

## 東海第二発電所

# 鋼製防護壁の設計方針に係る補足事項について

[ コメント回答 ]

平成30年3月16日

日本原子力発電株式会社

# 第555回審査会合(平成30年3月8日)



No	コメント回答	説明頁
1	直接定着式アンカーボルトを適用した場合の設計上の留意点について、接合部の構造・荷重の伝達メカニズム及び設計思想を含めて説明すること。	3~5
2	鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)の適用範囲を明確に示し、条件、対象等を満たしているか比較して整理し、適用性について説明を行うこと。	6~8
3	道路橋示方書の適用箇所を明確にすること。	9~10
4	鋼構造物設計基準と道路橋示方書を併用することについて、設計上の問題はないのかを説明すること。	11~13
5	「鋼製防護壁(接合部)の基本検討」のうち「定着部の評価」について資料にて説明すること。	14~22
6, 7	三次元解析COM3の結果の利用のうち、「直接定着式アンカーボルトの応力評価」について、検討内容を明確にすること。 三次元解析COM3の目的、方針、条件設定について説明すること。	23~28
8	設計確認が解析のみで十分であることを説明すること。	29
9	文献を引用した検討内容について、資料にて詳しく説明すること。	30~32
10	文献の引用を適正化すること。	33~34

## 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

直接定着式アンカーボルトを適用した場合の設計上の留意点について、接合部の構造・荷重の伝達メカニズム及び設計思想を含めて説明すること。

### 【回答概要】

#### 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(中実鉄筋コンクリートを含む)は一体構造とする。

#### 荷重の伝達メカニズム

- ・接合部において発生する並進、回転6成分の断面力は、アンカーボルト及び鉄筋コンクリートを通して一体として上部から下部へ伝達する。

#### 設計上の留意点

繰返し襲来する津波に対して弾性範囲内の設計を行う。

- ・直接定着式アンカーボルトは、設計上引抜き力のみを負担させ、弾性範囲内で設計を行う。
- ・津波により作用する水平力、水平回転モーメント(水平トルク)は、通常の橋梁と比較して大きいことから、設計上は中詰めコンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担させ、弾性範囲内で設計を行う。

#### 設計思想

- ・設計荷重に対し、弾性範囲の許容限界以内で受け持てる設計を実施する。
- ・鋼製防護壁本体の死荷重や、津波や地震などの外力により荷重が作用するため、本体荷重を確実に基礎へ伝達させる。
- ・引抜き力に対しては、設計上直接定着式アンカーボルトのみで抵抗可能とする。  
→「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、頂版鉄筋コンクリートのみで抵抗可能とする。  
→「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)」に準拠する。
- ・設計上アンカーボルトが引抜き力のみを負担し、水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力への抵抗は期待しないが、実際においてアンカーボルトは水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力を幾分かを負担するため、一体構造において発生応力等確認することで、それぞれの部位が弾性範囲内に収まっていることを三次元解析(COM3)にて確認する。  
→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、各部材が弾性範囲内であることを確認する。  
→設計荷重を超える荷重に対して、概ね弾性領域において十分な靱性を有する構造であることを確認する。  
→設計を超える荷重に対する荷重伝達メカニズムと三次元挙動の把握する。  
→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。

# コメント回答No.1 (2/3)

## ■ 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(中実鉄筋コンクリートを含む)は一体構造とする。

## ■ 接合部の荷重分担

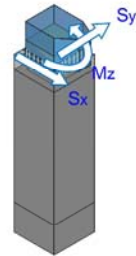
定着式アンカーボルト: 引抜き力をアンカーボルトで伝達する。

中詰め鉄筋コンクリート, 頂版鉄筋コンクリート: 水平力, 水平回転モーメント(水平トルク)を下部工に伝達する。

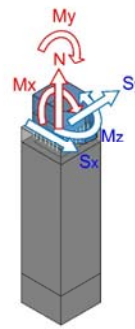
アンカーボルトで抵抗



頂版鉄筋コンクリート, 中詰め鉄筋コンクリートで抵抗

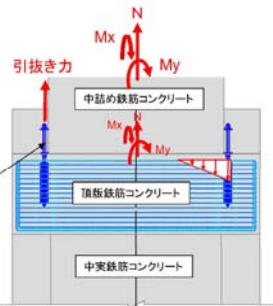


アンカーボルト, 頂版鉄筋コンクリート, 中詰め鉄筋コンクリートで抵抗

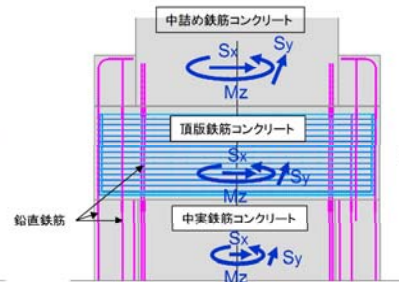


+

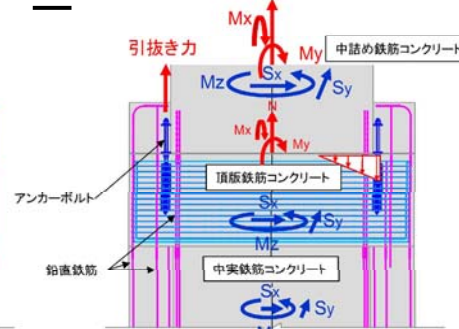
=



引抜き力による荷重の伝達イメージ

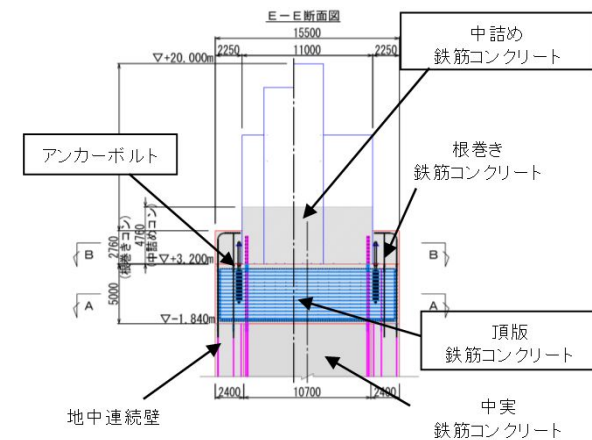


水平力, 水平回転モーメント(水平トルク)による伝達イメージ

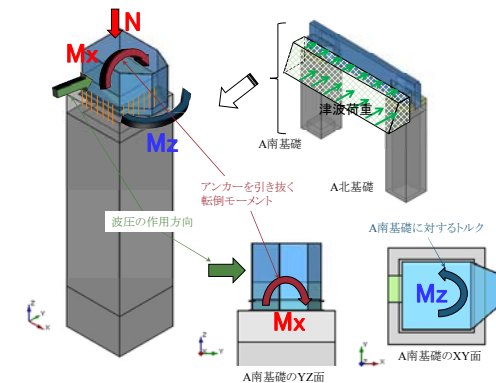


引抜き力及び水平力, 水平回転モーメント(水平トルク)による伝達イメージ

荷重伝達メカニズム



接合部の構造



津波荷重作用時のイメージ図

## 設計上の留意点

- 繰返し襲来する津波に対して弾性範囲内の設計を行う。
- 直接定着式アンカーボルトは、設計上引抜き力のみを負担させ、弾性範囲内で設計を行う。
- 津波により作用する水平力、水平回転モーメント(水平トルク)は、通常の橋梁と比較して大きいことから、設計上中詰めコンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで負担させ、弾性範囲内で設計を行う。



## 設計思想

- 設計荷重に対し、弾性範囲の許容限界以内で受け持てる設計を実施する。
- 鋼製防護壁本体の死荷重や、津波や地震などの外力により荷重が作用するため、本体荷重を確実に基礎へ伝達させる。
- **引抜き力に対しては、設計上直接定着式アンカーボルトのみで抵抗可能とする。**  
→「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、頂版鉄筋コンクリートのみで抵抗可能とする。**  
→「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)」に準拠する。
- 設計上アンカーボルトが引抜き力のみを負担し、水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力への抵抗は期待しないが、実際においてアンカーボルトは水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力を幾分かを負担するため、一体構造において発生応力等確認することで、それぞれの部位が弾性範囲内に収まっていることを三次元解析(COM3)にて確認する。  
→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、各部材が弾性範囲内であることを確認する。  
→設計荷重を超える荷重に対して、概ね弾性領域において十分な靱性を有する構造であることを確認する。  
→設計を超える荷重に対する荷重伝達メカニズムと三次元挙動の把握する。  
→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。

対象部材及び適用基準

対象部位		荷重条件	適用基準
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)* <sup>1</sup>
	中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリート	水平力、水平回転モーメント(水平トルク)	・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編)* <sup>2</sup> <4.4 ねじりモーメント作用する部材の照査> ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]* <sup>3</sup>

- \* 1: 名古屋高速道路公社
- \* 2: 日本道路協会
- \* 3: 土木学会

### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)の適用範囲を明確に示し, 条件, 対象等を満たしているか比較して整理し, 適用性について説明を行うこと。

### 【回答概要】

鋼製防護壁には津波荷重が載荷され, 一般橋梁に比べ比較的大きな水平回転モーメント(水平トルク)が接合部に発生する。そのため, 方針として設計上水平回転モーメント(水平トルク)は鉄筋コンクリートで負担させ, 引抜き力はアンカーボルトで負担させる。

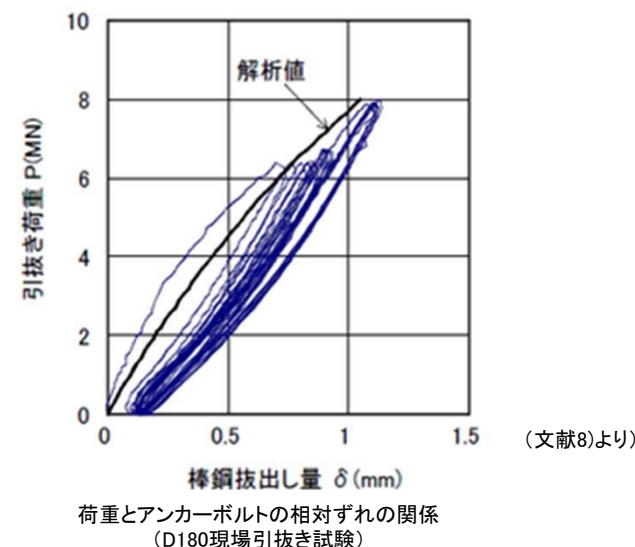
直接定着式アンカーボルトについては, 「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編 名古屋高速道路公社」に準拠して設計を行う。

「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社)の該当項目と適用範囲をP.8に整理した。

- 鋼製防護壁には津波荷重が载荷され、一般橋梁に比べ比較的大きな水平回転モーメント(水平トルク)が接合部に発生する。そのため、設計上水平回転モーメント(水平トルク)は鉄筋コンクリートで負担させ、引抜き力はアンカーボルトで負担させる。
- 直接定着式アンカーボルトについては、「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編 名古屋高速道路公社」に準拠して設計を行う。
- なお、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8)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
  - ・アンカーボルト・・・鉛直軸力と堤軸・堤軸直交方向の曲げモーメントによる引抜き力  
⇒「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社)

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8)
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





## ■ 「鋼構造物設計基準 Ⅱ 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社)の適用範囲

- 鋼製防護壁では、接合部のうち、直接定着式アンカーボルトの引抜き力の設計において「鋼構造物設計基準 Ⅱ 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社)を適用する。設計上、引抜き力はアンカーボルトのみで負担し、水平力、水平回転モーメント(水平トルク)は鉄筋コンクリートのみで負担するものとする。以下に「鋼構造物設計基準 Ⅱ 鋼製橋脚編」(名古屋高速道路公社)と鋼製防護壁への適用について比較を行う。

分類	「鋼構造物設計基準」の該当項目		「鋼構造物設計基準」の適用範囲	鋼製防護壁への適用
設計思想	1.1	適用の範囲	鋼製の橋脚およびそのアンカー部の設計	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、設計上アンカーボルトは引抜き力を負担し、水平力、水平回転モーメント(水平トルク)は鉄筋コンクリート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 D180	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	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強度 $\sigma_{ck}=21\sim 27\text{N/mm}^2$	中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリートは水平力、水平回転モーメント(水平トルク)を負担することから、設計基準強度50N/mm <sup>2</sup> のコンクリートを使用して設計するが、アンカー部の設計においては基準に記載の設計基準強度27N/mm <sup>2</sup> として保守的に設計する。いずれも弾性範囲内の設計とする。
構造設計	1.3	アンカー部の耐震設計	常時および地震時	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と同様に短期間作用する荷重であるため、地震時と同様な弾性範囲内の設計を行う。
	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として算定し弾性設計する。せん断力に対しては中詰め・頂版の鉄筋コンクリートで負担する設計とする。
許容値	2.14	荷重の組合せ許容応力度の割増し	短期許容応力度	基準に基づいて弾性範囲内で設定する。
	3.3	許容応力度	SM520B相当 $\sigma_s=210\text{N/mm}^2$ $\tau_s=80\text{N/mm}^2$	適用するアンカーは、『直接定着方式/SM520B相当』である。使用予定のコンクリートの設計基準強度は50N/mm <sup>2</sup> であるが、基準に記載の設計基準強度27N/mm <sup>2</sup> で設計する。
	7.2.2	照査応力度	定着式アンカーボルトの付着 $2.0\tau_a$	アンカーボルトならびにコンクリートの照査応力度は基準に基づいて設定する。



### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

道路橋示方書の適用箇所を明確にすること。

### 【回答概要】

- 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。
- 土木構造物の設計における基準類は以下の順に用いる。
  - ① コンクリート標準示方書に準拠する。
  - ② コンクリート標準示方書に該当項目がない場合は、道路橋示方書に準拠する。
  - ③ 道路橋示方書に該当項目がない場合は、その他の基準類を検討し適切に設定する。
- 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」に準拠して設計を行う。
- 水平回転モーメント(水平トルク)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。

- 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。
- 土木構造物の設計における基準類は以下の順に用いる。
  - ① コンクリート標準示方書に準拠する。
  - ② コンクリート標準示方書に該当項目がない場合は、道路橋示方書に準拠する。
  - ③ 道路橋示方書に該当項目がない場合は、その他の基準類を検討し適切に設定する。
- 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」に準拠して設計を行う。
- 水平回転モーメント(水平トルク)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	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の設計に準拠する。

「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(水平トルク)によるせん断力の設計に準拠する。

### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

鋼構造物設計基準と道路橋示方書を併用することについて、設計上の問題はないのかを説明すること。

### 【回答概要】

- 道路橋示方書のレベル2地震動では塑性領域までの設計を実施するが、鋼構造物設計基準では弾性領域での設計を実施するため、両者を組合せることはできないが、鋼製防護壁接続部の設計はすべて弾性範囲内に収める設計であることから、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。更に、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、各部材が弾性範囲内であることを確認する。

- 道路橋示方書のレベル2地震動では塑性領域までの設計を実施するが、鋼構造物設計基準では弾性領域での設計を実施するため、両者を組合せることはできないが、鋼製防護壁接続部の設計はすべて弾性範囲内に収める設計であることから、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。
- 鋼構造物設計基準に準拠する直接定着式アンカーにおいては、コンクリート強度 (27N/mm<sup>2</sup>) の設計を実施する。
- 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。更に、三次元解析 (COM 3) 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、各部材が弾性範囲内であることを確認する。

### 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抵抗可能とする。
- ・水平力及び水平回転モーメント (水平トルク) に対しては、設計上中詰め鉄筋及び頂版鉄筋コンクリートのみで抵抗可能とする。



### 各荷重分担に応じた技術指針類の準拠

- ・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))
- ・水平力及び水平回転モーメント (水平トルク) 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 (道路橋示方書 (日本道路協会))

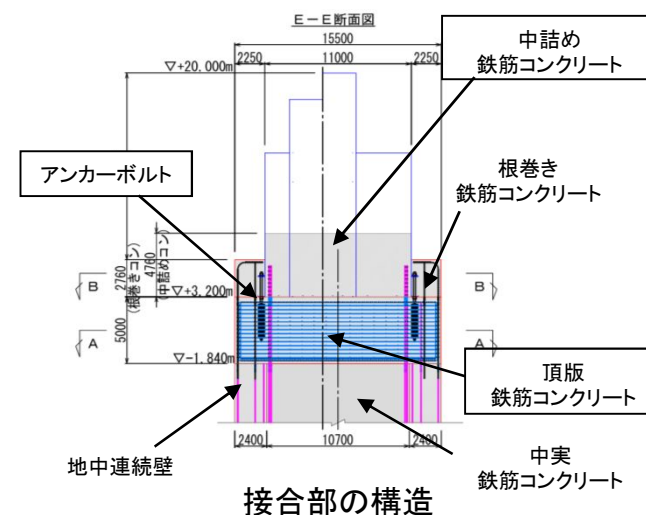
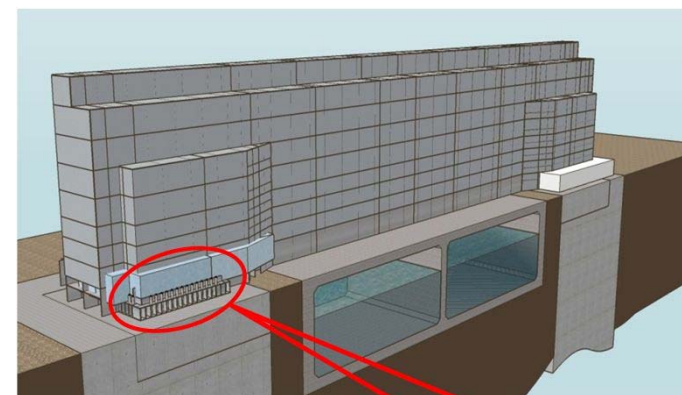


### 技術指針の併用

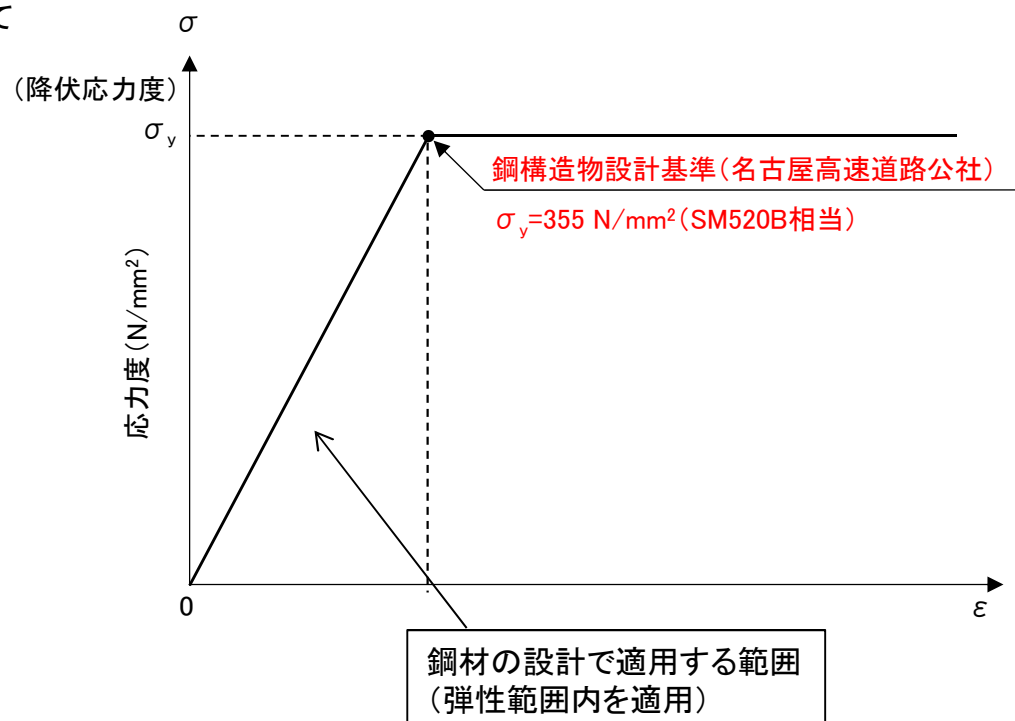
- ・鋼構造物設計基準 (名古屋高速道路公社) と道路橋示方書 (日本道路協会) は両者とも弾性領域での設計に適用することから、両基準を併用することに問題はない。



- ・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、それらが一体となった構造の三次元解析 (COM3) により、各部材の挙動が弾性範囲内についても確認する。



## ○鋼材について



## ○コンクリートについて

接合部におけるコンクリート設計強度基準は $50\text{N/mm}^2$ 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の照査には、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 $27\text{N/mm}^2$ を適用する。

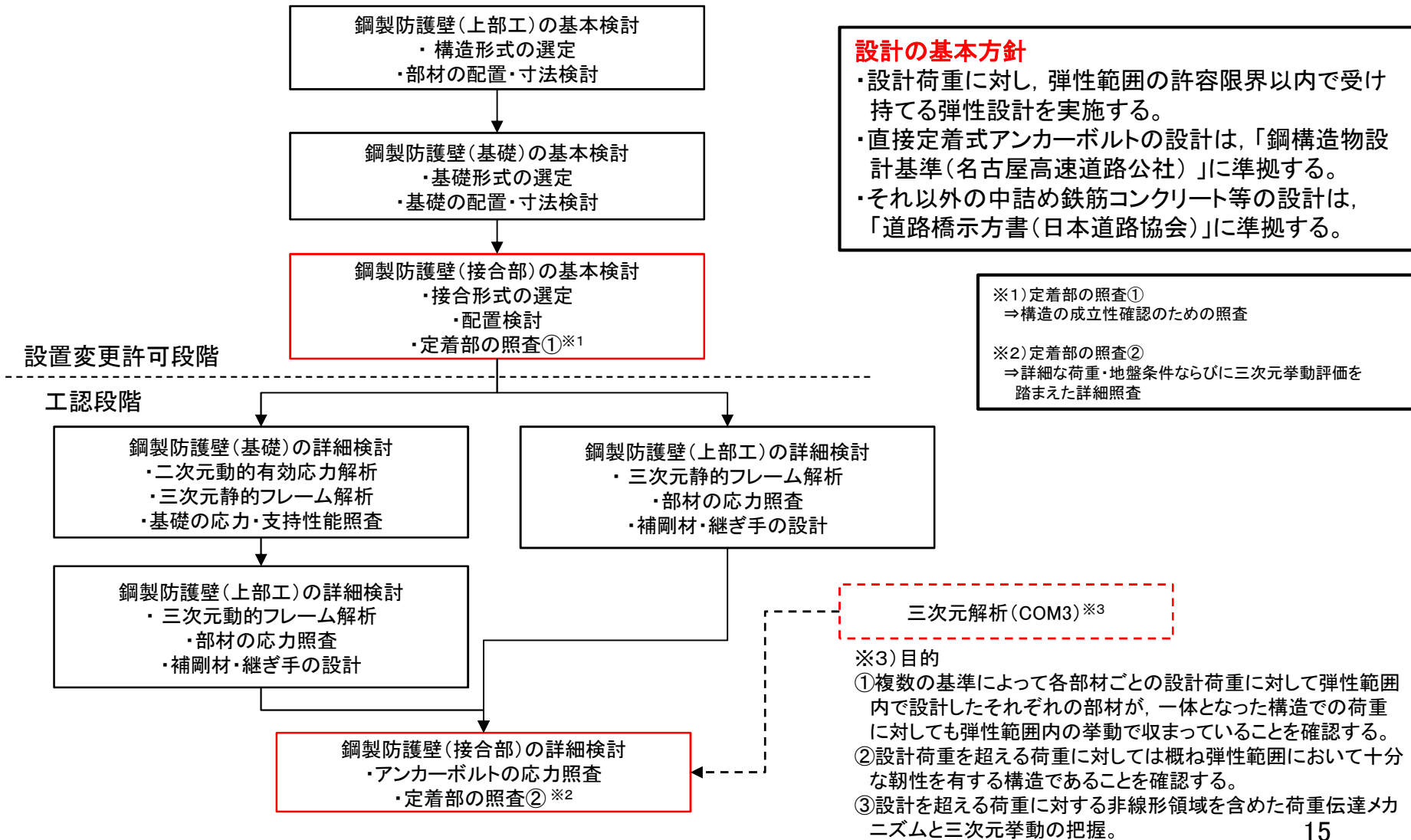
### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

「鋼製防護壁(接合部)の基本検討」のうち「定着部の評価」について資料にて説明すること。

### 【回答概要】

設置変更許可段階における定着部の照査は、基準類に準拠し設計を行い、構造の成立性を確認する。  
工認段階においては、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、各部材が弾性範囲内であることを確認する。

- 設置変更許可段階における定着部の照査は、基準類に準拠する設計を行い、構造の成立性を確認する。
- 工認段階における定着部については、詳細な荷重・地盤条件において基準類に準拠する照査を行い、三次元解析(COM3)により接合部が一体化した挙動を考慮する場合に精緻な解析を行い、各部材が弾性範囲内であることを確認する。



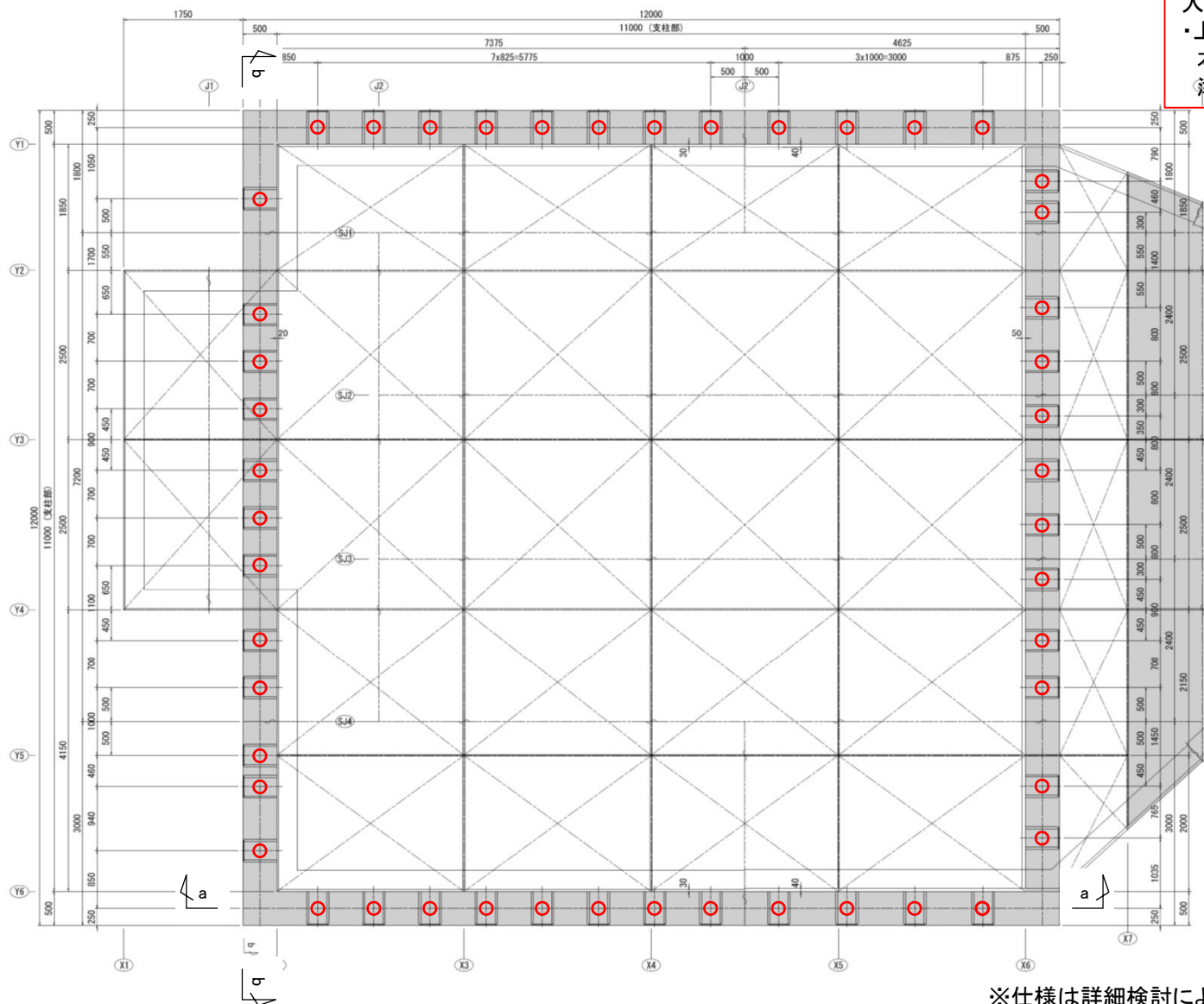


# コメント回答No.5 (3/9)

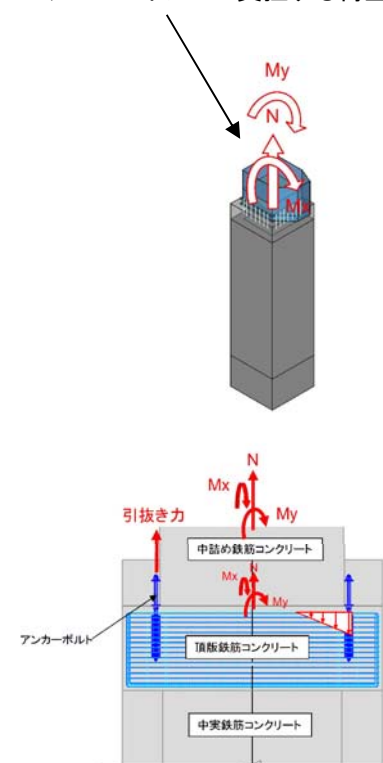


## アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計)

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



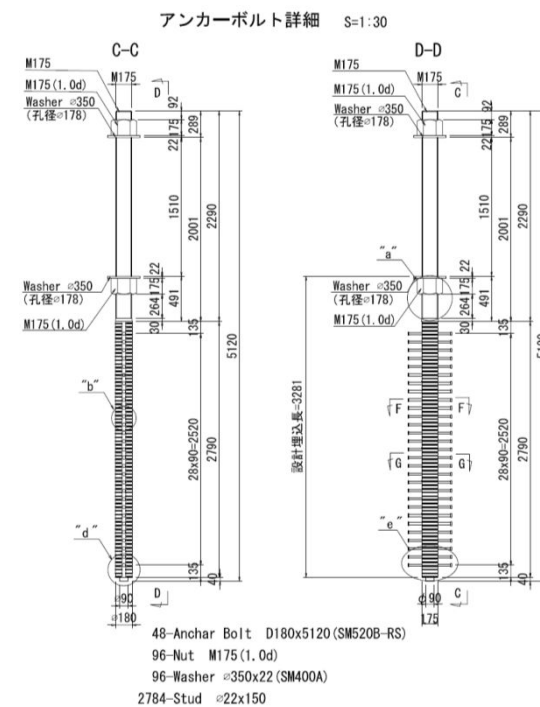
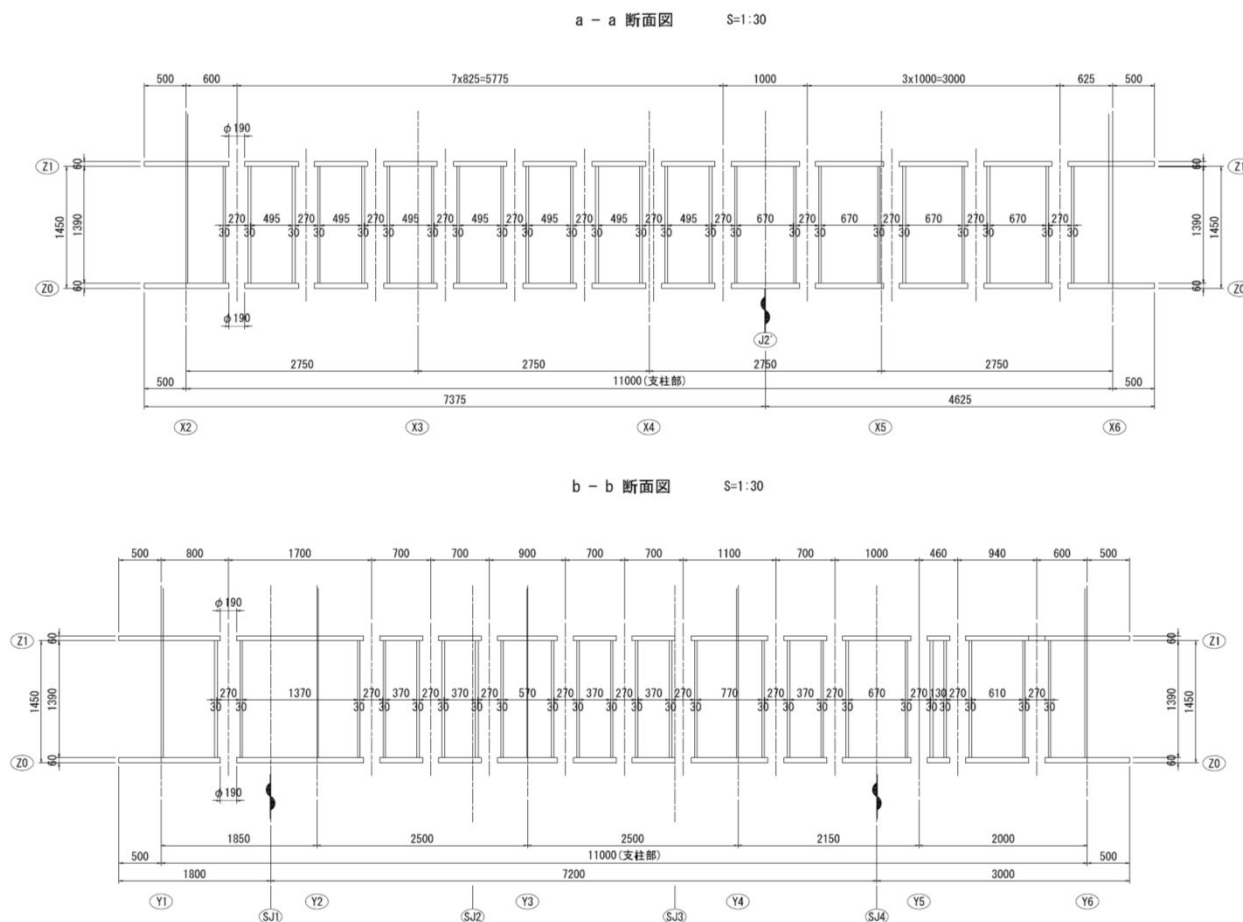
○ : アンカーボルト

※仕様は詳細検討によって変更になることがある。

# コメント回答No.5(4/9)



## 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。

# コメント回答No.5 (5/9)



## 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 (m<sup>2</sup>)</td><td>144.0000</td></tr> <tr><td>A' (m<sup>2</sup>)</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 (m<sup>4</sup>)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>Iy (m<sup>4</sup>)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>Wu (m<sup>3</sup>)</td><td>288.00000</td></tr> <tr><td>Wl (m<sup>3</sup>)</td><td>-288.00000</td></tr> <tr><td>J (m<sup>4</sup>)</td><td>2920.32000</td></tr> <tr><td>Ao (m<sup>2</sup>/m)</td><td>48.0000</td></tr> <tr><td>Ai (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> )	σ <sub>c</sub> σ <sub>ca</sub>	7.656 < 18.000																							
	σ <sub>s</sub> σ <sub>sa</sub>	308.457 < 346.000																							
	σ <sub>s'</sub> σ <sub>sa</sub>	-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																									

σ<sub>c</sub> : コンクリートの圧縮応力  
 σ<sub>s</sub> : アンカーボルトの引張応力  
 σ<sub>s'</sub> : アンカーボルトの圧縮応力

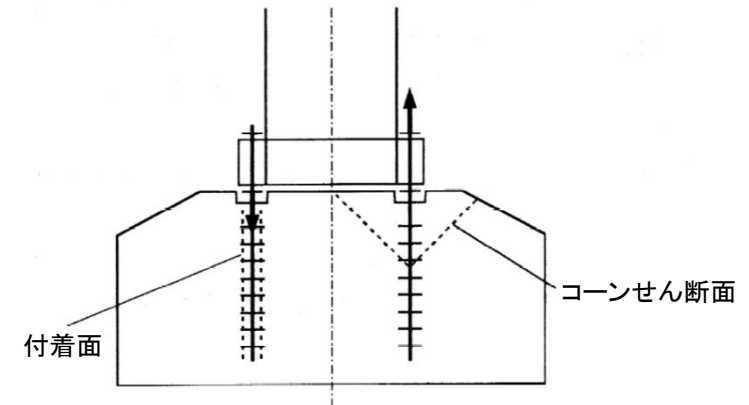
# コメント回答No.5(6/9)



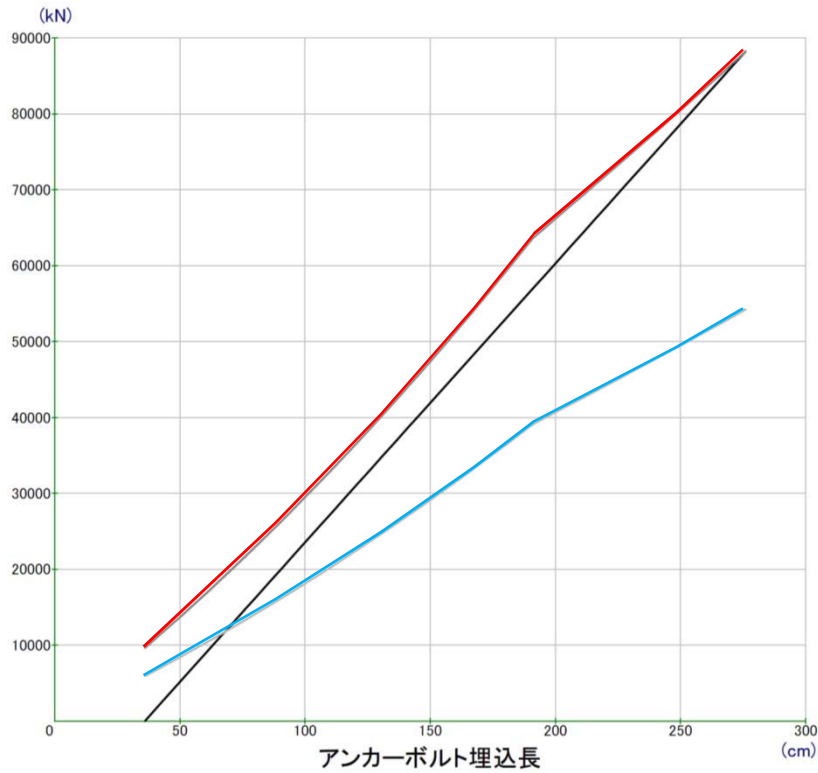
## アンカーボルトの定着長に対する検討結果(弾性設計)

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。

$$\begin{aligned} Leq &= ( \sigma_{sa} \cdot A_s ) / ( \pi \cdot d2 \cdot \tau_a ) \\ &= ( 355 \times 22645.698 ) / ( \pi \times 180.0 \times 6 ) \\ &= 2369.4 \\ \therefore Leq &= 236.9 \text{ (cm)} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} Led &= Leq + U_o \\ &= 272.9 \text{ (cm)} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} U_o &= 2 \times d2 \\ &= 36.0 \text{ (cm)} \end{aligned}$$


## 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)

### 補強鉄筋の計算

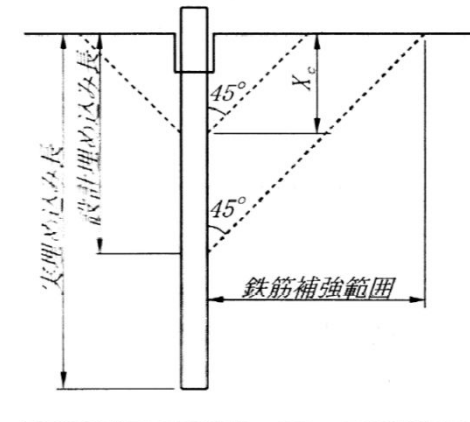
◆強度の不足分(面外)

$$\begin{aligned} \sigma_{ck} &= 27 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{sy} &= 345 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ [SD345]} \\ \sigma_{coa} &= 1.342 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{coa1} &= 0.825 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ A_c(X_c) &= 65749379 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= \sigma_{coa} - 1/2 \times \sigma_{coa1} \\ &= 0.929 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

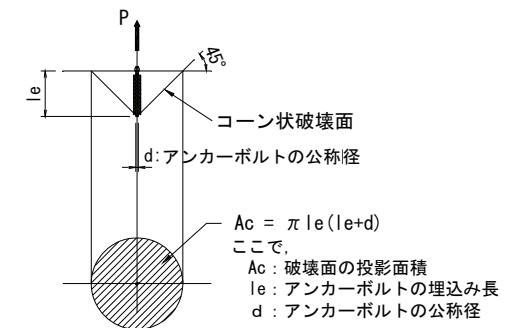
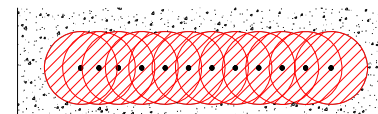
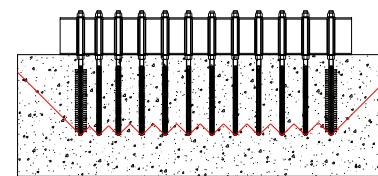
◆必要鉄筋量

$$\begin{aligned} A_s &= 1.15 \times \Delta\sigma \times A_c / \sigma_{sy} \\ &= 203679.5 \text{ (mm}^2\text{)} \\ A_{s, req} &= A_s / A_c(X_c) \\ &= 3097.8 \text{ (mm}^2\text{/m}^2\text{)} \end{aligned}$$



フーチング下面

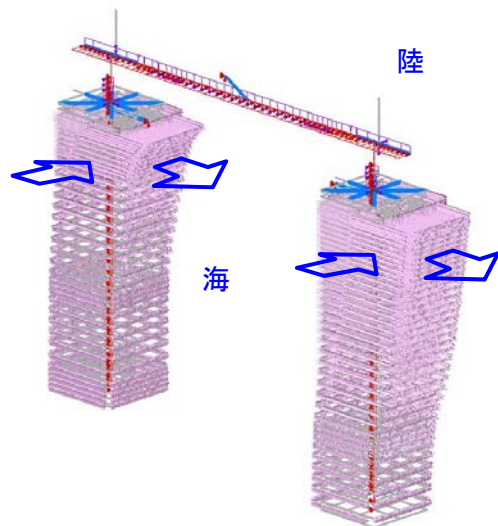
鉄筋補強範囲



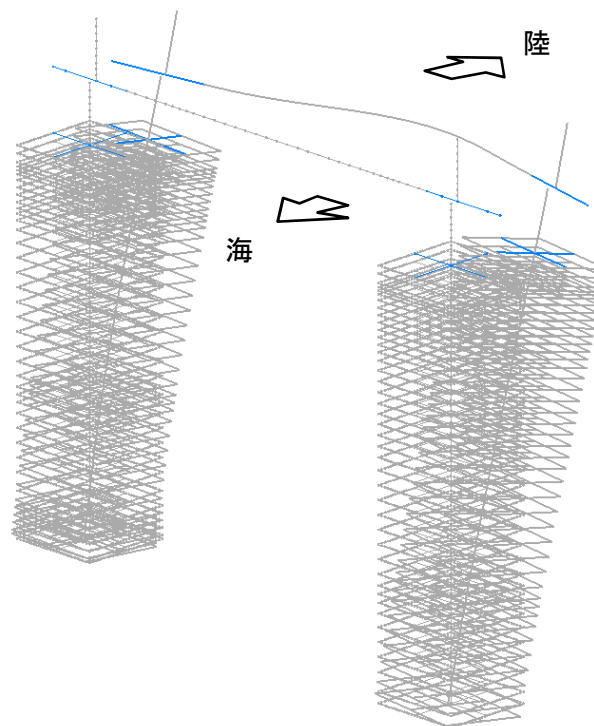
複数のアンカーボルトに対するコーンせん断面の考え方

## 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)

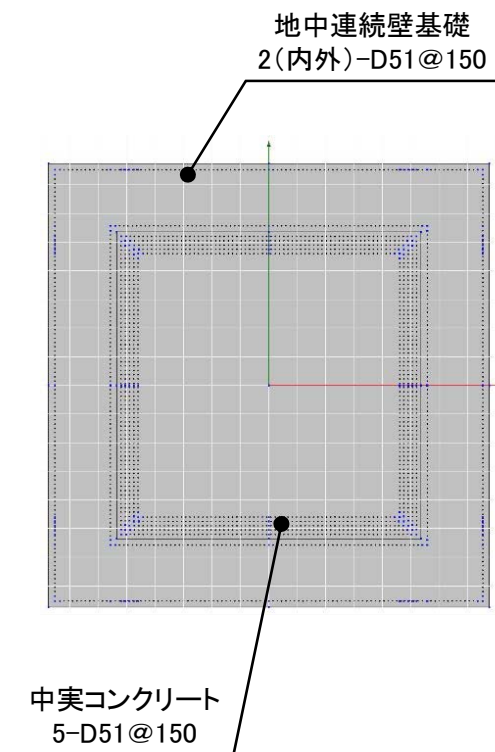
余震+津波時  
 照査値(鉄筋) 南基礎:0.96, 北基礎:0.82  
 ・中実コン鉄筋5-D51@150  
 ・地中連続壁基礎2-D51@150  
 (水平2方向地震力の影響を荷重で考慮)



荷重図



変形図



配筋の概要



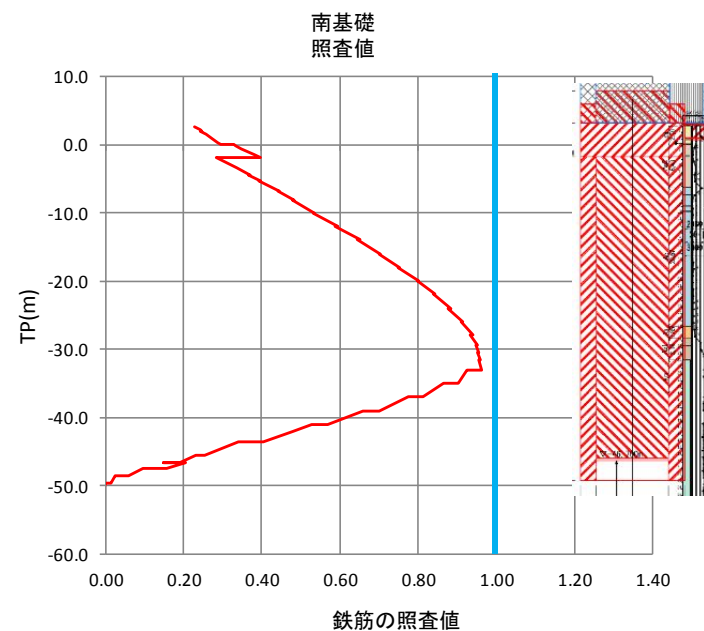
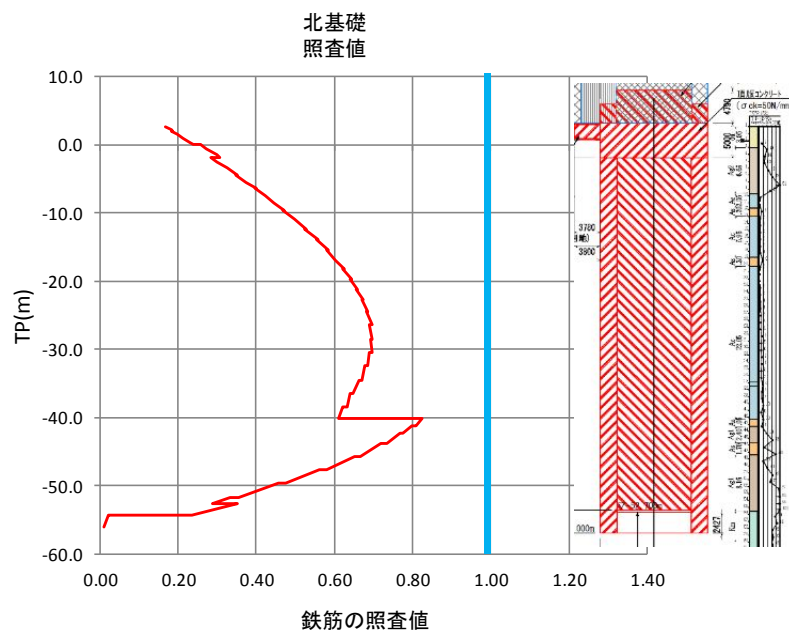
## 基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果(弾性設計)

北基礎 照査値(鉄筋)=0.82 ... 判定OK  
余震+津波時

- ・中実コン鉄筋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

- ・中実コン鉄筋5-D51@150
- ・地中連続壁基礎2-D51@150





## 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

- ・三次元解析COM3の結果の利用のうち、「直接定着式アンカーボルトの応力評価」について、検討内容を明確にすること。
- ・三次元解析COM3の目的, 方針, 条件設定について説明すること。

## 【回答概要】

### 目的

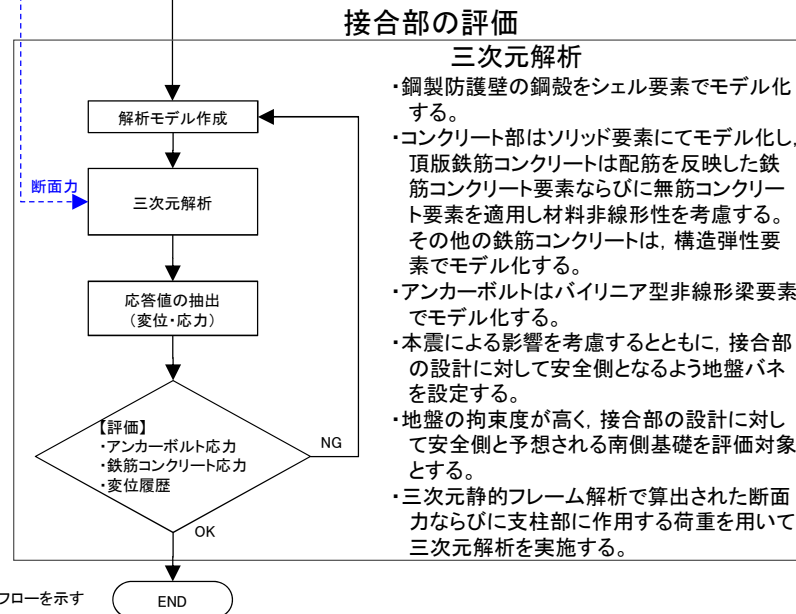
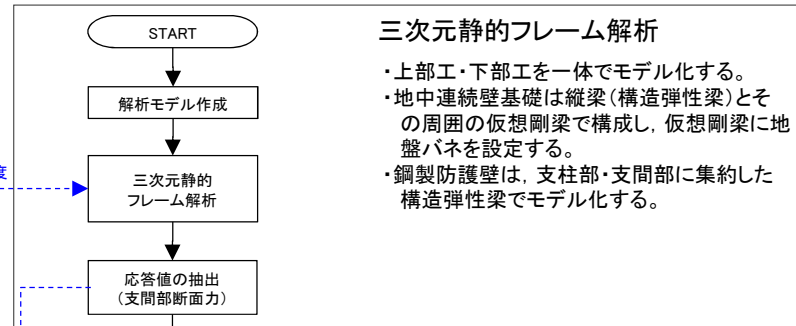
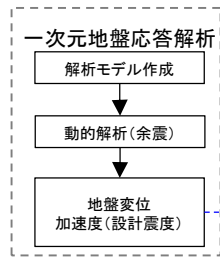
- ①複数の基準によって各部材ごとの設計荷重に対して弾性範囲内で設計したそれぞれの部材が、一体となった構造での荷重に対しても弾性範囲内の挙動で収まっていることを確認する。
- ②設計荷重を超える荷重に対して概ね弾性範囲において十分な靱性を有する構造であることを確認する。
- ③設計を超える荷重に対する非線形領域を含めた荷重伝達メカニズムと三次元挙動の把握。

### 方針

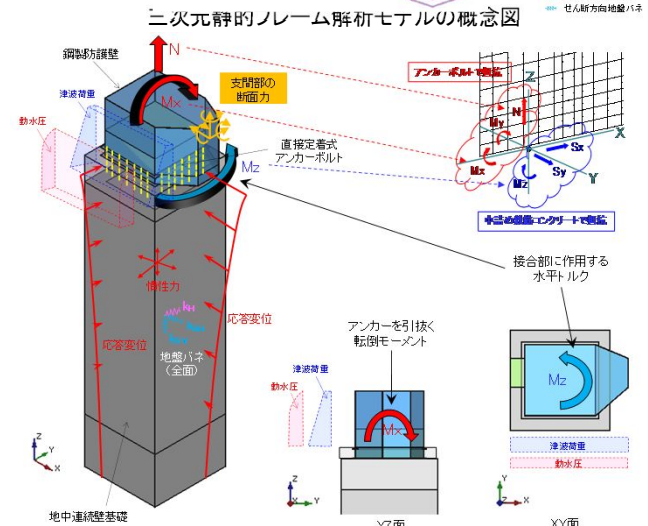
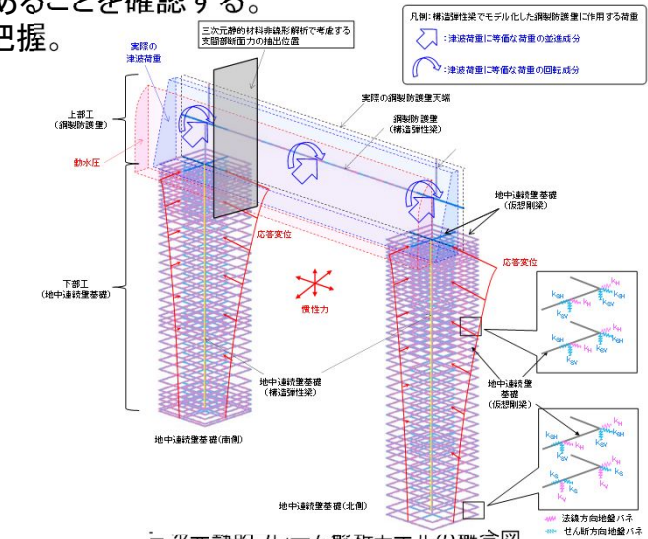
上記目的を達成するため、弾性範囲内の三次元的挙動を精度よく再現できるCOM3を用いる。

## 検討目的

- ①複数の基準によって各部材ごとの設計荷重に対して弾性範囲内で設計したそれぞれの部材が、一体となった構造での荷重に対しても弾性範囲内の挙動で収まっていることを確認する。
- ②設計荷重を超える荷重に対しては概ね弾性範囲において十分な靱性を有する構造であることを確認する。
- ③設計を超える荷重に対する非線形領域を含めた荷重伝達メカニズムと三次元挙動の把握。



----- : 解析データの受渡しフローを示す



三次元解析モデルの概念図

## ■ 三次元静的フレーム解析

### 解析の目的

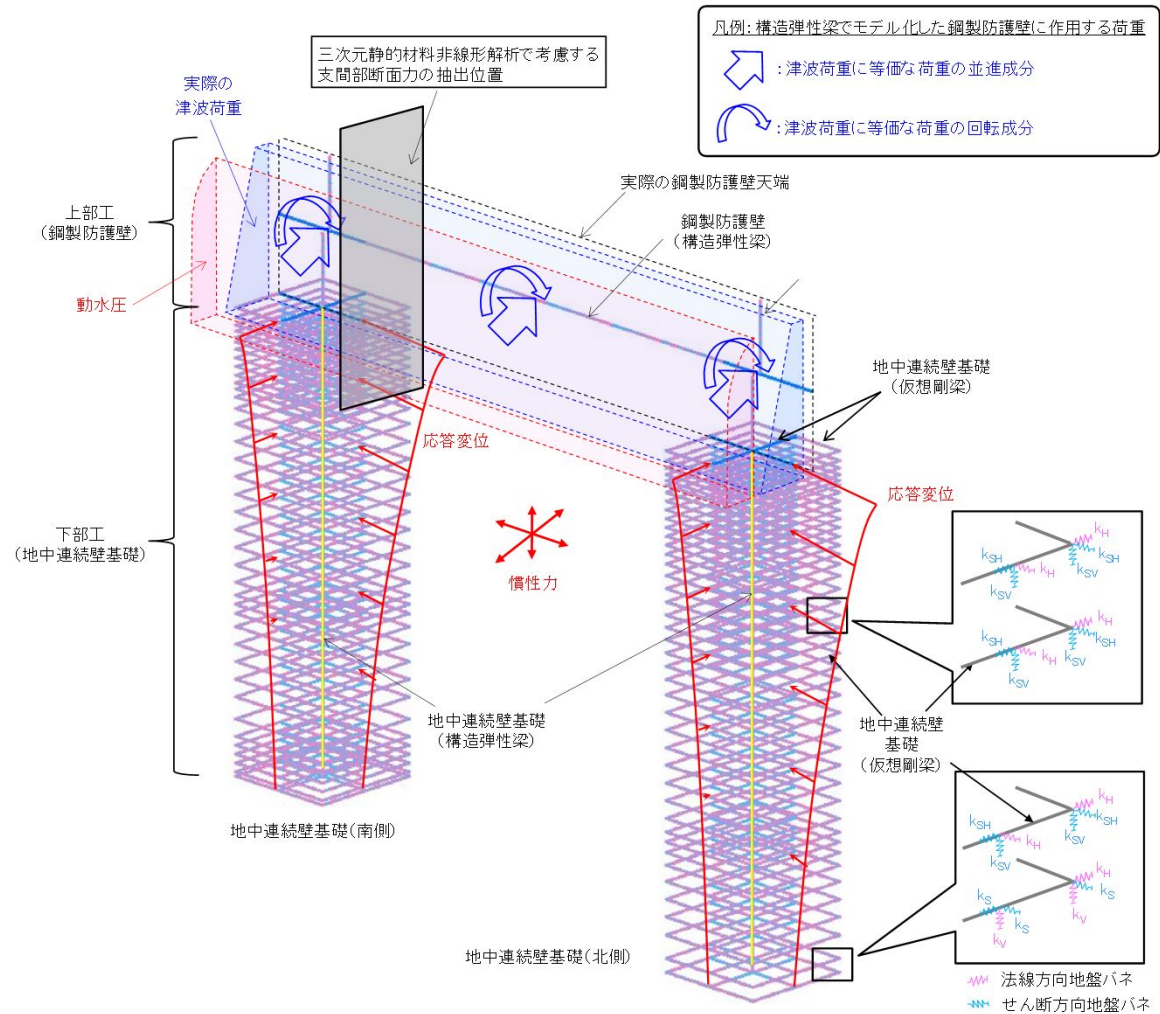
- ・津波荷重や余震影響を含む鋼製防護壁支間部の断面力を算定する。

### 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安全側となるよう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

## 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。

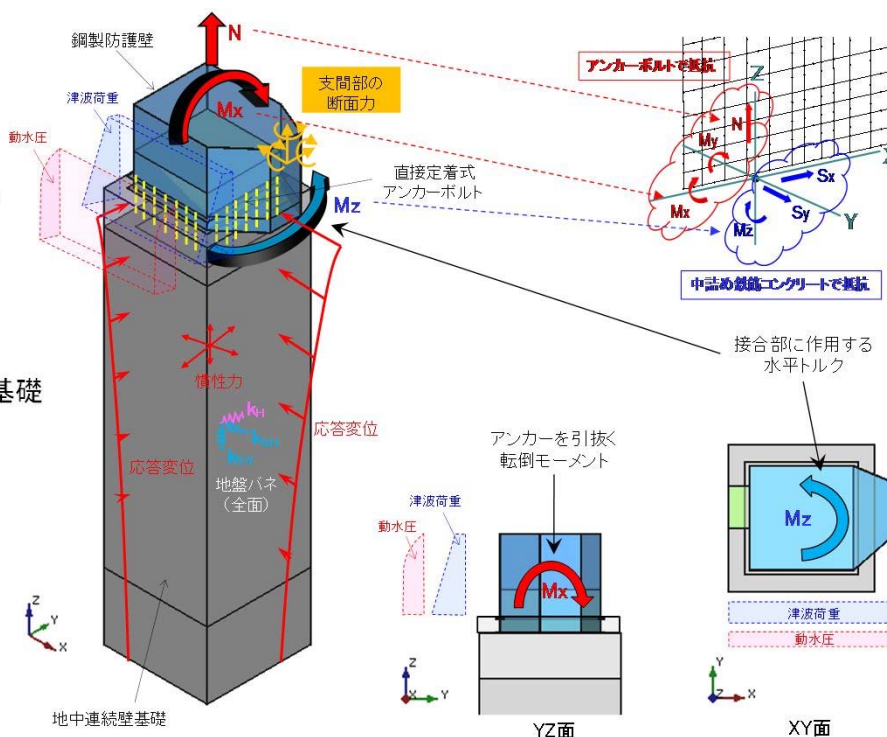
・コンクリート部はソリッド要素にてモデル化し、頂版鉄筋コンクリートは配筋を反映した鉄筋コンクリート要素ならびに無筋コンクリート要素を適用し材料非線形性を考慮する。その他の鉄筋コンクリートは、構造弾性要素でモデル化する。

・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安全側となる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。

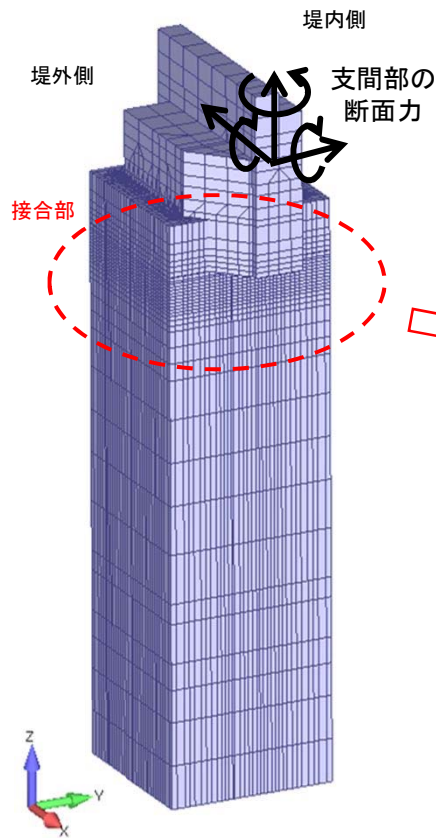


三次元解析モデルの概念図

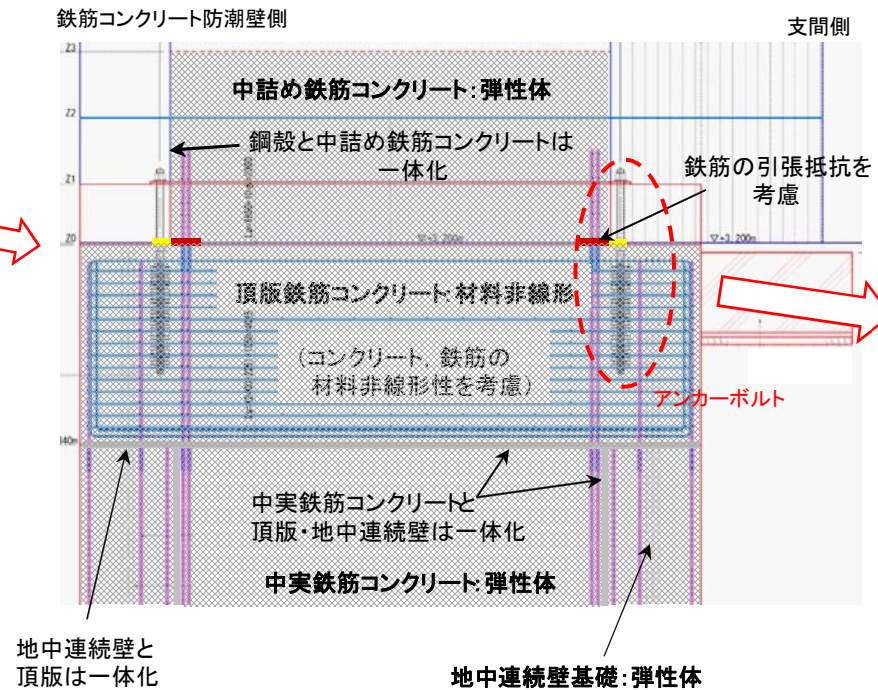


## ■接合部のモデル化方針

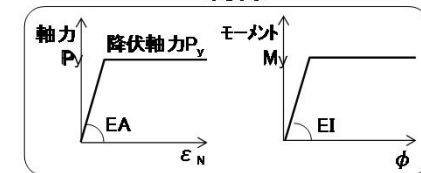
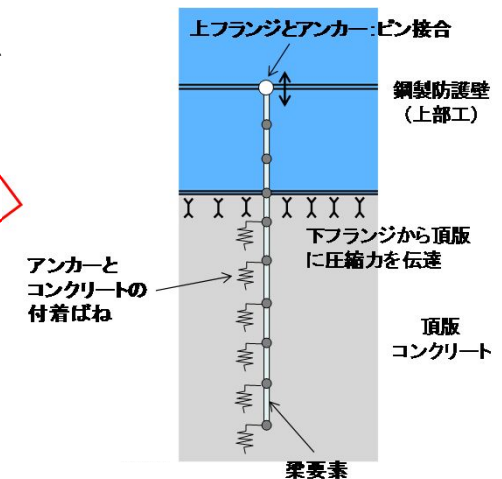
解析手法	三次元解析
プログラム	COM3
対象荷重	余震+津波時
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接合部の設計の妥当性確認</li> <li>・鉄筋コンクリートの材料特性を反映した三次元挙動評価</li> </ul>
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直接定着式アンカーボルト及び頂版鉄筋コンクリート(接合部)の評価</li> </ul>



全体モデル  
(イメージ)

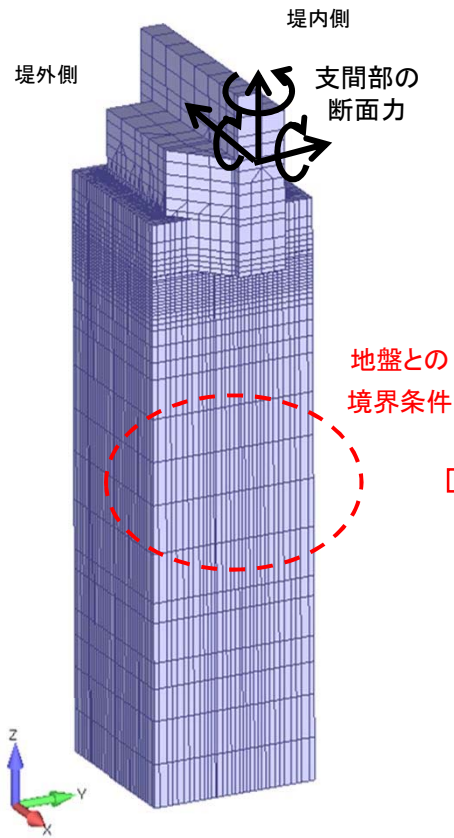


接合部のモデル化

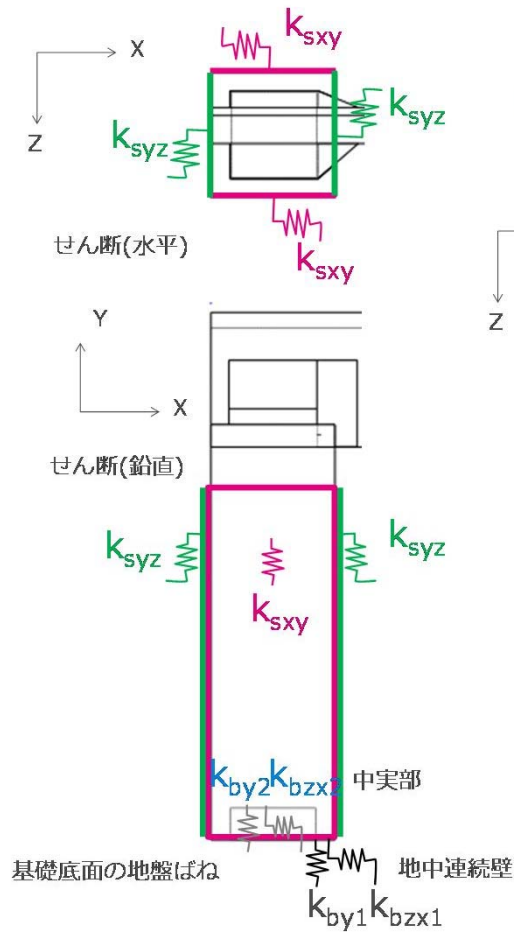


アンカーボルトのモデル化

■接合部のモデル化方針

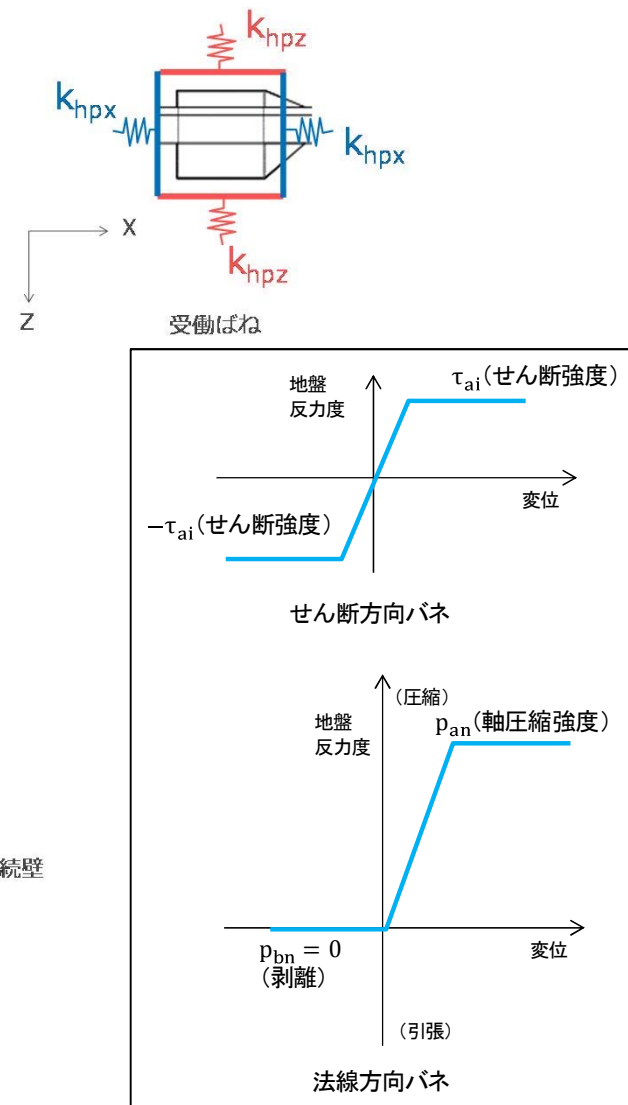


全体モデル  
(イメージ)



※地盤ばね定数ならびに上限値は、  
次元地盤応答解析により設定する。

地盤のモデル化



※次元地盤応答解析により設定する。

### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

設計確認が解析のみで十分であることを説明すること。

### 【回答概要】

アンカーボルトを含む各部材は、弾性範囲内で設計するが、これらの部材が一体挙動する状態を三次元解析(COM3)で再現し、弾性範囲内での挙動であることを確認する。三次元解析(COM3)は、弾性範囲内であれば実験データを十分に再現できることが文献で示されているため、改めての実験は必要でないと思われる。

なお、実験ではわかりづらい応力の分布や荷重分担の状況が解析では明確になる。大規模な構造となる土木構造物の場合は実験が困難となる場合があるが、解析は数値等の条件の変更が容易であり、様々な状況が確認できる。



### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

・文献を引用した検討内容について、資料にて詳しく説明すること。

### 【回答概要】

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)によって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、信頼性があると判断できる。

三次元解析ソフトの計算機プログラム(解析コードCOM3)の検証に引用した文献の検討内容をP.31～32に記載した。

## ■三次元解析COM3のモデルの妥当性を示す文献

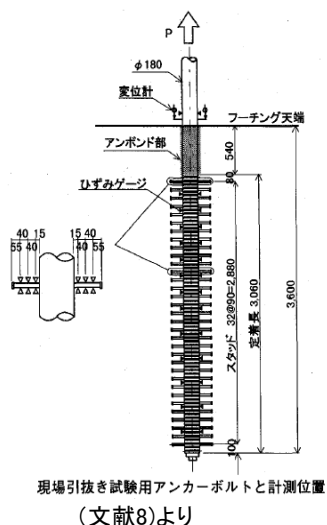
鉄筋コンクリートの材料非線形を考慮した精緻な三次元解析(COM3)によって設計の妥当性を確認するが、弾性範囲内の設計であり、『COM3』の弾性範囲内での妥当性は実験等との比較検討で確認している。

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。

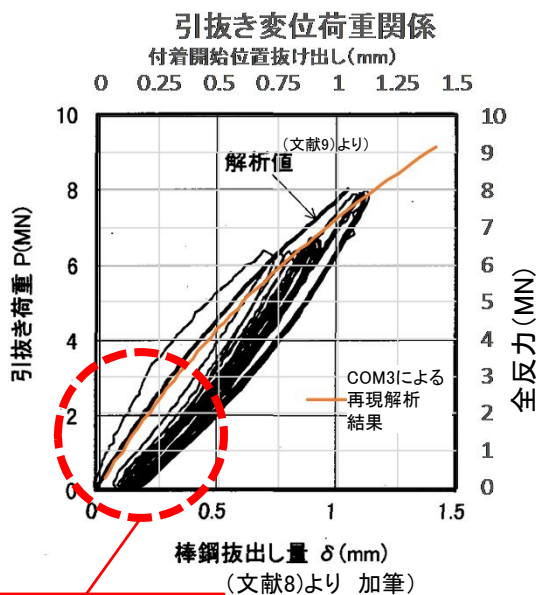
### (検証1)直接定着式アンカーボルトの引抜き試験の再現シミュレーション

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>8)</sup>の再現解析を実施した。

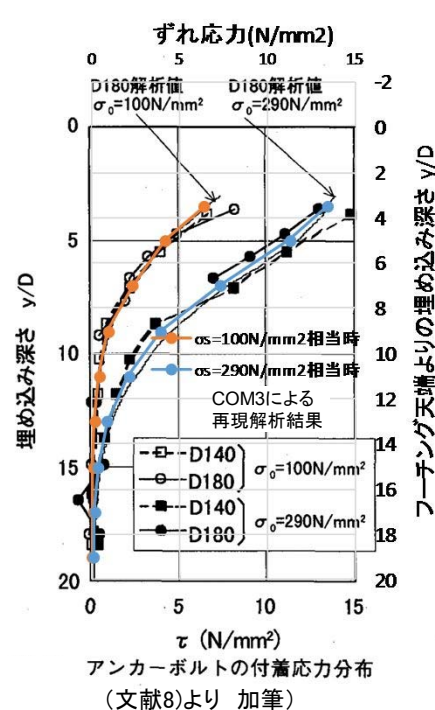
研究で実施されている供試体の引抜き試験を再現した解析の結果は、試験結果とよい一致を示しており、荷重変位関係における低歪みの弾性範囲内での再現性は高いことを確認した。



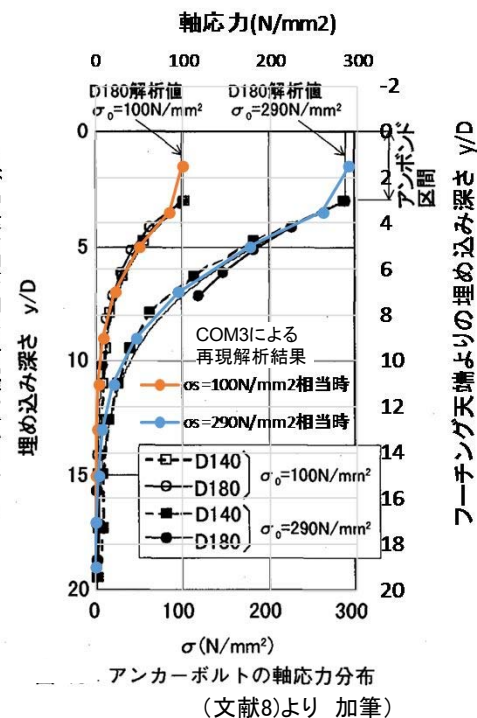
引抜き試験概要



引抜き試験の再現解析結果 (変位-荷重関係)

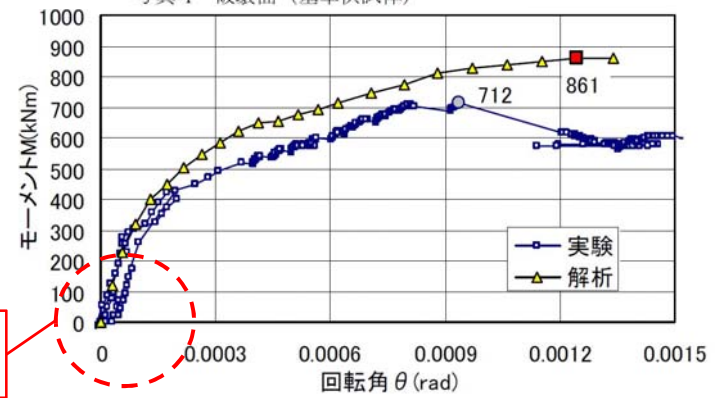
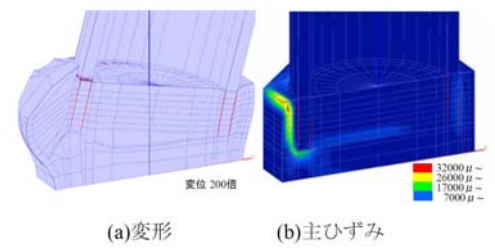
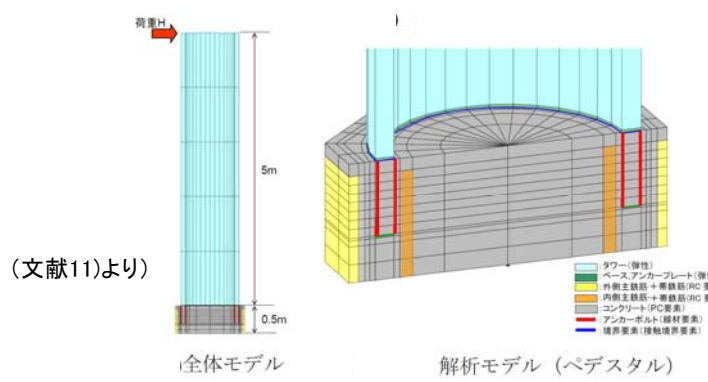
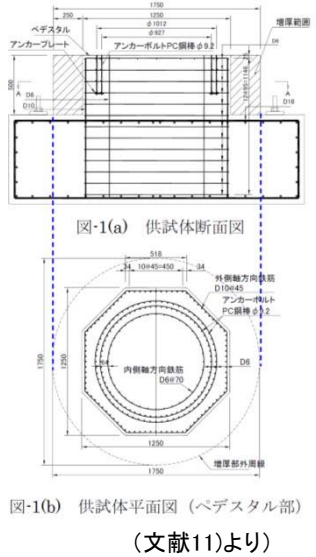
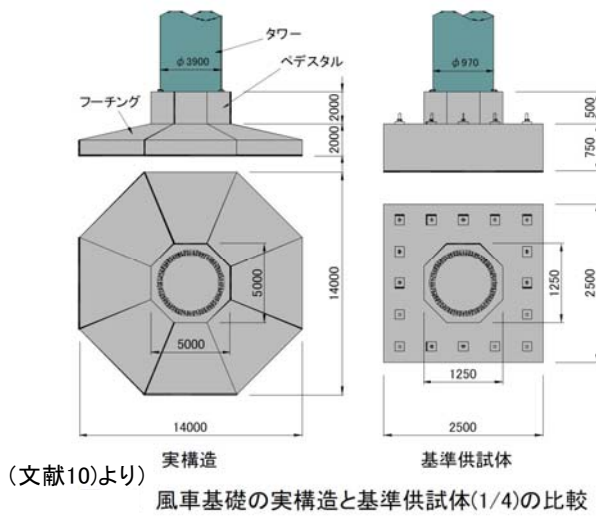


引抜き試験の再現解析結果 (アンカーボルト応力)



## (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>10), 11)</sup>。  
 鋼製タワー柱脚部を模擬した供試体に対して、破壊までの載荷実験に対する再現解析が実施されているが、破壊過程を概ね再現している。(検証1)と同様、低歪みの弾性範囲内での再現性は高いことを確認した。



弾性範囲内での再現状況

モーメントと回転角の関係 (基準供試体)

### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

- ・文献の引用を適正化すること。

### 【回答概要】

平成29年9月26日の審査会合資料では、鋼構造物設計基準及びこの技術基準の元となる文献や関連する文献を列挙していたが、本資料で参考にした基準類や文献のみを整理した。

設計に準拠した基準類としては、コンクリート標準仕方書、道路橋示方書、鋼構造物設計基準とし、構造物設計基準に関連付いた4つの文献及び三次元解析モデルの妥当性確認で参考とした4つの文献のみ記載した。

## 【回答概要】 第513回審査会合で示した文献と今回記載の文献

	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)	14)	
第513回審査会合(2017.9.26)で参考にした文献				●			●	●				●	●	●	直接定着式アンカーボルトに関する参考文献として記載
今回引用した文献	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				接合部の設計において1)~3)を準拠する文献とし、3)の要素技術論文として4)~7)を記載。三次元解析ソフトのV&V等の参考文献として8)~11)を記載。12)~14)は今回の資料において参考として位置付けていない文献。

No.	参考文献
1)	コンクリート標準仕方書 [構造性能照査編] (公益社団法人土木学会)
2)	道路橋示方書・同解説 [Ⅲコンクリート橋編] (公益社団法人日本道路協会)
3)	鋼構造物設計基準 Ⅱ [鋼製橋脚編] (名古屋高速道路公社) <sup>4), 5), 6), 7)</sup>
4)	前野裕文, 森成顯, 川津禎男, 永岡弘, 小林洋一 「付着型アンカーボルトを用いた鋼製橋脚定着部の設計および現場試験」, 橋梁と基礎, 1994.5
5)	前野裕文, 後藤芳顯, 小畑誠, 小林洋一, 松浦聖 「付着型アンカーボルトを用いた鋼脚柱定着部の耐力実験」, 構造工学論文集, Vol.39A, 1993
6)	村田二郎 「引き抜き試験法による鉄筋とコンクリートの付着強度試験方法(案)」, コンクリート工学, Vol.23, No.3, 1985
7)	山本卓也, 前野裕文, 鈴木信勝, 深田清明 「鋼製橋脚定着部に用いる付着型アンカーボルトの室内付着試験および現場引抜き試験」, 橋梁と基礎, 1998.5
8)	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
9)	前野裕文, 後藤芳顯, 小畑誠, 松浦聖 「引抜き力を受ける付着型アンカーボルトの定着部の破壊機構に関する研究」, 土木学会論文集.No.441.1992. 1
10)	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
11)	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
12)	前野裕文, 後藤芳顯, 小畑誠, 松浦聖, 小林洋一「鋼製橋脚の新しい定着方法について」 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1989.9
13)	前野裕文, 後藤芳顯, 小畑誠, 松浦聖 「スタッドを取り付けた太径異形棒鋼の付着特性」, 土木学会論文集, 1992.1
14)	小畑誠, 後藤芳顯, 松浦聖, 前野裕文 「太径異形棒鋼による実大付着型アンカーボルトの力学性状と現場付着試験」, 鋼構造年次論文報告集, 1993.7