

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（1／8）

＜本論点の経緯＞

直接定着式アンカーボルトは、道路・橋梁施設において多くの適用実績があるものの、津波荷重の水平力による大きなせん断力及び水平回転モーメントを受ける津波防護施設への適用ははじめてとなる。したがって、地震荷重及や津波荷重による6成分の設計断面力が同時に接合部へ作用した場合においても、直接定着式アンカーボルトが負担する応力が弾性範囲内に収まることを3次元解析（COM3）により確認することで、直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性を示す。また、接合部の設計方法は、各3成分の設計荷重に対して、荷重分担を考慮した各構造部材の技術基準に基づく弾性設計をそれぞれ行うものであるが、これらの構造部材が一体となり、6成分の設計荷重が同時に接合部へ作用した場合においても、全ての部材の応力が弾性範囲内に収まることを三次元解析（COM3）により確認することで、接合部の設計方法の妥当性を示す。

第572回審査会合（平成30年5月17日）において、「直性定着式アンカーボルトを津波防護施設として初めて適用することから、作用する荷重の伝達挙動をよく把握することが目的であり、その主旨をよく理解して評価を進めること」という指摘があったため、当該ご指摘を踏まえ3次元解析（COM3）の解析結果を説明するものである。

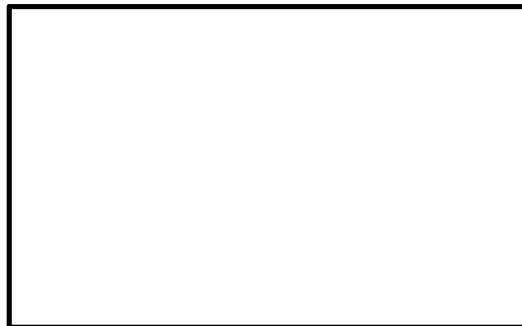


図1 鋼製防護壁の配置図

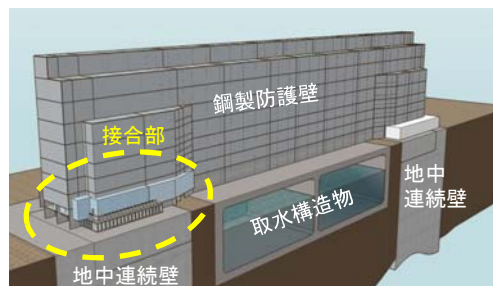


図2 鋼製防護壁の鳥瞰図

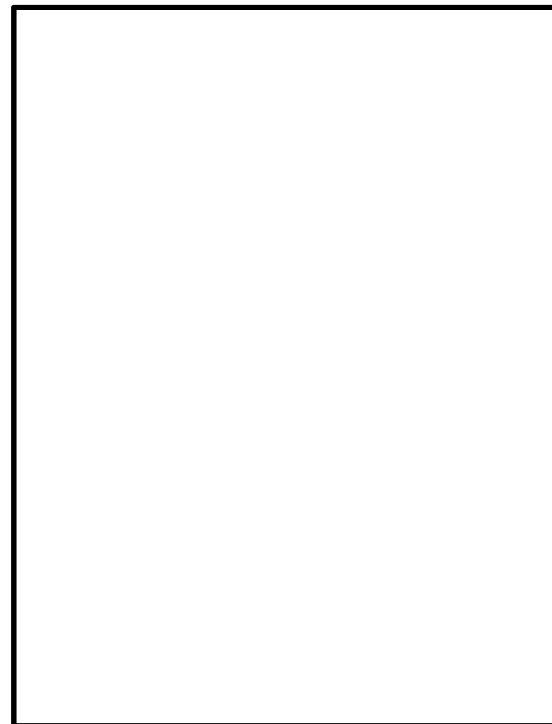


図3 上部・下部構造の接合部の構造

表1 接合部の設計上の役割

部材名	設計上の役割
中詰め鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	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 ($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	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 ($\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	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 ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	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。

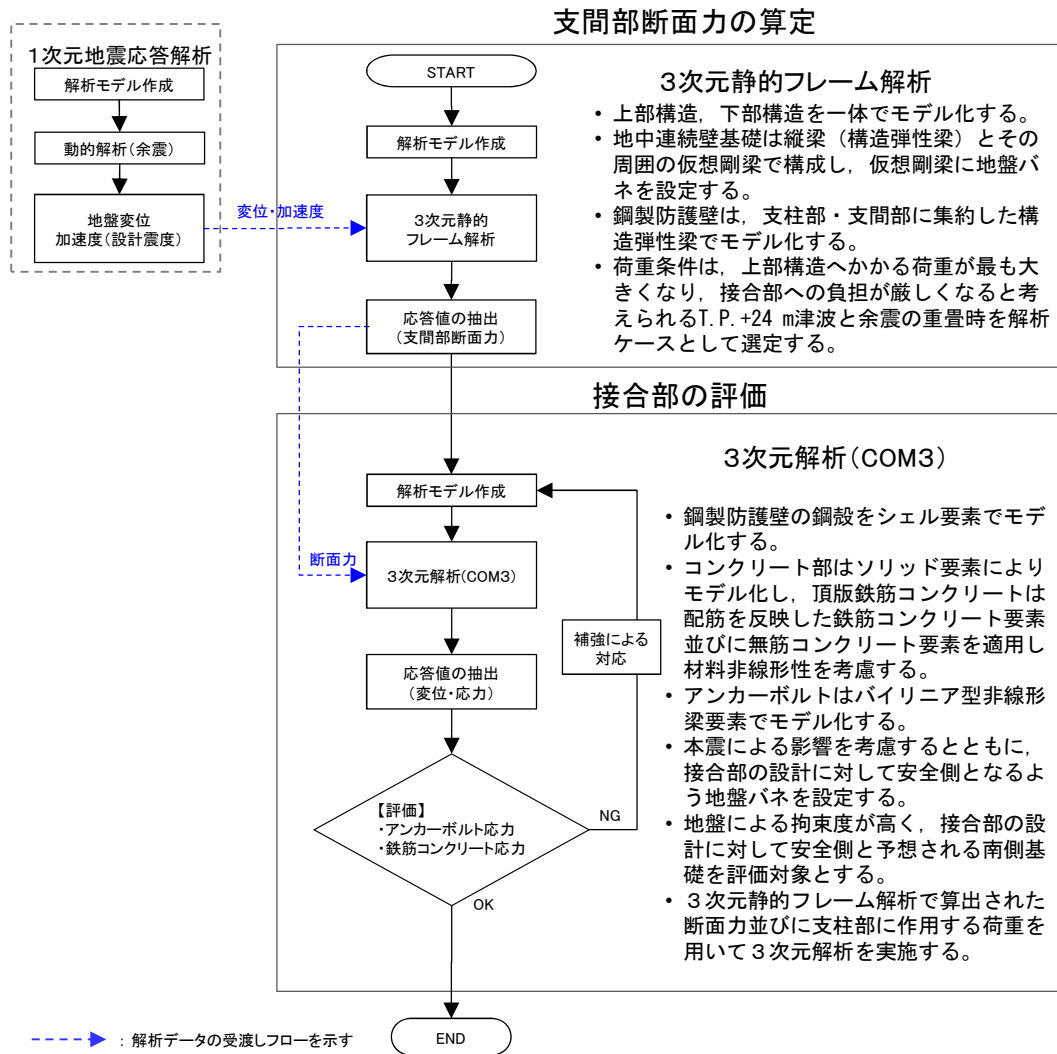


図5 検討フロー



図6 3次元静的フレーム解析モデルの概念図

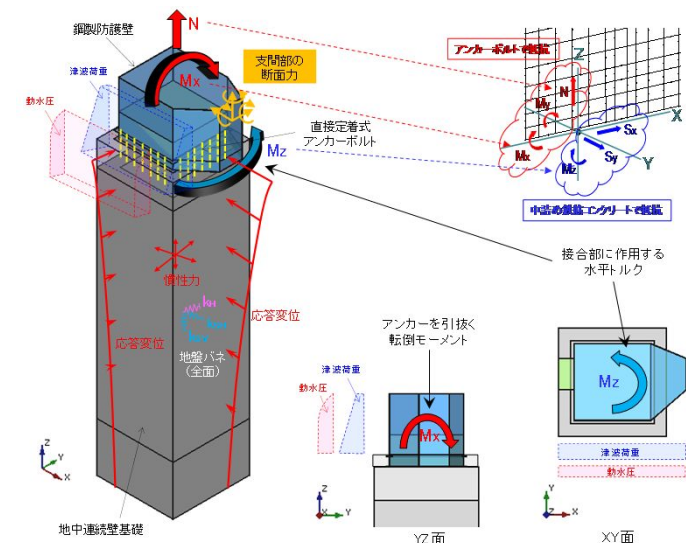


図7 3次元解析モデルの概念図

設計荷重に対する解析結果

◆荷重～変位関係

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対する鋼製防護壁における各部材の発生応力が許容限界以下である状態に対応した荷重～変位関係を確認した。

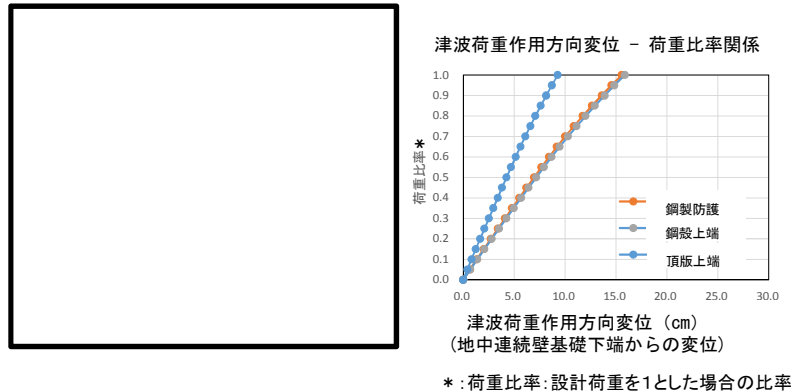


図8 津波作用方向変位と津波時荷重比率の関係

◆アンカーボルトの応力(曲げ軸応力)

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対するアンカーボルトに発生する曲げ軸応力が許容限界以下であることを確認した。また、発生応力が「鋼構造物設計基準」の適用範囲内であることを確認した。

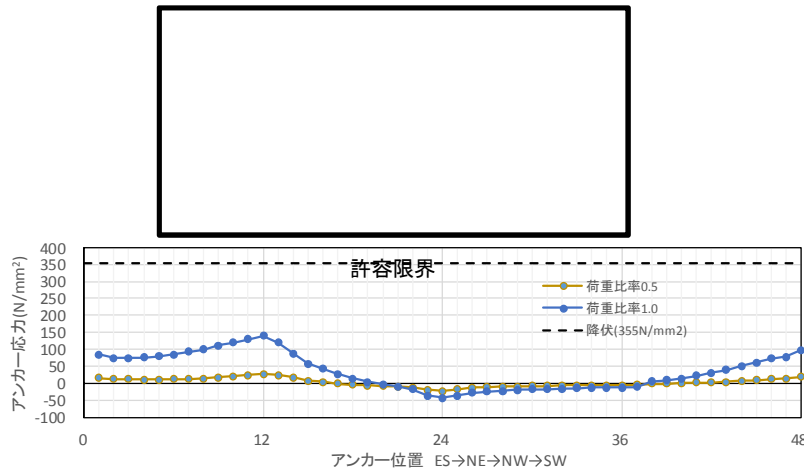


図9 頂版上端位置でのアンカーボルトの曲げ軸応力

◆アンカー部の応力の深度分布(引抜き力)

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対するアンカー部に発生する引抜き力が許容限界以下であることを確認した。また、発生応力が「鋼構造物設計基準」の適用範囲内であることを確認した。

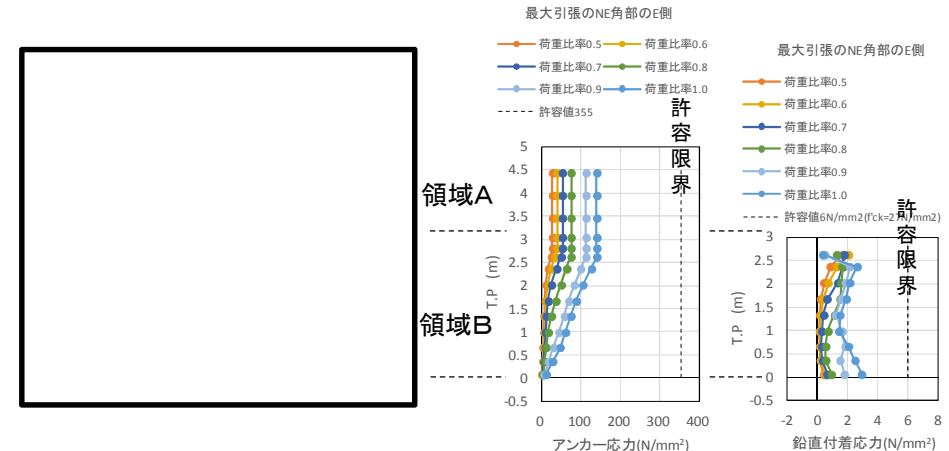


図10 アンカー部応力図
(最も引抜き応力が大きいNE角部(No.12))

◆アンカー部のコーンせん断(せん断補強筋)

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対するアンカー部のコーンせん断面に発生する応力(せん断補強筋)が許容限界以下であることを確認した。また、発生応力が「鋼構造物設計基準」の適用範囲内であることを確認した。

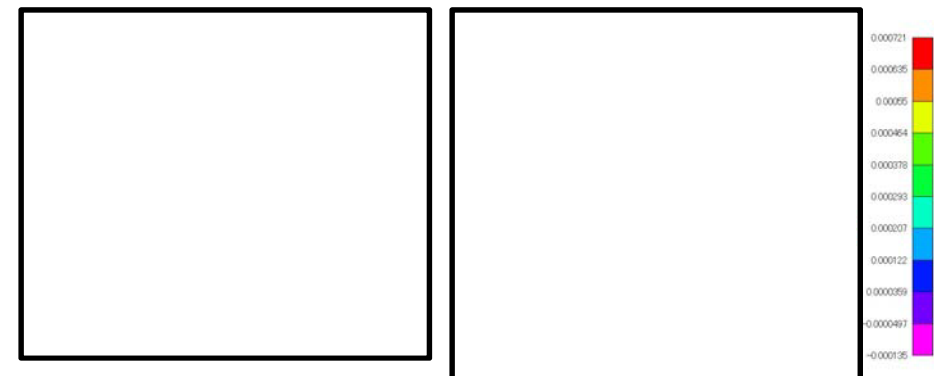


図11 コーンせん断(せん断補強筋)のひずみコンター

設計荷重に対する解析結果

◆頂版部及び中詰め部の鉄筋の引張応力

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対する頂版部及び中詰め部の鉄筋に発生する引張応力が許容限界以下であることを確認した。



図12 中詰め鉄筋コンクリート貫通鉛直筋のZ方向ひずみコンター

◆頂版部のコンクリートの圧縮応力

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対する頂版部のコンクリートに発生する圧縮応力が許容限界以下であることを確認した。

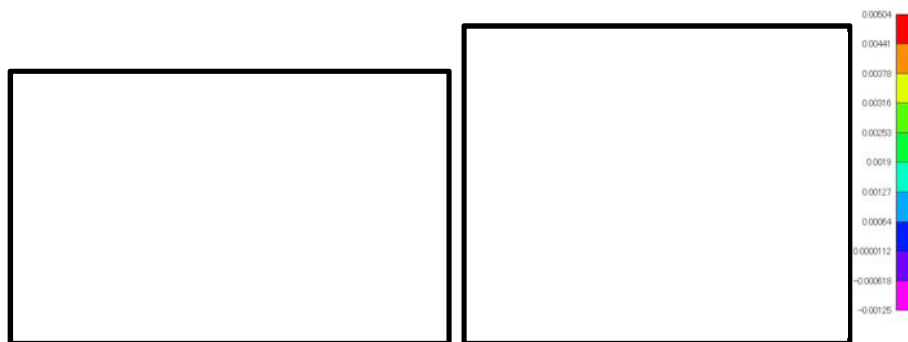


図12 頂版部のコンクリートのひずみコンター

◆頂版部の鉄筋（水平力によるせん断応力）

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対する頂版部の鉄筋に発生する水平力によるせん断力が許容限界以下であることを確認した。

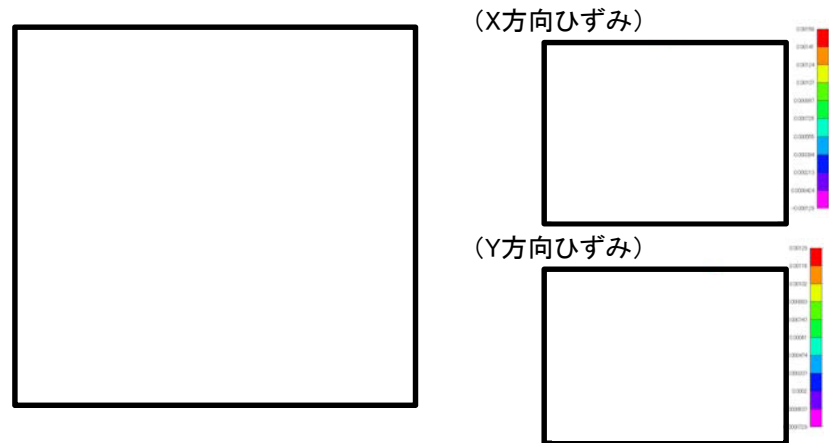


図13 水平筋のひずみコンター

◆頂版部の鉄筋（水平回転モーメントによるせん断応力）

設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対する頂版部の鉄筋に発生する水平回転モーメントによるせん断力が許容限界以下であることを確認した。

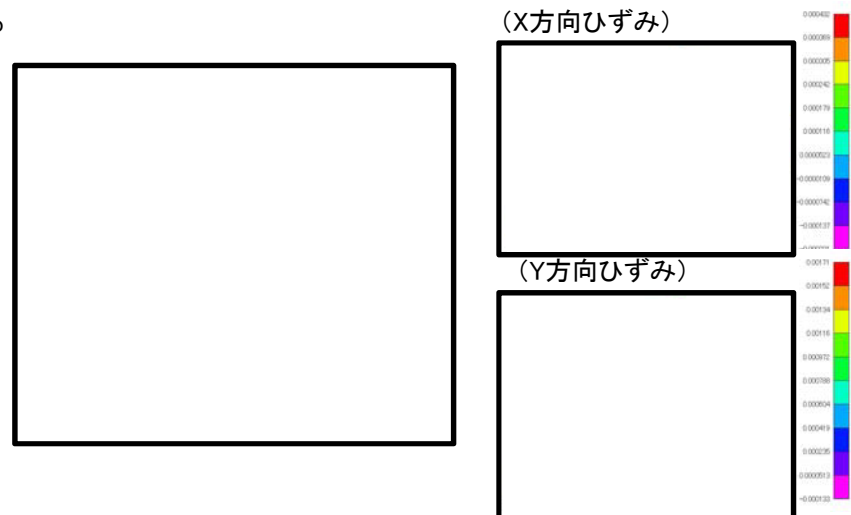


図14 鉛直筋のひずみコンター

設計荷重に対する解析結果

◆中詰め部のコンクリート(圧縮応力)

設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対する中詰め部のコンクリートに発生する圧縮応力が許容限界以下であることを確認した。

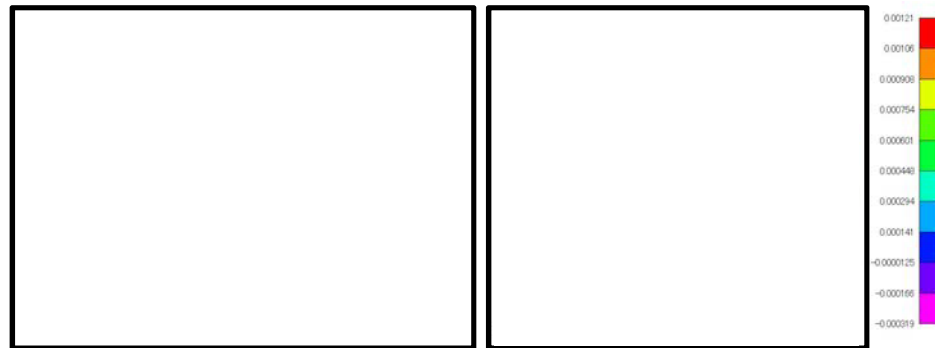


図15 頂版部のコンクリートのひずみコンター

◆中詰め部の鉄筋(水平回転モーメントによるせん断応力)

設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対する中詰め部の鉄筋に発生する水平回転モーメントによるせん断力が許容限界以下であることを確認した。

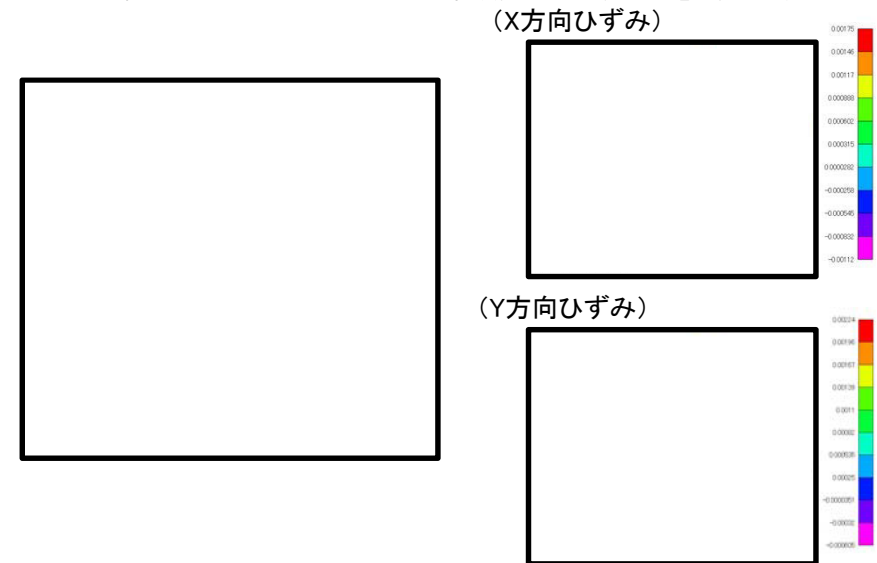


図17 鉛直筋のひずみコンター

◆中詰め部の鉄筋及びコンクリート(水平力によるせん断応力)

設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対する中詰め部の鉄筋に発生する水平力によるせん断力が許容限界以下であることを確認した。

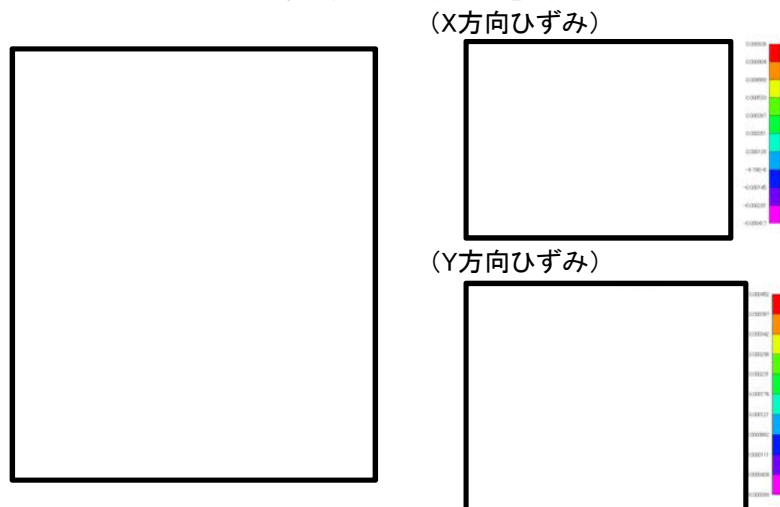


図16 水平筋のひずみコンター

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（6／8）



設計荷重に対する解析結果

- ① 接合部の設計は、各部材毎に弾性範囲内で設計するが、部材が一体となった3次元構造において6成分の荷重が同時に作用した場合においても、設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対する各部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。
- ② 3次元解析（COM3）により6成分の荷重が同時に作用した場合においても、アンカーボルトに生じる引張り応力が弾性範囲内に収まっていることを確認した。

	部 位	照 査 項 目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照 査 値 (発生応力／許容限界)	判 定
引抜き力 (M_x , M_y , N)	アンカー ボルト	曲げ軸応力	355	150	0.42	OK
		引抜き力	6	3	0.50	OK
		コーンせん断(鉄筋補強筋)	339.9	144	0.42	OK
水平力 (S_x , S_y) 水平回転モーメント (M_z)	頂版鉄筋 コンクリート及 び中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力	478.5	388	0.81	OK
	頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	50	34	0.68	OK
		鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	316	0.93	OK
		鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	342	0.71	OK
	中詰め鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	50	15	0.30	OK
		鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	188	0.55	OK
		鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	448	0.94	OK

* 荷重条件： T.P. +24 m津波と余震の重畳時

設計荷重を超える荷重を仮想した場合に対する解析結果(アンカーボルト)

- ① 設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)を超える荷重を仮想した場合に対して、荷重伝達メカニズムと3次元挙動を把握した。
- ② 設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)を超える荷重を仮想した場合に対しても十分な靱性を有する構造であることを確認した。

◆荷重～変位関係

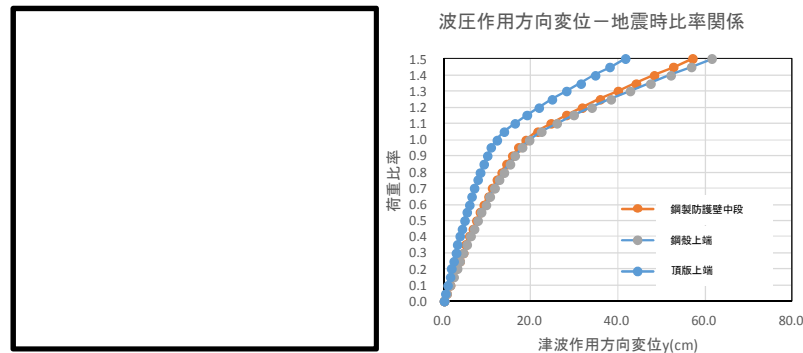


図18 津波作用方向変位と津波時荷重比率の関係

◆アンカー部の応力の深度分布(引抜き力)

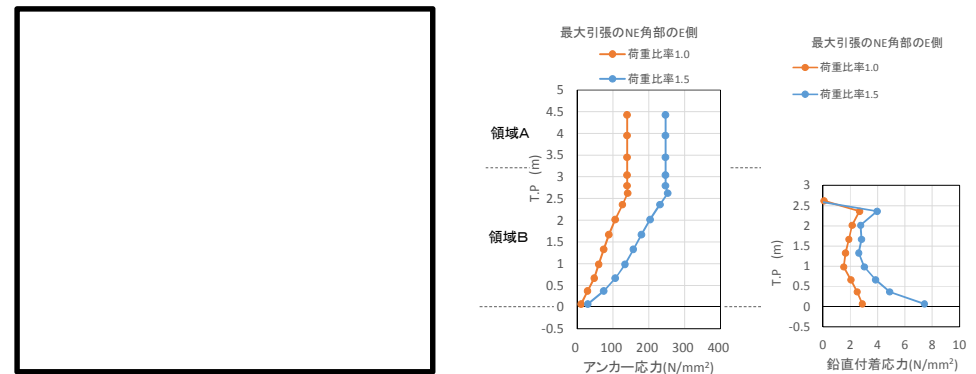


図20 アンカー部応力図
(最も引抜き応力が大きいNE角部(No.12))

◆アンカーボルトの曲げ軸応力

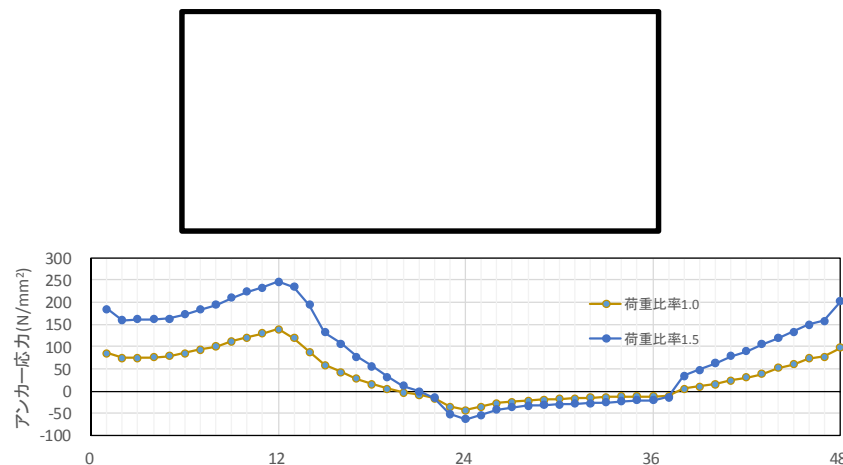


図19 頂版上端位置でのアンカーボルトの曲げ軸応力

設計荷重を超える荷重を仮想した場合に対する解析結果（鉄筋及びコンクリート）

- ① 設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）を超える荷重を仮想した場合に対して、荷重伝達メカニズムと3次元挙動を把握した。
- ② 設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）を超える荷重を仮想した場合に対しても十分な靱性を有する構造であることを確認した。

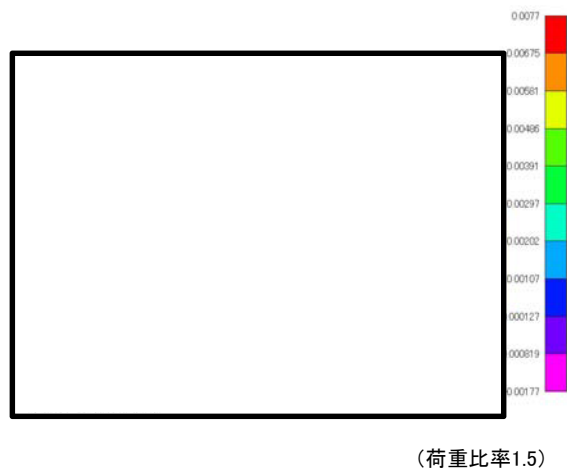
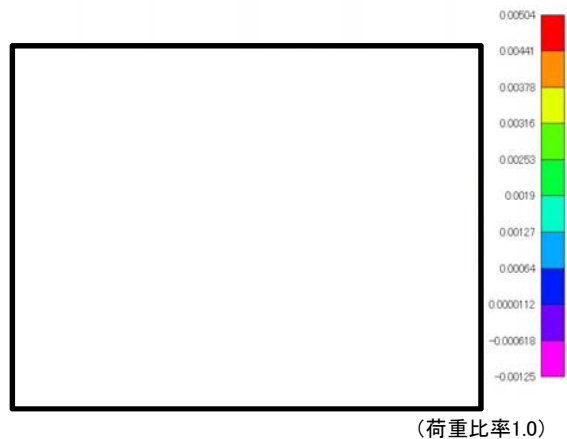


図21 頂版部のコンクリートの圧縮応力

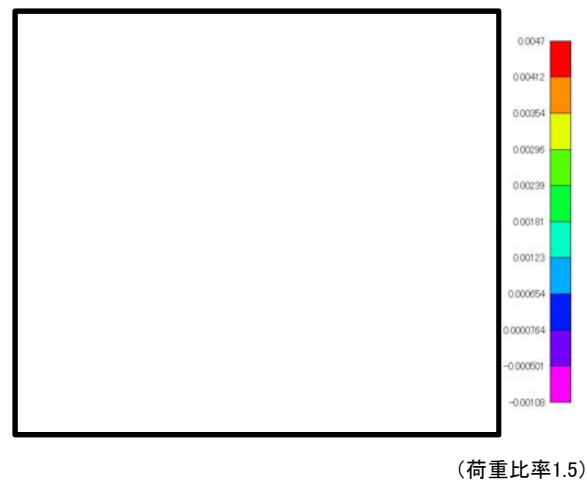
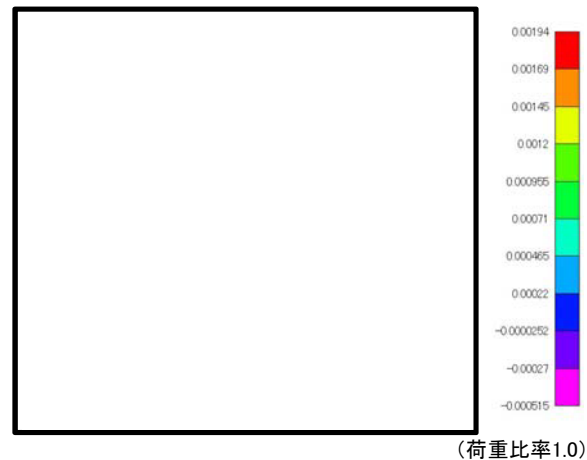


図22 中詰め鉄筋コンクリート貫通鉛直筋
のZ方向ひずみ

1. 概要（背景及び確認が必要な事項）

直接定着式アンカーボルトは、道路・橋梁施設において多くの適用実績があるものの、津波荷重による水平力による大きなせん断力及び水平回転モーメントを受ける津波防護施設への適用ははじめてとなる。したがって、地震荷重及び津波荷重による6成分の設計断面力が同時に接合部へ作用した場合においても、直接定着式アンカーボルトが負担する応力が弾性範囲内に収まることを三次元解析（COM3）により確認することで、直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性を示す。

また、接合部の設計方法は、各3成分の設計荷重に対して、荷重分担を考慮した各構造部材の技術基準に基づく弾性設計をそれぞれ行うものであるが、これらの構造部材が一体となり、6成分の設計荷重が同時に接合部へ作用した場合においても、全ての部材の応力が弾性範囲内に収まることを三次元解析（COM3）により確認することで、接合部の設計方法の妥当性を示す。

2. 確認事項

三次元解析（COM3）結果を用いて以下を確認する。

- ① 直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性の確認
- ② 接合部の設計方法の妥当性の確認

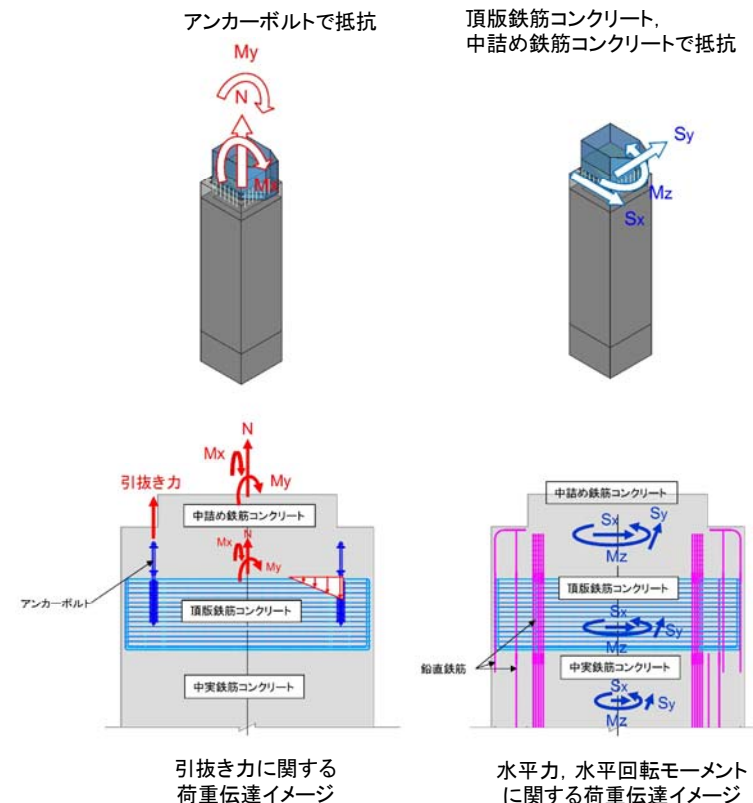
3. 評価方針

- ① 直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性の確認
 - ・ 三次元解析（COM3）により6成分の荷重が同時に作用した場合においても、アンカーボルトに生じる引張り応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。

【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の耐力でも、弾性範囲内で負担可能とするという設計思想である。



荷重伝達のメカニズム

【論点7】（参考）鋼製防護壁の上部構造と下部構造の接合部の評価



第572回審査会合
資料2-1再掲

② 接合部の設計方法の妥当性の確認

- 接合部の設計は、各部材毎に弾性範囲内で設計するが、部材が一体となった三次元構造において6成分の荷重が同時に作用した場合においても、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受け持つことができていることを確認する。

設計における適用基準と許容限界

	部 位	照査項目	許容限界 上段は基準地震動、基準津波を考慮する場合 下段はT.P.+24m津波を考慮する場合	許容限界が弾性範囲 内か保有水平耐力範 囲かの区分	適用基準
引抜き力 (M_x , M_y , N)	アンカーボルト	曲げ軸応力	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編）
			降伏応力度		
		引抜き力	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編）
			短期許容応力度 ^{※2}		
		コーンせん断（鉄筋補強あり）	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編）
水平力 (S_x , S_y) 水平回転モーメント (M_z)	中詰め鉄筋コンクリート 及び 頂版鉄筋コンクリート	鉄筋応力	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編）（SD490） コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
			短期許容応力度 ^{※3}		
		コンクリート応力 （圧縮応力）	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 道路土工カルバート工指針
			短期許容応力度 ^{※2}		
		コンクリート応力 （水平力によるせん断応力）	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 道路土工カルバート工指針
			短期許容応力度 ^{※2}		
		コンクリート応力 （水平回転モーメントによるせん断応力）	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 道路土工カルバート工指針
			短期許容応力度 ^{※2}		

※1 許容応力度の1.5倍（地震の影響を考慮する係数）の割増しを考慮する。

※2 許容応力度の2.0倍（極めてまれな荷重を考慮する係数）の割増しを考慮する。

※3 許容応力度の1.65倍（極めてまれな荷重を考慮する係数）の割増しを考慮する。

（その他確認項目）

- 設計荷重を超える荷重（T.P.+24m津波以上の荷重が作用したと仮定した状況）に対しては、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握するとともに、十分な靱性を有する構造であることを確認する。

4. 今後の予定

- 三次元解析（COM3）の評価結果を5月末から6月中旬にかけて順次説明予定。