

本資料の記載については、補足説明資料
の説明に合わせて今後適正化する

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-015-04
提出年月日	2022年 12月 23日

VI-3-別添 3-2-1-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の
強度計算書

2022年 12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	7
2.4 適用規格・基準等	12
3. 強度評価方法	13
3.1 記号の定義	13
3.2 評価対象断面及び部位	15
3.2.1 評価対象断面	15
3.2.2 評価対象部位	21
3.3 荷重及び荷重の組合せ	22
3.3.1 荷重	22
3.3.2 荷重の組合せ	24
3.4 許容限界	25
3.4.1 鋼管杭	25
3.4.2 被覆コンクリート壁	27
3.4.3 改良地盤	27
3.4.4 止水目地	28
3.4.5 基礎地盤	28
3.5 評価方法	29
3.5.1 津波時	29
3.5.2 重畳時	39
4. 評価条件	41
4.1 津波時	41
4.2 重畳時	43
5. 評価結果	45
5.1 津波時	46
5.1.1 鋼管杭	46
5.1.2 被覆コンクリート壁	49
5.1.3 改良地盤④の評価結果	57
5.1.4 改良地盤⑤の評価結果	58
5.1.5 止水目地	60
5.1.6 基礎地盤	61

5.2 重畳時	62
5.2.1 鋼管杭	62
5.2.2 被覆コンクリート壁	64
5.2.3 改良地盤⑤	67
5.2.4 止水目地	68
5.2.5 基礎地盤	69

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，施設・地盤の構造健全性を保持すること，十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

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。

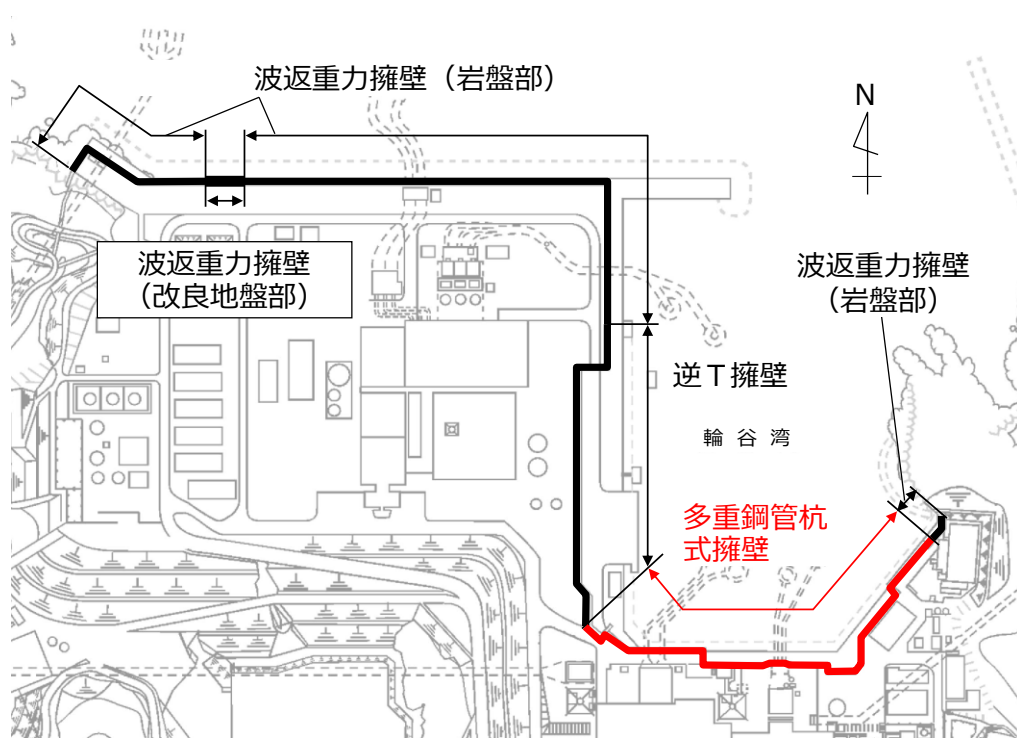


図 2-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図

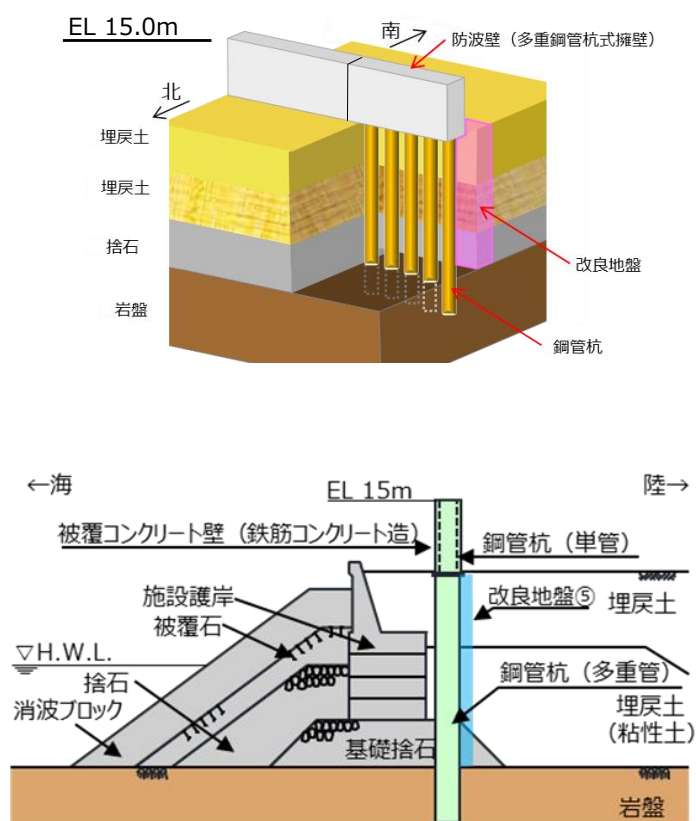
2.2 構造概要

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 及び図 2-4 に、概略配筋図を図 2-5 に、止水目地の概念図及び配置位置図を図 2-6 及び図 2-7 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、入力津波高さ（EL 12.6m）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、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及び、鋼管杭と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。鋼管杭は、岩盤に支持させる構造とし、岩盤部では隣り合う多重鋼管杭間をセメントミルクで間詰めする。被覆コンクリート壁の、ブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地を設置する。

また、津波の地盤中からの回り込みに対し、防波壁の背後に地盤改良を実施する。



(正面図及び断面図)

図 2-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

(単位: mm)

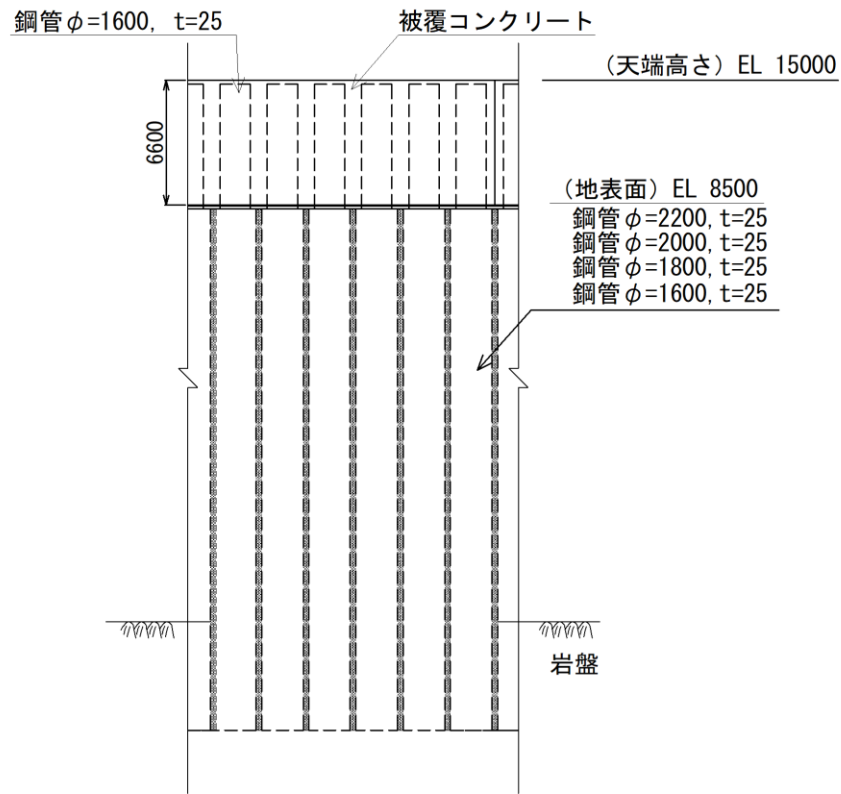


図 2-3 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の構造図 (正面図)

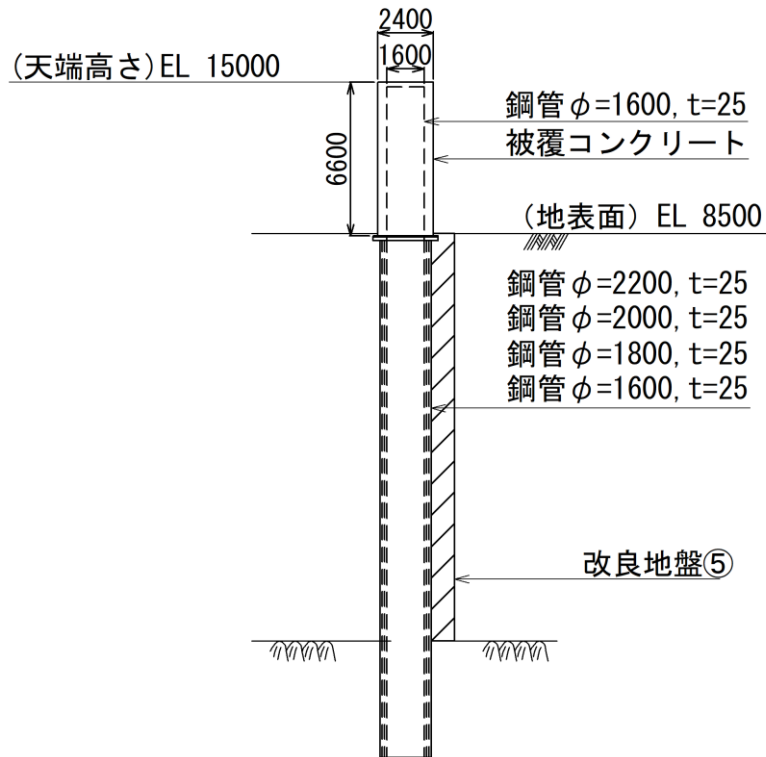


図 2-4 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の構造図 (断面図)

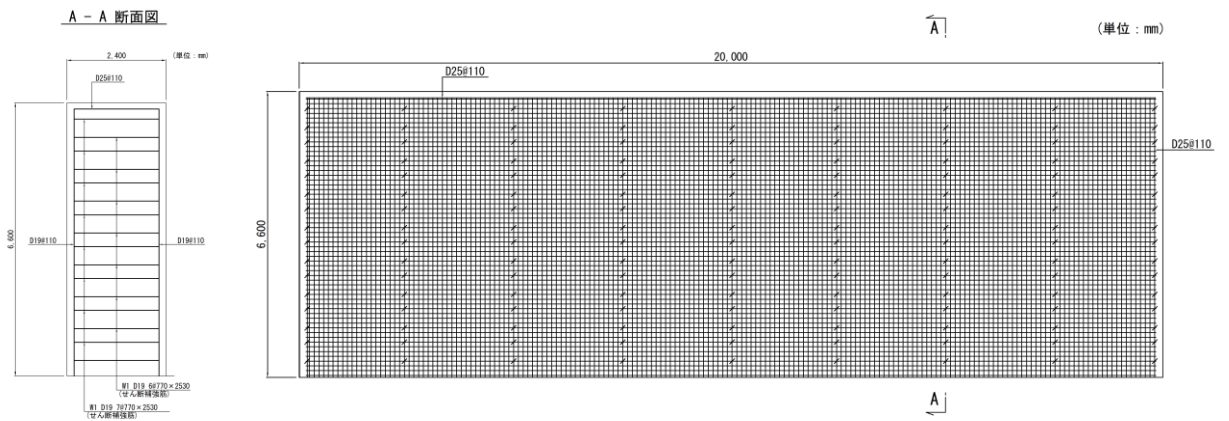


図 2-5 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の概略配筋図

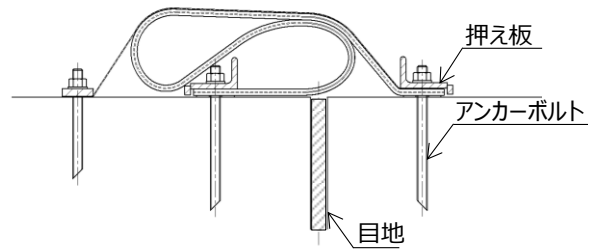


図 2-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の止水目地の概念図

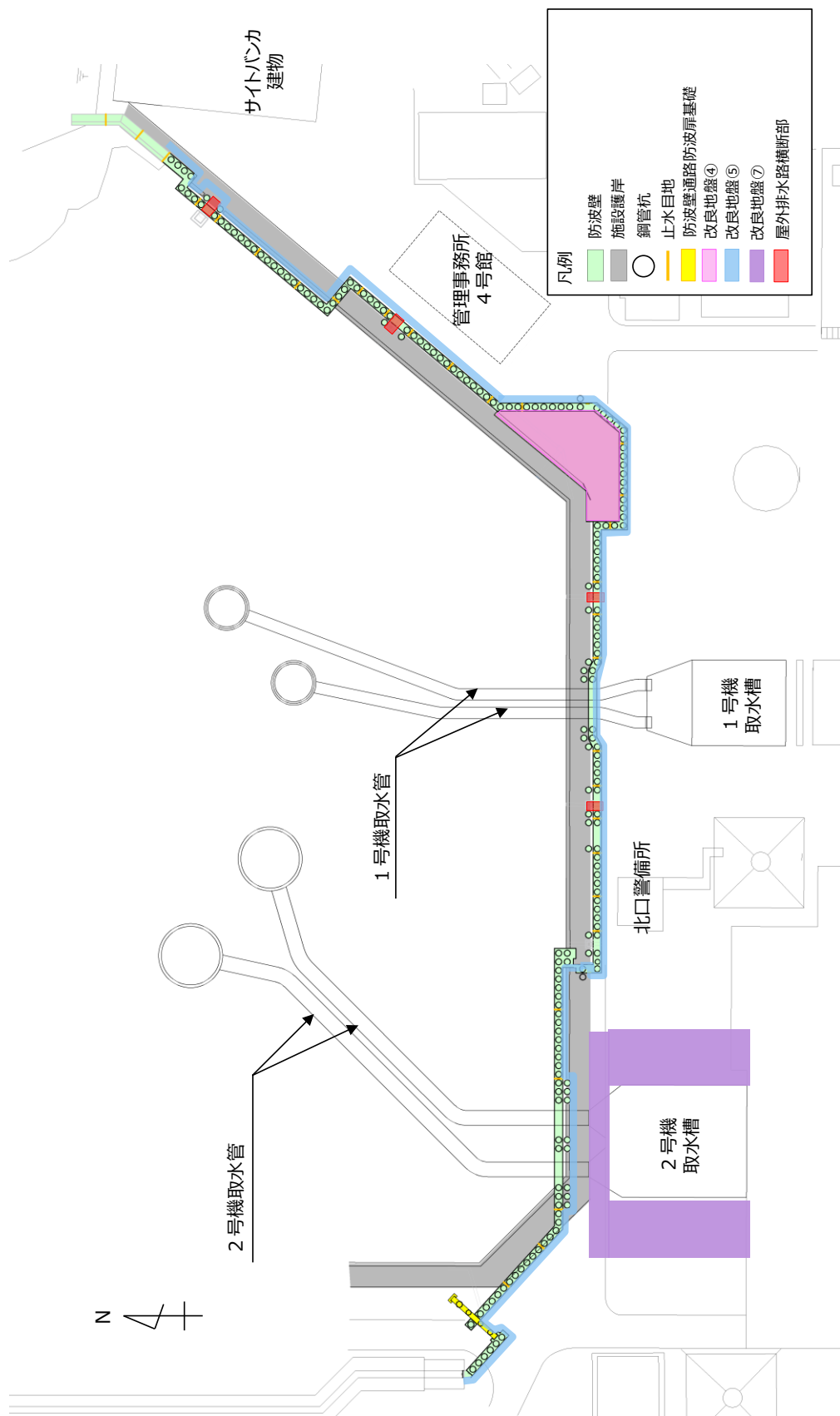


図 2-7 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の止水目地の配置位置図

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。

また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度評価は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」におい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実施する。強度評価では、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 評価結果」より、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象部位の発生応力、すべり安全率及び発生変形量が許容限界を満足することを確認する。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）について行う。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度評価は、設計基準対象施設として表2-3の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価項目に示すとおり、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により、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。

防波壁(多重鋼管杭式)の強度評価フローを図2-8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	・止水目地を支持する。	・止水目地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変形に追従し、遮水性を保持する。
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、防波壁への相互作用を考慮する)。	・役割に期待しない。
	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(解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する)。	・防波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(解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する)。	・役割に期待しない。
	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 杭間部充填)	・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、岩盤に含む。

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。
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。	鋼管杭の変形を抑制するため、岩盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	—

注記*：岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは、岩盤に含む。

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）及びせん断応力度（せん断）
		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	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*
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）及びせん断応力度（せん断）
		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	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤⑤		
	基礎地盤の支持性能	岩盤	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*
	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*： 妥当な安全余裕を考慮する。

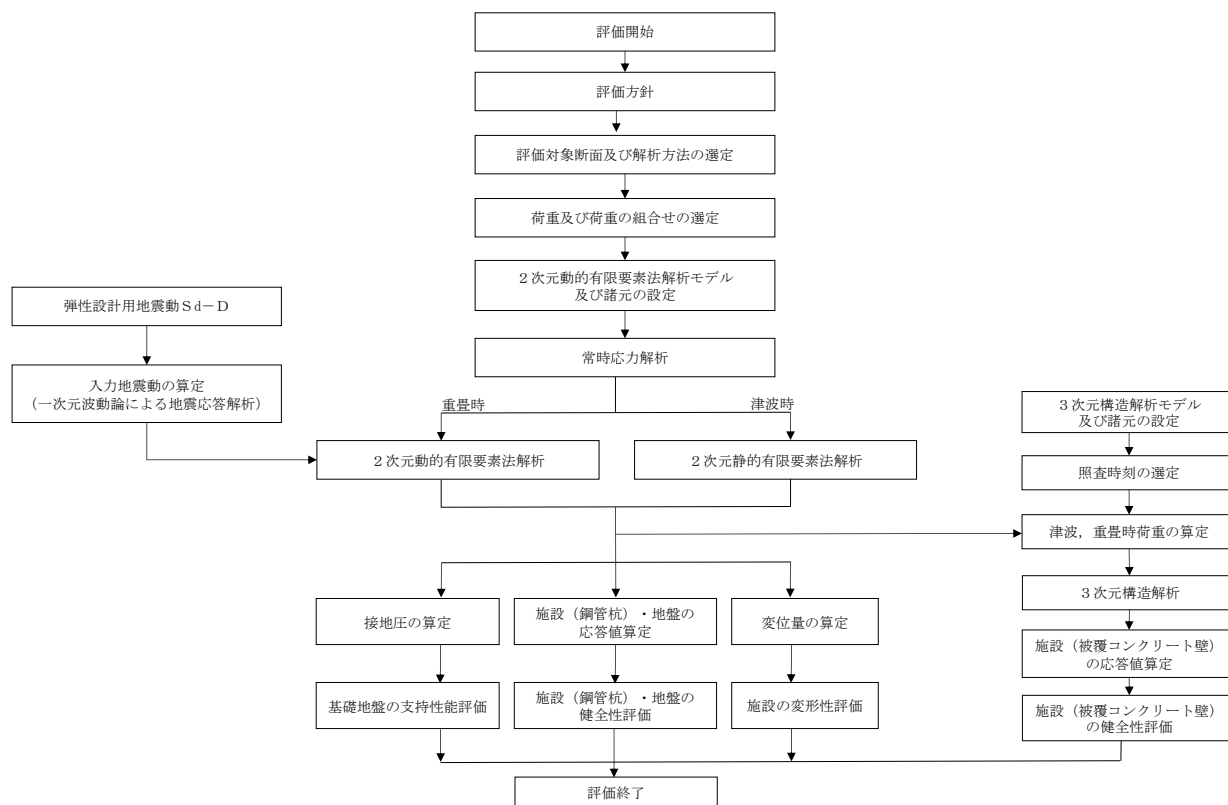


図 2-8 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度評価フロー

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]（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・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成27年12月）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解析（（社）日本港湾協会，H19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）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号 (1)

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN/m ²	積載荷重
P _s	kN/m ²	積雪荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)
P _k	kN/m ²	風荷重
P _t	kN/m ²	遡上津波荷重
P _c	kN/m	衝突荷重
K _{sd}	—	余震荷重
γ _w	kN/m ³	海水の単位体積重量
ρ	ton/m ³	海水の密度
M _{max}	kN・m	鋼管杭に発生する曲げモーメント
M _y	kN・m	鋼管杭の降伏モーメント
Z _e	mm ³	鋼管杭の断面係数
N	kN	鋼管杭に発生する軸力
A	mm ²	鋼管杭の断面積
Q _{max}	kN	鋼管杭に発生するせん断力
Q _a	kN	鋼管杭の許容せん断力
σ _c	N/mm ²	被覆コンクリート壁に発生する曲げ圧縮応力度
τ _c	N/mm ²	被覆コンクリート壁に発生するせん断応力度
σ _s	N/mm ²	被覆コンクリート壁に発生する曲げ引張応力度
σ _{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
τ _{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容せん断応力度
σ _{sa}	N/mm ²	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度

表 3-1 強度評価に用いる記号 (2)

記号	単位	定義
δ_x	mm	止水目地の x 方向 (法線直交方向) の変位
δ_y	mm	止水目地の y 方向 (法線方向) の変位
δ_z	mm	止水目地の z 方向 (深度方向) の変位
$\delta_x(T)$	mm	止水目地の x 方向の最大相対変位
$\delta_y(T)$	mm	止水目地の y 方向の最大相対変位
$\delta_z(T)$	mm	止水目地の z 方向の最大相対変位
δ	mm	止水目地の最大変位
R_d	N/mm ²	鋼管杭先端の軸力より算定される軸応力度
R_u	N/mm ²	極限支持力
N_{max}	kN	鋼管杭に発生する軸力

3.2 評価対象断面及び部位

3.2.1 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、多重鋼管杭の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。

本資料では、防波壁が施設護岸の背面に設置されている断面である②-②断面と、防波壁が施設護岸の前面に設置されている断面である③-③断面の強度評価を実施する。また、止水目地の評価において、②-②断面と⑦-⑦断面を選定する。

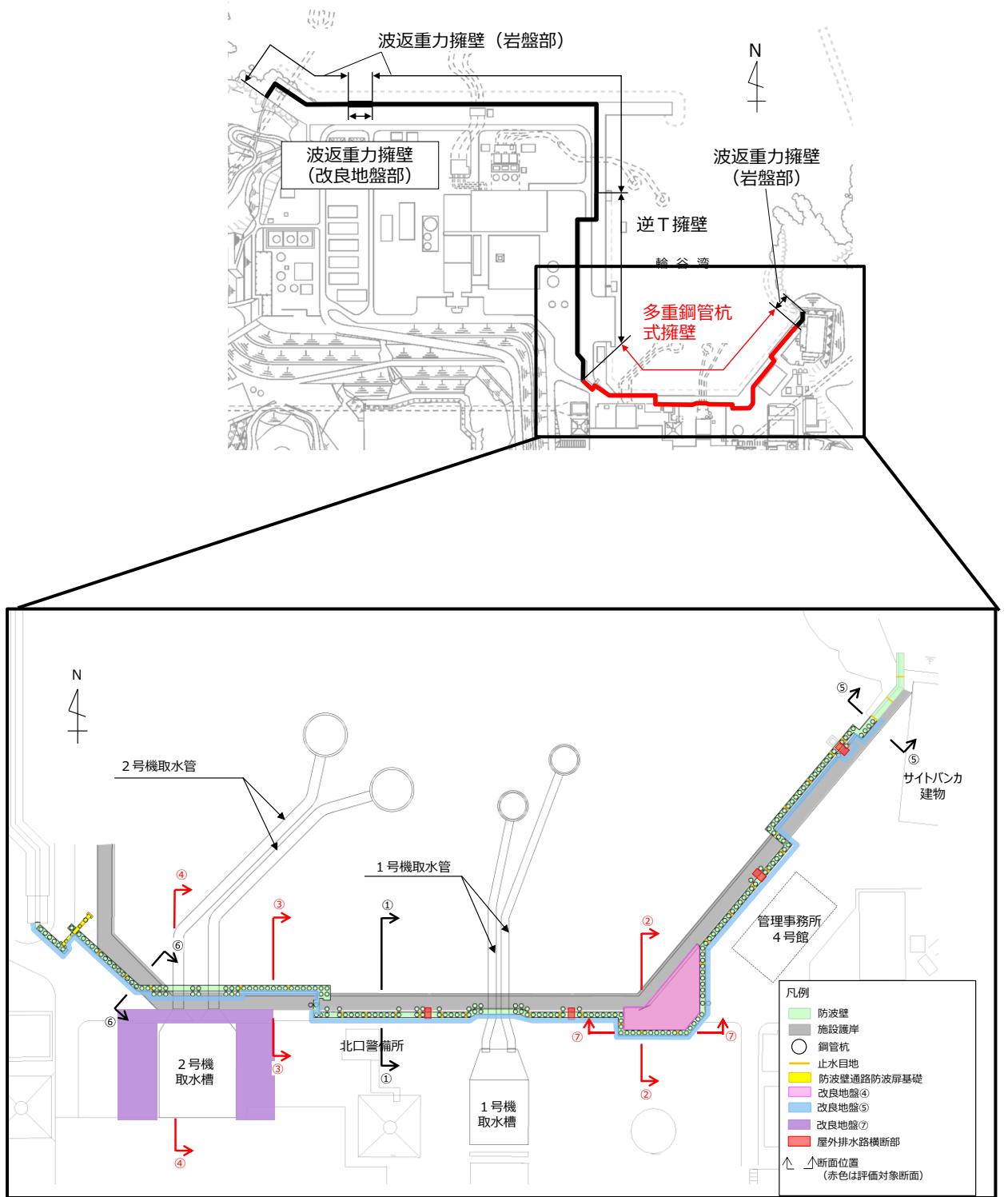


図 3-1 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の評価対象断面位置図

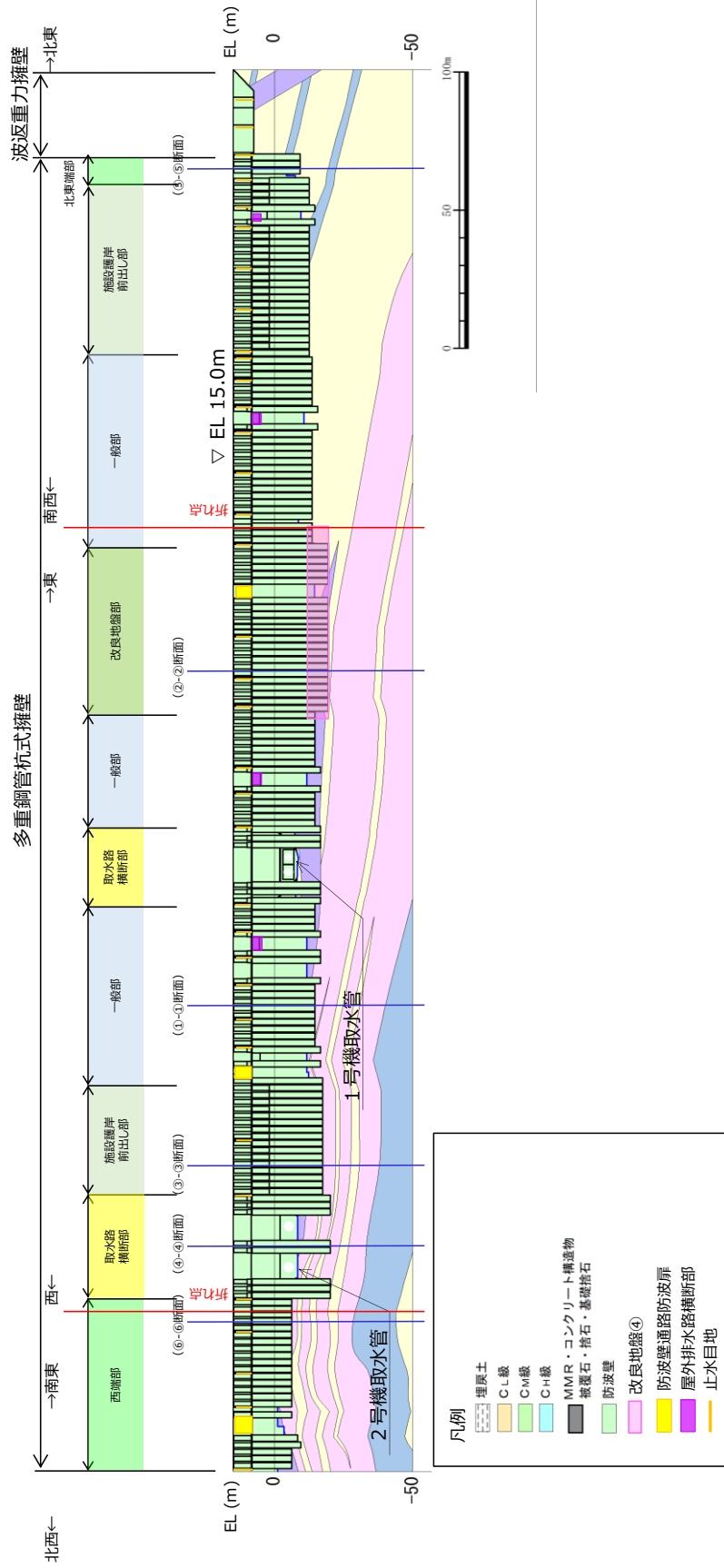


図 3-2 防波堤（多重鋼管杭式擁壁）の縦断面図

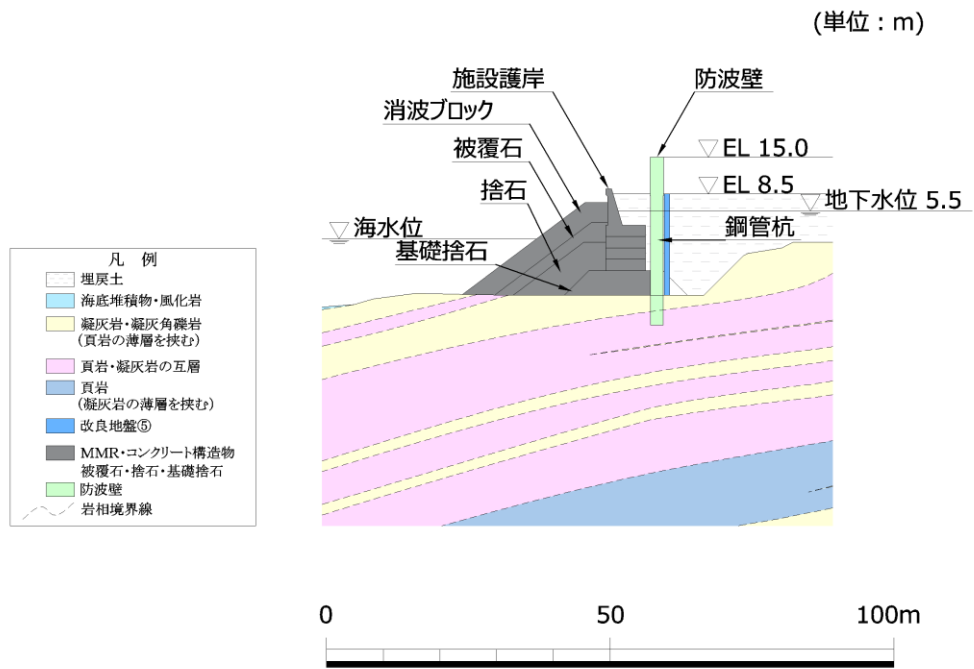


図 3-3 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断図 (①-①断面)

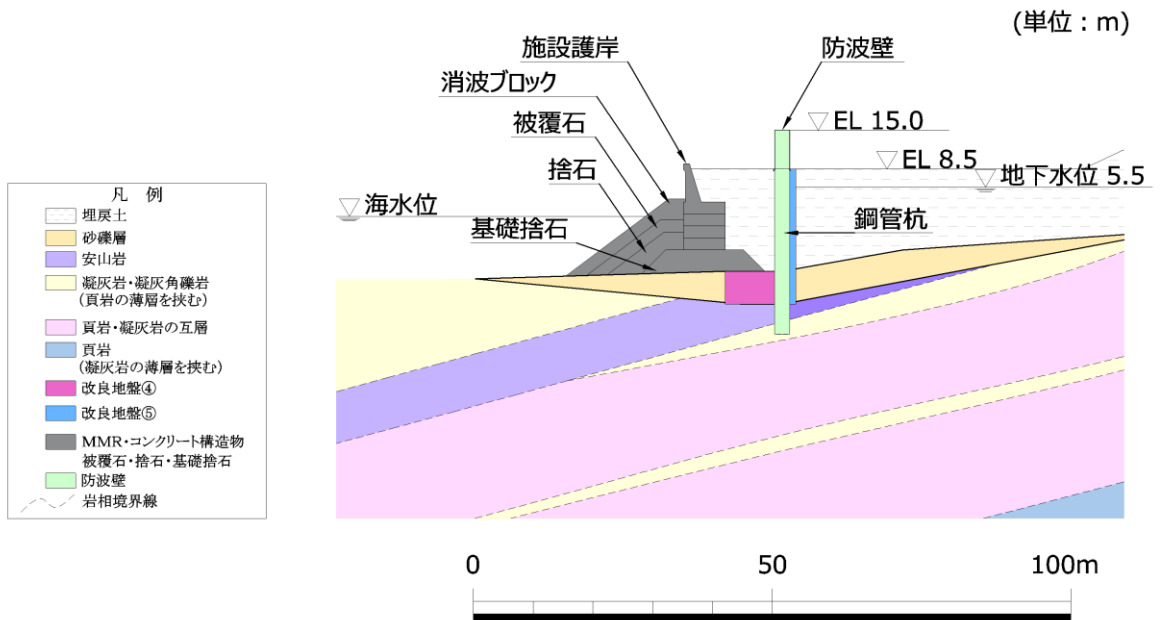


図 3-4 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断図 (②-②断面)

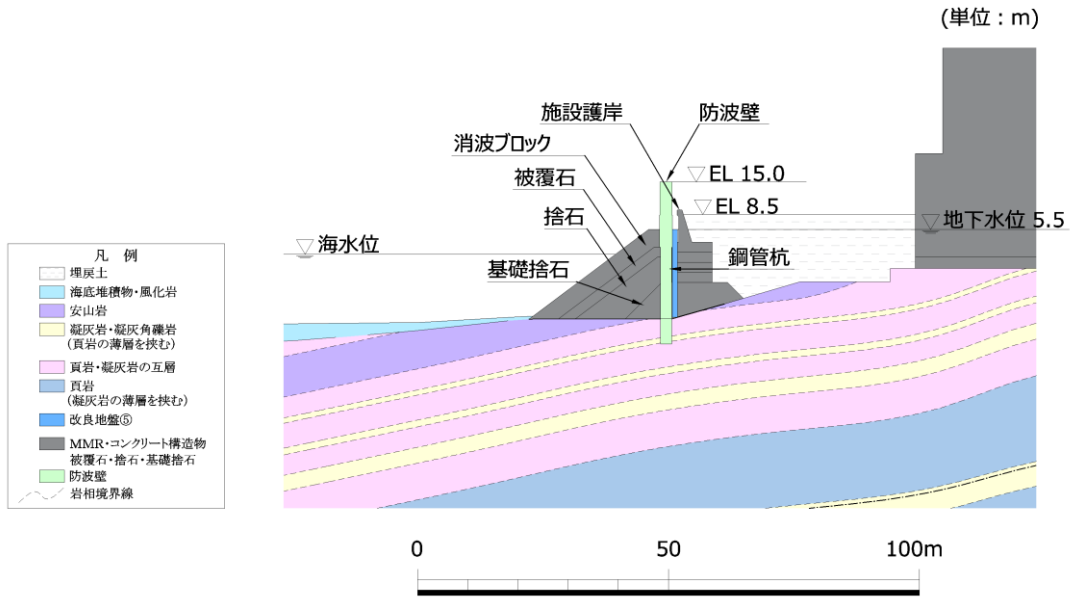


図 3-5 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断図（③-③断面）

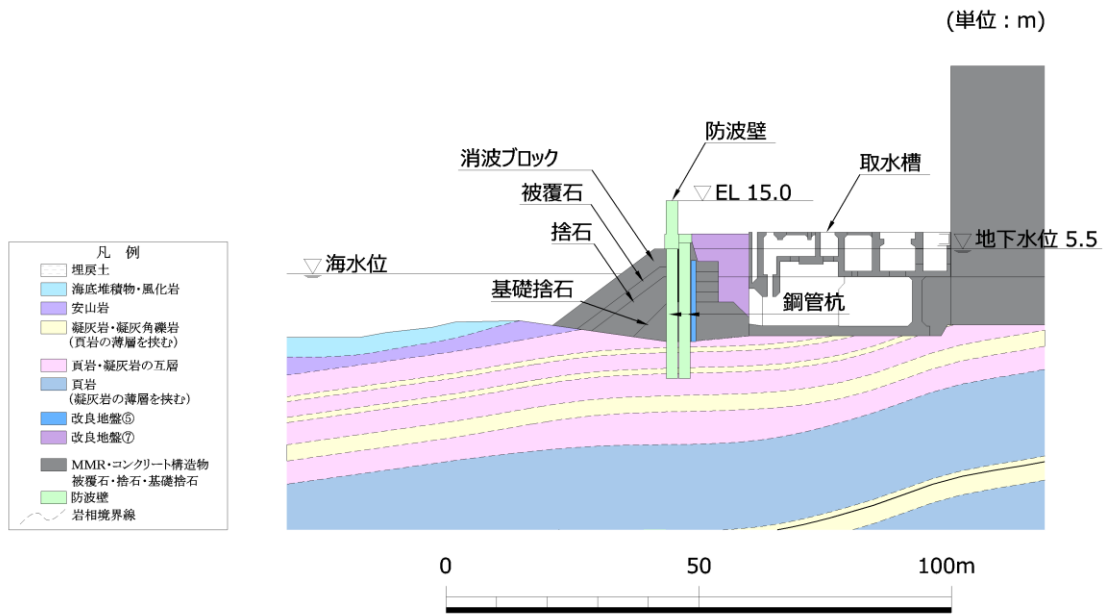


図 3-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断図（④-④断面）

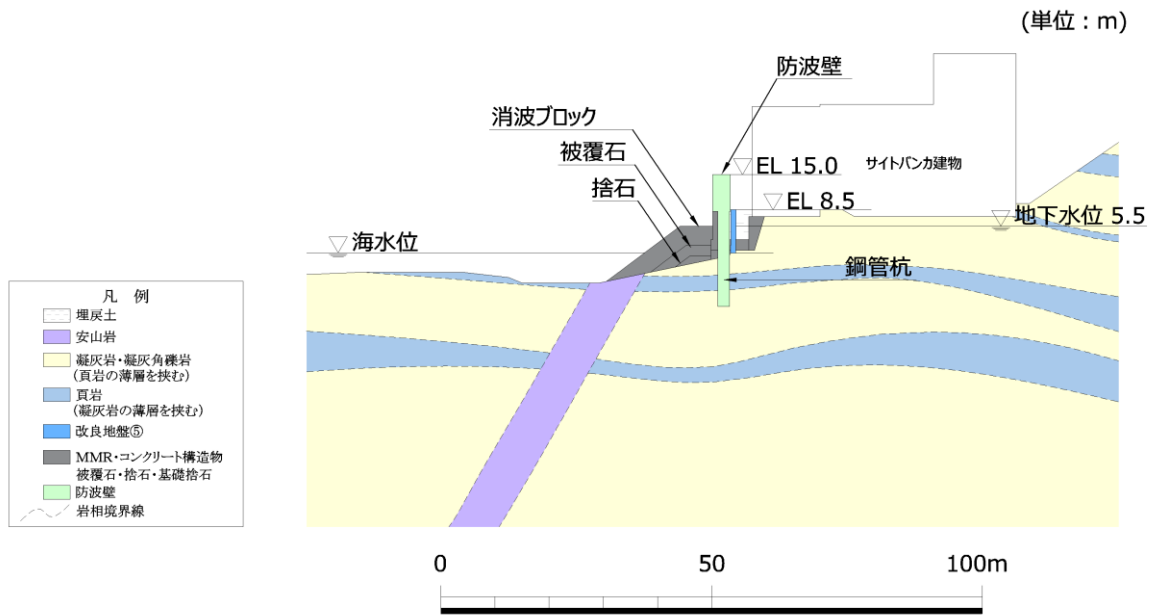


図 3-7 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断図（⑤-⑤断面）

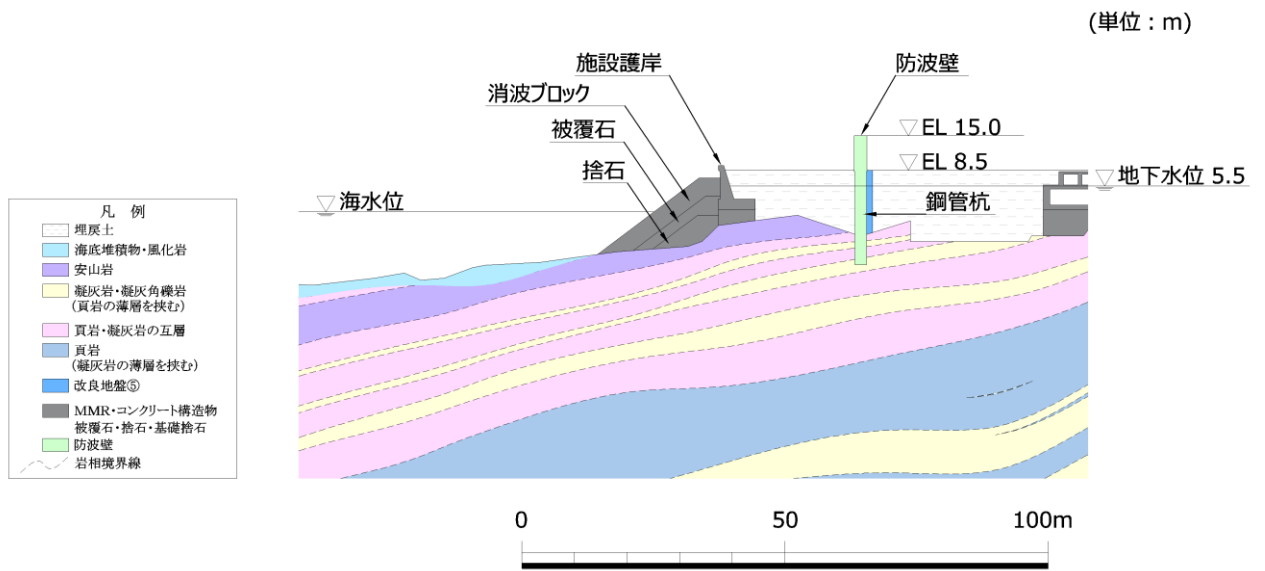


図 3-8 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断図（⑥-⑥断面）

3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

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、津波時には2次元静的有限要素法（有効応力解析）による強度評価を行い、重畳時には2次元動的有限要素法（有効応力解析）による強度評価を行う。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。

(1) 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、鋼管杭、被覆コンクリート壁、改良地盤④及び改良地盤⑤とする。

(2) 施設の変形性評価

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

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、多重鋼管杭式擁壁を支持する基礎地盤（岩盤）とする。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (G, P)

常時作用する荷重として、自重又は固定荷重及び積載荷重とする。

(2) 遡上津波荷重 (P_t)

敷地高以上については、朝倉式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波の水位と各施設の設置高さの差分の 1/2 倍を浸水深として、浸水深の 3 倍で作用する水圧として算定する。

敷地高以深については、谷本式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波高さの 1/2 を入射津波高さとして定義し、静水面上の波圧作用高さは入射津波高さの 3 倍とし、静水面における波圧は入射津波高さに相当する静水圧の 2.2 倍として算定する。

(3) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d-D による地震力及び動水圧を考慮する。

(4) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重は、津波漂流物による衝突荷重を選定し、設定する。

衝突荷重は表 3-2 に示すとおり、施設の延長に応じて設定する。

施設に作用させる際は、漂流物対策工による荷重分散を考慮する。

表 3-2 衝突荷重

評価対象断面	②-②断面	③-③断面
衝突荷重 (kN/m)	420	360

(5) 風荷重 (P_k)

風荷重は、平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1 4 5 4 号に定められた松江市の基準風速 30m/s を使用する。浸水防護施設が設置される状況に応じて、建築基準法及び建設省告示第 1 4 5 4 号に基づき、ガスト影響係数等を適切に設定して算出する。

(6) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重は、発電所に最も近い気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018 年）より、観測史上 1 位の月最深積雪 100cm（1971 年 2 月 4 日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を基本とし、積雪量 1 cm ごとに 20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し、各施設の積雪面積を乗じて設定する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の作用図を図 3-9 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t + P_c + P_k + P_s$
重畳時	$G + P + P_t + K_{s d} + P_k + P_s$

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- P_t : 遡上津波荷重
- $K_{s d}$: 余震荷重
- P_c : 衝突荷重
- P_k : 風荷重
- P_s : 積雪荷重

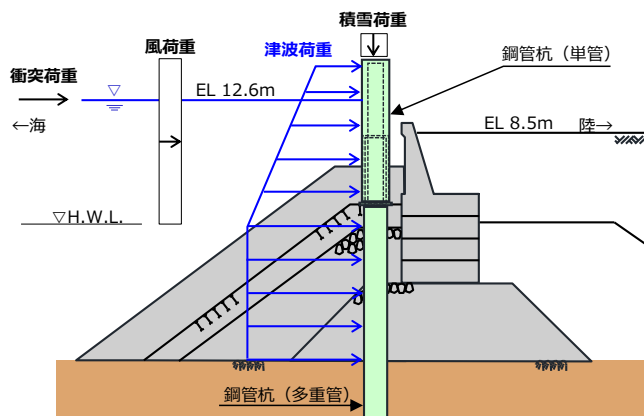


図 3-9(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の荷重作用図（津波時）

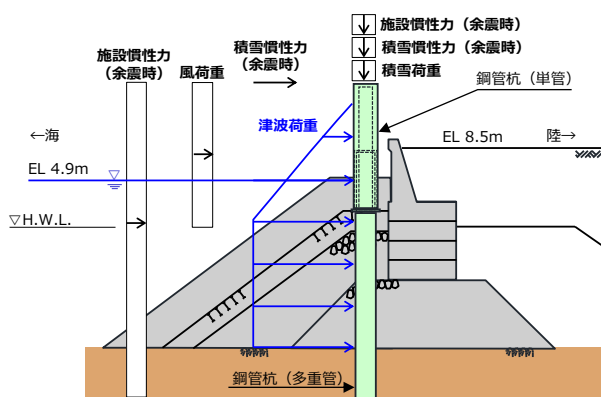


図 3-9(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の荷重作用図（重畳時）

3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.4.1 鋼管杭

鋼管杭の許容限界は「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解析（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 3-4 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。

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

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）

許容せん断力は次式により算定する。

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

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_a ：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 3-4 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	地上部 (1重管)	最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	14637	19421
③-③断面		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	14706	19421
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	88462	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（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。

3.4.2 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3-5に示す短期許容応力度とする。

表3-5 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より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

3.4.3 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」を準用し, 表3-6にすべり安全率を示す。

表3-6 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

3.4.4 止水目地

止水目地の許容限界は、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形量とする。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の変位量に対する許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 止水目地の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1580

3.4.5 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 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (kN/mm ²)	
極限支持力	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	C _L 級	3.9	

3.5 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度評価は，VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

3.5.1 津波時

(1) 2次元静的有限要素法

a. 解析方法

津波時に発生する応答値は，「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元静的有限要素法により算定する。なお，衝突荷重は入力津波水位 EL 11.9m に余裕を考慮した津波水位 EL 12.6m に作用させる。

2次元静的有限要素法に用いる解析コードは，「FLIP」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

b. 施設

鋼管杭は，線形はり要素によりモデル化する。

被覆コンクリート壁のモデル化は行わず，質量として自重を考慮する。

c. 解析モデル及び諸元

評価対象断面のうち②-②断面及び③-③断面の解析モデルは，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。

評価対象断面のうち⑦-⑦断面の解析モデルを図 3-10 に示す。解析領域，境界条件等の考え方は，②-②断面及び③-③断面と同様である。

(a) 解析領域

解析領域は，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

(b) 境界条件

境界条件については，有限要素解析における半無限地盤を模擬するため，粘性境界を設ける。

(c) 構造物のモデル化

鋼管杭は，線形はり要素によりモデル化する。

被覆コンクリート壁のモデル化は行わず，質量として自重を考慮する。

(d) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

(e) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

(f) ジョイント要素の設定

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

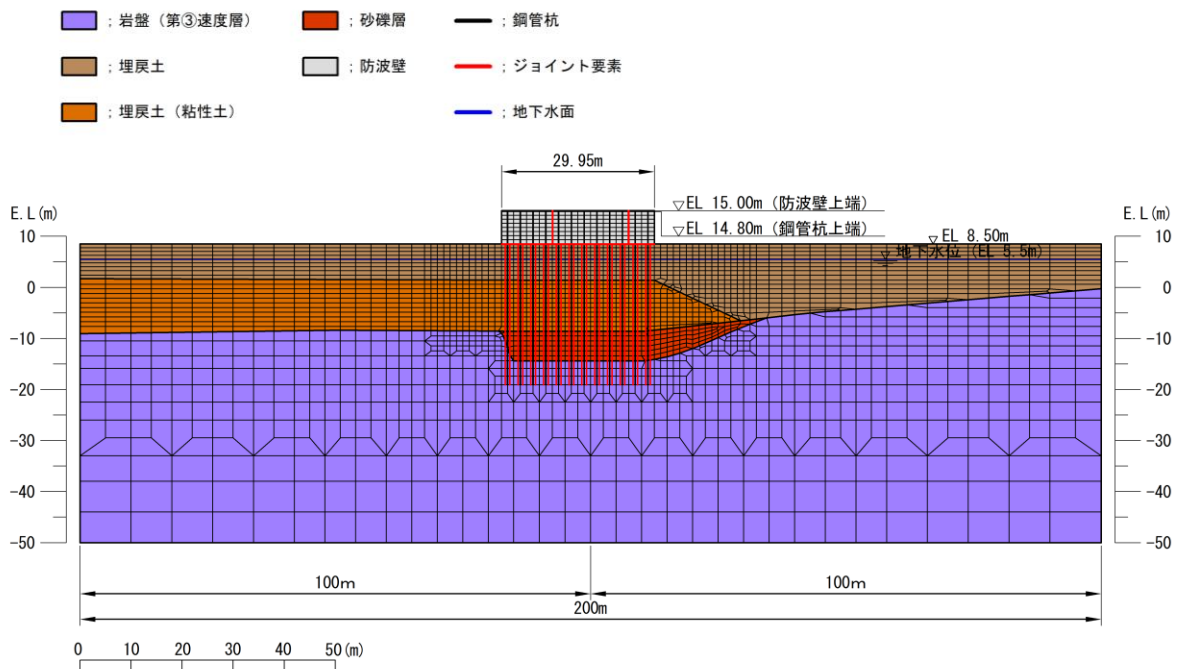


図 3-10 解析モデル (⑦—⑦断面)

d. 使用材料および材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。鋼管杭の使用材料を表 3-9 に、材料の物性値を表 3-10 に示す。

表 3-9 使用材料

諸元	
鋼管杭	φ 2200mm (SKK490, SM490Y) t=25mm*
	φ 2000mm (SKK490) t=25mm
	φ 1800mm (SKK490) t=25mm
	φ 1600mm (SKK490) t=25mm

注記*：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（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。

表 3-10 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
鋼管杭	77.0* ¹	2.0×10 ⁵ *	0.3

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）

e. 地盤及び改良地盤の物性値

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及び改良地盤⑤の残留強度及び引張強度を表 3-11 のとおり設定する。

表 3-11 改良地盤④及び改良地盤⑤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	0.11
改良地盤⑤	0.0	35.60	1.16

f. 地下水位

設計地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位を表 3-12 に示す。

表 3-12 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	防波壁より陸側：EL 5.5m 防波壁より海側：EL 0.58m

g. 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の津波時の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

(a) 鋼管杭

イ. 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。

ロ. せん断力照査

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。

(b) 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求め、最小すべり安全率を算定する。

(c) 止水目地

止水目地の評価について、法線直交方向及び法線方向ともに、津波荷重による最大変位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）の変位は、図 3-11 に示すとおり、多重鋼管杭式擁壁天端における津波時の変位量とし、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）の変位は、隣接する多重鋼管杭式擁壁の天端間の相対変位とする。

x 方向（法線直交方向）の変位 $\delta_x : \delta_x = |\delta_x(T)| \times 2$

y 方向（法線方向）の変位 $\delta_y : \delta_y = |\delta_y(T)|$

z 方向（深度方向）の変位 $\delta_z : \delta_z = |\delta_z(T)| \times 2$

ここで、

$\delta_x(T)$: x 方向の最大変位

$\delta_y(T)$: y 方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$: z 方向の最大変位

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、止水目地の津波荷重による最大変位とする。

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

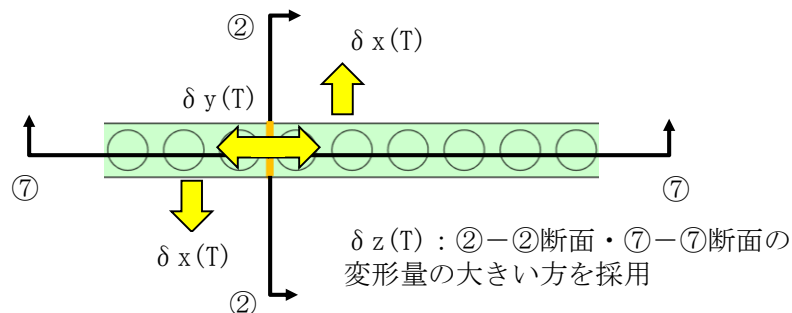


図 3-11 津波時の変位の概念図

(d) 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）・同解析（日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に従い，杭先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以下であることを確認する。

$$R_d = \frac{N_{max}}{A}$$

ここで，

R_d ：鋼管杭先端の軸力より算定される軸応力度（N/mm²）*

N_{max} ：鋼管杭に発生する軸力（kN）*

A ：鋼管杭先端の断面積（mm²）*

注記*：最外の鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

(2) 3次元構造解析

a. 解析方法

津波時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて3次元構造解析により算定する。なお、衝突荷重は入力津波水位 EL 11.9mに余裕を考慮した津波水位 EL 12.6mに作用させる。

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

b. 施設

被覆コンクリート壁はソリッド要素でモデル化する。

c. 解析モデル及び諸元

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の3次元構造解析における解析モデルを図3-12及び図3-13に示す。

(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。

(b) 地盤ばね

3次元構造解析モデルのうち地中部の鋼管杭には、地盤抵抗を表現するため、地盤バネを設置する。

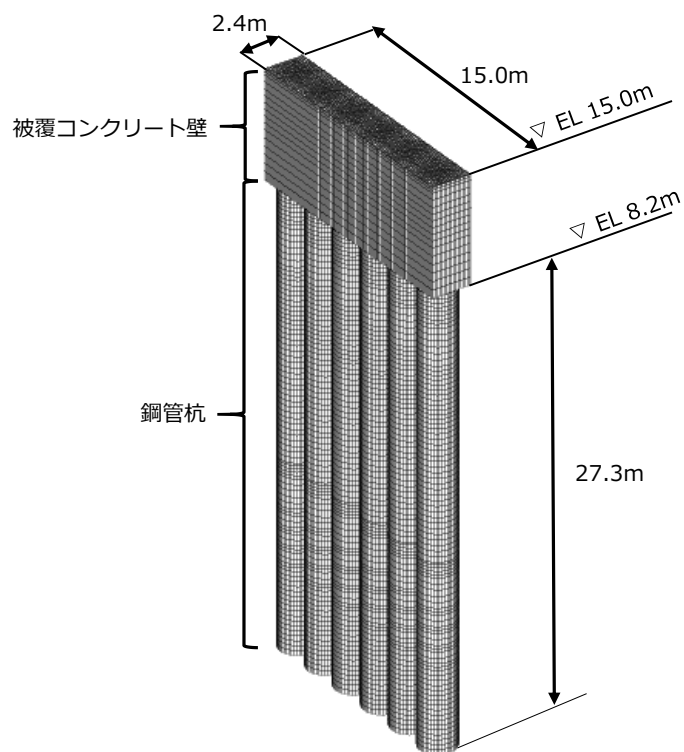


図 3-12 3次元構造解析モデル (②—②断面)

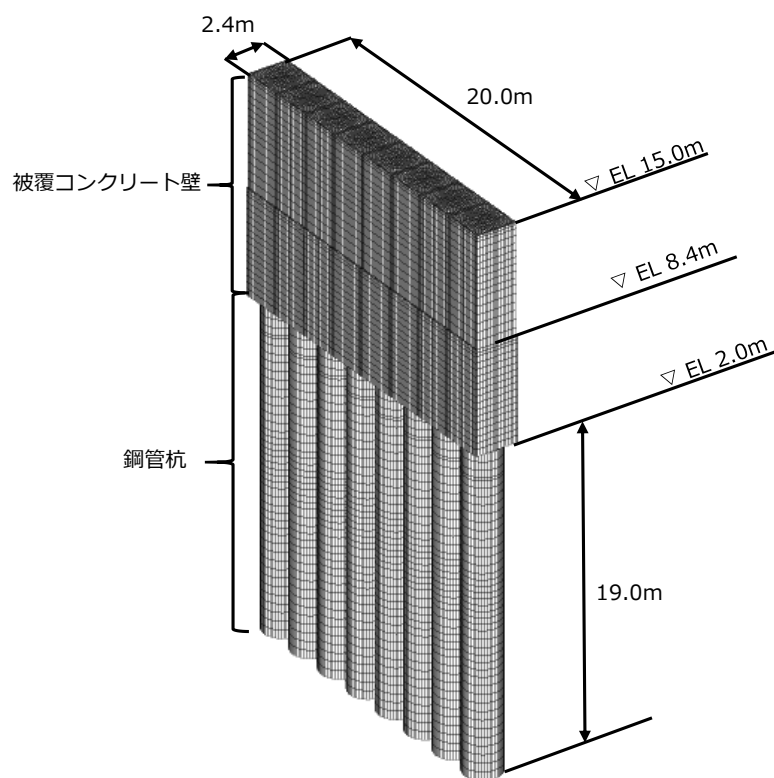


図 3-13 3次元構造解析モデル (③—③断面)

d. 使用材料および材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-13 に、材料の物性値を表 3-14 に示す。鋼管杭の仕様材料は、「(1) 2次元静的有限要素法」に示したものをを用いる。

表 3-13 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 3-14 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*	2.50×10 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）

e. 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の津波時の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

(a) 被覆コンクリート壁

被覆コンクリート壁の評価は、モーメント及び軸力より算定される曲げ応力及びせん断力より算定されるせん断応力が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「EMRGINING」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。

3.5.2 重畳時

(1) 2次元動的有限要素法

a. 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元動的有限要素法により算定する。

2次元動的有限要素法に用いる解析コードは、「FLIP」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

b. 施設

施設のモデル化については、「3.5.1 津波時」と同様とする。

c. 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰を設定する。

d. 解析ケース

重畳時においては、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」に基づき、弾性設計用地震動 $S_d - D$ に対して、ケース①(基本ケース)を実施する。

e. 入力地震動

入力地震動は、弾性設計用地震動 $S_d - D$ について、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」に基づき設定する。

f. 解析モデル及び諸元

解析モデル及び諸元は、「3.5.1 津波時」と同様である。

g. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

h. 地盤の物性値

地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

i. 地下水位

地下水位については、「3.5.1 津波時」と同様である。

j. 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の重畳時の強度評価は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(2) 3次元構造解析

a. 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて3次元構造解析により算定する。

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

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。

b. 施設

施設のモデル化については、「3.5.1 津波時」と同様である。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 構造物のモデル化

解析モデル及び構造物のモデル化については、「3.5.1 津波時」と同様である。

(b) 地盤ばね

3次元構造解析モデルのうち地中部の鋼管杭には、地盤抵抗を表現するため、地盤バネを設置する。地盤バネは、「a. 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。

d. 使用材料および材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

e. 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の重畳時の強度評価は、「3.5.1 津波時」と同様である。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

4.1 津波時

表 4-1(1) 強度評価に用いる条件 (②-②断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	1299	kN
	固定荷重 (被覆コンクリート)	631	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	100	kN/m
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	2.117	kN/m ²
P_c	衝突荷重	420	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³
Z_e	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=1.6\text{m}$)	4.80×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=1.8\text{m}$)	6.10×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=2.0\text{m}$)	7.56×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=2.2\text{m}$)	8.81×10^7	mm ³
A	鋼管杭の断面積 ($\Phi=1.6\text{m}$)	1.24×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=1.8\text{m}$)	1.39×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=2.0\text{m}$)	1.55×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=2.2\text{m}$)	1.64×10^5	mm ²

表 4-1(2) 強度評価に用いる条件 (③-③断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	1116	kN
	固定荷重 (被覆コンクリート)	1160	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	100	kN/m
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	2.117	kN/m ²
P_c	衝突荷重	360	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³
Z_e	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=1.6\text{m}$)	4.80×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=1.8\text{m}$)	6.10×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=2.0\text{m}$)	7.56×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=2.2\text{m}$)	8.81×10^7	mm ³
A	鋼管杭の断面積 ($\Phi=1.6\text{m}$)	1.24×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=1.8\text{m}$)	1.39×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=2.0\text{m}$)	1.55×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=2.2\text{m}$)	1.64×10^5	mm ²

4.2 重畳時

表 4-2(1) 強度評価に用いる条件 (②-②断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	1299	kN
	固定荷重 (被覆コンクリート)	631	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	100	kN/m
P _s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P _k	風荷重	2.117	kN/m ²
γ _w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³
Z _e	鋼管杭の断面係数 (Φ=1.6m)	4.80×10 ⁷	mm ³
	鋼管杭の断面係数 (Φ=1.8m)	6.10×10 ⁷	mm ³
	鋼管杭の断面係数 (Φ=2.0m)	7.56×10 ⁷	mm ³
	鋼管杭の断面係数 (Φ=2.2m)	8.81×10 ⁷	mm ³
A	鋼管杭の断面積 (Φ=1.6m)	1.24×10 ⁵	mm ²
	鋼管杭の断面積 (Φ=1.8m)	1.39×10 ⁵	mm ²
	鋼管杭の断面積 (Φ=2.0m)	1.55×10 ⁵	mm ²
	鋼管杭の断面積 (Φ=2.2m)	1.64×10 ⁵	mm ²

表 4-2(2) 強度評価に用いる条件 (③-③断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	1116	kN
	固定荷重 (被覆コンクリート)	1160	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	100	kN/m
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	2.117	kN/m ²
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1.03	ton/m ³
Z_e	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=1.6\text{m}$)	4.80×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=1.8\text{m}$)	6.10×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=2.0\text{m}$)	7.56×10^7	mm ³
	鋼管杭の断面係数 ($\Phi=2.2\text{m}$)	8.81×10^7	mm ³
A	鋼管杭の断面積 ($\Phi=1.6\text{m}$)	1.24×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=1.8\text{m}$)	1.39×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=2.0\text{m}$)	1.55×10^5	mm ²
	鋼管杭の断面積 ($\Phi=2.2\text{m}$)	1.64×10^5	mm ²

5. 評価結果

断面計算に用いた断面諸元を表 5-1 に示す。

表 5-1 鋼管杭断面諸元

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	地上部 (1重管)	最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	1.24×10 ⁵	4.80×10 ⁷
③-③断面		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	1.24×10 ⁵	4.80×10 ⁷
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

注記*：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（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。

5.1 津波時

5.1.1 鋼管杭

(1) 断面力分布

断面力図を図 5-1 に示す。

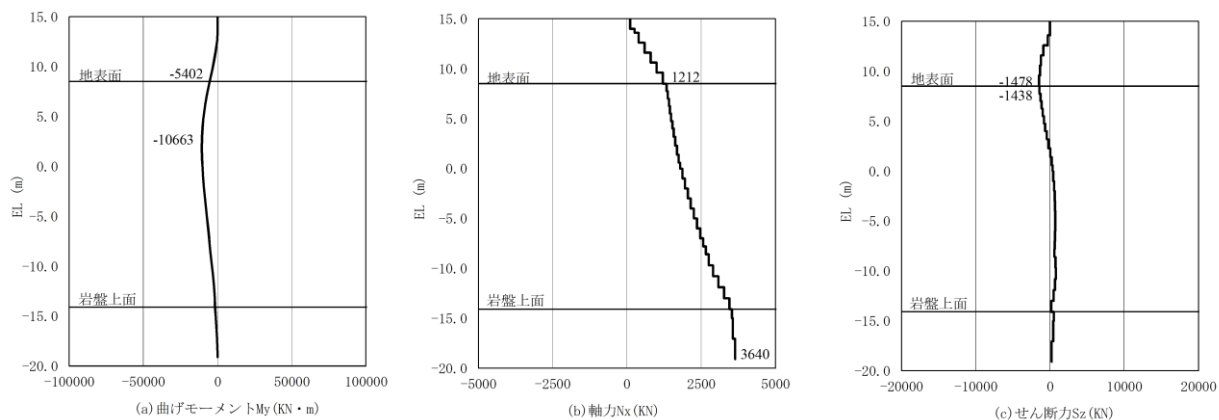


図 5-1(1) 鋼管杭における断面力図 (②-②断面)

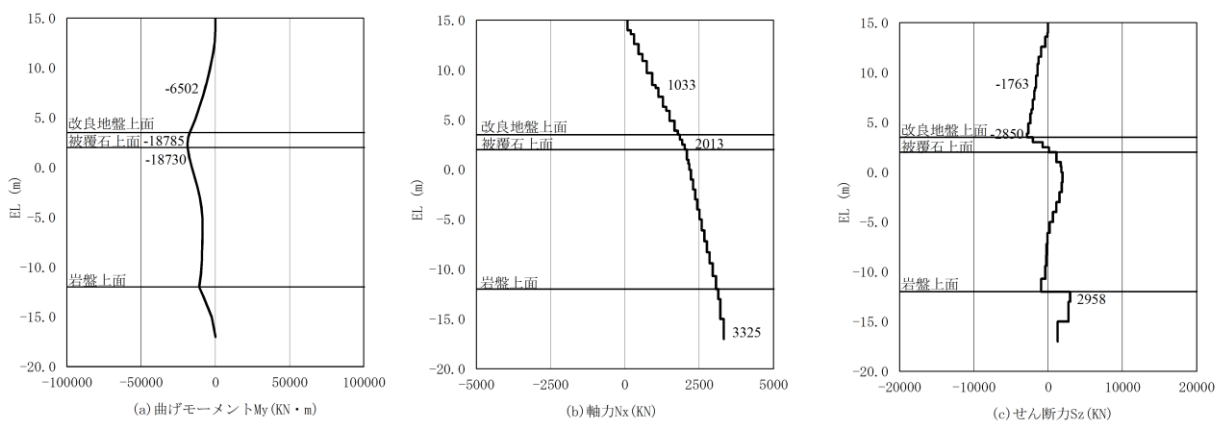


図 5-1(2) 鋼管杭における断面力図 (③-③断面)

(2) 曲げ照査

鋼管杭の曲げ破壊に対する照査結果を表 5-2 に示す。

この結果から鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

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

発生断面力		降伏 モーメント M_y (N/mm ²)	照査値 M_{max}/M_y
曲げモーメント M_{max} (kN・m)	軸力 N (kN)		
5402	1212	14637	0.37

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

発生断面力		降伏 モーメント M_y (N/mm ²)	照査値 M_{max}/M_y
曲げモーメント M_{max} (kN・m)	軸力 N (kN)		
6502	1033	14706	0.45

(3) せん断力照査

鋼管杭のせん断力に対する照査結果を表 5-3 に示す。

この結果から鋼管杭の断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-3(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 (②-②断面)

発生断面力	せん断耐力 Q_a (N/mm ²)	照査値 Q_{max}/Q_a
せん断力 Q_{max} (kN)		
1478	19421	0.08

表 5-3(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 (③-③断面)

発生断面力	せん断耐力 Q_a (N/mm ²)	照査値 Q_{max}/Q_a
せん断力 Q_{max} (kN)		
1763	19421	0.10

5.1.2 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5-2に示す。評価対象位置は、②-②断面においては①～⑤で番号付けた各々の赤枠の範囲とし、③-③断面においては①～⑦で番号付けた各々の赤枠の範囲とする。

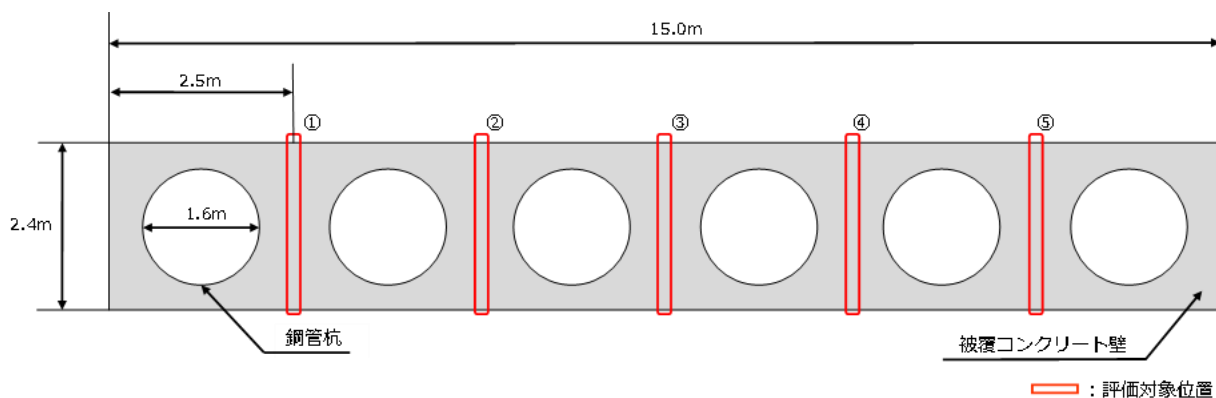


図5-2(1) 評価対象位置図 (②-②断面)

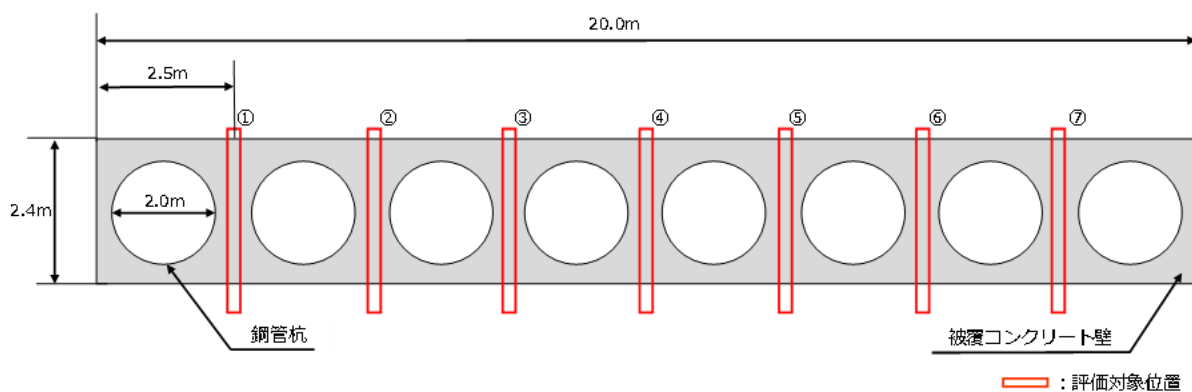


図5-2(2) 評価対象位置図 (③-③断面)

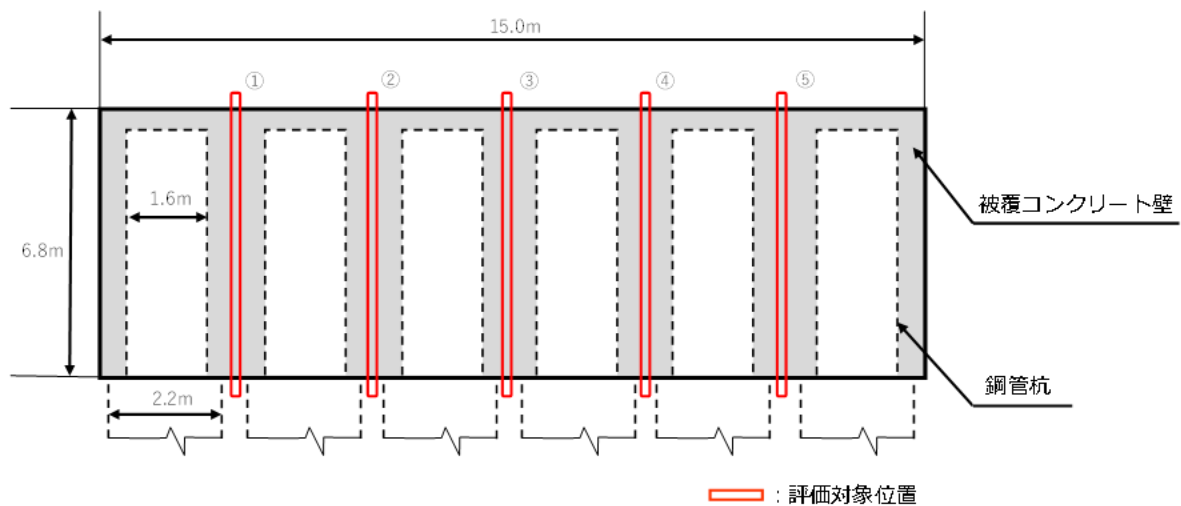


図 5-2(3) 評価対象位置図 (②-②断面 正面図)

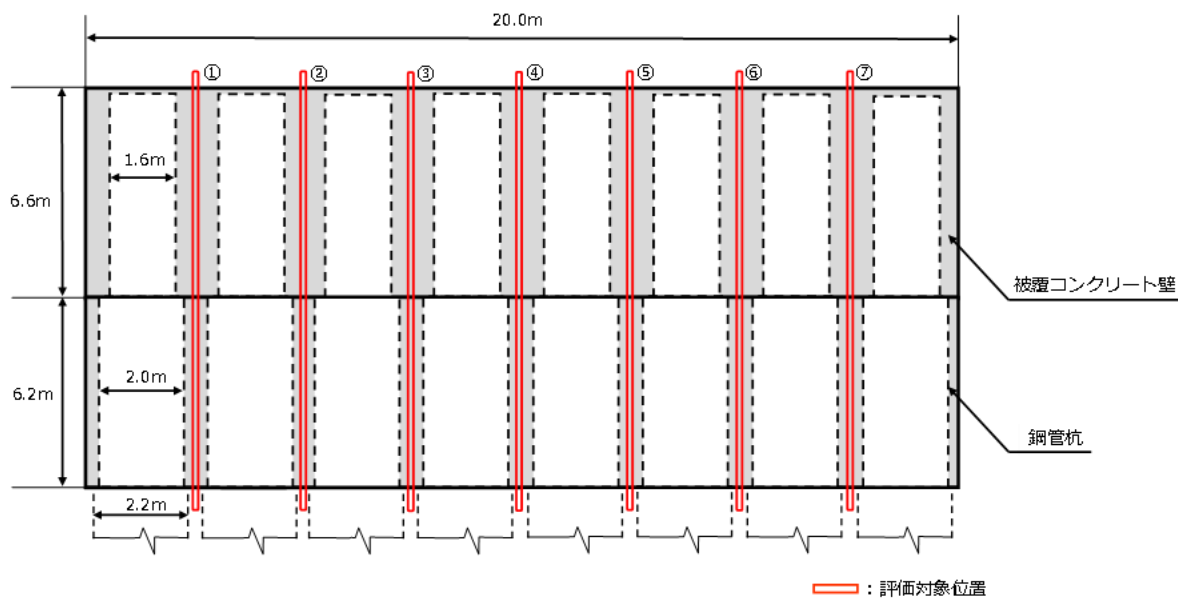


図 5-2(4) 評価対象位置図 (③-③断面 正面図)

(1) 曲げ照査

コンクリートの曲げ圧縮応力に対する最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図 5-3 に、曲げ圧縮応力に対する照査結果を表 5-4 に、鉄筋の曲げ引張応力に対する最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図 5-4 に、曲げ圧縮応力に対する照査結果を表 5-5 に示す。

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

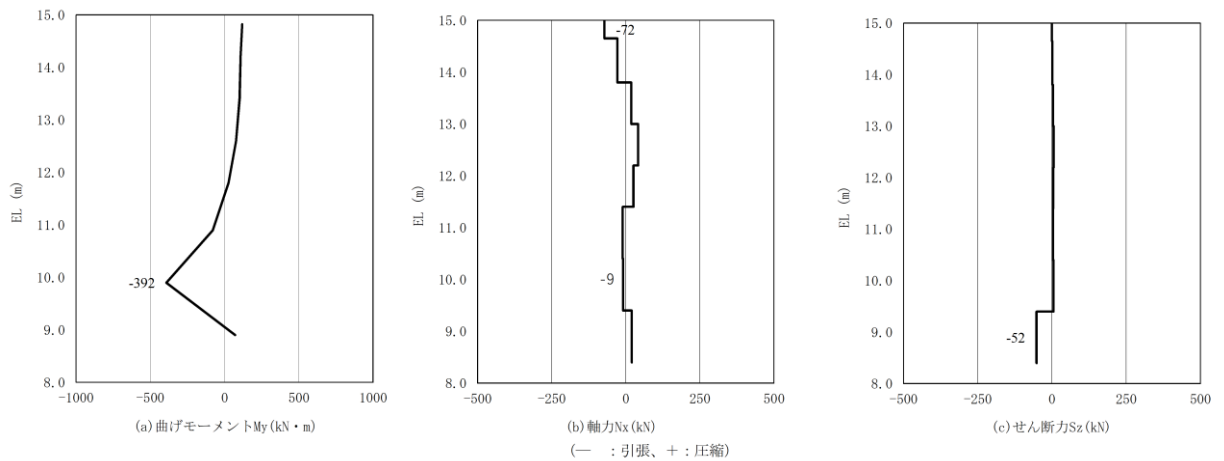


図 5-3(1) コンクリートの曲げ圧縮応力に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置③, ②-②断面)

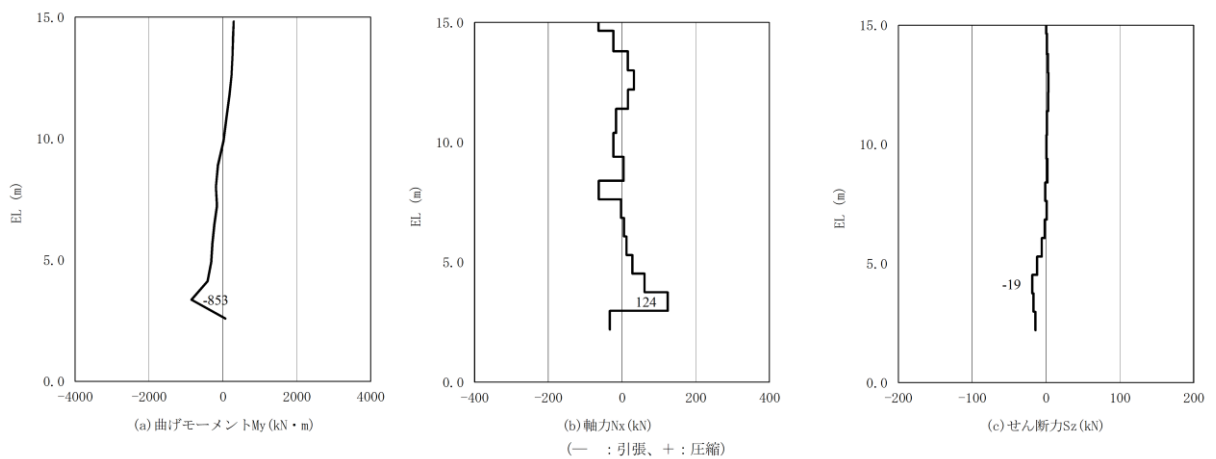


図 5-3(2) コンクリートの曲げ圧縮応力に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置④, ③-③断面)

表 5-4(1) 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
(曲げ圧縮応力) (②-②断面)

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)			
③	-392	-9	0.9	13.5	0.07

表 5-4(2) 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
(曲げ圧縮応力) (③-③断面)

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)			
④	-853	124	1.8	13.5	0.14

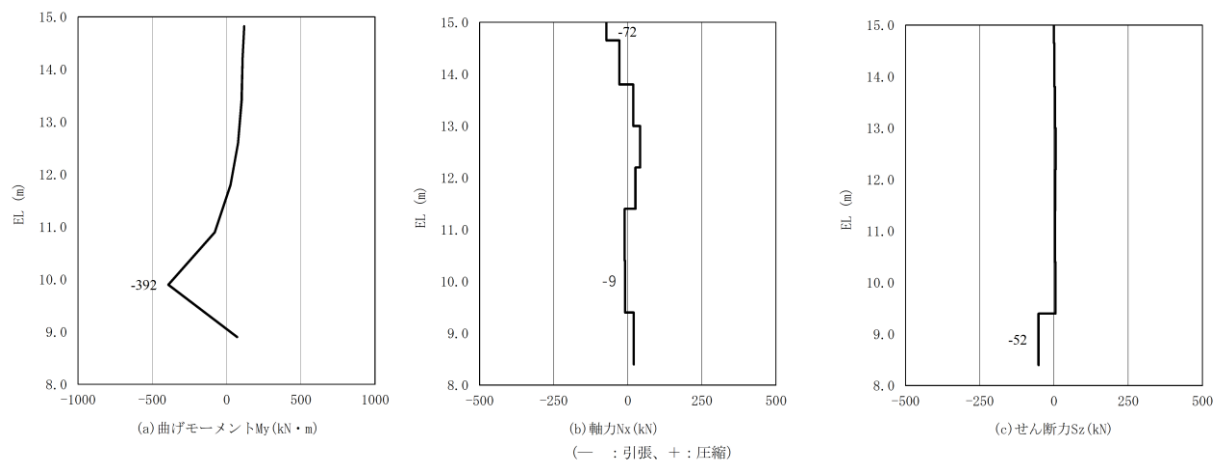


図 5-4(1) 鉄筋の曲げ引張応力に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置③, ②-②断面)

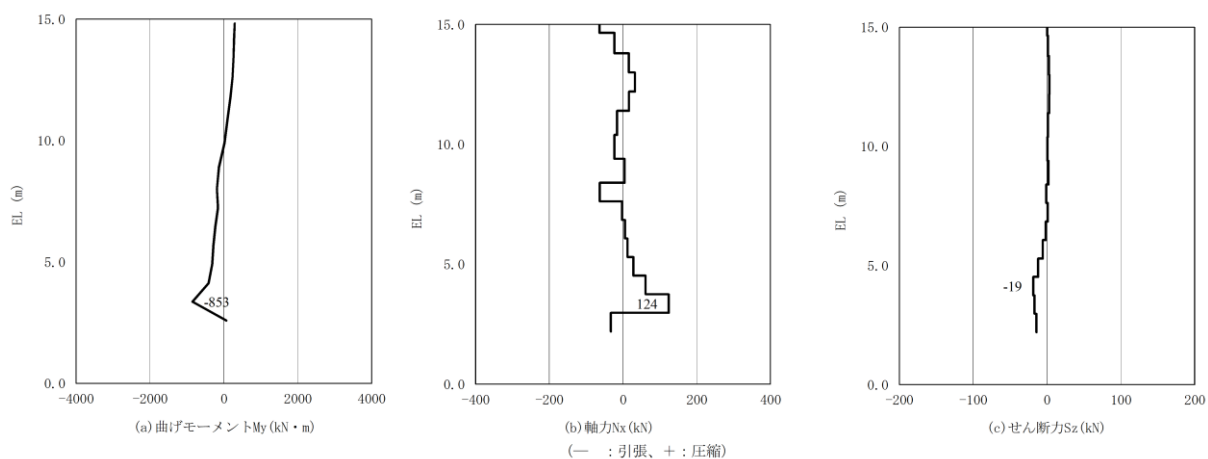


図 5-4(2) 鉄筋の曲げ引張応力に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置④, ③-③断面)

表 5—5(1) 鉄筋に対する照査における最大照査値
(曲げ引張応力) (②—②断面)

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)			
③	-392	-9	72.4	294	0.25

表 5—5(2) 鉄筋に対する照査における最大照査値
(曲げ引張応力) (③—③断面)

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)			
④	-853	124	121.6	294	0.42

(2) せん断力照査

せん断力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 5-5 に、コンクリートのせん断力に対する照査結果を表 5-6 に示す。

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

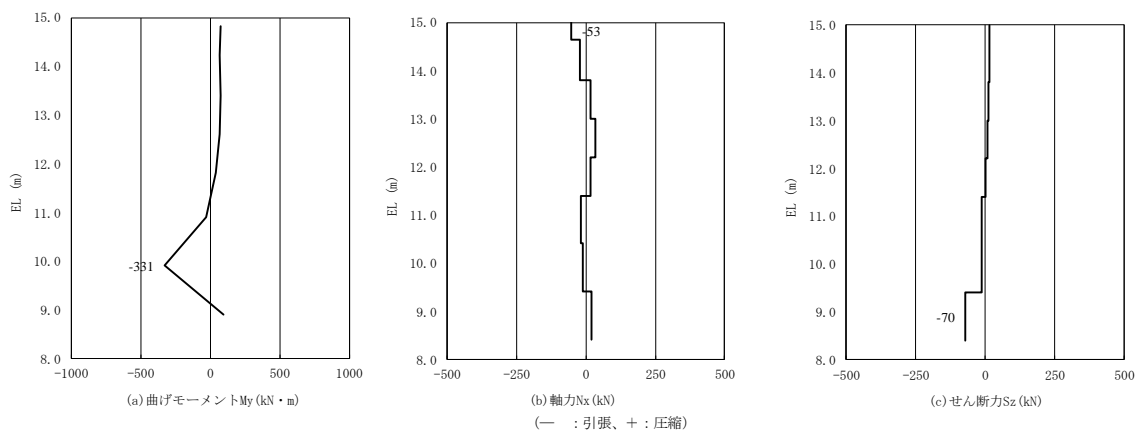


図 5-5(1) コンクリートのせん断破壊に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置①, ②-②断面)

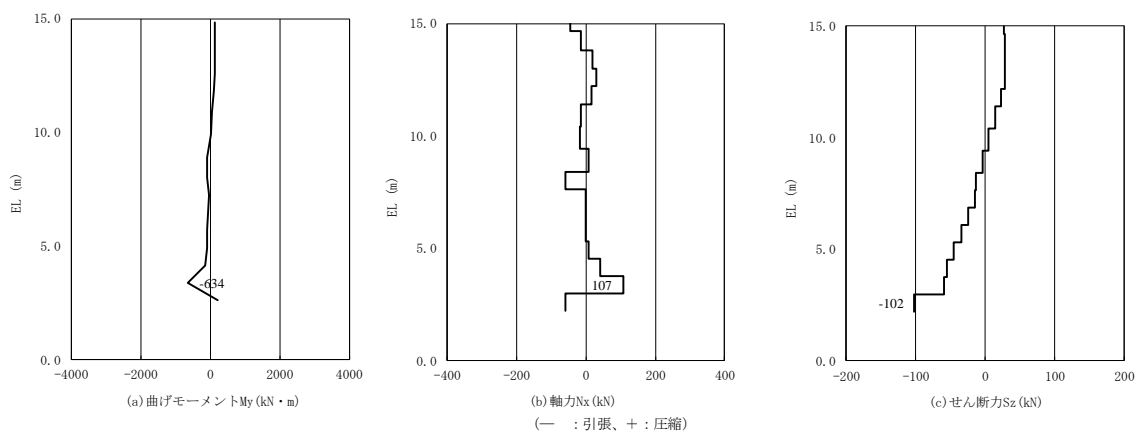


図 5-5(2) コンクリートのせん断破壊に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置①, ③-③断面)

表 5—6(1) 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
(せん断応力) (②—②断面)

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)			
①	-70	0.04	0.67	0.06

表 5—6(2) 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
(せん断応力) (③—③断面)

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)			
①	-102	0.05	0.67	0.08

5.1.3 改良地盤④の評価結果

改良地盤④のすべり安全率による評価結果を表 5-7 に、最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布を図 5-6 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 5-7 改良地盤④のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

最小すべり安全率
4.82

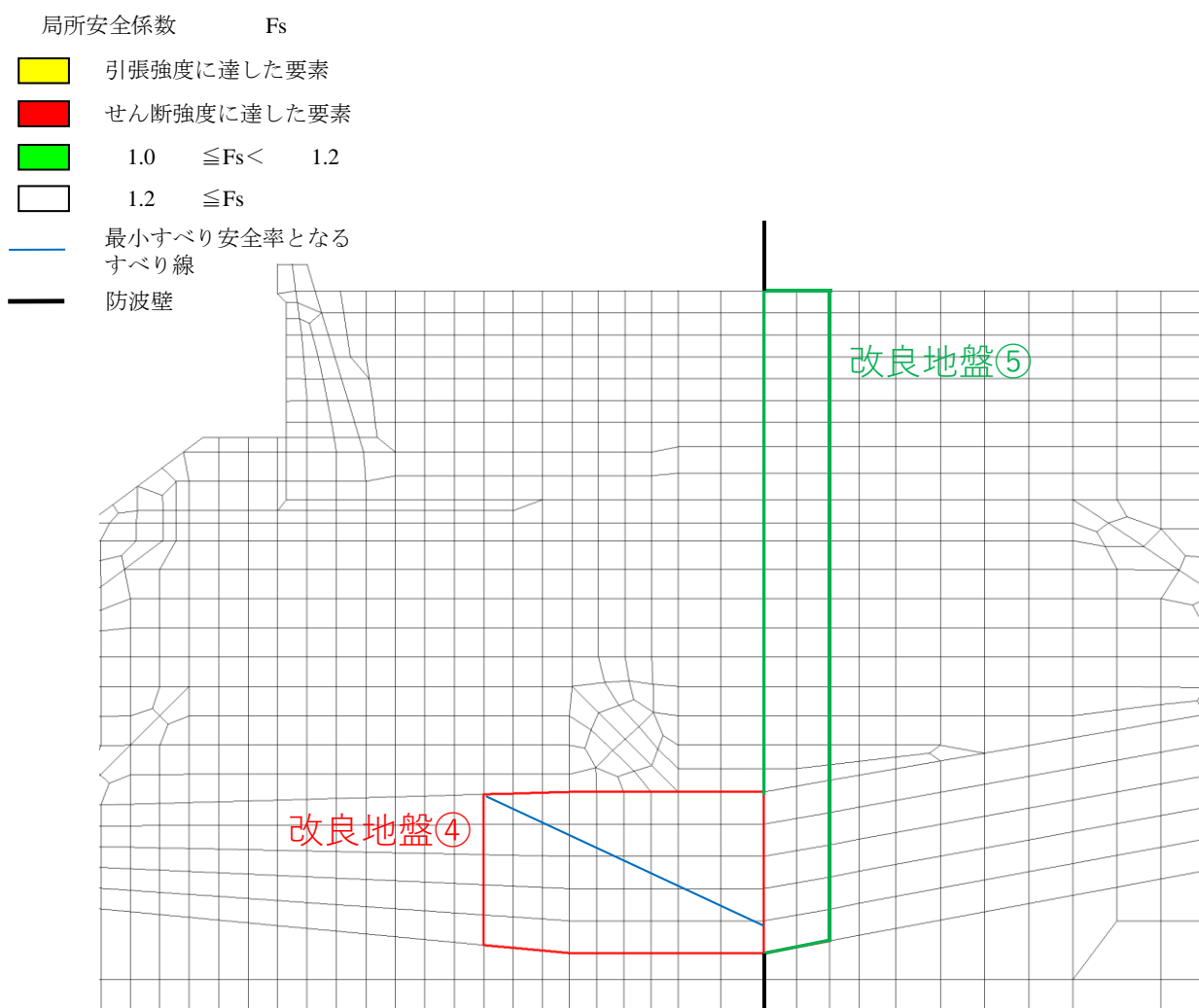


図 5-6 改良地盤④の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布 (②-②断面)

5.1.4 改良地盤⑤の評価結果

改良地盤⑤のすべり安全率の評価結果を表 5-8 に、最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布を図 5-7 に示す。これらの結果から、改良地盤⑤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-8(1) 改良地盤⑤のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

最小すべり安全率
20.58

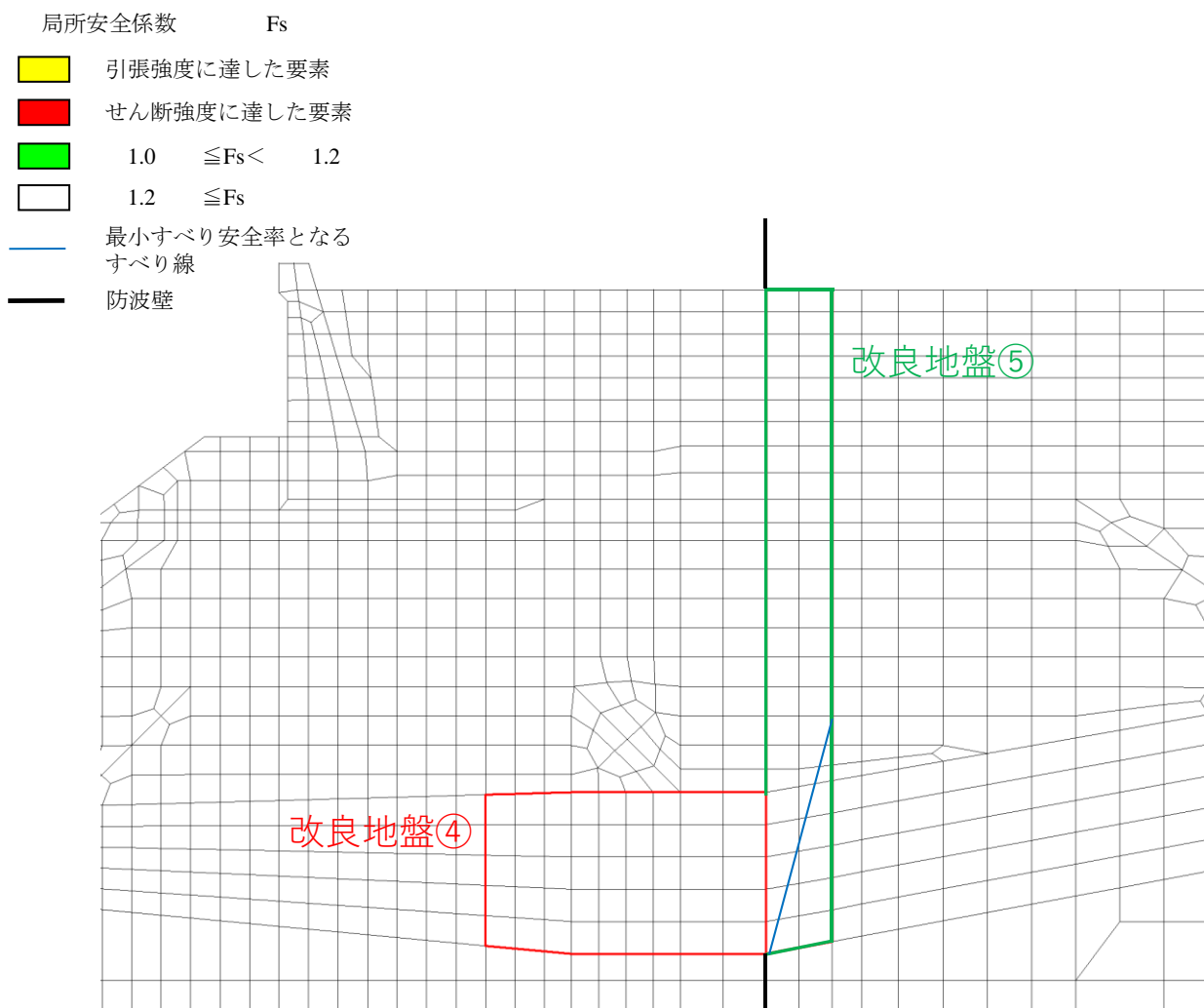


図 5-7(1) 改良地盤⑤の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布 (②-②断面)

表 5-8(2) 改良地盤⑤のすべり安全率評価結果 (③-③断面)

最小すべり安全率
2.16

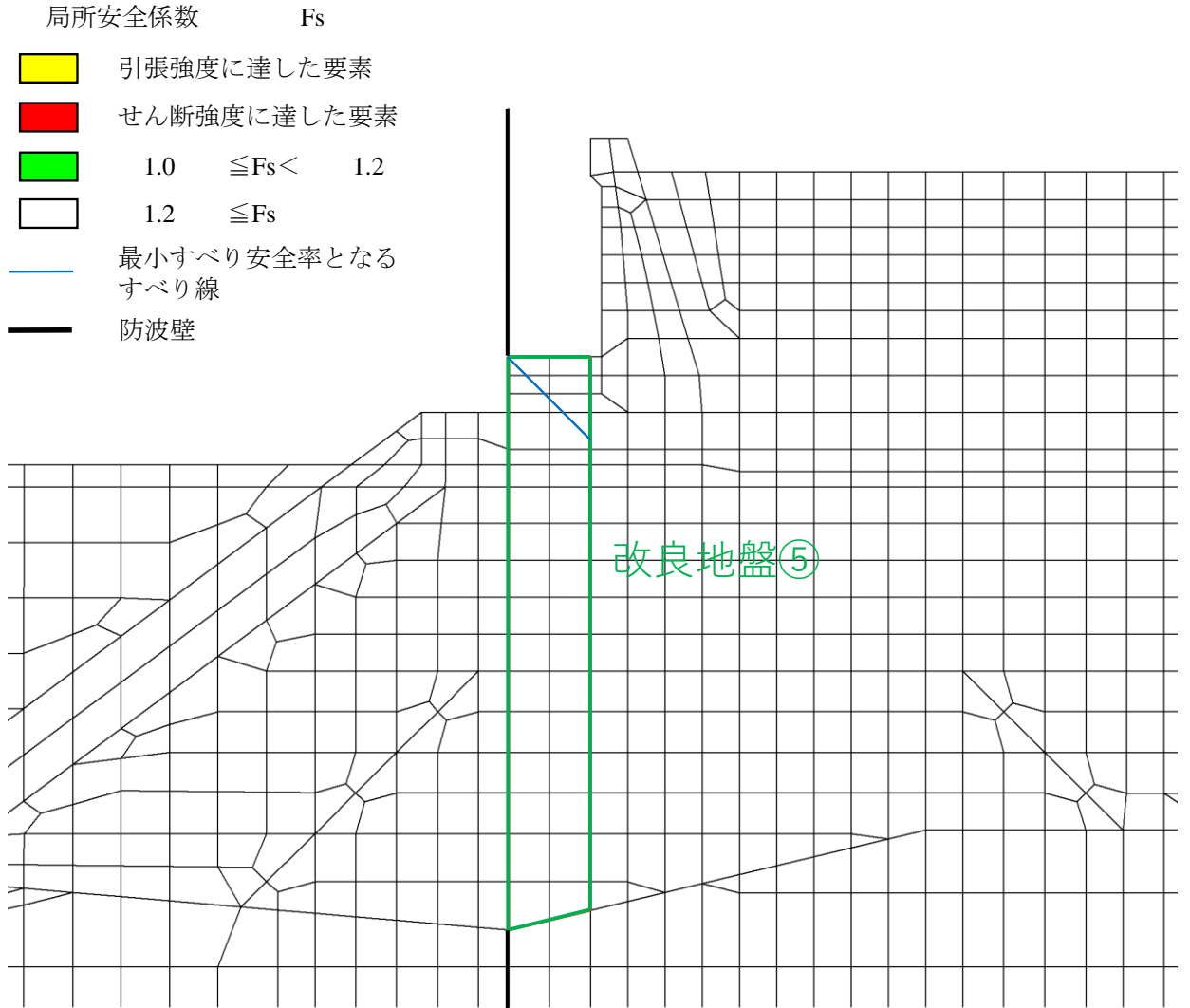


図 5-7(2) 改良地盤⑤の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布 (③-③断面)

5.1.5 止水目地

止水目地の相対変位量に対する照査結果を表 5-9 に示す。

止水目地の相対変位量に対する照査を行った結果、相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-9 ジョイント設置箇所の津波時相対変位量

方向	津波時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ③-③断面 (横断方向)	213.68	—
δy : ⑦-⑦断面 (縦断方向)	0.00	—
δz : ③-③断面 (横断方向)	0.10	—
合成方向 (3 方向合成)	213.69	1580

5.1.6 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-10 に示す。

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

表 5-10(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面）

発生断面力	軸心力度 R_d (kN/mm ²)	極限支持力 R_u (kN/mm ²)	照査値 R_d / R_u
軸力 N_{max} (N/mm ²)			
3640	1.0	9.8	0.10

表 5-10(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（③-③断面）

発生断面力	軸心力度 R_d (kN/mm ²)	極限支持力 R_u (kN/mm ²)	照査値 R_d / R_u
軸力 N_{max} (N/mm ²)			
3325	0.9	9.8	0.09

5.2 重畳時

5.2.1 鋼管杭

(1) 断面力分布

断面力分布を図5-8に示す。

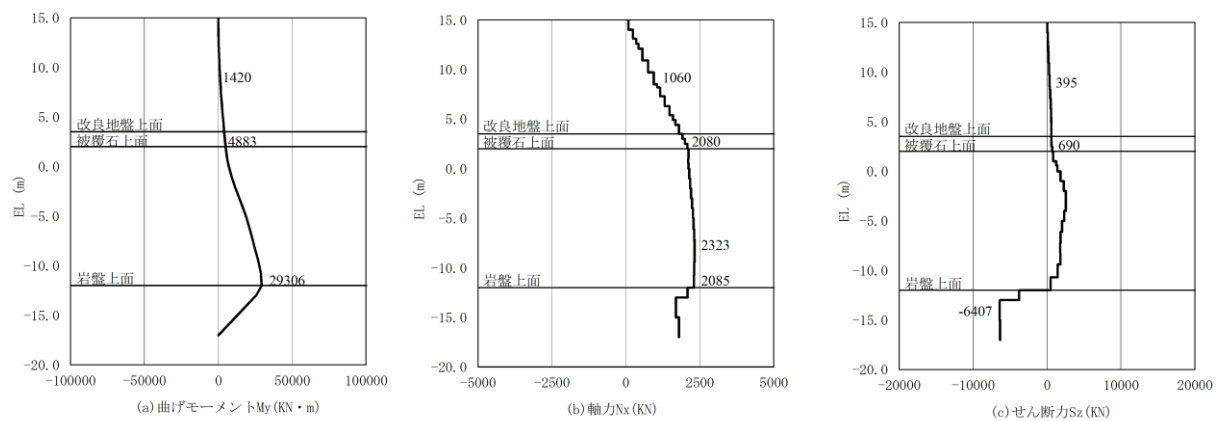


図5-8 鋼管杭における断面力図 (③-③断面)

(2) 曲げ照査

鋼管杭の曲げ破壊に対する照査結果を表 5-11 に示す。

この結果から鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-11 鋼管杭の曲げ破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

発生断面力		降伏 モーメント M_y (N/mm ²)	照査値 M_{max}/M_y
曲げモーメント M_{max} (kN・m)	軸力 N (kN)		
29306	2085	88462	0.34

(3) せん断力照査

鋼管杭のせん断力に対する照査結果を表 5-12 に示す。

この結果から鋼管杭の断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-12 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)

発生断面力	せん断耐力 Q_a (N/mm ²)	照査値 Q_{max}/Q_a
せん断力 Q_{max} (kN)		
6407	95166	0.07

5.2.2 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、「5.1 津波時」と同様である。

(1) 曲げ照査

コンクリートの曲げ圧縮応力に対する最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図 5-9 に、曲げ圧縮応力に対する照査結果を表 5-13 に、鉄筋の曲げ引張応力に対する最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図 5-10 に、曲げ圧縮応力に対する照査結果を表 5-14 に示す。

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

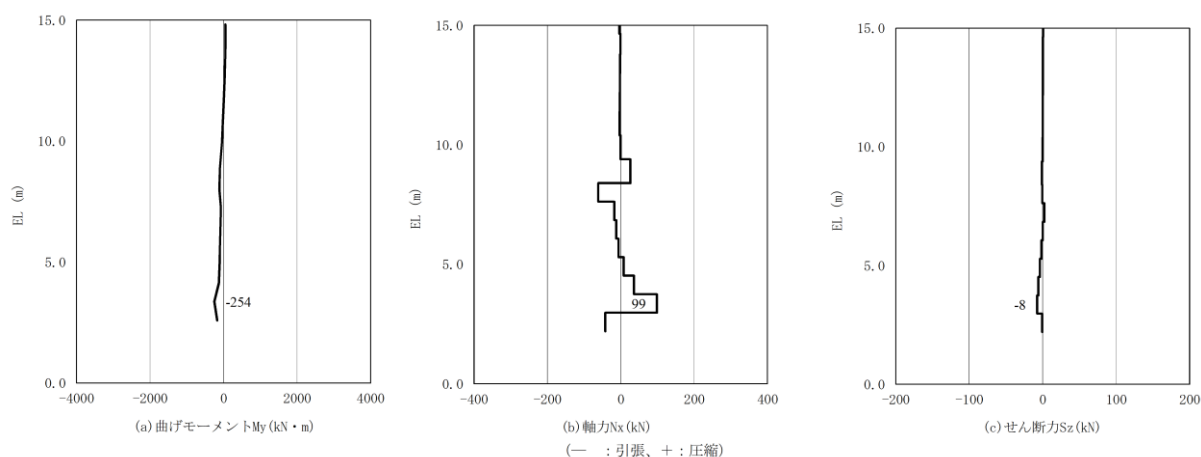


図 5-9 コンクリートの曲げ圧縮応力に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置④，③-③断面)

表 5-13 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
(曲げ圧縮応力) (③-③断面)

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)			
④	-254	99	0.6	13.5	0.04

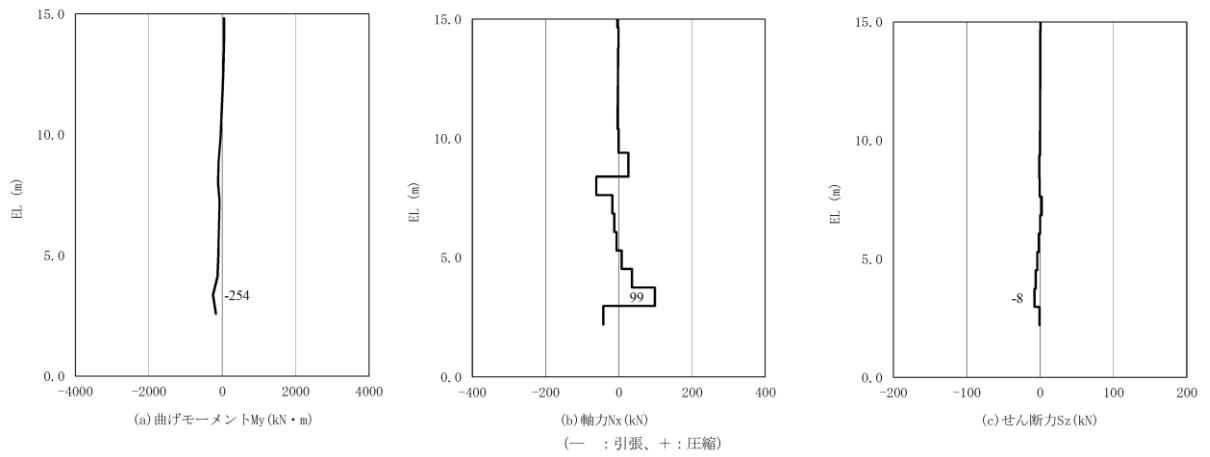


図 5-10 鉄筋の曲げ引張応力に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置④, ③-③断面)

表 5-14 鉄筋に対する照査における最大照査値
(曲げ引張応力) (③-③断面)

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)			
④	-254	99	38.1	294	0.13

(3) せん断力照査

せん断力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 5-11 に、せん断破壊に対する照査結果を表 5-15 に示す。

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

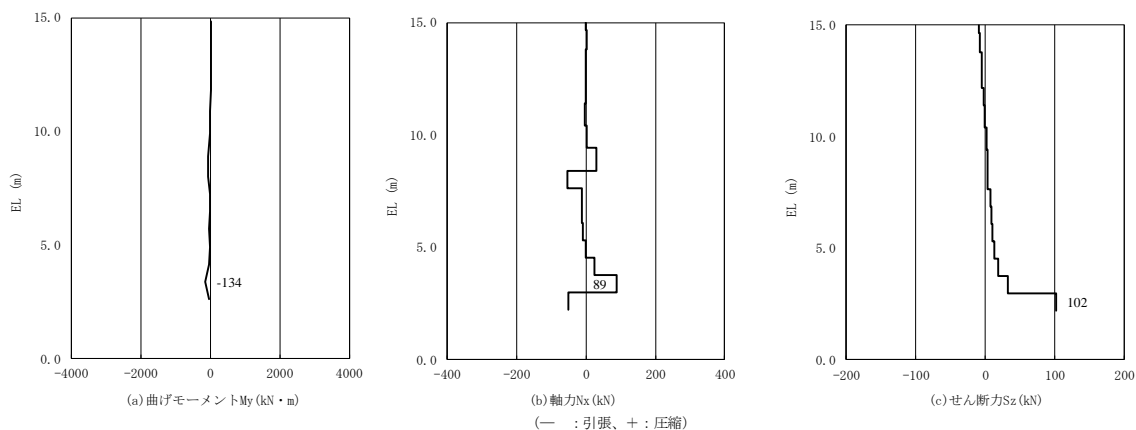


図 5-11 コンクリートのせん断破壊に対する照査において用いる断面力
(評価対象位置⑦, ③-③断面)

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
(せん断応力) (③-③断面)

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)			
⑦	102	0.05	0.67	0.08

5.2.3 改良地盤⑤

改良地盤⑤のすべり安全率による評価結果を表 5-16 に、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を図 5-12 に示す。これらの結果から、改良地盤⑤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-16 改良地盤⑤のすべり安全率評価結果 (③-③断面)

地震動	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D (++)	17.56	2.75

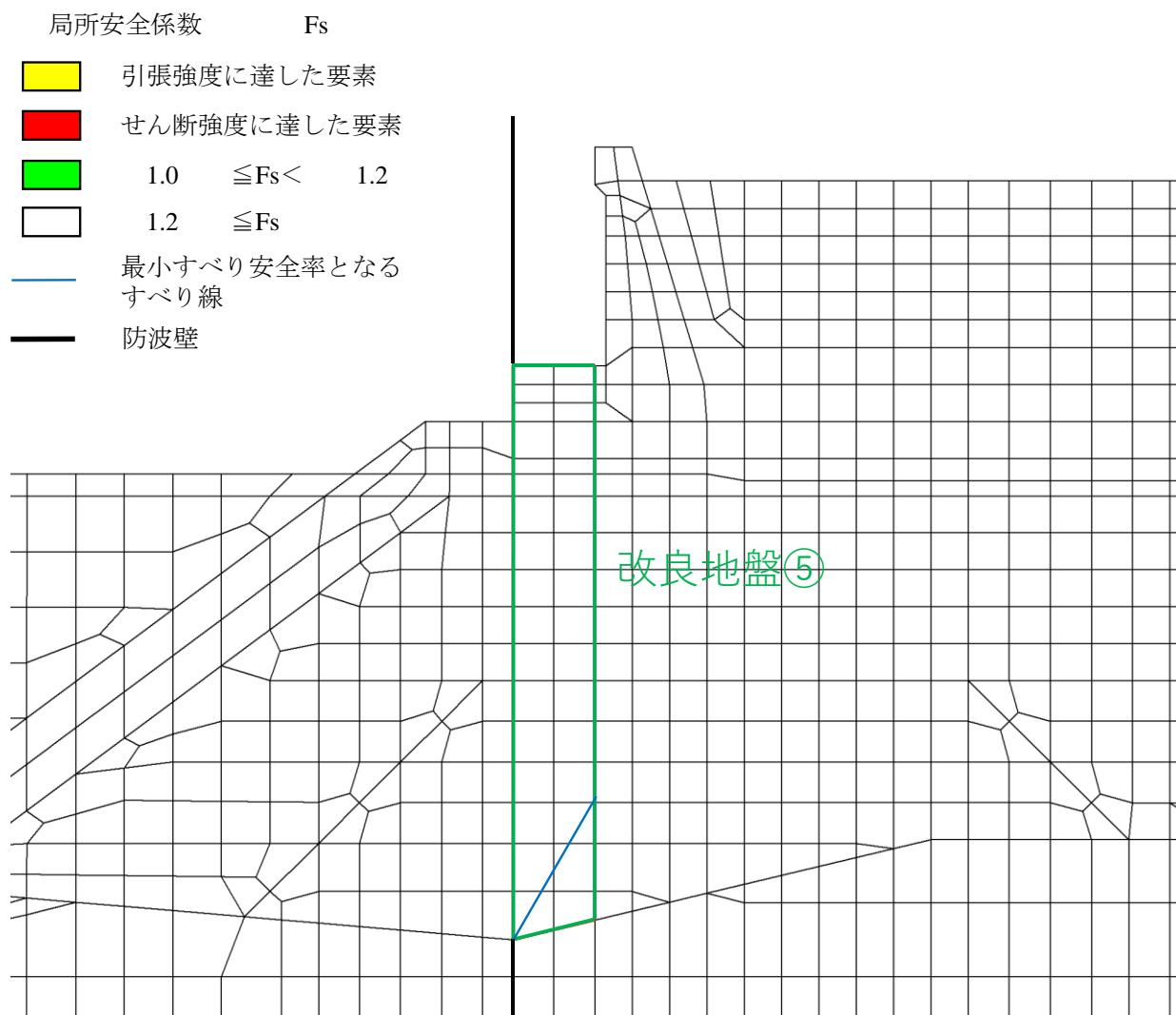


図 5-12 改良地盤④の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
(③-③断面, S d - D (++) , $t=17.56s$)

5.2.4 止水目地

止水目地の相対変位量に対する照査結果を表 5-17 に示す。

止水目地の相対変位量に対する照査を行った結果、相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-17 ジョイント設置箇所の重畳時相対変位量

方向	重畳時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δ_x : ③-③断面 (横断方向)	326.7	—
δ_y : ⑦-⑦断面 (縦断方向)	210.4*	—
δ_z : ⑦-⑦断面 (横断方向)	6.19	—
合成方向 (3方向合成)	388.68	1580

注記* : 軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

5.2.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-18 に示す。

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

表 5-18 基礎地盤の支持性能評価結果（③-③断面）

発生断面力	軸応力度	極限支持力	照査値
軸力 N_{\max} (N/mm ²)	R_d (kN/mm ²)	R_u (kN/mm ²)	R_d / R_u
4688	1.2	9.8	0.13