

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-011-07改01
提出年月日	2023年3月24日

VI-2-10-2-3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の
耐震性についての計算書

2023年3月

中国電力株式会社

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	6
2.4	適用規格・基準等	11
3.	評価対象断面	12
4.	耐震評価	25
4.1	2次元有限要素法	25
4.1.1	解析方法	25
4.1.2	荷重及び荷重の組合せ	27
4.1.3	入力地震動	27
4.1.4	解析モデル及び諸元	27
4.1.5	評価対象部位	29
4.1.6	許容限界	30
4.1.7	評価方法	34
4.2.	3次元構造解析	37
4.2.1	解析方法	37
4.2.2	荷重及び荷重の組合せ	37
4.2.3	解析モデル及び諸元	37
4.2.4	評価対象部位	41
4.2.5	許容限界	41
4.2.6	評価方法	41
5.	耐震評価結果	42
5.1	鋼管杭	42
5.1.1	曲げ照査	42
5.1.2	せん断照査	46
5.1.3	引張照査	49
5.2	被覆コンクリート壁	50
5.2.1	曲げ照査	53
5.2.2	せん断照査	58
5.3	改良地盤	61
5.3.1	改良地盤④	61
5.3.2	改良地盤の局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について	62

5.4	止水目地	64
5.5	基礎地盤	65
5.6	施設護岸等の損傷による不確かさの検討	66
5.6.1	概要	66
5.6.2	評価方針	67
5.6.3	地震応答解析モデル	68
5.6.4	評価結果	70
6.	漂流物対策工	80
6.1	概要	80
6.2	基本方針	81
6.2.1	位置	81
6.2.2	構造概要	83
6.2.3	評価方針	87
6.2.4	記号の説明	89
6.3	評価対象部位	90
6.4	耐震評価	91
6.4.1	評価対象構造区分	91
6.4.2	荷重及び荷重の組合せ	93
6.4.3	許容限界	96
6.4.4	評価方法	98
6.4.6	評価結果	99

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析又は3次元構造解析に基づく施設・地盤の健全性評価、施設の変形性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、基礎地盤に発生した接地圧を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図を図 2-1 に示す。

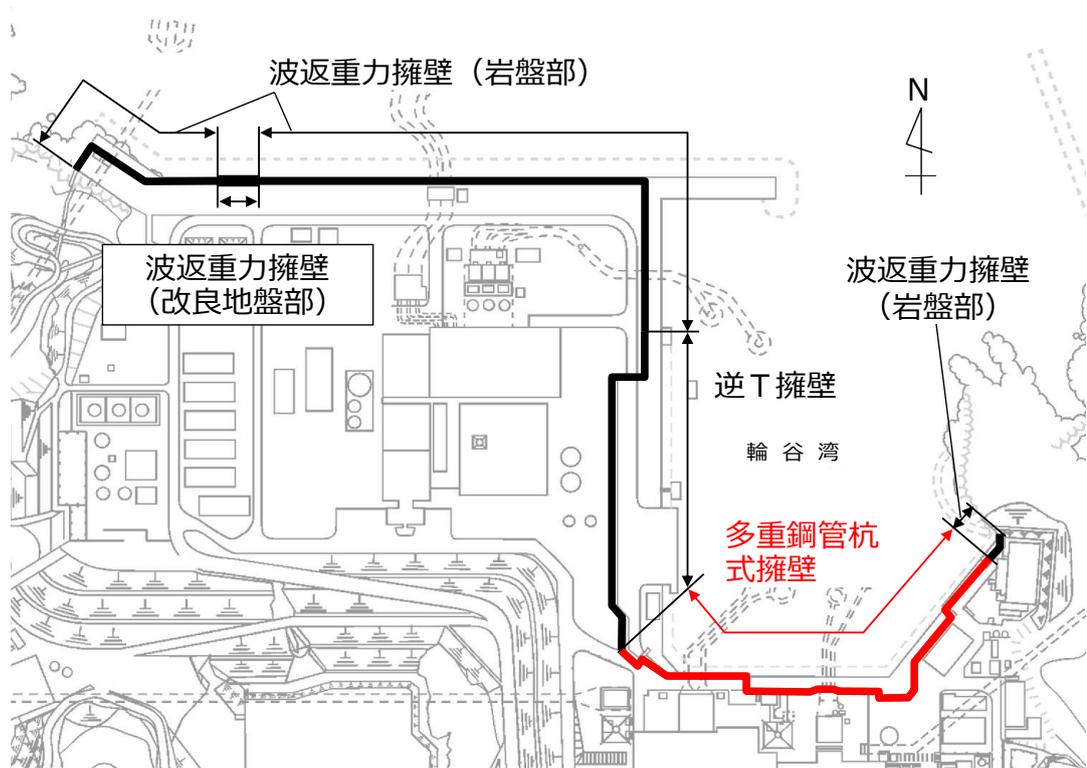


図 2-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図

2.2 構造概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図を図 2-2 に、構造図を図 2-3 に、止水目地の概念図及び配置位置図を図 2-4 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、入力津波高さ（EL 11.9m）に対して余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、岩盤に支持される鋼管を多重化して鋼管内をコンクリート又はモルタルで充填した多重鋼管による杭基礎構造と、鋼管及び鉄筋コンクリート造の被覆コンクリート壁による上部構造から構成される。被覆コンクリート壁の海側に、鉄筋コンクリート版により構成された漂流物対策工を設置し、被覆コンクリート壁の陸側の境界部には、試験等により止水性を確認した止水目地を設置するとともに、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背後に地盤改良を実施する。

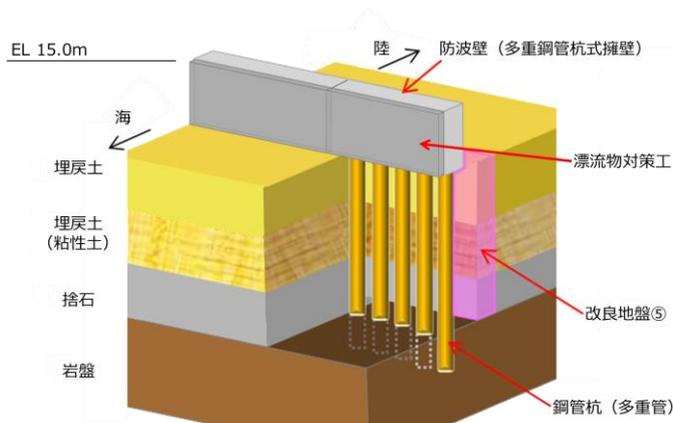
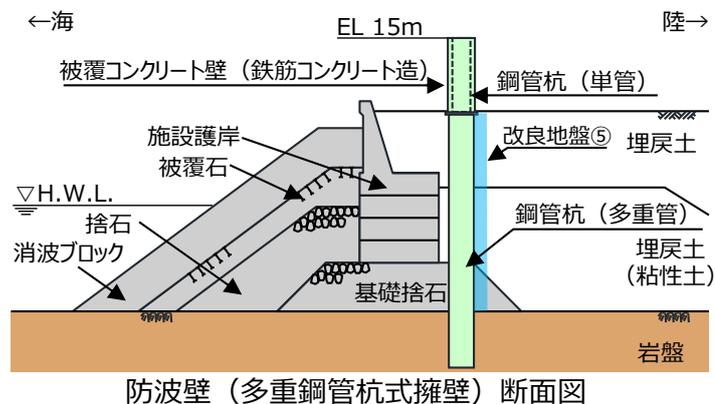


図 2-2(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図(鳥瞰図)



防波壁（多重鋼管杭式擁壁）断面図

図 2-2(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図(断面図)

【鋼管杭の構成（鋼管杭の板厚はすべて 25 mm）】
 単管 : φ 1600 mm
 4重管 : φ 1600 mm, φ 1800 mm, φ 2000 mm, φ 2200 mm

(単位 : mm)

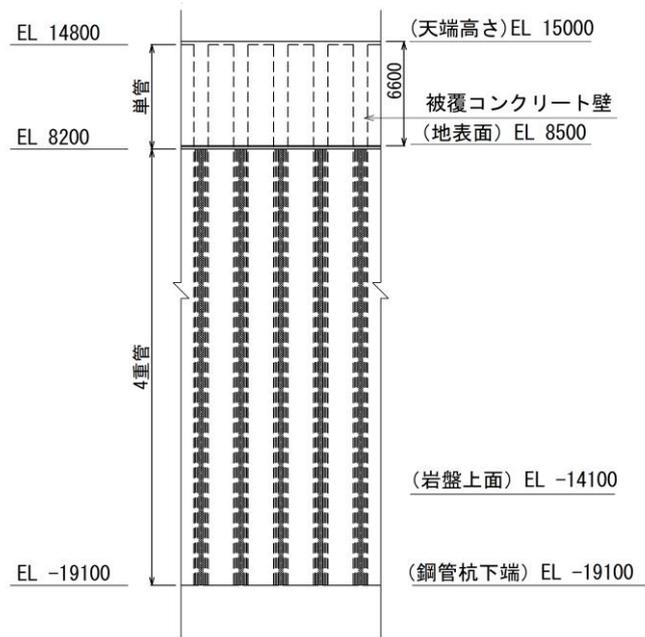


図 2-3(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（正面図）

(単位 : mm)

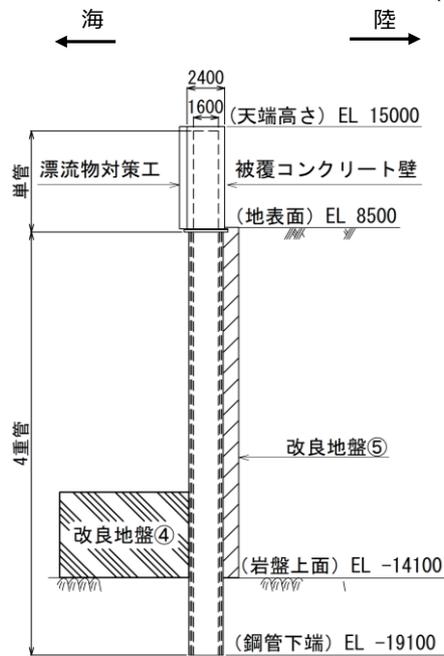


図 2-3(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（断面図）

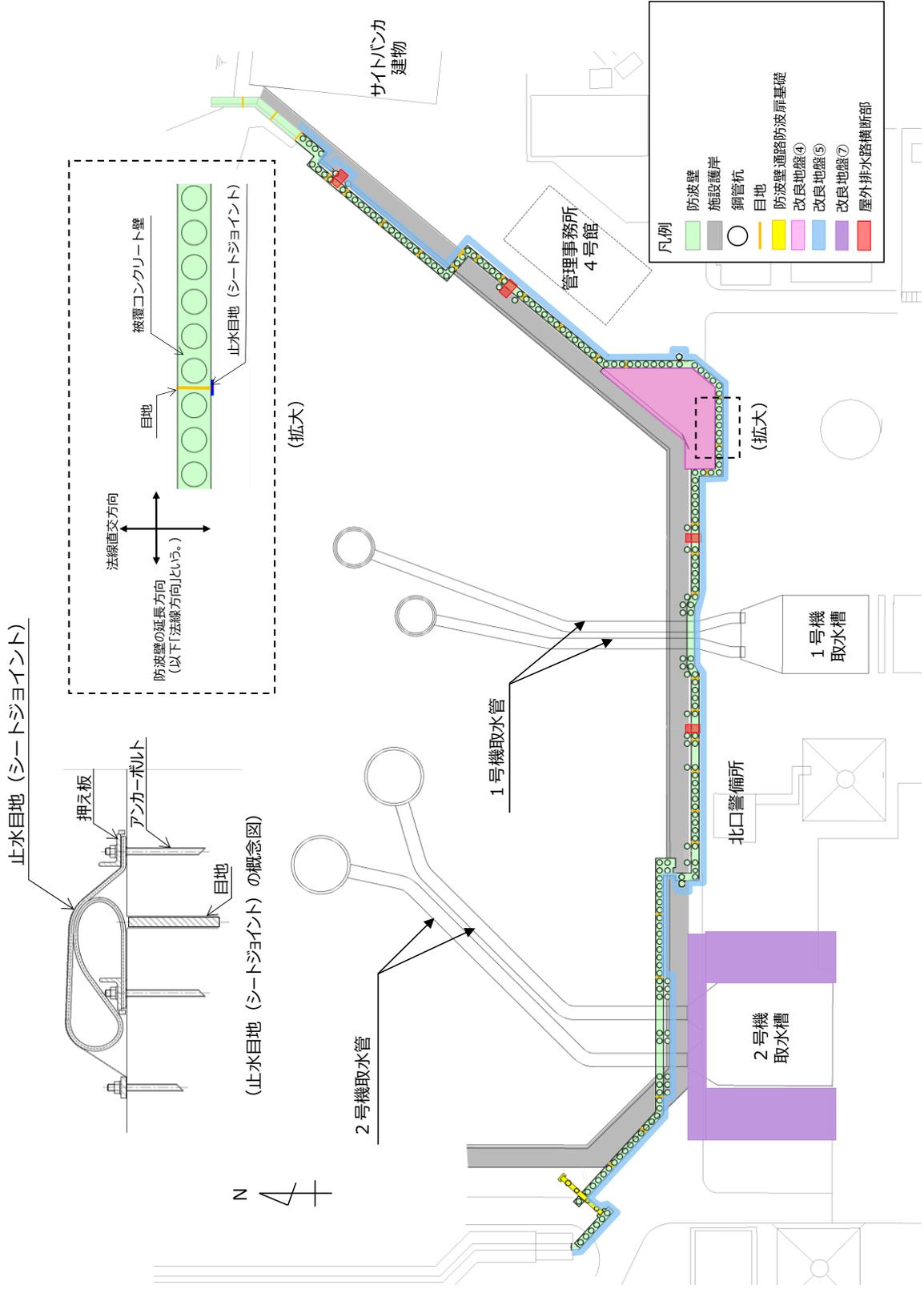


図 2-4 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の止水目地の概念図及び配置位置

2.3 評価方針

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割及び性能目標を表2-1及び表2-2に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価は、地震応答解析及び3次元構造解析の結果に基づき、設計基準対象施設として、表2-3に示すとおり、施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力度、すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

施設の変形性評価については、止水目地の変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価フローを図2-5に示す。

表 2-1 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。
	被覆コンクリート壁	・止水目地及び漂流物対策工を支持する。	・止水目地及び漂流物対策工を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変形に追従する。	・被覆コンクリート壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版)	・役割に期待しない(解析モデルに重量として考慮し、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)への影響を考慮する)。	・漂流物衝突荷重を分散して防波壁(多重鋼管杭式擁壁)に伝達する。 ・漂流物衝突荷重による防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の局所的な損傷を防止する。
地盤	改良地盤④	・鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持する。
	改良地盤⑤	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)への相互作用を考慮する)。	・難透水性を保持する。
	改良地盤⑦	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)への相互作用を考慮する)。	・役割に期待しない。(解析モデルに反映し、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)への相互作用を考慮する)
	岩盤*	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。
	埋戻土, 埋戻土(粘性土), 砂礫層	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)への相互作用を考慮する)。	・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸, 基礎捨石, 捨石, 被覆石	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)への波及的影響を考慮する)。	・役割に期待しない。(解析モデルに反映し、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)への相互作用を考慮する)
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	グラウト材(埋戻土部 と鋼管杭間に充填)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。

注記* : 岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは、岩盤とみなす。

表 2-2 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の各部位の性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (透水性、難透水性)
施設	鋼管杭	—	—	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまること。
	被覆コンクリート壁			構造部材の健全性を保持するために、被覆コンクリート壁がおおむね弾性状態にとどまること。	止水目地の支持機能を喪失して被覆コンクリート壁間から優位な漏えいを生じないために、被覆コンクリート壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
	漂流物対策工(鉄筋コンクリート版)			—	—
地盤	改良地盤④	—	—	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと。(内部安定を保持)	地盤中からの回り込みによる流入を防止(難透水性を保持)するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	改良地盤⑤	—	—	—	地盤中からの回り込みによる流入を防止(難透水性を保持)するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	岩盤*	鋼管杭を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	—	—

注記* : 岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは、岩盤とみなす。

表 2-3 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	鋼管杭	発生する応力(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント(曲げ・軸力)及びせん断応力度(せん断力)
		被覆コンクリート壁	発生する応力(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工(鉄筋コンクリート版)	発生する応力(アンカーボルトの引張力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤④	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認 ^{*3}	極限支持力度 ^{*1}
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	鋼管杭	発生する応力(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント(曲げ・軸力)及びせん断応力度(せん断力)
		被覆コンクリート壁	発生する応力(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤④	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認 ^{*2}	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤⑤		
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*
	施設の変形性	止水目地	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記* 1 : 妥当な安全余裕を考慮する。

注記* 2 : 改良地盤⑤は、地震時に役割を期待しない方針としているが、津波時に期待する役割として、難透水性を保持する必要があることから、健全性評価を実施する。

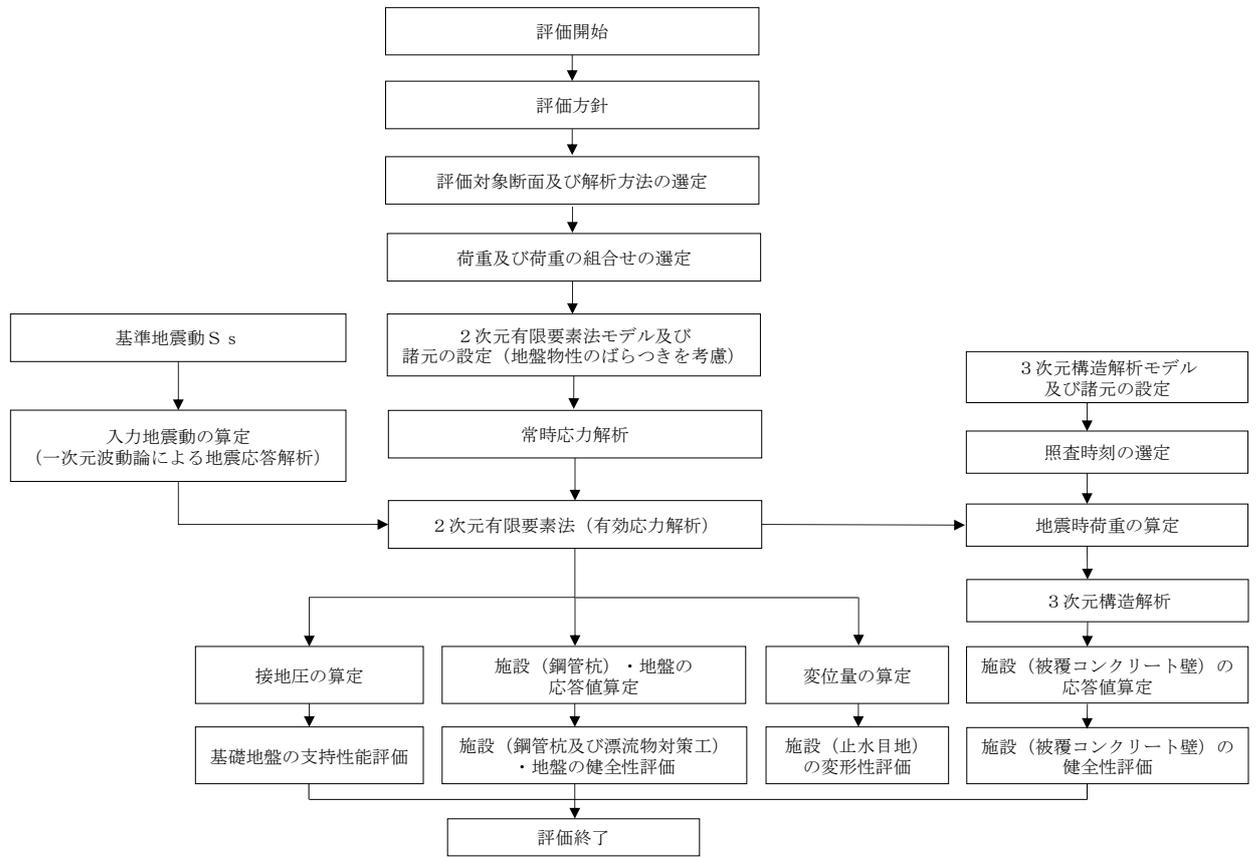


図 2-5 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原管地発第1306196号）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）
- ・港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）
- ・建築基準法・同施行令

3. 評価対象断面

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象断面は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象断面位置図を図 3-1 に、縦断面図を図 3-2 に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各区分における横断面図を図 3-3～図 3-8 に示す。以下の理由から、②-②断面、③-③断面、④-④断面、及び⑦-⑦断面を評価対象断面として選定する。

- ・②-②断面は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が施設護岸の背面に設置されている断面のうち、岩盤上面深さが最も深く、改良地盤④が設置されていることから評価対象断面に選定した。
- ・③-③断面は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が施設護岸の前面に設置されている断面のうち、岩盤上面の深さが最も深いことから、選定した。
- ・④-④断面は、取水管を横断するため、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）のブロック長が最長となり、杭間隔が広いことから、選定した。
- ・⑦-⑦断面は②-②断面に直交する縦断方向の断面である。②-②断面位置における縦断方向の止水目地の変形量を求めるため、変形性評価の評価対象断面に選定した。

評価対象断面における構造図を図 3-9～図 3-12 に、被覆コンクリート壁の概略配筋図を図 3-13～図 3-15 に示す

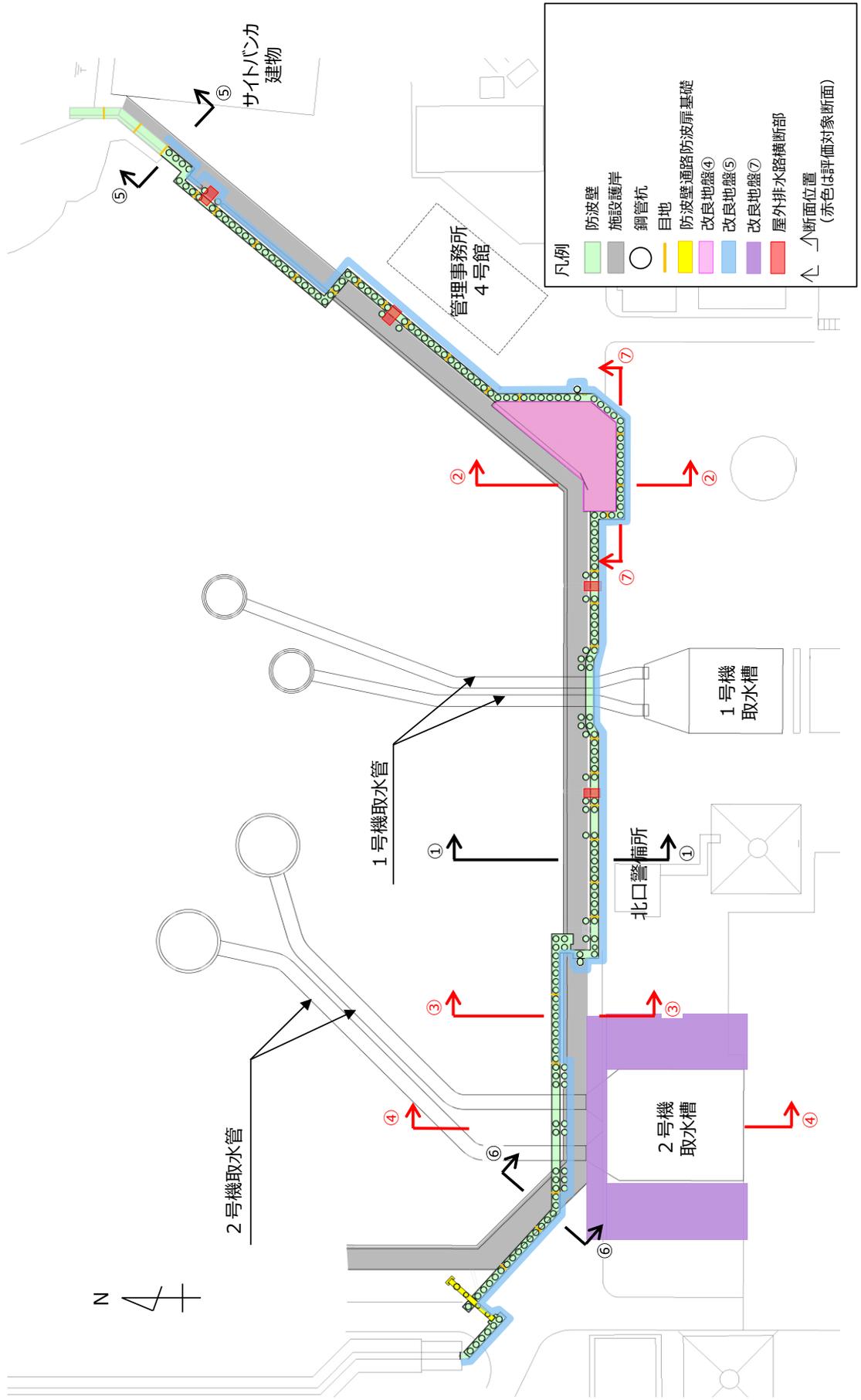


図 3-1 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の評価対象断面位置図

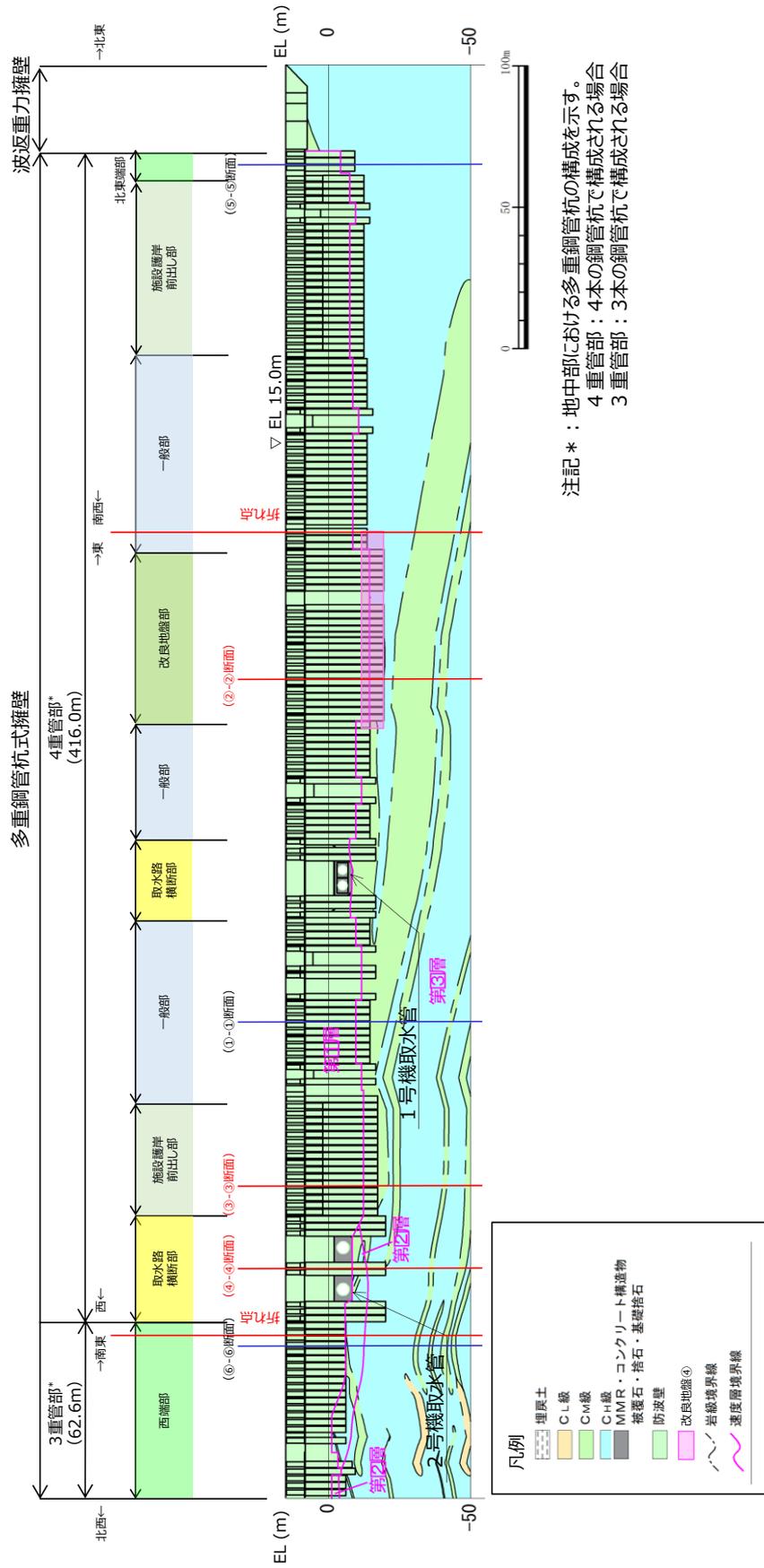


図 3-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断面図

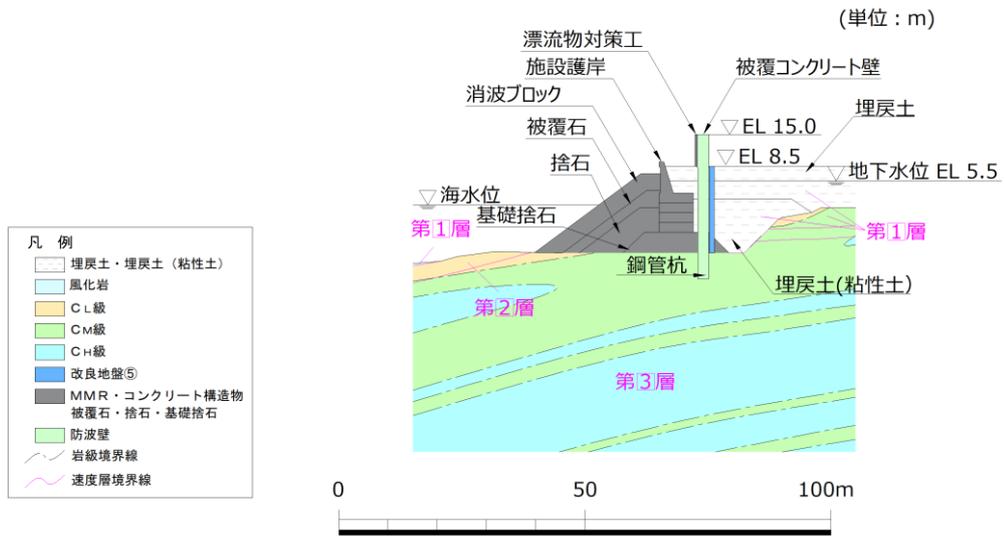


図 3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（①-①断面）

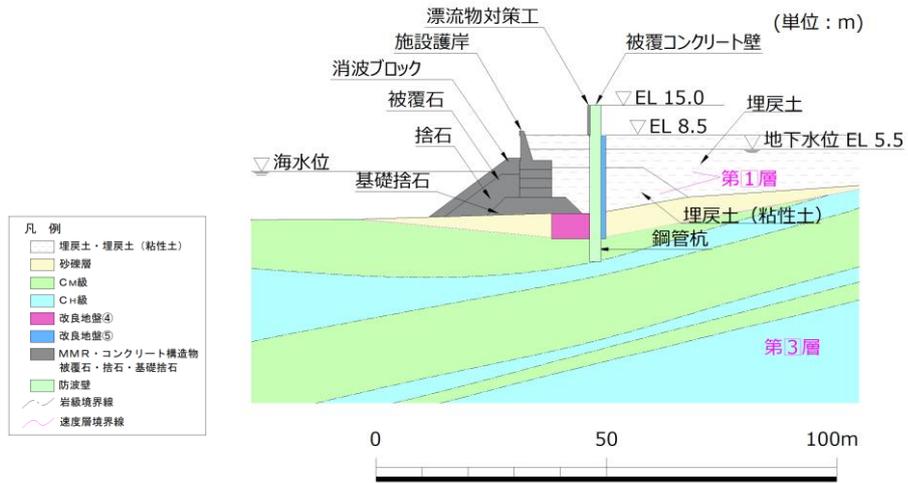


図 3-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（②-②断面）

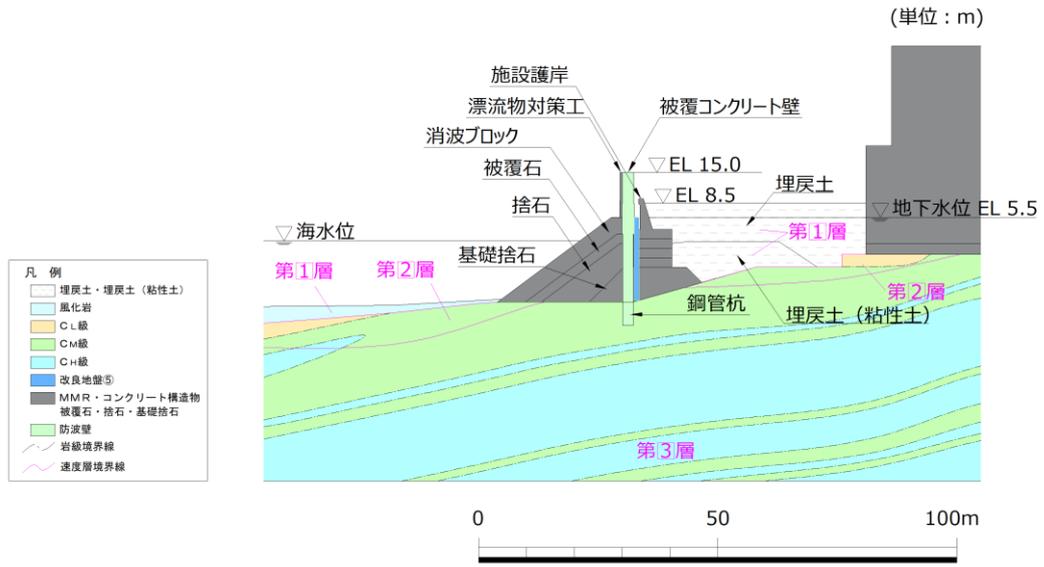


図 3-5 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断面図 (③-③断面)

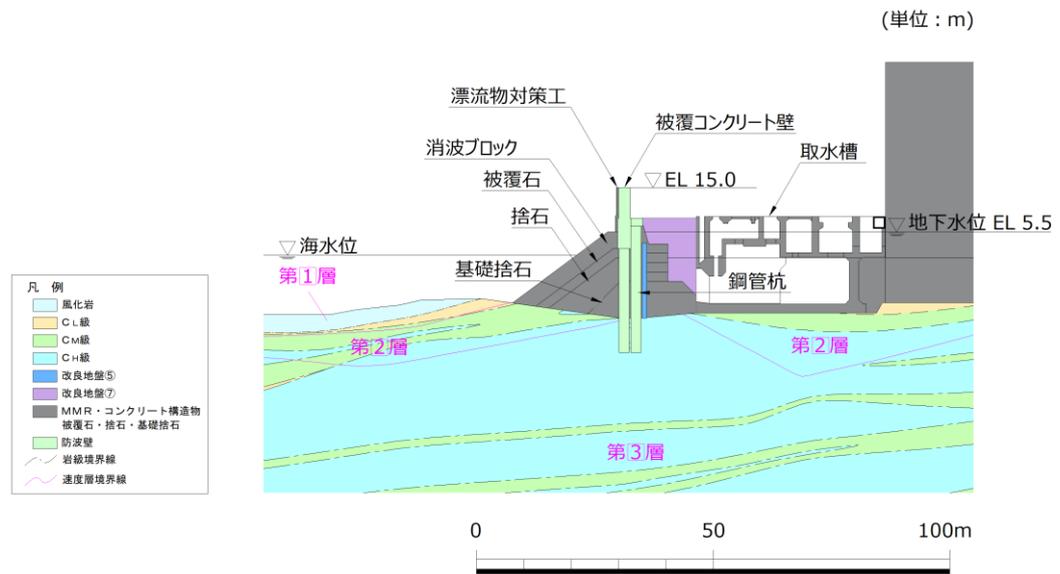


図 3-6 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断面図 (④-④断面)

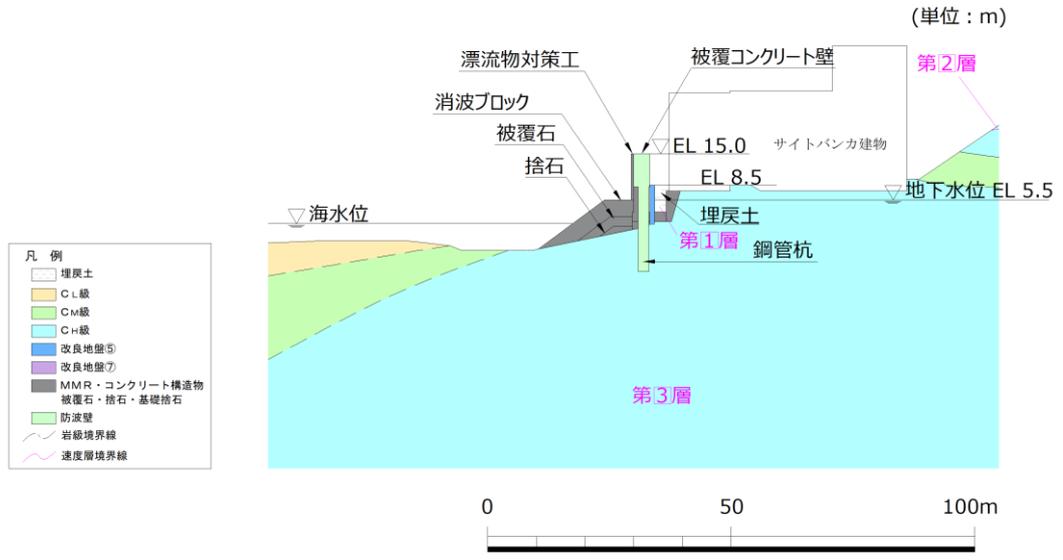


図 3-7 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（⑤-⑤断面）

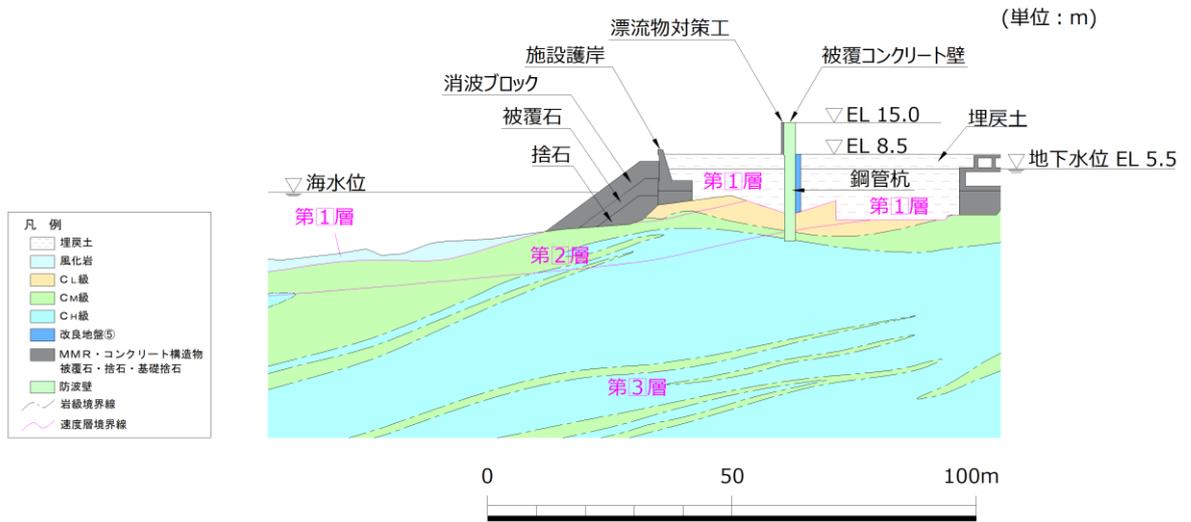


図 3-8 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（⑥-⑥断面）

【鋼管杭の構成（鋼管杭の板厚はすべて 25 mm）】

単管 : $\phi 1600$ mm

4重管 : $\phi 1600$ mm, $\phi 1800$ mm, $\phi 2000$ mm, $\phi 2200$ mm

(単位 : mm)

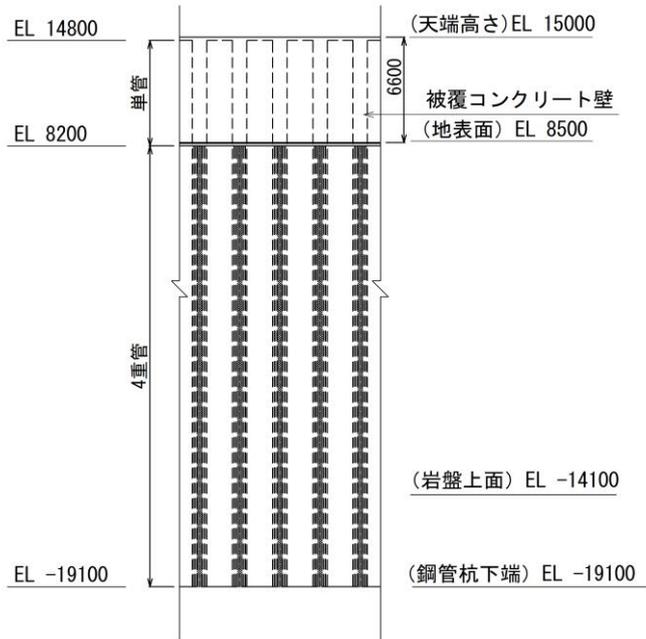


図 3-9(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（②-②断面）（正面図）

(単位 : mm)

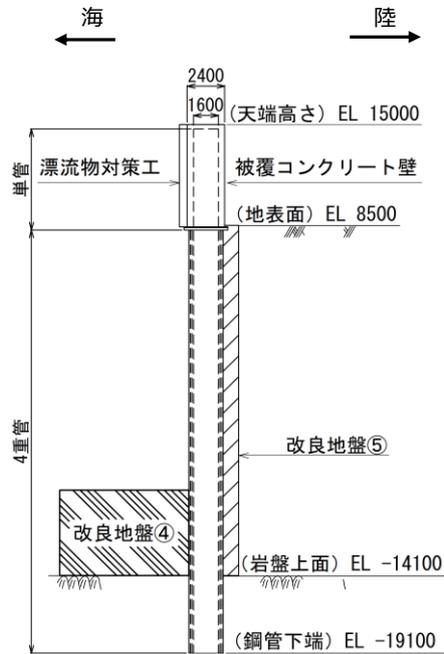


図 3-9(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（②-②断面）（断面図）

【鋼管杭の構成（鋼管杭の板厚はすべて 25 mm）】
 単管 : φ 1600 mm
 3重管 : φ 1600 mm, φ 1800 mm, φ 2000 mm
 4重管 : φ 1600 mm, φ 1800 mm, φ 2000 mm, φ 2200 mm

(単位 : mm)

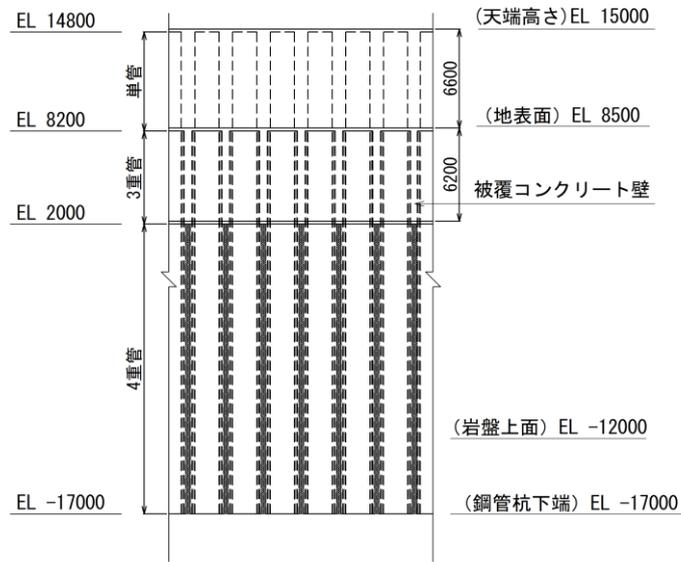


図 3-10(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（③-③断面）（正面図）

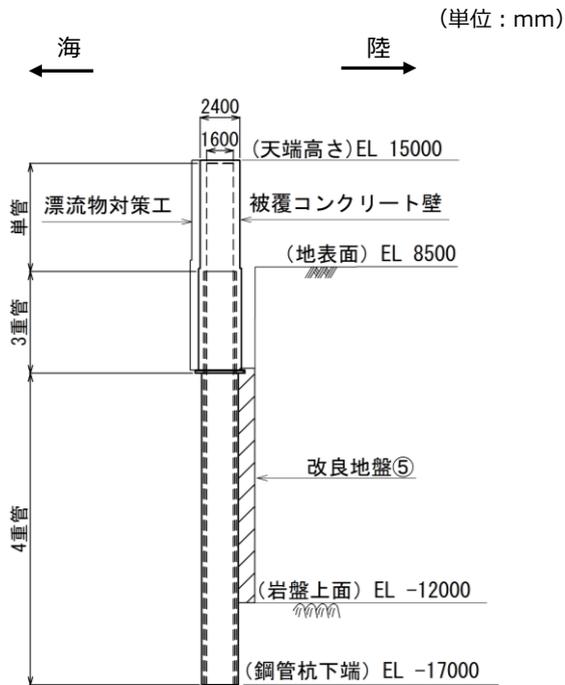


図 3-10(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（③-③断面）（断面図）

【鋼管杭の構成（鋼管杭の板厚はすべて 25 mm）】	
単管	: φ 1600 mm
2重管	: φ 1600 mm, φ 1800 mm
3重管	: φ 1600 mm, φ 1800 mm, φ 2000 mm
4重管	: φ 1600 mm, φ 1800 mm, φ 2000 mm, φ 2200 mm

(単位 : mm)

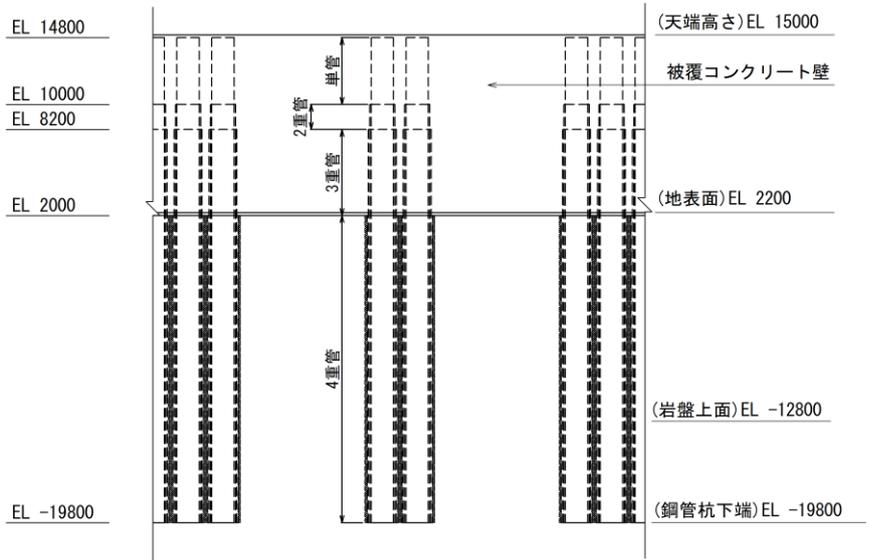


図 3-11(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，海側）（正面図）

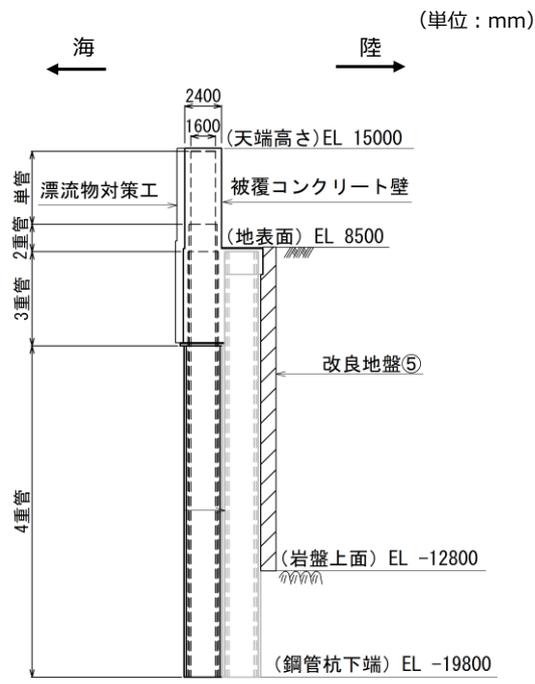


図 3-11(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，海側）（断面図）

【鋼管杭の構成（鋼管杭の板厚はすべて 25 mm）】
4重管：φ 1600 mm，φ 1800 mm，φ 2000 mm，φ 2200 mm

（単位：mm）

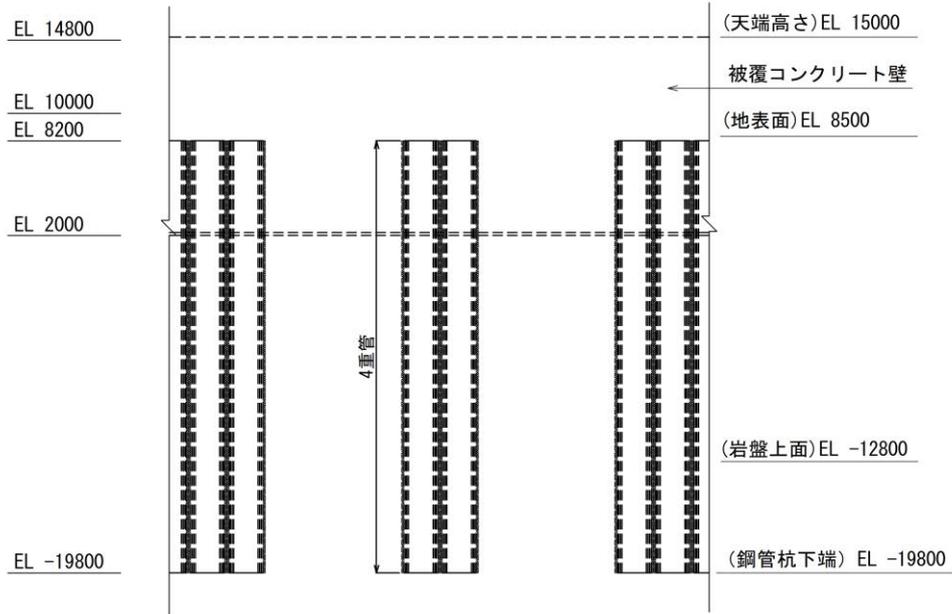


図 3-12(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，陸側）（正面図）

（単位：mm）

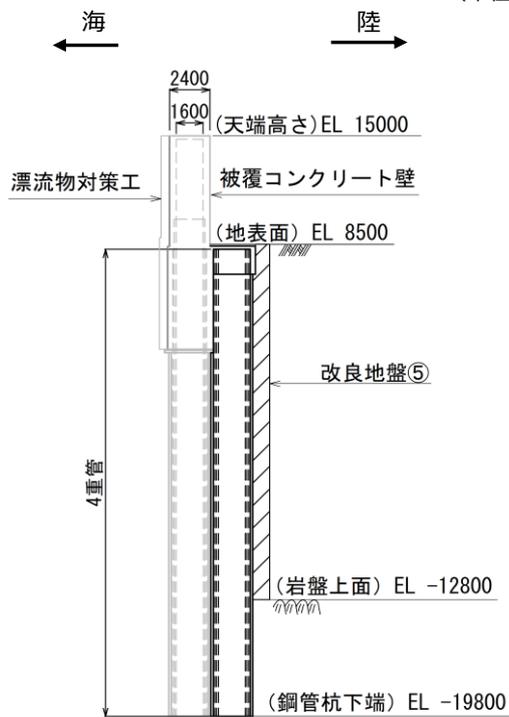


図 3-12(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，陸側）（断面図）

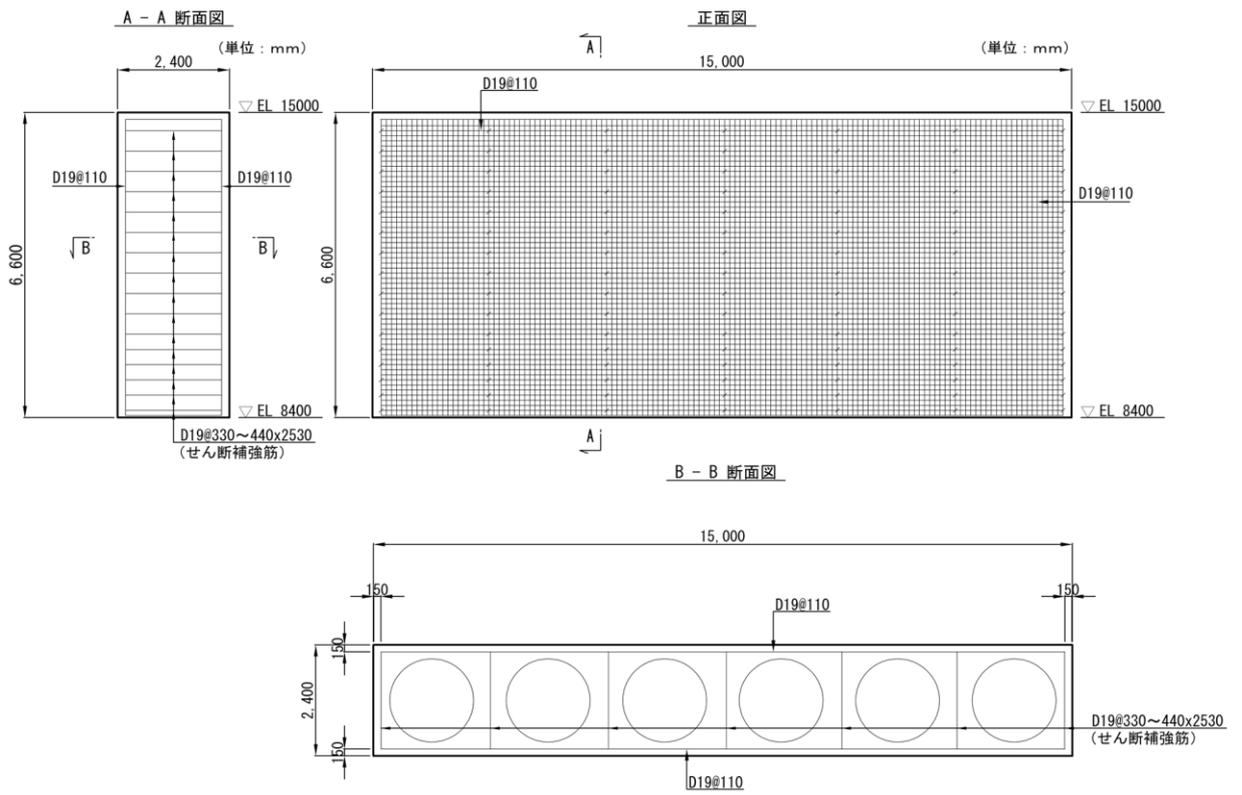


図 3-13 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の被覆コンクリート壁の概略配筋図 (②-②断面)

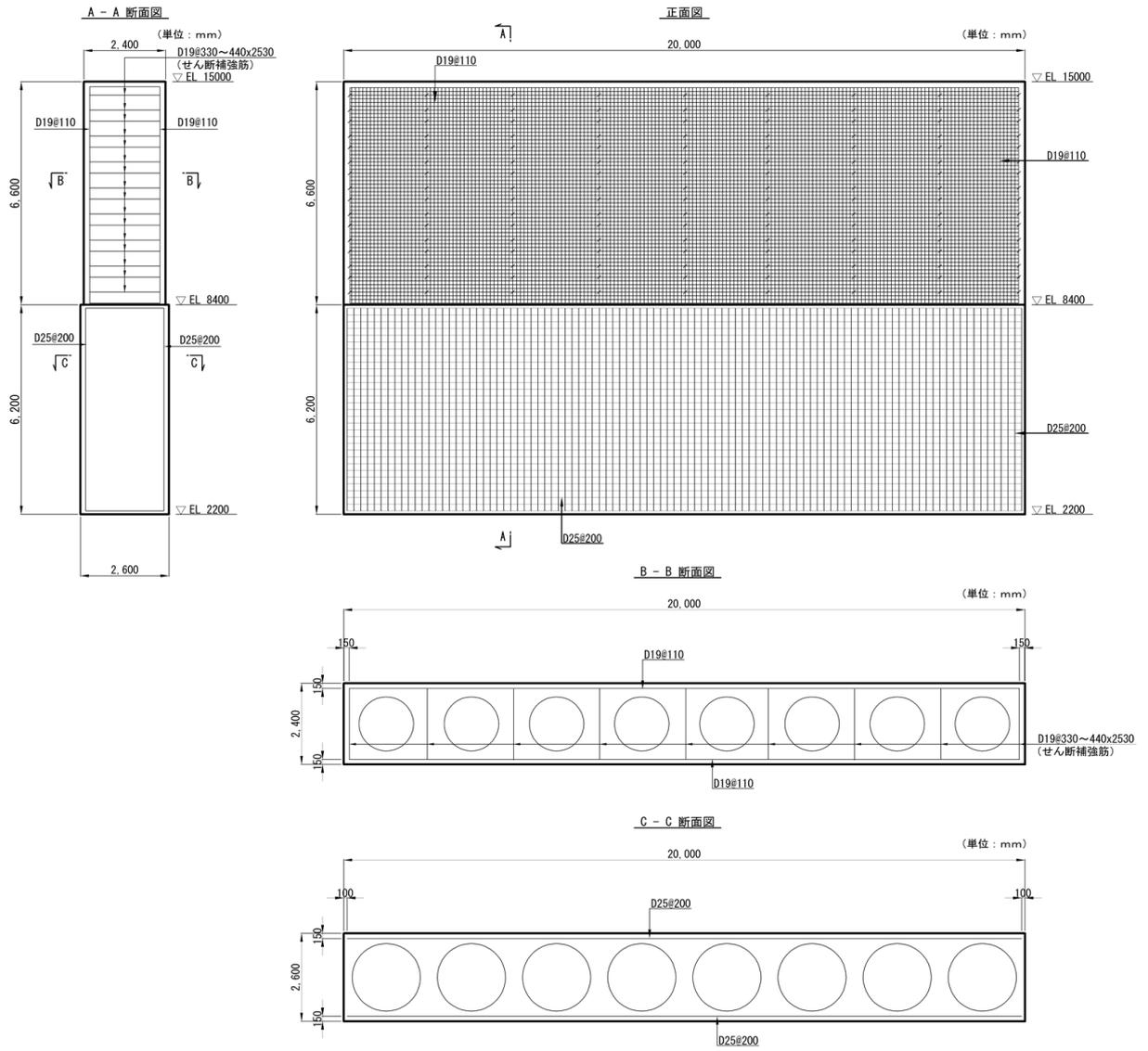


図 3-14 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の被覆コンクリート壁の概略配筋図（③-③断面）

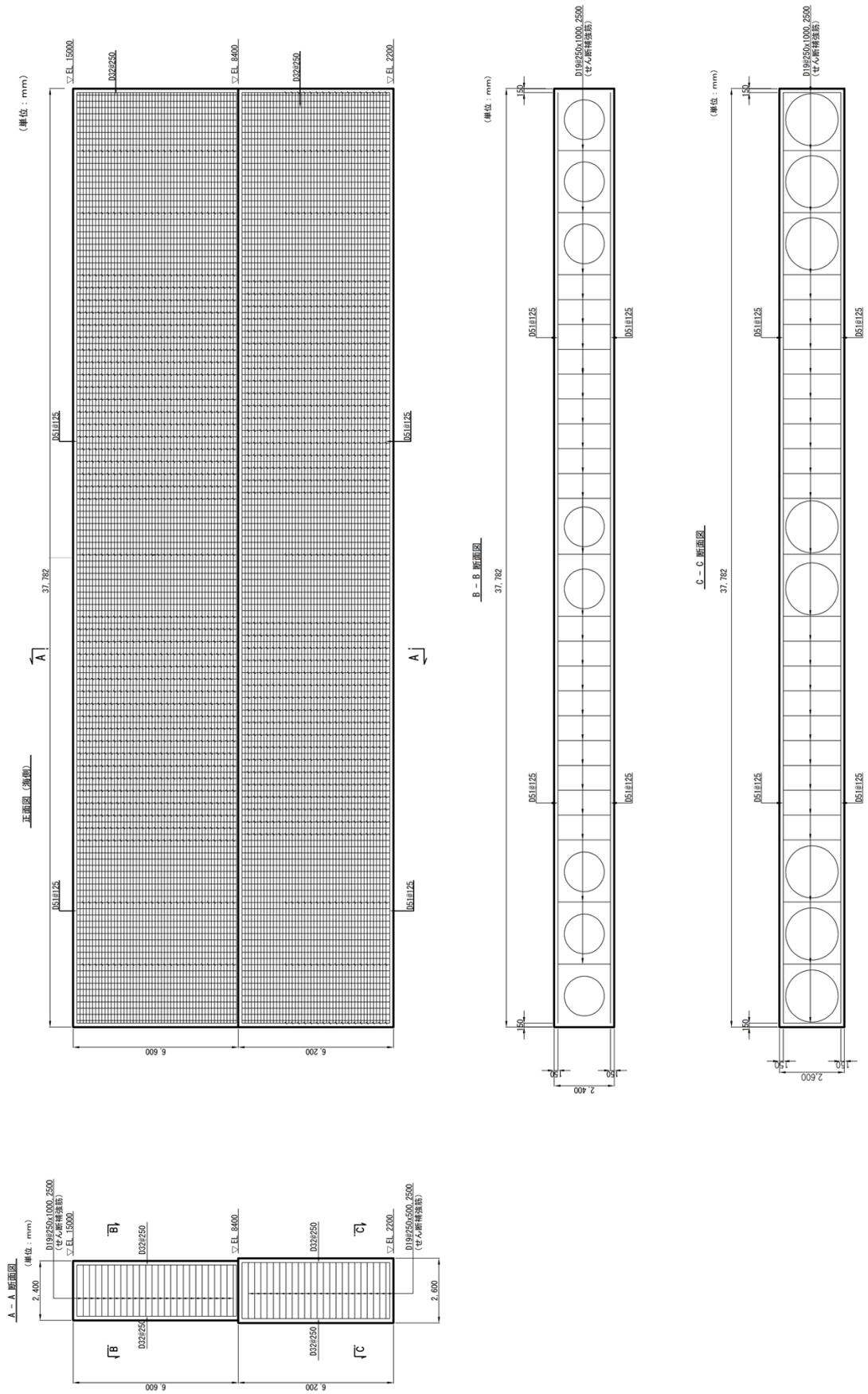


図 3-15 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の被覆コンクリート壁の概略配筋図 (④-④断面)

4. 耐震評価

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位のうち，鋼管杭及び改良地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価，並びに止水目地の変形性評価については2次元有限要素法（有効応力解析）による耐震評価を行い，被覆コンクリート壁については，3次元構造解析により健全性評価を行う。

4.1 2次元有限要素法

4.1.1 解析方法

解析方法はVI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」と同様とする。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時の応答は，周辺地盤との相互作用によることから，地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては，表4-1に示す解析ケースにおいて考慮する。

図3-2～図3-8に示すとおり，動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており，これらの地盤のせん断変形が地震時に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち，広範囲に分布しており，応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

表4-1 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。すべての基準地震動 S_s に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②及び③を実施する。

また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）と施設護岸等の位置関係を踏まえ、施設護岸等が防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる②-②断面及び③-③断面については、ケース①～③のうち照査値が最も厳しくなるケースで、施設護岸等の損傷を考慮した解析ケース④を実施する。

耐震評価における解析ケースを表 4-2 に示す。

表 4-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース	ケース	ケース	ケース
		①	②	③	④
基本ケース			地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	施設護岸等の損傷を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ	
地震動 (位相)	$S_s - D$	(++) *	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース①（基本ケース）を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②及び③を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。	防波壁と施設護岸等の位置関係を踏まえ、施設護岸等が防波壁の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる②-②断面及び③-③断面において、ケース①～③のうち照査値が最も厳しくなるケースで実施する。
		(-+) *	○		
		(+-) *	○		
		(--) *	○		
	$S_s - F 1$	(++) *	○		
	$S_s - F 2$	(++) *	○		
	$S_s - N 1$	(++) *	○		
		(-+) *	○		
	$S_s - N 2$ (NS)	(++) *	○		
		(-+) *	○		
$S_s - N 2$ (EW)	(++) *	○			
	(-+) *	○			

注記*：地震動の位相について、(++) の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、

「-」は位相を反転させたケースを示す。

4.1.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した荷重を考慮する。

4.1.3 入力地震動

地震応答解析には、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した入力地震動を用いる。

4.1.4 解析モデル及び諸元

使用材料及び材料の物性値並びに地下水位については、VI-2-1-3「地盤の支持性に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について、以下に示す。

(1) 解析モデル

評価対象断面のうち②－②断面，③－③断面，④－④断面及び⑦－⑦断面の地震応答解析モデルは、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

(2) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

(3) 鋼管杭の断面諸元

断面計算に用いた鋼管杭の断面諸元を表 4-3 に示す。

表 4-3 鋼管杭の断面諸元

断面	杭種	杭位置	杭径	杭板厚	鋼種	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)
②-②断面	地下部 (4重管)	最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	1.24×10 ⁵	4.80×10 ⁷
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490	1.39×10 ⁵	6.10×10 ⁷
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490	1.55×10 ⁵	7.56×10 ⁷
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*	SM490Y	1.64×10 ⁵	8.81×10 ⁷
③-③断面		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	1.24×10 ⁵	4.80×10 ⁷
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490	1.39×10 ⁵	6.10×10 ⁷
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490	1.55×10 ⁵	7.56×10 ⁷
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*	SM490Y	1.64×10 ⁵	8.81×10 ⁷
④-④断面		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	1.24×10 ⁵	4.80×10 ⁷
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490	1.39×10 ⁵	6.10×10 ⁷
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490	1.55×10 ⁵	7.56×10 ⁷
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*	SM490Y	1.64×10 ⁵	8.81×10 ⁷

注記* : 「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月) 」に基づき, 腐食代 1mm を考慮する。

(4) 地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤のうち改良地盤④の残留強度及び引張強度を表 4-4 のとおり設定する。

表 4-4 改良地盤④の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 σ_t (N/mm ²)
	c' (N/mm ²)	ϕ' (°)	
改良地盤④	0.0	43.03	0.109

4.1.5 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1) 施設・地盤の健全性評価

2次元有限要素法による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、鋼管杭及び改良地盤④とする。

(2) 施設の変形性評価

2次元有限要素法による施設の変形性評価に係る評価対象部位は、構造物間に設置する止水目地とする。

(3) 基礎地盤の支持性能評価

2次元有限要素法による基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を支持する基礎地盤（岩盤）とする。

4.1.6 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 鋼管杭

鋼管杭の許容限界は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を基に算出した降伏モーメント及び短期許容せん断力とする。表4-5に鋼管杭の許容限界を示す。

降伏モーメントは次式により算定する。

$$M_y = \sum (f_{yi} - \frac{|N_i|}{A_i}) Z_{ei}$$

ここで、

M_y : 多重鋼管杭の降伏モーメント (kN・m)

f_{yi} : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の降伏基準点 (N/mm²)

Z_{ei} : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面係数 (mm³)

N_i : 多重鋼管杭を構成する各鋼管に発生する軸力 (kN)

A_i : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積 (mm²)

短期許容せん断力は次式により算定する。

$$Q_a = \sum \tau_{ai} A_i$$

ここで、

Q_a : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の短期許容せん断力 (kN)

τ_{ai} : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の短期許容応力度 (N/mm²)

A_i : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積 (mm²)

表 4-5 鋼管杭の許容限界

断面	杭種	杭位置	杭径	杭板厚	鋼種	降伏 モーメント*2 (kN・m)	許容 せん断力 (kN)
②-②断面	地下部 (4重管)	最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	89015	95166
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490		
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490		
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*1	SM490Y		
③-③断面		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	88888	95166
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490		
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490		
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*1	SM490Y		
④-④断面 海側杭		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	57425	65661
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490		
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490		
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*1	SM490Y		
④-④断面 陸側杭		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	89217	95166
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490		
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490		
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*1	SM490Y		

注記*1:「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成14年3月)」に基づき, 腐食代1mmを考慮する。

*2: 降伏モーメントは, 鋼管杭に発生する軸力を考慮する。

④－④断面における杭頭連結材の許容限界は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」より，短期許容引張応力度とする。表4-6に杭頭連結材の許容限界を示す。

表4-6 杭頭連結材（SKK490）の許容限界

評価項目	許容応力度 (N/mm ²)	短期許容応力度* (N/mm ²)
引張応力度	185	277

注記*：短期許容応力度は，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

(2) 改良地盤

改良地盤の許容限界は，「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原管地発第1306196号）」を準用し，表4-7にすべり安全率を示す。

表4-7 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

(3) 止水目地

止水目地（シートジョイント）の許容限界は、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変位量とする。評価対象断面である②-②断面及び⑦-⑦断面位置における止水目地（シートジョイント）の変位量に対する許容限界を表 4-8 に示す。

表 4-8 止水目地（シートジョイント）の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1580

(4) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 4-9 に示す。

表 4-9 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	

4.1.7 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価は、地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「4.1.6 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

(1) 鋼管杭

a. 曲げ照査

杭体の発生曲げモーメントが降伏モーメント以下であることを確認する。

b. せん断照査

杭体の発生せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。

c. 引張照査

④－④断面においては、杭頭連結材の発生引張応力度が許容引張応力度以下であることを確認する。

(2) 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線上のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態を基に、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め、最小すべり安全率を算定する。

(3) 止水目地

止水目地（シートジョイント）の地震時の変形性評価について、法線直交方向及び法線方向ともに、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震荷重による最大変位量が許容限界以下であることを確認する。

x 方向（法線直交方向）及び z 方向（深度方向）の変位量は、図 4-1 に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における地震時の相対変位量とし、保守的に各ブロックの位相が逆になったことを考慮し、時刻歴最大の変位量を 2 倍したものを算定する。

y 方向（法線方向）の変位量は、隣接する防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の天端間の最大相対変位量とする。

$$x \text{ 方向（法線直交方向）の変位量} \quad \delta_x : \delta_x = |\delta_x(T)| \times 2$$

$$y \text{ 方向（法線方向）の変位量} \quad \delta_y : \delta_y = |\delta_y(T)|$$

$$z \text{ 方向（深度方向）の変位量} \quad \delta_z : \delta_z = |\delta_z(T)| \times 2$$

ここで、

$\delta_x(T)$: x 方向の最大相対変位量

$\delta_y(T)$: y 方向の最大相対変位量

$\delta_z(T)$: z 方向の最大相対変位量

法線直交方向、法線方向及び深度方向の変位量を用い、下式のとおり合成方向（3 方向合成）の変位量を求め、止水目地（シートジョイント）の地震荷重による最大変位量とする。

$$\text{最大変位量 } \delta : \delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$

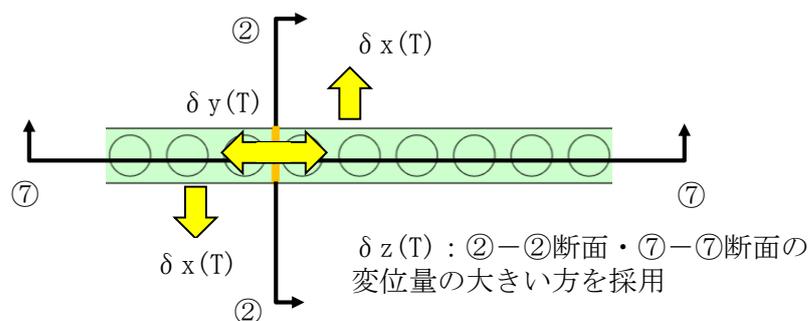


図 4-1 地震時の変位の概念図

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に従い，杭下端部の軸力を用いて次式により算定される軸応力が基礎地盤の極限支持力度以下であることを確認する。

$$R_d = \frac{N}{A'}$$

ここで，

R_d ：鋼管杭端の軸力より算定される軸応力度（N/mm²）

N ：鋼管杭に発生する軸力（kN）

A' ：鋼管杭下端の断面積（mm²）

4.2. 3次元構造解析

4.2.1 解析方法

3次元構造解析には、解析コード「FINAS/STAR」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3次元構造解析への入力荷重は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価に支配的な荷重が最大となる時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から地震時土圧、変位及び慣性力を設定する。

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、部材の評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から選定する。

4.2.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した荷重を考慮する。

4.2.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

a. 構造物のモデル化

3次元構造解析モデルにおいて、鋼管杭はシェル要素でモデル化し、被覆コンクリート壁はソリッド要素でモデル化する。3次元構造解析モデルを図4-2～図4-4に示す。

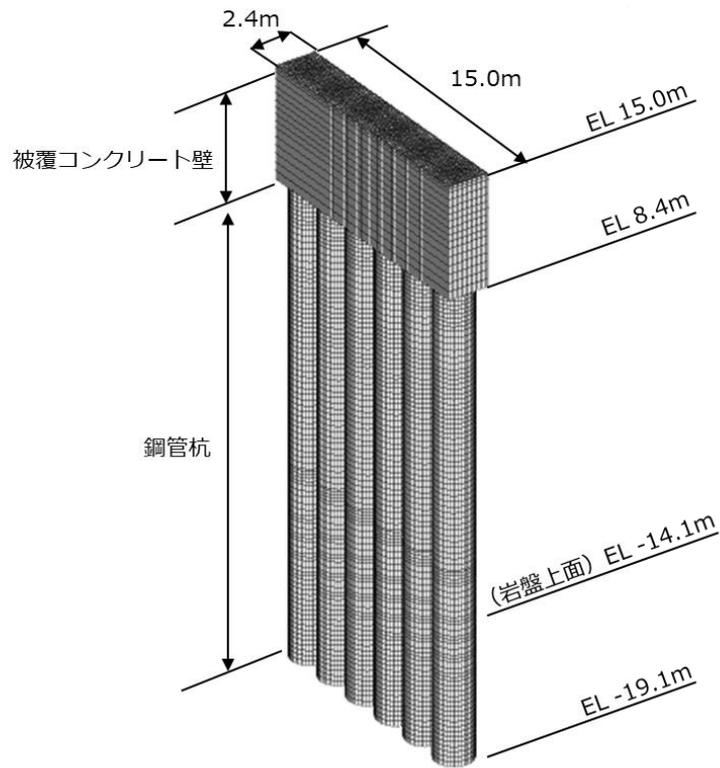


図 4-2 3次元構造解析モデル (②—②断面)

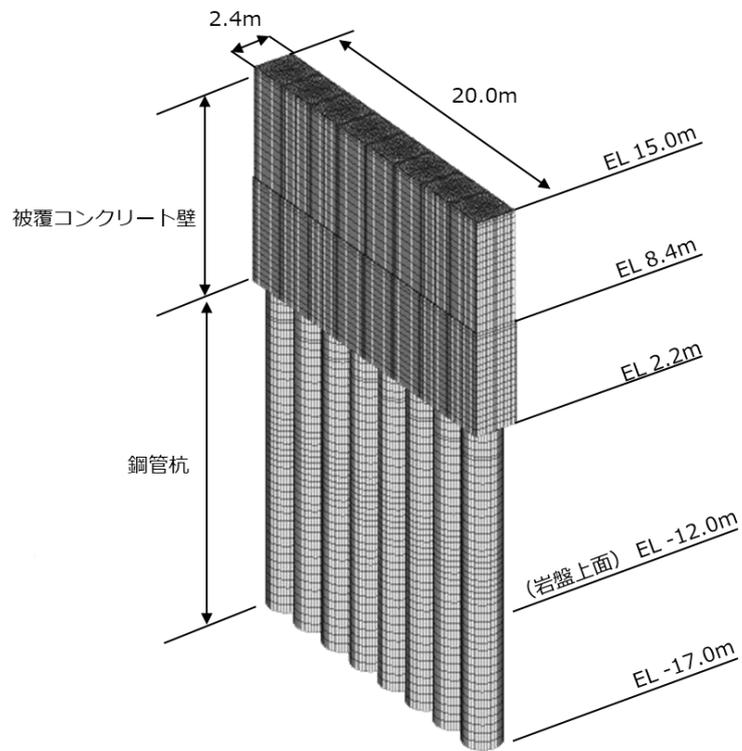


図 4-3 3次元構造解析モデル (③—③断面)

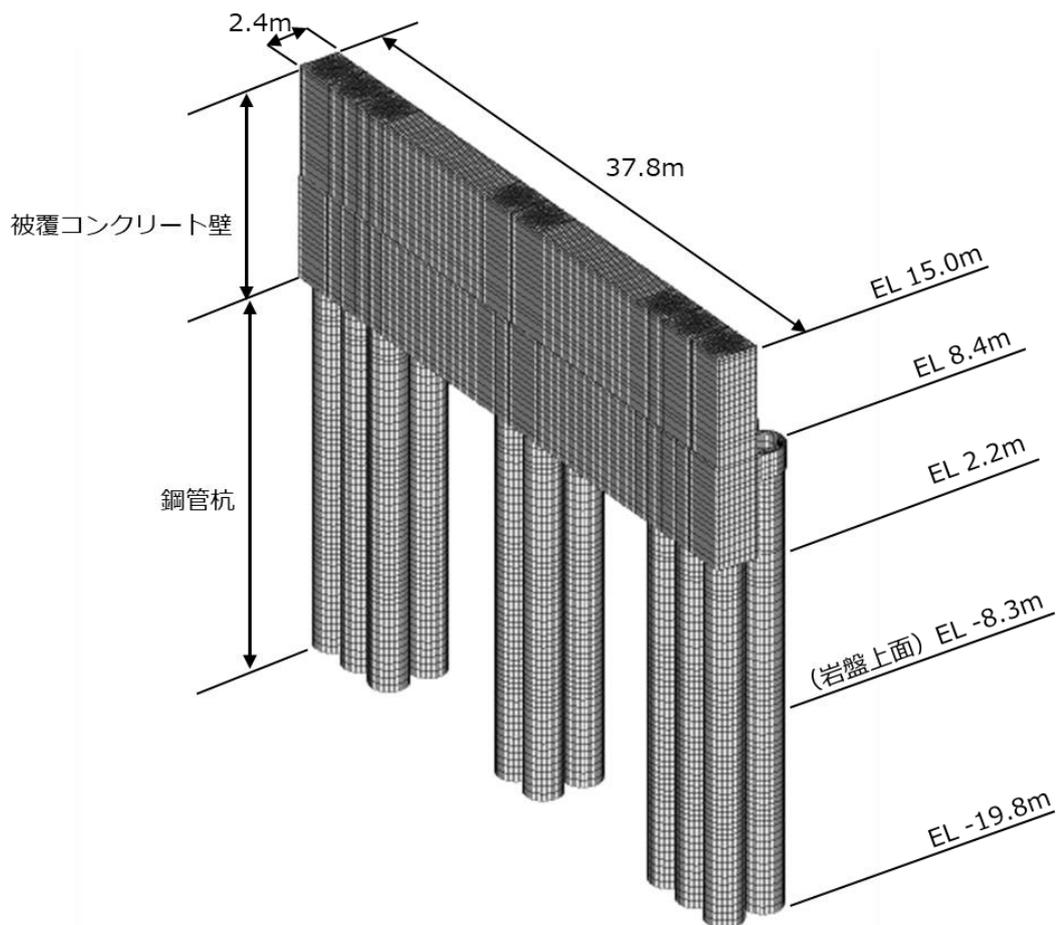


図 4-4 3次元構造解析モデル (④—④断面)

b. 地盤ばね

3次元構造解析モデルのうち地中部の杭には、地盤抵抗を表現するため、「道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」及び「道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき地盤ばねを設置する。地盤ばねは、「4.2.1 解析方法」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。

(2) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。

a. 被覆コンクリート壁

被覆コンクリート壁の使用材料を表 4-10 に、材料の物性値を表 4-11 に示す。

b. 鋼管杭

鋼管杭の使用材料は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

表 4-10 使用材料

材料		諸元
被覆コンクリート壁	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm ²

表 4-11 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
被覆コンクリート壁	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年設定）

(3) 地下水位

設計地下水位は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

4.2.4 評価対象部位

3次元構造解析による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、被覆コンクリート壁とする。

4.2.5 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 被覆コンクリート壁

被覆コンクリート壁の許容限界は「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定)」に基づき、表4-12に示す短期許容応力度とする。

表4-12 被覆コンクリート壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート (f'ck=24N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9
許容せん断応力度 τ_{ca}		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*：短期許容応力度は、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定)」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

4.2.6 評価方法

3次元構造解析により得られた曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ応力並びにせん断力より算定されるせん断応力が「4.2.5 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

応力度算定には、解析コード「EMR G I N G」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

5. 耐震評価結果

5.1 鋼管杭

5.1.1 曲げ照査

鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 5-1～図 5-3 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-1～表 5-3 に示す。

この結果から鋼管杭の発生断面力が許容限界以下であることを確認した。

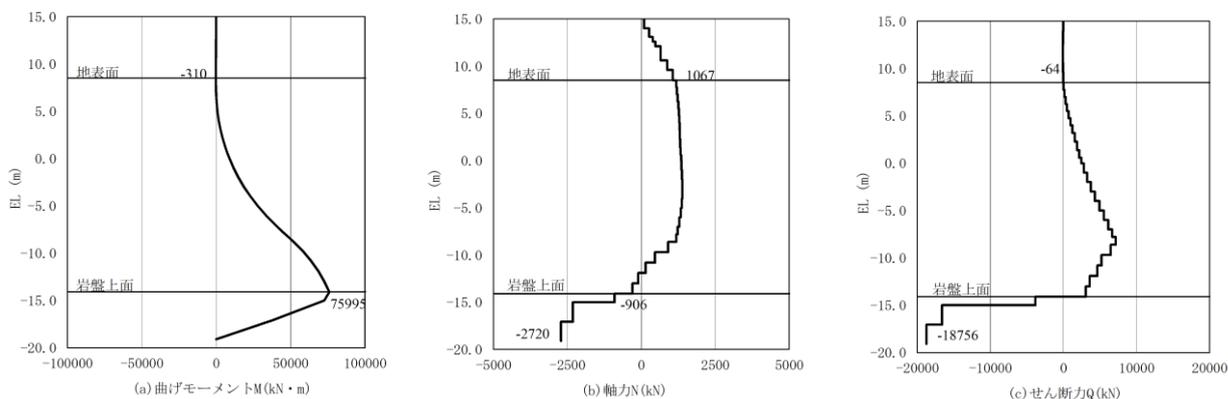


図 5-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=15.04s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+ 1σ ）

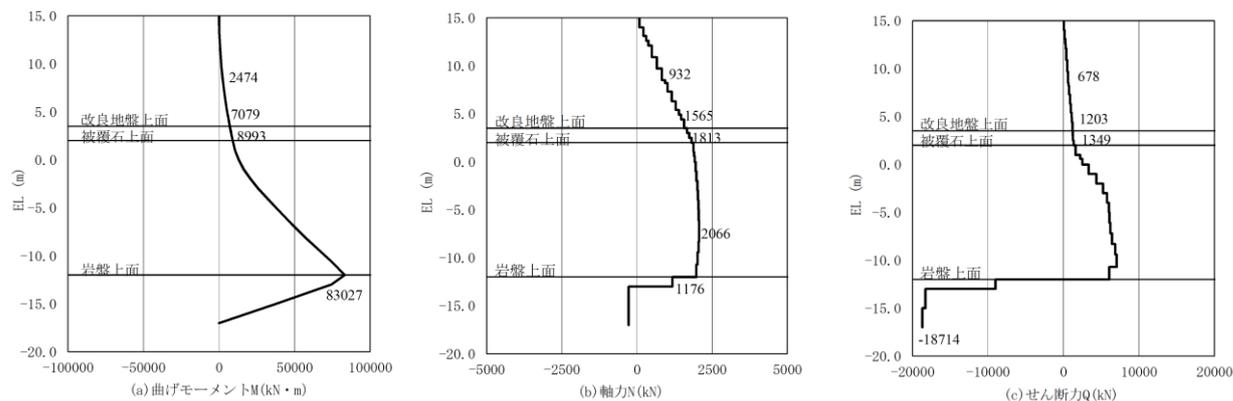


図 5-2 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.21s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+ 1σ ）

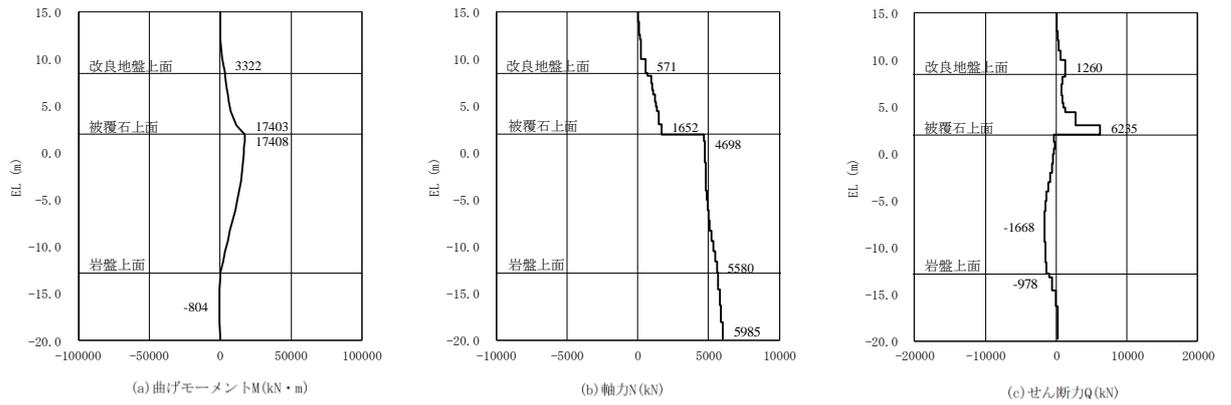


図 5-3(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(④-④断面, 海側杭, S_s-D(-+), t=28.20s)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

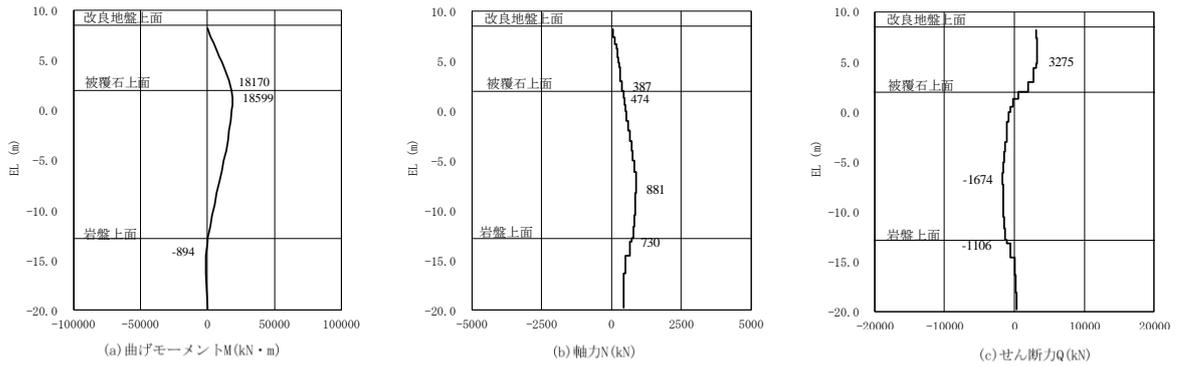


図 5-3(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(④-④断面, 陸側杭, S_s-D(-+), t=28.20s)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

表 5-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
S s - D (-+)	②	75995	906	89015	0.86

表 5-2 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(③-③断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
S s - D (-+)	②	83027	1176	88888	0.94

表 5-3(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

(④-④断面, 海側杭)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
S s - D (-+)	②	17403	1652	57425	0.31

表 5-3(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

(④-④断面, 陸側杭)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
S s - D (-+)	②	18599	474	89217	0.21

5.1.2 せん断照査

鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図5-4～図5-6に、せん断力に対する照査結果を表5-4～表5-6に示す。この結果から鋼管杭の発生断面力が許容限界以下であることを確認した。

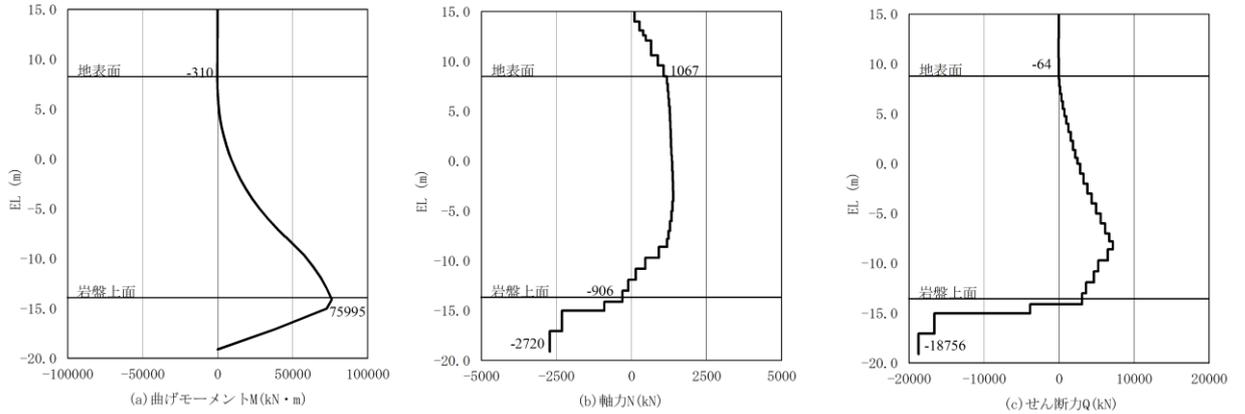


図5-4 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=15.04s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

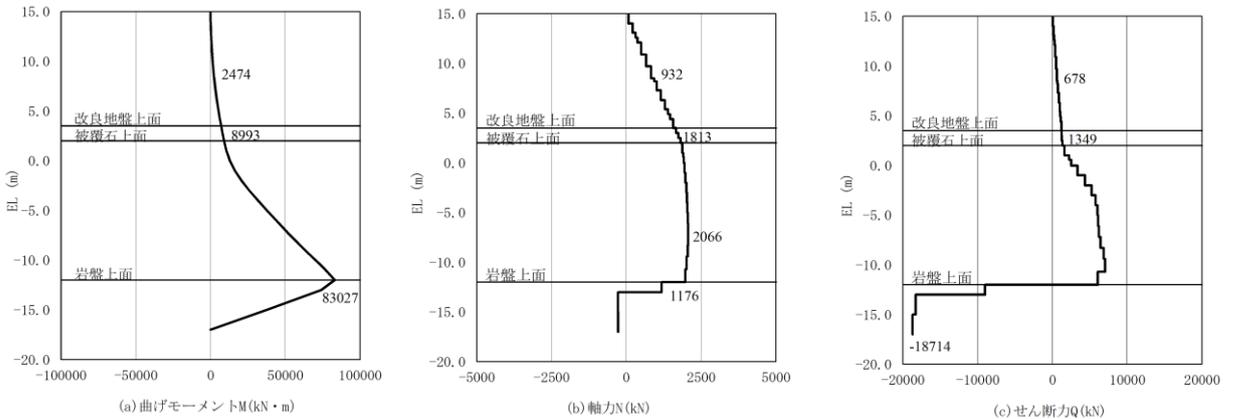


図5-5 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.21s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

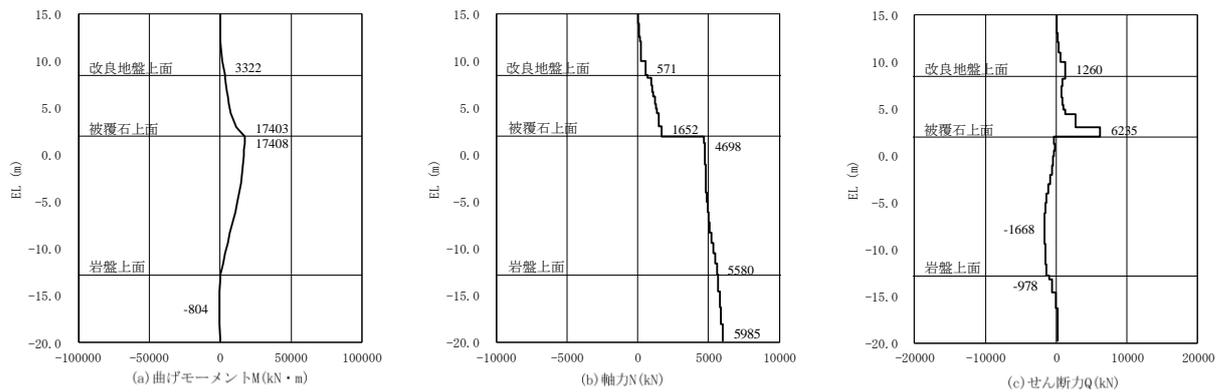


図 5-6(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(④-④断面, 海側杭, $S_s - D(-+)$, $t=28.20s$)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

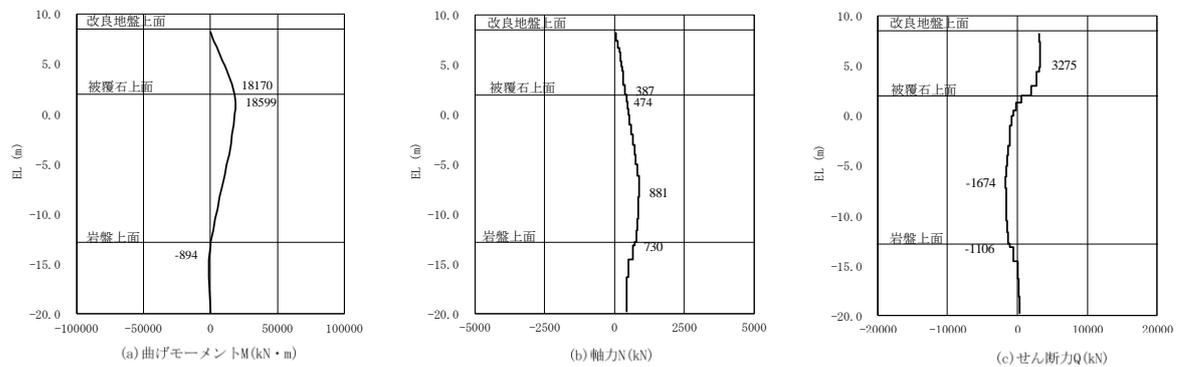


図 5-6(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(④-④断面, 陸側杭, $S_s - D(-+)$, $t=28.05s$)

解析ケース①: 基本ケース

表 5-4 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	許容せん断力 Q_a (kN)	照査値 Q/Q_a
		せん断力 Q (kN)		
S s - D (-+)	②	18756	95166	0.20

表 5-5 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	許容せん断力 Q_a (kN)	照査値 Q/Q_a
		せん断力 Q (kN)		
S s - D (-+)	②	18714	95166	0.20

表 5-6(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面, 海側杭)

地震動	解析 ケース	発生断面力	許容せん断力 Q_a (kN)	照査値 Q/Q_a
		せん断力 Q (kN)		
S s - D (-+)	②	6235	65661	0.10

表 5-6(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面, 陸側杭)

地震動	解析 ケース	発生断面力	許容せん断力 Q_a (kN)	照査値 Q/Q_a
		せん断力 Q (kN)		
S s - D (-+)	①	5704	95166	0.06

5.1.3 引張照査

杭頭連結材の引張破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での照査結果を表 5-7 に示す。

この結果から杭頭連結材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-7 杭頭連結材の引張破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面)

地震動	解析 ケース	引張応力度 σ_d (N/mm ²)	許容応力度 σ_c (N/mm ²)	照査値 σ_d / σ_c
S s - D (-+)	①	47.4	277	0.18

5.2 被覆コンクリート壁

3次元構造解析に基づく、被覆コンクリート壁の照査結果を示す。評価対象位置は、評価の厳しくなる杭間とした。評価対象位置図を図5-7～図5-9に示す。評価対象位置は、②-②断面においては評価対象位置Ⅰ～Ⅴとし、③-③断面及び④-④断面においては評価対象位置Ⅰ～Ⅶとする。

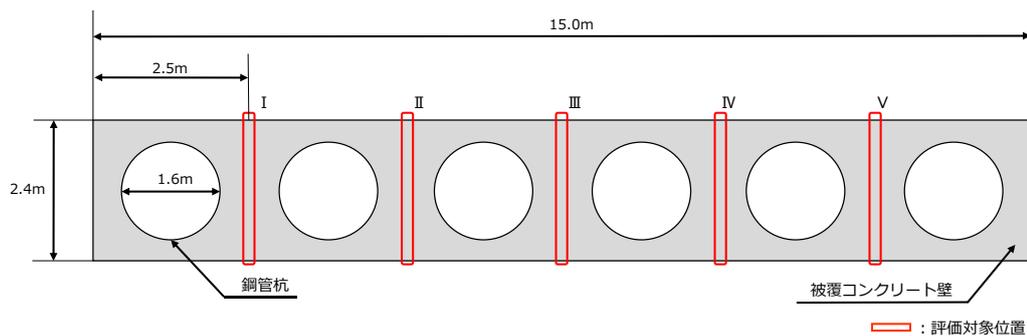


図5-7(1) 評価対象位置図 (②-②断面 平面図)

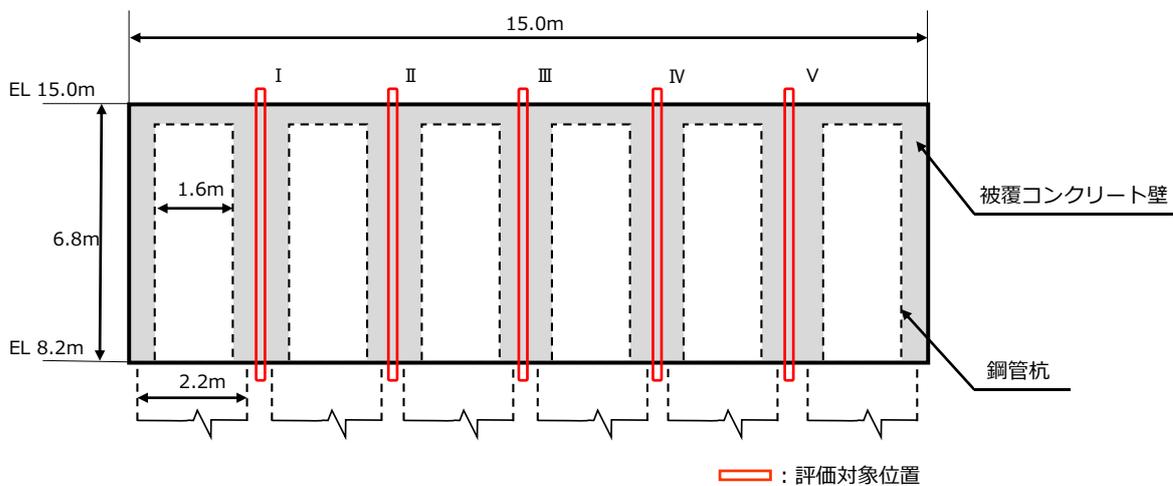


図5-7(2) 評価対象位置図 (②-②断面 正面図)

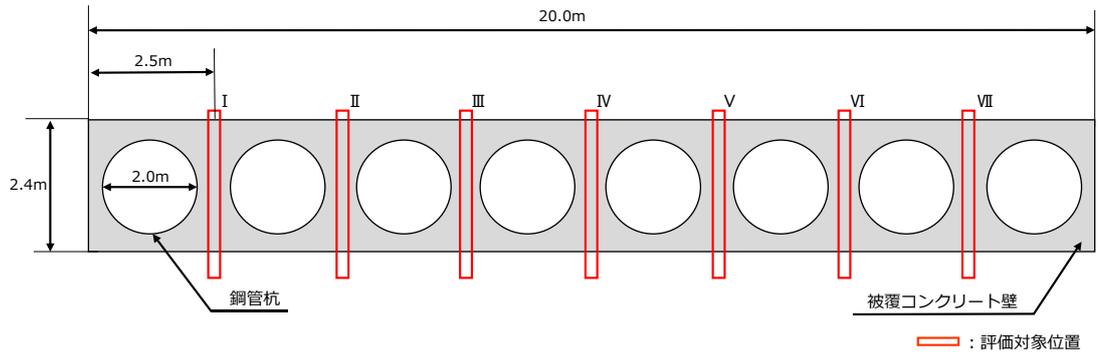


図 5-8(1) 評価対象位置図 (③-③断面 平面図)

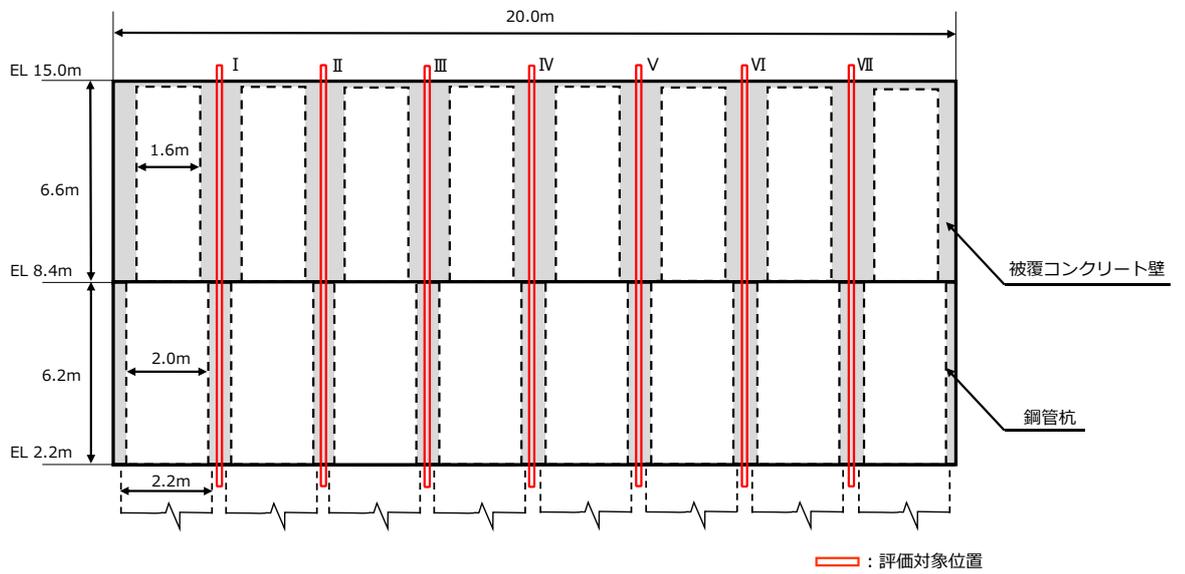


図 5-8(2) 評価対象位置図 (③-③断面 正面図)

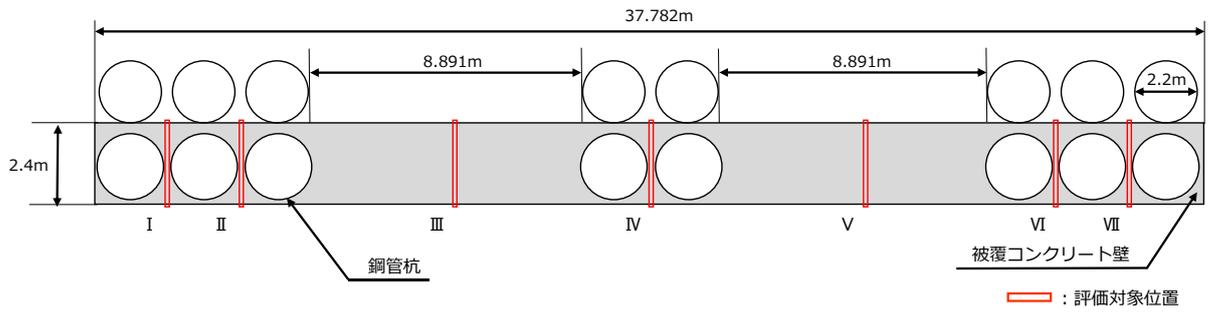


図 5-9(1) 評価対象位置図 (④-④断面 平面図)

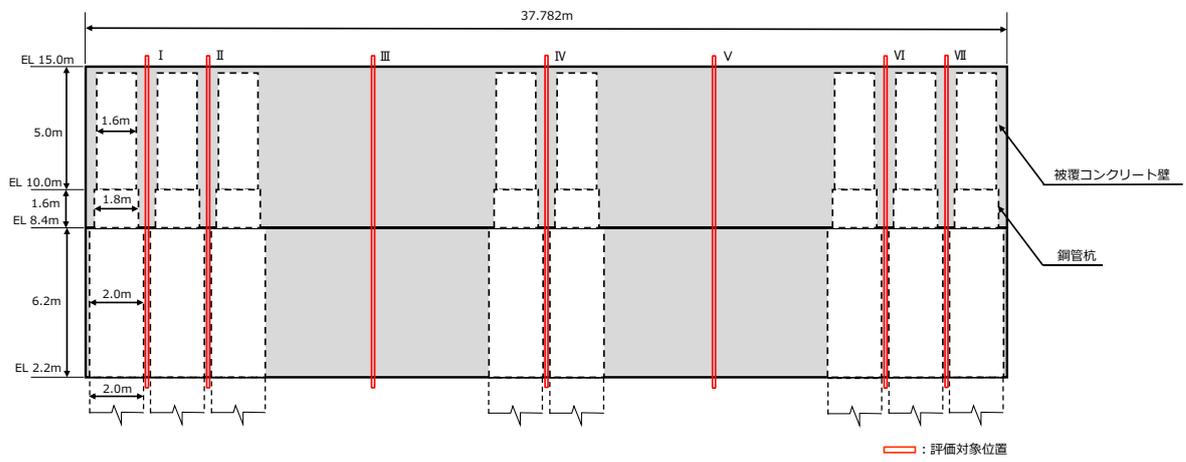


図 5-9(2) 評価対象位置図 (④-④断面 正面図)

5.2.1 曲げ照査

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査の最大照査値が発生している評価対象位置での断面力を図5-10～図5-12に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表5-8～表5-10に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の最大照査値が発生している評価対象位置での断面力を図5-13～図5-15に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表5-11～表5-13に示す。

この結果から被覆コンクリート壁の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

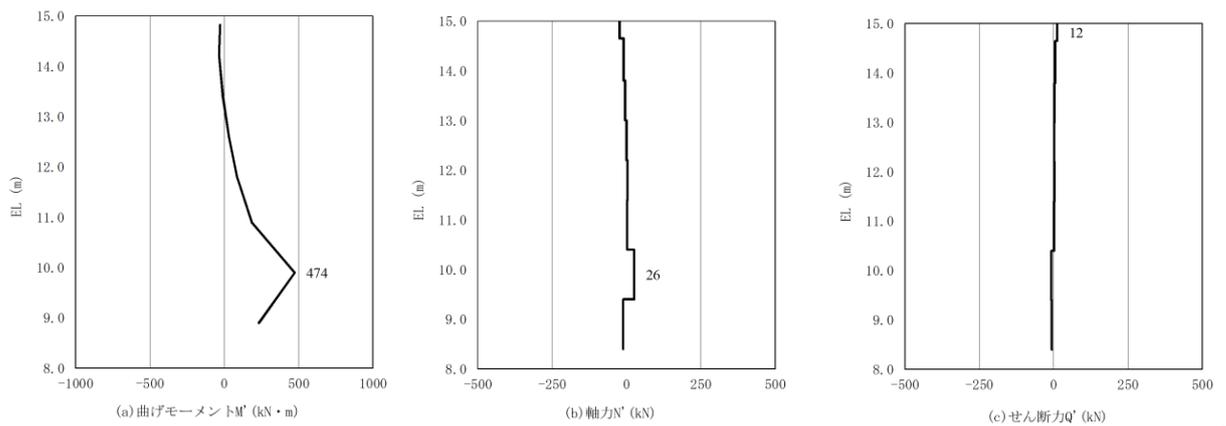


図 5-10 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる断面力
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.34s$, 評価対象位置Ⅲ)

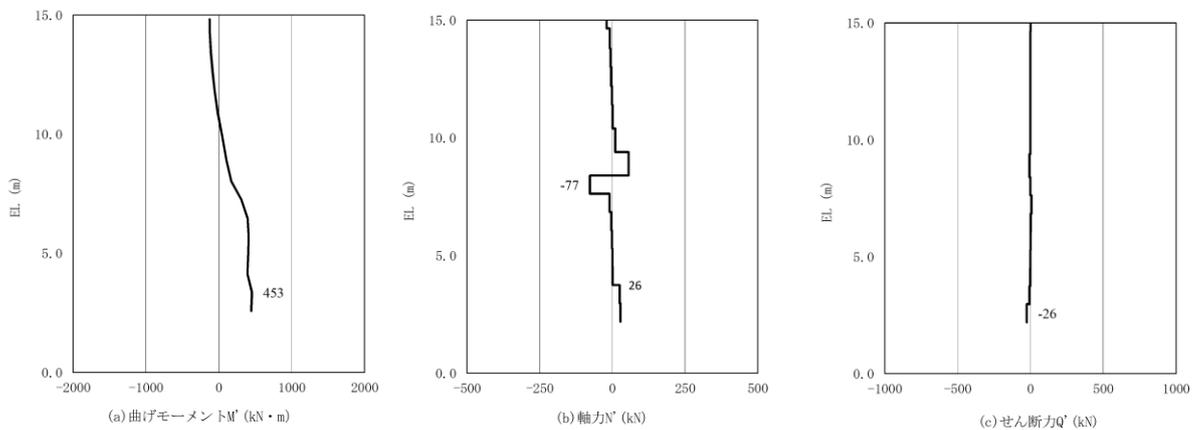


図 5-11 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる断面力
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.25s$, 評価対象位置Ⅳ)

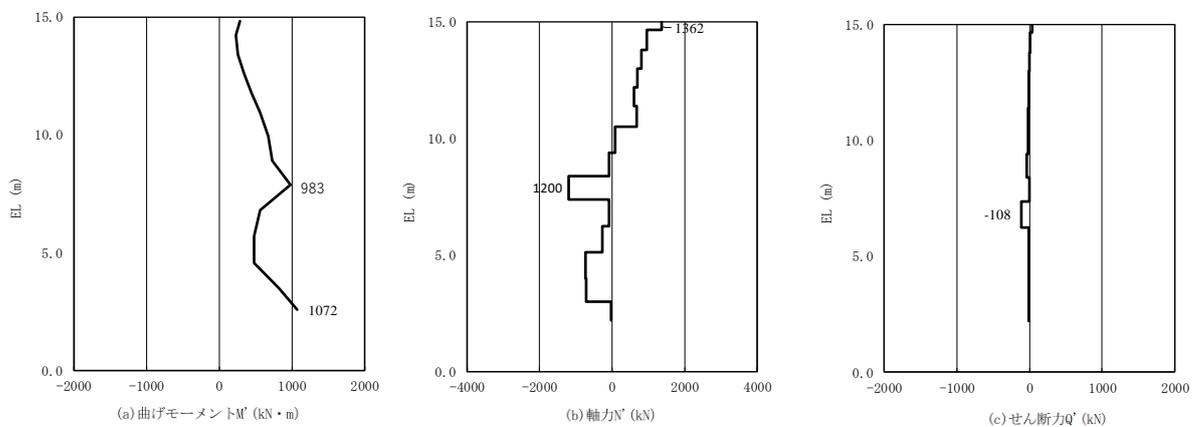


図 5-12 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる断面力
 (④-④断面, $S_s - D(+)$, $t=9.02s$, 評価対象位置Ⅲ)

表 5-8 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, S s - D (-+), t=13.34s, 評価対象位置Ⅲ)

評価対象位置	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c/σ_{ca}
	曲げモーメント M' (kN・m)	軸力 N' (kN)			
Ⅲ	474	26	1.1	13.5	0.09

表 5-9 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, S s - D (-+), t=13.25s, 評価対象位置Ⅳ)

評価対象位置	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c/σ_{ca}
	曲げモーメント M' (kN・m)	軸力 N' (kN)			
Ⅳ	453	26	0.9	13.5	0.07

表 5-10 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (④-④断面, S s - D (+-), t=9.02s, 評価対象位置Ⅲ)

評価対象位置	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c/σ_{ca}
	曲げモーメント M' (kN・m)	軸力 N' (kN)			
Ⅲ	442	1710	0.9	13.5	0.07

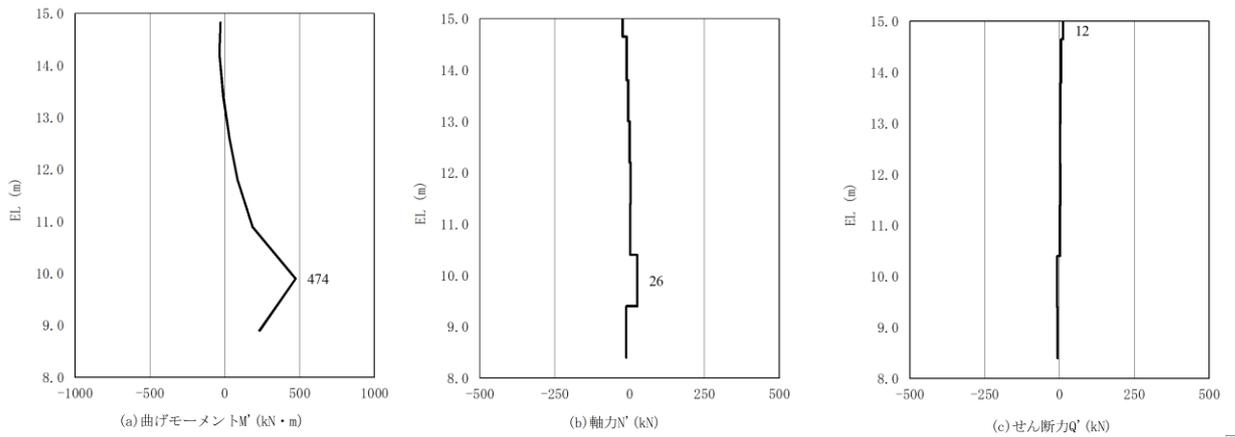


図 5-13 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる断面力
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.34s$, 評価対象位置Ⅲ)

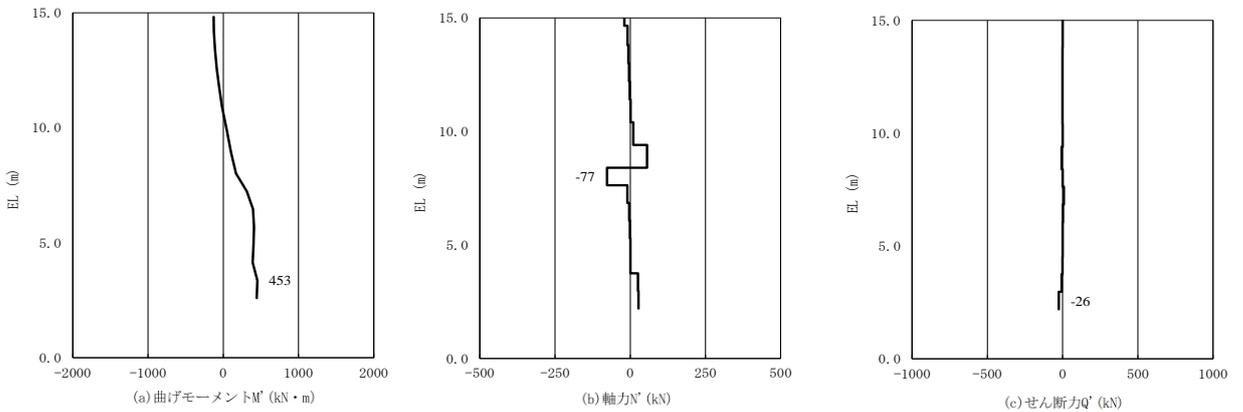


図 5-14 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる断面力
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.25s$, 評価対象位置Ⅳ)

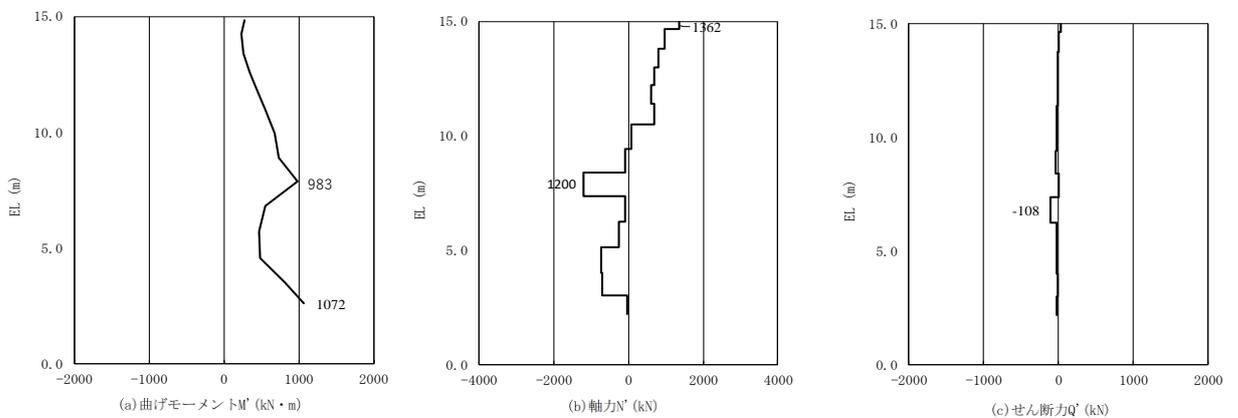


図 5-15 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる断面力
 (④-④断面, $S_s - D(+)$, $t=9.02s$, 評価対象位置Ⅳ)

表 5-11 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.34s$, 評価対象位置Ⅲ)

評価対象位置	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s/σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
Ⅲ	474	26	80.8	294	0.28

表 5-12 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.25s$, 評価対象位置Ⅳ)

評価対象位置	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s/σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
Ⅳ	453	26	72.1	294	0.25

表 5-13 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (④-④断面, $S_s - D(+)$, $t=9.02s$, 評価対象位置Ⅳ)

評価対象位置	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s/σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
Ⅳ	983	1200	63.3	294	0.22

5.2.2 せん断照査

せん断照査の最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図 5-16～図 5-18 に、コンクリートのせん断力に対する照査結果を表 5-14～表 5-16 に示す。

この結果から被覆コンクリート壁の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

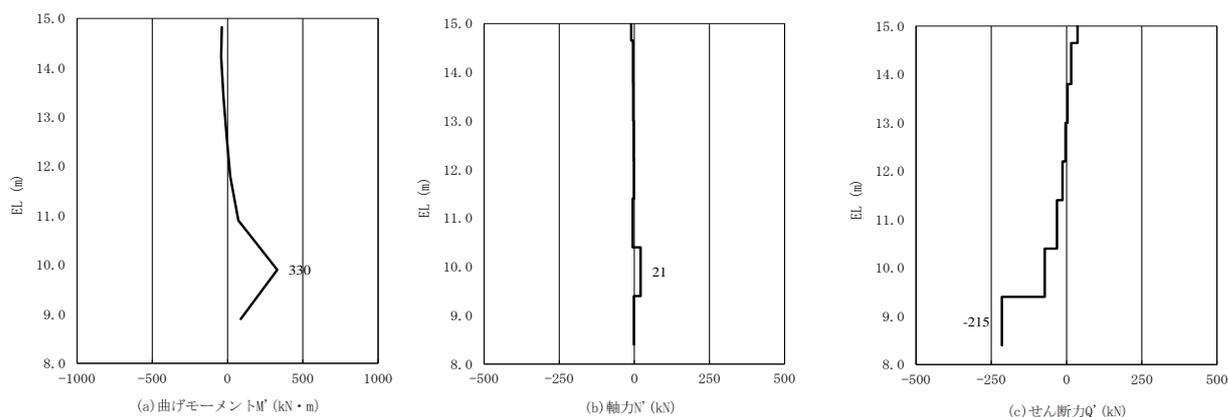


図 5-16 コンクリートのせん断破壊に対する照査に用いる断面力
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.34s$, 評価対象位置 V)

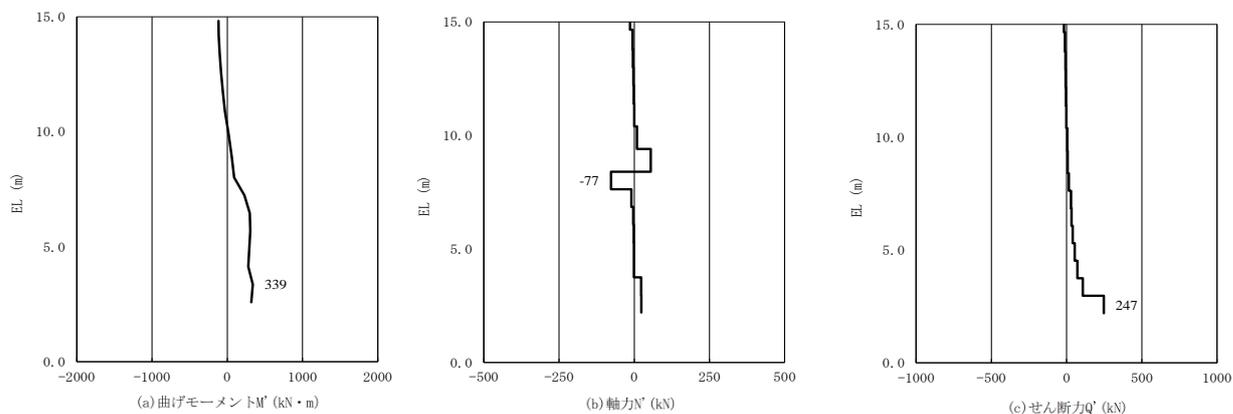


図 5-17 コンクリートのせん断破壊に対する照査に用いる断面力
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.25s$, 評価対象位置 II)

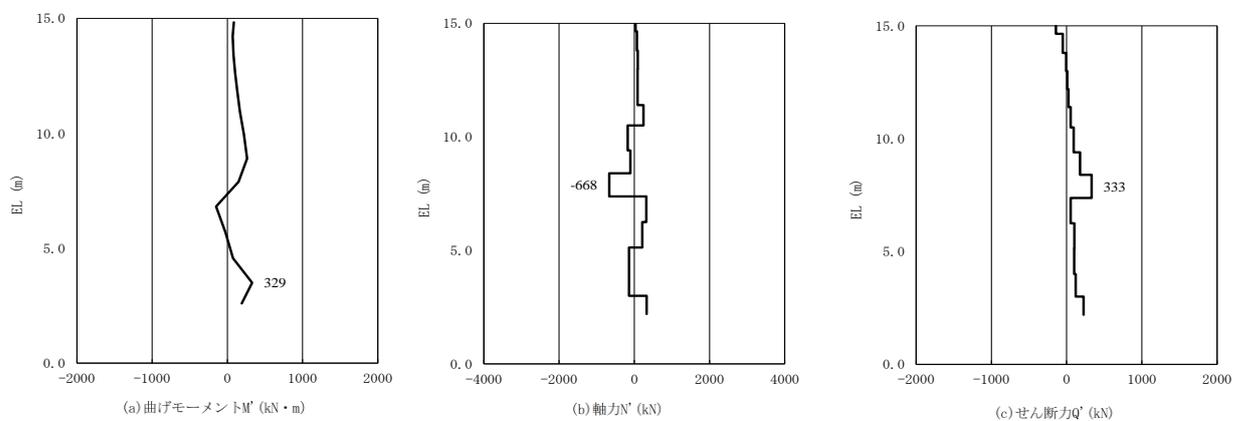


図 5-18 コンクリートのせん断破壊に対する照査に用いる断面力
 (④-④断面, $S_s - D(+)$, $t=9.02s$, 評価対象位置 I)

表 5-14 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.34s$, 評価対象位置 V)

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{ca}
	せん断力 Q' (kN)			
V	215	0.11	0.67	0.17

表 5-15 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.25s$, 評価対象位置 II)

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{ca}
	せん断力 Q' (kN)			
II	247	0.12	0.67	0.18

表 5-16 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値
 (④-④断面, $S_s - D(+)$, $t=9.02s$, 評価対象位置 I)

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{ca}
	せん断力 Q' (kN)			
I	333	0.16	0.67	0.24

5.3 改良地盤

5.3.1 改良地盤④

改良地盤④のすべり安全率による評価結果を表5-17に、最小すべり安全率となる時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布を図5-19に示す。これらの結果から、改良地盤④のすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表5-17 改良地盤④のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - D (--)	①	14.97	1.73

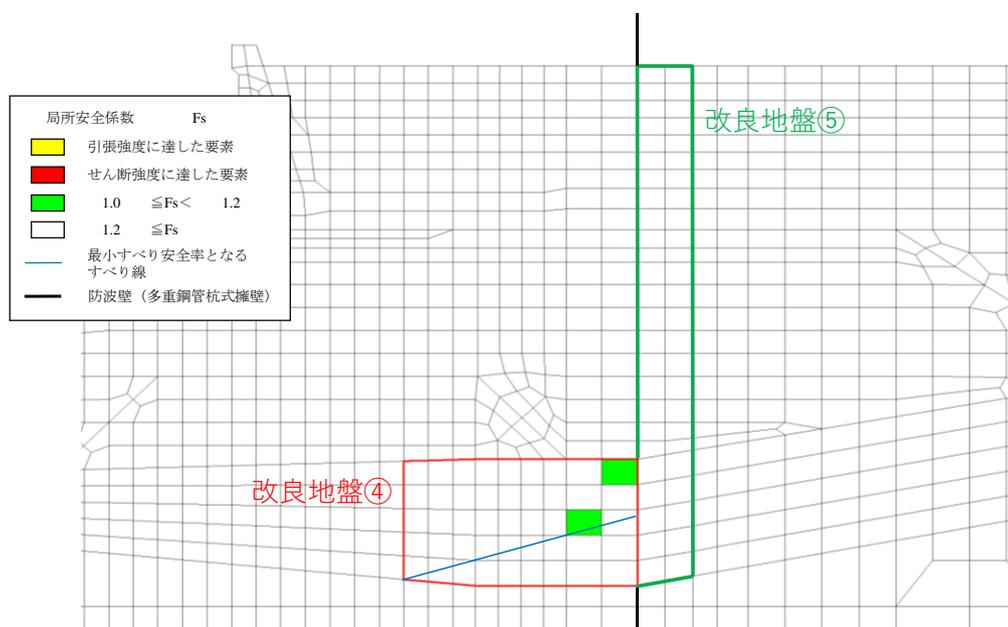


図5-19 改良地盤④の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布 (②-②断面, S s - D (--), t=14.97s)

解析ケース①：基本ケース (平均値)

5.3.2 改良地盤の局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について

局所的な破壊が津波防護機能へ及ぼす影響を確認するため、全時刻の破壊履歴に着目した改良地盤④及び改良地盤⑤の健全性評価を実施する。なお、改良地盤⑤は、地震時に役割を期待しない方針としているが、津波時に期待する役割として、難透水性を保持する必要があることから、健全性評価を実施する。

全時刻における破壊履歴図を図 5-20～図 5-21 に示す。改良地盤④においてはせん断破壊及び引張強度に達する要素は局所的であること、改良地盤⑤においてはせん断破壊及び引張強度に達する要素はないことから、難透水性の保持に影響するような流入経路は形成されず、改良地盤④及び改良地盤⑤は健全性を確保していることを確認した。

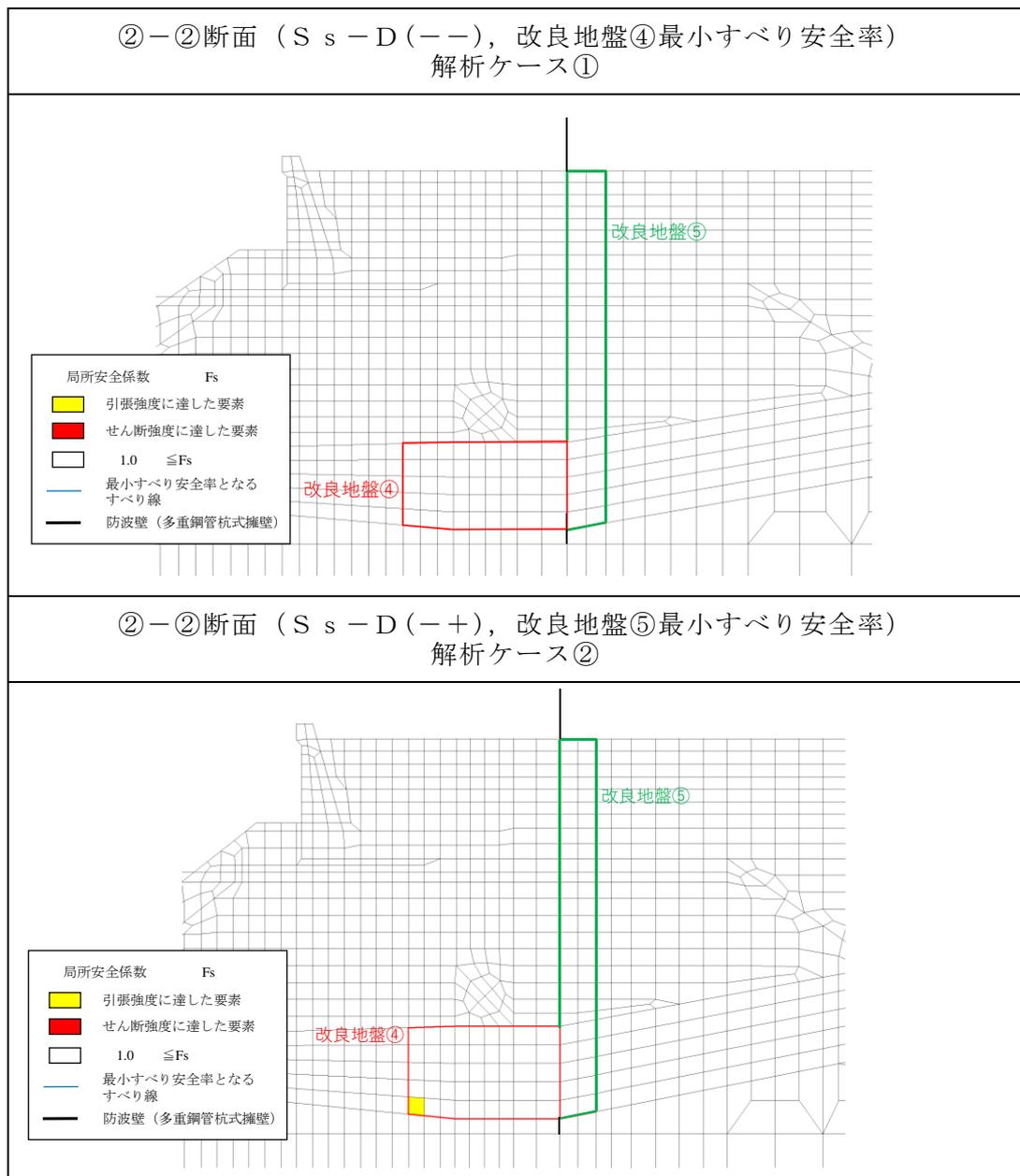


図 5-20 全時刻における破壊履歴図 (②-②断面)

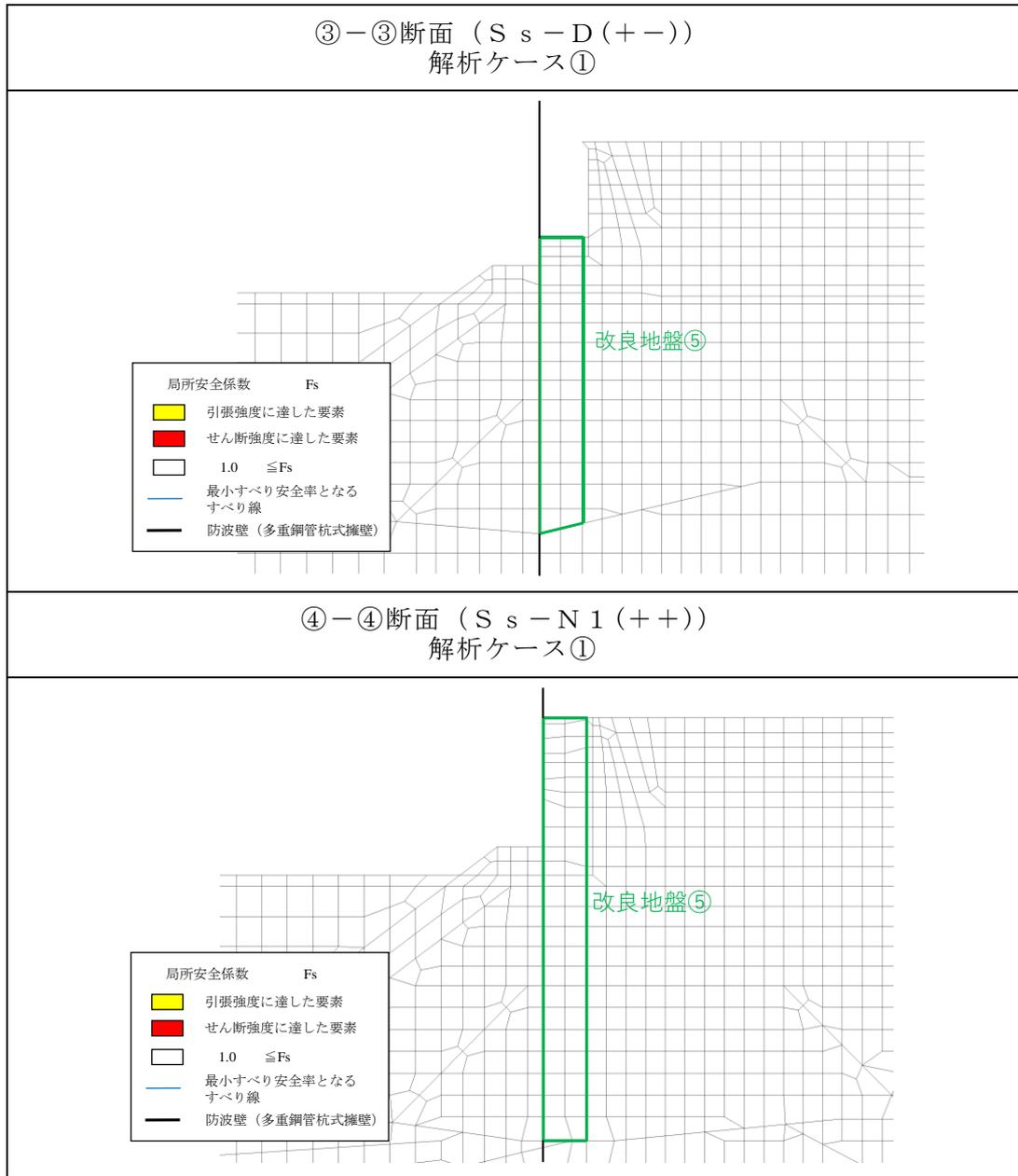


図 5-21 全時刻における破壊履歴図 (③-③断面, ④-④断面)

5.4 止水目地

地震時の止水目地 (シートジョイント) の変位量に対する照査結果を表 5-18 に示す。

地震時の止水目地 (シートジョイント) の変位量に対する照査を行った結果、変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-18 止水目地 (シートジョイント) の変位量に対する照査結果

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ②-②断面 (横断方向)	S s - D (- +)	②	988	-
δy : ⑦-⑦断面 (縦断方向)	S s - D (+ +)	①	11	-
δz : ⑦-⑦断面 (縦断方向)	S s - D (+ +)	①	38	-
合成方向 (3 方向合成)	-	-	989	1580

5.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-19～表 5-21 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の杭下端部に生じる最大軸力が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-19 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸心力度 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	②	5783	1.5	9.8	0.16

表 5-20 基礎地盤の支持性能評価結果（③-③断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸心力度 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	③	5832	1.5	9.8	0.16

表 5-21(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（④-④断面，海側杭）

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸心力度 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N (kN)			
S s - N2 (EW) (++)	②	10109	2.7	9.8	0.28

表 5-21(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（④-④断面，陸側杭）

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸心力度 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	①	4343	1.1	9.8	0.12

5.6 施設護岸等の損傷による不確かさの検討

5.6.1 概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面又は背面には、図5-22のとおり全線に渡って施設護岸が設置されており、施設護岸の基礎には基礎捨石及び被覆石（以下「施設護岸等」という。）を設置している。

施設護岸等は、その形状を適切にモデル化し防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価を実施する方針としているが、施設護岸等による防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における鋼管杭の変形抑制に寄与する可能性があることから、不確かさケースとして施設護岸等が損傷した場合を想定し、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がある断面については施設護岸等が保守的にない場合を、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面に施設護岸等がある断面については保守的に施設護岸等を埋戻土（粘性土）に置換した場合の検討を実施する。

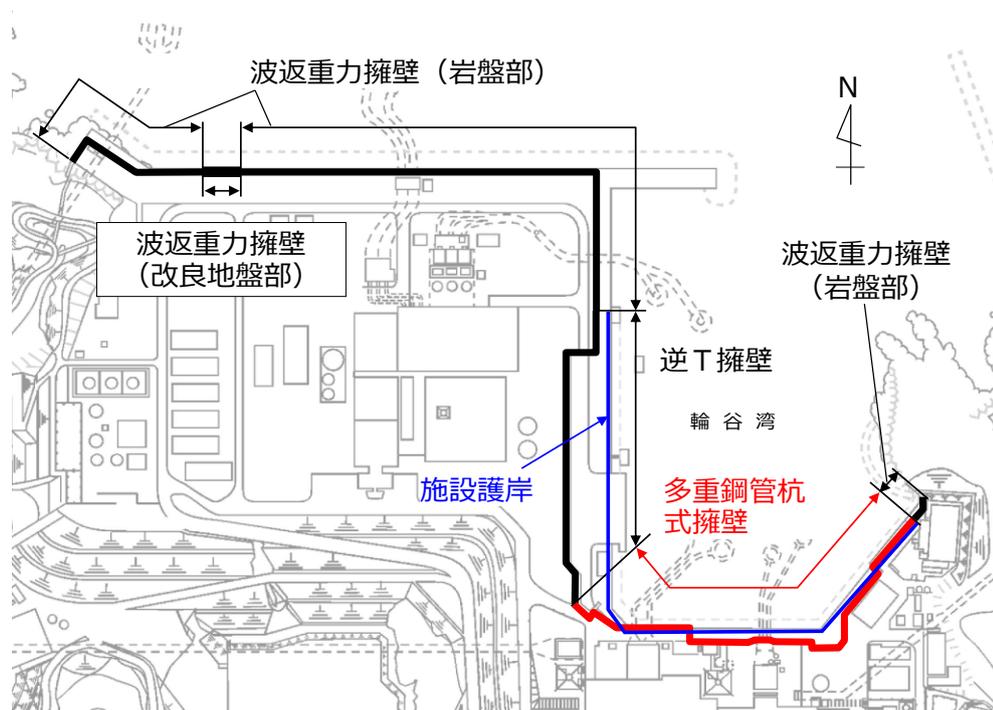


図5-22 防波壁と施設護岸の配置（全体平面図）

5.6.2 評価方針

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がある場合においては，施設護岸等が受働側に寄与して防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における鋼管杭の変形を抑制することが想定される。また，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面に施設護岸等がある場合においては，施設護岸等が主働側の土圧低減に寄与して防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における鋼管杭の変形を抑制することが想定される。

評価対象断面の選定について，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がある断面は，②－②断面のみとなることから②－②断面を選定し，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面に施設護岸等がある断面は，施設護岸等の背面に埋戻土が分布することから③－③断面を選定する。

入力地震動については，鋼管杭が施設護岸等の有無及び埋戻土（粘性土）に置換することによる影響を最も受けるため，鋼管杭の照査値に着目し，②－②断面及び③－③断面ともに鋼管杭の照査値（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）が最大となる， $S_s - D(-+)$ を選定する。

地盤物性のばらつきについては，入力地震動の選定と同様の観点から，解析ケース②の照査値が最大となることから，「平均値＋ 1σ 」を選定する。施設護岸等の有無における解析ケースを表5-22に示す。

表5-22 解析ケース（②－②断面及び③－③断面）

解析ケース	施設 護岸等	地盤物性	
		埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース② 「5. 耐震評価解析 結果」にて評価済み	有	平均値＋ 1σ	平均値
ケース④	無	平均値＋ 1σ	平均値

5.6.3 地震応答解析モデル

(1) ②-②断面

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がある場合及び防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がない場合の②-②断面における地震応答解析モデルを図 5-23 に示す。

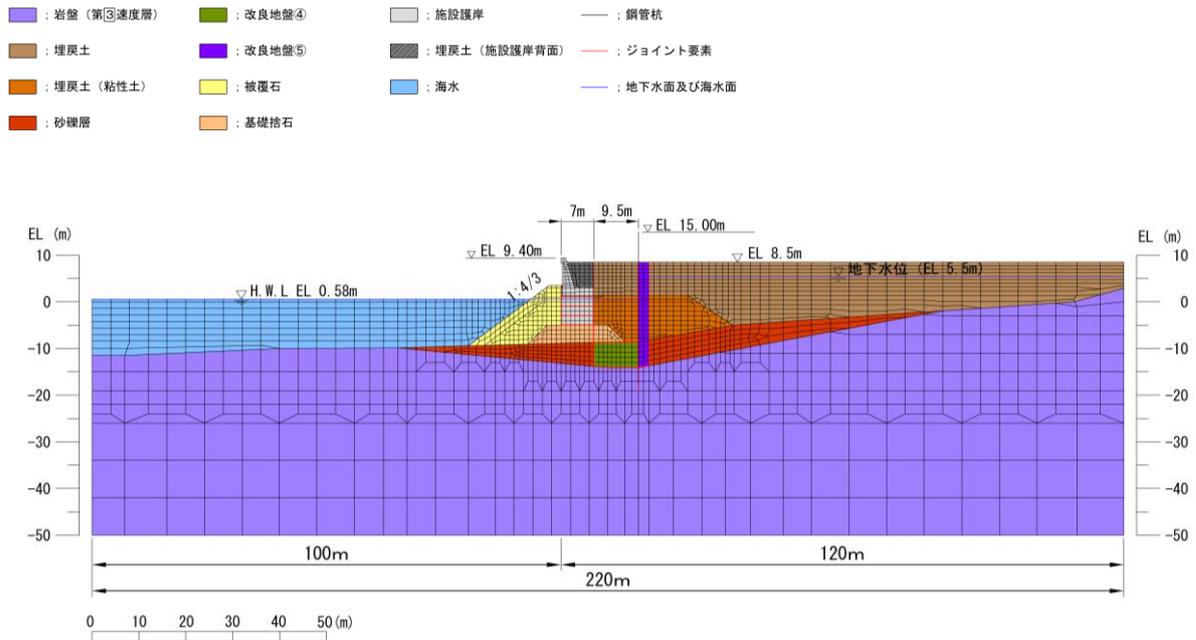


図 5-23(1) ②-②断面における地震応答解析モデル
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がある場合)

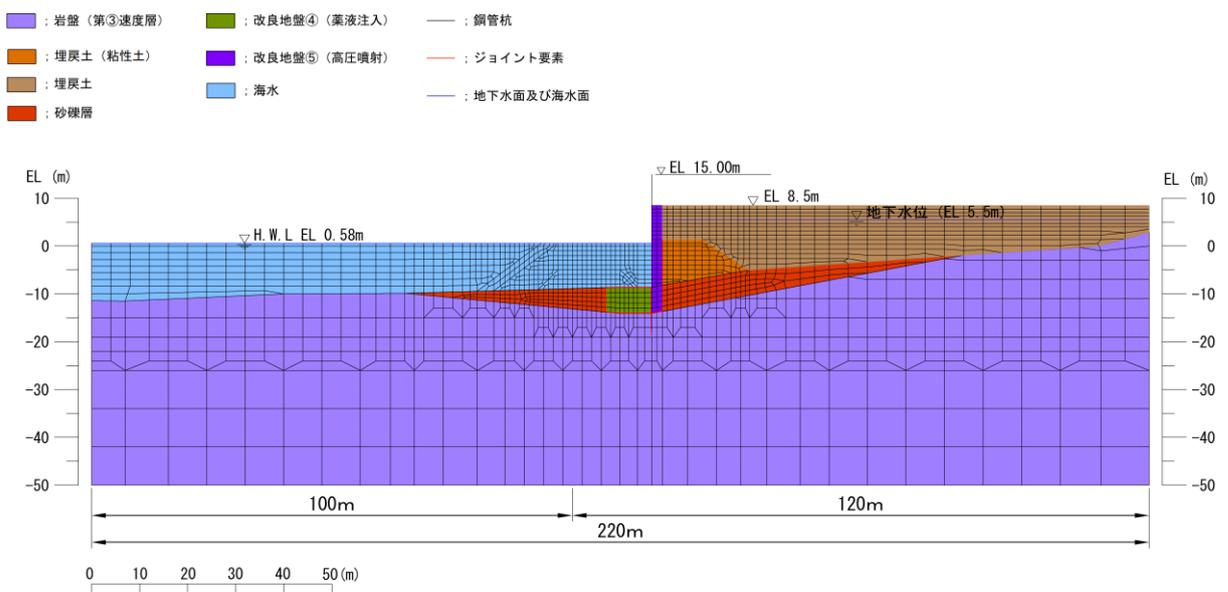


図 5-23(2) ②-②断面における地震応答解析モデル
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がない場合)

(2) ③-③断面

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面に施設護岸等がある場合及び防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面の施設護岸等を埋戻土（粘性土）に置換した場合の③-③断面における地震応答解析モデルを図5-24に示す。

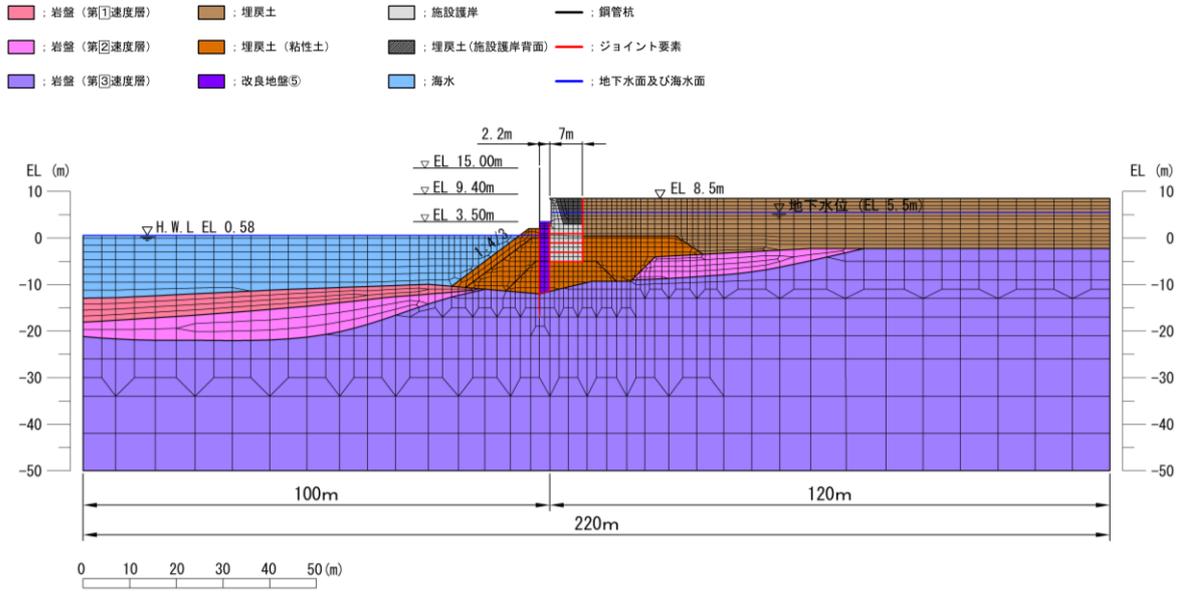


図5-24(1) ③-③断面における地震応答解析モデル
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面に施設護岸等がある場合)

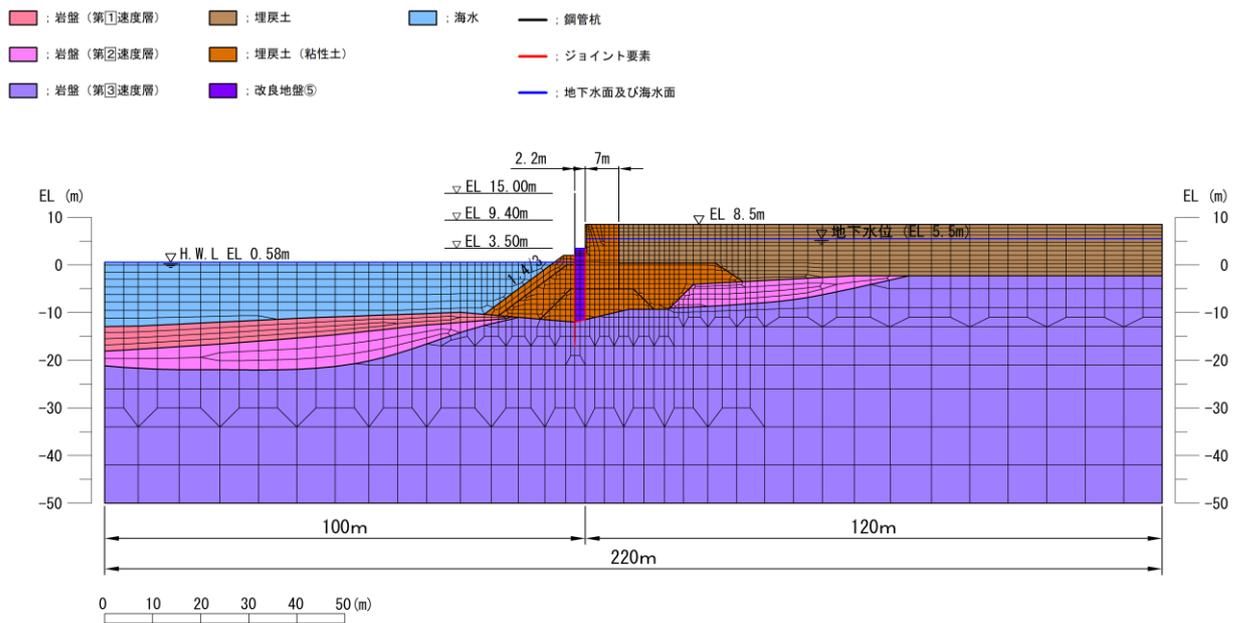


図5-24(2) ③-③断面における地震応答解析モデル
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面の施設護岸等を埋戻土（粘性土）に置換した場合)

5.6.4 評価結果

(1) ②－②断面

施設護岸等の有無における防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価部位は，鋼管杭が施設護岸等の有無による影響を最も受けると判断し，鋼管杭の照査値を対象とし，②－②断面の評価結果のうち，鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 5-23 に，せん断破壊に対する最大照査値を表 5-24 に，該当する解析ケースの断面力図を図 5-25 及び図 5-26 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がある場合の②－②断面の評価結果として，施設護岸等の有無に対する照査値が最大となる，鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊の照査値は，おおむね同等となることから，影響は軽微であることを確認した。

表 5-23 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, S s - D (-+))

解析ケース	解析 ケース	評価位置	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
			曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
施設護岸等有 「5. 耐震評価解析 結果」にて評価済み	②	4重管	75995	906	89015	0.86
施設護岸等無	④	4重管	73808	729	89097	0.83

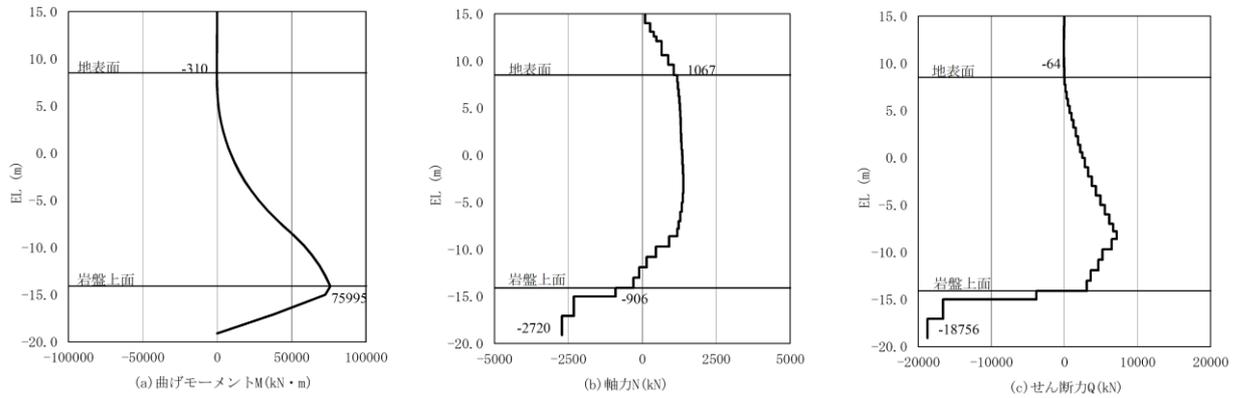


図 5-25(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (施設護岸等がある場合, S s - D (-+), t = 15.04s)

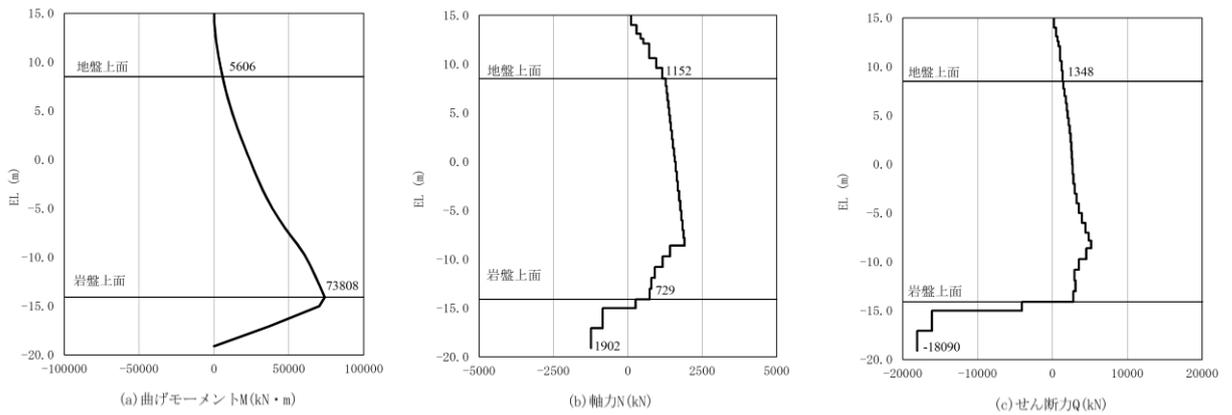


図 5-25(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (施設護岸等がない場合, S s - D (-+), t = 13.31s)

表 5-24 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値

(②-②断面, S_s-D (-+))

解析ケース	解析 ケース	評価位置	発生断面力		照査値 Q/Q _a
			せん断力 Q (kN)	許容せん断力 Q _a (kN)	
施設護岸等有 「5. 耐震評価解析 結果」にて評価済み	②	4重管	18756	95166	0.20
施設護岸等無	④	4重管	18758	95166	0.20

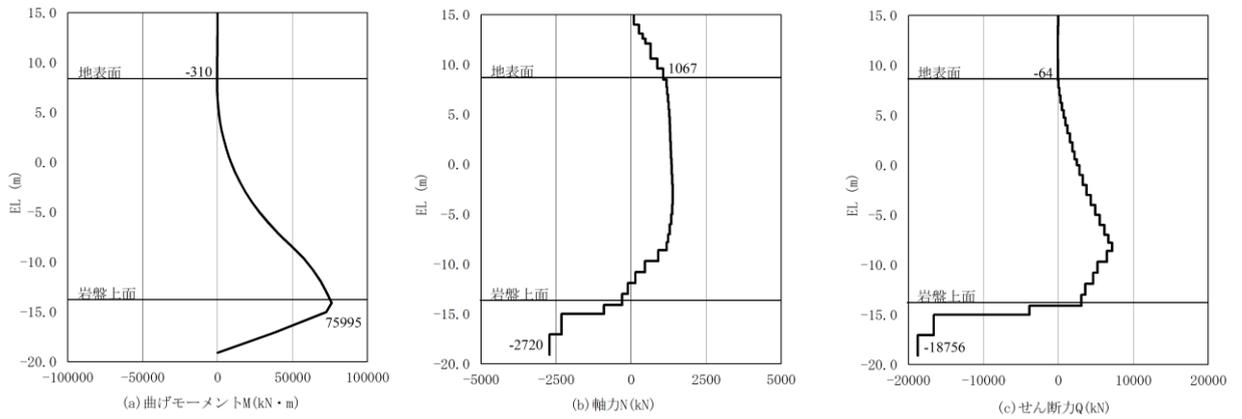


図 5-26(1) せん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (施設護岸等がある場合, $S_s - D(-+)$, $t = 15.04s$)

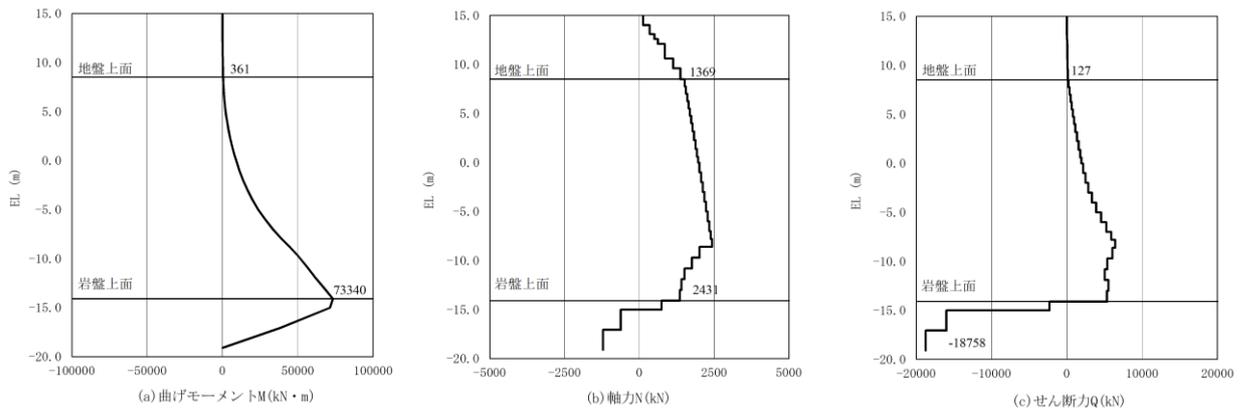


図 5-26(2) せん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (施設護岸等がない場合, $S_s - D(-+)$, $t = 15.02s$)

(2) ③－③断面

施設護岸等がある場合及び施設護岸等を埋戻土（粘性土）に置換した場合における防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価部位は，②－②断面と同様に鋼管杭が影響を最も受けると判断し，鋼管杭の照査値を対象とし，③－③断面の評価結果のうち，鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 5-25 に，せん断破壊に対する最大照査値を表 5-26 に，該当する解析ケースの断面力図を図 5-27 及び図 5-28 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面に施設護岸等がある場合の③－③断面の評価結果として，照査値が最大となる鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊の照査値は，施設護岸等を埋戻土（粘性土）に置換した場合と比べて，大きくなることを確認した。

表 5-25 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, S s - D (-+))

解析ケース	解析 ケース	評価位置	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
			曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
施設護岸等有 「5. 耐震評価解析 結果」にて評価済み	②	4重管	83027	1176	88888	0.94
施設護岸等を埋戻土 (粘性土)に置換	④	4重管	74724	1548	88714	0.85

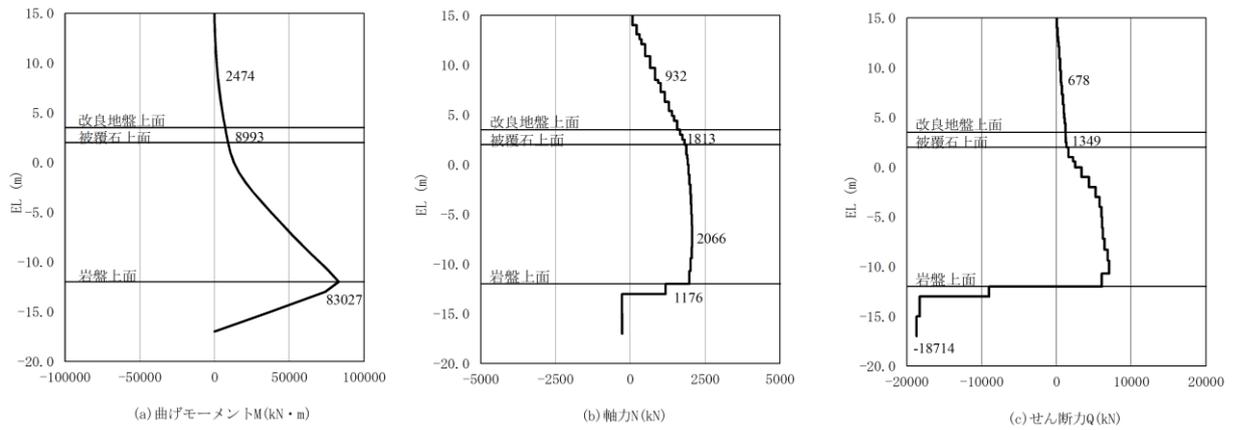


図 5-27(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (施設護岸等がある場合, S s - D (-+), t = 13.21s)

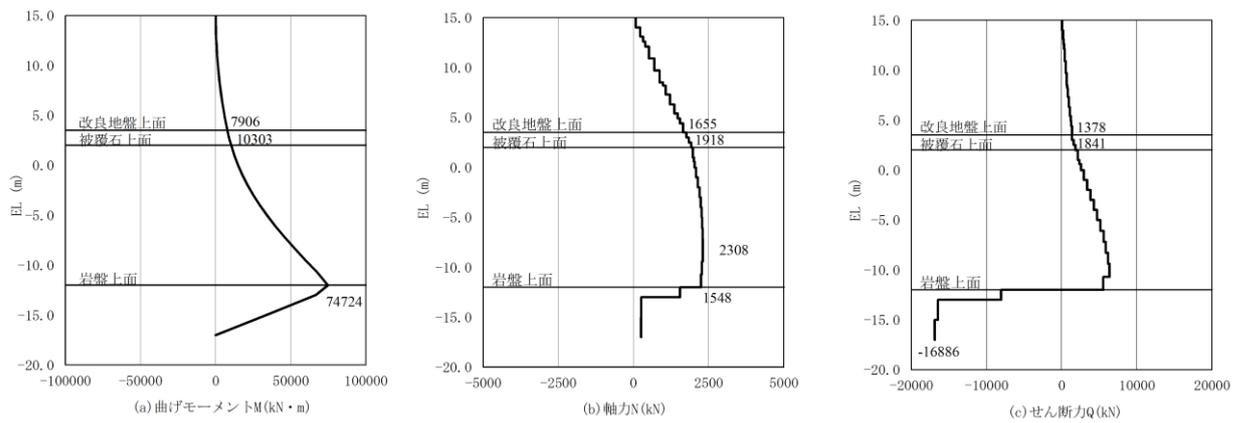


図 5-27(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (施設護岸等を埋戻土 (粘性土) に置換した場合, S s - D (-+), t = 13.20s)

表 5-26 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値

(③-③断面, S s - D (-+))

解析ケース	解析 ケース	評価位置	発生断面力	許容せん 断力 Q _a (kN)	照査値 Q/Q _a
			せん断力 Q (kN)		
施設護岸等有 「5. 耐震評価解析 結果」にて評価済み	②	4重管	18714	95166	0.20
施設護岸等を埋戻土 (粘性土)に置換	④	4重管	16901	95166	0.18

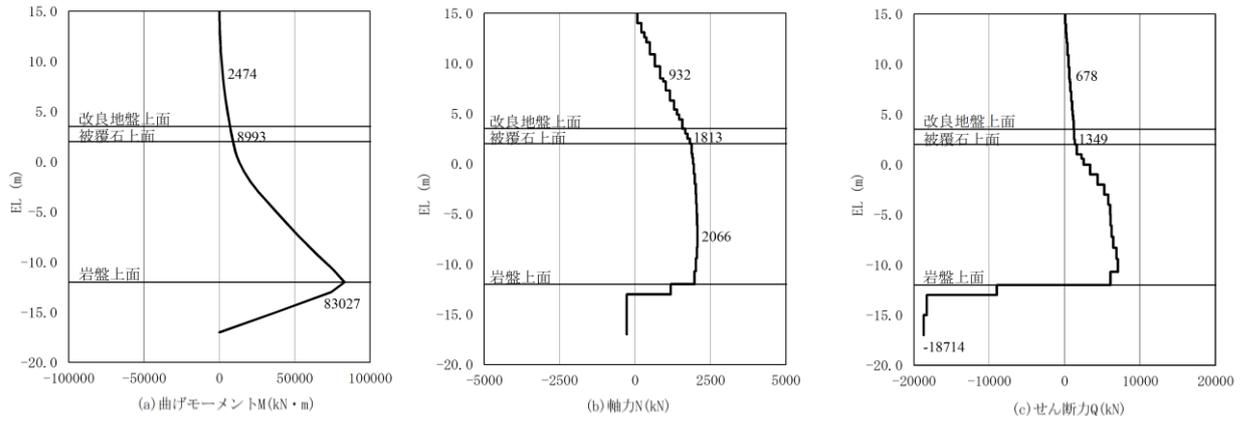


図 5-28(1) せん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (施設護岸等がある場合, $S_s - D(-+)$, $t = 13.21s$)

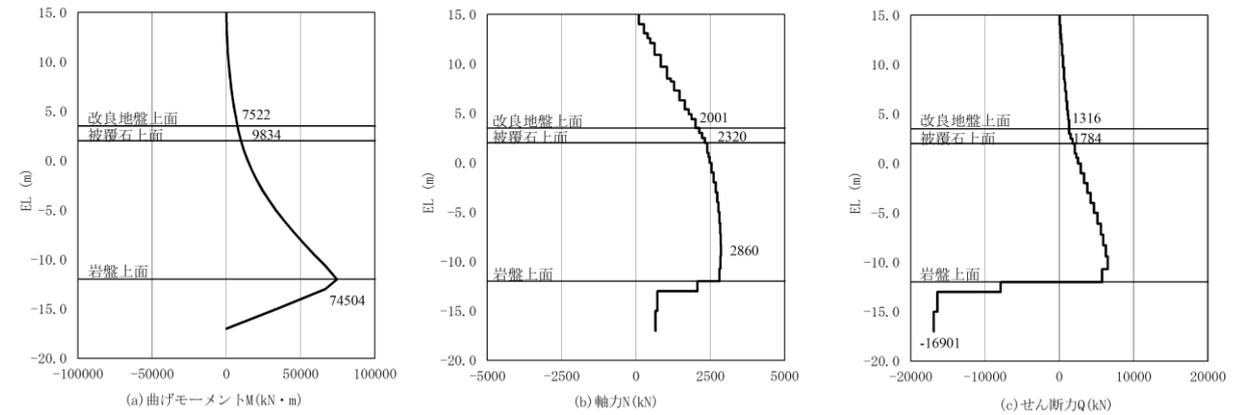


図 5-28(2) せん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (施設護岸等を埋戻土 (粘性土) に置換した場合, $S_s - D(-+)$, $t = 13.19s$)

6. 漂流物対策工

6.1 概要

本資料は、津波防護施設である防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する漂流物対策工の耐震性について、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する漂流物対策工が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

漂流物対策工に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価を行う。

6.2 基本方針

6.2.1 位置

防波壁に設置する漂流物対策工の位置を図 6-1 に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する漂流物対策工の構造区分を図 6-2，漂流物対策工の構造区分一覧を表 6-1 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）には漂流物対策工①及び漂流物対策工②を設置する。

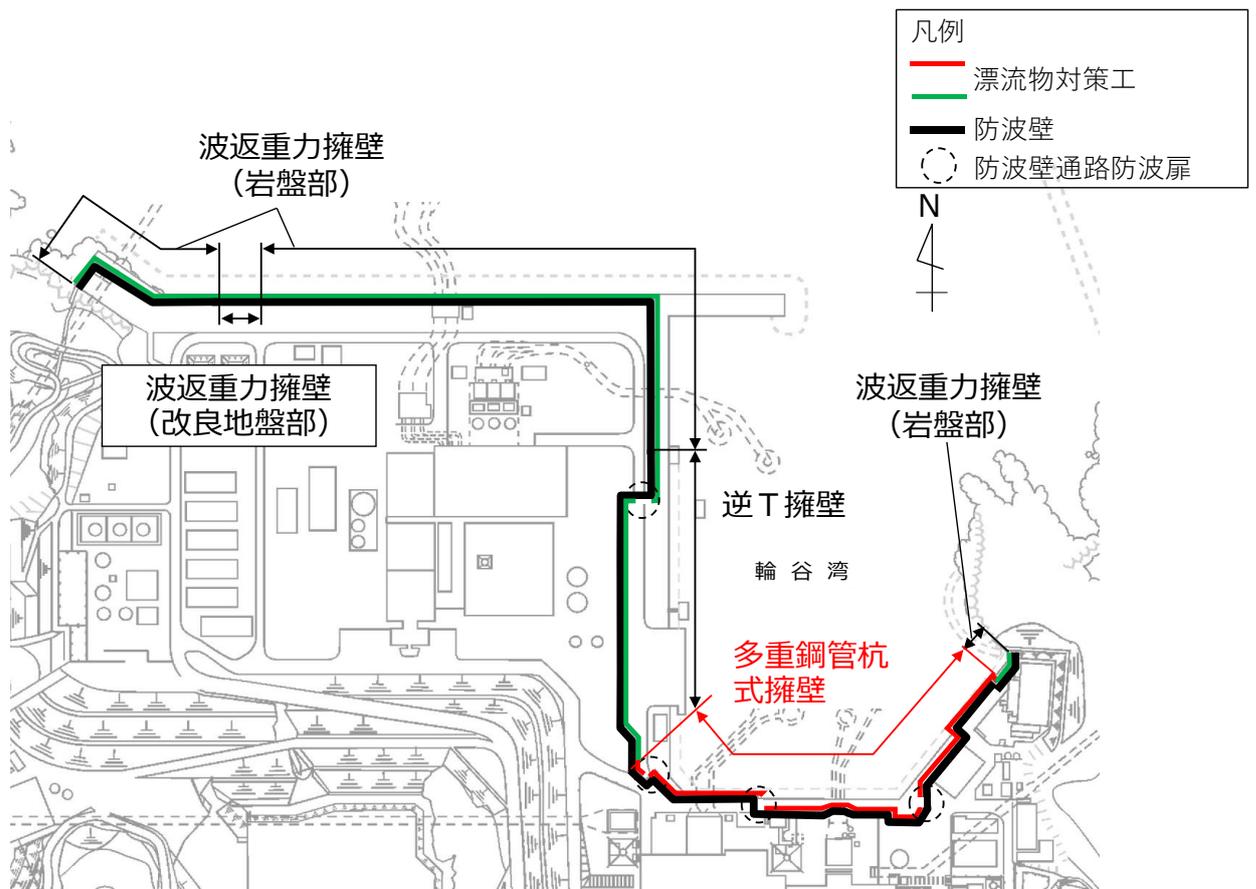


図 6-1 漂流物対策工の設置位置図

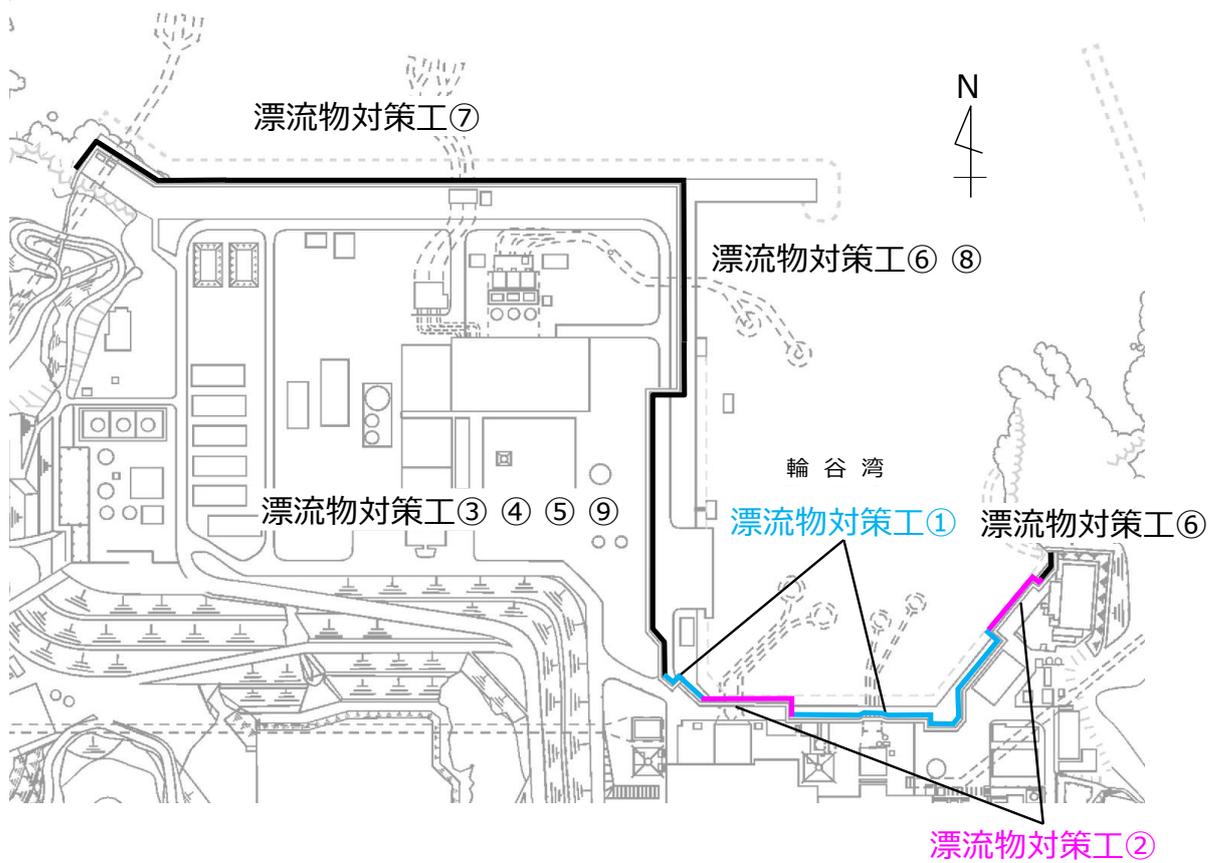


図 6-2 漂流物対策工の構造区分図

表 6-1 漂流物対策工の構造区分一覧

名称	種別	設置箇所
漂流物対策工①	鉄筋コンクリート版	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
漂流物対策工②	鉄筋コンクリート版	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
漂流物対策工③	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） 堅壁
漂流物対策工④	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） フーチング
漂流物対策工⑤	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） フーチング側壁
漂流物対策工⑥	鉄筋コンクリート版	防波壁（波返重力擁壁） 重力擁壁
漂流物対策工⑦	鉄筋コンクリート版	防波壁（波返重力擁壁） 重力擁壁
漂流物対策工⑧	鉄筋コンクリート版	防波壁（波返重力擁壁） ケーソン
漂流物対策工⑨	鋼材	防波壁（逆T擁壁） フーチング （グラウンドアンカ設置箇所）

6.2.2 構造概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する漂流物対策工の構造概要図を図 6-3 に、概略配筋図を図 6-4 に、アンカーボルト配置図を図 6-5 に示す。

漂流物対策工は、厚さ 50cm の鉄筋コンクリート版で構成される構造とし、アンカーボルトにより防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に支持される構造（以下「漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）」という。）である。

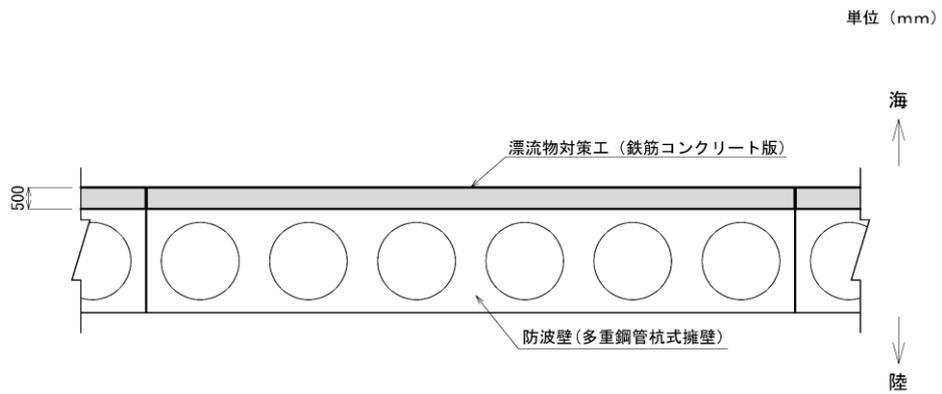


図 6-3(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (平面図)

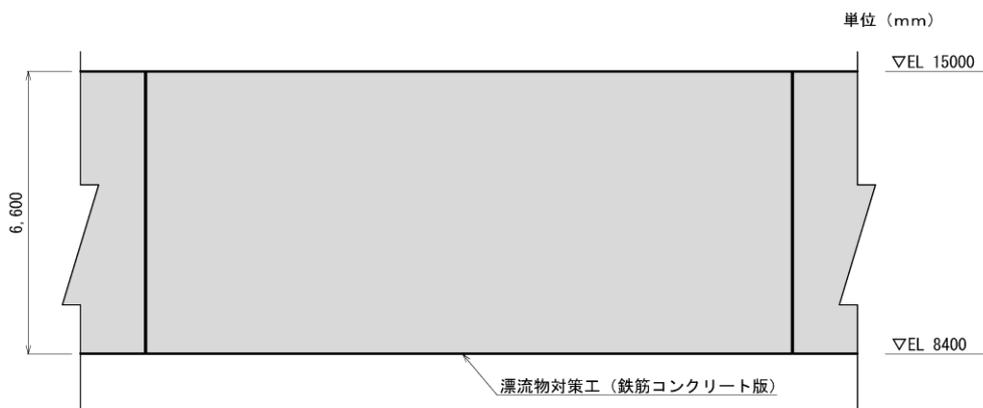


図 6-3(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (正面図)

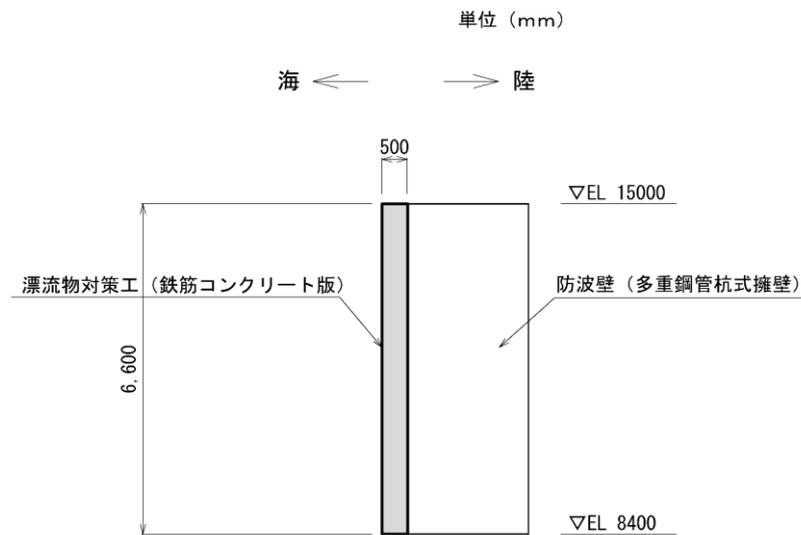


図 6-3(3) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (標準断面図)

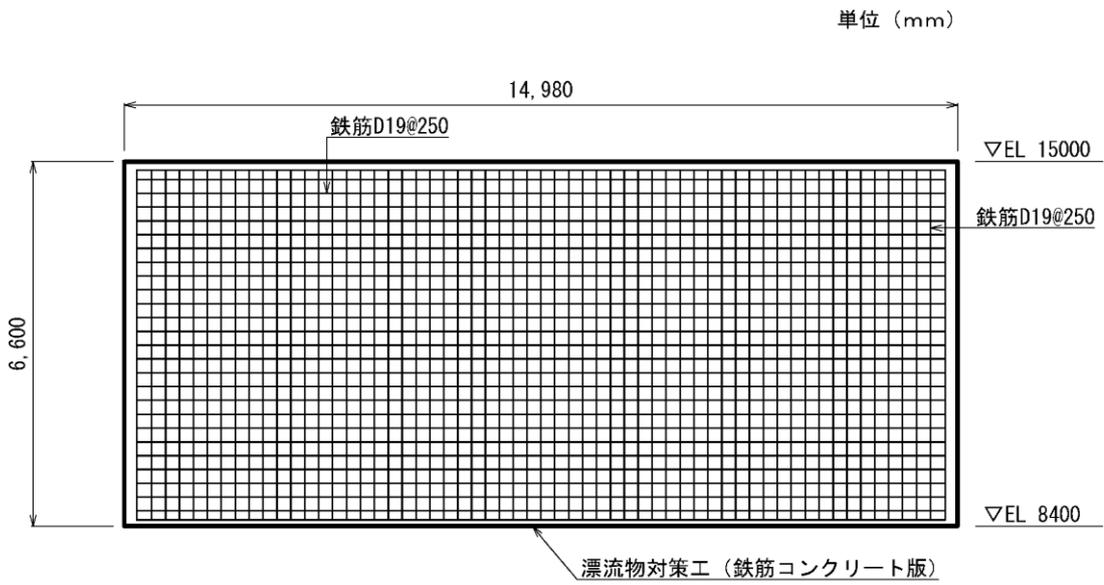


図 6-4(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (正面図)

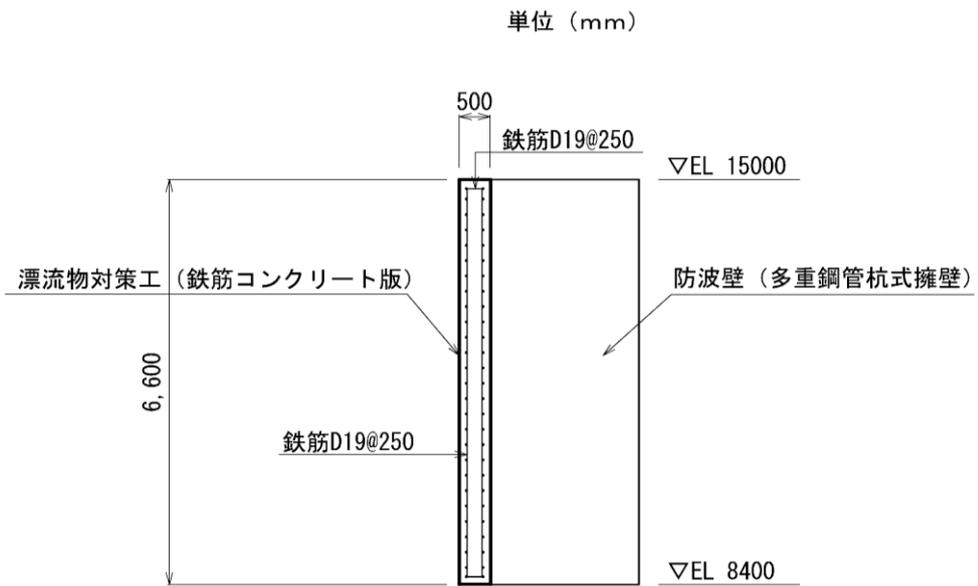


図 6-4(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (断面図)

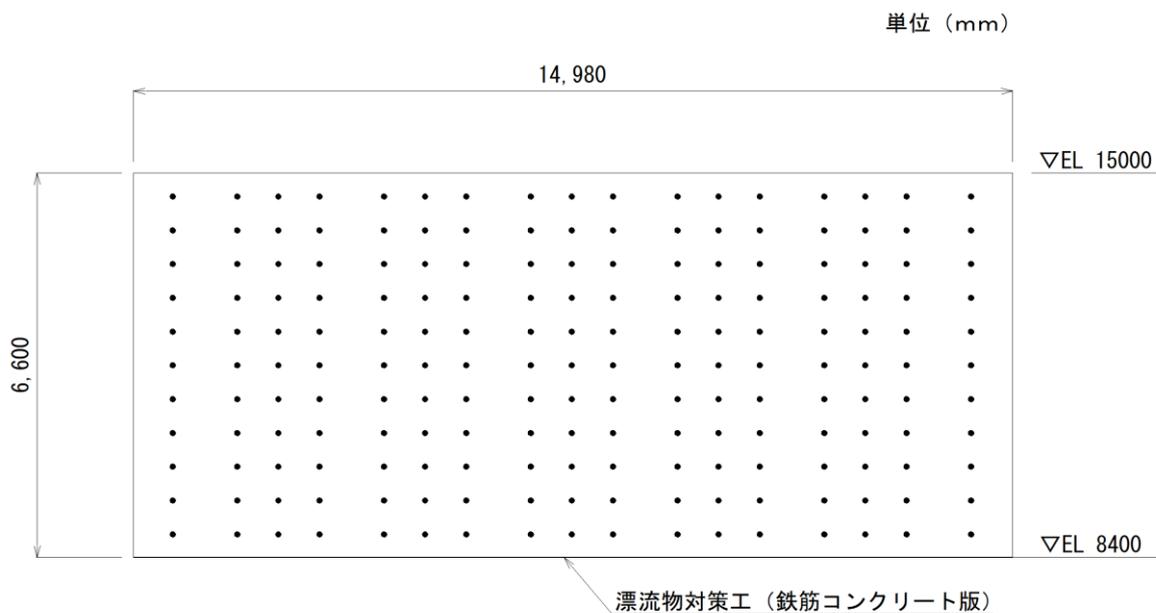


図 6-5(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (正面図)

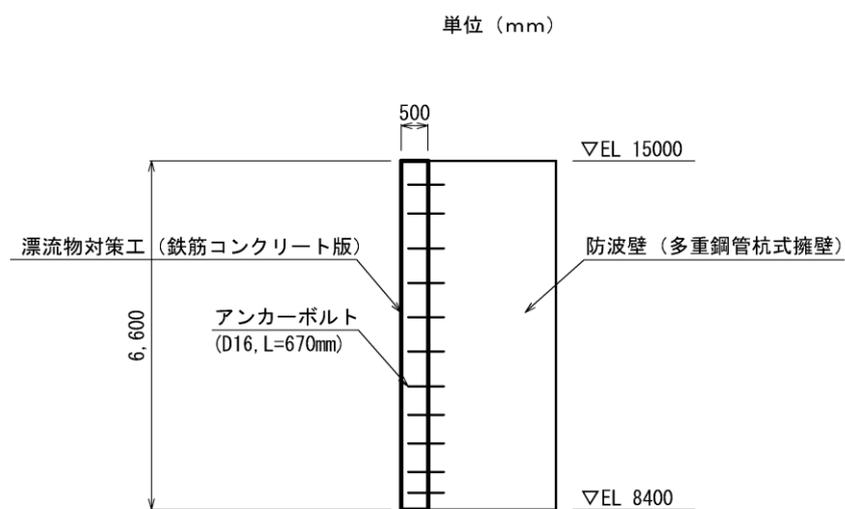


図 6-5(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (断面図)

6.2.3 評価方針

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は、津波防護施設である防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置し、漂流物衝突荷重を分散して防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に伝達し、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の局所的な損傷を防止する機能を有することから、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の各部位の役割及び性能目標を表6-2及び表6-3に示す。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価は、表6-4に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析結果に基づき、地震時の慣性力により漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）が防波壁（多重鋼管杭式擁壁）から分離しないことを確認する。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価フローを図6-6に示す。

表6-2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鉄筋コンクリート版	・役割に期待しない（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の解析モデルに重量として考慮し、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）への影響を考慮する）。	・漂流物衝突荷重を分散して防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に伝達する。 ・漂流物衝突荷重による防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の局所的な損傷を防止する。
	アンカーボルト	・鉄筋コンクリート版を支持する。	・鉄筋コンクリート版を支持する。

表6-3 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の各部位の性能目標

部位		性能目標	
		耐震性	耐津波性
施設	鉄筋コンクリート版	—	漂流物衝突荷重を分散して防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に伝達するために、鉄筋コンクリート版がおおむね弾性状態にとどまること。
	アンカーボルト	鉄筋コンクリート版が防波壁（多重鋼管杭式擁壁）から分離しないために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。	鉄筋コンクリート版が防波壁（多重鋼管杭式擁壁）から分離しないために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。

表 6-4 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価

評価方針	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	アンカーボルト	発生する応力（引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

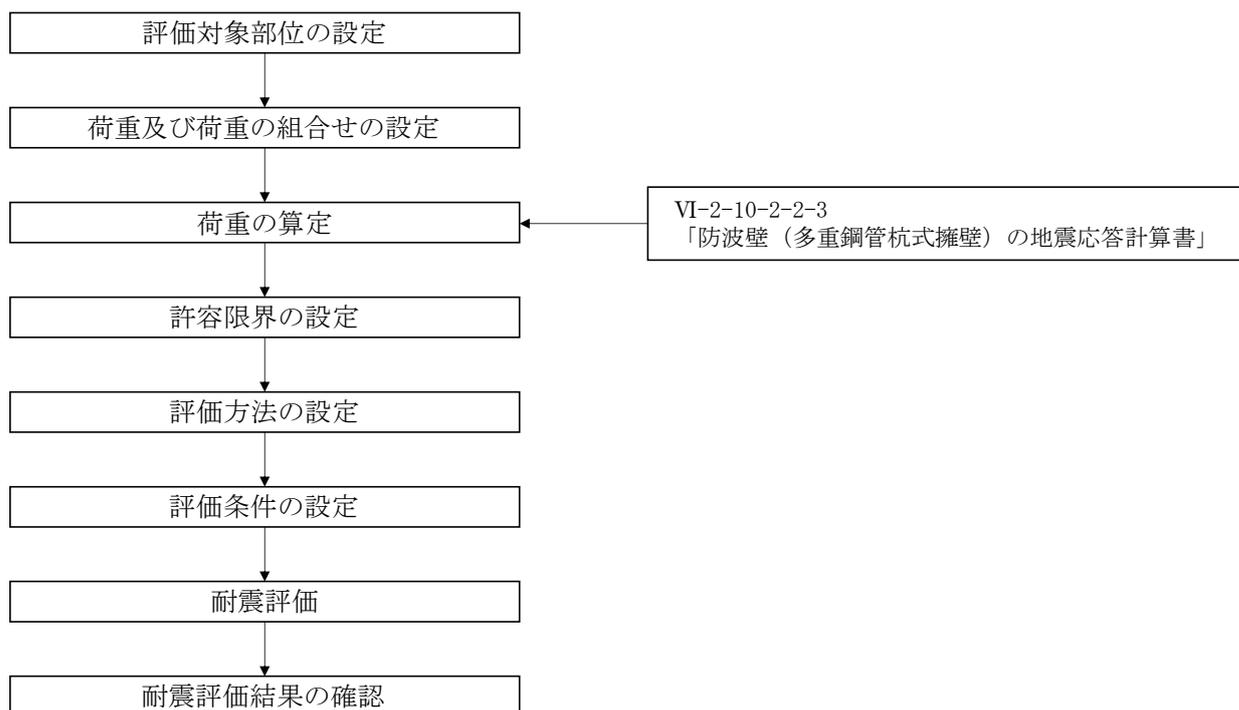


図 6-6 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価フロー

6.2.4 記号の説明

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価に用いる記号を表 6-5 にそれぞれ示す。

表 6-5 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震計算に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
$P_{s s}$	kN	慣性力
W_s	kN	重量
$P_{s s h}$	kN	水平慣性力
$K_{s h}$	—	基準地震動 S_s による水平方向震度
$P_{s s v}$	kN	鉛直慣性力
$K_{s v}$	—	基準地震動 S_s による鉛直方向震度
$W_{s 1}$	kN	慣性力による荷重（漂流物対策工①）重量
$K_{s h 1}$	—	慣性力による荷重（漂流物対策工①）水平震度
$P_{s s h 1}$	kN	慣性力による荷重（漂流物対策工①）水平慣性力
$K_{s v 1}$	—	慣性力による荷重（漂流物対策工①）鉛直震度
$P_{s s v 1}$	kN	慣性力による荷重（漂流物対策工①）鉛直慣性力
$p_{s c}$	kN/本	アンカーボルト 1 本に作用する引張力
$P_{s c}$	kN	アンカーボルトに作用する引張力
$n_{s c}$	本	漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）を支持するアンカーボルトの本数
$q_{s c}$	kN/本	アンカーボルト 1 本に作用するせん断力
$Q_{s c}$	kN	アンカーボルトに作用するせん断力

6.3 評価対象部位

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価対象部位は、「6.2.2 構造概要」に設定している構造を踏まえて、地震時荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、アンカーボルトとする。

評価対象部位を図 6-7 に示す。

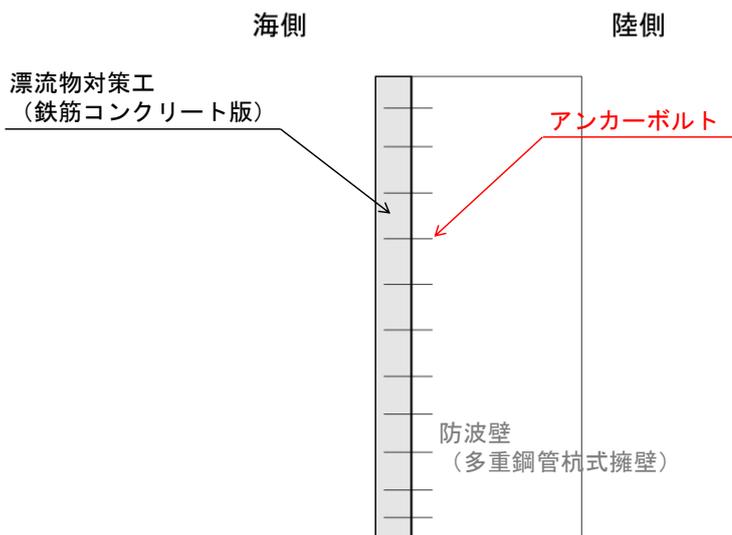


図 6-7 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価対象部位

6.4 耐震評価

6.4.1 評価対象構造区分

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「6.3 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「6.4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造的特徴を踏まえ、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分を表6-6に、各構造区分の構造概要図を図6-8及び図6-9に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）のうち、アンカーボルト1本当当たりの慣性力が大きいことから、漂流物対策工①を評価対象に選定した。

表6-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する
漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分

名称	種別	設置箇所	鉄筋コンクリート版		アンカーボルト	
			厚さ	高さ	径	標準本数 (幅1mあたり)
漂流物対策工①	鉄筋コンクリート版	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	50cm	6.6m (EL 15.0m~EL 8.4m)	D16	11本
漂流物対策工②	鉄筋コンクリート版	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	50cm	12.8m (EL 15.0m~EL 2.2m)	D16	23本

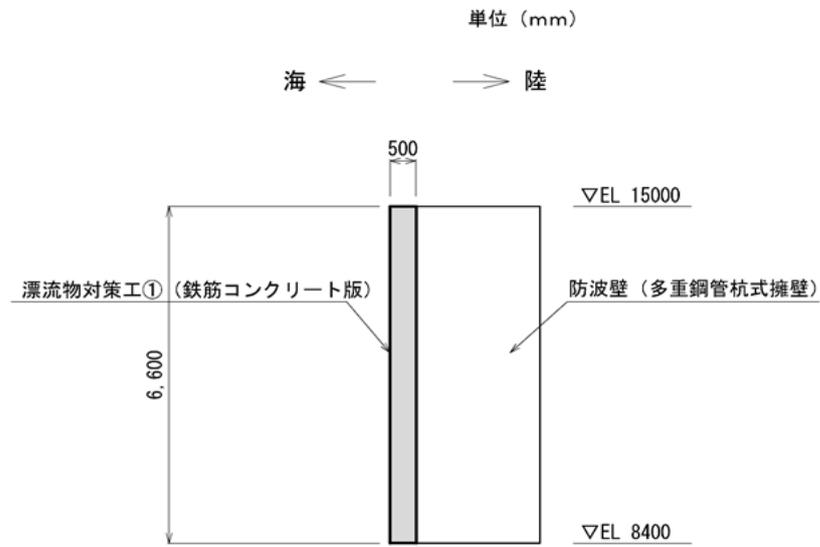


図 6-8 漂流物対策工①の構造概要図 (断面図)

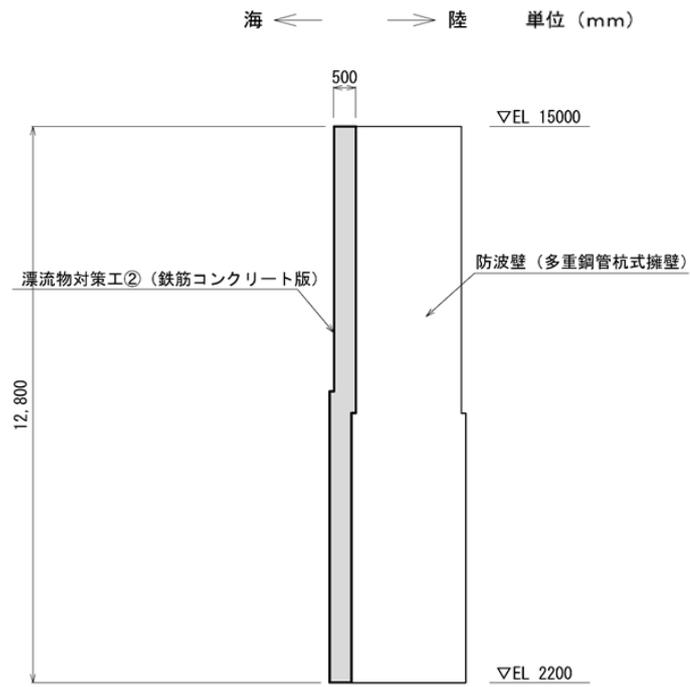


図 6-9 漂流物対策工②の構造概要図 (断面図)

6.4.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。
荷重の作用イメージ図を図 6-10 に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

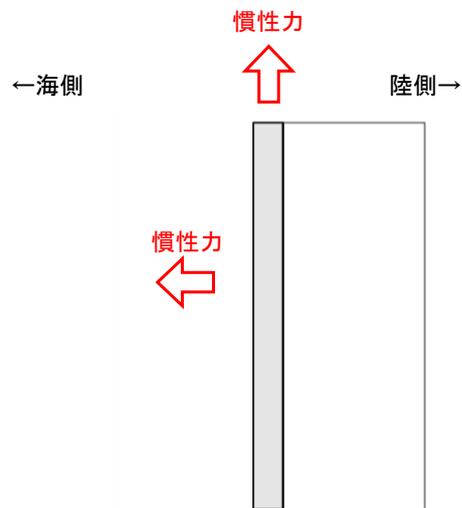


図 6-10 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の荷重作用イメージ図

(2) 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流対策工を構成する部材の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮するものとする。

なお、地震荷重の算定に用いる震度は、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置することから、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

(a). 慣性力 (P_{s s})

慣性力は、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の重量に震度を乗じた次式により算出する。

$$P_{s s h} = W_s \times K_{s h}$$

$$P_{s s v} = W_s \times K_{s v}$$

ここで、P_{s s h}, P_{s s v} : 水平・鉛直慣性力 (kN)

W_s : 重量 (kN)

K_{s h}, K_{s v} : 基準地震動 S_s による水平・鉛直方向震度

(3) 荷重の算定

耐震評価に用いる荷重の算定は以下のとおりとする。

a. 慣性力 (P_{ss})

$$P_{ss h} = W_s \times K_{sh}$$

$$P_{ss v} = W_s \times K_{sv}$$

ここで、 $P_{ss h}$ 、 $P_{ss v}$ ：水平・鉛直慣性力 (kN)

W_s ：重量 (kN)

K_{sh} 、 K_{sv} ：基準

地震動 S_s による水平・鉛直方向震度

地震荷重の算定に用いる震度は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析結果より、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）が設置される範囲における水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の加重平均値を用いて、重力加速度 (9.80665m/s^2) で除して設計震度を算定する。基準地震動 S_s による水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度分布図及び加速度抽出位置を図 6-8 に、耐震評価に用いる水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の加重平均値及び設計震度を表 6-7 に示す。

算定した慣性力は、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の解析モデルの各節点に水平方向及び鉛直方向に同時に入力する。

表 6-8 に漂流物対策工（幅 1 m あたり）に作用する慣性力による荷重の算定における計算条件を示す。

表 6-7 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価に用いる加速度及び設計震度

水平震度	鉛直震度
2.56	0.83

表 6-8 慣性力による荷重（漂流物対策工①）

項目		単位	入力値
重量	W_{s1}	kN	79.2
水平震度	K_{sh1}	—	2.56
水平慣性力	P_{ssh1}	kN	202.8
鉛直震度	K_{sv1}	—	0.83
鉛直慣性力	P_{ssv1}	kN	65.7

6.4.3 許容限界

漂流物対策工の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 仕様材料

a. 漂流物対策工

漂流物対策工を構成する各部材の使用材料を表 6-9 に、材料の物性値を表 6-10 に示す。

表 6-9 使用材料

諸元	
アンカーボルト	SD345

表 6-10 材料の物性値*

材料	単位体積重量 (kN/m ³)
鉄筋コンクリート	24.0

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会，2002年制定)

(2) 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

a. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年）」に基づき，表6-11の値とする。

表6-11 アンカーボルトの許容限界

評価対象部位		材質	引張耐力* (kN/本)	せん断耐力* (kN/本)
アンカー ボルト	漂流物対策工 (鉄筋コンクリ ート版)	SD345 (D16)	42.3	47.9

注記*：「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年）」に基づき設定する。

6.4.4 評価方法

(1) アンカーボルト

アンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価を実施する。アンカーボルトに発生する断面力が，許容限界以下であることを確認する。アンカーボルトのモデル図を図 6-11 に示す。

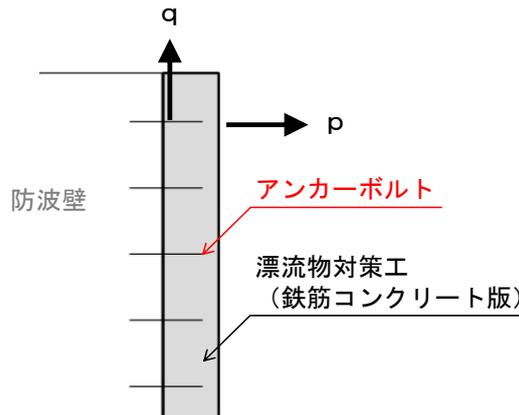


図 6-11 アンカーボルトのモデル図

a. アンカーボルトに作用する引張力

$$p_{sc} = P_{sc} / n_{sc}$$

ここで， p_{sc} ：アンカーボルト 1 本に作用する引張力 (kN/本)

P_{sc} ：アンカーボルトに作用する引張力 (kN)

n_{sc} ：漂流物対策工を支持するアンカーボルトの本数 (本)

b. アンカーボルトに作用するせん断力

$$q_{sc} = Q_{sc} / n_{sc}$$

ここで， q_{sc} ：アンカーボルト 1 本に作用するせん断力 (kN/本)

Q_{sc} ：アンカーボルトに作用するせん断力 (kN)

n_{sc} ：漂流物対策工を支持するアンカーボルトの本数 (本)

6.4.5 評価条件

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）のアンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価に用いる入力値を表 6-12 に示す。

表 6-12(1) 漂流物対策工①のアンカーボルトに作用する引張力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
P_{sc1}	kN	漂流物対策工①に作用する引張力（ $= P_{ssh1}$ ）	203
n_{sc1}	本	アンカーボルトの本数	11

表 6-12(2) 漂流物対策工①のアンカーボルトに作用するせん断力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Q_{sc1}	kN	漂流物対策工①に作用するせん断力（ $= P_{ssv1}$ ）	66
n_{sc1}	本	アンカーボルトの本数	11

6.4.6 評価結果

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）のアンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価結果を表 6-13 に示す。アンカーボルトの発生力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-13(1) アンカーボルトの引張力に対する耐震評価結果

評価部位	材質	引張力 (a) (kN/本)	許容限界 (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
漂流物対策工①	SD345 (D16)	18.5	42.3	0.44

表 6-13(2) アンカーボルトのせん断力に対する耐震評価結果

評価部位	材質	せん断力 (a) (kN/本)	許容限界 (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
漂流物対策工①	SD345 (D16)	6.0	47.9	0.13