

泊発電所3号炉

防潮堤の構造成立性評価方針について

(止水ジョイントの設計方針及び指摘事項に対する回答)

令和5年11月6日
北海道電力株式会社

これまでの説明経緯と本日の説明主旨	3
1. 止水ジョイントの構造概要	4
2. 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針	5
3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)	11
補足説明資料1 高強度部のアンカーボルトの仕様及び配置計画	19

これまでの説明経緯と本日の説明主旨

- アンカーボルトの性能試験に関するこれまでの説明経緯を以下に示す。
 - 第1111回審査会合で、アンカーボルトの性能試験は単体配置のアンカーボルトを想定して実施することを説明した。
 - 第1192回審査会合で、防潮堤高さの変更に伴い、止水目地構造を変更することを説明した。
- 本日の説明主旨は、以下のとおりである。
 - 泊発電所の止水ジョイント※¹の設計について、先行炉実績との相違点を踏まえた設計の論点を下表のとおり抽出した。
 - 抽出した論点のうち論点②及び論点③を説明する※²。
 - 論点③については、第1089回審査会合における指摘事項221101-04「止水目地のアンカーボルトBの性能試験結果を踏まえた許容限界を含む設計の考え方」に対する回答を含めて説明する。

※1:今回、止水目地の名称を「止水ジョイント」に名称変更する。

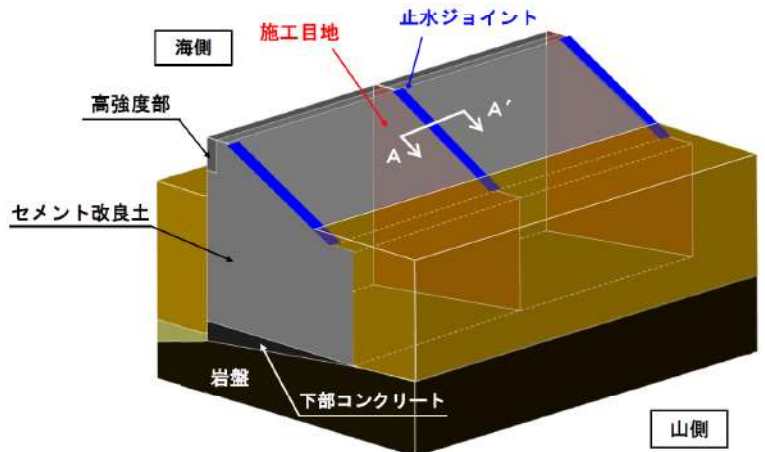
※2:論点①、④他の止水ジョイントの設計方針は、「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について」で示す。

先行炉実績との相違点を踏まえた設計の論点及び論点に対する止水ジョイントの設計方針

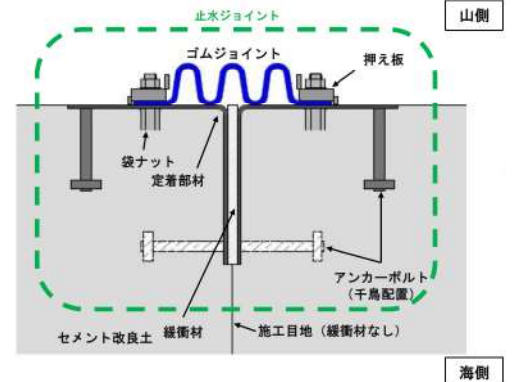
先行炉実績との相違点を踏まえた設計の論点	論点に対する止水ジョイントの設計方針	説明資料
【論点①】 止水ジョイントを法面に設置することにより、地震及び津波により定着部材に水平力と鉛直力が生じる。	2次元動的FEM解析、3次元静的FEM解析において、法面に定着部材をモデル化することで考慮する。	「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性結果について」
【論点②】 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針を示す。	「各種合成構造設計指針」の適用性を整理し、群効果を考慮しないよう、アンカーボルトを単体配置とする。	本資料(P5～P7)
	アンカーボルトに作用する各方向の荷重と直交するアンカーボルトの抵抗方向(引張方向、せん断方向)を考慮して足し合わせた許容限界を用いた評価を基本とし、片方のアンカーボルトに荷重が偏ることを想定した影響検討ケースの評価を実施する。	本資料(P8～P10)
【論点③】 セメント改良土に固定するアンカーボルトの引張耐力及びせん断耐力の確認を行う。	アンカーボルトの性能試験により、アンカーボルトの設計において「各種合成構造設計指針」の耐力算定式を用いることの妥当性を確認する。	本資料(P11～P18)
【論点④】 ゴムジョイントの張力による定着部材の曲げ及びせん断の評価を行う。	定着部材に作用する外力を整理した上で、定着部材を評価する。	「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性結果について」

1. 止水ジョイントの構造概要

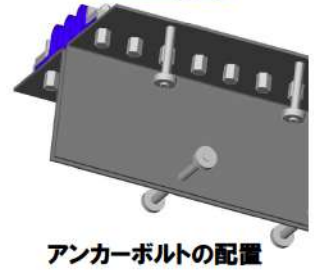
- 平面図、施工目地及び止水ジョイントの設置位置、止水ジョイントの構造概要、及びアンカーボルトの配置を下图に示す。
- 施工目地は、応力集中に配慮して防潮堤のブロック間の境界に設置する。
- 止水ジョイントは、津波の水の流入を防止し、津波漂流物の衝突による損傷を防止するために施工目地の山側法面位置に設置する。
- 止水ジョイントの上端は防潮堤の天端高さとし、基準地震動による沈下後の敷地地盤高さ以深に根入れする。
- 止水ジョイントの構造は、鋼製部材（定着部材、押え板及び袋ナット）でゴムジョイントをセメント改良土に固定する構造である。
- セメント改良土と定着部材は、直交かつ千鳥で配置するアンカーボルトにより固定する。
- アンカーボルトは、群効果が生じないように、荷重が作用したときのセメント改良土の影響範囲が重複しない配置（単体配置）とする（P7参照）。



施工目地及び止水ジョイントの設置位置



施工目地における止水ジョイント構造 (A-A' 断面)



平面図(施工目地の位置)

□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

2. 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針

2.1 「各種合成構造設計指針」の適用性の検討

- 「各種合成構造設計指針」の適用範囲とアンカーボルトの仕様を比較し、「各種合成構造設計指針」の適用性を検討する。
 - アンカーボルトを固定する構造物に関して、セメント改良土はコンクリートと類似した特性がある※1が、セメント改良土の設計基準強度(6.5N/mm²)が適用範囲から外れることから「×:適用範囲外」としたため、アンカーボルトの性能試験で指針の耐力算定式を参考に設計することの妥当性を確認する。
 - アンカーボルトの仕様に関して、「各種合成構造設計指針」の仕様を満足するように止水ジョイントのアンカーボルトの呼び径、頭部の種類、頭部の径、埋込み長さ、へりあき及び配置間隔を設定するため、「○:適用性がある」とした。
 - 隣接するアンカーボルトの配置の影響に関して、直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針は「各種合成構造設計指針」に明記されていないことから「△:適用性が不明確」としたため、「2.2直交方向に配置するアンカーボルトの考え方」に示す設計上の配慮が必要である。
- セメント改良土の設計基準強度(6.5N/mm²)でも「各種合成構造設計指針」の耐力算定式を参考に設計することの妥当性は、「3. アンカーボルトの性能試験」で確認する。

※1:セメント改良土はコンクリートと類似した特性があることの詳細は、「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について」で示す。

凡例 ○:適用範囲内若しくは設計の妥当性がある。

△:適用性が不明確

×:適用範囲外

「各種合成構造設計指針」の適用範囲とアンカーボルトの仕様の比較

項目	「各種合成構造設計指針」の適用範囲		止水ジョイントのアンカーボルトの仕様※2	「各種合成構造設計指針」との関係
アンカーボルトを固定する構造物	鉄筋コンクリート又は鉄骨鉄筋コンクリート※3(設計基準強度:18~48N/mm ²)		セメント改良土(設計基準強度:6.5N/mm ²)	×
アンカーボルトの仕様	呼び径	9mm以上25mm以下	24mm	○
	頭部の種類	頭付きアンカーボルト, 鉄筋アンカーボルト, 基礎アンカーボルト(先付け工法), 接着系アンカーボルト(後打ち工法)	頭付きアンカーボルト(先付け工法)	○
	頭部の径	アンカーボルトの呼び径の1.6倍以上	65mm (24mm × 1.6 ≒ 39mm以上)	○
	埋込み長さ	アンカーボルトの呼び径の4倍以上	200mm (24mm × 4 = 96mm以上)	○
	へりあき	アンカーボルトの呼び径の3倍以上	232mm以上 (24mm × 3 = 72mm以上)	○
	配置間隔	アンカーボルトの呼び径の7.5倍以上かつ600mm以下	500mm (24mm × 7.5 = 180mm以上かつ600mm以下)	○
隣接するアンカーボルトの配置の影響	アンカーボルトを隣接して複数本配置する場合の引張耐力の評価にあたって、コーン状破壊により引張耐力が決まる場合には、群効果を考慮する必要がある。		・アンカーボルトを直交方向に配置すること※4 ・コーン状破壊の群効果を考慮不要な配置とすること	△

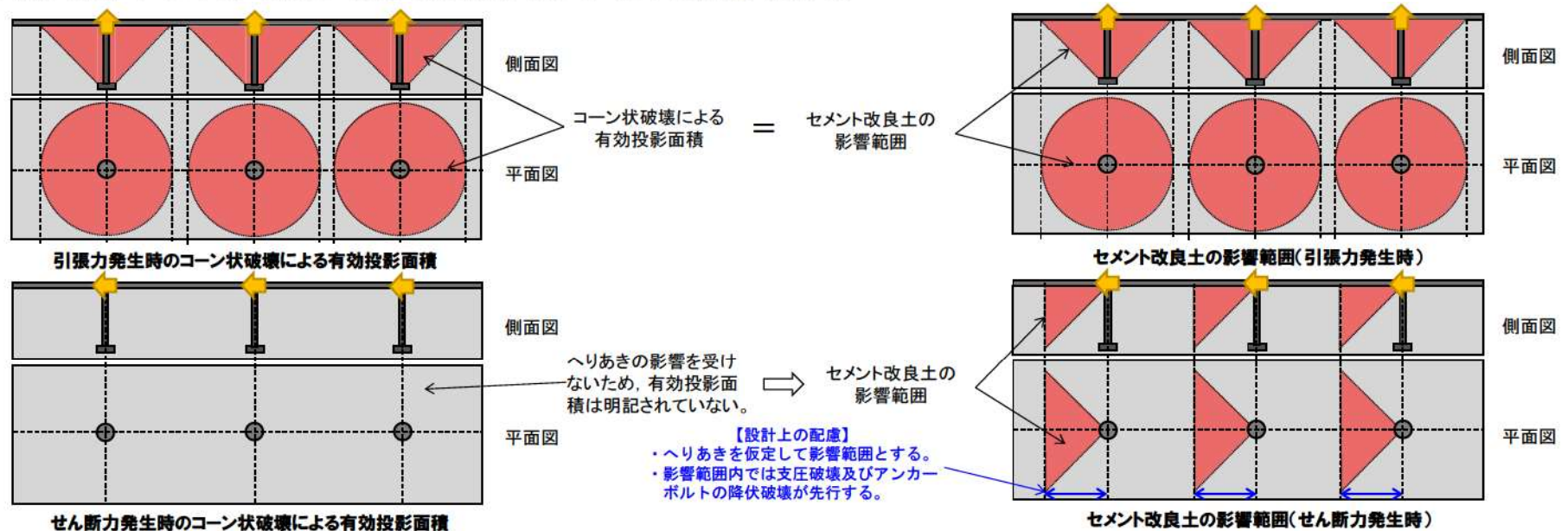
※2:アンカーボルトの仕様は、構造成立性評価結果を踏まえ変更する可能性がある。 ※3:「各種合成構造設計指針」は、無筋コンクリートを試験条件としている論文を参考文献にしていることから、無筋コンクリートに対しても適用性はあると考えられる。 ※4:アンカーボルト(高強度部)は同一方向に固定されており、「各種合成構造設計指針」の適用範囲内である。

2. 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針

2.2 直交方向に配置するアンカーボルトの考え方(1/2)

- 「各種合成構造設計指針」における有効投影面積の考え方(左図)を踏まえて、泊発電所の止水ジョイントにおけるアンカーボルトに荷重が作用したときのセメント改良土の影響範囲の考え方*1(右図)を示した。
- 「各種合成構造設計指針」における引張及びせん断のコーン状破壊の有効投影面積をセメント改良土の影響範囲とする。
- せん断力発生時は、「各種合成構造設計指針」において隣接するアンカーボルトの有効投影面積が重複している場合でも、単体のアンカーボルトとしての耐力算定式を用いることができる*2が、泊発電所では以下の点を考慮してへりあきを仮定したときの影響範囲を保守的に考慮する。
 - 破壊時の破壊領域は、支圧破壊、アンカーボルトの降伏及びコーン状破壊の破壊形式によるものがある。
 - 「各種合成構造設計指針」のせん断耐力算定式を用いて、コーン状破壊よりアンカーボルトの降伏及び支圧破壊が先行するようにへりあきを仮定する*3ため、破壊領域は設定した影響範囲よりも小さいと考えられる。

※1: 定着部材を使用するため、アンカーボルトが一行かつ同一方向に埋め込まれた配置を仮定する。 ※2: 「各種合成構造設計指針」の頭付きアンカーボルトの設計例を参考にしており、隣接した複数本のせん断力が発生した際における有効投影面積による群効果の考慮は明記されていない。 ※3: 仮定したへりあきにおける破壊形式はアンカーボルトの性能試験で確認する。



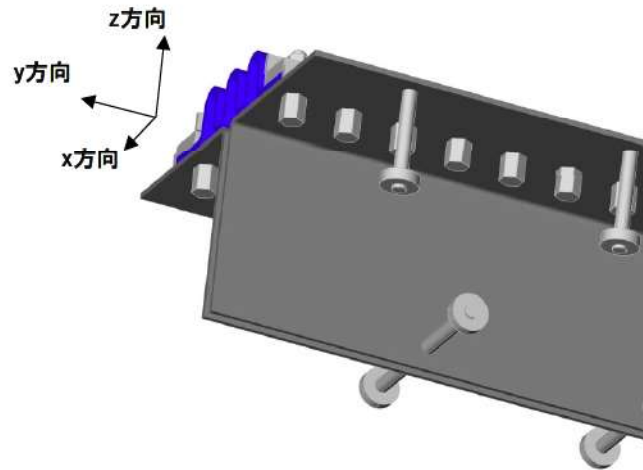
「各種合成構造設計指針」におけるアンカーボルトのコーン状破壊による有効投影面積

泊発電所の止水ジョイントにおけるセメント改良土の影響範囲の考え方

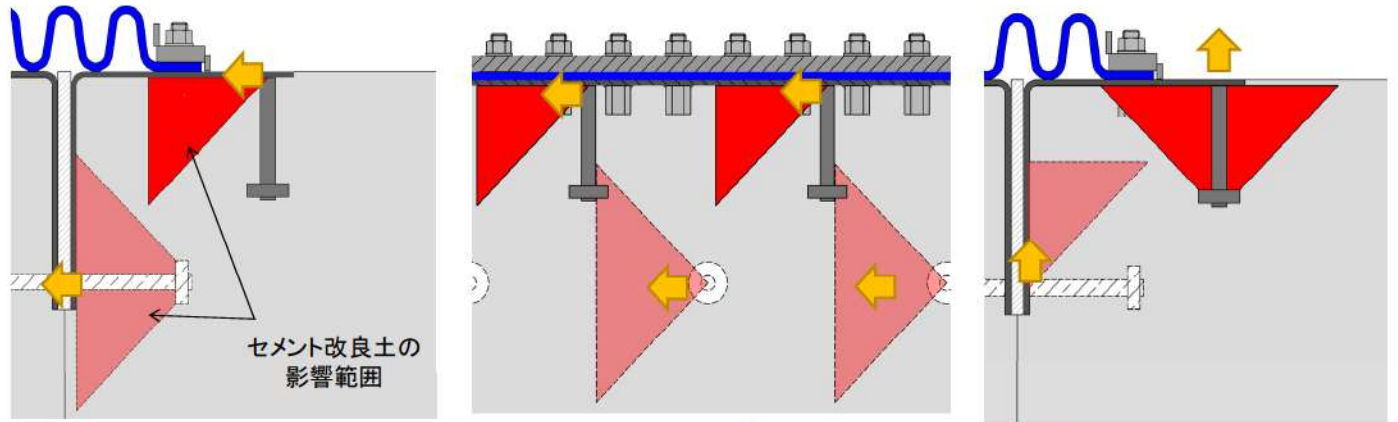
2. 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針

2.2 直交方向に配置するアンカーボルトの考え方(2/2)

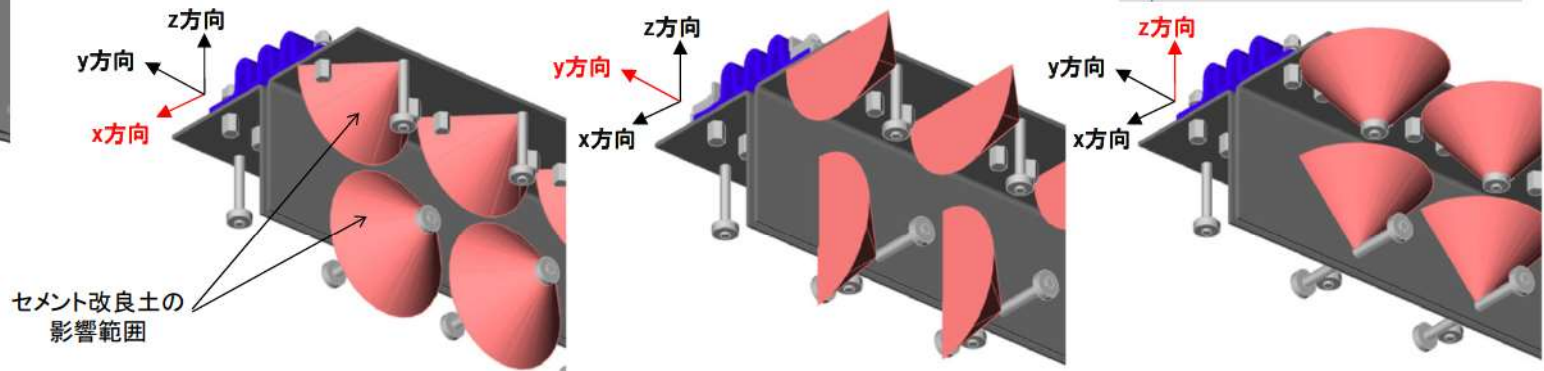
- 泊発電所のアンカーボルトの設計上の配慮より、直交するアンカーボルトにx方向、y方向、z方向の荷重を作用しても、セメント改良土の影響範囲が3次元的に重複しないよう単体配置とすることが可能であり、単体のアンカーボルトとしての耐力算定式を用いることができる。
- 直交するアンカーボルトに作用した荷重により生じるセメント改良土の応力状態は、FEM解析を用いて設計及び工事計画認可段階で説明する。



止水ジョイントの構造図



セメント改良土の影響範囲



セメント改良土の影響範囲

x方向の荷重作用時

y方向の荷重作用時

z方向の荷重作用時

直交するアンカーボルトに作用した荷重により生じるセメント改良土の影響範囲

2. 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針

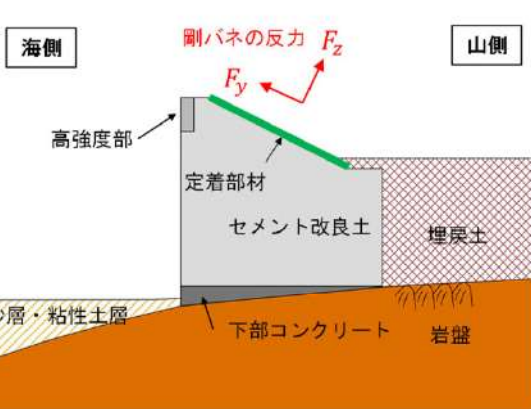
2.3 直交方向に配置するアンカーボルトが負担する荷重の考え方(1/3)

- 直交方向に配置するアンカーボルトが負担する荷重に関して、アンカーボルトに作用する各方向(x方向, y方向, z方向^{*1})の荷重と、直交するアンカーボルトの抵抗方向(引張方向, せん断方向)を考慮して足し合わせた許容限界を用いた評価(基本ケース)を行う。
- アンカーボルトに作用する荷重は以下の力を足し合わせて、x方向に $F_x + f_x$, y方向に F_y , z方向に $F_z + f_z$ である^{*2}。
 - 2次元動的FEM解析(地震時及び重畳時)若しくは3次元静的FEM解析(津波時)の解析モデルに、定着部材をモデル化した解析(解析①)で得られる剛パネの反力(F_x, F_y, F_z)^{*3}
 - ゴムジョイントの張力により定着部材に作用する引張力 f_z , せん断力 f_x
- 許容限界は、アンカーボルトに作用した各方向の力に対する抵抗方向を考慮して、縦方向, 横方向1組のアンカーボルトの許容引張力と許容せん断力を足し合わせる。
- 許容限界にアンカーボルトの引張方向とせん断方向が混在するときには、片方のアンカーボルトに荷重が偏ることが考えられるため、アンカーボルトの荷重の分担比率を考慮した影響検討ケースを実施し、次頁にて詳細を示す。

※1: 防潮堤汀線方向をx方向, 防潮堤山側法面方向をy方向, 防潮堤山側法面垂直方向をz方向とする。

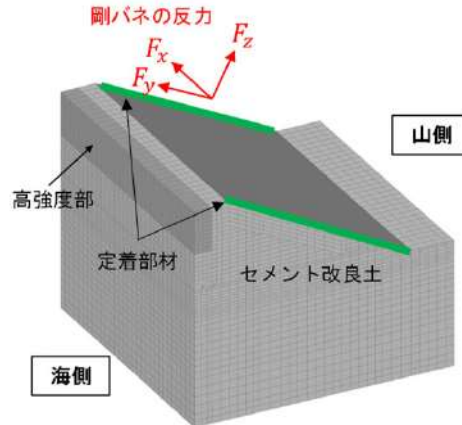
※2: 剛パネの設定間隔はアンカーボルトの配置間隔と異なるため、剛パネに発生する引張力及びせん断力をアンカーボルト1組あたりの荷重に換算する。

※3: 反力 F_x は、津波時の3次元静的FEM解析のときのみ算出される。

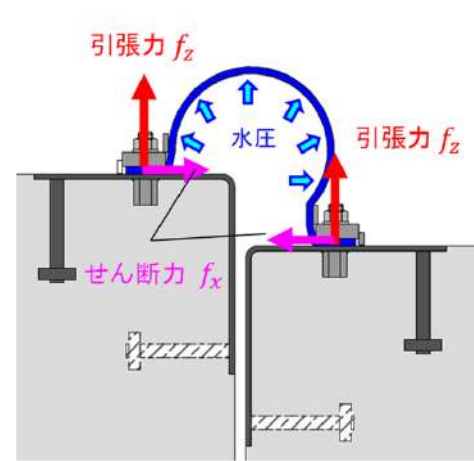


2次元動的FEM解析

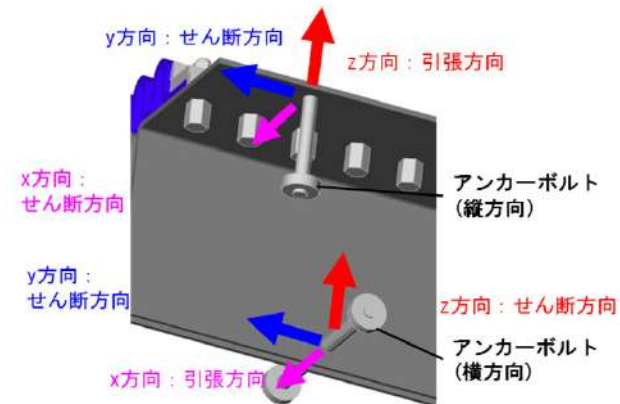
解析①から算出する剛パネの反力(F_x, F_y, F_z)



3次元静的FEM解析



ゴムジョイントの張力により定着部材に作用する引張力 f_z , せん断力 f_x



アンカーボルトに作用した各方向(x方向, y方向, z方向)の力に対する抵抗方向(引張方向, せん断方向)

2. 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針

2.3 直交方向に配置するアンカーボルトが負担する荷重の考え方(2/3)

- x方向, z方向の荷重作用時には, 作用荷重に対するアンカーボルトの引張方向及びせん断方向に生じる変位量の比率(弾性係数比)が(引張):(せん断)=9:1であること, ばらつきを考慮すること※1, 及び定着部材の変形の影響があることから, 片方のアンカーボルトに荷重が偏ることが考えられる。
- 定着部材の変形の影響は, 止水ジョイントに作用する荷重のうち引張力 f_z が支配的であることを踏まえて※2, 以下の境界条件の定着部材(梁要素)のモデルに引張力 f_z を作用した解析を実施し, 荷重分担を求めた。
 - アンカーボルト位置の固定条件について, アンカーボルトと定着部材を溶接するため, 溶接による曲げ剛性を考慮するとモデル化は固定端を基本とする。
 - 但し, 完全な固定条件ではなく, アンカーボルトによる引張力及びせん断力, 定着部材の曲げ及びセメント改良土からの反力とのバランスも考慮して, 回転の影響もあると考え, 境界条件を固定端若しくはピン支点の組合せとする。
- 定着部材の短手方向の変形による影響を考慮した直交するアンカーボルトの荷重分担は右表の通りであり, アンカーボルト(縦方向)に最大74.3%, アンカーボルト(横方向)に最大45.4%作用する

※1: 引張方向とせん断方向の変位量の比率(弾性係数比)は, アンカーボルトの性能試験の結果から算出した。なお, 弾性係数算出時の標準偏差(1 σ)は, 引張試験22%, せん断試験0.4%であった。

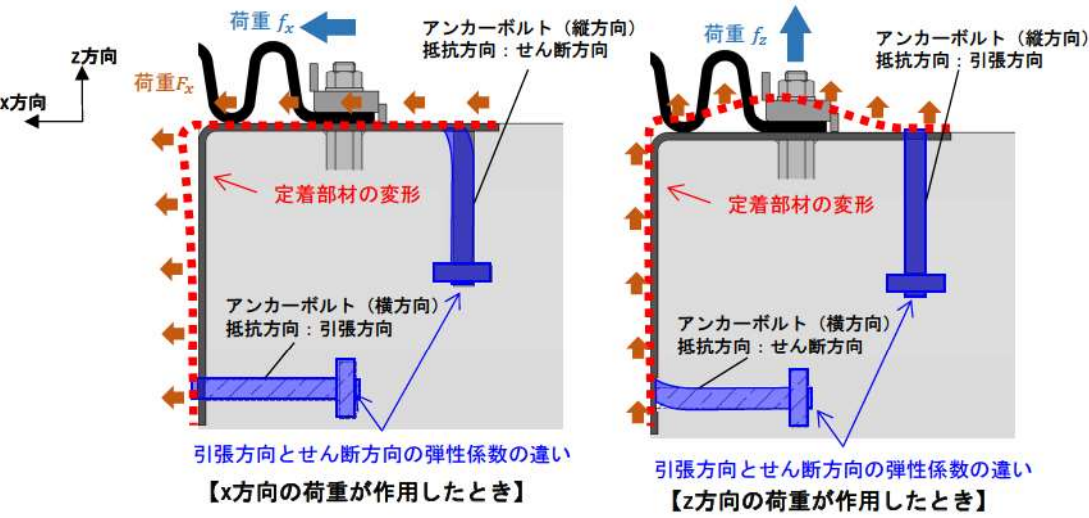
※2: 解析①(P8参照)で得られる荷重(kN/1組)は $F_x = 0.3$, $F_y = 10.3$, $F_z = 0$, ゴムジョイントの張力により定着部材に作用する荷重(kN/1組)は引張力 $f_z = 29.8$, せん断力 $f_x = 0$ である(暫定値)。

解析②から得られた直交するアンカーボルトの荷重(引張力 f_z)の荷重分担

		境界条件	荷重分担 (%)	境界条件	荷重分担 (%)	境界条件	荷重分担 (%)	境界条件	荷重分担 (%)
アンカーボルト	縦方向	固定端	74.2	固定端	74.3	固定端	54.6	固定端	54.7
	横方向	固定端	25.8	ピン固定	25.7	ピン固定	45.4	ピン固定	45.3

解析イメージ図	固定端	固定端	ピン固定	ピン固定

— : 定着部材(梁要素) : 固定端 : ピン固定



各方向の荷重がアンカーボルトに作用する際のイメージ

2. 直交方向に配置するアンカーボルトの設計方針

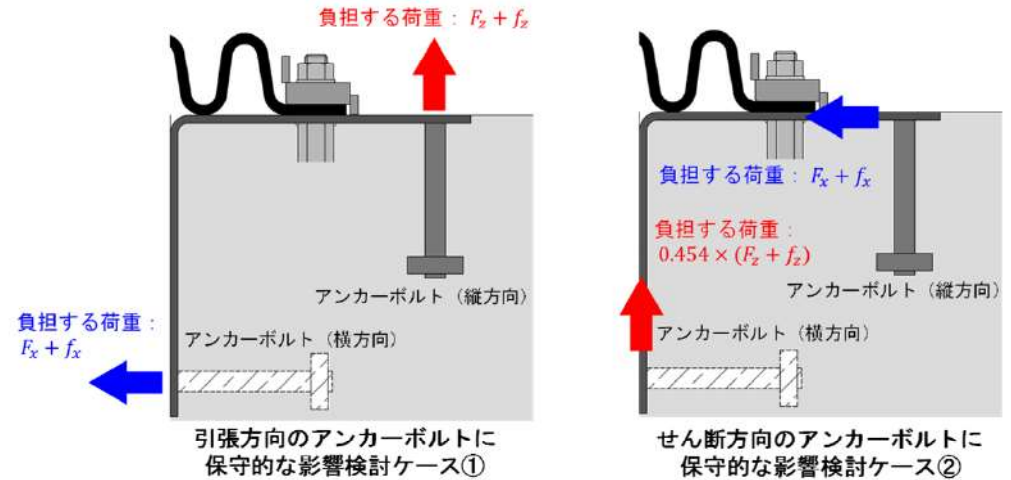
2.3 直交方向に配置するアンカーボルトが負担する荷重の考え方(3/3)

- 前頁に示す影響を踏まえて、影響検討ケースの荷重分担を決定した。
 - 引張方向のアンカーボルトがx方向、z方向の荷重を100%負担する影響検討ケース①(引張方向のアンカーボルトが保守的なケース)
 - せん断方向のアンカーボルトがx方向の荷重を100%、z方向の荷重を45.4%負担する影響検討ケース②(せん断方向のアンカーボルトが保守的なケース)
- アンカーボルトの基本ケース及び影響検討ケースの評価結果は「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性結果について」に示し、片方のアンカーボルトに荷重が偏ることを考慮しても構造成立性が確保されることを確認した。

影響検討ケースの荷重分担

荷重	アンカーボルト	抵抗方向	荷重の分担比率 (%)	
			影響検討ケース①	影響検討ケース②
x方向 : $F_x + f_x$	縦方向	せん断	0	100
	横方向	引張	100	0
z方向 : $F_z + f_z$	縦方向	引張	100	54.6*
	横方向	せん断	0	45.4

※: 影響評価ケース①よりも荷重分担が小さいため、影響検討ケース②ではアンカーボルト(縦方向)の引張の評価を割愛する。



影響検討ケース

3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.1 審査会合における指摘事項に対する回答【指摘事項 221101-04】

【指摘事項 221101-04】

止水目地の構造の一部であるアンカーボルトBの設計について、性能試験の結果を踏まえ、許容限界を含む設計の考え方を説明すること。なお、説明に当たっては、以下の事項を含めて説明すること。

- 性能試験の結果から判定される、アンカーボルトB及びセメント改良土の破壊モード
- 上記破壊モードを踏まえた、止水目地及びセメント改良土に要求される止水機能

【回答】

- 第1192回審査会合で説明した止水ジョイント構造※1においても、アンカーボルトでセメント改良土に固定する構造であることから、アンカーボルトの許容引張力及び許容せん断力は、アンカーボルトの性能試験で「各種合成構造設計指針・同解説(2010年)」(以下、「各種合成構造設計指針」という。)を参考に設計することの妥当性を確認した上で、「各種合成構造設計指針」を参考にして決定する。
- また、第1111回審査会合でアンカーボルトの性能試験は単体配置のアンカーボルトを想定して実施することを説明したが、変更後の止水ジョイント構造においても引続きアンカーボルトを単体配置とすることから、アンカーボルトの性能試験方法の変更は不要である。
- アンカーボルトの性能試験結果を踏まえて、泊発電所の防潮堤のセメント改良土に固定するアンカーボルトは、以下の理由から「各種合成構造設計指針」を参考に設計することの妥当性があると判断した。(P17参照)
 - 性能試験で得られた耐力は「各種合成構造設計指針」の算定式による耐力以上を有すること。
 - 性能試験で得られた破壊形式は「各種合成構造設計指針」から想定される破壊形式と一致したこと。
- アンカーボルト及びセメント改良土に要求される止水機能は、「各種合成構造設計指針」を参考に概ね弾性範囲になる許容引張力及び許容せん断力を設定し、アンカーボルトに発生する引張力及びせん断力が許容引張力及び許容せん断力を満足するように設計することで確保する。(P18参照)

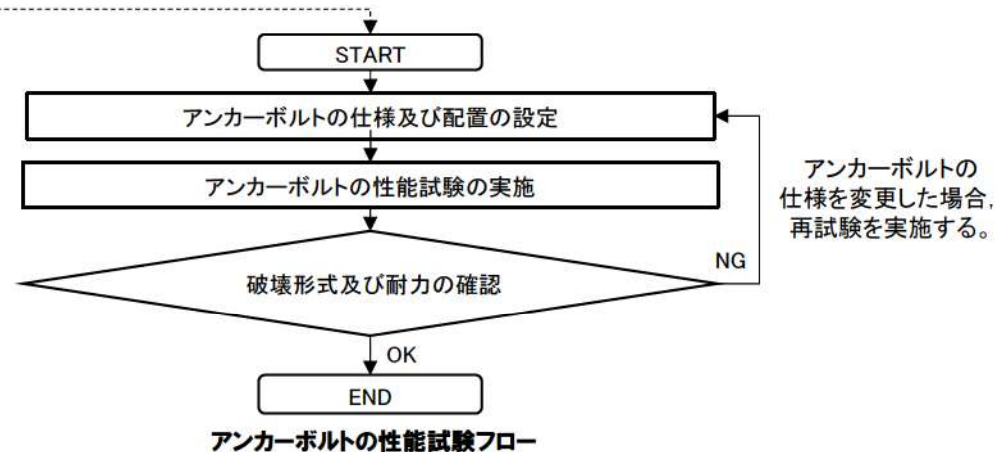
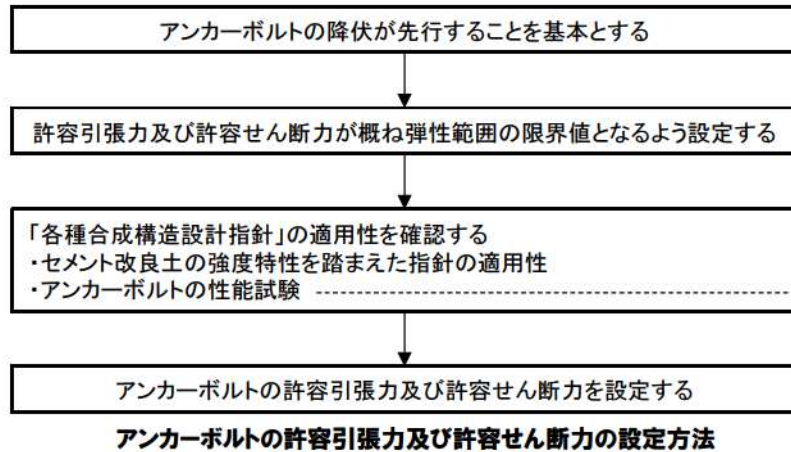
※1: 第1192回審査会合で説明した止水目地構造の変更に伴い、セメント改良土に固定するアンカーボルトの名称は「アンカーボルトB」から「アンカーボルト」に変更した。

3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.2 アンカーボルトの性能試験の方針

- セメント改良土に固定した単体のアンカーボルトの性能試験を実施し、アンカーボルトを固定する構造物の設計基準強度が「各種合成構造設計指針」の適用範囲外であっても指針の耐力算定式を参考に設計することの妥当性を確認する。
- アンカーボルトの許容引張力及び許容せん断力の設定方法、性能試験フローは下図のとおりである。
- アンカーボルトの性能試験は、止水ジョイント及び高強度部のアンカーボルトを対象として実施する(高強度部のアンカー仕様及び配置計画は、補足説明資料1参照)。
- アンカーボルトの設計で参考にする指針は、アンカーボルトの先付け工法を計画していることから、先付け工法の設計に関する記載がある「各種合成構造設計指針」とする*。
- アンカーボルトの性能試験では、確認する破壊形式及び耐力を踏まえて、「各種合成構造設計指針」の耐力算定式を参考に設計することの妥当性を確認する。
- 設計に用いる許容引張力及び許容せん断力が、「各種合成構造設計指針」を参考にアンカーボルトの降伏が先行することを基本とし、アンカーボルトに発生する引張力及びせん断力に対して、概ね弾性範囲の限界値となるよう設定する。

*: その他のアンカーボルトの設計指針には、「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(公益社団法人土木学会, 2014年)」及び「あと施工アンカー施工指針(案)(一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会, 2016年)」がある。



3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.3 アンカーボルトの性能試験の試験方法及び試験条件

- アンカーボルトの性能試験の試験方法は、「あと施工アンカーの施工手引き」及び「あと施工アンカーの試験方法の標準化に関する研究」を参考にし、p7に示すアンカーボルトの仕様でアンカーボルトの引張試験及びせん断試験を実施した。
- 下表の参考値は、セメント改良土の圧縮強度を設計基準強度(6.5N/mm²)と設定して「各種合成構造設計指針」に従い算出すると、引張耐力は83.0kNで破壊形式はアンカーボルトの降伏になり、せん断耐力は40.2kNで破壊形式は支圧破壊になる。
- 試験当日のセメント改良土の圧縮強度を用いて各試験体の耐力を算出したうえで、引張試験の破壊形式がアンカーボルトの降伏であること、せん断試験の破壊形式が支圧破壊であること及び「各種合成構造設計指針」の算定式による耐力以上を有することを確認する。

引張試験	セメント改良土の 圧縮強度 (N/mm ²)	「各種合成構造設計指針」に従い算出した耐力※1			想定される 破壊形式
		アンカーボルト の降伏(kN)	コーン状破壊 (kN)	支圧破壊 (kN)	
参考値	6.5	83.0	131.6	111.8	アンカーボルト の降伏
引張1-1	7.9	83.0	145.1	135.8	
引張1-2	6.4	83.0	130.6	110.1	
引張1-3	6.9	83.0	135.6	118.6	
引張1-4	6.6	83.0	132.6	113.5	
引張1-5	6.7	83.0	133.6	115.2	

せん断試験	セメント改良土の 圧縮強度 (N/mm ²)	「各種合成構造設計指針」に従い算出した耐力※1			想定される 破壊形式
		アンカーボルト の降伏※2(kN)	コーン状破壊 (kN)	支圧破壊 (kN)	
参考値	6.5	194.0	65.7	40.2	支圧破壊
せん断1	5.4	194.0	59.9	36.9	
せん断2	5.4	194.0	59.9	35.8	
せん断3	5.9	194.0	62.6	40.5	

※1:「各種合成構造設計指針」に従い算出した耐力は、セメント改良土の圧縮強度及び弾性係数を用いて算出した。なお、低減係数は、試験の目標耐力であることから1.0とした。

※2:せん断のアンカーボルトの降伏耐力は、第1111回審査会合において、アンカーボルトの鋼材をSS400(規格降伏強度:235N/mm²)と設定しアンカーボルトの降伏耐力を58.1kNとした。今回、せん断試験では、アンカーボルトの鋼材をSS400と設定するとアンカーボルトの降伏耐力(58.1kN)と支圧破壊耐力(40.2kN)の差が小さいため、鋼材をSCM435(規格降伏強度:785N/mm²)としたことから、アンカーボルトの降伏耐力はSCM435の降伏強度に基づき194.0kNとした。なお、実際に使用するアンカーボルトの鋼材は検討中であることから、設置変更許可段階で説明する。

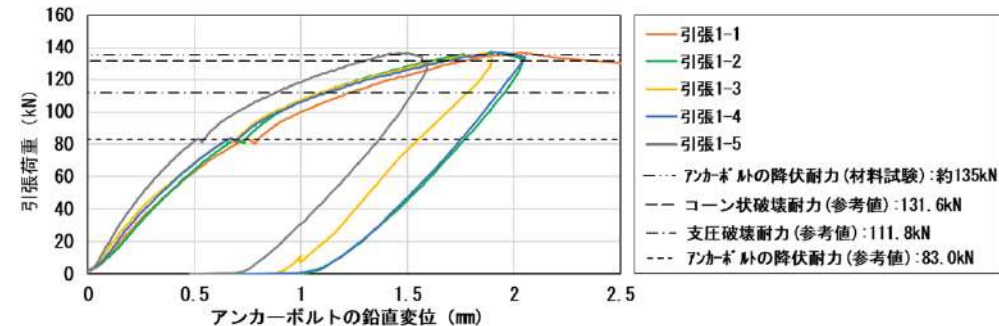
3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.4 引張試験の結果：試験結果の概要と考察

- 引張試験最大荷重は、アンカーボルトの材料試験の降伏荷重約135kN以上となった。
- 引張荷重-アンカーボルトの鉛直変位関係より、アンカーボルトの降伏耐力83kN(規格降伏点強度を踏まえた耐力)を超える約100kNまで概ね直線であったことから、約100kNまでは弾性範囲と判断した。
- 引張荷重が136.5kNに到達するまではコーン状破壊も支圧破壊も生じなかった※1ことから、破壊形式はアンカーボルトの降伏と判断した。
- 以上より、防潮堤のセメント改良土に定着するアンカーボルトの引張に関する設計については「各種合成構造設計指針」の適用性があると判断した。
- なお、引張1-1は、引張試験最大荷重が約135kNに到達した後も載荷を続けたが、荷重が増加することなく変位が大きくなった結果であり、以降の引張1-2～引張1-5は約135kNに到達した後に除荷した結果である。

※1:アンカーボルト周辺のセメント改良土の表面にひび割れを確認したが、ひび割れは深度方向に続いていなかったため、耐力に影響を及ぼす破壊ではないと判断した。

	セメント改良土の 圧縮強度 (N/mm ²)	「各種合成構造設計指針」に従い算出した耐力			引張試験 最大荷重 (kN)
		アンカーボルトの 降伏(kN)	コーン状破壊 (kN)	支圧破壊 (kN)	
参考値	6.5	83.0	131.6	111.8	
引張1-1	7.9	83.0	145.1	135.8	136.6
引張1-2	6.4	83.0	130.6	110.1	137.1
引張1-3	6.9	83.0	135.6	118.6	136.6
引張1-4	6.6	83.0	132.6	113.5	137.0
引張1-5	6.7	83.0	133.6	115.2	136.5



アンカーボルトの鉛直変位と引張荷重の関係※2



引張試験最大荷重載荷時の状況写真※2

※2:アンカーボルトの鉛直変位-引張荷重の関係において外れ値があるが、ばらつきの範囲内と考える。

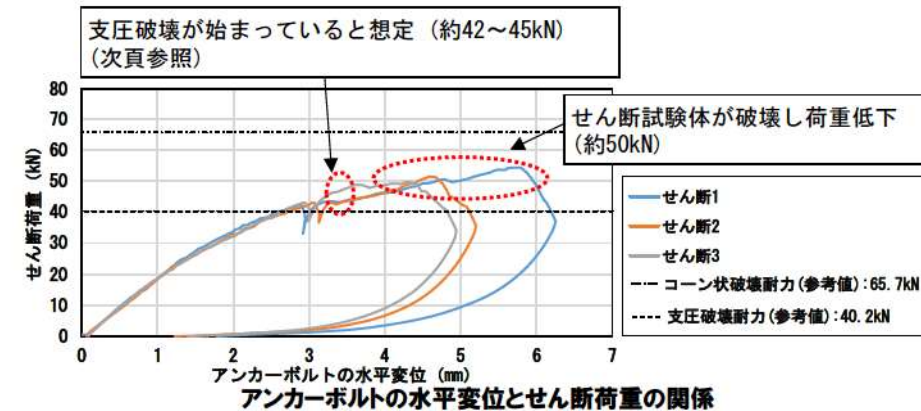
3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.5 せん断試験の結果：試験結果の概要と考察(1/2)

- せん断試験最大荷重は、49.7kN以上となった。
- せん断荷重-アンカーボルトの水平変位関係は、せん断荷重42～45kNまでは概ね直線であったことから、約42～45kNまでは弾性範囲と判断した。
- せん断荷重が約50kNに到達すると、せん断試験体が破壊し荷重が低下し、実構造物では生じない破壊が生じたと考えられる※1。
- 実構造物での破壊形式を確認するためのせん断試験を追加実施したところ、支圧破壊が先行すると想定されたことから、破壊形式は支圧破壊と判断した(次頁参照)。
- 以上より、防潮堤のセメント改良土に定着するアンカーボルトのせん断に関する設計については「各種合成構造設計指針」の適用性があると判断した。

※1:せん断試験で生じた破壊のメカニズムは「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について」で示す。

	セメント改良土の 圧縮強度 (N/mm ²)	「各種合成構造設計指針」に従い算出した耐力			せん断試験 最大荷重 (kN)
		アンカーボルトの 降伏(kN)	コーン状破壊 (kN)	支圧破壊 (kN)	
参考値	6.5	194.0	65.7	40.2	
せん断1	5.4	194.0	59.9	36.9	54.3
せん断2	5.4	194.0	59.9	35.8	51.3
せん断3	5.9	194.0	62.6	40.5	49.7



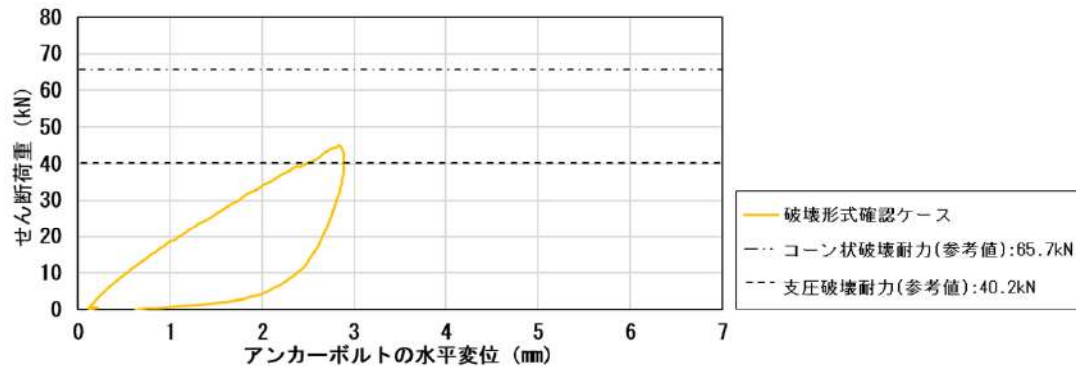
せん断試験最大荷重載荷後の状況写真

3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.5 せん断試験の結果：試験結果の概要と考察(2/2)

- 実構造物の破壊形式を確認するための追加試験を行った。
- 目標荷重は、せん断試験で弾性範囲と判断した約45kNとした。
- 45.0kNまで載荷した後、荷重を除荷し、載荷用治具を取り外して破壊状況を確認した。
- アンカーボルト近傍の状況を観察したところ、セメント改良土の表面がわずかに剥離していたことから、支圧破壊が始まっていることが想定された。
- 上記より、支圧破壊耐力を上回るせん断荷重では、支圧破壊が先行すると判断した。

	セメント改良土の 圧縮強度 (N/mm ²)	「各種合成構造設計指針」に従い算出した耐力			せん断試験 最大荷重 (kN)
		アンカーボルトの 降伏(kN)	コーン状破壊 (kN)	支圧破壊 (kN)	
参考値	6.5	194.0	65.7	40.2	
破壊形式 確認ケース	6.2	194.0	64.1	40.2	45.0



せん断試験最大荷重載荷後の状況写真



せん断試験後の状況写真

3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.6 「各種合成構造設計指針」を参考に設計することの妥当性

- 泊発電所の防潮堤のセメント改良土に固定するアンカーボルトに対して、以下の理由から「各種合成構造設計指針」の耐力算定式を参考に設計することの妥当性を確認した。
 - 性能試験で得られた耐力は「各種合成構造設計指針」の算定式による耐力以上を有すること。
 - 性能試験で得られた破壊形式は「各種合成構造設計指針」から想定される破壊形式と一致していること※1。
- 「各種合成構造設計指針」の適用範囲とアンカーボルトの仕様を比較すると、アンカーボルトの性能試験結果並びに直交方向に配置するアンカーボルトの設計上の配慮を考慮すると、セメント改良土に対して直交方向に配置するアンカーボルトは「各種合成構造設計指針」を参考に設計することの妥当性がある。
- なお、構造成立性評価結果を踏まえたアンカーボルトの裕度確保の観点でアンカーボルトの仕様(埋込み長さ等※2)の変更を行う場合は、設計及び工事計画認可段階において変更した仕様によるアンカーボルトの性能試験を実施する。

※1:コンクリートとセメント改良土の類似性は、「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について」で示す。

※2:アンカーボルトの裕度向上対策及び埋込み長さ配置間隔の考え方は、「添付資料25 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について」で示す。

凡例 ○:適用範囲内若しくは設計の妥当性がある。

△:適用性が不明確

×:適用範囲外

「各種合成構造設計指針」の適用範囲とアンカーボルトの仕様の比較

項目	「各種合成構造設計指針」の適用範囲		止水ジョイントのアンカーボルトの仕様※3	「各種合成構造設計指針」との関係
アンカーボルトを固定する構造物	鉄筋コンクリート又は鉄骨鉄筋コンクリート※4(設計基準強度:18~48N/mm ²)		セメント改良土(設計基準強度:6.5N/mm ²)	○ アンカーボルトの性能試験により設計の妥当性がある
アンカーボルトの仕様	呼び径	9mm以上25mm以下	24mm	○
	頭部の種類	頭付きアンカーボルト、鉄筋アンカーボルト、基礎アンカーボルト(先付け工法)、接着系アンカーボルト(後打ち工法)	頭付きアンカーボルト(先付け工法)	○
	頭部の径	アンカーボルトの呼び径の1.6倍以上	65mm(24mm×1.6≒39mm以上)	○
	埋込み長さ	アンカーボルトの呼び径の4倍以上	200mm(24mm×4=96mm以上)	○
	へりあき	アンカーボルトの呼び径の3倍以上	232mm以上(24mm×3=72mm以上)	○
	配置間隔	アンカーボルトの呼び径の7.5倍以上及び600mm以下	500mm(24mm×7.5=180mm以上及び600mm以下)	○
隣接するアンカーボルトの配置の影響	アンカーボルトを隣接して複数本配置する場合の引張耐力の評価にあたって、コーン状破壊により引張耐力が決まる場合には、群効果を考慮する必要がある。		・アンカーボルトを直交方向に配置すること※5 ・コーン状破壊の群効果を考慮しない配置とすること	○ 設計上の配慮により設計の妥当性がある

※3:アンカーボルトの仕様は、構造成立性評価結果を踏まえ変更する可能性がある。※4:「各種合成構造設計指針」は、無筋コンクリートを試験条件としている論文を参考文献にしていることから、無筋コンクリートに対しても適用性はあると考えられる。※5:アンカーボルト(高強度部)は同一方向に固定されており、「各種合成構造設計指針」の適用範囲内である。

3. アンカーボルトの性能試験(審査会合における指摘事項に対する回答を含む)

3.7 許容引張力及び許容せん断力の設定方針

- アンカーボルトの許容引張力及び許容せん断力は、「各種合成構造設計指針」を参考に各破壊形式の耐力に低減係数を乗じたもののうち最小値を設定する。
 - 許容引張力は、アンカーボルトの降伏の83.0kNとする。
 - 許容せん断力は、支圧破壊の26.8kNとする。
- また、アンカーボルトの性能試験の結果から、「各種合成構造設計指針」を参考に設定する許容限界を下回る荷重において、アンカーボルトは概ね弾性的な挙動を示すことが確認された。
- アンカーボルト及びセメント改良土に要求される止水機能は、「各種合成構造設計指針」を参考にして概ね弾性範囲内になるよう許容引張力及び許容せん断力を設定し、アンカーボルトに発生する引張力及びせん断力が許容引張力及び許容せん断力を満足するように設計することで確保する。

引張の耐力及び許容引張力

	アンカーボルトの降伏(kN)	コーン状破壊(kN)	支圧破壊(kN)
耐力※1	83.0	131.6	111.8
低減係数	1.0	2/3	—※2
許容引張力	83.0	87.7	111.8※2

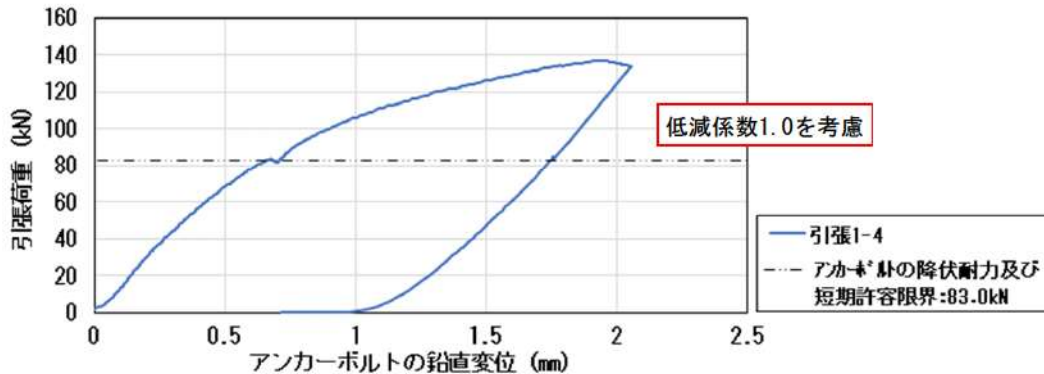
せん断の耐力及び許容せん断力

	アンカーボルトの降伏(kN)	コーン状破壊(kN)	支圧破壊(kN)
耐力※1	58.1	65.7	40.2
低減係数	1.0	2/3	2/3
許容せん断力	58.1	43.8	26.8

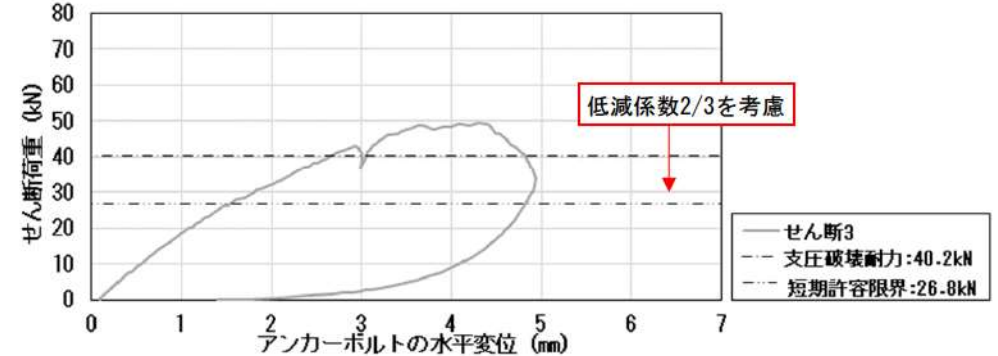
※1: 耐力は、セメント改良土の解析用物性値に基づき、圧縮強度を6.5N/mm²、弾性係数を8,000N/mm²と設定し、低減係数は1.0として算出した。

※2: 「各種合成構造設計指針」にて、下式の頭付きアンカーボルトの許容引張力時の頭部支圧応力度の算定式が記載されており、低減係数の記載がないため“—”とした。

$p_a/A_0 \leq f_n$ ここで、 p_a : 支圧破壊の耐力、 $A_0 = \pi(D^2 - d^2)/4$: アンカーボルト頭部の支圧面積 (D : 頭部の直径、 d : 軸部の直径)、 f_n : コンクリートの支圧強度である。



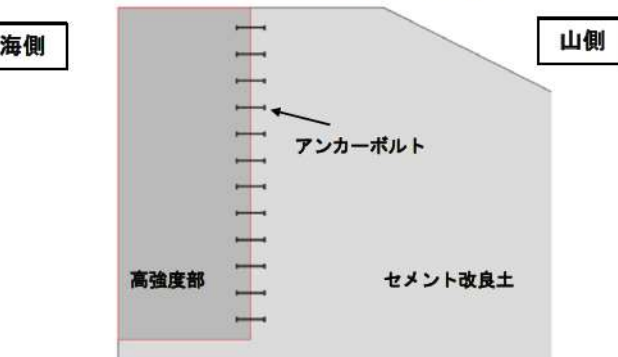
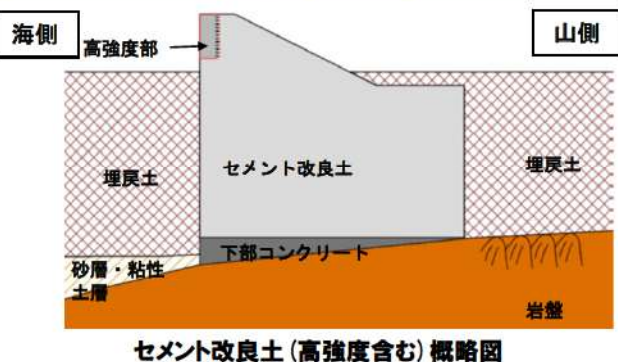
引張試験結果(引張1-4)



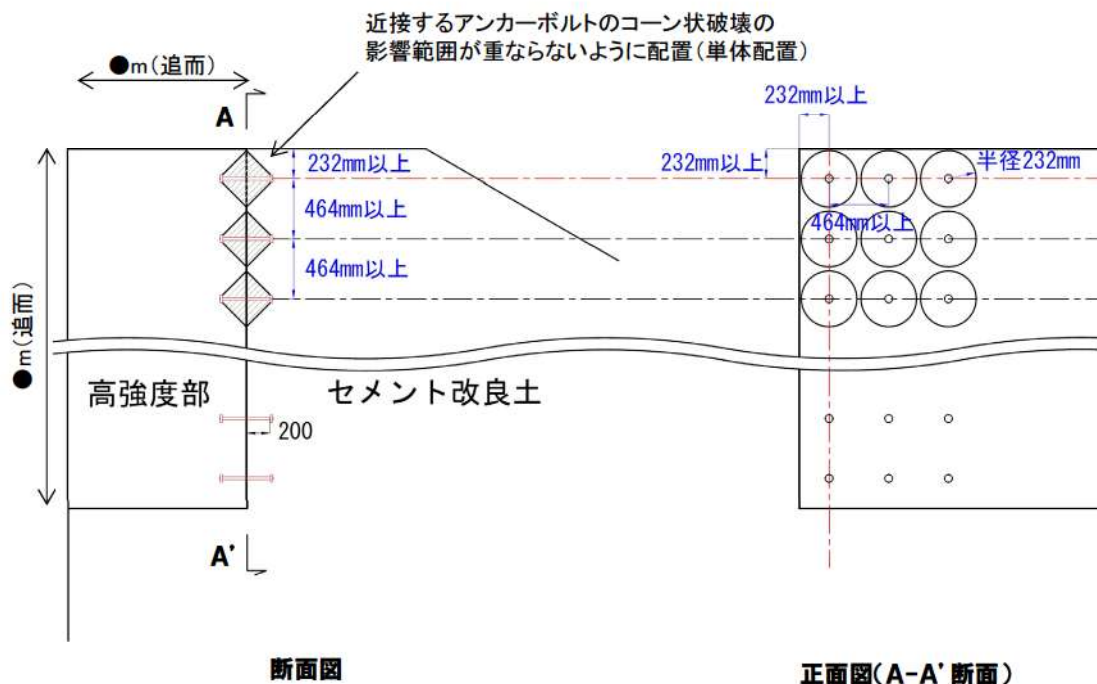
せん断試験結果(せん断3)

補足説明資料1 高強度部のアンカーボルトの仕様及び配置計画

- 漂流物対策工としての高強度部は、アンカーボルトを用いてセメント改良土と一体化させる構造である。
- 高強度部に用いるアンカーボルトは、第1111回審査会合で説明したアンカーボルト性能試験で用いるアンカーボルトと同じ仕様を計画している。
- アンカーボルト性能試験ではアンカーボルトの引張耐力及びせん断耐力を確認し、セメント改良土に固定するアンカーボルトは「各種合成構造設計指針」を参考に設計することの妥当性を確認する。
- 高強度部のアンカーボルトは、止水ジョイントに用いるアンカーボルトと同じ仕様で単体配置かつ先付け工法による施工を計画していることから、「各種合成構造設計指針」を参考にした評価を行い、構造成立性があることを説明する。



(第1111回審査会合資料1-2-1-p115再掲)



アンカーボルト配置計画図*

*:アンカーボルトの仕様及び高強度部の詳細は現在検討中であり、設置変更許可段階において構造成立性評価結果を説明する。

アンカーボルトの仕様及び配置計画

項目		仕様
仕様	呼び径	24mm
	頭部の種類	頭付きアンカーボルト
	頭部の径	65mm
	埋込み長さ	200mm
配置	配置間隔	464mm以上
	へりあき	232mm以上