

＜本論点の経緯＞

これまで、直接定着式アンカーボルトの設計荷重に対する鋼製防護壁への適用性及び接合部の設計方法の妥当性について、3次元解析 (COM3) を用いて確認してきた。

この度は、3次元解析 (COM3) による解析結果が求められたことから、上記の項目に関する確認結果を説明する。

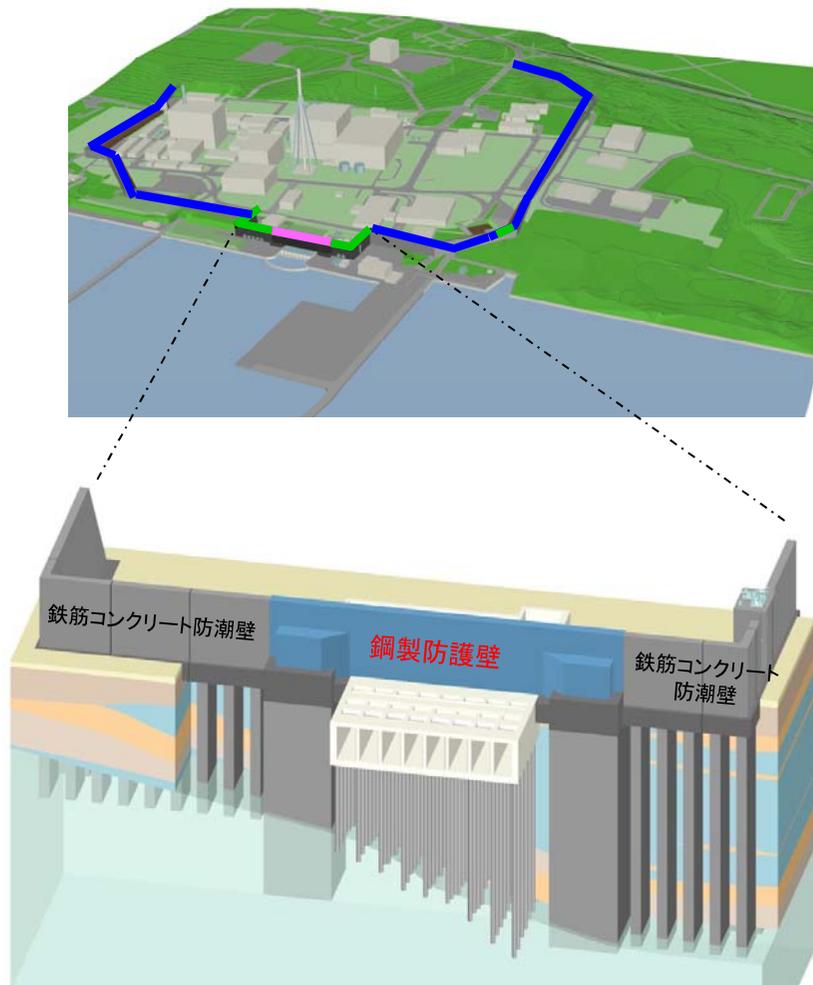


図1 防潮堤鳥瞰図

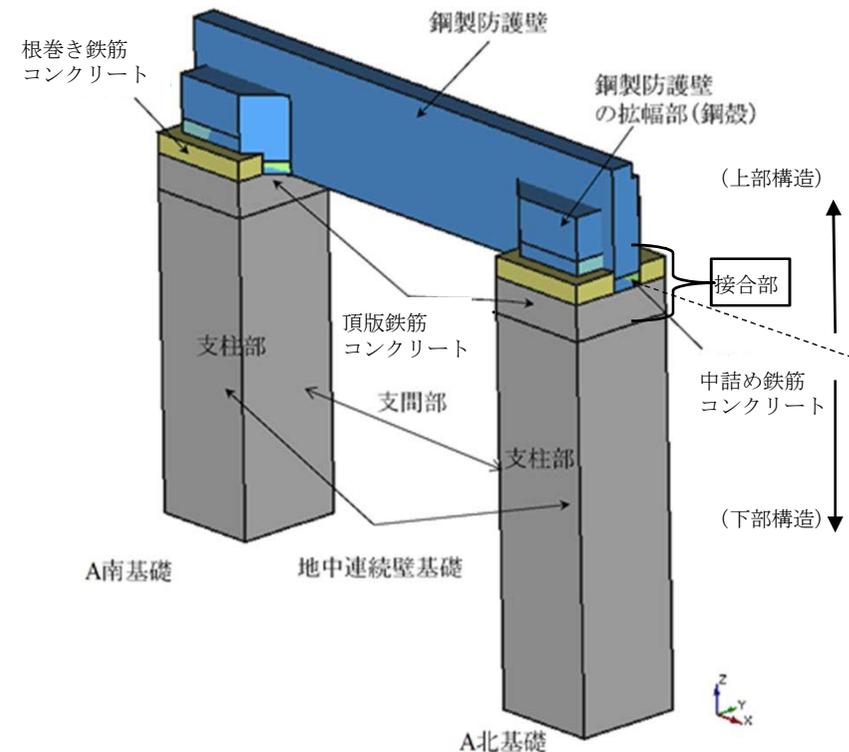


図2 鋼製防護壁の構造図

接合部の構造

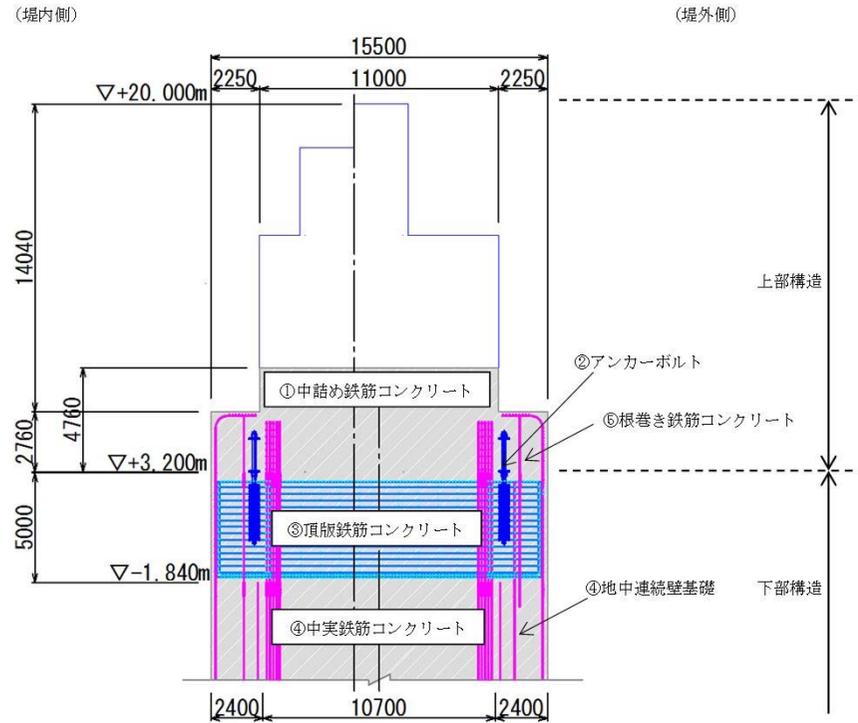


表1 接合部の設計上の役割

部材名	設計上の役割
①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。
②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。
③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。
④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。
⑤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。

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。

図3 上部構造及び下部構造の接合部の構造

解析条件

解析ケースは、接合部への負担が厳しくなるT.P. +24 m津波と余震の重畳時とした。

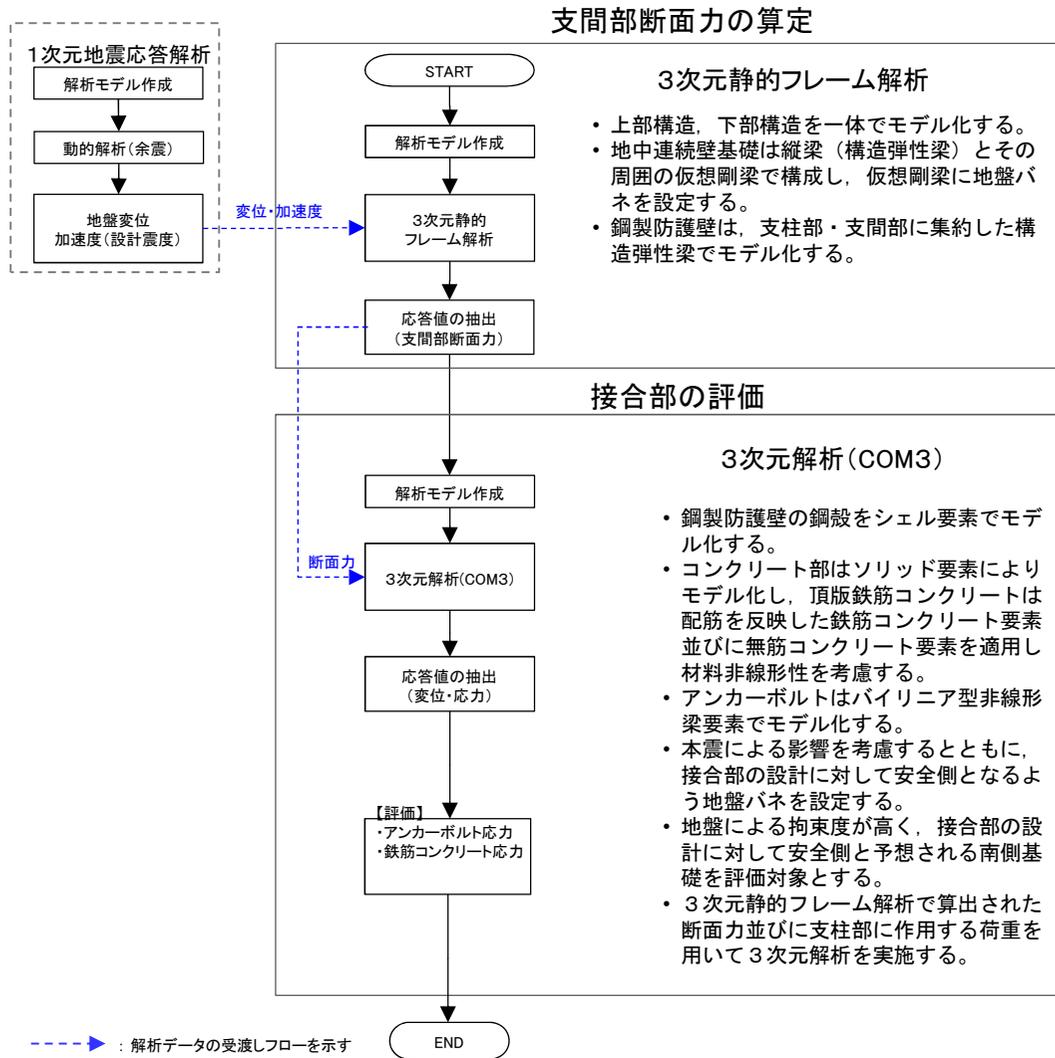


図4 検討フロー

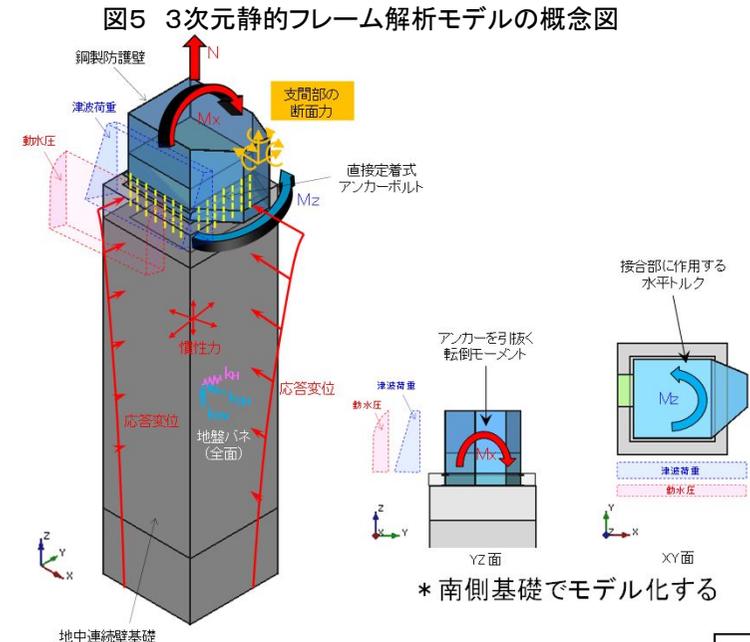
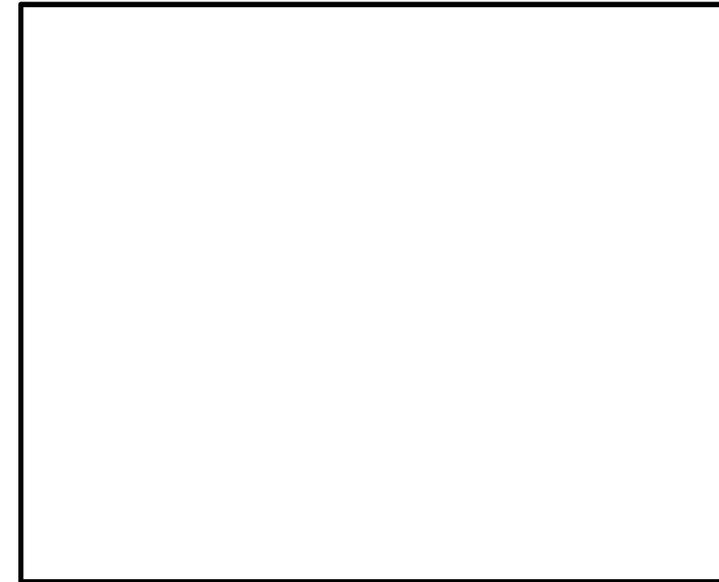
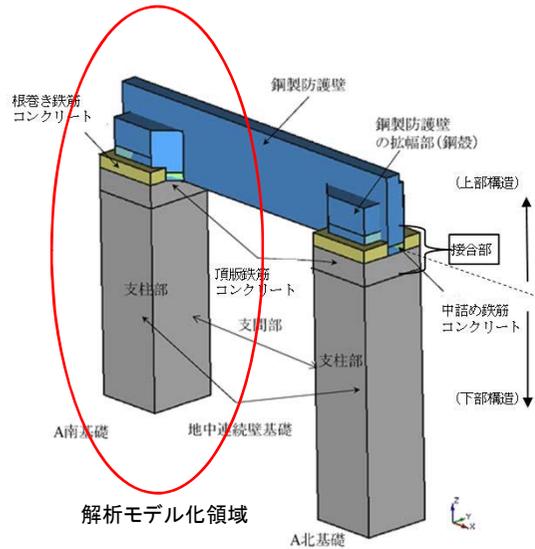
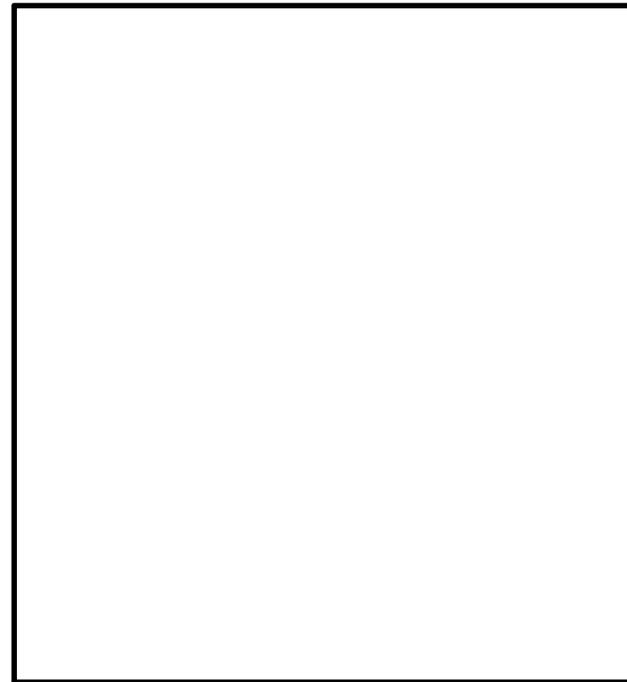


図6 3次元解析 (COM3) モデルの概念図

解析モデル



鋼製防護壁構造図



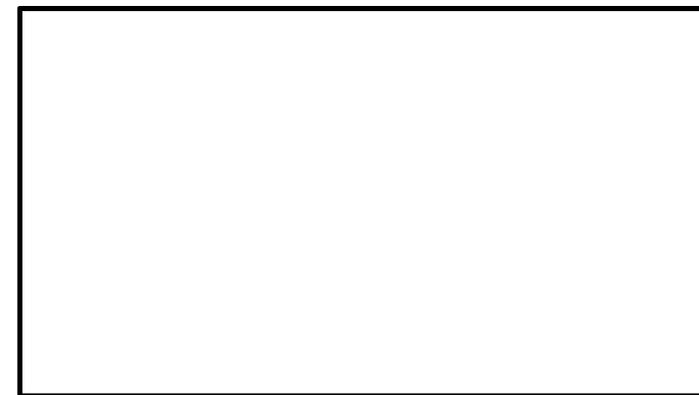
3次元解析モデル図(全体)



3次元解析モデル図(接続部拡大)



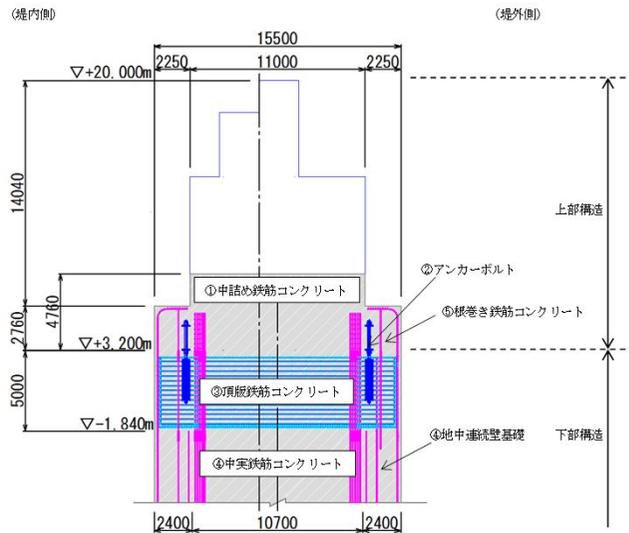
3次元解析モデル図(中詰め部, 頂版部)



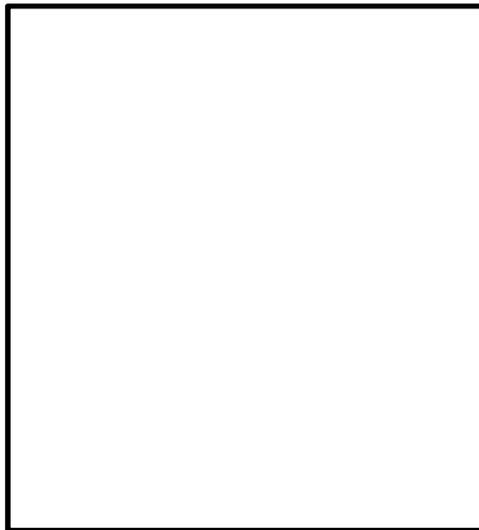
3次元解析モデル図(定着式アンカーボルト部)

図7 3次元解析モデル図

解析モデル及び荷重伝達メカニズム



構造図



三次元解析モデル

図8 構造図と三次元解析モデルの対比

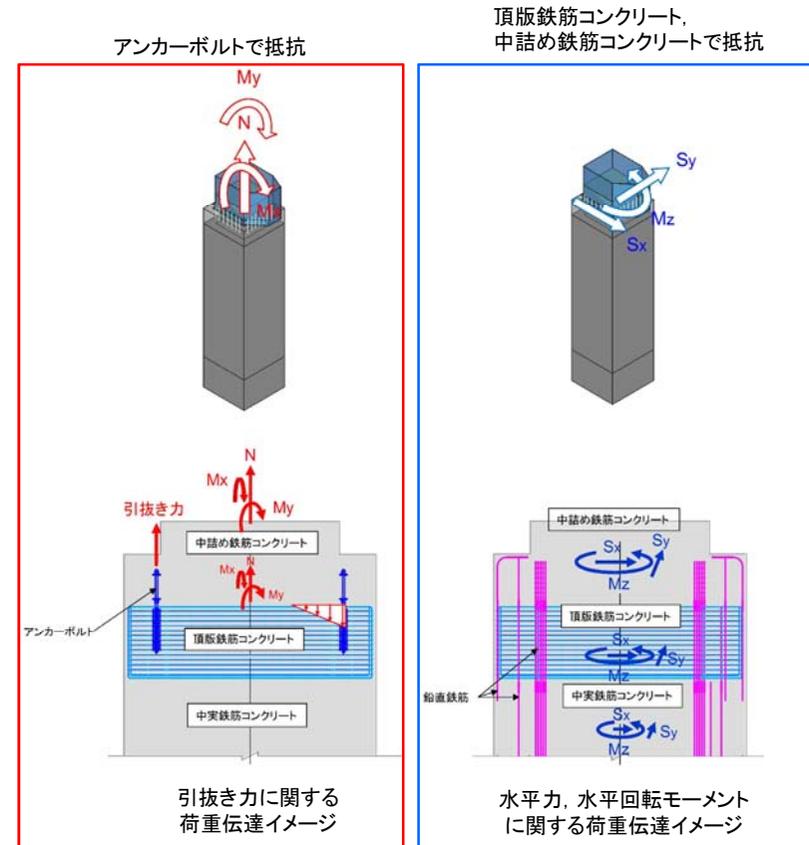


図9 荷重伝達のメカニズム

解析モデル(COM3)による確認事項

設計荷重に対する接合部の設計は、各部材について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。

- ①直接定着式アンカーボルトの設計荷重に対する鋼製防護壁への適用性確認
- ②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認
- ③設計荷重を超える荷重を仮想した場合に対する検討

表2 設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性を確認する項目

	部 位	照査項目	許容限界	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
			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		
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	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	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		
コーンせん断(鉄筋補強あり)	短期許容応力度	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	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		
		コンクリート応力 (圧縮応力)	短期許容応力度	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		
		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	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		
		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	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		

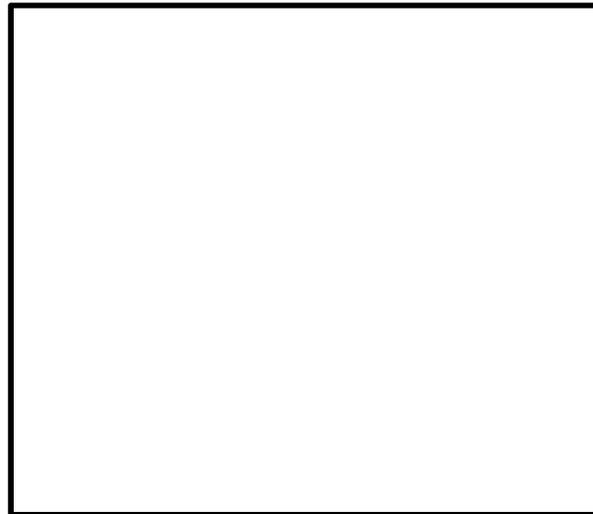
①直接定着式アンカーボルトの設計荷重に対する鋼製防護壁への適用性確認

設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)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)により確認した。

設計荷重に対するアンカーボルトの照査

アンカーボルトの曲げ軸力及びアンカーボルト定着部の引抜き力

A-A断面図



直接定着式アンカーボルト設置例

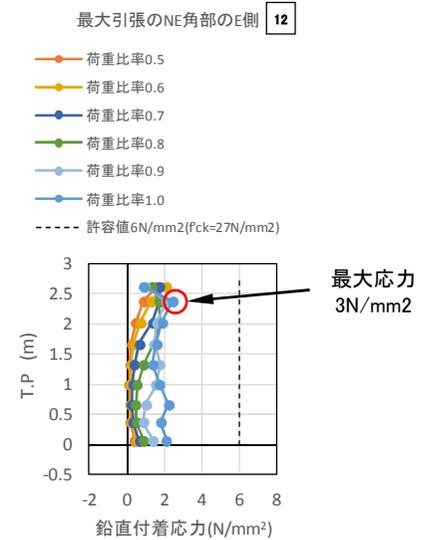
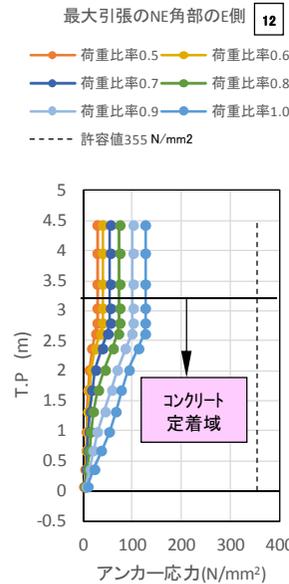


①直接定着式アンカーボルトの設計荷重に対する鋼製防護壁への適用性確認

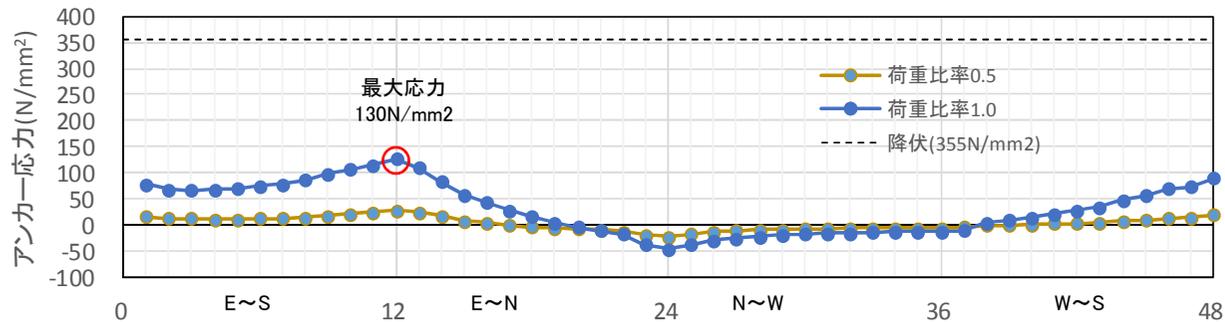
照査項目:設計荷重に対するアンカーボルトの照査

アンカーボルトの曲げ軸力及びアンカーボルト定着部の引抜き力

アンカーボルト配置
(48本)



アンカーボルトの曲げ
軸応力グラフ



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
アンカーボルト	曲げ軸応力	355	130	0.37	OK
	引抜き力	6	3	0.50	OK

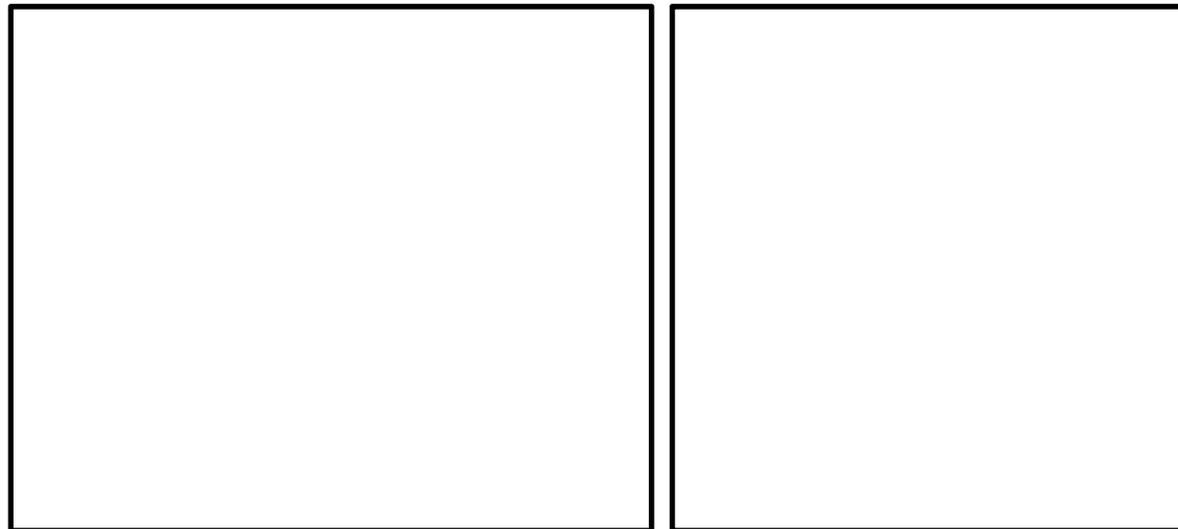
①直接定着式アンカーボルトの設計荷重に対する鋼製防護壁への適用性確認

設計荷重による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)により確認した。

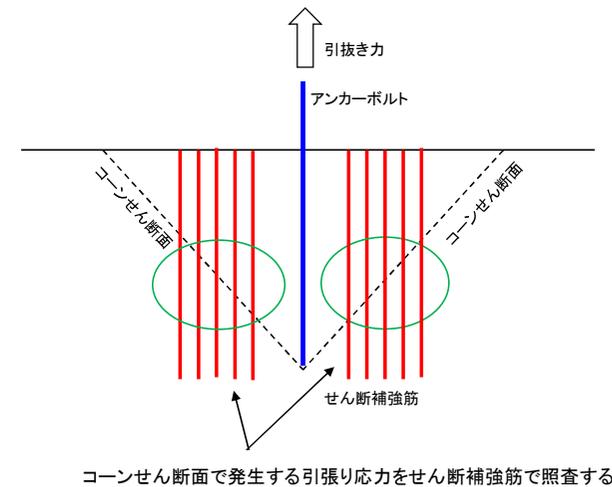
照査項目:設計荷重に対するアンカーボルトの照査

定着部の評価(せん断補強筋)

A-A断面図



B部イメージ



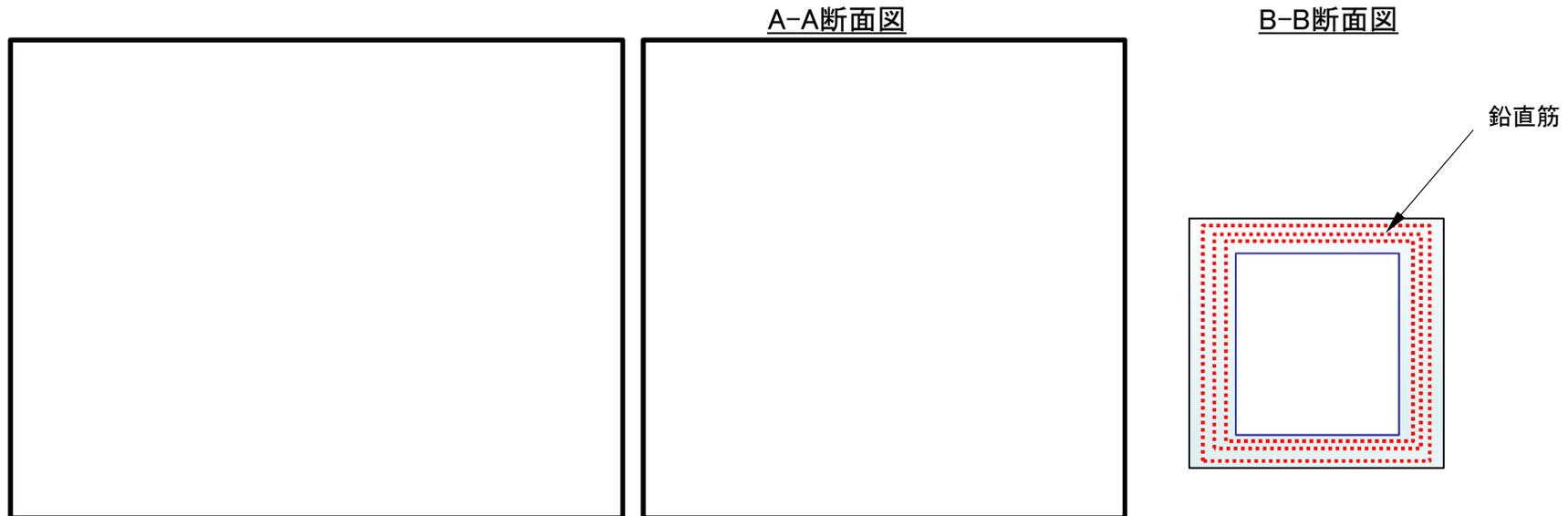
部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力/許容限界)	判定
アンカーボルト	コーンせん断(せん断補強筋)	339.9	125	0.37	OK

以上により、直接定着式アンカーボルトの設計荷重に対する鋼製防護壁への適用性を確認した。

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目:設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリート及び中詰め鉄筋コンクリートの照査

鉄筋応力



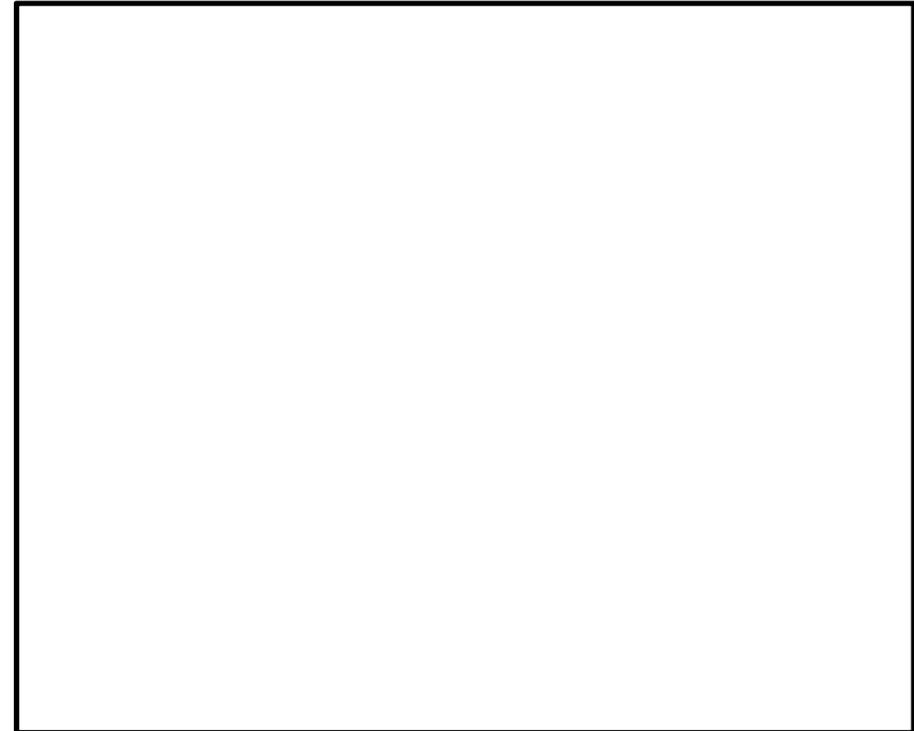
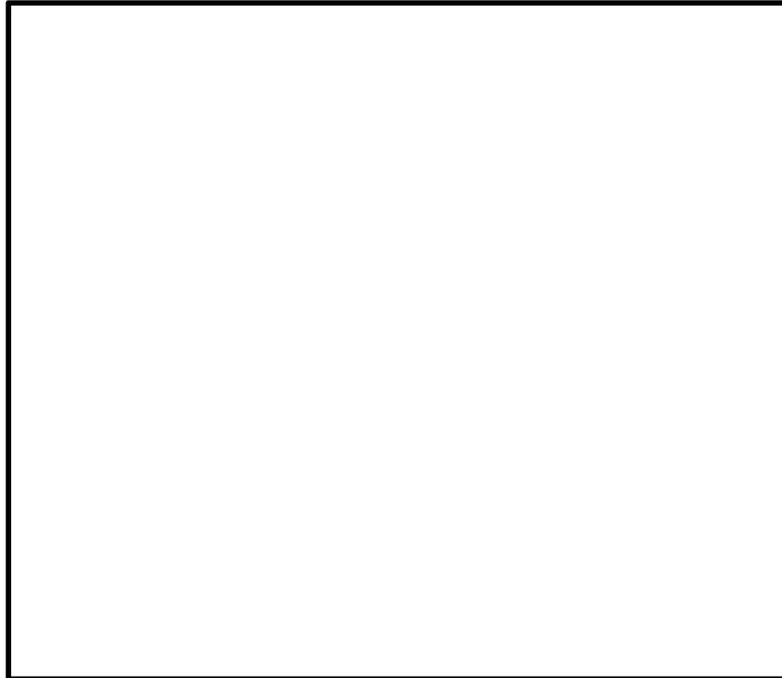
部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力 / 許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート及び 中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力	478.5	362	0.76	OK

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目:設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリートの照査

コンクリート応力(圧縮応力)

A-A断面図

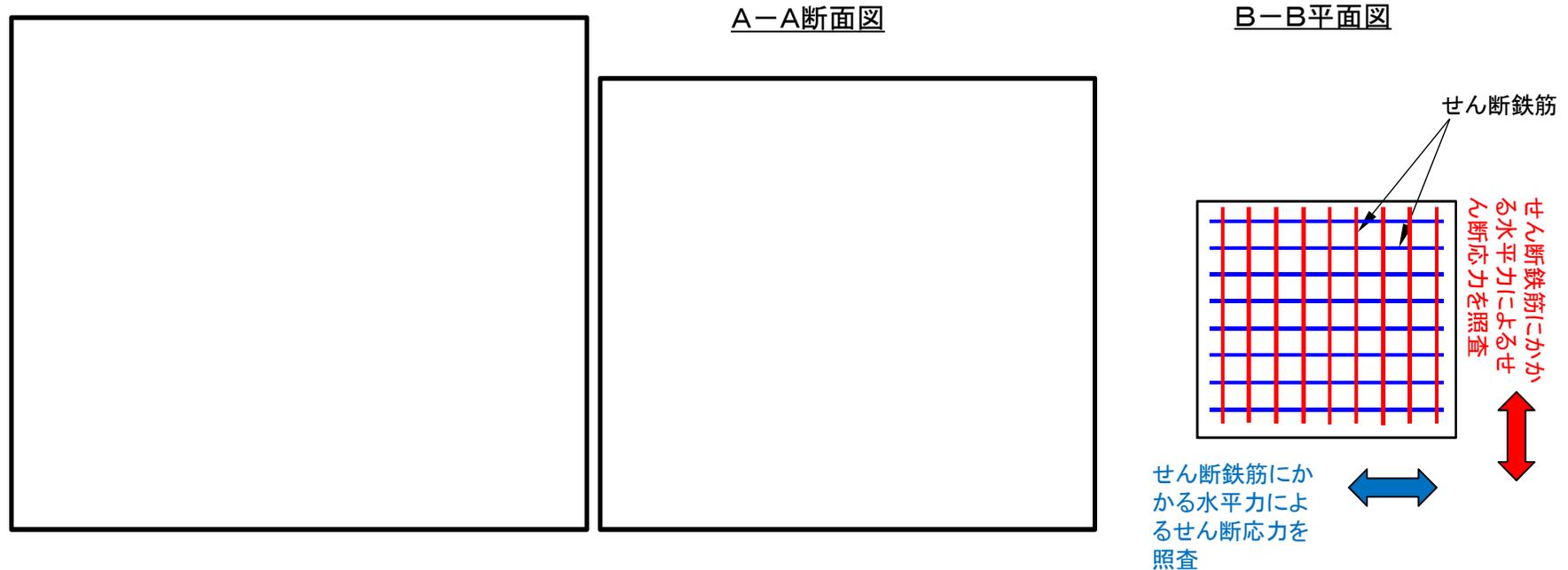


部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力/許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	27	0.84	OK

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目:設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリートの照査

鉄筋応力(水平力によるせん断応力)

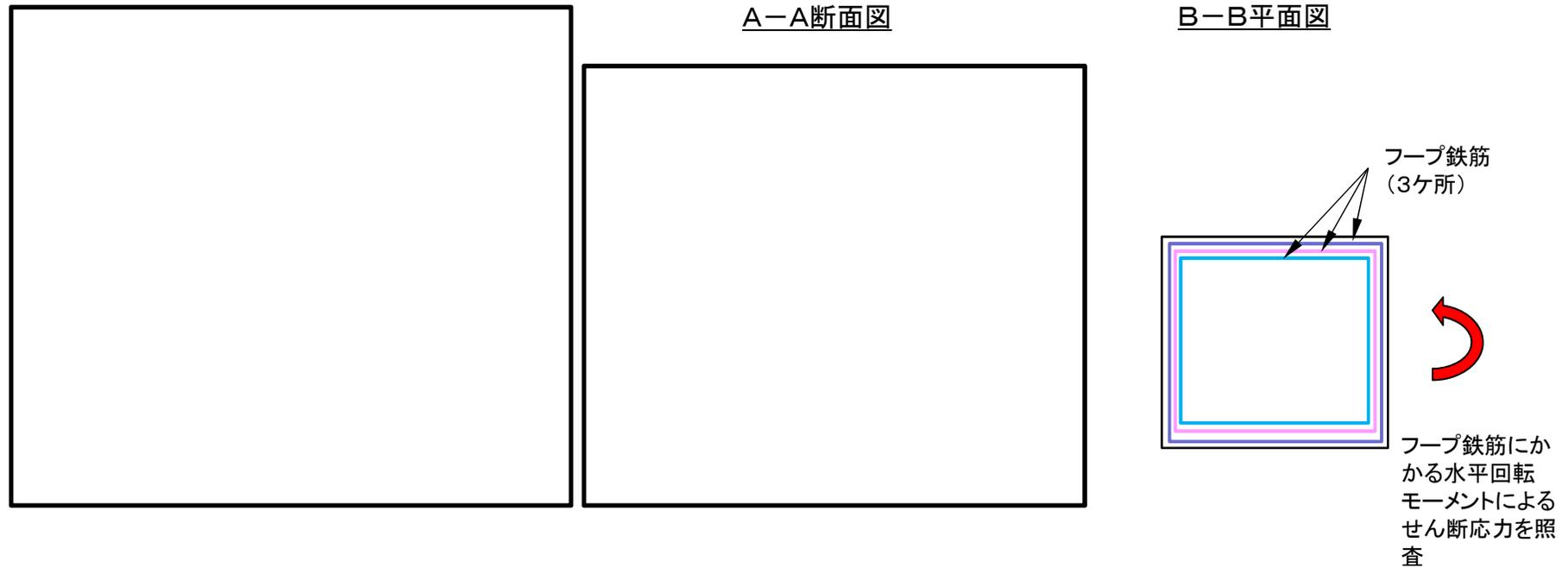


部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力/許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	316	0.93	OK

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目: 設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリートの照査

鉄筋応力(水平回転モーメントによるせん断応力)



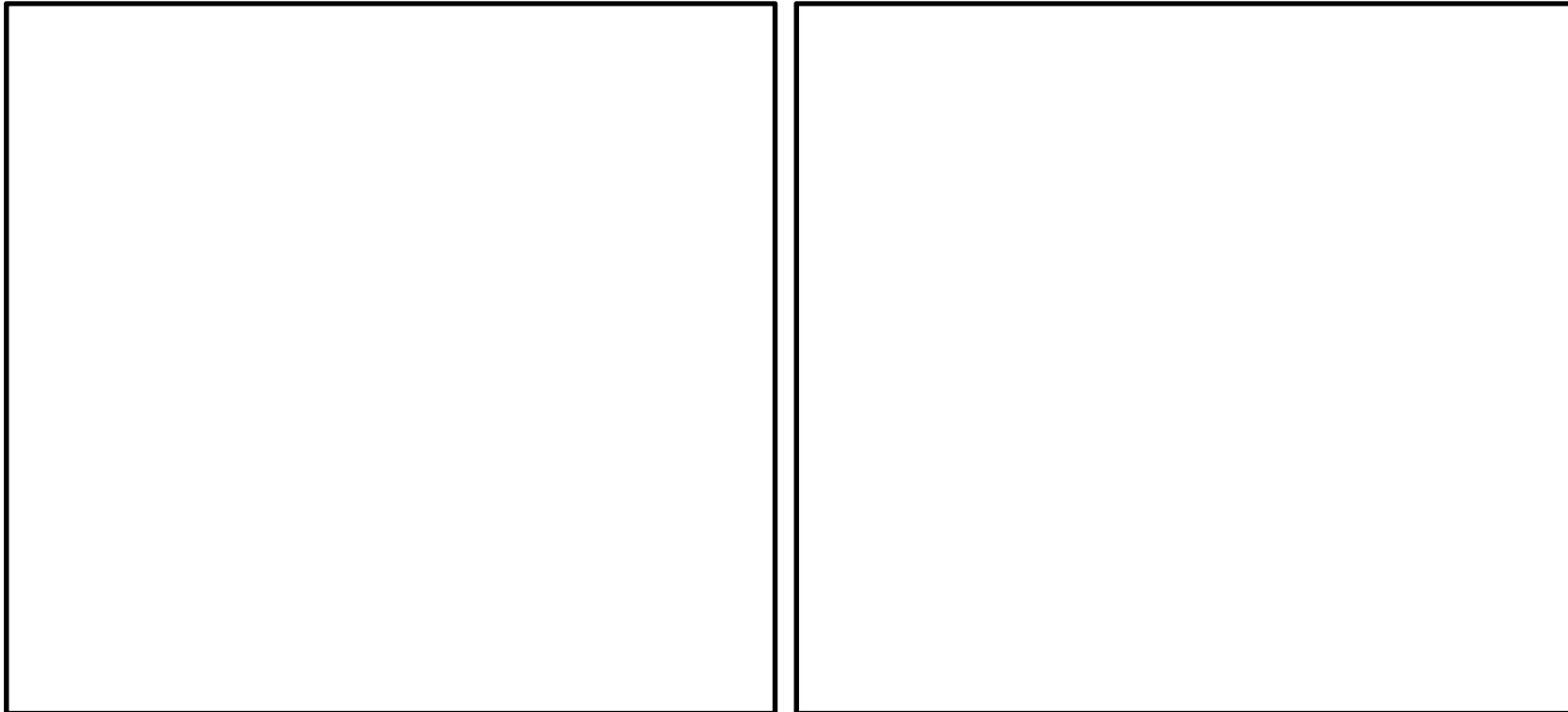
部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力 / 許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	314	0.66	OK

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目:設計荷重に対する中詰め鉄筋コンクリートの照査

コンクリート応力(圧縮応力)

A-A断面図

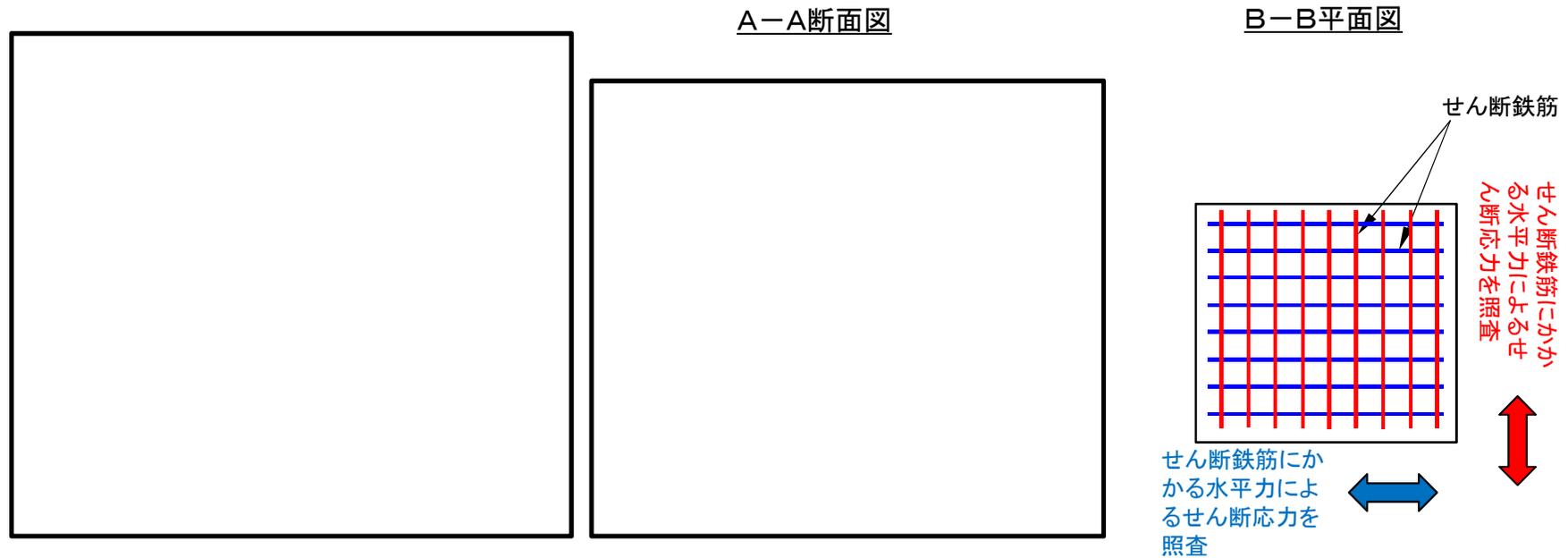


部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力/許容限界)	判定
中詰め鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	15	0.47	OK

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目: 設計荷重に対する中詰め鉄筋コンクリートの照査

鉄筋応力(水平力によるせん断応力)

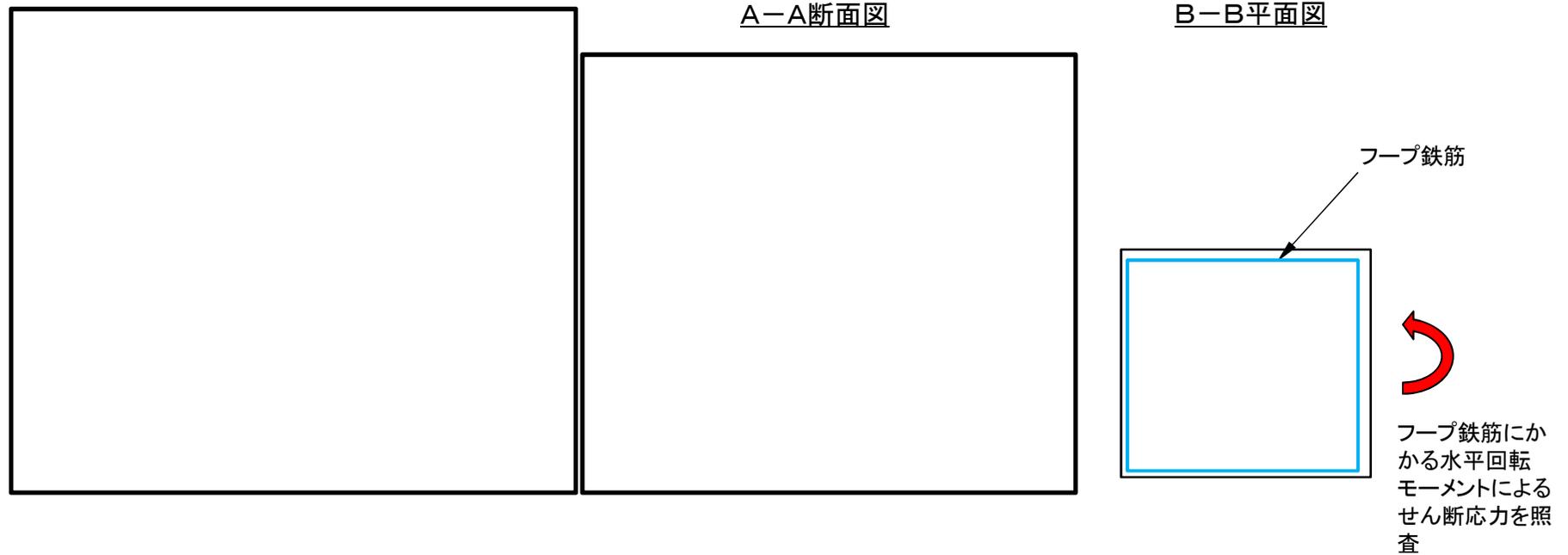


部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力/許容限界)	判定
中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	167	0.49	OK

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目:設計荷重に対する中詰め鉄筋コンクリートの照査

鉄筋応力(水平回転モーメントによるせん断応力)



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
中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	346	0.72	OK

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

- 設計荷重に対する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。

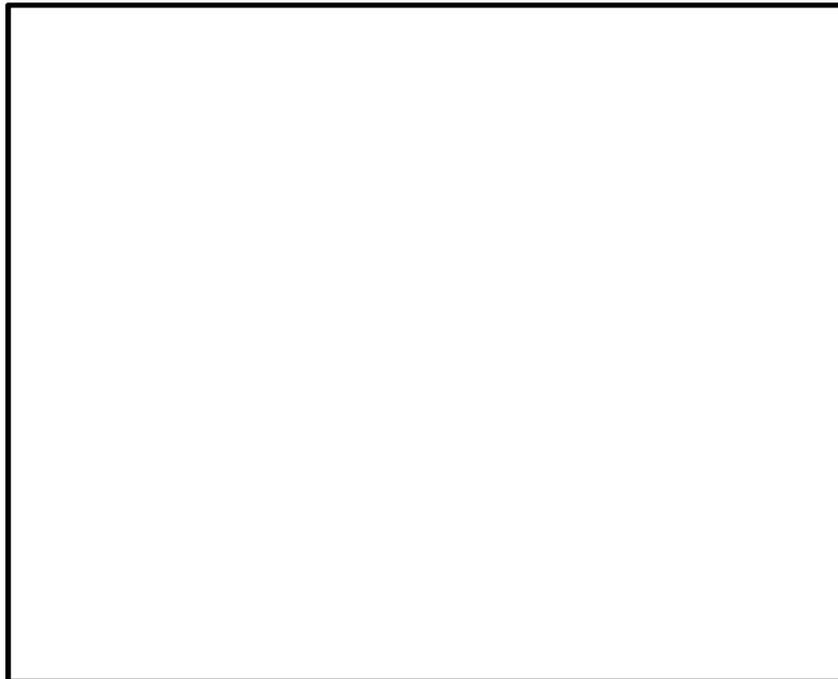
	部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照査値 (発生応力/許容限界)	判定
引抜き力 (Mx, My, N)	アンカー ボルト	曲げ軸応力	355	130	0.37	OK
		引抜き力	6	3	0.50	OK
		コーンせん断(せん断補強筋)	339.9	125	0.37	OK
水平力 (Sx, Sy) 水平回転モーメント (Mz)	頂版鉄筋 コンクリート及 び中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力	478.5	362	0.76	OK
	頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	27	0.84	OK
		鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	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	314	0.66	OK
	中詰め鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	15	0.46	OK
		鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	167	0.49	OK
		鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	346	0.72	OK

* 荷重条件： T.P. +24 m津波と余震の重畳時

以上により、設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性を確認した。

③設計荷重を超える荷重を仮想した場合に対する検討

◆荷重～変位関係



波圧荷重方向変位－地震時比率関係

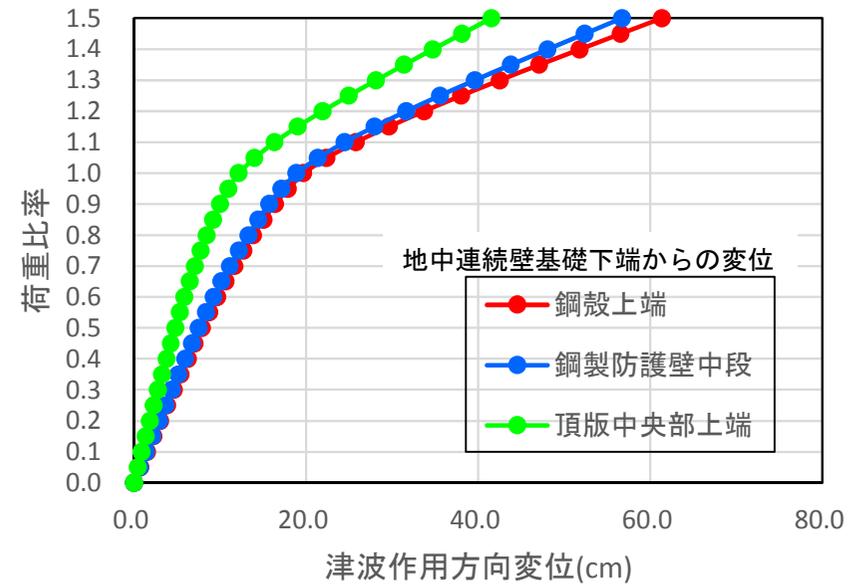


図10 津波作用方向変位と津波時荷重比率の関係

設計荷重を超える荷重を仮想した場合においても十分な靱性を有する構造であることを確認した。

まとめ

- ① 直接定着式アンカーボルトの設計荷重に対する鋼製防護壁への適用性を確認した。
- ② 設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性を確認した。
- ③ 設計荷重を超える荷重を仮想した場合において、荷重伝達メカニズムと3次元挙動を把握し、十分な靱性を有する構造であることを確認した。

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

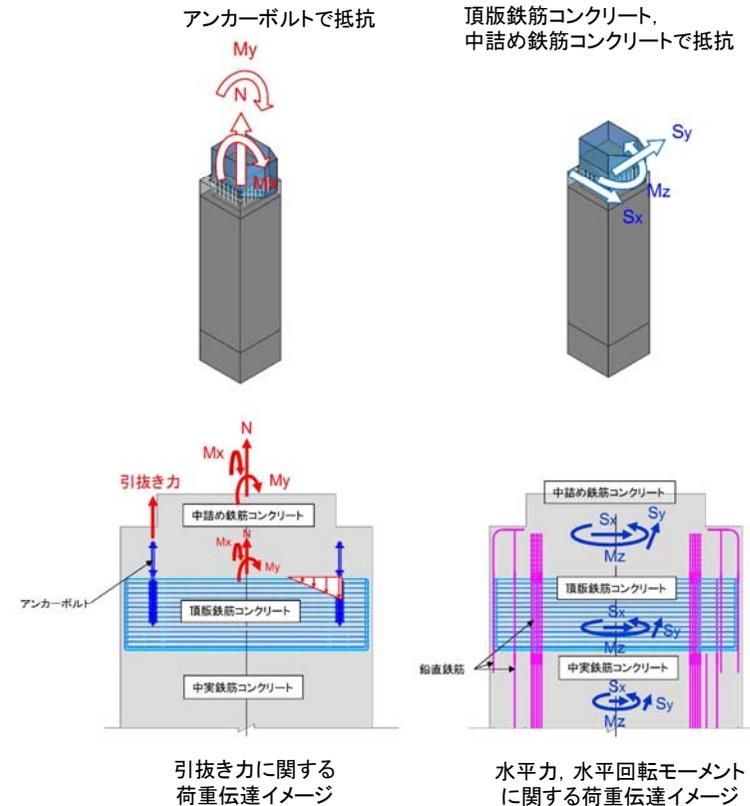
三次元解析（COM3）結果を用いて以下を確認する。

- 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