

東海第二発電所

鋼製防護壁の設計方針に係る補足事項について

平成30年3月7日
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密
又は防護上の観点から公開できません。

目次 鋼製防護壁の設計方針について

1. 概要
2. 耐津波設計方針に関する設置許可基準規則の要求事項について
3. 防潮堤の概要
4. 海水ポンプ室周り防潮堤の概要
5. 鋼製防護壁の構造選定
6. 防潮堤の評価対象部位
7. 鋼製防護壁高さの設定方針
8. 設計方針
9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造, 直接定着式アンカーボルト)
10. 直接定着式アンカーボルトの適用性について

【参考資料】

鋼製防護壁の施工ステップ図

1. 概要

- 津波防護施設として防潮堤に求められる要求機能は、繰返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し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。
- 海水ポンプ室周り防潮堤は、既設の取水口を跨ぐ形で設置する「鋼製防護壁」と、その南北に繋がる「鉄筋コンクリート防潮壁」で構成される。
- 当該資料では海水ポンプ室周り防潮堤のうち取水口横断部に設置される鋼製防護壁構造区間の設計方針について説明する。
- 鋼製防護壁は、上部工を比較的軽量である鋼製防護壁、下部工を1室型地中連続壁基礎の内側を鉄筋コンクリートで充填した基礎で地震・津波荷重に耐える構造とした。鋼製防護壁は、鋼殻ブロックをボルト添接により現地にて結合する形式で、アンカーボルトにて下部構造と連結する。
- 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。

2. 耐津波設計方針に関する設置許可基準規則の要求事項について

設置許可基準規則

(津波による損傷の防止)

第五条 設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波(以下「基準津波」という。)に対して**安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。**

設置許可基準規則解釈

(別記3)

第5条(津波による損傷の防止)

五 津波防護施設及び浸水防止設備については、入力津波(施設の津波に対する設計を行うために、津波の伝播特性及び浸水経路等を考慮して、それぞれの施設に対して設定するものをいう。以下同じ。)に対して**津波防護機能及び浸水防止機能が保持できること。**

基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド

5. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件

5.1 津波防護施設の設計

【規制基準における要求事項等】

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。**

5.4 施設・設備等の設計・評価に係る検討事項

5.4.1 津波防護施設、浸水防止設備等の設計における検討事項

【規制基準における要求事項等】

津波防護施設、浸水防止設備の設計及び漂流物に係る措置に当たっては、次に示す方針(津波荷重の設定、余震荷重の考慮、津波の繰り返し作用の考慮)を満足すること。

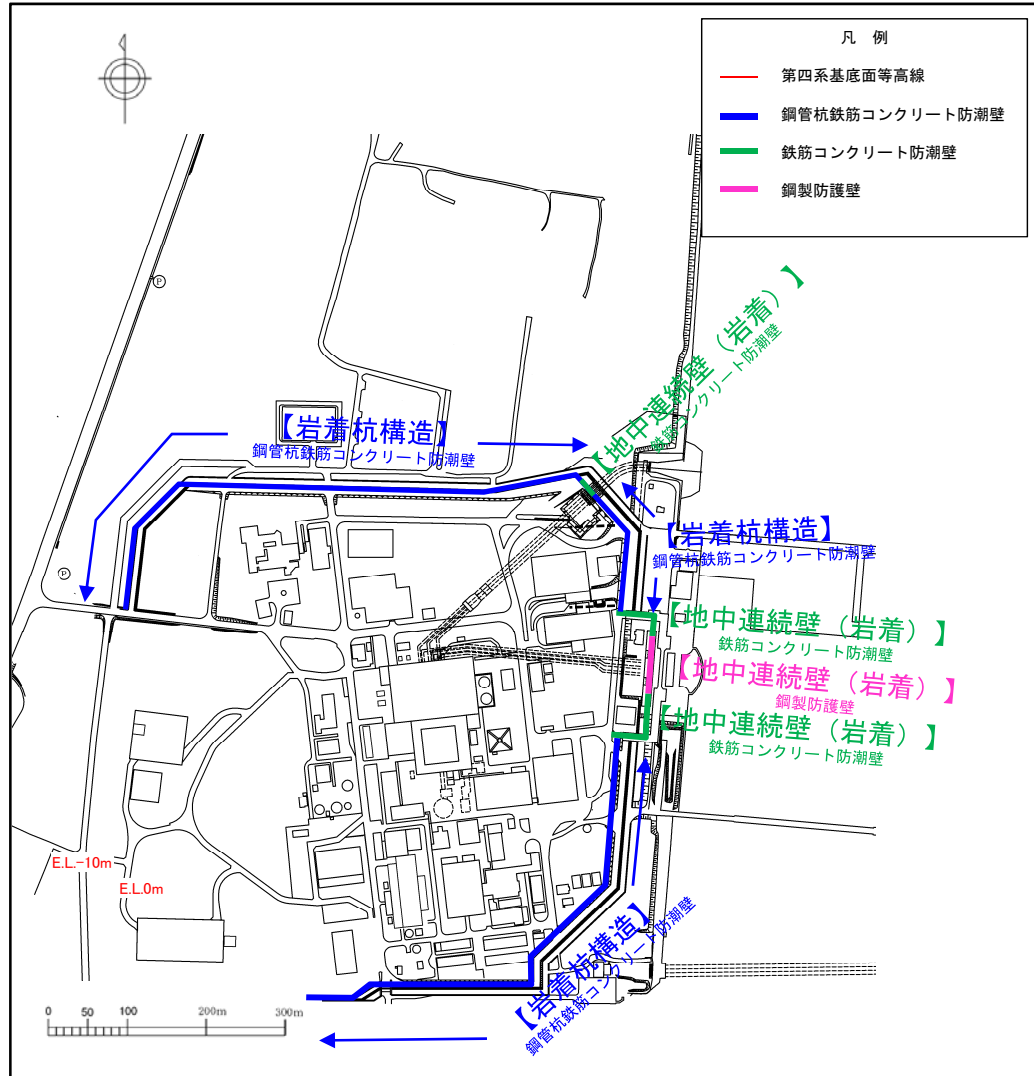
5.4.2 漂流物による波及的影響の検討事項

【規制基準における要求事項等】

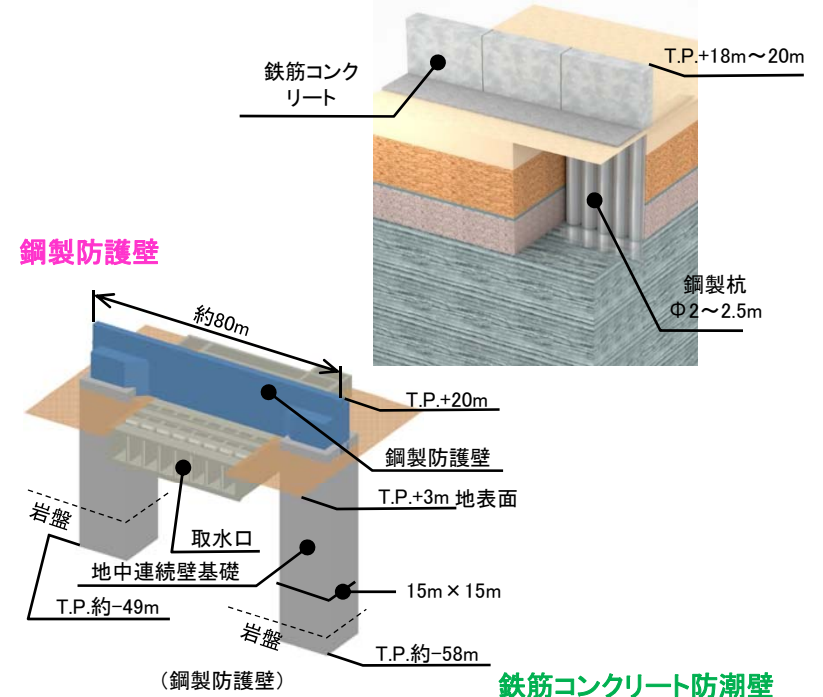
津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において**建物・構築物、設置物等が破損、倒壊、漂流する可能性**について検討すること。

3. 防潮堤の概要

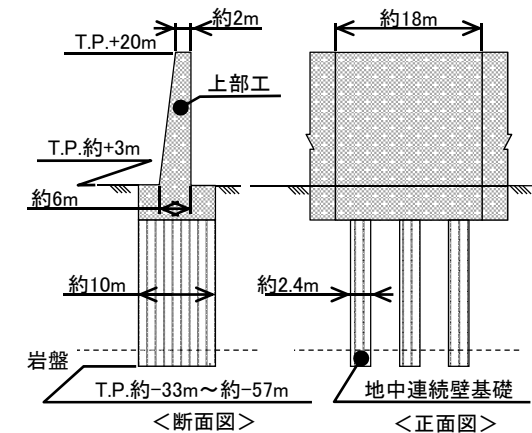
■ 防潮堤は、その構造形式から3つ(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁、鋼製防護壁、鉄筋コンクリート防潮壁)に種別される。



鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



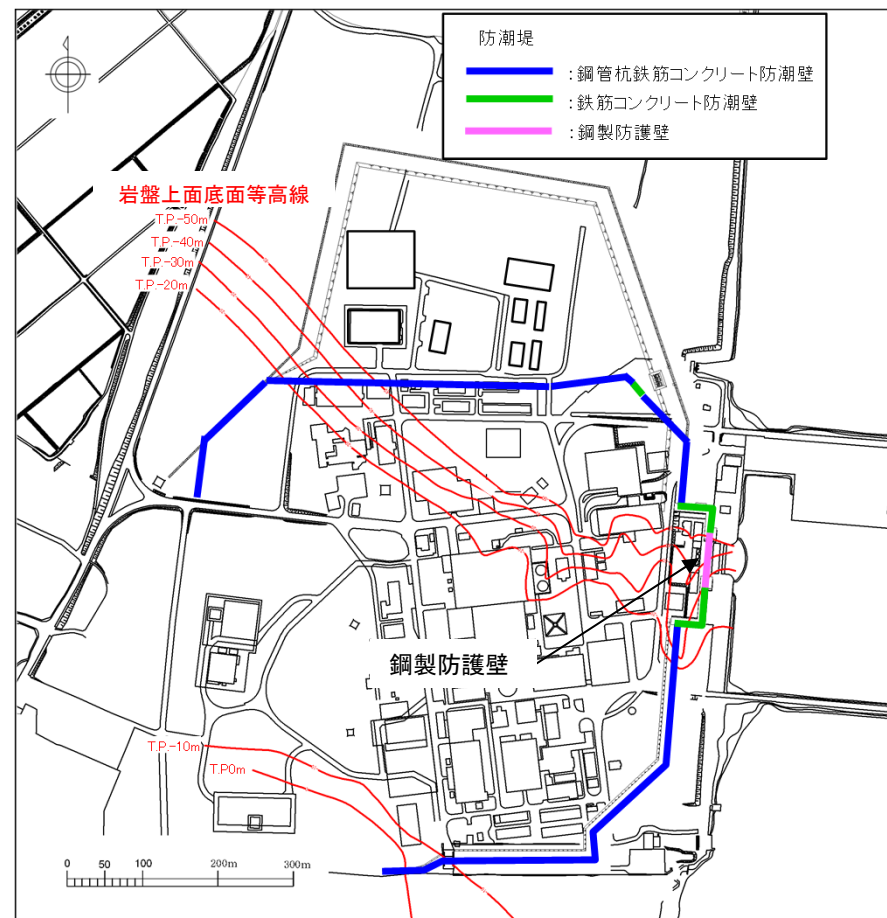
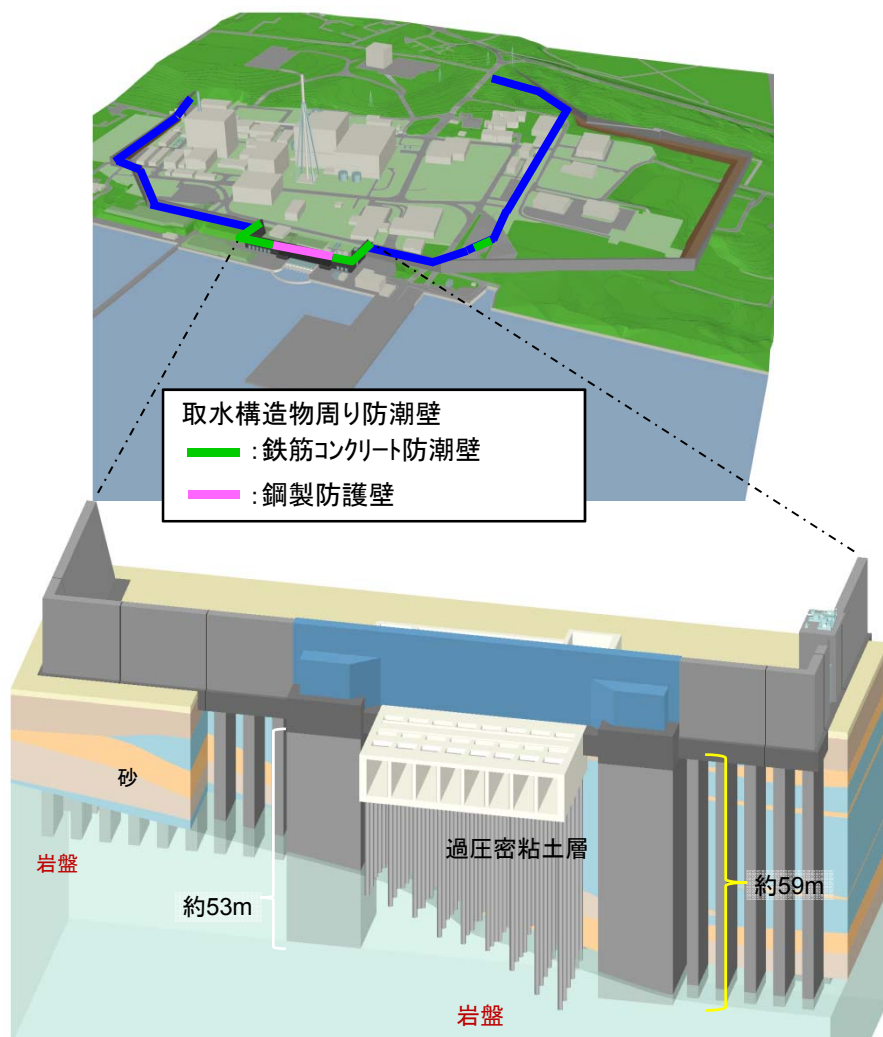
鉄筋コンクリート防潮壁



4. 海水ポンプ室周り防潮堤の概要

- 防潮堤は、設計基準対象施設の津波防護対象設備(津波防護施設, 浸水防止設備, 津波監視設備及び非常用取水設備を除く)が設置される敷地を含め、敷地全体を取り囲む形で設置する。
- 敷地の第四系基底(岩盤上面)の標高分布及び防潮堤の構造形式とその配置を示す。

防潮堤鳥瞰図



第四系基底の標高分布図

5. 鋼製防護壁の構造選定

■ 鋼製防護壁の構造選定

1) 取水口上部の防護壁が鋼製であること

- 取水口を横断する支間長が約50mと長スパンである。
- 既設構造物との干渉から基礎の大きさが制限されるため、自重・地震時慣性力を低減する必要がある。



鋼殻構造の選定

2) 地中連続壁による基礎構造であること

- 基礎を支持する岩盤は地表面より約60m下方にある。
- 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(Ac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。



地中連続壁基礎の選定

3) 直接定着式アンカーボルトの選定

- 上部工である鋼製防護壁と地中連続壁基礎との接合部には止水性確保のため、剛結合とする。
- 上部工全面に作用する津波波力や地震時慣性力を確実に下部工に伝達する際、接合部に大きな反力が発生する。
- 接合部のスペースが狭隘であるため、地中連続壁基礎内鉄筋との干渉が懸念されるアンカーフレーム形式よりも接合部の寸法を小さくすることができる「直接定着式アンカーボルト」形式とする。



直接定着式アンカーボルトの選定

5. 鋼製防護壁の構造選定

■ 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。

1) 上部工(鋼製防護壁)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、許容変位量を約70cm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程度の偏芯が必要となる。

2) 下部工(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。



上部工と下部工で堤内方向に約100cmの偏芯を設ける

(※概略図を次ページに示す)

上部工の許容変位量と試算結果

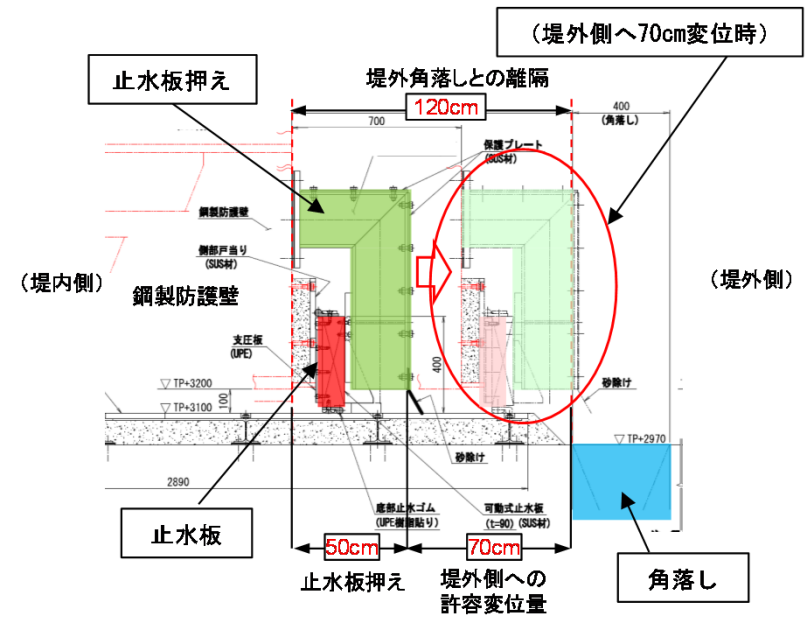
種別	堤外側
堤外側角落しとの離隔	120cm
許容変位量	約70cm
試算結果(本震時動的解析)	51cm

5. 鋼製防護壁の構造選定

取水路周辺平面図



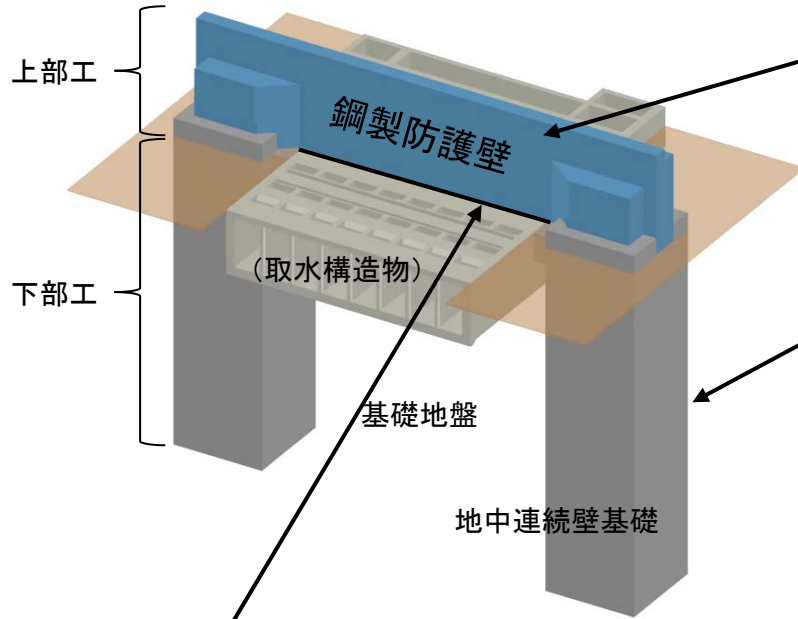
A-A断面



※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

6. 防潮堤の評価対象部位

■ 鋼製防護壁の評価対象部位とその役割(1)



【鋼製防護壁】

- ・津波荷重, 漂流物荷重等に対し, 構造躯体として耐える。
- ・津波による浸水を防止する。

【地中連続壁基礎】【基礎地盤】

- ・地震や津波等による荷重に対して構造躯体として耐える。

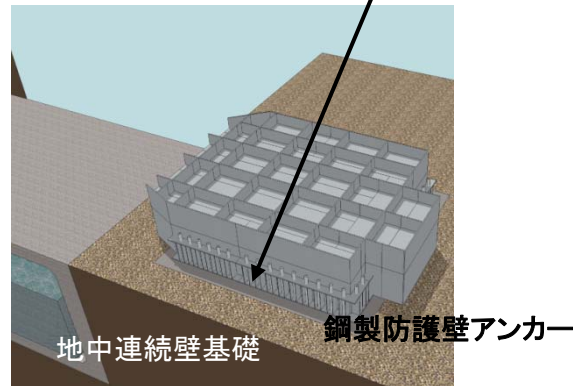
【止水ジョイント部】

(鋼製防護壁底部止水機構)

- ・地震時や津波時の変形量に追従し, 鋼製防護壁と取水路(異種構造物)間の浸水を防止する。

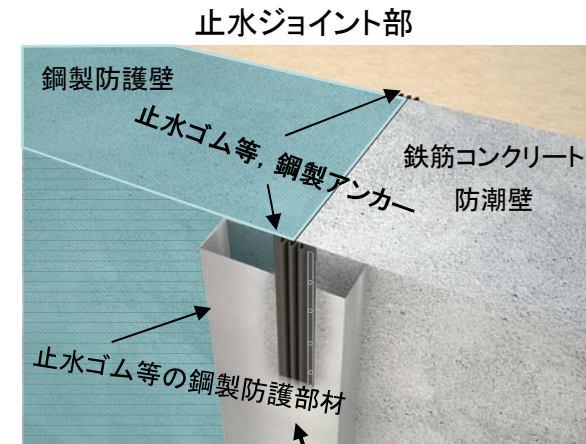
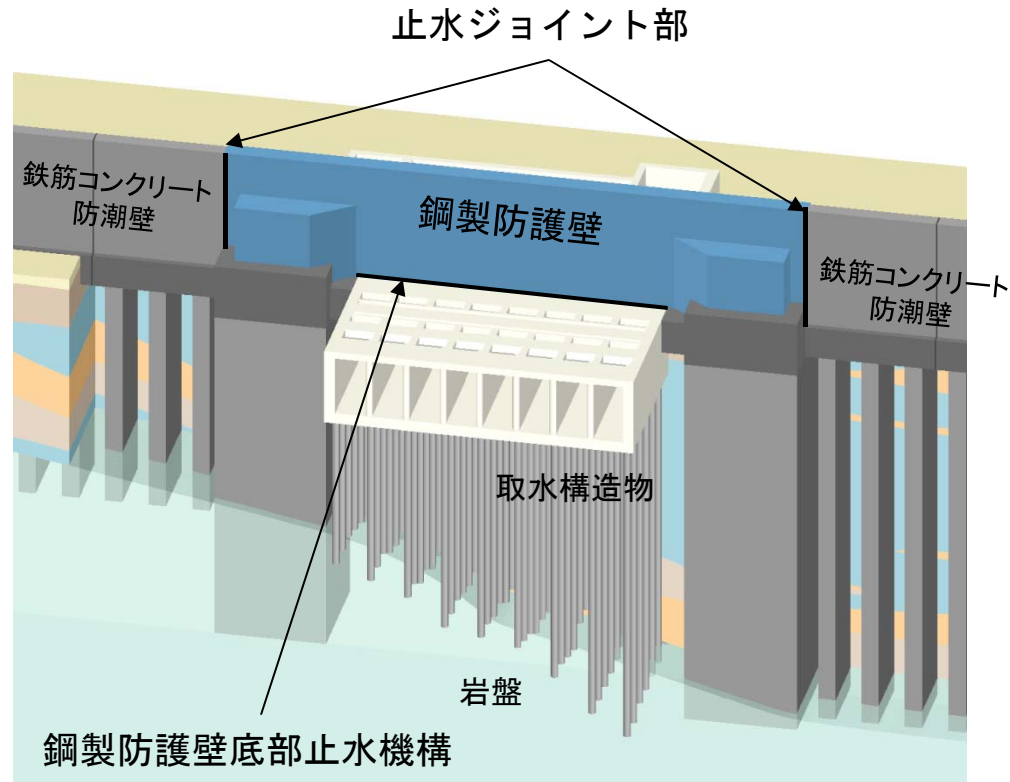
【鋼製防護壁アンカー】

- ・鋼製防護壁本体の死荷重や, 津波や地震などの外力を確実に基礎へ伝達する。



6. 防潮堤の評価対象部位

■ 鋼製防護壁の評価対象部位とその役割(2)



【止水ジョイント部】
(止水ゴム等, 鋼製アンカー, 鋼製防護部材)
・地震時や津波時の変形量に追随し, 鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮壁(異種構造物)間の浸水を防止する。

6. 防潮堤の評価対象部位

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		評価対象部位	応力等の状態	損傷モード	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)							
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、波力による浸食及び洗掘に対する抵抗性を評価し、超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直しを得るため、以下の項目について、設定の考え方を確認すること。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)) b) 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、考慮する見解(例えば、国交省の暫定指針等)及びその適用性。 b) 余震による荷重として、サイト特性(余震の震源、ハザード)が考慮され、合理的な頻度、荷重レベルが設定される。 c) 地震により周辺地盤に液状化が発生する場合、防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。 ② 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築物及び構築物は、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、当該建築物・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て、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した場合においても、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、津波による浸水及び漏水を防止すること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 ₀ に対して、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)に対して、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(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。 ① 想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さ(浸水高さT.P.+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。 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、圧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、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する設計とする。また、主要な構造体の境界部には、止水ゴム等を設置し、有意な漏れを生じない設計とする。また、止水ゴム等が止水性能を保持するための接続アンカーや鋼製防護部材は、おおむね弾性状態に留まることを確認する。	・ポンプ室周り防護壁は、基準地震動S ₀ による地震時荷重にに対し、鉄筋コンクリート製の地中連続壁基礎、鉄筋コンクリート及び鋼製の上部構造で構成し、津波において最も主要な構造部材の健全性を保持するとともに、主要な構造体の境界部には、止水ゴム等設置し、有意な漏れを生じない設計とする。また、止水ゴム等が止水性能を保持するための接続アンカーや鋼製防護部材は、おおむね弾性状態に留まることを確認する。	下部工	基礎地盤	支持力	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)」に基づき極限支持力以下とする。			
										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っている状態	【基準津波に対して】 「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)」に基づき短期許容応力度以下とする。 【TP+24m津波に対して】 「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)」 「コンクリート標準示方書」に基づき降伏応力度・せん断強度以下とする。
										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っている状態	【基準津波に対して】 「道路標示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」に基づき短期許容応力度以下とする。 【TP+24m津波に対して】 「道路標示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」に基づき降伏応力度以下とする。
										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っている状態	【基準津波に対して】 「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)」に基づき短期許容応力度以下とする。 【TP+24m津波に対して】 「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)」に基づき降伏応力度以下とする。
										止水ゴム等	変形、引張り	有意な漏れに至る変形、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っている状態	「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。
	止水ジョイント部	止水ゴム等の鋼製防護部材	曲げ、引張り、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入っている状態	「鋼構造設計基準」に基づき短期許容応力度以下とする。								
	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っている状態	「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」に基づき短期許容応力度以下とする。									

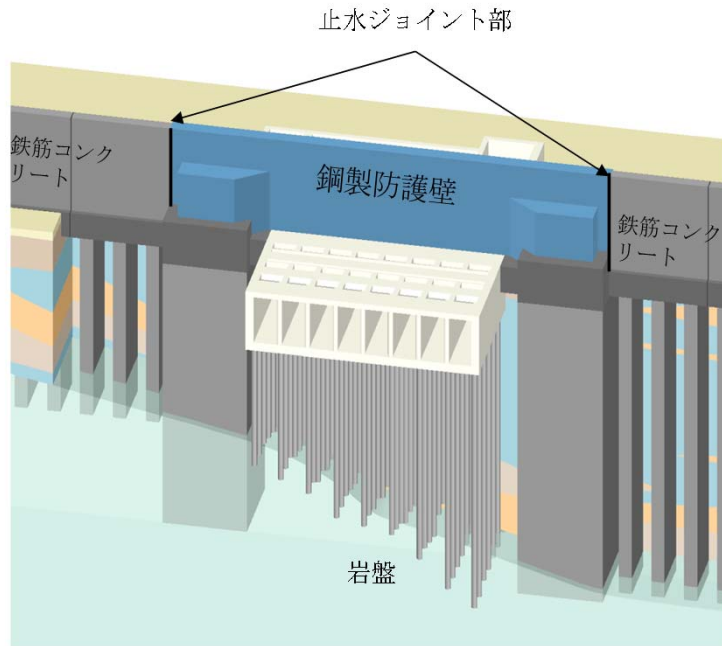
7. 鋼製防護壁高さの設定方針

- 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する。
- 鋼製防護壁の高さは、下表の「敷地前面東側」を適用する。

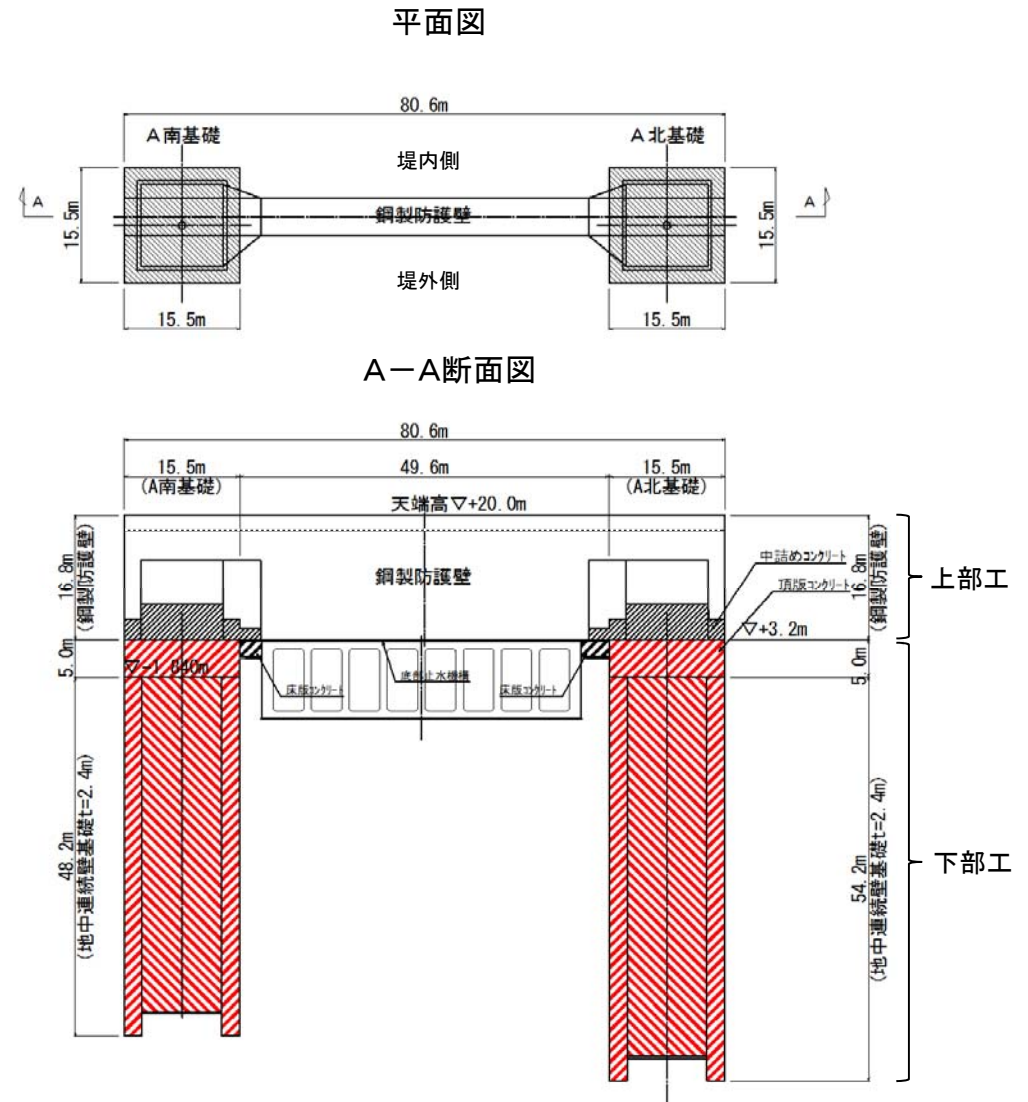
	敷地側面 北側	敷地前面 東側	敷地側面 南側
入力津波高さ (潮位のばらつき等 考慮)	T. P. +15. 4m	T. P. +17. 9m	T. P. +16. 8m
防潮壁高さ	T. P. +18. 0m	T. P. +20. 0m	T. P. +18. 0m
設計裕度	2. 6m	2. 1m	1. 2m

8. 設計方針

構造概要



構造概要図(イメージ図)



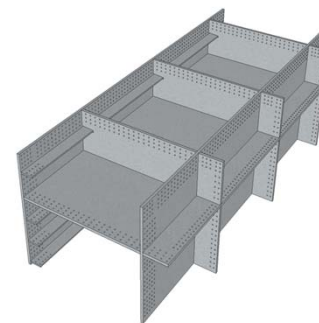
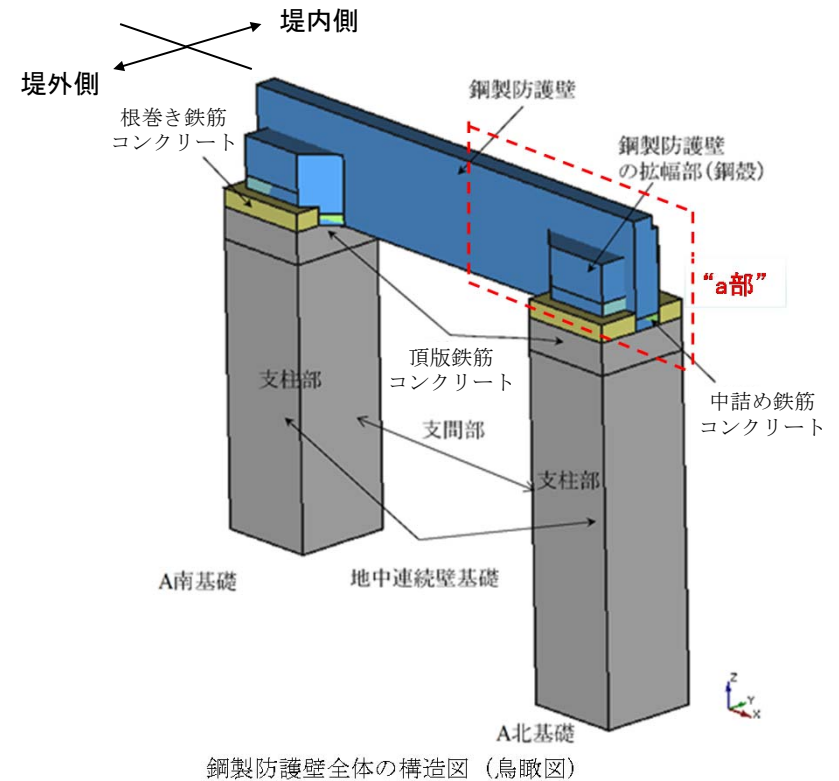
※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

8. 設計方針

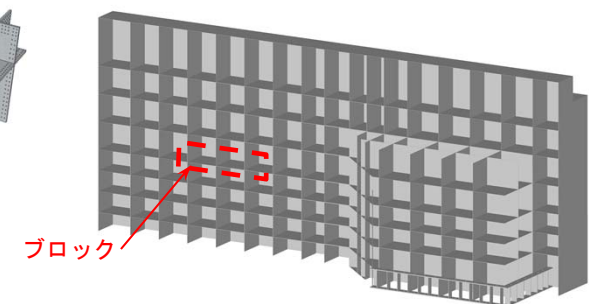
構造概要

■ 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。
		鋼製防護壁の拡幅部 (鋼殻)	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トルク(鉛直軸回りモーメント)を基礎頂版に伝達する。
	アンカーボルト	—	上部工からの軸力及び曲げモーメントを地中連続壁基礎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。
		地中連続壁基礎 (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	—	定着アンカー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。



ブロックのイメージ図



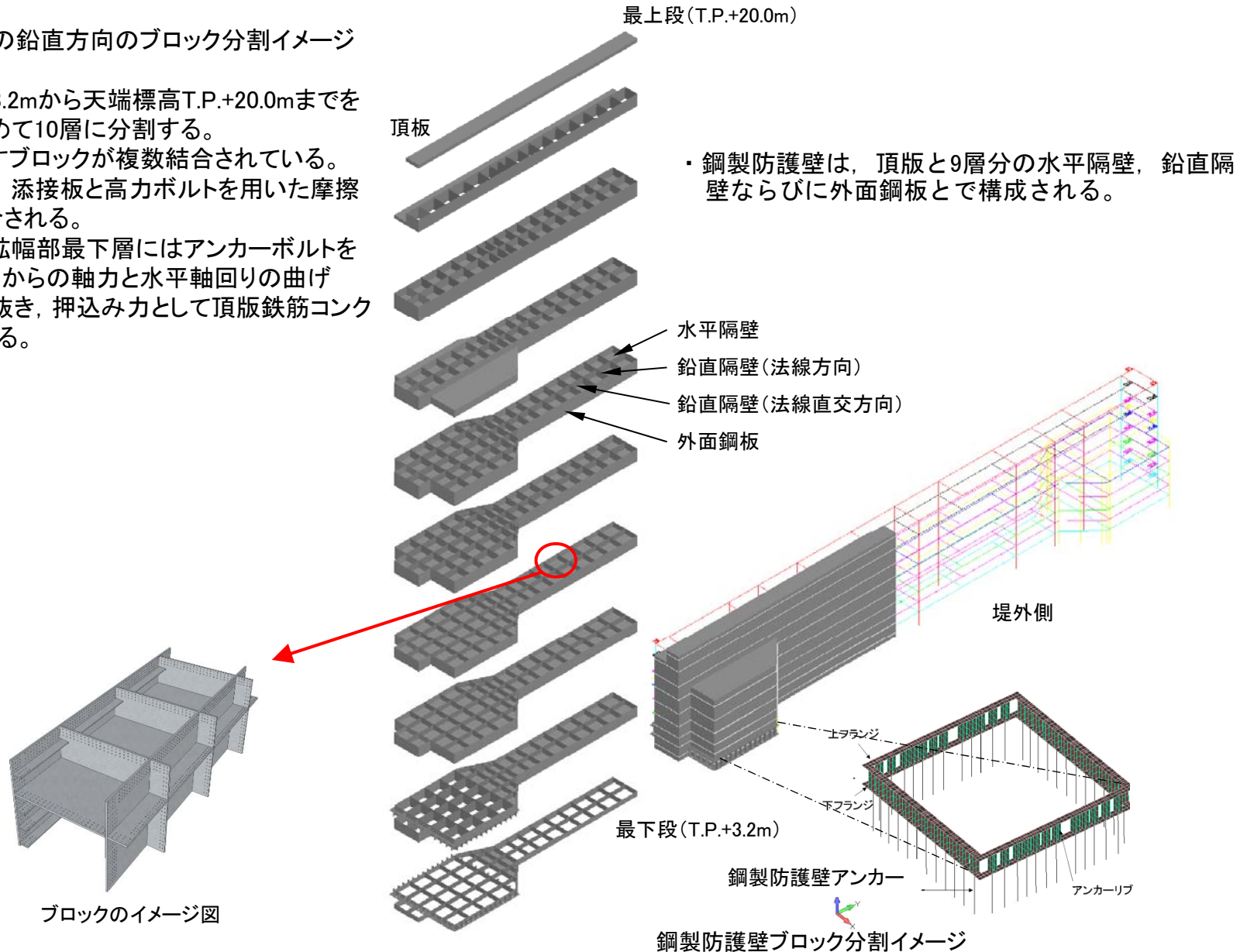
鋼製防護壁の内部透視図 ("a部")

8. 設計方針

構造概要

■ 鋼製防護壁の鉛直方向のブロック分割イメージ

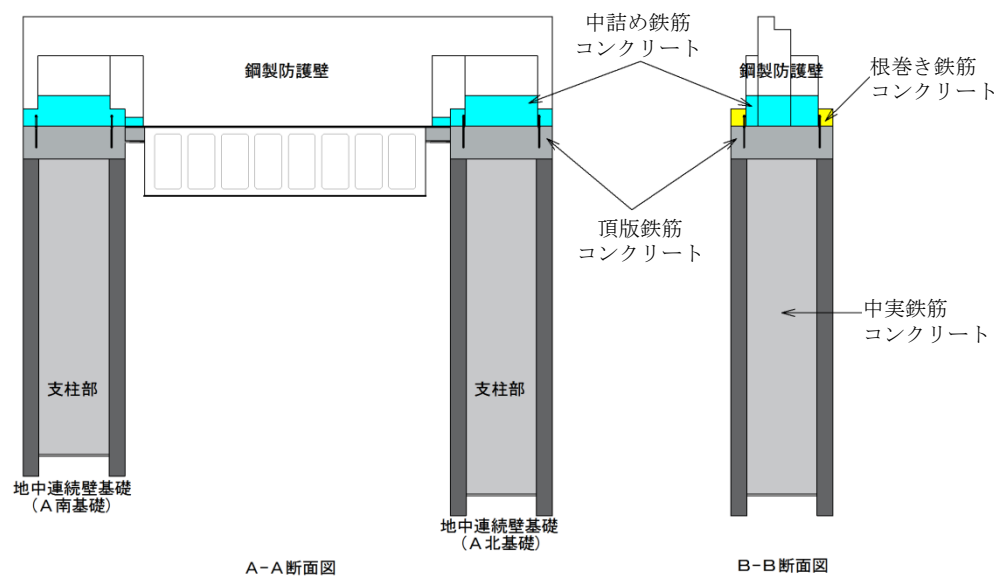
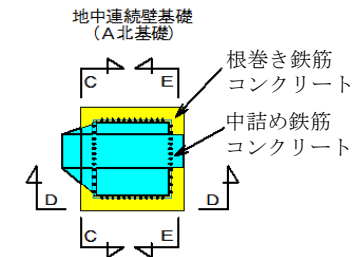
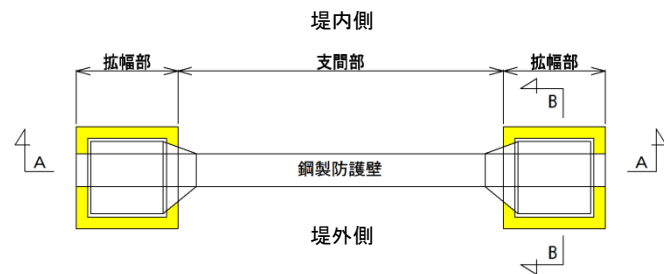
- ・下端標高T.P.+3.2mから天端標高T.P.+20.0mまでを頂部鋼板を含めて10層に分割する。
- ・各層は下に示すブロックが複数結合されている。
- ・ブロック同士は、添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合される。
- ・鋼製防護壁の拡幅部最下層にはアンカーボルトを設置し、上部工からの軸力と水平軸回りの曲げモーメントを引抜き、押し込み力として頂版鉄筋コンクリートに伝達する。



8. 設計方針

構造概要

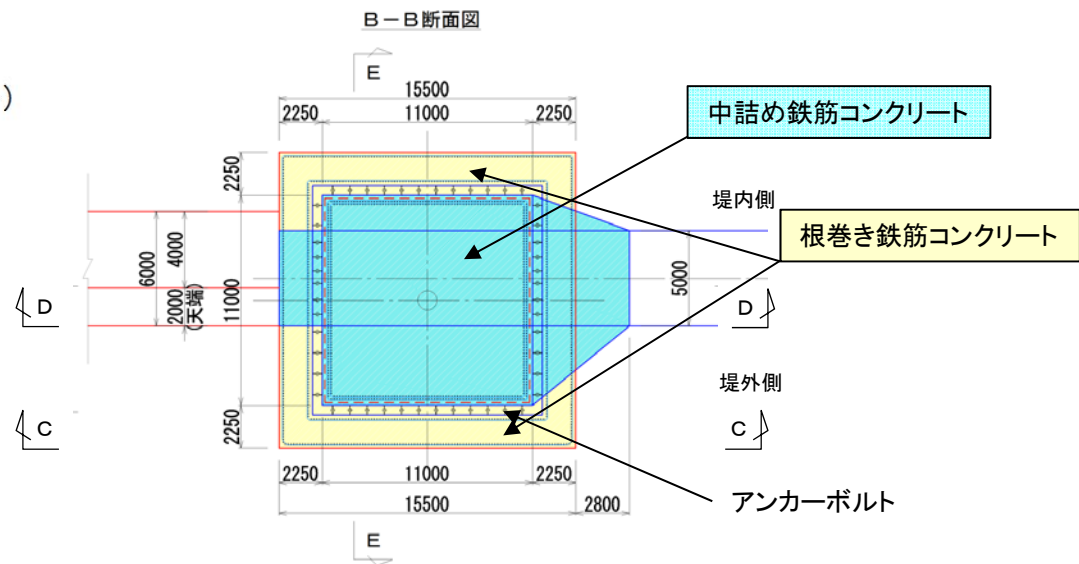
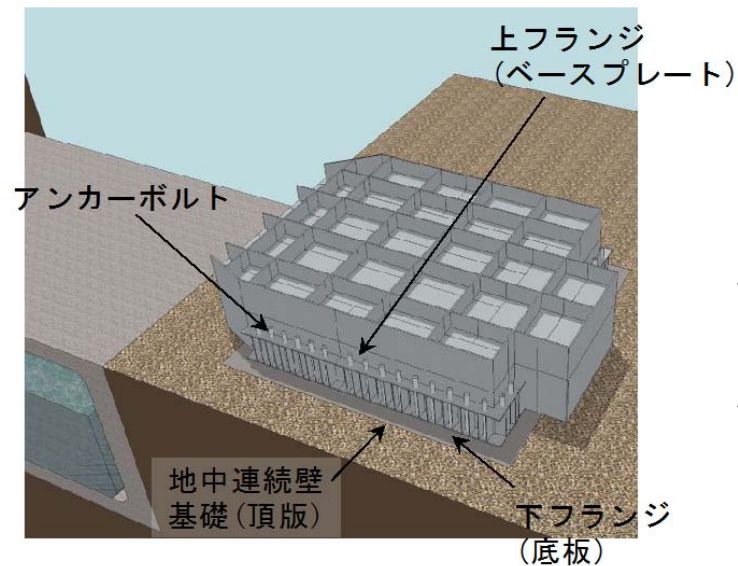
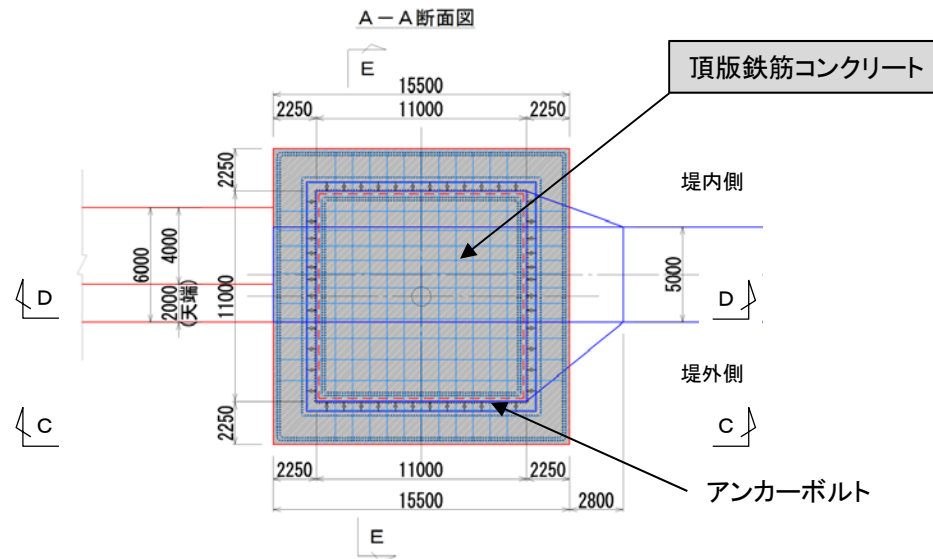
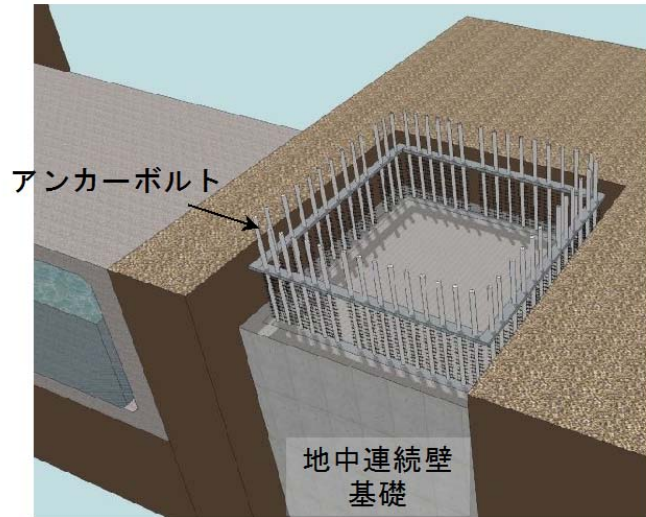
- 鋼製防護壁には、打設部位と機能により
 - 1) 地中連続壁内側に打設する中実鉄筋コンクリート
 - 2) 地中連続壁基礎上部に打設する頂版鉄筋コンクリート
 - 3) 基礎部直上の鋼殻内の必要な高さまで打設する中詰め鉄筋コンクリート
 - 4) 鋼製防護壁アンカーを巻き込んで打設する根巻き鉄筋コンクリート
 の4種類の鉄筋コンクリートがある。



8. 設計方針

構造概要

■ 鋼製防護壁と地中連続壁基礎の接合部

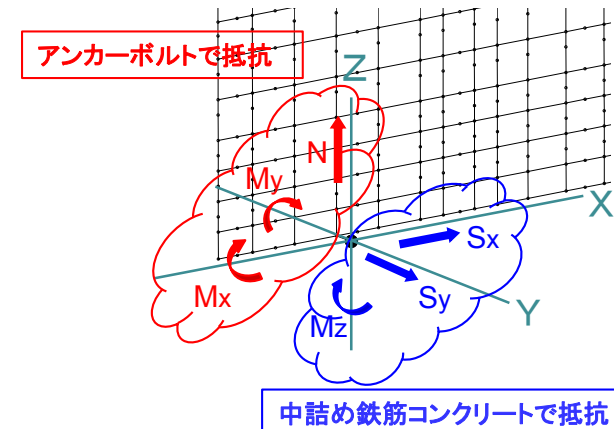
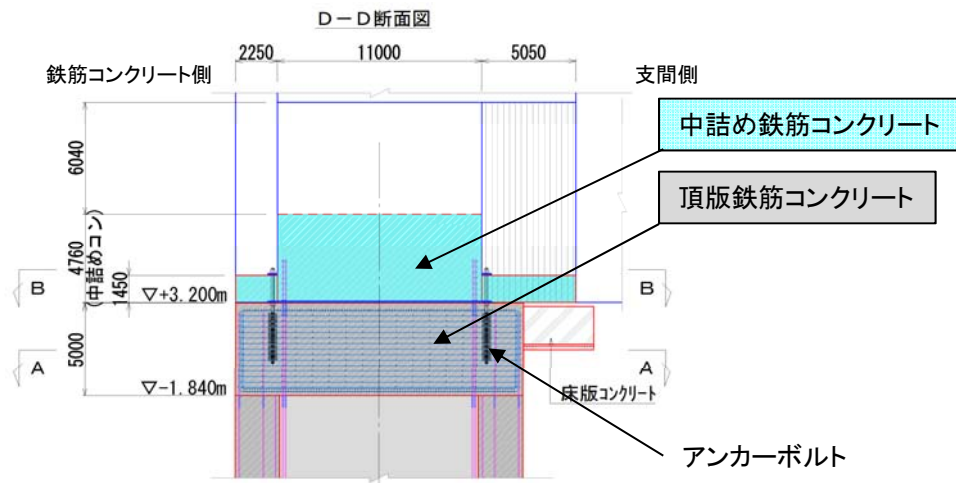
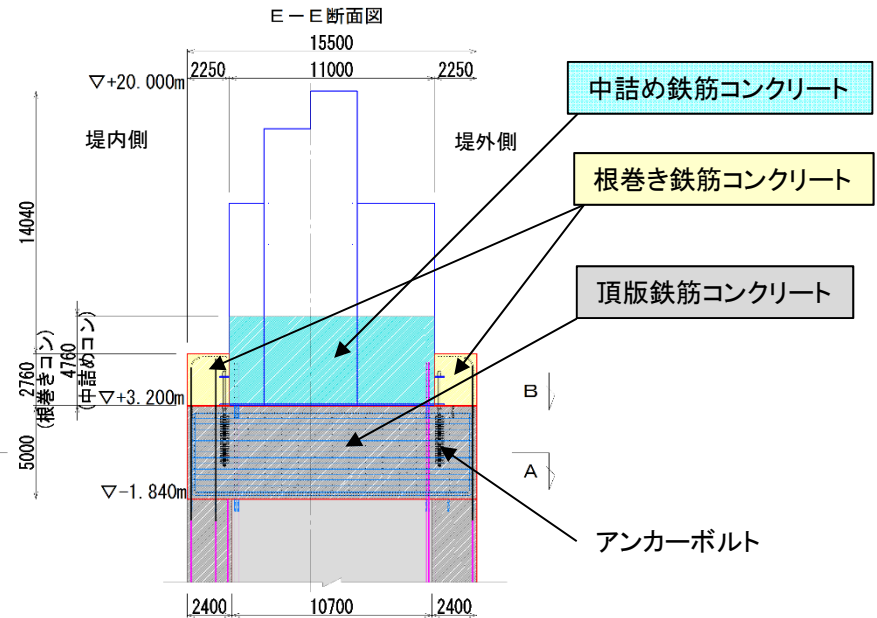
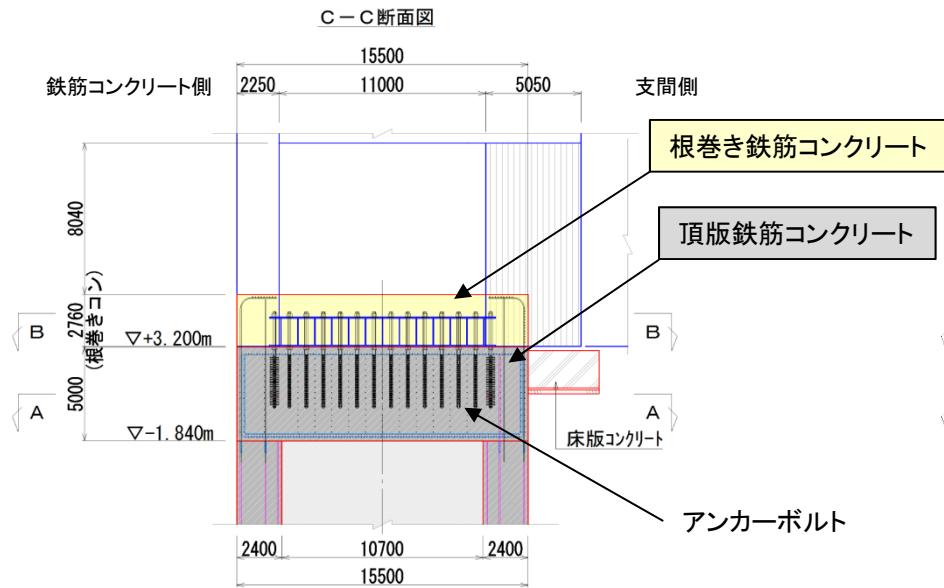


※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

8. 設計方針

構造概要

■ 鋼製防護壁と地中連続壁基礎の接合部

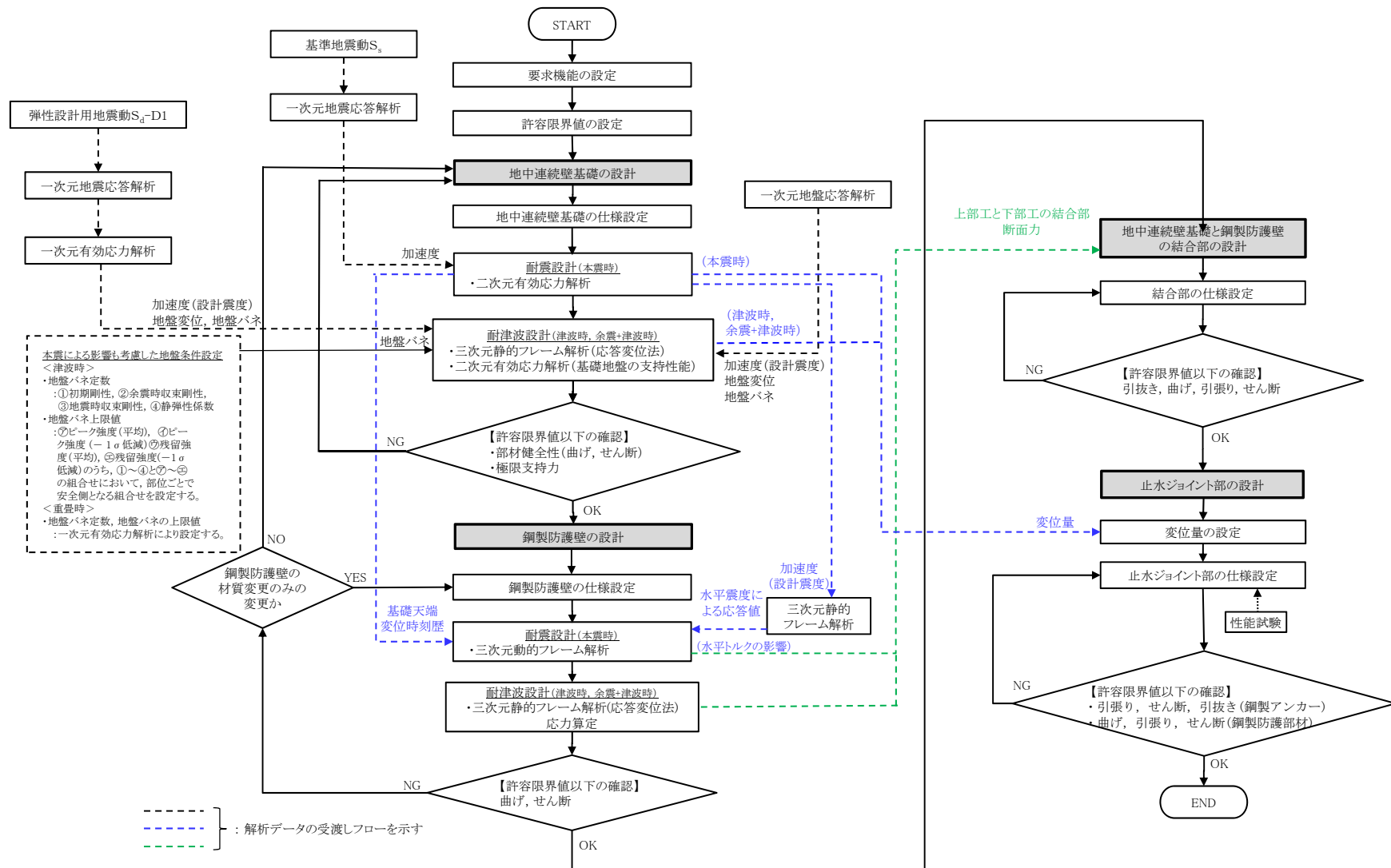


接合部の荷重分担(本震時の例)

※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

8. 設計方針

設計検討フロー



8. 設計方針

各部材の許容限界

- 鋼製防護壁は、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、各部材の耐震・耐津波評価を行う。

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)」に基づき極限支持力以下とする。	
	地中連続壁基礎	曲げせん断	【基準津波に対して】 「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)」に基づき短期許容応力度以下とする。 【T.P.+24m津波に対して】 「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)」 「コンクリート標準示方書」に基づき降伏応力度・せん断強度以下とする。	
上部工	鋼製防護壁	曲げせん断	【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以下とする。 【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以下とする。	
	鋼製防護壁アンカー	引張りせん断 引抜き	【基準津波に対して】 「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)」に基づき短期許容応力度以下とする。 【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以下とする。	
	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以下とする。
		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以下とする。
		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以下とする。
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以下とする。	

8. 設計方針

荷重条件

■ 地中連続壁基礎及び鋼製防護壁の設計

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重

基準地震動 S_s を考慮した設計荷重に対して、短期許容応力度以下であることを確認する。

(2) 基準津波荷重+漂流物衝突荷重

津波荷重+漂流物衝突荷重を考慮した設計荷重に対して、短期許容応力度以下であることを確認する。

(3) 余震+基準津波荷重

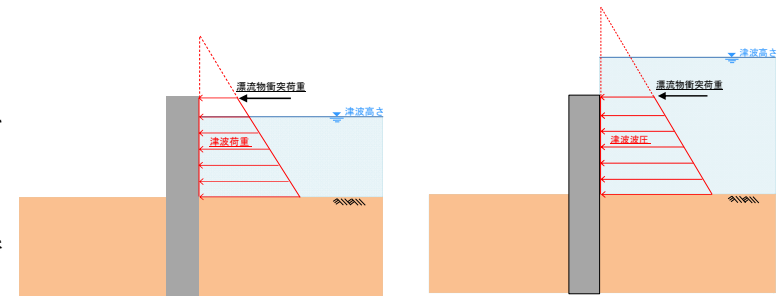
余震による地震力+津波荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認する。

(4) T. P. +24m津波荷重+漂流物衝突荷重

津波荷重+漂流物衝突荷重を考慮した設計荷重に対して、降伏応力度以下であることを確認する。

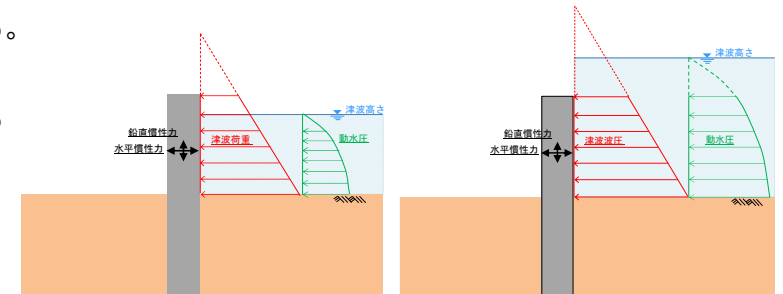
(5) 余震+T. P. +24m津波荷重

余震による地震力+津波荷重に対して降伏応力度以下であることを確認する。



基準津波荷重+漂流物衝突荷重

T. P. +24m津波荷重+漂流物衝突荷重



余震+基準津波荷重

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。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
基礎地盤	支持力	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説(IV下部構造編)
地中連続壁基礎	曲げ, せん断	【基準津波に対して】 短期許容応力度以下 【T. P. +24m津波に対して】 降伏応力度・ せん断強度以下	【基準津波に対して】 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) 【T. P. +24m津波に対して】 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) コンクリート標準示方書
鋼製防護壁	曲げ, せん断	【基準津波に対して】 短期許容応力度以下 【T. P. +24m津波に対して】 降伏応力度以下	道路橋示方書・同解説(I共通編・II鋼橋編・V耐震設計編)
鋼製防護壁アンカー (直接定着式アンカー ボルト)	引張 せん断 引抜き	【基準津波に対して】 短期許容応力度以下 【T. P. +24m津波に対して】 降伏応力度以下	道路橋示方書・同解説(I共通編・II鋼橋編・V耐震設計編) 鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)

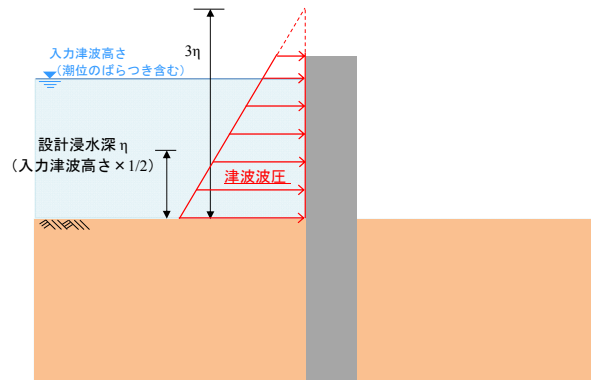
8. 設計方針

津波荷重の考え方

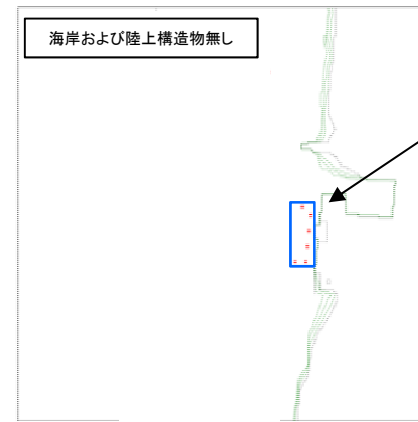
■ 浸水深の設定

設計用浸水深は、津波の最大遡上高さとして設置地盤高さの差の1/2とする。設定理由は以下のとおり。

- 津波の最大遡上高さとして設置地盤高さの差の1/2を浸水深とし朝倉式から算定した津波荷重は、非線形長波理論に基づく津波シミュレーション解析で得られた浸水深を用いて朝倉式により算定した津波荷重よりも大きい。
- 水理模型実験により確認した浸水深を用いて朝倉式から算定した津波荷重は、上記から算定した津波荷重よりも更に小さいことを確認した。
- 津波シミュレーション解析及び水理模型実験で確認したフルード数は、いずれも1.5以下であり、朝倉式の適用が可能である。

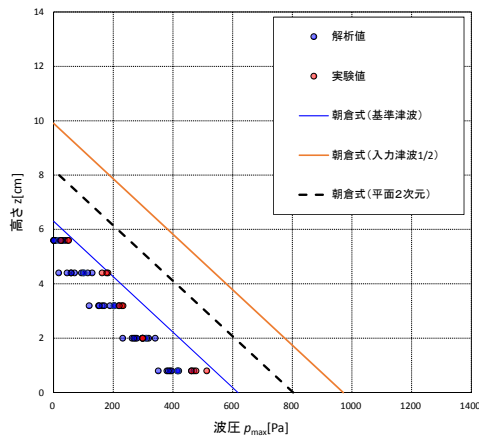


設計浸水深算出概要図(入力津波 × 1/2)



T.P.+3.0mの範囲の浸水深にてフルード数を算出

津波シミュレーションモデル(非線形長波理論)
T.P.+3.0mフラット地形モデル



津波波圧の比較

- ・解析値
分散波理論に基づいた数値シミュレーション解析で得られた波圧
- ・実験値
水理模型実験で得られた波圧
- ・朝倉式(基準津波)
分散波理論に基づいた数値シミュレーションでの浸水深を用いて朝倉式により算出した波圧
- ・朝倉式(入力津波1/2)
浸水深を(入力津波高さ-地盤高さ) × 1/2として朝倉式により算出した波圧
- ・朝倉式(平面二次元)
非線形長波理論に基づいた津波シミュレーションで得られた浸水深を用いて朝倉式により算出した波圧

水理模型実験のフルード数

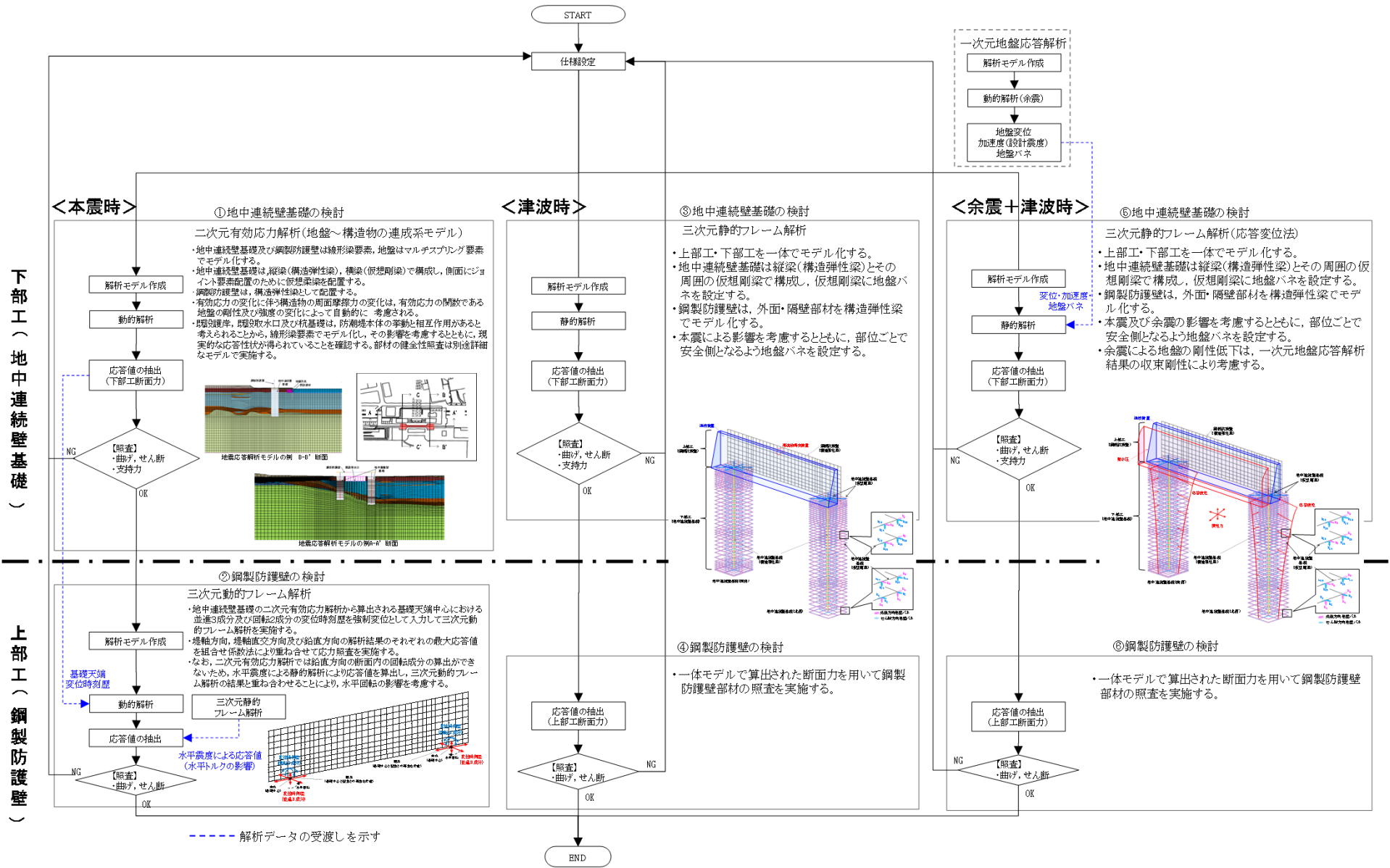
	フルード数 (最大浸水深時)
1回目	0.9
2回目	0.9
3回目	0.6
4回目	0.8
5回目	0.7
6回目	0.9
平均値	0.8

津波シミュレーション(非線形長波理論)のフルード数

	最大浸水深	フルード数 (最大浸水深時)
1	5.206	0.60
2	5.027	0.49
3	4.671	0.45
4	5.057	0.66
5	5.276	0.59
6	5.188	0.60

8. 設計方針

設計手順



鋼製防護壁の検討モデルと評価フロー

解析手法

解析手法	プログラム	対象荷重	目的	データ利用
二次元動的有効応力法	FLIP	本震時	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎の動的挙動評価 ・地層の不陸を反映 	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎, 基礎地盤の照査 ・基礎天端の変位時刻歴 (上部工の動的解析に入力) ・鋼製防護壁の最大水平加速度 (上部工の静的解析に入力)
三次元動的フレーム解析	TDAP	本震時	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製防護壁モデルの精緻化 ・鋼製防護壁の動的挙動評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製防護壁の照査
三次元静的フレーム解析	Engineer's Studio	津波時	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製防護壁モデルの精緻化 ・津波荷重による水平トルクを受ける地中連続壁基礎及び鋼製防護壁の三次元挙動評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎の照査 ・鋼製防護壁の照査
	Engineer's Studio	余震+津波時	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製防護壁モデルの精緻化 ・津波荷重による水平トルクならびに3方向の余震の影響を受ける地中連続壁基礎及び鋼製防護壁の三次元挙動評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎の照査 ・鋼製防護壁の照査

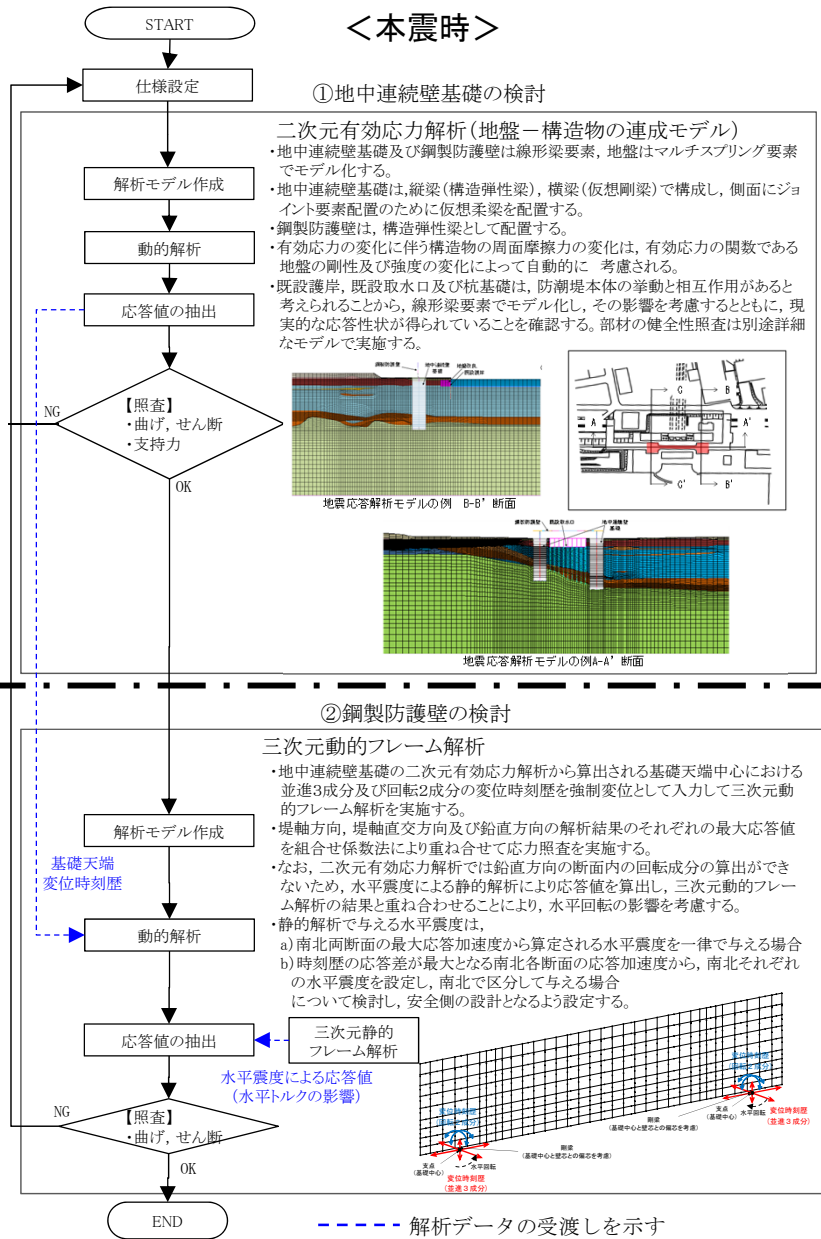
8. 設計方針

解析手法(本震時)

下部工(地中連続壁基礎)

上部工(鋼製防護壁)

<本震時>

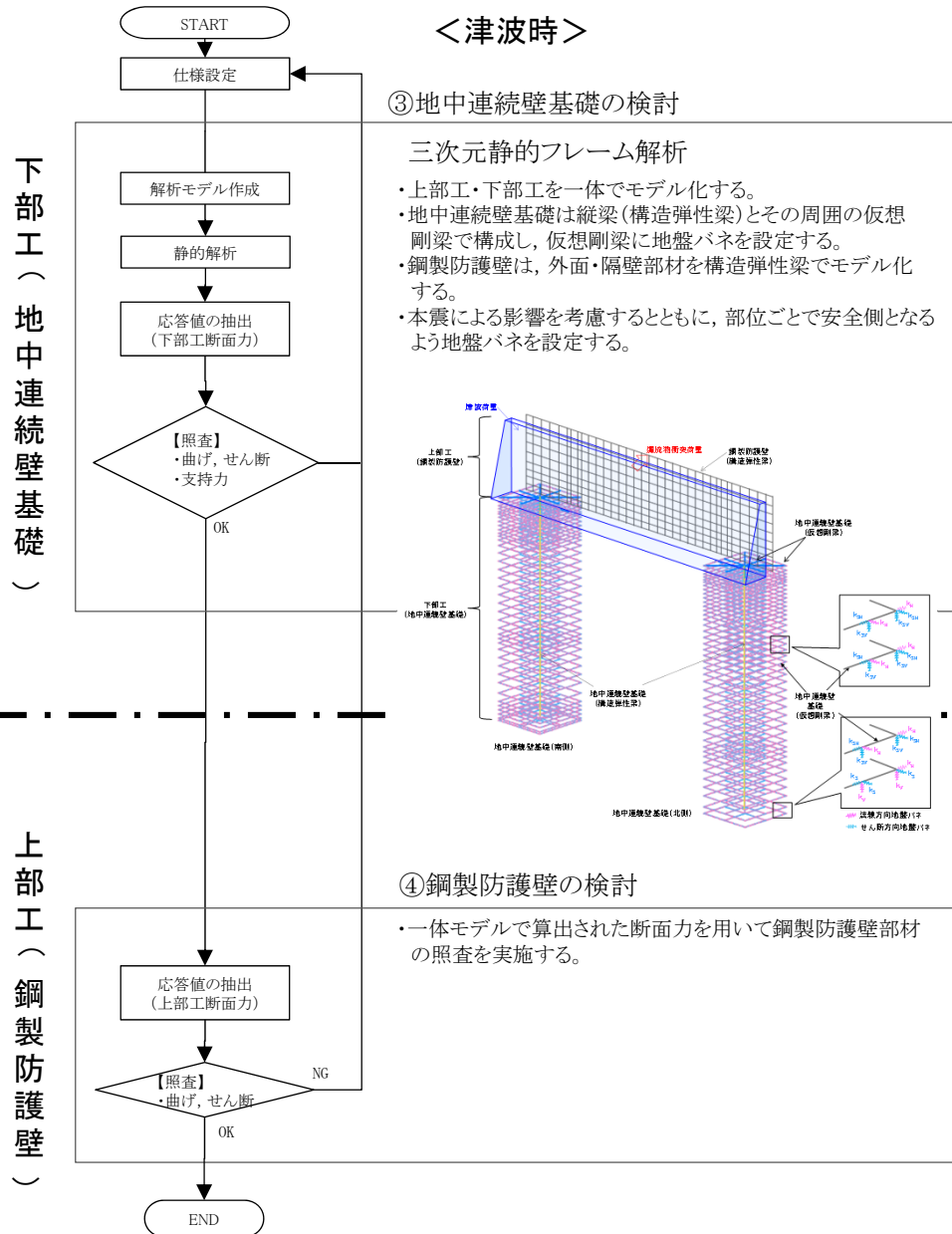


解析手法	二次元動的有効応力解析
プログラム	FLIP
対象荷重	本震時
目的	・地中連続壁基礎の動的挙動評価 ・地層の不陸を反映
データ利用	・地中連続壁基礎、基礎地盤の照査 ・基礎天端の変位時刻歴(上部工の動的解析に入力) ・鋼製防護壁の最大水平加速度(上部工の静的解析に入力)

解析手法	三次元動的フレーム解析
プログラム	TDAP
対象荷重	本震時
目的	・鋼製防護壁モデルの精緻化 ・鋼製防護壁の動的挙動評価
データ利用	・鋼製防護壁の照査

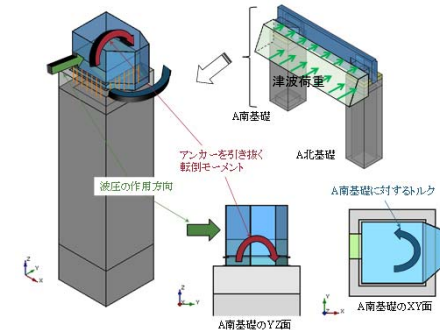
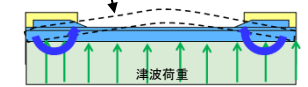
8. 設計方針

解析手法(津波時)



解析手法	三次元静的フレーム解析
プログラム	Engineer's Studio
対象荷重	津波時
目的	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製防護壁モデルの精緻化 ・津波荷重による水平トルクを受ける地中連続壁基礎及び鋼製防護壁の三次元挙動評価
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎の照査 ・鋼製防護壁の照査

鉛直軸回りねじりモーメント (水平トルク)



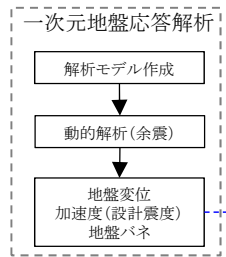
・津波荷重により地中連続壁基礎及び鋼製防護壁に作用する鉛直軸回りモーメント(水平トルク)を評価するため三次元解析を実施する。

8. 設計方針

解析手法(余震+津波時)

下部工(地中連続壁基礎)

上部工(鋼製防護壁)



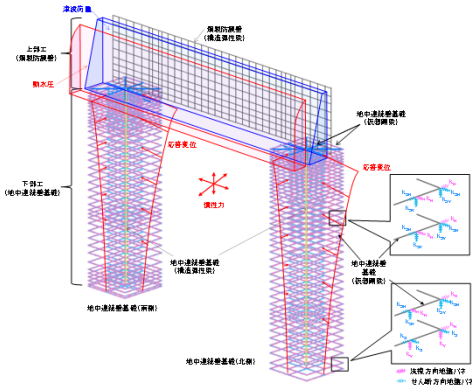
変位・加速度
地盤バネ

<余震+津波時>

⑤地中連続壁基礎の検討

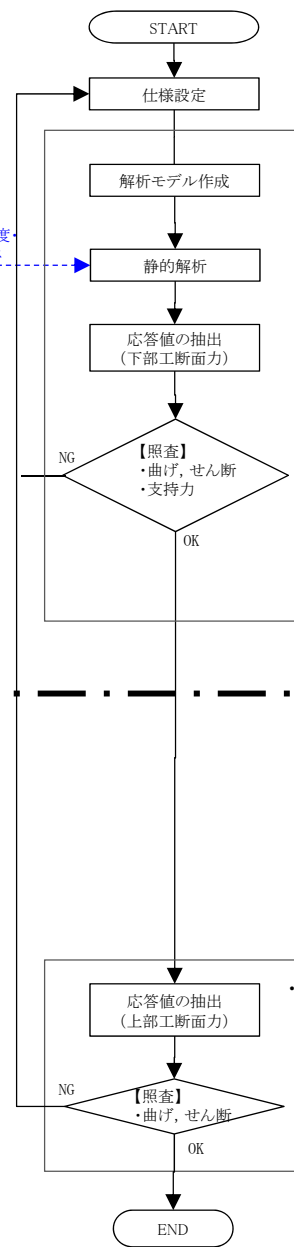
三次元静的フレーム解析(応答変位法)

- ・上部工・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、外面・隔壁部材を構造弾性梁でモデル化する。
- ・本震及び余震の影響を考慮するとともに、部位ごとに安全側となるよう地盤バネを設定する。
- ・余震による地盤の剛性低下は、一次元地盤応答解析結果の収束剛性により考慮する。



⑥鋼製防護壁の検討

- ・一体モデルで算出された断面力を用いて鋼製防護壁部材の照査を実施する。



--- 解析データの受渡しを示す

解析手法	三次元静的フレーム解析
プログラム	Engineer's Studio
対象荷重	余震+津波時
目的	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製防護壁モデルの精緻化 ・津波荷重による水平トルクならびに3方向の余震の影響を受ける地中連続壁基礎の三次元挙動評価
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎の照査 ・鋼製防護壁の照査

8. 設計方針

①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)

解析の目的

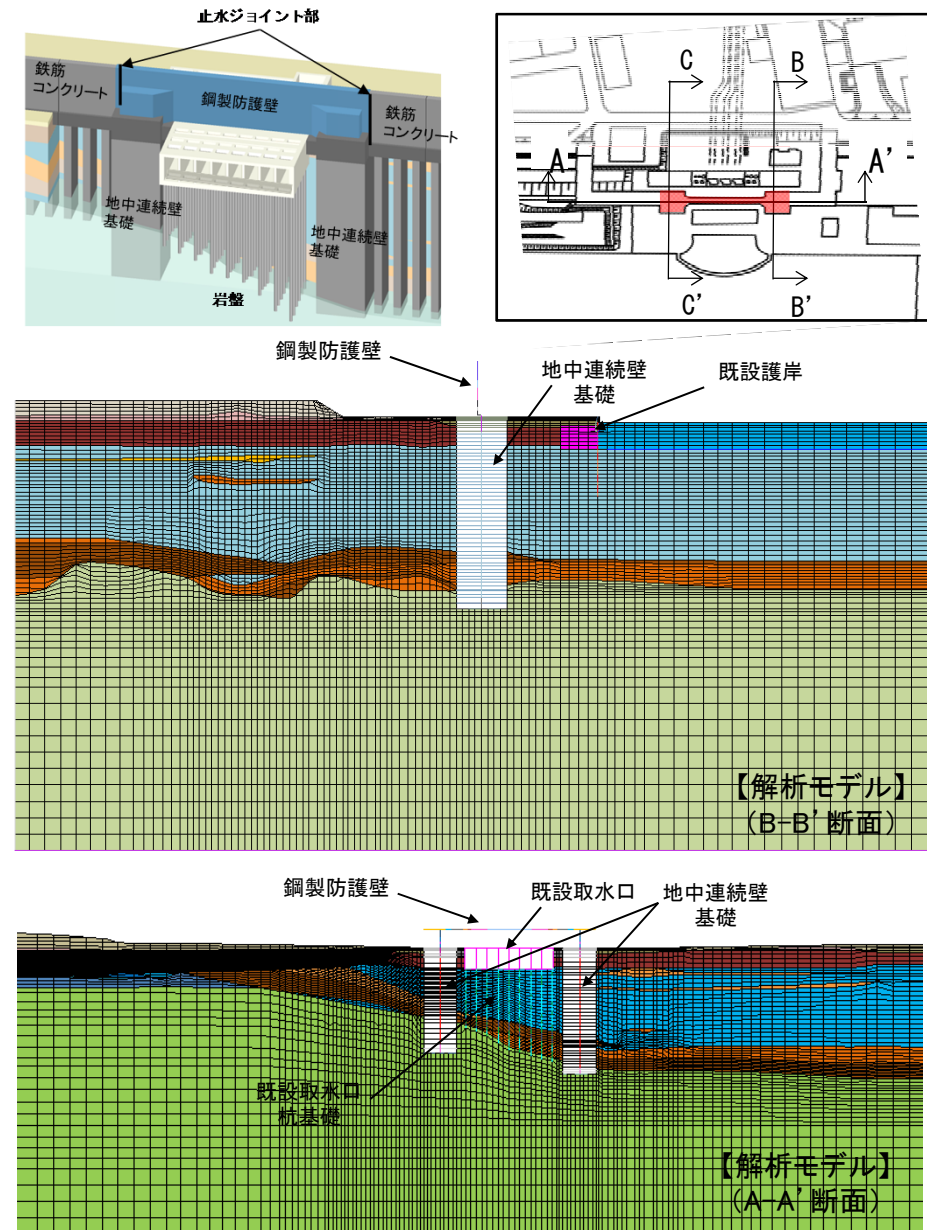
- ・地層の不陸を反映した本震時の地中連続壁基礎の挙動を動的に評価する。
- ・地盤の液状化の影響を厳密に反映するため地盤-構造物の連成モデルに対して二次元動的有効応力解析法を適用する。

結果の利用

- ・地中連続壁基礎の応力照査, 基礎の支持性能の評価
- ・上部工の動的解析に入力する基礎天端の変位時刻歴

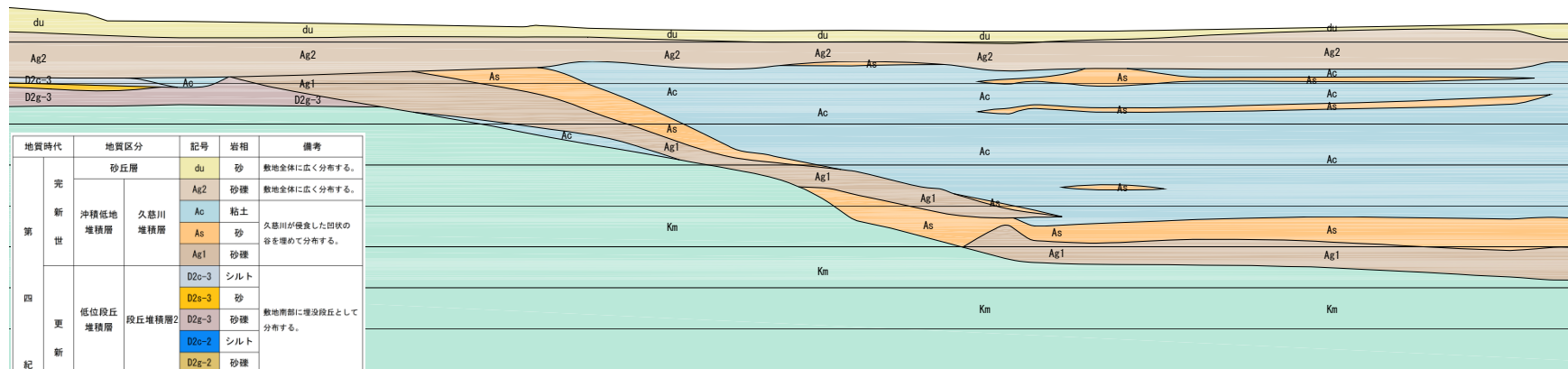
モデル化方針

- ・地中連続壁基礎及び鋼製防護壁は線形梁要素, 地盤はマルチスプリング要素でモデル化する。
- ・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, 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。
- ・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。
- ・既設護岸, 既設取水口及び杭基礎は, 防潮堤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, その影響を考慮するとともに, 現実的な応答性状が得られていることを確認する。部材の健全性照査は別途詳細なモデルで実施する。



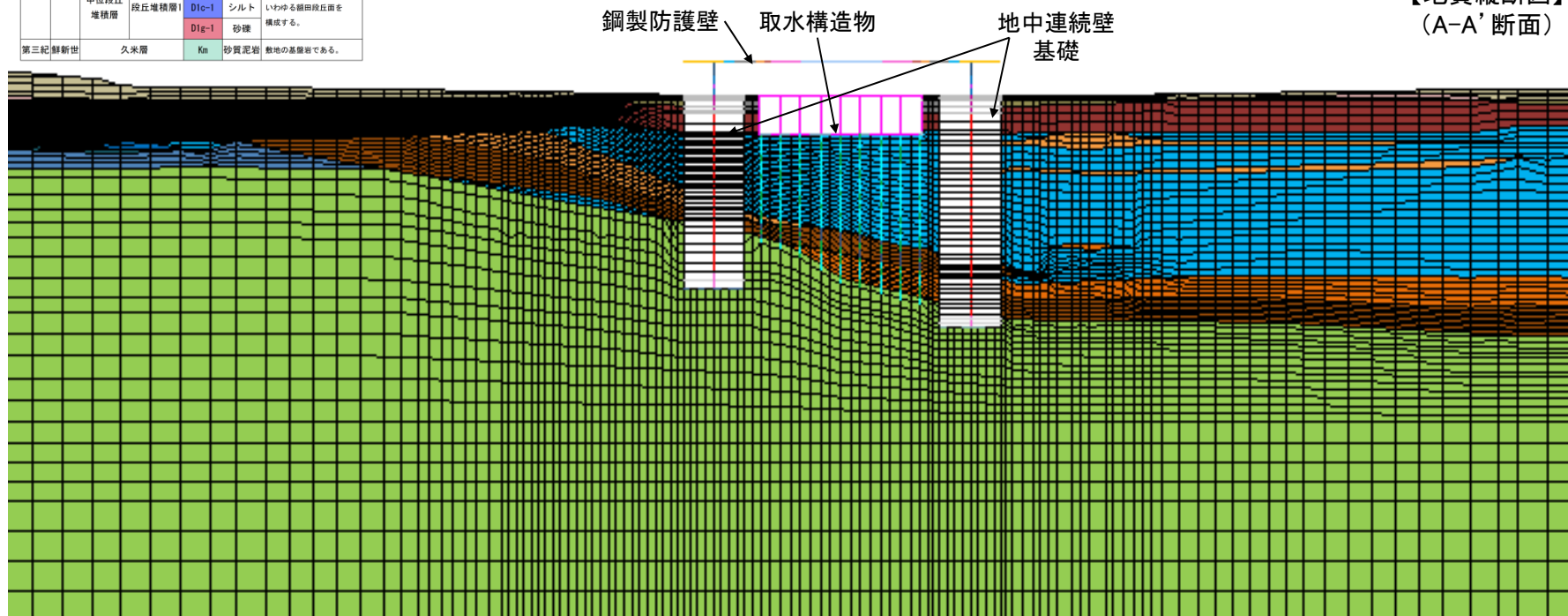
8. 設計方針

①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)



地質時代	地質区分	記号	岩相	備考	
完新世	砂丘層	du	砂	敷地全体に広く分布する。	
		Ag2	砂礫	敷地全体に広く分布する。	
		Ac	粘土		
	沖積低地堆積層	As	砂	久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。	
		Ag1	砂礫		
	四更新世	低位段丘堆積層	D2c-3	シルト	敷地南部に埋没段丘として分布する。
			D2g-3	砂	
		D2c-2	シルト		
		D2g-2	砂礫		
		中位段丘堆積層	Im	ローム	
D1c-1	シルト				
D1g-1	砂礫				
第三紀 新新世	久米層	Km	砂質泥岩	敷地の基礎岩である。	

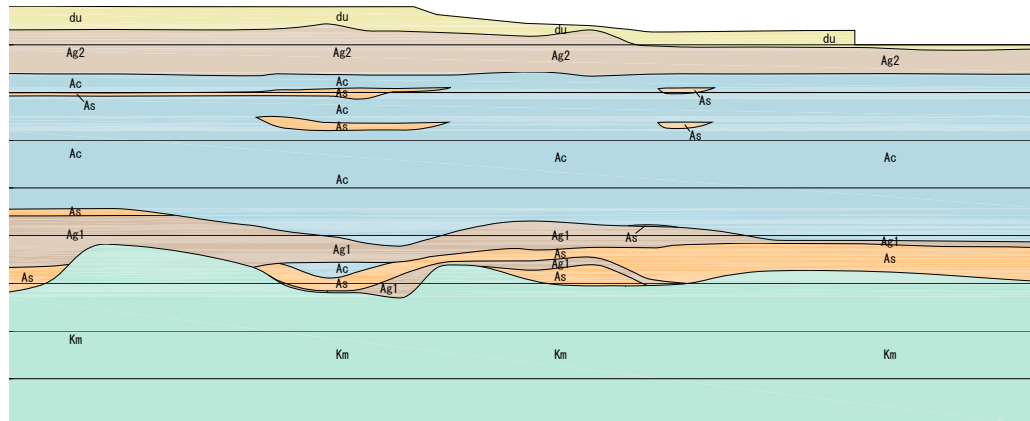
【地質縦断図】
(A-A'断面)



【解析モデル】
(A-A'断面)

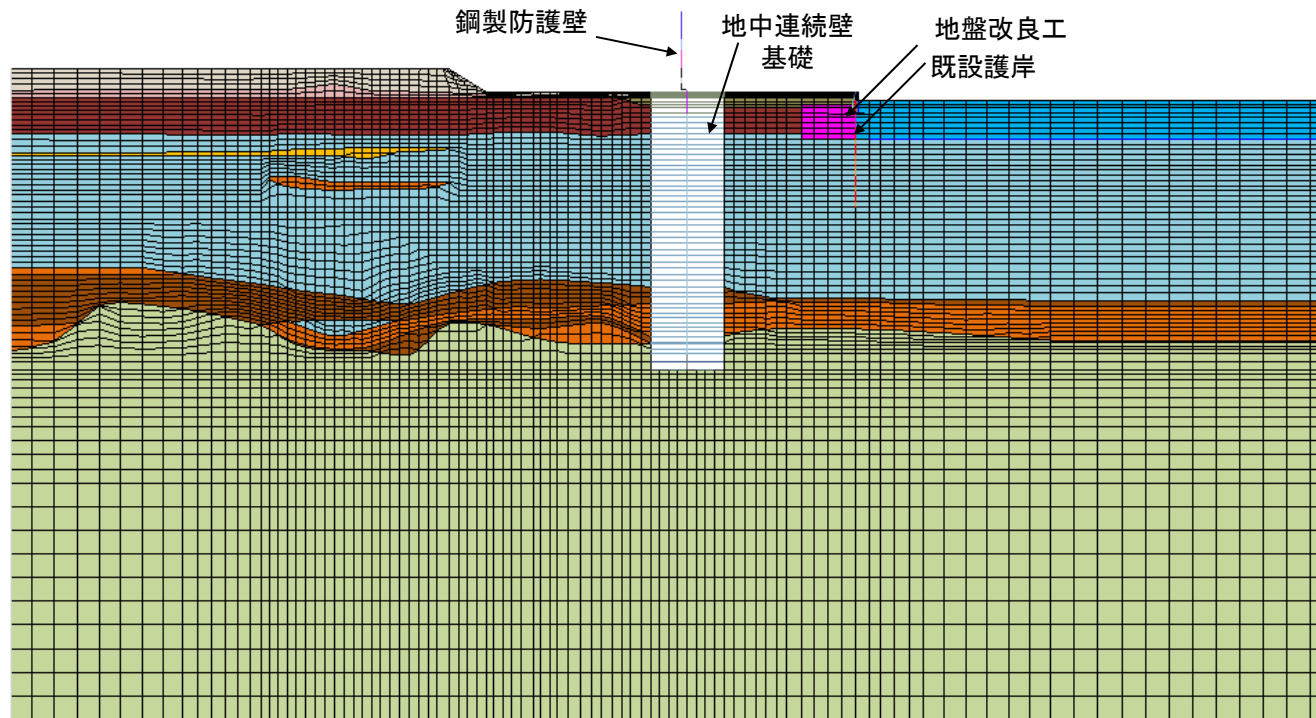
8. 設計方針

①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)



【地質断面図】
(B-B'断面)

地質時代	地質区分	記号	岩相	備考
第三紀 新世	砂丘層	du	砂	敷地全体に広く分布する。
		Ag2	砂礫	敷地全体に広く分布する。
	沖積低地堆積層	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 更新世	低位段丘堆積層	Ag1	砂礫	敷地南部に埋没段丘として分布する。
		D2c-3	シルト	
		D2s-3	砂	
		D2g-3	砂礫	
	中位段丘堆積層	D2c-2	シルト	敷地の南西部に分布し、いわゆる顔田段丘面を構成する。
		D2g-2	砂礫	
		lm	ローム	
		D1c-1	シルト	
第三紀 鮮新世	久米層	D1g-1	砂礫	敷地の基盤岩である。
		Km	砂質泥岩	



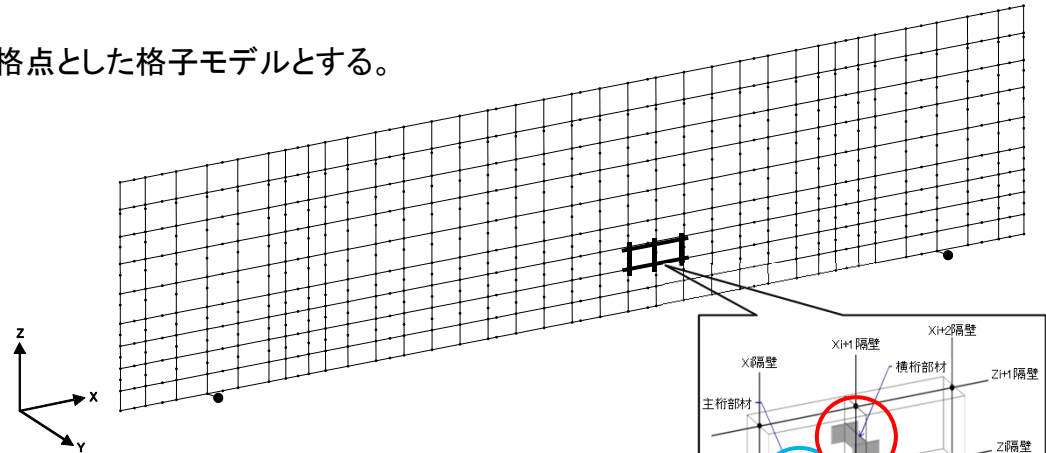
【解析モデル】
(B-B'断面)

8. 設計方針

鋼製防護壁のモデル化(本震時, 津波時, 余震+津波時共通)

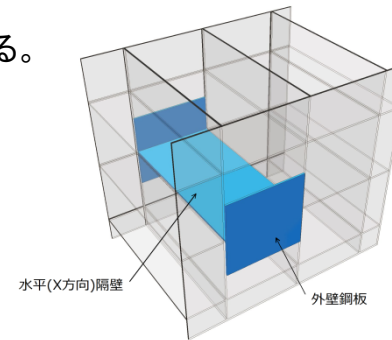
モデル化方針

- ・鋼製防護壁を, 梁で構成される格子にモデル化する。
- ・水平(X方向)隔壁及び鉛直(Z方向)隔壁の交差位置を格点とした格子モデルとする。
- ・格子モデルは鋼部材のみをモデル化する。



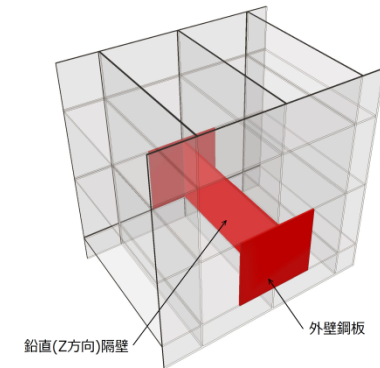
i) 主桁部材(水平方向)

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)

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。

8. 設計方針

②鋼製防護壁の検討 本震時(三次元動的フレーム解析)

解析の目的

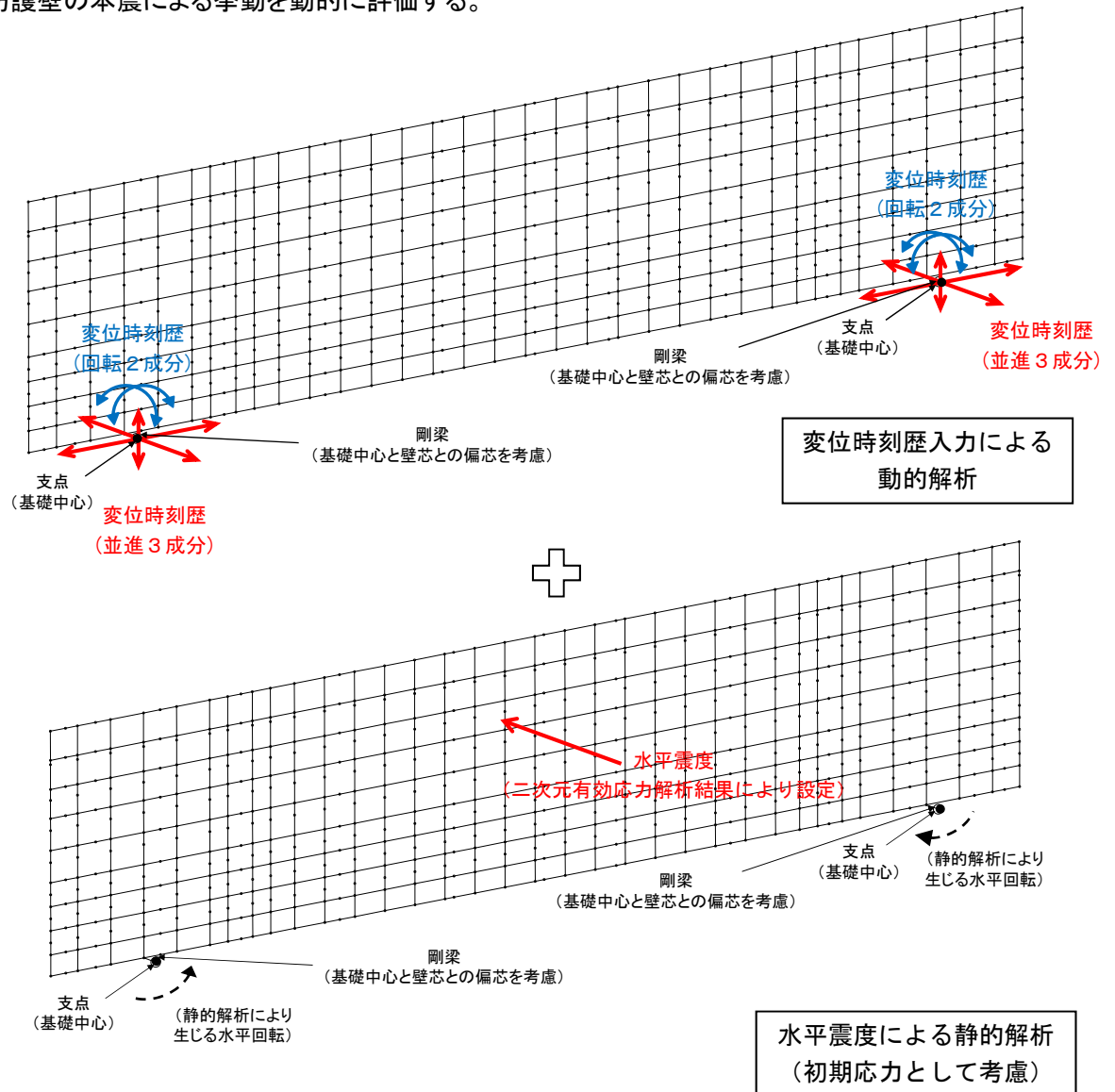
- ・主桁、横桁部材ごとの要素で精緻にモデル化した鋼製防護壁の本震による挙動を動的に評価する。

結果の利用

- ・鋼製防護壁の部材応力照査

変位時刻歴入力による動的解析

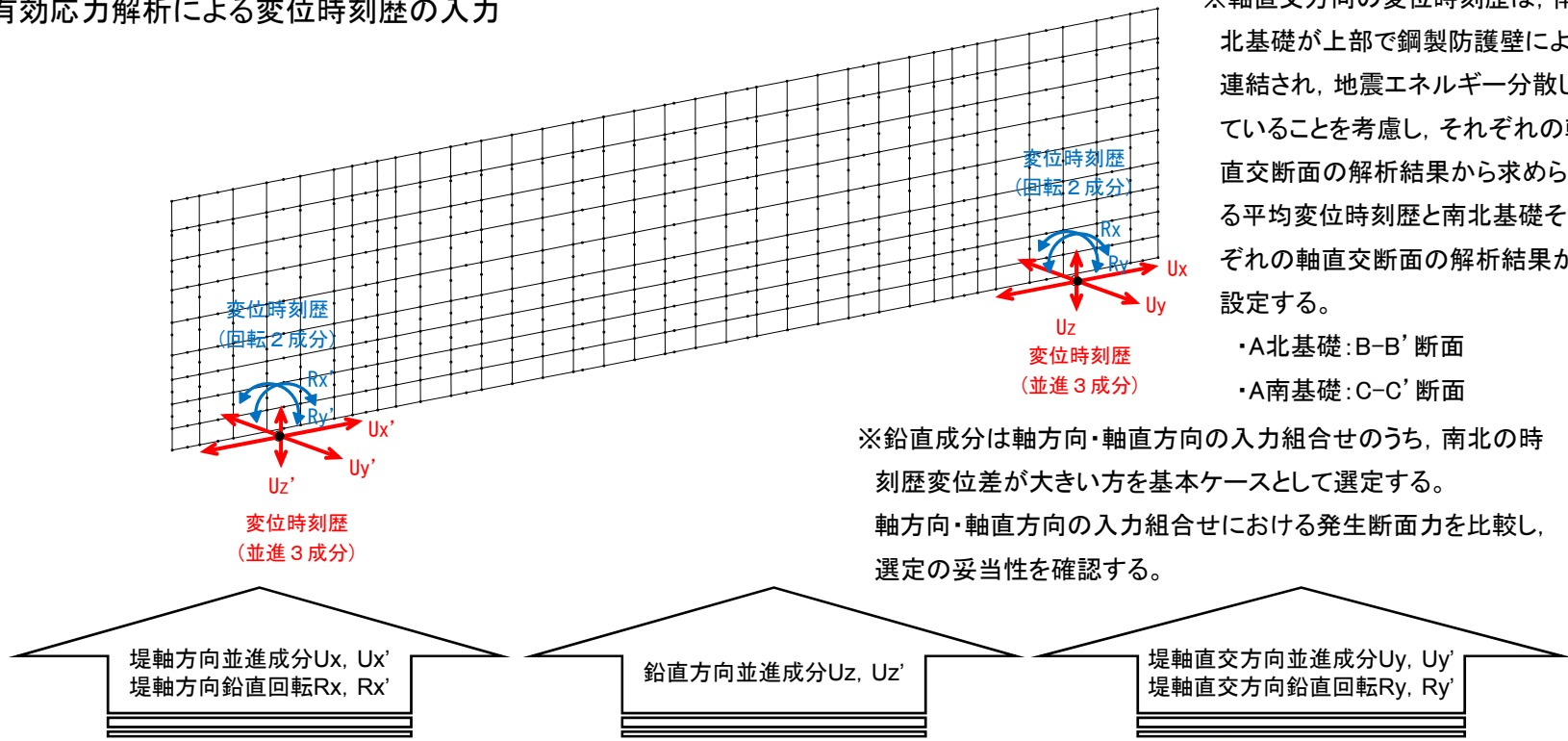
- ・地中連続壁基礎の二次元有効応力解析から算出される基礎天端中心における並進3成分及び回転2成分の変位時刻歴を強制変位として入力して三次元動的フレーム解析を実施する。
- ・①堤軸方向、②堤軸直交方向及び③鉛直方向の解析結果それぞれの最大応答値を組合せ係数法により重ね合わせて応力照査を実施する。
- ・二次元有効応力解析では水平回転成分の算出ができないため、水平震度による静的解析により応答値を算出し、三次元動的フレーム解析の結果と重ね合わせることにより、水平回転の影響を考慮する。
- ・静的解析で与える水平震度は、
 - a) 南北両断面の最大応答加速度から算定される水平震度を一律で与える場合
 - b) 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。



8. 設計方針

②鋼製防護壁の検討 本震時(三次元動的フレーム解析)

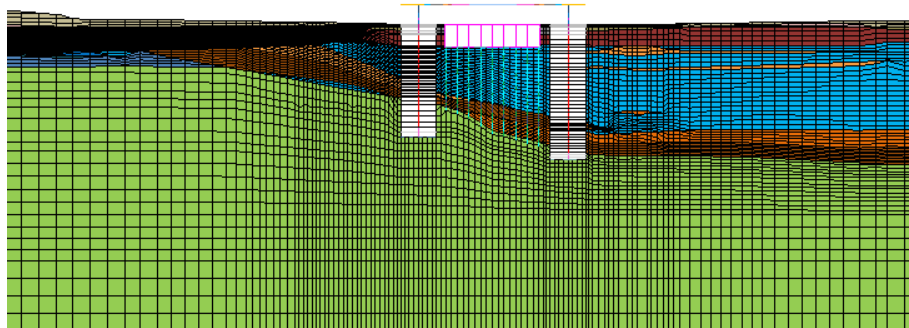
■二次元有効応力解析による変位時刻歴の入力



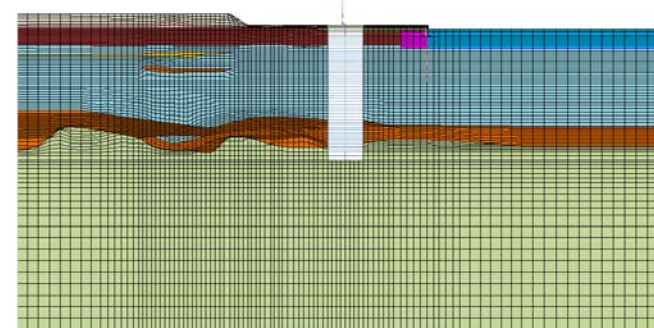
※軸直交方向の変位時刻歴は、南北基礎が上部で鋼製防護壁により連結され、地震エネルギー分散していることを考慮し、それぞれの軸直交断面の解析結果から求められる平均変位時刻歴と南北基礎それぞれの軸直交断面の解析結果から設定する。

- ・A北基礎: B-B' 断面
- ・A南基礎: C-C' 断面

※鉛直成分は軸方向・軸直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。



【二次元有効応力解析モデル】
堤軸方向(A-A' 断面)



【二次元有効応力解析モデル】
堤軸直交方向(B-B' 断面)

8. 設計方針

③地中連続壁基礎, ④鋼製防護壁の検討 津波時(三次元静的フレーム解析)

解析の目的

・津波荷重による水平トルクを受ける地中連続壁基礎及び鋼製防護壁の三次元的な挙動を評価する。

結果の利用

- ・地中連続壁基礎の応力照査
- ・鋼製防護壁の応力照査

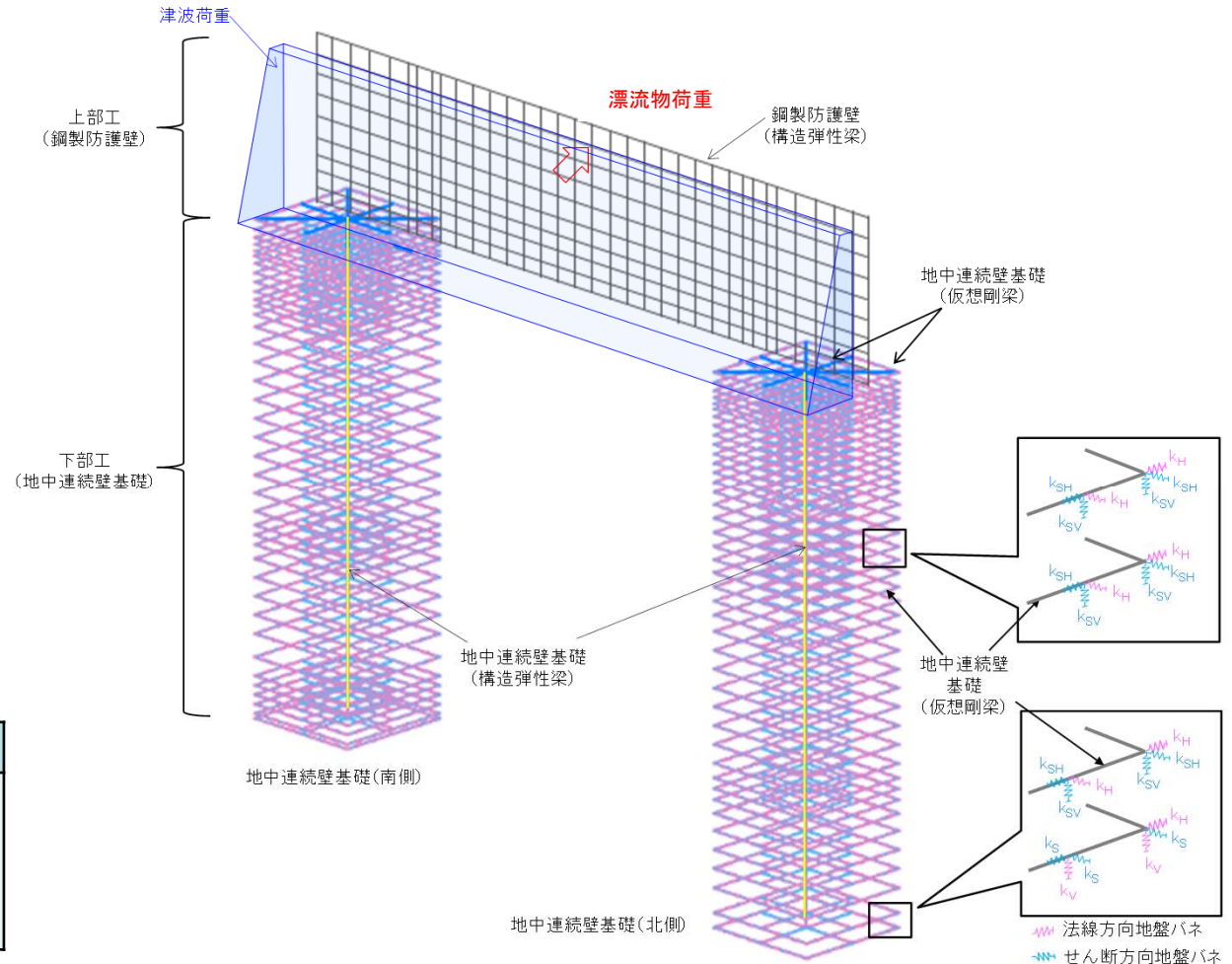
モデル化方針

- ・上部工・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、外面・隔壁部材を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、部位ごとに安全側となるよう地盤バネを設定する。

地盤バネの設定

地盤バネ定数	地盤バネ上限値
初期剛性	ピーク強度(平均)
余震時の収束剛性	ピーク強度(-1σ低減) 残留強度(平均)
静弾性係数	残留強度(-1σ低減)

※地盤バネ定数3種類と地盤バネの上限値の4種類を用いて、地盤の最も高い剛性と最も大きい強度の組合せによる構成式及び地盤の最も低い剛性と最も小さい強度の組合せによる構成式を地盤バネの設定で用いて、各部位で安全側となる設計を行う。



8. 設計方針

⑤地中連続壁基礎, ⑥鋼製防護壁の検討 余震+津波時(三次元静的フレーム解析, 応答変位法)

解析の目的

・津波荷重による水平トルクならびに3方向の余震の影響を受ける地中連続壁基礎及び鋼製防護壁の三次元的な挙動を評価する。

結果の利用

- ・地中連続壁基礎の応力照査
- ・鋼製防護壁の応力照査

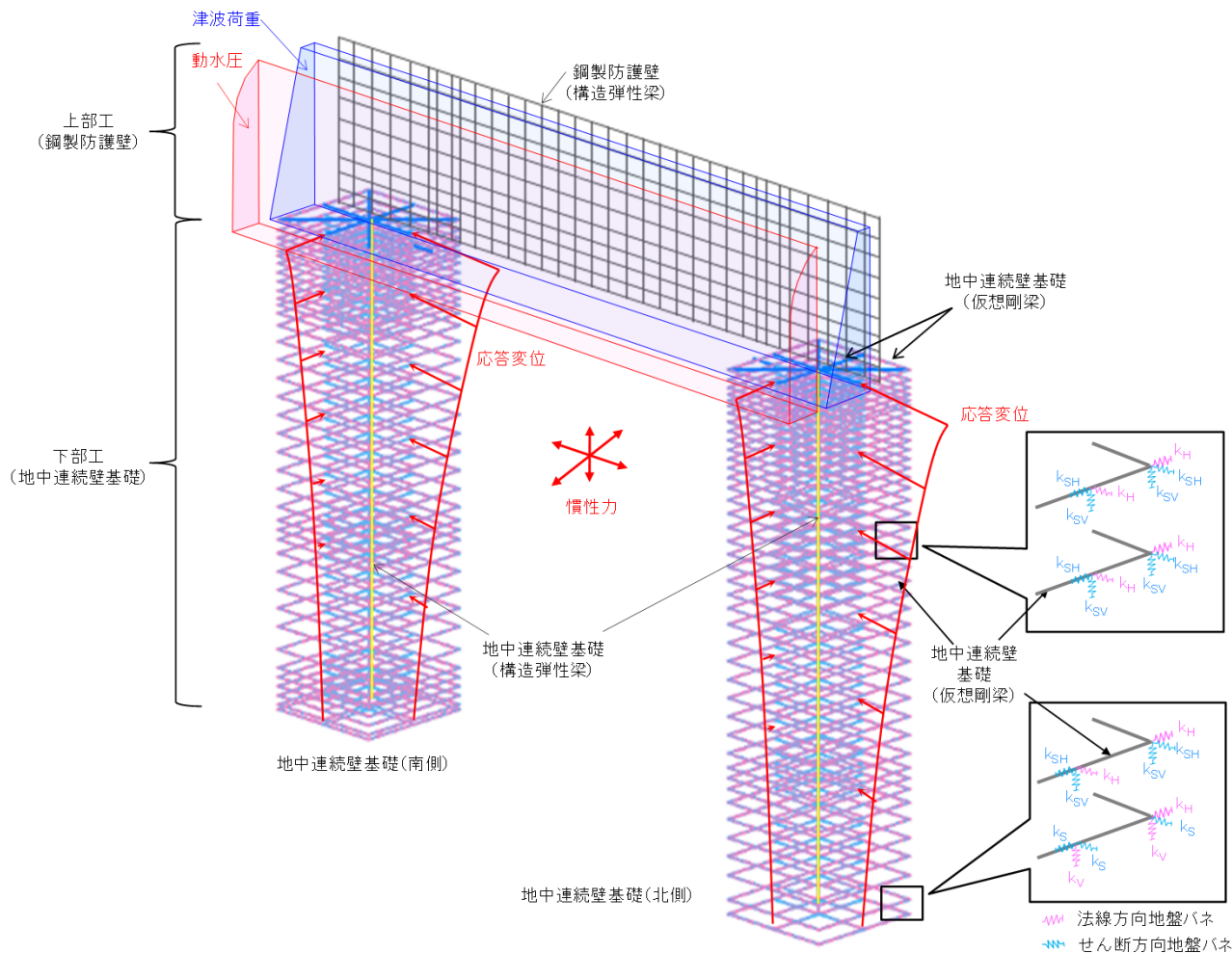
モデル化方針

- ・上部工・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, 外面・隔壁部材を構造弾性梁でモデル化する。
- ・本震及び余震の影響を考慮するとともに, 部位ごとに安全側となるよう地盤バネを設定する。
- ・余震による地盤の剛性低下は, 一次元地盤応答解析結果の収束剛性により考慮する。

地盤バネの設定

地盤バネ定数	地盤バネ上限値
初期剛性	ピーク強度(平均)
余震時の収束剛性	ピーク強度(-1 σ 低減) 残留強度(平均)
静弾性係数	残留強度(-1 σ 低減)

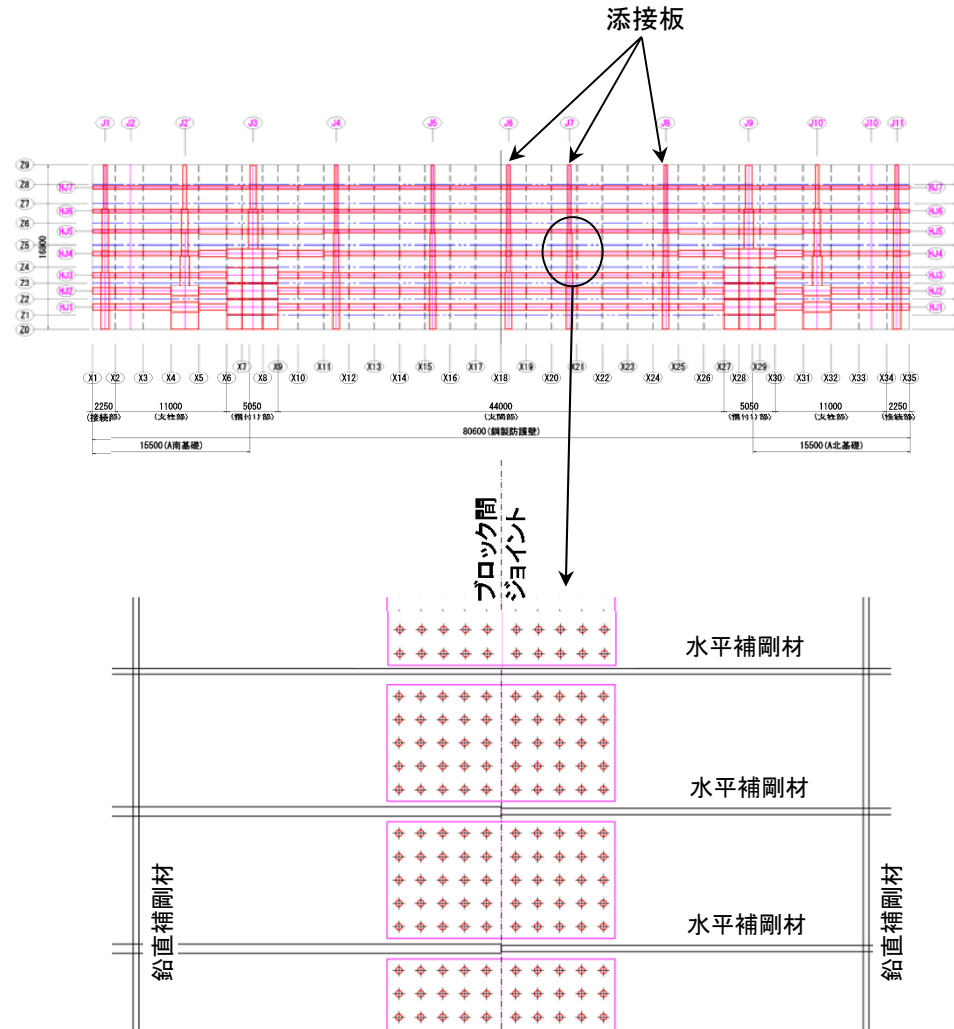
※地盤バネ定数3種類と地盤バネの上限値の4種類を用いて, 地盤の最も高い剛性と最も大きい強度の組合せによる構成式及び地盤の最も低い剛性と最も小さい強度の組合せによる構成式を地盤バネの設定で用いて, 各部位で安全側となる設計を行う。



8. 設計方針

補剛材・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（「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編7.3」）。
- 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、合成した力に対する安全性も照査する。



※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

8. 設計方針

補剛材・添接板継手部の設計

- ブロック間ジョイントにはシール材を施工し、止水性を確保する。シール材の止水性能について、所定の水圧をかけた状態での止水試験を実施して確認する。
- 止水試験は、試験水圧が最大津波波圧より大きいことを確認し、複数のシール材を選定し試験を実施し、その中から最適なシール材を決定する。

シール材(案)



	種類	名称	選定理由
シール材	シリコン系	〇〇〇〇〇〇 (防火戸用ヒドロキシルアミン型シリコンシーリング材)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐久性、耐候性に優れ、モジュラスが低く伸びが大きい。 ・ 温度変化による特性変化がほとんどなく、耐オゾン、耐紫外線性に優れ、経年によって硬くなることなく、繰り返し応力を受けてもほとんど疲労しないため、ジョイント部への施工に適している。
	樹脂系	〇〇〇〇〇〇 (金属接着用高強度エポキシ樹脂接着剤)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 金属とコンクリートの双方に優れた接着性を示す。 ・ 硬化後は-10℃～80℃において高い接着力を持続できるため、止水性に優れると推測される。 ・ ペースト状でダレがなく、鉛直面の施工に適している。
	金属系	〇〇〇〇〇〇 (鉄粉入り一般金属用補修材)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水漏れや油漏れの補修に使用される材料であり、硬化後の機械的強度が高い。 ・ 密着性が高いため、止水性に優れると推測される。 ・ 施工面への下地処理が必要となる。

※シール材の選定については現在検討中

シール材の塗装仕様と耐用年数

箇所	外面部	内面部
本体	C-5(30年)	D-5(永久)
添接部非接触面 (シール部、添接板外面)	F-11(30年) ※C-5の現場塗装仕様	F-12(永久) ※D-5の現場塗装仕様
添接部接触面	無機ジंकリッチペイント75μm ※外気への暴露無し	

※金属溶射+C-5塗装の場合、耐用年数90年

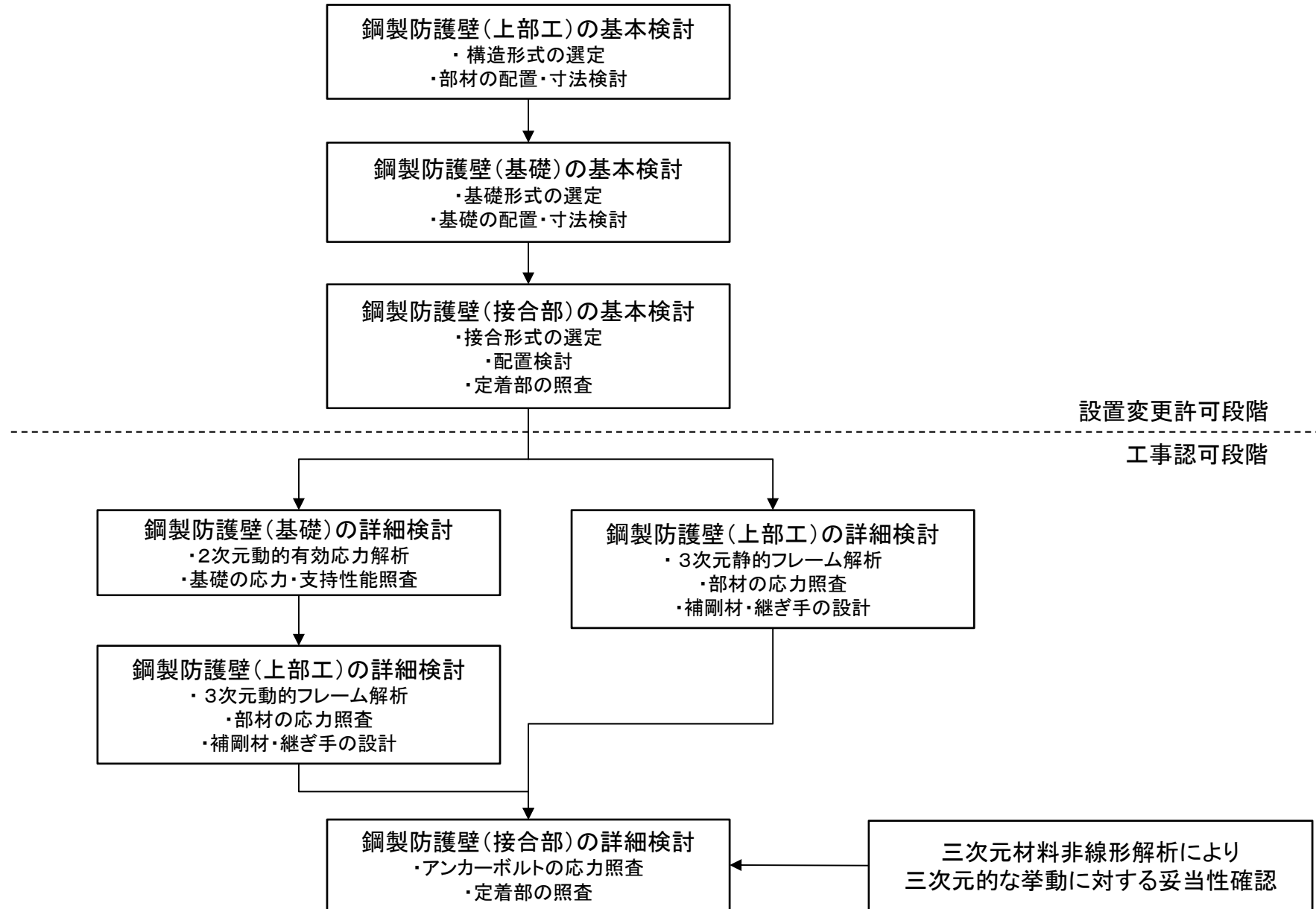
■ 止水試験概要(案)

- ・ 試験水圧 0.5MPa
- ・ 水圧保持 60分間

確認事項

- ・ 漏水量

接合部の検討フロー



8. 設計方針

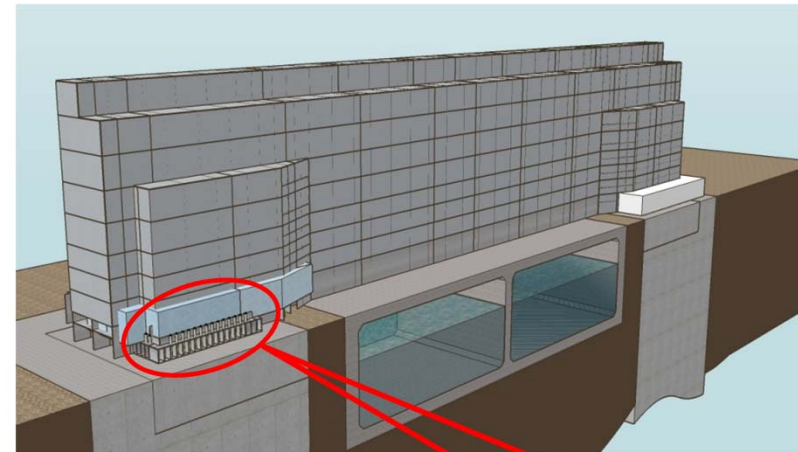
接合部の設計(基本方針)

- 接合部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。
- 接合形式としてはアンカーボルトならびにアンカーフレーム形式が考えられるが、頂版鉄筋コンクリート内の配筋や定着のためのスペースを考慮してアンカーボルト形式を選定する。
- アンカーボルトの定着方法は直接定着式とし、材料や形状については「名古屋高速道路公社 鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」を参考に設定する。
- アンカーボルトに期待しない水平力・水平回転モーメントによるせん断力に対しては、「道路橋示方書 III コンクリート橋編」「道路橋示方書 IV 下部構造編」(日本道路協会)に準拠して設計する。
- 直接定着式アンカーボルトは、橋梁の橋脚と基礎とを結合する目的で開発された製品であるが、上部工からの軸力ならびに水平軸周りの回転モーメントに伴う押込み・引抜き力を基礎に伝達するという機能は鋼製防護壁でも同じである。

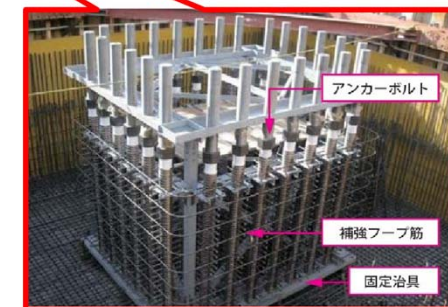


※直接定着式アンカーボルトは、「名古屋高速道路公社 鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」に記載のある範囲でアンカー機能のみを期待する。

「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」 (名古屋高速道路公社)の適用範囲
3.1 使用鋼材
3.3 許容応力度
7.3.1 アンカーボルト
7.2.2 照査応力度
2.14 荷重の組合せおよび許容応力度の割増し



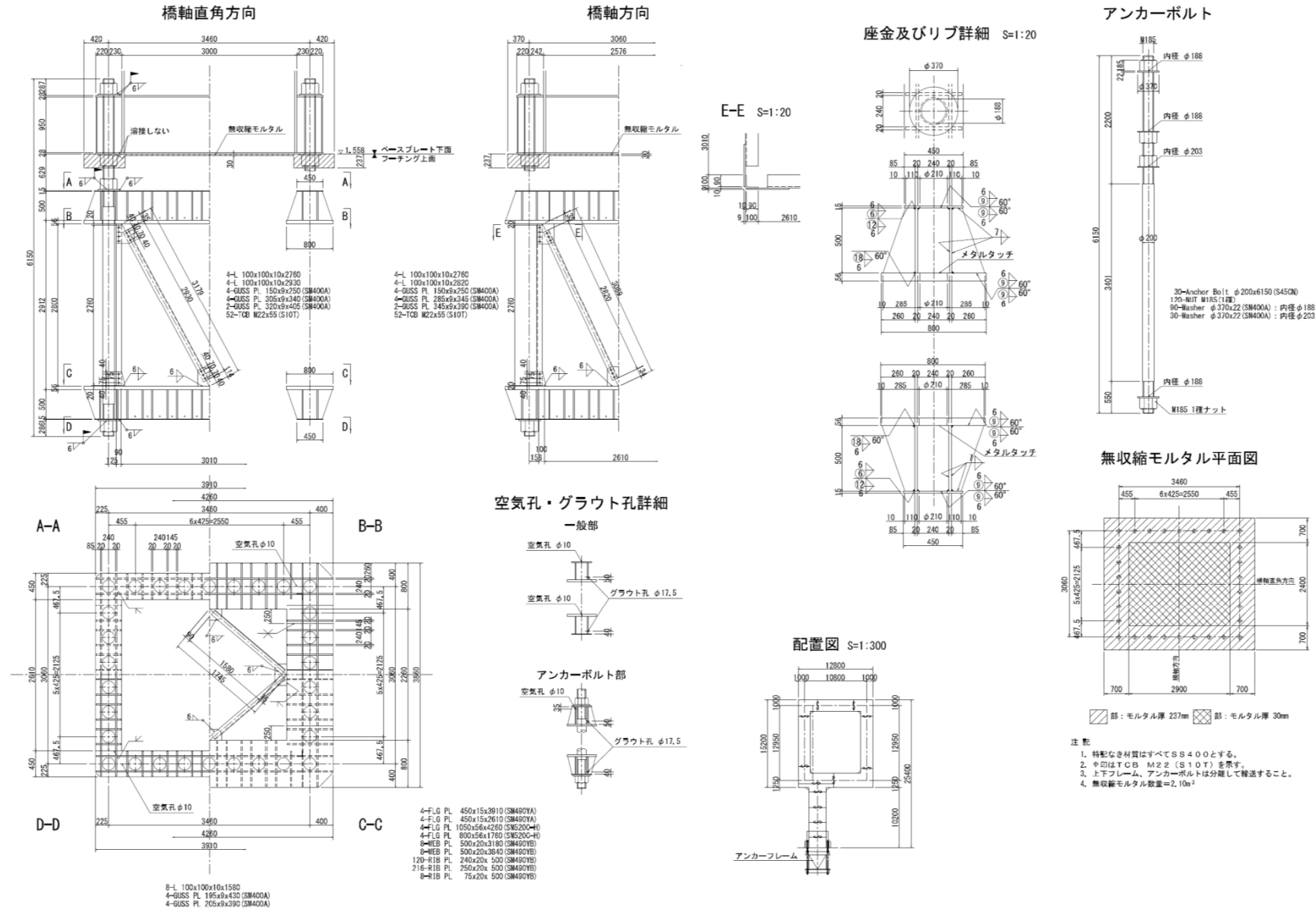
直接定着式アンカーボルト



8. 設計方針

接合部の設計(基本方針)

■ アンカーフレームの事例



8. 設計方針

接合部の設計(「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社))

3.1 使用鋼材

アンカーボルトに使用する材料に関する基準

3.1 使用鋼材

- (1) 鋼材は「I.3.1」、「I.表 3.1-1」に適合するものを標準とする。
 (2) 鋼種は板厚により「I.3.2」、「I.表 3.2-1」に基づいて選定するのを原則とする。

- (2) アンカーボルトの使用材料については表 3.1-1 に示すとおり、定着方式ならびに強度により分類ができる。なお、ワッシャーについては溶接性を考慮して SM400 材を使用するものとし、ナットについては SS400 材を使用するものとする。

表 3.1-1 アンカーボルトの材料

定着方式	直接定着方式		アンカーフレーム方式			
	SM490A 相当	SM520B 相当	SS400	S30CN	S35CN	S45CN
降伏点 または耐力	315 N/mm ² 以上	355 N/mm ² 以上	235 N/mm ² 以上	285 N/mm ² 以上	305 N/mm ² 以上	345 N/mm ² 以上
JIS ^(注1)	(G3106) ^(注2)	(G3106) ^(注2)	G3101	G4051 ^(注3)	G4051 ^(注3)	G4051 ^(注3)

注 1) アンカーボルトの鋼種表示は鉄鋼記号による。

注 2) JIS G 3106「溶接構造用圧延鋼材」には、鋼板、鋼帯、形鋼および平鋼が規定されており、直接定着方式のアンカーボルトに用いる棒鋼はこれらには含まれないが、スタッドの溶接性を確保するため、この化学成分を参考にし、表 3.1-2、表 3.1-3、表 3.1-4 を満足させるものとした。本基準では、直接定着方式のアンカーボルトの材質を、「SM490A 相当」、「SM520B 相当」と表記することとした。

注 3) 機械構造用鋼 S30CN、S35CN、S45CN は JIS G 4051 に示される材質 S30C、S35C、S45C に熱処理として焼きならしを施し、その規格の解説付表に示される機械的性質を満足する材料とする。

表 3.1-2 直接定着方式アンカーボルトに用いる鋼材の化学成分

記号	化学成分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
SM490A 相当	0.22 以下	0.55 以下	1.60 以下	0.035 以下	0.035 以下
SM520B 相当	0.22 以下 ^(注1)	0.55 以下	1.60 以下	0.035 以下	0.035 以下

注 1) JIS G 3106 には、厚さ 100mm を超える場合の C 数値が記載されていないが、機械的性質を考慮して決定した。

表 3.1-3 直接定着方式アンカーボルトに用いる鋼材の機械的性質

記号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
SM490A 相当	315 以上	490 以上	23 以上
SM520B 相当	355 以上	520 以上	21 以上

表 3.1-4 直接定着方式アンカーボルトに用いる鋼材のシャルピー吸収エネルギー

記号	試験温度	シャルピー吸収エネルギー	試験片
SM520B 相当	0 °C	27J 以上	V ノッチ試験片

注 1) 試験片形状 : JIS Z 2202 (金属材料衝撃試験片) による。

注 2) 試験方法 : JIS Z 2242 (金属材料衝撃方法) による。

8. 設計方針

接合部の設計(「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社))

3.3 許容応力度

アンカー部に使用する鋼材・コンクリートの許容応力度に関する基準

3.3 許容応力度

3.3.1 鋼材

(1) 鋼材の許容応力度

- 鋼材の許容応力度は道示Ⅱ「3.2 鋼材の許容応力度」および道示Ⅱ「14.3 鋼管の許容応力度」によるものとする。
- 柱基部およびアンカー部の鋼材の許容応力度は表 3.3.1-1 に示す値とする。ただし、荷重の組合せによる許容応力度の割増しは、表 2.14-1 によらなければならない。

表 3.3.1-1 柱基部およびアンカー部の鋼材の許容応力度 (N/mm²)

分類	鋼種	引張応力度 σ_a	せん断応力度 τ_a
鋼板	SS400	140	80
	SM490Y	210	120
	SM520	210	120
	SM570	255	145
	直接定着方式のアンカーボルト	SM490A 相当	185
	SM520B 相当	210	80
アンカーフレーム方式のアンカーボルト	SS400	140	60
	S30CN	165	60
	S35CN	185	80
	S45CN	210	80

(2) レベル2地震動に対する耐震設計に用いる鋼材の照査応力度

アンカー部の耐震設計における柱基部およびアンカー部の鋼材の照査応力度は、表 3.3.1-2 に示す値とする。

表 3.3.1-2 柱基部およびアンカー部の鋼材の照査応力度(アンカー部の耐震設計) (N/mm²)

分類	鋼種	引張応力度 σ_y	せん断応力度 τ_y
鋼板	SS400	235	135
	SM490Y	355	205
	SM520	355	205
	SM570	450	260
	直接定着方式のアンカーボルト	SM490A 相当	315
	SM520B 相当	355	120
アンカーフレーム方式のアンカーボルト	SS400	235	90
	S30CN	285	90
	S35CN	305	120
	S45CN	345	120

- 現場溶接部の許容応力度については、道示Ⅱ「3.2.3 溶接部および接合用鋼材の許容応力度」にしたがい、工場溶接と同等の値とする。

3.3.2 コンクリート

橋脚アンカー部に使用するコンクリートの許容応力度は表 3.3.2-1 に示す値とする。ただし、荷重の組合せによる許容応力度の割増しは表 2.14-1 によらなければならない。

表 3.3.2-1 コンクリートの許容応力度 (N/mm²)

定着方式	応力度の種類	コンクリート設計基準強度			
		21	24	27	
直接定着方式	付着応力度 τ_a	2.6	2.8	3.0	
	コーン破壊応力度	σ_{con1}	0.48	0.52	0.55
		σ_{con2}	1.06	1.14	1.21
アンカーフレーム方式	押抜きせん断応力度 τ_{a2}	1.6	1.7	1.8	
	τ_{a3}	0.85	0.90	0.95	
	支圧応力度 (アンカー部) σ_{ba}	10.5	12.0	13.5	

σ_{con1} : コンクリートそのものの強度で決まるコーン破壊強度

σ_{con2} : 鉄筋補強をする場合のコーン破壊強度

τ_{a2} : 斜め引張鉄筋と協同して負担する場合の許容せん断応力度

τ_{a3} : 押抜きせん断の場合の許容せん断応力度

鋼製防護壁:
弾性設計(短期許容応力度)

鋼製橋脚:
弾性設計(降伏応力度)

8. 設計方針

接合部の設計(「鋼構造物設計基準 Ⅱ 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社))

7.3.1 アンカーボルト

直接定着式アンカーボルトの規格・寸法に関する基準

7.3 直接定着方式のアンカー部

7.3.1 アンカーボルト

- (1) アンカーボルトの材質、ボルト径の選定は、その作用応力度と同時に、橋脚としての剛度の確保を考慮して行うものとする。
- (2) アンカーボルトは、軸応力度、せん断応力度、および軸応力度とせん断応力度の合成応力度により設計するものとする。
- (3) アンカーボルト公称径D(=定着部の節底径)の上限は180mmとし、材質の上限はSM520B相当とする。
- (4) アンカーボルト間隔は2D以上を標準とする。
- (5) アンカーボルト径、スタッド径、スタッドピッチおよびスタッド長は、表7.3.1-1の仕様を標準とする。

表7.3.1-1 アンカーボルトの仕様 (mm)

公称径 D	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
ねじ部の呼び M	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
スタッド径	13	16	16	16	19	19	22	22	22	22	22
スタッドピッチ	70	90	80	75	95	90	110	105	100	95	90
スタッド長さ	100	120	120	120	130	130	150	150	150	150	150
平坦面	28	32	32	32	37	37	40	40	40	40	40

8. 設計方針

接合部の設計(「鋼構造物設計基準 Ⅱ 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社))

2.14 荷重の組合せおよび許容応力度の割増し

照査に用いる荷重の組合せおよび許容応力度の割増しに関する基準

2.14 荷重の組合せおよび許容応力度の割増し

(1) 荷重の組合せ
 鋼製橋脚の設計は、2.1(1)に示す荷重の種類に対して表 2.14-1 の組合せを考慮し、その許容応力度は 3.3 に規定する許容応力度に表 2.14-1 に示す割増し係数を乗じた値とする。

表 2.14-1 荷重の組合せおよび許容応力度の割増し係数

荷重の組み合わせ		割増し係数
1)	主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP)	1.00
2)	主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 温度変化の影響(T)	1.15
3)	主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 風荷重(W)	1.25
4)	主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 温度変化の影響(T) + 風荷重(W)	1.35
5)	主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 衝突荷重(CO)	1.70
6)	活荷重および衝撃以外の主荷重 + 地震の影響(EQ)	1.50
7) 施工時荷重(ER)の組合せ	完成後の応力度がいちじるしく低くなる場合	1.50
	完成後の応力度が許容応力度と同程度となる場合	1.25

(2) レベル2地震動に対する耐震設計に用いる荷重の組合せ
 レベル2地震動に対する鋼製橋脚の設計は、2.1(2)に示す荷重の種類に対して表 2.14-2 の組合せを考慮するものとする。

表 2.14-2 レベル2地震動に対する耐震設計に用いる荷重の組合せ

荷重の組合せ
活荷重および衝撃以外の主荷重 + 地震の影響(EQ)

道示IV「4.1 一般」および道示V「3.1 耐震設計上考慮すべき荷重とその組合せ」に準じた。

⇒ 鋼製防護壁:
弾性設計(短期許容応力度)

⇒ 鋼製橋脚:
弾性設計(降伏応力度)

8. 設計方針

接合部の設計(「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社))

7.2.2 照査応力度

アンカー部の照査に用いる応力度に関する基準

7.2.2 照査応力度

(1) 脚柱基部およびアンカー部の発生応力度が表7.2.2-1に示す許容応力度を満足するように設計する。ただし、荷重の組合せによる許容応力度の割増しは表2.14-1によらなければならない。

表7.2.2-1 脚柱基部およびアンカー部の照査に用いる許容応力度

項目		許容応力度	
鋼板	圧縮・引張	σ_a	
	せん断	τ_a	
アンカーボルト	圧縮・引張	σ_a	
	せん断	τ_a	
コンクリート	直接定着方式アンカーボルトの付着		τ_a
	コーン破壊	鉄筋補強なし	$0.85\sigma_{ca1}$
		鉄筋補強あり	$0.85\sigma_{ca2}$
	支圧		$0.5\sigma_{ck}$
	せん断	押抜き ^{*)}	τ_{a3}
		斜め引張鉄筋と協同して負担	τ_{a2}

*) τ_{a3} は、荷重の組合せによる許容応力度の割増しを行ってはいならない。



鋼製防護壁:
弾性設計(短期許容応力度)

(2) アンカー部の耐震設計では、脚柱基部およびアンカー部の発生応力度が表7.2.2-2に示す照査応力度を満足するように設計する。

表7.2.2-2 脚柱基部およびアンカー部の照査に用いる照査応力度
(アンカー部の耐震設計)

項目		照査応力度	
鋼板	圧縮・引張	σ_y	
	せん断	τ_y	
アンカーボルト	圧縮・引張	σ_y	
	せん断	τ_y	
コンクリート	圧縮		$0.85\sigma_{ck}$
	直接定着方式アンカーボルトの付着		$2.0\tau_a$
	コーン破壊	鉄筋補強なし	$1.5\sigma_{ca1}$
		鉄筋補強あり	$1.5\sigma_{ca2}$
	せん断	押抜き	$1.5\tau_{a3}$
		斜め引張鉄筋と協同して負担	$1.5\tau_{a2}$



鋼製橋脚:
弾性設計(降伏応力度)

8. 設計方針

接合部の設計(直接定着式アンカーボルトの妥当性確認)

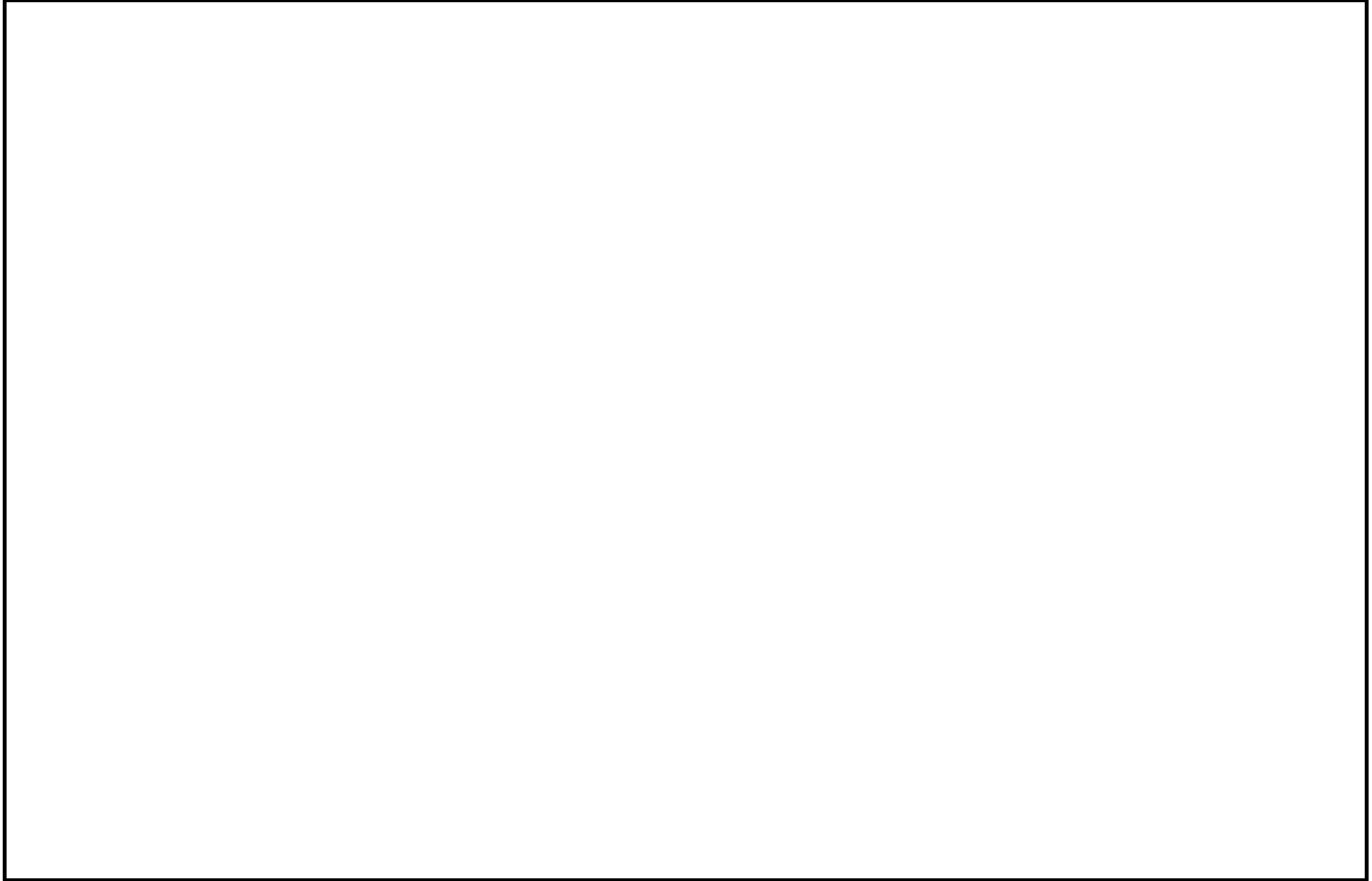
- 直接定着式アンカーボルトは、橋梁の橋脚と基礎とを結合する目的で開発された製品である。
- アンカーボルト製品としての妥当性、付着特性の設定及び震度法レベル、地震時保有水平耐力法レベルの設計荷重に対して十分な定着耐力を有することが、以下の各種試験で確認・報告されている。

発表論文	試験内容
1) 前野裕文(名古屋高速道路公社), 後藤芳顯, 小畑誠, 松浦聖(以上名古屋工業大学 社会開発工学科), 小林洋一(住友金属株) 「鋼製橋脚の新しい定着方法について」 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1989.9	異形棒鋼ならびにスタッドを用いたアンカーボルトの付着強度に関する試験
2) 前野裕文(名古屋高速道路公社), 後藤芳顯, 小畑誠, 松浦聖(以上, 名古屋工業大学 社会開発工学科) 「スタッドを取り付けた太径異形棒鋼の付着特性」, 土木学会論文集, 1992.1	
3) 小畑誠, 後藤芳顯, 松浦聖(以上, 名古屋工業大学 社会開発工学科), 前野裕文(名古屋高速道路公社) 「太径異形棒鋼による実大付着型アンカーボルトの力学性状と現場付着試験」, 鋼構造年次論文報告集, 1993.7	実構造における力学特性試験
4) 前野裕文, 森成顯, 川津禎男(以上, 名古屋高速道路公社), 永岡弘(松尾橋梁株), 小林洋一(住友金属工業株), 「付着型アンカーボルトを用いた鋼製橋脚定着部の設計および現場試験」, 橋梁と基礎, 1994.5	太径化による付着強度低下に関する試験
5) 山本卓也, 前野裕文, 鈴木信勝, 深田清明(以上, 名古屋高速道路公社) 「鋼製橋脚定着部に用いる付着型アンカーボルトの室内付着試験および現場引抜き試験」, 橋梁と基礎, 1998.5	実構造における付着強度試験
6) 前野裕文(名古屋高速道路公社), 後藤芳顯(名古屋工業大学 社会開発工学科), 上條崇, 小林洋一(以上, 住友金属工業株) 「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	製造限界とされる太径アンカーボルトによる付着性能, 定着耐力に関する試験

※所属は論文投稿時

8. 設計方針

接合部の設計(直接定着式アンカーボルトの使用実績)



8. 設計方針

接合部の設計(直接定着式アンカーボルトの荷重比較)

- 概略検討におけるアンカーボルト1本当りの荷重は研究論文で実施されている実験と概ね同等レベルである。

種別	アンカーボルト仕様	荷重値(kN/本)	選定理由
実験値	D180(SM520B相当)	7,990	論文6)
実験値	D140(SM490A相当) D140(SM490A相当)	4,410 5,880	論文5)
設計値 (概略検討)	D180(SM520B相当)	北基礎 5,786 南基礎 7,258	余震+T.P.+24m津波時

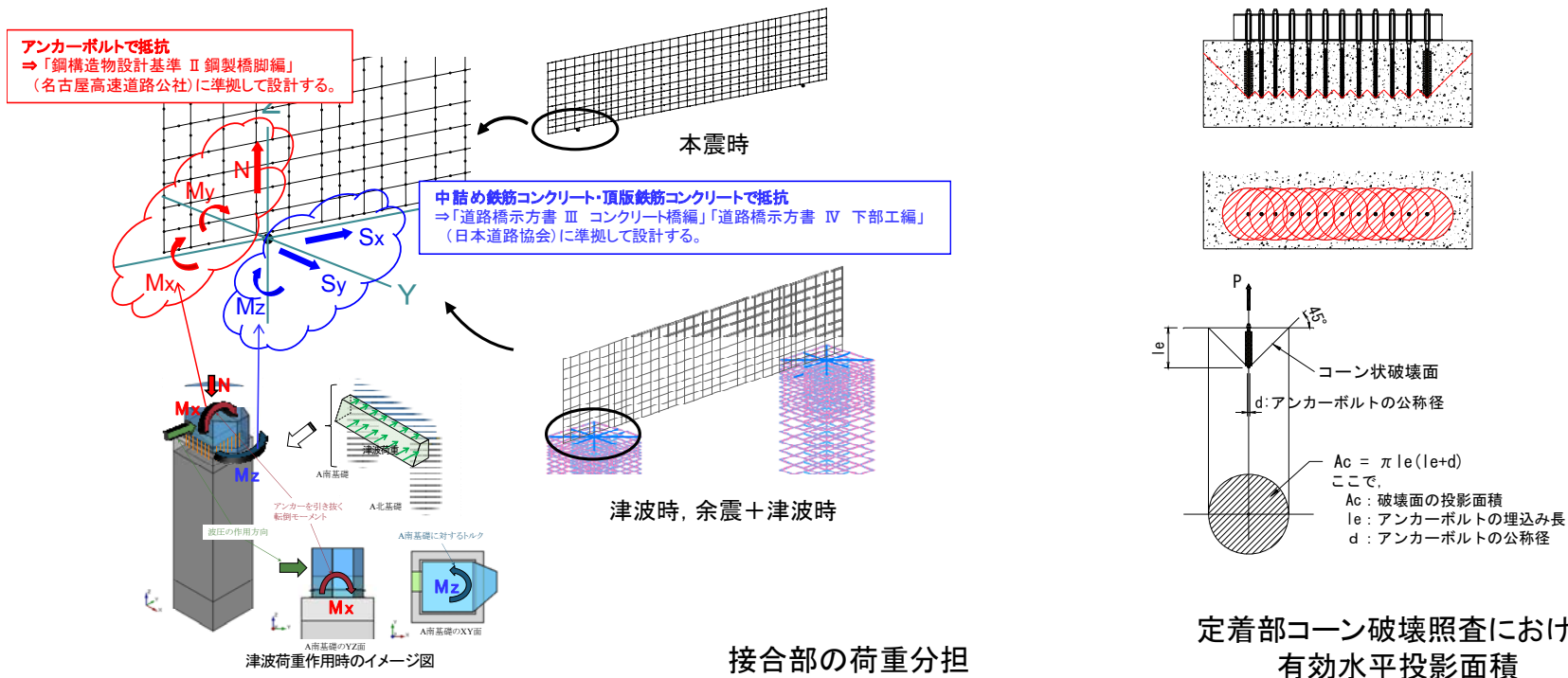
8. 設計方針

接合部の設計(設計方針)

- 接合部は、アンカーボルトを鉄筋として見立てた2軸複鉄筋コンクリート断面として弾性設計を行なう。
- 鋼製防護壁の生じる荷重組合せを設計断面力解析結果から最大の引張応力接合部の荷重分担
- がとして照査を実施する。
 - ・アンカーボルト・・・鉛直軸力と堤軸・堤軸直交方向の曲げモーメントによる引抜き力・付着・コーン破壊に対する照査
 ⇒「鋼構造物設計基準 Ⅱ 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社)に準拠した弾性設計
 (コンクリート強度27N/mm²)
 - ・中詰め鉄筋コンクリート・頂版鉄筋コンクリート・・・水平力と水平回転モーメントによるせん断力
 ⇒「道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋編」「道路橋示方書 Ⅳ 下部構造編」に基づく弾性設計
 (コンクリート強度50N/mm²) ⇒ せん断補強筋による裕度確保



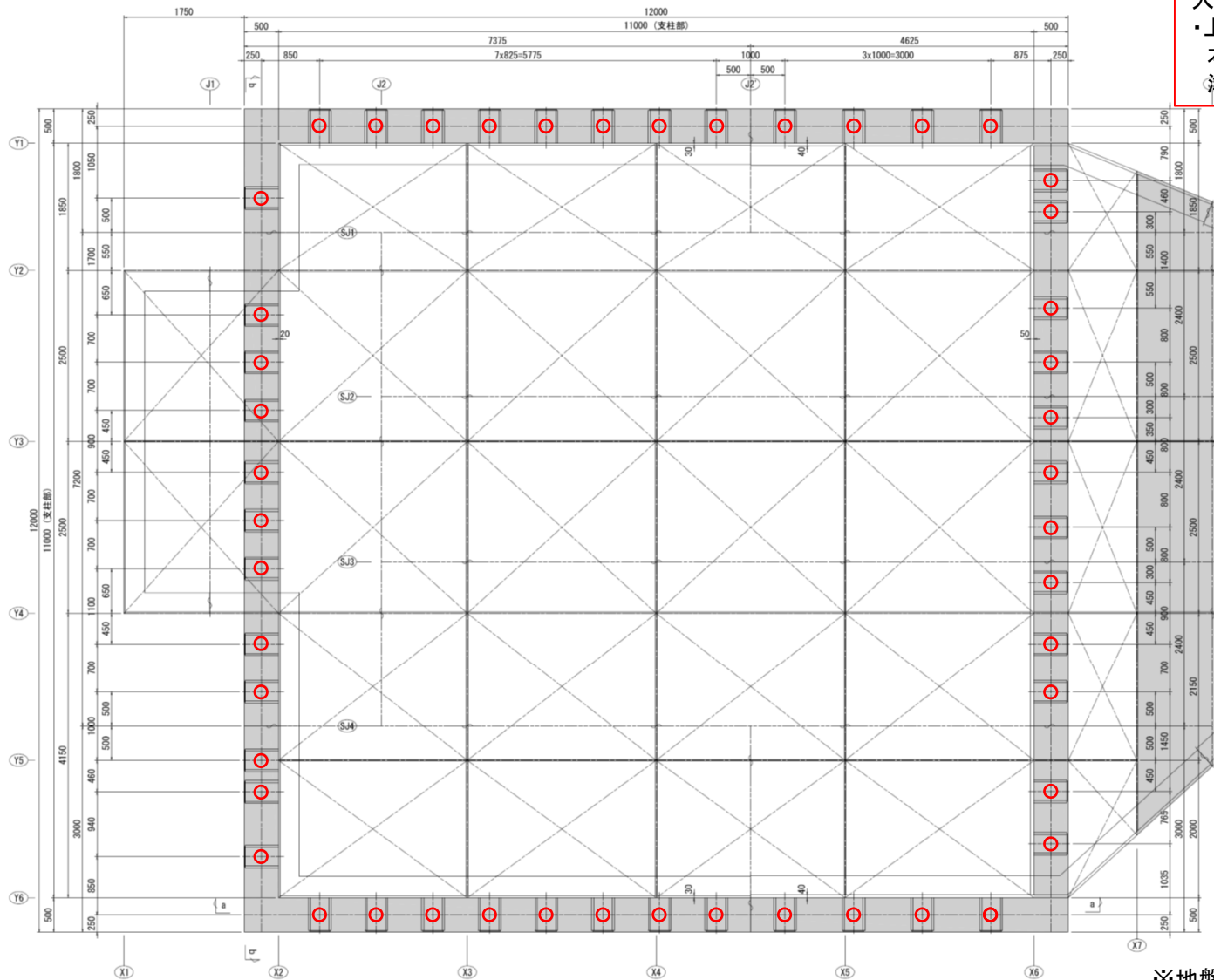
三次元材料非線形解析(COM3)による三次元的挙動の確認



8. 設計方針

接合部の設計(アンカーボルトの配置検討)

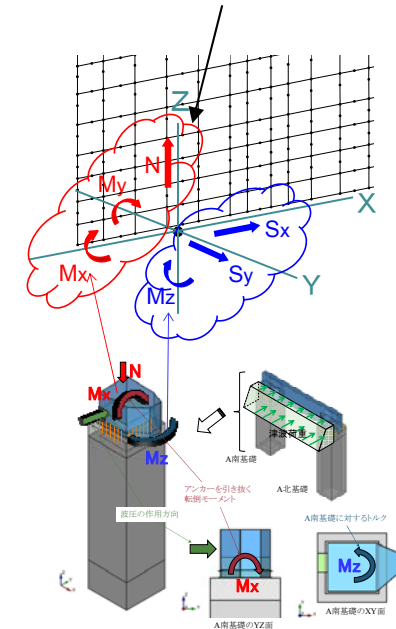
アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計, コンクリート強度 27N/mm^2)



入力値

- ・上部工の設計より算定される断面力
- 本震時: 三次元動的フレーム解析
- 津波時, 重畳時: 三次元静的フレーム解析

アンカーボルトが負担する荷重



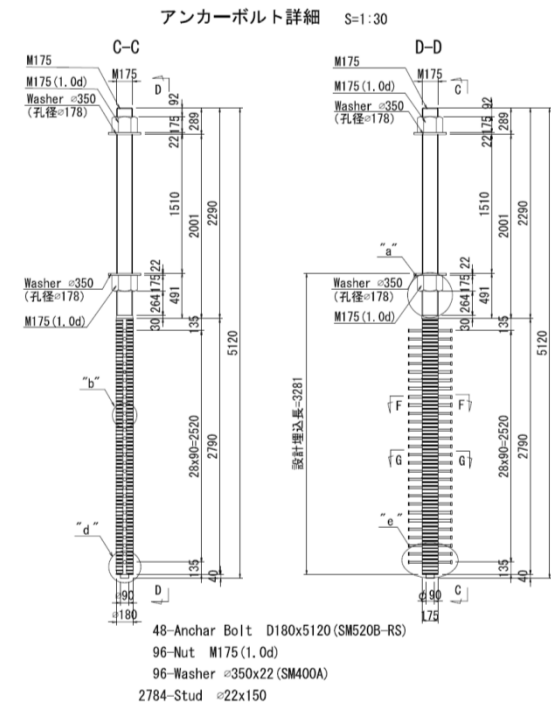
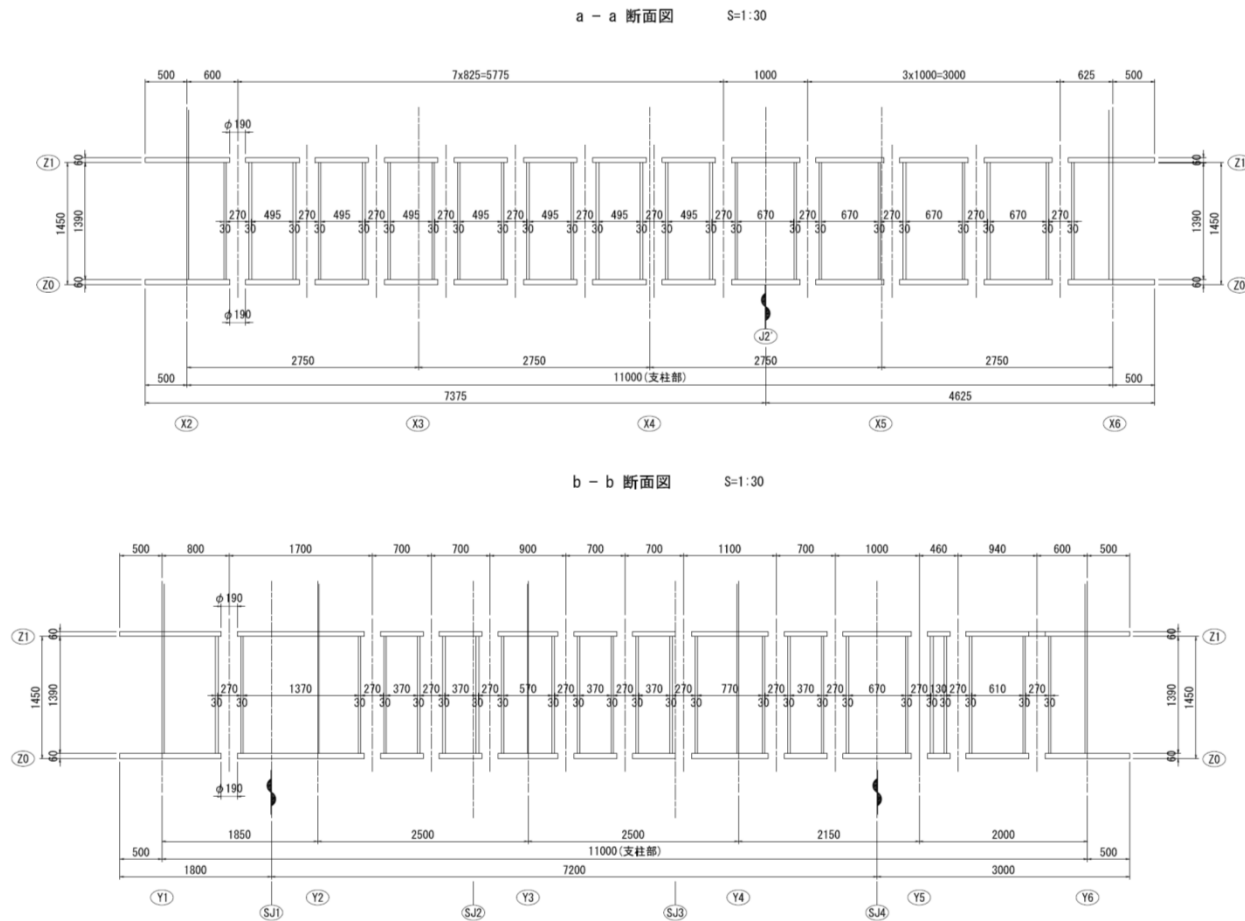
○ : アンカーボルト

※地盤条件、解析モデルは暫定。
※仕様は詳細検討によって変更になることがある。

8. 設計方針

接合部の設計(アンカーボルトの配置検討)

アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計, コンクリート強度27N/mm²)



※地盤条件、解析モデルは暫定。
 ※仕様は詳細検討によって変更になることがある。

8. 設計方針

接合部の設計(アンカーボルトの配置検討)

アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計, コンクリート強度27N/mm²)

重畳時
余震(堤軸直交方向)+T.P.+24m津波
照査値(鉄筋)=0.89 ... OK

重畳時
余震(堤軸方向)+T.P.+24m津波
照査値(鉄筋)=0.86 ... OK

		<table border="1"> <tr><td>A (m²)</td><td>144.0000</td></tr> <tr><td>A' (m²)</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>yu (m)</td><td>6.0000</td></tr> <tr><td>yl (m)</td><td>-6.0000</td></tr> <tr><td>Iz (m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>Iy (m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>Wu (m³)</td><td>288.00000</td></tr> <tr><td>Wl (m³)</td><td>-288.00000</td></tr> <tr><td>J (m⁴)</td><td>2920.32000</td></tr> <tr><td>Ao (m²/m)</td><td>48.0000</td></tr> <tr><td>Ai (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	鋼種	位置 (m)	鉄筋径 (mm)	本数 (本)	鉄筋量As (cm ²)																			
My (kN.m)	2855.000	D-1	0.2500	0.00	0.000	5434.970																			
N (kN)	35736.000	D-2	0.2500	0.00	0.000	5434.970																			
ヤング係数比	n = 15.00	鉄筋量の合計 Σ 10869.940																							
応力度 (N/mm ²)	<table border="1"> <tr><td>σ c</td><td>σ ca</td><td>7.656 < 32.000</td></tr> <tr><td>σ s</td><td>σ sa</td><td>308.457 < 346.000</td></tr> <tr><td>σ s'</td><td>σ sa'</td><td>-105.839 < 346.000</td></tr> </table>	σ c	σ ca	7.656 < 32.000	σ s	σ sa	308.457 < 346.000	σ s'	σ sa'	-105.839 < 346.000	《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	σ ca	7.656 < 32.000																							
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 ²)	14.90098																								
Iz (m ²)	617.79276																								
Izy (m ²)	0.23012																								

		<table border="1"> <tr><td>A (m²)</td><td>144.0000</td></tr> <tr><td>A' (m²)</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>yu (m)</td><td>6.0000</td></tr> <tr><td>yl (m)</td><td>-6.0000</td></tr> <tr><td>Iz (m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>Iy (m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>Wu (m³)</td><td>288.00000</td></tr> <tr><td>Wl (m³)</td><td>-288.00000</td></tr> <tr><td>J (m⁴)</td><td>2920.32000</td></tr> <tr><td>Ao (m²/m)</td><td>48.0000</td></tr> <tr><td>Ai (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)	1360336.000	鋼種	位置 (m)	鉄筋径 (mm)	本数 (本)	鉄筋量As (cm ²)																			
My (kN.m)	460697.000	D-1	0.2500	0.00	0.000	5434.970																			
N (kN)	51612.000	D-2	0.2500	0.00	0.000	5434.970																			
ヤング係数比	n = 15.00	鉄筋量の合計 Σ 10869.940																							
応力度 (N/mm ²)	<table border="1"> <tr><td>σ c</td><td>σ ca</td><td>9.773 < 32.000</td></tr> <tr><td>σ s</td><td>σ sa</td><td>297.011 < 346.000</td></tr> <tr><td>σ s'</td><td>σ sa'</td><td>-137.163 < 346.000</td></tr> </table>	σ c	σ ca	9.773 < 32.000	σ s	σ sa	297.011 < 346.000	σ s'	σ sa'	-137.163 < 346.000	《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	σ ca	9.773 < 32.000																							
σ s	σ sa	297.011 < 346.000																							
σ s'	σ sa'	-137.163 < 346.000																							
圧縮最縁距離 (m)	4.7906																								
引張最縁距離 (m)	-9.7056																								
図心~中立軸 (m)	2.6117																								
Z軸~中立軸角度 (°)	15.7359																								
Gz (m ²)	25.29848																								
Iz (m ²)	636.97133																								
Izy (m ²)	36.51939																								

※コンクリートの許容応力度32N/mm²は設計基準強度50N/mm²に対する値16N/mm²(一軸)に割増し係数2.0を考慮した値。
コンクリートの設計基準強度27N/mm²に対する値10N/mm²(一軸)に割増し係数2.0を考慮した許容応力度は20N/mm²で、いずれも許容値以下である。

※アンカーボルトの許容応力度346N/mm²はSM520B相当の鋼材に対する許容応力度210N/mm²に割増し係数1.65を考慮した値。
レベル2地震動に対するアンカーボルト部の鋼材の照査応力度355 210N/mm²と比べて保守側の値として使用している。

8. 設計方針

接合部の設計(アンカーボルトの定着長に対する検討)

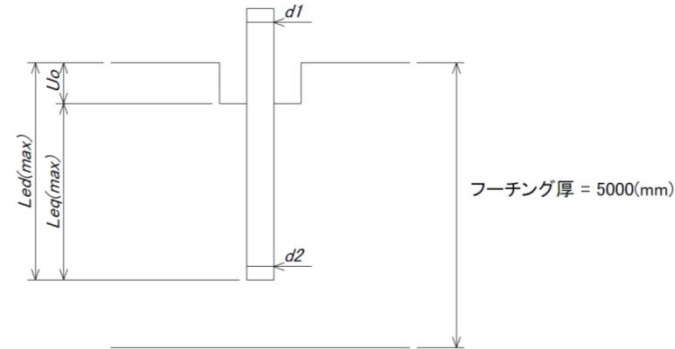
アンカーボルトの定着長に対する検討結果(弾性設計, コンクリート強度27N/mm²)

重畳時
余震(堤軸直交方向)+T.P.+24m津波

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/mm²)



設計定着長及び埋込長は、以下の式により算出する。

$$\begin{aligned} \text{Leq} &= (\sigma_{sa} \cdot A_s) / (\pi \cdot d_2 \cdot \tau_a) \\ &= (355 \times 22645.698) / (\pi \times 180.0 \times 6) \\ &= 2369.4 \\ \therefore \text{Leq} &= 236.9 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Led} &= \text{Leq} + U_o \\ &= 272.9 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

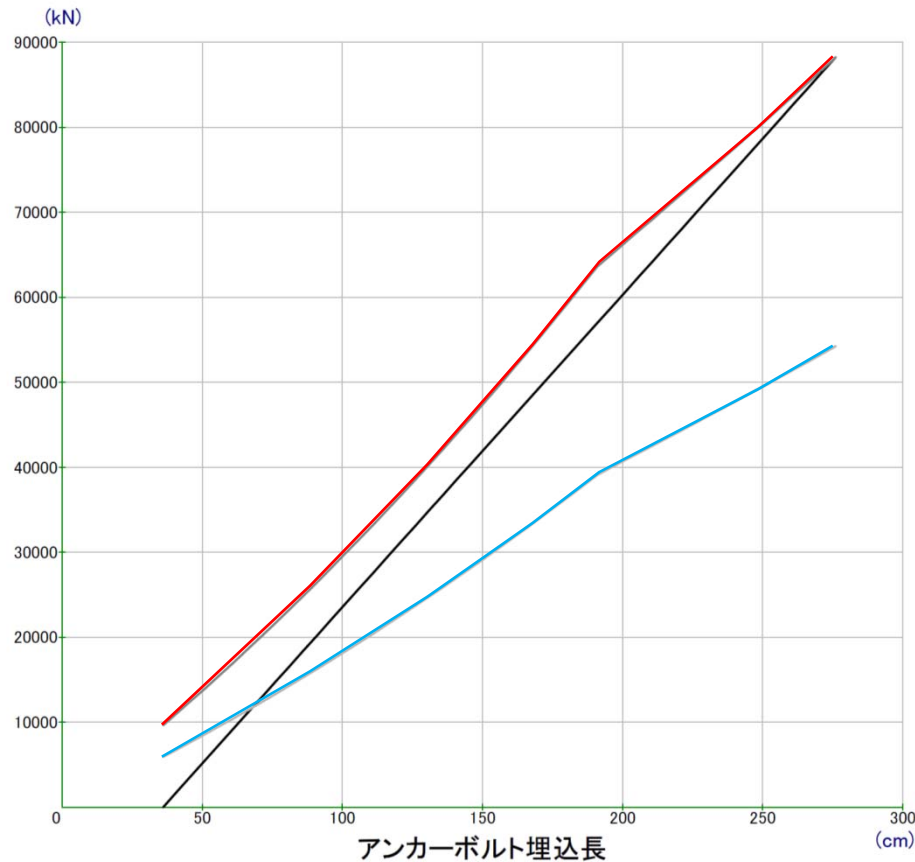
$$\begin{aligned} U_o &= 2 \times d_2 \\ &= 36.0 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

8. 設計方針

接合部の設計(アンカーボルトのコーン破壊に対する検討)

アンカーボルトのコーン破壊に対する検討結果(弾性設計, コンクリート強度27N/mm²)

重畳時
余震(堤軸直交方向)+T.P.+24m津波



— アンカーボルトに発生する付着力
— コーン破壊部分の強度(補強鉄筋なし)
— コーン破壊部分の強度(補強鉄筋あり)

補強鉄筋の計算

◆強度の不足分(面外)

$$\begin{aligned} \sigma_{ck} &= 27 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{sy} &= 345 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ [SD345]} \\ \sigma_{coa} &= 1.342 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{coa1} &= 0.825 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ A_c(X_c) &= 65749379 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= \sigma_{coa} - 1/2 \times \sigma_{coa1} \\ &= 0.929 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

◆必要鉄筋量

$$\begin{aligned} A_s &= 1.15 \times \Delta\sigma \times A_c / \sigma_{sy} \\ &= 203679.5 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s, req} &= A_s / A_c(X_c) \\ &= 3097.8 \text{ (mm}^2\text{/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

8. 設計方針

接合部の設計(アンカーボルトの定着長に対する検討)

アンカーボルトの定着長に対する検討結果(弾性設計, コンクリート強度27N/mm²)

重畳時
余震(堤軸方向)+T.P.+24m津波

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/mm²)

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。

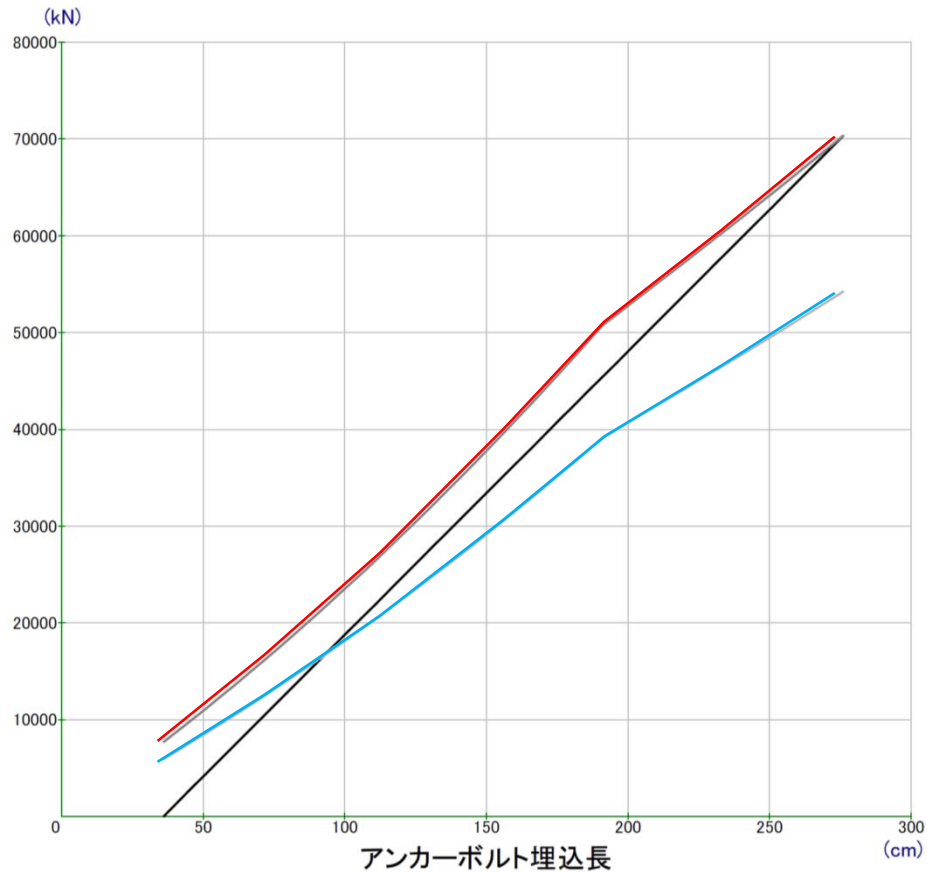
$$\begin{aligned} Leq &= (\sigma_{sa} \cdot A_s) / (\pi \cdot d2 \cdot \tau_a) \\ &= (355 \times 22645.698) / (\pi \times 180.0 \times 6) \\ &= 2369.4 \\ \therefore Leq &= 236.9 \text{ (cm)} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} Led &= Leq + Uo \\ &= 272.9 \text{ (cm)} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} Uo &= 2 \times d2 \\ &= 36.0 \text{ (cm)} \end{aligned}$$

8. 設計方針

接合部の設計(アンカーボルトのコーン破壊に対する検討)

アンカーボルトのコーン破壊に対する検討結果(弾性設計, コンクリート強度27N/mm²)

重畳時
余震(堤軸方向)+T.P.+24m津波



— アンカーボルトに発生する付着力
— コーン破壊部分の強度(補強鉄筋なし)
— コーン破壊部分の強度(補強鉄筋あり)

補強鉄筋の計算

◆強度の不足分(面外)

$$\begin{aligned} \sigma_{ck} &= 27 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{sy} &= 345 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ [SD345]} \\ \sigma_{coa} &= 1.070 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{coa1} &= 0.825 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ A_c(X_c) &= 65749379 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= \sigma_{coa} - 1/2 \times \sigma_{coa1} \\ &= 0.657 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

◆必要鉄筋量

$$\begin{aligned} A_s &= 1.15 \times \Delta\sigma \times A_c / \sigma_{sy} \\ &= 144013.6 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s, req} &= A_s / A_c(X_c) \\ &= 2190.3 \text{ (mm}^2\text{/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

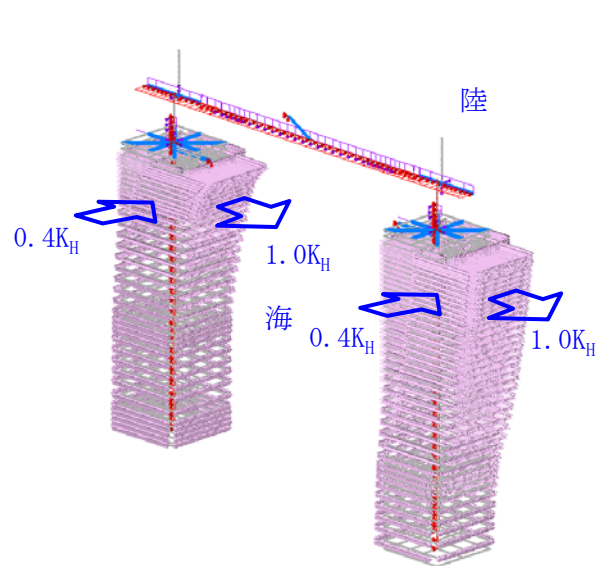
8. 設計方針

接合部の設計(基礎の構造成立性確認)

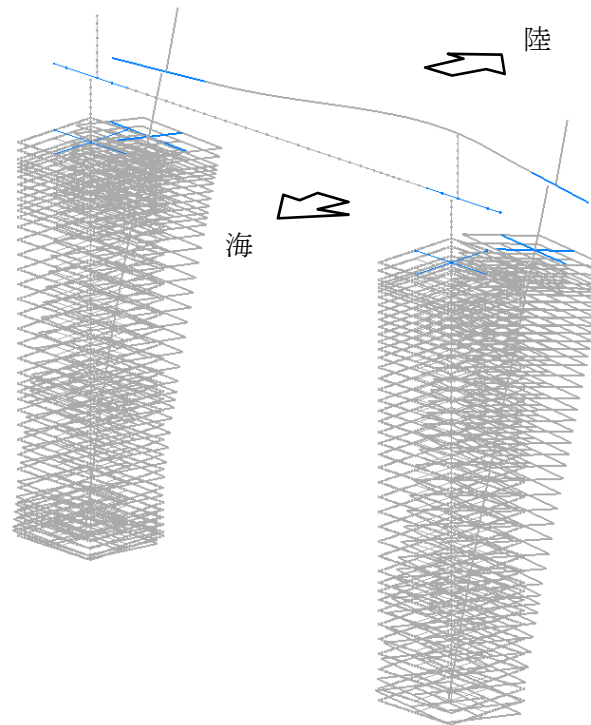
基礎の概略照査結果(弾性設計, 地中連続壁基礎・中実コンクリート強度 $40\text{N}/\text{mm}^2$ / 頂版コンクリート強度 $50\text{N}/\text{mm}^2$)

重畳時
余震+T.P.+24m津波

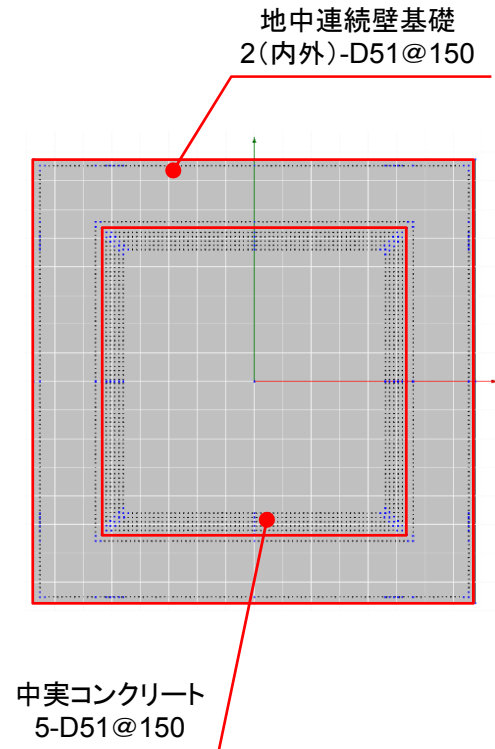
照査値(鉄筋) 南基礎:0.96、北基礎:0.82
・中実コン鉄筋5-D51@150
・地中連続壁基礎2-D51@150
(水平2方向地震力の影響を荷重で考慮)



荷重図



変形図



配筋情報

8. 設計方針

基礎の構造成立性確認

基礎の概略照査結果(弾性設計, 地中連続壁基礎・中実コンクリート強度 40N/mm^2 / 頂版コンクリート強度 50N/mm^2)

北基礎 照査値(鉄筋) = 0.82 ... OK

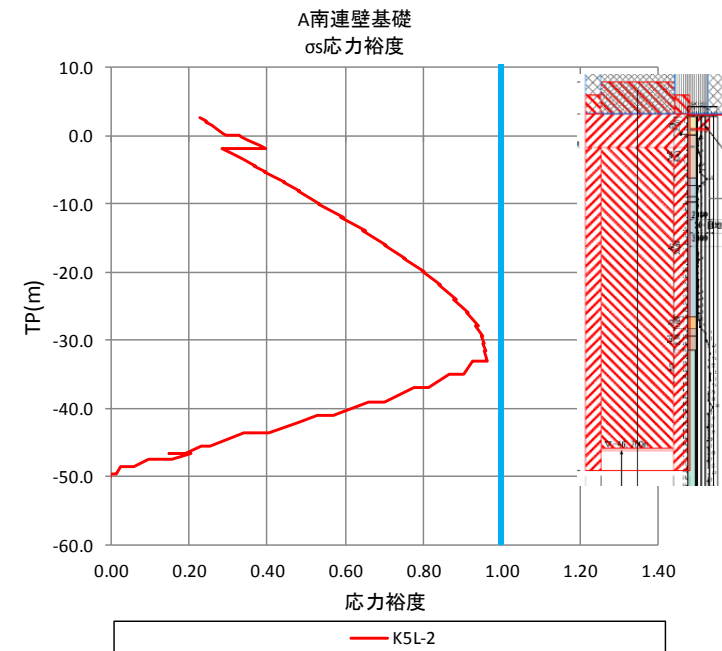
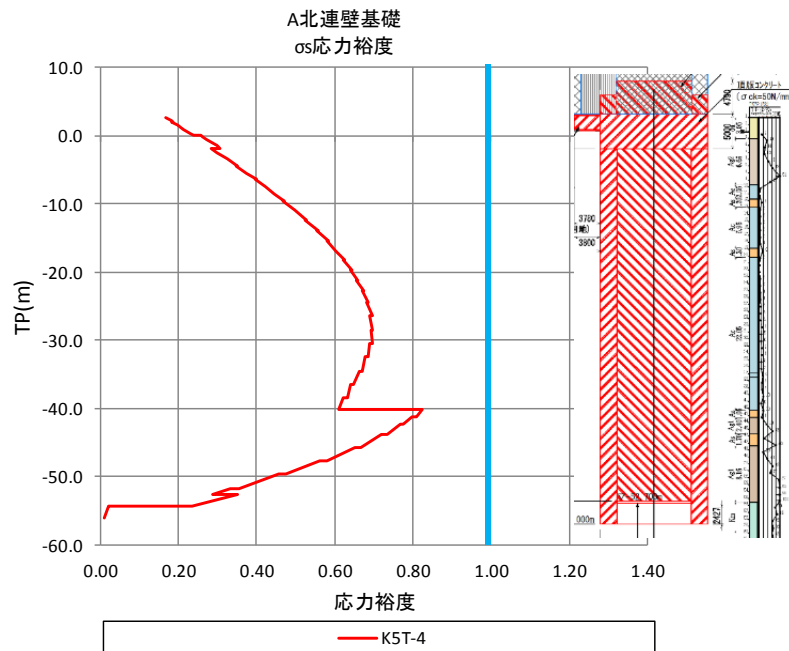
重畳時
余震(堤軸直交方向) + T.P.+24m津波

- ・中実コン鉄筋5-D51@150
- ・地中連続壁基礎2-D51@150

南基礎 照査値(鉄筋) = 0.96 ... OK

重畳時
余震(堤軸直交方向) + T.P.+24m津波

- ・中実コン鉄筋5-D51@150
- ・地中連続壁基礎2-D51@150



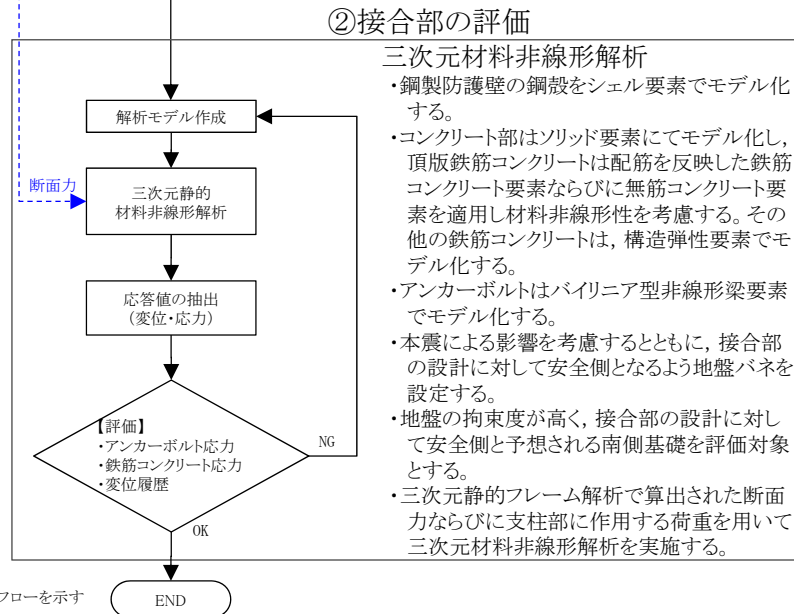
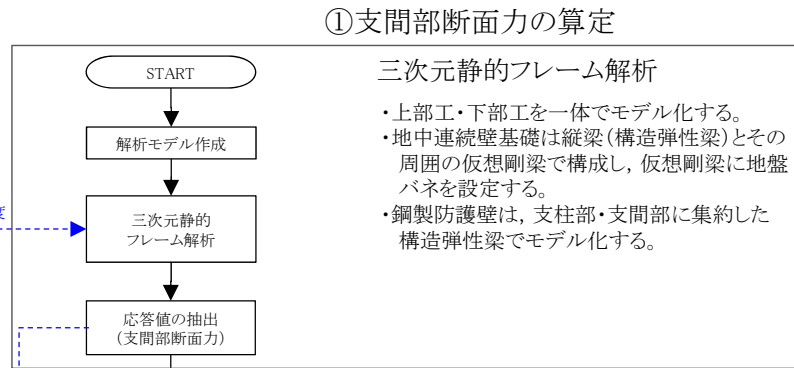
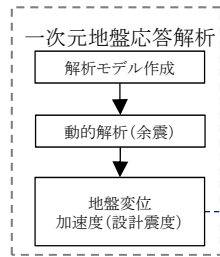
8. 設計方針

三次元材料非線形解析による三次元的挙動の確認

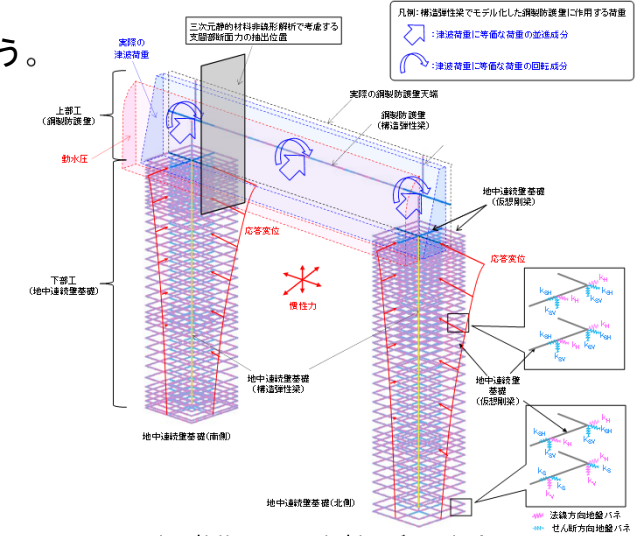
検討目的

- 直接定着式アンカーボルトの適用性ならびに接合部設計の妥当性を確認する。
- 余震+T.P.+24m津波時に対して、直接定着式アンカーボルト及びその定着部、中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリートの挙動がおおむね弾性範囲内に留まることを確認する。
- 接合部に対して最も厳しい荷重条件（余震+T.P.+24m津波時）について検討を行う。

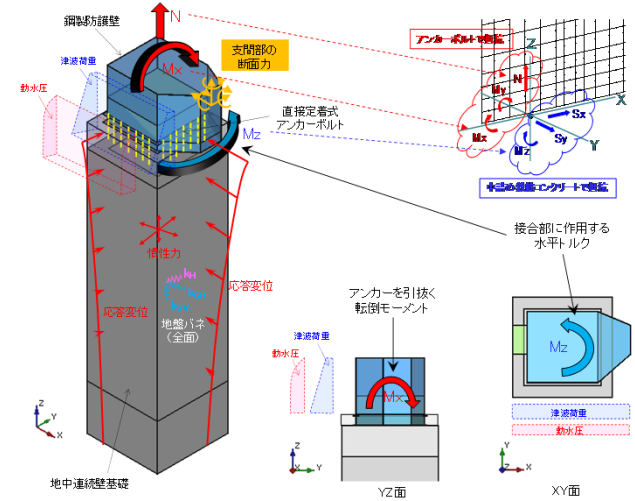
<余震+T.P.+24m津波時>



--- : 解析データの受渡しフローを示す



三次元静的フレーム解析モデルの概念図



三次元材料非線形解析モデルの概念図

8. 設計方針

三次元材料非線形解析による三次元的挙動の確認

解析の目的

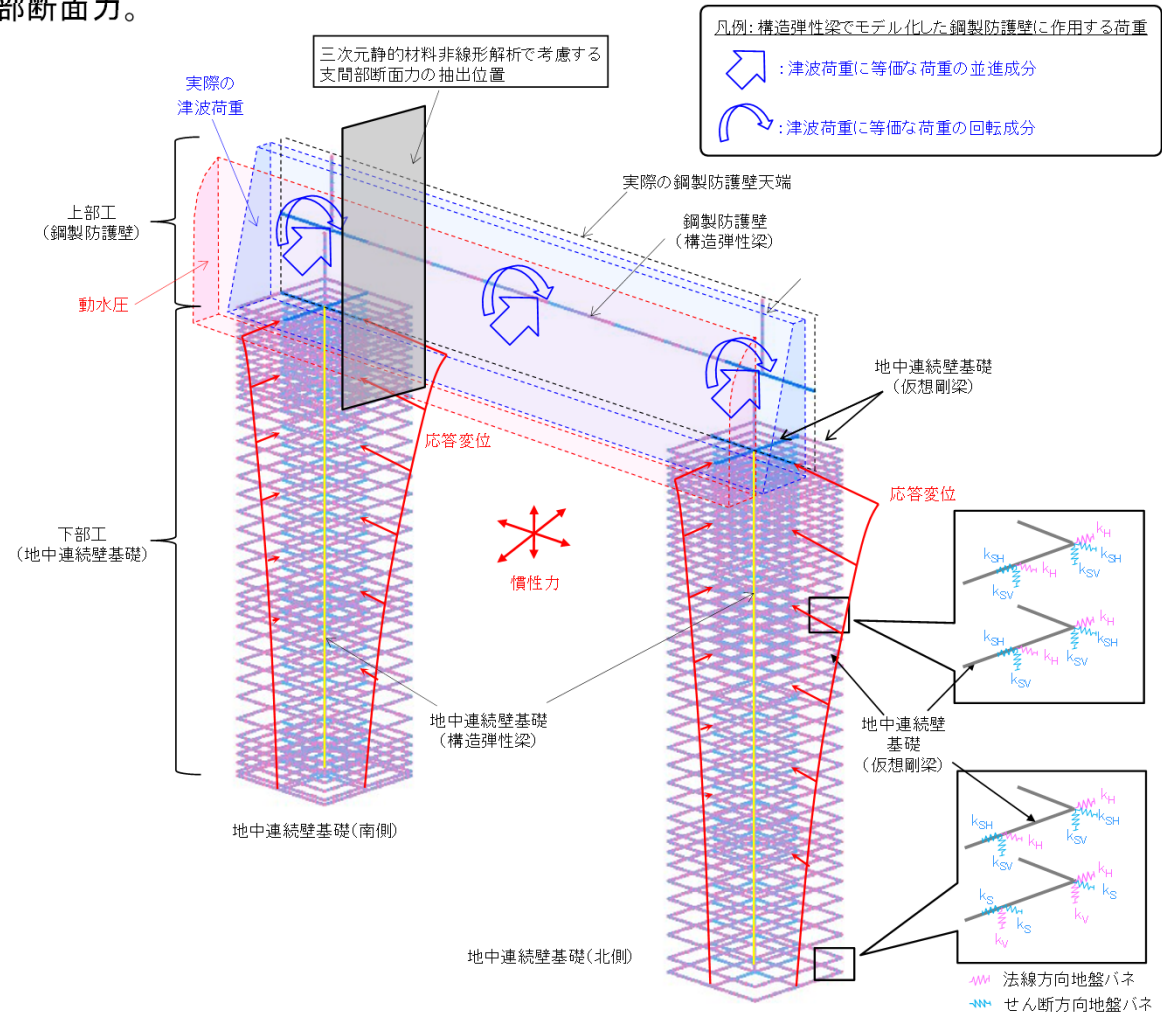
- ・津波荷重による水平トルクならびに3方向の余震影響を含む鋼製防護壁支間部の断面力を算定する。

結果の利用

- ・三次元材料非線形解析モデルに入力する支間部断面力。

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安全側となるよう地盤バネを設定する。



三次元静的フレーム解析モデルの概念図

8. 設計方針

三次元材料非線形解析による三次元的挙動の確認

解析の目的

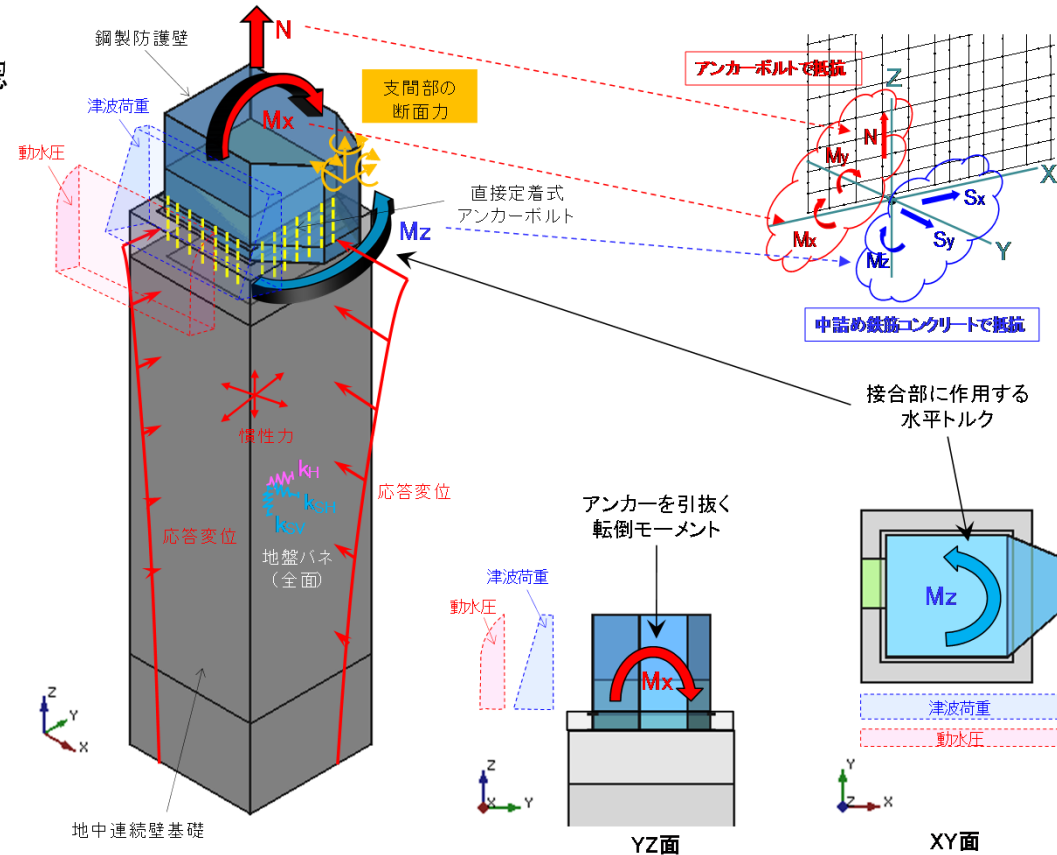
- ・津波荷重による水平トルクならびに3方向の余震影響を受ける鋼製防護壁接合部の三次元的な挙動を評価し、設計の妥当性ならびに直接定着式アンカーボルトの適用性を確認する。

結果の利用

- ・直接定着式アンカーボルトの応力評価
- ・頂版鉄筋コンクリートの応力・歪み及び剥離状態の確認
- ・鋼製防護壁支柱部の変形状態の確認

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なら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安全側となるよう地盤バネを設定する。
- ・地盤の拘束度が高く、接合部の設計に対して安全側と予想さ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材料非線形解析を実施する。



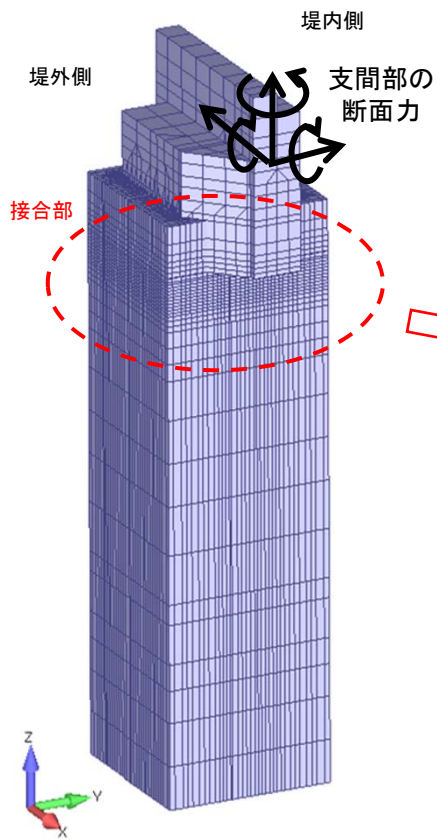
三次元材料非線形解析モデルの概念図

8. 設計方針

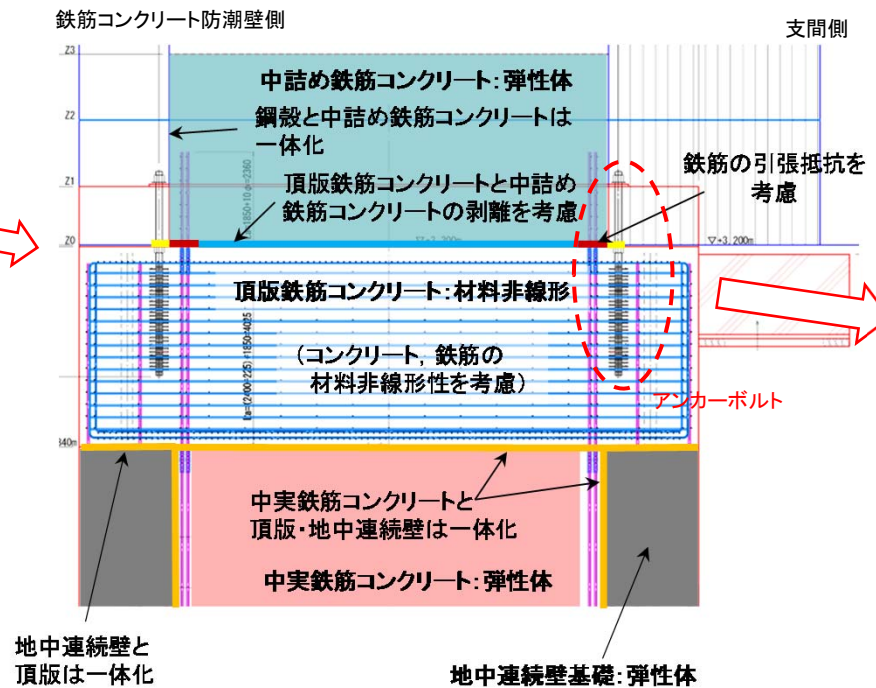
三次元材料非線形解析による三次元的挙動の確認

■接合部のモデル化方針

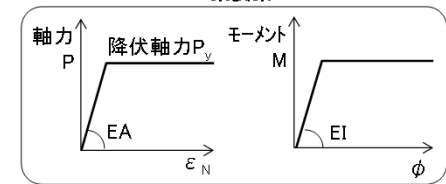
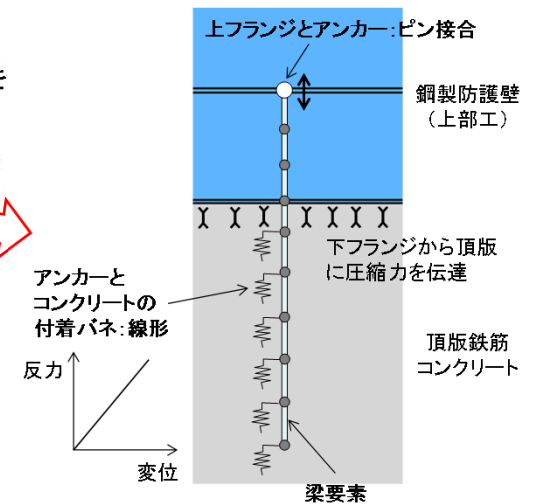
解析手法	三次元材料非線形解析
プログラム	COM3
対象荷重	余震+T.P.+24m津波時
目的	<ul style="list-style-type: none"> ・接合部の設計の妥当性確認 ・鉄筋コンクリートの材料特性を反映した三次元挙動評価
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> ・直接定着式アンカーボルト及び頂版鉄筋コンクリート(接合部)の評価



全体モデル
(イメージ)



接合部のモデル化



アンカーボルトのモデル化

三次元材料非線形解析による三次元的挙動の確認

■ 計算機プログラム(解析コード)COM3の検証と妥当性の確認

【検証(Verification)】

- ・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、引抜き時の付着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)】

- ・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, 後藤芳顯, 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

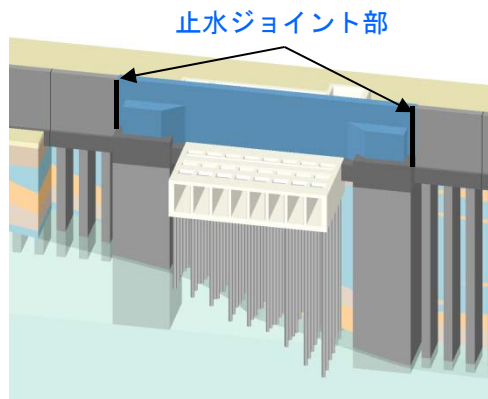
8. 設計方針

止水ジョイント部

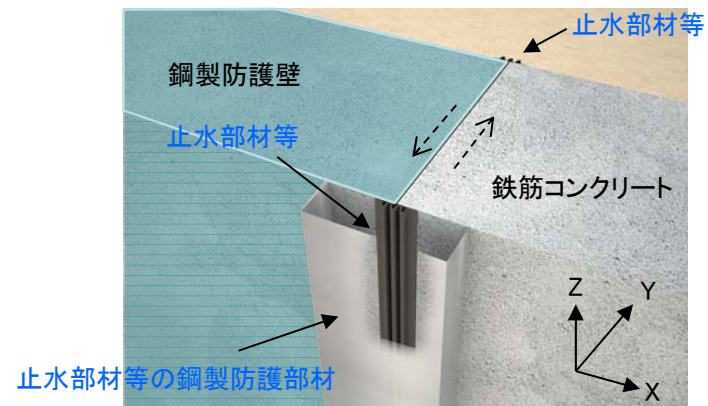
止水ジョイント部の目的

地震時や津波時の変形量に追随し、鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮壁(異種構造物)間の浸水を防止する。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
止水ジョイント部材	ゴム等止水材の引張, 変形量	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から設定した許容変形量, 許容引張強度	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
鋼製アンカー	曲げ, せん断, 引張り	短期許容応力度以下	各種合成構設計指針・同解説
止水ジョイント部材の鋼製防護部材	漂流物が衝突した際の鋼材の圧縮, 引張り及びせん断	許容圧縮応力度, 許容引張応力度及び許容せん断応力度	鋼構造設計基準



止水ジョイント部

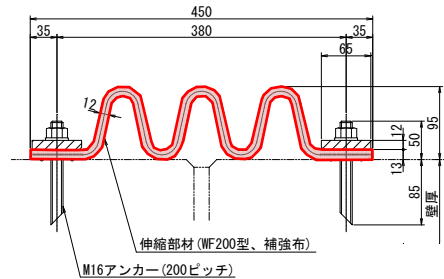


異種構造物間構造図(イメージ図)

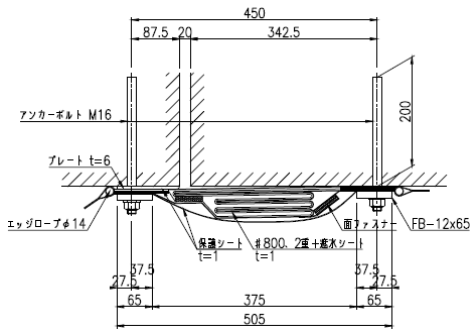
8. 設計方針

止水ジョイントの変形量評価方針

- 鋼製防護壁と鉄筋コンクリート、異種構造物間の境界にも止水ジョイント部を設置する。
- 止水構造は、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と基本的には同様の設計で、止水ジョイント部材で止水する。
- 漂流物荷重に抵抗するための鋼製防護部材を設置する。



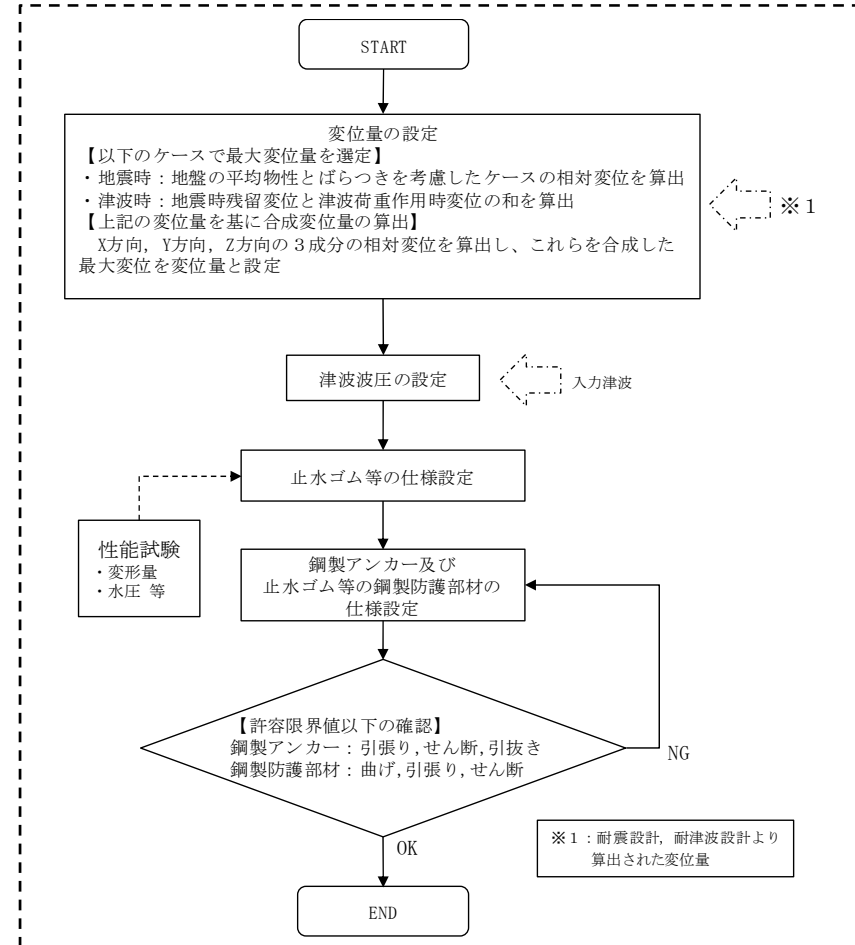
(ゴムジョイント)



(シートジョイント)

止水ジョイント部の構造図(例)

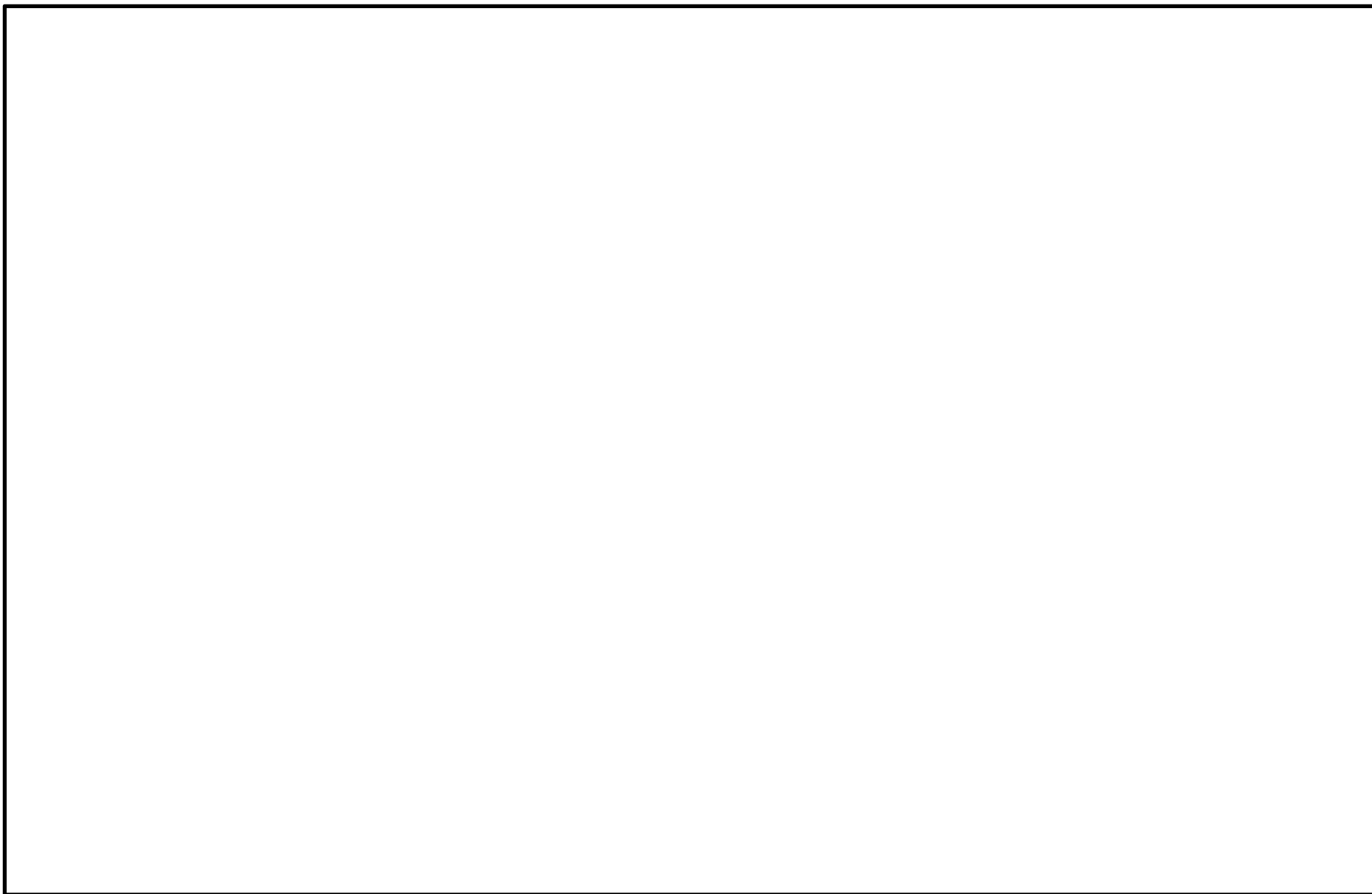
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と同様な設計



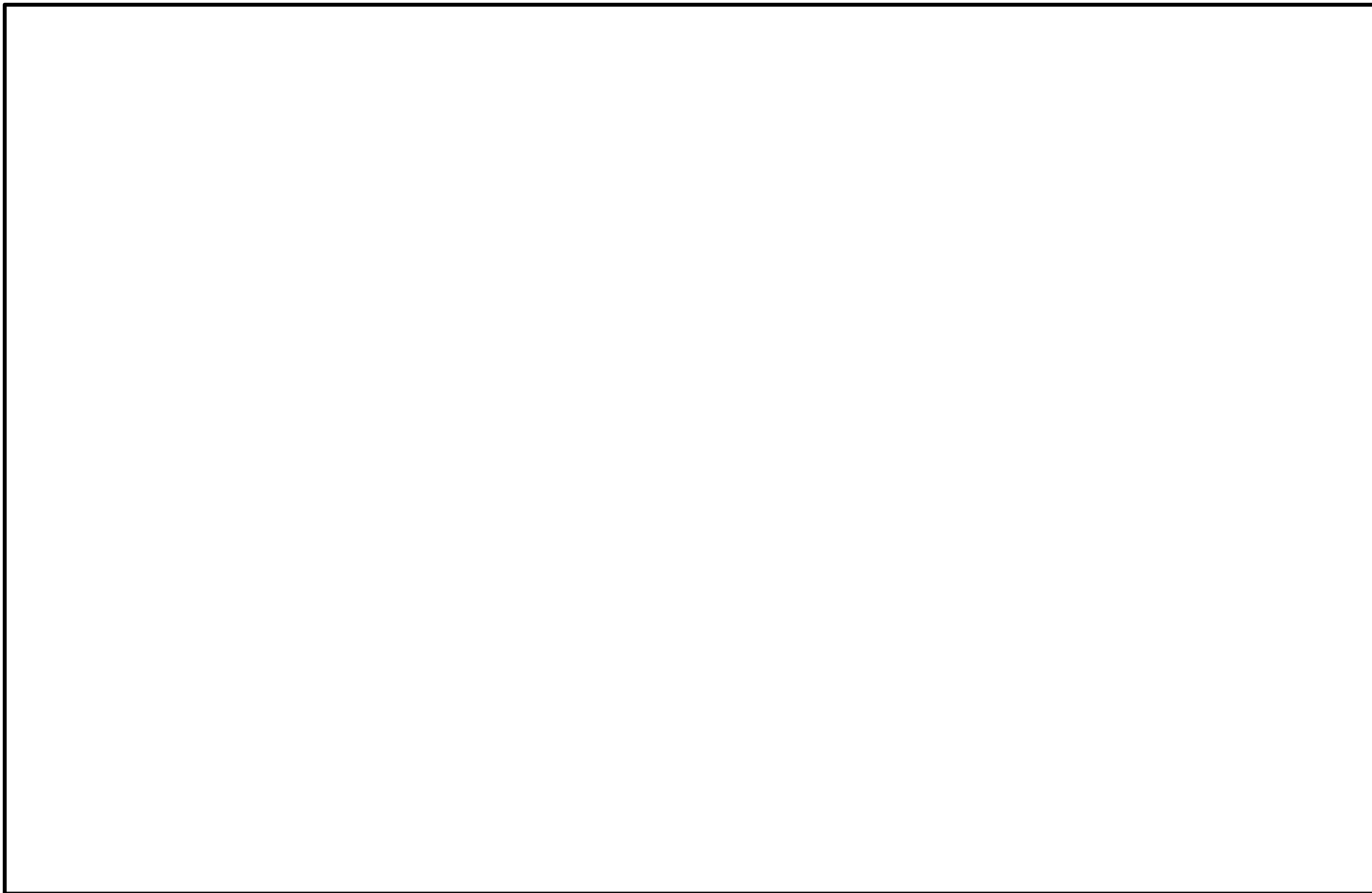
止水ジョイント部の検討フロー

※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

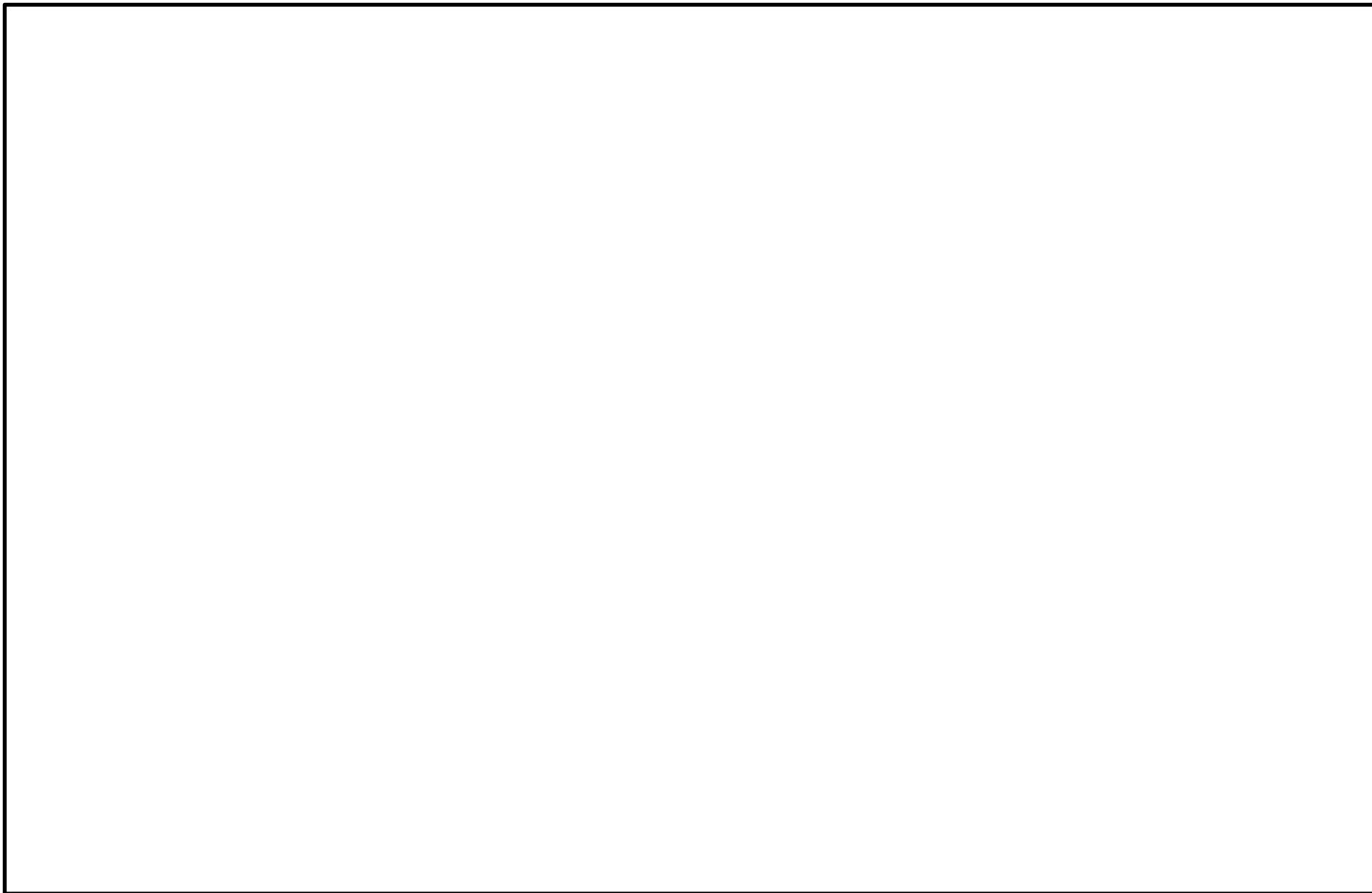
9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)



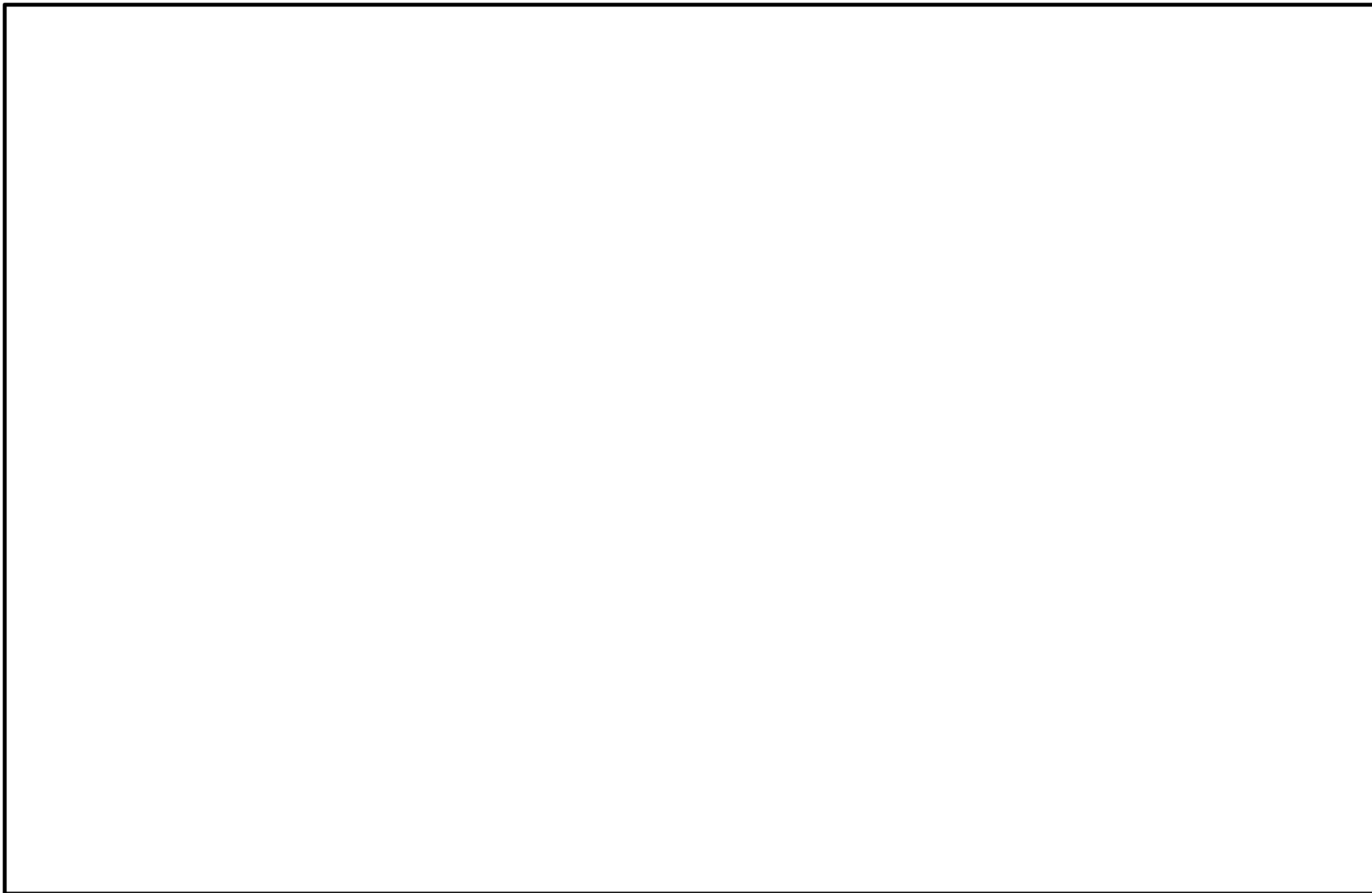
9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)



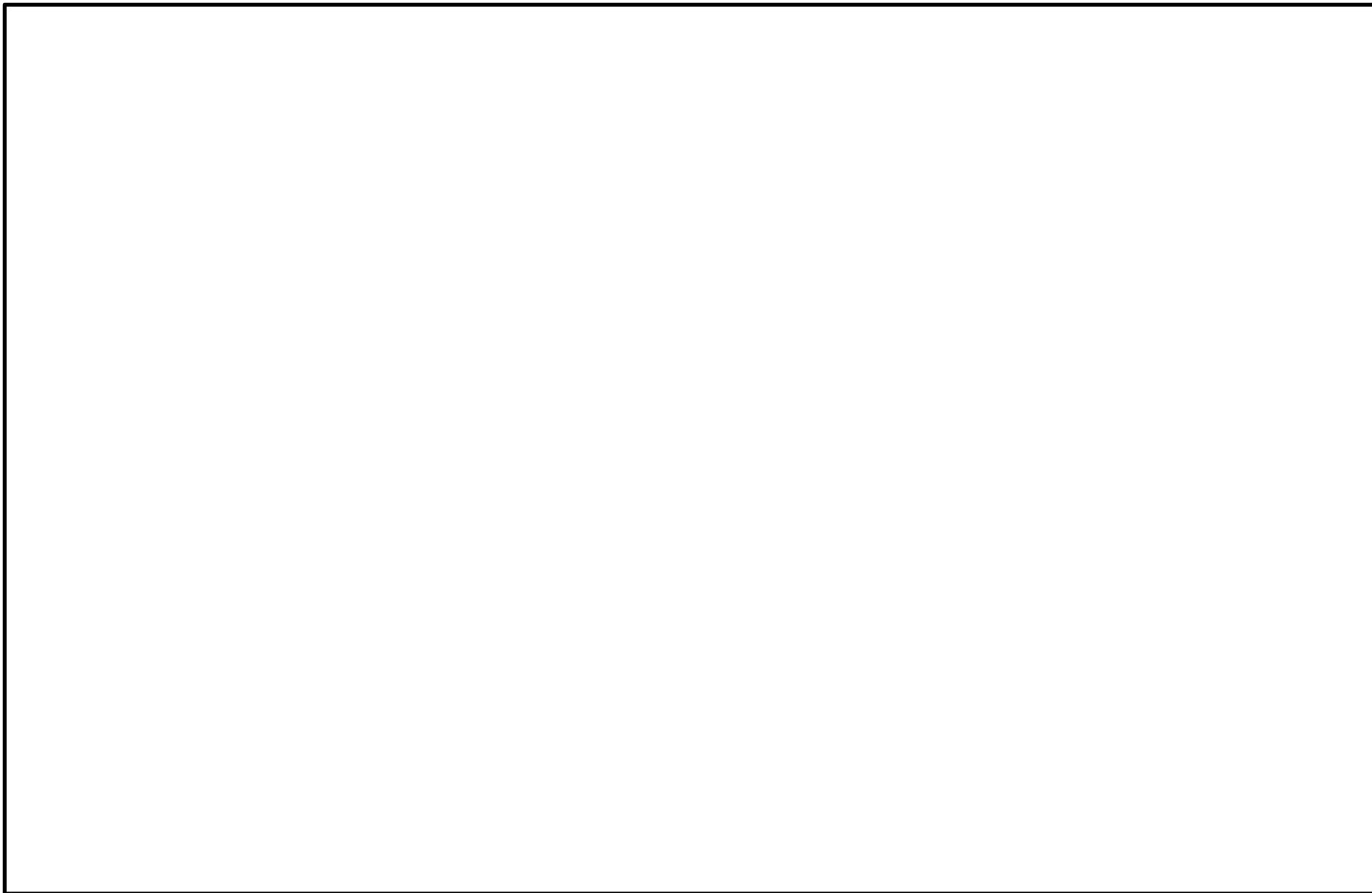
9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)



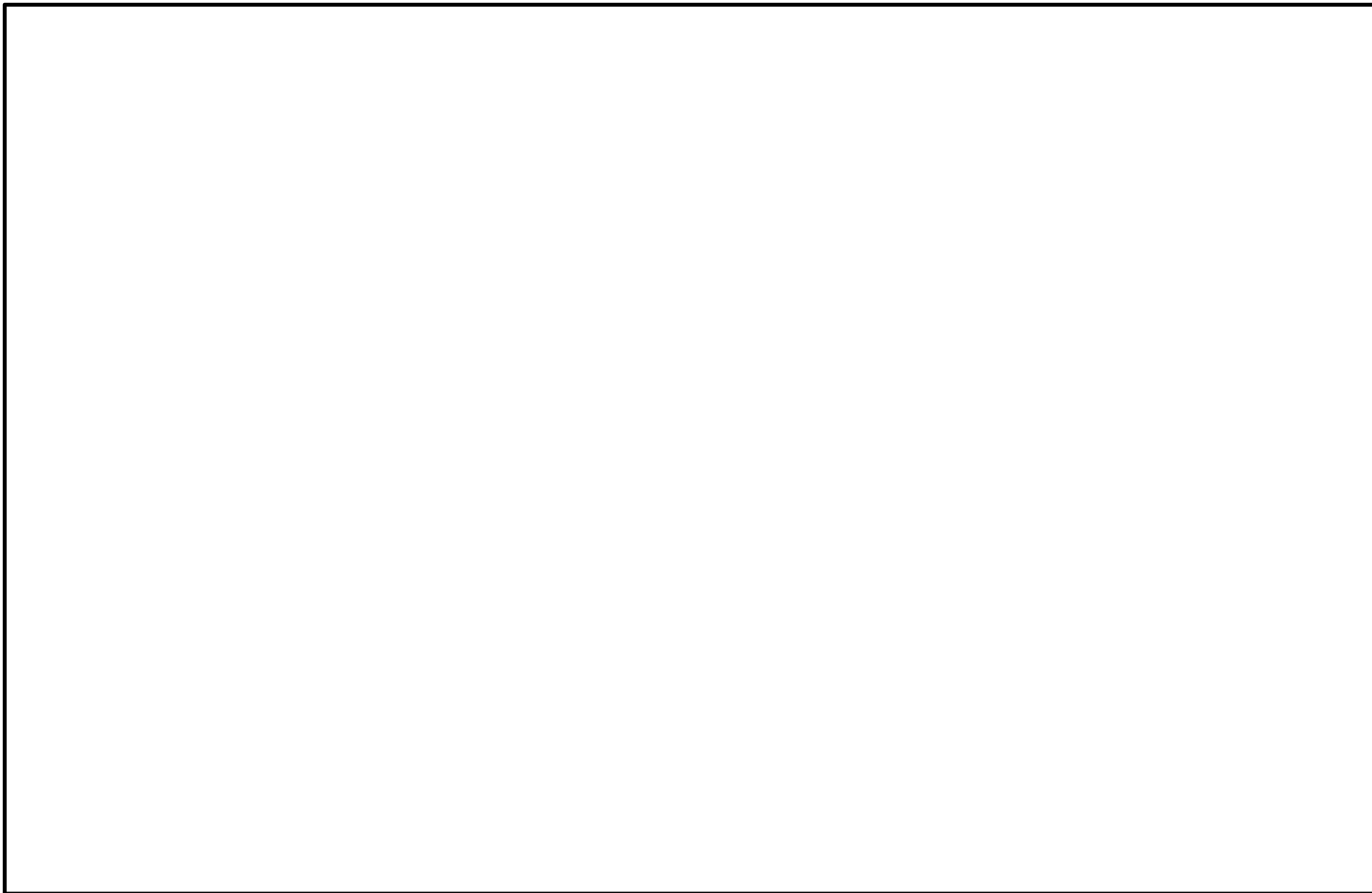
9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)



9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)



9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)



10. 直接定着式アンカーボルトの適用性について

■ 直接定着式アンカーボルトの設計基準

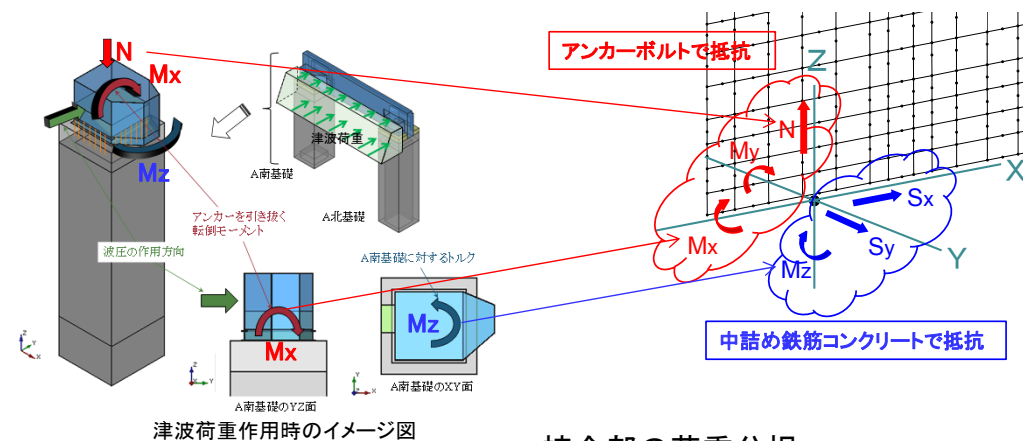
- ・直接定着式アンカーボルトの設計基準は、各種試験結果に基づいて名古屋高速道路公社にて策定。
- ・国交省、公団公社、自治体、各高速道路会社においても採用している。

■ 直接定着式アンカーボルトの妥当性について

- ・直接定着式アンカーボルトは、名古屋工業大学、名古屋高速道路公社、住友金属工業株式会社(現:新日鐵住金 株式会社)の産学官3者による共同開発製品である。
- ・橋梁の橋脚と基礎とを結合する目的で開発された製品であるが、上部からの軸力ならびに水平軸周りの回転モーメントを基礎に伝達するという機能は鋼製防護壁でも同じである。
- ・設計手法の妥当性、付着特性の設定及び震度法レベル、地震時保有水平耐力法レベルの設計荷重に対して十分な定着耐力を有することが、以下の各種試験で確認・報告されている。
- ・弾性範囲内での設計とすることで、再使用性に対しても担保する。

■ 直接定着式アンカーボルトの適用範囲

- ・直接定着式アンカーボルトの各種試験で確認されているアンカー径の適用範囲はφ80～180である。
- ・軸力ならびに水平軸周りの回転モーメント押込み・引抜き力
 - ⇒ 直接定着式アンカーボルトで負担
- ・せん断力ならびに回転モーメント(水平トルク)
 - ⇒ 頂版鉄筋コンクリートと結合する中詰め鉄筋コンクリートにて負担



接合部の荷重分担

10. 直接定着式アンカーボルトの適用性について

直接定着式アンカーボルトの適用性に関する発表論文と試験内容

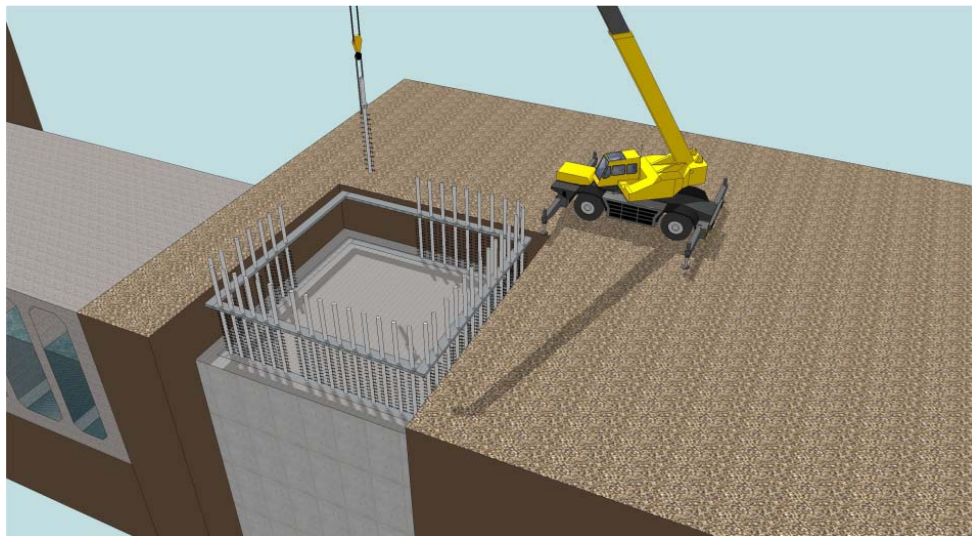
発表論文	試験内容
前野裕文(名古屋高速道路公社), 後藤芳顕, 小畑誠, 松浦聖(以上名古屋工業大学 社会開発工学科), 小林洋一(住友金属株) 「鋼製橋脚の新しい定着方法について」 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1989.9	異形棒鋼ならびにスタッドを用いたアンカーボルトの付着強度に関する試験
前野裕文(名古屋高速道路公社), 後藤芳顕, 小畑誠, 松浦聖(以上, 名古屋工業大学 社会開発工学科) 「スタッドを取り付けた太径異形棒鋼の付着特性」, 土木学会論文集, 1992.1	
小畑誠, 後藤芳顕, 松浦聖(以上, 名古屋工業大学 社会開発工学科), 前野裕文(名古屋高速道路公社) 「太径異形棒鋼による実大付着型アンカーボルトの力学性状と現場付着試験」, 鋼構造年次論文報告集, 1993.7	実構造における力学特性試験
前野裕文, 森成顕, 川津禎男(以上, 名古屋高速道路公社), 永岡弘(松尾橋梁株), 小林洋一(住友金属工業株), 「付着型アンカーボルトを用いた鋼製橋脚定着部の設計および現場試験」, 橋梁と基礎, 1994.5	太径化による付着強度低下に関する試験
山本卓也, 前野裕文, 鈴木信勝, 深田清明(以上, 名古屋高速道路公社) 「鋼製橋脚定着部に用いる付着型アンカーボルトの室内付着試験および現場引抜き試験」, 橋梁と基礎, 1998.5	実構造における付着強度試験
前野裕文(名古屋高速道路公社), 後藤芳顕(名古屋工業大学 社会開発工学科), 上條崇, 小林洋一(以上, 住友金属工業株) 「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	製造限界とされる太径アンカーボルトによる付着性能, 定着耐力に関する試験

※所属は論文投稿時

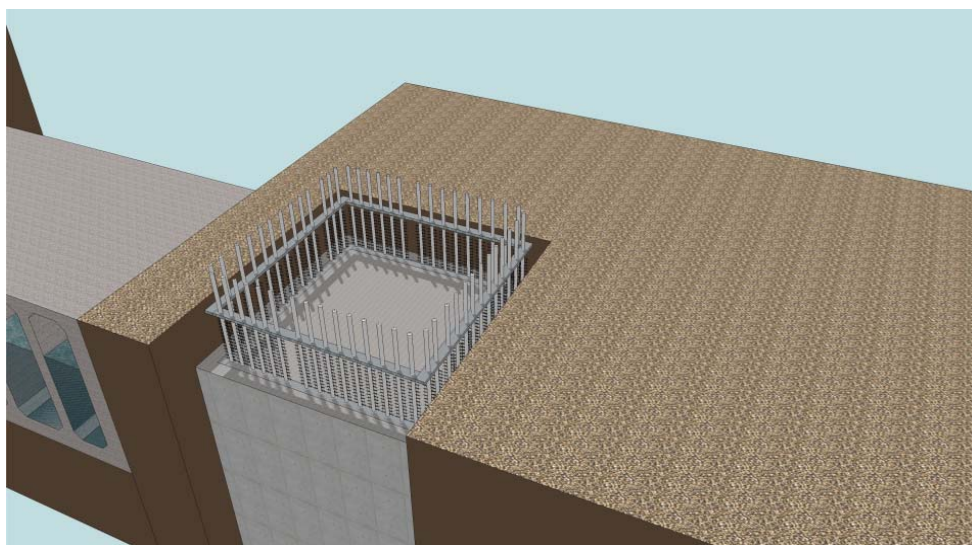
【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

■ステップ1

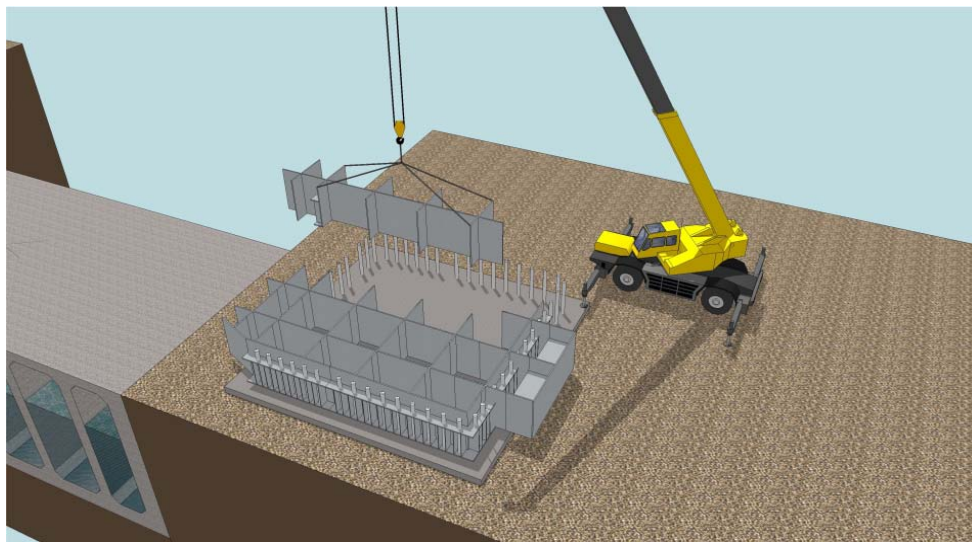


- ・ 地中壁連続壁基礎上部に直接定着式アンカーボルトを設置する。
- ・ 所定位置に設置する必要があるため、基礎上部にはフレーム架台を設置し、据付精度を確保する。

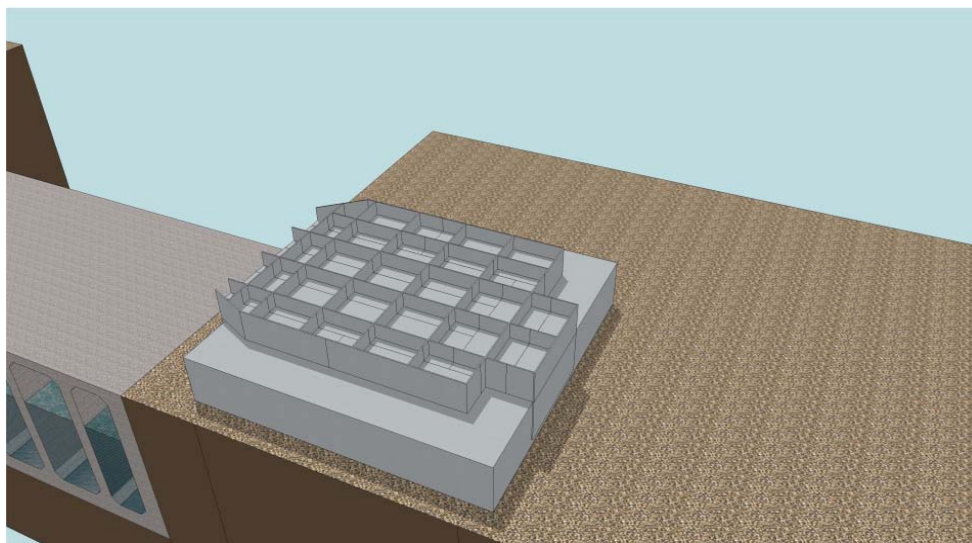


【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

■ステップ2 支柱部ブロック設置・中詰め鉄筋コンクリート工



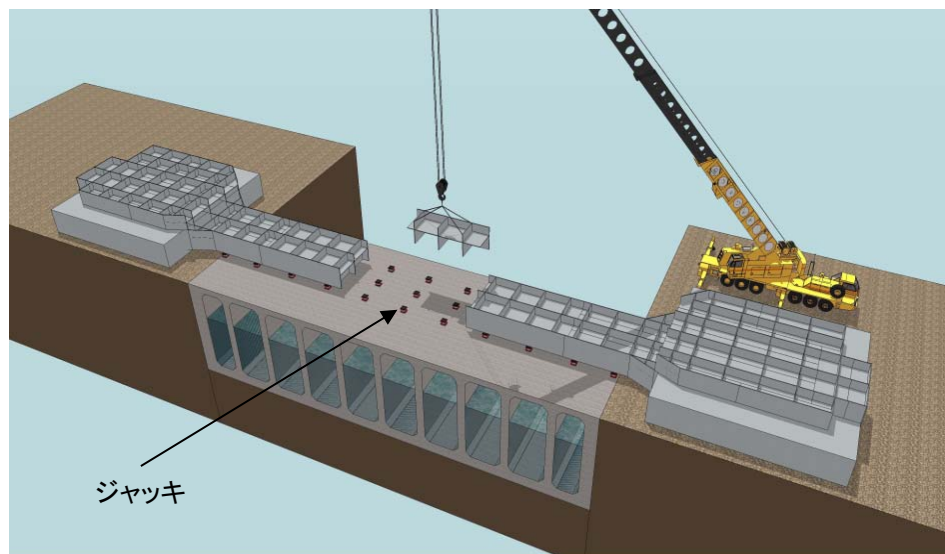
- ・ 頂版部配筋及びコンクリート施工後に、1段目及び2段目の支柱部ブロックを架設する。



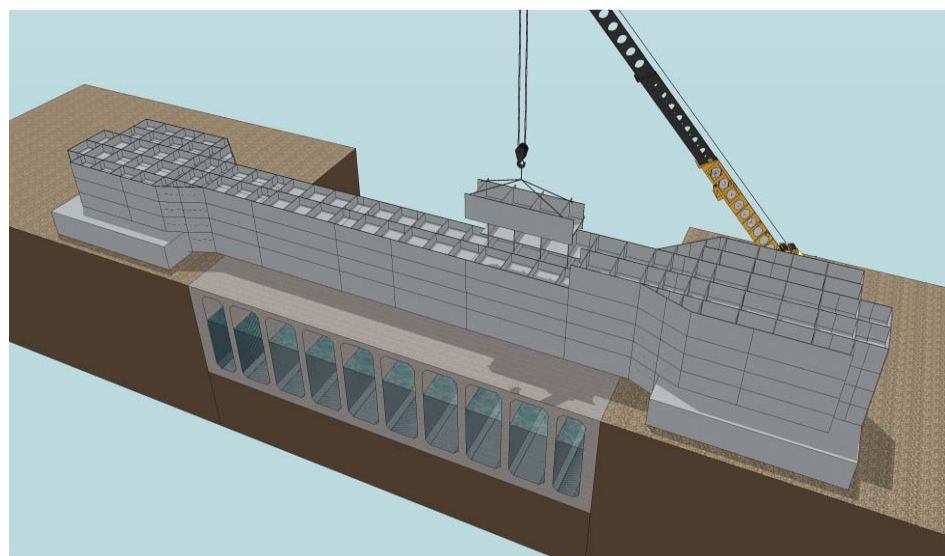
- ・ 支柱部中詰め鉄筋コンクリートを施工する。

【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

■ステップ3 ブロック架設工



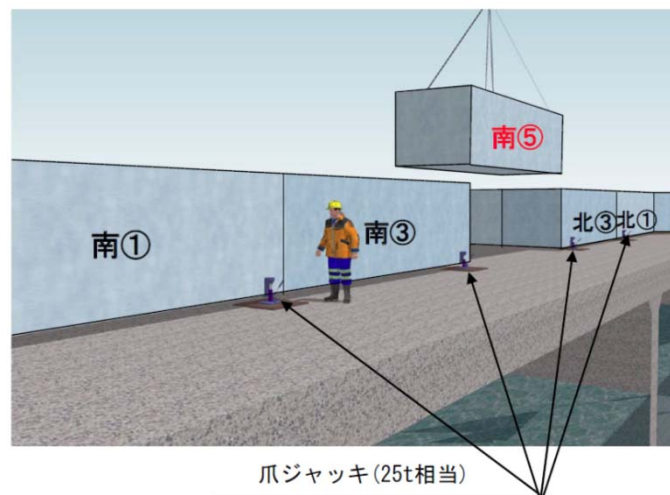
- ・ 取水口隔壁上など上載荷重による影響を最小限にできる箇所にジャッキを配置し1段目の支間部ブロックを架設する。
- ・ 架設時には、1段目死荷重によるたわみ量及び2段目以降の構造系の変化を考慮した逐次剛性と死荷重によるたわみ量をあらかじめ上げ越す。
- ・ 各段の架設完了後に全体の出来形・反りが所定の寸法内に収まるよう、事前に綿密な架設計画を立案しておく。



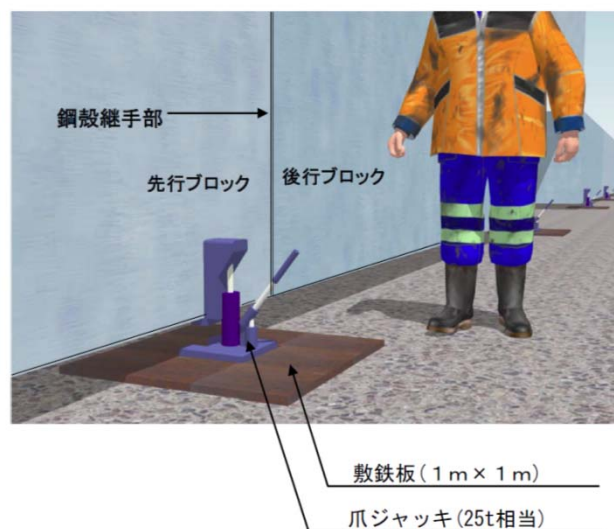
- ・ 各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- ・ 管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。

【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

■ ジャッキによる仮受け状況(イメージ)



※ 取水口頂版スラブの耐荷重は、別途、鋼製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】

DAIKI 株式会社 **ダイキ**



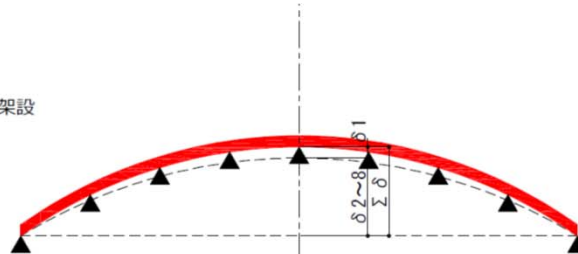
DH-25S-150 25 ton
運搬キャリア付

【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

■ 上げ越し管理 (イメージ)

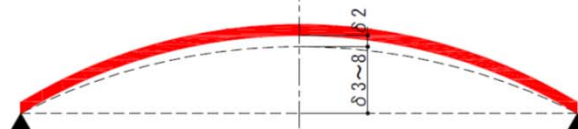
STEP1

Block1を多点支持(無応力状態/ジャッキによる支持)で架設



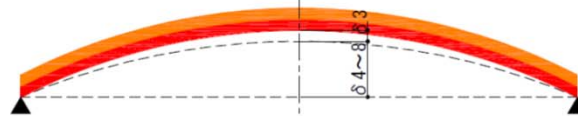
STEP2

ジャッキを取りはずしBlock1を両端支持状態とする。
Block1の自重によるたわみ(δ1)分、桁が変形する。



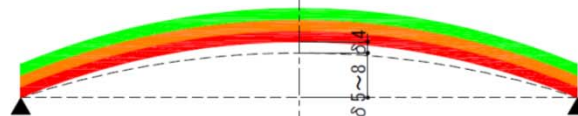
STEP3

Block2を架設する。
Block2の自重によるたわみ(δ2)分、桁が変形する。



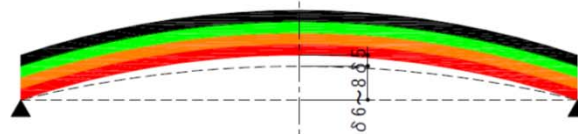
STEP4

Block3を架設する。
Block3の自重によるたわみ(δ3)分、桁が変形する。



STEP5

Block4を架設する。
Block4の自重によるたわみ(δ4)分、桁が変形する。



自重による変形時の断面剛性
(ブロックが積み重なるにつれて剛性が高くなっていく/変形しにくくなっていく)

最下段のみ

最下段のみ

最下段のみ

最下段+2段目

最下段+2段目+3段目

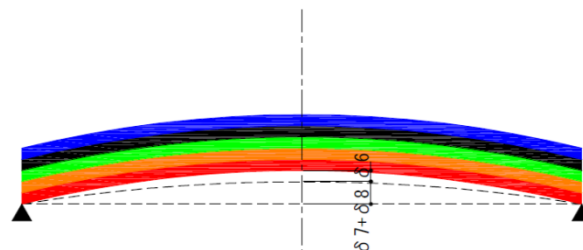
- 各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- 管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。

【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

■ 上げ越し管理 (イメージ)

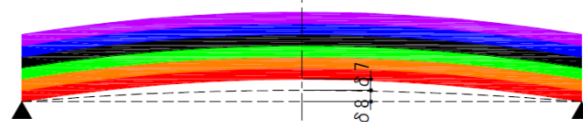
STEP6

Block5を架設する。
Block5の自重によるたわみ(δ5)分、桁が変形する。



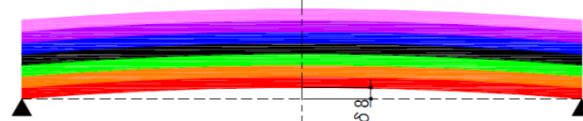
STEP7

Block6を架設する。
Block6の自重によるたわみ(δ6)分、桁が変形する。



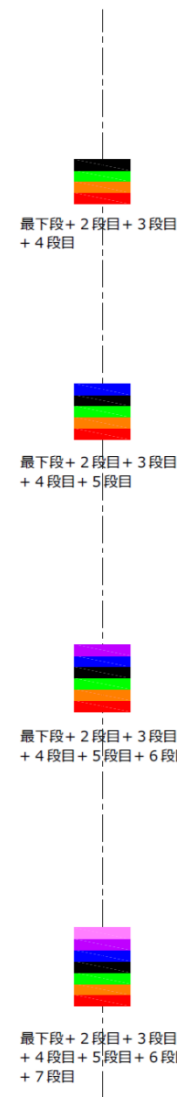
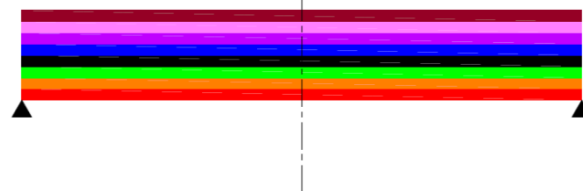
STEP8

Block7を架設する。
Block7の自重によるたわみ(δ7)分、桁が変形する。



STEP9

Block8を架設する。
Block8の自重によるたわみ(δ8)分、桁が変形し、完成形状となる。



- 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。

【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

■ステップ4 完成

