

## 東海第二発電所

### 鋼製防護壁の接合部アンカーに関する補足説明

平成30年6月11日  
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密  
又は防護上の観点から公開できません。

## 目次 鋼製防護壁の接合部アンカーに関する補足説明

---

1. 鋼製防護壁接合部の概要及び評価方針
2. 3次元解析(COM3)による妥当性評価

# 鋼製防護壁接合部の概要及び評価方針(1/2)

## 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3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

3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
  - ・ 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】

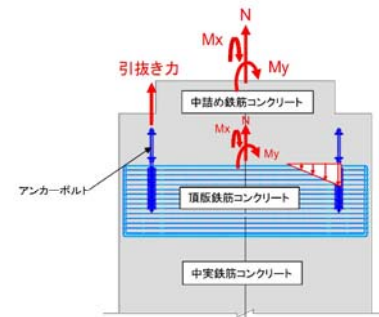
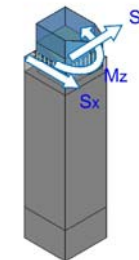
アンカーボルトは本来、引抜き力及びせん断力に抵抗できる部材であることから、鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）の「7.2 アンカー部の設計方法」においては、アンカーボルトに水平方向のせん断力も許容限界以下で受けもたせる設計方法となっている。

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。

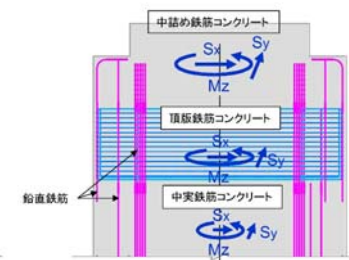
アンカーボルトで抵抗



頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートで抵抗



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

### 荷重伝達のメカニズム

## 鋼製防護壁接合部の概要及び評価方針(2/2)

### 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、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	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 <sup>※1</sup>	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 <sup>※1</sup> 短期許容応力度 <sup>※2</sup>	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)
		コーンせん断(鉄筋補強あり)	短期許容応力度 <sup>※1</sup>	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 <sup>※1</sup>	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 <sup>※3</sup>		
		コンクリート応力 (圧縮応力)	短期許容応力度 <sup>※1</sup>	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 <sup>※2</sup>		
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 <sup>※1</sup>	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 <sup>※2</sup>				
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 <sup>※1</sup>	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 <sup>※2</sup>				

※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。

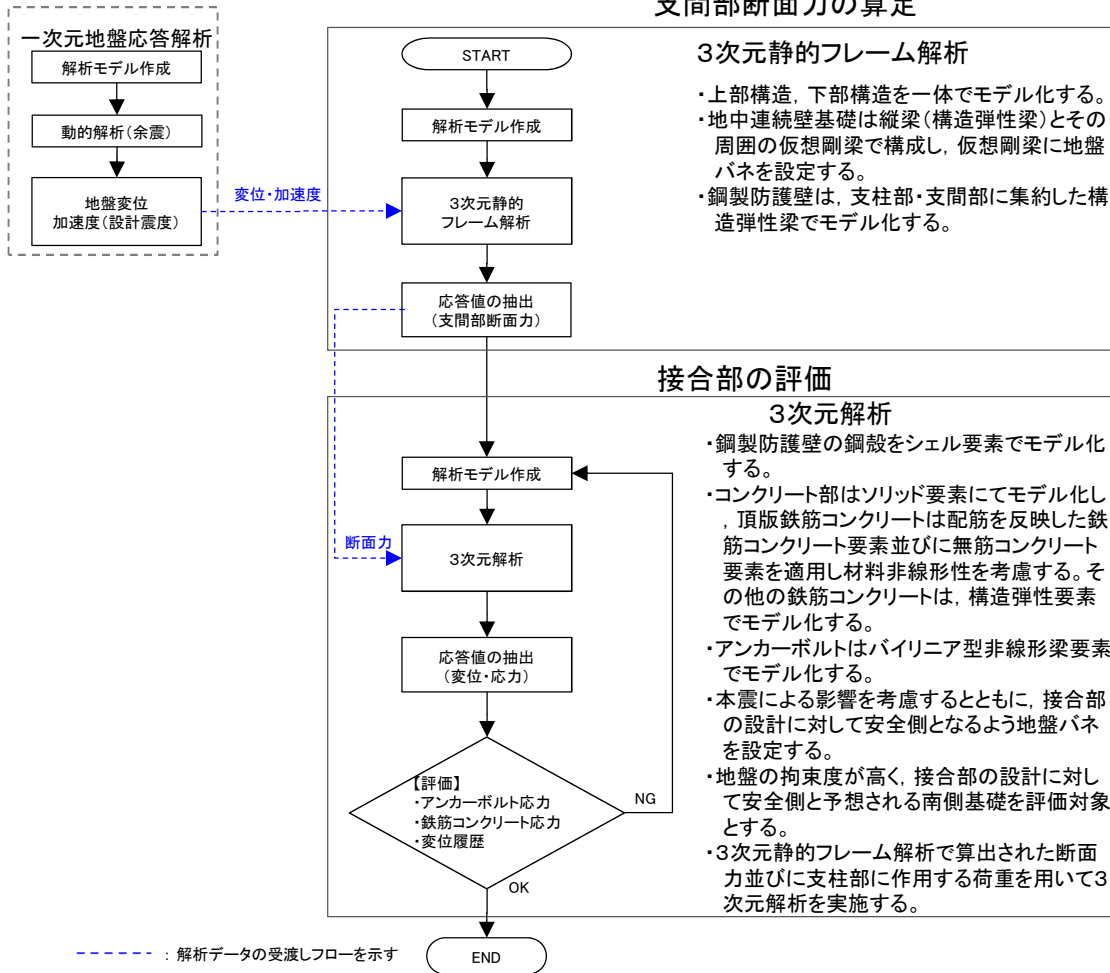
#### (その他確認項目)

- 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3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。

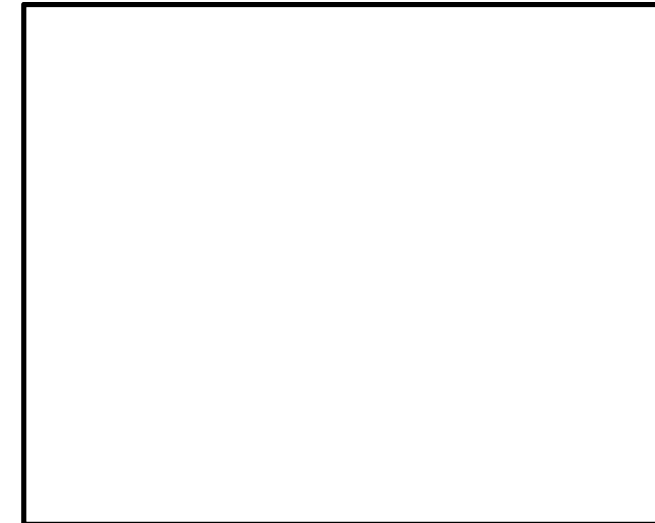
# 3次元解析(COM3)による妥当性評価(1/8)

## 3次元解析(COM3)の概要

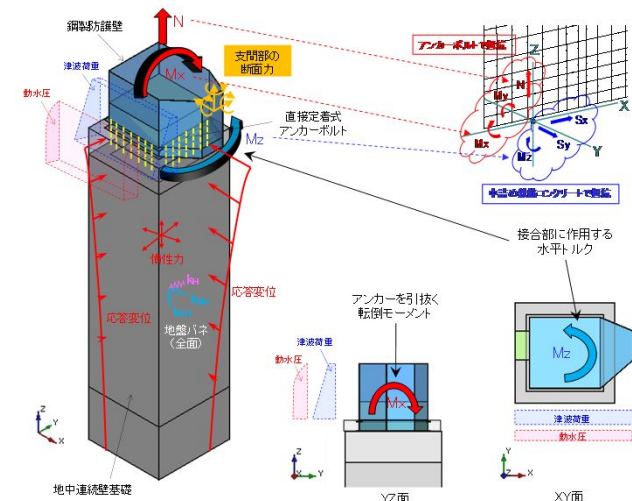
- ①3次元解析(COM3)により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。
- ②設計を超える荷重に対しては、十分な靱性を有する構造であることを確認し、荷重伝達メカニズムと3次元挙動を把握する。



検討フロー



3次元静的フレーム解析モデルの概念図

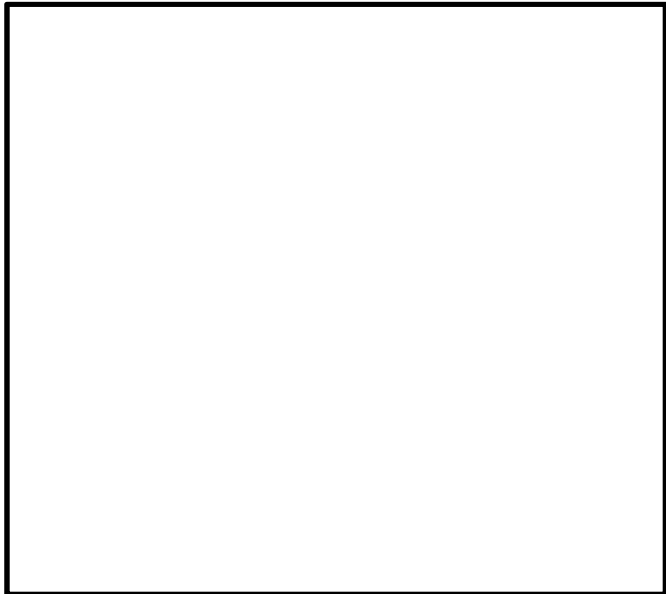
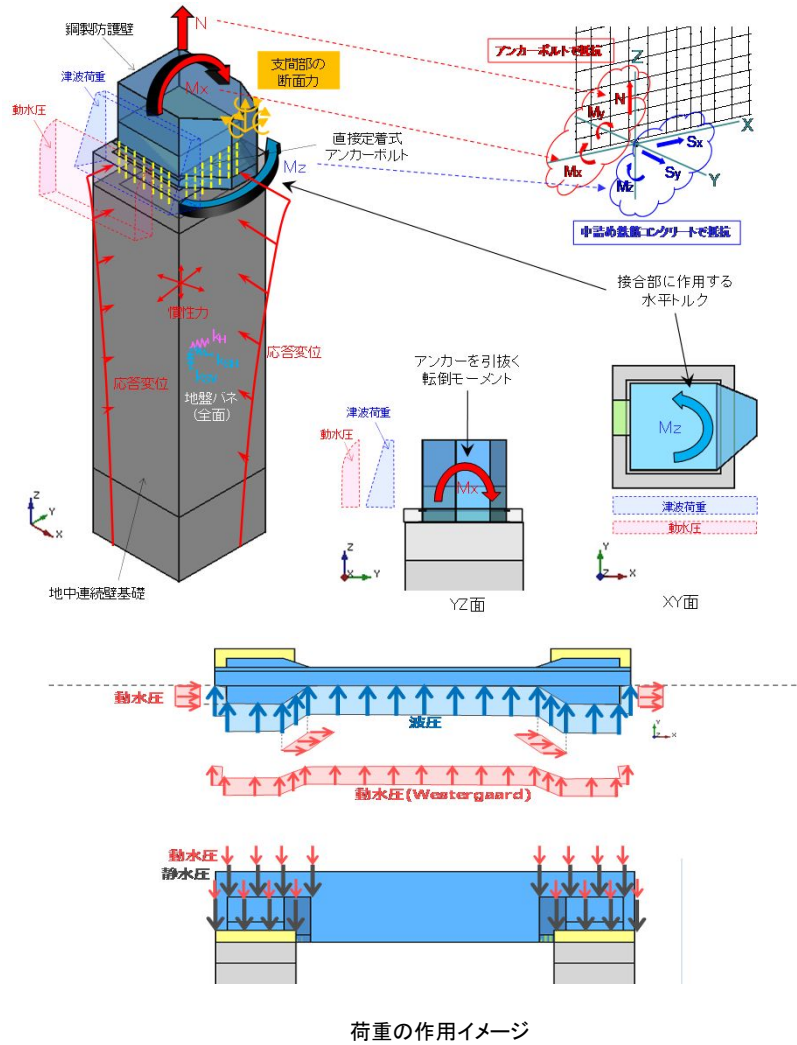


3次元解析モデルの概念図

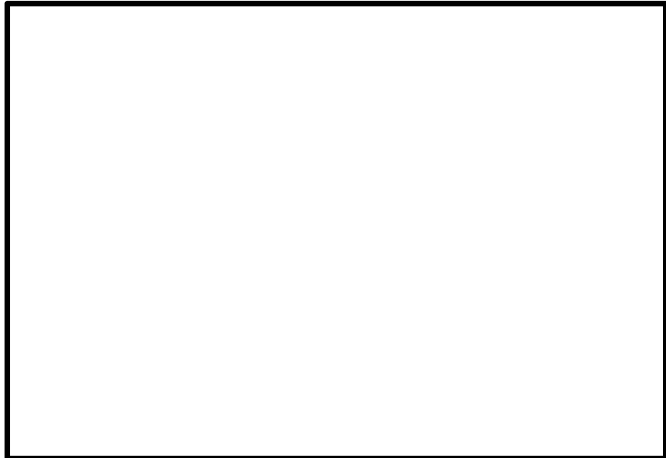
# 3次元解析(COM3)による妥当性評価(2/8)

## 解析条件

・荷重条件が最も厳しくなると考えられるT.P.+24 m津波と余震の重畳時で解析を行う。



3次元解析モデル(全体図)

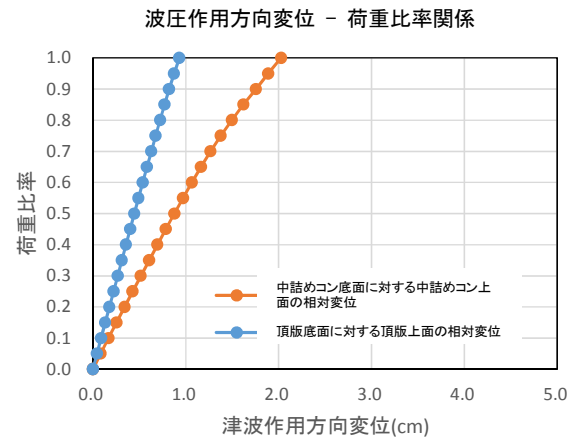
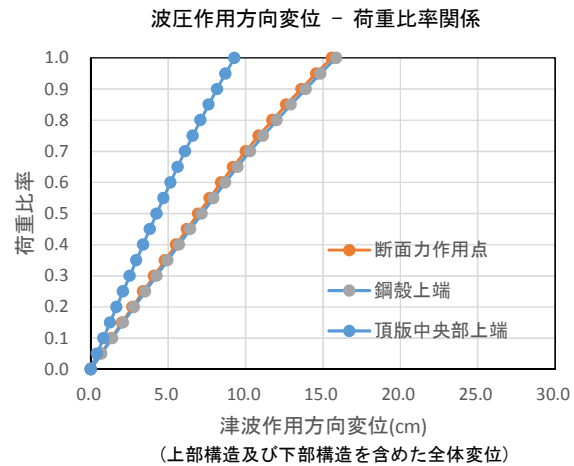


3次元解析モデル(接続部拡大)

# 3次元解析(COM3)による妥当性評価(3/8)

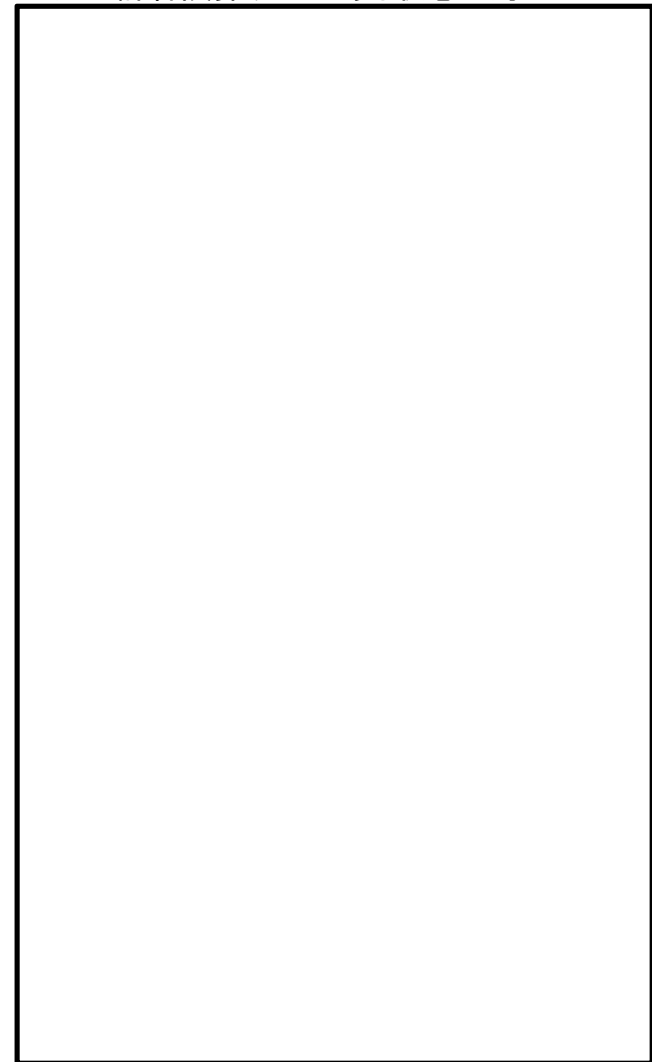
## 解析結果—荷重～変位関係

- 設計荷重( T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対して, 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。



津波作用方向変位と津波時荷重比率の関係

\* 荷重比率: 設計荷重を1とした場合の比率



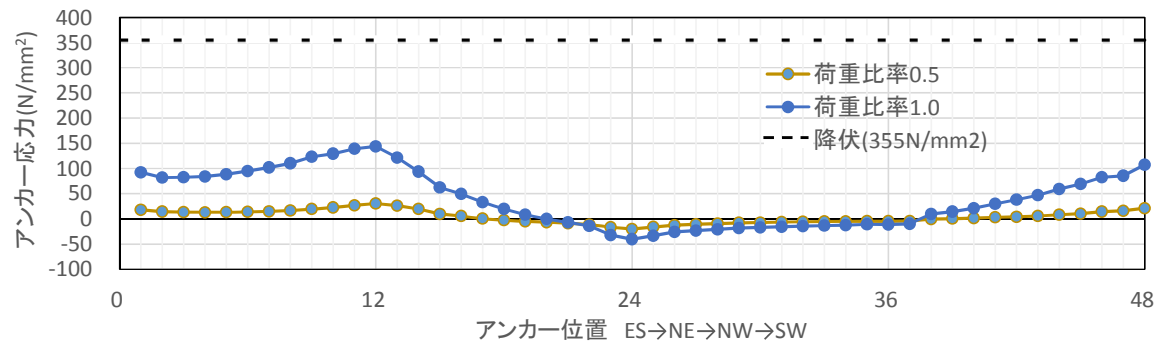
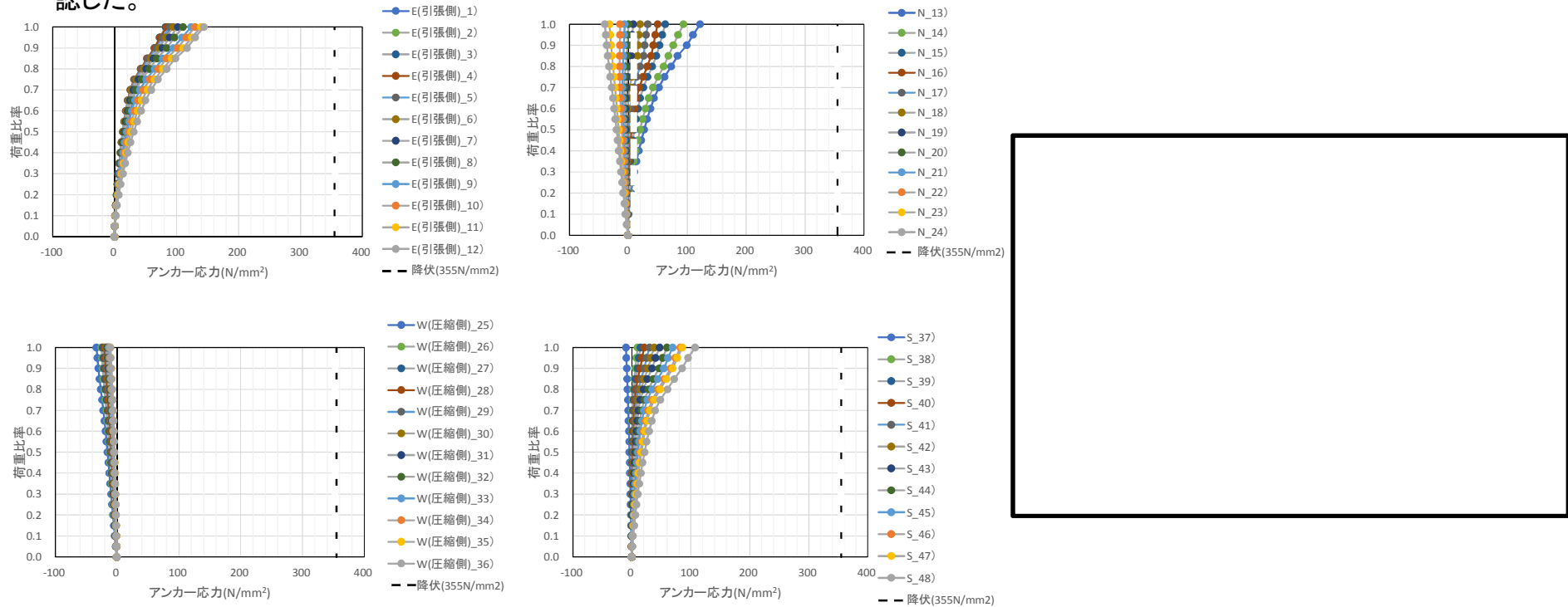
変形および変形コンター

3次元解析(COM3)結果(荷重～変位関係)

# 3次元解析(COM3)による妥当性評価(4/8)

## 解析結果—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)に対して, アンカーボルトに発生する応力(曲げ軸応力)が許容限界以下であることを確認した。



頂版上端位置でのアンカー軸応力

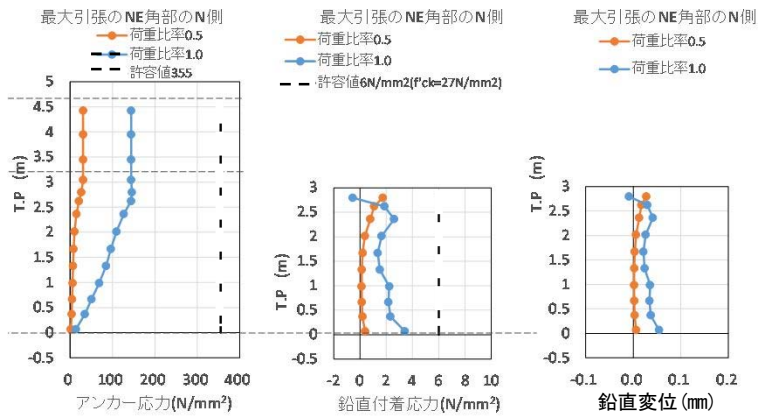




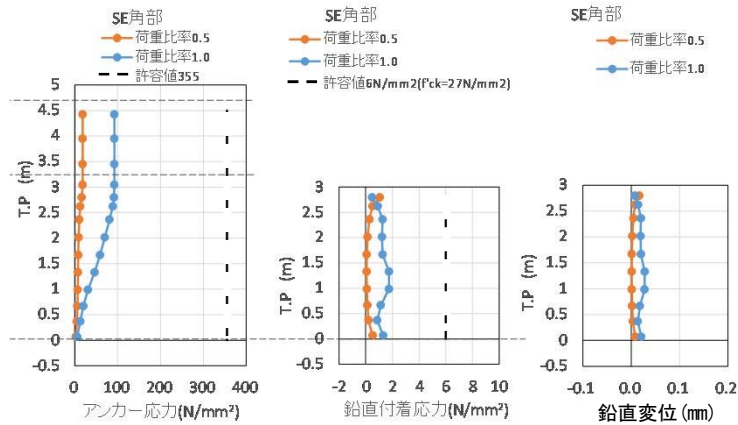
# 3次元解析(COM3)による妥当性評価(5/8)

## 解析結果—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)に対して, アンカー部に発生する応力(引抜き力)が許容限界以下であることを確認した。



最も軸応力が大きいNE角部(No.12)



SE角部(No.1)

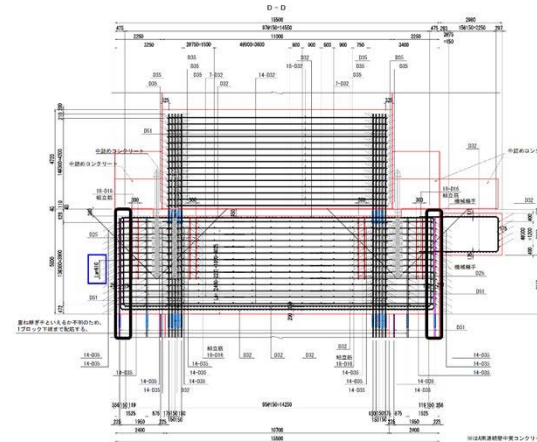
アンカー軸応力の深度分布



# 3次元解析(COM3)による妥当性評価(6/8)

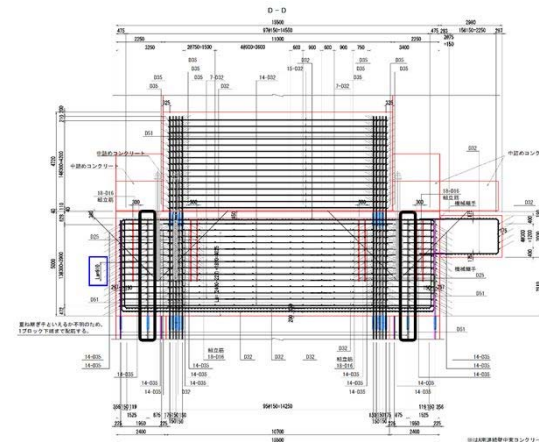
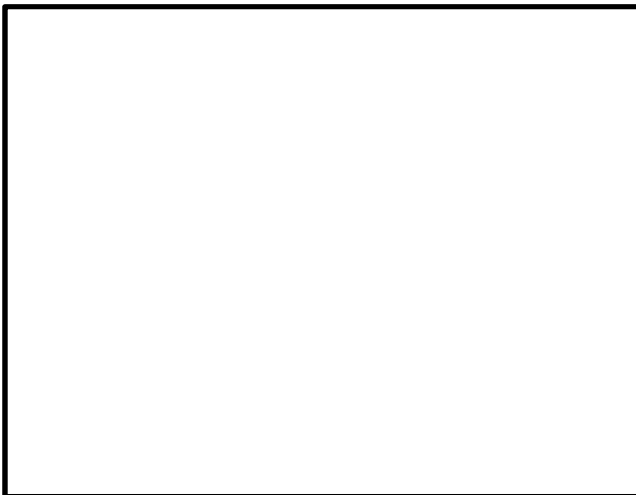
## 解析結果—頂版部の鉄筋

- 設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対して、頂版部の鉄筋に発生する応力(引張応力)が許容限界以下であることを確認した。



要素平均の最大値337  $\mu$  < 短期許容応力度相当の歪み478.5/200=2392  $\mu$

荷重比率1.0における外側鉛直筋のZ方向ひずみコンター



要素平均の最大値771  $\mu$  < 短期許容応力度相当の歪み478.5/200=2392  $\mu$

荷重比率1.0における内部鉛直筋のZ方向ひずみコンター

荷重比率1.0における鉛直筋のZ方向ひずみコンター

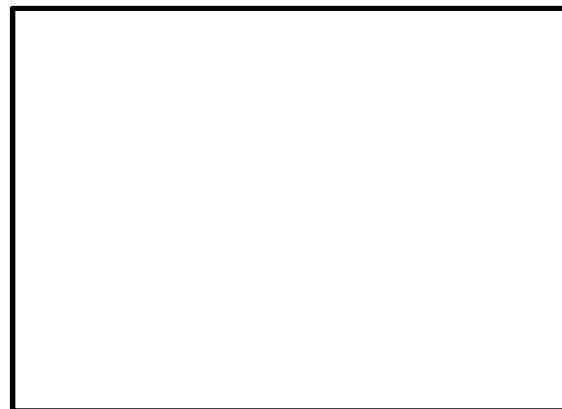
# 3次元解析(COM3)による妥当性評価(7/8)

## 解析結果—頂版部のコンクリート

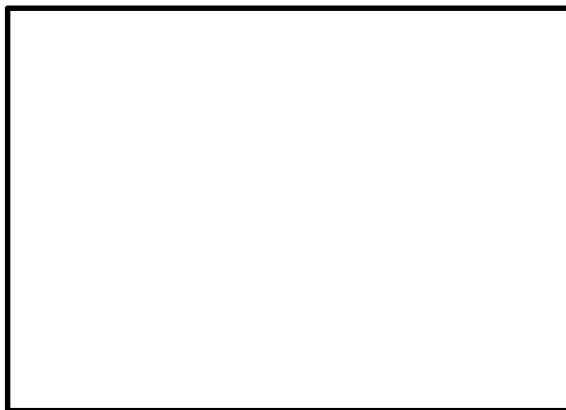
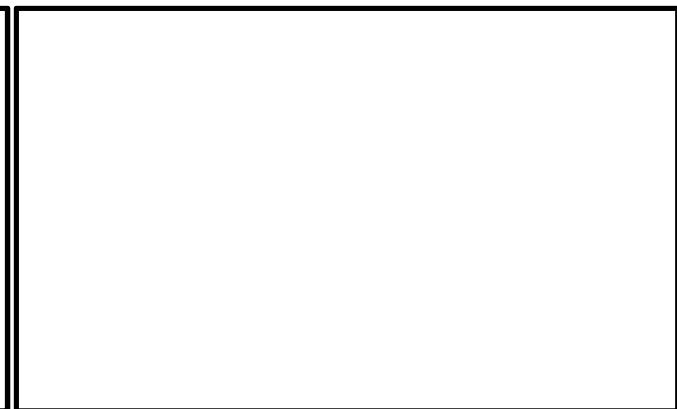
- 設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対して、頂版部のコンクリートに発生する応力(圧縮応力)が許容限界以下であることを確認した。



最大主ひずみコンター



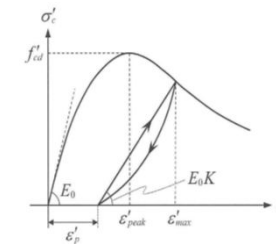
最大主ひずみアイソサーフェイス



最小主ひずみコンター



鉛直(Z)ひずみのコンター



解説 図 2.2.5 コンクリートの簡略化した一軸圧縮応力-ひずみ関係

$$\sigma'_c = E_0 K (\epsilon'_c - \epsilon'_p) \geq 0 \tag{解 2.2.7}$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\epsilon'_{peak}} \tag{解 2.2.8}$$

(コンクリート標準示方書 2017年)

下フランジ下部4要素の最大値平均  $902 \mu < \epsilon'_{peak}/2 = 1000 \mu$

頂版部のコンクリートのひずみ状況

### 3次元解析(COM3)による妥当性評価(8/8)

#### 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)に対して、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 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は、荷重伝達メカニズムと3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。

	部 位	照査項目	許容限界 N/mm <sup>2</sup>	最大発生応力 N/mm <sup>2</sup>	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	150	0.42	OK
		引抜き力	6	4	0.67	OK
		コーンせん断(鉄筋補強あり)	1.815	—	—	—
水平力 (Sx, Sy)	頂版鉄筋 コンクリート	鉄筋応力	478.5	154.2	0.32	OK
		コンクリート応力 (圧縮応力)	32	28.9	0.90	OK
		鉄筋応力, コンクリート応力 (水平力によるせん断応力)	鉄筋: 300 コンクリート: 0.825	—	—	—
		鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	330	追而		
水平回転モーメント (Mz)	中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力	478.5	422.1	0.88	
		コンクリート応力 (圧縮応力)	32	追而		
		鉄筋応力, コンクリート応力 (水平力によるせん断応力)	鉄筋: 330 コンクリート: 0.825	—	—	—
		鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	330	追而		

\* 荷重条件 : T. P. +24 m津波と余震の重畳時