

東海第二発電所 第5回設計及び工事計画審査資料	
資料番号	補足-28 改1
提出年月日	2026年6月19日

東海第二発電所

設計及び工事計画に係る補足説明資料

第5回申請

(防潮堤（鋼製防護壁）の耐震・強度計算書に係る補足説明)

<2章>

2026年6月

日本原子力発電株式会社

本資料中の ☐ は、商業秘密又は防護上の観点で公開できません。

目 次

1. 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震計算書に関する補足説明
2. 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書に関する補足説明 **今回ご説明の範囲**
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁部の残置影響評価に関する補足説明
4. 防潮堤（鋼製防護壁）の接合部アンカーに関する補足説明
5. 防潮堤（鋼製防護壁）の止水機構に関する補足説明

2. 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書に関する補足説明

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.2.1 構造概要	3
2.2.2 鋼製防護壁の平面配置	17
2.2.3 津波時及び重畳時の荷重伝達	19
2.3 耐津波評価方針	20
2.3.1 要求機能，設計方針及び評価方針	20
2.3.2 耐津波評価について	23
2.4 適用基準	28
3. 設計条件	30
4. 耐津波評価	33
4.1 記号の定義	33
4.2 評価対象断面，部位及び評価する性能	34
4.2.1 評価対象断面	34
4.2.2 評価対象部位及び評価する性能	37
4.3 使用材料及び材料の物性値	38
4.4 地盤の物性値	40
4.5 荷重及び荷重の組合せ	43
4.5.1 荷重	43
4.5.2 荷重の組合せ	45
4.6 許容限界	47
4.6.1 構造部材	47
4.6.2 基礎地盤	51
4.6.3 止水ジョイント部	54
4.7 評価の考え方	55
4.7.1 津波時及び重畳時の解析手法	55
4.7.2 地盤沈下の考慮	56
4.8 解析モデル，解析条件及び評価方法	57
4.8.1 解析モデル及び解析条件（津波時）	57
4.8.2 解析モデル及び解析条件（重畳時）	92
4.8.3 評価項目及び詳細評価方法	144
4.9 評価条件	165
4.9.1 津波時の評価条件	165

4.9.2 重畳時の評価条件	173
4.10 評価結果	188
4.10.1 評価結果総括	188
4.10.2 評価結果詳細	192
5. まとめ	543

防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波安全性評価に関する参考資料

- （参考1） 1次元有効応力解析における減衰定数の設定について
- （参考2） 本震後における地盤の剛性低下について
- （参考3） 鉄筋コンクリート部材におけるヤング係数比及びコンクリートの許容応力度
- （参考4） 中実鉄筋コンクリートにおける釣合い鉄筋比について
- （参考5） 地盤改良（セメント系）の考慮方法の妥当性
- （参考6） 頂版鉄筋コンクリート内杭頭の支圧応力度及び水平押抜きせん断照査
- （参考7） 中実鉄筋コンクリートの基礎底面地盤におけるせん断抵抗性能評価について
- （参考8） 巻立て鉄筋コンクリートと鋼管杭のスタッドによる一体化について
- （参考9） 解析結果の整合確認（静的震度法による応答比較）
- （参考10） 3次元静的フレーム解析による支持性能評価について
- （参考11） 鋼管杭に対する引抜き抵抗性能評価について
- （参考12） 鋼製防護壁の慣性力を1次元有効応力解析の地表面加速度に基づき設定する手法の妥当性
確認
- （参考13） 頂版鉄筋コンクリートで局所的に発生する曲げ軸力について

1. 概要

本書類は、添付書類「VI-3-別添 1-1(2) 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の設計方針に基づき、防潮堤（鋼製防護壁）が地震後の津波の繰返しの来襲を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な構造強度及び支持性能並びに止水機能を有していることを確認するものである。

防潮堤（鋼製防護壁）に要求される機能維持の確認は、基準津波による津波荷重及び敷地に遡上する津波による津波荷重に対する構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

防潮堤（鋼製防護壁）位置図を図 2.1-1 に示す。

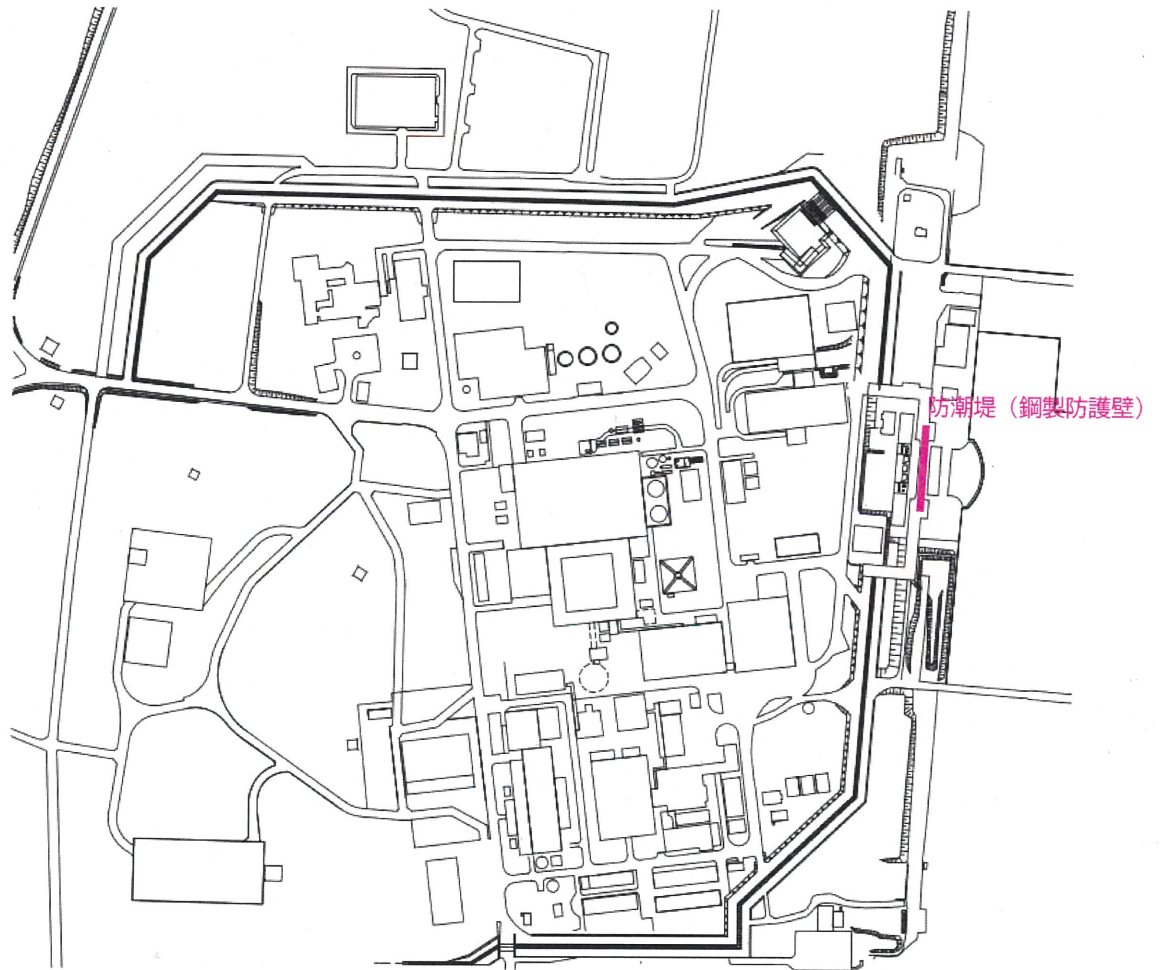


図 2.1-1 防潮堤（鋼製防護壁）位置図

2.2 構造概要

2.2.1 構造概要

防潮堤（鋼製防護壁）の評価対象位置平面図を図 2.2-1 に、構造概念図を図 2.2-2 及び図 2.2-3 に、構造図を図 2.2-4 に示す。また、各部材の設計上の役割を表 2.2-1 に示す。

防潮堤（鋼製防護壁）は図 2.2-2 に示すとおり、上部構造（以下「鋼製防護壁」という。）と下部構造（以下「鋼製防護壁基礎」という。）から構成される。鋼製防護壁は、図 2.2-4 に示すとおり、幅約 81 m、高さ約 17 m、奥行き約 5 m の鋼製の構造物であり、幅約 50 m の既設構造物を横断し、既設構造物の側方の鋼製防護壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

鋼製防護壁は図 2.2-5 に示すとおり、下端標高 T.P. +3.20 m から天端標高 T.P. +20.0 m までは頂板鋼板を含めて 10 層の鋼殻で構成される構造とする。各層は、堤軸方向の内部隔壁、堤軸直交方向の鉛直隔壁及び水平隔壁並びにこれらを取り囲む外面鋼板により構成される鋼殻構造であり、施工性を考慮して分割したブロックを組合せることにより全体を構成する。

各ブロックの継手部は、図 2.2-6 及び図 2.2-7 に示すとおり添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により固定する。また、継手部には図 2.2-7 に示すとおり、外側鋼板間及び添接板間の隙間にシール材を設置し、敷地内への津波の流入を防止する。

鋼製防護壁基礎は、図 2.2-8 及び図 2.2-9 に示すとおり、既設構造物の南北両側に配置し、津波荷重等を受ける鋼製防護壁を支持する。鋼製防護壁基礎は中実鉄筋コンクリート、鋼管杭、巻立て鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートで構成される。巻立て鉄筋コンクリートは鋼管杭頭部に設置し、スタッドにより鋼管杭と一体化する構造とする。

鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎との接合部の概要図を図 2.2-10 に示す。また、接合部の構造図を図 2.2-11～図 2.2-16 に示す。鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎はアンカーボルト及びベースプレートによって剛結合されており、アンカーボルトは鋼製防護壁からの引抜き力を頂版鉄筋コンクリートに伝達する。鋼製防護壁の鋼殻内部の中詰め鉄筋コンクリートは、鋼製防護壁からのせん断力、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。アンカーボルト頭部には防食等を目的に根巻き鉄筋コンクリートを配置する。根巻き鉄筋コンクリートは、アンカーバーにより鋼殻と固定する。アンカーバーの配置図を図 2.2-17 に示す。

止水性維持のために図 2.2-2 に示すとおり、止水ジョイントと止水機構を設置する。止水ジョイントは鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮壁との境界部に設置する。止水機構は鋼製防護壁の底面と既設構造物との境界部に設置する。止水機構の構造健全性及び追従性の評価は「5. 防潮堤（鋼製防護壁）の止水機構に関する補足説明」による。

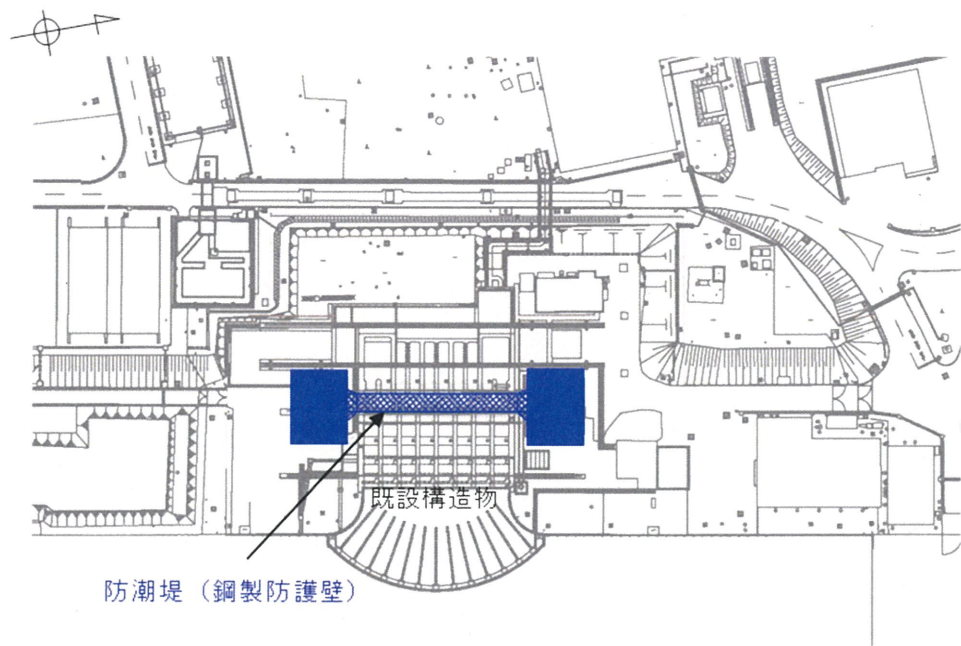


図 2.2-1 評価対象位置平面図

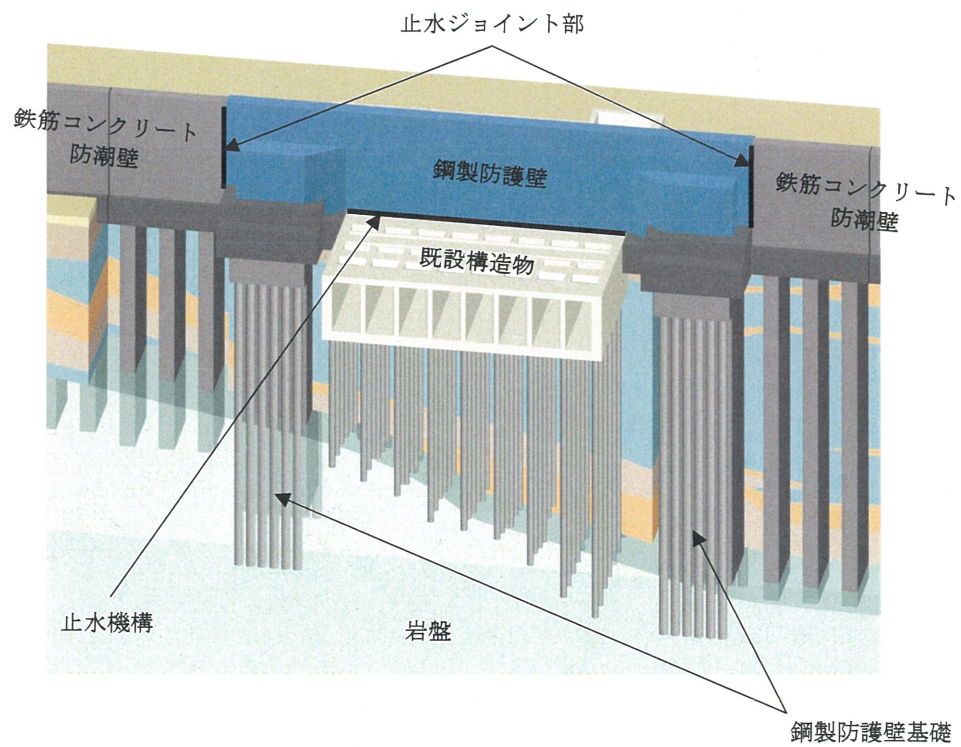
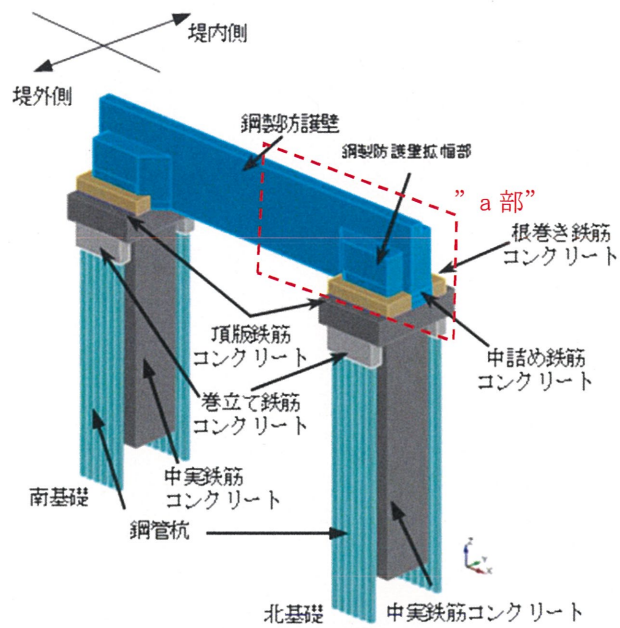


図 2.2-2 防潮堤（鋼製防護壁）の構造概念図(1)



防潮堤（鋼製防護壁）の構造図（鳥瞰図）

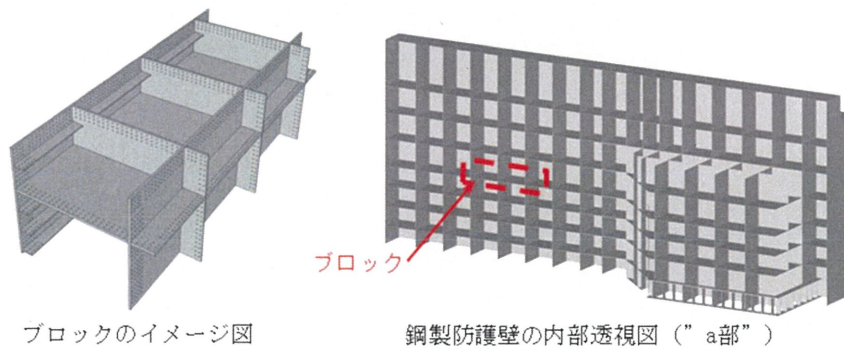


図 2.2-3 防潮堤（鋼製防護壁）の構造概念図(2)

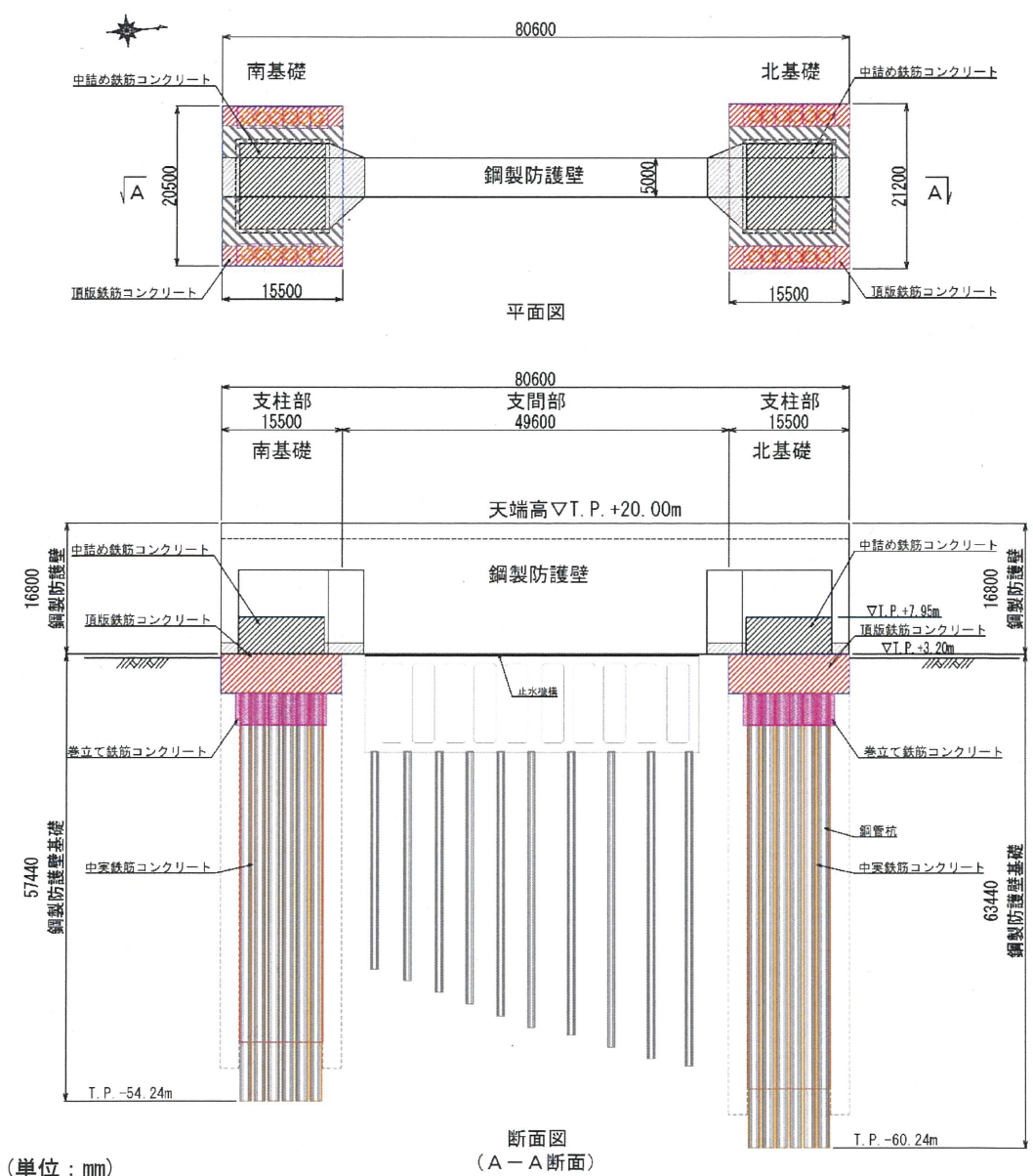


図 2.2-4 防潮堤（鋼製防護壁）全体の構造図

表 2.2-1 各部材の設計上の役割

部材名	設計上の役割
鋼製防護壁 (SM490Y, SM570, SBHS500, SBHS700)	地震に伴う荷重により発生する曲げ軸力, セン断力を負担する。
中詰め鉄筋コンクリート ($f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	鋼殻内部の鉄筋コンクリートで, 鋼製防護壁からのセン断力, 水平回転モーメントを負担する。
アンカーボルト (SM520B相当)	鋼製防護壁からの引抜力を負担する。
ベースプレート (SM490Y, SM570)	アンカーボルトからの曲げ軸力, セン断力を負担する。
根巻き鉄筋コンクリート ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	アンカーボルト頭部の防食等を目的とした鉄筋コンクリートであり, 非構造部材とする。 根巻き鉄筋コンクリートは, アンカーバーにより鋼殻と固定する。
頂版鉄筋コンクリート ($f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	鋼製防護壁からの曲げ軸力, セン断力を負担する。また, 地震に伴う荷重によって頂版鉄筋コンクリートに発生する曲げ軸力, セン断力を負担する。 アンカーボルト, 鋼管杭及び中詰め鉄筋コンクリート, 中実鉄筋コンクリート, 巻立て鉄筋コンクリート内の鉄筋を定着する。
中実鉄筋コンクリート ($f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	鋼製防護壁からの曲げ軸力, セン断力を負担する。また, 地震に伴う荷重によって中実鉄筋コンクリートに発生する曲げ軸力, セン断力を負担する。
鋼管杭 (SBHS500)	鋼製防護壁からの曲げ軸力, セン断力を負担する。また, 地震に伴う荷重によって鋼管杭に発生する曲げ軸力, セン断力を負担する。
巻立て鉄筋コンクリート ($f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	鋼製防護壁からの曲げ軸力, セン断力を負担する。また, 地震に伴う荷重によって巻立て鉄筋コンクリートに発生する曲げ軸力, セン断力を負担する。

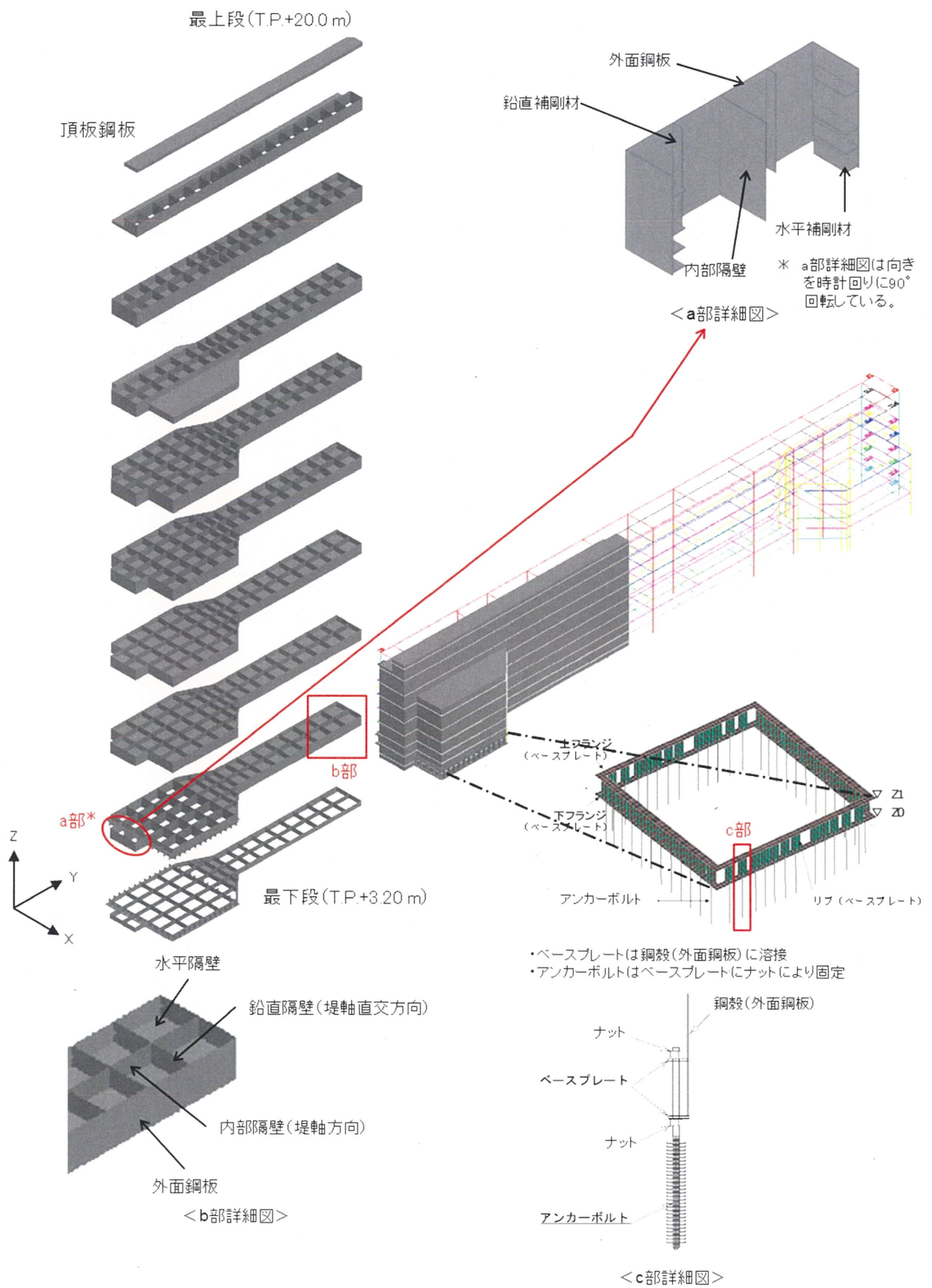


図 2.2-5 鋼製防護壁の構造概要図

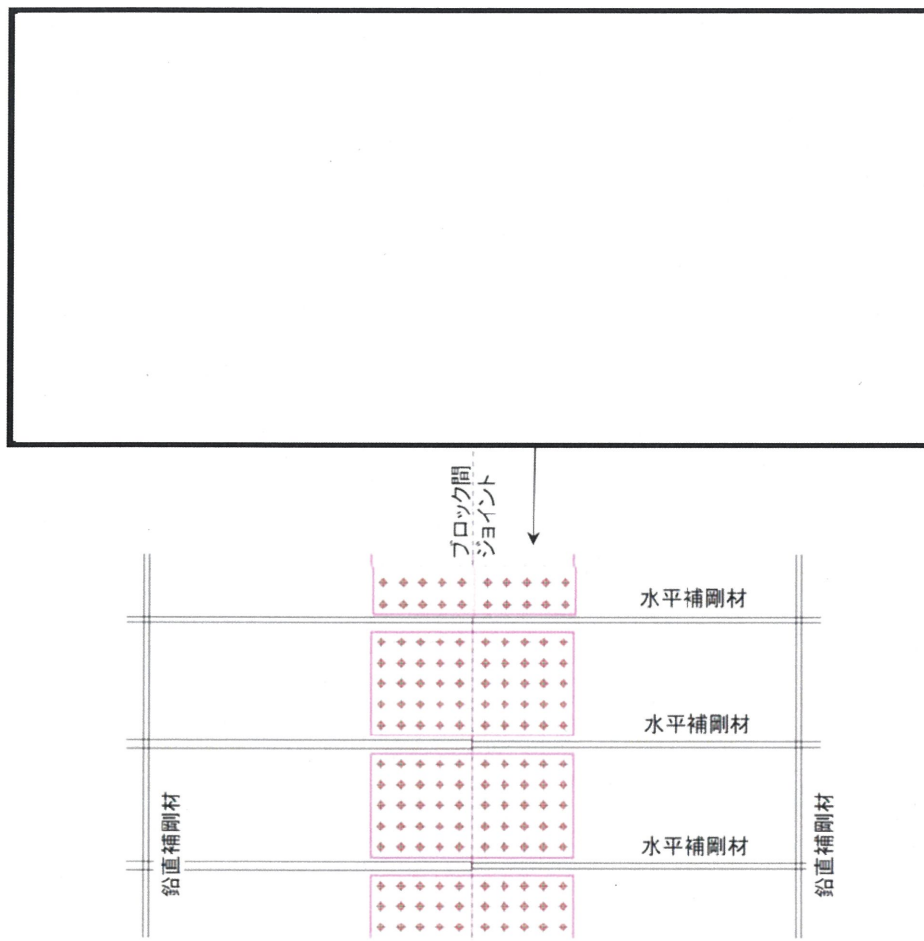


図 2.2-6 鋼製防護壁の添接板概念図

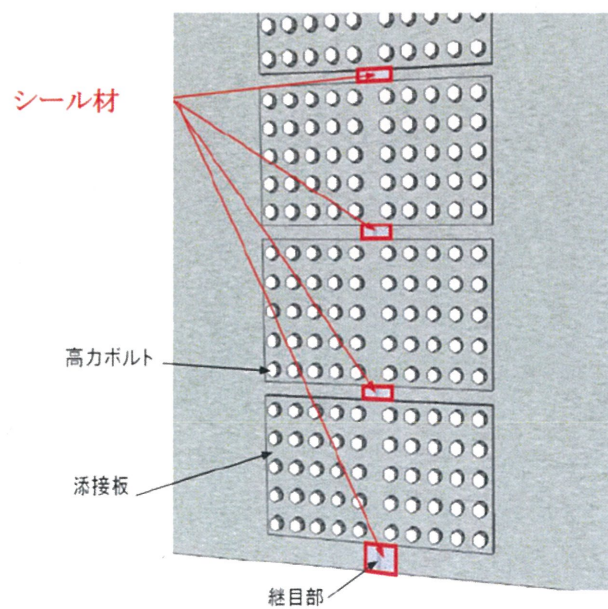


図 2.2-7 シール材の概念図

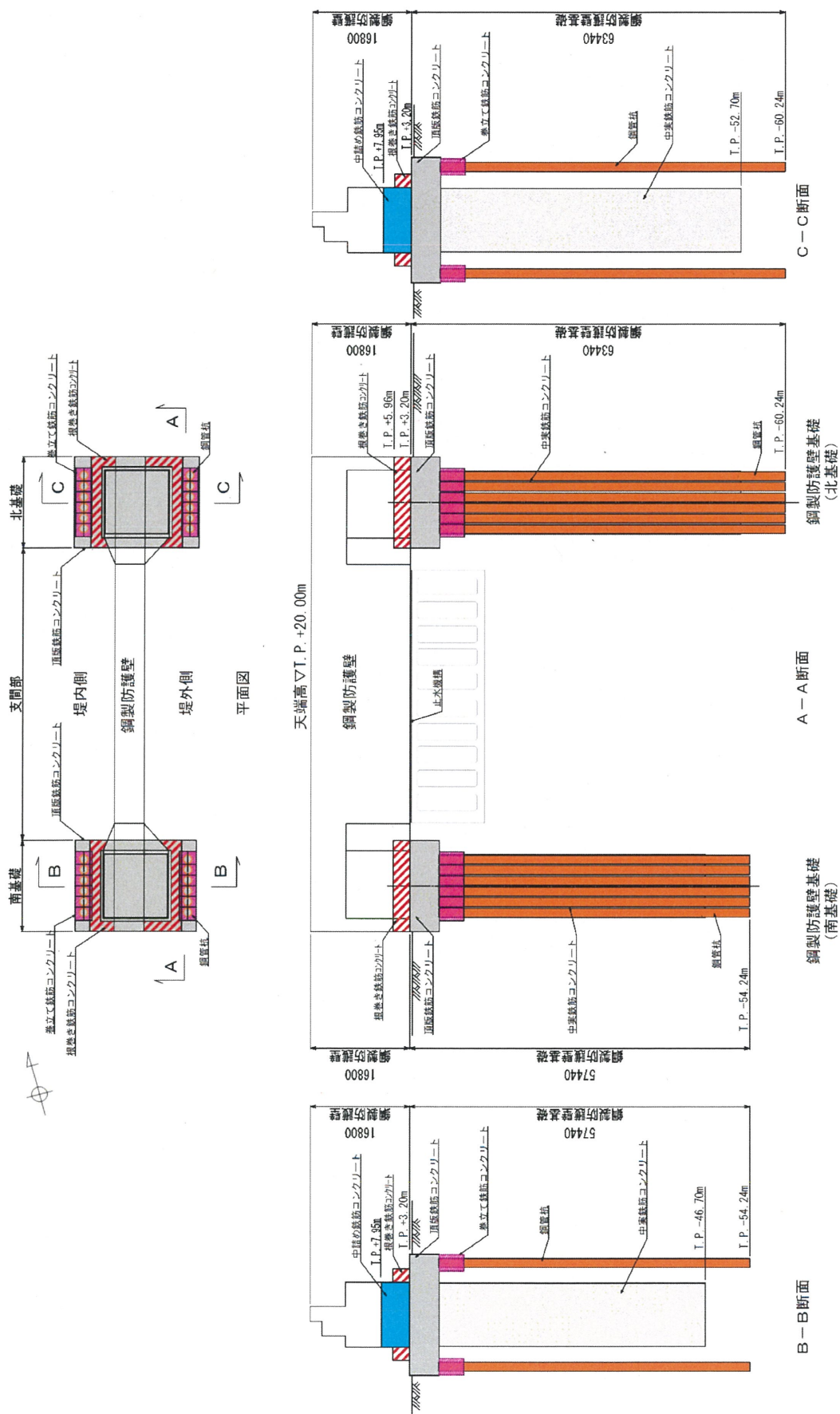
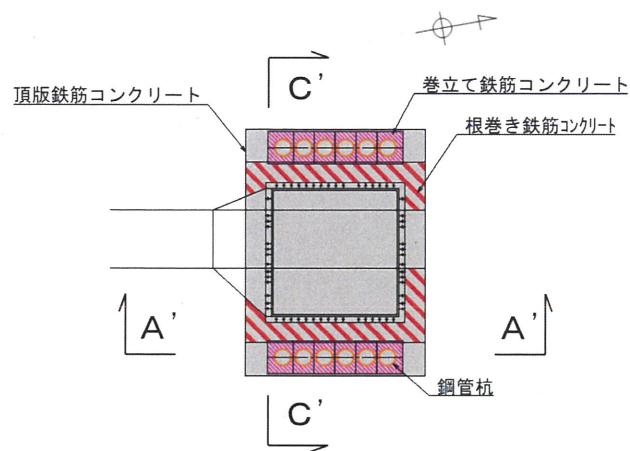


図 2.2-8 鋼製防護壁基礎の構造概念図



平面図
(北基礎)

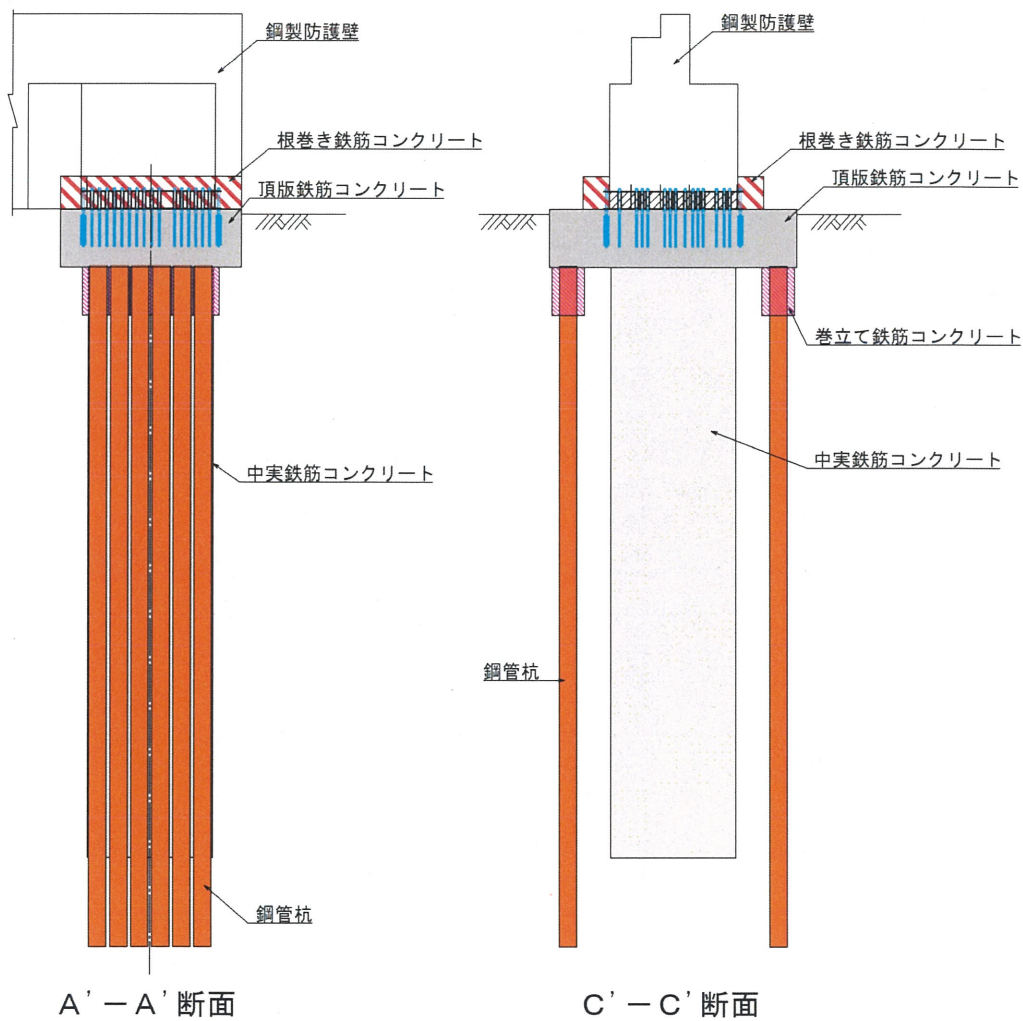


図 2.2-9 鋼製防護壁基礎の構造概要図 (北基礎)

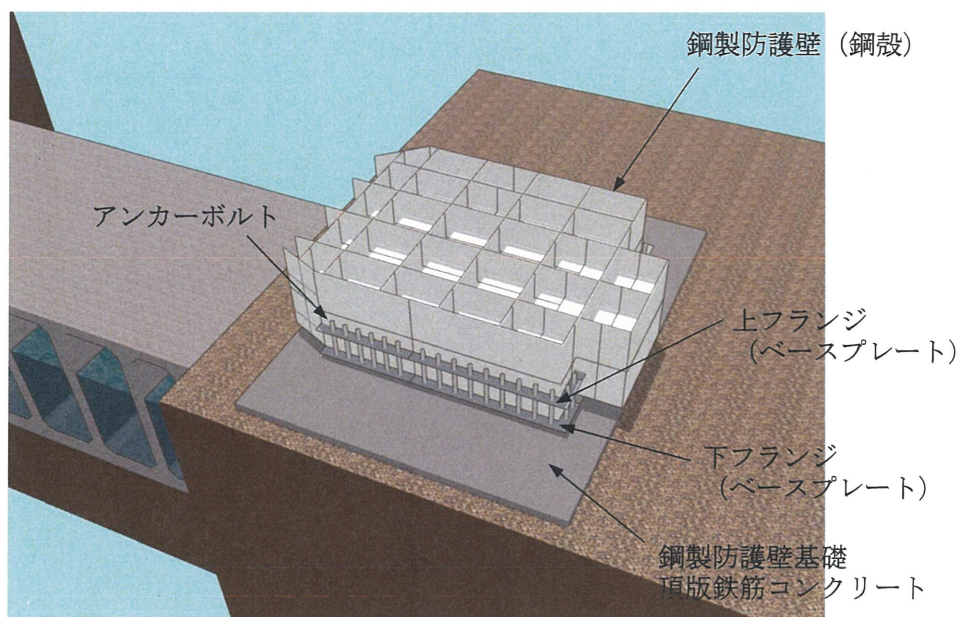


図 2.2-10 鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎の接合部概要図

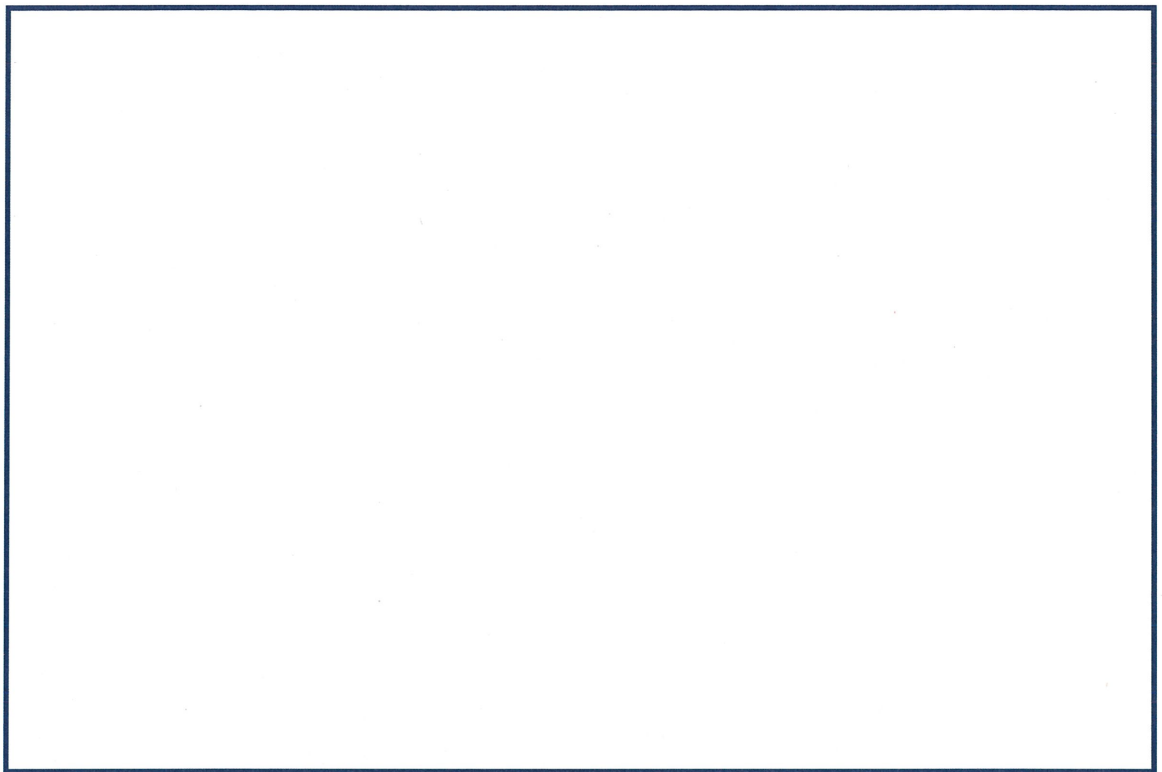


図 2.2-11 鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎の接合部構造図(南基礎：A－A断面)



図 2.2-12 鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎の接合部構造図(南基礎：B－B断面)



図 2.2-13 鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎の接合部構造図(南基礎：C－C断面)



図 2.2-14 鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎の接合部構造図(南基礎：D－D断面)



図 2.2-15 鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎の接合部構造図(南基礎：E－E断面)

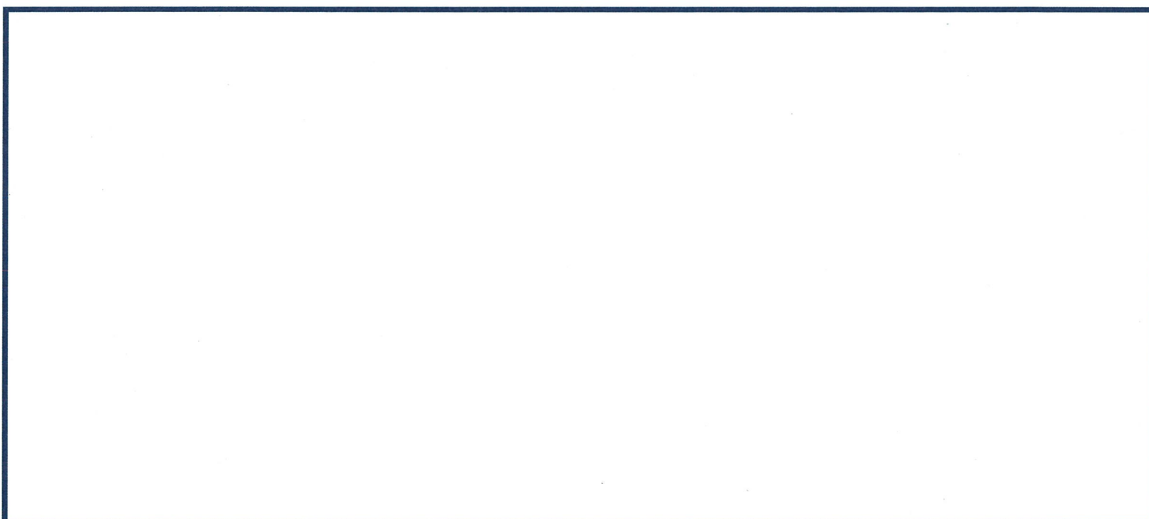
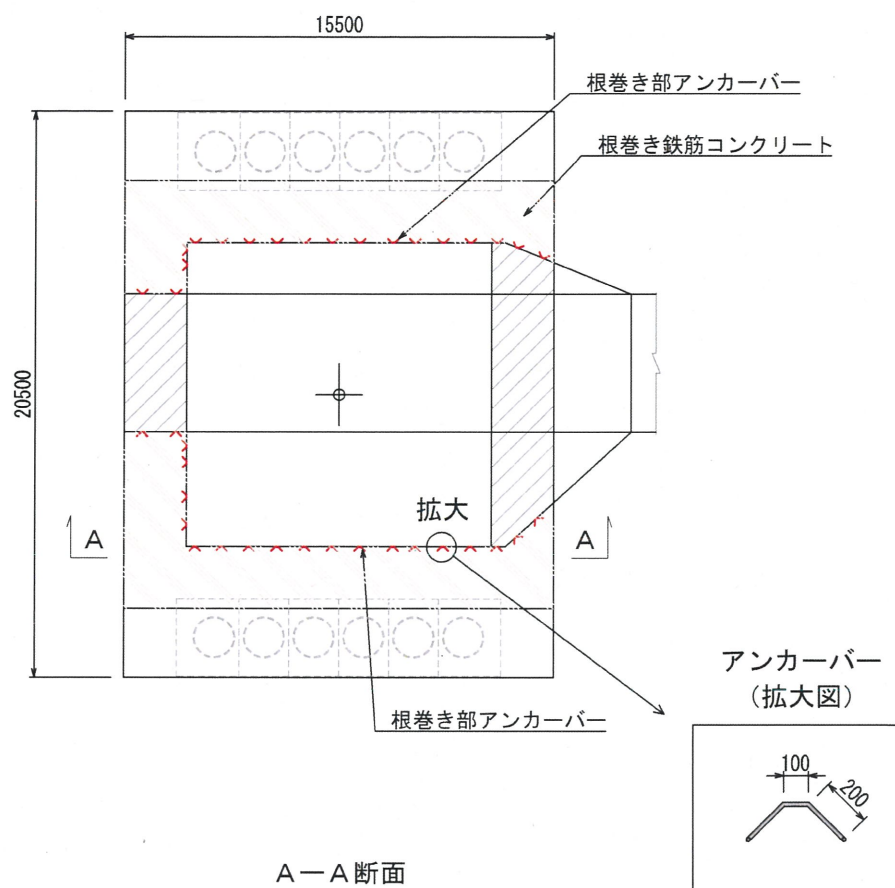


図 2.2-16 鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎の接合部構造図(南基礎：F－F断面)



平面図



A-A断面

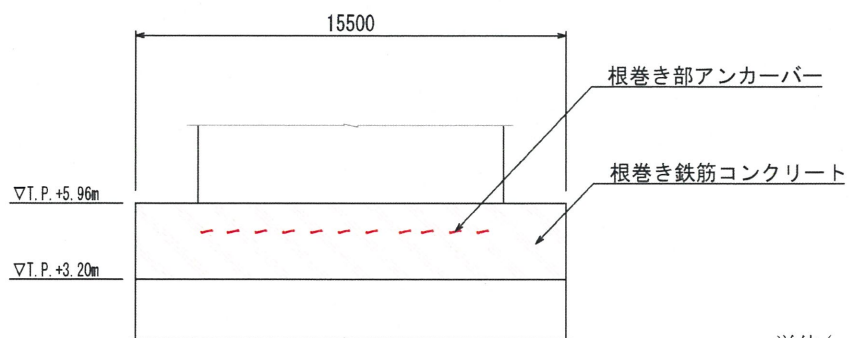


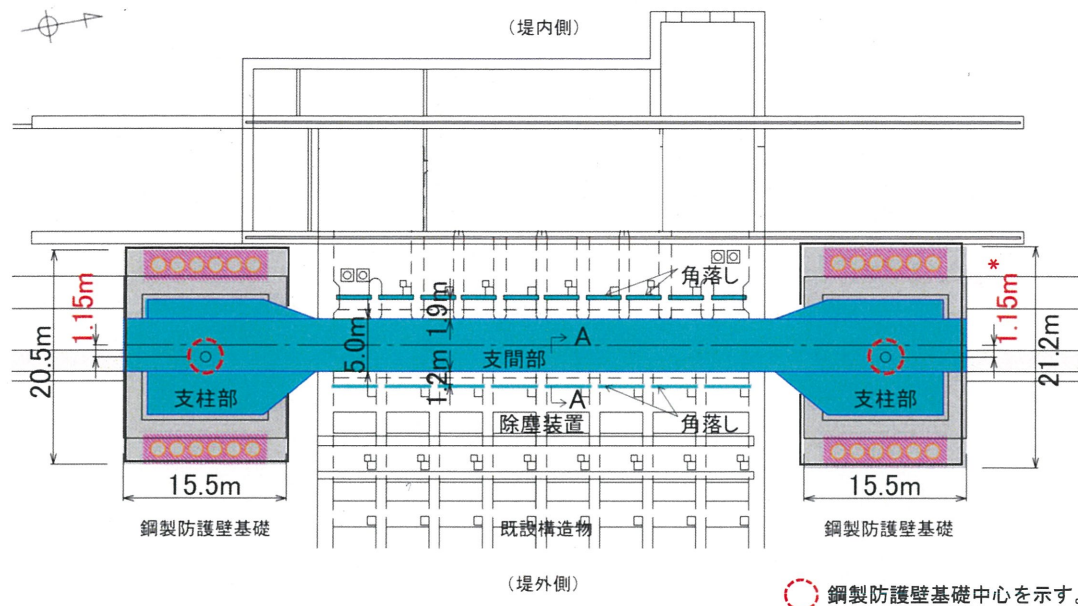
図 2.2-17 アンカーバー配置図

2.2.2 鋼製防護壁の平面配置

鋼製防護壁は、地震時の変位により支間部が既設構造物と接触しないように、必要離隔が確保できる鋼製防護壁基礎上の位置に設置する。

鋼製防護壁の平面配置における設置位置の状況を図 2.2-18 に示す。地震時の動的解析から得られる堤外側の最大変位量を考慮して、必要離隔を 0.7 m と設定する。また、鋼製防護壁の下部の前面（堤外側）には、厚さ 0.5 m の止水板押えを設置する。以上より、堤外側角落としから、変位による必要離隔と止水板押えの厚さを考慮した離隔 1.2 m の確保が必要となる。

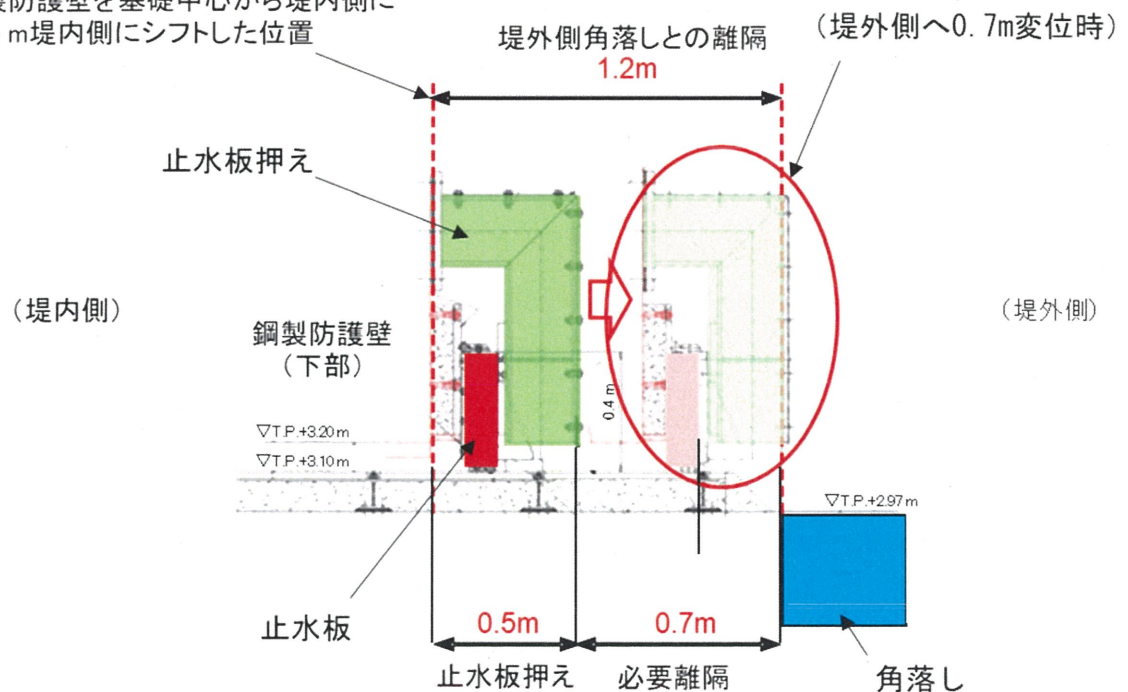
鋼製防護壁は、堤外側角落としから 1.2 m の離隔を確保するために、鋼製防護壁基礎中心から鋼製防護壁中心を堤内側へ 1.15 m 程度シフトした位置に配置する。



* 鋼製防護壁の中心は鋼製防護壁基礎の中心から堤内側へ1.15 m シフトした位置に設定する。

(平面図)

鋼製防護壁を基礎中心から堤内側に
1.15 m 堤内側にシフトした位置



(A-A断面)

図 2.2-18 鋼製防護壁の平面配置における設置位置の状況

2.2.3 津波時及び重畳時の荷重伝達

耐津波評価は、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）で設定する荷重及び荷重の組合せについて行う。津波時及び重畳時の荷重伝達概念図を図 2.2-19 に示す。

津波時には、津波荷重及び漂流物の衝突荷重により鋼製防護壁に曲げ及びせん断力が発生する。鋼製防護壁に発生した曲げモーメント及びせん断力は、鋼製防護壁と一体化した鋼製防護壁基礎に伝達され、水平方向の地盤反力及び鉛直方向の接地圧が生じる。

重畳時には、津波荷重及び地震による慣性力・動水圧によって、鋼製防護壁に曲げモーメント及びせん断力が発生する。鋼製防護壁に発生した曲げ及びせん断力は、鋼製防護壁と一体化した鋼製防護壁基礎に伝達され、地震による地盤変形に伴う土圧の作用も相まって、水平方向の地盤反力及び鉛直方向の接地圧が生じる。

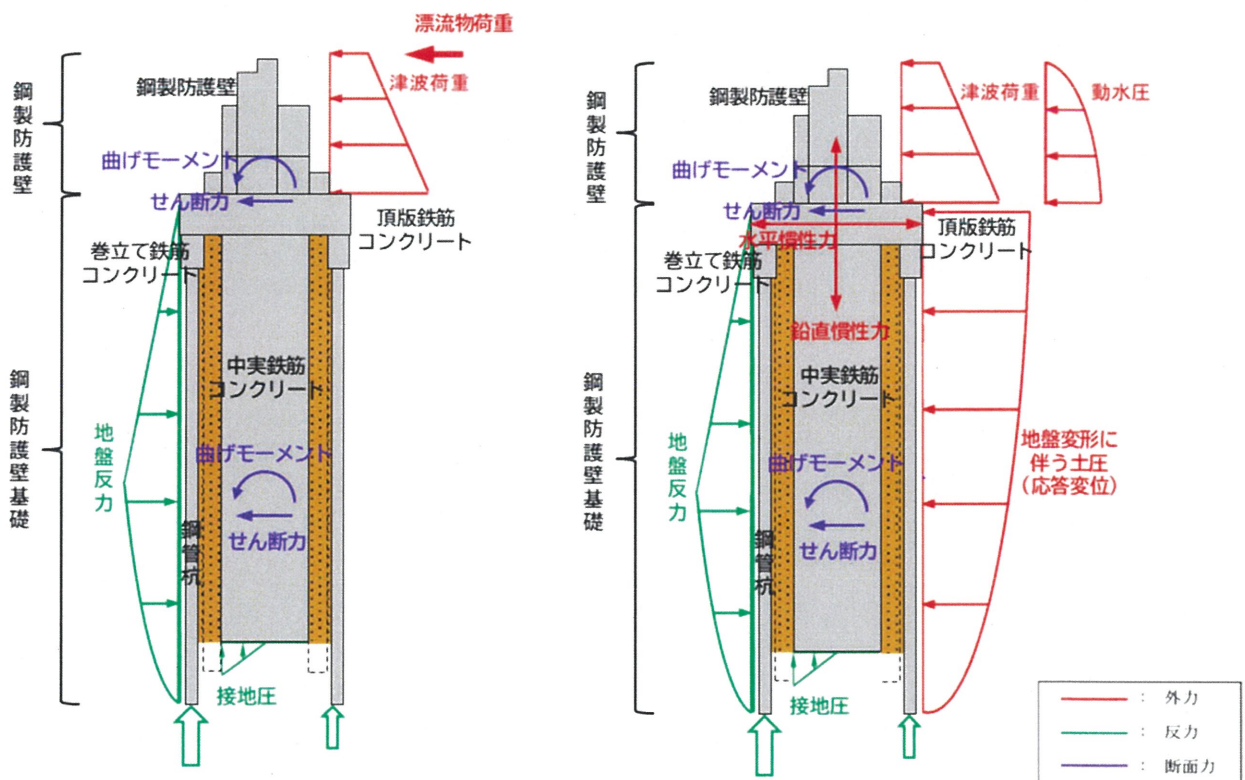


図 2.2-19 津波時及び重畳時の荷重伝達概念図（左図：津波時 右図：重畳時）

2.3 耐津波評価方針

2.3.1 要求機能、設計方針及び評価方針

防潮堤（鋼製防護壁）は、Sクラス施設である浸水防護施設に分類される。防潮堤（鋼製防護壁）に関する要求性能と設計評価方針を表 2.3-1 に示す。また、評価項目を表 2.3-2 に示す。

防潮堤（鋼製防護壁）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1(2) 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ、並びに許容限界を踏まえて実施する。構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を行う。

表 2.3-1 防潮堤（鋼製防護壁）に関する要求性能と設計評価方針

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					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	
防潮堤（鋼製防護壁）	基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド	・防潮堤（鋼製防護壁）は、地震後の繰返しの来襲を想定した入力津波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設に要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水を防止することが要求される。	・防潮堤（鋼製防護壁）は、地震後の繰返しの来襲を想定した海上波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、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。	・防潮堤（鋼製防護壁）は、地震後の繰返しの来襲を想定した海上波に対して、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、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、敷地前面に設置する設計とする。	・防潮堤（鋼製防護壁）は、地震後の繰返しの来襲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する。	地盤後の繰返しの来襲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ことを確認する。	地盤	基礎地盤	支持力	支持機能を喪失する状態	「道路標示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」に基づき妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。	
	5.1 津波防護施設の設計							改良地盤（セメント系）	せん断	滑り破壊、変形抑制機能を喪失する状態	「道路標示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、安全余裕を考慮した受動せん断面方向等のせん断耐力以内とする。	
	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）の設定に関しては、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、合理的な程度、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、当該構造物全体の变形能力（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。）							地盤改良（薬液注入）	—	地盤改良体が液状化する状態	設計仕様（液状化しない）を満足することを確認する。	
	鋼製防護壁基礎						鋼製防護壁基礎	頂版鉄筋コンクリート	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路標示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」、「コンクリート標準仕様書」に基づき短期許容応力度以下とする。	
								中実鉄筋コンクリート	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路標示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」、「コンクリート標準仕様書」に基づき短期許容応力度以下とする。	
								鋼管杭	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路標示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」、「コンクリート標準仕様書」に基づき短期許容応力度以下とする。	
								巻立て鉄筋コンクリート	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路標示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」、「コンクリート標準仕様書」に基づき短期許容応力度以下とする。	
								鋼製防護壁	曲げ、せん断、ねじれ	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（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説」、「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」に基づき短期許容応力度以下とする。	
								止水ジョイント部	止水ジョイント部材	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。
									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以下とする。
									止水ジョイントの鋼製防護部材	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	「鋼構造物設計基準」に基づき短期許容応力度以下とする。
									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（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説」、「水門鉄管技術基準」に基づき短期許容応力度以下とする。
								接合部	アンカーボルト（頂版鉄筋コンクリート）	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（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」、「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」に基づき短期許容応力度以下とする。
ベースプレート	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」に基づき短期許容応力度以下とする。									
中詰め鉄筋コンクリート	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	「道路標示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」、「コンクリート標準仕様書」に基づき短期許容応力度以下とする。									

※1 「入力津波」は、基準津波と敷地に遡上する津波の各々に対して設定している。

※2 「遡上波」は、津波の流入の形態を示すもの（取水路等の経路から伝搬してくる津波（経路からの津波）と地上を遡上してくる津波（遡上波）の区分）

表 2.3-2 防潮堤（鋼製防護壁）の評価項目

評価方針	評価項目	評価部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼製防護壁基礎 中実鉄筋コンクリート 鋼管杭 巻立て鉄筋コンクリート 杭頭接合部 頂版鉄筋コンクリート	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度又は短期許容せん断力
		鋼製防護壁 鋼製防護壁	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度又は短期許容せん断力
		接合部 アンカーボルト (頂版鉄筋コンクリート)	下記発生応力が許容限界以下であることを確認 ・アンカーボルトの引張応力 ・アンカーボルトとコンクリートの定着 ・コンクリートのコーンせん断力	短期許容応力度又は短期許容せん断力
		ベースプレート 中詰め鉄筋コンクリート	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	
	地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力度
		地盤改良（セメント系）	改良地盤に滑り破壊を生じないことを確認	滑り破壊を生じない
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	鋼製防護壁基礎 中実鉄筋コンクリート 鋼管杭 巻立て鉄筋コンクリート 杭頭接合部 頂版鉄筋コンクリート	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度又は短期許容せん断力
		鋼製防護壁 鋼製防護壁	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度又は短期許容せん断力
		接合部 アンカーボルト (頂版鉄筋コンクリート)	下記発生応力が許容限界以下であることを確認 ・アンカーボルトの引張応力 ・アンカーボルトとコンクリートの定着 ・コンクリートのコーンせん断力	短期許容応力度又は短期許容せん断力
		ベースプレート 中詰め鉄筋コンクリート	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	
	地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力度
		地盤改良（セメント系）	改良地盤に滑り破壊を生じないことを確認	滑り破壊を生じない
	構造物の変形性	止水ジョイント部材	変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

2.3.2 耐津波評価について

防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波評価フローとして評価の全体の手順を図 2.3-1 に示す。

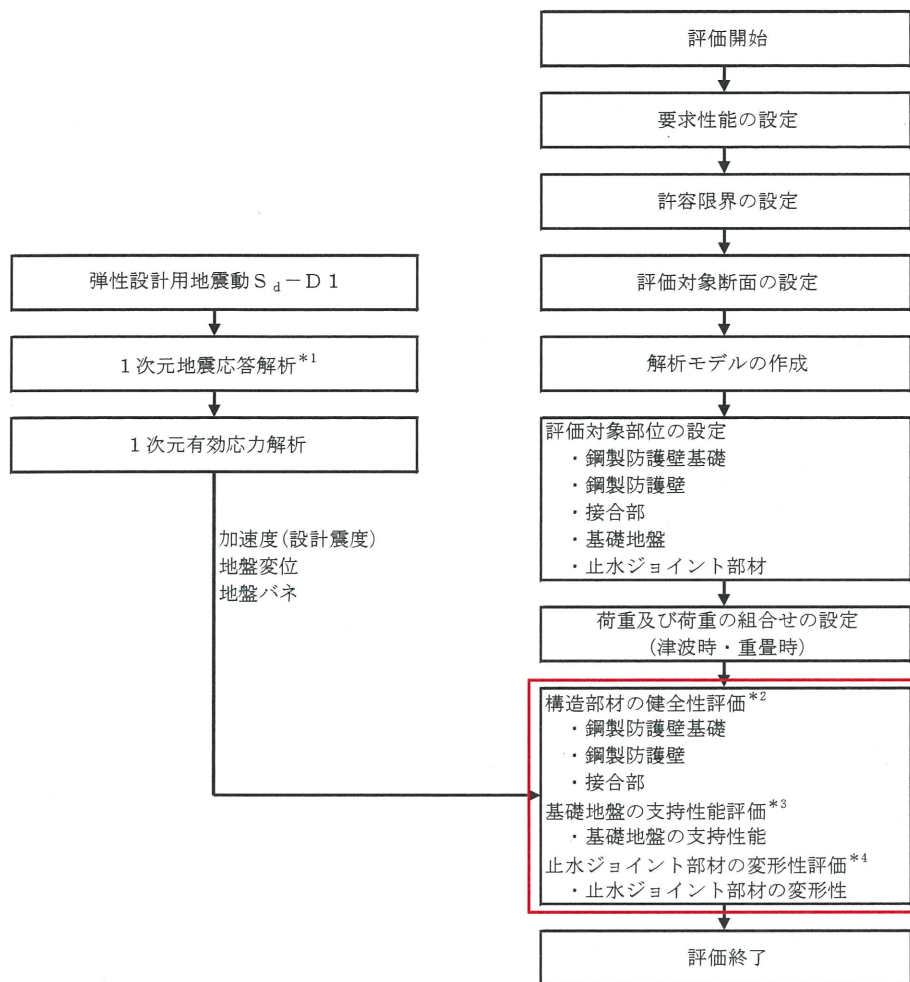
赤線囲みの防潮堤（鋼製防護壁）を構成する各部材（鋼製防護壁基礎、鋼製防護壁、接合部及び止水ジョイント部材）及び基礎地盤の評価に着目した詳細設計フローを図 2.3-2 に示す。また、強度評価の荷重条件である津波時（津波荷重が主要荷重）及び重畳時（津波荷重とともに余震荷重が主要荷重）に着目して細分化した鋼製防護壁基礎、鋼製防護壁及び接合部の設計フローを図 2.3-3 及び図 2.3-4 に示す。

防潮堤（鋼製防護壁）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮することで評価対象部位を設定し、許容限界に対する健全性を確認する。具体的には以下のとおりとする。

防潮堤（鋼製防護壁）は、鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎がアンカーボルトによって剛結され、鋼製防護壁からの軸力と水平軸回りの曲げモーメントを引抜き力、押込み力として鋼製防護壁基礎の頂版鉄筋コンクリートに伝達することで一体構造として挙動するため、鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎を一体とした 3 次元モデルで強度評価を行う。中実鉄筋コンクリート及び鋼管杭を梁要素、鋼製防護壁を格子状の梁要素でモデル化する。梁部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。梁部材の健全性評価では、梁部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認する。中実鉄筋コンクリートに隣接する地中連続壁部については、構造部材として考慮しない設計とするが、地中連続壁部の影響の評価は「3. 防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁部の残置影響評価に関する補足説明」に示す。

基礎地盤の支持性能評価については、鋼製防護壁基礎を支持する基礎地盤に発生する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。なお、津波時に発生する接地圧は、地震時及び重畳時に発生する接地圧に包絡されるため、強度評価における基礎地盤の支持性能評価は重畳時のみ実施する。重畳時の支持性能評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S_d-D1 を 1 次元波動論により有効応力解析モデル底面位置で評価したものを用いる。また、地下水位は地表面位置に設定する。

鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮壁との境界部に設置する止水ジョイント部は、鋼製アンカー、鋼製防護部材及び止水ジョイント部材で構成される。止水ジョイント部の変形性評価については、止水ジョイント部に生じる相対変位量を算出し、その変形量が有意な漏えいを生じないことを確認した許容限界以下であることをもって評価する。止水ジョイント部の評価に関する補足説明事項は、平成 30 年 10 月 18 日付け原規規発第 1810181 号にて認可された工事計画（以下「既工認」という。）の補足説明資料（補足-60-1【津波への配慮に関する説明書】）の「6.12 止水ジョイント部の相対変位量に関する補足説明」及び「6.13 止水ジョイント部の漂流物対策に関する補足説明」に示す。



- 注記 *1: 解放基盤表面(EL. -370 m)で定義される弾性設計用地震動 S_d -D 1 を1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置(EL. -130 m)での入力地震動として作成する
- *2: 構造部材の健全性評価により, 要求性能「構造強度を有すること」と要求性能「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する
- *3: 基礎地盤の支持性能評価により, 要求性能「構造強度を有すること」と要求性能「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する
- *4: 止水ジョイント部材の変形性評価により, 要求性能「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する

図 2.3-1 防潮堤(鋼製防護壁)の耐津波評価フロー



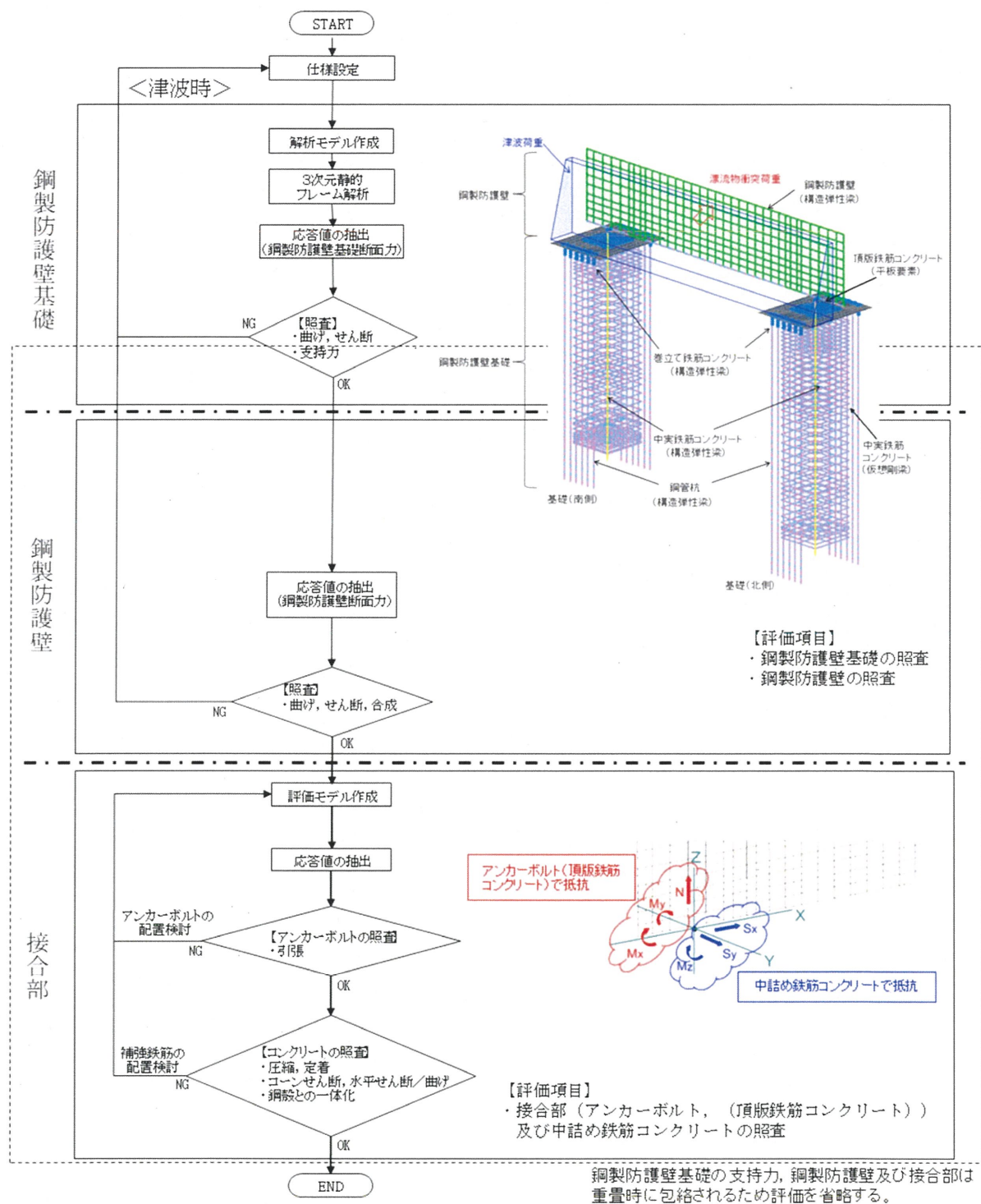


図 2.3-3 津波時における鋼製防護壁基礎、鋼製防護壁及び接合部の設計フロー

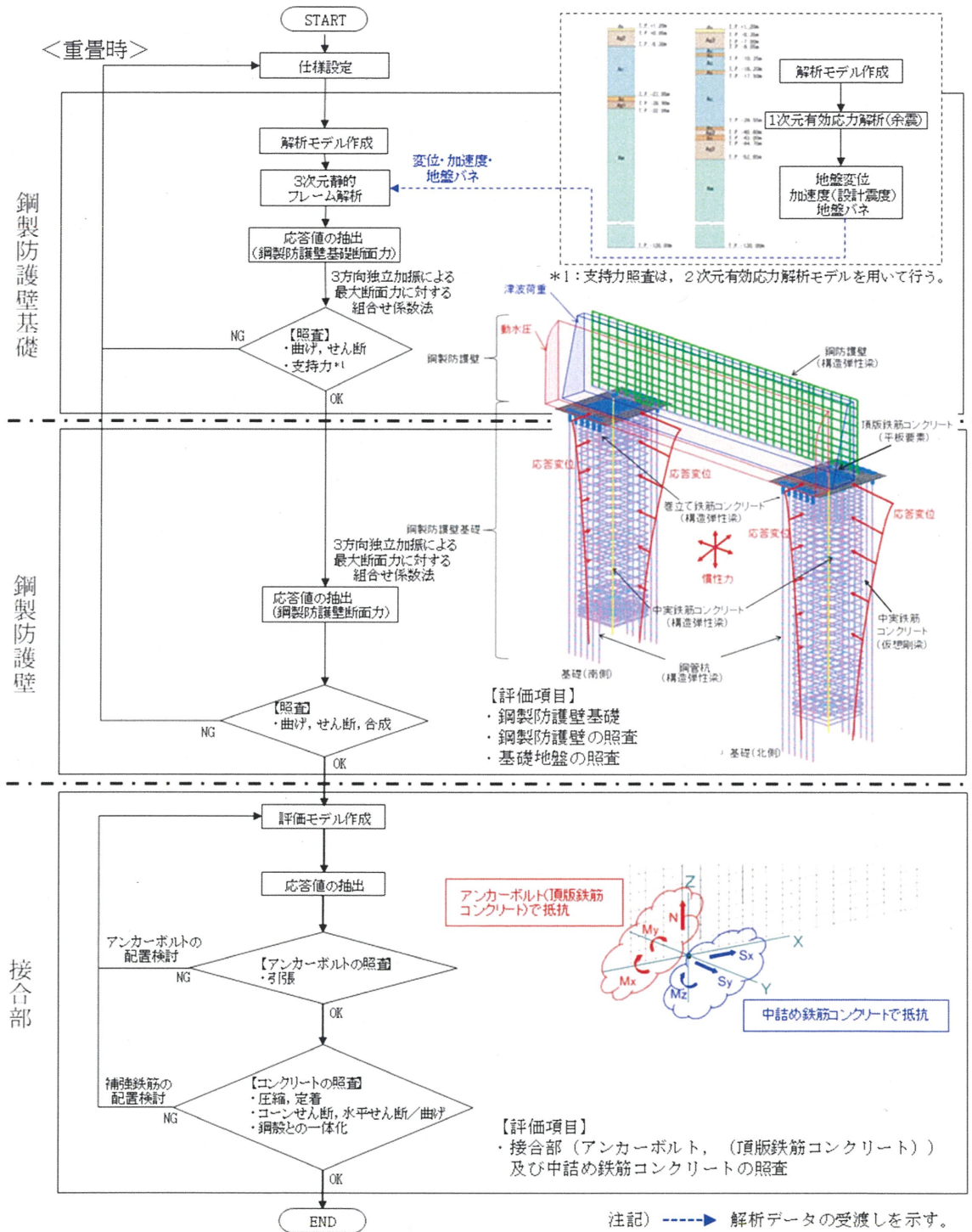


図 2.3-4 重疊時における鋼製防護壁基礎、鋼製防護壁及び接合部の設計フロー

2.4 適用基準

適用する規格・基準類を以下に示す。また、項目ごとに適用する規格・基準類を表 2.4-1 に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002 年制定)
- ・コンクリート標準示方書[設計編](土木学会, 2022 年制定)
- ・道路橋示方書(I 共通編・IV 下部構造編)・同解説(日本道路協会, 平成 24 年 3 月)
- ・道路橋示方書(I 共通編・II 鋼橋編)・同解説(日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・道路橋示方書(II 鋼橋・鋼部材編)・同解説(日本道路協会, 平成 29 年 11 月)
- ・道路橋示方書(I 共通編・III コンクリート橋編)・同解説(日本道路協会, 平成 24 年 3 月)
- ・道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説(日本道路協会, 平成 24 年 3 月)
- ・道路土工カルバート工指針(平成 21 年度版)(日本道路協会, 平成 22 年 3 月)
- ・杭基礎設計便覧(日本道路協会, 令和 2 年 3 月)
- ・鋼構造物設計基準(II 鋼製橋脚編, 名古屋高速道路公社, 平成 15 年 10 月)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987(日本電気協会)
- ・各種合成構造設計指針・同解説(日本建築学会, 2010 年 11 月)
- ・鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)(国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編, 令和 5 年 1 月)
- ・新しい高性能鋼材の利用技術調査研究報告書~SBHS500(W), SBHS700(W)の設計・製作ガイドライン(案)~(土木学会, 平成 21 年 11 月)
- ・2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針ーセメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法ー ((財) 日本建築センター)

表 2.4-1 項目ごとに適用する規格・基準類

項目毎に適用する規格・基準類	備考
使用材料及び材料の物性値 ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月） ・道路橋示方書（Ⅱ 鋼橋・鋼部材編）・同解説（日本道路協会，平成29年11月） ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅲ コンクリート橋編）・同解説（日本道路協会，平成24年3月） ・道路土工カルバート工指針（平成21年度版）（日本道路協会，平成22年3月） ・鋼構造物設計基準（Ⅱ 鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成15年10月） ・コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2022年制定） ・鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）（国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編，令和5年1月） ・2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 - ーセメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法ー（（財）日本建築セン	-
荷重及び荷重の組合せ ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）	永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界 鉄筋コンクリート ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定） ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成24年3月） ・道路土工カルバート工指針（平成21年度版）（日本道路協会，平成22年3月） ・鋼構造物設計基準（Ⅱ 鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成15年10月） 鋼材 ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月） ・道路橋示方書（Ⅱ 鋼橋・鋼部材編）・同解説（日本道路協会，平成29年11月） ・鋼構造物設計基準（Ⅱ 鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成15年10月） ・新しい高性能鋼材の利用技術調査研究報告書～SBHS500(W)，SBHS700(W)の設計・製作ガイドライン(案)～（土木学会，平成21年11月）	曲げ軸力に対する照査 発生応力度が短期許容応力度以下であることを確認 せん断力に対する照査 発生応力度又は発生力が短期許容応力度又は短期許容せん断力以下であることを確認
耐震設計 ・道路橋示方書（Ⅴ 耐震設計編）・同解説（日本道路協会，平成24年3月） ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）	有限要素法による2次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

3. 設計条件

耐津波設計に用いる条件を整理した設計条件総括表を表 3-1 に示す。

表 3-1 に示す解析モデルに設定する地盤バネは、非線形地盤バネ要素でモデル化する。地盤バネの非線形材料特性は、地盤反力上限値を考慮したバイリニア型とする。

地盤バネは、表 3-2 に示すとおり津波時 2 ケース（地盤バネ 1 及び地盤バネ 2）及び重畳時 3 ケース（地盤バネ 3、地盤バネ 4 及び地盤バネ 5）を考慮する。津波時の地盤バネと重畳時の地盤バネの設定の違いは、地盤反力係数と地盤反力上限値の算定において考慮する地盤の変形係数と地盤強度の設定による余震考慮の有無である。

津波時には、余震を考慮しないため、既工認の添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している地盤の物性値に基づき直接設定もしくは算出した地盤の変形係数及び地盤強度から地盤バネを設定する。なお、地盤バネ 1 は、地盤抵抗が最大の場合を想定した地盤バネであるため、地盤の動的せん断特性における初期せん断剛性に基づき地盤の変形係数を算定し、平均 V_s の地盤特性におけるピーク強度に基づき地盤強度を算定する。一方、地盤バネ 2 は、地盤抵抗が最小の場合を想定した地盤バネであるため、静弾性係数に基づき地盤の変形係数を設定し、地盤物性のばらつき -1σ を考慮したせん断波速度 V_s の地盤物性における残留強度に基づき設定する。これらの地盤の剛性及び地盤強度を考慮して地盤バネ 1 及び地盤バネ 2 を設定する。

これに対し、重畳時には、余震を考慮するため、余震に伴い地盤が受ける影響（剛性及び強度低下）を 1 次元有効応力解析により評価することで地盤バネを設定する。1 次元有効応力解析は、弾性設計用地震動 S_a-D1 （余震）に対して実施し、解析対象の地盤ケースは地盤ケース⑤、⑥、③' の 3 ケースである。余震に伴い地盤が受ける影響を考慮した収束剛性及び収束強度は、これら 3 種類の地盤ケースにおいて下記の各応答値が最大となる時刻において算出する。算出した収束剛性及び収束強度に基づき、下記のとおり地盤バネ 3、地盤バネ 4 及び地盤バネ 5 を設定する。

地表面加速度：地表面加速度が最大になる地盤ケース及び最大値発生時刻の収束剛性及び収束強度を算出し、これらに基づき「地盤バネ 3」を設定する。

地表面変位：地表面変位が最大になる地盤ケース及び最大値発生時刻の収束剛性及び収束強度を算出し、これらに基づき「地盤バネ 4」を設定する。

地盤のせん断ひずみ：地盤のせん断ひずみが最大になる地盤ケース及び最大値発生時刻の収束剛性及び収束強度を算出し、これらに基づき「地盤バネ 5」を設定する。

表 3-1 設計条件総括表

項目		内容
使用材料	鉄筋コンクリート 鉄筋 コンクリート	SD390, SD490, SD685 $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$
	鋼材 鋼製防護壁 鋼管杭 アンカーボルト ベースプレート	SM490Y, SM570, SBHS500, SBHS700 SBHS500 SM520B相当 SM490Y, SM570
地盤の 物性値	地盤 (Km層以外)	地盤のばらつきを考慮
	地盤 (Km層)	深度に応じて設定
	地下水位	地表面として設定
	地盤改良体	改良手法に応じて物性値を設定
荷重及び荷重の組合せ		津波時 固定荷重G + 積載荷重P + 遡上津波荷重Pt + 衝突荷重Pc + 積雪荷重Ps 重畳時 固定荷重G + 積載荷重P + 遡上津波荷重Pt + 余震荷重Ksd + 積雪荷重Ps G : 躯体自重, 静止土圧, 外水圧 P : 機器・配管荷重 (スクリーン室クレーン) Pt : 基準津波及び敷地に遡上する津波による水平波圧 Pc : 0.69tの車両の漂流物荷重 Ksd : 弾性設計用地震動 S_d-D1 による余震に伴う慣性力, 動水圧 Ps : 積雪量30cmの積雪を考慮 ※津波時・重畳時は堤外側からの風荷重は受圧面となる防潮壁には作用せず, 堤内側からの風荷重は考慮しない方が保守的であるため, 風荷重は考慮しない
入力地震動		弾性設計用地震動 S_d-D1 を用いて, 1次元波動論により算定
許容限界	構造部材	基準津波時 コンクリート : 許容応力度に対し割増係数を1.5とする。 鉄筋 : 許容応力度に対し割増係数を1.5とする。 鋼材 : 許容応力度に対し割増係数を1.5とする。
		敷地に遡上する津波時 コンクリート : 許容応力度に対し割増係数を2.0とする。 鉄筋 : 許容応力度に対し割増係数を1.65とする。 鋼材 : 許容応力度に対し割増係数を1.7とする。
	基礎地盤	中実鉄筋コンクリート : 基礎底面地盤の許容限界は, Km層の極限支持力度とする。 鋼管杭 : 基礎底面地盤の許容限界は, Km層の極限支持力度とする。
	止水ジョイント部	メーカー規格, 漏水試験及び変形試験により有意な漏えいが生じないことを確認した変形量に基づき設定する。
解析手法 解析コード	鋼製防護壁基礎	3次元静的フレーム解析・Engineer's Studio Ver.11.02.00
	鋼製防護壁及び接合部	
解析モデル	鋼製防護壁基礎	鋼製防護壁と鋼製防護壁基礎を一体とした3次元静的フレーム解析モデルで構造部材の強度評価を行う。
	鋼製防護壁及び接合部	

表 3-2 地盤バネケースの設定概要（津波時及び重畳時）

地盤バネのケース	余震の有無	地盤ケース	地盤反力係数	地盤反力上限値	地盤剛性 地盤強度
地盤バネ 1	余震なし	余震を考慮しない地盤物性値 既工認の添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している地盤の物性値に基づき直接設定もしくは算出	地盤の動的せん断特性における初期せん断剛性に基づき設定	平均 V_s の地盤特性におけるピーク強度に基づき設定	最大
地盤バネ 2	津波時		地盤の静弾性係数に基づき設定	地盤物性のばらつきを考慮した $-1\sigma V_s$ の地盤物性における残留強度に基づき設定	最小
地盤バネ 3	余震あり 重畳時	以下に示す3種類の地盤ケースに対して1次元有効応力解析を実施して、地盤の応答値が最大となる地盤条件を選定	地表面加速度が最大となる時刻の収束剛性より設定	地表面加速度が最大となる時刻の収束強度より設定	大
地盤バネ 4		地盤ケース⑤ (平均 V_s による地盤物性非液化化条件)	地表面変位が最大となる時刻の収束剛性より設定	地表面変位が最大となる時刻の収束強度より設定	小
地盤バネ 5		地盤ケース⑥ ($+1\sigma V_s$ による地盤物性非液化化条件) 地盤ケース③' ($-1\sigma V_s$ による地盤物性非液化化条件)	せん断ひずみが最大となる時刻の収束剛性より設定	せん断ひずみが最大となる時刻の収束強度より設定	小

注記 * : 地盤ケース⑤, ⑥, ③' に対し1次元有効応力解析を行い、地盤の応答値が最大となる地盤条件を選定
 σ : せん断波速度 V_s の標準偏差

地盤ケース	① 原地盤に基づく液化化強度特性を用いた地盤ケース（基本ケース）	② 地盤物性のばらつき（ $+1\sigma$ ）を考慮した地盤ケース	③ 地盤物性のばらつき（ -1σ ）を考慮した地盤ケース	④ 地盤を強制的に液化化させることを仮定した地盤ケース	⑤ 原地盤において非液化化の条件を仮定した地盤ケース	⑥ 地盤物性のばらつき（ $+1\sigma$ ）を考慮して非液化化の条件を仮定した地盤ケース	③' 地盤物性のばらつき（ -1σ ）を考慮して非液化化の条件を仮定した地盤ケース
液化化強度特性の設定	原地盤に基づく液化化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液化化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液化化強度特性（標準偏差を考慮）	敷地に存在しない豊浦標準砂の液化化強度特性	液化化パラメータを適用しない	液化化パラメータを適用しない	液化化パラメータを適用しない

注記：地盤ケース③' は、既工認では考慮していない地盤のばらつき（ -1σ ）の非液化化ケースとして、新たに設定する。

地盤ケース	原地盤条件	地盤改良条件	
		薬液注入	セメント系
地盤ケース⑤	非液化化	非液化化, 平均 V_s	設計基準 V_{sc}
地盤ケース⑥	非液化化 $+1\sigma V_s$	非液化化, 平均 $+1\sigma V_s$	$V_{sc} (+1\sigma c)$
地盤ケース③'	非液化化 $-1\sigma V_s$	非液化化, 平均 $-1\sigma V_s$	$V_{sc} (-1\sigma c)$

注記：地盤ケース⑤ : 原地盤において非液化化の条件を仮定した解析ケース
 地盤ケース⑥ : 地盤物性のばらつきを考慮（ $+1\sigma$ ）して非液化化の条件を仮定した解析ケース
 地盤ケース③' : 地盤物性のばらつきを考慮（ -1σ ）して非液化化の条件を仮定した解析ケース
 V_s : 原地盤のせん断波速度
 σ : 原地盤のせん断波速度 V_s の標準偏差
 V_{sc} : 地盤改良（セメント系）のせん断波速度
 σ_c : 地盤改良（セメント系）のせん断波速度 V_{sc} の標準偏差

4. 耐津波評価

4.1 記号の定義

表 4.1-1 に耐津波評価に用いる記号を示す。

表 4.1-1 耐津波評価に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN	積載荷重
P _s	kN/m ²	積雪荷重
P _t	kN/m	遡上津波荷重
P _c	kN	衝突荷重
K _{sd}	kN	余震荷重
P _k	kN/m ²	風荷重
σ _{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
τ _{al}	N/mm ²	コンクリートの短期許容せん断応力度
τ _a	N/mm ²	コンクリートの短期許容付着応力度
τ _{coal}	N/mm ²	コーンせん断応力度(コンクリートのみ)
τ _{coa2}	N/mm ²	コーンせん断応力度(鉄筋補強をする場合)
σ _{sa}	N/mm ²	鉄筋及び鋼材の短期許容引張応力度
τ _{sa}	N/mm ²	鋼材の短期許容せん断応力度
V _a	kN	斜め引張鉄筋を考慮する場合の短期許容せん断力
V _{ca}	kN	コンクリートの短期許容せん断力
V _{sa}	kN	斜め引張鉄筋の短期許容せん断力
τ _{al}	N/mm ²	斜め引張鉄筋を考慮しない場合の短期許容せん断応力度
b _w	m	有効幅
j	-	1/1.15
d	m	有効高さ
A _w	m ²	斜め引張鉄筋断面積
s	m	斜め引張鉄筋間隔
M	kN・m	曲げモーメント
N	kN	軸力
S	kN	せん断力
σ	N/mm ²	曲げモーメント及び軸力による応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
g	m/s ²	重力加速度
h	m	設計用浸水深
kh	-	水平震度
kv	-	鉛直震度
p ₁	kN/m ²	鋼製防護壁底面における波圧強度
p ₂	kN/m ²	鋼製防護壁天端面における波圧強度
P _d	kN/m	動水圧合力
y	T. P. m	動水圧の作用高さ

4.2 評価対象断面，部位及び評価する性能

4.2.1 評価対象断面

3次元静的フレーム解析に用いる評価対象断面は，防潮堤（鋼製防護壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて，図 4.2-1 に示すとおり堤軸方向 1 断面（①－①断面），堤軸直交方向 2 断面（北基礎②－②断面及び南基礎③－③断面）を選定する。評価対象断面を図 4.2-2～図 4.2-4 に示す。

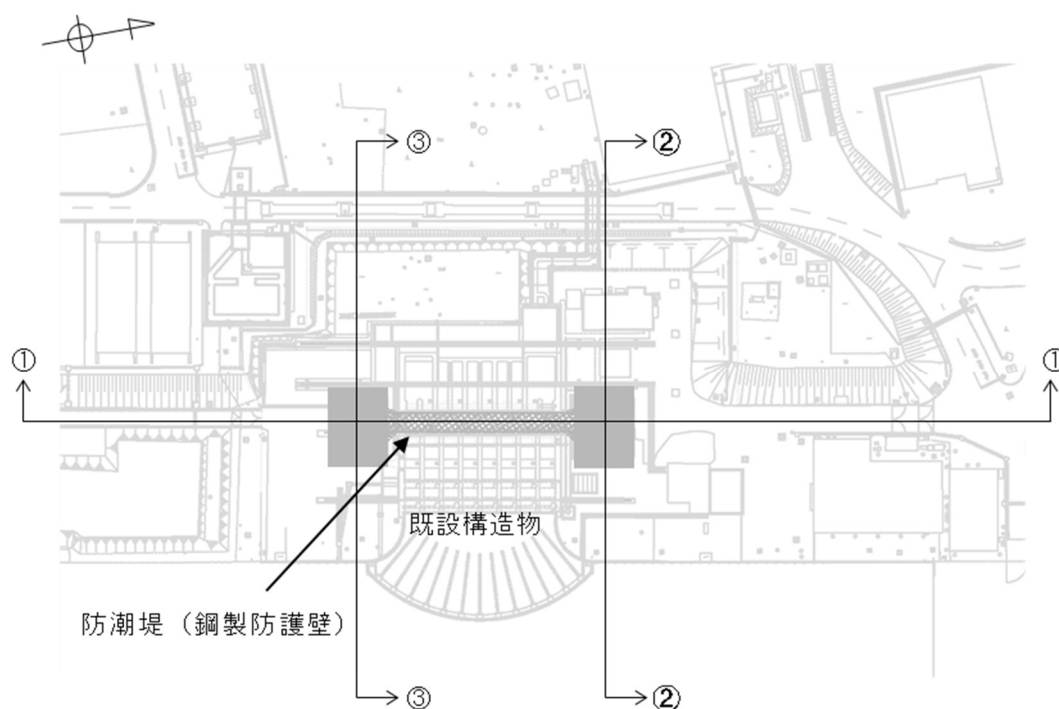


図 4.2-1 防潮堤（鋼製防護壁）の評価対象断面位置図

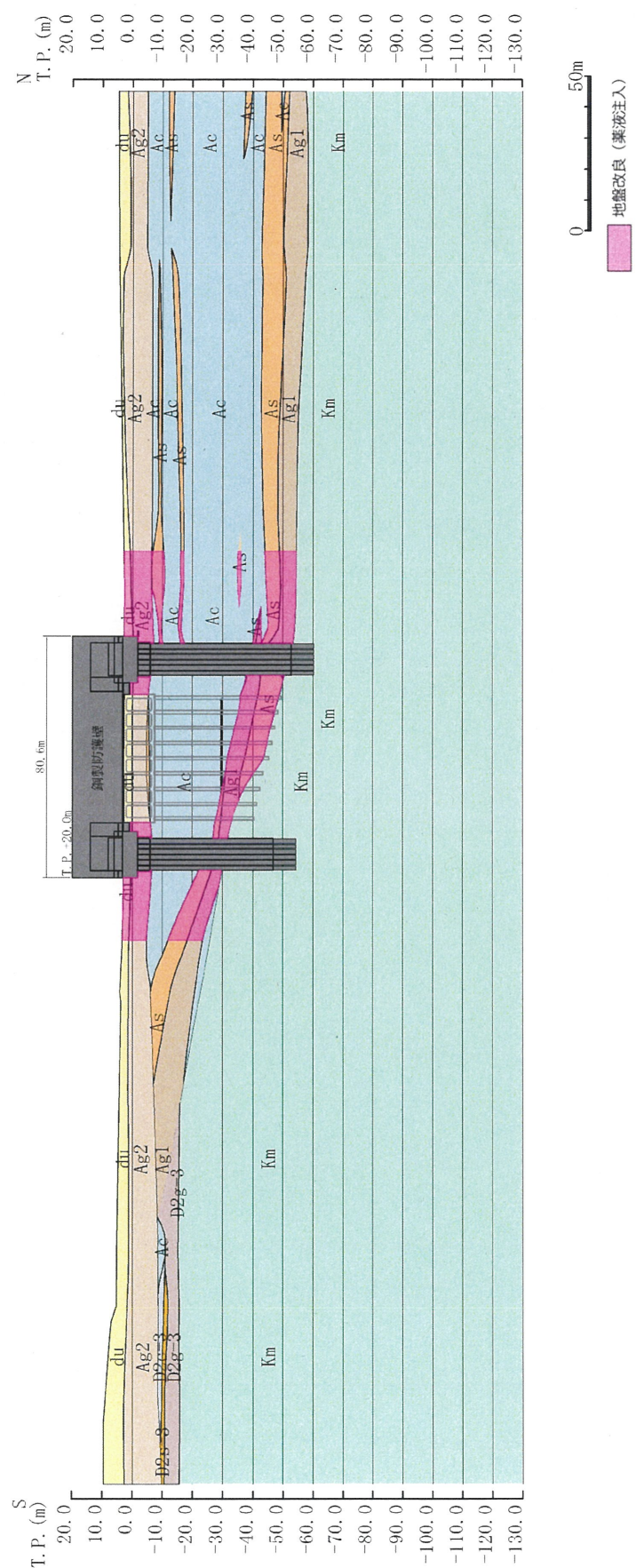


図 4.2-2 防潮堤（銅製防護壁）評価対象断面図（①—①断面）

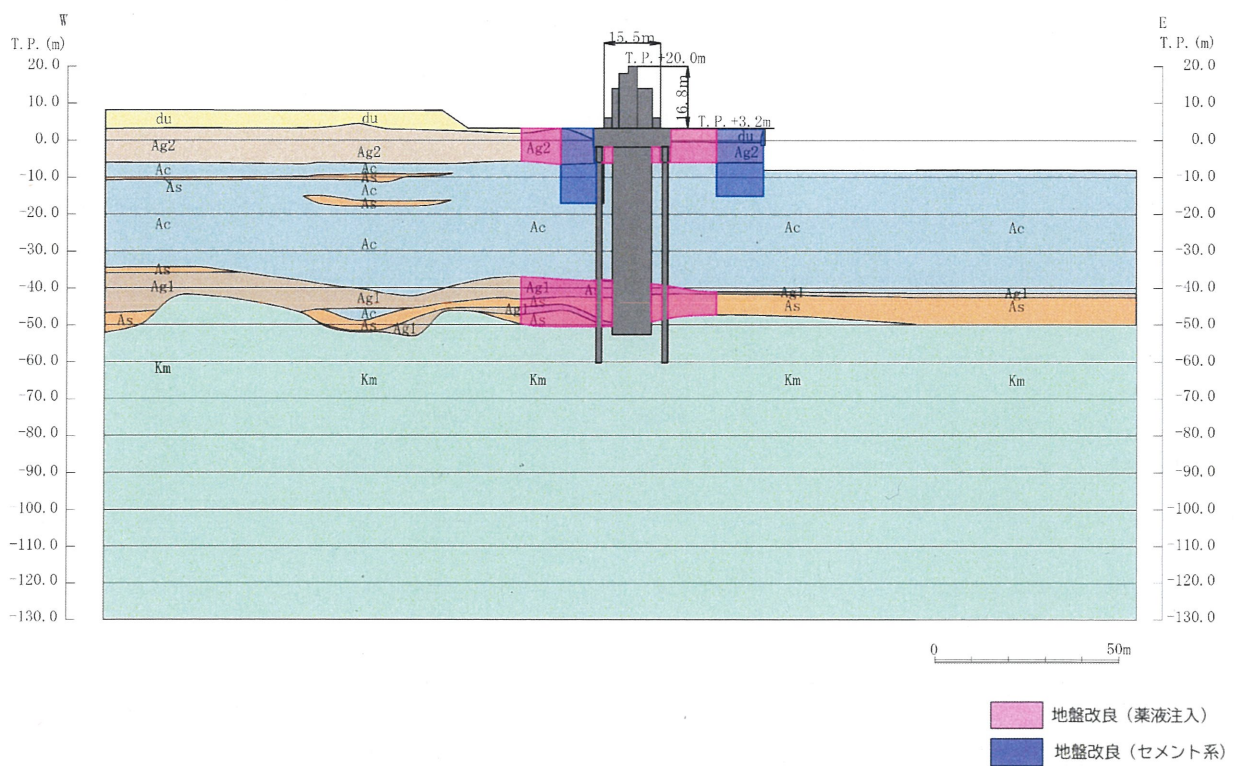


図 4.2-3 防潮堤（鋼製防護壁）評価対象断面図（②—②断面）

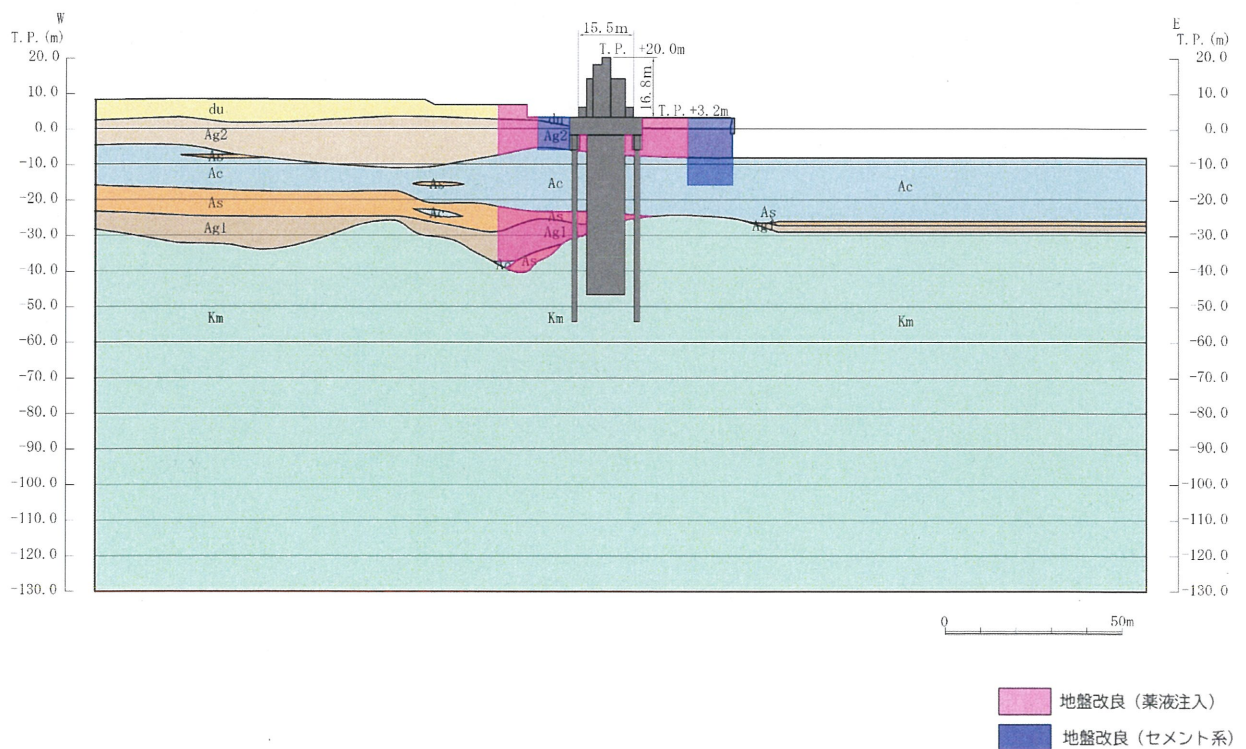


図 4.2-4 防潮堤（鋼製防護壁）評価対象断面図（③—③断面）

4.2.2 評価対象部位及び評価する性能

評価対象は、(1) 構造部材の健全性、(2) 基礎地盤の支持性能及び (3) 構造物の変形性であり、それぞれに含まれる評価対象部位は以下のとおりである。また、これらの部位の要求性能と設計評価方針は表 2.3-1 に示すとおりである。

(1) 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性に係る評価対象部位は、鋼製防護壁、鋼製防護壁基礎及び接合部とする。これらの部位の要求性能と設計評価方針は、表 2.3-1 に示すとおりである。

(2) 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、鋼製防護壁基礎を支持する基礎地盤とする。これらの部位の要求性能と設計評価方針は、表 2.3-1 に示すとおりである。

(3) 構造物の変形性評価

構造物の変形性評価に係る評価対象部位は、止水ジョイント部とする。止水ジョイント部の要求性能と設計評価方針は、表 2.3-1 に示すとおりである。