

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 - 02
提出年月日	2023年1月26日

VI-3-別添 3-2-1-1 防波壁（波返重力擁壁）の
強度計算書

S2 補 VI-3-別添 3-2-1-1-1 R0

2023年1月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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	10
2.4 適用規格・基準等	15
3. 強度評価方法	16
3.1 記号の定義	16
3.2 評価対象断面及び部位	17
3.2.1 評価対象断面	17
3.2.2 評価対象部位	23
3.3 荷重及び荷重の組合せ	24
3.3.1 荷重	24
3.3.2 荷重の組合せ	25
3.4 許容限界	27
3.4.1 重力擁壁	27
3.4.2 ケーソン	28
3.4.3 H形鋼	30
3.4.4 MMR	30
3.4.5 改良地盤⑥	31
3.4.6 止水目地	31
3.4.7 基礎地盤	31
3.5 評価方法	32
3.5.1 津波時	32
3.5.2 重畳時	45
4. 評価条件	47
4.1 津波時	47
4.2 重畳時	49
5. 評価結果	51
5.1 津波時	51
5.1.1 重力擁壁	51
5.1.2 ケーソン	55
5.1.3 H形鋼	63
(1) せん断照査	63

5.1.4	MMR	64
5.1.5	改良地盤⑥	68
5.1.6	止水目地	69
5.1.7	基礎地盤	69
5.2	重畳時	75
5.2.1	重力擁壁	75
5.2.2	ケーソン	78
5.2.3	MMR	86
5.2.4	改良地盤⑥	90
5.2.5	止水目地	91
5.2.6	基礎地盤	92

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（波返重力擁壁）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とど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（波返重力擁壁）の位置図を図 2-1 に示す。

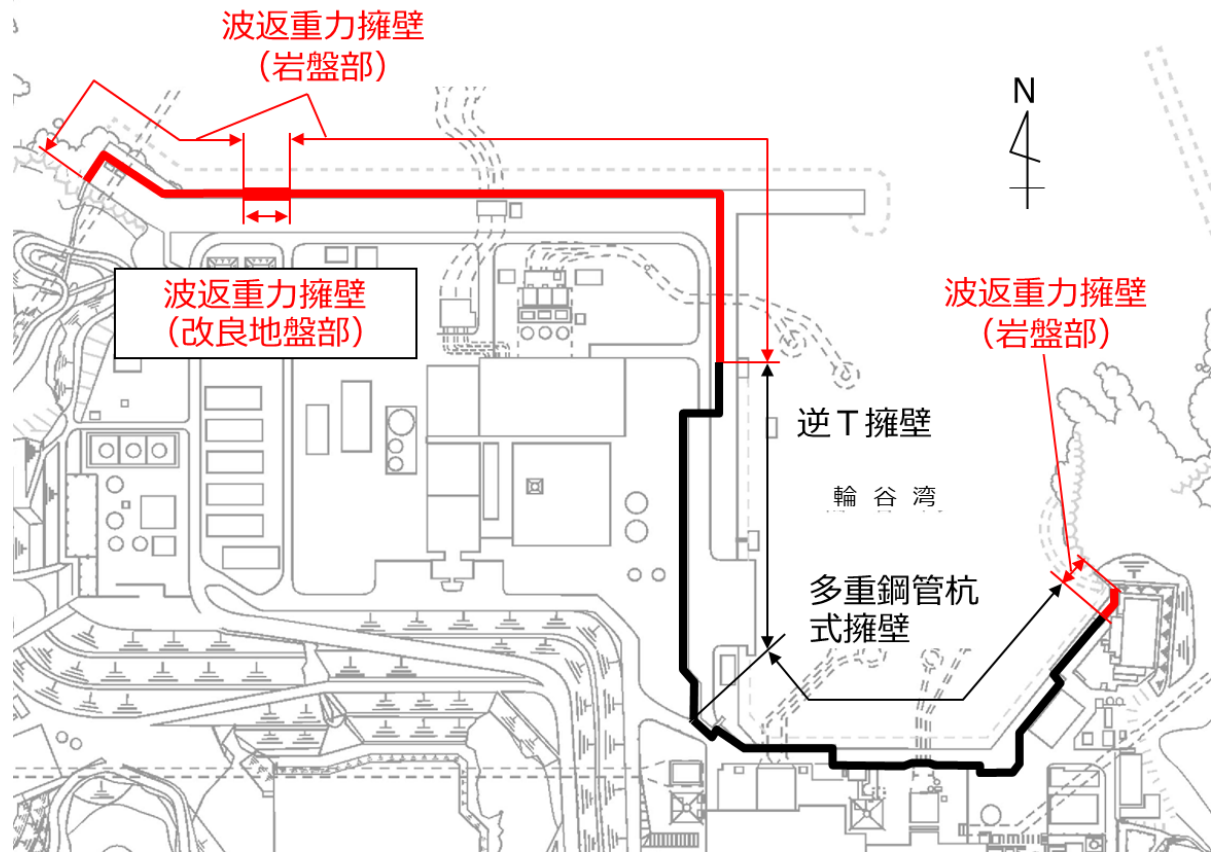


図 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の位置図

2.2 構造概要

防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図を図 2-2 に，構造図を図 2-3 に，概略配筋図を図 2-4 に，止水目地の配置位置図を図 2-5 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）は，マンメイドロック（以下「MMR」という。）等を介して堅固な地山の岩盤に支持され，鉄筋コンクリート造のケーソン及び重力擁壁から構成されるケーソン設置部と，重力擁壁が岩盤に直接支持される岩盤直接支持部に分類される。

構造体の境界には，止水性を保持するための止水目地を重力擁壁の陸側に設置する。

なお，構造概要図にはグラウンドアンカを示しているが，その効果を期待しない設計とする。

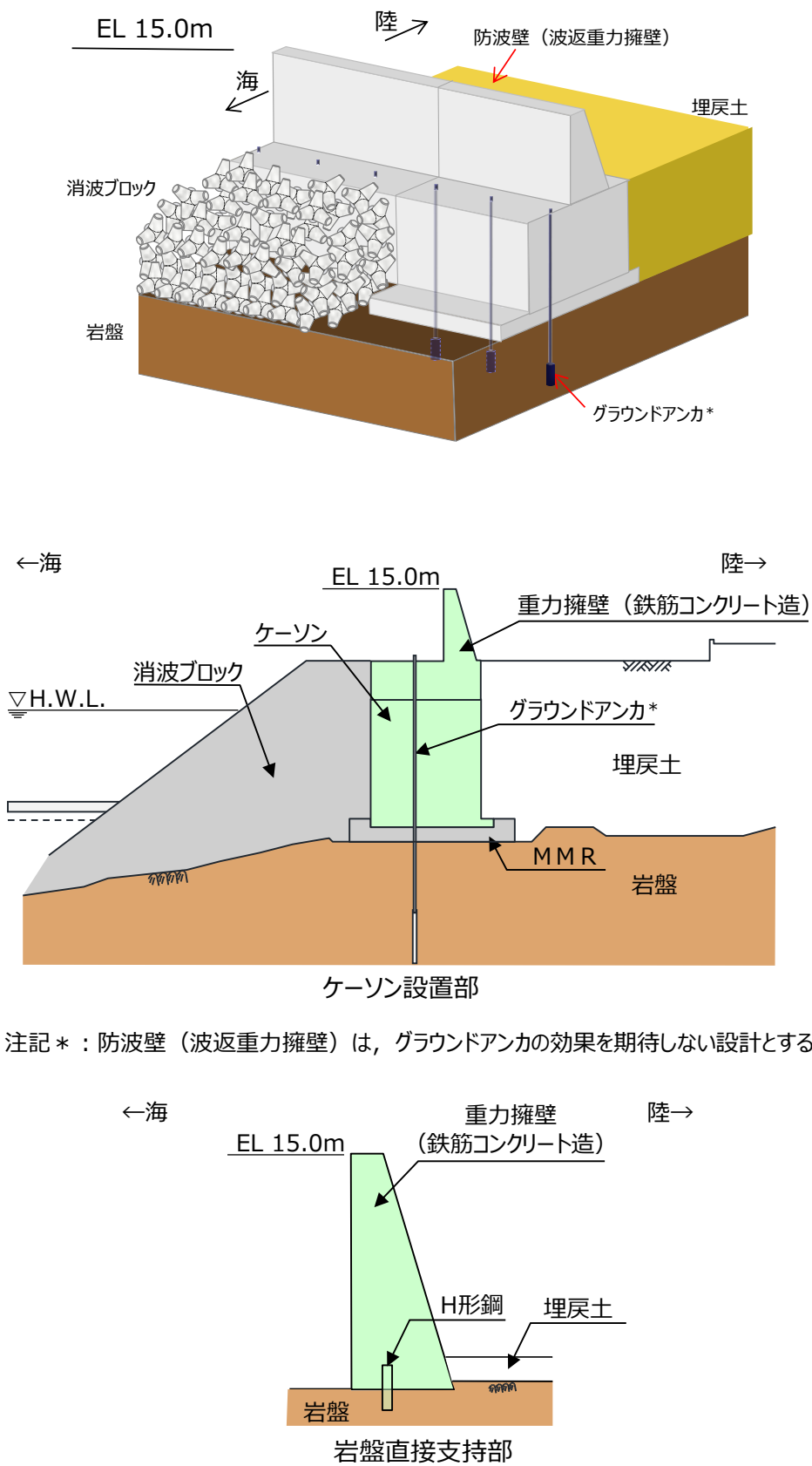


図 2-2 防波壁 (波返重力擁壁) の構造概要図

(単位：mm)

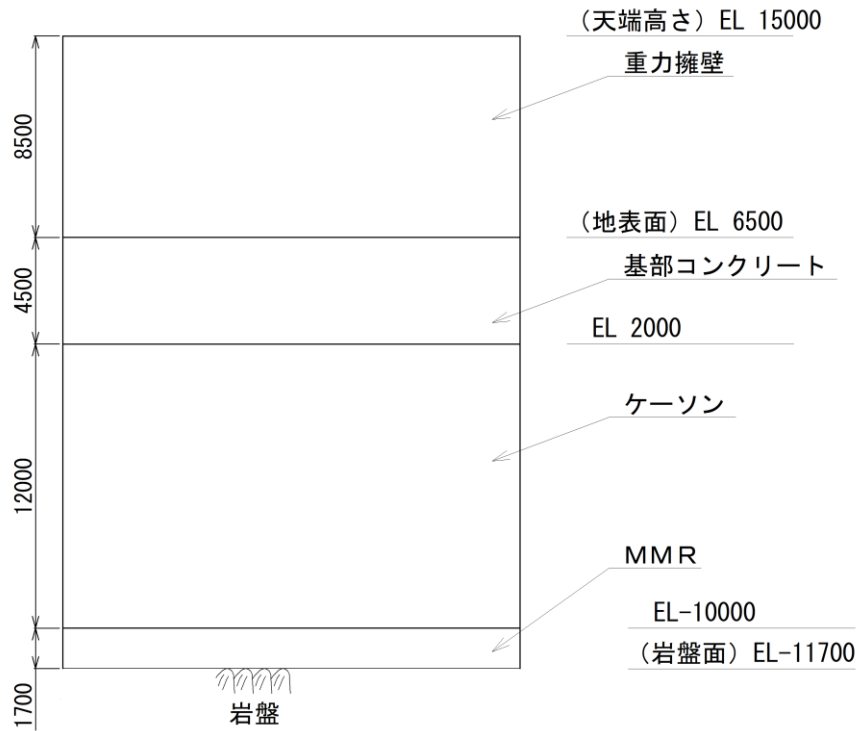


図 2-3(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

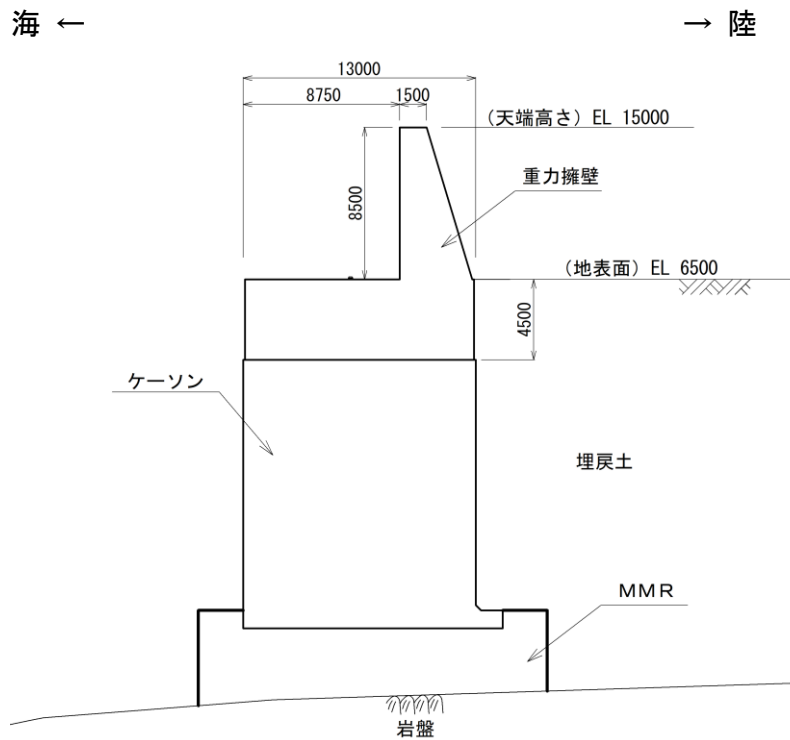


図 2-3(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（断面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

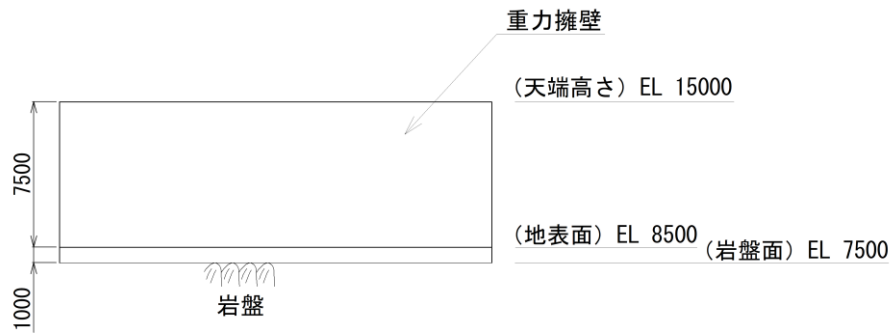


図 2-3(3) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（岩盤直接支持部）

(単位：mm)

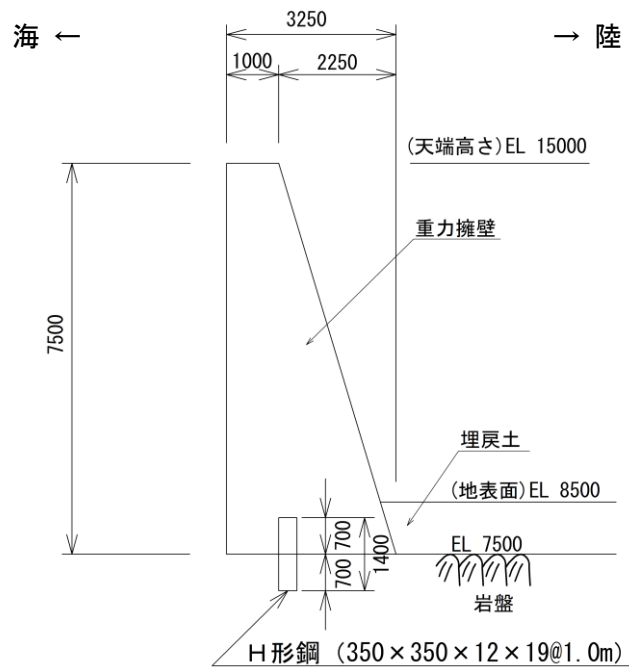


図 2-3(4) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（断面図）（岩盤直接支持部）

(単位：mm)

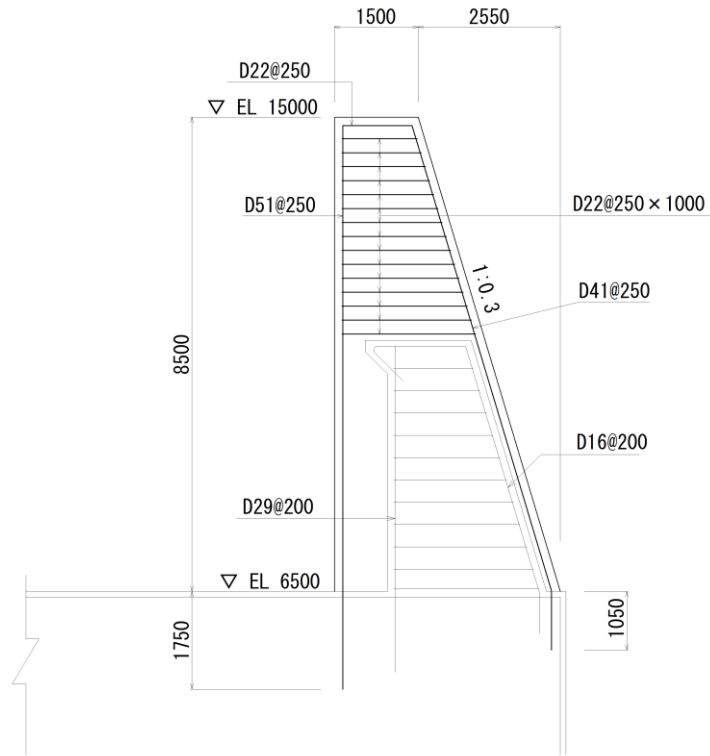


図 2-4(1) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(1)）

(単位：mm)

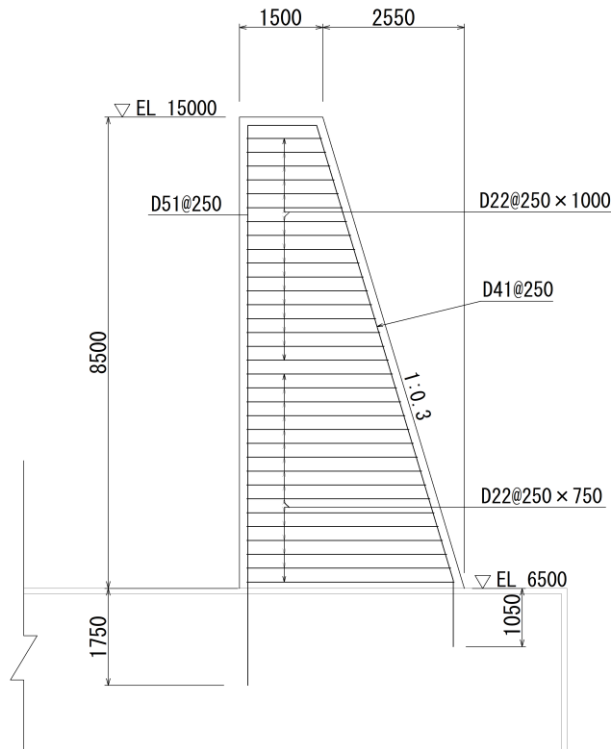


図 2-4(2) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(2)）

(単位 : mm)

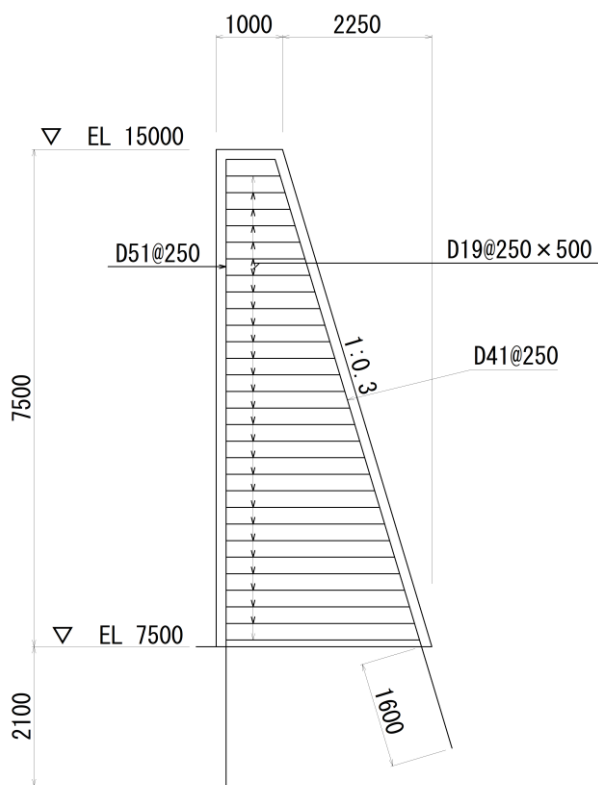


図 2-4(3) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（岩盤直接支持部）

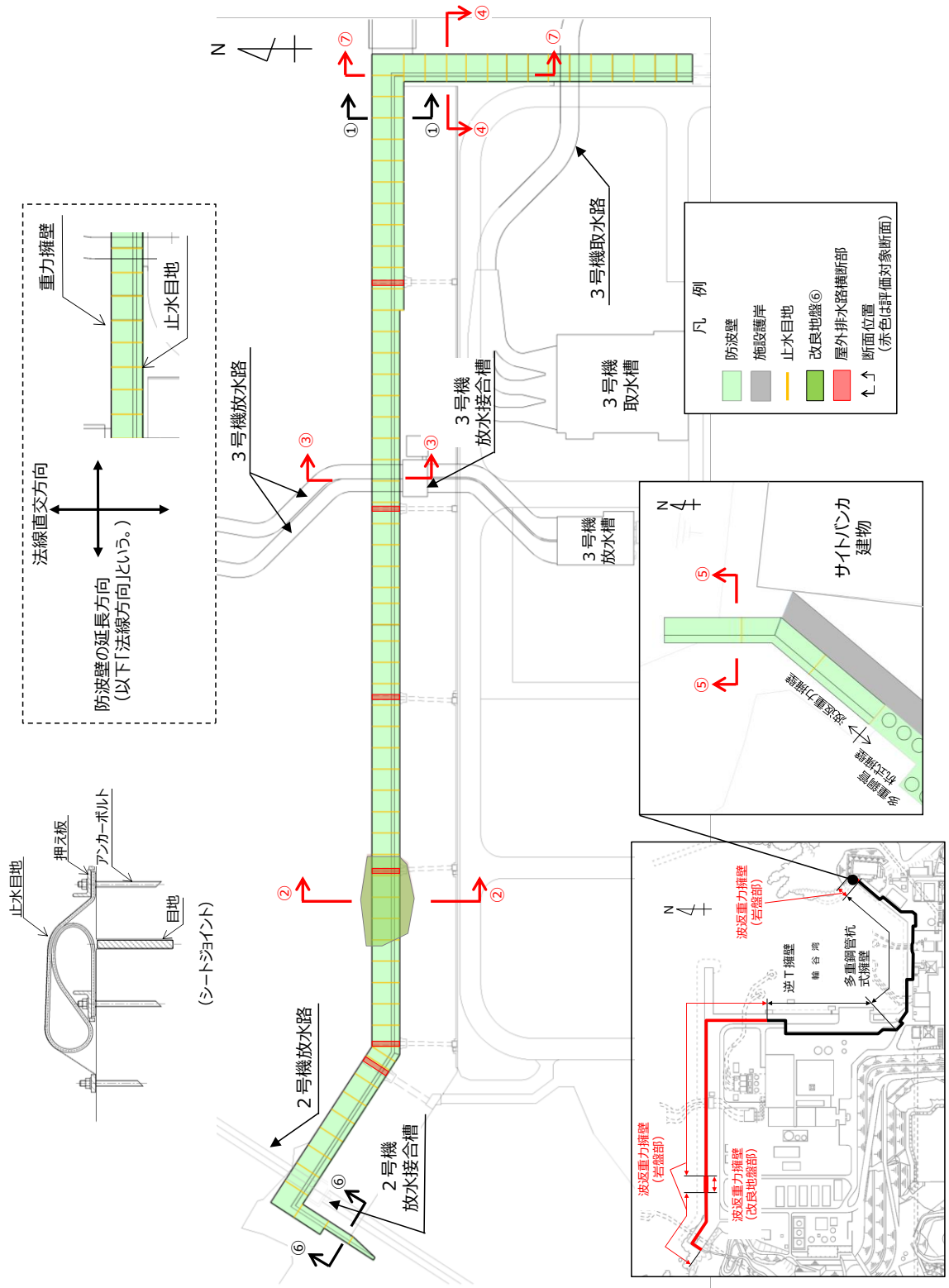


図 2-5 防波壁（波返重力擁壁）止水目地の配置位置図

2.3 評価方針

防波壁（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）の評価対象部位の発生応力度、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（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）の強度評価は、設計基準対象施設として表 2-3 の防波壁（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）の強度評価フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 防波壁（波返重力擁壁）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	重力擁壁	・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	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。 ・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁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。 ・重力擁壁を支持する。
	H形鋼	・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁を支持する。
	漂流物対策工	・役割に期待しない。	・漂流物衝突荷重を分散して防波壁（波返重力擁壁）に伝達する。 ・漂流物衝突荷重による防波壁（波返重力擁壁）の局所的な損傷を防止する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤⑥	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。
	埋戻土，砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁（波返重力擁壁）への相互作用を考慮する）。	・津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

表 2-2 防波壁（波返重力擁壁）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	重力擁壁	—	—	構造部材の健全性を保持するために、重力擁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重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、重力擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			重力擁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。	重力擁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。
	ケーソン			構造部材の健全性を保持するために、ケーソン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し、有意な漏えいを生じないために、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。
	H形鋼			構造部材の健全性を保持するために、H形鋼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、H形鋼がおおむね弾性状態にとどまること。
	漂流物対策工			—	—
地盤	MMR	ケーソン及び重力擁壁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、十分なすべり安定性を保持すること。	—	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、MMR及び改良地盤⑥が破壊しないこと。（内的安定を保持）
	改良地盤⑥				
	岩盤				—

表 2-3 防波壁(波返重力擁壁)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	重力擁壁	発生する応力度(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
		ケーソン	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力(面内, 面外))が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度 材料強度
		H形鋼	発生する応力度(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
		MMR	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⑥	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
		漂流物対策工	発生する応力度(押抜きせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力度(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	重力擁壁	発生する応力度(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
		ケーソン	発生する応力度(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 材料強度
		H形鋼	発生する応力度(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
		MMR	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⑥	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
		漂流物対策工	—	—
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力度(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* : 妥当な安全余裕を考慮する。

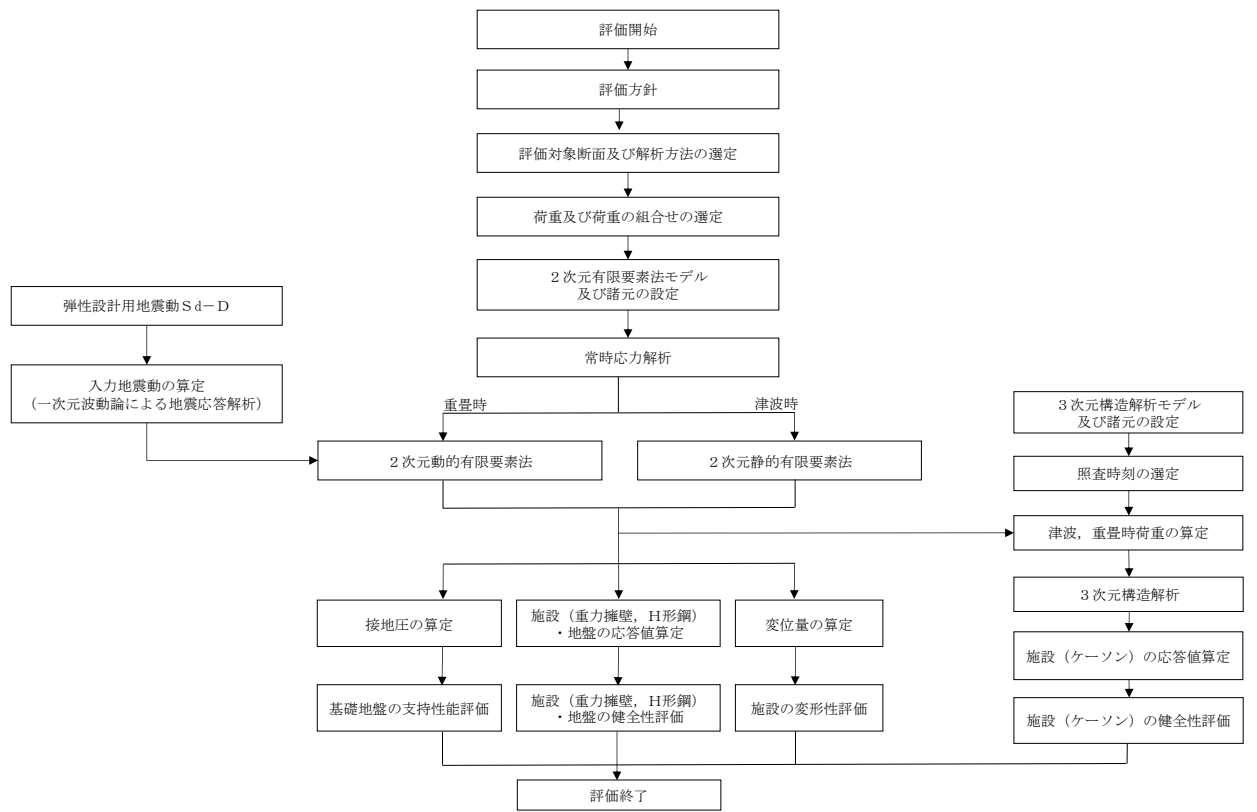


図 2-6 防波壁（波返重力擁壁）の強度評価の検討フロー

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((社)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・同解説((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)
- ・コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編](土木学会, 2013年制定)

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

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN/m ²	積載荷重
P _t	kN/m ²	遡上津波荷重
K _{Sd}	—	余震荷重
P _c	kN/m	衝突荷重
P _k	kN/m ²	風荷重
P _s	kN/m ²	積雪荷重
γ _w	kN/m ³	海水の単位体積重量
ρ	ton/m ³	海水の密度
σ _{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容曲げ圧縮応力度
τ _{al}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度
σ _{sa}	N/mm ²	鉄筋の許容曲げ引張応力度
τ _l	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度(面内)
f' _{ak}	N/mm ²	コンクリートの圧縮強度
f _{tk}	N/mm ²	コンクリートの引張強度
τ _{ca}	N/mm ²	コンクリートのせん断強度
τ _{sa}	N/mm ²	H形鋼の許容せん断応力度
δ _x	mm	止水目地の x 方向の変位
δ _y	mm	止水目地の y 方向の変位
δ _z	mm	止水目地の z 方向の変位
δ _x (T)	mm	止水目地の x 方向の最大相対変位
δ _y (T)	mm	止水目地の y 方向の最大相対変位
δ _z (T)	mm	止水目地の z 方向の最大相対変位
P	N/mm ²	最大接地圧
P _u	N/mm ²	極限支持力度

3.2 評価対象断面及び部位

3.2.1 評価対象断面

防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面は、防波壁（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）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、⑤-⑤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、支持構造がケーソンとなる断面のうち、ケーソン高さに対するケーソン幅が狭く、地表面から岩盤上面までの深さが最も深いことに加え、ケーソン直下に改良地盤⑥が配置されているため、評価対象断面として選定した。
- ・③-③断面は、ケーソンに開口部（放水路）を有するため、評価対象断面として選定した。
- ・④-④断面は、地表面高さが最も高いため、評価対象断面として選定した。
- ・⑤-⑤断面は、重力擁壁が岩盤上に直接設置され、支持構造がH形鋼であり、重力擁壁の天端幅及び下端幅が狭いため、評価対象断面として選定した。
- ・⑦-⑦断面は④-④断面に直交する縦断方向の断面である。④-④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。

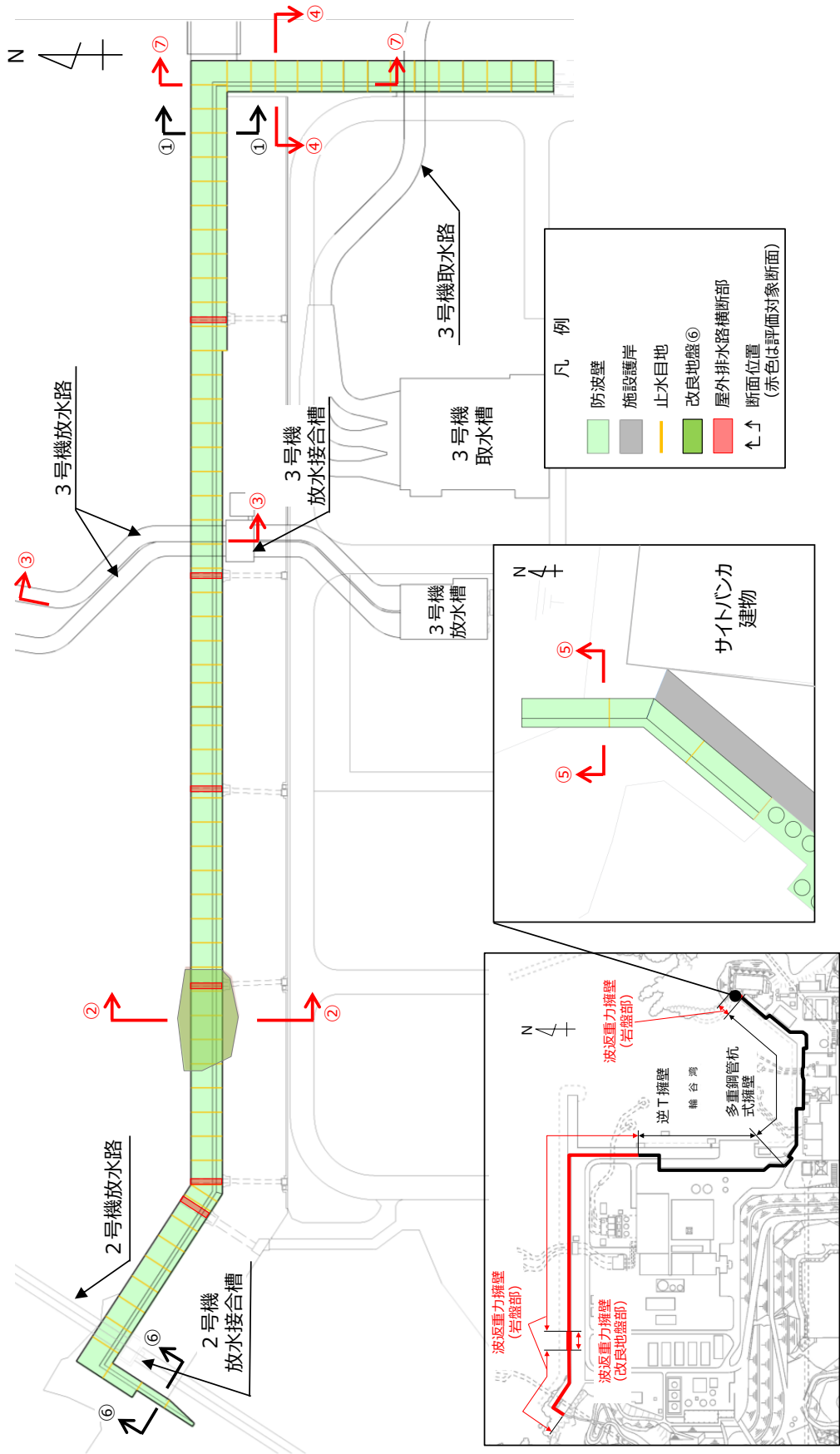


図 3-1 防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図

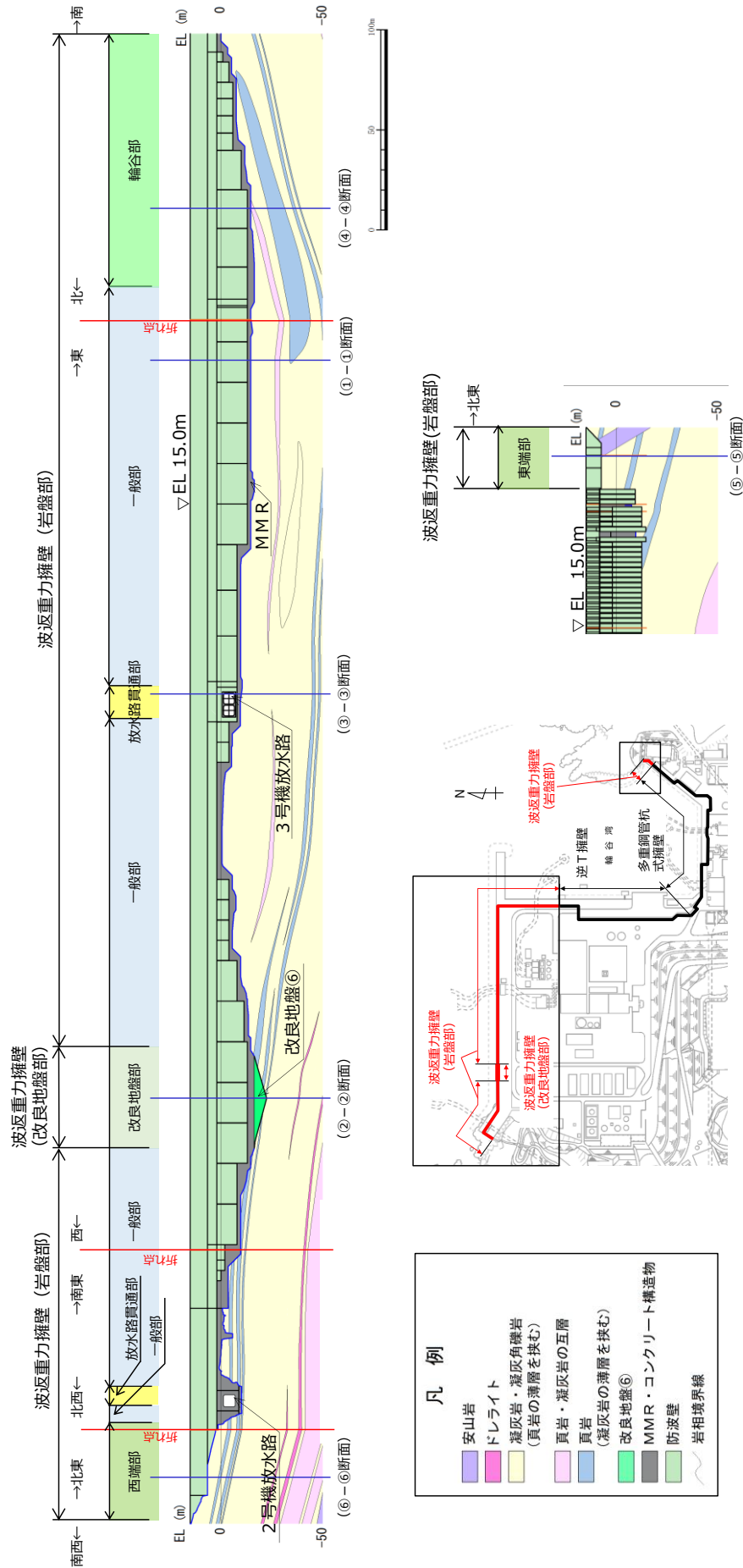


図 3-2 防波壁（波返重力擁壁）の縦断面図

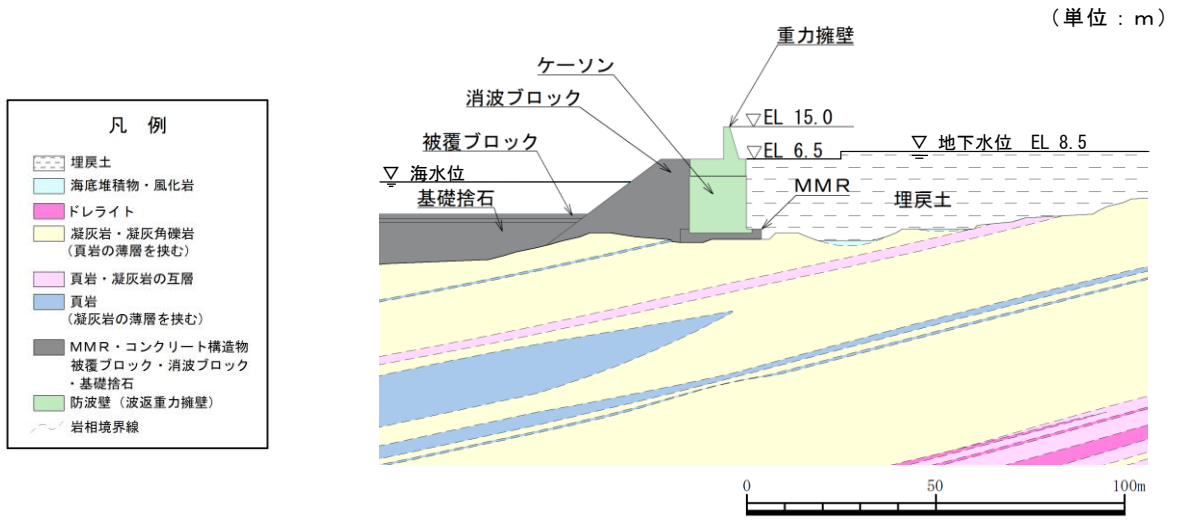


図 3-3 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (①-①断面)

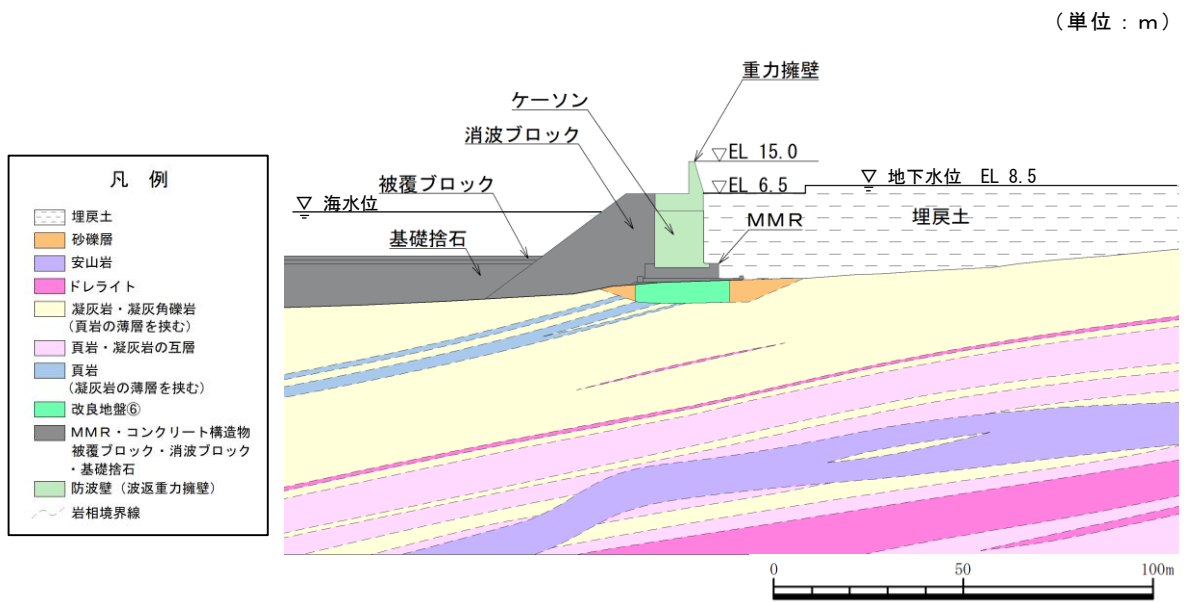


図 3-4 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (②-②断面)

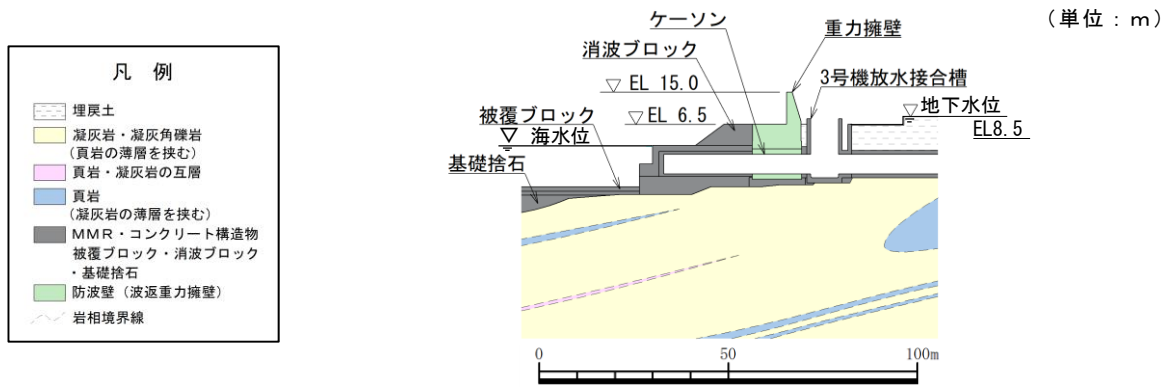


図 3-5 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（③-③断面）

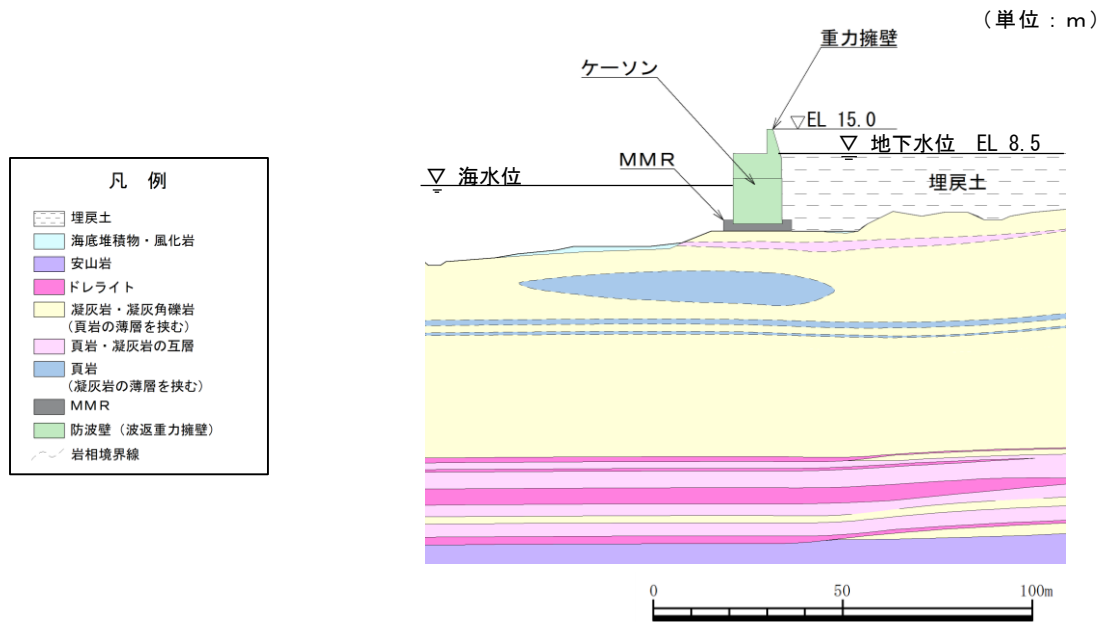


図 3-6 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（④-④断面）

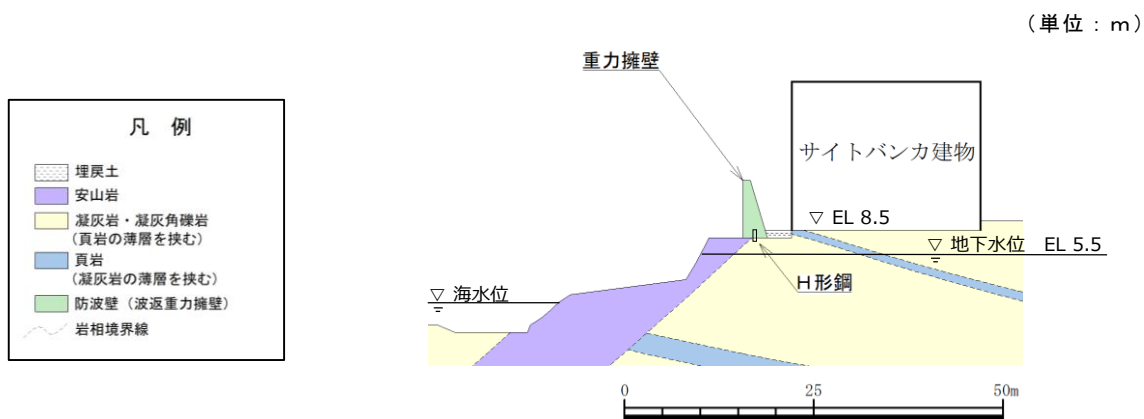


図 3-7 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (⑤-⑤断面)

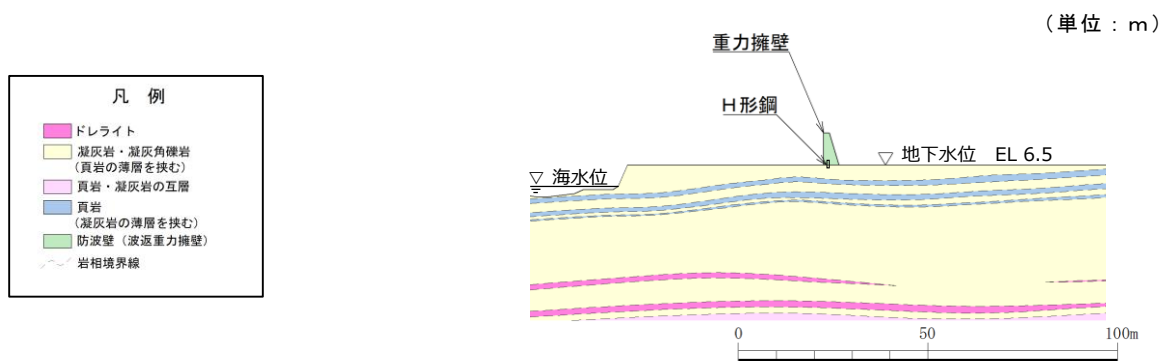


図 3-8 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (⑥-⑥断面)

3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（波返重力擁壁）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次元動的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、重力擁壁，H形鋼，MMR及び改良地盤⑥とする。

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，ケーソンとする。

(2) 施設の変形性評価

2次元動的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次元動的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（波返重力擁壁）を支持する基礎地盤（MMR，改良地盤⑥及び岩盤）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)

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、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。

衝突荷重を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 施設に作用する漂流物衝突荷重

評価対象断面	衝突荷重 (kN/m)
②-②断面	430
③-③断面	450
④-④断面	430
⑤-⑤断面	810

(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

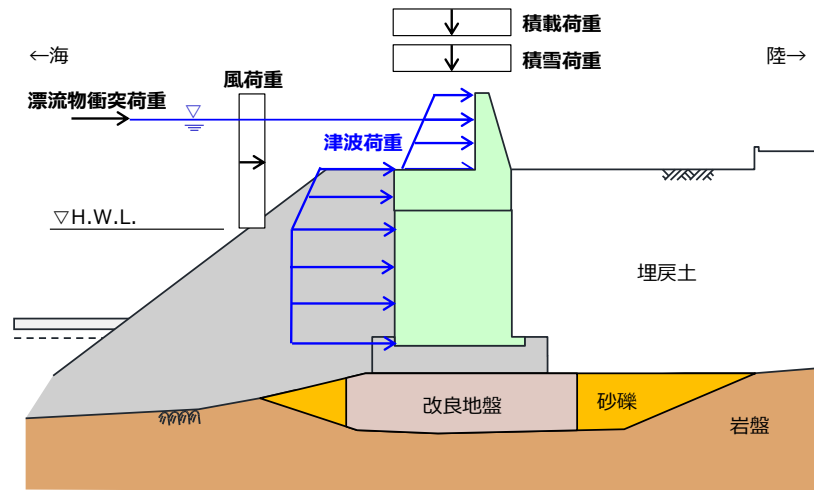


図 3-9(1) 防波壁（波返重力擁壁）の荷重作用図（津波時）

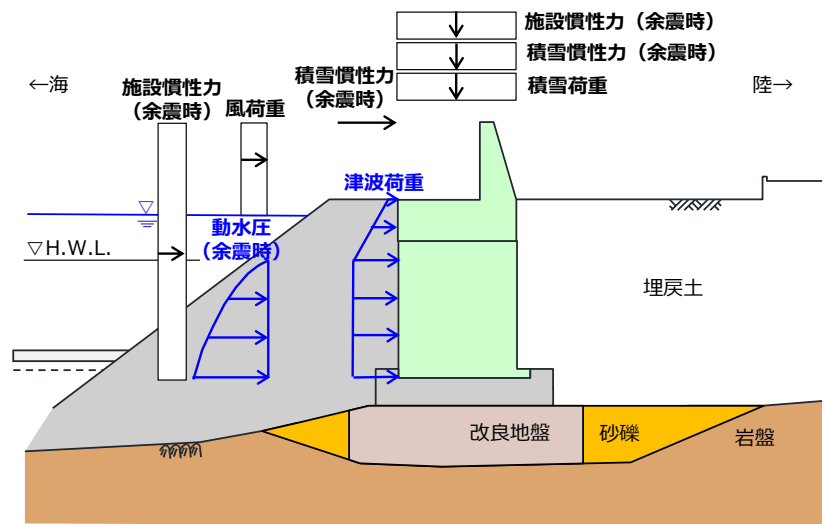


図 3-9(2) 防波壁（波返重力擁壁）の荷重作用図（重畳時）

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 重力擁壁

重力擁壁の許容限界は、「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3-4に示す短期許容応力度とする。

表 3-4 重力擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ¹ (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}	9.0
許容せん断応力度 τ_{a1} * ²		0.45	0.67
コンクリート	許容せん断応力度 τ_{a1} * ³	0.43* ⁴	0.64
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*1：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。

*2：④-④断面の評価に用いる。

*3：設計基準強度の異なるコンクリートが重力擁壁に混在している②-②断面及び③-③断面の評価に用いる。

*4：設計基準強度 21N/mm² 及び 24N/mm² の各々の許容せん断応力度を用い、評価断面の面積案分により算定

3.4.2 ケーソン

(1) ②-②断面及び④-④断面

ケーソンの許容限界は、「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）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」に基づき，表 3-5 に示す短期許容応力度とする。

せん断破壊（面内）に対しては，図 3-10 に示す J E A G 4 6 0 1 -1987 に規定されているスケルトンカーブの第 1 折点の許容せん断応力度（面内）を下回ることを許容限界とし，（式 1）に基づき設定する。

表 3-5 ケーソンの許容限界

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}	9.0
許容せん断応力度 τ_{a1}		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，コンクリートの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。

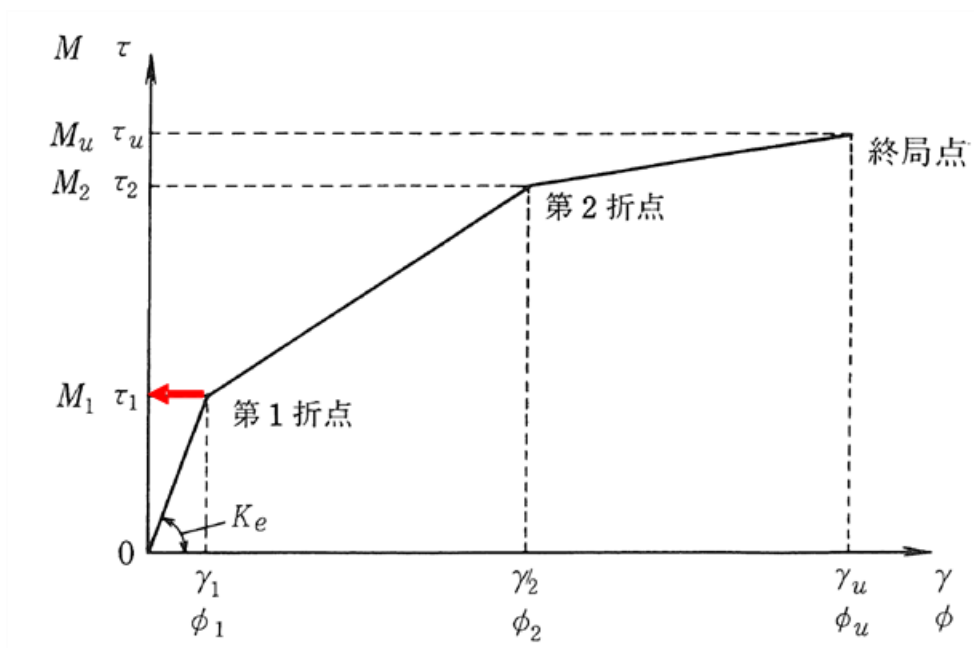


図 3-10 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ 関係）と評価式
（J E A G 4 6 0 1 - 1987 に加筆）

$$\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)} \quad (\text{式 1})$$

ここに、

τ_1 : 許容せん断応力度（面内）(N/mm²)

F_c : 設計基準強度 (N/mm²)

σ_v : 鉛直方向軸応力度 (N/mm²)

(2) ③-③断面

ケーソンの許容限界は、「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）」及び「コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013年制定）」に基づき，表3-6に示す強度とする。

表3-6 ケーソンの許容限界

	算定式	強度 (N/mm ²)	準拠図書
圧縮強度 f'_{ak}	$\eta f'_{ck}$	24.0	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）
引張強度 f_{tk}	$0.23f'_{ck}{}^{2/3}$	1.91	
せん断強度 τ_{ca}	$1/5f'_{ck}$	4.8	コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013年制定）

注記*1：圧縮強度の算定に用いる係数 η は保守的に 1 とする。

*2：ここで f'_{ck} はコンクリートの設計基準強度

3.4.3 H形鋼

H形鋼の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，表3-7に示す短期許容応力度とする。

表3-7 H形鋼の許容限界

種別	許容せん断応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	H形鋼 (SM490)	許容せん断応力度 τ_{sa}	105

注記*：短期許容応力度は，道路橋示方書の許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

3.4.4 MMR

MMRの施設・地盤の健全性評価に用いる許容限界は、「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）」を準拠し，すべり安全率とする。表3-8にMMRの許容限界を示す。

表3-8 MMRの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.4.5 改良地盤⑥

改良地盤⑥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）」を準拠し，すべり安全率とする。表 3-9 に改良地盤⑥の許容限界を示す。

表 3-9 改良地盤⑥の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.4.6 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④-④断面及び⑦-⑦断面位置における止水目地の変形量に対する許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 止水目地の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1960

3.4.7 基礎地盤

基礎地盤のうち岩盤及び改良地盤⑥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，岩盤は支持力試験，改良地盤⑥は一軸圧縮試験により設定する。

MMRに発生する接地圧に対する許容限界は，「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，コンクリートの支圧強度とする。

基礎地盤の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 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	
	改良地盤⑥		3.0
支圧強度	MMR		24.0

3.5 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）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。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位のうち，重力擁壁，H形鋼，MMR及び改良地盤⑥の健全性評価，止水目地の変形性評価並びに基礎地盤の支持性能評価については，2次元静的有限要素法（有効応力解析及び全応力解析）による強度評価を行う。津波時の2次元静的有限要素法において，②-②断面，③-③断面及び④-④断面は，津波時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため，解析方法は有効応力解析とし，⑤-⑤断面は，地下水位以深に液状化対象層が分布しないことから，解析方法は全応力解析とする。

ケーソンについては，ケーソンが複数の隔壁を有しており，その影響を考慮する必要があることから，3次元構造解析により健全性評価を行う。

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高さ EL 11.9mに余裕を考慮した津波高さ EL 12.6mに作用させる。

2次元静的有限要素法のうち有効応力解析に用いる解析コードは「FLIP」を使用し，全応力解析に用いる解析コードは，「TDAPⅢ」を使用する。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

重力擁壁及びケーソンは，線形平面ひずみ要素でモデル化する。

漂流物対策工は，重力擁壁及びケーソン壁に固定して設置することから，機器荷重として考慮する。

c. 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⑤-⑤断面の地震応答解析モデルは，VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

(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

境界条件は，2次元有限要素法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

重力擁壁は，線形平面ひずみ要素としてモデル化する。

ケーソンは，構造部材を線形平面ひずみ要素でモデル化し，3次元構造解析モデルとの変位を整合させるためのヤング係数の調整を行い，3次元構造モデルと等価な剛性となるようモデル化する。また，地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

機器・配管荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

(d) 地盤のモデル化

イ 有効応力解析

岩盤及びMMRは線形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し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

消波ブロック，基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

ロ 全応力解析

岩盤及びMMRは線形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にてモデル化する。

消波ブロック，基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

(e) 海水のモデル化

イ 有効応力解析

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。

ロ 全応力解析

海水はモデル化しない。

(f) ジョイント要素

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。

d. 使用材料及び材料の物性値

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。構造物の使用材料を表 3-12 に、材料の物性値を表 3-13 に示す。

表 3-12 使用材料

材料		仕様
コンクリート	重力擁壁 (基部コンクリート)	設計基準強度 18.0 N/mm ²
	重力擁壁 ケーソン	設計基準強度 24.0 N/mm ²
鉄筋		SD345
H形鋼		SM490

表 3-13 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
鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*
無筋コンクリート	22.6*	2.2×10 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年制定)

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⑥及びMMRの残留強度及び引張強度を表 3-14 のとおり設定する。

表 3-14 改良地盤⑥及びMMR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⑥	0.0	48.80	436
MMR	4.8	0.00	1.91

f. 地下水位

設計用地下水位は、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。設計用地下水位を表 3-15 に示す。

表 3-15 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
防波壁（波返重力擁壁） （②-②断面，③-③断面，④-④断面）	EL 8.5m*
防波壁（波返重力擁壁） （⑤-⑤断面）	EL 5.5m

注記*：地表面が 8.5m よりも低い地点については，地下水位を地表面とする。

g. 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）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) 重力擁壁

重力擁壁の評価は，曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度，曲げ引張応力度及びせん断力により算定されるせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

重力擁壁の応力度算定には，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。

イ 曲げ・軸力照査

コンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認する。

ロ せん断照査

コンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認する。

(b) H形鋼

H形鋼の評価は，⑤－⑤断面において，擁壁下端に発生するせん断力から算定されるせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

(c) MMR

MMRの評価は，②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，すべり線のすべり安全率が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もとに，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。

(d) 改良地盤⑥

改良地盤⑥の評価は、②-②断面において、改良地盤⑥を通るすべり面のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面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。

(e) 止水目地

止水目地の津波時の評価は、④-④断面において、防波壁（波返重力擁壁）の縦断方向及び横断方向ともに、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、重力擁壁天端とケーソン下端における相対変位量とし、保守的に各ケーソンの位相が逆になったことを考慮し、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、隣接する重力擁壁の天端間の相対変位とする。相対変位の抽出位置を図3-12に示す。

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方向の最大相対変位

$\delta_y(T)$: y方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$: z方向の最大相対変位

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。

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

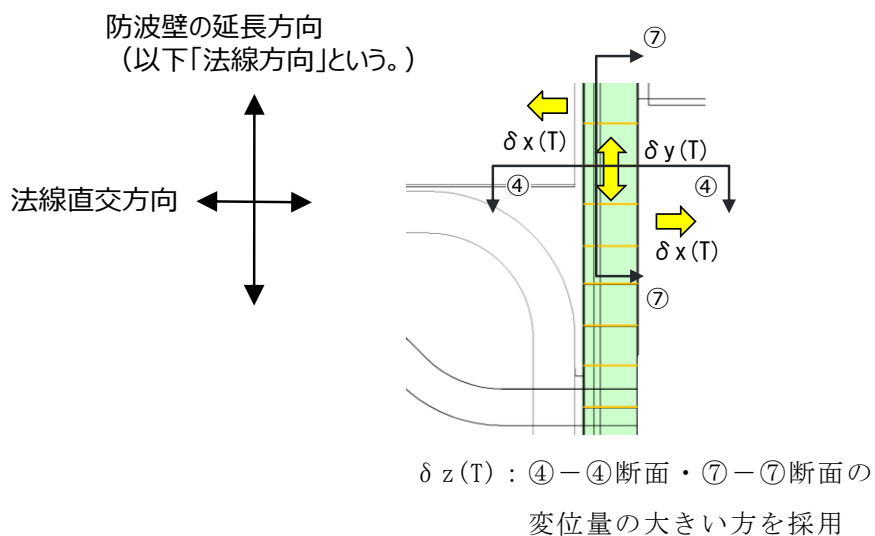


図 3-11 地震時の変位の概念図

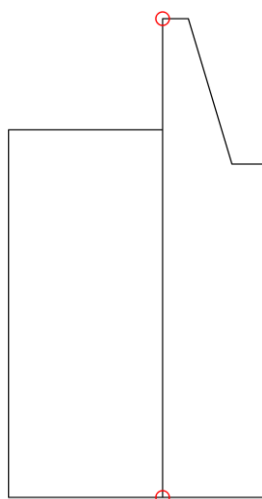


図 3-12 相対変位抽出位置

(f) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価は、②-②断面、③-③断面、④-④断面及び⑤-⑤断面において、MMR、改良地盤⑥及び防波壁直下の岩盤に生じる設置圧の最大値が許容限界以下であることを確認する。

(2) 3次元構造解析

a. 解析方法

②-②断面、③-③断面及び④-④断面は、隔壁を有したケーソンが設置されており、ケーソンは複雑な構造をしていることから、3次元構造解析によりケーソンの構造部材の健全性評価を行う。

津波時にケーソン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。衝突荷重は入力津波高さEL 11.9mに余裕を考慮した津波高さ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

(a) ②-②断面及び④-④断面

ケーソンは線形シェル要素でモデル化する。

(b) ③-③断面

ケーソンは線形ソリッド要素でモデル化する。

c. 解析モデル

防波壁（波返重力擁壁）の3次元構造解析における解析モデルを図3-13～図3-15に示す。

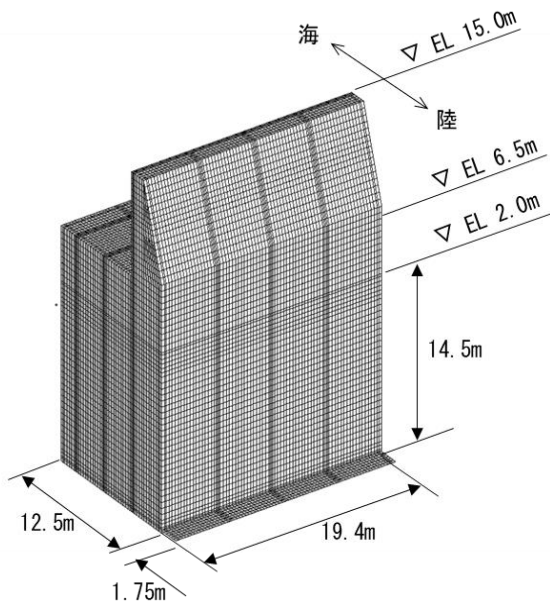
(a) 構造物のモデル化

②-②断面及び④-④断面の3次元構造解析モデルにおいて、ケーソンの壁は線形シェル要素でモデル化し、その他は線形ソリッド要素でモデル化する。

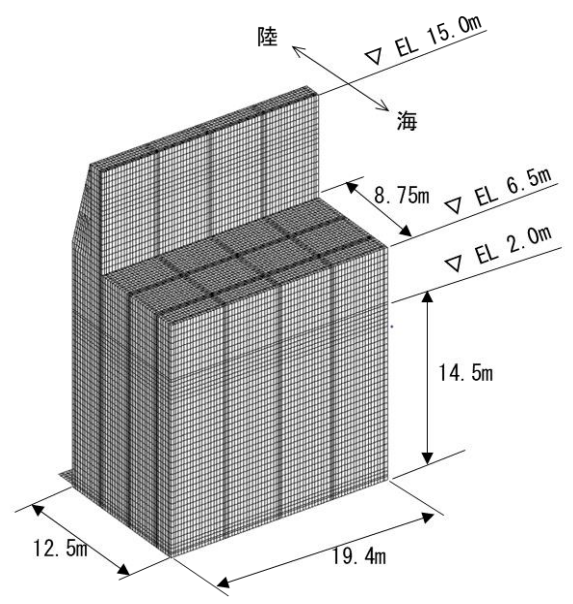
③-③断面の3次元構造解析モデルにおいて、ケーソン及び重力擁壁は線形ソリッド要素でモデル化する。

(b) 地盤ばね

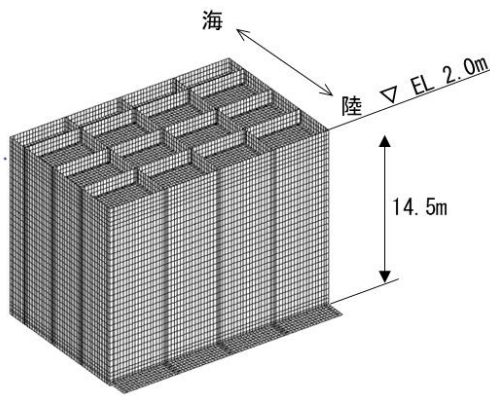
3次元構造解析モデルのうち、構造物とMMRの境界には地盤ばねを設置する。



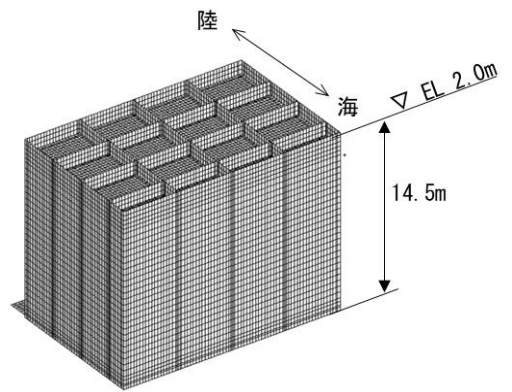
モデル全体図（陸側）



モデル全体図（海側）



ケーソンのモデル図（陸側）*



ケーソンのモデル図（海側）*

注記* : ケーソンはシェル要素のみ表示

図 3-13 3次元構造解析モデル（②-②断面）

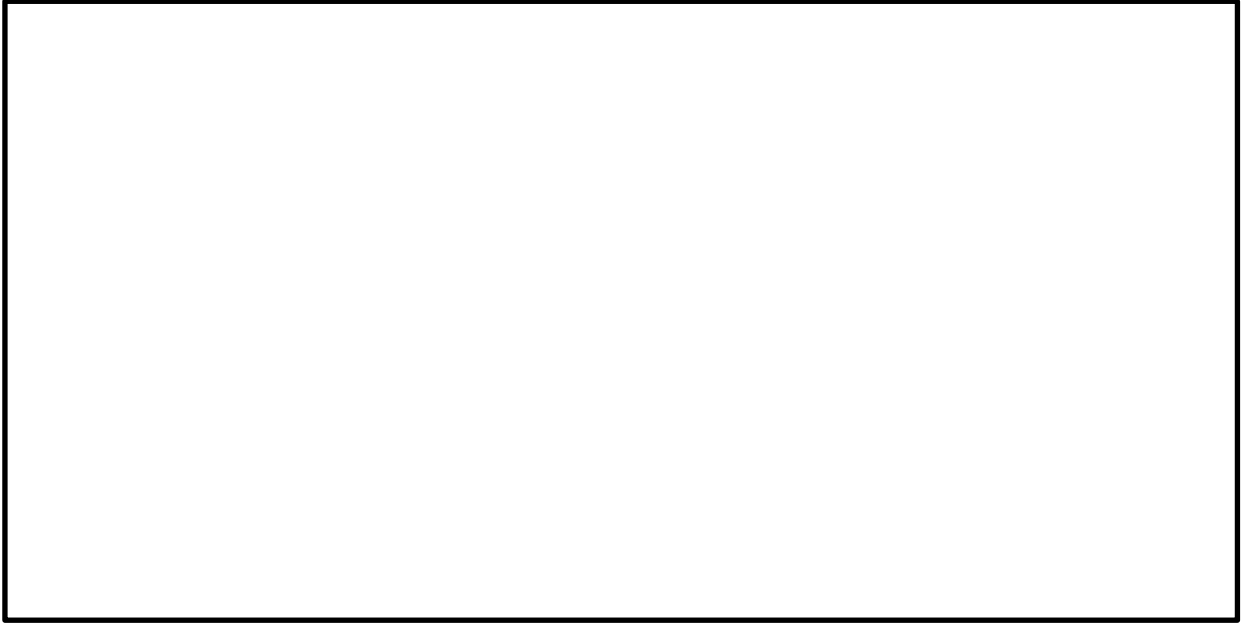
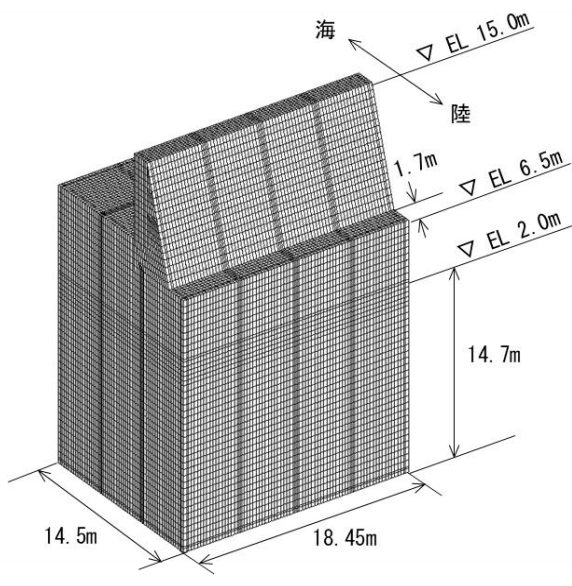
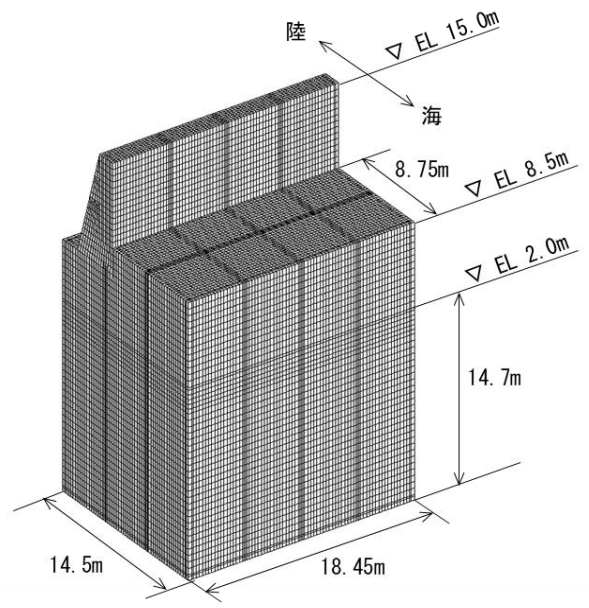


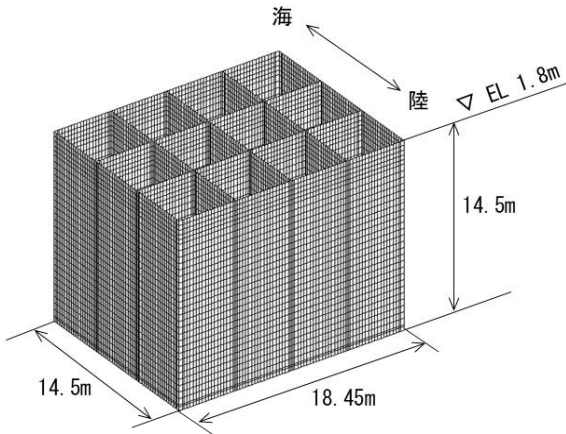
図 3-14 3次元構造解析モデル (③-③断面)



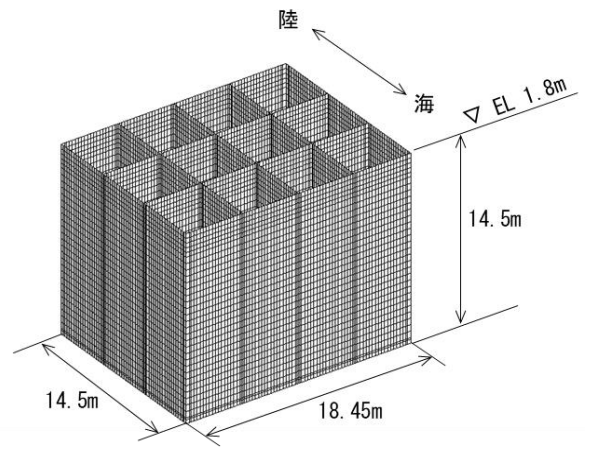
モデル全体図（陸側）



モデル全体図（海側）



ケーソンのモデル図（陸側）*



ケーソンのモデル図（海側）*

注記*：ケーソンはシェル要素のみ表示

図 3-15 3次元構造解析モデル（④-④断面）

d. 使用材料及び材料の物性値

ケーソンの使用材料を表 3-16 に、材料の物性値を表 3-17 に示す。重力擁壁の使用材料は、「(1) 2次元静的有限要素法」に示したものをを用いる。

表 3-16 使用材料

材料	諸元
コンクリート	24.0 N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-17 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
コンクリート	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年制定）

e. 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）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) ケーソン

イ ②-②断面及び④-④断面

②-②断面及び④-④断面のケーソンの評価は、曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度、曲げ引張応力度及びせん断力より算定されるせん断応力度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「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。

ロ ③-③断面

③-③断面のケーソンの評価は、3次元構造解析に基づいて算定した圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

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おいて、②-②断面、③-③断面及び④-④断面の解析方法は有効応力解析とする。

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 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) を設定する。

d. 解析ケース

重畳時においては、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）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-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に基づき設定する。

f. 解析モデル

解析モデルは、「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（波返重力擁壁）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」と同様とする。

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

地盤ばねについては、「3.5.1 津波時」と同様である。

d. 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。

e. 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）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 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3237	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	3122	kN/m ²
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	430	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

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 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	1967	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	2449	kN/m ²
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	450	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

表 4-1(3) 強度評価に用いる条件 (④-④断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	491	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3542	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	3097	kN/m ²
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	430	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

表 4-1(4) 強度評価に用いる条件 (⑤-⑤断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	383	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	39	kN/m ²
P_s	積雪荷重	0.7	kN/m ²
P_k	風荷重	1.764	kN/m ²
P_c	衝突荷重	810	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

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 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3237	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	888	kN/m ²
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

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 (重力擁壁)	565	kN
	固定荷重 (ケーソン)	1967	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	662	kN/m ²
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

表 4-2(3) 強度評価に用いる条件 (④-④断面)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (重力擁壁)	491	kN
	固定荷重 (ケーソン)	3542	kN
P	積載荷重 (機器荷重, 漂流物対策工荷重)	250	kN/m
P_t	遡上津波荷重	831	kN/m ²
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

5. 評価結果

5.1 津波時

5.1.1 重力擁壁

(1) 曲げ・軸力照査

②－②断面，③－③断面，④－④断面及び⑤－⑤断面において，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

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 5-1 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-2 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋における発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(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
(②-②断面)

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)			
-5200	793	3.3	13.5	0.25

表 5-1(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
(③-③断面)

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)			
-5182	846	3.1	13.5	0.24

表 5-1(3) 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)

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)			
-3113	666	2.5	13.5	0.19

表 5-1(4) 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
(⑤-⑤断面)

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)			
-4066	707	3.6	13.5	0.27

表 5-2(1) 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)

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)			
-5200	793	123.2	294	0.42

表 5-2(2) 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)

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)			
-5182	846	105.9	294	0.36

表 5-2(3) 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)

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)			
-3113	666	89.2	294	0.31

表 5-2(4) 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 (⑤-⑤断面)

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)			
-4066	707	135.7	294	0.47

(2) せん断照査

②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面において，重力擁壁のコンクリートのせん断破壊に対する照査を行った。

コンクリートのせん断破壊に対する照査結果を表 5-3 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリートにおける発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-3(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 (②-②断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
1232	0.32	0.64	0.50

表 5-3(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 (③-③断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
1218	0.31	0.64	0.49

表 5-3(3) 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)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
1060	0.31	0.64	0.46

表 5-3(4) 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 (⑤-⑤断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
1128	0.36	0.67	0.63

5.1.2 ケーソン

(1) ②-②断面及び④-④断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、前壁、後壁、側壁、隔壁、底版及びフーチングとした。評価対象位置図を図5-1に示す。

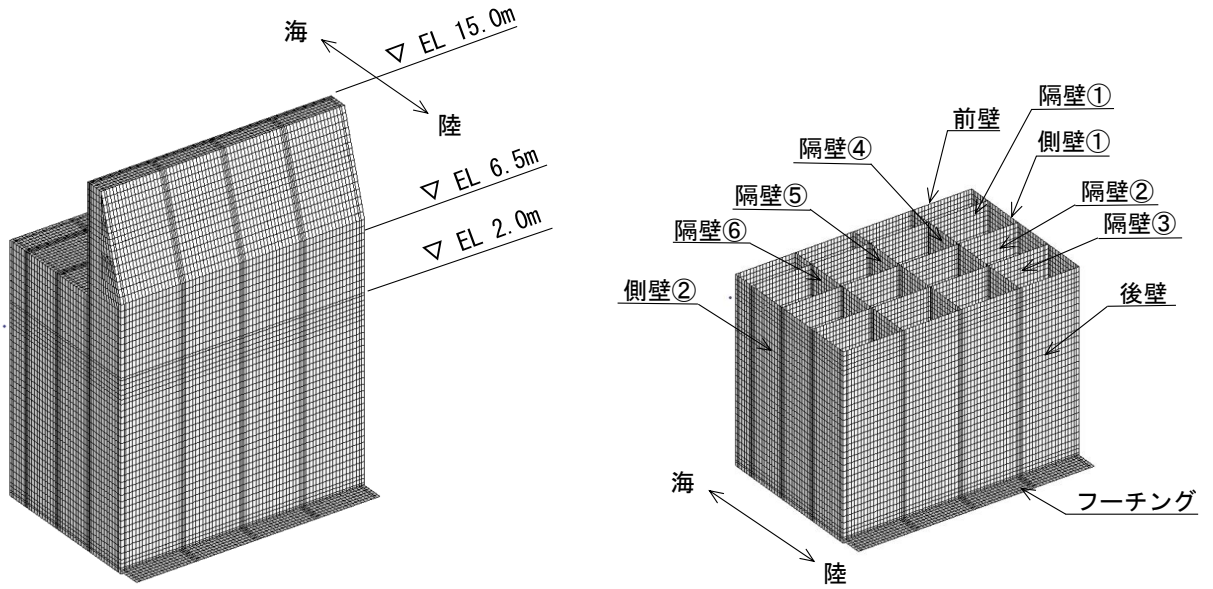


図5-1(1) 評価対象位置図 (②-②断面)

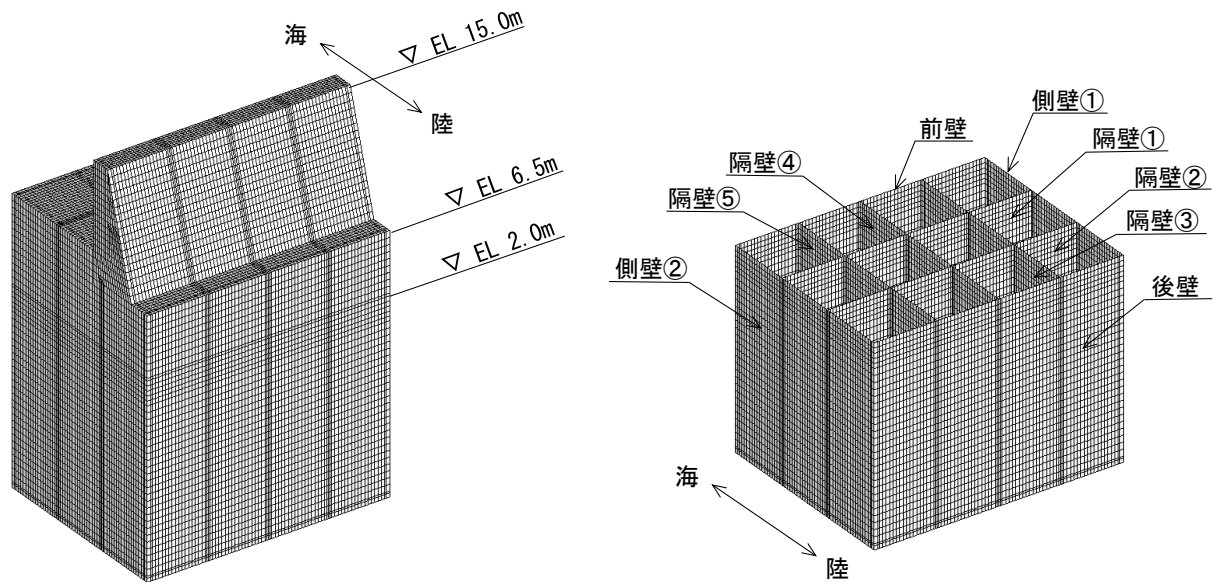


図5-1(2) 評価対象位置図 (④-④断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

②－②断面及び④－④断面において、ケーソンのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

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 5-4 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-5 に、コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査結果を表 5-6 に、コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査結果を表 5-7 に示す。

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
(②-②断面)

評価対象 部材	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)			
底版	52	-55	1.1	13.5	0.09
フーチング	36	8	0.3	13.5	0.03
前壁	-4	-6	0.2	13.5	0.02
後壁	-2	761	1.5	13.5	0.12
側壁①	11	619	1.5	13.5	0.11
側壁②	11	619	1.5	13.5	0.11
隔壁①	1	-23	0.5	13.5	0.04
隔壁②	1	-8	0.5	13.5	0.05
隔壁③	0	261	0.9	13.5	0.07
隔壁④	0	359	1.3	13.5	0.10
隔壁⑤	0	365	1.3	13.5	0.10
隔壁⑥	0	359	1.3	13.5	0.10

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
(④-④断面)

評価対象 部材	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)			
底版	47	-40	0.7	13.5	0.05
前壁	13	20	0.4	13.5	0.03
後壁	0	601	1.2	13.5	0.09
側壁①	17	453	1.3	13.5	0.09
側壁②	17	453	1.3	13.5	0.09
隔壁①	0	161	0.6	13.5	0.04
隔壁②	1	229	0.9	13.5	0.07
隔壁③	0	314	1.0	13.5	0.08
隔壁④	0	322	1.0	13.5	0.08
隔壁⑤	0	314	1.0	13.5	0.08

表 5-5(1) 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)

評価対象 部材	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)			
底版	52	-55	84.0	294	0.29
フーチング	50	-105	38.9	294	0.14
前壁	2	-177	60.7	294	0.21
後壁	4	-110	36.2	294	0.13
側壁①	1	-162	70.4	294	0.24
側壁②	1	-162	70.4	294	0.24
隔壁①	0	-34	28.0	294	0.10
隔壁②	0	-57	48.2	294	0.17
隔壁③	0	-71	57.1	294	0.20
隔壁④	0	-54	22.1	294	0.08
隔壁⑤	0	-48	19.8	294	0.07
隔壁⑥	0	-54	22.1	294	0.08

表 5-5(2) 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)

評価対象 部材	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)			
底版	47	-43	46.7	294	0.16
前壁	7	-93	35.9	294	0.13
後壁	6	-117	41.0	294	0.14
側壁①	1	-29	10.0	294	0.04
側壁②	1	-29	10.0	294	0.04
隔壁①	0	-63	40.7	294	0.14
隔壁②	0	-75	47.1	294	0.17
隔壁③	0	-4	1.1	294	0.01
隔壁④	0	-1	0.3	294	0.01
隔壁⑤	0	-4	1.1	294	0.01

表 5-6(1) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（②-②断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	54	0.12	0.67	0.18
フーチング	60	0.07	0.67	0.12
前壁	10	0.02	0.67	0.04
後壁	18	0.05	0.67	0.08
側壁①	28	0.07	0.67	0.10
側壁②	28	0.07	0.67	0.10
隔壁①	3	0.03	0.67	0.05
隔壁②	7	0.06	0.67	0.10
隔壁③	3	0.03	0.67	0.04
隔壁④	3	0.02	0.67	0.04
隔壁⑤	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑥	3	0.02	0.67	0.04

表 5-6(2) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（④-④断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	51	0.11	0.67	0.17
前壁	23	0.06	0.67	0.09
後壁	24	0.06	0.67	0.09
側壁①	17	0.05	0.67	0.07
側壁②	17	0.05	0.67	0.07
隔壁①	4	0.03	0.67	0.06
隔壁②	3	0.03	0.67	0.04
隔壁③	2	0.02	0.67	0.04
隔壁④	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑤	2	0.02	0.67	0.04

表 5-7(1) コンクリートせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
 (②-②断面)

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 (面内) τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 (面内) τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	45	0.07	1.51	0.05
フーチング	138	0.14	1.51	0.10
前壁	15	0.03	1.51	0.02
後壁	170	0.34	1.98	0.18
側壁①	156	0.31	1.52	0.21
側壁②	156	0.31	1.52	0.21
隔壁①	16	0.06	1.51	0.05
隔壁②	47	0.19	1.73	0.11
隔壁③	76	0.30	1.93	0.16
隔壁④	74	0.30	1.56	0.20
隔壁⑤	76	0.31	1.57	0.20
隔壁⑥	74	0.30	1.56	0.20

表 5-7(2) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
 (④-④断面)

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 (面内) τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 (面内) τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	68	0.11	1.51	0.08
前壁	27	0.05	1.54	0.04
後壁	96	0.19	1.89	0.11
側壁①	83	0.17	1.60	0.11
側壁②	83	0.17	1.60	0.11
隔壁①	53	0.21	1.78	0.12
隔壁②	75	0.30	1.87	0.17
隔壁③	42	0.17	1.62	0.11
隔壁④	41	0.16	1.62	0.11
隔壁⑤	42	0.17	1.62	0.11

(2) ③-③断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、頂版、底版、側壁及び隔壁とした。評価対象位置図を図5-2に示す。

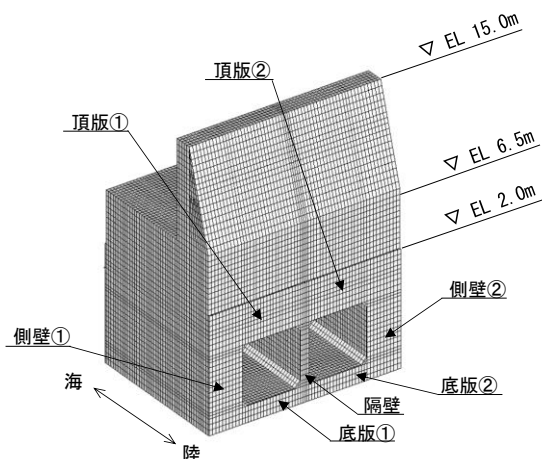


図5-2 評価対象位置図 (③-③断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

③-③断面において、ケーソンのコンクリートの圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度に対する照査を行った。

コンクリートの圧縮応力度に対する照査結果を表5-8に、コンクリートの引張応力度に対する照査結果を表5-9に、コンクリートのせん断応力度に対する照査結果を表5-10に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリートにおける発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-8 コンクリートの圧縮応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	圧縮強度 f'_{ak} (N/mm ²)	照査値 σ_c / f'_{ak}
	圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
底版①	2.6	24.0	0.11
底版②	2.6	24.0	0.11
側壁①	4.2	24.0	0.18
側壁②	4.2	24.0	0.18
隔壁	5.6	24.0	0.24
頂版①	1.5	24.0	0.07
頂版②	1.5	24.0	0.07

表 5-9 コンクリートの引張応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	引張強度 f_{tk} (N/mm ²)	照査値 σ_s / f_{tk}
	引張応力度 σ_s (N/mm ²)		
底版①	0.50	1.91	0.27
底版②	0.50	1.91	0.27
側壁①	0.64	1.91	0.34
側壁②	0.64	1.91	0.34
隔壁	1.28	1.91	0.68
頂版①	0.67	1.91	0.36
頂版②	0.67	1.91	0.36

表 5-10 コンクリートのせん断応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	せん断強度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{ca}
	せん断応力度 τ_c (N/mm ²)		
底版①	1.2	4.8	0.25
底版②	1.2	4.8	0.25
側壁①	0.8	4.8	0.17
側壁②	0.8	4.8	0.17
隔壁	0.9	4.8	0.20
頂版①	0.7	4.8	0.14
頂版②	0.7	4.8	0.14

5.1.3 H形鋼

(1) せん断照査

⑤－⑤断面に設置しているH形鋼のせん断破壊に対する照査を行った。

H形鋼のせん断破壊に対する照査値を表5-11に示す。

この結果から、H形鋼に発生する応力度が許容限界以下であることを確認した。

表5-11 H形鋼のせん断破壊に対する照査における最大照査値（⑤－⑤断面）

発生断面力 せん断力 Q (kN)	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s/τ_{sa}
1128	84.8	157	0.55

5.1.4 MMR

②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，MMRのすべり安全率による評価を行った。

MMRのすべり安全率による評価結果を表5-12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図を図5-3に示す。

この結果から，MMRのすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表5-12(1) MMRのすべり安全率評価結果(②－②断面)

最小すべり安全率
70.17

表5-12(2) MMRのすべり安全率評価結果(③－③断面)

最小すべり安全率
100.00

表5-12(3) MMRのすべり安全率評価結果(④－④断面)

最小すべり安全率
60.80

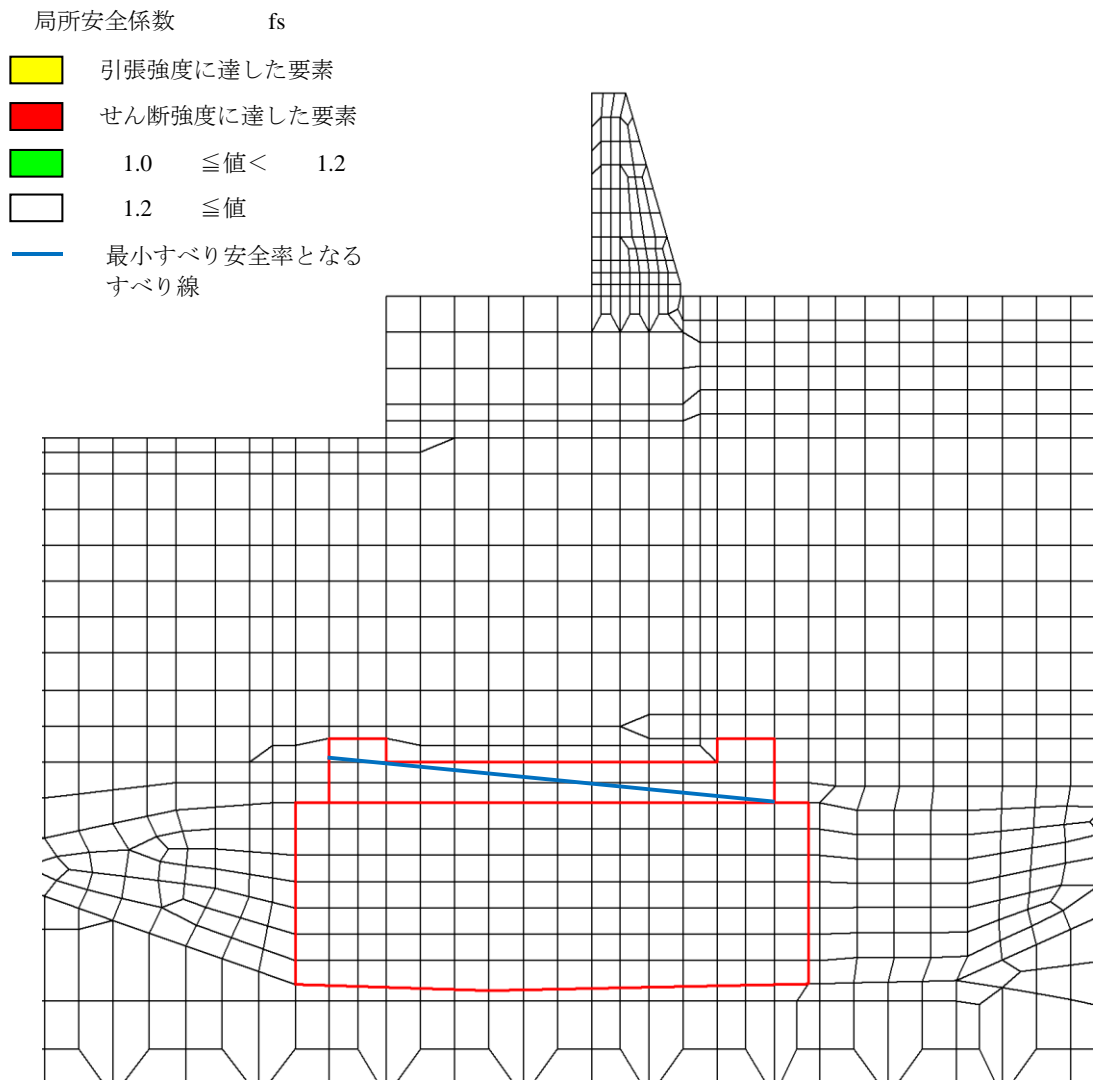


図 5-3(1) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(②-②断面)

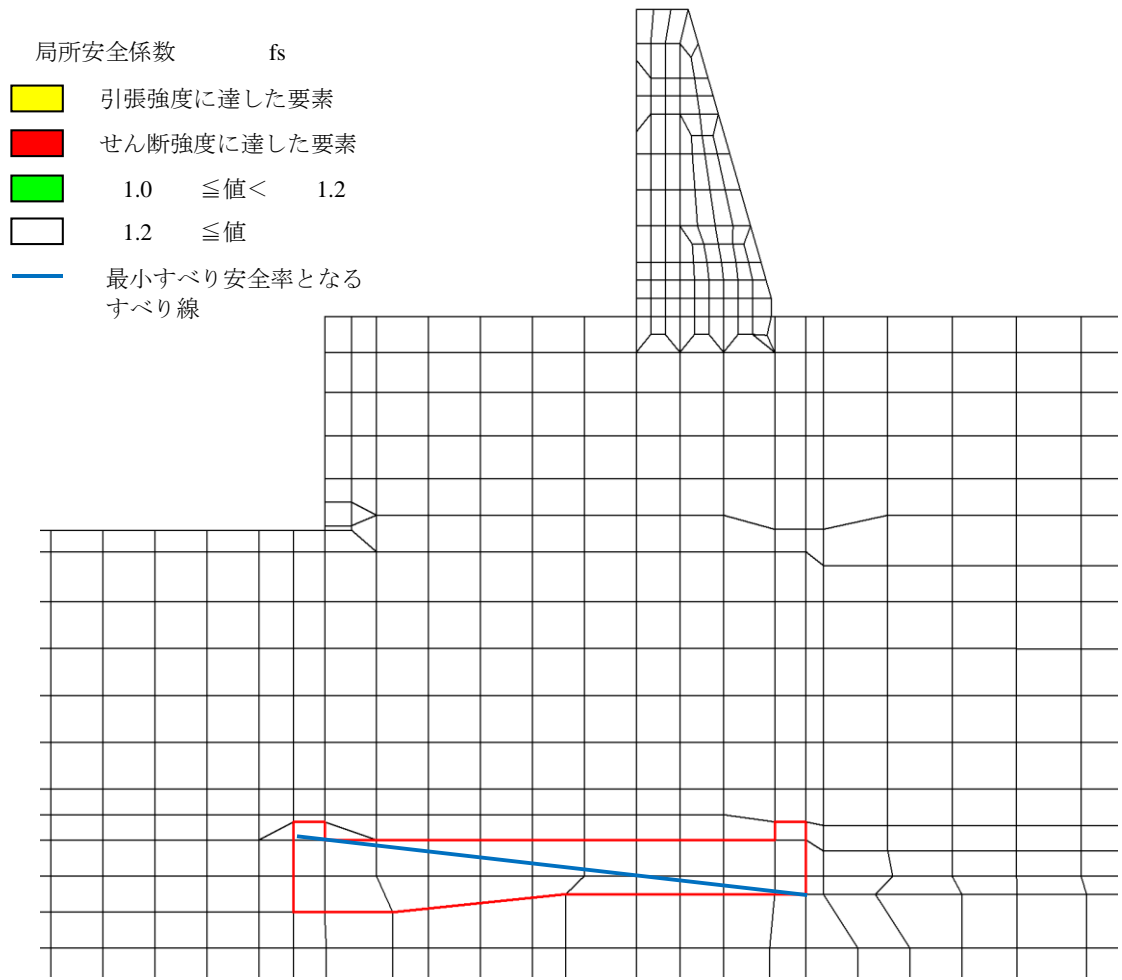


図 5-3(2) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(③-③断面)

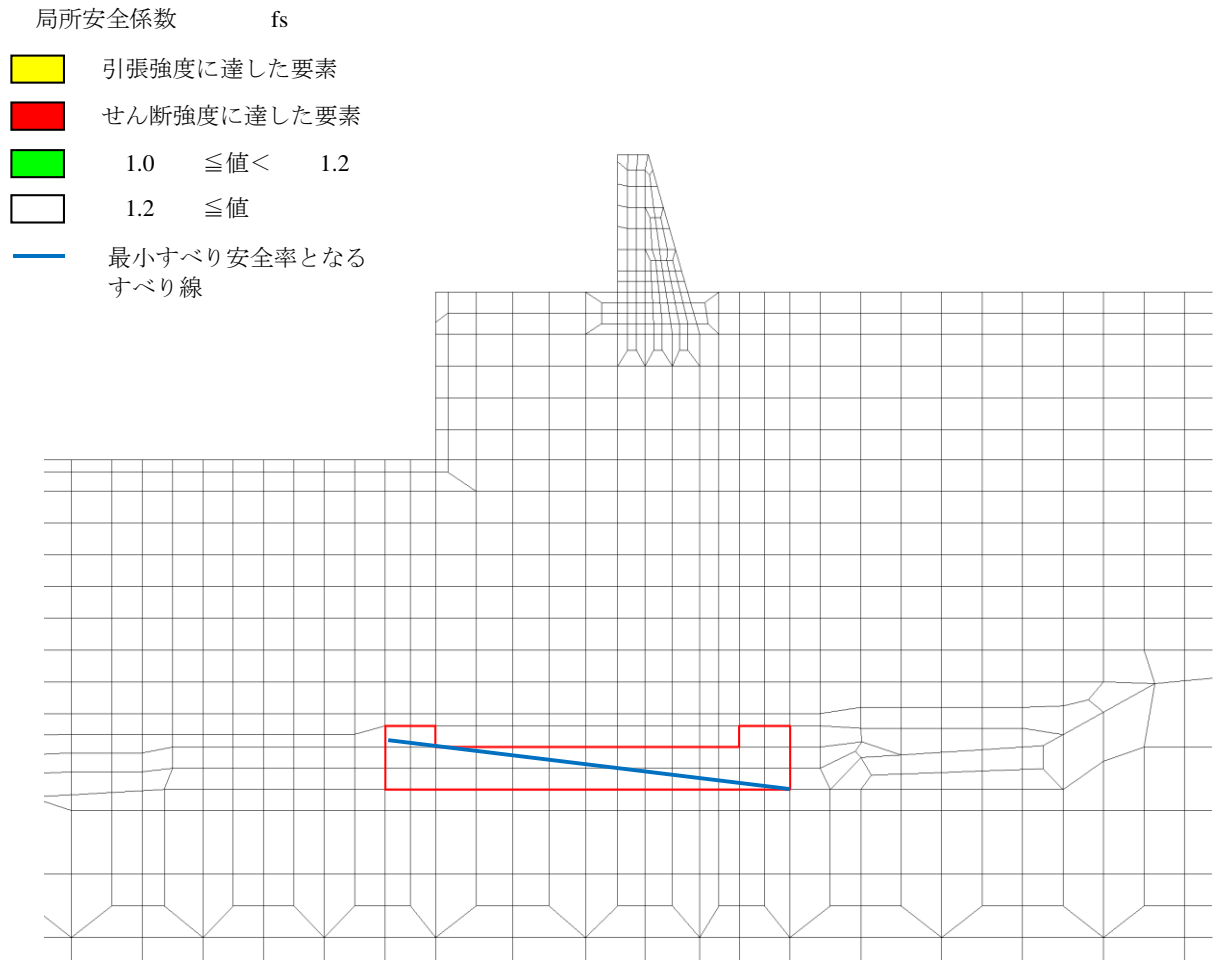


図 5-3(3) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(④-④断面)

5.1.5 改良地盤⑥

②-②断面において，改良地盤⑥のすべり安全率による評価を行った。

改良地盤⑥のすべり安全率による評価結果を表 5-13 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図を図 5-4 に示す。

これらの結果から，改良地盤⑥のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-13 改良地盤⑥のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

最小すべり安全率
25.00

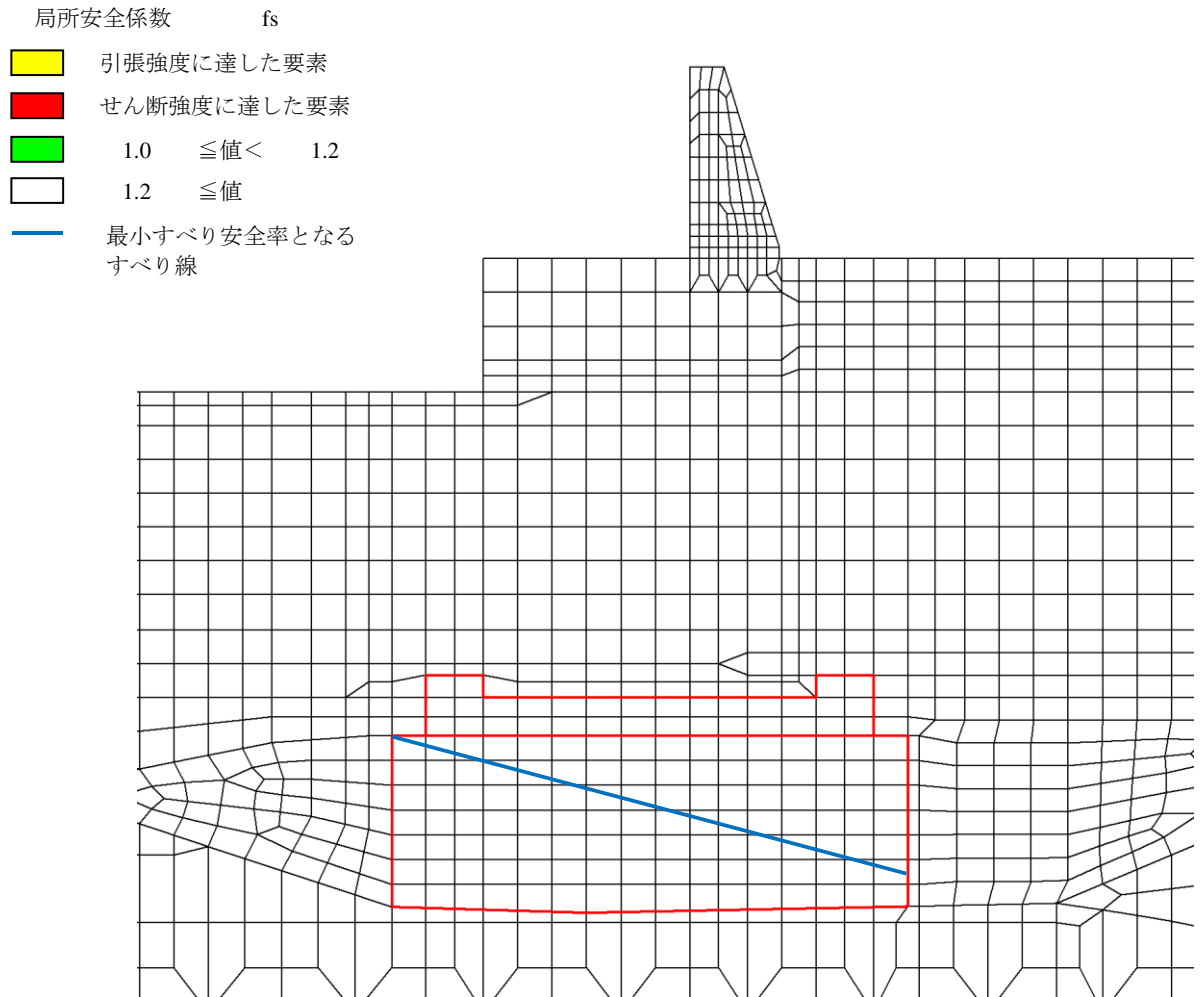


図 5-4 改良地盤⑥の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図 (②-②断面)

5.1.6 止水目地

③-③断面において、止水目地の相対変位量に対する照査を行った。

止水目地の相対変位量に対する照査結果を表5-14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5-14 止水目地設置個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)
δ_x : ③-③断面 (横断方向)	106.55	—
δ_z : ③-③断面 (横断方向)	0.62	—
合成方向 (3方向合成)	106.55	1960

5.1.7 基礎地盤

②-②断面、③-③断面、④-④断面及び⑤-⑤断面において、基礎地盤の支持性能評価を行った。

基礎地盤の支持性能評価結果を表5-15～表5-18に、支持地盤の接地圧分布図を図5-5～図5-8に示す。

この結果から、防波壁（波返重力擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表5-15(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面，MMR）

最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P_u (N/mm ²)	照査値 P/P_u
0.9	24.0	0.04

表5-15(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面，改良地盤⑥）

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P/P_u
0.2	3.0	0.08

表 5-15(3) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.3	9.8	0.04

表 5-16(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.2	24.0	0.01

表 5-16(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.7	9.8	0.07

表 5-17(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.7	24.0	0.03

表 5-17(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.5	9.8	0.05

表 5-18 基礎地盤の支持性能評価結果 (⑤-⑤断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.5	9.8	0.16

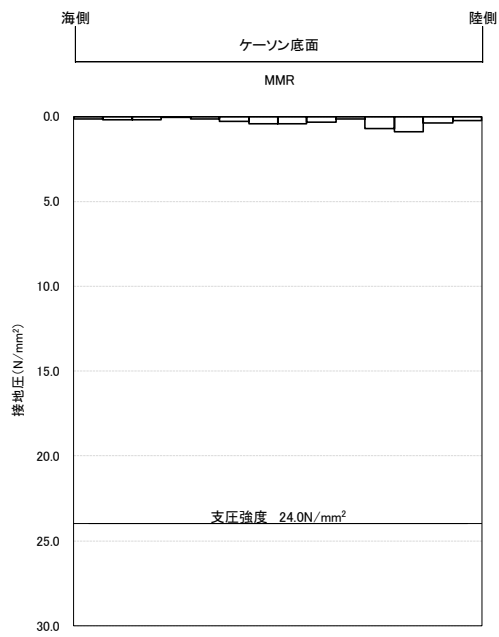


図 5-5(1) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, MMR)

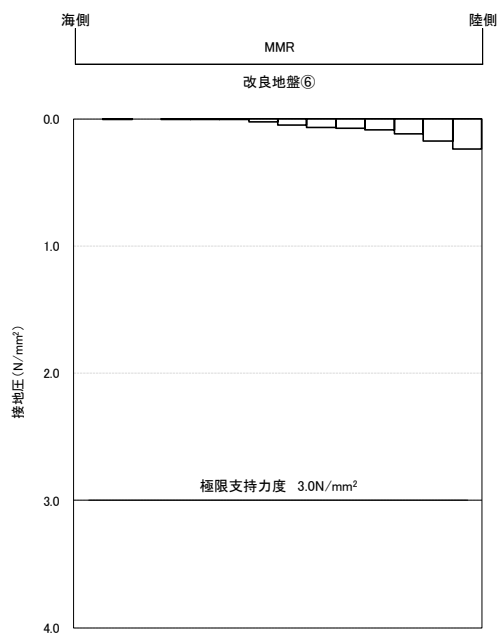


図 5-5(2) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 改良地盤⑥)

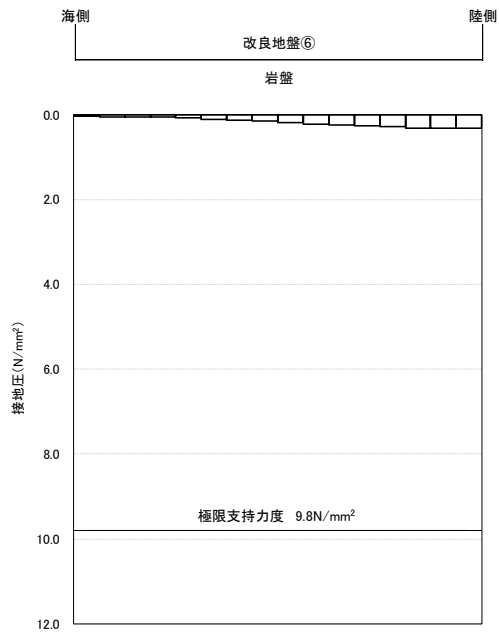


図 5-5(3) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 岩盤)

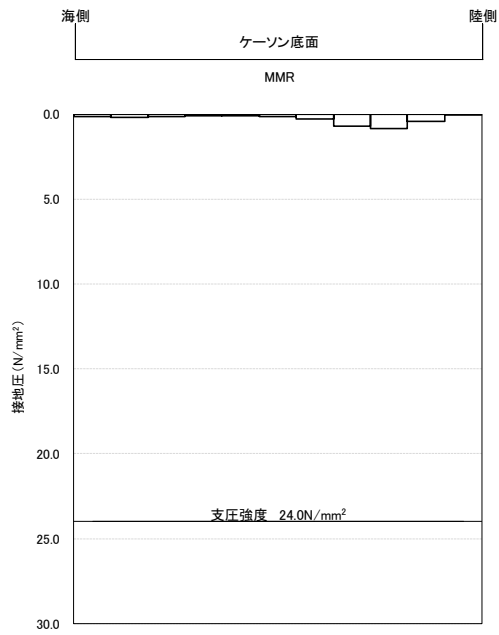


図 5-6(1) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, MMR)

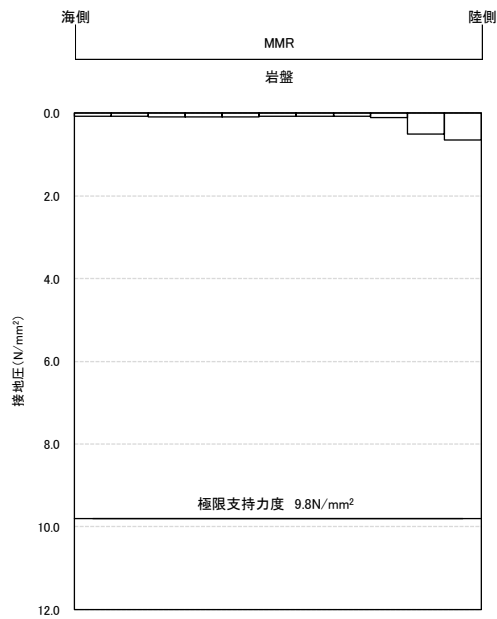


図 5-6(2) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, 岩盤)

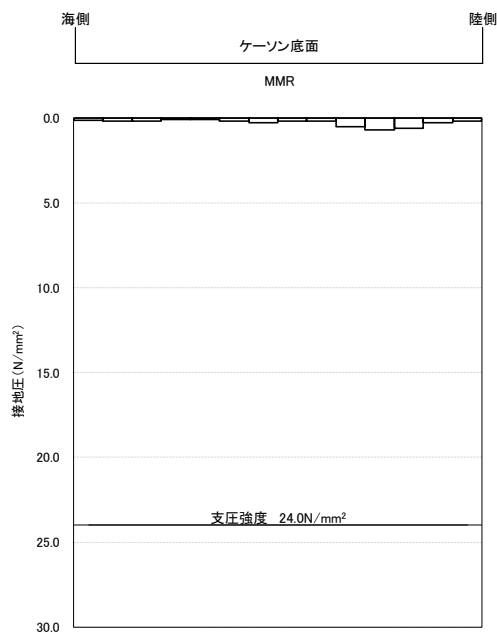


図 5-7(1) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, MMR)

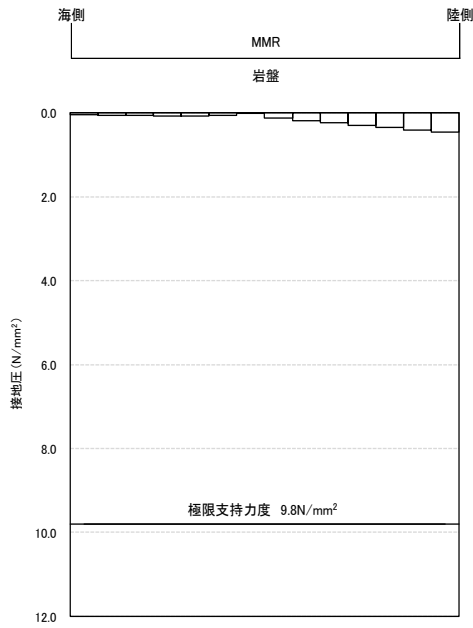


図 5-7(2) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)

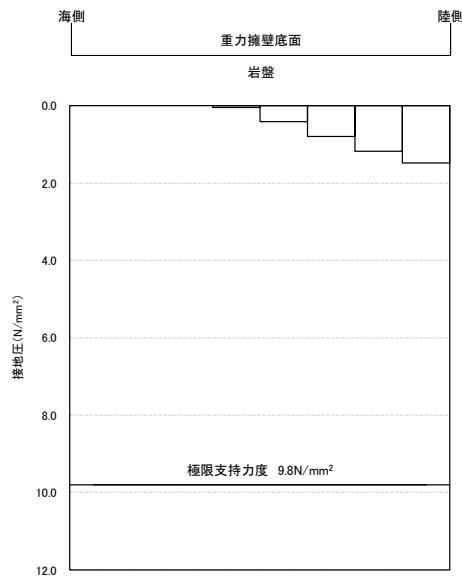


図 5-8 支持地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)

5.2 重畳時

5.2.1 重力擁壁

(1) 曲げ照査

②-②断面，③-③断面及び④-④断面において，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

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 5-19 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-20 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋における発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-19(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
(②-②断面)

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)			
2791	965	1.9	13.5	0.15

表 5-19(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
(③-③断面)

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)			
2848	1034	1.9	13.5	0.15

表 5-19(3) 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)

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)			
2495	1083	2.1	13.5	0.16

表 5-20(1) 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)

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)			
2791	965	61.8	294	0.21

表 5-20(2) 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)

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)			
2848	1034	57.3	294	0.20

表 5-20(3) 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)

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)			
2495	1083	62.5	294	0.22

(2) せん断照査

②-②断面，③-③断面及び④-④断面において，重力擁壁のコンクリートのせん断破壊に対する照査を行った。

コンクリートのせん断破壊に対する照査結果を表 5-21 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリートにおける発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-21(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 (②-②断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
610	0.16	0.64	0.25

表 5-21(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 (③-③断面)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
506	0.13	0.64	0.21

表 5-21(3) 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)

発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
せん断力 Q (kN)			
461	0.13	0.64	0.20

5.2.2 ケーソン

(1) ②-②断面及び④-④断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、前壁、後壁、側壁、隔壁、底版及びフーチングとした。評価対象位置図を図5-9に示す。

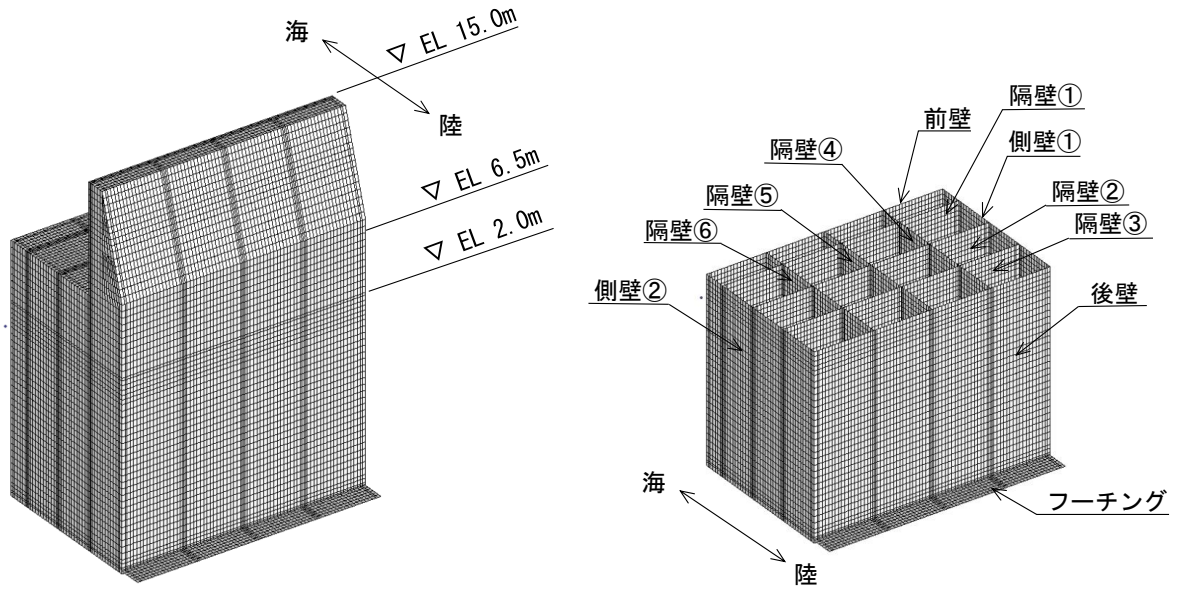


図5-9(1) 評価対象位置図 (②-②断面)

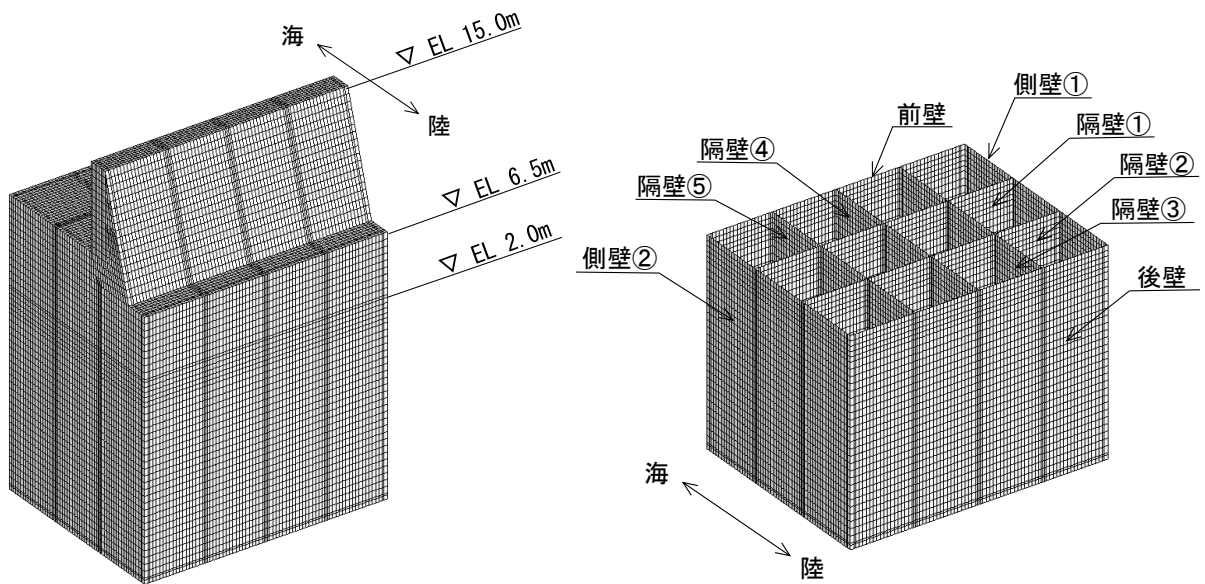


図5-9(2) 評価対象位置図 (④-④断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

②－②断面及び④－④断面において、ケーソンのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

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 5-22 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果を表 5-23 に、コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査結果を表 5-24 に、コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査結果を表 5-25 に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリート及び鉄筋における発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-22(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
(②-②断面)

評価対象 部材	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)			
底版	45	-48	1.0	13.5	0.08
フーチング	-7	61	0.2	13.5	0.02
前壁	1	525	1.0	13.5	0.08
後壁	4	567	1.2	13.5	0.10
側壁①	15	439	1.2	13.5	0.09
側壁②	15	439	1.2	13.5	0.09
隔壁①	3	208	1.0	13.5	0.08
隔壁②	5	222	1.2	13.5	0.09
隔壁③	4	224	1.2	13.5	0.09
隔壁④	2	255	1.1	13.5	0.08
隔壁⑤	0	290	1.0	13.5	0.08
隔壁⑥	2	255	1.1	13.5	0.08

表 5-22(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
(④-④断面)

評価対象 部材	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)			
底版	73	53	1.4	13.5	0.11
前壁	8	874	2.0	13.5	0.15
後壁	28	822	2.2	13.5	0.17
側壁①	29	787	2.2	13.5	0.17
側壁②	29	787	2.2	13.5	0.17
隔壁①	6	396	1.9	13.5	0.14
隔壁②	5	381	1.8	13.5	0.14
隔壁③	2	483	1.8	13.5	0.14
隔壁④	0	483	1.6	13.5	0.12
隔壁⑤	2	483	1.8	13.5	0.14

表 5-23(1) 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)

評価対象 部材	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)			
底版	45	-48	72.4	294	0.25
フーチング	-3	-218	36.9	294	0.13
前壁	1	-78	25.5	294	0.09
後壁	5	-98	33.7	294	0.12
側壁①	-2	-63	31.4	294	0.11
側壁②	-2	-63	31.4	294	0.11
隔壁①	0	-38	30.6	294	0.11
隔壁②	0	-57	44.8	294	0.16
隔壁③	0	-63	50.3	294	0.18
隔壁④	0	-13	5.6	294	0.02
隔壁⑤	0	-12	5.1	294	0.02
隔壁⑥	0	-13	5.6	294	0.02

表 5-23(2) 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)

評価対象 部材	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 _{max} (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	77	-47	72.0	294	0.25
前壁	0	-122	41.1	294	0.14
後壁	6	-147	49.0	294	0.17
側壁①	2	-50	18.1	294	0.07
側壁②	2	-50	18.1	294	0.07
隔壁①	0	-95	58.7	294	0.20
隔壁②	0	-95	58.8	294	0.20
隔壁③	0	-28	17.9	294	0.07
隔壁④	0	-33	20.3	294	0.07
隔壁⑤	0	-28	17.9	294	0.07

表 5-24(1) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（②-②断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	46	0.10	0.67	0.16
フーチング	44	0.05	0.67	0.09
前壁	24	0.07	0.67	0.11
後壁	40	0.10	0.67	0.15
側壁①	25	0.06	0.67	0.09
側壁②	25	0.06	0.67	0.09
隔壁①	2	0.02	0.67	0.03
隔壁②	5	0.05	0.67	0.07
隔壁③	5	0.04	0.67	0.07
隔壁④	2	0.02	0.67	0.04
隔壁⑤	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑥	2	0.02	0.67	0.04

表 5-24(2) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
（④-④断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q (kN)			
底版	77	0.17	0.67	0.26
前壁	36	0.09	0.67	0.14
後壁	37	0.09	0.67	0.14
側壁①	26	0.07	0.67	0.10
側壁②	26	0.07	0.67	0.10
隔壁①	8	0.07	0.67	0.11
隔壁②	7	0.06	0.67	0.10
隔壁③	3	0.03	0.67	0.05
隔壁④	0	0.00	0.67	0.01
隔壁⑤	3	0.03	0.67	0.05

表 5-25(1) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
（②-②断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 （面内） τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 （面内） τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	122	0.20	1.51	0.14
フーチング	128	0.13	1.51	0.09
前壁	53	0.11	1.84	0.06
後壁	147	0.29	1.93	0.16
側壁①	199	0.40	1.80	0.23
側壁②	199	0.40	1.80	0.23
隔壁①	40	0.16	1.85	0.09
隔壁②	63	0.25	1.89	0.14
隔壁③	69	0.27	1.89	0.15
隔壁④	105	0.42	1.82	0.23
隔壁⑤	102	0.41	1.82	0.23
隔壁⑥	105	0.42	1.82	0.23

表 5-25(2) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
（④-④断面）

評価対象 部材	発生断面力	せん断 応力度 （面内） τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 （面内） τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_1
	せん断力 Q (kN)			
底版	162	0.27	1.51	0.18
前壁	135	0.27	2.09	0.13
後壁	152	0.30	2.15	0.15
側壁①	251	0.50	2.00	0.26
側壁②	251	0.50	2.00	0.26
隔壁①	106	0.42	2.11	0.21
隔壁②	110	0.44	2.06	0.22
隔壁③	148	0.59	2.02	0.30
隔壁④	149	0.60	2.01	0.30
隔壁⑤	148	0.59	2.02	0.30

(2) ③-③断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、頂版、底版、側壁及び隔壁とした。評価対象位置図を図5-10に示す。

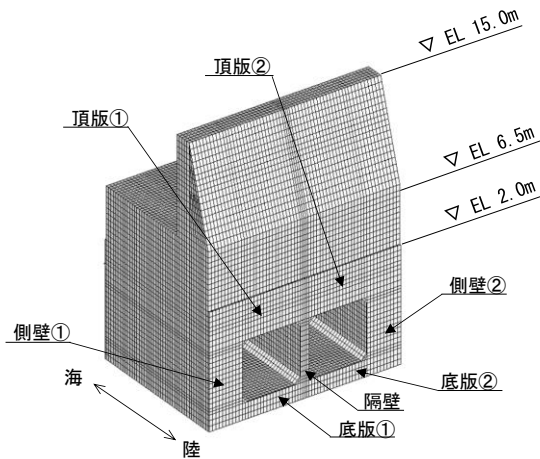


図5-10 評価対象位置図(③-③断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

③-③断面において、ケーソンのコンクリートの圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度に対する照査を行った。

コンクリートの圧縮応力度に対する照査結果を表5-26に、コンクリートの引張応力度に対する照査結果を表5-27に、コンクリートのせん断応力度に対する照査結果を表5-28に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリートにおける発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-26 ケーソンの圧縮応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	圧縮強度 f'_{ak} (N/mm ²)	照査値 σ_c/f'_{ak}
	圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
底版①	2.0	24.0	0.09
底版②	2.0	24.0	0.09
側壁①	3.4	24.0	0.15
側壁②	3.4	24.0	0.15
隔壁	4.6	24.0	0.20
頂版①	1.4	24.0	0.06
頂版②	1.4	24.0	0.06

表 5-27 コンクリートの引張応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	引張強度 f_{tk} (N/mm ²)	照査値 σ_s/f_{tk}
	引張応力度 σ_s (N/mm ²)		
底版①	0.47	1.91	0.25
底版②	0.47	1.91	0.25
側壁①	0.57	1.91	0.30
側壁②	0.57	1.91	0.30
隔壁	1.16	1.91	0.61
頂版①	0.67	1.91	0.35
頂版②	0.67	1.91	0.35

表 5-28 コンクリートのせん断応力度に対する照査における最大照査値

評価対象部材	発生応力	せん断強度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{ca}
	せん断応力度 τ_c (N/mm ²)		
底版①	0.9	4.8	0.19
底版②	0.9	4.8	0.19
側壁①	0.5	4.8	0.12
側壁②	0.5	4.8	0.12
隔壁	0.7	4.8	0.16
頂版①	0.6	4.8	0.13
頂版②	0.6	4.8	0.13

5.2.3 MMR

②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，MMRのすべり安全率による評価を行った。

MMRのすべり安全率による評価結果を表5-29に，最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図5-11に示す。

これらの結果から，MMRのすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表5-29(1) MMRのすべり安全率評価結果(②－②断面)

最小すべり安全率
15.86

表5-29(2) MMRのすべり安全率評価結果(③－③断面)

最小すべり安全率
29.49

表5-29(3) MMRのすべり安全率評価結果(④－④断面)

最小すべり安全率
13.73

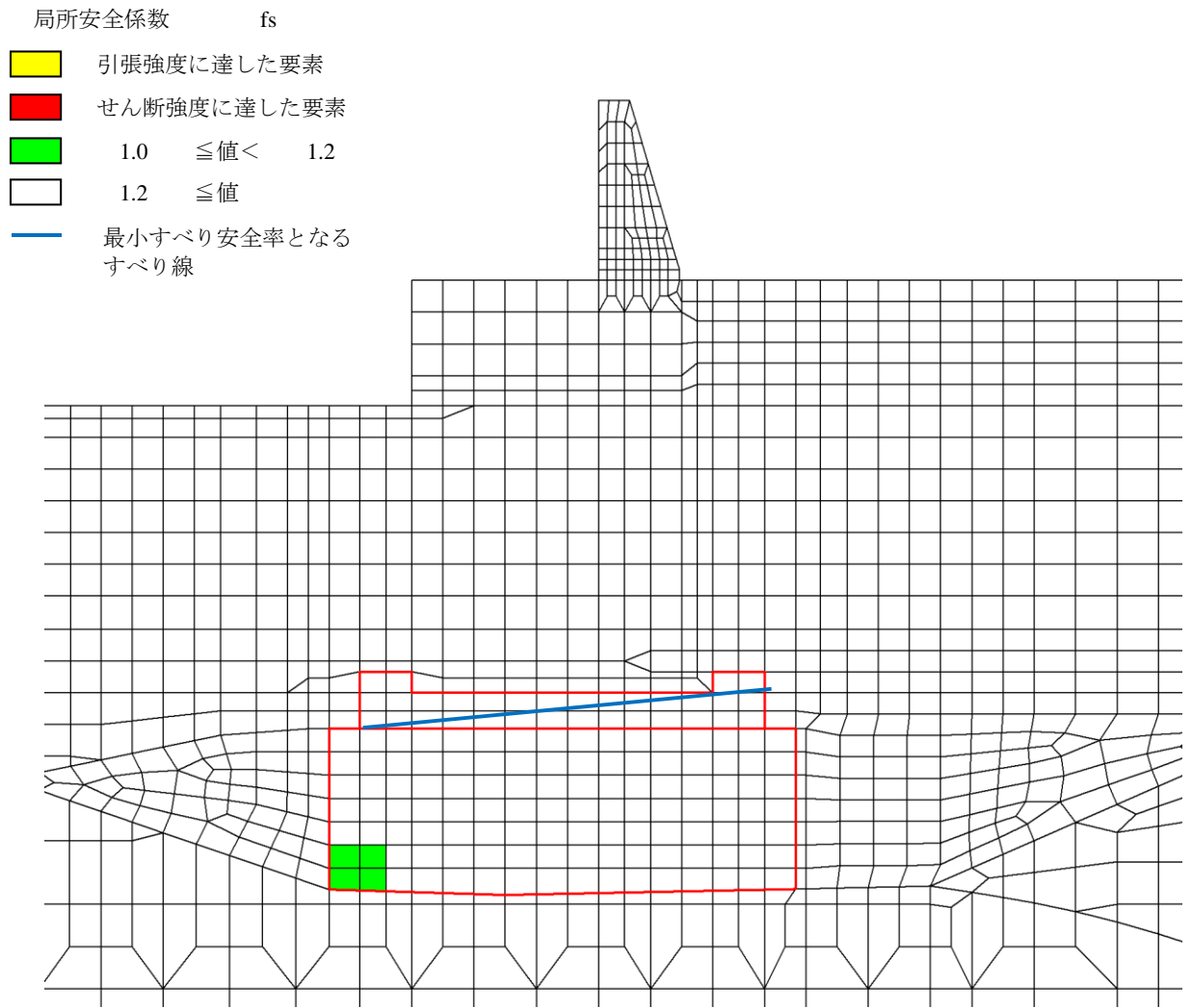


図 5-11(1) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(②-②断面)

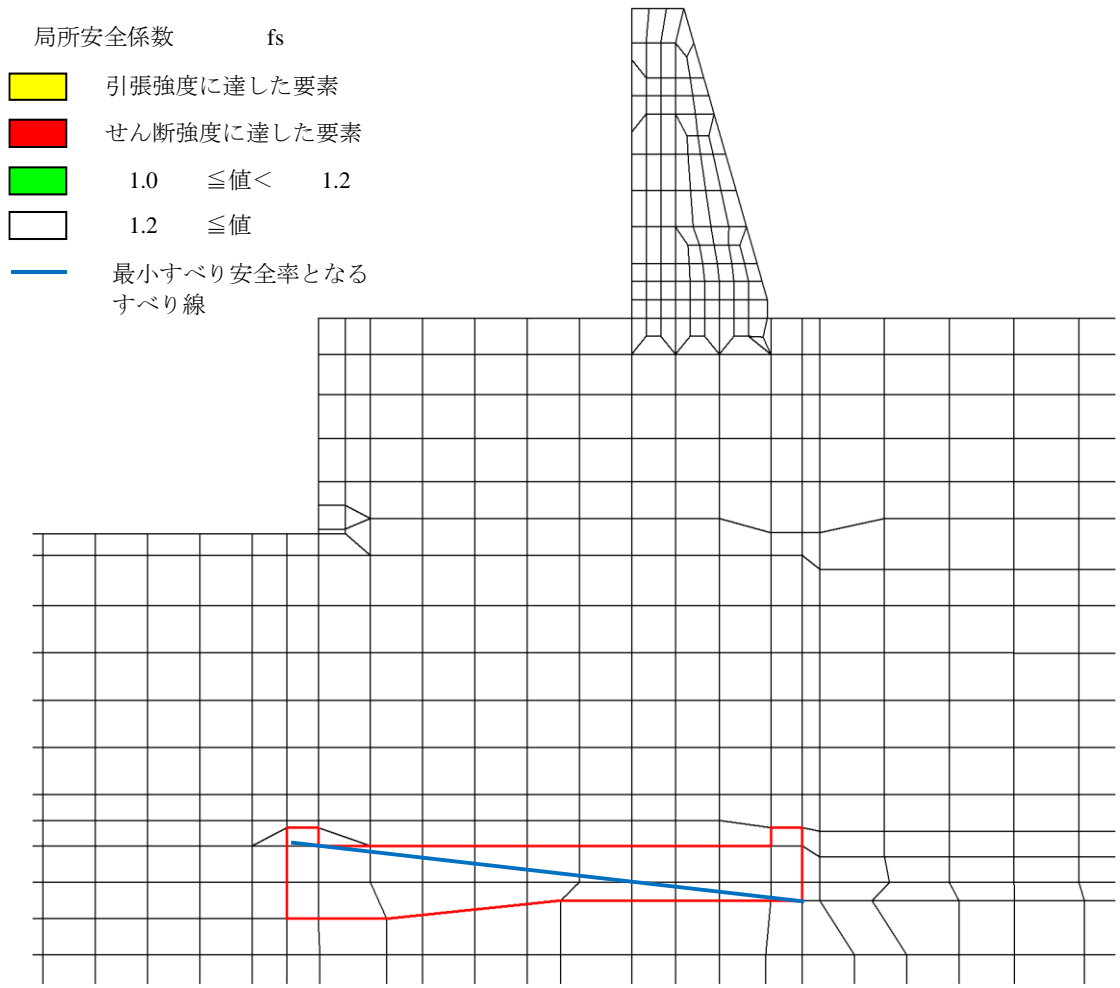


図 5-11 (2) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(③-③断面)

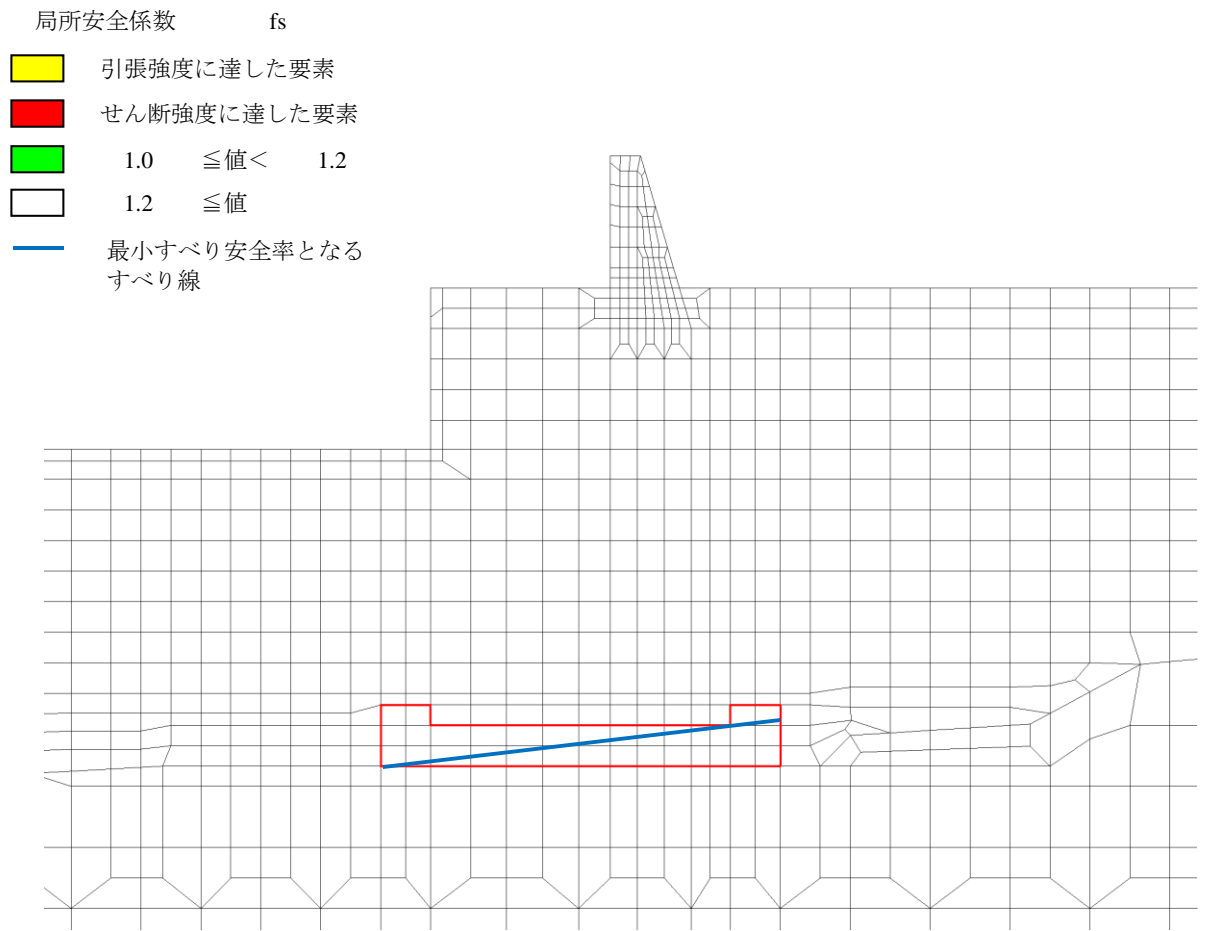


図 5-11 (3) MMR の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図
(④-④断面)

5.2.4 改良地盤⑥

②-②断面において，改良地盤⑥のすべり安全率による評価を行った。

改良地盤⑥のすべり安全率による評価結果を表 5-30 に，最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図 5-12 に示す。これらの結果から，改良地盤⑥のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-30 改良地盤⑥のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

最小すべり安全率
3.40

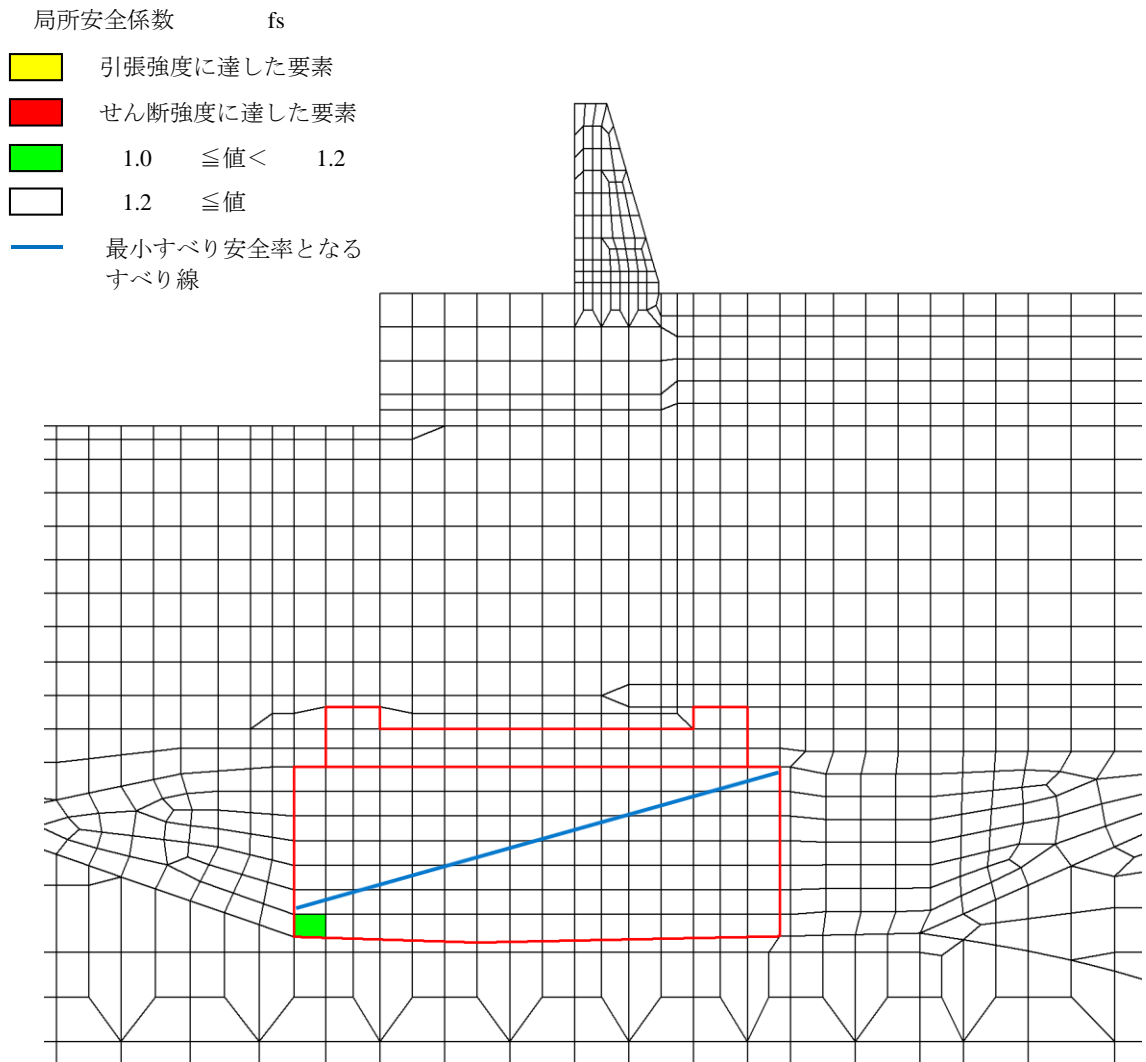


図 5-12 改良地盤⑥の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図 (②-②断面)

5.2.5 止水目地

④－④断面において，止水目地の相対変位量に対する照査を行った。

止水目地の相対変位量に対する照査結果を表 5-31 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 5-31 止水目地設置個所の重畳時変位量

方向	津波時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ④－④断面 (横断方向)	64.94	—
δz : ⑦－⑦断面* (縦断方向)	81.97	—
δz : ⑦－⑦断面 (鉛直方向)	0.49	—
合成方向 (3方向合成)	104.58	1960

注記*：縦断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。

5.2.6 基礎地盤

②－②断面，③－③断面及び④－④断面において，基礎地盤の支持性能評価を行った。

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-32～表 5-34 に，支持地盤の接地圧分布図を図 5-13～図 5-15 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-32(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.2	24.0	0.06

表 5-32(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, 改良地盤⑥)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.5	3.0	0.49

表 5-32(3) 基礎地盤の支持性能評価結果 (②-②断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.9	9.8	0.09

表 5-33(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
0.5	24.0	0.03

表 5-33(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.1	9.8	0.11

表 5-34(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, MMR)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.5	24.0	0.07

表 5-34(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 岩盤)

最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
1.3	9.8	0.14

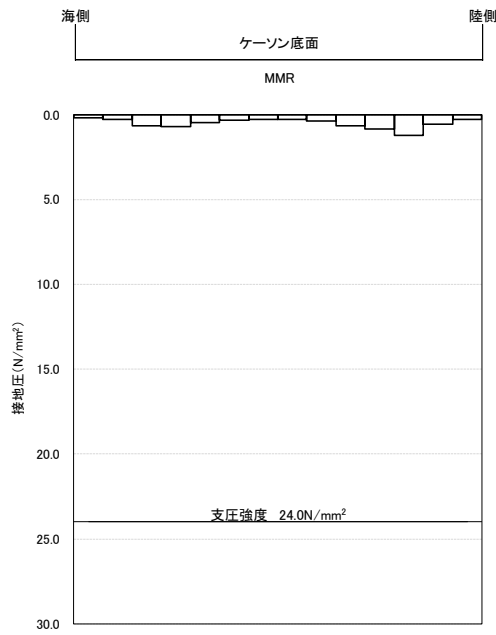


図 5-13(1) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, MMR)

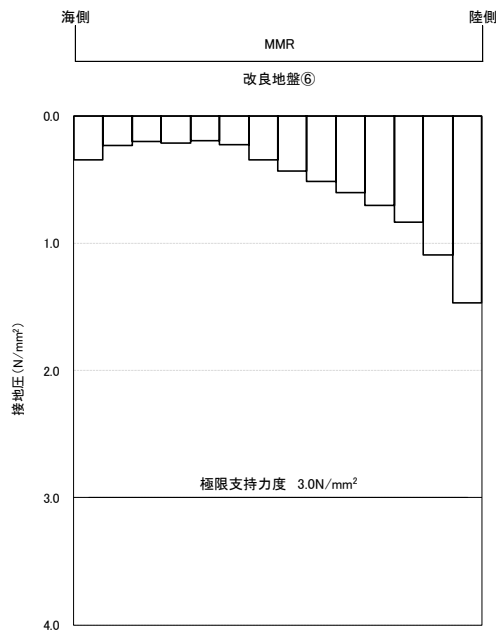


図 5-13(2) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 改良地盤⑥)

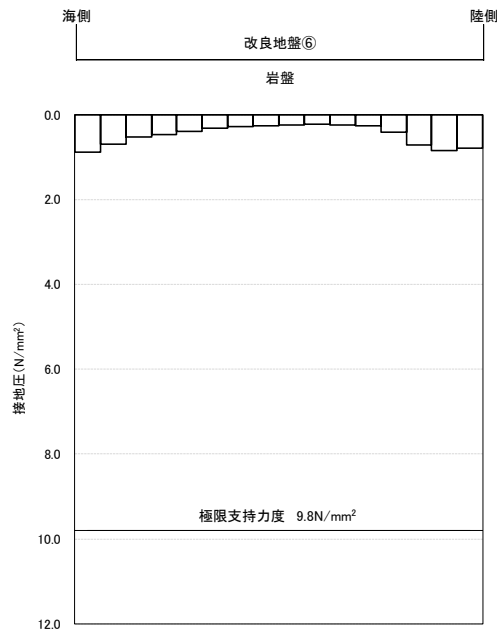


図 5-13(3) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 岩盤)

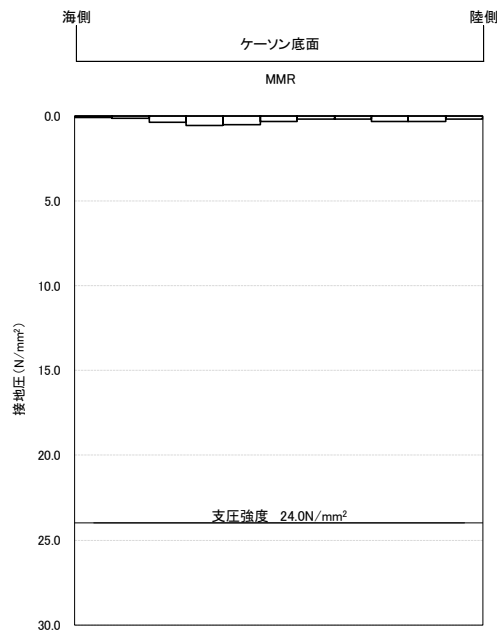


図 5-14(1) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, MMR)

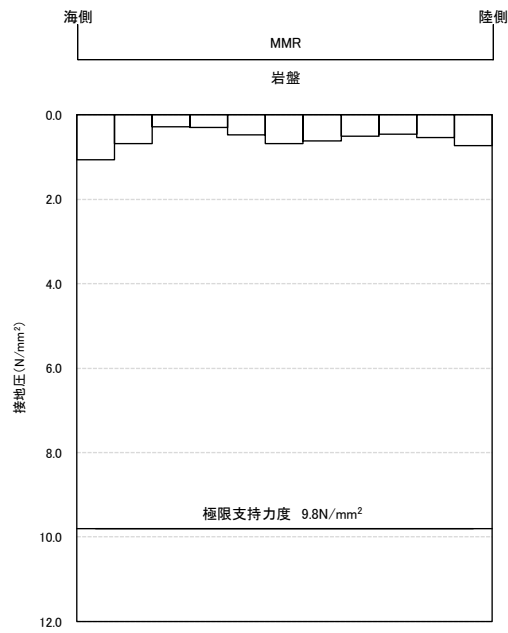


図 5-14(2) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, 岩盤)

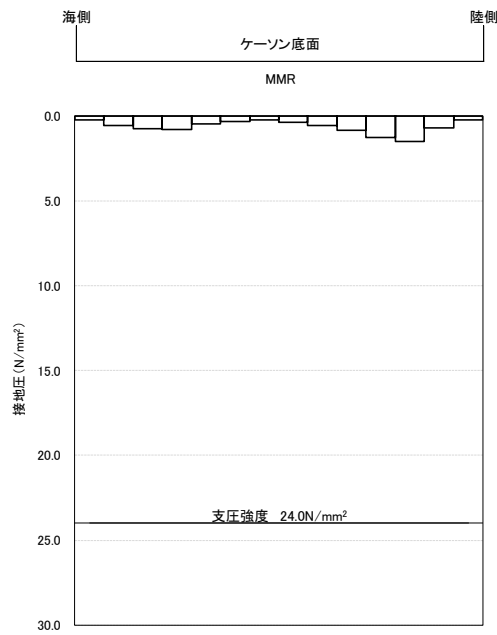


図 5-15(1) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, MMR)

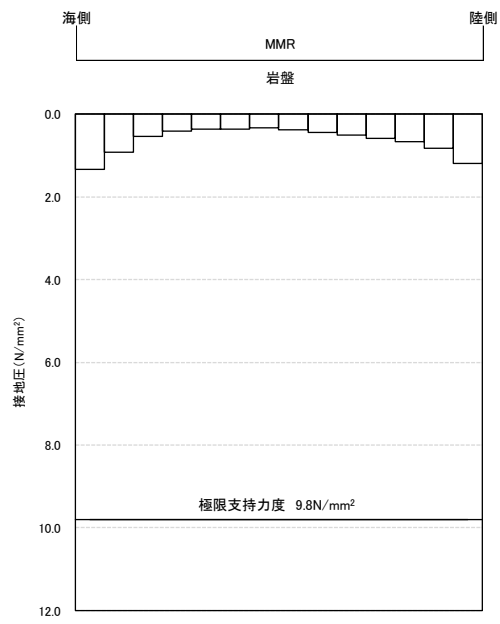


図 5-15(2) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)