

東海第二発電所 設計及び工事計画に係る説明資料 (防潮堤 (鋼製防護壁) の構造変更)

2025年11月19日
日本原子力発電株式会社

本資料中の□は、商業秘密又は防護上の観点で公開できません。

目 次

1. 概要	3
2. 第1360回審査会合コメント⑬回答 (高強度鉄筋 S D685の適用性について)	7
3. 第1360回審査会合コメント⑭回答 (防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて)	16
4. 第1360回審査会合コメント⑮回答 (地盤改良の改良品質の不確かさへの対策方針)	資料1-3
5. 第1360回審査会合コメント⑯回答 (防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について)	32
6. 今後の予定	44

1. 概要

1. 概要 (1/3)

審査会合コメント一覧を以下に示す。

審査会合コメント整理表

今回説明するものでも更なる追加説明が必要なものについては、STEP4で追加説明を実施する。

審査会合	コメント	回答
第1240回	① ● 基準適合性を判断するために必要な調査項目を網羅的に整理し不具合事象の全容を示すこと。 ● 調査結果を踏まえた既工認との相違点を網羅的に整理して説明すること。	回答済 (第1259回)
	② ● 既工認に立ち返り、設計や工事等の各方面から課題を網羅的に整理した上で対応方法を示すこと。	STEP3で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済
	③ ● 不確かさを考慮して設計すること（局部的に応力集中が起こる可能性も否定できない）。	回答済 (第1360回)
	④ ● 既工認と同様に、設計条件及び評価項目のすべてに対して説明する等検討すること。	STEP3で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済 ・ 評価結果はSTEP4で説明
第1259回	⑤ ● 現状の調査結果からは不具合の全容を確認したことにはならないため、作り直しも含めて対応方針を整理して示すこと。	回答済 (第1280回)
第1280回	⑥ ● 鋼製防護壁全体としての構造と施工方法に成立性が見込まれる形で検討すること。	STEP3で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済
	⑦ ● 地中連続壁を残置する影響については、想定される様々な角度から十分に検討すること。	回答済 (第1360回)
	⑧ ● 地盤改良、新規基礎追加等については、周辺施設に与える影響を網羅的に検討すること。また、実現性のある工事計画を綿密に立案すること。	STEP4で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済 ・ 地盤改良等の周辺施設への影響結果はSTEP4で説明
	⑨ ● 地盤改良を新たに実施する場合には改良土全体が所定の強度を有していることを確認するための品質管理方法について、設工認で示す内容、使用前事業者検査で示す内容を整理すること。	STEP4で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済 ・ 地盤改良（薬液注入）試験施工の結果はSTEP4で説明
第1309回	⑩ ● 構造変更案について具体的な評価の説明に当たっては、実現可能性・基準適合性を的確に審査できるレベルに達した資料を整えて説明すること。また、特徴や弱点を踏まえて課題を網羅的に抽出してロジックを含めて資料化すること。	STEP3で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済
	⑪ ● 説明スケジュールを明確にすること。	STEP3で説明
	⑫ ● 施工性について、施工管理が可能である旨も含めて具体的に説明すること。	回答済 (第1329回)

1. 概要 (2/3)

審査会合	コメント	回答
第1360回	<ul style="list-style-type: none"> ⑬ 高強度鉄筋 S D685の適用性について、コンクリート標準示方書等に基づいて適用範囲であるとしているが、その根拠（実験論文等）や「実験等により検討することが望ましい。」との記載に対する対応要否について説明すること。また、高強度鉄筋はヤング係数が変わらずその強度が高くなることから降伏点の弾性ひずみが大きくなるため、その影響についても説明するとともに、これらの設計への影響について、網羅的に整理して説明すること。 	STEP3で説明 (今回説明)
	<ul style="list-style-type: none"> ⑭ 設計上のポイントとなる地盤バネについては、地盤バネの設定が適切であると判断するためには必要なエビデンスを詳細に説明すること。 	STEP3で説明 (今回説明)
	<ul style="list-style-type: none"> ⑮ 地盤改良工事について、改良品質に対する不確かさが安全側に設計へ反映されていることがわかるように説明すること。 例1) 改良品質の不確かさが、安全側に設計へ反映されているか説明すること。 例2) 地盤改良（薬液注入）は構造物の直下や深い深度に施工するため、施工実績を示すとともに、その施工性が設計に影響を及ぼさないことを説明すること。 例3) 地盤改良（薬液注入）について、薬剤の種類、注入方法、改良対象の地質を示すとともに、その適用性を示して、設計上の想定に影響を及ぼさないことを説明すること。 	STEP3で説明 (今回説明)
	<ul style="list-style-type: none"> ⑯ 地盤改良以外の工事について、設計上の想定に影響を及ぼす可能性があるものを抽出し、安全側の設計となっていることを説明すること。 例1) 中実鉄筋コンクリートにおけるD51-17.5段の太径鉄筋による高密度の配筋について施工実績が少なく施工難易度が高いと考えられるので、工事計画を実現するための対策を示すとともに不具合を繰り返さない取り組みを説明し、設計への影響がないことを説明すること。 例2) 中実鉄筋コンクリートの機械式継ぎ手の範囲には水平鉄筋が配置されないため、配置しないことによる影響が安全側に設計へ反映されていることを説明すること。 例3) 鋼管杭の岩盤への根入れ箇所について、先行置換材であるセメントベントナイトの強度と岩盤強度の大小関係を比較し、鋼管杭の地盤バネが安全側に設定されていることを示すこと。また、セメントベントナイトの耐用年数等、設計の想定に影響を及ぼす可能性がある工事の計画を網羅的に抽出し、それが安全側に設計へ反映されていることを説明すること。 	STEP3で説明 (今回説明)

前回審査会合（第1360回）で、STEP3の残置影響評価を考慮した構造成立性評価について説明した。今回は、構造成立性評価におけるコメントについて回答する。

審査会合（第1309回）

STEP 1

●構造変更案の概要

- 構造変更案の概要（追加基礎・地盤改良の追加）
- 今後の説明の流れ

STEP 2

●基本方針の設定※1

【耐震・耐津波評価】の基本方針

- 要求性能と設計評価方針
- 検討モデル（鋼管杭、地盤改良、頂版鉄筋コンクリート、地盤バネ群杭の扱い等）
- 評価フロー、評価項目
- STEP3で示す耐震評価に係る構造成立性の評価方法

【影響評価】の基本方針

- 地中連続壁の残置影響に係る評価ロジック、評価条件、評価方針及び保守性の整理
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響に係る評価項目、評価方法、周辺施設の詳細情報

【施工性・検査】の基本方針

- 追加基礎・地盤改良の施工方法と設計への反映事項の整理
- 品質確保のための検査項目（品質管理目標）
- 地盤改良（薬液注入）の性能目標、物性値

●構造成立性の見通し

【耐津波評価】の結果※2

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による各部の照査

審査会合（第1329回）

審査会合（第1360回）及び今回説明

STEP 3

●構造成立性

【耐震・耐津波評価】の結果

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による各部の照査

【影響評価】の結果

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による地中連続壁の残置影響評価

STEP 4

●詳細検討結果（補足事項含）

【耐震・耐津波評価】の結果

- 全解析ケースによる各部の照査

【影響評価】の結果

- 地中連続壁部の残置影響評価
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響評価

【施工性・検査】の確認結果

- 地盤改良物性値（ばらつき、液状化強度）に係る試験確認

2. 審査会合コメント⑬回答

【第1360回審査会合コメント⑬】

No	コメント
⑬	高強度鉄筋SD685の適用性について、コンクリート標準示方書等に基づいて適用範囲であるとしているが、その根拠（実験論文等）や「実験等により検討することが望ましい。」との記載に対する対応要否について説明すること。また、高強度鉄筋はヤング係数が変わらずその強度が高くなることから降伏点の弾性ひずみが大きくなるため、その影響についても説明するとともに、これらの設計への影響について、網羅的に整理して説明すること。

No	回答概要
⑬	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート標準示方書（2017）で高強度鉄筋SD685を利用可能と判断した根拠（網羅的に検討された項目）について整理し、防潮堤（鋼製防護壁）での適用に当たり問題のないことを確認した。 コンクリート標準示方書（2017）や鉄道構造物等設計標準（R6）で「実験等により検討することが望ましい」とされている高強度鉄筋の定着長の評価については、実験を実施しない場合に適用される鉄道構造物等設計標準算定式を用いた定着長に対して、更に保守的な長さを確保した定着長とした。なお念のため、今後実験（鉄筋の引き抜き試験）を行い問題ないことを確認する。 コンクリート標準示方書に準拠したコンクリートのひび割れに伴う剛性低下を考慮した構成則をモデル化している三次元材料非線形解析（COM3）を実施した結果、SD685鉄筋使用箇所におけるひずみ状況が許容応力度相当のひずみ未満であることから、SD685鉄筋の弾性ひずみの増大によるコンクリートのひび割れや剛性低下が、設計に及ぼす影響は無いことを確認した。

2. 審査会合コメント⑬回答（高強度鉄筋SD685の適用性について）

（1）コンクリート標準示方書における高強度鉄筋SD685の適用根拠（1/2）

鉄筋コンクリートで利用し得る高強度鉄筋の限界については研究が進み、コンクリート標準示方書（2017）では高強度鉄筋の適用性に伴う改定がなされSD685鉄筋までが利用可能となつたため、コンクリート標準示方書の改訂にあたつて網羅的に検討された内容について確認した。

鉄筋強度に係わる項目	着目点	コンクリート標準示方書で利用可能とした根拠	備考
本編5.3.1コンクリート強度の付着強度	コンクリート強度の付着強度	付着強度を求める実験が、SD685より高強度のPC鋼棒（節付き）などで実施されており、SD685まで付着強度算定式が適用できることを確認している。	左記の土木学会が示す利用可能とした根拠により、設計上の影響はないことを確認。
本編5.4.1鋼材の強度、5.4.2鋼材の疲労強度、5.4.3鋼材の応力ひずみ関係	鋼材の強度、応力ひずみ関係	SD685の応力ひずみ関係で明確な降伏点が生じる製品が出されていることを確認。また、ひずみ硬化を考慮した引張応力下の式と実験結果とよく一致していることを確認している。	同上
標準3編安全性に関する照査における2章の各種耐力の算定	部材の曲げ耐力	部材の軸方向圧縮耐力および曲げ耐力については、SD685より高強度のPC鋼棒すでに適用されているため、既往の耐力評価手法を同様に用いて問題がないことを確認している。	同上
	部材のせん断耐力	せん断伝達耐力、ねじり耐力について、SD685鉄筋は検討を行っておらず、高強度の影響を考慮する場合は別途検討した場合に使用してよいとしている。	防潮堤（鋼製防護壁）はせん断補強筋としてSD685を用いないため対象外。
標準3編安全性に関する照査における3章の疲労強度の算定	疲労強度の算定	疲労に対する断面破壊の限界状態の照査等に関する記載。	防潮堤（鋼製防護壁）は疲労破壊の検討対象外。
標準4編使用性に関する照査における2章のひび割れ幅や応力度の算定	部材のひび割れ幅や応力度の算定	SD685を用いた部材実験を参照し、SD685を用いた場合のひび割れ幅の算定に既往のひび割れ幅算定式を適用できることを確認している。	左記の土木学会が示す利用可能とした根拠により、設計上の影響はないことを確認。

（次ページへ続く）

2. 審査会合コメント⑬回答（高強度鉄筋SD685の適用性について）

（1）コンクリート標準示方書における高強度鉄筋SD685の適用根拠（2/2）

鉄筋強度に係わる項目	着目点	コンクリート標準示方書で利用可能とした根拠	備考
標準4編使用性に関する照査における3章の変位・変形の算定	変位変形の算定	限界状態における照査に関する記載。	防潮堤（鋼製防護壁）は許容応力度設計のため対象外。
標準5編耐震設計および耐震性に関する照査における5章の部材の力学モデルのモデル化	部材の力学モデルのモデル化	棒部材の力学モデルの骨格曲線（トリリニア型モデル）に関する記載。	防潮堤（鋼製防護壁）は許容応力度設計のため対象外。
標準5編耐震設計および耐震性に関する照査における5章の鋼材のモデル化	鋼材のモデル化	鋼材の応力-ひずみ関係をトリリニア型としてモデル化に関する記載。	防潮堤（鋼製防護壁）は許容応力度設計のため対象外。
標準7編鉄筋コンクリートの前提および構造細目における2章の鉄筋の曲げ形状	最大鉄筋量	コンクリートの破壊が先行する脆性的な破壊を回避する目的で、過去の実験データを参考に軸方向鉄筋量は釣合い鉄筋比の75%以下と設定するという、従来の規定を踏襲できることを確認している。	左記の土木学会が示す利用可能とした根拠により、設計上の影響はないことを確認。
	定着長	SD490やSD685等の鉄筋の降伏強度の特性値が 380N/mm^2 を超えるJIS規格による鉄筋の定着長は、実験等により検討することが望ましいとしている。 (鉄道構造物等設計標準には、特別な実験を行わない場合には別途示された算定式を用いてよいとされている)	定着長は、各種基準類と比較した上で保守的な定着長を設定し、今後実物大の実験によても念のため確認することから設計への影響はない。



以上より、防潮堤（鋼製防護壁）での適用について問題ないと判断した。

(2) 定着特性の妥当性（SD685鉄筋の基本定着長の設定）

- コンクリート標準示方書（2022年）や鉄道構造物等設計標準(R6)では「SD490やSD685等の鉄筋の降伏強度の特性値が380N/mm²を超えるJIS規格による鉄筋の定着長は、実験等により検討することが望ましい」とされているが、鉄道構造物等設計標準には、特別な実験を行わない場合には別途示された算定式を用いてよいとされている。
- 鉄道構造物等設計標準(R6)の算定式を用いた鉄筋の定着長は、下表に示す通り他の規格基準類の算定式に比較して最も短くなるため、道路橋示方書による算定式を用いて保守的な定着長を設定することとした。

設計基準・指針類での定着長算定結果

設計基準・指針	コンクリート標準示方書 (2022年)	鉄道構造物等設計 標準・同解説 (R6)	道路橋示方書・同解説IV (平成24年)
鉄筋の基準値: f_{yd}	685N/mm ²	685N/mm ²	400N/mm ² ※1)
コンクリート設計基準強度: $f_{ck'}$	50N/mm ²	50N/mm ²	50N/mm ²
付着力補正係数 γ_c	1.3	—	—
コンクリートの付着強度: f_{bod}	3.19N/mm ²	3.80N/mm ²	2.00N/mm ² ※2)
係数 α_b 算定のためのパラメータ: K_c	1.62 ※4)	1.62 ※4)	—
鉄筋のかぶり・あき、横方向鉄筋量による補正係数: α_b	0.80	0.663	—
鉄筋種別による補正係数: α_t	—	1.257	—
定着長: $\alpha_b \cdot \alpha_t \cdot f_{yd} / (4 \cdot f_{bod}) \times \phi$	42.9 ϕ	37.6 ϕ	50 ϕ ※3)

注記) ※1) 鉄筋の基準値は鉄筋のSD685の許容応力度 (σ_{sa}) を使用。

※2)コンクリート付着強度はコンクリートの許容付着応力度 (τ_{sa}) を使用。

※3)定着長の算定は $l_a = \sigma_{sa} \cdot \phi / 4\tau_{sa}$ で算定。

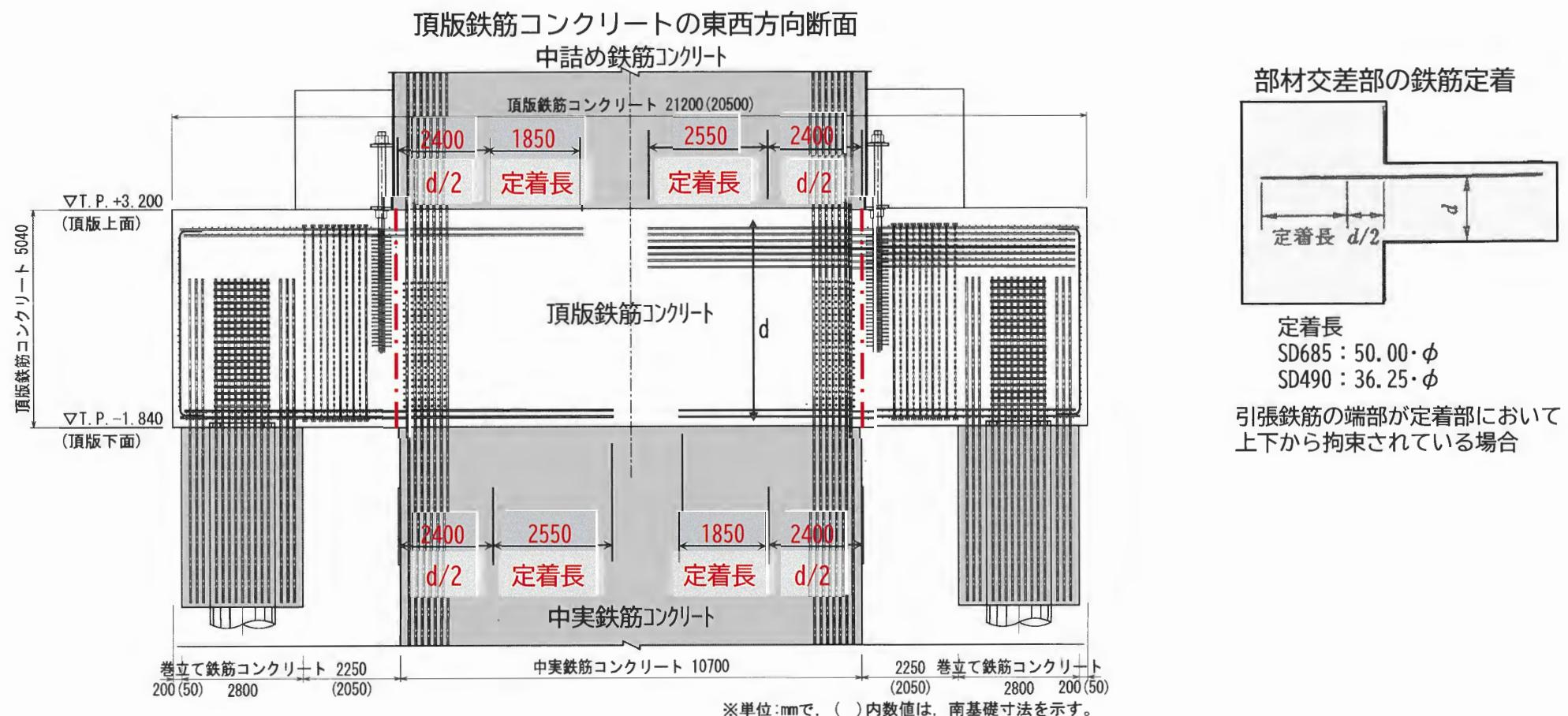
※4)横方向等の実配筋量は、保守的な定着長になるよう必要最小鉄筋量で算定した結果である。

- 実験を実施しない場合に適用される鉄道構造物等設計標準算定式を用いた定着長に対して、更に保守的な長さを確保した定着長とした。
- なお念のため、今後、実験（鉄筋の引き抜き試験）を行い、当該定着長の設定に問題がないことを確認する。
(最上段の鉄筋に着目した鉄筋の引き抜き試験：SD685鉄筋と強度50N/mm²コンクリートの一体性の確認)

2. 審査会合コメント⑬回答（高強度鉄筋SD685の適用性について）

（2）定着特性の妥当性（基本定着長の設定）

- 配筋の施工性を考慮するとともに東西で必要段数が異なることから、東西方向断面は部材交差部として軸方向鉄筋の定着を確保した上で、東西の軸方向鉄筋は連結しない。
- 片持はりの固定端では「引張鉄筋の端部が定着部において上下から拘束されている場合には、はり部材の接合部の断面の有効高さの1/2だけ定着部内に入った位置から所定の定着長を確保することが望ましい」とされていることから、これに基づき中実鉄筋コンクリート範囲内に確保する鉄筋の定着長を設定した（下図参照）。



2. 審査会合コメント⑬回答（高強度鉄筋SD685の適用性について）

（2）定着特性の妥当性（端支点を超えて定着する場合の低減定着長の設定）

- 部材端部の定着長については、コンクリート標準示方書(2022)に示される
「v) 端支点を超えて定着する場合」に基づき定着長を設定した。

コンクリート標準示方書(2022)より抜粋

v) 端支点を超えて定着する場合、支承の中心から l_s だけ離れた断面位置の鉄筋応力に対する
低減定着長 l_0 以上を支承の中心からとり、さらに部材端まで延ばさなければならない。

- ここで l_s は、モーメントシフト量であり、本構造では中実鉄筋コンクリート
と巻立て鉄筋コンクリートの各部材端間のスパン長となる（ $l_s=2.050\text{m}$ （南
基礎）、 2.250m （北基礎））。
- また、低減定着長 l_0 はコンクリート標準示方書に示される式（2.5.2）に基
づき設定される。
- 支承中心からの定着区間長=1.100m（南基礎）、1250m（北基礎）が確保できるた
め、下表に示すとおり低減定着長を満足する。

津波重畠時 引張鉄筋D51(SD685)

照査位置	単位	南基礎		北基礎	
		西側下面	東側上面	西側下面	東側上面
Asc/As	—	0.30	0.30	0.35	0.39
50.0φ (D51)	mm	2550	2550	2550	2550
$l_0 > l_d \cdot Asc/As$	mm	765	765	893	984
$l_0 \geq l_d/3$	mm	850	850	850	850
低減定着長 l_0	mm	850	850	893	984
定着区間長	mm	1100	1100	1250	1250
照査値	—	0.73	0.73	0.72	0.79

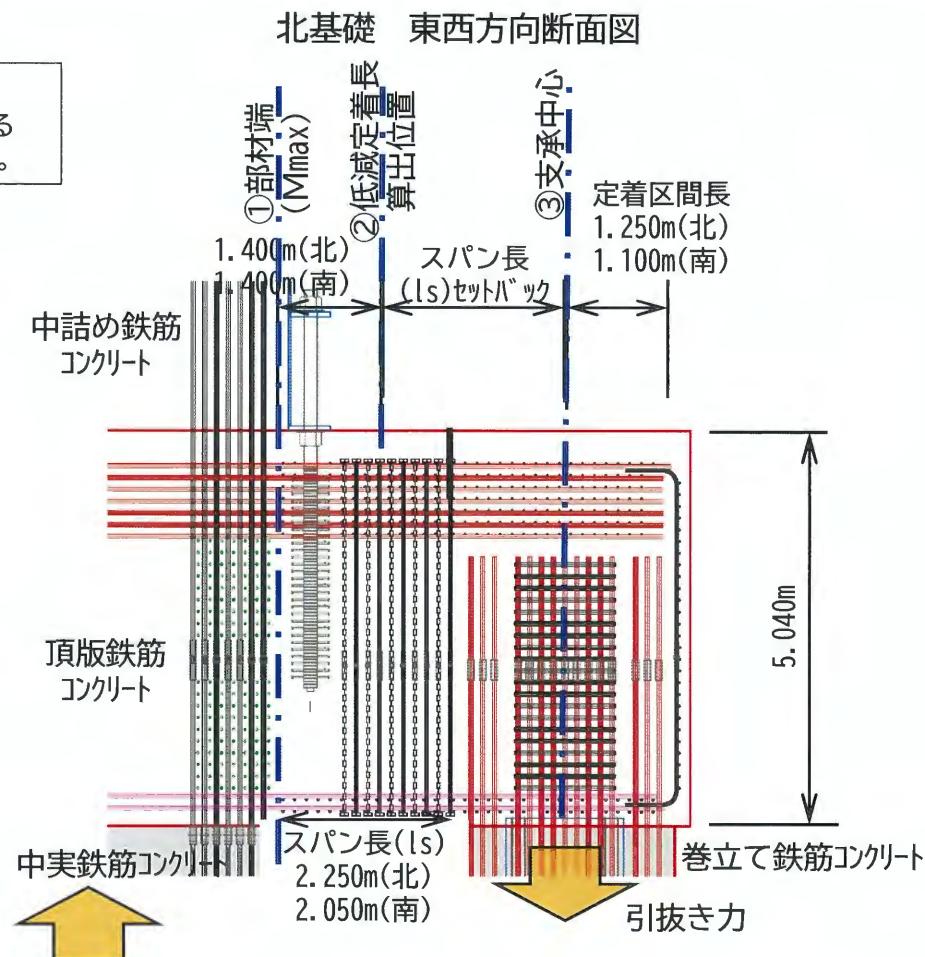
(2) 実際に配置される鉄筋量 A_s が計算上必要な鉄筋量 A_{sc} よりも大きい場合、低減定着長 l_0 を式
(2.5.2) により求めてよい。

$$l_0 \geq l_d \cdot (A_s/A_{sc})$$

ただし、 $l_0 \geq l_d/3$ 、 $l_0 \geq 10\phi$

ここに、 ϕ ：鉄筋直径

コンクリート標準示方書に示される式（2.5.2）



2. 審査会合コメント⑬回答（高強度鉄筋SD685の適用性について）

(3) ひずみレベルの確認（目的と評価法）

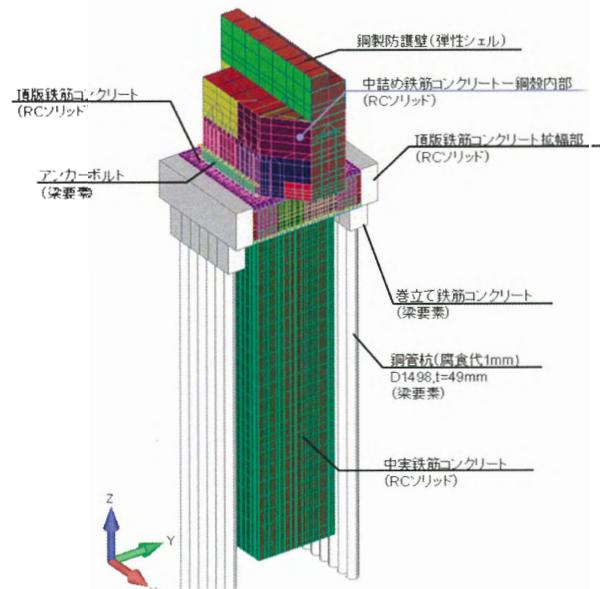
構造変更後の基礎構造に対して、各部材設計の妥当性を検証するため三次元材料非線形解析(COM3)を用いて以下の確認を行った。

1) 目的（高強度鉄筋SD685の使用に伴うコンクリートのひび割れと剛性低下の影響評価）

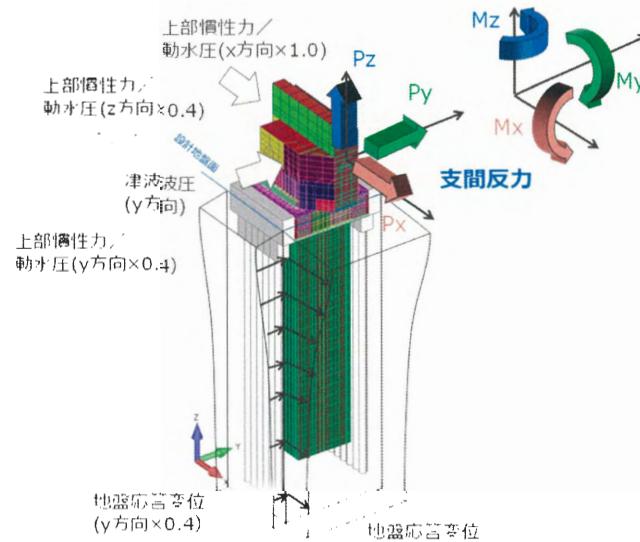
コンクリート標準示方書に準拠したコンクリートのひび割れに伴う剛性低下を考慮した構成則をモデル化している三次元材料非線形解析(COM3)を実施して、SD685鉄筋使用箇所におけるひずみ状況が許容応力度相当のひずみ未満であることを確認することで、SD685鉄筋の弾性ひずみの増大によるコンクリートのひび割れや剛性低下が、設計に及ぼす影響が無いことを確認する。

2) 三次元材料非線形解析(COM3)による評価法

- 工認設計モデルで最大照査値が生じている津波+余震荷重に対する南基礎全体の挙動評価を対象とした。
- 工認設計モデルの照査値最大ケースに対応して、地盤バネ条件は南基礎において頂版鉄筋コンクリートや中実鉄筋コンクリートの照査値が厳しくなる地盤バネ4とし、余震時荷重は堤軸(X)方向1.0倍、堤軸直交(Y)方向0.4倍、鉛直(Z)方向0.4倍とした。



解析モデル（南基礎）

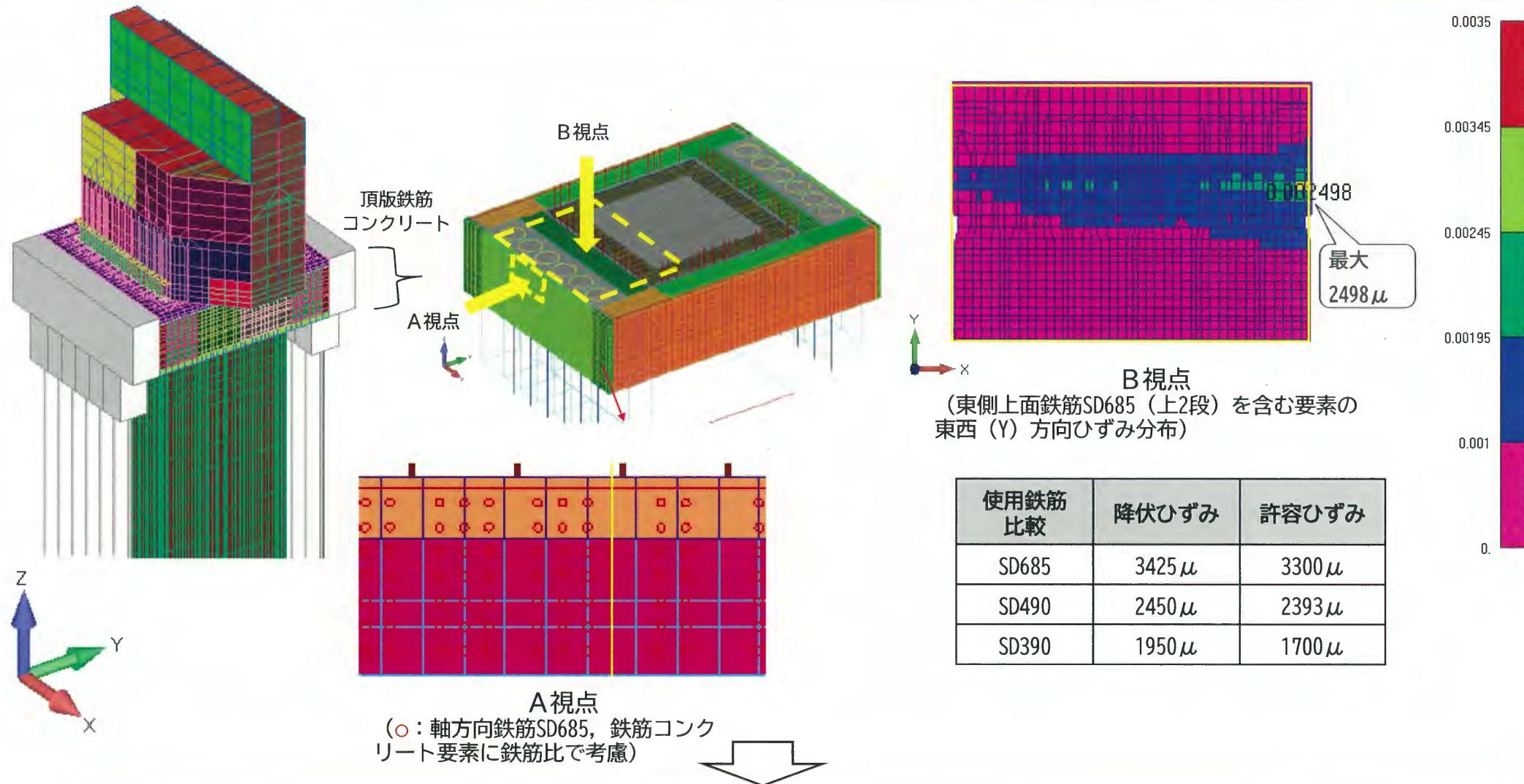


荷重モデル

地上に遡上する津波 (Y方向1.0) +
余震重畠時 (X方向: 1.0, Y方向: 0.4, Z方向: 0.4)

2. 審査会合コメント⑬回答（高強度鉄筋 SD685の適用性について）

(3) ひずみレベルの確認（三次元材料非線形解析（COM3）によるひずみレベルの確認）



- COM3により得られたひずみは、SD490鉄筋を適用した場合の許容ひずみを若干超過していることを確認した。
- COM3を実施した結果、SD685鉄筋使用箇所におけるひずみ状況が許容応力度相当のひずみ未満であることから、SD685鉄筋の弾性ひずみの増大によるコンクリートのひび割れや剛性低下が、設計に及ぼす影響は無いことを確認した（許容応力度以内のひずみであるため、コンクリートに生じたひび割れは除荷後に閉じるものと判断される）。

3. 審査会合コメント回答⑭

3. 審査会合コメント⑯回答

コメント回答

【第1360回審査会合コメント⑯】

No	コメント
⑯	<ul style="list-style-type: none">● 設計上のポイントとなる地盤バネについては、地盤バネの設定が適切であると判断するために必要なエビデンスを詳細に説明すること。

No	回答概要
⑯	防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計においては、津波荷重による上部工から下部工への荷重伝達及び南北基礎間の相互作用を適切に評価するため、上下一体の三次元静的フレーム解析を採用し、周辺地盤を地盤バネとしてモデル化している。本資料では、当該地盤バネについて「配置」と「変形特性」の観点より詳細に説明する。

3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（1）耐津波設計における地盤バネの設定と説明のポイント（1/2）

防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計においては、津波荷重による上部工から下部工への荷重伝達及び南北基礎間の相互作用を適切に評価するため、上下一体の三次元静的フレーム解析を採用し、周辺地盤を地盤バネとしてモデル化している。本項では、当該地盤バネについて「配置」と「変形特性」の観点より詳細に説明する。

地盤バネの配置

- 防潮堤（鋼製防護壁）の地盤バネは、下部工の側方及び底面と周辺地盤の接続を模擬して設定される地盤バネと、鋼管杭同士または鋼管杭と中実鉄筋コンクリートの間における応力伝達を模擬して設定される連結バネに大別できる。[→各バネの設定方法を「\(2\) 地盤バネの配置と設定の考え方」に示す。](#)
- 各バネは下部工周辺の地盤材料等に応じてその物性値を設定するが、新設の構造部位（鋼管杭及び巻立て鉄筋コンクリート）については、施工計画等も考慮した上で設定の妥当性を確認する。[→確認内容の詳細を「\(3\) 鋼管杭及び巻立て鉄筋コンクリート周囲のバネ設定について」に示す。](#)

地盤バネの変形特性

- 地盤バネの変形特性は、既工認と同様「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に準拠し、反力上限値を考慮して設定したバイリニア型として設定する。バネ剛性及び反力上限値について、具体的には「津波時：2ケース」及び「重畠時：3ケース」を採用する。[→変形特性の考え方を「\(4\) 地盤バネの変形特性」に示す。](#)
- また、南北基礎の西側浅部には地盤改良体（セメント系）を計画しているが、地盤改良体（セメント系）については反力上限値の増分として変形特性に反映する。[→詳細を「\(5\) 地盤改良体（セメント系）の考慮方法」に示す。](#)
- 地盤バネの変形特性について、耐津波設計における各地盤バネの役割※（受働側・主働側）を考慮した上で、その考え方が妥当であることを確認する。確認項目については以下のとおり。

【受働側】

- ・地盤改良体（セメント系）の考慮方法の妥当性について

[→確認内容の詳細を「\(6\) 地盤改良体（セメント系）の考慮方法の妥当性」に示す。](#)

- ・津波時における設計方針（本震影響の考慮）の妥当性について

[→確認内容の詳細を「\(7\) 津波時における地盤バネ2（本震影響の考慮）の妥当性」に示す。](#)

【主働側】

- ・応答変位入力時におけるバネ設定の妥当性について

[→確認内容の詳細を「\(8\) 応答変位入力時におけるバネ設定の妥当性」に示す。](#)

※構造物の受働側及び主働側における地盤バネの役割について次頁にて補足する。

3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（1）耐津波設計における地盤バネの設定と説明のポイント（2/2）

防潮堤（鋼製防護壁）の受動側及び主動側における地盤バネの役割は以下のとおりである。

・地盤バネ（受動側）

津波荷重及び余震荷重に対する受動抵抗としての地盤反力を模擬するバネである。

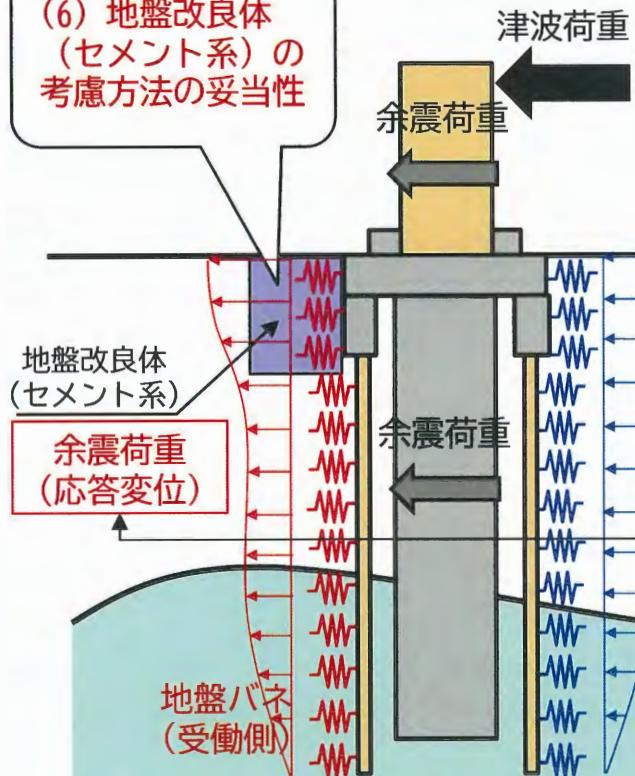


・地盤バネ（主動側）

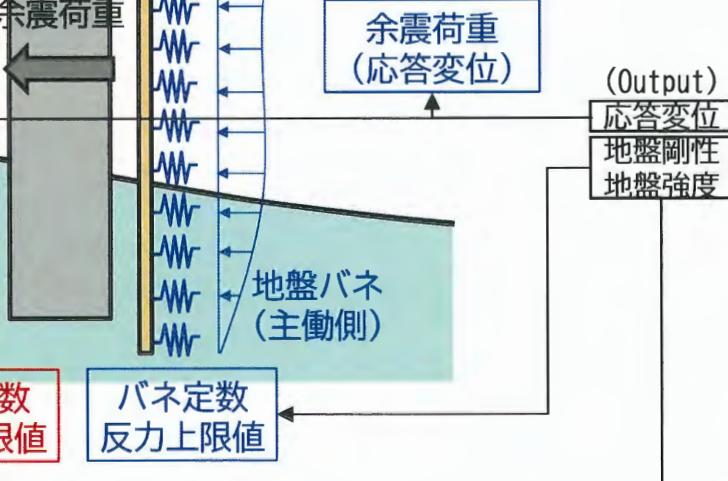
一次元地盤応答解析による応答変位を入力することで、下部工に余震荷重を作用させる。応答変位の入力イメージは以下のとおり。



（6）地盤改良体（セメント系）の考慮方法の妥当性

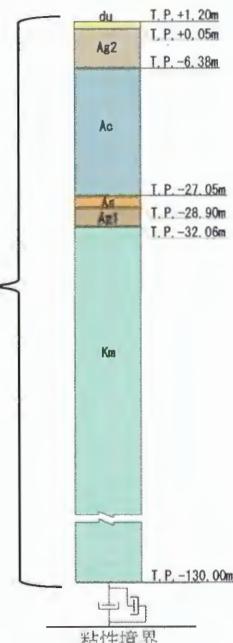


（8）応答変位入力時におけるバネ設定の妥当性



（7）津波時における地盤バネ2の妥当性

防潮堤（鋼製防護壁）の地盤バネ概念図

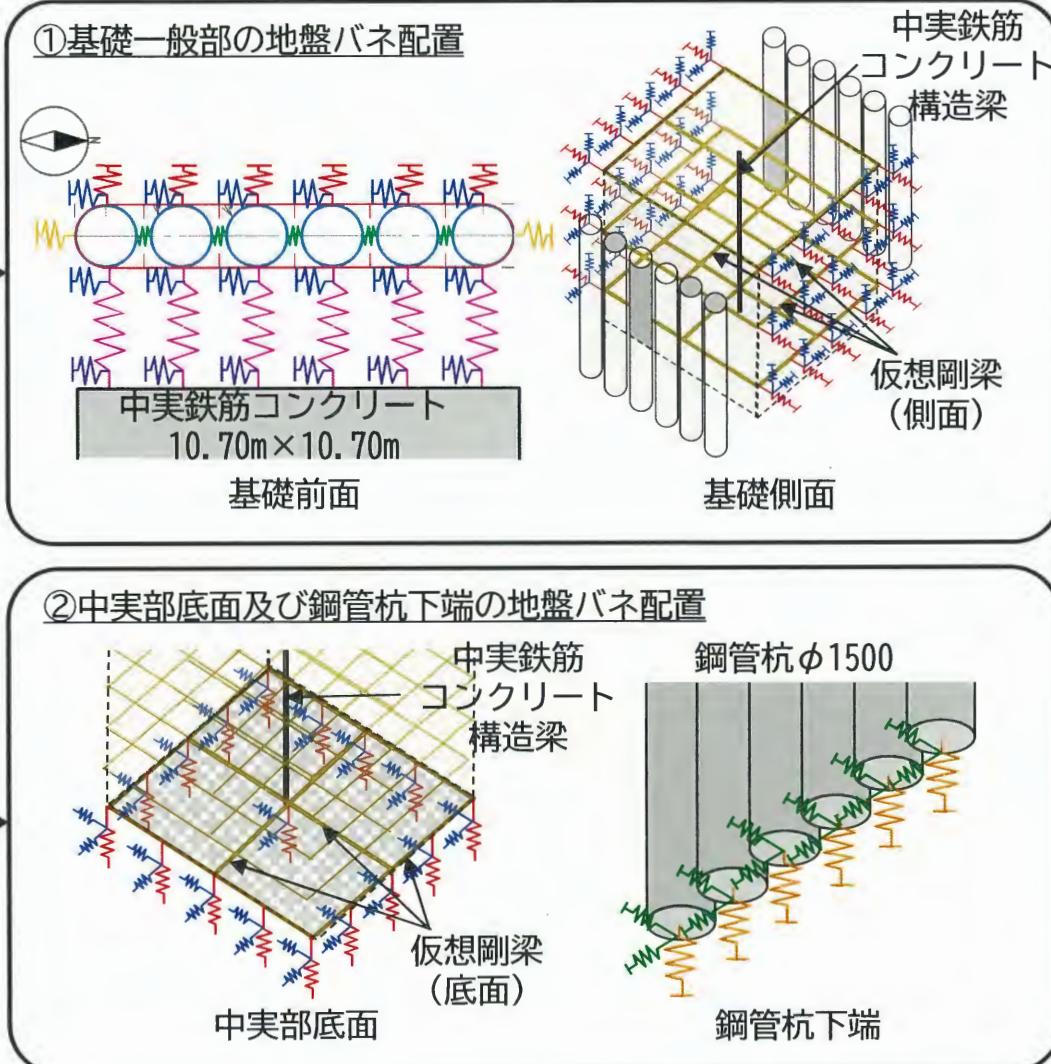
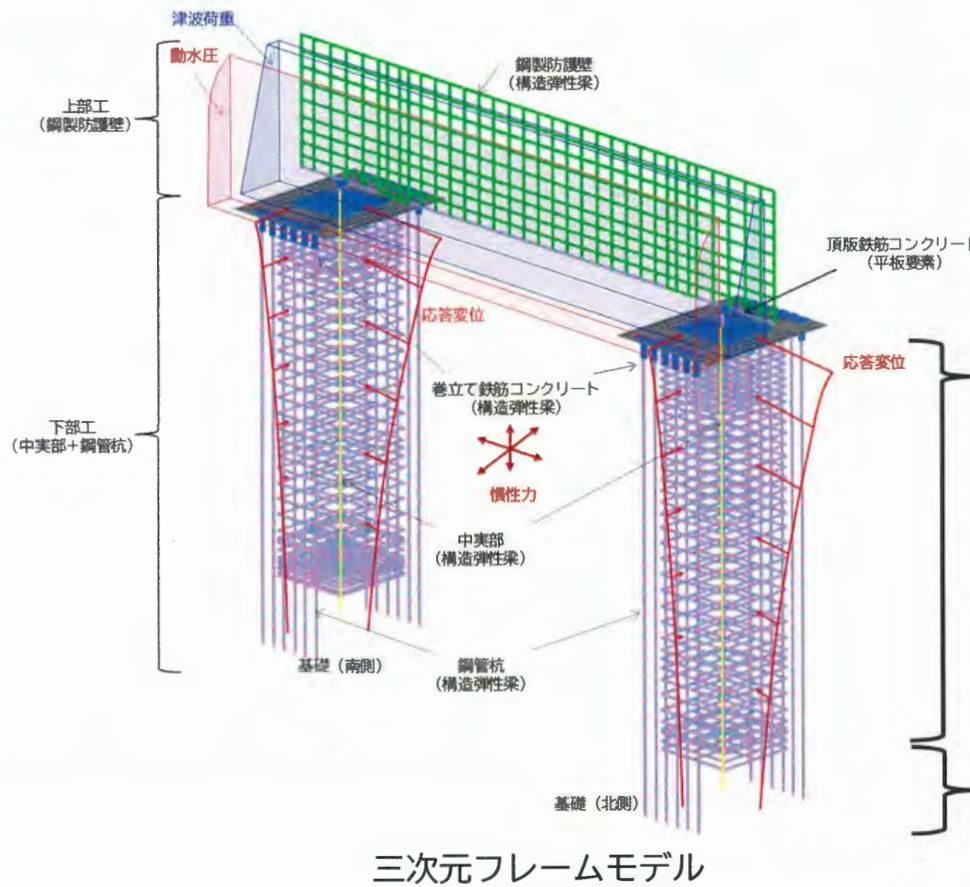


一次元地盤応答解析
モデル（FLIP）

(2) 地盤バネの配置と設定の考え方 (1/2)

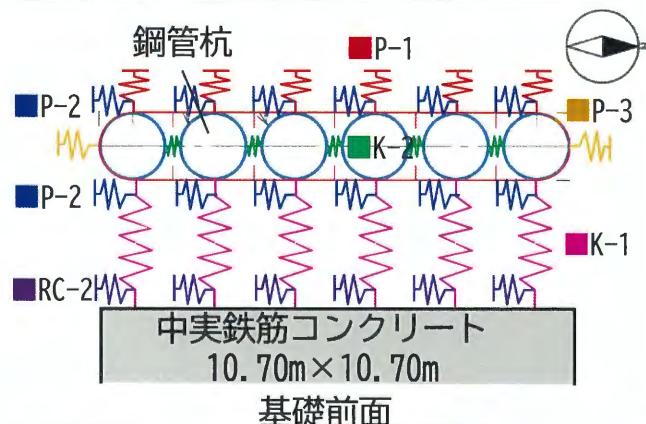
(1) 地盤バネの配置概要

耐津波設計の三次元フレームモデルに用いる地盤バネは、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月」に準拠し、地盤反力上限値を考慮したバイリニア型として設定することを基本とする。



(2) 地盤バネの配置と設定の考え方 (2/2)

(2) 地盤バネの配置と設定

①基礎一般部の地盤バネ（基礎前面）
鋼管杭(T.P.-6.0m以深)

地盤バネ一覧表						
記号 (ばね色)	設定面	区分	換算載荷幅 (m)	地盤反力係数等	地盤反力上限値 の有無	その他
■P-1	東西	面直(外向き)	1.498 (鋼管杭外径)	道示 K_H (下式参照)	有	群杭の低減考慮
■K-1		面直(内向き)	中間部1.800 端部1.649	連結バネとして設定 (下式参照)	無	仮想ケーラン断面 考慮
■P-2		水平・鉛直 せん断	同上	道示 K_{SH} , K_{SV} (下式参照)	有	同上
■RC-2		水平・鉛直 せん断	同上	道示 K_{SH} , K_{SV} (下式参照)	無	
■P-3	南北 端部のみ	面直	1.198 (鋼管杭外径 ×0.8)	道示 K_H (下式参照)	有	仮想ケーラン断面 考慮
■K-2	南北	面直	1.320 (鋼管杭間)	連結バネとして設定 (下式参照)	無	

道示 K_H の算定式 (■P-1, ■P-3)

$$K_H = \alpha_k K_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

K_H : 部材面法線方向地盤反力係数 (kN/m³)

α_k : K_H の推定に用いる補正係数 (=1.5)

K_{H0} : 直径0.3 m剛体円板の平板載荷試験の値
に相当する水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

$$K_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

α : 地盤反力係数の換算係数 ($\alpha=1.0$)

E_0 : 地盤の変形係数 (kN/m²)

$$E_0 = 2(1 + v_d)G$$

v_d : 動ポアソン比

G : 地盤のせん断弾性係数 (kN/m²)

B_H : 換算載荷幅
(上記 “地盤バネ一覧表のとおり。)

道示 K_{SH} , K_{SV} の算定式 (■P-2, ■RC-2)

$$K_{SH} = K_{SV} = 0.3 K_H$$

K_{SH} : 部材面接線(水平せん断)方向地盤反力係数
(kN/m²)

K_{SV} : 部材面接線(鉛直せん断)方向地盤反力係数
(kN/m²)

連結バネの算定式 (■K-1, ■K-2)

$$K_{RCR} = E_0 / l_{RC} \quad K_{PR} = E_0 / l_{PR}$$

K_{RCR} : 鉄筋コンクリート基礎と鋼管杭の連結バネ
(K-1) の反力係数 (kN/m²)

K_{PR} : 鋼管杭間の連結バネ (K-2) の反力係数
(kN/m²)

E_0 : 地盤の変形係数 (kN/m²)

l_{RC} , l_{PR} : 連結バネの長さ (m)

地盤の変形係数 E_0 , 地盤のせん断弾性係数 G

地盤の変形係数 E_0 (地盤のせん断弾性係数 G) は、地盤バネの種類に応じて下記のとおり設定する。

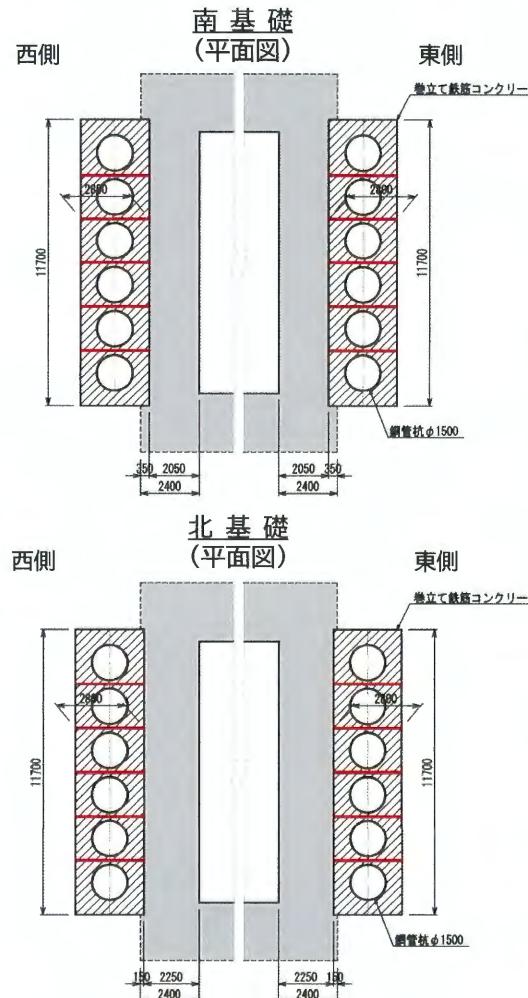
津波時 : 地盤バネ1は初期せん断弾性係数 G_m に基づき設定, 地盤バネ2は静弾性係数 E に基づき設定
(上限値は、地盤バネ1がピーク強度(平均), 地盤バネ2が残留強度(-1σ)から設定)

重畳時 : 地盤バネ3～5は、余震時の一次元地盤応答解析により算出した収束剛性 G に基づき設定
(上限値は、ピーク強度(平均)の余震時の収束強度 (面直 σ_f , せん断 τ_f) から設定)

(3) 鋼管杭及び巻立て鉄筋コンクリート周囲のバネ設定について (1/2)

(1) 巒立て鉄筋コンクリート間の目地材に係る考察

- ・巒立て鉄筋コンクリートは各杭ごとに施工し、杭間（コンクリート間）には目地材（縁切り材）を配置する計画である。
- ・目地材（縁切り材）は、以下のとおり、弾性プラスチック加圧発泡目地（オレフィン系樹脂）を使用する。



【解析モデル上の取り扱いについて】

- ・当該目地部は、耐津波評価においては“連結バネ”，耐震評価においては“ジョイント要素”にてモデル化されており、いずれのモデルにおいてもコンクリート相当の剛性を有する設定としている。
- ・目地材の幅が10mmと極めて小さいこと、巒立て鉄筋コンクリートは直上の頂版鉄筋コンクリートにより拘束されており、杭間の変形は極めて小さいと考えられることから、杭間要素の影響は顕著でなく、現状のモデル化は妥当であると判断される。

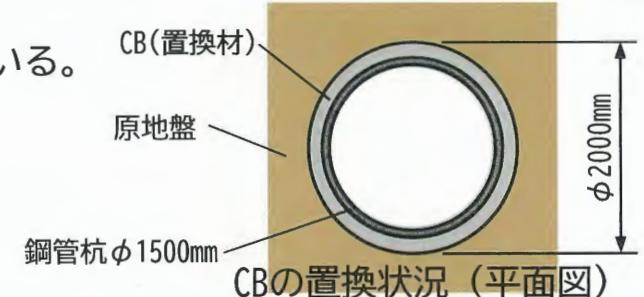
(3) 鋼管杭及び巻立て鉄筋コンクリート周囲のバネ設定について (2/2)

(2) 鋼管杭の均質置換土に係る考察

◆均質置換土の材料仕様について

均質置換土は、セメントベントナイト（CB）とし、以下の材料仕様を計画している。

- ・一軸圧縮強さ q_u : 500 kN/m²
- ・せん断強度 τ_f : 250 kN/m² ($\tau_f = q_u/2$ として算定)
- ・初期せん断弾性係数 : 339,000 kN/m² (配合試験による試験値)



【耐津波設計におけるモデル化の妥当性について】

- ・耐津波設計モデルでは置換材を原地盤（地盤バネ）としてモデル化している。
- ・耐津波設計モデルにおける原地盤とCBの物性値を以下のとおり比較する。

初期せん断弾性係数およびせん断強度の比較
(各地層で最大となる最深部の値)

北基礎	標高 (T.P.)	層厚 (m)	σ'_{m} (kN/m ²)	平均有効 拘束圧 σ'_{ma}	基準せん断 弾性係数 (kN/m ²)	C_{CD} (kN/m ²)	ϕ_{CD}	初期せん断 弾性係数 (kN/m ²)	せん断強度 τ_f (kN/m ²)
Ag2	-7.00	3.00	57.1	497.0	278087.0	0.0	37.4	94289	34.7
Ac	-39.55	4.05	164.1	480.0	121829.0	25.0	29.1	63766	101.7
As	-44.70	1.70	229.1	378.0	143284.0	12.0	41.0	110176	159.4
Ag1	-52.85	2.15	253.5	814.0	392073.0	0.0	37.4	218792	154.0

CBの初期せん断弾性係数及びせん断強度は、原地盤よりも大きく、CBの残置が鋼管杭と原地盤の応力伝達に影響を与えるものではないことを確認した。

※各物性値が相対的に大きい北基礎の算定結果を掲載する。

※耐震設計においては置換材を原地盤（マルチスプリング要素）としてモデル化しているが、耐津波設計と同様、CBの各物性値は原地盤よりも大きいことを確認している。

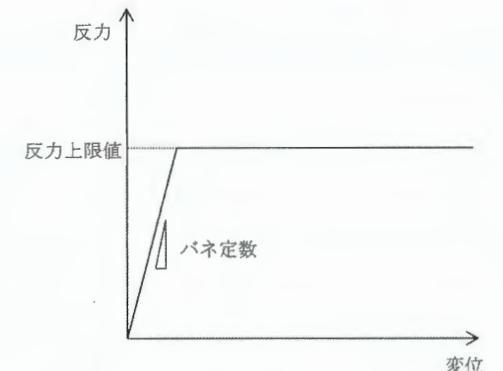
※Km層は均質な岩盤であることから、均質置換土による先行置換は実施しない計画である。

3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（4）地盤バネの変形特性（1/2）

（1）地盤バネの変形特性の設定（津波時）

- 津波時の地盤バネは、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に準拠し、反力上限値を考慮したバイリニア型として設定する。
- 津波時のバネ定数及び反力上限値の設定は、下表に示す地盤剛性4種類と反力上限値4種類を用いて、地盤の最も高い剛性（初期剛性）と最も大きい強度（ピーク強度（平均））の組合せ、地盤の最も低い剛性（静弾性係数）と最も小さい強度（残留強度（-1σ））の組合せを採用し、各構造部位において安全側となる設計を実施する。
- 結果として、津波時においては下記に示す2ケースの地盤バネにて、バネ定数及び反力上限値を増減させた検討を実施することで、津波襲来前に発生する地震動に起因した地盤の軟化を考慮する方針である。



地盤バネのバイリニアモデル

荷重条件	地盤剛性	上限値
津波時	初期剛性	ピーク強度(平均)
	余震時の収束剛性	ピーク強度(-1σ)
	地震時の収束剛性	残留強度(平均)
	静弾性係数	残留強度(-1σ)

○津波時の地盤バネケース：2ケース

ケース名	地盤バネのバネ定数	地盤バネの反力上限値	備考
地盤バネ1 (津波時)	初期せん断剛性から設定	ピーク強度(平均)から設定	地盤抵抗が大きいと仮定したケース
地盤バネ2 (津波時)	静弾性係数から設定	残留強度(-1σ)から設定	地盤抵抗が小さいと仮定したケース

3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（4）地盤バネの変形特性（2/2）

（2）地盤バネの変形特性の設定（重畠時）

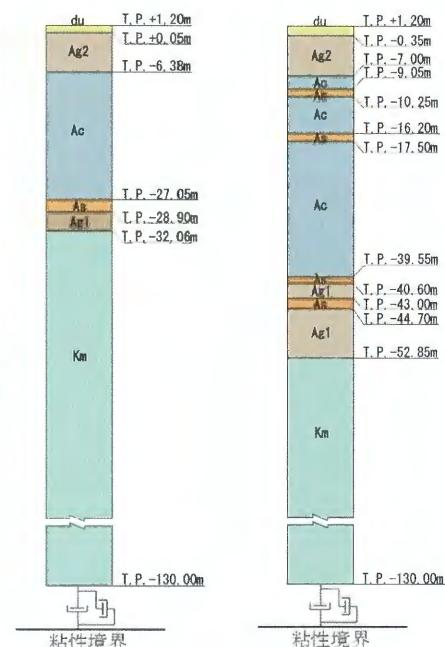
- 重畠時の地盤バネは、津波時と同様に「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に準拠し、反力上限値を考慮したバイリニア型として設定する。
- 重畠時の検討では、一次元地盤応答解析結果を用いてバネ定数及び反力上限値を設定し、各構造部位の設計を実施する。
- なお、既工認では、一次元地盤応答解析において下表に示す地盤のばらつき①～⑥を考慮していたが、周辺地盤に地盤改良体（薬液注入）を敷設することを踏まえ、“液状化パラメータ非適用”のケースを採用する。
- さらに、ケース③'として、既工認では考慮していなかった平均-1σの非液状化ケースを設定する。

地盤ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース（基本ケース）	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース	③' 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

※防潮堤（鋼製防護壁）にて考慮する地盤物性のばらつきケース

○重畠時の地盤ケース：3ケース

ケース名 (決定ケース)	地盤バネのバネ定数及び 反力上限値	備考
地盤バネ3 (地盤ケース⑥)	S_d 波による1次元有効応力解析から地表面応答加速度が最大となるケース・時刻の地盤物性により設定	地盤抵抗が大きいケース
地盤バネ4 (地盤ケース③')	S_d 波による1次元有効応力解析から地表面応答変位が最大となるケース・時刻の地盤物性により設定	地盤抵抗が小さいケース
地盤バネ5 (地盤ケース③')	S_d 波による1次元有効応力解析からせん断ひずみが最大値を示すケース・時刻の地盤物性により設定	



一次元地盤応答解析モデル (FLIP)

(5) 地盤改良体（セメント系）の考慮方法

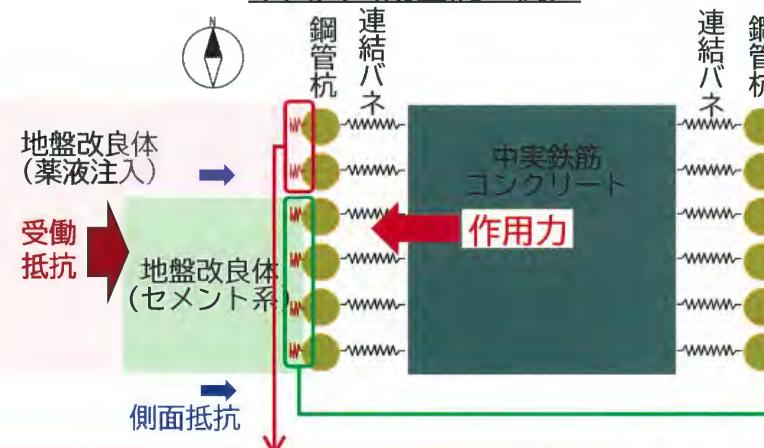
(1) 地盤改良体（セメント系）を考慮した地盤バネ設定の考え方

地盤改良体（セメント系）の考慮

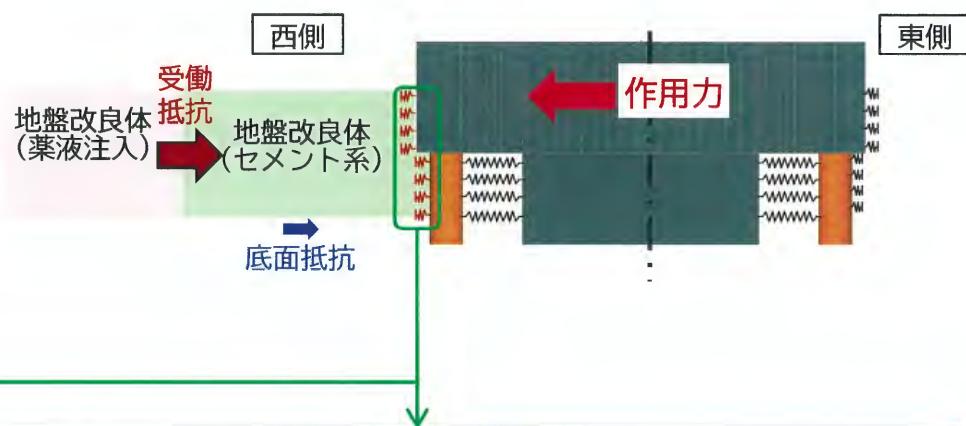
- ・南・北基礎の西側の浅部に地盤改良体（セメント系）を設置する。
- ・地盤改良体（セメント系）と鋼管杭間のバネの設定において、地盤改良体（セメント系）の剛性による地盤反力係数 k_h の増大は見込みまずに、地盤バネの地盤反力度の上限値の増分として加算する※。

※地盤改良体（セメント系）の側面と底面に作用する水平方向せん断抵抗力を3次元FEM解析により別途確認

平面図（南基礎の例）



断面図



直応力

圧縮

剥離

引張

地盤バネの力学特性

直応力

圧縮

剥離

引張

地盤バネの力学特性

 k_h

反力上限値を増分

地盤改良体（セメント系）の形状を踏まえた側面及び底面の抵抗を考慮し設定する範囲

地盤改良体（薬液注入）の解析用地盤物性により設定する範囲

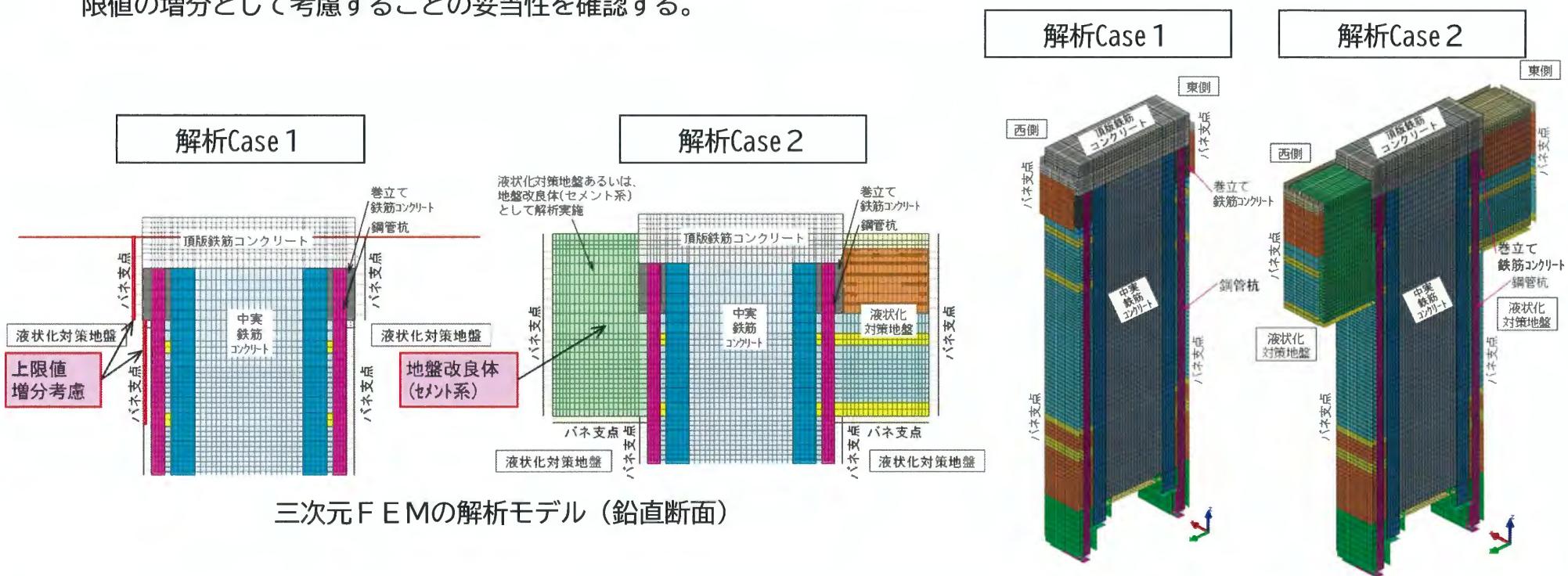
3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（6）地盤改良体（セメント系）の考慮方法の妥当性（1/2）

（1）三次元FEM解析による妥当性の確認方針

地盤改良体（セメント系）を地盤バネの反力上限値の増分として考慮する考え方について、傍証のための三次元FEM解析を実施する。

- 三次元FEM解析については、地盤改良体（セメント系）のモデル化に着目した2つの解析モデルを作成し、同一の荷重条件に対し下部工の水平変位量を比較する。
- 解析Case 1は、地盤改良体（セメント系）を地盤バネの反力上限値として考慮した解析モデルであり、工認設計モデルと同様の地盤バネ条件にて側方抵抗を模擬している。
- 一方、解析Case 2は、地盤改良体（セメント系）をソリッド要素でモデル化し、その外側に地盤バネを設けることで、地盤改良体（セメント系）が下部工の側方抵抗として寄与する効果を精緻に表現している。
- これら2つの解析モデルによる下部工の水平変位量の大小関係を比較することで、地盤改良体（セメント系）を地盤バネの反力上限値の増分として考慮することの妥当性を確認する。



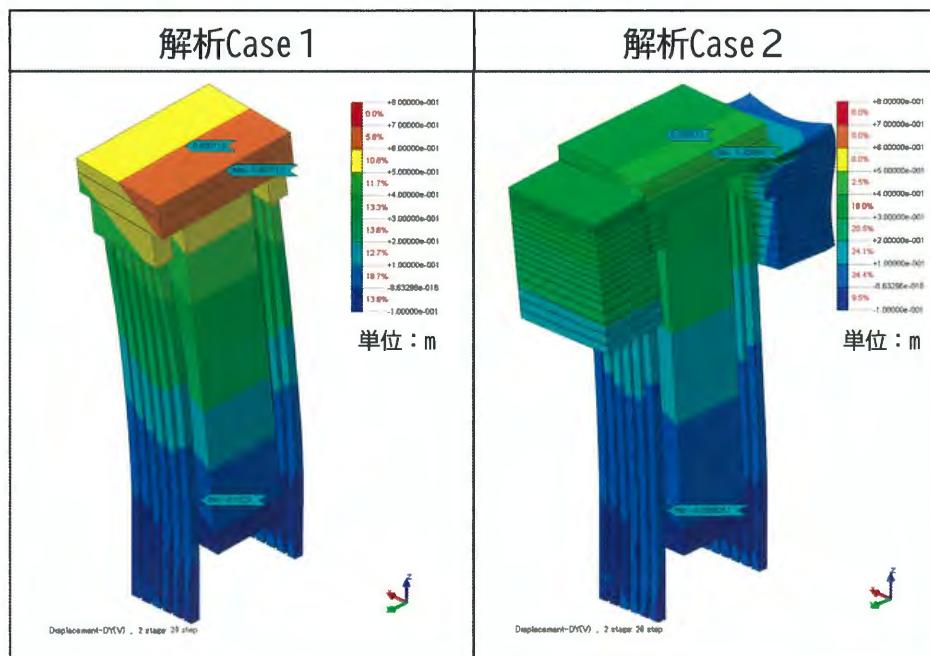
3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（6）地盤改良体（セメント系）の考慮方法の妥当性（2/2）

（2）三次元FEM解析による妥当性の確認結果

解析Case1及び解析Case2における水平変位及び変位コンターを以下に示す。

水平変位は解析Case1（地盤改良体（セメント系）を地盤バネの反力上限値として考慮した解析モデル）が大きくなる結果であり、地盤改良体（セメント系）の取扱いとしては十分に保守的であることを確認した。



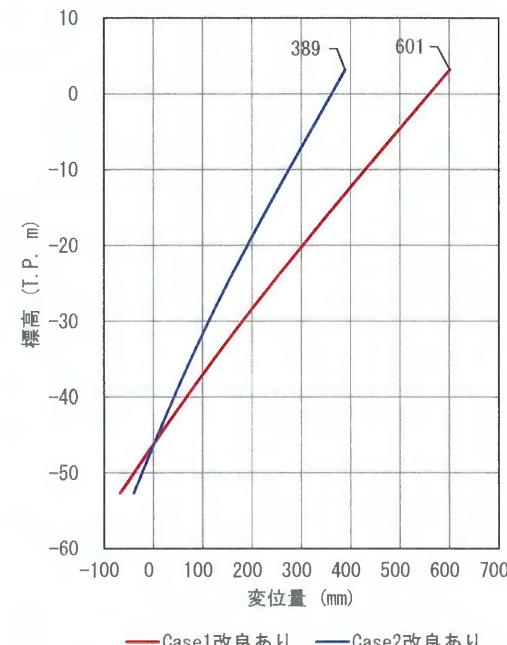
水平変位コンター図（北基礎）

- 2つの解析モデルにおける水平変位量の相違は、本資料の18p（下線部）に記載する反力上限値の保守性によるものと推察する。解析Case2では、全面の全方位の抵抗力が発揮されることから、変位量が小さくなる。

以上より、現状の地盤バネは十分に保守的な設定となっており、設計条件として、妥当であることを確認した。

水平変位の算定結果（北基礎）

解析Case	改良体のモデル化	地盤改良体（セメント系）の反映方法	改良体あり(mm)
1	地盤バネ	地盤バネの反力上限値の増分	601
2	ソリッド要素	ソリッド要素にて実形状を考慮	389



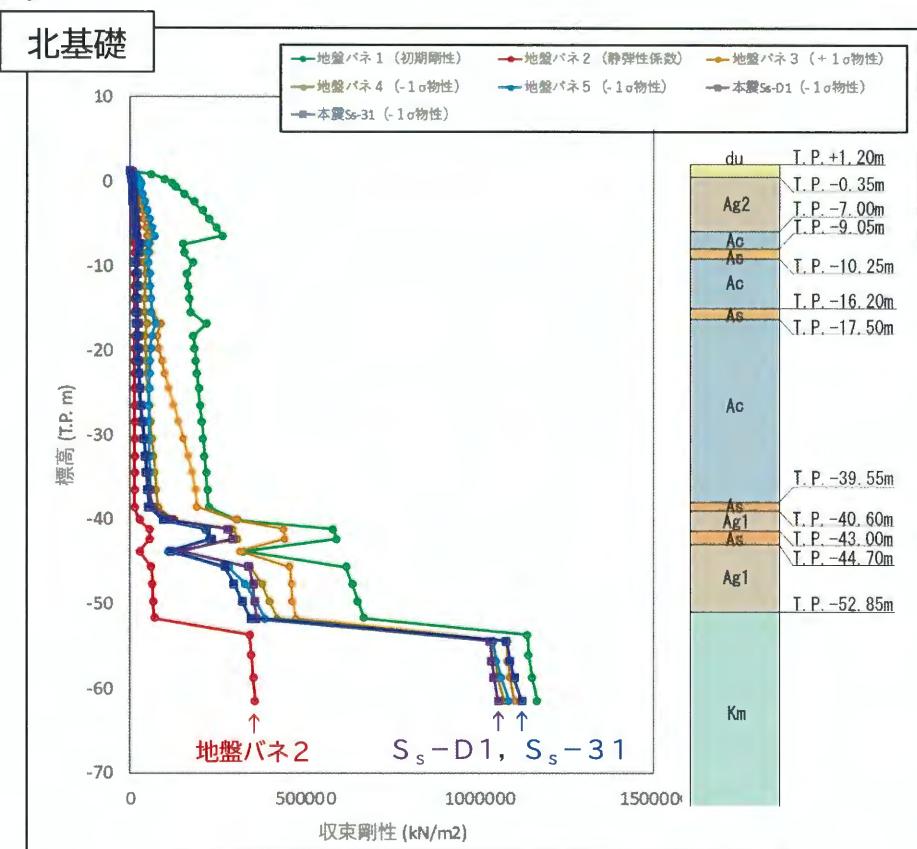
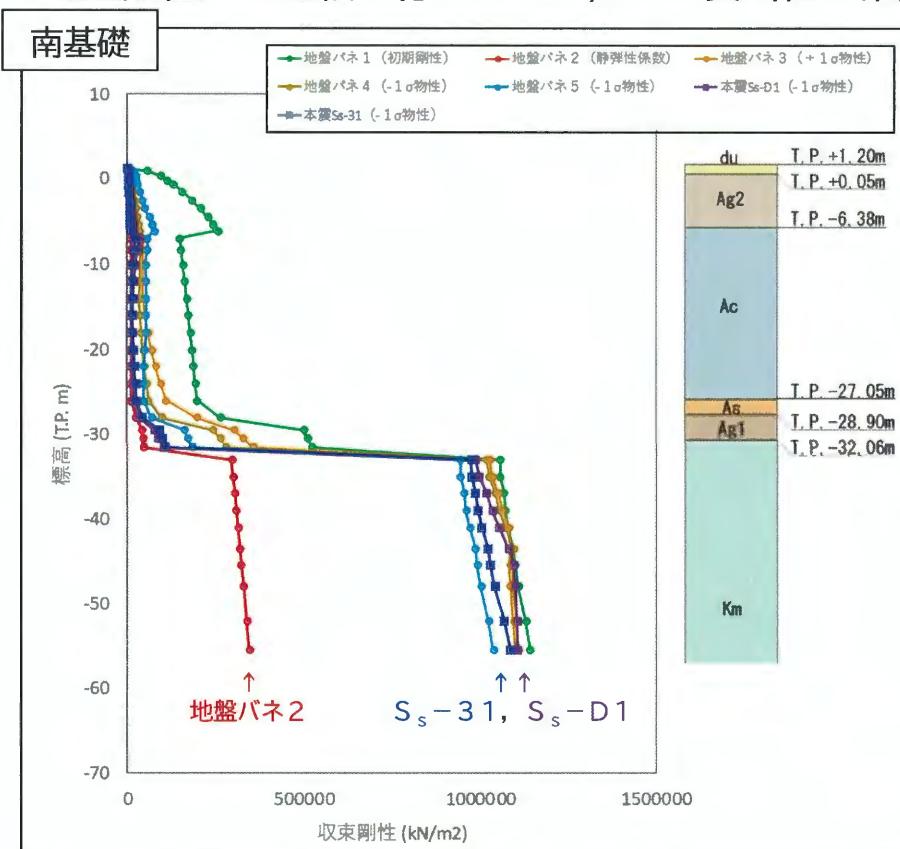
水平変位の深度分布図（北基礎）

3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（7）津波時における地盤バネ2の妥当性

（1）津波時における地盤バネ2（静弾性係数による）の妥当性

- 津波時においては前述した2ケースの地盤バネにて、バネ定数及び反力上限値を増減させた検討を実施することで、津波襲来前に発生する地震動に起因した地盤の軟化を考慮する方針である。
- 本項では、上記地盤バネのうち“最も地盤抵抗が小さいと仮定した”地盤バネ2について、基準地震動 S_s 地震時の地盤剛性との比較を行うことで、その妥当性を確認する。



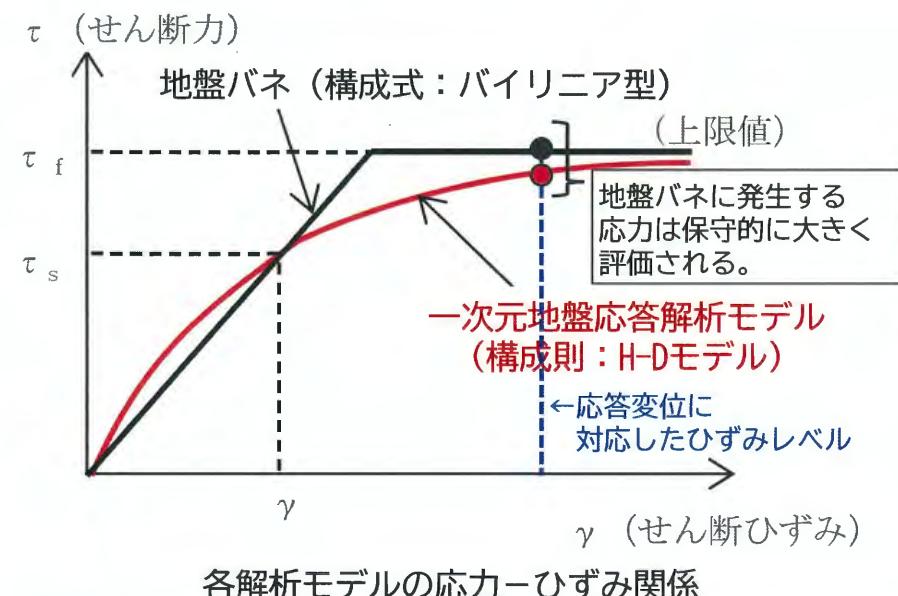
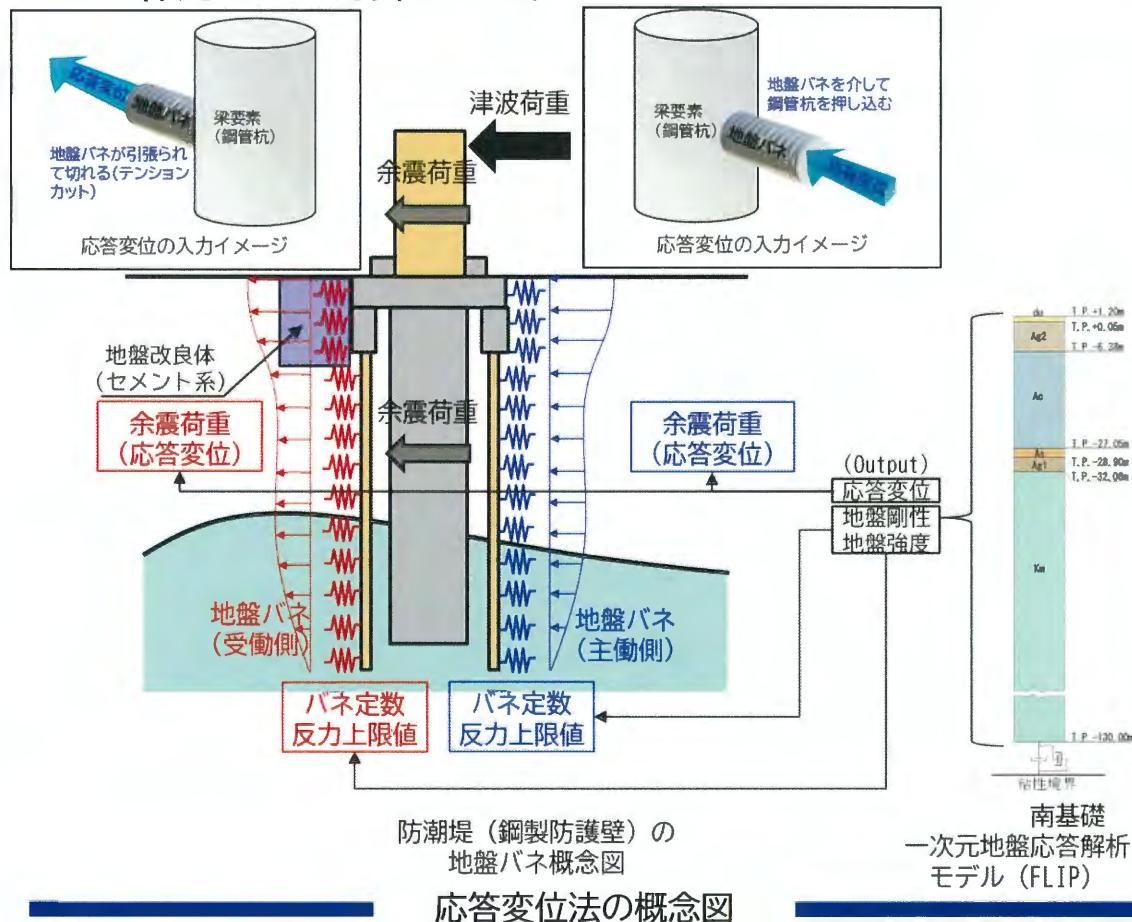
地盤バネ2の地盤剛性（静弾性係数による）は、基準地震動 S_s により軟化した地盤剛性よりも小さく、耐津波設計における地盤バネ（受働側）の設計条件として妥当であることを確認した。

3. 審査会合コメント⑭回答（防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計における地盤バネについて）

（8）応答変位入力時におけるバネ設定の妥当性

（1）応答変位入力時におけるバネ設定の妥当性

- 防潮堤（鋼製防護壁）の耐津波設計においては、余震荷重を応答変位法により考慮する方針である。応答変位法については下図に示すとおり、一次元地盤応答解析により算定した各地盤要素の応答変位を地盤バネを介して構造物に入力する。
- 応答変位法では、一次元地盤応答解析にて発生する地盤応力を変位を介して構造物に作用させるが、一次元地盤応答解析の応力-ひずみ関係と、地盤バネ（構造物側）の応力-ひずみ関係を整合させることで、等価な地盤応力を作用させる方針である。



上述した一次元地盤応答解析及び地盤バネの応力-ひずみ関係により、応答変位により設定した地盤応力（主働土圧）は、一次元地盤応答解析による地盤応力と等価（かつ保守的）であり、設計手法として問題のないことを確認した。

4. 審査会合コメント回答⑯

【資料1-3 参照】

5. 審査会合コメント回答⑯

5. 審査会合コメント⑯回答

コメント回答

【第1360回審査会合コメント⑯】

No	コメント
⑯	<ul style="list-style-type: none"> ● 地盤改良以外の工事について、設計上の想定に影響を及ぼす可能性があるものを抽出し、安全側の設計となっていることを説明すること。 例1) 中実鉄筋コンクリートにおけるD51-17.5段の太径鉄筋による高密度の配筋については施工実績が少なく施工難易度が高いと考えられるので、工事計画を実現するための対策を示すとともに不具合を繰り返さない取り組みを説明し、設計への影響がないことを説明すること。 例2) 中実鉄筋コンクリートの機械式継手の範囲には水平鉄筋が配置されないため、配置しないことによる影響が安全側に設計へ反映されていることを説明すること。 例3) 鋼管杭の岩盤への根入れ箇所について、先行置換材であるセメントベントナイトの強度と岩盤強度の大小関係を比較し、鋼管杭の地盤バネが安全側に設定されていることを示すこと。また、セメントベントナイトの耐用年数等、設計の想定に影響を及ぼす可能性がある工事の計画を網羅的に抽出し、それが安全側に設計へ反映されていることを説明すること。

回答概要

No	回答概要
⑯	<p>防潮堤（鋼製防護壁）の工事の施工ステップ毎に、設計上の想定に影響を及ぼす可能性があるものを抽出し、施工性や品質管理の観点から、実現性のある工事計画、安全側の設計となっていることを説明する。</p> <p>なお、例示のあった項目についての検討・確認結果の概要は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中実鉄筋コンクリートの構築について、モックアップ試験により中実鉄筋コンクリートの確実な構築のため方策の有効性を確認した。 ・中実鉄筋コンクリートの機械式継手の範囲の帯鉄筋については構造評価の鉄筋の配置が困難なため近傍に移動し、当該位置には構造細目に従い帯鉄筋（構造設計の鉄筋として加算しない）を配置する計画である。 ・支障物は岩盤中にないため、セメントベントナイトへの置換は堆積層のみとした。セメントベントナイトは文献調査の結果から長期安定性を有していることを確認し、設計に影響ないことを確認した。

（1）防潮堤（鋼製防護壁）工事の施工性等に係る基本方針

防潮堤（鋼製防護壁）の地中連続壁を構築する際、掘削した溝壁の安定性が確保できず、はらみ出し・崩落等の発生により、コンクリートの未充填や鉄筋の高止まりが発生した。また、コンクリートの未充填や鉄筋の変形等の状態についての把握が地中連続壁の構築後となっており、不具合を施工中に検知・是正することができなかった。

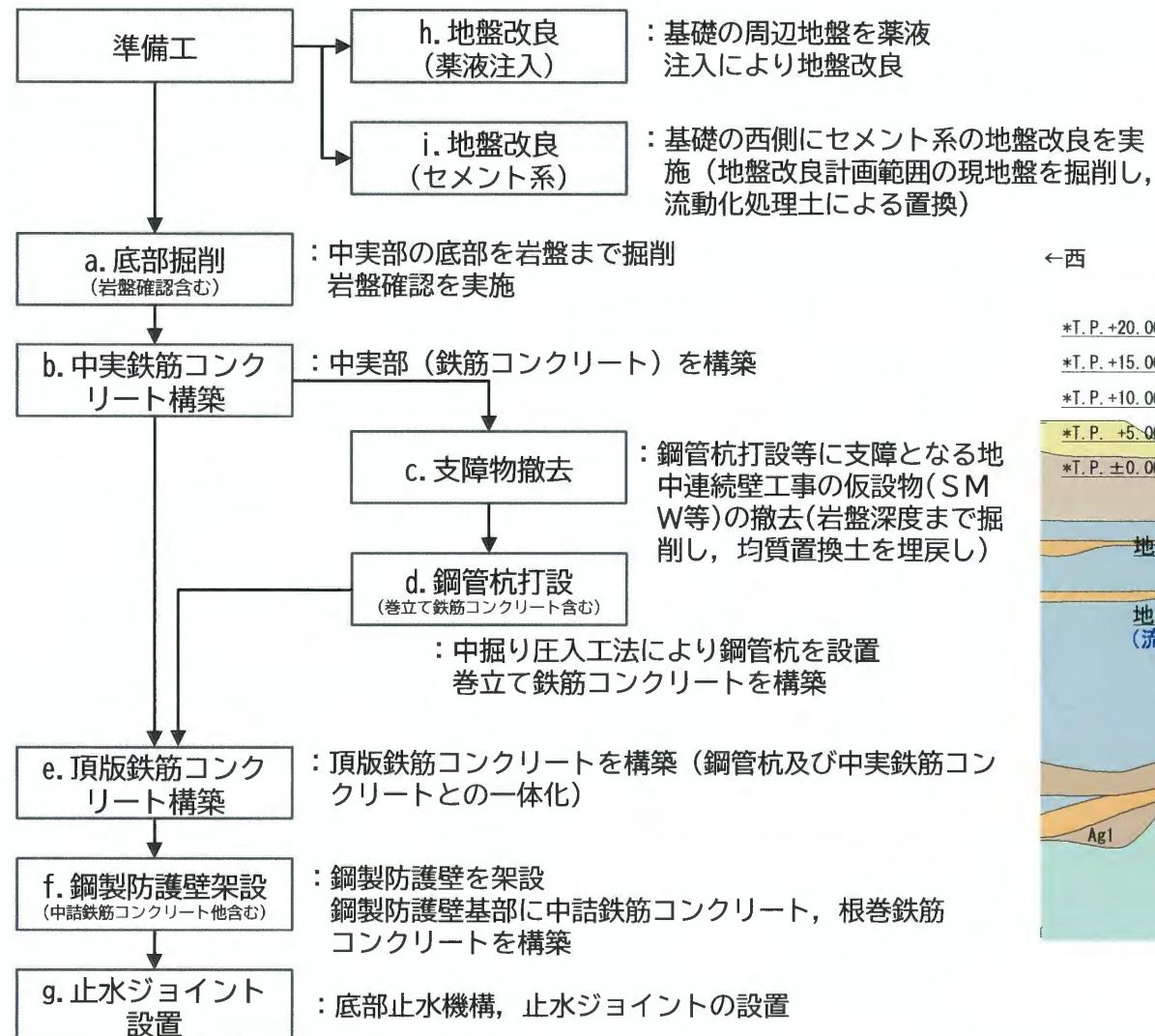
これらを鑑み、防潮堤（鋼製防護壁）の工事に係る施工性等の確保として、各施工ステップの施工性等について以下の基本方針に基づき検討・確認を行った。また、不具合を繰り返さない取り組みとして、各施工ステップの施工内容から、設計上の想定に影響を及ぼす可能性があるもの（施工難易度が高いプロセス等）の注視すべきプロセス等を網羅的に抽出し、これらのプロセス等が設計に影響を及ぼさないための方策等を検討・確認した。

【施工性等に係る基本方針】

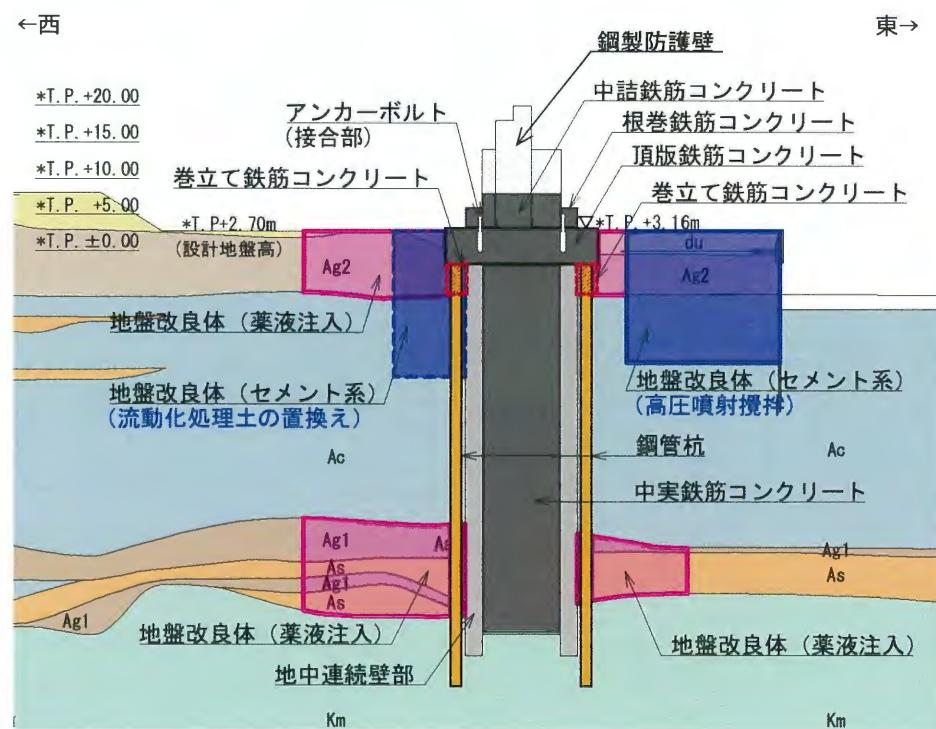
- ・防潮堤（鋼製防護壁）の施工方法について、適用性、施工実績を踏まえ、地盤のはらみ出し・崩落等を回避できる施工方法を選定する。
- ・施工エリアについて現場調査や各施工ステップの施工図を作成し、特定した支障物や重機配置場所等への対策を検討の上、施工性を確認する。
- ・各施工ステップにおけるリスクを想定し、その対策を施すことで施工の実現性を確保する。
- ・施工ステップ毎に工事が計画どおり行われていることの確認が可能か、品質を確認（検査）する項目・時期・方法を整理し、確認する。
- ・不具合を施工中及び施工後に検知・是正できるよう目視等で実態を確認できる検査を選定する。

(2) 防潮堤（鋼製防護壁）工事の施工ステップ

防潮堤（鋼製防護壁）工事の施工ステップを以下に示す。



施工ステップ図※



北基礎断面図（例）

※ 工事の流れの基本を示した図であり, 工事の細部で施工ステップ図と異なる順序で施工を実施する可能性がある。

5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

（3）施工ステップの施工性等の検討・確認結果（概要）

（2）の施工ステップ毎に、施工の難易度が高い等の注視すべきプロセス等を網羅的に整理し、設計への影響を確認する。

施工ステップ	施工ステップの概要	注視すべきプロセス等 (一般工事との相違点等)	設計影響の確認方法	備考
a. 底部掘削	中実鉄筋コンクリート設置位置の地盤の掘削、岩盤確認	なし	—	
b. 中実鉄筋コンクリート構築	中実鉄筋コンクリートの構築	①太径鉄筋の高密度な配筋を多重に構築する実績の少ない作業であり、鉄筋組立の精度確保、コンクリートの充填の施工難易度が高い ②機械式継手の範囲の帯鉄筋の配置の確認	①実規模のモックアップ試験により施工性・品質を確認 ②機械式継手(周辺含む)の配置を確認	代表として後述①②
c. 支障物撤去	鋼管杭打設の準備として打設位置の支障物を撤去。均質置換土による埋戻し	・鋼管杭打設時に撤去されない均質置換土の設計への影響	・施工内容の確認及び均質置換土の地盤物性値（経年変化含む）を整理	代表として後述
d. 鋼管杭打設	中掘り圧入工法による鋼管杭の打設。巻立て鉄筋コンクリートの構築	①約50mの鋼管杭を水平に30cm間隔で打設するため高い打設精度が求められ施工難易度が高い ②鋼管杭打設における施工荷重（重機荷重）の影響 ③狭隘な区画での太径鉄筋の組立であり、施工難易度が高い	①鋼管杭の施工方法・実績の整理 ②鋼管杭打設時の重機配置及び工事仮設・杭打設への影響の確認 ③3次元CADによる配筋干渉及び施工図による施工性の確認	代表として後述①②
e. 頂版鉄筋コンクリート構築	頂版鉄筋コンクリートの構築	・中実鉄筋コンクリート、鋼管杭との接続箇所であり、構造鉄筋と定着鉄筋などが複雑に交錯するため、鉄筋組立の施工の難易度が高い	・3次元CADによる配筋の干渉確認	
f. 鋼製防護壁架設	鋼製防護壁の組立・架設 中詰め鉄筋コンクリートの構築	①鋼製防護壁の一部に高強度鋼材を採用しており、部材溶接の施工難易度が高い ②鋼製防護壁の基部内での太径の鉄筋の組立であり、施工難易度が高い	①高強度鋼材に対する溶接施工試験結果に基づく施工仕様の決定 ②3次元CADによる配筋干渉及び施工図による施工性の確認	
g. 止水ジョイント設置	鋼製防護壁の境界部に止水ジョイントの取付・設置	なし	—	
h. 地盤改良 (薬液注入)	薬液注入による地盤の改良 (非液状化地盤に改質)	・地盤を改良する行為であり、施工性、地盤改良体の品質の不確かさが設計に及ぼす影響	・配合試験、試験施工、現場状況に基づく施工仕様の決定。施工実績と設計の関係の整理	前章参照
i. 地盤改良 (セメント系)	掘削・置換工法			

上記の抽出した注視すべきプロセスのうち、以下を代表として次頁以降に示す。



b. 中実鉄筋コンクリート構築①②, c. 支障物撤去, d. 鋼管杭打設①②

5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

（4）各施工ステップの施工性等の検討・確認結果

b. 中実鉄筋コンクリート構築 ①鉄筋組立、コンクリートの充填

注視プロセス等①：太径鉄筋の高密度な配筋を多重に構築する実績の少ない作業であり、鉄筋組立の精度確保、コンクリートの充填の施工難易度が高い

注視プロセス等について、中実鉄筋コンクリートの構築を確実に実施するための方策等の確認として、以下のモックアップ試験・確認を実施する。

【モックアップ試験で確認する事項】

- ・太径鉄筋の高密度な配筋を精度よく組立てられること…A
- ・上記の配筋にてコンクリートが確実に充填されること…B, C

A. 鉄筋組立試験

主鉄筋が18段の多段配筋（鉛直鉄筋、水平鉄筋）及び複数段のせん断補強筋（水平格子鉄筋）を計画のとおり精度よく組立可能であることを確認するため、実配筋による鉄筋組立を実施する。

また、鉄筋組立に用いる段取り鉄筋等の適用性を確認する。

B. コンクリート充填確認試験

高密度配筋において、高流動コンクリート（自己充填性コンクリート）によるコンクリートの打設が可能（確実に充填されること）であることを確認するため、高密度配筋を組み立てた場所に使用予定のコンクリートを打設し、流動状況などを確認する。硬化後、試験体を切断し、充填を確認する。

なお、流動状況、流動距離をもとに施工計画を策定する。

C. 打設時のコンクリート性状変化防止の確認

大深度（約50m直下）におけるコンクリート打設によるコンクリートの性状変化（スランプフローの低下等）を防止する方策を確認する。

代表として、A, Bの試験結果を説明する。

中実鉄筋コンクリート 構造図（南基礎）

5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

（4）各施工ステップの施工性等の検討・確認結果

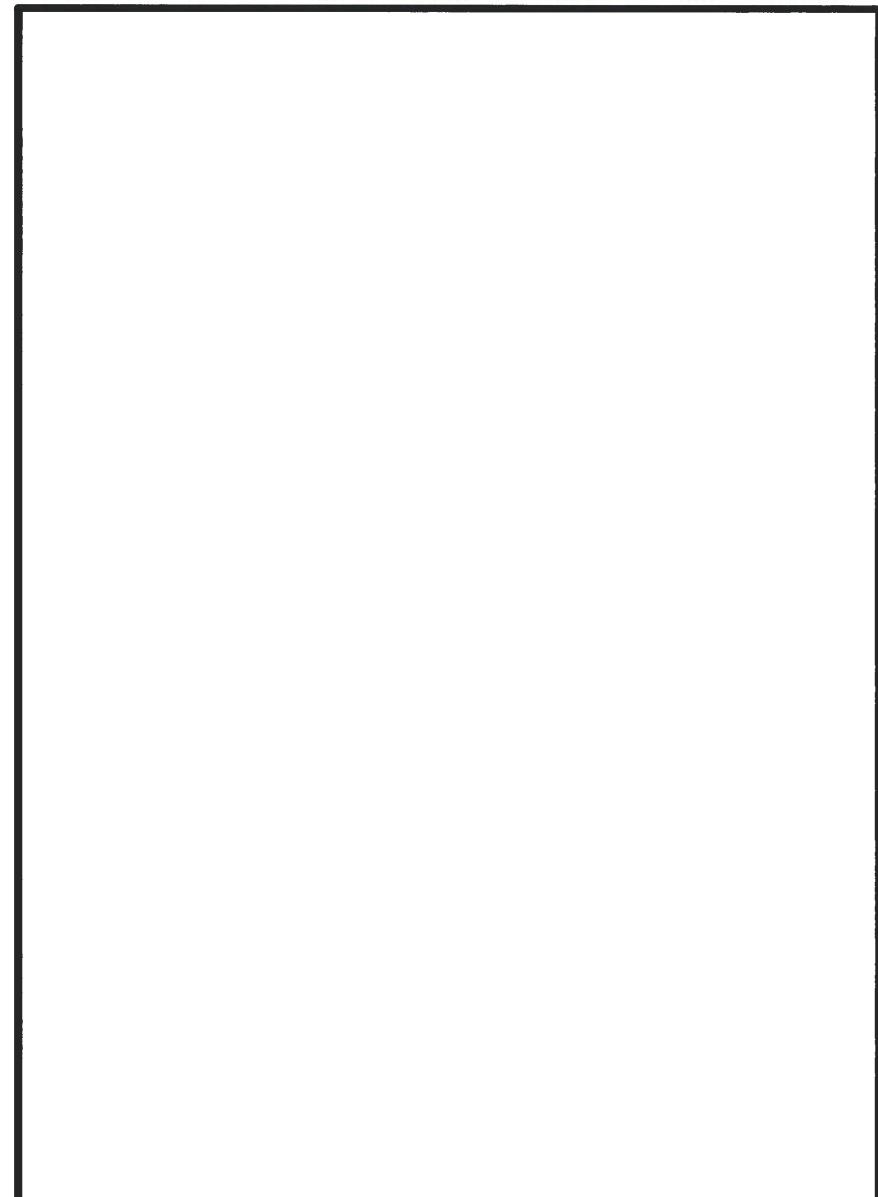
A. 鉄筋組立試験

設計の構造図（前頁のC-C断面）を参考に、施工性確認として右図の配筋の組立試験を行った。組立は実際の組立と同じ、1施工分の高さ3.3mを施工した。

組立は現地の環境と同様とするため、地中連続壁内空（10.7m × 10.7m）を板で模擬し、内空のみで作業した。



モックアップ試験体（組立完了状態）



モックアップ試験配筋図（南基礎）

5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

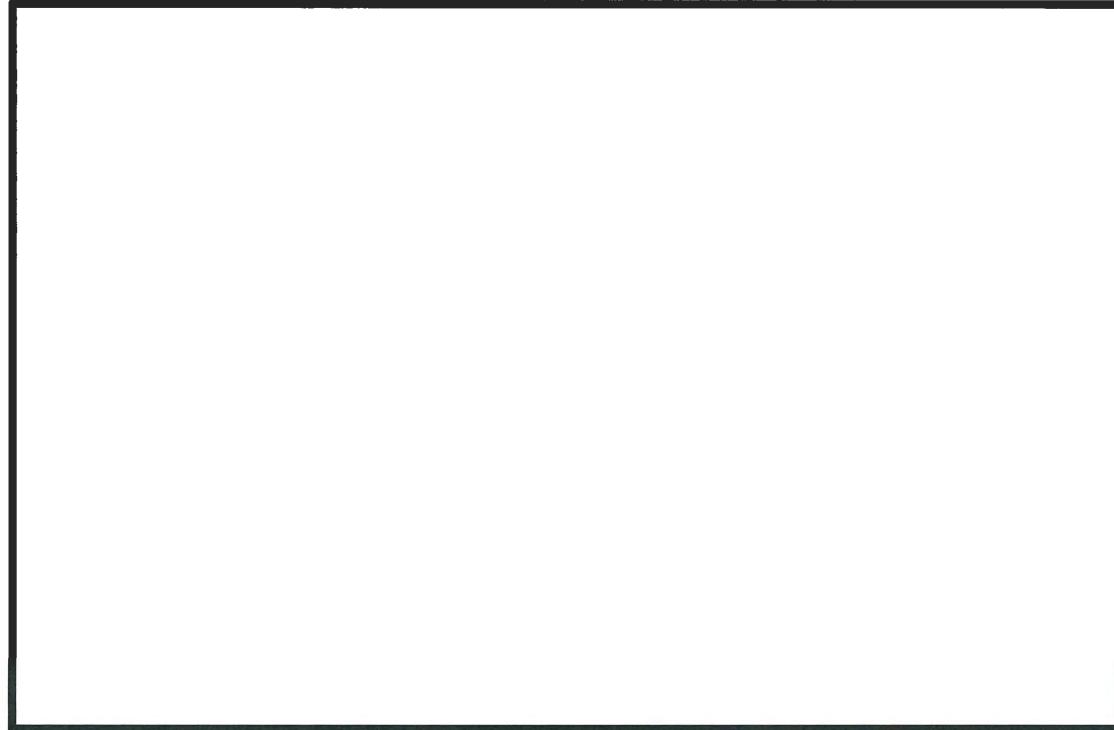
（4）各施工ステップの施工性等の検討・確認結果

B. コンクリート充填確認試験

試験体の配筋図は右図のとおり。

平面で計画の1/4、高さ約1m分の実配筋を組み立て、そこに実際に使用予定の高流動コンクリート（自己充填性：ランク1：スランプフロー700mm）を高さ約1m打設し、コンクリートの流動状況、流動距離を確認した。

実施工を想定し、コンクリートの打設は1層高さ30cmとして3層約1m分行い、流動状況を確認した。また、施工計画の向上を図るため、打込み場所の高さが30cmとなる時点での水平方向の流動範囲（流動距離）を確認した。試験体硬化後、切断してコンクリートの充填を確認した。



試験体の切断観察結果

太径鉄筋の高密度な配筋への高流動コンクリートによる打設を行い、本施工で充填に問題はなく、設計どおりの構築が可能であり、設計への影響はないことを確認した。

モックアップ試験体 観察箇所

5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

(4) 各施工ステップの施工性等の検討・確認結果

b. 中実鉄筋コンクリート構築 ①鉄筋組立、コンクリートの充填

中実鉄筋コンクリートの高密度配筋部を鉄筋組立及びコンクリート充填確認としてモックアップ試験を実施しているが、中実鉄筋コンクリート以外にも防潮堤（鋼製防護壁）の構築には鉄筋コンクリート（本頁では「RC」と記載する。）工事があることから、本成果のこれらへの適用性を確認した。

施工ステップ	RC工事	太径配筋(D51等) 高密度な配筋	配筋設置誤差の累積	コンクリート打設 における悪条件	確認結果
b. 中実鉄筋コンクリート構築	中実RCの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒鉄筋組立試験を実施(①)	該当（打継ぎ回数） ・北14回（影響大） ・南12回（影響大） ⇒鉄筋組立試験を実施(①)	・高密度配筋 (D51@140) ・多段配筋 (18段) ・精度確保の為の段取り材 ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒コンクリート充填試験(②)	—
d. 鋼管杭打設	巻立てRCの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒配筋の干渉確認が必要	非該当	・高密度配筋 (D51@150) ・多段配筋 (杭外3段) 〃 (杭内2段) ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒充填に係る確認要	【鉄筋組立】 ・3次元CADによる配筋の干渉確認 【コンクリートの充填】 ・条件はb.より軽微であり、②の試験結果を適用可能
e. 頂版鉄筋コンクリート構築	頂版RCの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒配筋の干渉確認が必要	該当 ・1回（影響小） ⇒一般工事と同程度	・高密度配筋 (D51@150) ・多段配筋 (7段：上部) ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒充填に係る確認要	【鉄筋組立】 ・3次元CADによる配筋の干渉確認 【コンクリートの充填】 ・条件はb.より軽微であり、②の試験結果を適用可能
f. 鋼製防護壁架設	中詰めRCの構築	太径鉄筋の使用：該当 高密度な配筋：該当 ⇒配筋の干渉確認が必要	該当 ・1回（影響小） ⇒一般工事と同程度	・高密度配筋 (D51@140) ・多段配筋 (7段) ・高流動コンクリート(ランク1) ⇒充填に係る確認要	【鉄筋組立】 ・3次元CADによる配筋の干渉確認 【コンクリートの充填】 ・条件はb.より軽微であり、②の試験結果を適用可能
	(参考) 根巻きコンクリートの構築	太径鉄筋の使用：非該当 高密度な配筋：非該当 ⇒一般工事と同じ	該当 ・1回（微） ⇒一般工事と同じ	・配筋 (D29@150) ・普通コンクリート ⇒一般工事と同じ	不要（一般工事と同じ）

各RC工事の条件を確認し、本モックアップ試験の結果は他RC工事の施工性の確認にも適用可能であることを確認した。

なお、他のRC工事の高密度な配筋干渉は個別の部位ごとに3次元CADにより確認することで、中実鉄筋コンクリートを模擬したモックアップ試験の結果は他のRC工事の実現性の確認にも適用可能である。

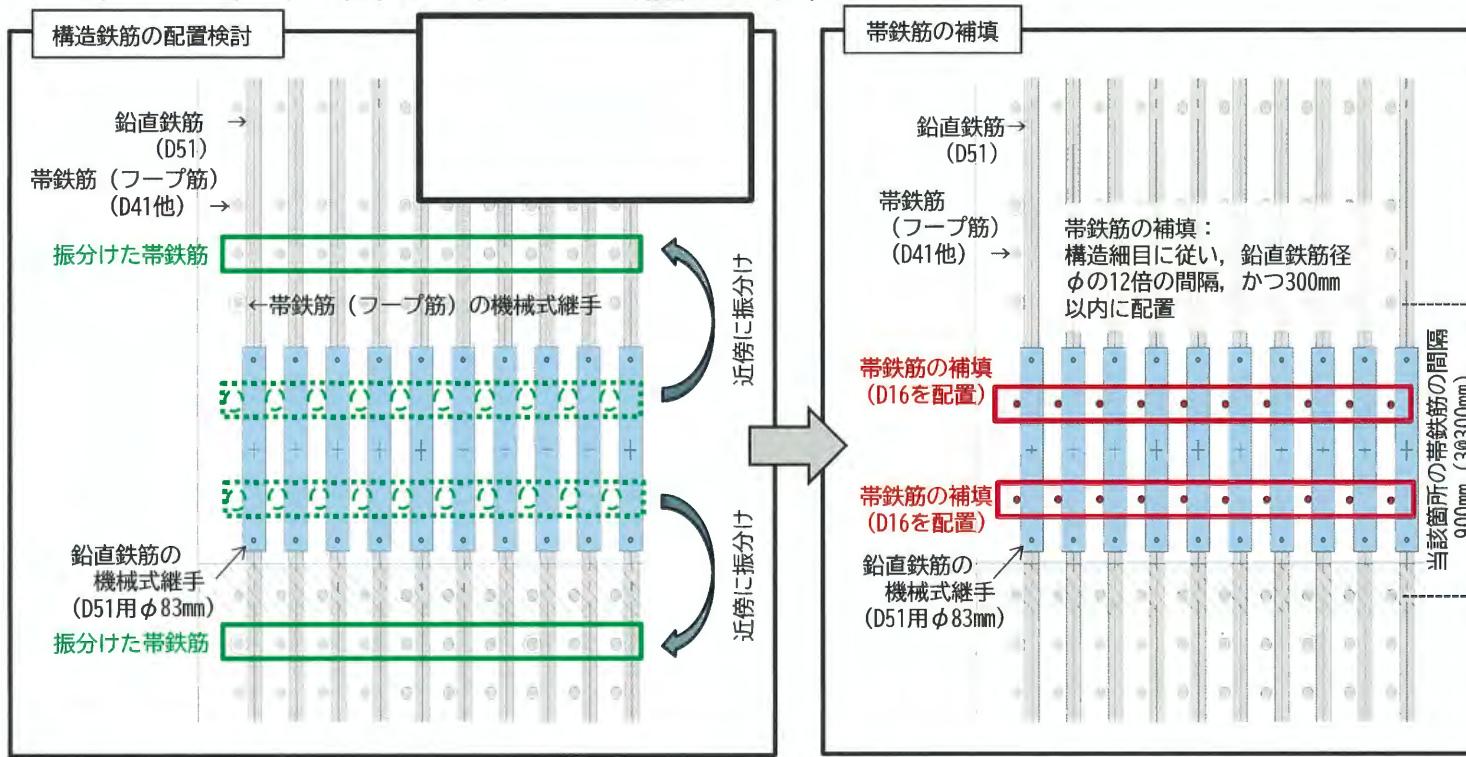
5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

（4）各施工ステップの施工性等の検討・確認結果

b. 中実鉄筋コンクリート構築 ②機械式継手の範囲の帯鉄筋の配置

注視プロセス等②：機械式継手の範囲の帯鉄筋の配置を確認する。

- 構造設計の帯鉄筋は太径（D41～D35）の鉄筋のため、鉛直鉄筋の配筋間隔により機械式継手の範囲には配置せず、必要鉄筋量を確保するよう機械式継手の上下に振り分けて配置する。
- 本構造物は許容応力度法による弾性設計であり、軸方向鉄筋の座屈が懸念される応力状態ではないものの、移動された元の箇所については、せん断力による斜めひび割れの進展防止・軸方向鉄筋のはらみ出し抑制の観点から配置可能な最大のD16を構造細目に従い配置する（構造設計の鉄筋として加算しない）。なお、基礎幅は10.7mあり機械式継手の範囲を考慮してもせん断力による斜めせん断破壊の区間に必要なせん断補強筋は配置される。



中実鉄筋コンクリート 構造図（南基礎）

構造設計で必要な配筋を満足させるとともに、機械式継手の範囲には追加で構造細目を満足するように帯鉄筋を配置することから、設計への影響はないことを確認した。



本資料中の□は、商業秘密又は防護上の観点で公開できません。

5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

（4）各施工ステップの施工性等の検討・確認結果

c. 支障物撤去 均質置換土の設計への影響

注視プロセス等：鋼管杭打設時に撤去されない均質置換土の設計への影響

- ・均質置換土（セメントベントナイト）と周辺地盤の強度の関係による地盤バネへの影響
- ・セメントベントナイトの劣化による設計への影響

注視プロセス等について、①施工計画の確認、②均質置換土と周辺地盤の強度との関係の確認、③均質置換土（「セメントベントナイト」、以下「CB」という。）の長期安定性に関する文献調査を実施した。

① 施工計画

鋼管杭打設場所の支障物は岩盤内にはないこと、本地点の岩盤（Km層）は均質な砂質泥岩であることから、支障物撤去及び地盤の均質化のための掘削は、**堆積層のみを対象に実施する**（岩盤深度まで掘削しない）。

② 均質置換土と周辺地盤の強度との関係

支障物撤去後の埋め戻しとして用いる均質置換土の配合試験結果と周辺地盤（掘削・置換を実施する堆積層）の物性値を比較から、均質置換土の強度・剛性は全ての堆積層の強度・剛性よりも大きく、設計に用いる地盤バネへの影響はないことを確認している。

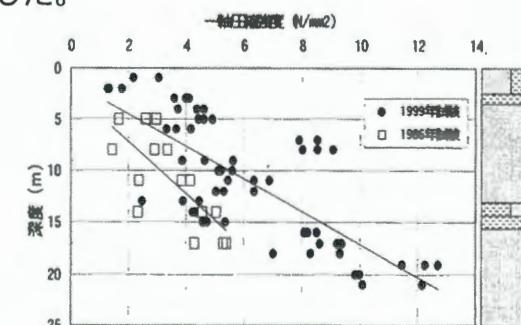
③ CBの長期安定性に関する文献調査

CBの強度発現の原理、ベントナイトの特徴を確認する。また、CBの経時変化・劣化に関する文献を確認し、長期安定性を確認する。

以上の確認結果から、鋼管杭打設時に残置される均質置換材（CB）は、周辺地盤との強度の関係、長期安定性を確認し、残置することにおいても設計への影響がないことを確認した。

杭基礎施工便覧によれば、ケーシング外周部を掘削する場合は、先端地盤を乱して支持力に影響を及ぼすおそれがあるため、埋め戻しに流動化処理土やCB等周辺地盤と同等以上の強度を有するものを用いるとされている。また、道路橋示方書・同解説IV（平成24年）他でもケーソン基礎の地盤とケーソン壁面間の空隙に地盤と同様以上の強度を有するセメントペースト、CB等の充てん剤を注入するコンタクトグラウトを行う必要があるとされており、基礎と周辺地盤の接触部に周辺地盤より強度を有するCBを用いることは、各種基準にて推奨された工法である。なお、可塑性グラウト注入工法^{※1}に示された各種裏込め注入グラウトの性能比較において、CBは長期強度を有するものと評価されている。

CBはセメントと水とベントナイトで構成される。CBの強度発現の原理はセメント系地盤改良・ソイルセメントと同様にセメントの水和反応による硬化であり、セメント系地盤改良・ソイルセメントに比べ、CBは組成の不確かさは少なく均質な材料である。よって、CBはソイルセメントと同様に安定的と評価できることから、原理や使用環境が類似するソイルセメントの長期安定性について文献を調査した。



調査の結果、ソイルセメントの一軸圧縮強度や静弾性係数など施工直後に比べ増加しており、長期安定性を有すると評価できるとされていることから、CBも同様に長期安定性を有すると評価できる。

ソイルセメントの一軸圧縮強度^{※2}

※1 可塑性グラウト注入工法 新設と補強・補修 三木他 日刊建設工業新聞社

※2 ソイルセメント柱列壁の耐久性に関する研究 阪井ほか、日本建築学会学術講演会1999

5. 審査会合コメント⑯回答（防潮堤（鋼製防護壁）の工事計画の実現性等について）

（4）各施工ステップの施工性等の検討・確認結果

d. 鋼管杭打設 ①鋼管杭の打設精度, ②鋼管杭打設時の施工荷重（重機荷重）の影響

注視プロセス等①：約50mの鋼管杭を水平に30cm間隔で打設するため高い打設精度が求められ施工難易度が高い
注視プロセス等②：鋼管杭打設等における打設場所近傍への重機配置による工事の品質への影響を確認する

注視プロセス等について、鋼管杭の施工方法及びその実績を整理する。

【①鋼管杭打設工における鉛直精度の確保：施工方法及びその実績】

1) 均質置換土（CB）による置換

地盤の固さの不均質さの影響による鋼管杭打設時の鉛直精度低下を防ぐため、事前に岩盤標高付近までの堆積層を均質置換土に置き換える。
(地盤改良体（セメント系）の範囲は流動化処理土を代用する。)

2) 鋼管杭の鉛直精度管理システム※1による施工管理

中掘り圧入工法による鋼管杭打設時に、鋼管杭の鉛直精度を常時監視するシステムを使用し、打設精度を向上させる。なお、本工法の組合せは発電所内の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の基礎工事（基礎杭長、約65m）で使用し、十分な精度で施工できることを確認している。

※1 測量機器（トータルステーション）を用いて杭を計測し、杭の位置及び傾きを計測・管理し、杭打設の施工精度を向上させるツール

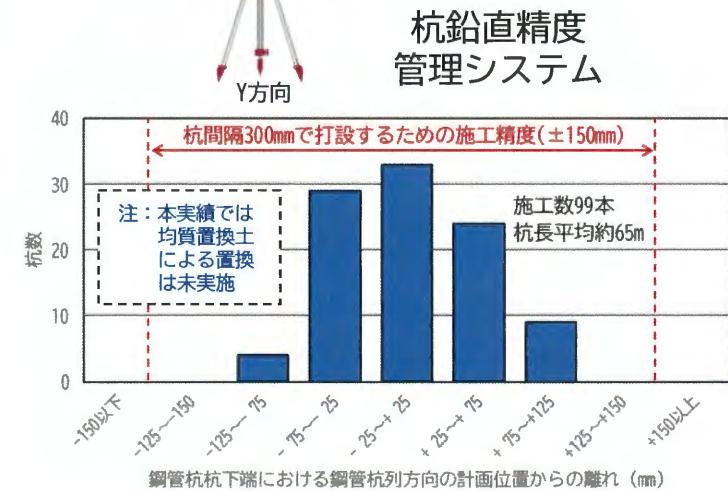
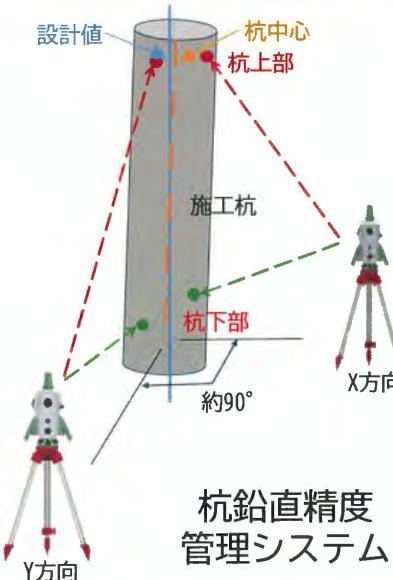
【②鋼管杭打設時の施工荷重（重機荷重）の影響の確認】

鋼管杭打設等の施工荷重（重機荷重）の工事の品質への影響（重機の接地荷重増大による地盤への影響）について、重機配置及び状況を確認した。

- ・鋼管杭打設では200tクローラークレーンと全周回転掘削機を使用し、最大接地荷重は全周回転掘削機の設置・撤去時のクローラークレーンで発生する。
- ・この状況では鋼管杭の打設は行われず、打設精度への影響はない。また鋼管杭建込み時も荷重増大するが打設は同時に行われないため影響はない。
- ・打設中は鋼管杭等で土砂が保持されることから、はらみ出し・地盤崩壊は発生しない。施工荷重を考慮した土留めを設置し、施工エリアを確保する。

以上より、施工荷重（重機荷重）が工事の品質に影響を及ぼすことはない。

以上の確認結果から、鋼管杭の高精度の打設等が施工性や品質管理の観点から実現性のある工事計画であり、設計への影響はないことを確認した。



②施工による鋼管杭の鉛直精度結果
(当社、鋼管杭鉄筋コンクリート壁の施工実績)

6. 今後の予定

6. 今後の予定

STEP3で代表的な応力により構造成立性を確認したため、今後、STEP4では全ケースでの耐震・強度計算書について確認を行うとともに、地盤改良体が周辺施設に与える影響の検討結果や地盤改良体の品質管理方法等について説明する。

審査会合（第1309回）

STEP 1

●構造変更案の概要

- 構造変更案の概要（追加基礎・地盤改良の追加）
- 今後の説明の流れ

STEP 2

●基本方針の設定※1

【耐震・耐津波評価】の基本方針

- 要求性能と設計評価方針
- 検討モデル（鋼管杭、地盤改良、頂版鉄筋コンクリート、地盤バネ、群杭の扱い等）
- 評価フロー、評価項目
- STEP3で示す耐震評価に係る構造成立性の評価方法

【影響評価】の基本方針

- 地中連続壁の残置影響に係る評価ロジック、評価条件、評価方針及び保守性の整理
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響に係る評価項目、評価方法、周辺施設の詳細情報

【施工性・検査】の基本方針

- 追加基礎・地盤改良の施工方法と設計への反映事項の整理
- 品質確保のための検査項目（品質管理目標）
- 地盤改良（薬液注入）の性能目標、物性値

●構造成立性の見通し

【耐津波評価】の結果※2

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による各部の照査

審査会合（第1329回）

審査会合（第1360回）及び今回説明

STEP 3

●構造成立性

【耐震・耐津波評価】の結果

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による各部の照査

【影響評価】の結果

- 代表的な応力（断面力最大ケース）による地中連続壁の残置影響評価

STEP 4

●詳細検討結果（補足事項含）

【耐震・耐津波評価】の結果

- 全解析ケースによる各部の照査

【影響評価】の結果

- 地中連続壁部の残置影響評価
- 追加基礎・地盤改良による周辺施設への影響評価

【施工性・検査】の確認結果

- 地盤改良物性値（ばらつき、液状化強度）に係る試験確認