

東海第二発電所

鋼製防護壁の設計方針について

平成30年3月26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)

【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津波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し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。

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。

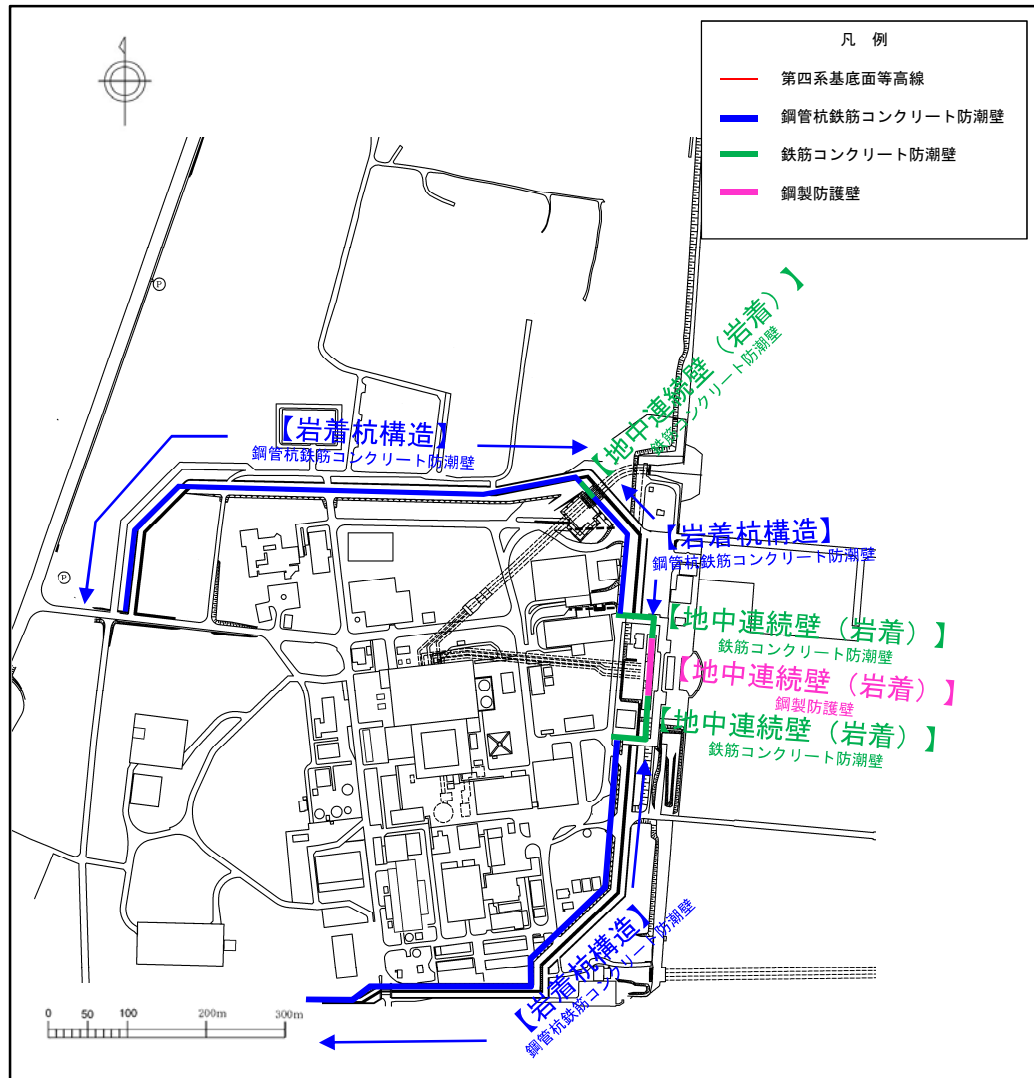
5.4.2 漂流物による波及的影響の検討事項

【規制基準における要求事項等】

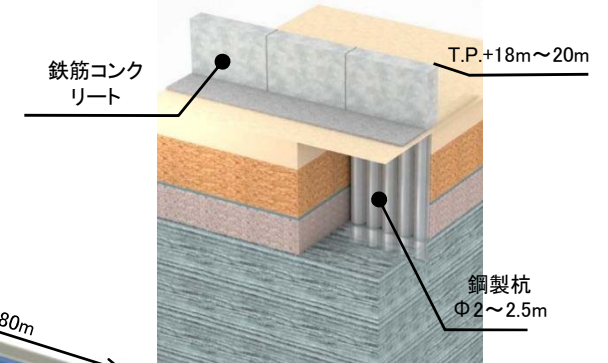
津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物、設置物等が破損、倒壊、漂流する可能性について検討すること。

3. 防潮堤の概要

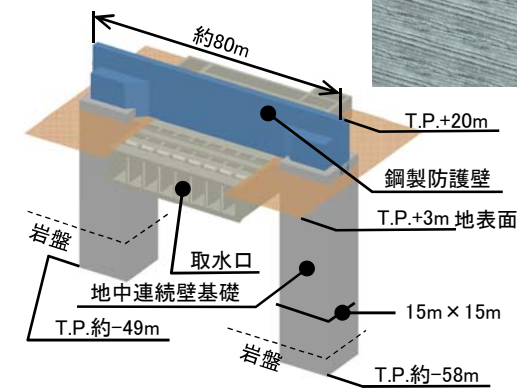
■ 防潮堤は、その構造形式から3つ(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁、鋼製防護壁、鉄筋コンクリート防潮壁)に種別される。



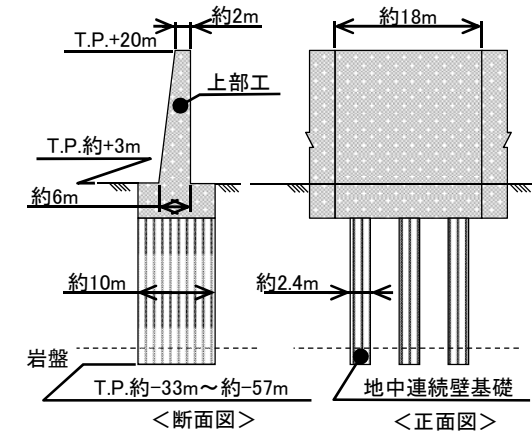
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



鋼製防護壁



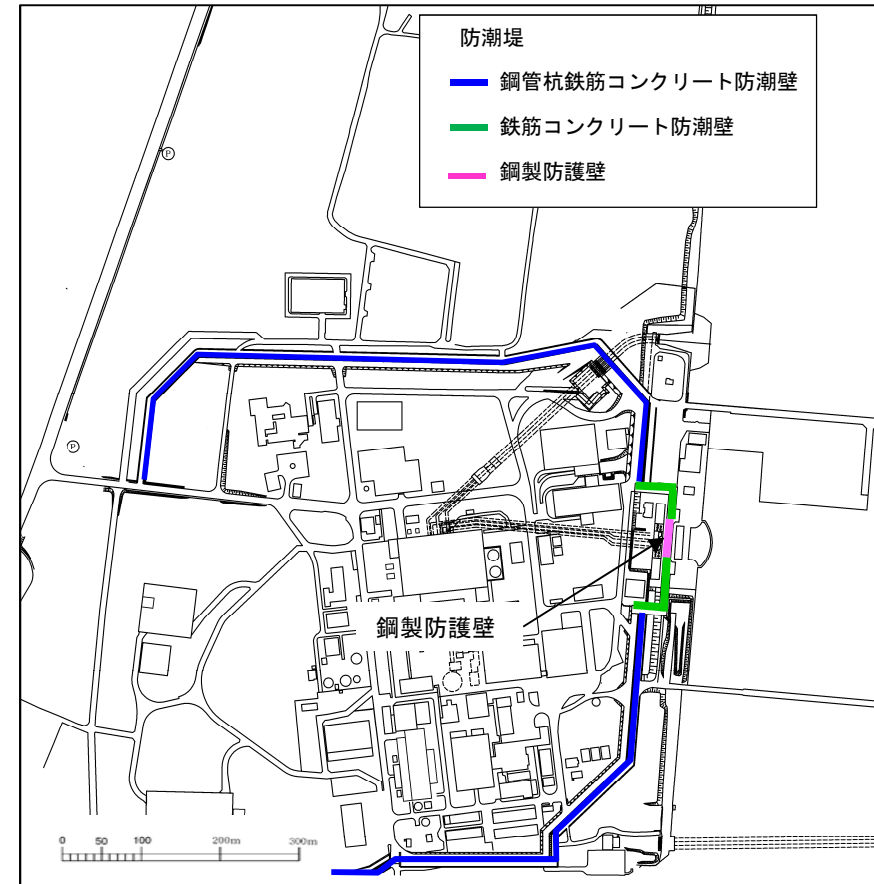
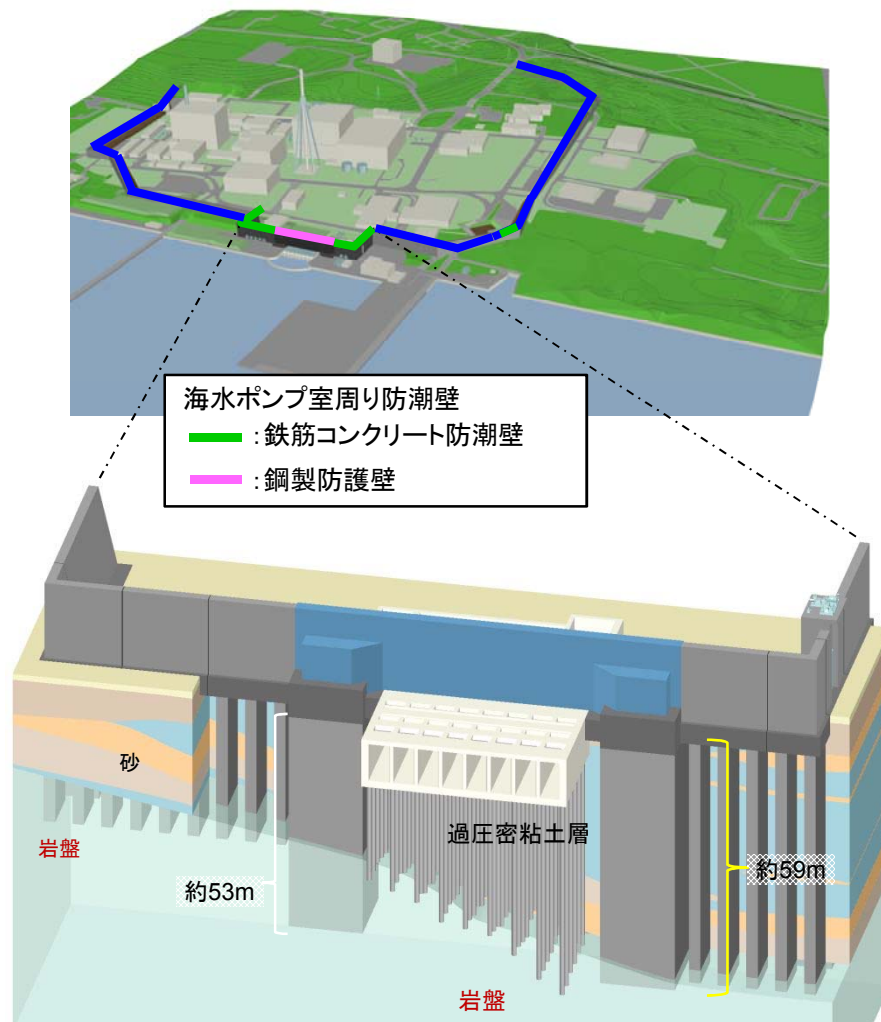
鉄筋コンクリート防潮壁



5. 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。
- 防潮堤の構造形式とその配置を示す。

防潮堤鳥瞰図



防潮堤の構造形式及び配置図

■ 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

- 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(2/3)

■ 鋼製防護壁の平面配置における制約条件

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

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。



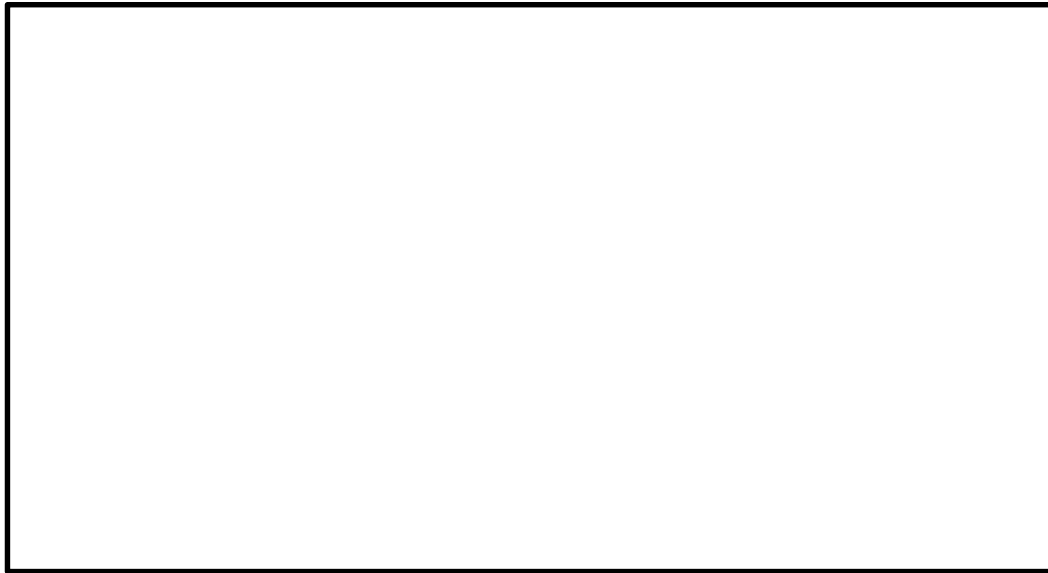
上部工と下部工で堤内方向に約100cmの偏芯を設ける

(※概略図を次ページに示す)

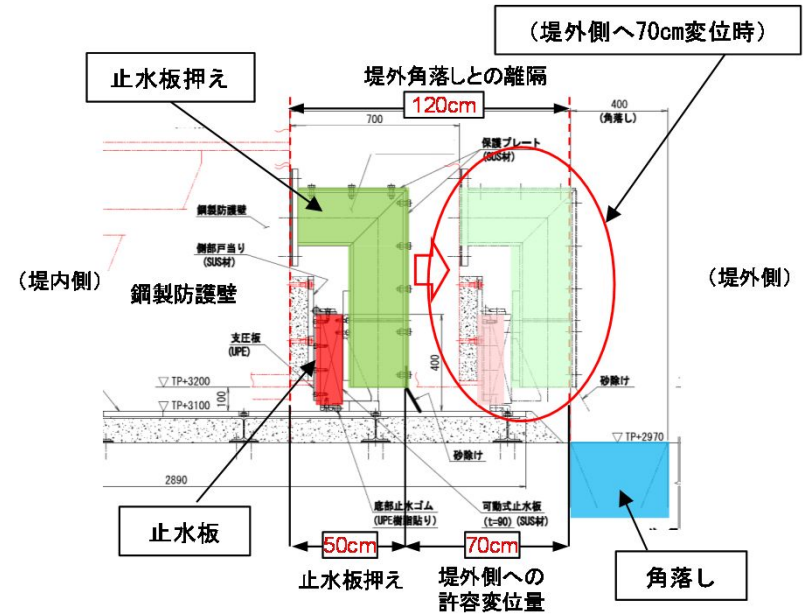
上部工の許容変位量と試算結果

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

取水路周辺平面図



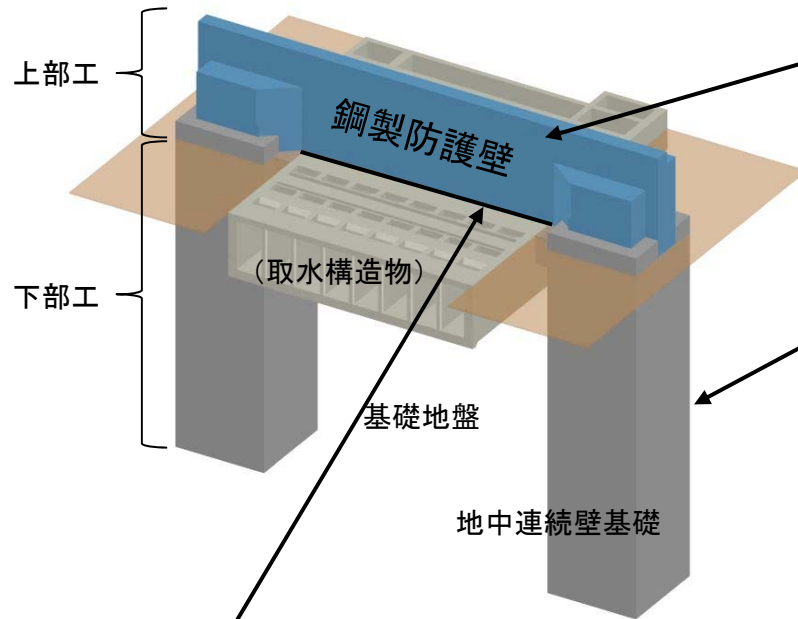
A-A断面



※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(1/2)

■ 鋼製防護壁の評価対象部位とその役割(1)

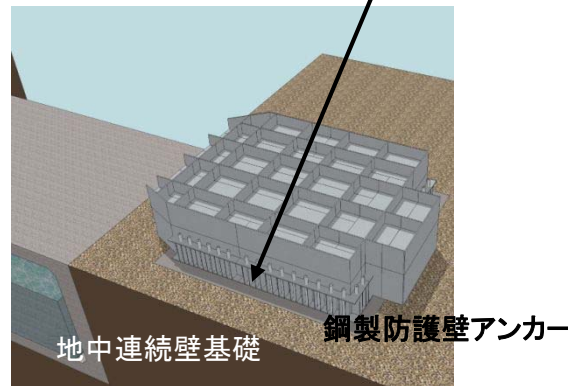


【鋼製防護壁】
・津波荷重, 漂流物荷重等に対し, 構造躯体として耐える。
・津波による浸水を防止する。

【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。

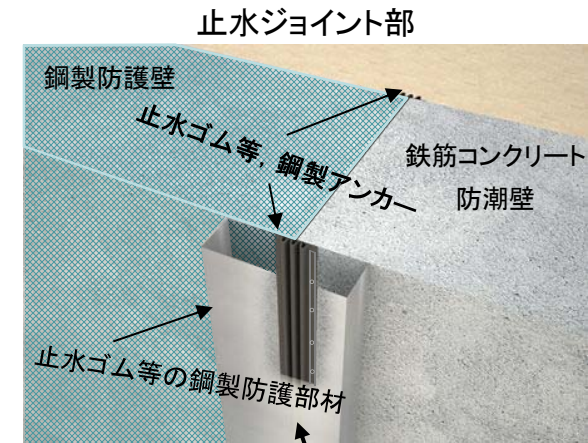
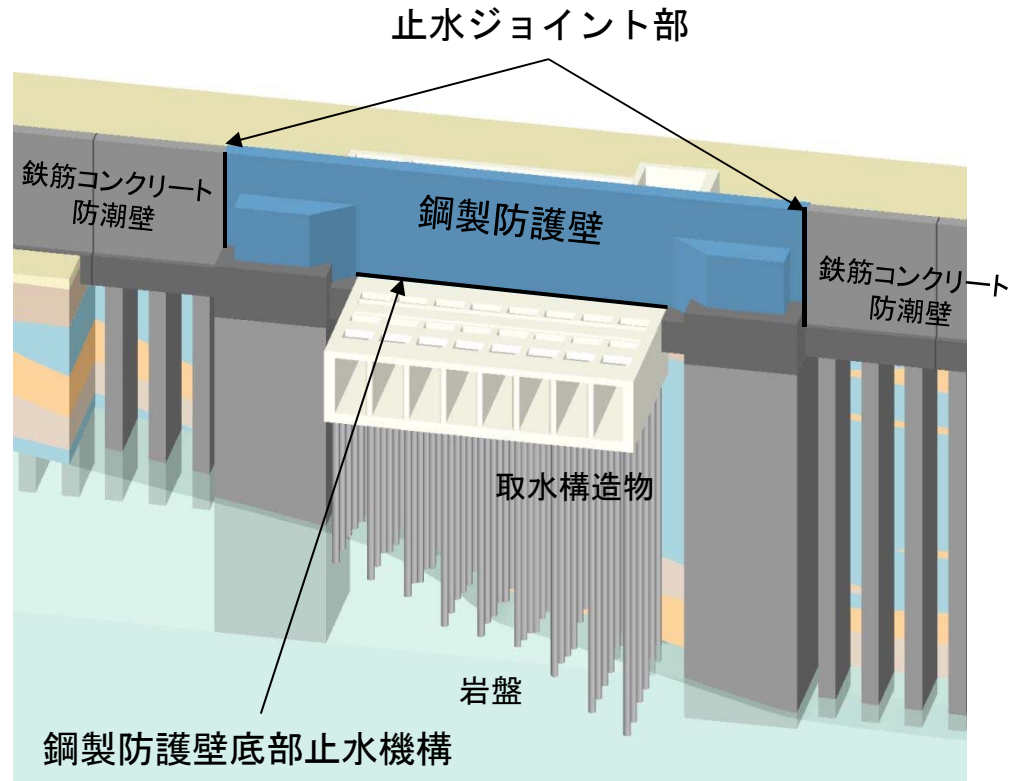
【鋼製防護壁アンカー】
・鋼製防護壁本体の自重や, 津波や地震などの外力を確実に基礎へ伝達する。

【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随し, 鋼製防護壁と取水路(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(2/2)

■ 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

第555回審査会合
資料2-4修正

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

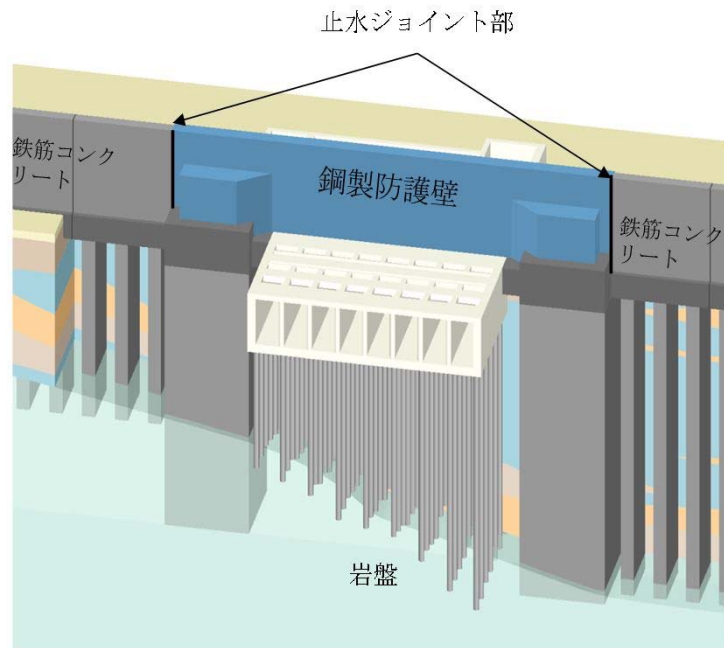
施設名	要求機能		機能設計			構造強度設計			設計に用いる許容限界
	審査ガイド	要求機能	性能目標	機能設計方針	性能目標	構造強度設計 (評価方針)	評価対象部位	応力等の状態	
海水ポンプ室周り防護壁	<p>基準津波及び前津波設計方針に係る審査ガイド 5.1 津波防護施設設計 津波防護施設については、その構造に応じ、波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し、越流時の耐性にも配慮した上で、入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるように設計すること。 (1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。 (2)設計方針の確認に加え、入力津波に対して津波防護機能が十分に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。確認内容を以下に併示する。 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+津波設計、常時+津波+地震(余震) b) 荷重の設定 ② 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、国土省の暫定指針等)及びそれらの適用性。 c) 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。 d) 地震により周辺地盤に液化化が発生する場合、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、補修に要する期間が必要となることから、地盤津波後の再使用性に留意した許容限界にも留意する必要がある。))</p> <p>基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド 6.3 津波防護施設、浸水防止設備等津波防護機能を有する施設、浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構造物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該建物・構造物が構造物全体としての变形能力(終局耐力時の变形)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</p>	<p>・ポンプ室周り防護壁は、地震後の繰返しの変位を想定した津波に対し、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)に余裕を考慮した浸水高さ(浸水高さ+T.P.+20.0m)の想定により、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、止水性を保持する設計とする。 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漏壁を構築し、止水性を保持する設計とする。 ④上部構造を、頂部コンクリート、フーチングコンクリートを介して地中連続壁基礎に接続し、十分な支持能力を有する地盤に支持する設計とする。 ⑤上部構造の施工境界部や異種構造物間との境界部は、波圧による変形に追従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図る設計とする。 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。</p>	<p>・ポンプ室周り防護壁は、地震後の繰返しの変位を想定した津波に対し、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)に余裕を考慮した浸水高さ(浸水高さ+T.P.+20.0m)の想定により、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、止水性を保持する設計とする。 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漏壁を構築し、止水性を保持する設計とする。 ④上部構造を、頂部コンクリート、フーチングコンクリートを介して地中連続壁基礎に接続し、十分な支持能力を有する地盤に支持する設計とする。 ⑤上部構造の施工境界部や異種構造物間との境界部は、波圧による変形に追従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図る設計とする。 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。</p>	<p>・ポンプ室周り防護壁は、地震後の繰返しの変位を想定した津波に対し、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鉄筋コンクリート製の地中連続壁基礎、鉄筋コンクリート及び鋼製の上部構造で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。十分な支持能力を有する地盤に設置する設計とともに、主要な構造体の境界部には止水ゴム等を設置し、有意な漏えいを生じない設計とする。 ・ポンプ室周り防護壁は、基準地震動S₀による地震時荷重に対し、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、津波時においても主要な構造部材の構造健全性を保持するとともに、止水ゴム等設置し、有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</p>	<p>基準地震動S₀による地震時荷重、地震後の繰返しの変位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、十分な支持能力を有する地盤に支持される設計とするため、地中連続壁基礎が陥伏に至らないことを確認する。 基準地震動S₀による地震時荷重、地震後の繰返しの変位を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼材が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。 基準地震動S₀による地震時荷重、地震後の繰返しの変位を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼材が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。 基準地震動S₀による地震時荷重、地震後の繰返しの変位を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼材が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。 基準地震動S₀による地震時荷重、地震後の繰返しの変位を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼材が、おおむね弾性状態に留まることを確認する。</p>	<p>下部工</p> <p>基礎地盤</p> <p>地中連続壁基礎</p> <p>鋼製防護壁</p> <p>鋼製防護壁アンカー</p>	<p>支持力</p> <p>曲げ、せん断</p> <p>曲げ、せん断</p> <p>引張り、せん断、引抜き</p>	<p>支持機能を喪失する状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p> <p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造)」に基づき安全な安全余裕を考慮した極限支持力とする。</p> <p>【基準地震動S₀・基準津波時・余震+基準津波時に対して】 「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時に対して】 「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造)」に基づき降伏応力度・せん断強度とする。 【基準地震動S₀・基準津波時・余震+基準津波時に対して】 「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時に対して】 「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」に基づき降伏応力度とする。 【基準地震動S₀・基準津波時・余震+基準津波時に対して】 「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」「道路橋示方書・同解説(Ⅲコンクリート構造)」 「道路土工学カルパート工指針」「鋼構造物設計基準」「鋼・合成構造標準示方書」「複合構造標準示方書」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時に対して】 「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】」「道路橋示方書・同解説(Ⅲコンクリート構造)」「道路土工学カルパート工指針」「鋼構造物設計基準」「鋼・合成構造標準示方書」「複合構造標準示方書」に基づき降伏応力度とする。</p> <p>「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき短期許容応力度とする。</p> <p>「鋼構造設計基準」に基づき短期許容応力度とする。</p> <p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」「水門設置技術基準」に基づき短期許容応力度とする。</p>
		<p>止水ゴム等</p>	<p>変形、引張り</p>	<p>有意な漏えいに至る変形、引張り</p>	<p>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とする。</p>				
		<p>鋼製アンカー</p>	<p>引張り、せん断、引抜き</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき短期許容応力度とする。</p>				
		<p>止水ゴム等の鋼製防護部材</p>	<p>曲げ、引張り、せん断</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「鋼構造設計基準」に基づき短期許容応力度とする。</p>				
<p>鋼製防護壁底部止水機構</p>	<p>曲げ、せん断</p>	<p>部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</p>	<p>「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」「水門設置技術基準」に基づき短期許容応力度とする。</p>						

*: 止水ジョイント部の設計に用いる許容限界
基準地震動S₀・基準津波時・余震+基準津波時：許容応力度
T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時：降伏応力度

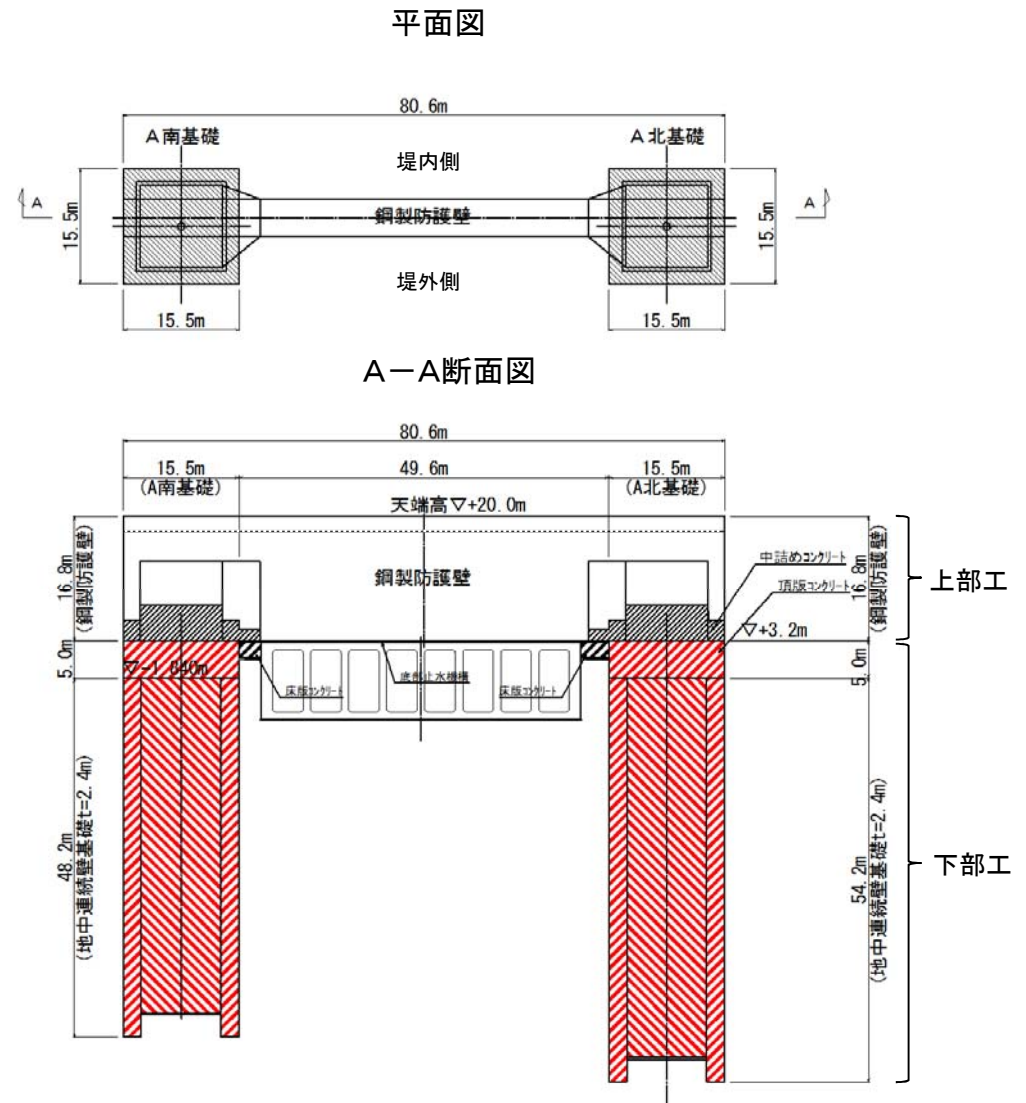
7. 鋼製防護壁高さの設定方針

- 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



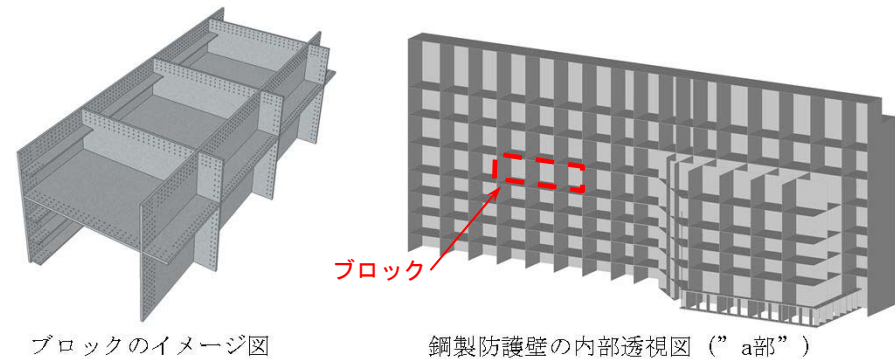
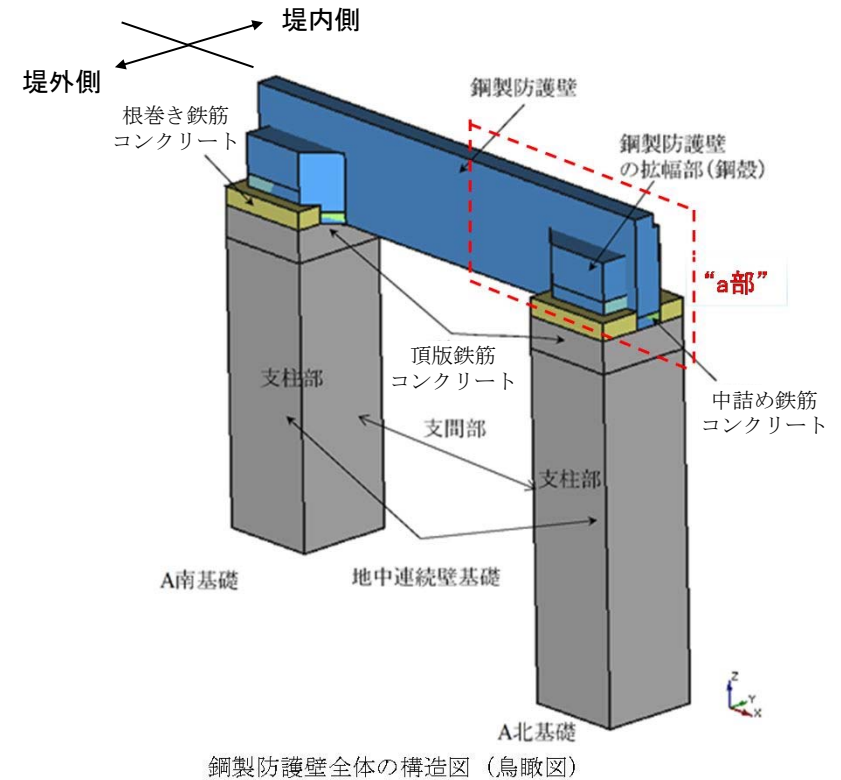
構造概要図(イメージ図)



※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

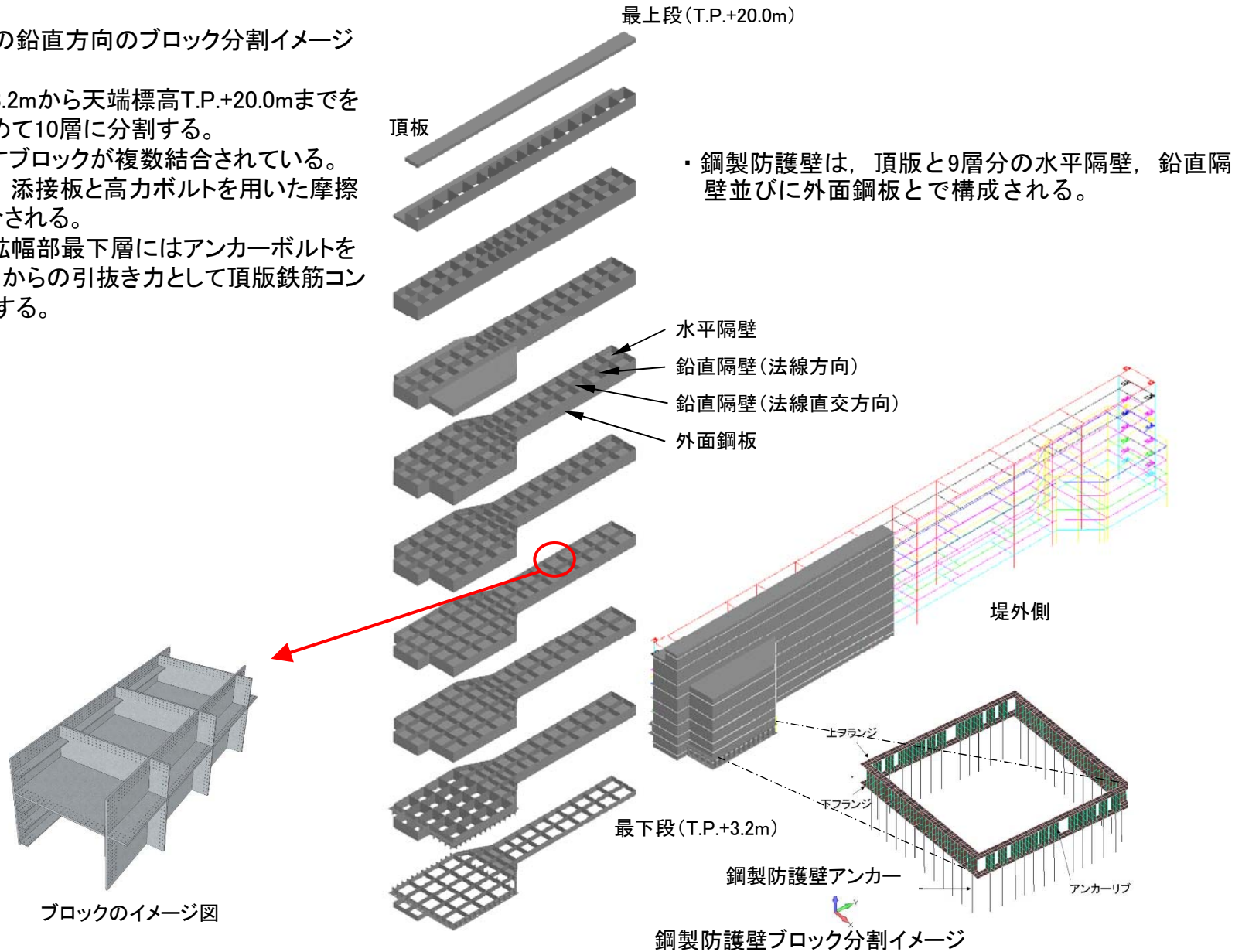
■ 鋼製防護壁の構成部位と役割

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回転モーメント(水平トルク)を基礎頂版に伝達する。
	鋼製防護壁 アンカー	—	上部工からの引抜き力を地中連続壁基礎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	地中連続壁基礎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	—	アンカーボルト頭部の防食などを目的とした鉄筋コンクリート。非構造部材として設計する。

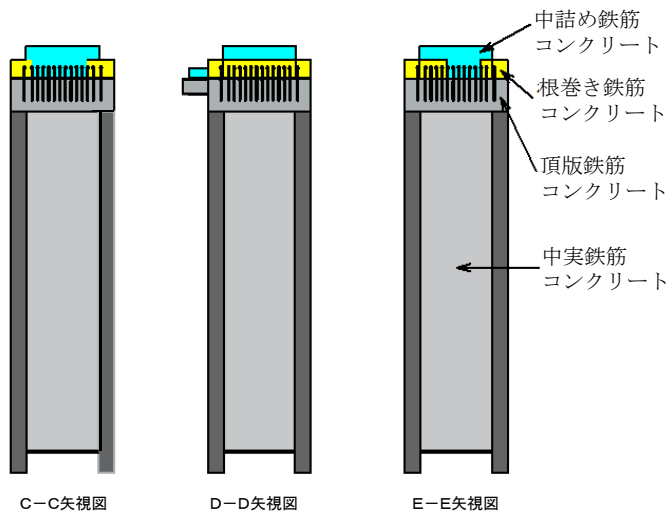
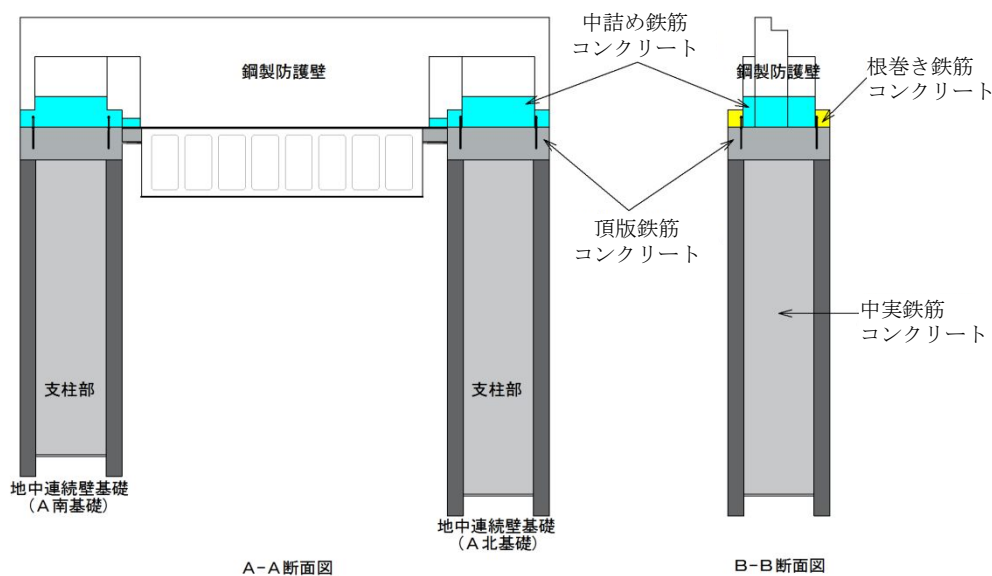
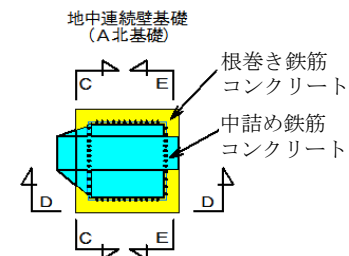


■ 鋼製防護壁の鉛直方向のブロック分割イメージ

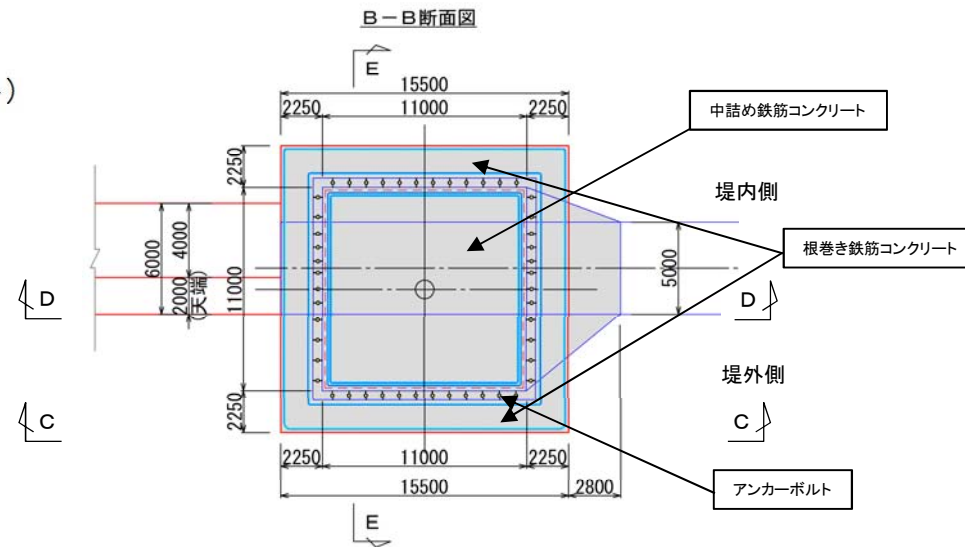
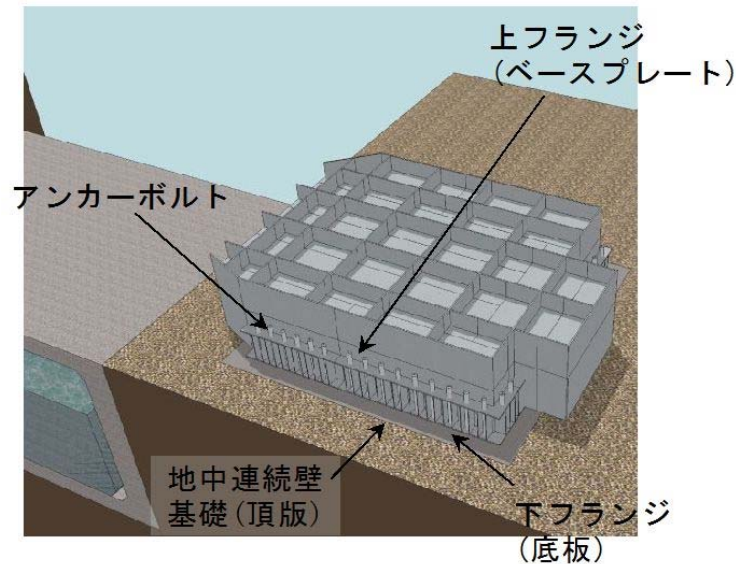
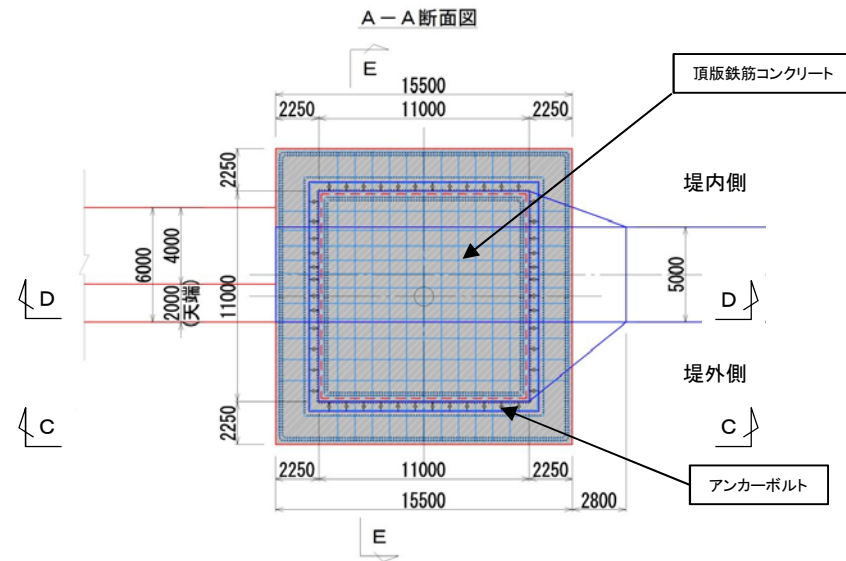
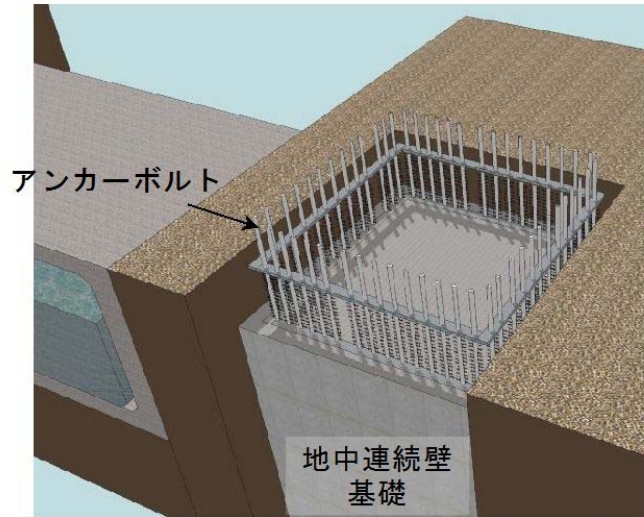
- ・下端標高T.P.+3.2mから天端標高T.P.+20.0mまでを頂部鋼板を含めて10層に分割する。
- ・各層は下に示すブロックが複数結合されている。
- ・ブロック同士は、添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合される。
- ・鋼製防護壁の拡幅部最下層にはアンカーボルトを設置し、上部工からの引抜き力として頂版鉄筋コンクリートに伝達する。



- 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。

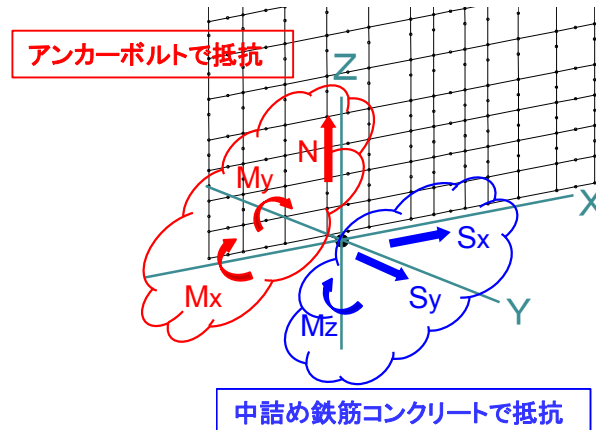
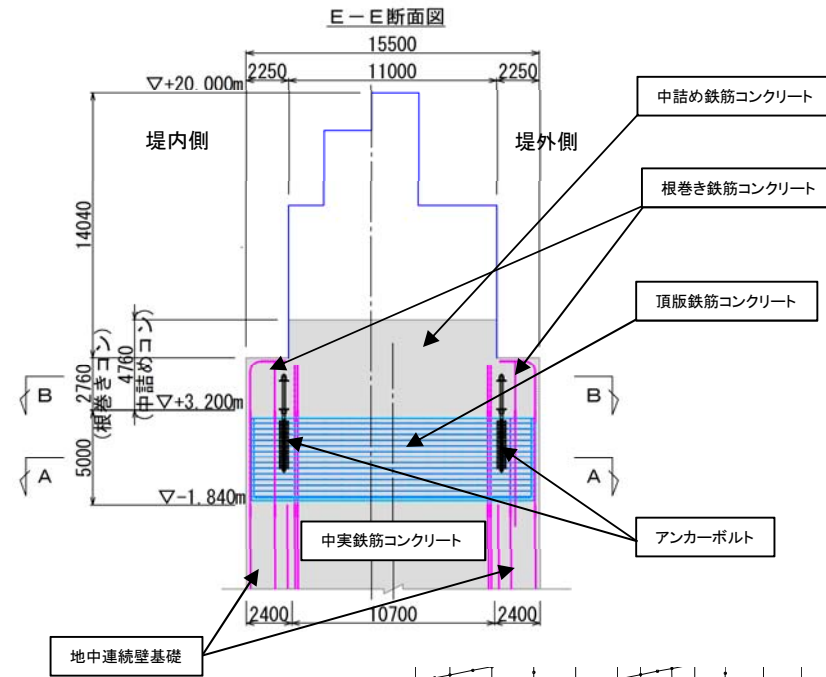
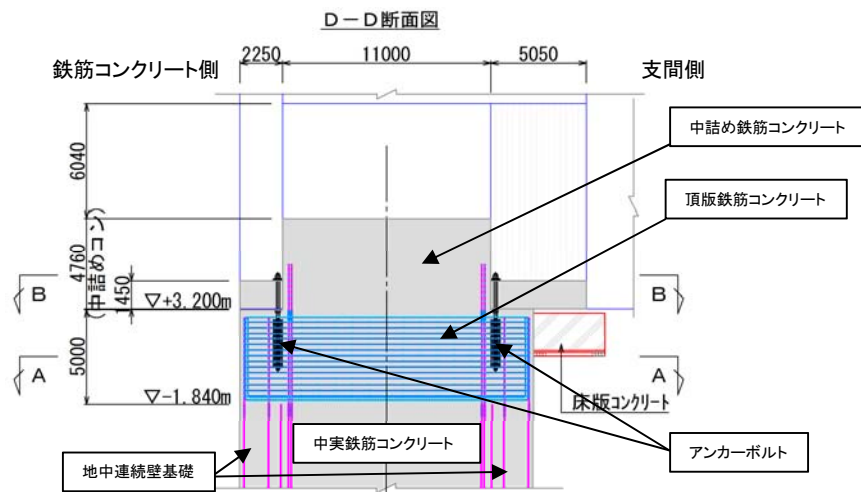
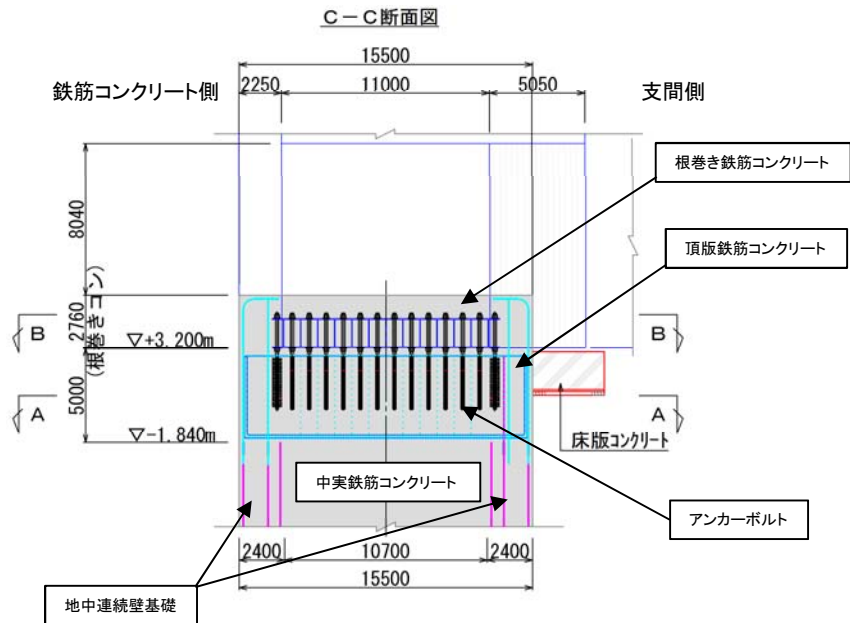


■ 鋼製防護壁と地中連続壁基礎の接合部



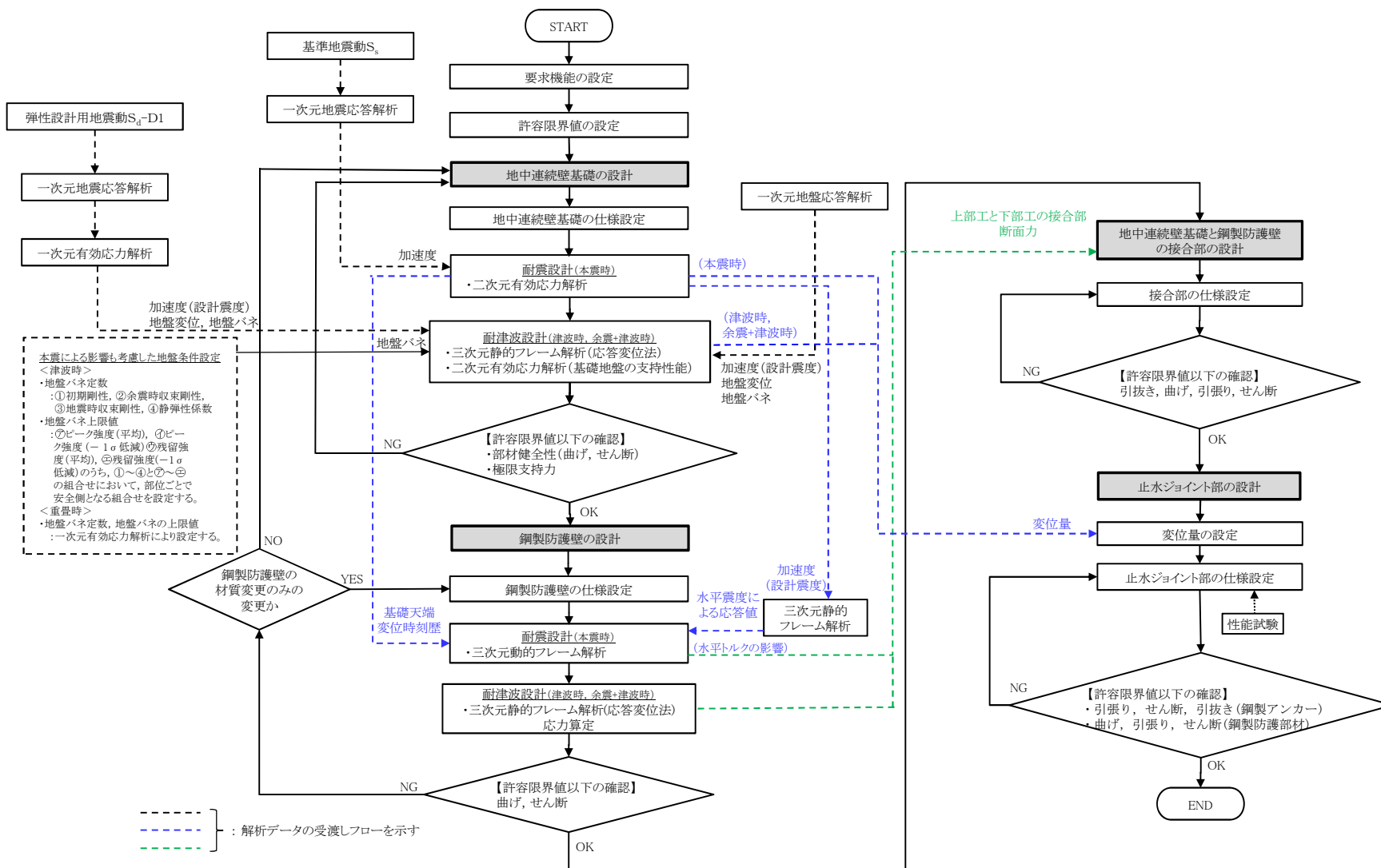
※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

■ 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。



■ 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とする。	
	地中連続壁基礎	曲げ せん断	【基準地震動 S_g ・基準津波時・余震＋基準津波時に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.+24m津波時、余震＋T.P.+24m津波時に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」に基づき降伏応力度・せん断強度とする。	
上部工	鋼製防護壁	曲げ せん断	【基準地震動 S_g ・基準津波時・余震＋基準津波時に対して】 「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.+24m津波時、余震＋T.P.+24m津波時に対して】 「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」に基づき降伏応力度とする。	
	鋼製防護壁アンカー	引張り せん断 引抜き	【基準地震動 S_g ・基準津波時・余震＋基準津波時に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ¹⁾ 」「道路橋示方書・同解説(Ⅲコンクリート橋編) ²⁾ 」「鋼構造物設計基準 ³⁾ 」「道路土工カルバート工指針 ⁴⁾ 」「鋼・合成構造標準示方書 ⁵⁾ 」「複合構造標準示方書 ⁶⁾ 」に基づき短期許容応力度とする。 【T.P.+24m津波時・余震＋T.P.+24m津波時に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説(Ⅲコンクリート橋編)」「道路土工カルバート工指針」「鋼構造物設計基準」「鋼・合成構造標準示方書」「複合構造標準示方書」に基づき降伏応力度とする。	
	止水ジョイント部※	止水 ゴム等	変形 引張り	メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容引張り力とする。
		鋼製 アンカー	引張り せん断 引抜き	「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき短期許容応力度とする。
止水ゴム等の 鋼製防護部材		曲げ 引張り せん断	「鋼構造設計基準」に基づき短期許容応力度とする。	
鋼製防護壁 底部止水機構		曲げ せん断	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)」「水門鉄管技術基準」に基づき短期許容応力度とする。	

※止水ジョイント部の設計に用いる許容限界
基準地震動 S_g ・基準津波時・余震＋基準津波時：短期許容応力度
T.P.+24m津波時・余震＋T.P.+24m津波時：降伏応力度

■ 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

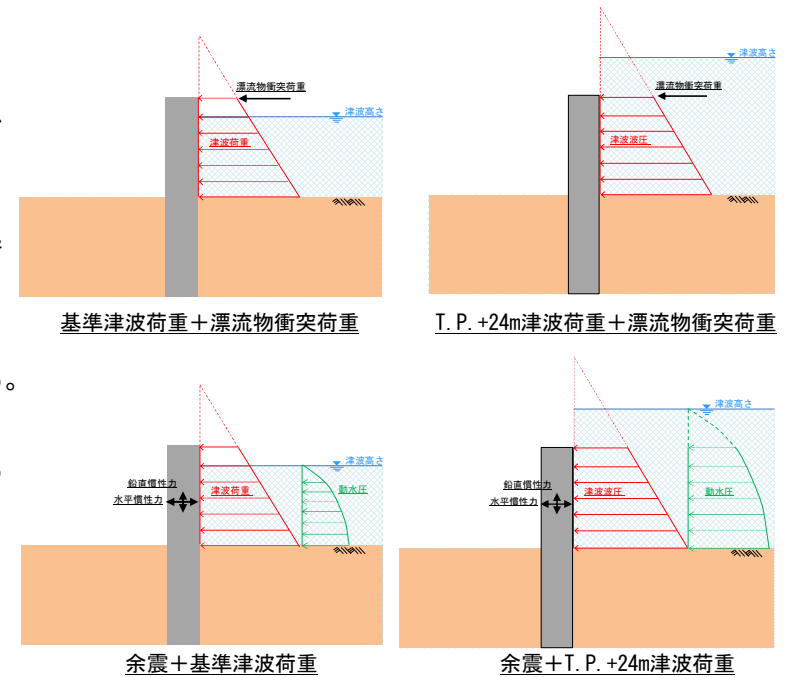
余震による地震力+津波荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認する。

(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。



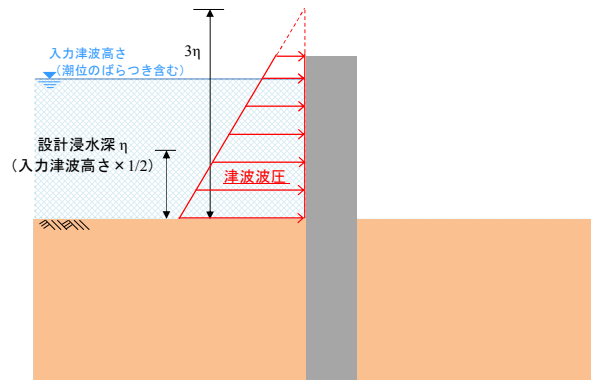
※T.P.+24m津波は第四十三条対応事項であるが、上部工の耐津波設計における影響が大きいため本資料に記述する。

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	【基準地震動 S_s ・基準津波時・余震+基準津波時に対して】 短期許容応力度以下 【T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時に対して】 降伏応力度・せん断強度以下	【基準地震動 S_s ・基準津波時・余震+基準津波時に対して】 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 道路橋示方書・同解説(I共通編・IV下部構造編) 【T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時に対して】 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 道路橋示方書・同解説(I共通編・IV下部構造編)
鋼製防護壁	曲げ, せん断	【基準地震動 S_s ・基準津波時・余震+基準津波時に対して】 短期許容応力度以下 【T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時に対して】 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	【基準地震動 S_s ・基準津波時・余震+基準津波時に対して】 短期許容応力度以下 【T.P.+24m津波時・余震+T.P.+24m津波時に対して】 降伏応力度以下	コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 道路橋示方書・同解説(IIIコンクリート橋編) 道路土工カルバート工指針 鋼構造物設計基準 鋼・合成構造標準示方書 複合構造標準示方書

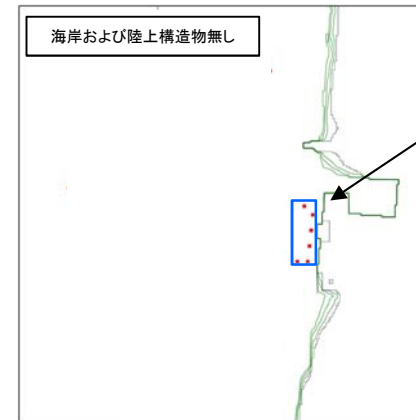
■ 浸水深の設定

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1.0以下であり、朝倉式の適用が可能である。

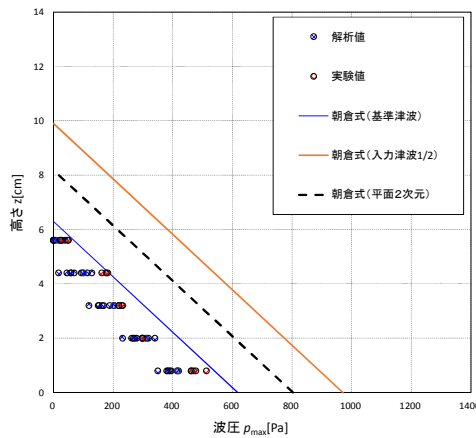


設計浸水深算出概要図(入力津波 × 1/2)



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

T.P.+3.0mの範囲の浸水深にてフルード数を算出



津波波圧の比較

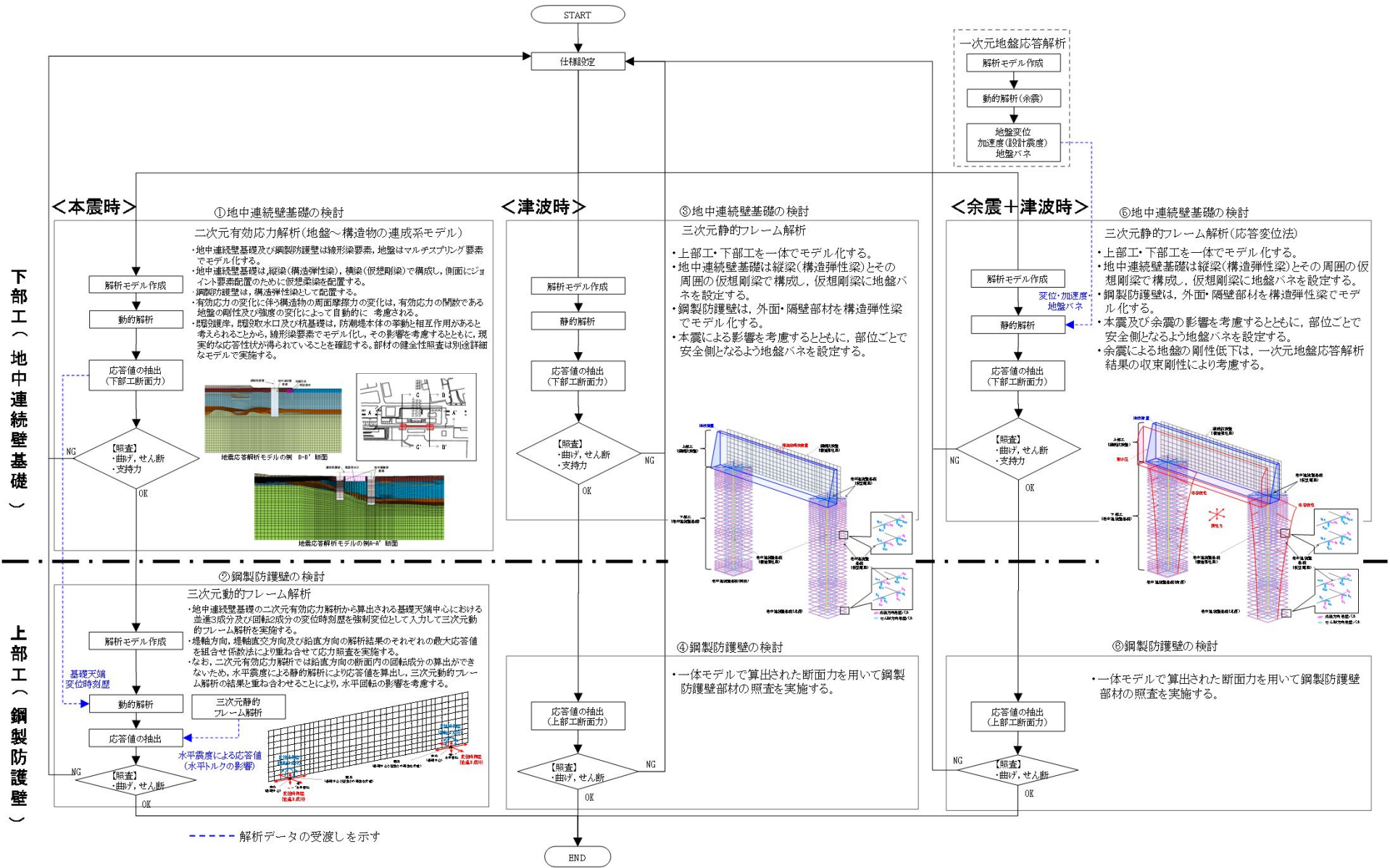
- 解析値
分散波理論に基づいた数値シミュレーション解析で得られた波圧
- 実験値
水理模型実験で得られた波圧
- 朝倉式(基準津波)
分散波理論に基づいた数値シミュレーションでの浸水深を用いて朝倉式により算出した波圧
- 朝倉式(入力津波1/2)
浸水深を(入力津波高さ-地盤高さ) × 1/2として朝倉式により算出した波圧
- 朝倉式(平面二次元)
非線形長波理論に基づいた津波シミュレーションで得られた浸水深を用いて朝倉式により算出した波圧

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

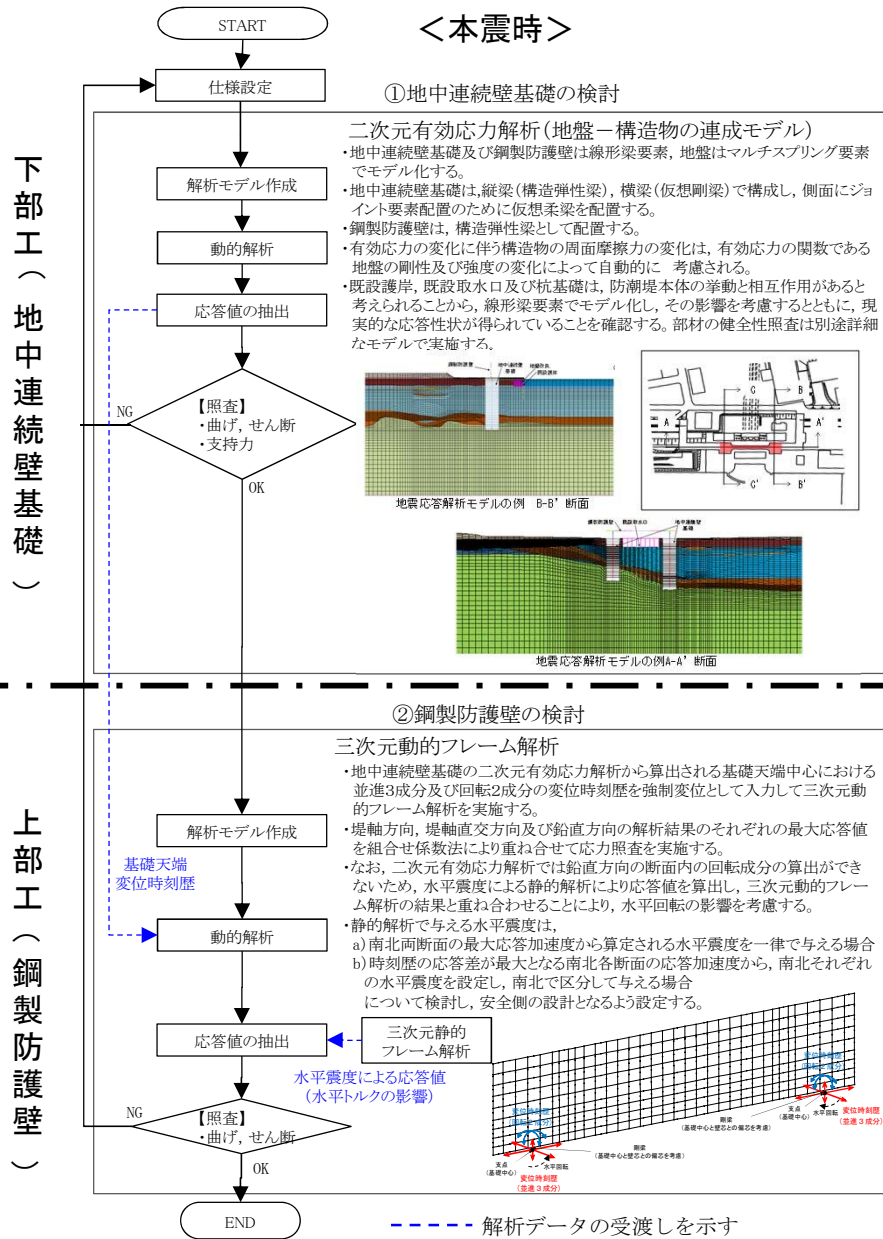
	最大浸水深	フルード数 (最大浸水深時)
1	5.206	0.60
2	5.027	0.49
3	4.671	0.45
4	5.057	0.66
5	5.276	0.59
6	5.188	0.60



鋼製防護壁の検討モデルと評価フロー

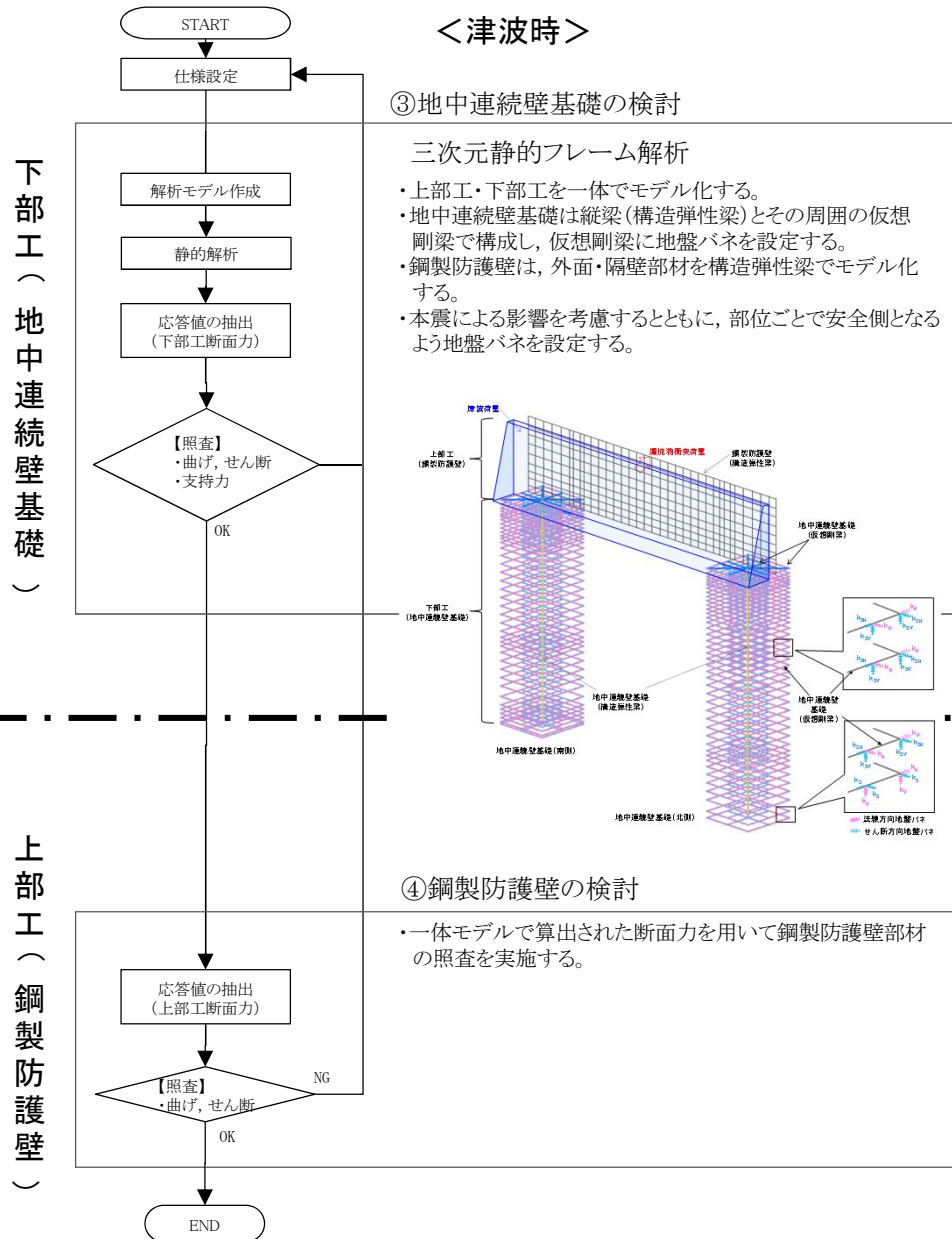
解析手法(概要)

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解析	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並びに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

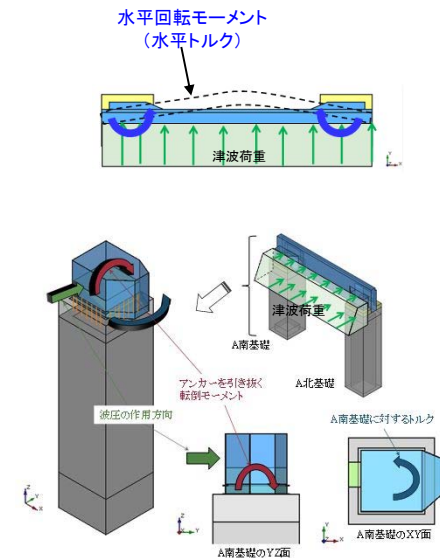


解析手法	二次元動的有効応力解析
プログラム	FLIP
対象荷重	本震時
目的	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎の動的挙動評価 ・地層の不陸を反映
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> ・地中連続壁基礎、基礎地盤の照査 ・基礎天端の変位時刻歴 (上部工の動的解析に入力) ・鋼製防護壁の最大水平加速度 (上部工の静的解析に入力)

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	<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
データ利用	・鋼製防護壁の照査



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

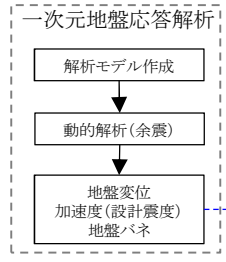


・津波荷重により地中連続壁基礎及び鋼製防護壁に作用する水平回転モーメント(水平トルク)を評価するため三次元解析を実施する。

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)



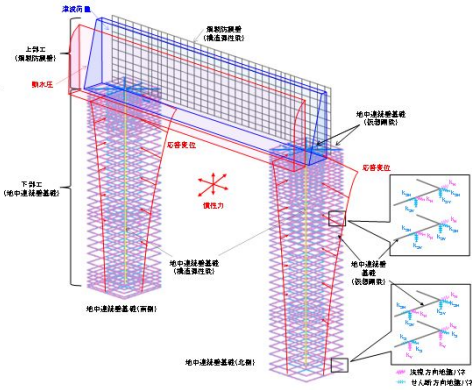
変位・加速度
地盤バネ

<余震+津波時>

⑤地中連続壁基礎の検討

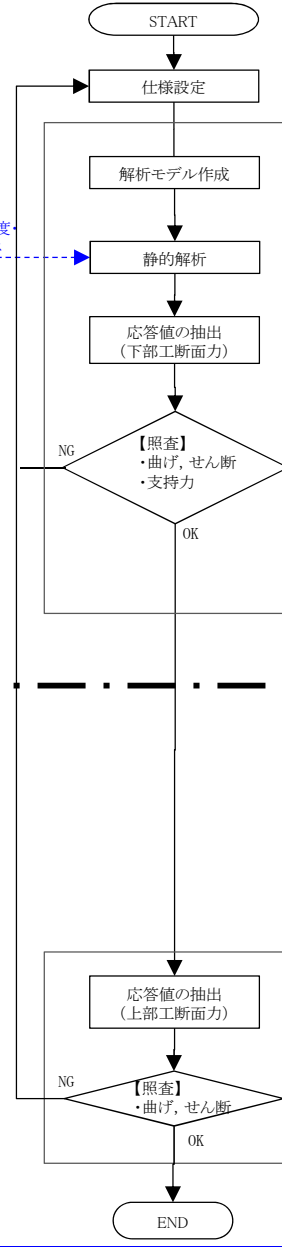
三次元静的フレーム解析(応答変位法)

- 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並びに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

①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)(1/3)

解析の目的

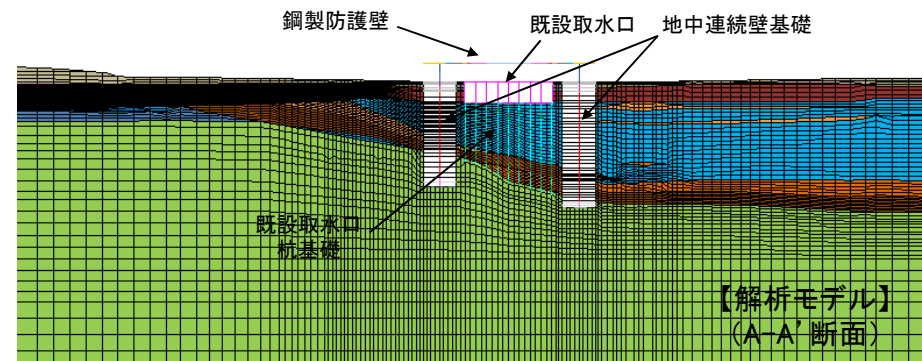
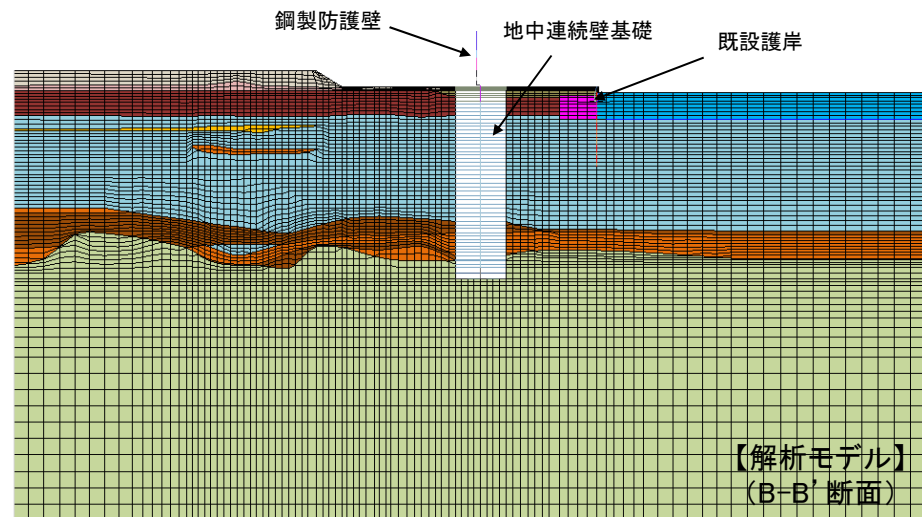
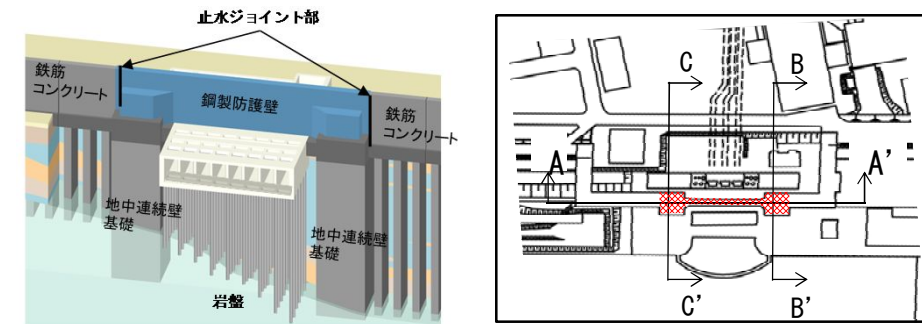
- ・地層の不陸を反映した本震時の地中連続壁基礎の挙動を動的に評価する。
- ・地盤の液状化の影響を厳密に反映するため地盤-構造物の連成モデルに対して二次元動的有効応力解析法を適用する。

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

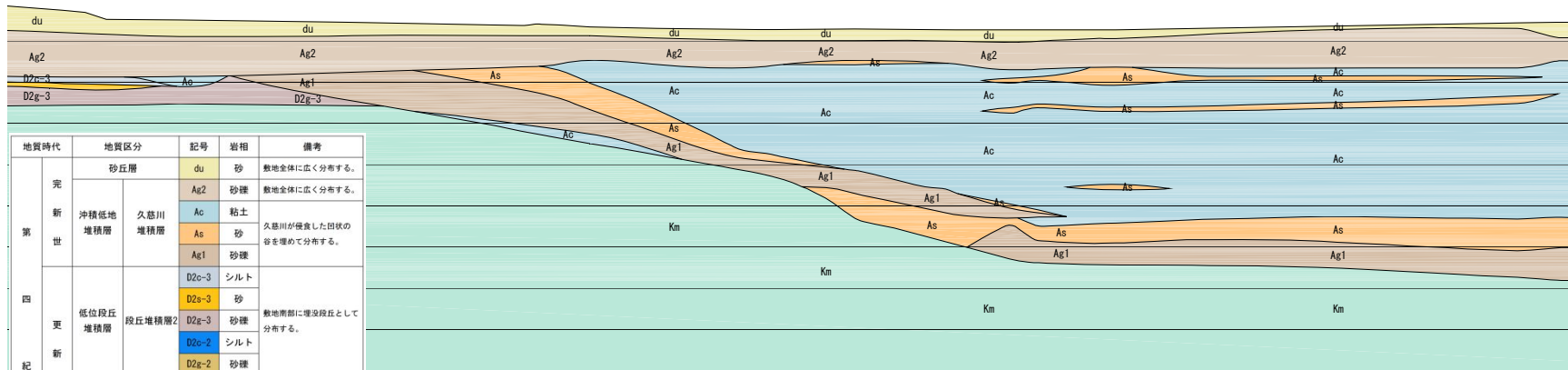
モデル化方針

- ・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及び間隙水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

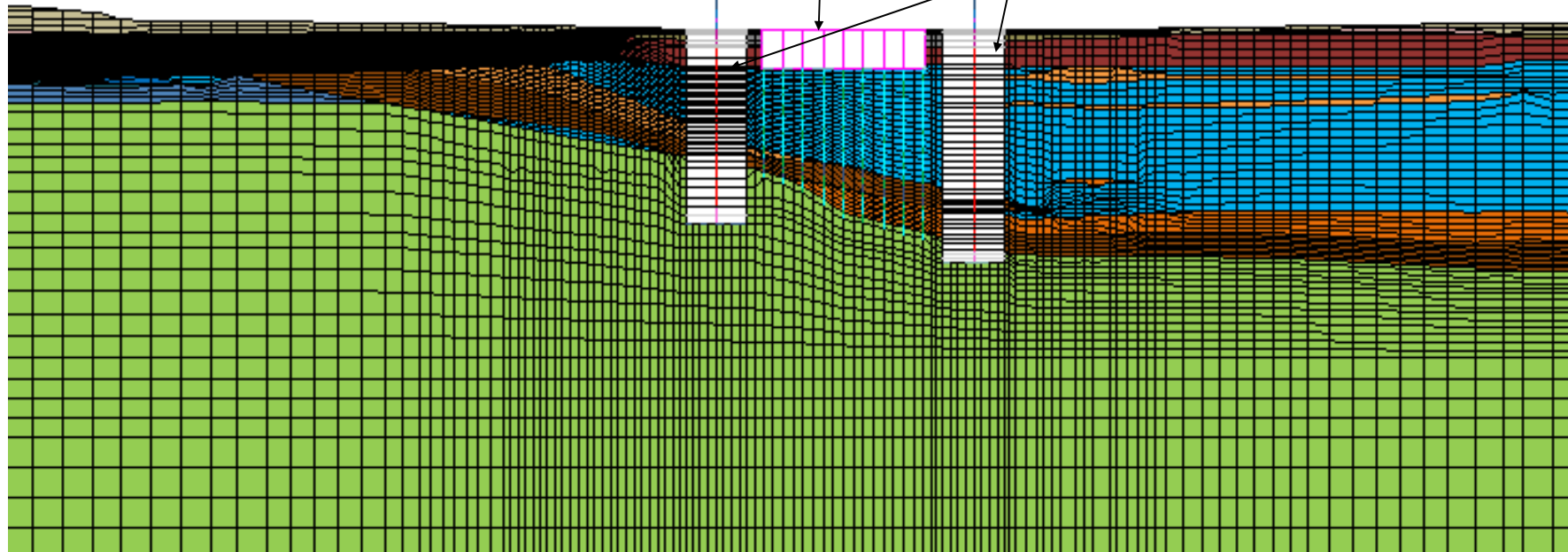
①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)(2/3)



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	久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。
		Ag1	砂礫	
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。
		D2o-3	砂	
		D2g-3	砂礫	
		D2o-2	シルト	
		D2g-2	砂礫	
		Im	ローム	
新世	中段段丘堆積層	D1c-1	シルト	敷地の南西部に分布し、いわゆる額田段丘面を構成する。
		D1g-1	砂礫	
第三紀 鮮新世	久米層	Km	砂質泥岩	敷地の基礎岩である。

鋼製防護壁
取水構造物
地中連続壁基礎

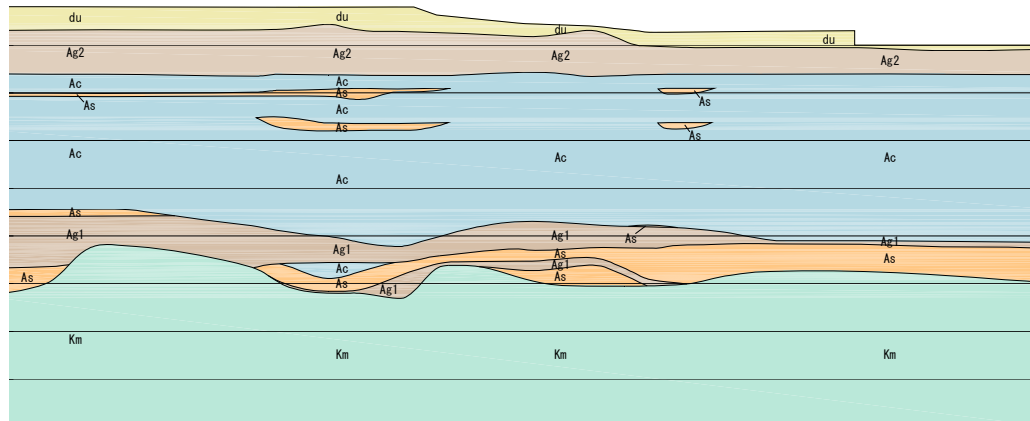
【地質縦断面図】
(A-A'断面)



【解析モデル】
(A-A'断面)

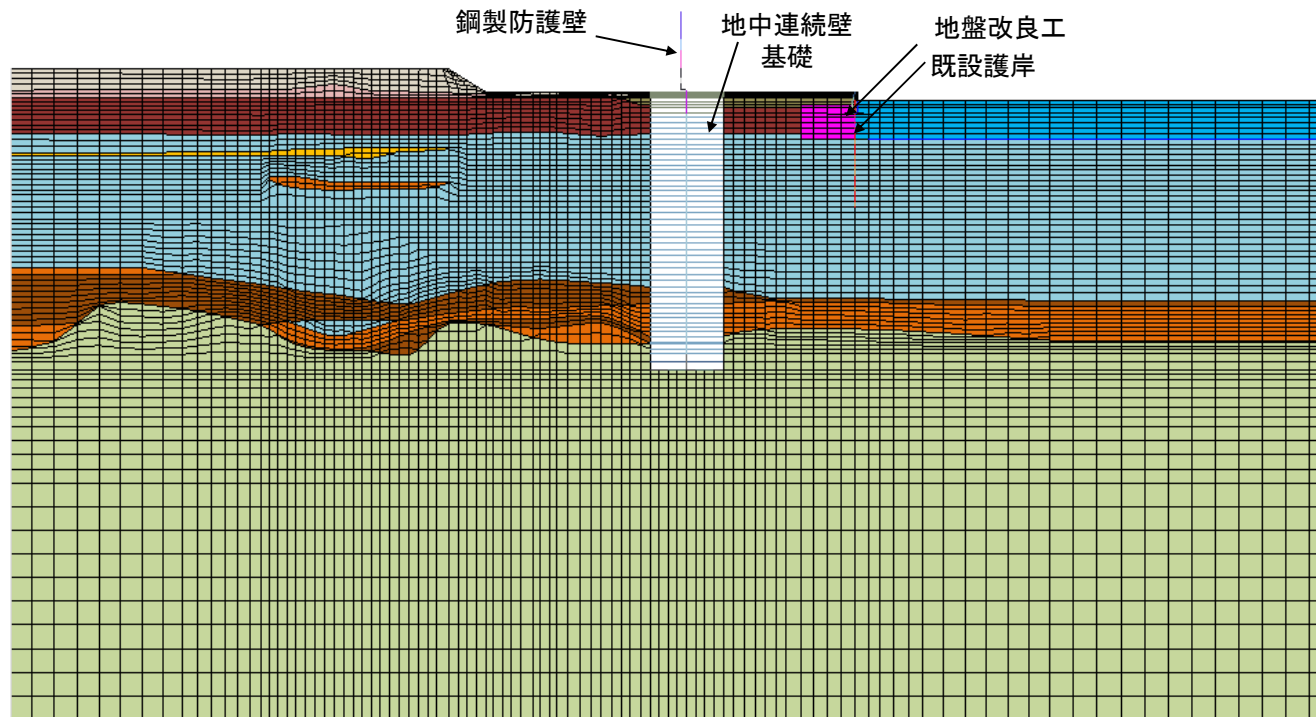
8. 設計方針

①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)(3/3)



【地質断面図】
(B-B'断面)

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。
	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	

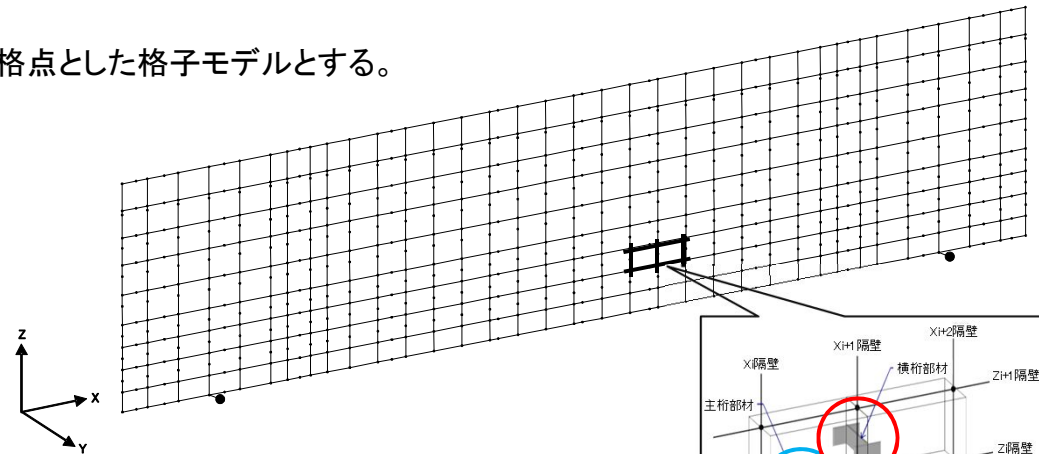


【解析モデル】
(B-B'断面)

鋼製防護壁のモデル化(本震時, 津波時, 余震+津波時共通)

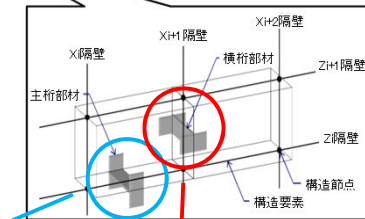
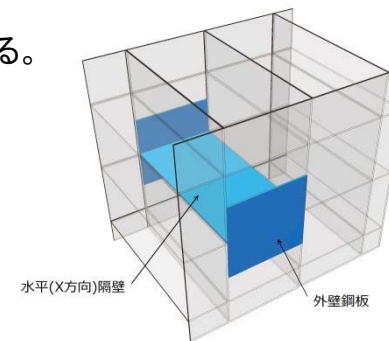
モデル化方針

- ・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。



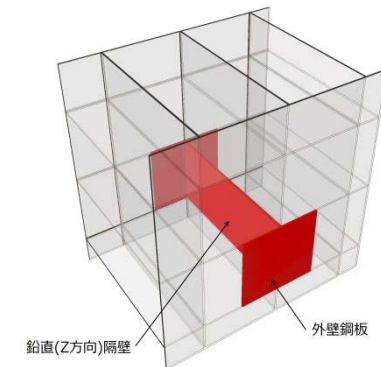
i) 主桁部材(水平方向)

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。

②鋼製防護壁の検討 本震時(三次元動的フレーム解析)(1/2)

解析の目的

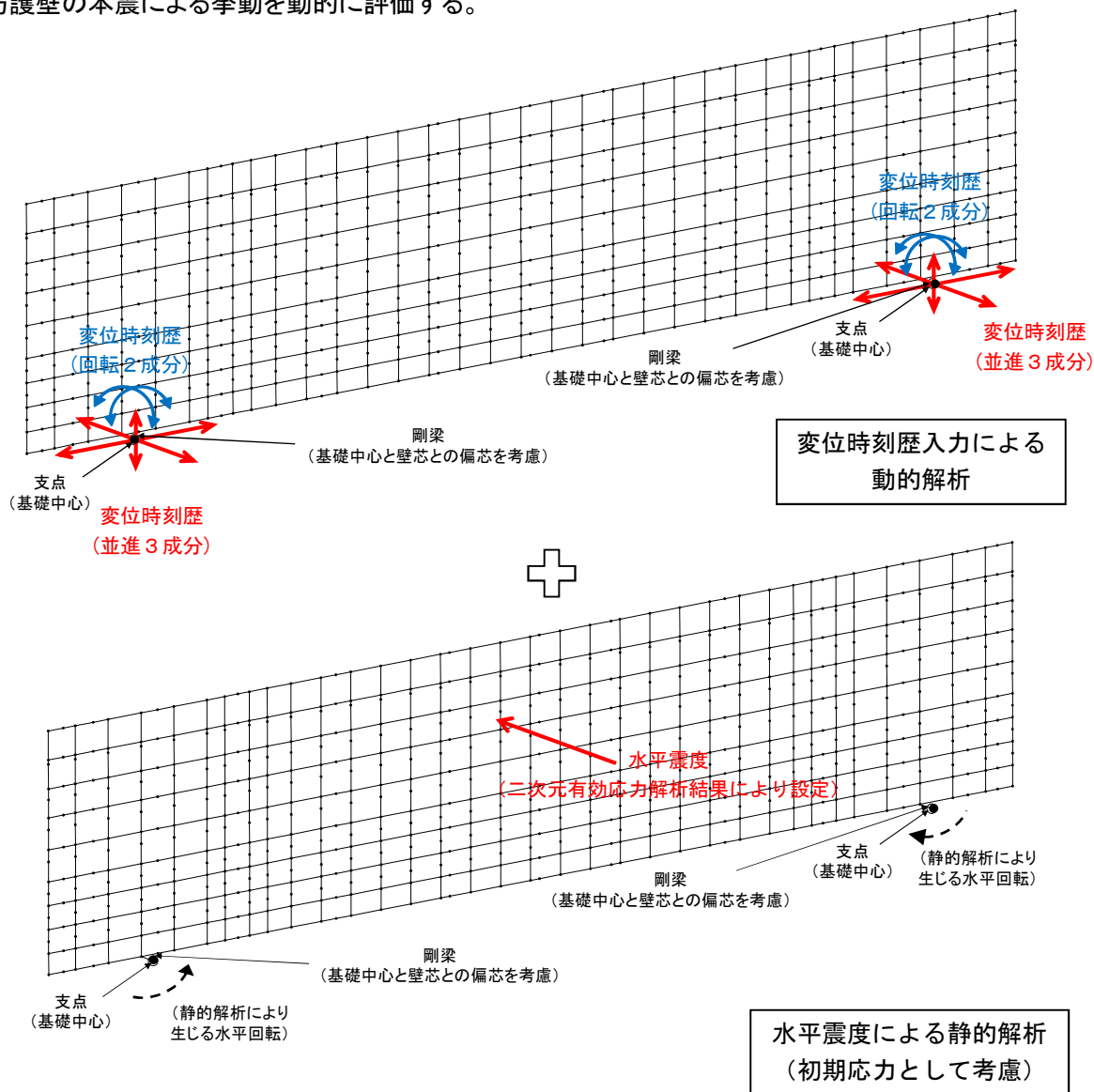
・主桁、横桁部材ごとの要素で精緻にモデル化した鋼製防護壁の本震による挙動を動的に評価する。

結果の利用

・鋼製防護壁の部材応力照査

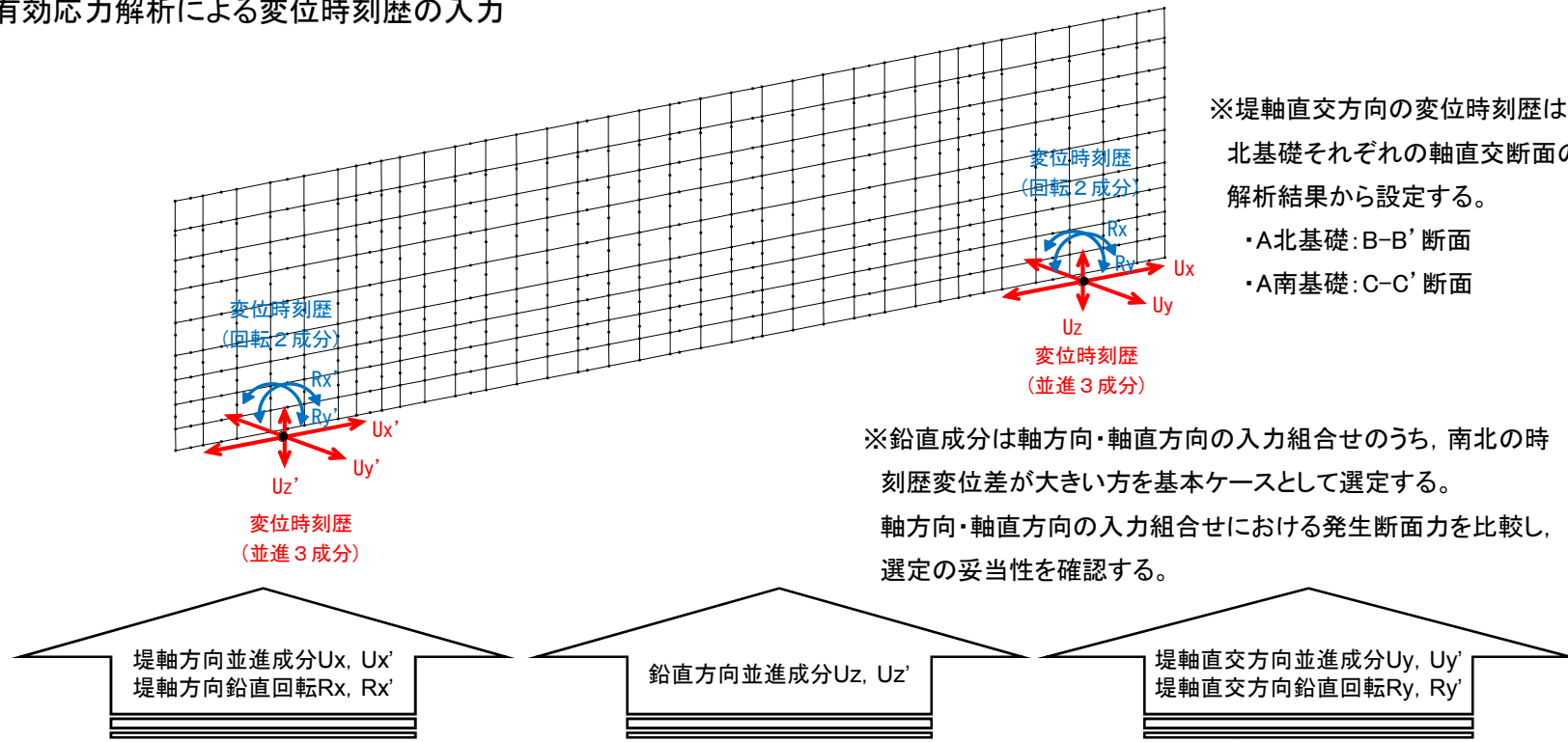
変位時刻歴入力による動的解析

- ・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。



②鋼製防護壁の検討 本震時(三次元動的フレーム解析)(2/2)

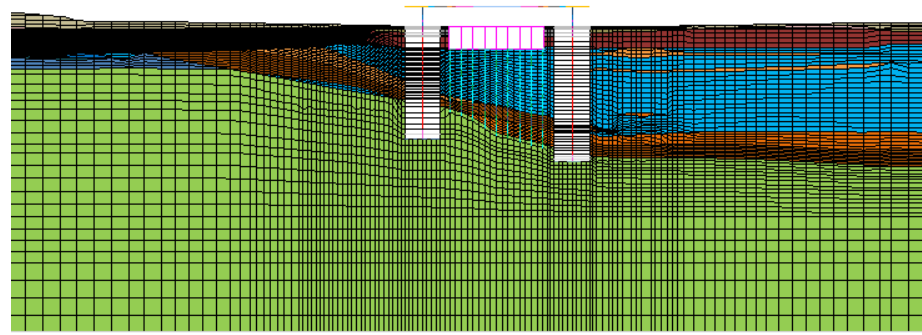
■二次元有効応力解析による変位時刻歴の入力



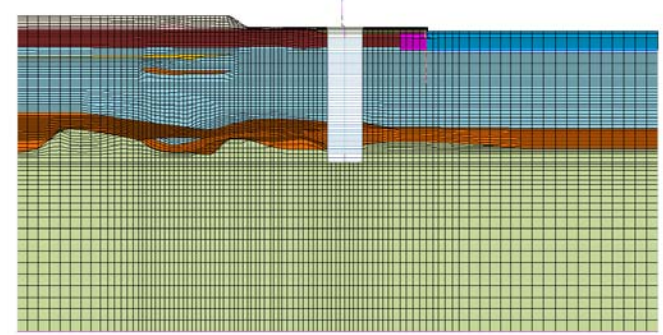
※堤軸直交方向の変位時刻歴は南北基礎それぞれの軸直交断面の解析結果から設定する。

- ・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)

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

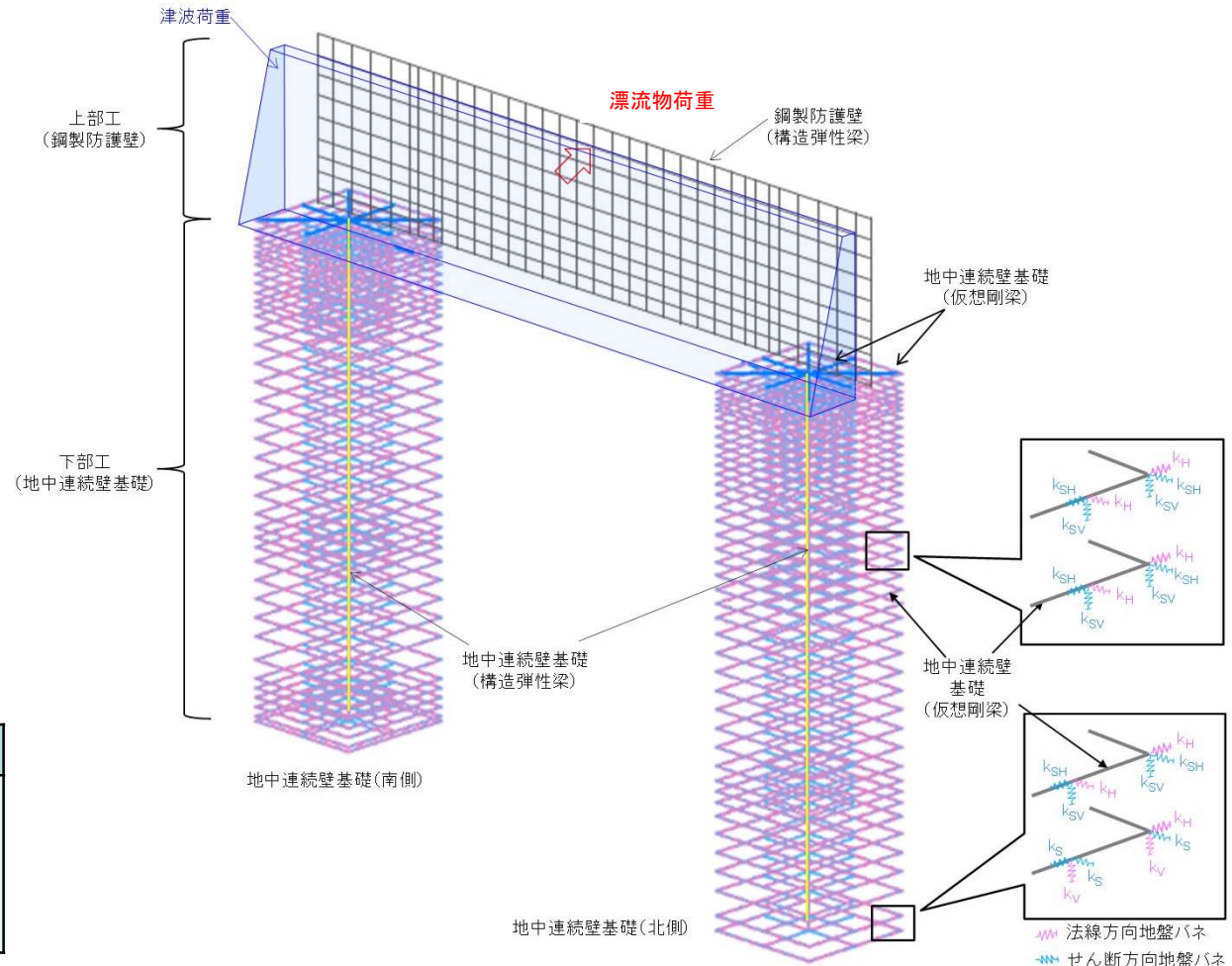
モデル化方針

- ・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並びに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

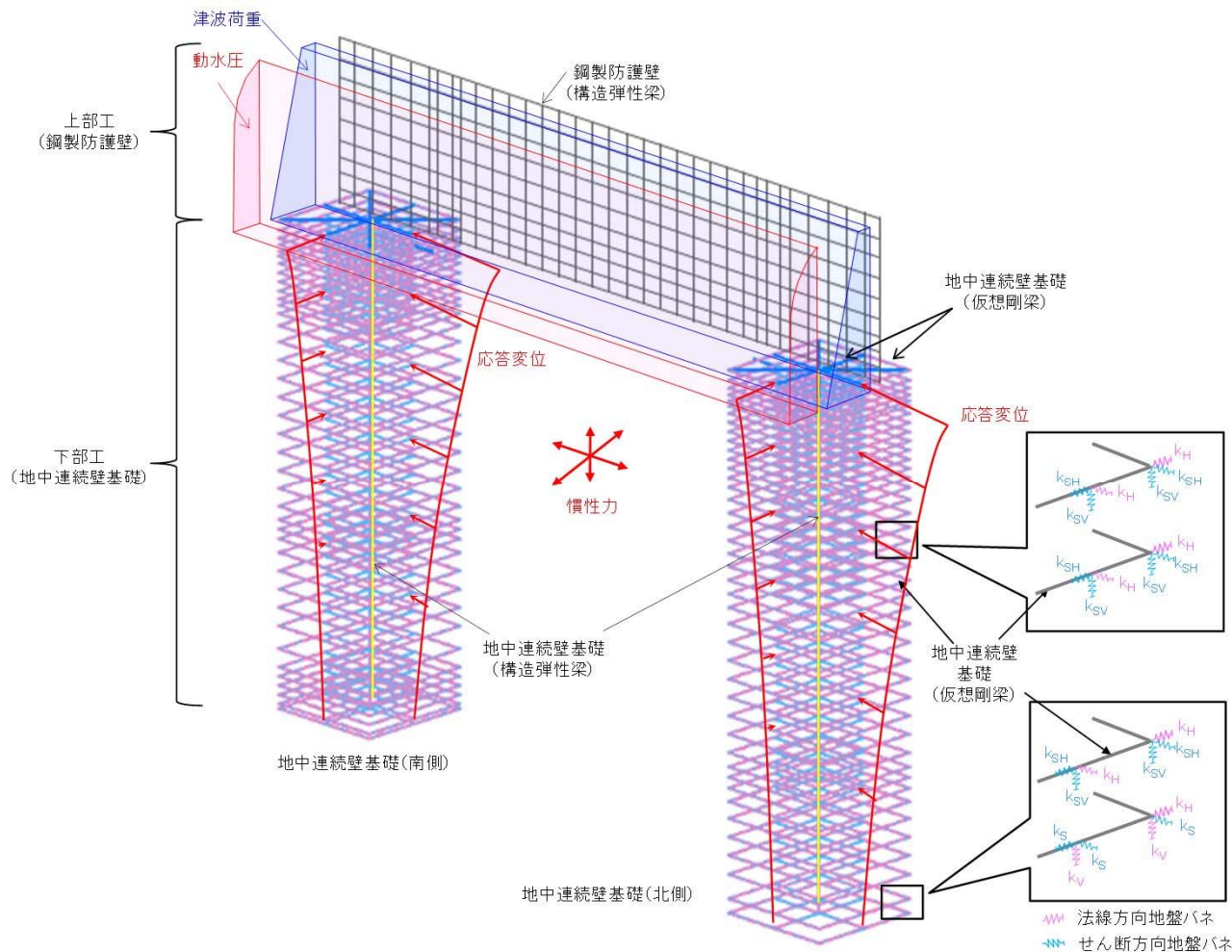
- ・上部工・下部工を一体でモデル化する。
- ・地中連続壁基礎は縦梁(構造弾性梁)とその周囲の仮想剛梁で構成し, 仮想剛梁に地盤バネを設定する。
- ・鋼製防護壁は, 外面・隔壁部材を構造弾性梁でモデル化する。
- ・本震及び余震の影響を考慮するとともに, 部位ごとに安全側となるよう地盤バネを設定する。
- ・余震による地盤の剛性低下は, 一次元地盤応答解析結果の収束剛性により考慮する。

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(-1σ低減) 残留強度(平均)
静弾性係数	残留強度(-1σ低減)

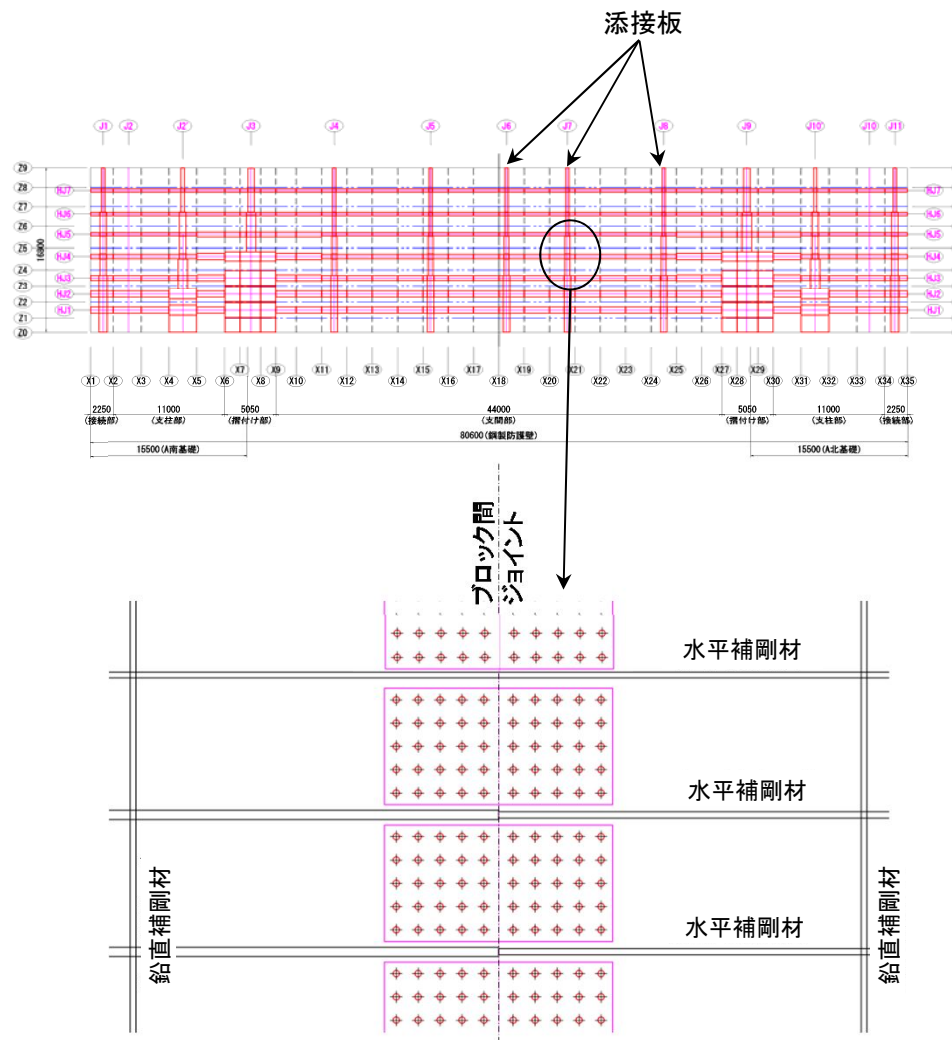
※地盤バネ定数3種類と地盤バネの上限値の4種類を用いて, 地盤の最も高い剛性と最も大きい強度の組合せによる構成式及び地盤の最も低い剛性と最も小さい強度の組合せによる構成式を地盤バネの設定で用いて, 各部位で安全側となる設計を行う。

第555回審査会合
資料2-4再掲



補剛材・添接板継手部の設計(1/3)

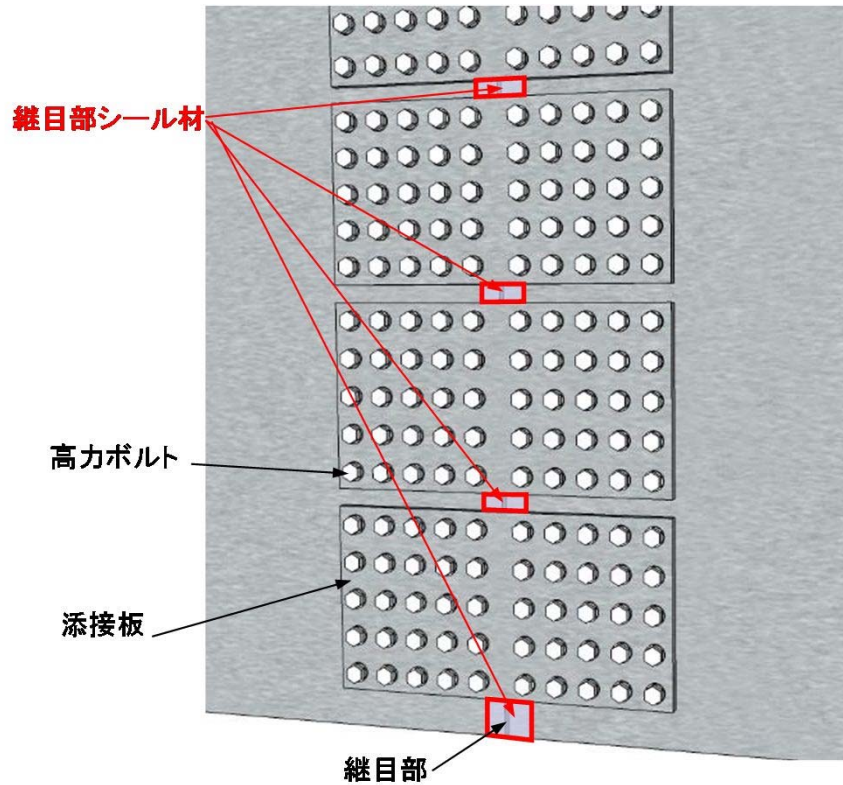
- 鋼殻ブロックの添接板継手部は、高力ボルト摩擦接合方式とする(「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編7.3」)。
- 母材に作用するせん断力及び曲げモーメントに対して、継手部の孔引き後の母材、添接板及び高力ボルトの安全性を照査する。せん断力と曲げモーメントが同時に作用するため、合成した力に対する安全性も照査する。



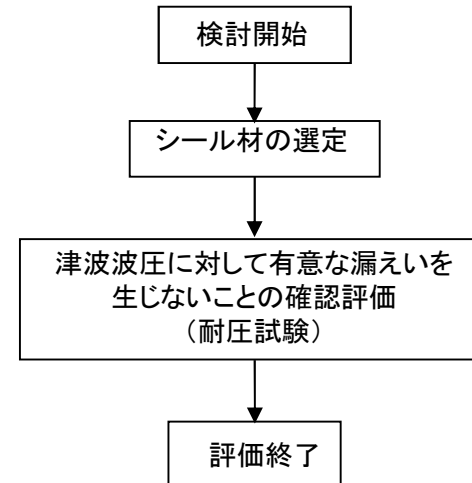
※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

補剛材・添接板継手部の設計(2/3)

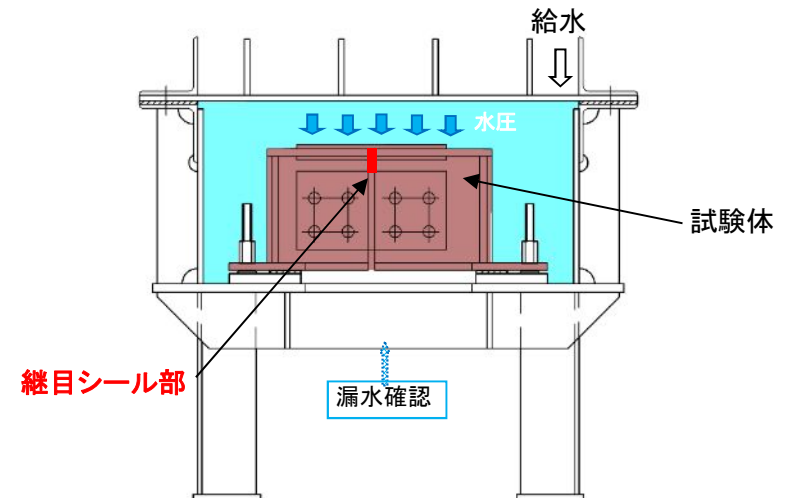
- 添接板の継目部にはシール材を設置する。
- シール材には津波波圧が作用するため、これに対して有意な漏えいが生じないことを実スケールの実験により確認する。



シール材の概念図



シール材の検討フロー



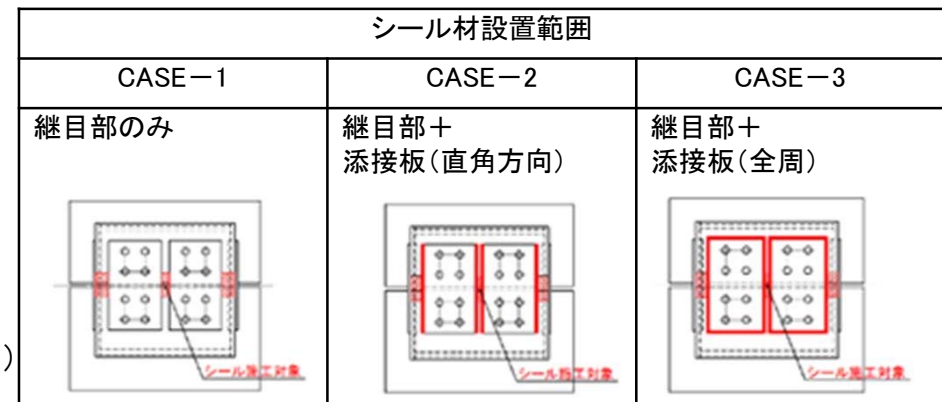
耐圧試験の概念図

補剛材・添接板継手部の設計(3/3)

- シール材は、耐候性(50年相当)、耐熱性(-50℃~+80℃)及び施工性を考慮し、樹脂系の [] を選定した。
- 耐圧試験は、シール材の設置範囲を変え、継目部のみ、継目部+添接板(直角方向)、継目部+添接板(全周)の3ケースで実施した。
- 耐圧試験の結果、ケース1(継目部のみのシール材設置)でも有意な漏えいが生じないことを確認した。

試験ケース

シール材名称	主成分	選定理由
[]	2液性特殊変性シリコンエポキシ樹脂	耐候性(50年相当)、耐熱性(-50℃~+80℃)及び施工性(塗り直し可能)を考慮し選定した。



■ 耐圧試験の許容条件

・試験水圧

余震+基準津波時: 0.35MPa(必要耐圧保持時間 10分以上)

余震+T.P.+24津波時: 0.50MPa(必要耐圧保持時間 10分以上)

耐圧試験の結果

試験体ケース	水圧	必要耐圧保持時間※ (加圧時間)	有意な漏えい	判定
Case-1	0.35 MPa	10分以上(60分)	無	OK
	0.50 MPa	10分以上(10分)	無	OK
Case-2	0.35 MPa	10分以上(60分)	無	OK
	0.50 MPa	10分以上(10分)	無	OK
Case-3	0.35 MPa	10分以上(60分)	無	OK
	0.50 MPa	10分以上(10分)	無	OK

※: 必要耐圧保持時間は津波の作用時間を考慮して10分以上とした。

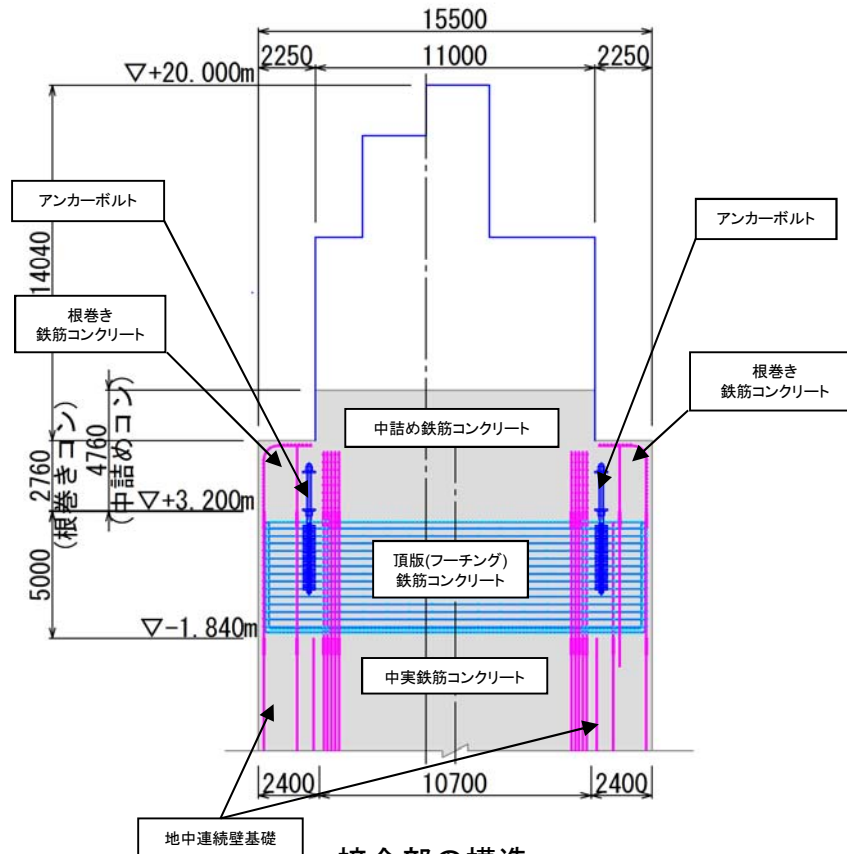
余震+基準津波時の加圧時間は必要耐圧保持時間に対し、十分な余裕をもって1時間とした。

接合部の設計(接合部の構造)

■ 接合部の構造

- ・ 直接定着式アンカーボルト
- ・ 頂版鉄筋コンクリート, 中詰め鉄筋コンクリート

→ 頂版鉄筋コンクリート, 中詰め鉄筋コンクリートと地中連続壁基礎(中実鉄筋コンクリートを含む)は鉄筋により結合して一体構造とする。



接合部の構造

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

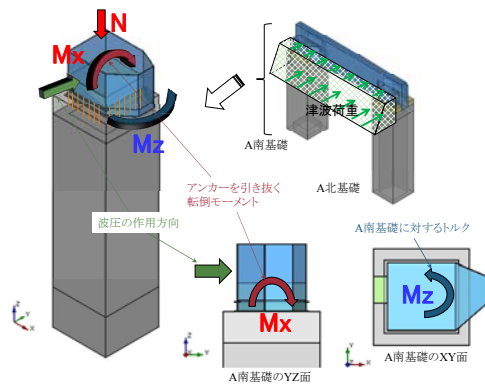
接合部の設計(設計思想及び荷重の伝達メカニズム)

設計思想

アンカーボルトは本来、引抜き力及びせん断力に抵抗できる部材であることから、鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)の「7.2 アンカー部の設計方法」においては、アンカーボルトに水平方向のせん断力も許容限界以内で受けもたせる設計方法となっている。一方、鋼製防護壁においては、保守的な配慮として、接合部の水平回転モーメント(水平トルク)及び水平力によるせん断力に対するアンカーボルトの抵抗力は設計上期待せず、接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対しては、設計上鉄筋コンクリートのみ耐力でも、弾性範囲内で負担可能とするという設計思想である。

荷重の伝達メカニズム

上部構造と下部構造の接合部における並進、回転6成分の断面力は、接合部で一体となったアンカーボルト及び鉄筋コンクリートを介して伝達される。
 なお、接合部における曲げ引張軸力に関する3成分の断面力は、設計上アンカーボルトのみの耐力でも、上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。また、接合部における水平方向のせん断力に関する3成分の断面力は、設計上鉄筋コンクリートのみ耐力でも、上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。

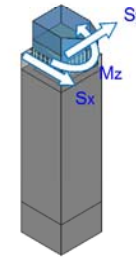


津波荷重作用時のイメージ図

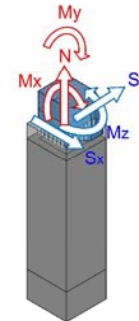
アンカーボルトで抵抗



頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートで抵抗

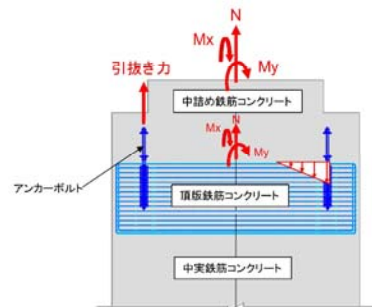


アンカーボルト、頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートで抵抗

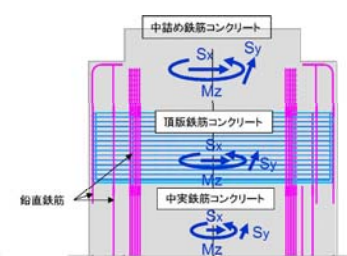


+

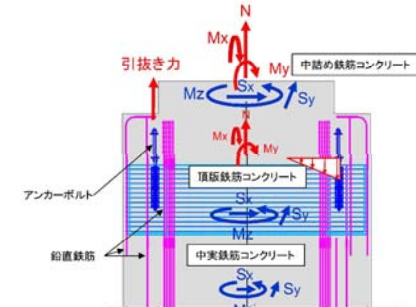
=



引抜き力に関する荷重伝達イメージ



水平力、水平回転モーメントに関する荷重伝達イメージ



引抜き力及び水平力、水平回転モーメントに関する荷重伝達イメージ

荷重伝達のメカニズム

接合部の設計(設計方針)

設計方針

- 鋼製防護壁は浸水防護施設であることから、本震時、津波時、余震と津波の重畳時の何れに対しても、構造部材の弾性範囲内で設計を行う。
- 鋼製防護壁本体の自重、及び、地震や津波による設計荷重を確実に基礎へ伝達させる。
- 引抜き力に対しては、設計上アンカーボルトのみで負担できる設計とする。
→「鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)」に準拠する。
- 水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては、設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担できる設計とする。
→「道路橋示方書(日本道路協会)」、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会)」に基づく。

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

【三次元解析(COM3)の目的】

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

- ・三次元解析(COM3)により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。
- ・三次元の詳細な解析により、アンカーボルト1本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認する。
- ・設計を超える荷重に対しては、十分な靱性を有する構造であることを確認し、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。

対象部材及び準拠基準

対象部位	荷重条件	準拠基準	設計思想
接合部	アンカーボルト	・鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)(名古屋高速道路公社) <7章アンカー一部> P50~P52 参照	・引抜き力に対しては、設計上アンカーボルトのみで負担できる設計とする。
	中詰め鉄筋コンクリート、 頂版鉄筋コンクリート	・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編)(日本道路協会) <4.4 ねじりモーメント作用する部材の照査> P44 参照 ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会) <付録1 2.2せん断応力度> P44 参照	・水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては、設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担できる設計とする。

※ 中詰め鉄筋コンクリートと鋼殻とは合成構造として設計し以下の文献に準拠する
「鋼・合成構造標準示方書」(土木学会)、「複合構造標準示方書」(土木学会)

接合部の設計(「鋼構造物設計基準」の適用範囲 1/2)

鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)の適用範囲

- アンカーボルトは水平方向のせん断力に対する抵抗力も有するが、鋼製防護壁では保守的な配慮として、設計上アンカーボルトは引抜き力のみを弾性範囲内で負担できればよい役割の部材に位置づけた設計を行う。上部構造と下部構造の接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対するアンカーボルトの抵抗力は設計上期待せず、接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対しては、設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみの耐力でも、弾性範囲内で負担できる設計とする。この設計方針を前提として、以下に接合部の引抜き力に対するアンカーボルトの設計のみを対象とする鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)の適用について整理を行う。
- レベル2地震動よりも大規模な基準地震動 S_B に対して、安全性の配慮より短期許容応力度を許容限界として設計する。
- なお、鋼構造物設計基準の津波防護施設への適用実績は確認されていないが、当該基準に準拠した弾性範囲内の設計及び三次元解析による設計の妥当性確認を行う方針である。

分類	「鋼構造物設計基準」の主な該当項目		「鋼構造物設計基準」の主な適用範囲	鋼製防護壁への適用
設計思想	1.1	適用の範囲	上部構造と下部構造の接合部におけるアンカー部の設計	直接定着式アンカーボルトは、鋼製防護壁への適用に当たり、設計荷重に対して、引抜き力は設計上弾性範囲内のアンカーボルトのみで負担できる設計とし、水平力、水平回転モーメントによるせん断力は設計上弾性範囲内の鉄筋コンクリートのみで負担できる設計とすることで適用範囲とする。
構造形式	7.1	一般	直接定着方式が原則	直接定着式アンカーボルトを選定する。
部材諸元	7.1	一般	アンカーボルト間隔2D (D:公称径)	基準に基づいて配置する。
	7.3.1	アンカーボルト	公称径 D80~D180 (mm)	公称径D180のアンカーボルトの規格に基づく。
使用材料	3.1	使用鋼材	SM490A 相当 315N/mm ² SM520B 相当 355N/mm ²	適用範囲内の『直接定着方式/SM520B相当』を用いる。
	3.2	コンクリート	フーチングコンクリート設計基準強度 $\sigma_{ck}=21\sim27\text{N/mm}^2$	フーチング(頂版)コンクリートの設計基準強度は50N/mm ² であるが、保守的な配慮として基準に記載の設計基準強度27N/mm ² に対応する照査応力度を許容限界として弾性設計を行う。
構造設計	1.3	アンカー部の耐震設計	常時及び地震時	常時及び地震時において、いずれも弾性範囲内の設計を行なう。 津波時の荷重は地震時と同様に短期荷重であるため、割り増し係数は地震時と同様の値を用いる。
	7.2.1	アンカー部の耐震設計	アンカーボルトの軸力は、鉄筋コンクリート方式(複鉄筋)により算定	アンカーボルトの軸力は、2軸複鉄筋コンクリート断面で算定し弾性設計を行う。 中詰め及び頂版の鉄筋コンクリートは、せん断力に対して弾性設計を行う。
許容限界	2.14	荷重の組合せ許容応力度の割増し	レベル1地震時(地震動) ^{※1} :短期許容応力度 レベル2地震時(地震動) ^{※2} :アンカー部の耐震設計(降伏応力度)	地震時(基準地震動 S_B)、基準津波時、余震+基準津波時:短期許容応力度 T.P.+24m津波時、余震+T.P.+24m津波時:降伏応力度
	3.3	許容応力度	SM520B相当 $\sigma_s=210\text{N/mm}^2$ $\tau_s=80\text{N/mm}^2$	適用するアンカーボルトは、『直接定着方式/SM520B相当』とする。
	7.2.2	照査応力度	直接定着式アンカーボルトの付着引抜きコーンせん断(鉄筋補強あり)せん断	フーチング(頂版)コンクリートの設計基準強度は50N/mm ² であるが、保守的な配慮として基準に記載の設計基準強度27N/mm ² に対応する照査応力度を許容限界として弾性設計を行う。

※1:レベル1地震動 発生する確率が高い地震動

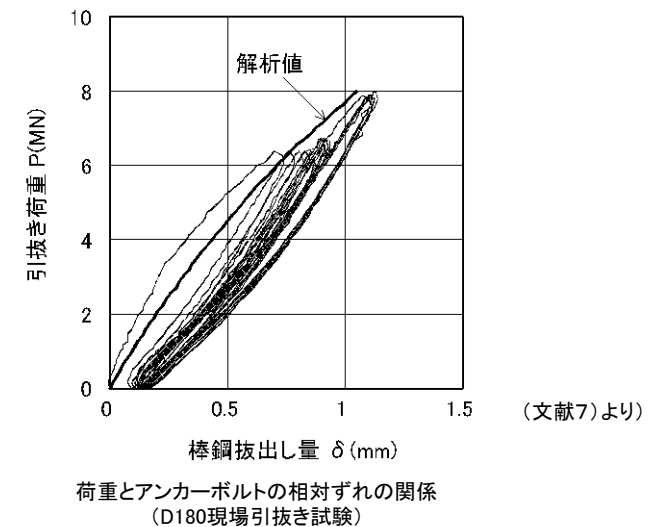
※2:レベル2地震動 発生する確率は低いが大きな揺れの強さを持つ地震動
(道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(日本道路協会)より)

接合部の設計(「鋼構造物設計基準」の適用範囲 2/2)

- 鋼製防護壁の設計値(試計算)として得られているアンカーボルトに発生する引張力は、文献7)で確認されている引抜き力の実験値以内に収まっていることを確認している。
- 接合部の荷重分担
 - ・引抜き力に対しては、設計上アンカーボルトのみで負担できる設計とする。
 - 「鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)」に準拠する。

鋼製防護壁の設計引抜き力と既往の文献の実験で確認されている引抜き力の比較

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



接合部の設計(「コンクリート標準示方書及び道路橋示方書の適用箇所」)

- 一般に規模の大きい土木構造物については、複数の基準類を参照して設計を行う。
- 鋼製防護壁接合部は、コンクリート標準示方書、道路橋示方書、鋼構造物設計基準等を参照して設計を行う。
- 中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートの水平力によるせん断力は「コンクリート標準示方書[構造的照査編] 付録1 2.2 せん断応力度」(土木学会)に準拠して設計を行う。
- 水平回転モーメントによるせん断力は、コンクリート標準示方書に許容応力度設計法での記載がないため、「道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋編 4.4 ねじりモーメントが作用する部材の照査」に準拠して設計を行う。

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

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

V_{ca} : コンクリートの許容せん断力(N) $V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$
 V_{sa} : 斜め引張鉄筋の許容せん断力(N) $V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot j \cdot d / s$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度(N/mm²)
 b_w : 有効幅(mm)
 j : 1/1.15
 d : 有効高さ(mm)

A_w : 斜め引張鉄筋断面積(mm²)
 σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度(N/mm²)
 s : 斜め引張鉄筋間隔(mm)

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

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

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

σ_{st} : ねじりモーメントに対する横方向の鉄筋の応力度(N/mm²)
 σ_{sl} : ねじりモーメントに対する軸方向の鉄筋の応力度(N/mm²)
 M_t : 部材断面に作用するねじりモーメント(N・mm)
 A_{wt} : 間隔aで配置されるねじりモーメントに対する横方向鉄筋1本の断面積(mm²)
 A_{lt} : 部材断面に配置されるねじりモーメントに対する軸方向鉄筋の全断面積(mm²)
 a : 横方向鉄筋の間隔(mm)
 bt, ht : 幅及び高さ(mm)

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

接合部の設計(基本方針及び準拠基準の併用)

- 設計手法には、弾性範囲内に構造物の挙動を収める許容応力度法に準拠する方法や、ある程度の塑性変形を許す保有水平耐力法に準拠する方法がある。これら2つの方法を併用することには問題がある。しかしながら、鋼製防護壁接合部の設計においては、鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)及び道路橋示方書(日本道路協会)の許容応力度法に準拠して、設計荷重に対し接合部の各部材の弾性範囲内に収める設計を行う。よって、両者の設計体系が弾性範囲内で整合しており併用することに問題はない。
- 接合部の各部材は、荷重分担に応じて、それぞれの技術基準類に準拠し弾性範囲内の設計を実施する。さらに、三次元解析(COM3)により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。

荷重分担の考え方

- 引抜き力に対しては、設計上直接定着式アンカーボルトのみで負担できる設計とする。
- 水平力及び水平回転モーメントに対しては、設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担できる設計とする。



各荷重分担に応じた技術基準類の準拠

- 引抜き力への対応・・・直接定着式アンカーボルトを設計(鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社))(許容応力度法)
- 水平力及び水平回転モーメントへの対応・・・中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリートを設計(コンクリート標準示方書(土木学会)と道路橋示方書(日本道路協会))(許容応力度法)

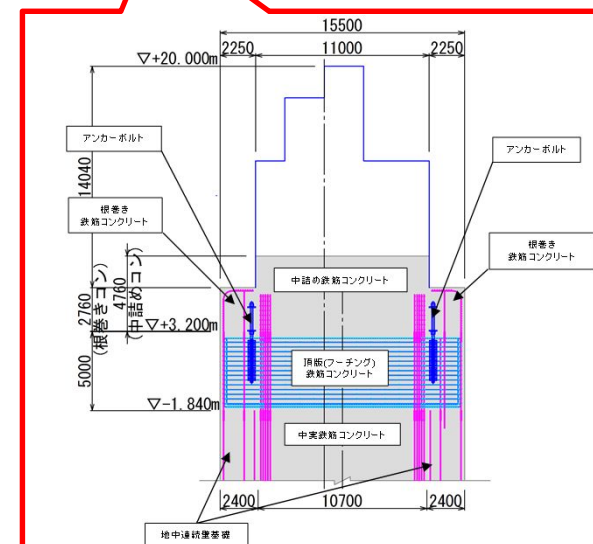
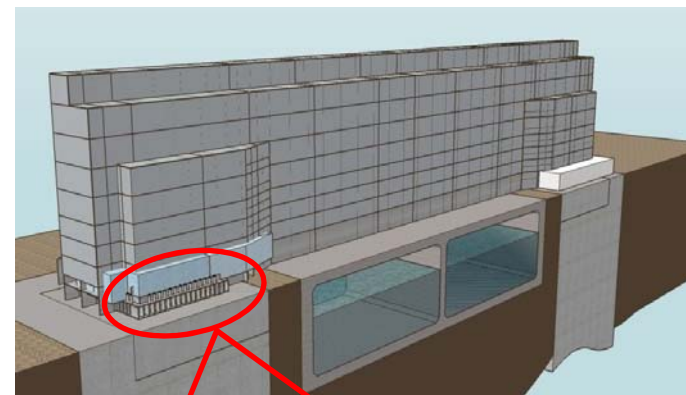


技術基準の併用

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



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



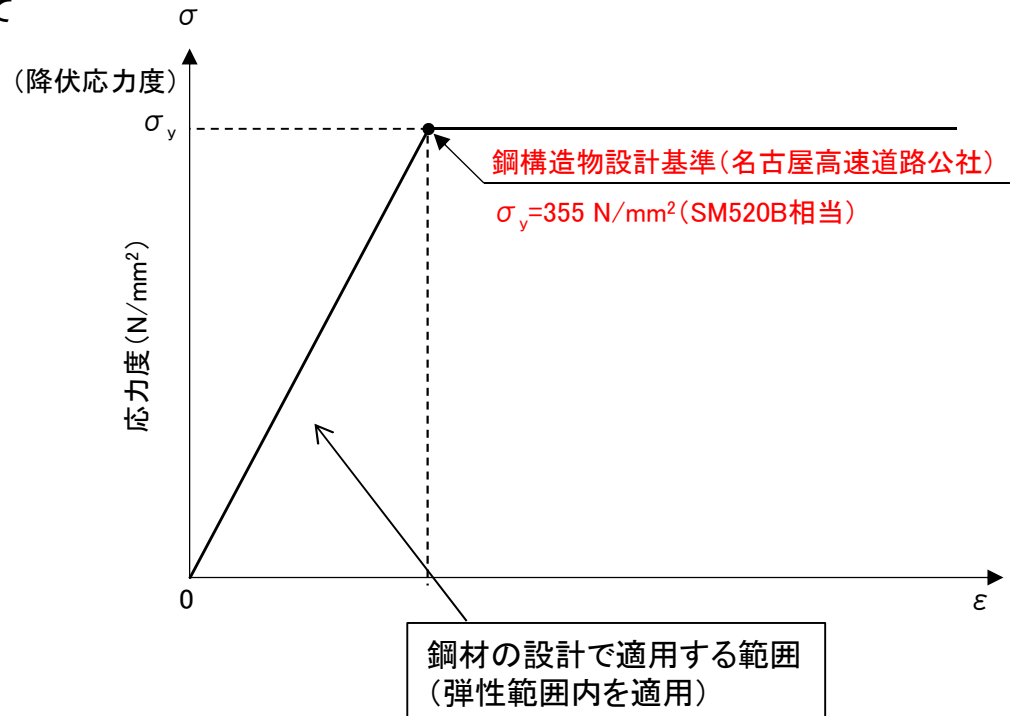
接合部の構造

8. 設計方針

接合部の設計(接合部における鋼材及びコンクリートの設計で適用する範囲)

第556回審査会合
資料2 修正

○鋼材について

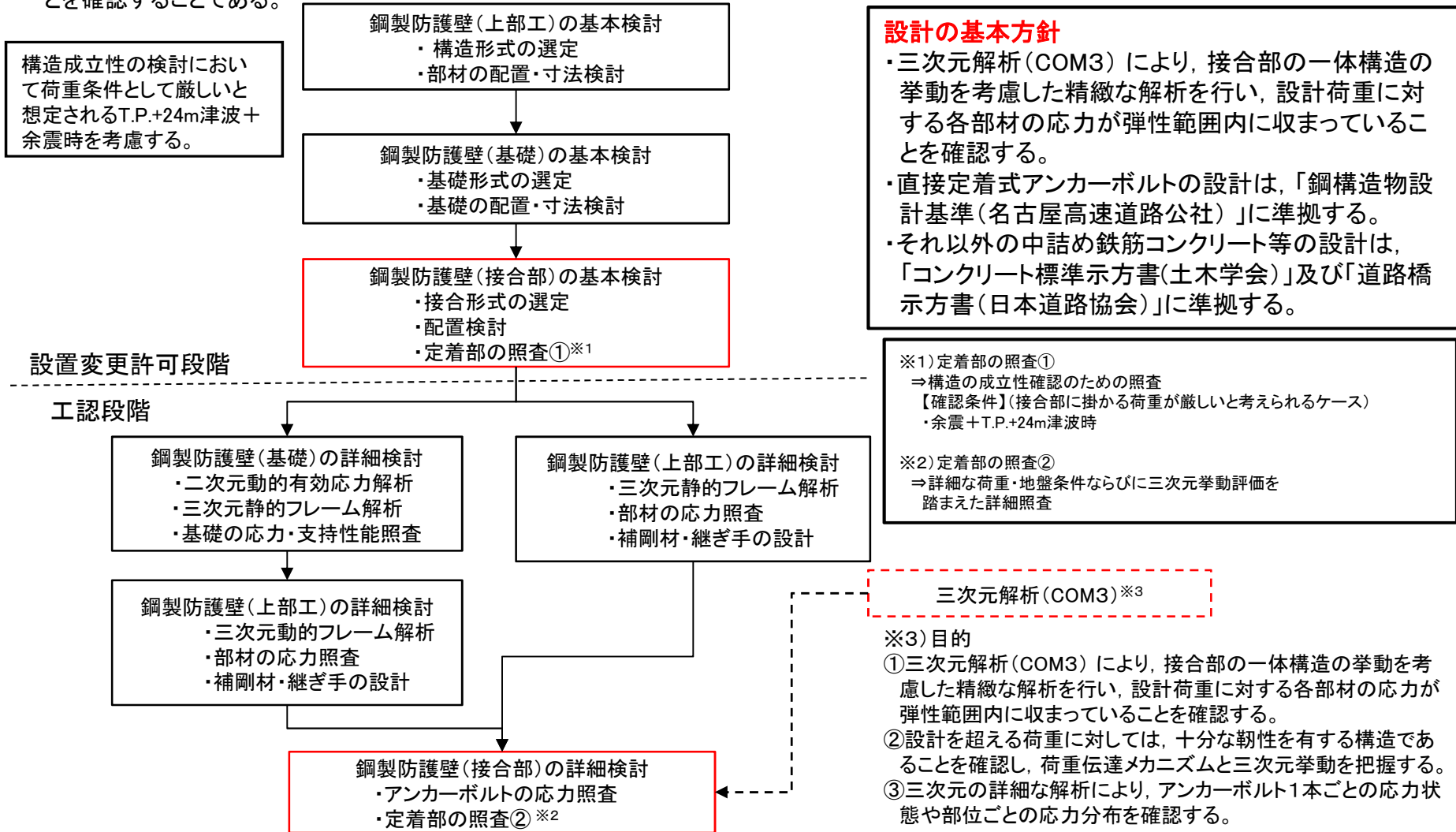


○コンクリートについて

接合部の中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートにおけるコンクリート設計基準強度は 50N/mm^2 を用いることとしているが、直接定着式アンカーボルトの定着及びコーンせん断に関するコンクリートの応力照査には、保守的な配慮として、鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)に基づきコンクリート設計基準強度 27N/mm^2 に対応する照査応力度を許容限界に適用する。

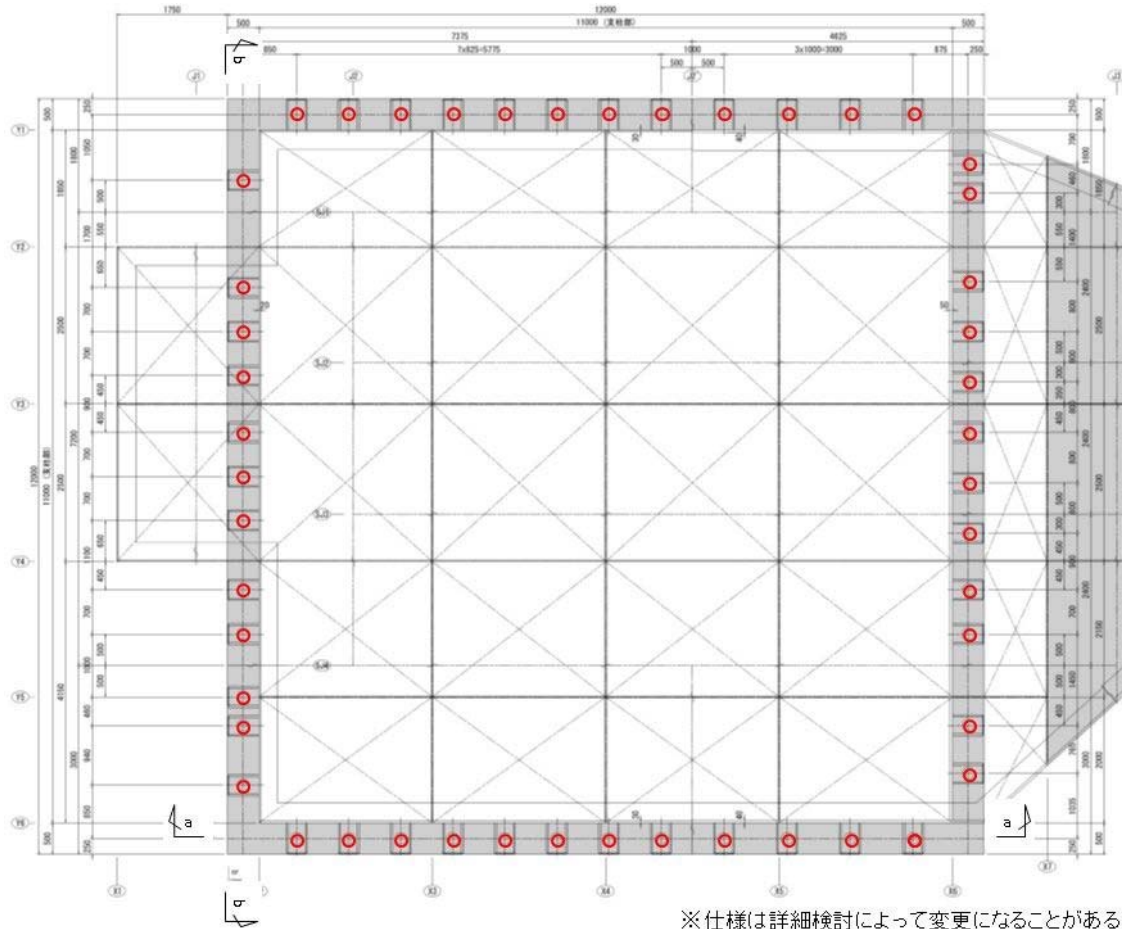
接合部の設計(接合部の検討フロー)

- 基本検討のうち定着部の評価とは、設置変更許可段階における定着部の照査を示す。この段階での照査は、基準類に準拠して設計を行い、構造の成立性を確認することである。
- 工認段階における評価は、詳細な荷重・地盤条件において基準類に準拠し照査を行い、三次元解析(COM3)により、接合部の一体化した挙動を考慮した精緻な解析を行い、各部材(アンカーボルト、中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリート)が設計荷重に対して弾性範囲内であることを確認することである。



構造成立性の検討において荷重条件として厳しいと想定されるT.P.+24m津波+余震時を考慮する。

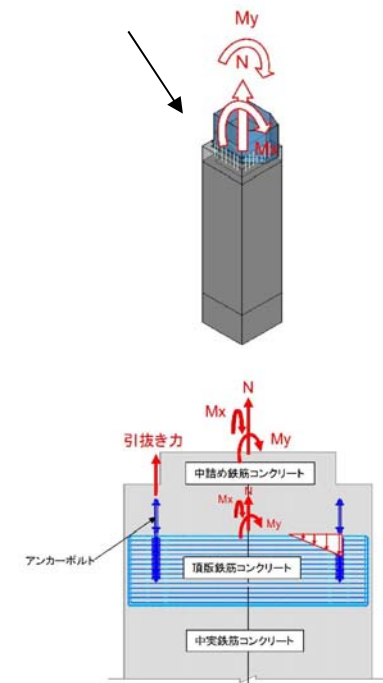
■ アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計)



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, 余震+津波時: 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

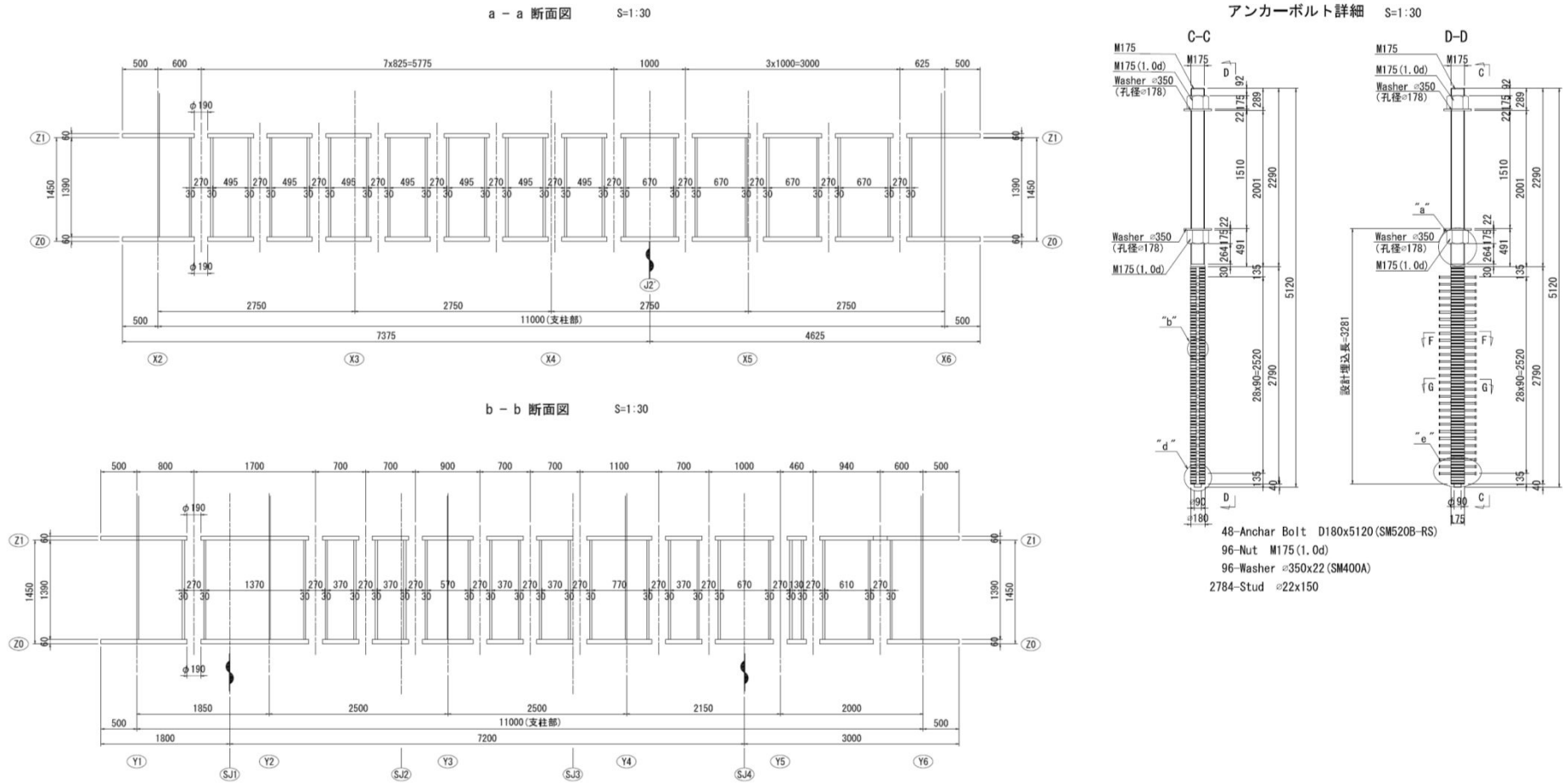


○ : アンカーボルト

8. 設計方針

接合部の設計(構造の成立性 2/7)

■ アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計)



※仕様は詳細検討によって変更になることがある。

■ アンカーボルトの応力に対する検討結果(2軸複鉄筋コンクリートの弾性設計)

タイトル		Case- 5 : CASE05 Load- 1 : K3T-1																							
		<table 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)	σ_c σ_{ca} 7.656 < 18.000 σ_s σ_{sa} 308.457 < 346.000 $\sigma_{s'}$ 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																							
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 ⁴)	617.79276																								
Izy (m ⁴)	0.23012																								

【アンカーボルトの検討条件】

アンカーボルトに対する負荷が厳しいと考えられる条件

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

許容限界

基準津波, 余震+基準津波: 短期許容応力度
T.P.+24m津波, 余震+T.P.+24m津波: 降伏応力度

アンカーボルトの設計においては、鋼構造物設計基準を用いる。
構造の成立性確認においては、保守的な配慮としてコンクリート標準示方書に基づく許容応力度の割増し係数を適用した。

σ_c : コンクリートの発生圧縮応力度
 σ_s : アンカーボルトの発生引張応力度
 $\sigma_{s'}$: アンカーボルトの発生圧縮応力度

σ_{ca} : コンクリートの短期許容応力度
許容応力度 $9.0\text{N/mm}^2 \times \text{割増し係数} 2.0^{1)} = 18.0\text{N/mm}^2$
(設計基準強度 27N/mm^2 に対応する短期許容応力度)
< コンクリートの照査応力度 $0.85 \times 27\text{N/mm}^2^{3)}$
 $= 22.95\text{N/mm}^2$

σ_s : アンカーボルトの短期許容引張応力度
 $\sigma_{s'}$: アンカーボルトの短期許容圧縮応力度
許容応力度 $210\text{N/mm}^2 \times \text{割増し係数} 1.65^{1)} = 346.5\text{N/mm}^2$
< 鋼材の照査応力度 $355\text{N/mm}^2^{3)}$

■ アンカーボルトの定着長に対する検討結果(弾性設計)

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。

7.3.2 アンカーボルトの埋め込み長(1)による算定式

$$Leq = (\sigma_{sa} \cdot A_s) / (\pi \cdot d_2 \cdot \tau_a)$$

$$= (355 \times 22645.698) / (\pi \times 180.0 \times 6)$$

$$= 2369.4$$

$$\therefore Leq = 236.9 \text{ (cm)}$$

$$Led = Leq + U_o$$

$$= 272.9 \text{ (cm)}$$

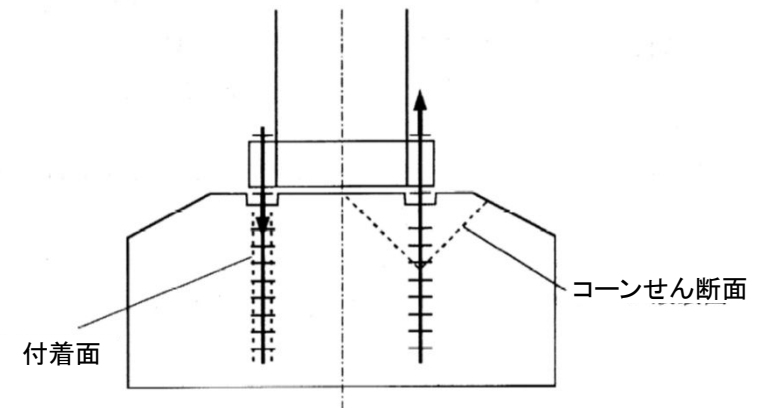
$$U_o = 2 \times d_2$$

$$= 36.0 \text{ (cm)}$$

σ_{sa} : アンカーボルトの許容応力度(N/mm²)
 τ_a : アンカーボルトの許容付着応力度
 A_s : アンカーボルトの有効断面積(mm²)
 d_2 : アンカーボルトの公称径(mm)

【アンカーボルトの検討条件】
 アンカーボルトに対する負荷が厳しいと考えられる条件

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

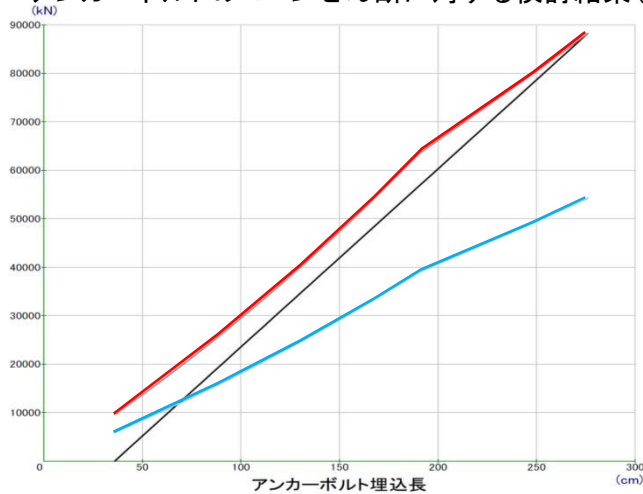


許容限界
 基準津波, 余震+基準津波: 短期許容応力度
 T.P.+24m津波, 余震+T.P.+24m津波: 降伏応力度

アンカーボルトの設計においては、鋼構造物設計基準を用いる。構造の成立性確認においては、コンクリート標準示方書に基づく許容応力度の割増し係数を適用した。

τ_a : アンカーボルトの短期許容付着応力度
 許容応力度 $3.0\text{N/mm}^2 \times \text{割増し係数}2.0^{1)} = 6.0\text{N/mm}^2$
 (設計基準強度 27N/mm^2 に対応する短期許容応力度)
 = アンカーボルトの付着に対する照査応力度 $2.0 \tau_a^{3)}$

■ アンカーボルトのコーンせん断に対する検討結果(弾性設計)



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

許容限界

基準津波, 余震+基準津波: 短期許容応力度
T.P.+24m津波, 余震+T.P.+24m津波: 降伏応力度

アンカーボルトのコーンせん断に対する検討は鋼構造物設計基準に準拠し実施した。

7.3.4 フーチングコンクリートの応力照査

$\sigma_{coa} = 1/2 \cdot \sigma_{coal} + \Delta\sigma$ σ_{coa} : 定着部のコーン破壊許容応力度
 σ_{coal} : コンクリート強度で決まるコーンせん断強度 (鉄筋補強なし)
 $\Delta\sigma$: 鉄筋補強によるコーン破壊強度の増加

σ_{coal} : コンクリート強度で決まるコーンせん断強度
コーンせん断に対する照査応力度 $1.5\sigma_{coal}$ ³⁾
 $1.5 \times 0.55\text{N/mm}^2 = 0.825\text{N/mm}^2$
(設計基準強度 27N/mm^2 に対応する照査応力度)

【アンカーボルトの検討条件】

アンカーボルトに対する負荷が厳しいと考えられる条件

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

補強鉄筋の計算

◆強度の不足分(面外)

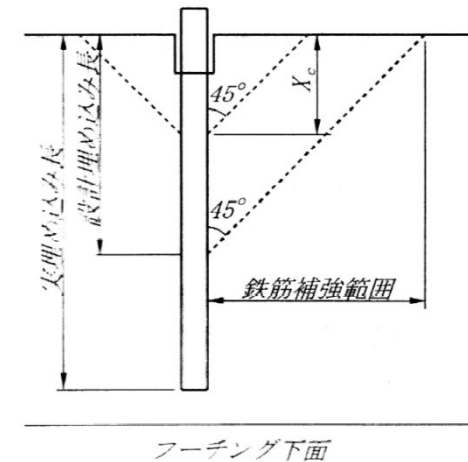
$\sigma_{ck} = 27$ (N/mm²)
 $\sigma_{sy} = 345$ (N/mm²) [SD345]
 $\sigma_{coa} = 1.342$ (N/mm²)
 $\sigma_{coal} = 0.825$ (N/mm²)
 $Ac(Xc) = 65749379$ (mm²)

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

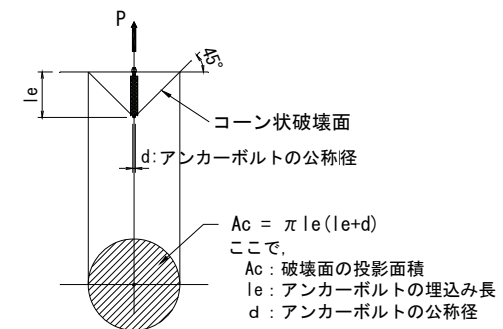
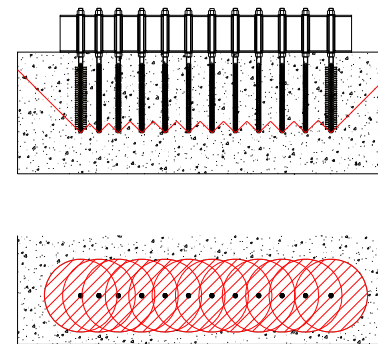
◆必要鉄筋量

$$As = 1.15 \times \Delta\sigma \times Ac / \sigma_{sy} = 203679.5 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$As_{req} = As / Ac(Xc) = 3097.8 \text{ (mm}^2\text{/m}^2\text{)}$$



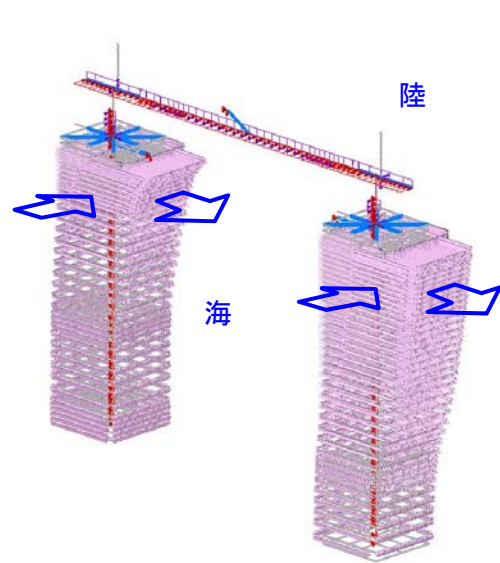
鉄筋補強範囲



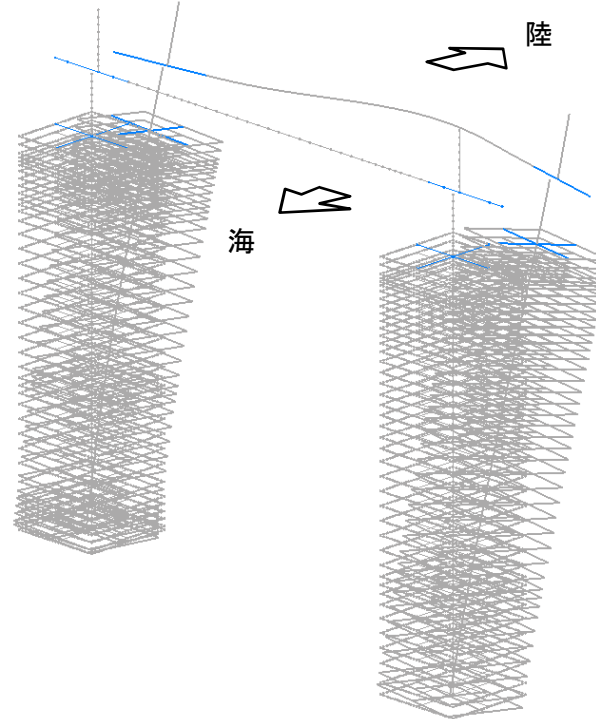
複数のアンカーボルトに対するコーンせん断面の考え方

■ 基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果(弾性設計)

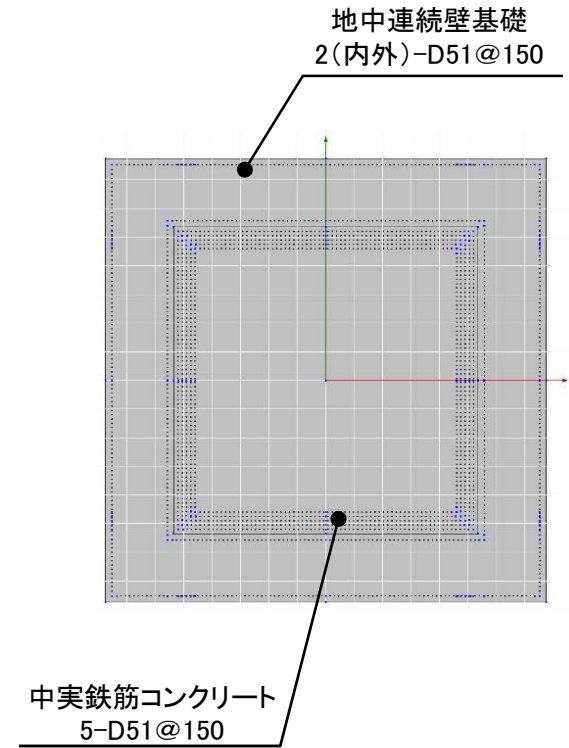
【基礎の検討条件】
 基礎に対する負荷が厳しい条件
 ・余震+T.P.+24m津波時
 ・水平2方向地震力の影響を荷重で考慮
 ・地盤/パネ : 1次元有効応力地盤応答解析(FLIP)の応答値



荷重図



変形図



配筋の概要

■ 基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果(弾性設計)

北基礎 照査値(鉄筋)=0.82 ... 判定OK
余震+T.P.+24m津波時

鉄筋の照査値:発生応力度/短期許容応力度

構造成立性の確認においてより厳しい評価を実施するため短期許容応力度で照査している。

【鉛直鉄筋】

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

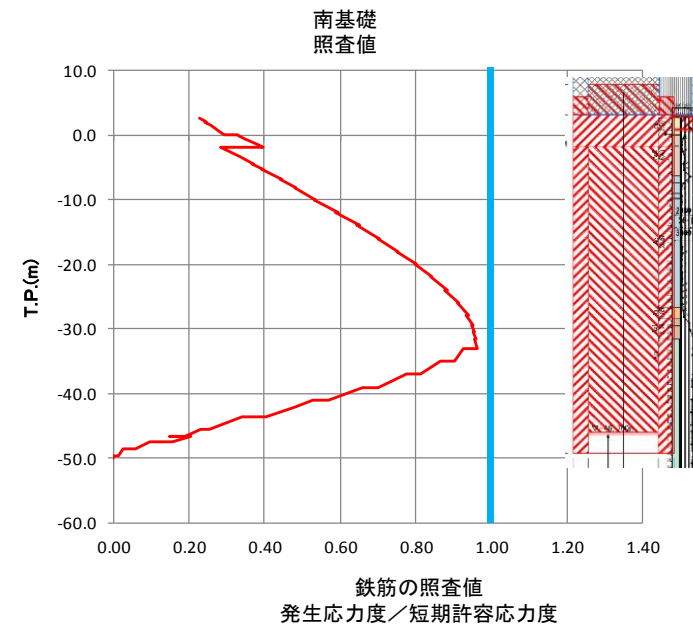
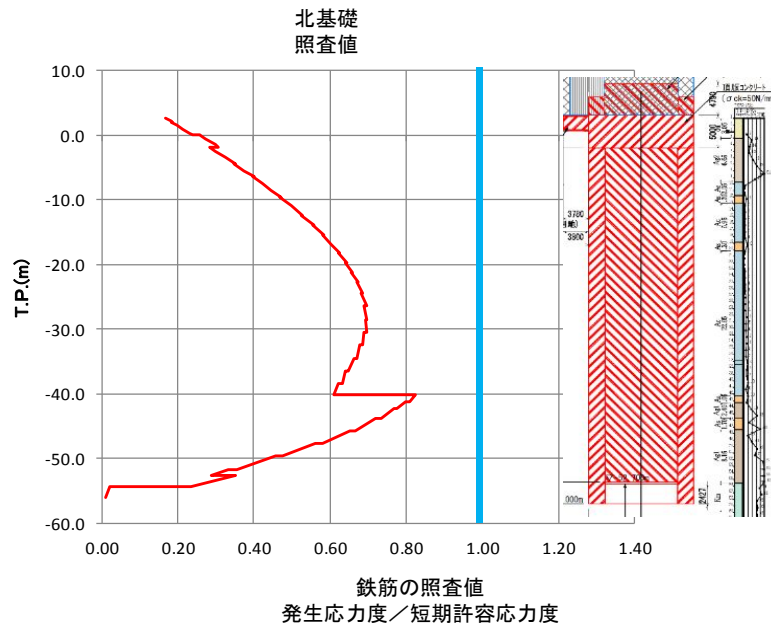
南基礎 照査値(鉄筋)=0.96 ... 判定OK
余震+T.P.+24m津波時

鉄筋の照査値:発生応力度/短期許容応力度

構造成立性の確認においてより厳しい評価を実施するため短期許容応力度で照査している。

【鉛直鉄筋】

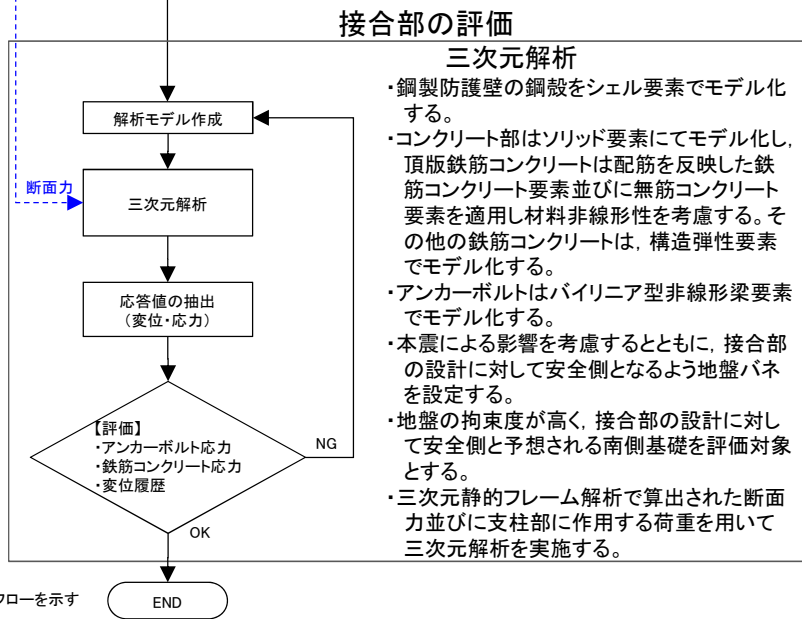
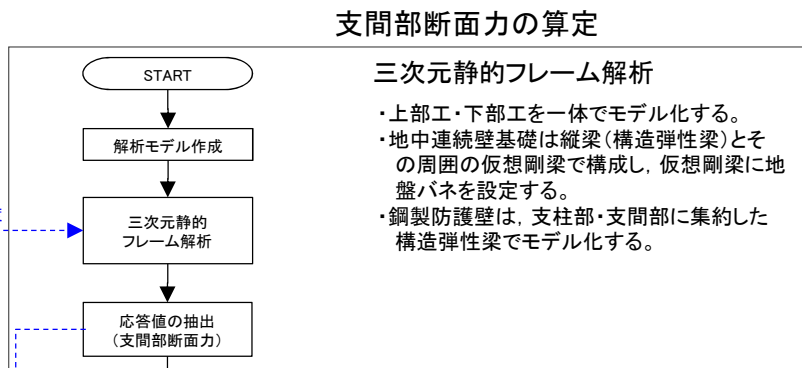
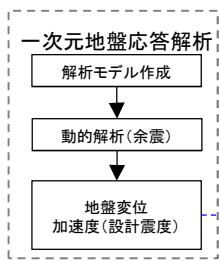
- ・中実鉄筋コンクリート 5-D51@150
- ・地中連続壁基礎 2-D51@150



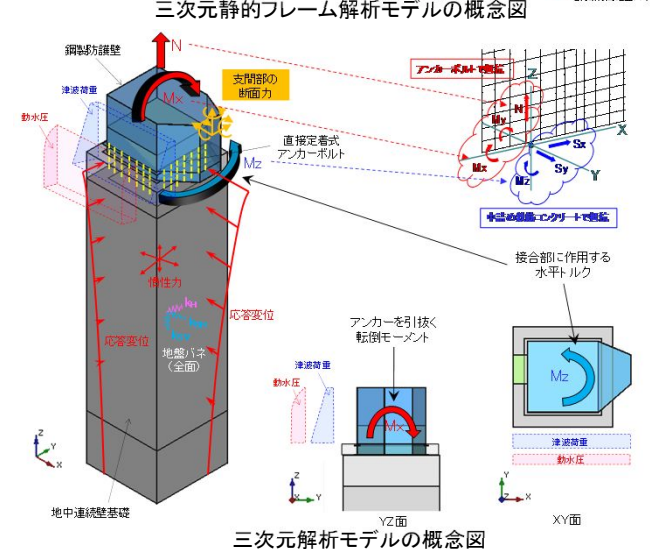
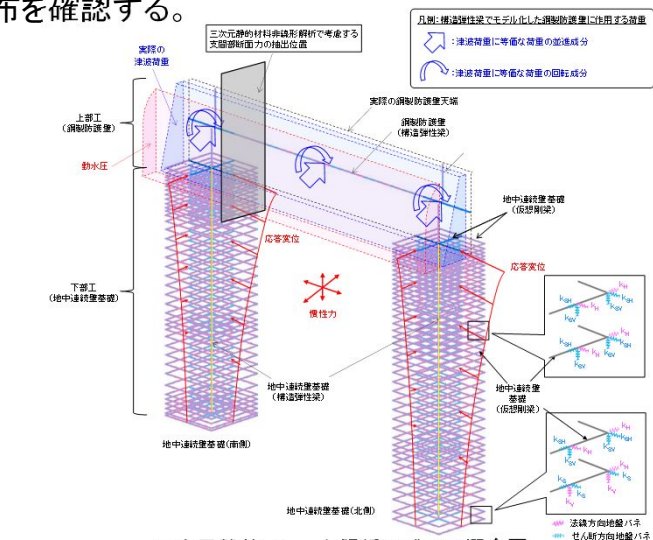
接合部の設計(三次元解析(COM3) 1/6)

検討目的

- ①三次元解析(COM3)により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。
- ②設計を超える荷重に対しては、十分な靱性を有する構造であることを確認し、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。
- ③三次元の詳細な解析により、アンカーボルト1本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認する。



--- : 解析データの受渡しフローを示す



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

解析の目的

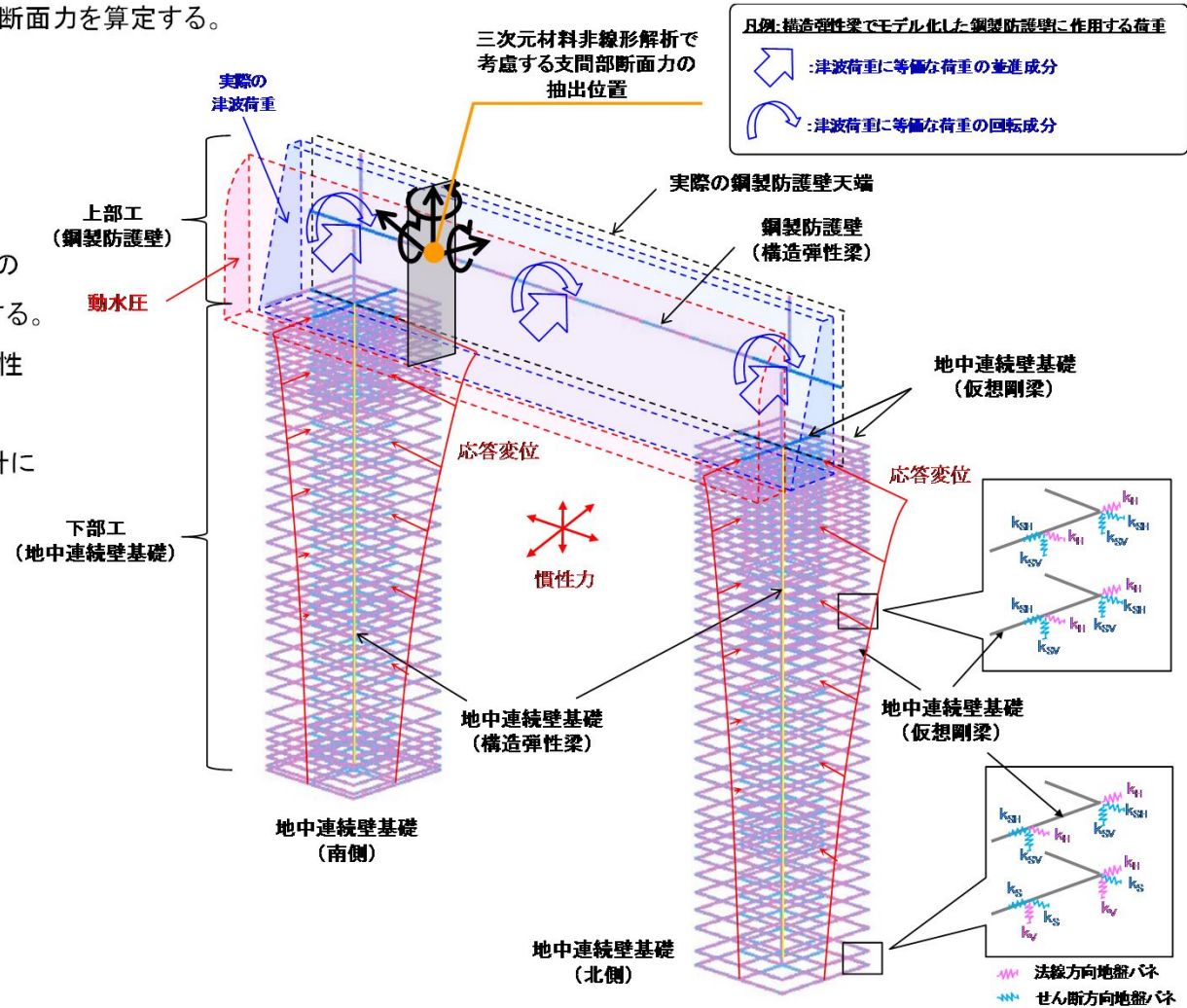
- ・津波荷重や余震影響を含む鋼製防護壁支間部の断面力を算定する。

結果の利用

- ・三次元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適切に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

接合部の設計(三次元解析(COM3)3/6)

(2)三次元解析(COM3)

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

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

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

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

解析の目的

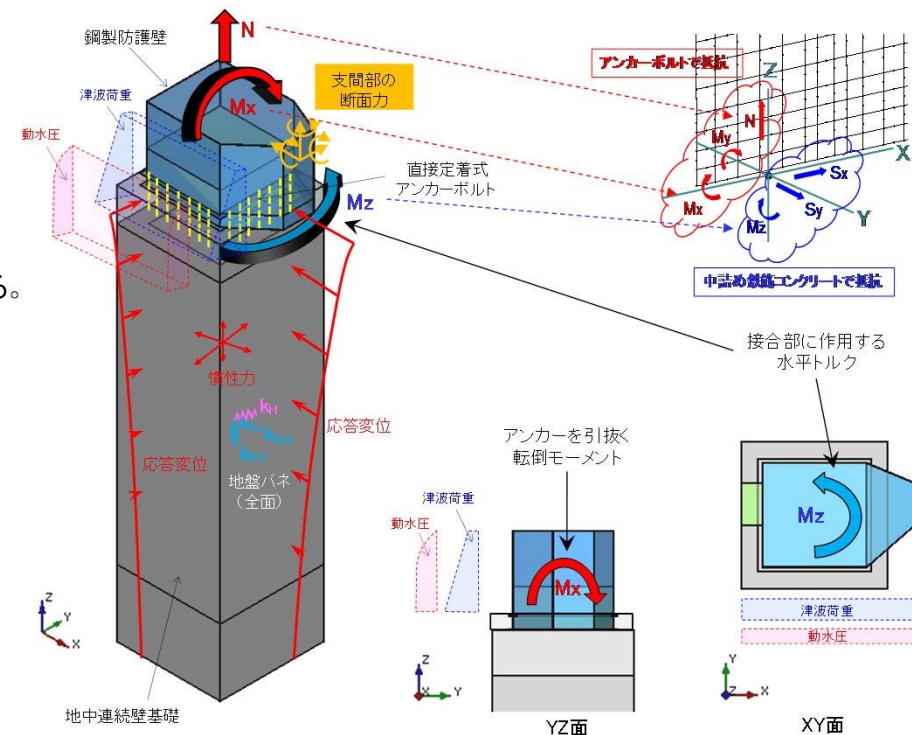
- ・津波荷重や余震影響を受ける鋼製防護壁接合部の三次元的な挙動を評価し、設計の妥当性及び直接定着式アンカーボルトの適用性を確認する。

結果の利用

- ・鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)によって弾性範囲内で設計したアンカーボルトをはじめとするそれぞれの部材が、一体となった構造でも弾性範囲内の応力レベルで収まっていることを確認する。
- ・三次元の詳細な解析によってアンカーボルト1本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認する。
- ・設計を超える荷重に対する裕度の確認。
- ・荷重伝達メカニズムと三次元挙動の把握。

モデル化方針

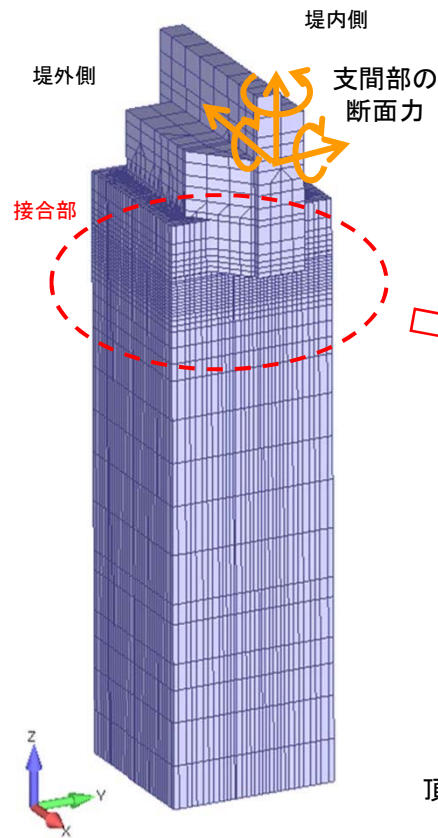
- ・鋼製防護壁の鋼殻をシェル要素でモデル化する。
- ・コンクリート部はソリッド要素にてモデル化し、頂版鉄筋コンクリートは配筋を反映した鉄筋コンクリート要素並びに無筋コンクリート要素を適用し材料非線形性を考慮する。その他の鉄筋コンクリートは、構造弾性要素でモデル化する。
- ・アンカーボルトはバイリニア型非線形梁要素でモデル化する。
- ・本震による影響を考慮するとともに、接合部の設計に対して適切に地盤バネを設定する。
- ・地盤による拘束度合が高く、接合部の設計に対して安全側と考えられる南側基礎を評価対象とする。
- ・三次元静的フレーム解析で算出された断面力並びに支柱部に作用する荷重を用いて三次元解析を実施する。



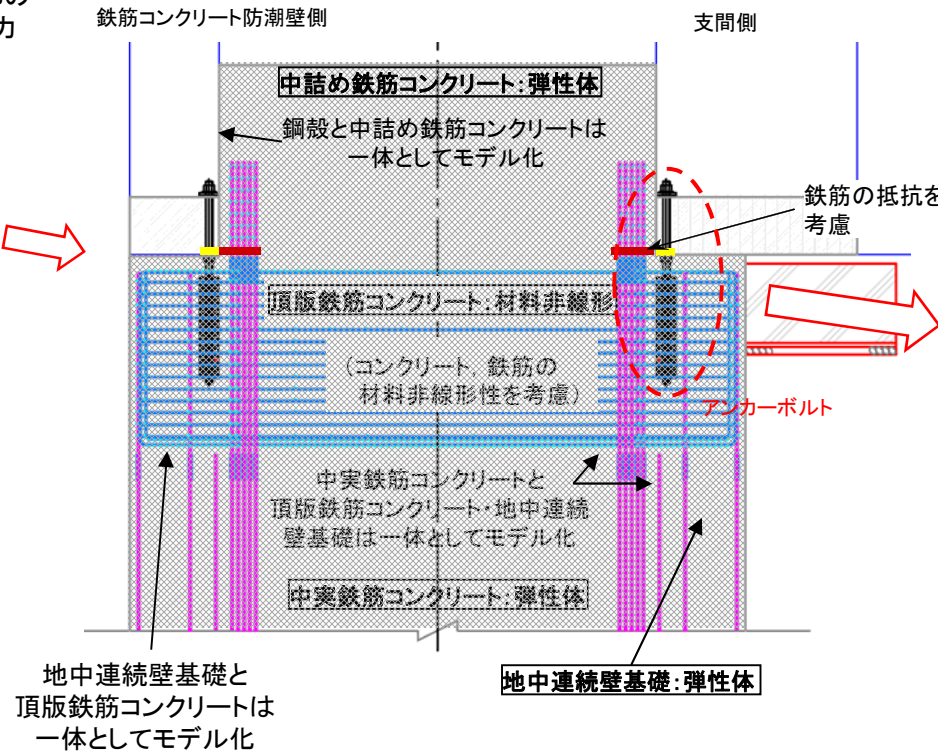
三次元解析モデルの概念図

■接合部のモデル化方針

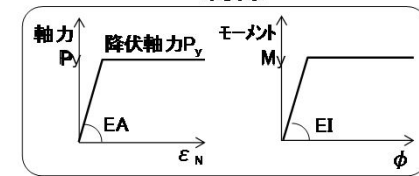
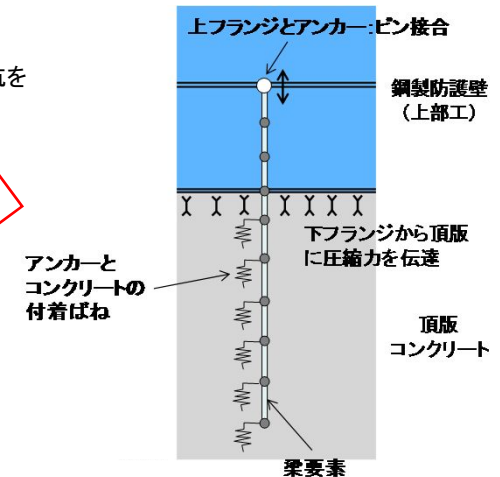
解析手法	三次元解析
プログラム	COM3
対象荷重	余震+津波時
目的	<ul style="list-style-type: none"> ・接合部の設計の妥当性確認 ・鉄筋コンクリートの材料特性を反映した三次元挙動評価
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> ・直接定着式アンカーボルト及び頂版鉄筋コンクリート(接合部)の評価



全体モデル
(イメージ)

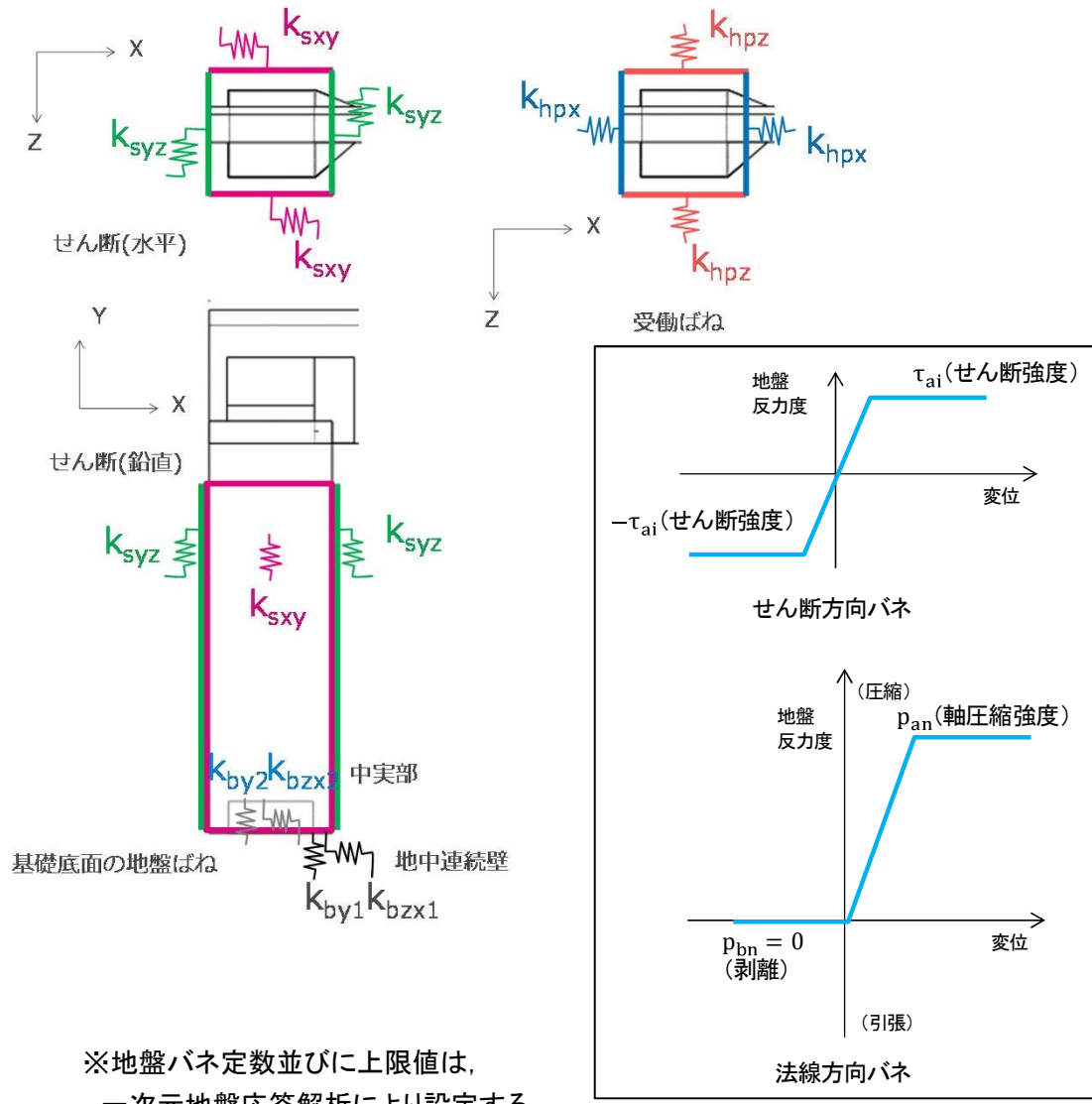
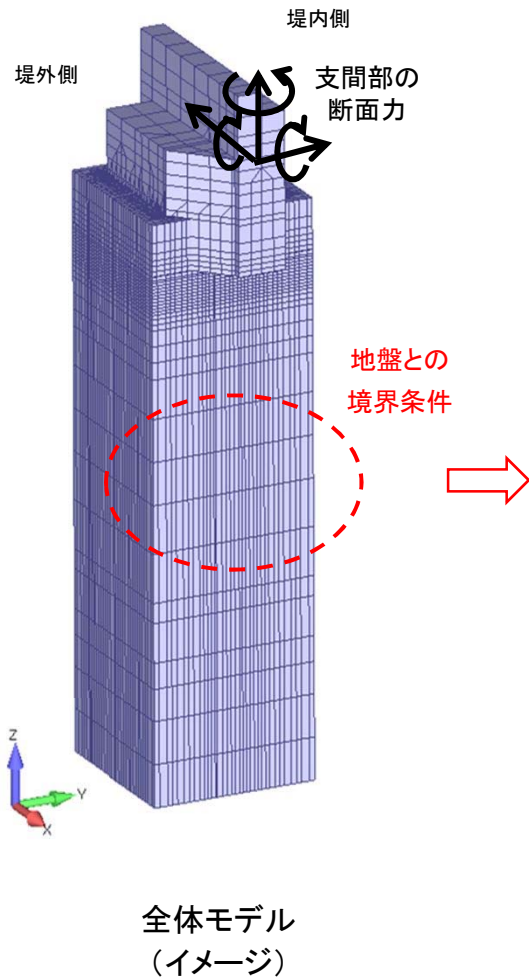


接合部のモデル化



アンカーボルトのモデル化

■接合部のモデル化方針



地盤のモデル化

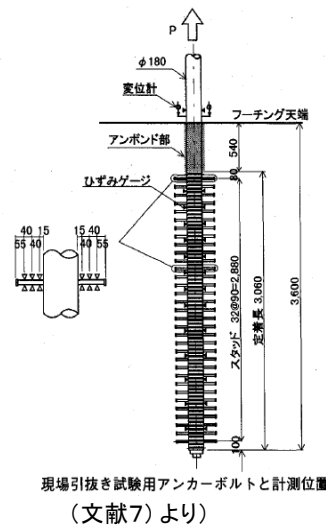
接合部の設計(三次元解析(COM3)の妥当性確認 1/2)

■三次元解析COM3のモデルの妥当性を示す文献

鉄筋コンクリートの材料非線形を考慮した精緻な三次元解析(COM3)により、設計の妥当性を確認するが、弾性範囲内の設計であり、『COM3』の弾性範囲内での妥当性は実験等との比較検討で確認している。鉄道施設や電力設備については、鉄筋コンクリート構造物の耐震性能や耐力評価に『COM3』が適用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があるものと判断できる。

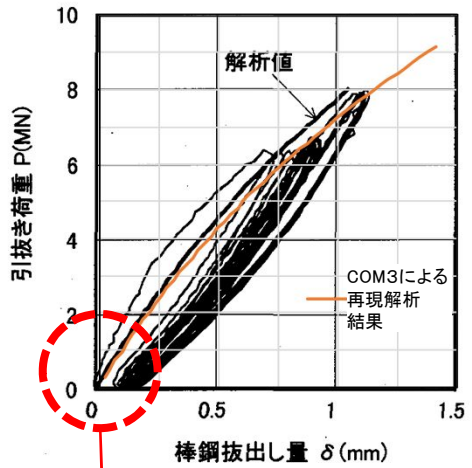
検証1. 直接定着式アンカーボルトの引抜き試験の再現シミュレーション

鋼製防護壁で実際に使用する直接定着式アンカーボルトについて、既往の研究⁷⁾の再現解析結果を実施した。研究で実施されている供試体の引抜き試験を再現した解析の結果は、試験結果とよい一致を示しており、荷重～変位関係における弾性範囲内での再現性が高いことを確認した。



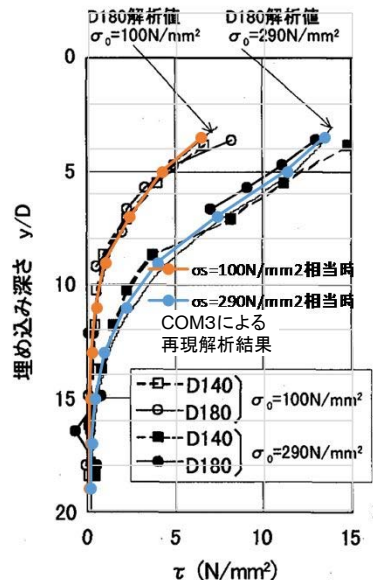
現場引抜き試験用アンカーボルトと計測位置 (文献7)より

引抜き試験概要



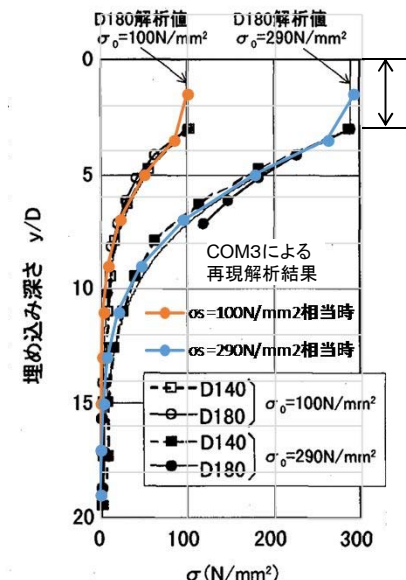
弾性範囲内の再現状況

引抜き試験の再現解析結果 (変位-荷重関係)



アンカーボルトの付着応力分布

(文献7)にCOM3による再現解析結果を加筆



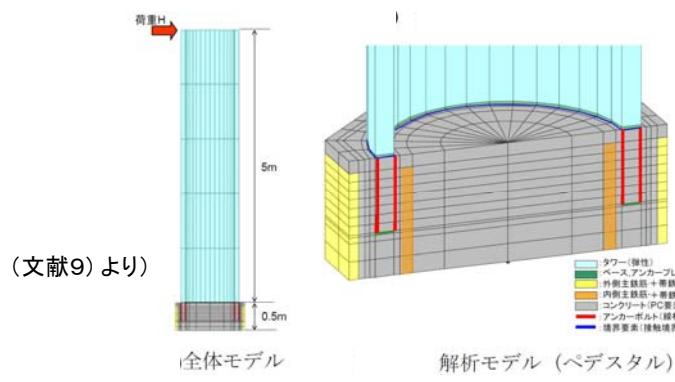
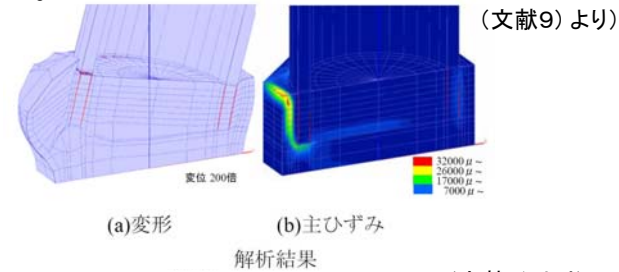
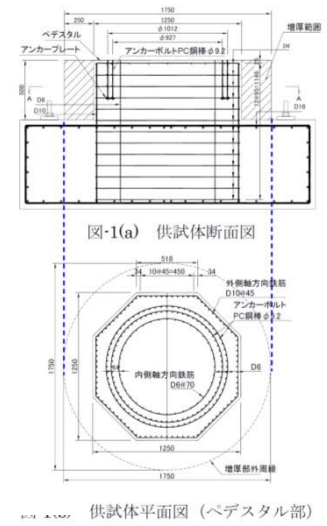
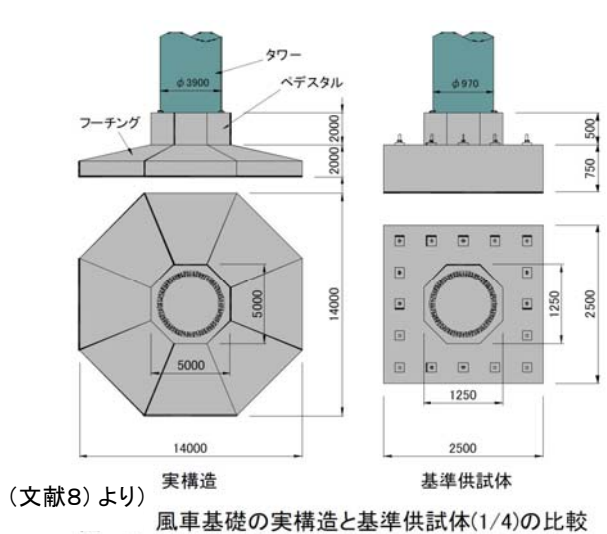
アンカーボルトの軸応力分布

(文献7)にCOM3による再現解析結果を加筆

引抜き試験の再現解析結果 (アンカーボルト応力)

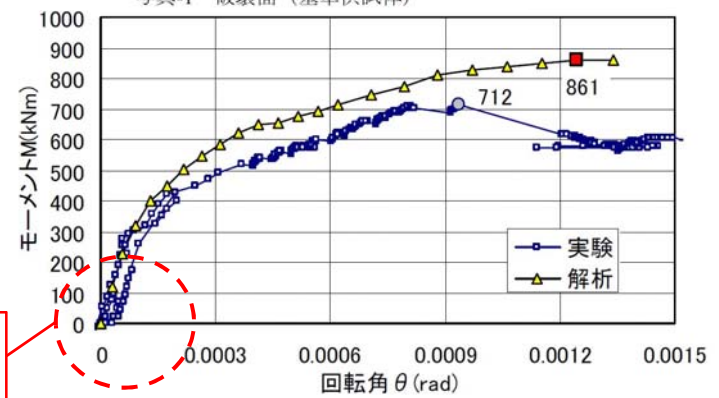
検証2. 鋼製タワー基礎の載荷実験の再現解析

コンクリート基礎とアンカーボルトの定着に関しては、鋼製タワーの載荷実験との比較により確認されている^{8), 9)}。
鋼製タワー柱脚部を模擬した供試体に対して、非線形領域までの載荷実験に対する再現解析が実施されており、非線形領域まで概ね良好に再現されている。検証1. と同様、弾性範囲内での再現性が高いことを確認した。



(文献7)より

弾性範囲内の
再現状況

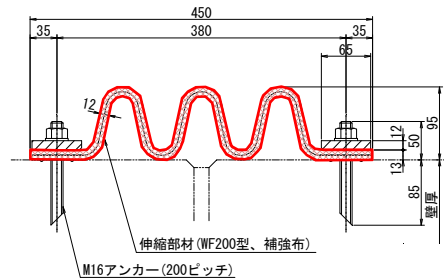


番号	参考文献
1)	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社)土木学会)
2)	道路橋示方書(Ⅲコンクリート橋編)・同解説 ((社)日本道路協会)
3)	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編) (名古屋高速道路公社)
4)	道路土工カルバート指針 ((社)日本道路協会)
5)	鋼・合成構造標準示方書 ((社)土木学会)
6)	複合構造標準示方書 ((社)土木学会)
7)	前野裕文, 後藤芳顕, 上條崇, 小林洋一 「鋼製橋脚に用いる実大付着型アンカーボルトの力学特性と定着部の挙動評価モデル」, 構造工学論文集Vol.46A, 2000.3
8)	小松崎勇一, 篠崎裕生, 齋藤修一, 原田光男 「風車基礎ベDESTALの引抜きせん断耐力に関する実験的検討」, 土木学会第63回年次学術講演会, pp.1093-1094, 2008. 9
9)	齋藤修一, 小松崎勇一, 原田光男 「風車基礎ベDESTALの引抜きせん断耐力に関する解析的検討」 土木学会第63回年次学術講演会, pp.1095-1096, 2008. 9

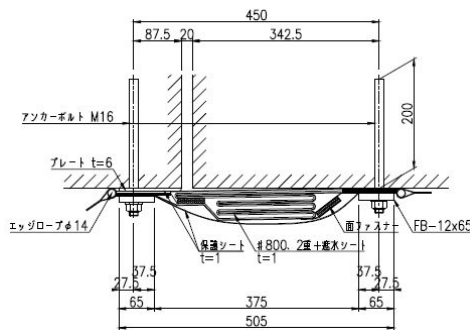
番号	掲載理由	内容
1)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートへの水平力によるせん断力に係る設計式の引用
2)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートへの水平回転モーメントによるせん断力に係る設計式の引用
3)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	アンカーボルトへの引抜き力に係る設計式の引用
4)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	コンクリート設計基準強度50N/mm ² の許容限界について参照
5)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	鋼製防護壁と中詰め鉄筋コンクリートの一体化に関する引用
6)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	鋼製防護壁と中詰め鉄筋コンクリートの一体化に関する引用
7)	三次元解析(COM3)の妥当性確認に用いた参考文献	現場引抜き試験結果を引用
8)	三次元解析(COM3)の妥当性確認に用いた参考文献	風力発電の風車基礎部の破壊試験結果を引用
9)	三次元解析(COM3)の妥当性確認に用いた参考文献	6)に係るCOM3の適用性評価結果を引用

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同様な設計をし、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。



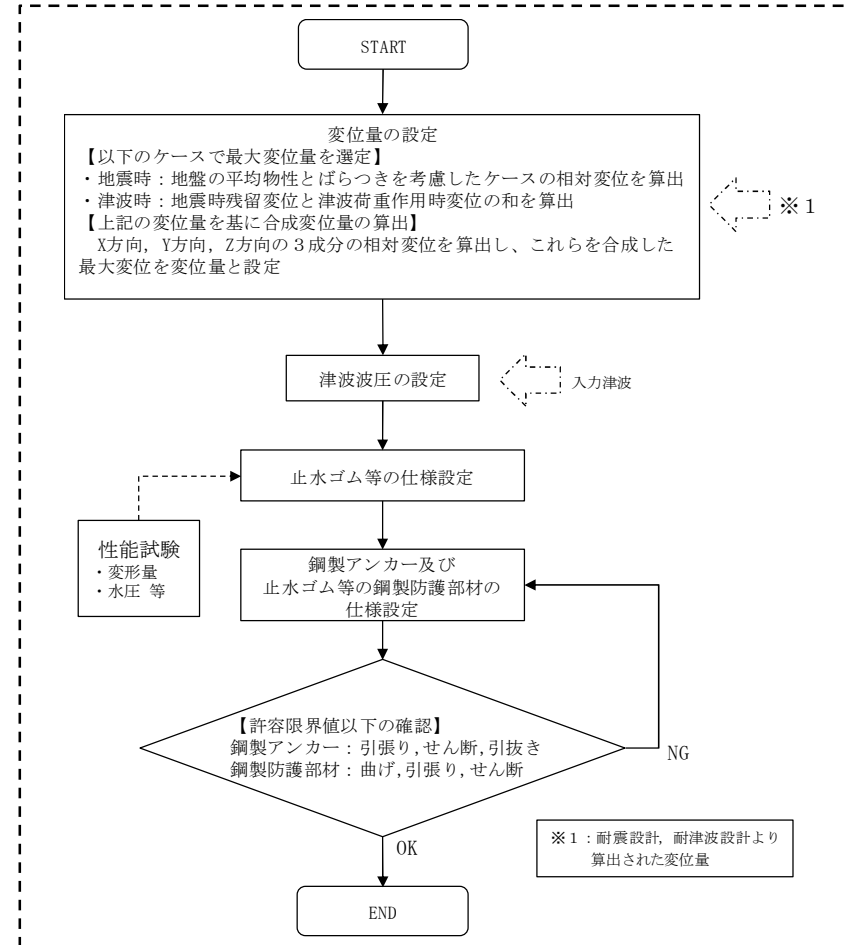
(ゴムジョイント)



(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

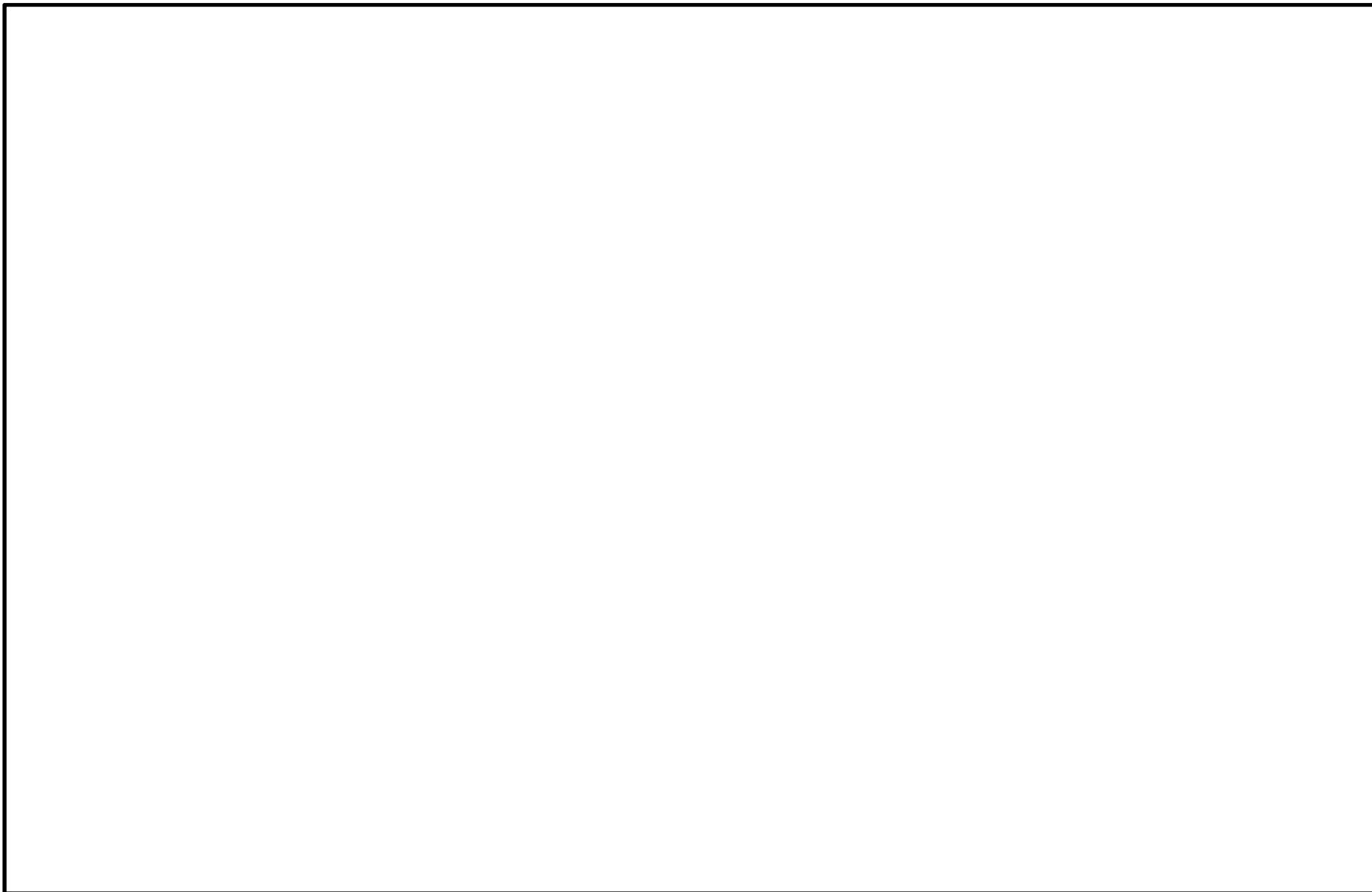


止水ジョイント部の検討フロー

※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

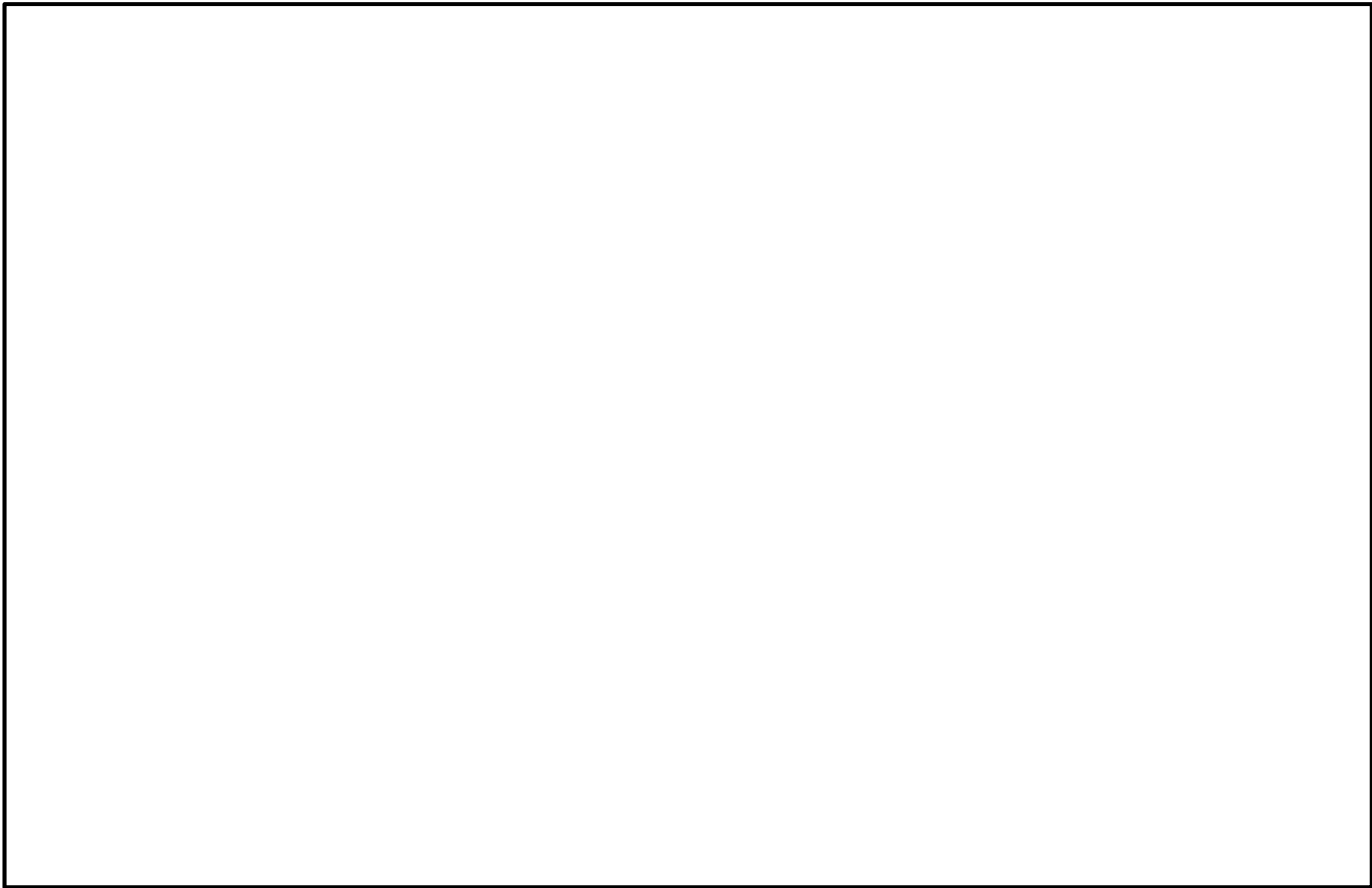
9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)(1/3)

第555回審査会合
資料2-4再掲

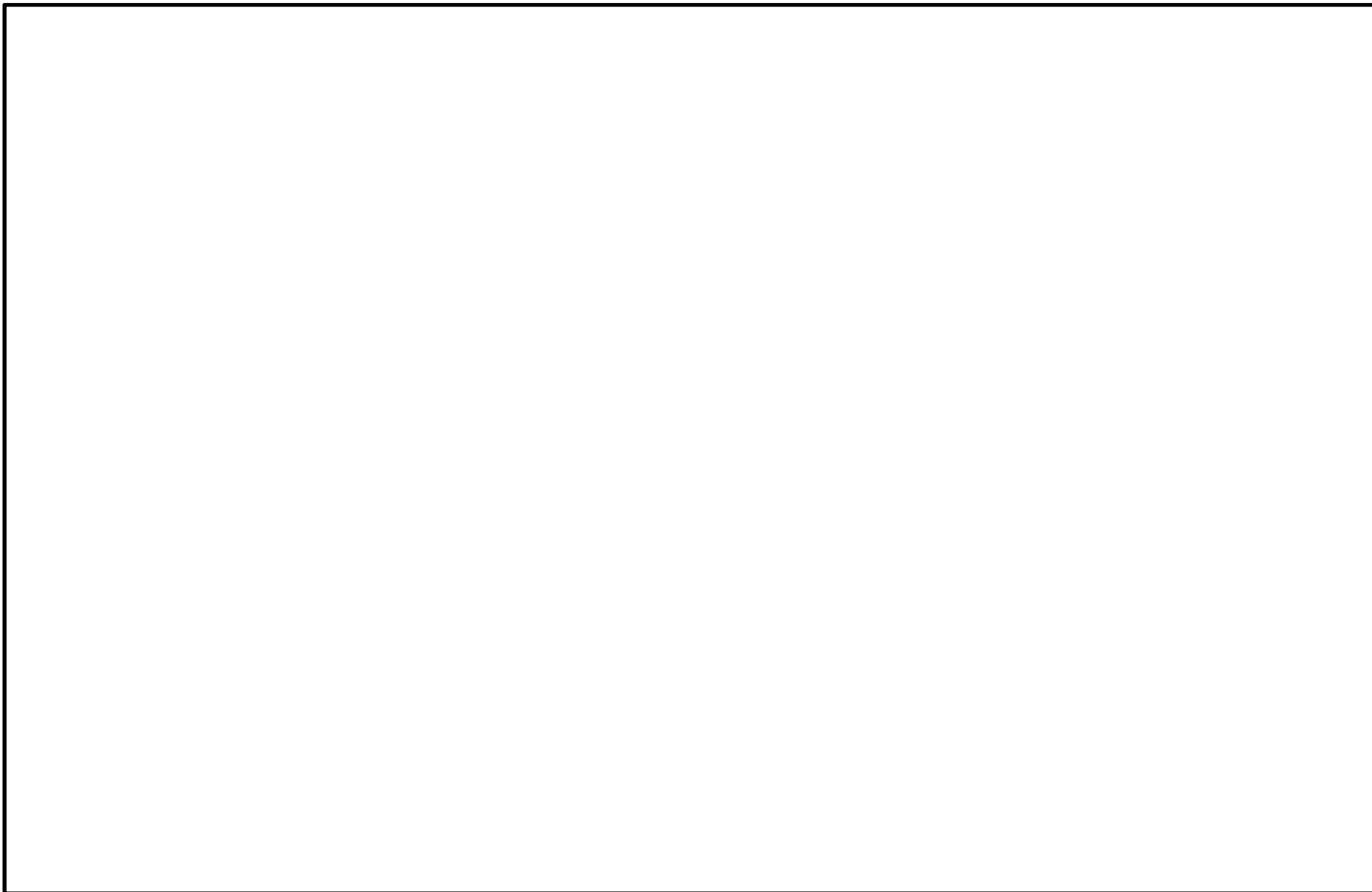


9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)(2/3)

第555回審査会合
資料2-4再掲

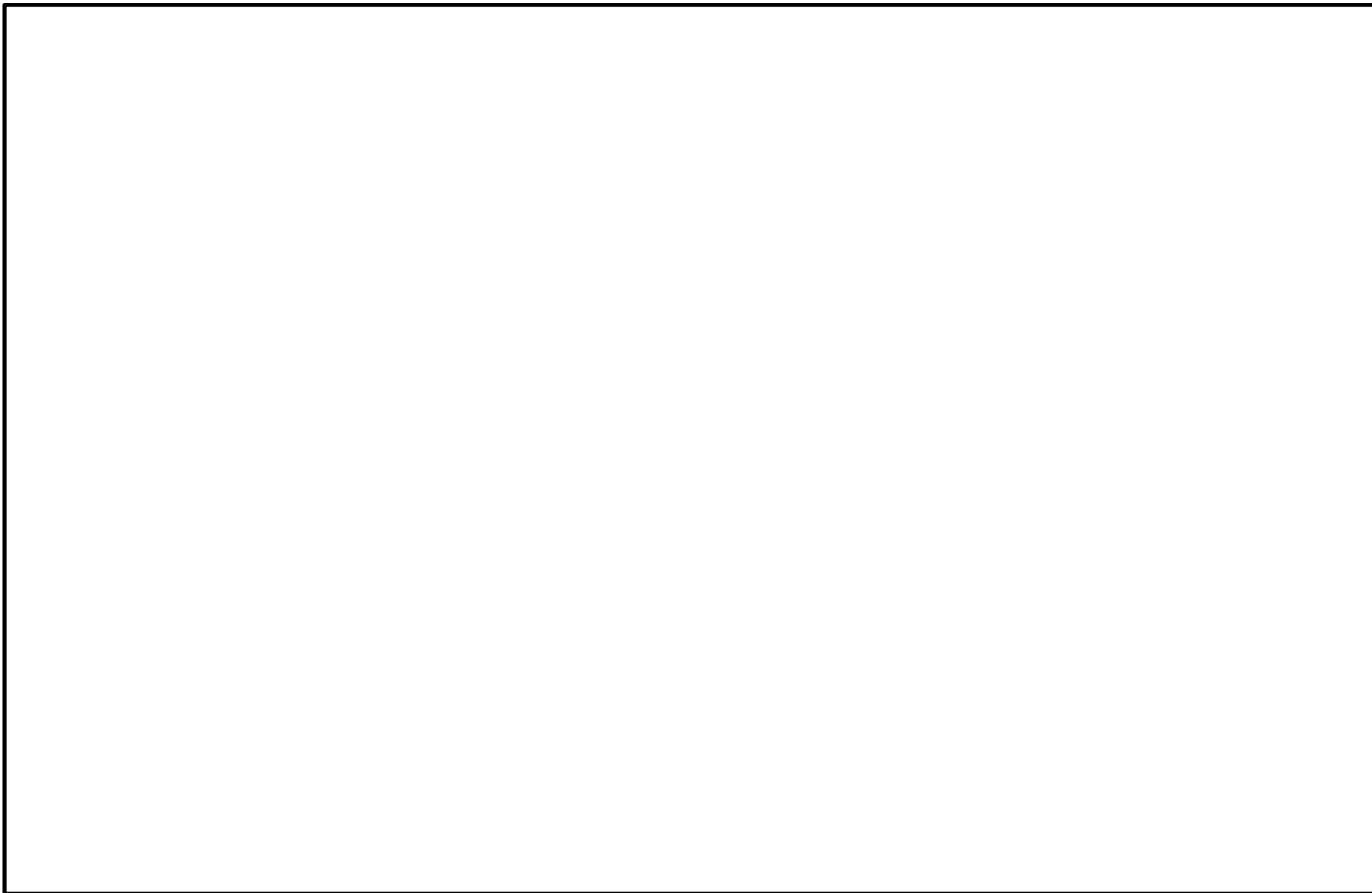


9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)(3/3)



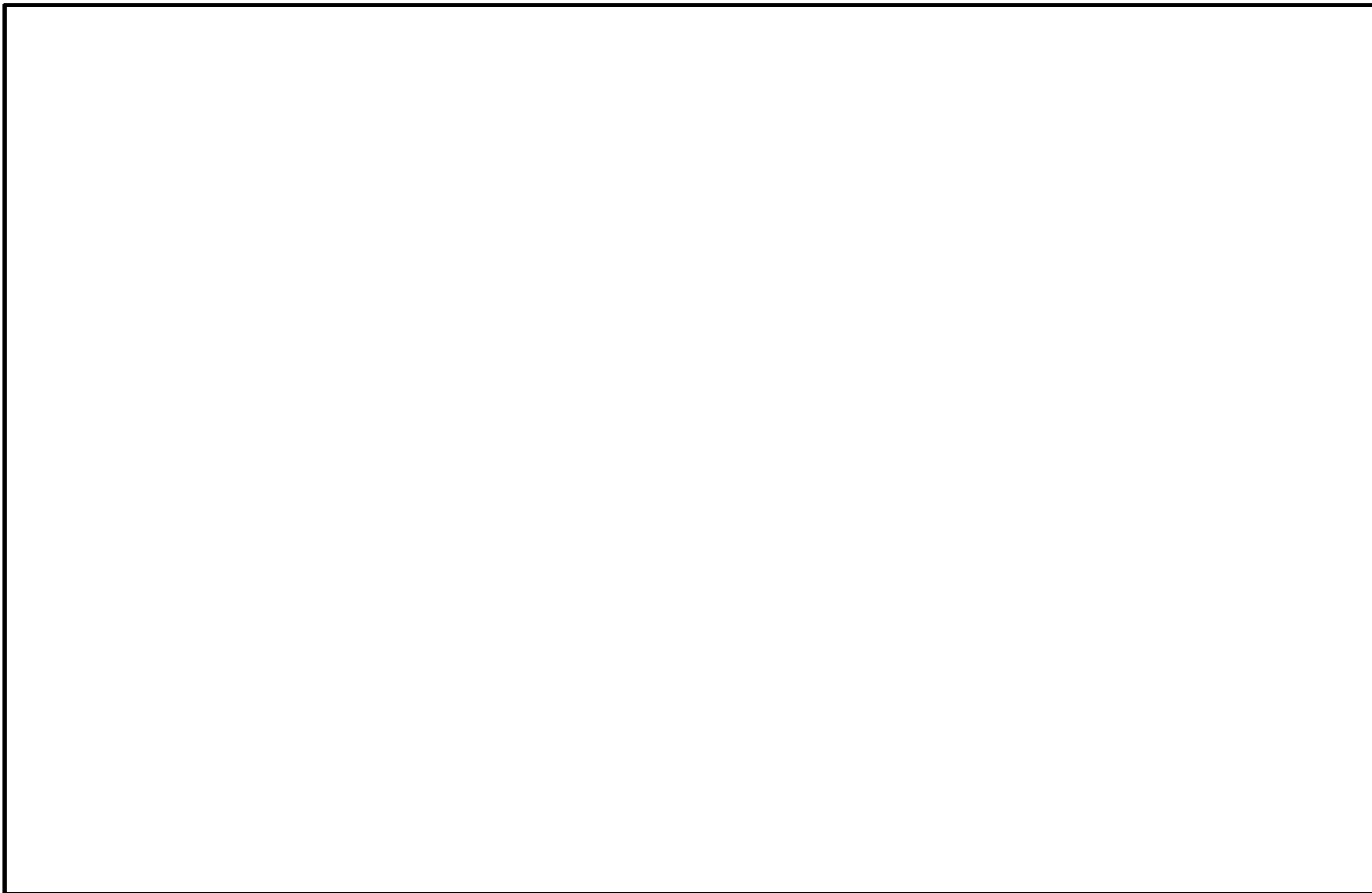
9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)(1/3)

第555回審査会合
資料2-4再掲



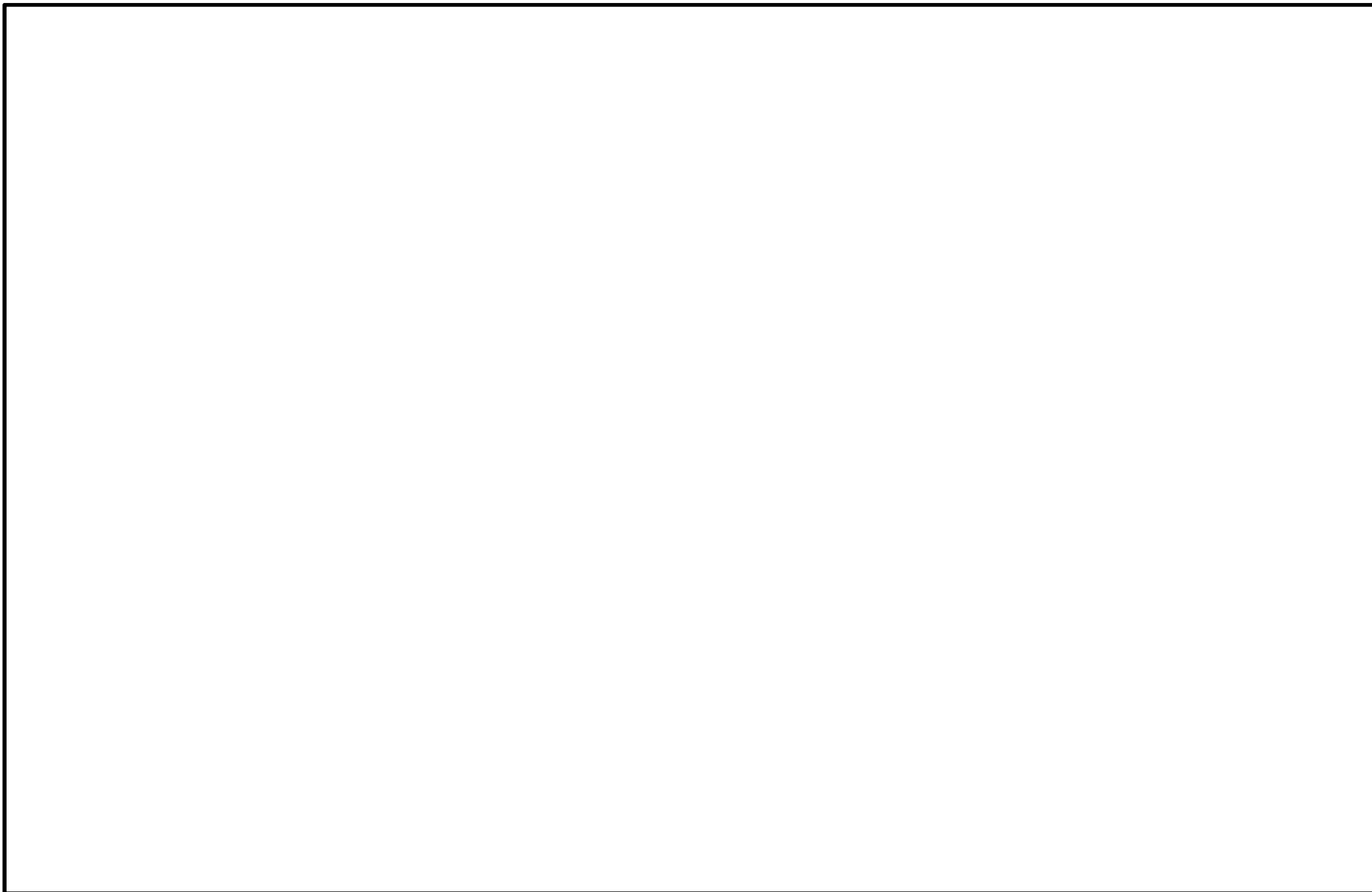
9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)(2/3)

第555回審査会合
資料2-4再掲



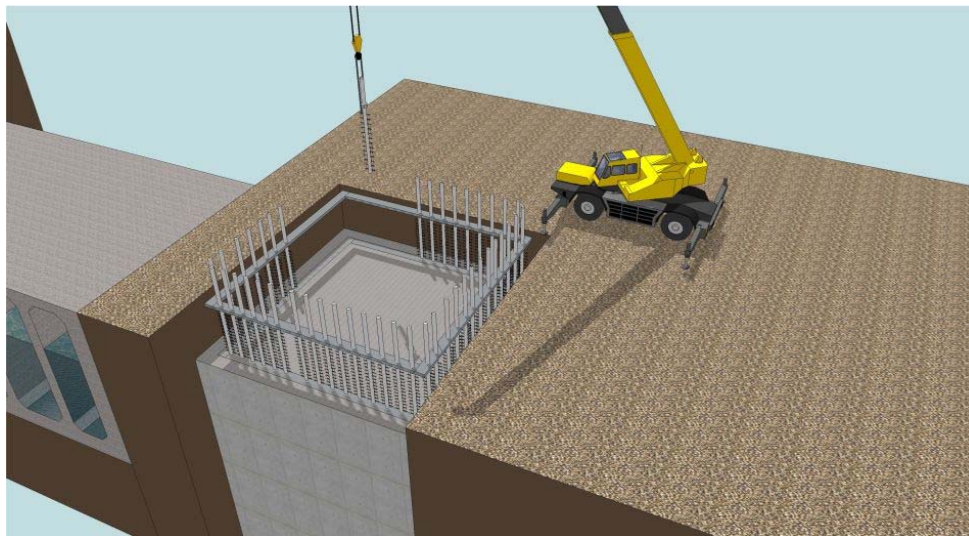
9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)(3/3)

第555回審査会合
資料2-4再掲

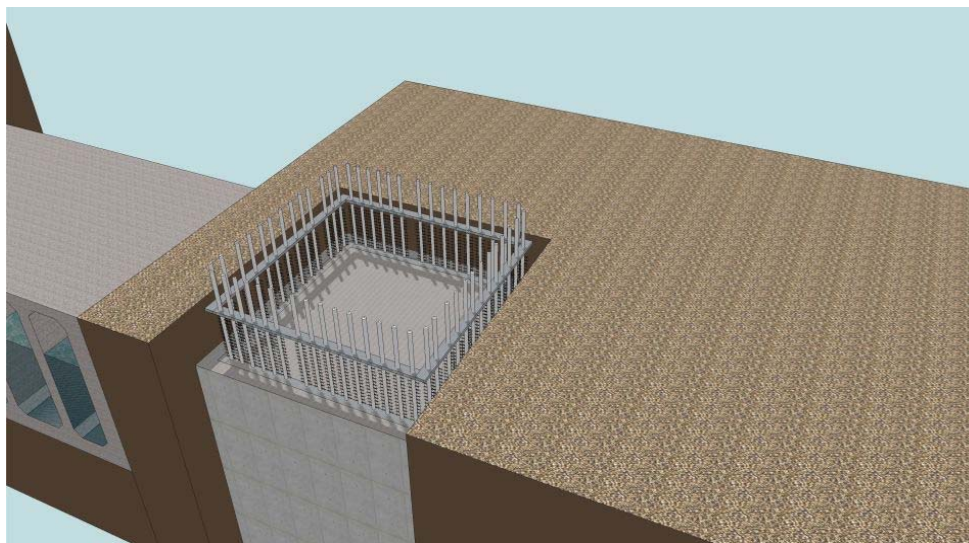


【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図

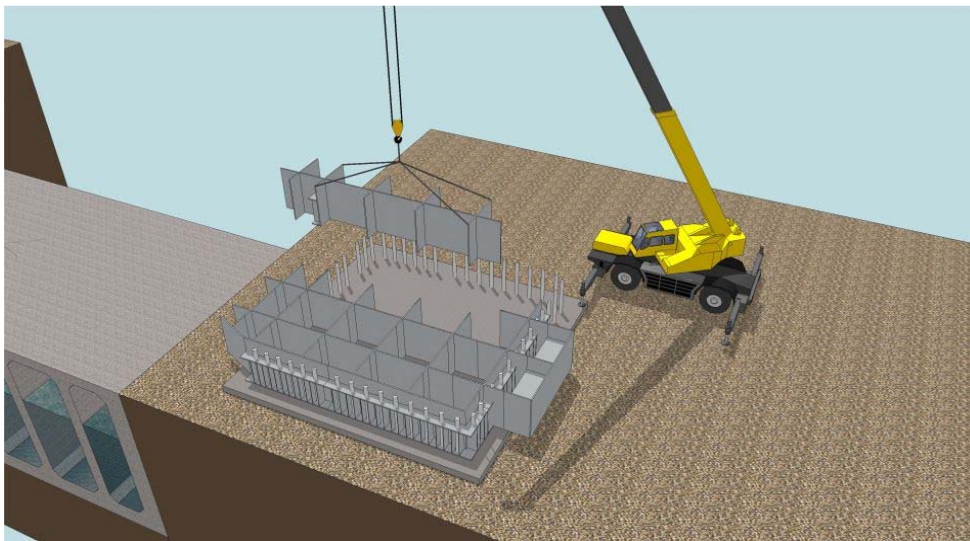
■ステップ1



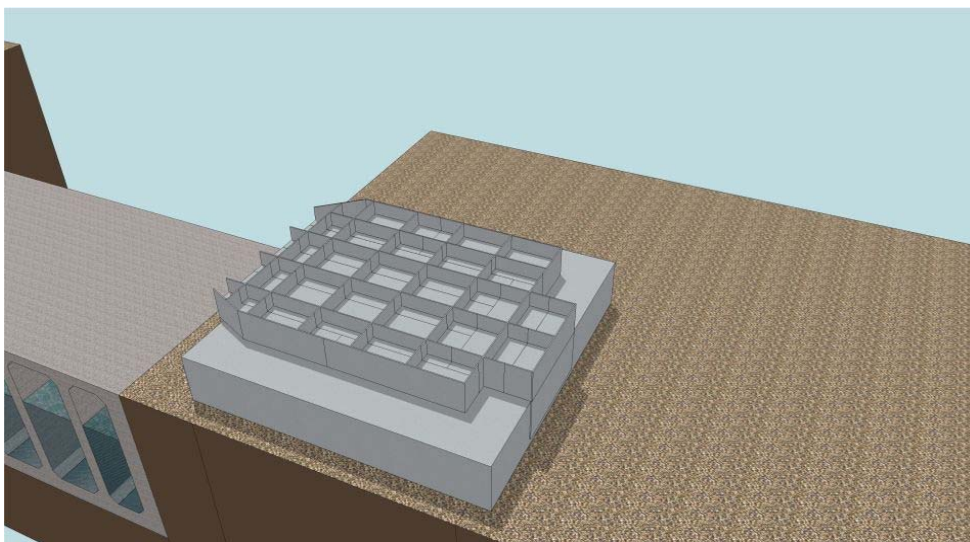
- ・ 地中壁連続壁基礎上部に直接定着式アンカーボルトを設置する。
- ・ 所定位置に設置する必要があるため、基礎上部にはフレーム架台を設置し、据付精度を確保する。



■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

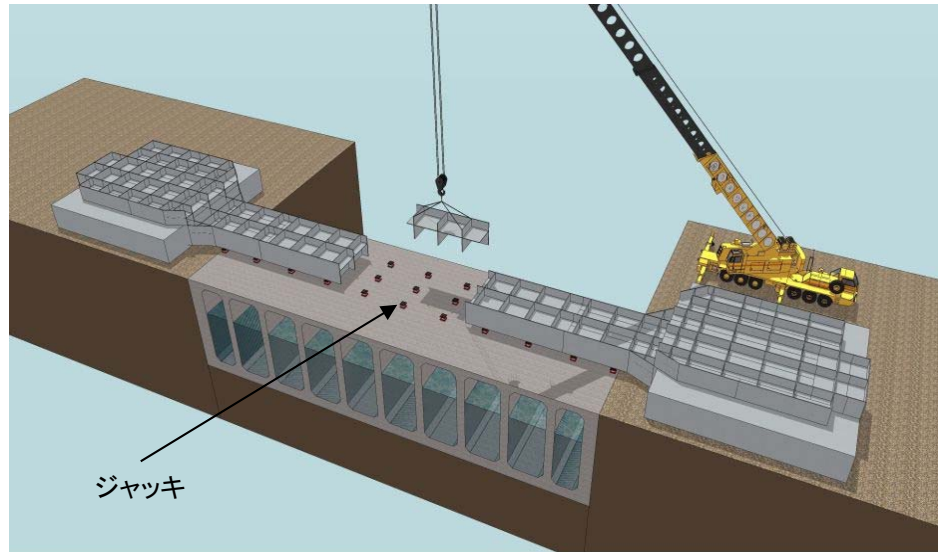


- ・ 頂版部配筋及びコンクリート施工後に、1段目及び2段目の支柱部ブロックを架設する。

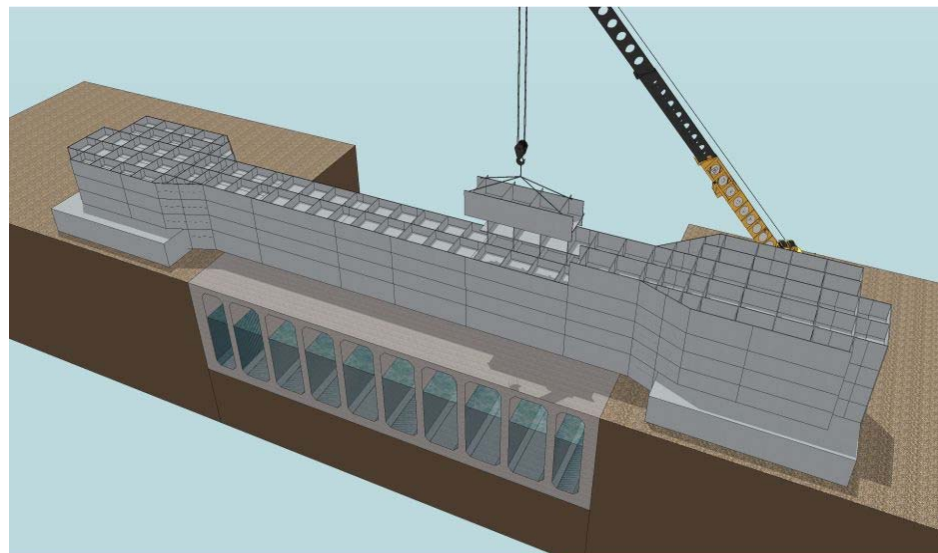


- ・ 支柱部中詰め鉄筋コンクリートを施工する。

■ステップ3 ブロック架設工

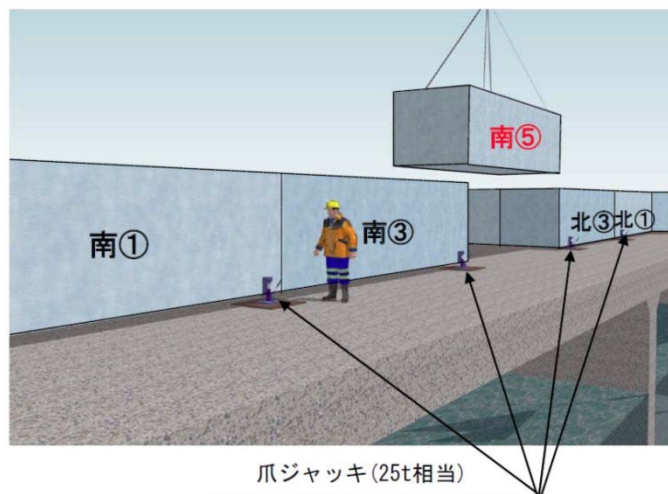


- ・ 取水口隔壁上など上載荷重による影響を最小限にできる箇所にジャッキを配置し1段目の支間部ブロックを架設する。
- ・ 架設時には、1段目自重によるたわみ量及び2段目以降の構造系の変化を考慮した逐次剛性と自重によるたわみ量をあらかじめ上げ越しする。
- ・ 各段の架設完了後に全体の出来形・反りが所定の寸法内に収まるよう、事前に綿密な架設計画を立案しておく。

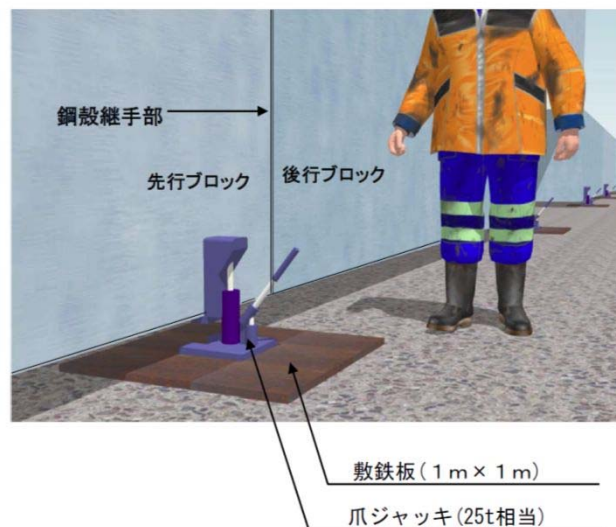


- ・ 各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- ・ 管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。

■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】

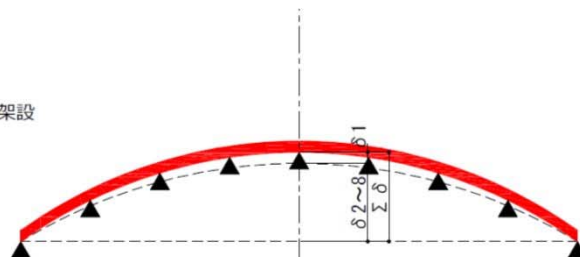


DAH-25S-150 25 ton
運搬キャリア付

■ 上げ越し管理(イメージ)

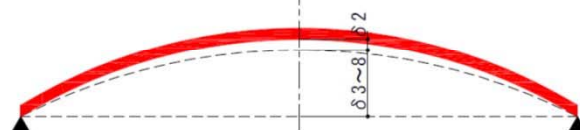
STEP1

Block1を多点支持(無応力状態/ジャッキによる支持)で架設



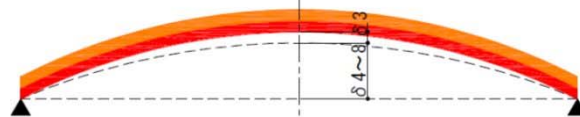
STEP2

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。



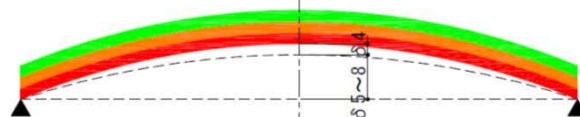
STEP3

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



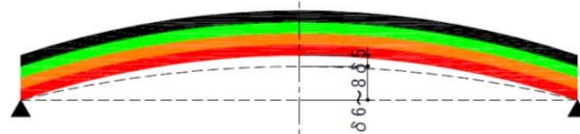
STEP4

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

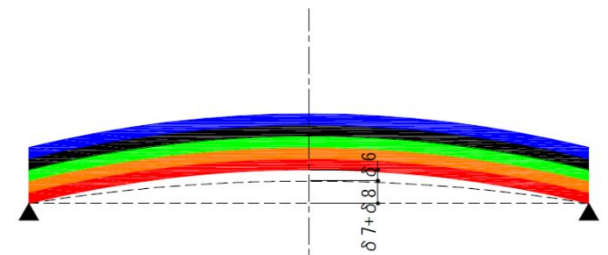
最下段+2段目

最下段+2段目+3段目

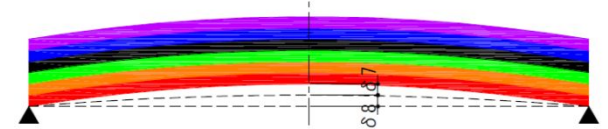
- 各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- 管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。

■ 上げ越し管理(イメージ)

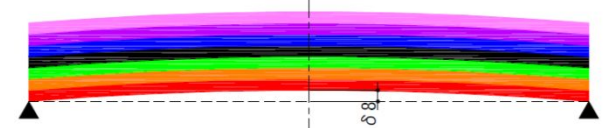
STEP6
Block5を架設する。
Block5の自重によるたわみ(δ5)分、桁が変形する。



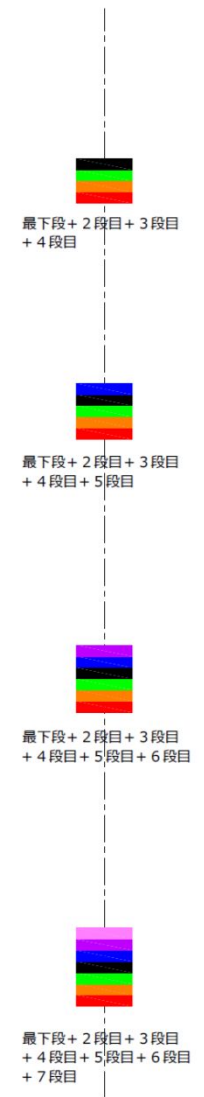
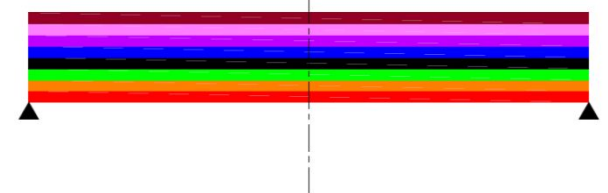
STEP7
Block6を架設する。
Block6の自重によるたわみ(δ6)分、桁が変形する。



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先端など、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。

■ステップ4 完成

