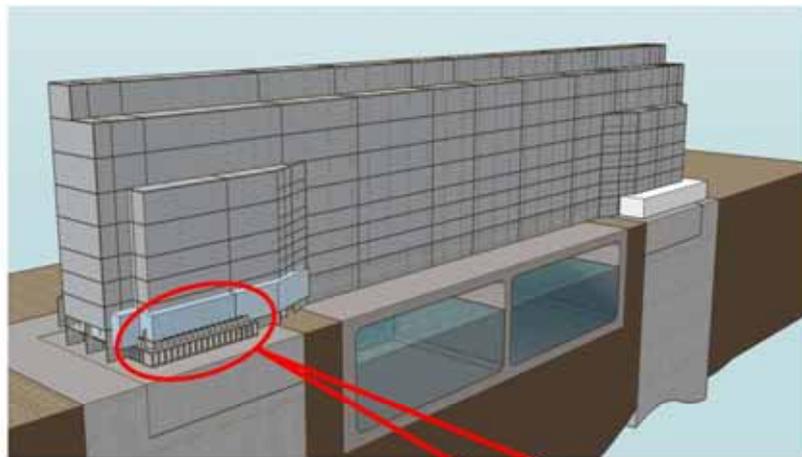


第 1-29 図 鋼殻ブロックの継手部(正面図)

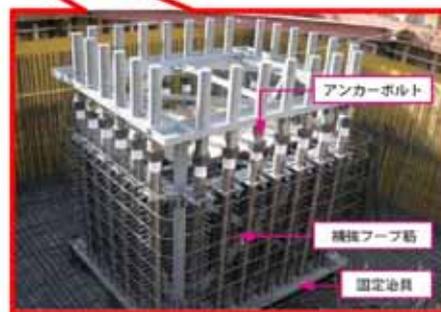
6) アンカーボルトの設計

アンカーボルトに要求される性能は、鋼製防護壁本体の死荷重や、津波や地震などの外力により大きな荷重が作用するため、本体荷重を確実に基礎へ伝達させることである。

アンカーボルトの定着方法は直接定着式とし、「名古屋高速道路公社 鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編 7章」に基づき計算する。



アンカーボルト



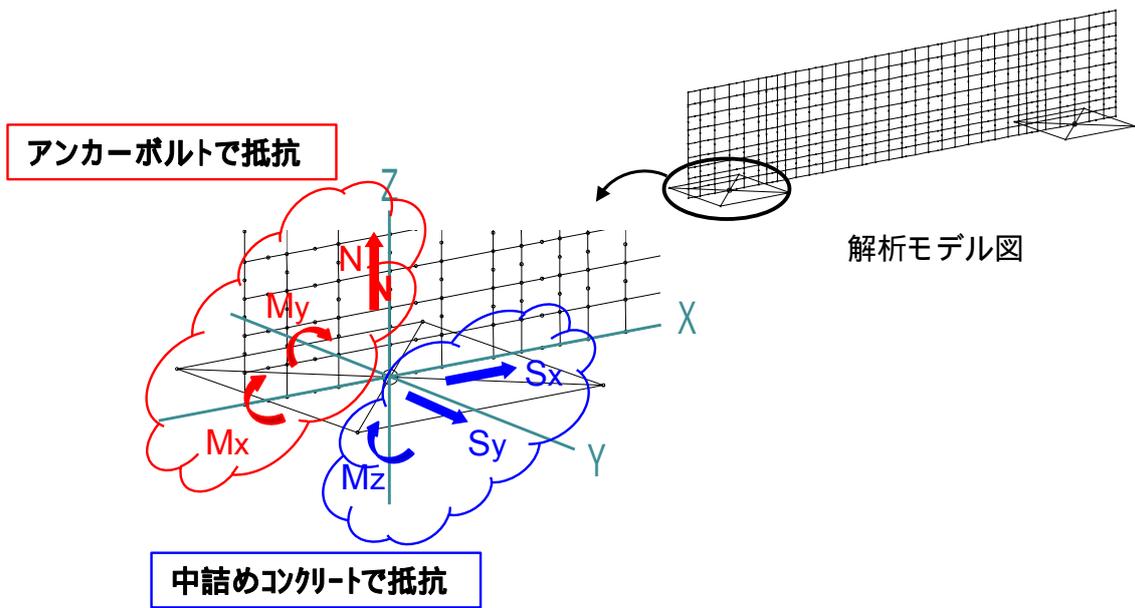
第 1-30 図 基礎定着部の概念図

【アンカーボルトの基準について】

アンカーボルトは、名古屋高速道路公社と住友金属工業株式会社（現：新日鐵住金株式会社）が共同開発した製品である。

- ・名古屋高速道路公社策定の基準に基づく多数の実績がある。
- ・国交省，公団公社，自治体，各高速道路会社においても名古屋高速道路公社の基準を採用している。

鋼製防護壁基部（アンカー部）は、鉛直軸力と面内・面外曲げモーメントに対して抵抗するものとし、せん断力と捻りモーメントについては、基礎と一体の中詰めコンクリートでの負担とする。



第 1-31 図 基礎定着部の作用力分担

7) 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，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。

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。

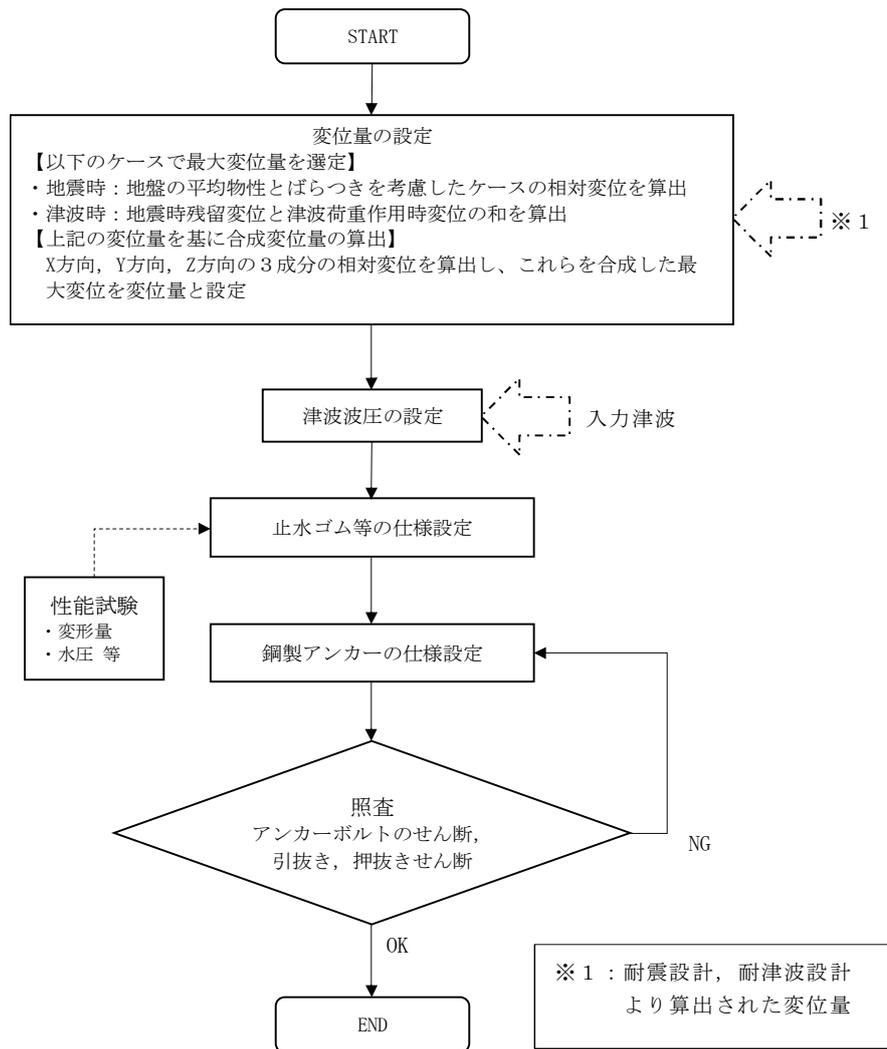
② 評価方針

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 1-32 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、構造物間の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 1-32 図 止水ジョイント部の設計フロー

8) 止水機構の設計方針

止水機構は、基準津波による遡上波が鋼製防護壁と取水路の隙間から浸水を防止することを目的に鋼製防護壁の下部に設置する。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。以下に漏水試験の結果を示す。

(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 S_s
- ・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

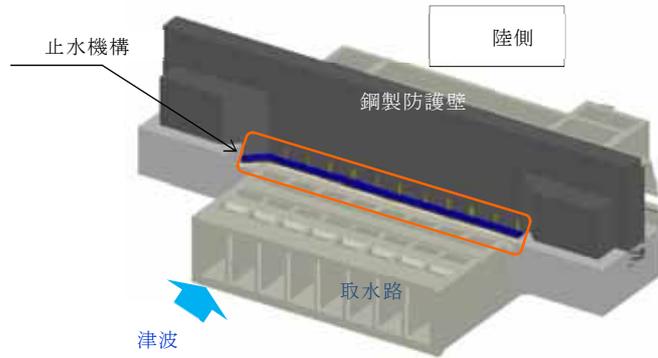
鋼製防護壁と既設取水路間の止水構造は、津波による荷重、鋼製防護壁と取水路の相対変位による追従性を確保することから、止水板が可動できるよう止水板を押えて支持する構造とし、止水板の底面と側面に設置した水密ゴムにて水密性を確保する構造とする。

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に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

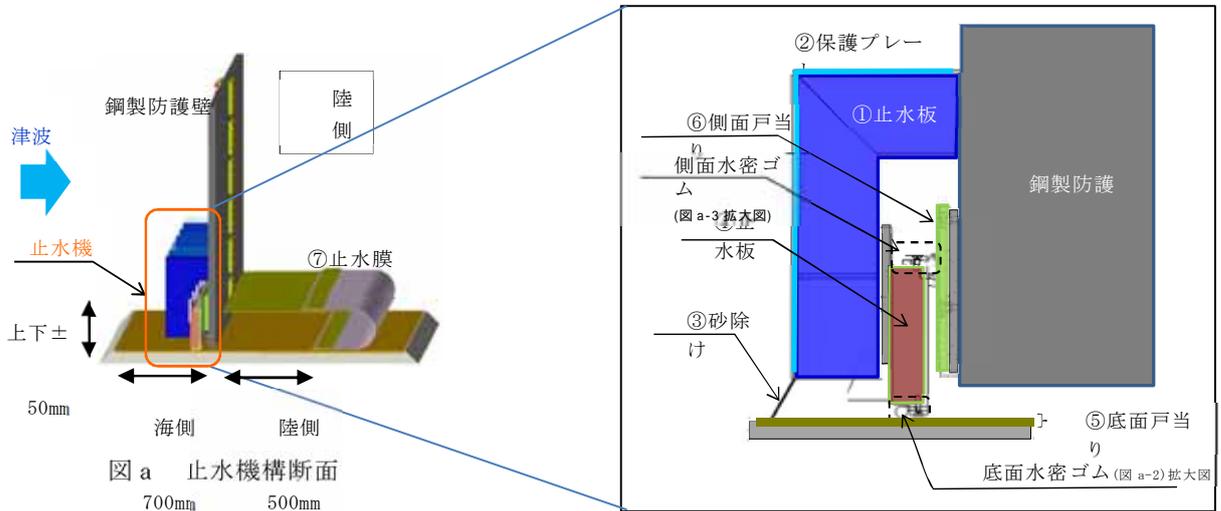


図 a 止水機構断面
700mm 500mm

図 a-1 止水機構断面図

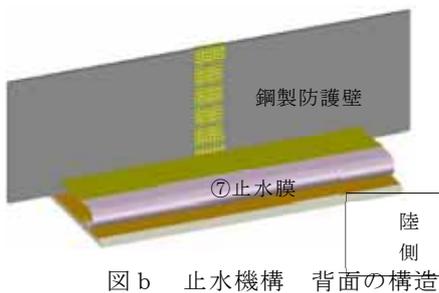


図 b 止水機構 背面の構造

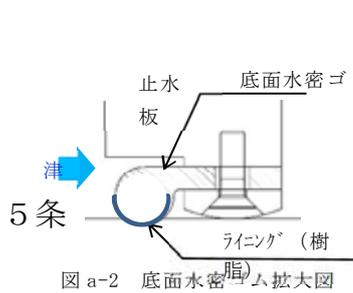


図 a-2 底面水密ゴム拡大図

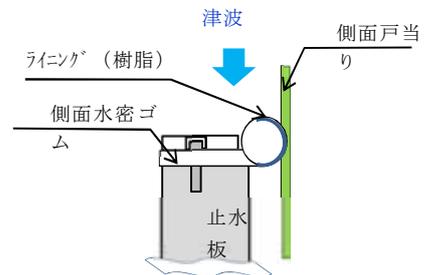


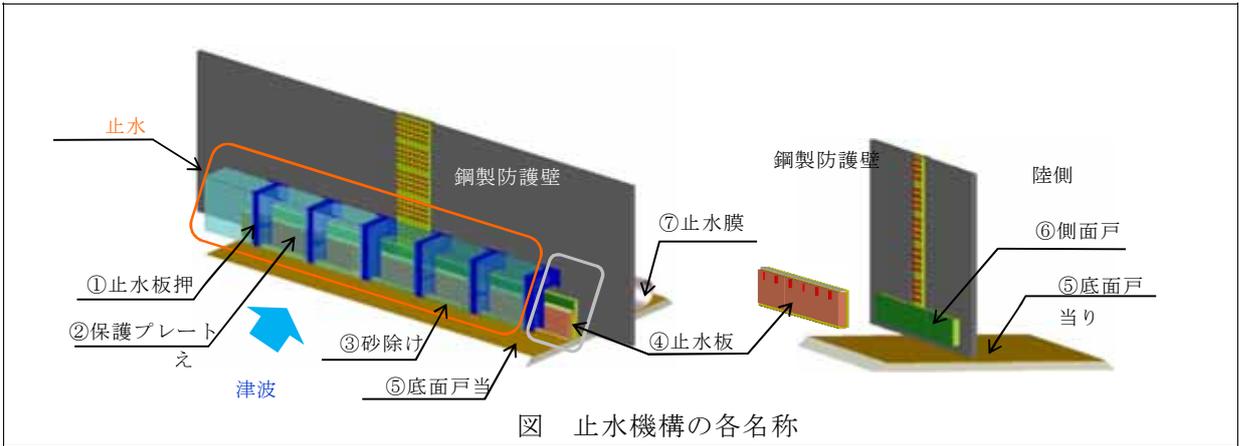
図 a-3 側面水密ゴム拡大図

第2図 止水機構の構造図

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。

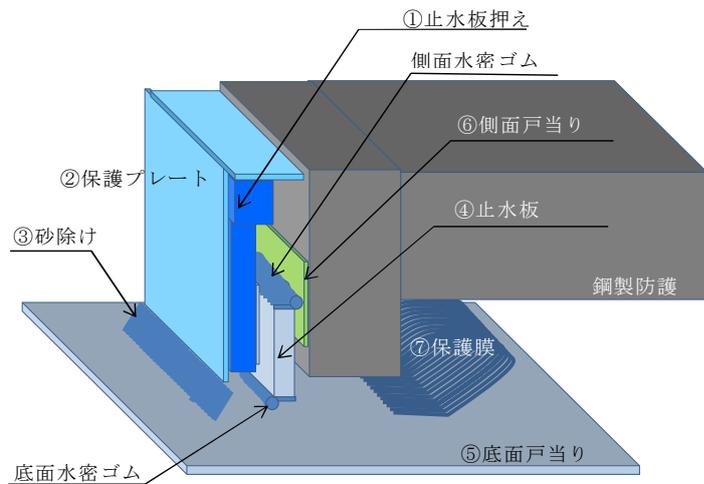
名称	役割・機能	材料
① 止水板押え	<ul style="list-style-type: none"> ・ 止水板を支持する。 ・ 漂流物等から止水板を防護する。 	鋼製
② 保護プレート	<ul style="list-style-type: none"> ・ 漂流物等から止水板を防護する。 ・ 止水板への異物混入を防止する。 	鋼製
③ 砂除け	<ul style="list-style-type: none"> ・ 底面戸当り面への砂等の異物混入を防止する。 	ナイロン
④ 止水板	<ul style="list-style-type: none"> ・ 止水機構の扉体の機能。 ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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100mm嵩上げし異物混入を防止する 	ステンレス
⑥ 側面戸当り	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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



り

(c) 止水機構の動作について

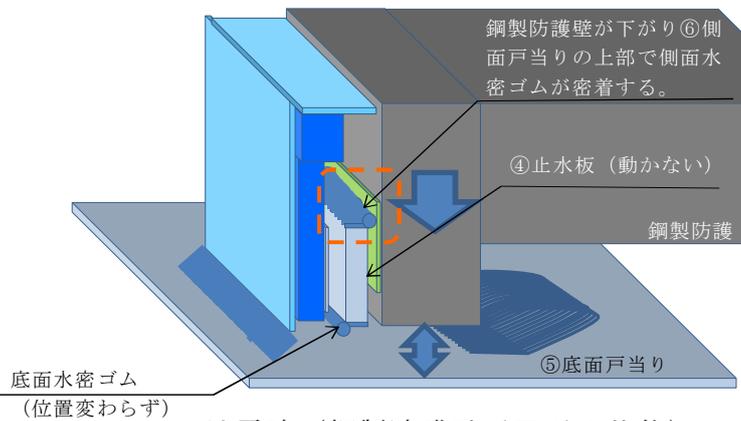
止水機構の垂直方向の動作を第3図に示す。



<通常状態>

<通常状態>

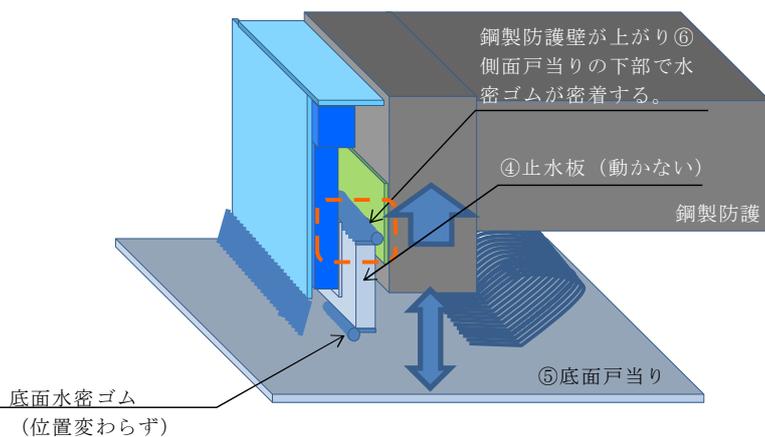
- ・④止水板は、①止水板押えと鋼製防護壁の間に設置しており、変位に追従するため、固定はしていない。
- ・側面水密ゴムは、鋼製防護壁の⑥側面戸当りに接触し水密ゴムへの面圧を得ている。
- ・底面水密ゴムは、基準津波に対して⑤底面戸当りと接触し水密ゴムへの面圧が得られている。



<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) 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/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°

(e) 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 : 0.2MPa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

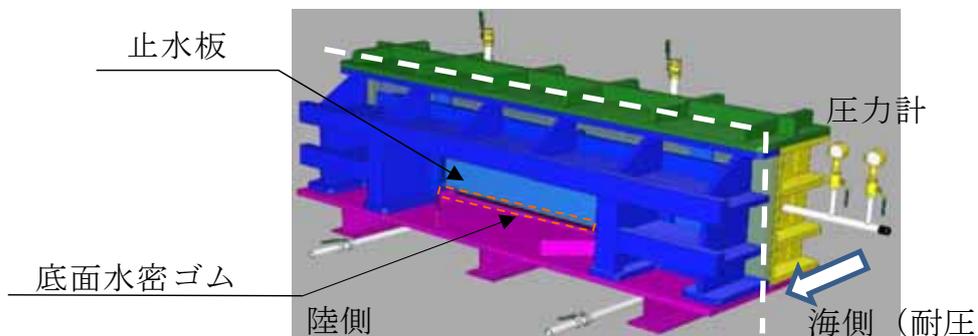
$$W = 10.2 L \times P$$

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1 m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)

【参 考】

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 :

$$W = 10.2 L \times P$$

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 \Rightarrow 10分あたり1.7 l

0.66MPaの場合 : 673ml/min \Rightarrow 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	○

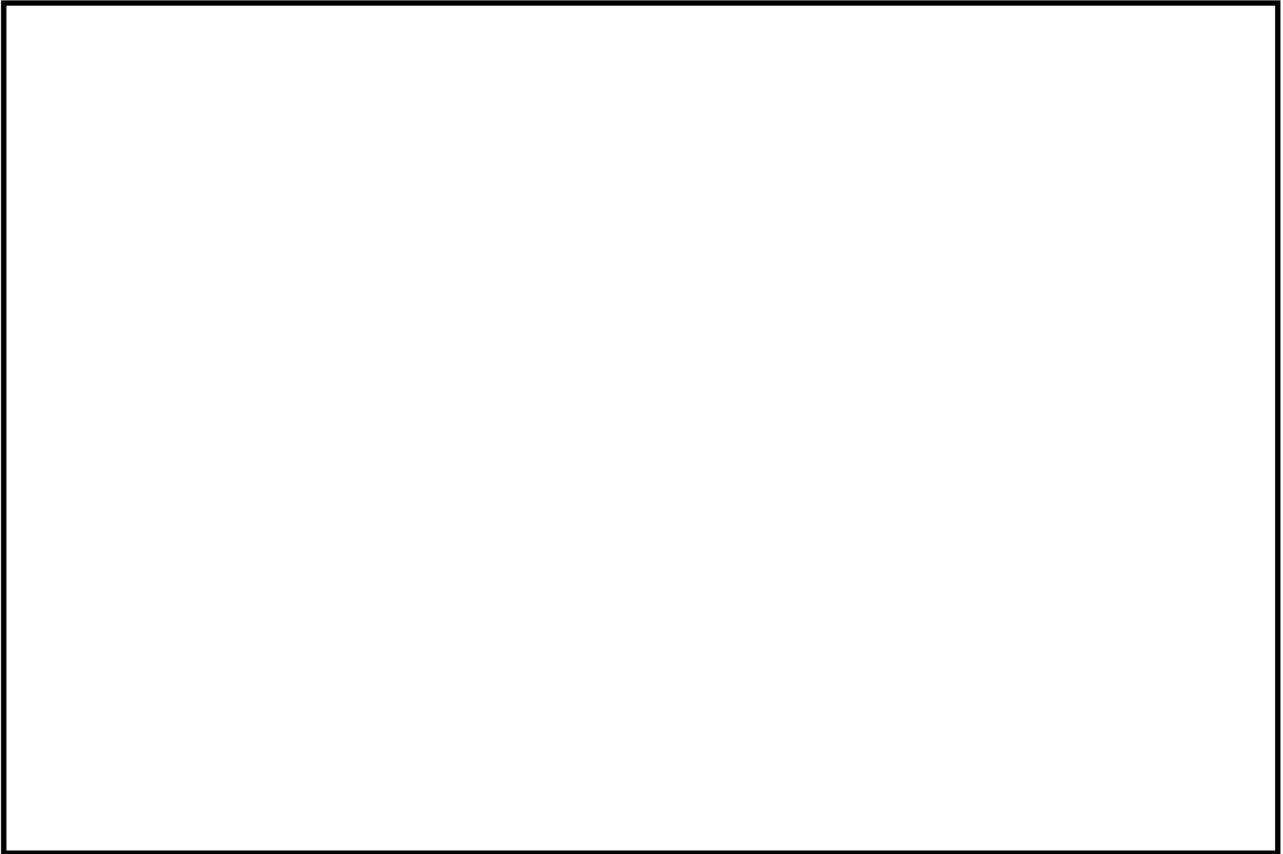
※漏えい量は1 mあたり10分間の漏えい量。

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。

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）

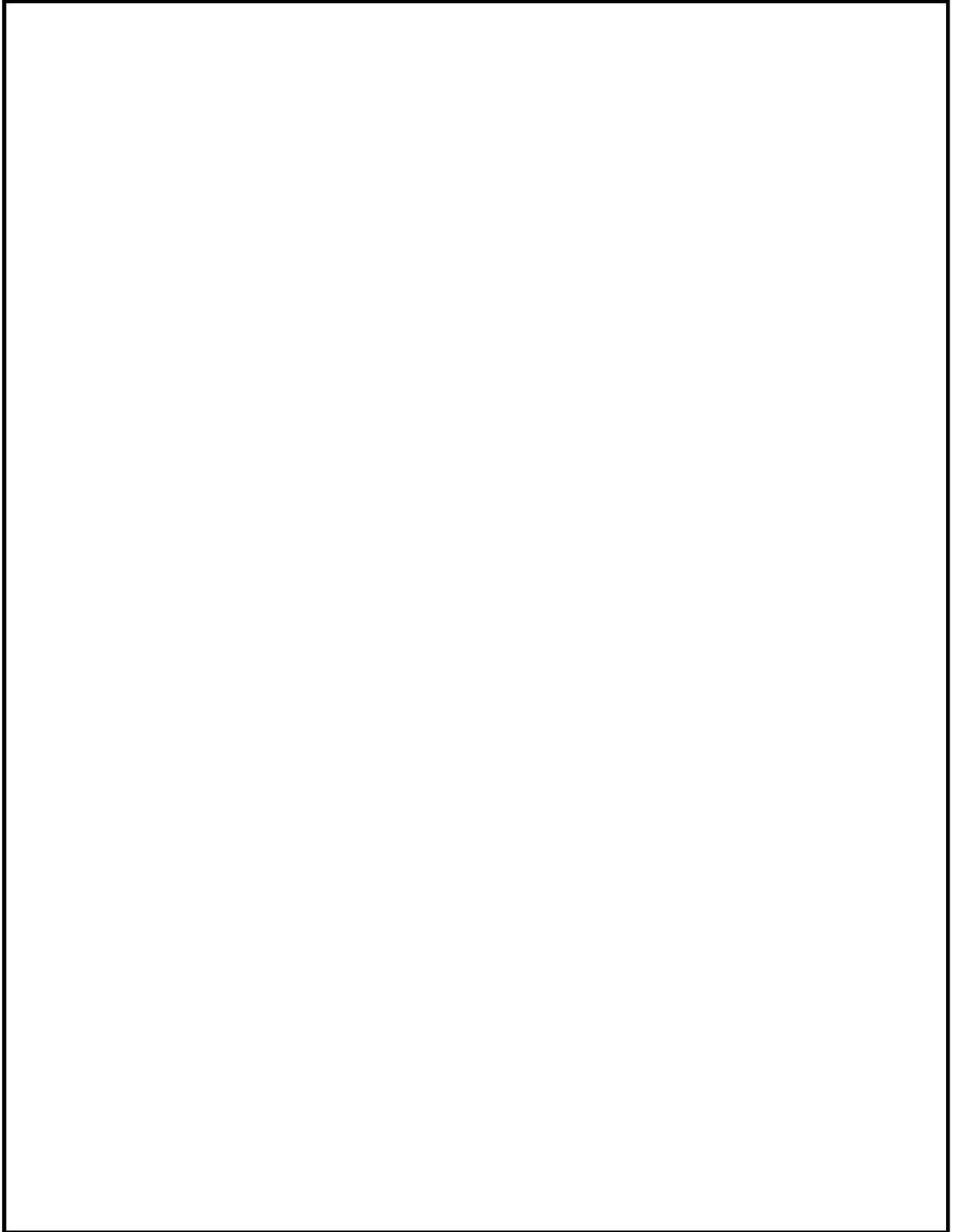


橋梁上部工の上下2段の鋼殻ブロックの施工事例

(2) 施工事例 2 : 国道工事 (国土交通省)



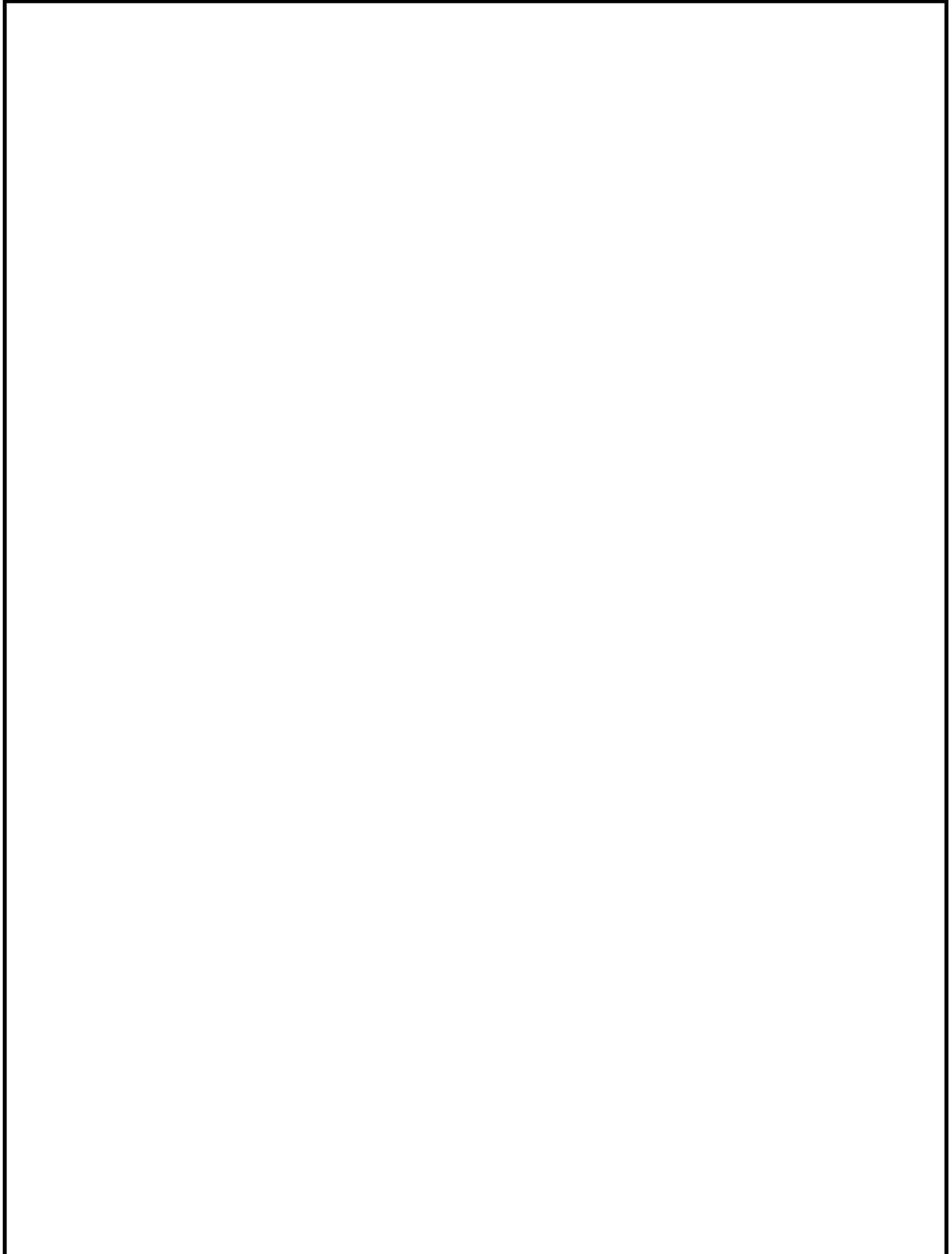
(3) 施工事例 3：高速道路工事（高速道路株式会社）



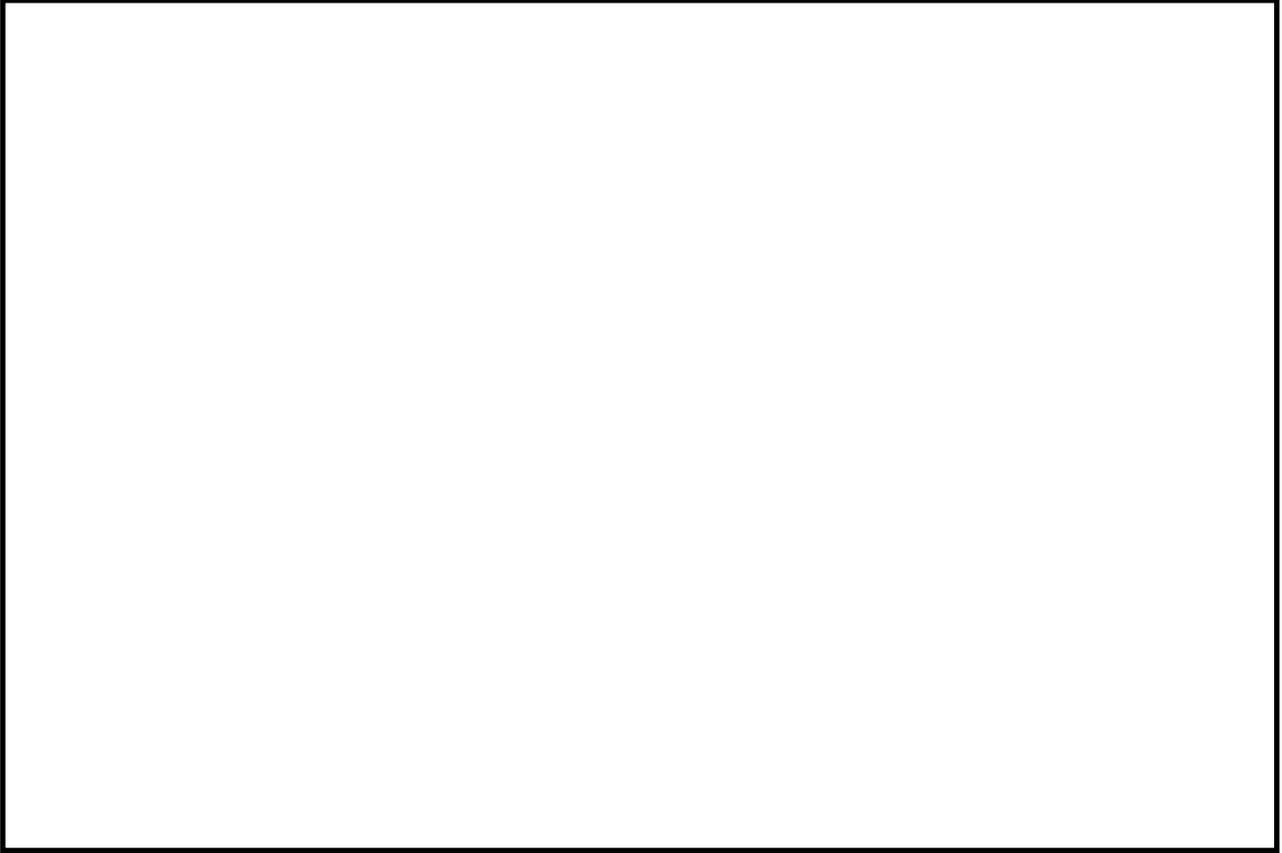
2.2 直接定着式アンカーボルトの実績

発注者	基数	ボルト本数
国土交通省	193	4,824
NEXCO／首都高速	18	430
地方自治体	41	1,074
名古屋高速道路公社	244	6,891
福岡北九州道路公社	45	1,190
広島高速道路公社	37	856
総計	578	15,265

(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

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)

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。「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」の技術基準の変遷を第3-1表に示す。

第3-1表 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」の変遷

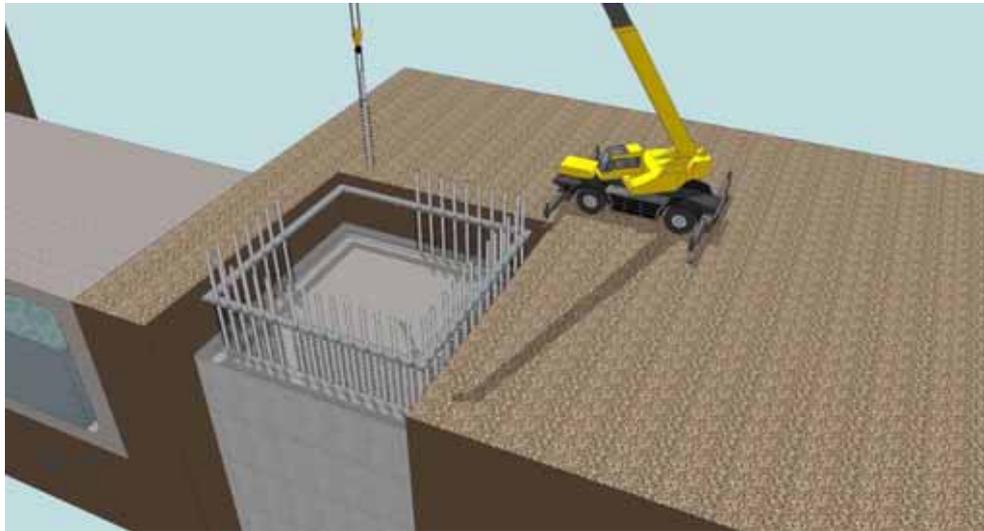
年・月	内容
H2.2(1990)	各種基礎の設計法の適用範囲に関する解説の充実 地盤反力係数の算定式やフーチングの剛体判定式の統合 岩盤上直接基礎の許容支持力度や弾性体基礎の許容変位量の規定 高強度水中コンクリートや太径鉄筋の規定 暴風時の取り扱いの見直し
H5.11(1993)	下部構造の設計における活荷重の載荷方法の見直し 胸壁設計における断面力算定式の見直し
H8.12(1996)	橋梁の各部位に地震時保有水平耐力法を導入したことに伴う照査方法の規定 部材のじん性向上のための細目 建設費縮減のための構造形状の単純化 鋼管矢板基礎の規定 ケーソン基礎設計法の改訂
H14.3(2002)	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、バイプ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)	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

(2) 地中連続壁基礎工法施工指針(案)(地中連続壁基礎協会)

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。



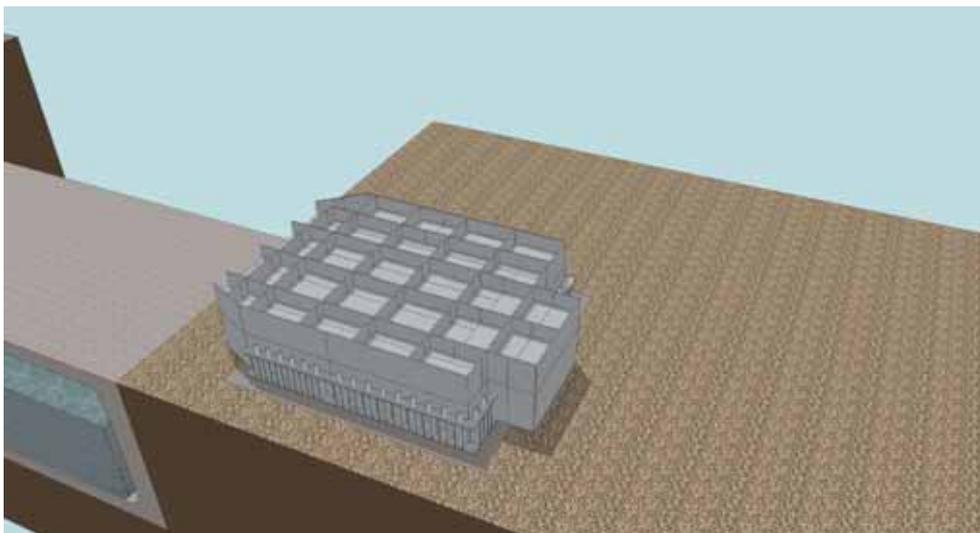
- 地中壁連続壁基礎上部にアンカーボルトを設置する。
- 所定位置に設置する必要があるため、基礎上部にはフレーム架台を設置し、据付精度を確保する。



第 4-1 図 Step. 1 アンカーボルトの設置

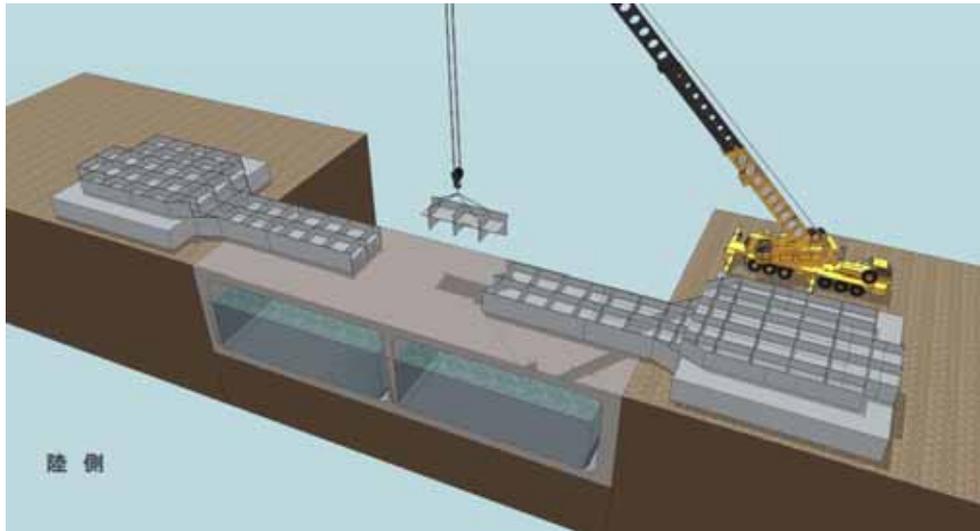


- 頂版部配筋およびコンクリート施工後に、1段目および2段目の支柱部ブロックを架設する。

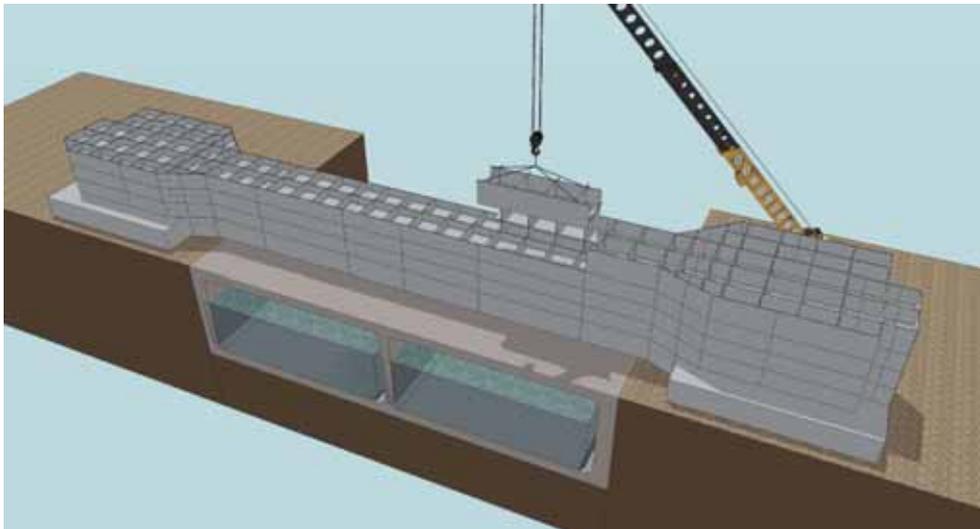


- 支柱部中詰めコンクリートを施工する。

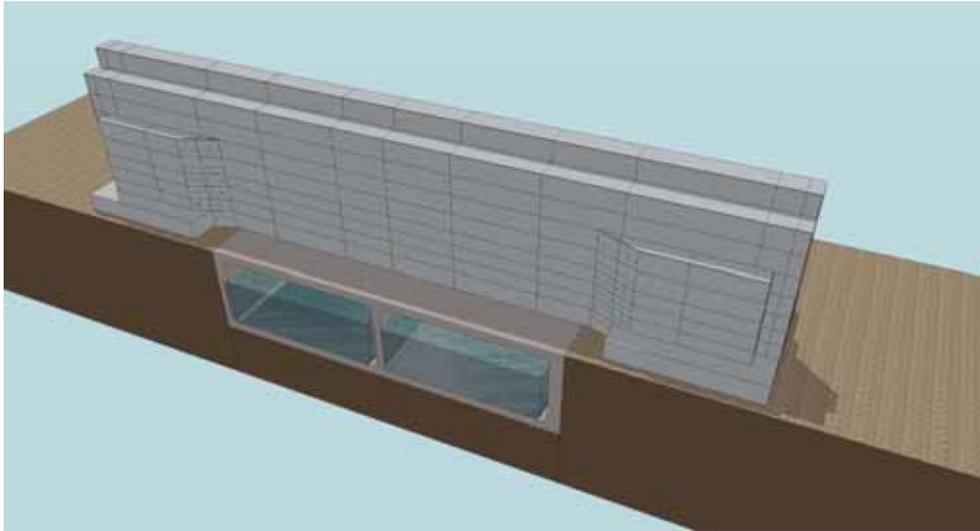
第 4-2 図 Step. 2 支柱部ブロック設置・中詰めコンクリート工



- 1段目の支間部ブロックを架設する。
- 1段目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っているか確認をする。
- 2段目以降繰返し。
- ※ 下段から積み上げるに応じて、構造系の剛性が逐次的に変化するため、予め架設時の逐次剛性を考慮したカンバー管理を行う。
- ※ 各段には架設誤差調整のためのジャッキ反力受けなどの機構を設けたブロック計画を施す。



第4-3図 Step.3 ブロック架設工



- 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 4-4 図 Step. 4 完成

鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について

目次

1. 鉄筋コンクリート防潮壁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に要求される機能
 - (2) 鉄筋コンクリート防潮壁高さの設定方針
 - (3) 設計方針
 - 1) 構造概要
 - 2) 設計手順
 - 3) 地中連続壁基礎の設計方針
 - 4) 鉄筋コンクリートの設計方針
 - 5) 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

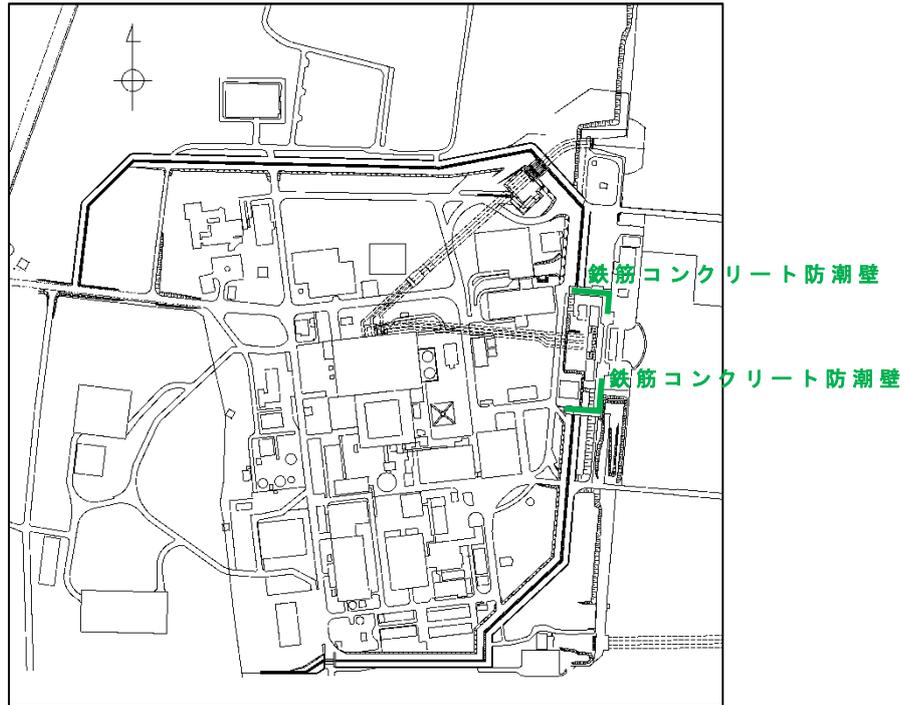
(1) 鉄筋コンクリート防潮壁に要求される機能

鉄筋コンクリート防潮壁の平面位置図を第 1-1 図に，断面図及び平面図を第 1-2 図に示す。

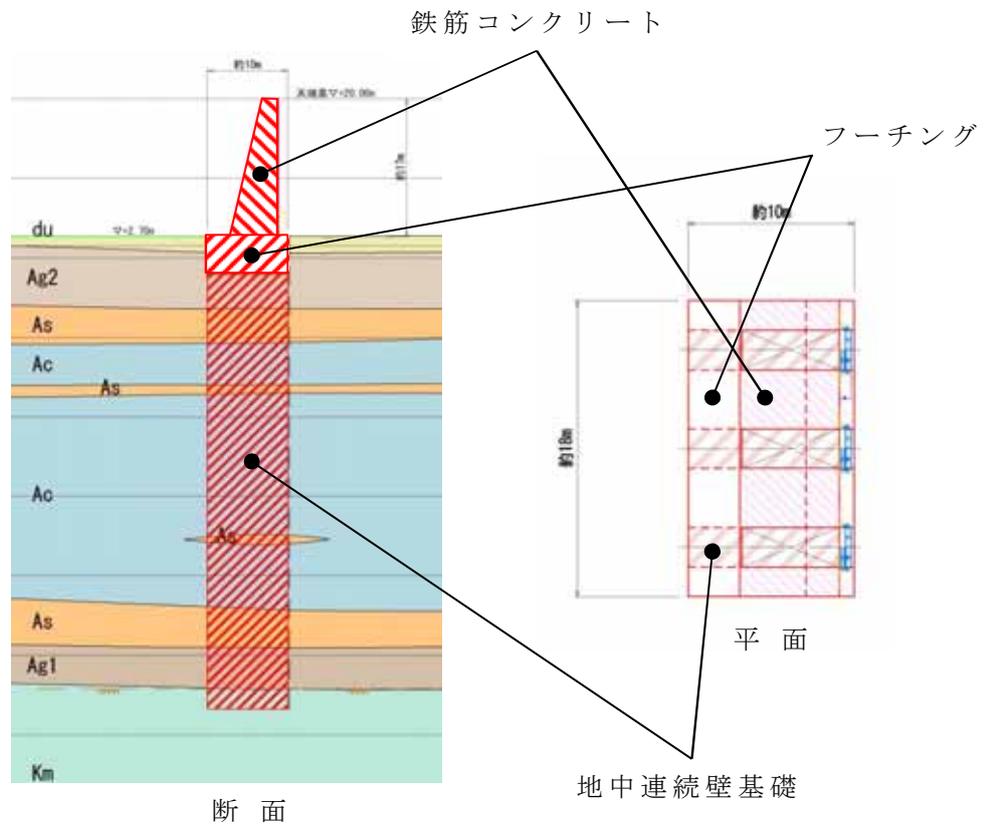
鉄筋コンクリート防潮壁に関する要求機能と設計評価方針について第 1-1 表に，鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象部位を第 1-3 図に示す。

津波防護施設としての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。

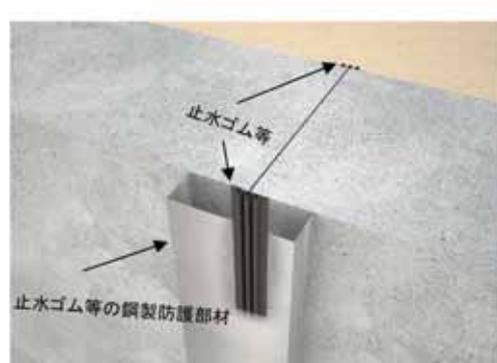
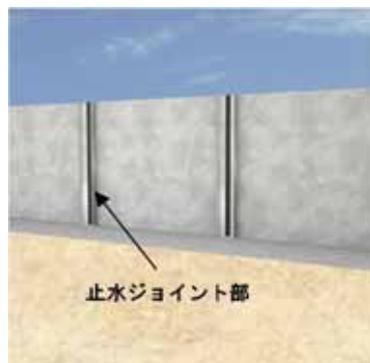
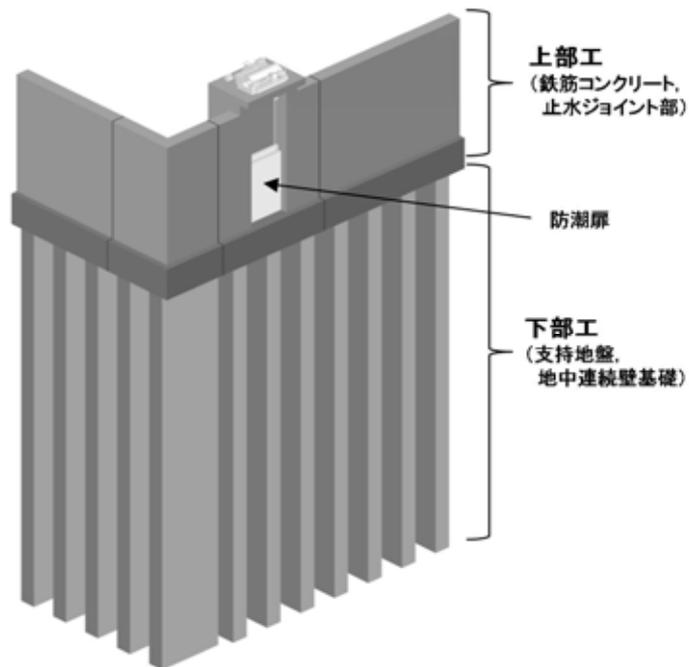
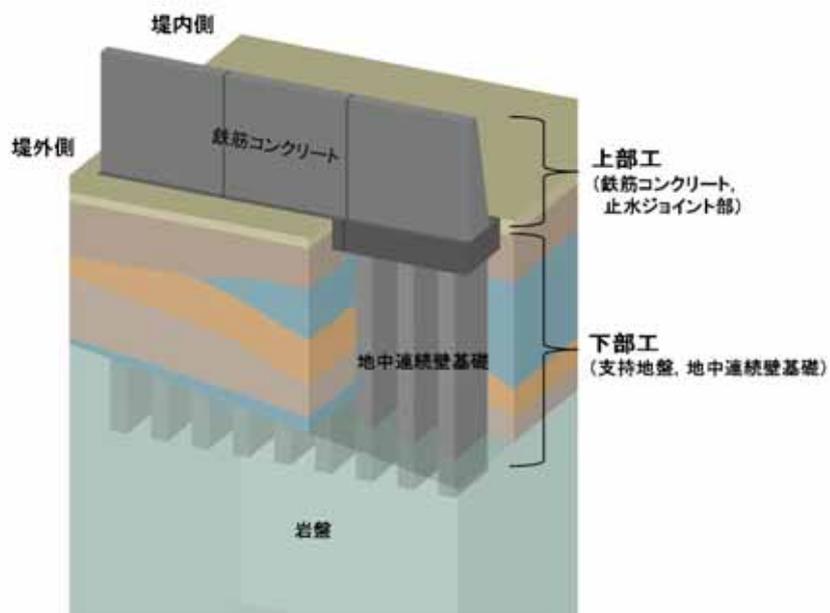
上記の機能を確保するための性能目標は，遡上津波に対して余裕を考慮した防潮堤高さを確保するとともに構造体の境界部等の止水性を維持し，基準地震動 S_s に対して止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。



第 1-1 図 平面位置図



第 1-2 図 断面図及び平面図



第 1-3 図 鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象部位

(2) 鉄筋コンクリート防潮壁高さの設定方針

鉄筋コンクリート防潮壁は、防潮壁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高さを設定している。入力津波高さと防潮壁高さの関係を第 1-2 表に示す。鉄筋コンクリート防潮壁は敷地前面東側に配置する。

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

鉄筋コンクリート防潮壁は、海水ポンプ室周辺に配置する。

幅約 2.5m、長さ約 10m の地中連続壁基礎を防潮壁に沿って約 6m 間隔に構築し、上部工の鉄筋コンクリートをフーチングを介して連結する。上部工の施工ブロック間及び異種構造物間には、伸縮性を有する止水ジョイントを設置する。

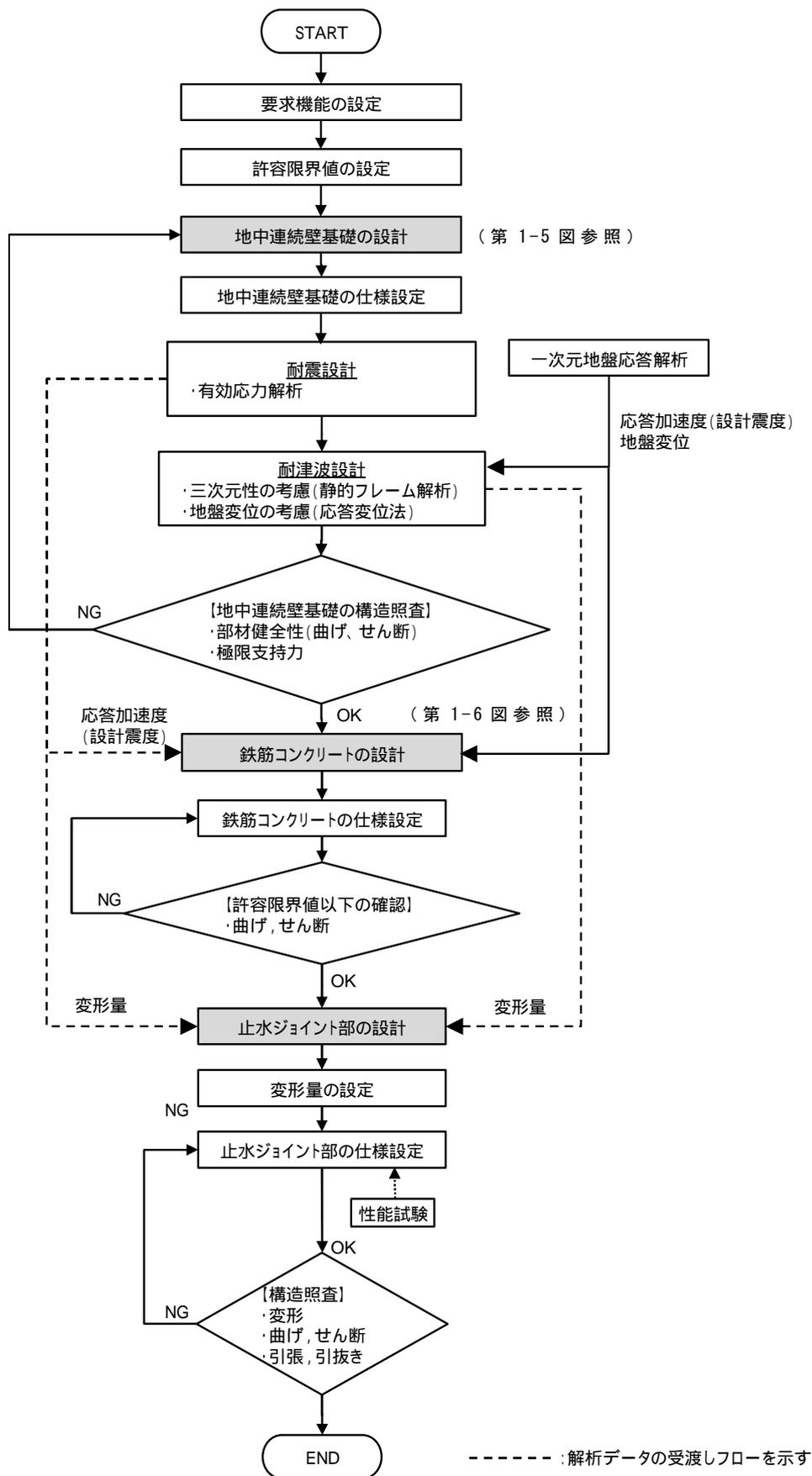
2) 設計手順

鉄筋コンクリート防潮壁の耐震・耐津波評価においては、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表の鉄筋コンクリート防潮壁の評価項目に従い、各構造部材の構造健全性評価を行う。

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1-4図に示す。

第1-3表 鉄筋コンクリート防潮壁の評価項目

評価対象部位		応力等の状態	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
下部工	支持地盤	押込力	極限支持力以下 「道路橋示方書・同解説(I共通編・IV下部構造編)」 極限支持力以下
	地中連続壁基礎	曲げ, せん断	短期許容応力度以下 「道路橋示方書・同解説(I共通編・IV下部構造編・V耐震設計編)」 降伏モーメント以下, せん断耐力以下
上部工	鉄筋コンクリート	曲げ, せん断	短期許容応力度以下 「道路橋示方書・同解説(I共通編・IV下部構造編)」 降伏モーメント以下, せん断耐力以下
	止水ジョイント部	止水ゴム等	メーカー規格及び基準並びに必要な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 許容変形量以下, 許容引張り力以下
			短期許容応力度以下 「各種合成構造設計指針・同解説」 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	短期許容応力度以下 「鋼構造設計基準」 降伏応力度以下, せん断強度以下
降伏応力度以下, せん断強度以下			

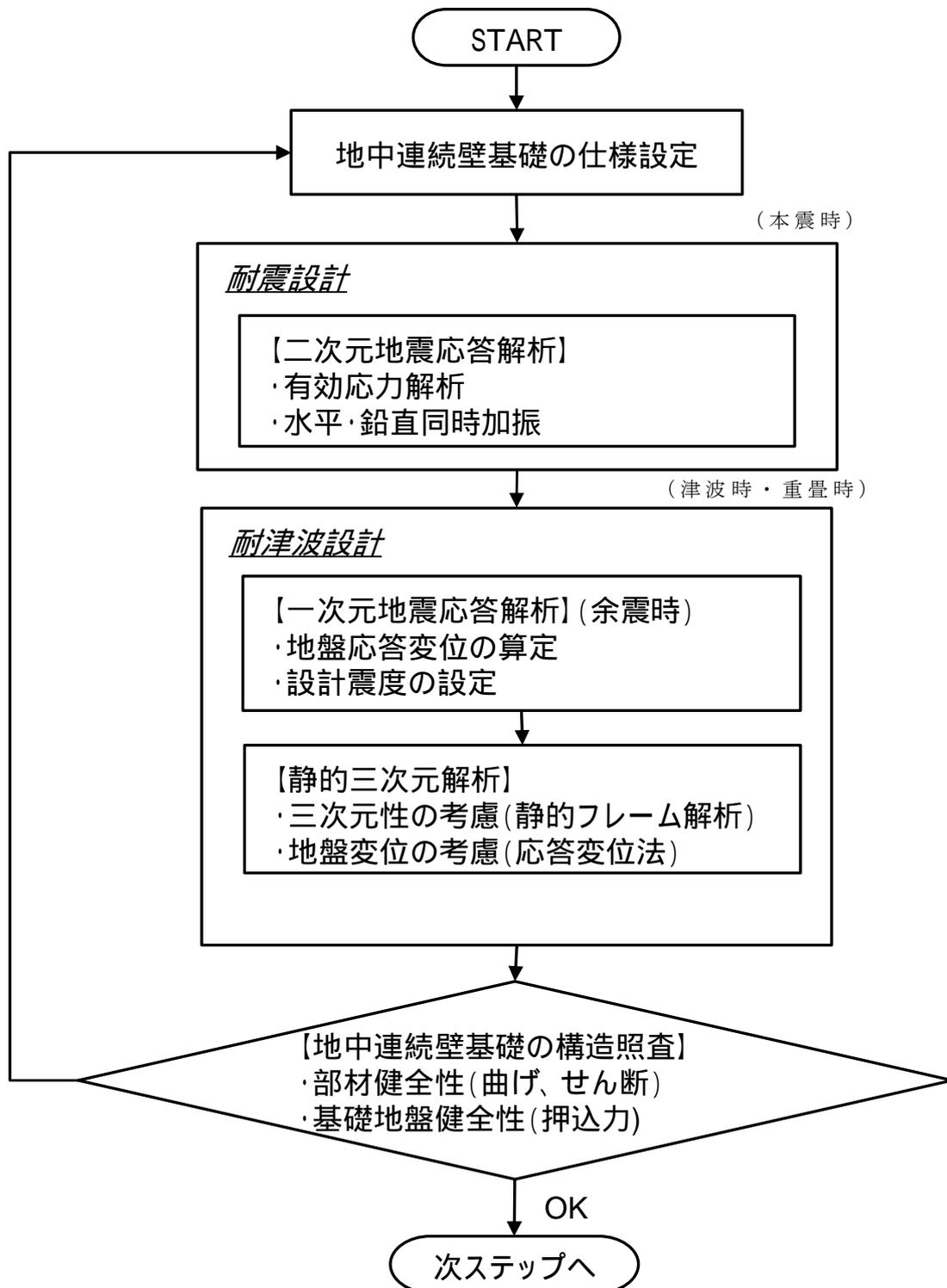


第 1-4 図 鉄筋コンクリート防潮壁の構造健全性評価の検討フロー

3) 地中連続壁基礎の設計方針

地中連続壁基礎は、地震及び津波の荷重に対する鉄筋コンクリートの基礎として上部工からの荷重を支持する必要がある。そのため、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、これらの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。

津波時及び余震との重畳時（津波＋余震）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二次元有効応力解析を実施し、壁体に発生する断面力を用いて応力照査を実施する。地中連続壁基礎の設計フローを第 1-5 図に示す。



第 1-5 図 地中連続壁基礎の設計フロー

① 耐震設計（有効応力解析）

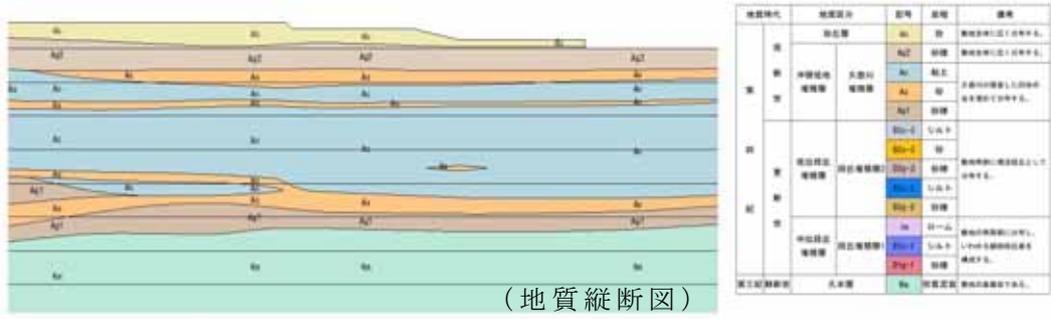
設計対象構造物—地盤の連成モデルによる二次元地震応答解析を行い、本震時の地中連続壁基礎の構造健全性を確認する。地盤の液状化の影響を緻密に反映するため、有効応力の変化に伴う地盤挙動の変化を考慮することができる有効応力法を用いることとし、地震応答解析により算定される部材の発生応力が短期許容応力度以下となるよう設計する。

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。

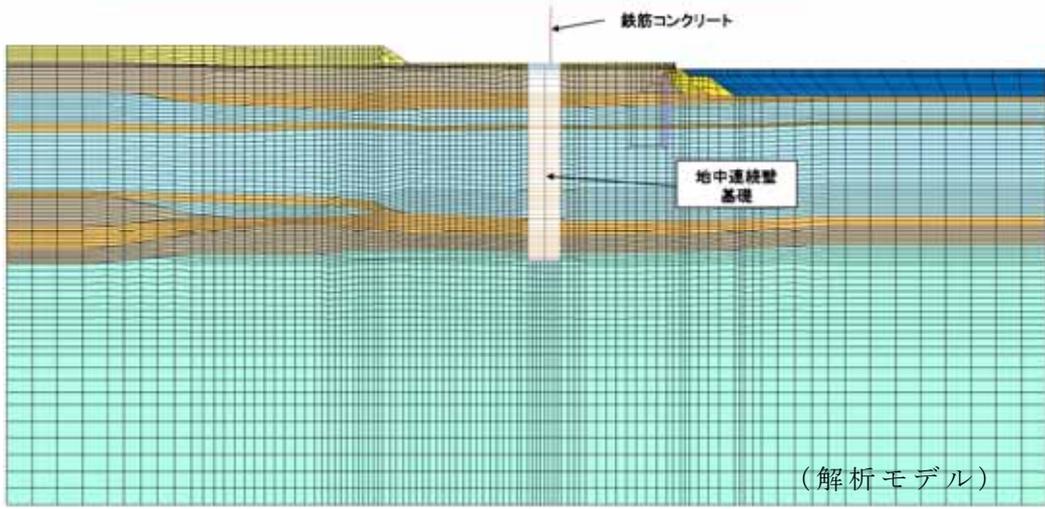
a. 解析モデルの作成

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T.P. -130mまでをモデル化する。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、堤軸方向における上部工は線形平面要素でモデル化し、地下水位以深については間隙水圧要素を配置する。

堤軸直交方向の地震応答解析モデルの例を第1-6図、堤軸方向の地震応答解析モデルの例を第1-7図に示す。

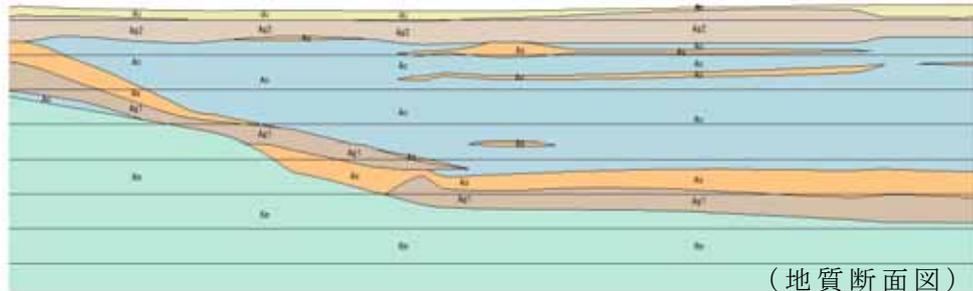


(地質縦断図)

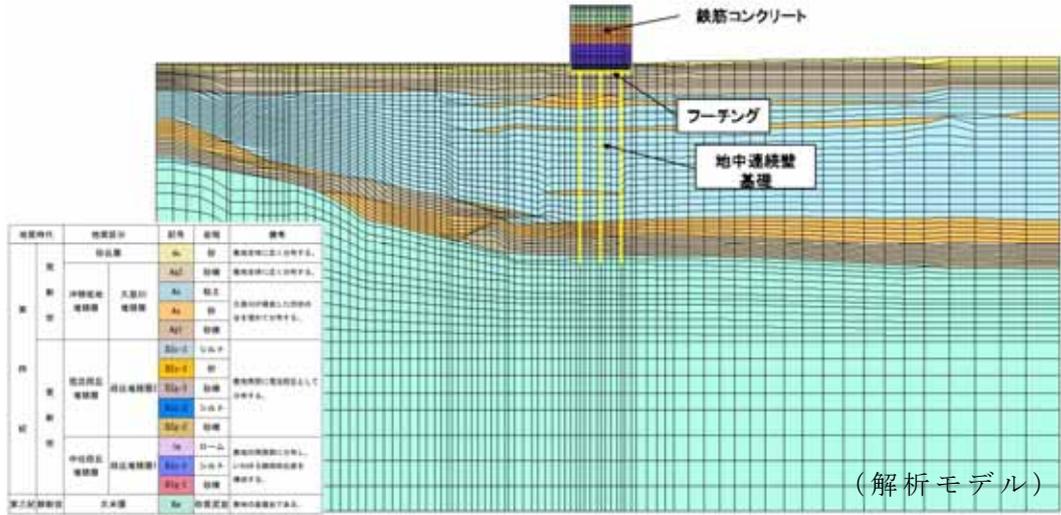


(解析モデル)

第 1-6 図 地震応答解析モデル（堤軸直交方向）の例



(地質断面図)



(解析モデル)

第 1-7 図 地震応答解析モデル（堤軸方向）の例

b. 地震応答解析

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。
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。

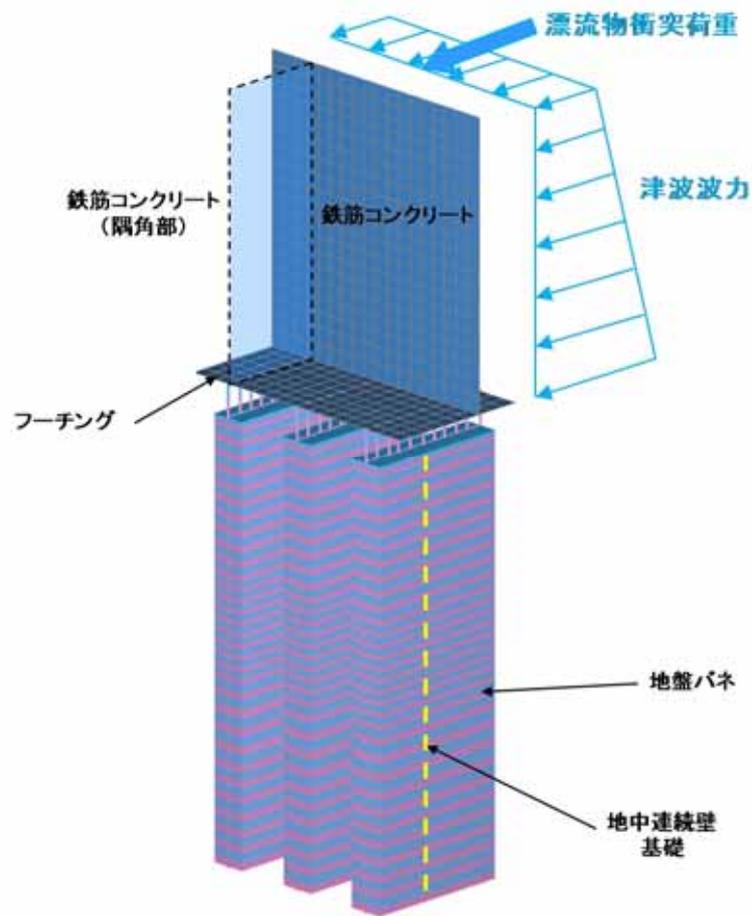
基礎地盤の支持性能として、基礎底面に発生する地盤反力が極限支持力以下であることを確認する。

② 耐津波設計（静的三次元解析）

地中連続壁基礎を三次元梁要素とし、フーチング及び鉄筋コンクリートを三次元平面要素として地盤バネを接続したモデルで静的三次元解析を行う。死荷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、部材の発生応力が短期許容応力度以下となるよう設計する。解析モデル概念図を第 1-8 図に示す。

三次元的な荷重状態に対するフーチングの応力照査を実施するとともに、隅角部についても同様のモデル（鉄筋コンクリートは L 字型）を用いて各部材の照査を行う。

基礎地盤の支持性能として、基礎底面に発生する地盤反力が極限支持力以下であることを確認する。



例：津波時

第 1-8 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」に準拠して設定し，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一次元地盤応答解析における収束剛性より算定する。重畳時の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/m²)

ν_d ：動ポアソン比

G' : 地盤の余震時収束剛性 (kN/m²)

地盤反力係数及び地盤バネの上限値を第 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 (-1 σ 低減値)
重畳時	余震時の収束剛性より	残留強度 (-1 σ 低減値)

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。

4) 鉄筋コンクリートの設計方針

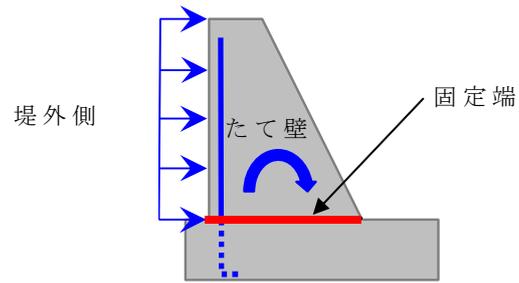
鉄筋コンクリートに要求される性能は、津波に対する止水性を確保することである。そのため、繰返し襲来する地震及び津波荷重が作用した場合に対して弾性状態に留まる設計とする。

鉄筋コンクリート防潮壁の上部工は、下部工の地中連続壁基礎にフーチングを介して連結され、11m～20m 程度の延長を1ブロックとして構築する。

結合部の設計については「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に準拠する。地中連続壁基礎から立ち上がる鉛直方向の主鉄筋をフーチングコンクリート内に、同示方書で規定される定着長以上埋め込むことで、地中連続壁基礎とフーチングの結合は剛結とする。

津波や漂流物の荷重は鉄筋コンクリートに直接的に作用し、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、保守的に防潮堤天端に作用するものとして考慮する。ブロック間には止水ジョイントを設けて止水性を確保する。

鉄筋コンクリートは、堤軸直交方向が弱軸方向になることから、壁下端を固定端とする鉛直方向の片持ち梁として設計を行う。解析モデル概念図を第 1-9 図に示す。



第 1-9 図 鉄筋コンクリートの解析モデル概念図

5) 止水ジョイント部の設計方針

① 概要

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、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。

② 評価方針

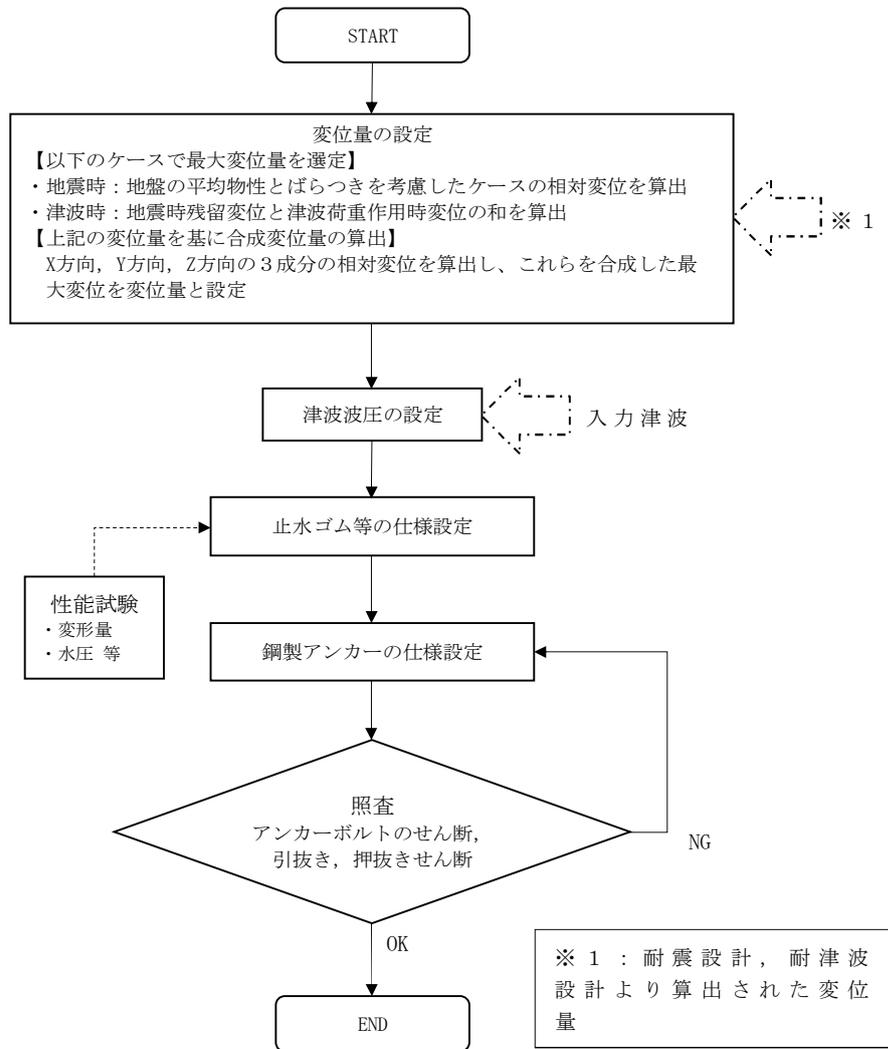
止水ジョイント部の構造健全性評価については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析及び津波荷重を用いた静的フレーム解析により算出された変位量及び入力津波を用い津波波圧式より算出した津波波圧に対し、止水ゴム等の止水性が維持できることを確認し、止水ゴム等の仕様を設定する。

止水ジョイント部の設計フローを第 1-10 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。

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 1-10 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）

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。「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」の技術基準の変遷を第2-1表に示す。

第2-1表 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」の変遷

年・月	内容
H2.2(1990)	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)	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)	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)	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，パイプ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)	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

(2) 地中連続壁基礎工法施工指針（案）（地中連続壁基礎協会）

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。