

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10月29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. 1360回審査会合のコメント⑬	7
3. 1360回審査会合のコメント⑭	27
4. 1360回審査会合のコメント⑯	52

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	<p>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。</p>	回答済 (第1259回)
	<p>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。</p>	STEP3で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済
	<p>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）。</p>	回答済 (第1360回)
	<p>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。</p>	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	<p>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。</p>	回答済 (第1280回)
第1280回	<p>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。</p>	STEP3で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済
	<p>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。</p>	回答済 (第1360回)
	<p>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。</p>	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
	<p>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。</p>	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	<p>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。</p>	STEP3で説明 ・ 基本方針は第1329回説明済
	<p>⑪ ● 説明スケジュールを明確にすること。</p>	STEP3で説明
	<p>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。</p>	回答済 (第1329回)

1. 概要 (2/3)

審査会合	コメント	回答
第1360回	<p>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。</p>	STEP3で説明
	<p>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必要なエビデンスを詳細に説明すること。</p>	STEP3で説明
	<p>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。</p>	STEP3で説明
	<p>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。</p>	STEP3で説明

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、構造成立性評価について頂いたコメントの回答を説明する。

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）

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. 審査会合コメント回答⑬

2. 審査会合コメント回答⑬

【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や鉄道構造物等設計標準で「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。鉄筋のひずみについては、三次元静的FEM解析（COM3）を用いてSD685に相応なひずみが生じていることについて確認した。

2. 審査会合コメント回答⑬

(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ったため、コンクリート標準示方書の改訂にあたって網羅的に検討された内容について確認した。その具体的な記載内容については参考①～⑥に示す。

鉄筋強度に係わる項目 (参考①)	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。	
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。	参考②
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。	参考③
	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。	参考④

(次ページへ続く)

2. 審査会合コメント回答⑬

(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 (参考①)	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。	参考⑤
	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（2022）。 (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)	参考⑥



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. 審査会合コメント回答⑬

(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や鉄道構造物等設計標準では「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。
- なお、下表の比較は軸方向鉄筋D51@150、横方向鉄筋0.5本-D32@150として、各基準に示される規定に準拠した。

項目	道路橋示方書	コンクリート標準示方書	鉄道構造物等設計標準・同解説
鉄筋の基準値: f_yd	400N/mm ²	685N/mm ²	685N/mm ²
コンクリートの設計基準強度: $f'ck$	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}	2.00N/mm ²	3.19N/mm ²	3.80N/mm ²
係数 α_b 算定のためのパラメータ: K_c	—	1.75	1.75
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	0.629
鉄筋種別による補正係数: α_t	—	—	1.257
$\alpha_b \cdot \alpha_t \cdot f_yd / (4 \cdot f_{bod}) \times \phi$	50φ	42.9φ	35.6φ

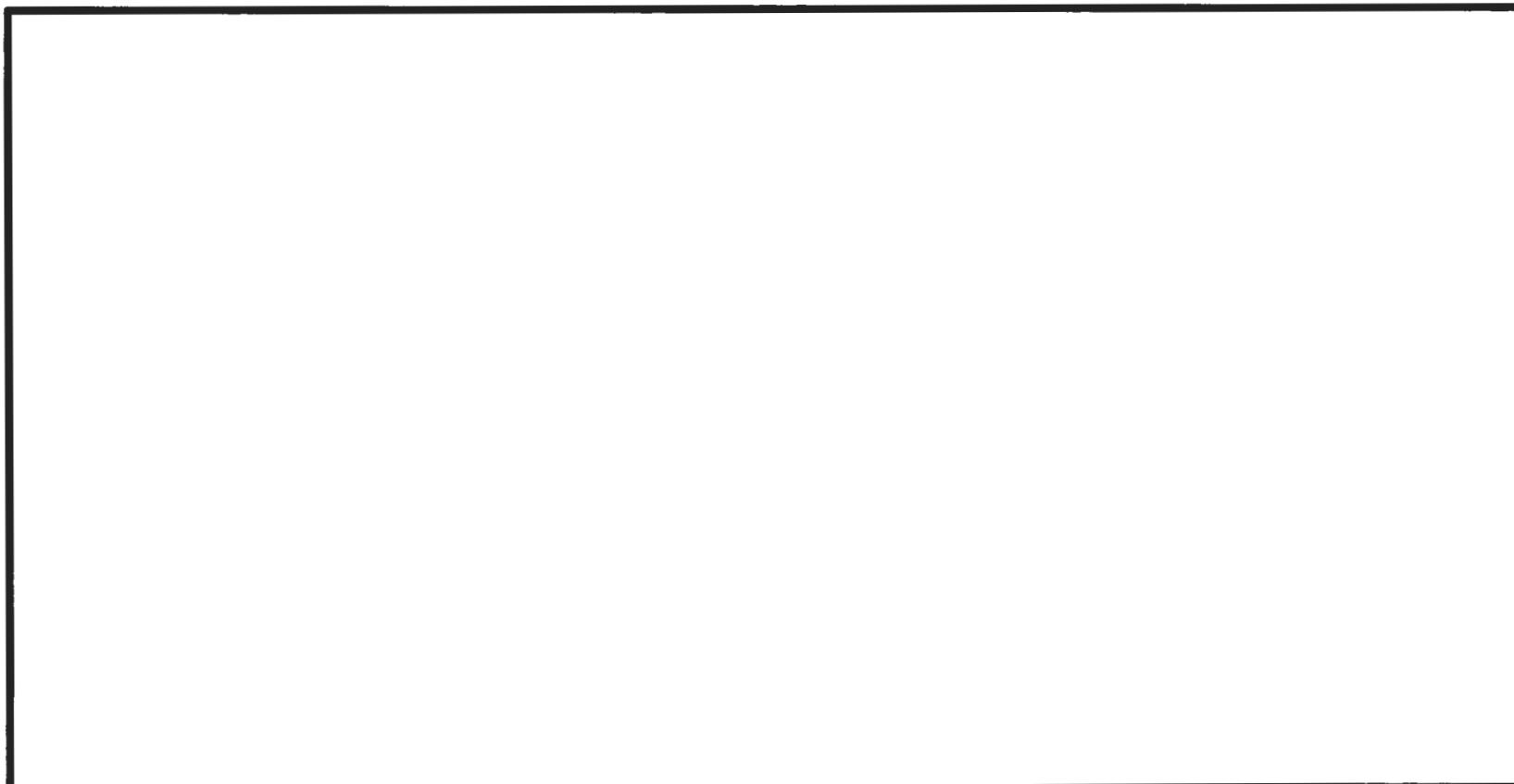
- 実験を実施しない場合に適用される鉄道構造物等設計標準算定式を用いた定着長に対して、更に保守的な長さを確保した定着長とした。
- なお念のため、今後、実験（鉄筋の引き抜き試験）を行い、当該定着長の設定に問題がないことを確認する。
(最上段の鉄筋に着目した鉄筋の引き抜き試験：SD685鉄筋と強度50N/mm²コンクリートの一体性の確認)。

2. 審査会合コメント回答⑬

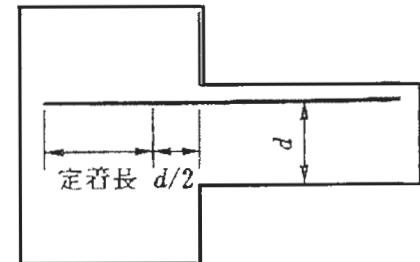
(2) 定着特性の妥当性（基本定着長の設定）

- 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）。

頂版鉄筋コンクリートの東西方向断面



部材交差部の鉄筋定着



定着長
SD685 : 50.00・φ
SD490 : 36.25・φ

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

2. 審査会合コメント回答⑬

(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

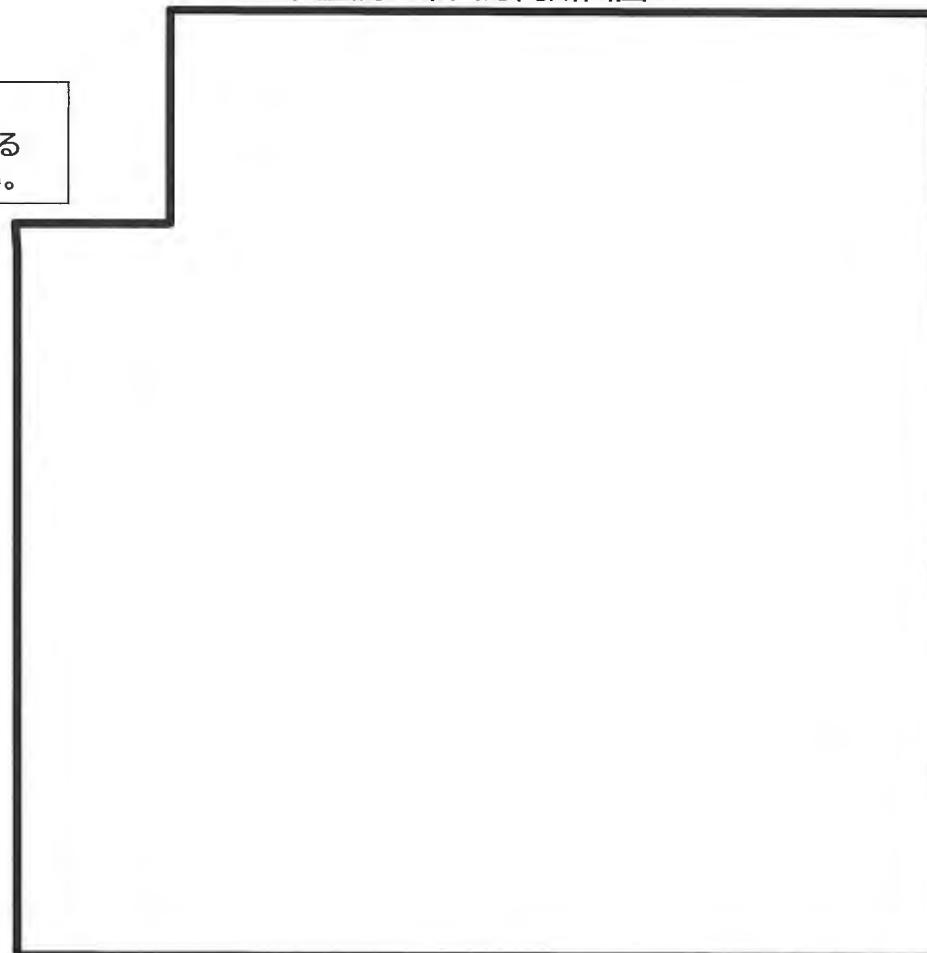
v) 端支点を超えて定着する場合、支承の中心から l_s だけ離れた断面位置の鉄筋応力に対する
低減定着長 l_0 以上を支承の中心からとり、さらに部材端まで延ばさなければならない。

- 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
50.0 ϕ (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

北基礎 東西方向断面図



(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
(2.5.4) により求めてよい。

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

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

ここに、 ϕ : 鉄筋直径

(2.5.2)

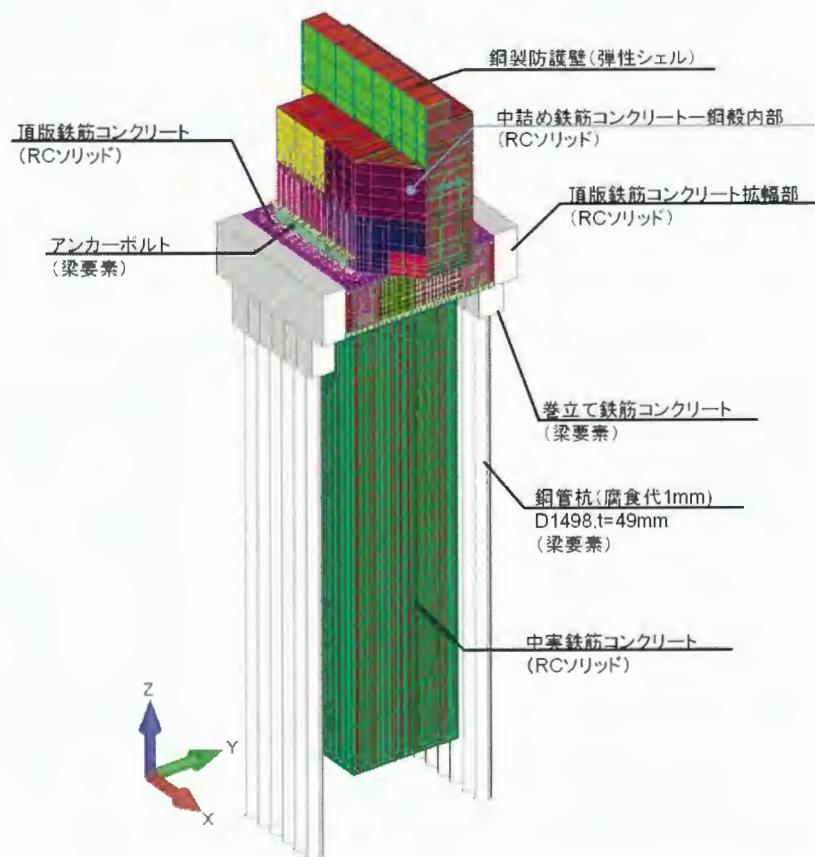
コンクリート標準示方書に示される式 (2.5.2)

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。

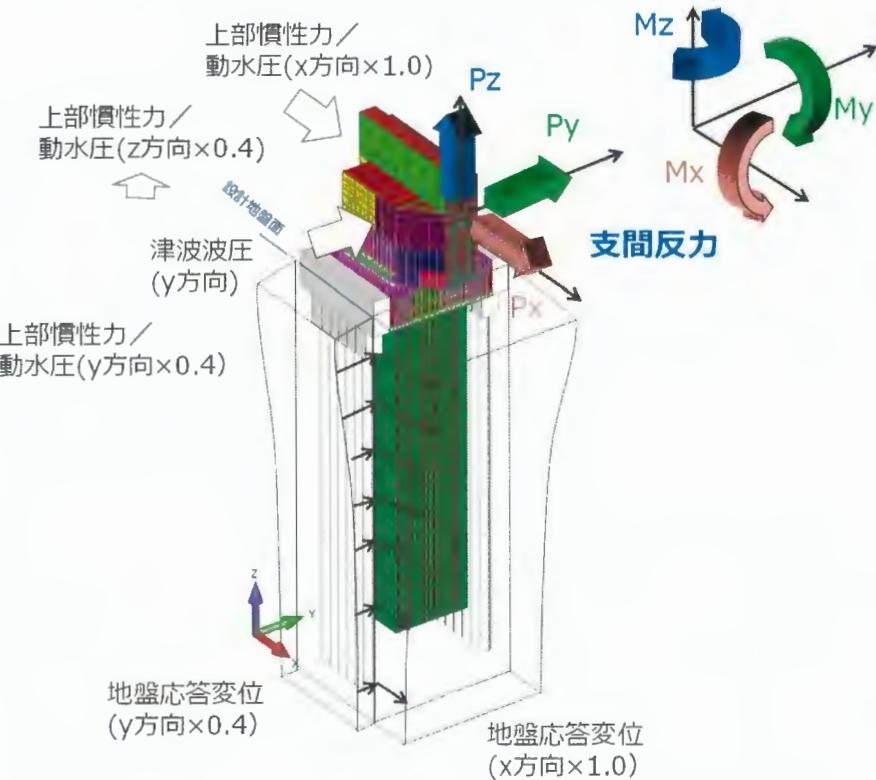
2. 審査会合コメント回答⑬

(3) 頂版鉄筋コンクリートで用いるSD685鉄筋のひずみ

- ・頂版鉄筋コンクリートでSD685鉄筋を用いた範囲については、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3次元材料非線形解析（COM3）を用いて発生するひずみを確認した。
- ・工認設計モデルで最大照査値が生じている南基礎を検討対象とした。
- ・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）

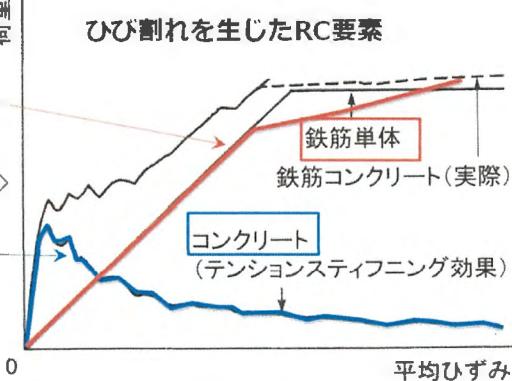
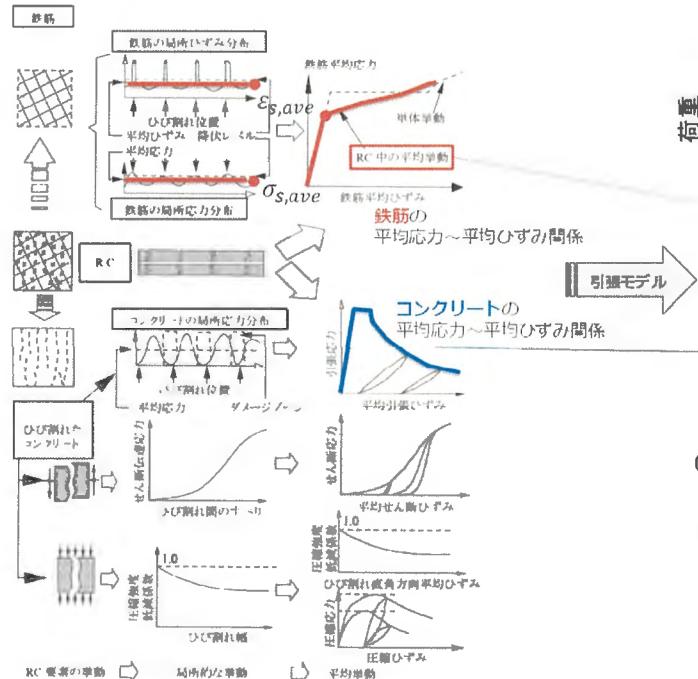


荷重モデル
地上に遡上する津波
+余震重畠時 (X方向: 1.0, Y方向: 0.4, Z方向: 0.4)

2. 審査会合コメント回答⑬

(3) 頂版鉄筋コンクリートで用いるSD685鉄筋のひずみ

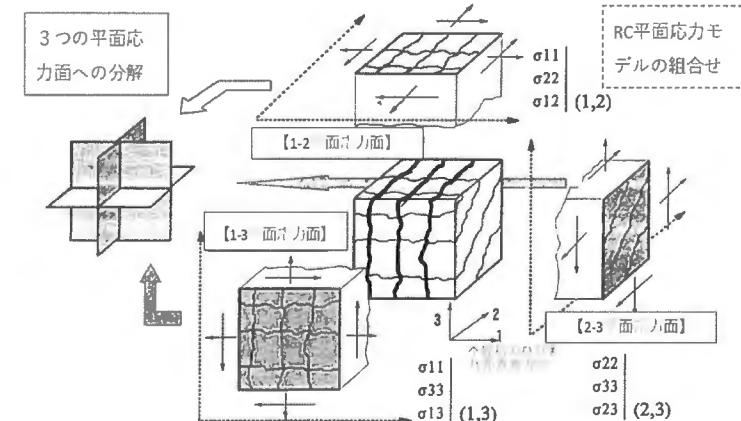
- 「COM3」は、コンクリートに発生するひびわれによって鉄筋とコンクリートに生じる局所的な応力分布を“鉄筋コンクリート部材”としての平均的な応力と平均ひずみの関係として表現する構成則を用いてひびわれ発生に伴う非線形挙動を解析するコードである。
- コンクリートに関する数多くの実験と理論的検証結果に基づいた合理的な構成則を用いており、ひび割れを生じる様々な鉄筋コンクリート構造物の解析を行うことができる。
- 「COM3」はコンクリート標準示方書に準拠した構成則をモデル化していることから、その適用範囲もコンクリート標準示方書と同様である。



解説 図 2.3.2 鉄筋とコンクリートの引張モデル

(要素の平均応力～平均ひずみの引張モデル（分散ひび割れモデル）)

COM3における鉄筋コンクリートの非線形構成則



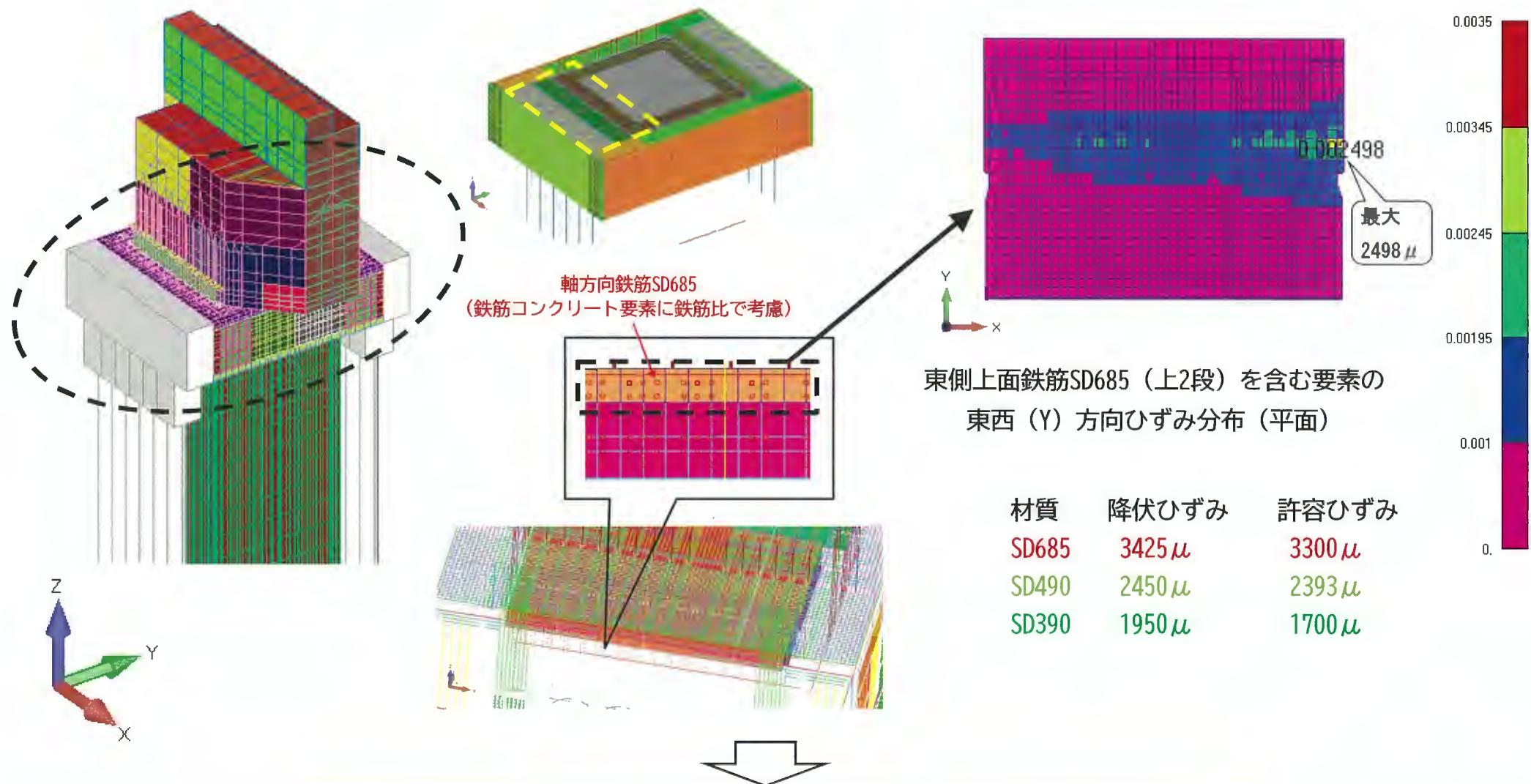
$$RC \text{ 3次元応力} = \text{平面応力}(1,2) + \text{平面応力}(2,3) + \text{平面応力}(1,3)$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \end{pmatrix}_{\text{3次元}} = \begin{pmatrix} 0.5\sigma_1 \\ 0.5\sigma_2 \\ 0 \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \end{pmatrix}_{\text{平面 (1,2)}} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0.5\sigma_2 \\ 0.5\sigma_3 \\ 0 \\ \sigma_{23} \\ 0 \end{pmatrix}_{\text{平面 (2,3)}} + \begin{pmatrix} 0.5\sigma_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \sigma_{13} \end{pmatrix}_{\text{平面 (1,3)}}$$

(3次元での応力表現)

2. 審査会合コメント回答⑬

(3) 頂版鉄筋コンクリートで用いるSD685鉄筋のひずみ



2. 審査会合コメント回答⑬

【参考①】コンクリート標準示方書設計編（2017）高強度鉄筋の適用性に関する検討項目について

コンクリート標準示方書設計編（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った。改定に関する解説資料においては、適用に当たっての検討項目として以下を挙げている。

2.3 SD490 を超える強度の異形鉄筋の取り扱い

2.3.1 概要

異形鉄筋は、JIS では SD490 までは規格化されているが、高強度鉄筋を用いれば鉄筋量を減らすことができ過密鉄筋が回避できる、部材断面寸法を縮小できる、寸法縮小に伴い部材重量を減らすことができるなど、多くのメリットがある。そのため、SD490 を超える鉄筋を使用した場合の研究は数多く行われている。今回の改訂では、SD685 までの鉄筋単体および部材挙動の検討を行い、従来の評価式や新たな評価式の適用性が確認できた項目については、SD685 まで利用可能にした。なお、検討が不十分で適用性が確認できなかった項目については、別途検討すれば利用可能という形にした。

示方書の鉄筋強度に関する項目としては、以下が挙げられる。

- ・本編 5.3.1 コンクリート強度の付着強度
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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
- ・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

出典：コンクリートライブラリー149 2017年制定コンクリート標準示方書 改定資料 設計編・施工編、土木学会

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考②】高強度鉄筋の適用性に関する「付着強度」と「応力ひずみ関係」の取り扱い

- コンクリート標準示方書設計編・施工編の改定資料（2017）において、SD685鉄筋までの高強度鉄筋の取り扱いに関して、「付着強度」と「応力ひずみ関係」について以下のように解説している。

2.3.2 付着強度

付着強度を求める実験が、PC鋼棒など高強度鋼材を使って実施されており¹⁾、SD685まで付着強度算定式が適用できることを確認した。また、2.3.6節で示すが、SD685を用いたRC部材に対し、数値解析の適用性を検討したところ、従来の付着強度ーすべり関係を用いてひび割れ間隔やひび割れ幅を妥当に評価できることを併せて確認した。

2.3.3 応力ひずみ関係

図-SD685までは図2.3.3.1に示すように明確な降伏点が生じる製品が出されていることを確認した。また、鉄筋の引張強度に対する降伏点強度の比は、鉄筋強度が高くなるほど大きくなる。そのため、引張強度に対する降伏点強度の比を65～80%と記述していたが、65～85%と修正した。

鉄筋の応力ひずみ関係については、標準5編耐震設計及び耐震性に関する照査や標準10編非線形有限要素解析による性能照査でひずみ硬化を考慮した引張応力下の式が示されているが、図2.3.3.1に実験結果と示方書で示されている式との比較を行ったが、両者はよく一致しており、SD685までは従来通りの式が適用できることを確認した。ただし、繰返し応力下の適用性の確認は十分できなかつたため、繰返し荷重下の問題に適用する場合は、履歴モデルについて適用範囲を判断する必要がある。

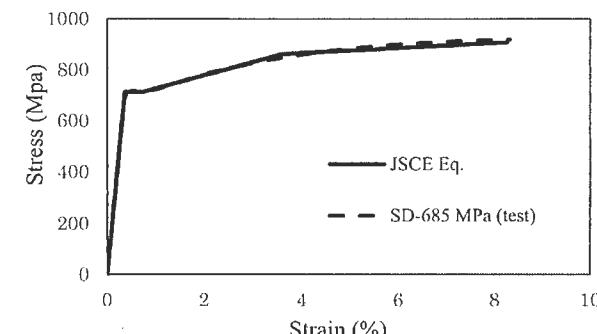


図2.3.3.1 SD685鉄筋の応力ひずみ関係

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考③】高強度鉄筋の適用性に関する「各種耐力」の取り扱い

断面耐力

コンクリート標準示方書設計編・施工編（2017）において、SD685鉄筋を用いた部材の軸方向圧縮耐力および曲げ耐力については、既往の耐力評価手法を同様に用いて問題がないことが示されている。なお、SD685鉄筋は本構造においてせん断補強筋として使用しない。

2.3.4 断面耐力

軸方向圧縮耐力および曲げ耐力については、SD685よりも強度の高いPC鋼棒で既に適用されているため、SD685も同様に用いれば問題がない。棒部材のせん断耐力については、2012年版からせん断補強鉄筋の設計降伏強度は 800N/mm^2 まで適用範囲となっている。せん断伝達耐力、ねじり耐力については十分な検討を行うことができなかったため、その算定の際にはSD490の強度を用いることとし、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た。

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考④】高強度鉄筋の適用性に関する「ひび割れ幅」の取り扱い (1/2)

- コンクリート標準示方書設計編・施工編の改定資料（2017）の「2.3.6 ひび割れ幅および変位・変形 (1)SD685を用いた部材実験による検討」において、既往のひび割れ幅算定式がSD685鉄筋を用いた場合にも使用できることを示している。

2.3.6 ひび割れ幅および変位・変形

(1) SD685 を用いた部材実験による検討

図 2.3.6.1 に示す、引張鉄筋を一段配置りおよび二段配置した場合の部材実験を行い、SD685 を用いた場合のひび割れ幅と短期の変位・変形の算定式の適用性を確認した。また、高強度鉄筋を用いる場合は高強度コンクリートと組合せて使用される場合が多いため、表 2.3.6.1 に示すようにコンクリート強度と鉄筋強度を組み合わせ 4 つの供試体を作成した。コンクリートについては、示方書の適用範囲の 80N/mm^2 に近い 70N/mm^2 程度と普通強度の 30N/mm^2 程度、鉄筋については SD345 と SD685 を用いた。実験では、曲げひび割れ幅は、新たなひび割れ発生が確認されたらその都度荷重を除荷し、断面下端部のひび割れ位置にハイゲージを設置して測定した。曲率は、等曲げ区間内で載荷点と部材中央の 3 点で鉛直変位を測定し、等曲げ区間の平均曲率を算定した。

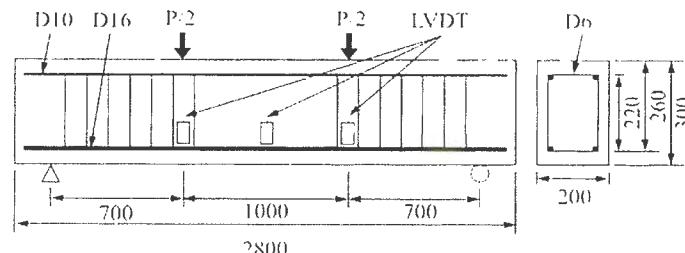


図 2.3.6.1 一段配置供試体概要

表 2.3.6.1 一段配置供試体の材料特性

Beam	Concrete		Rebar	
	f_c' (MPa)	E_c (GPa)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
C-N,S-N	33.7	26.1	SD-345	197.2
C-N,S-H	33.7	26.1	SD-685	193.2
C-H,S-N	70.0	34.1	SD-345	197.2
C-H,S-H	73.0	35.1	SD-685	193.2

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考④】高強度鉄筋の適用性に関する「ひび割れ幅」の取り扱い (2/2)

- コンクリート標準示方書設計編・施工編の改定資料（2017）の「2.3.6 ひび割れ幅および変位・変形 (1)SD685を用いた部材実験による検討」において、既往のひび割れ幅算定式がSD685鉄筋を用いた場合にも使用できることを示している。

$$w = 1.1 k_1 k_2 k_3 (4c + 0.7(c_s - \Phi)) \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right) \quad (2.3.6.1)$$

図 2.3.6.4 に実験値ならびに式 (2.3.6.1) で得られる最大ひび割れ幅と荷重の関係を示す。なお、算定式において、載荷実験は養生後すぐに短時間の載荷で行ったので、コンクリートの収縮およびクリープ等の影響を考慮する ε'_{csd} は、0 とした。算定式は降伏時点で実験値と概ね一致し、降伏以前は実験値を安全側に評価していることからその適用が可能であることが確認された。

表 2.3.6.1 一段配置供試体の材料特性

Beam	Concrete		Rebar	
	f_c' (MPa)	E_c (GPa)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
C-N,S-N	33.7	26.1	SD-345	197.2
C-N,S-H	33.7	26.1	SD-685	193.2
C-H,S-N	70.0	34.1	SD-345	197.2
C-H,S-H	73.0	35.1	SD-685	193.2

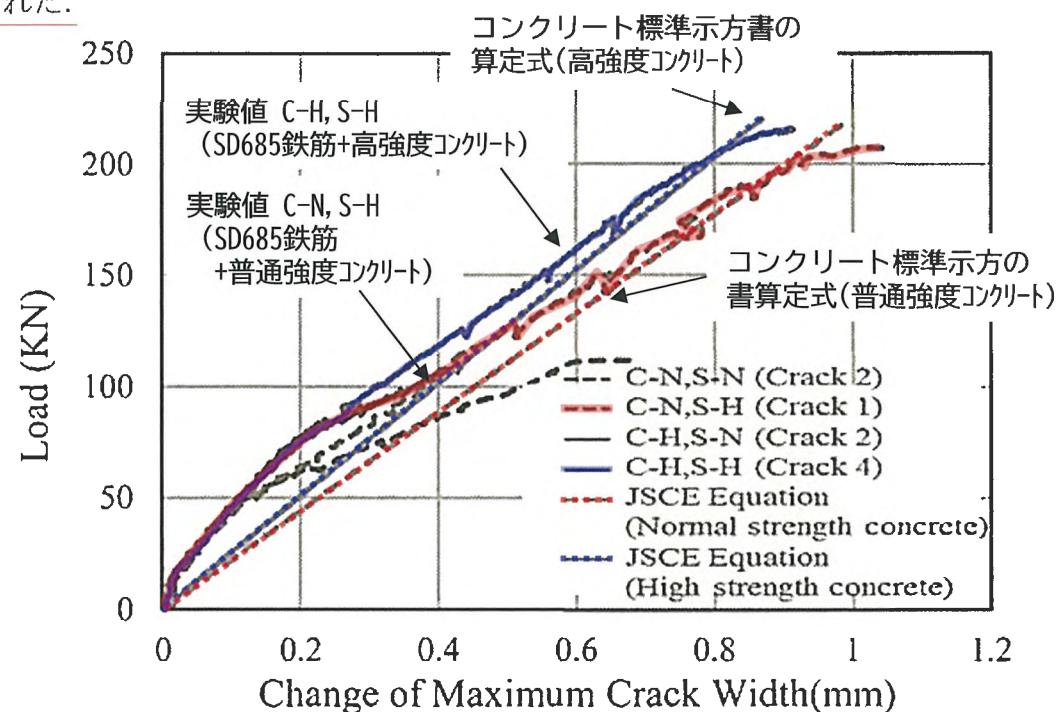


図 2.3.6.4 最大ひび割れ幅の実験値と示方書式の比較

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考⑤】高強度鉄筋の適用性に関する「各種耐力」の取り扱い

最大鉄筋量 (1/2)

- ・コンクリート標準示方書設計編・施工編（2022）では、「2.4.3.2 最大鉄筋量」において、高強度鉄筋SD685まで適用範囲を拡大した根拠について以下のように解説している。

2.4.3.2 最大鉄筋量

最大鉄筋量に関しては、「曲げモーメントの影響が支配的な柱部材の軸方向鉄筋量は、釣合鉄筋比の75%以下とすることを原則とする。」と言う従来の規定を踏襲することとした。この規定は、主に断面破壊時に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定められているが、これを釣合鉄筋比の75%以下としたことについては、材料強度のばらつきや鉄筋配置の施工誤差等を考慮して余裕を持たせたという定性的な考察²⁾や、過去の実験データ³⁾を基に釣合破壊に対して非超過確率30%程度の安全余裕を確保したとする準定量的な考察⁴⁾があるものの、明確な根拠は不明であった。また、高強度材料を用いた場合の適用性等について検証されているかも不明であった。そこで、高強度材料を用いた場合も含めた最大鉄筋量について、簡易な計算ではあるが定量的な検討も含めた考察を行った。

釣合鉄筋比は、設計編【標準】7編の式（解2.3.3）より次式により算定される。

$$\rho_b = \alpha \frac{\varepsilon'_{cu}}{\varepsilon'_{cu} + f_{yd}/E_s} \cdot \frac{f'_{cd}}{f_{yd}} \quad (2.4.1)$$

ここに、 ρ_b : 釣合鉄筋比

$\alpha = 0.88 - 0.004f_{ck}$ ただし、 $\alpha \leq 0.68$

ε'_{cu} : コンクリートの終局ひずみで【設計編：標準】3編の図2.4.1で示された値としてよい。

f_{yd} : 鉄筋の設計引張降伏強度 (N/mm²)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (N/mm²)

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考⑤】高強度鉄筋の適用性に関する「各種耐力」の取り扱いについて

最大鉄筋量 (2/2)

- コンクリート標準示方書設計編・施工編の改定資料（2022）では、「2.4.3.2 最大鉄筋量」において、高強度鉄筋SD685まで適用範囲を拡大した根拠について以下のように解説している。

図2.4.5より、 p_b （実強度相当）/ p_b （設計強度）は75%～79%程度となっている。これは、引張鉄筋量を設計強度により算定した鉄筋比の75%以下とすれば、実構造物において引張鉄筋の降伏強度が設計強度の1.2倍であっても釣合破壊を概ね回避できることを示している。ただし、図2.4.5に示す p_b （実強度相当）/ p_b （設計強度）の数値は、コンクリート強度および鉄筋の引張降伏強度が大きいほど小さくなる傾向にあり、このことは、設計強度に対する鉄筋比の75%とする最大鉄筋量は、材料強度が大きいほど釣合破壊に対する余裕が低下することを意味する。したがって、高強度材料の場合には、コンクリートの応力-ひずみ曲線や鉄筋の強度特性等を適切に評価した上で、部材の破壊性状を確認することが望ましい。

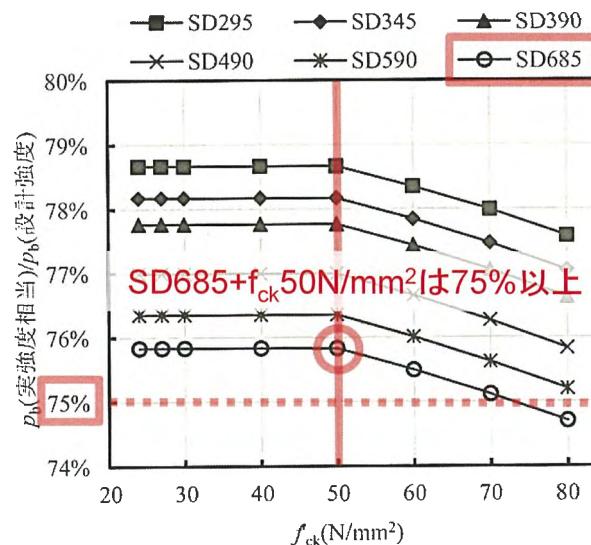


図2.4.5 p_b （実強度）/ p_b （設計強度）

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考⑥】高強度鉄筋の適用性に関する「定着長」の取り扱い (1/3)

➤ 設計基準・指針類の材料特性値範囲及び定着の設計法

①コンクリート標準示方書（社団法人 土木学会, 2022年）

コンクリートの圧縮強度特性値が80 (N/mm²) 以下、鉄筋の引張強度の特性値が685 (N/mm²) までを適用範囲としている。鉄筋の定着長は下記の式で算定される。

「コンクリート標準示方書（設計編, 社団法人 土木学会, 2022年）」より抜粋

(1) 鉄筋の基本定着長 l_d は、式 (2.5.1) による算定値を、次の (i) ~ (iii) に従って補正した値とする。ただし、この補正した値 l_d は 20 ϕ 以上とする。また、鉄筋の降伏強度の特性値が 390N/mm² を超える場合は、降伏強度の影響を適切に考慮しなければならない。

$$l_d = \alpha \frac{f_{yd}}{4f_{bod}} \phi \quad (2.5.1)$$

ここに、 ϕ : 鉄筋の直径

f_{yd} : 鉄筋の設計引張降伏強度

f_{bod} : コンクリートの設計付着強度で、 γ_c は 1.3 として、[設計編: 本編] 式 (解 5.4.2)

の f_{bok} より求めてよい。ただし、 $f_{bod} \leq 3.2 \text{ N/mm}^2$

$\alpha = 1.0$ ($k_c \leq 1.0$ の場合)

$= 0.9$ ($1.0 < k_c \leq 1.5$ の場合)

$= 0.8$ ($1.5 < k_c \leq 2.0$ の場合)

$= 0.7$ ($2.0 < k_c \leq 2.5$ の場合)

$= 0.6$ ($2.5 < k_c$ の場合)

$$\text{ここに, } k_c = \frac{c}{\phi} + \frac{15 A_t}{s \phi}$$

c : 鉄筋の下側のかぶりの値と定着する鉄筋のあきの半分の値のうちの小さい方

A_t : 仮定される割裂破壊断面に垂直な横方向鉄筋の断面積

s : 横方向鉄筋の中心間隔

(i) 引張鉄筋の基本定着長 l_d は、式 (2.5.1) による算定値とする。ただし、標準フックを設ける場合には、この算定値から 10 ϕ だけ減じることができる。

(ii) 圧縮鉄筋の基本定着長 l_d は、式 (2.5.1) による算定値の 0.8 倍とする。ただし、標準フックを設ける場合でも、これ以上減じてはならない。

(iii) 定着を行う鉄筋が、コンクリートの打込みの際に、打込み終了面から 300 mm の深さより上方の位置で、鉄筋の下側におけるコンクリートの打込み高さが 300mm 以上ある場合、かつ水平から 45° 以内の角度で配置されている場合は、引張鉄筋または圧縮鉄筋の基本定着長は、(i) または (ii) で算定される値の 1.3 倍とする。

【解説】（一部抜粋）

SD490 や SD685 等の鉄筋の降伏強度の特性値が 390N/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。

2. 審査会合コメント回答⑬

【参考⑥】高強度鉄筋の適用性に関する「定着長」の取り扱い (2/3)

- 鉄道構造物設計標準・同解説（コンクリート構造物）（平成16年）では高強度鉄筋の適用性に伴う改定がなされているが、「付属資料16 高強度鉄筋を使用する場合の留意点」において、高強度鉄筋SD685まで適用範囲を拡大した根拠について示している。

5. 鉄筋の基本定着長

SD 490 および SD 685 相当の鉄筋を用いる場合の基本定着長 l_d は、[11.9.3 鉄筋の基本定着長] に示される式 (11.9.1) に対して、鉄筋強度に対する補正係数 α_t を考慮した式 (1) を用いて算定してよい。

$$l_d = \alpha_b \cdot \alpha_t \cdot \frac{f_{syd}}{4f_{bod}} \cdot \phi \geq 20\phi \quad (1)$$

ここに、 l_d ：基本定着長

f_{syd} ：鉄筋の設計引張降伏強度

f_{bod} ：コンクリートの設計付着強度

ϕ ：鉄筋の直径

$$\alpha_b = (0.75/K_c) + 0.2 \quad \text{ここで, } 0.5 \leq \alpha_b \leq 1.0$$

$$\alpha_t = (f_{syd}/345)^{1/3}$$

$$K_c = (c_b/\phi) + \{15A_t/(s \cdot \phi)\}$$

c_b ：鉄筋かぶりと、鉄筋のあきの 1/2 の小さい方の値

A_t ：割裂破壊面に垂直な横方向鉄筋の断面積

s ：横方向鉄筋の中心間隔

2. 審査会合コメント回答⑬

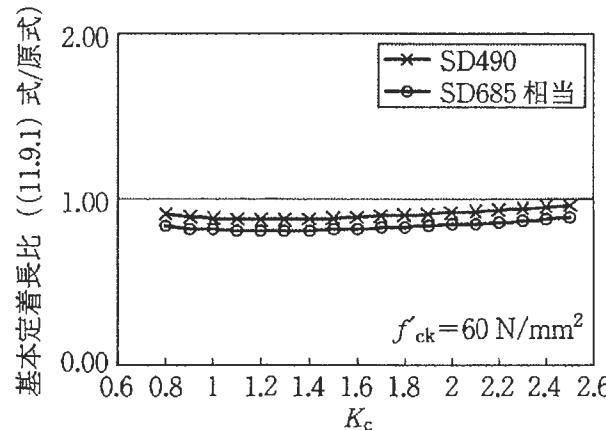
【参考⑥】高強度鉄筋の適用性に関する「定着長」の取り扱い (3/3)

- 鉄道構造物設計標準・同解説（コンクリート構造物）（平成16年）では高強度鉄筋の適用性に伴う改定がなされているが、「付属資料16 高強度鉄筋を使用する場合の留意点」において、高強度鉄筋SD685まで適用範囲を拡大した根拠について示している。

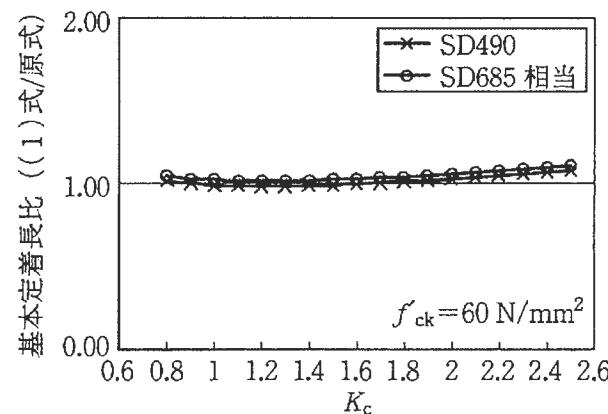
付属図 16.4 には、一例として、コンクリート圧縮強度が 60 N/mm^2 の場合について、従来の設計式 (11.9.1) を SD 490 および SD 685 相当鉄筋に適用した場合の算定値に対する付属資料 15 「鉄筋の基本定着長」に示される原式 (1) による比を示す。これによると式 (11.9.1) をこれらの鉄筋に適用した場合には、基本定着長を短く算定する結果となることがわかる。

これに対して、付属図 16.5 には、式 (1) による算定値に対する原式の比を示す。図より、鉄筋強度に対する補正係数 α_t を考慮することにより、基本定着長は妥当に評価されていることがわかる。

なお、以上のことに関しては、異なるコンクリート強度についても同様な傾向を示すことが確認されている。



付属図 16.4 基本定着長の比較
(11.9.1 式と原式の比較)



付属図 16.5 基本定着長の比較
(鉄筋強度に対する補正係数 α_t 考慮)

原式 (1)

$$\lambda_{dt} = \frac{f_{syd}}{1.25\sqrt{f'_{cd}} - 13.3} - \frac{0.318 + 0.795K_c}{\phi} \cdot \phi \quad (1)$$

f_{syd} : 鉄筋の設計引張降伏強度 (N/mm^2)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2)

ϕ : 定着する鉄筋の直径 (mm)

$K_c = (c_b/\phi) + \{15 A_t/(s \cdot \phi)\}$

ただし、 $c_b/\phi \leq 2.5$

c_b : 定着する鉄筋のかぶりと定着する鉄筋のあきの 1/2 のうち、小さい方の値 (mm)

A_t : 仮定される割裂破壊断面に垂直な横方向鉄筋の断面積 (mm^2)

s : 横方向鉄筋の中心間隔 (mm)

3. 審査会合コメント⑯回答

コメント⑯についての回答

【1360回審査会合コメント】

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。

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

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※（受動側・主動側）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。
 - 【受動側】
 - 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。](#)
 - 【主動側】
 - 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。](#)

※構造物の受動側及び主動側における地盤バネの役割について次頁にて補足する。

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

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）

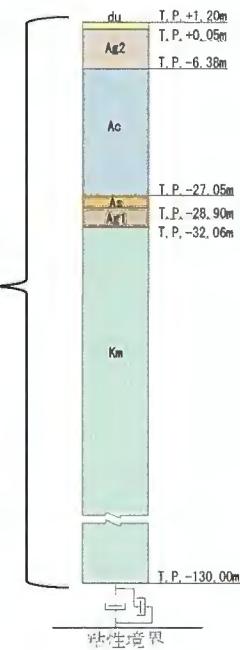
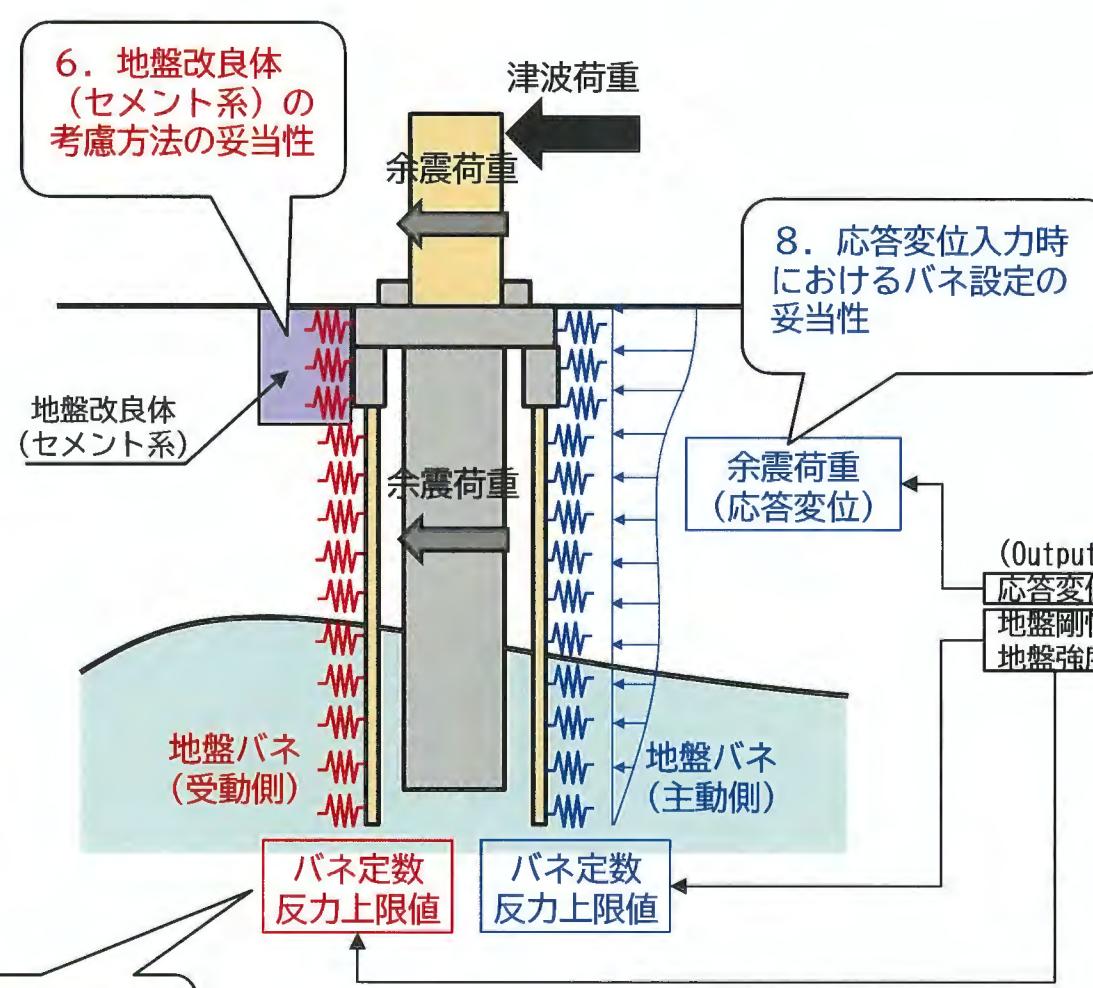
津波荷重及び余震荷重に対する受動抵抗としての地盤反力を模擬するバネである。

・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。



7. 津波時における地盤バネ2の妥当性



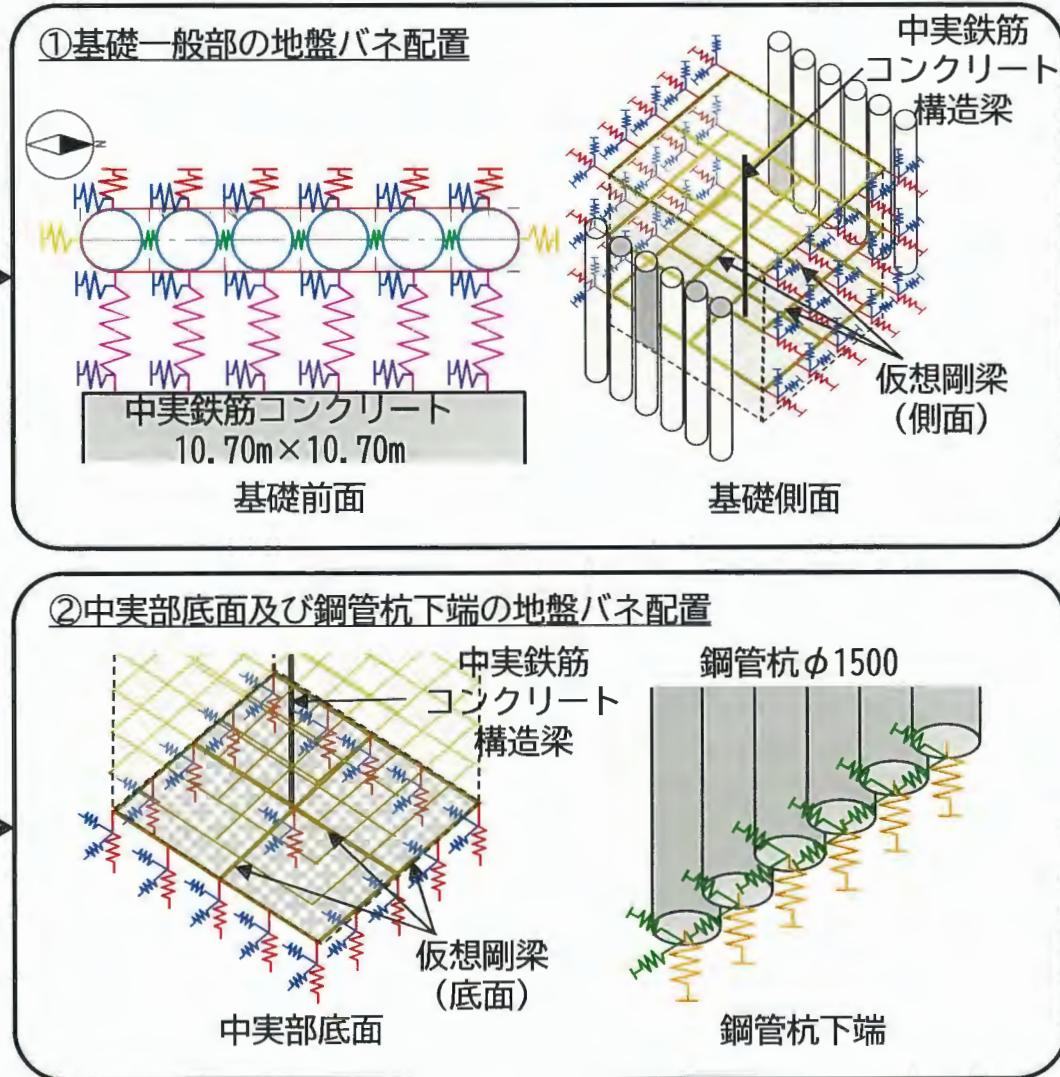
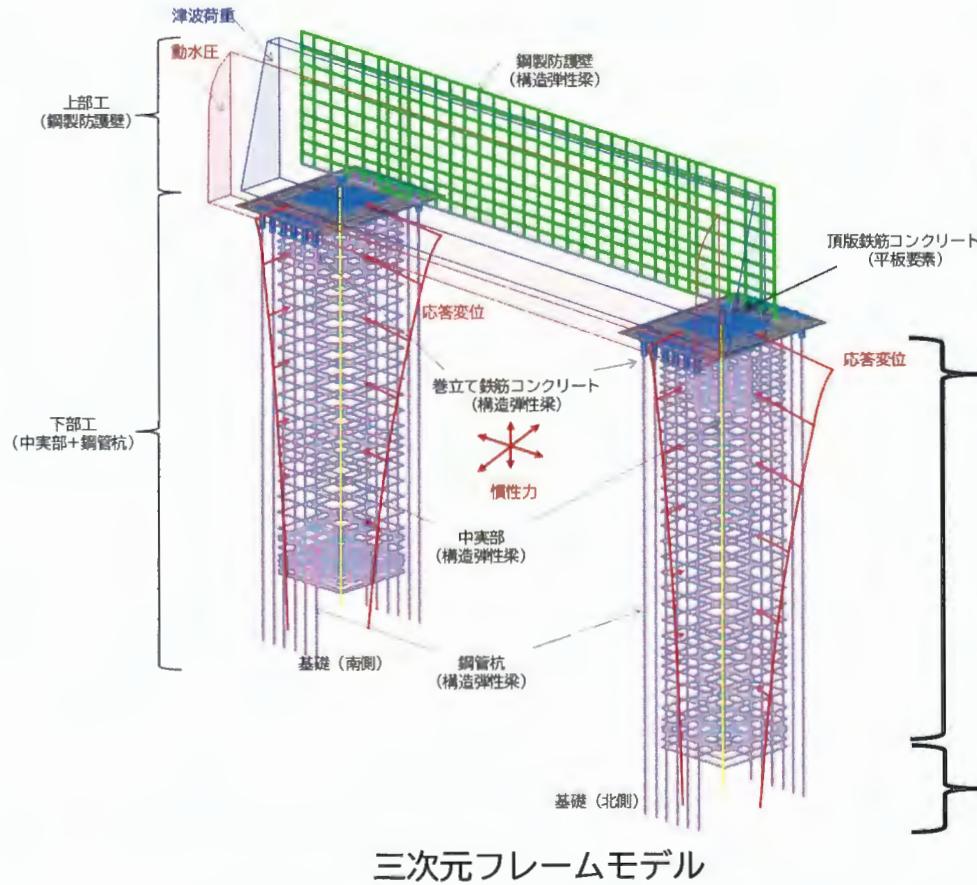
南基礎
一次元地盤応答解析
モデル (FLIP)

2. 地盤バネの配置と設定の考え方

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（1）地盤バネの配置概要

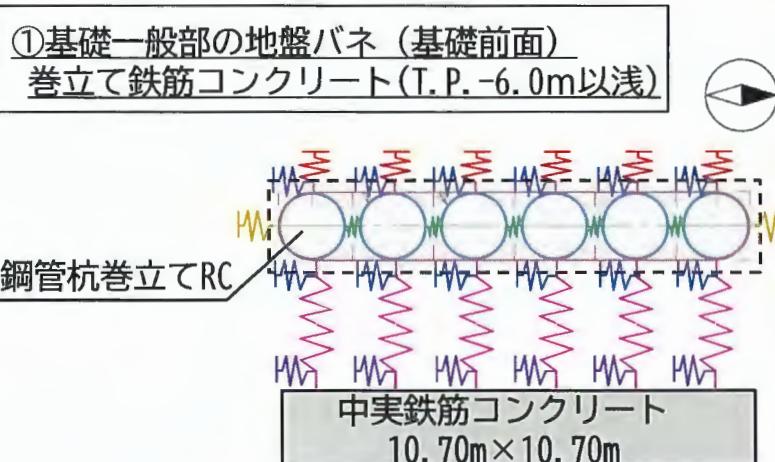
耐津波設計の三次元フレームモデルに用いる地盤バネは、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」に準拠し、地盤反力上限値を考慮したバイリニア型として設定することを基本とする。



2. 地盤バネの配置と設定の考え方

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（2）地盤バネの配置と設定



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
■P-1	東西	面直(外向き)	中間部1.800 端部2.250	道示 K_H (下式参照)	有
■K-1		面直(内向き)	中間部1.800 端部2.250	連結バネとして設定 (下式参照)	無
■P-2		水平・鉛直 せん断	同上	道示 K_{SH} , K_{SV} (下式参照)	有
■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	2.500 (巻立て厚)	道示 K_H (下式参照)	有
■K-2	南北	面直	2.500 (巻立て厚)	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)

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

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} : 巻立てRC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)

E_c : コンクリートの変形係数 (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)

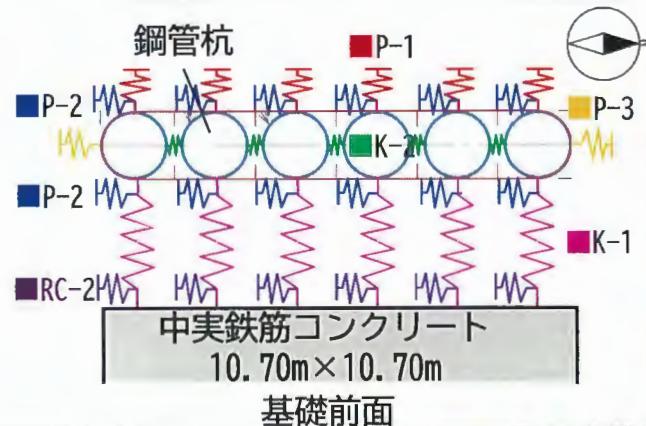
重畳時 : 地盤バネ3～5は、余震時の一次元地盤応答解析により算出した収束剛性 G に基づき設定
(上限値は、ピーク強度(平均)の余震時の収束強度(面直 σ_f , せん断 τ_f)から設定)

2. 地盤バネの配置と設定の考え方

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

(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	仮想ケーリン断面 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	仮想ケーリン断面 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)

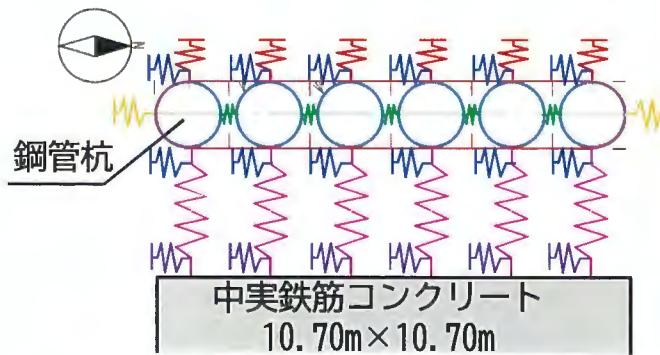
重畳時 : 地盤バネ3～5は、余震時の一次元地盤応答解析により算出した収束剛性 G に基づき設定
(上限値は、ピーク強度(平均)の余震時の収束強度(面直 σ_f , せん断 τ_f)から設定)

2. 地盤バネの配置と設定の考え方

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（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）
群杭効果及び仮想ケーソン断面による
評価に係る補足



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	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	無	仮想ケーソン断面 考慮
■ P-2		水平・鉛直 せん断	同上	道示K _{SH} , K _{SV}	有	同上
■ P-3	南北 端部のみ	面直	1.198 (鋼管杭外径 ×0.8)	道示K _H	有	同上

■ 群杭効果を考慮した地盤バネの低減

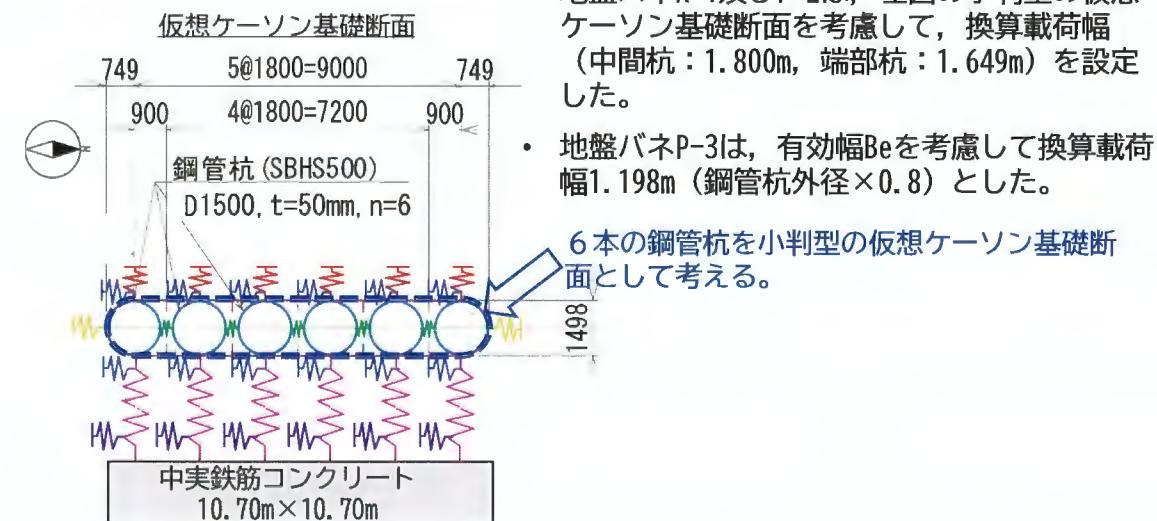
- 道路橋示方書IV(H24)において、鋼管杭の中心間隔が杭径Dの2.5倍以上であると群杭の影響は比較的小さい。
- 中心間隔は、 $1.8/1.5 = 1.2D < 2.5D$ であり、鋼管杭の群杭の影響を考慮する必要がある。
- 群杭の影響は、水平方向地盤反力係数の低減により考慮
- 低減の方法は、水平方向地盤反力係数に下式の補正係数 $\mu = 0.74$ を乗じる。

$$\mu = 1 - 0.2 \left(2.5 - \frac{L}{D} \right)$$

$$= 1 - 0.2(2.5 - 1.2)$$

$$= 1 - 0.26 = 0.74 \quad [L < 2.5D]$$

■ 仮想ケーソン断面の考え方を考慮して有効載荷幅を設定

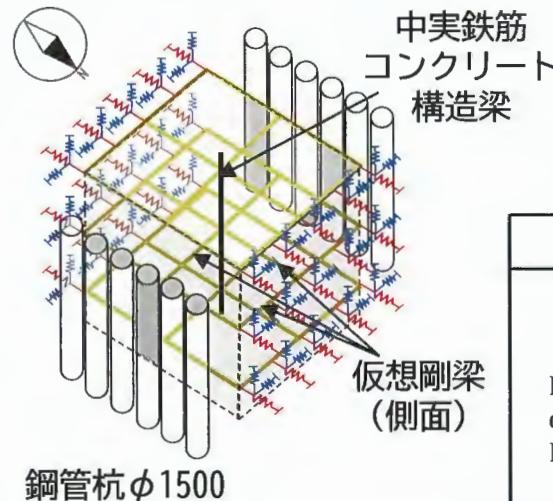


2. 地盤バネの配置と設定の考え方

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（2）地盤バネの配置と設定

①基礎一般部の地盤バネ（基礎側面）



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
■RC-1	南北	面直	10.7m	道示 K_H (下式参照)	有
■RC-2		水平・鉛直 せん断	同上	道示 K_{SH}, K_{SV} (下式参照)	有

道示 K_H の算定式（■RC-1）

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

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（■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)

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)

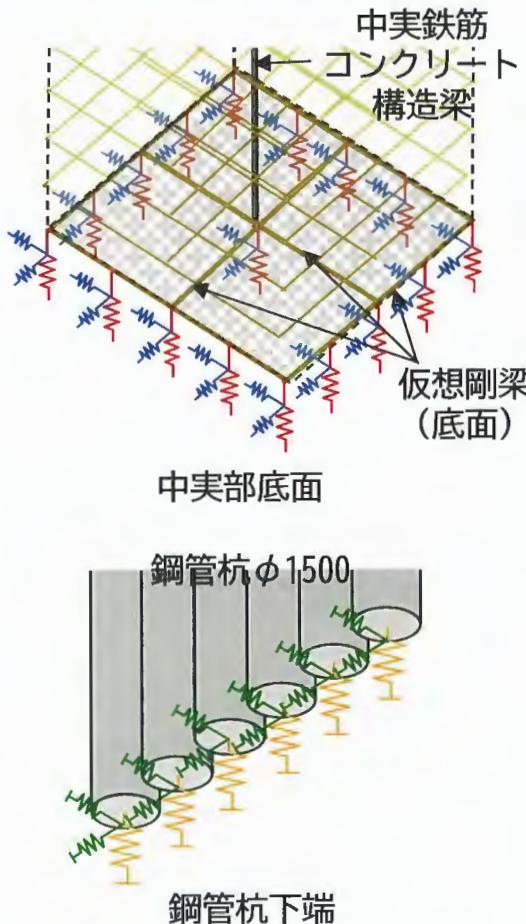
重畠時：地盤バネ3～5は、余震時の一次元地盤応答解析により算出した収束剛性 G に基づき設定
(上限値は、ピーク強度(平均)の余震時の収束
強度(面直 σ_f 、せん断 τ_f)から設定)

2. 地盤バネの配置と設定の考え方

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（2）地盤バネの配置と設定

②中実部底面及び鋼管杭下端の地盤バネ



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
■RCb-1	中実部 底面	面直	10.7	道示 K_V (下式参照)	有
■RCb-2		水平・鉛直 せん断	同上	道示 K_{SL} , K_{ST} (下式参照)	有
■Pb-1	鋼管杭 下端	面直	1.328 (等価矩形断面幅)	道示 K_V (下式参照)	有
■Pb-2		水平・鉛直 せん断	同上	道示 K_{SL} , K_{ST} (下式参照)	有

道示 K_V の算定式 (■RCb-1, ■Pb-1)

$$K_V = K_{V0} \left(\frac{B_V}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

K_V : 部材底面法線方向地盤反力係数 (kN/m³)
 K_{V0} : 直径0.3 m剛体円板の平板載荷試験の値
に相当する鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

$$K_{V0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

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_V : 換算載荷幅
(上記 “地盤バネ一覧表” のとおり。)

道示 K_{SL} , K_{ST} の算定式 (■RCb-2, ■Pb-2)

$$K_{SL} = K_{ST} = 0.3 K_H$$

K_{SL} : 部材底面接線(堤軸せん断)方向地盤反力係数 (kN/m²)
 K_{ST} : 部材面接線(堤軸直交せん断)方向地盤反力係数 (kN/m²)

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)

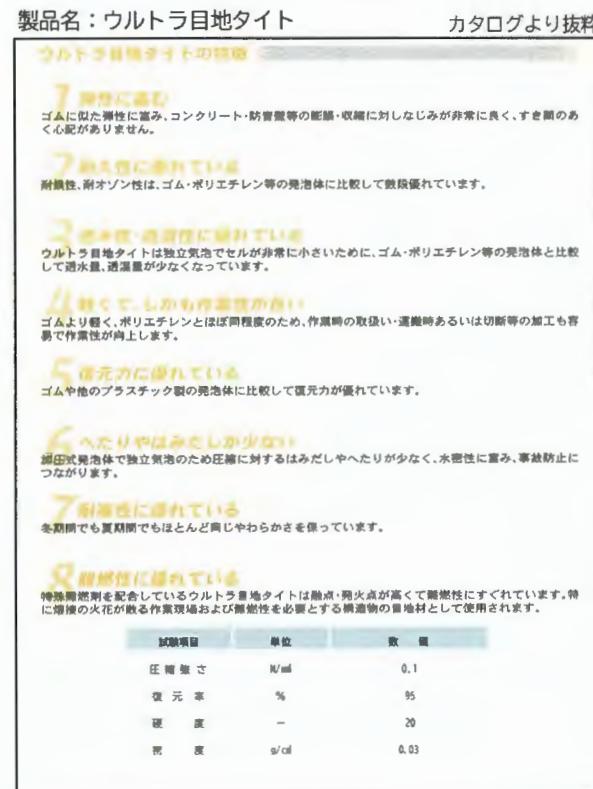
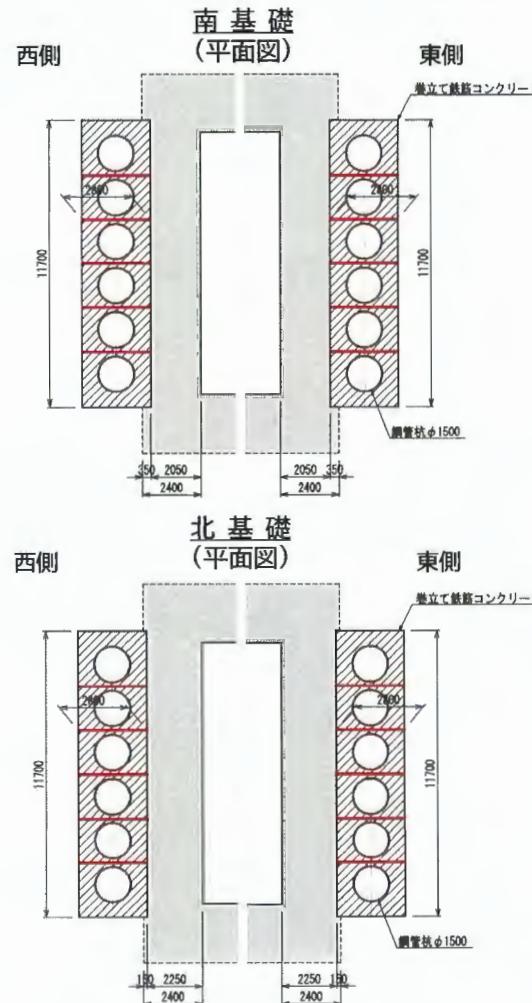
重畠時 : 地盤バネ3～5は、余震時の一次元地盤応答解析により算出した収束剛性 G に基づき設定
(上限値は、ピーク強度(平均)の余震時の収束強度 (面直 σ_f , せん断 τ_f) から設定)

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

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（1）巻立て鉄筋コンクリート間の目地材に係る考察

- ・巻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砲目地（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、巻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

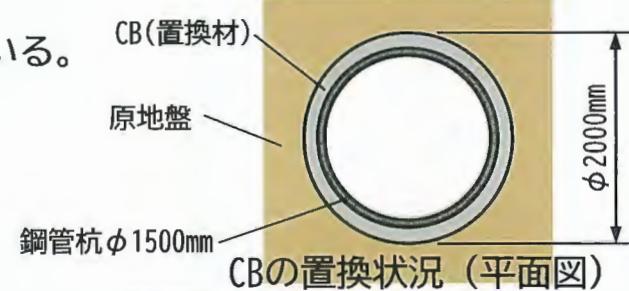
審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（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 ³)	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. 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

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（2）鋼管杭の均質置換土に係る考察

前述した材料仕様を満足するためのCBの品質管理方針を以下に示す。

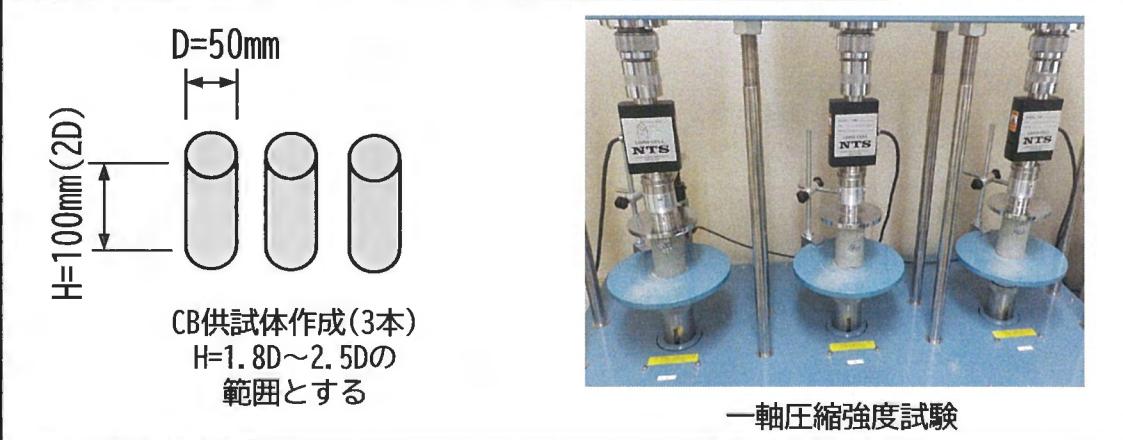
◆均質置換土（CB）の品質管理について

CBの一軸圧縮強さ（現場必要強度）は、 $q_u=500 \text{ kN/m}^2$ であり、本強度を確保するため、施工計画上の室内目標強度は現場必要強度に対して安全率 $\alpha=2.0$ を考慮した値として $500 \times \alpha=1,000 \text{ kN/m}^2$ とする。

CBは「JIS A 1216」に定める土の一軸圧縮試験方法に基づき、3本の供試体により一軸圧縮強さを確認する。

一軸圧縮強さの評価方法については「JIS A 1216」に定めされていないことから、国土交通省の品質管理基準で定めているコンクリートの圧縮強度の評価と同様とし、各供試体で室内目標強度の85%以上かつ3本の供試体の平均が室内目標強度以上であることを確認する。

「JIS A 1216」土の一軸圧縮試験方法による圧縮強度の確認



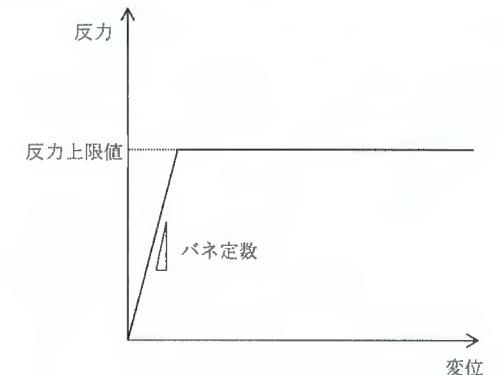
国土交通省の品質管理基準による 圧縮強度の評価

各供試体で室内目標強度の85%以上
かつ3本の供試体の平均が室内目標強度
以上であることを確認する。

4. 地盤バネの変形特性

(1) 地盤バネの変形特性の設定（津波時）

- 津波時及び重畠時の地盤バネは、「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)

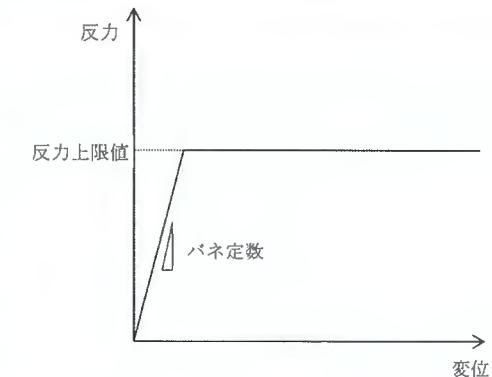
○津波時の地盤バネケース：2ケース

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

4. 地盤バネの変形特性

(2) 地盤バネの変形特性の設定 (重畠時)

- 津波時及び重畠時の地盤バネは、「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。
- 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。



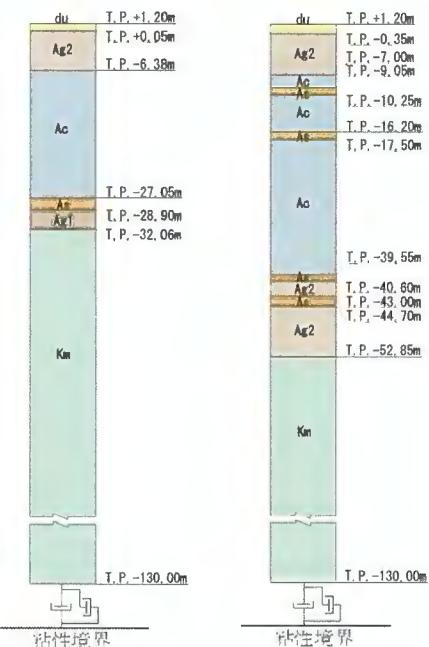
解析ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータ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

※本設計にて考慮する
地盤物性のばらつきケース

○重畠の地盤バネケース：3ケース

ケース名	地盤バネのバネ定数及び 反力上限値	備考
地盤バネ3	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	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	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	

地盤バネのバイリニアモデル



一次元地盤応答解析モデル (FLIP)

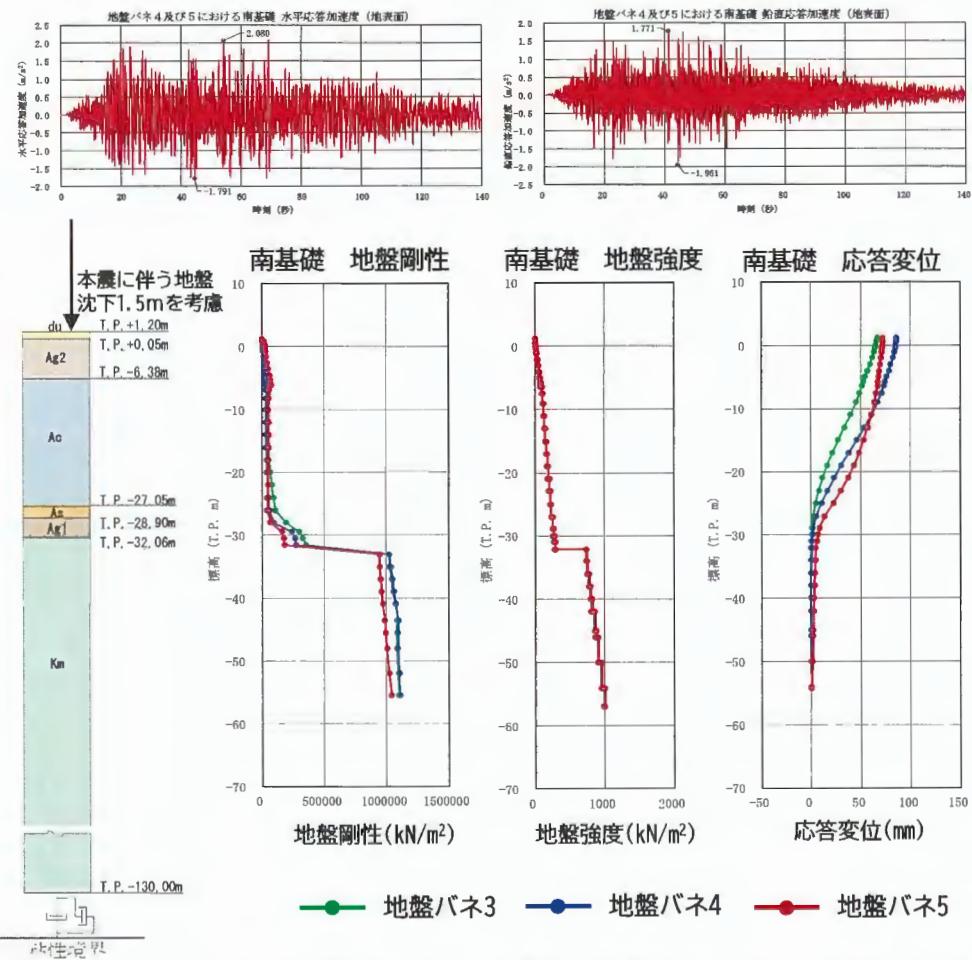
4. 地盤バネの変形特性

審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

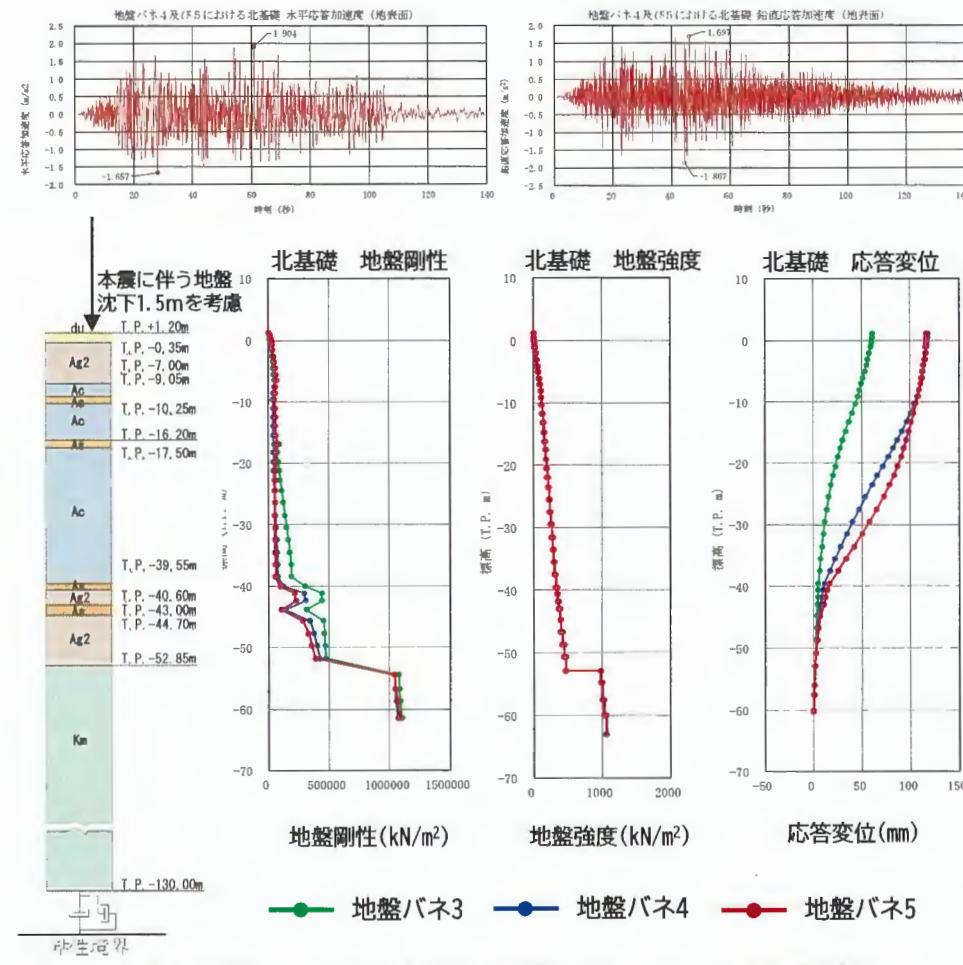
（3）地盤バネ（重畠時）設定のための一次元地盤応答解析結果

一次元地盤応答解析モデル及び一次元地盤応答解析の結果を以下に示す。

一次元地盤応答解析により得られた地表面応答加速度、地盤剛性及び強度、地盤変位に基づき、三次元フレーム解析における設計震度、地盤バネ係数及び上限値、応答変位を設定する。



南基礎の一次元地盤応答解析モデルと解析結果



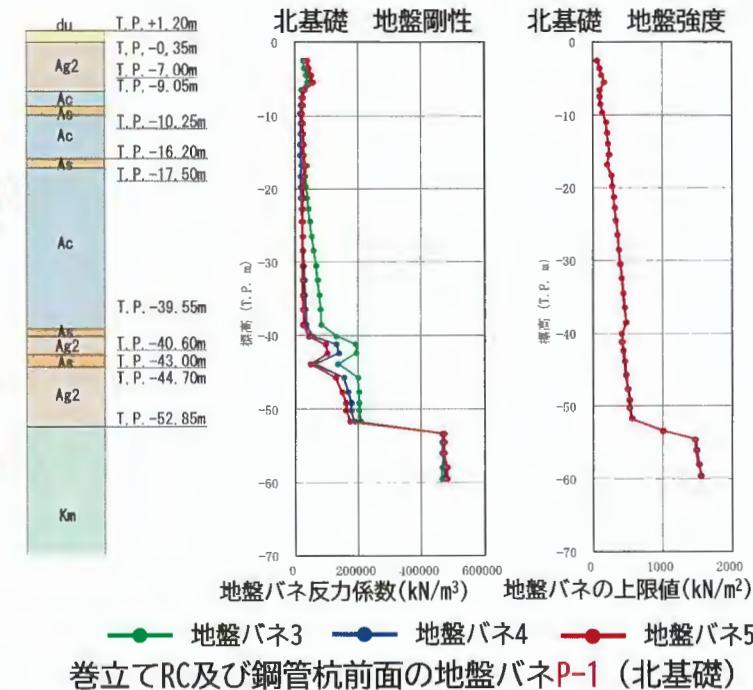
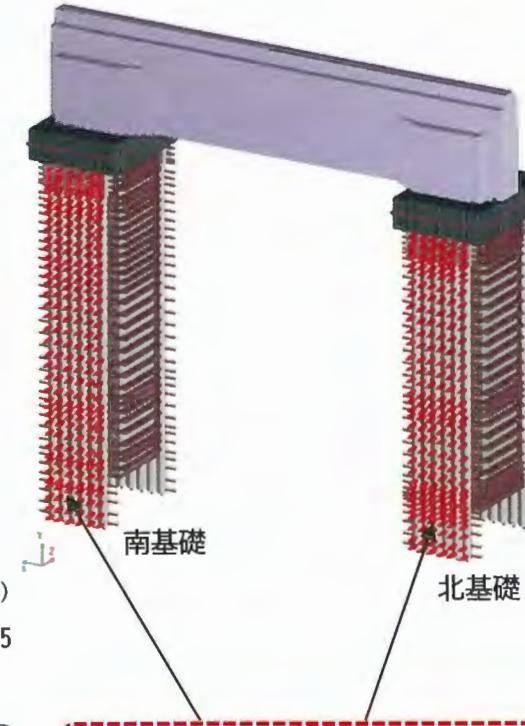
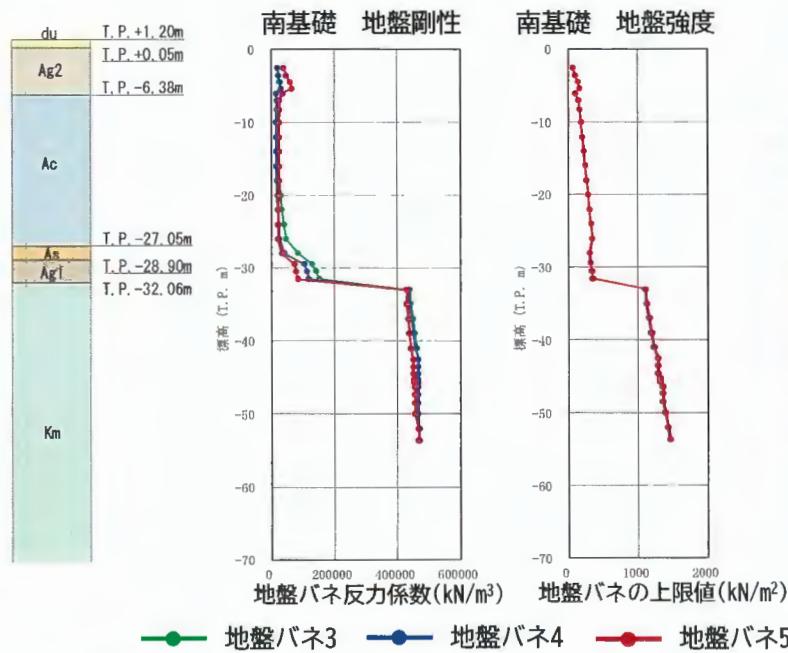
北基礎の一次元地盤応答解析モデルと解析結果

4. 地盤バネの変形特性

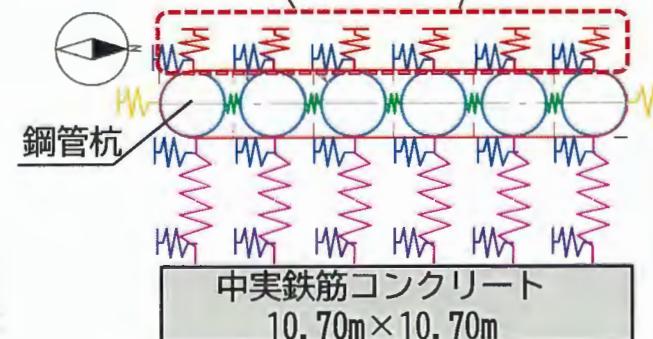
審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（4）地盤バネ（重畠時）の設定結果の一例

地盤バネの設定事例（基礎前面 地盤バネP-1の場合）



重畠時においては、一次元地盤応答解析により得られた地盤剛性及び地盤強度に基づき、三次元静的フレーム解析における地盤バネの変形特性（バネ定数及び反力上限値）を設定する。



基礎前面の地盤バネ一覧表

記号 (ばね色)	設定面	区分
■P-1	東西	面直(外向き)
■K-1		面直(内向き)
■P-2		水平・鉛直せん断
■RC-1		水平・鉛直せん断
■P-3	南北 端部のみ	面直
■K-2	南北	面直

5. 地盤改良体（セメント系）の考慮方法

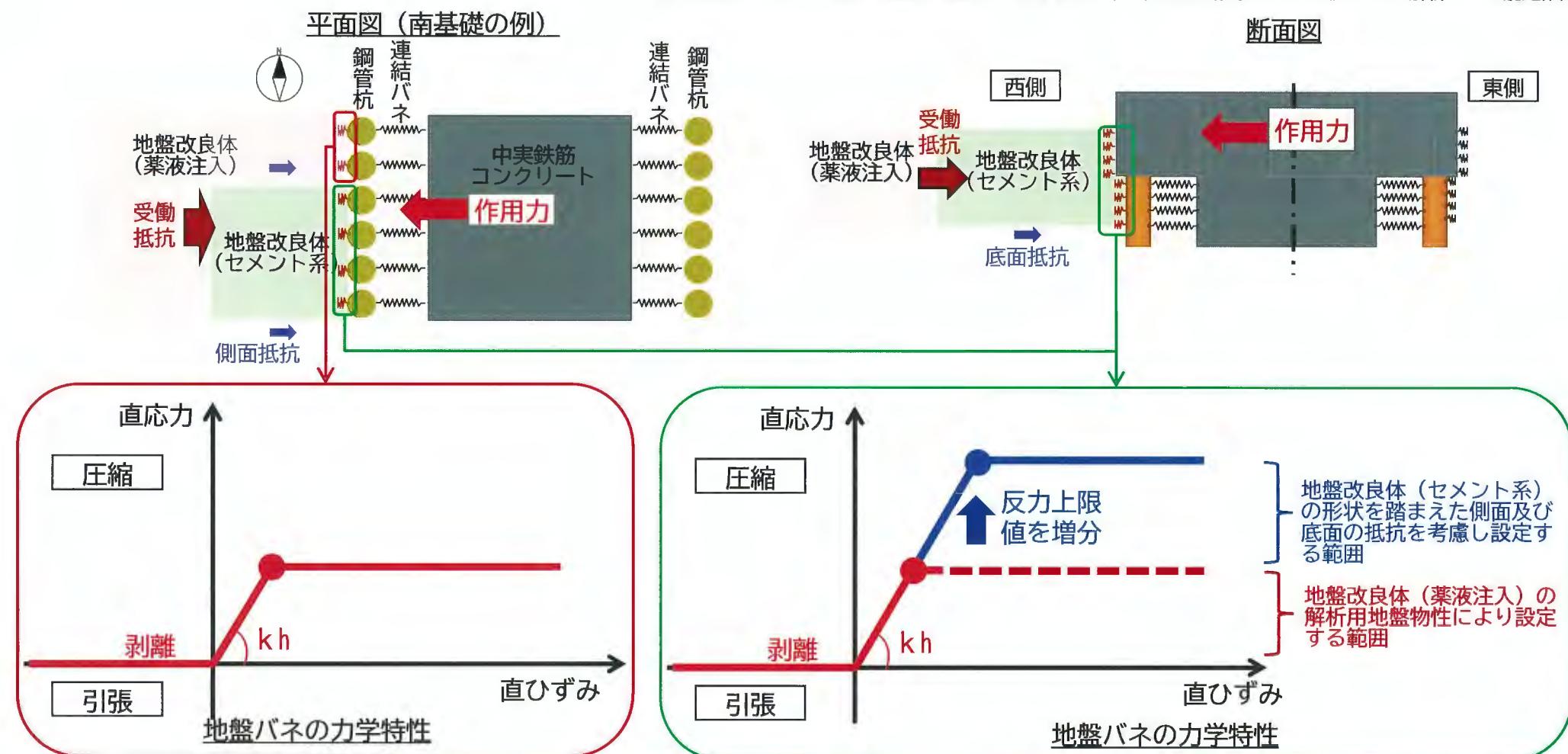
審査会合（第1360回）
資料1-2を一部変更

（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

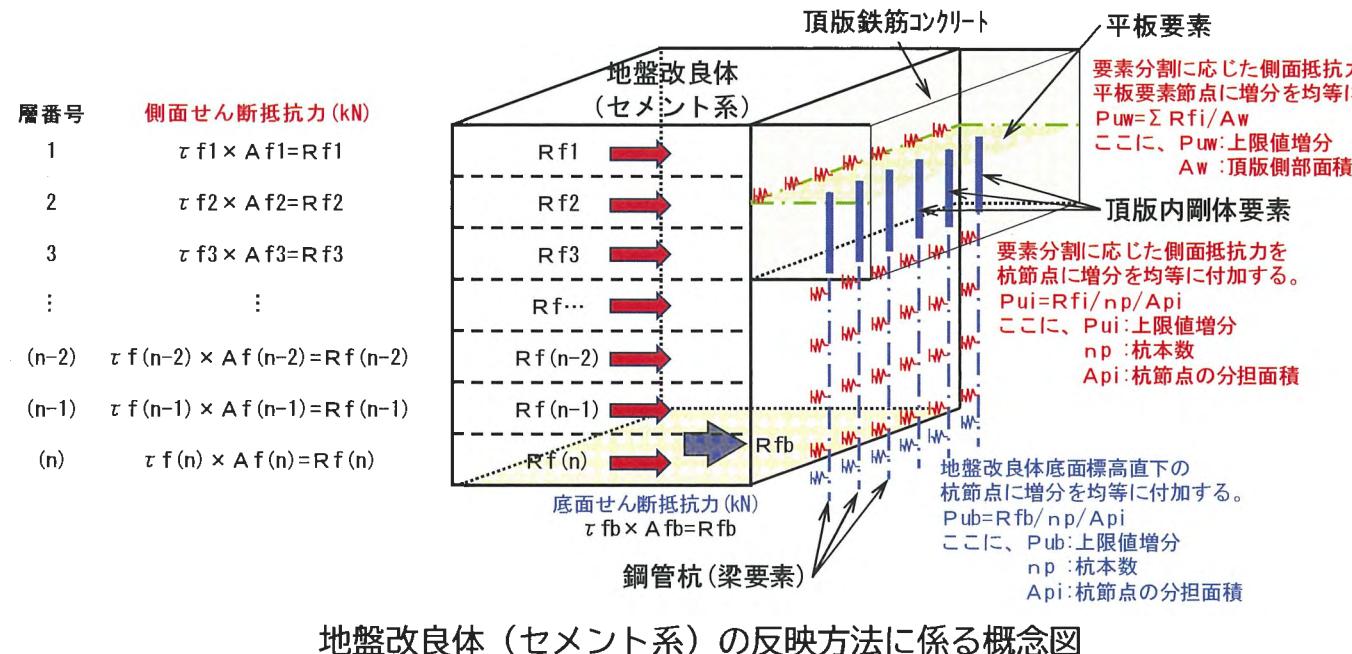


5. 地盤改良体（セメント系）の考慮方法

（2）地盤バネへの地盤改良体（セメント系）の反映方法について

前頁のとおり、地盤改良体（セメント系）は地盤バネにおける反力上限値の増分として反映する。反映方法の詳細については以下のとおり。

- 地盤改良体（セメント系）は直方体であり、津波荷重に対し、背面、側面（2面）及び底面には、周辺地盤から面直及びせん断の2方向の抵抗力が発生する。頂版鉄筋コンクリート、鋼管杭及び巻立て鉄筋コンクリートの地盤バネ（受動側）においては、地盤改良体（セメント系）による抵抗力を考慮した上で反力上限値を設定する。
- 地盤バネ（受動側）の反力上限値の増分として考慮する抵抗力は、保守側の配慮として、上述した4面のうち側面（片面）と底面の2面に発生する作用力方向の水平せん断抵抗力である。
- 水平せん断抵抗力は、一次元地盤応答解析（FLIP）により算出される各層の τ_f （kN/m²）×分担面積（A_f）とし、下図に示すとおり頂版鉄筋コンクリート（平板要素）および巻立て鉄筋コンクリート（梁要素）、鋼管杭（梁要素）の各地盤バネに増分として付加する。
- 地盤バネ4（北基礎）における反力上限値と地盤改良体（セメント系）による増分を下表に例示する。



反力上限値と地盤改良体（セメント系）による増分（地盤バネ4（北基礎））

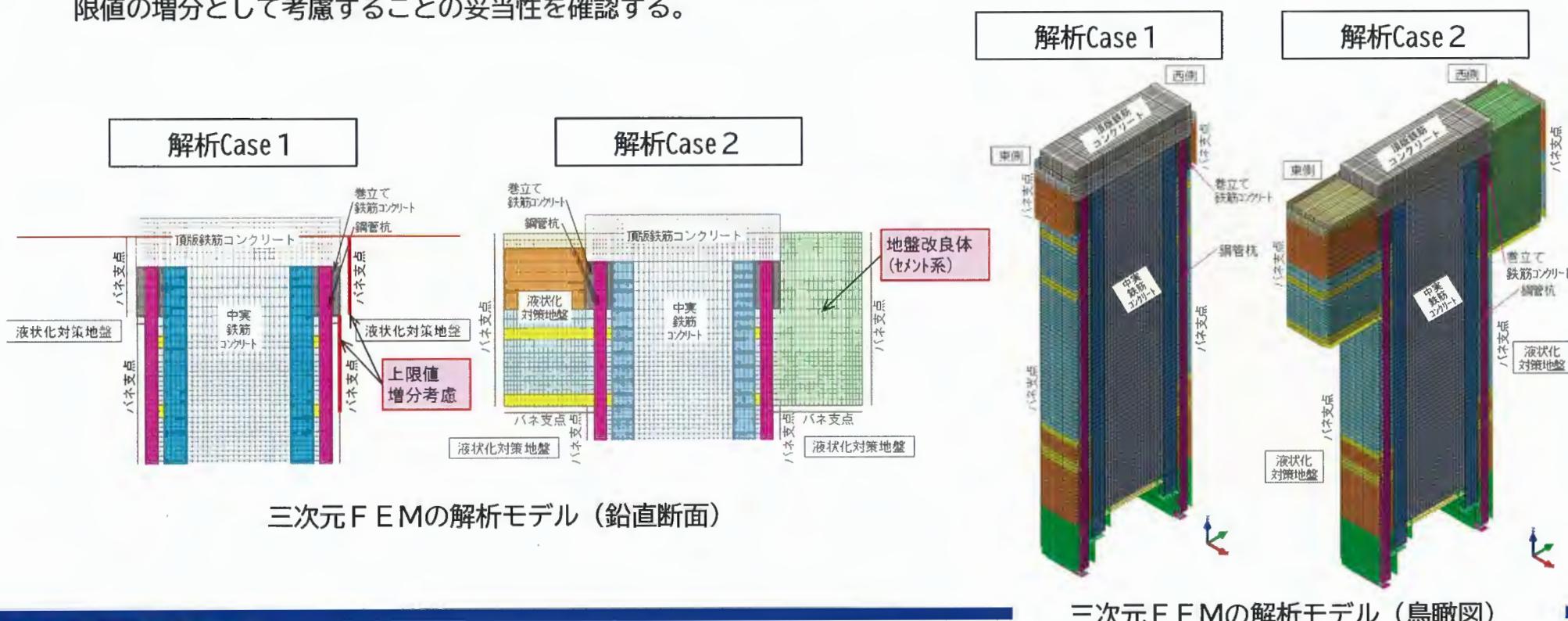
対象構造	土質	標高	上限値（kN/m ² ）	増分（kN/m ² ）	増分/上限値
頂版鉄筋コンクリート B e=15.500m	du～ Ag2	-0.32	16.1	3.3	21%
巻立て鉄筋コンクリート B e=1.800m	Ag2	-1.84	47.3	9.6	20%
	Ag2	-6.00	99.8	24.2	24%
	Ag2	-6.00	105.5	33.4	32%
	Ag2	-7.00	105.5	35.8	34%
鋼管杭	Ac	-7.00	104.4	52.7	51%
	Ac	-9.05	111.4	55.2	50%
	As	-9.05	139.4	49.6	36%
	As	-10.25	139.4	49.6	36%
	Ac	-10.25	193.9	61.5	32%
	Ac	-16.20	239.8	72.3	30%
	As	-16.20	206.2	73.4	36%
	As	-17.50	206.2	73.4	36%
改良体底面	Ac	-17.50	270.6	1320.9	488%

6. 地盤改良体（セメント系）の考慮方法の妥当性

（1）三次元FEM解析による妥当性の確認結果

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Case1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Case2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。

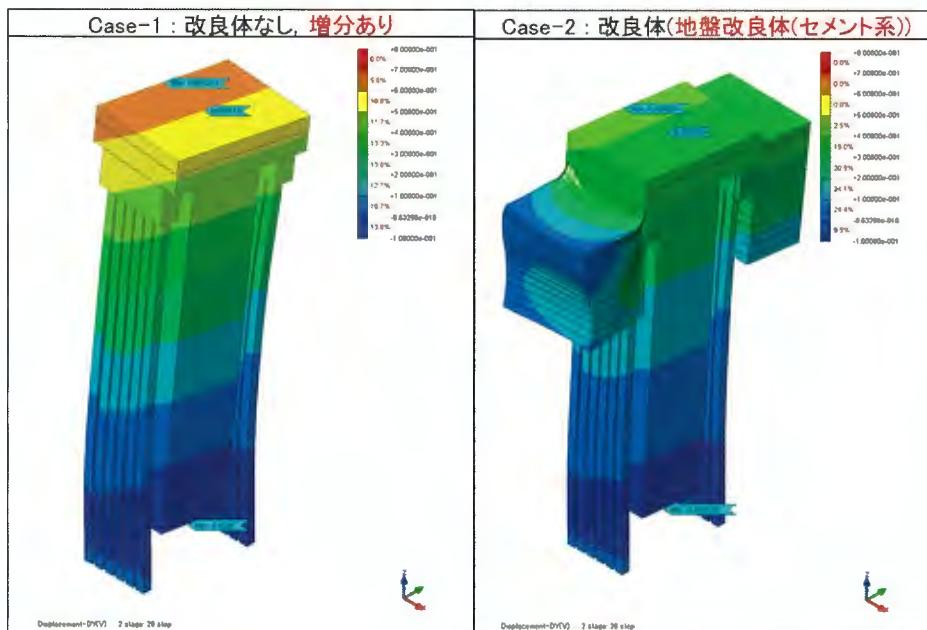


6. 地盤改良体（セメント系）の考慮方法の妥当性

（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。

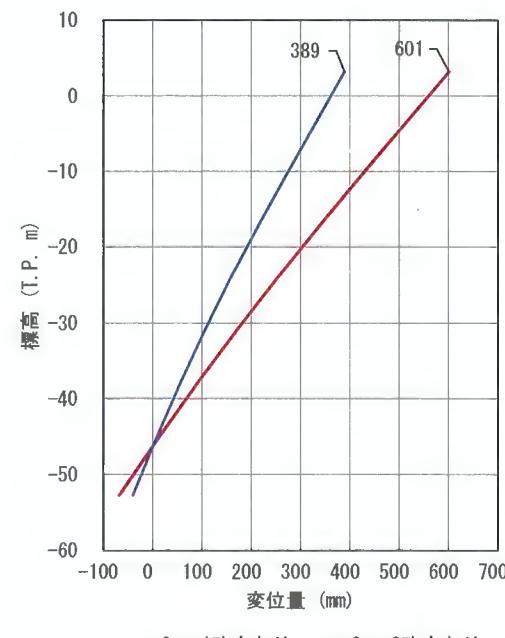


水平変位コンター図（北基礎）

- 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

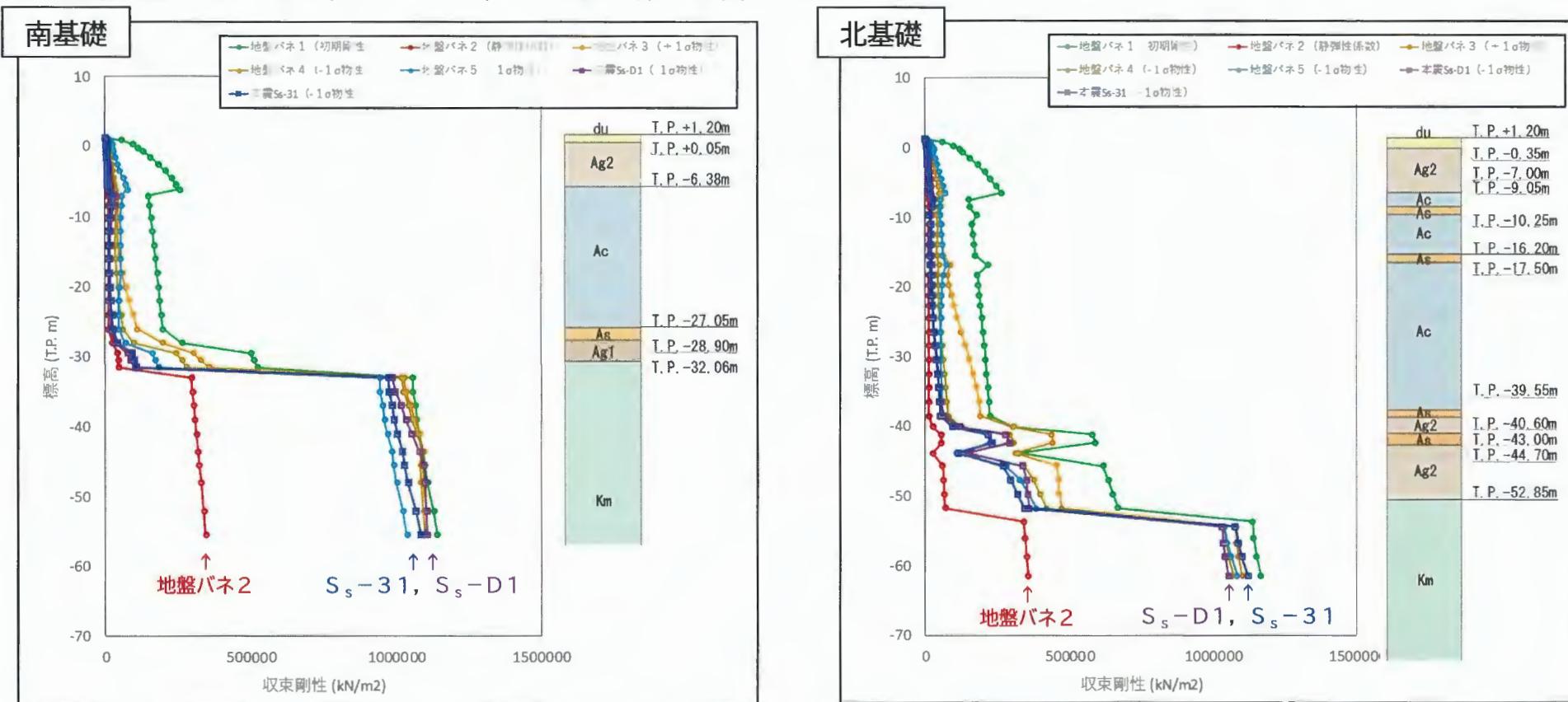


水平変位の深度分布図（北基礎）

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。

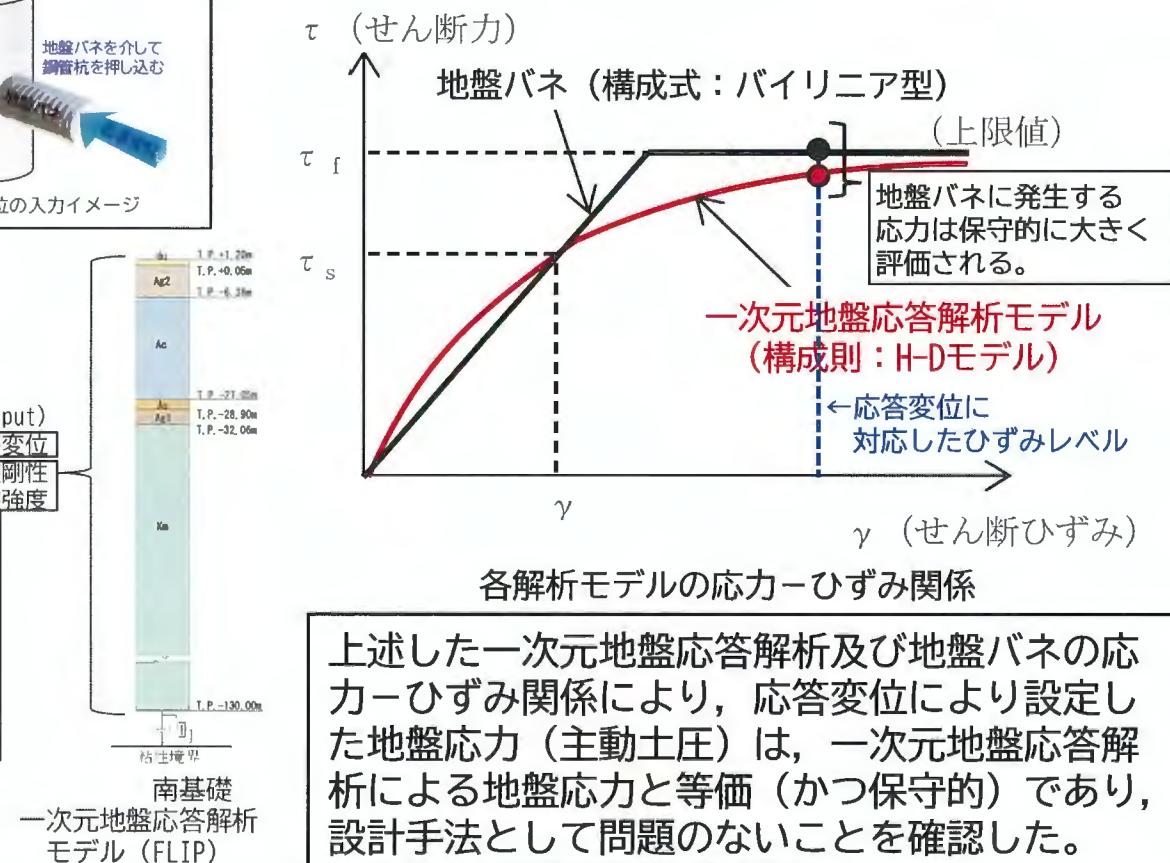
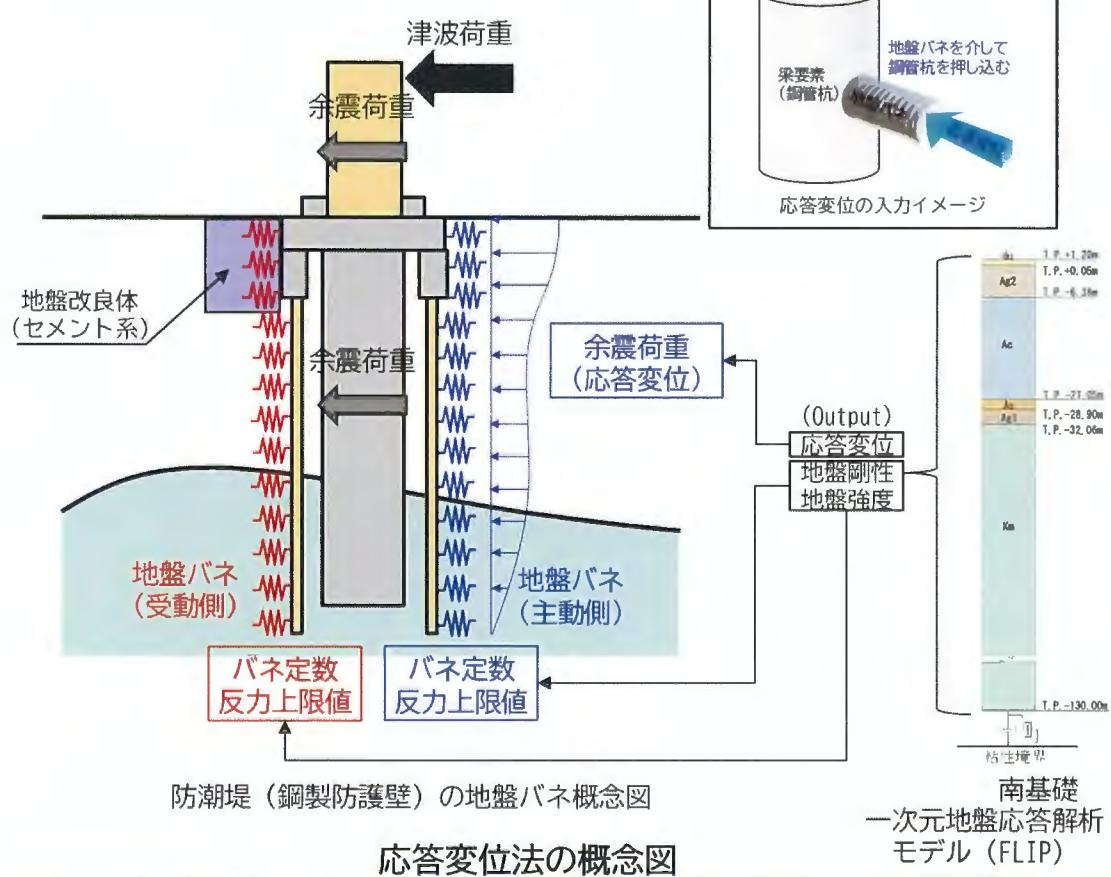


地盤バネ2の地盤剛性（静弾性係数による）は、基準地震動 S_s により軟化した地盤剛性よりも小さく、耐津波設計における地盤バネ（受動側）の設計条件として妥当であることを確認した。

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。



8. 応答変位入力時におけるバネ設定の妥当性

(2) バイリニア型地盤バネによる応答変位法に係る文献情報

バイリニア型地盤バネを用いた応答変位法の適用性について示された参考文献を以下に示す。

- ① “液状化に起因した地盤の側方流動に対する杭基礎設計法の提案”：須田嘉彦・佐藤正行・溜幸生・國生剛治, 土木学会論文集C Vol. 63 No. 2, pp. 487–501, 2007年5月.

地盤の側方流動現象を模擬した小型及び大型振動台実験による杭への作用力評価法に基づき, 非液状化層に対して応答変位法を適用した杭基礎設計法を提案した論文である。同論文では, 上限値を考慮したバイリニア型地盤バネ(弾塑性型モデル)を用いた応答変位解析により, 杭の挙動を精度よく再現できることが示されている。また, 側方流動により地盤が杭を押す際の土圧の発生メカニズムについても言及している。

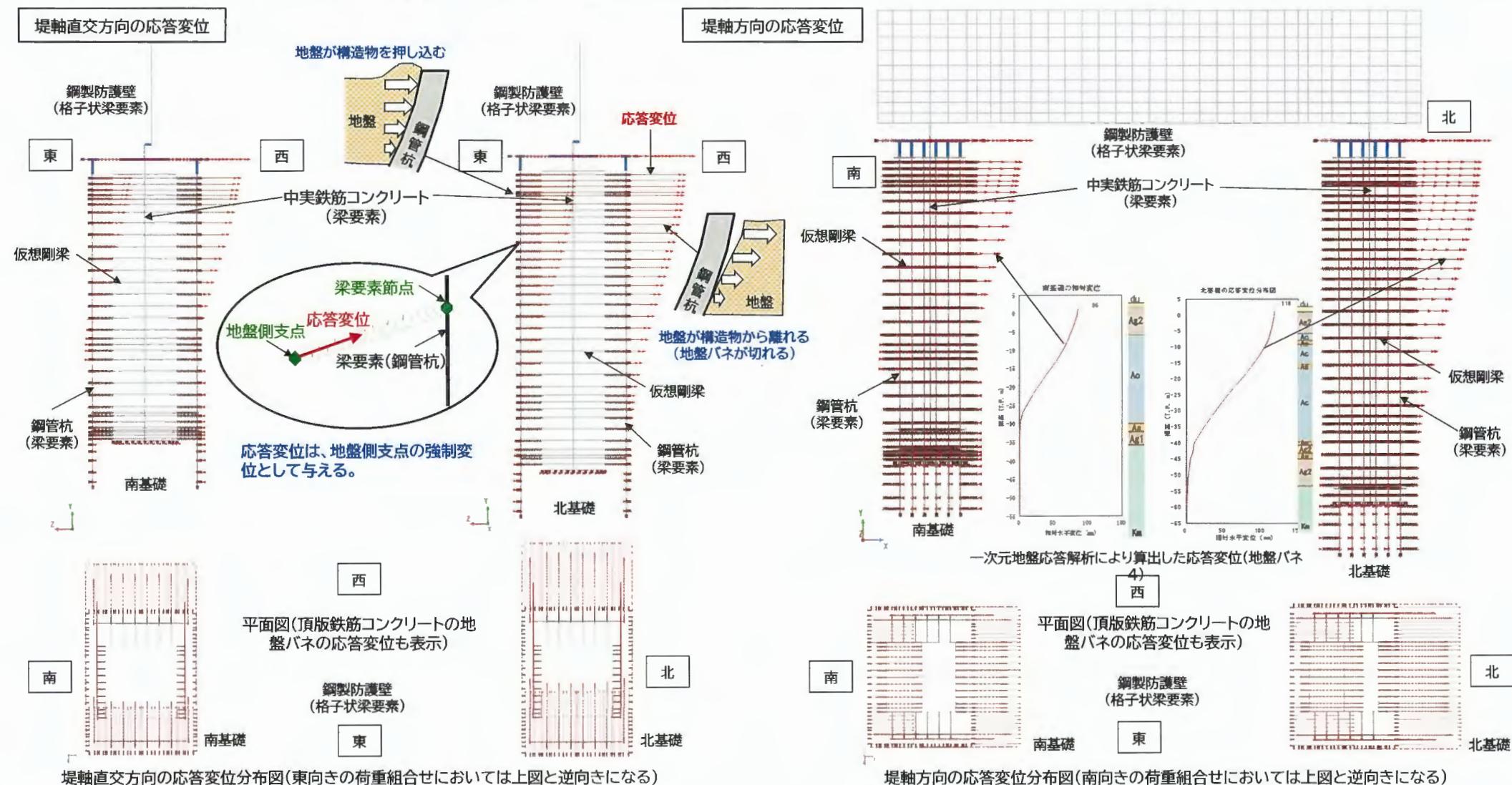
- ② “液状化地盤中の杭基礎地中構造物における応答変位法の適用性検討”：溜幸生・野本高憲・赤石沢総光, 土木学会第53回年次学術講演会 I-B387, pp. 774–775, 平成10年10月.

液状化地盤中の杭基礎地中構造物に対する耐震検討を実施した論文である。動的有効応力解析コードFLIPによる解析と上限値を考慮した非線形地盤バネを用いた応答変位解析を実施し, 応答変位解析の適用可能性について示されている。地盤反力係数は, 本設計と同様に, 最大相対変位発生時刻に着目し, 同時刻の地盤の履歴曲線の割線剛性に基づき設定している。

8. 応答変位入力時におけるバネ設定の妥当性

(3) 防潮堤（鋼製防護壁）における応答変位の入力状況

下図は、解析モデルにおける実際の応答変位入力状況の一例である。



4. 審査会合コメント⑯回答

施工計画等に係るコメント

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>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。

4. 審査会合コメント⑯回答

(鋼製防護壁構築の工事計画の実現性等について)

(1) 基本方針

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、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。

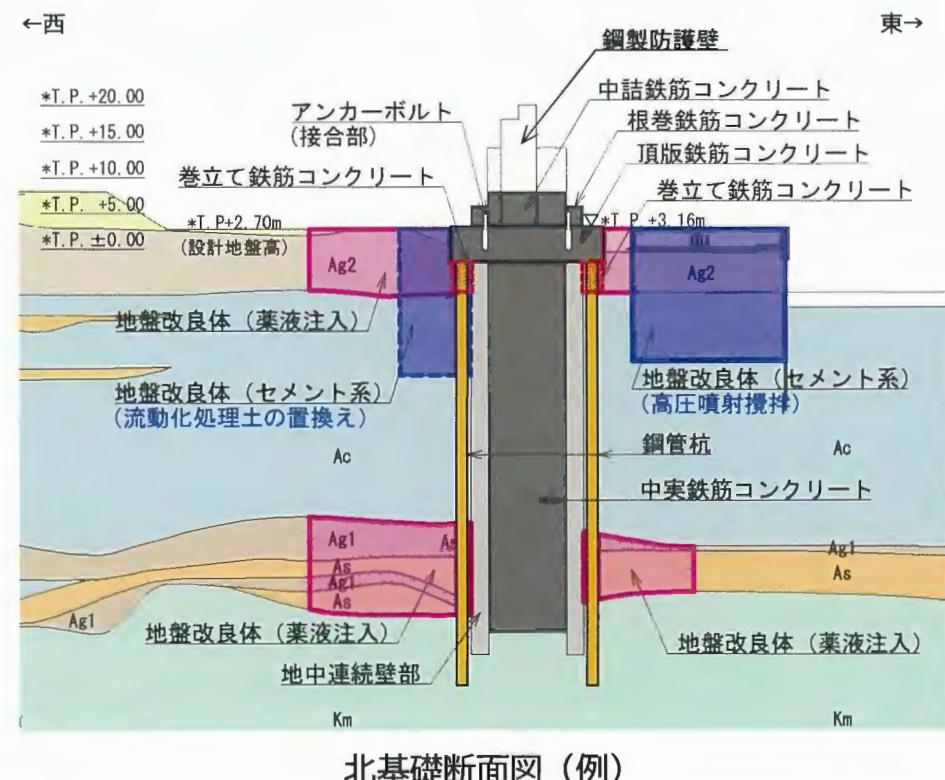
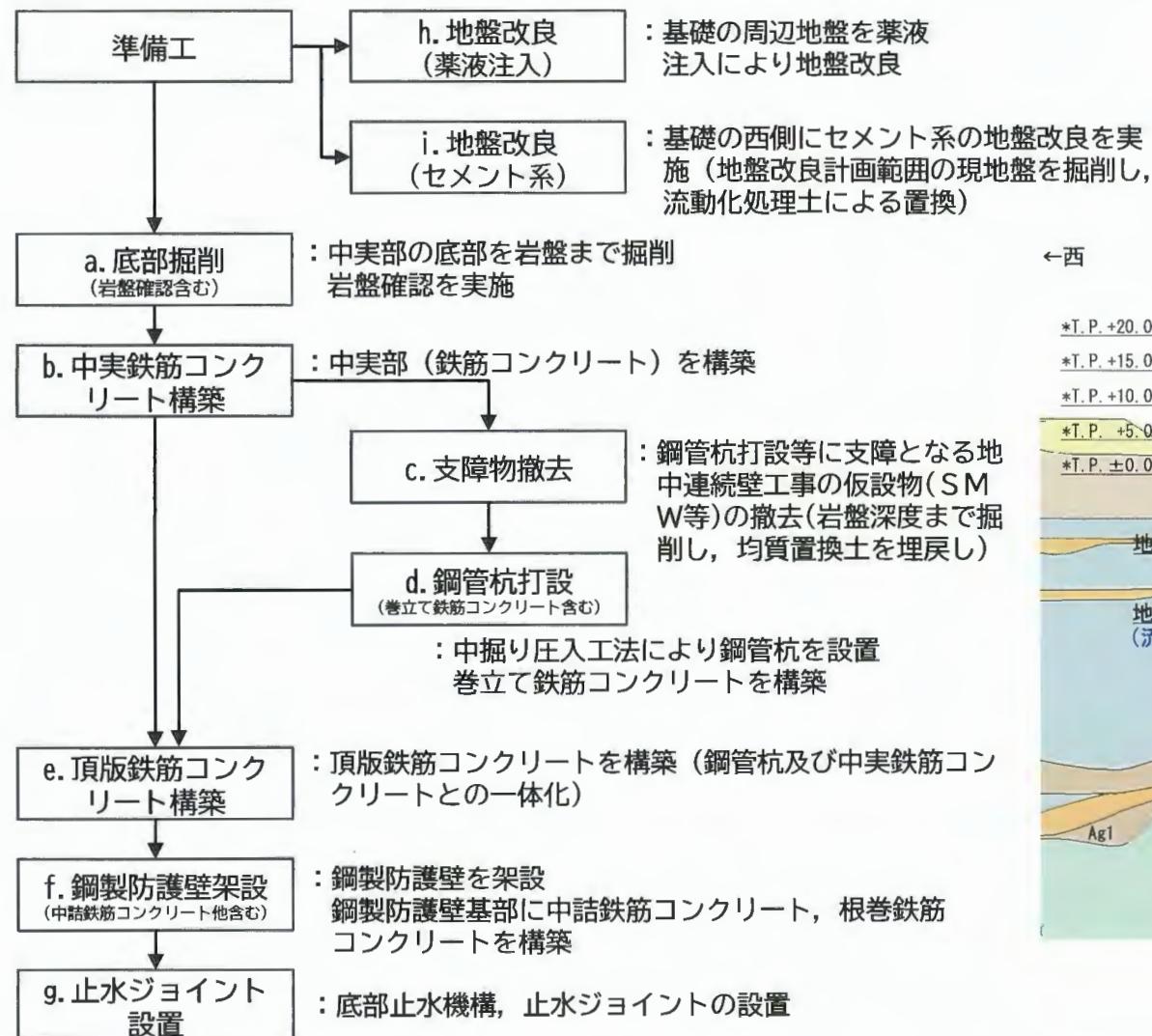
【施工性等に係る基本方針】

- ・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。

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

(2) 鋼製防護壁の施工ステップ

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*

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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を確認する	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	
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	
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 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	
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	3. 参照
i. 地盤改良 (セメント系)	掘削・置換工法			

4. 審査会合コメント⑯回答

(鋼製防護壁構築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

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

上記の注視プロセス等に対し、中実鉄筋コンクリートの構築を確實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。

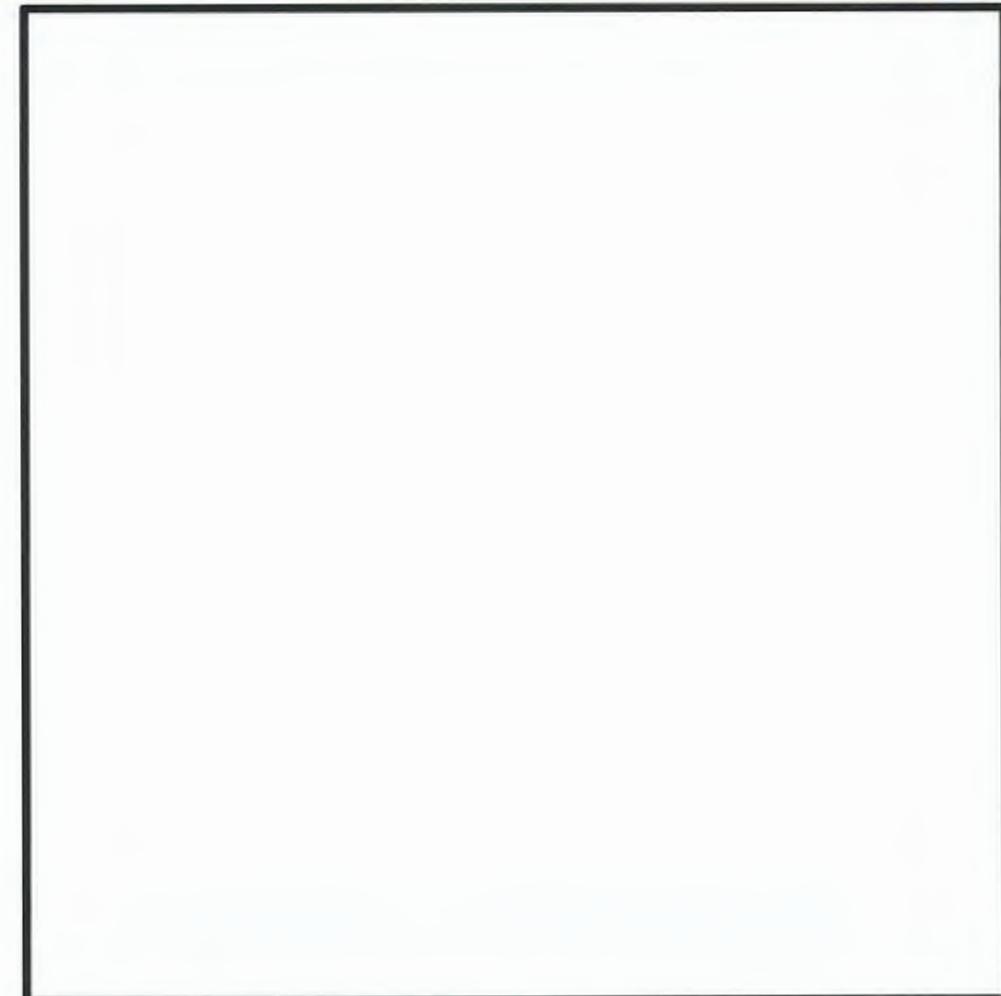
B. コンクリート充填確認試験

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。



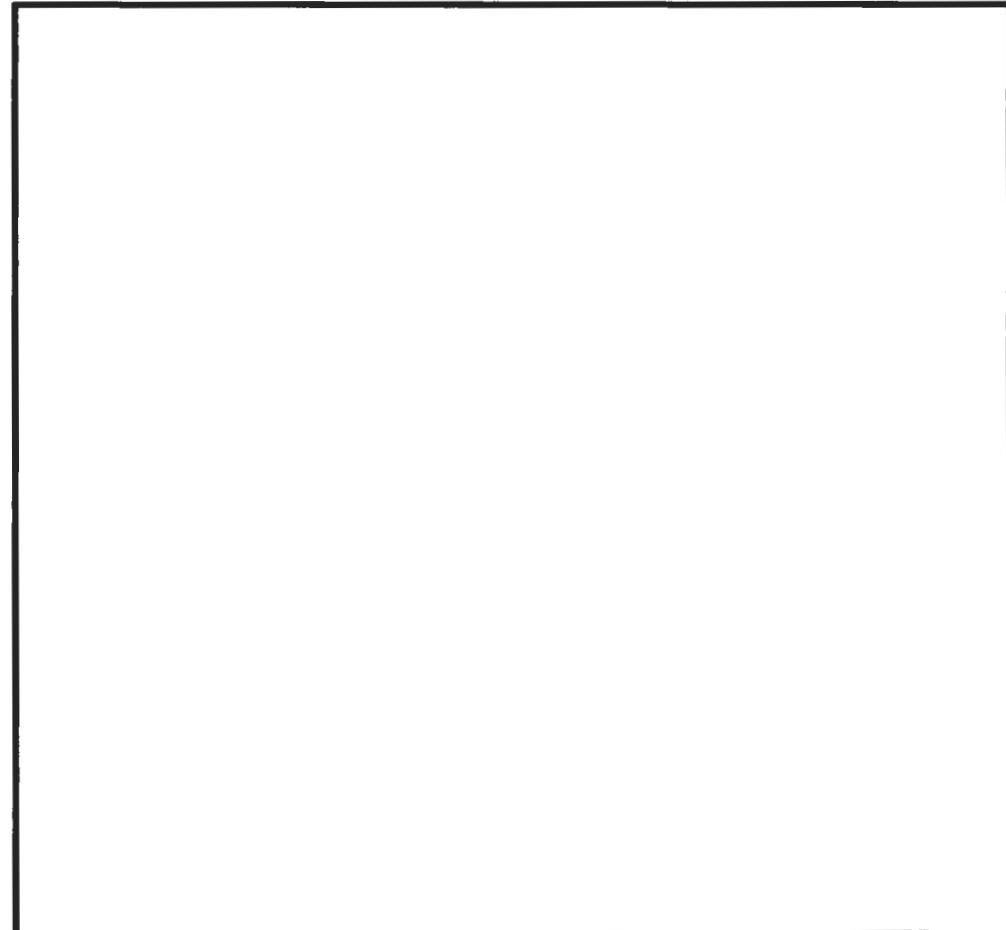
中実鉄筋コンクリート 構造図（南基礎）

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

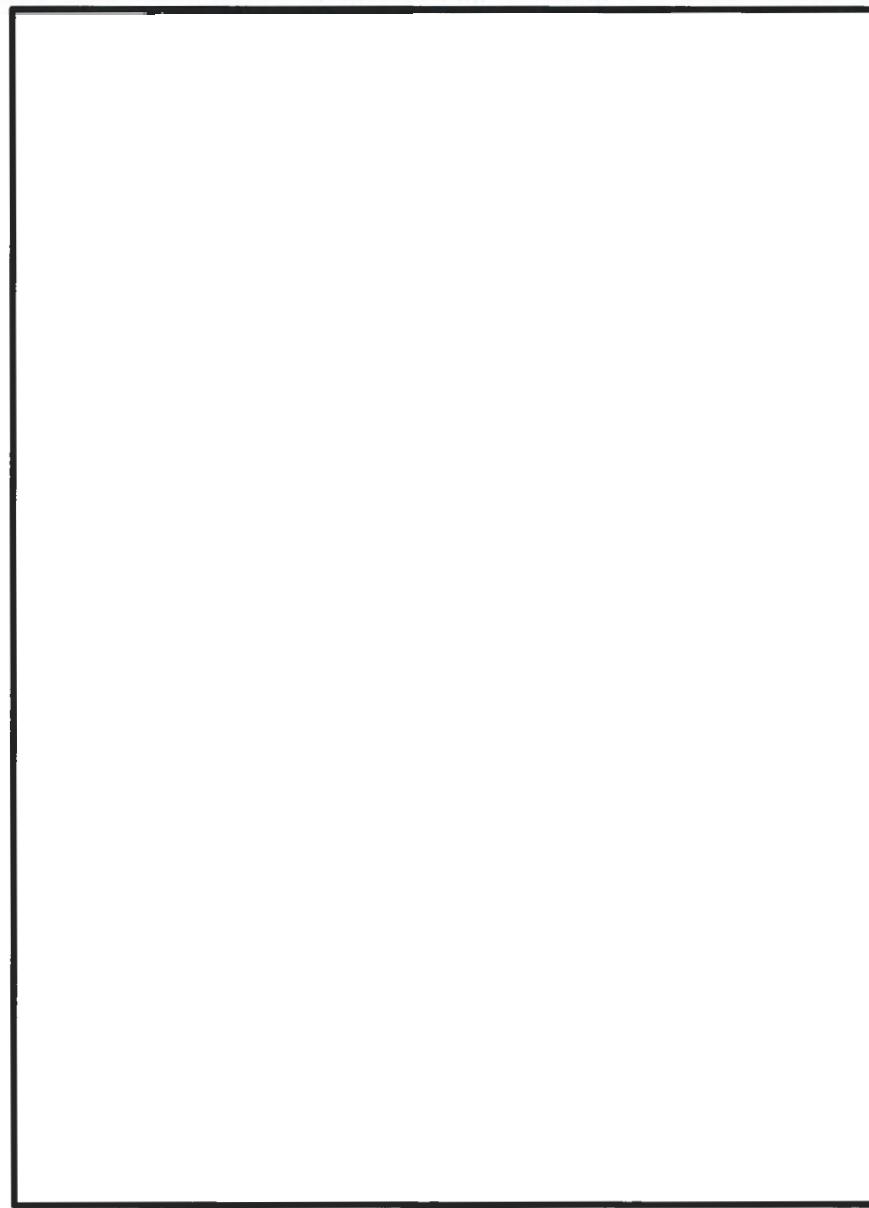
A. 鉄筋組立試験

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う。組立は実際の組立と同じ、1施工分の高さ3.3mを施工する。

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、内空のみで作業する。



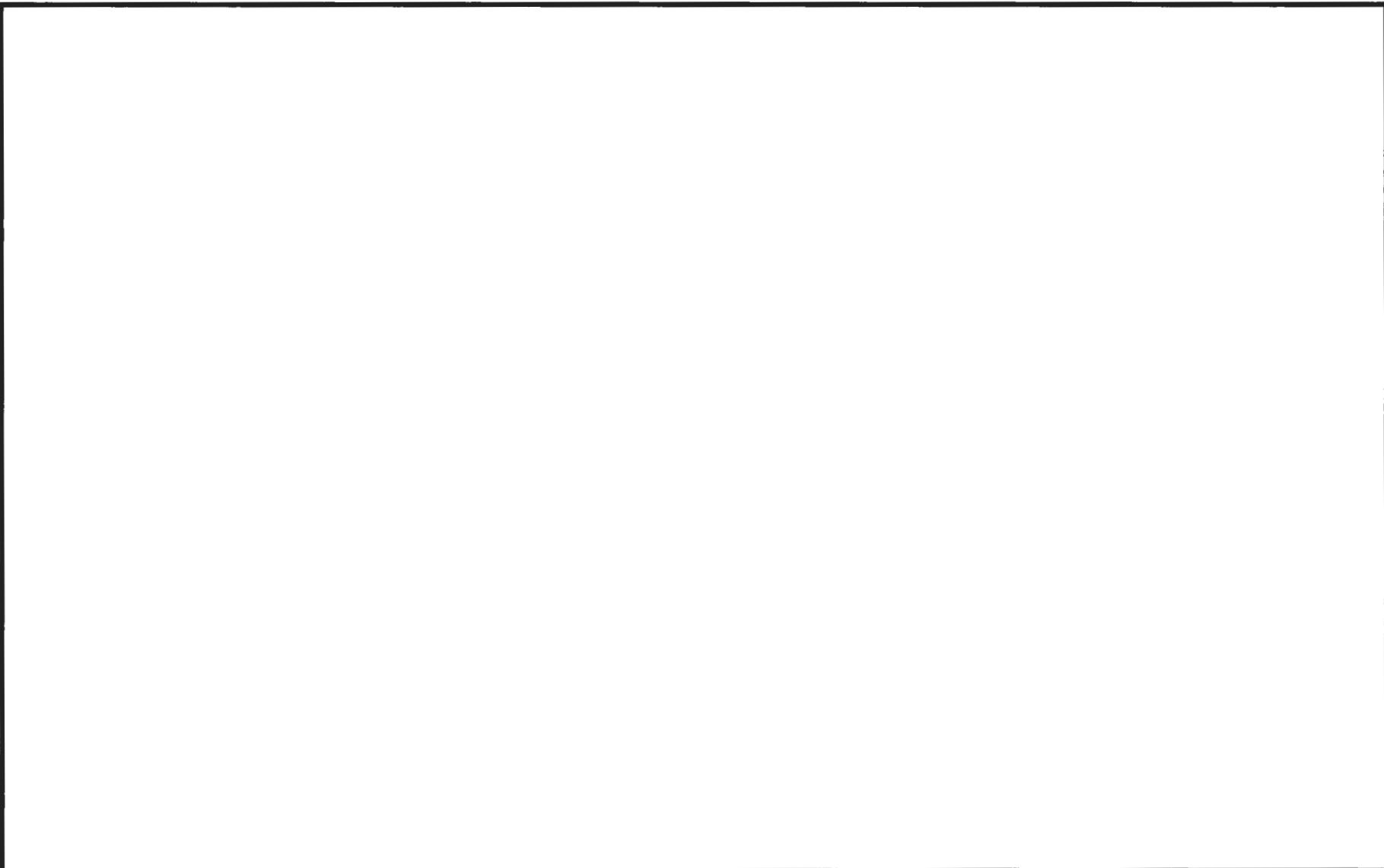
モックアップ試験体（組立完了状態）



モックアップ試験配筋図（南基礎）

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

A. 鉄筋組立試験



試験状況（鉛直鉄筋・フープ筋組立）

試験状況（せん断補強筋（水平鉄筋））

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

A. 鉄筋組立試験

【多段配筋の組立に係わる精度確保の方策】

次の方策を施すことで多段配筋の組立精度を確保し、設計・計画どおりの組立位置を実現可能であることから、設計上影響を及ぼさないことを確認できた。

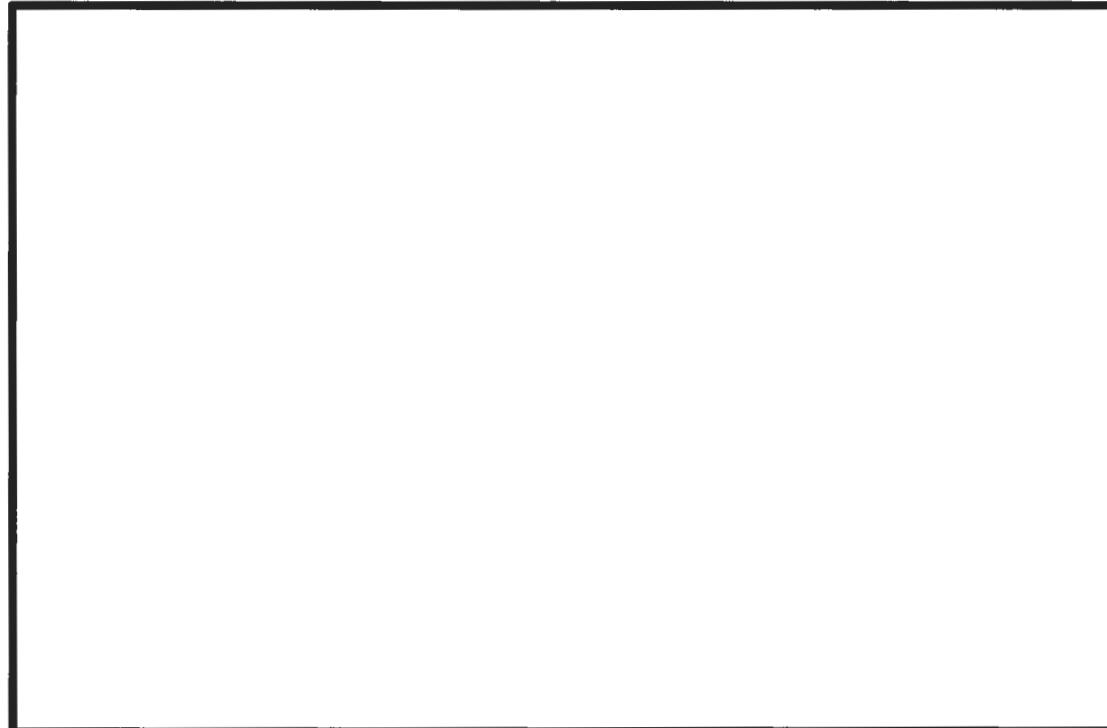
4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築の工事計画の実現性等について)

B. コンクリート充填確認試験

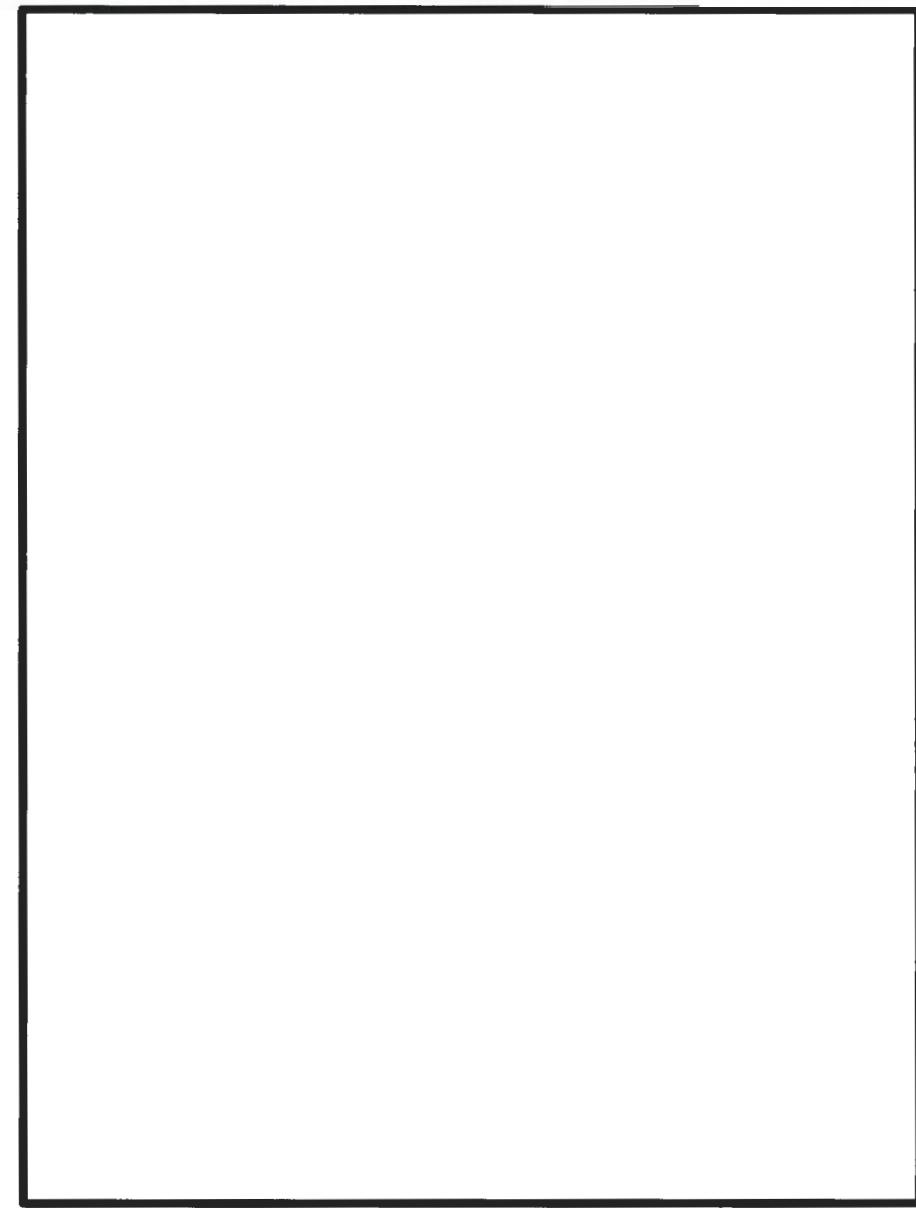
試験体の配筋図は右図のとおり。

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, 流動距離を確認する。

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, 流動状況を確認する。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）を確認する。試験体硬化後, 切断してコンクリートの充填を確認する。



モックアップ試験体 観察箇所

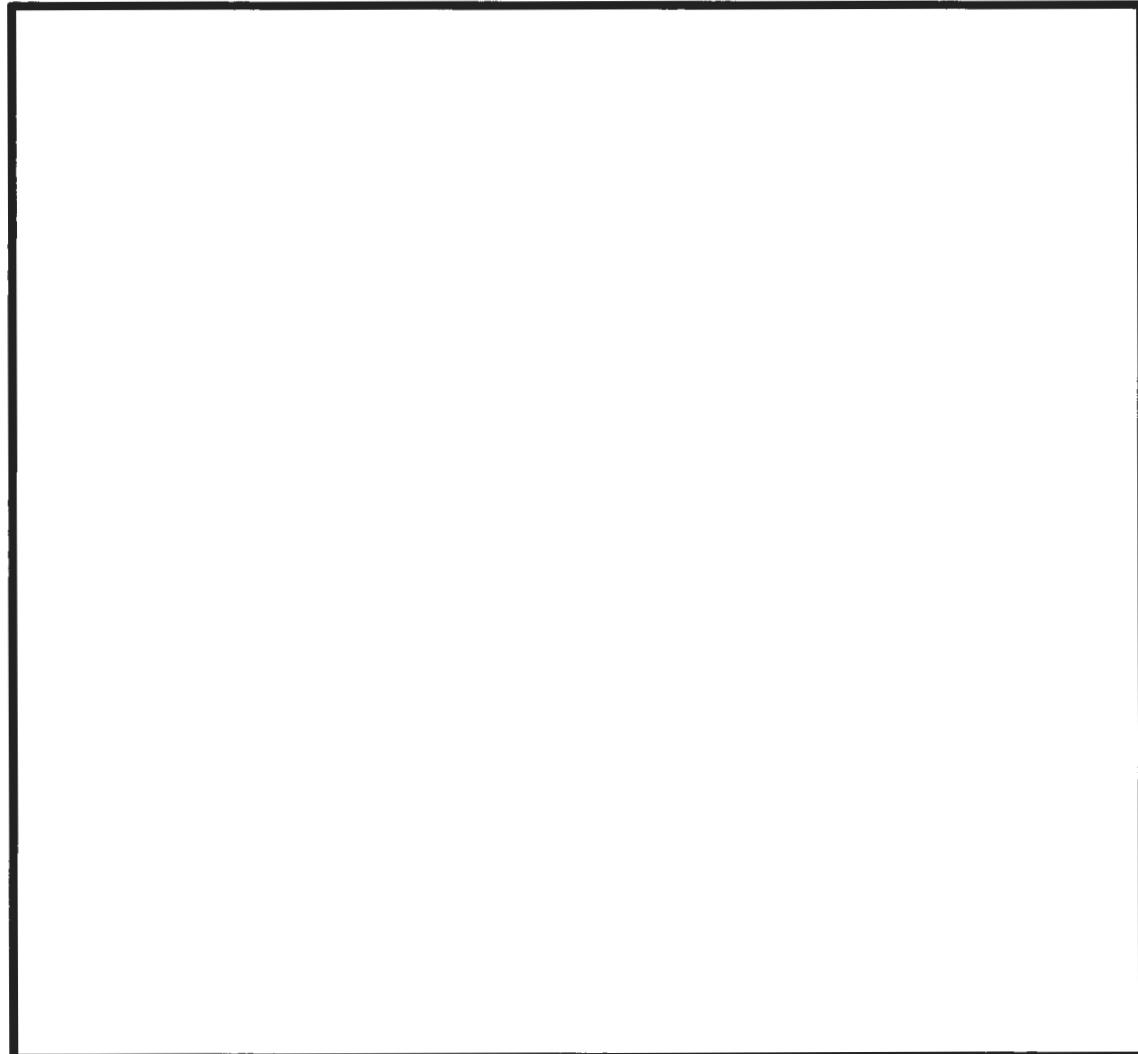


モックアップ試験体 配筋図

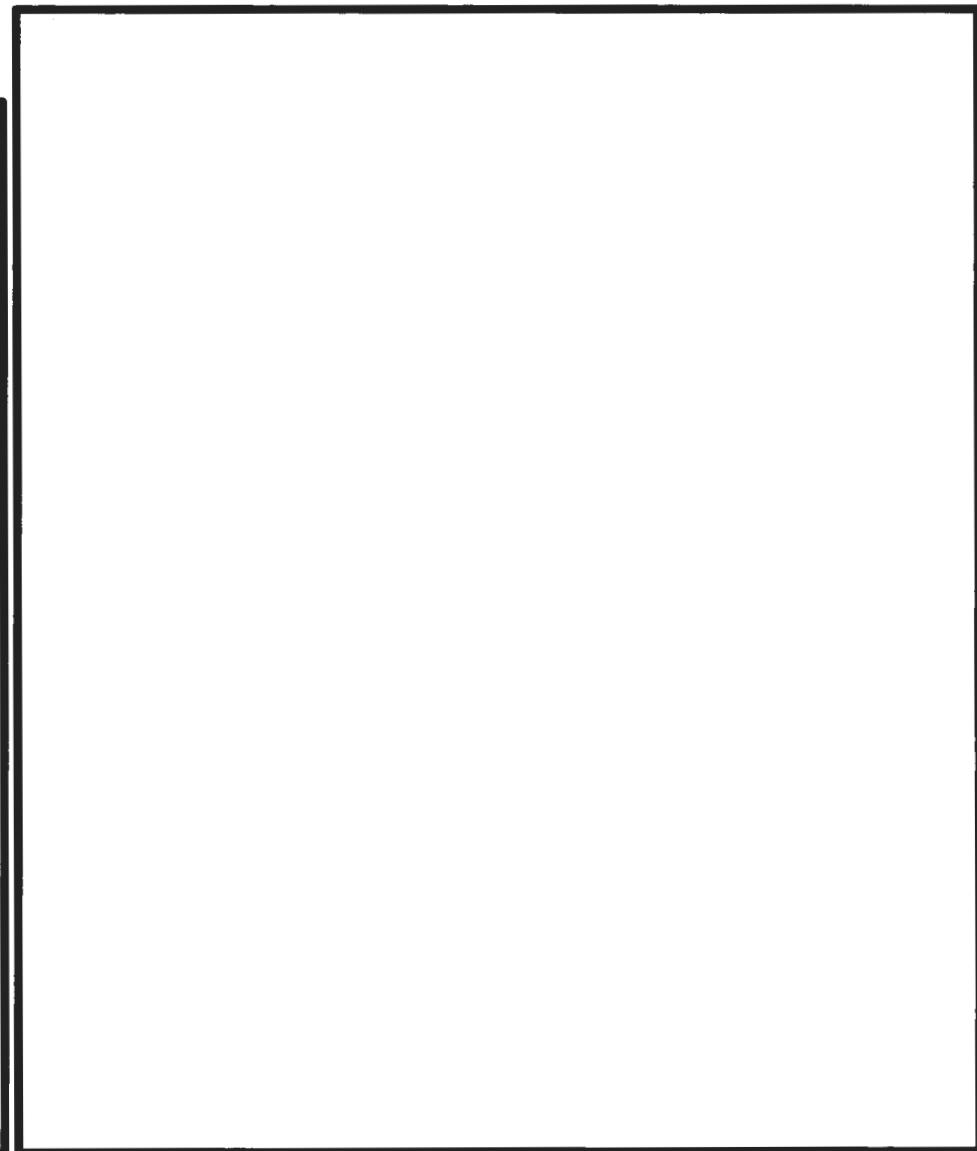
4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築の工事計画の実現性等について)

B. コンクリート充填確認試験

実施結果（流動状況の写真、試験体の切断結果の写真）



コンクリート打設時の状況
(コンクリートの流動状況)



試験体の切断観察結果

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

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（スランプフロー等）を防止する方策を確認することで、施工上影響を及ぼさないことを確認する。

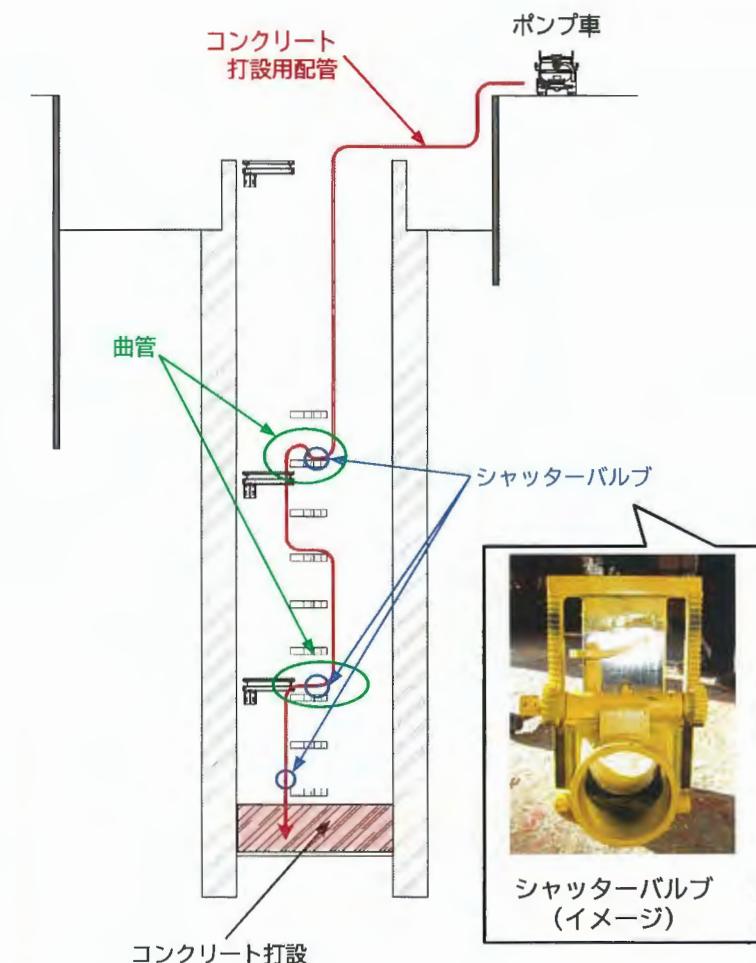
【性状変化（スランプフローの変化）防止のための方策】

- ・コンクリート打設前に配管内にモルタルを充填させ、コンクリートの骨材分離の原因となる自由落下を防止する。
- ・配管の適当な箇所に曲管およびシャッターバルブを設けることで、コンクリートの落下速度を調整する。

（施工に先んじて上記の有効性を確認する。）

確認結果：

- ・太径鉄筋の高密度な配筋について、実規模のモックアップ試験体を組み立て、組立精度が確保できることを確認した。
- ・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、充填に問題がないことを確認した。



コンクリート打設用配管イメージ

以上の確認結果から、中実鉄筋コンクリートの構築が、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。

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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

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)

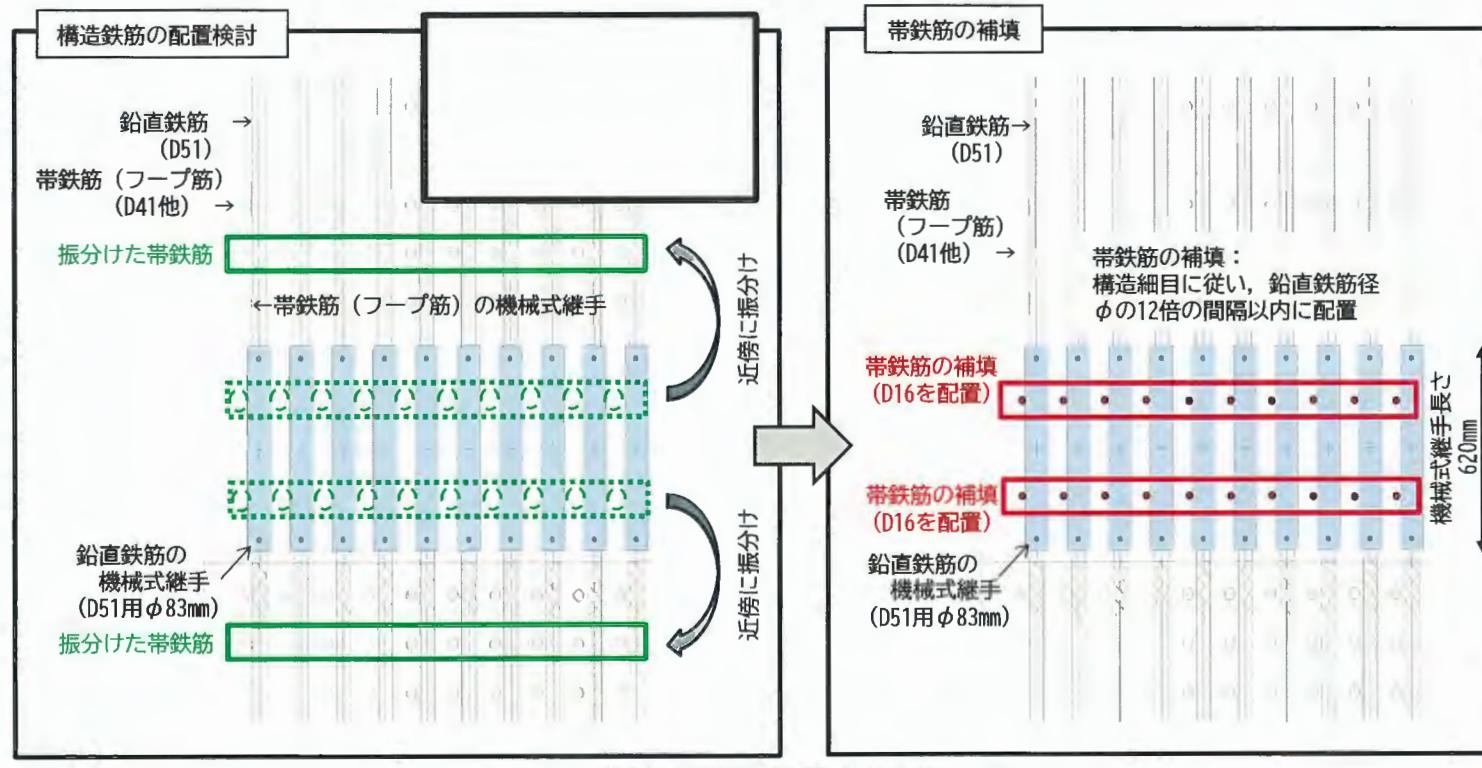
各RC工事の条件を確認し、本モックアップ試験の結果が他RC工事の施工性の確認にも適用可能であることを確認した。
なお、他のRC工事の高密度な配筋干渉は個別の部位ごとに確認することで、中実鉄筋コンクリートを模擬したモックアップ試験の結果は他のRC工事の実現性の確認にも適用可能である。

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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

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。
- 移動された元の箇所については、斜めひび割れの進展防止・じん性確保の観点から構造細目に従いD16を配置する（構造設計の鉄筋として加算しない）。



構造設計で必要な配筋を満足させており、機械式継手の範囲に帯鉄筋を配置し構造細目を満足することから、設計への影響はないことを確認した。

中実鉄筋コンクリート 構造図（南基礎）

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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

【参考】帯鉄筋に関する解説

道路橋示方書IV (H24)

なお、帯鉄筋及び中間帯鉄筋には、せん断補強効果のほかに、軸方向鉄筋のはらみ出し抑制及び内部コンクリートの拘束効果を期待して配置する場合がある。ここでは、フック等に関する規定においてコンクリートの拘束効果を期待する場合の規定との違いが生じないように配慮しているが、コンクリートの拘束効果を期待して配置する場合の個別の規定については耐震設計編 10.8 によることに注意する必要がある。

道路橋示方書V (H24)

(1) 曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚において塑性化を考慮する領域では、かぶりコンクリートが剥落して軸方向鉄筋や帯鉄筋が露出し、これが塑性変形能に影響を及ぼすことを念頭に置く必要があることから、このような損傷が生じても、軸方向鉄筋や横拘束鉄筋が十分に機能するように、これらの配筋に関する構造細目を定めている。本構造細目は、橋脚の柱部だけでなく、ラーメン橋脚の横ばり部のように、塑性化する可能性がある領域に適用する。ここで、横拘束鉄筋とは軸方向鉄筋のはらみ出しを抑制する効果とコンクリートを拘束する効果を期待するために、部材軸に対して直角方向に配置される鉄筋であり、軸方向鉄筋を取り囲む帯鉄筋と部材断面を貫通するように配筋される中間帯鉄筋から構成される。なお、本規定は鉄筋コンクリート橋脚において地震時に塑性化を考慮する領域を対象としているが、塑性化を考慮しない場合には、下部構造編 7 章に規定する構造細目の規定に従う必要がある。

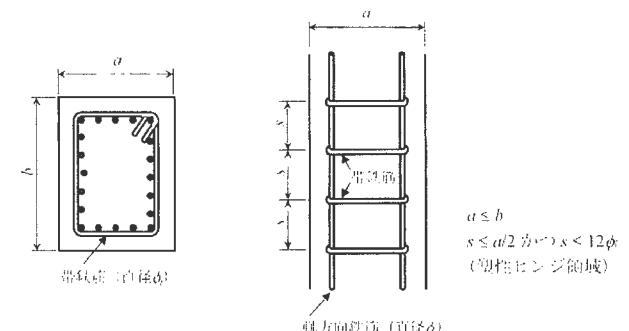
コンクリート標準示方書 (2022)

8.4.3 帯鉄筋の配置

(1) 帯鉄筋の部材軸方向の間隔は、一般に、軸方向鉄筋の直径の 12 倍以下で、かつ部材断面の最小寸法以下とする。ヒンジとなる領域は、軸方向鉄筋の直径の 12 倍以下で、かつ部材断面の最小寸法の 1/2 以下とする。なお、帯鉄筋は、原則として、軸方向鉄筋を取り囲むように配置するものとする。

(2) 矩形断面で帯鉄筋を用いる場合には、帯鉄筋の一辺の長さは、帯鉄筋直径の 48 倍以下かつ 1m 以下とする。帯鉄筋の一辺の長さがそれを超えないように、帯鉄筋を配置しなければならない。

【解説】 (1)について 帯鉄筋やらせん鉄筋等の横方向鉄筋は、斜めひび割れの進展を抑制してせん断耐力を向上させるとともに、軸方向鉄筋の座屈を防止し、かつ、コアコンクリートを拘束する役割も果たすものである。したがって、せん断補強あるいは主張のじん性の確保という観点からは、7 章における照査を満足する鉄筋量が配置されるとともに、この節で示すように、部材軸方向の間隔も所定の値以下とする必要がある(解説 図 8.4.1)。



解説 図 8.4.1 軸方向鉄筋全てを取り囲んで配置する帯鉄筋の間隔

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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

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

上記の注視プロセス等について、①施工計画、②均質置換土と周辺地盤の強度との関係、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する。

① 施工計画

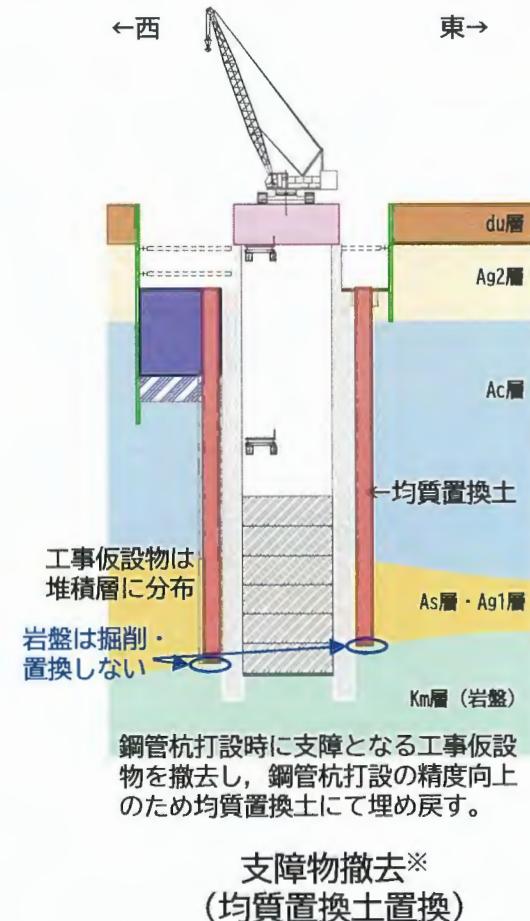
鋼管杭打設場所の支障物は岩盤内にはないこと、本地点の岩盤（Km層）は均質な砂質泥岩であることから、支障物撤去及び地盤の均質化のための掘削は、**堆積層のみを対象に実施する。**
(岩盤深度まで掘削しない。)

② 均質置換土と周辺地盤の強度との関係(詳細はコメント⑯回答3.(2)参照)

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）の物性値を比較する。
この結果、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。



4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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

③ CBの長期安定性に関する文献調査

CBの強度発現の原理は、セメント系地盤改良・ソイルセメントと同様である。このため、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（右表）。調査の結果、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いる結果もあり、長期安定性を有するものと評価できる。

また、ベントナイトの特徴としては

- ・経年劣化しにくい。
- ・セメントの劣化成分を有しない。
- ・湿潤と乾燥・凍結と融解を繰り返す環境下でも品質が変化しない。

が挙げられる。

これらを考慮すると、基本的にCBはソイルセメントと同様に長期安定性を有する材料と評価できる。

一方、セメント系材料の長期安定性・耐久性については周辺環境に影響を受け、劣化要因として「凍害の影響」や「海水の影響」が挙げられる。

今回CBの使用箇所は土中であり、また発電所は「凍害を受ける地域」には該当しないが、海の近傍に位置することから、海水中の硫酸イオンによる劣化（強度低下）を防ぐため、高炉セメント（耐硫酸塩セメント）を使用し、劣化を防止する。

上記のとおり、CBは長期安定性を有する材料と評価した。

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。

文献調査結果

文献名	ソイルセメント柱列壁の耐久性に関する研究	施工後35年経過した鋼管ソイルセメント柱列壁の長期耐久性の調査
出典・執筆者	日本建築学会学術講演会1999 阪井ほか	日本建築学会学術講演会2009 吉田ほか
概要	施工後13年経ったソイルセメント柱列壁より鉛直方向にコアサンプリングを実施し、一軸圧縮強度試験を実施し、一軸圧縮強度、静弾性係数とも施工直後に比べて増加しており、強度面における劣化は13年経過時点では認められなかった。	35年前に施工された鋼管ソイルセメント柱列壁のソイルセメントおよび鋼管を採取し、長期的な耐久性を評価した。 劣化深さは約5mm/35年であった。
図表		

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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

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

上記の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。

【鋼管杭打設工における鉛直精度の確保のための施工方法及びその実績】

①均質置換土 (CB) による置換

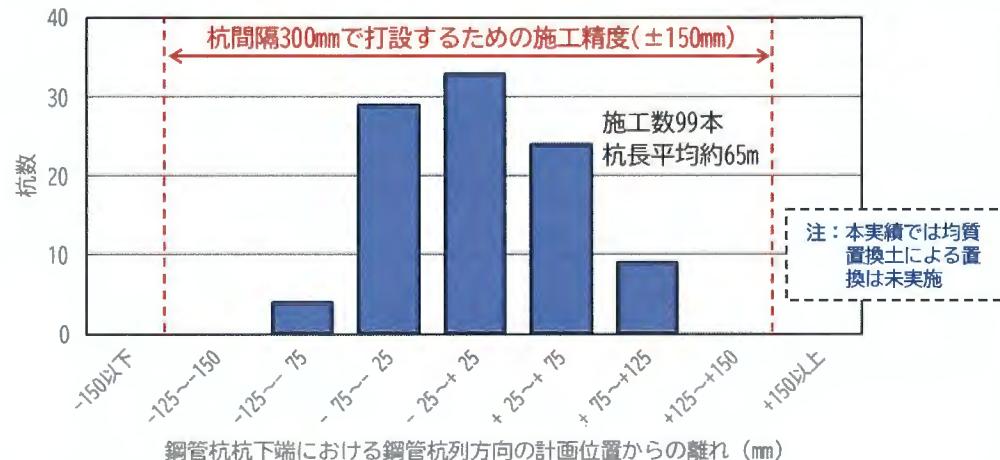
地盤の固さの不均質さの影響による鋼管杭打設時の鉛直精度低下を防ぐため、事前に岩盤標高付近までの堆積層を均質置換土に置き換える。

(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。)

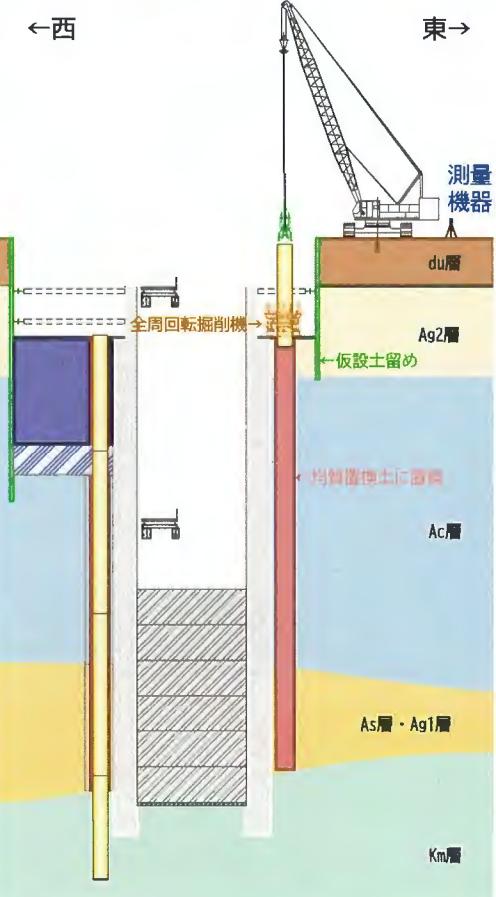
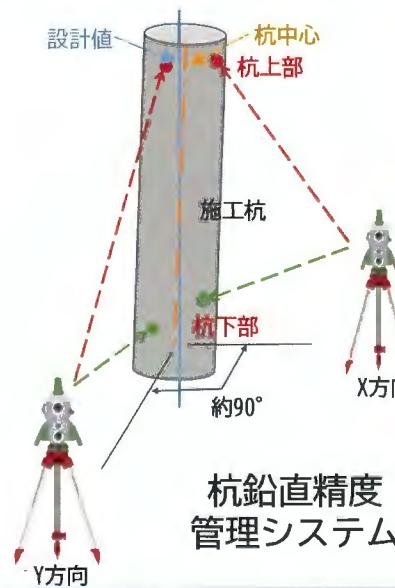
②鋼管杭の鉛直精度管理システム※1による施工管理

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)



- 以上の確認結果から、鋼管杭の高精度の打設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。

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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

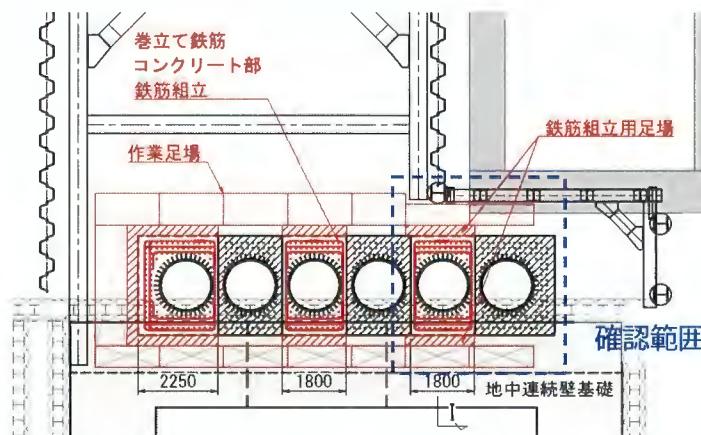
注視プロセス等②：巻立て鉄筋コンクリートは狭隘な区画で太径鉄筋を組み立てるため施工難易度が高い

上記の注視プロセス等について、3次元CADにより配筋干渉及び施工図により施工性を確認する。

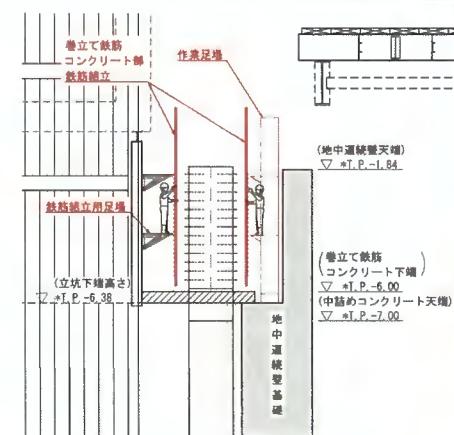
巻立て鉄筋コンクリートは、鉛直鉄筋(D51)、フープ筋(D38)、せん断補強筋(D41)、配力筋(D22)がスタッド付鋼管杭の周囲に密に配置される。これらを3次元CADにより図化し干渉を確認する(右図)。

また、巻立て鉄筋コンクリートの施工エリアは、地中連続壁や既設施設に挟まれ狭隘な場所での鉄筋組立となることから、施工エリアを図化し、組立作業の施工性を確認する。

鉄筋組立用足場の設置、鉄筋の配置場所への搬入、作業方法を確認し、施工可能であることを確認。

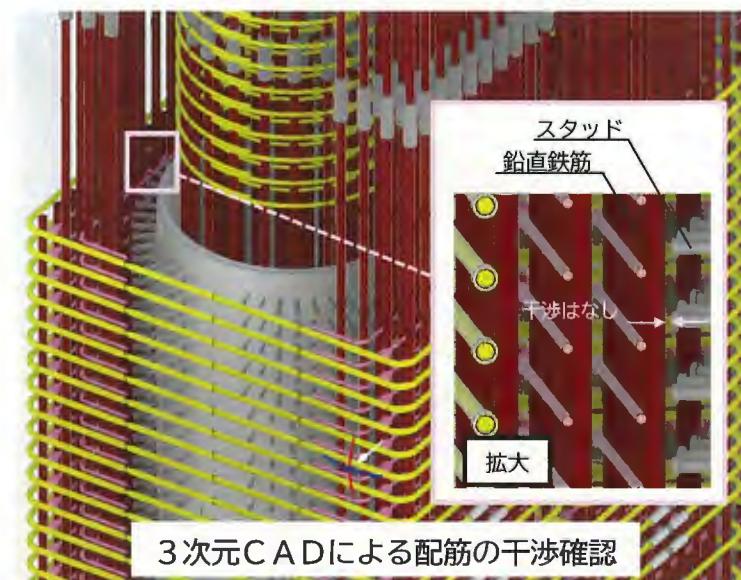


平面図



鉛直断面図

巻立て鉄筋コンクリートの配筋



3次元CADによる配筋の干渉確認

3次元CADにより、鉄筋等の配置干渉はなく鉄筋組立が可能であることを確認した。

4. 審査会合コメント⑯回答

(鋼製防護壁構築の工事計画の実現性等について)

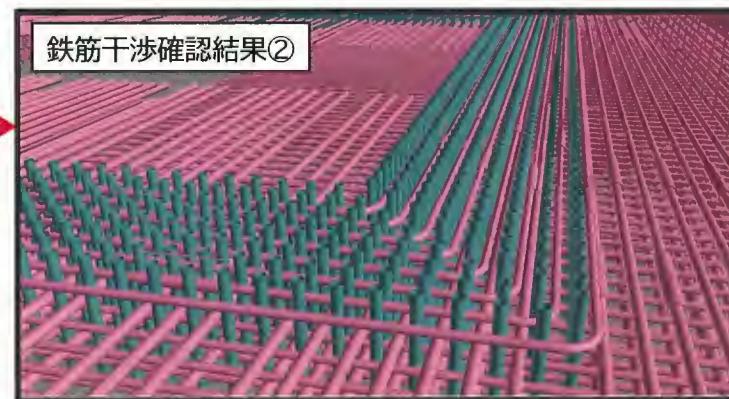
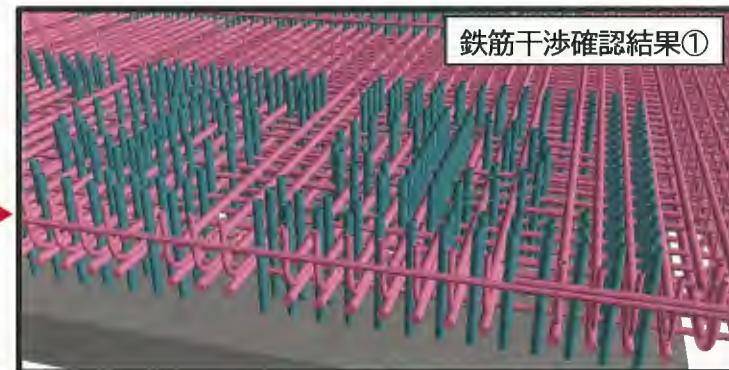
(4) 各施工ステップの施工性等の検討・確認結果 e. 頂版鉄筋コンクリート構築

注視プロセス等：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、鉄筋組立の難易度が高い。

上記の注視プロセス等について、頂版鉄筋コンクリートは当該部の構造鉄筋に加え、中実鉄筋コンクリート等からの定着鉄筋などが複雑に交錯する配筋となる。このため、3次元CADによりこれらの鉄筋の配置干渉を確認する。



頂版鉄筋コンクリートの接続部



3次元CADにより、各鉄筋は干渉せず、設計へ影響を及ぼすことはないことを確認した。

4. 審査会合コメント⑯回答 (鋼製防護壁構築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 f. 鋼製防護壁架設

注視プロセス等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

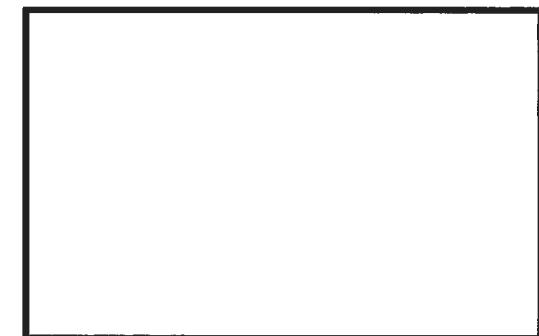
上記の注視プロセス等について、高強度鋼材 (SBHS700) の現場溶接の品質を確保するため、試験施工により溶接に関わる各種条件を設定する。

【溶接に関わる各種条件の設定】

①熱管理条件

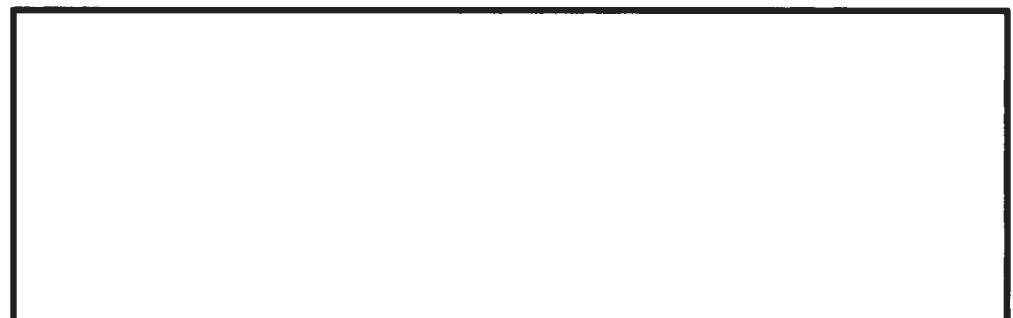
適切な熱管理条件（入熱量とパス間温度など）を求めるため、同条件下（開先形状、溶接姿勢、使用溶接材料）での試験施工を実施し、要求品質を満足できる条件を確認した（右表はSBHS700同士の条件）。

また、その他の組合せ (SBHS700×SBHS500) についても、同様にそれぞれ適切な熱管理条件を求め、要求品質を満足できる条件を確認した。



②開先条件

各溶接姿勢（下向き、上向き、横向き、立向き）における開先形状および開先精度の管理値について設定した。



4. 審査会合コメント⑯回答

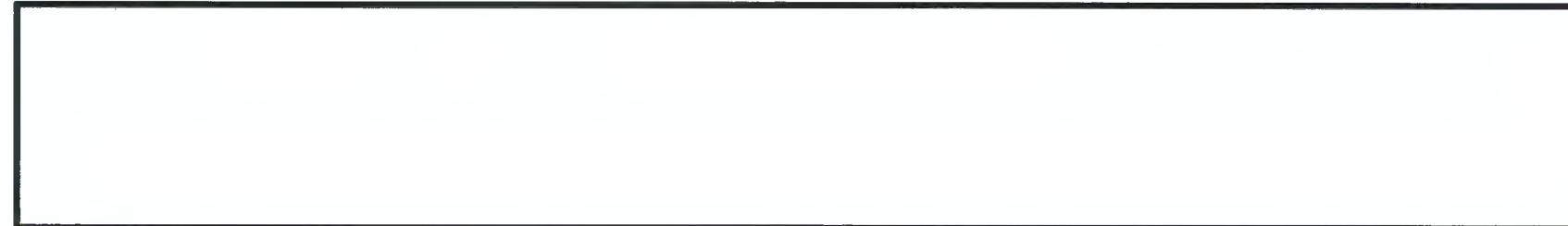
(鋼製防護壁構築の工事計画の実現性等について)

(4) 各施工ステップの施工性等の検討・確認結果 f. 鋼製防護壁架設

③溶接条件

適切な溶接条件を求めるため、同条件下（開先形状、溶接姿勢、使用溶接材料）での試験施工を実施し、要求品質を満足できる条件を確認した。（下表はSBHS700同士の設定）

また、SBHS700×SBHS500についてもそれぞれ適切な入熱量条件を設定し、品質を確認した。



【確認結果】

- ・試験施工により適切な溶接条件（熱管理条件ほか）を確認し、所定の品質を確保する条件を設定できた。
- ・設定した溶接に関わる各種条件を施工時に着実に実施すること及び非破壊検査の全箇所実施により、品質を確保する。

以上により、施工時にこれらを着実に実施することで、不具合のない構造物の構築は可能である。

以上の確認結果から、鋼製防護壁の高強度鋼材の溶接が、施工性・品質の観点から実現性のある工事計画でであり、設計への影響はないことを確認した。

注視プロセス等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

上記の注視プロセス等に対しては、3次元CADにより配筋干渉、施工図により施工性を確認し、施工性・品質の観点から実現性のある工事計画であることを確認していくこととしており、設計への影響はない。