

## 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23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

第555回審査会合  
資料2-4再掲

### 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)

第五条(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】

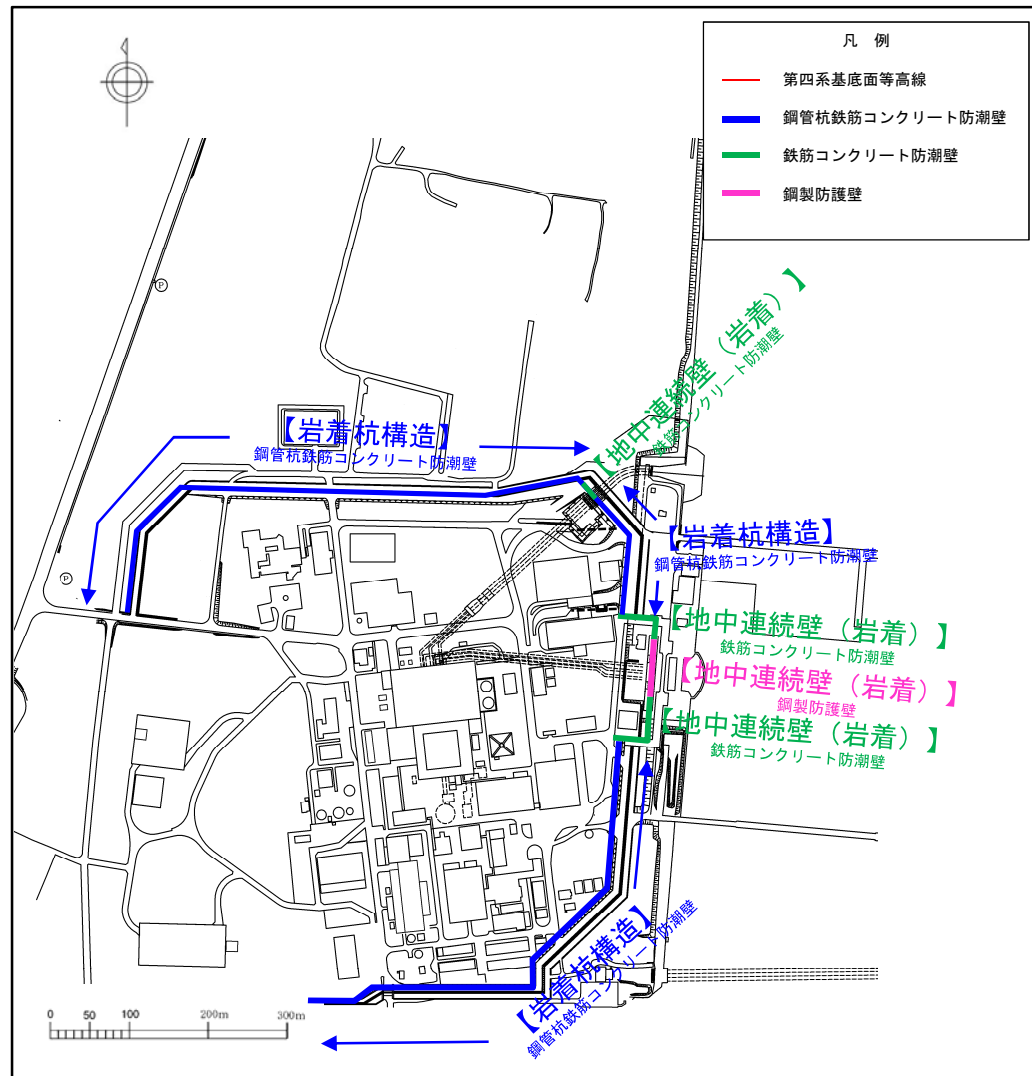
津波防護施設の外側の発電所敷地内及び近傍において建物・構築物、設置物等が破損、倒壊、漂流する可能性について検討すること。



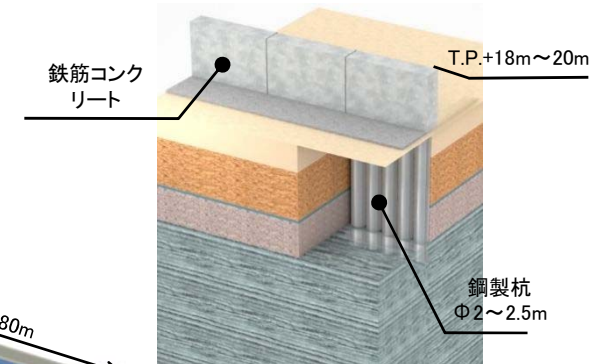
### 3. 防潮堤の概要

第555回審査会合  
資料2-4再掲

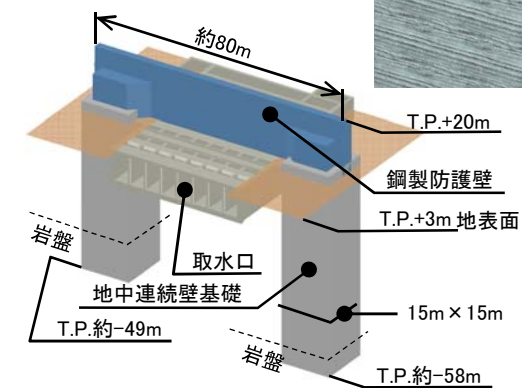
■ 防潮堤は、その構造形式から3つ(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁、鋼製防護壁、鉄筋コンクリート防潮壁)に種別される。



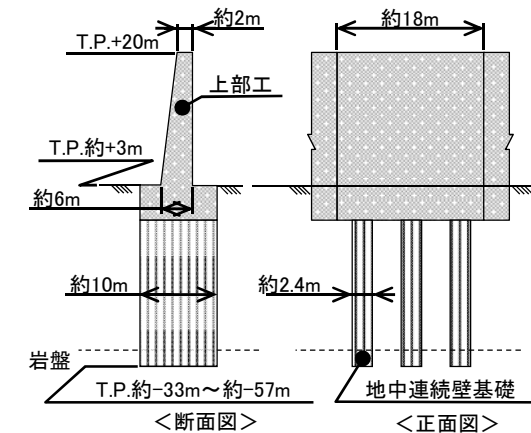
鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁



鋼製防護壁



鉄筋コンクリート防潮壁



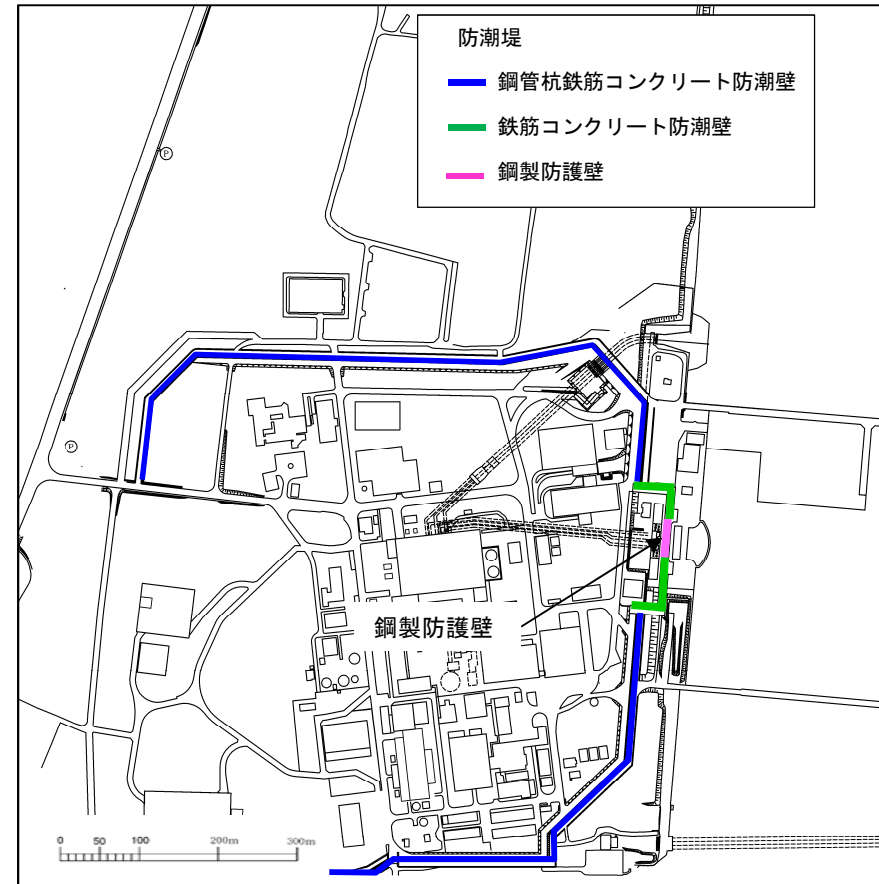
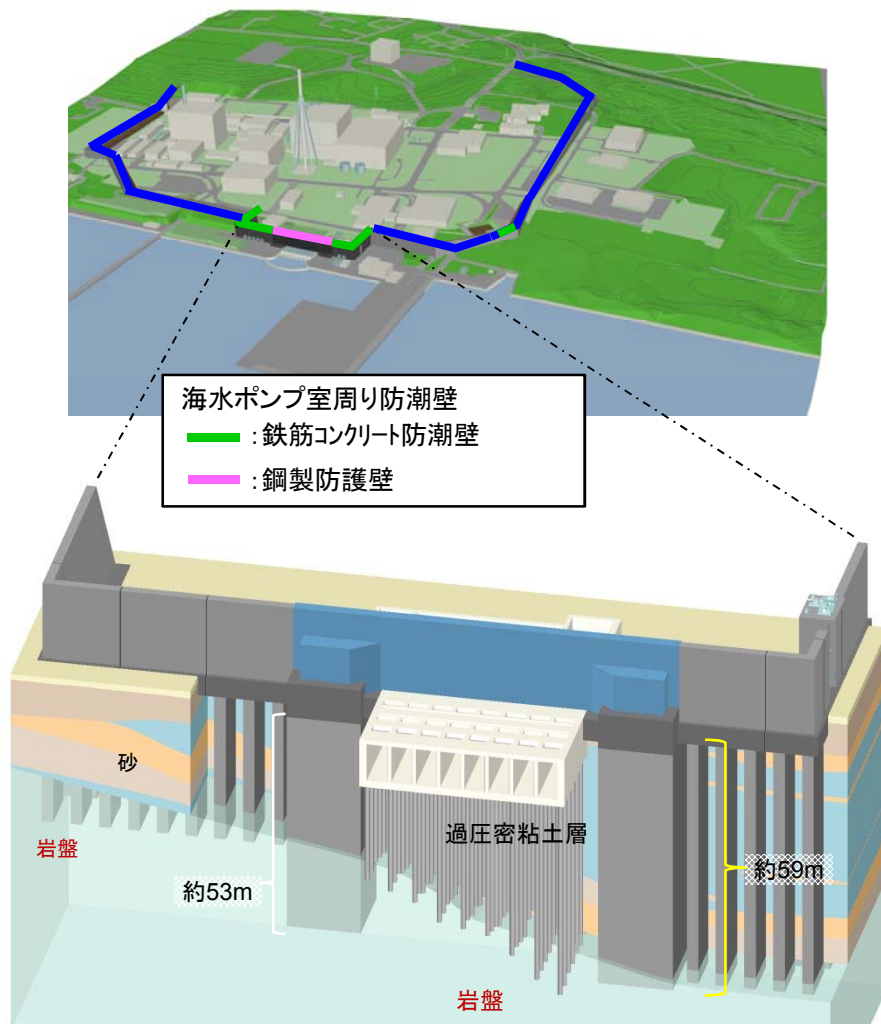


## 5. 海水ポンプ室周り防潮堤の概要

第555回審査会合  
資料2-4修正

- 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



### ■ 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

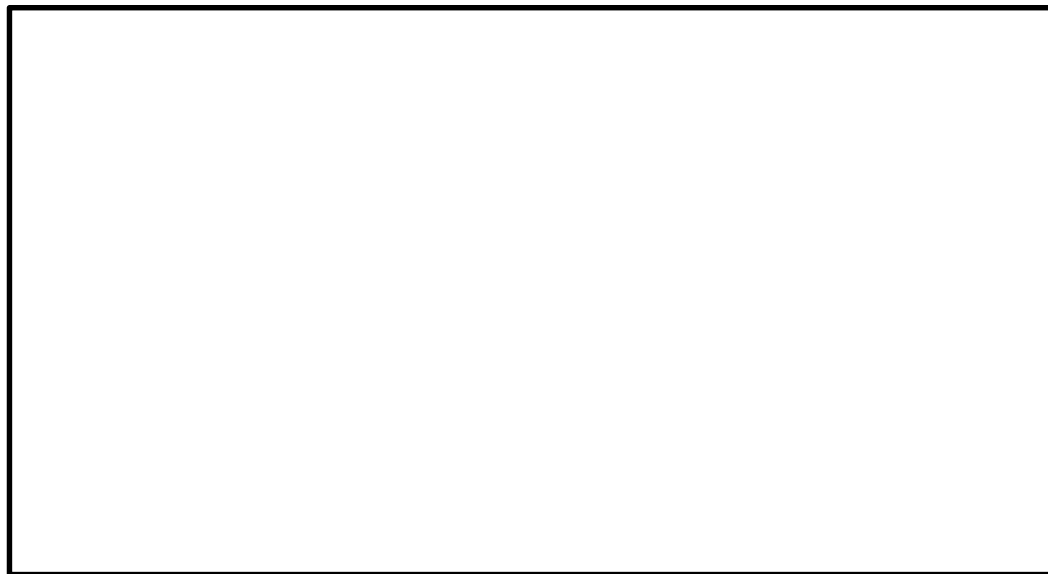
種 別	堤外側
堤外側角落しとの離隔	120cm
許容変位量	約70cm
試算結果(本震時動的解析)	51cm



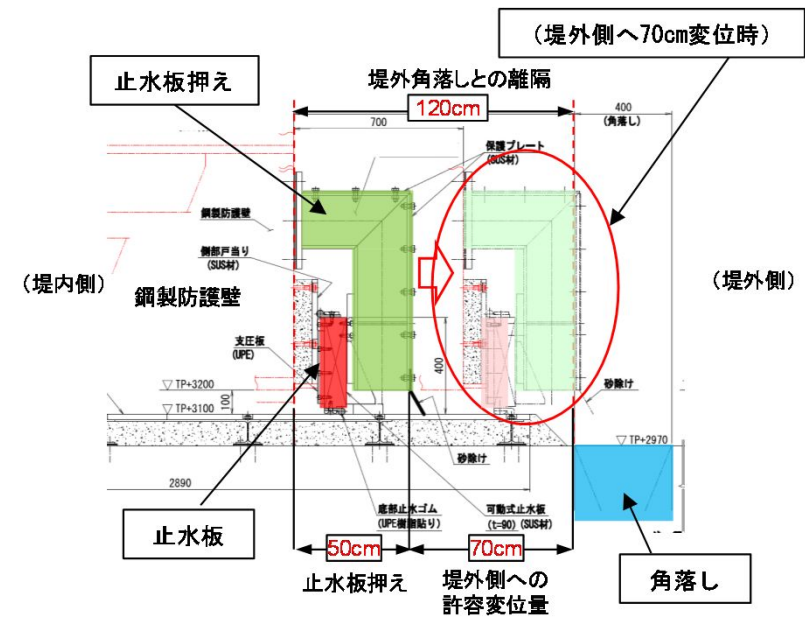
## 5. 鋼製防護壁の構造選定(3／3)

第555回審査会合  
資料2-4再掲

取水路周辺平面図



A-A断面



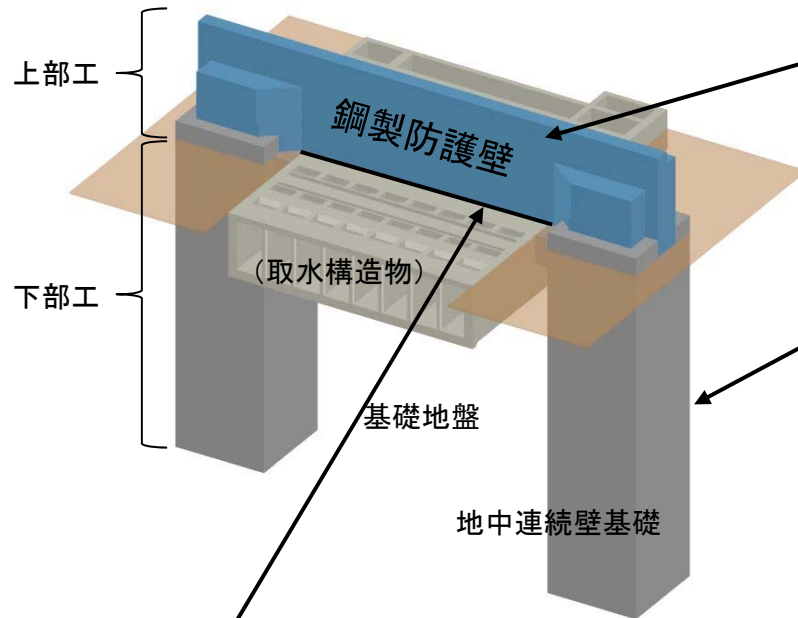
※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。



## 6. 防潮堤の評価対象部位(1/2)

第555回審査会合  
資料2-4修正

### ■ 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。

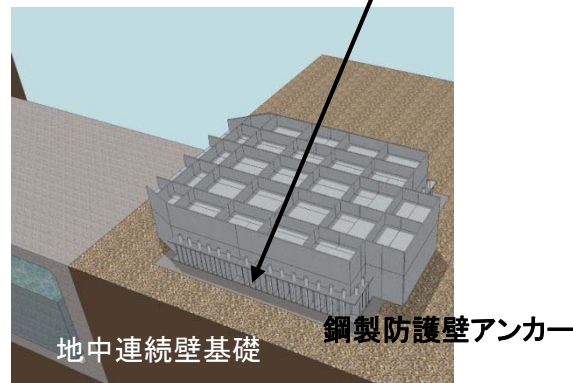
#### 【止水ジョイント部】

(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。

#### 【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。

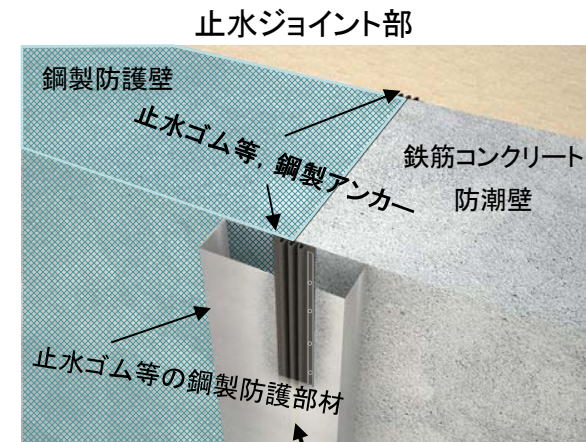
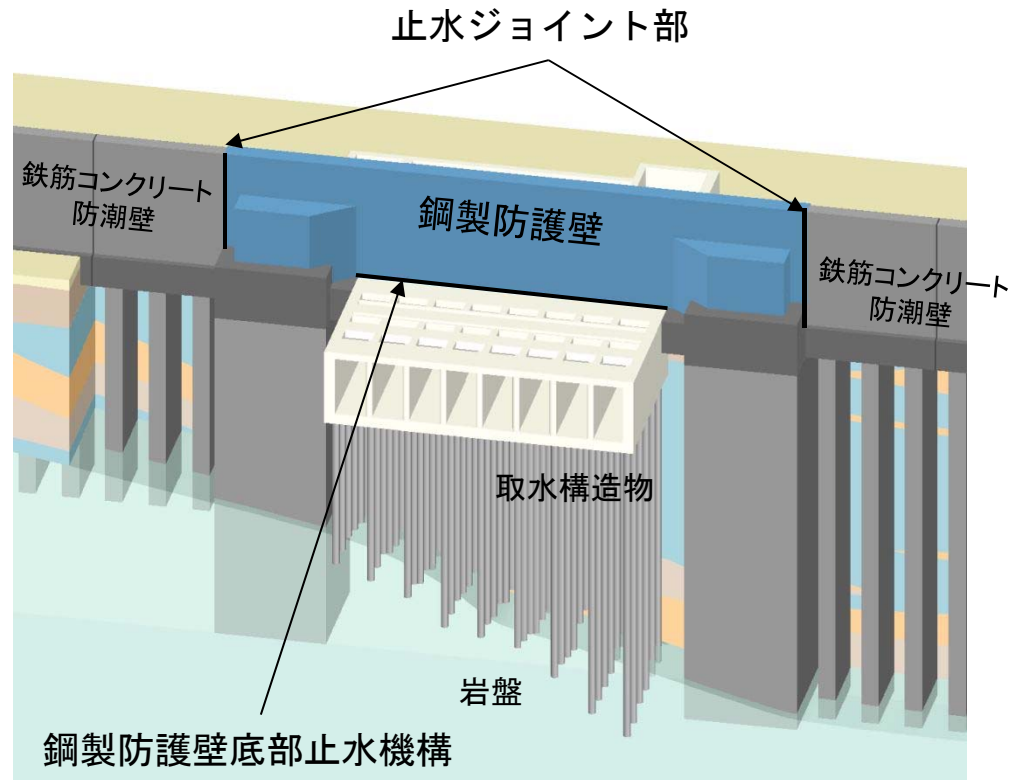




## 6. 防潮堤の評価対象部位(2/2)

第555回審査会合  
資料2-4再掲

### ■ 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	損傷モード	
海水ポンプ室周 り防護壁	基準津波及び耐津波設計方針に係る 審査ガイド 5.1 津波防護施設的设计 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 対する抵抗性を並び及び転倒に 対する安定性を評価し、越流時の 耐性にも配慮した上で、入力津波に 対する津波防護機能が十分に保持で きるよう設計すること。 (1) 要求事項に適合する設計方針であ ることを確認する。 (2) 設計方針の確認に加え、入力津波 に対して津波防護機能が十分に保持で 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 以下に例示する。 ① 荷重組合せ a) 余震が考慮されていること。耐津 波設計における荷重組合せ：常時+ 津波、常時+津波+地震（余震） ② 荷重の設定 a) 津波による荷重（波圧、衝撃力） の設定に関して、考慮する知見（例 えば、国交省の暫定指針等）及びそ れらの適用性 b) 余震による荷重として、サイト特 性（余震の震源、ハザード）が考慮 され、合理的な頻度、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。）	・ポンプ室周 り防護壁は、 地震後の繰 返しの襲来 を想定した 入力津波に 対し、余震 、漂流物の 衝突、風及 び積雪を考 慮した場合 においても 、想定され る津波高 さに余裕を 考慮した防 潮堤高さ（ 浸水高さ T.P.+17.9 m に余裕を 考慮した天 端高さ T. P.+20.0m ）の設定に よる、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 することと する。 ③取水口横 断部の南北 に繋がる区 間は、鉄筋 コンクリー トにより防 潮壁を構築 し、止水性 を保持する 設計とする 。 ④上部構造 を、頂版コ ンクリート 、フーチン グコンクリ ートを介し て地中連続 壁基礎に連 結し、十分 な支持性能 を有する地 盤に支持す る設計とす る。 ⑤上部構造 の施工境界 部や異種構 造物間との 境界部は、 波圧による 変形に追随 する止水性 を確認した 止水ゴム等 を設置する ことにより 止水処置を 講ずる設計 とする。 ⑥津波の波 力による浸 食や洗掘、 地盤内から の浸水に対 して耐性を 有するフー チング厚を 設定すること により、止 水性を保持 する設計と する。	・ポンプ室周 り防護壁は、 地震後の繰 返しの襲来 を想定した 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 することと する。 ③取水口横 断部の南北 に繋がる区 間は、鉄筋 コンクリー トにより防 潮壁を構築 し、止水性 を保持する 設計とする 。 ④上部構造 を、頂版コ ンクリート 、フーチン グコンクリ ートを介し て地中連続 壁基礎に連 結し、十分 な支持性能 を有する地 盤に設置す る設計とす るとともに 、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 計とすると する。 ⑤上部構造 の施工境界 部や異種構 造物間との 境界部は、 波圧による 変形に追随 する止水性 を確認した 止水ゴム等 を設置する ことにより 止水処置を 講ずる設計 とする。 ⑥津波の波 力による浸 食や洗掘、 地盤内から の浸水に対 して耐性を 有するフー チング厚を 設定すること により、止 水性を保持 する設計と する。	・ポンプ室周 り防護壁は、 基準地震動 S <sub>0</sub> 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 時ににおい ても主要な 構造部材の 構造健全性 を保持する 設計とすと ともに、主 要な構造体 の境界部 には止水ゴ ム等を設置 し、有意な 漏えいを生 じない設計 とすること を構造強度 設計上の性 能目標とす る。	下部工	基礎地盤	支持力	支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」に基づき妥当な安全余裕を考慮した極限支持力以下とする。	
						基礎地震動 S <sub>0</sub> による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため、地中連続壁基礎が降伏に至らないことを確認する。	地中連続壁基礎	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	【基準地震動 S <sub>0</sub> ・基準津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」に基づき短期許容応力度以下とする。 【T.P.+24m 津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」に基づき降伏応力度・せん断強度以下とする。
						基礎地震動 S <sub>0</sub> による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼材が、おおむね弾性状態に留まることが確認する。	鋼製防護壁	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	【基準地震動 S <sub>0</sub> ・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。
						基礎地震動 S <sub>0</sub> による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製防護壁と地中連続壁基礎を連結するアンカー部が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が確認する。	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る状態	【基準地震動 S <sub>0</sub> ・基準津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説（Ⅲコンクリート橋）」「道路土工学カルバート工指針」「鋼構造物設計基準」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】 「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）」「道路土工学カルバート工指針」「鋼構造物設計基準」に基づき降伏応力度以下とする。
						基礎地震動 S <sub>0</sub> による地震時荷重、地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震や漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製防護壁と地中連続壁基礎を連結するアンカー部が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が確認する。				
	基準地震動及び耐震設計方針に係る 審査ガイド 6.3 津波防護施設、浸水防止設備等 津波防護機能を有する施設、浸水防 止機能を有する設備及び敷地におけ る津波監視機能を有する設備のうち 建物及び構築物は、常時作用してい る荷重及び運転時に作用する荷重と 基準地震動による地震力の組合せに 対して、当該建物・構築物が構造物 全体としての変形能力（終局耐力時 の変形）について十分な余裕を有す るとともに、その施設に要求され る機能（津波防護機能、浸水防止機 能）を保持すること	・ポンプ室周 り防護壁は、 基準地震動 S <sub>0</sub> に対し、 主要な構造 部材の構造 健全性を維 持すること で、津波時 の止水性を 保持するこ とを機能設 計上の性能 目標とする 。 ⑤上部構造 の施工境界 部や異種構 造物間との 境界部は、 波圧による 変形に追随 する止水性 を確認した 止水ゴム等 を設置する ことにより 止水処置を 講ずる設計 とする。 ⑥津波の波 力による浸 食や洗掘、 地盤内から の浸水に対 して耐性を 有するフー チング厚を 設定すること により、止 水性を保持 する設計と する。	・ポンプ室周 り防護壁は、 基準地震動 S <sub>0</sub> 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 時ににおい ても主要な 構造部材の 構造健全性 を保持する 設計とすと ともに、主 要な構造体 の境界部 には止水ゴ ム等を設置 し、有意な 漏えいを生 じない設計 とすること を構造強度 設計上の性 能目標とす る。	・ポンプ室周 り防護壁は、 基準地震動 S <sub>0</sub> 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 時ににおい ても主要な 構造部材の 構造健全性 を保持する 設計とすと ともに、主 要な構造体 の境界部 には止水ゴ ム等を設置 し、有意な 漏えいを生 じない設計 とすること を構造強度 設計上の性 能目標とす る。	上部工	止水ゴム等	変形、引張り	有意な漏えいに至る変形、引張り	メーカー規格及び基準並びに必要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	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき短期許容応力度以下とする。	
						止水ジョイント部	曲げ、引張り、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「鋼構造物設計基準」に基づき短期許容応力度以下とする。	
						鋼製防護壁底部止水機構	曲げ、せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）」「水門鉄管技術基準」に基づき短期許容応力度以下とする。	

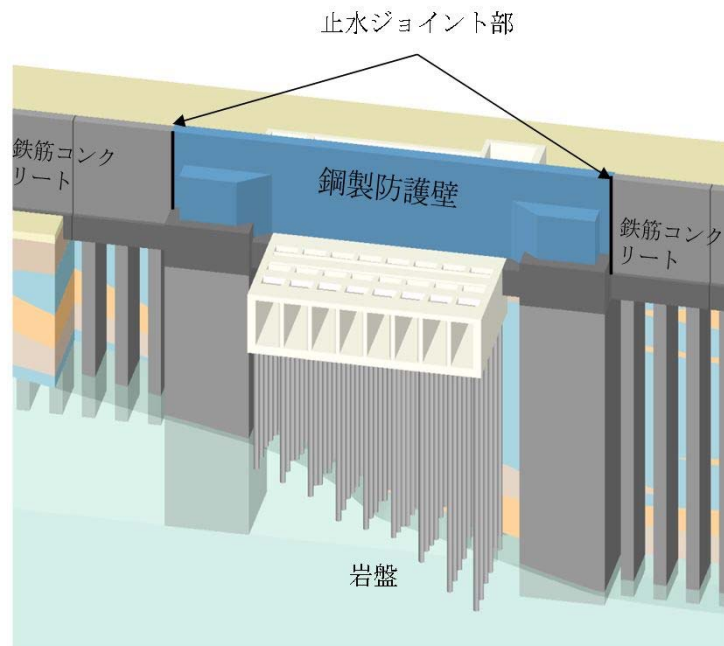


## 7. 鋼製防護壁高さの設定方針

- 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。

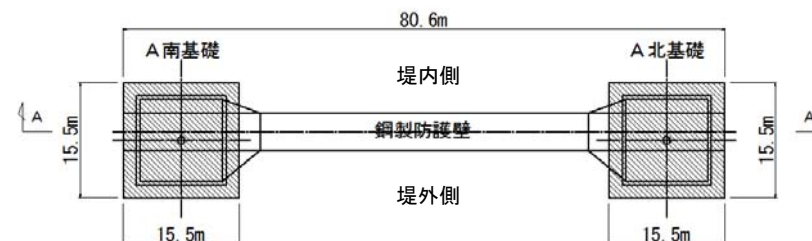
	敷地側面 北側	敷地前面 東側	敷地側面 南側
入力津波高さ (潮位のばらつき等 考慮)	T. P. +15. 4m	T. P. +17. 9m	T. P. +16. 8m
防潮壁高さ	T. P. +18. 0m	T. P. +20. 0m	T. P. +18. 0m
設計裕度	2. 6m	2. 1m	1. 2m



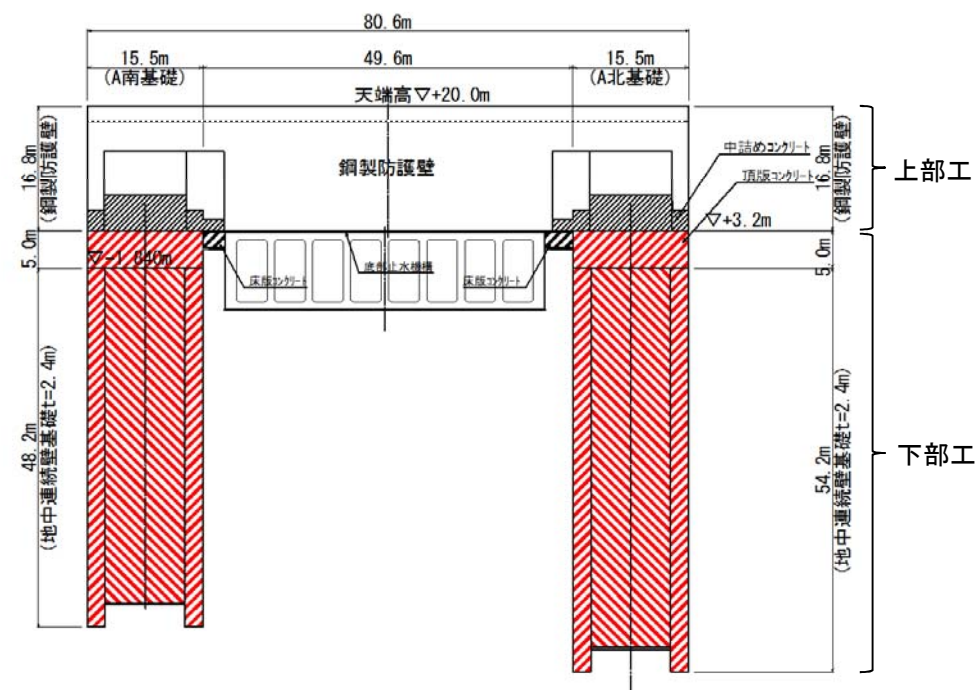


構造概要図(イメージ図)

平面図



A-A断面図

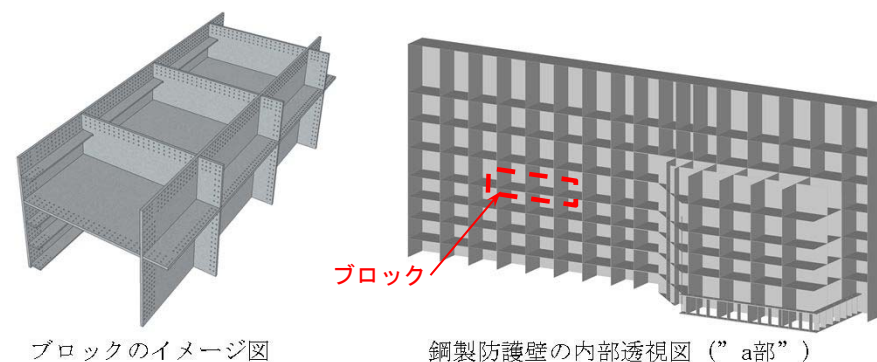
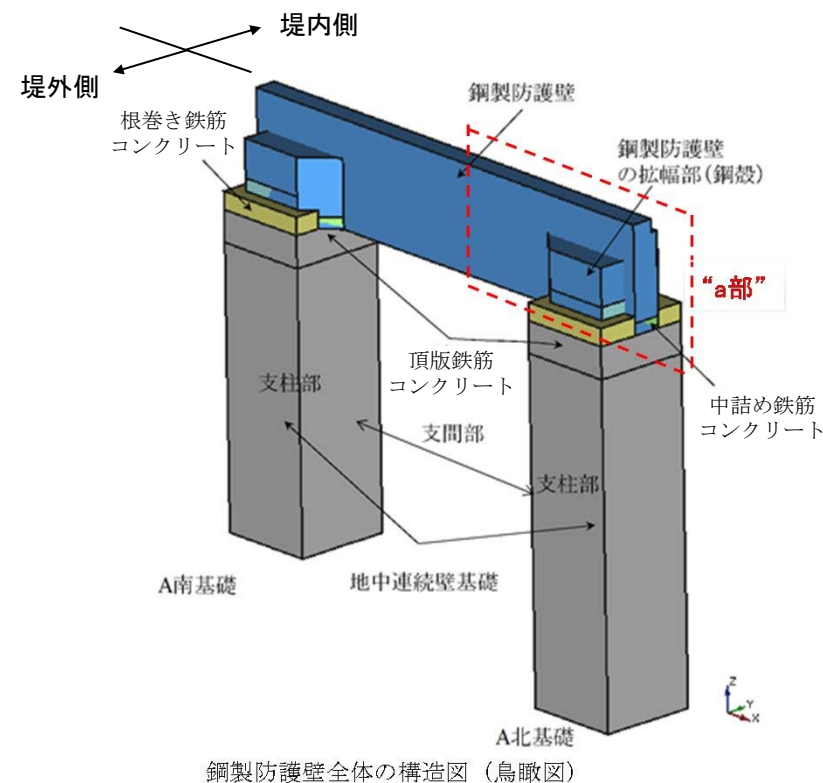


※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。



## ■ 鋼製防護壁の構成部位と役割

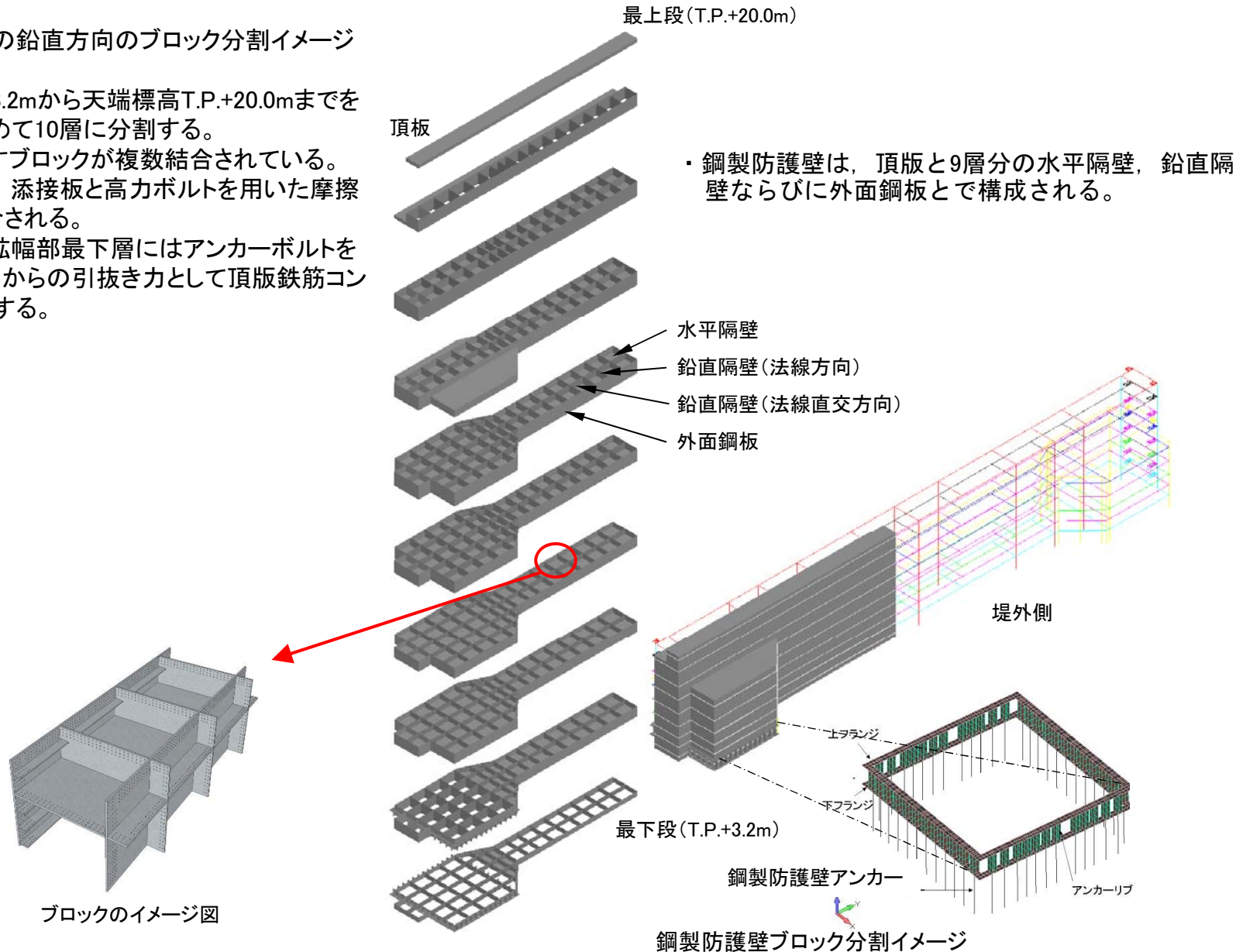
区分	分類	構成	各部位の役割
上部工	鋼製防護壁	鋼製防護壁 (支間部, 支柱部)	津波荷重等に抵抗する。
		鋼製防護壁の拡幅部 (鋼殻)	基礎上部の範囲を拡幅することにより, 支柱部応力の低減とアンカーボルトの 配置エリアを確保する。
		中詰め鉄筋コンクリート	鋼殻内部の鉄筋コンクリートで, 支柱 部周辺の鋼殻応力の低減と上部工から のせん断力と水平回転モーメント(水 平トルク)を基礎頂版に伝達する。
	アンカー ボルト	—	上部工からの引抜き力を地中連続壁 基礎頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
下部工	地中連続壁 基礎 (A北, A南)	頂版鉄筋コンクリート	地中連続壁基礎の上部に構築する鉄 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。





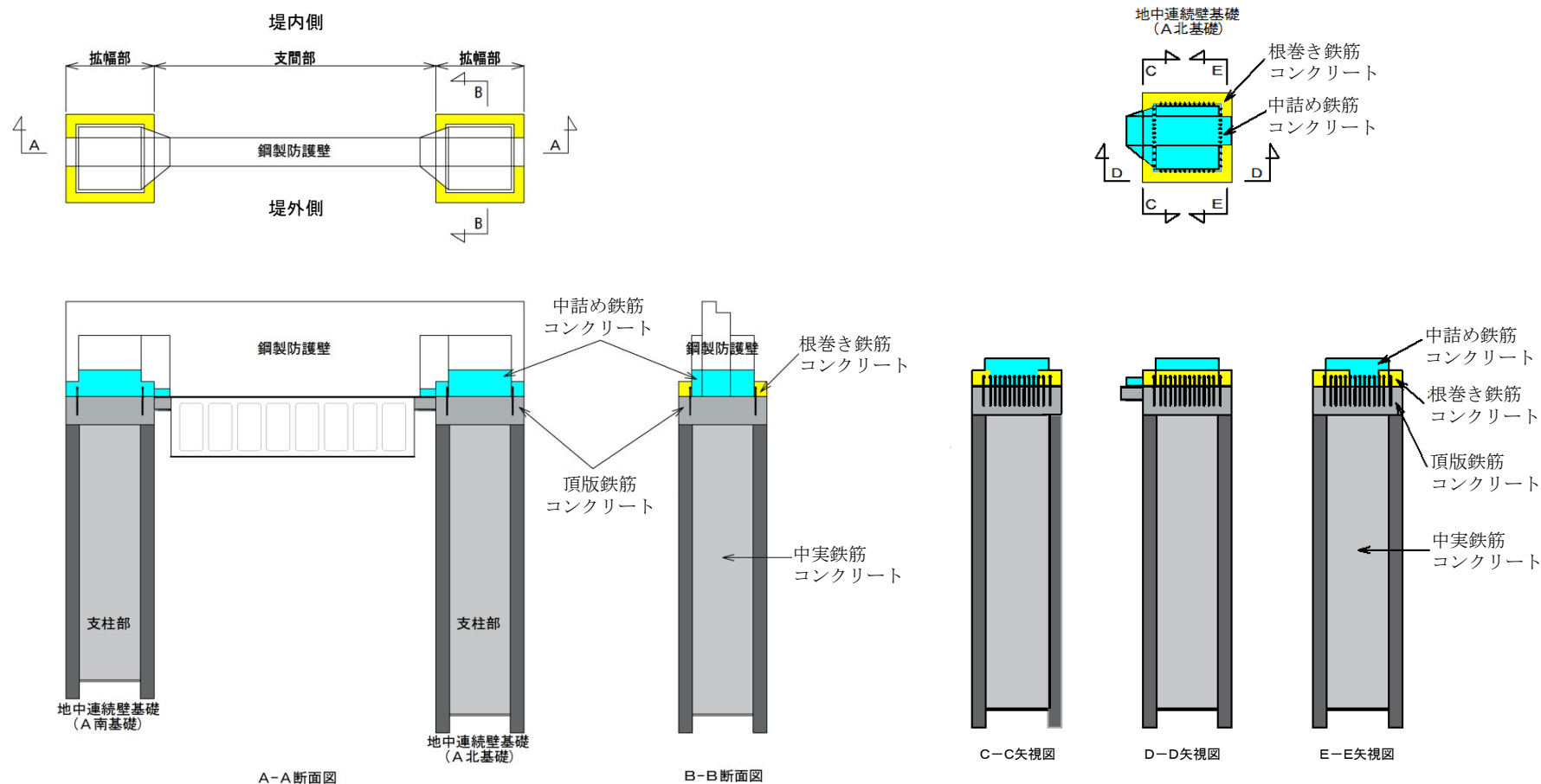
## ■ 鋼製防護壁の鉛直方向のブロック分割イメージ

- ・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。



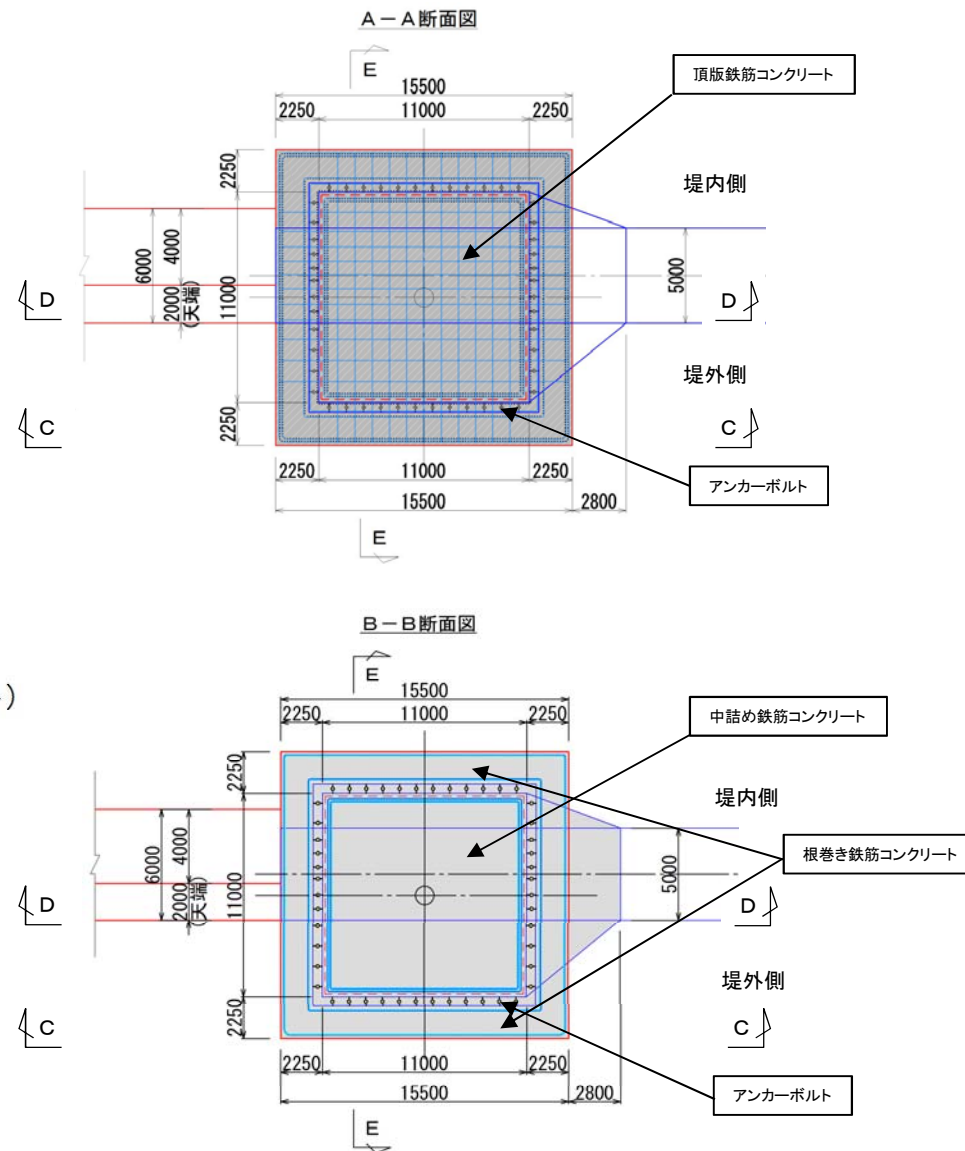
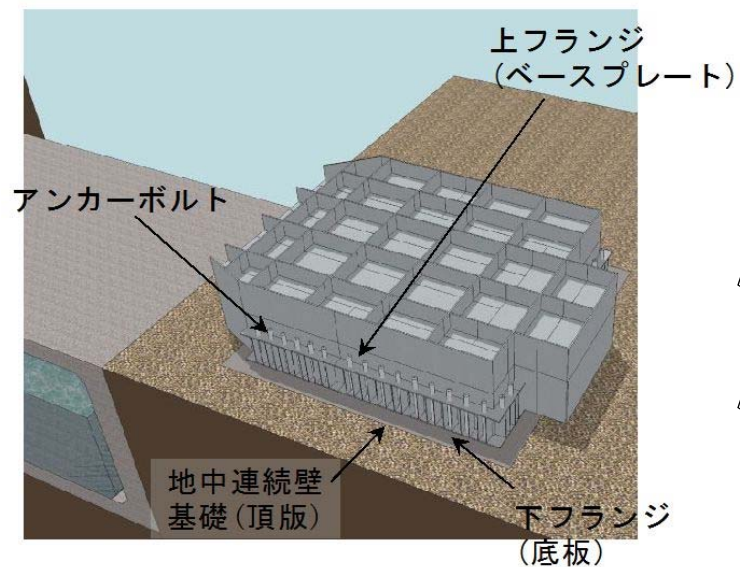
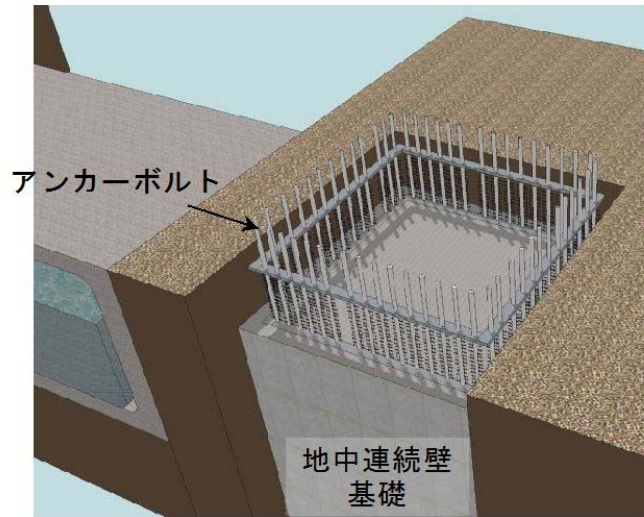


- 鋼製防護壁には、打設部位と機能により
- 1) 地中連続壁内側に打設する中実鉄筋コンクリート
  - 2) 地中連続壁基礎上部に打設する頂版鉄筋コンクリート
  - 3) 基礎部直上の鋼殻内の必要な高さまで打設する中詰め鉄筋コンクリート
  - 4) 鋼製防護壁アンカーを巻き込んで打設する根巻き鉄筋コンクリート
- の4種類の鉄筋コンクリートがある。





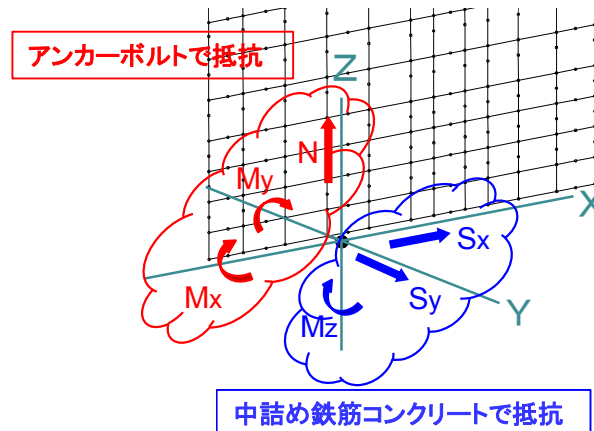
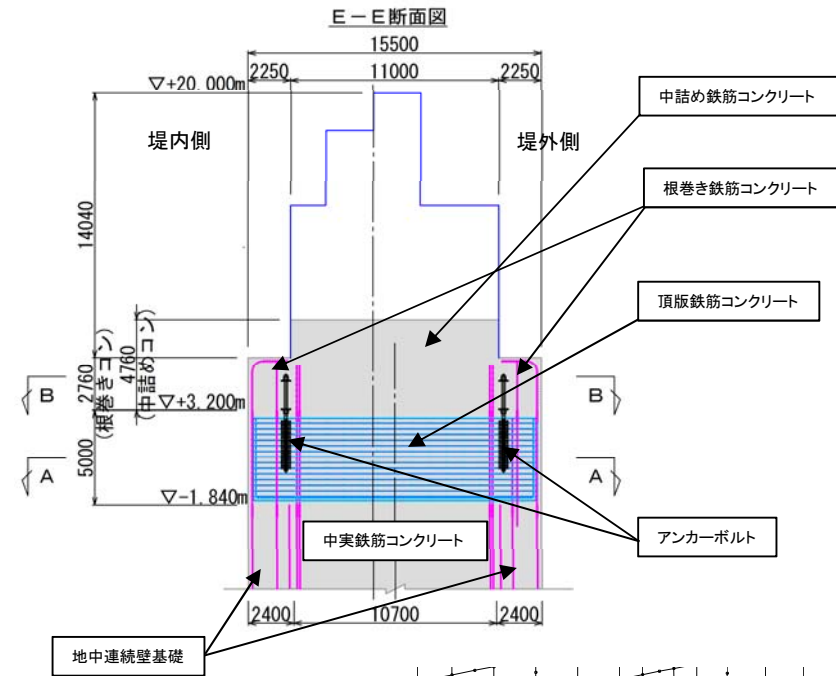
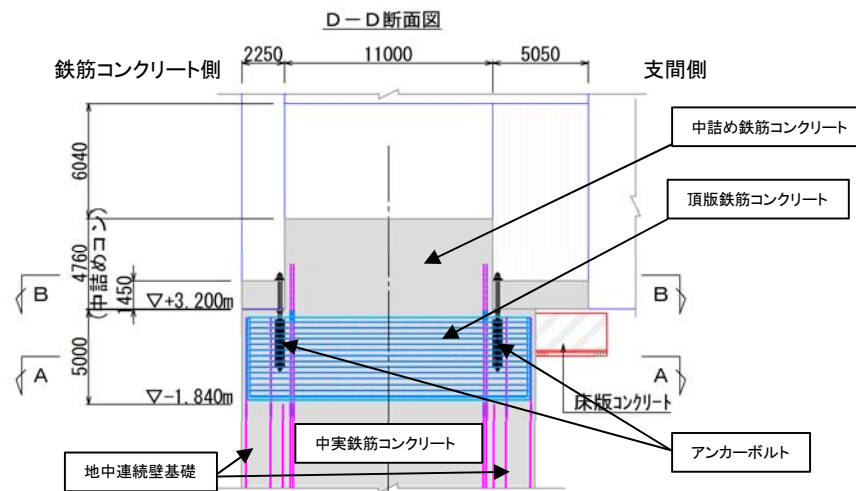
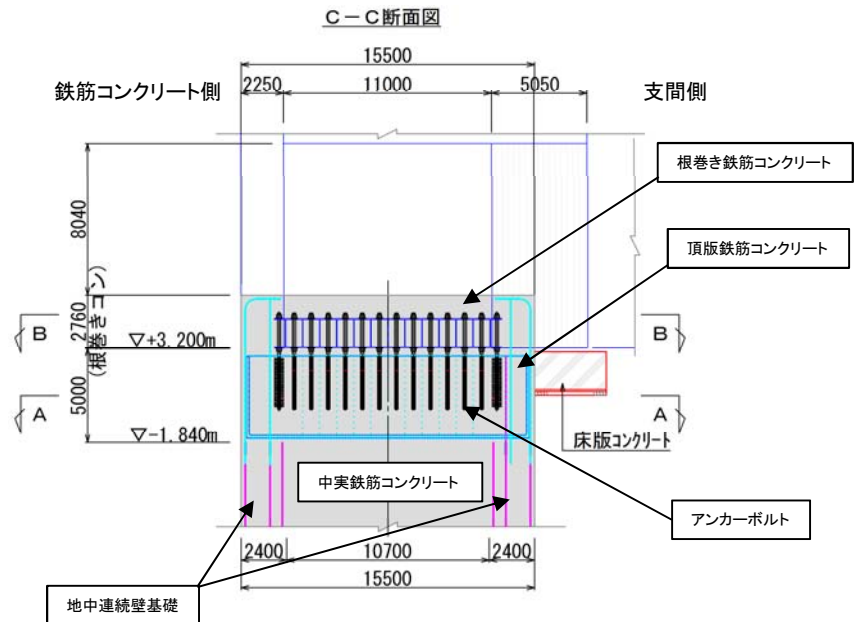
## ■ 鋼製防護壁と地中連続壁基礎の接合部



※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。



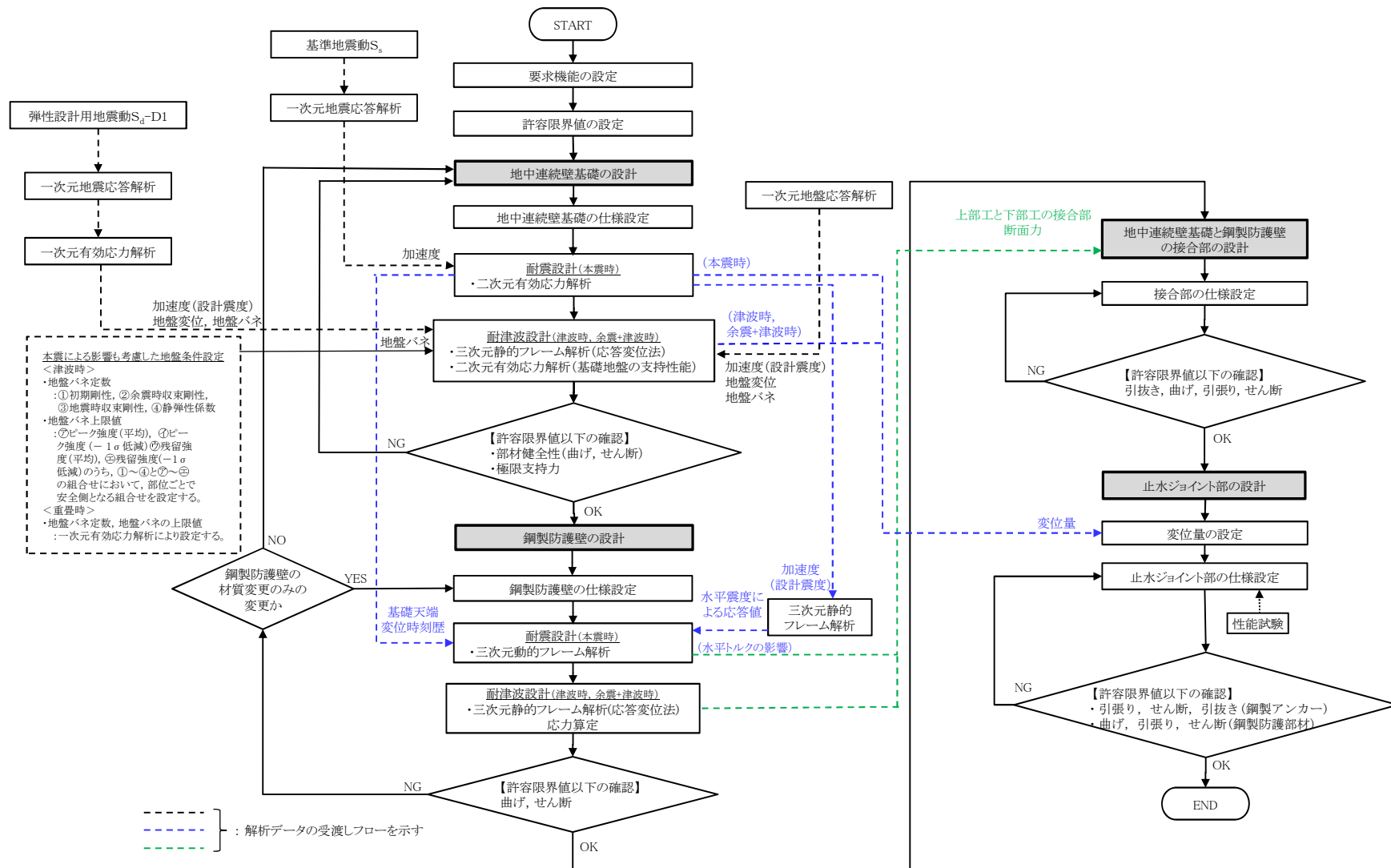
## ■ 鋼製防護壁と地中連続壁基礎の接合部



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】 「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以下とする。 【T.P.+24m津波に対して】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)」に基づき降伏応力度・せん断強度以下とする。
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】 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] <sup>1)</sup> 」「道路橋示方書・同解説(Ⅲコンクリート橋編) <sup>2)</sup> 」「鋼構造物設計基準 <sup>3)</sup> 」「道路土工カルバート工指針 <sup>4)</sup> 」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】 「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」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。



## ■ 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

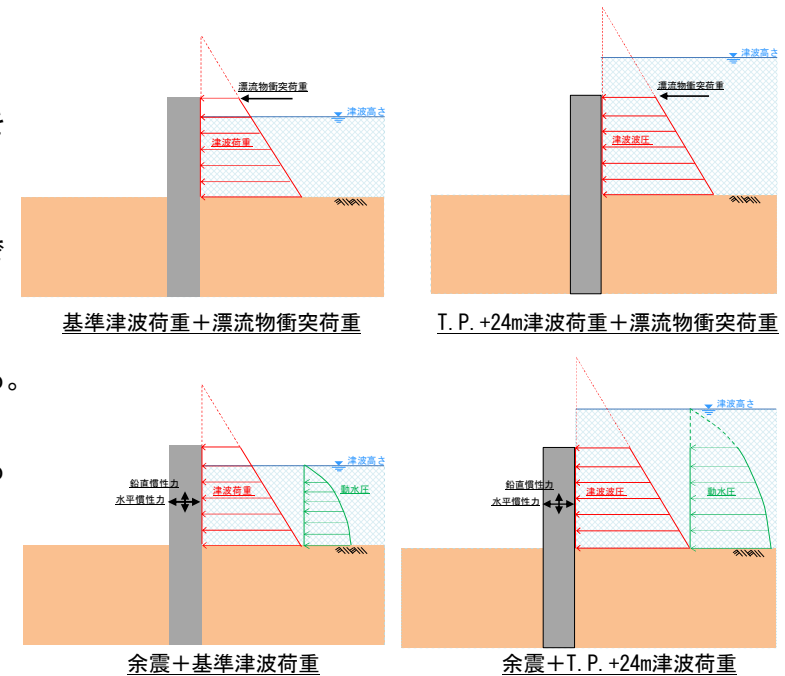
余震による地震力＋津波荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認する。

## (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】 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	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

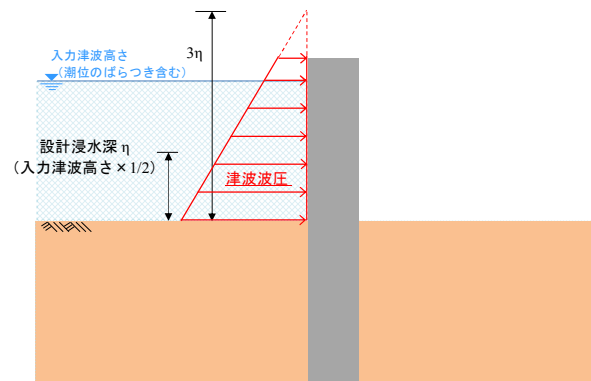
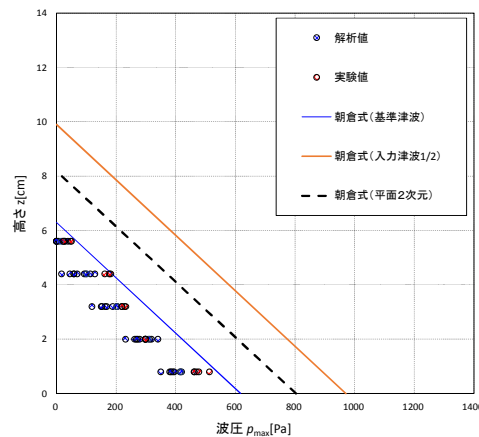


## 津波荷重の考え方

## ■ 浸水深の設定

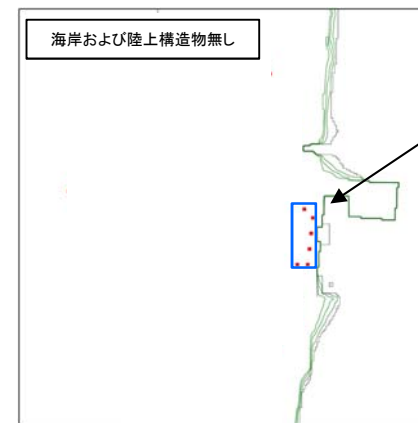
設計用浸水深は、津波の最大遡上高さと設置地盤高さの差の1/2とする。設定理由は以下のとおり。

- ・ 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  $\times 1/2$ )

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） $\times 1/2$ 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

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

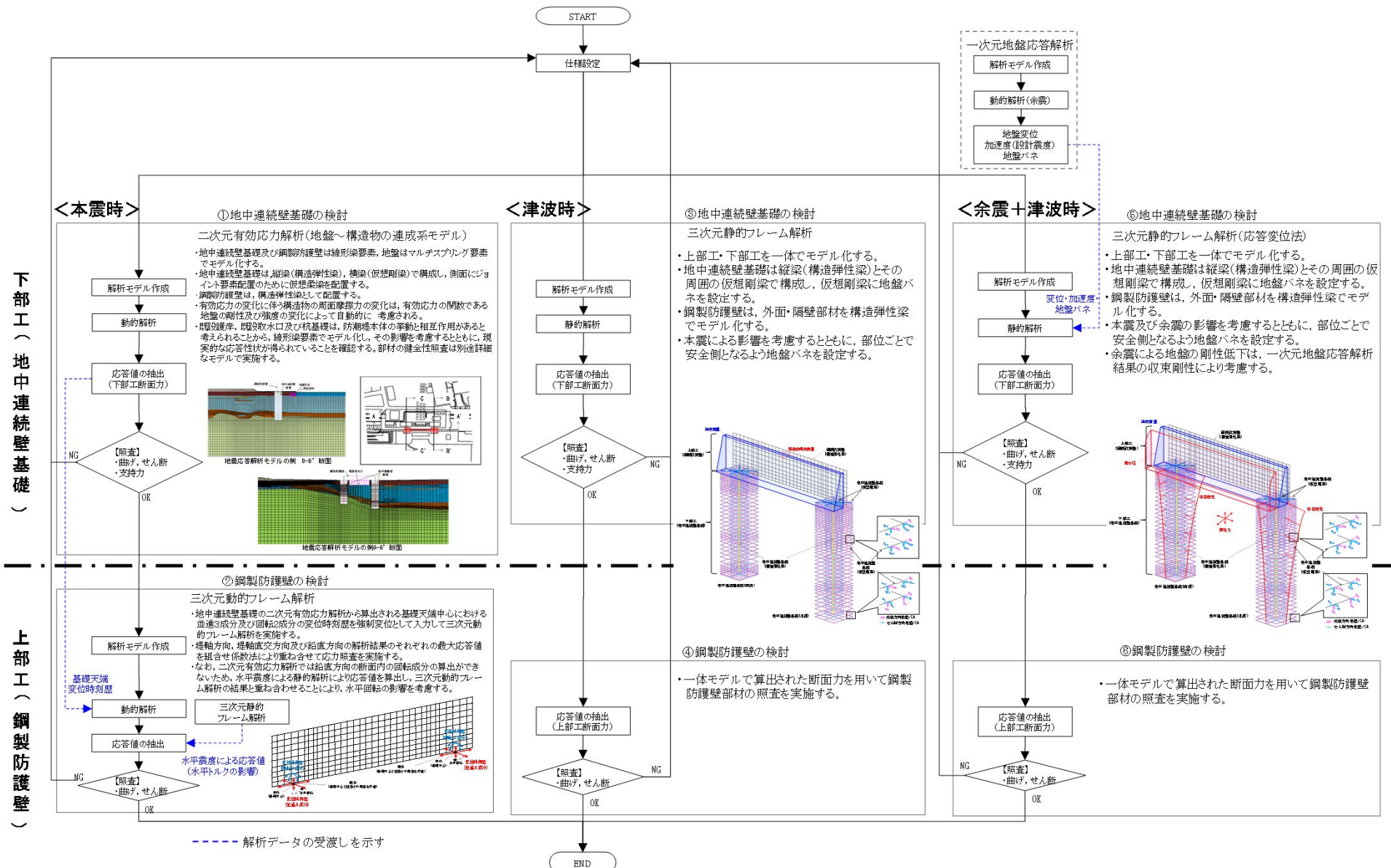
水理模型実験のフルード数

	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

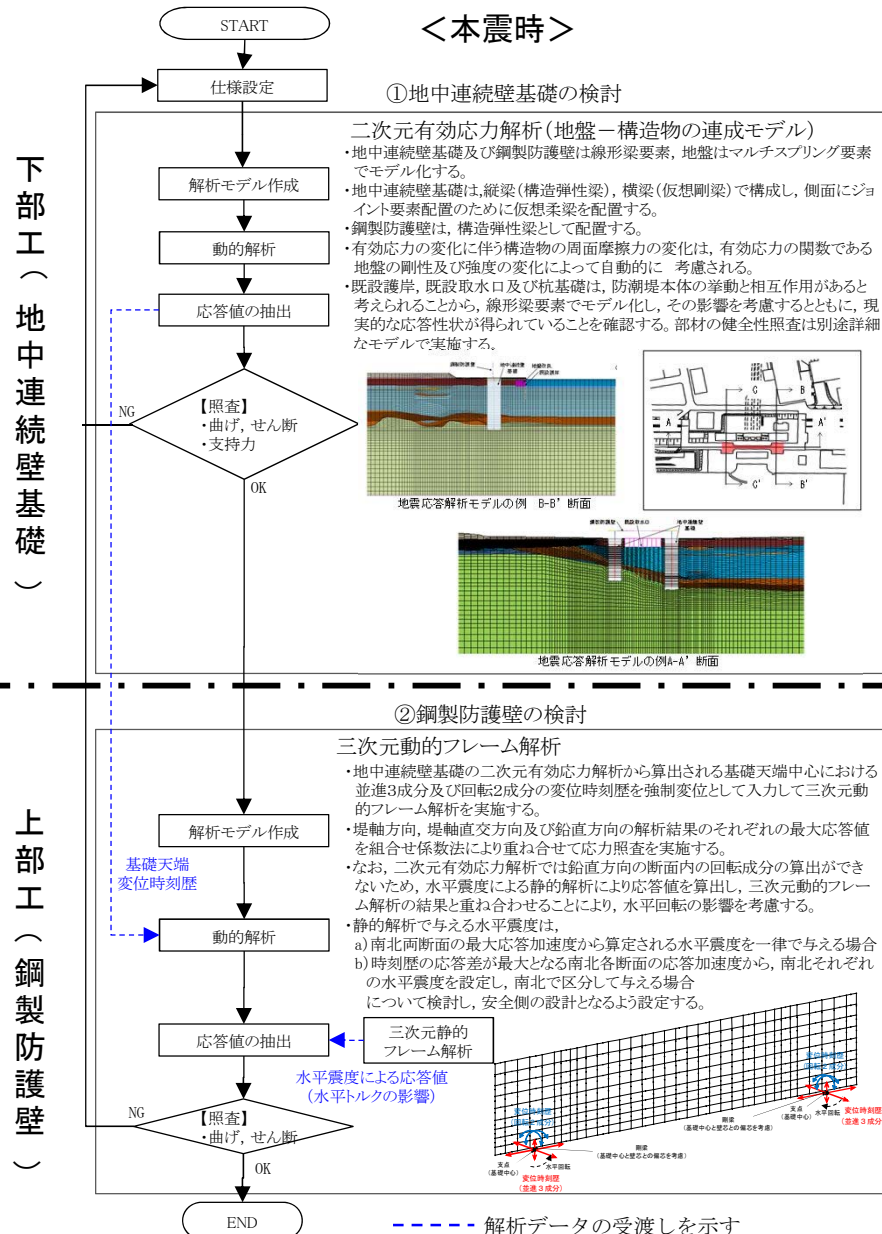


## 解析手法(概要)

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"> <li>・地中連続壁基礎の動的挙動評価</li> <li>・地層の不陸を反映</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中連続壁基礎, 基礎地盤の照査</li> <li>・基礎天端の変位時刻歴 (上部工の動的解析に入力)</li> <li>・鋼製防護壁の最大水平加速度 (上部工の静的解析に入力)</li> </ul>
三次元動的フレーム解析	TDAP	本震時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼製防護壁モデルの精緻化</li> <li>・鋼製防護壁の動的挙動評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼製防護壁の照査</li> </ul>
三次元静的フレーム解析	Engineer's Studio	津波時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼製防護壁モデルの精緻化</li> <li>・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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中連続壁基礎の照査</li> <li>・鋼製防護壁の照査</li> </ul>
	Engineer's Studio	余震+津波時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼製防護壁モデルの精緻化</li> <li>・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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中連続壁基礎の照査</li> <li>・鋼製防護壁の照査</li> </ul>



## 解析手法(本震時)

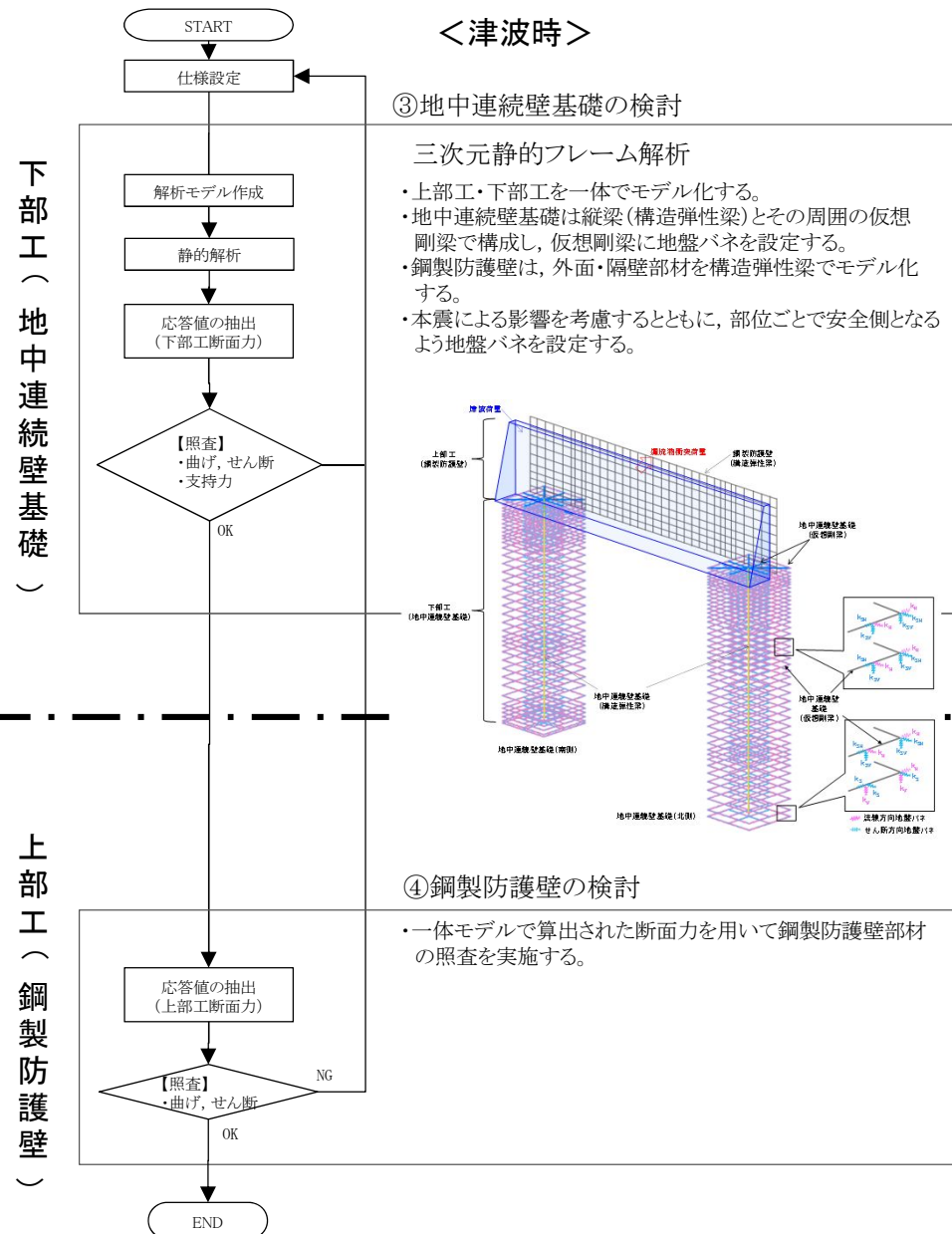


解析手法	二次元動的有効応力解析
プログラム	FLIP
対象荷重	本震時
目的	・地中連続壁基礎の動的挙動評価 ・地層の不陸を反映
データ利用	・地中連続壁基礎、基礎地盤の照査 ・基礎天端の変位時刻歴 (上部工の動的解析に入力) ・鋼製防護壁の最大水平加速度 (上部工の静的解析に入力)

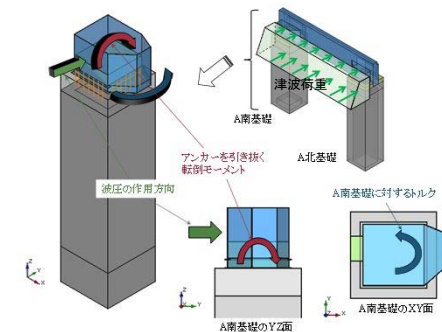
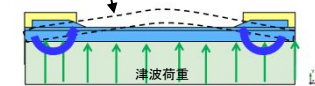
解析手法	三次元動的フレーム解析
プログラム	TDAP
対象荷重	本震時
目的	・鋼製防護壁モデルの精緻化 ・鋼製防護壁の動的挙動評価
データ利用	・鋼製防護壁の照査



## 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"> <li>・鋼製防護壁モデルの精緻化</li> <li>・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</li> </ul>
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中連続壁基礎の照査</li> <li>・鋼製防護壁の照査</li> </ul>

水平回転モーメント  
(水平トルク)

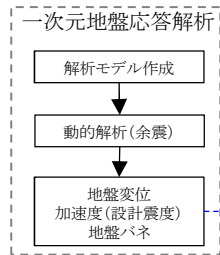
- ・津波荷重により地中連続壁基礎及び鋼製防護壁に作用する水平回転モーメント（水平トルク）を評価するため三次元解析を実施する。



## 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）

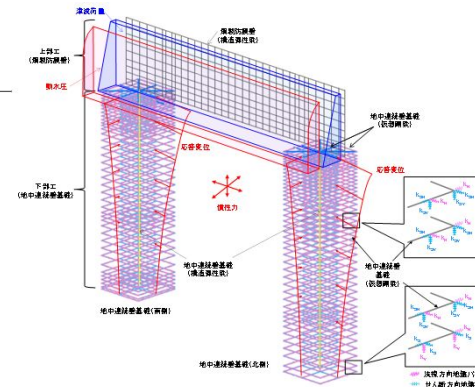
変位・加速度  
地盤バネ

## &lt;余震+津波時&gt;

## 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"> <li>・鋼製防護壁モデルの精緻化</li> <li>・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</li> </ul>
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中連続壁基礎の照査</li> <li>・鋼製防護壁の照査</li> </ul>

- - - 解析データの受渡しを示す



## 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

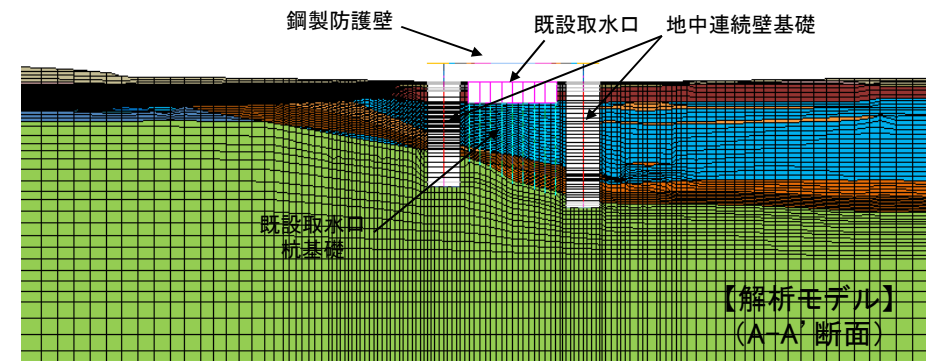
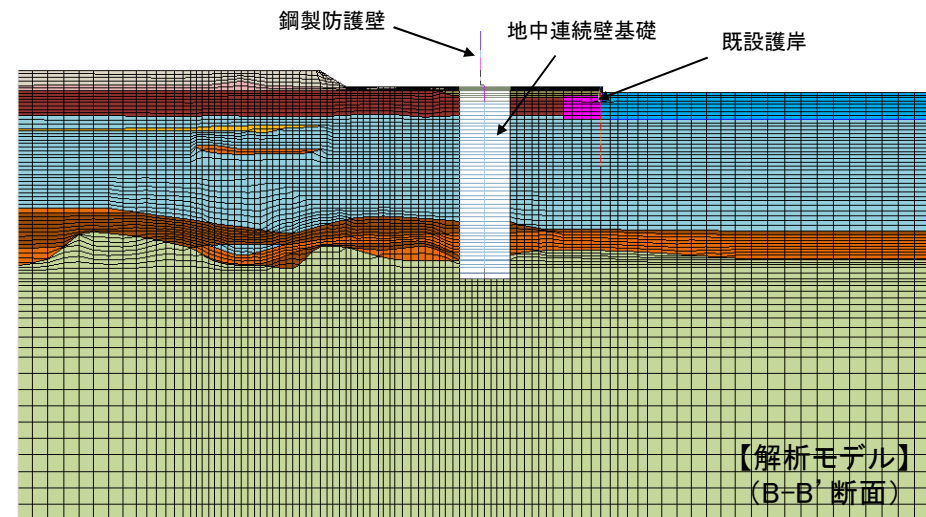
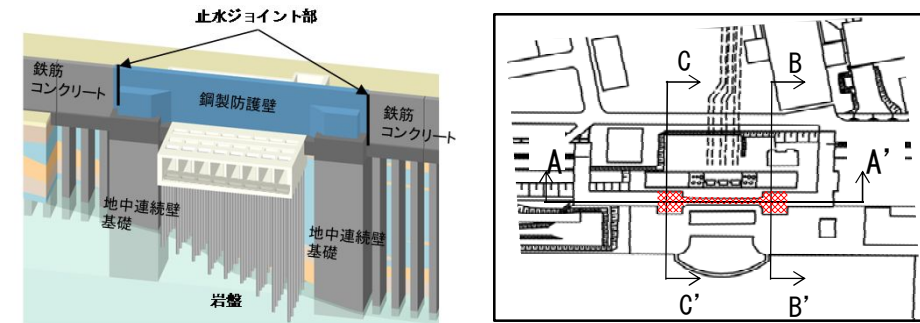
- ・地層の不陸を反映した本震時の地中連続壁基礎の挙動を動的に評価する。
- ・地盤の液状化の影響を厳密に反映するため地盤-構造物の連成モデルに対して二次元動的有効応力解析法を適用する。

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。

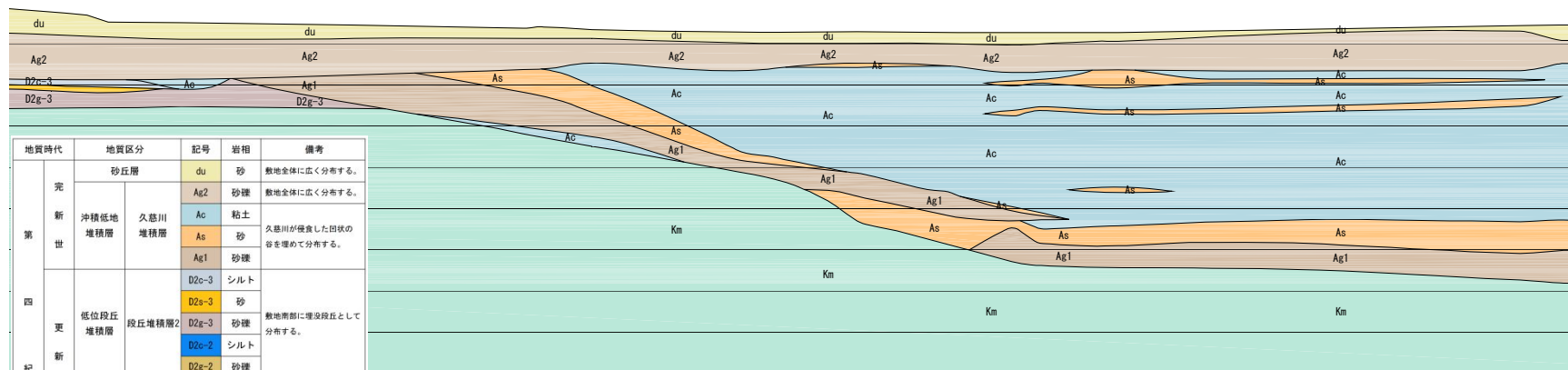




## 8. 設計方針

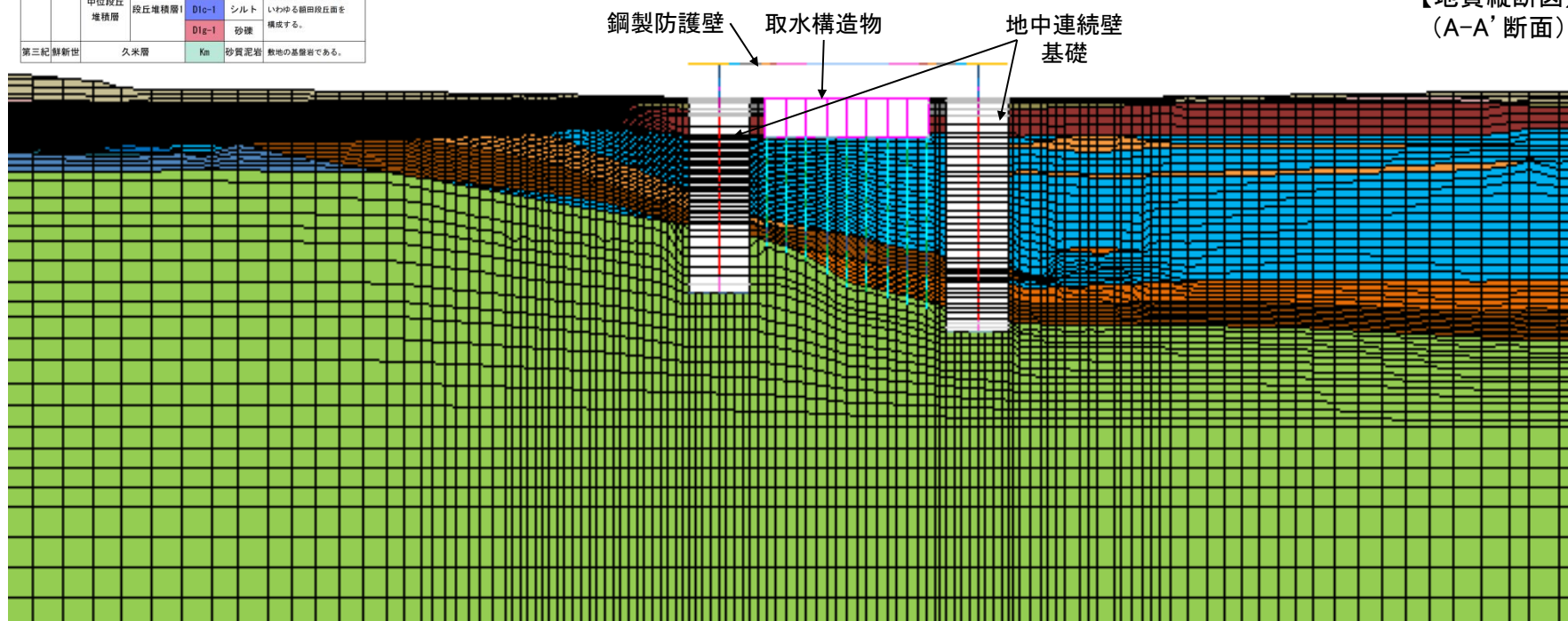
### ①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)(2/3)

第555回審査会合  
資料2-4再掲



地質時代	地質区分	記号	岩相	備考
第三紀 新世	沖積低地堆積層	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。
		As	砂	
	低位段丘堆積層	Ag1	砂礫	
		D2c-3	シルト	
		D2c-3	砂	
		D2g-3	砂礫	敷地南部に埋没段丘として分布する。
	中段丘堆積層	D2c-2	シルト	
		D2g-2	砂礫	
第三紀 新世	久米層	Im	ローム	敷地の南西部に分布し、いわゆる扇田段丘面を構成する。
		D1c-1	シルト	
第三紀 新世	久米層	D1g-1	砂礫	
		Km	砂質泥岩	敷地の基盤岩である。

【地質縦断面図】  
(A-A'断面)



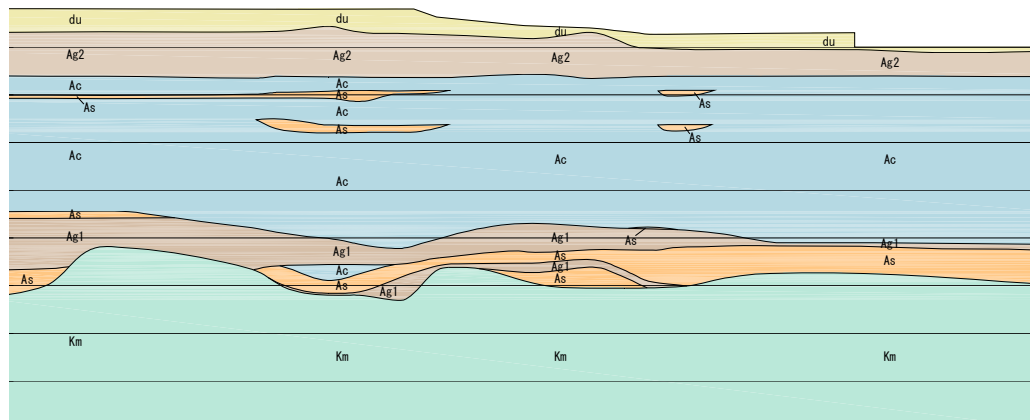
【解析モデル】  
(A-A'断面)



## 8. 設計方針

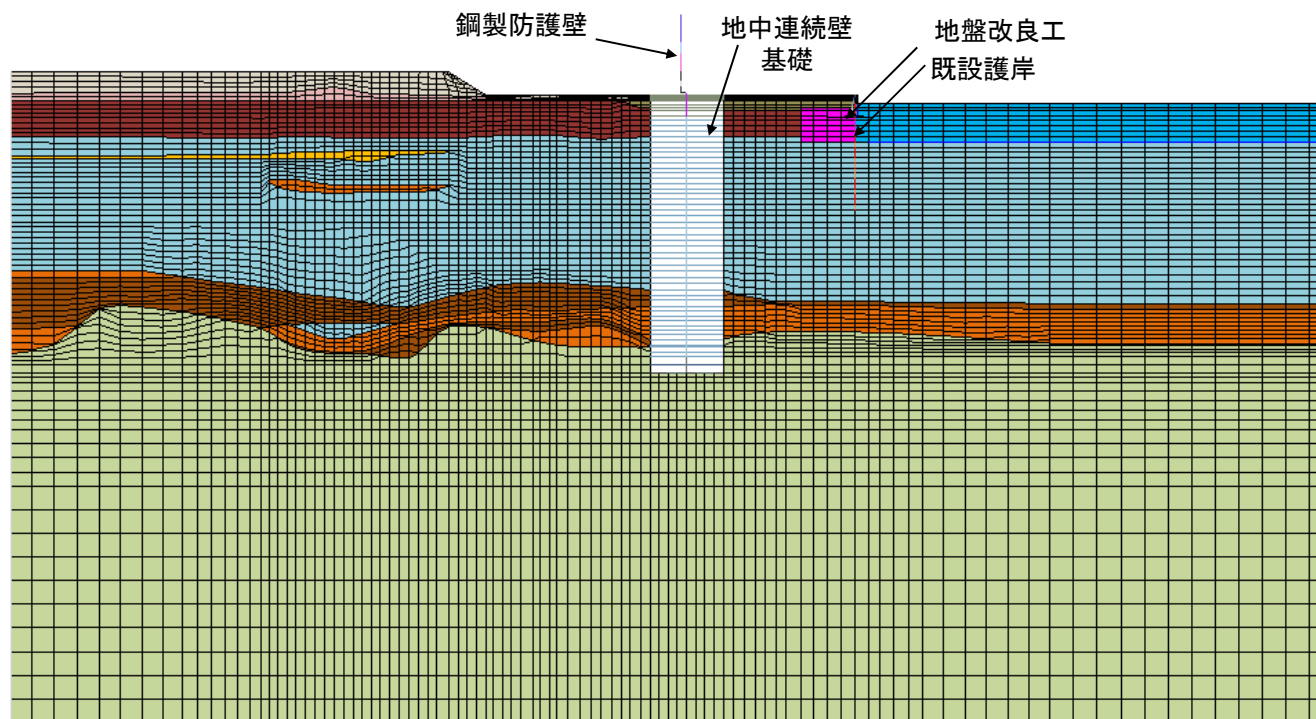
### ①地中連続壁基礎の検討 本震時(二次元有効応力解析)(3/3)

第513回審査会合  
資料2-4再掲



【地質断面図】  
(B-B'断面)

地質時代		地質区分		記号	岩相	備考
第四紀	完新世	砂丘層		du	砂	敷地全体に広く分布する
		沖積低地 堆積層	久慈川 堆積層	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。
				As	砂	
				Ag1	砂礫	
	更新世	低位段丘 堆積層	段丘堆積層2	D2c-3	シルト	
				D2s-3	砂	
				D2g-3	砂礫	
				D2c-2	シルト	
		D2g-2	砂礫			
中新世	中位段丘 堆積層	段丘堆積層1	Im	ローム	敷地の南西部に分布し、 いわゆる額田段丘面を 構成する。	
			D1c-1	シルト		
			D1g-1	砂礫		
第三紀 鮮新世		久米層	Km	砂質泥岩	敷地の基盤岩である。	



【解析モデル】  
(B-B'断面)



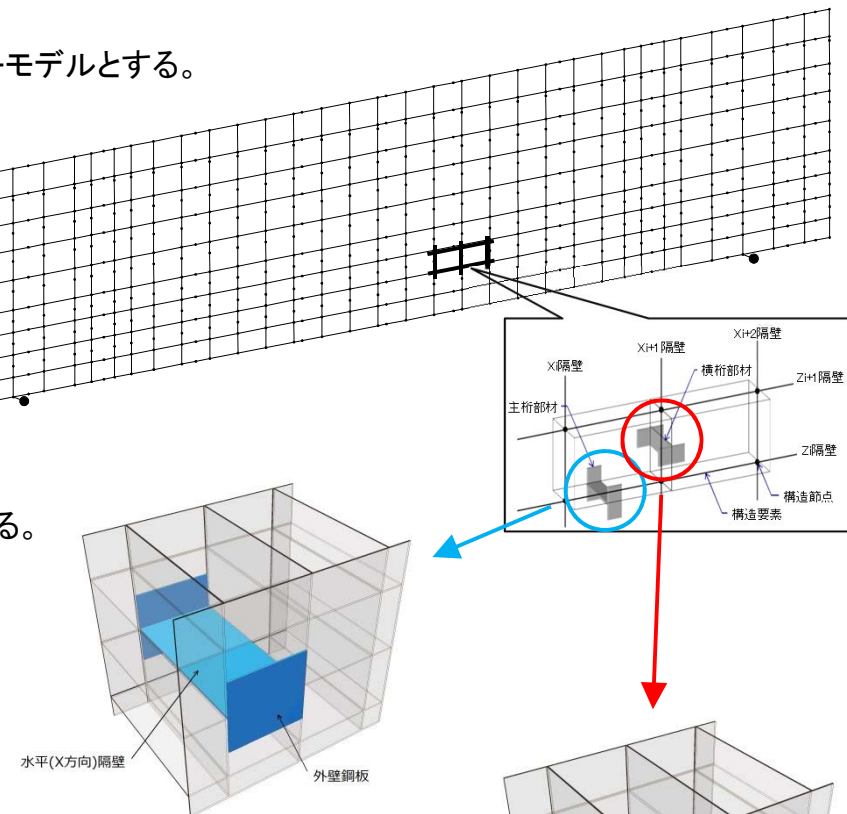
## 鋼製防護壁のモデル化(本震時, 津波時, 余震+津波時共通)

## 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。

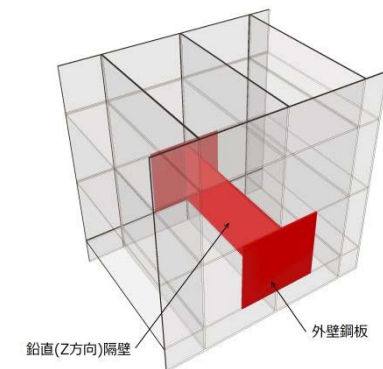
## i) 主桁部材(水平方向)

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

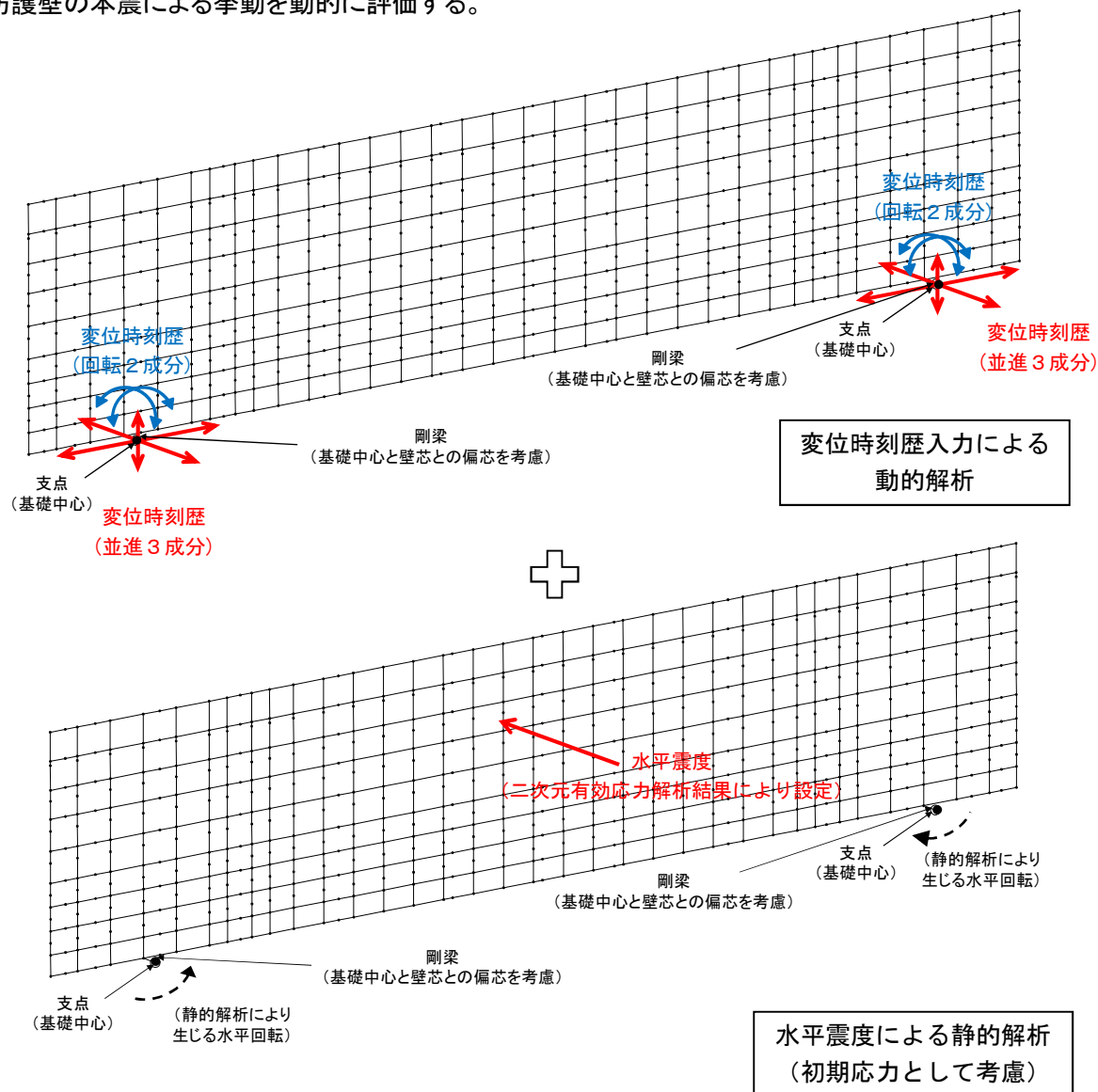
- ・主桁、横桁部材ごとの要素で精緻にモデル化した鋼製防護壁の本震による挙動を動的に評価する。

## 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

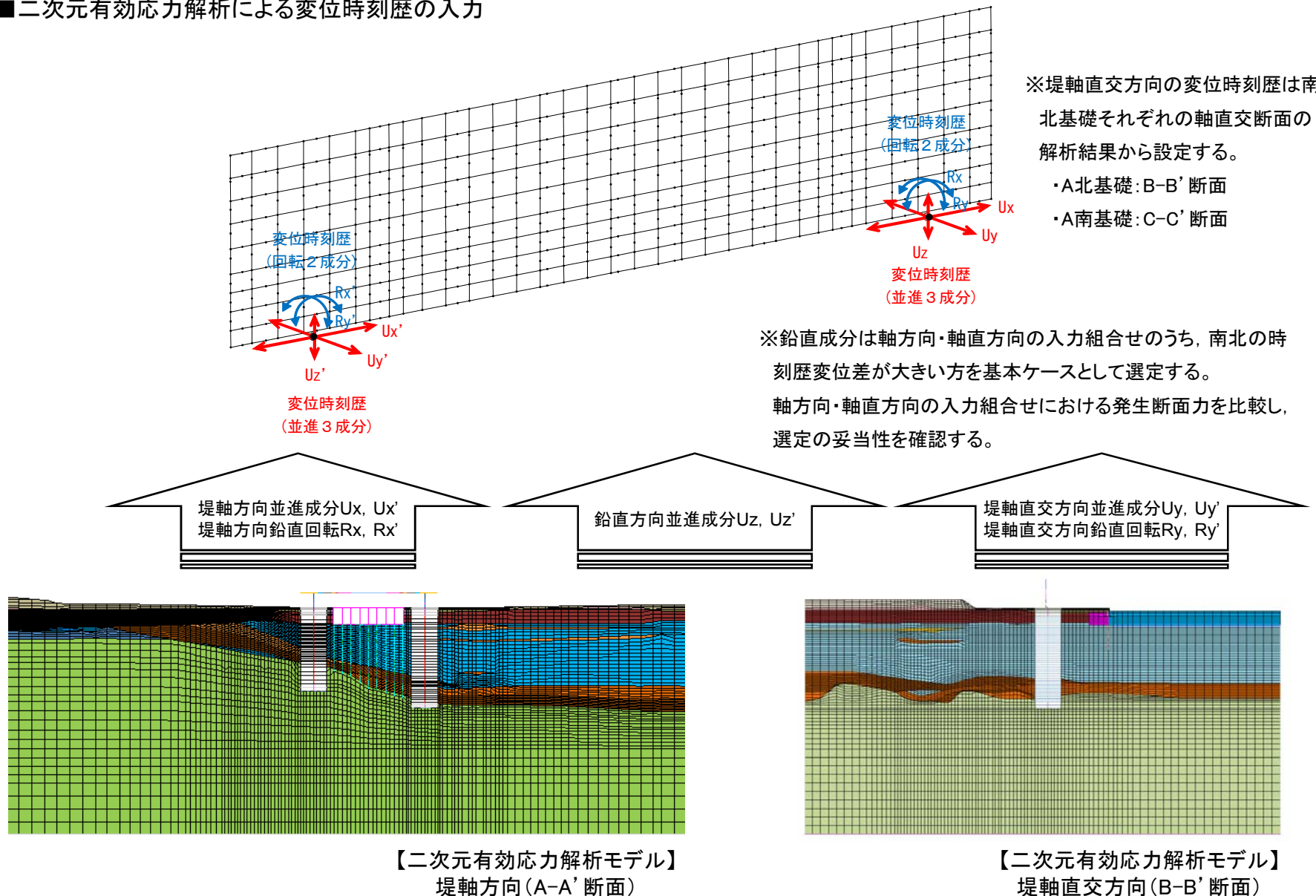
- ・地中連続壁基礎の二次元有効応力解析から算出される基礎天端中心における並進3成分及び回転2成分の変位時刻歴を強制変位として入力して三次元動的フレーム解析を実施する。
- ・①堤軸方向、②堤軸直交方向及び③鉛直方向の解析結果それぞれの最大応答値を組合せ係数法により重ね合わせて応力照査を実施する。
- ・二次元有効応力解析では水平回転成分の算出ができないため、水平震度による静的解析により応答値を算出し、三次元動的フレーム解析の結果と重ね合わせることにより、水平回転の影響を考慮する。
- ・静的解析で与える水平震度は、
  - a) 南北両断面の最大応答加速度から算定される水平震度を一律で与える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





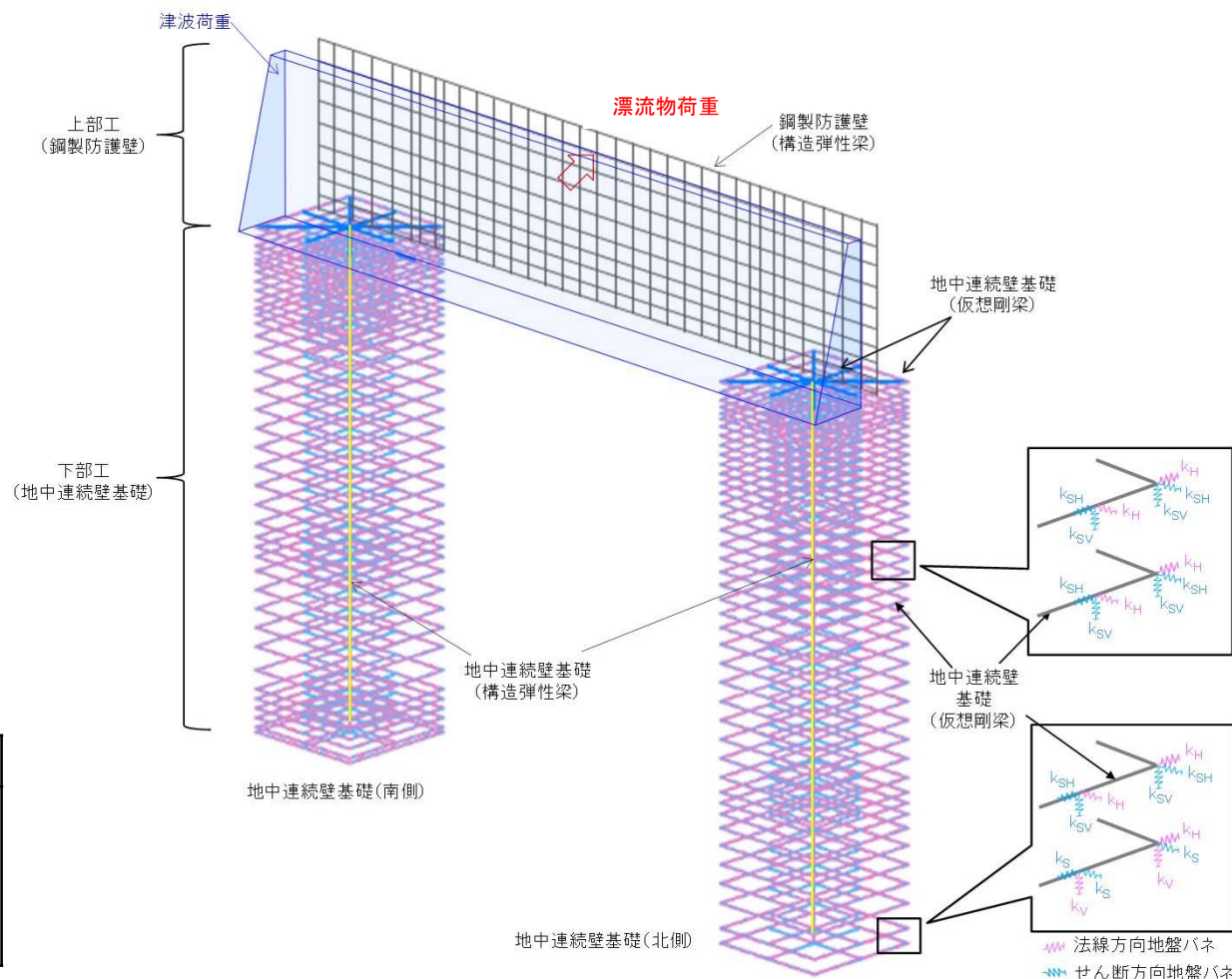
## 解析の目的

- ・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。

・地中連続壁基礎の応力照査

- ### ・鋼製防護壁の応力照査

- ・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、部位ごとで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(-1 $\sigma$ 低減)
	残留強度(平均)
静弾性係数	残留強度(-1 $\sigma$ 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

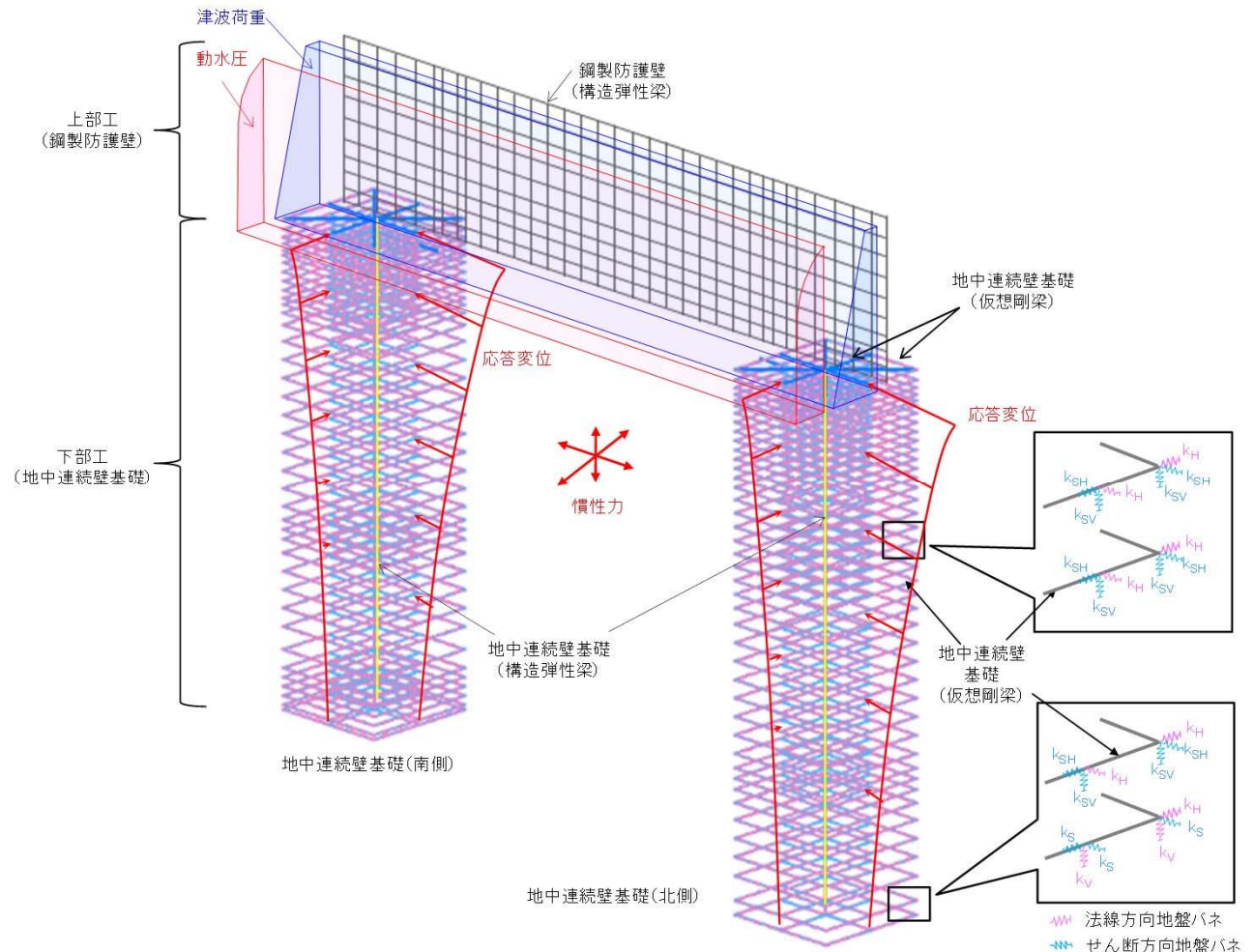
#### モデル化方針

- ・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 $\sigma$ 低減) 残留強度(平均)
静弾性係数	残留強度(-1 $\sigma$ 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。

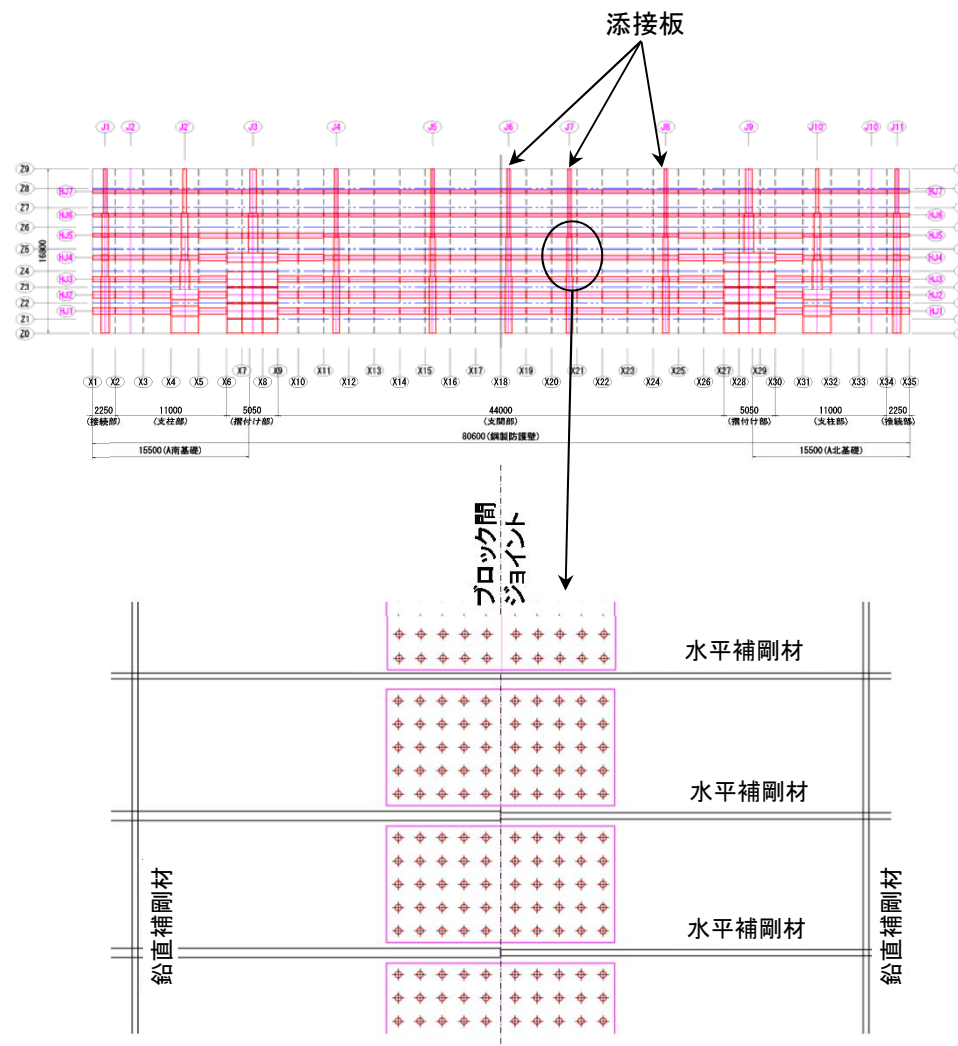


第555回審査会合  
資料2-4再掲



## 補剛材・添接板継手部の設計(1/2)

- 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。



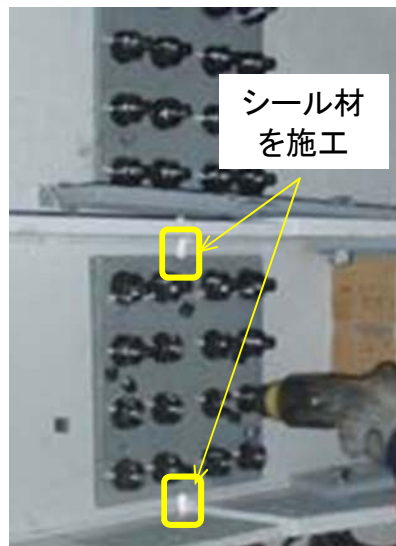
※仕様については今後の検討により変更の可能性がある。



## 補剛材・添接板継手部の設計(2/2)

- 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)



シール材	種類	名称	選定理由
	シリコン系	（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"> <li>・ 耐久性、耐候性に優れ、モジュラスが低く伸びが大きい。</li> <li>・ 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。</li> </ul>
	樹脂系	（金属接着用高強度エポキシ樹脂接着剤）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 金属とコンクリートの双方に優れた接着性を示す。</li> <li>・ 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。</li> <li>・ ペースト状でダレがなく、鉛直面の施工に適している。</li> </ul>
	金属系	（鉄粉入り一般金属用補修材）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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。</li> <li>・ 密着性が高いため、止水性に優れると推測される。</li> <li>・ 施工面への下地処理が必要となる。</li> </ul>

※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	無機ジンクリッチペイント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

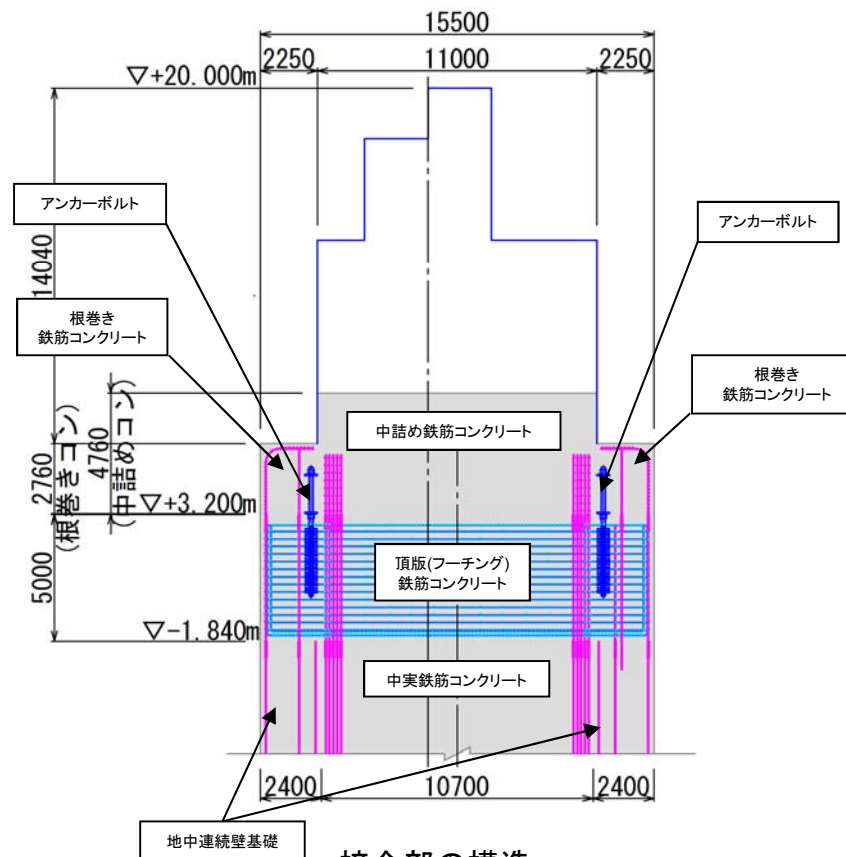


## 接合部の設計(接合部の構造)

### ■ 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	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	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	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	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	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)

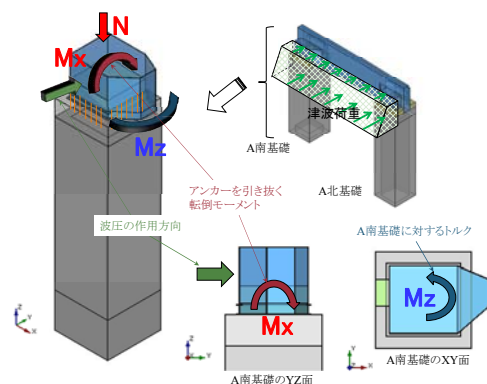
### 設計思想

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。しかしながら、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の耐力でも、弾性範囲内で負担できる設計思想とする。

### 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の耐力でも、上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。

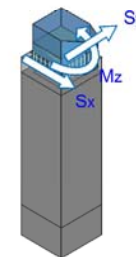


津波荷重作用時のイメージ図

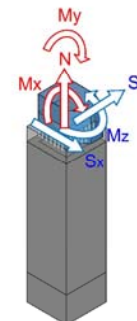
アンカーボルトで抵抗



頂版鉄筋コンクリート、  
中詰め鉄筋コンクリートで抵抗

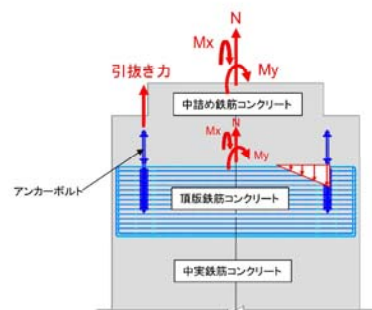


アンカーボルト、  
頂版鉄筋コンクリート、  
中詰め鉄筋コンクリートで抵抗

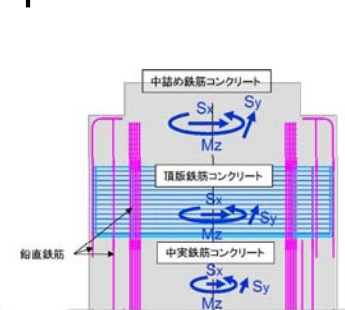


+

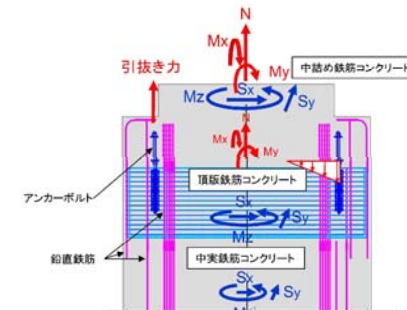
=



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。

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。
- 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。
- 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。

### 対象部材及び準拠基準

対象部位		荷重条件	準拠基準	設計思想
接合部	アンカーボルト	引抜き力	・鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)(名古屋高速道路公社) ＜7章アンカー部＞ 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	水平回転モーメント、 水平力	・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編)(日本道路協会) ＜4.4ねじりモーメント作用する部材の照査＞ 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。



# 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。
- ・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、引抜き力は設計上アンカーボルトの弾性範囲内で負担し、水平力、水平回転モーメントは設計上鉄筋コンクリートの弾性範囲内で負担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 <sup>2</sup> SM520B 相当 355N/mm <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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:短期許容応力度 レベル2地震時:アンカー部の耐震設計増し	基準津波時:短期許容応力度以下 T.P.+24m津波時:降伏応力度以下
	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』を用いる。
	7.2.2	照査応力度	直接定着式アンカーボルトの付着 コーン破壊(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 <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> 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。

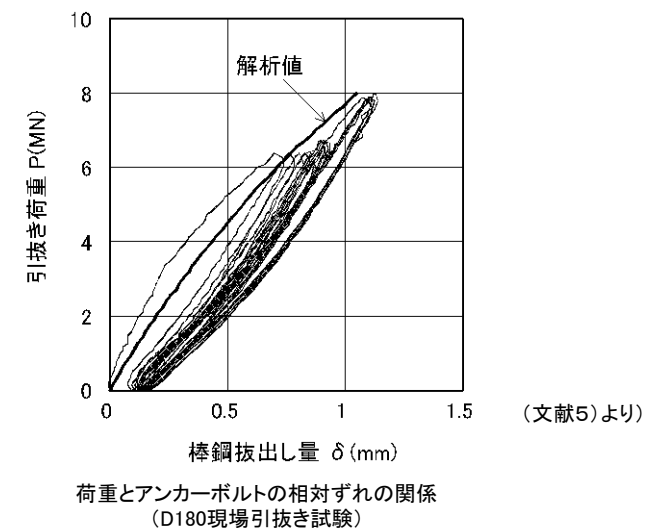


## 接合部の設計(「鋼構造物設計基準」の適用範囲 2/2)

- 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5)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5)
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[構造性能照査編] 付録1 2.2 せん断応力度」(土木学会)に準拠して設計を行う。
- 水平回転モーメントによるせん断力は、コンクリート標準示方書に許容応力度設計法での記載がないため、「道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋編 4.4 ねじりモーメントが作用する部材の照査」に準拠して設計を行う。

「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

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

$$V_{ca}: \text{コンクリートの許容せん断力 (N)} \quad V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

$$V_{sa}: \text{斜め引張鉄筋の許容せん断力 (N)} \quad V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot j \cdot d / s$$

$\tau_{a1}$ : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_w$ : 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 (mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{sa}$ : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s$ : 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

$$\sigma_{st} = M_t \cdot a / 1.6 b t \cdot h t \cdot A_{wt}$$

$$\sigma_{sl} = M_t \cdot (b t + h t) / 0.8 b t \cdot h t \cdot A_{lt}$$

$\sigma_{st}$ : ねじりモーメントに対する横方向の鉄筋の応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{sl}$ : ねじりモーメントに対する軸方向の鉄筋の応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_t$ : 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 (mm<sup>2</sup>)

$A_{lt}$ : 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 (mm<sup>2</sup>)

$a$ : 横方向鉄筋の間隔 (mm)

$b t, h t$ : 幅及び高さ (mm)

注: コンクリート設計強度 50 N/mm<sup>2</sup> 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)」を準拠する。



## 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)

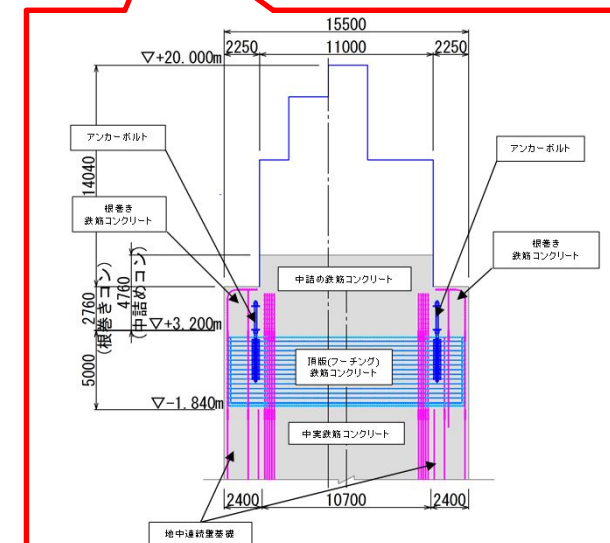
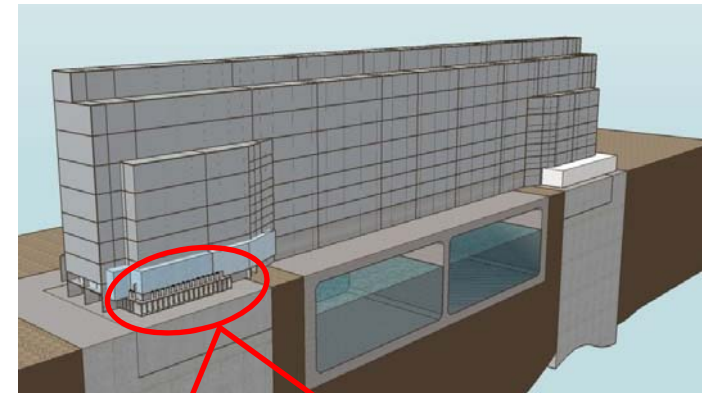


### 技術基準の併用

- 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。

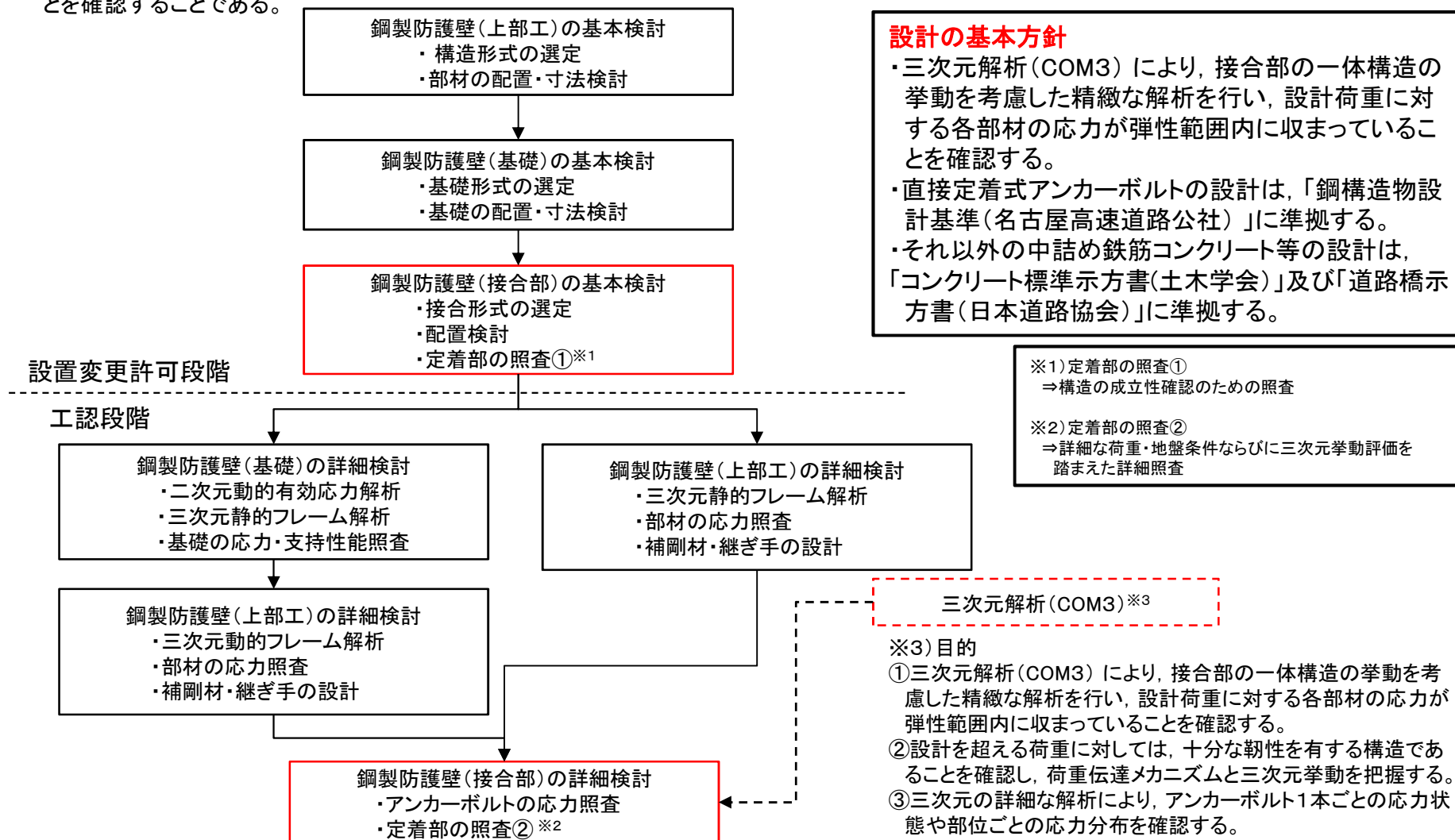


接合部の構造



## 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。



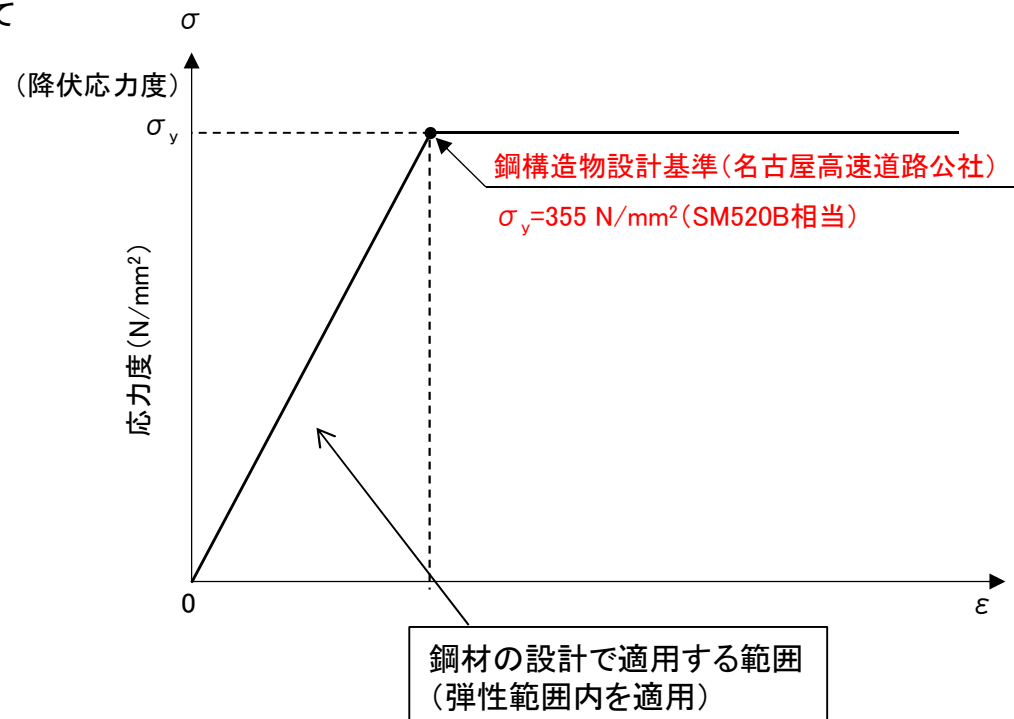


## 8. 設計方針

### 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

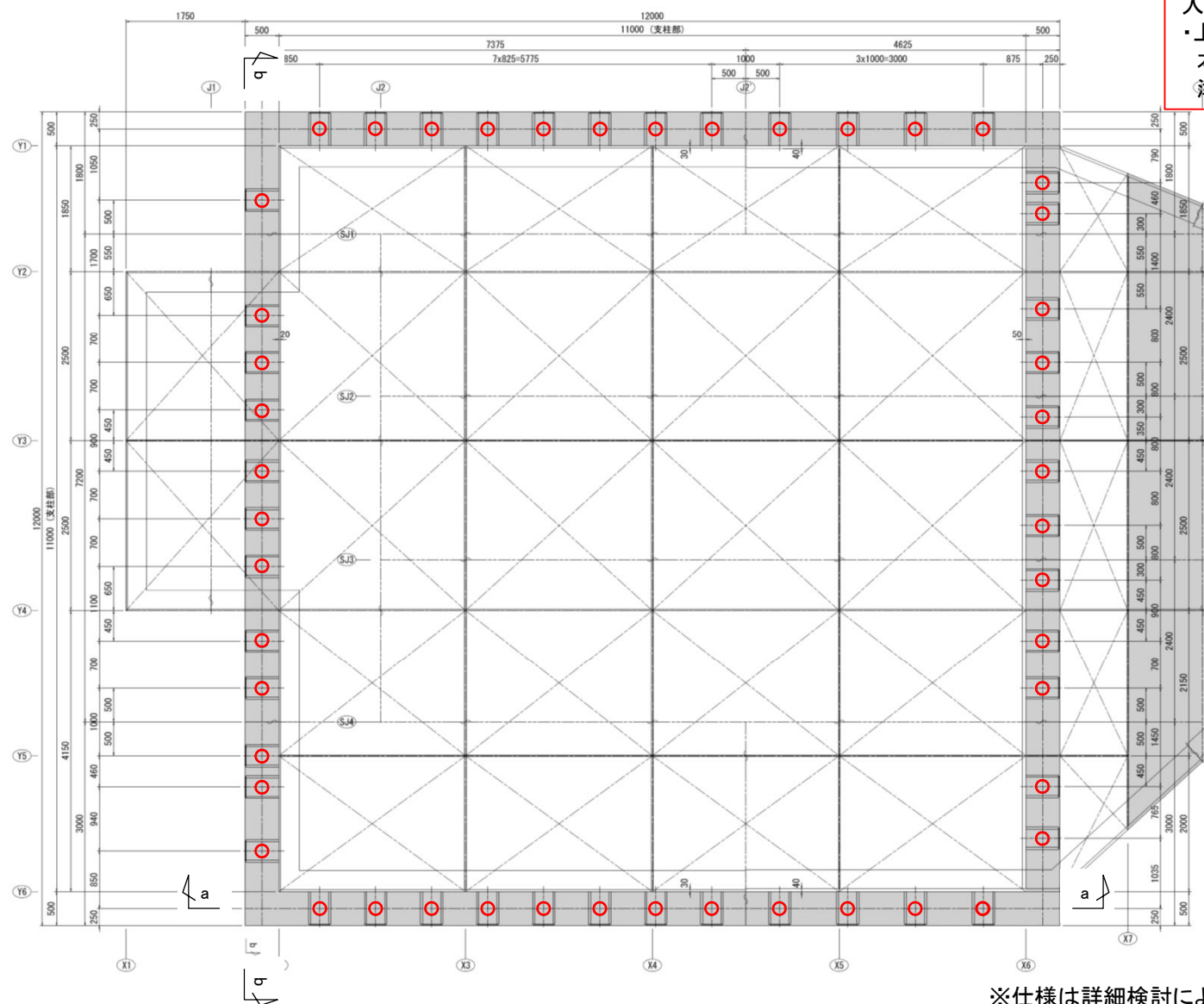


#### ○コンクリートについて

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 $50 \text{ N/mm}^2$ 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 $27 \text{ N/mm}^2$ に対応する照査応力度を許容限界に適用する。



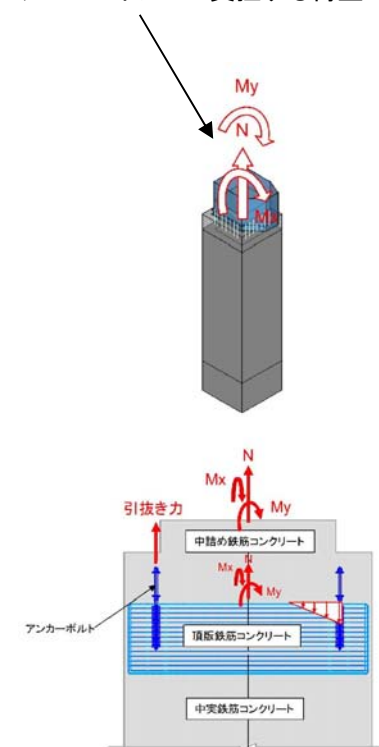
## ■ アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計)



## 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, 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

※仕様は詳細検討によって変更になることがある。

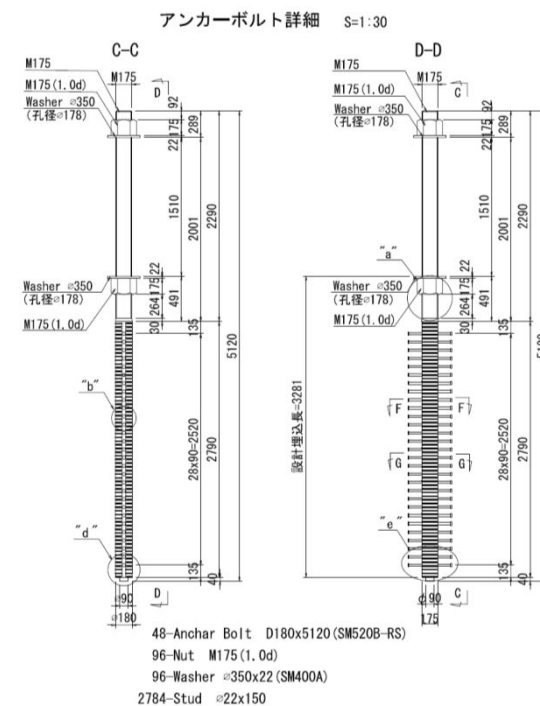
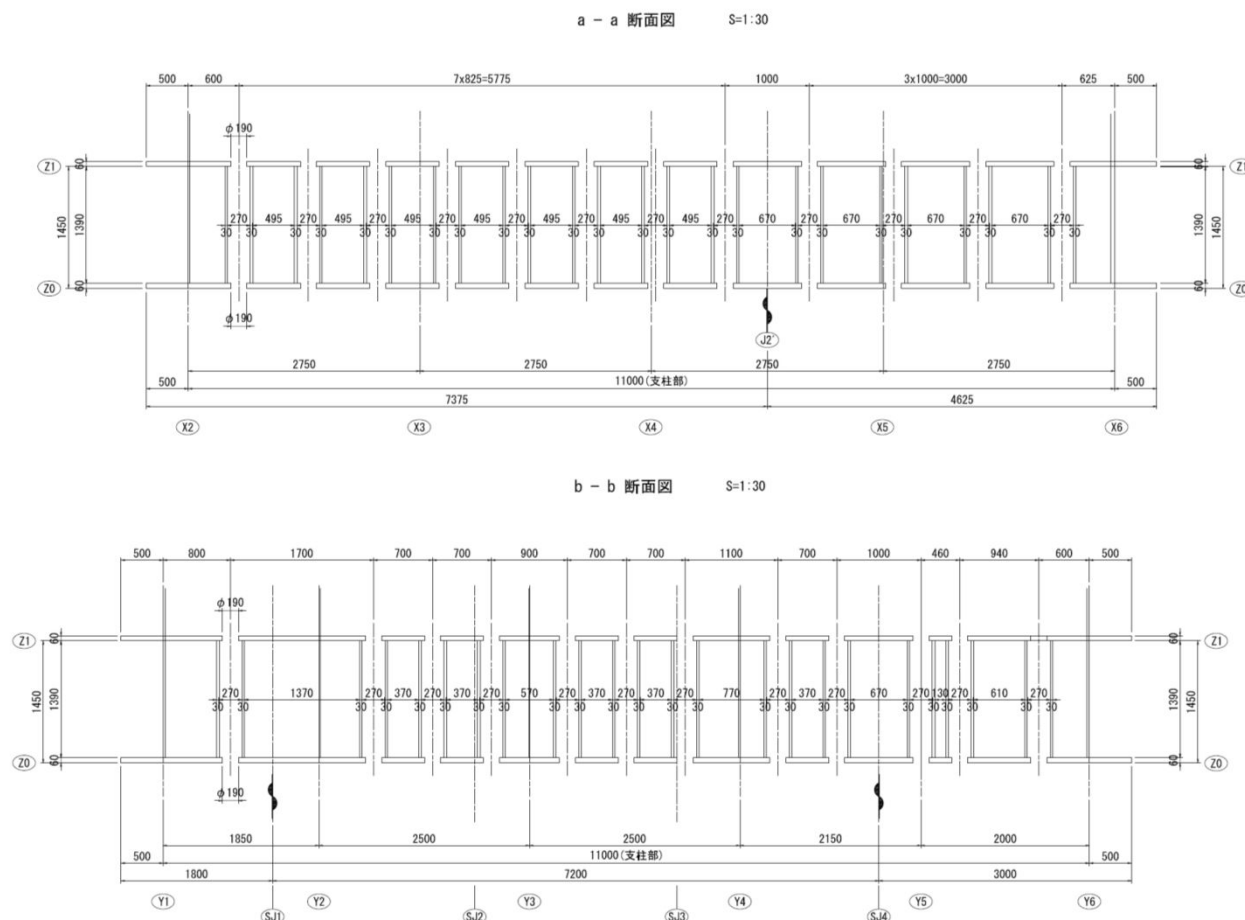


## 8. 設計方針

# 接合部の設計(構造の成立性 2/7)

第555回審査会合  
資料2-4再掲

## ■ 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。

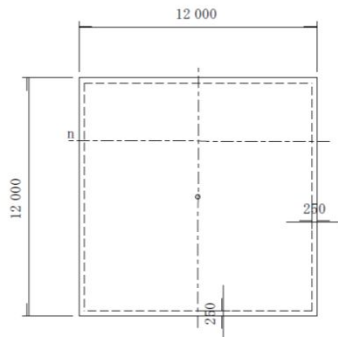


## 8. 設計方針

## 接合部の設計(構造の成立性 3/7)

第556回審査会合  
資料2 修正

## ■ 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><tr><td>A</td><td>(m<sup>2</sup>)</td><td>144.0000</td></tr><tr><td>A'</td><td>(m<sup>2</sup>)</td><td>0.0000</td></tr><tr><td>yu</td><td>(m)</td><td>6.0000</td></tr><tr><td>yl</td><td>(m)</td><td>-6.0000</td></tr><tr><td>Iz</td><td>(m<sup>4</sup>)</td><td>1728.00000</td></tr><tr><td>Iy</td><td>(m<sup>4</sup>)</td><td>1728.00000</td></tr><tr><td>Wu</td><td>(m<sup>3</sup>)</td><td>288.00000</td></tr><tr><td>Wl</td><td>(m<sup>3</sup>)</td><td>-288.00000</td></tr><tr><td>J</td><td>(m<sup>4</sup>)</td><td>2920.32000</td></tr><tr><td>Ao</td><td>(m<sup>2</sup>/m)</td><td>48.0000</td></tr><tr><td>Ai</td><td>(m<sup>2</sup>/m)</td><td>0.0000</td></tr></table>		A	(m <sup>2</sup> )	144.0000	A'	(m <sup>2</sup> )	0.0000	yu	(m)	6.0000	yl	(m)	-6.0000	Iz	(m <sup>4</sup> )	1728.00000	Iy	(m <sup>4</sup> )	1728.00000	Wu	(m <sup>3</sup> )	288.00000	Wl	(m <sup>3</sup> )	-288.00000	J	(m <sup>4</sup> )	2920.32000	Ao	(m <sup>2</sup> /m)	48.0000	Ai	(m <sup>2</sup> /m)	0.0000
A	(m <sup>2</sup> )	144.0000																																		
A'	(m <sup>2</sup> )	0.0000																																		
yu	(m)	6.0000																																		
yl	(m)	-6.0000																																		
Iz	(m <sup>4</sup> )	1728.00000																																		
Iy	(m <sup>4</sup> )	1728.00000																																		
Wu	(m <sup>3</sup> )	288.00000																																		
Wl	(m <sup>3</sup> )	-288.00000																																		
J	(m <sup>4</sup> )	2920.32000																																		
Ao	(m <sup>2</sup> /m)	48.0000																																		
Ai	(m <sup>2</sup> /m)	0.0000																																		
断面力	Mz (kN.m)	1582248.000																																		
	My (kN.m)	2855.000																																		
	N (kN)	35736.000																																		
ヤング係数比		n = 15.00																																		
応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ $\sigma_{ca}$ $\sigma_s$ $\sigma_{sa}$ $\sigma_{s'}$ $\sigma_{sa}$	7.656 < 18.000 308.457 < 346.000 -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 <sup>3</sup> )	14.90098																																		
Iz	(m <sup>4</sup> )	617.79276																																		
Izy	(m <sup>4</sup> )	0.23012																																		

鋼種	位置 (m)	鉄筋径 (mm)	本数 (本)	鉄筋量As (cm <sup>2</sup> )
D-1	0.2500	0.00	0.000	5434.970
D-2	0.2500	0.00	0.000	5434.970
鉄筋量の合計 Σ				10869.940
《鋼種の説明》 D:鉄筋(φ:丸鋼) 1:上縁～高さ 0:全周 -1:上下かぶり -2:左右かぶり				

アンカーボルトの許容限界は鋼構造物設計基準に準拠する。

$\sigma_c$  : コンクリートの発生圧縮応力度  
 $\sigma_s$  : 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

$\sigma_{ca}$  : 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  $27\text{N/mm}^2$  に対応する短期許容応力度)  
 $< \text{コンクリートの照査応力度 } 0.85 \times 27\text{N/mm}^2^{3)} = 22.95\text{N/mm}^2$

$\sigma_s$  : 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  $210\text{N/mm}^2 \times \text{割増し係数} 1.65^{1)} = 346.5\text{N/mm}^2$   
 $< \text{鋼材の照査応力度 } 355\text{N/mm}^2^{3)}$



## ■ 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/mm<sup>2</sup>)

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

$$Leq = (\sigma_{sa} \cdot A_s) / (\pi \cdot d2 \cdot \tau_a)$$

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

$$= 2369.4$$

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

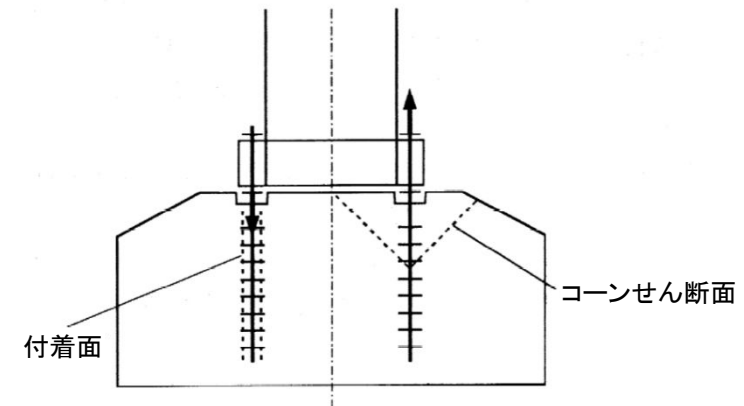
$$Led = Leq + Uo$$

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

$$Uo = 2 \times d2$$

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

$\sigma_{sa}$  : アンカーボルトの許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau_a$  : 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 (mm<sup>2</sup>)  
 $d2$  : アンカーボルトの公称径 (mm)

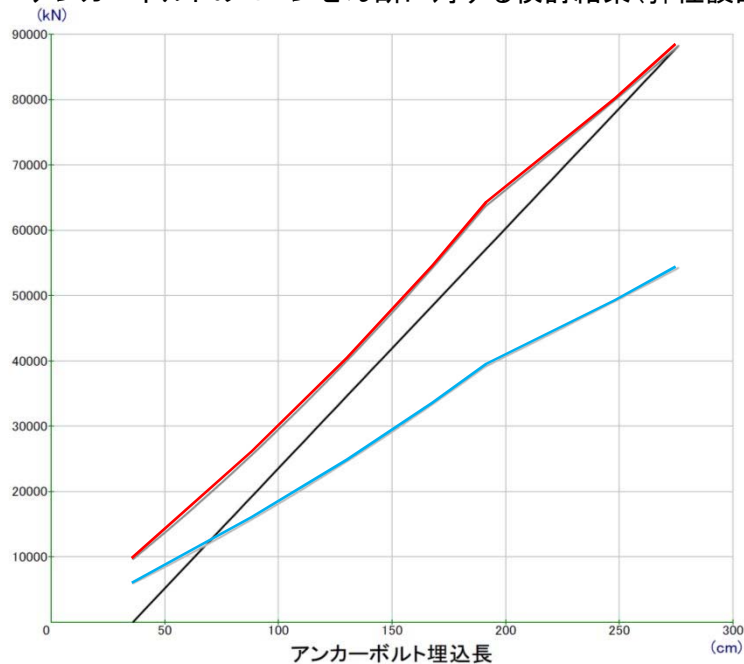


アンカーボルトの定着長は鋼構造物設計基準に準拠する。

$\tau_a$  : 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  $27 \text{ N/mm}^2$  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)

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する。

## 7.3.4 フーチングコンクリートの応力照査

$\sigma_{coa} = 1/2 \cdot \sigma_{coal} + \Delta \sigma$      $\sigma_{coa}$ : 定着部のコーン破壊許容応力度  
 $\sigma_{coal}$ : 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

$\sigma_{coal}$ : 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  $1.5 \sigma_{coal}$  <sup>3)</sup>  
 $1.5 \times 0.55 \text{ N/mm}^2 = 0.825 \text{ N/mm}^2$   
 (設計基準強度  $27 \text{ N/mm}^2$  に対応する照査応力度)

## 補強鉄筋の計算

◆強度の不足分(面外)

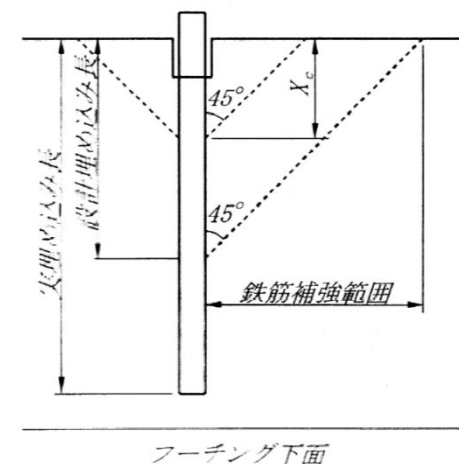
$\sigma_{ck} = 27 \text{ (N/mm}^2\text{)}$   
 $\sigma_{sy} = 345 \text{ (N/mm}^2\text{) [SD345]}$   
 $\sigma_{coa} = 1.342 \text{ (N/mm}^2\text{)}$   
 $\sigma_{coal} = 0.825 \text{ (N/mm}^2\text{)}$   
 $A_c(X_c) = 65749379 \text{ (mm}^2\text{)}$

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

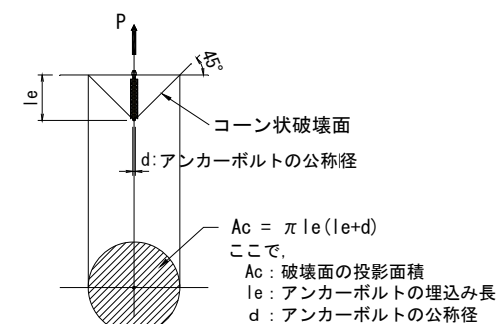
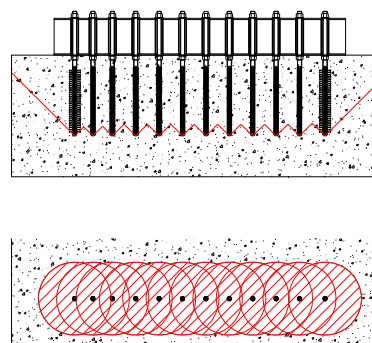
◆必要鉄筋量

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

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



鉄筋補強範囲



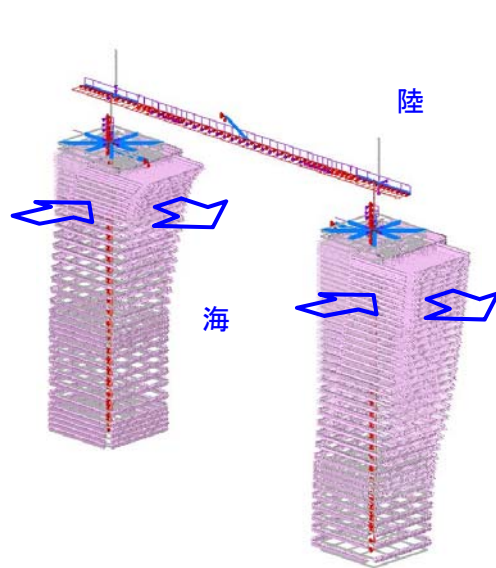
複数のアンカーボルトに対するコーンせん断面の考え方



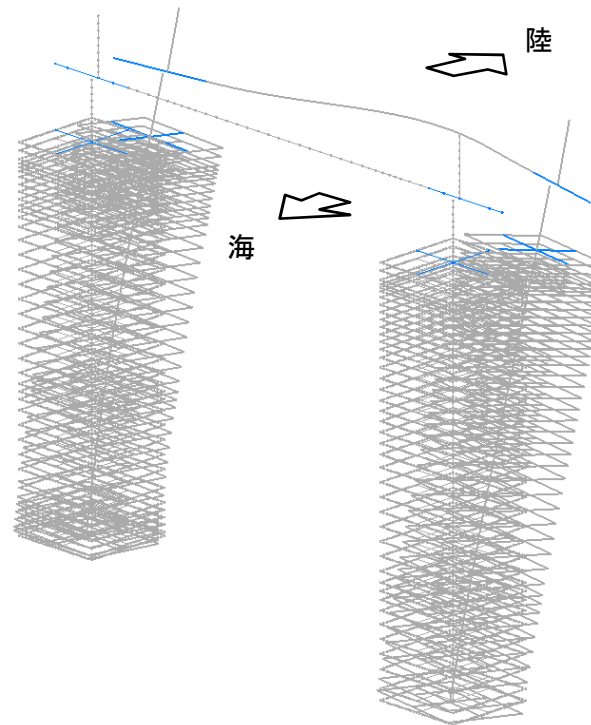
## 接合部の設計(構造の成立性 6/7)

## ■ 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)

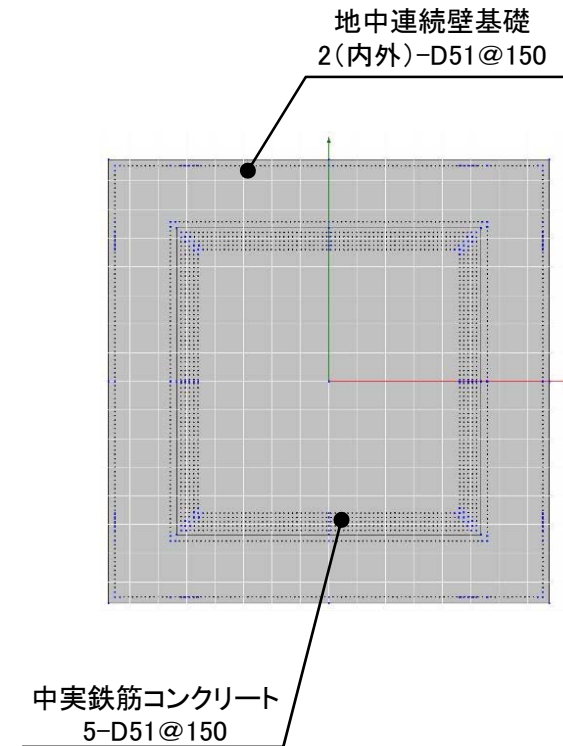
余震+津波時  
照査値(鉄筋) 南基礎:0.96, 北基礎:0.82  
・中実コンクリートの鉄筋5-D51@150  
・地中連続壁基礎2-D51@150  
(水平2方向地震力の影響を荷重で考慮)



荷重図



変形図



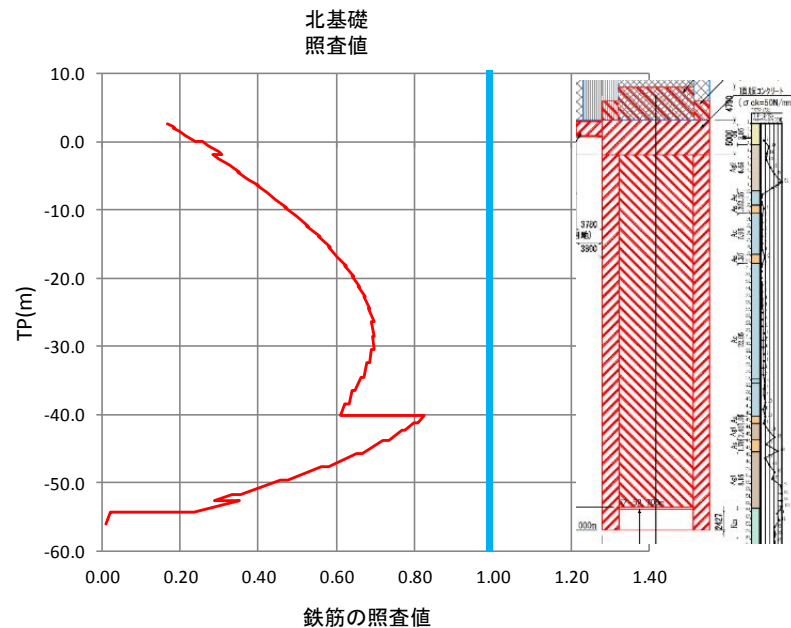
配筋の概要



## ■ 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)

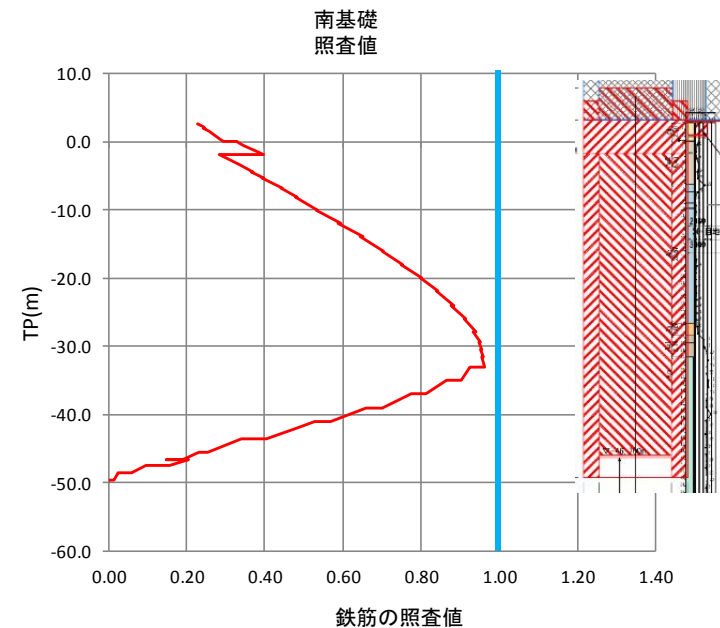
北基礎 照査値(鉄筋)=0.82 ... 判定OK  
余震+津波時

- ・中実コンクリート鉄筋の5-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+津波時

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

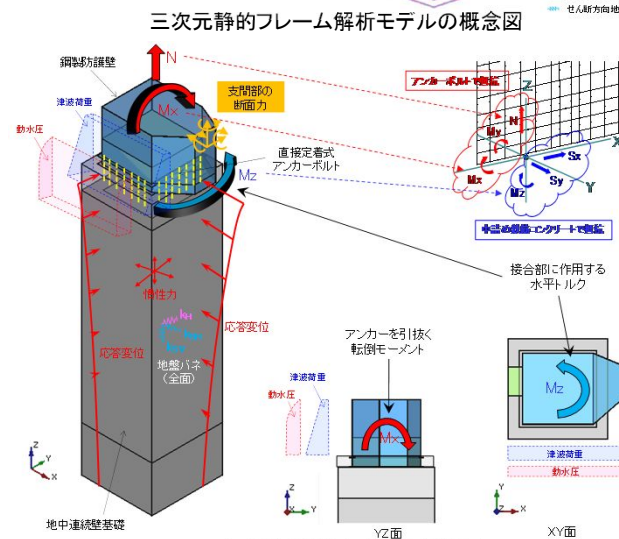
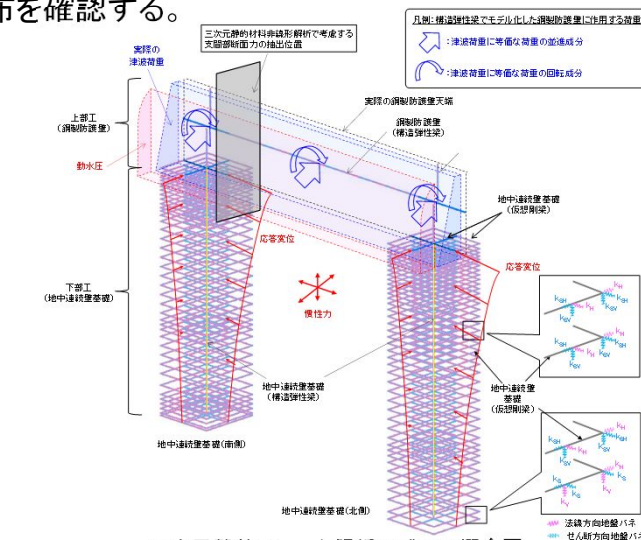
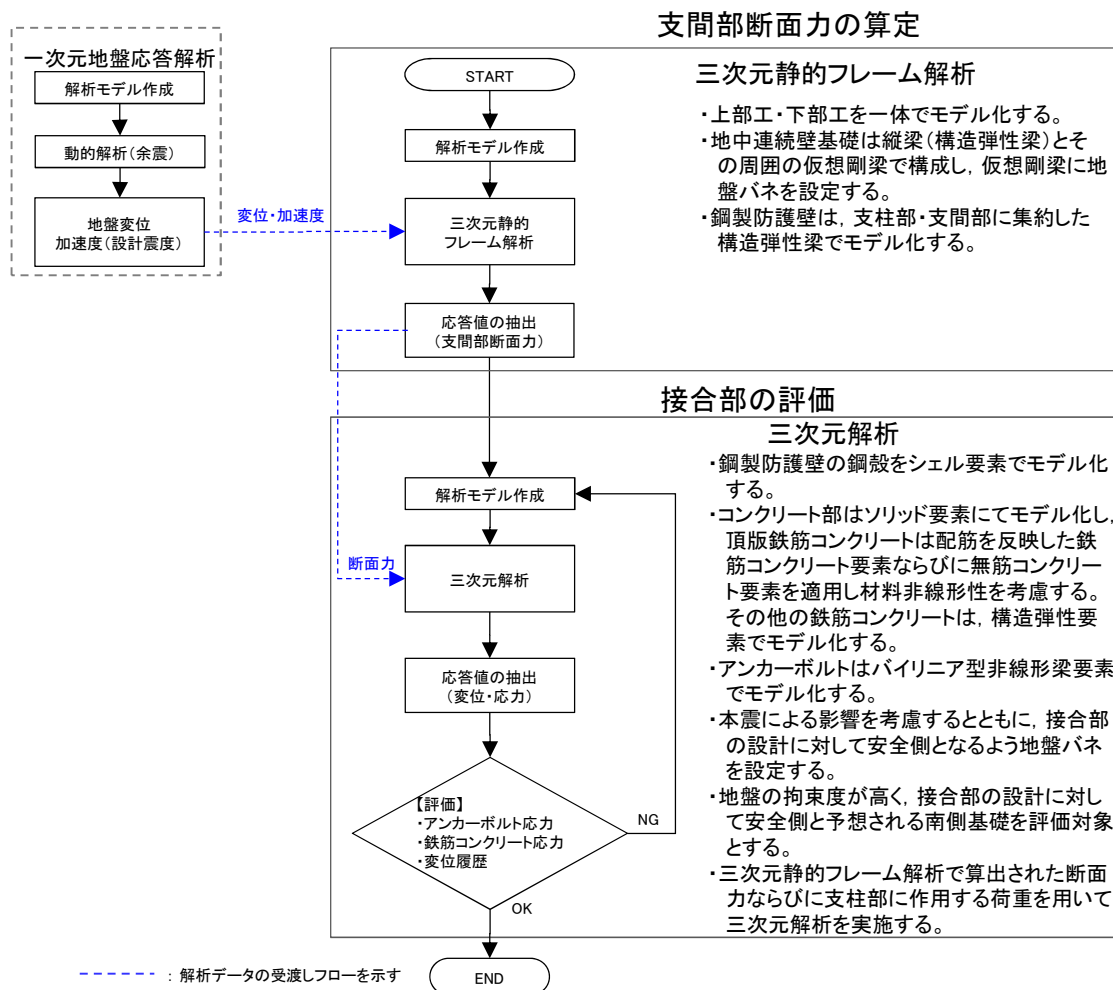




## 接合部の設計(三次元解析(COM3) 1/6)

## 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。



三次元解析モデルの概念図



## (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

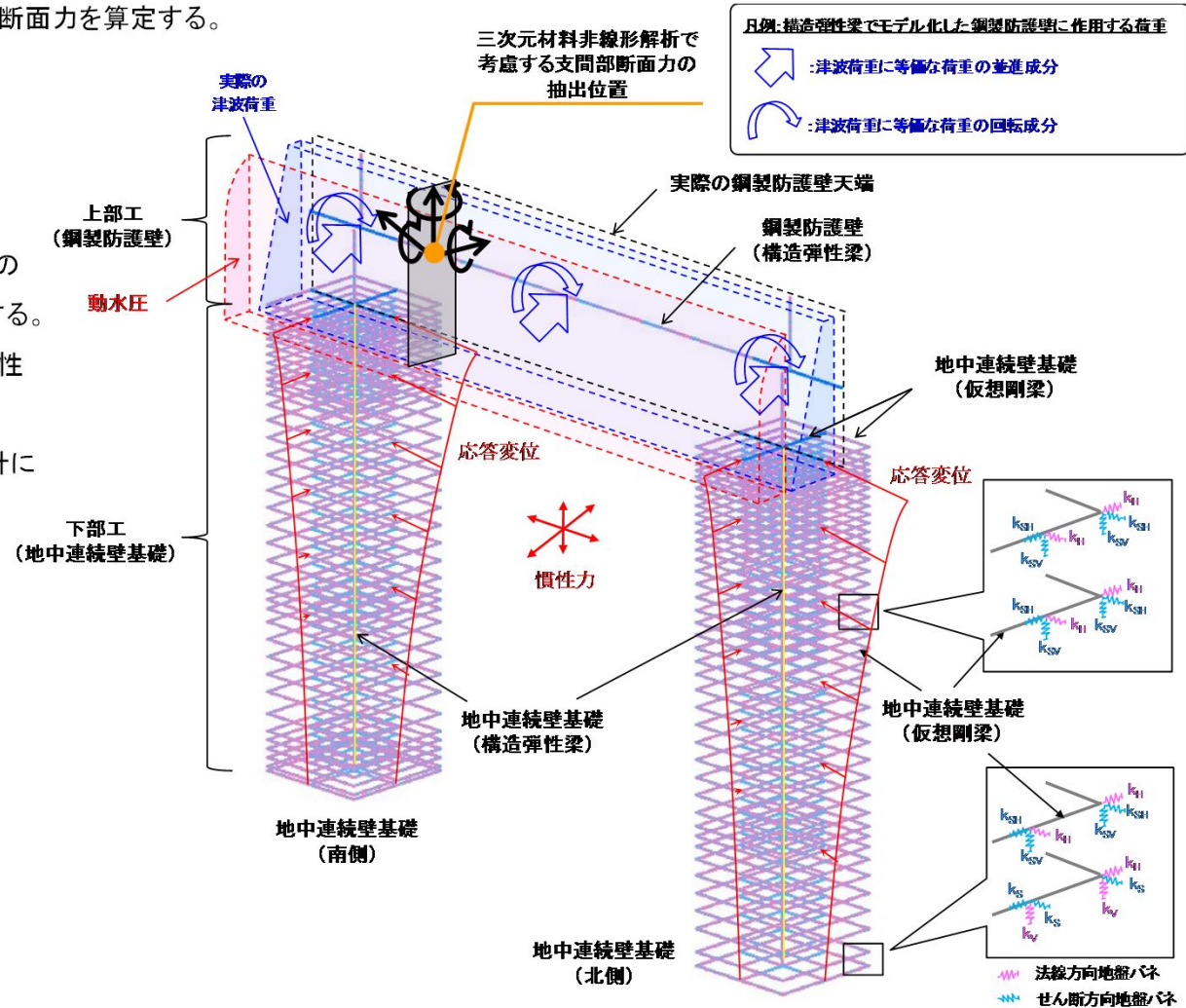
- ・津波荷重や余震影響を含む鋼製防護壁支間部の断面力を算定する。

## 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。三次元解析(COM3)において、文献5)の要素試験をシミュレートでき、文献6)、7)においてアンカーボルトに対してCOM3を使用することの妥当性が示されているため実大規模の構造に対して解析的な検証でも実験とほぼ等価な結果が得られると考える。

なお、解析では様々な条件を想定したパラメータスタディやケーススタディなどの実施も可能であることから、多角的な検証・評価が行うことができる。



### 解析の目的

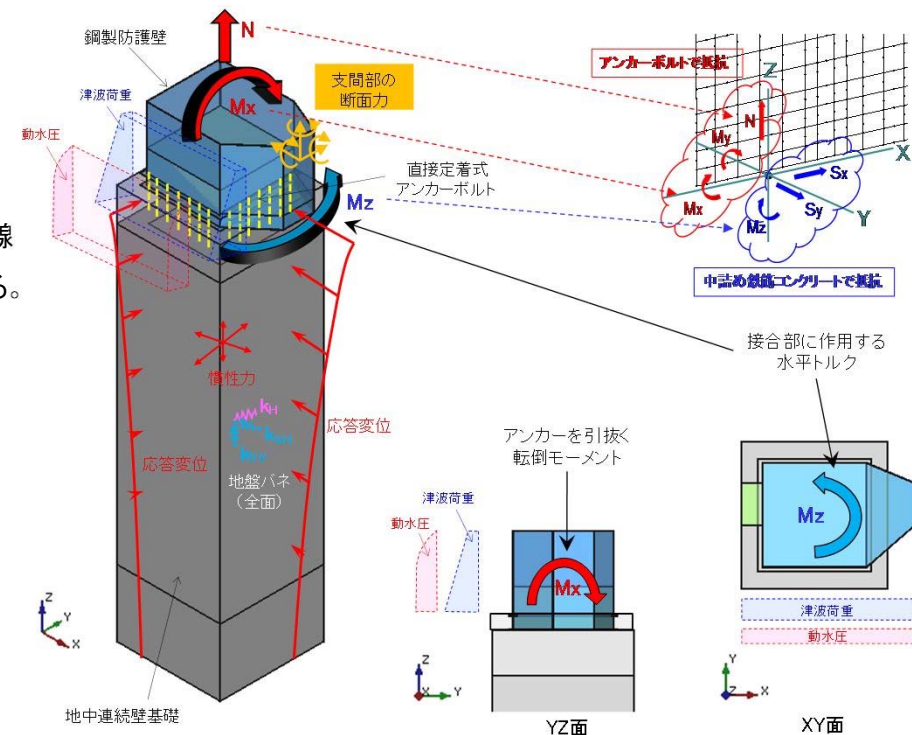
- ・津波荷重や余震影響を受ける鋼製防護壁接合部の三次元的な挙動を評価し、設計の妥当性及び直接定着式アンカーボルトの適用性を確認する。

### 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適切に地盤バネを設定する。
- ・地盤による拘束度合が高く、接合部の設計に対して安全側と考えられる南側基礎を評価対象とする。
- ・三次元静的フレーム解析で算出された断面力ならびに支柱部に作用する荷重を用いて三次元解析を実施する。

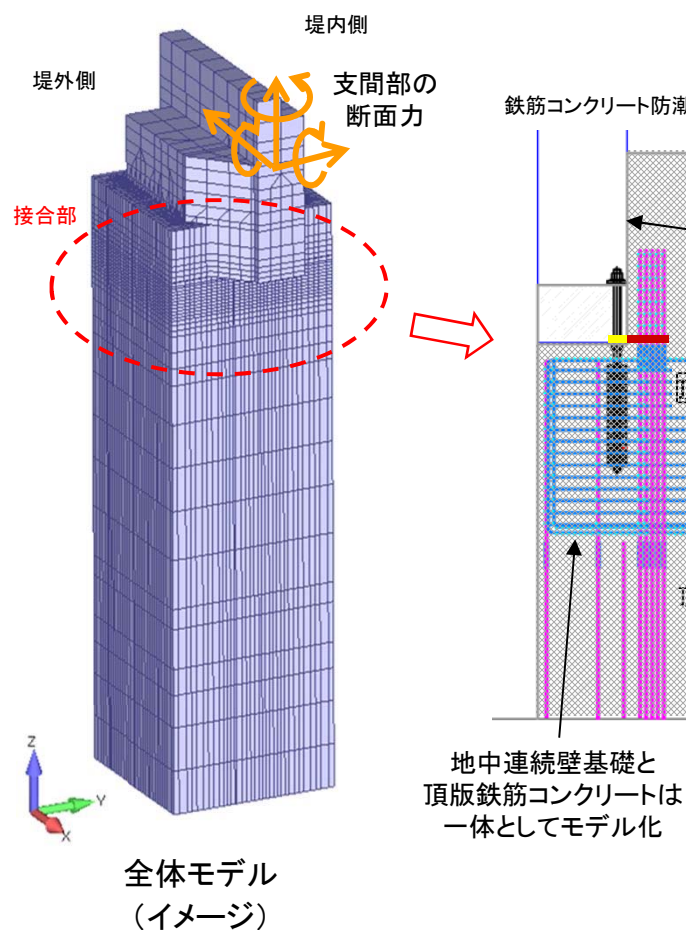


三次元解析モデルの概念図

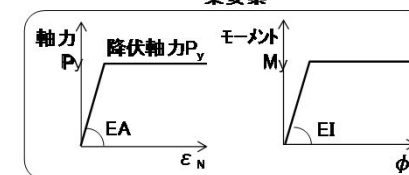
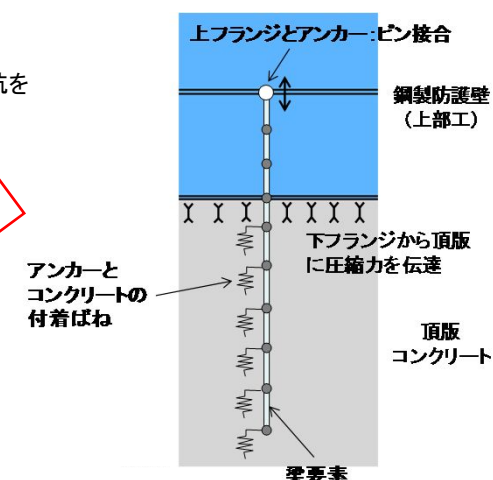


## ■接合部のモデル化方針

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"> <li>・接合部の設計の妥当性確認</li> <li>・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</li> </ul>
データ利用	・直接定着式アンカーボルト及び頂版鉄筋コンクリート(接合部)の評価



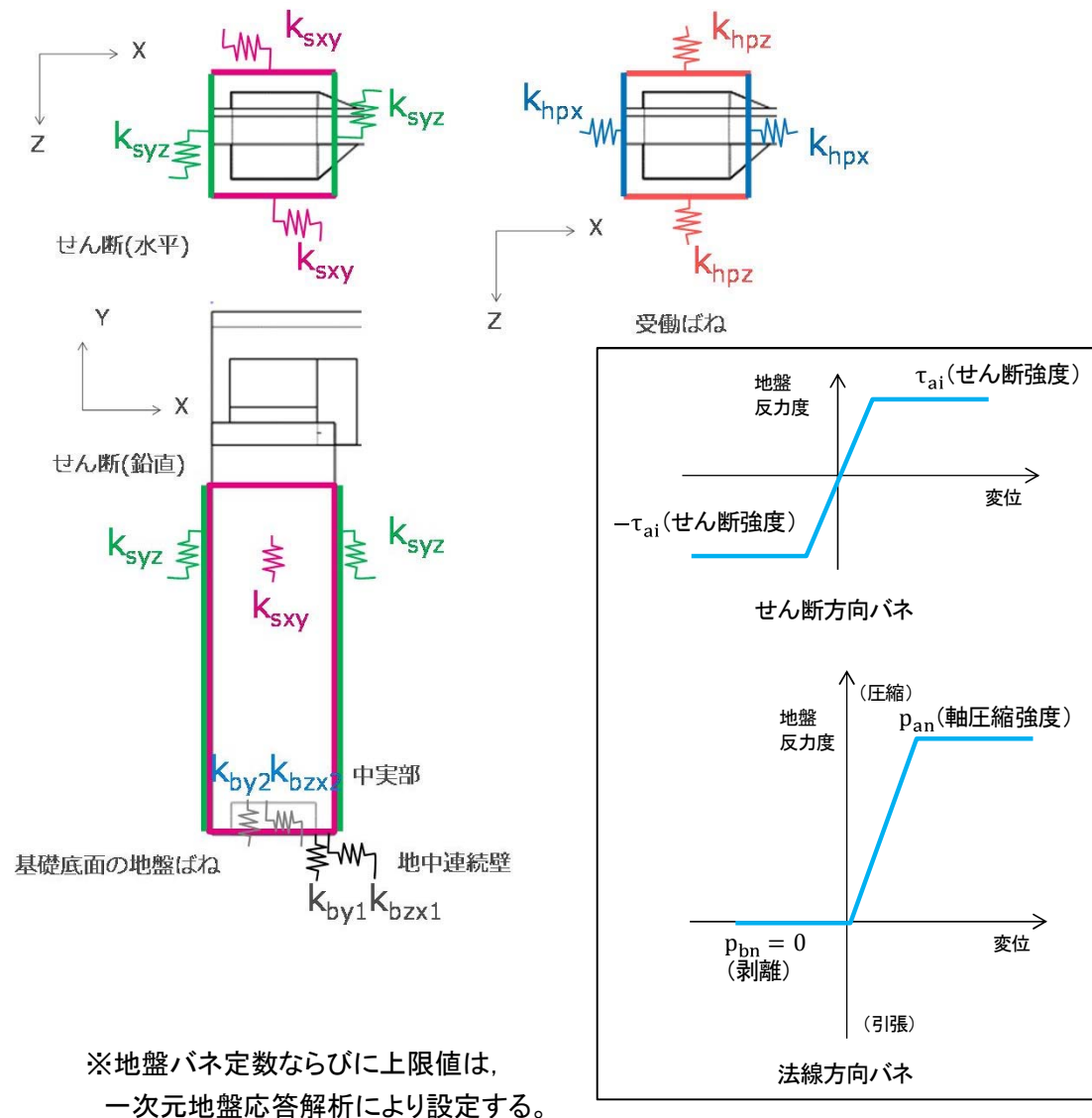
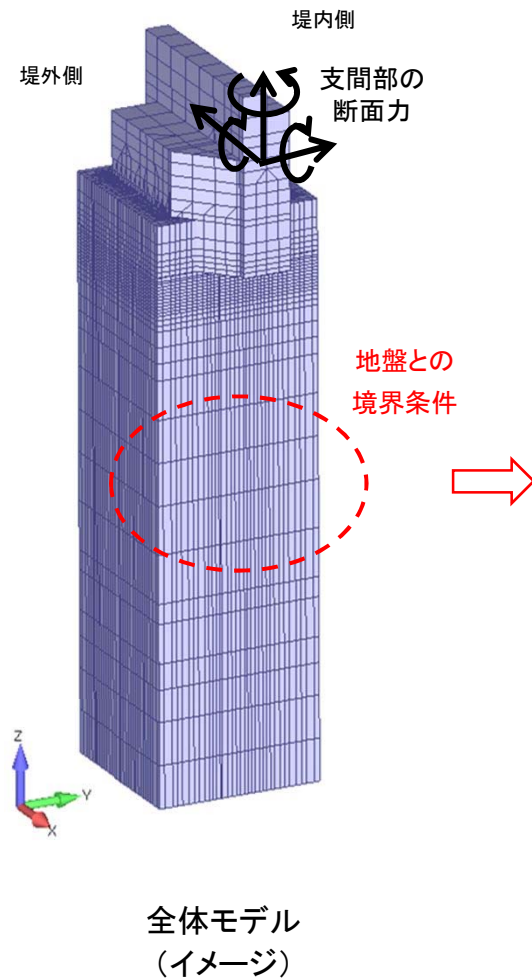
接合部のモデル化



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



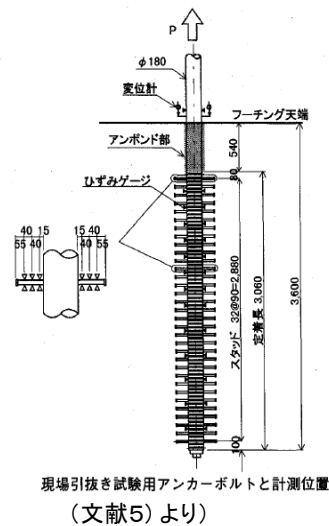
# 接合部の設計(三次元解析(COM3)の妥当性確認 1/2)

## ■三次元解析COM3のモデルの妥当性を示す文献

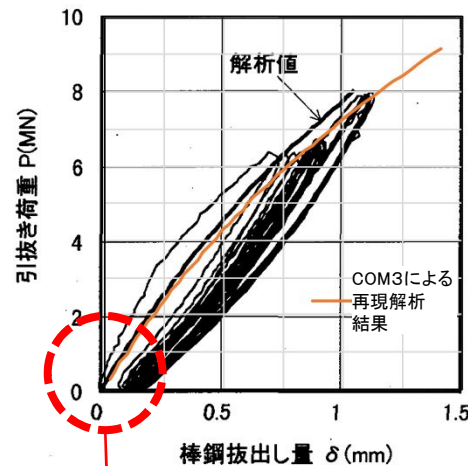
鉄筋コンクリートの材料非線形を考慮した精緻な三次元解析(COM3)により、設計の妥当性を確認するが、弾性範囲内の設計であり、『COM3』の弾性範囲内での妥当性は実験等との比較検討で確認している。鉄道施設や電力設備については、鉄筋コンクリート構造物の耐震性能や耐力評価に『COM3』が適用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があるものと判断できる。

### 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

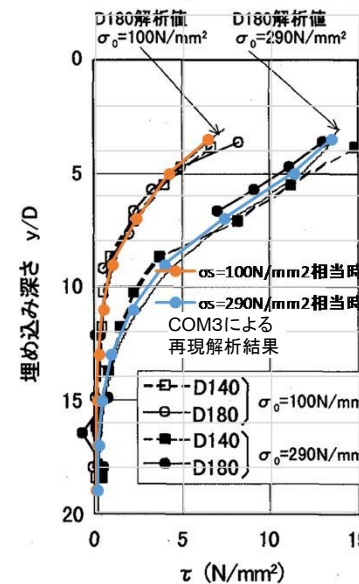
鋼製防護壁で実際に使用する直接定着式アンカーボルトについて、既往の研究<sup>5)</sup>の再現解析結果を実施した。研究で実施されている供試体の引抜き試験を再現した解析の結果は、試験結果とよい一致を示しており、荷重～変位関係における弾性範囲内での再現性が高いことを確認した。



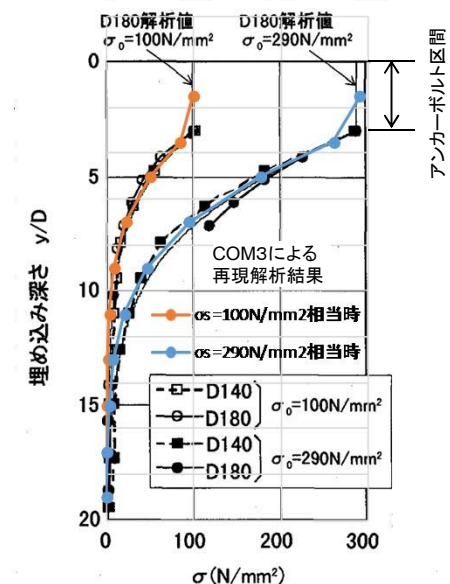
引抜き試験概要



引抜き試験の再現解析結果  
(変位－荷重関係)



(文献5)にCOM3による再現解析結果を加筆 (文献5)にCOM3による再現解析結果を加筆 (文献5)にCOM3による再現解析結果を加筆



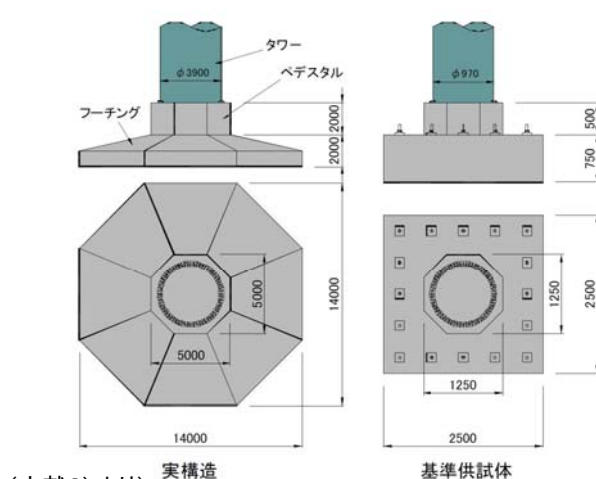
引抜き試験の再現解析結果  
(アンカーボルト応力)



## 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<sup>6), 7)</sup>。

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6)より  
実構造  
基礎供試体  
風車基礎の実構造と基準供試体(1/4)の比較

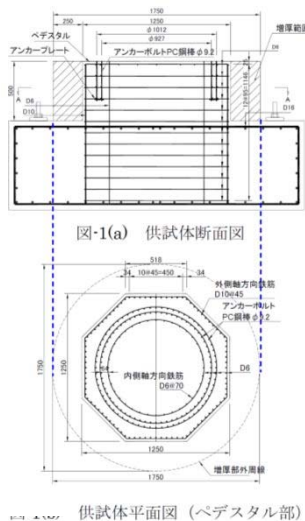
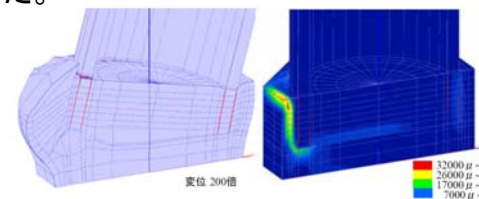


図-1(a) 供試体断面図  
供試体平面図 (ペデスタル部)



(a)変形 (b)主ひずみ

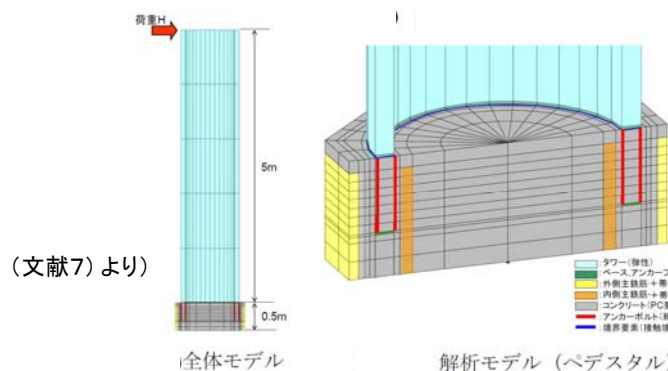
解析結果



写真-1 破壊面 (基準供試体)

(文献7)より

(文献7)より



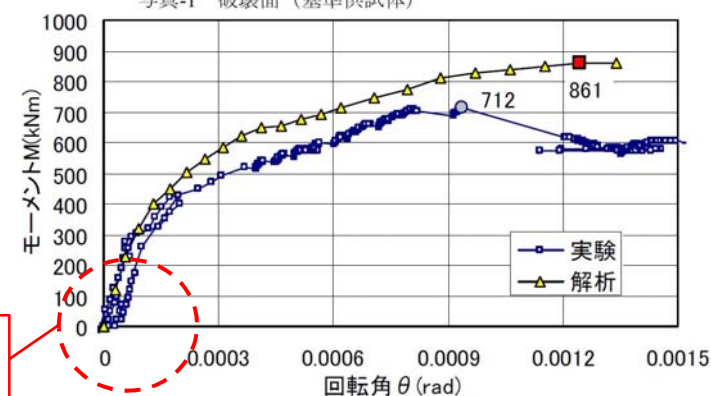
(文献7)より

全体モデル

解析モデル (ペデスタル)

(文献7)より

弾性範囲内の  
再現状況

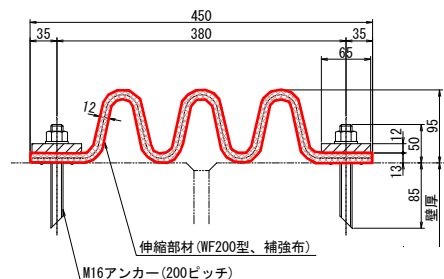


モーメントと回転角の関係 (基準供試体)

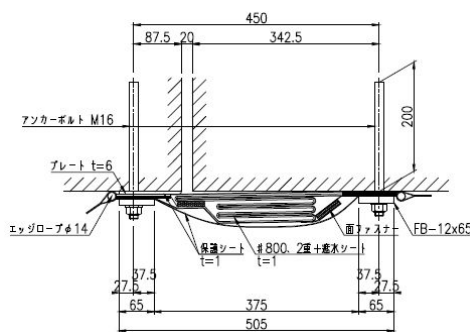


## 止水ジョイントの変形量評価方針

- 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。



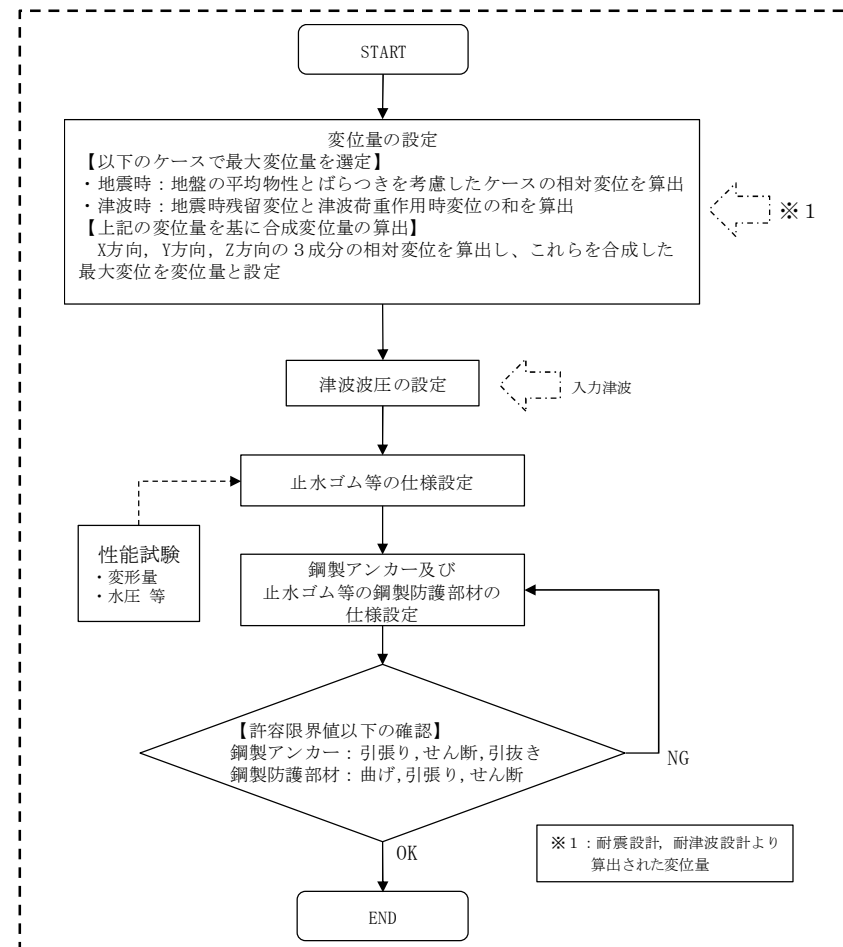
(ゴムジョイント)



(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。



## 接合部の設計(参考文献)

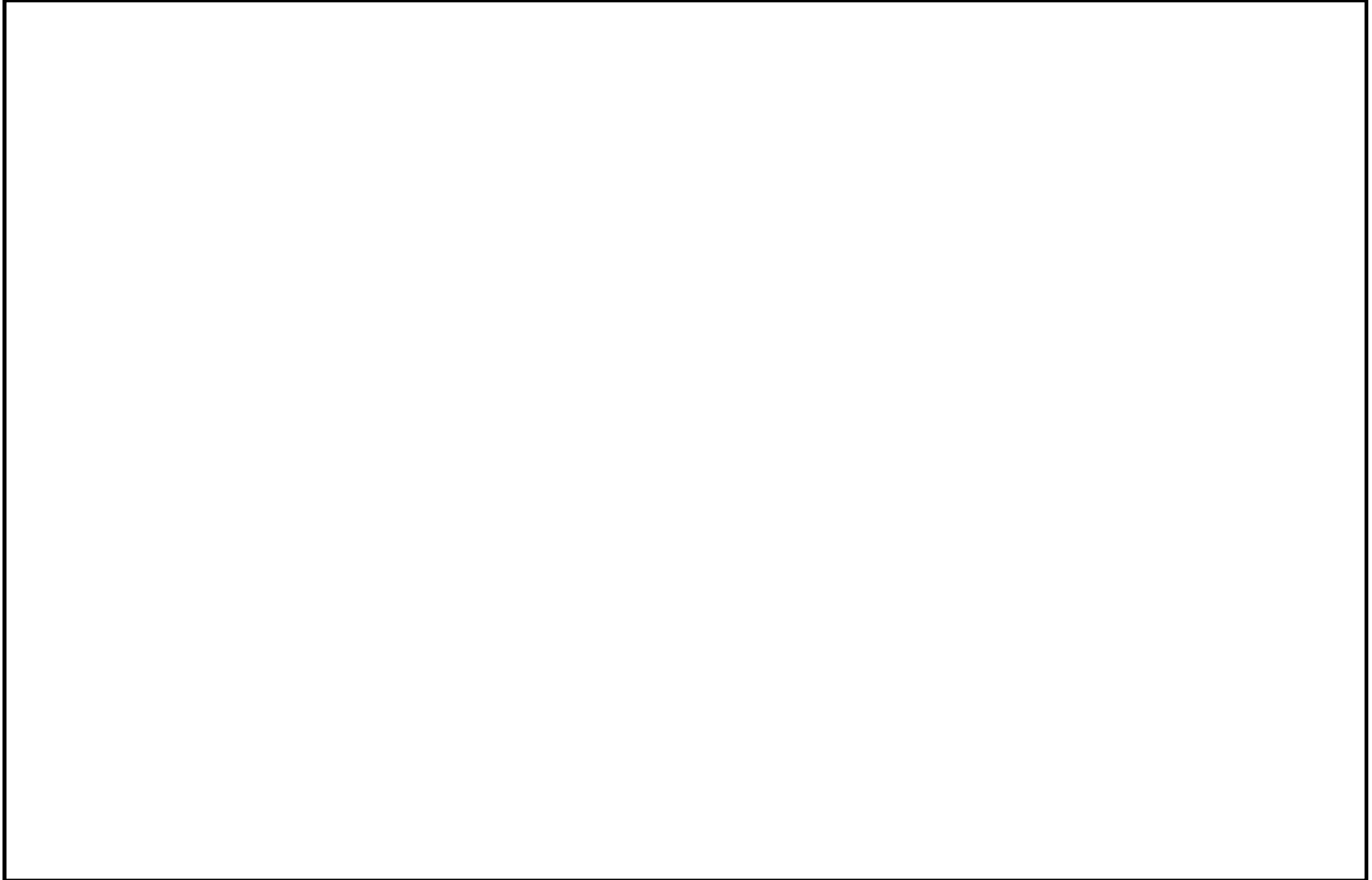
番号	参考文献
1)	コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕((社)土木学会)
2)	道路橋示方書(Ⅲコンクリート橋編)・同解説 ((社)日本道路協会)
3)	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)(名古屋高速道路公社)
4)	道路土工カルバート指針 ((社)日本道路協会)
5)	前野裕文, 後藤芳顯, 上條崇, 小林洋一 「鋼製橋脚に用いる実大付着型アンカーボルトの力学特性と定着部の挙動評価モデル」, 構造工学論文集Vol.46A, 2000.3
6)	小松崎勇一, 篠崎裕生, 齋藤修一, 原田光男 「風車基礎ペDESTALの引抜きせん断耐力に関する実験的検討」, 土木学会第63回年次学術講演会,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

番号	掲載理由	内容
1)	鋼製防護壁の接合部の設計において準拠する文献	中詰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 <sup>2</sup> の許容限界について参照
5)	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
6)	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
7)	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



## 9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)(1／3)

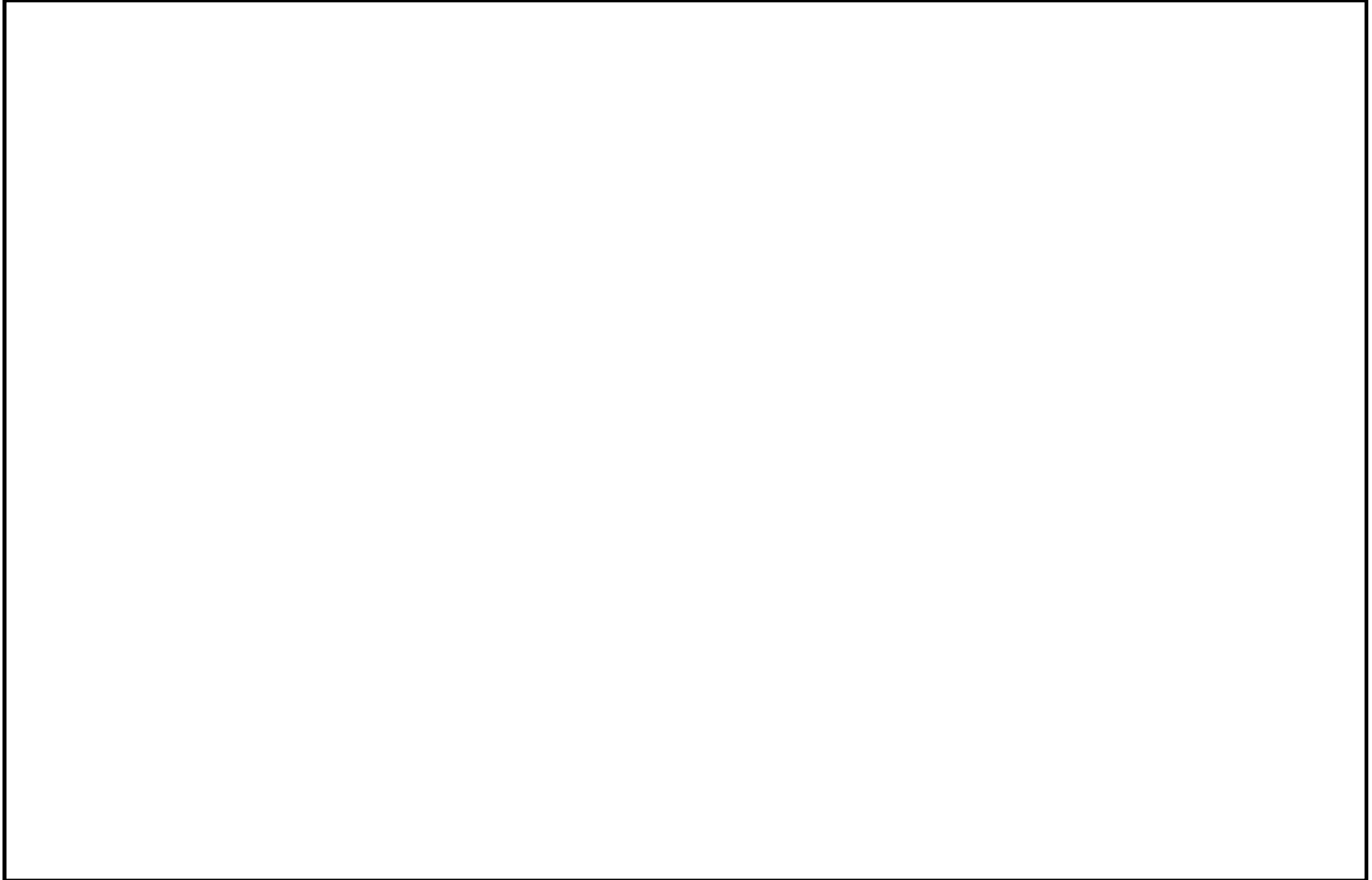
第555回審査会合  
資料2-4再掲





## 9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)(2/3)

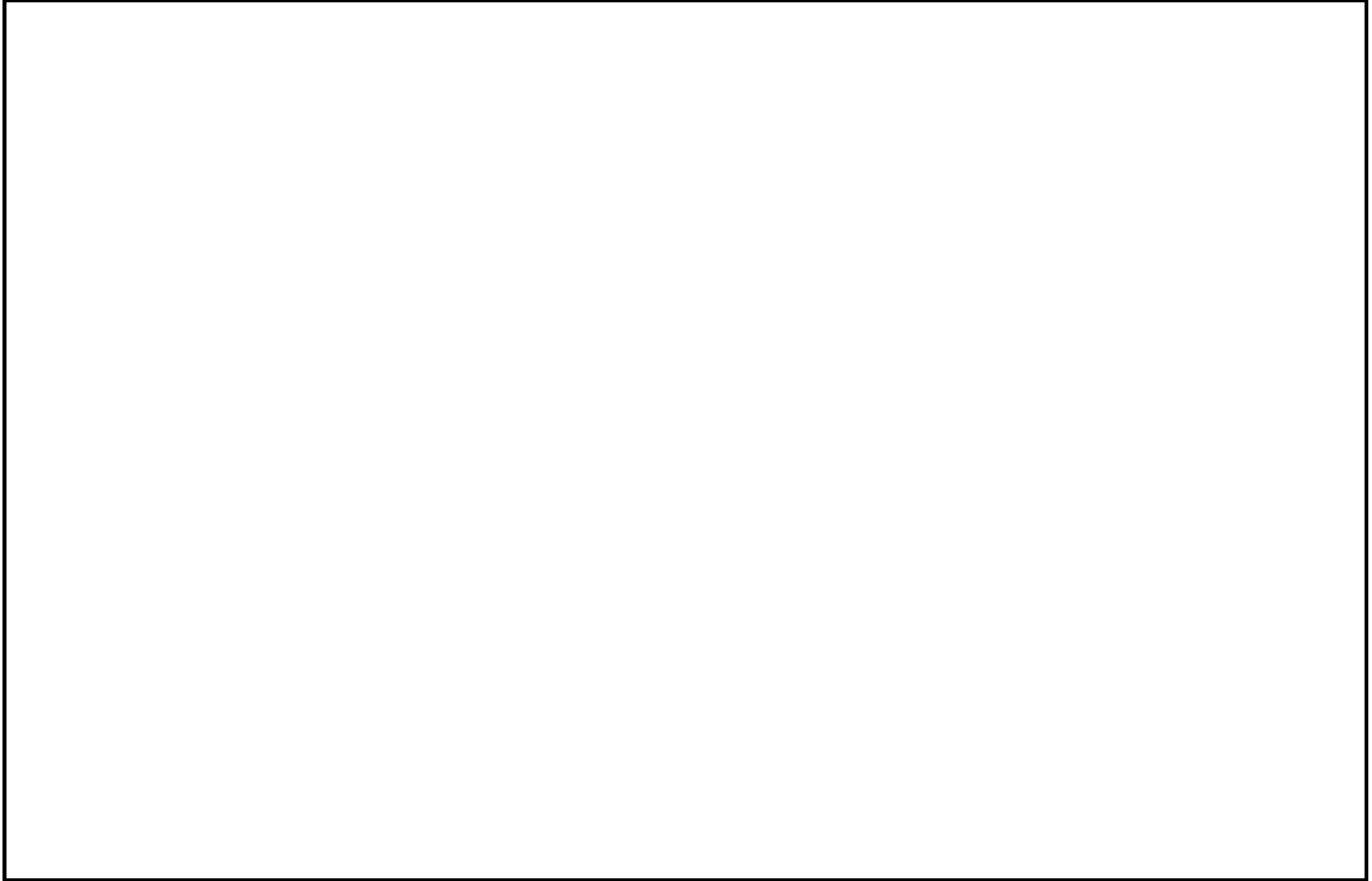
第555回審査会合  
資料2-4再掲





## 9. 施工実績(鋼製門型ラーメン構造)(3/3)

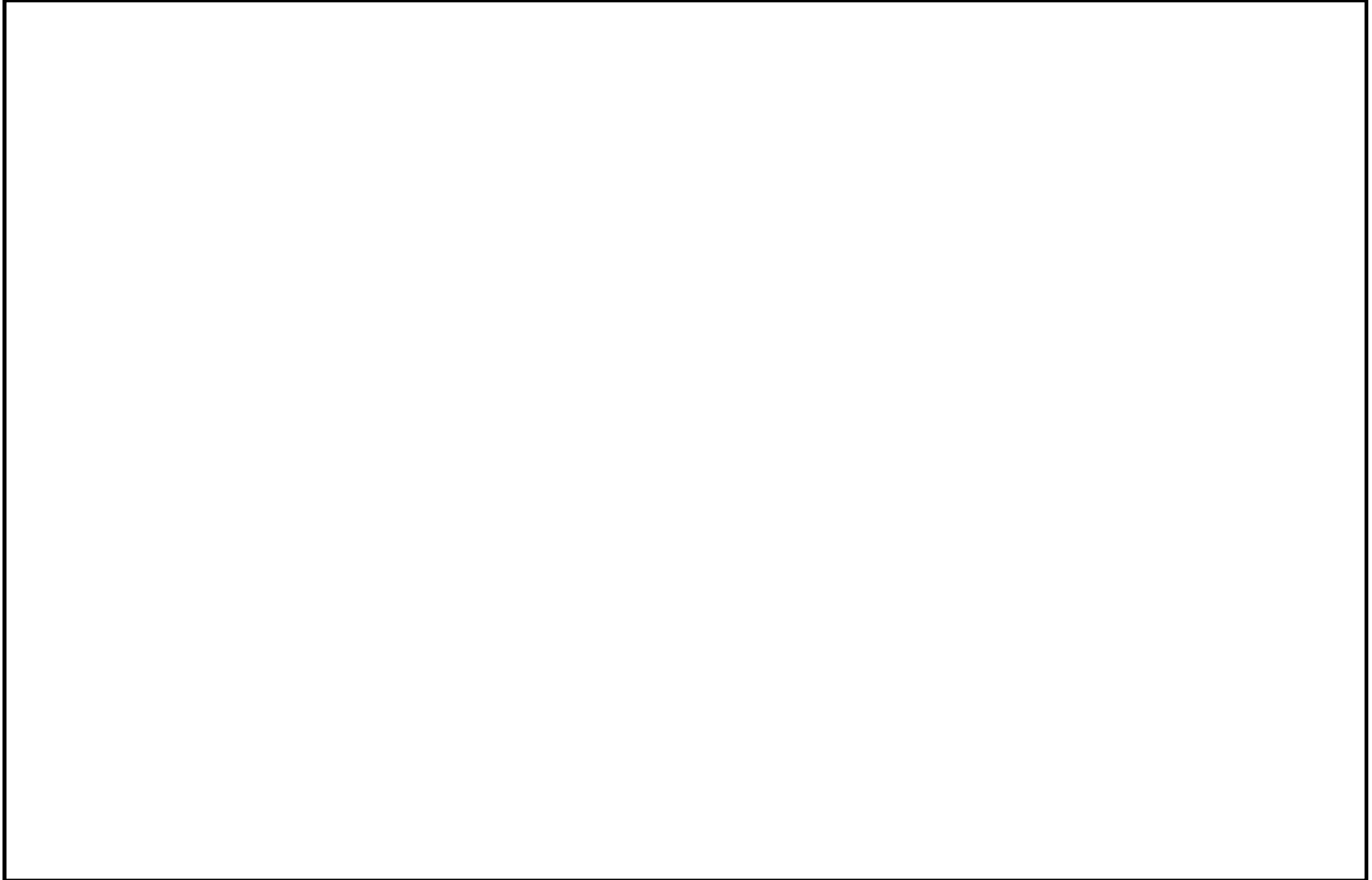
第555回審査会合  
資料2-4再掲





## 9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)(1／3)

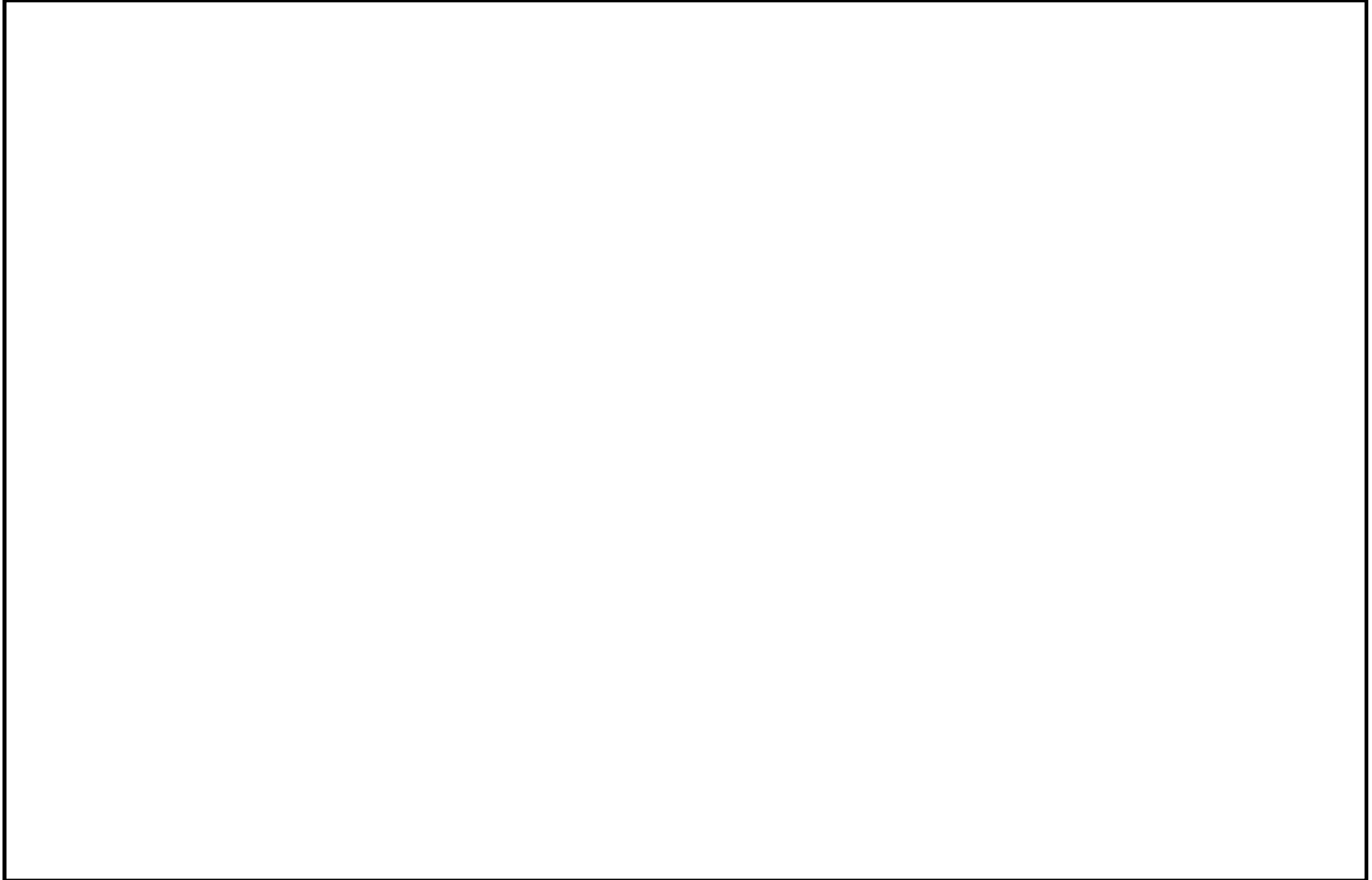
第555回審査会合  
資料2-4再掲





## 9. 施工実績(直接定着式アンカーボルト)(2／3)

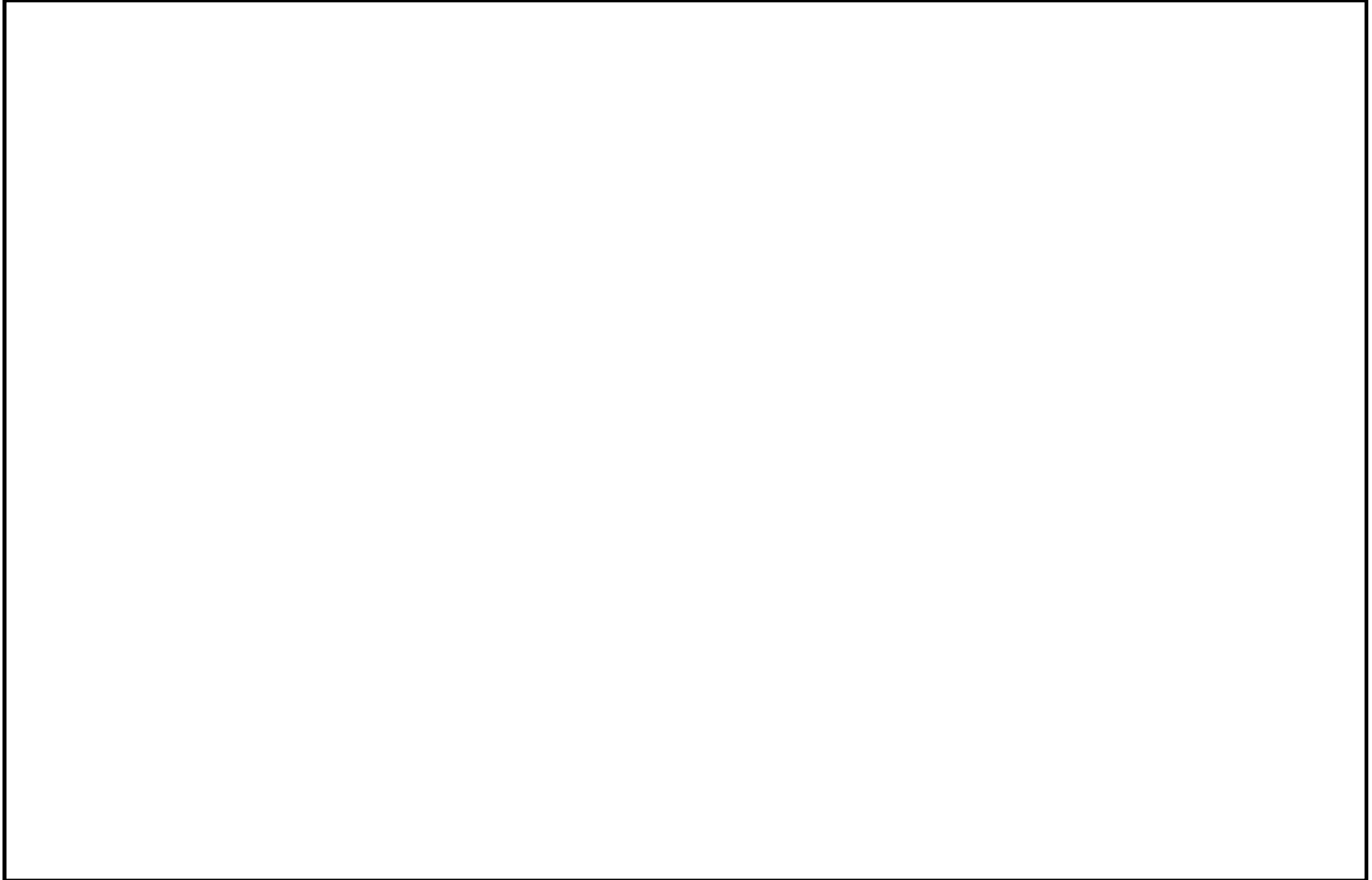
第555回審査会合  
資料2-4再掲





## 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

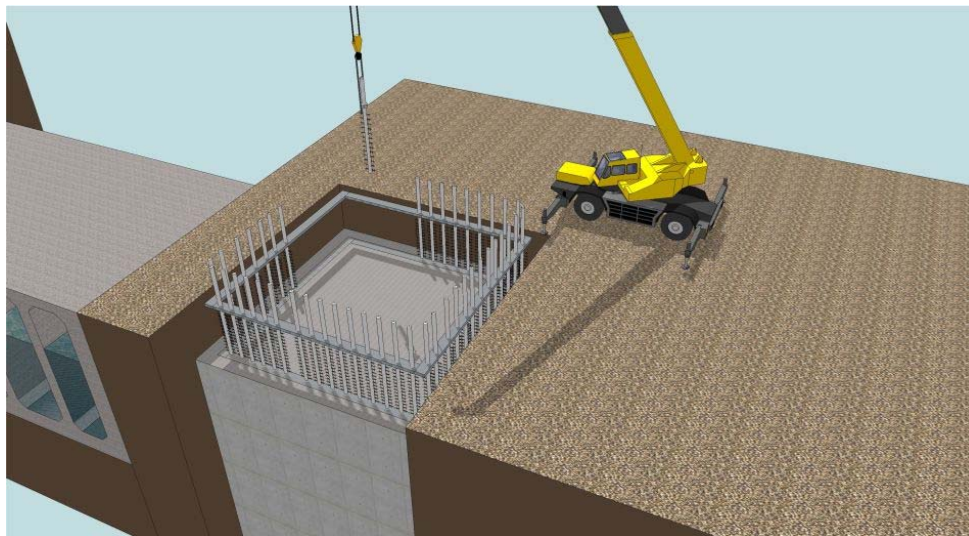




【参考資料】 鋼製防護壁の施工ステップ図



## ■ステップ1

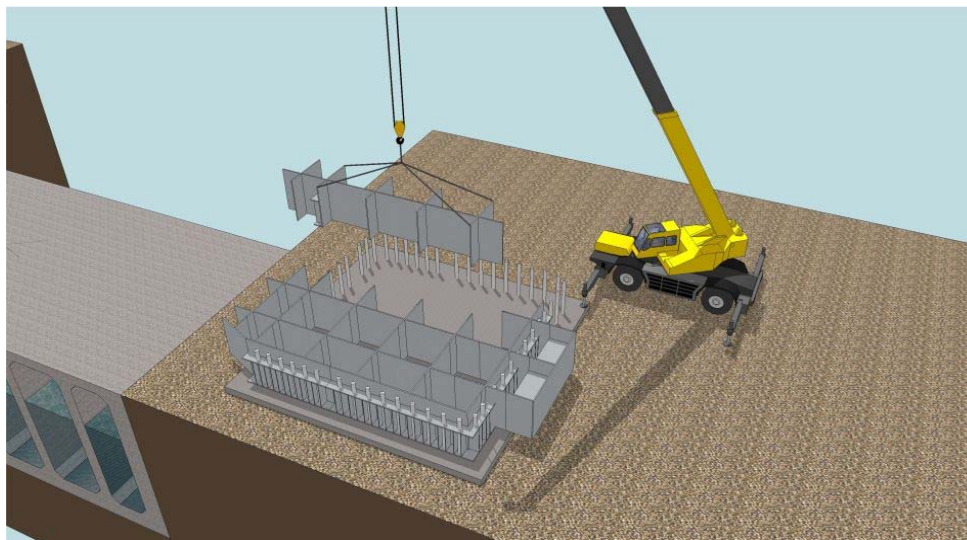


- ・ 地中壁連続壁基礎上部に直接定着式アンカーボルトを設置する。
- ・ 所定位置に設置する必要があるため、基礎上部にはフレーム架台を設置し、据付精度を確保する。

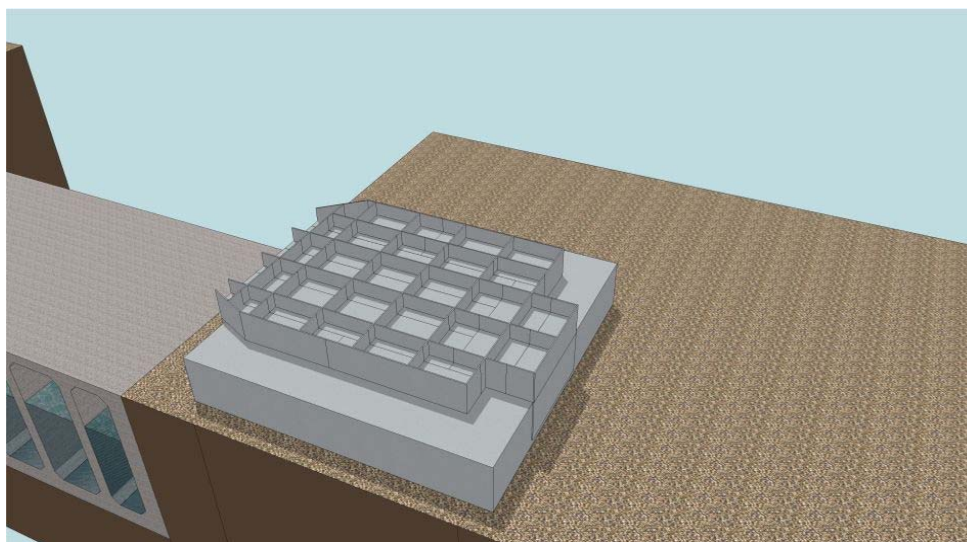




■ステップ2 支柱部ブロック設置・中詰め鉄筋コンクリート工



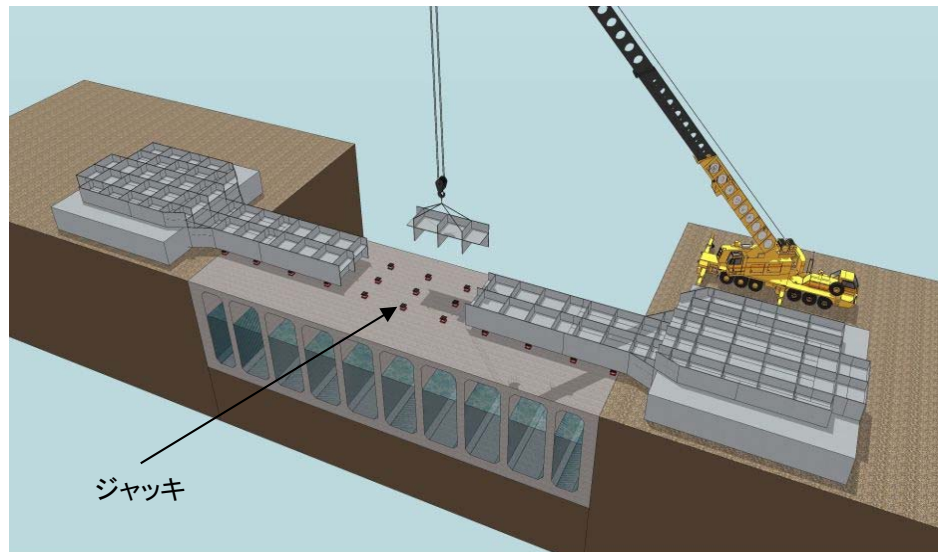
- ・ 頂版部配筋及びコンクリート施工後に、1段目及び2段目の支柱部ブロックを架設する。



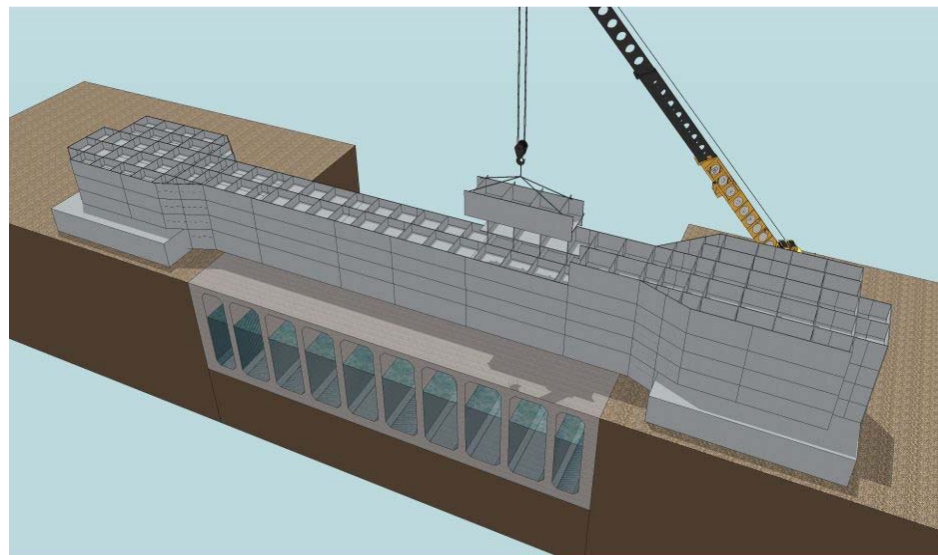
- ・ 支柱部中詰め鉄筋コンクリートを施工する。



■ステップ3 ブロック架設工



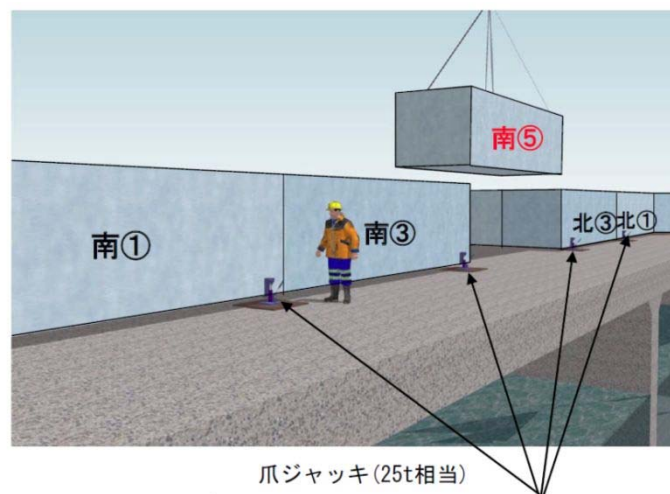
- ・ 取水口隔壁上など上載荷重による影響を最小限にできる箇所にジャッキを配置し1段目の支間部ブロックを架設する。
- ・ 架設時には、1段目自重によるたわみ量及び2段目以降の構造系の変化を考慮した逐次剛性と自重によるたわみ量をあらかじめ上げ越しする。
- ・ 各段の架設完了後に全体の出来形・反りが所定の寸法内に収まるよう、事前に綿密な架設計画を立案しておく。



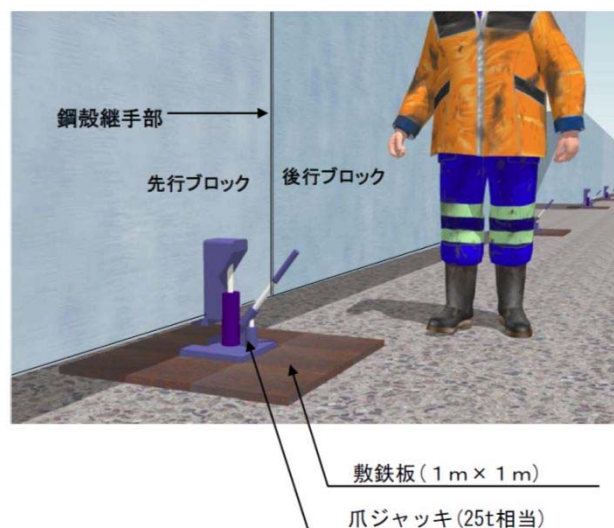
- ・ 各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- ・ 管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。



■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、鋼殻の仮受けが可能であることを確認済みである。



【油圧式爪ジャッキ】

株式会社タイキ



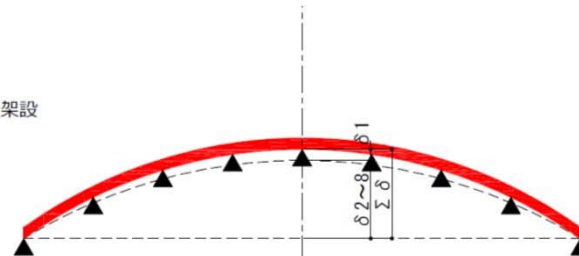
DH-25S-150  
運搬キャリア付 25 ton



## ■上げ越し管理(イメージ)

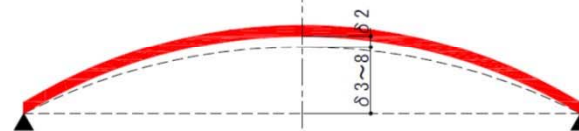
### STEP1

Block1を多点支持(無応力状態/ジャッキによる支持)で架設



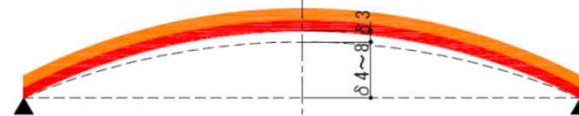
### STEP2

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。



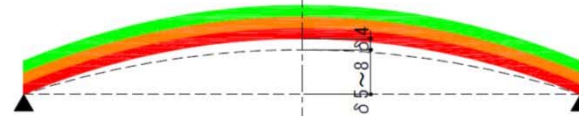
### STEP3

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



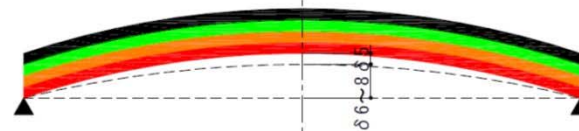
### STEP4

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

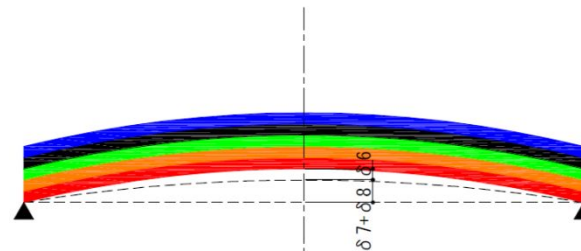
- 各層の架設完了後、支柱部・支間部に予め設けたポイントの座標を計測する。
- 管理値から逸脱した場合は、取水口隔壁上や連壁基礎上端など、必要な地耐力が確保できる箇所に反力受け構を設置し、ジャッキを用いて調整し管理値以内に納める。



## ■上げ越し管理(イメージ)

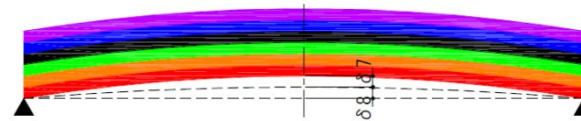
### STEP6

Block5を架設する。  
Block5の自重によるたわみ( $\delta 5$ )分、桁が変形する。



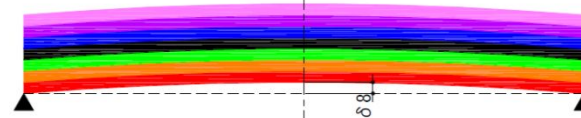
### STEP7

Block6を架設する。  
Block6の自重によるたわみ( $\delta 6$ )分、桁が変形する。



### STEP8

Block7を架設する。  
Block7の自重によるたわみ( $\delta 7$ )分、桁が変形する。

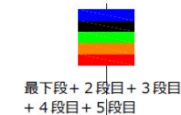


### STEP9

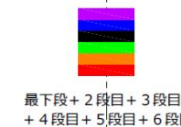
Block8を架設する。  
Block8の自重によるたわみ( $\delta 8$ )分、桁が変形し、  
完成形状となる。



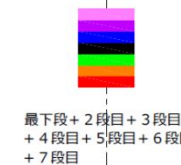
最下段+2段目+3段目  
+4段目



最下段+2段目+3段目  
+4段目+5段目



最下段+2段目+3段目  
+4段目+5段目+6段目



最下段+2段目+3段目  
+4段目+5段目+6段目  
+7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。



■ステップ4 完成

