

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20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)コメント



No	コメント	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。	1～7
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。	8～10
3	道路橋示方書の適用箇所を明確にすること。	11～12
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	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。	25～30
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。	
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。	31
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。	32～34
10	文献の引用を適正化すること。	35～36

【コメント】

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）は鉄筋により結合して一体構造とする。

■ 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。しかしながら，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（水平トルク）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，弾性範囲内で負担できる設計思想とする。

■荷重の伝達メカニズム

上部構造と下部構造の接合部における並進、回転6成分の断面力は、接合部で一体となったアンカーボルト及び鉄筋コンクリートを介して伝達される。

なお、接合部における曲げ引張軸力に関する3成分の断面力は、設計上アンカーボルトのみの耐力でも、上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。また、接合部における水平せん断力に関する3成分の断面力は、設計上鉄筋コンクリートのみの耐力でも、上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。

■設計上の留意点

- ・鋼製防護壁は浸水防護施設であることから、本震時、津波時、余震と津波の重畳時の何れに対しても、構造部材の弾性範囲内で設計荷重を受けもてる設計を行う。
- ・アンカーボルトは、水平せん断力に対する抵抗力も有するが、保守的な配慮として、設計上引抜き力のみを弾性範囲内で負担できればよい役割の部材に位置づけた設計を行う。
- ・津波により作用する水平回転モーメント及び水平力によるせん断力は、通常の橋梁と比較して大きいことから、保守的な配慮として、上部構造と下部構造の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の耐力でも、弾性範囲内で負担できる設計とする。

■設計方針

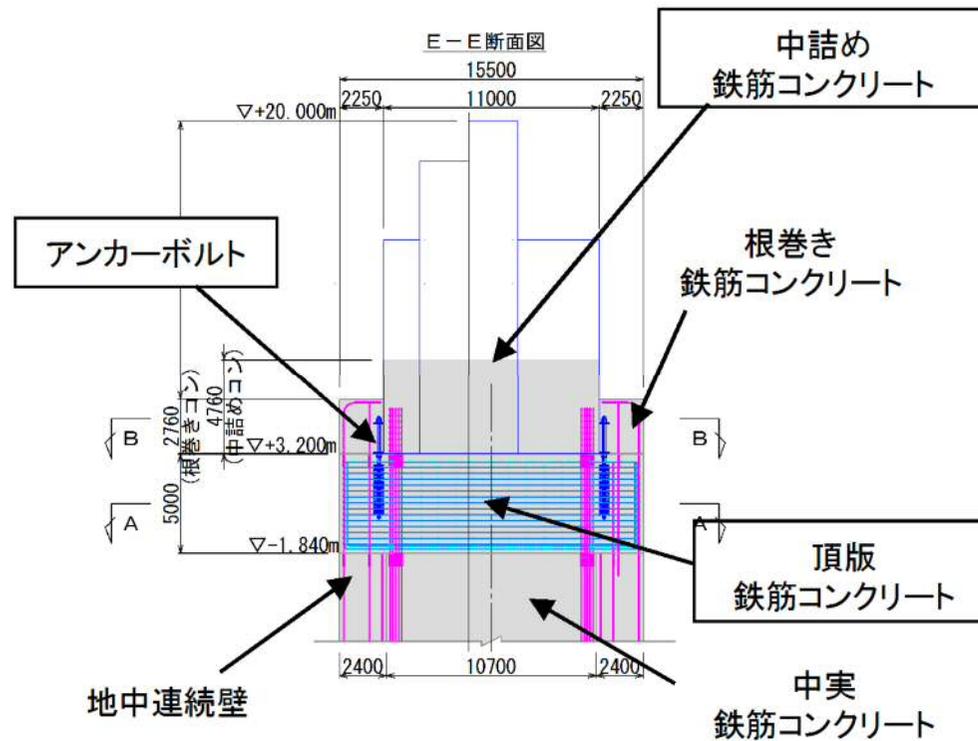
- ・鋼製防護壁は浸水防護施設であることから、本震時、津波時、余震と津波の重畳時の何れに対しても、構造部材の弾性範囲内で設計荷重を受けもてる設計を行う。
- ・鋼製防護壁本体の自重、及び、地震や津波による設計荷重を確実に基礎へ伝達させる。
- ・引抜き力に対しては、設計上アンカーボルトのみで抵抗可能とする。
→「鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)」に準拠する。
- ・水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては、設計上中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートのみで抵抗可能とする。
「道路橋示方書(日本道路協会)」, 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会)」に基づく。

アンカーボルトと中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートは、それぞれが負担すべき設計荷重を弾性範囲内で受けもてる部材設計を行うが、これらの部材が一体となった三次元構造においては、設計荷重に対して各部材が幾分かの相互作用を呈することが想定されるため、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受けもつことができていることの確認を主目的として、三次元解析(COM3)を実施する。

- 三次元解析(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。
- 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の確認を基本とし、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。
- 三次元の詳細な解析により、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。

■ 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)は鉄筋により結合して一体構造とする。



接合部の構造

設計思想及び設計方針

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。しかしながら、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(水平トルク)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ための耐力でも、弾性範囲内で負担できる設計思想とする。

- 鋼製防護壁は浸水防護施設であることから、本震時、津波時、余震と津波の重畳時の何れに対しても、構造部材の弾性範囲内で設計荷重を受けもてる設計を行う。
- 鋼製防護壁本体の自重、及び、地震や津波による設計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。
- 水平回転モーメントと水平力によるせん断力に対しては、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。
→「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)」に基づく。

アンカーボルトと中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートは、それぞれが負担すべき設計荷重を弾性範囲内で受けもてる部材設計を行うが、これらの部材が一体となった三次元構造においては、設計荷重に対して各部材が幾分かの相互作用を呈することが想定されるため、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受けもつことができていることの確認を主目的として、三次元解析(COM3)を実施する。

- 三次元解析(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。
- 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の確認を基本とし、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。
- 三次元の詳細な解析により、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。

対象部材及び準拠基準

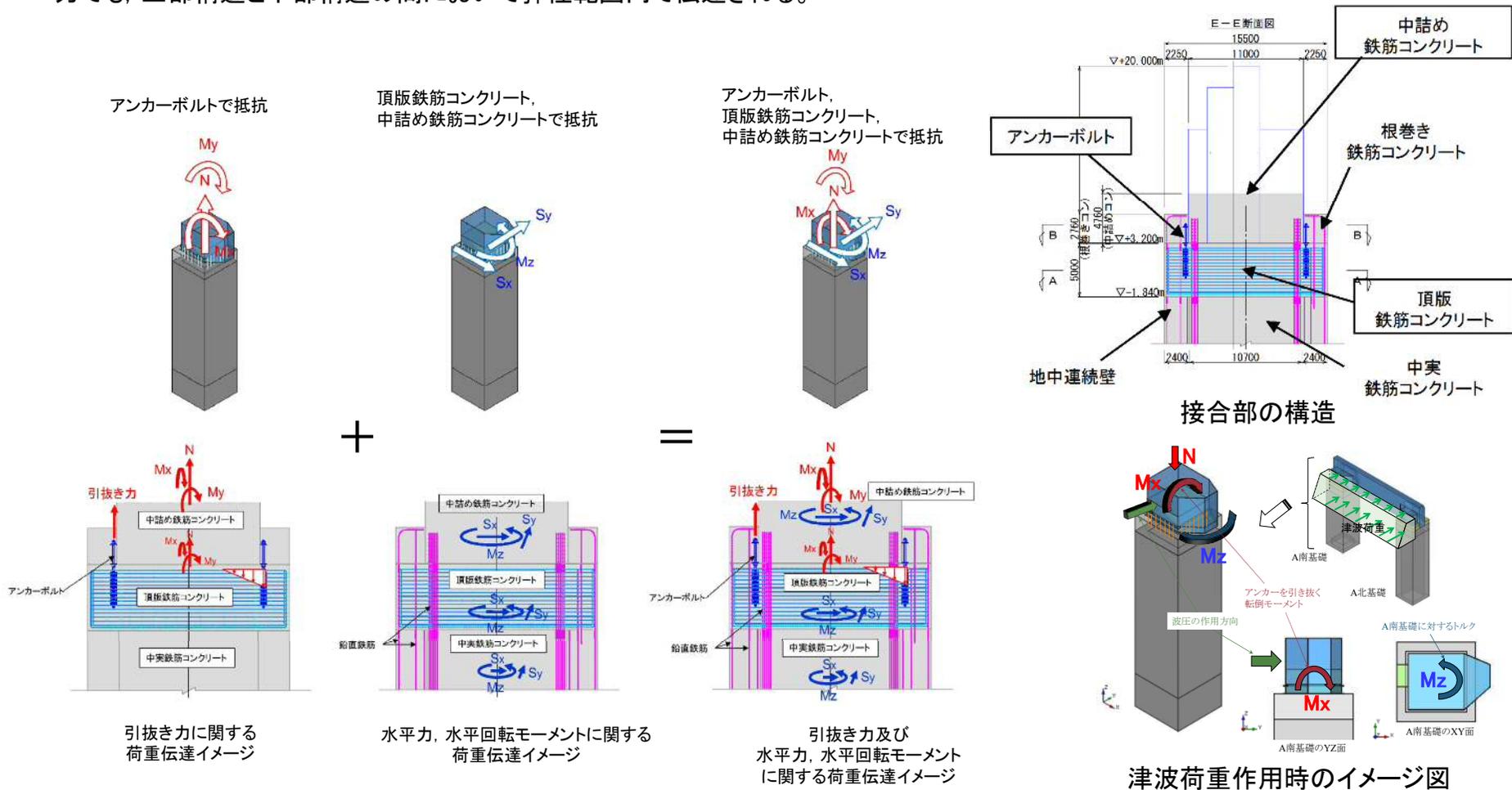
対象部位		荷重条件	準拠基準	設計思想
接合部	アンカーボルト	引抜き力	・鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)*1	・設計上引抜き力のみを負担する。
	中詰め鉄筋コンクリート、 頂版鉄筋コンクリート	水平力、 水平回転モーメント	・道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編)*2 <4.4 ねじりモーメント作用する部材の照査> ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]*3	・設計上水平力及び水平回転モーメントのみを負担する。

*1:名古屋高速道路公社
*2:日本道路協会
*3:土木学会

荷重の伝達メカニズム

上部構造と下部構造の接合部における並進、回転6成分の断面力は、接合部で一体となったアンカーボルト及び鉄筋コンクリートを介して伝達される。

なお、接合部における曲げ引張軸力に関する3成分の断面力は、設計上アンカーボルトのみの耐力でも、上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。また、接合部における水平せん断力に関する3成分の断面力は、設計上鉄筋コンクリートのみの耐力でも、上部構造と下部構造の間において弾性範囲内で伝達される。



荷重伝達のメカニズム

設計上の留意点

- 鋼製防護壁は浸水防護施設であることから、本震時、津波時、余震と津波の重畳時の何れに対しても、構造部材の弾性範囲内で設計荷重を受けもてる設計を行う。
- アンカーボルトは、水平せん断力に対する抵抗力も有するが、保守的な配慮として、設計上引抜き力のみを弾性範囲内で負担できればよい役割の部材に位置づけた設計を行う。
- 津波により作用する水平回転モーメント及び水平力によるせん断力は、通常の橋梁と比較して大きいことから、保守的な配慮として、上部構造と下部構造の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の耐力でも、弾性範囲内で負担できる設計とする。

【コメント】

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】

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。しかしながら, 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(水平トルク)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耐力でも, 弾性範囲内で負担できる設計思想とする。

鋼構造物設計基準 (名古屋高速道路公社)の該当項目と適用範囲をP9に整理した。

コメント回答No.2(2/3)



鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）の適用範囲

- ・アンカーボルトは水平せん断力に対する抵抗力も有するが、鋼製防護壁では保守的な配慮として、設計上アンカーボルトは引抜き力のみを弾性範囲内で負担できればよい役割の部材に位置づけた設計を行う。上部構造と下部構造の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の耐力でも、弾性範囲内で負担できる設計とする。この設計方針を前提として、以下に接合部の引抜き力に対するアンカーボルトの設計のみを対象とする鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）の適用について整理を行う。
- ・なお、鋼構造物設計基準の津波防護施設への適用実績は確認されていないが、当該基準に準拠した弾性範囲内の設計および三次元解析による設計の妥当性確認を行う方針である。

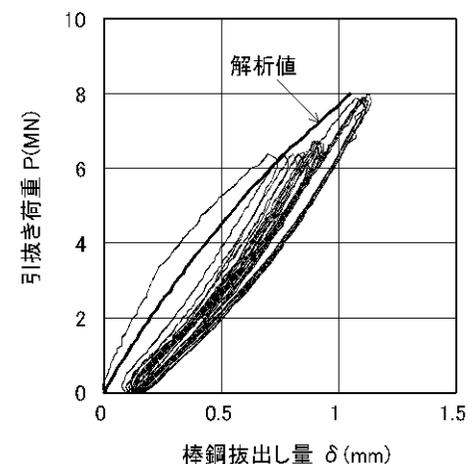
分類	「鋼構造物設計基準」の主な該当項目		「鋼構造物設計基準」の主な適用範囲	鋼製防護壁への適用
設計思想	1.1	適用の範囲	上部構造と下部構造の接合部におけるアンカー部の設計	直接定着式アンカーボルトは、鋼製防護壁への適用に当たり、設計荷重に対して、引抜き力は設計上アンカーボルトの弾性範囲内で負担し、水平力、水平回転モーメントは設計上鉄筋コンクリートの弾性範囲内で負担することで適用範囲とする。
構造形式	7.1	一般	直接定着方式が原則	直接定着式アンカーボルトを選定する。
部材諸元	7.1	一般	アンカーボルト間隔2D (D:公称径)	基準に基づいて配置する。
	7.3.1	アンカーボルト	公称径 D80～D180 (mm)	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	SM490A 相当 315N/mm ² SM520B 相当 355N/mm ²	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 $\sigma_{ck}=21\sim27\text{N/mm}^2$	使用予定のコンクリートの設計基準強度は50N/mm ² であるが、基準に記載の設計基準強度27N/mm ² で保守的に設計する。設計荷重に対して、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、地震時と同様に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を行う。せん断力に対しては中詰め及び頂版の鉄筋コンクリートで負担する弾性設計を行う。
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』を用いる。
	7.2.2	照査応力度	直接定着式アンカーボルトの付着コーン破壊(鉄筋補強あり)せん断	コンクリートの照査応力度は基準に基づいて設定する。

コメント回答No.2(3/3)

- 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
 - ・引抜き力に対しては、設計上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。

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



(文献8)より

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)

【コメント】

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基づく。
 - ② コンクリート標準示方書に該当項目がない場合は、道路橋示方書に基づく。
 - 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」(土木学会)に準拠して設計を行う。
- 水平回転モーメントによるせん断力は、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」(日本道路協会)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基づく。
 - ② コンクリート標準示方書に該当項目がない場合は、道路橋示方書に基づく。
 - 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」(土木学会)に準拠して設計を行う。
- 水平回転モーメントによるせん断力は、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に対する設計

「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によるせん断力に対する設計

【コメント】

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】

- 設計手法には、弾性範囲内に構造物の挙動を収める許容応力度法に準拠する方法や、ある程度の塑性変形を許す保有水平耐力法に準拠する方法がある。これら2つの方法を併用することには問題がある。しかしながら、鋼製防護壁接合部の設計においては、鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)及び道路橋示方書(日本道路協会)の許容応力度法に準拠して、設計荷重に対し接合部の各部材の弾性範囲内に収める設計を行う。よって、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。さらに、三次元解析(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。

コメント回答No.4(2/3)

- 設計手法には、弾性範囲内に構造物の挙動を収める許容応力度法に準拠する方法や、ある程度の塑性変形を許す保有水平耐力法に準拠する方法がある。これら2つの方法を併用することには問題がある。しかしながら、鋼製防護壁接合部の設計においては、鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)及び道路橋示方書(日本道路協会)の許容応力度法に準拠して、設計荷重に対し接合部の各部材の弾性範囲内に収める設計を行う。よって、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。さらに、三次元解析(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。

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。



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))(許容応力度法)
- 水平力及び水平回転モーメントへの対応・・・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))(許容応力度法)

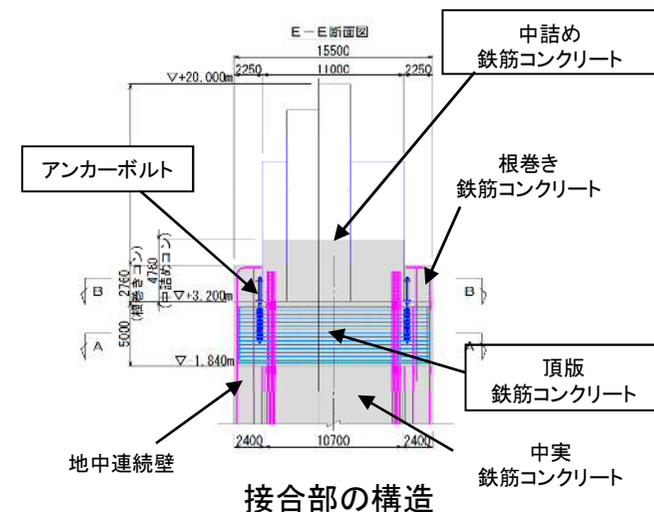
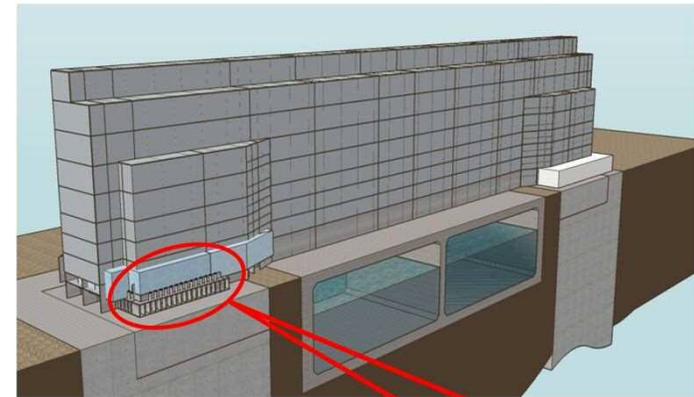


技術指針の併用

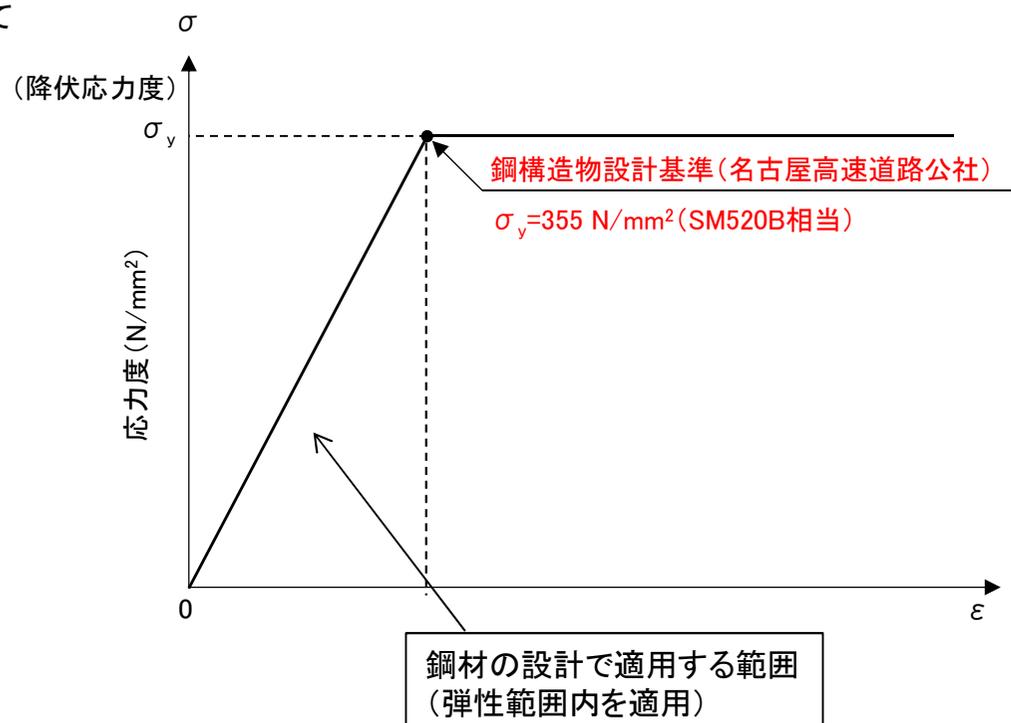
- 鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)と道路橋示方書(日本道路協会)は両者とも弾性領域での設計に適用することから、両基準を併用することに問題はない。



- 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、三次元解析(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。



○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^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強度 27N/mm^2 を適用する。

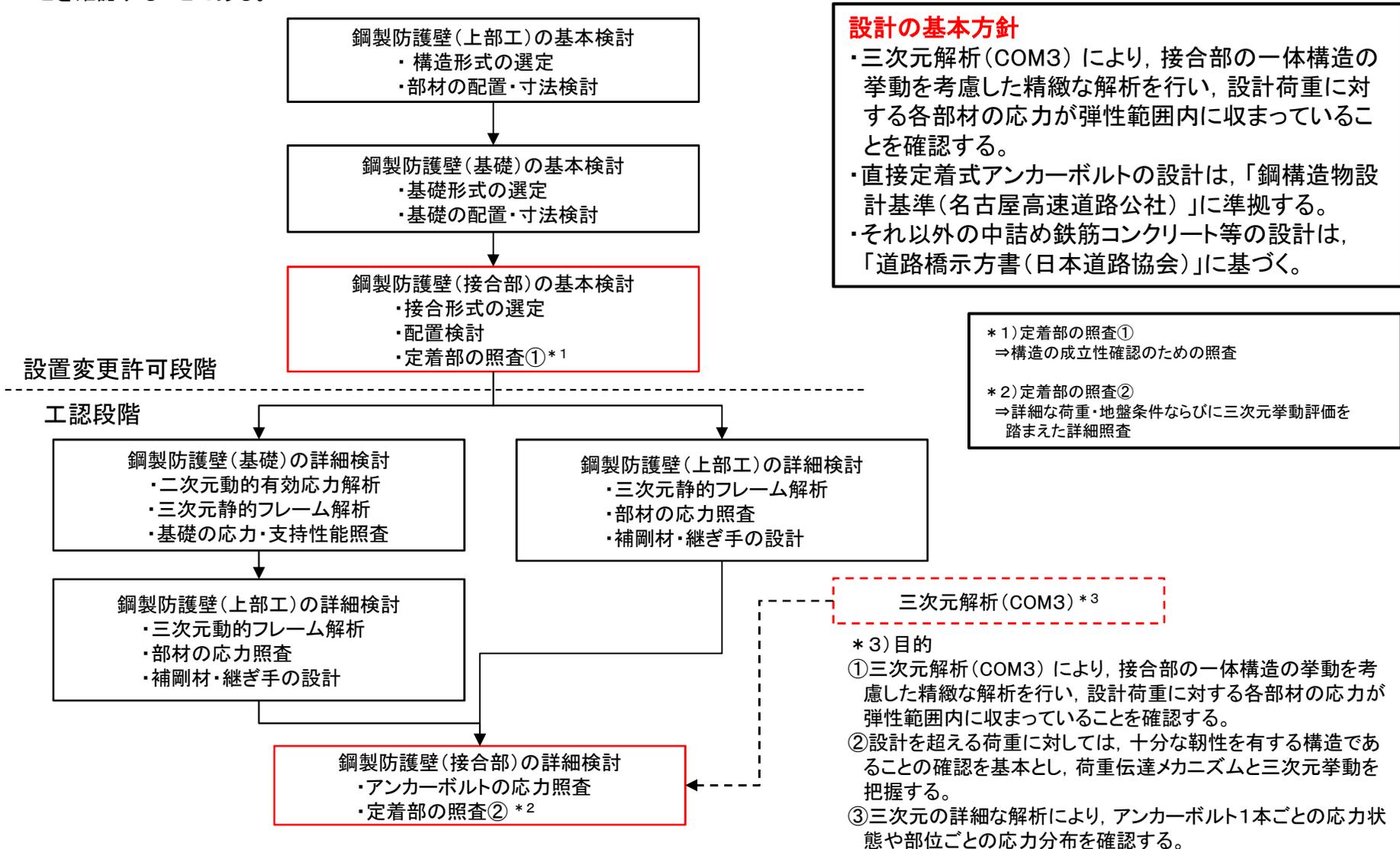
【コメント】

「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】

- 基本検討のうち定着部の評価とは、設置変更許可段階における定着部の照査を示す。この段階での照査は、基準類に準拠して設計を行い、構造の成立性を確認することである。
- 工認段階における評価は、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(アンカーボルト、中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリート)が設計荷重に対して弾性範囲内であることを確認することである。
- P17~24に構造の成立性を示す。

- 基本検討のうち定着部の評価とは、設置変更許可段階における定着部の照査を示す。この段階での照査は、基準類に準拠して設計を行い、構造の成立性を確認することである。
- 工認段階における評価は、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(アンカーボルト、中詰め鉄筋コンクリート、頂版鉄筋コンクリート)が設計荷重に対して弾性範囲内であることを確認することである。

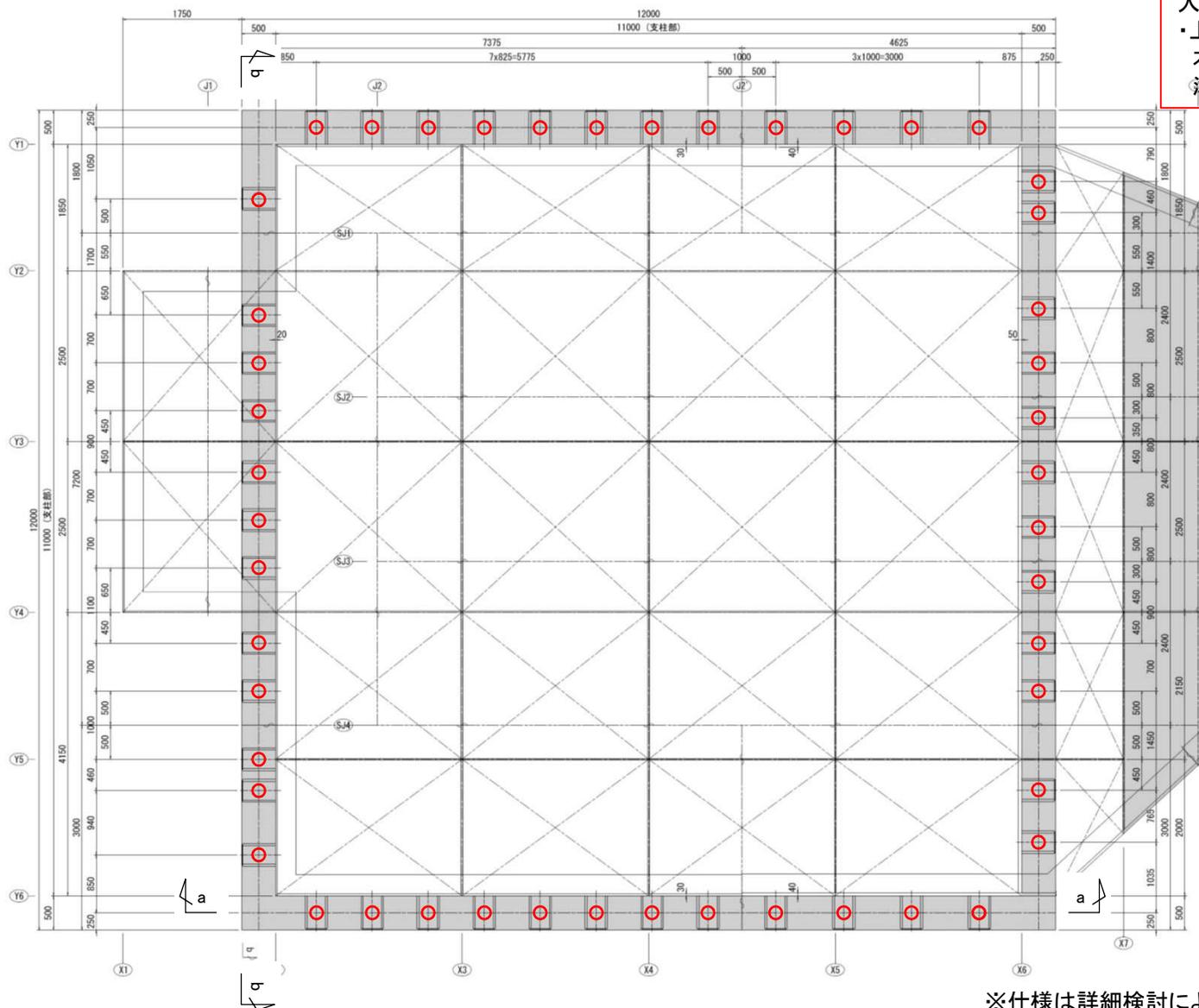


コメント回答No.5 (3/9)

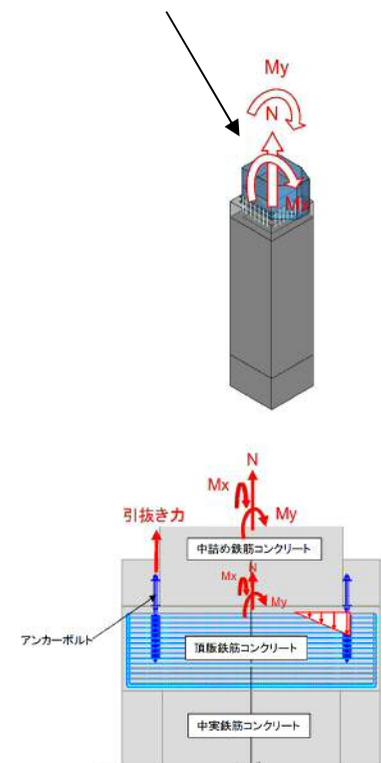


アンカーボルトの配置検討結果 (弾性設計)

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 (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 (m²)</td><td>144.0000</td></tr> <tr><td>A' (m²)</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>y_u (m)</td><td>6.0000</td></tr> <tr><td>y_l (m)</td><td>-6.0000</td></tr> <tr><td>I_z (m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>I_y (m⁴)</td><td>1728.00000</td></tr> <tr><td>W_u (m³)</td><td>288.00000</td></tr> <tr><td>W_l (m³)</td><td>-288.00000</td></tr> <tr><td>J (m⁴)</td><td>2920.32000</td></tr> <tr><td>A_o (m²/m)</td><td>48.0000</td></tr> <tr><td>A_i (m²/m)</td><td>0.0000</td></tr> </table>		A (m ²)	144.0000	A' (m ²)	0.0000	y _u (m)	6.0000	y _l (m)	-6.0000	I _z (m ⁴)	1728.00000	I _y (m ⁴)	1728.00000	W _u (m ³)	288.00000	W _l (m ³)	-288.00000	J (m ⁴)	2920.32000	A _o (m ² /m)	48.0000	A _i (m ² /m)	0.0000
		A (m ²)	144.0000																						
A' (m ²)	0.0000																								
y _u (m)	6.0000																								
y _l (m)	-6.0000																								
I _z (m ⁴)	1728.00000																								
I _y (m ⁴)	1728.00000																								
W _u (m ³)	288.00000																								
W _l (m ³)	-288.00000																								
J (m ⁴)	2920.32000																								
A _o (m ² /m)	48.0000																								
A _i (m ² /m)	0.0000																								
断面力	M _z (kN.m)	1582248.000																							
	M _y (kN.m)	2855.000																							
	N (kN)	35736.000																							
ヤング係数比		n = 15.00																							
応力度 (N/mm ²)	σ _c σ _{ca}	7.656 < 18.000																							
	σ _s σ _{sa}	308.457 < 346.000																							
	σ _{s'} σ _{sa}	-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																							
G _z (m ³)		14.90098																							
I _z (m ⁴)		617.79276																							
I _{zy} (m ⁴)		0.23012																							
鋼種	位置 (m)	鉄筋径 (mm)	本数 (本)	鉄筋量A _s (cm ²)																					
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_c : コンクリートの圧縮応力
 σ_s : アンカーボルトの引張応力
 σ_{s'} : アンカーボルトの圧縮応力

コメント回答No.5(6/9)

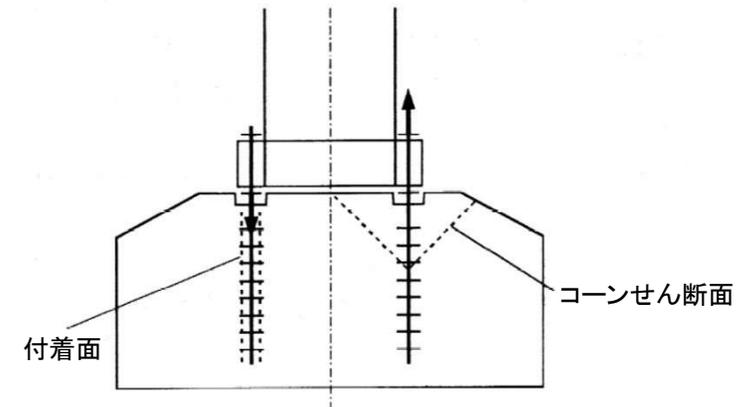


アンカーボルトの定着長に対する検討結果(弾性設計)

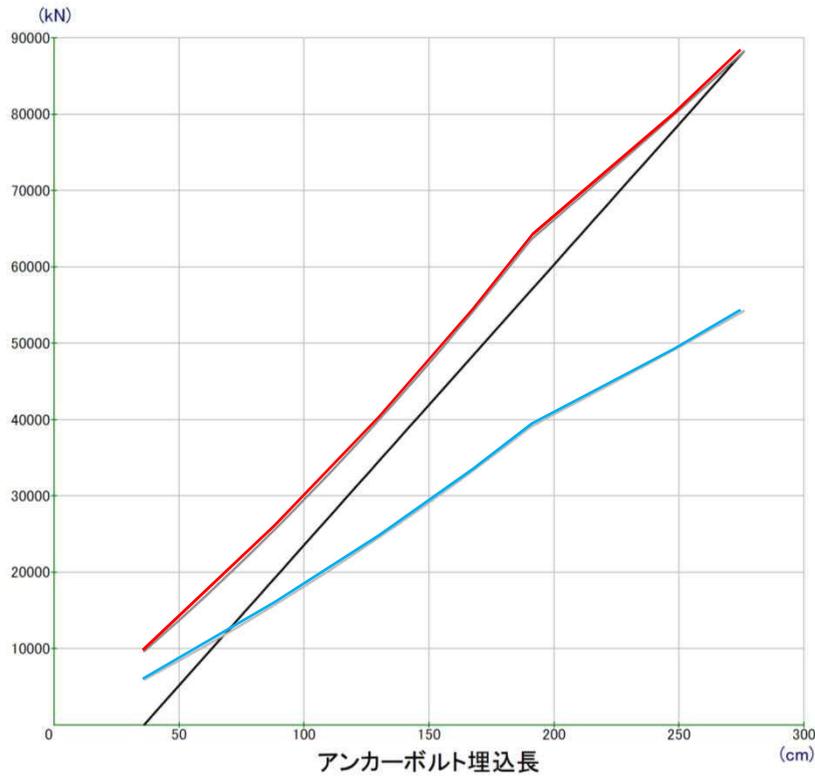
異形棒鋼(スタッド付き) d2 = 180 (mm) 【 M175 】
アンカーボルト材質 SM520B
コンクリート材質 $\sigma_{ck} = 27$ (N/mm²)

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。

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


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)

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

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

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

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

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

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

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

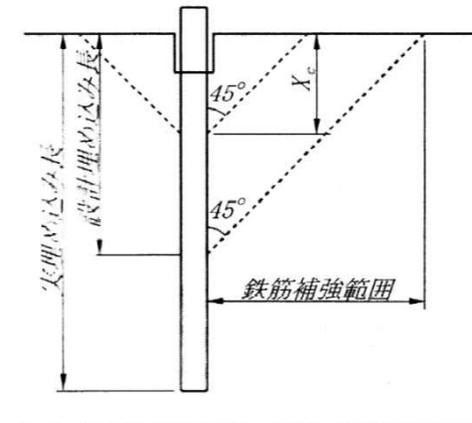
◆必要鉄筋量

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

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

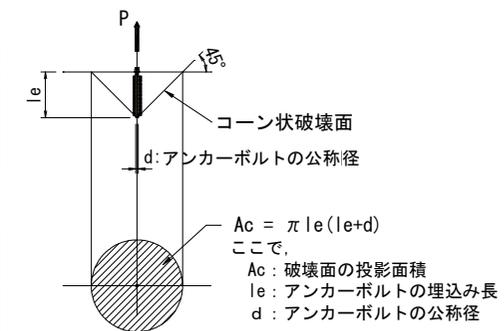
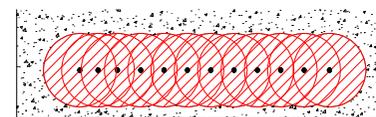
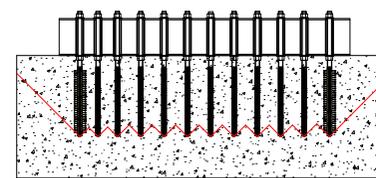
$$As_{req} = As / Ac(Xc)$$

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



フーチング下面

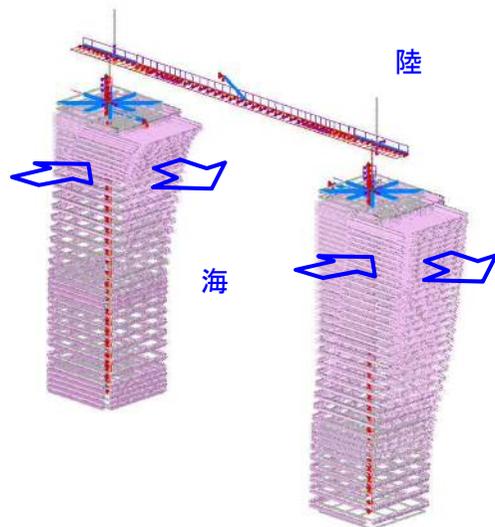
鉄筋補強範囲



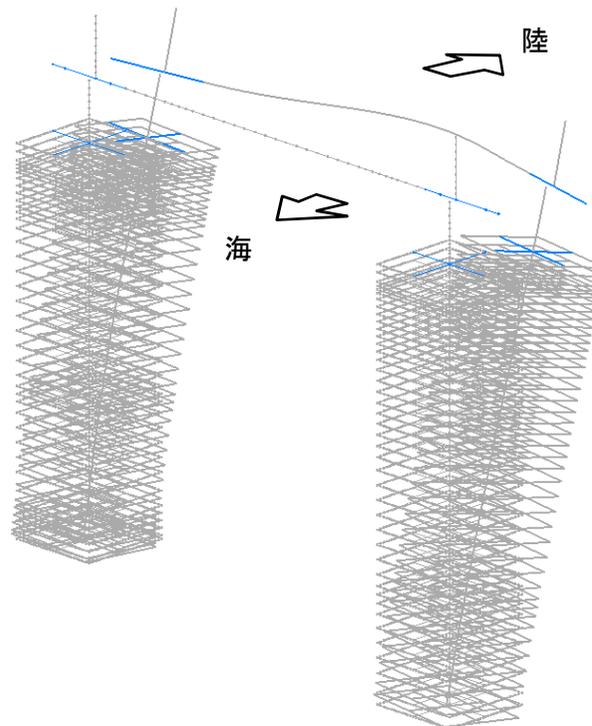
複数のアンカーボルトに対するコーンせん断面の考え方

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)

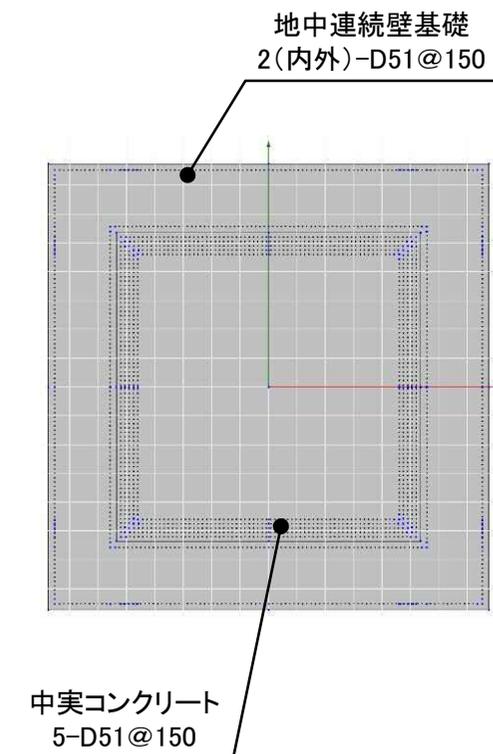
余震+津波時
 照査値(鉄筋) 南基礎:0.96, 北基礎:0.82
 ・中実コン鉄筋5-D51@150
 ・地中連続壁基礎2-D51@150
 (水平2方向地震力の影響を荷重で考慮)



荷重図



変形図



配筋の概要

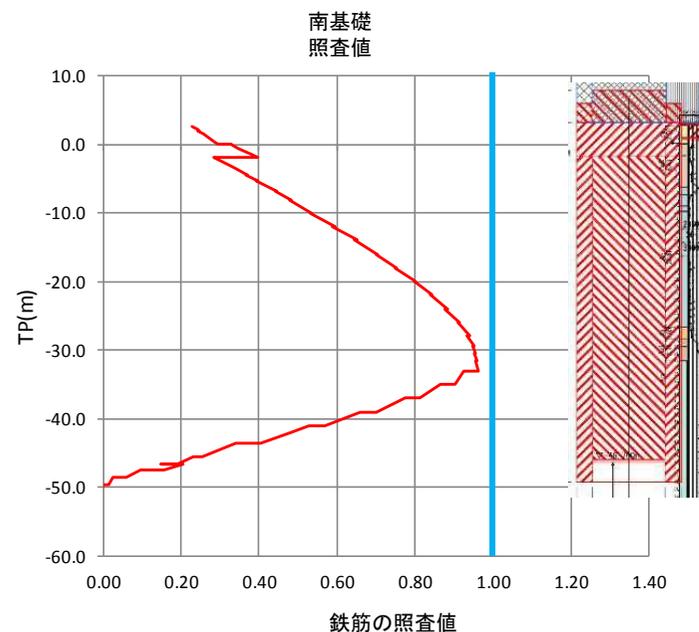
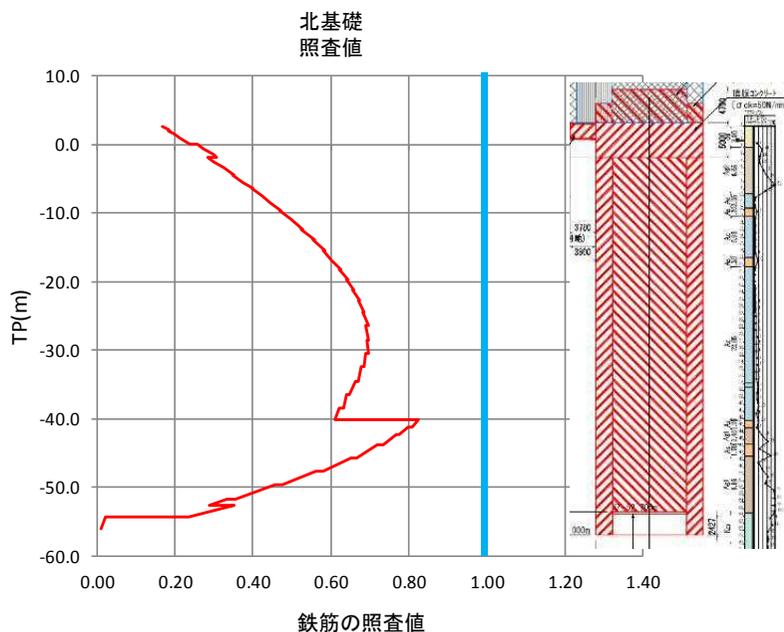
基礎に発生する曲げモーメントに対する鉄筋応力の照査結果(弾性設計)

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



【コメント】

- ・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

アンカーボルトと中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートは、それぞれが負担すべき設計荷重を弾性範囲内で受けもてる部材設計を行うが、これらの部材が一体となった三次元構造においては、設計荷重に対して各部材が幾分かの相互作用を呈することが想定されるため、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受けもつことができていることの確認を主目的として、三次元解析(COM3)を実施する。

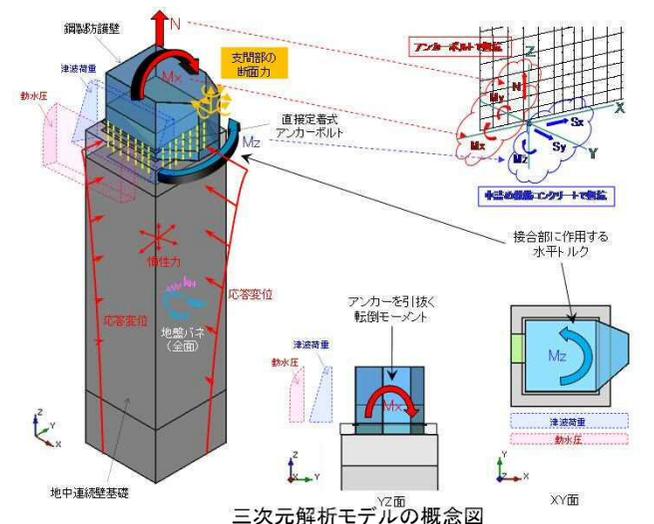
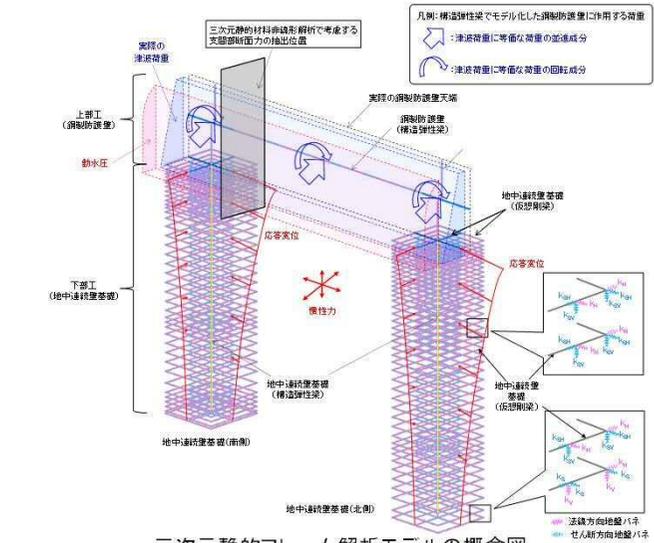
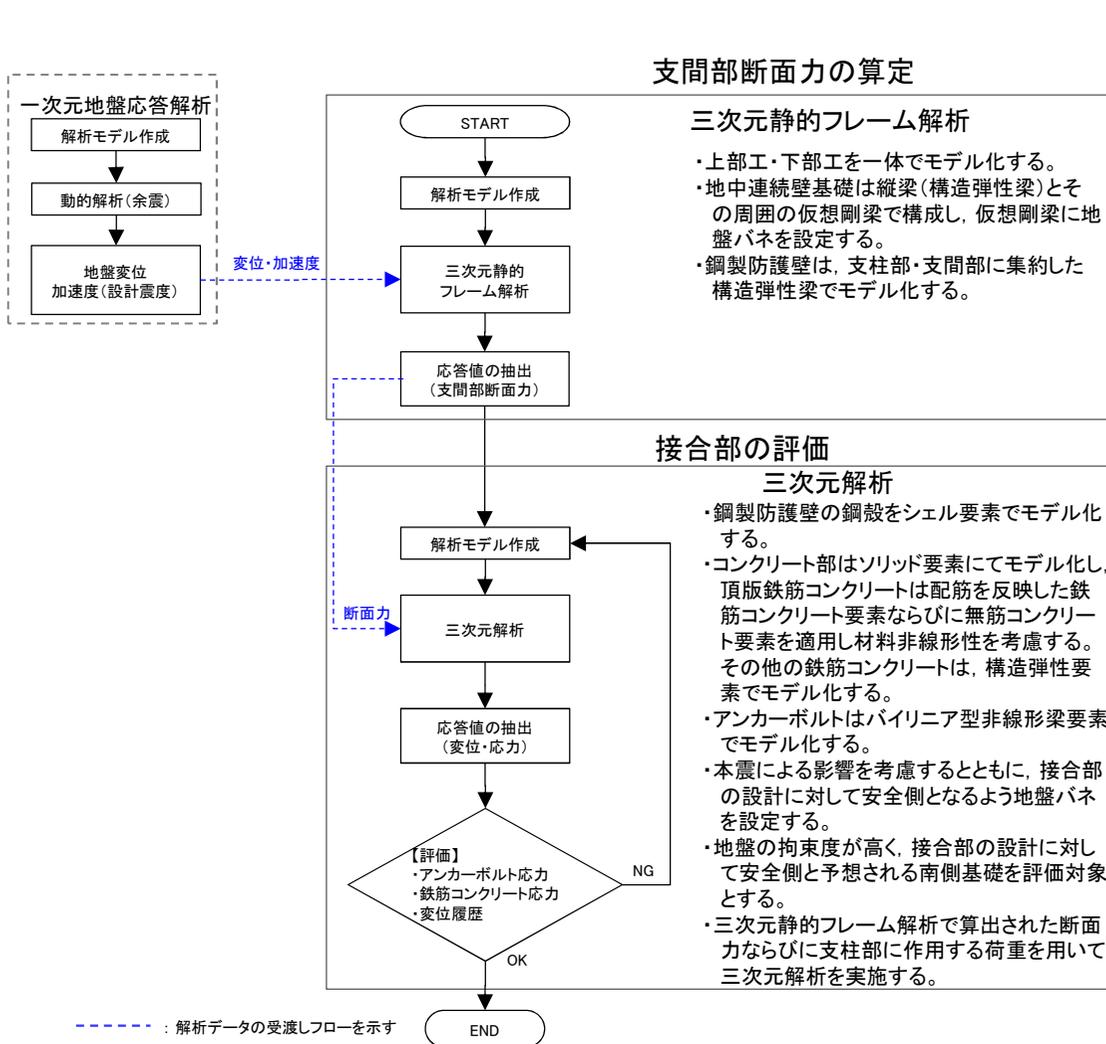
- ①三次元解析(COM3)により、接合部の一体構造の挙動を考慮した精緻な解析を行い、設計荷重に対する各部材の応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。
- ②設計を超える荷重に対しては、十分な靱性を有する構造であることの確認を基本とし、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。
- ③三次元の詳細な解析により、アンカーボルト1本ごとの応力状態や部位ごとの応力分布を確認する。

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

- ①三次元解析(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の確認を基本とし、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握する。
- ③三次元の詳細な解析により、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。



(1)三次元静的フレーム解析(三次元解析(COM3)への入力荷重算定モデル)

解析の目的

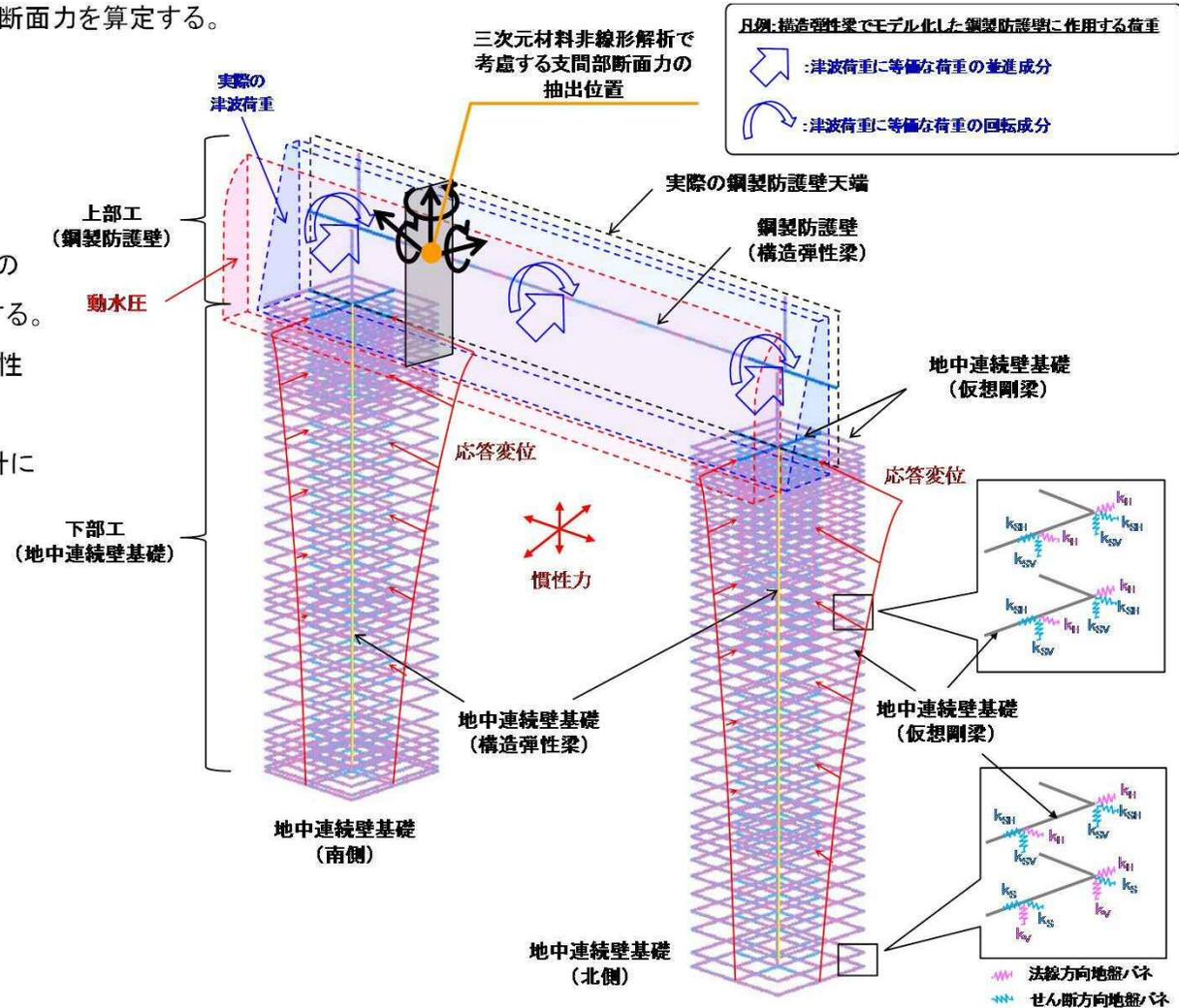
- ・津波荷重や余震影響を含む鋼製防護壁支間部の断面力を算定する。

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適切に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

(2) 三次元解析 (COM3)

解析の目的

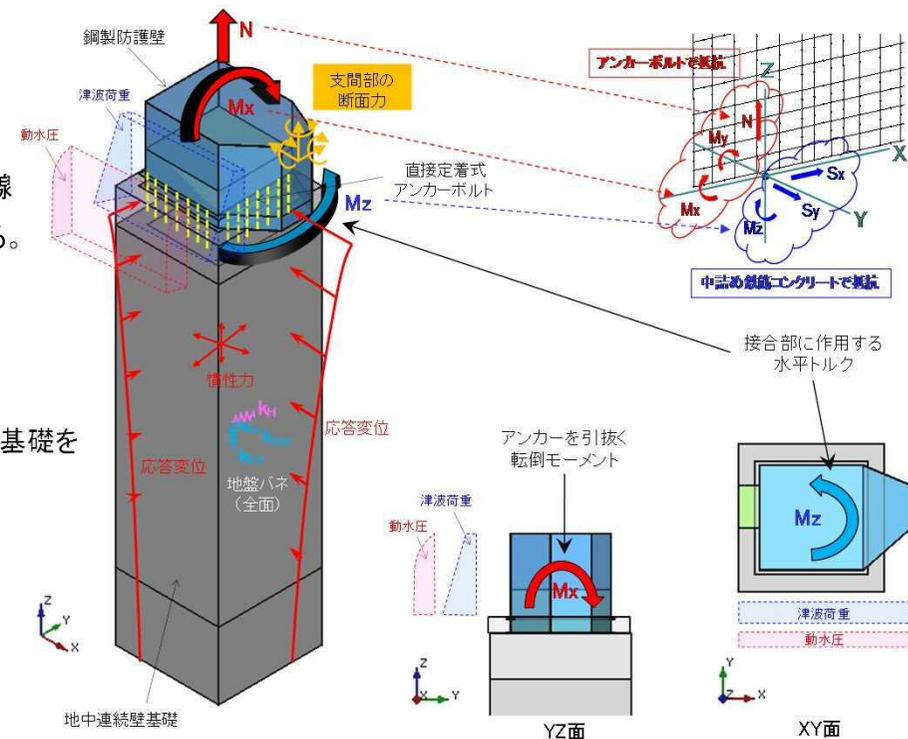
・津波荷重や余震影響を受ける鋼製防護壁接合部の三次元的な挙動を評価し、設計の妥当性及び直接定着式アンカーボルトの適用性を確認する。

結果の利用

- ・鋼構造物設計基準(名古屋高速道路公社)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

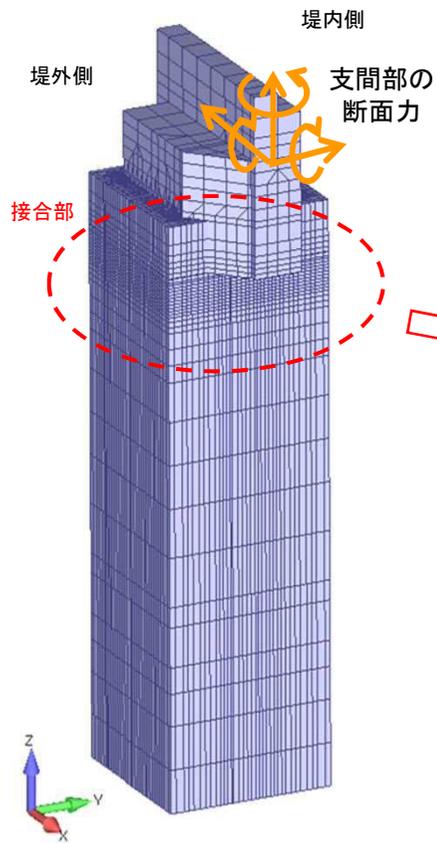
- ・鋼製防護壁の鋼殻をシェル要素でモデル化する。
- ・コンクリート部はソリッド要素にてモデル化し、頂版鉄筋コンクリートは配筋を反映した鉄筋コンクリート要素ならびに無筋コンクリート要素を適用し材料非線形性を考慮する。その他の鉄筋コンクリートは、構造弾性要素でモデル化する。
- ・アンカーボルトはバイリニア型非線形梁要素でモデル化する。
- ・本震による影響を考慮するとともに、接合部の設計に対して適切に地盤バネを設定する。
- ・地盤による拘束度合が高く、接合部の設計に対して安全側と考えられる南側基礎を評価対象とする。
- ・三次元静的フレーム解析で算出された断面力ならびに支柱部に作用する荷重を用いて三次元解析を実施する。



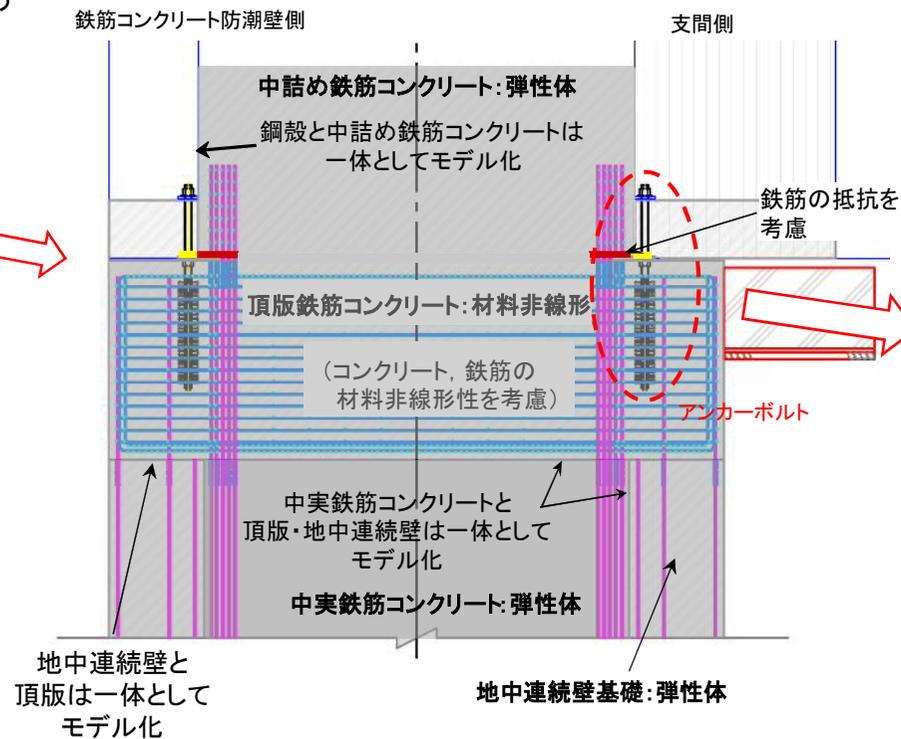
三次元解析モデルの概念図

■ 接合部のモデル化方針

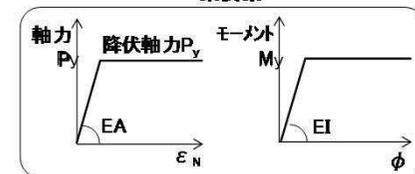
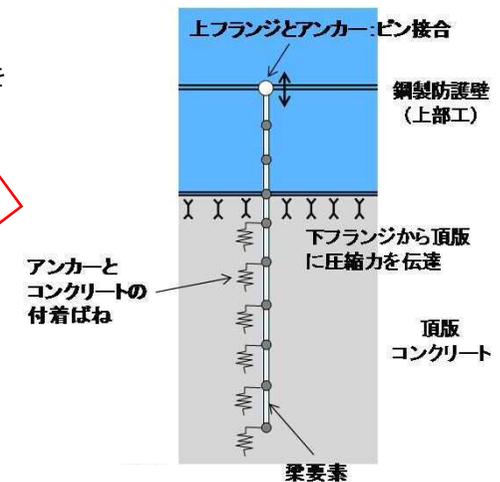
解析手法	三次元解析
プログラム	COM3
対象荷重	余震+津波時
目的	<ul style="list-style-type: none"> ・接合部の設計の妥当性確認 ・鉄筋コンクリートの材料特性を反映した三次元挙動評価
データ利用	<ul style="list-style-type: none"> ・直接定着式アンカーボルト及び頂版鉄筋コンクリート(接合部)の評価



全体モデル
(イメージ)

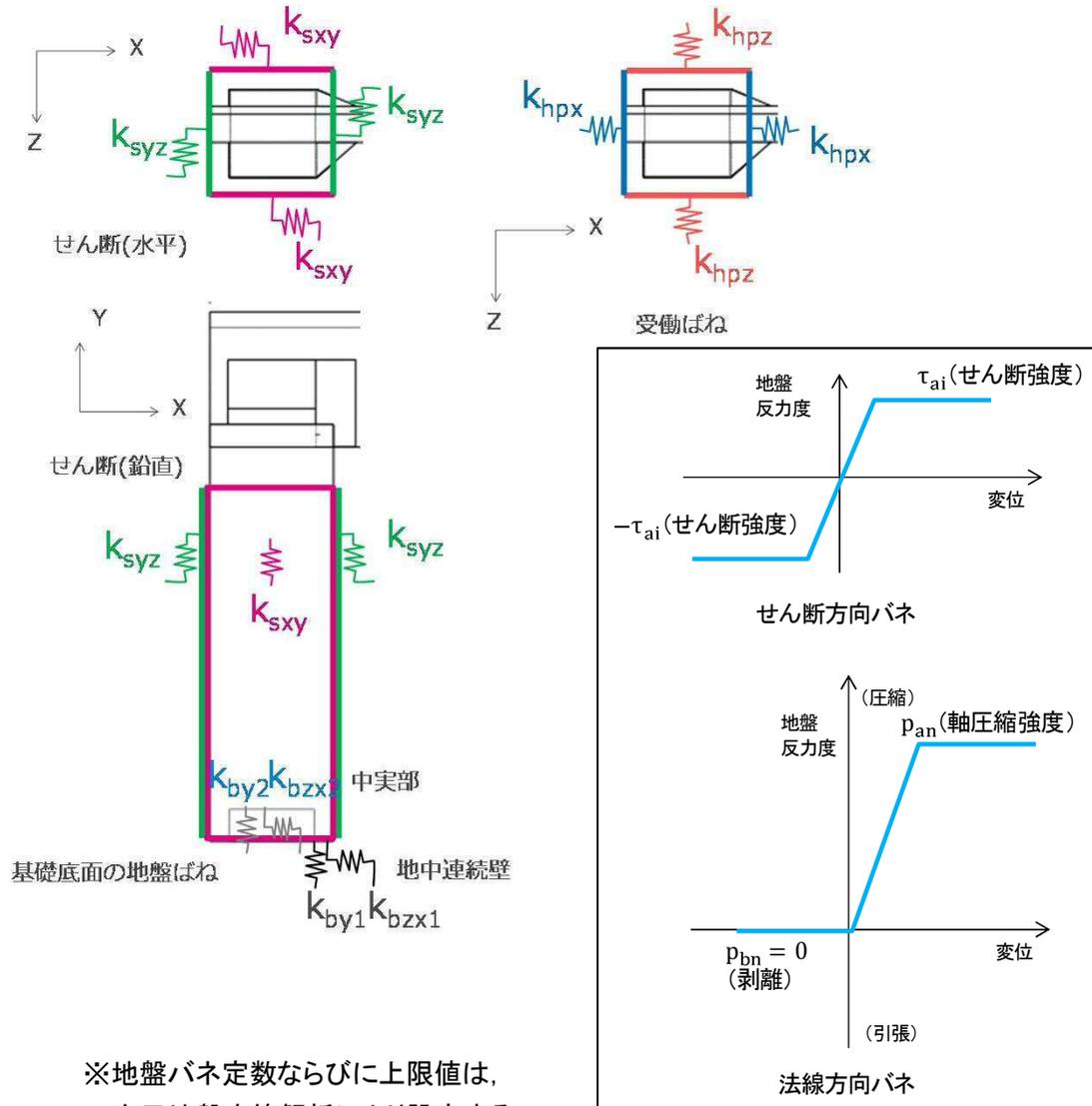
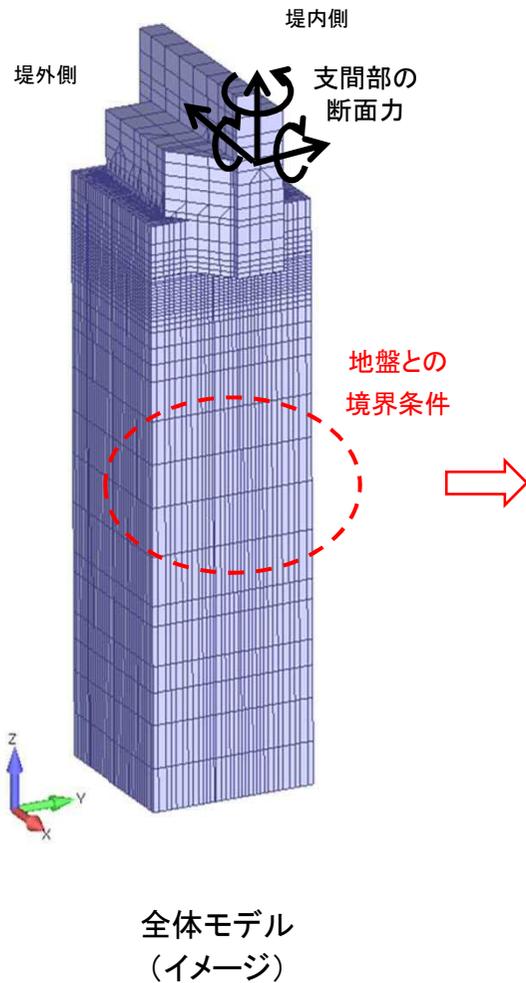


接合部のモデル化



アンカーボルトのモデル化

■ 接合部のモデル化方針



地盤のモデル化

【コメント】

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】

鋼製防護壁は、弾性範囲内での設計を基本とし、荷重分担に応じて部材ごとに弾性設計する。アンカーボルトと中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートは、それぞれが負担すべき設計荷重を弾性範囲内で受けもてる部材設計を行うが、これらの部材が一体となった三次元構造においては、設計荷重に対して各部材が幾分かの相互作用を呈することが想定されるため、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受けもつことができていることの確認を主目的として、三次元解析(COM3)を実施する。

三次元解析(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。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^{8)~11)}で示されているため、改めての実験は必要でないものとする。

なお、解析では実験で分かりづらい細部の応力分布や荷重分担の状況を確認でき、評価が可能となる。鋼製防護壁のように、大規模な構造及び荷重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、解析では実物大の数値実験シミュレーションにも対応可能である。また、解析では様々な条件を想定したパラメータスタディやケーススタディなどの実施も可能であることから、多角的な検証・評価が行える。

【コメント】

・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)により、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、信頼性があるものと判断できる。

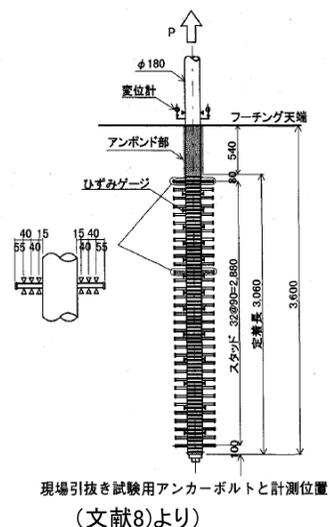
三次元解析の計算機プログラム(解析コードCOM3)の検証における参考文献を考慮した検討内容をP33～34に記載した。

■三次元解析COM3のモデルの妥当性を示す文献

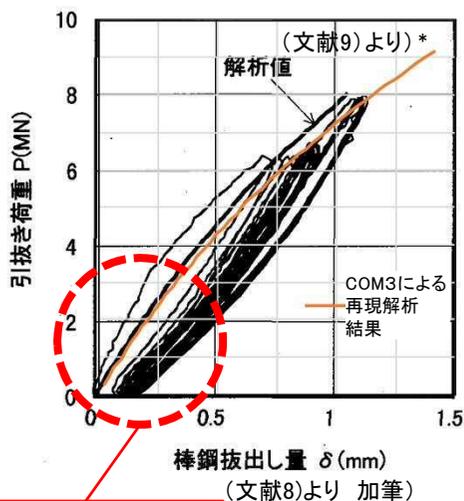
鉄筋コンクリートの材料非線形を考慮した精緻な三次元解析(COM3)により、設計の妥当性を確認するが、弾性範囲内の設計であり、『COM3』の弾性範囲内での妥当性は実験等との比較検討で確認している。鉄道施設や電力設備については、鉄筋コンクリート構造物の耐震性能や耐力評価に『COM3』が適用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があるものと判断できる。

(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⁸⁾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～変位関係における弾性範囲内での再現性が高いことを確認した。



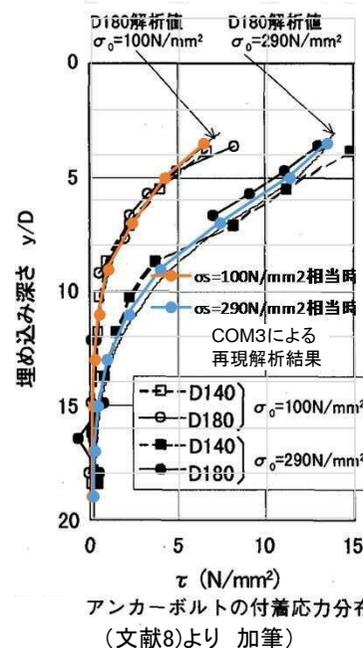
引抜き試験概要



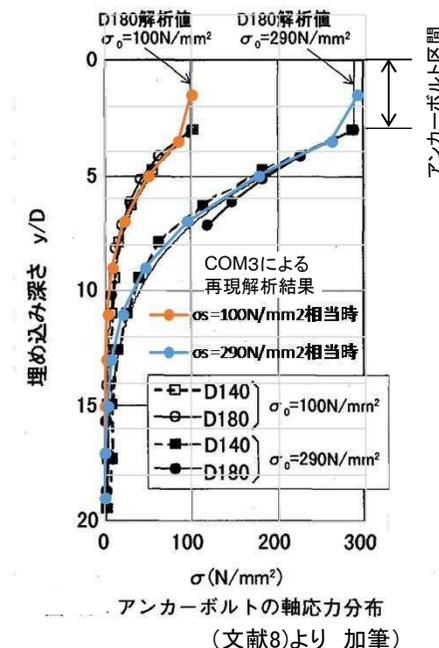
弾性範囲内で再現状況

*: 解析値は文献9)に示されている手法により求められた結果である。

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)



【コメント】

- ・文献の引用を適正化すること。

【回答概要】

鋼製防護壁の接合部の一部には、直接定着式アンカーボルトの使用を予定している。

第513回審査会合(H29. 9. 26)の資料に示した参考文献は、直接定着式アンカーボルトの研究開発に係る実績やアンカーボルトとしての一般的な適用性を説明することを目的に記載したものであり、それらの参考文献が「鋼製防護壁の接合部への適用性」を示すものという意図で記載したものではなかったが、誤解を招く可能性がある表現に留意して再整理を行い、記載の適正化を行った。

鋼製防護壁の接合部の設計で準拠した基準類は、コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会)、道路橋示方書(Ⅲコンクリート橋編)・同解説(日本道路協会)、鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)(名古屋高速道路公社)であることから、これら基準類を参考文献として明記したことに加え、鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)(名古屋高速道路公社)から引用されている4つの文献と三次元解析COM3の妥当性確認で参考とした4つの文献を参考文献として記載した。また、今回の資料において直接関連付けていない文献は削除し記載の適正化を行った。

コメント回答No.10(2/2)



第513回審査会合(H29. 9. 26)で示した文献と今回記載の参考文献

	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)	14)	
第513回審査会合(H29. 9. 26)で掲載の文献			●	●			●	●				●	●	●	直接定着式アンカーボルトの研究実績に関する参考文献と設計基準
今回(H30. 3. 20)掲載の文献	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				鋼製防護壁の接合部の設計においては、1)~3)が準拠する文献である。3)の鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)(名古屋高速道路公社)に引用されている文献として4)~7)を記載する。三次元解析(COM3)の妥当性確認の参考文献として8)~11)を記載する。12)~14)は今回の資料においては参考として位置付けていない。
	第513回審査会合(H29. 9. 26)で記載した参考文献						今回(H30. 3. 20)資料に記載した参考文献								
鋼製防護壁の接合の設計において準拠する文献	1)	—						コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (公益社団法人土木学会)							
	2)	—						道路橋示方書(Ⅲコンクリート橋編)・同解説 (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)						鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編) (名古屋高速道路公社) ^{4), 5), 6), 7)}							
鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)(名古屋高速道路公社)に引用されている文献	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						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						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							
三次元解析(COM3)の妥当性確認に用いた参考文献	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						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 「引き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 「風車基礎ベ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 「風車基礎ベ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							
今回の資料においては参考としていない文献	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						—							