

## 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

〔 審査会合指摘事項に対する回答 〕

平成30年3月14日

日本原子力発電株式会社

# 指摘事項



	指摘事項	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。	3～6
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。	7～9
3	道路橋示方書の適用箇所を明確にすること。	10～12
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。	13～15
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。	16～24
6	「定着式アンカーボルトの応力評価」について、明確にすること。	25
7	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。	26～31
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。	32～33
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。	34～35
10	文献の引用を適正化すること。	36～37

## 【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】

- 直接定着式アンカーボルトの設計について、設計方針、荷重分担の考え方、準拠規準を示す。
- 設計上の留意点として、  
繰返し襲来する津波に対する弾性範囲内の設計する。  
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)が比較的大きい。  
引抜き力は、直接定着式アンカーボルトにより抵抗させる設計とする。  
水平回転モーメント(水平トルク)は、中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリートを一体とした鉄筋コンクリート断面により抵抗させる設計とする。
- 設計思想として、  
接続部の構造・荷重の伝達メカニズムとして、引抜きをアンカーボルトで伝達し、水平力・水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力を鉄筋コンクリートで下部工に伝達させる。

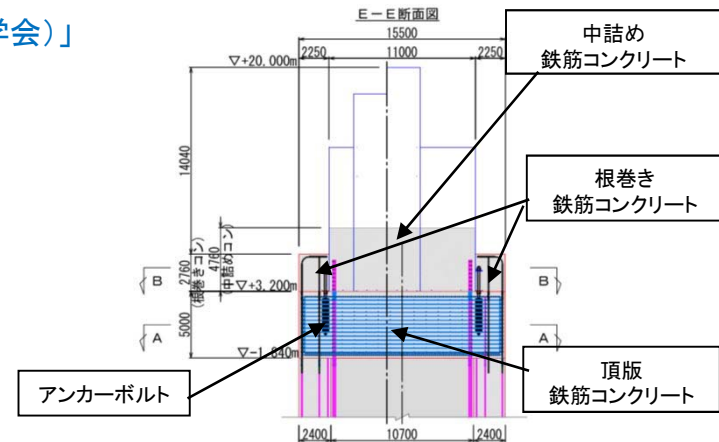
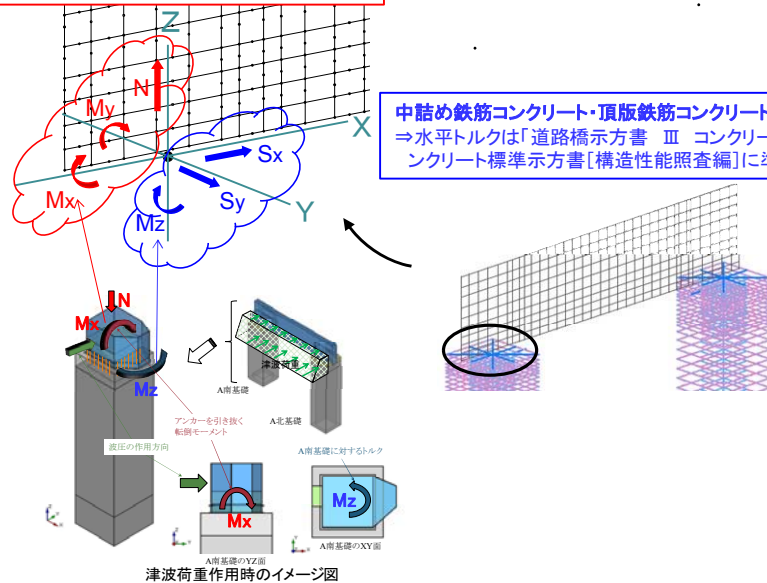
# 指摘事項1 回答

- 設計荷重に対し、弾性範囲の許容限界以内で受け持てる弾性設計を実施する。
- 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。
- 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抵抗可能とする。
- 直接定着式アンカーボルトの設計は、「鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)」に準拠する。
- それ以外の中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリートの設計は、「道路橋示方書(日本道路協会)」、「コンクリート標準示方書[構造型能照査編](土木学会)」に準拠する。
- 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)
- ・中詰め鉄筋コンクリート・頂版鉄筋コンクリート・・・水平力と水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力  
⇒水平トルク:「道路橋示方書 III コンクリート橋編」  
水平力:「コンクリート標準示方書[構造型能照査編](土木学会)」

アンカーボルトで抵抗  
⇒「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」  
(名古屋高速道路公社)に準拠して設計する。

中詰め鉄筋コンクリート・頂版鉄筋コンクリートで抵抗  
⇒水平トルクは「道路橋示方書 III コンクリート橋編」(日本道路協会)、「コンクリート標準示方書[構造型能照査編]」に準拠して設計する。



評価対象部位		荷重条件	適用基準
接合部	アンカーボルト	引抜き	鋼構造物設計基準(II 鋼製橋脚編)*1
	中詰め鉄筋コンクリート, 頂版鉄筋コンクリート	曲げ・せん断 水平回転	道路橋示方書・同解説(I 共通編・III コンクリート橋編)*2 <4.4 ねじりモーメントが作用する部材の照査> コンクリート標準示方書*3

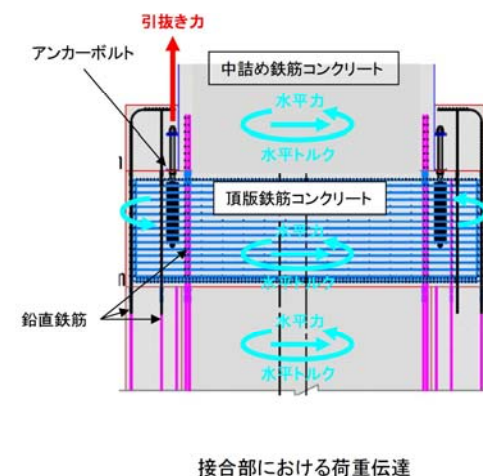
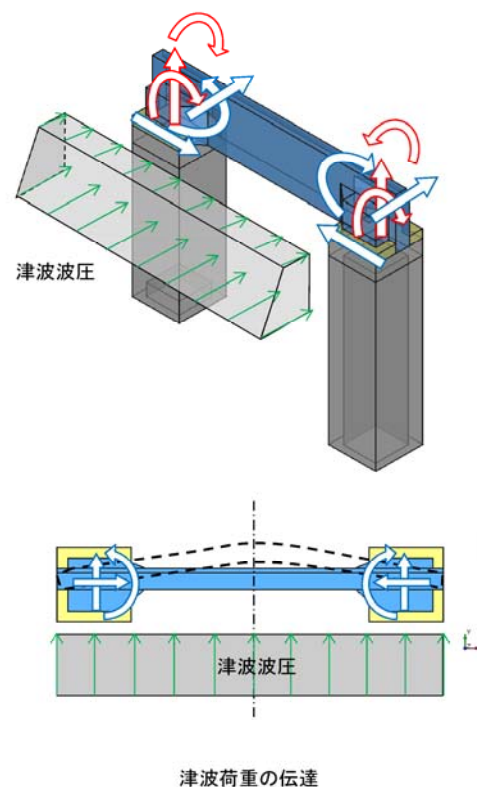
\*1:名古屋高速道路公社  
\*2:日本道路協会  
\*3:土木学会

# 指摘事項1 回答

- 津波荷重による水平回転モーメント(水平トルク)が接合部に作用する点が通常の橋脚より比較的大きいが弾性範囲内の設計とする。
- 水平回転モーメント(水平トルク)は中詰め鉄筋コンクリート, 頂版鉄筋コンクリートで負担する設計とする。

## 設計上の留意点

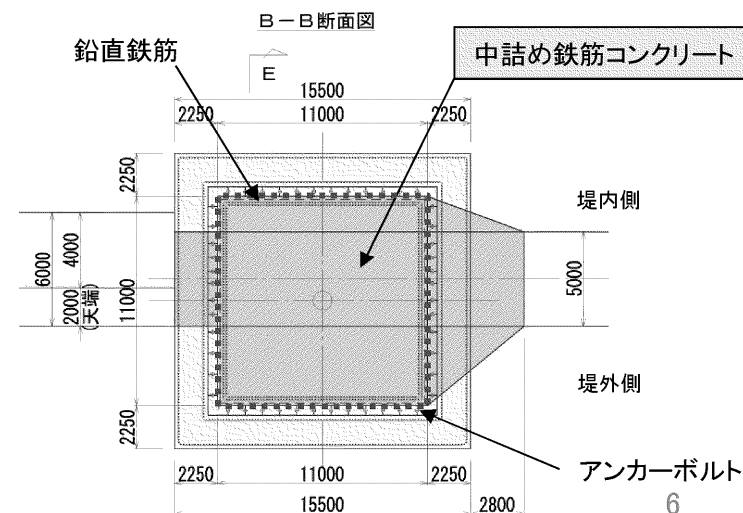
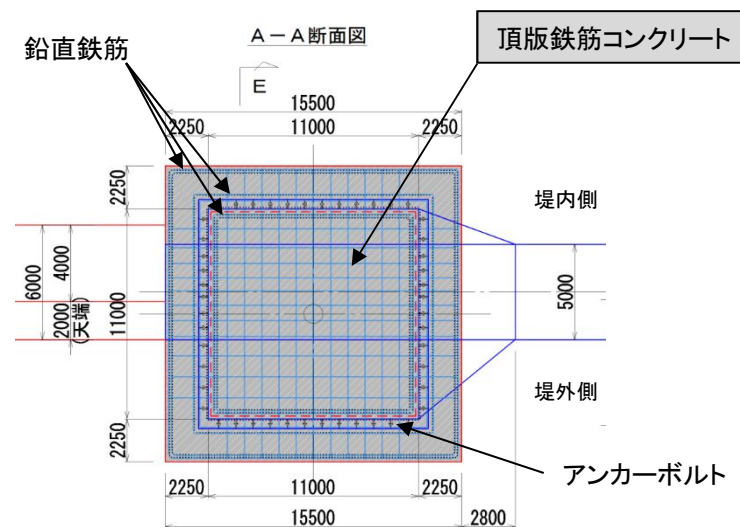
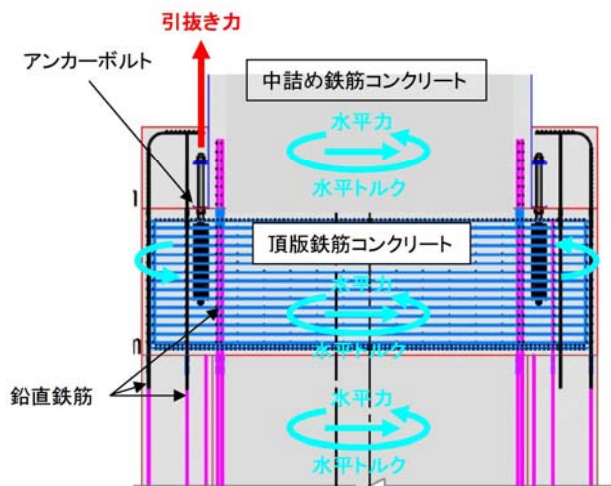
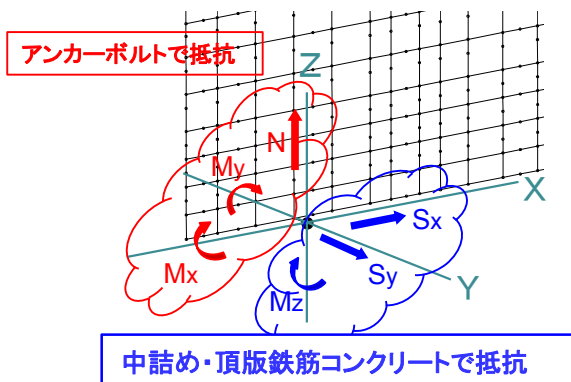
- 繰返し襲来する津波に対して弾性範囲内の設計をする。
- 一般の鋼製橋脚に比べ, 津波により作用する水平力, 水平回転モーメント(水平トルク)が比較的大きい。
- 引抜き力は, 直接定着式アンカーボルトにより抵抗させる設計とする。
- 水平回転モーメント(水平トルク)は, 中詰め鉄筋コンクリート, 頂版鉄筋コンクリートを一体とした鉄筋コンクリート断面により抵抗させる設計とする。



接合部の荷重伝達

# 指摘事項1 回答

- 接合部は、アンカーボルトの定着ならびに鉄筋コンクリートとしての強度により荷重を伝達する複合構造である。
- 引抜き力をアンカーボルトで伝達し、圧縮及び水平力・水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力を鉄筋コンクリートで伝達するものとして設計する。



### 【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】

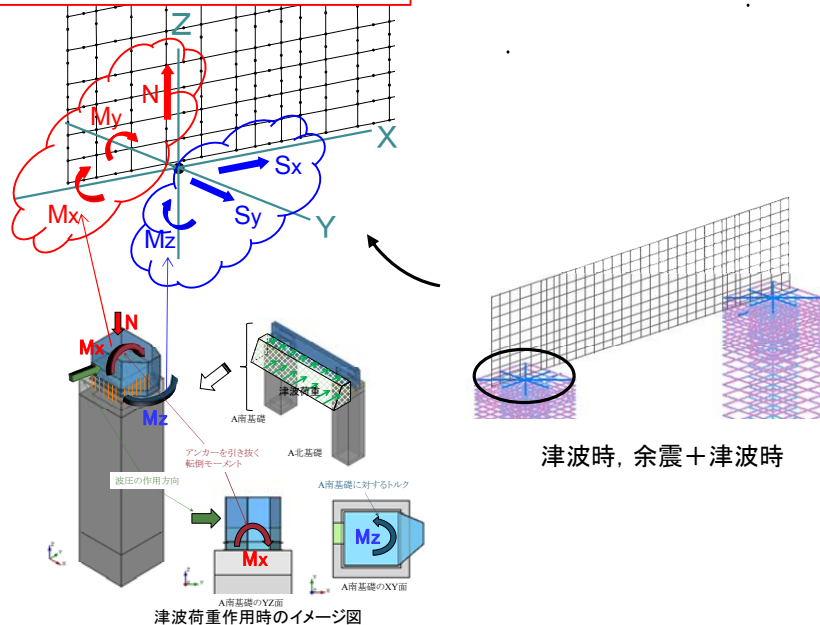
- ・ 直接定着式アンカーボルトについては引抜き力の技術規準が確立されている「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編 名古屋高速道路公社」の適用範囲内で設計する。  
適用に際しては, 以下に示す適用範囲, 設計上の留意点を明確にして適用範囲内で設計する。

# 指摘事項2 回答



- 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、水平トルクは鉄筋コンクリート断面で負担することで適用範囲とする。
- 直接定着式アンカーボルトの設計は、「鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)」に準拠する。
- 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)

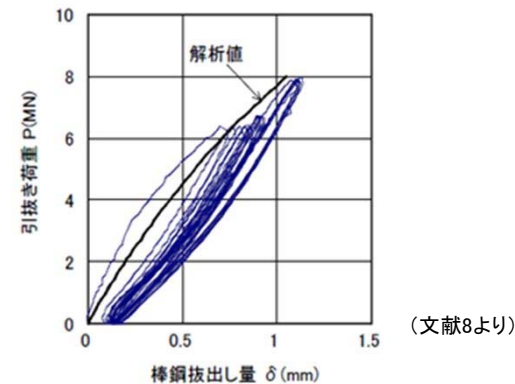
アンカーボルトで抵抗  
⇒「鋼構造物設計基準 II 鋼製橋脚編」  
(名古屋高速道路公社)に準拠して設計する。



接合部の荷重分担

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



荷重とアンカーボルトの相対ずれの関係  
(D180現場引抜き試験)



## 指摘事項2 回答



### ■ 「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、上部工と下部工の接合部のうち、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。関連する項目の記述は以下の通りである。

「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
1.1	適用の範囲	鋼製の橋脚及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、水平トルクは鉄筋コンクリート断面で負担することで適用範囲とする。
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。
2.14	荷重の組合せ許容応力度の割増し	短期許容応力度	基準に準拠して弾性範囲内で設定する。
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 $\sigma_{ck}=21\sim 27\text{N/mm}^2$	頂版コンクリートは水平回転・水平力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。
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。
7.1	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。
		アンカーボルト間隔2D (D:公称径)	基準に準拠して配置する。
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として算定し弾性設計する。せん断力に対しては中実・頂版の鉄筋コンクリートで負担する設計とする。
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準拠して設定する。
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準拠する。

### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

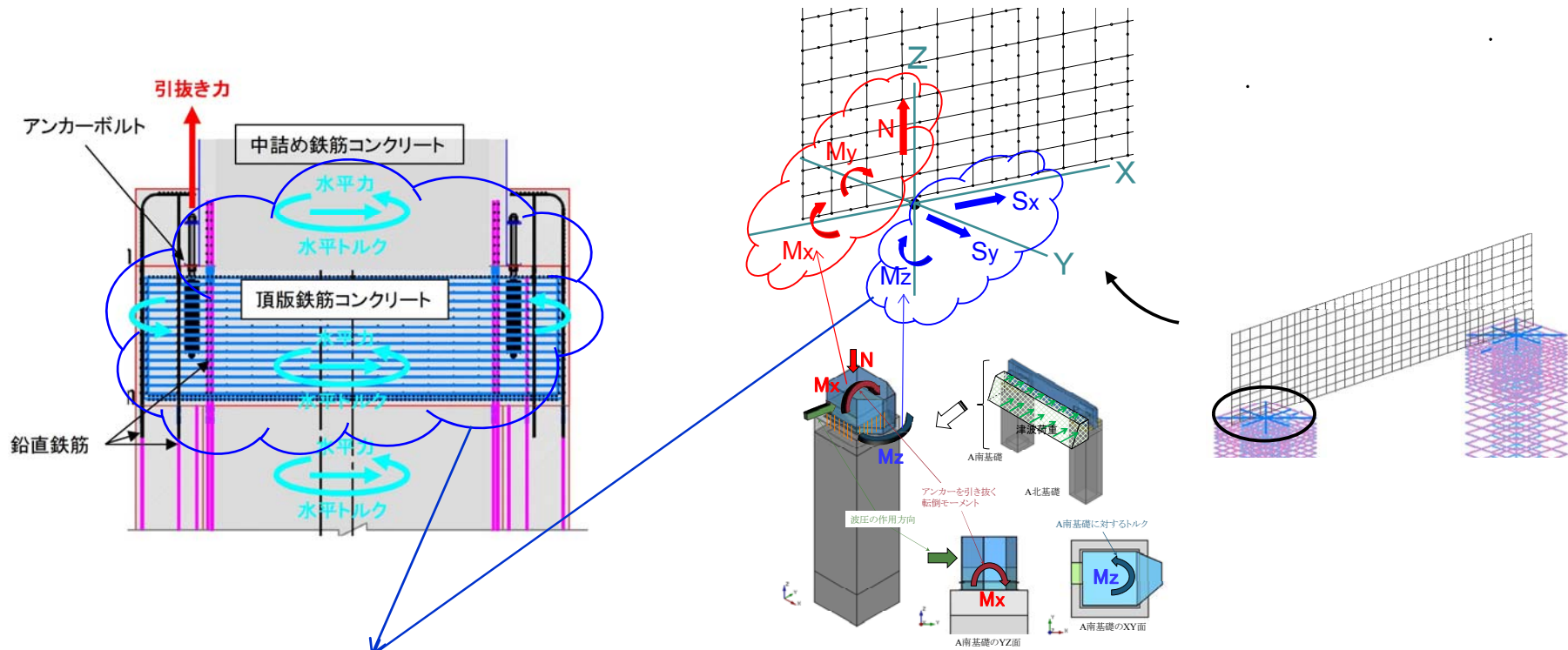
道路橋示方書の適用箇所を明確にすること。

### 【回答概要】

- 鋼製防護壁の接合部における中詰め鉄筋コンクリート・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」の規定に従い設計する。
- 水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力は「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」の規定に従い設計する。

# 指摘事項3 回答

- 鋼製防護壁の接合部における中詰め鉄筋コンクリート・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」の規定に従い設計する。
- 水平回転モーメント(水平トルク)によるせん断力は「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」の規定に従い設計する。



**中詰め鉄筋コンクリート・頂版鉄筋コンクリートで抵抗**  
 ⇒水平力は「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会)」に準拠して設計する。  
 ⇒水平トルクは「道路橋示方書 Ⅲ コンクリート橋編(日本道路協会)」に準拠して設計する。

接合部の荷重分担

## 指摘事項3 回答



・鋼製防護壁の接合部における、中詰め鉄筋コンクリート・頂版鉄筋コンクリートの水平力は、「コンクリート標準示方書(土木学会)」、水平トルクは、ねじりモーメントを考慮できる「道路橋示方書(日本道路協会)」に準拠する。関連する項目の記述は以下の通りである。

「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に適用する。

「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)によるせん断力に適用する。

### 【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】

- ・ 本件において名古屋高速道路公社の設計基準を用いる部分は直接定着式アンカーの設計部分であり、この部位の設計においては、発生応力度を適用範囲であるコンクリート強度(27N/mm<sup>2</sup>)の設計を実施する。  
また、本件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。

## 指摘事項4 回答

- 設計荷重に対し、弾性範囲の許容限界以内で受け持てる弾性設計を実施する。
- 接合部に要求される性能は、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ことである。

### 荷重分担の考え方

- ・引抜きに対しては、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適用

- ・引抜きへの対応・・・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への対応・・・中詰め及び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))

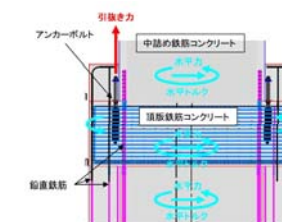
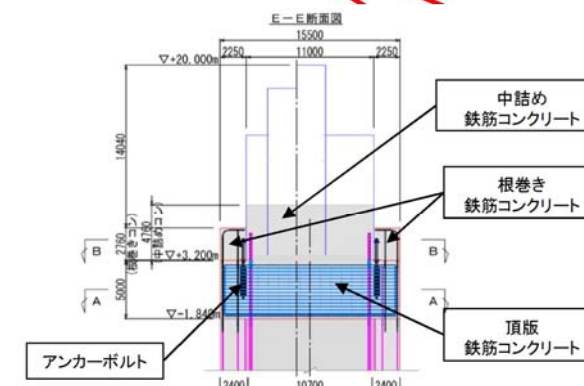
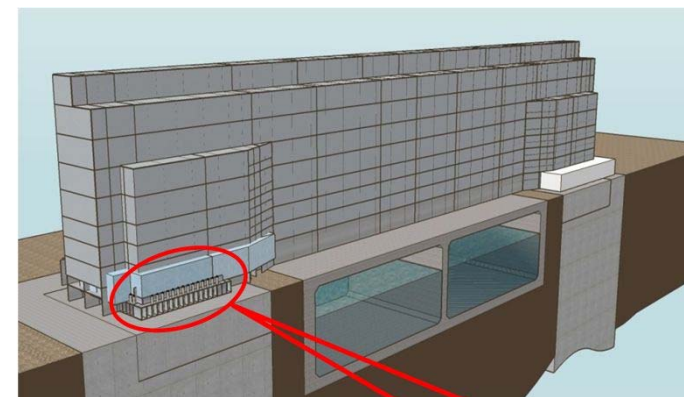


### 技術指針の併用

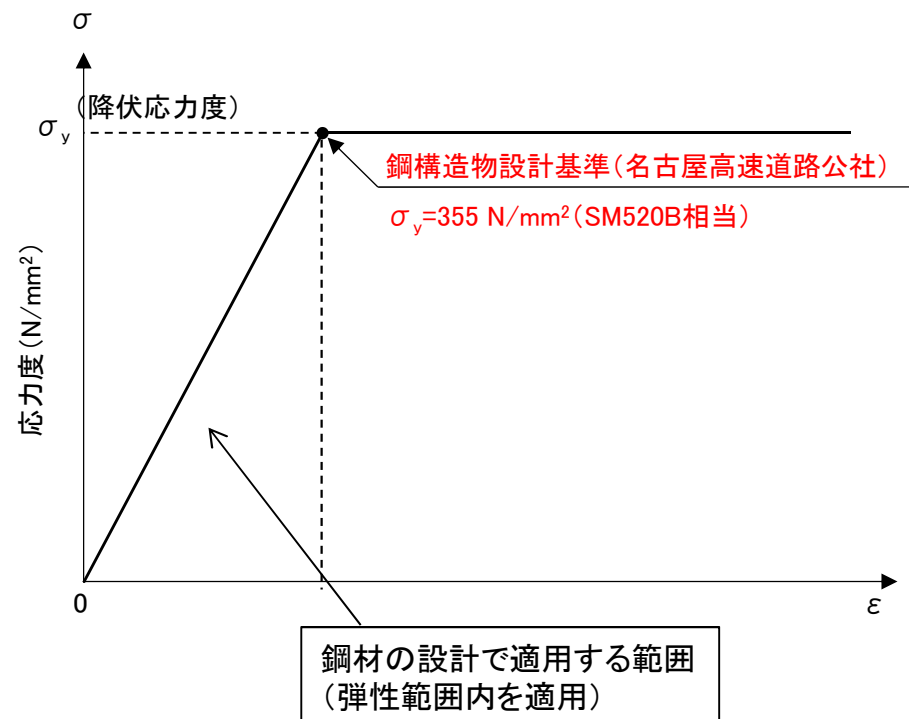
- ・鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)と道路橋示方書(日本道路協会)は両者とも弾性領域での設計に適用することから、両基準を併用することに問題はない。



- ・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た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50N/mm<sup>2</sup>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)に準拠したコンクリート設計基準強度27N/mm<sup>2</sup>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】

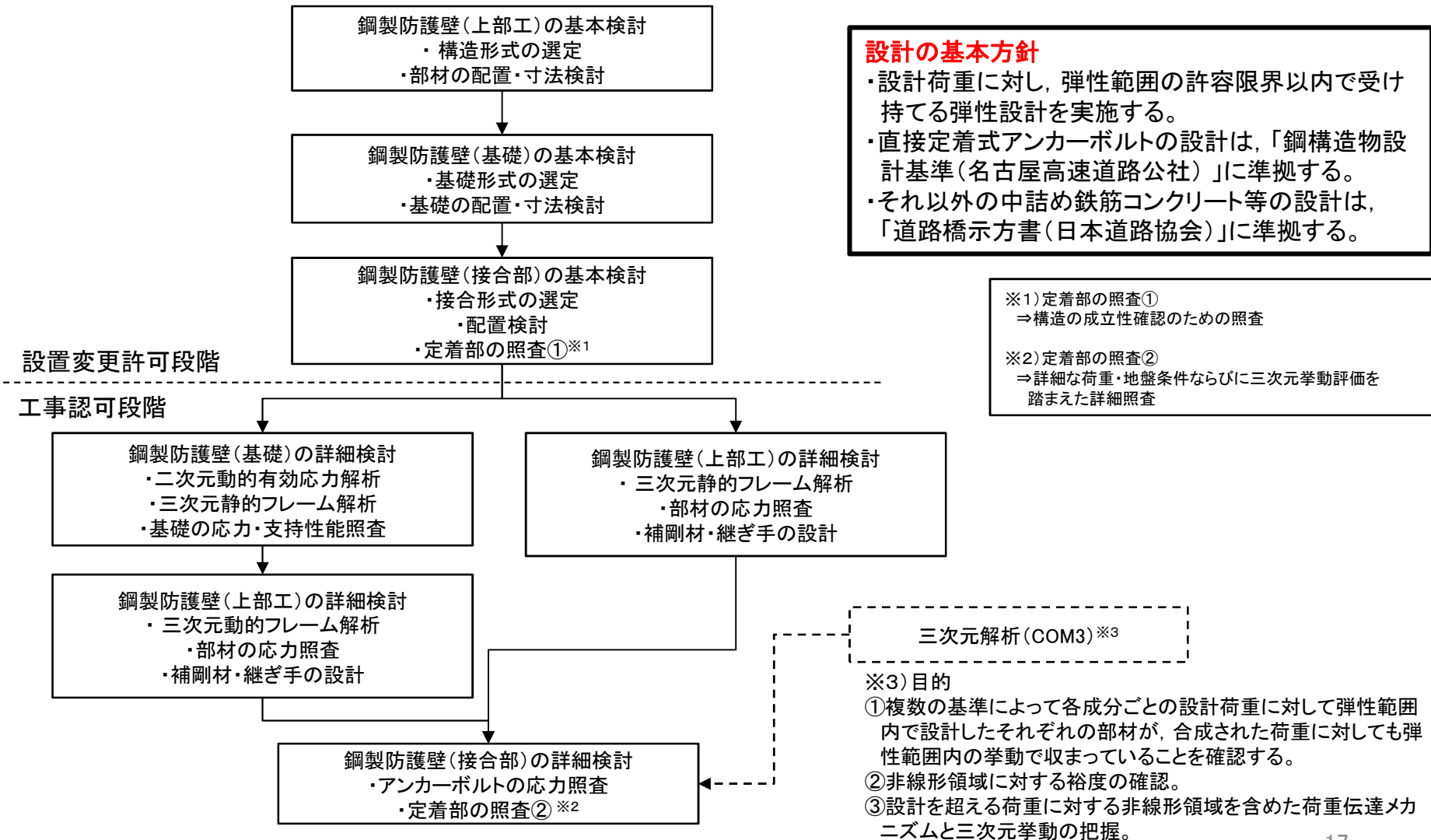
- 設置変更許可段階における定着部の照査は、基準類に準拠して設計を行い、構造の成立性を確認する。
- 工認段階においては、詳細な荷重・地盤条件において基準類に準拠して照査し、三次元解析(COM3)により接合部の一体化した挙動を考慮した精緻な解析を行い、各部材が弾性範囲内であることを確認する。



# 指摘事項5 回答



- 設置変更許可段階における定着部の照査は、基準類に準拠して設計を行い、構造の成立性を確認する。
- 工事認可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して照査し、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。

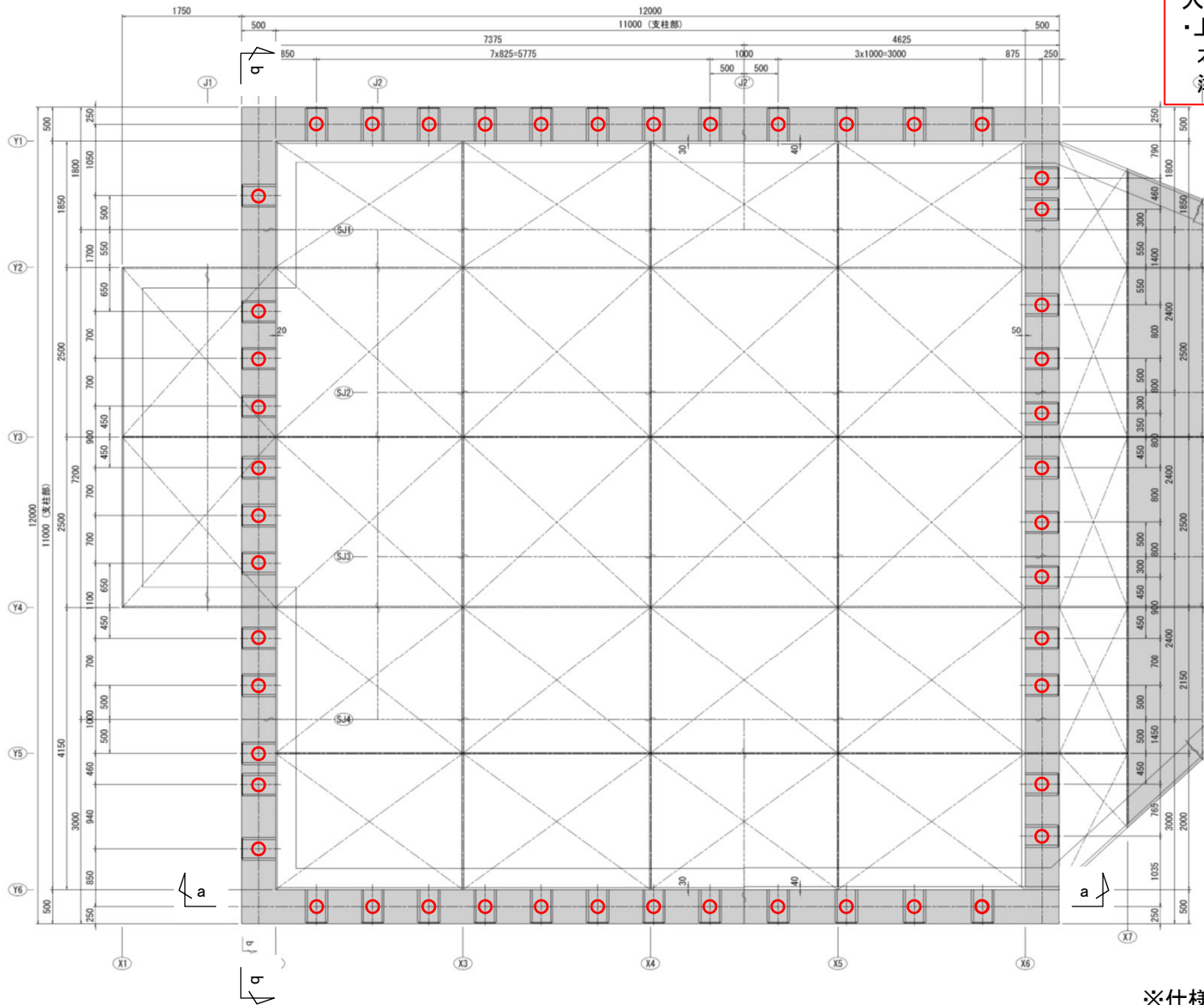


# 指摘事項5 回答

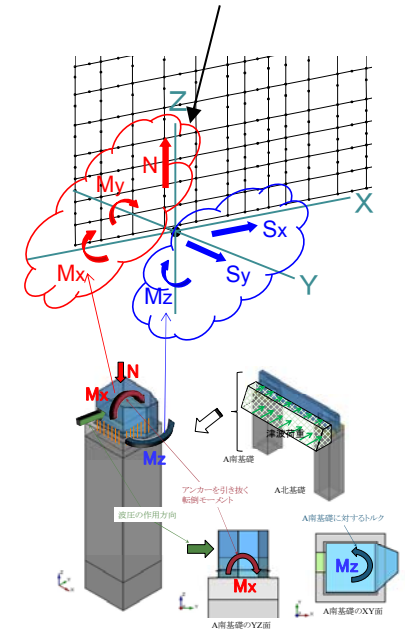


## アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計)

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



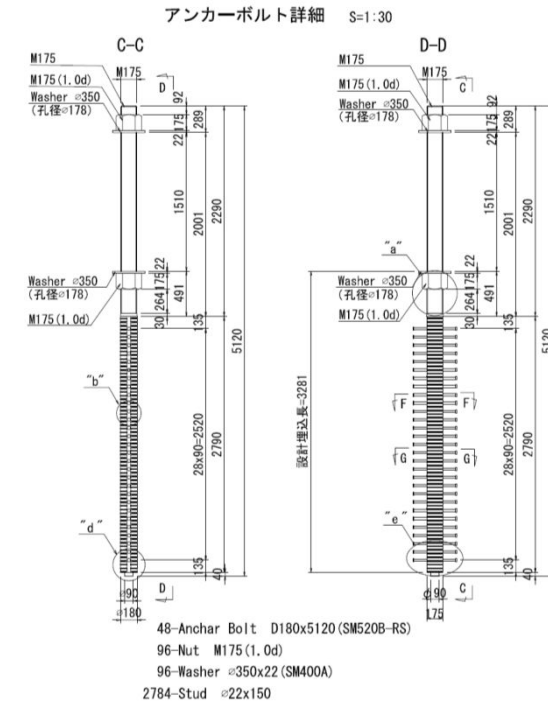
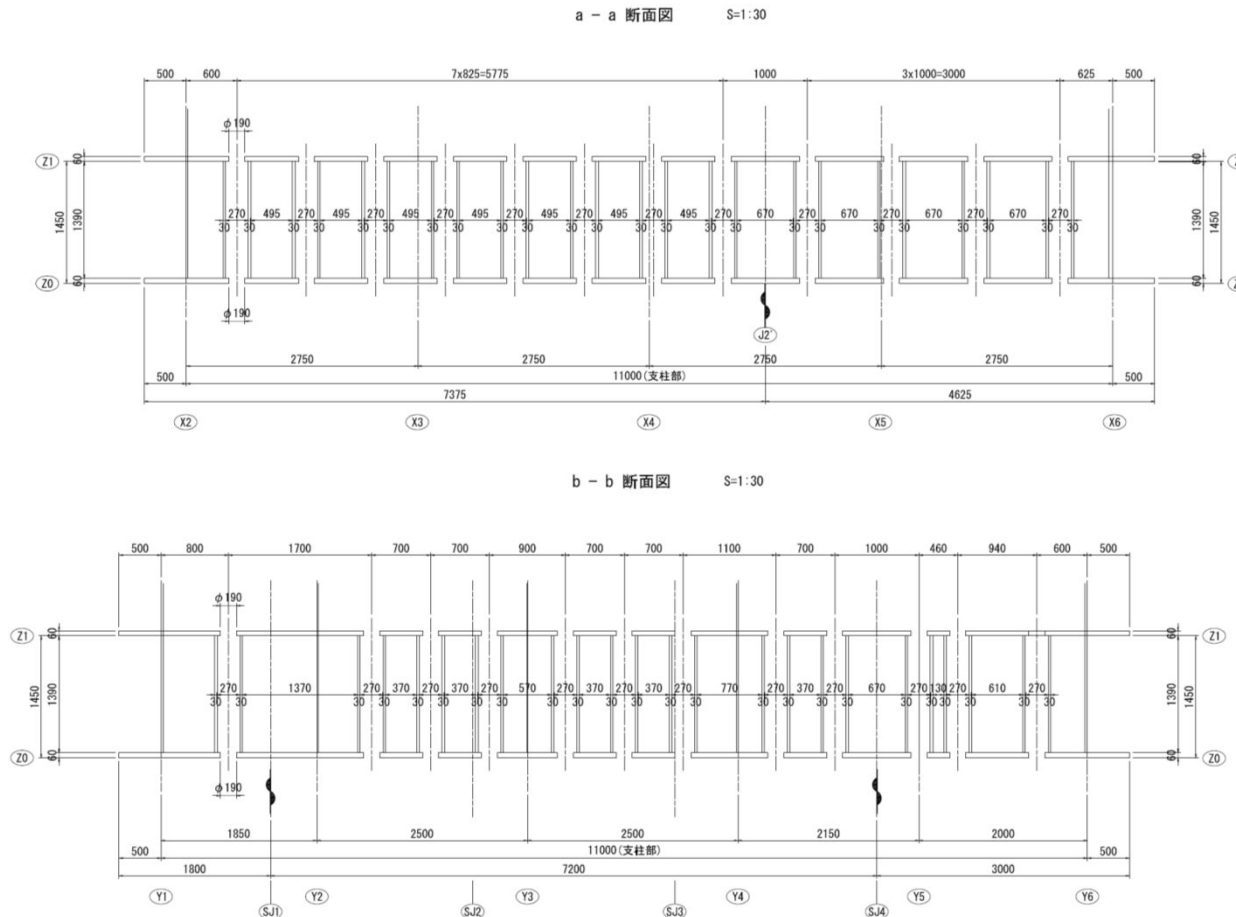
○ : アンカーボルト

※仕様は詳細検討によって変更になることがある。

# 指摘事項5 回答



## アンカーボルトの配置検討結果(弾性設計)

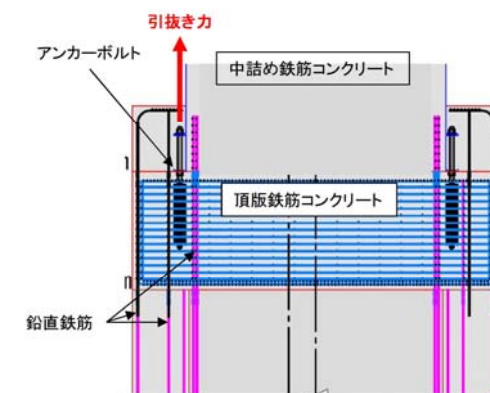


※仕様は詳細検討によって変更になることがある。

# 指摘事項5 回答

## 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</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> )	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

# 指摘事項5 回答

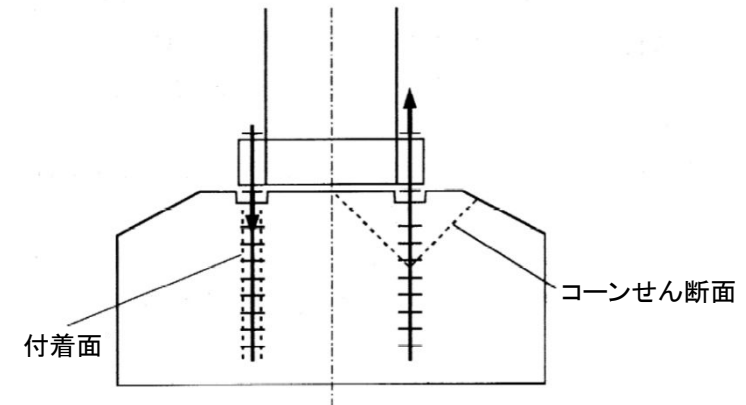


## アンカーボルトの定着長に対する検討結果(弾性設計)

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>)

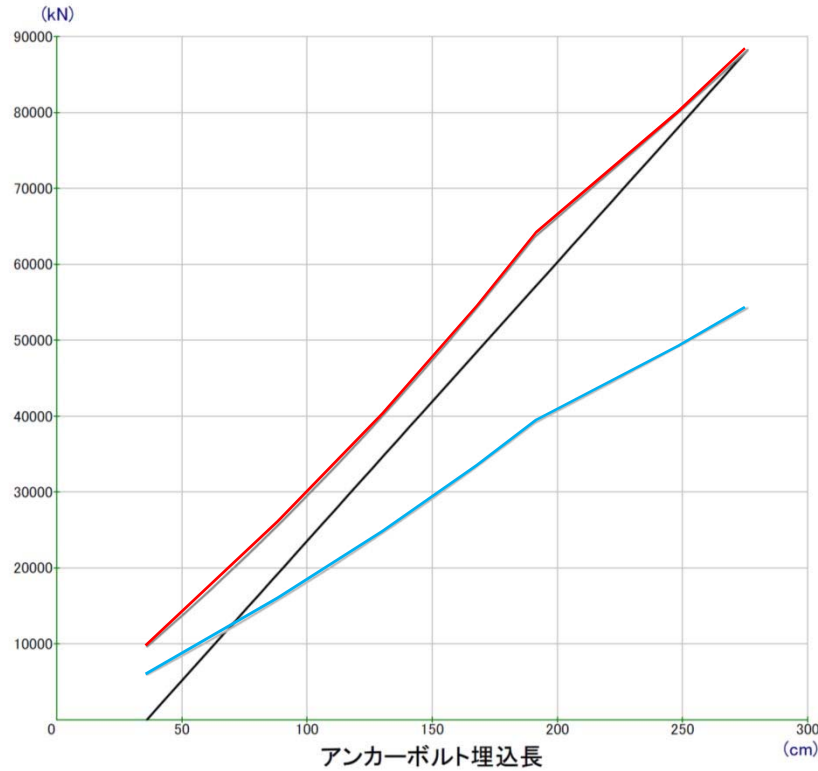
フーチング厚 = 5000(mm)

設計定着長及び埋込長は、以下の式により算出する。

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


# 指摘事項5 回答

## 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)

$$\sigma_{ck} = 27 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{sy} = 345 \text{ (N/mm}^2\text{) [SD345]}$$

$$\sigma_{coa} = 1.342 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{coa1} = 0.825 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$Ac(Xc) = 65749379 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{coa} - 1/2 \times \sigma_{coa1}$$

$$= 0.929 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

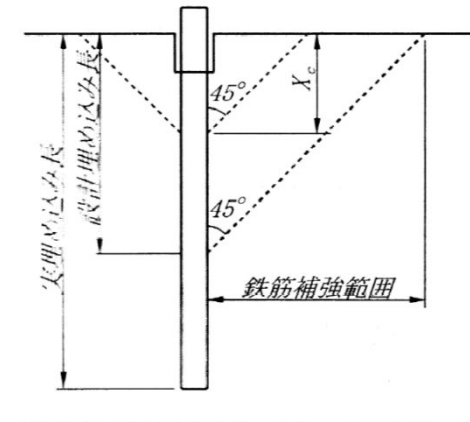
◆必要鉄筋量

$$As = 1.15 \times \Delta\sigma \times Ac / \sigma_{sy}$$

$$= 203679.5 \text{ (mm}^2\text{)}$$

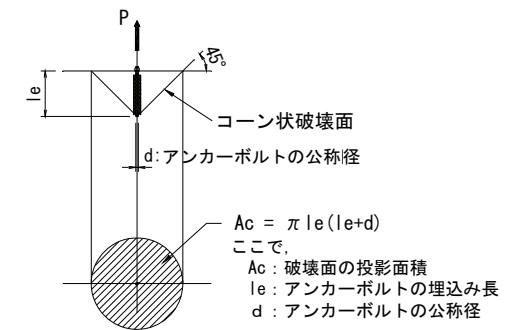
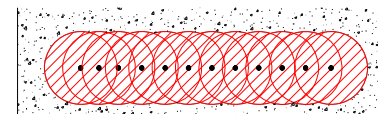
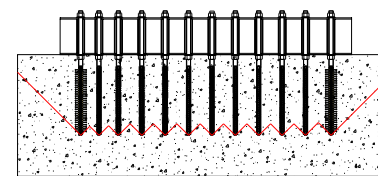
$$As_{req} = As / Ac(Xc)$$

$$= 3097.8 \text{ (mm}^2\text{/m}^2\text{)}$$



フーチング下面

鉄筋補強範囲

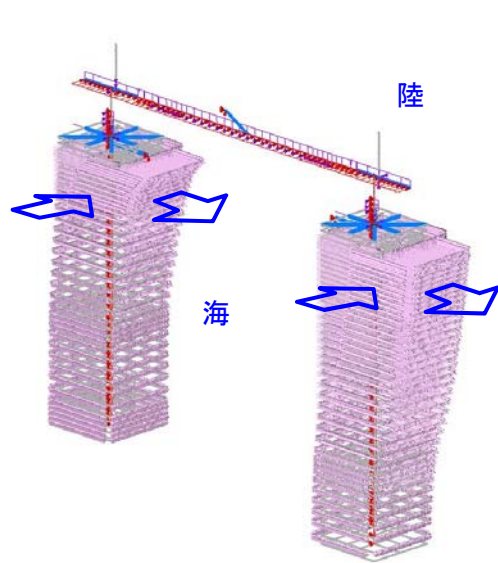


複数のアンカーボルトに対するコーンせん断面の考え方

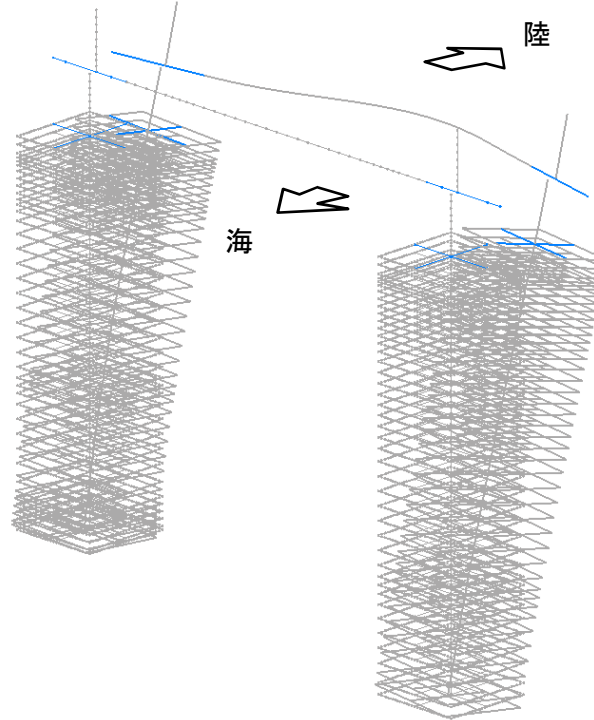
# 指摘事項5 回答

## 基礎の概略照査結果(弾性設計)

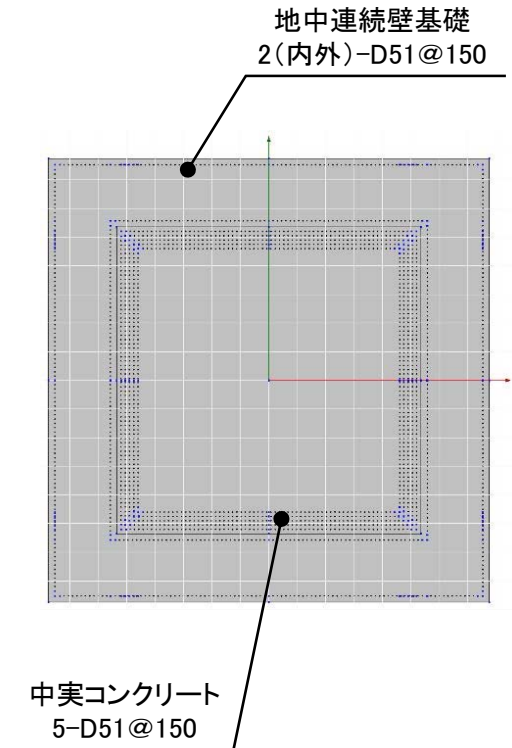
余震+津波時  
照査値(鉄筋) 南基礎:0.96, 北基礎:0.82  
・中実コン鉄筋5-D51@150  
・地中連続壁基礎2-D51@150  
(水平2方向地震力の影響を荷重で考慮)



荷重図



変形図



配筋の概要

# 指摘事項5 回答



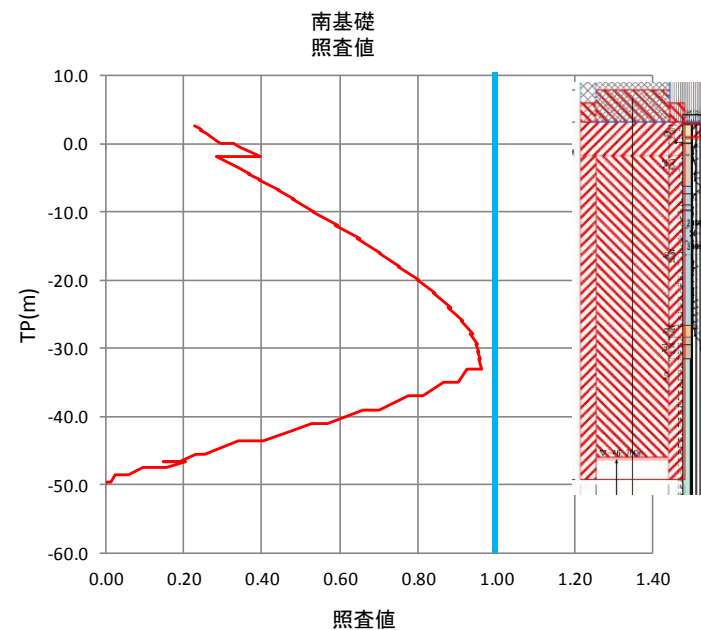
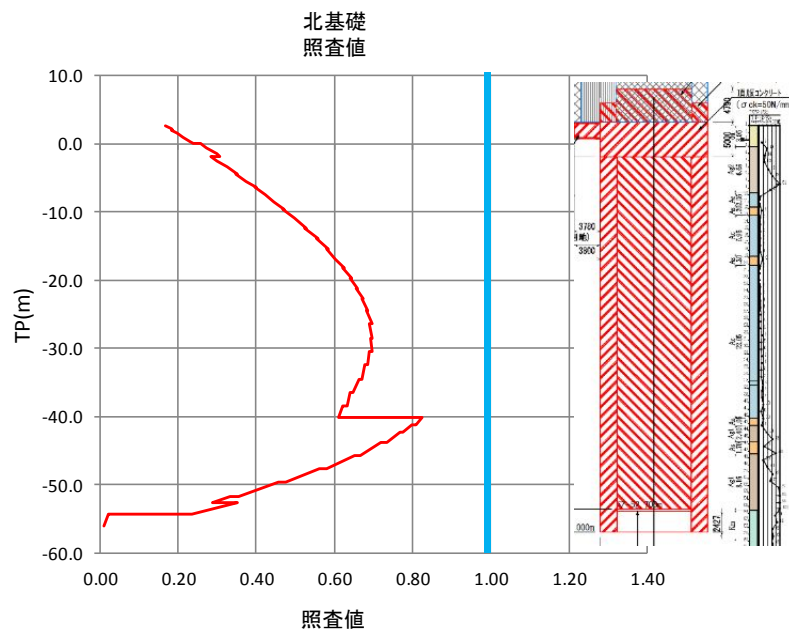
## 基礎の概略照査結果(弾性設計)

北基礎 照査値(鉄筋)=0.82 ... 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 ... 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)

「定着式アンカーボルトの応力評価」について、明確にすること。

### 【回答概要】

- 設置変更許可段階においては基本検討として、構成部材毎に基準類に準拠して設計を行い弾性範囲内に収まり、構造が成立することを確認する。
- 工認段階においては詳細検討として、詳細な荷重・地盤条件で設計を行い弾性範囲内に収まることを確認する。また、三次元解析(COM3)により、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、一体となった構造に対しても各部材が弾性範囲内に収まることを確認する。

### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

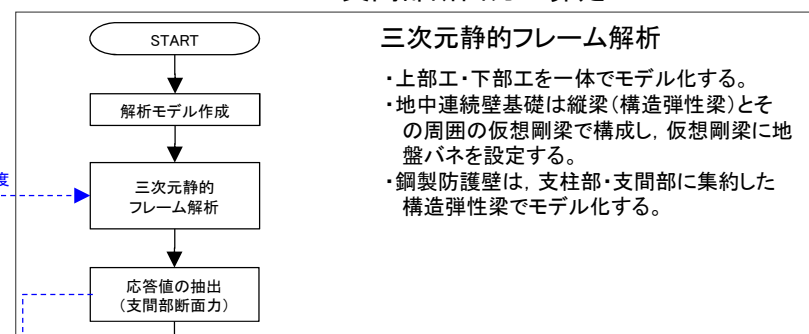
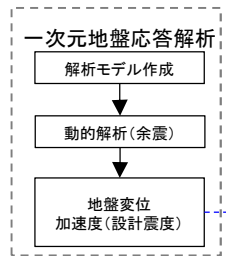
3次元解析COM3の目的, 方針, 条件設定について説明すること。

### 【回答概要】

- 目的
  - ①直接定着式アンカーボルトの適用性ならびに接合部設計の妥当性を確認する。
  - ②複数の基準によって各成分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, 弾性範囲内の挙動で収まっていることを確認する。
  - ③設計を超える荷重に対する裕度の確認。
  - ④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

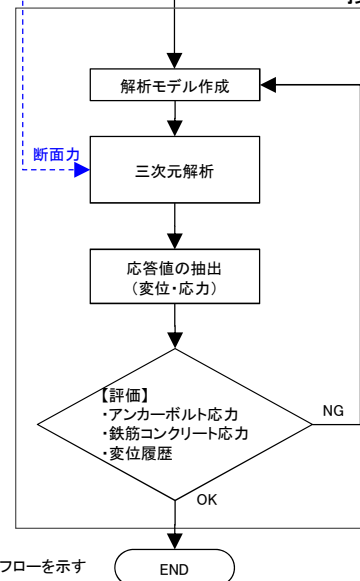
- ①直接定着式アンカーボルトの適用性ならびに接合部設計の妥当性を確認する。
- ②複数の基準によって各成分ごとの設計荷重に対して弾性範囲内で設計したそれぞれの部材が、弾性範囲内の挙動で収まっていることを確認する。
- ③設計を超える荷重に対する裕度の確認。
- ④荷重伝達メカニズムと三次元挙動の把握。



## 支間部断面力の算定

### 三次元静的フレーム解析

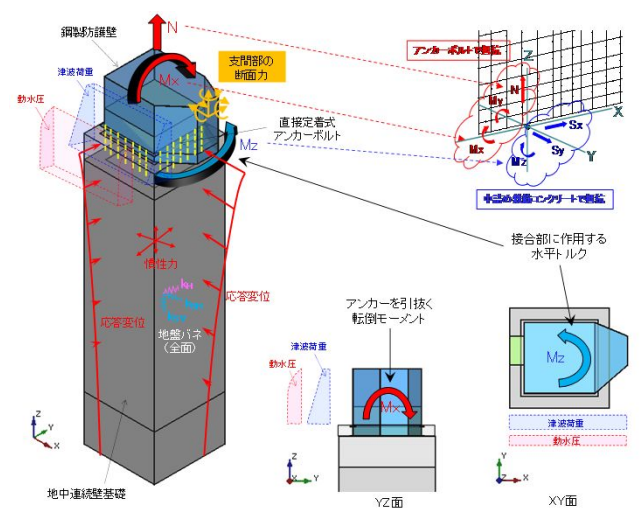
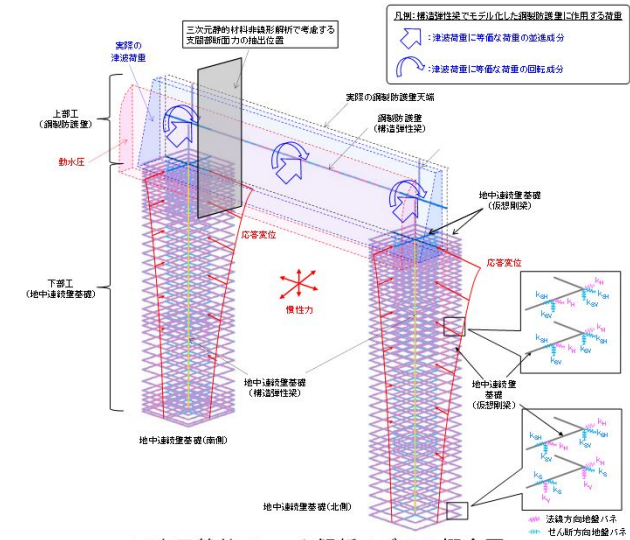
- ・上部工・下部工を一体でモデル化する。
- ・地中連続壁基礎は縦梁(構造弾性梁)とその周囲の仮想剛梁で構成し、仮想剛梁に地盤バネを設定する。
- ・鋼製防護壁は、支柱部・支間部に集約した構造弾性梁でモデル化する。



## 接合部の評価

### 三次元解析

- ・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安全側となるよう地盤バネを設定する。
- ・地盤の拘束度が高く、接合部の設計に対して安全側と予想さ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。



--- : 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

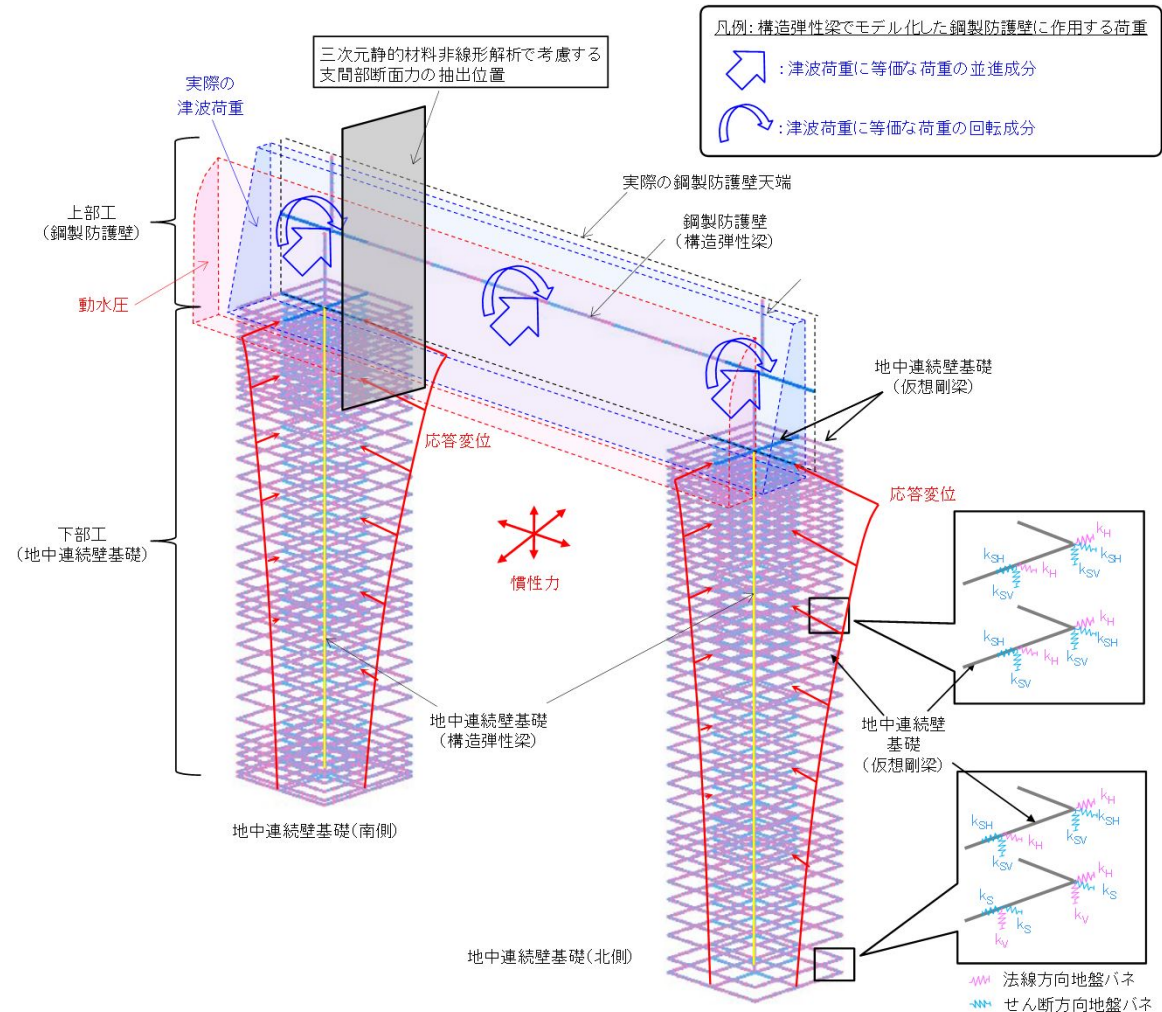
- ・津波荷重や余震影響を含む鋼製防護壁支間部の断面力を算定する。

### 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

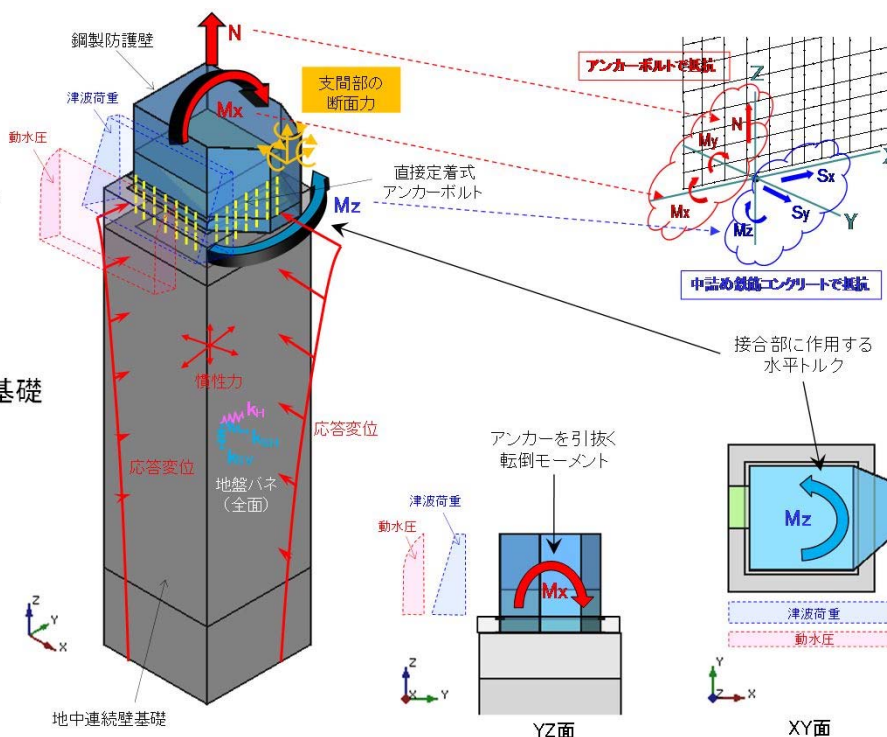
・津波荷重や余震影響を受ける鋼製防護壁接合部の三次元的な挙動を評価し、設計の妥当性及び直接定着式アンカーボルトの適用性を確認する。

## 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。

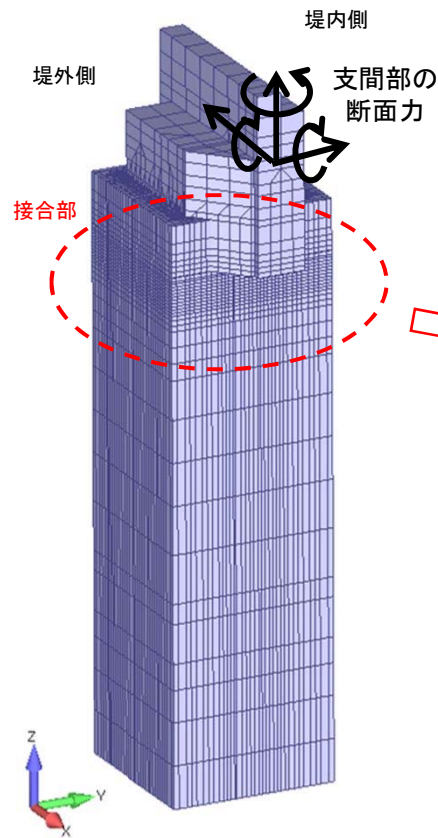


三次元解析モデルの概念図

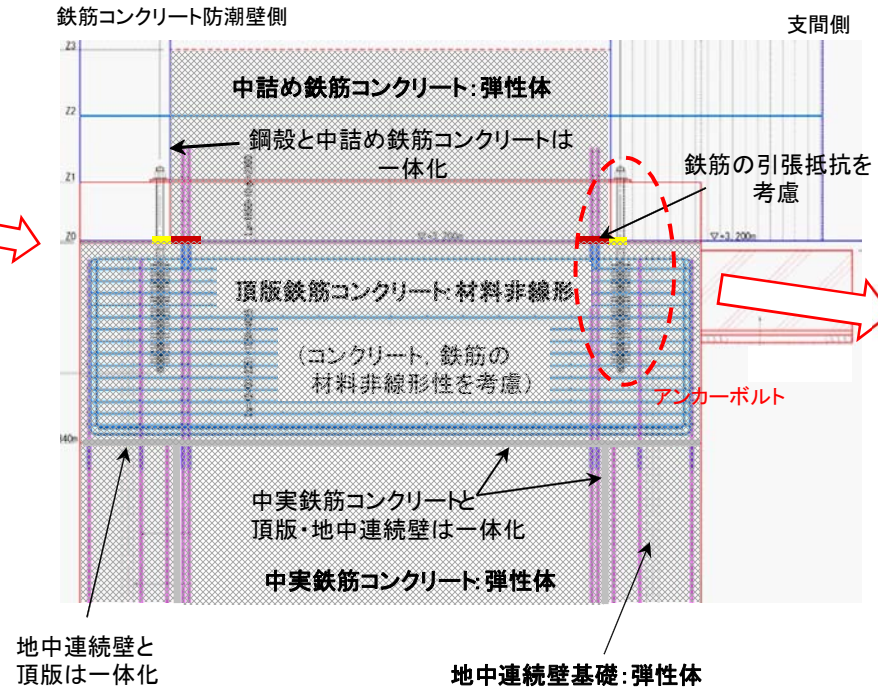
# 指摘事項7 回答

## ■接合部のモデル化方針

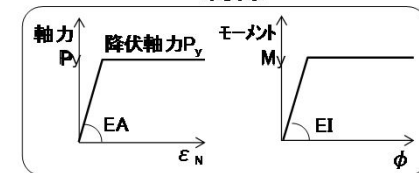
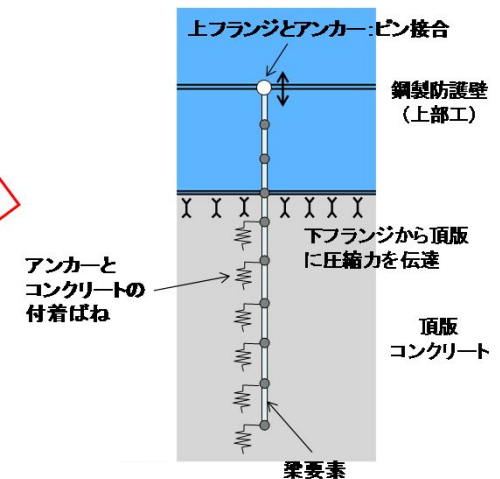
解析手法	三次元解析
プログラム	COM3
対象荷重	余震+津波時
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接合部の設計の妥当性確認</li> <li>・鉄筋コンクリートの材料特性を反映した三次元挙動評価</li> </ul>
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直接定着式アンカーボルト及び頂版鉄筋コンクリート(接合部)の評価</li> </ul>



全体モデル (イメージ)

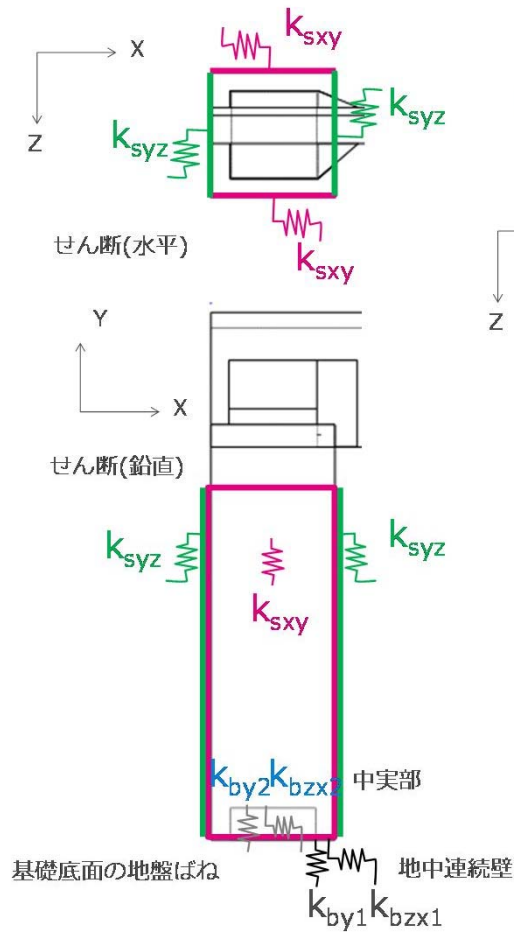
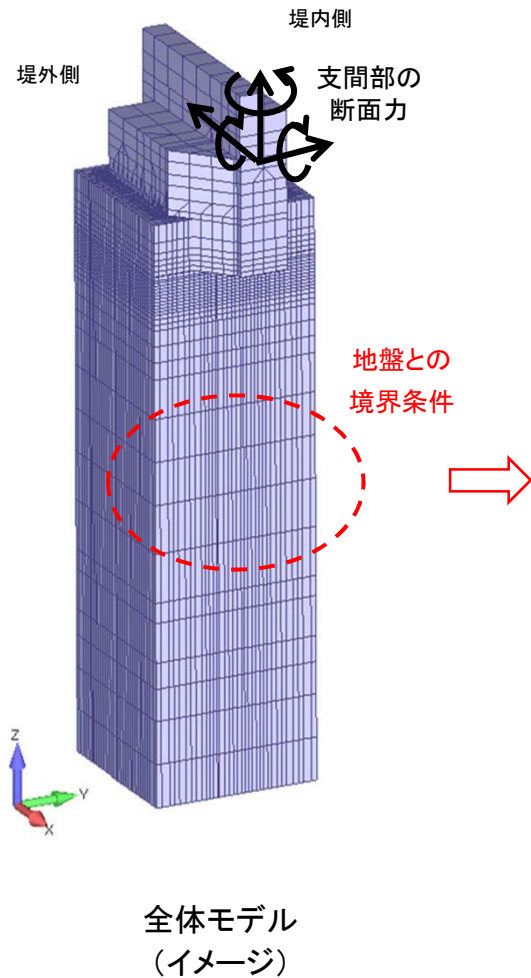


接合部のモデル化



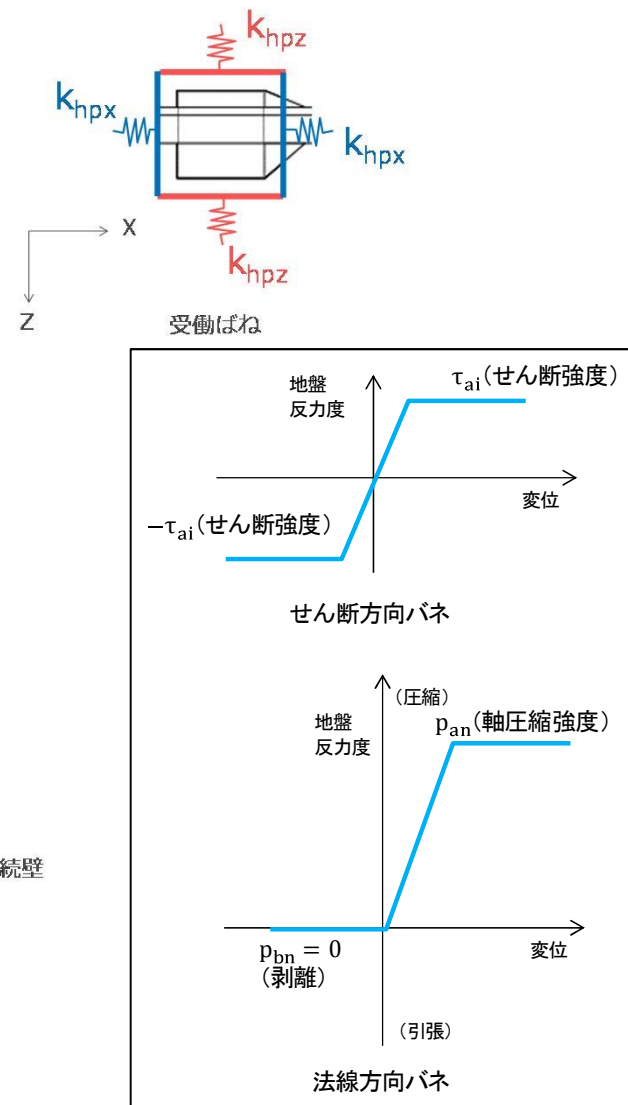
アンカーボルトのモデル化

## ■接合部のモデル化方針



※地盤ばね定数ならびに上限値は、一次元地盤応答解析により設定する。

### 地盤のモデル化



※一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。

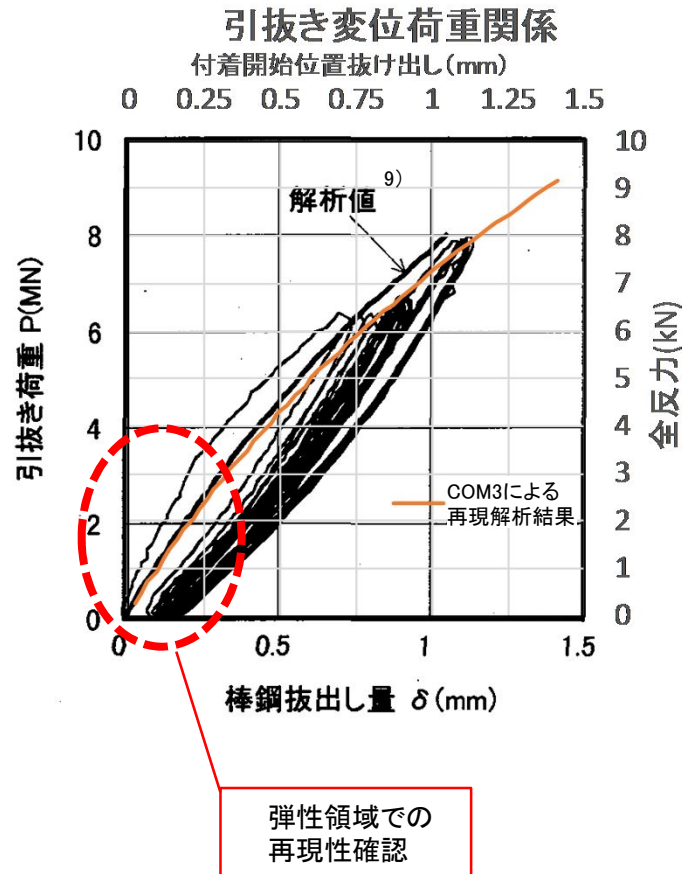
### 【回答概要】

- 接合部の部材は道路橋示方書, 名古屋高速道路公社の基準に準拠して設計上荷重を分担させた弾性設計を実施する。  
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, 実験は不要であると判断した。



# 指摘事項8 回答

- 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。



現場引抜き試験の再現シミュレーション結果  
(変位-荷重関係)

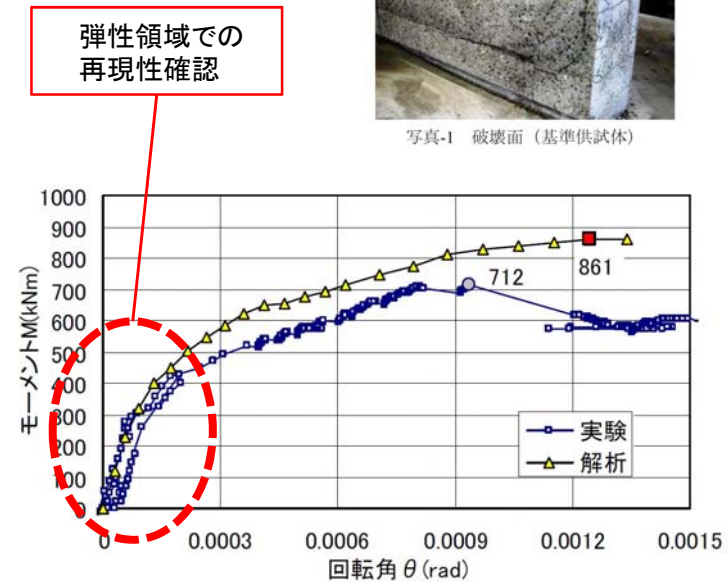
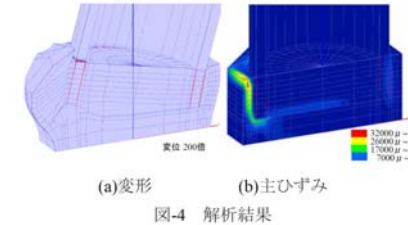


図-3 モーメントと回転角の関係 (基準供試体)

鋼製タワーの載荷実験との比較  
(変位-荷重関係)

### 【指摘事項】第555回審査会合(H30. 3. 8)

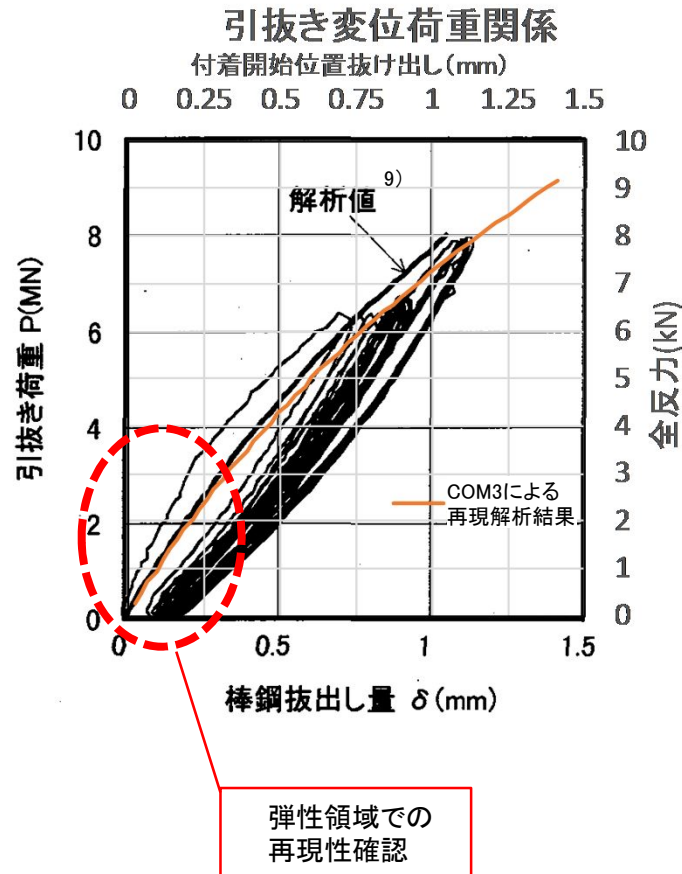
文献を引用した検討内容について、資料にて詳しく説明すること。

### 【回答概要】

- 接合部の部材は道路橋示方書、名古屋高速道路公社の基準に準拠して設計上荷重を分担させた弾性設計を実施する。  
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、実験は不要であると判断した。

# 指摘事項9 回答

- 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。



現場引抜き試験の再現シミュレーション結果  
(変位-荷重関係)

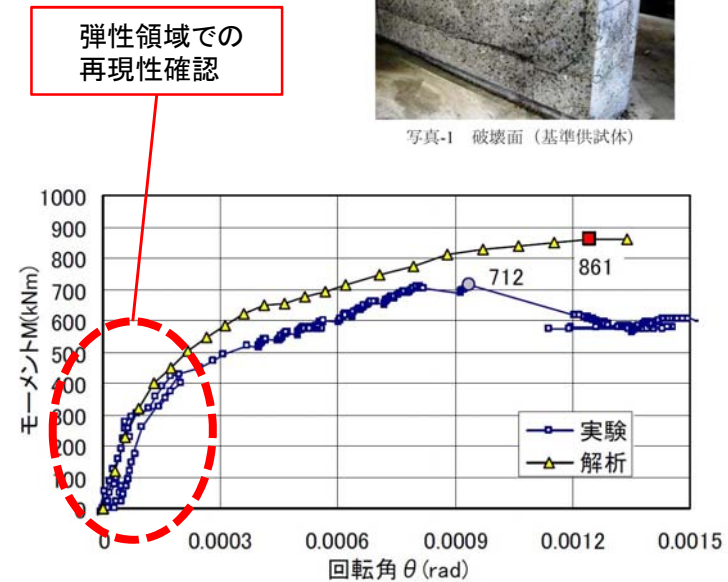
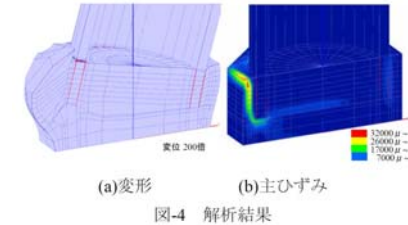


図-3 モーメントと回転角の関係 (基準供試体)

鋼製タワーの載荷実験との比較  
(変位-荷重関係)

【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】

- 参考にしている文献について整理する。

### ■ 参考文献

- 1) 鋼構造物設計基準 [鋼製橋脚編] (名古屋高速道路公社) 4), 5), 6), 7)
- 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) 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)
- 4) 前野裕文, 森成顯, 川津禎男, 永岡弘(松尾橋梁株), 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荷力実験」, 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