

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-011-05
提出年月日	2023年1月19日

VI-2-10-2-3-1 防波壁（波返重力擁壁）の  
耐震性についての計算書

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.	評価対象断面	16
4.	耐震評価	22
4.1	2次元動的有限要素法	22
4.1.1	解析方法	22
4.1.2	荷重及び荷重の組合せ	24
4.1.3	入力地震動	24
4.1.4	解析モデル及び諸元	26
4.1.5	評価対象部位	28
4.1.6	許容限界	29
4.1.7	評価方法	32
4.2	3次元構造解析	35
4.2.1	解析方法	35
4.2.2	荷重及び荷重の組合せ	35
4.2.3	解析モデル	36
4.2.4	評価対象部位	40
4.2.5	許容限界	40
4.2.6	評価方法	43
5.	耐震評価結果	44
5.1	重力擁壁	44
5.1.1	曲げ軸力照査	44
5.1.2	せん断照査	47
5.2	ケーソン	48
5.2.1	②-②断面及び④-④断面	48
5.2.2	③-③断面	58
5.3	H形鋼	62
5.3.1	せん断照査	62
5.4	MMR	62
5.5	改良地盤⑥	65

5.6	止水目地 .....	66
5.7	基礎地盤 .....	67

## 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（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）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（波返重力擁壁）の位置図を図 2-1 に示す。

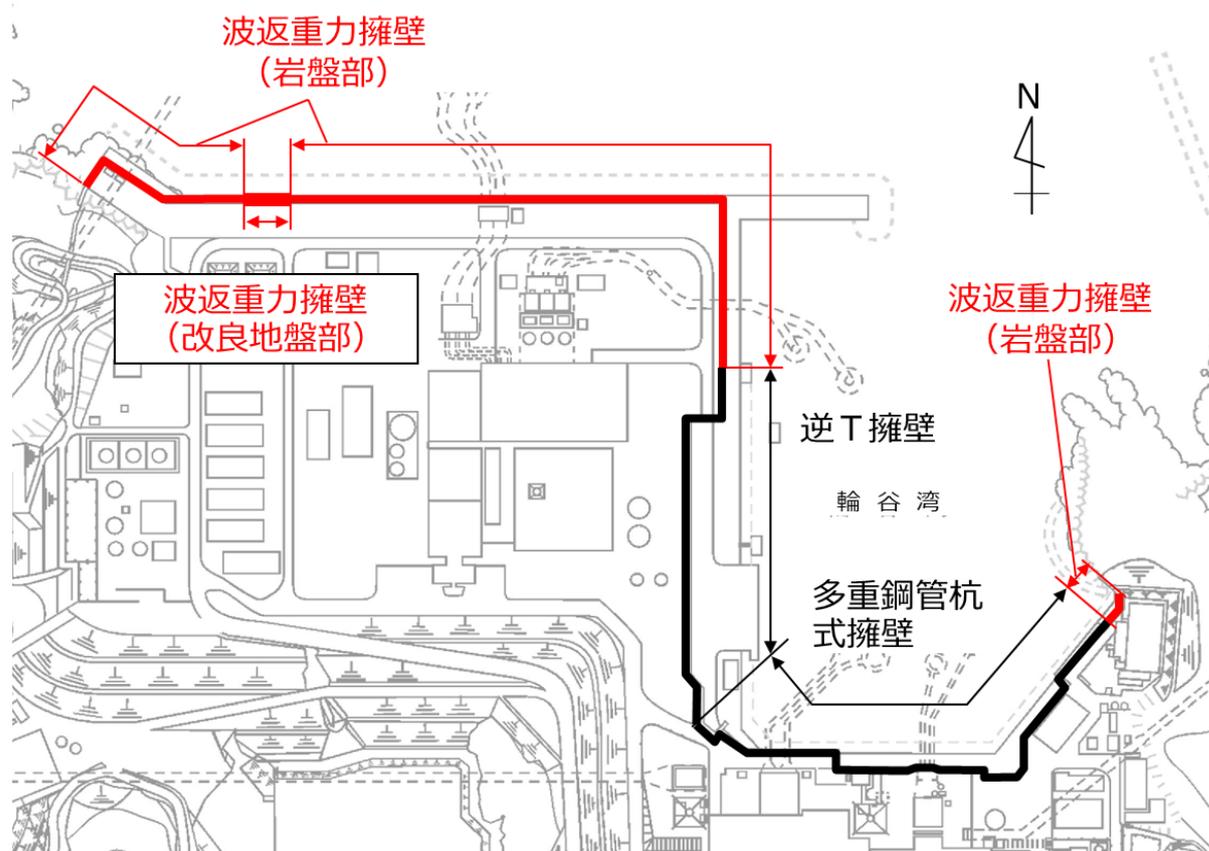


図 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の位置図

## 2.2 構造概要

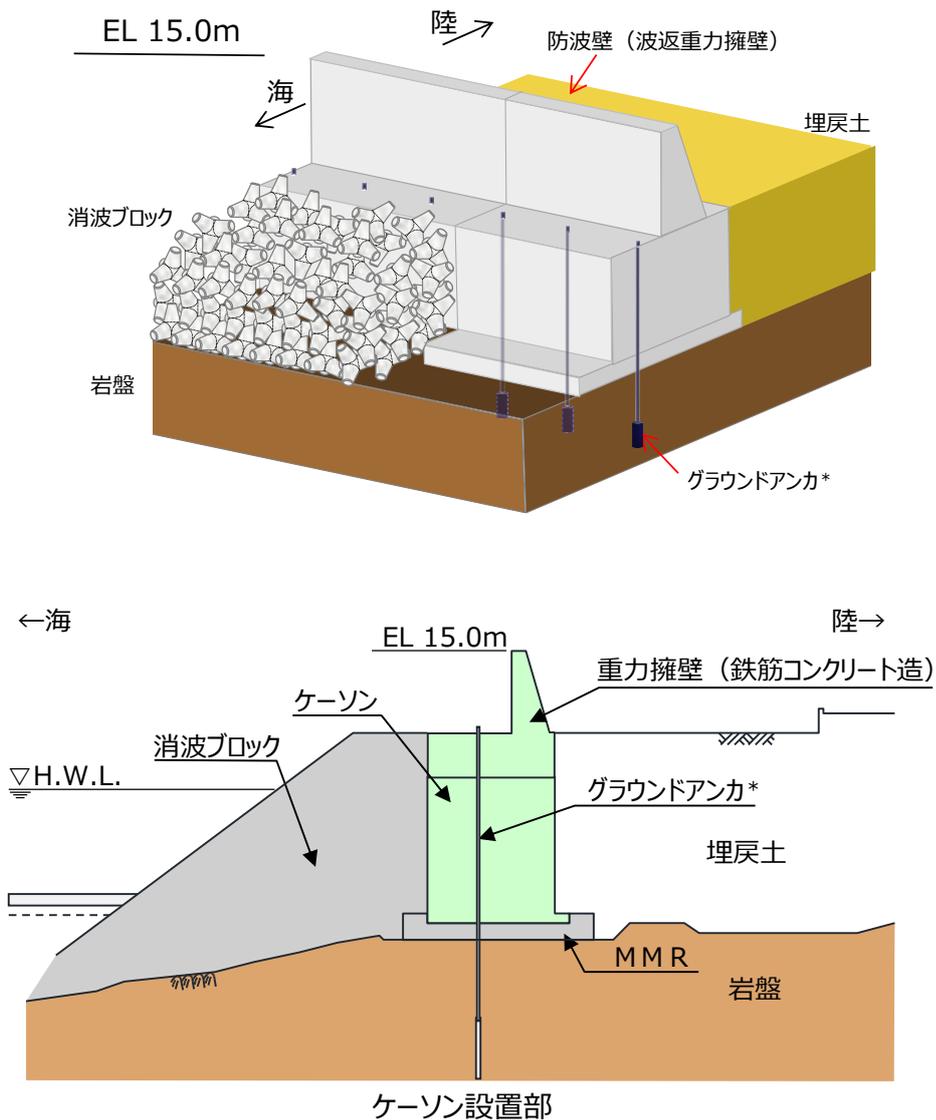
防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図を図 2-2 に，構造図を図 2-3 及び図 2-4 に，概略配筋図を図 2-5 に，止水目地の概念図及び配置位置図を図 2-6 に示す。

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。

構造体の境界部には，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，構造概要図にグラウンドアンカを示しているが，その効果を期待せずに耐震評価を行う。



注記\*：防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカの効果을期待しない設計とする。

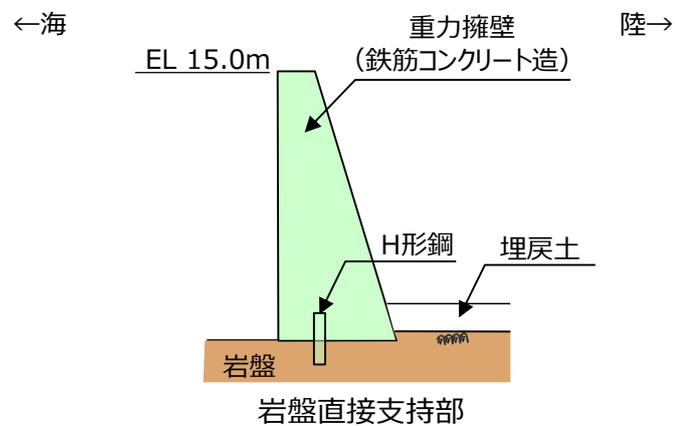


図 2-2 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図

(単位：mm)

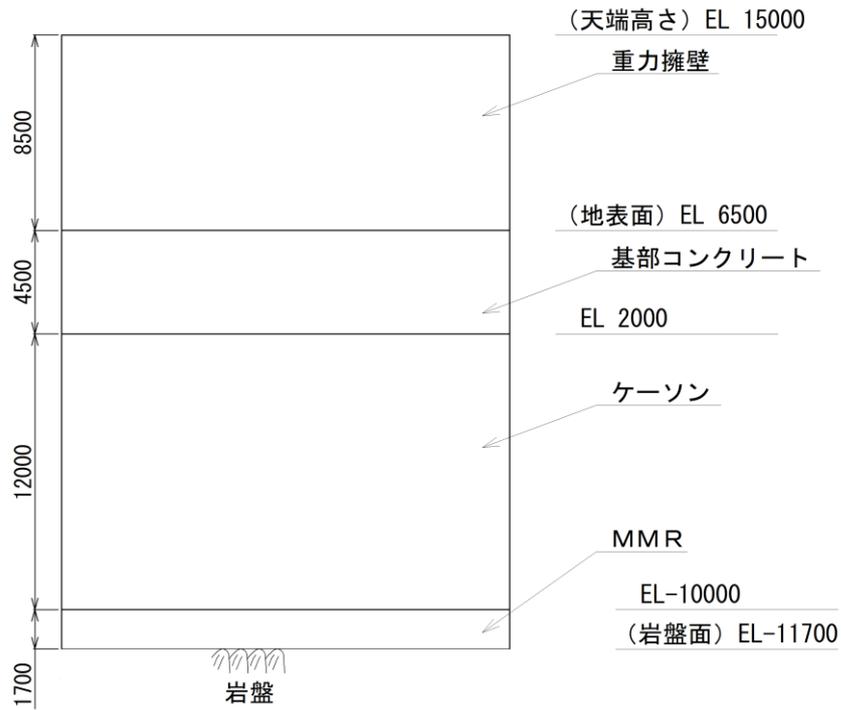


図 2-3(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

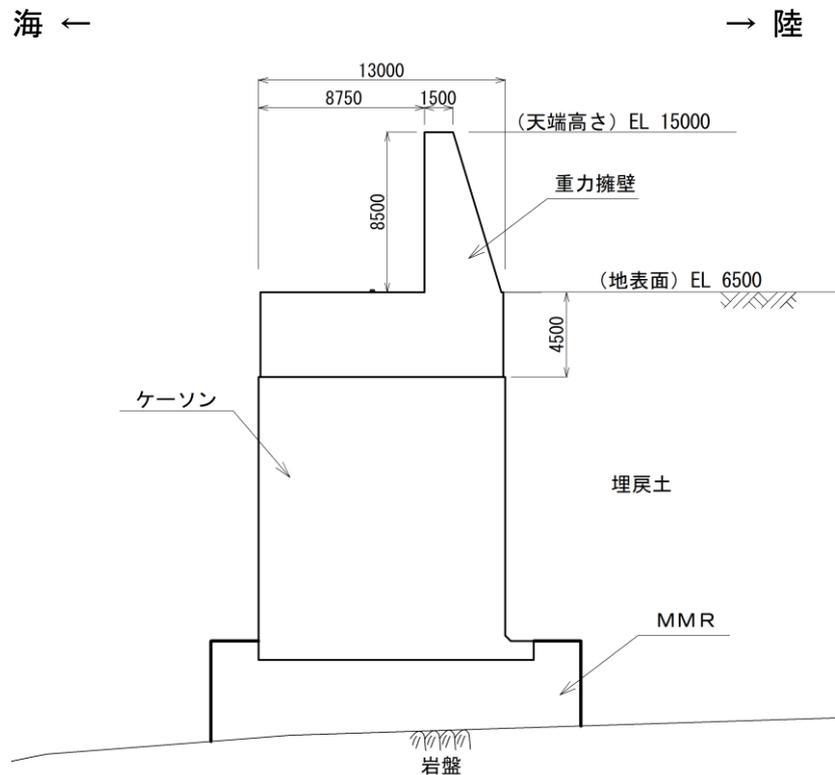


図 2-3(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（断面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

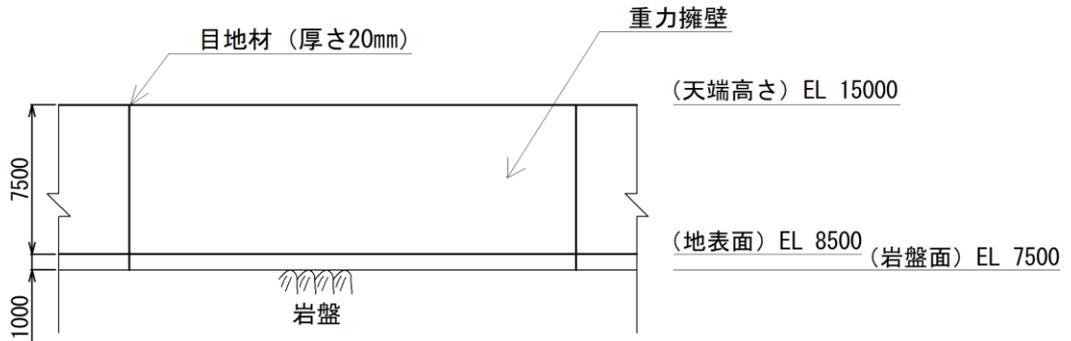


図 2-4(1) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (正面図) (岩盤直接支持部)

(単位：mm)

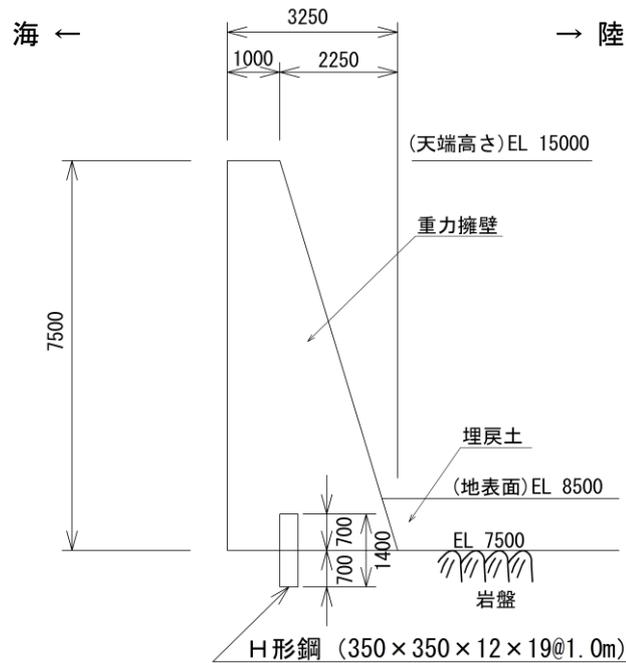


図 2-4(2) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (断面図) (岩盤直接支持部)

(単位：mm)

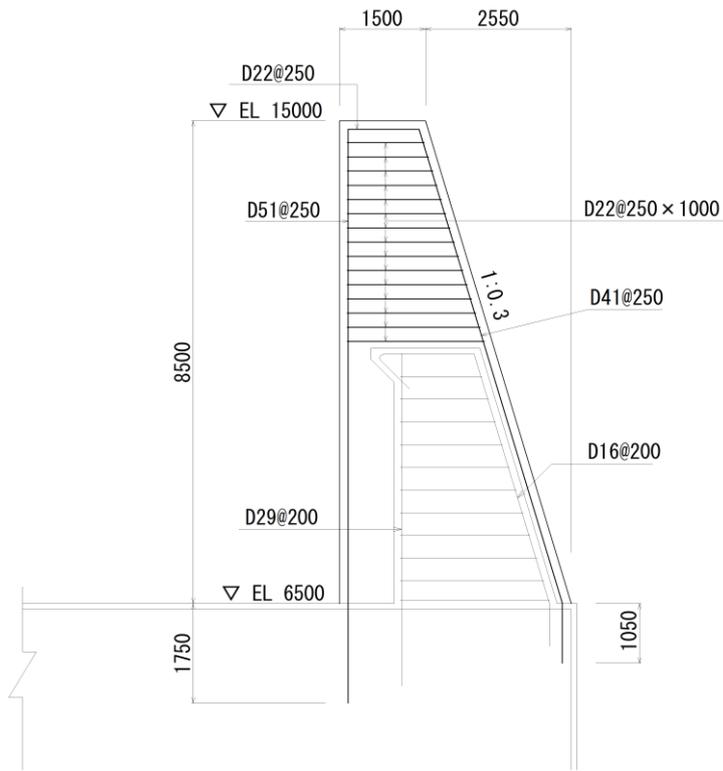


図 2-5(1) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(1)）

(単位：mm)

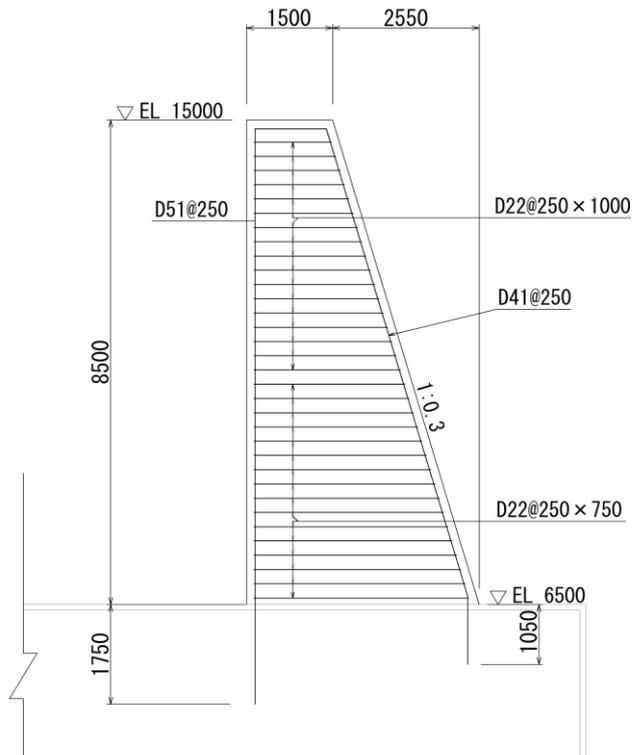


図 2-5(2) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(2)）

(単位 : mm)

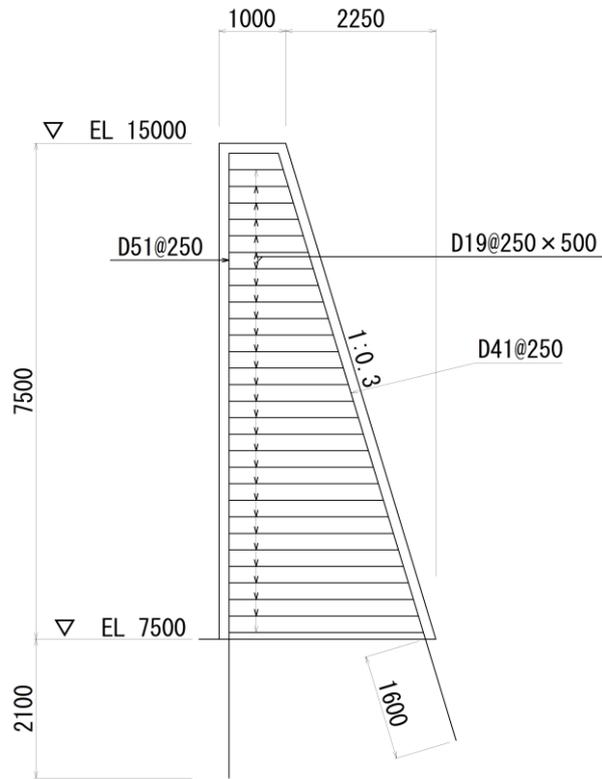


図 2-5(3) 防波壁 (波返重力擁壁) の概略配筋図 (岩盤直接支持部)

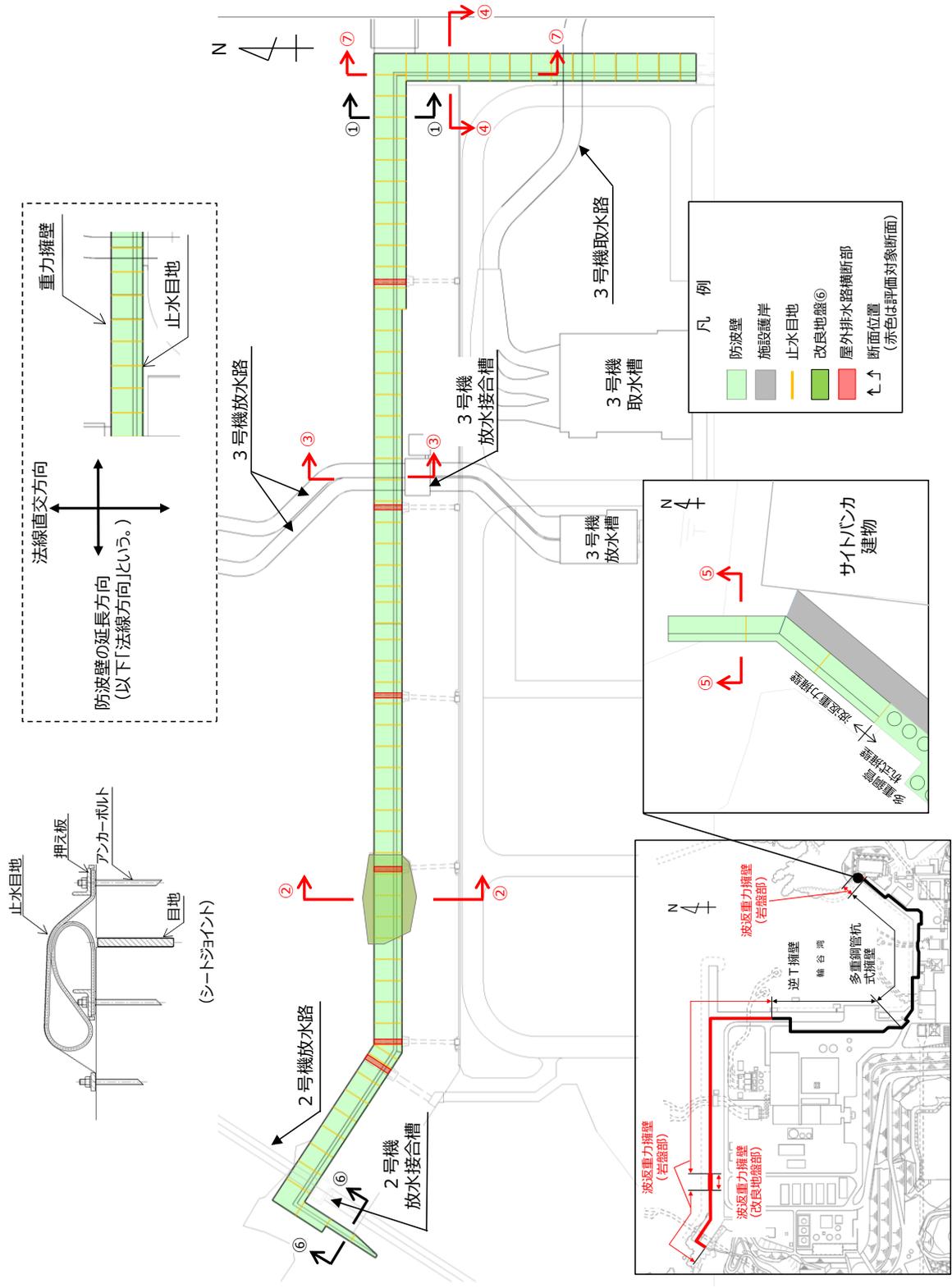


図 2-6 防波壁（波返重力擁壁）の止水目地の概念図及び配置位置図

### 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。

防波壁（波返重力擁壁）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を下回ることを確認する。

防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価フローを図 2-7 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、十分なすべり安全性を保持すること。	—	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。

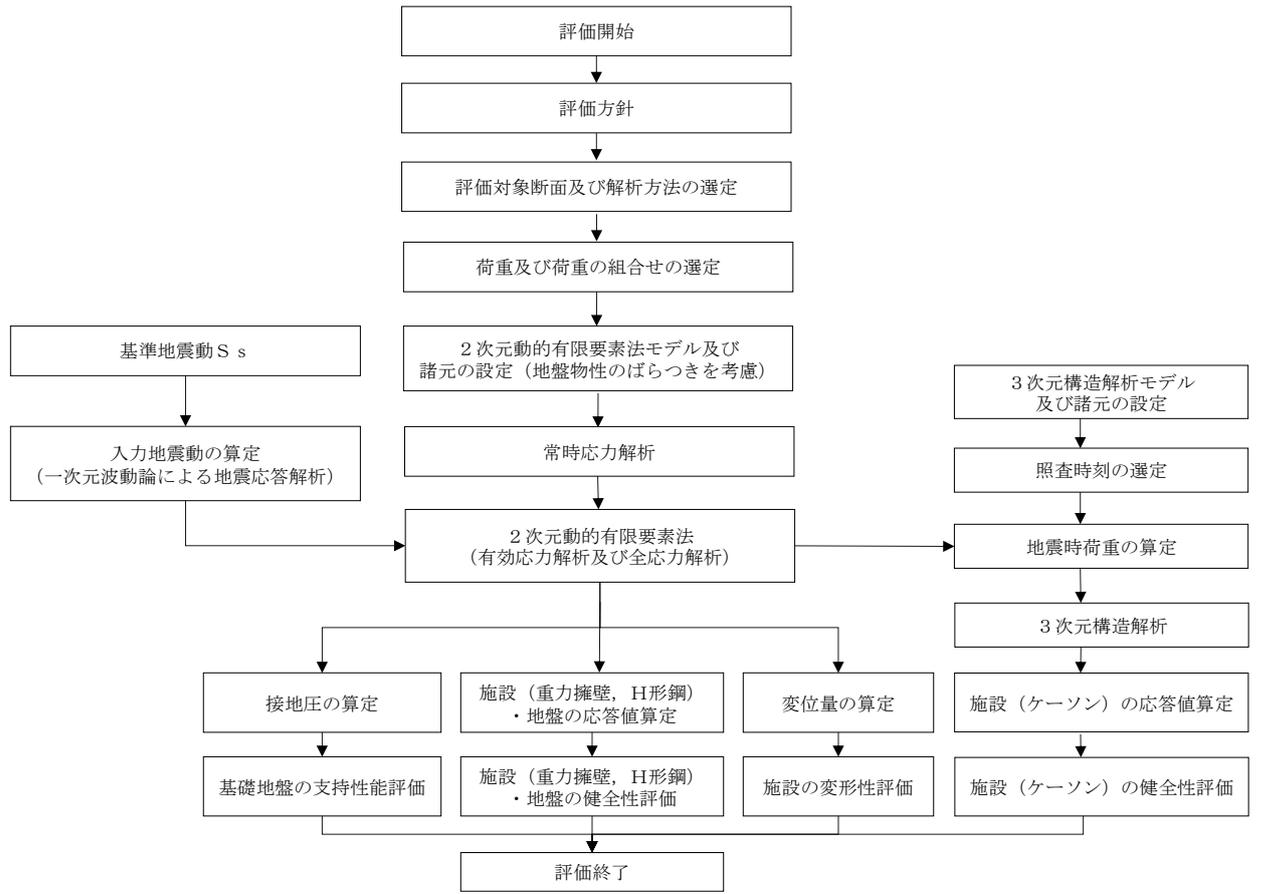


図 2-7 防波壁(波返重力擁壁)の耐震評価フロー

## 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](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. 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。

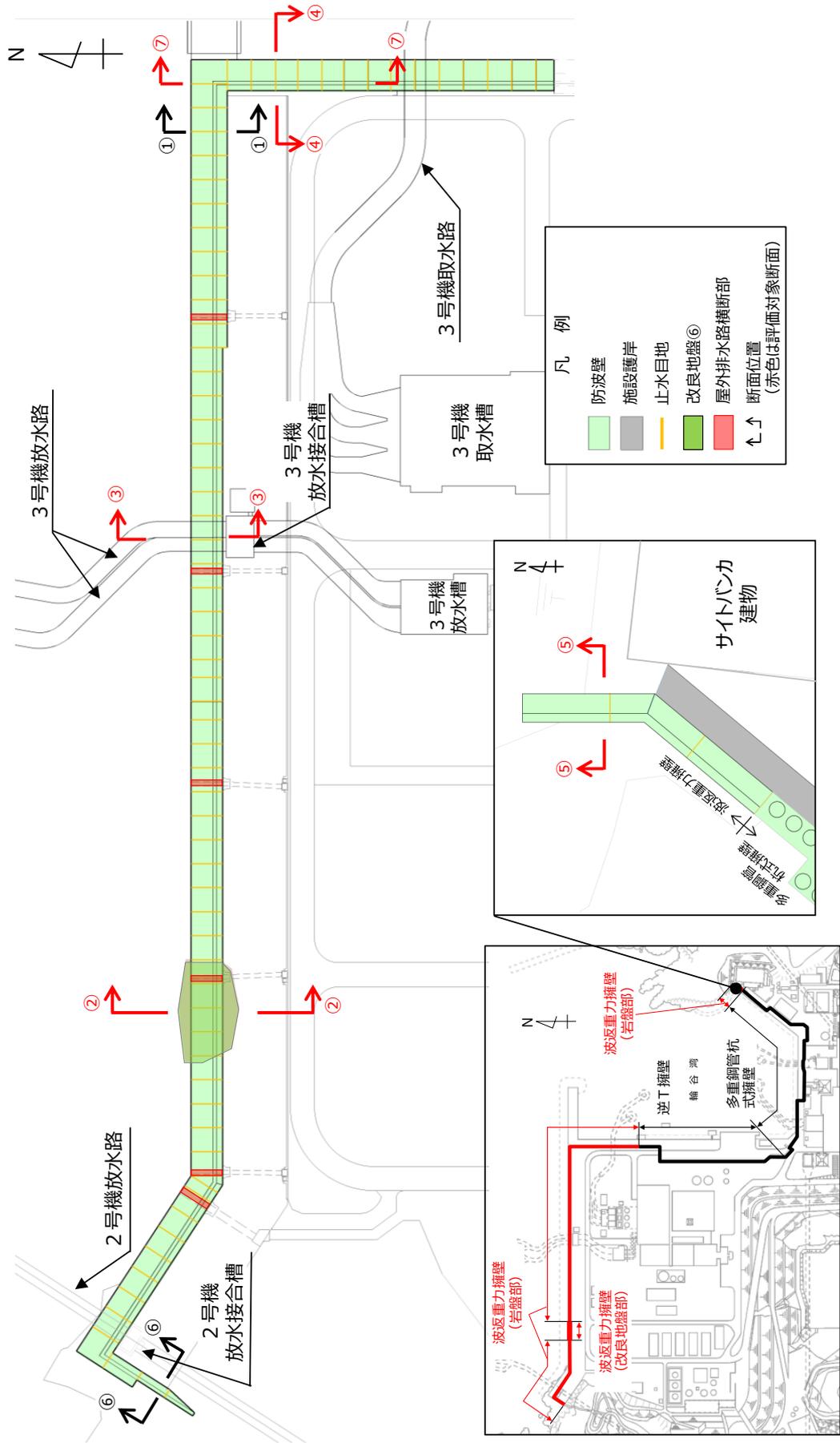


図 3-1 防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図

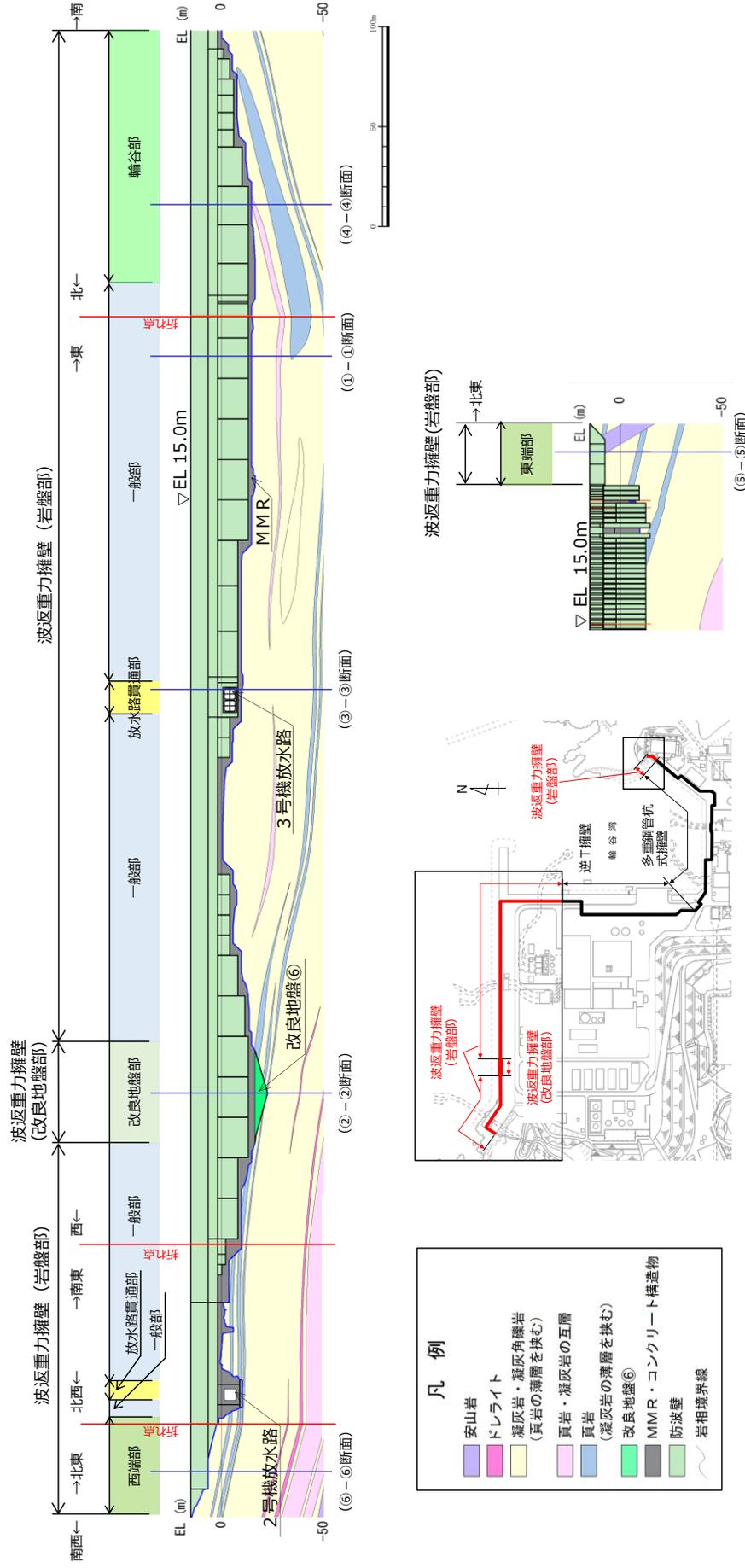


図 3-2 防波壁（波返重力擁壁）の縦断面図

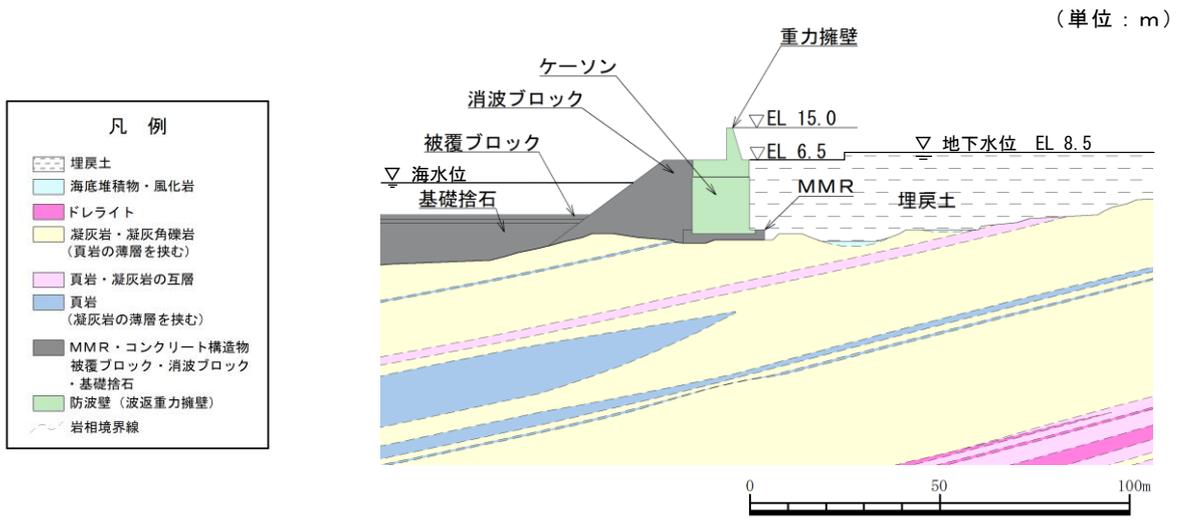


図 3-3 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (①-①断面)

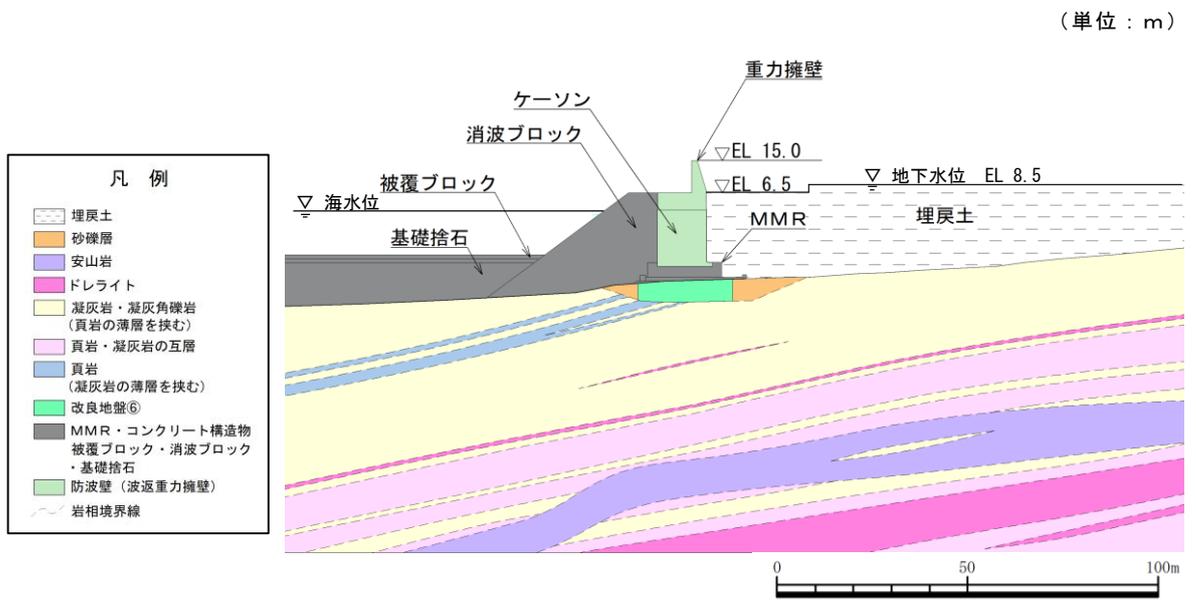


図 3-4 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (②-②断面)

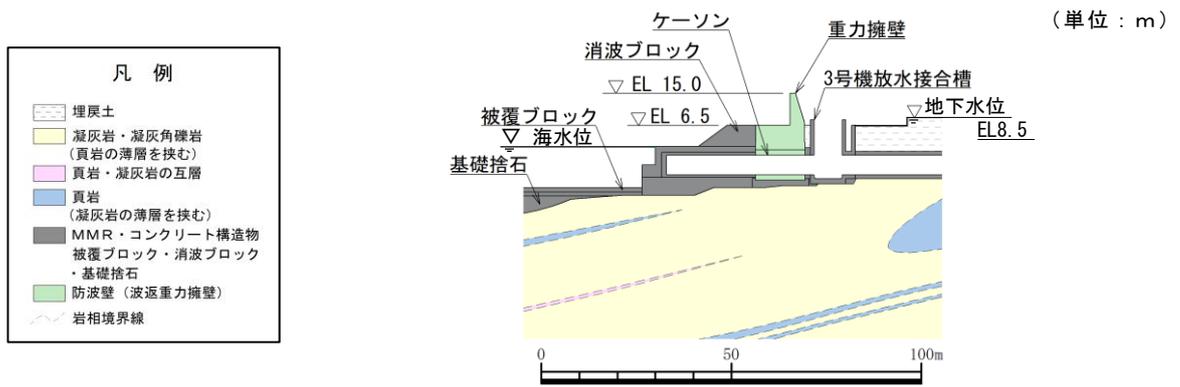


図 3-5 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（③-③断面）

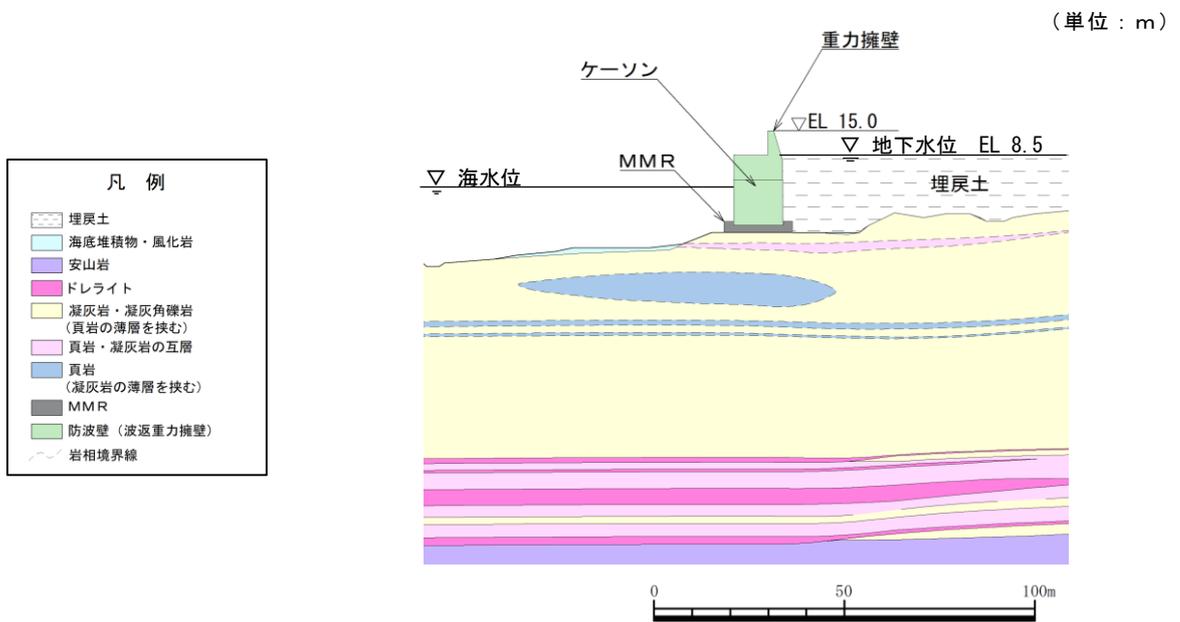


図 3-6 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（④-④断面）

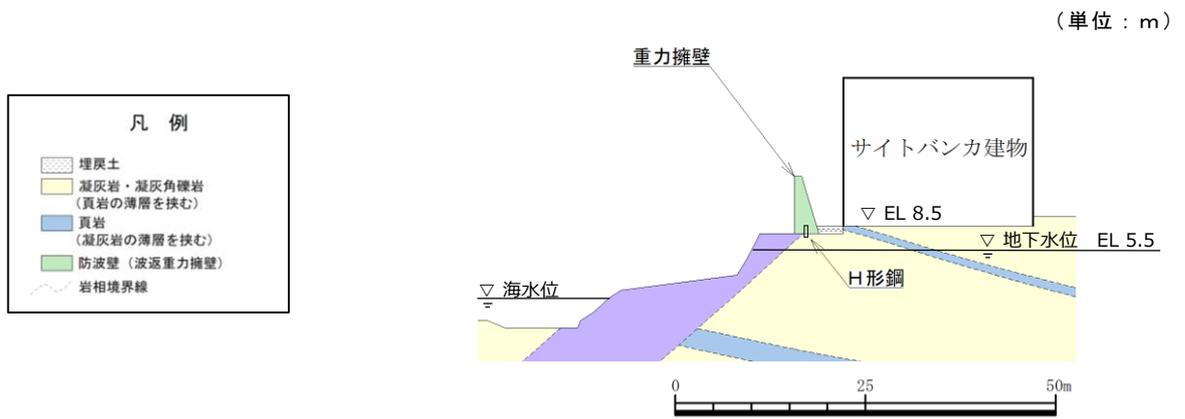


図 3-7 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（⑤－⑤断面）

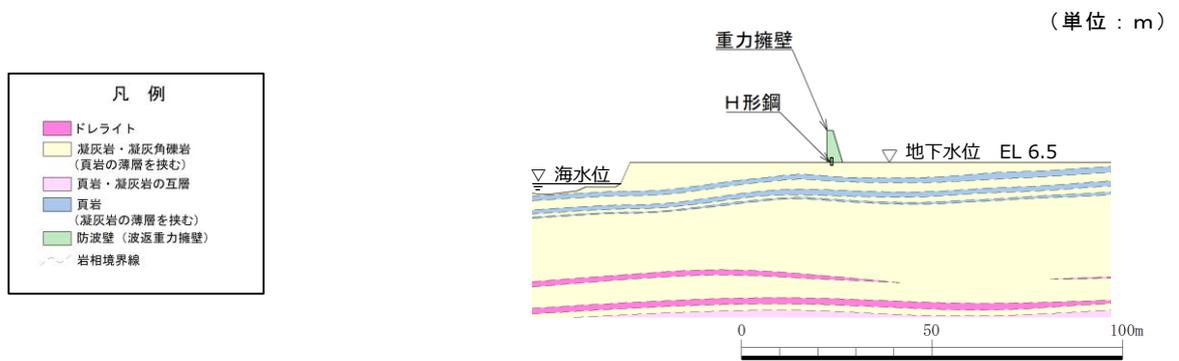


図 3-8 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（⑥－⑥断面）

#### 4. 耐震評価

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，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次元動的有限要素法（有効応力解析及び全応力解析）による耐震評価を行う。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断面は，地震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，部材間の応力伝達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。

##### 4.1 2次元動的有限要素法

###### 4.1.1 解析方法

解析方法はVI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」と同様とする。

防波壁（波返重力擁壁）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。

②－②断面，③－③断面，④－④断面及び⑤－⑤断面は，図3-4～図3-7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（波返重力擁壁）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 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 $\sigma$	平均値
ケース③	平均値 - 1 $\sigma$	平均値

耐震評価における解析ケースを表 4-2 に示す。耐震評価においては、全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動  $S_s$  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。

表 4-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②	ケース③
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値		平均値 + 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$
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各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。	
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - F 1$	++*	○		
	$S_s - F 2$	++*	○		
	$S_s - N 1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - N 2$ (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。

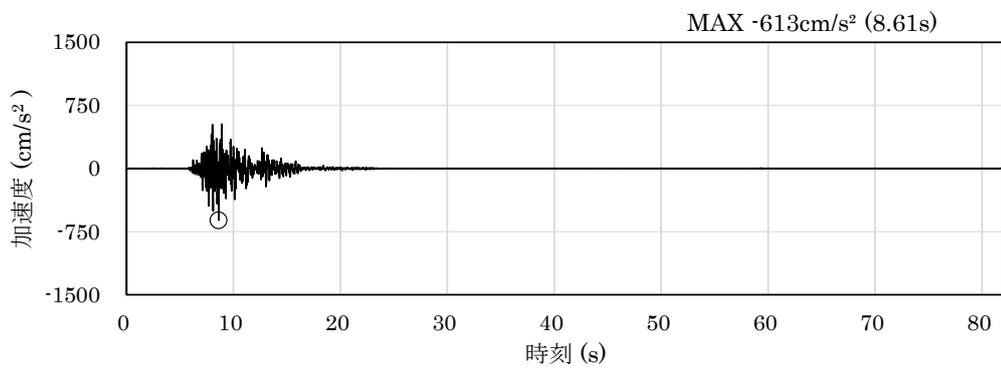
#### 4.1.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した荷重を考慮する。

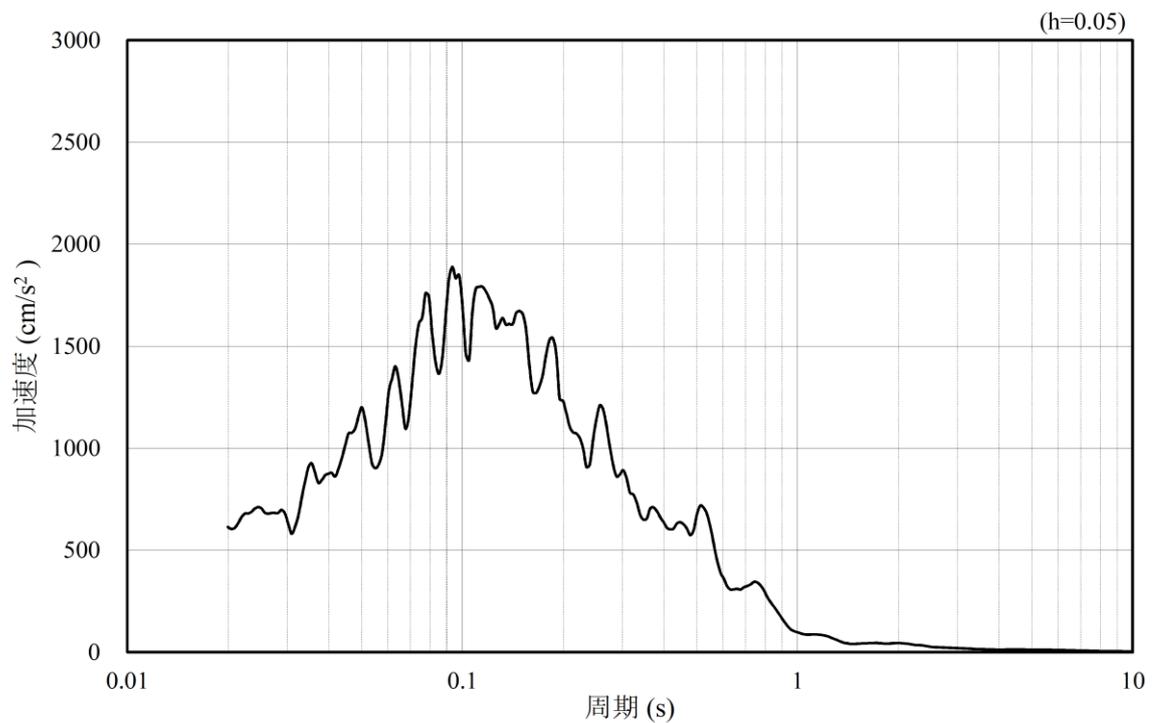
#### 4.1.3 入力地震動

地震応答解析には、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した入力地震動を用いる。

⑦-⑦断面に用いる  $S_s - F1 (NS)$  及び  $S_s - F2 (NS)$  について、図 4-1 及び図 4-2 に示す。

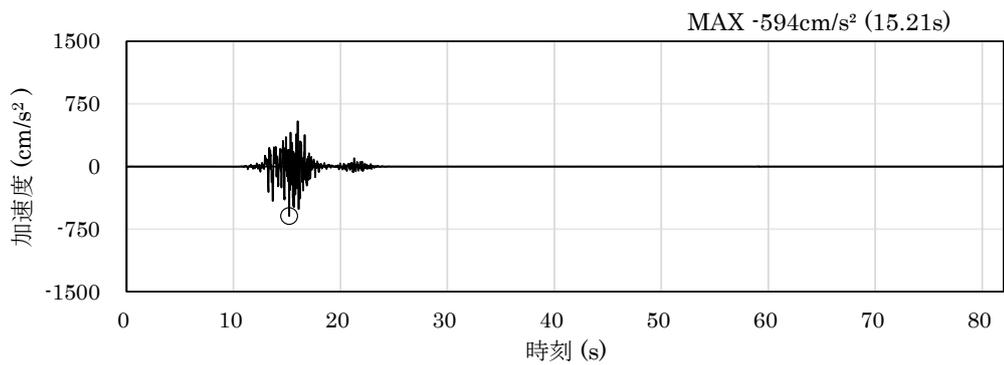


(a) 加速度時刻歴波形

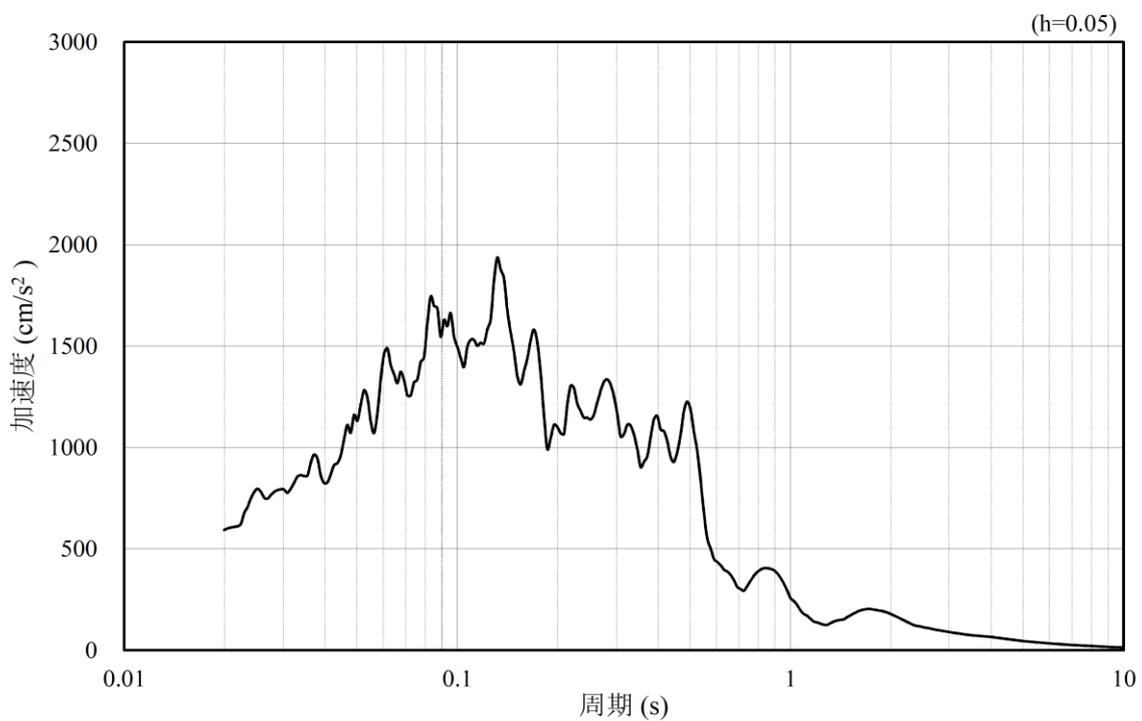


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-1 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分： $S_s - F1 (NS)$ )



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - F 2 ( N S ) )

#### 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「地盤の支持性能に係る基本方針」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。

評価対象断面のうち⑦-⑦断面の地震応答解析モデルを図 4-3 に示す。解析領域，境界条件等の考え方は，②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面と同様である。

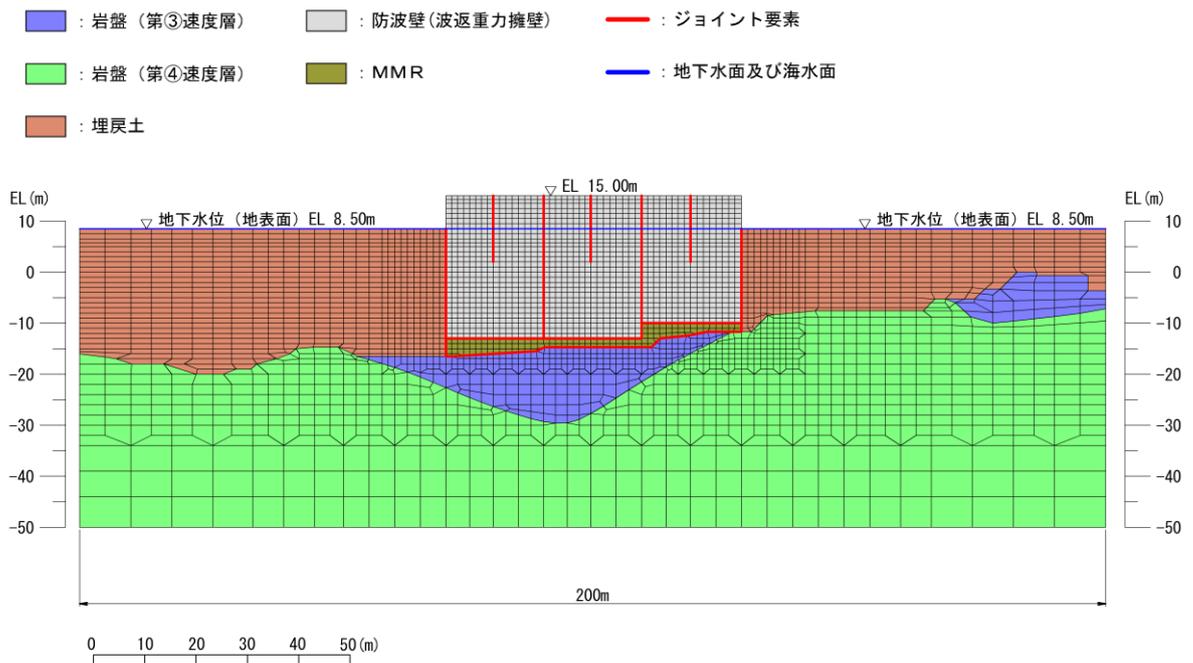


図 4-3 地震応答解析モデル (⑦-⑦断面)

## (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-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示したものを採用する。

## (3) 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採用する。

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4-3のとおり設定する。

表4-3 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 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$c'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	
改良地盤⑥	0.0	48.80	436
MMR	4.8	0.00	1.91

## (4) 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示したものを採用する。

#### 4.1.5 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。

##### (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。

#### 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) 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4-4に示す短期許容応力度とする。

表4-4 重力擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート (f' <sub>ck</sub> =24N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	9.0
許容せん断応力度 $\tau_{ca}$ * <sup>2</sup>		0.45	0.67
コンクリート	許容せん断応力度 $\tau_{ca}$ * <sup>3</sup>	0.43* <sup>4</sup>	0.64
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	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/mm<sup>2</sup> 及び 24N/mm<sup>2</sup> 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

##### (2) 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4-5に示す短期許容応力度とする。

表4-5 H形鋼の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	H形鋼 (SM490)	許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	105

注記\*：短期許容応力度は、道路橋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) 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4-6にMMRの許容限界を示す。

表4-6 MMRの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

## (4) 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4-7に改良地盤⑥の許容限界を示す。

表4-7 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

## (5) 止水目地

止水目地の許容限界は，メーカ規格，漏水試験及び変形試験より，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4-8に示す。

表4-8 止水目地の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1960

## (6) 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 <sup>2</sup> )
極限支持力度	岩盤	C <sub>H</sub> 級	9.8
		C <sub>M</sub> 級	
	改良地盤⑥		3.0
支圧強度	MMR		24.0

#### 4.1.7 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）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度が「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) 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。

②－②断面、③－③断面及び④－④断面は、地震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する。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。

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。

##### a. 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。

##### b. 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。

##### (2) H形鋼

H形鋼は、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。

##### (3) 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。

## (4) 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。

## (5) 止水目地

止水目地の地震時の評価は、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、地震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4-4に示すとおり、重力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、時刻歴最大の相対変位量を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4-5に示す。

$$\begin{aligned} \text{x方向（法線直交方向）の変位} & \quad \delta_x : \delta_x = |\delta_x(T)| \times 2 \\ \text{y方向（法線方向）の変位} & \quad \delta_y : \delta_y = |\delta_y(T)| \\ \text{z方向（深度方向）の変位} & \quad \delta_z : \delta_z = |\delta_z(T)| \times 2 \end{aligned}$$

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、止水目地の地震荷重による最大変位とする。

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

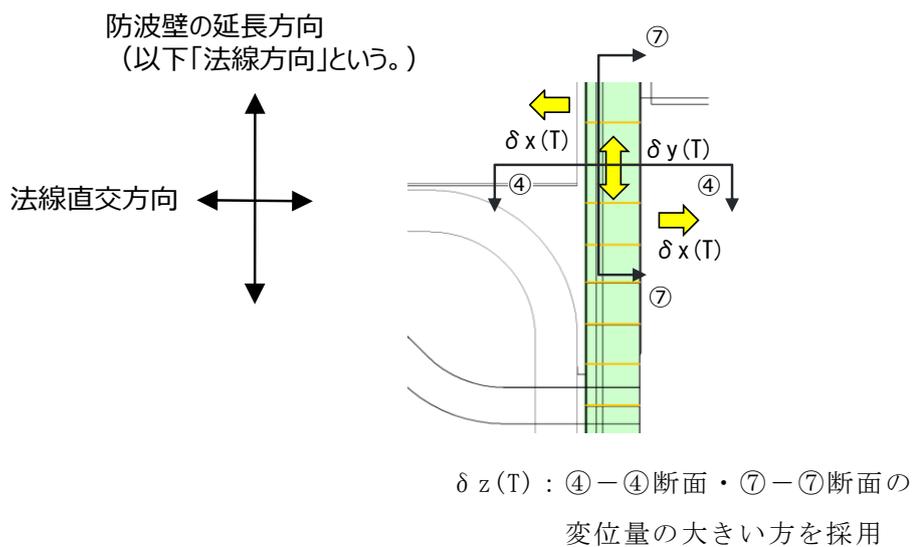


図 4-4 地震時の変位の概念図

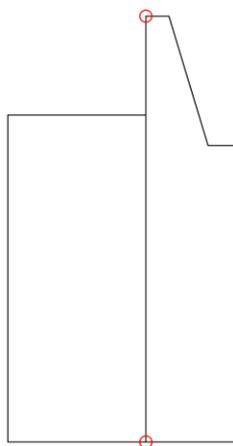


図 4-5 相対変位抽出位置

(6) 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接地圧が許容限界以下であることを確認する。

## 4.2 3次元構造解析

### 4.2.1 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。

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-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析において、防波壁（波返重力擁壁）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時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-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）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

#### (1) 構造物のモデル化

##### a. ②-②断面及び④-④断面

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、ケーソンを構成する壁部材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次元構造解析モデルを図4-6及び図4-7に示す。

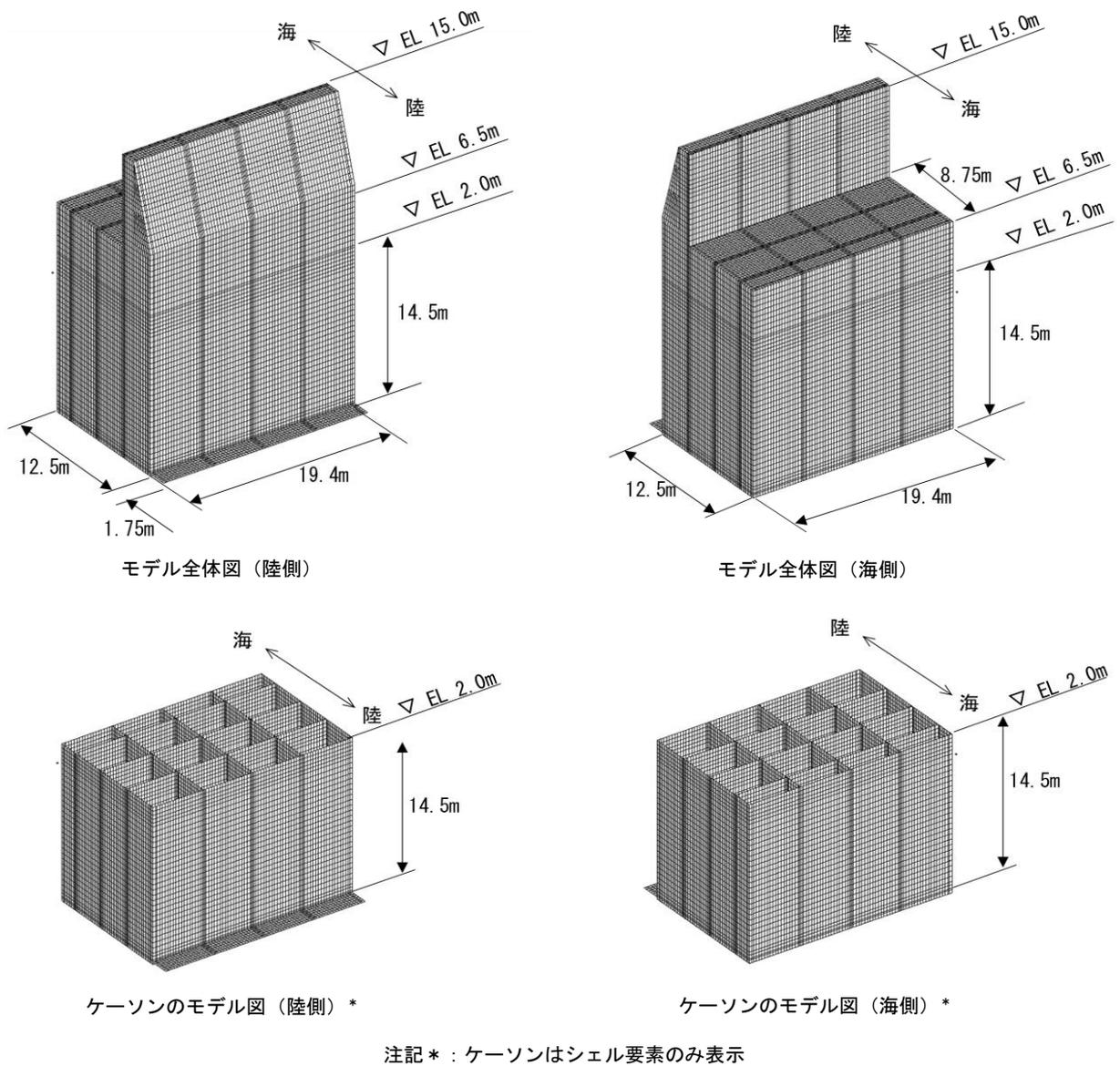
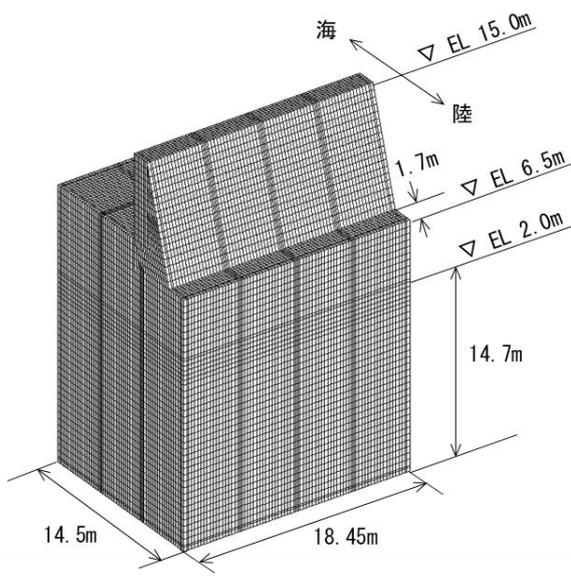
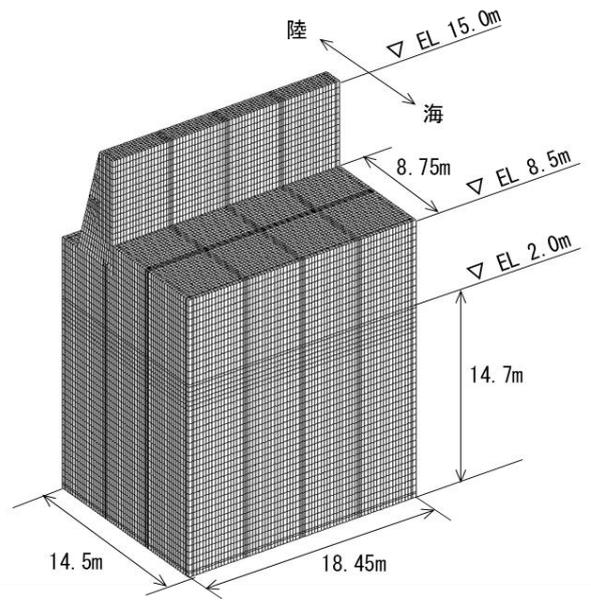


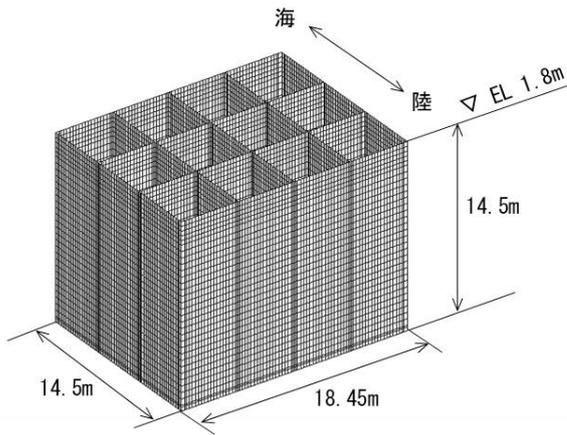
図4-6 3次元構造解析モデル (②-②断面)



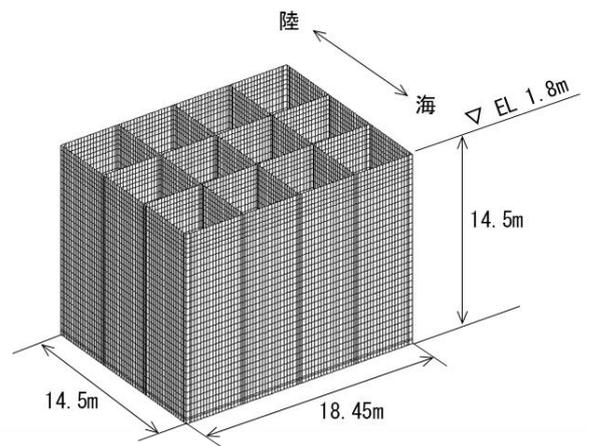
モデル全体図（陸側）



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 4-7 3次元構造解析モデル（④-④断面）

b. ③－③断面

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4-8に示す。



図4-8 3次元構造解析モデル（③－③断面）

(2) 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。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。

## (3) 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. ケーソン

ケーソンの使用材料を表 4-10 に、材料の物性値を表 4-11 に示す。重力擁壁の使用材料は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

表 4-10 使用材料

材料	諸元
コンクリート	21.0 N/mm <sup>2</sup>
	24.0 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD345

表 4-11 材料の物性値

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

## (4) 地下水位

設計用地下水位は、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、ケーソンとする。

#### 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) 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 4-12 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 4-9 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 4-12 曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊（面外）に対する許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート ( $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	9.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	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。

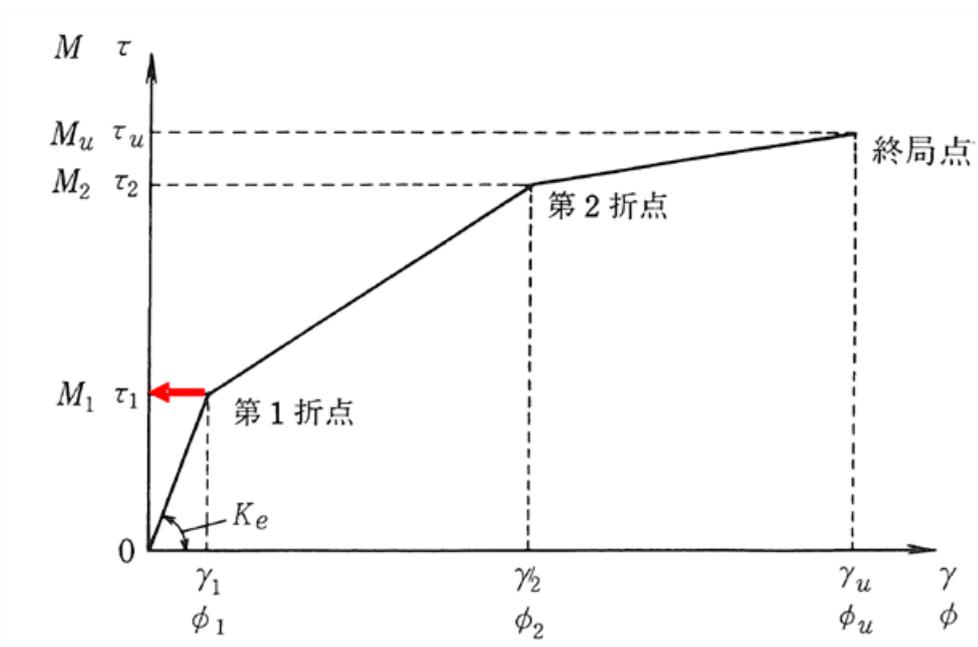


図 4-9 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$  関係）と評価式  
（J E A G 4 6 0 1 - 1987 に加筆）

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

ここに、

$\tau_1$  : 許容せん断応力度（面内）(N/mm<sup>2</sup>)

$F_c$  : 設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_v$  : 鉛直方向軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(2) ③-③断面

③-③断面は鋼材を部材内に有する構造であるが、保守的に無筋コンクリートとみなし、許容限界を「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4-13に示す強度とする。

表4-13 ③-③断面ケーソンの許容限界

	算定式*2	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	準拠図書
圧縮強度 $f'_{ak}$ *1	$\eta \cdot f'_{ck}$	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 $\tau_{ca}$	$1/5f'_{ck}$	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  $\eta$  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

#### 4.2.6 評価方法

##### (1) ②－②断面及び④－④断面

3次元構造解析に基づいて算定した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「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。

##### (2) ③－③断面

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「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。

## 5. 耐震評価結果

### 5.1 重力擁壁

#### 5.1.1 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において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-1 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	①	5491	1367	3.9	13.5	0.29

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - N 1 (++)	①	8700	1979	6.0	13.5	0.45

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	③	5409	1266	4.8	13.5	0.36

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (+-)	①	3847	1249	3.7	13.5	0.28

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	①	5491	1367	155.2	294	0.53

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - N 1 (++)	①	8700	1979	244.6	294	0.84

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	③	5409	1266	216.5	294	0.74

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (++)	③	3837	1196	145.0	294	0.50

## 5.1.2 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において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表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)

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c/\tau_{a1}$
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (-+)	②	1089	0.28	0.64	0.44

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c/\tau_{a1}$
		せん断力 Q (kN)			
S s - N 1 (++)	①	1500	0.38	0.64	0.61

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c/\tau_{a1}$
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (-+)	③	1249	0.36	0.67	0.54

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)

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c/\tau_{a1}$
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (++)	③	770	0.25	0.67	0.38

## 5.2 ケーソン

### 5.2.1 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。

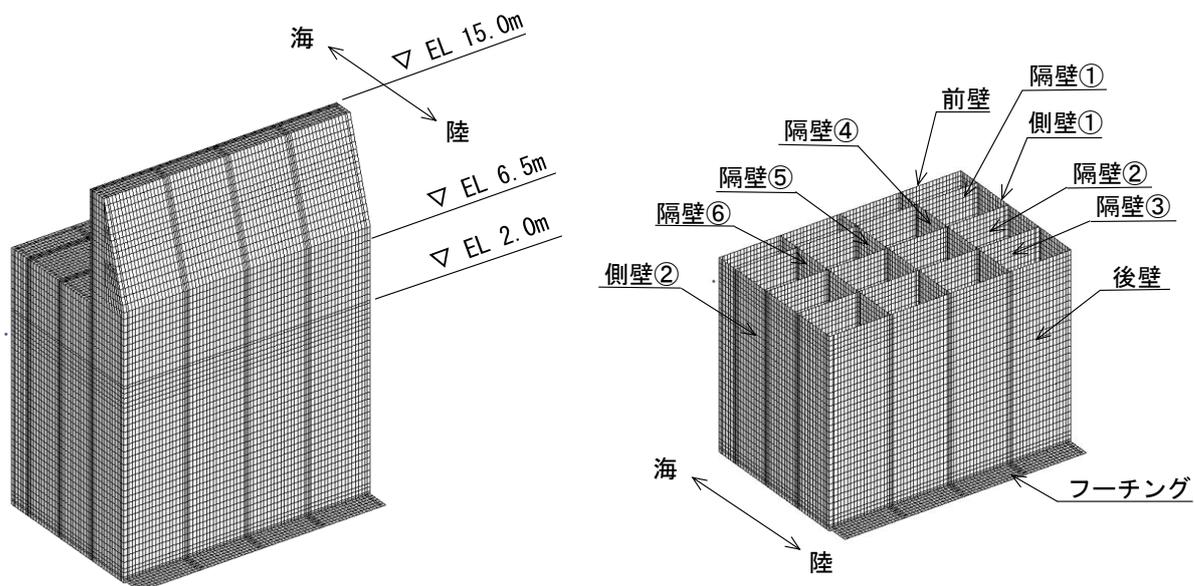


図5-1(1) 評価対象位置図 (②-②断面)

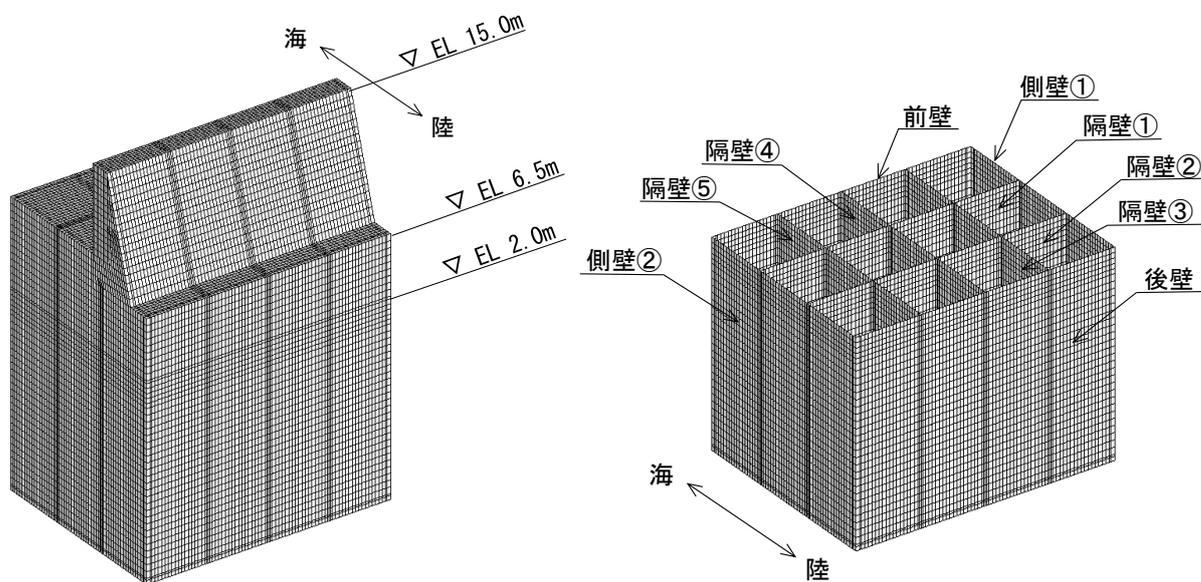


図5-1(2) 評価対象位置図 (④-④断面)

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において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-4 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-5 に、コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-6 に、コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-7 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 5-4(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	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
			曲げ モーメント M(kN・m)	軸力 N(kN)			
底版	S s - N 1 (++)	②	124	-121	2.8	13.5	0.21
フーチング	S s - D (-+)	③	140	-49	1.1	13.5	0.08
前壁	S s - D (-+)	①	2	1479	2.8	13.5	0.21
後壁	S s - N 1 (++)	②	4	1967	4.1	13.5	0.31
側壁①	S s - N 1 (++)	②	30	1603	3.8	13.5	0.29
側壁②	S s - N 1 (++)	②	30	1603	3.8	13.5	0.29
隔壁①	S s - N 1 (-+)	①	10	384	2.3	13.5	0.18
隔壁②	S s - D (--)	①	8	390	2.1	13.5	0.16
隔壁③	S s - N 1 (++)	②	2	619	2.3	13.5	0.18
隔壁④	S s - N 1 (++)	②	5	749	3.1	13.5	0.23
隔壁⑤	S s - N 1 (++)	②	0	866	3.0	13.5	0.23
隔壁⑥	S s - N 1 (++)	②	5	749	3.1	13.5	0.23

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	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
			曲げ モーメント M(kN・m)	軸力 N(kN)			
底版	S s - N 1 (- +)	②	212	272	4.1	13.5	0.31
前壁	S s - N 1 (- +)	②	22	2744	6.1	13.5	0.46
後壁	S s - N 1 (+ +)	①	26	2059	4.7	13.5	0.36
側壁①	S s - N 1 (- +)	②	87	2147	6.1	13.5	0.46
側壁②	S s - N 1 (- +)	②	87	2147	6.1	13.5	0.46
隔壁①	S s - N 1 (- +)	②	20	657	4.1	13.5	0.31
隔壁②	S s - N 1 (+ +)	①	3	730	2.7	13.5	0.21
隔壁③	S s - N 1 (- +)	②	5	1375	4.9	13.5	0.37
隔壁④	S s - N 1 (- +)	②	0	1376	4.4	13.5	0.33
隔壁⑤	S s - N 1 (- +)	②	5	1375	4.9	13.5	0.37

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	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げ モーメント M(kN・m)	軸力 N(kN)			
底版	S s - N 1 (++)	②	124	-121	197.1	294	0.67
フーチング	S s - N 1 (++)	②	121	-250	93.4	294	0.32
前壁	S s - N 1 (++)	①	4	-282	94.3	294	0.32
後壁	S s - D (-+)	③	7	-244	94.2	294	0.32
側壁①	S s - N 1 (++)	①	0	-259	113.7	294	0.39
側壁②	S s - N 1 (++)	①	0	-259	113.7	294	0.39
隔壁①	S s - D (++)	①	0	-85	70.3	294	0.24
隔壁②	S s - N 1 (-+)	①	0	-95	75.0	294	0.26
隔壁③	S s - N 1 (++)	②	0	-133	105.5	294	0.36
隔壁④	S s - N 1 (++)	②	0	-57	46.3	294	0.16
隔壁⑤	S s - N 1 (++)	②	0	-69	54.7	294	0.19
隔壁⑥	S s - N 1 (++)	②	0	-57	46.3	294	0.16

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	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	②	208	-110	190.7	294	0.65
前壁	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	②	-11	-227	93.5	294	0.32
後壁	S <sub>s</sub> - N 1 (++)	①	-7	-211	82.3	294	0.28
側壁①	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	③	1	-164	70.0	294	0.24
側壁②	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	③	1	-164	70.0	294	0.24
隔壁①	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	②	0	-195	121.1	294	0.42
隔壁②	S <sub>s</sub> - N 1 (++)	①	0	-164	101.4	294	0.35
隔壁③	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	③	0	-183	112.8	294	0.39
隔壁④	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	③	0	-197	120.9	294	0.42
隔壁⑤	S <sub>s</sub> - N 1 (-+)	③	0	-183	112.8	294	0.39

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	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{a1}$
			せん断力 Q (kN)			
底版	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	129	0.29	0.67	0.44
フーチング	S <sub>s</sub> -D (-+)	③	149	0.19	0.67	0.29
前壁	S <sub>s</sub> -D (++)	③	68	0.20	0.67	0.30
後壁	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	113	0.31	0.67	0.47
側壁①	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	67	0.16	0.67	0.24
側壁②	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	67	0.16	0.67	0.24
隔壁①	S <sub>s</sub> -N2 (EW) (++)	①	11	0.10	0.67	0.15
隔壁②	S <sub>s</sub> -D (-+)	①	13	0.12	0.67	0.18
隔壁③	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	9	0.08	0.67	0.12
隔壁④	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	5	0.05	0.67	0.08
隔壁⑤	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑥	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	5	0.05	0.67	0.08

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	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{a1}$
			せん断力 Q (kN)			
底版	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	207	0.46	0.67	0.69
前壁	S <sub>s</sub> -D (--)	①	133	0.37	0.67	0.56
後壁	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	43	0.11	0.67	0.17
側壁①	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	82	0.20	0.67	0.30
側壁②	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	82	0.20	0.67	0.30
隔壁①	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	25	0.23	0.67	0.35
隔壁②	S <sub>s</sub> -D (-+)	③	16	0.15	0.67	0.23
隔壁③	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	7	0.06	0.67	0.09
隔壁④	S <sub>s</sub> -D (-+)	①	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑤	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	7	0.06	0.67	0.09

表 5-7(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	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 (面内) $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断 応力度 (面内) $\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_1$
			せん断力 Q(kN)			
底版	S s - N 1 (-+)	①	292	0.49	1.51	0.33
フーチング	S s - N 1 (++)	②	319	0.32	1.51	0.22
前壁	S s - D (++)	①	121	0.24	2.20	0.11
後壁	S s - N 1 (++)	②	406	0.81	2.75	0.30
側壁①	S s - N 1 (-+)	①	463	0.93	1.95	0.48
側壁②	S s - N 1 (-+)	①	463	0.93	1.95	0.48
隔壁①	S s - D (-+)	①	91	0.36	2.24	0.17
隔壁②	S s - N 1 (-+)	①	91	0.37	1.91	0.20
隔壁③	S s - N 1 (++)	②	157	0.63	2.34	0.27
隔壁④	S s - D (++)	①	238	0.95	1.83	0.52
隔壁⑤	S s - D (++)	①	243	0.97	1.84	0.53
隔壁⑥	S s - D (++)	①	238	0.95	1.83	0.52

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	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 (面内) $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断 応力度 (面内) $\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_1$
			せん断力 Q (kN)			
底版	S s - N 1 (-+)	②	497	0.83	1.51	0.55
前壁	S s - N 1 (-+)	②	380	0.76	2.93	0.26
後壁	S s - N 1 (++)	①	334	0.67	2.67	0.25
側壁①	S s - N 1 (-+)	②	694	1.39	2.13	0.66
側壁②	S s - N 1 (-+)	②	694	1.39	2.13	0.66
隔壁①	S s - N 1 (-+)	②	200	0.80	2.37	0.34
隔壁②	S s - N 1 (++)	①	192	0.77	2.46	0.32
隔壁③	S s - N 1 (-+)	②	463	1.85	2.32	0.80
隔壁④	S s - N 1 (-+)	②	468	1.87	2.31	0.81
隔壁⑤	S s - N 1 (-+)	②	463	1.85	2.32	0.80

### 5.2.2 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。

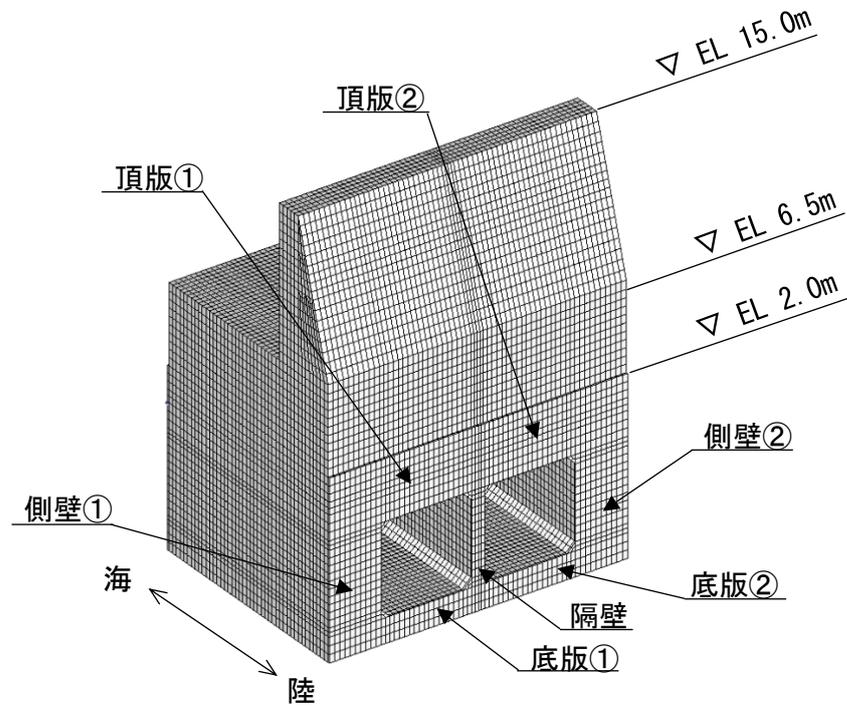


図5-2 評価対象位置図 (③-③断面)

#### 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において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-8に、コンクリートの引張応力度に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-9に、コンクリートのせん断応力度に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表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	地震動	解析 ケース	発生応力	圧縮強度 $f'_{ak}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / f'_{ak}$
			圧縮応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )		
底版①	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	③	4.2	24.0	0.18
底版②	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	③	4.2	24.0	0.18
側壁①	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	7.1	24.0	0.30
側壁②	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	7.1	24.0	0.30
隔壁	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	③	9.0	24.0	0.38
頂版①	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	3.4	24.0	0.15
頂版②	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	3.4	24.0	0.15

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	地震動	解析 ケース	発生応力	引張強度 $f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s/f_{tk}$
			引張応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )		
底版①	S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	①	1.11	1.91	0.59
底版②	S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	①	1.11	1.91	0.59
側壁①	S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	②	0.99	1.91	0.52
側壁②	S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	②	0.99	1.91	0.52
隔壁	S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	①	1.80	1.91	0.95
頂版①	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	1.51	1.91	0.80
頂版②	S <sub>s</sub> -D (+-)	①	1.51	1.91	0.80

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	地震動	解析 ケース	発生応力	せん断強度 $\tau_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c/\tau_{ca}$
			せん断応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )		
底版①	S s - N 1 (-+)	③	1.9	4.8	0.40
底版②	S s - N 1 (-+)	③	1.9	4.8	0.40
側壁①	S s - N 1 (-+)	③	1.8	4.8	0.38
側壁②	S s - N 1 (-+)	③	1.8	4.8	0.38
隔壁	S s - N 1 (-+)	③	1.9	4.8	0.40
頂版①	S s - D (+-)	①	1.6	4.8	0.35
頂版②	S s - D (+-)	①	1.6	4.8	0.35

### 5.3 H形鋼

#### 5.3.1 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において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-11に示す。

この結果から、H形鋼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5-11 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）

地震動	解析ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s/\tau_{sa}$
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (++)	③	770	58	157	0.37

### 5.4 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時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布を図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）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - D (++)	②	24.73	7.48

表5-12(2) MMRのすべり安全率評価結果（③－③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 - N 1 (++)	②	8.26	8.52

表5-12(3) MMRのすべり安全率評価結果（④－④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 - N 1 (-+)	②	7.62	7.30

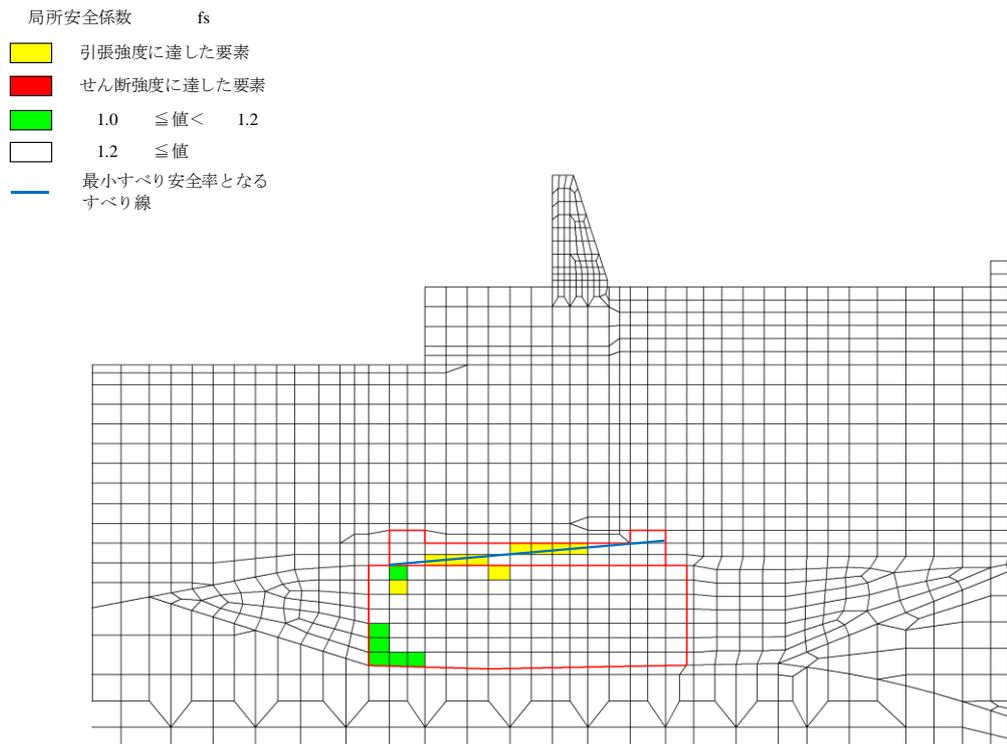


図 5-3(1) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布  
 (②-②断面, S s - D (++) , t=24.73s)

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)

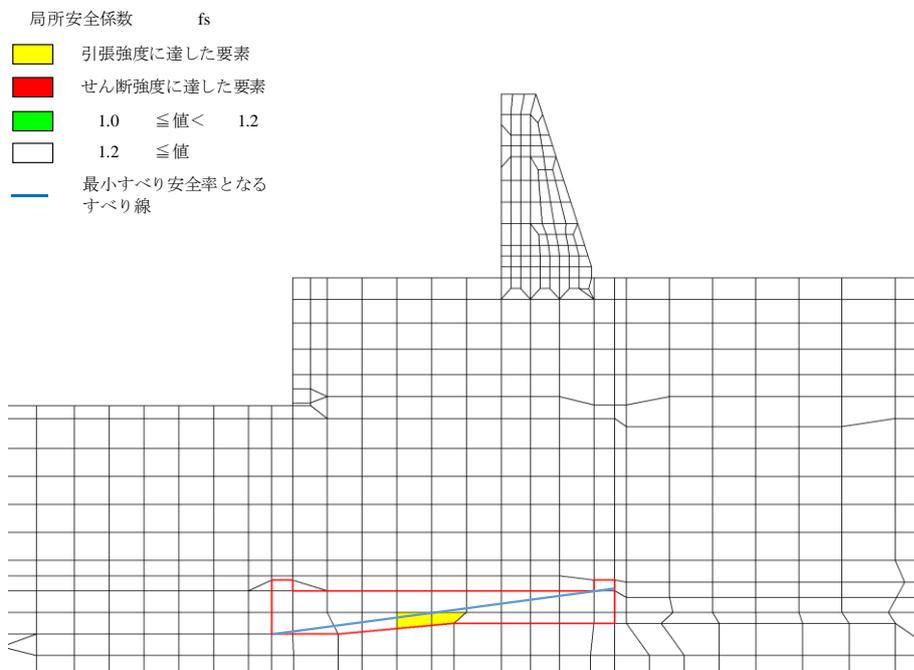


図 5-3(2) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布  
 (③-③断面, S s - N 1 (++) , t=8.26s)

解析ケース①：基本ケース

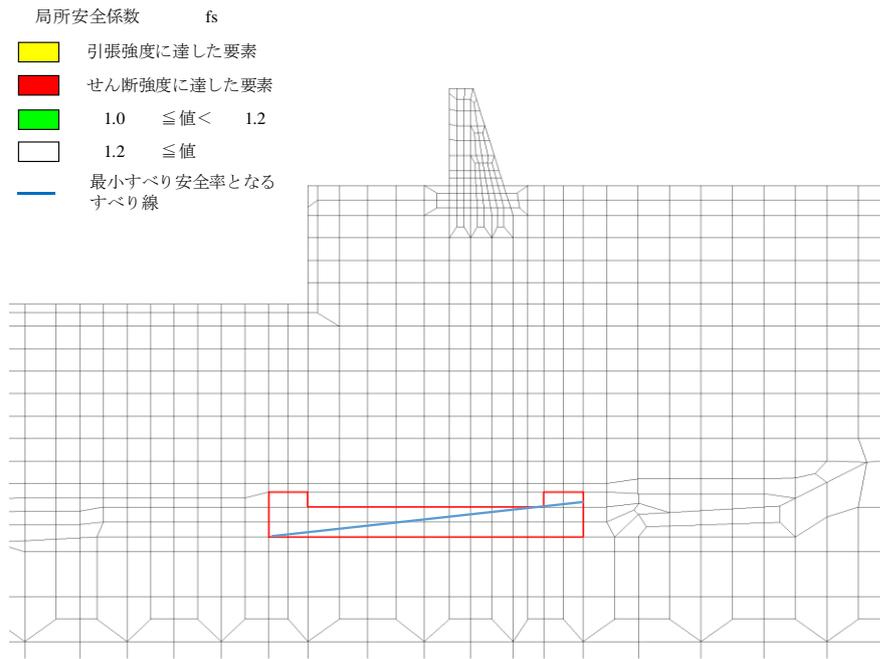


図 5-3(3) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布  
 (④-④断面, S s - N 1 (++) , t=7.62s)

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)

## 5.5 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時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布を図 5-4 に示す。

この結果から，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)

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	10.26	2.05

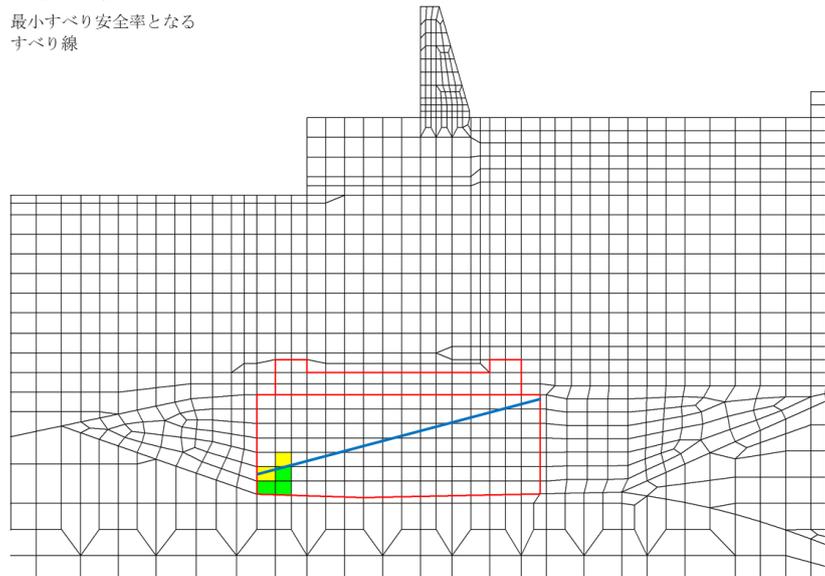


図 5-4 改良地盤⑥の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布  
(②-②断面, S s - D (--),  $t=10.26\text{s}$ )

解析ケース①：基本ケース

## 5.6 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。

地震時の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。

地震時の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 止水目地設置箇所の地震時相対変位量

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
$\delta_x$ : ④－④断面 (横断方向)	S s - N 1 (- +)	①	299.43	—
$\delta_y$ : ⑦－⑦断面 (縦断方向)	S s - D (+ -)	③	58.51	—
$\delta_z$ : ⑦－⑦断面 (横断方向)	S s - N 1 (- +)	②	82.12	—
合成方向 (3方向合成)	—	—	315.95	1960

## 5.7 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）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S s - D (+-)	①	2.8	24.0	0.12

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）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S s - D (++)	②	2.1	3.0	0.70

表 5-15(3) 基礎地盤の支持性能評価結果（②－②断面，岩盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S s - D (--)	①	2.0	9.8	0.21

表 5-16(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（③－③断面，MMR）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S s - N 1 (+++)	③	1.7	24.0	0.08

表 5-16(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, 岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -N1 (-+)	①	2.8	9.8	0.29

表 5-17(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, MMR)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -D (-+)	③	2.8	24.0	0.12

表 5-17(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -D (--)	①	2.9	9.8	0.30

表 5-18 基礎地盤の支持性能評価結果 (⑤-⑤断面, 岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P/P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -N2 (EW) (-+)	①	1.9	9.8	0.20

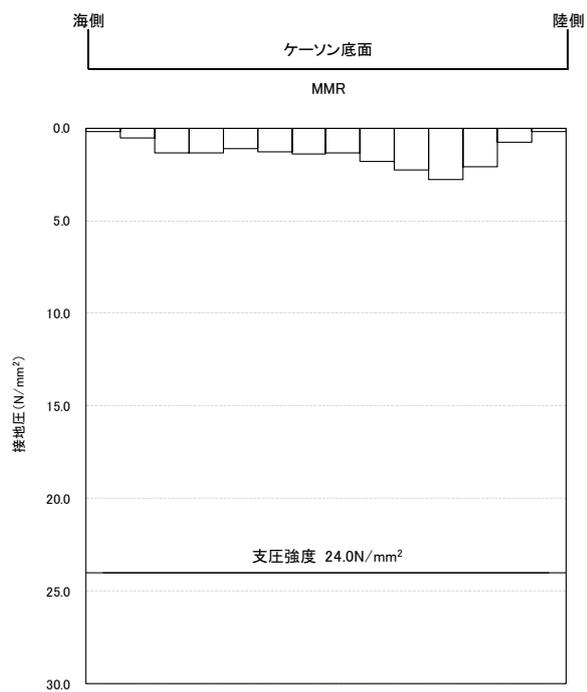


図 5-5(1) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, MMR)  
 (S s - D (+ -))  
 解析ケース①: 基本ケース

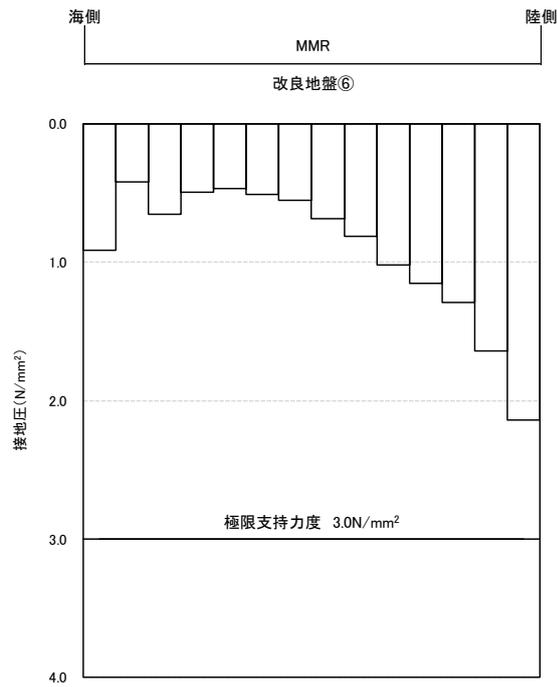


図 5-5(2) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 改良地盤⑥)

( S s - D ( + + ) )

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 )

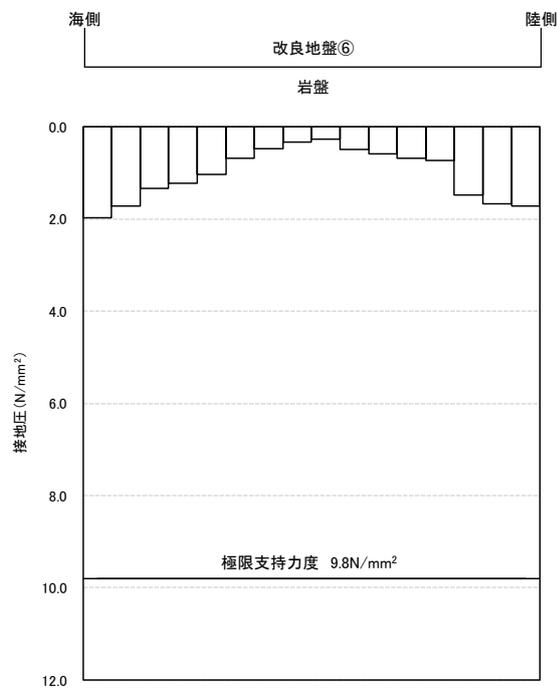


図 5-5(3) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 岩盤)

( S s - D ( - - ) )

解析ケース①：基本ケース

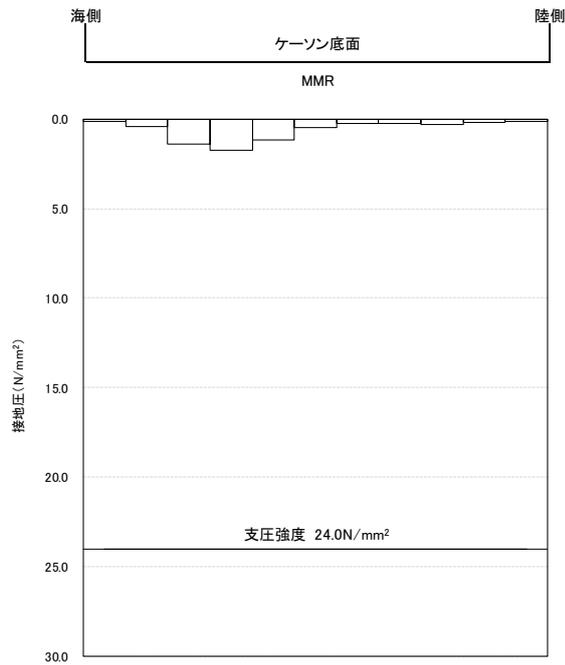


図 5-6(1) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, MMR)  
(S s - N 1 (++) )

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1 σ)

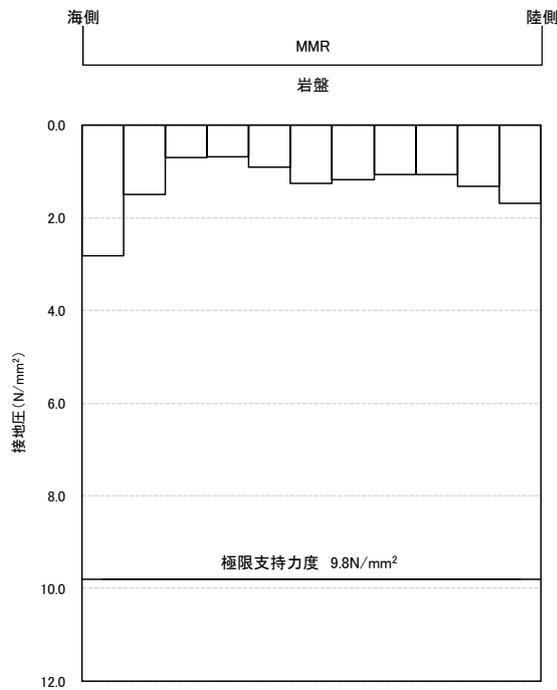


図 5-6(2) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, 岩盤)  
(S s - N 1 (-+))

解析ケース①：基本ケース

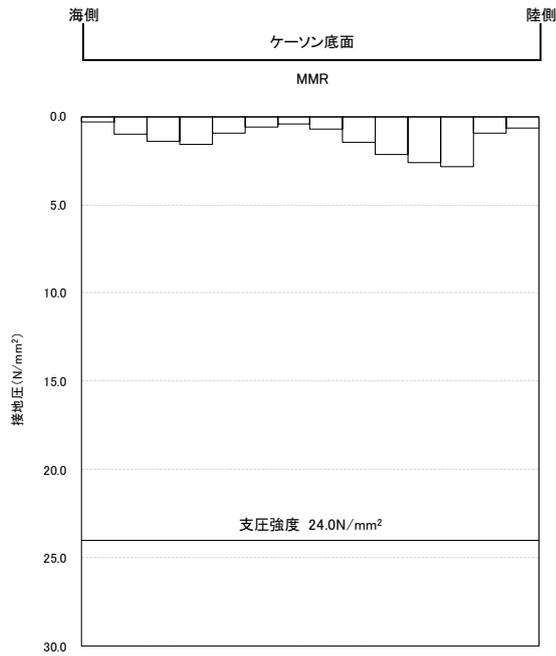


図 5-7(1) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, MMR)  
( S s - D ( - + ) )

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース ( 平均値 - 1 σ )

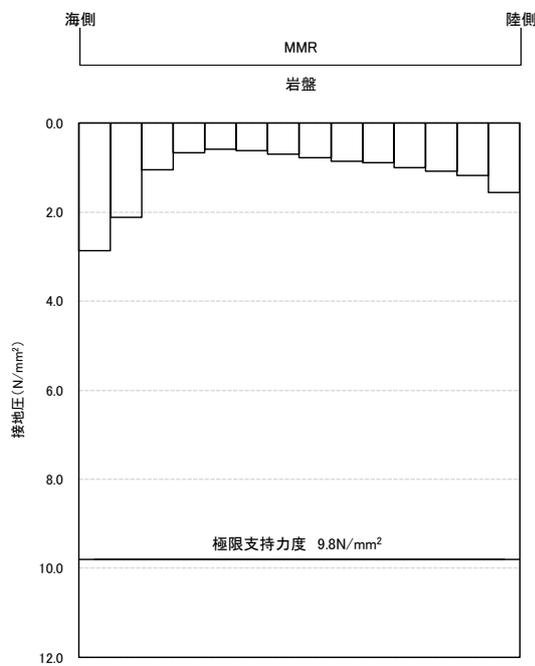


図 5-7(2) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)  
( S s - D ( - - ) )

解析ケース①：基本ケース

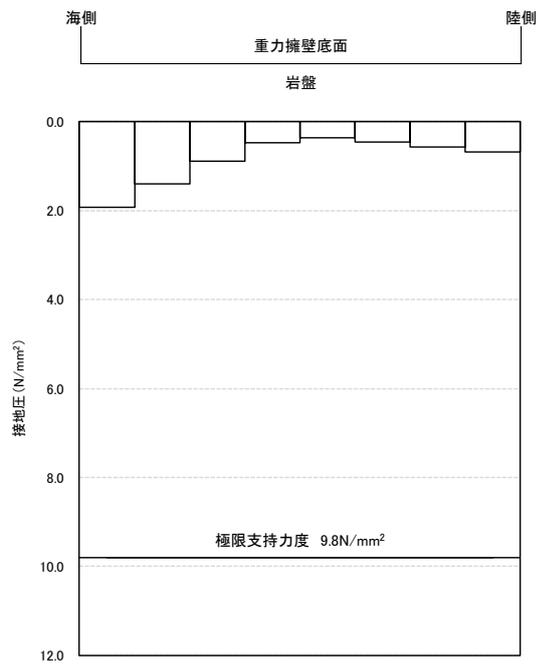


図 5-8 支持地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)  
 (S s - N 2 (E W) (-+))  
 解析ケース①: 基本ケース