

VI-2-10-2-3 防波壁の耐震性についての計算書

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

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	8
2.4	適用規格・基準等	16
3.	評価対象断面	17
4.	耐震評価	32
4.1	2次元有限要素法	32
4.1.1	解析方法	32
4.1.2	荷重及び荷重の組合せ	34
4.1.3	入力地震動	34
4.1.4	解析モデル及び諸元	34
4.1.5	評価対象部位	36
4.1.6	許容限界	37
4.1.7	評価方法	40
4.2	3次元構造解析	43
4.2.1	解析方法	43
4.2.2	荷重及び荷重の組合せ	43
4.2.3	解析モデル及び諸元	44
4.2.4	評価対象部位	49
4.2.5	許容限界	49
4.2.6	評価方法	52
5.	耐震評価結果	53
5.1	重力擁壁	53
5.1.1	曲げ照査	53
5.1.2	せん断照査	56
5.2	ケーソン	58
5.2.1	②-②断面及び④-④断面	58
5.2.2	③-③断面	69
5.3	H形鋼	74
5.3.1	せん断照査	74
5.4	MMR	74
5.5	改良地盤	77
5.6	止水目地	78

5.7	基礎地盤	79
6.	漂流物対策工	85
6.1	概要	85
6.2	基本方針	86
6.2.1	位置	86
6.2.2	構造概要	88
6.2.3	評価方針	95
6.2.4	記号の説明	97
6.3	評価対象部位	98
6.4	耐震評価	99
6.4.1	評価対象構造区分の選定	99
6.4.2	荷重及び荷重の組合せ	102
6.4.3	許容限界	103
6.4.4	評価方法	105
6.4.5	評価条件	106
6.4.6	評価結果	107

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あたっては、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・地盤の健全性評価及び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。

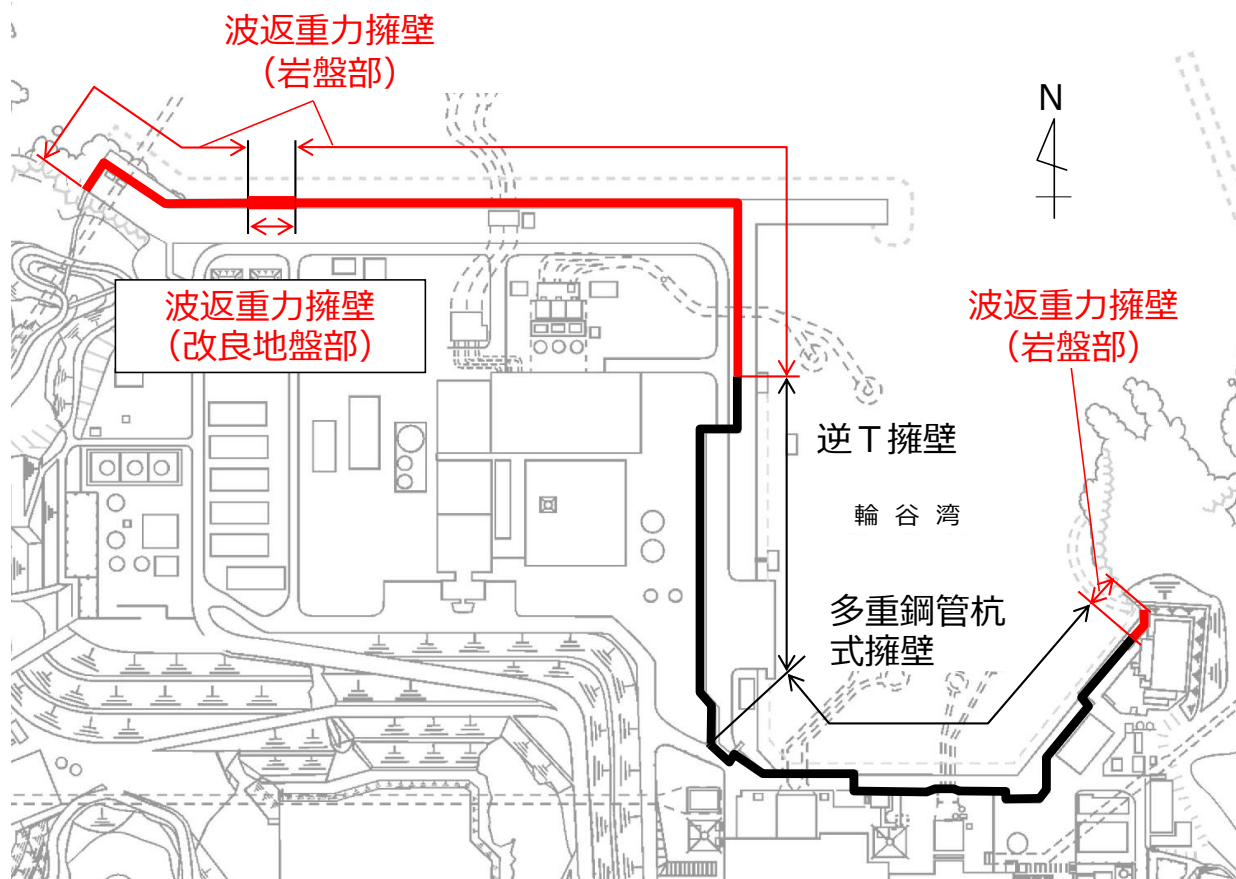


図 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の位置図

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，止水目地の概念図及び配置位置図を図 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，岩盤又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）若しくは改良地盤を介して岩盤に支持される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，鉄筋コンクリート造の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。ケーソン内のすべての中詰材（銅水砕スラグ及び砂）については，高圧噴射攪拌工法により改良する。重力擁壁及び前壁の背面に中詰コンクリートが充填されていないケーソンの海側には，鉄筋コンクリート版により構成された漂流物対策工（以下「漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）」という。）を設置し，重力擁壁の陸側の境界部には，試験等により止水性を確認した止水目地を設置する。

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。

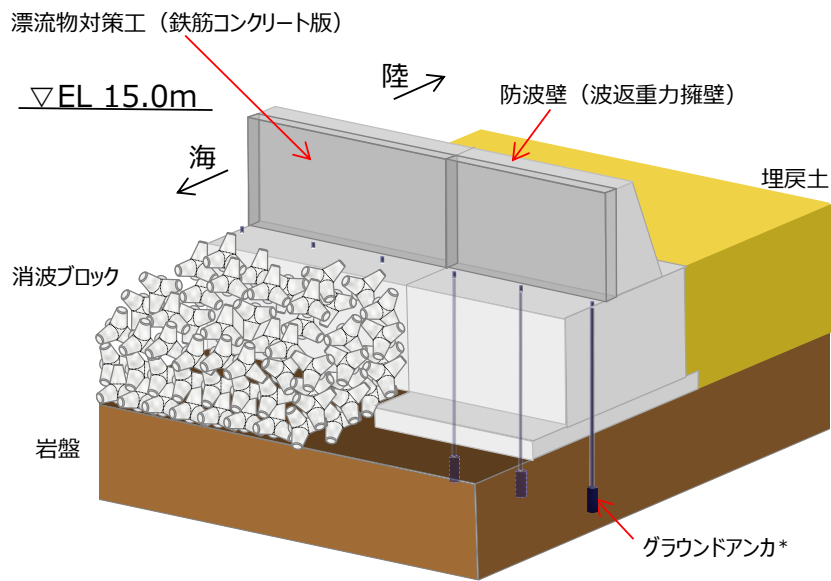
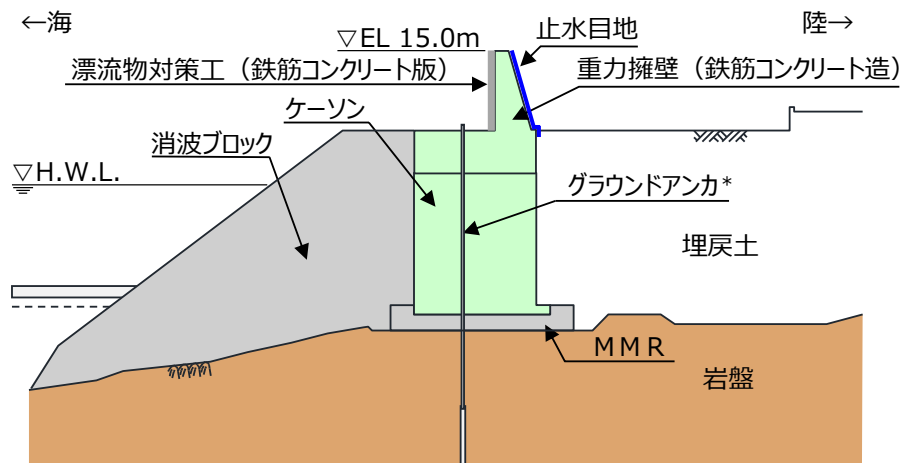
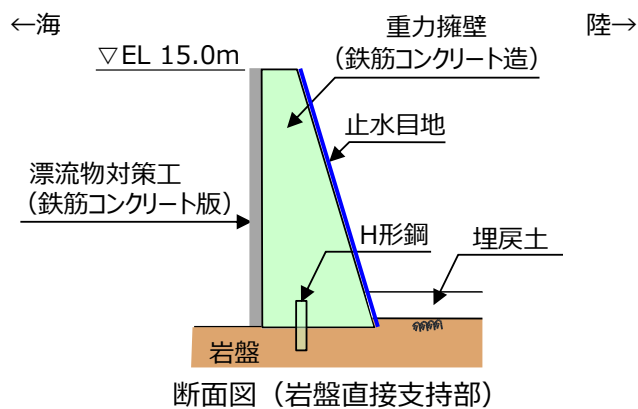


図 2-2(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図（鳥瞰図）



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。

断面図（ケーソン設置部）



断面図（岩盤直接支持部）

図 2-2(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図（断面図）

(単位：mm)

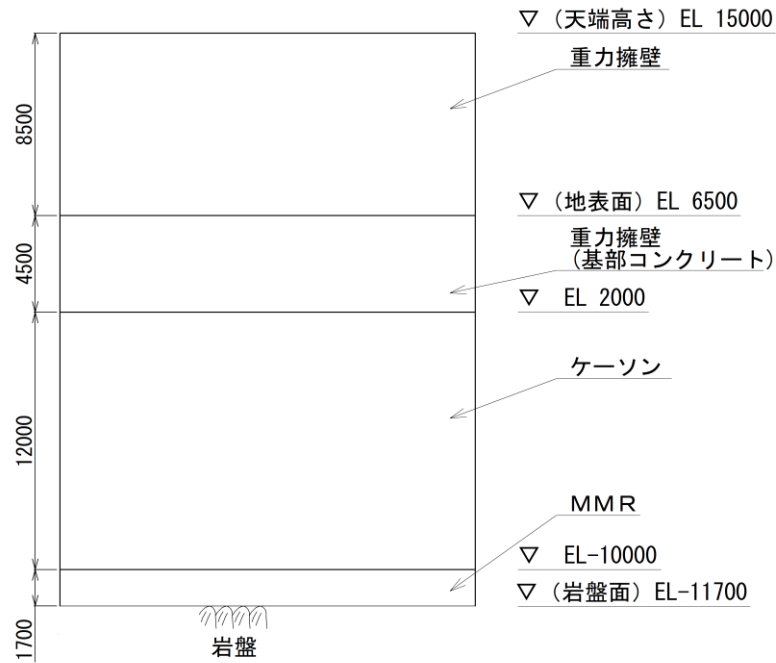


図 2-3(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

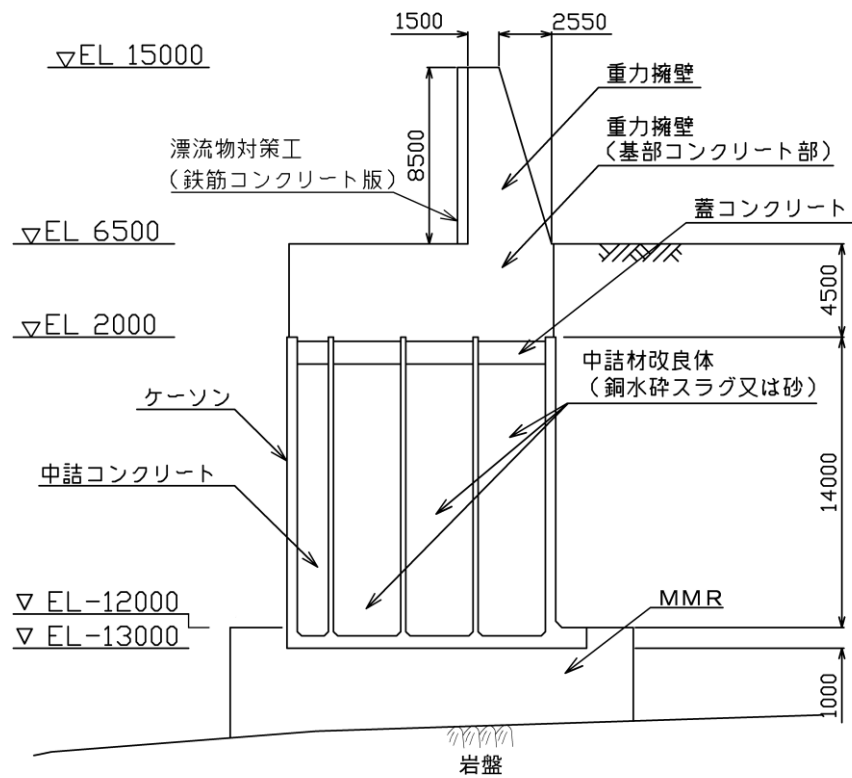


図 2-3(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（断面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

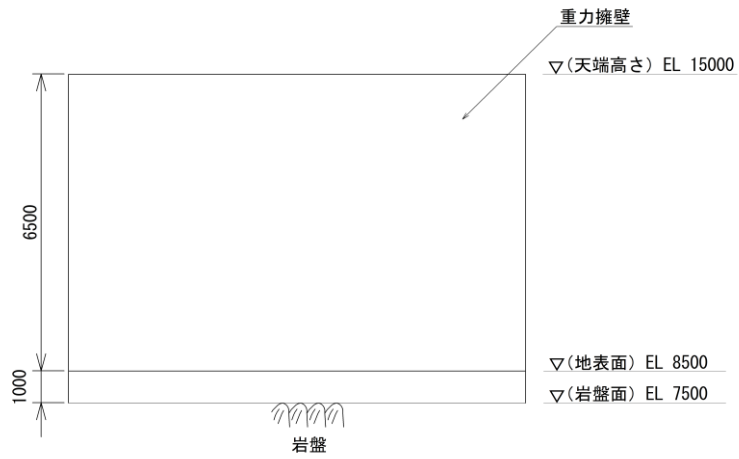
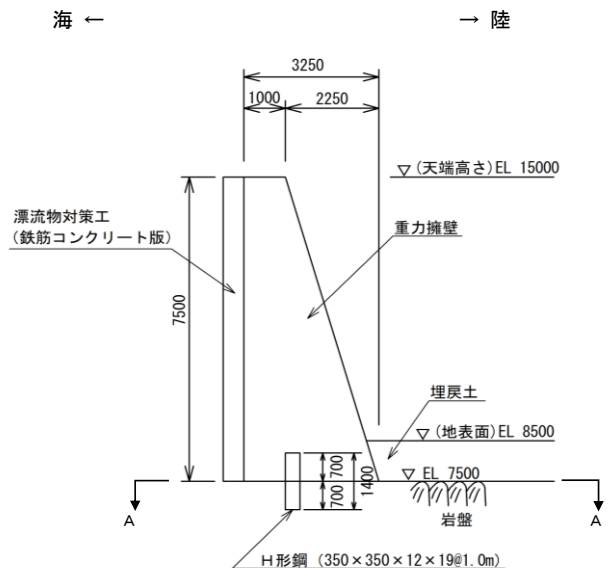
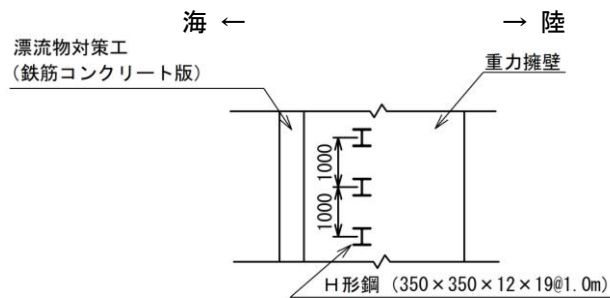


図 2-4(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（岩盤直接支持部）

(単位：mm)



断面図



平面図（A-A断面）

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）

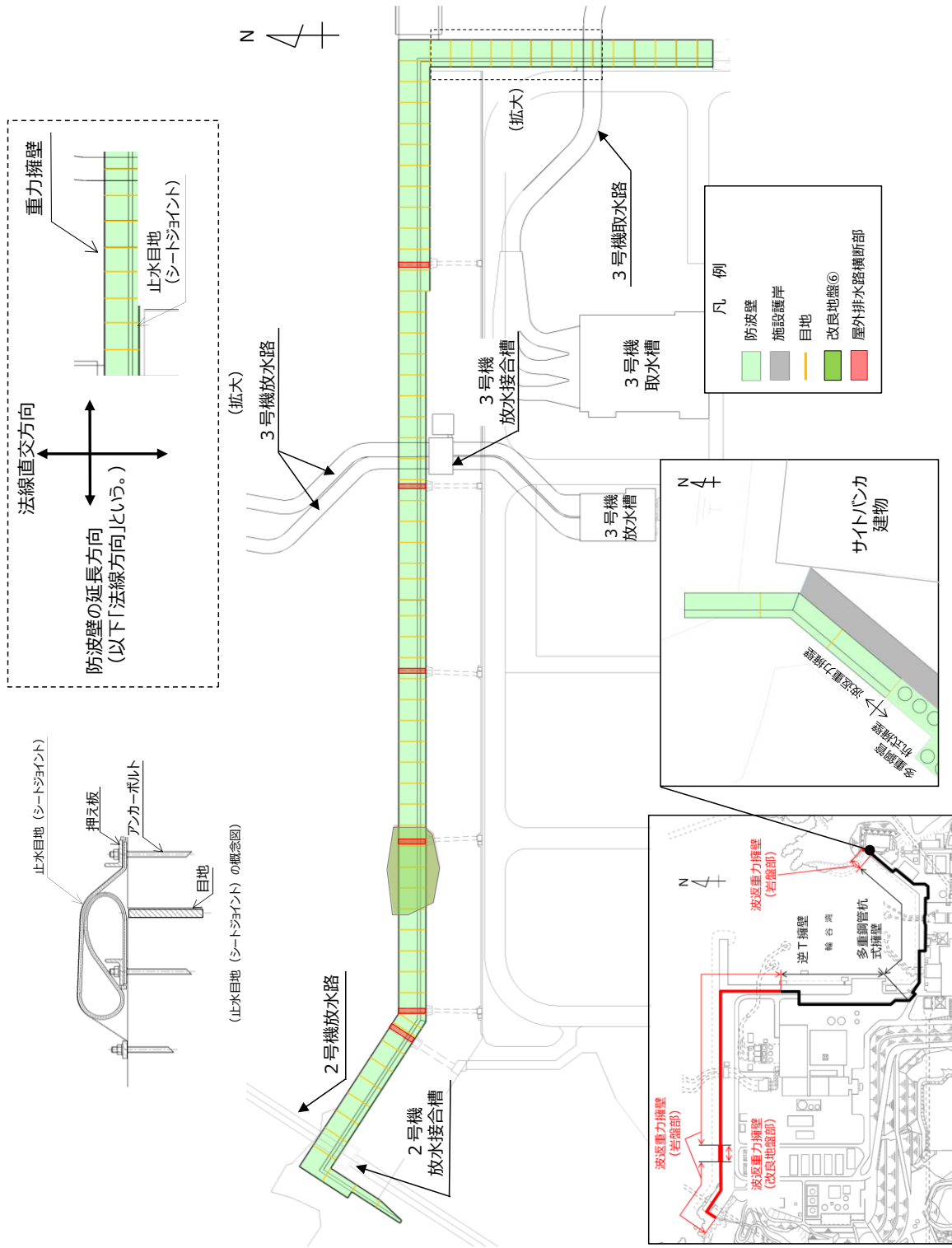


図 2-5 防波壁 (波返重力擁壁) の止水目地の概念図及び配置位置図

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，止水目地の変位量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割(1/2)

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	・重力擁壁間の変位に追従する。	・重力擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。	
	ケーソン	・重力擁壁及び漂流物対策工を支持する。	・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。	
	放水路 ケーソン	頂版 底版	・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。
		側壁 隔壁	・重力擁壁を支持する。	・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 (鉄筋コンクリート版)	・役割に期待しない(解析モデルに重量として考慮し、防波壁(波返重力擁壁)への影響を考慮する)。	・衝突荷重を分散して防波壁(波返重力擁壁)に伝達する。 ・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。		

表 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割(2/2)

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
地盤	MMR	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーソン及び重力擁壁を支持する。
	埋戻土， 砂礫層	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに反映し，防波壁（波返重力擁壁）への相互作用を考慮する）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁（波返重力擁壁）より陸側については，津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	消波ブロック	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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（1/2）

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。
	放水路ケーソン 頂版 底版 側壁			構造部材の健全性を保持するために、放水路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、放水路ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。
				構造強度を有すること。	構造強度を有すること。
	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（鉄筋コンクリート版）			防波壁（波返重力擁壁）から分離しないために、漂流物対策工がおおむね弾性状態にとどまること。	衝突荷重を分散して、防波壁（波返重力擁壁）に伝達するために、鉄筋コンクリート版がおおむね弾性状態にとどまること。

表 2-2 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の性能目標 (2/2)

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)
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(1/2)

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(曲げ応力及びせん断応力)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(曲げ応力及びせん断応力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度	
		放水路 ケーソン	頂版 底版 側壁	発生する応力(曲げ応力及びせん断応力)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
			隔壁	発生する応力(曲げ応力及びせん断応力)又はひずみ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 許容ひずみ
		H形鋼	発生する応力(せん断応力)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(鉄筋 コンクリート版)	発生する応力(アンカーボルトの引張力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度	
	基礎地盤の 支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-3 防波壁(波返重力擁壁)の評価項目(2/2)

評価方針	評価項目	部位		評価方法	許容限界
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(曲げ応力及びせん断応力)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(曲げ応力及びせん断応力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		放水路 ケーソン	頂版 底版 側壁	発生する応力(曲げ応力及びせん断応力)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(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
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤		発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度
施設の変形性	止水目地		発生変位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位量	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

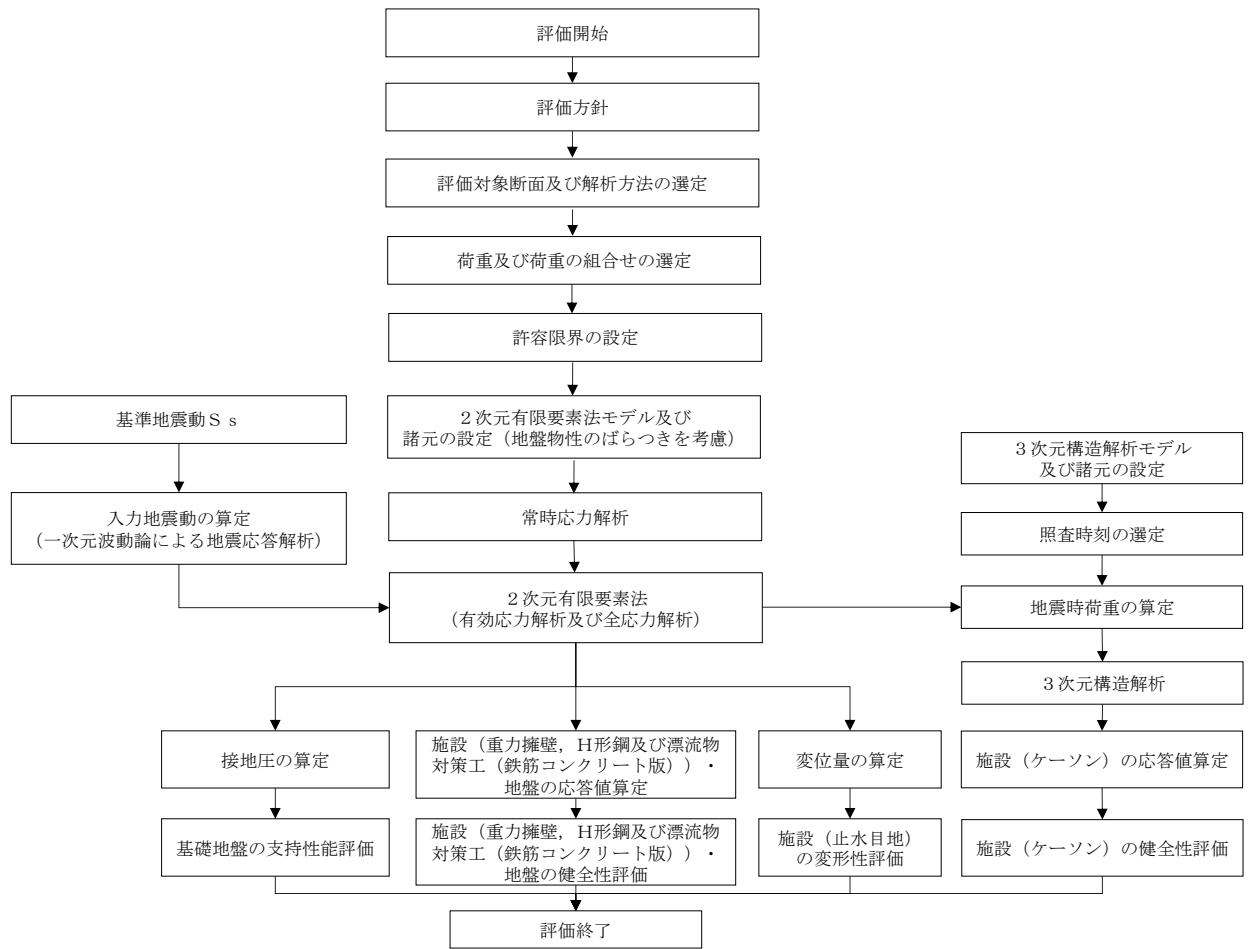


図 2-6 防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原管地発第1306196号）
- ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）
- ・港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2012年制定）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2017年制定）
- ・建築基準法・同施行令

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，開口部（放水路）を有するケーソンが設置されているため，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位量を求めるため，変形性評価の評価対象断面に選定した。

評価対象断面における構造図を図 3-9～図 3-12 に，重力擁壁及びケーソンの概略配筋図を図 3-13～図 3-16 に示す。

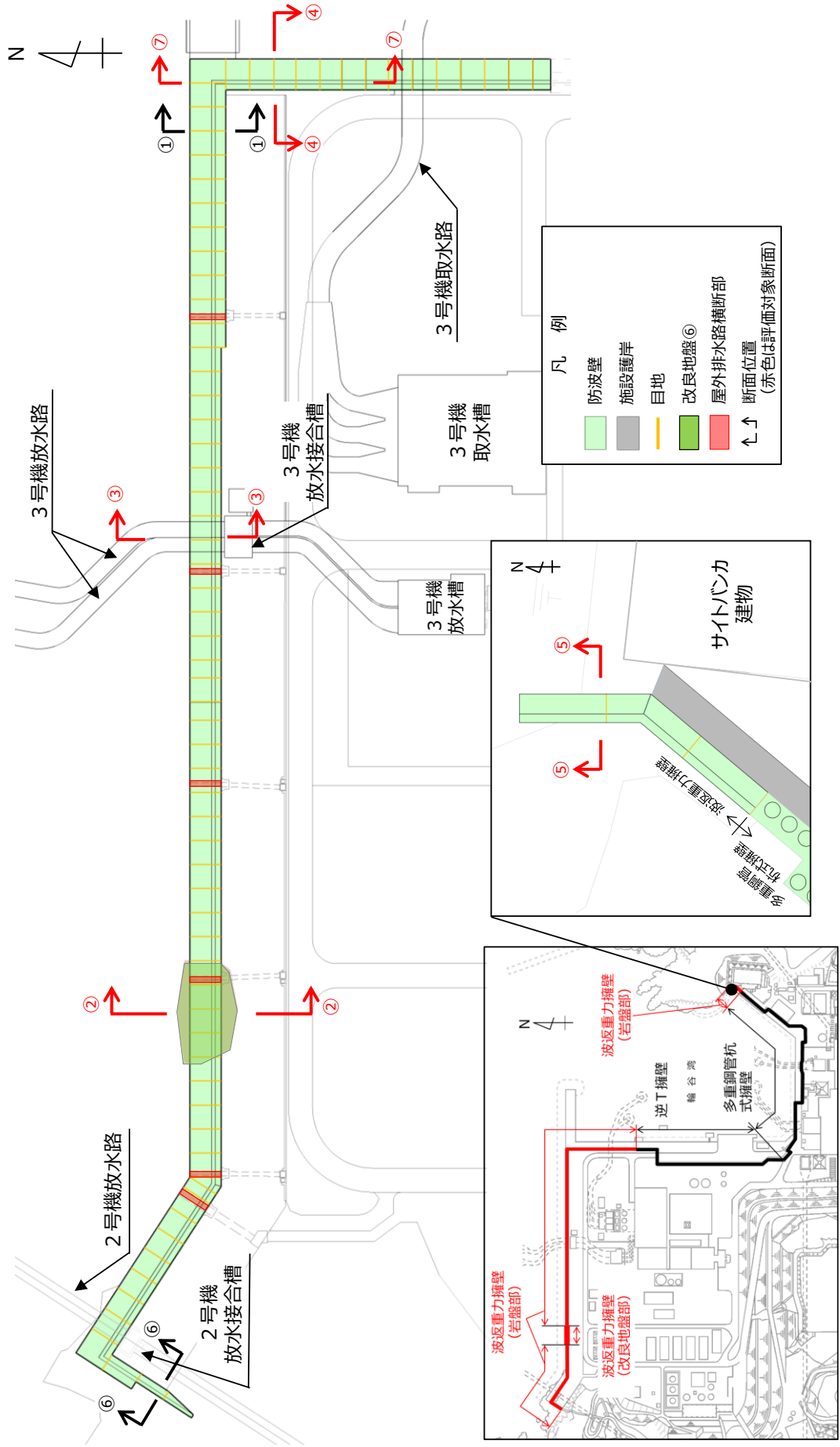


図 3-1 防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図

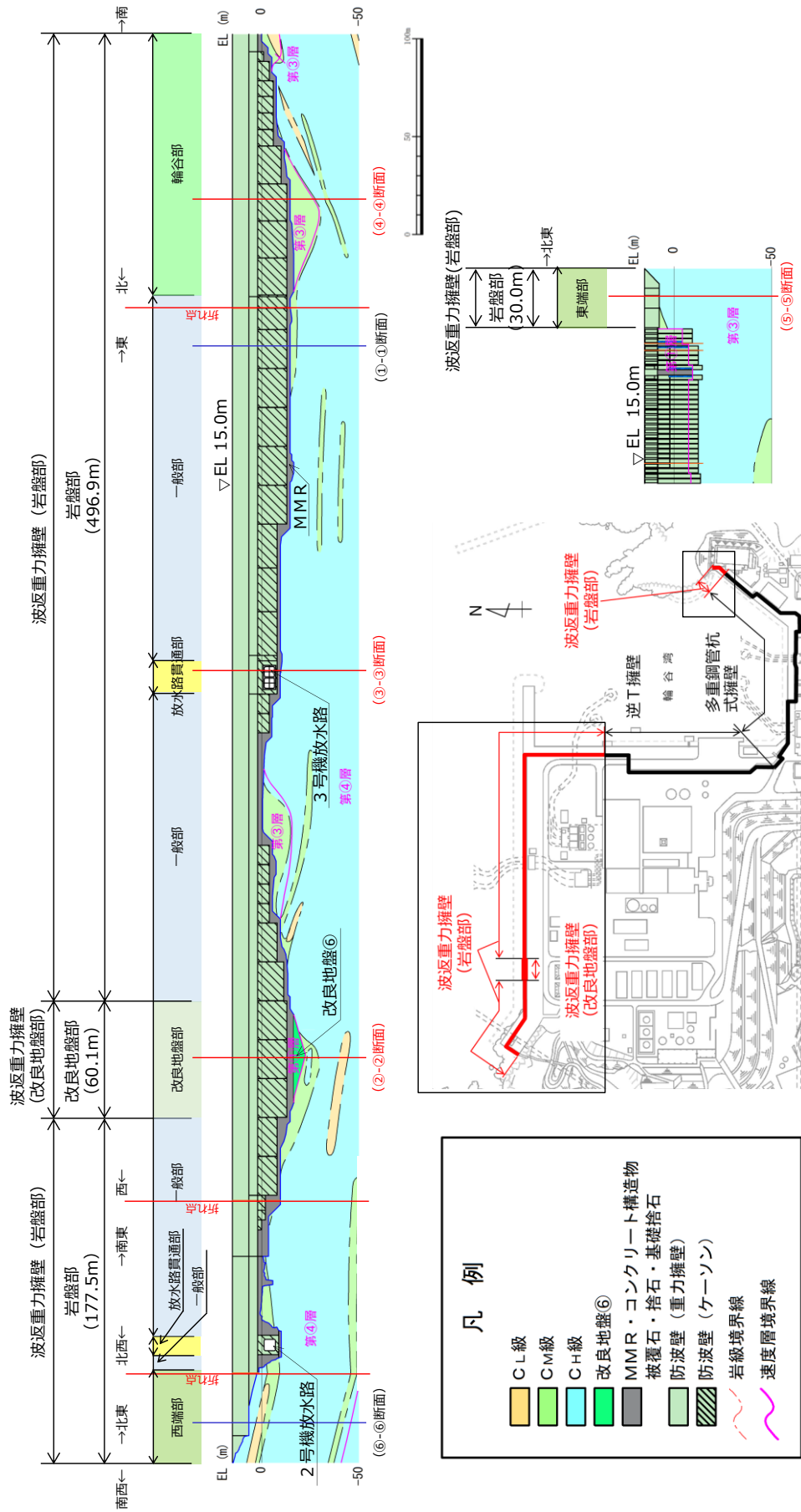


図 3-2 防波壁 (波返重力擁壁) の縦断面図

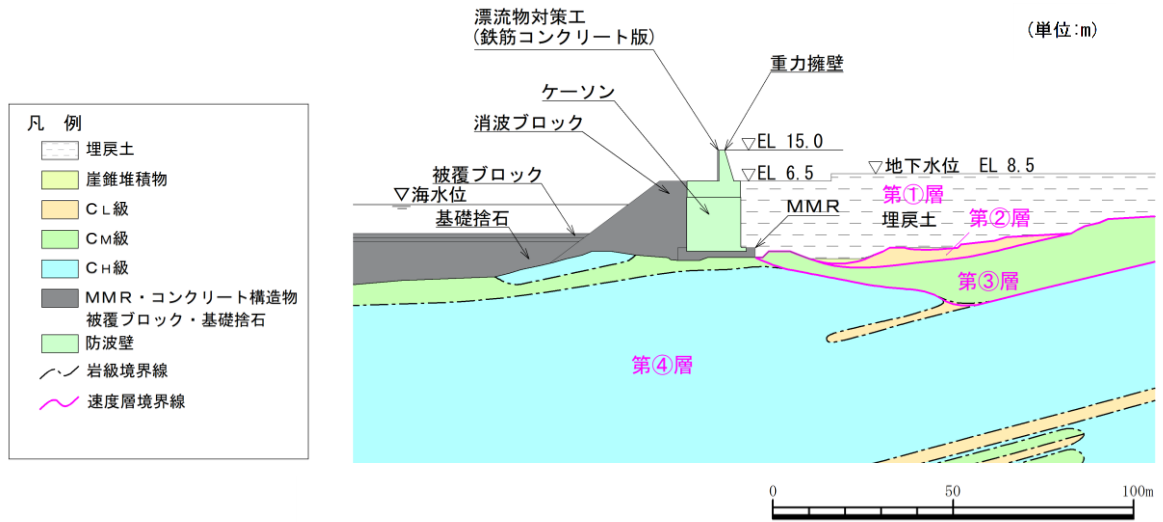


図 3-3 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（①-①断面）

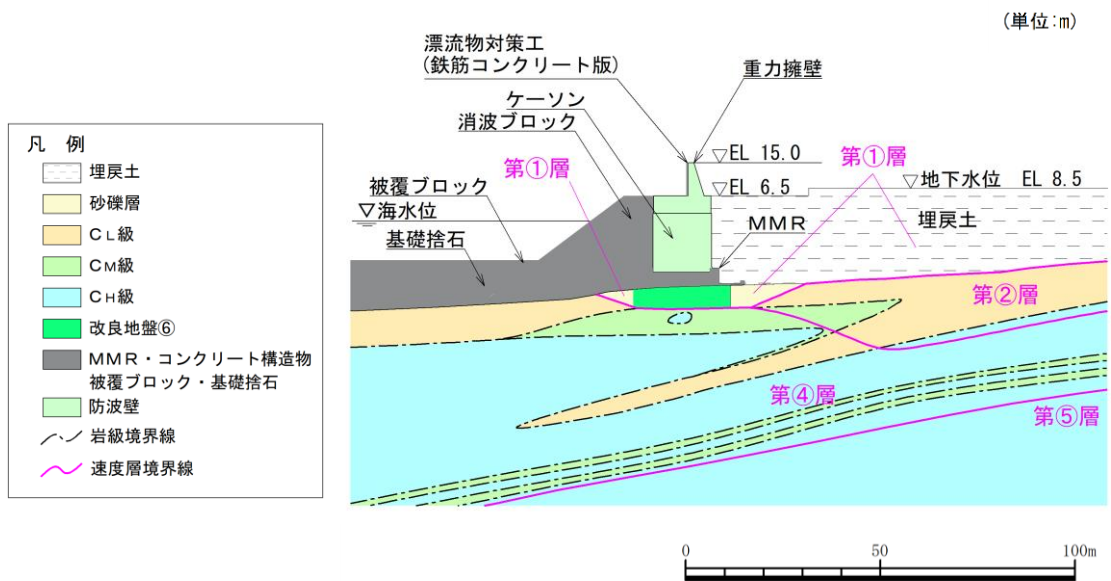


図 3-4 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（②-②断面）

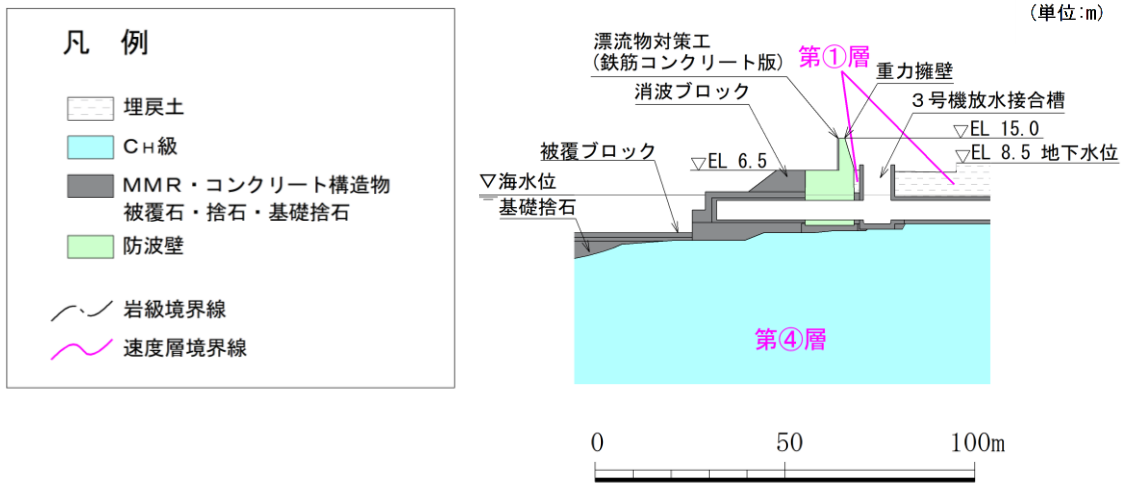


図 3-5 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（③-③断面）

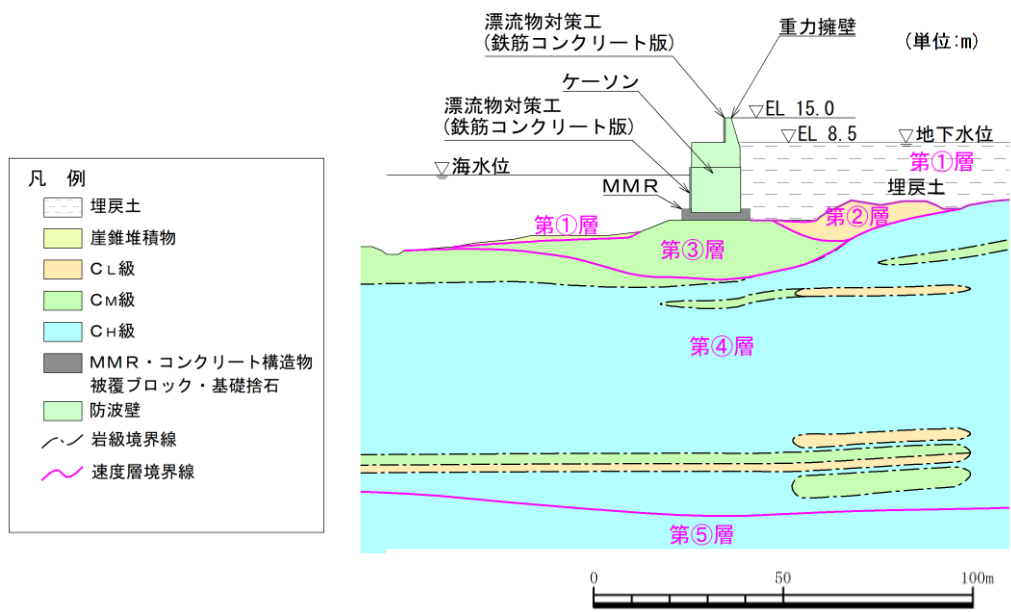


図 3-6 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（④-④断面）

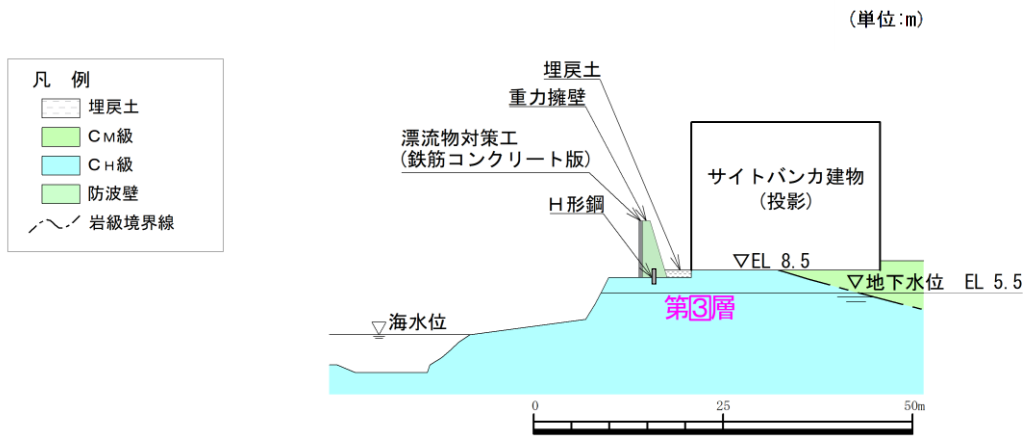


図 3-7 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (⑤-⑤断面)

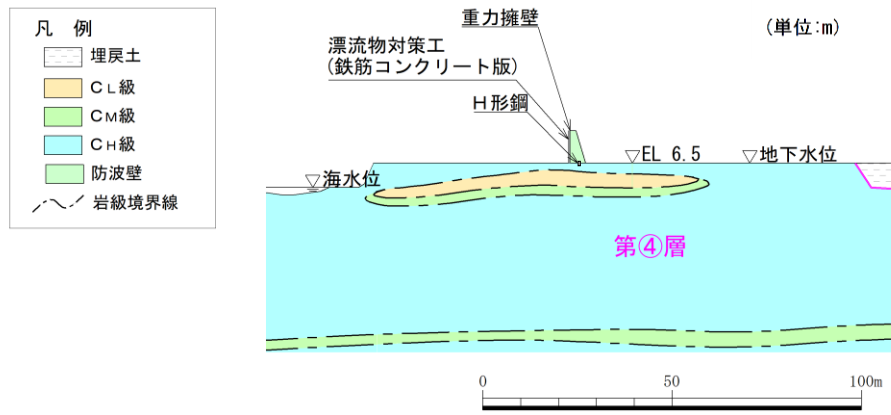


図 3-8 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (⑥-⑥断面)

(単位：mm)

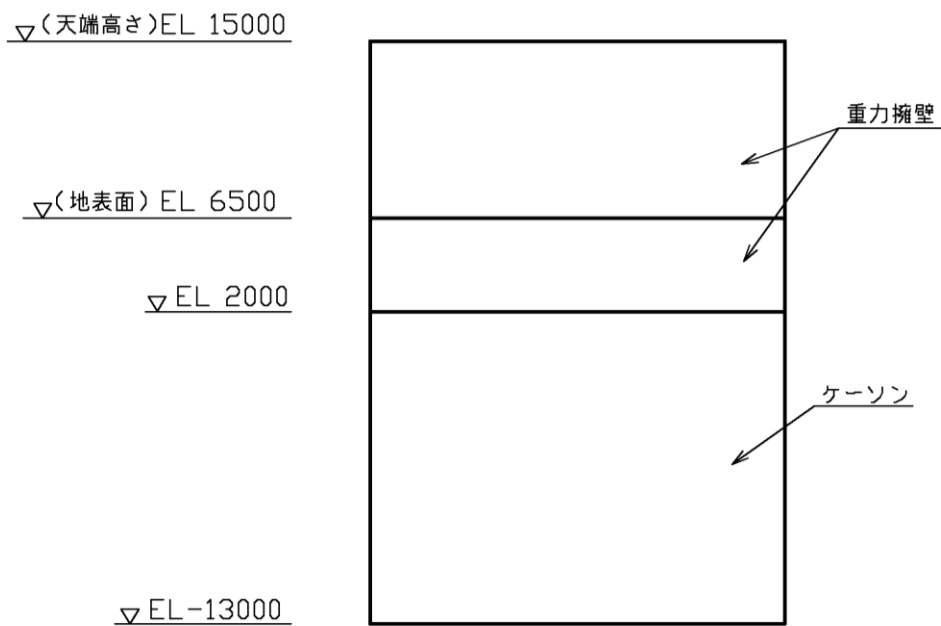


図 3-9(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（②-②断面）（正面図）

(単位：mm)

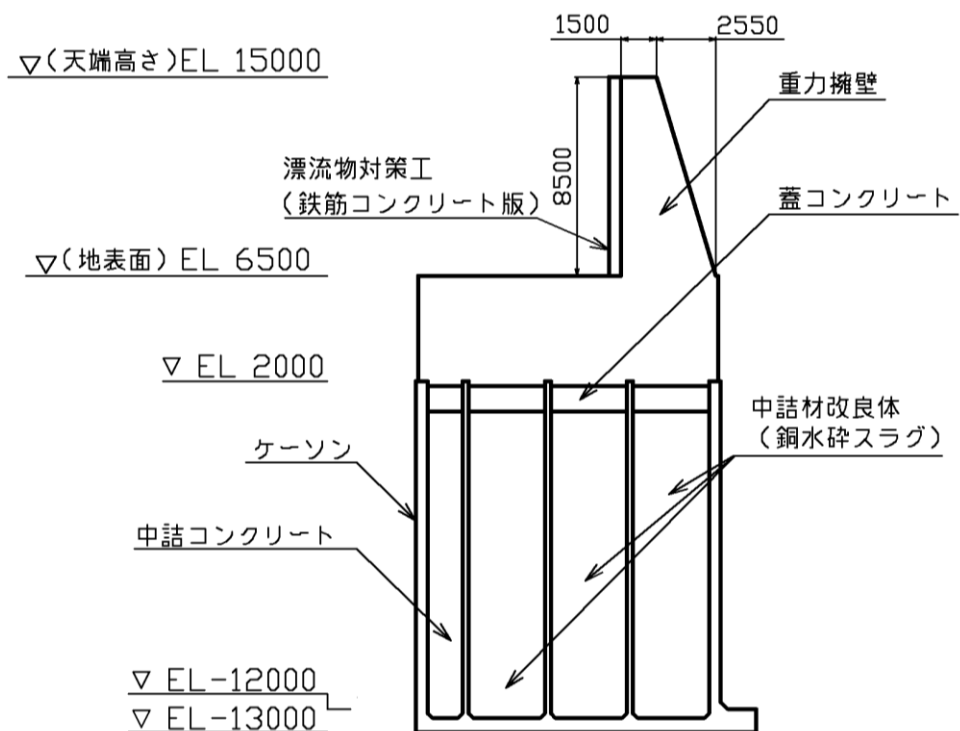


図 3-9(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（②-②断面）（断面図）

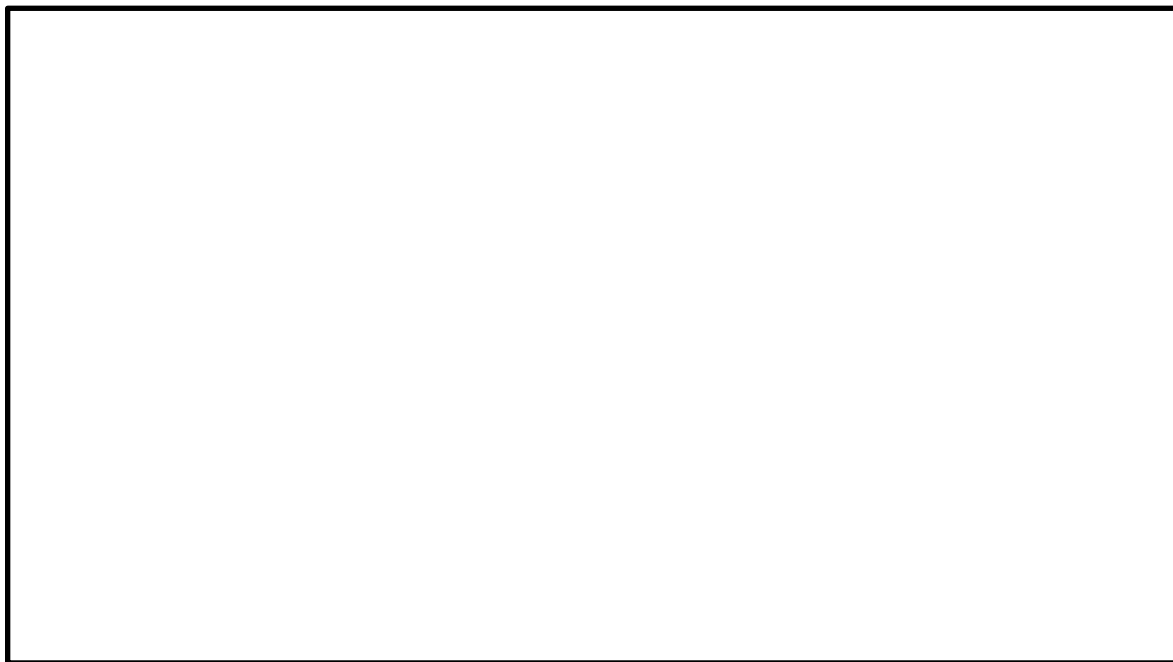


図 3-10(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（③-③断面）（正面図）

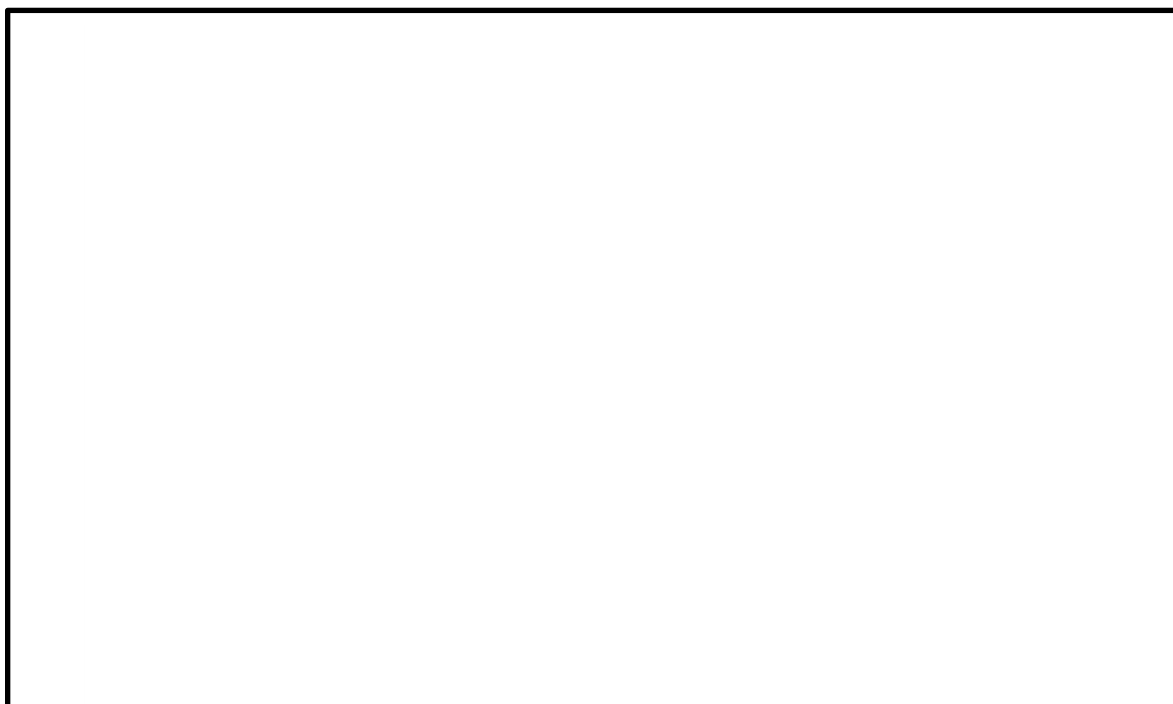


図 3-10(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（③-③断面）（断面図）

(単位：mm)

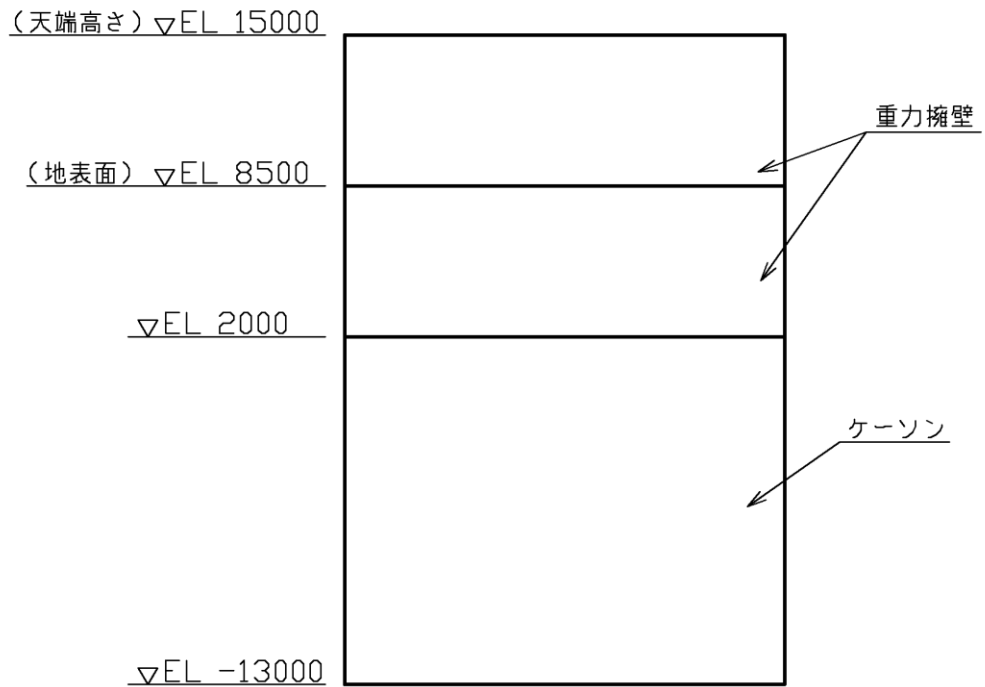


図 3-11(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（④-④断面）（正面図）

(単位：mm)

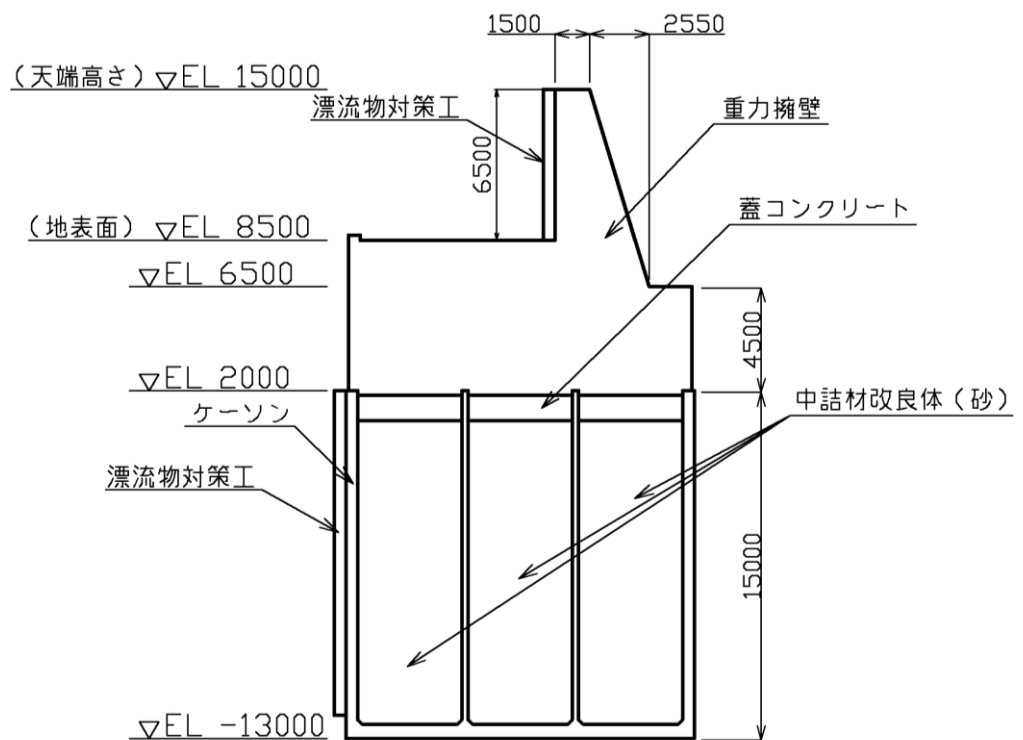


図 3-11(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（④-④断面）（断面図）

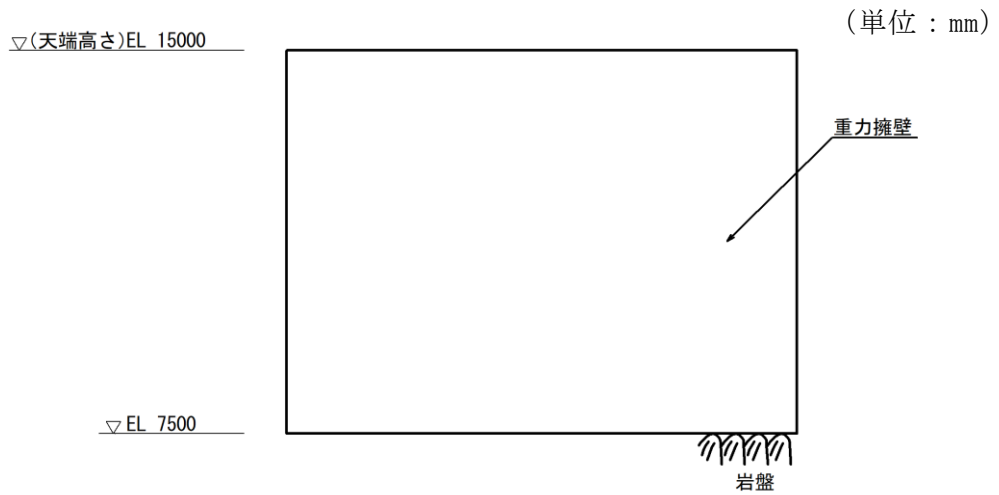


図 3-12 (1) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (⑤-⑤断面) (正面図)

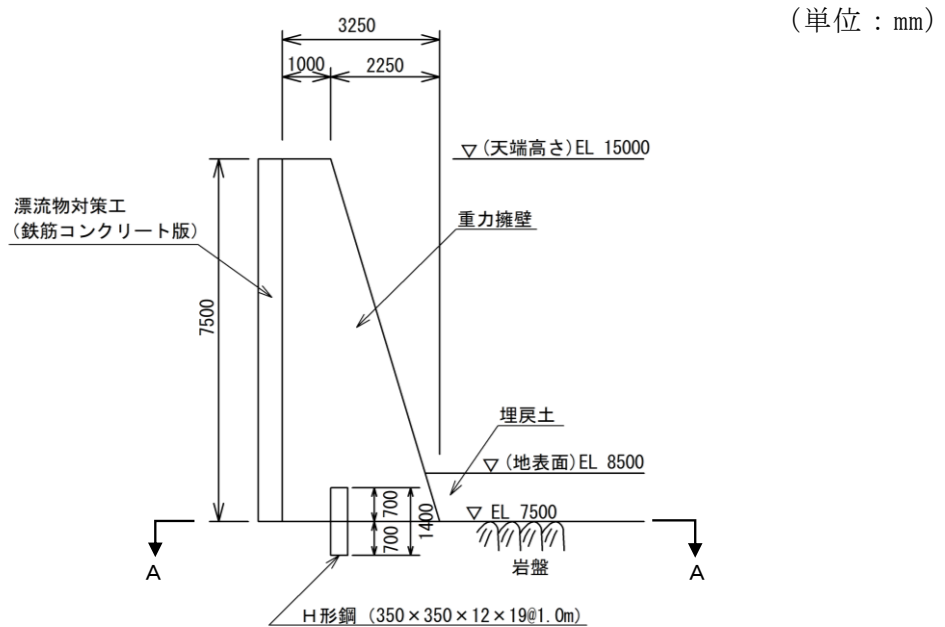
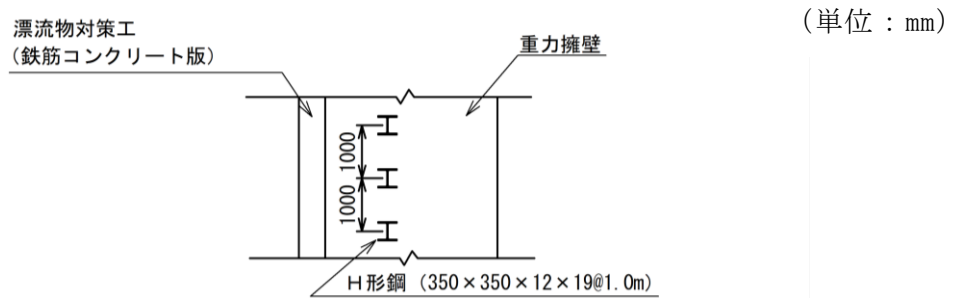


図 3-12 (2) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (⑤-⑤断面) (断面図)



(A-A断面)

図 3-12 (3) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (⑤-⑤断面) (平面図)

(単位：mm)

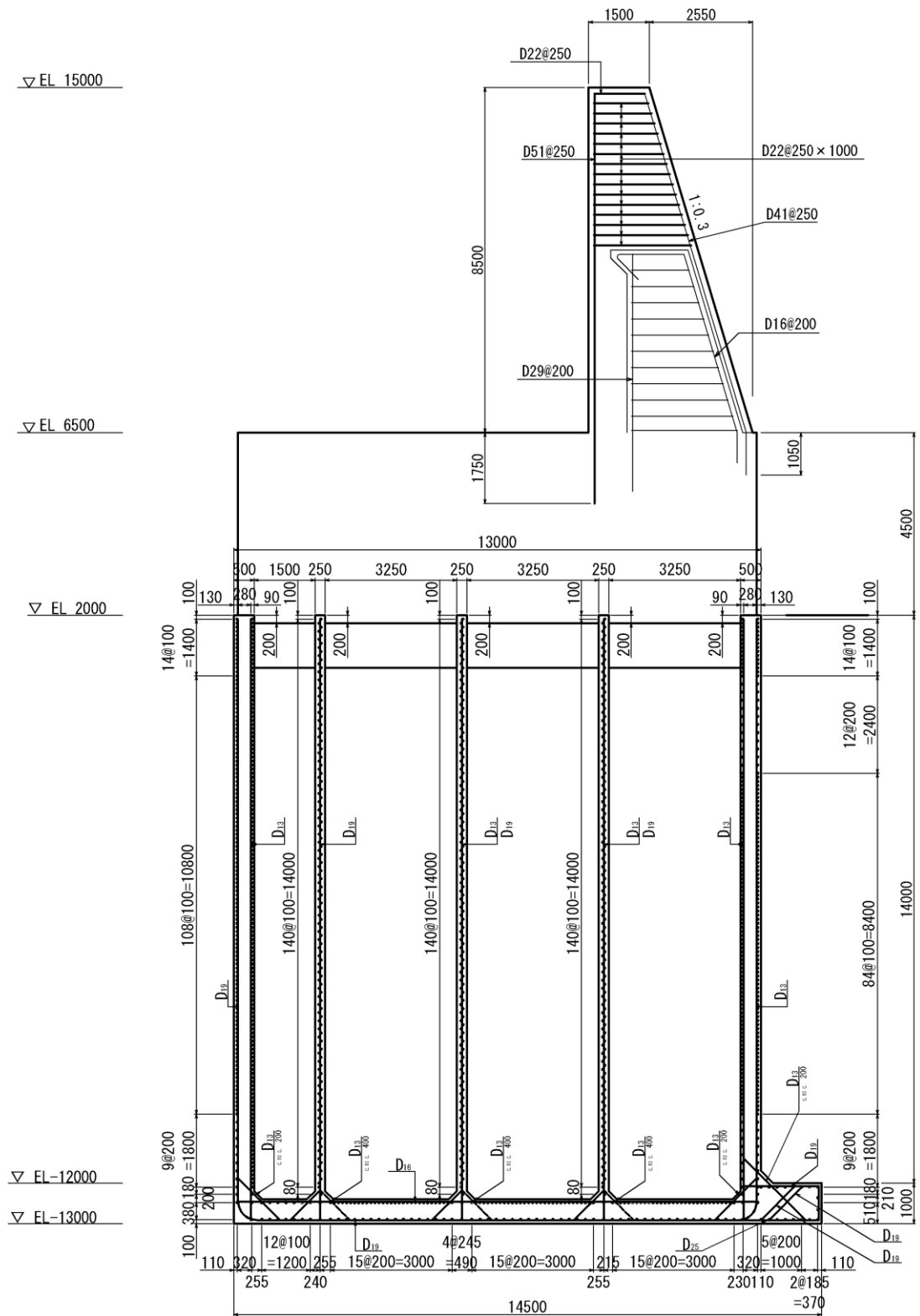


図 3-13 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（②-②断面）

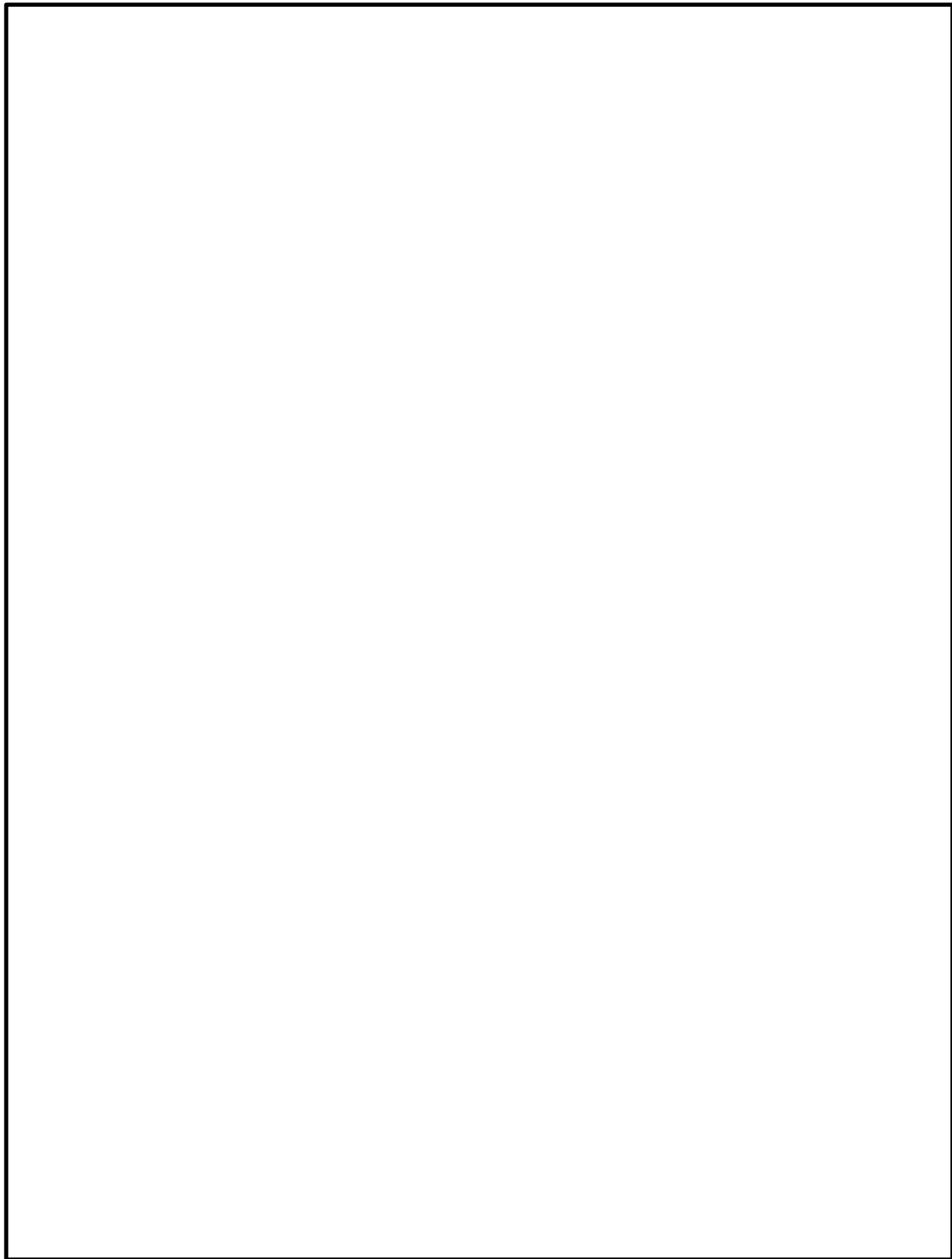


図 3-14(1) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（㉓-㉓断面）

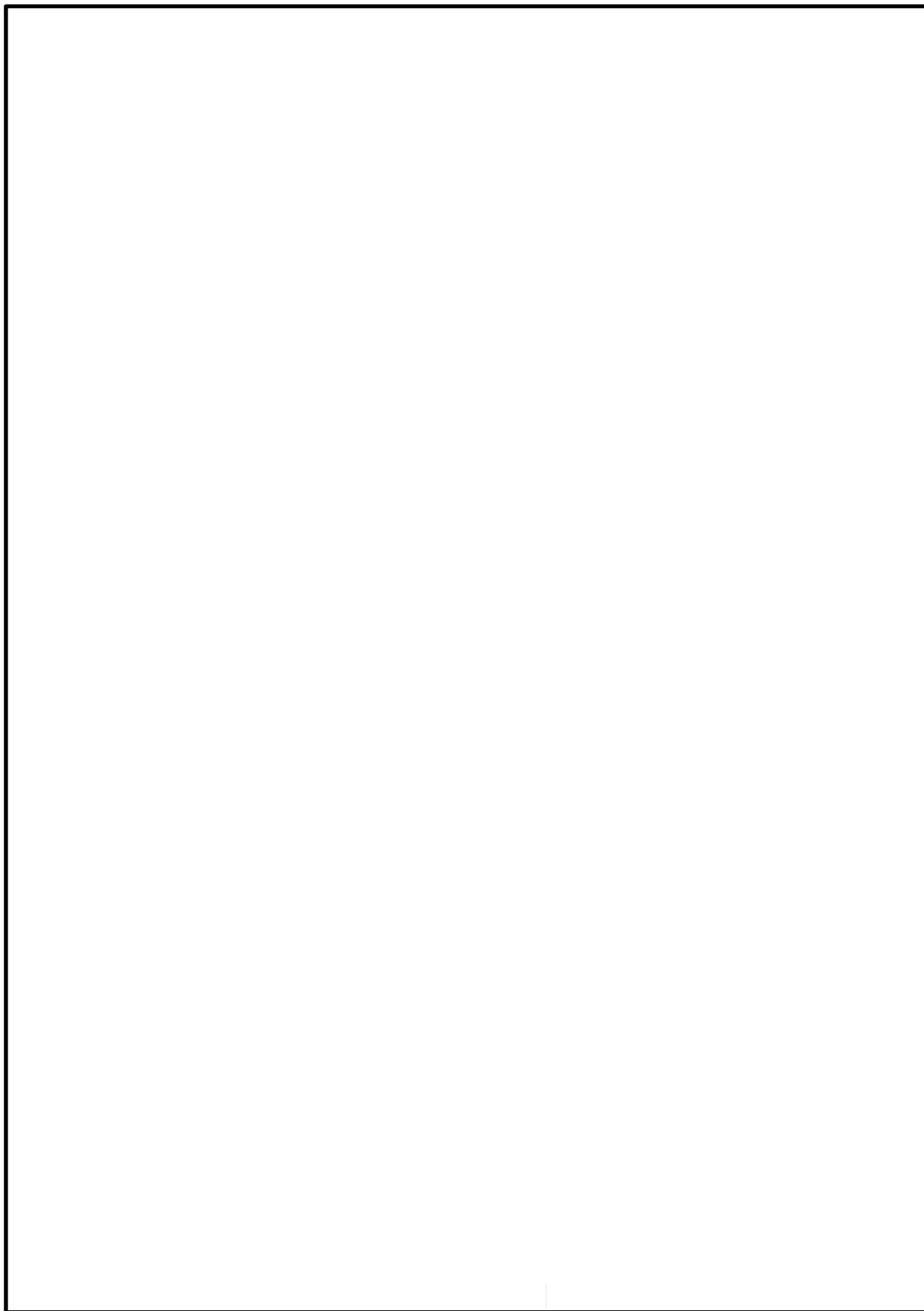


図 3-14(2) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（③-③断面，放水路ケーソン）

(単位：mm)

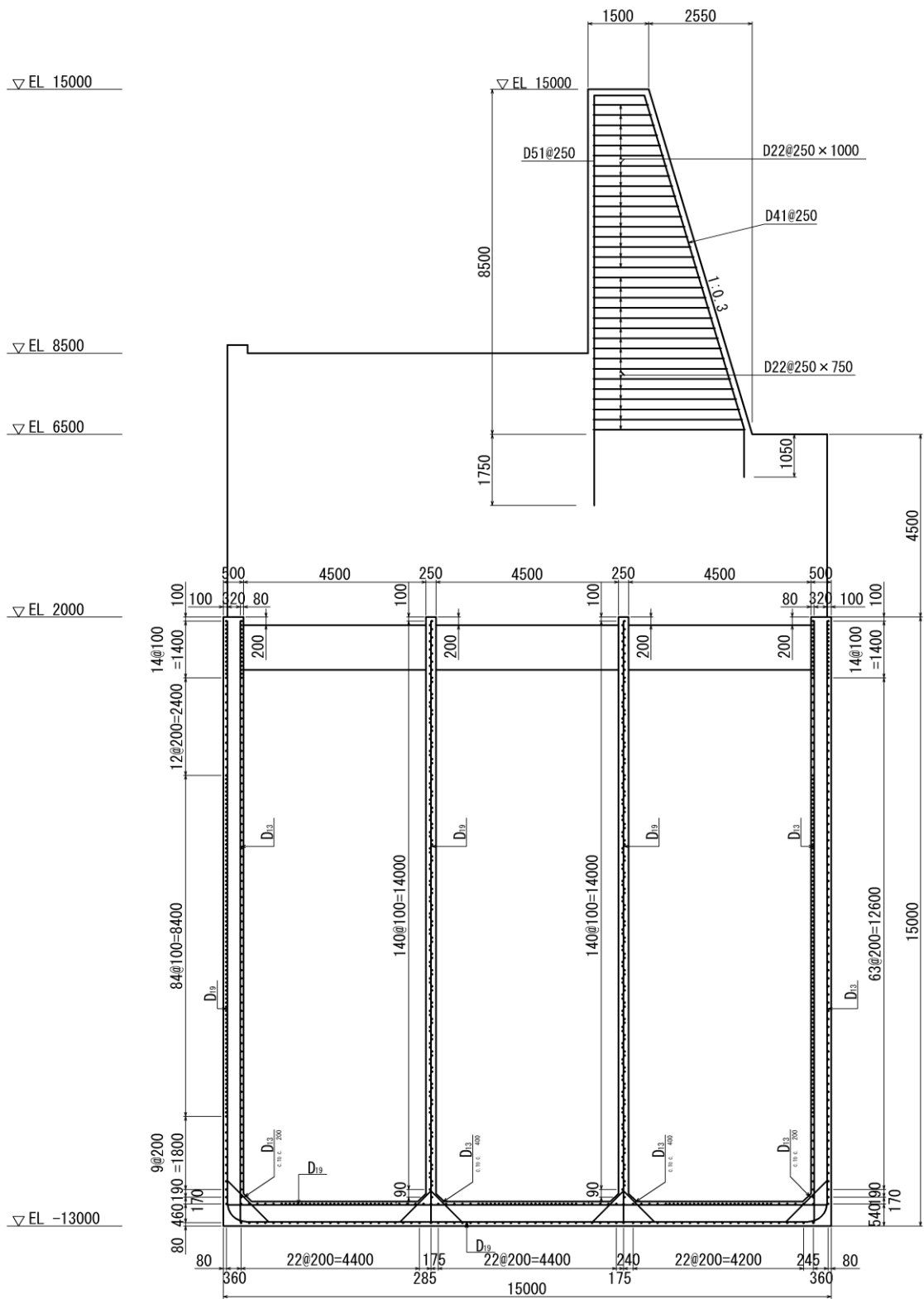


図 3-15 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（④-④断面）

(単位：mm)

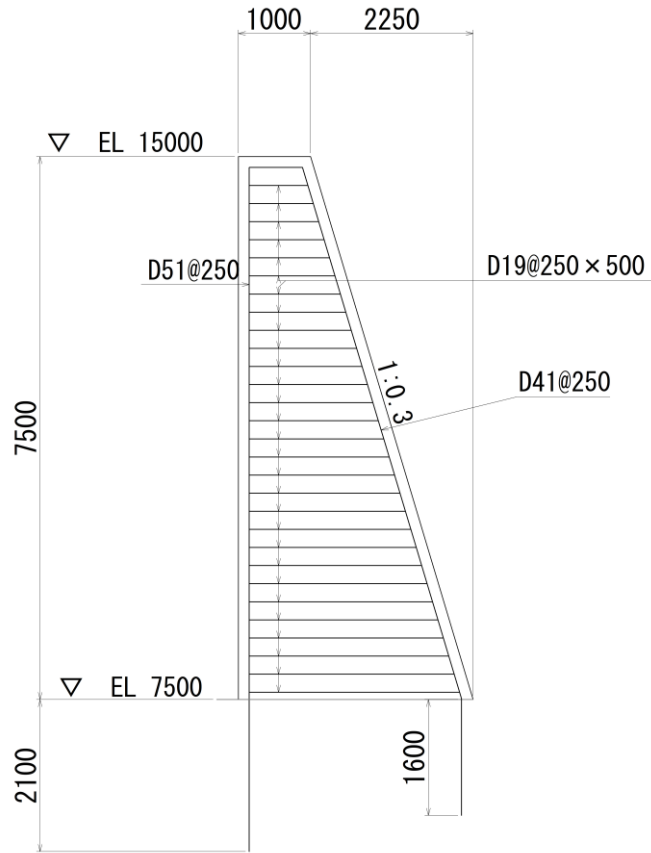


図 3-16 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（⑤-⑤断面）

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。

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 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	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、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。すべての基準地震動 S_s に対して実施した解析ケース①（基本ケース）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 σ) を考慮した解析 ケース	地盤物性のばら つき (-1 σ) を考慮した解析 ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	(++) *	○	基準地震動 S_s (6 波) に位相反転を考慮した地震動 (6 波) を加えた全 12 波に対し、ケース①（基本ケース）を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の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。

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-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」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，⑤－⑤断面及び⑦－⑦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。

(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」に示したものをを用いる。

(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用いる。

地盤のうち改良地盤⑥の残留強度及び引張強度を表 4-3、MMRのせん断強度及び引張強度を表 4-4 のとおり設定する。

表 4-3 改良地盤⑥の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 σ_t (kN/m ²)
	c' (N/mm ²)	ϕ' (°)	
改良地盤⑥	0.0	48.80	436

表 4-4 MMRのせん断強度及び引張強度

地盤	せん断強度 τ (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)
MMR	4.8	1.91

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

(3) 基礎地盤の支持性能評価

2次元有限要素法による基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は，防波壁（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]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表4-5に示す短期許容応力度とする。

表4-5 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[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

*2: ④-④断面及び⑤-⑤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

(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（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，表4-6に示す短期許容応力度とする。

表4-6 H形鋼の許容限界

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

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

(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）」を準用し、すべり安全率とする。表4-7にMMRの許容限界を示す。

表4-7 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）」を準用し、すべり安全率とする。表4-8に改良地盤⑥の許容限界を示す。

表4-8 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（シートジョイント）の許容限界は、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変位量とする。止水目地（シートジョイント）の変位量に対する許容限界を表4-9に示す。

表4-9 止水目地（シートジョイント）の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1936

(6) 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」に基づき設定する。

基礎地盤の許容限界を表 4-10 に示す。

表 4-10 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

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及び曲げ引張応力度並びに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。

a. 曲げ照査

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。すべり安全率の算定には，解析コード「C P O S T S K」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。

(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。すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(5) 止水目地

止水目地（シートジョイント）の地震時の変形性評価について、法線直交方向、法線方向及び深度方向いずれも、防波壁（波返重力擁壁）の地震時の最大変位量が許容限界以下であることを確認する。

x方向（法線直交方向）及びz方向（深度方向）の変位量は、図4-1に示すとおり、防波壁（波返重力擁壁）天端における地震時の変位量とし、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）の変位量は、隣接する防波壁（波返重力擁壁）の天端間の最大相対変位量とする。

相対変位の抽出位置を図4-2に示す。

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

ここで、

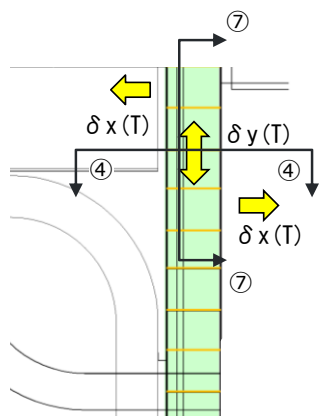
$\delta_x(T)$: x方向（法線直交方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_y(T)$: y方向（法線方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_z(T)$: z方向（深度方向）の地震時の最大相対変位量

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

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



$\delta z(T)$: ④-④断面・⑦-⑦断面の
変位量の大きい方を採用

図 4-1 地震時の変位量の概念図

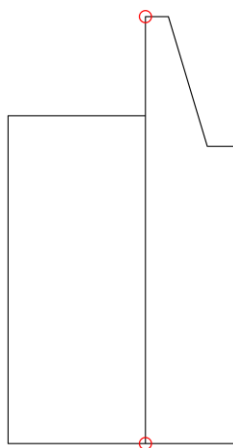


図 4-2 相対変位抽出位置

(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，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 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

a. 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次元線形構造解析モデルにおいて、ケーソンは線形シェル要素でモデル化し、重力擁壁及び中詰材（中詰コンクリート又は中詰材改良体）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4-3及び図4-4に示す。

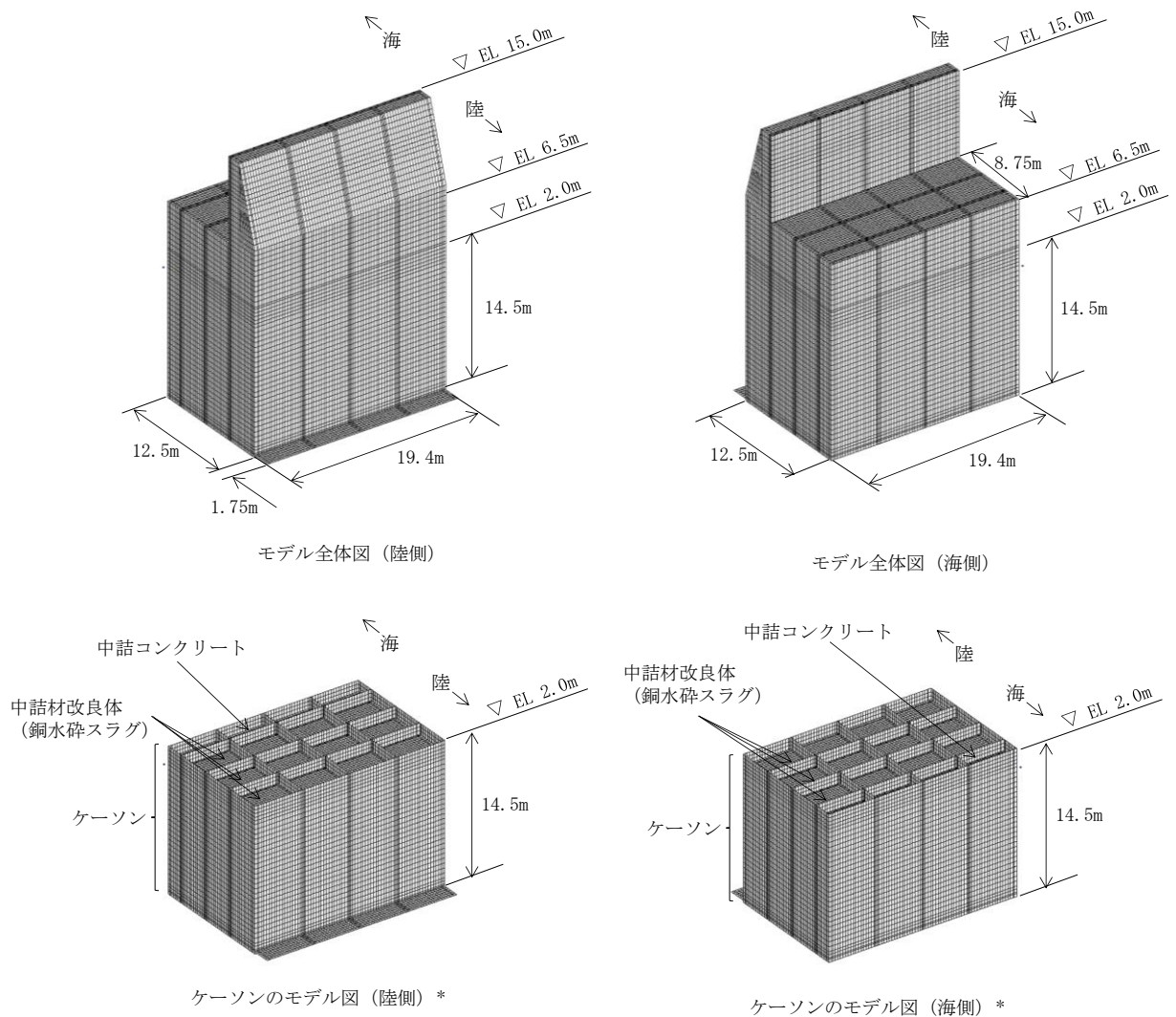
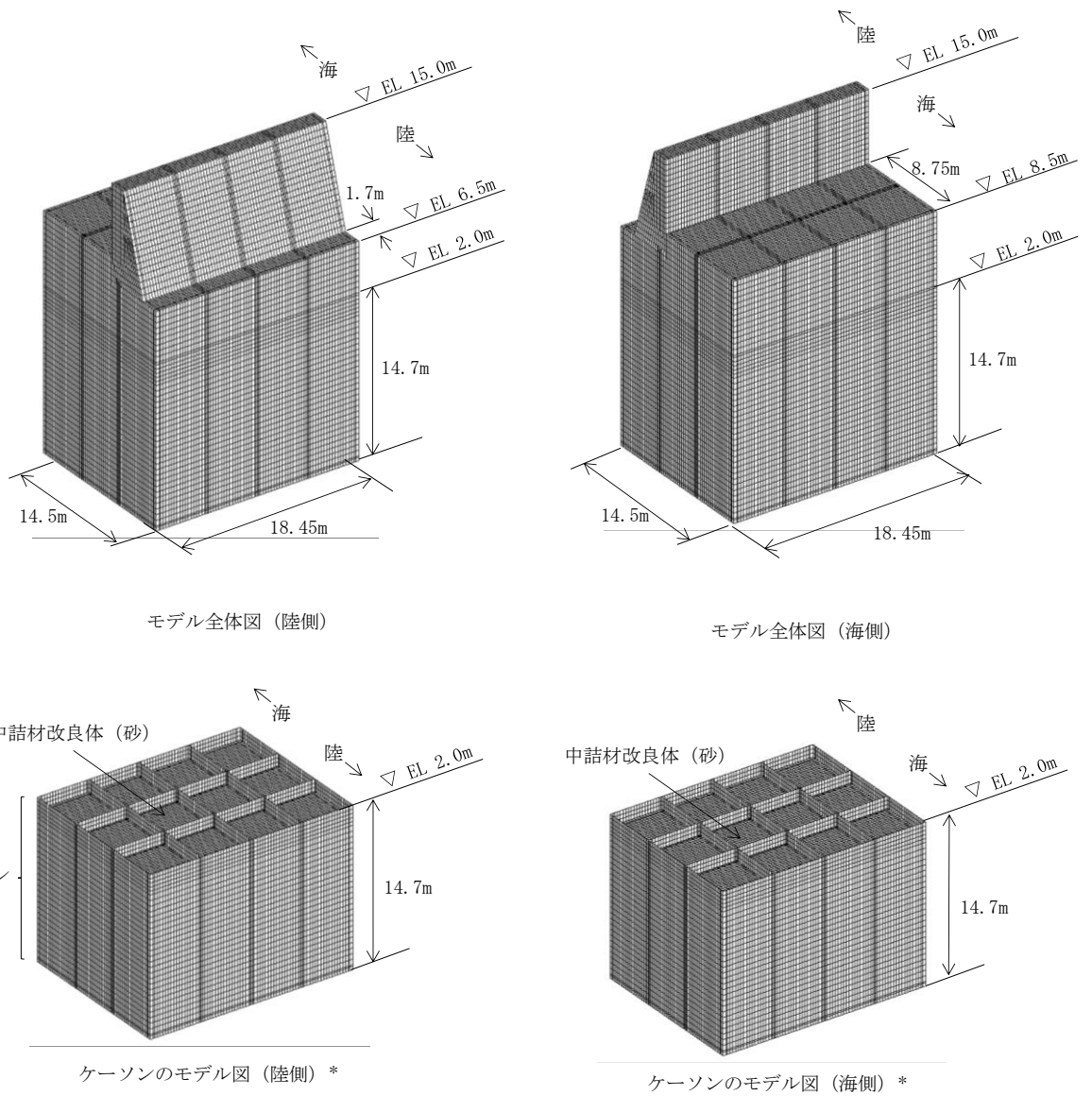


図4-3 3次元構造解析モデル (②-②断面)



注記* : 重力擁壁及び蓋コンクリートを非表示

図 4-4 3次元構造解析モデル (④-④断面)

(b) ③－③断面

イ 3次元線形構造解析

③－③断面の3次元線形構造解析モデルにおいて、放水路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。3次元線形構造解析モデルを図4-5に示す。

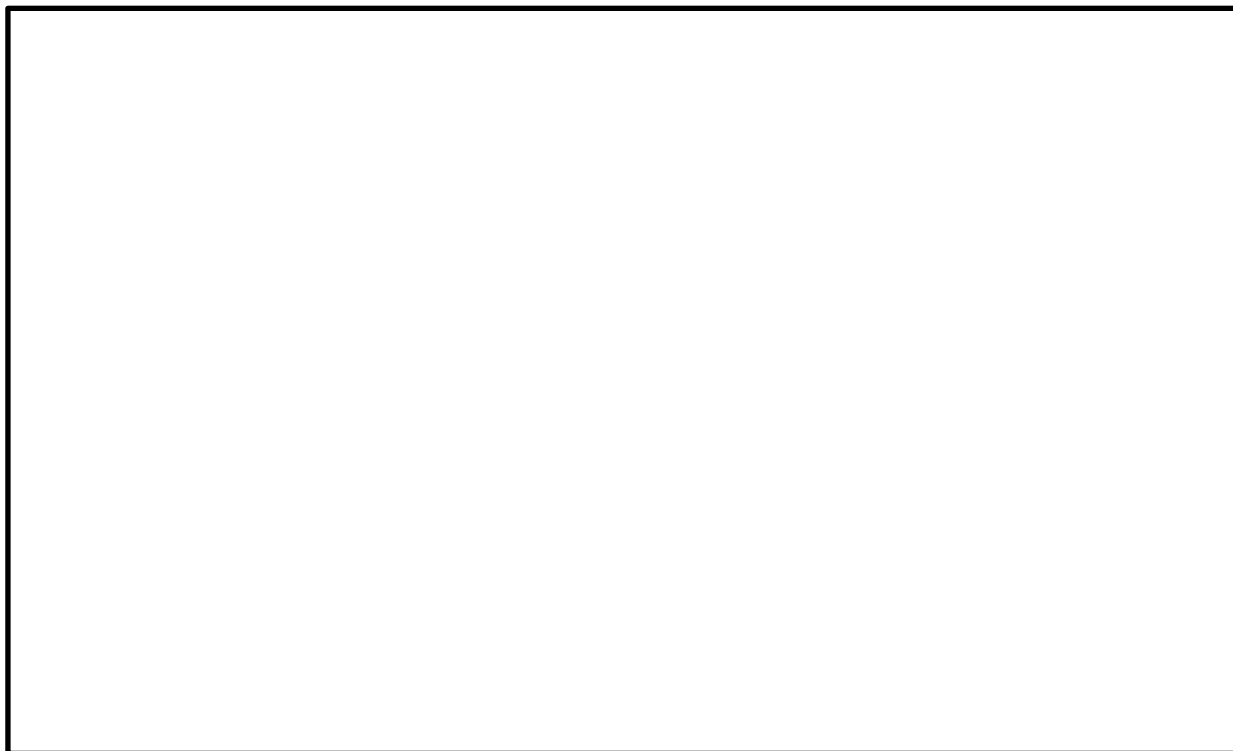


図4-5 3次元構造解析モデル（③－③断面）

ロ 3次元非線形構造解析

③－③断面の3次元非線形構造解析モデルにおいて重力擁壁は線形ソリッド要素でモデル化し、放水路ケーソンは、材料非線形特性を考慮するため、非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、ケーソン及び放水路ケーソンの底面には、地盤抵抗を表現するため、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき地盤ばねを設置する。

(2) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。

a. ケーソン及び放水路ケーソン（3次元線形構造解析）

ケーソン及び放水路ケーソンの使用材料を表4-11に、材料の物性値を表4-12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4-11 使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 24N/mm ²
鉄筋	SD345

表4-12 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]（（社）土木学会，2002年制定）

b. 放水路ケーソン（3次元非線形構造解析）

3次元非線形構造解析に用いる物性値は、基準類を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の物性値を表4-13及び表4-14に示す。

表4-13 コンクリートの物性値

項目	物性値	諸元
単位体積重量	24.0kN/m ³	コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2017年制定）
圧縮強度	24.0N/mm ²	
引張強度	1.91N/mm ²	
圧縮ピークひずみ	0.002	
破壊エネルギー	0.07830 N/mm	

表4-14 鉄筋の物性値

項目	物性値	諸元
ヤング係数	2.0×10 ⁵ N/mm ²	コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2012年制定）
降伏強度	345N/mm ²	

(3) 地下水位

設計地下水位は、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、ケーソン及び放水路ケーソンとする。

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]（（社）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（（社）日本電気協会）」に基づき設定する。表4-15に曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊（面外）に対する許容限界を示す。

せん断破壊（面内）に対しては、図4-6に示す「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）」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）を許容限界とし、（式1）に基づき設定する。

表4-15 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 ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	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、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]

（（社）土木学会，2002年制定）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

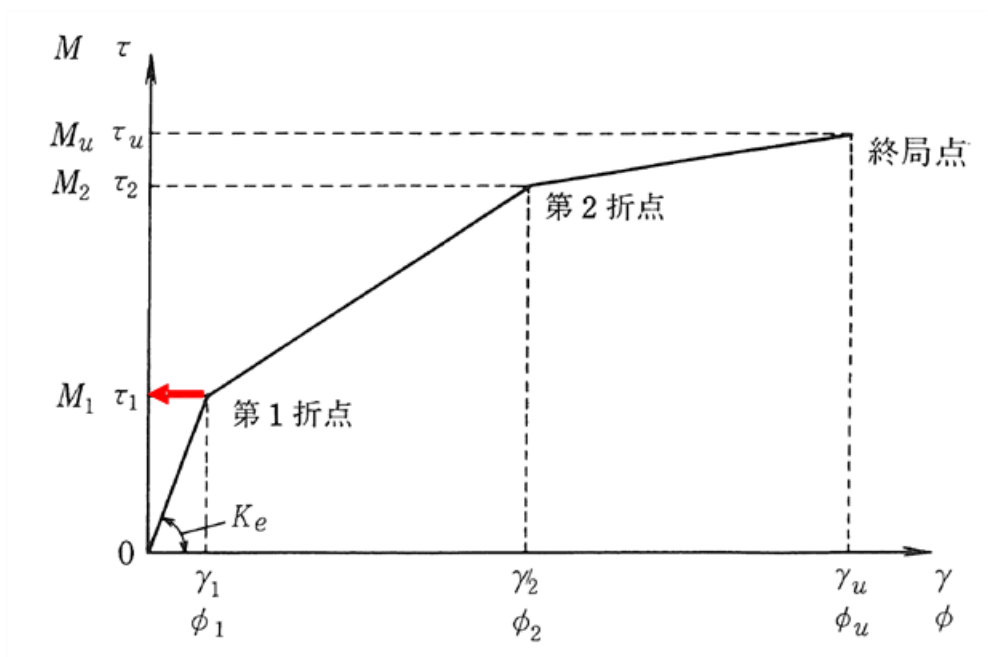


図 4-6 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ 関係）と評価式
 （「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987
 （（社）日本電気協会）」に加筆）

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

ここに、

τ_1 : 許容せん断応力度（面内）（ N/mm^2 ）

F_c : 設計基準強度（ N/mm^2 ）

σ_v : 鉛直方向軸応力度（ N/mm^2 ）

(2) ③-③断面

a. 3次元線形構造解析の許容限界

3次元線形構造解析による耐震評価における放水路ケーソンの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊（面外）に対する許容限界は、H形鋼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、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき、表4-16及び表4-17に示す応力度及び強度とする。せん断破壊（面内）に対する許容限界は、図4-6に示す「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」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）を設定する。

表4-16 放水路ケーソンの許容限界（圧縮応力度及びせん断応力度（面外））

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（面外） τ_{a1}	0.45	0.67

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

表4-17 放水路ケーソンの許容限界（引張強度）

種別	（引張）材料強度 (N/mm ²)	
コンクリート (f' _{ck} =24N/mm ²)	引張強度 f_{tk} *	1.91

注記*：「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」よりコンクリートの設計基準強度 f'_{ck} を用いて、算定式 $0.23f'_{ck}{}^{2/3}$ により算定

b. 3次元非線形構造解析の許容限界

3次元非線形構造解析による耐震評価における放水路ケーソンの許容限界は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」に基づき許容ひずみを設定する。設定する許容限界は、せん断ひずみ 2000μ (2/1000) とする。

4.2.6 評価方法

(1) ②－②断面及び④－④断面

3次元線形構造解析により得られた曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度及び曲げ引張応力度並びにせん断力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

a. 3次元線形構造解析

3次元線形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。

b. 3次元非線形構造解析

3次元非線形構造解析に基づいて算定したひずみが「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 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)			
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 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)			
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 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)			
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 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)			
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 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)			
S s - D (-+)	①	5491	1367	155	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 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)			
S s - N 1 (++)	①	8700	1979	245	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 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)			
S s - D (-+)	③	5409	1266	217	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 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)			
S s - D (++)	③	3837	1196	145	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 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)			
S s - D (-+)	②	1089	0.36	0.64	0.57

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 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)			
S s - N 2 (E W) (++)	①	1470	0.49	0.64	0.77

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 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)			
S s - D (-+)	③	1249	0.44	0.67	0.65

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 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)			
S s - D (++)	③	770	0.29	0.67	0.43

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。

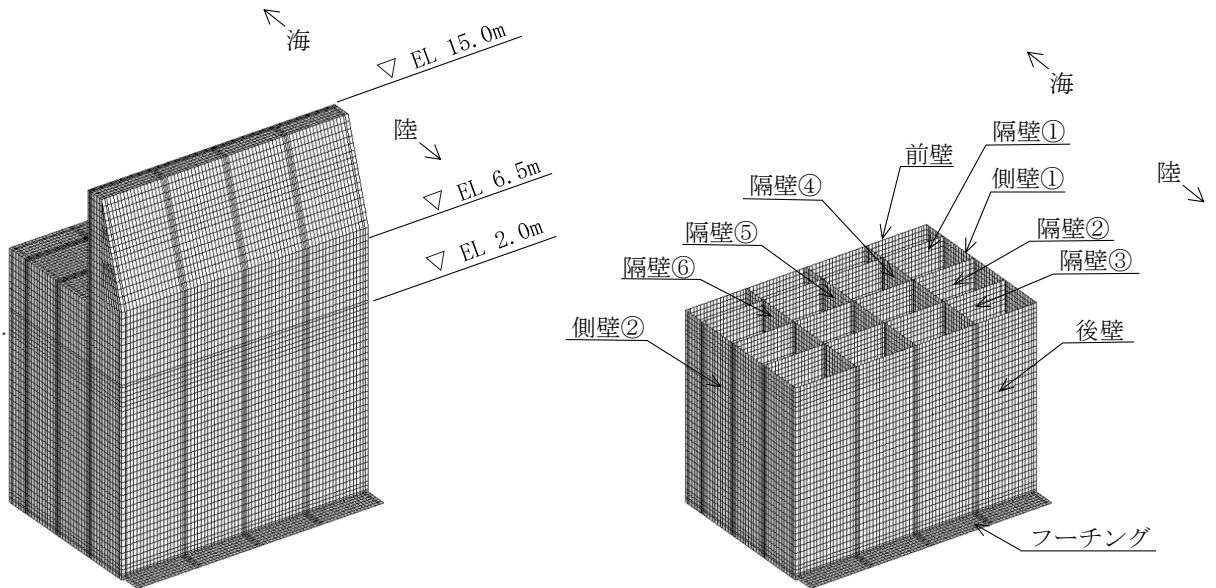


図5-1(1) 評価対象位置図 (②-②断面)

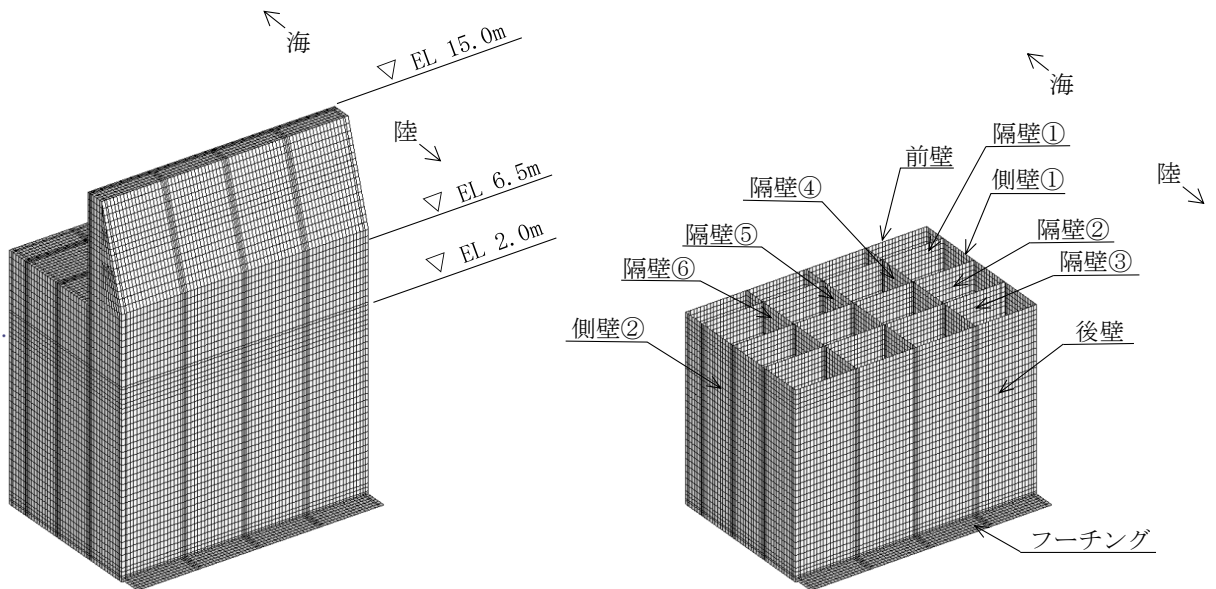


図5-1(2) 評価対象位置図 (④-④断面)

(1) 曲げ照査

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 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	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 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	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 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	S s - N 1 (++)	②	124	121	197.1	294	0.68
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	0.33
後壁	S s - D (-+)	③	7	244	94.2	294	0.33
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 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	S _s -N1 (-+)	②	208	110	190.7	294	0.65
前壁	S _s -N1 (-+)	②	11	227	93.5	294	0.32
後壁	S _s -N1 (++)	①	7	211	82.3	294	0.28
側壁①	S _s -N1 (-+)	③	1	164	70.0	294	0.24
側壁②	S _s -N1 (-+)	③	1	164	70.0	294	0.24
隔壁①	S _s -N1 (-+)	②	0	195	121.1	294	0.42
隔壁②	S _s -N1 (++)	①	0	164	101.4	294	0.35
隔壁③	S _s -N1 (-+)	③	0	183	112.8	294	0.39
隔壁④	S _s -N1 (-+)	③	0	197	120.9	294	0.42
隔壁⑤	S _s -N1 (-+)	③	0	183	112.8	294	0.39

(2) せん断照査

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（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、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 5-6(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 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	S _s -N1 (++)	②	129	0.29	0.67	0.43
フーチング	S _s -D (-+)	③	149	0.19	0.67	0.28
前壁	S _s -D (++)	③	68	0.20	0.67	0.30
後壁	S _s -N1 (++)	②	113	0.31	0.67	0.47
側壁①	S _s -N1 (++)	②	67	0.16	0.67	0.24
側壁②	S _s -N1 (++)	②	67	0.16	0.67	0.24
隔壁①	S _s -N2 (EW) (++)	①	11	0.10	0.67	0.15
隔壁②	S _s -D (-+)	①	13	0.12	0.67	0.18
隔壁③	S _s -D (+-)	①	9	0.08	0.67	0.12
隔壁④	S _s -N1 (++)	②	5	0.05	0.67	0.08
隔壁⑤	S _s -D (++)	①	0	0.00	0.67	0.01
隔壁⑥	S _s -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 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	S _s -N1 (-+)	②	207	0.46	0.67	0.69
前壁	S _s -D (--)	①	133	0.37	0.67	0.55
後壁	S _s -N1 (-+)	②	43	0.11	0.67	0.16
側壁①	S _s -N1 (-+)	②	82	0.20	0.67	0.31
側壁②	S _s -N1 (-+)	②	82	0.20	0.67	0.31
隔壁①	S _s -N1 (-+)	②	25	0.23	0.67	0.35
隔壁②	S _s -D (-+)	③	16	0.15	0.67	0.23
隔壁③	S _s -N1 (-+)	②	7	0.06	0.67	0.09
隔壁④	S _s -D (-+)	①	0	0.00	0.67	0.01
隔壁⑤	S _s -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) 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	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) 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	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，放水路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。

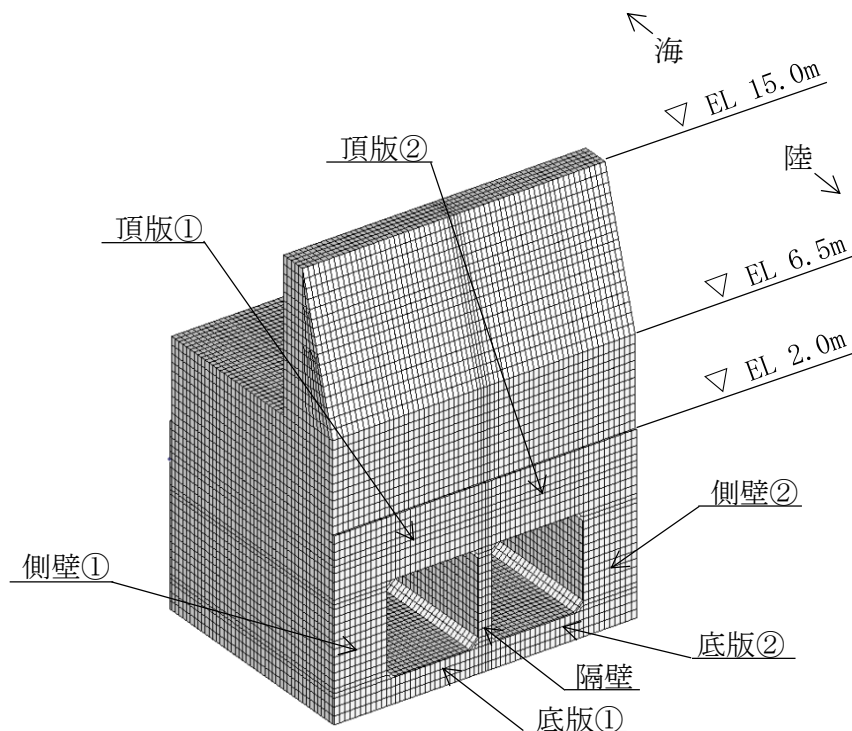


図5-2 評価対象位置図（③-③断面）

(1) 構造部材の健全性に対する評価結果

③-③断面において，放水路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～表5-12に示す。

この結果から，放水路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	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
			圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
底版①	S s - N 1 (-+)	③	4.2	13.5	0.32
底版②	S s - N 1 (-+)	③	4.2	13.5	0.32
側壁①	S s - D (+-)	①	7.1	13.5	0.53
側壁②	S s - D (+-)	①	7.1	13.5	0.53
隔壁	S s - N 1 (-+)	③	9.0	13.5	0.67
頂版①	S s - D (+-)	①	3.4	13.5	0.26
頂版②	S s - D (+-)	①	3.4	13.5	0.26

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 ²)	照査値 σ_s/f_{tk}
			引張応力度 σ_s (N/mm ²)		
底版①	S s - N 1 (-+)	①	1.11	1.91	0.59
底版②	S s - N 1 (-+)	①	1.11	1.91	0.59
側壁①	S s - N 1 (-+)	②	0.98	1.91	0.52
側壁②	S s - N 1 (-+)	②	0.98	1.91	0.52
隔壁	S s - N 1 (-+)	①	1.80	1.91	0.95*
頂版①	S s - D (+-)	①	1.50	1.91	0.79
頂版②	S s - D (+-)	①	1.50	1.91	0.79

注記*：応力度の平均化を実施した結果のうち最大の照査値を示す。

表 5-10 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

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生応力	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
			せん断応力度 τ_c (N/mm ²)		
底版①	S s - N 1 (-+)	③	0.72	0.67	1.07* ¹ 【0.65】* ²
底版②	S s - N 1 (-+)	③	0.72	0.67	1.07* ¹ 【0.65】* ²
側壁①	S s - D (+-)	①	0.14	0.67	0.22* ¹
側壁②	S s - D (+-)	①	0.14	0.67	0.22* ¹
隔壁	S s - N 1 (-+)	③	0.00	0.67	0.00* ¹
頂版①	S s - D (+-)	①	0.44	0.67	0.66* ¹
頂版②	S s - D (+-)	①	0.44	0.67	0.66* ¹

注記*1：応力度の平均化を実施した結果のうち最大の照査値を示す。

*2：「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づく許容限界を超える範囲は局所的で，部材の大部分において健全であることから部材全体として機能が損なわれていないことを確認した。また，参考として，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－」（（社）日本建築学会，1999 改定）」に基づき，短期許容せん断応力度 1.11 (N/mm²) を許容値とした場合の照査値を括弧内【 】に示す。

表 5-11 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

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生応力	許容せん断 応力度 (面内) τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_1
			せん断応力度 τ_c (N/mm ²)		
底版①	S s - N 1 (-+)	③	0.80	1.51	0.54
底版②	S s - N 1 (-+)	③	0.80	1.51	0.54
側壁①	S s - N 1 (-+)	③	1.12	1.51	0.75* ¹
側壁②	S s - N 1 (-+)	③	1.12	1.51	0.75* ¹
隔壁	S s - N 1 (-+)	③	1.84	1.51	1.22* ^{1, *2}
頂版①	S s - N 1 (++)	①	0.56	1.51	0.38
頂版②	S s - N 1 (++)	①	0.56	1.51	0.38

注記*1：応力度の平均化を実施した結果のうち最大の照査値を示す。

*2：照査値が 1.0 を以上となるため，3次元非線形構造解析において，せん断（面内）に係るひずみによる評価を実施する。

表 5-12 隔壁のせん断破壊（面内）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	発生ひずみ ϵ_c	許容ひずみ ϵ_{ca}	照査値 ϵ_c/ϵ_{ca}
隔壁	S s - N 1 (-+)	③	536 μ	2000 μ	0.27

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5-13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5-13 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 τ_H (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{Ha} (N/mm ²)	照査値 τ_H/τ_{Ha}
		せん断力 Q_H (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5-14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5-14(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5-14(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	8.48

表5-14(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

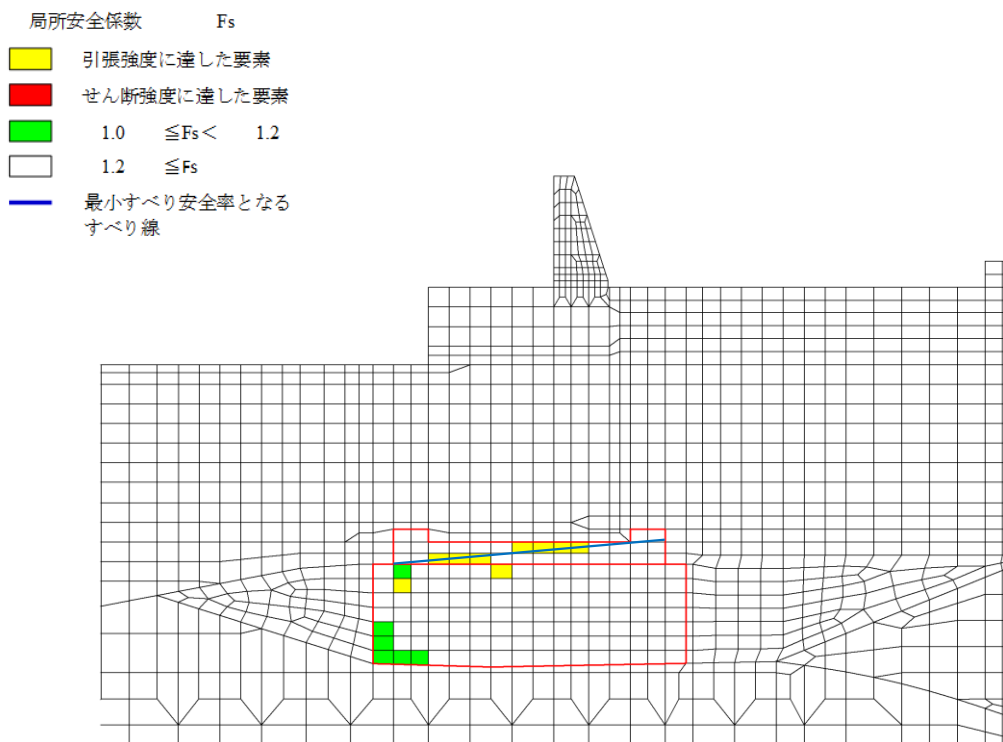


図 5-3(1) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (②-②断面, $S_s - D(++)$, $t=24.73s$)

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)

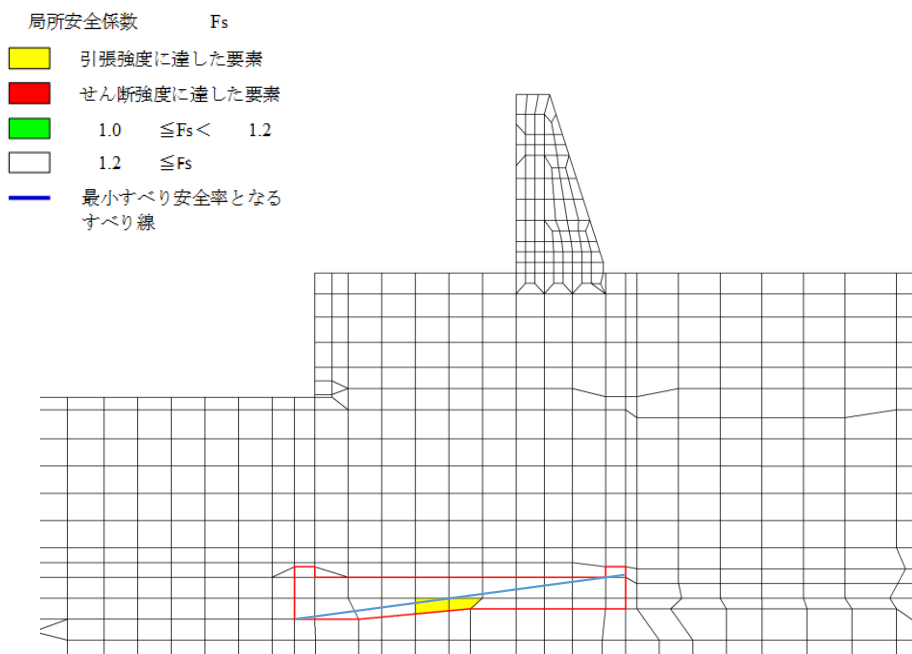


図 5-3(2) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (③-③断面, $S_s - N1(++)$, $t=8.26s$)

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)

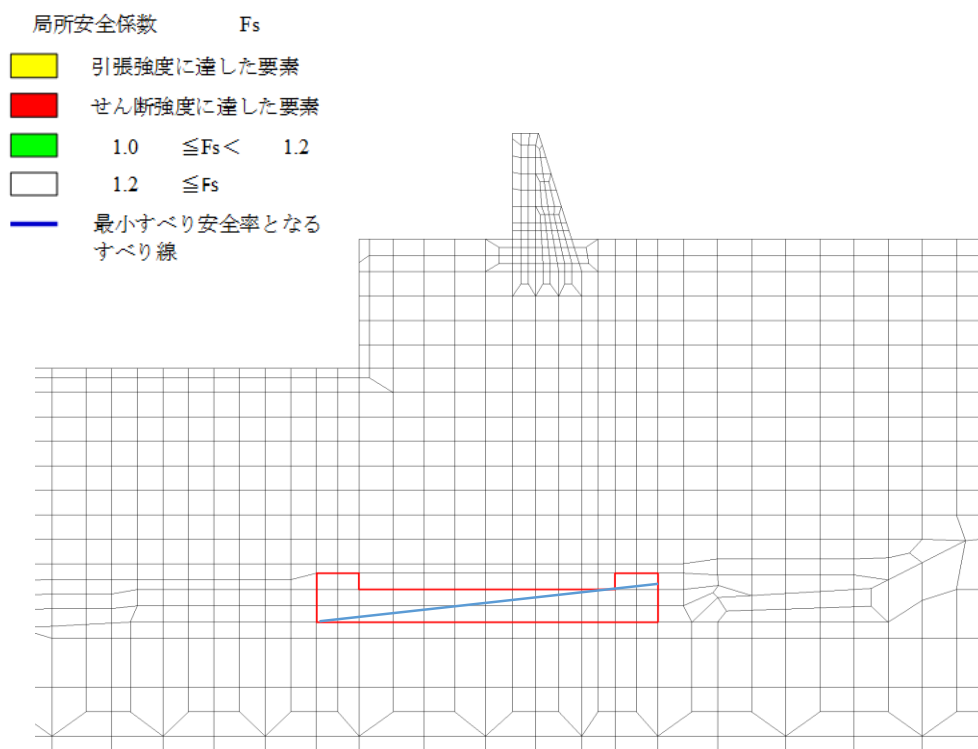


図 5-3(3) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (④-④断面, S s - N 1 (-+), t=7.62s)

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

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5-15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5-15 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

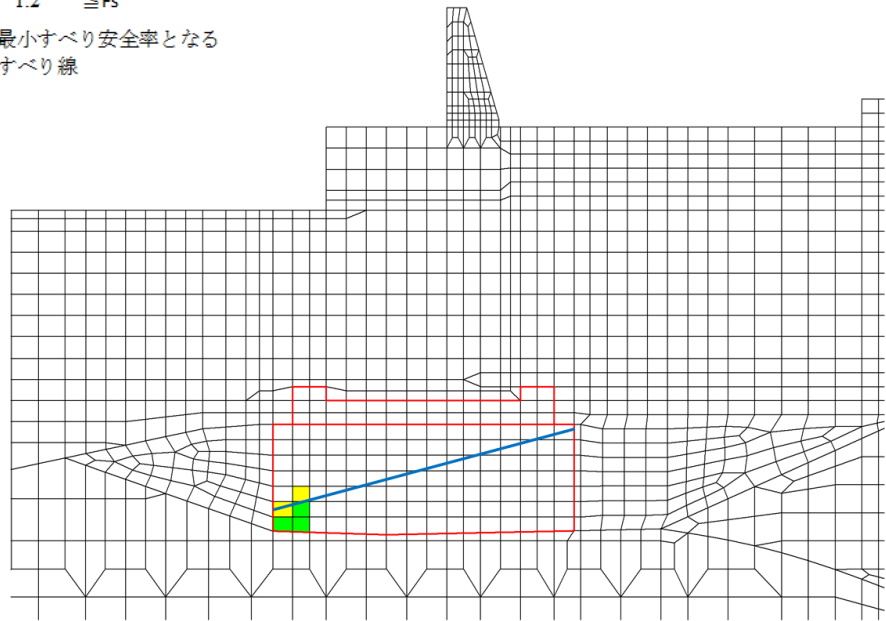


図5-4 改良地盤⑥の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
(②-②断面，S s - D (--), $t=10.26s$)

解析ケース①：基本ケース

5.6 止水目地

地震時の止水目地（シートジョイント）の変位量に対する照査結果を表 5-16 に示す。

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

表 5-16 止水目地（シートジョイント）の変位量に対する照査結果

方向	地震動	解析 ケース	地震時の変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ④-④断面 (法線直交方向)	S s - N 1 (-+)	①	599	-
δy : ⑦-⑦断面 (法線方向)	S s - D (+-)	③	58	-
δz : ⑦-⑦断面 (深度方向)	S s - N 1 (++)	②	159	-
合成方向 (3方向合成)	-	-	622	1936

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 5-17～表 5-20 に，基礎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許容限界以下であることを確認した。

表 5-17(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 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d / f'_a
S s - D (+-)	①	2.8	24.0	0.12

表 5-17(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 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
S s - D (++)	②	2.1	3.0	0.72

表 5-17(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 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
S s - D (--)	①	2.0	9.8	0.21

表 5-18(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 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d / f'_a
S _s -N1 (++)	③	1.7	24.0	0.08

表 5-18(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 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
S _s -N1 (-+)	①	2.8	9.8	0.29

表 5-19(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 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d / f'_a
S _s -D (-+)	③	2.8	24.0	0.12

表 5-19(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 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
S _s -D (--)	①	2.9	9.8	0.30

表 5-20 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 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
S _s -N2 (EW) (-+)	①	1.9	9.8	0.20

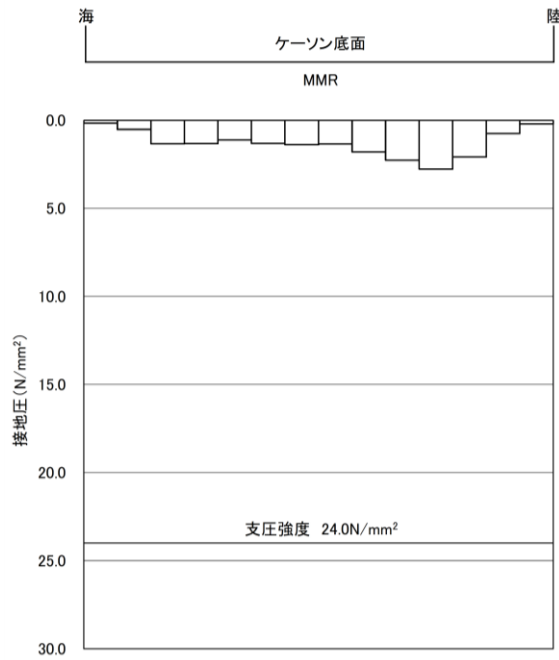


図 5-5(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (②-②断面, MMR)
 (S s - D (+ -))
 解析ケース①：基本ケース

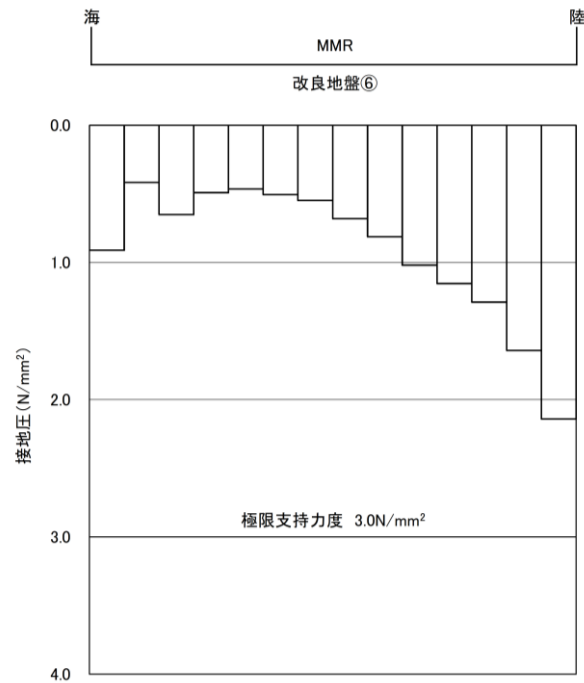


図 5-5(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 改良地盤⑥)
 (S s - D (+ +))

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)

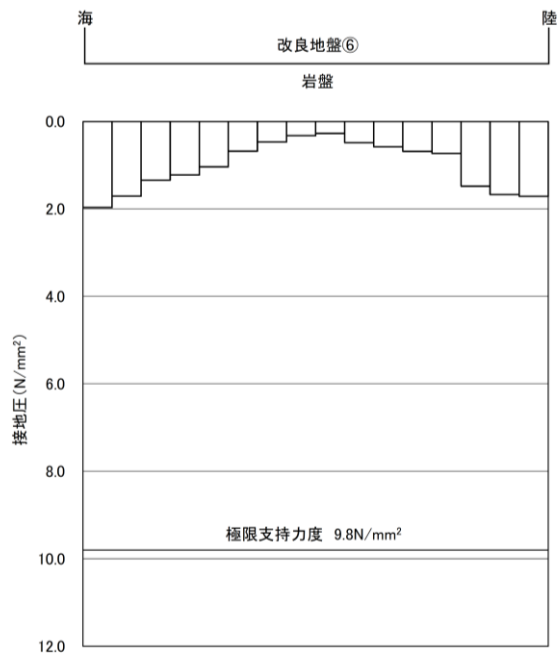


図 5-5(3) 基礎地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 岩盤)
 (S s - D (- -))
 解析ケース①：基本ケース

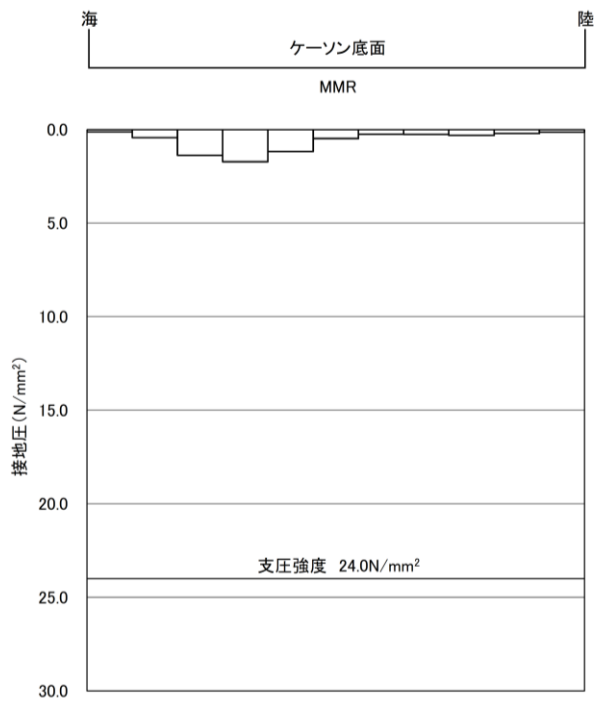


図 5-6(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (③-③断面, MMR)
 (S s - N 1 (+ +))

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)

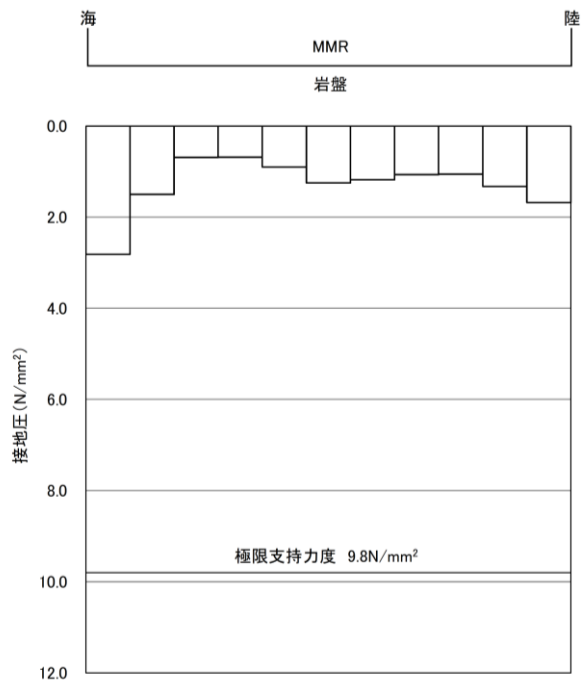


図 5-6(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (③-③断面, 岩盤)
 (S_s-N1 (-+))
 解析ケース①: 基本ケース

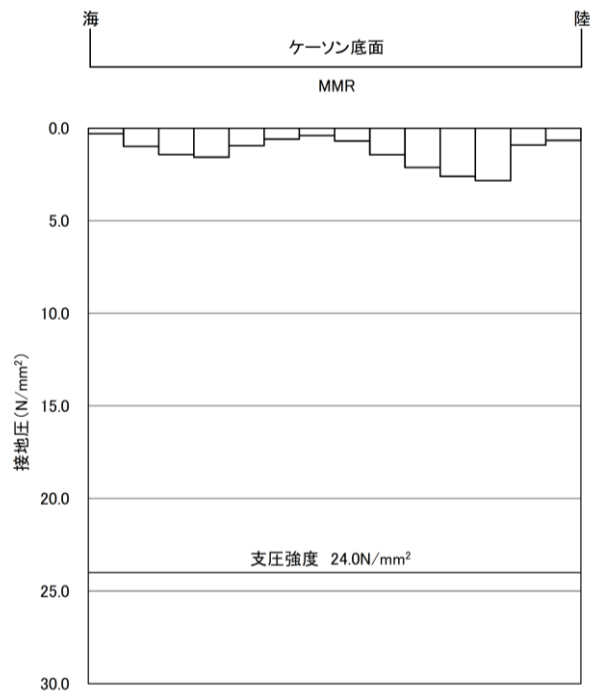


図 5-7(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (④-④断面, MMR)
 (S_s-D (-+))
 解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

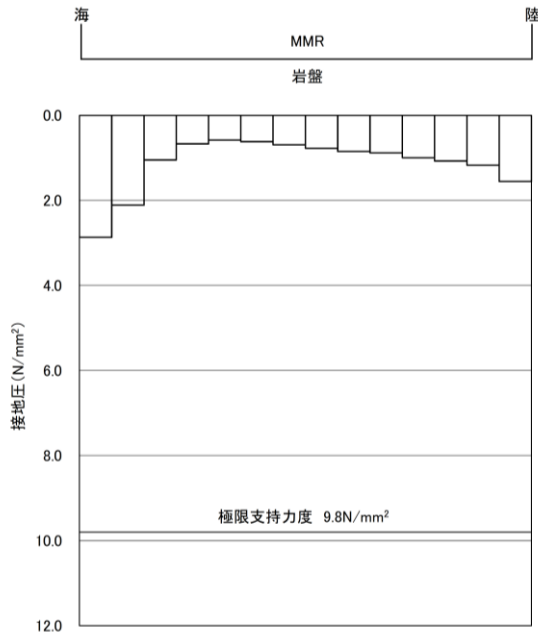


図 5-7(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)
 (S_s-D (---))
 解析ケース①: 基本ケース

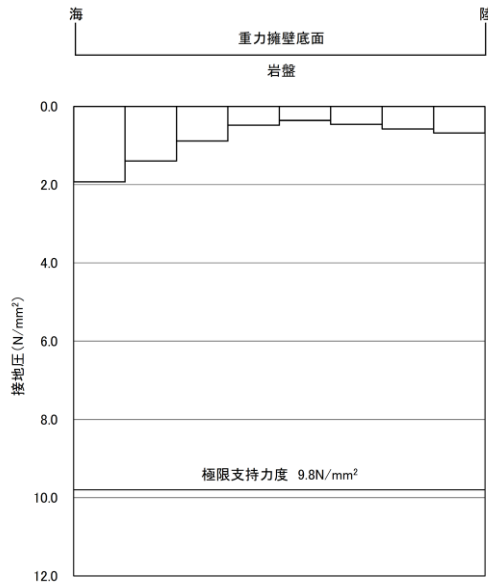


図 5-8 基礎地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)
 (S_s-N2 (EW) (-+))
 解析ケース①: 基本ケース

6. 漂流物対策工

6.1 概要

津波防護施設である防波壁（波返重力擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震性について、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防波壁（波返重力擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認する。

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

6.2 基本方針

6.2.1 位置

防波壁（波返重力擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の位置図を図 6-1 に、防波壁（波返重力擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分図を図 6-2，漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分一覧を表 6-1 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）には漂流物対策工⑥，漂流物対策工⑦及び漂流物対策工⑧を設置する。

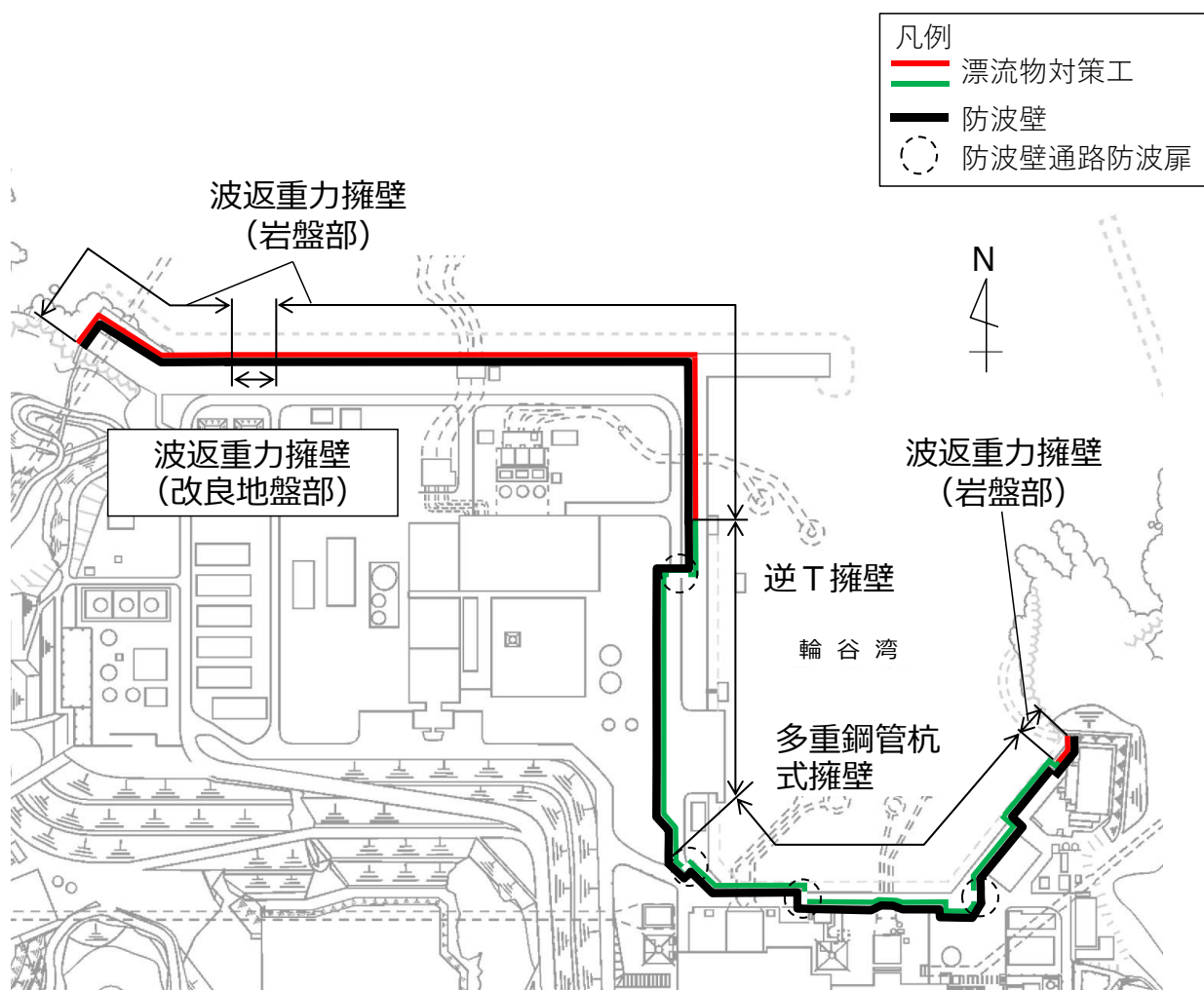


図 6-1 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の位置図

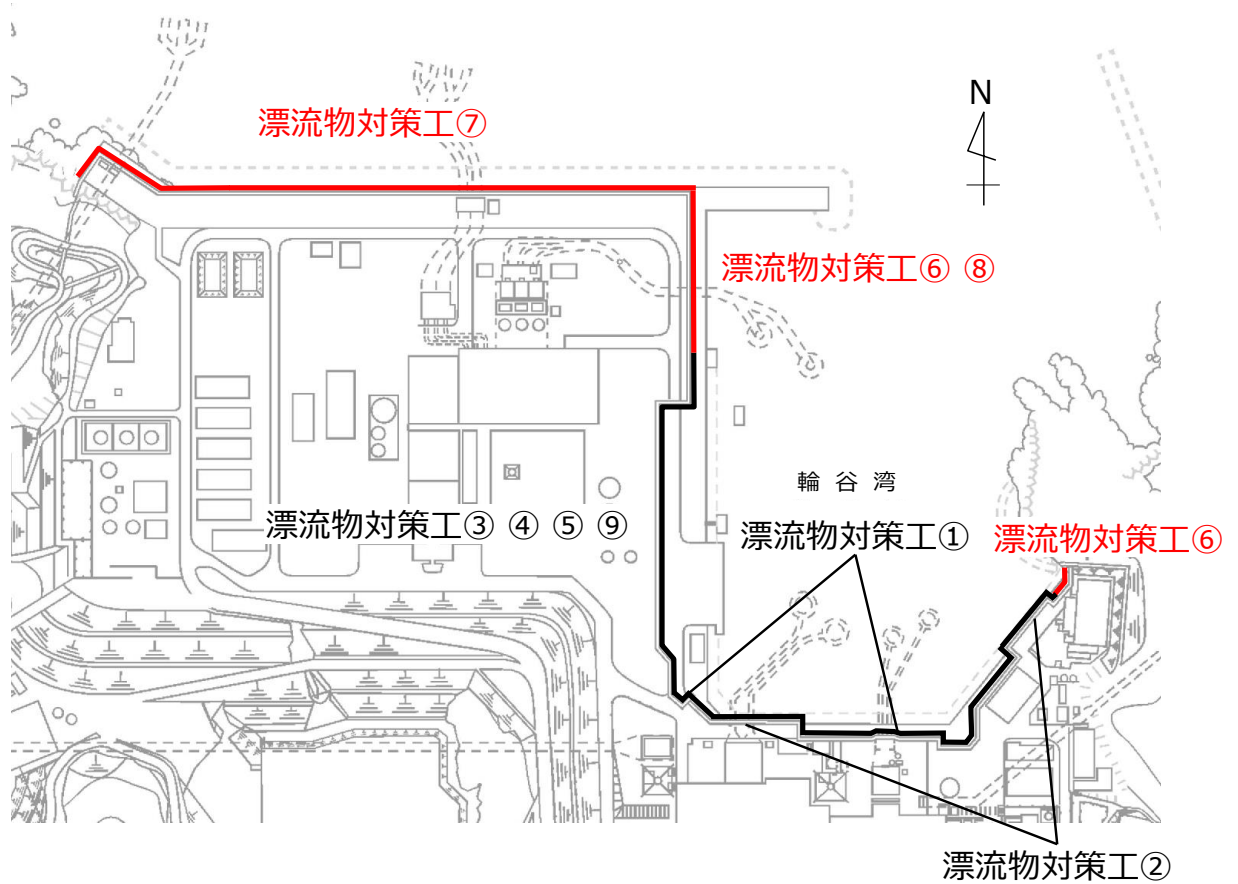


図 6-2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分図

表 6-1 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分一覧

名称	高さ	種別	設置箇所
漂流物対策工⑥	6.5m (EL 15.0m~EL 8.5m)	鉄筋コンクリート版	防波壁(波返重力擁壁) 重力擁壁
漂流物対策工⑦	8.5m (EL 15.0m~EL 6.5m)	鉄筋コンクリート版	防波壁(波返重力擁壁) 重力擁壁
漂流物対策工⑧	14.0m* (EL 2.0m~EL-12.0m)	鉄筋コンクリート版	防波壁(波返重力擁壁) ケーソン

注記*：ケーソンに設置する漂流物対策工のうち最大寸法を記載

6.2.2 構造概要

防波壁（波返重力擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造概要図を図 6-3 に、概略配筋図を図 6-4 に、アンカーボルト配置図を図 6-5 に示す。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は、厚さ 50cm の鉄筋コンクリート版で構成される構造とし、アンカーボルトにより防波壁（波返重力擁壁）に支持される構造とする。

(単位 : mm)

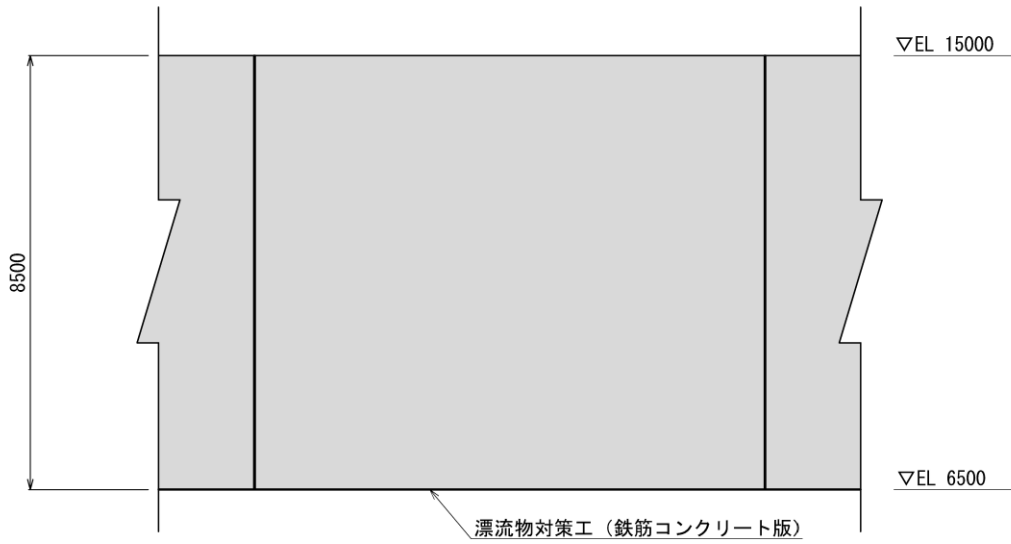


図 6-3(1) 防波壁 (波返重力擁壁) 重力擁壁における漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (正面図)

(単位 : mm)

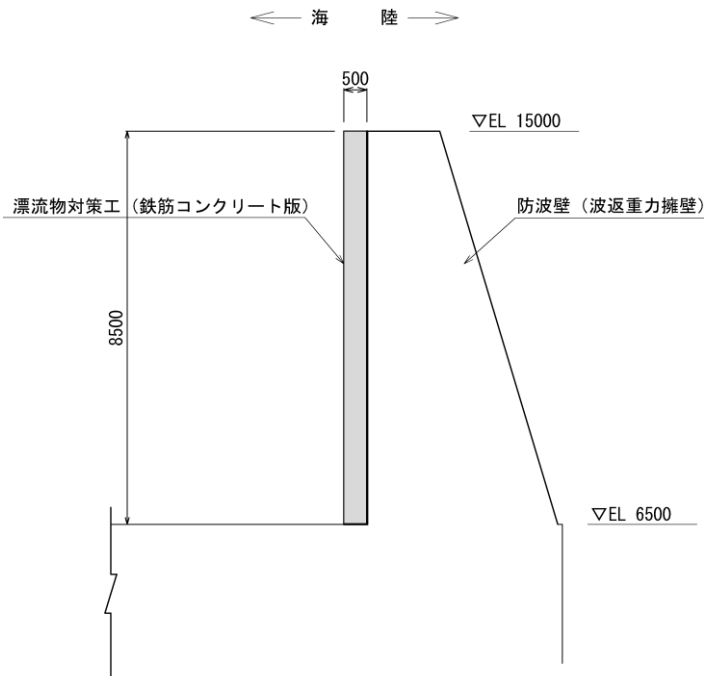


図 6-3(2) 防波壁 (波返重力擁壁) 重力擁壁における漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (標準断面図)

(単位：mm)

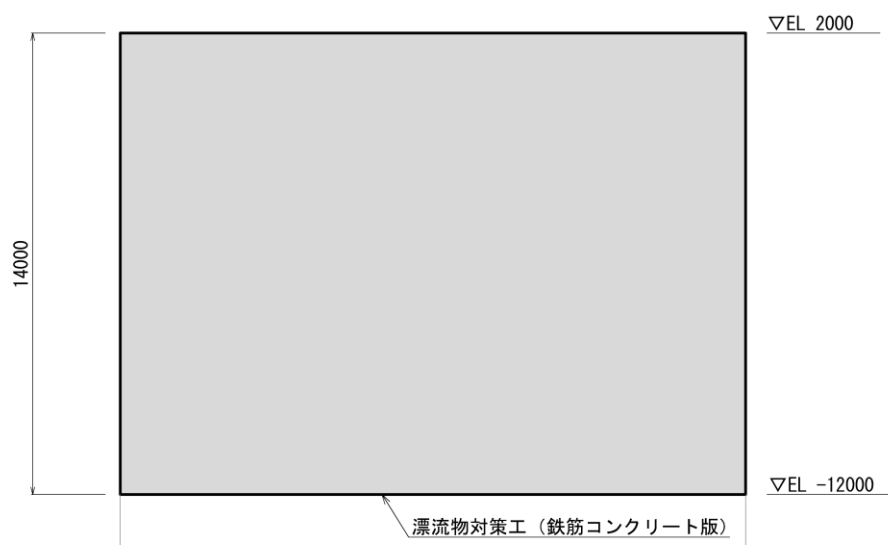


図 6-3(3) 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンにおける漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (正面図)

(単位：mm)

← 海 陸 →

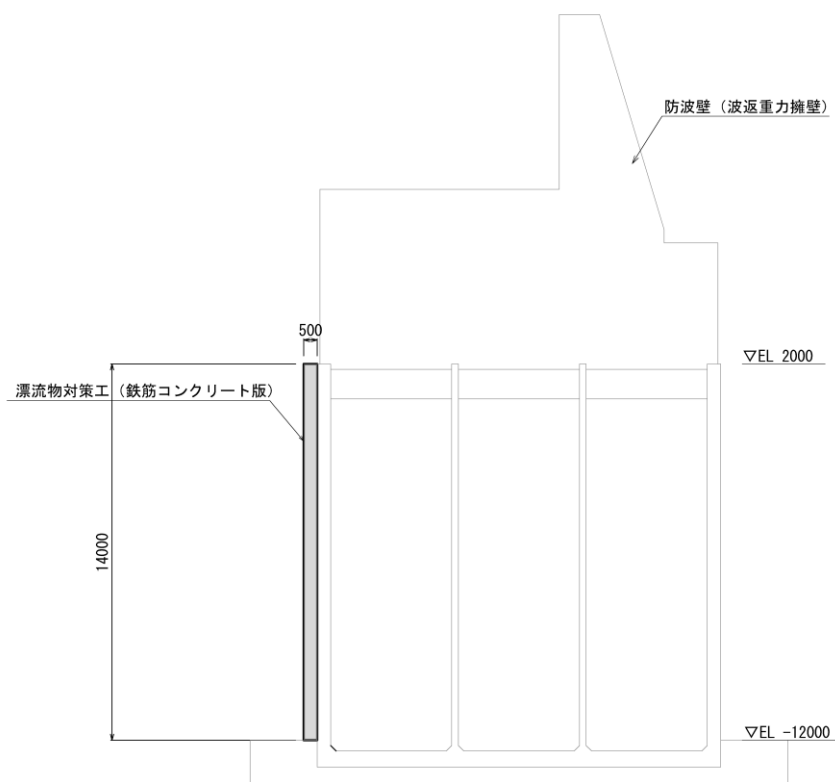


図 6-3(4) 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンにおける漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (断面図)

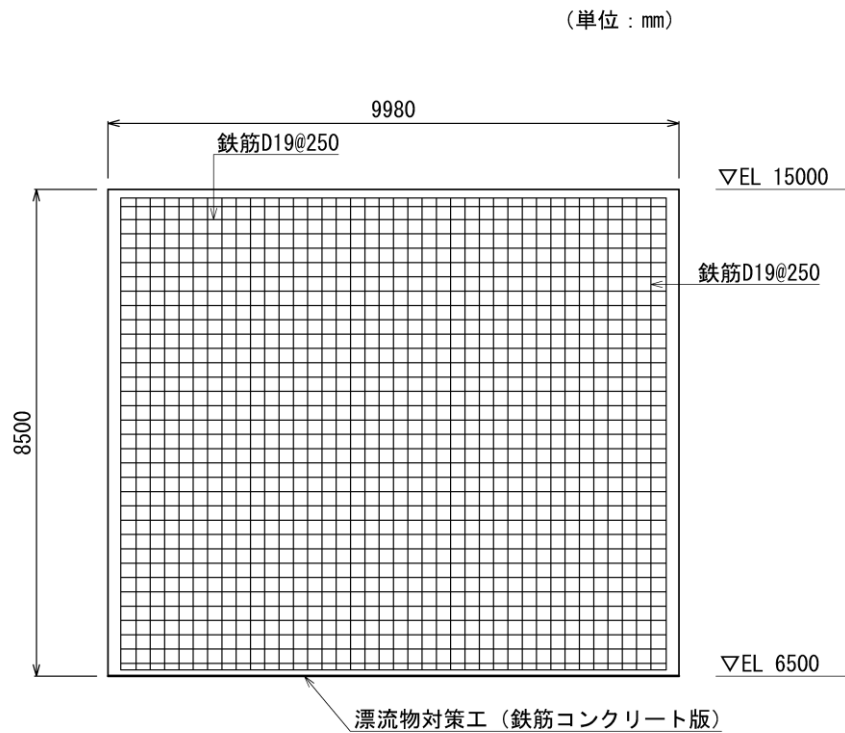


図 6-4(1) 防波壁 (波返重力擁壁) 重力擁壁における漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (正面図)

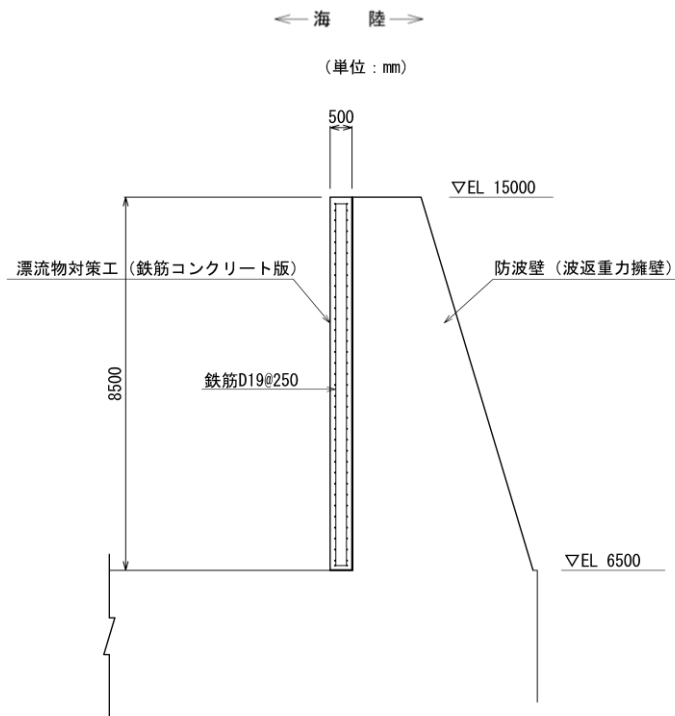


図 6-4(2) 防波壁 (波返重力擁壁) 重力擁壁における漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (断面図)

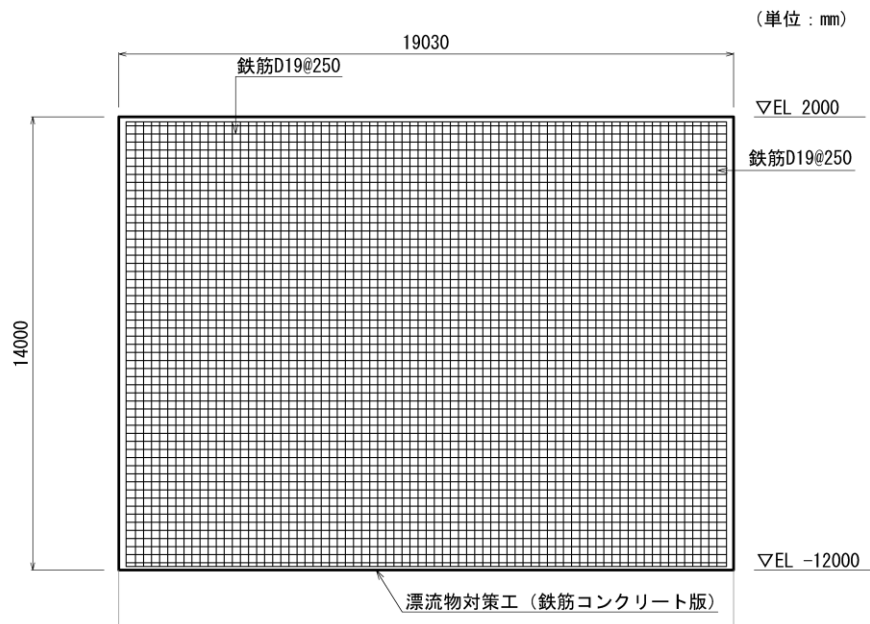


図 6-4(3) 防波壁（波返重力擁壁）ケーソンにおける漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の概略配筋図（正面図）

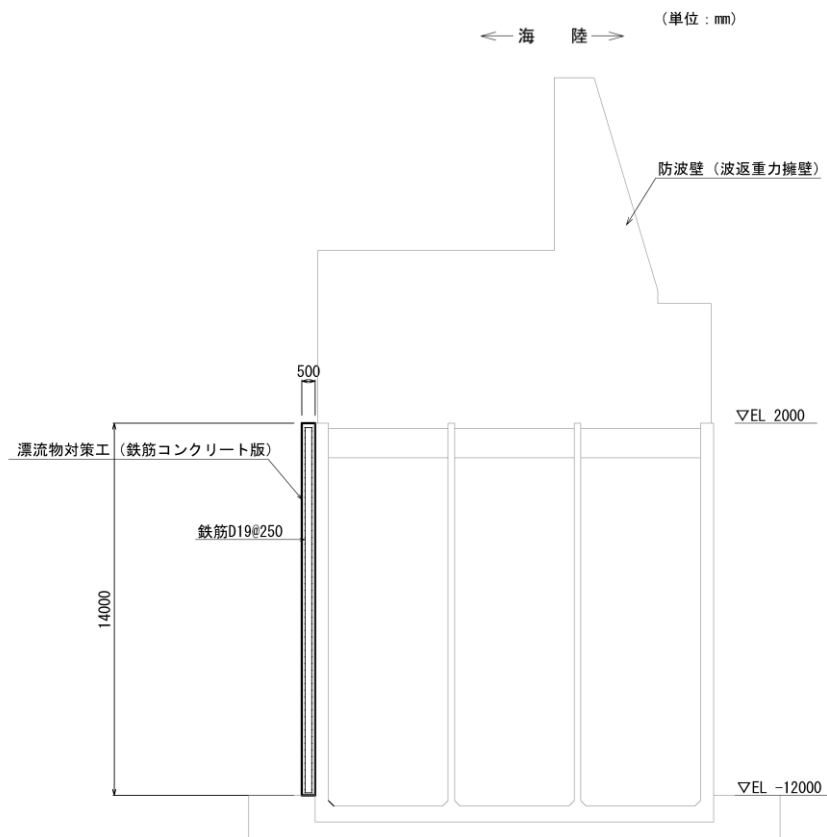


図 6-4(4) 防波壁（波返重力擁壁）ケーソンにおける漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の概略配筋図（断面図）

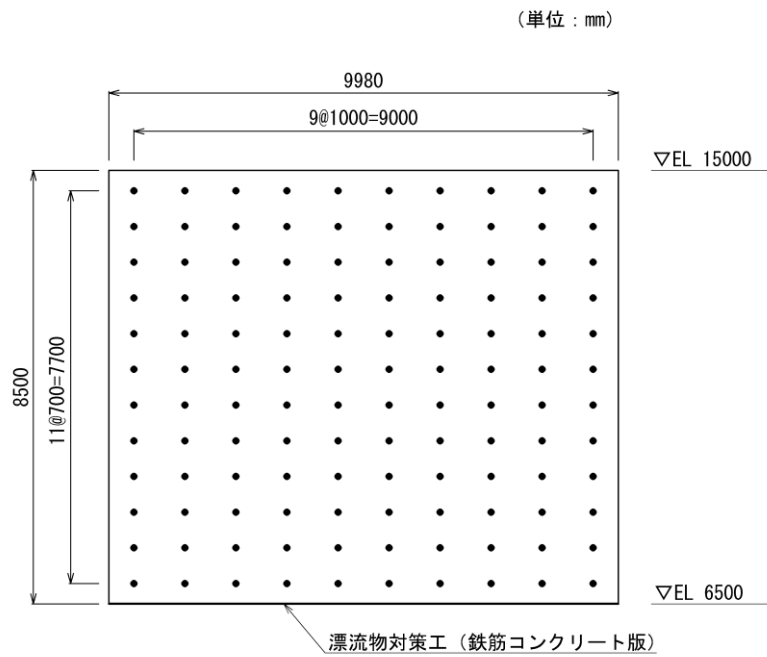


図 6-5(1) 防波壁 (波返重力擁壁) 重力擁壁における漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (正面図)

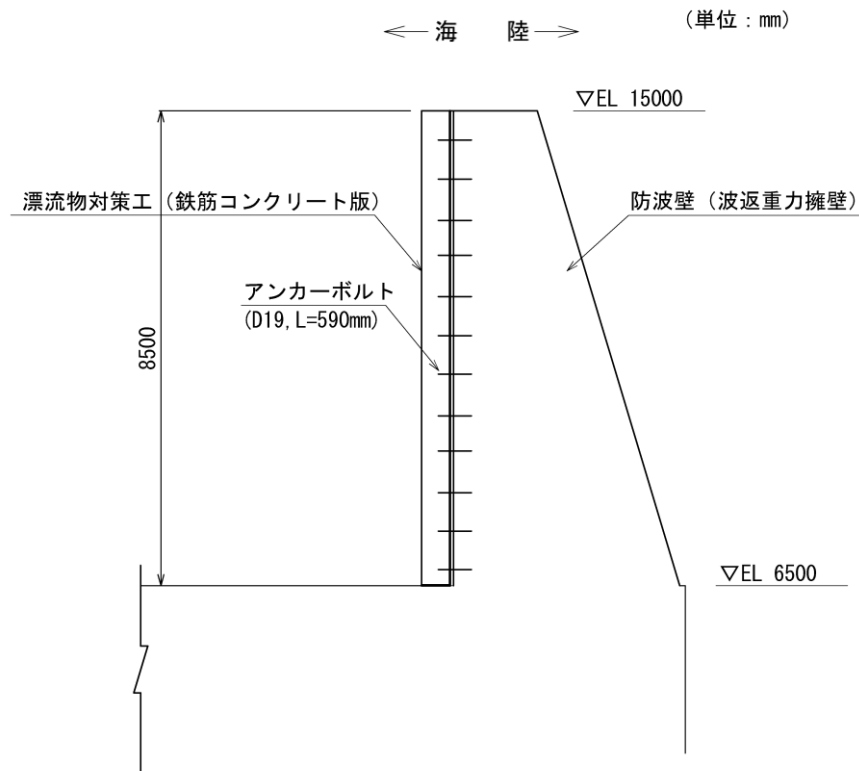


図 6-5(2) 防波壁 (波返重力擁壁) 重力擁壁における漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (断面図)

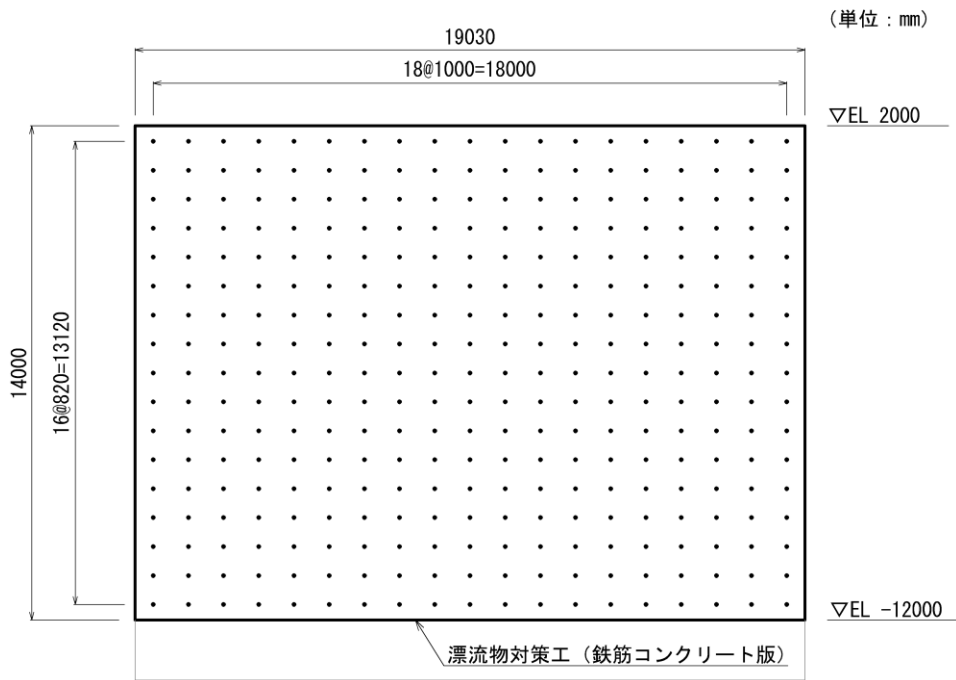


図 6-5(3) 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンにおける漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (正面図)

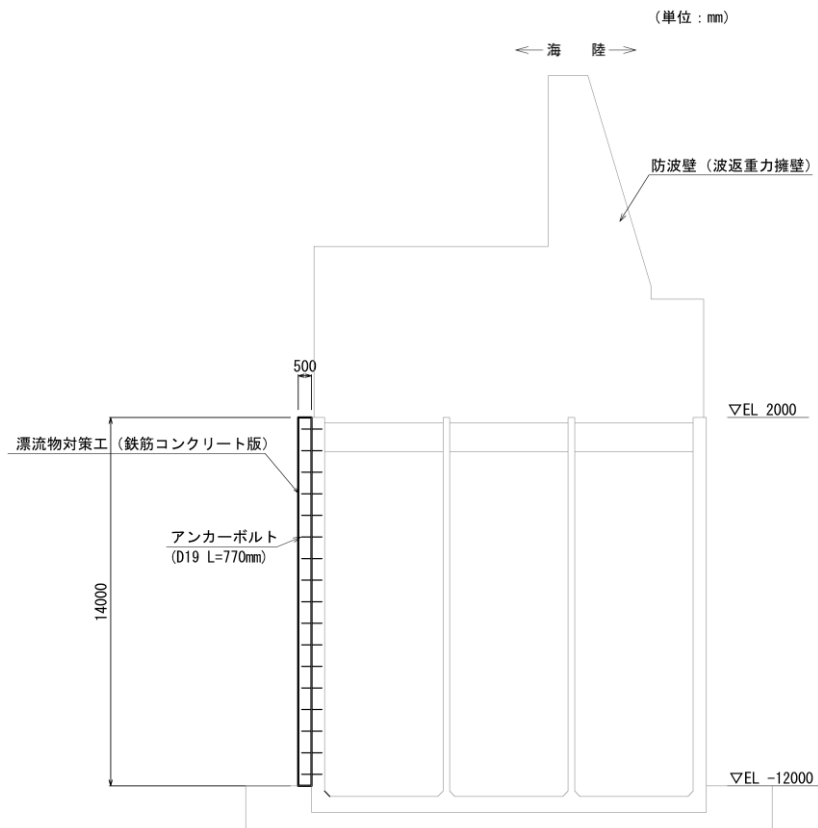


図 6-5(4) 防波壁 (波返重力擁壁) ケーソンにおける漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (断面図)

6.2.3 評価方針

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

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

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

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価フローを図6-6に示す。

表6-2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鉄筋コンクリート版	・役割に期待しない（防波壁（波返重力擁壁）の解析モデルに重量として考慮し、防波壁（波返重力擁壁）への影響を考慮する）。	・衝突荷重を分散して防波壁（波返重力擁壁）に伝達する。 ・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。
	アンカーボルト	・鉄筋コンクリート版を支持する。	・鉄筋コンクリート版を支持する。

表6-3 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の各部位の性能目標

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

表 6-4 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価

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

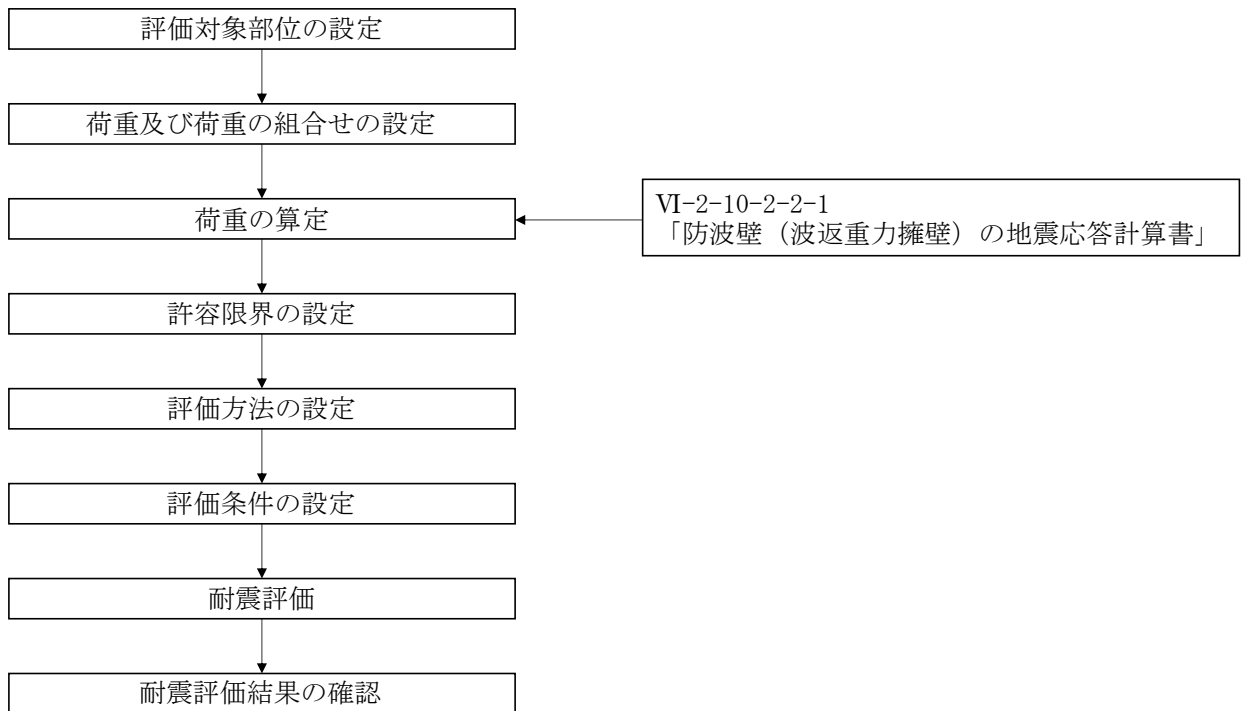


図 6-6 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価フロー

6.2.4 記号の説明

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

表 6-5 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震計算に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
K_{sh}	—	基準地震動 S_s による水平方向震度
P_{ssh}	kN	水平慣性力
K_{sv}	—	基準地震動 S_s による鉛直方向震度
P_{ssv}	kN	鉛直慣性力
P_{sdw}	kN	動水圧の合力
P_{sh}	kN	静水圧
p_{sc}	kN/本	アンカーボルト 1 本に作用する引張力
P_{sc}	kN	アンカーボルトに作用する引張力
n_{sc}	本	漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）を支持するアンカーボルトの本数
q_{sc}	kN/本	アンカーボルト 1 本に作用するせん断力
Q_{sc}	kN	アンカーボルトに作用するせん断力

6.3 評価対象部位

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

評価対象部位を図 6-7 に示す。

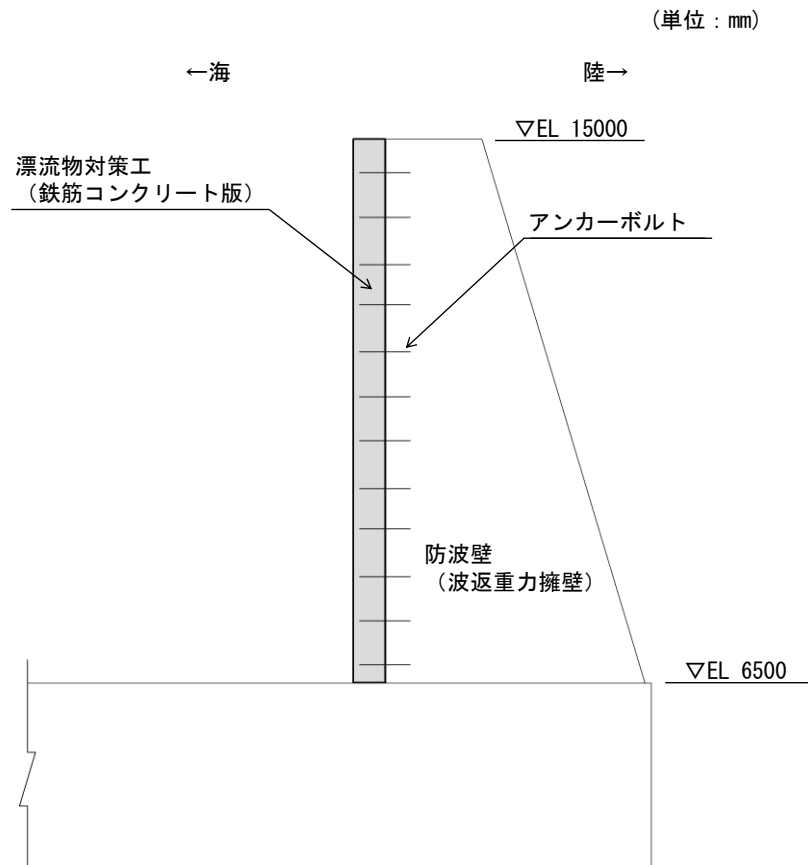


図 6-7 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価対象部位

6.4 耐震評価

6.4.1 評価対象構造区分の選定

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

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造的特徴を踏まえ、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価対象構造区分を表 6-6 に、各構造区分の構造概要図を図 6-8～図 6-10 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）のうち、アンカーボルト 1 本あたりの慣性力が大きいこと及び設置位置が海中であることから、漂流物対策工⑥及び漂流物対策工⑧を評価対象に選定した。

表 6-6 防波壁（波返重力擁壁）に設置する
漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価対象構造区分

名称	種別	設置箇所	鉄筋コンクリート版		アンカーボルト	
			厚さ	高さ	径	標準本数 (幅1mあたり)
漂流物対策工⑥	鉄筋コンクリート版	防波壁（波返重力擁壁） 重力擁壁	50cm	6.5m (EL 15.0m～EL 8.5m)	D19	9本
漂流物対策工⑦	鉄筋コンクリート版	防波壁（波返重力擁壁） 重力擁壁	50cm	8.5m (EL 15.0m～EL 6.5m)	D19	12本
漂流物対策工⑧	鉄筋コンクリート版	防波壁（波返重力擁壁） ケーソン	50cm	14.0m* (EL 2.0m～EL-12.0m)	D19	17本

注記*：ケーソンに設置する漂流物対策工のうち最大寸法を記載

：耐震評価を実施する構造区分

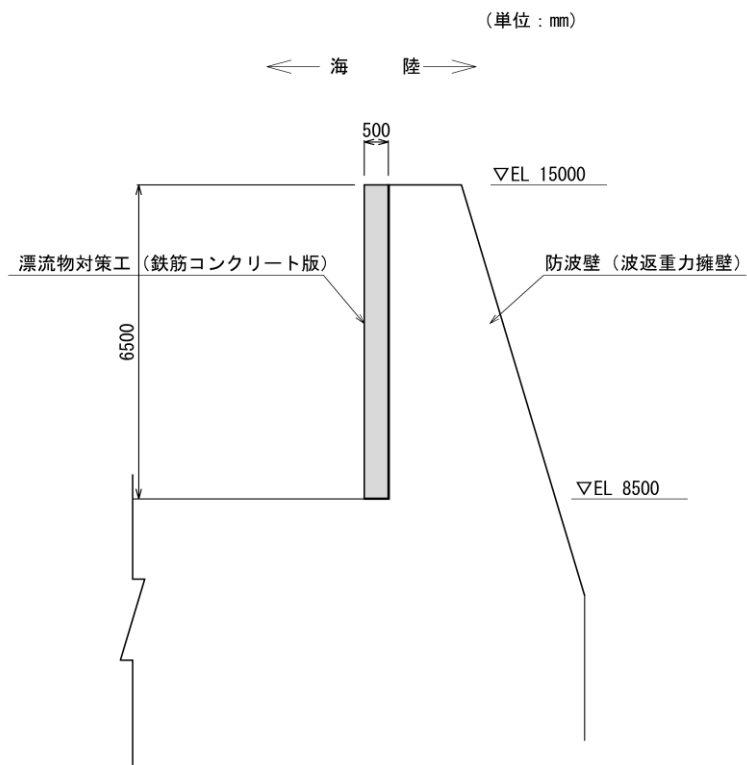


図 6-8 漂流物対策工⑥の構造概要図 (断面図)

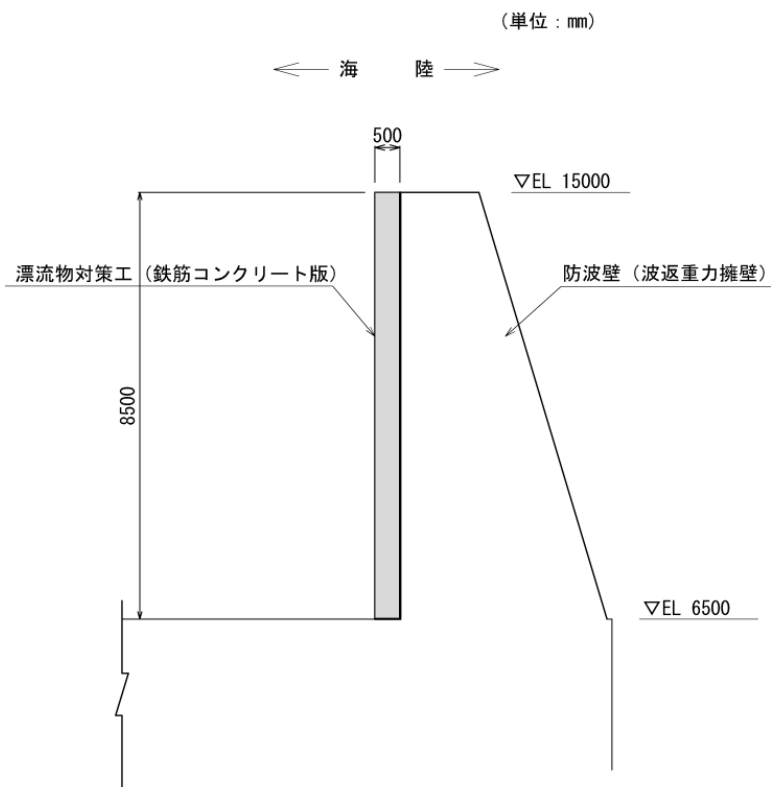


図 6-9 漂流物対策工⑦の構造概要図 (断面図)

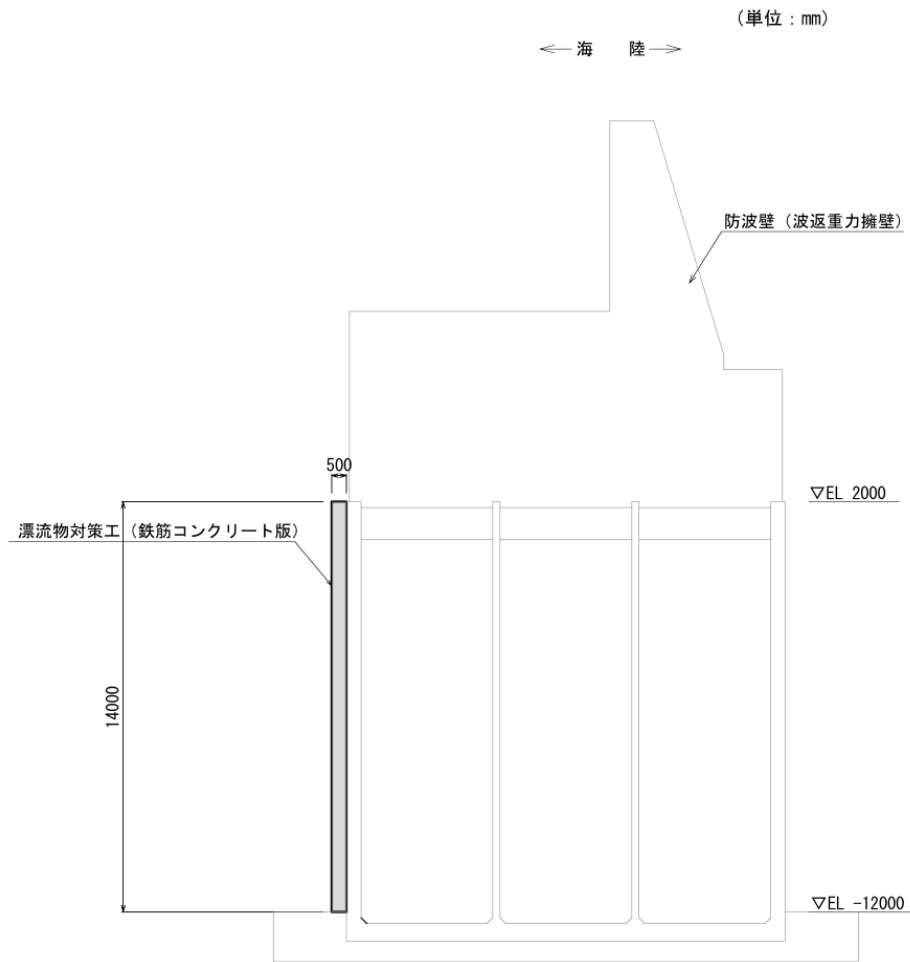


図 6-10 漂流物対策工⑧の構造概要図 (断面図)

6.4.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流対策工を構成する部材の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮するものとする。

なお、地震荷重の算定に用いる設計震度は、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は防波壁（波返重力擁壁）に設置することから、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

(2) 荷重の組合せ

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_s$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

6.4.3 許容限界

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の許容限界は、「6.3 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

a. 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）を構成する各部材の使用材料を表 6-7 に、材料の物性値を表 6-8 に示す。

表 6-7 使用材料

諸元	
アンカーボルト	SD345
鉄筋	SD345
コンクリート	設計基準強度：24N/mm ²

表 6-8 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)
鉄筋コンクリート	24.0*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照編]

（（社）土木学会，2002年制定）

(2) 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

a. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）」に基づき，表6-9の値とする。

表6-9 アンカーボルトの許容限界

評価対象部位		材質	引張耐力* (kN/本)	せん断耐力* (kN/本)
アンカーボルト	漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）	SD345 (D19)	60.2	69.1

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

6.4.4 評価方法

(1) アンカーボルト

アンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価を実施する。アンカーボルトのモデル図を図 6-11 に示す。

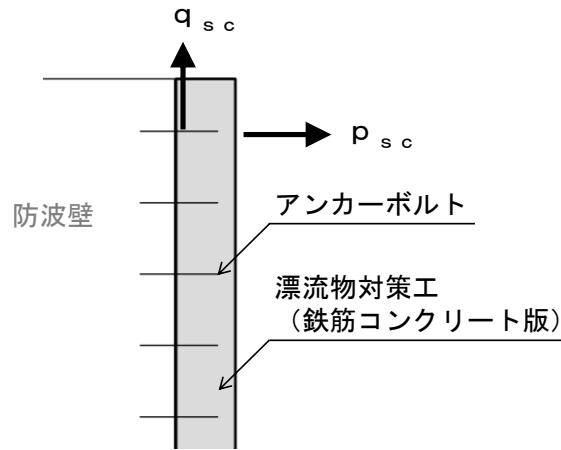


図 6-11 アンカーボルトのモデル図

a. アンカーボルトに作用する引張力

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

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

P_{sc} : アンカーボルトに作用する引張力 (kN)

n_{sc} : 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) を支持する
アンカーボルトの本数 (本)

b. アンカーボルトに作用するせん断力

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

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

Q_{sc} : アンカーボルトに作用するせん断力 (kN)

n_{sc} : 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) を支持する
アンカーボルトの本数 (本)

6.4.5 評価条件

耐震評価に用いる水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の設計震度を表 6-10 に示す。また、アンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価に用いる入力値を表 6-11 に示す。

表 6-10 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価に用いる設計震度

名称	水平震度 K_{sh}	鉛直震度 K_{sv}
漂流物対策工⑥	2.14	3.64
漂流物対策工⑧	1.20	2.35

表 6-11(1) 漂流物対策工⑥のアンカーボルトに作用する引張力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
P_{sc6}	kN	漂流物対策工⑥に作用する引張力 ($= P_{ssh6}$)	167
n_{sc6}	本	アンカーボルトの本数	9

表 6-11(2) 漂流物対策工⑧のアンカーボルトに作用する引張力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
P_{sc8}	kN	漂流物対策工⑧に作用する引張力 ($= P_{ssh8} + P_{sdw} - P_{sh}$)	522
P_{ssh8}	kN	水平慣性力	202
P_{sdw}	kN	動水圧	1119
P_{sh}	kN	静水圧	799
n_{sc8}	本	アンカーボルトの本数	17

表 6-11(3) 漂流物対策工⑥のアンカーボルトに作用するせん断力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Q_{sc6}	kN	漂流物対策工⑥に作用するせん断力 ($= P_{ssv6}$)	284
n_{sc6}	本	アンカーボルトの本数	9

表 6-11(4) 漂流物対策工⑧のアンカーボルトに作用するせん断力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Q_{sc8}	kN	漂流物対策工⑧に作用するせん断力 ($= P_{ssv8}$)	395
n_{sc8}	本	アンカーボルトの本数	17

6.4.6 評価結果

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価結果を表 6-12 に示す。アンカーボルトの発生力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-12(1) アンカーボルトの引張力に対する耐震評価結果

評価部位	材質	引張力 (a) (kN/本)	引張耐力 (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
漂流物対策工⑥	SD345 (D19)	18.6	60.2	0.31
漂流物対策工⑧	SD345 (D19)	30.7	60.2	0.52

表 6-12(2) アンカーボルトのせん断力に対する耐震評価結果

評価部位	材質	せん断力 (a) (kN/本)	せん断耐力 (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
漂流物対策工⑥	SD345 (D19)	31.6	69.1	0.46
漂流物対策工⑧	SD345 (D19)	23.3	69.1	0.34

VI-2-10-2-3-2 防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての計算書

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	9
2.4	適用規格・基準等	17
3.	耐震評価	18
3.1	評価対象断面	18
3.2	解析方法	24
3.3	荷重及び荷重の組合せ	26
3.4	入力地震動	26
3.5	解析モデル及び諸元	26
3.5.1	解析モデル	26
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	26
3.5.3	地盤の物性値	26
3.6	評価対象部位	27
3.6.1	施設・地盤の健全性評価	27
3.6.2	施設の変形性評価	27
3.6.3	基礎地盤の支持性能評価	27
3.7	許容限界	28
3.7.1	逆T擁壁	28
3.7.2	グラウンドアンカ	28
3.7.3	改良地盤	29
3.7.4	止水目地	29
3.7.5	基礎地盤	29
3.8	評価方法	30
3.8.1	逆T擁壁	30
3.8.2	グラウンドアンカ	30
3.8.3	改良地盤	30
3.8.4	止水目地	31
3.8.5	基礎地盤	33
4.	耐震評価結果	34
4.1	逆T擁壁	34
4.1.1	曲げ照査	34
4.1.2	せん断照査	41

4.1.3	グラウンドアンカによる支圧照査	44
4.2	グラウンドアンカ	45
4.3	改良地盤	46
4.4	止水目地	49
4.5	基礎地盤	50
4.6	施設護岸等の損傷による不確かさの影響確認	55
4.6.1	評価方針	55
4.6.2	地震応答解析モデル	56
4.6.3	評価結果	57
5.	漂流物対策工	59
5.1	概要	59
5.2	基本方針	60
5.2.1	位置	60
5.2.2	構造概要	62
5.2.3	評価方針	67
5.2.4	記号の説明	70
5.3	評価対象部位	72
5.4	耐震評価	73
5.4.1	評価対象構造区分の選定	73
5.4.2	荷重及び荷重の組合せ	75
5.4.3	許容限界	76
5.4.4	評価方法	78
5.4.5	評価条件	81
5.4.6	評価結果	83

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（逆T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（逆T擁壁）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価及び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（逆T擁壁）の位置図を図2-1に示す。

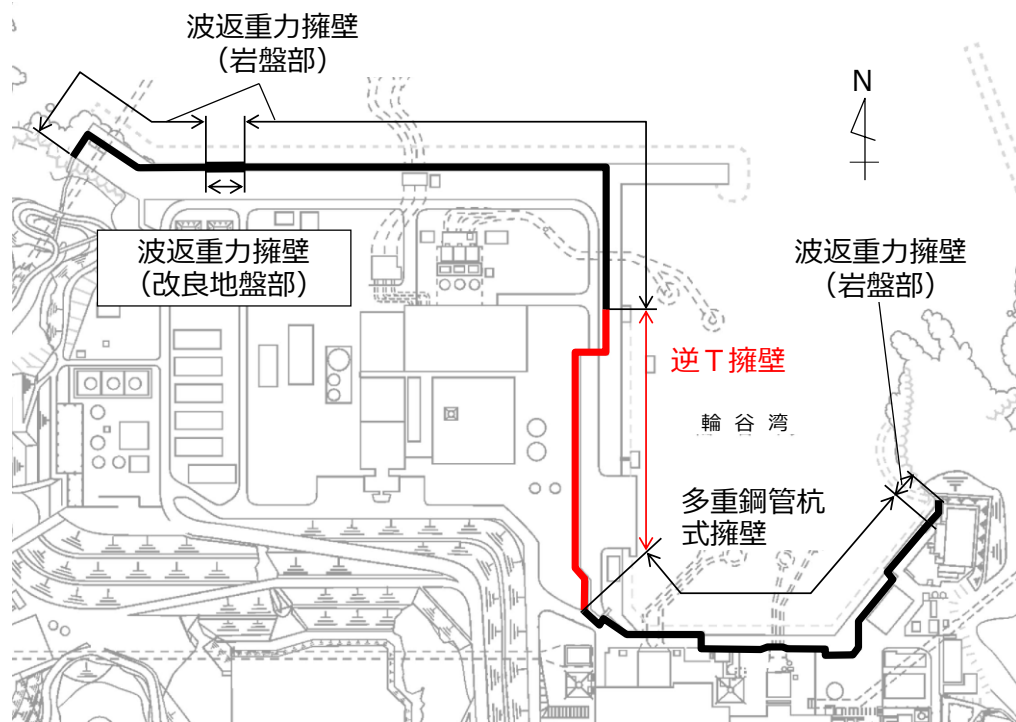


図2-1 防波壁（逆T擁壁）の位置図

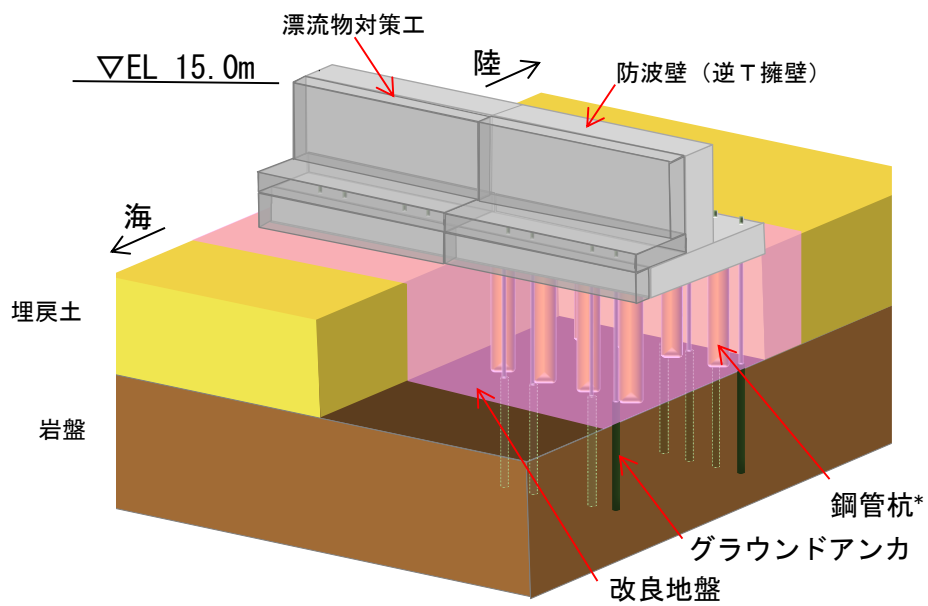
2.2 構造概要

防波壁（逆T擁壁）の構造概要図を図2-2に、構造図及び概略配筋図を図2-3に、グラウンドアンカの配置図を図2-4に、止水目地の概念図及び配置位置図を図2-5に示す。

防波壁（逆T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。

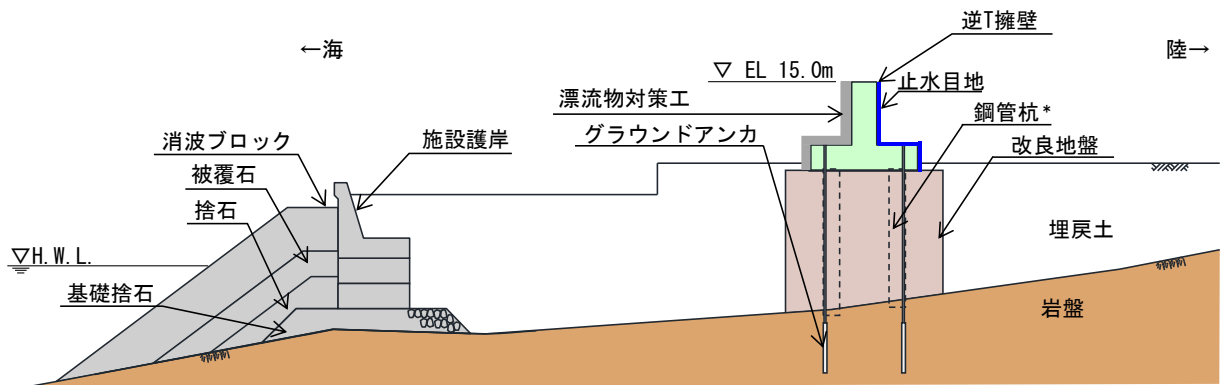
防波壁（逆T擁壁）は、改良地盤を介して岩盤に支持される鉄筋コンクリート造の逆T擁壁による直接基礎構造及びグラウンドアンカで構成し、十分な支持性能を有する岩盤及び改良地盤に支持させる構造とする。約16mを1ブロックの標準とした壁体を連続して設置し、1ブロックにおいて海側では8本、陸側では4本のグラウンドアンカを設置している。逆T擁壁の海側には、鉄筋コンクリート版により構成された漂流物対策工（以下「漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）」という。）を設置し、グラウンドアンカのアンカーヘッド上部には鋼材により構成された漂流物対策工（以下「漂流物対策工（鋼材）」という。）を設置する。また、逆T擁壁の陸側の境界部には、試験等により止水性を確認した止水目地を設置する。

なお、構造概要図には鋼管杭を示しているが、その効果を期待せずに耐震評価を行う。



注記* : 防波壁（逆T擁壁）は鋼管杭の効果を期待しない設計とする。

図 2-2(1) 防波壁（逆T擁壁）の構造概要図（鳥瞰図）



注記* : 防波壁（逆T擁壁）は、鋼管杭の効果を期待しない設計とする。

図 2-2(2) 防波壁（逆T擁壁）の構造概要図（断面図）

(単位 : mm)

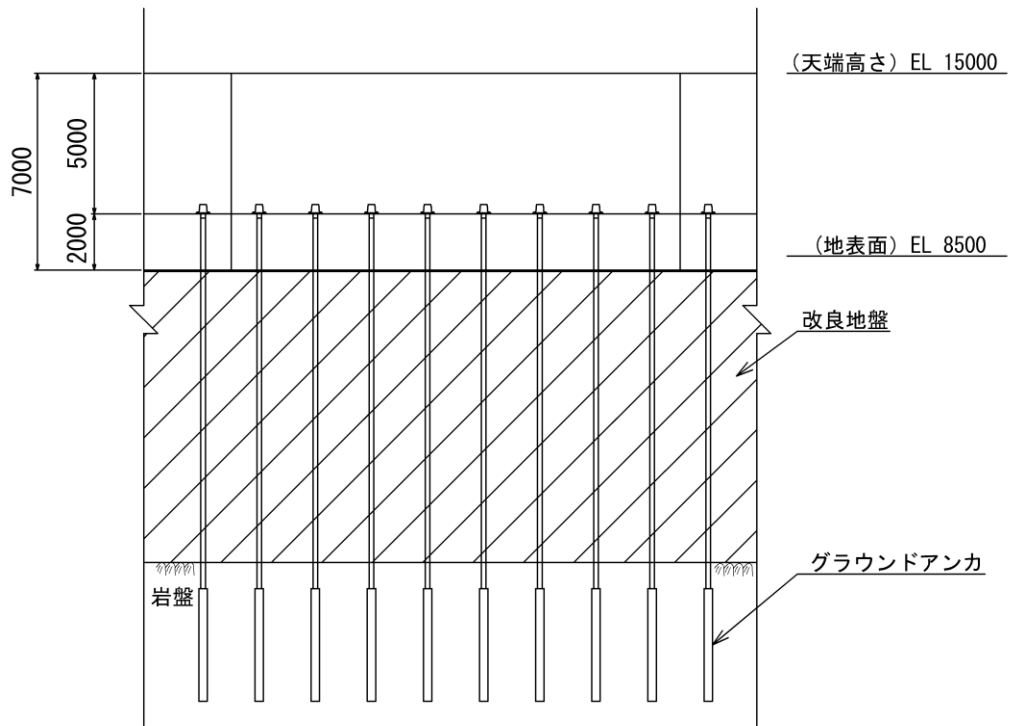


図 2-3(1) 防波壁 (逆 T 擁壁) の構造図 (正面図)

(単位 : mm)

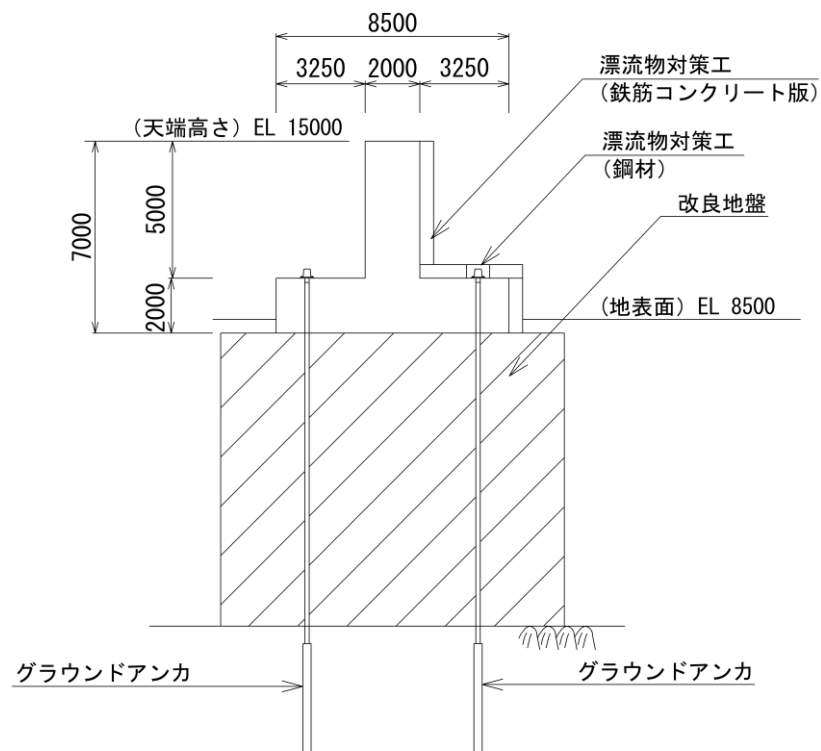


図 2-3(2) 防波壁 (逆 T 擁壁) の構造図 (断面図)

(単位 : mm)

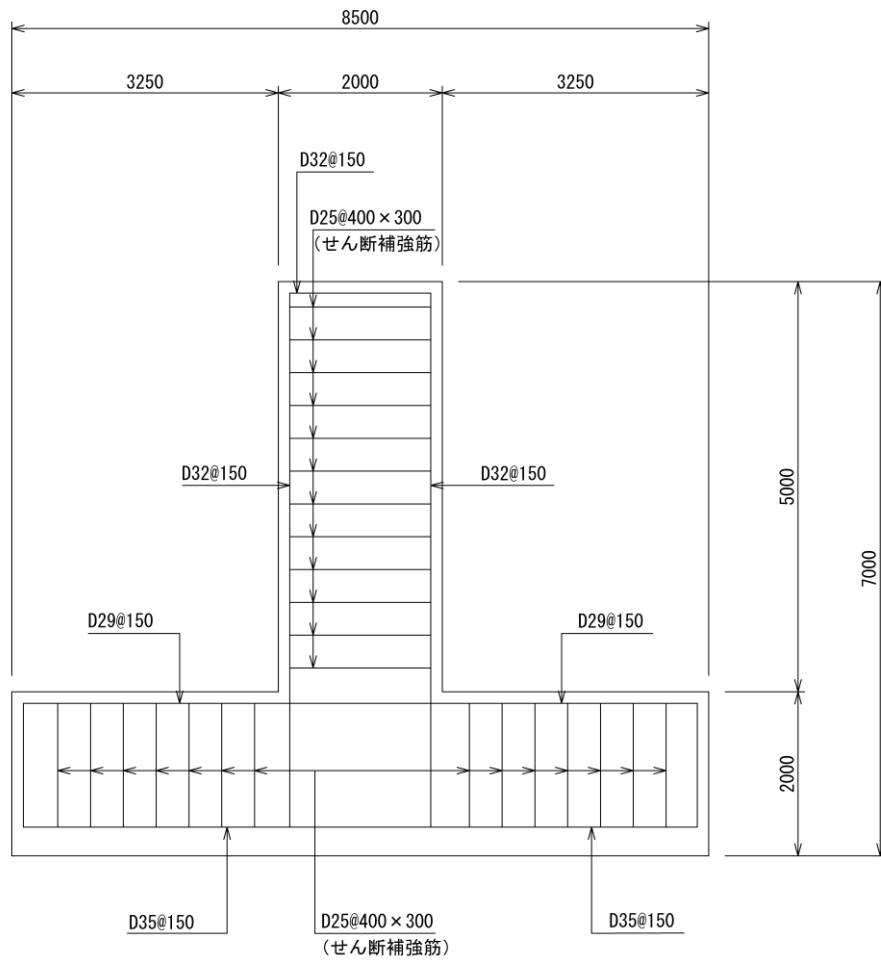


図 2-3(3) 防波壁 (逆 T 擁壁) の構造図 (概略配筋図)

(単位：mm)

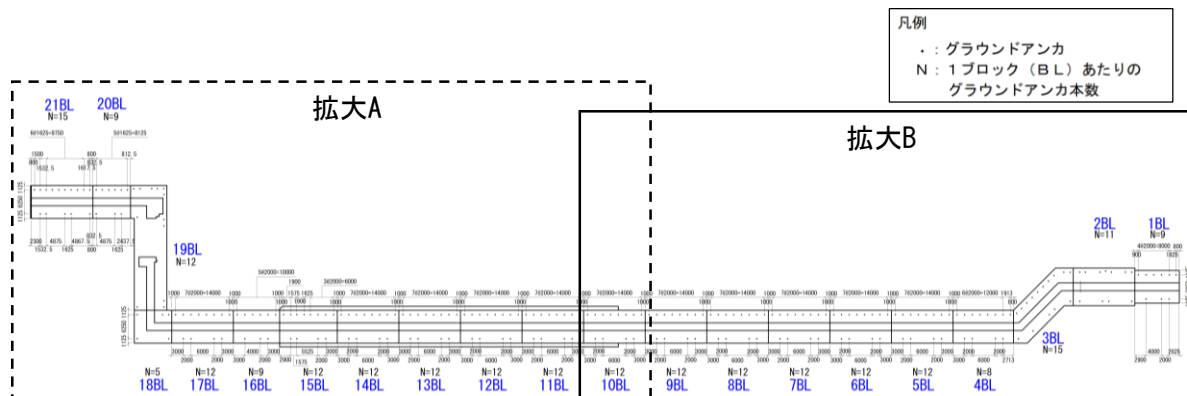


図 2-4(1) 防波壁（逆T擁壁）のグラウンドアンカ配置図（全体平面図）

(単位：mm)

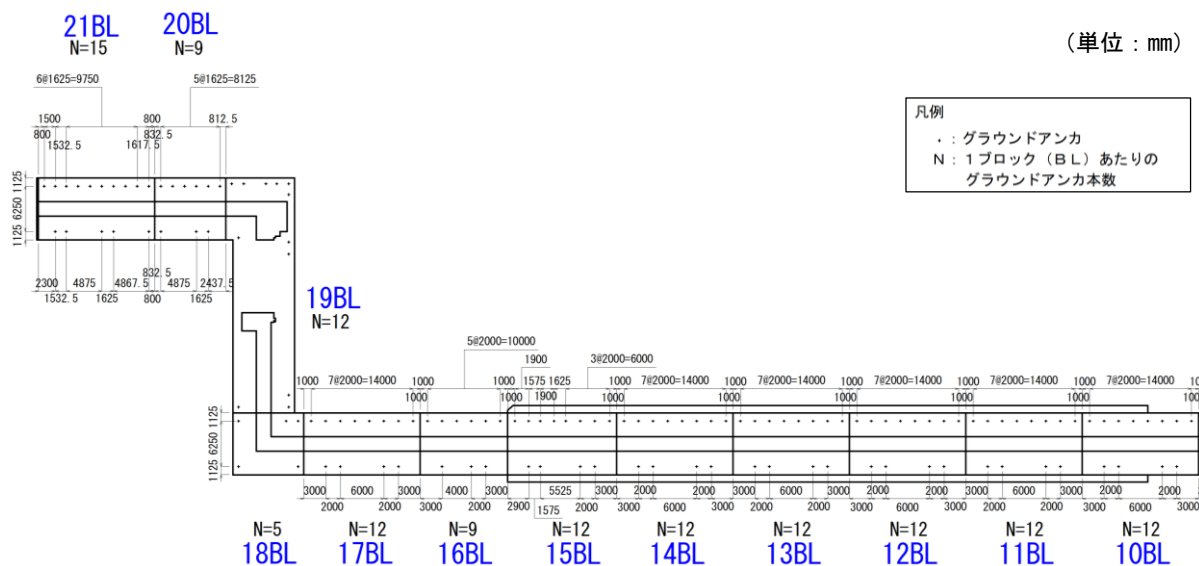


図 2-4(2) 防波壁（逆T擁壁）のグラウンドアンカ配置図（拡大A）

(単位：mm)

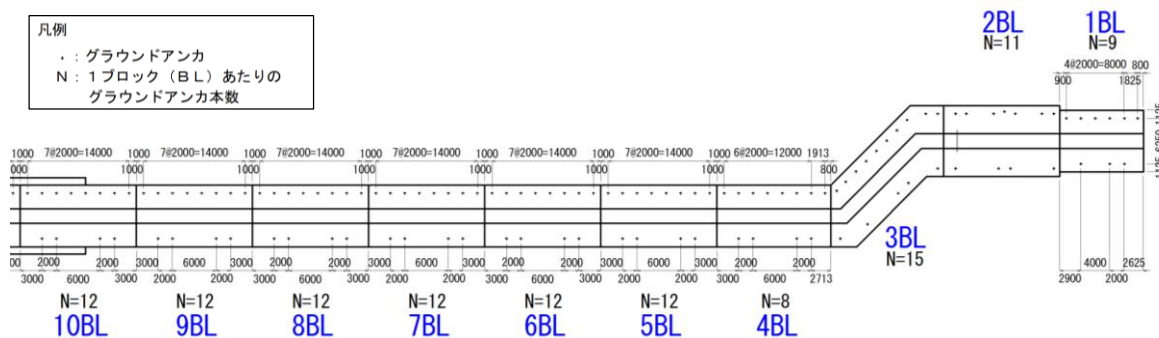
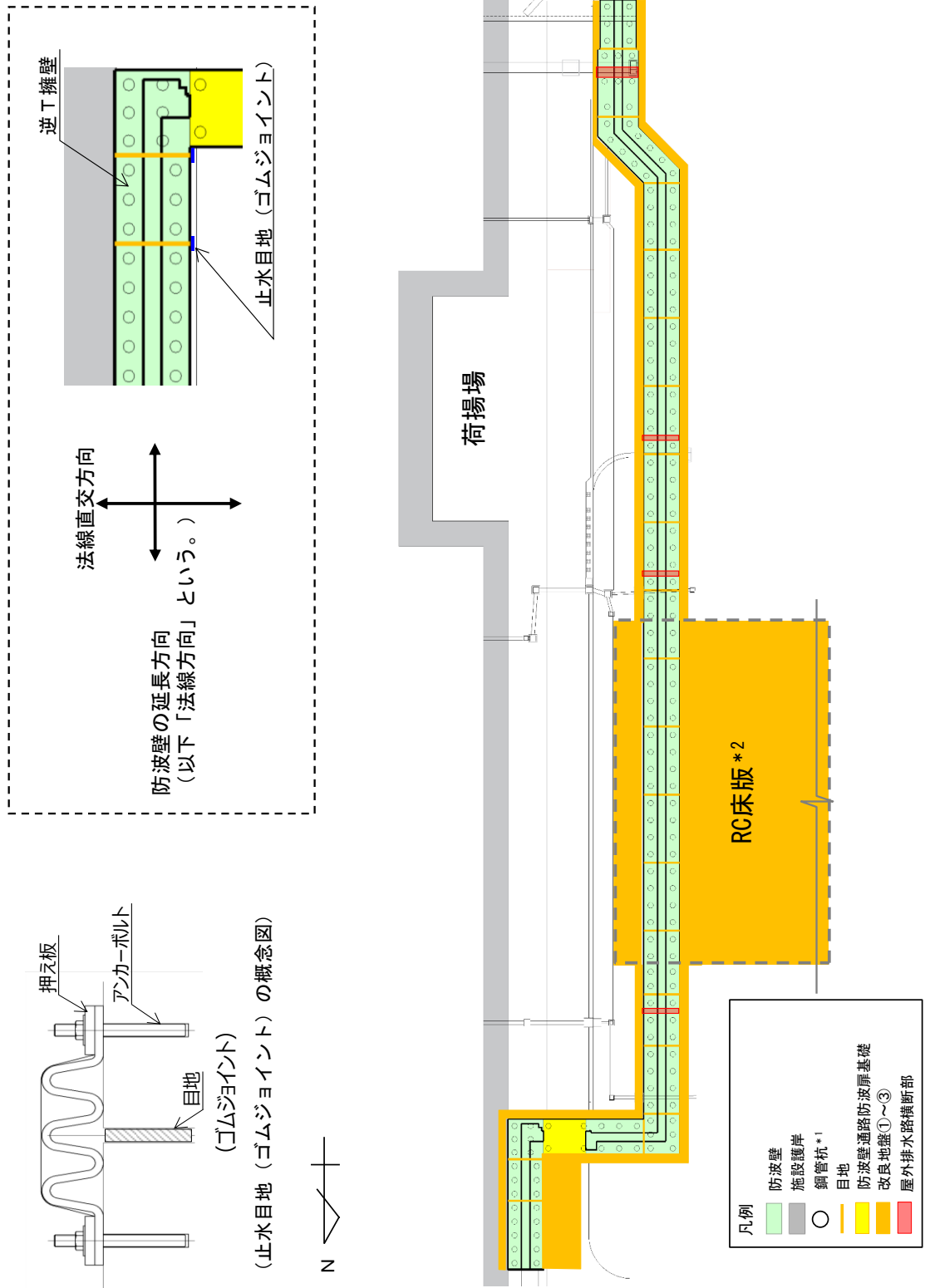


図 2-4(3) 防波壁（逆T擁壁）のグラウンドアンカ配置図（拡大B）



注記 *1 : 鋼管杭の効果を期待しない設計とする。
*2 : RC床版については、保守的に改良地盤として扱う。

図 2-5 防波壁 (逆T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（逆 T 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（逆 T 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（逆 T 擁壁）の耐震評価は，地震応答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，止水目地の変位量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

防波壁（逆 T 擁壁）の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 防波壁（逆 T 擁壁）の各部位の役割(1/2)

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	逆 T 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	・逆 T 擁壁間の変位に追従する。	・逆 T 擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
	グラウンドアンカ	・逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。	・逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
	鋼管杭	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）	・役割に期待しない（解析モデルに重量として考慮し、防波壁（逆 T 擁壁）への影響を考慮する）。	・衝突荷重を分散して防波壁（逆 T 擁壁）に伝達する。
	漂流物対策工（鋼材）		・衝突荷重による防波壁（逆 T 擁壁）の局所的な損傷を防止する。 ・漂流物をグラウンドアンカに衝突させない。
地盤	改良地盤 ①～③*	・逆 T 擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆 T 擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・逆 T 擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆 T 擁壁を支持する。
	埋戻土	・役割に期待しない（解析モデルに反映し、防波壁（逆 T 擁壁）への相互作用を考慮する）。	・防波壁（逆 T 擁壁）より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸、 基礎捨石、 被覆石、 捨石	・役割に期待しない（解析モデルに反映し、防波壁（逆 T 擁壁）への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない（解析モデルに反映し、防波壁（逆 T 擁壁）への波及的影響を考慮する）。

注記*：RC床版については、保守的に改良地盤として扱う。

表 2-1 防波壁（逆 T 擁壁）の各部位の役割 (2/2)

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
地盤	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（逆 T 擁壁）の各部位の性能目標 (1/2)

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	逆 T 擁壁	—	—	構造部材の健全性を保持するために、逆 T 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逆 T 擁壁間から有意な漏えいを生じないために、逆 T 擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			逆 T 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。	逆 T 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。
	グラウンドアンカ			逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。	逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。
	漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）			防波壁（逆 T 擁壁）から分離しないために、漂流物対策工がおおむね弾性状態にとどまること。	衝突荷重を分散して、防波壁（逆 T 擁壁）に伝達するために、鉄筋コンクリート版がおおむね弾性状態にとどまること。
	漂流物対策工（鋼材）				グラウンドアンカに漂流物を直接衝突させないために、鋼材がおおむね弾性状態にとどまること。

表 2-2 防波壁（逆 T 擁壁）の各部位の性能目標 (2/2)

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)
地盤	改良地盤 ①～③*	逆 T 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) するため改良地盤①～③がすべり破壊しないこと (内的安定を保持)。
	岩盤				-

注記* : RC 床版については, 保守的に改良地盤として扱う。

表 2-3 防波壁(逆 T 擁壁)の評価項目(1/2)

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	逆 T 擁壁	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）	発生する応力（アンカーボルトの引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工（鋼材）	発生する応力（鋼材の曲げ応力及びせん断応力並びにアンカーボルトの引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	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	逆 T 擁壁	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-3 防波壁(逆 T 擁壁)の評価項目(2/2)

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*
	施設の変形性	止水目地	発生変位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位量

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

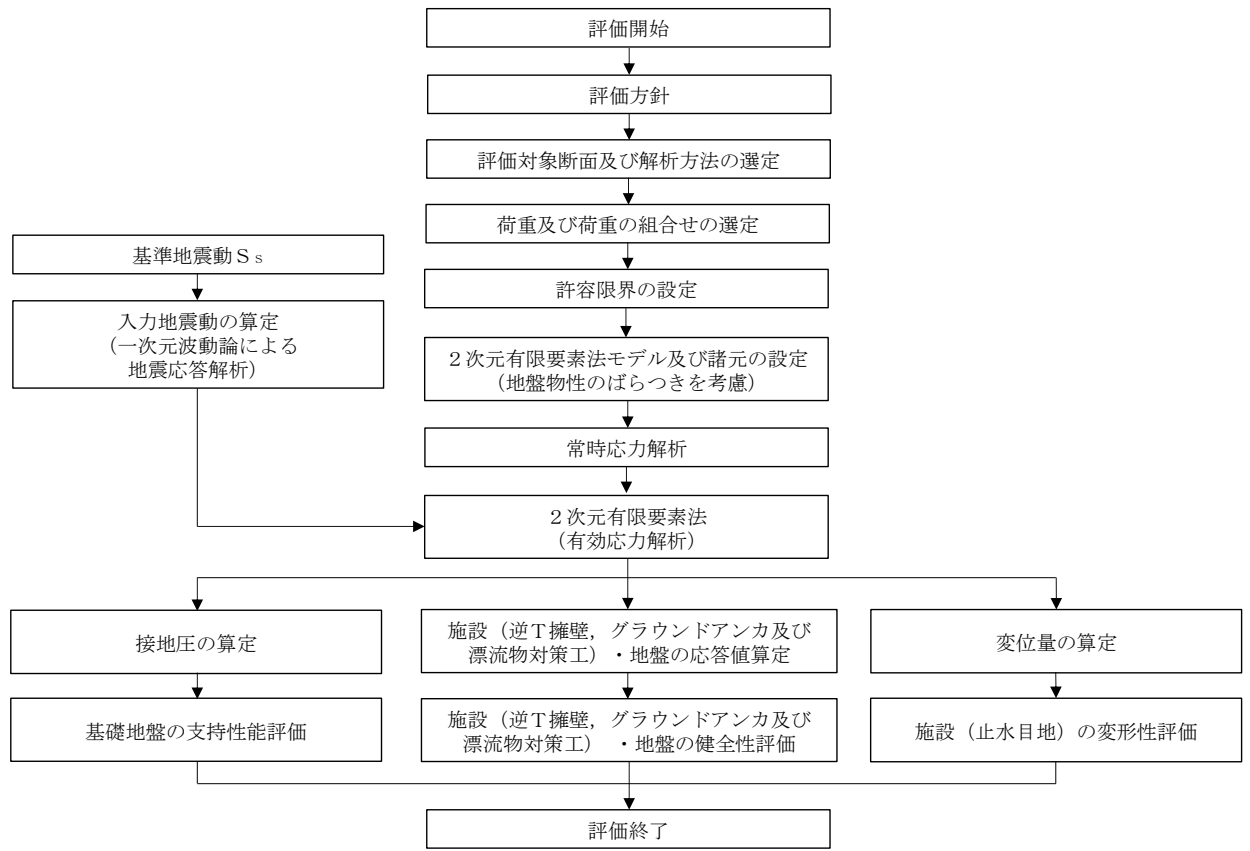


図 2-6 防波壁 (逆 T 擁壁) の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）
- ・グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）
- ・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）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）
- ・港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）
- ・建築基準法・同施行令

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

防波壁（逆T擁壁）の評価対象断面は、防波壁（逆T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（逆T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（逆T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、①-①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。

- ・①-①断面は荷揚護岸北側における横断方向の断面である。防波壁（逆T擁壁）直下の改良地盤の幅が12.6mと狭いこと、許容アンカー力に占める初期緊張力の割合が0.82と最も高いこと及び設置変更許可段階における構造成立性評価断面であることから、評価対象断面として選定した。
- ・④-④断面は、防波壁通路防波扉南側における横断方向の断面である。岩盤上面の深さが15.0mと深いこと、防波壁（逆T擁壁）直下の改良地盤の幅が12.6mと狭いこと及び許容アンカー力に占める初期緊張力の割合が0.81と高いことから、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価の評価対象断面に選定した。
- ・⑤-⑤断面は防波壁通路防波扉北側における横断方向の断面である。防波壁（逆T擁壁）直下の改良地盤は幅19.5mと広いが、岩盤上面の深さは18.5mと最も深く、改良地盤と施設護岸が接していることから、施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び横断方向の変形性評価の評価対象断面として選定した。
- ・⑦-⑦断面は⑤-⑤断面に直交する縦断方向の断面である。⑤-⑤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。

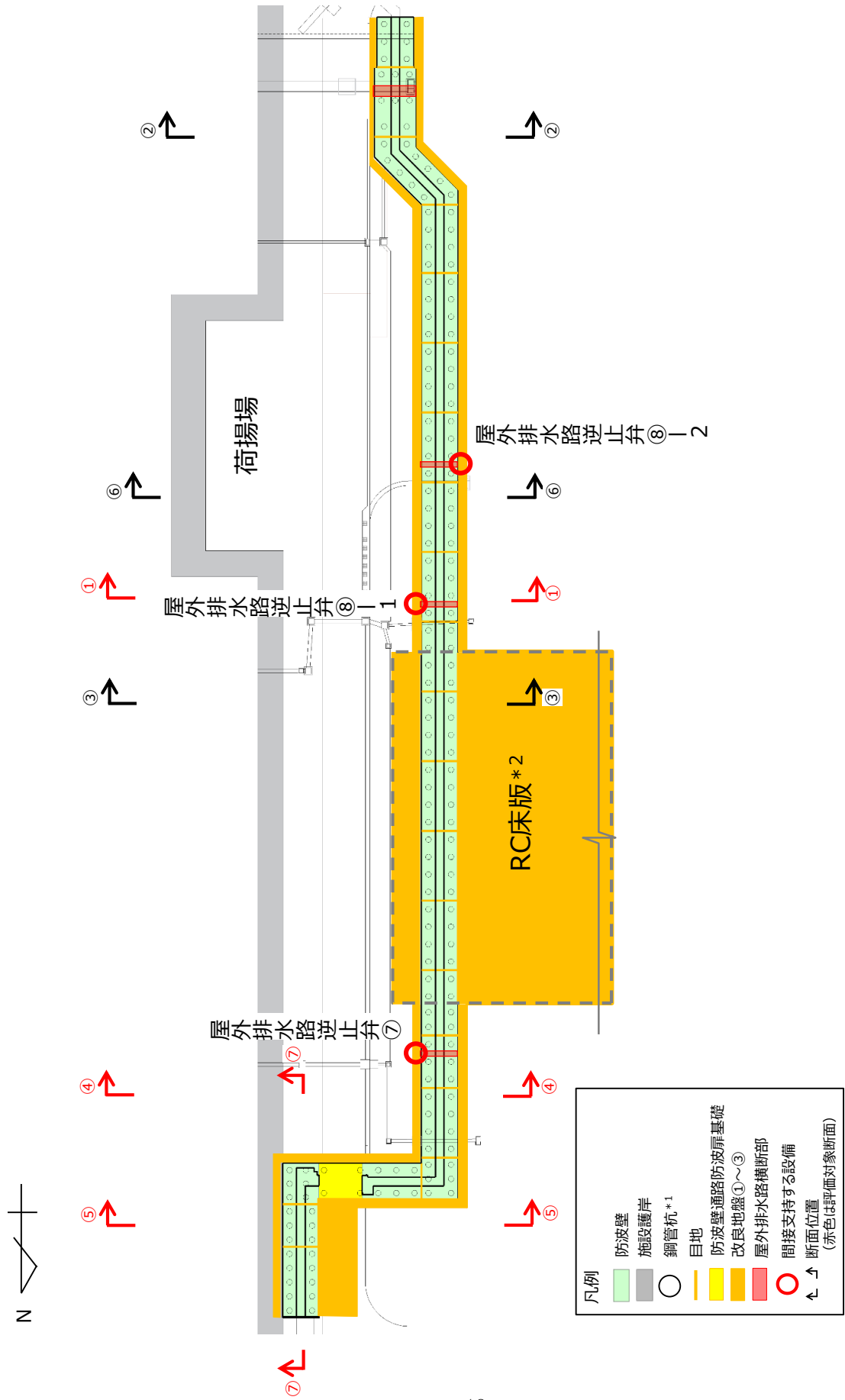


図 3-1 防波壁（逆 T 擁壁）の評価対象断面位置図

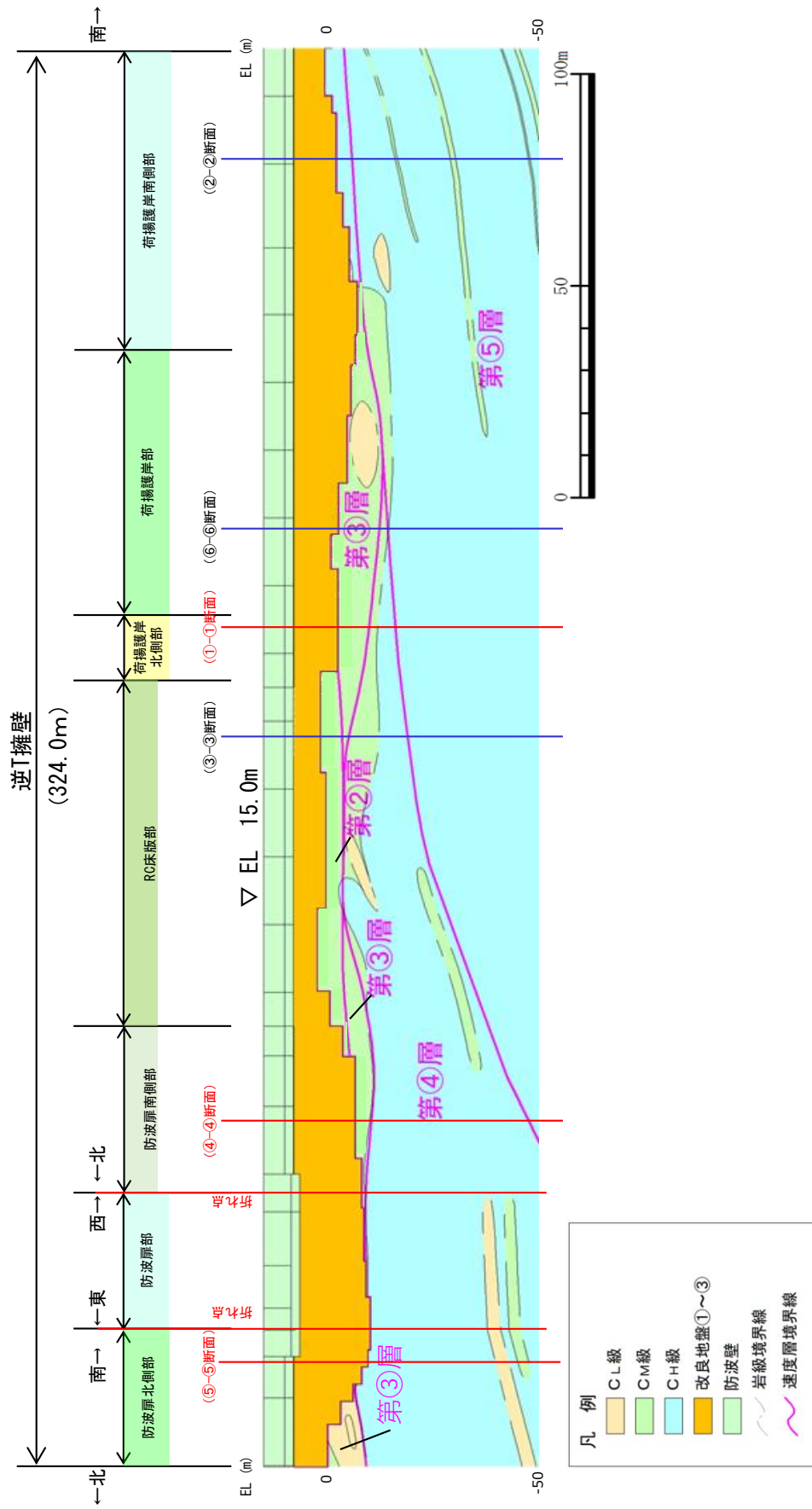


図 3-2 防波壁（逆T擁壁）の縦断面図

(単位：m)

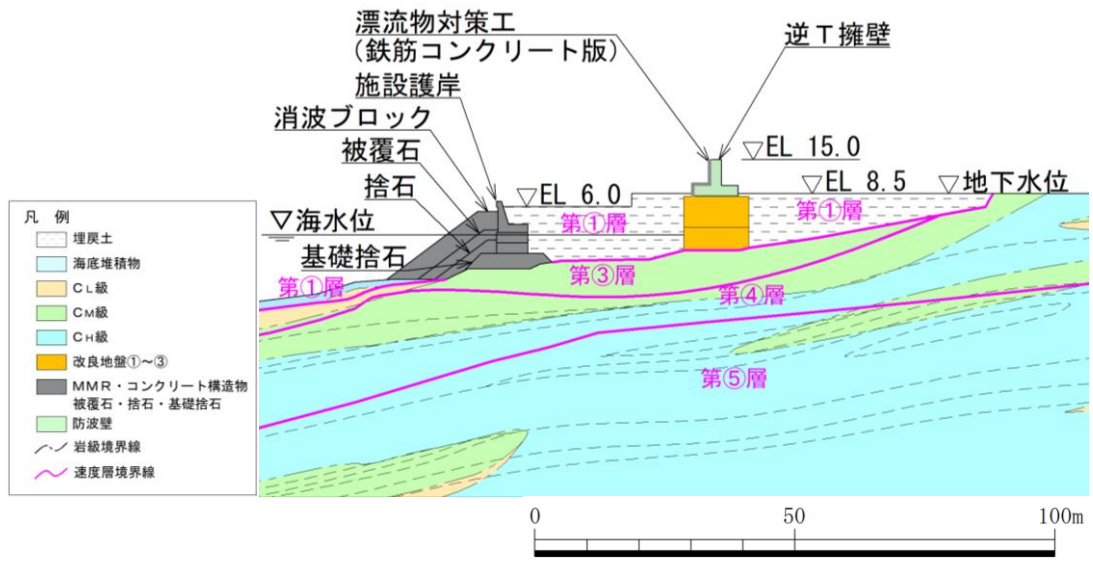


図 3-3 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（①-①断面）

(単位：m)

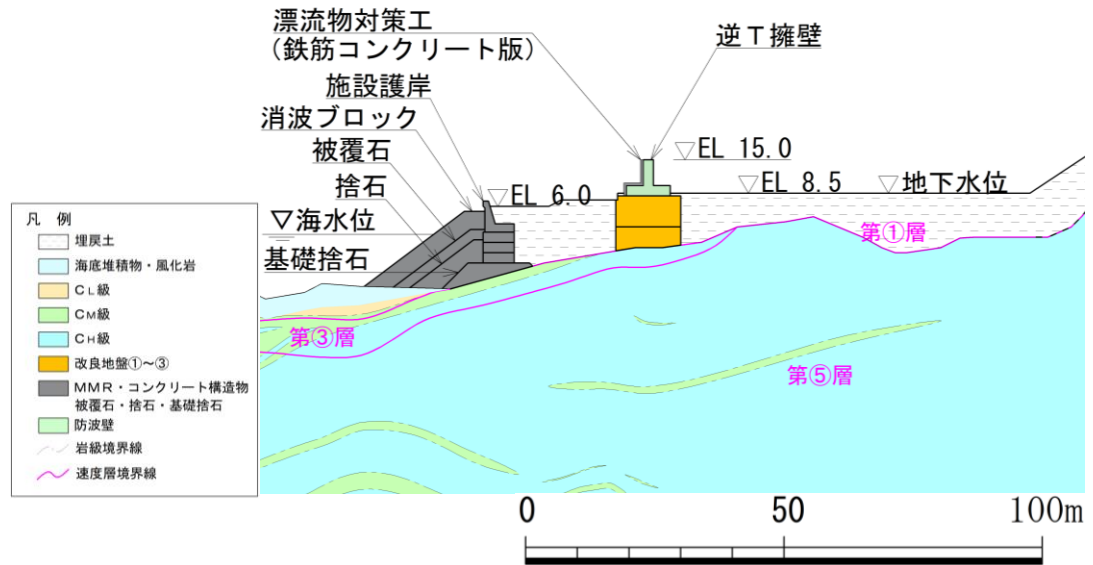


図 3-4 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（②-②断面）

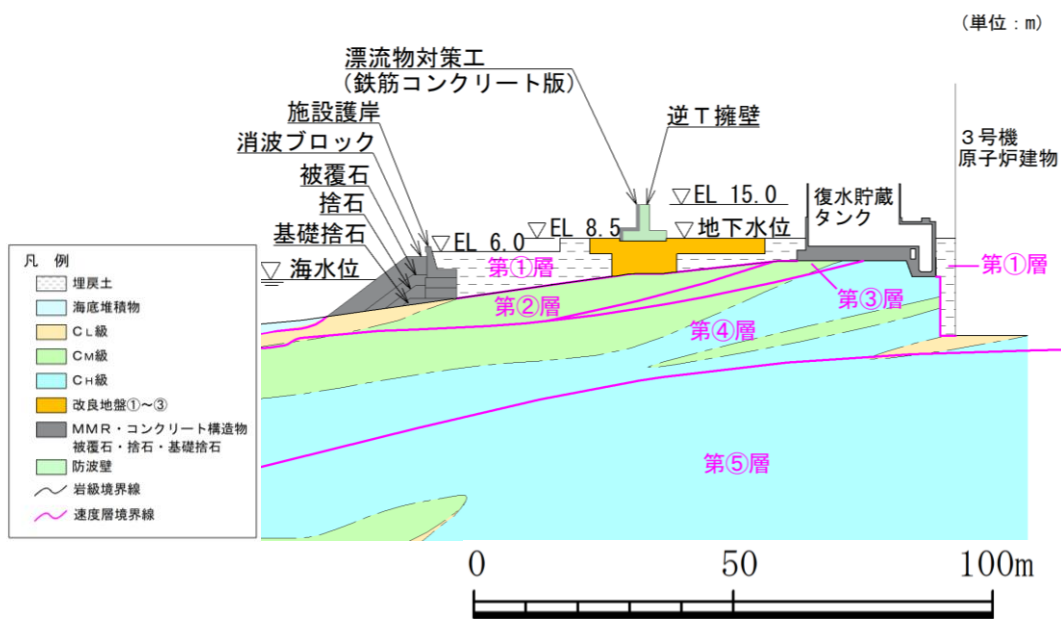


図 3-5 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (③-③断面)

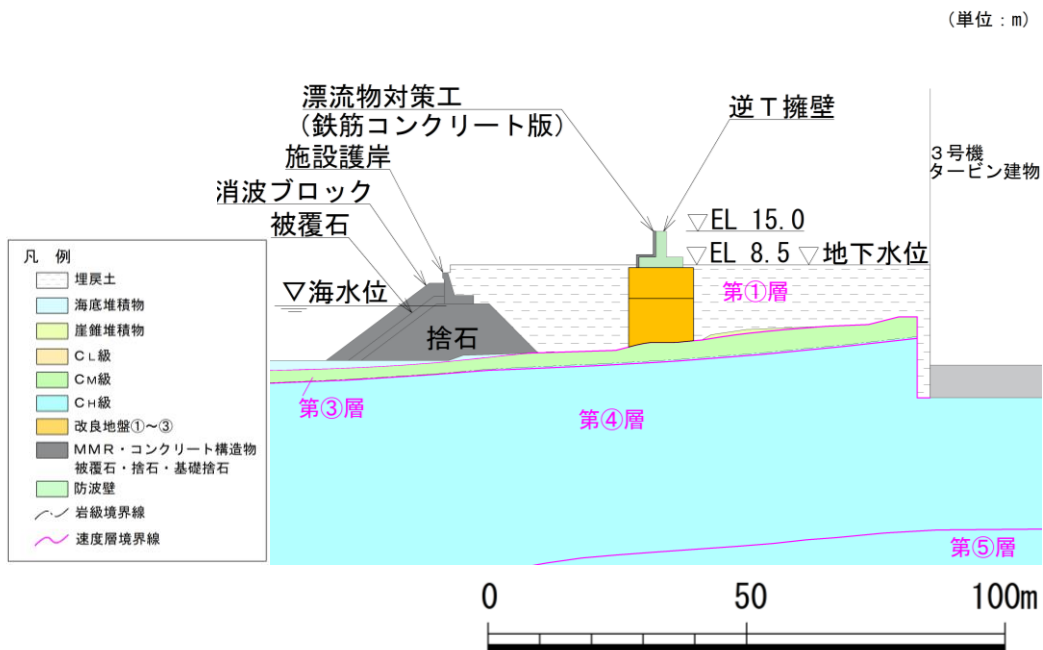


図 3-6 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (④-④断面)

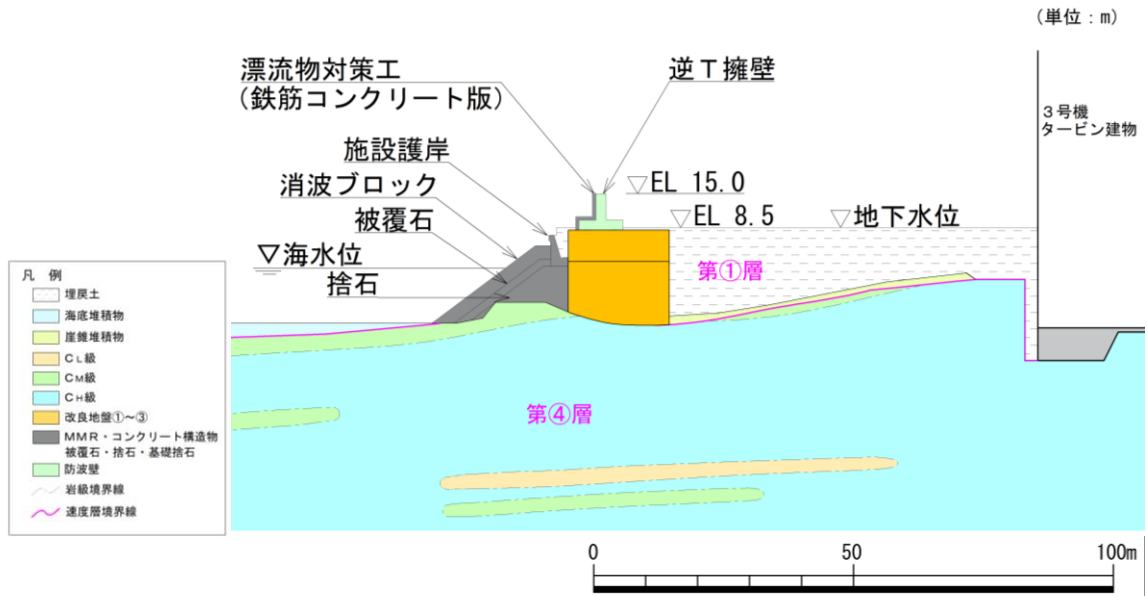


図 3-7 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（⑤-⑤断面）

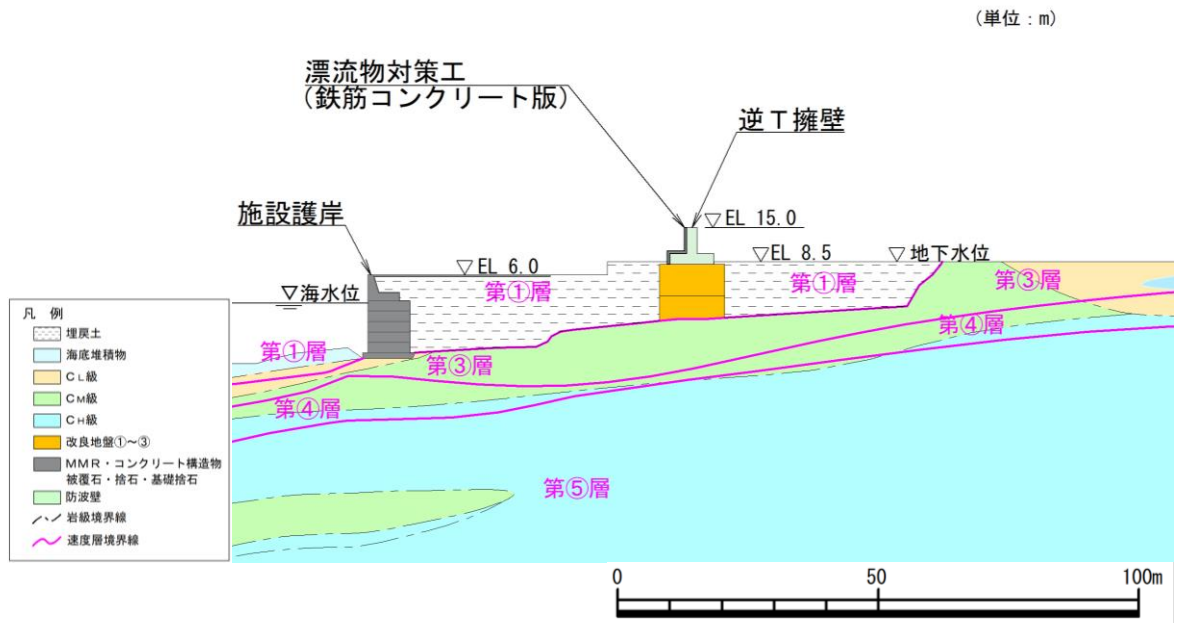


図 3-8 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（⑥-⑥断面）

3.2 解析方法

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

防波壁（逆T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3-1に示す解析ケースにおいて考慮する。

図3-3～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（逆T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3-1 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 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

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

また、防波壁（逆T擁壁）の前面には施設護岸が設置されており、施設護岸の基礎には基礎捨石及び被覆石（以下「施設護岸等」という。）を設置している。改良地盤と施設護岸等が近接しており、施設護岸等が改良地盤の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる⑤-⑤断面については、解析ケース①～③のうち照査値が最も厳しくなるケースで、防波壁前面の施設護岸等の損傷を考慮した解析ケース④を実施する。

耐震評価における解析ケースを表3-2に示す。

表 3-2 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	ケース④
		基本 ケース	地盤物性のば らつき (+1 σ) を考慮し た解析ケース	地盤物性のば らつき (-1 σ) を考慮し た解析ケース	施設護岸等の損 傷を考慮した解 析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ	防波壁と施設 護岸等の位置 関係を踏まえ、施設護岸 等が防波壁の 変形抑制に寄 与する可能性 が高いと考え られる⑤-⑤ 断面において、ケース① ~③のうち照 査値が最も厳 しくなるケー スで実施す る。
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。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

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

3.4 入力地震動

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

3.5 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-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」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。

3.5.1 解析モデル

評価対象断面のうち①－①断面，④－④断面，⑤－⑤断面及び⑦－⑦断面の地震応答解析モデルは、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

3.5.2 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-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

3.5.3 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用いる。

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表3-3のとおり設定する。

表 3-3 改良地盤①～③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①, ②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（逆T擁壁）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

3.6.1 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、逆T擁壁、グラウンドアンカ及び改良地盤①～③とする。

3.6.2 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。

3.6.3 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、防波壁（逆T擁壁）を支持する基礎地盤（改良地盤及び岩盤）とする。

3.7 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。

3.7.1 逆T擁壁

逆T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] ((社) 土木学会, 2002年制定) 」に基づき、表3-4のとおり設定する。

表 3-4 逆T擁壁の許容限界

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}	9.0
許容せん断応力度 τ_{a1}		0.45	0.67
支圧応力度 σ_{ba} (グラウンドアンカ)		12	18
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

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

3.7.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 ((社) 地盤工学会, 2012年) 」に基づき、許容アンカー力を表3-5のとおり設定する。

表 3-5 グラウンドアンカの許容限界

許容値 (kN)		
①-①断面	④-④断面	⑤-⑤断面
1764	1453	2076

3.7.3 改良地盤

改良地盤の施設・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）」を準用し、表 3-6 のとおり設定する。

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

3.7.4 止水目地

止水目地（ゴムジョイント）の許容限界は、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変位量とする。止水目地（ゴムジョイント）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（ゴムジョイント）の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	449

3.7.5 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 (N/mm ²)	
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
		C _L 級	3.9
	改良地盤	1.4	

3.8 評価方法

防波壁（逆T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「3.7 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。

3.8.1 逆T擁壁

(1) 曲げ照査及びせん断照査

逆T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及び曲げ引張応力度並びにせん断力より算定されるせん断応力が「3.7 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。

逆T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。

(2) グラウンドアンカによる支圧照査

グラウンドアンカによる支圧照査は、発生アンカー力を用いて次式により算定される支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{T}{S}$$

ここで、

σ_b : グラウンドアンカにより発生する支圧応力度 (N/mm²)

T : 発生アンカー力 (引張) (N)

S : 支圧板の面積 (mm²)

3.8.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの耐震評価は、地震応答解析に基づいて算定した発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

3.8.3 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。すべり安全率の算定には、解析コード「C P O S T S K」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。

3.8.4 止水目地

止水目地（ゴムジョイント）の地震時の変形性評価について、法線直交方向、法線方向及び深度方向いずれも、防波壁（逆T擁壁）の地震時の最大変位量が許容限界以下であることを確認する。

x方向（法線直交方向）及びz方向（深度方向）の変位量は、図3-9に示すとおり、防波壁（逆T擁壁）天端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）の変位量は、隣接する防波壁（逆T擁壁）の天端間の最大相対変位量とする。

x方向（法線直交方向）の地震時の変位量 $\delta_x : \delta_x = |\delta_x(T)| \times 2$

y方向（法線方向）の地震時の変位量 $\delta_y : \delta_y = |\delta_y(T)|$

z方向（深度方向）の地震時の変位量 $\delta_z : \delta_z = |\delta_z(T)| \times 2$

ここで、

$\delta_x(T)$: x方向（法線直交方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_y(T)$: y方向（法線方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_z(T)$: z方向（深度方向）の地震時の最大相対変位量

法線直交方向、法線方向及び深度方向の変位量を用い、下式のとおり合成方向（3方向合成）の変位量を求め、止水目地（ゴムジョイント）の地震時の最大変位量とする。

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

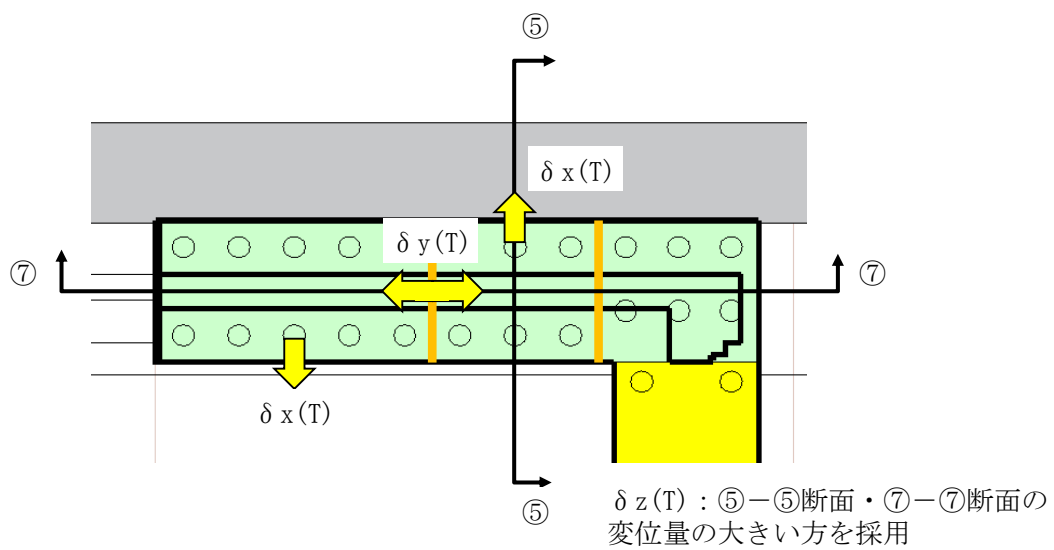


図 3-9 地震時の変位量の概念図

3.8.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、改良地盤及び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. 耐震評価結果

4.1 逆T擁壁

4.1.1 曲げ照査

逆T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における最大照査値の評価時刻での断面力図を図4-1～図4-6に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表4-1～表4-3に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表4-4～表4-6に示す。

この結果から、逆T擁壁の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した。

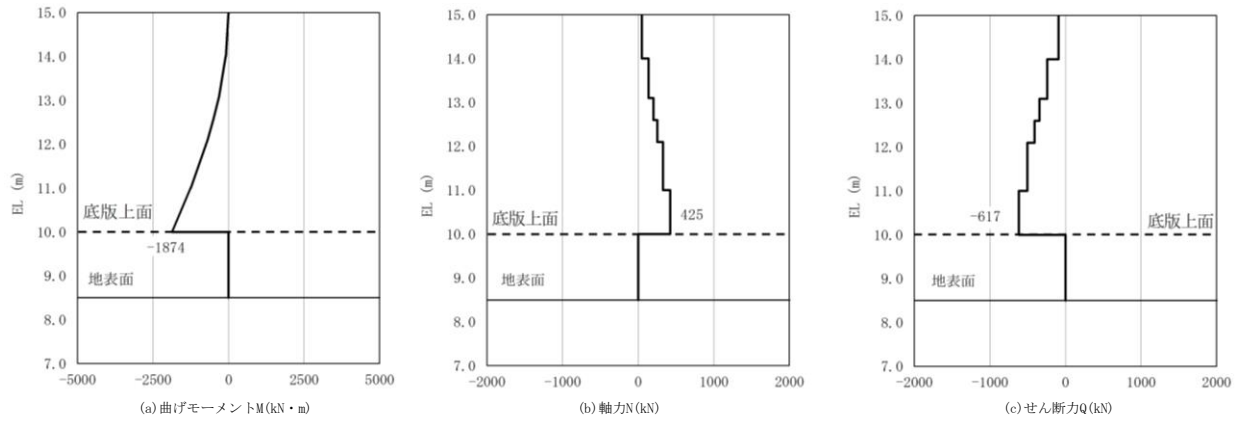


図 4-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(①-①断面, S s - D (+ -), t=19.18s)

解析ケース①：基本ケース

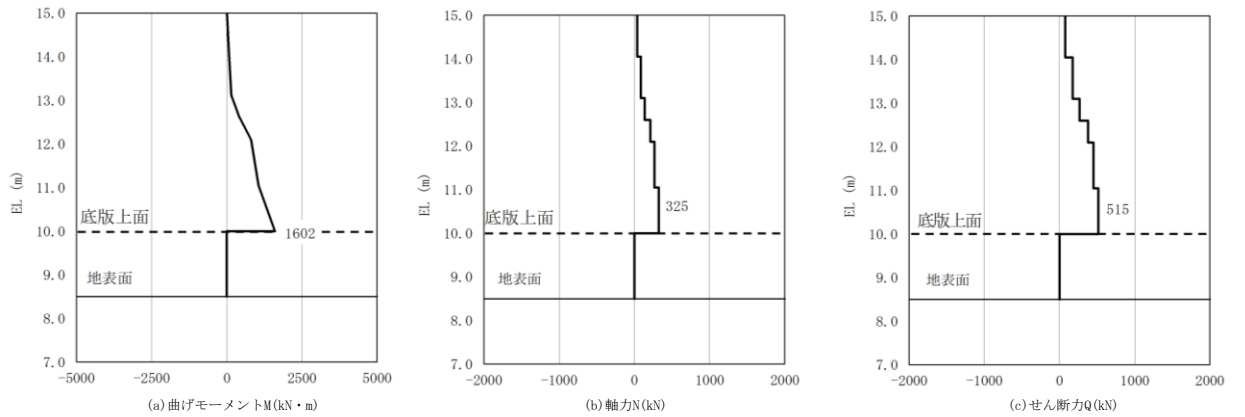


図 4-2 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(④-④断面, S s - D (+ -), t=19.15s)

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 - 1σ)

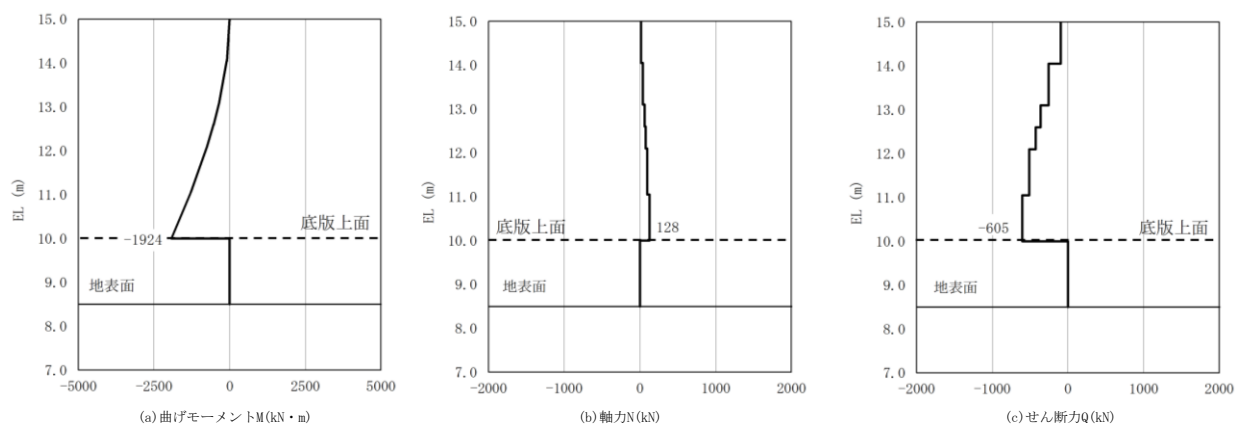


図 4-3 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力
 (⑤-⑤断面, S s - N 1 (++) , t=7.58s)
 解析ケース①：基本ケース

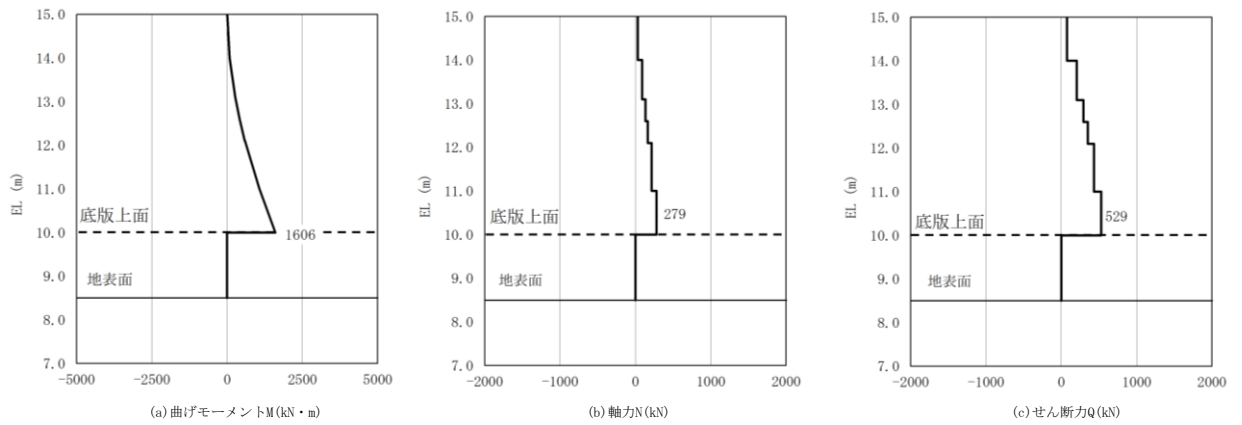


図 4-4 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(①-①断面, S s - N 2 (E W) (-+), t=25.96s)

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 - 1σ)

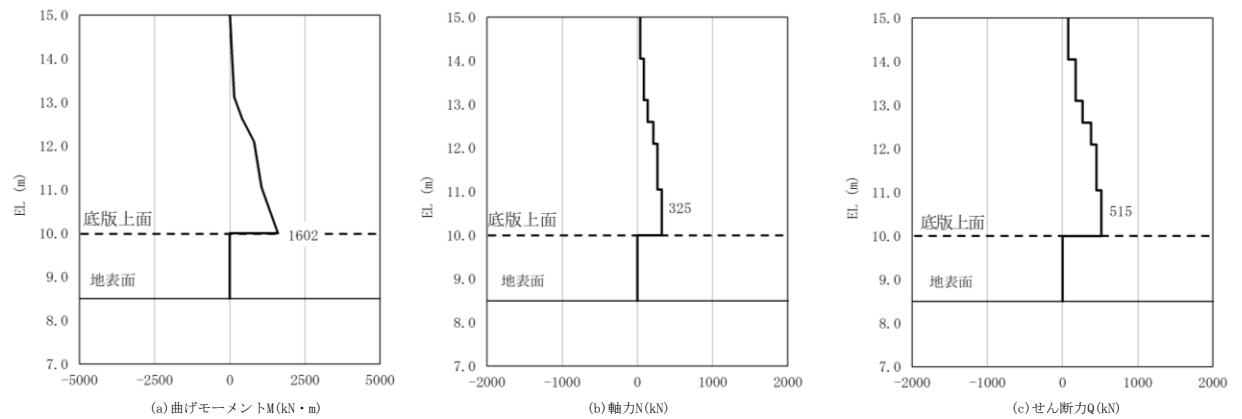


図 4-5 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(④-④断面, S s - D (+-), t=19.15s)

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 - 1σ)

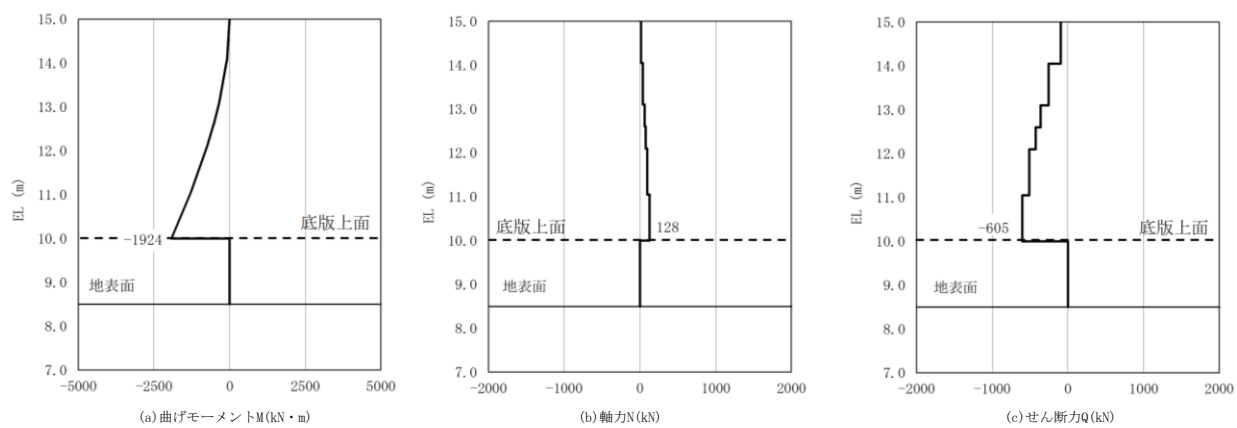


図 4-6 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力
 (⑤-⑤断面, S s - N 1 (++) , t=7.58s)
 解析ケース①：基本ケース

表 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
(①-①断面)

地震動	解析 ケース	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)			
S s - D (+-)	①	1874	425	4.3	13.5	0.32

表 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)

地震動	解析 ケース	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)			
S s - D (+-)	③	1602	325	3.9	13.5	0.29

表 4-3 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
(⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	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)			
S s - N 1 (++)	①	1924	128	4.4	13.5	0.33

表 4-4 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
(①-①断面)

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -N 2 (E W) (- +)	③	1606	279	186.3	294	0.64

表 4-5 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 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)			
S _s -D (+ -)	③	1602	325	180.9	294	0.62

表 4-6 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 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)			
S _s -N 1 (+ +)	①	1924	128	200.5	294	0.69

4.1.2 せん断照査

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の評価時刻での断面力図を図4-7～図4-9に、コンクリートのせん断破壊に対する照査値を表4-7～表4-9に示す。

この結果から、逆T擁壁のコンクリートの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

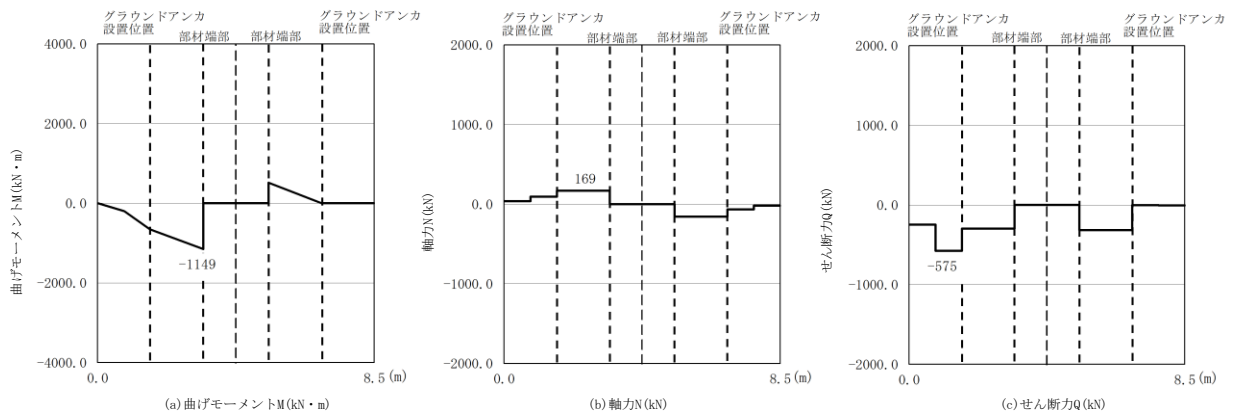


図4-7 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(①-①断面, S_s-D (---), t=19.18s)

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)

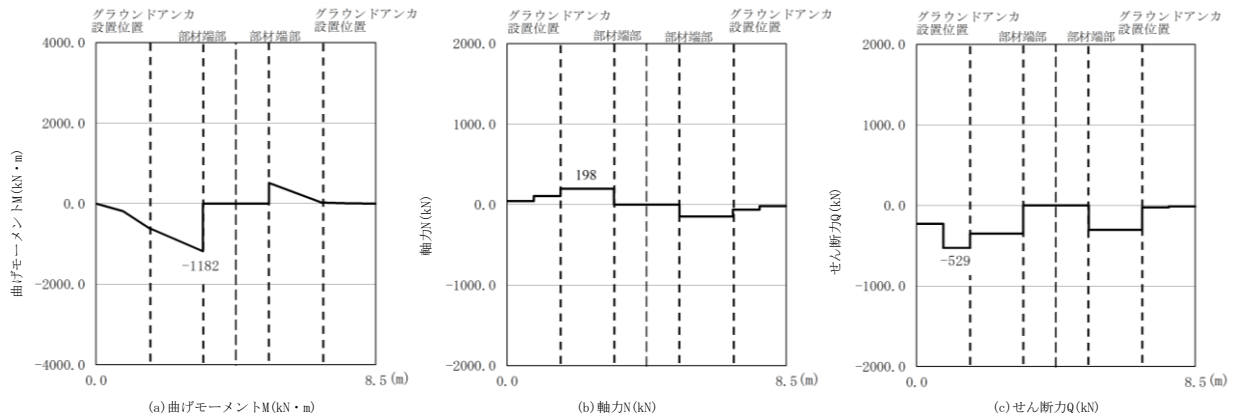


図4-8 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(④-④断面, S_s-D (+-), t=8.61s)

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 - 1σ)

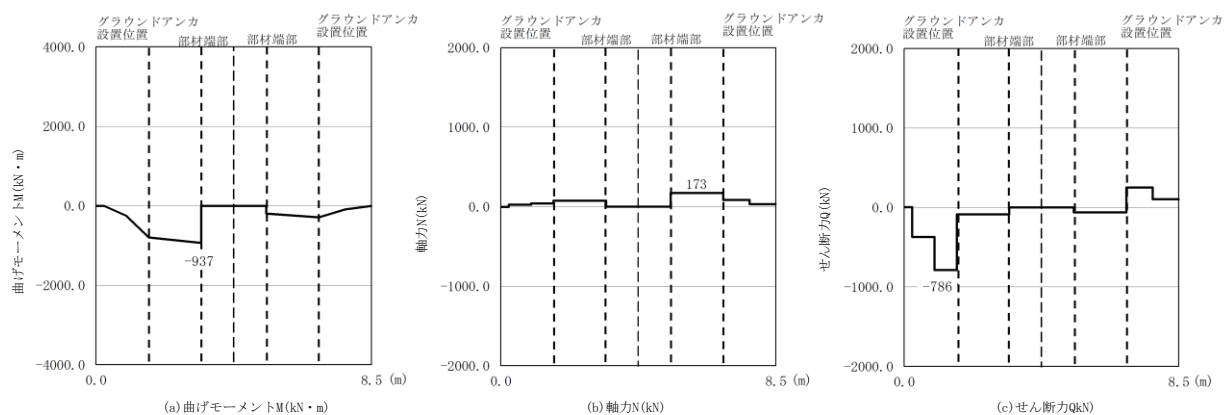


図 4-9 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力
 (⑤-⑤断面, S s - D (- -) , t=28.12s)
 解析ケース①：基本ケース

表 4-7 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 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (--)	②	575	0.39	0.67	0.59

表 4-8 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 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)			
S _s -D (+-)	③	529	0.36	0.67	0.54

表 4-9 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 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)			
S _s -D (--)	①	786	0.53	0.67	0.80

4.1.3 グラウンドアンカによる支圧照査

逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧に対する照査値を表4-10～表4-12に示す。

この結果から、逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧応力度が許容限界以下であることを確認した。

表4-10 逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧に対する
照査における最大照査値（①-①断面）

地震動	解析 ケース	支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
S s - N 1 (++)	①	10.6	18.0	0.59

表4-11 逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧に対する
照査における最大照査値（④-④断面）

地震動	解析 ケース	支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
S s - N 1 (++)	②	8.9	18.0	0.50

表4-12 逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧に対する
照査における最大照査値（⑤-⑤断面）

地震動	解析 ケース	支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
S s - N 1 (++)	③	12.3	18.0	0.69

4.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査値を表 4-13 及び表 4-15 に示す。
この結果から、グラウンドアンカの発生アンカー力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-13 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する
照査における最大照査値 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生アンカー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
S _s -N1 (++)	①	1514	1764	0.86

表 4-14 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する
照査における最大照査値 (④-④断面)

地震動	解析 ケース	発生アンカー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
S _s -N1 (++)	②	1276	1453	0.88

表 4-15 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する
照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生アンカー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
S _s -N1 (++)	③	1762	2076	0.85

4.3 改良地盤

改良地盤におけるすべり安全率による評価結果を表 4-16～表 4-18 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 4-10～図 4-12 に示す。

この結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-16 改良地盤のすべり安全率評価結果 (①-①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 -N1(++)	②	7.56	3.42

表 4-17 改良地盤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 -N1(++)	②	7.61	2.49

表 4-18 改良地盤のすべり安全率評価結果 (⑤-⑤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 -N1(++)	②	7.61	3.12

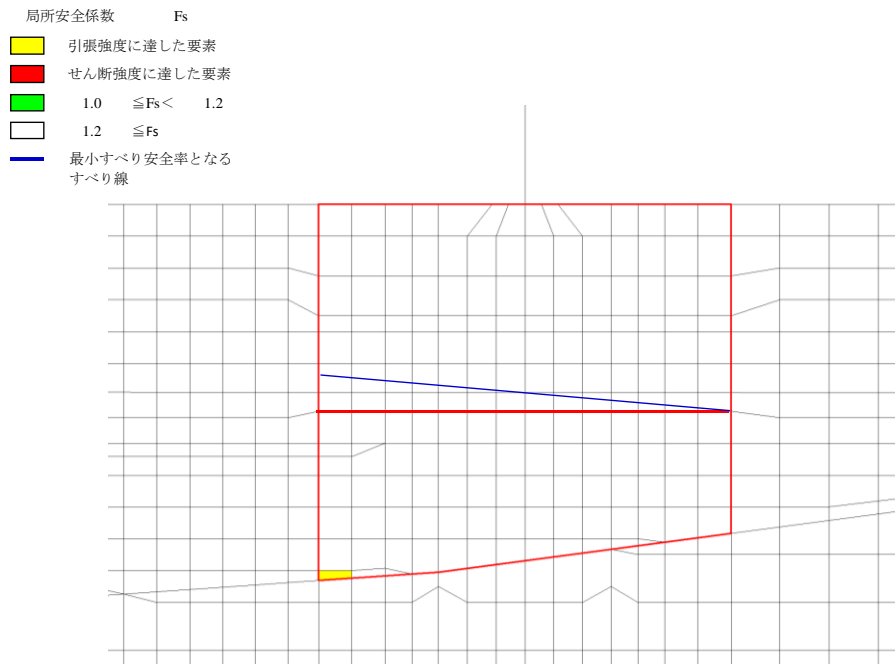


図 4-10 改良地盤の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (①-①断面, $S_s - N1 (+ +)$, $t=7.56s$)

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)

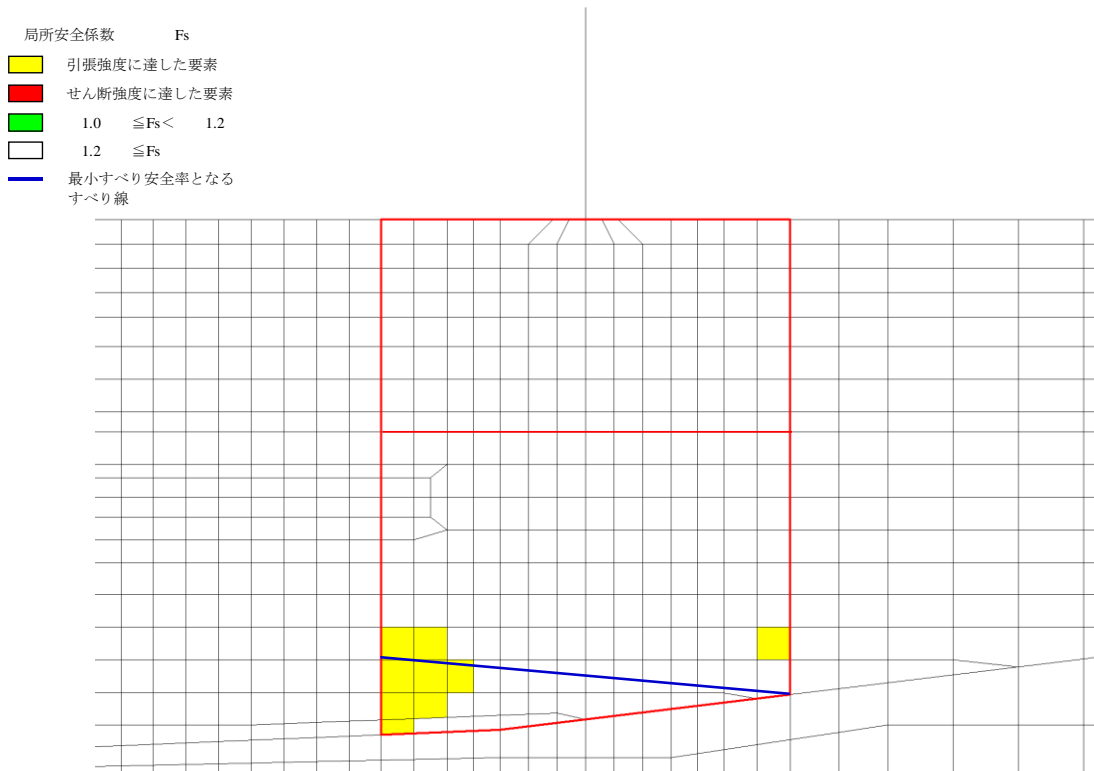


図 4-11 改良地盤の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (④-④断面, $S_s - N1 (+ +)$, $t=7.61s$)

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)

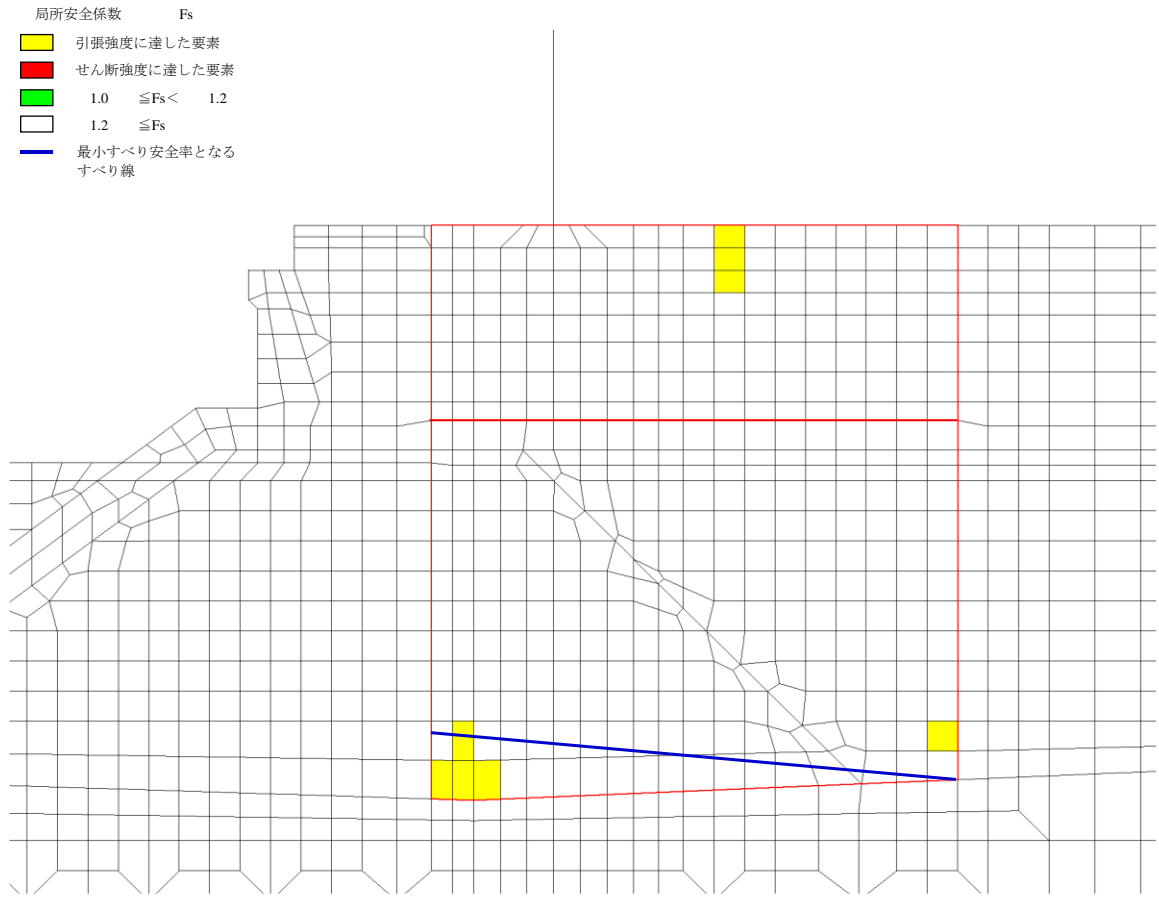


図 4-12 改良地盤の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (⑤-⑤断面, $S_s - N1 (+ +)$, $t=7.61s$)

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)

4.4 止水目地

地震時の止水目地（ゴムジョイント）の変位量に対する照査結果を表 4-19 に示す。

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

表 4-19 止水目地（ゴムジョイント）の変位量に対する照査結果

方向	地震動	解析 ケース	地震時の変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ⑤-⑤断面 (法線直交方向)	S s - D (-+)	①	157	-
δy : ⑦-⑦断面 (法線方向)	S s - D (-+)	①	3	-
δz : ⑦-⑦断面 (深度方向)	S s - D (--)	①	28	-
合成方向 (3方向合成)	-	-	159	449

4.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-20～表 4-22 に、基礎地盤の接地圧分布図を図 4-13～図 4-15 に示す。

防波壁（逆 T 擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-20(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（①-①断面，改良地盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -D (--)	①	0.5	1.4	0.36

表 4-20(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（①-①断面，岩盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -D (+-)	①	1.2	9.8	0.13

表 4-21(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（④-④断面，改良地盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -D (+-)	③	0.5	1.4	0.36

表 4-21(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 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -N1 (-+)	①	1.9	9.8	0.20

表 4-22(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (⑤-⑤断面, 改良地盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -N 2 (EW) (-+)	①	0.6	1.4	0.43

表 4-22(2) 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 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -N 1 (-+)	①	1.5	3.9	0.39

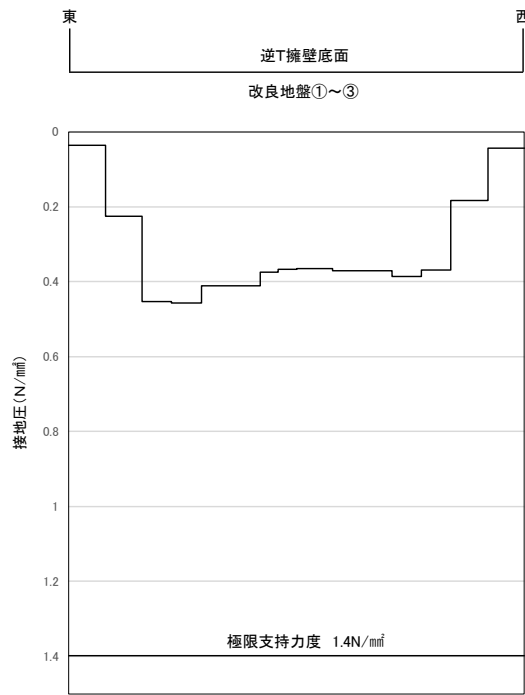


図 4-13(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (①-①断面, 改良地盤)
 (S s - D (- -))
 解析ケース①: 基本ケース

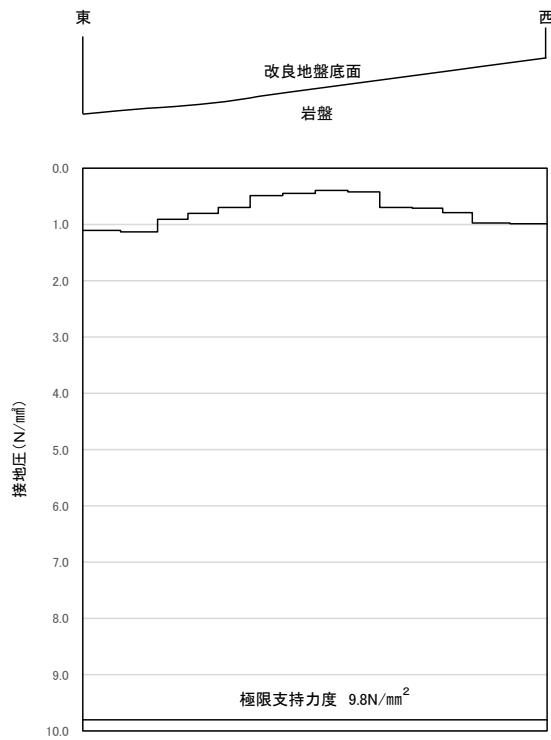


図 4-13(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (①-①断面, 岩盤)
 (S s - D (+ -))
 解析ケース①: 基本ケース

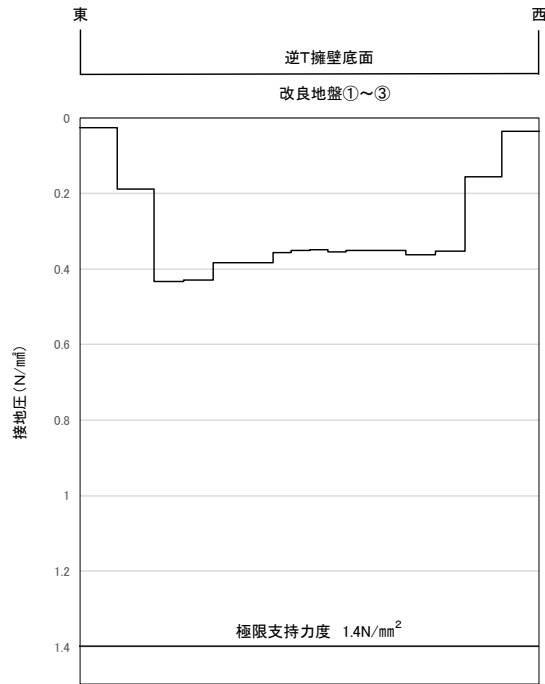


図 4-14(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 改良地盤)
(S s - D (+ -))

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)

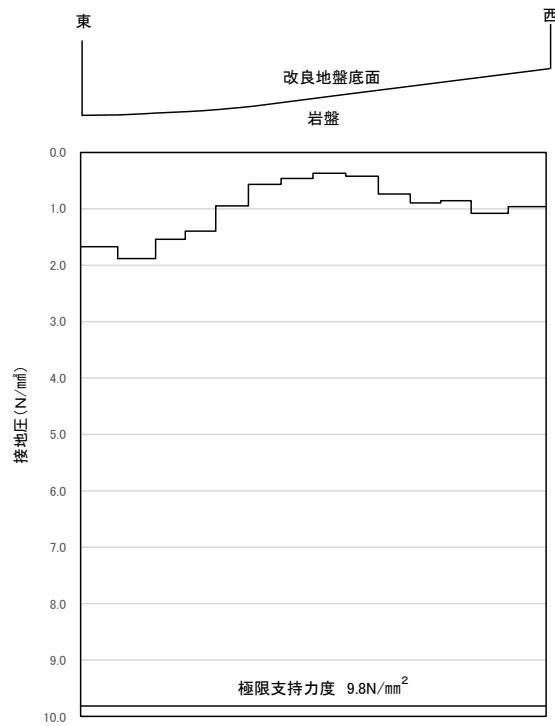


図 4-14(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)
(S s - N 1 (- +))

解析ケース①：基本ケース

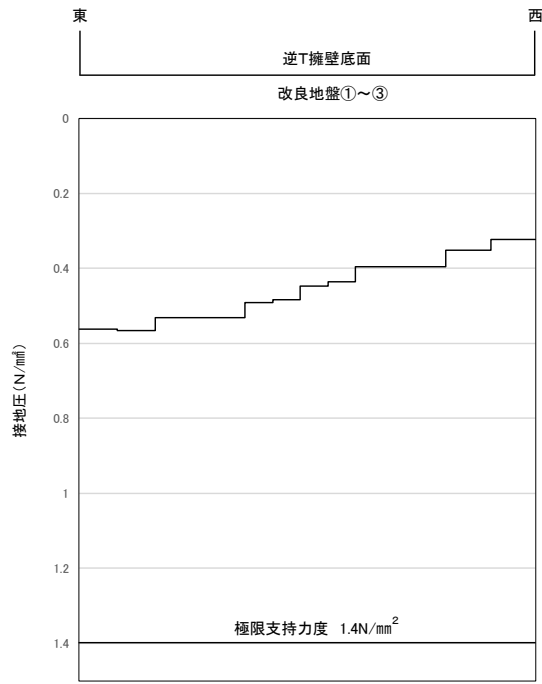


図 4-15(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 改良地盤)
 (S s - N 2 (E W) (-+))
 解析ケース①: 基本ケース

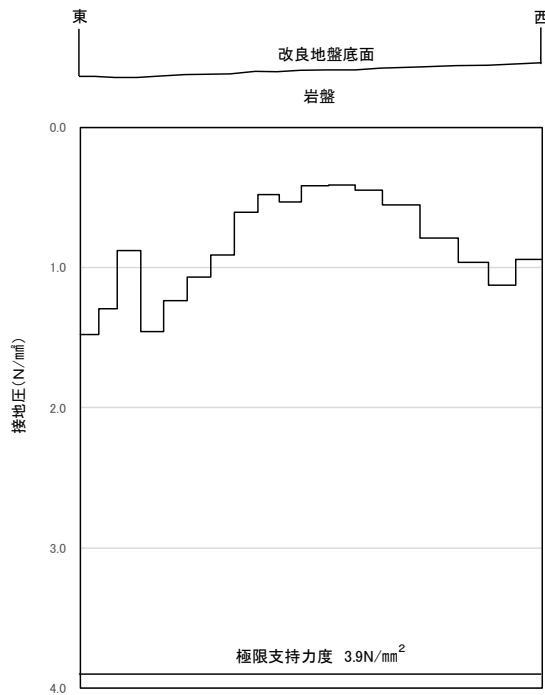


図 4-15(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)
 (S s - N 1 (-+))
 解析ケース①: 基本ケース

4.6 施設護岸等の損傷による不確かさの影響確認

4.6.1 評価方針

防波壁（逆T擁壁）の前面に設置している施設護岸等は、その形状を適切にモデル化し防波壁（逆T擁壁）の評価を実施する方針としているが、施設護岸等は耐震性が低いことから、施設護岸等が損傷した場合の解析ケースを実施する。

改良地盤と施設護岸の間に分布する埋戻土は、液状化により傾斜方向（海側）に流動化するため、改良地盤と施設護岸が離れている断面では、施設護岸等が改良地盤の変形抑制に寄与する可能性は低いと考えられる。

このため、評価対象断面については、改良地盤と施設護岸等が近接しており、施設護岸等が改良地盤の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる⑤-⑤断面とする。

入力地震動については、⑤-⑤断面の解析ケース①～③において、照査値が最も厳しいことから、「S s - N 1 (++)」を選定する。

地盤物性のばらつきについては、入力地震動の選定と同様の観点から、解析ケース③の照査値が最大となる「平均値 - 1 σ 」を選定する。施設護岸等の有無における解析ケースを表 4-23 に示す。

表 4-23 解析ケース（⑤-⑤断面）

解析ケース	施設 護岸等	地盤物性	
		埋戻土 (G ₀ : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G _d : 動せん断弾性係数)
ケース③ 「4. 耐震評価結果」にて評価済み	有	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	無	平均値 - 1 σ	平均値

4.6.2 地震応答解析モデル

防波壁（逆T擁壁）に前面の施設護岸等が損傷した場合の⑤－⑤断面における地震応答解析モデルを図4-16に示す

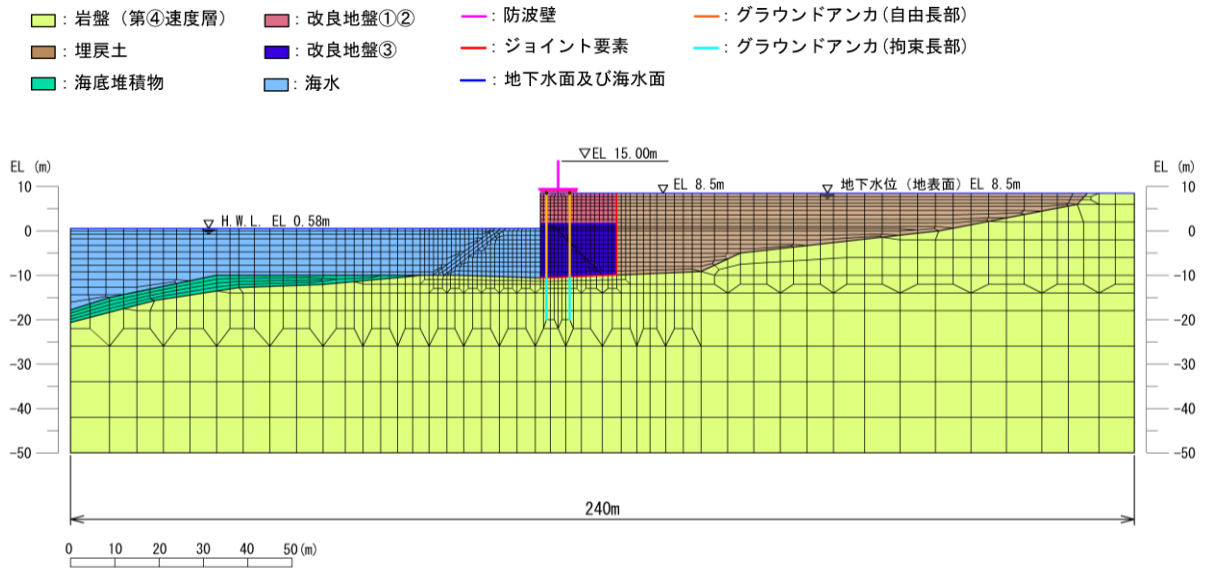


図4-16 ⑤－⑤断面における地震応答解析モデル（施設護岸等が損傷した場合）

4.6.3 評価結果

施設護岸等が損傷した場合の評価結果を表 4-24～表 4-27 に示す。本検討の結果、施設護岸等が損傷した場合においても、逆 T 擁壁の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-24 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照査値
(⑤-⑤断面, S_s-N1(++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	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 (「4.1 逆 T 擁壁」 にて評価済み)	7.58	1921	128	4.3	13.5	0.32
④	7.65	1431	318	3.3	13.5	0.25

表 4-25 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値
(⑤-⑤断面, S_s-N1(++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	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 (「4.1 逆 T 擁壁」 にて評価済み)	7.58	1921	128	200.2	294	0.69
④	7.65	1431	318	130.1	294	0.45

表 4-26 コンクリートのせん断破壊に対する照査における照査値
 (⑤-⑤断面, S_s-N1 (++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	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)			
③ (「4.1 逆T擁 壁」にて評価済み)	7.58	676	0.44	0.67	0.66
④	7.56	552	0.36	0.67	0.54

表 4-27 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における照査値
 (⑤-⑤断面, S_s-N1 (++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	発生アンカー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
③ (「4.2 グラウンドアン カ」にて評価済み)	7.57	1762	2076	0.85
④	7.56	1776	2076	0.86

5. 漂流物対策工

5.1 概要

津波防護施設である防波壁（逆T擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震性について、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防波壁（逆T擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認する。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価を行う。

5.2 基本方針

5.2.1 位置

防波壁（逆T擁壁）に設置する漂流物対策工の位置図を図5-1に、防波壁（逆T擁壁）に設置する漂流物対策工の構造区分図を図5-2、漂流物対策工の構造区分一覧を表5-1に示す。

防波壁（逆T擁壁）には漂流物対策工③、漂流物対策工④、漂流物対策工⑤及び漂流物対策工⑨を設置する。

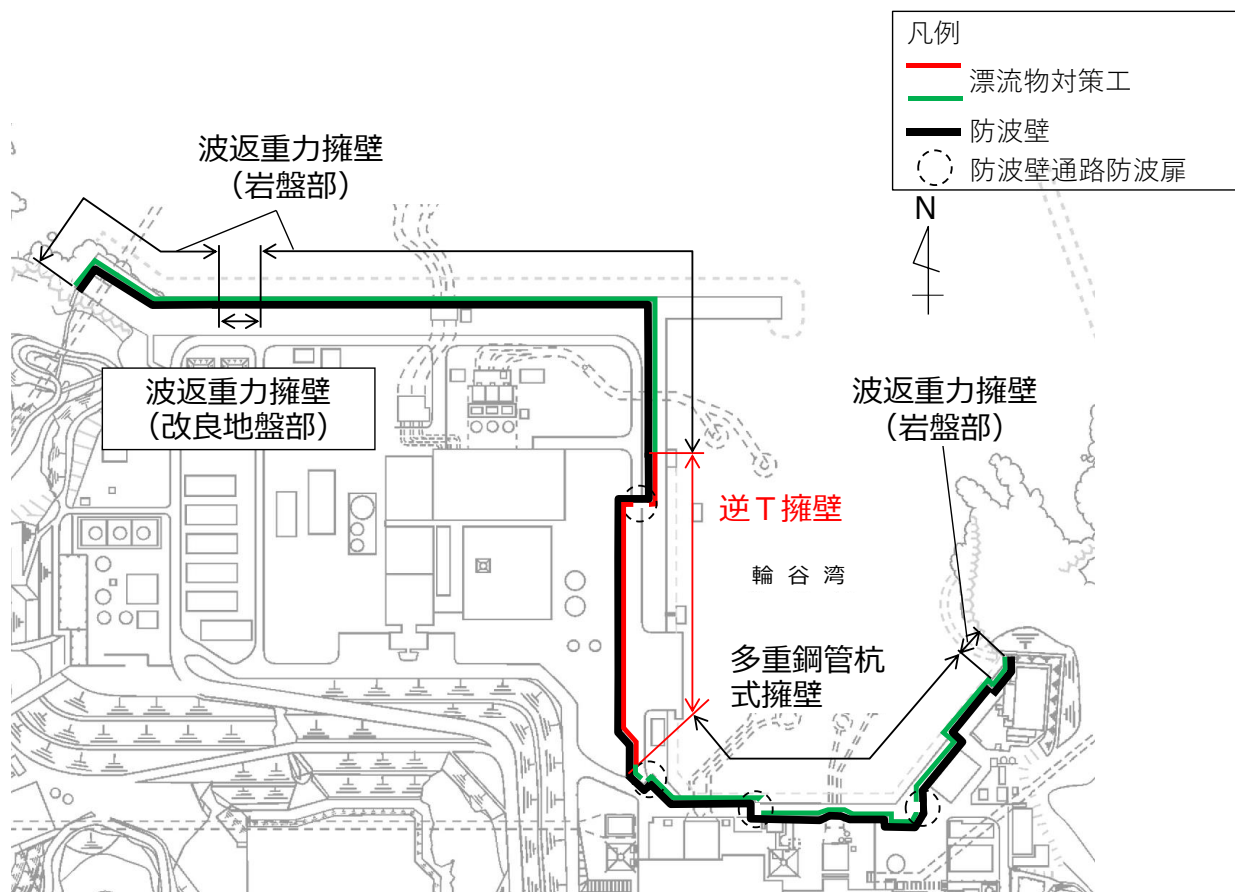


図5-1 漂流物対策工の位置図

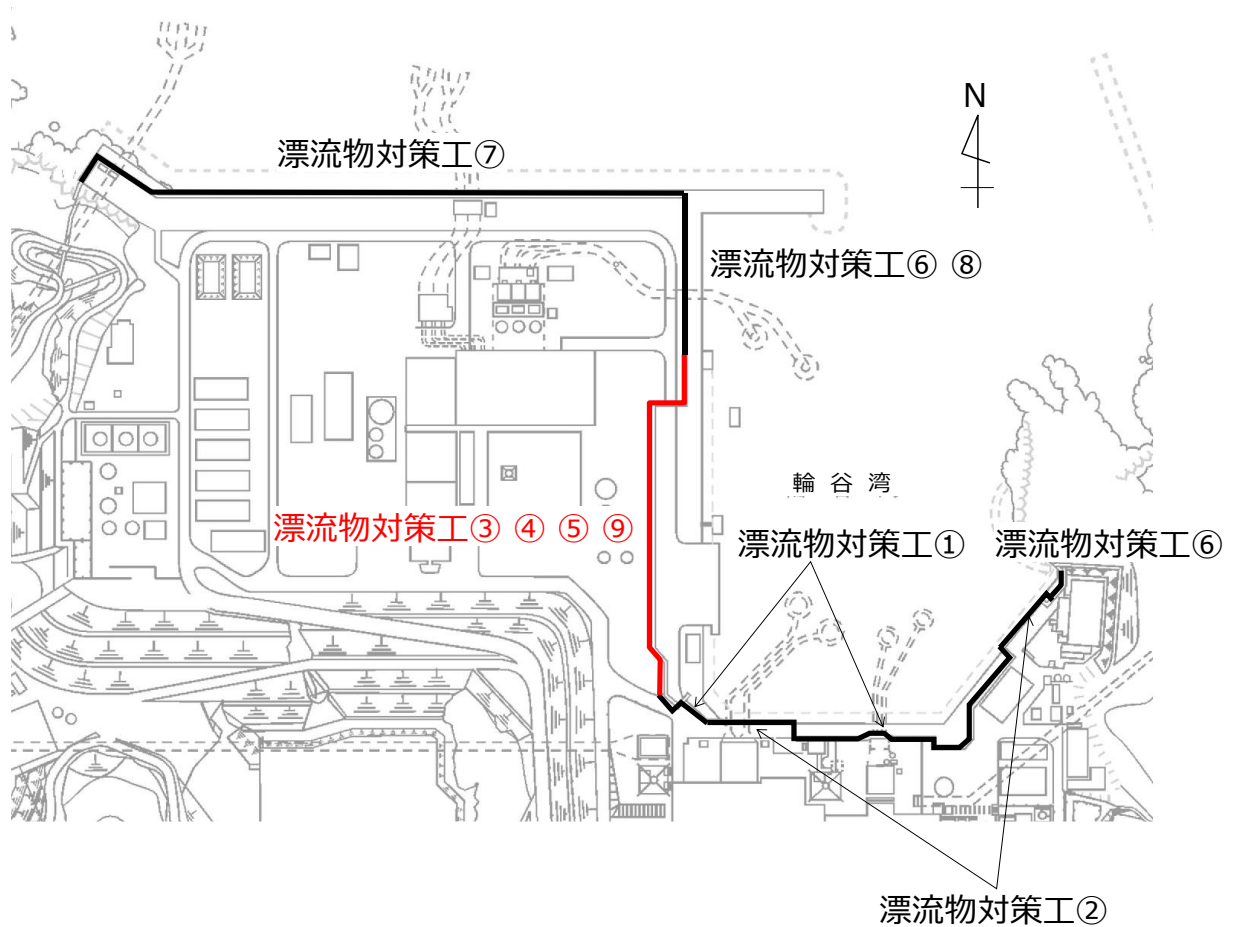


図 5-2 漂流物対策工の構造区分図

表 5-1 漂流物対策工の構造区分一覧

名称	種別	設置箇所
漂流物対策工③	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） 縦壁
漂流物対策工④	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） フーチング
漂流物対策工⑤	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） フーチング側壁
漂流物対策工⑨	鋼材	防波壁（逆T擁壁） グラウンドアンカ

5.2.2 構造概要

防波壁（逆T擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造概要図を図5-3に、概略配筋図を図5-4に、アンカーボルト配置図を図5-5に示す。また、漂流物対策工（鋼材）の構造概要図を図5-6に示す。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は、厚さ50cmを基本とする鉄筋コンクリート版で構成される構造とし、アンカーボルトにより防波壁（逆T擁壁）に支持される構造である。

また、漂流物対策工（鋼材）は、グラウンドアンカのアンカーヘッド上部に設置するものであり、鋼材により構成される構造とし、アンカーボルトにより漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）に固定される構造である。

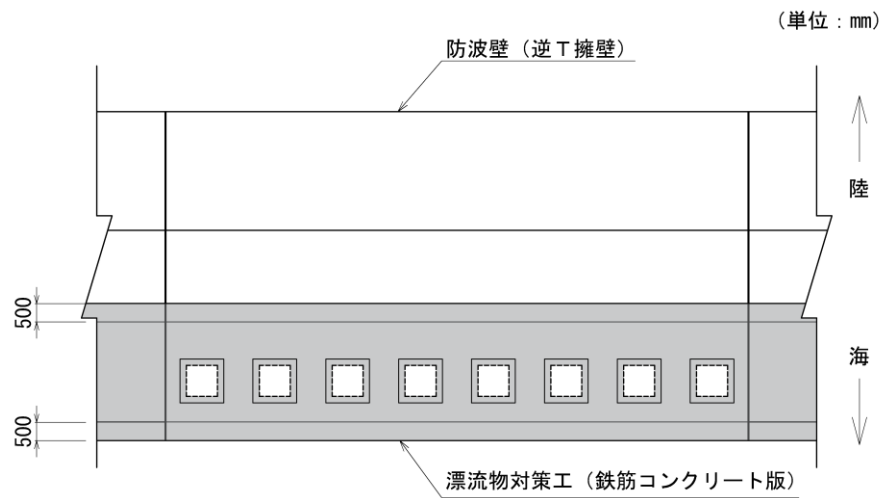


図 5-3(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (平面図)

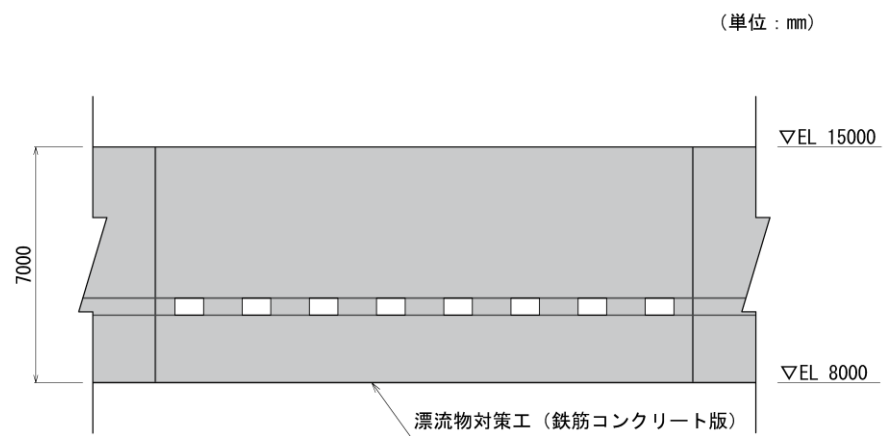


図 5-3(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (正面図)

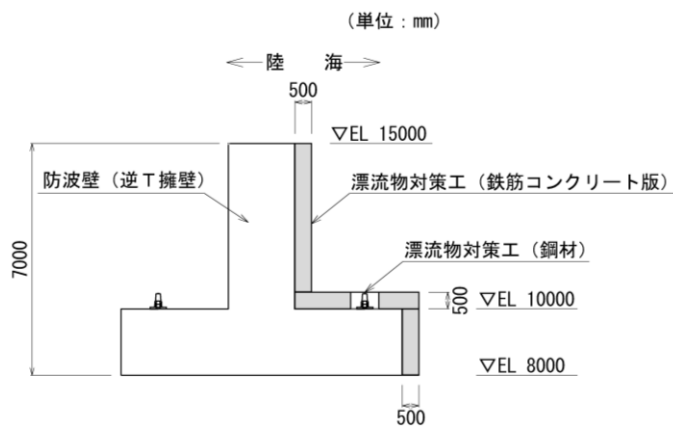


図 5-3(3) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の構造概要図 (標準断面図)

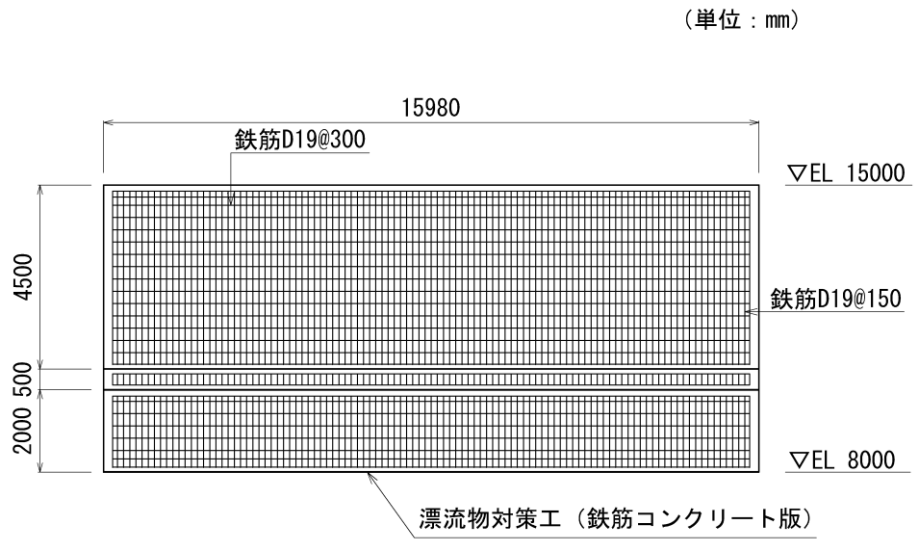


図 5-4(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (正面図)

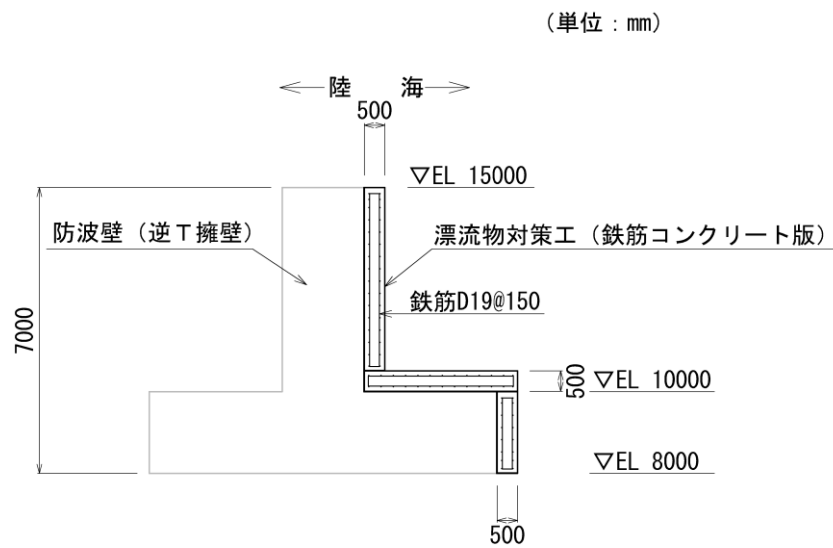


図 5-4(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (断面図)

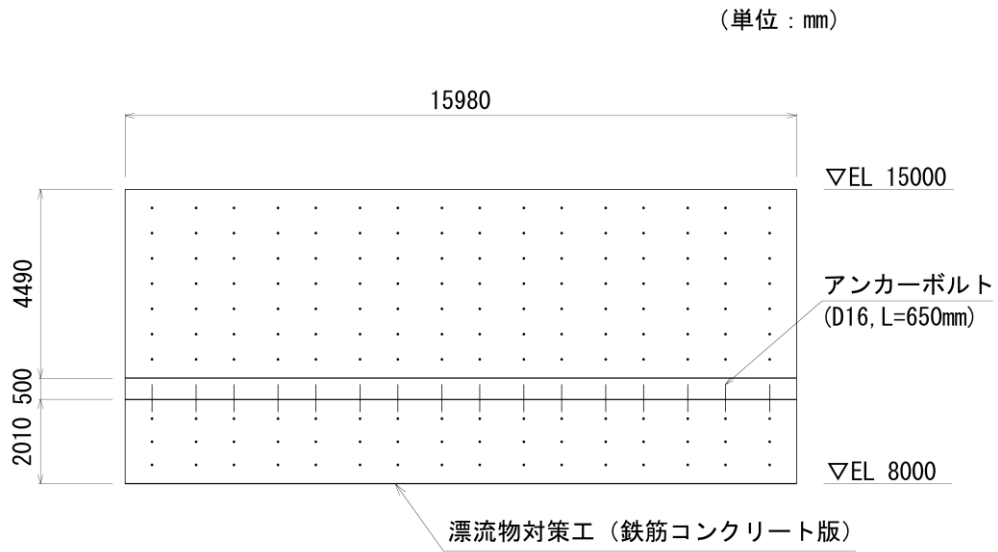


図 5-5(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (正面図)

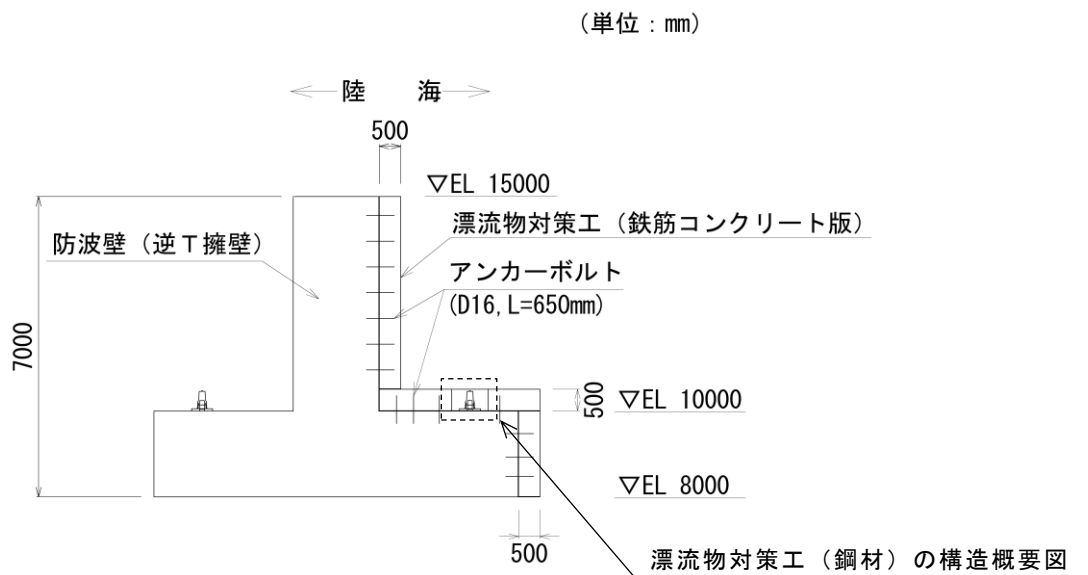


図 5-5(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (断面図)

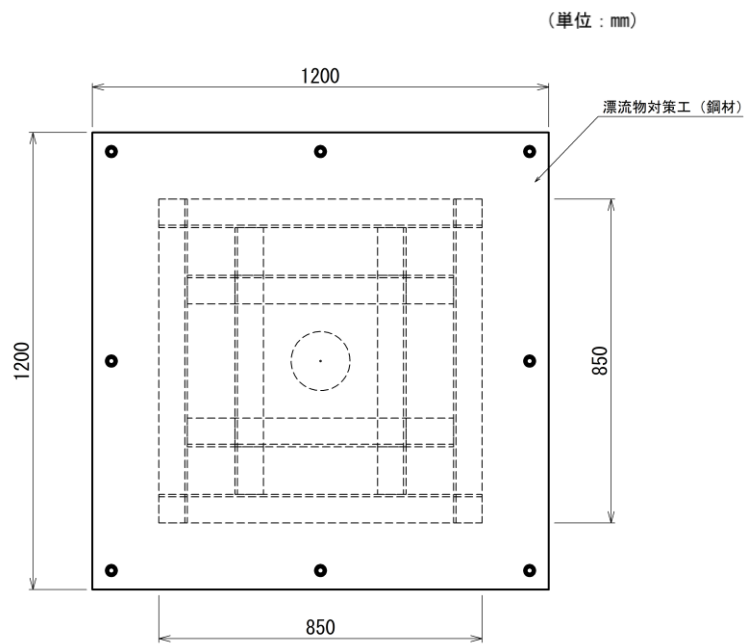


図 5-6(1) 漂流物対策工 (鋼材) の構造概要図 (平面図)

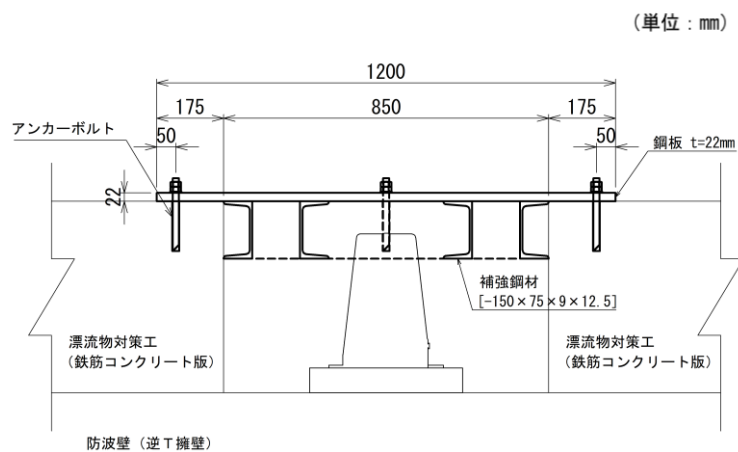


図 5-6(2) 漂流物対策工 (鋼材) の構造概要図 (断面図)

5.2.3 評価方針

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

漂流物対策工（鋼材）は、津波防護施設である防波壁（逆T擁壁）に設置し、漂流物をグラウンドアンカに衝突させない機能を有することから、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の各部位の役割及び性能目標を表5-2及び表5-3に示す。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震評価は、表5-4に示すとおり、防波壁（逆T擁壁）の地震応答解析結果に基づき、地震時の慣性力により漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）が防波壁（逆T擁壁）から分離しないことを確認する。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震評価フローを図5-7に示す。

表5-2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鉄筋コンクリート版	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない（防波壁（逆T擁壁）の解析モデルに重量として考慮し、防波壁（逆T擁壁）への影響を考慮する）。 	<ul style="list-style-type: none"> 衝突荷重を分散して防波壁（逆T擁壁）に伝達する。 衝突荷重による防波壁（逆T擁壁）の局所的な損傷を防止する。
	鋼材	<ul style="list-style-type: none"> 役割に期待しない（防波壁（逆T擁壁）の解析モデルに重量として考慮し、防波壁（逆T擁壁）への影響を考慮する）。 	<ul style="list-style-type: none"> 漂流物をグラウンドアンカに衝突させない。
	アンカーボルト	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート版を支持する。 鋼材を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリート版を支持する。 鋼材を支持する。

表 5-3 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の各部位の性能目標

部位		性能目標	
		耐震性	耐津波性
施設	鉄筋コンクリート版	—	衝突荷重を分散して防波壁（逆T擁壁）に伝達するために、鉄筋コンクリート版がおおむね弾性状態にとどまること。
	鋼材	—	グラウンドアンカに漂流物を直接衝突させないために、鋼材がおおむね弾性状態にとどまること。
	アンカーボルト	鉄筋コンクリート版及び鋼材が防波壁（逆T擁壁）から分離しないために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。	鉄筋コンクリート版及び鋼材が防波壁（逆T擁壁）から分離しないために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。

表 5-4 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震評価

評価方針	種別	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）	アンカーボルト	発生する応力（引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	漂流物対策工（鋼材）	鋼材	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		アンカーボルト	発生する応力（引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

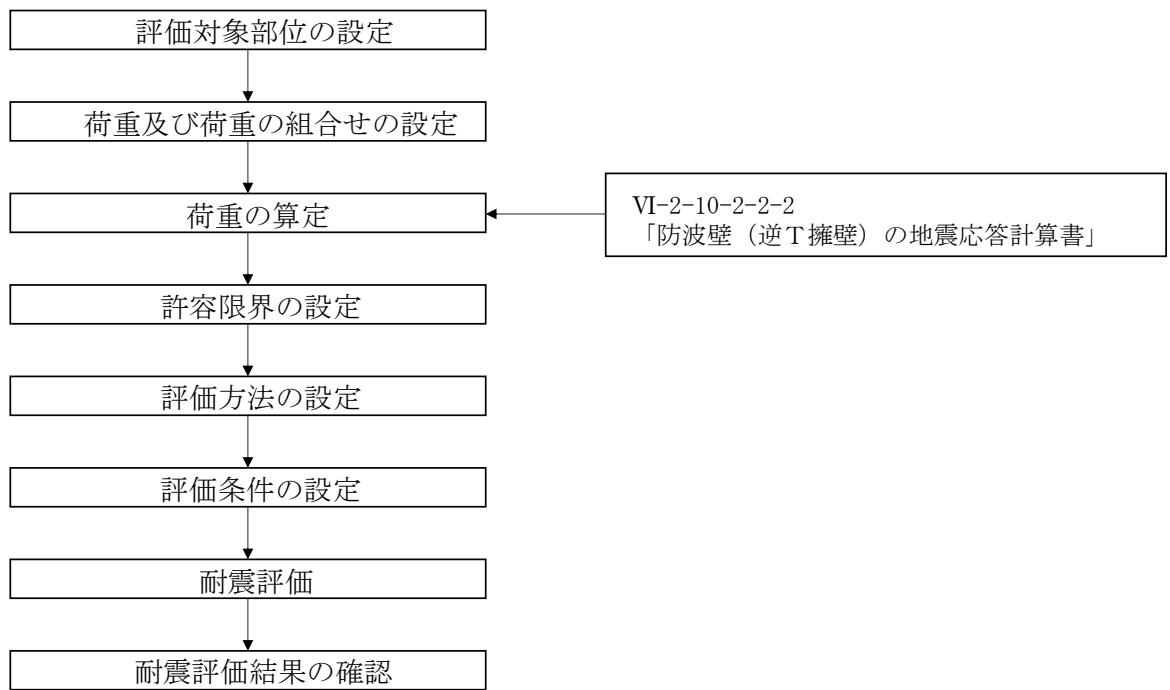


図 5-7 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震評価フロー

5.2.4 記号の説明

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震評価に用いる記号を表 5-5 及び表 5-6 に示す。

表 5-5 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震計算に用いる記号

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

表 5-6 漂流物対策工（鋼材）の耐震計算に用いる記号

記号	単位	定義
$\sigma_{s k b}$	N/mm ²	鋼材に作用する曲げ応力度
$M_{s k}$	kN・m	3次元構造解析における発生曲げモーメント
$Z_{s k}$	mm ³	鋼材の断面係数
$\tau_{s k}$	N/mm ²	鋼材に作用するせん断応力度
$Q_{s k}$	kN	3次元構造解析における発生せん断力
$A_{s k}$	mm ²	鋼材の断面積
$\sigma_{s k b 1}$	N/mm ²	鋼板に作用する最大曲げ応力度
$M_{s k 1}$	kN・m	鋼板に作用する最大発生曲げモーメント
$Z_{s k 1}$	mm ³	鋼板の断面係数
$\sigma_{s k b 2}$	N/mm ²	補強鋼材に作用する最大発生曲げ応力度
$M_{s k 2}$	kN・m	補強鋼材に作用する最大発生曲げモーメント
$Z_{s k 2}$	mm ³	補強鋼材の断面係数
$\tau_{s k 1}$	N/mm ²	鋼板に作用するせん断応力度
$Q_{s k 1}$	kN	鋼板に作用する最大せん断力
$A_{s k 1}$	mm ²	鋼板の断面積
$\tau_{s k 2}$	N/mm ²	補強鋼材に作用するせん断応力度
$Q_{s k 2}$	kN	補強鋼材に作用する最大せん断力
$A_{s k 2}$	mm ²	補強鋼材の断面積
$T_{s k}$	kN	アンカーボルトに作用する最大引張力
$S_{s k}$	kN	アンカーボルトに作用する最大せん断力

5.3 評価対象部位

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の評価対象部位は、「5.2.2 構造概要」に設定している構造を踏まえて、地震時荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価対象部位は、アンカーボルトとし、漂流物対策工（鋼材）の評価対象部位は、鋼材及びアンカーボルトとする。

評価対象部位を図 5-8 に示す。

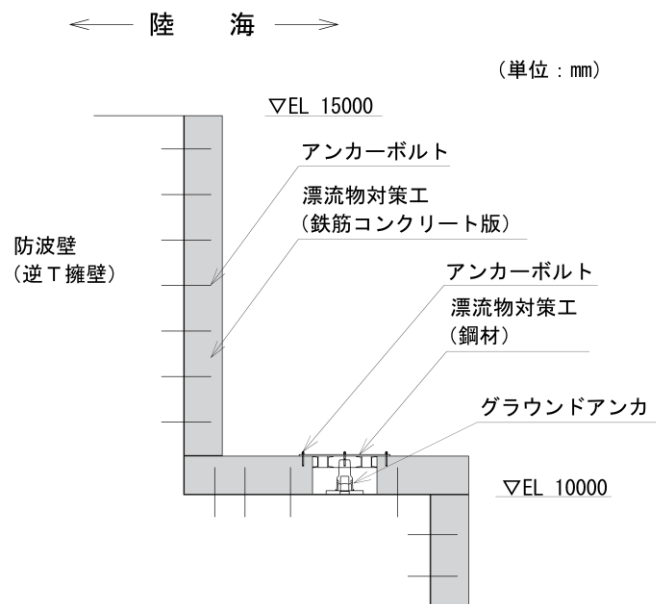


図 5-8 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の評価対象部位

5.4 耐震評価

5.4.1 評価対象構造区分の選定

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「5.3 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

漂流物対策工の構造的特徴を踏まえ、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の評価対象構造区分を表 5-7 に、各構造区分の構造概要図を図 5-9 及び図 5-10 に示す。

防波壁（逆T擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）のうち、設置方向及びアンカーボルト1本あたりの慣性力が大きいことから漂流物対策工④及び漂流物対策工⑤を評価対象に選定した。

また、漂流物対策工（鋼材）については、使用材料が鋼材であることから漂流物対策工⑨を評価対象に選定した。

表 5-7 防波壁（逆T擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の評価対象構造区分

名称	種別	設置箇所	鉄筋コンクリート版		アンカーボルト	
			厚さ	高さ	径	標準本数 (幅1mあたり)
漂流物対策工③	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） 縦壁	50cm	4.5m (EL 15.0m～EL 10.5m)	D16	7本
漂流物対策工④	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） フーチング	50cm	— (EL 10.0m)	D16	6本
漂流物対策工⑤	鉄筋コンクリート版	防波壁（逆T擁壁） フーチング側壁	50cm	2.0m (EL 10.0m～EL 8.0m)	D16	3本
漂流物対策工⑨	鋼材	防波壁（逆T擁壁） フーチング (グラウンドアンカ設置箇所)	—	—	M16	—

: 耐震評価を実施する構造区分

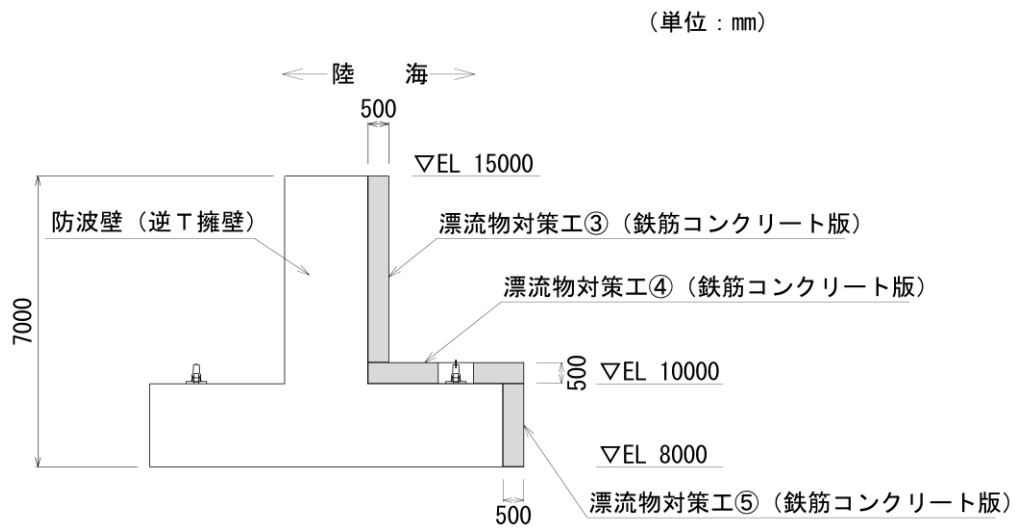


図 5-9 漂流物対策工③～⑤の構造概要図

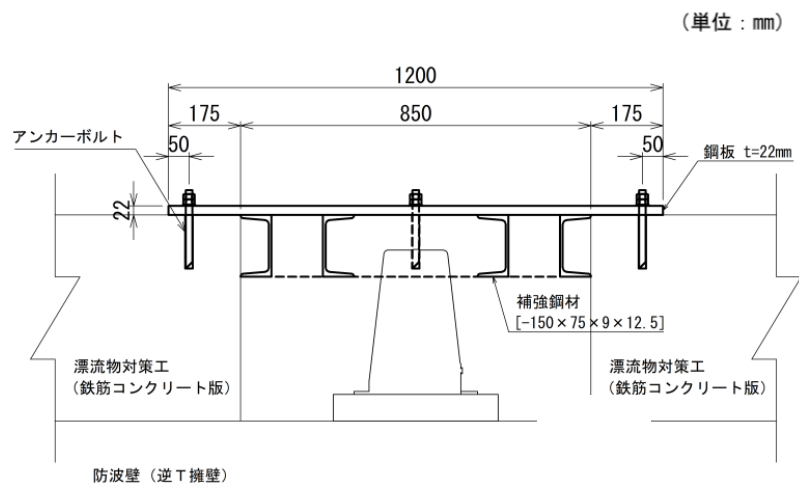


図 5-10 漂流物対策工⑨の構造概要図

5.4.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流対策工(鉄筋コンクリート版)及び漂流物対策工(鋼材)を構成する部材の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮するものとする。

なお、地震荷重の算定に用いる設計震度は、漂流物対策工(鉄筋コンクリート版)及び漂流物対策工(鋼材)は防波壁(逆T擁壁)に設置することから、VI-2-10-2-2-2「防波壁(逆T擁壁)の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

(2) 荷重の組合せ

漂流物対策工(鉄筋コンクリート版)及び漂流物対策工(鋼材)の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

5.4.3 許容限界

漂流物対策工の許容限界は、「5.3 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

a. 漂流物対策工

漂流物対策工を構成する各部材の使用材料を表 5-8 に、材料の物性値を表 5-9 に示す。

表 5-8 使用材料

種別	材料		諸元
漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版)	アンカーボルト		SD345
	鉄筋		SD345
	コンクリート		設計基準強度：24N/mm ²
漂流物対策工 (鋼材)	鋼材	鋼板	SS400
		補強鋼材	SS400
	アンカーボルト		SS400

表 5-9(1) 材料の物性値 (漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版))

材料	単位体積重量 (kN/m ³)
鉄筋コンクリート	24.0*

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

表 5-9(2) 材料の物性値 (漂流物対策工 (鋼材))

材料	単位体積重量 (kN/m ³) *1	ヤング係数 (N/mm ²) *1	断面積 (mm ²) *2	断面係数 (mm ³) *2	断面 2 次 モーメント (mm ⁴) *3
鋼板	77	2.00×10 ⁵	220×10 ²	80.67×10 ³	—
補強鋼材	77	2.00×10 ⁵	30.59×10 ²	140×10 ³	1050×10 ⁴ 147×10 ⁴

注記*1：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社) 土木学会, 2002 年制定)

*2：鋼板の断面積，断面係数は応力計算に使用する単位幅あたりの値を示す。

*3：断面 2 次モーメントの上段は強軸の値，下段は弱軸の値を示す。

(2) 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

a. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）」に基づき，表5-10の値とする。

表5-10 アンカーボルトの許容限界

評価対象部位		材質	引張耐力* (kN/本)	せん断耐力* (kN/本)
アンカー ボルト	漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版)	SD345 (D16)	42.3	47.9
	漂流物対策工(鋼材)	SS400 (M16)	29.3	24.8

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

b. 鋼材

鋼材の許容限界は「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，表5-11の値とする。

表5-11 鋼材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
		曲げ	せん断
鋼材(鋼板, 補強鋼材)	SS400	210	120

5.4.4 評価方法

(1) 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）

a. アンカーボルト

アンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価を実施する。アンカーボルトのモデル図を図 5-11 に示す。

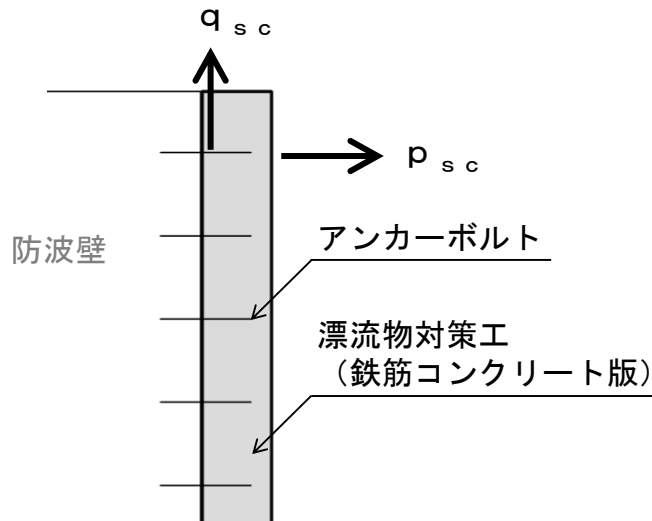


図 5-11 アンカーボルトのモデル図

(a) アンカーボルトに作用する引張力

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

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

P_{sc} : アンカーボルトに作用する引張力 (kN)

n_{sc} : 漂流物対策工を支持するアンカーボルトの本数 (本)

(b) アンカーボルトに作用するせん断力

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

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

Q_{sc} : アンカーボルトに作用するせん断力 (kN)

n_{sc} : 漂流物対策工を支持するアンカーボルトの本数 (本)

(2) 漂流物対策工（鋼材）

a. 解析方法

漂流物対策工（鋼材）は、3次元構造解析により耐震評価を行う。

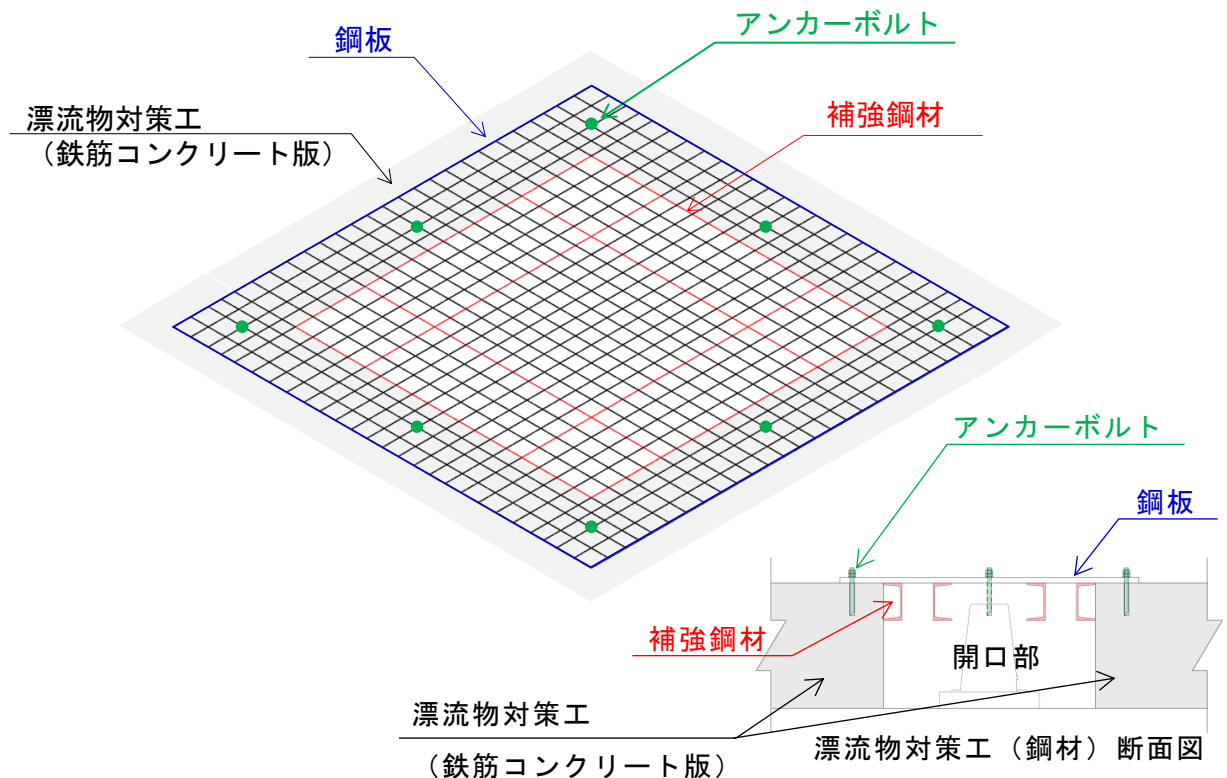
3次元構造解析には、解析コード「NX NASTRAN」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3次元構造解析への入力荷重は、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」に基づいて算定した慣性力を設定する。

b. 解析モデル

漂流物対策工（鋼材）のうち、鋼板は線形シェル要素でモデル化し、補強鋼材は線形はり要素でモデル化する。鋼板の接触面となる漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は、ばね支点としてモデル化する。アンカーボルトを配置している箇所は全固定とする。

漂流物対策工（鋼材）の3次元構造解析モデルを図5-12に示す。



注：ばね支点は開口部を除く全節点に与える。

図5-12 漂流物対策工（鋼材）の3次元構造解析モデル

c. 評価方法

鋼板及び補強鋼材について、3次元構造解析より得られた曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ応力並びにせん断力より算定されるせん断応力が、「5.4.3 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。

アンカーボルトについて、3次元構造解析より得られた引張力及びせん断力が、「5.4.3 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。

各部材に生じる発生応力等のイメージ図を図5-13に示す。

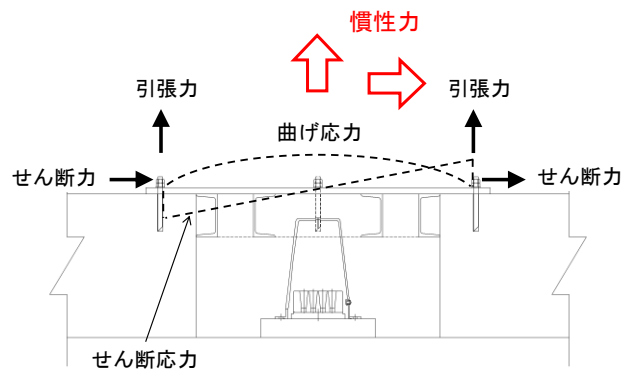


図5-13 各部材に生じる発生応力等のイメージ図

d. 鋼材に作用する曲げ応力度

$$\sigma_{s k b} = M_{s k} \times 10^6 / Z_{s k}$$

ここで、 $\sigma_{s k b}$ ：鋼材に作用する曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{s k}$ ：3次元構造解析における発生曲げモーメント (kN・m)

$Z_{s k}$ ：鋼材の断面係数 (mm³)

e. 鋼材に作用するせん断応力度

$$\tau_{s k} = Q_{s k} \times 10^3 / A_{s k}$$

ここで、 $\tau_{s k}$ ：鋼材に作用するせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{s k}$ ：3次元構造解析における発生せん断力 (kN)

$A_{s k}$ ：鋼材の断面積 (mm²)

f. アンカーボルトに作用する引張力及びせん断力

3次元構造解析におけるアンカーボルト位置に作用する引張力($T_{s k}$)及びせん断力($S_{s k}$)を抽出する。

5.4.5 評価条件

耐震評価に用いる水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の設計震度を表 5-12 に示す。また、アンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価に用いる入力値を表 5-13 に示す。

表 5-12 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）及び漂流物対策工（鋼材）の耐震評価に用いる設計震度

名称	水平震度 K_{sh}	鉛直震度 K_{sv}
漂流物対策工④	1.63	1.49
漂流物対策工⑤	1.63	1.49

表 5-13(1) 漂流物対策工④のアンカーボルトに作用する引張力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
P_{sc4}	kN	漂流物対策工④に作用する引張力 ($= P_{ssv4}$)	67
n_{sc4}	本	アンカーボルトの本数	6

表 5-13(2) 漂流物対策工④のアンカーボルトに作用するせん断力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Q_{sc4}	kN	漂流物対策工④に作用するせん断力 ($= P_{ssh4}$)	73
n_{sc4}	本	アンカーボルトの本数	6

表 5-13(3) 漂流物対策工⑤のアンカーボルトに作用する引張力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
P_{sc5}	kN	漂流物対策工⑤に作用する引張力 ($= P_{ssh5}$)	39
n_{sc5}	本	アンカーボルトの本数	3

表 5-13(4) 漂流物対策工⑤のアンカーボルトに作用するせん断力の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Q_{sc5}	kN	漂流物対策工⑤に作用するせん断力 ($= P_{ssv5}$)	36
n_{sc5}	本	アンカーボルトの本数	3

表 5-13(5) 漂流物対策工⑨の鋼板に作用する
最大曲げ応力度の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
M_{sk1}	kN・m	鋼板に作用する最大発生曲げモーメント	0.359*
Z_{sk1}	mm ³	鋼板の断面係数	80.67×10^3

注記* : 3次元構造解析より設定する。

表 5-13(6) 漂流物対策工⑨の補強鋼材に作用する
最大曲げ応力度の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
M_{sk2}	kN・m	補強鋼材に作用する最大発生曲げモーメント	0.198*
Z_{sk2}	mm ³	補強鋼材の断面係数	140×10^3

注記* : 3次元構造解析より設定する。

表 5-13(7) 漂流物対策工⑨の鋼板に作用する
最大せん断応力度の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Q_{sk1}	kN	鋼板に作用する最大せん断力	7.068*
A_{sk1}	mm ²	鋼板の断面積	220×10^2

注記* : 3次元構造解析より設定する。

表 5-13(8) 漂流物対策工⑨の補強鋼材に作用する
最大せん断応力度の計算に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
Q_{sk2}	kN	補強鋼材に作用する最大せん断力	0.937*
A_{sk2}	mm ²	補強鋼材の断面積	30.59×10^2

注記* : 3次元構造解析より設定する。

5.4.6 評価結果

(1) 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価結果を表5-14に示す。アンカーボルトの発生力が許容限界以下であることを確認した。

表5-14(1) アンカーボルトの引張力に対する耐震評価結果

評価部位	材質	引張力 (a) (kN/本)	引張耐力 (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
漂流物対策工④	SD345 (D16)	11.2	42.3	0.27
漂流物対策工⑤	SD345 (D16)	13.1	42.3	0.31

表5-14(2) アンカーボルトのせん断力に対する耐震評価結果

評価部位	材質	せん断力 (a) (kN/本)	せん断耐力 (b) (kN/本)	照査値 (a/b)
漂流物対策工④	SD345 (D16)	12.3	47.9	0.26
漂流物対策工⑤	SD345 (D16)	12.0	47.9	0.26

(2) 漂流物対策工（鋼材）

漂流物対策工（鋼材）の耐震評価結果を表5-15に示す。鋼材の発生応力度及びアンカーボルトの発生力が許容限界以下であることを確認した。

表5-15 漂流物対策工（鋼材）の耐震評価結果

評価対象部位		発生値		許容限界		照査値
鋼板	曲げ応力度 σ_{skb1}	4.5	N/mm ²	210	N/mm ²	0.03
	せん断応力度 τ_{sk1}	0.4	N/mm ²	120	N/mm ²	0.01
補強鋼材	曲げ応力度 σ_{skb2}	1.5	N/mm ²	210	N/mm ²	0.01
	せん断応力度 τ_{sk2}	0.4	N/mm ²	120	N/mm ²	0.01
アンカー ボルト	引張力 T_{sk}	1.5	kN	29.3	kN	0.06
	せん断力 S_{sk}	2.0	kN	24.8	kN	0.09

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

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	13
3. 評価対象断面	14
4. 耐震評価	27
4.1 2次元有限要素法	27
4.1.1 解析方法	27
4.1.2 荷重及び荷重の組合せ	29
4.1.3 入力地震動	29
4.1.4 解析モデル及び諸元	29
4.1.5 評価対象部位	31
4.1.6 許容限界	32
4.1.7 評価方法	36
4.2 3次元構造解析	39
4.2.1 解析方法	39
4.2.2 荷重及び荷重の組合せ	39
4.2.3 解析モデル及び諸元	39
4.2.4 評価対象部位	43
4.2.5 許容限界	43
4.2.6 評価方法	43
5. 耐震評価結果	44
5.1 鋼管杭	44
5.1.1 曲げ照査	44
5.1.2 せん断照査	48
5.1.3 引張照査	51
5.2 被覆コンクリート壁	52
5.2.1 曲げ照査	55
5.2.2 せん断照査	62
5.3 改良地盤	66
5.3.1 改良地盤④	66
5.3.2 改良地盤⑤	67

5.4	止水目地	70
5.5	基礎地盤	71
5.6	施設護岸等の損傷による不確かさの影響確認	72
5.6.1	評価方針	72
5.6.2	地震応答解析モデル	73
5.6.3	評価結果	75
6.	漂流物対策工	85
6.1	概要	85
6.2	基本方針	86
6.2.1	位置	86
6.2.2	構造概要	88
6.2.3	評価方針	92
6.2.4	記号の説明	94
6.3	評価対象部位	95
6.4	耐震評価	96
6.4.1	評価対象構造区分の選定	96
6.4.2	荷重及び荷重の組合せ	98
6.4.3	許容限界	99
6.4.4	評価方法	101
6.4.5	評価条件	102
6.4.6	評価結果	103

1. 概要

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

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

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図を図 2-1 に示す。

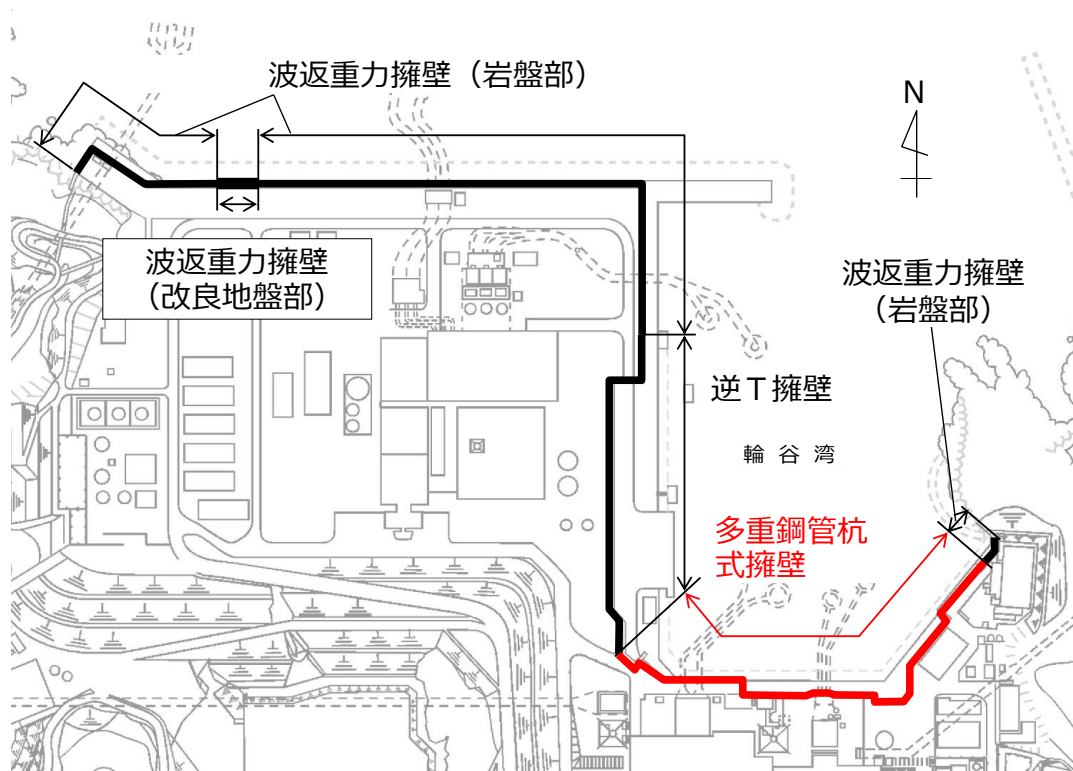


図 2-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図

2.2 構造概要

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

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

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

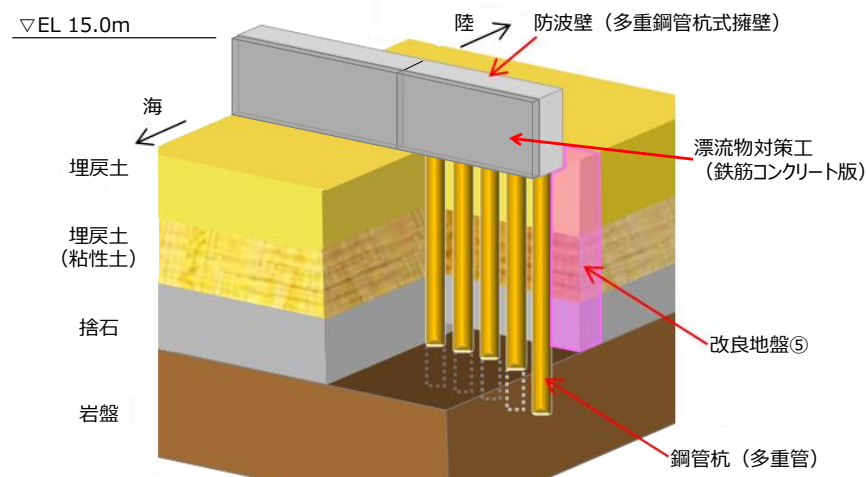


図 2-2(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図（鳥瞰図）

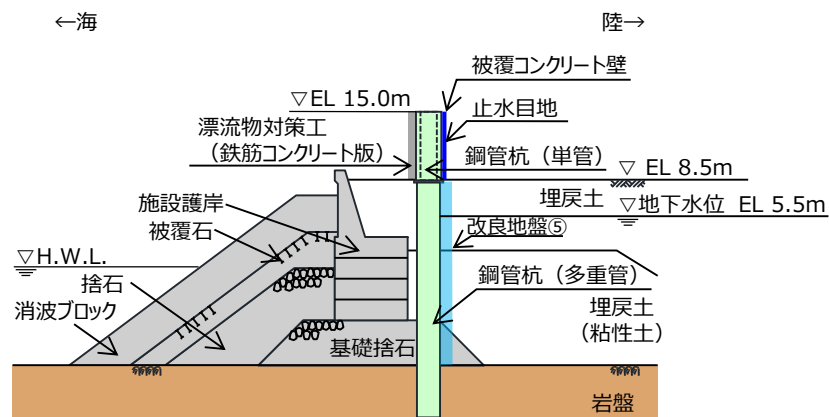


図 2-2(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図（断面図）

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

(単位 : mm)

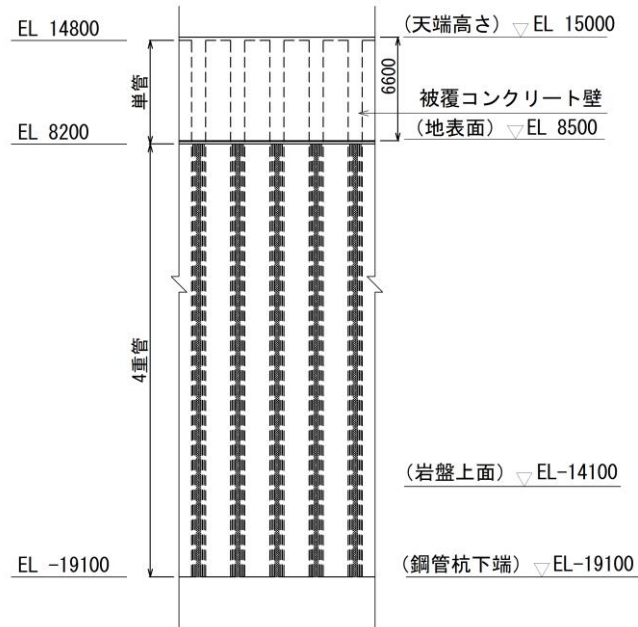


図 2-3(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（正面図）

(単位 : mm)

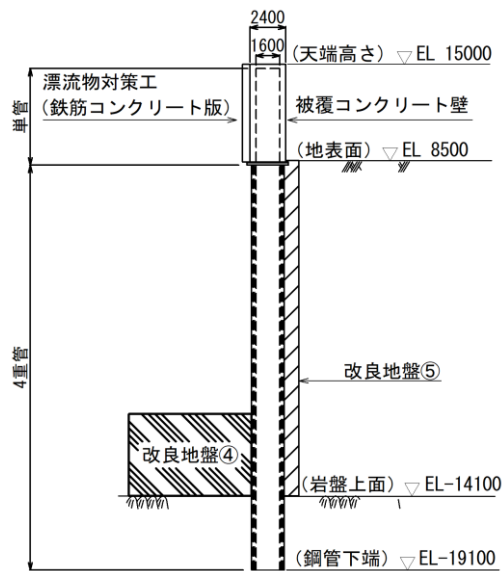


図 2-3(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（断面図）

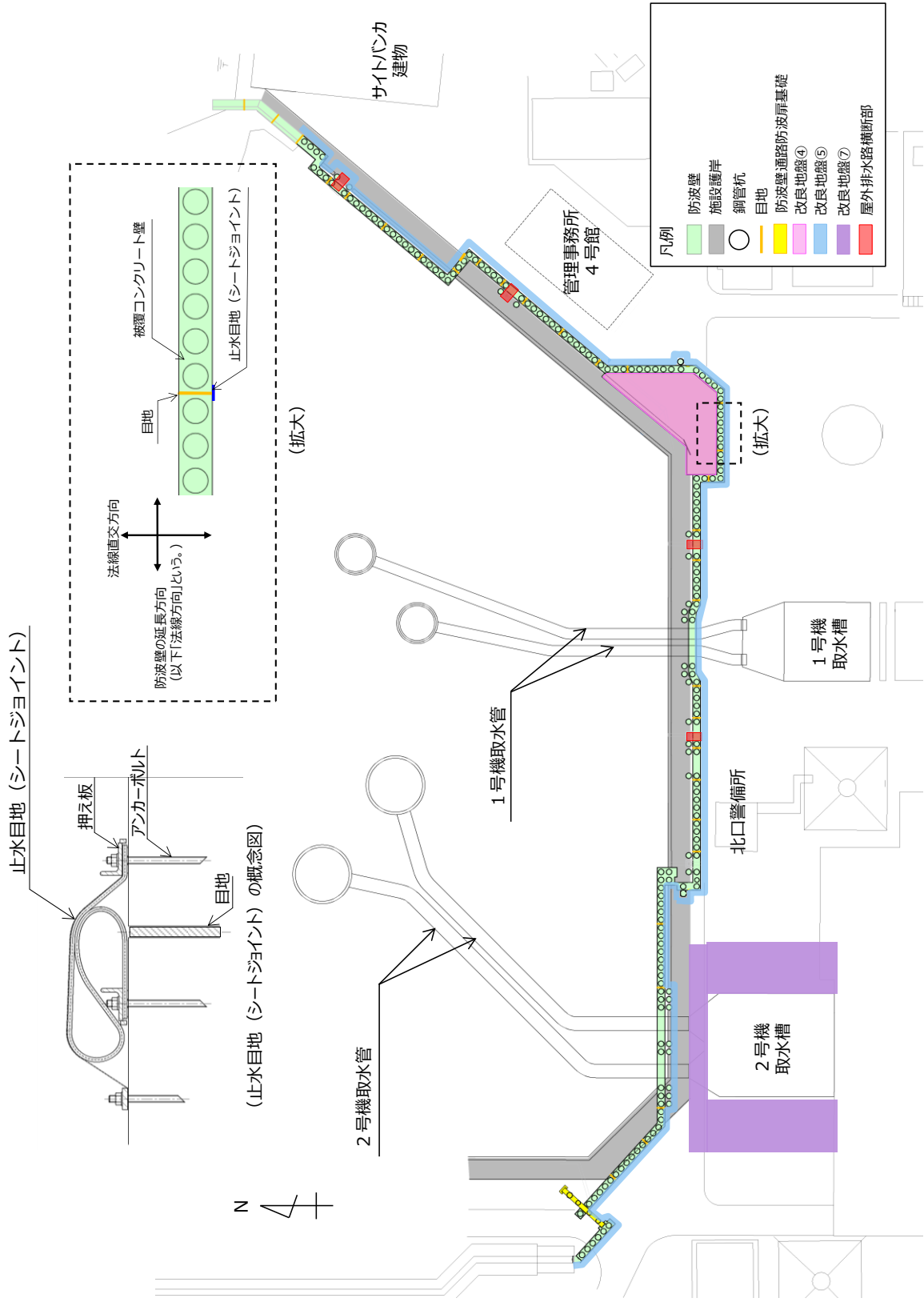


図2-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の止水目地の概念図及び配置位置

2.3 評価方針

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は，Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

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

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

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

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

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

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

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価フローを図2-5に示す。

表 2-1 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の各部位の役割

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

注記* : 岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは、岩盤とみなす。

表 2-2 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の各部位の性能目標(1/2)

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (透水性, 難透水性)
施設	鋼管杭	—	—	構造部材の健全性を保持するために, 鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために, 鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまること。
	被覆コンクリート壁			構造部材の健全性を保持するために, 被覆コンクリート壁がおおむね弾性状態にとどまること。	止水目地の支持機能を喪失して被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために, 被覆コンクリート壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために, 止水目地の変形性能を保持すること。	被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために, 止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
	漂流物対策工(鉄筋コンクリート版)			防波壁(多重鋼管杭式擁壁)から分離しないために, 漂流物対策工がおおむね弾性状態にとどまること。	衝突荷重を分散して, 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)に伝達するために, 鉄筋コンクリート版がおおむね弾性状態にとどまること。

表 2-2 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の各部位の性能目標(2/2)

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)
地盤	改良地盤④	—	—	鋼管杭の変形を抑制するため, 改良地盤④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④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⑤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	岩盤*	鋼管杭を鉛直支持するため, 十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため, 十分なすべり安全性を保持すること。	—	—

注記* : 岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは, 岩盤とみなす。

表 2-3 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の評価項目(1/2)

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	発生する断面力（曲げ・軸力及びせん断力）及び応力（引張力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ・軸力）、短期許容せん断力及び短期許容応力度
		被覆コンクリート壁	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）	発生する応力（アンカーボルトの引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤④	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-3 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の評価項目(2/2)

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	鋼管杭	発生する断面力（曲げ・軸力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ・軸力）及び短期許容せん断力
		被覆コンクリート壁	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤④	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認 ^{*2}	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤⑤		
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度 ^{*1}
	施設の変形性	止水目地	発生変位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位量

注記*1： 妥当な安全余裕を考慮する。

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

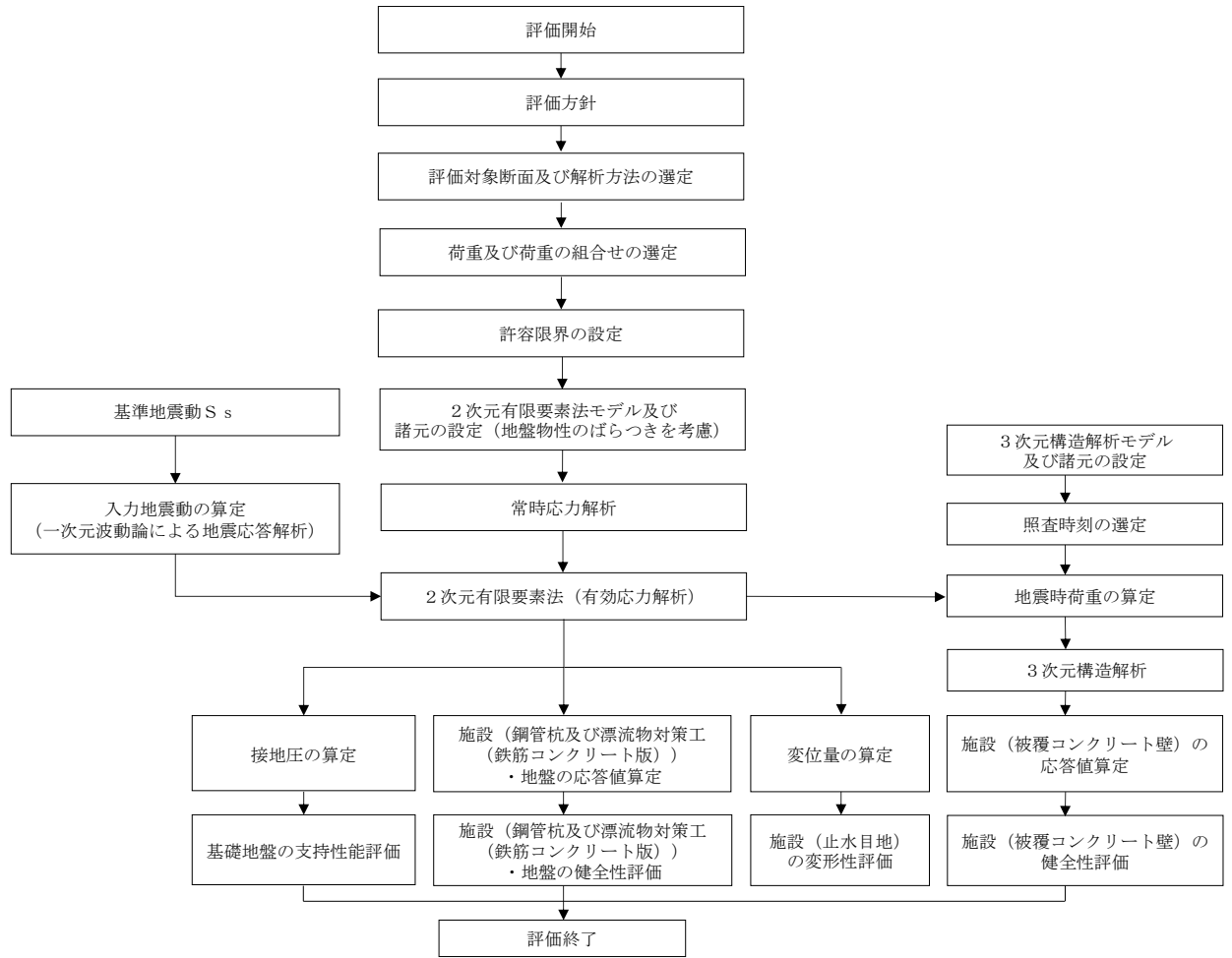


図 2-5 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

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

3. 評価対象断面

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

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

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

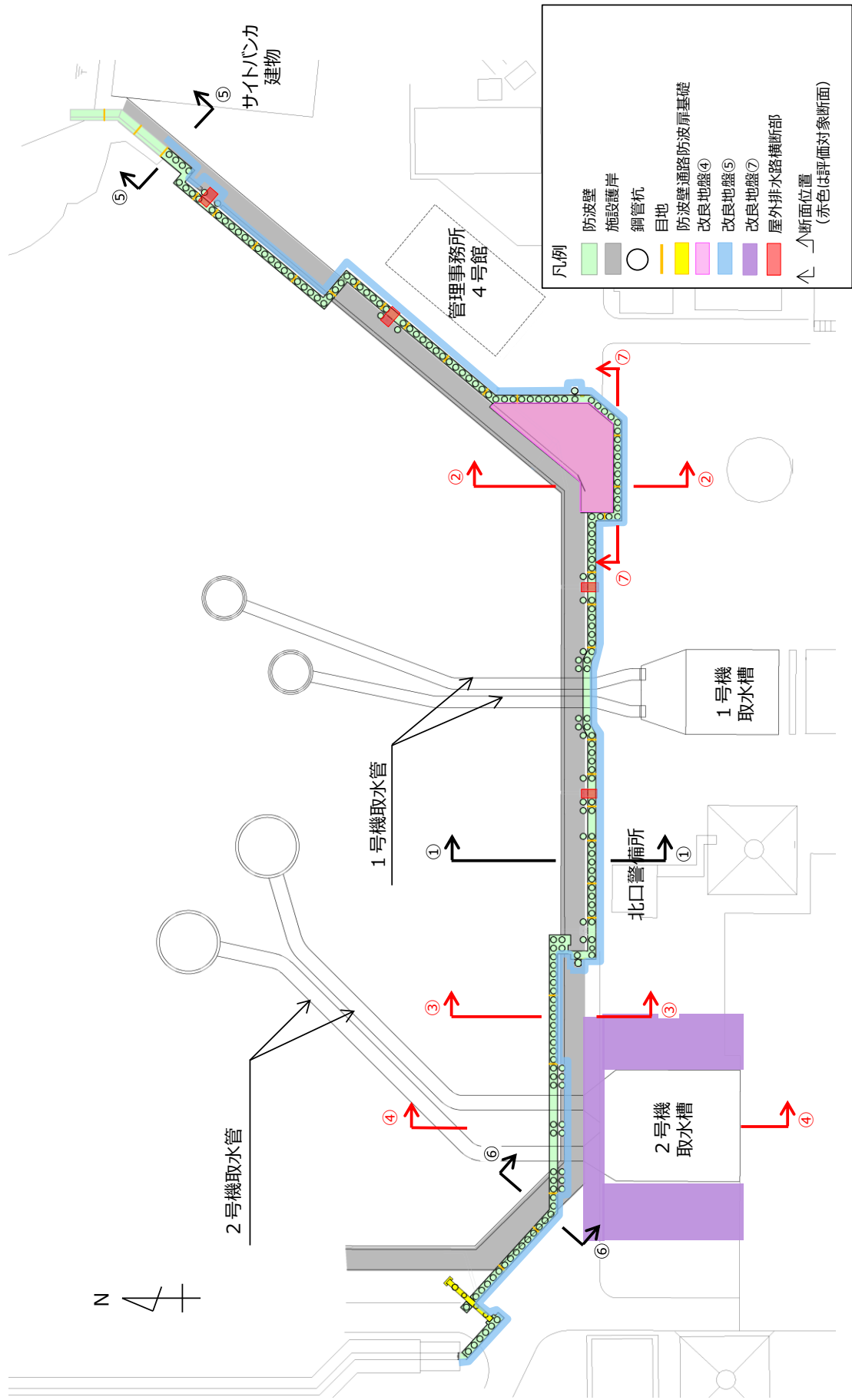


図 3-1-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象断面位置図

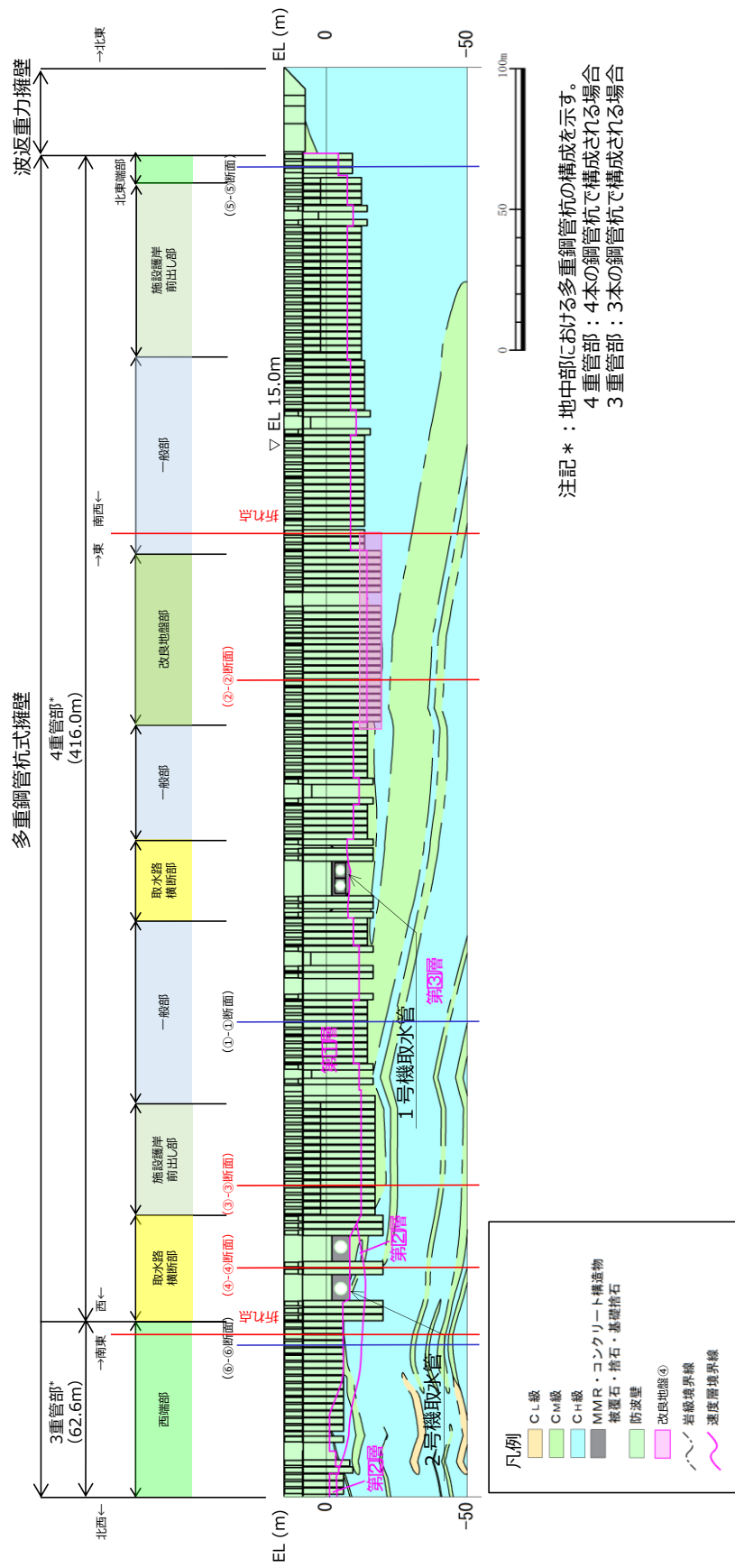


図 3-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断面図

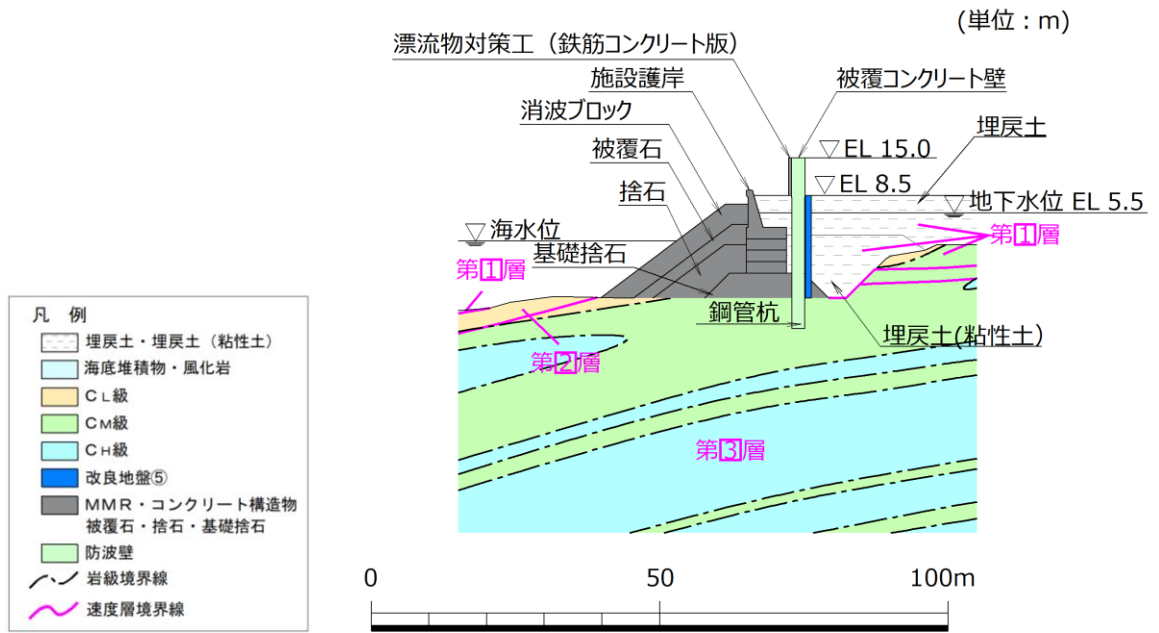


図 3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（①-①断面）

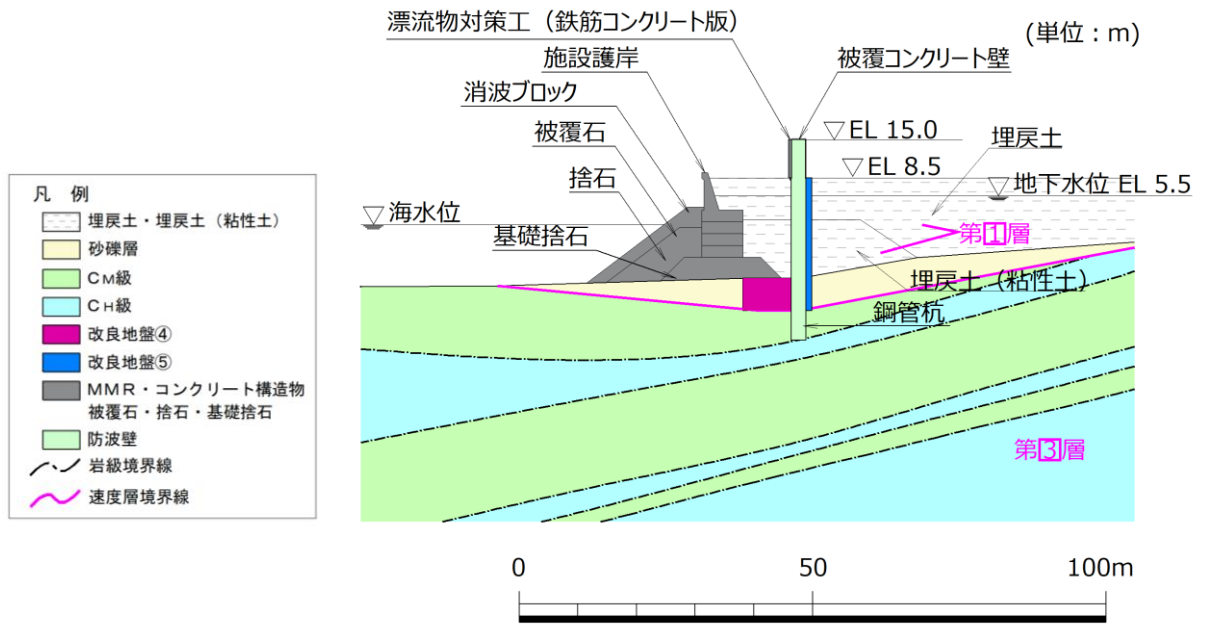


図 3-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（②-②断面）

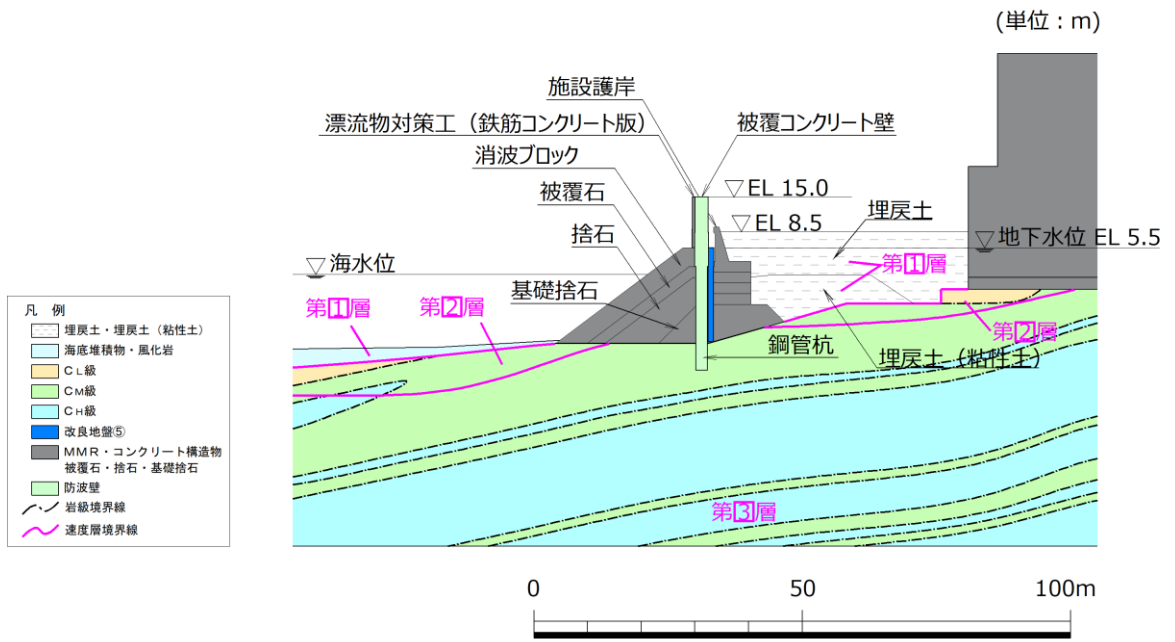


図 3-5 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断面図 (③-③断面)

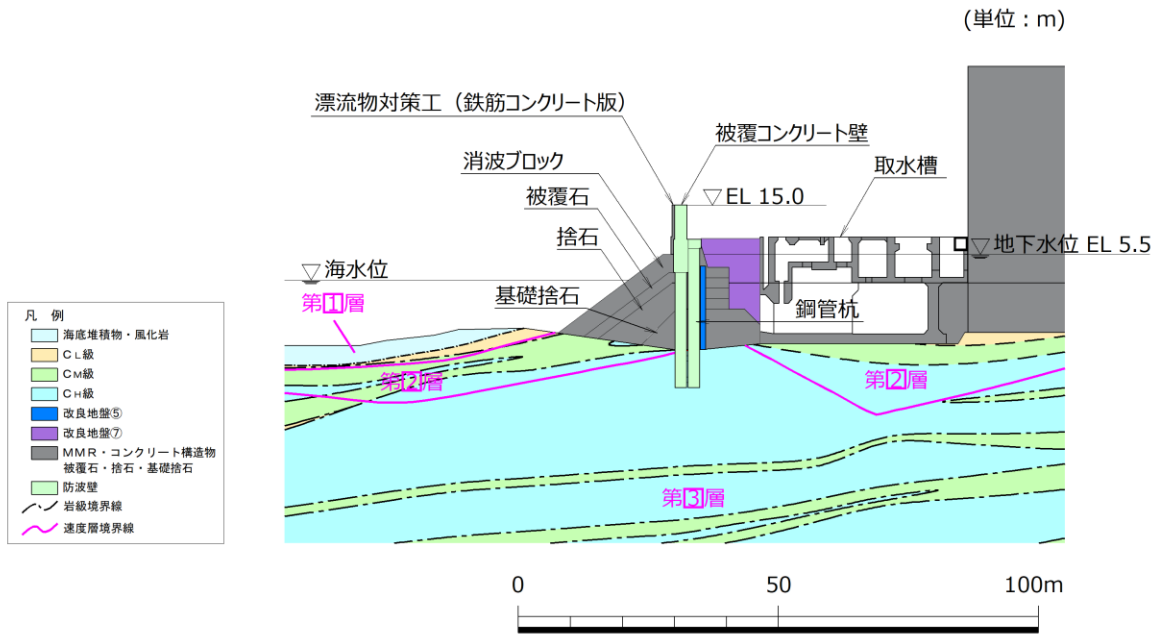


図 3-6 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断面図 (④-④断面)

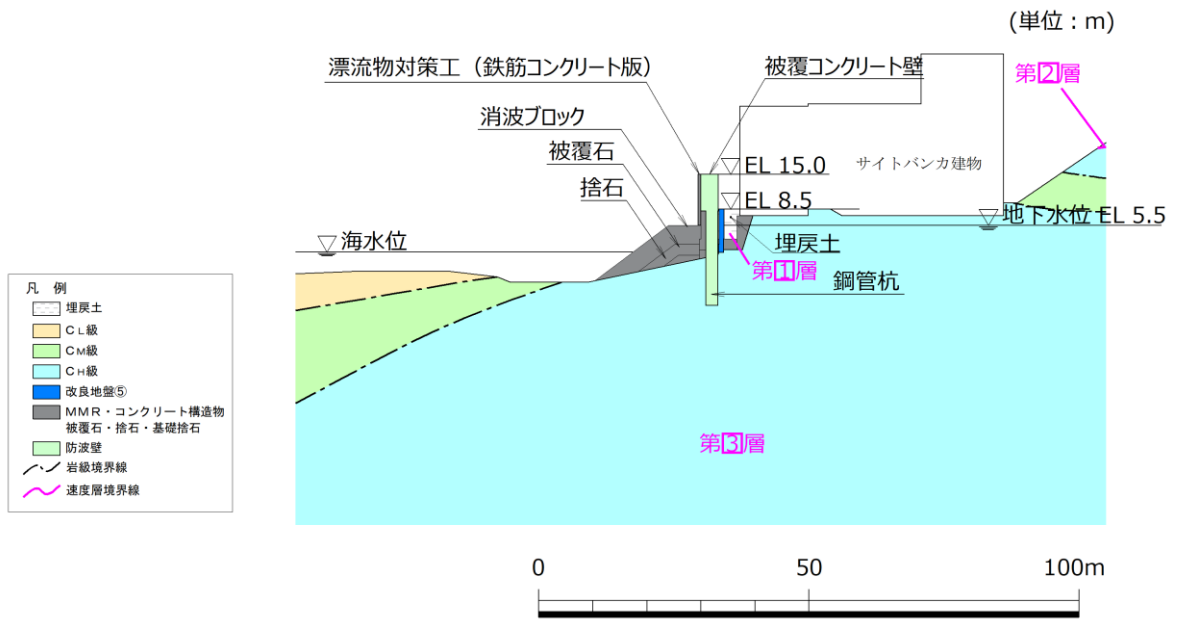


図 3-7 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（⑤-⑤断面）

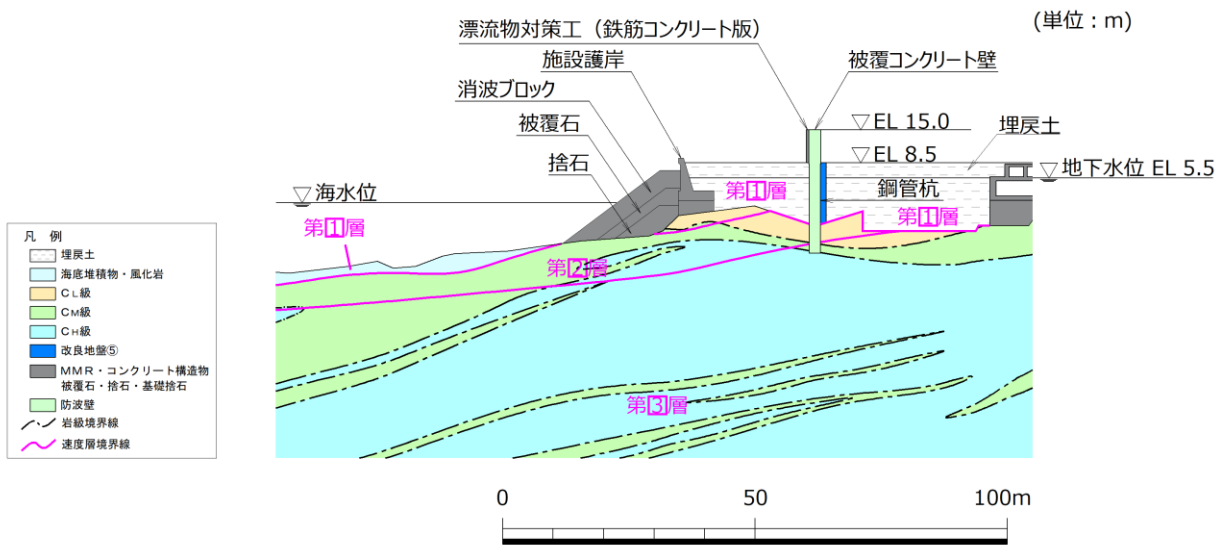


図 3-8 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（⑥-⑥断面）

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

(単位 : mm)

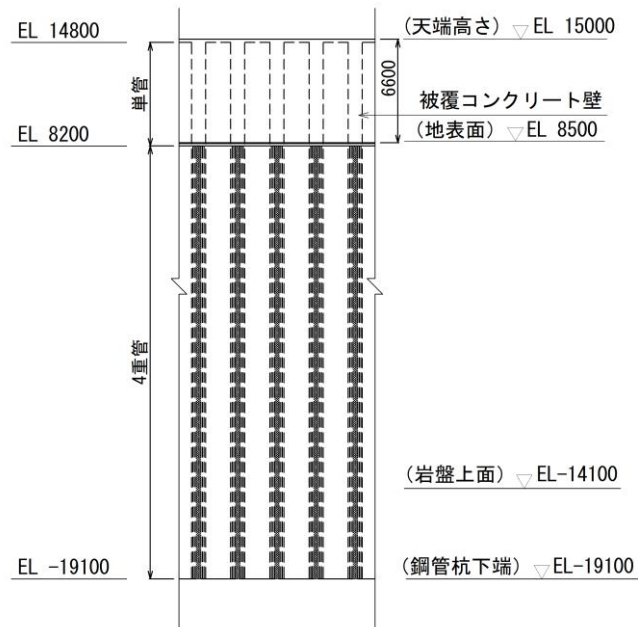


図 3-9(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（②-②断面）（正面図）

(単位 : mm)

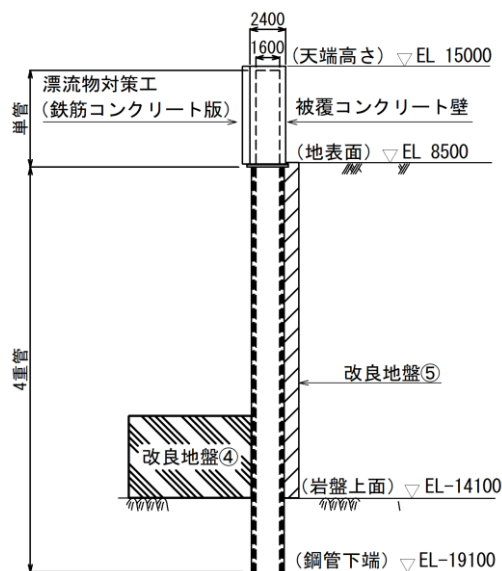


図 3-9(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（②-②断面）（断面図）

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

(単位 : mm)

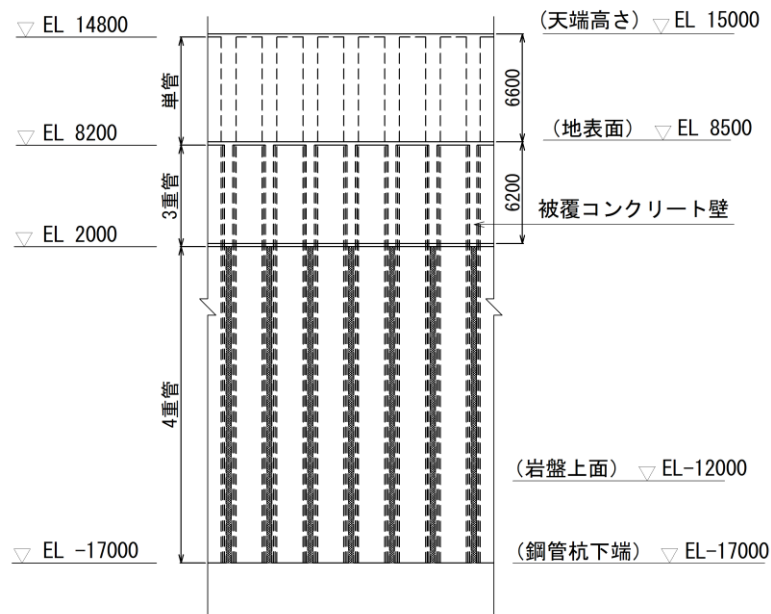


図 3-10(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（③-③断面）（正面図）

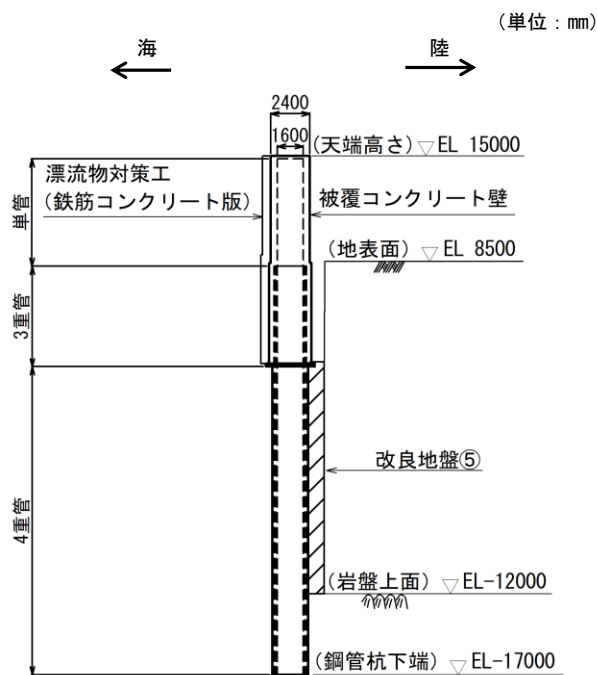


図 3-10(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（③-③断面）（断面図）

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

(単位：mm)

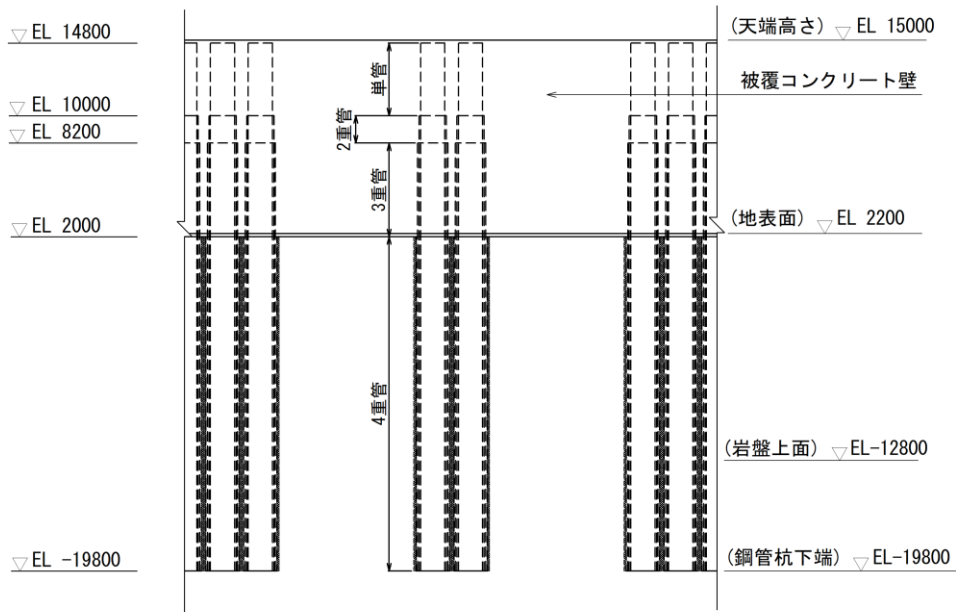


図 3-11(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，海側）（正面図）

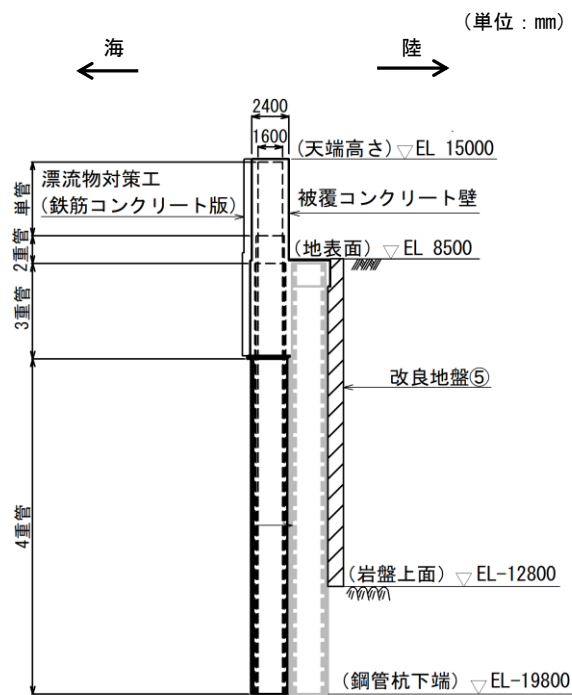


図 3-11(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，海側）（断面図）

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

(単位：mm)

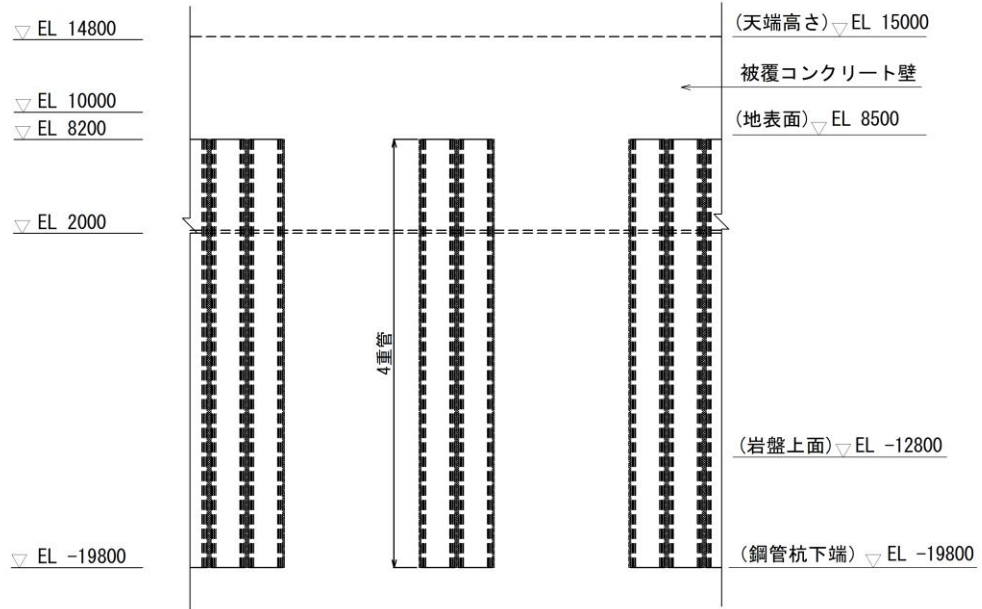


図 3-12(1) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，陸側）（正面図）

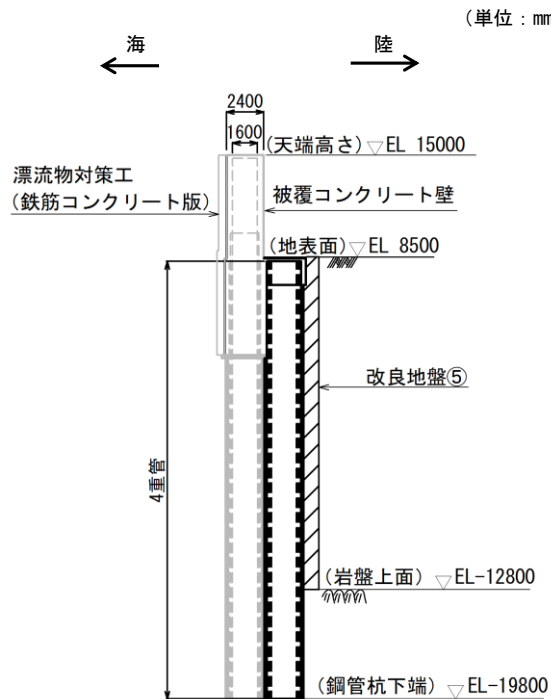


図 3-12(2) 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（④-④断面，陸側）（断面図）

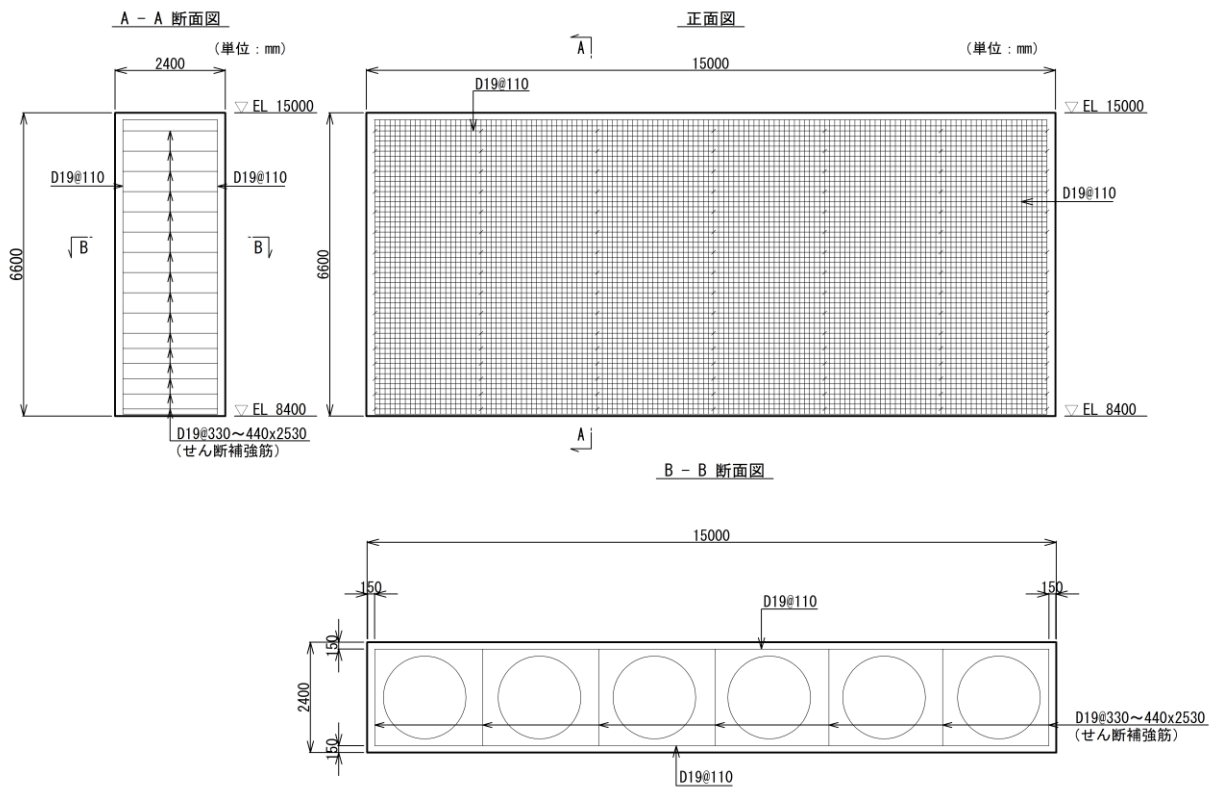


図 3-13 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の
被覆コンクリート壁の概略配筋図（②-②断面）

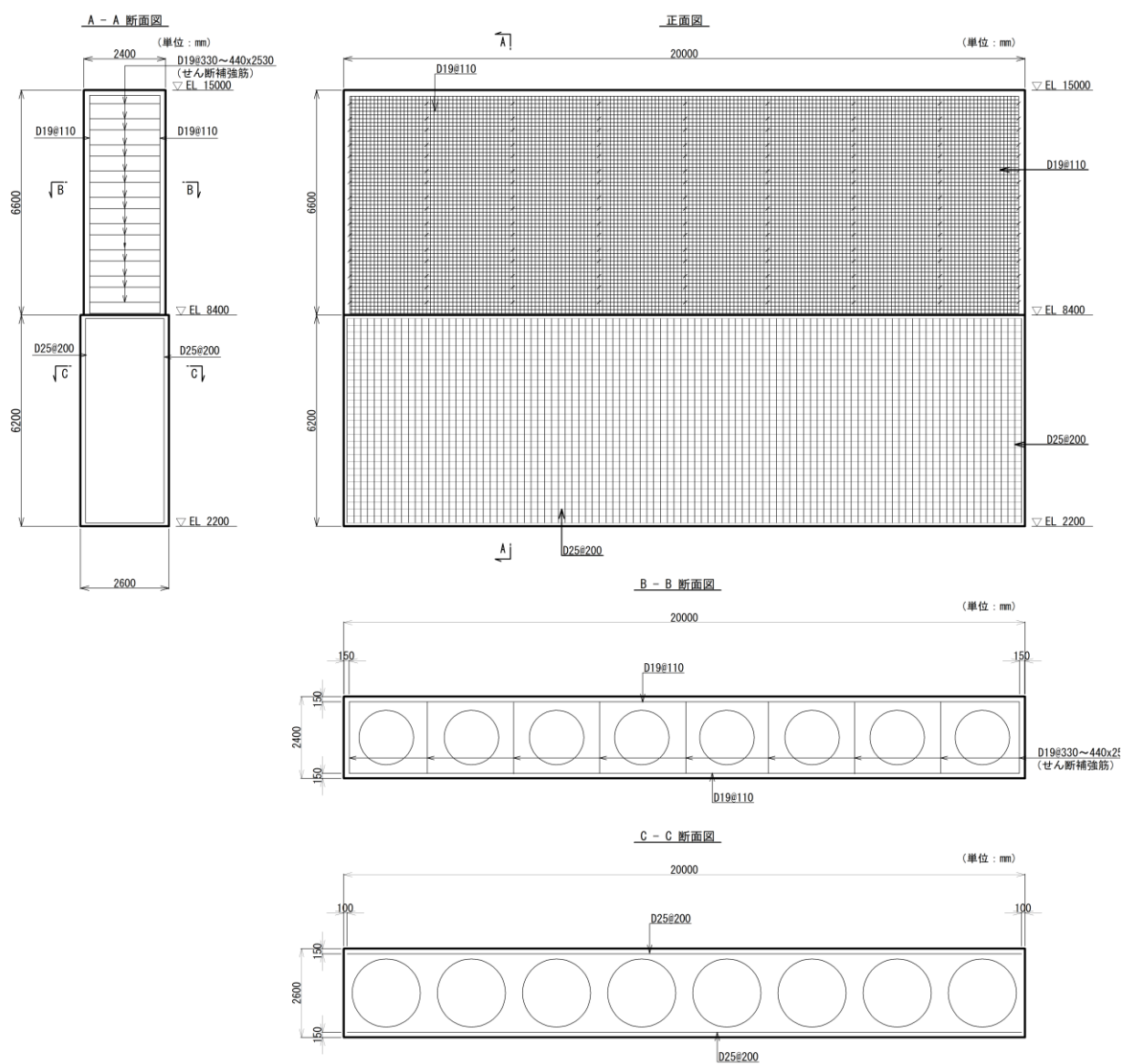


図 3-14 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の被覆コンクリート壁の概略配筋図 (③-③断面)

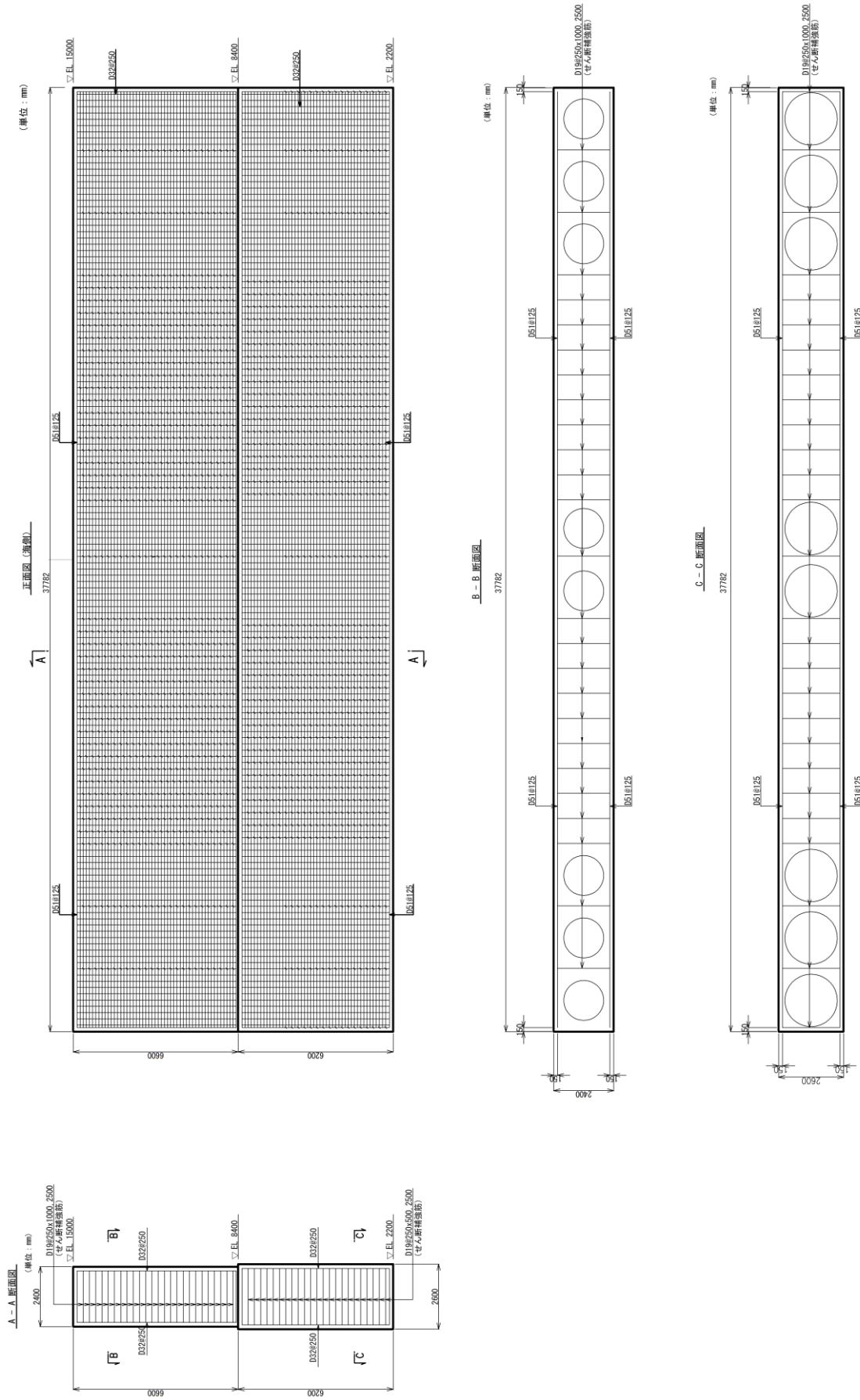


図 3-15 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の被覆コンクリート壁の概略配筋図 (④-④断面)

4. 耐震評価

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

4.1 2次元有限要素法

4.1.1 解析方法

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

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

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

表4-1 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 + 1σ	平均値
ケース③	平均値 - 1σ	平均値

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

また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面には施設護岸が設置されており、施設護岸の基礎には基礎捨石及び被覆石（以下「施設護岸等」という。）を設置している。施設護岸等が防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる②-②断面及び③-③断面については、解析ケース①～③のうち照査値が最も厳しくなるケースで、施設護岸等の損傷を考慮した解析ケース④を実施する。

耐震評価における解析ケースを表 4-2 に示す。

表 4-2 耐震評価における解析ケース

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

注記*：地震動の位相について、(++) の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

4.1.2 荷重及び荷重の組合せ

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

4.1.3 入力地震動

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

4.1.4 解析モデル及び諸元

使用材料及び材料の物性値並びに地下水位については、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について、以下に示す。

(1) 解析モデル

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

(2) 使用材料及び材料の物性値

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

(3) 鋼管杭の断面諸元

断面計算に用いた鋼管杭の断面諸元を表 4-3 に示す。

表 4-3 鋼管杭の断面諸元

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

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

(4) 地盤の物性値

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

地盤のうち改良地盤④及び改良地盤⑤の残留強度及び引張強度を表 4-4 のとおり設定する。

表 4-4 改良地盤④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	0.109
改良地盤⑤	0.0	35.60	1.160

4.1.5 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1) 施設・地盤の健全性評価

2次元有限要素法による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、鋼管杭、改良地盤④及び改良地盤⑤とする。

(2) 施設の変形性評価

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

(3) 基礎地盤の支持性能評価

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

4.1.6 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 鋼管杭

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

降伏モーメントは次式により算定する。

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

ここで、

M_y : 多重鋼管杭の降伏モーメント (kN・m)

f_{yi} : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の降伏基準点 (N/mm²)

Z_{ei} : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面係数 (mm³)

N_i : 多重鋼管杭を構成する各鋼管に発生する軸力 (kN)

A_i : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積 (mm²)

短期許容せん断力は次式により算定する。

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

ここで、

Q_a : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の短期許容せん断力 (kN)

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

A_i : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積 (mm²)

表 4-5 鋼管杭の許容限界

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

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

*2: 降伏モーメントは, 鋼管杭に発生する軸力を考慮する。

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

表4-6 杭頭連結材（SKK490）の許容限界

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

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

(2) 改良地盤

改良地盤の施設・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）」を準用する。改良地盤の許容限界を表4-7に示す。

表4-7 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

(3) 止水目地

止水目地（シートジョイント）の許容限界は，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変位量とする。止水目地（シートジョイント）の許容限界を表 4-8 に示す。

表 4-8 止水目地（シートジョイント）の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1580

(4) 基礎地盤

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

表 4-9 基礎地盤の許容限界

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

4.1.7 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価は、地震応答解析に基づいて算定した発生断面力又は発生応力度が「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) 鋼管杭

a. 曲げ照査

鋼管杭の発生曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。

b. せん断照査

鋼管杭の発生せん断力が許容限界以下であることを確認する。

c. 引張照査

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

(2) 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線上のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態を基に、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を求め、最小すべり安全率を算定する。すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」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) 止水目地

止水目地（シートジョイント）の地震時の変形性評価について、法線直交方向、法線方向及び深度方向いずれも、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時の最大変位量が許容限界以下であることを確認する。

x 方向（法線直交方向）及び z 方向（深度方向）の変位量は、図 4-1 に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）天端における地震時の変位量とし、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）の変位量は、隣接する防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の天端間の最大相対変位量とする。

x 方向（法線直交方向）の地震時の変位量 δ_x : $\delta_x = |\delta_x(T)| \times 2$

y 方向（法線方向）の地震時の変位量 δ_y : $\delta_y = |\delta_y(T)|$

z 方向（深度方向）の地震時の変位量 δ_z : $\delta_z = |\delta_z(T)| \times 2$

ここで、

$\delta_x(T)$: x 方向（法線直交方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_y(T)$: y 方向（法線方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_z(T)$: z 方向（深度方向）の地震時の最大相対変位量

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

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

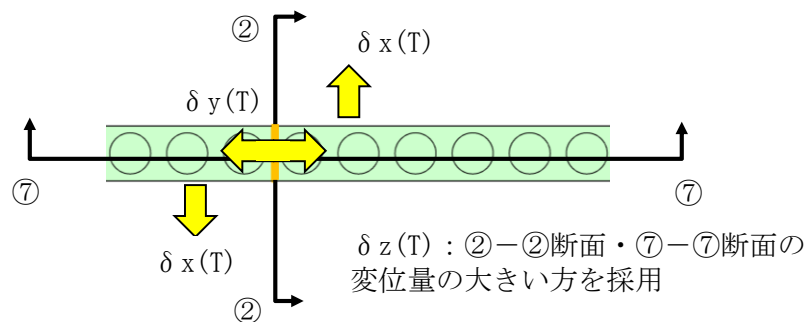


図 4-1 地震時の変位量の概念図

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、鋼管杭下端部の軸力を用いて次式により算定される軸応力度が基礎地盤の許容限界以下であることを確認する。

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

ここで、

R_d : 鋼管杭下端の軸力より算定される軸応力度 (N/mm²)

N : 鋼管杭下端に発生する軸力 (kN)

A' : 鋼管杭下端の断面積 (mm²)

4.2. 3次元構造解析

4.2.1 解析方法

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

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

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

4.2.2 荷重及び荷重の組合せ

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

4.2.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の3次元構造解析モデルを図4-2～図4-4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。漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は、モデル化せず、その重量を考慮する。

b. 地盤ばね

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

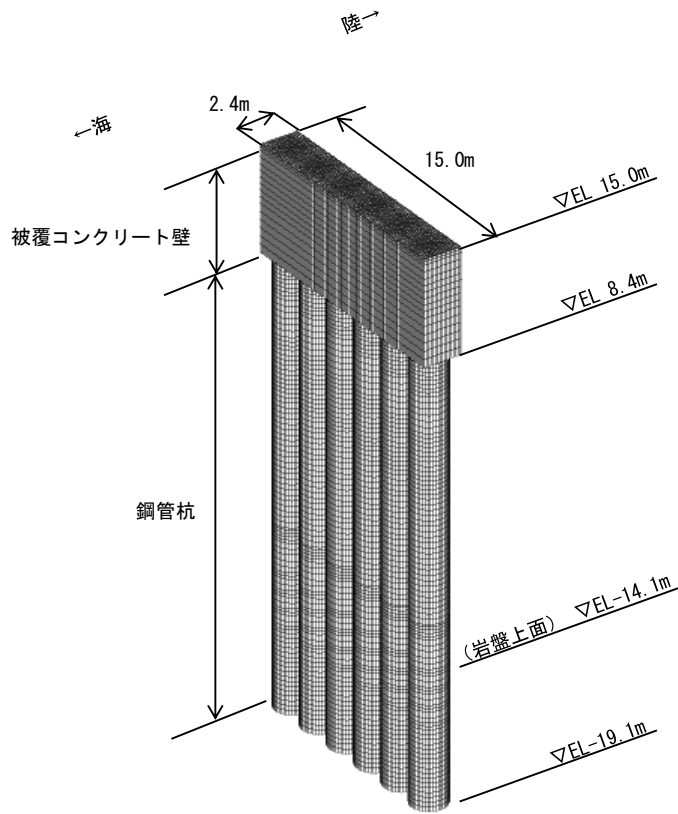


図 4-2 3次元構造解析モデル (②—②断面)

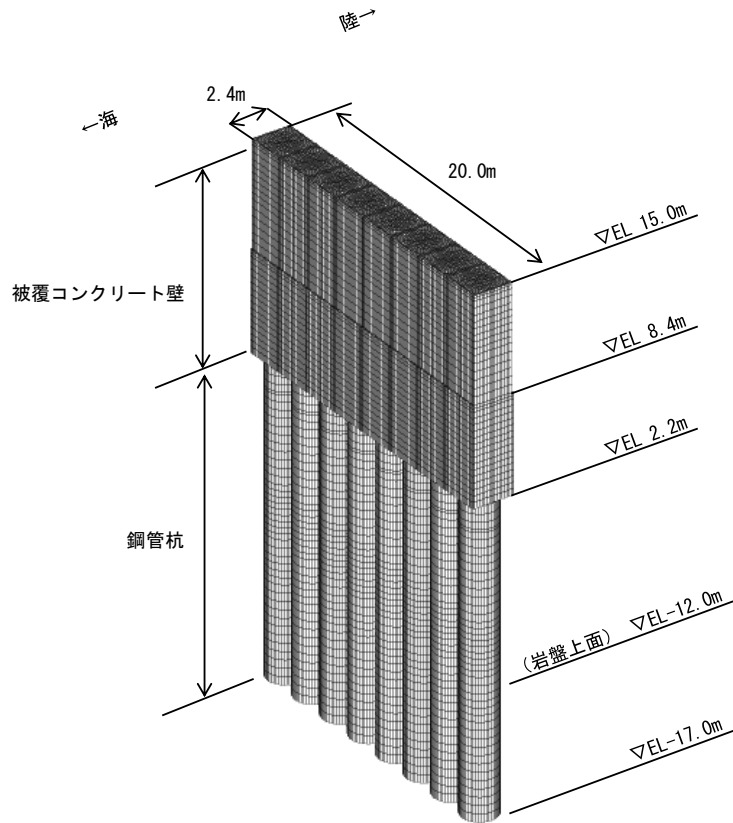


図 4-3 3次元構造解析モデル (③—③断面)

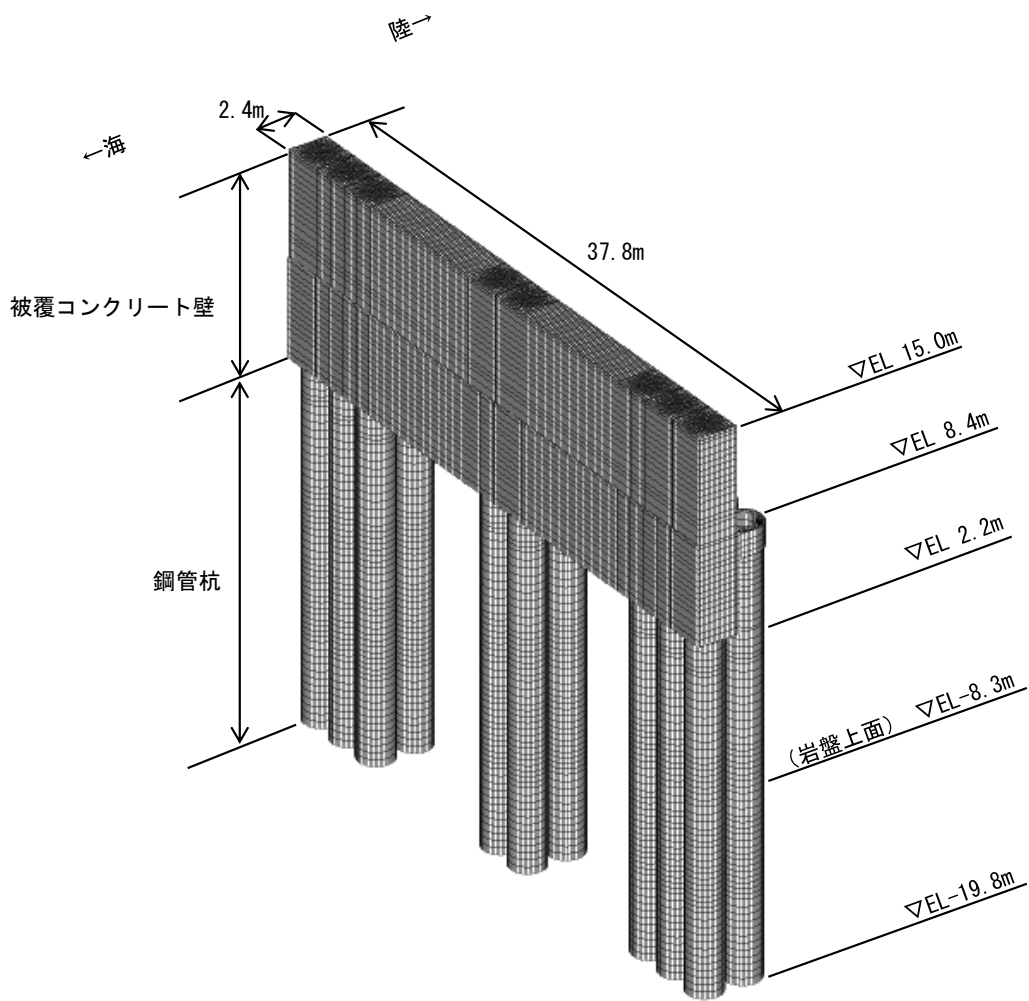


図 4-4 3次元構造解析モデル (④—④断面)

(2) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。

a. 被覆コンクリート壁

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

表 4-10 使用材料

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

表 4-11 材料の物性値

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

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

b. 鋼管杭

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

(3) 地下水位

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

4.2.4 評価対象部位

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

4.2.5 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 被覆コンクリート壁

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

表4-12 被覆コンクリート壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート (f'ck=24N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9
許容せん断応力度 τ_{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、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002年制定) 」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

4.2.6 評価方法

被覆コンクリート壁の評価は、3次元構造解析より得られた曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度及び曲げ引張応力度並びにせん断力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。

5. 耐震評価結果

5.1 鋼管杭

5.1.1 曲げ照査

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

この結果から鋼管杭の発生断面力が許容限界以下であることを確認した。

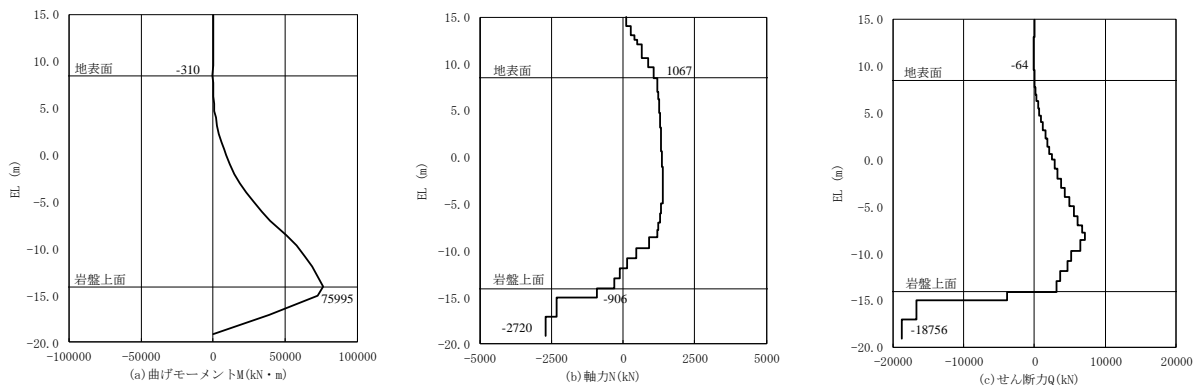


図 5-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=15.04s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

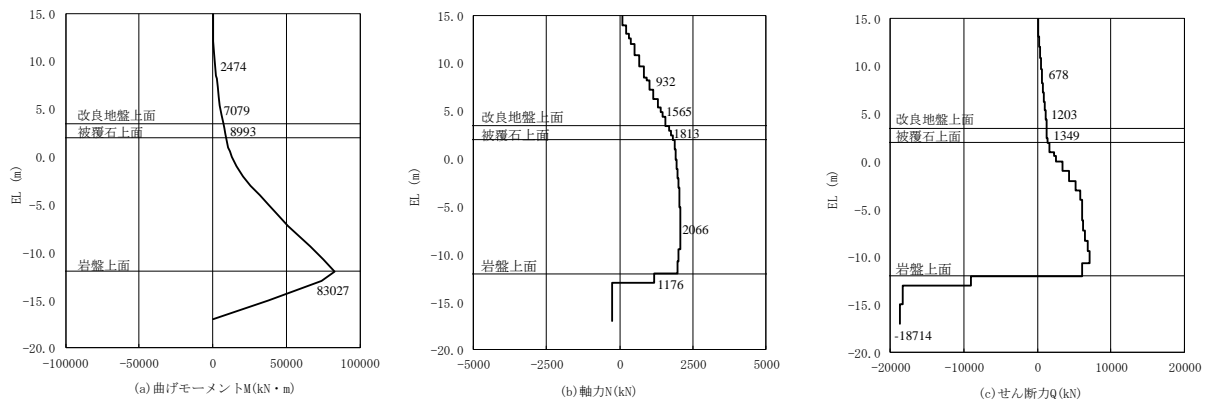


図 5-2 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.21s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

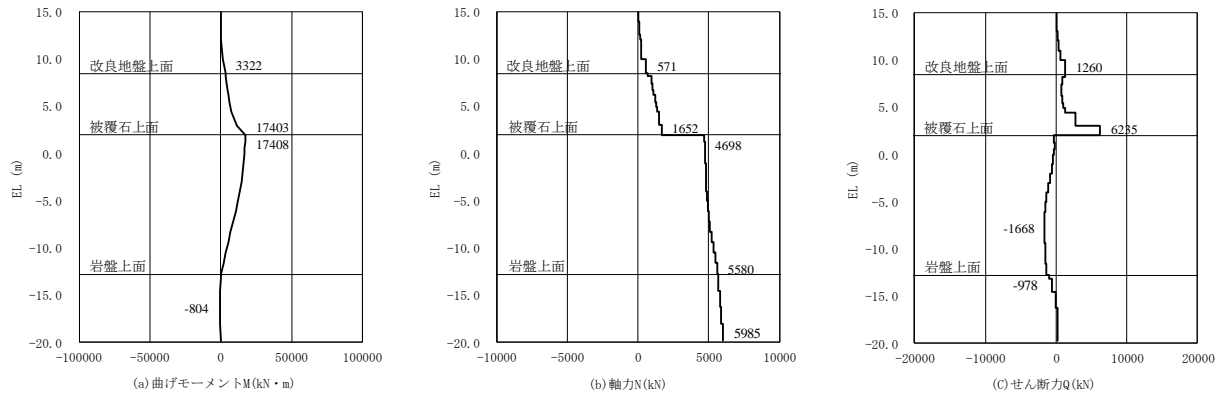


図 5-3(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(④-④断面, 海側杭, S_s-D(-+), t=28.20s)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

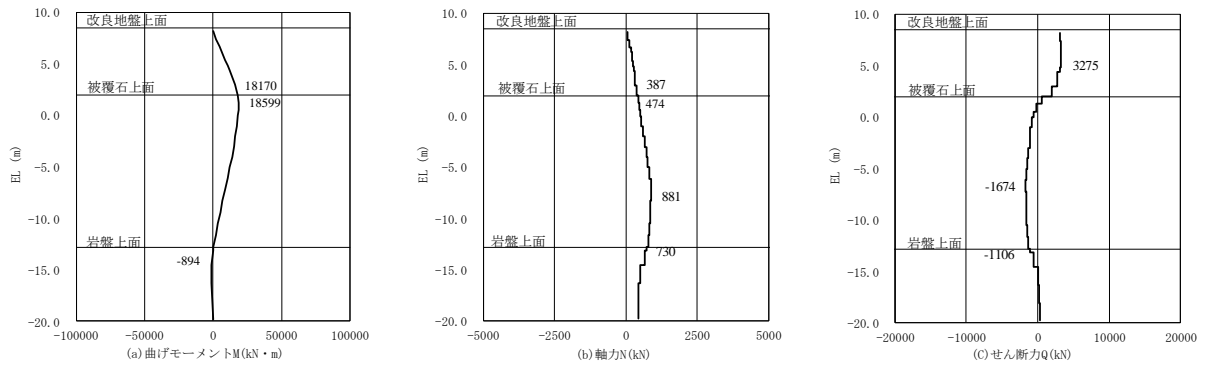


図 5-3(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(④-④断面, 陸側杭, S_s-D(-+), t=28.20s)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

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

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

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

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

表 5-3(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面, 海側杭)

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

表 5-3(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面, 陸側杭)

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

5.1.2 せん断照査

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

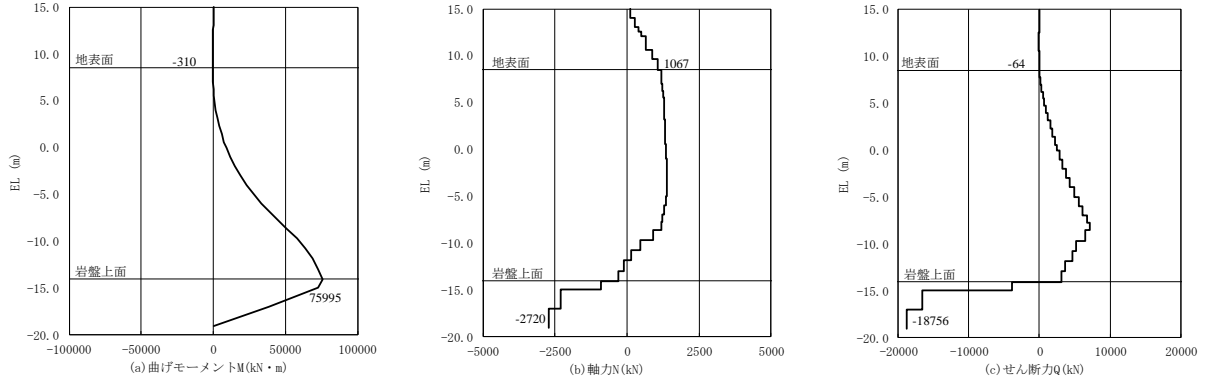


図5-4 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(②-②断面, S s - D (-+), t=15.04s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

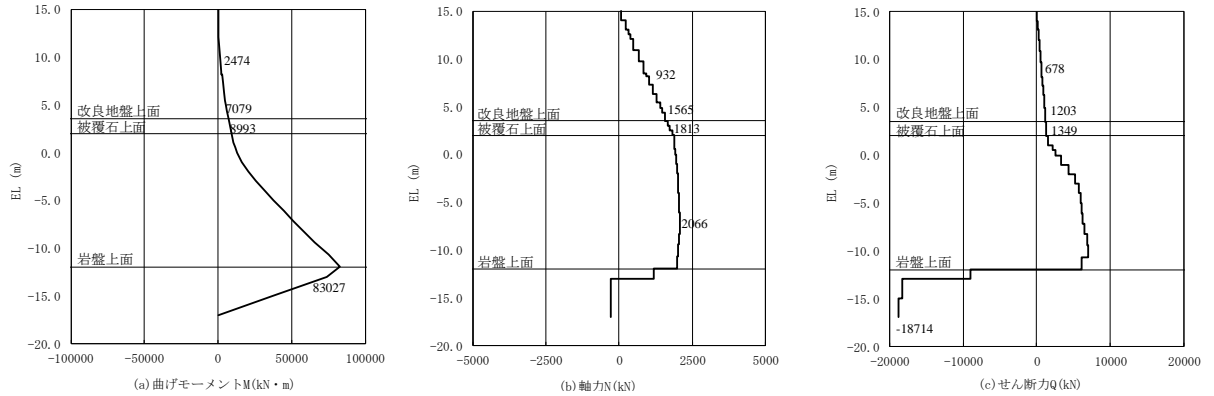


図5-5 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(③-③断面, S s - D (-+), t=13.21s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

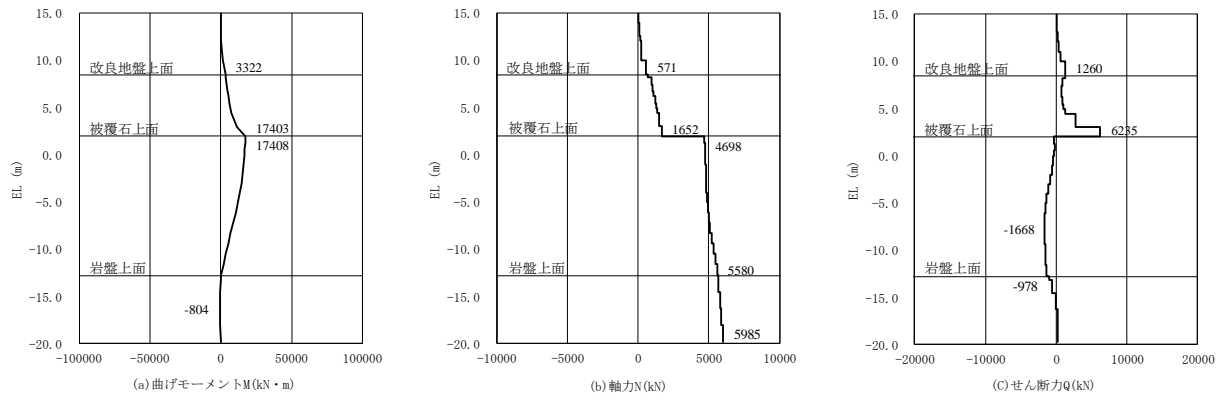


図 5-6(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(④-④断面, 海側杭, S_s-D(-+), t=28.20s)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

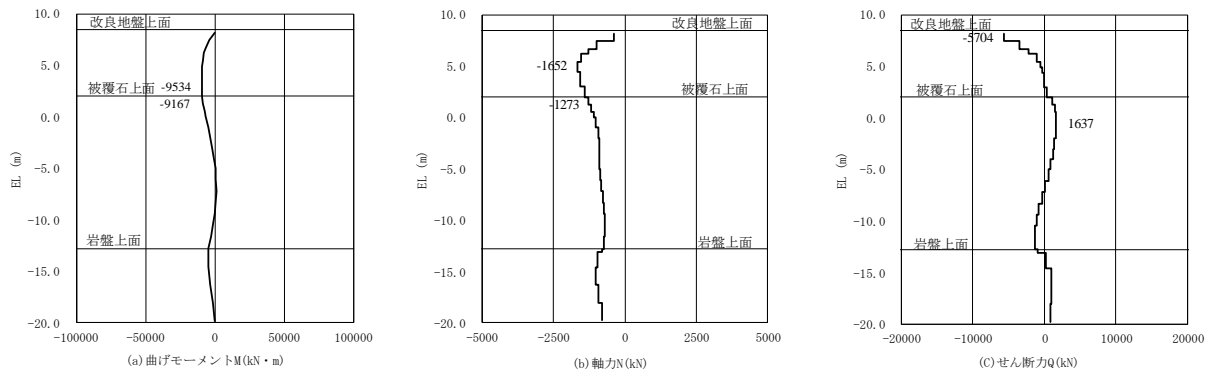


図 5-6(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(④-④断面, 陸側杭, S_s-D(-+), t=28.05s)

解析ケース①: 基本ケース

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

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

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

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

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

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

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

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

5.1.3 引張照査

杭頭連結材の引張破壊に対する照査における最大照査値を表 5-7 に示す。

この結果から杭頭連結材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

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

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

5.2 被覆コンクリート壁

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

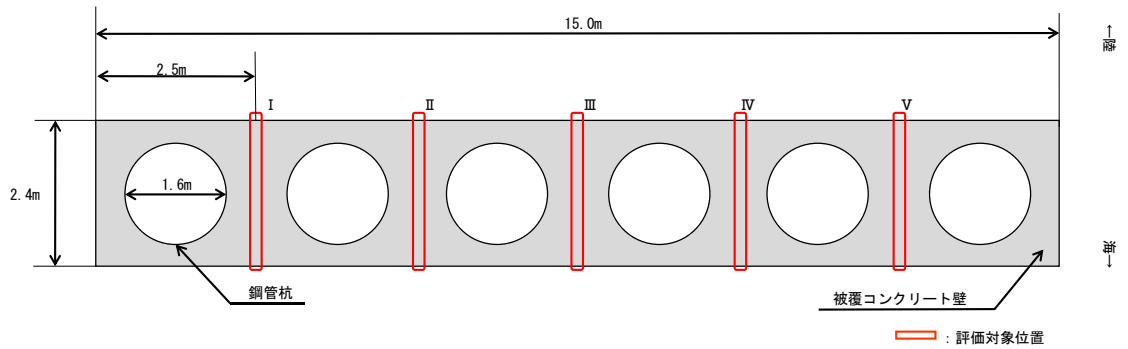


図5-7(1) 評価対象位置図(②-②断面, 平面図)

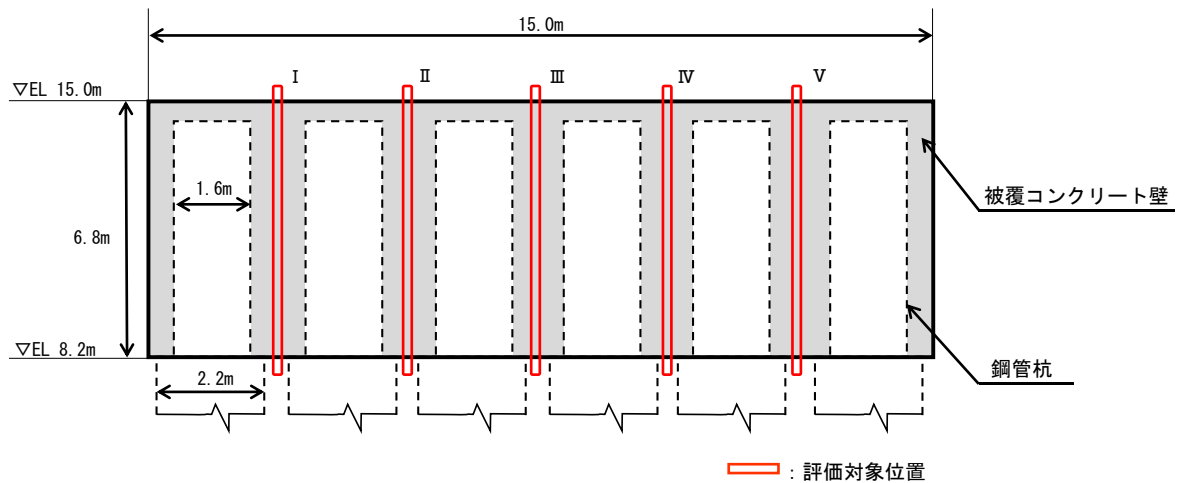


図5-7(2) 評価対象位置図(②-②断面, 正面図)

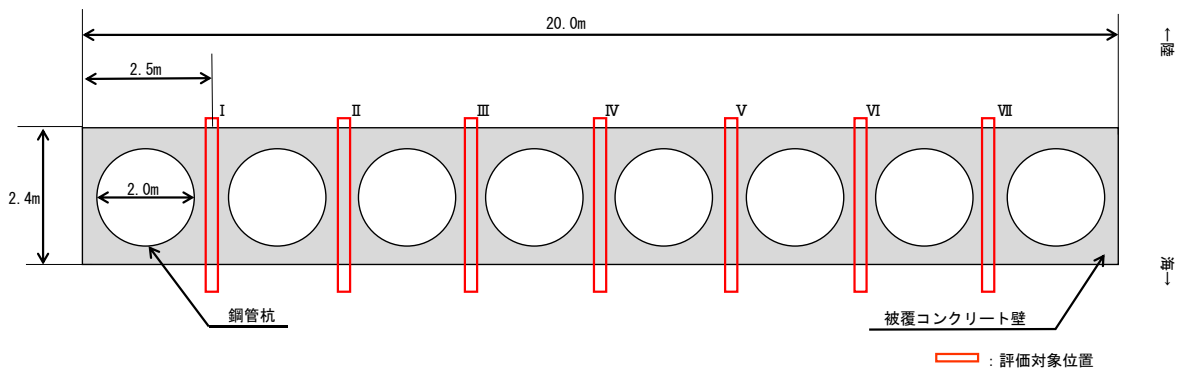


図 5-8(1) 評価対象位置図 (③-③断面, 平面図)

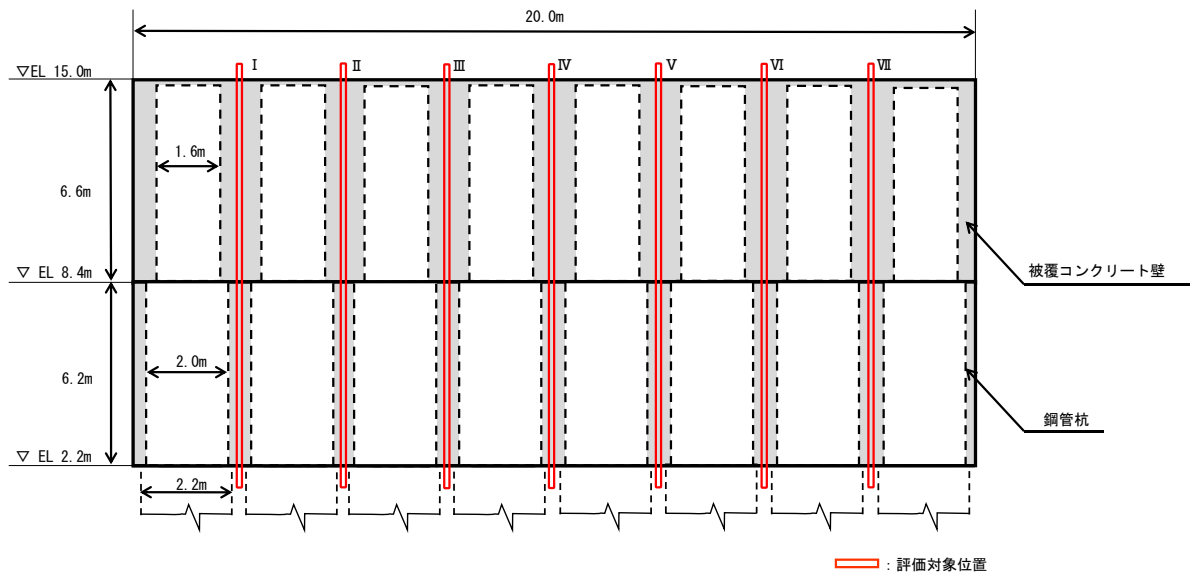


図 5-8(2) 評価対象位置図 (③-③断面, 正面図)

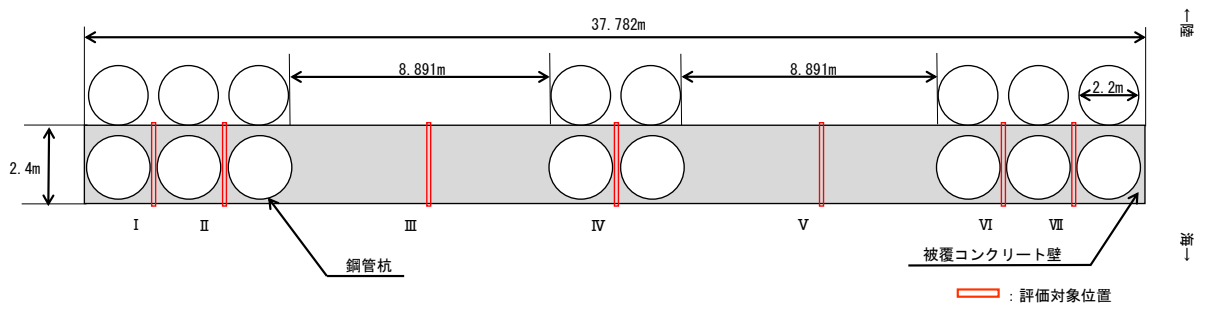


図 5-9(1) 評価対象位置図 (④-④断面, 平面図)

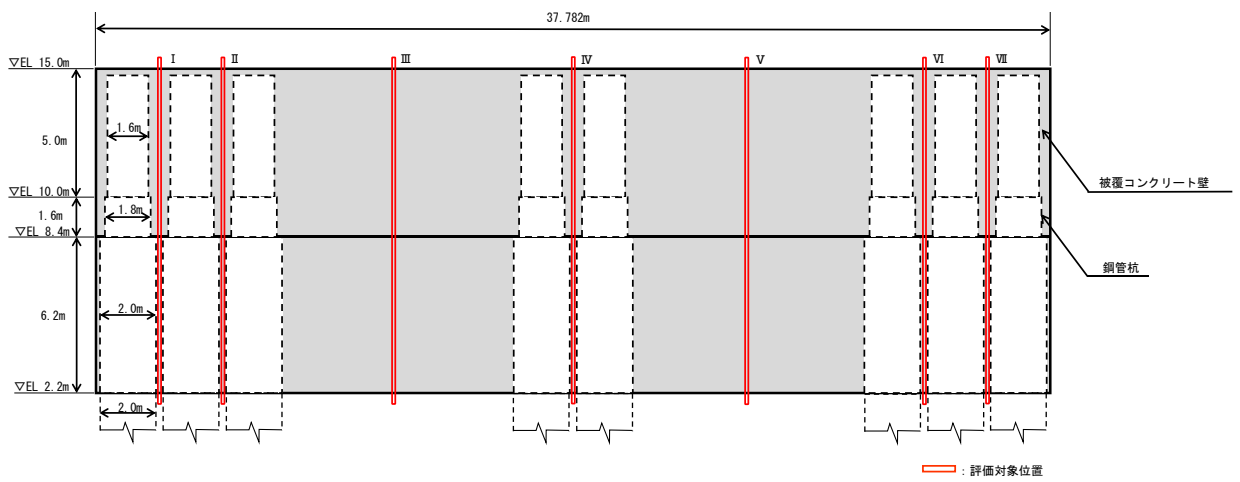


図 5-9(2) 評価対象位置図 (④-④断面, 正面図)

5.2.1 曲げ照査

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

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

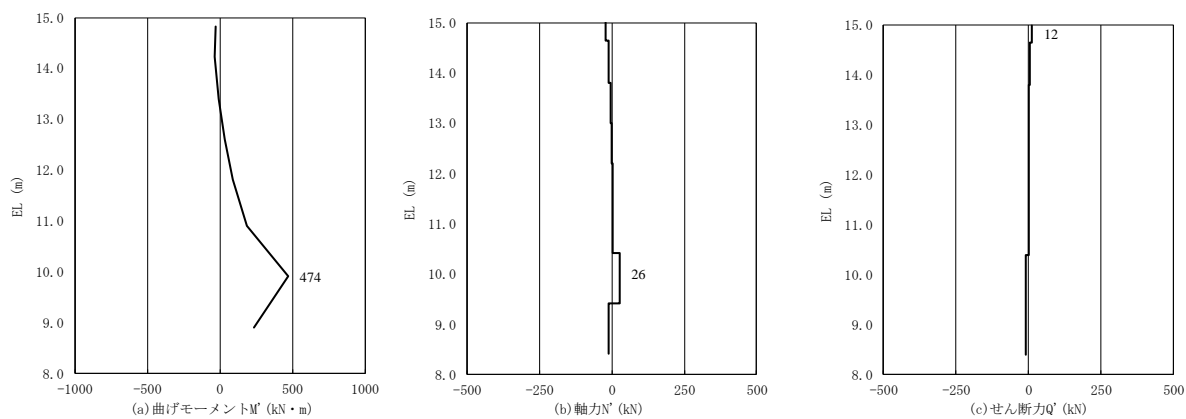


図 5-10 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査の
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t = 13.34s$, 評価対象位置Ⅲ)

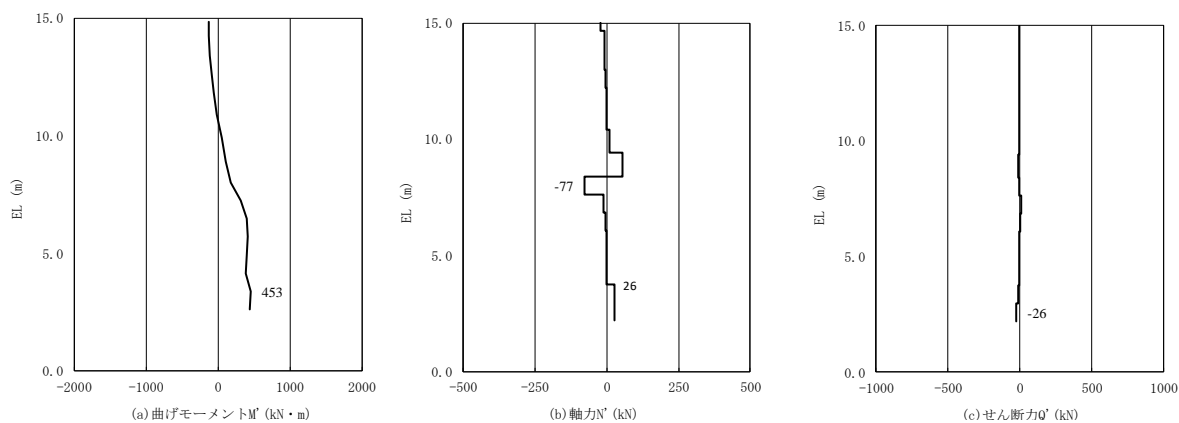


図 5-11 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査の
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t = 13.25s$, 評価対象位置Ⅳ)

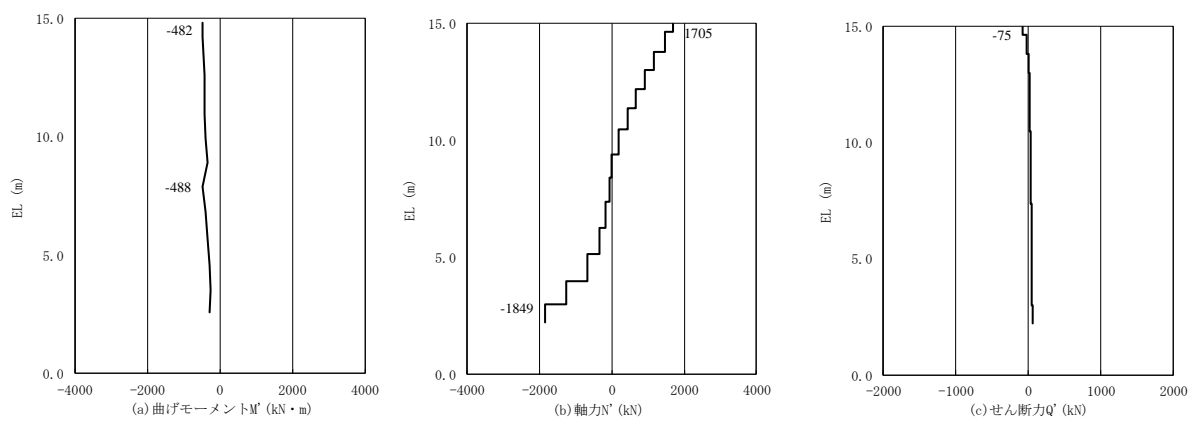


図 5-12 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査の
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力
 (④-④断面, S s - D (+-), $t=9.02s$, 評価対象位置Ⅲ)

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

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

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

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

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

評価対象位置	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント M' (kN・m)	軸力 N' (kN)			
Ⅲ	482	1705	0.9	13.5	0.07

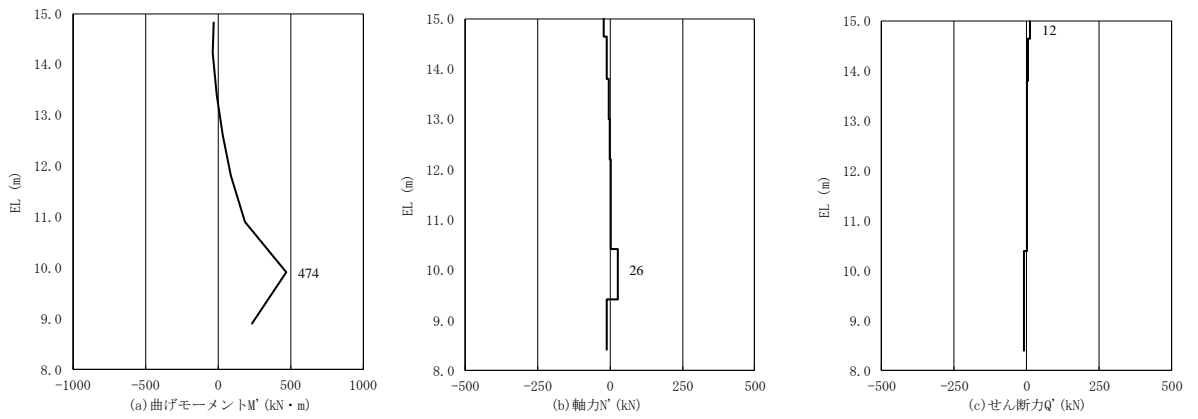


図 5-13 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t = 13.34s$, 評価対象位置Ⅲ)

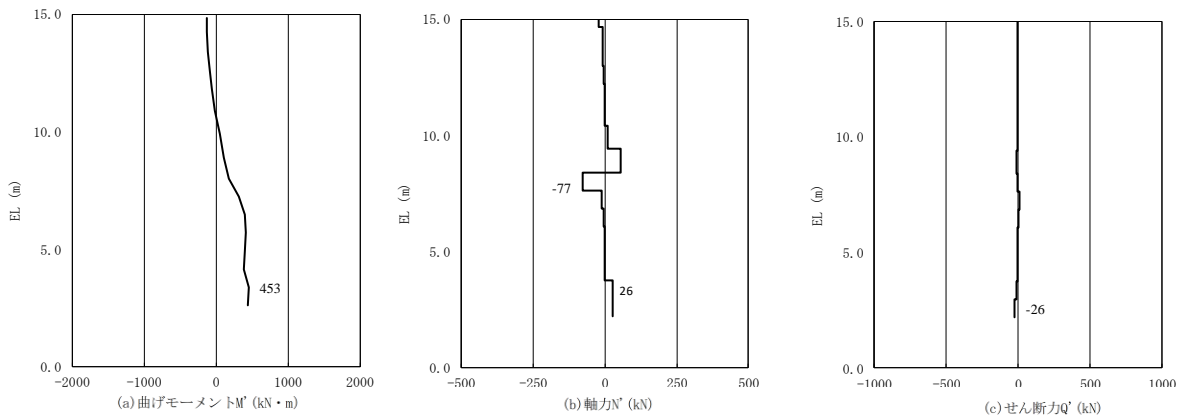


図 5-14 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t = 13.25s$, 評価対象位置Ⅳ)

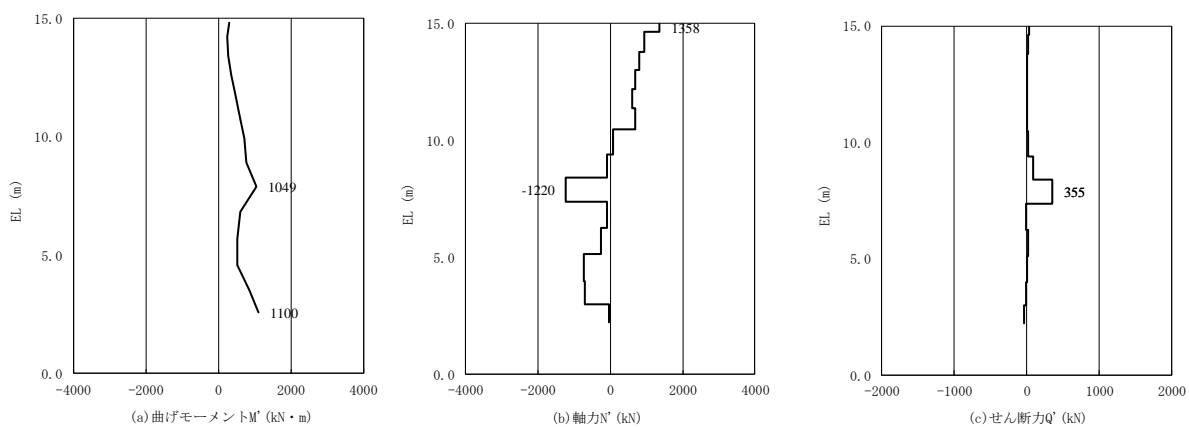


図 5-15 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力
 (④-④断面, S s - D (+ -), t=9.02s, 評価対象位置Ⅳ)

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

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

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

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

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

評価対象位置	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント M' (kN・m)	軸力 N' (kN)			
Ⅳ	1049	1220	65.7	294	0.23

5.2.2 せん断照査

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が発生している評価対象位置での断面力図 5-16～図 5-18 に、コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値を表 5-14～表 5-16 に示す。

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

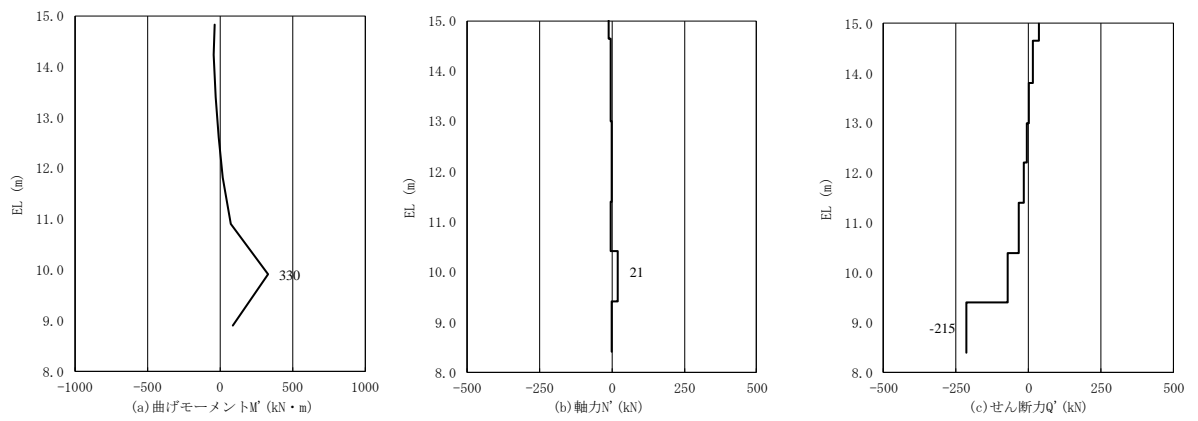


図 5-16 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t = 13.34s$, 評価対象位置 V)

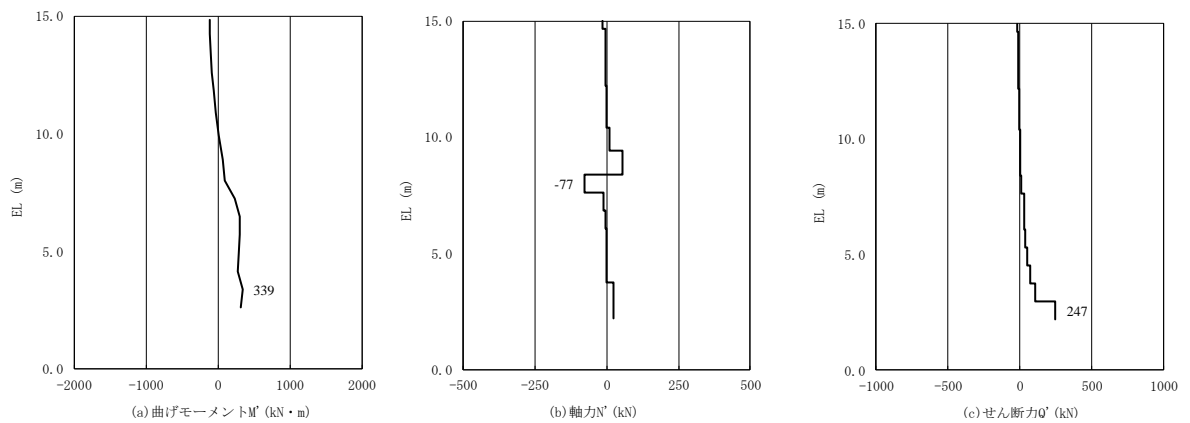


図 5-17 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t = 13.25s$, 評価対象位置 II)

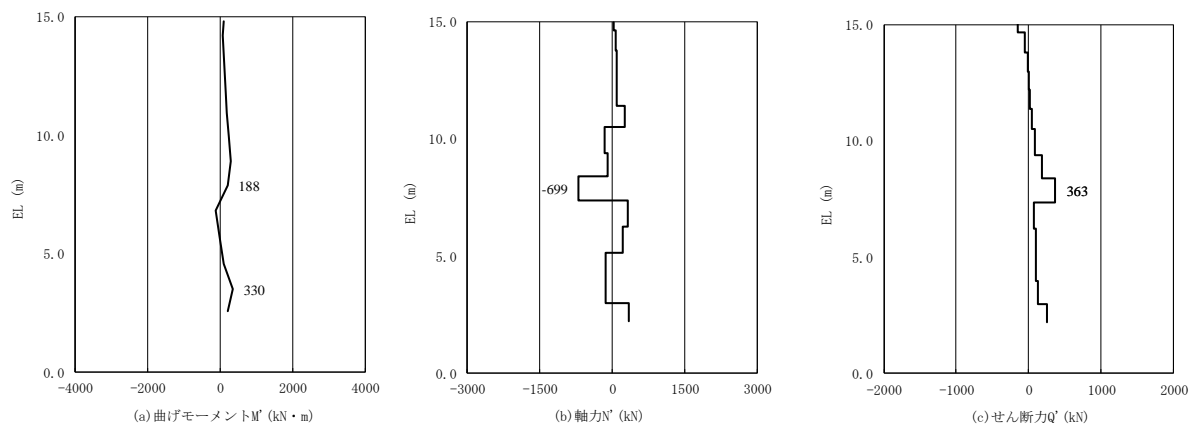


図 5-18 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図
 (④-④断面, $S_s - D(+)$, $t=9.02s$, 評価対象位置 I)

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

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q' (kN)			
V	215	0.11	0.67	0.17

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

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q' (kN)			
II	247	0.12	0.67	0.18

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

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
	せん断力 Q' (kN)			
I	363	0.17	0.67	0.26

5.3 改良地盤

5.3.1 改良地盤④

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

表5-17 改良地盤④のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

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

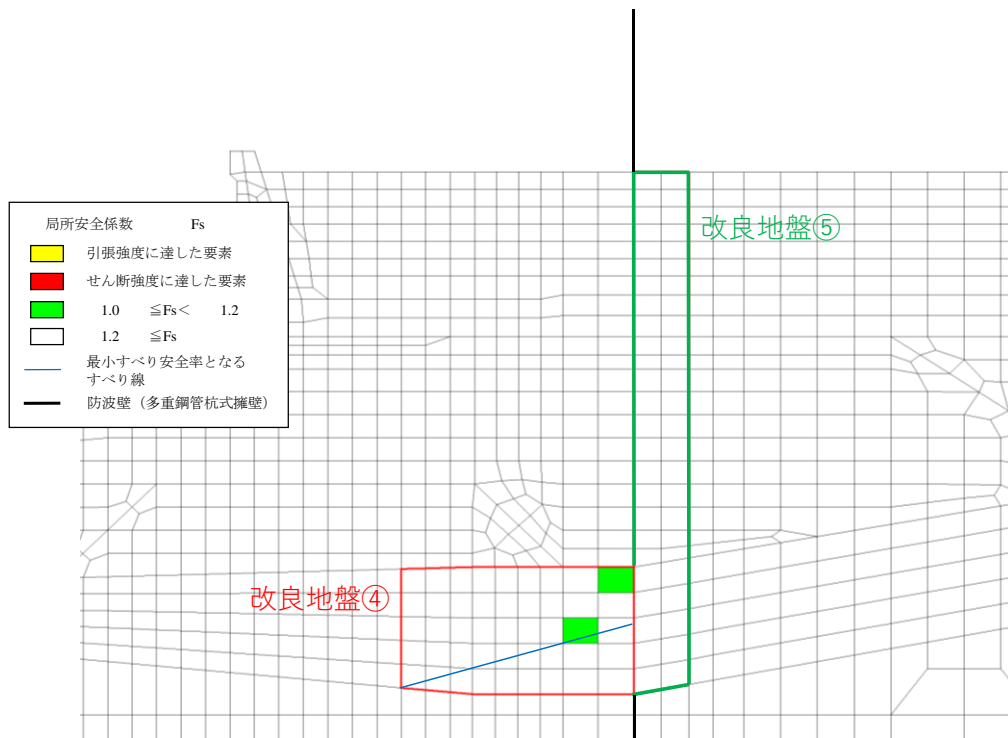


図5-19 改良地盤④の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
(②-②断面, S s - D (--), $t=14.97s$)

解析ケース①: 基本ケース

5.3.2 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 5-18～表 5-20 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 5-20～図 5-22 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 5-18 改良地盤⑤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	13.19	1.77

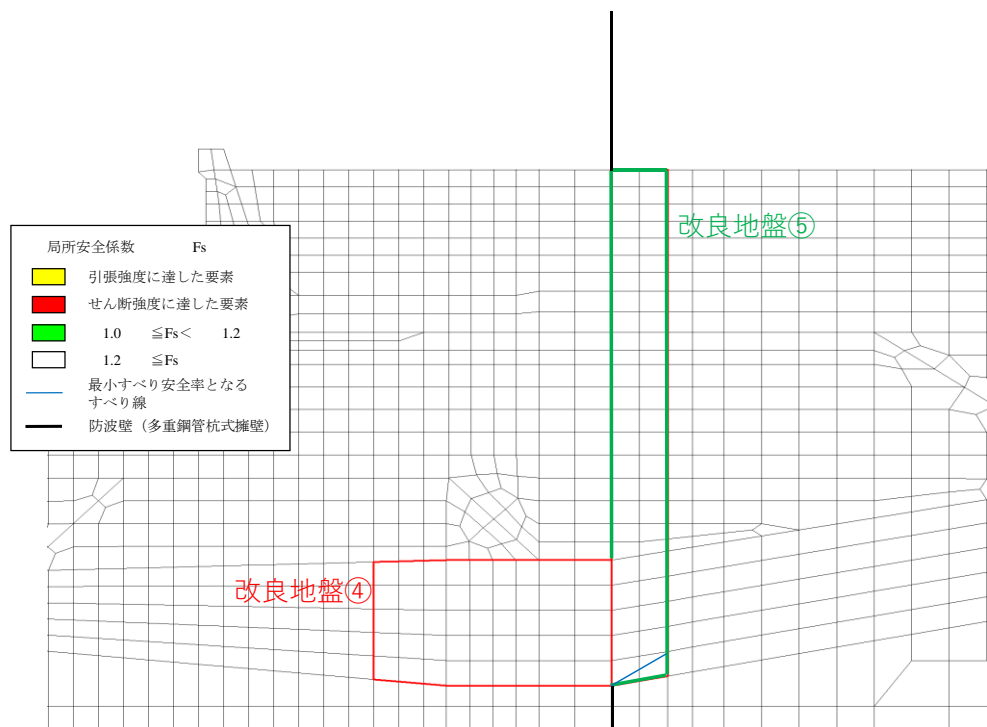


図 5-20 改良地盤⑤の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
(②-②断面, S s - D (-+), $t=13.19s$)

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)

表 5-19 改良地盤⑤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 - D (+-)	①	9.26	2.33

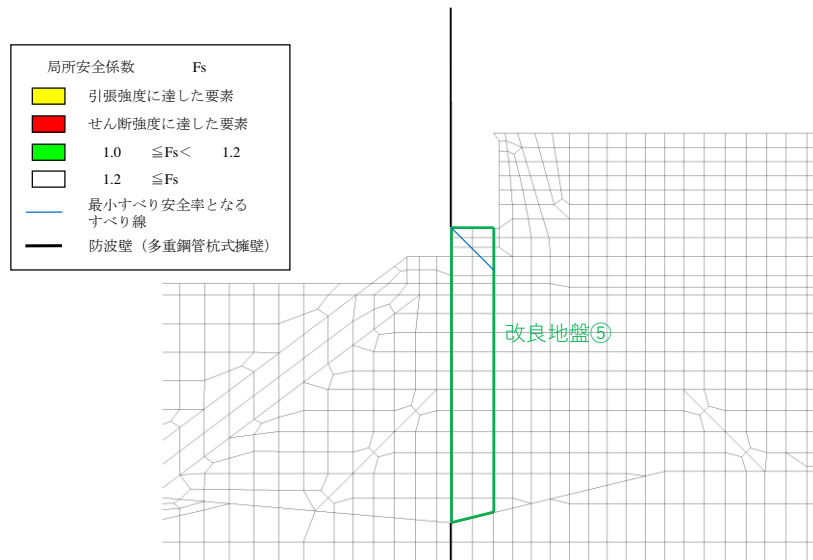


図 5-21 改良地盤⑤の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
(③-③断面, S s - D (+-), t=9.26s)
解析ケース①: 基本ケース

表 5-20 改良地盤⑤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 (++)	①	7.55	1.39

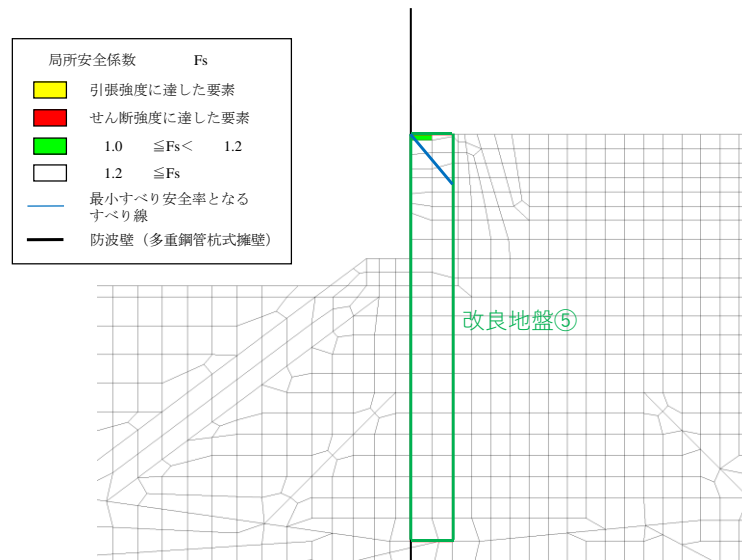


図 5-22 改良地盤⑤の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布

(④-④断面, S s - N 1 (++) , $t=7.55s$)

解析ケース①: 基本ケース

5.4 止水目地

地震時の止水目地（シートジョイント）の変位量に対する照査結果を表 5-21 に示す。

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

表 5-21 止水目地（シートジョイント）の変位量に対する照査結果

方向	地震動	解析 ケース	地震時の変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ②-②断面 (法線直交方向)	S s - D (- +)	②	988	-
δy : ⑦-⑦断面 (法線方向)	S s - D (+ +)	①	11	-
δz : ⑦-⑦断面 (深度方向)	S s - D (+ +)	①	38	-
合成方向 (3 方向合成)	-	-	989	1580

5.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-22～表 5-24 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の杭下端部に生じる軸応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-22 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面）

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

表 5-23 基礎地盤の支持性能評価結果（③-③断面）

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

表 5-24(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（④-④断面，海側杭）

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸応力度 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N (kN)			
S _s -N2 (EW) (++)	①	10109	2.7	9.8	0.28

表 5-24(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（④-④断面，陸側杭）

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

5.6 施設護岸等の損傷による不確かさの影響確認

5.6.1 評価方針

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

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

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

地盤物性のばらつきについては、入力地震動の選定と同様の観点から、鋼管杭の照査値が最大となる「平均値 + 1 σ 」を選定する。施設護岸等の有無における解析ケースを表 5-25 に示す。

表 5-25 解析ケース（②-②断面及び③-③断面）

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

5.6.2 地震応答解析モデル

(1) ②-②断面

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面の施設護岸等が損傷した場合の②-②断面における地震応答解析モデルを図5-23に示す。

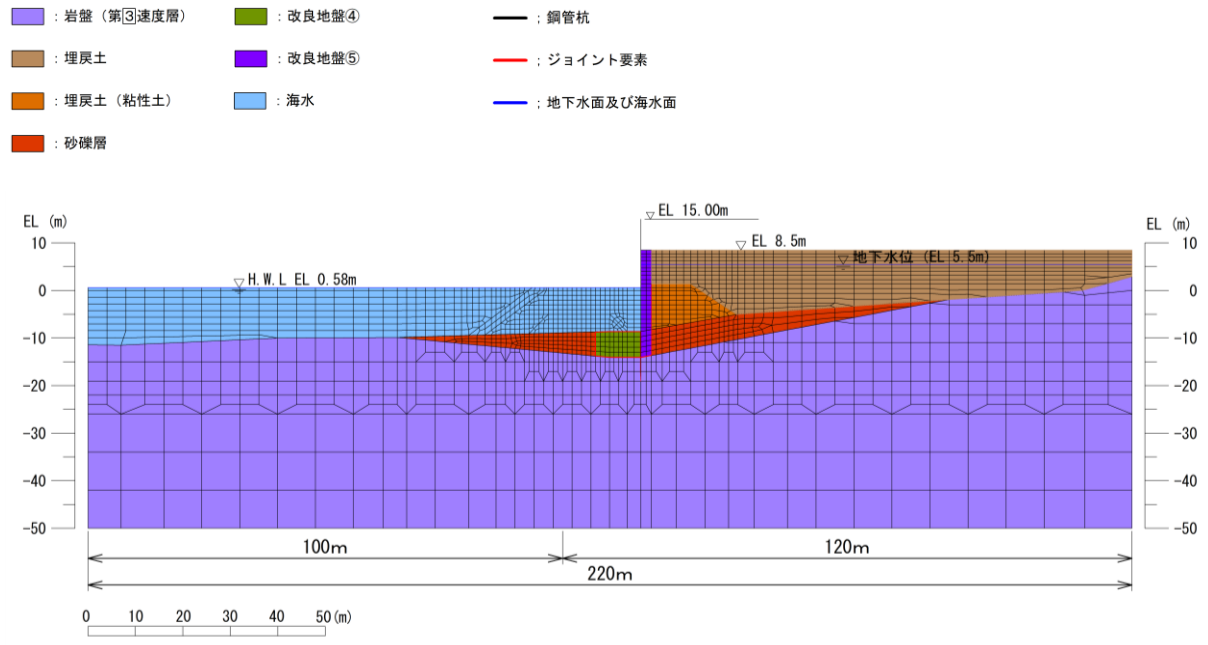


図5-23 ②-②断面における地震応答解析モデル
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面の施設護岸等が損傷した場合)

(2) ③-③断面

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面の施設護岸等が損傷した場合の③-③断面における地震応答解析モデルを図5-24に示す。

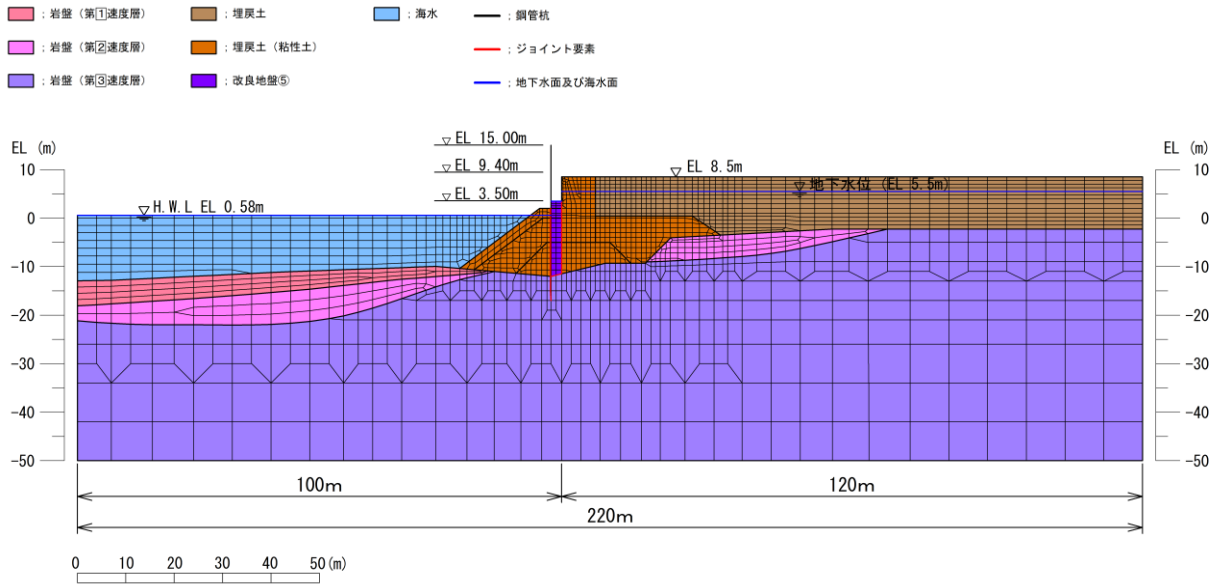


図5-24 ③-③断面における地震応答解析モデル
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面の施設護岸等が損傷した場合)

5.6.3 評価結果

(1) ②－②断面

②－②断面の評価結果のうち、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 5-26 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 5-27 に、該当する解析ケースの断面力図を図 5-25 及び図 5-26 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の前面の施設護岸等が損傷した場合の発生断面力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-26 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, S s - D (-+))

解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
② (「5.1 鋼管杭」 にて評価済み)	75995	906	89015	0.86
④	73808	729	89097	0.83

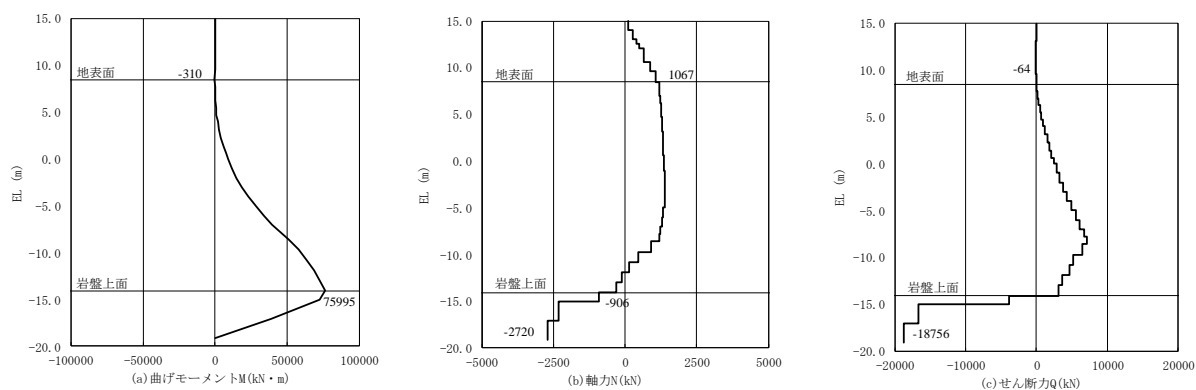


図 5-25(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (前面の施設護岸等が損傷しない場合, $S_s - D(-+)$, $t = 15.04s$)

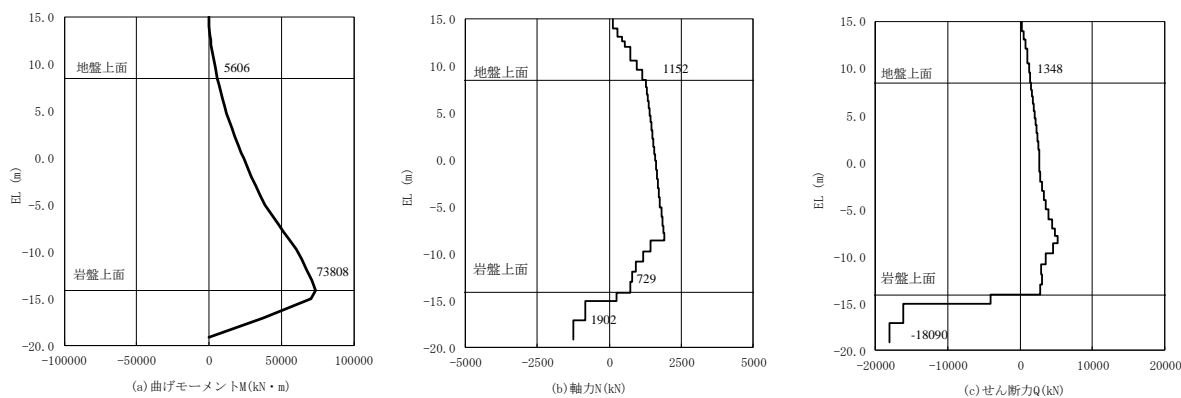


図 5-25(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (前面の施設護岸等が損傷した場合, $S_s - D(-+)$, $t = 13.31s$)

表 5-27 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, S_s-D (-+))

解析 ケース	発生断面力	短期許容 せん断力 Q _a (kN)	照査値 Q/Q _a
	せん断力 Q (kN)		
② (「5.1 鋼管杭」 にて評価済み)	18756	95166	0.20
④	18758	95166	0.20

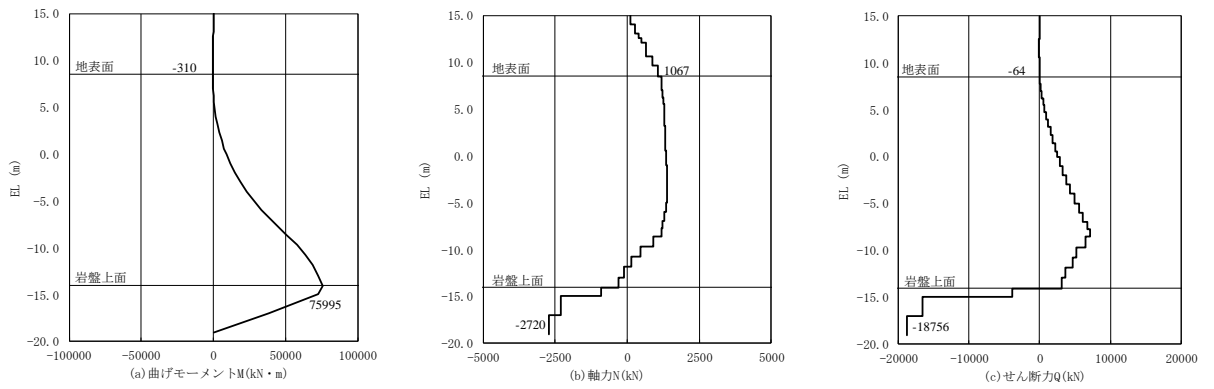


図 5-26(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (背面の施設護岸等が損傷しない場合, $S_s - D(-+)$, $t = 15.04s$)

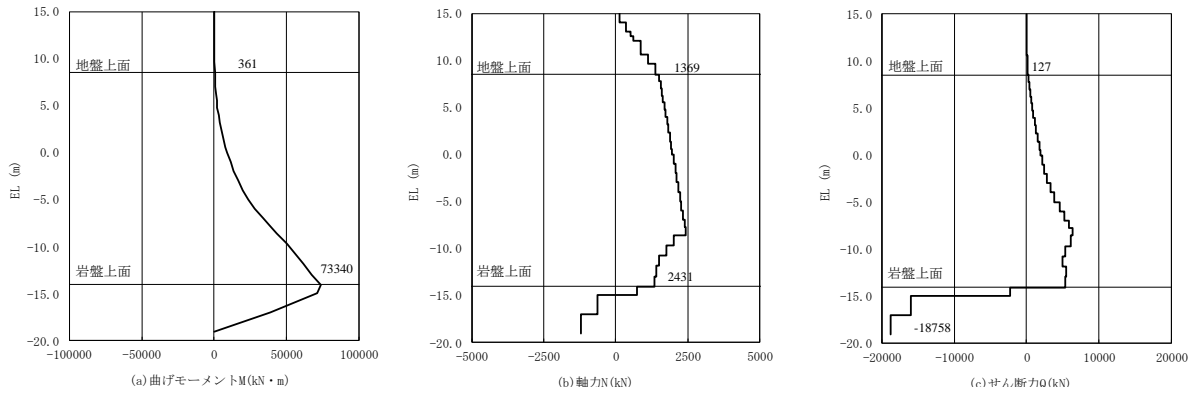


図 5-26(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (②-②断面)
 (前面の施設護岸等が損傷した場合, $S_s - D(-+)$, $t = 15.02s$)

(2) ③－③断面

③－③断面の評価結果のうち、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 5-28 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 5-29 に、該当する解析ケースの断面力図を図 5-27 及び図 5-28 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の背面の施設護岸等が損傷した場合の発生断面力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-28 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, S s - D (-+))

解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
② (「5.1 鋼管杭」 にて評価済み)	83027	1176	88888	0.94
④	74724	1548	88714	0.85

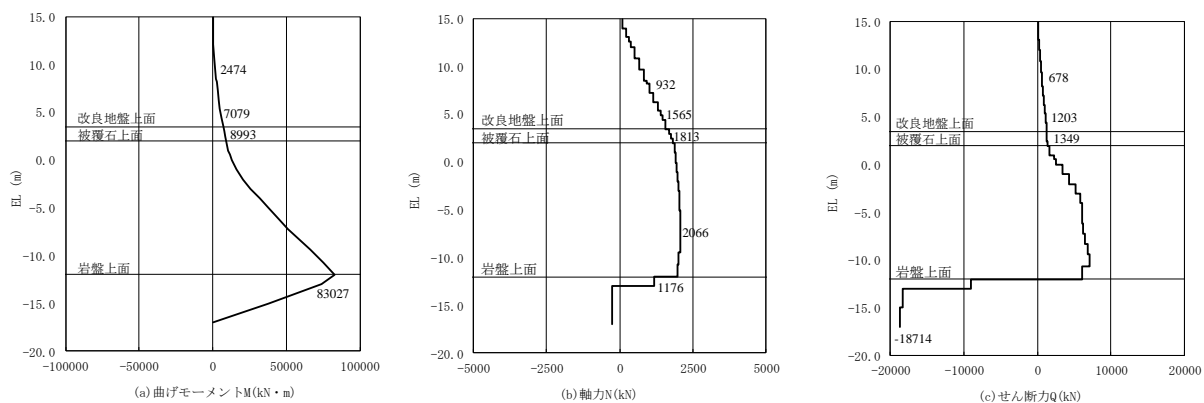


図 5-27(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (背面の施設護岸等が損傷しない場合, $S_s - D(-+)$, $t = 13.21s$)

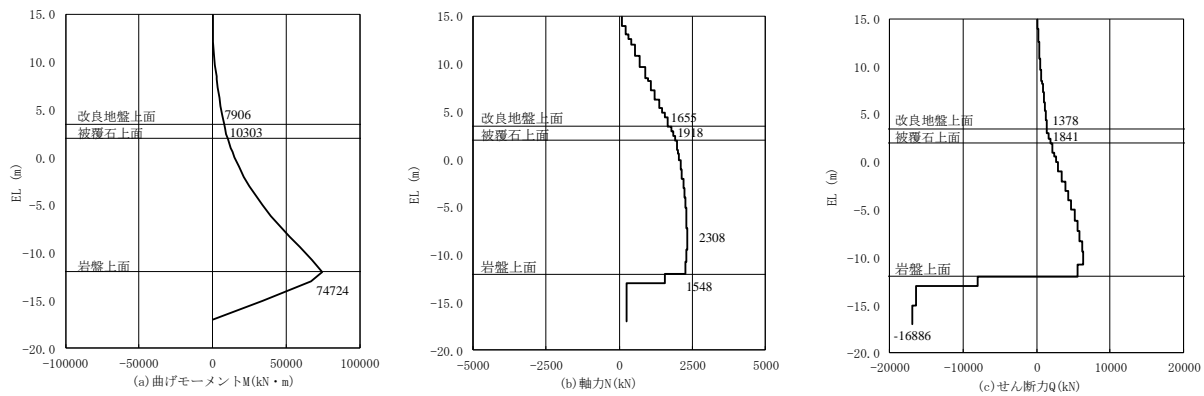


図 5-27(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (背面の施設護岸等が損傷した場合, $S_s - D(-+)$, $t = 13.20s$)

表 5-29 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, S_s-D (-+))

解析 ケース	発生断面力	短期許容 せん断力 Q _a (kN)	照査値 Q/Q _a
	せん断力 Q (kN)		
② (「5.1 鋼管杭」 にて評価済み)	18714	95166	0.20
④	16901	95166	0.18

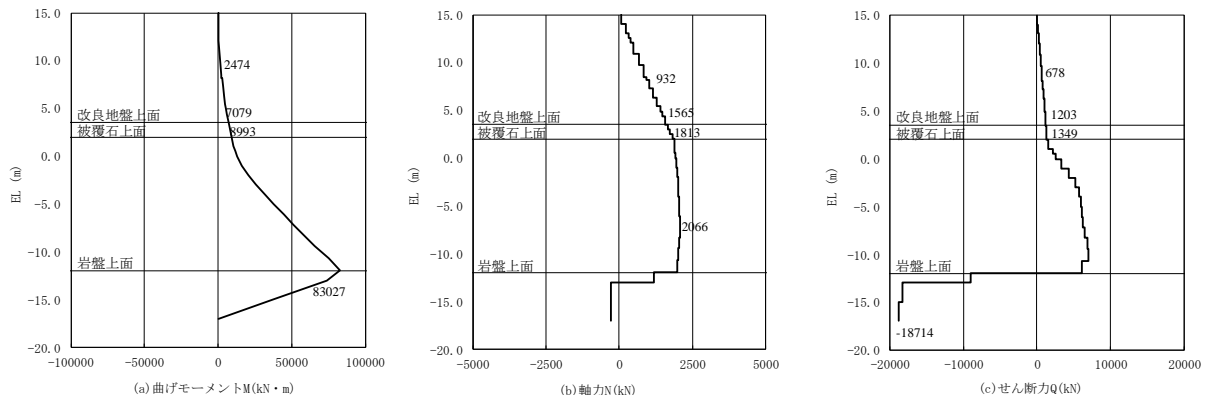


図 5-28(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (背面の施設護岸等が損傷しない場合, $S_s - D(-+)$, $t = 13.21s$)

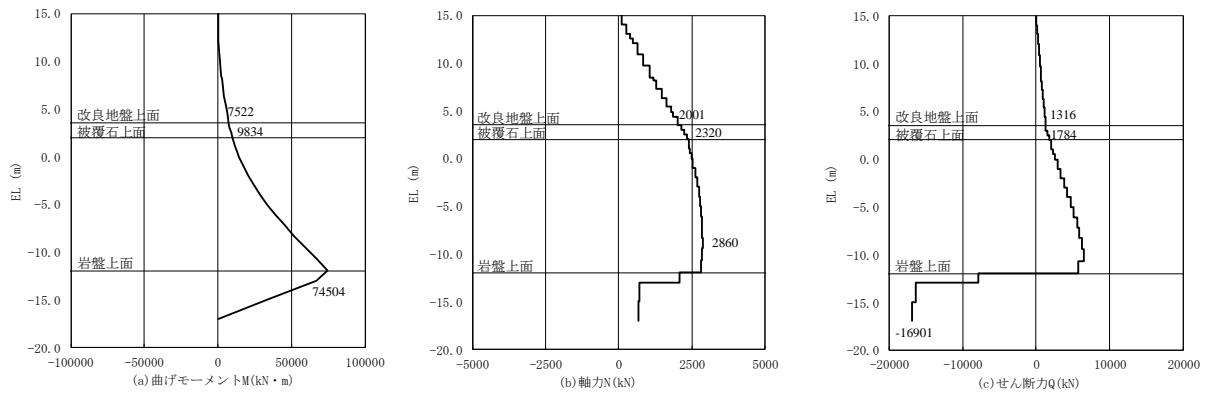


図 5-28(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力 (③-③断面)
 (背面の施設護岸等が損傷した場合, $S_s - D(-+)$, $t = 13.19s$)

6. 漂流物対策工

6.1 概要

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

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

6.2 基本方針

6.2.1 位置

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の位置図を図 6-1 に，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に設置する漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分図を図 6-2，漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分一覧を表 6-1 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）には漂流物対策工①及び漂流物対策工②を設置する。

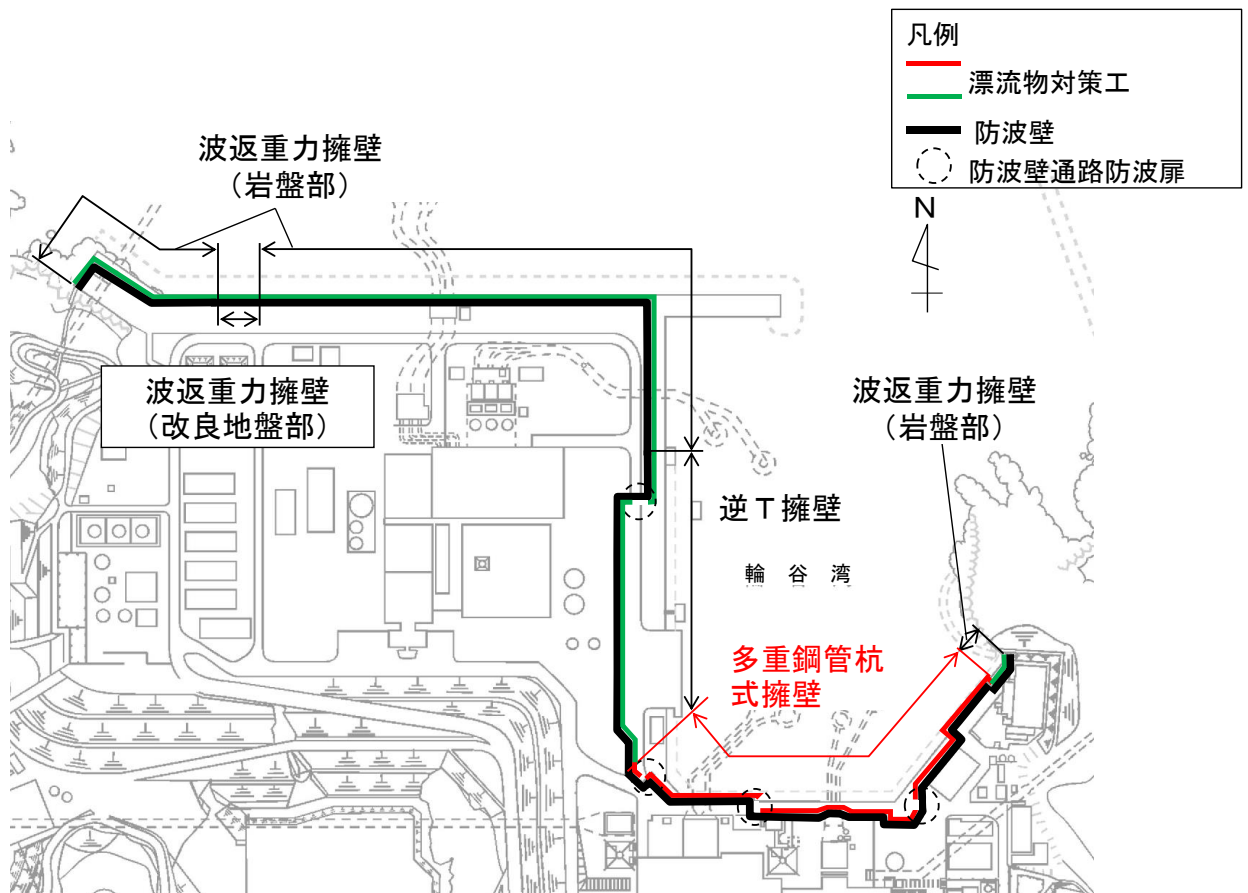


図 6-1 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の位置図

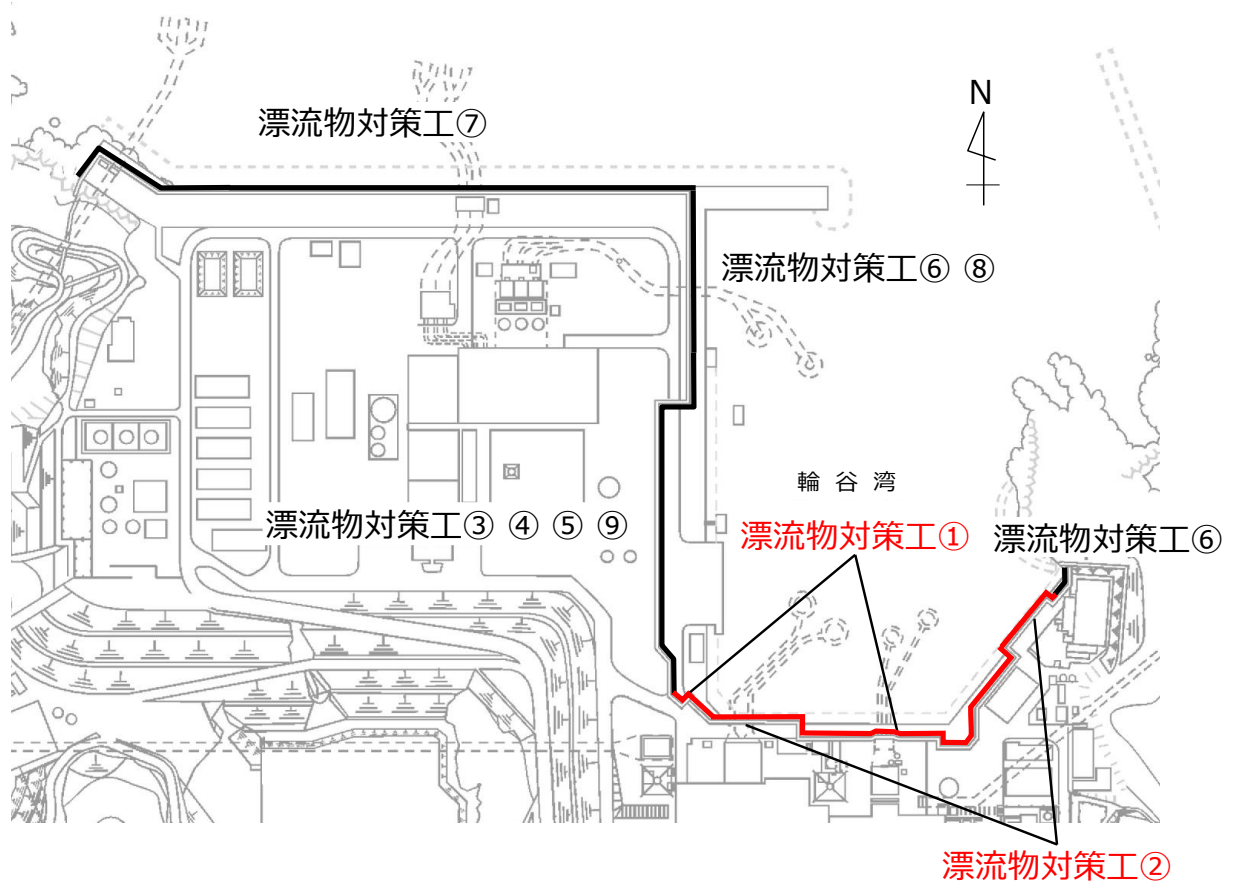


図 6-2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分図

表 6-1 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分一覧

名称	高さ	種別	設置箇所
漂流物対策工①	6.6m (EL 15.0m～EL 8.4m)	鉄筋コンクリート版	施設護岸の前面に 設置されている 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
漂流物対策工②	12.8m (EL 15.0m～EL 2.2m)	鉄筋コンクリート版	施設護岸の背面に 設置されている 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

6.2.2 構造概要

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

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

(単位：mm)

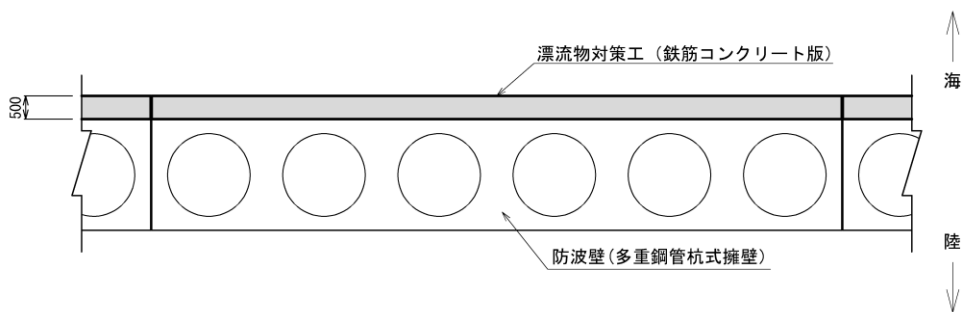


図 6-3(1) 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造概要図（平面図）

(単位：mm)

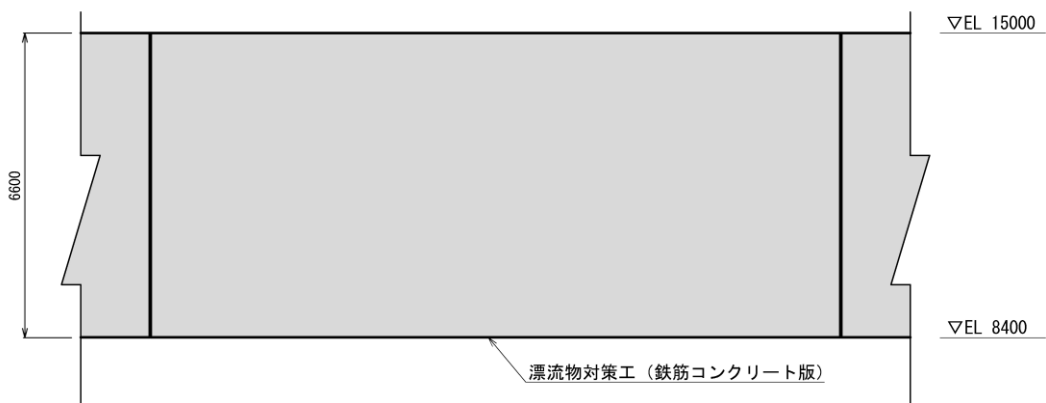


図 6-3(2) 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造概要図（正面図）

(単位：mm)

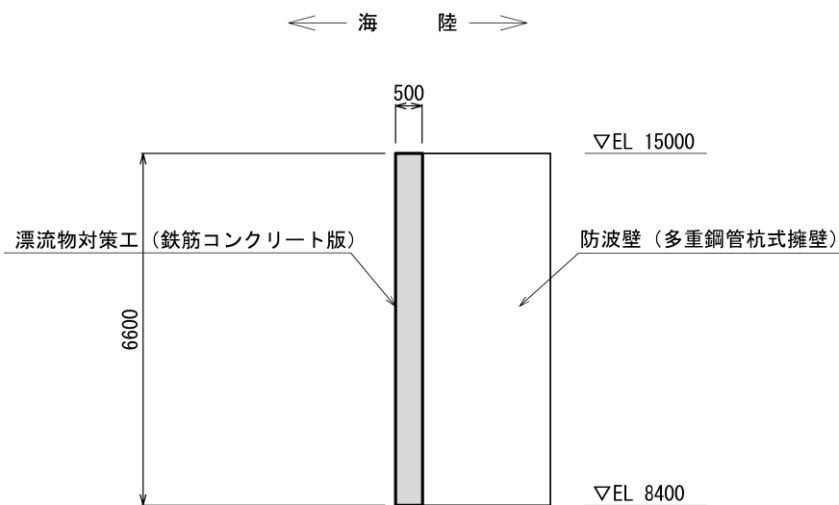


図 6-3(3) 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造概要図（標準断面図）

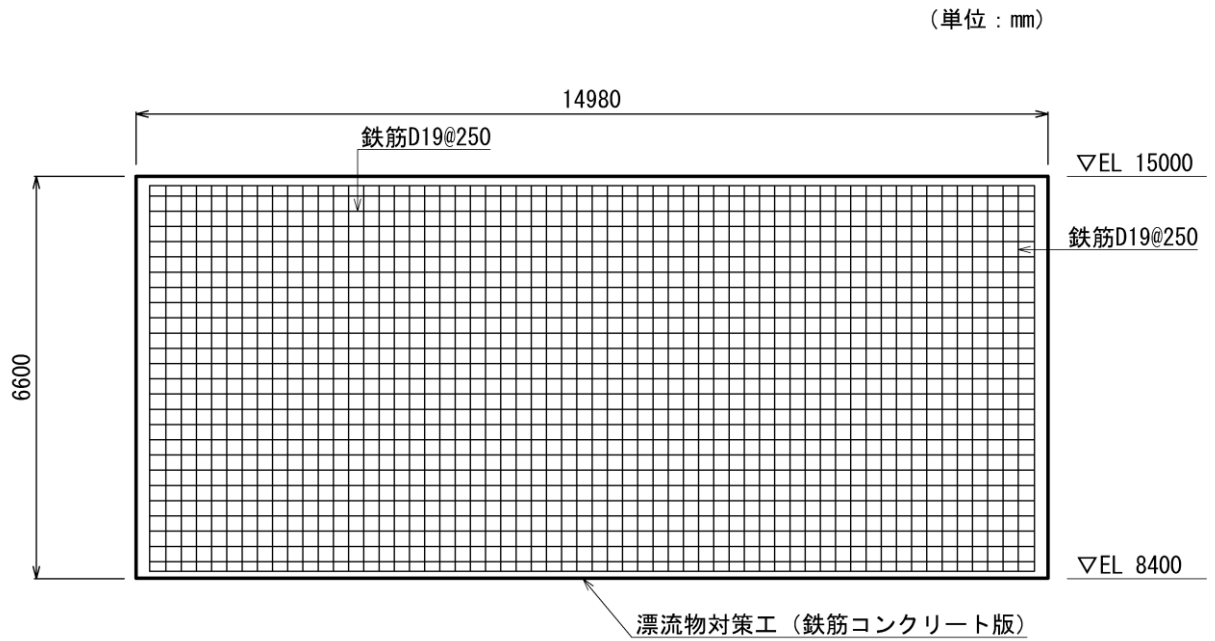


図 6-4(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (正面図)

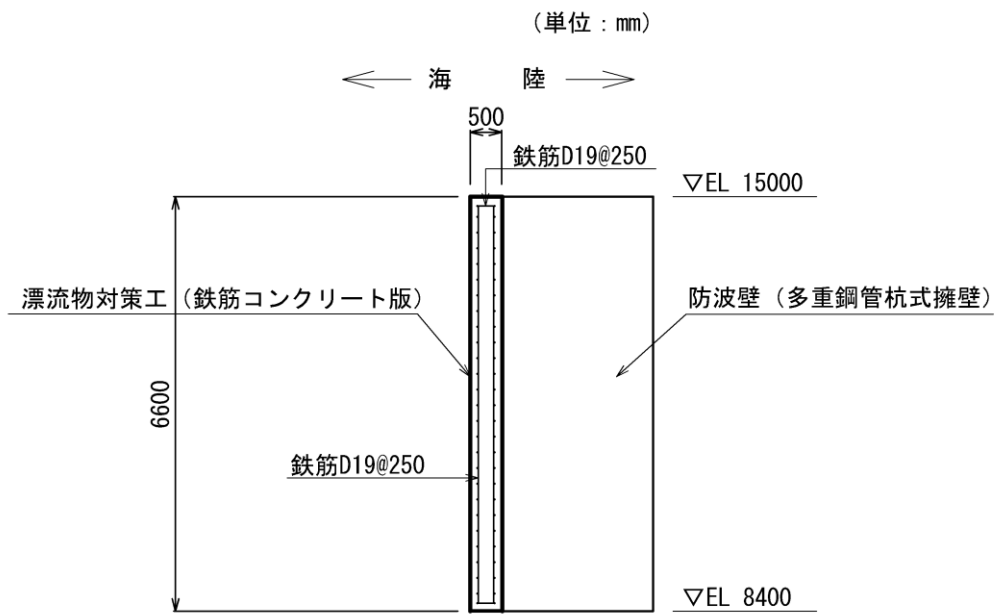


図 6-4(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) の概略配筋図 (断面図)

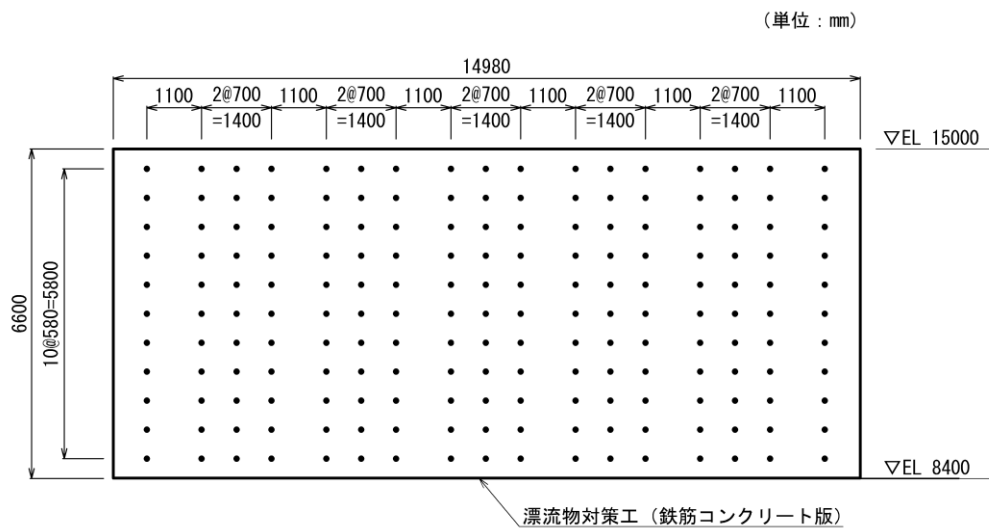


図 6-5(1) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (正面図)

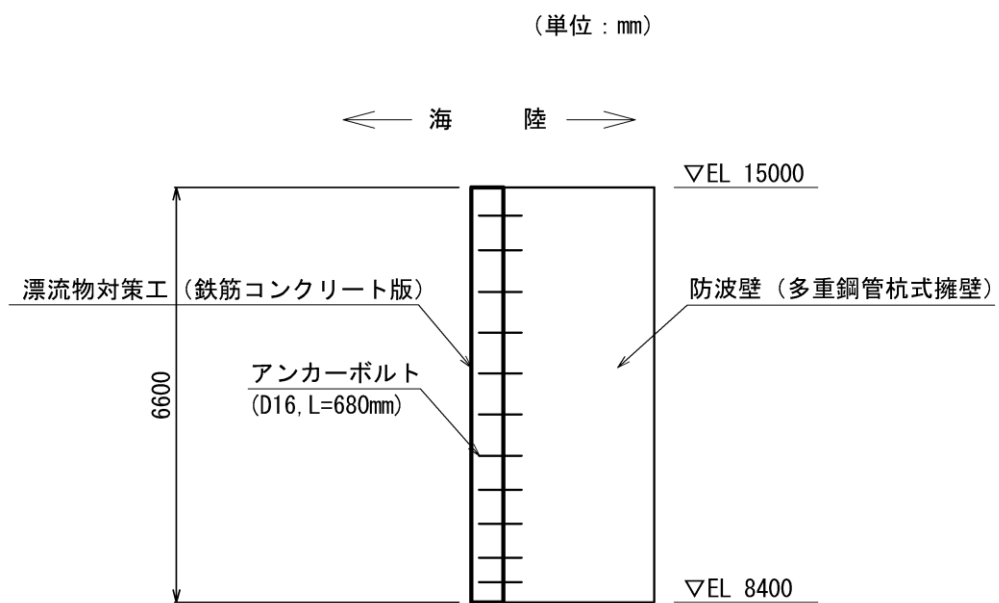


図 6-5(2) 漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) のアンカーボルト配置図 (断面図)

6.2.3 評価方針

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

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

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

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価フローを図 6-6 に示す。

表 6-2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の各部位の役割

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

表 6-3 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の各部位の性能目標

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

表 6-4 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価

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

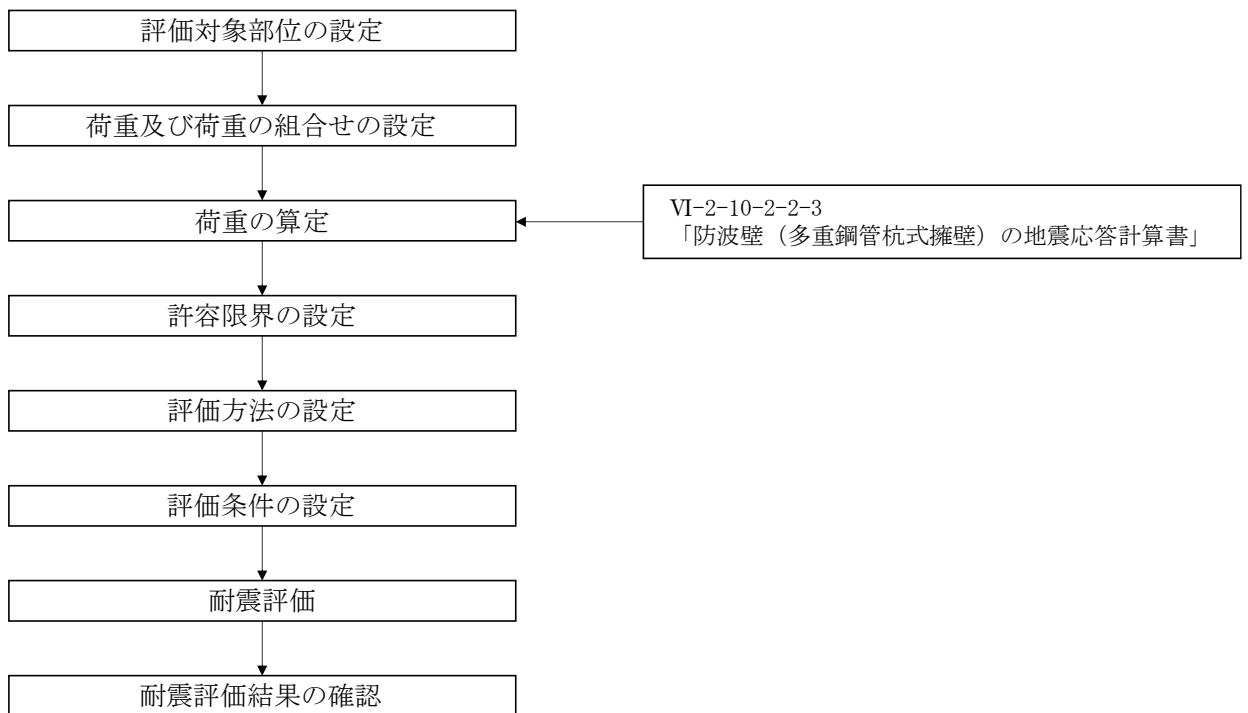


図 6-6 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価フロー

6.2.4 記号の説明

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

表 6-5 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震計算に用いる記号

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

6.3 評価対象部位

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価対象部位は、「6.2.2 構造概要」に設定している構造を踏まえて、地震時荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、アンカーボルトとする。漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構成部位を図6-7に示す。

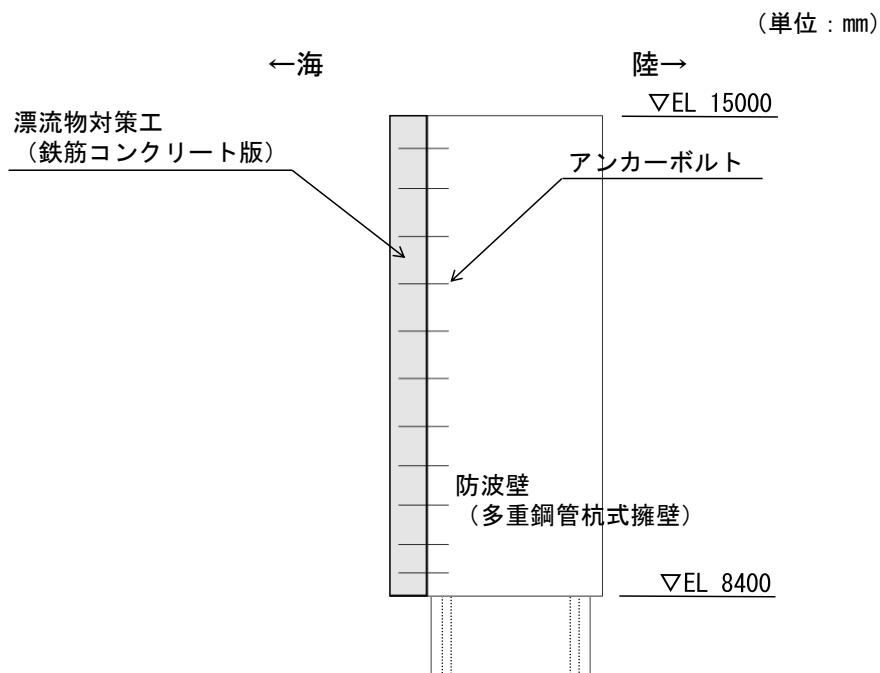


図6-7 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構成部位

6.4 耐震評価

6.4.1 評価対象構造区分の選定

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

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

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

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

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

: 耐震評価を実施する構造区分

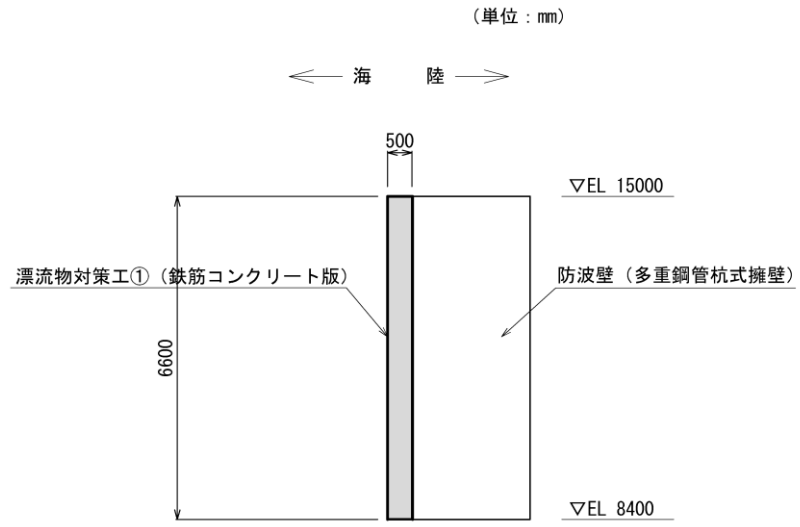


図 6-8 漂流物対策工①の構造概要図 (断面図)

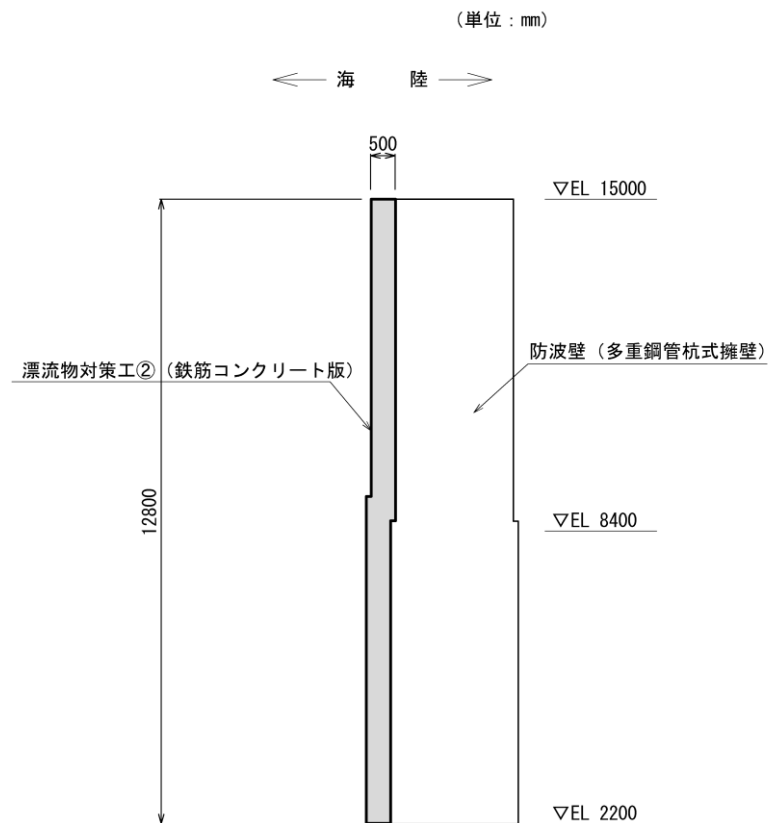


図 6-9 漂流物対策工②の構造概要図 (断面図)

6.4.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流対策工を構成する部材の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮するものとする。

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

(2) 荷重の組合せ

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

6.4.3 許容限界

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

(1) 使用材料

a. 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）を構成する各部材の使用材料を表 6-7 に、材料の物性値を表 6-8 に示す。

表 6-7 使用材料

諸元	
アンカーボルト	SD345
鉄筋	SD345
コンクリート	設計基準強度：24N/mm ²

表 6-8 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)
鉄筋コンクリート	24.0*

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

(2) 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

a. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）」に基づき，表6-9の値とする。

表6-9 アンカーボルトの許容限界

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

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

6.4.4 評価方法

(1) アンカーボルト

アンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価を実施する。アンカーボルトのモデル図を図6-10に示す。

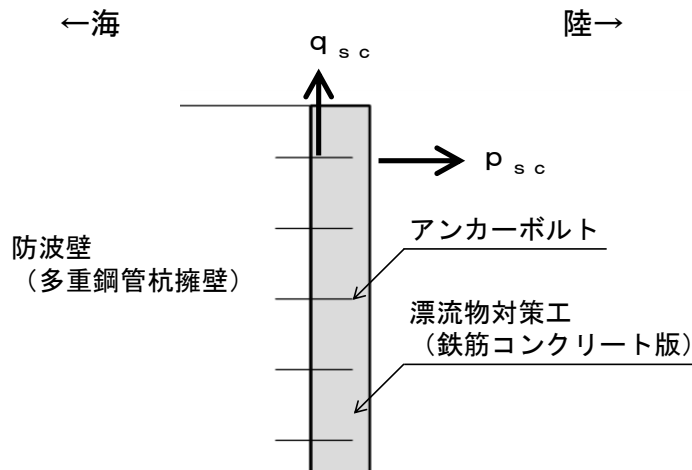


図6-10 アンカーボルトのモデル図

a. アンカーボルトに作用する引張力

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

ここで、 p_{sc} ：アンカーボルト1本に作用する引張力 (kN/本)

P_{sc} ：アンカーボルトに作用する引張力 (kN)

n_{sc} ：漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) を支持するアンカーボルトの本数 (本)

b. アンカーボルトに作用するせん断力

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

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

Q_{sc} ：アンカーボルトに作用するせん断力 (kN)

n_{sc} ：漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版) を支持するアンカーボルトの本数 (本)

6.4.5 評価条件

耐震評価に用いる水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の設計震度を表 6-10 に示す。また、アンカーボルトの引張力及びせん断力に対する耐震評価に用いる入力値を表 6-11 に示す。

表 6-10 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価に用いる設計震度

水平震度 K_{sh}	鉛直震度 K_{sv}
2.56	0.83

表 6-11(1) 漂流物対策工①のアンカーボルトに作用する引張力の計算に用いる入力値

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

表 6-11(2) 漂流物対策工①のアンカーボルトに作用するせん断力の計算に用いる入力値

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

6.4.6 評価結果

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の耐震評価結果を表 6-12 に示す。アンカーボルトの発生力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-12(1) アンカーボルトの引張力に対する耐震評価結果

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

表 6-12(2) アンカーボルトのせん断力に対する耐震評価結果

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

VI-2-10-2-4 防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書

防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書

1. 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）に関する耐震計算書
2. 防波壁通路防波扉（荷揚場南）に関する耐震計算書
3. 防波壁通路防波扉（3号機東側）に関する耐震計算書

1. 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）
に関する耐震計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	検討対象防波扉一覧	2
2.2	配置概要	3
2.3	構造計画	7
2.4	評価方針	8
2.5	適用規格・基準等	9
2.6	記号の説明	10
3.	固有値解析	12
3.1	固有振動数の算出方法	12
3.1.1	解析モデルの設定	12
3.2	固有振動数の算出条件	13
3.2.1	記号の説明	13
3.2.2	固有振動数の算出方法	13
3.2.3	固有振動数の算出条件	14
3.3	固有振動数の算出結果	14
4.	耐震評価	15
4.1	評価対象部位	15
4.2	荷重及び荷重の組合せ	16
4.2.1	荷重の設定	16
4.2.2	荷重の組合せ	16
4.3	許容限界	17
4.3.1	使用材料	17
4.3.2	許容限界	17
4.4	設計用地震力	19
4.5	評価方法	20
4.5.1	応力算定	20
4.5.2	断面検定	26
5.	評価条件	31
6.	評価結果	32

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて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、津波防護施設である防波壁通路防波扉（以下「防波扉」という。）のうち、防波壁通路防波扉（1号機北側）（以下「防波扉（1号機北側）」という。）及び防波壁通路防波扉（2号機北側）（以下「防波扉（2号機北側）」という。）が、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

防波扉に要求される機能の維持を確認するにあたっては、応力評価に基づく構造部材の健全性評価を行う。

2. 一般事項

2.1 検討対象防波扉一覧

検討対象の防波扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象防波扉一覧

扉名称	設置高さ
	EL (m)
防波扉 (1号機北側)	9.5
防波扉 (2号機北側)	9.5

2.2 配置概要

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の位置図を図2-1に，防波扉（1号機北側）の構造図を図2-2に，防波扉（2号機北側）の構造図を図2-3に示す。

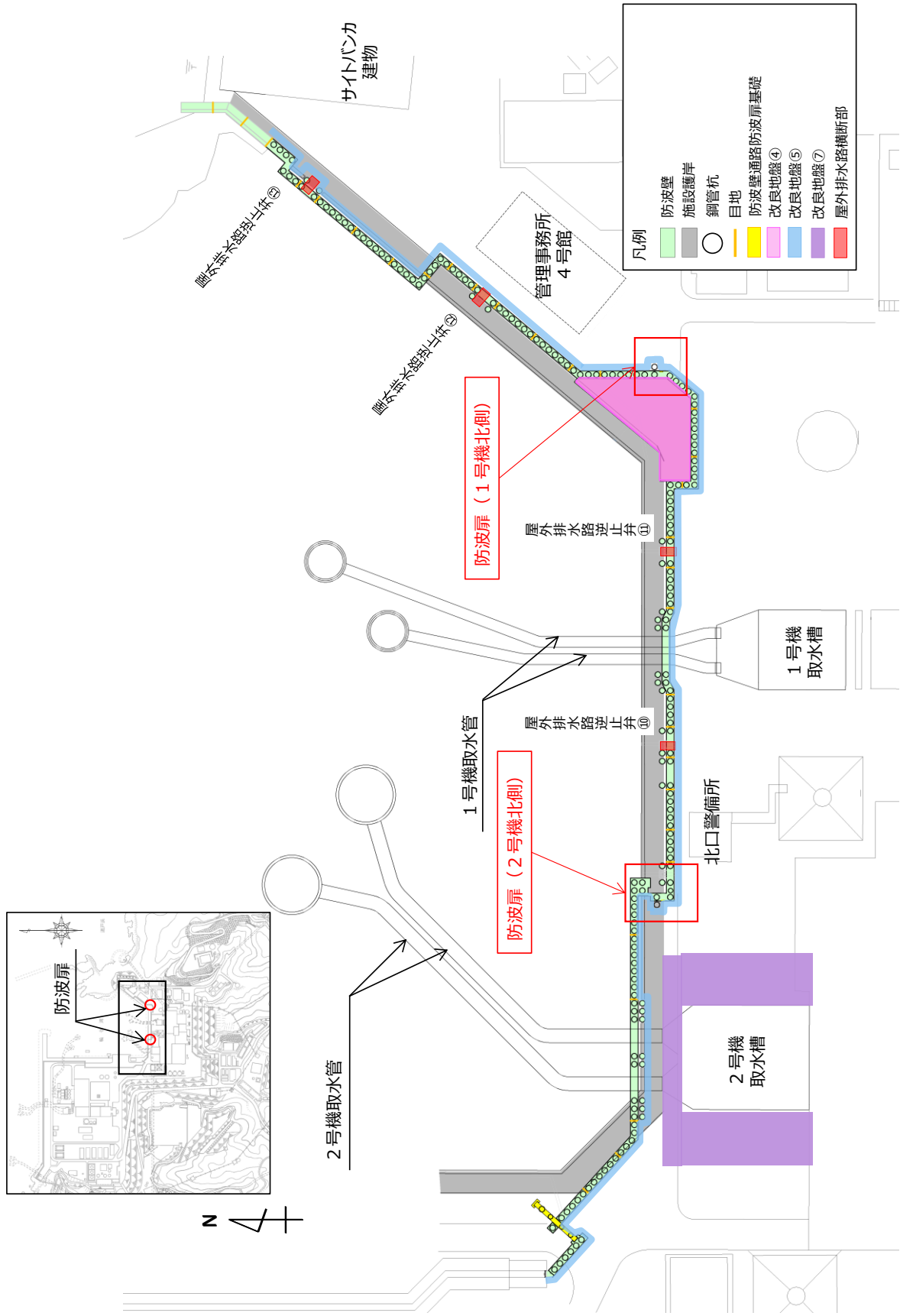


図 2-1 防波扉（1号機北側）及び防波壁（2号機北側）の位置図

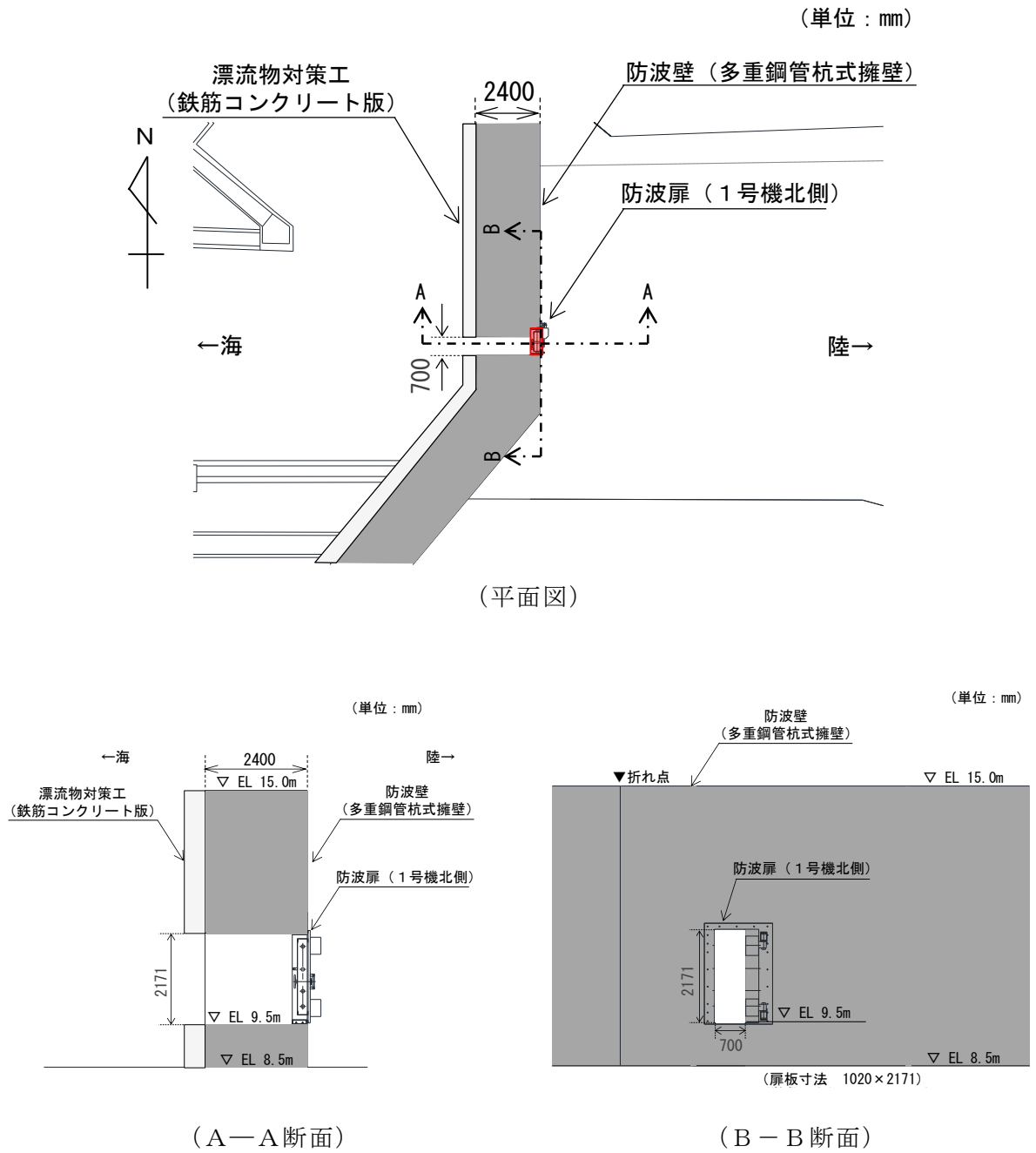
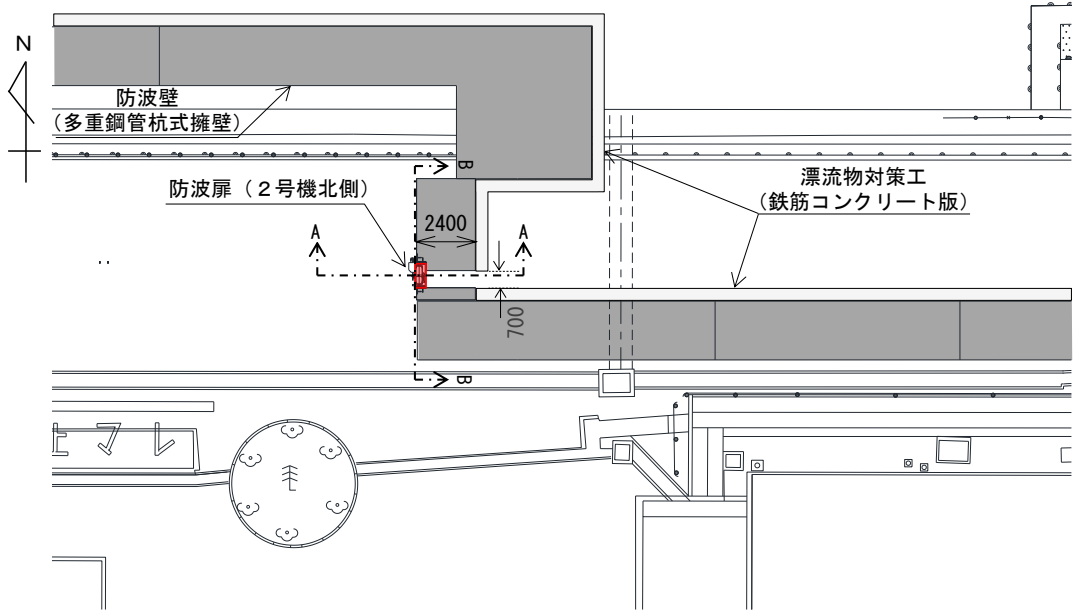
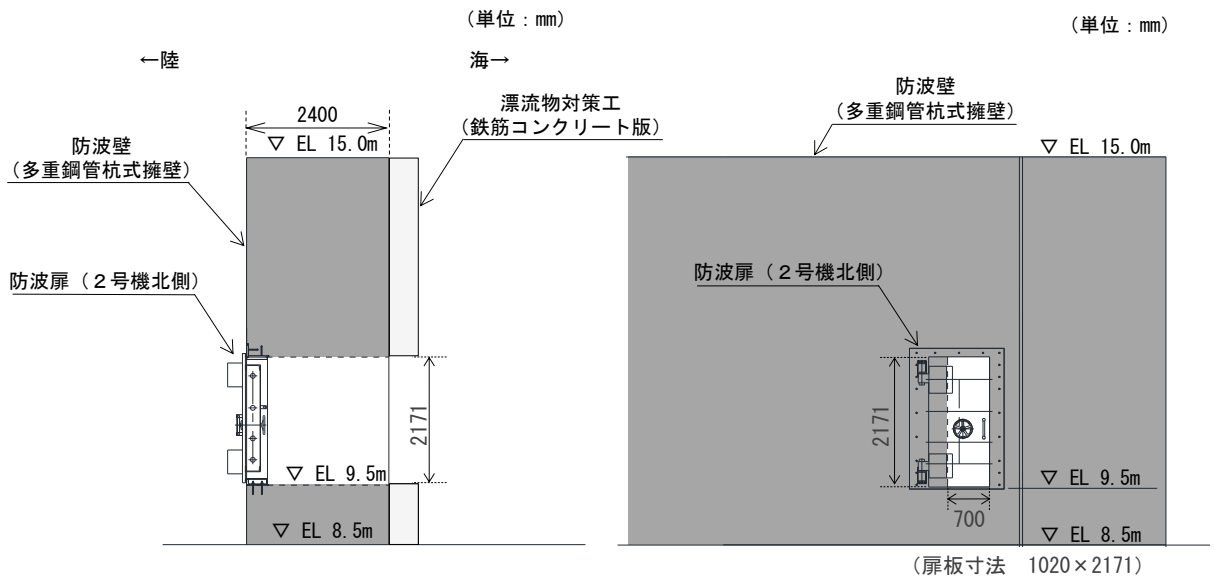


図 2-2 防波扉 (1号機北側) の構造図

(単位：mm)



(平面図)



(A-A 断面)

(B-B 断面)

図 2-3 防波扉 (2号機北側) の構造図

2.3 構造計画

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造計画を表2-2に示す。防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）は扉板、芯材、カンヌキ、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）、扉枠、アンカーボルトにより構成され、アンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。なお、固定する躯体は防波壁（多重鋼管杭式擁壁）である。

表2-2 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジ部を介する構造とする。</p>	<p style="text-align: center;">説明図</p> <p style="text-align: center;">(正面図)</p> <p style="text-align: center;">(断面図)</p>

2.4 評価方針

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.3 構造計画」に示す防波扉の構造を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する評価部位において、設計用地震力により算出した応力度等が許容限界以下であることを、「4.5 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて示す。耐震評価フローを図2-4に示す。

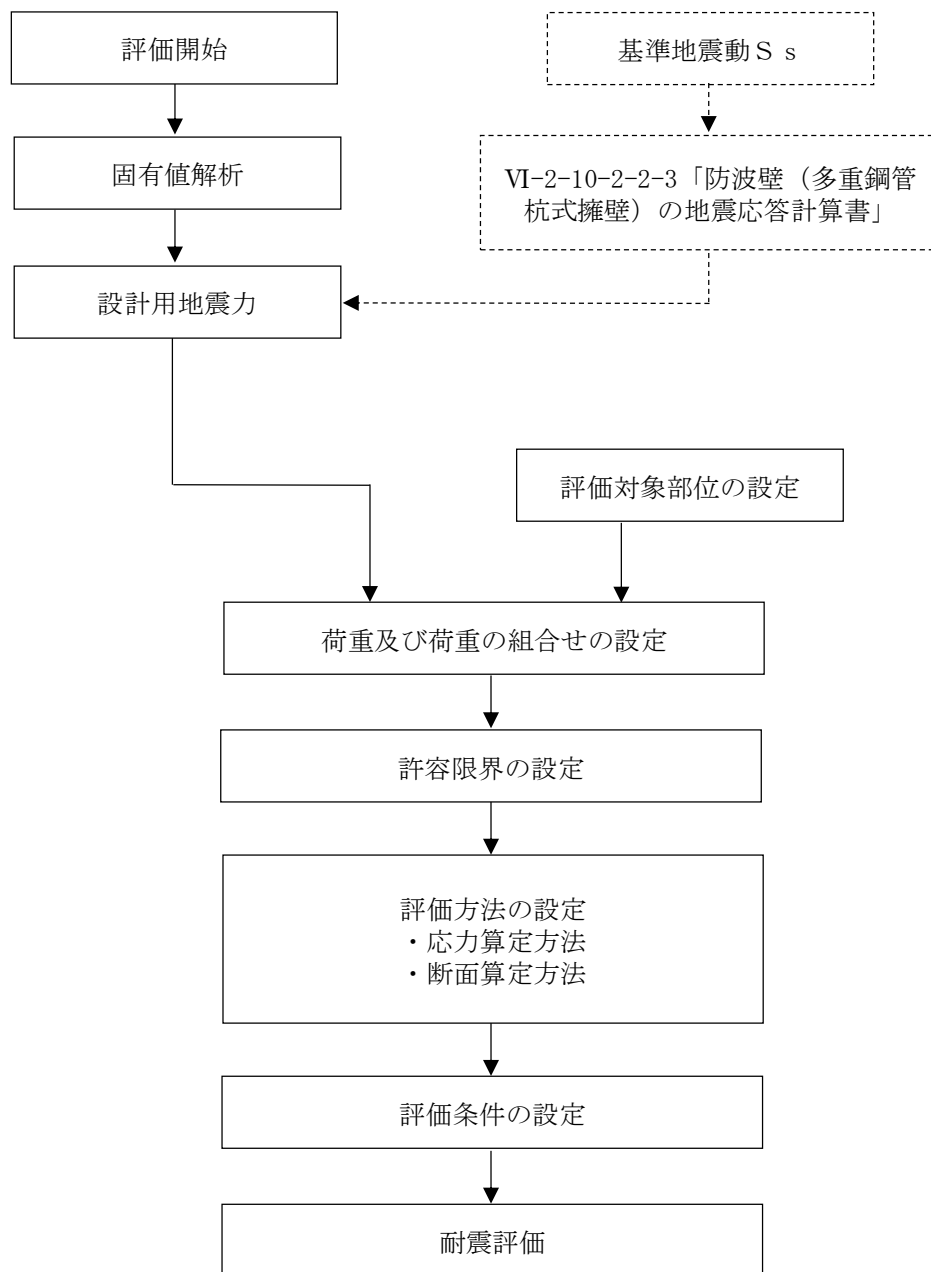


図2-4 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 機械工学便覧（（社）日本機械学会）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）

2.6 記号の説明

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の耐震評価に用いる記号を表2-3に示す。

表2-3 耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
G	kN	扉の固定荷重
P _k	kN	風荷重
S _s	kN	基準地震動S _s による地震荷重
k	—	設計震度
W ₁	kN	スラスト荷重
k _{UD}	—	鉛直震度
F ₁	kN	扉幅方向転倒力
F ₂	kN	扉厚方向転倒力
k _H	—	水平震度
W ₂	kN/m ²	風圧力
L ₁	m	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L ₂	m	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L ₃	m	ヒンジ芯間距離
L ₄	m	扉幅
L ₅	m	扉高さ
M ₁	kN・m	ヒンジ板の曲げモーメント
L ₆	m	ヒンジ板の2軸間距離
Q ₁	kN	ヒンジ板に生じるせん断力
T ₁	kN	ヒンジ板に生じる引張力
M ₂	kN・m	ヒンジピンの曲げモーメント
L ₇	m	ヒンジ板と受板間距離
Q ₂	kN	ヒンジピンに生じるせん断力
C ₁	kN	ヒンジピンに生じる圧縮力
Q ₃	kN	ヒンジボルト1本あたりに生じるせん断力
n ₁	本	ヒンジボルトの本数
T ₂	kN	ヒンジボルト1本あたりに生じる引張力
R ₁	kN	カンヌキ1本あたりに作用する荷重
n ₂	本	カンヌキの本数
M ₃	kN・m	カンヌキの曲げモーメント

表 2-3 耐震評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L_8	m	カンヌキの扉外間距離
Q_4	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断力
W_{1a}	kN	扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重
F_{1a}	kN	扉と扉枠の重量を含んだ扉幅方向転倒力
G_a	kN	ヒンジ側枠の固定荷重
N	本	ヒンジ側のアンカーボルト総本数
T_3	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
σ_1	N/mm ²	ヒンジ板に生じる曲げ応力度
Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数
τ_1	N/mm ²	ヒンジ板に生じるせん断応力度
A_1	mm ²	ヒンジ板の断面積
σ_{T1}	N/mm ²	ヒンジ板に生じる引張応力度
x_1	N/mm ²	ヒンジ板に生じる組合せ応力度
σ_2	N/mm ²	ヒンジピンに生じる曲げ応力度
Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数
τ_2	N/mm ²	ヒンジピンに生じるせん断応力度
A_2	mm ²	ヒンジピンの断面積
σ_{c1}	N/mm ²	ヒンジピンに生じる圧縮応力度
x_2	N/mm ²	ヒンジピンに生じる組合せ応力度
τ_3	N/mm ²	ヒンジボルトに生じるせん断応力度
A_3	mm ²	ヒンジボルトの断面積
σ_{T2}	N/mm ²	ヒンジボルトに生じる引張応力度
σ_3	N/mm ²	カンヌキに生じる曲げ応力度
Z_3	mm ³	カンヌキの断面係数
τ_4	N/mm ²	カンヌキに生じるせん断応力度
A_4	mm ²	カンヌキの断面積
x_3	N/mm ²	カンヌキに生じる組合せ応力度
T_{3A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_{5A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造に応じた解析モデルを設定し、1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）は、ヒンジ部及びカンヌキにより扉と扉枠を固定する構造であることから、扉閉止時については両端固定はりに、扉開放時については自由端はりに単純化したモデルとする。モデル化に用いる芯材の長さは扉板幅とする。

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有値解析モデル図を図3-1に示す。

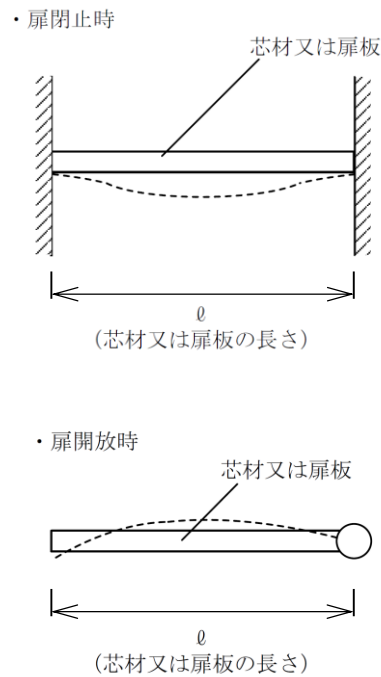


図3-1 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有値解析モデル図

3.2 固有振動数の算出条件

3.2.1 記号の説明

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数算出に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の1次固有振動数
ℓ	mm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	N/m ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.2.2 固有振動数の算出方法

1次固有振動数 f を「機械工学便覧（（社）日本機械学会）」に基づき以下の式より計算する。ここで、防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（扉体面内方向）については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

(1) 扉閉止時

$$f = \frac{4.730^2}{2\pi\ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

(2) 扉開放時

扉開放時においては、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないが、本評価においては保守的に芯材が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出する。

$$f = \frac{3.927^2}{2\pi\ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

3.2.3 固有振動数の算出条件

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数の算出条件を表3-2に示す。

表3-2 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数の算出条件

部位	モデル化に 用いる芯材 長さ l (mm)	ヤング係数 E (N/m ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
防波扉（1号機北側）及び 防波扉（2号機北側）	1020	2.05×10^{11}	2260×10^4	1666.7

3.3 固有振動数の算出結果

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数の算出結果を表3-3に示す。防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数は20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表3-3 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数の算出結果

部位	固有振動数 f (Hz)	
	扉閉止時	扉開放時
防波扉（1号機北側）及び 防波扉（2号機北側）	180.50	124.14

4. 耐震評価

4.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震荷重により防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキから扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ及びアンカーボルトとする。

図4-1に防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）閉止時の荷重の作用イメージと評価対象部位を示す。

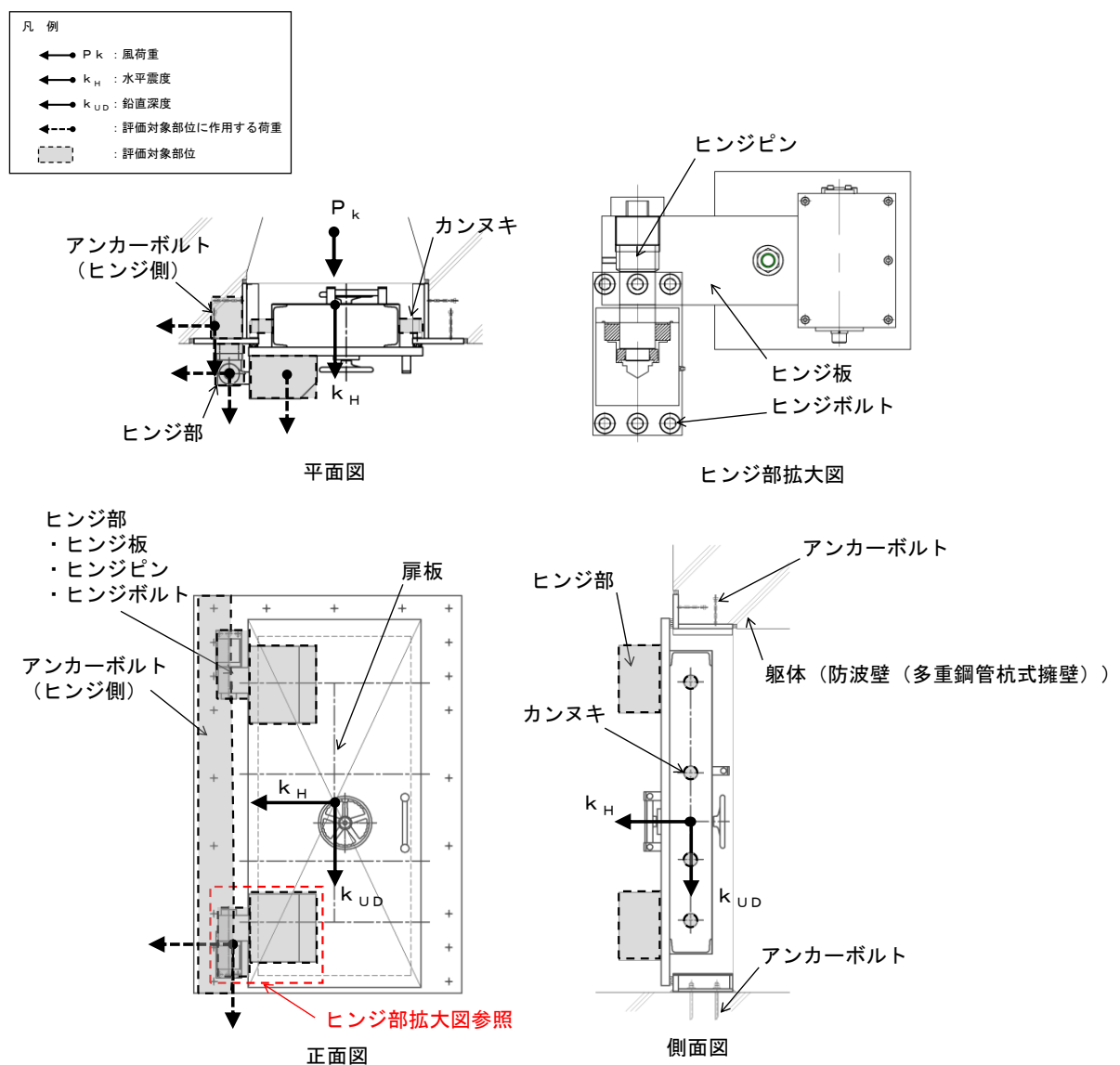


図4-1 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）閉止時の荷重の作用イメージ図と評価対象部位

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の設定

(1) 扉の固定荷重 (G)

固定荷重として防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の自重を考慮する。

(2) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、「建築基準法・同施行令」に基づき算定する。

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.4 設計用地震力」で設定する設計震度を用いて次式により算出する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 扉の固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P _k + S _s

G : 扉の固定荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

4.3 許容限界

許容限界はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）を構成するヒンジ部，カンヌキ，アンカーボルトの使用材料を表4-2に示す。

表4-2 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	PL-70×150
	ヒンジピン	S45C	φ60
	ヒンジボルト	SCM435	M22
カンヌキ		SUS304	φ80
アンカーボルト		アルミキルド鋼	φ16×160

4.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度とする。表4-3に値を示す。

表4-3 鋼材の許容限界

材質		短期許容応力度 (N/mm ²)			
		引張	曲げ	圧縮	せん断
SS400	$t \leq 40^*$	235	235	235	135
	$40 < t \leq 100^*$	215	215	215	124
SUS304		205	205	205	118
SCM435		651	651	651	375
S45C		345	345	345	199

注記* : t は板厚 (mm) を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した。アンカーボルトの許容限界を表4-4に示す。

表 4-4 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN/本)	
	引張	せん断
アルミキルド鋼	47	33

4.4 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示すとおり、防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数が20Hz以上であることを確認したため、防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示す防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）設置位置の最大応答加速度に基づき設定した。設定値を表4-5に示す。

表 4-5 設計用地震力

設置場所	設置高さ	設計震度	
		水平方向 k_H	鉛直方向 k_{UD}
防波扉（1号機北側） 及び防波扉（2号機北側）	EL 9.5m	3.5	1.0

4.5 評価方法

4.5.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に作用する荷重の例を図4-2に示す。

$$W_1 = G + k_{UD} \cdot G$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3 + W_2 \cdot L_4 \cdot L_5$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G : 扉の固定荷重 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向転倒力 (kN)

k_H : 水平震度

W_2 : 風圧力 (kN/m²)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (m)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (m)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (m)

L_4 : 扉幅 (m)

L_5 : 扉高さ (m)

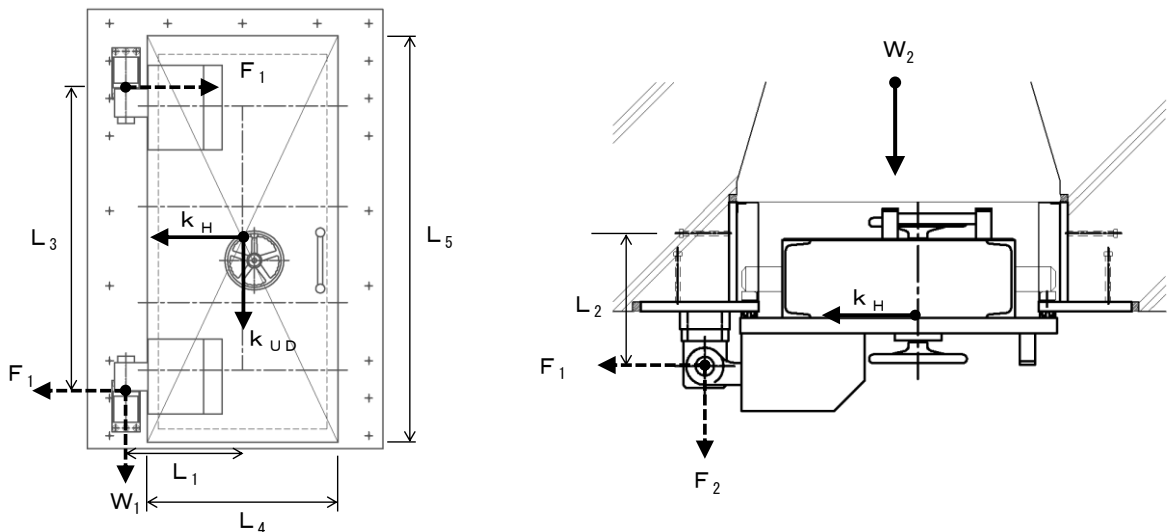


図4-2 ヒンジ部に作用する荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に作用する荷重の例を図4-3に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_6$$

$$Q_1 = W_1$$

$$T_1 = F_1$$

ここで、

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_6 : ヒンジ板の2軸間距離 (m)

Q_1 : ヒンジ板に生じるせん断力 (kN)

T_1 : ヒンジ板に生じる引張力 (kN)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

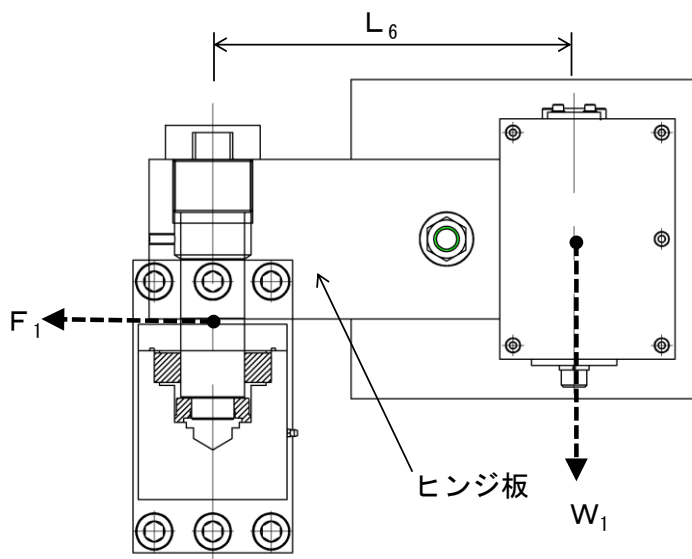


図4-3 ヒンジ板に作用する荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに作用する荷重の例を図4-4に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_7$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$C_1 = W_1$$

ここで、

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向転倒力 (kN)

L_7 : ヒンジ板と受板間距離 (m)

Q_2 : ヒンジピンに生じるせん断力 (kN)

C_1 : ヒンジピンに生じる圧縮力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

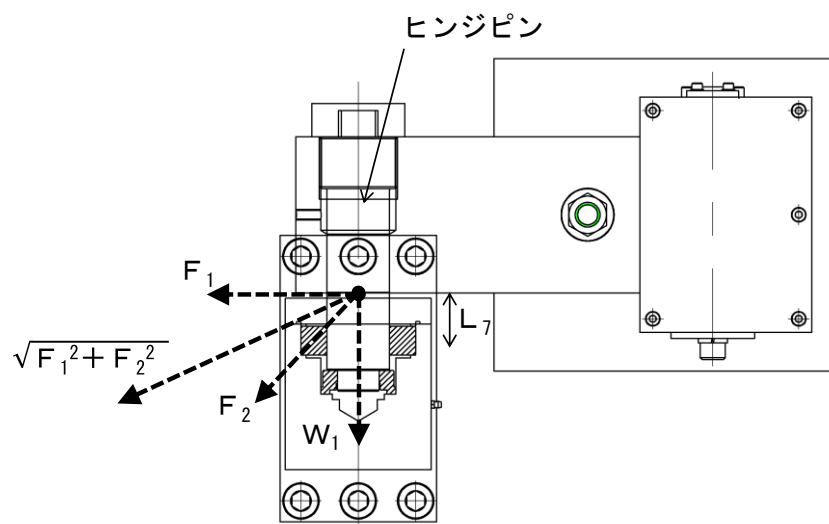


図4-4 ヒンジピンに作用する荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに作用する荷重の例を図 4-5 に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

$$T_2 = F_1 / n_1$$

ここで、

Q_3 : ヒンジボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数 (本)

T_2 : ヒンジボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

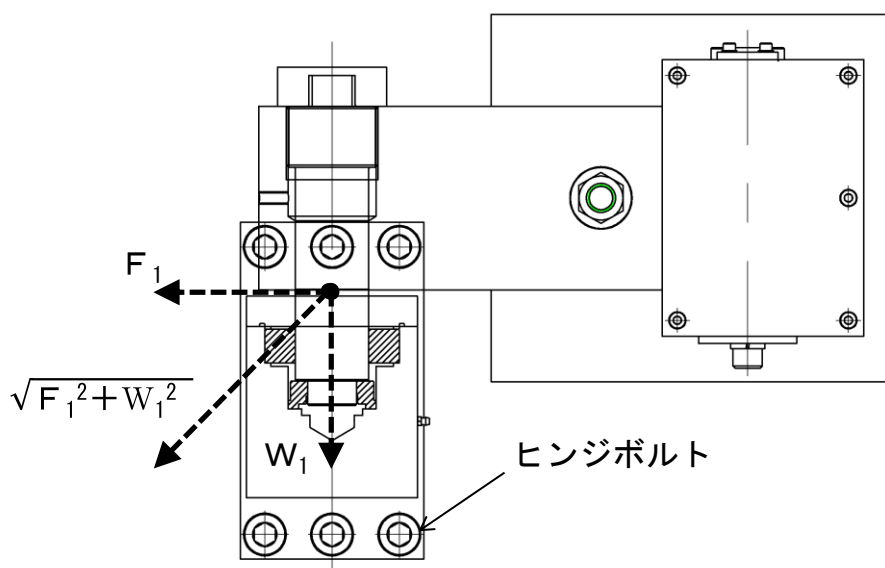


図 4-5 ヒンジボルトに作用する荷重の例

(2) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキに作用する荷重の例を図4-6に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G / n_2$$

ここで、

R_1 : カンヌキ 1 本あたりに作用する荷重 (kN)

k_H : 水平震度

G : 扉の固定荷重 (kN)

n_2 : カンヌキの本数 (本)

$$M_3 = R_1 \cdot L_8$$

$$Q_4 = R_1$$

ここで、

M_3 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

L_8 : カンヌキの扉外間距離 (m)

Q_4 : カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

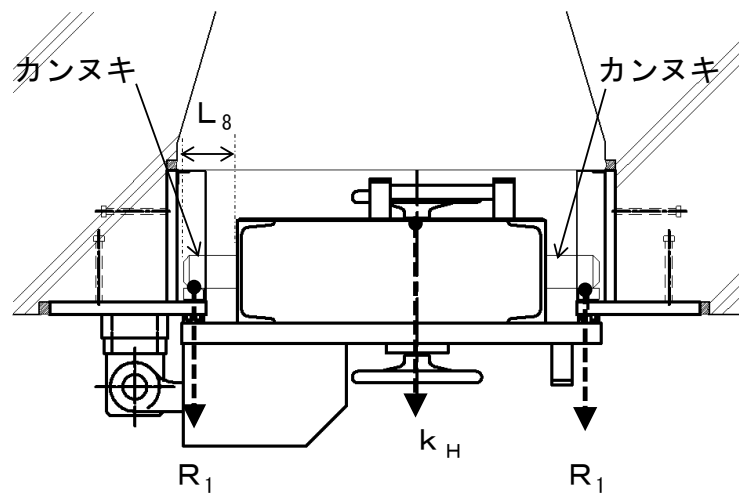


図 4-6 カンヌキに作用する荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる荷重は、ヒンジ側のアンカーボルトで負担するものとして、次式により算出する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、扉の開閉状況に応じ、せん断又は引張に作用する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図4-7に示す。

$$W_{1a} = (W_1 + k_{UD} \cdot G_a) / N$$

$$F_{1a} = (F_1 + k_H \cdot G_a) / N$$

ここで、

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ扉幅方向転倒力 (kN)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

G_a : ヒンジ側枠の固定荷重 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度

k_H : 水平震度

N : ヒンジ側のアンカーボルト総本数 (本)

$$T_3 = Q_5 = \sqrt{W_{1a}^2 + F_{1a}^2}$$

ここで、

T_3 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

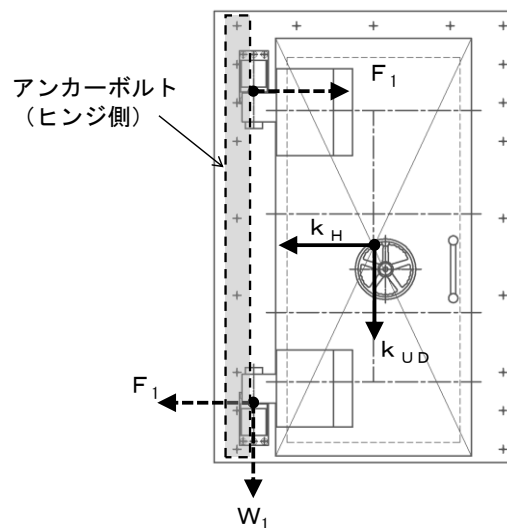


図 4-7 アンカーボルトに作用する荷重の例

4.5.2 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

また、ヒンジ板に生じる引張応力度が許容引張応力度以下であることを確認する。

(a) 曲げ応力度

$$\sigma_1 = M_1 / Z_1$$

ここで、

σ_1 : ヒンジ板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) せん断応力度

$$\tau_1 = Q_1 / A_1$$

ここで、

τ_1 : ヒンジ板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板に生じるせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板の断面積 (mm²)

(c) 引張応力度

$$\sigma_{T1} = T_1 / A_1$$

ここで、

σ_{T1} : ヒンジ板に生じる引張応力度 (N/mm²)

T_1 : ヒンジ板に生じる引張力 (kN)

A_1 : ヒンジ板の断面積 (mm²)

(d) 組合せ応力度

$$x_1 = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}$$

ここで、

x_1 : ヒンジ板に生じる組合せ応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規
準」に基づく次式により算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを
確認する。

また、ヒンジピンに生じる圧縮応力度が許容圧縮応力度以下であることを確認
する。

(a) 曲げ応力度

$$\sigma_2 = M_2 / Z_2$$

ここで、

σ_2 : ヒンジピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) せん断応力度

$$\tau_2 = Q_2 / A_2$$

ここで、

τ_2 : ヒンジピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : ヒンジピンに生じるせん断力 (kN)

A_2 : ヒンジピンの断面積 (mm²)

(c) 圧縮応力度

$$\sigma_{c1} = C_1 / A_2$$

ここで、

σ_{c1} : ヒンジピンに生じる圧縮応力度 (N/mm²)

C_1 : ヒンジピンに生じる圧縮力 (kN)

A_2 : ヒンジピンの断面積 (mm²)

(d) 組合せ応力度

$$x_2 = \sqrt{\sigma_2^2 + 3\tau_2^2}$$

ここで、

x_2 : ヒンジピンに生じる組合せ応力度 (N/mm²)

σ_2 : ヒンジピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : ヒンジピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度及び引張応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) せん断応力度

$$\tau_3 = Q_3 / A_3$$

ここで、

τ_3 : ヒンジボルトに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトの断面積 (mm²)

(b) 引張応力度

$$\sigma_{T2} = T_2 / A_3$$

ここで、

σ_{T2} : ヒンジボルトに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_2 : ヒンジボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトの断面積 (mm²)

(2) カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 曲げ応力度

$$\sigma_3 = M_3 / Z_3$$

ここで，

σ_3 : カンヌキに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : カンヌキの断面係数 (mm³)

b. せん断応力度

$$\tau_4 = Q_4 / A_4$$

ここで，

τ_4 : カンヌキに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_4 : カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

A_4 : カンヌキの断面積 (mm²)

c. 組合せ応力度

$$x_3 = \sqrt{\sigma_3^2 + 3\tau_4^2}$$

ここで，

x_3 : カンヌキに生じる組合せ応力度 (N/mm²)

σ_3 : カンヌキに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : カンヌキに生じるせん断応力度 (N/mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力及びせん断力が「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(T_3 / T_{3A})^2 + (Q_5 / Q_{5A})^2 \leq 1.0$$

$$T_3 / T_{3A} \leq 1.0$$

ここで、

T_3 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{3A} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_5 / Q_{5A} \leq 1.0$$

ここで、

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{5A} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

5. 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 5-1 に示す。

表 5-1 耐震評価に用いる評価条件

対象部位		記号	単位	定義	値
共通		G	kN	扉の固定荷重	16.67
		k_{UD}	—	鉛直震度	1.0
		k_H	—	水平震度	3.5
		W_2	kN/m ²	風圧力	1.713
		L_1	m	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離	0.623
		L_2	m	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離	0.407
		L_3	m	ヒンジ芯間距離	1.621
		L_4	m	扉幅	1.02
		L_5	m	扉高さ	2.171
ヒンジ部	ヒンジ板	L_6	m	ヒンジ板の 2 軸間距離	0.34
		Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数	262500
		A_1	mm ²	ヒンジ板の断面積	10500
	ヒンジピン	L_7	m	ヒンジ板と受板間距離	0.046
		Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数	21210
		A_2	mm ²	ヒンジピンの断面積	2827
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	6
A_3		mm ²	ヒンジボルトの断面積	303	
カンヌキ		n_2	本	カンヌキの本数	8
		L_8	m	カンヌキの扉外間距離	0.131
		Z_3	mm ³	カンヌキの断面係数	50270
		A_4	mm ²	カンヌキの断面積	5027
アンカーボルト		G_a	kN	ヒンジ側枠の固定荷重	8.336
		N	本	ヒンジ側アンカーボルト総本数	9

6. 評価結果

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の評価結果を表6-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重が許容限界以下であることを確認した。

表6-1 断面検定結果

扉名称	評価対象部位		単位	分類	発生応力度 又は荷重 (a)	許容 限界 (b)	照査値 (a)/(b)
防波扉 (1号機北側) 及び 防波扉 (2号機北側)	ヒンジ部	ヒンジ板	N/mm ²	組合せ	45	215	0.21
				引張	4	215	0.02
		ヒンジ ピン	N/mm ²	組合せ	99	345	0.29
				圧縮	12	345	0.04
		ヒンジ ボルト	N/mm ²	せん断	30	375	0.08
				引張	24	651	0.04
	カンヌキ		N/mm ²	組合せ	30	205	0.15
	アンカーボルト		kN	引張	9	47	0.20
				せん断	9	33	0.28

2. 防波壁通路防波扉（荷揚場南）に関する耐震計算書

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	15
2.4	適用規格・基準等	20
3.	固有値解析	21
3.1	解析モデルの設定	21
3.2	記号の説明	22
3.3	固有振動数の計算方法	22
3.4	固有振動数の計算条件	23
3.5	固有振動数の計算結果	23
4.	耐震評価	24
4.1	記号の定義	24
4.2	評価対象断面	36
4.3	解析方法	38
4.3.1	施設	38
4.3.2	地盤物性のばらつき	39
4.3.3	減衰定数	39
4.3.4	解析ケース	39
4.4	荷重及び荷重の組合せ	41
4.4.1	耐震評価上考慮する状態	41
4.4.2	荷重	41
4.4.3	荷重の組合せ	42
4.5	入力地震動	43
4.6	解析モデル及び諸元	56
4.6.1	解析モデル	56
4.6.2	使用材料及び材料の物性値	58
4.6.3	地盤の物性値	59
4.6.4	地下水位	59
4.7	評価対象部位	60
4.7.1	施設・地盤の健全性評価	60
4.7.2	基礎地盤の支持性能評価	60
4.8	許容限界	61
4.8.1	防波扉	61

4.8.2	漂流物対策工	65
4.8.3	基礎地盤	68
4.9	設計用地震力	69
4.10	評価方法	70
4.10.1	防波扉	71
4.10.2	漂流物対策工	86
5.	評価条件	107
6.	耐震評価結果	113
6.1	防波扉	113
6.1.1	防波扉（鋼製扉体）	113
6.1.2	防波扉戸当り（RC支柱）	114
6.1.3	防波扉基礎スラブ	115
6.1.4	防波扉（鋼管杭）	120
6.1.5	改良地盤	122
6.1.6	基礎地盤	123
6.2	漂流物対策工	124
6.2.1	漂流物対策工（鋼製扉体）	124
6.2.2	漂流物対策工戸当り（RC支柱）	126
6.2.3	漂流物対策工基礎スラブ	131
6.2.4	基礎地盤	135

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、防波壁通路防波扉（荷揚場南）（以下「防波扉（荷揚場南）」という。）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。

防波扉（荷揚場南）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、地震応答解析により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

防波扉（荷揚場南）の位置図を図2-1に示す。

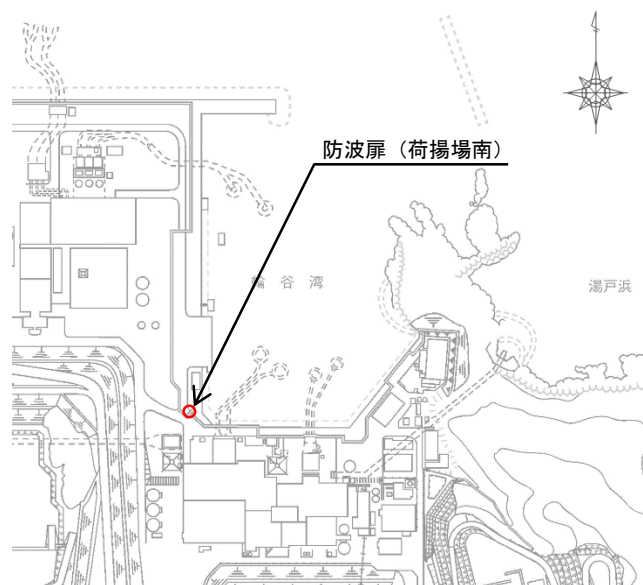


図2-1 防波扉（荷揚場南）の位置図

2.2 構造概要

防波扉（荷揚場南）の構造概要図を図 2-2 に示す。

防波扉（荷揚場南）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。

防波扉（荷揚場南）は、防波扉及び漂流物対策工から構成される。

防波扉は、岩盤に支持される鋼管（以下「防波扉（鋼管杭）」という。）による杭基礎構造と、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブによる上部構造から構成される。防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの境界部には水密ゴムを設置し、止水性を確保する。

防波扉の構造図を図 2-3 に、防波扉戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図 2-4 に、防波扉基礎スラブの概略配筋図を図 2-5 に、水密ゴムの概念図を図 2-6 に示す。

漂流物対策工は、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブから構成され、マンメイドロック（以下「MMR」という。）及び改良地盤を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図 2-7 に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図 2-8 に、漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図を図 2-9 に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工ラブの接続部における概略配筋図を図 2-10 に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のアンカー部付近における概略配筋図を図 2-11 に示す。

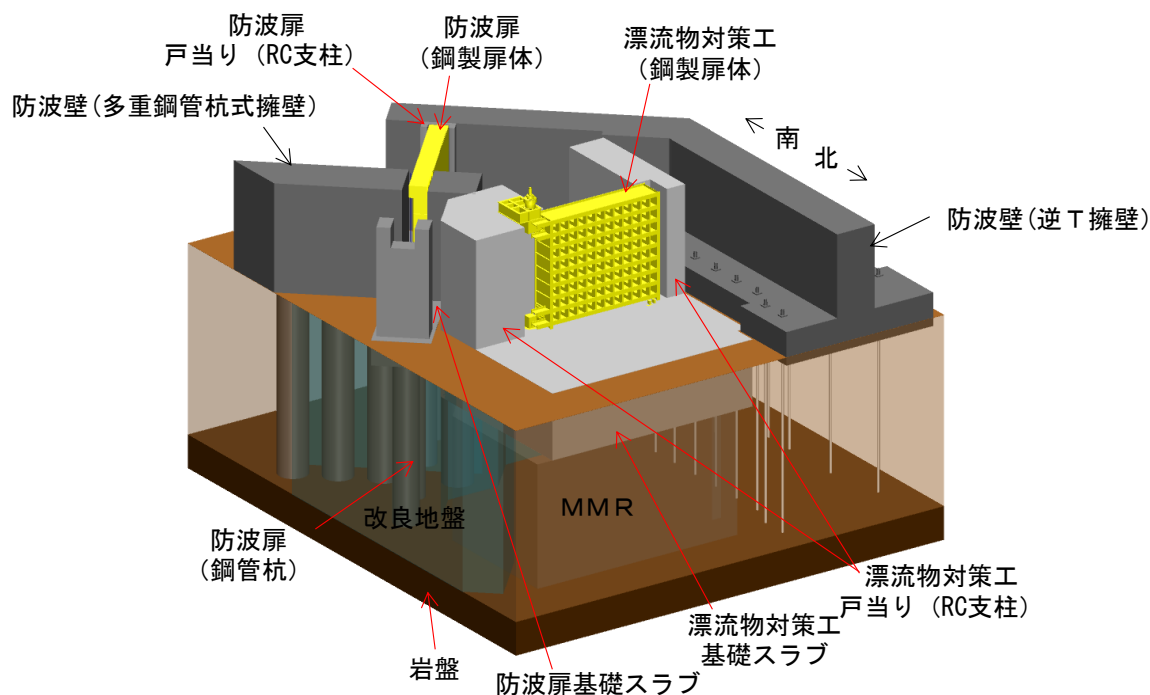


図 2-2(1) 防波扉（荷揚場南）の構造概要図（鳥瞰図）

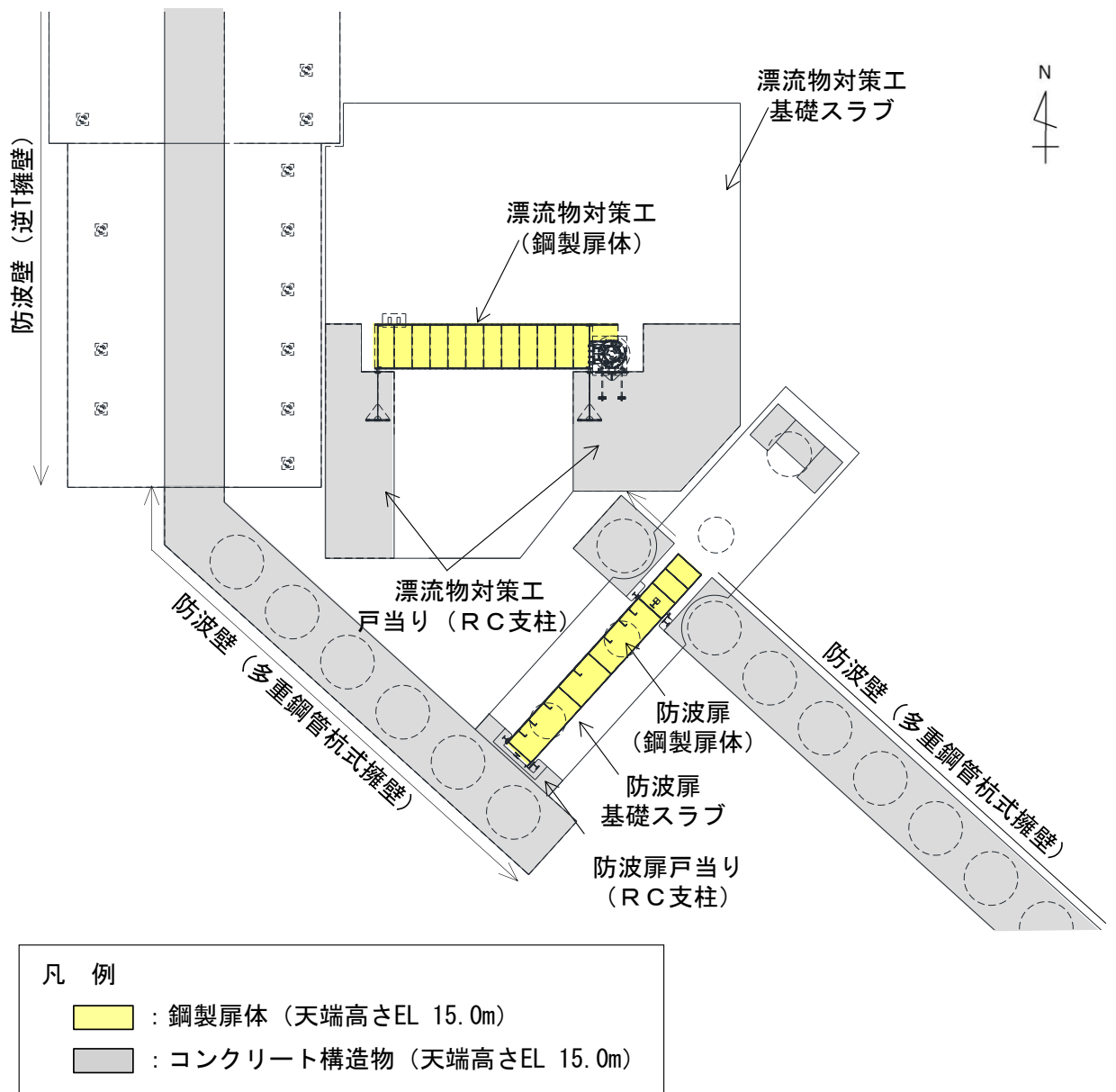


図 2-2(2) 防波扉 (荷揚場南) の構造概要図 (平面図)

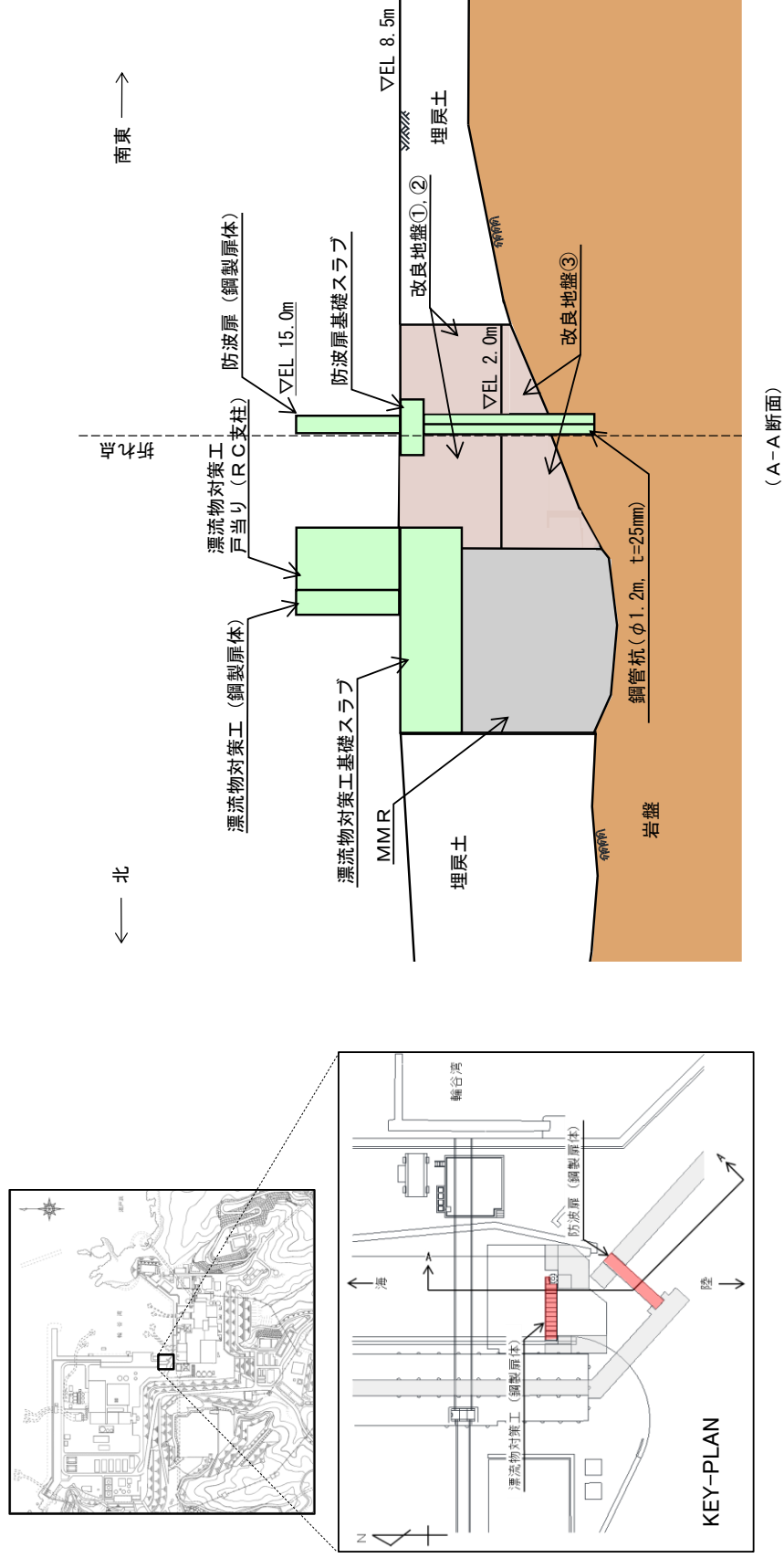
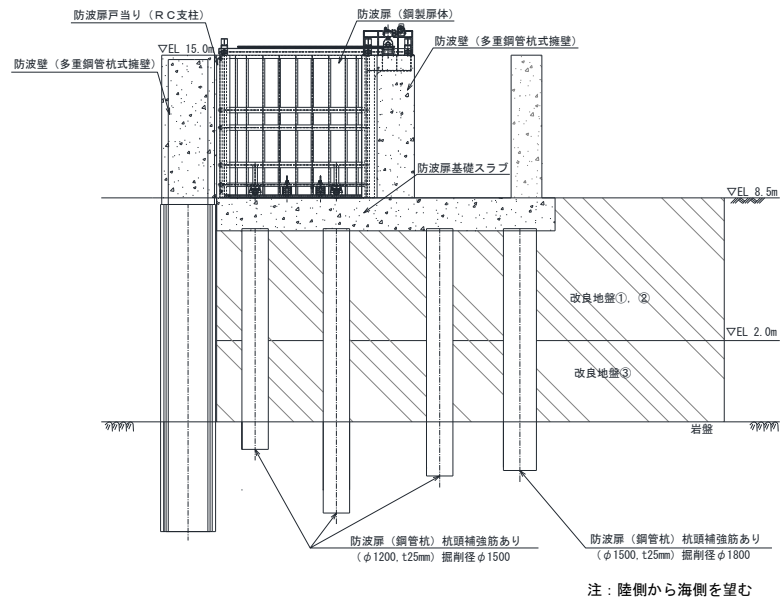
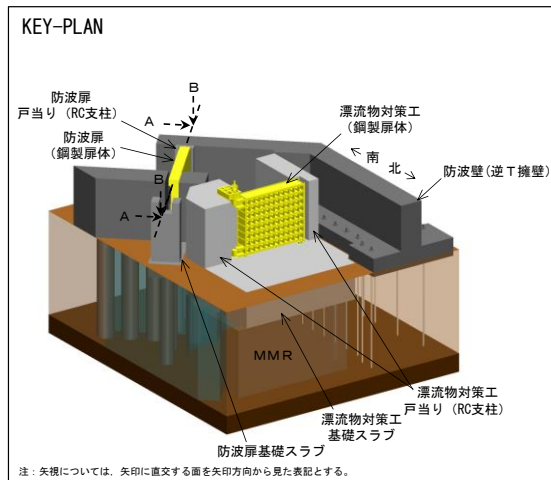
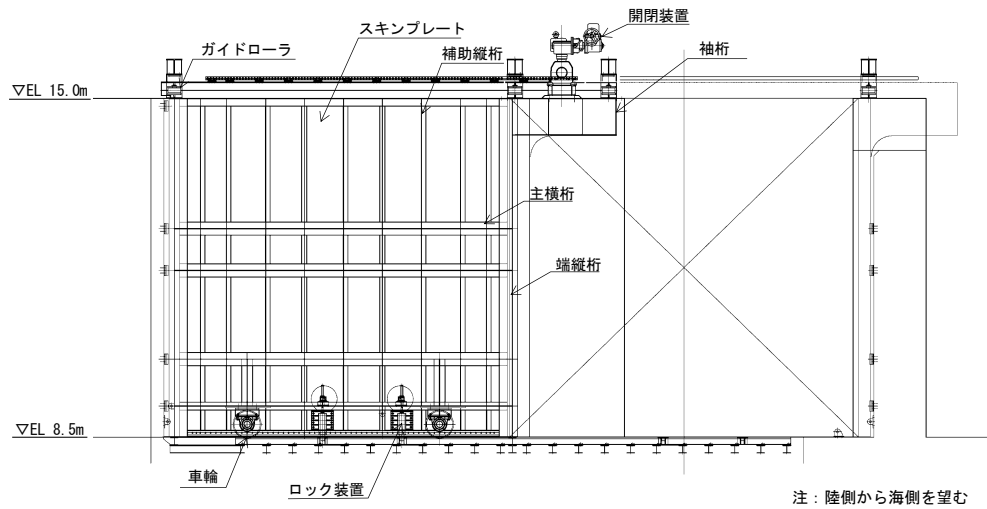


図 2-2(3) 防波扉 (荷揚場南) の構造概要図 (断面図)



(全体図)



(防波扉 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-3(1) 防波扉の構造図 (A-A断面)

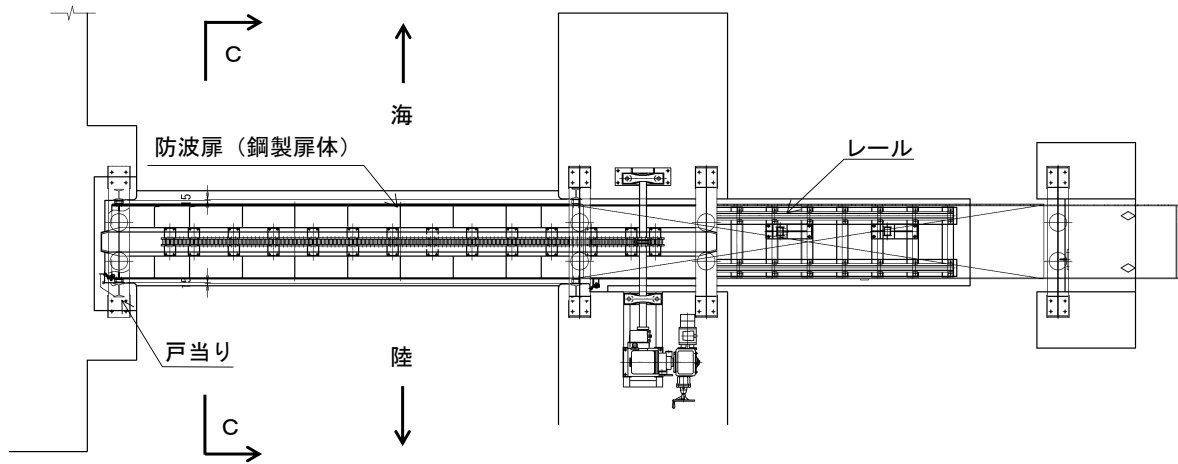


図 2-3(2) 防波扉の構造図 (B-B 断面)

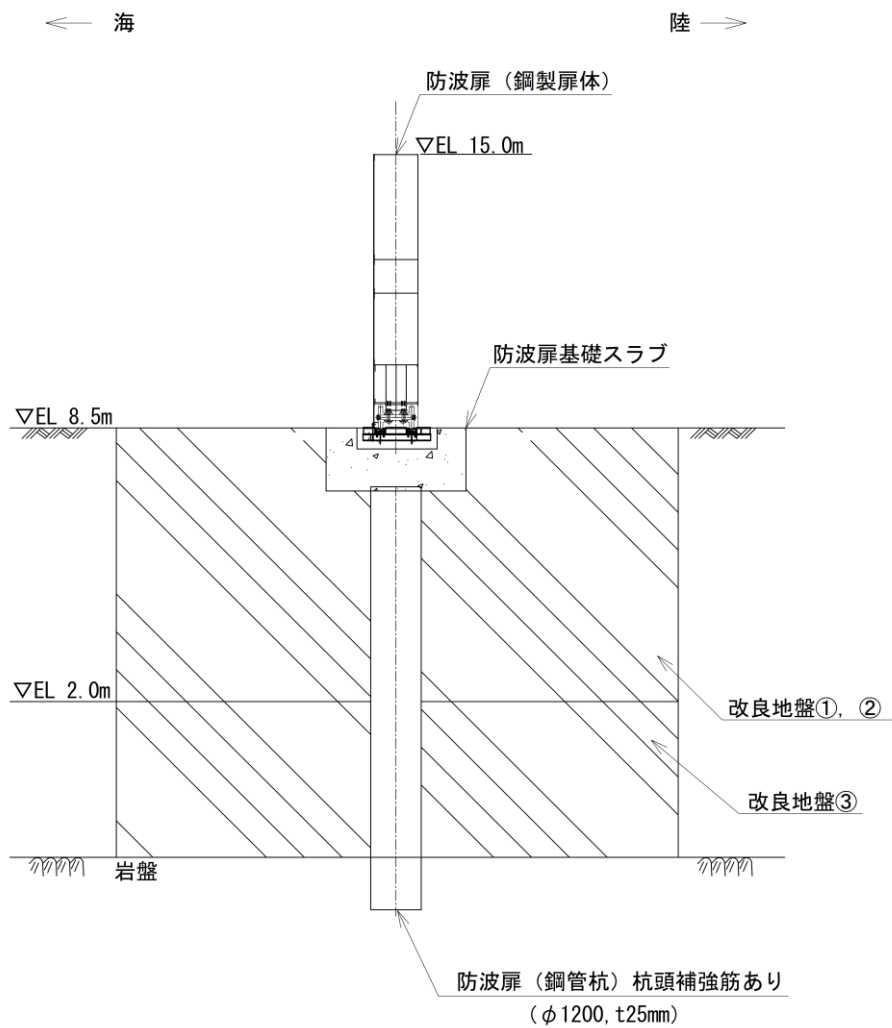


図 2-3(3) 防波扉の構造図 (C-C 断面)

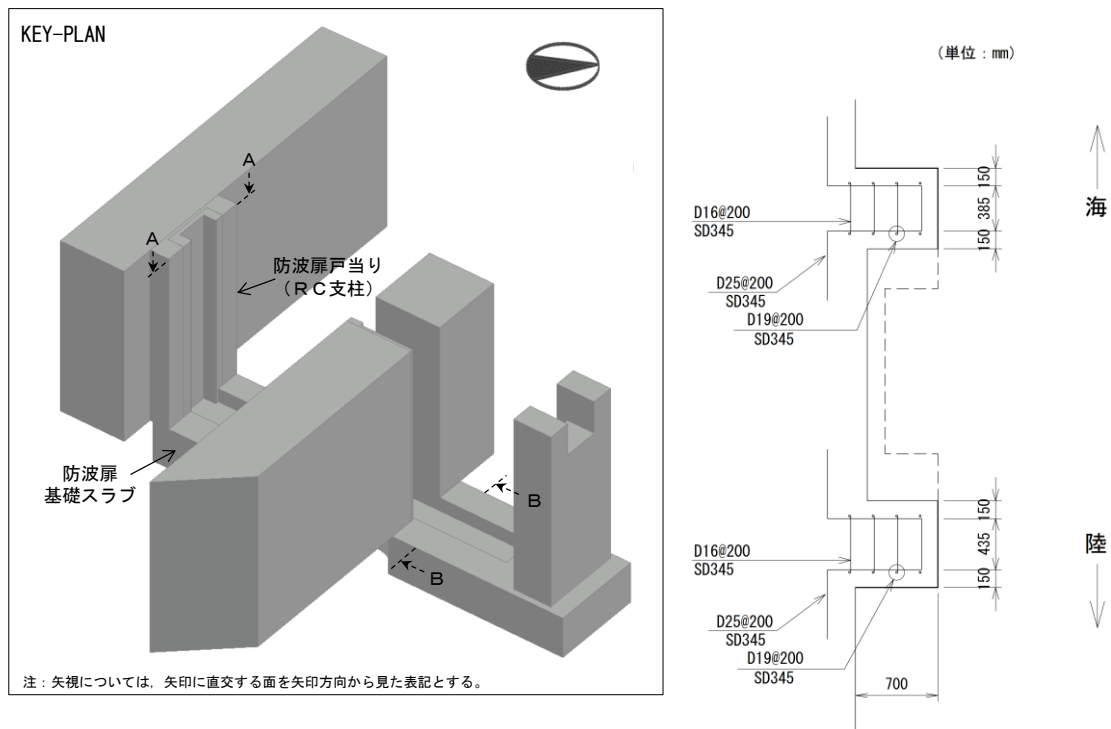


図 2-4 防波扉戸当り (RC 支柱) の概略配筋図 (A-A 断面)

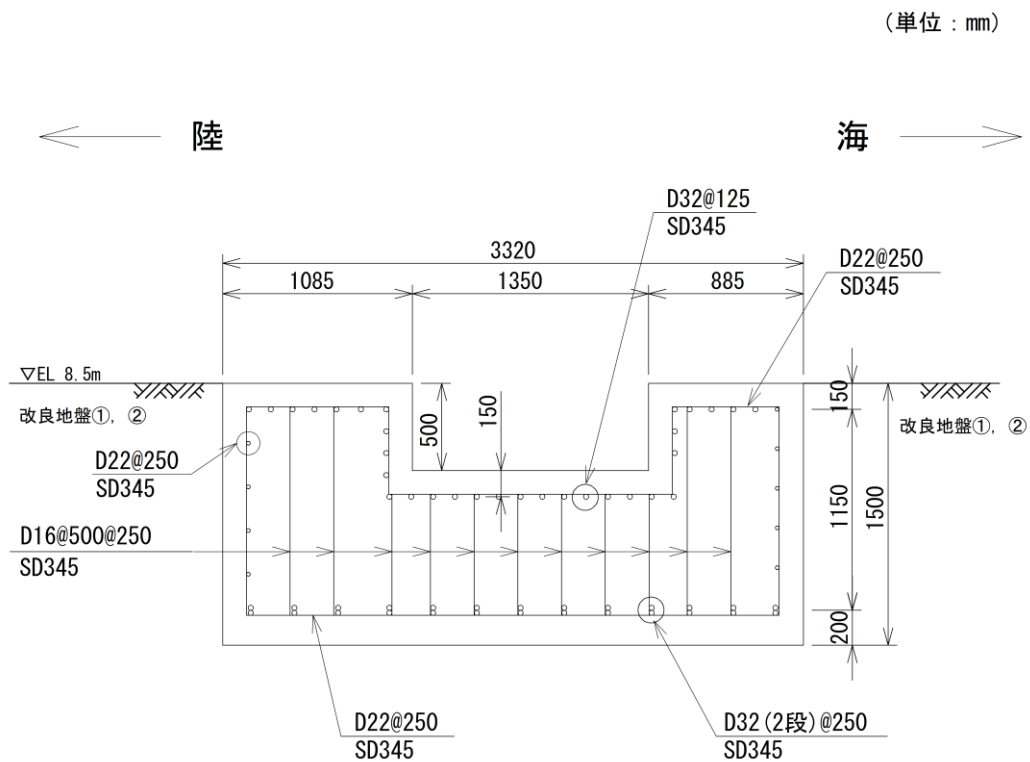


図 2-5 防波扉基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

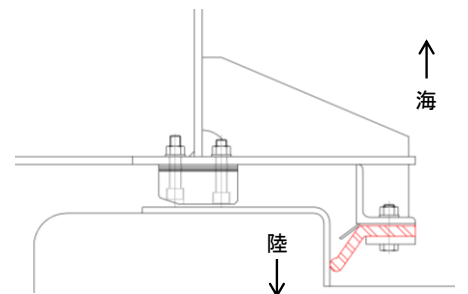
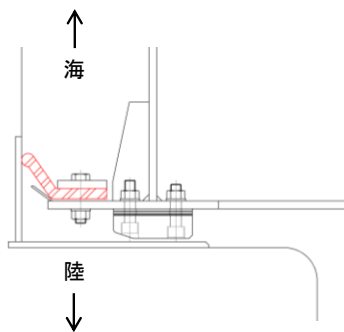
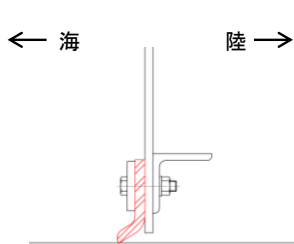
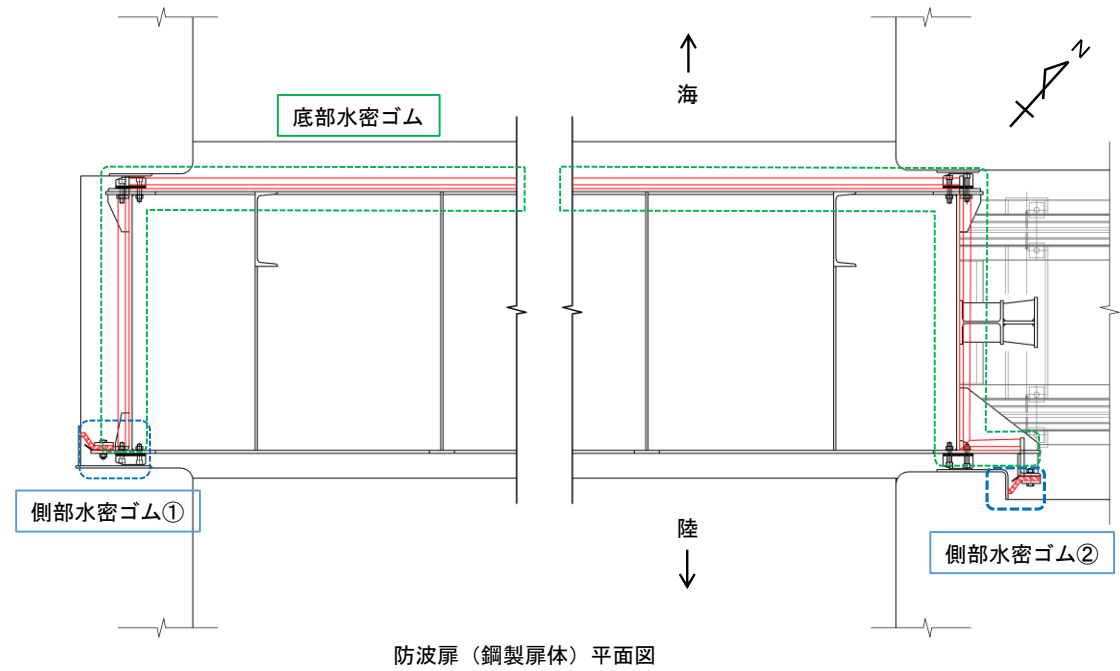
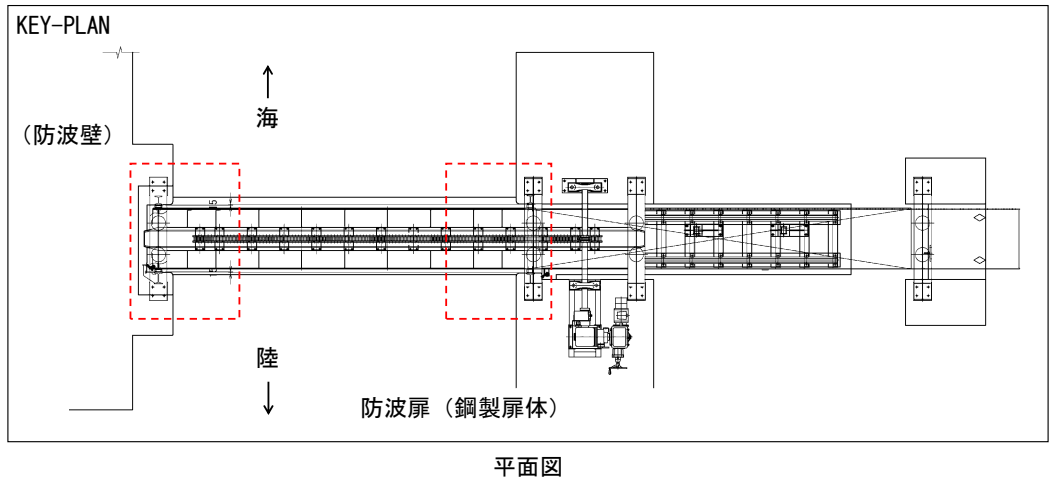
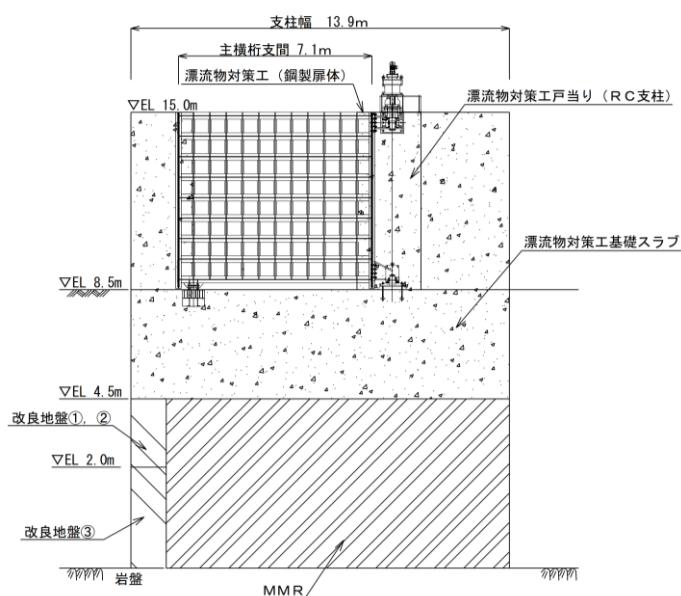
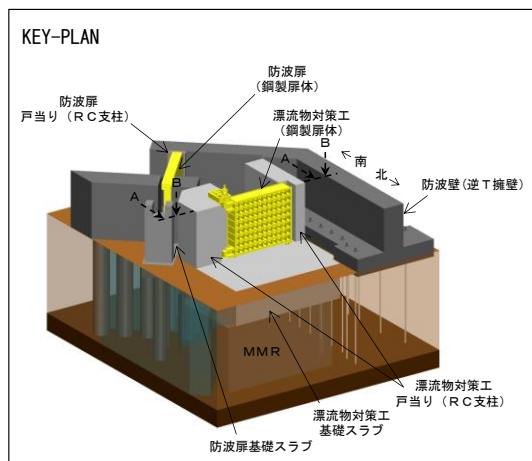
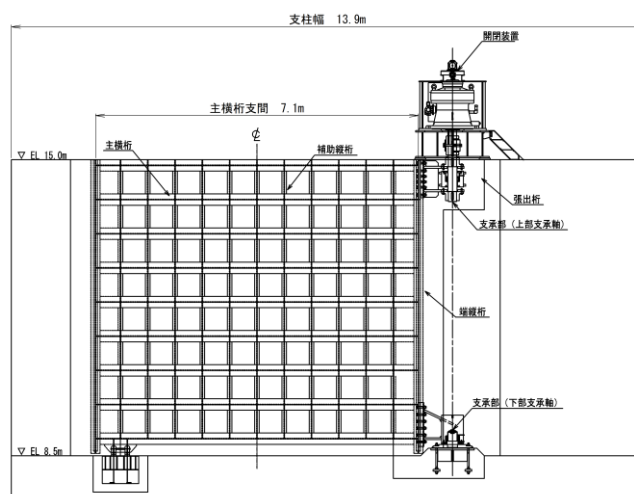


図 2-6 水密ゴムの概念図



注：陸側から海側を望む

(全体図)



注：陸側から海側を望む

(防波扉 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-7(1) 漂流物対策工の構造図 (A-A 断面)

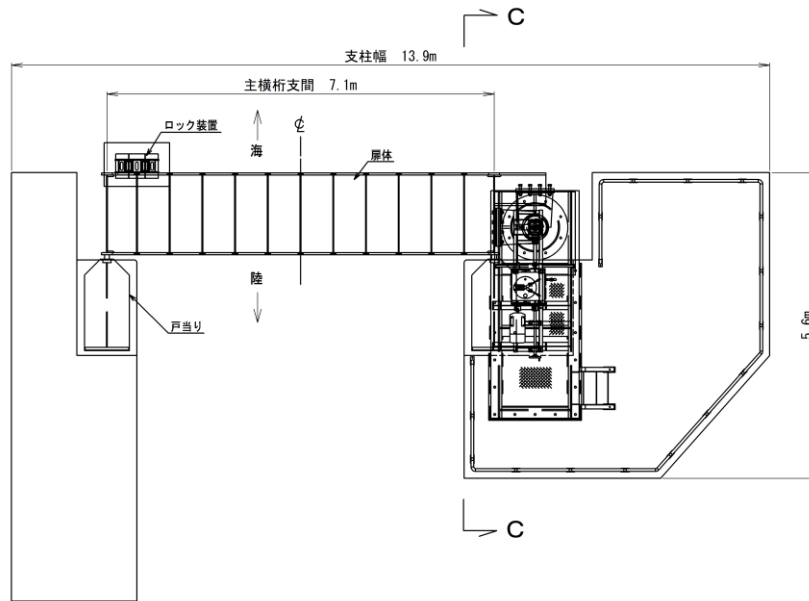


図 2-7(2) 漂流物対策工の構造図 (B-B 断面)

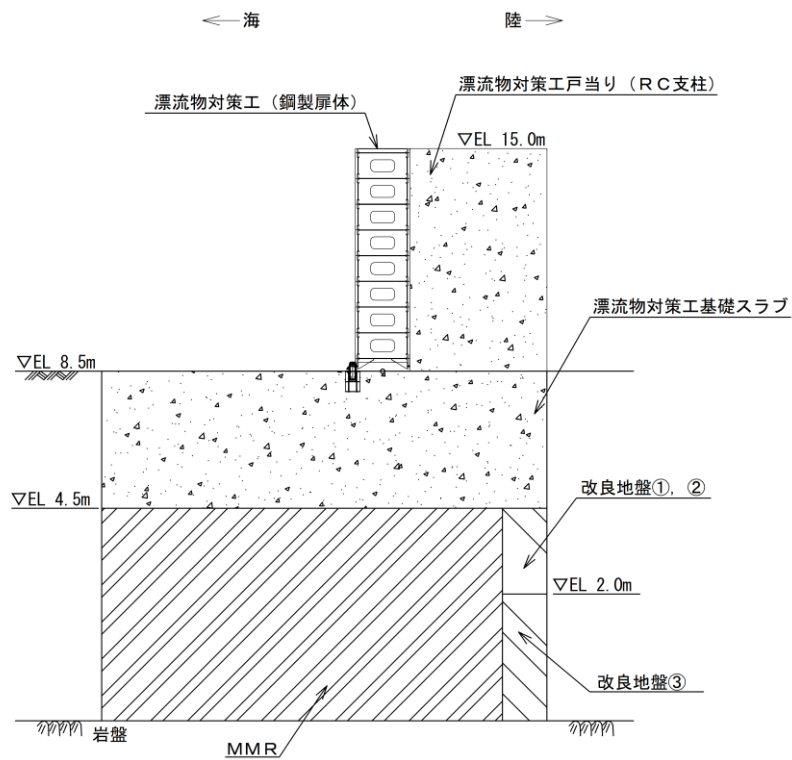


図 2-7(3) 漂流物対策工の構造図 (C-C 断面)

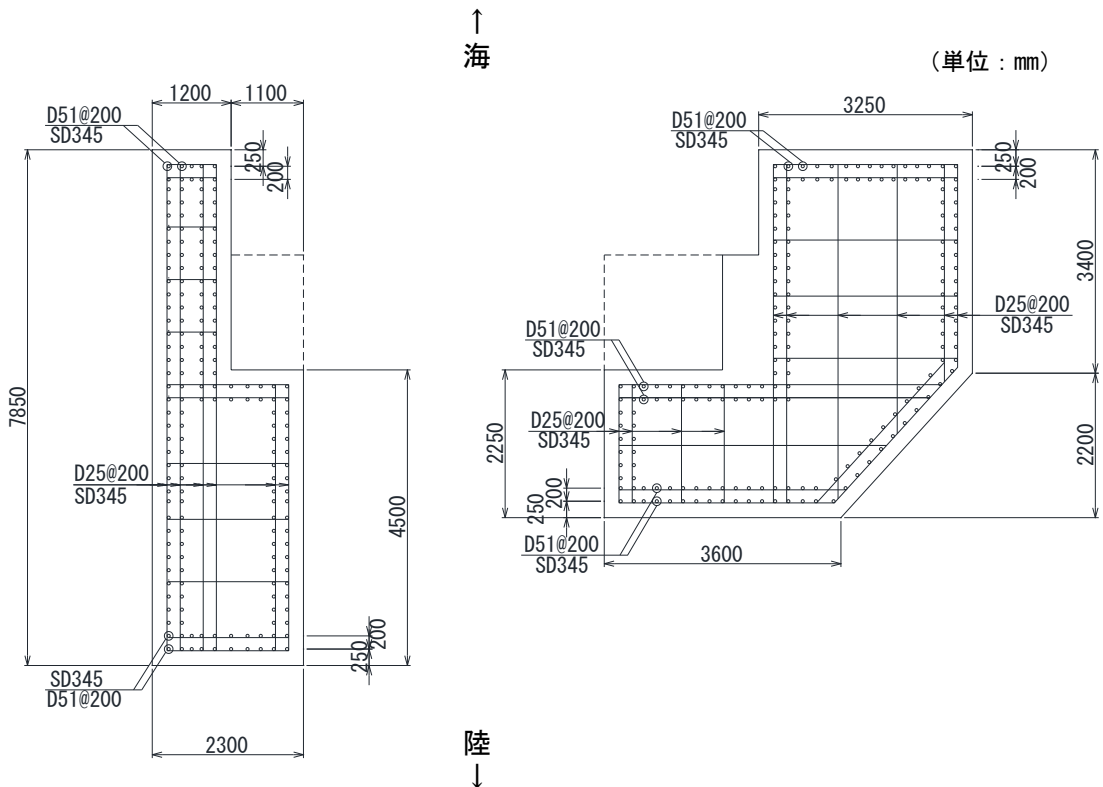
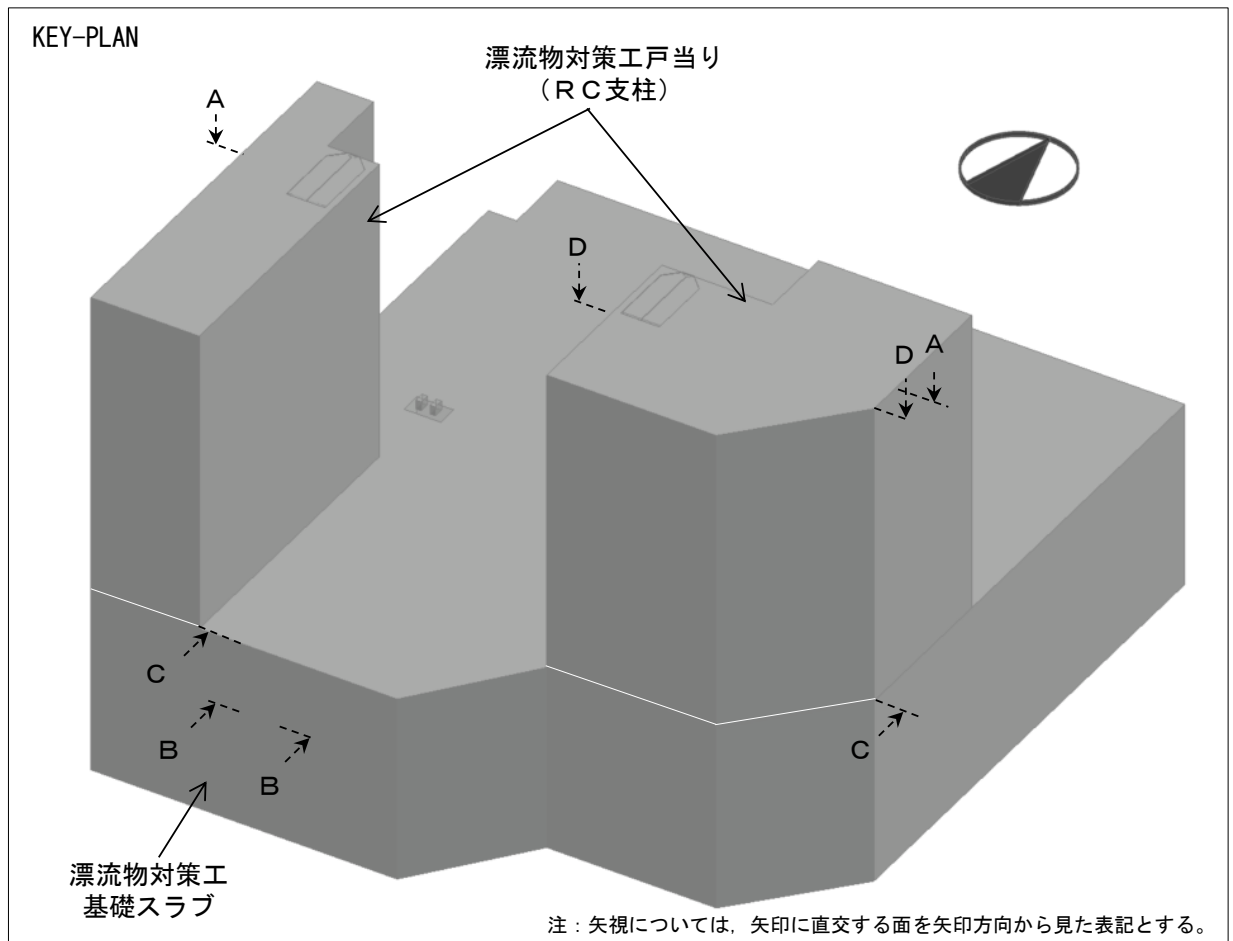


図 2-8 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の概略配筋図 (A-A断面)

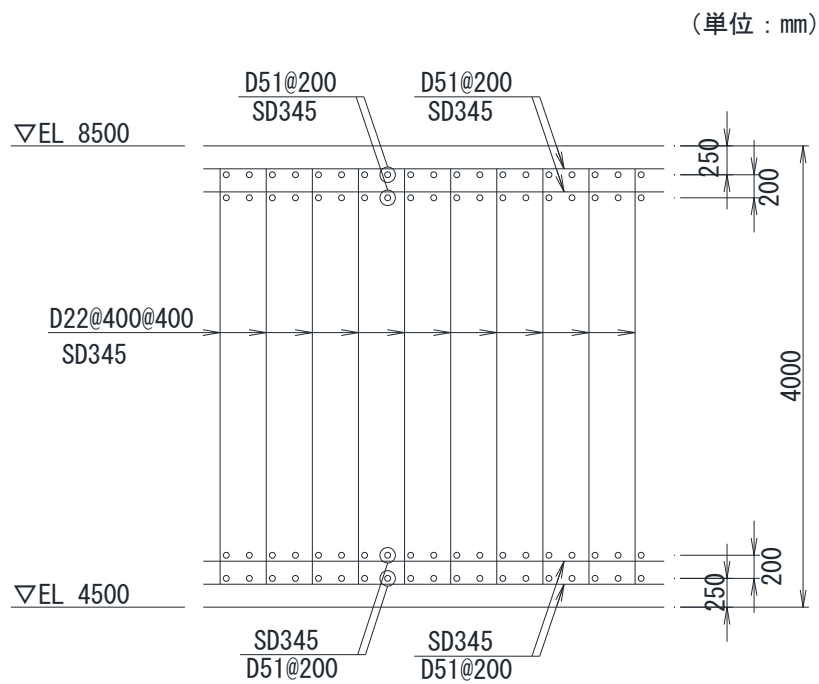


図 2-9 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

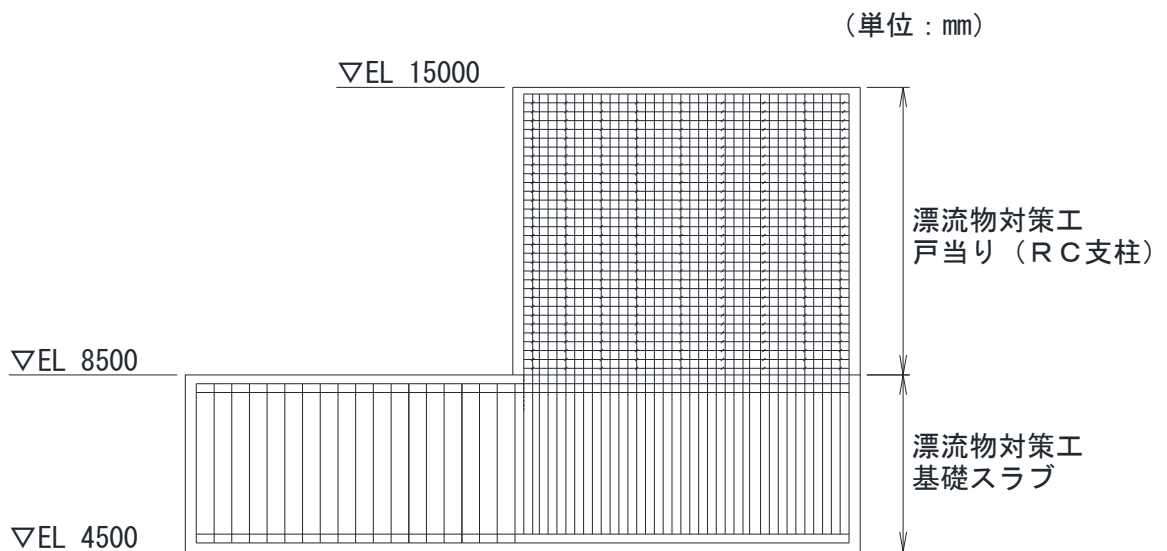


図 2-10 漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 及び漂流物対策工基礎スラブの
接続部における概略配筋図 (C-C 断面)

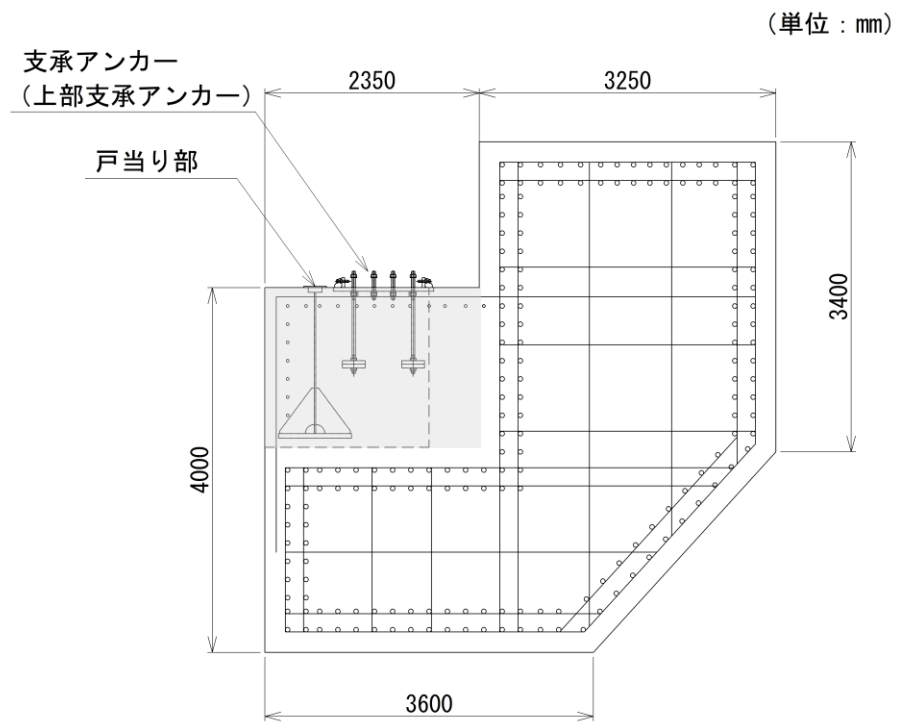


図 2-11 漂流物対策工戸当り (RC支柱) のアンカー部付近における概略配筋図 (D-D断面)

2.3 評価方針

防波扉（荷揚場南）は，Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また，漂流物対策工により，津波による漂流物が防波扉に直接衝突しない構造とする。

防波扉（荷揚場南）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。

防波扉（荷揚場南）の耐震評価は，地震応答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・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能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）が許容限界以下であることを確認する。

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。

防波扉（荷揚場南）の耐震評価フローを図2-12に示す。

表 2-1 防波扉（荷揚場南）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	防波扉 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水性を保持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉基礎 スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。
	防波扉 (鋼管杭)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを支持する。
	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船等の漂流物を防波扉に直接衝突させない。 ・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を衝突させない。 ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 ・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。
地盤	改良地盤 ①～③	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭の変形を抑制する。 ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭の変形を抑制する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。 ・地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
	MMR	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭、漂流物対策工基礎スラブ、改良地盤及びMMRを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭、漂流物対策工基礎スラブ、改良地盤及びMMRを鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに反映し、防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに反映し、防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。

表 2-2 防波扉（荷揚場南）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 (遮水性、難透水性)		
施設	防波扉 (鋼製扉体)		-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	防波扉から有意な漏えいを生じさせないために、おおむね弾性状態に留まること。		
	防波扉戸当り (RC支柱)					防波扉の支持機能を喪失して防波扉との間から有意な漏えいを生じさせないために、おおむね弾性状態に留まること。		
	防波扉基礎 スラブ					構造部材の健全性を保持するために、おおむね弾性状態に留まること。		
	防波扉 (鋼管杭)							漁船等の漂流物を防波扉に衝突させないために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 (鋼製扉体)						-	
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)						構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 基礎スラブ							
地盤	改良地盤 ①～③	漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	漂流物対策工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。	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（内的安定を保持）。	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（内的安定を保持）。		
	岩盤						-	-
	MMR	漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。					-	-

表 2-3 防波扉（荷揚場南）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	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉（鋼管杭）	発生する断面力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ・軸力） 短期許容応力度
		漂流物対策工（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）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①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上	
基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度	
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉（鋼管杭）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ・軸力） 短期許容応力度
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

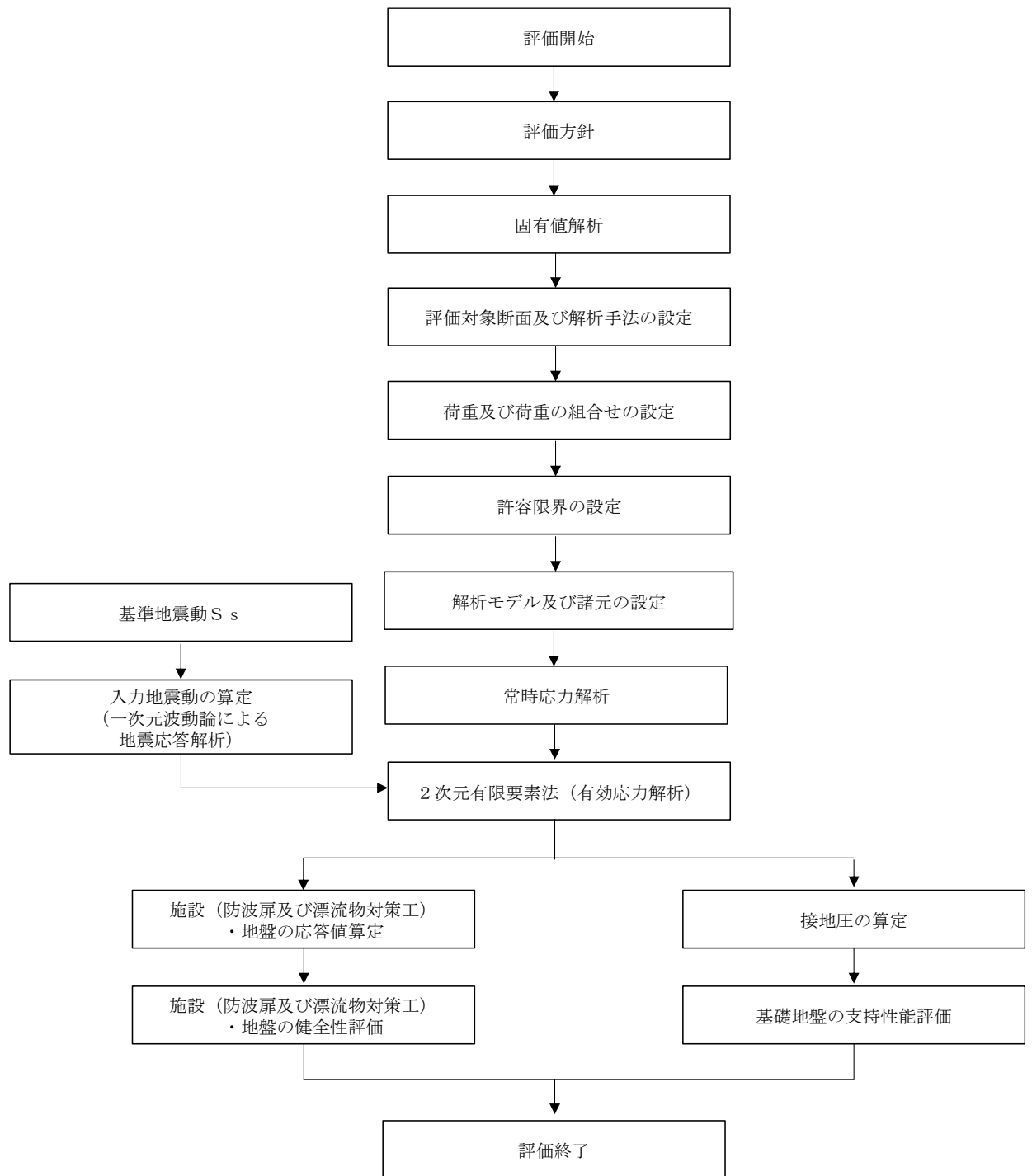


図 2-12 防波扉（荷揚場南）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)
- ・ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・設備計画マニュアル編) ((社) ダム・堰施設技術協会, 平成 28 年 3 月)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 年版)
- ・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)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- ・建築基準法・同施行令

3. 固有値解析

3.1 解析モデルの設定

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）は、両端のRC支柱により支持する構造であることから、両端ヒンジはりに単純化したモデルとする。固有値解析モデル図を図3-1に示す。

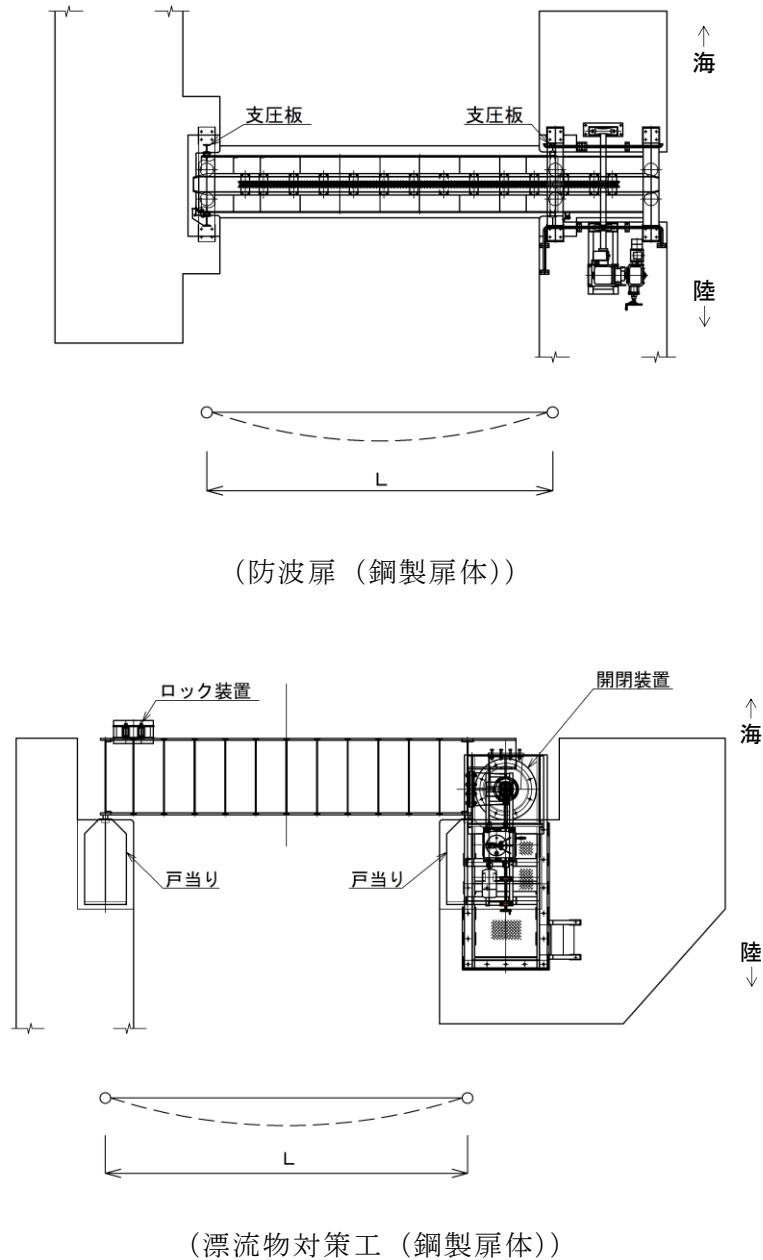


図3-1 固有値解析モデル

3.2 記号の説明

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の計算に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	m	スパン長
λ	—	支持条件によって定まる係数
γ	kN/m ³	単位体積重量
A	m ²	断面積
E	kN/m ²	ヤング係数
I	m ⁴	断面 2 次モーメント
g	m/s ²	重力加速度

3.3 固有振動数の計算方法

固有振動数を「機械工学便覧（（社）日本機械学会）」に基づき以下の式より計算する。

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI g}{\gamma A}}$$

3.4 固有振動数の計算条件

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

記号	定義	単位	防波扉 (鋼製扉体)	漂流物対策工 (鋼製扉体)
L	スパン長	m	6.7	7.3
λ	支持条件によって 定まる係数	—	3.14	3.14
γ	単位体積重量	kN/m ³	77	77
A	断面積	m ²	0.165	0.0418
E	ヤング係数	kN/m ²	2.00×10 ⁸	2.00×10 ⁸
I	断面 2 次 モーメント	m ⁴	0.0238	0.0140
g	重力加速度	m/s ²	9.80665	9.80665

3.5 固有振動数の計算結果

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の計算結果を表 3-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり，防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）は剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数の計算結果

部位	固有振動数 (Hz)
防波扉（鋼製扉体）	67.2
漂流物対策工（鋼製扉体）	86.1

4. 耐震評価

4.1 記号の定義

耐震評価に用いる記号を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(1/5)

評価対象部位		記号	単位	定義
防波扉 (鋼製 扉体)	主横桁	M	kN・m	主横桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁に生じるせん断力
		σ	N/mm ²	主横桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	主横桁に生じるせん断応力度
		W	kN/m	主横桁に作用する地震時慣性力
		W'	kN/m	主横桁に作用する風荷重
		L	m	主横桁の支間長
		a	m	主横桁の張出長さ
		L ₁	m	主横桁の水密幅
		Z	mm ³	主横桁の断面係数
		A _w	mm ²	主横桁腹板の断面積
		σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
	補助 縦桁	M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		σ	N/mm ²	補助縦桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	補助縦桁に生じるせん断応力度
		P	kN/m ²	補助縦桁に作用する地震時荷重（地震時慣性力 ＋風荷重）
		l	m	主横桁間隔
		m	m	補助縦桁間隔
		Z	mm ³	補助縦桁の断面係数
		A _w	mm ²	補助縦桁腹板の断面積
		σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度		

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(2/5)

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製扉体)	端縦桁	R	kN	端縦桁に生じる支点反力
		A_q	mm ²	補剛材の有効断面積
		A_w	mm ²	端縦桁腹板の有効断面積
		A_s	mm ²	主横桁腹板の有効断面積
		σ_c	N/mm ²	端縦桁に生じる圧縮応力度
		σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
		t_w	mm	端縦桁腹板の厚さ
		t_s	mm	主横桁腹板の厚さ
		b_w	mm	端縦桁腹板の長さ
		b_s	mm	主横桁腹板の長さ
	車輪	F	kN	防波扉（鋼製扉体）に作用する地震時荷重（扉体自重+積雪荷重+地震時慣性力）
		R_1	kN	海側車輪に作用する荷重
		R_2	kN	陸側車輪に作用する荷重
		L	m	車輪荷重の作用位置
		L_1	m	海側車輪荷重の作用位置
		L_2	m	陸側車輪荷重の作用位置
		P	N	車輪に作用する荷重
		E_1	N/mm ²	車輪の弾性係数
		E_2	N/mm ²	レールの弾性係数
		B	mm	車輪有効踏面幅
		R	mm	車輪半径
		C	mm	接触幅の 1/2
		p	N/mm ²	接触面圧応力度
		p_a	N/mm ²	許容接触応力度
		M	kN・m	車輪軸に生じる曲げモーメント
		L_3	m	張出長さ
		Z	mm ³	車輪軸の断面係数
		S	kN	車輪軸に生じるせん断力
		A	mm ²	車輪軸の断面積
		σ	N/mm ²	車輪軸に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	車輪軸に生じるせん断応力度
		σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
R_a	kN	車輪軸受に作用する荷重		
C_{cr}	kN	許容荷重		

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(3/5)

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製 扉体)	レール	M	kN・m	レールに生じる曲げモーメント
		R ₁	kN	海側車輪に作用する荷重
		L _M	m	レール基礎材間隔
		S	kN	レールに生じるせん断力
		Z ₁	mm ³	レールの引張側断面係数
		Z ₂	mm ³	レールの圧縮側断面係数
		A _w	mm ²	レール(腹板)の断面積
		b _p	mm	レール(腹板)の受圧幅
		C	mm	接触幅の1/2
		t _w	mm	レール(腹板)の厚さ
		t _f	mm	レール踏面板の厚さ
		σ _c	N/mm ²	レールに生じる曲げ圧縮応力度
		σ _t	N/mm ²	レールに生じる曲げ引張応力度
		τ	N/mm ²	レールに生じるせん断応力度
		σ _b	N/mm ²	レール(腹板)に生じる支圧応力度
		σ _{ca}	N/mm ²	許容曲げ圧縮応力度
		σ _a	N/mm ²	許容曲げ引張応力度
		τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
		σ _{ba}	N/mm ²	許容支圧応力度
		ロック 装置	P	kN
	F _h		kN	ロックピンに作用する地震時慣性力
	n		本	ロックピン数
	L		m	ロックピンの突出長さ
	M		kN・m	ロックピンに生じる曲げモーメント
	Z		mm ³	ロックピンの断面係数
	S		kN	ロックピンに生じるせん断力
	A		mm ²	ロックピンのせん断面積
	b		mm	ロックピン受圧幅
	h		mm	ロックピン受圧長さ
	σ		N/mm ²	ロックピンに生じる曲げ応力度
	τ		N/mm ²	ロックピンに生じるせん断応力度
	σ _b		N/mm ²	ロックピンに生じる支圧応力度
	σ _{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度	
τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度		
σ _{ba}	N/mm ²	許容支圧応力度		

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(4/5)

評価対象部位		記号	単位	定義
防波扉 (鋼製扉体)	支圧板	P	kN	支圧板に作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重)
		C	mm	支圧板の有効幅
		L	mm	防波扉 (鋼製扉体) 高さ
		σ_p	N/mm ²	支圧板に生じる支圧応力度
		σ_{pa}	N/mm ²	許容支圧応力度
	戸当り	P	kN	戸当りに作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重)
		L	mm	防波扉 (鋼製扉体) の高さ
		b_f	mm	戸当り (底面フランジ) の幅
		t_f	mm	戸当り (底面フランジ) の厚さ
		l_1	mm	戸当りの埋込深さ
		l_2	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ
		M_f	N・mm/mm	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント
		Σl	mm	せん断抵抗長さ (= $l_1 + 2l_2$)
		σ_f	N/mm ²	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度
		σ_{cb}	N/mm ²	戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度
		τ_c	N/mm ²	戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度
		σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
		σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
		τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度
		σ_c	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度
σ_s	N/mm ²	鉄筋の曲げ引張応力度		
σ_{sa}	N/mm ²	鉄筋の許容曲げ引張応力度		
防波扉戸当り (RC支柱)	σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度	
	τ_{a1}	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 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(5/5)

評価対象部位	記号	単位	定義
防波扉基礎 スラブ	σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	τ_{a1}	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
	M	kN・m	防波扉基礎スラブに生じる曲げモーメント
	N	kN	防波扉基礎スラブに生じる軸力
	Q	kN	防波扉基礎スラブに生じるせん断力
防波扉 (鋼管杭)	M_y	kN・m	降伏モーメント
	f_y	N/mm ²	鋼管杭の降伏基準点
	Z_e	mm ³	鋼管杭の断面係数
	N	kN	鋼管杭に生じる軸力
	A	mm ²	鋼管杭の断面積
	τ_{sa}	N/mm ²	鋼管杭の短期許容せん断応力度
	M	kN・m	防波扉(鋼管杭)に生じる曲げモーメント
	N	kN	防波扉(鋼管杭)に生じる軸力
	Q	kN	鋼管杭に生じるせん断力
	τ_s	N/mm ²	鋼管杭のせん断応力度
改良地盤	F_s	-	局所安全係数
基礎地盤	R_u	N/mm ²	極限支持力度
	R_d	N/mm ²	鋼管杭下端の軸力により算出される軸応力度
	N	kN	鋼管杭下端に発生する軸力
	A'	mm ²	鋼管杭下端の断面積

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(1/7)

評価対象部位	記号	単位	定義	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	主横桁	M	kN・m	主横桁（最下段）に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁（最下段）に生じるせん断力
		W	kN/m	主横桁に作用する地震時慣性力
		W'	kN/m	主横桁に作用する風荷重
		L	m	主横桁の支間長
		a	m	主横桁の張出長さ
		L ₁	m	主横桁の水密幅
		M'	kN・m	主横桁（最上段）に生じる曲げモーメント
		S'	kN	主横桁（最上段）に生じるせん断力
		L'	m	主横桁の突出長さ
		Z	mm ³	主横桁の断面係数
		A _w	mm ²	主横桁腹板の断面積
		σ	N/mm ²	主横桁（最下段）に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	主横桁（最下段）に生じるせん断応力度
		σ'	N/mm ²	主横桁（最上段）に生じる曲げ応力度
		τ'	N/mm ²	主横桁（最上段）に生じるせん断応力度
		σ _{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
	張出桁	M	kN・m	張出桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	張出桁に生じるせん断力
		W	kN/m	張出桁に作用する地震時慣性力
		W'	kN/m	張出桁に作用する風荷重
		L	m	張出長さ
		Z	mm ³	張出桁の断面係数
		A _w	mm ²	張出桁腹板の断面積
		σ	N/mm ²	張出桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	張出桁に生じるせん断応力度
		σ _{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度	
	補助 縦桁	M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		W	kN/m	補助縦桁に作用する地震時慣性力
		W'	kN/m	補助縦桁に作用する風荷重
		l	m	主横桁の間隔
		Z	mm ³	補助縦桁の断面係数
		A _w	mm ²	補助縦桁腹板の断面積
σ		N/mm ²	補助縦桁に生じる曲げ応力度	
τ		N/mm ²	補助縦桁に生じるせん断応力度	
σ _{ca}		N/mm ²	許容曲げ応力度	
τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度		

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(2/7)

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物対策工（鋼製扉体）	端縦桁	R	kN	主横桁に生じる支点反力
		A_q	mm ²	補剛材の有効総断面積
		σ_c	N/mm ²	端縦桁に生じる圧縮応力度
		σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
		t_w	mm	端縦桁腹板の厚さ
		t_{s1}	mm	主横桁腹板の厚さ
		t_{s2}	mm	スチフナの厚さ
		b_w	mm	端縦桁腹板の長さ
		b_{s1}	mm	主横桁腹板の長さ
		b_{s2}	mm	スチフナの長さ
		A_w	mm ²	端縦桁腹板の有効断面積
		A_{s1}	mm ²	主横桁腹板の有効断面積
	A_{s2}	mm ²	スチフナの有効断面積	
	支承部（上部支承軸）	M	kN・m	支承軸（上部支承軸）に生じる曲げモーメント
		R_H	kN	支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重
		L	m	支承軸支持間隔
		S	kN	支承部（上部支承軸）に生じるせん断力
		Z	mm ³	支承部（上部支承軸）の断面係数
		A	mm ²	支承部（上部支承軸）の断面積
		σ	N/mm ²	支承部（上部支承軸）に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	支承部（上部支承軸）に生じるせん断応力度
		σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	
	支承部（下部支承軸）	M	kN・m	支承部（下部支承軸）に生じる曲げモーメント
		R_H	kN	支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重
		L	m	支承部（下部支承軸）の長さ
		S	kN	支承部（下部支承軸）に生じるせん断力
		Z	mm ³	支承部（下部支承軸）の断面係数
		A	mm ²	支承部（下部支承軸）の断面積
		σ	N/mm ²	支承部（下部支承軸）に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	支承部（下部支承軸）に生じるせん断応力度
		σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(3/7)

評価対象部位	記号	単位	定義
支承部 (下部支承軸受)	R_v	kN	支承部（下部支承軸）に作用する鉛直荷重
	r	mm	軸受（壺金）の球面の半径
	E	N/mm ²	軸受（壺金）の弾性係数
	p	N/mm ²	軸受（壺金）に生じる支圧応力度
	p_a	N/mm ²	許容接触応力度
支承部 (支承軸受)	R	kN	支承部（支承軸受）に作用する荷重
	R_H	kN	支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重
	C_{cr}	kN	許容荷重

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(4/7)

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	支承部 (浮上 防止金 物)	M	kN・m	支承部（浮上防止金物）に生じる曲げモーメント
		R _v	kN	支承部（浮上防止金物）に作用する鉛直上向き荷重
		L	m	支承部（浮上防止金物）の突出長さ
		S	kN	支承部（浮上防止金物）に生じるせん断力
		Z	mm ³	支承部（浮上防止金物）の断面係数
		A ₁	mm ²	支承部（浮上防止金物）の断面積
		σ _b	N/mm ²	支承部（浮上防止金物）に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	支承部（浮上防止金物）に生じるせん断応力度
		σ _a	N/mm ²	許容曲げ圧縮応力度
		τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
		F	kN	固定ボルトに生じる軸力
		a, b	mm	支持点からの距離
		A ₂	mm ²	固定ボルトの有効断面積
		σ _t	N/mm ²	固定ボルトに生じる軸方向引張応力度
	σ _{ta}	N/mm ²	許容軸方向引張応力度	
	上部支 承（ア ンカー ボルト） 、 上部支 承（コ ンクリ ート）	F	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力
		R _H	kN	支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重
		l	mm	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離
		m	mm	アンカーボルトの間隔
		n	本	アンカーボルトの片側本数
		A	mm ²	アンカーボルトの断面積
		d	mm	アンカーボルト埋込深さ
		a, b	mm	アンカープレートの寸法
		c, e	mm	支圧板の寸法
		σ _t	N/mm ²	アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度
		σ _a	N/mm ²	許容軸方向引張応力度
σ _{c1}		N/mm ²	上部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度(アンカープレート)	
σ _{c2}	N/mm ²	上部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度(支圧板)		
τ _c	N/mm ²	上部支承（コンクリート）に生じるせん断応力度(アンカープレート)		

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(5/7)

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	下部支承 (アンカ ーボル ト), 下部支承 (コンク リート)	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
		τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度
		F	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力
		R _H	kN	支承部 (下部支承軸) に作用する水平荷重
		L	mm	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離
		2y	mm	アンカーボルトの間隔
		n	本	アンカーボルトの片側本数
		A	mm ²	アンカーボルトの断面積
		d	mm	アンカーボルト埋込深さ
		a, b	mm	アンカープレートの寸法
		c, e	mm	支圧板の寸法
		σ_t	N/mm ²	アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度
		σ_a	N/mm ²	許容軸方向引張応力度
		σ_{c1}	N/mm ²	下部支承 (コンクリート) に生じる支圧応力度 (アンカープレート)
	σ_{c2}	N/mm ²	下部支承 (コンクリート) に生じる支圧応力度 (支圧板)	
	τ_c	N/mm ²	下部支承 (コンクリート) に生じるせん断応力度 (アンカープレート)	
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度	
	τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	
	ロック 装置	M	kN・m	ロックビームに生じる曲げモーメント
		R _r	kN	ロックビームに作用する荷重
		a	m	ロックビームの突出長さ
		n	本	ロックビーム本数
		Z	mm ³	ロックビームの断面係数
		S	kN	ロックビームに生じるせん断力
		A	mm ²	ロックビームのせん断面積
		σ	N/mm ²	ロックビームに生じる曲げ応力度
τ		N/mm ²	ロックビームに生じるせん断応力度	
σ_{ca}		N/mm ²	許容曲げ応力度	
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度		

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(6/7)

部材		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	支圧板 , 戸当 り	W	kN/m	戸当りに作用する地震時荷重 (地震時慣性力+ 風荷重)
		C	mm	支圧板の有効幅
		L ₁	mm	漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅
		L ₂	mm	主横桁の荷重分担長さ
		t _w	mm	戸当り (腹板) の厚さ
		b _f	mm	戸当り (底面フランジ) の幅
		t _f	mm	戸当り (底面フランジ) の厚さ
		l ₁	mm	戸当の埋込深さ
		l ₂	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ
		M _f	N・mm/mm	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメン ト
		Σl	mm	せん断抵抗長さ (=l ₁ +2l ₂)
		σ _p	N/mm ²	支圧板に生じる支圧応力度
		σ _b	N/mm ²	戸当り (腹板) に生じる支圧応力度
		σ _f	N/mm ²	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度
		σ _{cb}	N/mm ²	戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度
		τ _c	N/mm ²	戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度
		σ _{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度
		σ _{ba}	N/mm ²	戸当り (腹板) の許容支圧応力度
		σ _{ca}	N/mm ²	戸当り (底面フランジ) の許容曲げ応力度
		σ _{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
τ _{ca}	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		
漂流物対策工 戸当り (RC支柱)		σ _{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
		τ _{a1}	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
		M	kN・m	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる曲げ モーメント
		N	kN	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる軸力
		Q	kN	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じるせん 断力

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(7/7)

部材	記号	単位	定義
漂流物対策工 基礎スラブ	σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	τ_{a1}	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
	M	kN・m	漂流物対策工基礎スラブに生じる曲げモーメント
	N	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じる軸力
	Q	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じるせん断力
基礎地盤	R_u	N/mm ²	極限支持力度
	f'_a	N/mm ²	支圧強度
	R_d	N/mm ²	基礎地盤の最大接地圧

4.2 評価対象断面

防波扉（荷揚場南）の評価対象断面は，防波扉（荷揚場南）の構造上の特徴を踏まえ選定する。防波扉及び漂流物対策工の扉体軸方向が強軸方向であるため，弱軸方向である防波扉及び漂流物対策工の扉体直交方向の断面とする。

防波扉（荷揚場南）の評価対象断面位置図を図 4-1 に，縦断面図を図 4-2 に示す。

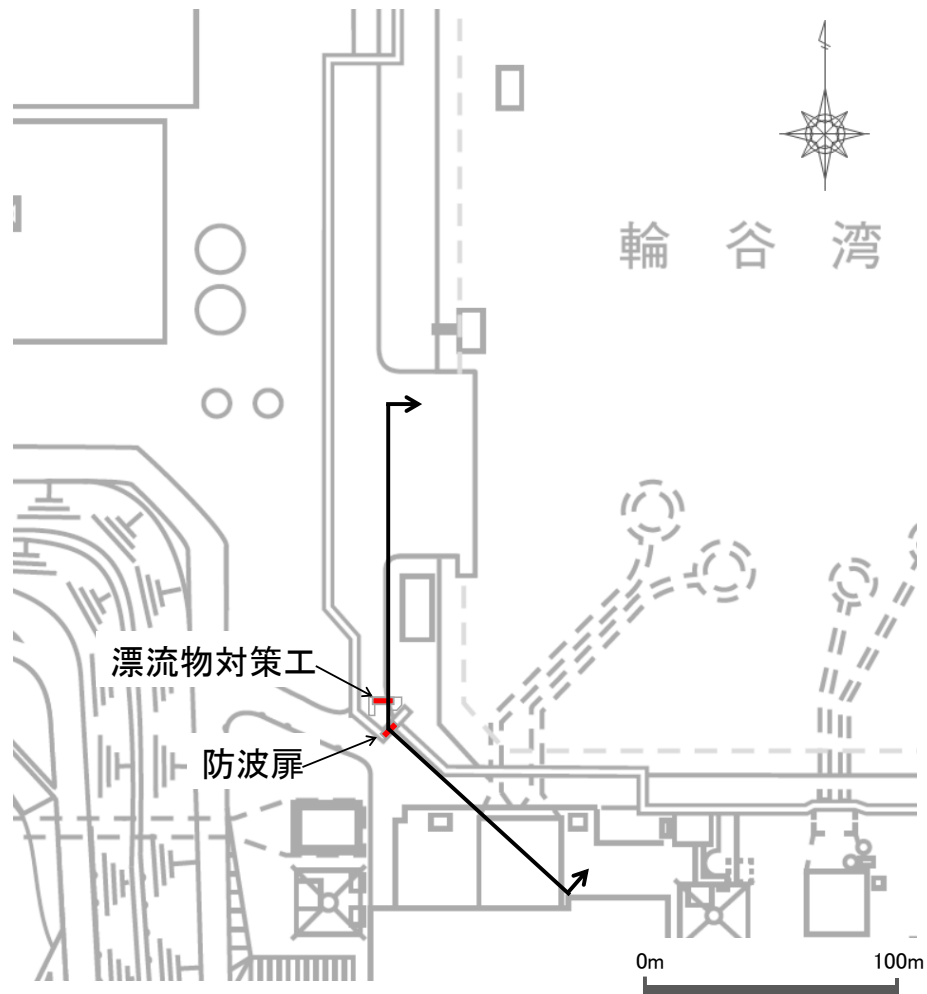


図 4-1 防波扉（荷揚場南）の評価対象断面位置図

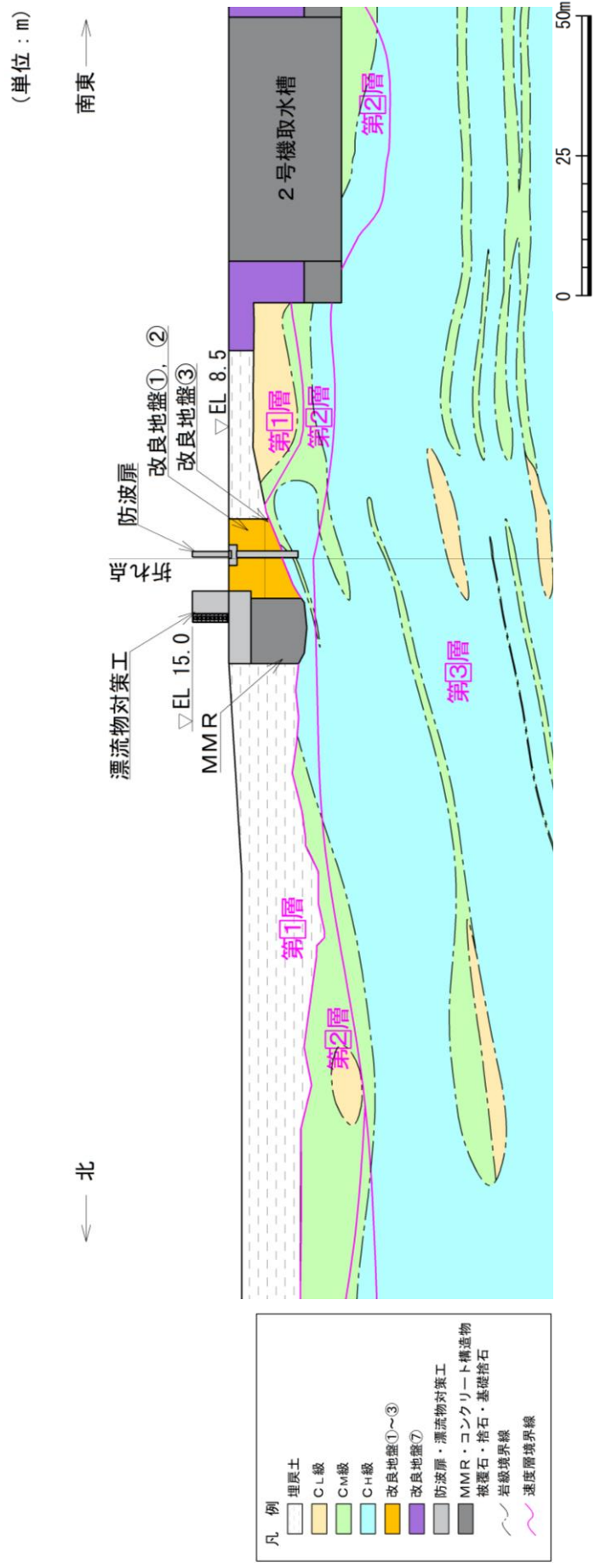


図 4-2 防波扉（荷揚場南）の縦断面図

4.3 解析方法

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。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。

構造部材については、線形はり要素（ビーム要素）及び線形の平面ひずみ要素でモデル化する。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。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。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。

4.3.1 施設

防波扉基礎スラブ及び防波扉（鋼管杭）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。漂流物対策工基礎スラブは、線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。

4.3.2 地盤物性のばらつき

防波扉（荷揚場南）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 4-3 に示す解析ケースにおいて考慮する。

図 4-2 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扉（荷揚場南）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。

詳細な解析ケースの考え方は、「4.3.4 解析ケース」に示す。

表 4-3 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 + 1σ	平均値
ケース③	平均値 - 1σ	平均値

4.3.3 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。

4.3.4 解析ケース

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

耐震評価における解析ケースを表 4-4 に示す。

表 4-4 耐震計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 (+1σ) を考慮し た解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した 解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
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。

4.4 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

4.4.1 耐震評価上考慮する状態

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪荷重及び風荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

4.4.2 荷重

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重（鋼製扉体を含む）を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、土圧及び水圧を考慮する。

(3) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重として、発電所最寄りの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35.0cmとする。

積雪荷重については、「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）」により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 風荷重（P_k）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、「建築基準法・同施行令」に基づき算定する。

(5) 地震荷重（S_s）

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

4.4.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + P _s + P _k + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

4.5 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 4-3 に入力地震動算定の概念図を、図 4-4～図 4-15 に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を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」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。

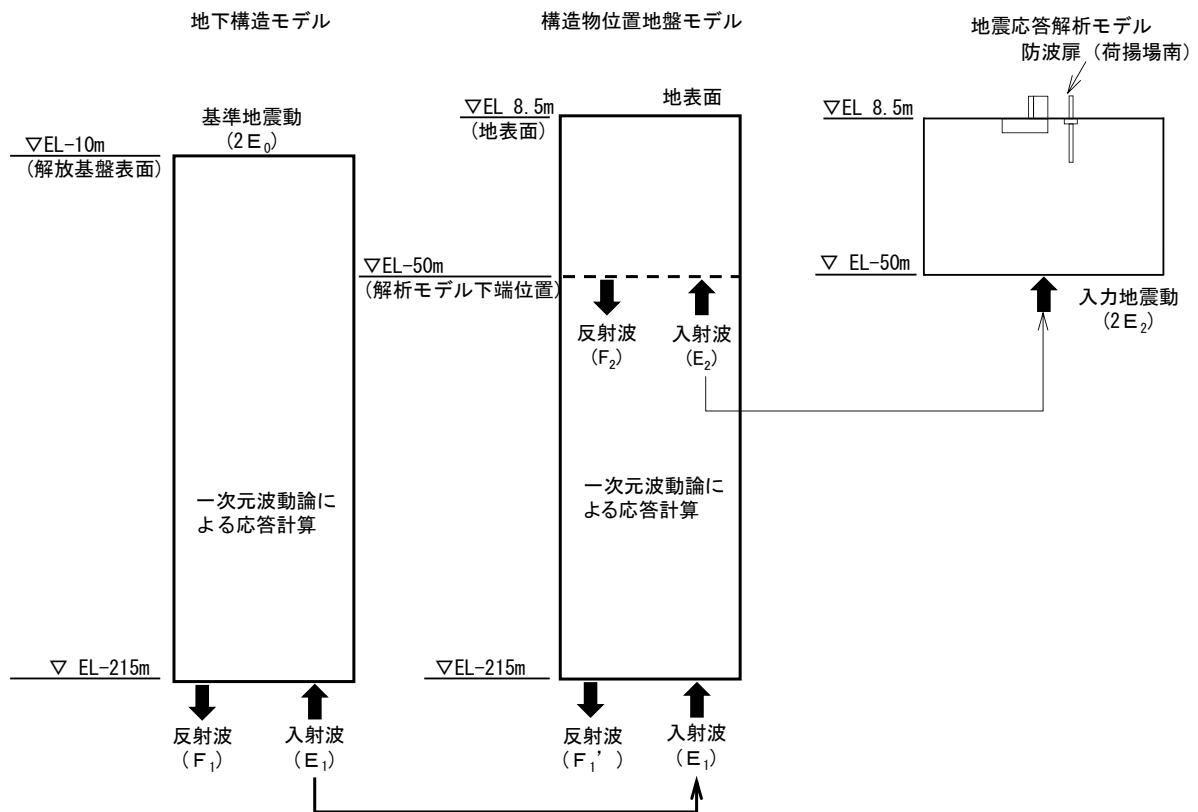
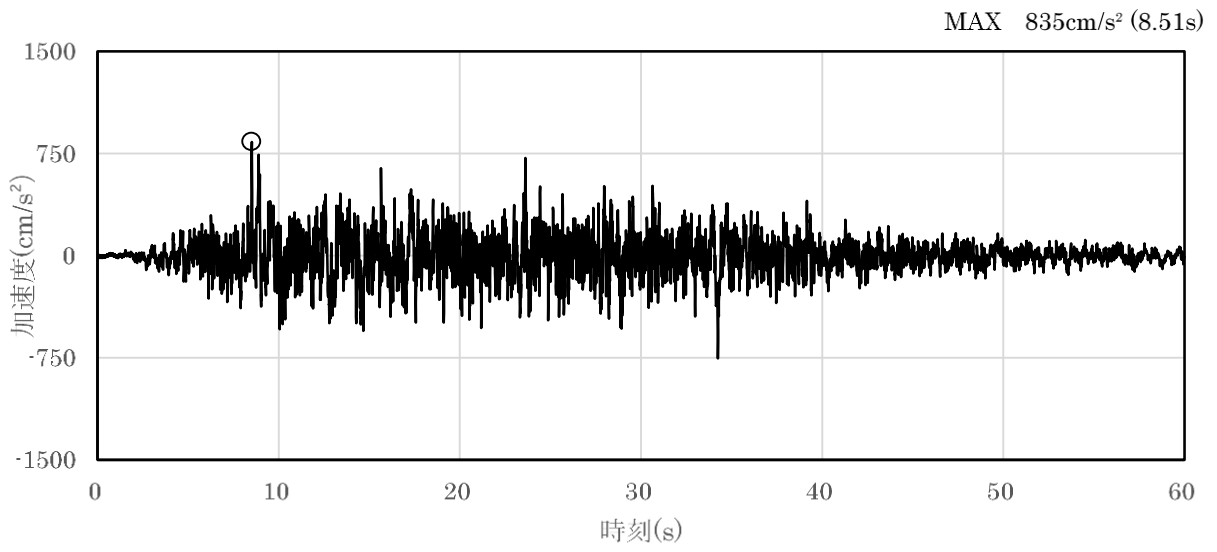
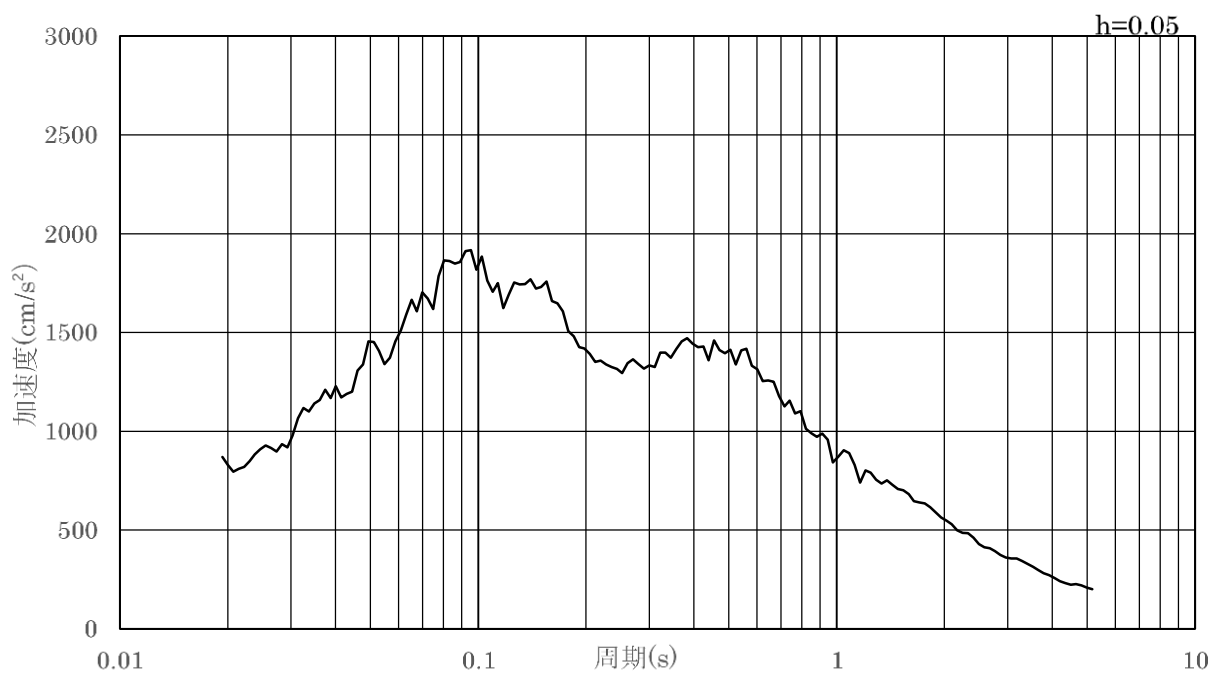


図 4-3 入力地震動算定の概念図

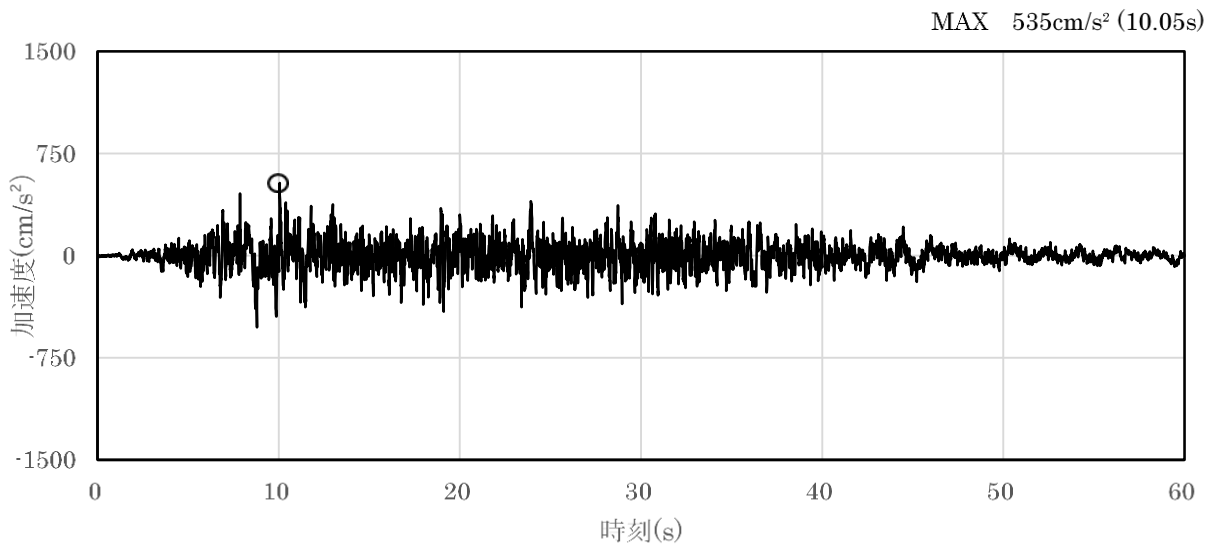


(a) 加加速度時刻歴波形

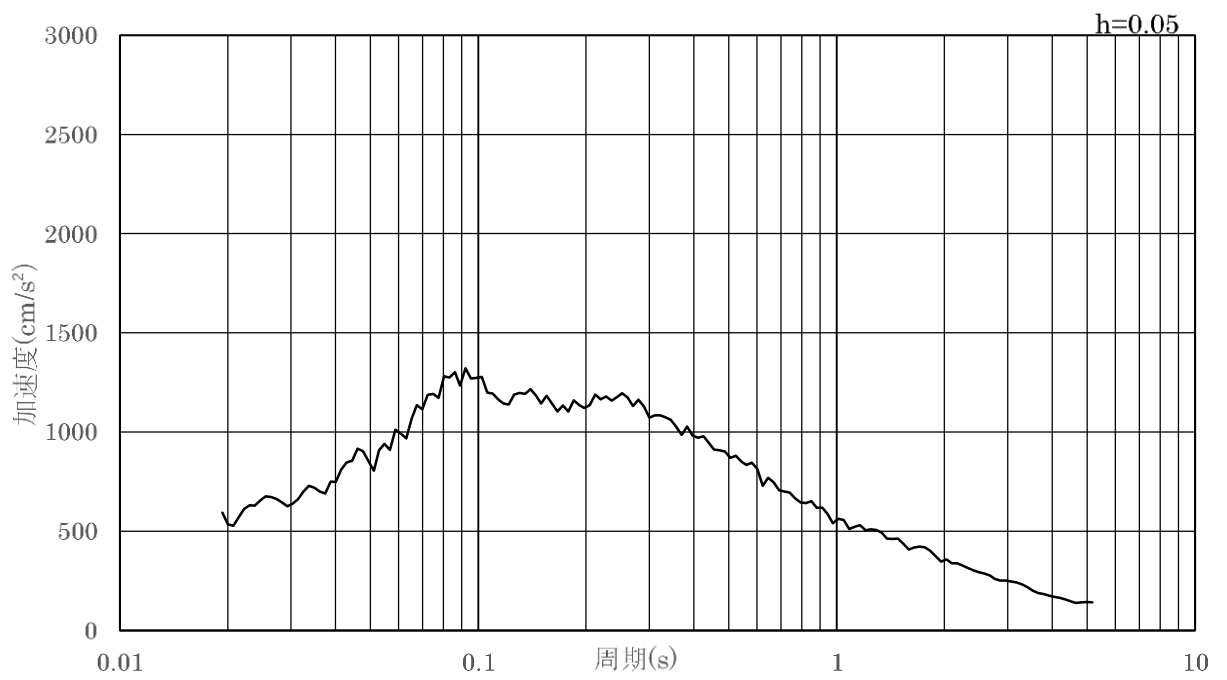


(b) 加加速度応答スペクトル

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

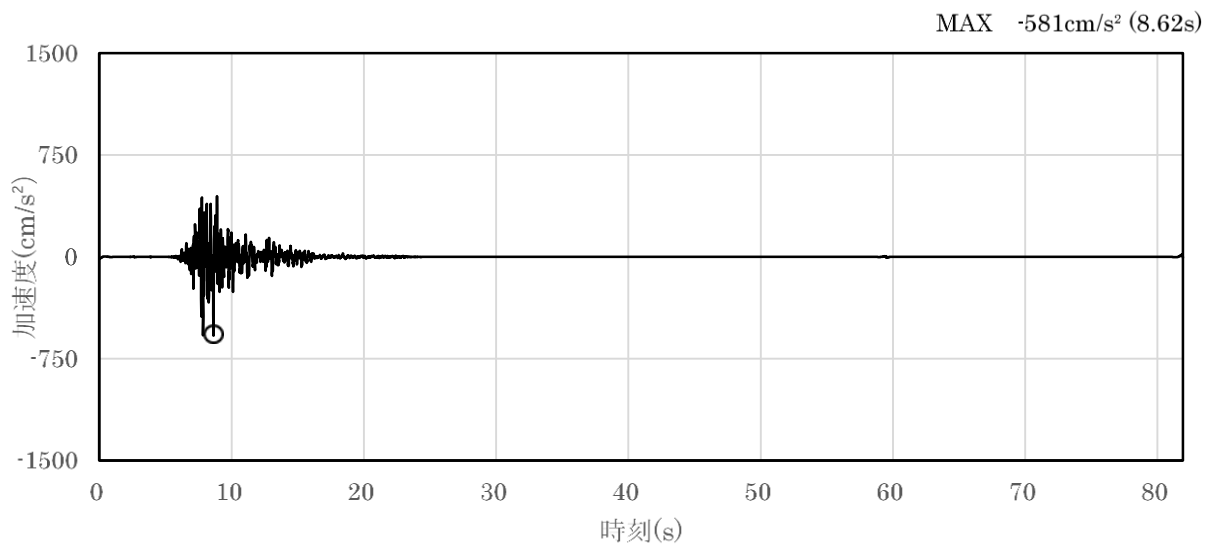


(a) 加速度時刻歴波形

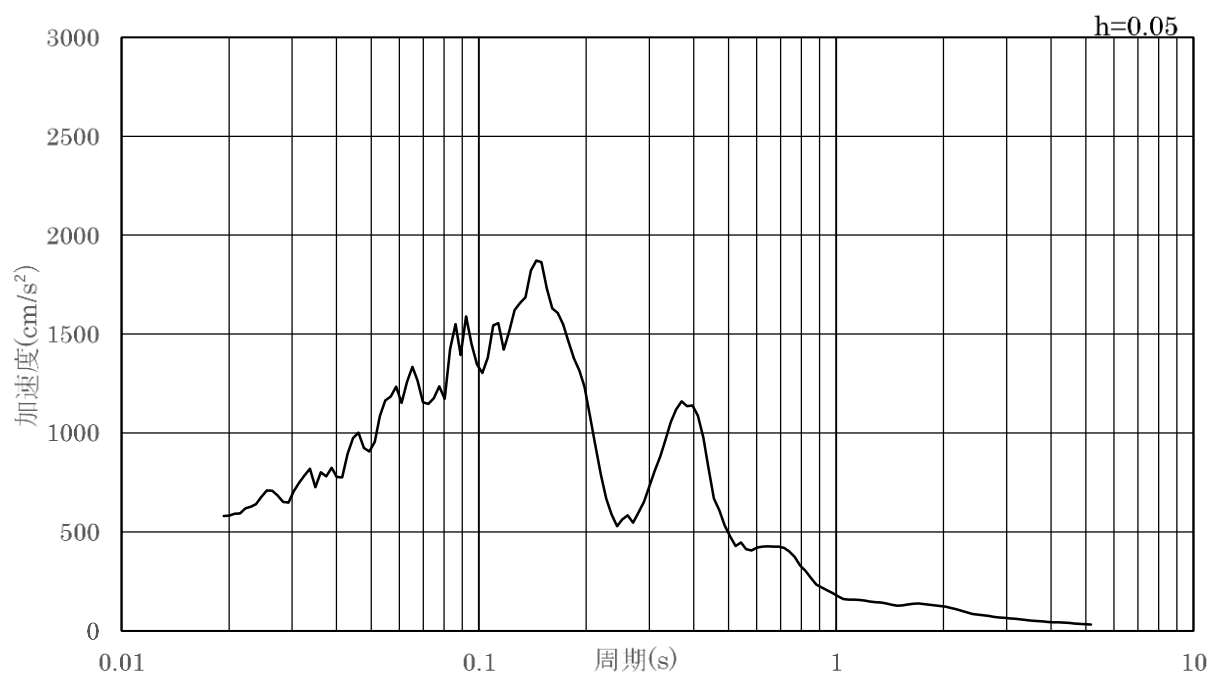


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 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
(鉛直成分：S s - D)

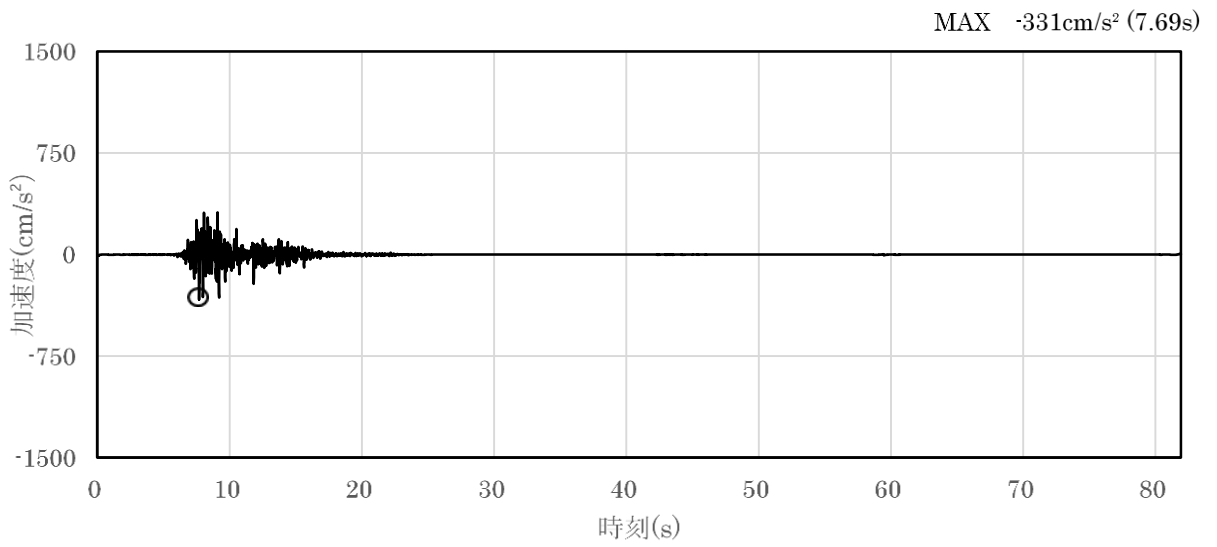


(a) 加速度時刻歴波形

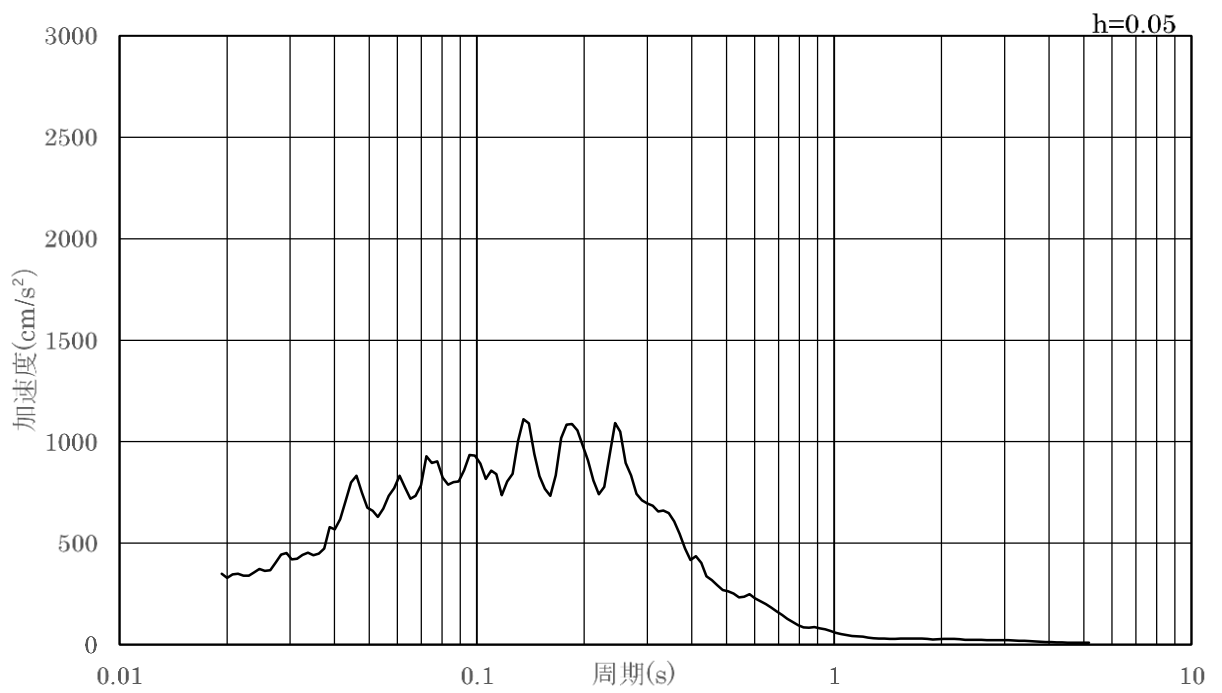


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 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 1)

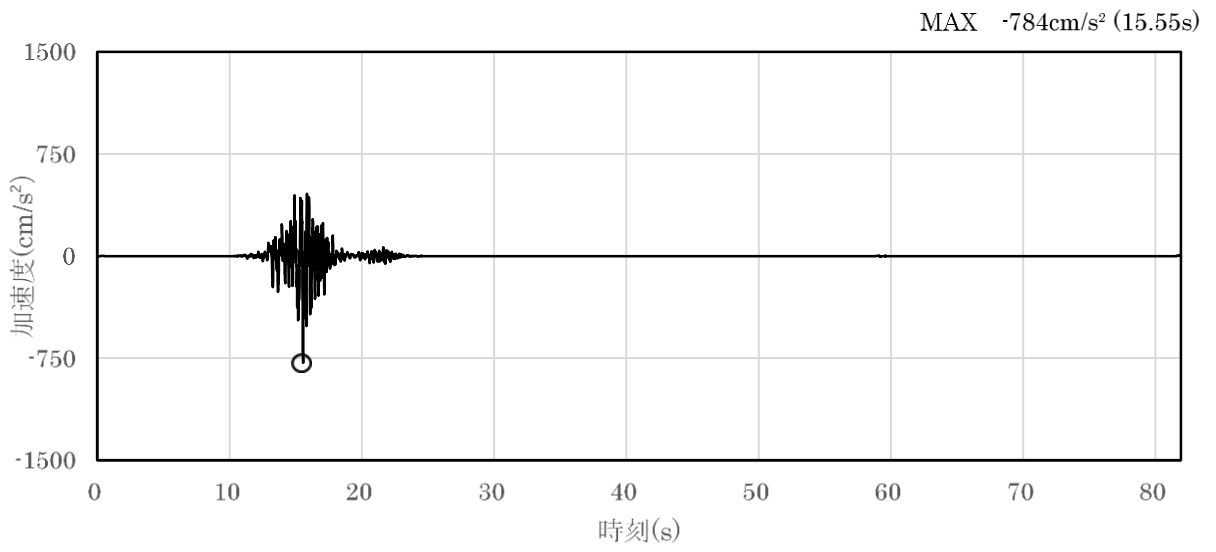


(a) 加速度時刻歴波形

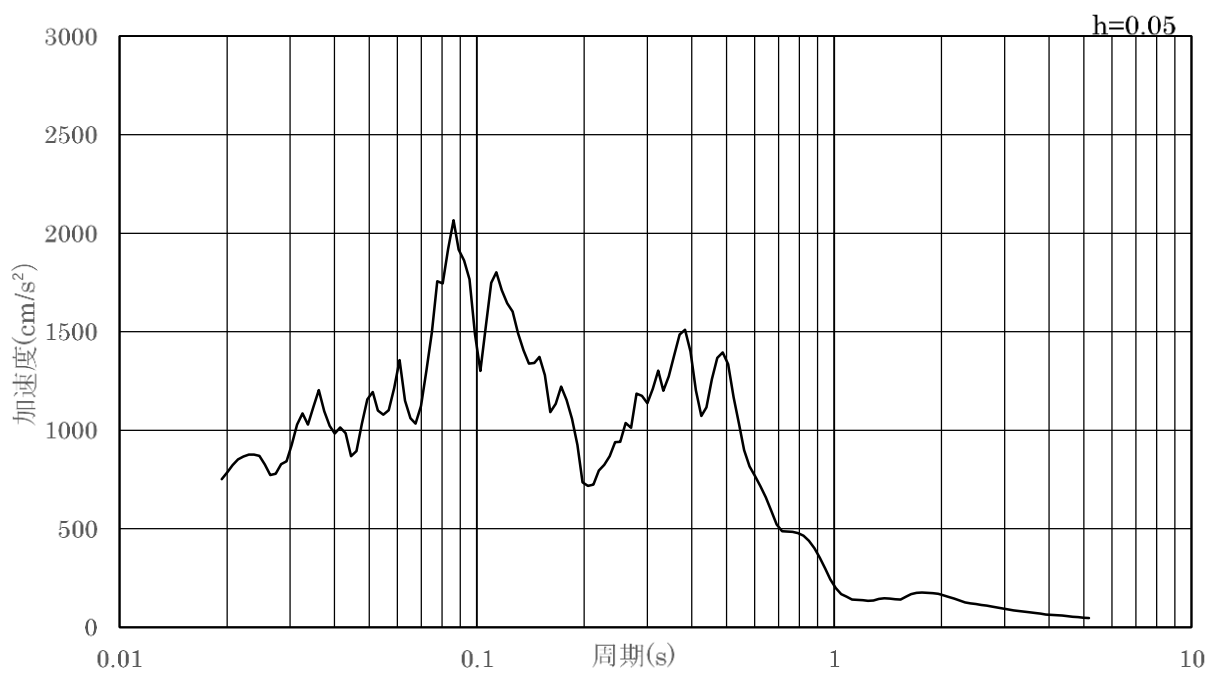


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-7 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
(鉛直成分：S s - F 1)

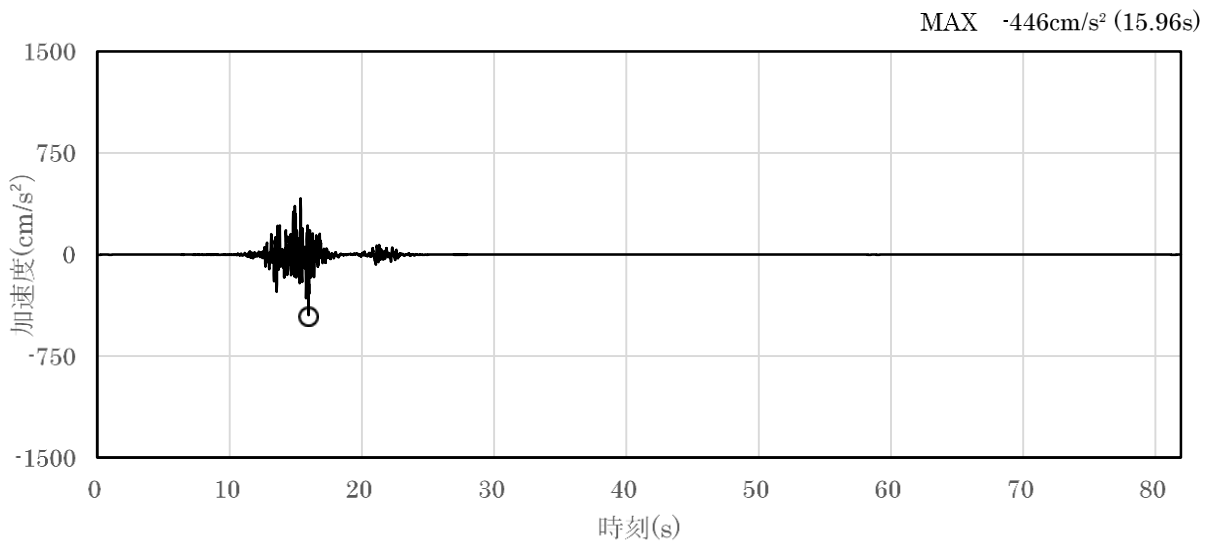


(a) 加速度時刻歴波形

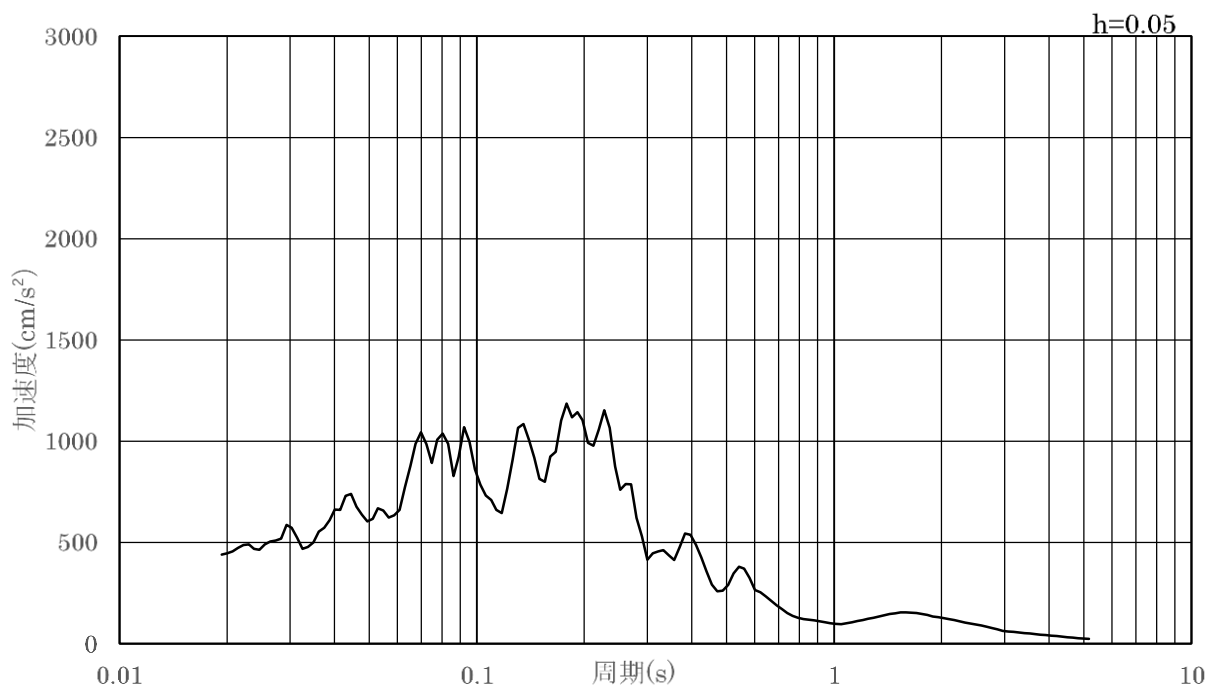


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 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)

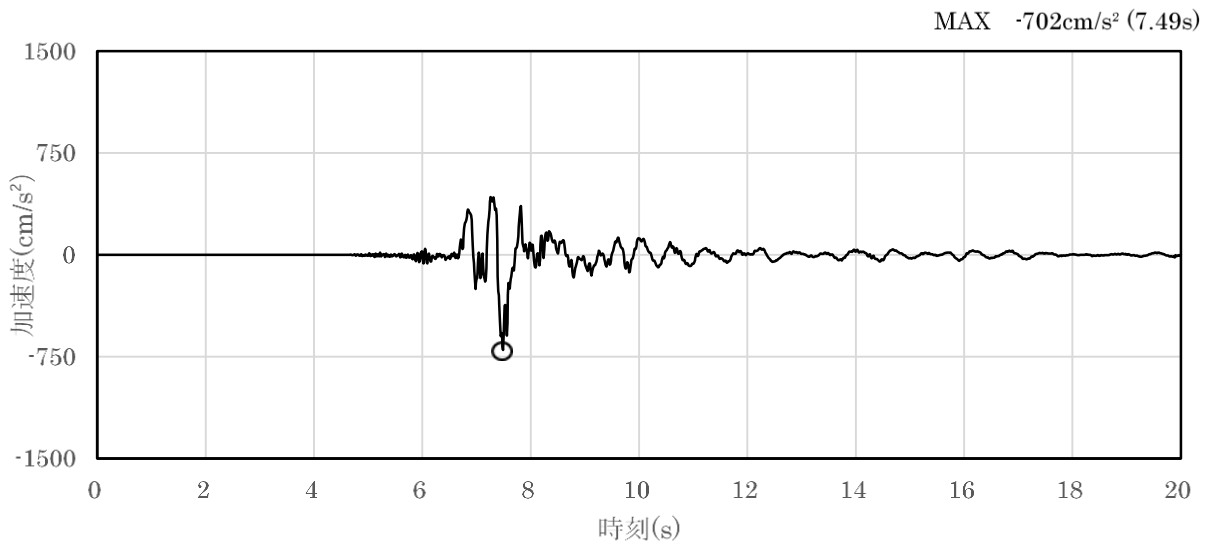


(a) 加速度時刻歴波形

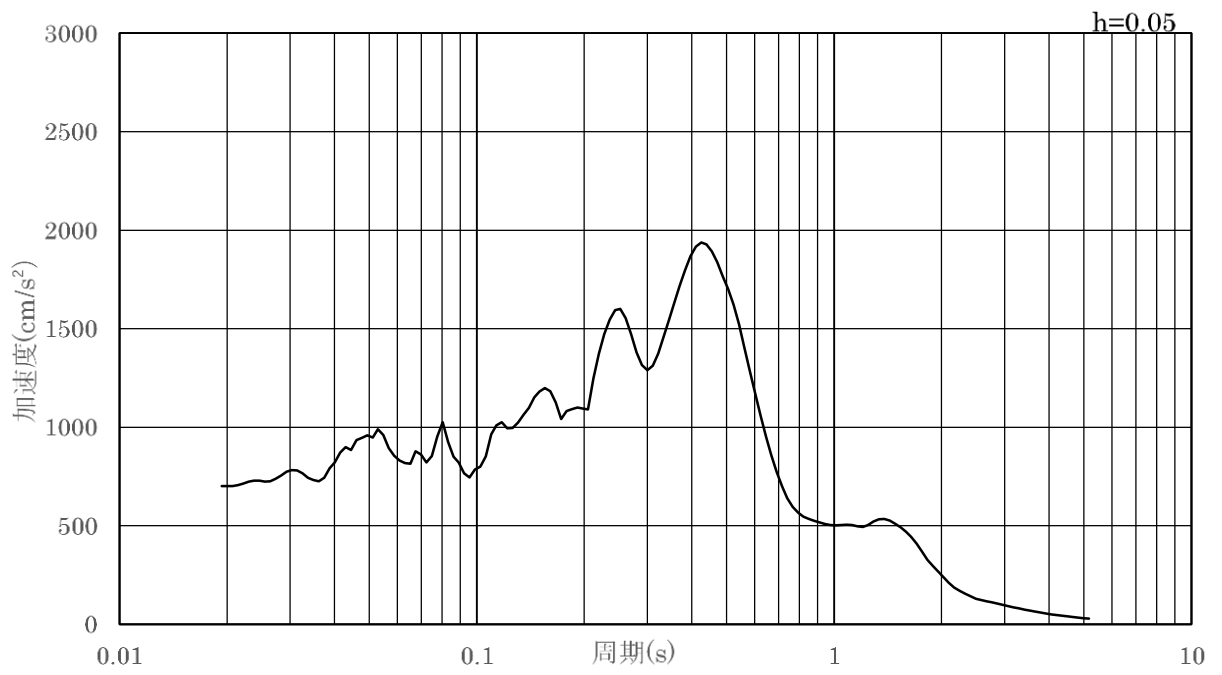


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 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
(鉛直成分：S s - F 2)

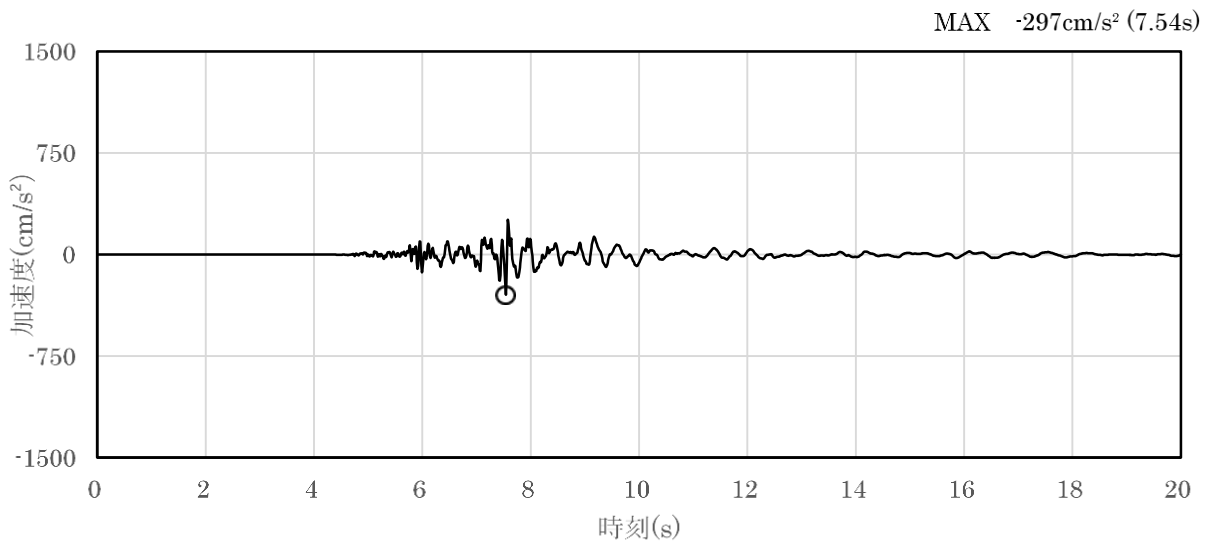


(a) 加速度時刻歴波形

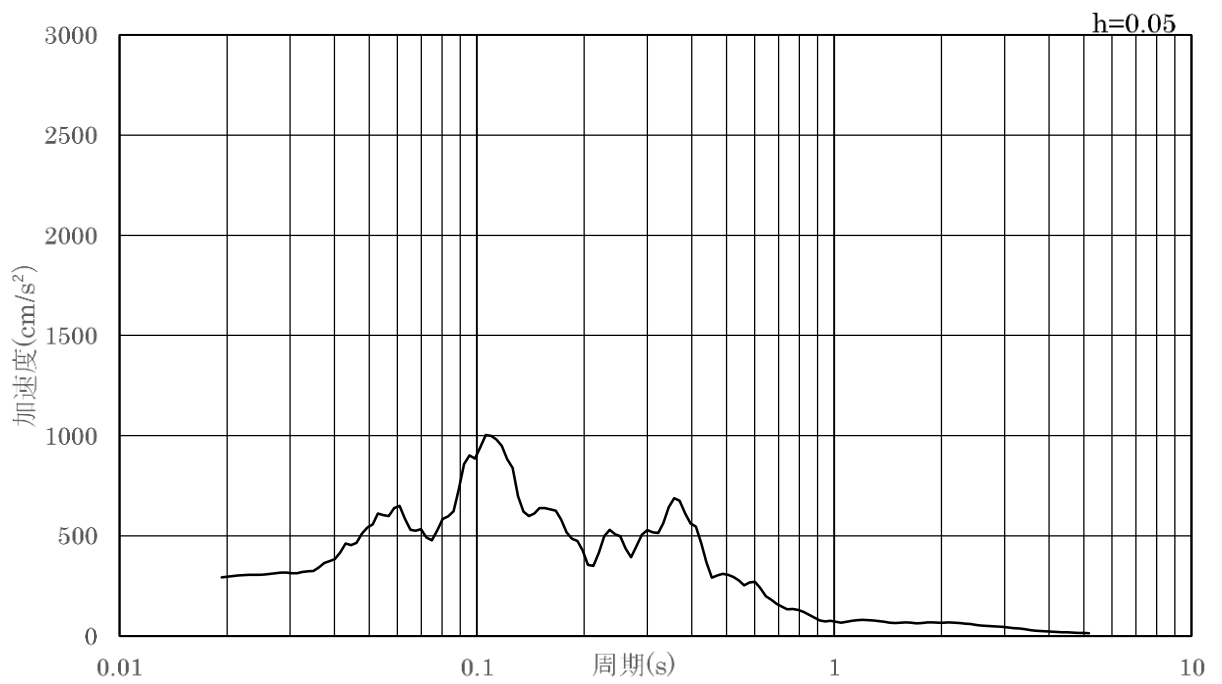


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 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 - N 1)

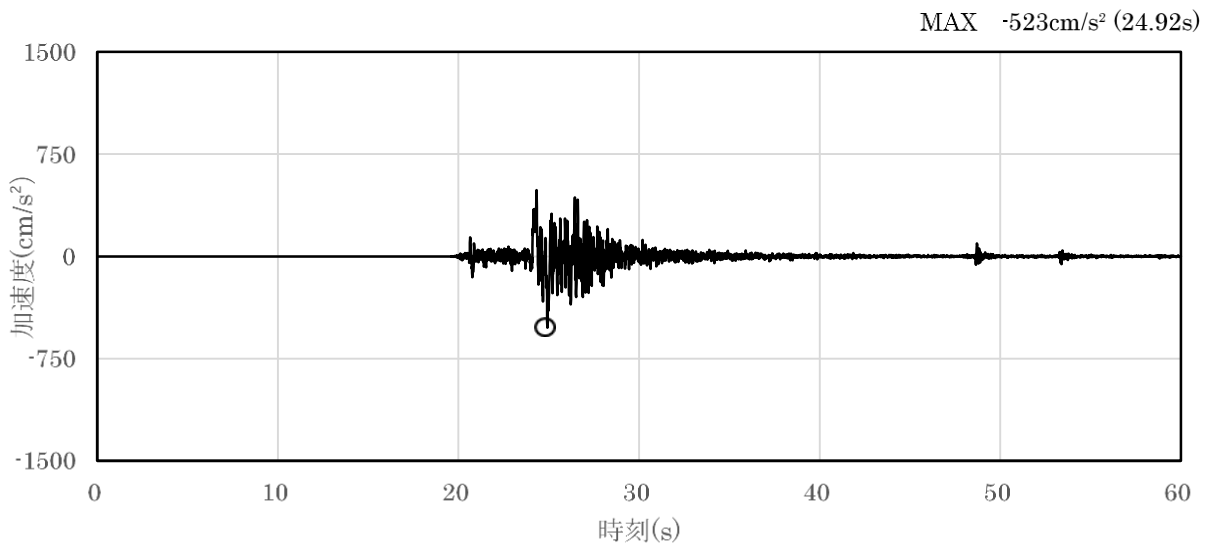


(a) 加速度時刻歴波形

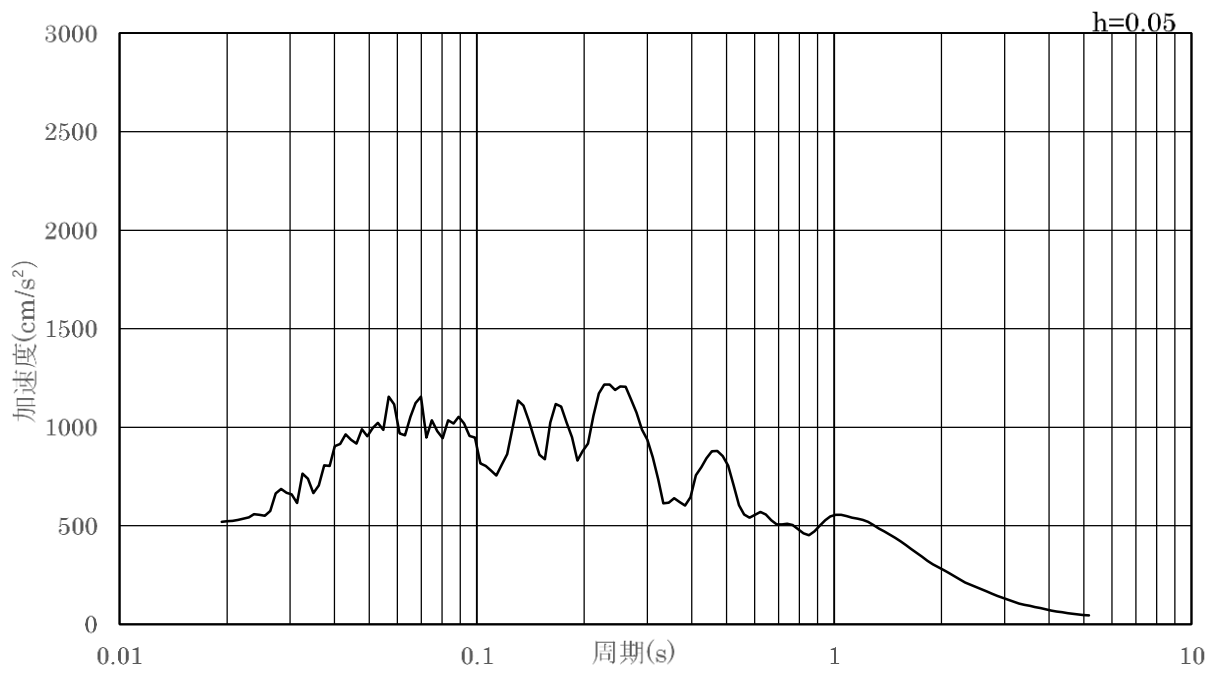


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-11 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
(鉛直成分：S s - N 1)

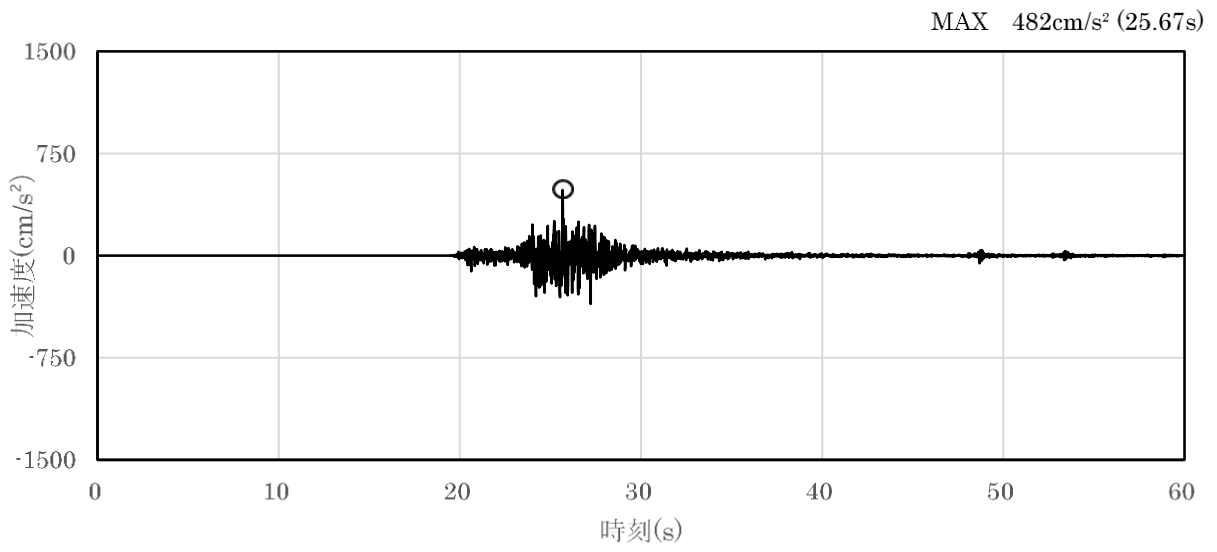


(a) 加速度時刻歴波形

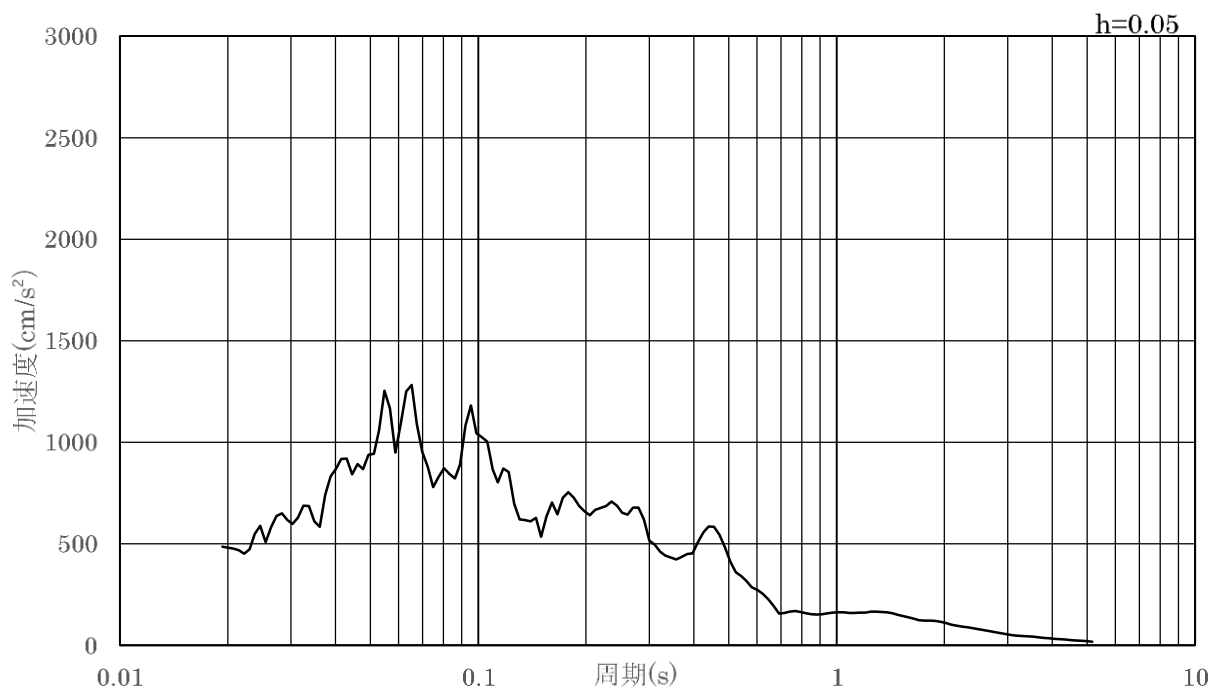


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 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 - N 2 (N S))

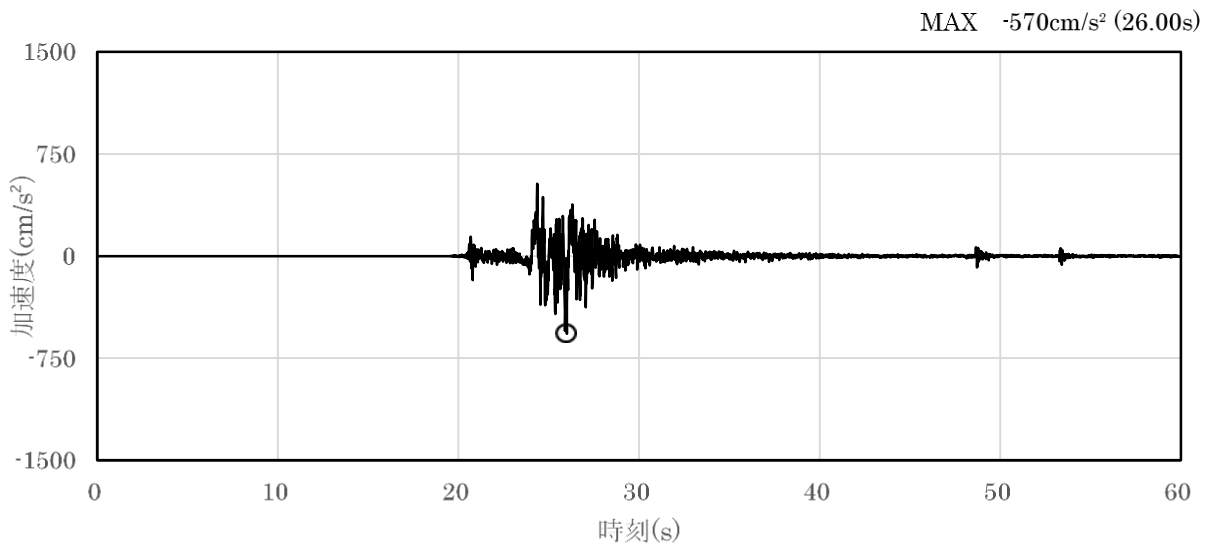


(a) 加速度時刻歴波形

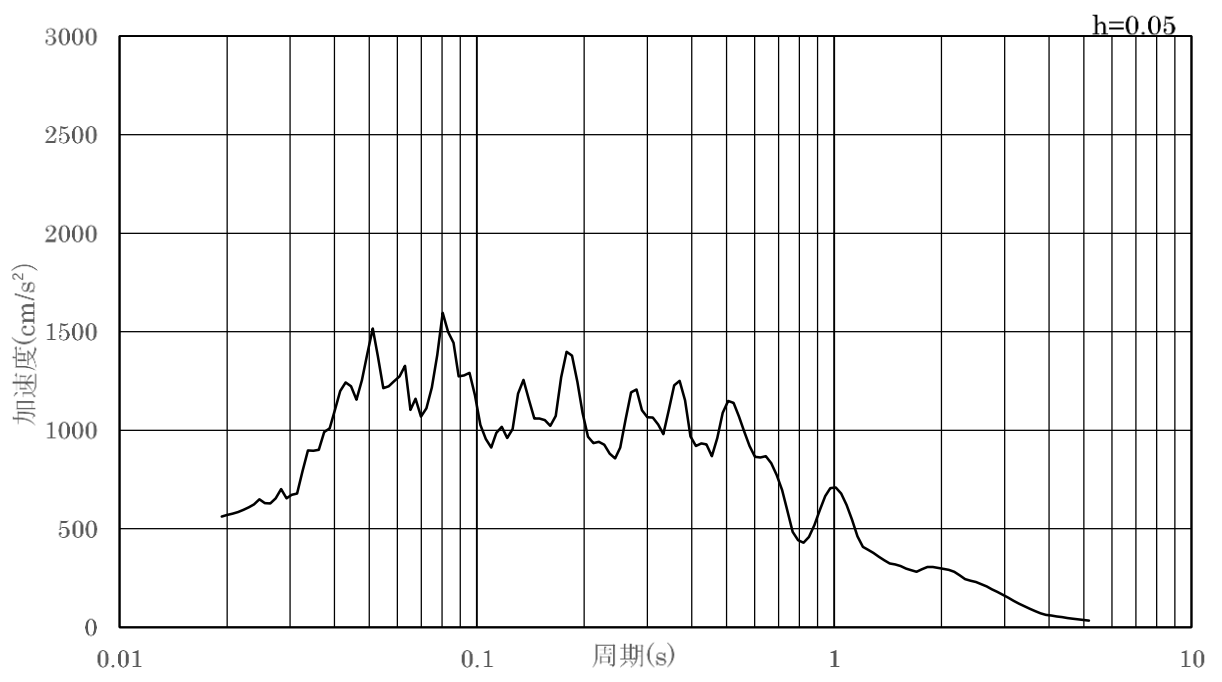


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 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
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

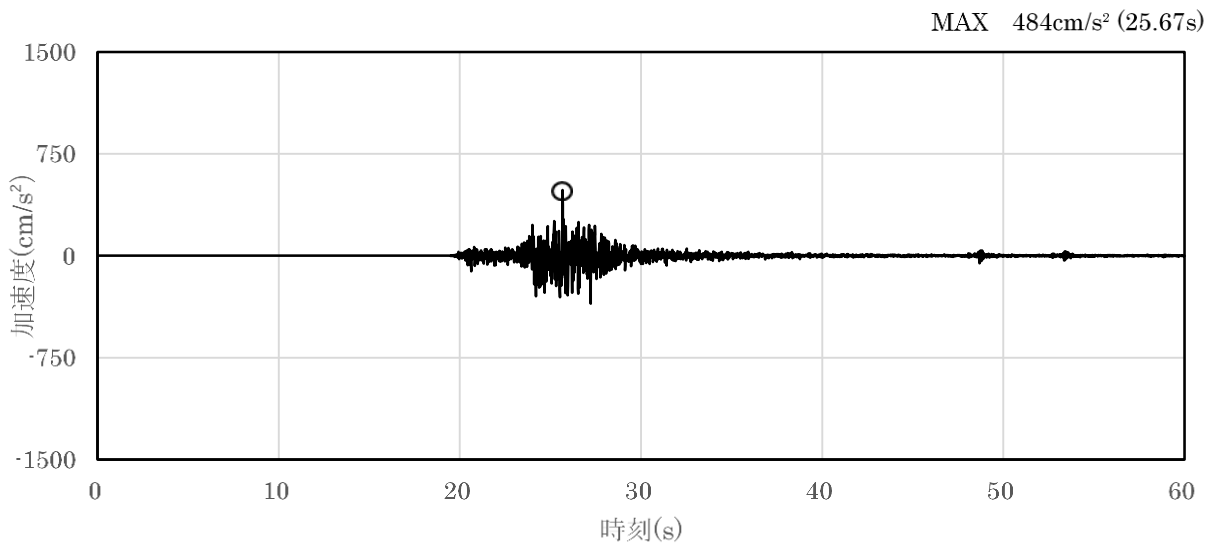


(a) 加速度時刻歴波形

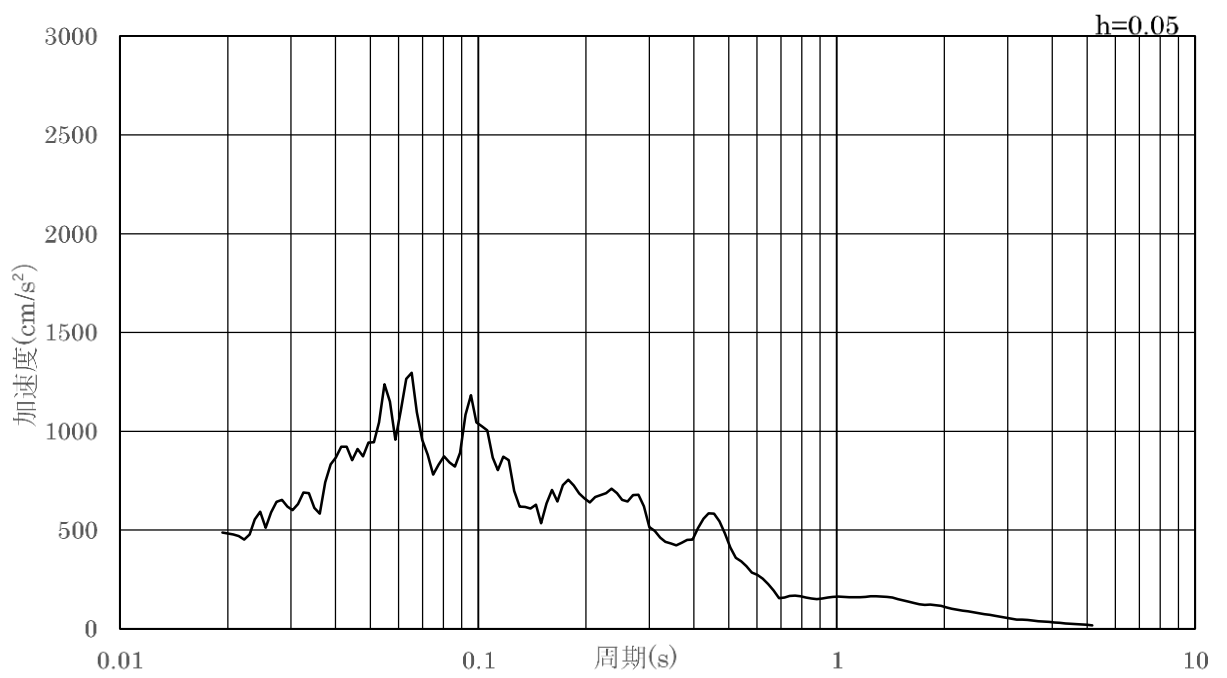


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-14 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 - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-15 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
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

4.6 解析モデル及び諸元

4.6.1 解析モデル

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析モデルを図 4-16 に示す。

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）」を参考に、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。

(2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、地震応答解析時の境界条件は、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。

(3) 構造物のモデル化

防波扉戸当り（RC支柱）、防波扉基礎スラブ及び防波扉（鋼管杭）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、漂流物対策工基礎スラブは、線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

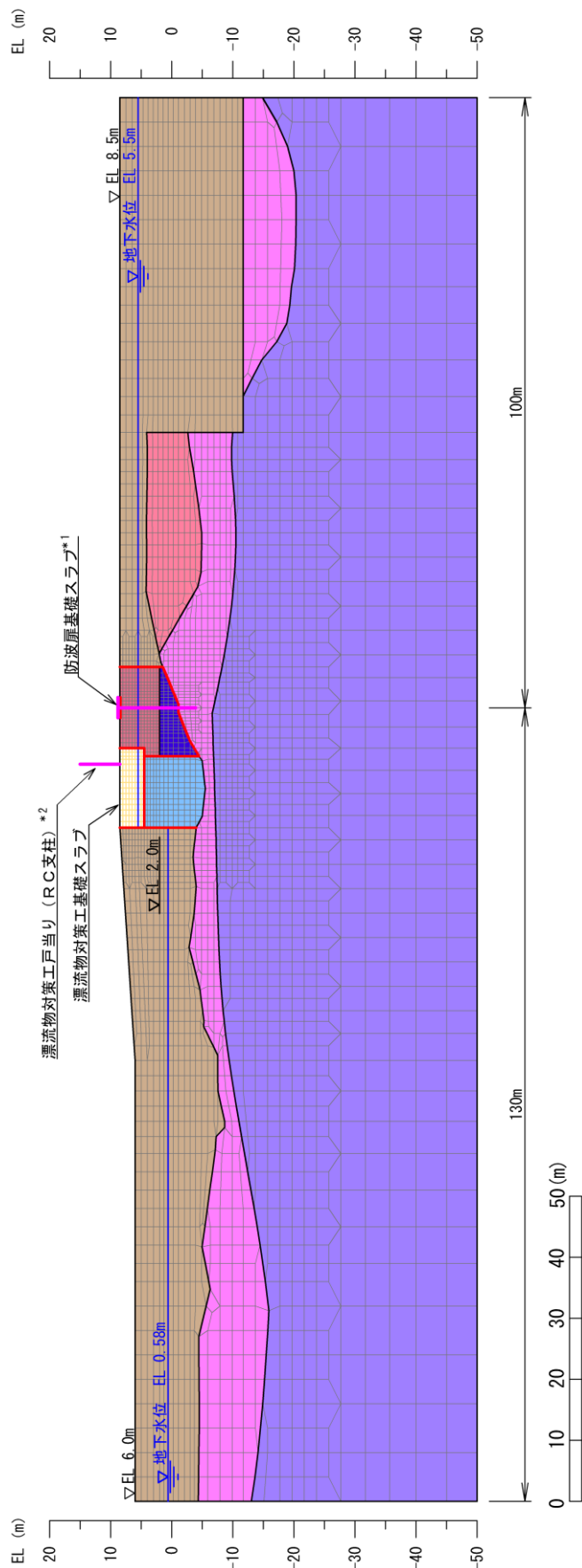
(4) 地盤のモデル化

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。

(5) ジョイント要素の設定

地震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、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）」及び「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）」に準拠して、これらの接合面にジョイント要素を設定する。



注記 * 1: 鋼管杭との接続位置において、防波扉（鋼製扉体）を付加質量として考慮する。
 * 2: 線形はり要素の上下端において、漂流物対策工（鋼製扉体）を付加質量として考慮する。

図 4-16 防波扉（荷揚場南）の解析モデル（評価対象断面）

4.6.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 4-6 に、材料の物性値を表 4-7 に示す。

表 4-6(1) 使用材料 (防波扉)

材料		諸元
防波扉戸当り (RC 支柱) 防波扉基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 24N/mm ²
防波扉 (鋼製扉体)		SM490, SS400
防波扉 (鋼管杭) *		φ 1200mm (SKK490) t=25mm

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

表 4-6(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 漂流物対策工基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 40N/mm ²
漂流物対策工 (鋼製扉体)		SBHS700, SM570

表 4-7(1) 材料の物性値 (防波扉)

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* ¹	2.5×10 ⁴ * ¹	0.2* ¹
鋼管杭	77.0* ²	2.0×10 ⁵ * ²	0.3* ²

注記*1 : コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)

*2 : 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)

表 4-7(2) 材料の物性値 (漂流物対策工)

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*	3.1×10 ⁴ *	0.2*

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

4.6.3 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用いる。

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表4-8のとおり設定する。

表 4-8 改良地盤①～③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①, ②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

4.6.4 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4-9に示す。

表 4-9 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
防波扉（荷揚場南）	漂流物対策工より陸側：EL 5.5m 漂流物対策工より海側：EL 0.58m

4.7 評価対象部位

評価対象部位は、防波扉（荷揚場南）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

4.7.1 施設・地盤の健全性評価

(1) 防波扉

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）、防波扉基礎スラブ、防波扉（鋼管杭）及び改良地盤①～③とする。

(2) 漂流物対策工

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブとする。

4.7.2 基礎地盤の支持性能評価

(1) 防波扉

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉を支持する基礎地盤（岩盤）とする。

(2) 漂流物対策工

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工を支持する基礎地盤（MMR、改良地盤及び岩盤）とする。

4.8 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。

4.8.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき、表 4-10 に示す短期許容応力度とする

表 4-10 防波扉（鋼製扉体）の許容限界(1/3)

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 σ_{ca}	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 σ_{ca}	120	180
		許容せん断応力度 τ_a	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 σ_{ca}	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_a	150	225
車輪	SCS3	許容接触応力度 p_a	640*	960
車輪軸	S45C-H	許容曲げ応力度 σ_a	245	367
		許容せん断応力度 τ_a	140	210

注記*：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づきブリネル硬さにより算出する。

表 4-10 防波扉（鋼製扉体）の許容限界(2/3)

部材		許容荷重 (kN)
車輪軸受	自動調心ころ軸受	700*

注記*：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき基本静定格荷重に安全率を考慮する。

表 4-10 防波扉（鋼製扉体）の許容限界(3/3)

部材	材質	許容応力度(N/mm ²)		短期許容 応力度(N/mm ²)
レール	SUS304N2	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	170*	255
	SM490	許容曲げ引張応力度 σ_a	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
レール(腹板)	SM490	許容支圧応力度 σ_{ba}	240	360
ロック装置	SUS630	許容曲げ応力度 σ_{ca}	360*	540
	H1150	許容せん断応力度 τ_a	207*	310
	SUS304	許容支圧応力度 σ_{ba}	150	225
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り (底面フランジ)	SS400	許容曲げ応力度 σ_{ca}	120	180
戸当り (コンクリート)	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

(2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界は，「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき，表 4-11 に示す短期許容応力度とする。

表 4-11 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界

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 ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9.0	13.5
	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，「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002 年制定）」より許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

(3) 防波扉（鋼管杭）

防波扉（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）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」を基に算出した降伏モーメント及び短期許容せん断応力度とする。表 4-12 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。

$$M_y = \left(f_y - \frac{|N|}{A} \right) Z_e$$

ここで、

M_y : 鋼管杭の降伏モーメント (kN・m)

f_y : 鋼管杭の降伏基準点 (N/mm²)

Z_e : 鋼管杭の断面係数 (mm³)

N : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A : 鋼管杭の断面積 (mm²)

表 4-12 防波扉（鋼管杭）の許容限界

杭径	杭板厚	鋼種	降伏 モーメント*2 M_y (kN・m)	短期許容 せん断応力度 τ_{sa} (N/mm ²)
φ 1.2m	25mm*1	SKK490	7960	157

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

*2：降伏モーメントは，鋼管杭に発生する軸力を考慮する。

(3) 改良地盤

改良地盤の施設・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）」を準用し、表 4-13 に改良地盤の許容限界を示す。

表 4-13 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率 F_s	1.2 以上

(4) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。基礎地盤の許容限界を表 4-14 に示す。

表 4-14 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 R_u	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	

4.8.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，表 4-15 に示す短期許容応力度とする。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(1/4)

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
	SM570	許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
		許容せん断応力度 τ_a	202 ^{*1}	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	207 ^{*1, *2}	310
		許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 σ_{ca}	225 ^{*1}	337

注記*1：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，横倒れ座屈を考慮する。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(2/4)

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
支承部 (上部支承軸)	SUS630	許容曲げ応力度 σ_a	360* ¹	540
	H1150	許容せん断応力度 τ_a	207* ¹	310
支承部 (下部支承軸)	SUS304N2	許容曲げ応力度 σ_a	170* ¹	255
		許容せん断応力度 τ_a	98* ¹	147
支承部 (下部支承軸受)	SUS630 H1150	許容接触応力度 p_a	1357* ²	2035
支承部 (浮上防止金物)	SUS304	許容曲げ応力度 σ_a	100	150
		許容せん断応力度 τ_a	60	90
	SUS304N2	許容軸方向 引張応力度 σ_{ta}	170* ¹	255
上部支承 (アンカーボルト)	S45C-H	許容軸方向 引張応力度 σ_a	245	367
下部支承 (アンカーボルト)	S45C-H	許容軸方向 引張応力度 σ_a	245	367
上部支承 (コンクリート)	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60
下部支承 (コンクリート)	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*1: 「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

*2: 「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づきブリネル硬さにより算出する。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(3/4)

部材	許容荷重 (kN)
支承部（支承軸受）	2140*

注記*：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき基本静定格荷重に安全係数を考慮し算出する。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(4/4)

部材	材質	許容応力度(N/mm ²)		短期許容 応力度(N/mm ²)
ロックビーム	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	225*	337
		許容せん断応力度 τ_a	129*	193
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 σ_{ba}	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350*	525
戸当り （コンクリート）	$f_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

(2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表4-16に示す短期許容応力度とする。

表4-16 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界

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} =40N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	
許容せん断応力度 τ_{a1}		0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

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

4.8.3 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」に基づき設定する。基礎地盤の許容限界を表4-17に示す。

表4-17 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 R_u	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4
支圧強度 f'_a	MMR		18.0

4.9 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示すとおり、防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震計算に用いる設計震度は、防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）設置位置の最大応答加速度に基づき設定した。

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-18 に示す。

表 4-18 防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価に用いる設計用地震力

名称	設計震度	
	水平方向： k_H	鉛直方向： k_V
防波扉（鋼製扉体）	2.4	1.3
漂流物対策工（鋼製扉体）		

4.10 評価方法

防波扉（荷揚場南）の耐震評価のうち、防波扉（鋼製扉体）、漂流物対策工（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）については、構成する各部材に発生する発生応力度又は作用荷重を算定式より算出し、「4.8 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。

また、防波扉（鋼管杭）、防波扉基礎スラブ、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブ、改良地盤及び基礎地盤は、2次元有限要素法より算定した発生応力度又は発生断面力が「4.8 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。2次元有限要素法における応力算定には、解析コード「RC断面計算」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。

4.10.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

a. 主横桁

主横桁は、戸当たりとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁の評価対象部を図 4-17 に、主横桁の評価イメージ図を図 4-18 に示す。

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2\left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4}\right)$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W')L$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)

σ : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 主横桁に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)

L₁ : 主横桁の水密幅 (m)

L : 主横桁の支間長 (m)

a : 主横桁の張出長さ (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm³)

A_w : 主横桁腹板の断面積 (mm²)

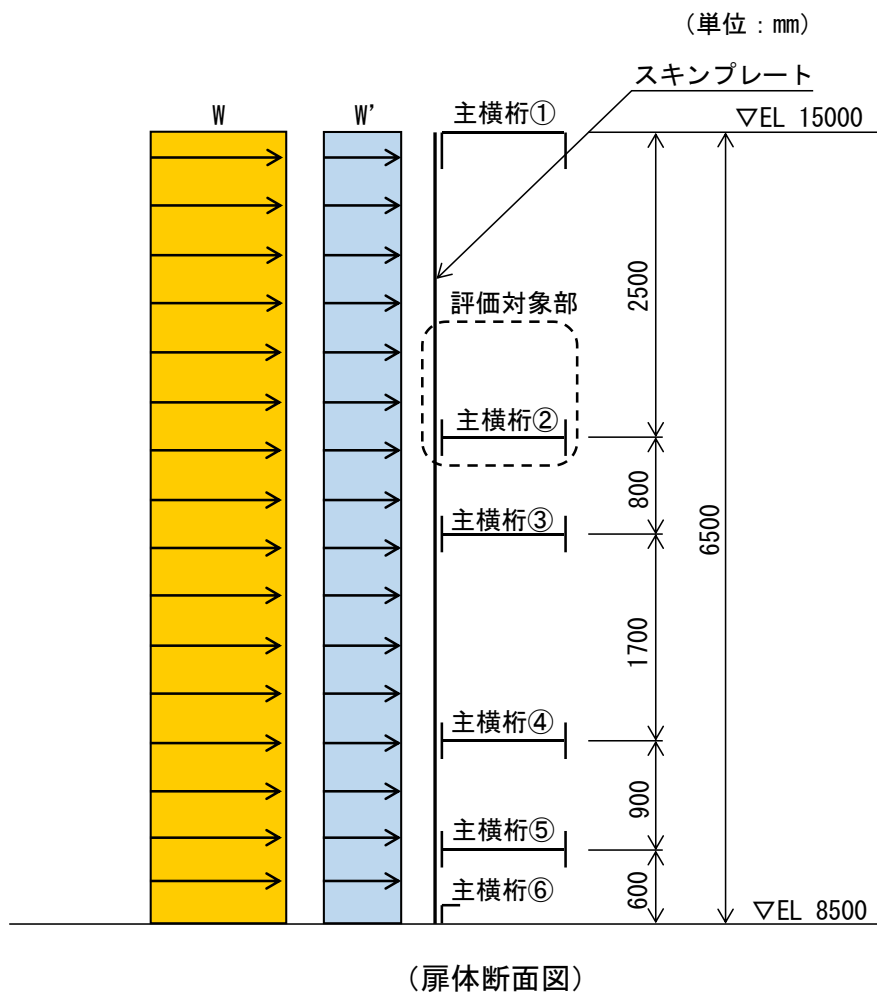


図 4-17 主横桁の評価対象部

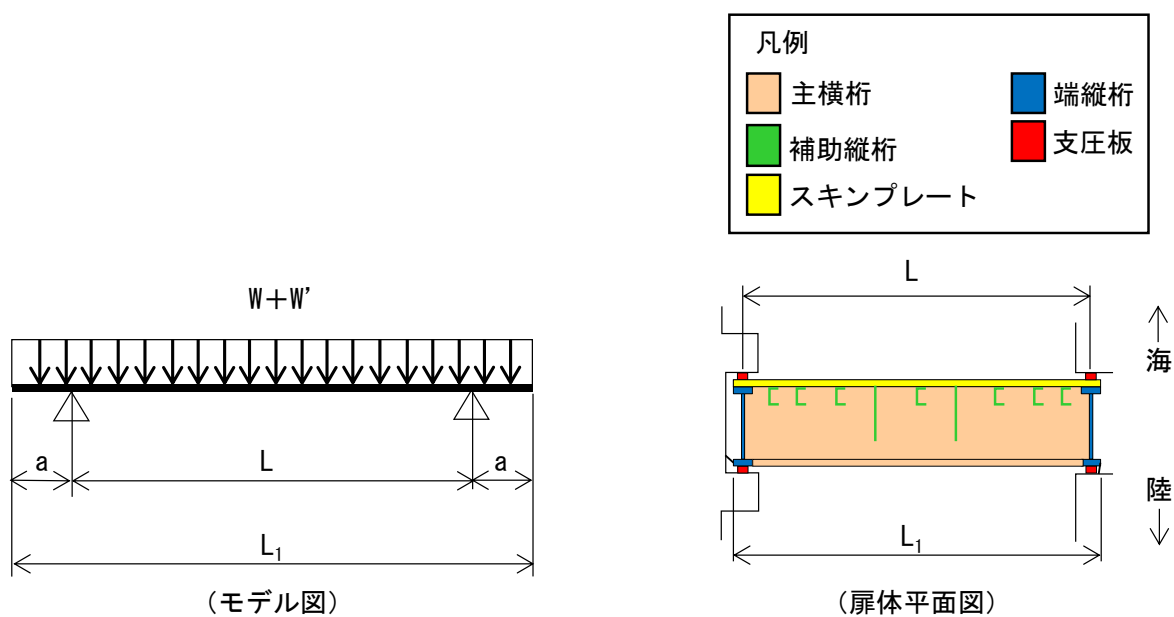


図 4-18 主横桁の評価イメージ図

b. 補助縦桁

補助縦桁は、両端をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の評価イメージ図を図 4-19 に示す。

$$M = \frac{P \cdot m}{24} (3 \cdot l^2 - m^2)$$

$$S = \frac{P \cdot m}{2} \left(1 - \frac{m}{2}\right)$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

σ : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

P : 補助縦桁に作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重) (kN/m²)

l : 主横桁間隔 (m)

m : 補助縦桁間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_w : 補助縦桁腹板の断面積 (mm²)

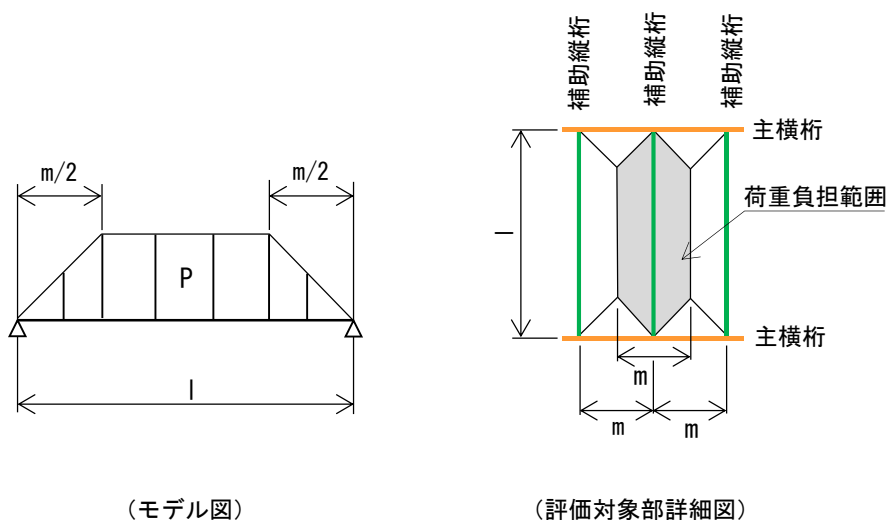


図 4-19 補助縦桁の評価イメージ図

c. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図4-20に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_s \quad \text{ただし, } A_q \leq 1.7A_s$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_s = b_s \cdot t_s \quad (\text{主横桁腹板})$$

ここで、

σ_c : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

R : 端縦桁に生じる支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効断面積 (mm²)

A_w : 端縦桁腹板の有効断面積 (mm²)

A_s : 主横桁腹板の有効断面積 (mm²)

b_w : 端縦桁腹板の長さ (mm)

t_w : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

b_s : 主横桁腹板の長さ (mm)

t_s : 主横桁腹板の厚さ (mm)

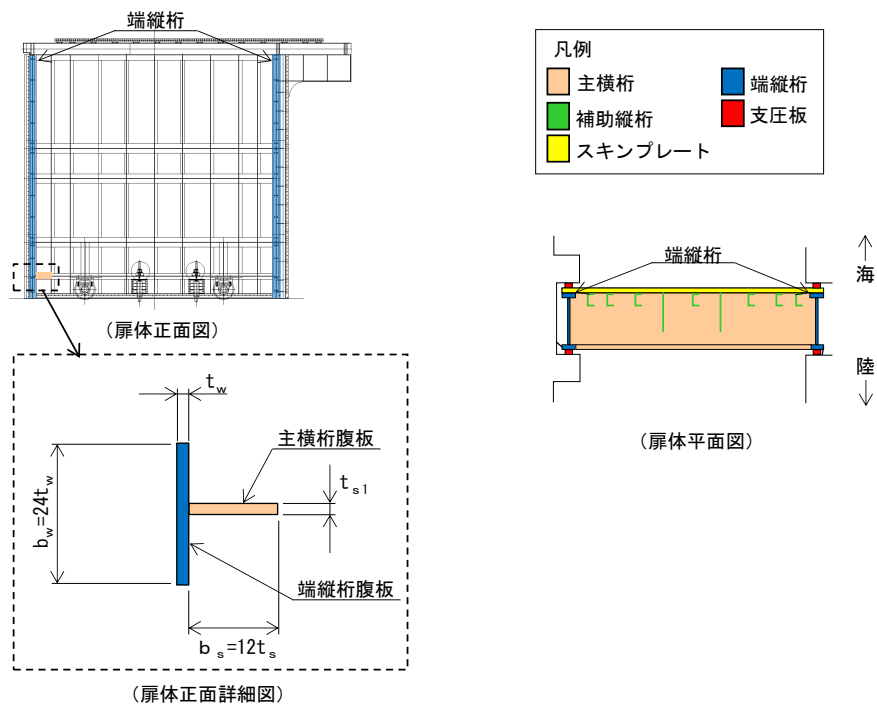


図4-20 端縦桁の評価イメージ図

d. 車輪，車輪軸及び車輪軸受

車輪は，地震時荷重が作用することで車輪に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

車輪軸は，車輪をピン固定とする単純はりモデル化し，車輪軸受より伝達される地震時荷重が作用することで車輪軸に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

車輪軸受は，車輪軸受に作用する地震時荷重が許容限界以下であることを確認する。

車輪，車輪軸及び車輪軸受の評価イメージ図を図4-21に示す。

(a) 車輪

$$R_1 = \frac{FL_2}{2L}$$

$$R_2 = \frac{FL_1}{2L}$$

$$p = 0.591 \sqrt{\frac{P_r E_1 E_2}{B_0 R (E_1 + E_2)}}$$

$$C = 1.080 \sqrt{\frac{P_r R (E_1 + E_2)}{B_0 E_1 E_2}}$$

ここで，

R_1 ：海側車輪に作用する荷重（kN）

R_2 ：陸側車輪に作用する荷重（kN）

p ：接触面圧応力度（N/mm²）

F ：防波扉（鋼製扉体）に作用する地震時荷重

（扉体自重＋積雪荷重＋地震時慣性力）（kN）

L ：車輪荷重の作用位置（m）

L_1 ：海側車輪荷重の作用位置（m）

L_2 ：陸側車輪荷重の作用位置（m）

P ：車輪に作用する荷重（＝ R_1 ）（N）

E_1 ：車輪の弾性係数（N/mm²）

E_2 ：レールの弾性係数（N/mm²）

B ：車輪有効踏面幅（mm）

R ：車輪半径（mm）

C ：接触幅の1/2（mm）

(b) 車輪軸

$$M = R_1 L_3$$

$$S = R_1$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{4S \cdot 10^3}{3A}$$

ここで,

M : 車輪軸に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 車輪軸に生じるせん断力 (kN)

σ : 車輪軸に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 車輪軸に生じるせん断応力度 (N/mm²)

R_1 : 海側車輪に作用する荷重 (kN)

L_3 : 張出長さ (m)

Z : 車輪軸の断面係数 (mm³)

A : 車輪軸の断面積 (mm²)

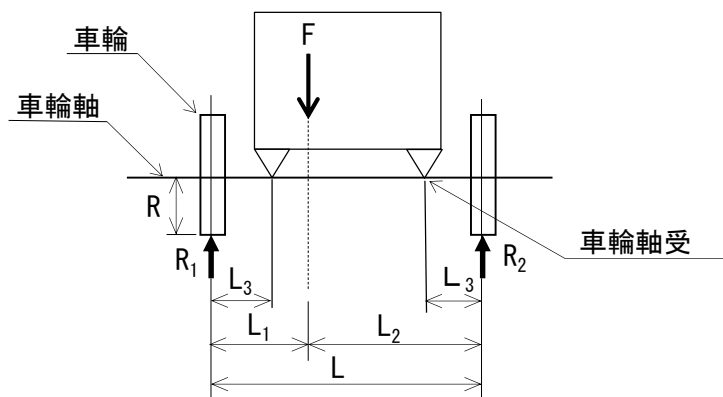
(c) 車輪軸受

$$R_a = R_1$$

ここで,

R_a : 車輪軸受に作用する荷重 (kN)

R_1 : 海側車輪に作用する荷重 (kN)



(扉体側面図)

図 4-21 車輪, 車輪軸及び車輪軸受の評価イメージ図

e. レール

レール及びレール（腹板）は、両端をピン固定とする単純はりでモデル化し、車両荷重が作用することでレール及びレール（腹板）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

レール及びレール（腹板）の評価イメージ図を図 4-22 に示す。

(a) レール

$$M = \frac{R_1 \cdot L_M}{4}$$

$$S = R_1$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot 10^6}{Z_2}$$

$$\sigma_t = \frac{M \cdot 10^6}{Z_1}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : レールに生じる曲げモーメント (kN・m)

S : レールに生じるせん断力 (kN)

σ_c : レールに生じる曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

σ_t : レールに生じる曲げ引張応力度 (N/mm²)

τ : レールに生じるせん断応力度 (N/mm²)

R_1 : 海側車輪に作用する荷重 (kN)

L_M : レール基礎材間隔 (m)

Z_1 : レールの引張側断面係数 (mm³)

Z_2 : レールの圧縮側断面係数 (mm³)

A_w : レール（腹板）の断面積 (mm²)

(b) レール（腹板）

$$\sigma_b = \frac{R_1 \cdot 10^3}{b_p t_w}$$

$$b_p = 2C + 2t_f$$

ここで、

σ_b : レール（腹板）に生じる支圧応力度 (N/mm²)

b_p : レール（腹板）の受圧幅 (mm)

R_1 : 海側車輪に作用する荷重 (kN)

t_w : レール（腹板）の厚さ (mm)

C : 接触幅の 1/2 (mm)

t_f : レール踏面板の厚さ (mm)

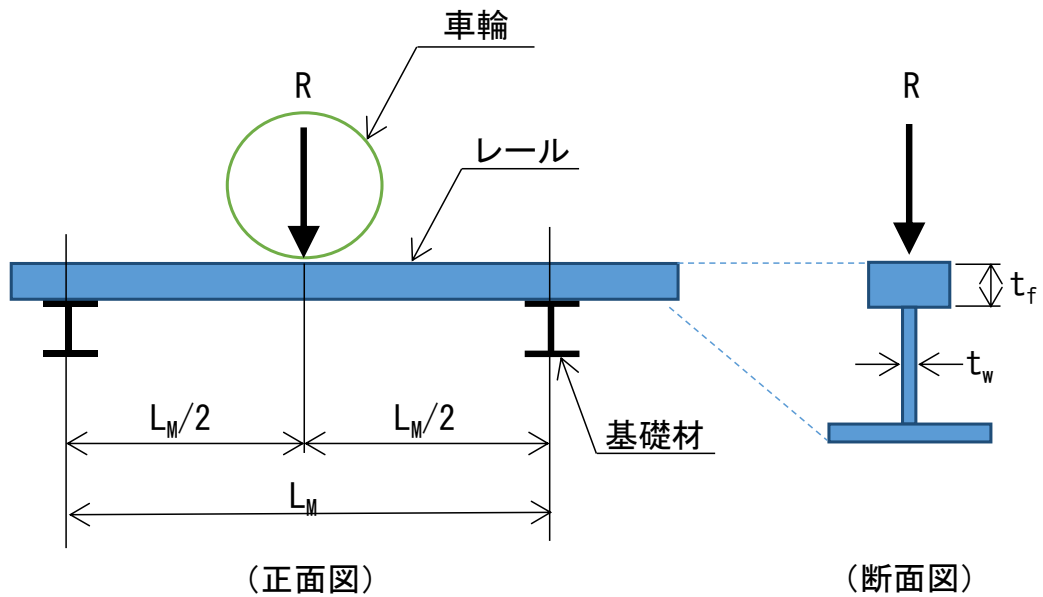


図 4-22 レール及びレール（腹板）の評価イメージ図

f. ロック装置

ロック装置は、片持ちはりでモデル化し、地震時荷重が作用することでロックピンに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

ロック装置の評価イメージ図を図 4-23 に示す。

$$P = \frac{F_h}{n}$$

$$M = PL$$

$$S = P$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{P \cdot 10^3}{bh}$$

ここで、

P : ロックピンに作用する荷重 (kN)

M : ロックピンに生じる曲げモーメント (kN・m)

S : ロックピンに生じるせん断力 (kN)

σ : ロックピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : ロックピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

σ_b : ロックピンに生じる支圧応力度 (N/mm²)

F_h : ロックピンに作用する地震時慣性力 (kN)

n : ロックピン数 (本)

L : ロックピンの突出長さ (m)

Z : ロックピンの断面係数 (mm³)

A : ロックピンのせん断面積 (mm²)

b : ロックピン受圧幅 (mm)

h : ロックピン受圧長さ (mm)

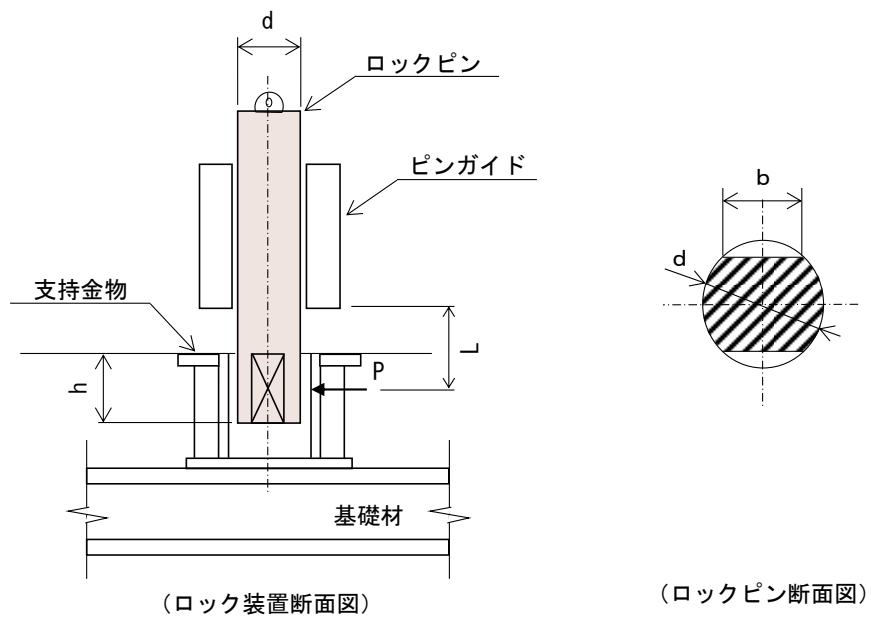


図 4-23 ロック装置の評価イメージ図

g. 支圧板

支圧板は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される地震時荷重が作用することで支圧板に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の評価イメージ図を図 4-24 に示す。

$$\sigma_p = \frac{P \cdot 10^3}{2CL}$$

ここで、

σ_p : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm²)

P : 支圧板に作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重) (kN)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

L : 防波扉 (鋼製扉体) の高さ (mm)

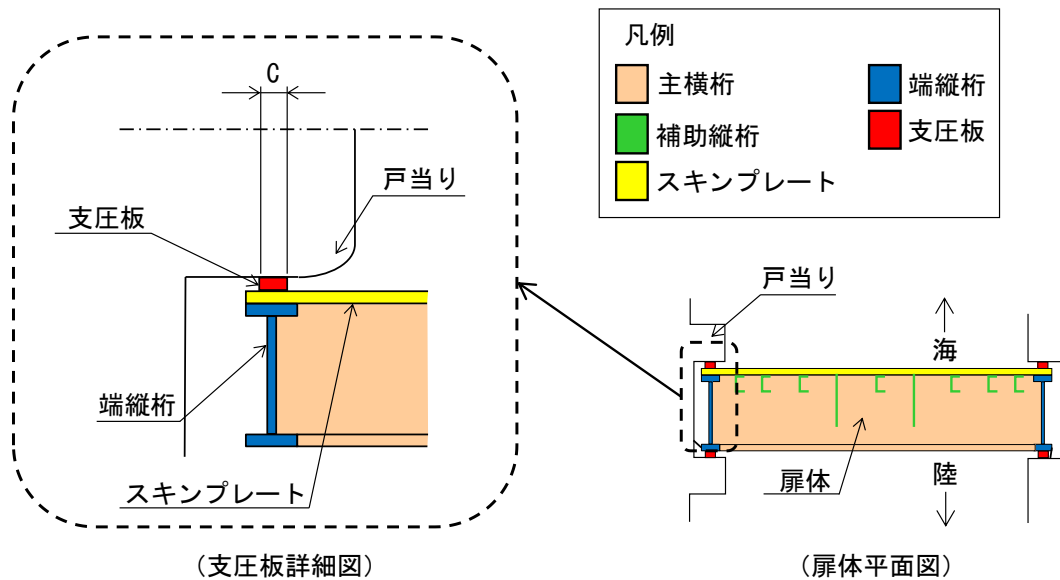


図 4-24 支圧板の評価イメージ図

h. 戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）

戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される地震時荷重が作用することで戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお、戸当りは、陸側及び海側に設置されるが、地震時荷重の作用面積が小さい海側の戸当りの評価を実施する。

戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）の評価イメージ図を図4-25に示す。

(a) 戸当り（底面フランジ）

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2}$$

$$M_f = \frac{\sigma_{cb} b_f^2}{8}$$

ここで、

σ_f : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げ応力度（N/mm²）

M_f : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げモーメント（N・mm/mm）

σ_{cb} : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度（N/mm²）

b_f : 戸当り（底面フランジ）の幅（mm）

t_f : 戸当り（底面フランジ）の厚さ（mm）

(b) 戸当り（コンクリート）

$$\sigma_{cb} = \frac{P \cdot 10^3}{2b_f L}$$

$$\tau_c = \frac{P \cdot 10^3}{2\sum lL}$$

ここで、

σ_{cb} : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度（N/mm²）

τ_c : 戸当り（コンクリート）に生じるせん断応力度（N/mm²）

P : 戸当りに作用する地震時荷重（地震時慣性力＋風荷重）（kN）

b_f : 戸当り（底面フランジ）の幅（mm）

L : 防波扉（鋼製扉体）の高さ（mm）

$\sum l$: せん断抵抗長さ（= $l_1 + 2l_2$ ）（mm）

l_1 : 戸当りの埋込深さ（mm）

l_2 : 戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ（mm）

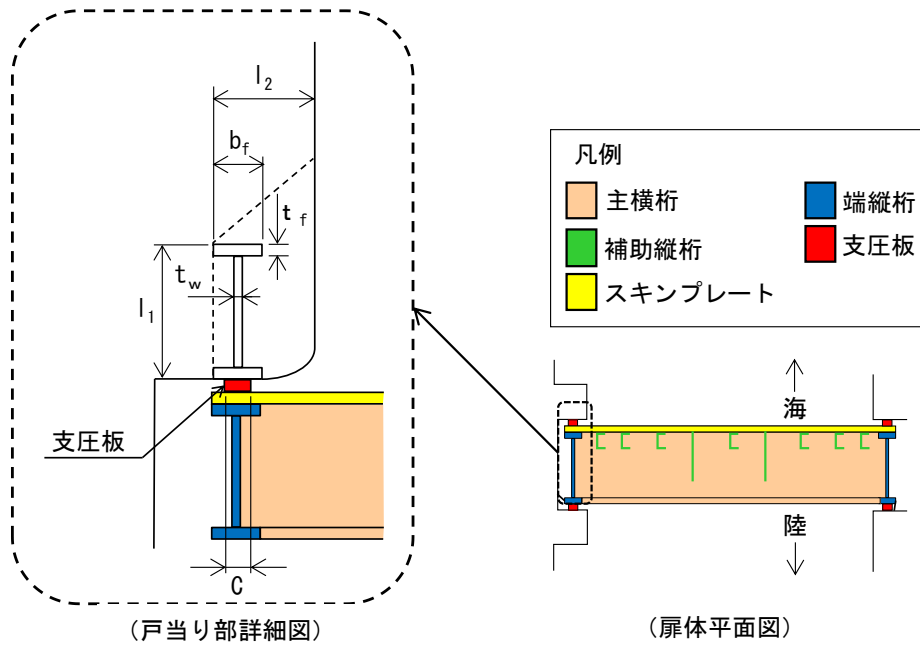


図 4-25 戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）の評価イメージ図

(2) 防波扉戸当り (RC支柱)

防波扉戸当り (RC支柱) は、防波壁を支点とした片持ちはりでモデル化し、地震時荷重が作用することで防波扉戸当り (RC支柱) に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお、防波扉戸当り (RC支柱) は、陸側及び海側に設置されるが、荷重の作用面積が小さい海側の戸当りについて評価を実施する。

防波扉戸当り (RC支柱) の位置図を図 4-26 に示す。

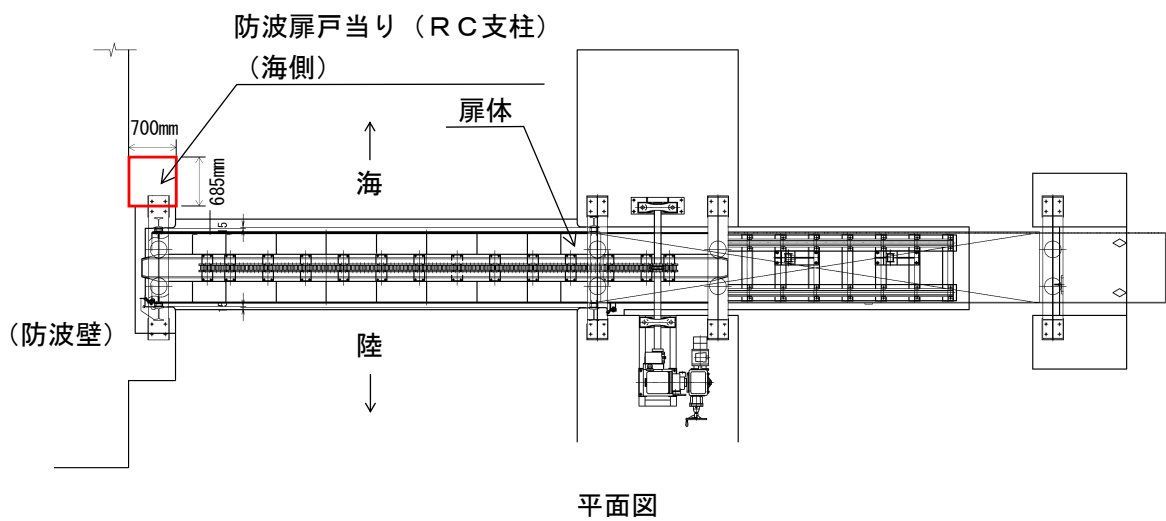


図 4-26 防波扉戸当り (RC支柱) の位置図

(3) 防波扉基礎スラブ

防波扉基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(4) 防波扉（鋼管杭）

鋼管杭の評価は、鋼管杭の曲げモーメント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。

a. 曲げ照査

防波扉（鋼管杭）の発生曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。

b. せん断照査

防波扉（鋼管杭）の発生せん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

(5) 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤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。

すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」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。

(6) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、鋼管杭下端部の軸力を用いて次式により算定される軸応力度が基礎地盤の許容限界以下であることを確認する。

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

ここで、

R_d : 鋼管杭下端の軸力より算定される軸応力度 (N/mm²)

N : 鋼管杭下端に発生する軸力 (N)

A' : 鋼管杭下端の断面積 (mm²)

4.10.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

a. 主横桁

主横桁（最下段）は、戸当たりとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁（最上段）は、保守的に片持ちはりでモデル化し、主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁の評価対象部を図 4-27 に、主横桁の評価イメージ図を図 4-28 に示す。

(a) 主横桁（最下段）

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W')L$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁（最下段）に生じる曲げモーメント（kN・m）

S : 主横桁（最下段）に生じるせん断力（kN）

σ : 主横桁（最下段）に生じる曲げ応力度（N/mm²）

τ : 主横桁（最下段）に生じるせん断応力度（N/mm²）

W : 主横桁に作用する地震時慣性力（kN/m）

W' : 主横桁に作用する風荷重（kN/m）

a : 主横桁の張出長さ（m）

L : 主横桁の支間長（m）

L₁ : 主横桁の水密幅（m）

Z : 主横桁の断面係数（mm³）

A_w : 主横桁腹板の断面積（mm²）

(b) 主横桁（最上段）

$$M' = \frac{1}{2}(W + W')L'^2$$

$$S' = \frac{1}{2}(W + W')L'$$

$$\sigma' = \frac{M' \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau' = \frac{S' \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M' : 主横桁（最上段）に生じる曲げモーメント（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）

S' : 主横桁（最上段）に生じるせん断力（ kN ）

σ' : 主横桁（最上段）に生じる曲げ応力度（ N/mm^2 ）

τ' : 主横桁（最上段）に生じるせん断応力度（ N/mm^2 ）

W : 主横桁に作用する地震時慣性力（ kN/m ）

W' : 主横桁に作用する風荷重（ kN/m ）

L' : 主横桁の突出長さ（ m ）

Z : 主横桁の断面係数（ mm^3 ）

A_w : 主横桁腹板の断面積（ mm^2 ）

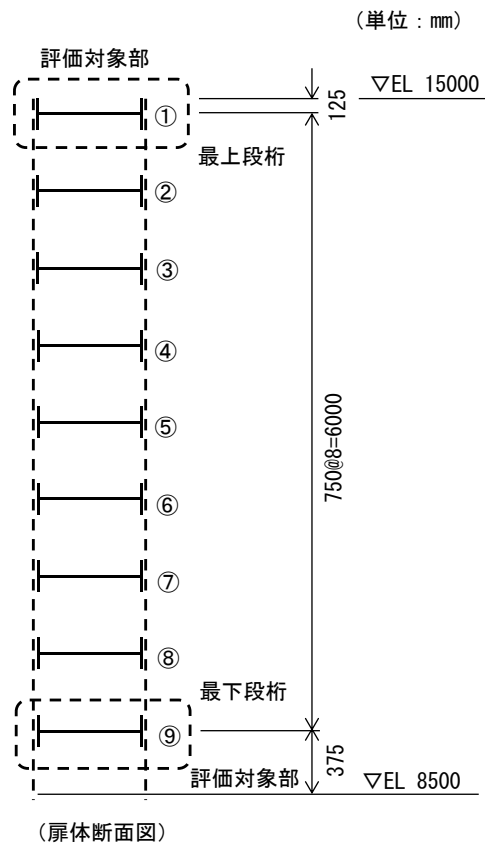


図 4-27 主横桁の評価対象部

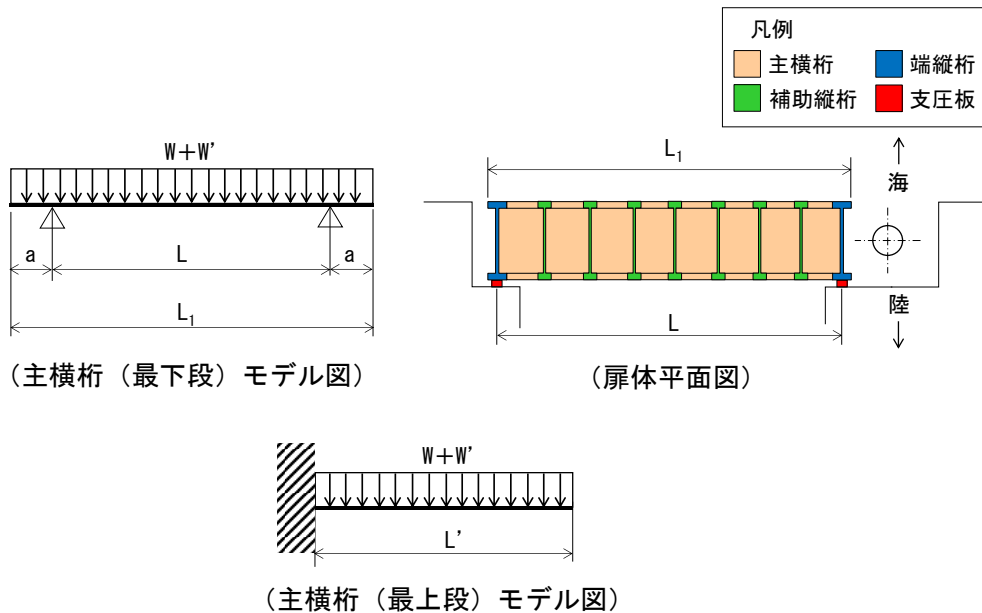


図 4-28 主横桁の評価イメージ図

b. 張出桁

張出桁は、片持ちはりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで張出桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

張出桁の評価イメージ図を図4-29に示す。

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L^2$$

$$S = (W + W')L$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 張出桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 張出桁に生じるせん断力 (kN)

σ : 張出桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 張出桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 張出桁に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W' : 張出桁に作用する風荷重 (kN/m)

L : 張出長さ (m)

Z : 張出桁の断面係数 (mm³)

A_w : 張出桁腹板の断面積 (mm²)

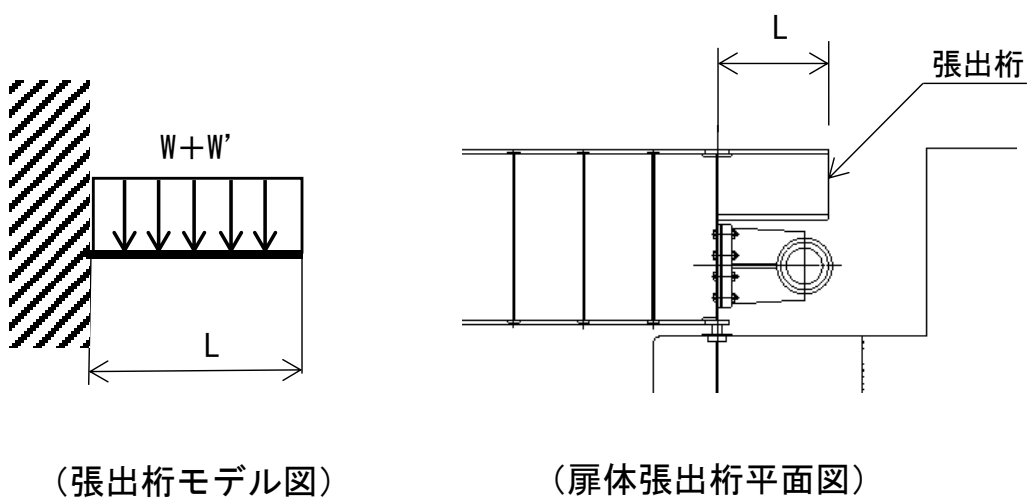


図4-29 張出桁の評価イメージ図

c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の評価イメージ図を図 4-30 に示す。

$$M = \frac{1}{8}(W + W')l^2$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W') l$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

σ : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

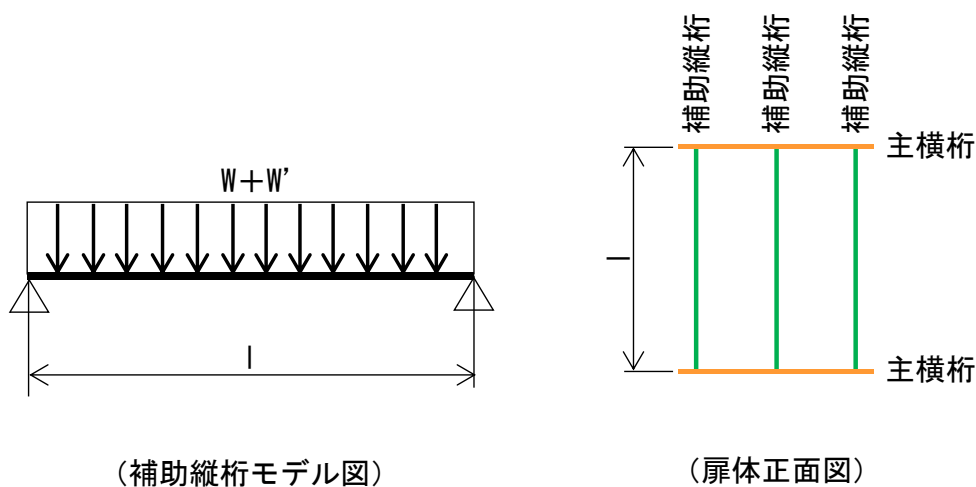
W : 補助縦桁に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W' : 補助縦桁に作用する風荷重 (kN/m)

l : 主横桁の間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_w : 補助縦桁腹板の断面積 (mm²)



(補助縦桁モデル図)

(扉体正面図)

図 4-30 補助縦桁の評価イメージ図

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図 4-31 に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2} \quad \text{ただし, } A_q \leq 1.7 (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

ここで、

σ_c : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

R : 主横桁に生じる支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効断面積 (mm²)

A_w : 端縦桁腹板の有効断面積 (mm²)

A_{s1} : 主横桁腹板の有効断面積 (mm²)

A_{s2} : スチフナの有効断面積 (mm²)

b_w : 端縦桁腹板の長さ (mm)

t_w : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

b_{s1} : 主横桁腹板の長さ (mm)

t_{s1} : 主横桁腹板の厚さ (mm)

b_{s2} : スチフナの長さ (mm)

t_{s2} : スチフナの厚さ (mm)

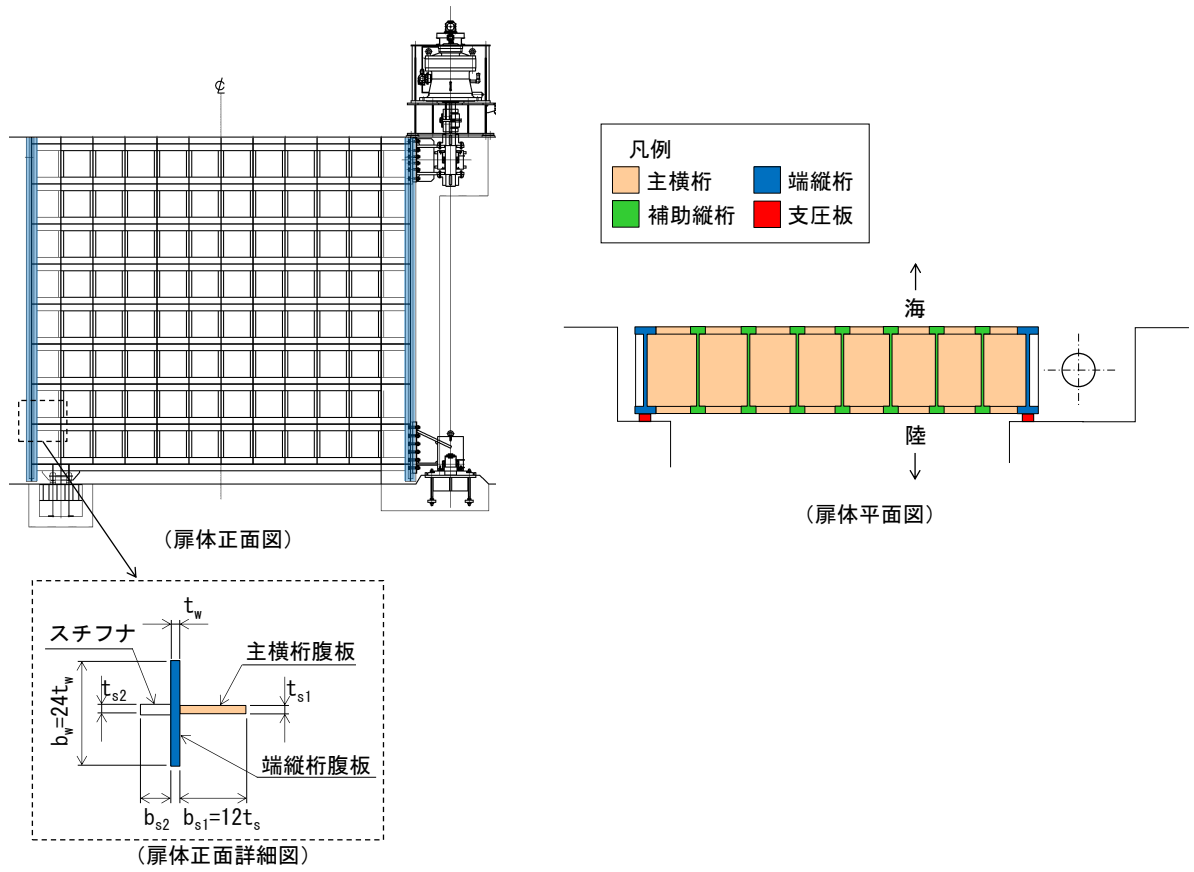


図 4-31 端縦桁の評価イメージ図

e. 支承部

支承部は、水平方向及び鉛直方向の地震荷重が作用することで支承部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

水平方向及び鉛直方向の地震荷重の組合せは、組合せ係数法により以下のとおり設定する。

組合せ①： $1.0 \times$ 水平方向の地震荷重 $+ 0.4 \times$ 鉛直方向の地震荷重

組合せ②： $0.4 \times$ 水平方向の地震荷重 $+ 1.0 \times$ 鉛直方向の地震荷重

支承部の構造正面図を図 4-32 に示す。

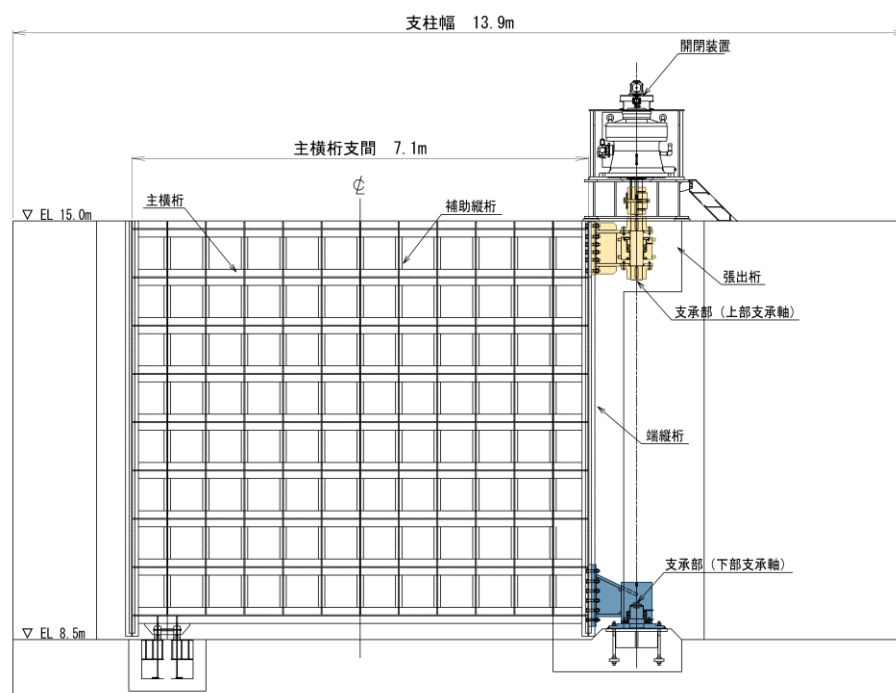


図 4-32 支承部の構造正面図

(a) 支承部（上部支承軸）

支承部（上部支承軸）は、両端ピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重が作用することで支承部（上部支承軸）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支承部（上部支承軸）の評価イメージ図を図4-33に示す。

$$M = \frac{R_H L}{4}$$

$$S = R_H$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{4S \cdot 10^3}{3A}$$

ここで、

M : 支承部（上部支承軸）に生じる曲げモーメント（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

S : 支承部（上部支承軸）に生じるせん断力（ kN ）

σ : 支承部（上部支承軸）に生じる曲げ応力度（ N/mm^2 ）

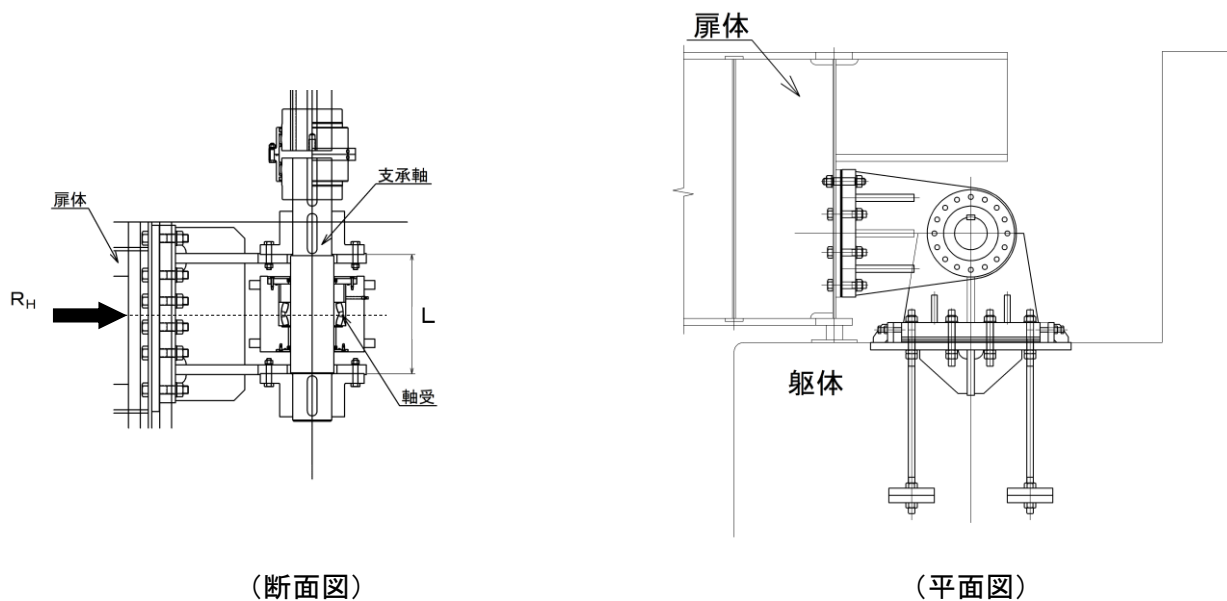
τ : 支承部（上部支承軸）に生じるせん断応力度（ N/mm^2 ）

R_H : 支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重（ kN ）

L : 支承軸支持間隔（ m ）

Z : 支承部（上部支承軸）の断面係数（ mm^3 ）

A : 支承部（上部支承軸）の断面積（ mm^2 ）



(断面図)

(平面図)

図4-33 支承部（上部支承軸）の評価イメージ図

(b) 支承部（下部支承軸），支承部（下部支承軸受）及び支承部（支承軸受）
 支承部（下部支承軸）は，片持ちはりモデル化し，地震時荷重が作用することで支承部（下部支承軸）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支承部（下部支承軸受）は，鉛直方向の地震時荷重が作用することで軸受（壺金）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支承部（支承軸受）は，支承軸受に作用する地震時荷重が許容限界以下であることを確認する。

支承部（下部支承軸）の評価イメージ図を図 4-34 に示す。

イ. 支承部（下部支承軸）

$$M = R_H L$$

$$S = R_H$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{4S \cdot 10^3}{3A}$$

ここで，

M : 支承部（下部支承軸）に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 支承部（下部支承軸）に生じるせん断力 (kN)

σ : 支承部（下部支承軸）に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 支承部（下部支承軸）に生じるせん断応力度 (N/mm²)

R_H : 支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重 (kN)

L : 支承部（下部支承軸）の長さ (m)

Z : 支承部（下部支承軸）の断面係数 (mm³)

A : 支承部（下部支承軸）の断面積 (mm²)

ロ. 支承部（下部支承軸受）

$$p = 0.388 \left(\frac{R_v \cdot 10^3 E^2}{r^2} \right)^{1/3}$$

ここで，

p : 軸受（壺金）に生じる支圧応力度 (N/mm²)

R_v : 支承部（下部支承軸）に作用する鉛直荷重 (kN)

E : 軸受（壺金）の弾性係数 (N/mm²)

r : 軸受（壺金）の球面の半径 (mm)

ハ. 支承部（支承軸受）

$$R = R_H$$

R : 支承部（支承軸受）に作用する荷重（kN）

R_H : 支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重（kN）

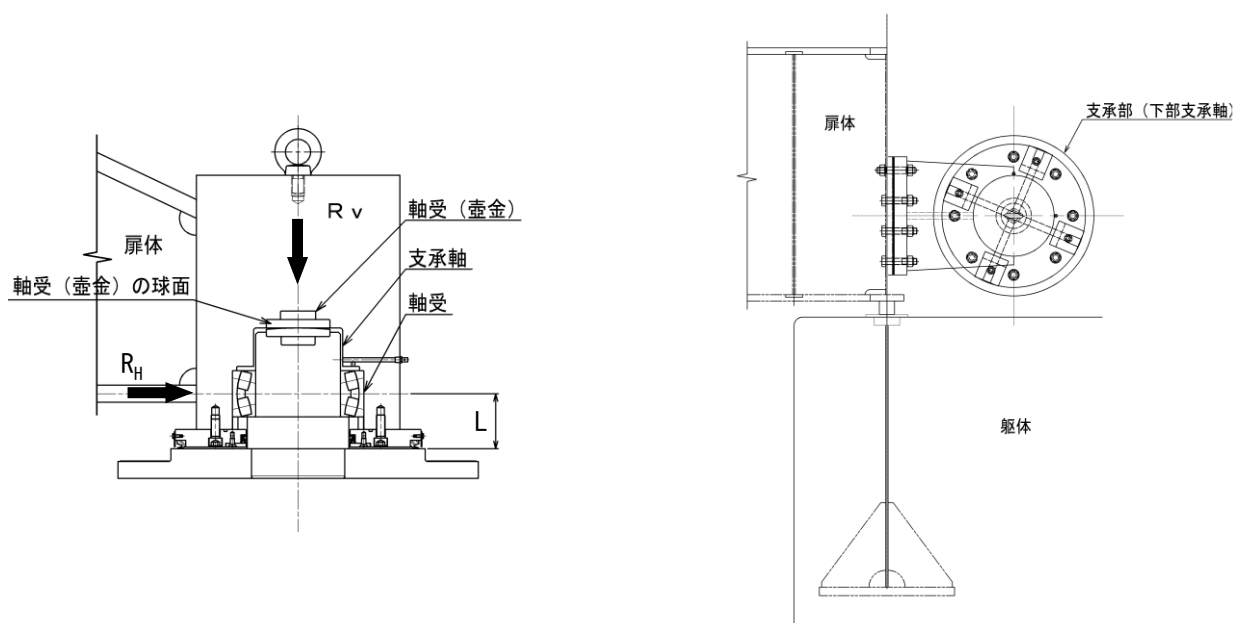


図 4-34 支承部（下部支承軸）の評価イメージ図

(c) 支承部（浮上防止金物）

支承部（浮上防止金物）は、支承部（下部支承軸）から伝達される地震時荷重が作用することで支承部（浮上防止金物）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支承部（浮上防止金物）の評価イメージ図を図 4-35 に示す。

$$M = R_v L / 4$$

$$S = R_v / 4$$

$$\sigma_b = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{3S \cdot 10^3}{2A_1}$$

$$F = \frac{aR_v}{4b}$$

$$\sigma_t = \frac{F \cdot 10^6}{A_2}$$

ここで、

M : 支承部（浮上防止金物）に生じる曲げモーメント（kN・m）

S : 支承部（浮上防止金物）に生じるせん断力（kN）

σ_b : 支承部（浮上防止金物）に生じる曲げ応力度（N/mm²）

τ : 支承部（浮上防止金物）に生じるせん断応力度（N/mm²）

F : 固定ボルトに生じる軸力（kN）

σ_t : 固定ボルトに生じる軸方向引張応力度（N/mm²）

R_v : 支承部（浮上防止金物）に作用する鉛直上向き荷重（kN）

L : 支承部（浮上防止金物）の突出長さ（m）

Z : 支承部（浮上防止金物）の断面係数（mm³）

A_1 : 支承部（浮上防止金物）の断面積（mm²）

a, b : 支持点からの距離（mm）

A_2 : 固定ボルトの有効断面積（mm²）

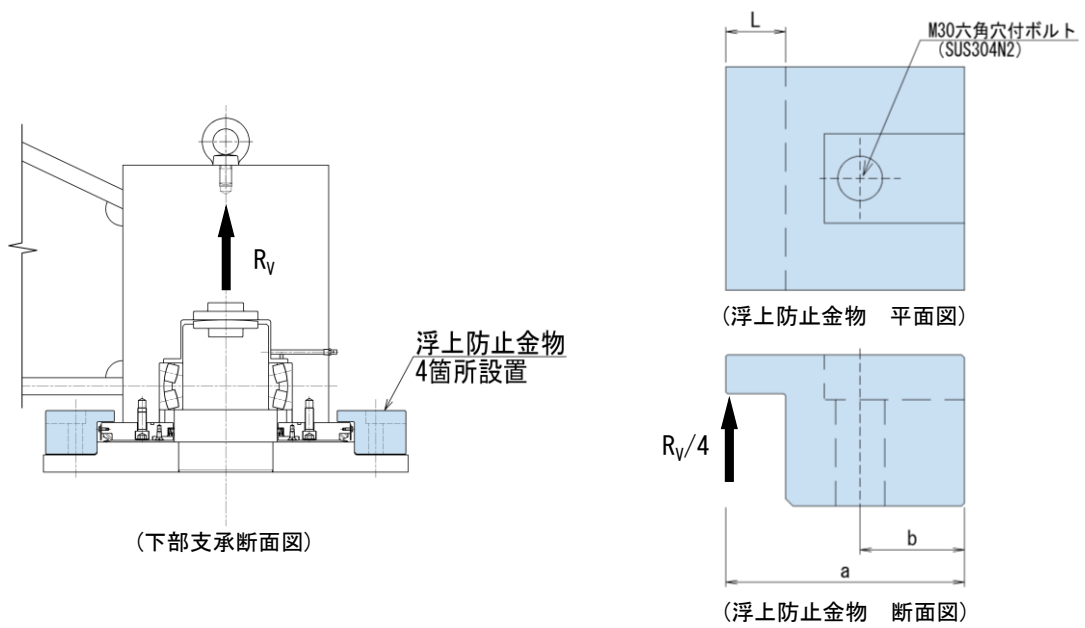


図 4-35 支承部（浮上防止金物）の評価イメージ図

(d) 上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）

上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）は、支承軸から伝達される地震時荷重が作用することで上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）の評価イメージ図を図 4-36 に示す。

イ. 上部支承（アンカーボルト）

$$F = \frac{R_H \cdot l}{mn}$$

$$\sigma_t = \frac{F \cdot 10^3}{A}$$

ここで、

F : アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力 (kN)

σ_t : アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度 (N/mm²)

R_H : 支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重 (kN)

l : 支承軸からアンカーボルト固定部までの距離 (mm)

m : アンカーボルトの間隔 (mm)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

A : アンカーボルトの断面積 (mm²)

ロ. 上部支承（コンクリート）

$$\sigma_{c1} = \frac{nF \cdot 10^3}{ab}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{R_H \cdot 10^3}{ce}$$

$$\tau_c = \frac{nF \cdot 10^3}{2b \cdot 2d}$$

ここで、

σ_{c1} : 上部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度
(アンカープレート) (N/mm²)

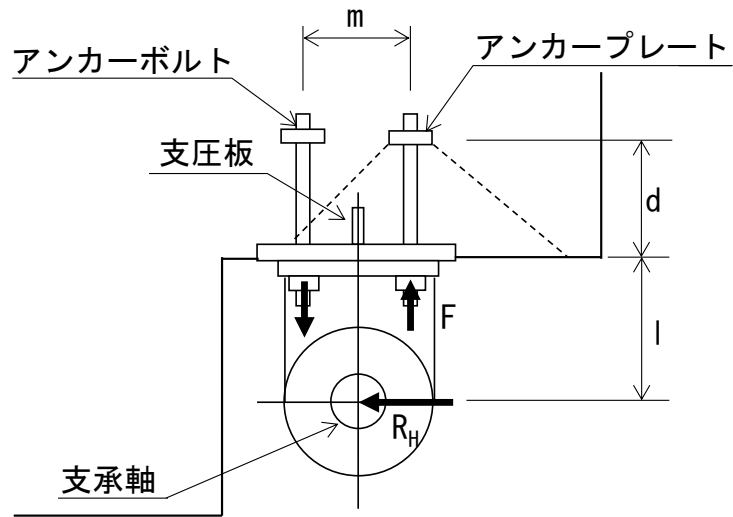
σ_{c2} : 上部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度(支圧板) (N/mm²)

τ_c : 上部支承（コンクリート）に生じるせん断応力度
(アンカープレート) (N/mm²)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

F : アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力 (kN)

- a, b : アンカープレートの寸法 (mm)
- R_H : 支承部 (上部支承軸) に作用する水平荷重 (kN)
- c, e : 支圧板の寸法 (mm)
- d : アンカーボルトの埋込深さ (mm)



(平面図)

図 4-36 上部支承 (アンカーボルト) 及び上部支承 (コンクリート) の評価イメージ図

(e) 下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）

下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）は、支承軸から伝達される地震時荷重が作用することで下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）の評価イメージ図を図 4-37 に示す。

イ. 下部支承（アンカーボルト）

$$F = \frac{R_H L}{2yn}$$

$$\sigma_t = \frac{F \cdot 10^3}{A}$$

ここで、

F : アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力 (kN)

σ_t : アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度 (N/mm²)

R_H : 支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重 (kN)

L : 軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離 (mm)

2y : アンカーボルトの間隔 (mm)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

A : アンカーボルトの断面積 (mm²)

ロ. 下部支承（コンクリート）

$$\sigma_{c1} = \frac{nF \cdot 10^3}{ab}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{R_H \cdot 10^3}{ce}$$

$$\tau_c = \frac{nF \cdot 10^3}{2b \cdot 2d}$$

ここで、

σ_{c1} : 下部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度
(アンカープレート) (N/mm²)

σ_{c2} : 下部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度(支圧板) (N/mm²)

τ_c : 下部支承（コンクリート）に生じるせん断応力度
(アンカープレート) (N/mm²)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

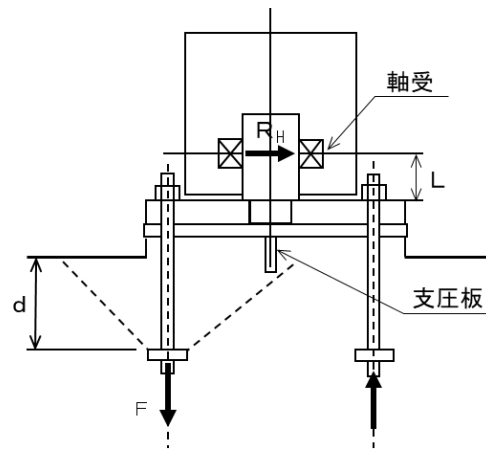
F : アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力 (kN)

a, b : アンカープレートの寸法 (mm)

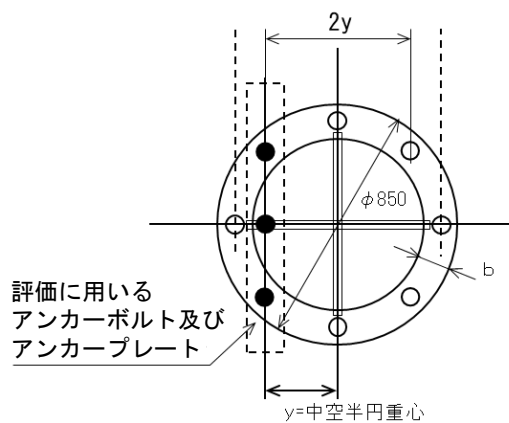
R_H : 支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重（kN）

c, e : 支圧板の寸法（mm）

d : アンカーボルトの埋込深さ（mm）



(側面図)



(平面図)

図 4-37 下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）の評価イメージ図

f. ロック装置

ロック装置は、片持ちはりでモデル化し、地震時荷重が作用することでロックビームに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

ロック装置の評価イメージ図を図 4-38 に示す。

$$M = R_r a$$

$$S = R_r$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{n \cdot Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{n \cdot A}$$

ここで、

M : ロックビームに生じる曲げモーメント (kN・m)

S : ロックビームに生じるせん断力 (kN)

σ : ロックビームに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : ロックビームに生じるせん断応力度 (N/mm²)

R_r : ロックビームに作用する荷重 (kN)

a : ロックビームの突出長さ (m)

n : ロックビーム数 (本)

Z : ロックビームの断面係数 (mm³)

A : ロックビームのせん断面積 (mm²)

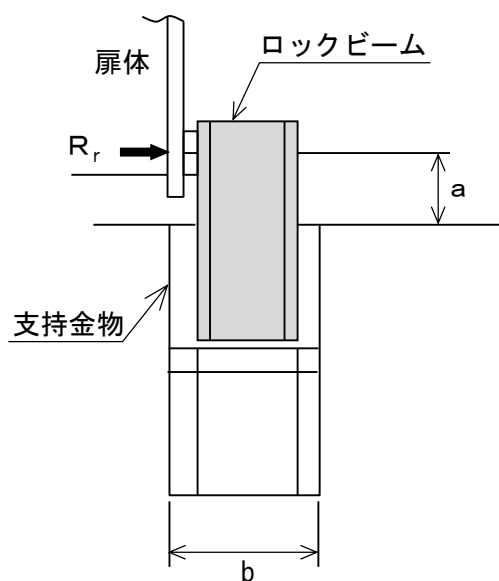


図 4-38 ロック装置の評価イメージ図

g. 支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）は，漂流物対策工（鋼製扉体）から伝達される地震時荷重が作用することで支圧板，戸当り（腹板），戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）の評価イメージ図を図4-39に示す。

(a) 支圧板

$$\sigma_p = \frac{WL_1}{2CL_2}$$

ここで，

σ_p : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm²)

W : 戸当りに作用する地震時荷重（地震時慣性力＋風荷重） (kN/m)

L_1 : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

L_2 : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

(b) 戸当り（腹板）

$$\sigma_b = \frac{WL_1}{2t_w L_2}$$

ここで，

σ_b : 戸当り（腹板）に生じる支圧応力度 (N/mm²)

W : 戸当りに作用する地震時荷重（地震時慣性力＋風荷重） (kN/m)

L_1 : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

t_w : 戸当り（腹板）の厚さ (mm)

L_2 : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

(c) 戸当り（底面フランジ）

$$M_f = \frac{\sigma_{cb} b_f^2}{8}$$

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2}$$

M_f : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げモーメント (N・mm/mm)

σ_f : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{cb} : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度 (N/mm²)

b_f : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)
 t_f : 戸当り (底面フランジ) の厚さ (mm)

(d) 戸当り (コンクリート)

$$\sigma_{cb} = \frac{WL_1}{2b_f L_2}$$

$$\tau_c = \frac{WL_1}{2\Sigma l L_2}$$

ここで,

- σ_{cb} : 戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度 (N/mm²)
- τ_c : 戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- W : 戸当りに作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重) (kN/m)
- L_1 : 漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅 (mm)
- b_f : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)
- L_2 : 主横桁の荷重分担長さ (mm)
- Σl : せん断抵抗長さ (= $l_1 + 2l_2$) (mm)
- l_1 : 戸当りの埋込深さ (mm)
- l_2 : 戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ (mm)

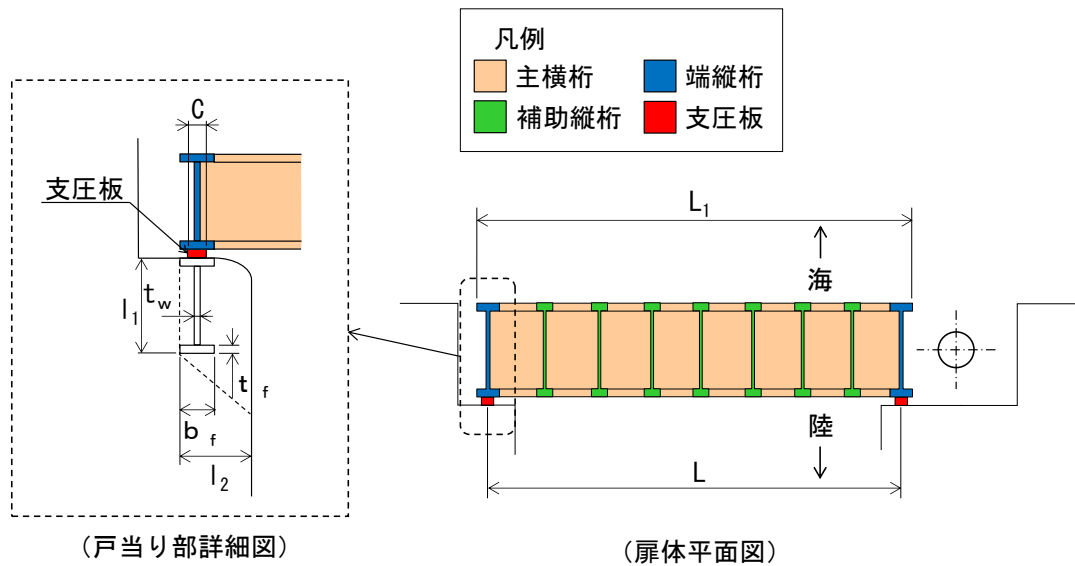


図 4-39 戸当り (腹板, 底面フランジ, コンクリート) の評価イメージ図

(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱)

漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、MMR, 改良地盤及び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。

5. 評価条件

「4. 耐震評価」に用いる評価条件を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1 防波扉の耐震評価に用いる条件(1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M	主横桁に生じる曲げモーメント	119.009	kN・m
	S	主横桁に生じるせん断力	73.515	kN
	W	主横桁に作用する地震時慣性力	19.642	kN/m
	W'	主横桁に作用する風荷重	2.978	kN/m
	L	主横桁の支間長	6.500	m
	a	主横桁の張出長さ	0.200	m
	L ₁	主横桁の水密幅	6.900	m
	Z	主横桁の断面係数	5136000	mm ³
	A _w	主横桁腹板の断面積	11350	mm ²
補助縦桁	l	主横桁間隔	2.5	m
	m	補助縦桁間隔	0.7545	m
	P	補助縦桁に作用する地震時荷重（地震時慣性力+風荷重）	13.709	kN/m ²
	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	7.835	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	10.978	kN
	Z	補助縦桁の断面係数	424000	mm ³
	A _w	補助縦桁腹板の断面積	2470	mm ²
端縦桁	R	端縦桁に生じる支点反力	73.515	kN
	A _q	補剛材の有効断面積	2938	mm ²
車輪	F	防波扉（鋼製扉体）に作用する地震時荷重（扉体自重+積雪荷重+地震時慣性力）	497.5	kN
	R ₁	海側車輪に作用する荷重	189.9	kN
	R ₂	陸側車輪に作用する荷重	58.8	kN
	L	車輪荷重の作用位置	0.74	m
	L ₁	海側車輪荷重の作用位置	0.175	m
	L ₂	陸側車輪荷重の作用位置	0.565	m
	P	車輪に作用する荷重	189900	N
	E ₁	車輪の弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
	E ₂	レールの弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
	B	車輪有効踏面幅	60	mm
	R	車輪半径	250	mm
C	接触幅の 1/2	3.09	mm	

表 5-1 防波扉の耐震評価に用いる条件(2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
車輪	M	車輪軸に生じる曲げモーメント	38.0	kN・m
	L ₃	張出長さ	0.2	m
	Z	車輪軸の断面係数	130700	mm ³
	S	車輪軸に生じるせん断力	189.9	kN
	A	車輪軸の断面積	9500	mm ²
	R _a	車輪軸受に作用する荷重	189.9	kN
レール	M	レールに生じる曲げモーメント	23.7	kN・m
	R ₁	海側車輪に作用する荷重	189.9	kN
	L _M	レール基礎材間隔	0.5	m
	S	レールに生じるせん断力	189.9	kN
	Z ₁	レール引張側断面係数	175800	mm ³
	Z ₂	レール圧縮側断面係数	198800	mm ³
	A _w	レール（腹板）の断面積	2020	mm ²
	b _p	レール（腹板）の受圧幅	66.18	mm
	C	接触幅の 1/2	3.09	mm
	t _w	レール（腹板）の厚さ	20	mm
	t _f	レール踏面板の厚さ	30	mm
ロック装置	P	ロックピンに作用する荷重	259.5	kN
	F _h	ロックピンに作用する地震時慣性力	519.0	kN
	n	ロックピン数	2	本
	L	ロックピンの突出長さ	0.088	m
	M	ロックピンに生じる曲げモーメント	22.8	kN・m
	Z	ロックピンの断面係数	71569	mm ³
	S	ロックピンに生じるせん断力	259.5	kN
	A	ロックピンのせん断面積	5100	mm ²
	b	ロックピン受圧幅	65	mm
	h	ロックピン受圧長さ	70	mm
支圧板	P	支圧板に作用する地震時荷重（地震時慣性力+風荷重）	597.7	kN
	C	支圧板の有効幅	85	mm
	L	防波扉（鋼製扉体）の高さ	6500	mm

表 5-1 防波扉の耐震評価に用いる条件 (3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
戸当り (底面フランジ), 戸当り (コンクリート)	P	戸当りに作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重)	597.7	kN
	L	防波扉 (鋼製扉体) の高さ	6500	mm
	b_f	戸当り (底面フランジ) の幅	125	mm
	t_f	戸当り (底面フランジ) の厚さ	18.3	mm
	l_1	戸当りの埋込深さ	150	mm
	l_2	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ	312.5	mm
	M_f	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント	781	N・mm/mm
	Σl	せん断抵抗長さ ($= l_1 + 2l_2$)	775	mm

表 5-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件(1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M	主横桁（最下段）に生じる曲げモーメント	115.7	kN・m
	S	主横桁（最下段）に生じるせん断力	65.2	kN
	W	主横桁に作用する地震時慣性力	17.015	kN/m
	W'	主横桁に作用する風荷重	1.354	kN/m
	L	主横桁の支間長	7.1	m
	a	主横桁の張出長さ	0.1	m
	L ₁	主横桁の水密幅	7.3	m
	M'	主横桁（最上段）に生じる曲げモーメント	580.5	kN・m
	S'	主横桁（最上段）に生じるせん断力	146.0	kN
	L'	主横桁の突出長さ	7.95	m
	Z	主横桁の断面係数	18674000	mm ³
	A _w	主横桁腹板の断面積	21500	mm ²
張出桁	M	張出桁に生じる曲げモーメント	2.8	kN・m
	S	張出桁に生じるせん断力	5.8	kN
	W	張出桁に作用する地震時慣性力	5.672	kN/m
	W'	張出桁に作用する風荷重	0.451	kN/m
	L	張出長さ	0.95	m
	Z	張出桁の断面係数	6527000	mm ³
	A _w	張出桁腹板の断面積	16870	mm ²
補助縦桁	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	0.2	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	0.9	kN
	W	補助縦桁に作用する地震時慣性力	2.269	kN/m
	W'	補助縦桁に作用する風荷重	0.181	kN/m
	l	主横桁の間隔	0.75	m
	Z	補助縦桁の断面係数	7567000	mm ³
	A _w	補助縦桁腹板の断面積	21500	mm ²
端縦桁	R	主横桁に生じる支点反力	146.0	kN
	A _q	補剛材の有効断面積	10747	mm ²
支承部 (上部支 承軸)	M	支承軸（上部支承軸）に生じる曲げモーメント	144.9	kN・m
	R _H	支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重	1053.9	kN
	L	支承軸支持間隔	0.55	m
	S	支承部（上部支承軸）に生じるせん断力	527.0	kN
	Z	支承部（上部支承軸）の断面係数	572600	mm ³
	A	支承部（上部支承軸）の断面積	25450	mm ²

表 5-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
支承部 (下部支承軸)	M	支承部 (下部支承軸) に生じる曲げモーメント	137.0	kN・m
	R _H	支承部 (下部支承軸) に作用する水平荷重	1053.9	kN
	L	支承部 (下部支承軸) の突出長さ	0.130	m
	S	支承部 (下部支承軸) に生じるせん断力	1053.9	kN
	Z	支承部 (下部支承軸) の断面係数	1045400	mm ³
	A	支承部 (下部支承軸) の断面積	38010	mm ²
支承部 (下部支承軸受)	R _v	支承部 (下部支承軸) に作用する鉛直荷重	1033	kN
	r	軸受 (壺金) の球面の半径	900	mm
	E	軸受 (壺金) の弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
支承部 (支承軸受)	R	支承部 (支承軸受) に作用する荷重	1053.9	kN
支承部 (浮上防止金物)	M	支承部 (浮上防止金物) に生じる曲げモーメント	1.35	kN・m
	R _v	支承部 (浮上防止金物) に作用する鉛直上向き荷重	135	kN
	L	支承部 (浮上防止金物) の突出長さ	0.040	m
	S	支承部 (浮上防止金物) に生じるせん断力	33.8	kN
	Z	支承部 (浮上防止金物) の断面係数	16900	mm ³
	A ₁	支承部 (浮上防止金物) の断面積	3900	mm ²
	F	固定ボルトに生じる軸力	77.1	kN
	a,b	支持点からの距離	160, 70	mm
	A ₂	固定ボルトの有効断面積	561	mm ²
上部支承 (アンカーボルト), 上部支承 (コンクリート)	F	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力	162.1	kN
	R _H	支承部 (上部支承軸) に作用する水平荷重	1053.6	kN
	l	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離	600	mm
	m	アンカーボルトの間隔	650	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	6	本
	A	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルト埋込深さ	800	mm
	a,b	アンカープレートの寸法	250, 800	mm
	c,e	支圧板の寸法	250, 800	mm

表 5-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
下部支承 (アンカー ボルト) , 下部支承 (コンクリ ート)	F	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力	102.4	kN
	R _H	支承部 (下部支承軸) に作用する水平荷重	1053.9	kN
	L	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離	130	mm
	2y	アンカーボルトの間隔	446	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	3	本
	A	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルト埋込深さ	300	mm
	a,b	アンカープレートの寸法	150, 850	mm
	c,e	支圧板の寸法	250, 650	mm
ロック 装置	M	ロックビームに生じる曲げモーメント	60.6	kN・m
	R _r	ロックビームに作用する荷重	404.3	kN
	a	ロックビームの突出長さ	0.15	m
	n	ロックビーム本数	2	本
	Z	ロックビームの断面係数	238000	mm ³
	S	ロックビームに生じるせん断力	404.1	kN
	A	ロックビームのせん断面積	1872	mm ²
支圧板及び 戸当り	W	戸当りに作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重)	18.369	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L ₁	漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅	7300	mm
	L ₂	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	t _w	戸当り (腹板) の厚さ	14	mm
	b _f	戸当り (底面フランジ) の幅	800	mm
	t _f	戸当り (底面フランジ) の厚さ	50	mm
	l ₁	戸当りの埋込深さ	1650	mm
	l ₂	戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ	950	mm
	M _f	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント	8000	N・mm/mm
Σl	せん断抵抗長さ (= l ₁ +2l ₂)	3550	mm	

6. 耐震評価結果

6.1 防波扉

6.1.1 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の耐震評価結果を表 6-1 に示す。防波扉（鋼製扉体）の各
部材の発生応力度又は作用荷重が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 防波扉（鋼製扉体）の耐震評価結果(1/2)

部材		発生 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
主横桁	曲げ応力度	23	240	0.10
	せん断応力度	6	135	0.05
補助縦桁	曲げ応力度	18	180	0.10
	せん断応力度	4	105	0.04
端縦桁	圧縮応力度	25	240	0.11
車輪	接触応力度	653	960	0.69
車輪軸	曲げ応力度	291	367	0.80
	せん断応力度	27	210	0.13
レール	曲げ圧縮応力度	119	255	0.47
	曲げ引張応力度	135	240	0.57
	せん断応力度	94	135	0.70
レール(腹板)	支圧応力度	143	360	0.40
ロック装置	曲げ応力度	319	540	0.60
	せん断応力度	68	310	0.22
	支圧応力度	57	225	0.26
支圧板	支圧応力度	0.5	225	0.01
戸当り (底面フランジ)	曲げ応力度	14	180	0.08
戸当り (コンクリート)	支圧応力度	0.4	8.8	0.05
	せん断応力度	0.06	0.6	0.10

表 6-1 防波扉（鋼製扉体）の耐震評価結果(2/2)

部材	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
車輪軸受	189.9	700	0.28

6.1.2 防波扉戸当り（RC支柱）

防波扉戸当り（RC支柱）の耐震評価結果を表 6-2 に示す。防波扉戸当り（RC支柱）の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-2 防波扉戸当り（RC支柱）の耐震評価結果

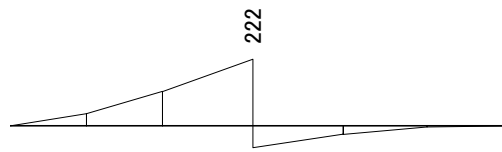
部材		発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
防波扉戸当り (RC支柱)	曲げ引張応力度	17	294	0.06
	曲げ圧縮応力度	0.5	13.5	0.04
	せん断応力度	0.10	0.67	0.15

6.1.3 防波扉基礎スラブ

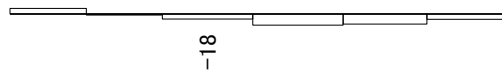
(1) 曲げ照査

防波扉基礎スラブの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の評価時刻での断面力図を図 6-1 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-3 に示す。防波扉基礎スラブの鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-2 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-4 に示す。

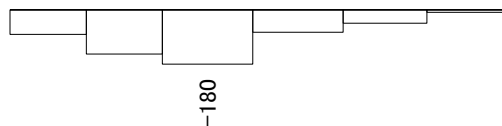
この結果から、防波扉基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。



曲げモーメント (kN・m)



軸力 (kN)

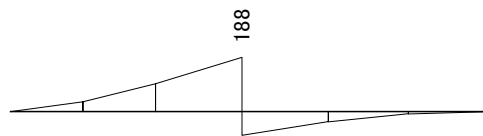


せん断力 (kN)

図 6-1 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
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (+-), t=8.58s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-3 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

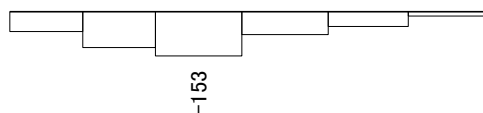
地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S _s -D (+-)	①	222	18	0.7	13.5	0.05



曲げモーメント (kN・m)



軸力 (kN)



せん断力 (kN)

図 6-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (-+), t=19.18s)
 解析ケース①：基本ケース

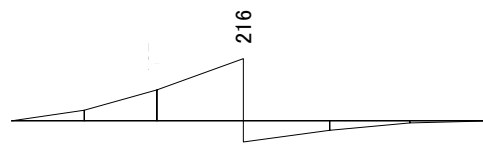
表 6-4 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (-+)	①	188	114	41	294	0.15

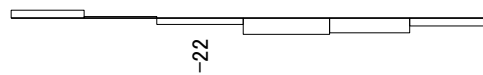
(2) せん断照査

防波扉基礎スラブの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の評価時刻での断面力図を図 6-3 に、コンクリートのせん断破壊に対する最大照査値を表 6-5 に示す。

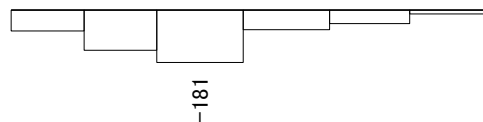
この結果から、防波扉基礎スラブのコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。



曲げモーメント (kN·m)



軸力 (kN)



せん断力 (kN)

図 6-3 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(S s - D (++) , t=8.57s)

解析ケース①：基本ケース

表 6-5 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

地震動	解析 ケース	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)			
S s - D (++)	①	181	0.05	0.67	0.08

6.1.4 防波扉（鋼管杭）

(1) 曲げ照査

防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-4 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 6-6 に示す。

この結果から、防波扉（鋼管杭）に発生する断面力が許容限界以下であることを確認した。

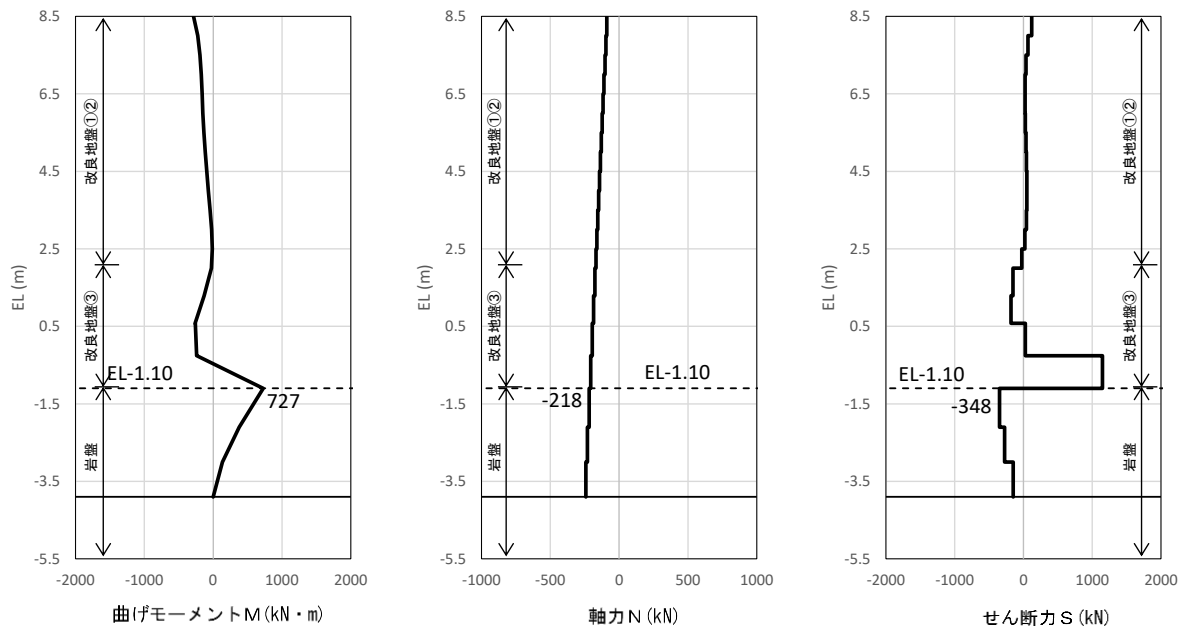


図 6-4 防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における

最大照査値の評価時刻での断面力図

($S_s - D (+ -)$, $t = 8.57s$)

解析ケース①：基本ケース

表 6-6 防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏モーメント M_y (kN・m)	照査値 M/M_y
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
$S_s - D (+ -)$	①	727	218	7960	0.10

(2) せん断照査

防波扉（鋼管杭）のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-5 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-7 に示す。

この結果から、防波扉（鋼管杭）の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

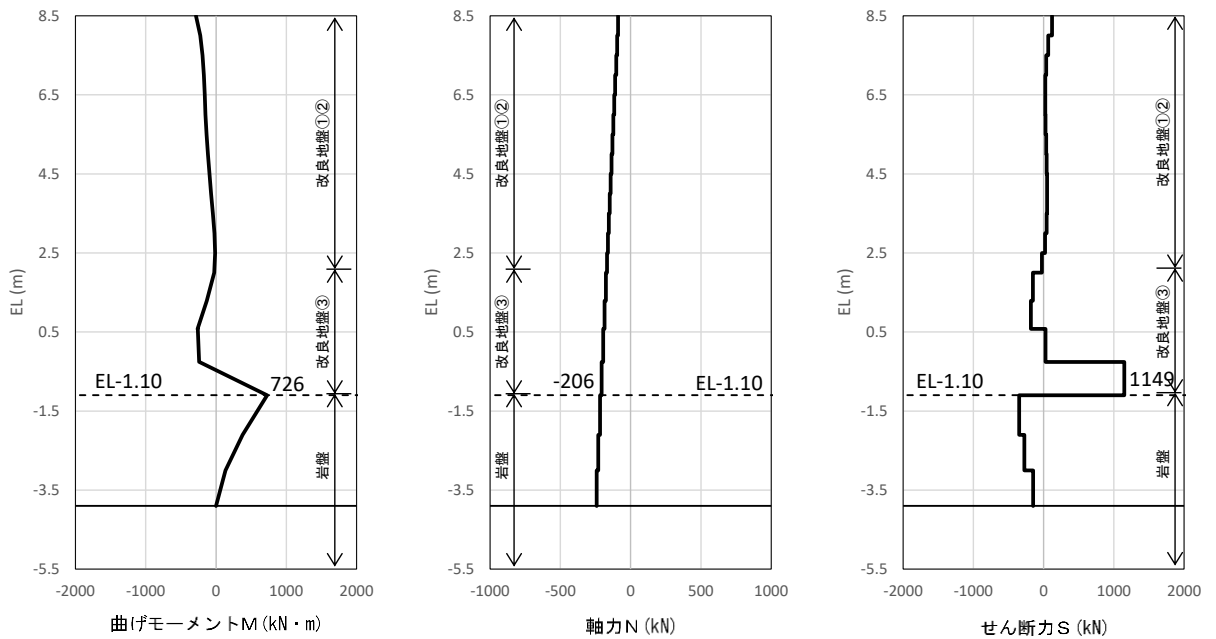


図 6-5 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図
($S_s - D (+ -)$, $t = 8.57s$)
解析ケース①：基本ケース

表 6-7 防波扉（鋼管杭）のせん断破壊に対する照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm^2)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 Q (kN)	せん断応力度 τ_s (N/mm^2)		
$S_s - D$ ($+ -$)	①	1149	26	157	0.17

6.1.5 改良地盤

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 6-8 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図を図 6-6 に示す。この結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 6-8 改良地盤のすべり安全率評価結果

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	8.58	2.87

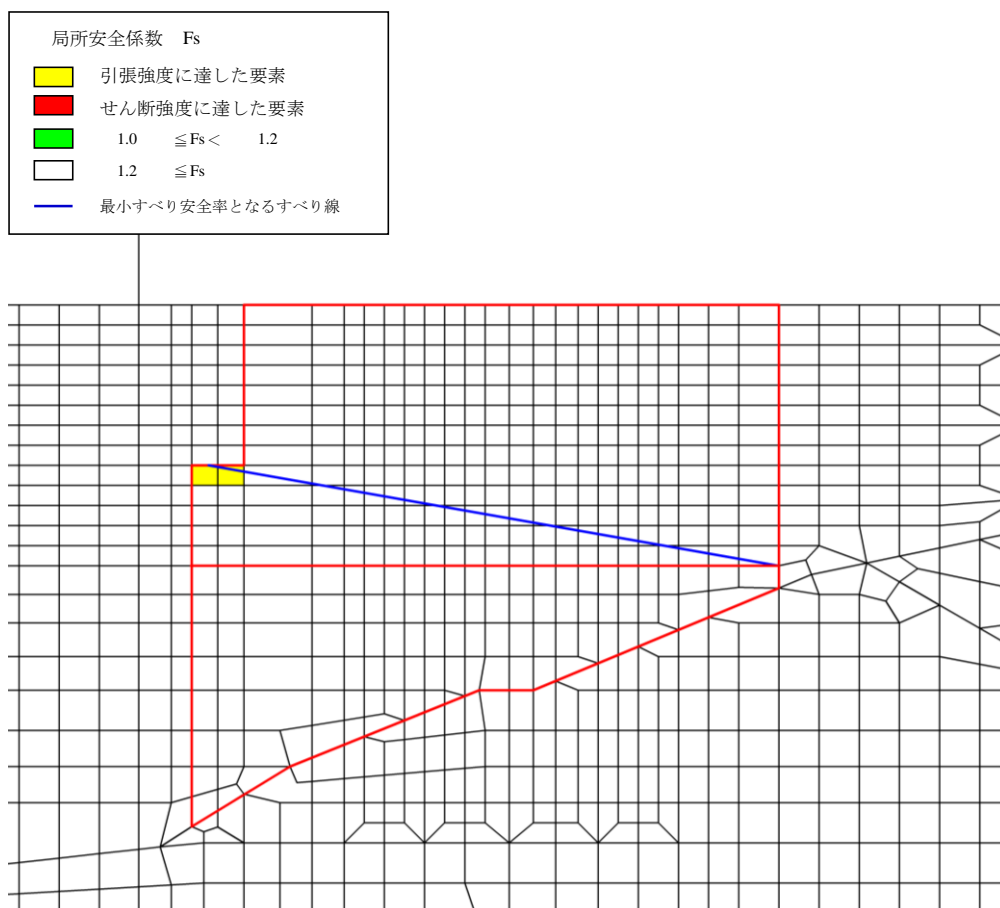


図 6-6 改良地盤の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布図

(S s - D (- +), $t=8.58s$)

解析ケース①：基本ケース

6.1.6 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-9 に示す。

防波扉（鋼管杭）の杭下端部に生じる軸応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-9 基礎地盤の支持性能照査結果

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸応力度 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N (kN)			
S _s -D (+-)	①	494	0.4	9.8	0.05

6.2 漂流物対策工

6.2.1 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果を表 6-10 に示す。漂流物対策工（鋼製扉体）の各部材の発生応力度又は作用荷重が許容限界以下であることを確認した。

表 6-10 漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果(1/3)

部材		発生 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
主横桁 (最下段)	曲げ応力度	6	525	0.02
	せん断応力度	3	193	0.02
主横桁 (最上段)	曲げ応力度	31	525	0.06
	せん断応力度	7	193	0.04
張出桁	曲げ応力度	0.4	525	0.01
	せん断応力度	0.3	303	0.01
補助縦桁	曲げ応力度	0.03	310	0.01
	せん断応力度	0.04	193	0.01
端縦桁	圧縮応力度	14	337	0.05
支承部（上部支承軸）	曲げ応力度	253	540	0.47
	せん断応力度	28	310	0.10
支承部（下部支承軸）	曲げ応力度	131	255	0.52
	せん断応力度	13	147	0.09
支承部（下部支承軸受）	接触応力度	1405	2035	0.70
支承部 (浮上防止金物)	曲げ応力度	80	150	0.54
	せん断応力度	13	90	0.15
	軸方向引張 応力度	137	255	0.54

表 6-10 漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果(2/3)

部材	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
支承軸受	1053.9	2140	0.50

表 6-10 漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果(3/3)

部材	種別	発生 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
上部支承 (アンカーボルト)	軸方向引張 応力度	187	367	0.51
下部支承 (アンカーボルト)	軸方向引張 応力度	118	367	0.33
上部支承 (コンクリート)	支圧応力度 (アンカープレート)	4.9	8.8	0.56
	支圧応力度 (支圧板)	5.3	8.8	0.61
	せん断応力度	0.38	0.60	0.64
下部支承 (コンクリート)	支圧応力度 (アンカープレート)	2.4	8.8	0.28
	支圧応力度 (支圧板)	6.5	8.8	0.74
	せん断応力度	0.30	0.60	0.50
ロック装置	曲げ圧縮 応力度	127	337	0.38
	せん断応力度	108	193	0.56
支圧板	支圧応力度	1.1	225	0.01
戸当り（腹板）	支圧応力度	6	270	0.03
戸当り (底面フランジ)	曲げ応力度	19	525	0.04
戸当り (コンクリート)	支圧応力度	0.1	8.8	0.02
	せん断応力度	0.03	0.60	0.05

6.2.2 漂流物対策工戸当り（RC支柱）

(1) 曲げ照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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の評価時刻での断面力図を図 6-7 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-11 に示す。漂流物対策工戸当り（RC支柱）の鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-8 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-12 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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した。

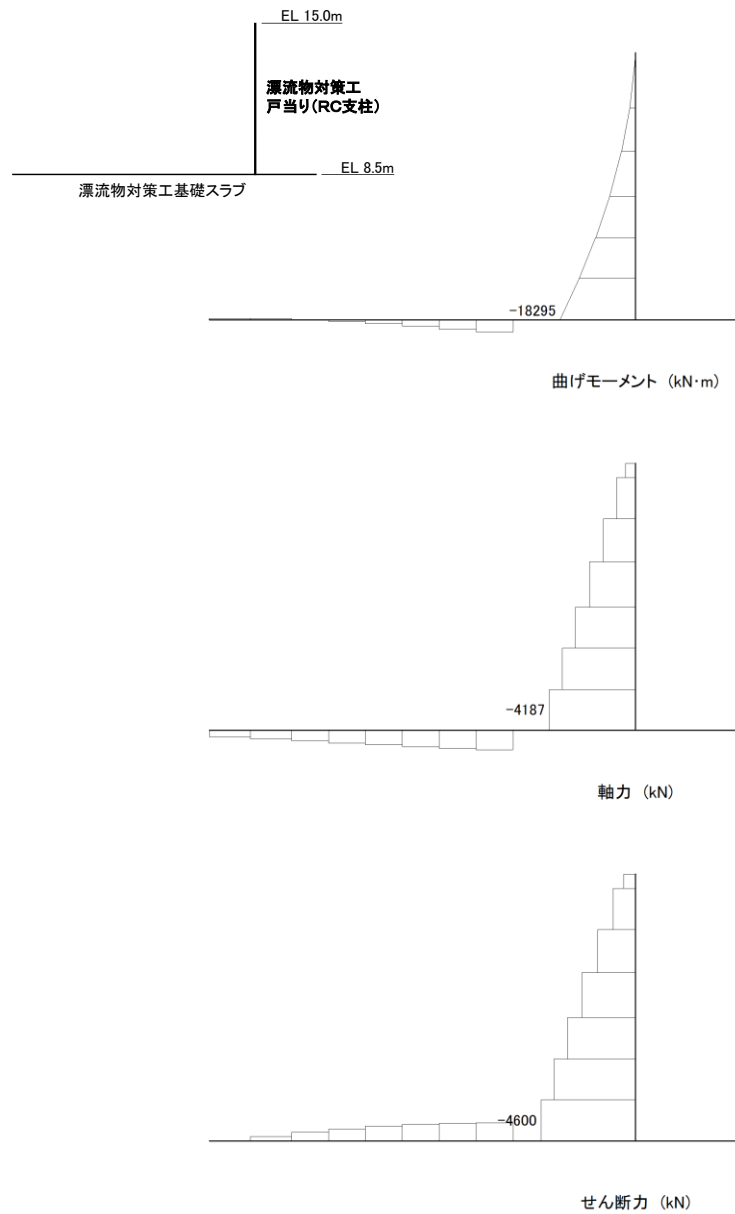


図 6-7 コンクリートの曲げ・軸力系破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (---), t=8.58s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

表 6-11 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (---)	②	18295	4187	1.8	21.0	0.09

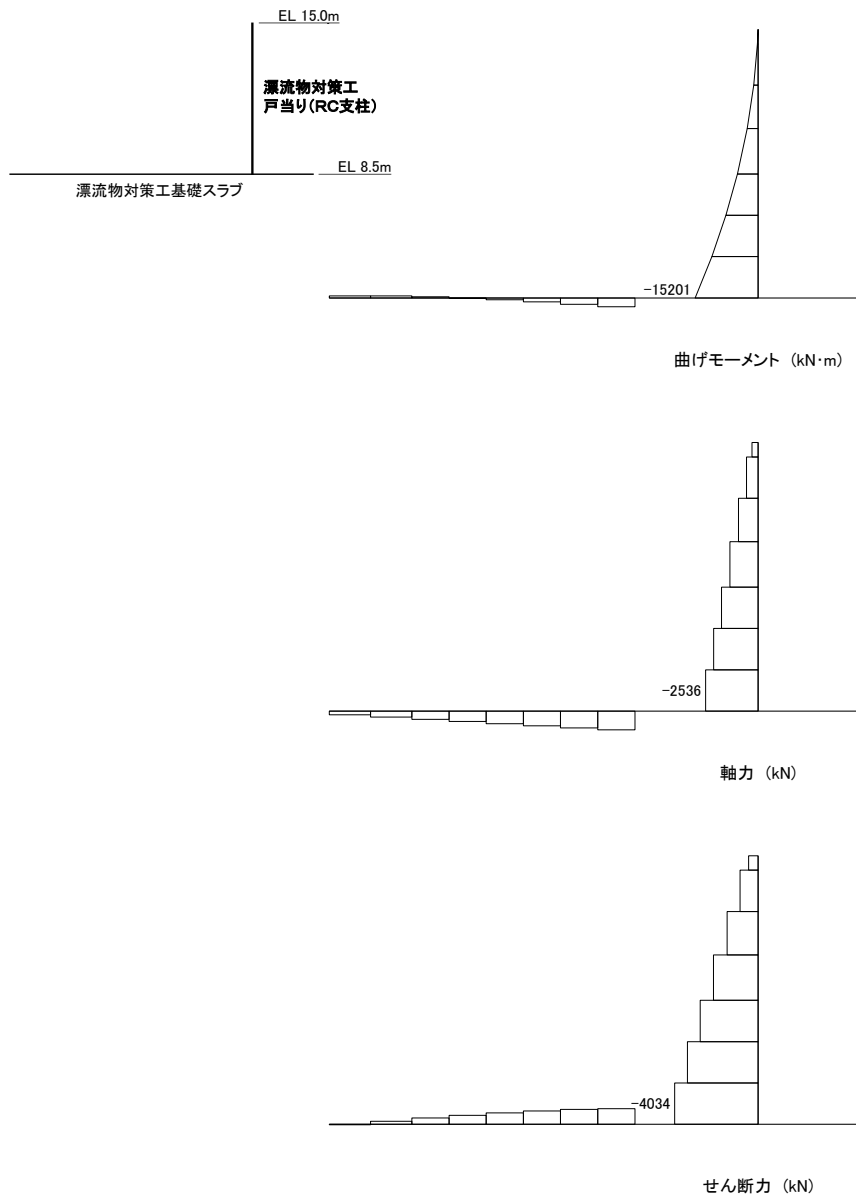


図 6-8 鉄筋の曲げ・軸力系破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (-+), t=8.58s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-12 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (-+)	①	15201	2536	46	294	0.16

(2) せん断照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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の評価時刻での断面力図を図 6-9 に、コンクリートのせん断破壊に対する最大照査値を表 6-13 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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した。

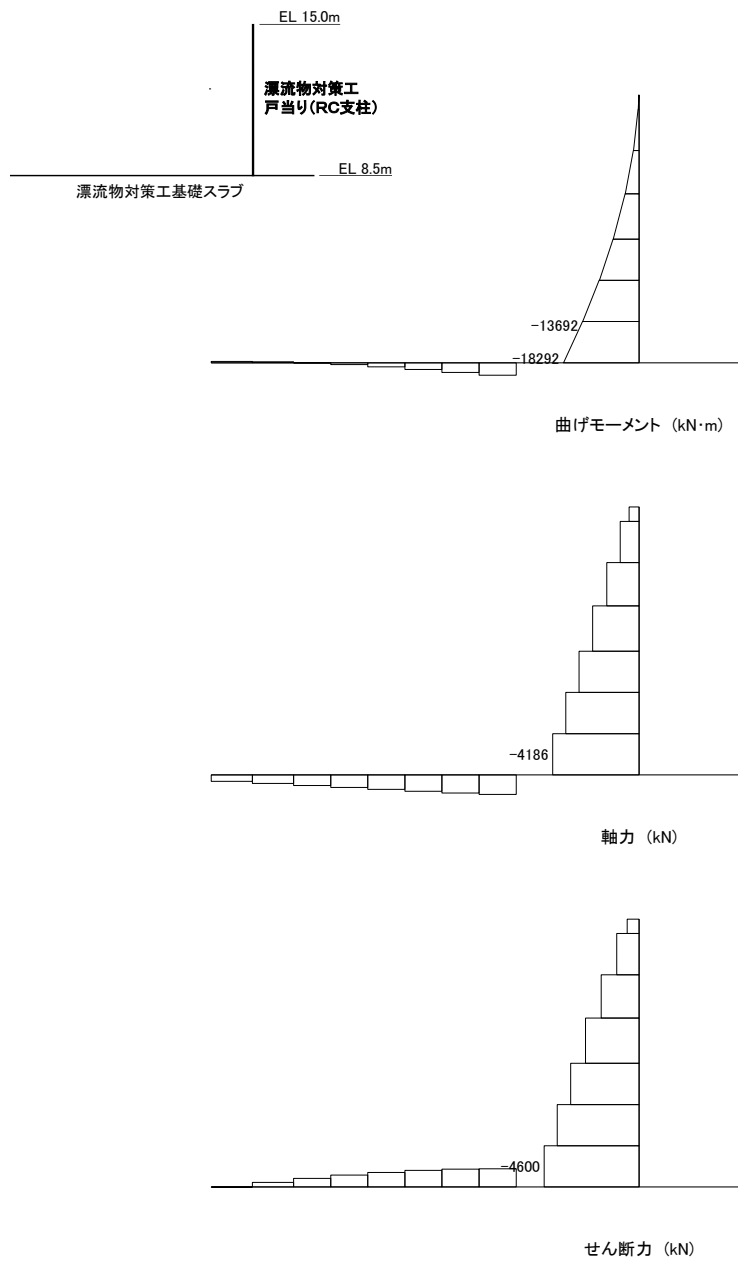


図 6-9 コンクリートのせん断照査における最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (---), t=8.58s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-13 コンクリートのせん断照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (---)	①	4600	0.37	0.82	0.46

6.2.3 漂流物対策工基礎スラブ

(1) 曲げ照査

漂流物対策工基礎スラブ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における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-10 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-14 に、漂流物対策工基礎スラブの鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-15 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの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した。

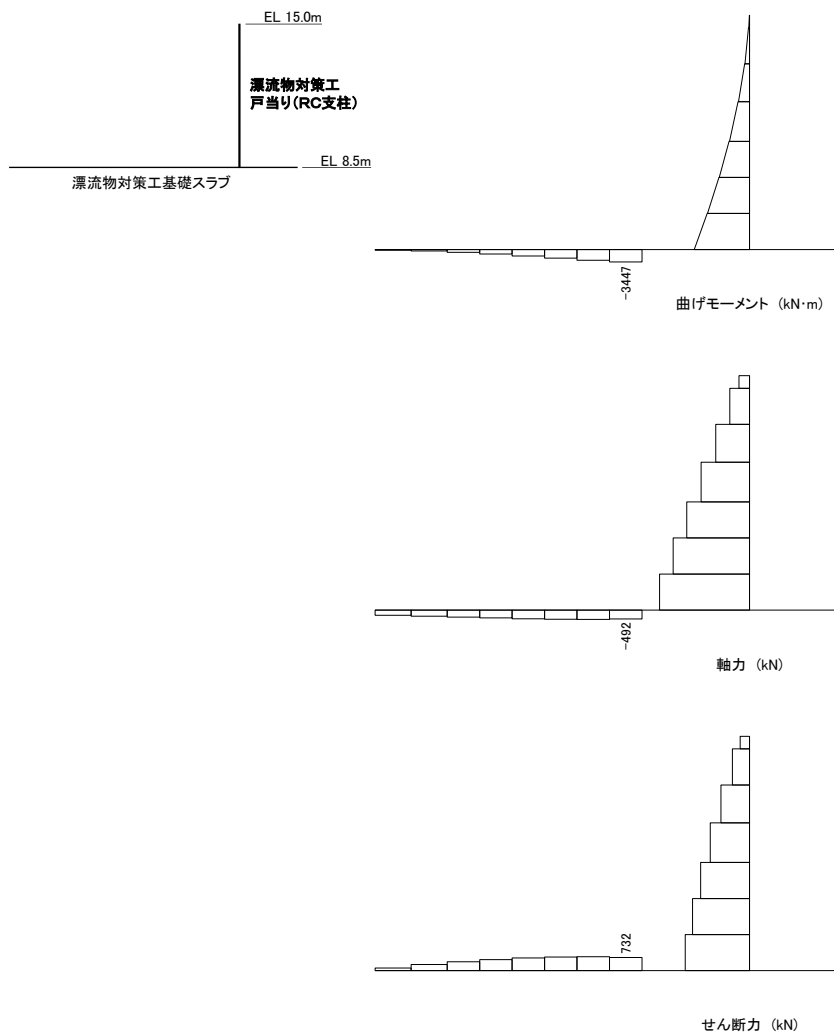


図 6-10 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (+-), t=18.93s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-14 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (+-)	①	3447	492	1.5	21.0	0.08

表 6-15 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (+-)	①	3447	492	42	294	0.15

(2) せん断照査

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の評価時刻での断面力図を図 6-11 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-16 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

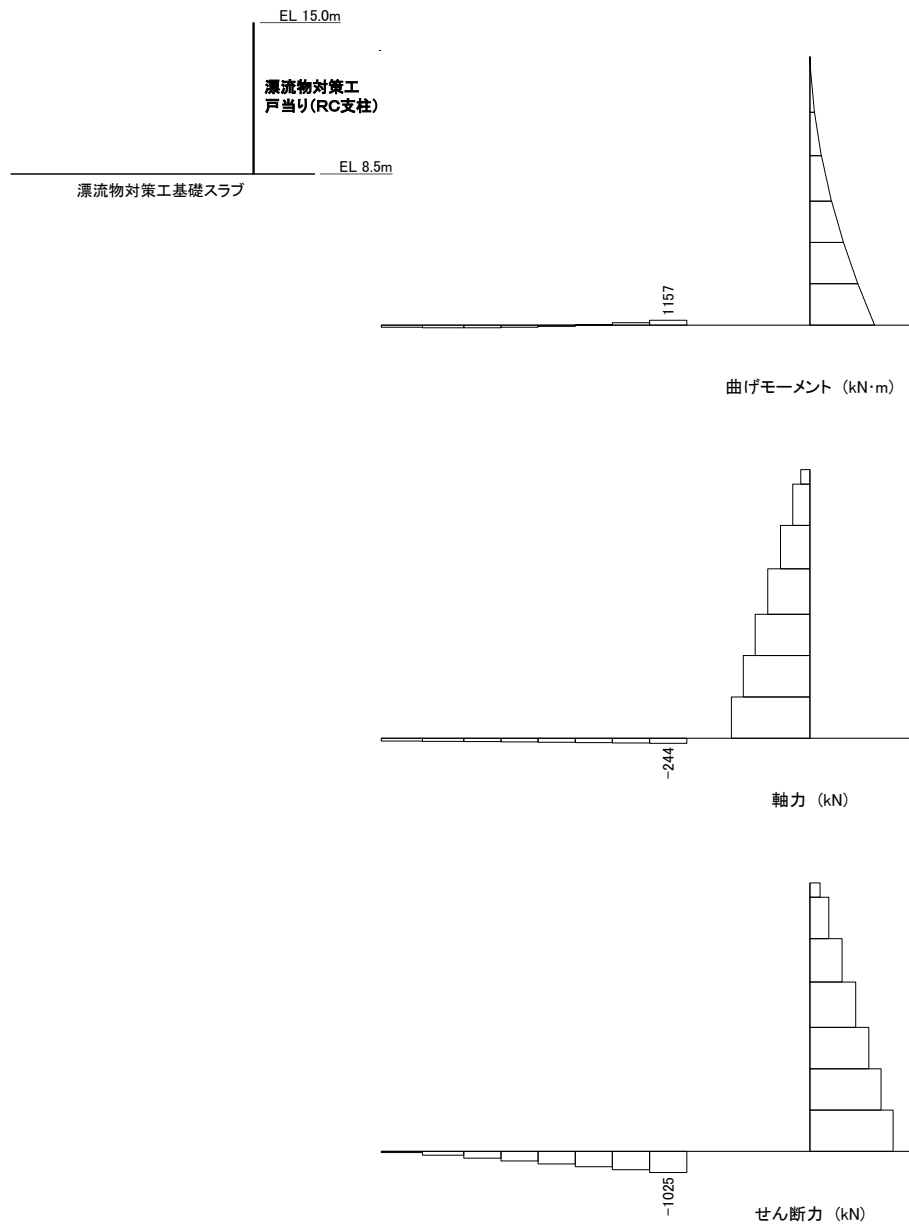


図 6-11 コンクリートのせん断照査における最大照査値の評価時刻での断面力図

($S_s - D (+ -)$, $t = 8.58s$)

解析ケース①：基本ケース

表 6-16 コンクリートのせん断照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	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)			
$S_s - D$ (+ -)	①	1025	0.32	0.82	0.40

6.2.4 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-17 に、接地圧分布図を図 6-12 に示す。

漂流物対策工の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 6-17(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

地震動	解析ケース	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d / f'_a
S _s -D (+-)	①	0.8	18.0	0.05

表 6-17(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
S _s -D (--)	①	0.5	1.4	0.35

表 6-17(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d / R_u
S _s -D (--)	①	2.0	9.8	0.21

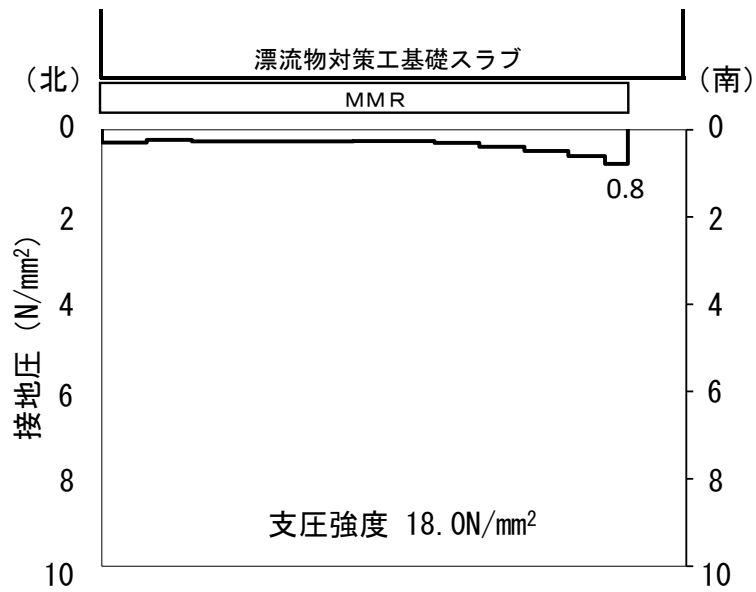


図 6-12(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (MMR)

(S s - D (+ -))

解析ケース①：基本ケース

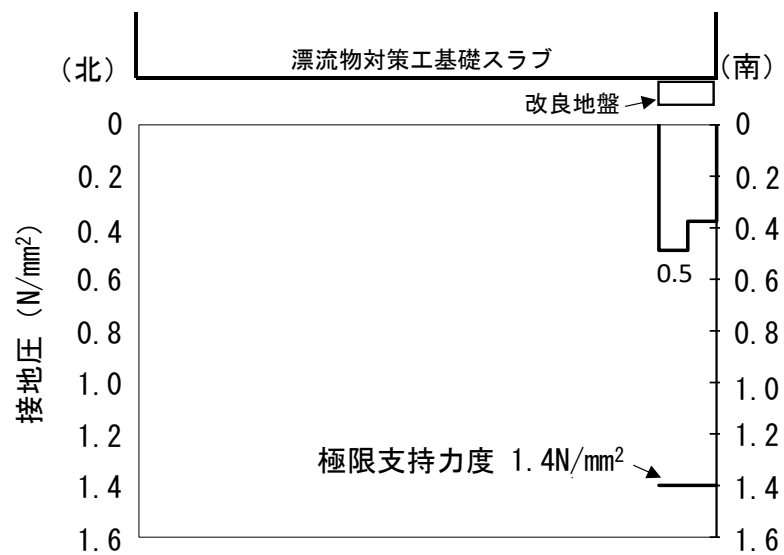


図 6-12(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)

(S s - D (- -))

解析ケース①：基本ケース

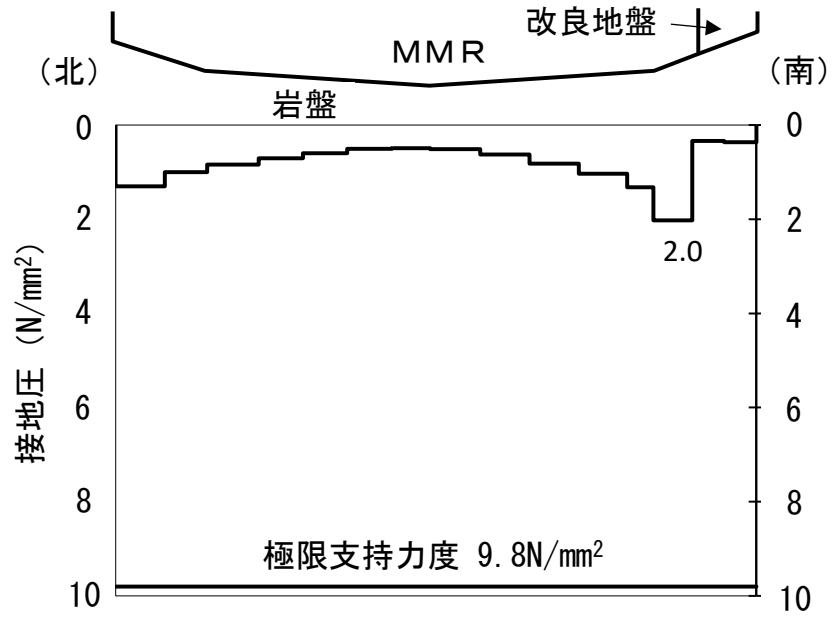


図 6-12(3) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)

(S s - D (- -))

解析ケース①：基本ケース

3. 防波壁通路防波扉（3号機東側）に関する耐震計算書

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	16
2.4	適用規格・基準等	21
3.	固有値解析	22
3.1	解析モデルの設定	22
3.2	記号の説明	23
3.3	固有振動数の計算方法	23
3.4	固有振動数の計算条件	24
3.5	固有振動数の計算結果	24
4.	耐震評価	25
4.1	記号の定義	25
4.2	評価対象断面	37
4.3	解析方法	39
4.3.1	施設	39
4.3.2	地盤物性のばらつき	40
4.3.3	減衰定数	40
4.3.4	解析ケース	40
4.4	荷重及び荷重の組合せ	42
4.4.1	耐震評価上考慮する状態	42
4.4.2	荷重	42
4.4.3	荷重の組合せ	43
4.5	入力地震動	44
4.6	解析モデル及び諸元	57
4.6.1	解析モデル	57
4.6.2	使用材料及び材料の物性値	59
4.6.3	地盤の物性値	61
4.6.4	地下水位	61
4.7	評価対象部位	62
4.7.1	施設・地盤の健全性評価	62
4.7.2	基礎地盤の支持性能評価	62
4.8	許容限界	63

4.8.1	防波扉	63
4.8.2	漂流物対策工	66
4.8.3	基礎地盤	69
4.9	設計用地震力	70
4.10	評価方法	71
4.10.1	防波扉	72
4.10.2	漂流物対策工	88
5.	評価条件	110
6.	耐震評価結果	116
6.1	防波扉	116
6.1.1	防波扉（鋼製扉体）	116
6.1.2	防波扉戸当り（RC支柱）	117
6.1.3	防波扉基礎スラブ	122
6.1.4	グラウンドアンカ	127
6.1.5	改良地盤	128
6.1.6	基礎地盤	129
6.2	漂流物対策工	131
6.2.1	漂流物対策工（鋼製扉体）	131
6.2.2	漂流物対策工戸当り（RC支柱）	133
6.2.3	漂流物対策工基礎スラブ	137
6.2.4	基礎地盤	142

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、防波壁通路防波扉（3号機東側）（以下「防波扉（3号機東側）」という。）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。

防波扉（3号機東側）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、地震応答解析により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

防波扉（3号機東側）の位置図を図2-1に示す。

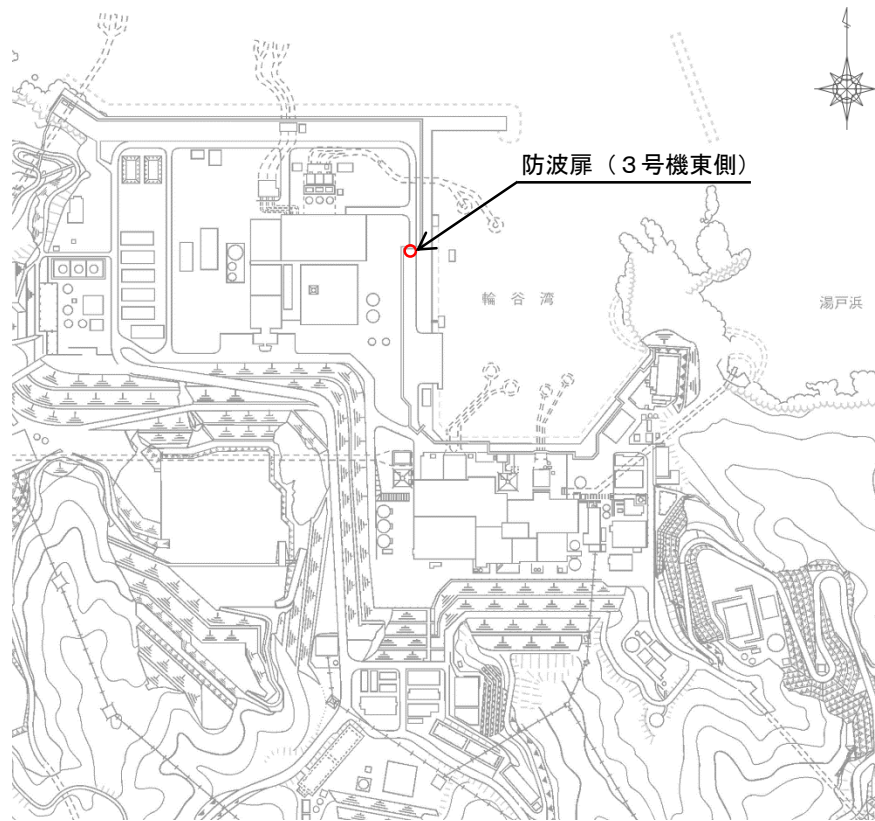


図2-1 防波扉（3号機東側）の位置図

2.2 構造概要

防波扉（3号機東側）の構造概要図を図2-2に示す。

防波扉（3号機東側）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。

防波扉（3号機東側）は、防波扉及び漂流物対策工から構成される。

防波扉は、改良地盤を介して岩盤に支持される直接支持構造と、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブによる上部構造から構成される。

防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの境界部には水密ゴムを設置し、止水性を確保する。また、防波扉基礎スラブにはグラウンドアンカを設置する。

防波扉（3号機東側）の構造図を図2-3に、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ接続部の概略配筋図を図2-4に、防波扉戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図2-5に、水密ゴムの概念図を図2-6に示す。

漂流物対策工は、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブから構成され、マンメイドロック（以下「MMR」という。）及び改良地盤を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図2-7に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図2-8に、漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図を図2-9に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ接続部の概略配筋図を図2-10に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のアンカー部付近の概略配筋図を図2-11に示す。

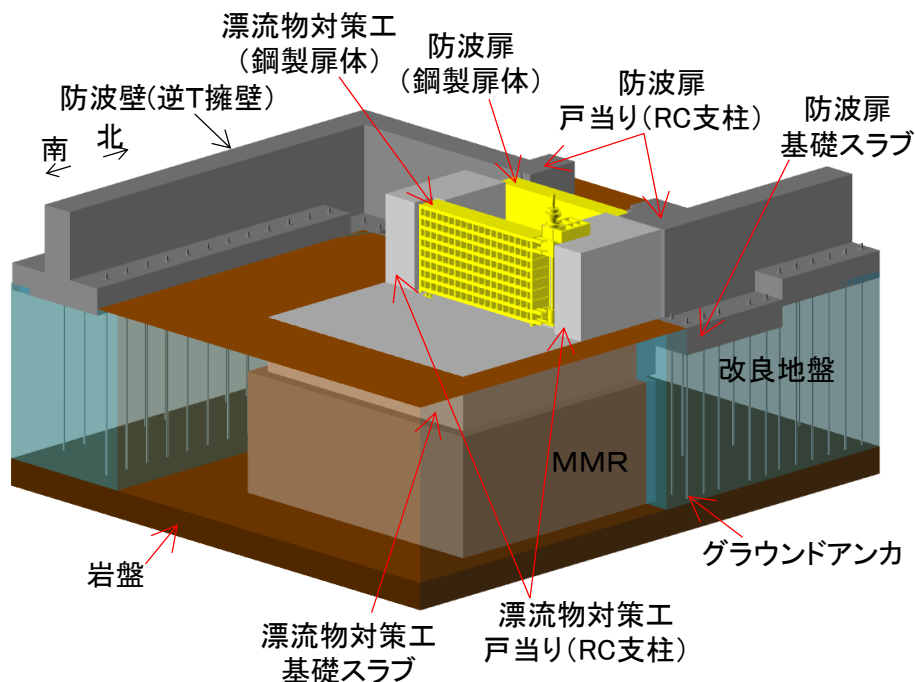


図2-2(1) 防波扉（3号機東側）の構造概要図（鳥瞰図）

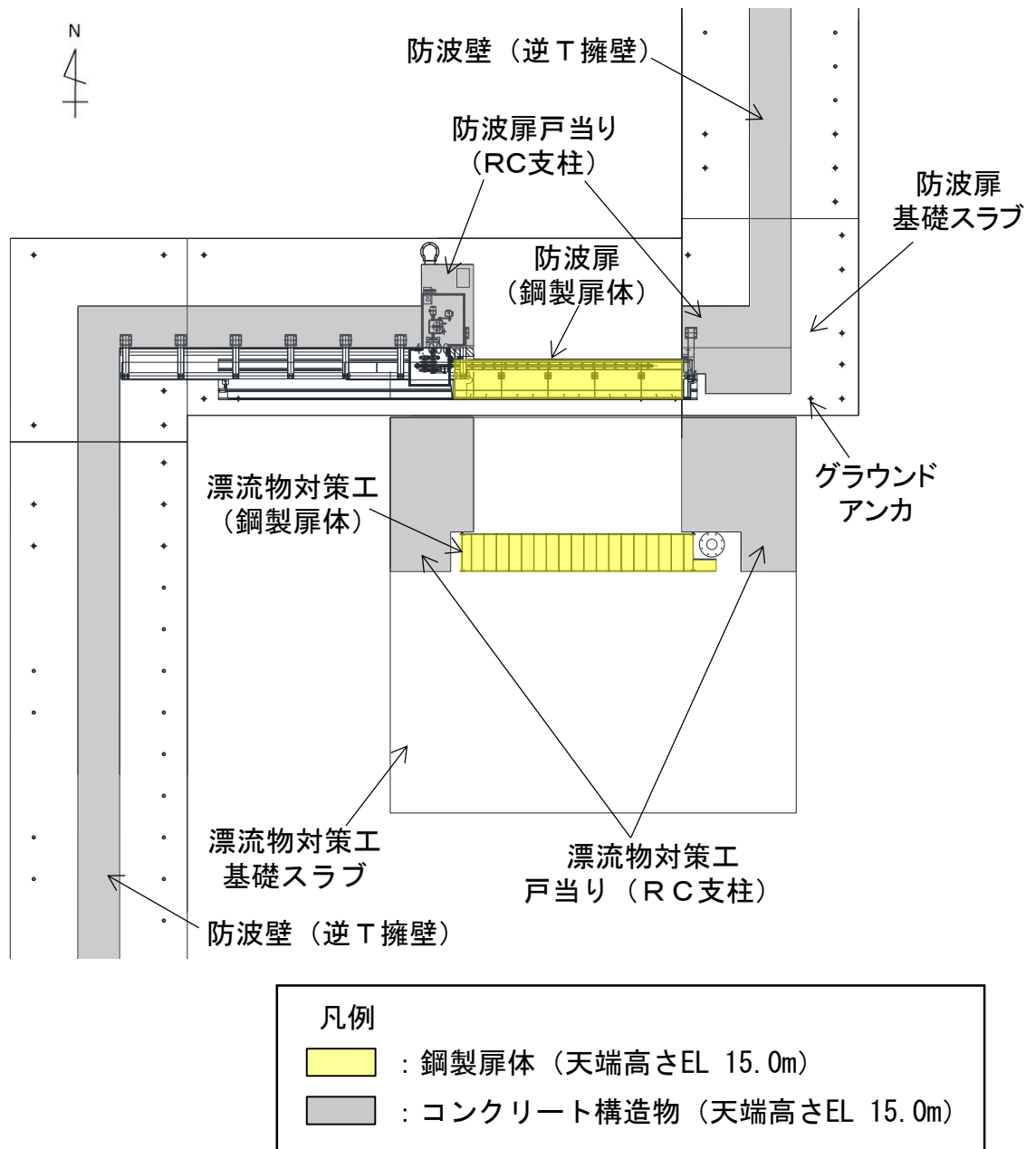


図 2-2(2) 防波扉 (3号機東側) の構造概要図 (平面図)

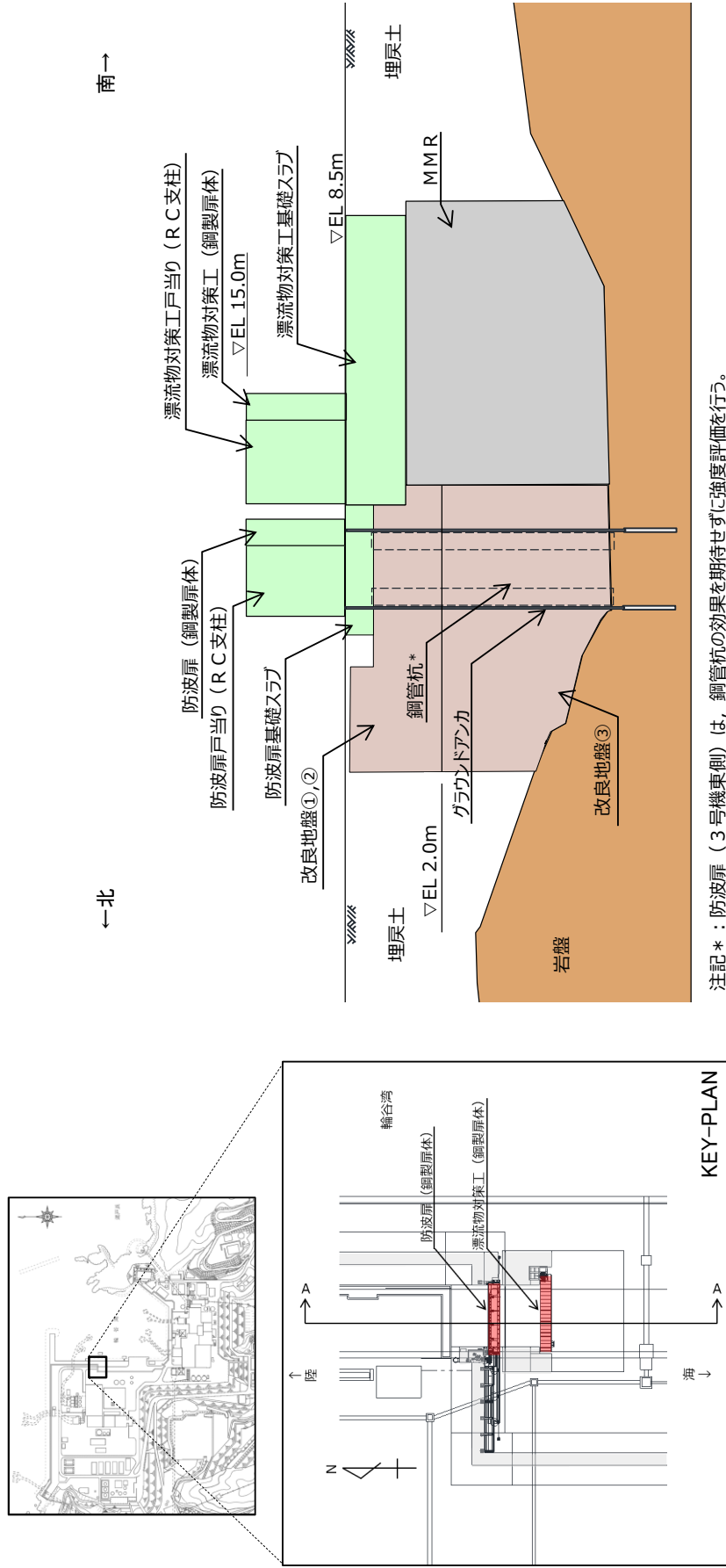
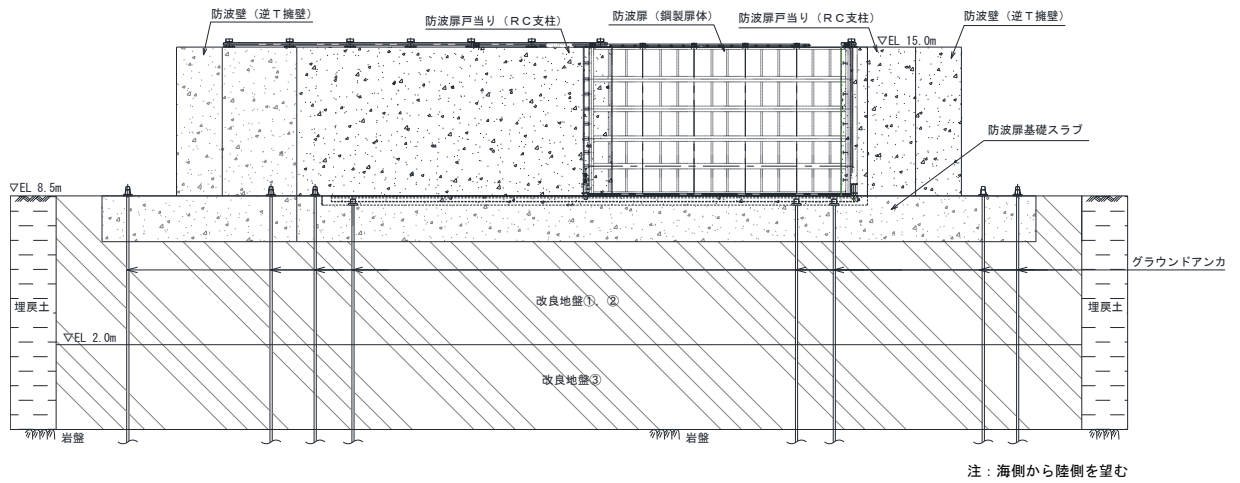
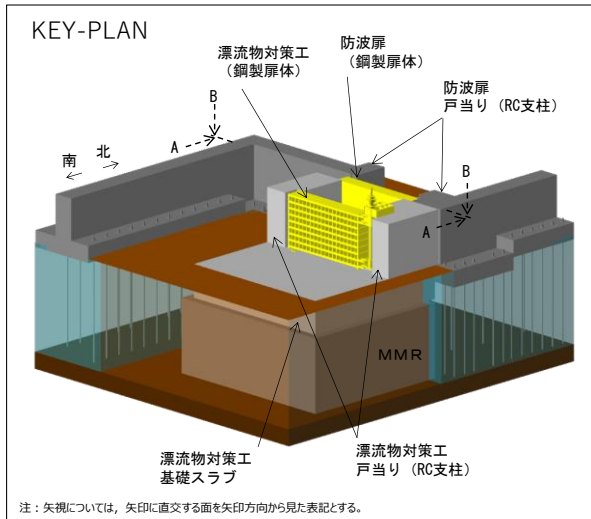
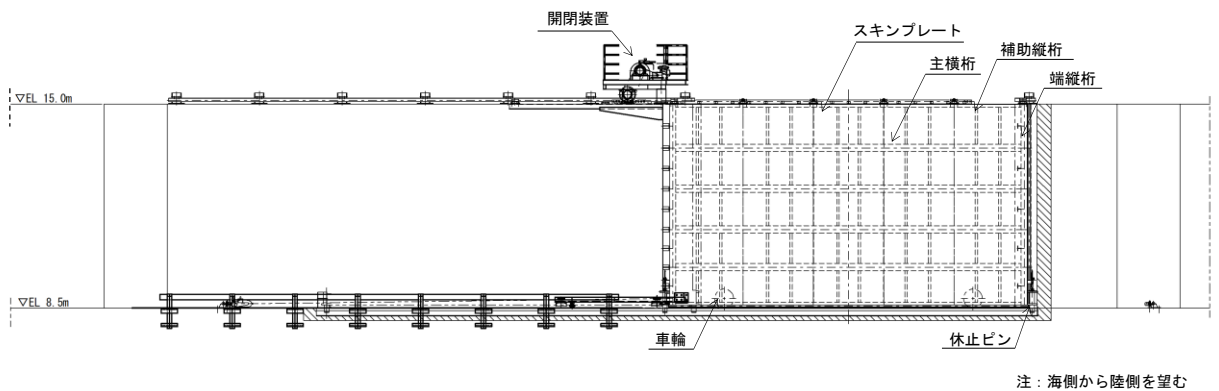


図 2-2(3) 防波扉 (3号機東側) の構造概要図 (断面図)



(全体図)



(防波扉 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-3(1) 防波扉の構造図 (A-A断面)

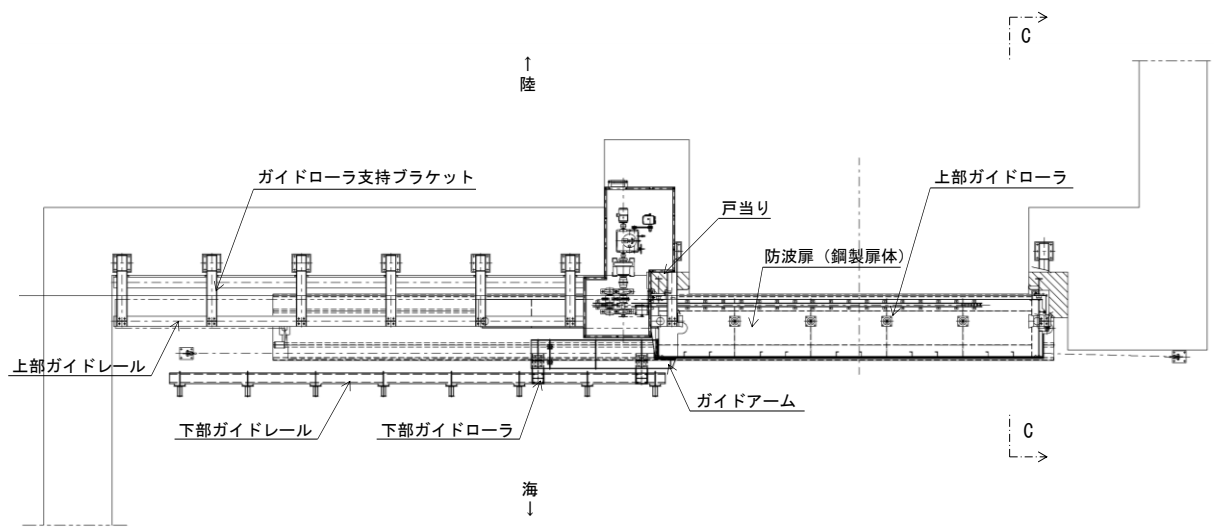


図 2-3(2) 防波扉の構造図 (B-B 断面)

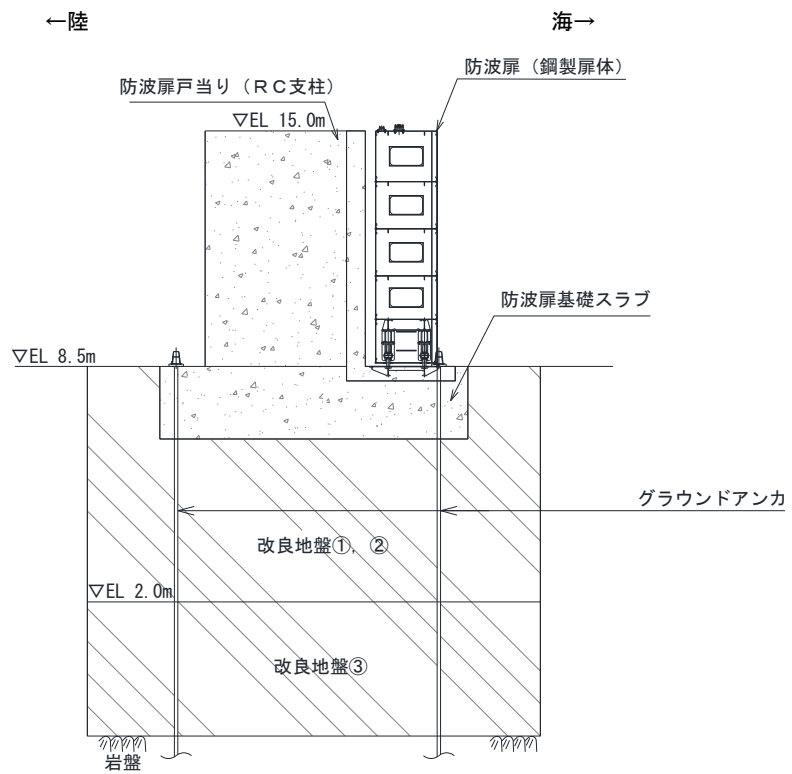


図 2-3(3) 防波扉の構造図 (C-C 断面)

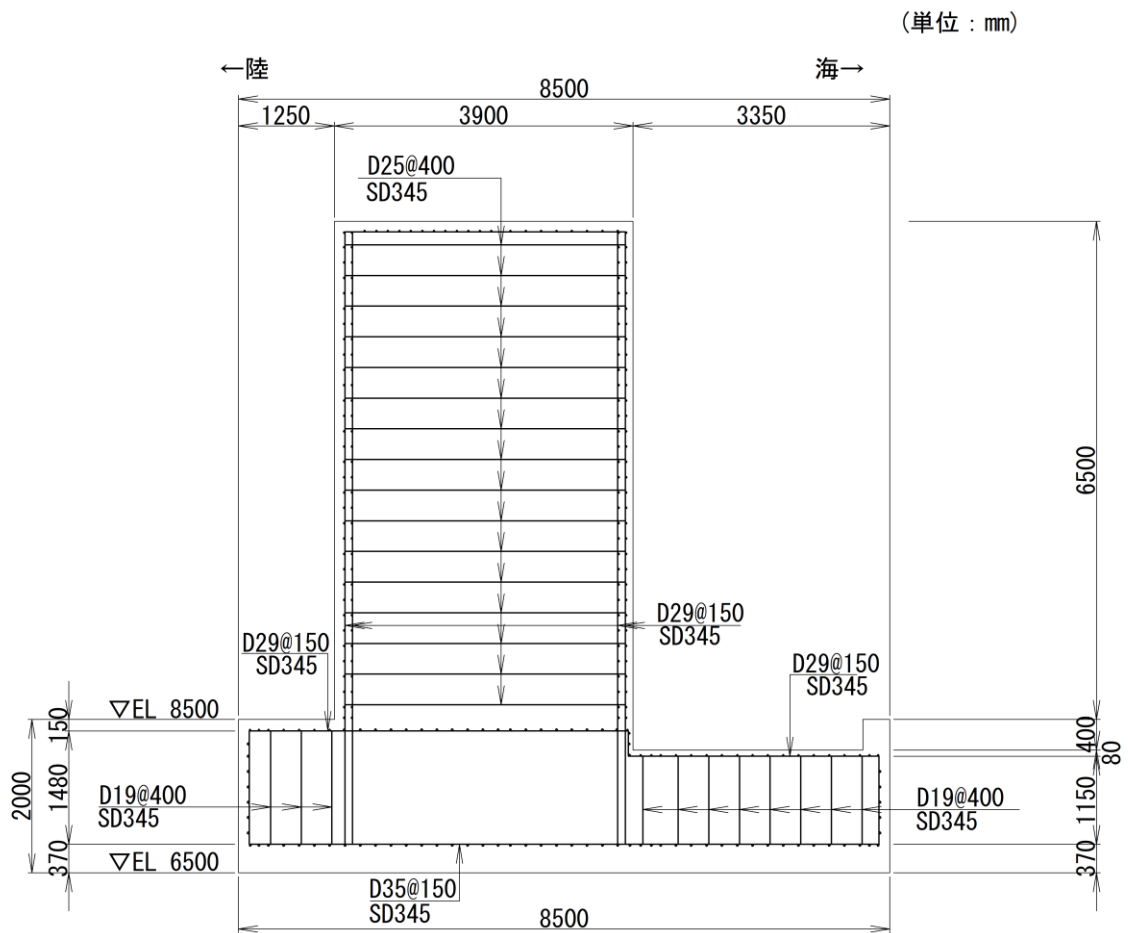
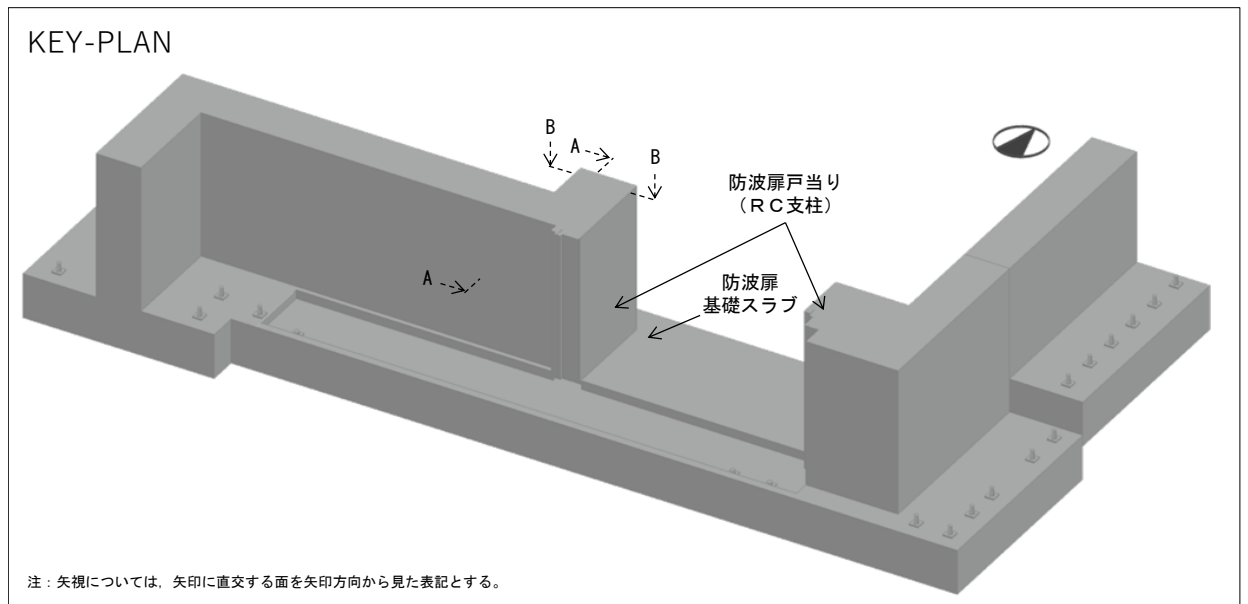


図 2-4 防波扉戸当り (RC支柱) 及び防波扉基礎スラブ接続部の概略配筋図 (A-A断面)

(単位 : mm)

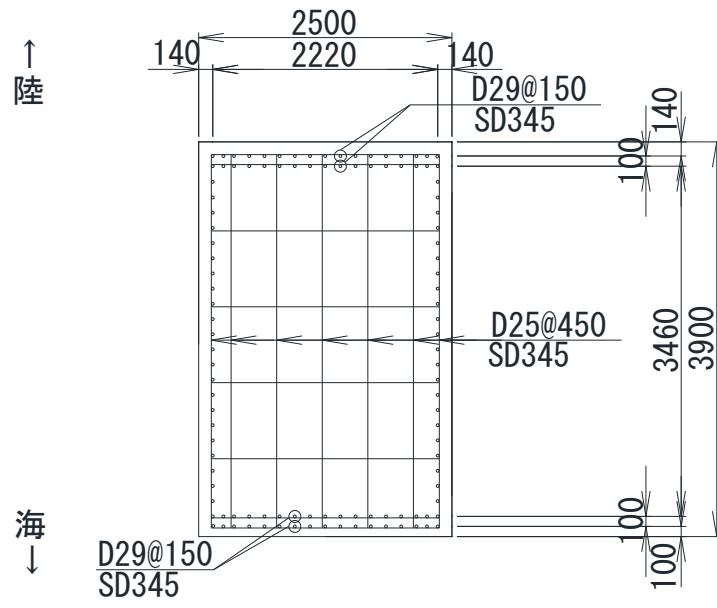
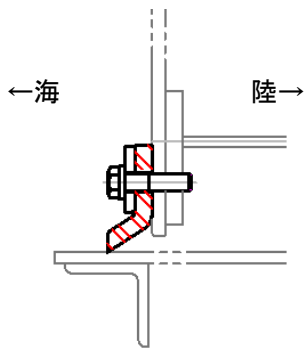
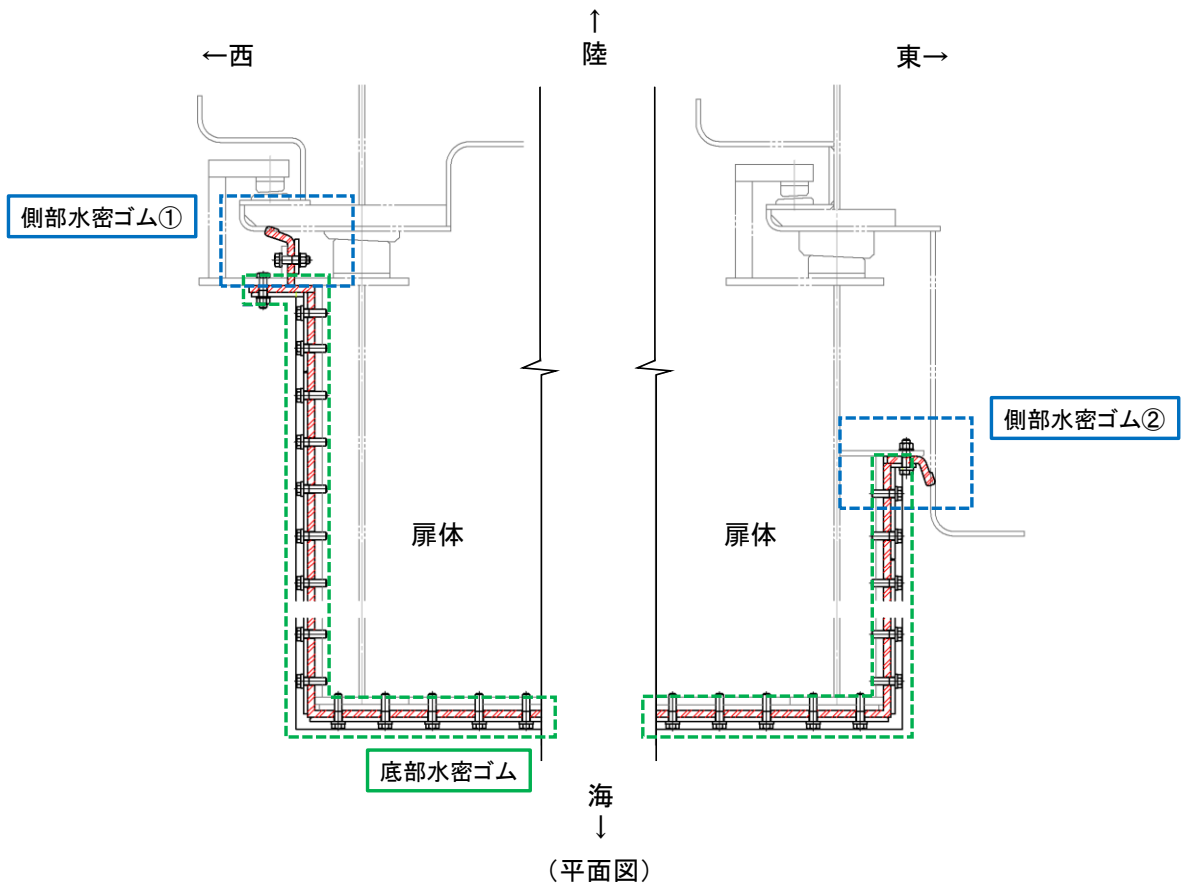
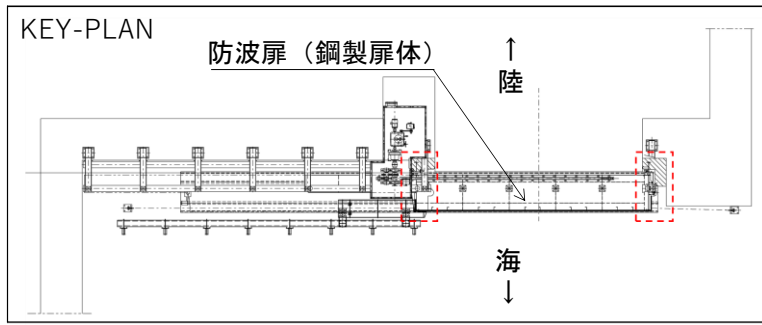
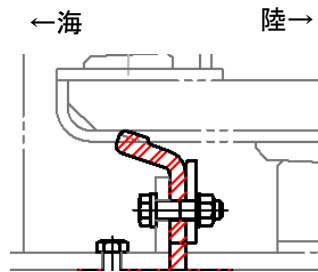


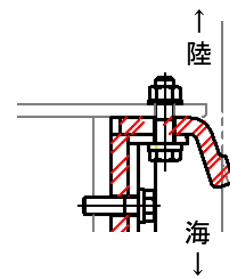
図 2-5 防波扉戸当り (RC 支柱) の概略配筋図 (B-B 断面)



(底部水密ゴム断面図)

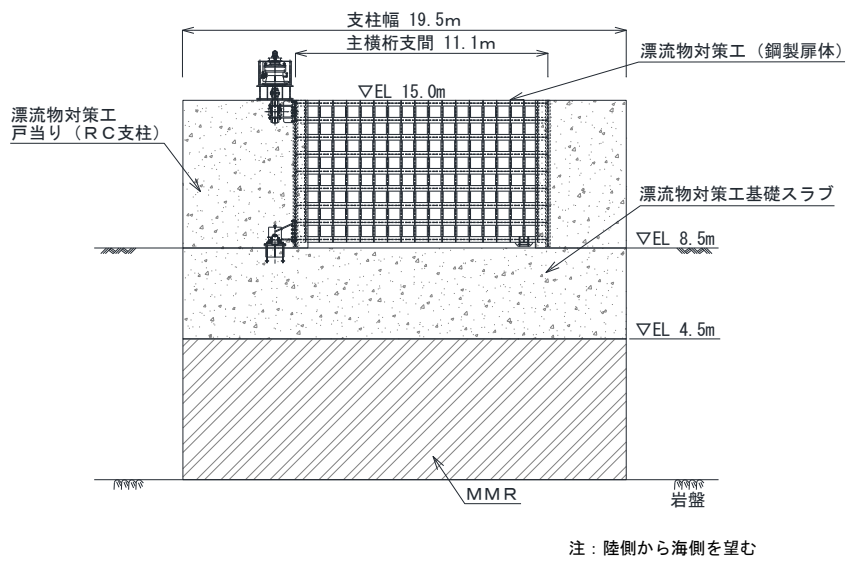
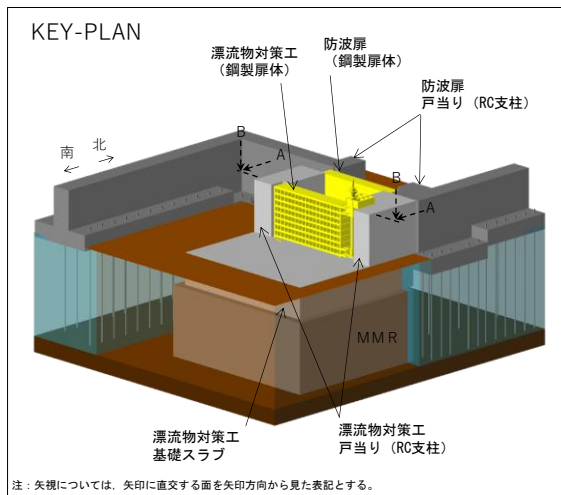


(側部水密ゴム①断面図)

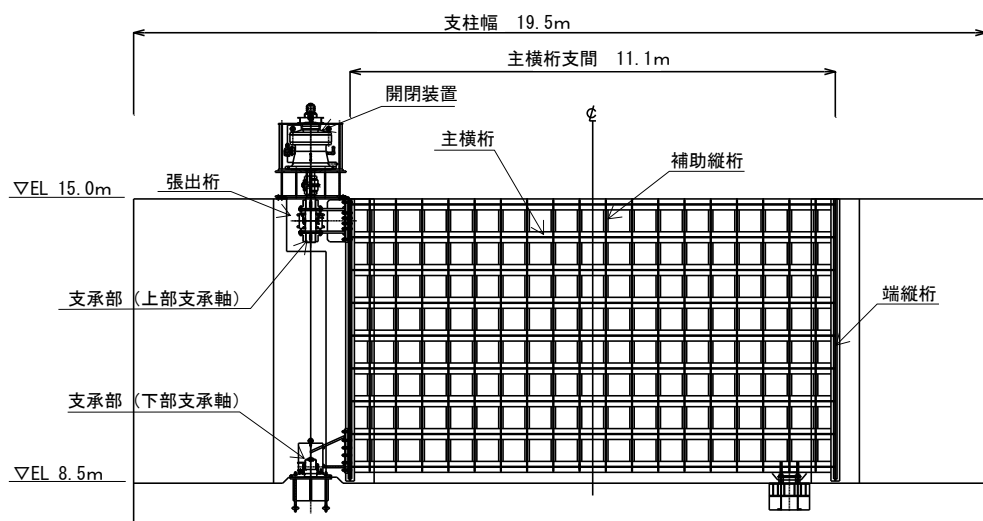


(側部水密ゴム②断面図)

図 2-6 水密ゴム概念図



(全体図)



(漂流物対策工 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-7(1) 漂流物対策工の構造図 (A-A 断面)

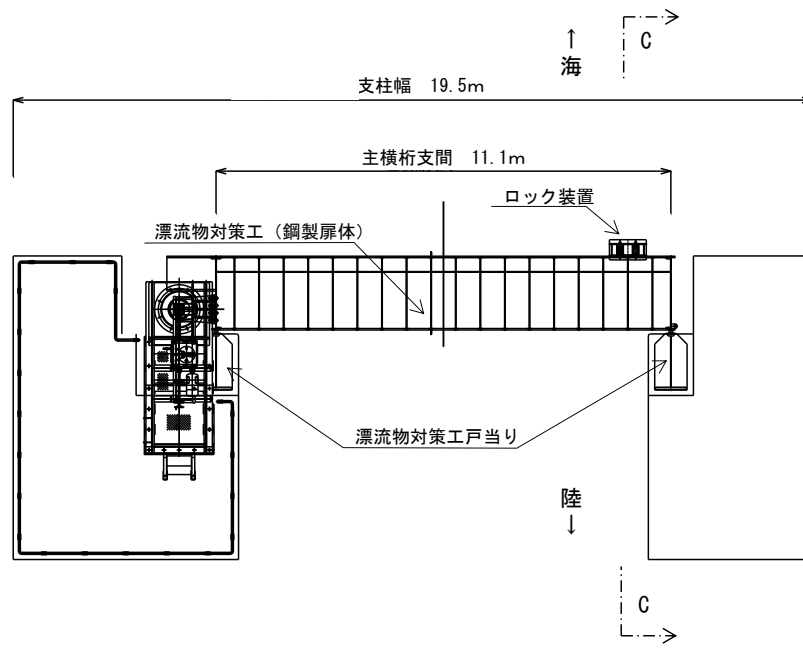


図 2-7(2) 漂流物対策工の構造図 (B-B断面)

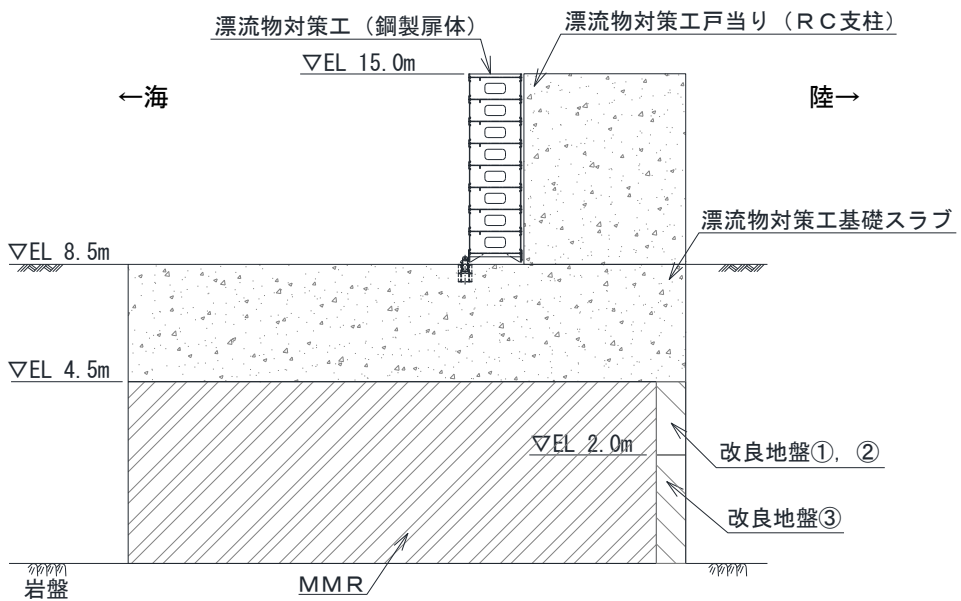
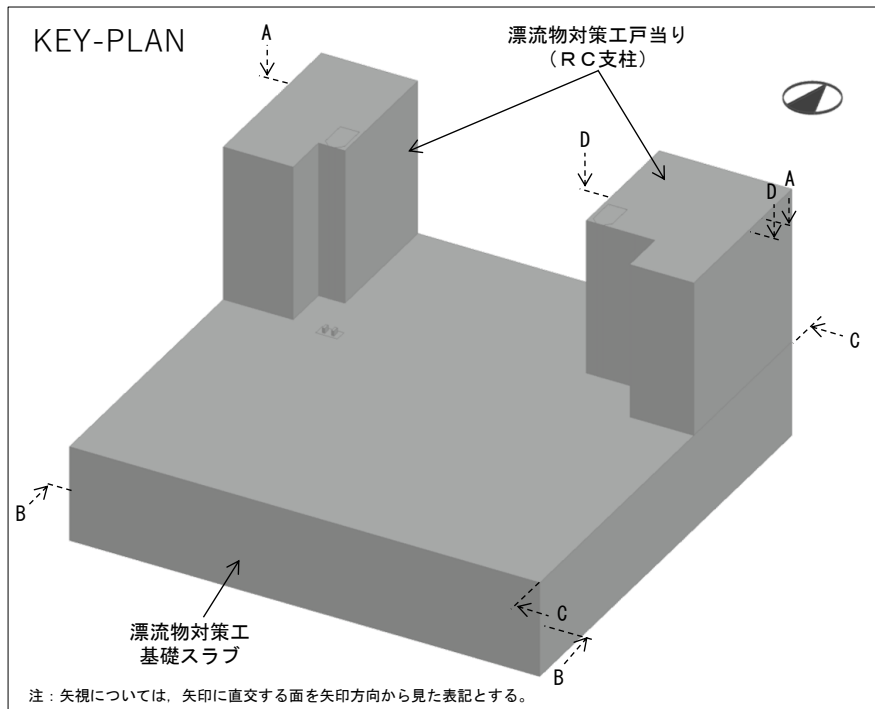


図 2-7(3) 漂流物対策工の構造図 (C-C断面)



(単位：mm)

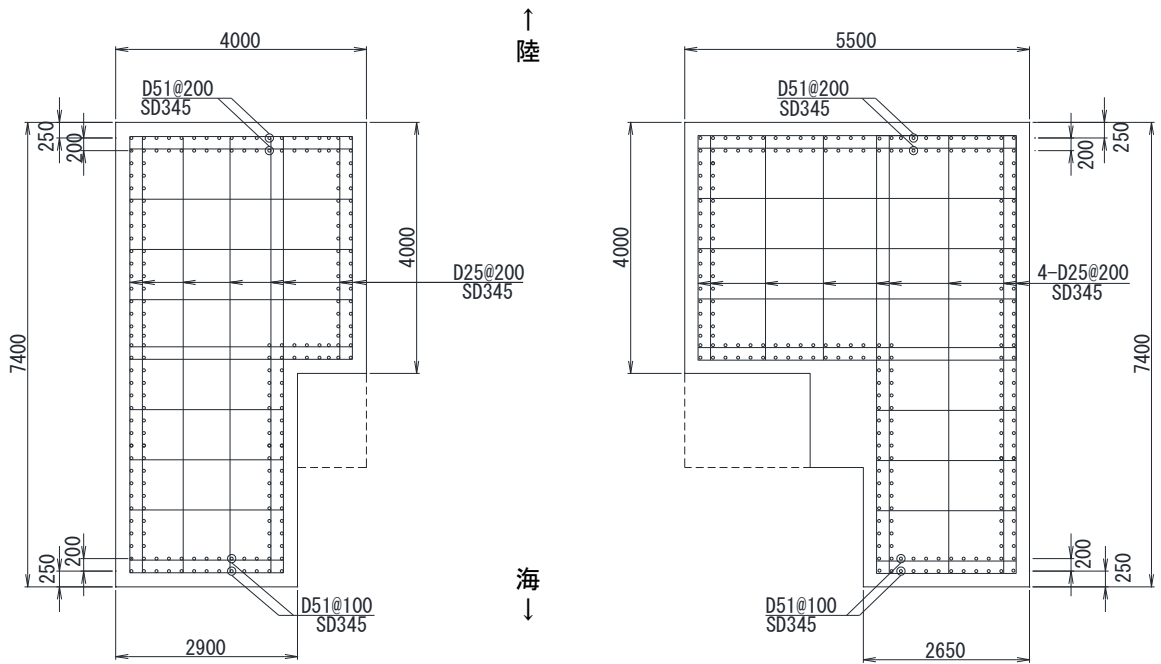


図 2-8 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の概略配筋図 (A-A断面)

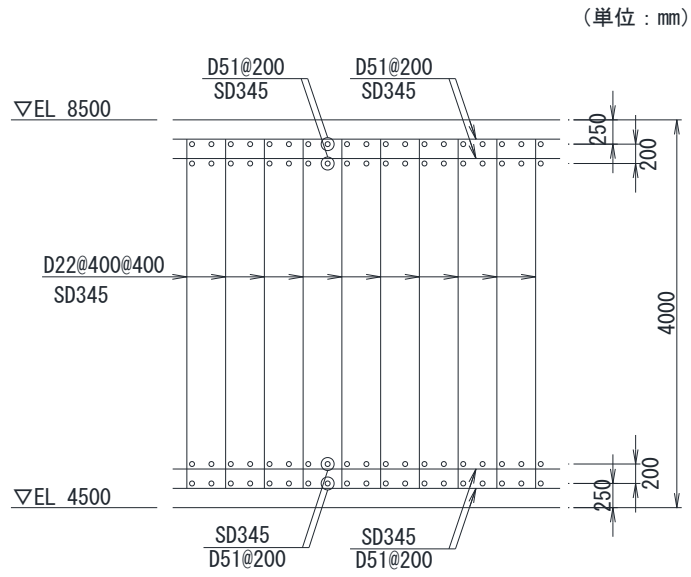


図 2-9 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

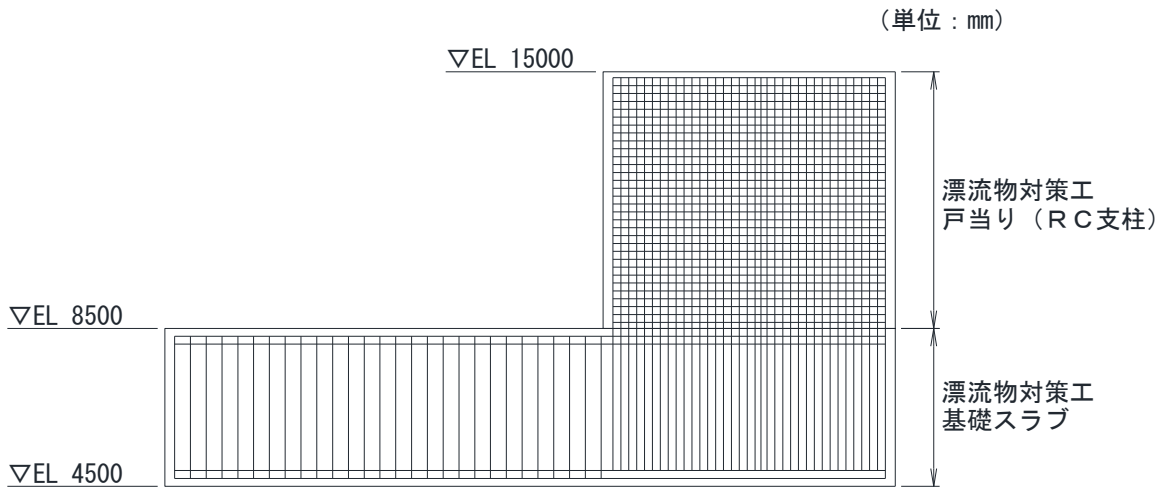
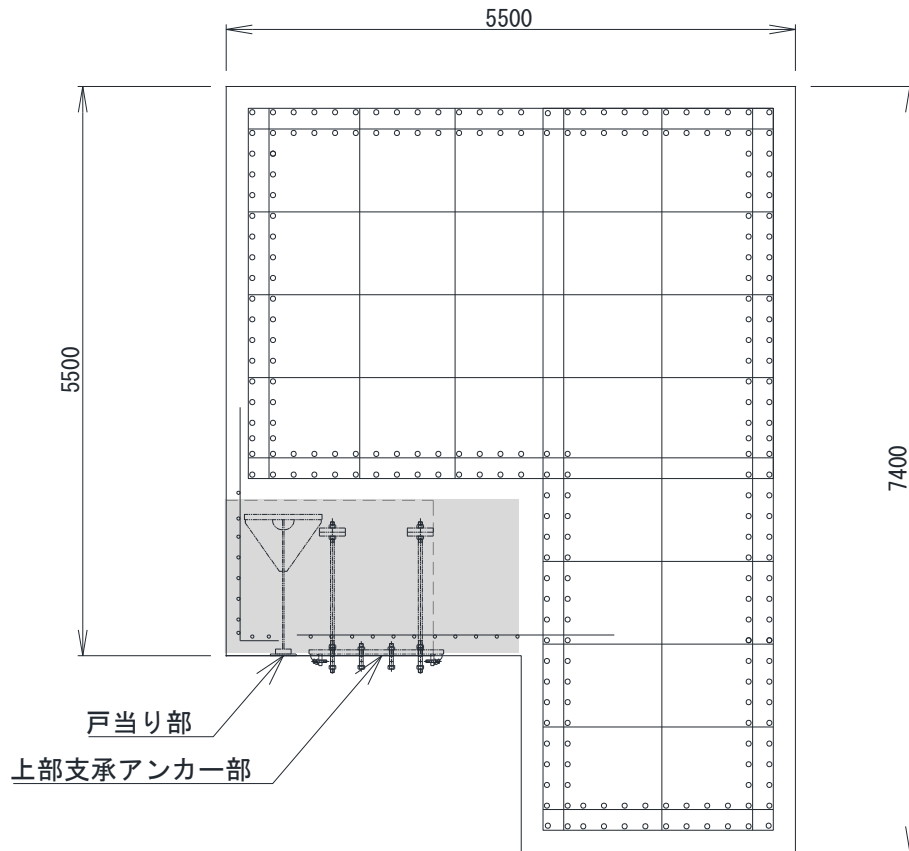


図 2-10 漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブ
 接続部の概略配筋図 (C-C 断面)

(単位 : mm)



注 : なお、戸当り部及び上部支承アンカー部には、ひび割れ補強鉄筋を配置する。
ひび割れ補強鉄筋は構造部材として期待していない。

図 2-11 漂流物対策工戸当り (RC支柱) のアンカー部付近の概略配筋図 (D-D断面)

2.3 評価方針

防波扉（3号機東側）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また、漂流物対策工により、津波による漂流物が直接衝突しない構造とする。

防波扉（3号機東側）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。

防波扉（3号機東側）の耐震評価は、地震応答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・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能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）が許容限界以下であることを確認する。

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。

防波扉（3号機東側）の耐震評価フローを図2-12に示す。

表 2-1 防波扉（3号機東側）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	防波扉 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水性を保持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。
	グラウンド アンカ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船等の漂流物を防波扉に衝突させない。 ・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を衝突させない。 ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 ・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。
地盤	改良地盤 ①～③	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。 ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。 ・地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。
	MMR	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ，漂流物対策工基礎スラブ，改良地盤及びMMRを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ，漂流物対策工基礎スラブ，改良地盤及びMMRを鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに反映し，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに反映し，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。

表 2-2 防波扉（3号機東側）の各部位の性能目標

性能目標 部位		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (遮水性, 難透水性)		
施設	防波扉 (鋼製扉体)	-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	防波扉から有意な漏えいを生じさせないために、弾性状態に留まること。		
	防波扉戸当り (RC支柱)				防波扉(鋼製扉体)の支持機能を喪失して防波扉(鋼製扉体)との間から有意な漏えいを生じさせないために、弾性状態に留まること。		
	防波扉 基礎スラブ						
	グラウンド アンカ				防波扉及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。	防波扉及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。	
	漂流物対策工 (鋼製扉体)				-	-	防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させないために、漂流物対策工がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)			-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 基礎スラブ						
地盤	改良地盤 ①～③	防波扉及び漂流物対策工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浸水を防止(難透水性を維持)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				-		
	MMR	漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	-	-	-		

表 2-3 防波扉（3号機東側）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	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		漂流物対策工（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）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①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度	
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

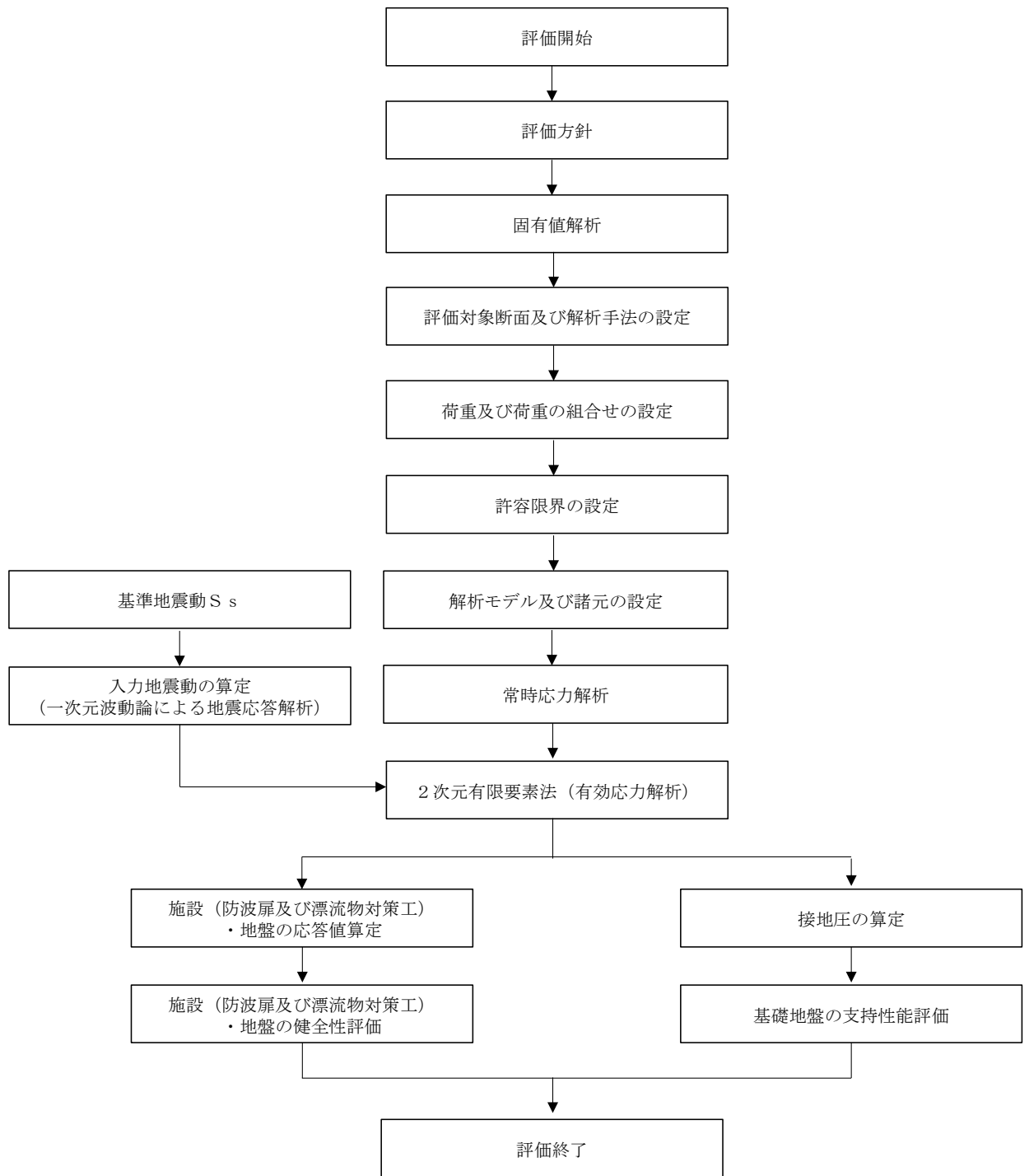


図 2-12 防波壁（3号機東側）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

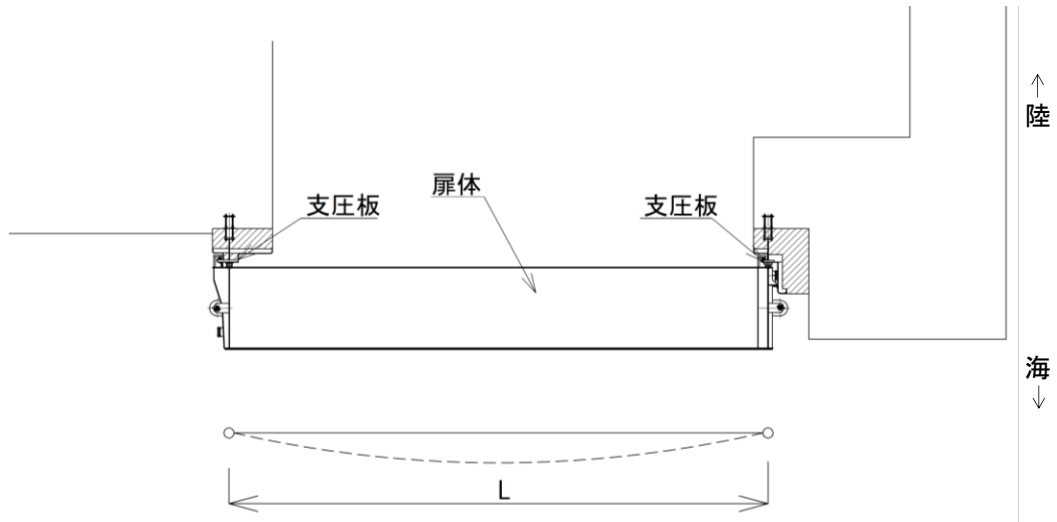
適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)
- ・ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・設備計画マニュアル編) ((社) ダム・堰施設技術協会, 平成 28 年 3 月)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 ((社) 地盤工学会, 2012 年)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 年版)
- ・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)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- ・建築基準法・同施行令

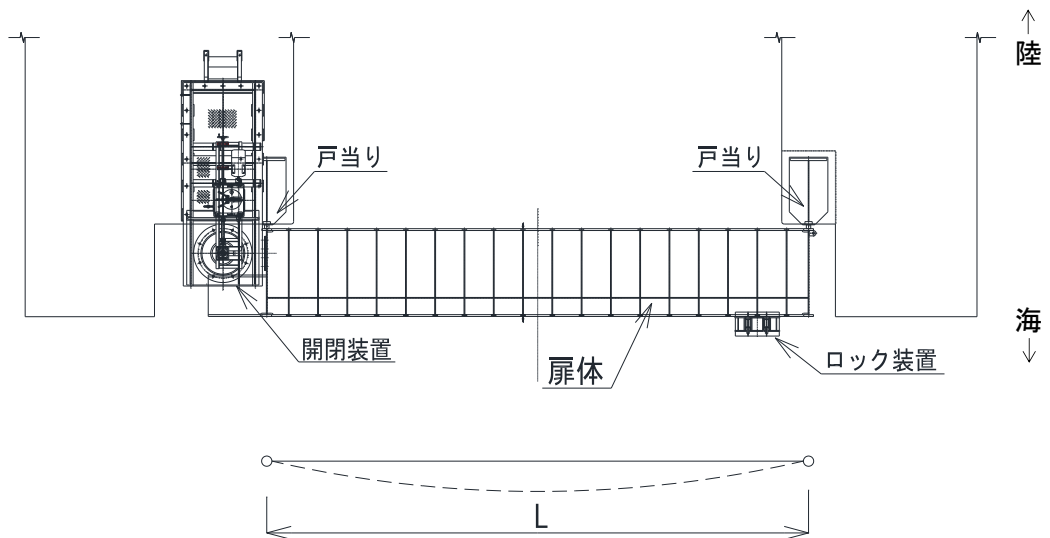
3. 固有値解析

3.1 解析モデルの設定

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）は、両端のRC支柱により支持する構造であることから、両端ヒンジはりに単純化したモデルとする。固有値解析モデル図を図3-1に示す。



(防波扉（鋼製扉体）)



(漂流物対策工（鋼製扉体）)

図3-1 固有値解析モデル

3.2 記号の説明

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の計算に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	m	スパン長
λ	—	支持条件によって定まる係数
γ	kN/m ³	単位体積重量
A	m ²	断面積
E	kN/m ²	ヤング係数
I	m ⁴	断面二次モーメント
g	m/s ²	重力加速度

3.3 固有振動数の計算方法

固有振動数を「機械工学便覧（（社）日本機械学会）」に基づき以下の式より計算する。

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI g}{\gamma A}}$$

3.4 固有振動数の計算条件

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

記号	定義	単位	防波扉 (鋼製扉体)	漂流物対策工 (鋼製扉体)
L	スパン長	m	11.4	11.3
λ	支持条件によって 定まる係数	—	3.14	3.14
γ	単位体積重量	kN/m ³	77	77
A	断面積	m ²	0.206	0.0466
E	ヤング係数	kN/m ²	2.00×10 ⁸	2.00×10 ⁸
I	断面二次 モーメント	m ⁴	0.143	0.0216
g	重力加速度	m/s ²	9.80665	9.80665

3.5 固有振動数の計算結果

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の計算結果を表 3-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）は剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数の計算結果

部位	固有振動数 (Hz)
防波扉（鋼製扉体）	50.8
漂流物対策工（鋼製扉体）	42.3

4. 耐震評価

4.1 記号の定義

耐震評価に用いる記号を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 防波扉の強度評価に用いる記号(1/6)

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製扉体)	主横桁	W	kN/m	主横桁に作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重)
		B	m	主横桁の水密幅
		L	m	主横桁の支間長
		M	kN・m	主横桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁に生じるせん断力
		N	kN	主横桁に生じる軸力
		Z	mm ³	主横桁の断面係数
		D	m	側部水密幅
		A _w	mm ²	主横桁腹板の断面積
		A _g	mm ²	主横桁の断面積
		σ	N/mm ²	主横桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	主横桁に生じるせん断応力度
		σ _a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度	
	補助縦桁	P	kN/m ²	補助縦桁に作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重)
		a	m	補助縦桁間隔
		b	m	主横桁間隔
		M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		Z	mm ³	補助縦桁の断面係数
		A _w	mm ²	補助縦桁腹板の断面積
		σ	N/mm ²	補助縦桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	補助縦桁に生じるせん断応力度
σ _a		N/mm ²	許容曲げ応力度	
τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度		

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(2/6)

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製扉体)	端縦桁	R	kN	端縦桁に生じる支点反力
		A_q	mm ²	補剛材の有効断面積
		σ_c	N/mm ²	端縦桁に生じる圧縮応力度
		σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
		A_w	mm ²	端縦桁腹板の有効断面積
		A_{s1}	mm ²	主横桁腹板の有効断面積
		A_{s2}	mm ²	スチフナの有効断面積
		t_w	mm	端縦桁腹板の厚さ
		t_{s1}	mm	主横桁腹板の厚さ
		t_{s2}	mm	スチフナの厚さ
		b_w	mm	端縦桁腹板の幅
		b_{s1}	mm	主横桁腹板の幅
		b_{s2}	mm	スチフナの幅
	支圧板	W_{gh}	kN/m	支圧板に作用する地震時慣性力
		W	kN/mm ²	支圧板に作用する風荷重
		B	mm	防波扉(鋼製扉体)の水密幅
		b	mm	支圧板の有効幅
		σ_p	N/mm ²	支圧板に生じる支圧応力度
		σ_a	N/mm ²	許容支圧応力度
	戸当り	P	kN/m	戸当りに作用する地震時荷重(地震時慣性力+風荷重)
		b_f	mm	戸当り(底面フランジ)の幅
		t_f	mm	戸当り(底面フランジ)の厚さ
		B	mm	防波扉(鋼製扉体)の水密幅
		h	mm	戸当りの埋込深さ
		L	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ
		σ_b	N/mm ²	戸当り(底面フランジ)に生じる曲げ応力度
		σ_k	N/mm ²	戸当り(コンクリート)に生じる支圧応力度
		τ_c	N/mm ²	戸当り(コンクリート)に生じるせん断応力度
		σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
		σ_{cba}	N/mm ²	許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm ²	許容せん断応力度		

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(3/6)

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製扉体)	車輪	R_1	kN	海側車輪に作用する荷重
		R_2	kN	陸側車輪に作用する荷重
		K_V	—	鉛直震度
		L	mm	車輪荷重の作用位置
		L_1	mm	海側車輪荷重の作用位置
		L_2	mm	陸側車輪荷重の作用位置
		W_g	kN	防波扉(鋼製扉体)の自重
		W_{S1}	kN	防波扉(鋼製扉体)天端に作用する積雪荷重
		W_{S2}	kN	ガイドアームに作用する積雪荷重
		P	kN	車輪に作用する荷重
		E_1	N/mm ²	車輪の弾性係数
		E_2	N/mm ²	車輪踏面板の弾性係数
		B	mm	車輪有効踏面幅
		R	mm	車輪半径
		C	mm	接触幅の 1/2
		σ_a	N/mm ²	許容接触面圧応力度
		M	N・mm	車輪軸に生じる曲げモーメント
		S	N	車輪軸に生じるせん断力
		A	mm ²	車輪軸の断面積
		Z	mm ³	車輪軸の断面係数
		L_3	mm	車輪軸の支持間隔
		L_4	mm	車輪受桁の支持間隔
		a	mm	車輪受桁の荷重載荷位置から端縦桁までの長さ
		b	mm	車輪受桁の荷重載荷位置から補助縦桁までの長さ
		M_1	N・mm	車輪受桁に生じる曲げモーメント
		S_1	N	車輪受桁に生じるせん断力
		Z_1	mm ³	車輪受桁の断面係数
		A_w	mm ²	車輪受桁腹板の断面積
		p	N/mm ²	接触面圧応力度
		σ	N/mm ²	車輪軸に生じる曲げ応力度
τ	N/mm ²	車輪軸に生じるせん断応力度		
σ_1	N/mm ²	車輪受桁に生じる曲げ応力度		
τ_1	N/mm ²	車輪受桁に生じるせん断応力度		

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(4/6)

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製扉体)	車輪戸当り	P	kN	車輪に作用する荷重
		K	N/mm ²	車輪荷重直下のコンクリートに生じる支圧応力度
		a	mm	コンクリートの応力度の分布長さの 1/2
		M	N・mm	車輪戸当りに生じる曲げモーメント
		S	N	車輪戸当りに生じるせん断力
		I	mm ⁴	車輪戸当りの断面 2 次モーメント
		B	mm	車輪戸当り (底面フランジ) の幅
		Z	mm ³	車輪戸当りの断面係数
		A _w	mm ²	車輪戸当り腹板の断面積
		M _f	N・mm	車輪戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント
		σ	N/mm ²	車輪戸当りに生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	車輪戸当りに生じるせん断応力度
		σ _a	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
		σ _f	N/mm ²	車輪戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度
		t _f	mm	車輪戸当り (底面フランジ) の厚さ
		ガイドアーム	P _v	kN
	W _g		kN	防波扉 (鋼製扉体) の自重
	W _s		kN	ガイドアームに作用する積雪荷重
	L		mm	ガイドアームの支間長
	M		kN・m	ガイドアームに生じる曲げモーメント
	S		kN	ガイドアームに生じるせん断力
	Z		mm ³	ガイドアームの断面係数
	A _w		mm ²	ガイドアーム腹板の断面積
	σ		N/mm ²	ガイドアームに生じる曲げ応力度
	τ		N/mm ²	ガイドアームに生じるせん断応力度
	K _v	—	鉛直震度	
σ _a	N/mm ²	許容曲げ応力度		
τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度		

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(5/6)

評価対象部位		記号	単位	定義
防波扉 (鋼製扉体)	休止ピン	P_h	kN	休止ピンに作用する水平荷重
		W	kN	自重 (扉体自重+積雪荷重)
		K_H	—	水平震度
		M	N・mm	休止ピンに生じる曲げモーメント
		S	N	休止ピンに生じるせん断力
		Z	mm ³	休止ピンの断面係数
		A	mm ²	休止ピンの断面積
		n	本	休止ピン本数
		L	mm	休止ピンの突出長さ
		d	mm	休止ピンの径
		σ	N/mm ²	休止ピンに生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	休止ピンに生じるせん断応力度
				σ_a
		τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
防波扉戸当り (RC支柱)		σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
		τ_{a1}	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
		M	kN・m	防波扉戸当り (RC支柱) に生じる曲げモーメント
		N	kN	防波扉戸当り (RC支柱) に生じる軸力
		Q	kN	防波扉戸当り (RC支柱) に生じるせん断力
防波扉 基礎スラブ, グラウンドアンカ		σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
		τ_{a1}	N/mm ²	コンクリートの短期許容せん断応力度
		σ_{ba}	N/mm ²	コンクリートの短期許容支圧応力度
		σ_{sa}	N/mm ²	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
		σ_b	N/mm ²	グラウンドアンカにより発生する支圧応力度
		T	kN	発生アンカー力
		S	mm ²	支圧板の面積
		T_a	kN	許容アンカー力
		M	kN・m	防波扉基礎スラブに生じる曲げモーメント
		N	kN	防波扉基礎スラブに生じる軸力
	Q	kN	防波扉基礎スラブに生じるせん断力	

表 4-1 防波扉の耐震評価に用いる記号(6/6)

評価対象部位	記号	単位	定義
改良地盤	F_s	-	局所安全係数
基礎地盤	R_u	N/mm^2	極限支持力度
	R_d	N/mm^2	基礎地盤の最大接地圧

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(1/6)

評価対象部位	記号	単位	定義	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	主横桁	M	kN・m	主横桁（最下段）に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁（最下段）に生じるせん断力
		W	kN/m	主横桁に作用する地震時慣性力
		W'	kN/m	主横桁に作用する風荷重
		L	m	主横桁の支間長
		a	m	主横桁の張出長さ
		L ₁	m	漂流物対策工（鋼製扉体）の幅
		Z	mm ³	主横桁の断面係数
		A _w	mm ²	主横桁腹板の断面積
		σ	N/mm ²	主横桁（最下段）に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	主横桁（最下段）に生じるせん断応力度
		L'	m	主横桁の張出長さ
		M'	kN・m	主横桁（最上段）に生じる曲げモーメント
		S'	kN	主横桁（最上段）に生じるせん断力
		σ'	N/mm ²	主横桁（最上段）に生じる曲げ応力度
		τ'	N/mm ²	主横桁（最上段）に生じるせん断応力度
		σ _{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
		張出桁	M	kN・m
	S		kN	張出桁に生じるせん断力
	W		kN/m	張出桁に作用する地震時慣性力
	W'		kN/m	張出桁に作用する風荷重
	L		m	張出長さ
	Z		mm ³	張出桁の断面係数
	A _w		mm ²	張出桁腹板の断面積
	σ		N/mm ²	張出桁に生じる曲げ応力度
	τ		N/mm ²	張出桁に生じるせん断応力度
	σ _{ca}		N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ _{ca}		N/mm ²	許容せん断応力度
	補助 縦桁	M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		W	kN/m	補助縦桁に作用する地震時慣性力
		W'	kN/m	補助縦桁に作用する風荷重
		l	m	主横桁の間隔
		Z	mm ³	補助縦桁の断面係数
		A _w	mm ²	補助縦桁腹板の断面積
σ		N/mm ²	補助縦桁に生じる曲げ応力度	
τ		N/mm ²	補助縦桁に生じるせん断応力度	
σ _{ca}		N/mm ²	許容曲げ応力度	
τ _{ca}	N/mm ²	許容せん断応力度		

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(2/6)

評価対象部位	記号	単位	定義	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	端縦桁	R	kN	主横桁に生じる支点反力
		A_g	mm ²	補剛材の有効断面積
		A_w	mm ²	端縦桁腹板の有効断面積
		A_{s1}	mm ²	主横桁腹板の有効断面積
		A_{s2}	mm ²	スチフナの有効断面積
		t_w	mm	端縦桁腹板の厚さ
		b_w	mm	端縦桁腹板の長さ
		t_{s1}	mm	主横桁腹板の厚さ
		t_{s2}	mm	スチフナの厚さ
		b_{s1}	mm	主横桁腹板の長さ
		b_{s2}	mm	スチフナの長さ
		σ_c	N/mm ²	端縦桁に生じる圧縮応力度
		σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
	支承部 (上部支 承軸)	M	kN・m	支承部(上部支承軸)に生じる曲げモーメント
		R_H	kN	支承部(上部支承軸)に作用する水平荷重
		L	m	支承軸支持間隔
		S	kN	支承部(上部支承軸)に生じるせん断力
		Z	mm ³	支承部(上部支承軸)の断面係数
		A	mm ²	支承部(上部支承軸)の断面積
		σ	N/mm ²	支承部(上部支承軸)に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	支承部(上部支承軸)に生じるせん断応力度
		σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
	支承部 (下部支 承軸)	M	kN・m	支承部(下部支承軸)に生じる曲げモーメント
		R_H	kN	支承部(下部支承軸)に作用する水平荷重
		L	m	支承部(下部支承軸)の突出長さ
		S	kN	支承部(下部支承軸)に生じるせん断力
		Z	mm ³	支承部(下部支承軸)の断面係数
		A	mm ²	支承部(下部支承軸)の断面積
		σ	N/mm ²	支承部(下部支承軸)に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	支承部(下部支承軸)に生じるせん断応力度
		σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
	支承部 (下部支 承軸受)	R_v	kN	支承部(下部支承軸)に作用する鉛直荷重
		r	mm	軸受(壺金)の球面の半径
		E	N/mm ²	軸受(壺金)の弾性係数
p		N/mm ²	軸受(壺金)に生じる支圧応力度	
p_a		N/mm ²	許容接触応力度	

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(3/6)

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	支承部 (支承軸 受)	R_1	kN	支承部(支承軸受)に作用する荷重
		R_H	kN	支承部(下部支承軸)に作用する水平荷重
		C_{cr}	kN	許容荷重
	支承部 (浮上防 止金物)	M	$kN \cdot m$	支承部(浮上防止金物)に生じる曲げモーメント
		R_v	kN	支承部(浮上防止金物)に作用する鉛直上向き荷重
		L	m	支承部(浮上防止金物)の突出長さ
		S	kN	支承部(浮上防止金物)に生じるせん断力
		Z	mm^3	支承部(浮上防止金物)の断面係数
		A_1	mm^2	支承部(浮上防止金物)の断面積
		σ_b	N/mm^2	支承部(浮上防止金物)に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm^2	支承部(浮上防止金物)に生じるせん断応力度
		σ_a	N/mm^2	許容曲げ圧縮応力度
		τ_a	N/mm^2	許容せん断応力度
		F	kN	固定ボルトに生じる軸力
		a, b	mm	支持点からの距離
		A_2	mm^2	固定ボルトの有効断面積
		σ_t	N/mm^2	固定ボルトに生じる軸方向引張応力度
		σ_{ta}	N/mm^2	許容軸方向引張応力度

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(4/6)

評価対象部位	記号	単位	定義	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	上部支承 (アンカ ーボル ト) , 上部支承 (コンク リート)	F	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力
		R_H	kN	支承部 (上部支承軸) に作用する水平荷重
		l	mm	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離
		m	mm	アンカーボルトの間隔
		n	本	アンカーボルトの片側本数
		A	mm ²	アンカーボルトの断面積
		d	mm	アンカーボルトの埋込深さ
		a, b	mm	アンカープレートの寸法
		c, e	mm	支圧板の寸法
		σ_t	N/mm ²	アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度
		σ_a	N/mm ²	許容軸方向引張応力度
		σ_{c1}	N/mm ²	上部支承 (コンクリート) に生じる支圧応力度 (アンカープレート)
		σ_{c2}	N/mm ²	上部支承 (コンクリート) に生じる支圧応力度 (支圧板)
		τ_c	N/mm ²	上部支承 (コンクリート) に生じるせん断応力度 (アンカープレート)
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度	
	τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	
	下部支承 (アンカ ーボル ト) , 下部支承 (コンク リート)	F	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力
		R_H	kN	支承部 (下部支承軸) に作用する水平荷重
		L	mm	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離
		y	mm	アンカーボルトの間隔
		n	本	アンカーボルトの片側本数
		A	mm ²	アンカーボルトの断面積
d		mm	アンカーボルトの埋込深さ	
a, b		mm	アンカープレートの寸法	
c, e		mm	支圧板の寸法	
σ_t		N/mm ²	アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度	
σ_a		N/mm ²	許容軸方向引張応力度	
σ_{c1}		N/mm ²	下部支承 (コンクリート) に生じる支圧応力度 (アンカープレート)	
σ_{c2}		N/mm ²	下部支承 (コンクリート) に生じる支圧応力度 (支圧板)	
τ_c		N/mm ²	下部支承 (コンクリート) に生じるせん断応力度 (アンカープレート)	
σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度		
τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度		

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(5/6)

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	ロック 装置	M	kN・m	ロックビームに生じる曲げモーメント
		R _r	kN	ロックビームに作用する荷重
		a	m	ロックビームの突出長さ
		n	本	ロックビーム本数
		Z	mm ³	ロックビームの断面係数
		S	kN	ロックビームに生じるせん断力
		A	mm ²	ロックビームのせん断面積
		σ	N/mm ²	ロックビームに生じる曲げ応力度
		τ	N/mm ²	ロックビームに生じるせん断応力度
		σ _{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
		τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
	支圧板, 戸当り	W	kN/m	戸当りに作用する地震時荷重(地震時慣性力+風荷重)
		C	mm	支圧板の有効幅
		L ₁	mm	漂流物対策工(鋼製扉体)の幅
		L ₂	mm	主横桁の荷重分担長さ
		t _w	mm	戸当り(腹板)の厚さ
		b _f	mm	戸当り(底面フランジ)の幅
		t _f	mm	戸当り(底面フランジ)の厚さ
		l ₁	mm	戸当りの埋込深さ
		l ₂	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ
		M _f	N・mm/mm	戸当り(底面フランジ)に生じる曲げモーメント
		Σl	mm	せん断抵抗長さ(=l ₁ +2l ₂)
		σ _p	N/mm ²	支圧板に生じる支圧応力度
		σ _b	N/mm ²	戸当り(腹板)に生じる支圧応力度
		σ _f	N/mm ²	戸当り(底面フランジ)に生じる曲げ応力度
		σ _{cb}	N/mm ²	戸当り(コンクリート)に生じる支圧応力度
		τ _c	N/mm ²	戸当り(コンクリート)に生じるせん断応力度
		σ _c	N/mm ²	戸当り(コンクリート)に生じる圧縮応力度
		σ _s	N/mm ²	鉄筋に生じる引張応力度
		σ _{sa}	N/mm ²	鉄筋の許容引張応力度
		σ _{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度
		σ _{ba}	N/mm ²	戸当り(腹板)の許容支圧応力度
		σ _{ca}	N/mm ²	戸当り(底面フランジ)の許容曲げ応力度
σ _{cba}	N/mm ²	戸当り(コンクリート)の許容支圧応力度		
τ _{ca}	N/mm ²	戸当り(コンクリート)の許容せん断応力度		

表 4-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号(6/6)

評価対象部位	記号	単位	定義
漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	τ_{a1}	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
	M	kN・m	漂流物対策工戸当り(RC支柱)に生じる曲げモーメント
	N	kN	漂流物対策工戸当り(RC支柱)に生じる軸力
	Q	kN	漂流物対策工戸当り(RC支柱)に生じるせん断力
漂流物対策工 基礎スラブ	σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	τ_{a1}	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
	M	kN・m	漂流物対策工基礎スラブに生じる曲げモーメント
	N	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じる軸力
	Q	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じるせん断力
基礎地盤	R_u	N/mm ²	極限支持力度
	f'_a	N/mm ²	支圧強度
	R	N/mm ²	基礎地盤の最大接地圧

4.2 評価対象断面

防波扉（3号機東側）の評価対象断面は，防波扉（3号機東側）の構造上の特徴を踏まえ，防波扉及び漂流物対策工の扉体軸方向が強軸方向であるため，弱軸方向である防波扉及び漂流物対策工の扉体直交方向の断面とする。

防波扉（3号機東側）の評価対象断面位置図を図4-1に，縦断面図を図4-2に示す。

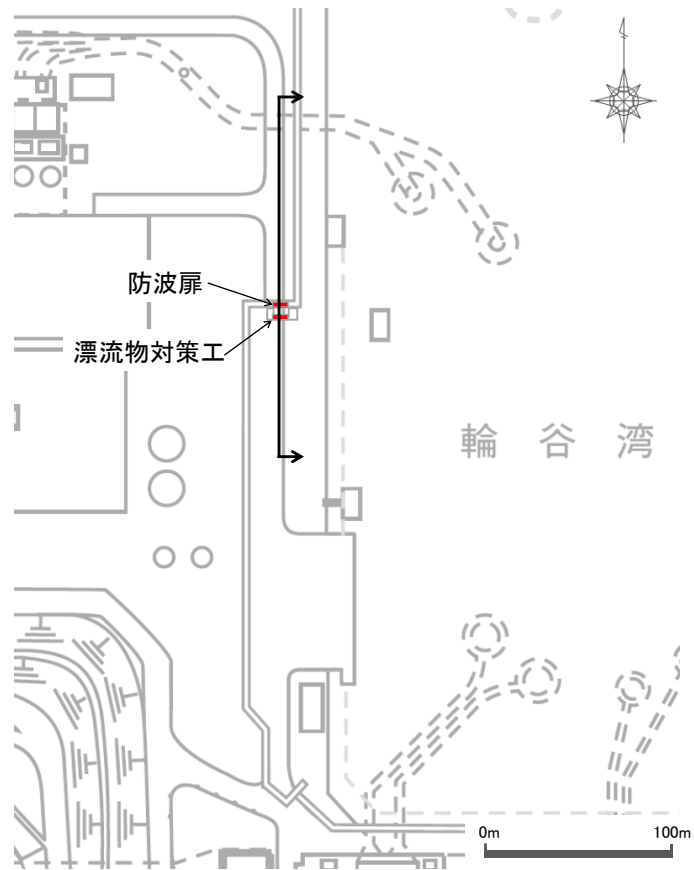


図4-1 防波扉（3号機東側）の評価対象断面位置図

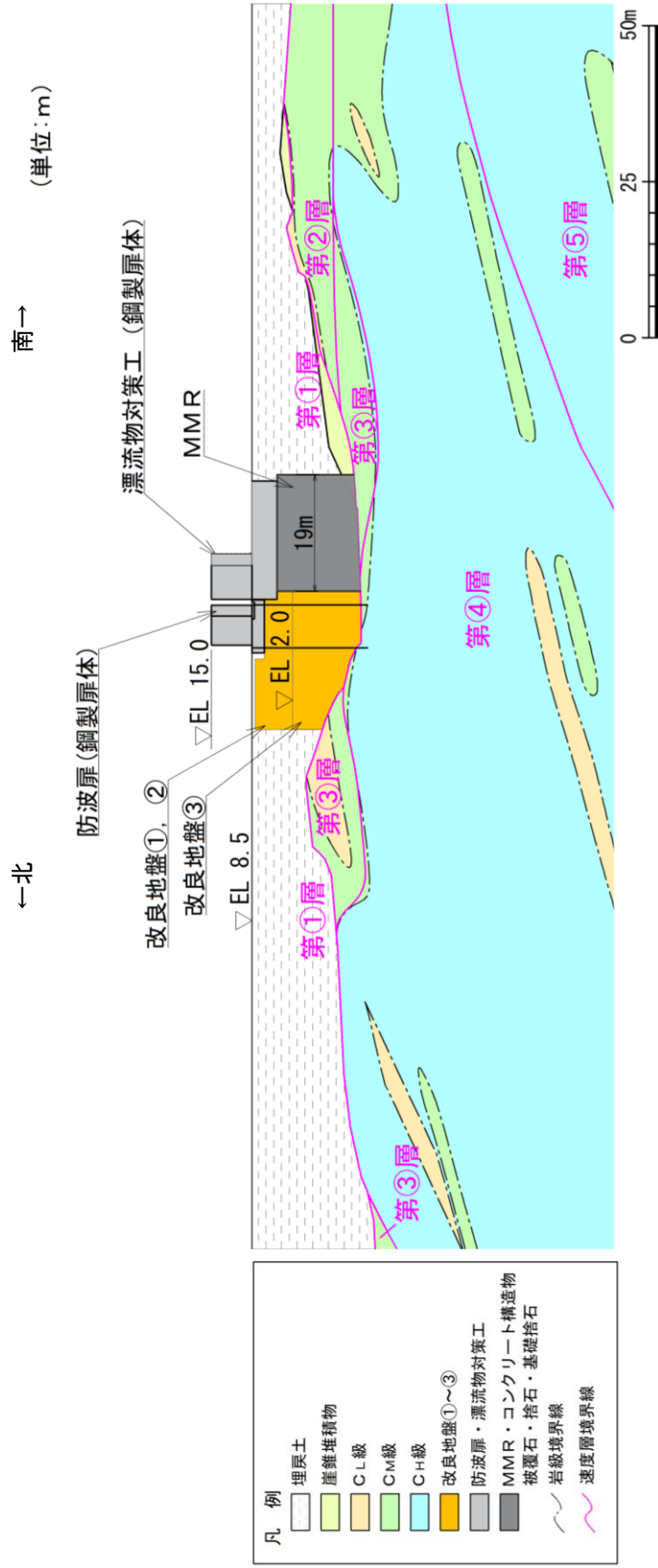


図 4-2 防波扉 (3号機東側) の縦断面図

4.3 解析方法

防波扉（3号機東側）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。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。

構造部材については、線形はり要素（ビーム要素）、非線形ばね要素及び線形の平面ひずみ要素でモデル化する。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にモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。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。

4.3.1 施設

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブは線形はり要素（ビーム要素）、グラウンドアンカは非線形ばね要素でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。漂流物対策工基礎スラブは、線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。

4.3.2 地盤物性のばらつき

防波扉（3号機東側）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4-3に示す解析ケースにおいて考慮する。

図4-2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扉（3号機東側）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。

詳細な解析ケースの考え方は、「4.3.4 解析ケース」に示す。

表4-3 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 + 1σ	平均値
ケース③	平均値 - 1σ	平均値

4.3.3 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。

4.3.4 解析ケース

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

耐震評価における解析ケースを表4-4に示す。

表 4-4 耐震計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 (+1σ)を考慮し た解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ)を考慮した 解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
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 -F1	(++)*	○	
	S _s -F2	(++)*	○	
	S _s -N1	(++)*	○	
		(-+)*	○	
	S _s -N2	(++)*	○	
	(NS)	(-+)*	○	
S _s -N2 (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。

4.4 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

4.4.1 耐震評価上考慮する状態

防波扉（3号機東側）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪荷重及び風荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

4.4.2 荷重

防波扉（3号機東側）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重（鋼製扉体を含む）を考慮する。

また、グラウンドアンカの初期緊張力を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、土圧及び水圧を考慮する。

(3) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重として、発電所最寄りの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35.0cmとする。

積雪荷重については、「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）」により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 風荷重（P_k）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、「建築基準法・同施行令」に基づき算定する。

(5) 地震荷重（S_s）

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

4.4.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + P _s + P _k + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

4.5 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図4-3に入力地震動算定の概念図を、図4-4～図4-15に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を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」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。

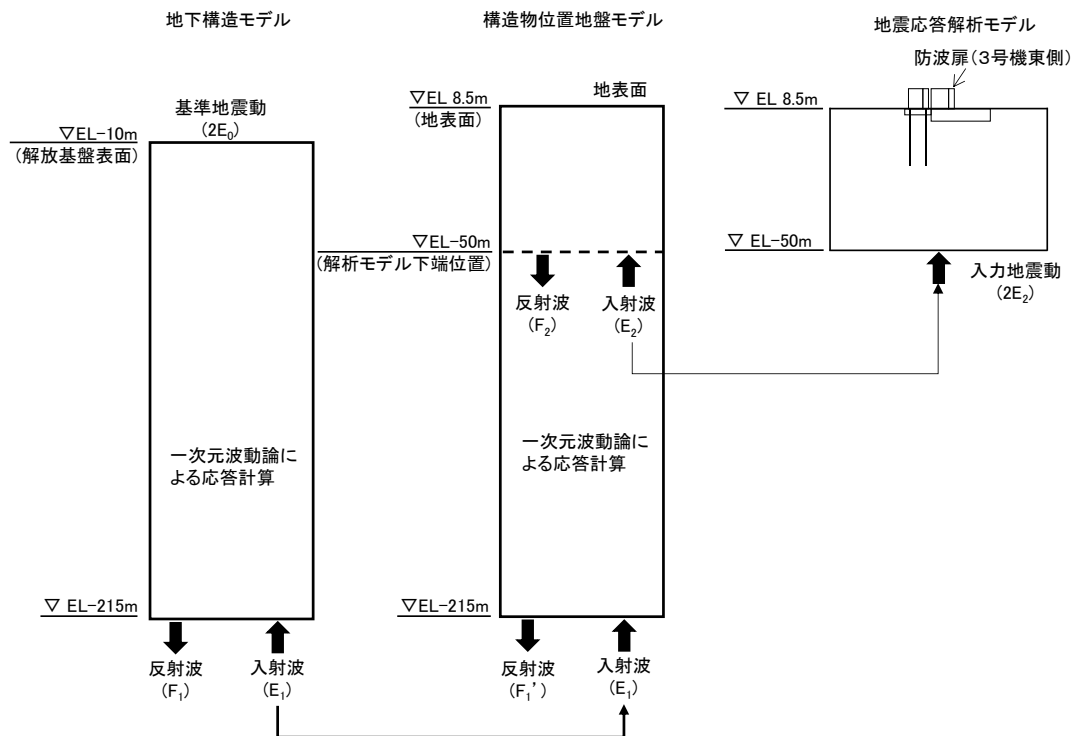
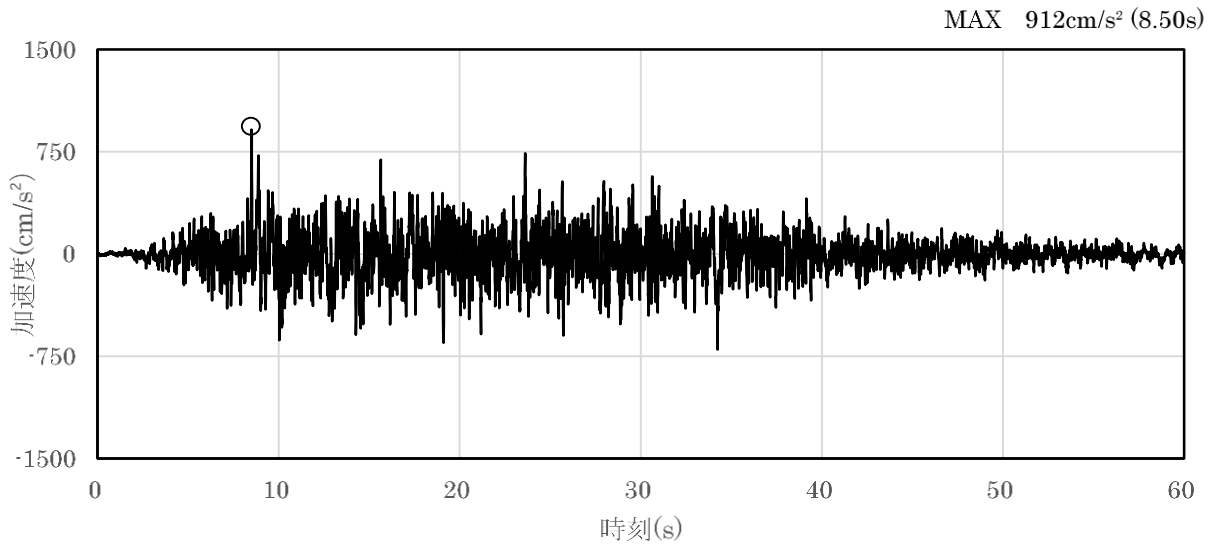
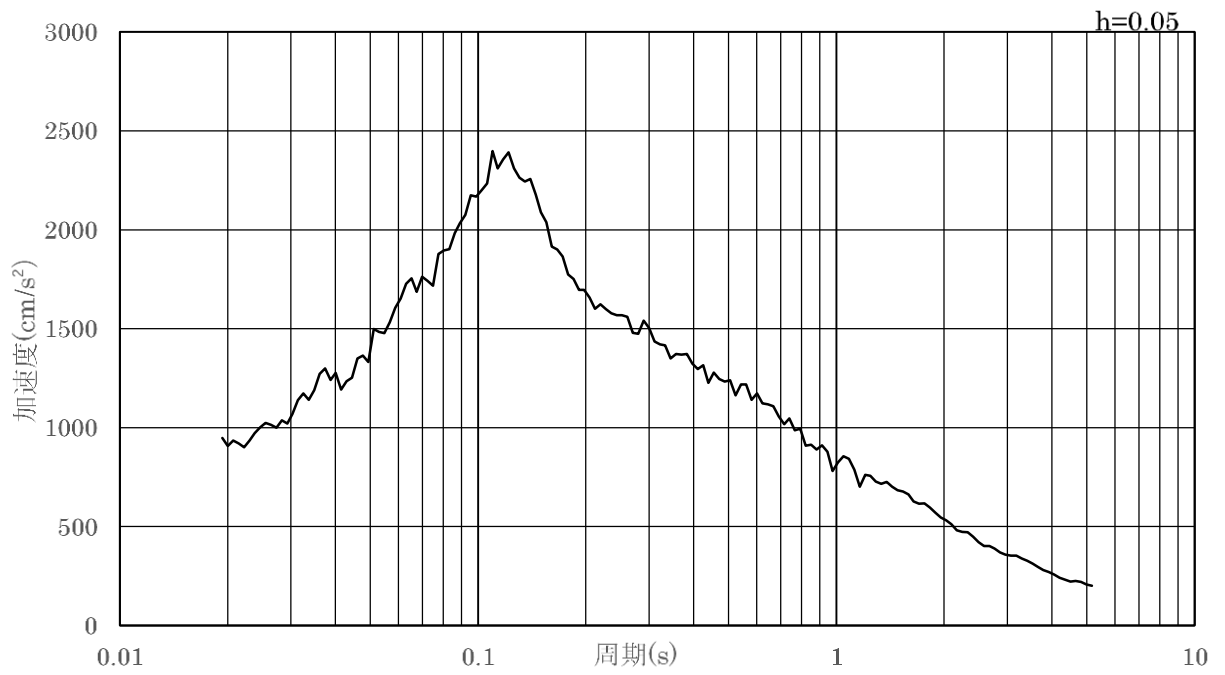


図4-3 入力地震動算定の概念図

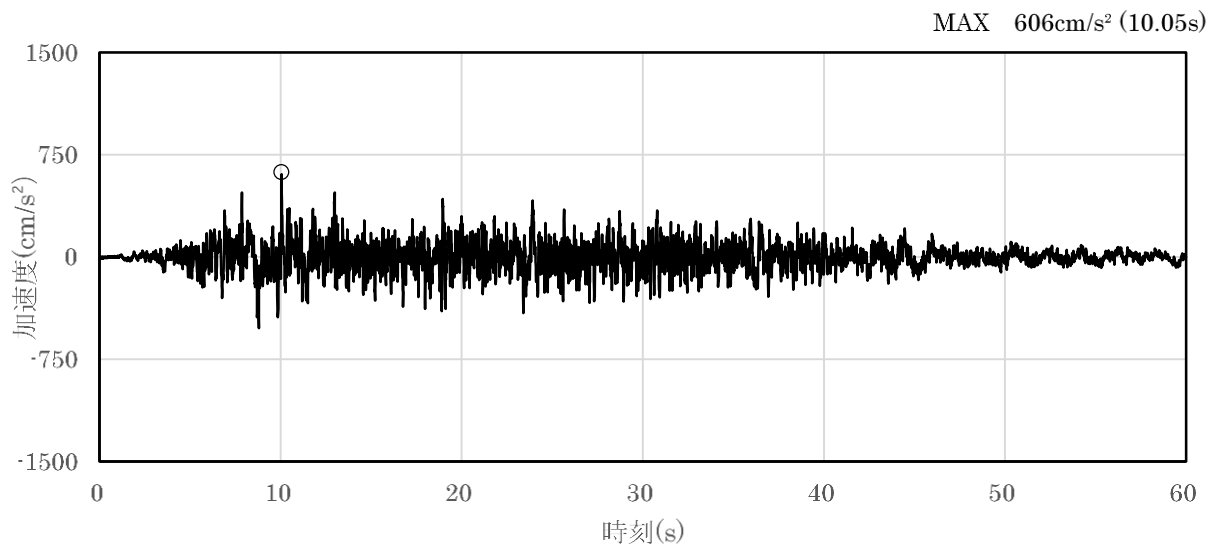


(a) 加速度時刻歴波形

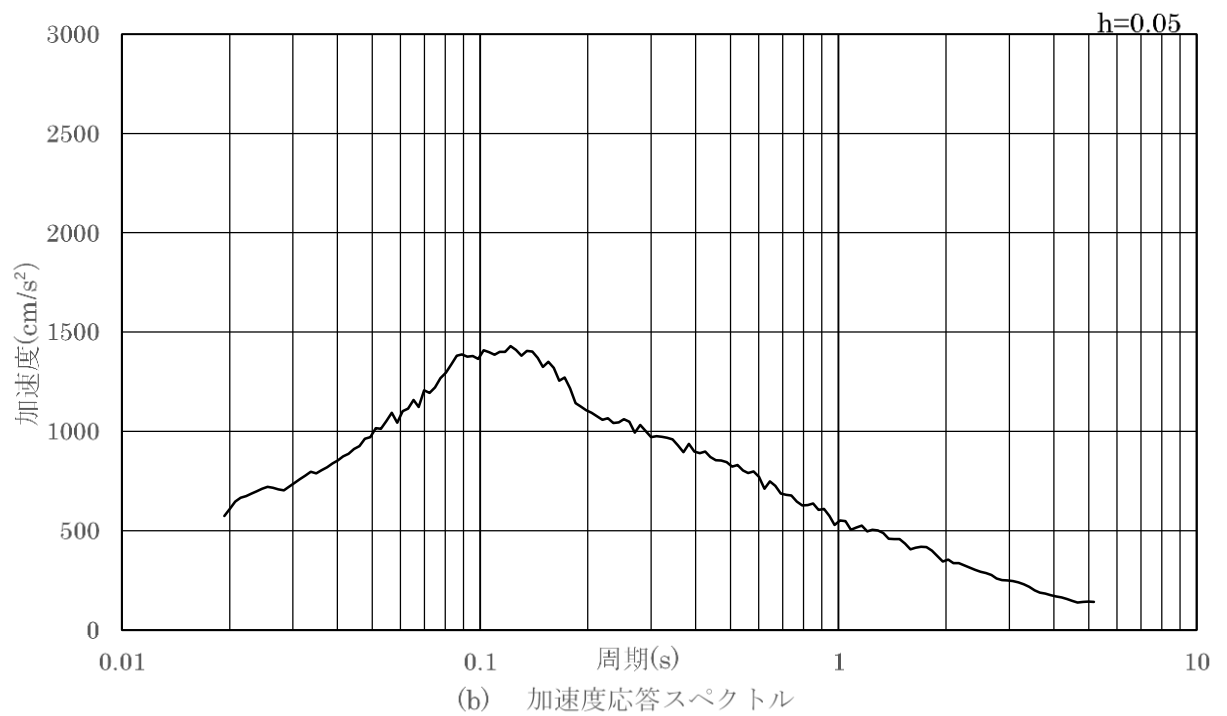


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-4 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 - D)

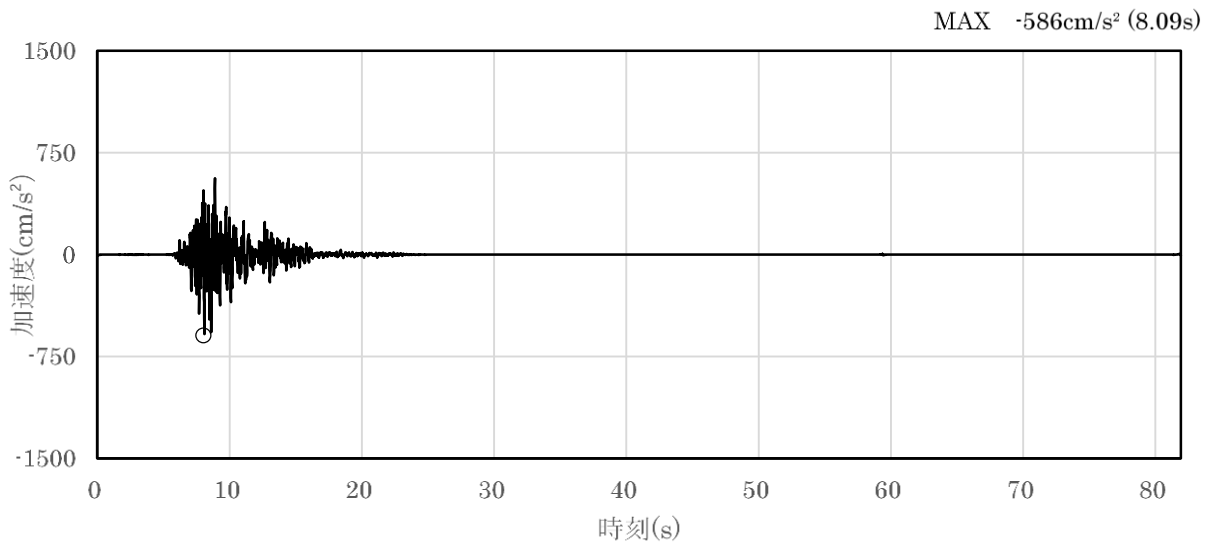


(a) 加速度時刻歴波形

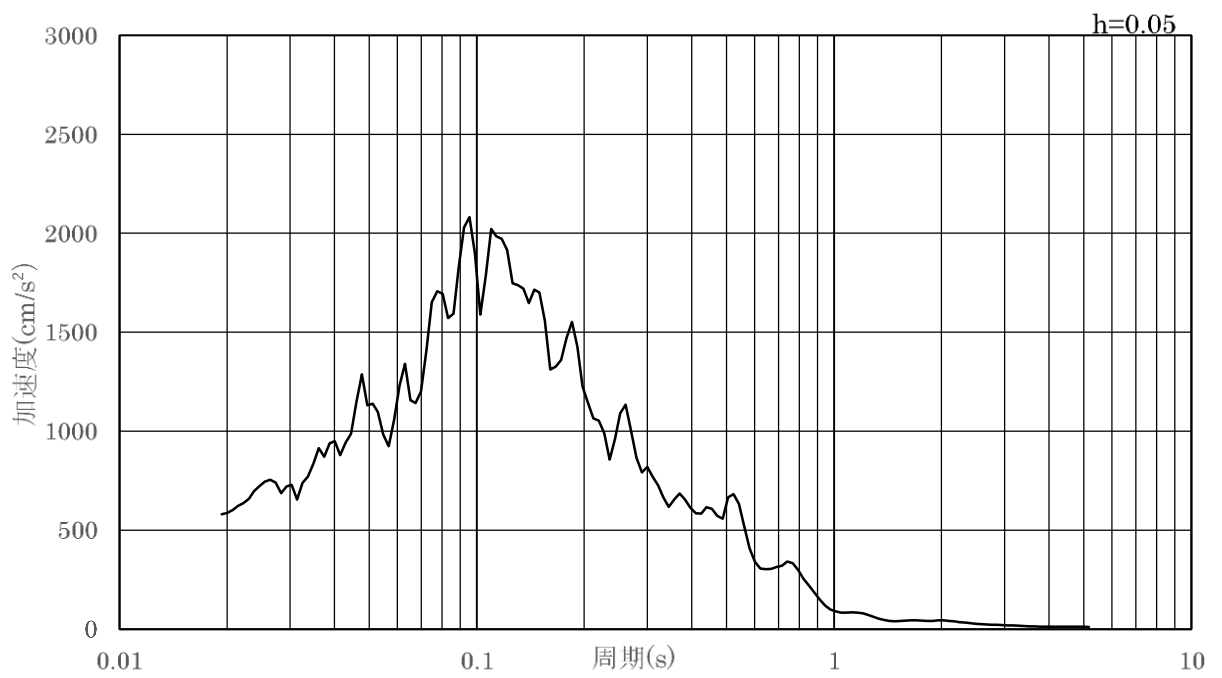


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 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
(鉛直成分：S s - D)

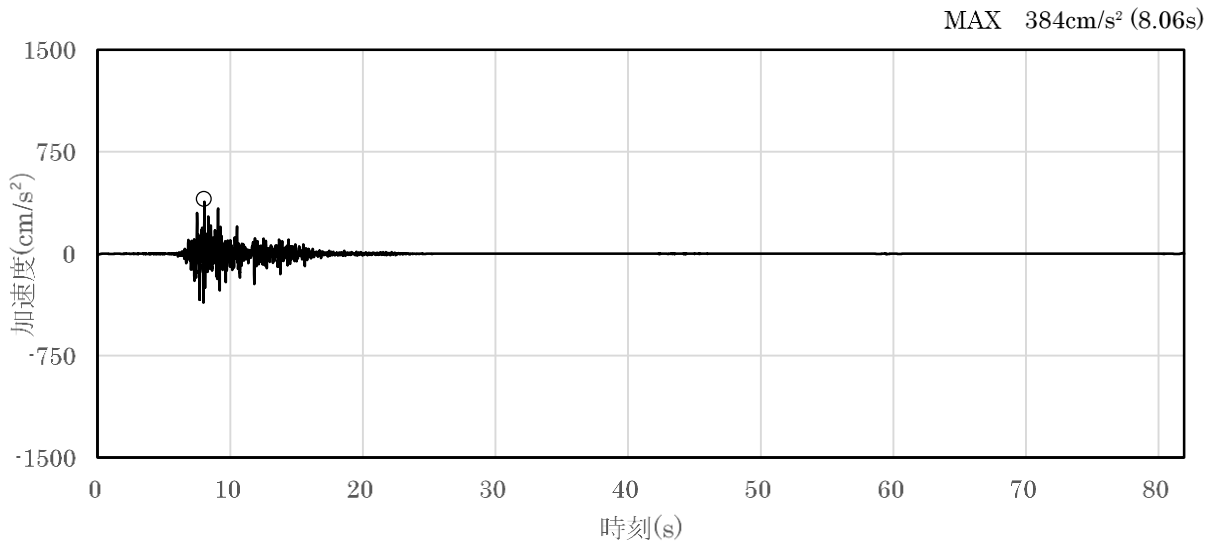


(a) 加速度時刻歴波形

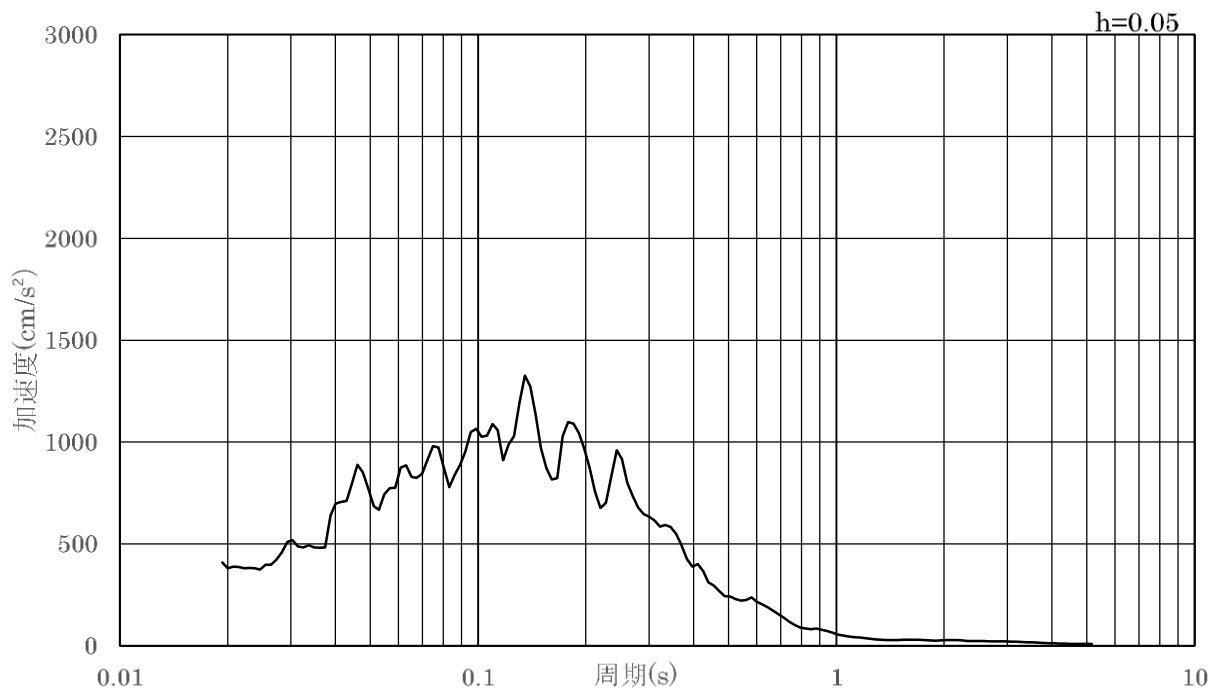


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 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 1)

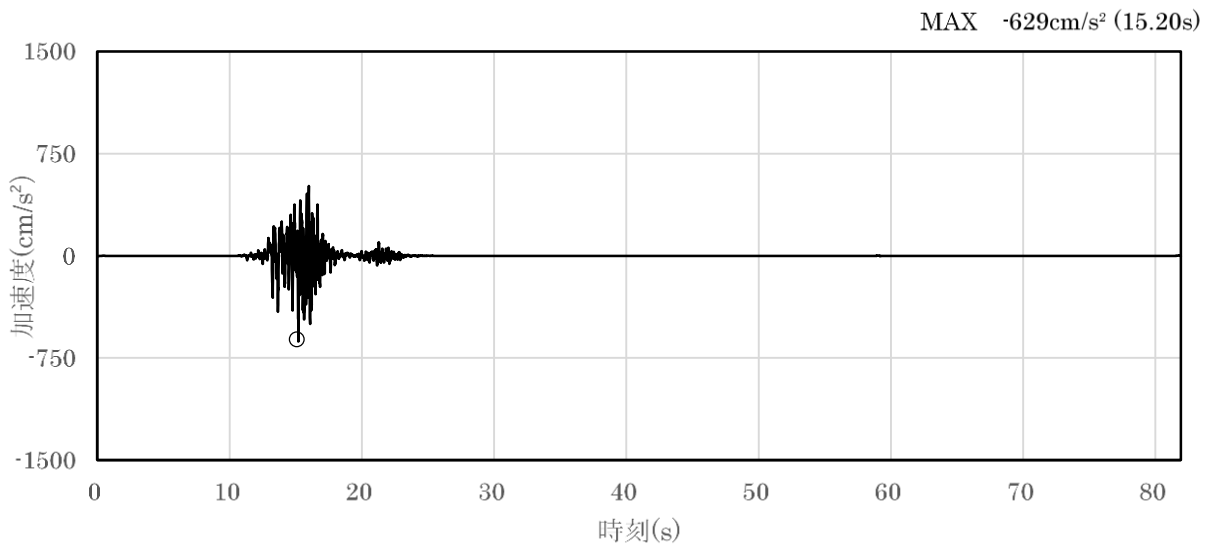


(a) 加速度時刻歴波形

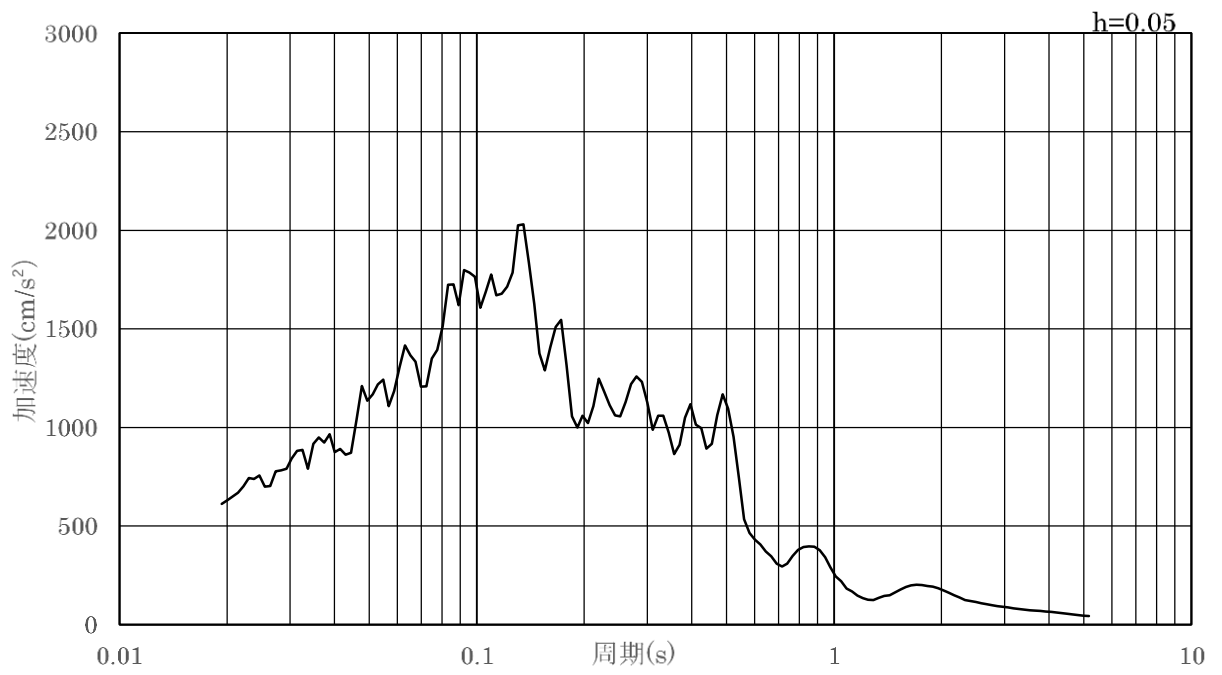


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-7 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
(鉛直成分：S_s-F1)

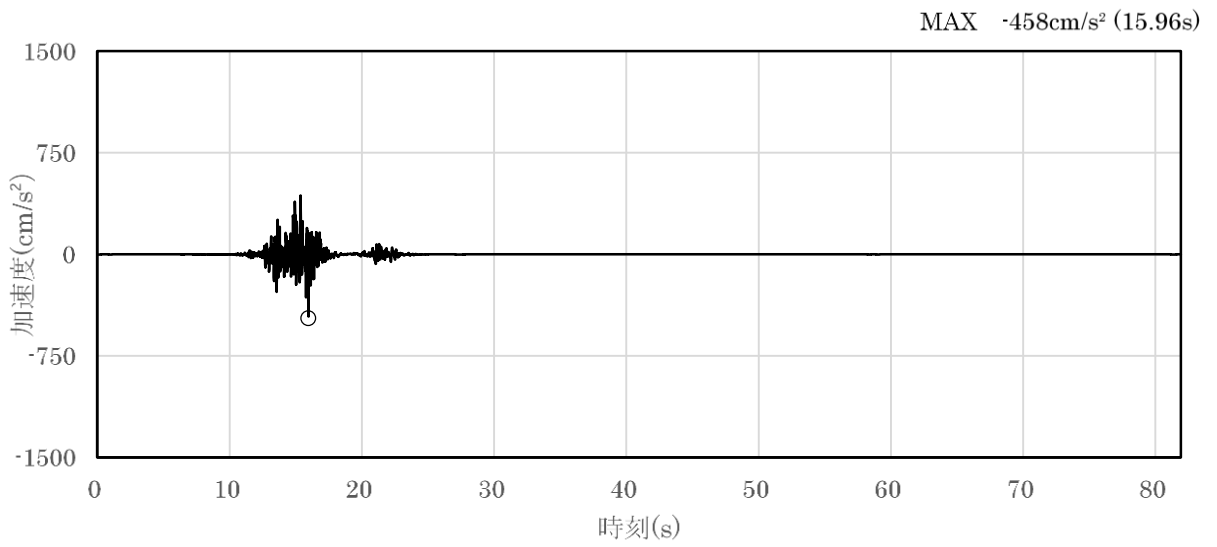


(a) 加速度時刻歴波形

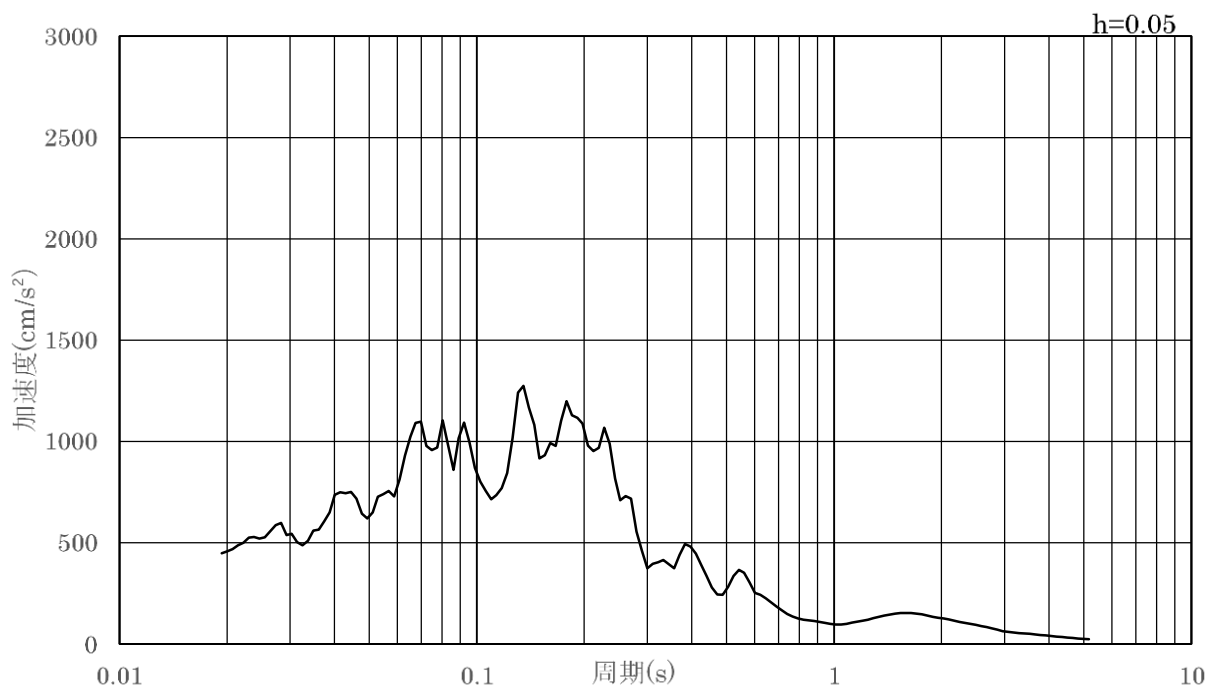


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 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)

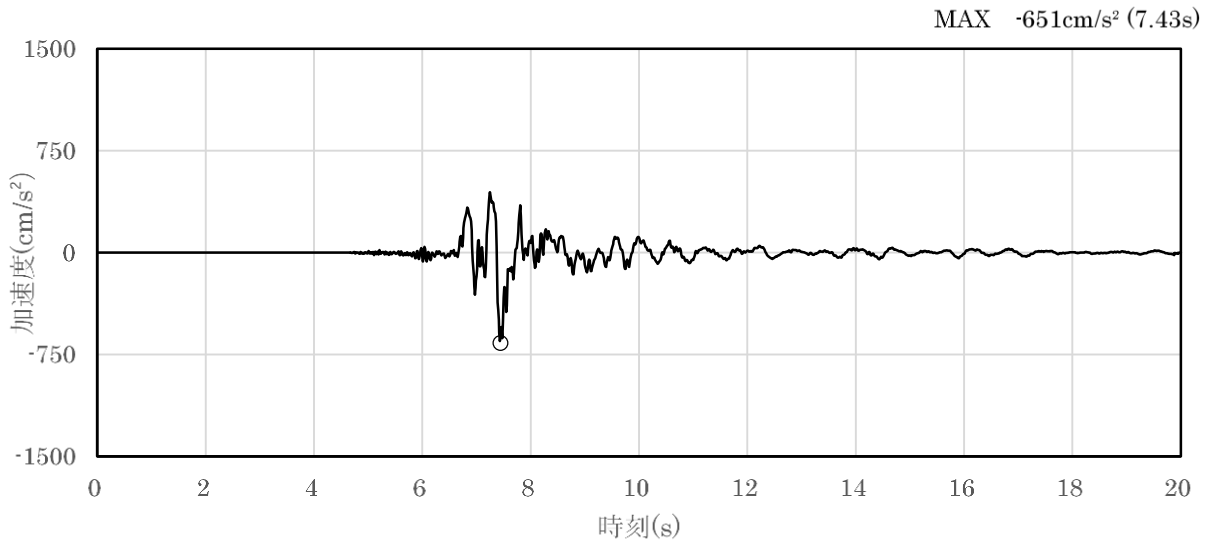


(a) 加速度時刻歴波形

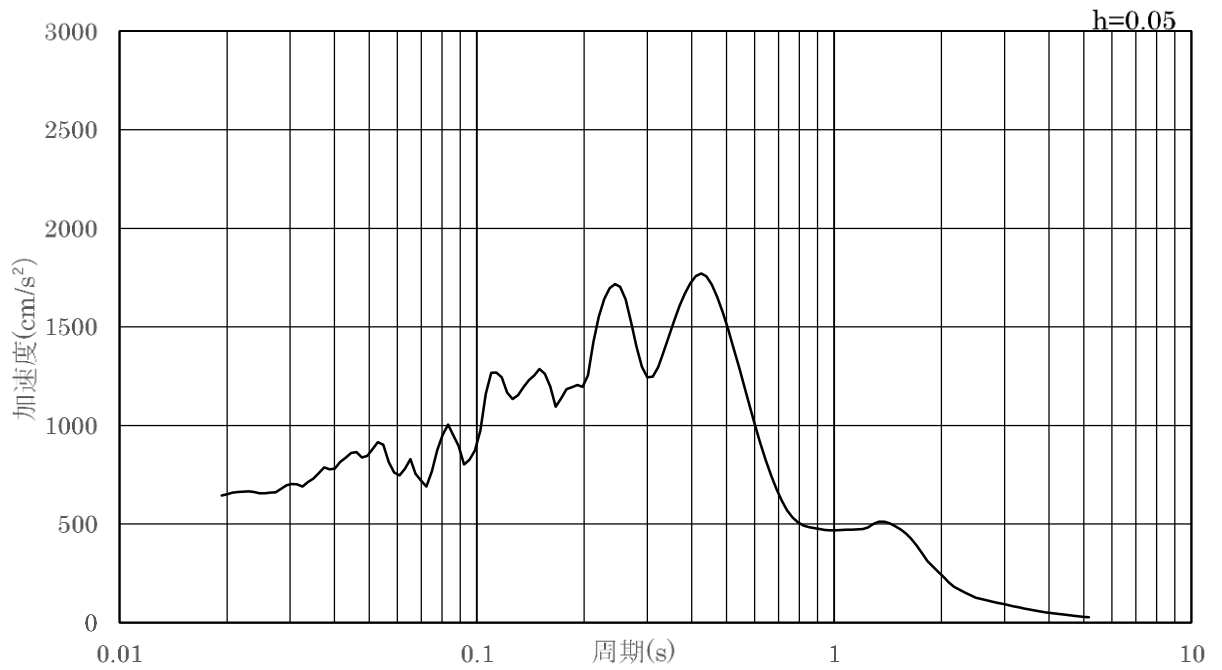


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 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
(鉛直成分：S_s-F2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 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 - N 1)

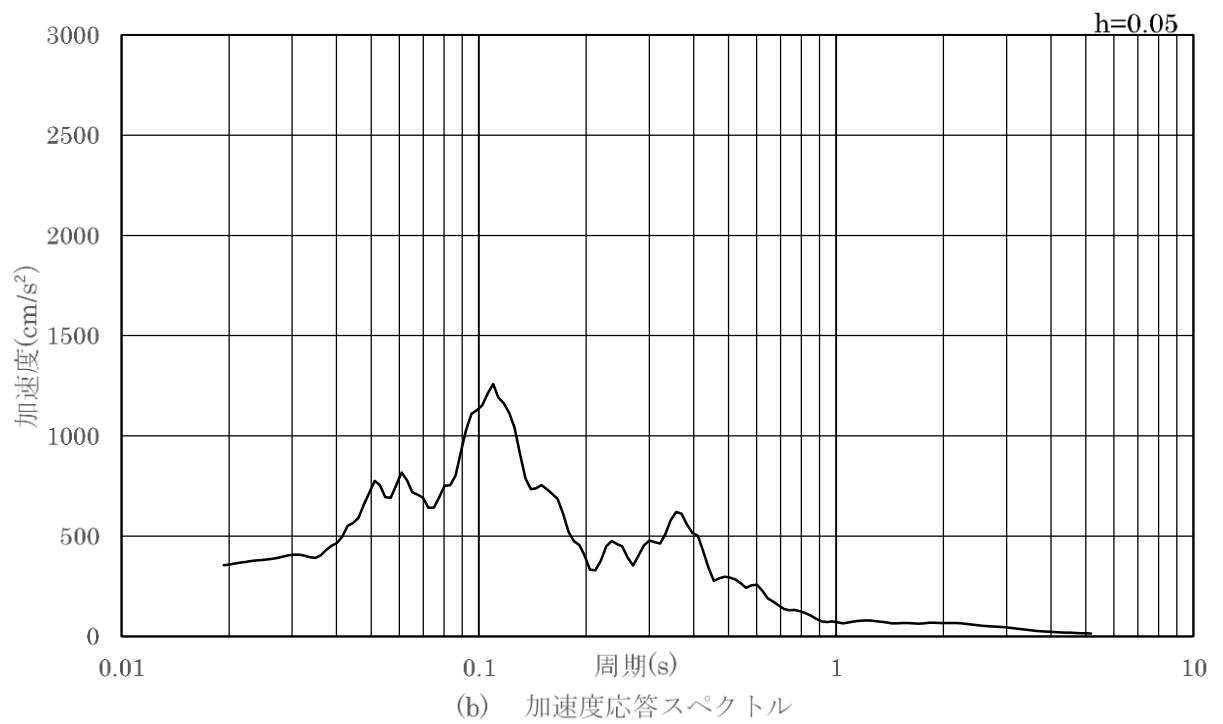
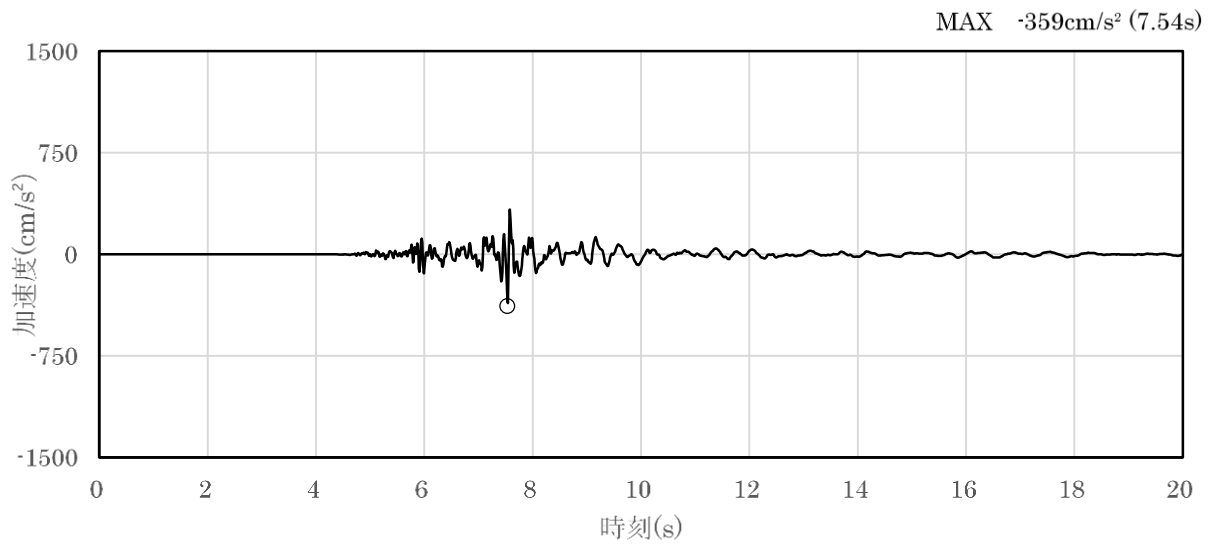
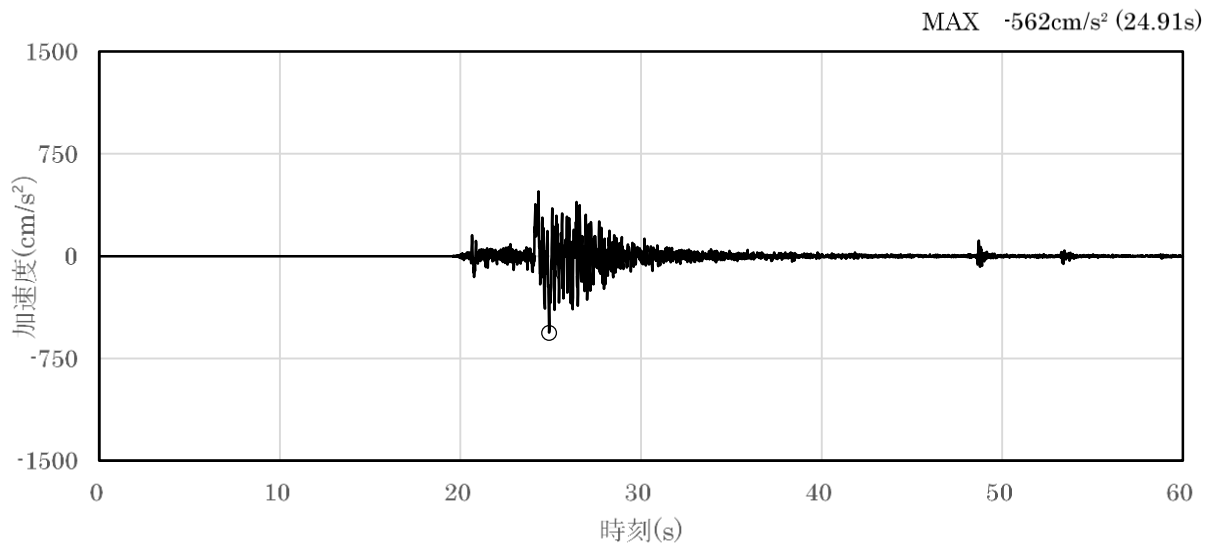
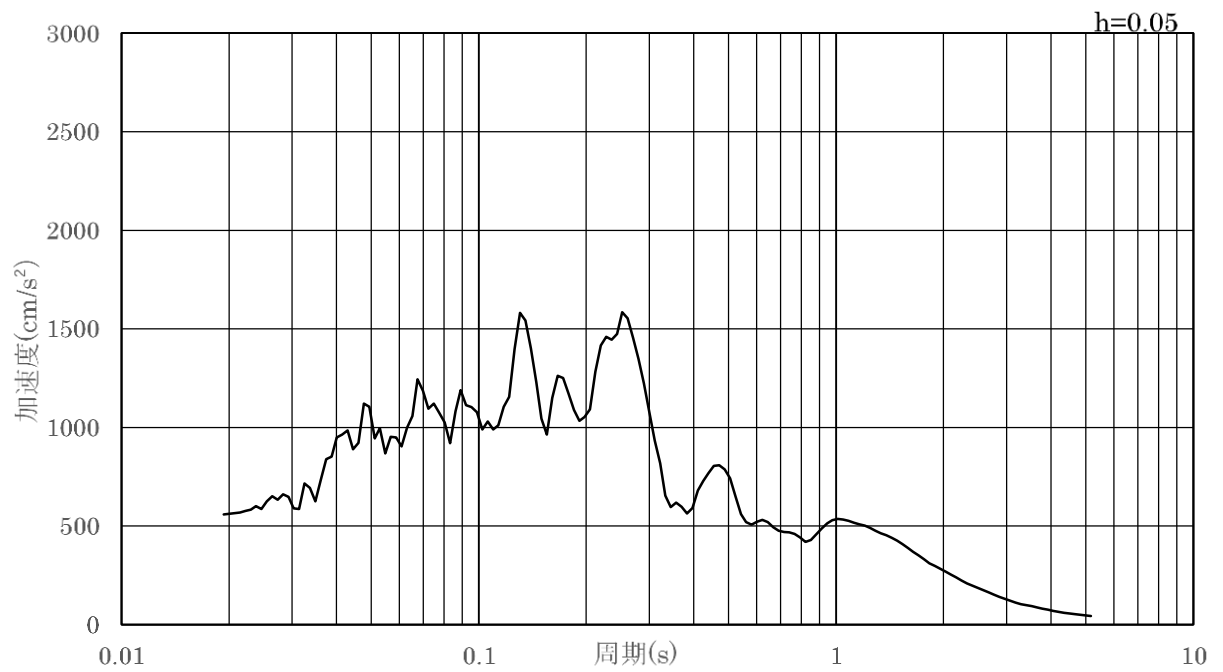


図 4-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

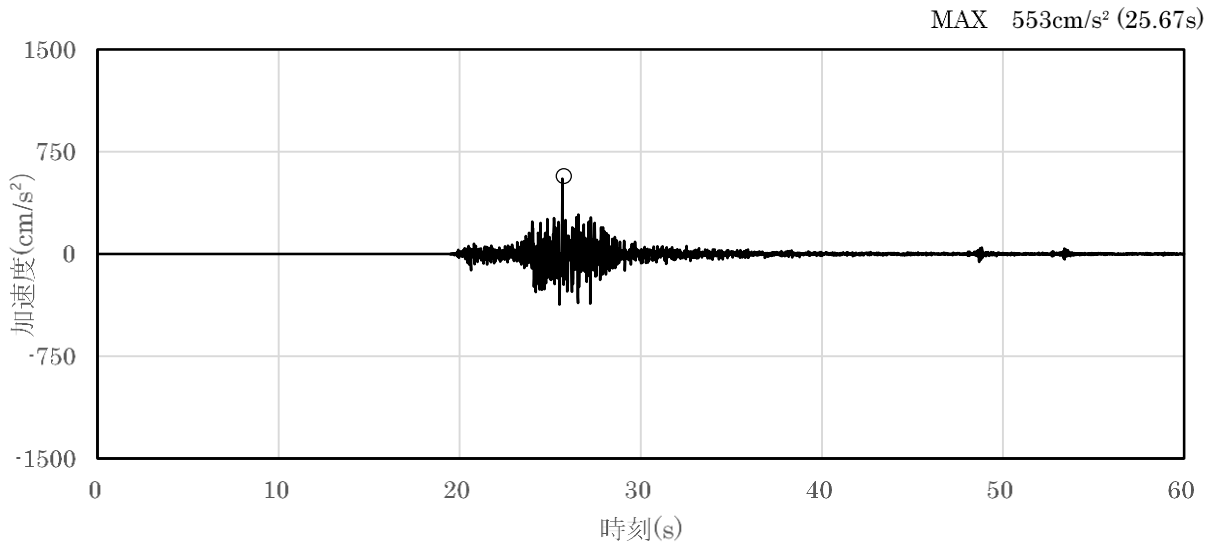


(a) 加速度時刻歴波形

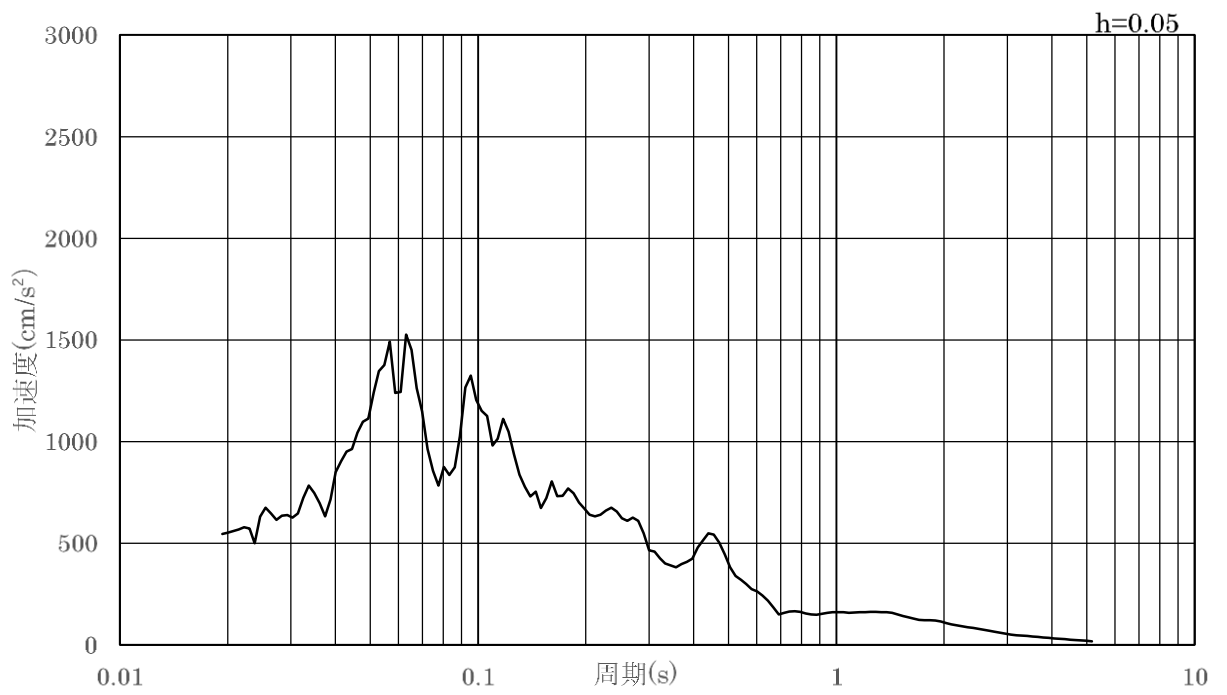


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 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 - N 2 (N S))

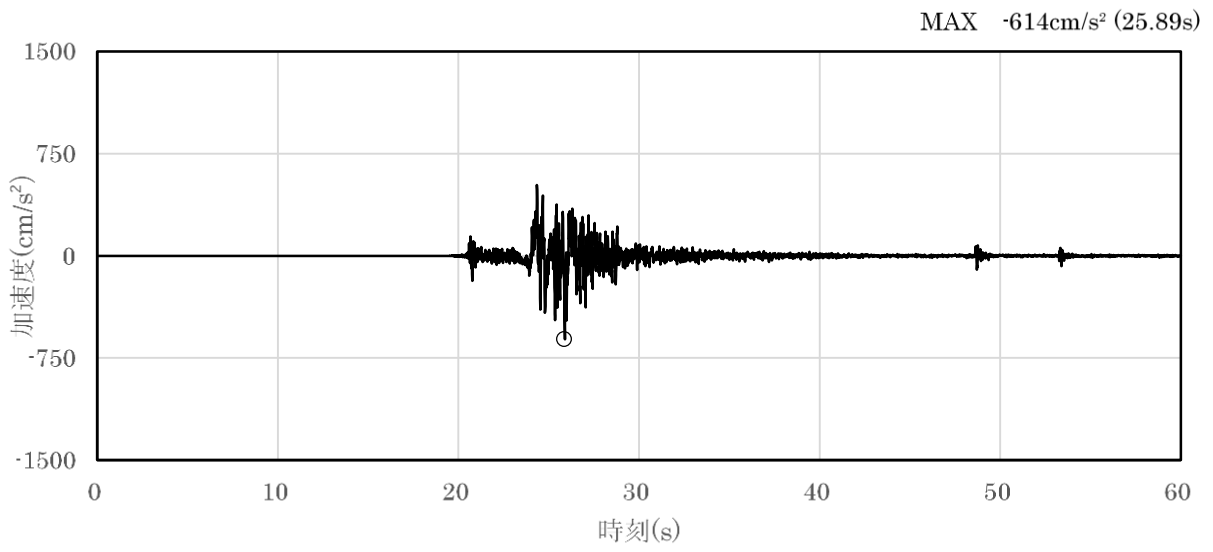


(a) 加速度時刻歴波形

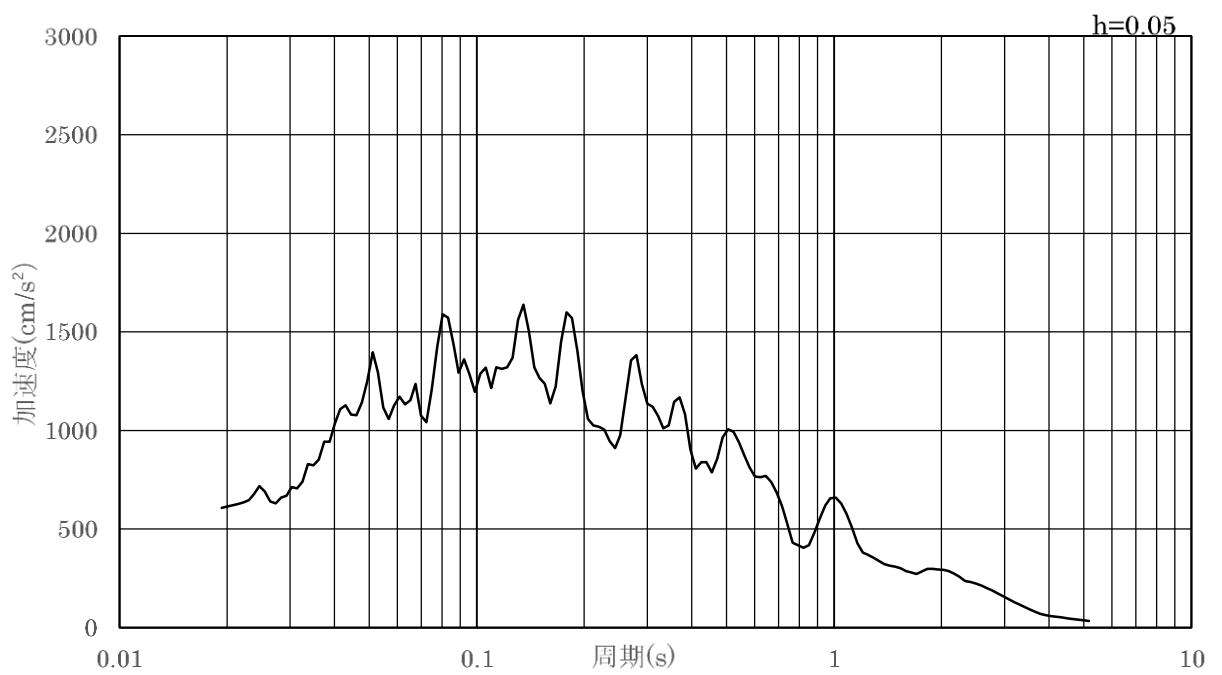


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 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
(鉛直成分：S_s-N2 (NS))

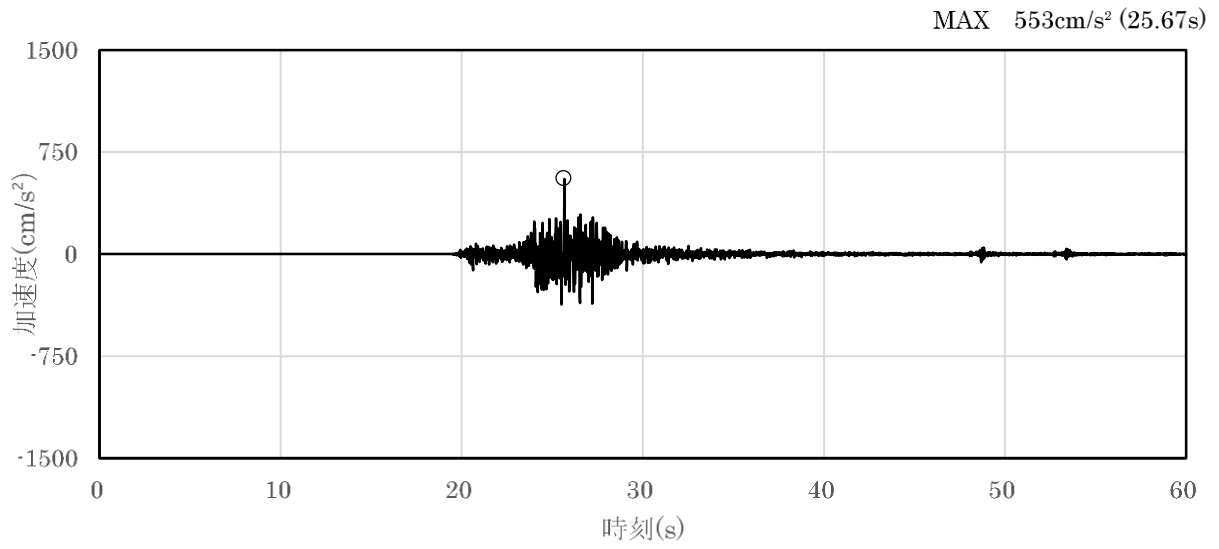


(a) 加速度時刻歴波形

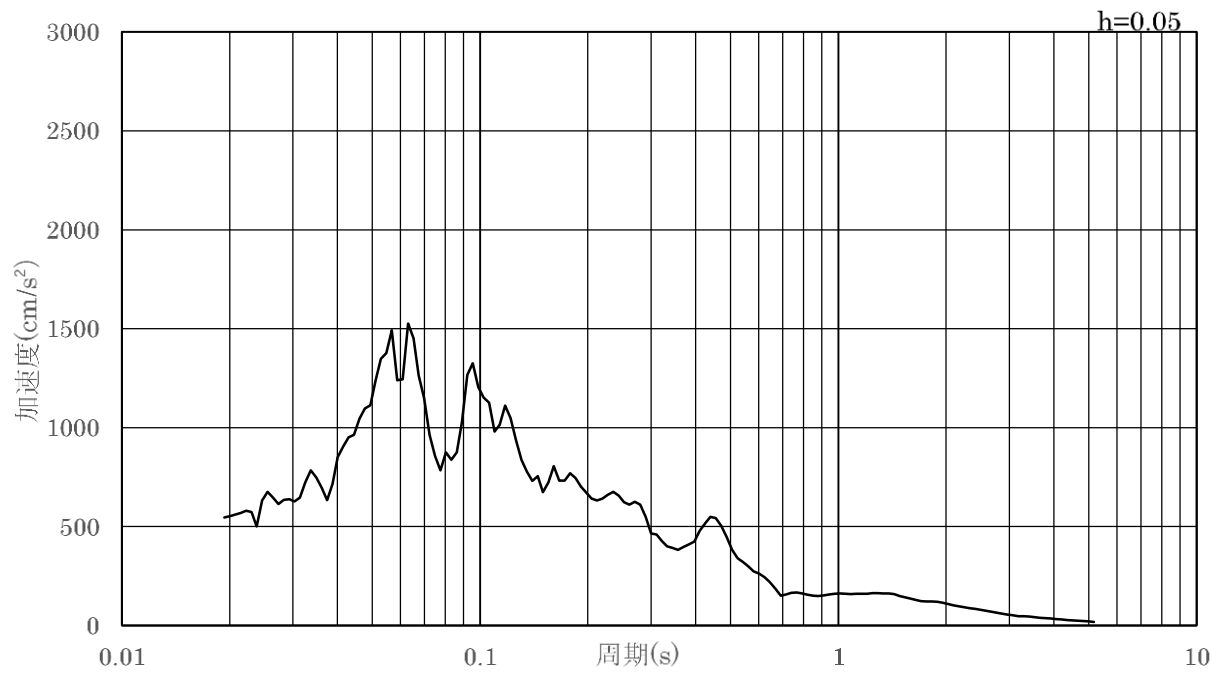


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-14 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 - N 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-15 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
(鉛直成分：S s - N 2 (EW))

4.6 解析モデル及び諸元

4.6.1 解析モデル

防波扉（3号機東側）の地震応答解析モデルを図4-16に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」を参考に、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。

(2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、地震応答解析時の境界条件は、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。

(3) 構造物のモデル化

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブは線形はり要素（ビーム要素）、グラウンドアンカは非線形ばね要素でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）で、漂流物対策工基礎スラブは線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

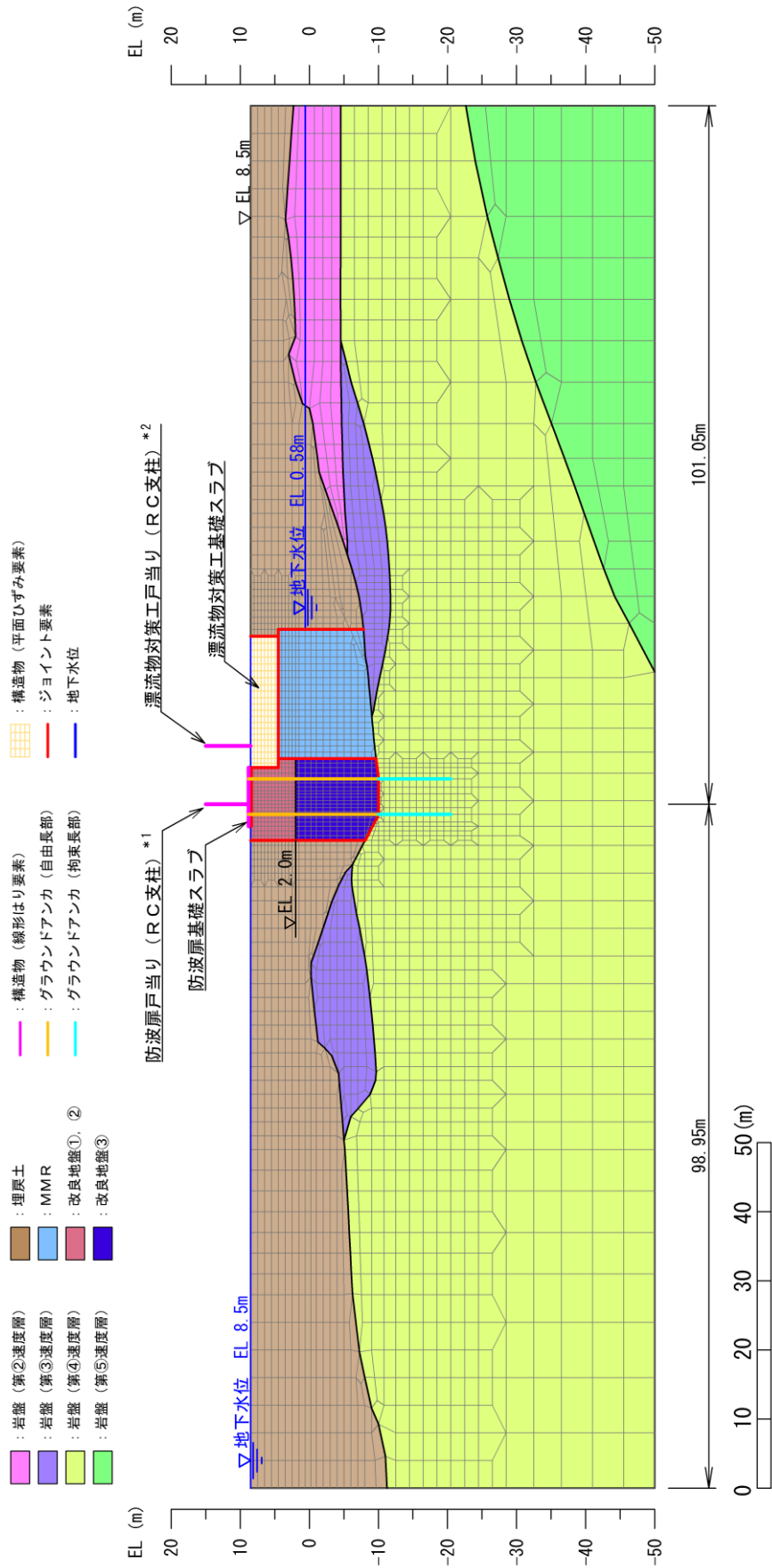
(4) 地盤のモデル化

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。

(5) ジョイント要素の設定

地震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、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）」及び「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）」に準拠して、これらの接合面にジョイント要素を設定する。



注記 *1:線形はり要素の全体の節点において、防波扉 (鋼製扉体) を付加重量として考慮する。
 *2:線形はり要素の上下端において、漂流物対策工 (鋼製扉体) を付加重量として考慮する。

図 4-16 防波扉 (3号機東側) の地震応答解析モデル (評価対象断面)

4.6.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 4-6 に、材料の物性値を表 4-7 に、グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図を図 4-17 に示す。

表 4-6(1) 使用材料 (防波扉)

材料		諸元
防波扉戸当り (RC 支柱) 防波扉基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 24N/mm ²
防波扉 (鋼製扉体)		SM490, SS400, SUS304
グラウンドアンカ		アンカー長 : 27.5m~29.5m 極限引張力 : 2800kN 降伏引張力 : 2400kN

表 4-6(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 漂流物対策工基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 40N/mm ²
漂流物対策工 (鋼製扉体)		SBHS700, SM570

表 4-7(1) 材料の物性値 (防波扉)

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*

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

表 4-7(2) 材料の物性値 (漂流物対策工)

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*	3.1×10^4 *	0.2*

注記* : 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)

表 4-7(3) 材料の物性値 (グラウンドアンカ)

引張剛性 k (kN/m)	テンドン降伏引張力 (kN)	設計アンカー力 (kN)	初期変位量 (mm)
14777	2400	1650	112

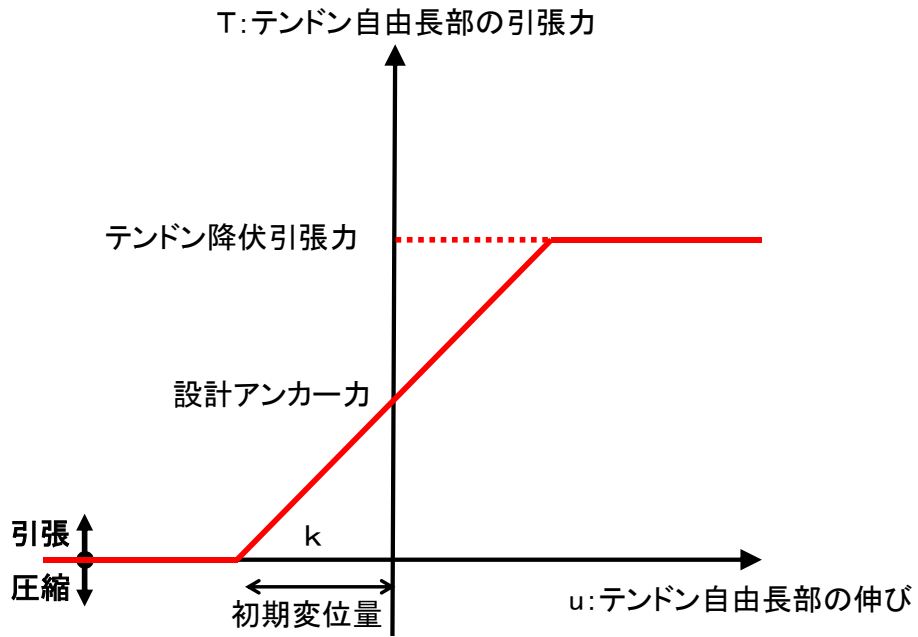


図 4-17 グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

4.6.3 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用いる。

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表4-8のとおり設定する。

表 4-8 改良地盤①～③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①, ②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

4.6.4 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4-9に示す。

表 4-9 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
防波扉（3号機東側）	漂流物対策工より陸側：EL 8.5m 漂流物対策工より海側：EL 0.58m

4.7 評価対象部位

評価対象部位は、防波扉（3号機東側）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

4.7.1 施設・地盤の健全性評価

(1) 防波扉

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）、防波扉基礎スラブ、グラウンドアンカ及び改良地盤①～③とする。

(2) 漂流物対策工

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブとする。

4.7.2 基礎地盤の支持性能評価

(1) 防波扉

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉を支持する基礎地盤（改良地盤及び岩盤）とする。

(2) 漂流物対策工

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工を支持する基礎地盤（MMR、改良地盤及び岩盤）とする。

4.8 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。

4.8.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成28年3月）」に基づき、表4-10に示す短期許容応力度とする。

表4-10 防波扉（鋼製扉体）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期 許容応力度 (N/mm ²)
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 σ_a	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 σ_a	120	180
		許容せん断応力度 τ_a	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 σ_{ca}	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_a	150	225
戸当り (底面フランジ)	SM490	許容曲げ応力度 σ_{ca}	160	240
戸当り (コンクリート)	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60
車輪	SUS304	許容接触面圧応力度 σ_a	565.8	849
車輪軸	SUS304	許容曲げ応力度 σ_{a1}	100	150
		許容せん断応力度 τ_{a1}	60	90
車輪受桁	SM490	許容曲げ応力度 σ_{a2}	160	240
		許容せん断応力度 τ_{a2}	90	135
車輪戸当り	SS400	許容曲げ応力度 σ_a	120	180
		許容せん断応力度 τ_a	70	105
ガイドアーム	SM490	許容曲げ応力度 σ_a	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
休止ピン	SUS329J4L	許容曲げ応力度 σ_a	225	338
		許容せん断応力度 τ_a	130	195

(2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表4-11に示す短期許容応力度とする。

表4-11 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界

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	13.5
	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.45	0.67
	許容支圧応力度 σ_{ba}	12.0	18.0
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

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

(3) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」に基づき，許容アンカー力を表4-12のとおり設定する。

表4-12 グラウンドアンカの許容限界

許容アンカー力 T _a (kN)
2076

(4) 改良地盤

改良地盤の施設・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）」を準用し，表4-13に改良地盤の許容限界を示す。

表4-13 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

(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、設定する。基礎地盤の許容限界を表 4-14 に示す。

表 4-14 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 R _u	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4

4.8.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，表 4-15 に示す短期許容応力度とする。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(1/4)

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
	SM570	許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
		許容せん断応力度 τ_a	202 ^{*1}	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	204 ^{*1, *2}	306
		許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 σ_{ca}	225 ^{*1}	337

注記*1：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，横倒れ座屈を考慮する。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(2/4)

部材	材質	許容応力度(N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
支承部 (上部支承軸)	SUS630	許容曲げ応力度 σ_a	360* ¹	540
	H1150	許容せん断応力度 τ_a	207* ¹	
支承部 (下部支承軸)	SUS304N2	許容曲げ応力度 σ_a	170* ¹	255
		許容せん断応力度 τ_a	98* ¹	147
支承部 (下部支承軸受)	SUS630 H1150	許容接触応力度 p_a	1357* ²	2035
支承部 (浮上防止金物)	SUS304	許容曲げ応力度 σ_a	100	150
		許容せん断応力度 τ_a	60	90
	SUS304N2	許容軸方向 引張応力度 σ_{ta}	170* ¹	255
上部支承 (アンカーボルト)	SCM435	許容軸方向 引張応力度 σ_{a1}	390	585
下部支承 (アンカーボルト)	SCM435	許容軸方向 引張応力度 σ_a	390	585
上部支承 (コンクリート)	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60
下部支承 (コンクリート)	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*1: 「ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・設備計画マニュアル編)(社)ダム・堰施設技術協会,平成28年3月)」に基づき,許容曲げ応力度は,降伏点の応力度を安全率2.0で除して算出する。また,許容せん断応力度は,許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

*2: 「ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・設備計画マニュアル編)(社)ダム・堰施設技術協会,平成28年3月)」に基づきブリネル硬さにより算出する。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(3/4)

部材	許容荷重 (kN)
支承部（支承軸受） C_{cr}	3800*

注記*：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき基本静定格荷重に安全係数を考慮し算出する。

表 4-15 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界(4/4)

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
ロックビーム	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	225*	337
		許容せん断応力度 τ_a	129*	193
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 σ_{ba}	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350*	525
戸当り （コンクリート）	$f_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*：「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

(2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表4-16に示す短期許容応力度とする。

表4-16 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界

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=40N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	
許容せん断応力度 τ_{a1}		0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

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

4.8.3 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」に基づき設定する。基礎地盤の許容限界を表4-17に示す。

表4-17 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 R_u	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4
支圧強度 f'_a	MMR		18.0

4.9 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示すとおり，防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震計算に用いる設計震度は，防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）設置位置の最大応答加速度に基づき設定した。

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-18 に示す。

表 4-18 防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価に用いる設計用地震力

名称	設計震度	
	水平方向： k_H	鉛直方向： k_V
防波扉（鋼製扉体）	2.1	1.5
漂流物対策工（鋼製扉体）		1.1

4.10 評価方法

防波扉（3号機東側）の耐震評価のうち、防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）については、構成する各部材に発生する発生応力度又は作用荷重を算定式より算出し、「4.8 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。

また、防波扉基礎スラブ、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブ、改良地盤及び基礎地盤は2次元有限要素法より算定した発生応力度又は発生断面力が「4.8 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。2次元有限要素法における応力算定には、解析コード「RC断面計算」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。

4.10.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

a. 主横桁

主横桁は、戸当たりとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁の評価対象部を図 4-18 に、主横桁の評価イメージ図を図 4-19 に示す。

$$M = \frac{W \cdot B}{8} (2L - B)$$

$$S = \frac{W \cdot B}{2}$$

$$N = W \cdot D$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z} + \frac{N \cdot 10^3}{A_g}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)

N : 主横桁に生じる軸力 (kN)

σ : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 主横桁に作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重) (kN/m)

B : 主横桁の水密幅 (m)

L : 主横桁の支間長 (m)

D : 側部水密幅 (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm³)

A_g : 主横桁の断面積 (mm²)

A_w : 主横桁腹板の断面積 (mm²)

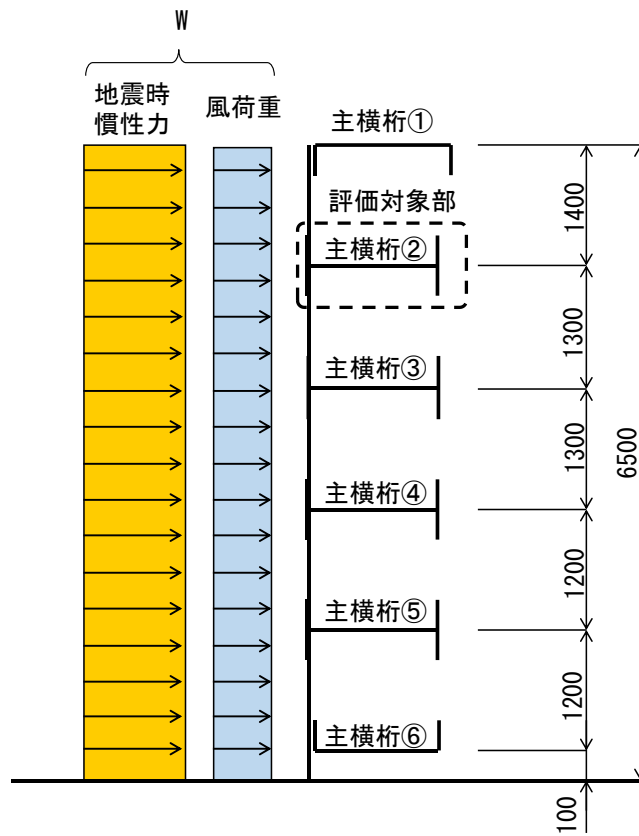


図 4-18 主横桁の評価対象部

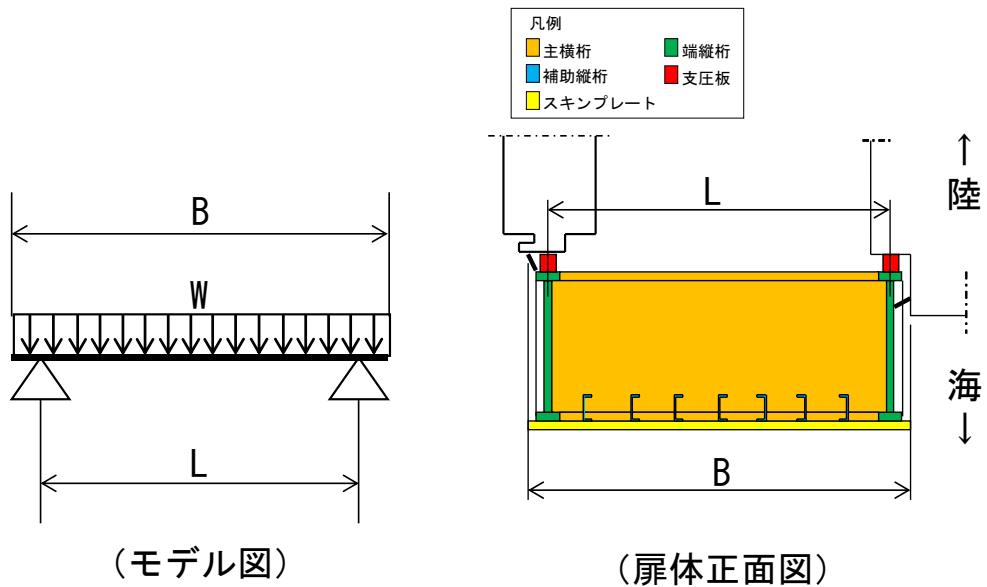


図 4-19 主横桁の評価イメージ図

b. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の評価イメージ図を図 4-20 に示す。

$$M = \frac{P \cdot a}{24} (3b^2 - a^2)$$

$$S = \frac{P \cdot a}{2} \left(b - \frac{a}{2}\right)$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

σ : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

P : 補助縦桁に作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重) (kN/m²)

a : 補助縦桁間隔 (m)

b : 主横桁間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_w : 補助縦桁腹板の断面積 (mm²)

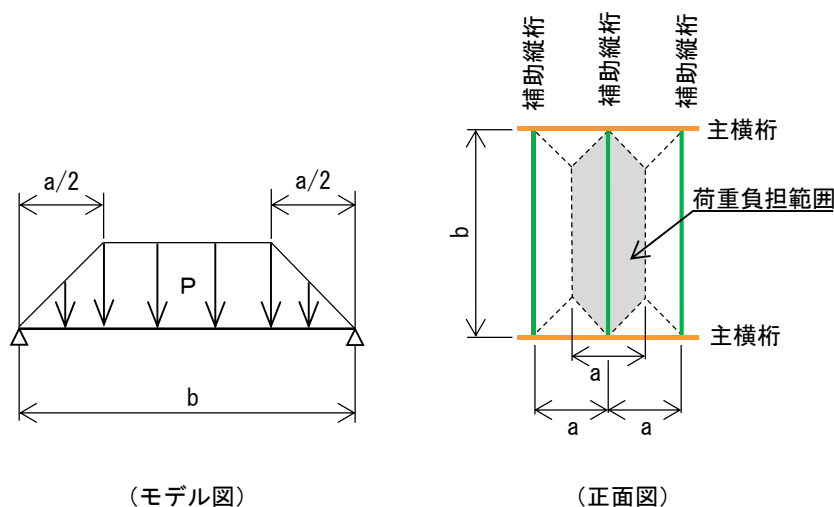


図 4-20 補助縦桁の評価イメージ図

c. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図 4-21 に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2} \quad \text{ただし, } A \leq 1.7 (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_w = 2b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

ここで、

σ_c : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

R : 端縦桁に生じる支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効断面積 (mm²)

A_w : 端縦桁腹板の有効断面積 (mm²)

A_{s1} : 主横桁腹板の有効断面積 (mm²)

A_{s2} : スチフナの有効断面積 (mm²)

t_w : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

t_{s1} : 主横桁腹板の厚さ (mm)

t_{s2} : スチフナの厚さ (mm)

b_w : 端縦桁腹板の幅 (mm)

b_{s1} : 主横桁腹板の幅 (mm)

b_{s2} : スチフナの幅 (mm)

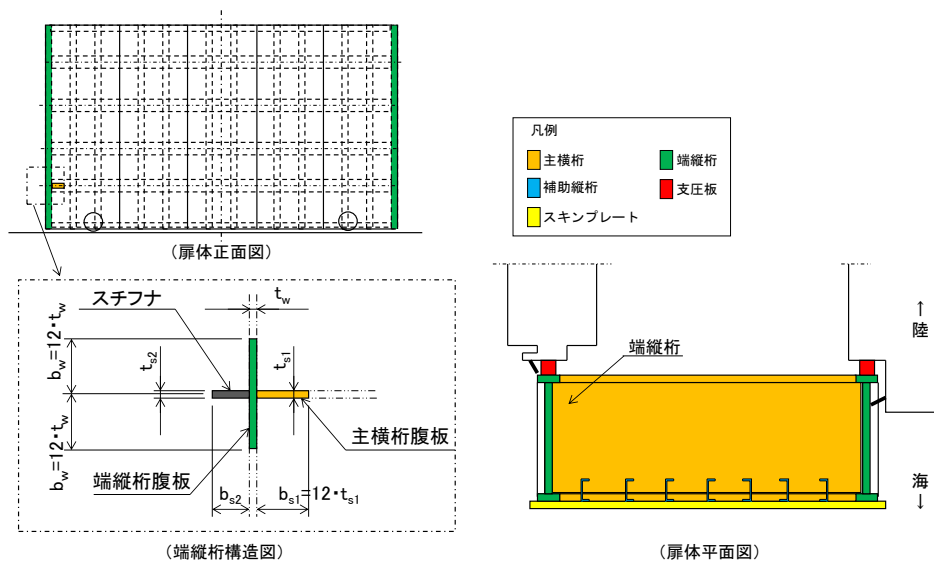


図 4-21 端縦桁の評価イメージ図

d. 支圧板

支圧板は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される地震時荷重が作用することで支圧板に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の評価イメージ図を図 4-22 に示す。

$$\sigma_p = \frac{(W_{gh} + W \cdot 10^{-3} \cdot B)}{2b}$$

ここで、

σ_p : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm²)

W_{gh} : 支圧板に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W : 支圧板に作用する風荷重 (kN/mm²)

B : 防波扉（鋼製扉体）の水密幅 (mm)

b : 支圧板の有効幅 (mm)

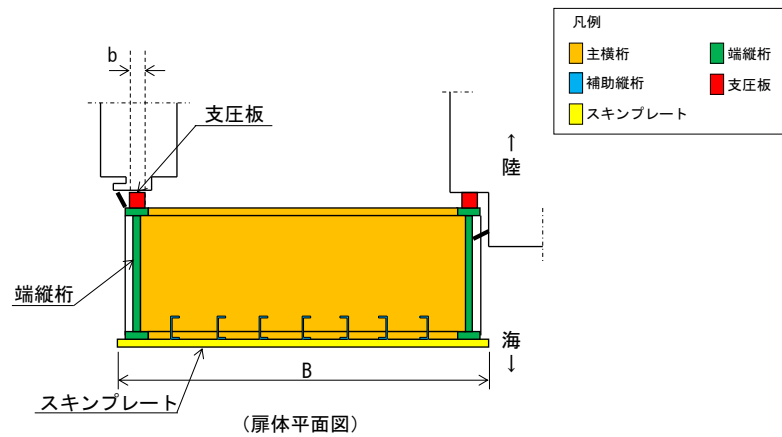


図 4-22 支圧板の評価イメージ図

e. 戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）

戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される地震時荷重が作用することで戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお、戸当りは、陸側及び海側に設置されるが、地震時荷重の作用面積が小さい海側の戸当りの評価を実施する。

戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）の評価イメージ図を図4-23に示す。

(a) 戸当り（底面フランジ）

$$\sigma_b = \frac{6\sigma_k b_f^2}{8t_f^2}$$

ここで、

σ_b : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

σ_k : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度 (N/mm²)

b_f : 戸当り（底面フランジ）の幅 (mm)

t_f : 戸当り（底面フランジ）の厚さ (mm)

(b) 戸当り（コンクリート）

$$\sigma_k = \frac{PB \cdot 10^3}{2b_f}$$

$$\tau_c = \frac{\sigma_k b_f}{h + 2L}$$

ここで、

σ_k : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度 (N/mm²)

τ_c : 戸当り（コンクリート）に生じるせん断応力度 (N/mm²)

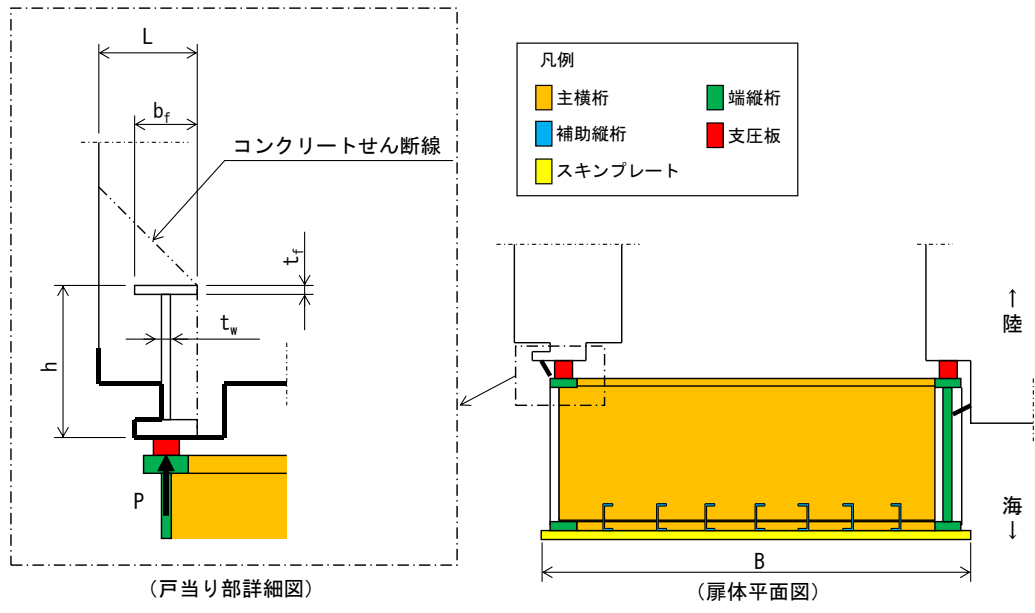
P : 戸当りに作用する地震時荷重（地震時慣性力＋風荷重） (kN/m)

B : 防波扉（鋼製扉体）の水密幅 (mm)

h : 戸当りの埋込深さ (mm)

L : 戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ (mm)

b_f : 戸当り（底面フランジ）の幅 (mm)



f. 車輪，車輪軸及び車輪受桁

車輪は，地震時荷重が作用することで車輪に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

車輪軸は，車輪をピン固定とする単純はりでモデル化し，車輪受桁より伝達される地震時荷重が作用することで車輪軸に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

車輪受桁は，車輪受桁に作用する地震時荷重が許容限界以下であることを確認する。

車輪の評価イメージ図を図 4-24 に，車輪軸の評価イメージ図を図 4-25 に，車輪受桁の評価イメージ図を図 4-26 に示す。

(a) 車輪

$$R_1 = \frac{(1+K_V) \cdot W_i \cdot L_2}{2 \cdot L}$$

$$R_2 = \frac{(1+K_V) \cdot W_i \cdot L_1}{2 \cdot L}$$

$$p = 0.591 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E_1 \cdot E_2}{B \cdot R \cdot E_1 + E_2}}$$

$$C = 1.080 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot R \cdot (E_1 + E_2)}{B \cdot E_1 \cdot E_2}}$$

ここで，

R_1 : 海側車輪に作用する荷重 (kN)

R_2 : 陸側車輪に作用する荷重 (kN)

p : 接触面圧応力度 (N/mm²)

C : 接触幅の 1/2 (mm)

K_V : 鉛直震度

W_i : 防波扉 (鋼製扉体) に作用する鉛直荷重 (kN)

$$(W_i = W_g, W_{s1}, W_{s2})$$

W_g : 防波扉 (鋼製扉体) の自重 (kN)

W_{s1} : 防波扉 (鋼製扉体) 天端に作用する積雪荷重 (kN)

W_{s2} : ガイドアームに作用する積雪荷重 (kN)

L : 車輪荷重の作用位置 (mm)

L_1 : 海側車輪荷重の作用位置 (mm)

L_2 : 陸側車輪荷重の作用位置 (mm)

P : 車輪に作用する荷重 (= R_1) (kN)

E_1 : 車輪の弾性係数 (N/mm²)

E_2 : 車輪踏面板の弾性係数 (N/mm^2)

B : 車輪有効踏面幅 (mm)

R : 車輪半径 (mm)

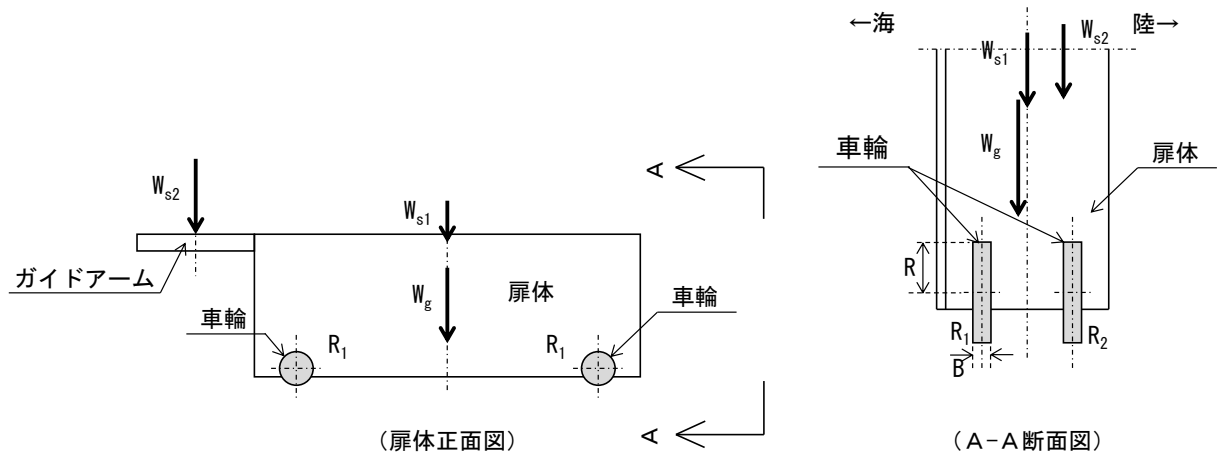


図 4-24 車輪の評価イメージ図

(b) 車輪軸

$$M = \frac{P \cdot 10^{-3} \cdot L_3}{4}$$

$$S = \frac{P \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{S \cdot 10^3}{A}$$

ここで、

M : 車輪軸に生じる曲げモーメント (N・mm)

S : 車輪軸に生じるせん断力 (N)

σ : 車輪軸に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 車輪軸に生じるせん断応力度 (N/mm²)

P : 車輪に作用する荷重 (kN)

L₃ : 車輪軸の支持間隔 (mm)

Z : 車輪軸の断面係数 (mm³)

A : 車輪軸の断面積 (mm²)

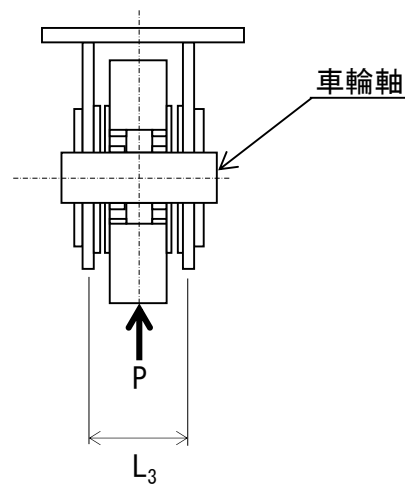


図 4-25 車輪軸の評価イメージ図

(c) 車輪受桁

$$M_1 = \frac{a \cdot b}{L_4} \cdot P \cdot 10^3$$

$$S_1 = \frac{a}{L_4} \cdot P \cdot 10^3$$

$$\sigma_1 = \frac{M_c}{Z_1}$$

$$\tau_1 = \frac{S_b}{A_w}$$

ここで、

M_1 : 車輪受桁に生じる曲げモーメント (N・mm)

S_1 : 車輪受桁に生じるせん断力 (N)

σ_1 : 車輪受桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : 車輪受桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

a : 車輪受桁の荷重載荷位置から端縦桁までの長さ (mm)

b : 車輪受桁の荷重載荷位置から補助縦桁までの長さ (mm)

L_4 : 車輪受桁の支持間隔 (mm)

P : 車輪に作用する荷重 (kN)

Z_1 : 車輪受桁の断面係数 (mm³)

A_w : 車輪受桁腹板の断面積 (mm²)

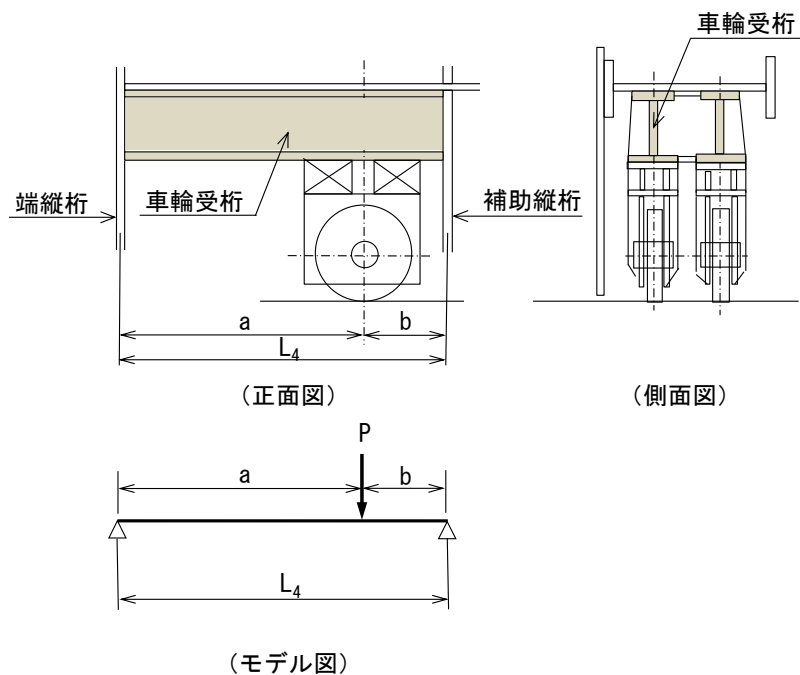


図 4-26 車輪受桁の評価イメージ図

g. 車輪戸当り

車輪戸当りは、車輪から伝達される地震時荷重が作用することで車輪戸当りに生じる応力が許容限界以下であることを確認する。

車輪戸当りの評価イメージ図を図 4-27 に示す。

$$K = 0.0588 \cdot \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt[3]{B^2 \cdot I}}$$

$$a = 0.75 \cdot \frac{P}{K \cdot B} \cdot 10^3$$

$$M = \frac{K \cdot a^2 \cdot B}{4}$$

$$S = \frac{P \cdot 10^3}{2}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{S}{A_w}$$

ここで、

K : 車輪荷重直下のコンクリートに生じる支圧応力度 (N/mm²)

a : コンクリートの応力度の分布長さの 1/2 (mm)

M : 車輪戸当りに生じる曲げモーメント (N・mm)

S : 車輪戸当りに生じるせん断力 (N)

σ : 車輪戸当りに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 車輪戸当りに生じるせん断応力度 (N/mm²)

P : 車輪に作用する荷重 (kN)

B : 車輪戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

I : 車輪戸当りの断面 2 次モーメント (mm⁴)

Z : 車輪戸当りの断面係数 (mm³)

A_w : 車輪戸当り腹板の断面積 (mm²)

$$M_f = \frac{KB^2}{8}$$

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2}$$

ここで、

M_f : 車輪戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント (N・mm)

σ_f : 車輪戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

K : 車輪荷重直下のコンクリートに生じる支圧応力度 (N/mm²)

B : 車輪戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

t_f : 車輪戸当り (底面フランジ) の厚さ (mm)

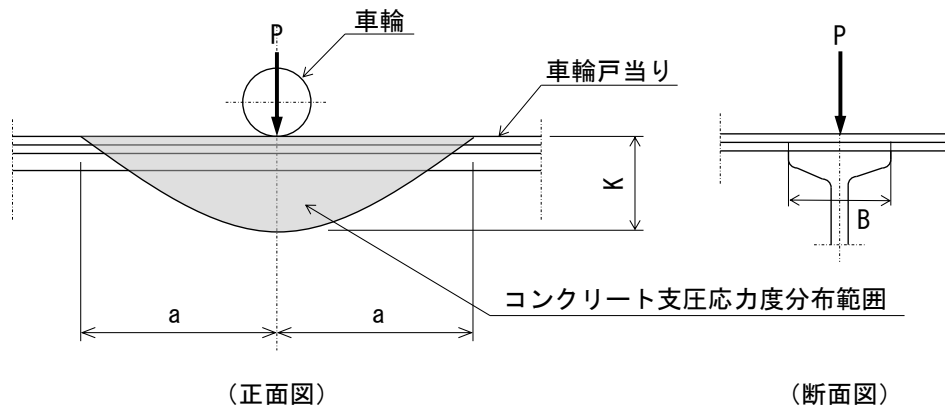


図 4-27 車輪戸当りの評価イメージ図

h. ガイドアーム

ガイドアームは、地震時荷重が作用することで生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、地震時鉛直荷重は3箇所のガイドローラ部に作用すると仮定する。

ガイドアームの評価イメージ図を図4-28に示す。

$$P_v = \frac{(1 - K_v)(W_g + W_s)}{3}$$

$$M = P_v \cdot L \cdot 10^{-3}$$

$$S = P_v$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

P_v : ガイドアームに作用する地震時鉛直荷重 (kN)

M : ガイドアームに生じる曲げモーメント (kN・m)

S : ガイドアームに生じるせん断力 (kN)

σ : ガイドアームに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : ガイドアームに生じるせん断応力度 (N/mm²)

K_v : 鉛直震度

W_g : 防波扉（鋼製扉体）の自重 (kN)

W_s : ガイドアームに作用する積雪荷重 (kN)

L : ガイドアームの支間長 (mm)

Z : ガイドアームの断面係数 (mm³)

A_w : ガイドアーム腹板の断面積 (mm²)

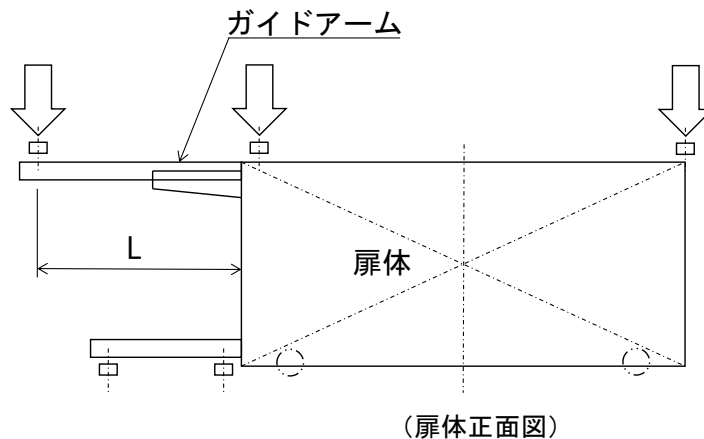


図4-28 ガイドアームの評価イメージ図

i. 休止ピン

休止ピンは、防波扉（鋼製扉体）から伝達される地震時荷重が作用することで生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

休止ピンの評価イメージ図を図 4-29 に示す。

$$P_h = \frac{K_H W}{n}$$

$$M = P_h L \cdot 10^{-6}$$

$$S = P_h$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{S}{A}$$

ここで、

P_h : 休止ピンに作用する水平荷重 (kN)

M : 休止ピンに生じる曲げモーメント (N・mm)

S : 休止ピンに生じるせん断力 (N)

A : 休止ピンの断面積 (mm²)

Z : 休止ピンの断面係数 (mm³)

σ : 休止ピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 休止ピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

K_H : 水平震度

W : 自重 (扉体自重+積雪荷重) (kN)

n : 休止ピン本数 (本)

L : 休止ピンの突出長さ (mm)

d : 休止ピンの径 (mm)

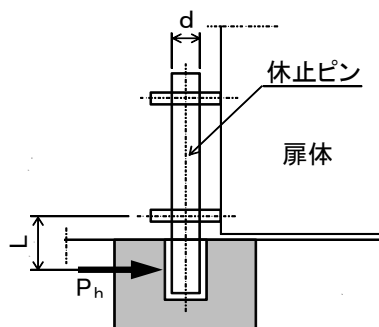


図 4-29 休止ピンの評価イメージ図

(2) 防波扉戸当り (RC支柱)

防波扉戸当り (RC支柱) に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(3) 防波扉基礎スラブ

防波扉基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

また、グラウンドアンカによる支圧照査として、発生アンカー力を用いて次式により算定される支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{T}{S}$$

ここで、

σ_b : グラウンドアンカにより発生する支圧応力度 (N/mm²)

T : 発生アンカー力 (N)

S : 支圧板の面積 (mm²)

(4) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの耐震評価は、地震応答解析に基づいて算定した発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

(5) 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤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。

すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」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。

(6) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、改良地盤及び岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4.10.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

a. 主横桁

主横桁（最下段）は、戸当たりとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁（最上段）は、保守的に片持ちはりでモデル化し、主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁の評価対象部を図 4-30 に、主横桁の評価イメージ図を図 4-31 に示す。

(a) 主横桁（最下段）

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W')L$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁（最下段）に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁（最下段）に生じるせん断力 (kN)

σ : 主横桁（最下段）に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 主横桁（最下段）に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 主横桁に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)

L₁ : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (m)

a : 主横桁の張出長さ (m)

L : 主横桁の支間長 (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm³)

A_w : 主横桁腹板の断面積 (mm²)

(b) 主横桁（最上段）

$$M' = \frac{1}{2}(W + W')L'^2$$

$$S' = \frac{1}{2}(W + W')L'$$

$$\sigma = \frac{M' \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S' \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M' : 主横桁（最上段）に生じる曲げモーメント (kN・m)

S' : 主横桁（最上段）に生じるせん断力 (kN)

σ : 主横桁（最上段）に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 主横桁（最上段）に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 主横桁に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)

L' : 主横桁の張出長さ (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm³)

A_w : 主横桁腹板の断面積 (mm²)

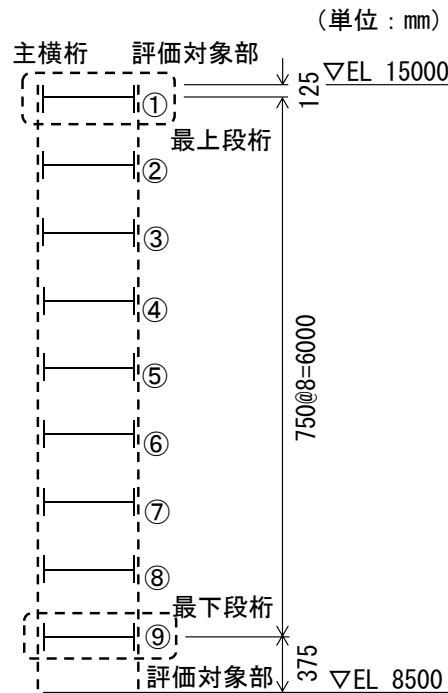
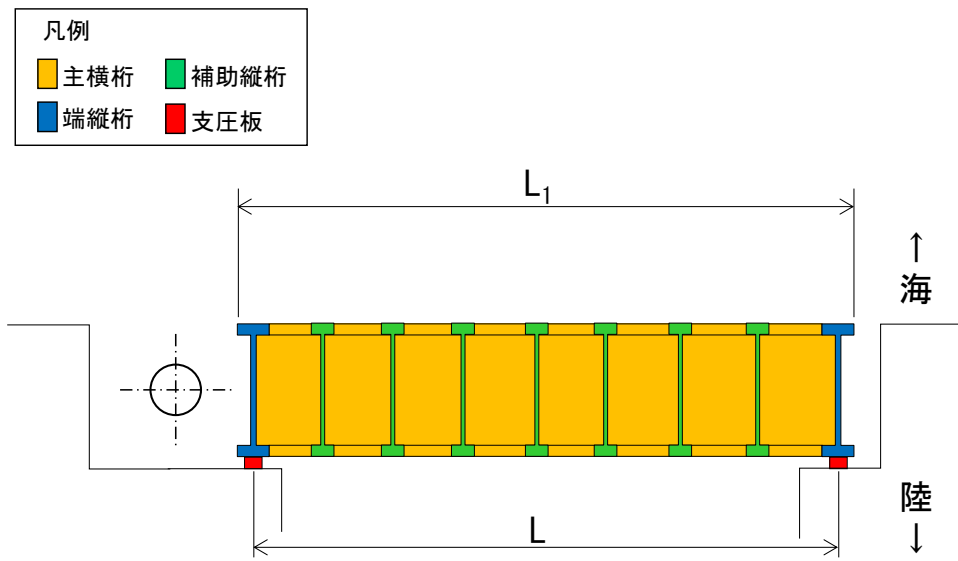
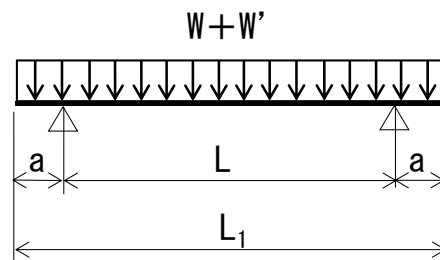


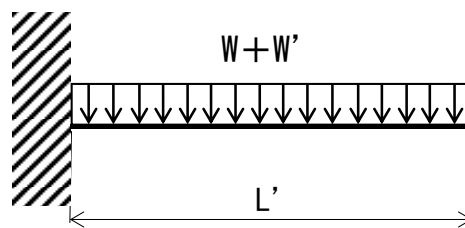
図 4-30 主横桁の評価対象部



(扉体平面図)



(主横桁 (最下段) のモデル図)



(主横桁 (最上段) のモデル図)

図 4-31 主横桁の評価イメージ図

b. 張出桁

張出桁は、片持ちはりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで張出桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

張出桁の評価イメージ図を図 4-32 に示す。

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L^2$$

$$S = (W + W')L$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 張出桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 張出桁に生じるせん断力 (kN)

σ : 張出桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 張出桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 張出桁に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W' : 張出桁に作用する風荷重 (kN/m)

L : 張出長さ (m)

Z : 張出桁の断面係数 (mm³)

A_w : 張出桁腹板の断面積 (mm²)

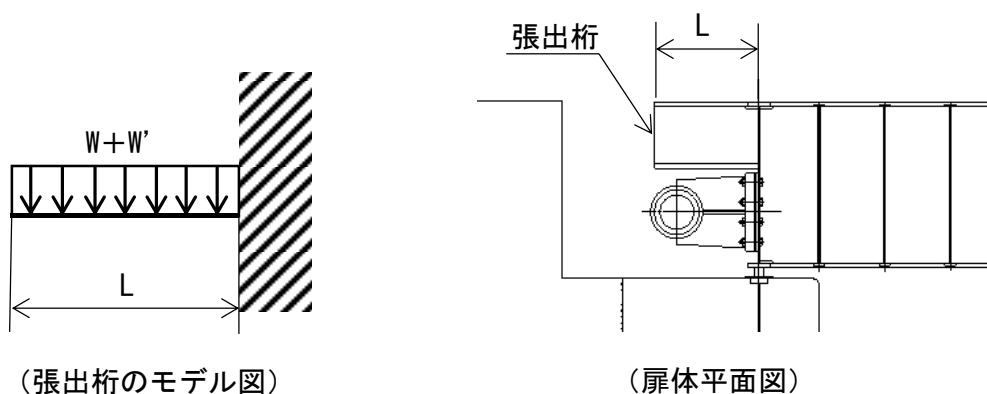


図 4-32 張出桁の評価イメージ図

c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁をピン固定とする単純はりでモデル化し、地震時荷重として等分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の評価イメージ図を図 4-33 に示す。

$$M = \frac{1}{8}(W + W')l^2$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W') l$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

σ : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 補助縦桁に作用する地震時慣性力 (kN/m)

W' : 補助縦桁に作用する風荷重 (kN/m)

l : 主横桁の間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_w : 補助縦桁腹板の断面積 (mm²)

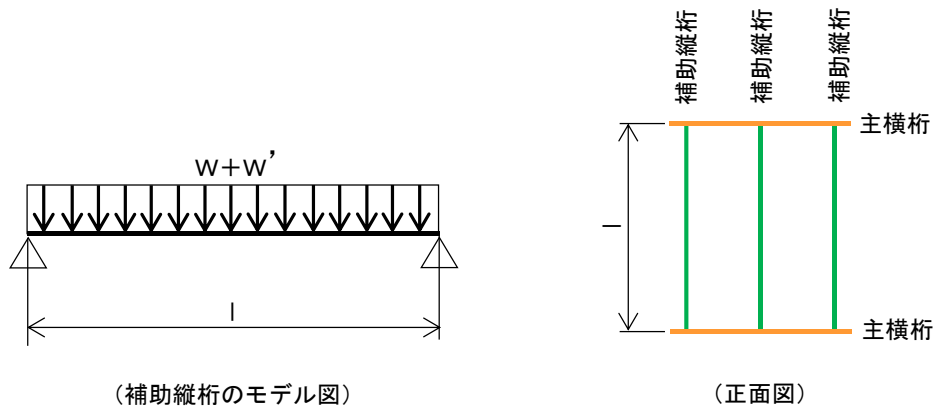


図 4-33 補助縦桁の評価イメージ図

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図 4-34 に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2} \quad \text{ただし, } A_q \leq 1.7(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

ここで、

σ_c : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

R : 主横桁に生じる支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効断面積 (mm²)

A_w : 端縦桁腹板の有効断面積 (mm²)

A_{s1} : 主横桁腹板の有効断面積 (mm²)

A_{s2} : スチフナの有効断面積 (mm²)

b_w : 端縦桁腹板の長さ (mm)

t_w : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

b_{s1} : 主横桁腹板の長さ (mm)

t_{s1} : 主横桁腹板の厚さ (mm)

b_{s2} : スチフナの長さ (mm)

t_{s2} : スチフナの厚さ (mm)

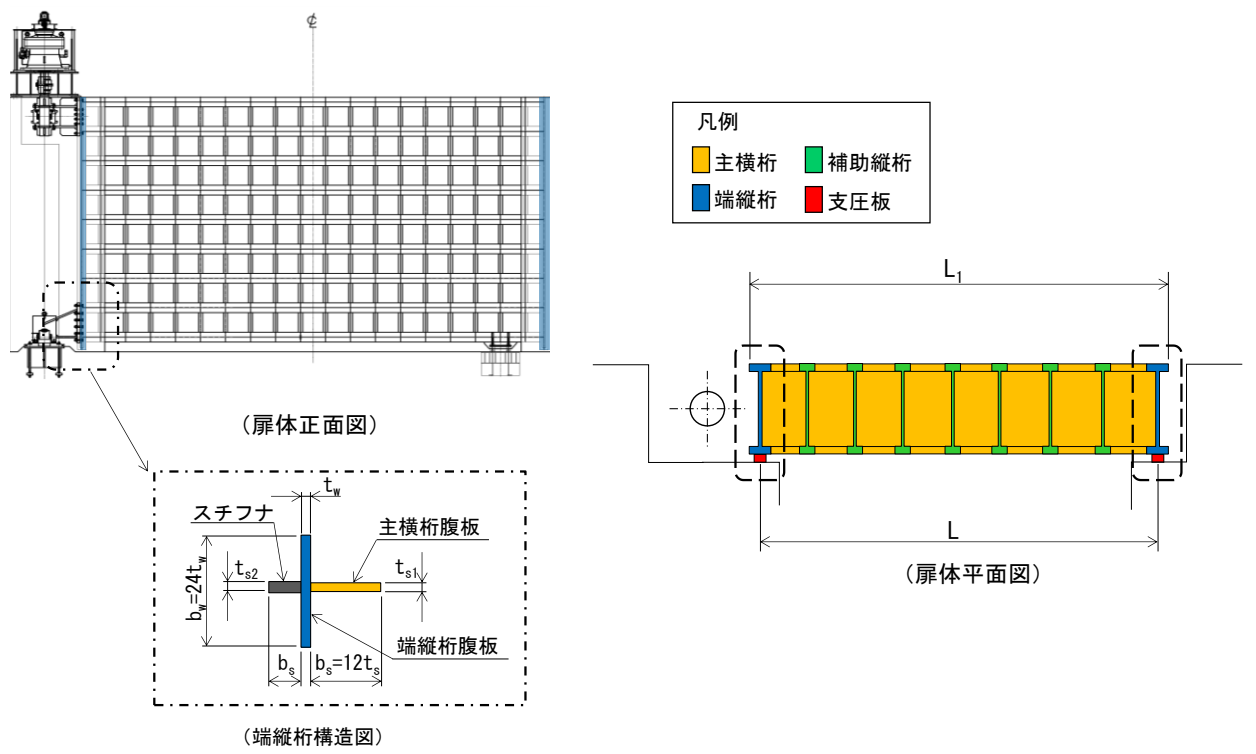


図 4-34 端縦桁の評価イメージ図

e. 支承部

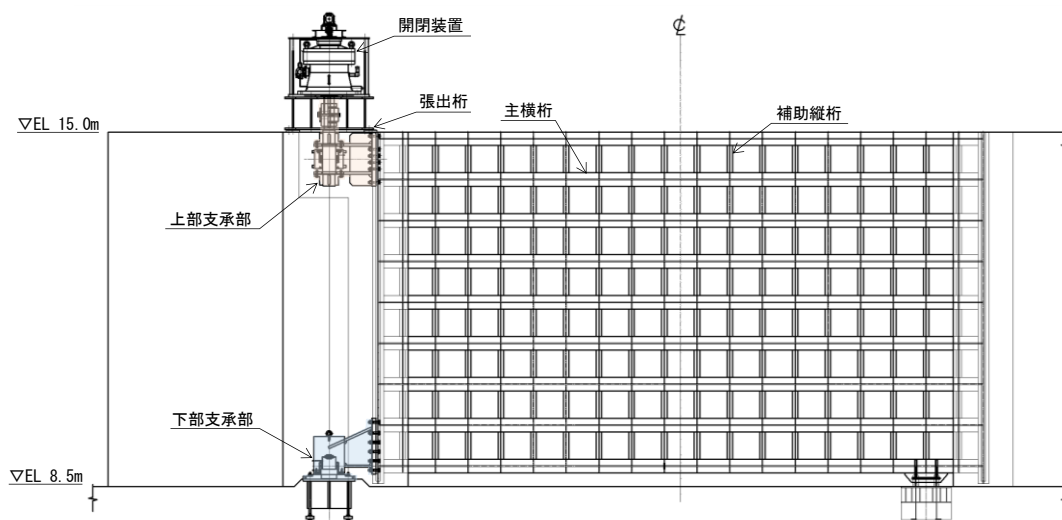
支承部は、水平方向及び鉛直方向の地震荷重が作用することで支承部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

水平方向及び鉛直方向の地震荷重の組合せは、組合せ係数法により以下のとおり設定する。

組合せ①：1.0×水平方向の地震荷重+0.4×鉛直方向の地震荷重

組合せ②：0.4×水平方向の地震荷重+1.0×鉛直方向の地震荷重

支承部の構造正面図を図4-35に示す。



(正面図)

図4-35 支承部の構造正面図

(a) 支承部（上部支承軸）

支承部（上部支承軸）は，両端ピン固定とする単純はりでモデル化し，地震時荷重が作用することで支承部（上部支承軸）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支承部（上部支承軸）の評価イメージ図を図 4-36 に示す。

$$M = \frac{R_H L}{4}$$

$$S = R_H$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{4S \cdot 10^3}{3A}$$

ここで，

M : 支承部（上部支承軸）に生じる曲げモーメント（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

S : 支承部（上部支承軸）に生じるせん断力（ kN ）

σ : 支承部（上部支承軸）に生じる曲げ応力度（ N/mm^2 ）

τ : 支承部（上部支承軸）に生じるせん断応力度（ N/mm^2 ）

R_H : 支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重（ kN ）

L : 支承軸支持間隔（ m ）

Z : 支承部（上部支承軸）の断面係数（ mm^3 ）

A : 支承部（上部支承軸）の断面積（ mm^2 ）

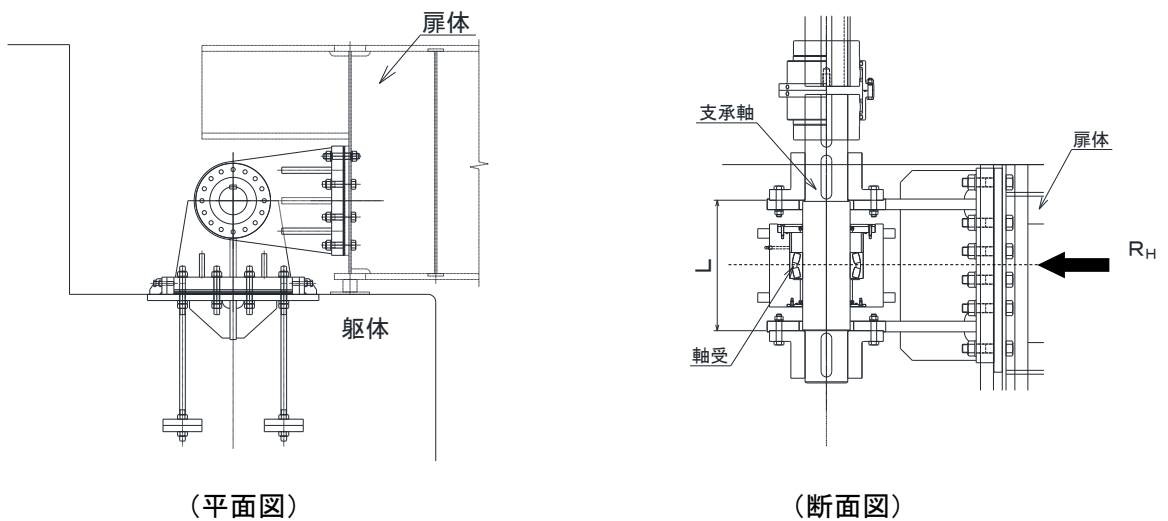


図 4-36 支承部（上部支承軸）の評価イメージ図

- (b) 支承部（下部支承軸），支承部（下部支承軸受）及び支承部（支承軸受）
 支承部（下部支承軸）は，片持ちはりモデル化し，地震時荷重が作用することで支承部（下部支承軸）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。
 支承部（下部支承軸受）は，鉛直方向の地震時荷重が作用することで軸受（壺金）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。
 支承部（支承軸受）は，支承軸受に作用する地震時荷重が許容限界以下であることを確認する。
 支承部（下部支承軸），支承部（下部支承軸受）及び支承部（支承軸受）の評価イメージ図を図 4-37 に示す。

イ. 支承部（下部支承軸）

$$M = R_H L$$

$$S = R_H$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{4S \cdot 10^3}{3A}$$

ここで，

M : 支承部（下部支承軸）に生じる曲げモーメント（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）

S : 支承部（下部支承軸）に生じるせん断力（ kN ）

σ : 支承部（下部支承軸）に生じる曲げ応力度（ N/mm^2 ）

τ : 支承部（下部支承軸）に生じるせん断応力度（ N/mm^2 ）

R_H : 支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重（ kN ）

L : 支承部（下部支承軸）の突出長さ（ m ）

Z : 支承部（下部支承軸）の断面係数（ mm^3 ）

A : 支承部（下部支承軸）の断面積（ mm^2 ）

ロ. 支承部（下部支承軸受）

$$p = 0.388 \left(\frac{R_v \cdot 10^3 E^2}{r^2} \right)^{1/3}$$

ここで、

p : 軸受（壺金）に生じる支圧応力度（ N/mm^2 ）

R_v : 支承部（下部支承軸）に作用する鉛直荷重（ kN ）

E : 軸受（壺金）の弾性係数（ N/mm^2 ）

r : 軸受（壺金）の球面の半径（ mm ）

ハ. 支承部（支承軸受）

$$R = R_H$$

ここで、

R : 支承部（支承軸受）に作用する荷重（ kN ）

R_H : 支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重（ kN ）

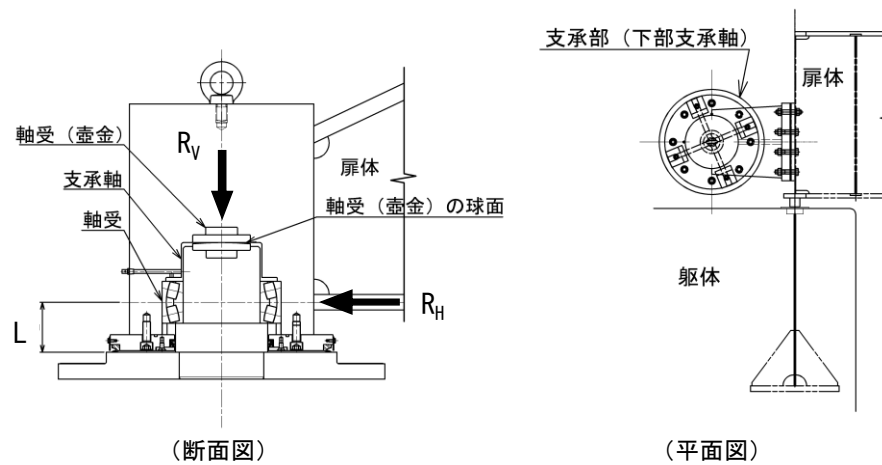


図 4-37 支承部（下部支承軸），支承部（下部支承軸受）及び
支承部（支承軸受）の評価イメージ図

(c) 支承部（浮上防止金物）

支承部（浮上防止金物）は、支承部（下部支承軸）から伝達される地震時荷重が作用することで支承部（浮上防止金物）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支承部（浮上防止金物）の評価イメージ図を図 4-38 に示す。

$$M = R_V L / 4$$

$$S = R_V / 4$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{3S \cdot 10^3}{2A_1}$$

$$F = \frac{aR_V}{4b}$$

$$\sigma_t = \frac{F \cdot 10^3}{A_2}$$

ここで、

M : 支承部（浮上防止金物）に生じる曲げモーメント（kN・m）

S : 支承部（浮上防止金物）に生じるせん断力（kN）

σ_b : 支承部（浮上防止金物）に生じる曲げ応力度（N/mm²）

τ : 支承部（浮上防止金物）に生じるせん断応力度（N/mm²）

F : 固定ボルトに生じる軸力（kN）

σ_t : 固定ボルトに生じる軸方向引張応力度（N/mm²）

R_V : 支承部（浮上防止金物）に作用する鉛直上向き荷重（kN）

L : 支承部（浮上防止金物）の突出長さ（m）

Z : 支承部（浮上防止金物）の断面係数（mm³）

A_1 : 支承部（浮上防止金物）の断面積（mm²）

a, b : 支持点からの距離（mm）

A_2 : 固定ボルトの有効断面積（mm²）

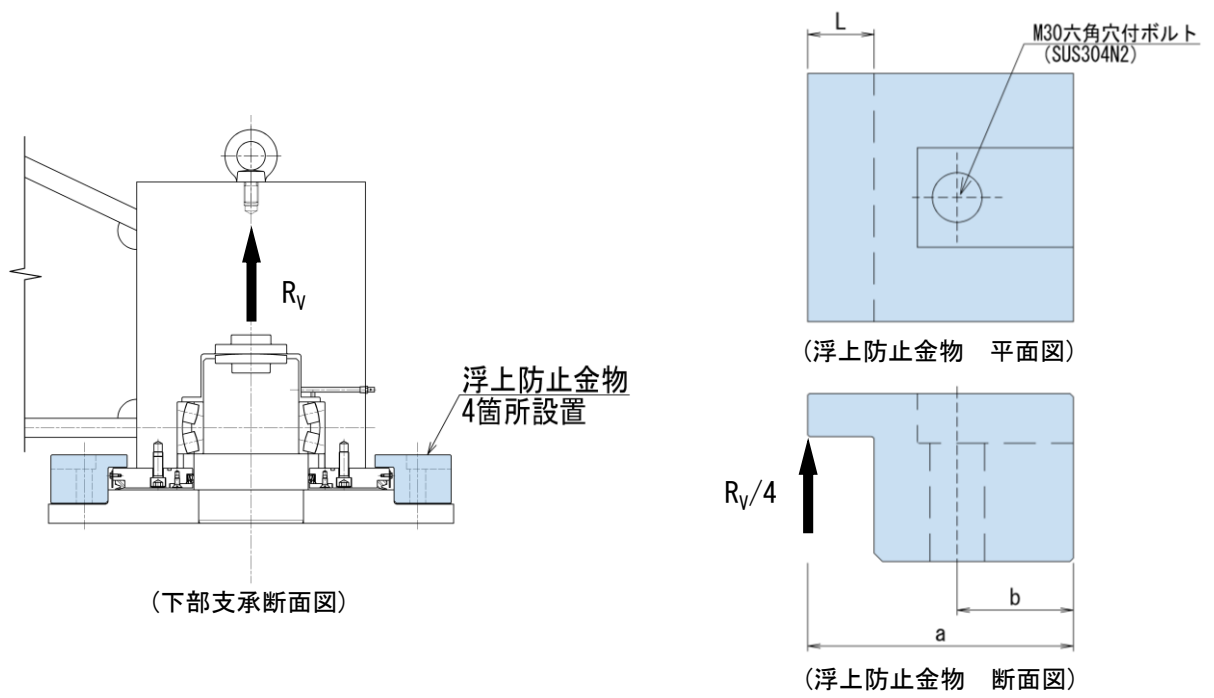


図 4-38 支承部（浮上防止金物）の評価イメージ図

f. 上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）

上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）は、支承軸から伝達される地震時荷重が作用することで上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

上部支承（アンカーボルト）及び上部支承（コンクリート）の評価イメージ図を図4-39に示す。

(a) 上部支承（アンカーボルト）

$$F = \frac{R_H l}{mn}$$

$$\sigma_t = \frac{F \cdot 10^3}{A}$$

ここで、

F : アンカーボルト1本あたりに生じる軸力 (kN)

σ_t : アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度 (N/mm²)

R_H : 支承部（上部支承軸）に作用する水平荷重 (kN)

l : 支承軸からアンカーボルト固定部までの距離 (mm)

m : アンカーボルトの間隔 (mm)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

A : アンカーボルトの断面積 (mm²)

(b) 上部支承（コンクリート）

$$\sigma_{c1} = \frac{nF \cdot 10^3}{ab}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{R_H \cdot 10^3}{ce}$$

$$\tau_c = \frac{nF \cdot 10^3}{2b \cdot 2d}$$

ここで、

σ_{c1} : 上部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度
（アンカープレート） (N/mm²)

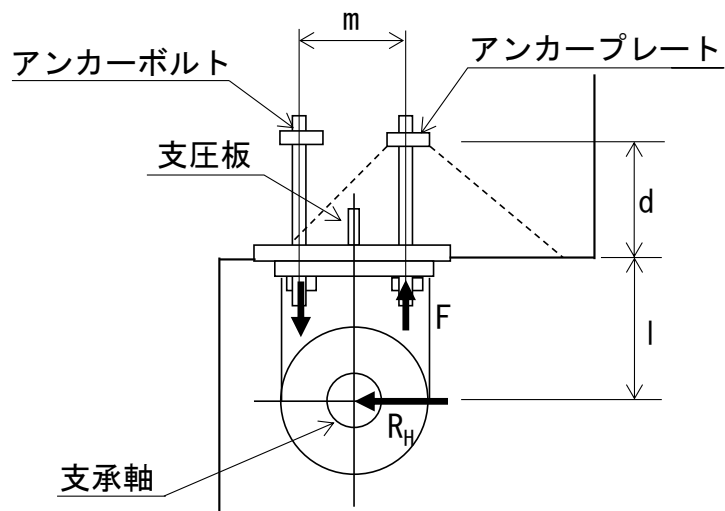
σ_{c2} : 上部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度（支圧板） (N/mm²)

τ_c : 上部支承（コンクリート）に生じるせん断応力度
（アンカープレート） (N/mm²)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

F : アンカーボルト1本あたりに生じる軸力 (kN)

- a, b : アンカープレートの寸法 (mm)
- R_H : 支承部 (上部支承軸) に作用する水平荷重 (kN)
- c, e : 支圧板の寸法 (mm)
- d : アンカーボルトの埋込深さ (mm)



(平面図)

図 4-39 上部支承 (アンカーボルト) 及び上部支承 (コンクリート) の評価イメージ図

- g. 下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）

下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）は、支承軸から伝達される地震時荷重が作用することで下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

下部支承（アンカーボルト）及び下部支承（コンクリート）の評価イメージ図を図 4-40 に示す。

- (a) 下部支承（アンカーボルト）

$$F = \frac{R_H L}{yn}$$

$$\sigma_t = \frac{F \cdot 10^3}{A}$$

ここで、

F : アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力 (kN)

σ_t : アンカーボルトに生じる軸方向引張応力度 (N/mm²)

R_H : 支承部（下部支承軸）に作用する水平荷重 (kN)

L : 軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離 (mm)

y : アンカーボルトの間隔 (mm)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

A : アンカーボルトの断面積 (mm²)

- (b) 下部支承（コンクリート）

$$\sigma_{c1} = \frac{nF \cdot 10^3}{ab}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{R_H \cdot 10^3}{ce}$$

$$\tau_c = \frac{nF \cdot 10^3}{2b \cdot 2d}$$

ここで、

σ_{c1} : 下部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度
（アンカープレート）(N/mm²)

σ_{c2} : 下部支承（コンクリート）に生じる支圧応力度（支圧板）(N/mm²)

τ_c : 下部支承（コンクリート）に生じるせん断応力度
（アンカープレート）(N/mm²)

n : アンカーボルトの片側本数 (本)

F : アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力 (kN)

- a, b : アンカープレートの寸法 (mm)
- R_H : 支承部 (下部支承軸) に作用する水平荷重 (kN)
- c, e : 支圧板の寸法 (mm)
- d : アンカーボルトの埋込深さ (mm)

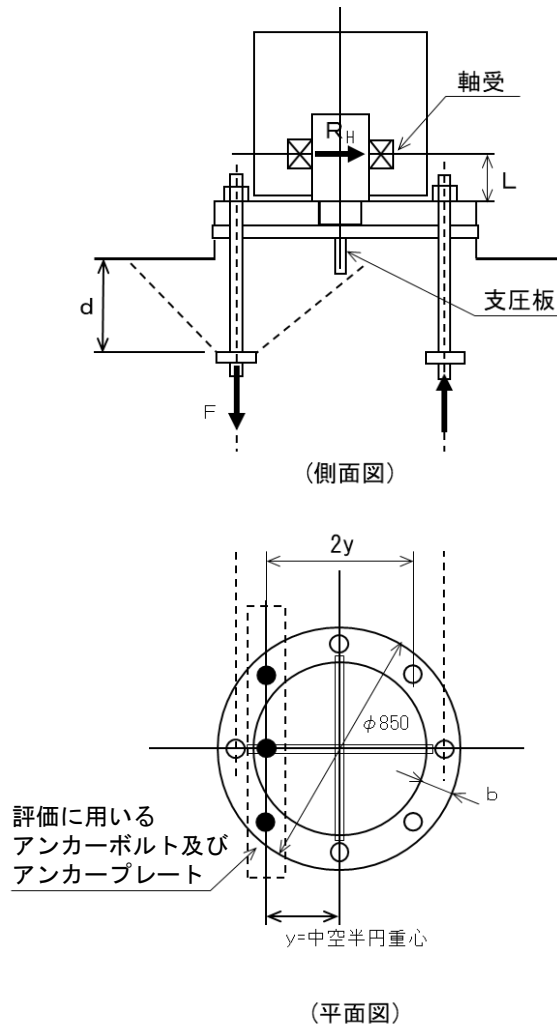


図 4-40 下部支承 (アンカーボルト) 及び下部支承 (コンクリート) の評価イメージ図

h. ロック装置

ロック装置は、片持ちはりモデル化し、地震時荷重が作用することでロックビームに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

ロック装置の評価イメージ図を図 4-41 に示す。

$$M = R_r a$$

$$S = R_r$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{n \cdot Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{n \cdot A}$$

ここで、

M : ロックビームに生じる曲げモーメント (kN・m)

S : ロックビームに生じるせん断力 (kN)

σ : ロックビームに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ : ロックビームに生じるせん断応力度 (N/mm²)

R_r : ロックビームに作用する荷重 (kN)

a : ロックビームの突出長さ (m)

n : ロックビーム本数 (本)

Z : ロックビームの断面係数 (mm³)

A : ロックビームのせん断面積 (mm²)

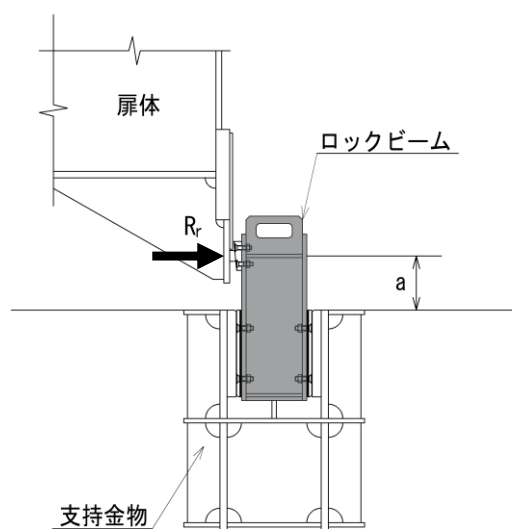


図 4-41 ロック装置の評価イメージ図

i. 支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）は，漂流物対策工（鋼製扉体）から伝達される地震時荷重が作用することで支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）の評価イメージ図を図4-42に示す。

(a) 支圧板

$$\sigma_p = \frac{WL_1}{2CL_2}$$

ここで，

σ_p : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm²)

W : 戸当りに作用する地震時荷重（地震時慣性力＋風荷重） (kN/m)

L_1 : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

L_2 : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

(b) 戸当り（腹板）

$$\sigma_b = \frac{WL_1}{2t_w L_2}$$

ここで，

σ_b : 戸当り（腹板）に生じる支圧応力度 (N/mm²)

W : 戸当りに作用する地震時荷重（地震時慣性力＋風荷重） (kN/m)

L_1 : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

t_w : 戸当り（腹板）の厚さ (mm)

L_2 : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

(c) 戸当り (底面フランジ)

$$M_f = \frac{\sigma_{cb} \cdot b_f^2}{8}$$

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2}$$

ここで,

M_f : 戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント (N・mm/mm)

σ_f : 戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{cb} : 戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度 (N/mm²)

b_f : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

t_f : 戸当り (底面フランジ) の厚さ (mm)

(d) 戸当り (コンクリート)

$$\sigma_{cb} = \frac{WL_1}{2b_fL_2}$$

$$\tau_c = \frac{WL_1}{2\Sigma lL_2}$$

ここで,

σ_{cb} : 戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度 (N/mm²)

τ_c : 戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度 (N/mm²)

W : 戸当りに作用する地震時荷重 (地震時慣性力+風荷重) (kN/m)

L_1 : 漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅 (mm)

b_f : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

L_2 : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

Σl : せん断抵抗長さ (= $l_1 + 2l_2$) (mm)

l_1 : 戸当りの埋込深さ (mm)

l_2 : 戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ (mm)

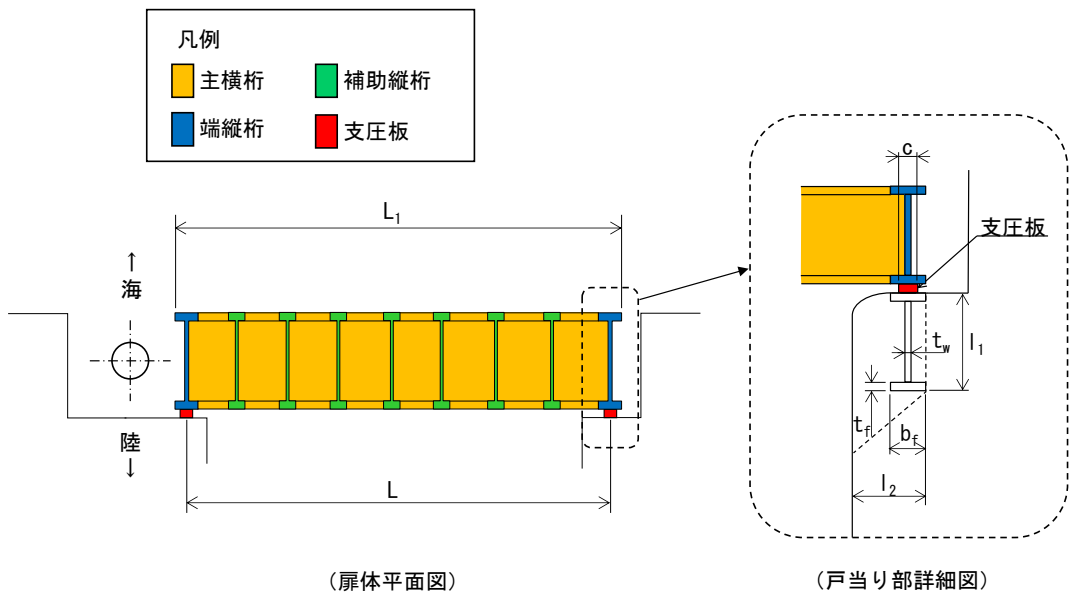


図 4-42 支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）
の評価イメージ図

(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱)

漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、MMR, 改良地盤及び岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

5. 評価条件

「4. 耐震評価」に用いる条件を表5-1及び表5-2に示す。

表5-1 防波扉の耐震評価に用いる条件(1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	W	主横桁に作用する地震時荷重（地震時慣性力+風荷重）	16.967	kN/m
	B	主横桁の水密幅	11.600	m
	L	主横桁の支間長	11.200	m
	M	主横桁に生じる曲げモーメント	265.700	kN・m
	S	主横桁に生じるせん断力	98.407	kN
	N	主横桁に生じる軸力	30.540	kN
	Z	主横桁の断面係数	10767582	mm ³
	D	側部水密幅	1.800	m
	A _w	主横桁腹板の断面積	14382	mm ²
	A _g	主横桁の断面積	23012	mm ²
補助縦桁	P	補助縦桁に作用する地震時荷重（地震時慣性力+風荷重）	12.568	kN/m ²
	a	補助縦桁間隔	0.747	m
	b	主横桁間隔	1.200	m
	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	2.082	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	4.819	kN
	Z	補助縦桁の断面係数	114034	mm ³
	A _w	補助縦桁腹板の断面積	611	mm ²
端縦桁	R	端縦桁に生じる支点反力	98.407	kN
	A _q	補剛材の有効断面積	2938	mm ²
支圧板	W _{gh}	支圧板に作用する地震時慣性力	124.850	kN/m
	W	支圧板に作用する風荷重	1.805	kN/mm ²
	B	防波扉（鋼製扉体）の水密幅	11600	mm
	b	支圧板の有効幅	100	mm
戸当り	P	戸当りに作用する地震時荷重（地震時慣性力+風荷重）	145.789	kN/m
	b _f	戸当り（底面フランジ）の幅	200	mm
	t _f	戸当り（底面フランジ）の厚さ	22	mm
	B	防波扉（鋼製扉体）の水密幅	11600	mm
	h	戸当りの埋込深さ	510	mm
	L	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ	400	mm

表 5-1 防波扉の耐震評価に用いる条件(2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
車輪	R_1	海側車輪に作用する荷重	318.653	kN
	R_2	陸側車輪に作用する荷重	166.486	kN
	W_g	防波扉（鋼製扉体）の自重	370	kN
	W_{S1}	防波扉（鋼製扉体）天端に作用する積雪荷重	13.328	kN
	W_{S2}	ガイドアームに作用する積雪荷重	3.112	kN
	P	車輪に作用する荷重	318.653	kN
	E_1	車輪の弾性係数	193000	N/mm ²
	E_2	車輪踏面板の弾性係数	193000	N/mm ²
	B	車輪有効踏面板幅	85	mm
	R	車輪半径	345	mm
	C	接触幅の 1/2	3.954	mm
	M	車輪軸に生じる曲げモーメント	10913881	N・mm
	S	車輪軸に生じるせん断力	159327	N
	A	車輪軸の断面積	9503	mm ²
	Z	車輪軸の断面係数	130671	mm ³
	L_3	車輪軸の支持間隔	137	mm
	L_4	車輪受桁の支持間隔	2240	mm
	a	車輪受桁の荷重載荷位置から端縦桁までの長さ	1640	mm
	b	車輪受桁の荷重載荷位置から補助縦桁までの長さ	600	mm
	M_1	車輪受桁に生じる曲げモーメント	139980000	N・mm
S_1	車輪受桁に生じるせん断力	233300	N	
Z_1	車輪受桁の断面係数	875000	mm ³	
A_w	車輪受桁腹板の断面積	2208	mm ²	

表 5-1 防波扉の耐震評価に用いる条件(3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
車輪 戸当り	P	車輪に作用する荷重	318.653	kN
	K	車輪荷重直下のコンクリートに生じる支 圧応力度	1.79	N/mm ²
	a	コンクリートの応力度の分布長さの 1/2	1068	mm
	M	車輪戸当りに生じる曲げモーメント	63817061	N・mm
	S	車輪戸当りに生じるせん断力	159327	N
	I	車輪戸当りの断面 2 次モーメント	73100000	mm ⁴
	B	車輪戸当り（底面フランジ）の幅	125	mm
	Z	車輪戸当りの断面係数	585000	mm ³
	A _w	車輪戸当り腹板の断面積	2040	mm ²
M _f	車輪戸当り（底面フランジ）に生じる曲げ モーメント	3496	N・mm	
ガイド アーム	P _v	ガイドアームに作用する地震時鉛直荷重	64.407	kN
	W _g	防波扉（鋼製扉体）の自重	370	kN
	W _s	ガイドアームに作用する積雪荷重	16.44	kN
	M	ガイドアームに生じる曲げモーメント	325.254	kN・m
	S	ガイドアームに生じるせん断力	64.407	kN
	Z	ガイドアームの断面係数	1811700	mm ³
	A _w	ガイドアーム腹板の断面積	27200	mm ²
休止 ピン	P _h	休止ピンに作用する水平荷重	405.762	kN
	W	自重（扉体自重+積雪荷重）	386.44	kN
	M	休止ピンに生じる曲げモーメント	52749060	N・mm
	S	休止ピンに生じるせん断力	405762	N
	Z	休止ピンの断面係数	331340	mm ³
	A	休止ピンの断面積	17671	mm ²
	n	休止ピン本数	2	本
	L	休止ピンの突出長さ	130	mm
	d	休止ピンの径	150	mm

表 5-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件(1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M	主横桁（最下段）に生じる曲げモーメント	268.2	kN・m
	S	主横桁（最下段）に生じるせん断力	96.7	kN
	W	主横桁に作用する地震時慣性力	16.065	kN/m
	W'	主横桁に作用する風荷重	1.354	kN/m
	L	主横桁の支間長	11.100	m
	a	主横桁の張出長さ	0.100	m
	L ₁	漂流物対策工（鋼製扉体）の幅	11.300	m
	M'	主横桁（最上段）に生じる曲げモーメント	1275.2	kN・m
	S'	主横桁（最上段）に生じるせん断力	210.8	kN
	L'	主横桁の張出長さ	12.100	m
	Z	主横桁の断面係数	23979000	mm ³
	A _w	主横桁腹板の断面積	26300	mm ²
張出桁	M	張出桁に生じる曲げモーメント	4.2	kN・m
	S	張出桁に生じるせん断力	7.0	kN
	W	張出桁に作用する地震時慣性力	5.355	kN/m
	W'	張出桁に作用する風荷重	0.451	kN/m
	L	張出長さ	1.200	m
	Z	張出桁の断面係数	10829000	mm ³
	A _w	張出桁腹板の断面積	26370	mm ²
補助縦桁	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	0.2	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	0.9	kN
	W	補助縦桁に作用する地震時慣性力	2.142	kN/m
	W'	補助縦桁に作用する風荷重	0.181	kN/m
	l	主横桁の間隔	0.750	m
	Z	補助縦桁の断面係数	10540000	mm ³
	A _w	補助縦桁腹板の断面積	26300	mm ²
端縦桁	R	主横桁に生じる支点反力	210.8	kN
	A _q	補剛材の有効断面積	10747	mm ²

表 5-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
支承部 (上部支 承軸)	M	支承部 (上部支承軸) に生じる曲げモーメン ト	291.6	kN・m
	R _H	支承部 (上部支承軸) に作用する水平荷重	2120.5	kN
	L	支承軸支持間隔	0.550	m
	S	支承部 (上部支承軸) に生じるせん断力	1060.3	kN
	Z	支承部 (上部支承軸) の断面係数	1045400	mm ³
	A	支承部 (上部支承軸) の断面積	38010	mm ²
支承部 (下部支 承軸)	M	支承部 (下部支承軸) に生じる曲げモーメン ト	330.8	kN・m
	R _H	支承部 (下部支承軸) に作用する水平荷重	2120.5	kN
	L	支承部 (下部支承軸) の突出長さ	0.156	m
	S	支承部 (下部支承軸) に生じるせん断力	2120.5	kN
	Z	支承部 (下部支承軸) の断面係数	2155100	mm ³
	A	支承部 (下部支承軸) の断面積	61580	mm ²
支承部 (下部支 承軸受)	R _v	支承部 (下部支承軸) に作用する鉛直荷重	1574.7	kN
	r	軸受 (壺金) の球面の半径	1150	mm
	E	軸受 (壺金) の弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
支承部 (支承 軸受)	R	支承部 (支承軸受) に作用する荷重	2025.1	kN
支承部 (浮上防 止金物)	M	支承部 (浮上防止金物) に生じる曲げモーメ ント	0.75	kN・m
	R _v	支承部 (浮上防止金物) に作用する鉛直上向 き荷重	75.3	kN
	L	支承部 (浮上防止金物) の突出長さ	0.040	m
	S	支承部 (浮上防止金物) に生じるせん断力	18.8	kN
	Z	支承部 (浮上防止金物) の断面係数	16900	mm ³
	A ₁	支承部 (浮上防止金物) の断面積	3900	mm ²
	F	固定ボルトに生じる軸力	43.0	kN
	a, b	支持点からの距離	160, 70	mm
A ₂	固定ボルトの有効断面積	561	mm ²	

表 5-2 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
上部支承 (アンカーボルト), 上部支承 (コンクリート)	F	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力	249.5	kN
	R _H	支承部 (上部支承軸) に作用する水平荷重	2120.5	kN
	l	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離	600	mm
	m	アンカーボルトの間隔	850	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	6	本
	A	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルトの埋込深さ	1100	mm
	a, b	アンカープレートの寸法	300, 950	mm
	c, e	支圧板の寸法	400, 950	mm
下部支承 (アンカーボルト), 下部支承 (コンクリート)	F	アンカーボルト 1 本あたりに生じる軸力	247.2	kN
	R _H	支承部 (下部支承軸) に作用する水平荷重	2120.5	kN
	L	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離	156	mm
	y	アンカーボルトの間隔	446	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	3	本
	A	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルトの埋込深さ	550	mm
	a, b	アンカープレートの寸法	150, 850	mm
ロック装置	M	ロックビームに生じる曲げモーメント	88.5	kN・m
	R _r	ロックビームに作用する荷重	590.3	kN
	a	ロックビームの突出長さ	0.150	m
	n	ロックビーム本数	2	本
	Z	ロックビームの断面係数	260000	mm ³
	S	ロックビームに生じるせん断力	590.3	kN
	A	ロックビームのせん断面積	2128	mm ²
支圧板, 戸当り	W	戸当りに作用する地震時荷重 (地震時慣性力 + 風荷重)	17.419	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L ₁	漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅	11300	mm
	L ₂	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	t _w	戸当り (腹板) の厚さ	14	mm
	b _f	戸当り (底面フランジ) の幅	750	mm
	t _f	戸当り (底面フランジ) の厚さ	50	mm
	l ₁	戸当りの埋込深さ	1350	mm
	l ₂	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ	925	mm
	M _f	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント	14100	N・mm/mm
Σl	せん断抵抗長さ (= l ₁ + 2l ₂)	3200	mm	

6. 耐震評価結果

6.1 防波扉

6.1.1 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の耐震評価結果を表 6-1 に示す。防波扉（鋼製扉体）の各部材の発生応力度又は作用荷重が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 防波扉（鋼製扉体）の耐震評価結果

部材		発生 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
主横桁	曲げ応力度	26	240	0.11
	せん断応力度	6.8	135	0.06
補助縦桁	曲げ応力度	18.3	180	0.11
	せん断応力度	7.9	105	0.08
端縦桁	圧縮応力度	33	240	0.14
支圧板	支圧応力度	0.729	225	0.01
戸当り (底面フランジ)	曲げ応力度	22.6	240	0.10
戸当り (コンクリート)	支圧応力度	0.36	8.8	0.05
	せん断応力度	0.06	0.60	0.10
車輪	接触面圧応力度	605.2	849	0.72
車輪軸	曲げ応力度	83.5	150	0.56
	せん断応力度	22.4	90	0.25
車輪受桁	曲げ応力度	160.0	240	0.67
	せん断応力度	106.0	135	0.79
車輪戸当り	曲げ応力度	109.1	180	0.61
	せん断応力度	78.1	105	0.75
車輪戸当り (底面フランジ)	曲げ応力度	58.1	180	0.33
ガイドアーム	曲げ応力度	180	240	0.75
	せん断応力度	2.4	135	0.02
休止ピン	曲げ応力度	159.2	338	0.48
	せん断応力度	30.6	195	0.16

6.1.2 防波扉戸当り（R C支柱）

(1) 曲げ照査

防波扉戸当り（R C支柱）の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の評価時刻での断面力図を図 6-1 に，コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-2 に示す。防波扉戸当り（R C支柱）の鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-2 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-3 に示す。

この結果から，防波扉戸当り（R C支柱）の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した。

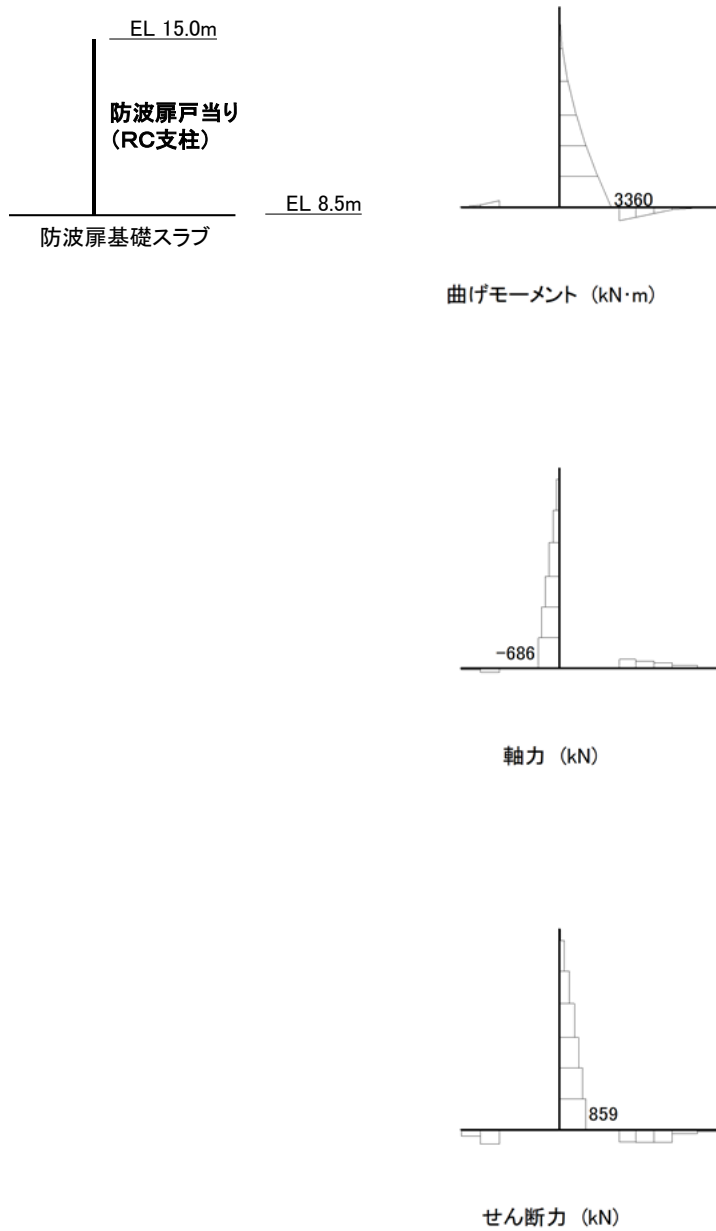


図 6-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S s - D (---), t=19.21s)

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 - 1σ)

表 6-2 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

地震動	解析 ケース	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)			
S s - D (---)	③	3360	686	2.1	13.5	0.16

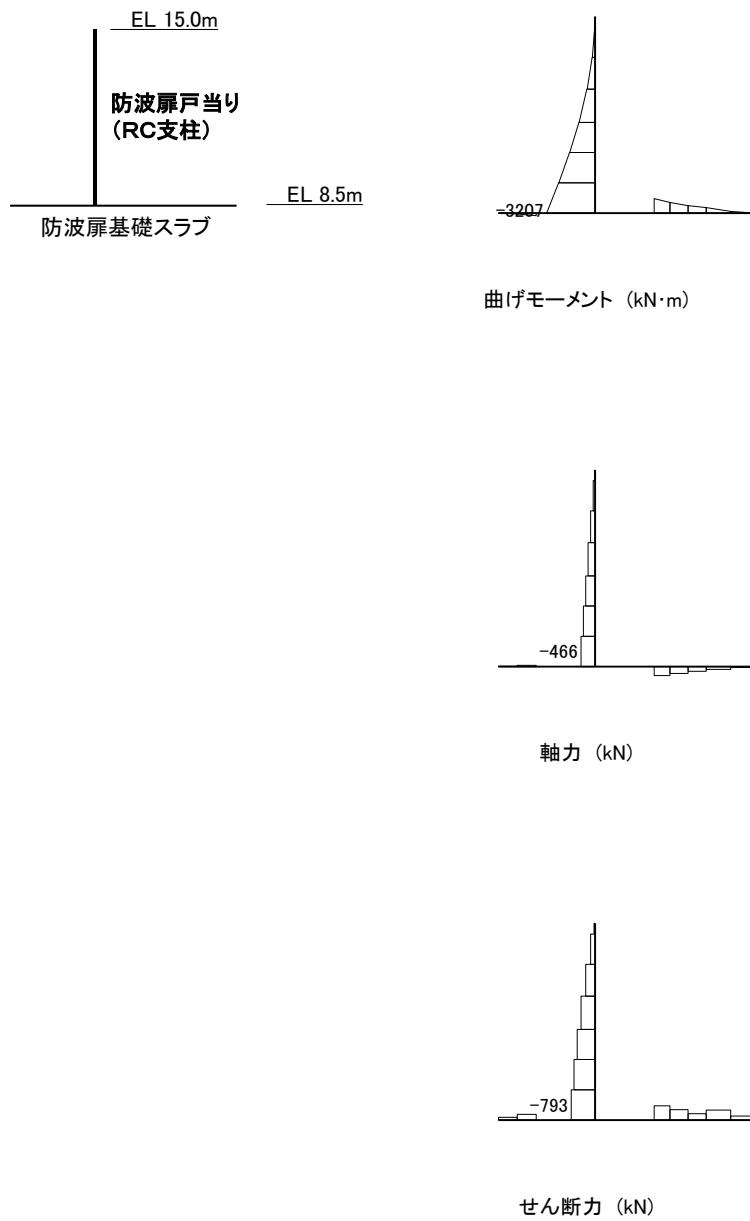


図 6-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (-+), t=8.61s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-3 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (-+)	①	3207	466	85	294	0.29

(2) せん断照査

防波扉戸当り（RC支柱）の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の評価時刻での断面力図を図 6-3 に、コンクリートのせん断破壊に対する最大照査値を表 6-4 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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した。

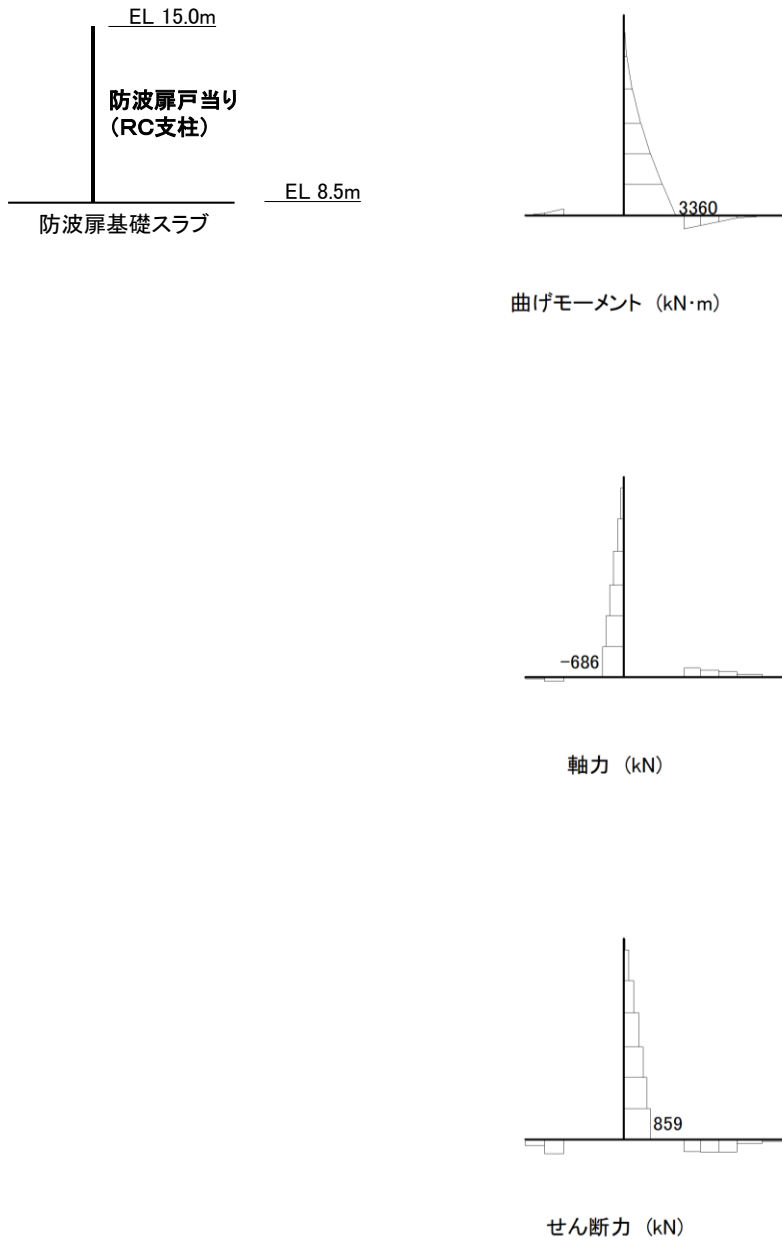


図 6-3 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (---), t=19.21s)

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 - 1σ)

表 6-4 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (---)	③	859	0.27	0.67	0.40

6.1.3 防波扉基礎スラブ

(1) 曲げ照査

防波扉基礎スラブの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の評価時刻での断面力図を図 6-4 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-5 に示す。防波扉基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-5 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-6 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブの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した。

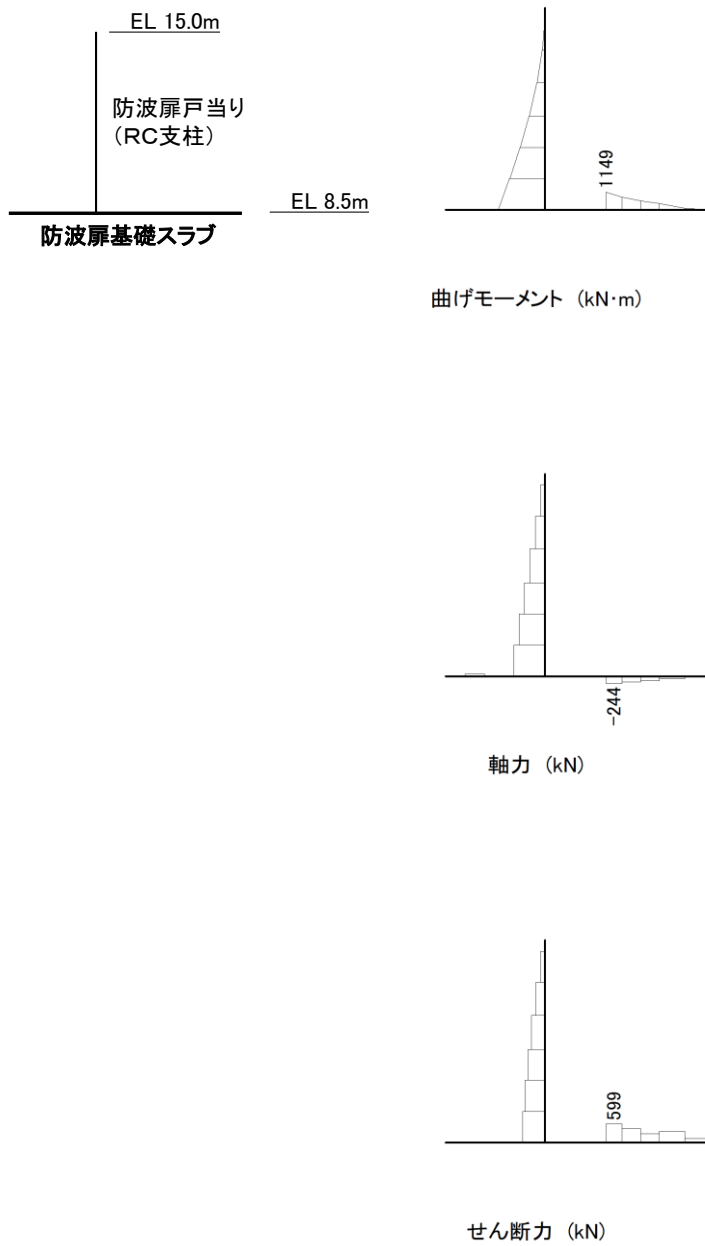


図 6-4 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図

(S s - D (++) , t=28.17s)

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 - 1σ）

表 6-5 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

地震動	解析 ケース	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)			
S s - D (++)	③	1149	244	4.5	13.5	0.34

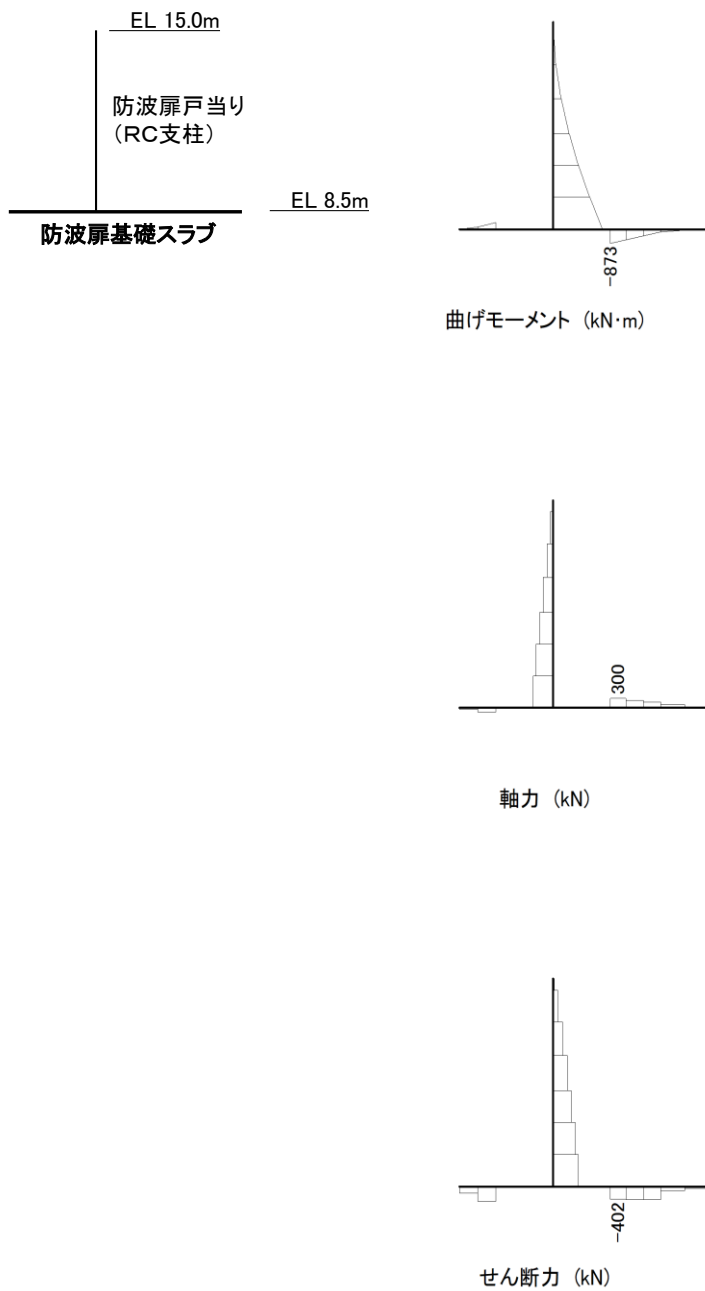


図 6-5 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (---), t=19.21s)

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-1σ）

表 6-6 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (---)	③	873	300	177	294	0.61

(2) せん断照査

防波扉基礎スラブの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の評価時刻での断面力図を図 6-6 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-7 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブの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した。

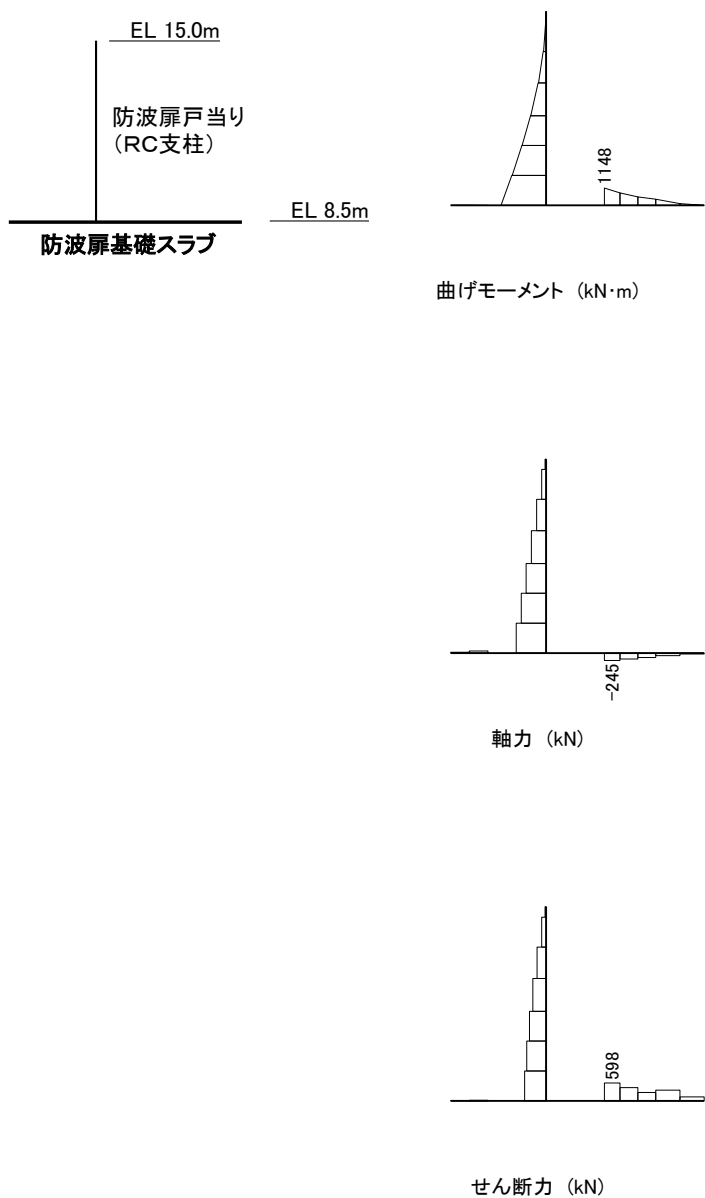


図 6-6 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (++) , t=28.17s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-7 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (++)	①	598	0.56	0.67	0.84

(3) グラウンドアンカによる支圧照査

防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧に対する照査値を表 6-8 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-8 防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧に対する
照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	支圧応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
S _s -N1 (++)	①	11.9	18.0	0.67

6.1.4 グラウンドアンカ

防波扉基礎スラブのグラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査値を表 6-9 に示す。

この結果から防波扉基礎スラブのグラウンドアンカの発生アンカー力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-9 防波扉基礎スラブのグラウンドアンカの発生アンカー力に対する
照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生アンカー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
S _s -N1 (++)	①	1710	2076	0.83

6.1.5 改良地盤

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 6-10 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図を図 6-7 に示す。この結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 6-10 改良地盤のすべり安全率評価結果

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 (-+)	①	7.56	1.65

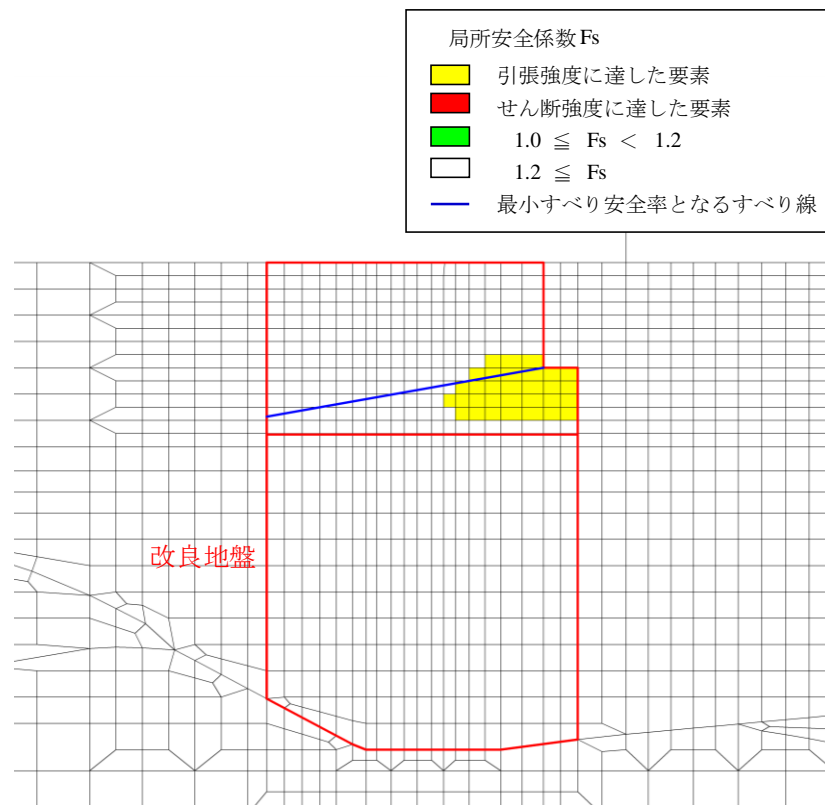


図 6-7 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布図

(S s - N 1 (-+), $t=7.56s$)

解析ケース①：基本ケース

6.1.6 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-11 に，接地圧分布図を図 6-8 に示す。

防波扉の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 6-11(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（改良地盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -D (+-)	①	0.5	1.4	0.37

表 6-11(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（岩盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
S _s -D (+-)	①	1.1	9.8	0.11

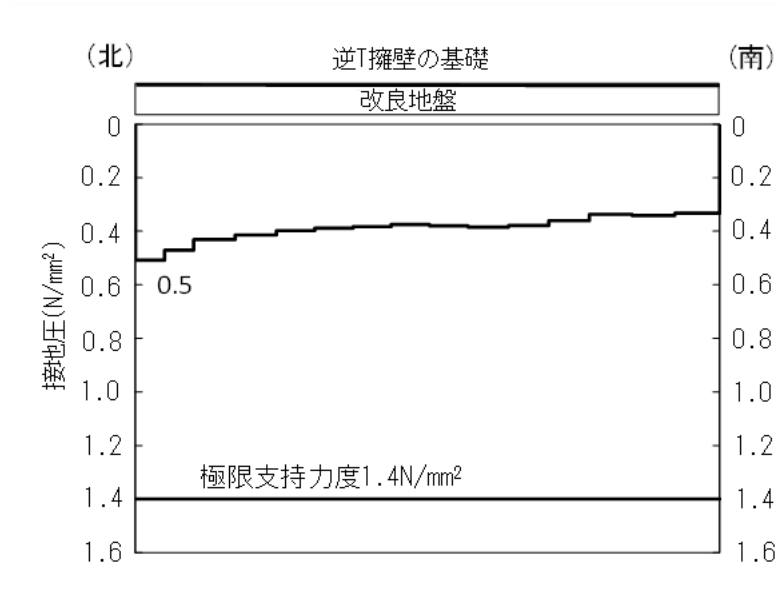


図 6-8(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)
 (S s - D (+ -))
 解析ケース① : 基本ケース

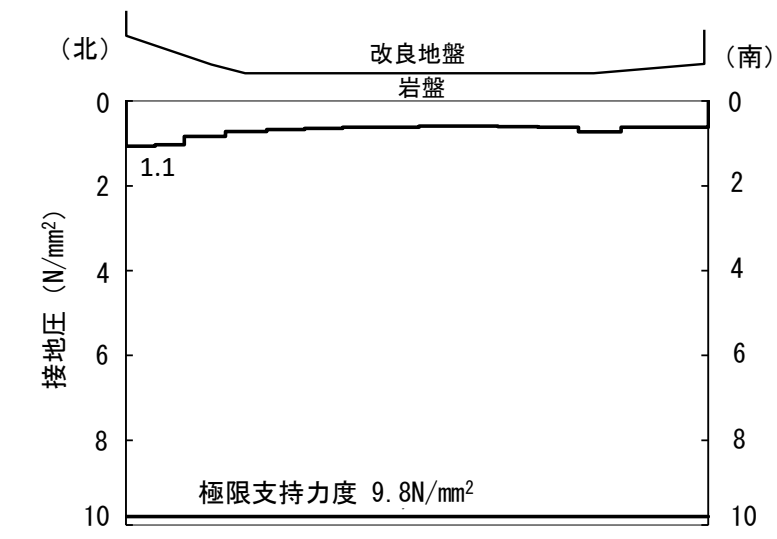


図 6-8(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)
 (S s - D (+ -))
 解析ケース① : 基本ケース

6.2 漂流物対策工

6.2.1 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果を表6-12に示す。漂流物対策工（鋼製扉体）の各部材の発生応力度又は作用荷重が許容限界以下であることを確認した。

表6-12 漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果(1/3)

部材		発生 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値	
主横桁	最下段	曲げ応力度	11	525	0.03
		せん断応力度	4	193	0.03
	最上段	曲げ応力度	53	525	0.11
		せん断応力度	8	193	0.05
張出桁		曲げ応力度	0.4	525	0.01
		せん断応力度	0.3	303	0.01
補助縦桁		曲げ応力度	0.02	306	0.01
		せん断応力度	0.03	193	0.01
端縦桁		圧縮応力度	20	337	0.06
支承部 (上部支承軸)		曲げ応力度	279	540	0.52
		せん断応力度	37	310	0.12
支承部 (下部支承軸)		曲げ応力度	153	255	0.60
		せん断応力度	13	147	0.09
支承部 (下部支承軸受)		接触応力度	1373	2035	0.68
支承部 (浮上防止金物)		曲げ応力度	44	150	0.30
		せん断応力度	7	90	0.08
		軸方向引張 応力度	77	255	0.31

表6-12 漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果(2/3)

部材	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	照査値
支承部（支承軸受）	2025	3800	0.54

表 6-12 漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震評価結果(3/3)

部材	種別	発生 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
上部支承 (アンカーボルト)	軸方向引張 応力度	288	585	0.50
下部支承 (アンカーボルト)	軸方向引張 応力度	286	585	0.49
上部支承 (コンクリート)	支圧応力度 (アンカープレート)	7.4	8.8	0.85
	支圧応力度 (支圧板)	5.6	8.8	0.64
	せん断応力度	0.36	0.60	0.60
下部支承 (コンクリート)	支圧応力度 (アンカープレート)	5.8	8.8	0.66
	支圧応力度 (支圧板)	5.3	8.8	0.61
	せん断応力度	0.40	0.60	0.67
ロック装置	曲げ圧縮 応力度	170	337	0.51
	せん断応力度	139	193	0.73
支圧板	支圧応力度	2	225	0.01
戸当り (腹板)	支圧応力度	9	270	0.04
戸当り (底面フランジ)	曲げ応力度	34	525	0.07
戸当り (コンクリート)	支圧応力度	0.2	8.8	0.03
	せん断応力度	0.04	0.60	0.07

6.2.2 漂流物対策工戸当り（RC支柱）

(1) 曲げ照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）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における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-9 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-13 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-14 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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した。

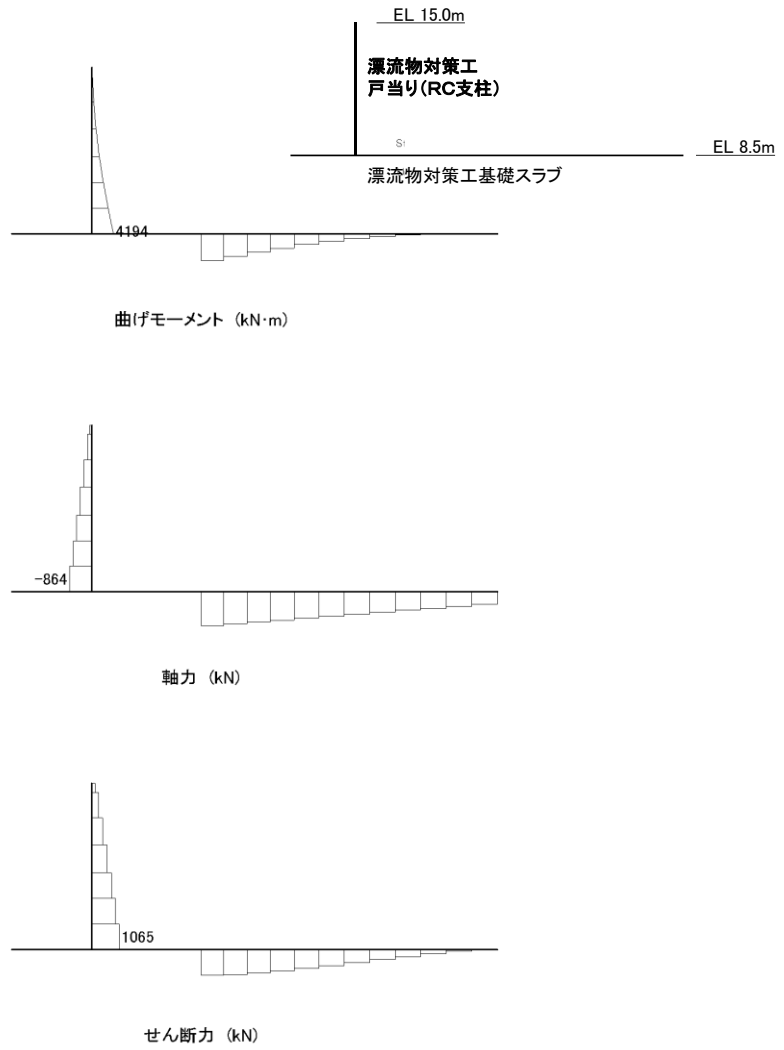


図 6-9 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-N1 (-+), t=7.55s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-13 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -N1 (-+)	①	4194	864	1.3	21.0	0.07

表 6-14 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -N1 (-+)	①	4194	864	35	294	0.13

(2) せん断照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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の評価時刻での断面力図を図 6-10 に、コンクリートのせん断破壊に対する最大照査値を表 6-15 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の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した。

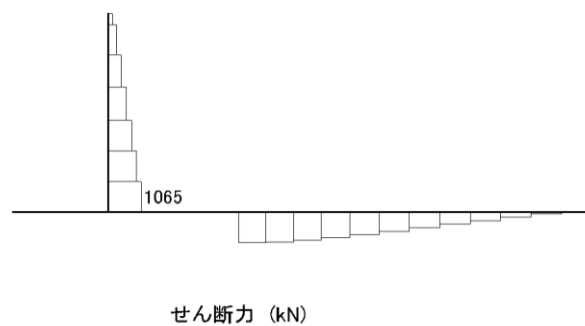
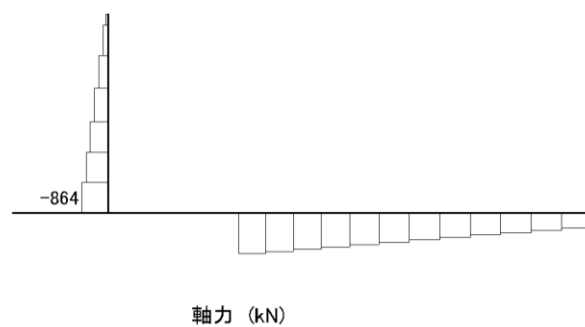
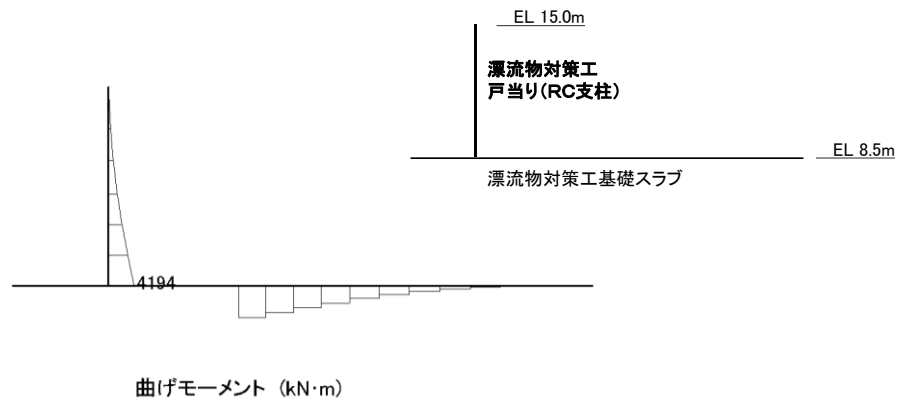


図 6-10 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-N1 (-+), t=7.55s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-15 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -N1 (-+)	①	1065	0.36	0.82	0.44

6.2.3 漂流物対策工基礎スラブ

(1) 曲げ照査

漂流物対策工基礎スラブの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の評価時刻での断面力図を図 6-11 に，コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-16 に示す。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の評価時刻での断面力図を図 6-12 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-17 に示す。

この結果から，漂流物対策工基礎スラブの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した。

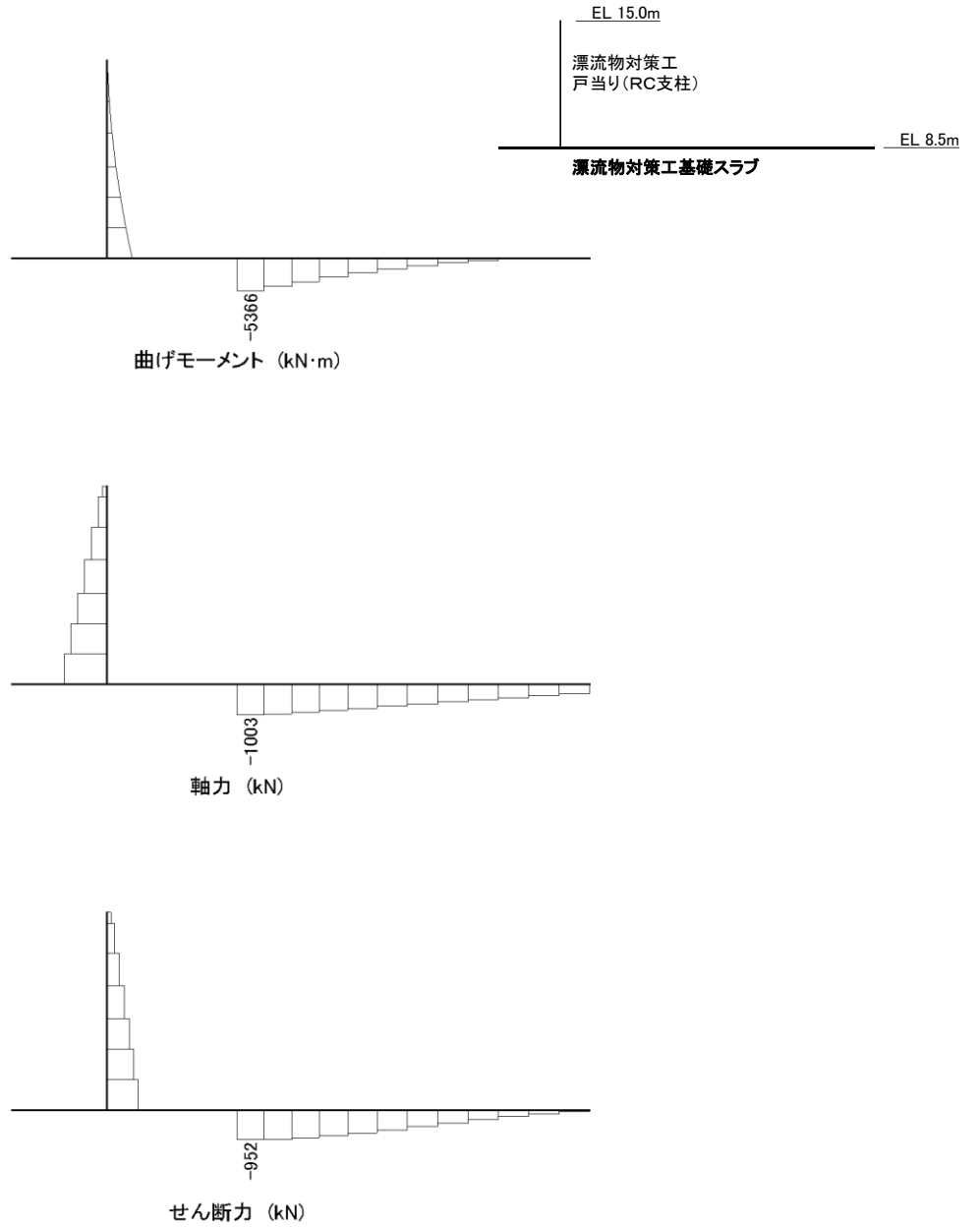


図 6-11 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-D (+-), t=8.59s)
 解析ケース①：基本ケース

表 6-16 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -D (+-)	①	5366	1003	2.4	21.0	0.12

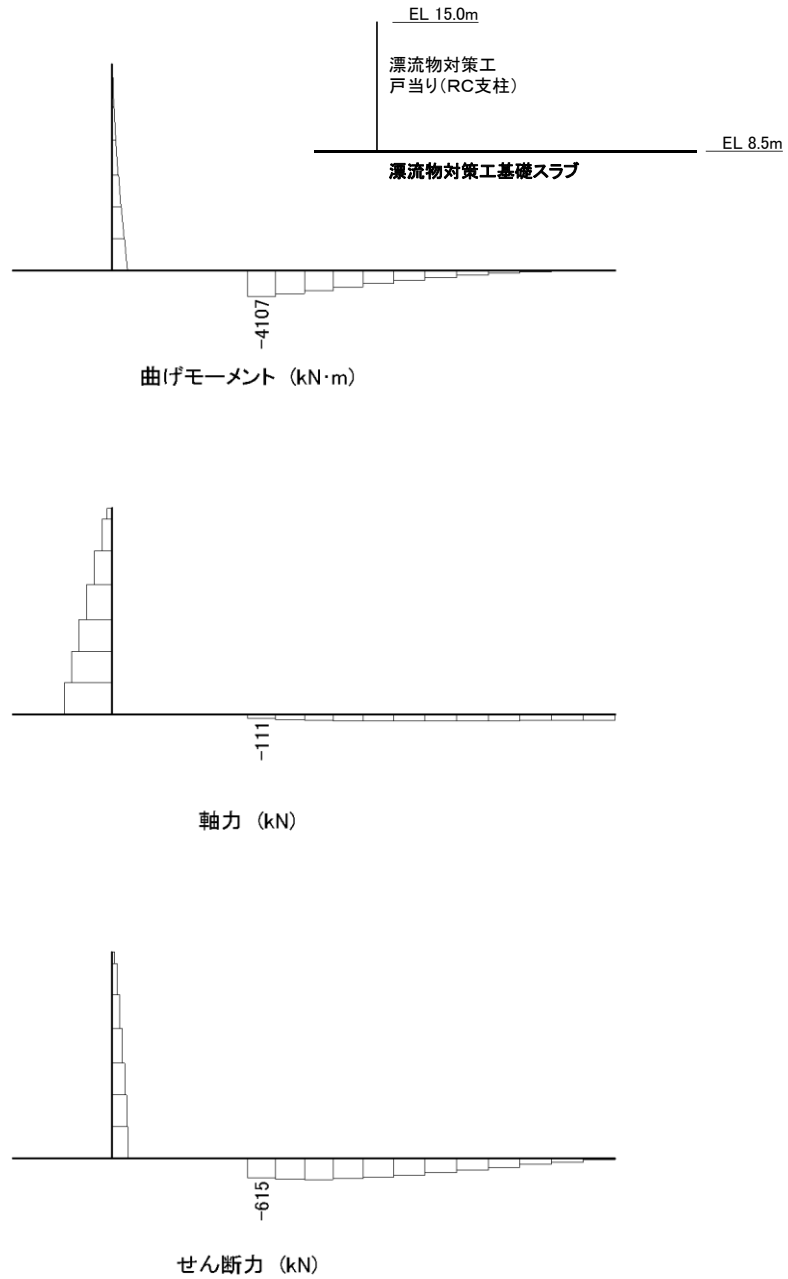


図 6-12 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力図
(S s - D (+ -), t=32.48s)
解析ケース①：基本ケース

表 6-17 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

地震動	解析 ケース	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)			
S s - D (+ -)	①	4107	111	61	294	0.21

(2) せん断照査

漂流物対策工基礎スラブの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の評価時刻での断面力図を図 6-13 に、コンクリートのせん断破壊に対する最大照査値を表 6-18 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの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した。

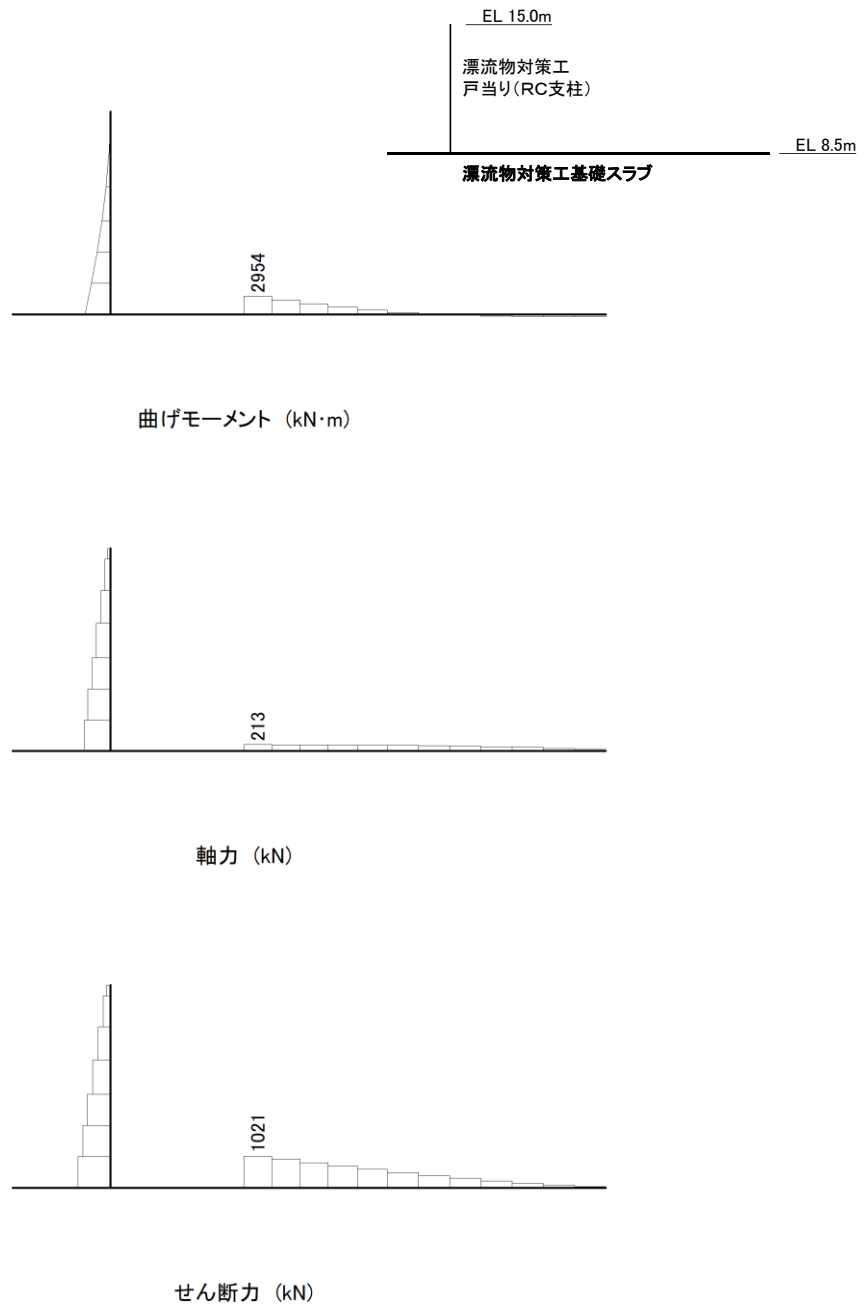


図 6-13 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での断面力図
 (S_s-N1(++) , t=7.53s)

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-1σ)

表 6-18 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

地震動	解析 ケース	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)			
S _s -N1(++)	③	1021	0.32	0.82	0.40

6.2.4 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-19 に、接地圧分布図を図 6-14 に示す。

漂流物対策工の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 6-19(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	支圧強度 f' _a (N/mm ²)	照査値 R / f' _a
S _s - F 2 (++)	①	0.8	18.0	0.05

表 6-19(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R / R _u
S _s - D (+-)	①	0.5	1.4	0.33

表 6-19(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R / R _u
S _s - N 1 (-+)	①	2.3	9.8	0.24

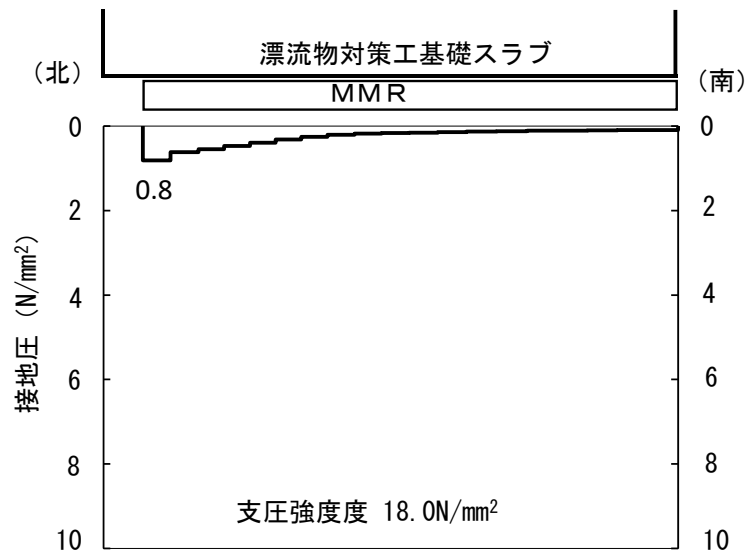


図 6-14(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (MMR)
 (S_s-F2(++))
 解析ケース①：基本ケース

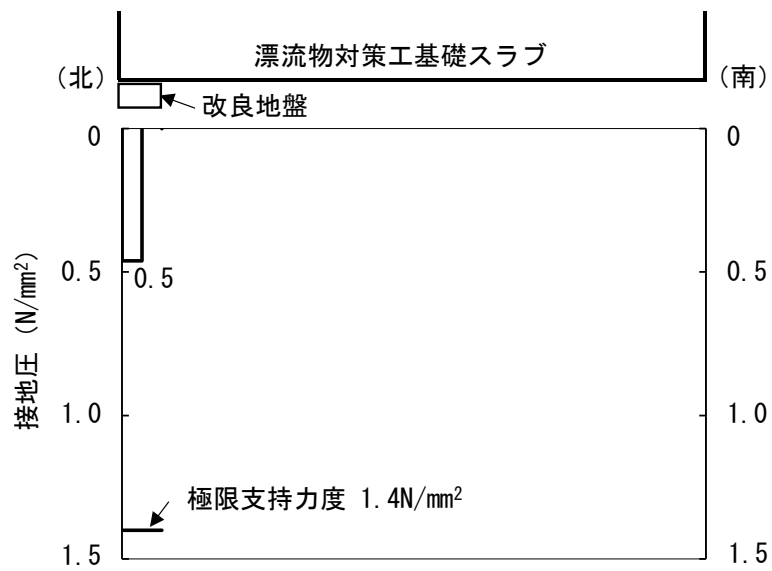


図 6-14(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)
 (S_s-D(+)))
 解析ケース①：基本ケース

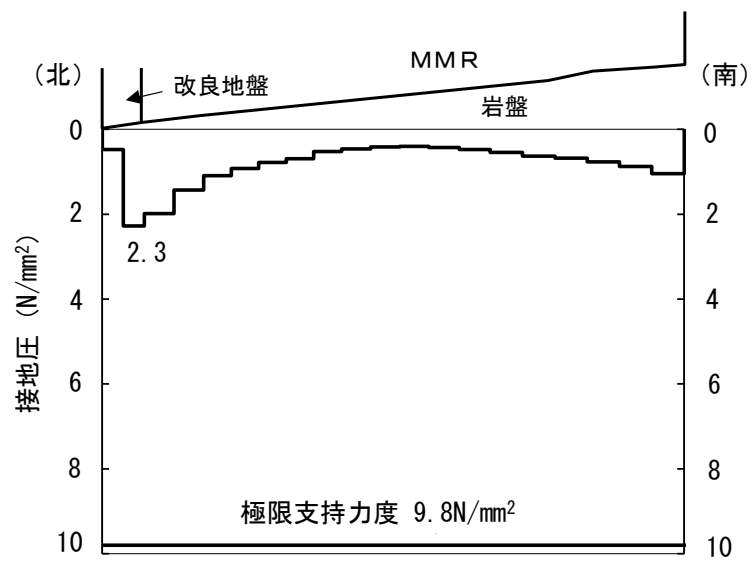


図 6-14(3) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)

(S s - N 1 (- +))

解析ケース①：基本ケース

VI-2-10-2-5 1号機取水槽の地震応答計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要と補強概要	3
2.3 解析方針	9
2.4 適用規格・基準等	11
3. 解析方法	12
3.1 評価対象断面	12
3.2 解析方法	14
3.2.1 構造部材	14
3.2.2 地盤	17
3.2.3 減衰定数	18
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	19
3.3 荷重及び荷重の組合せ	22
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	22
3.3.2 荷重	22
3.3.3 荷重の組合せ	23
3.4 入力地震動	24
3.4.1 A-A断面	24
3.5 解析モデル及び諸元	39
3.5.1 解析モデル	39
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	41
3.5.3 地盤の物性値	42
3.5.4 地下水位	43
4. 解析結果	44
4.1 A-A断面の解析結果	44

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する1号機取水槽の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、1号機取水槽北側壁が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出するものである。その際、耐震評価に用いる応答値は、この地震応答解析により構造物に発生する変形、断面力及び基礎地盤に発生する接地圧とする。また、1号機取水槽流路縮小工が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機取水槽の位置図を図2-1に示す。

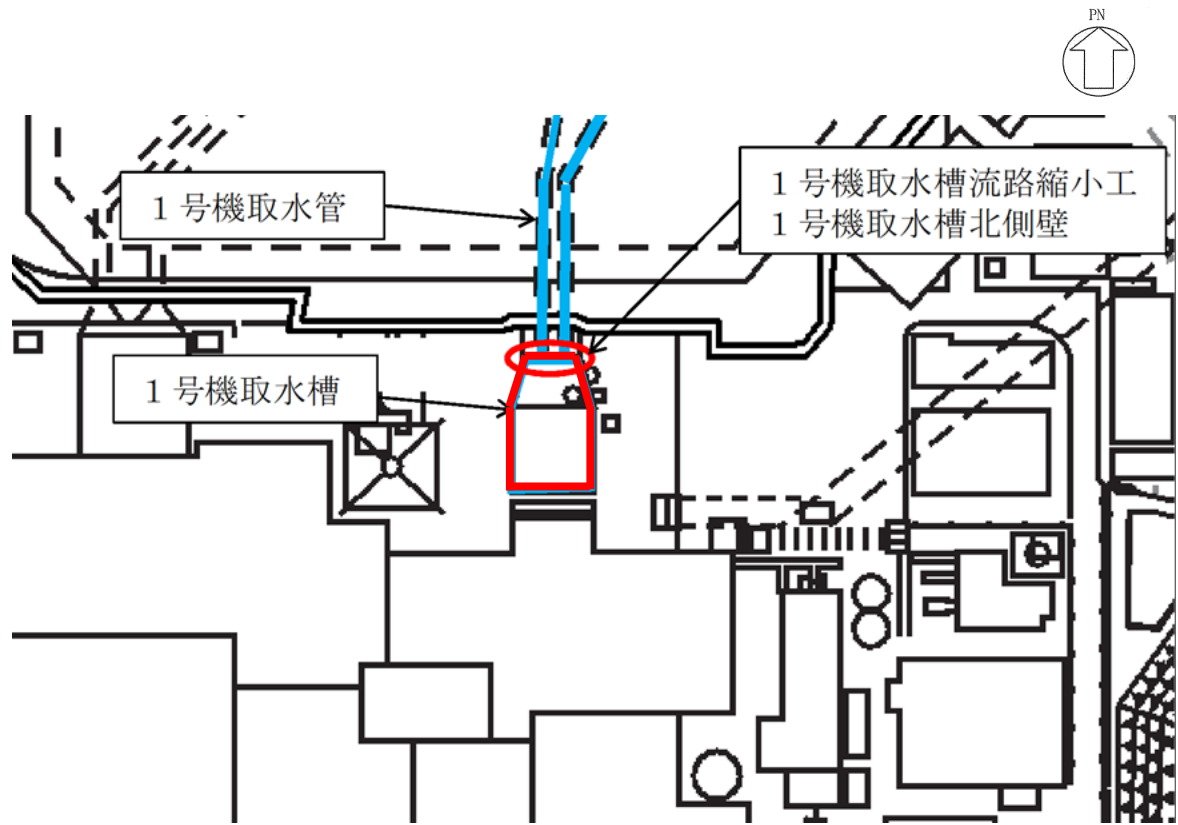


図2-1 1号機取水槽 位置図

2.2 構造概要と補強概要

2.2.1 構造概要

1号機取水槽の平面図を図2-2に、断面図を図2-3及び図2-4に示す。

1号機取水槽は、地下2階構造となっており、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア、ストレーナエリアの3エリアに分かれている。漸拡ダクトエリアを含む下部は水路となっており、除じん機エリアの下部は6連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアの下部は3連のボックスカルバート構造となっている。

1号機取水槽は、図2-5に示すようにSクラス施設である津波防護施設に分類される1号機取水槽流路縮小工（以下「流路縮小工」という。）の間接支持構造物である北側壁を含む構造物である。

1号機取水槽は、直接又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有するC_M級又はC_H級岩盤に支持される。

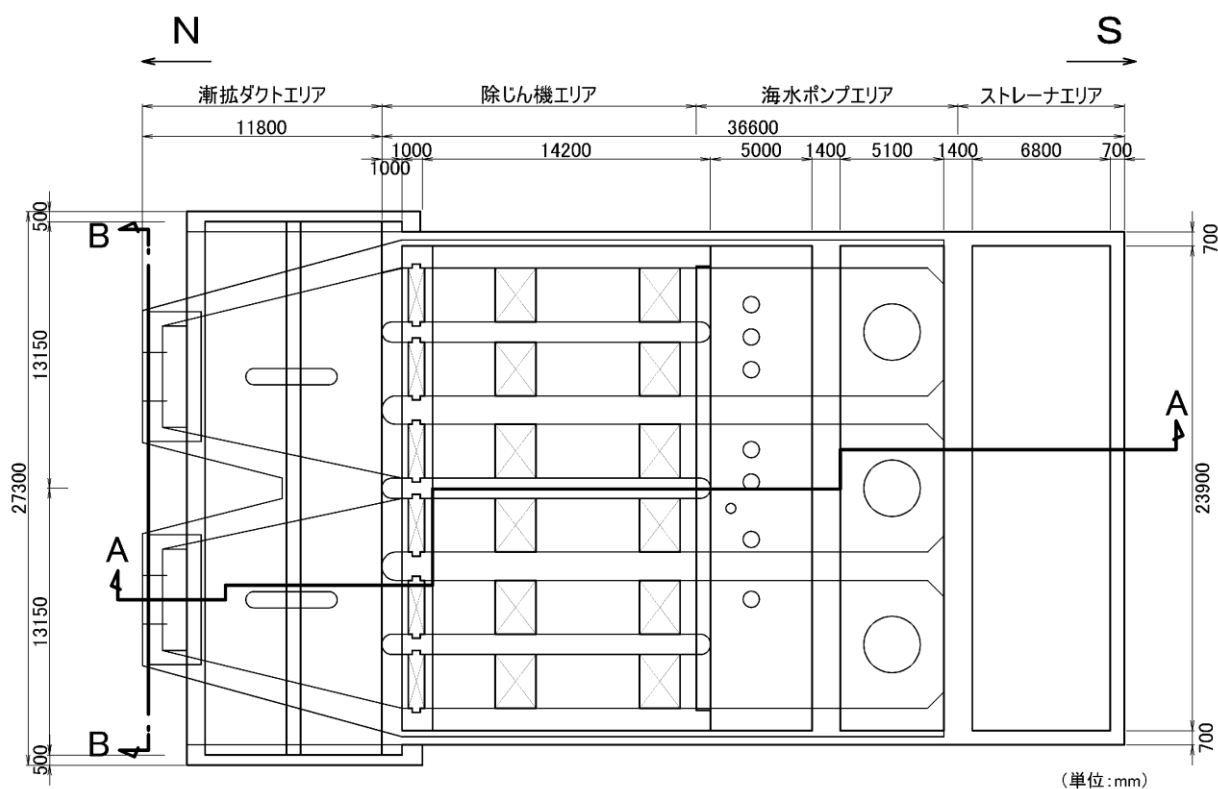


図2-2 1号機取水槽 平面図

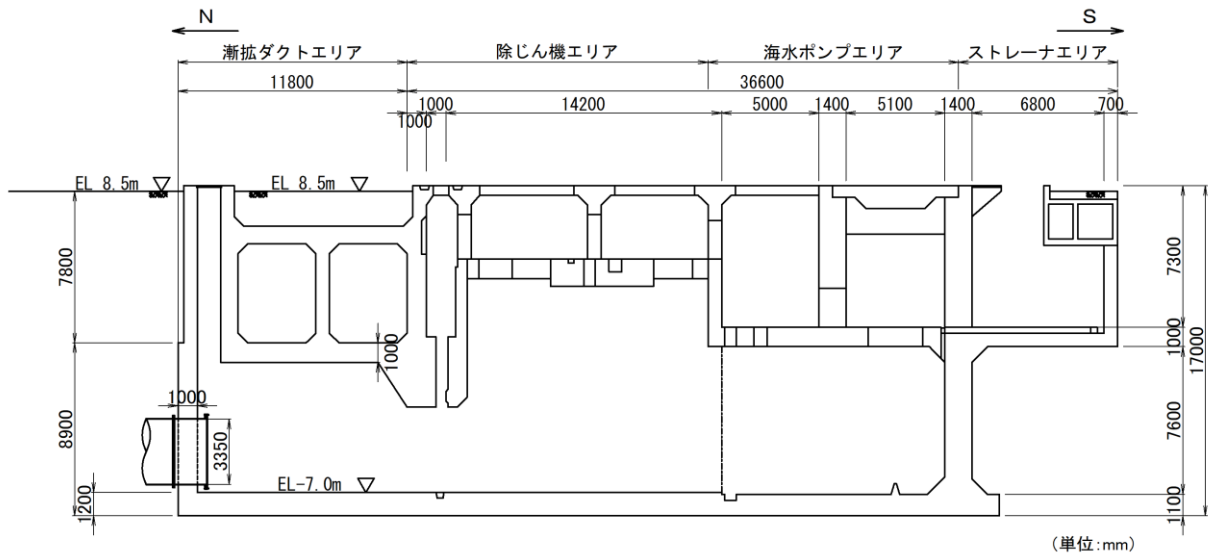


図 2-3 1号機取水槽 断面図(A-A断面)

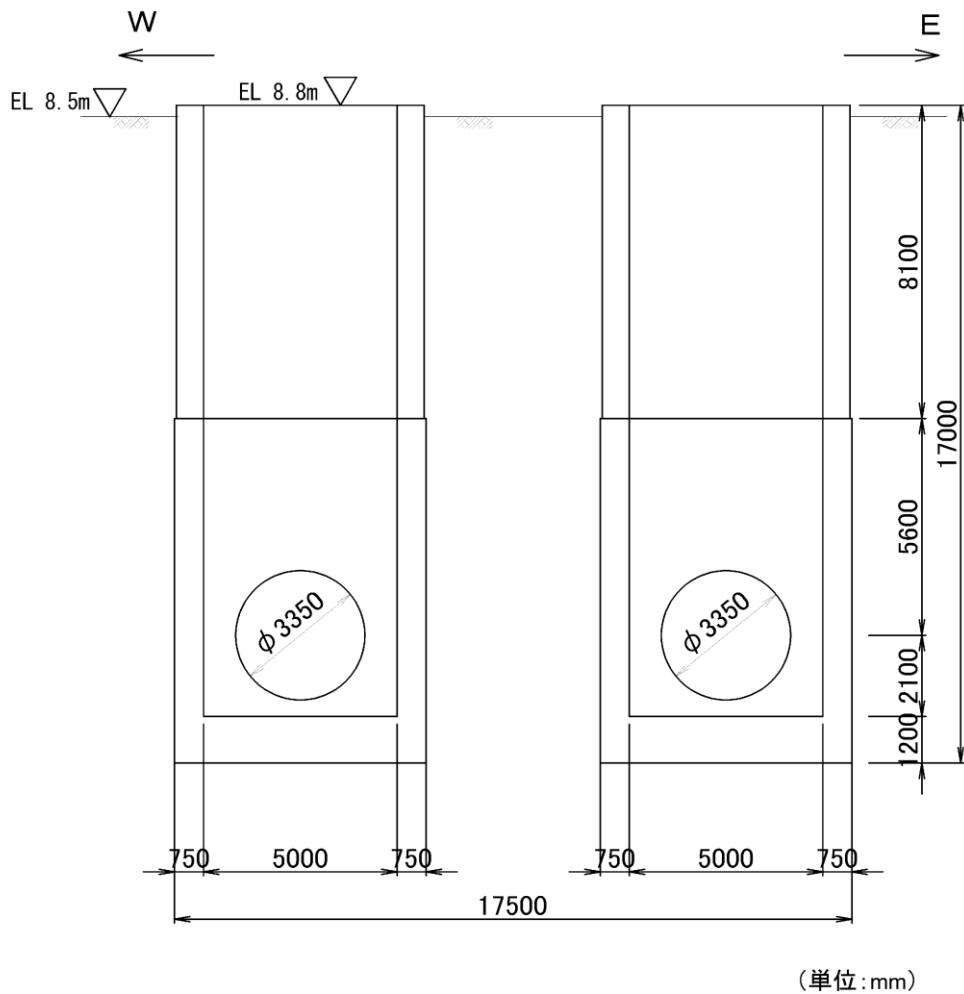


図 2-4 1号機取水槽 断面図(B-B断面)

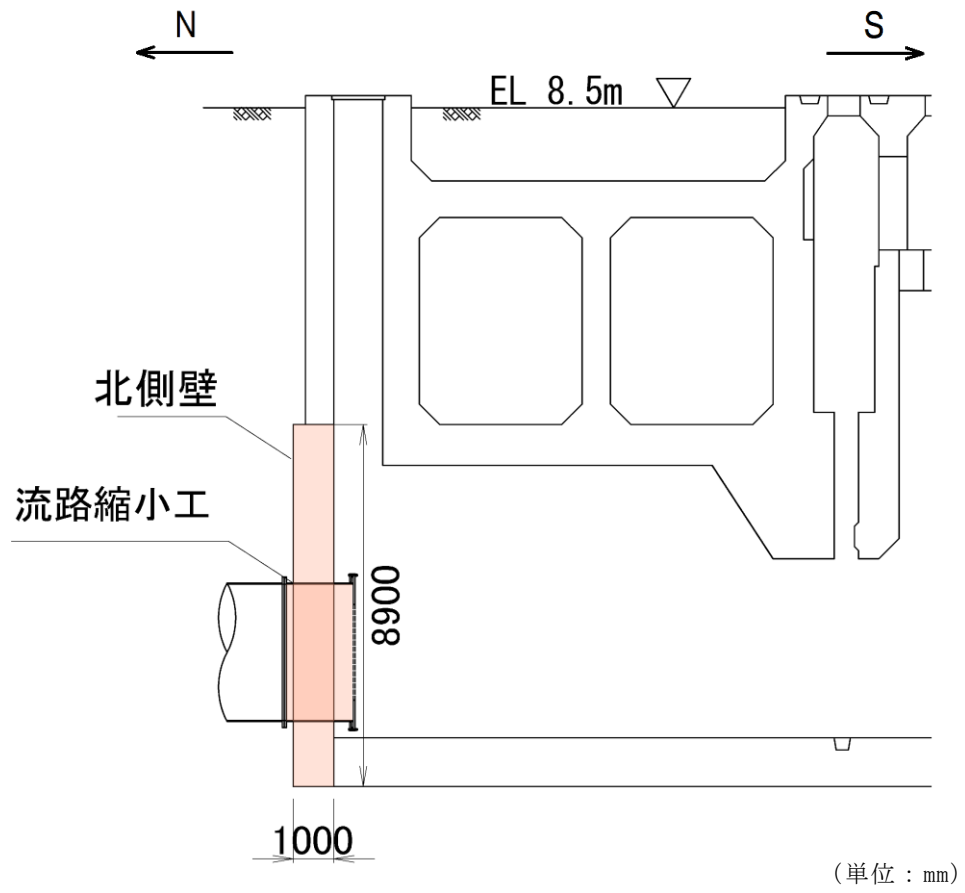


図 2-5 1号機取水槽流路縮小工及び北側壁位置図

2.2.2 補強概要

流路縮小工の間接支持構造物である1号機取水槽北側壁は、設計当時の基準地震動 S_s の増大により、取水槽の耐震性を確保するため、後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法、以下「PHb工法」という。）によるせん断補強を実施する。

1号機取水槽北側壁と接続する部材の補強を目的に漸拡ダクト部にコンクリートを充填する。漸拡ダクト部充填コンクリートには流路縮小工の内径と同じ開口を設け、取水機能を確保する。なお、漸拡ダクト部充填コンクリートに設置した流路縮小工の内径と同じ開口については開口補強筋を設置する。

また、1号機取水槽ピット部については下部に閉塞版を設置したのちに、コンクリートを充填し、閉塞する。

補強工事の一覧表を表2-1に示す。また、補強工事の詳細図面を図2-7～図2-10に示す。

表2-1 補強工事一覧表

部材名	部材位置*1	補強工事概要
北側壁	①	PHb
漸拡ダクト部	②	充填コンクリート打設*2
ピット部	③	充填コンクリート打設
ピット部（閉塞版）	④	ピット部閉塞版鉄筋コンクリート打設

注記*1：部材位置図については図2-6に示す。

*2：充填コンクリート内部には流路縮小工と同じ開口を設置

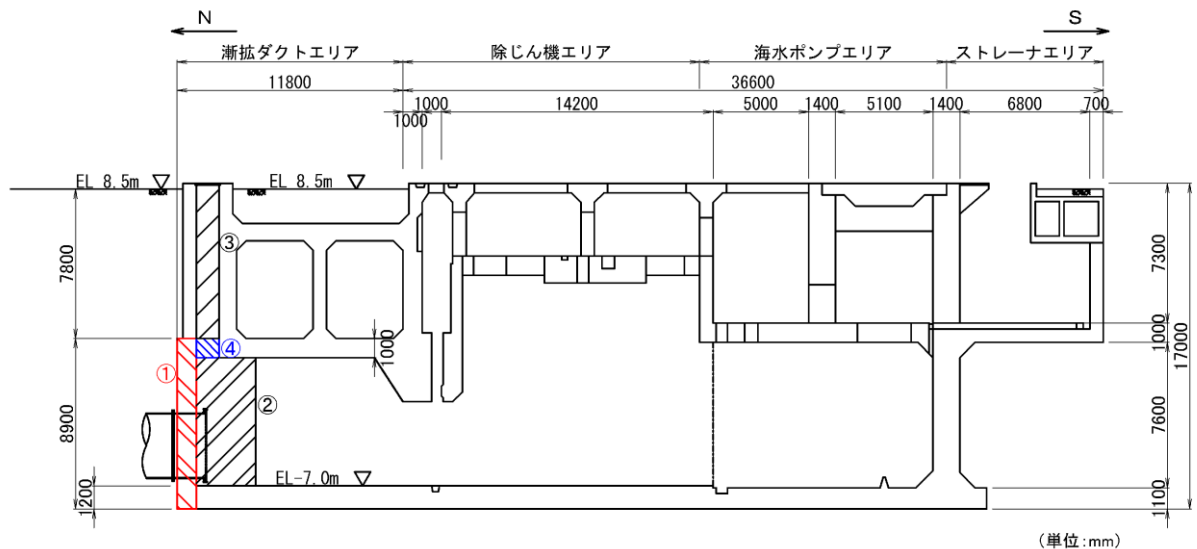


図2-6 補強工事实施部材位置



図 2-7 補強工事实施後平面図



図 2-8 補強工事实施後 A - A 断面図

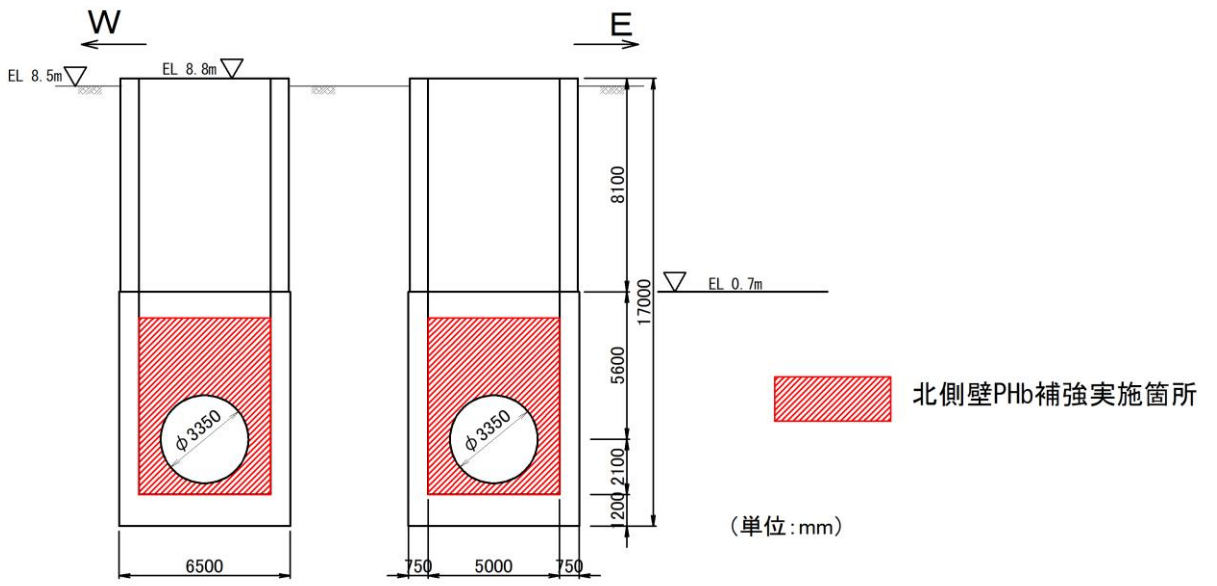


图 2-9 補強工事实施後 B - B 断面図

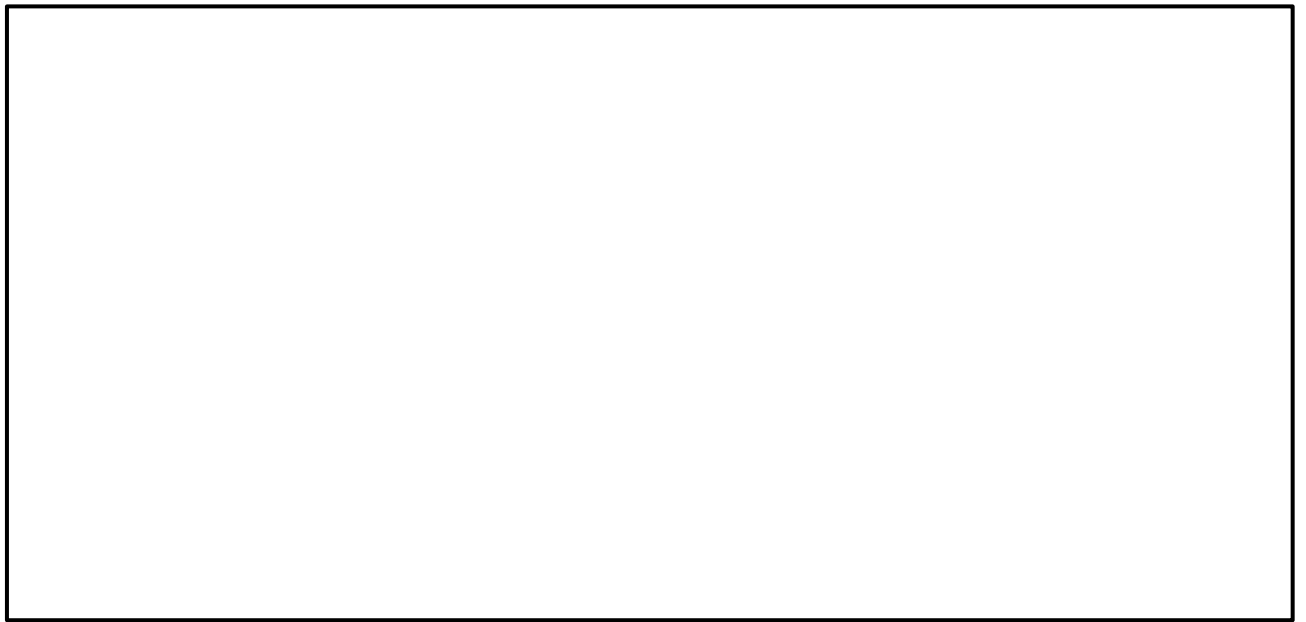


图 2-10 補強工事实施後 C - C 断面図

2.3 解析方針

1号機取水槽は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D に対して地震応答解析を実施する。

図2-11に1号機取水槽の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「2. 基本方針」に基づき、「3.1 評価対象断面」に示す断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴応答解析により行うこととし、地盤物性のばらつきを適切に考慮する。

時刻歴応答解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件に基づき、「3.4 入力地震動」により設定する、入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、1号機取水槽流路縮小工の設計震度設定に用い、変形、断面力及び基礎地盤の接地圧は、1号機取水槽北側壁の耐震評価に用いる。

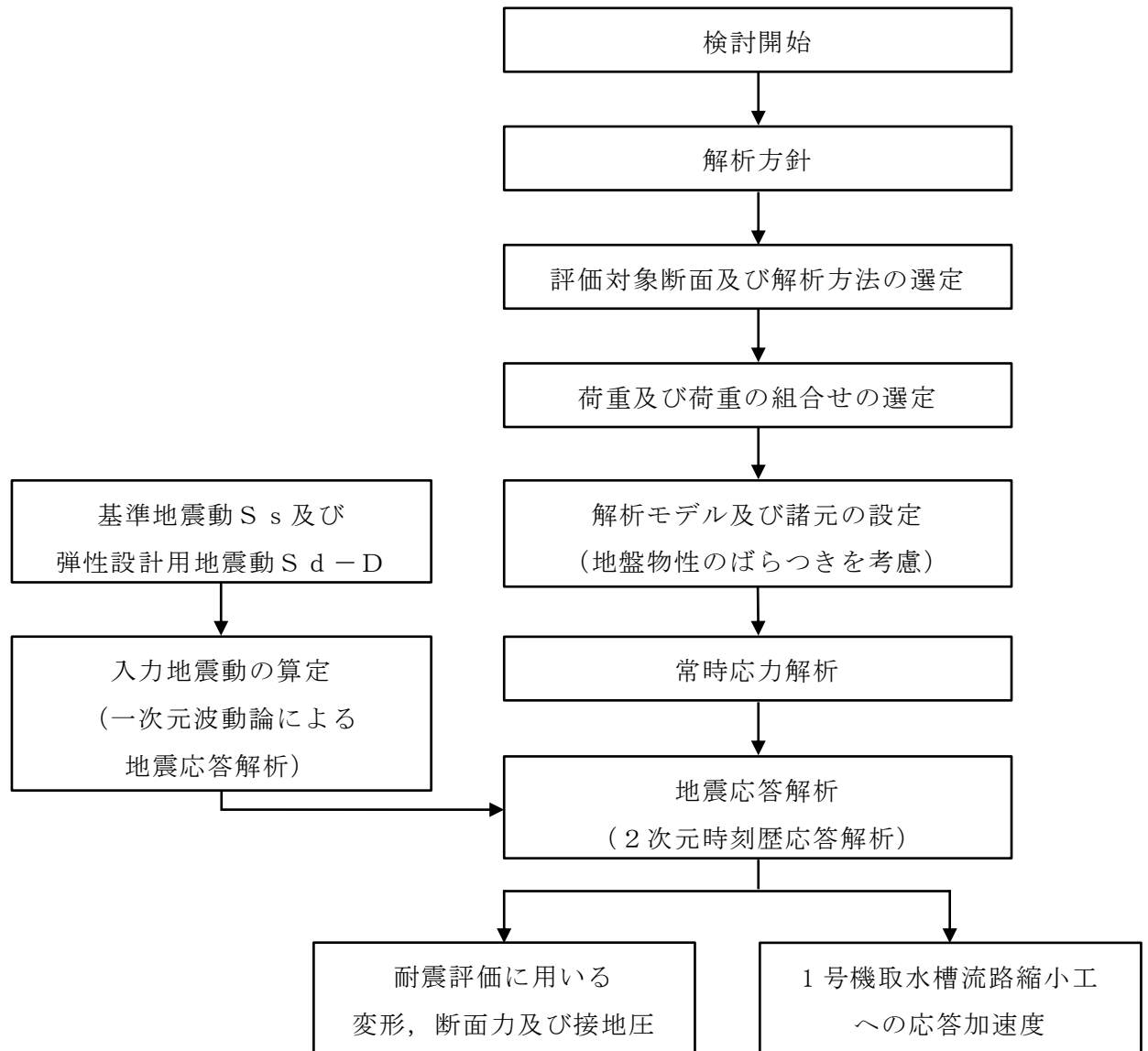


図 2-11 1号機取水槽 地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

1号機取水槽の評価対象断面位置図を図3-1に示す。評価対象断面は、評価対象の1号機取水槽流路縮小工，1号機取水槽北側壁を含むA-A断面とする。

評価対象地質断面図を図3-2に示す。

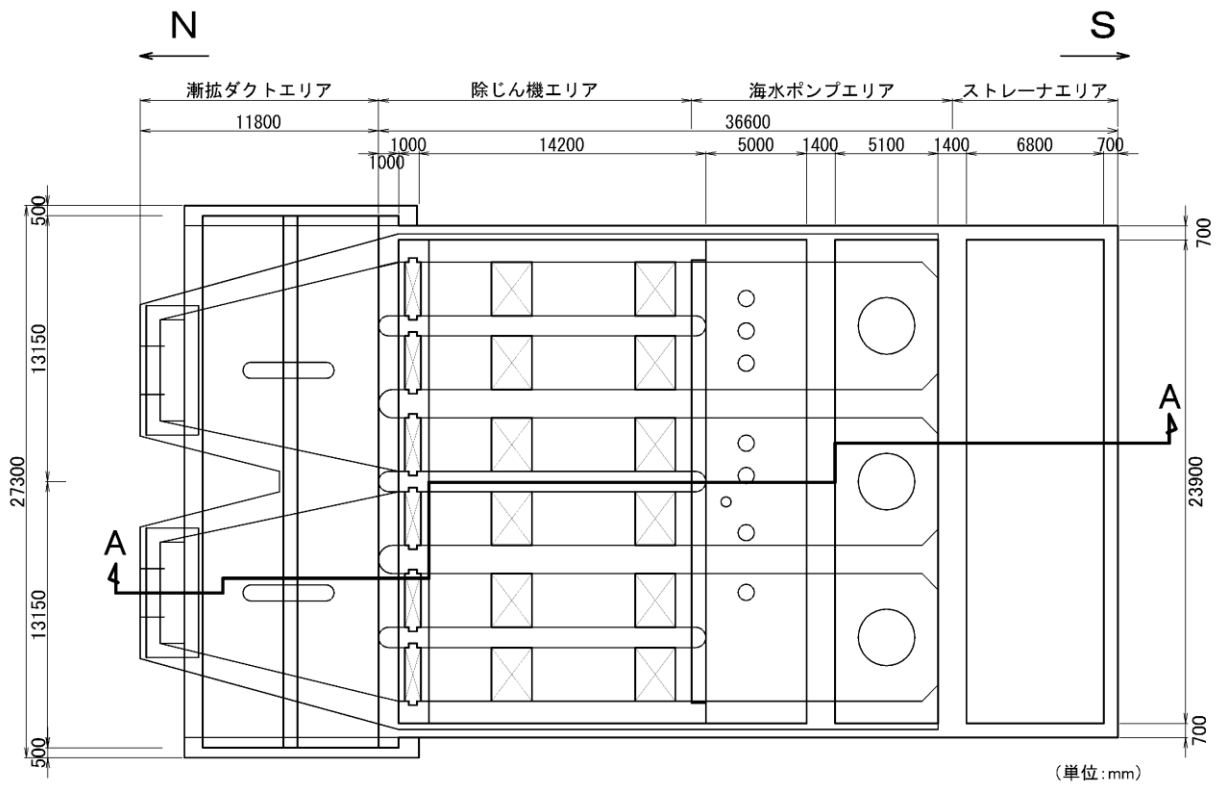


図3-1 1号機取水槽 評価対象断面位置図

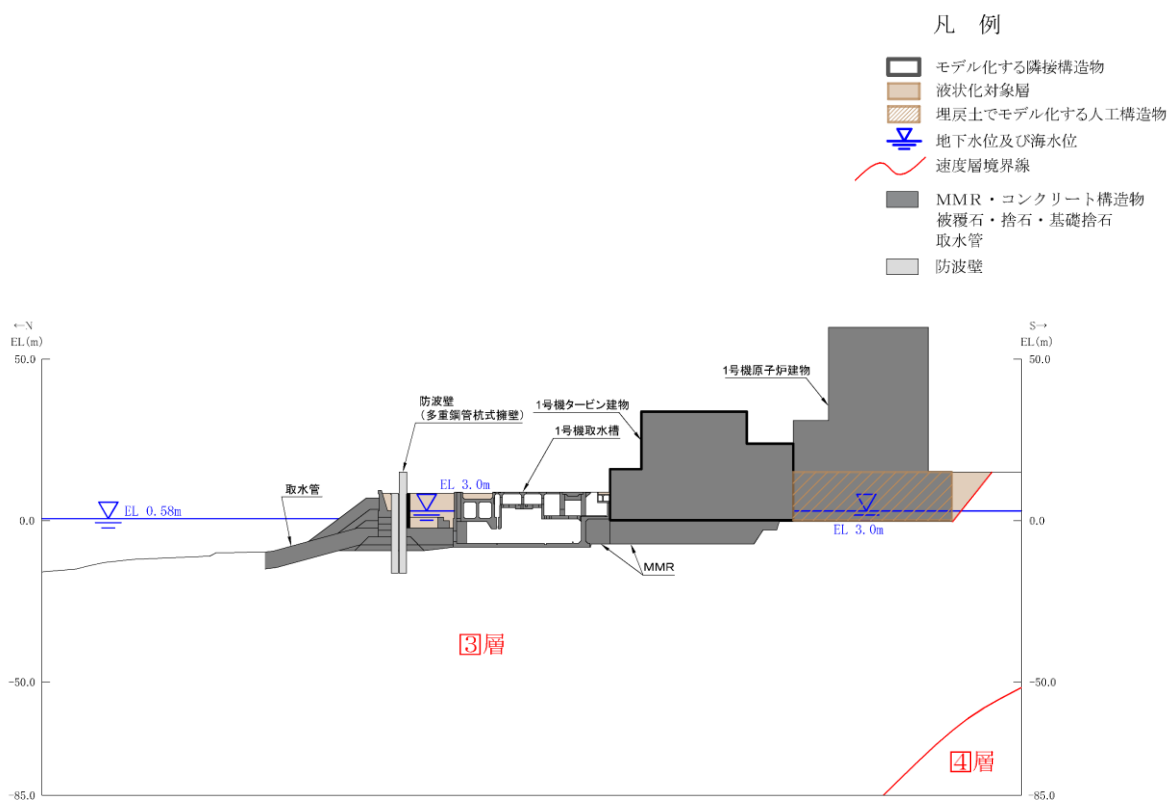


図 3-2 1号機取水槽 評価対象地質断面図 (A-A断面位置)

3.2 解析方法

1号機取水槽の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。1号機取水槽周辺には、地下水位以深の液状化対象層が存在し、施設が液状化対象層と接することから、解析方法は有効応力解析とする。また、液状化しない場合の影響を確認するため、全応力解析も実施する。

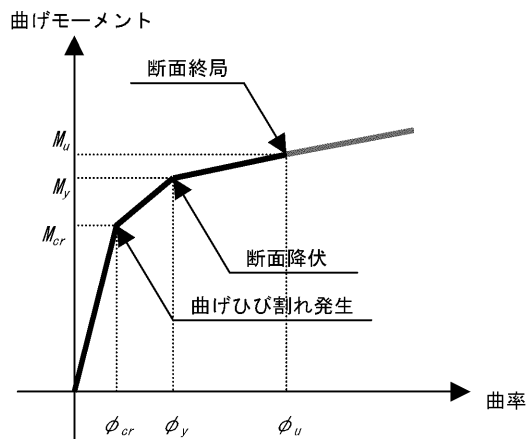
構造部材については、鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化し、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、有効応力解析及び全応力解析において解析コード「FLIP」を使用する。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。

3.2.1 構造部材

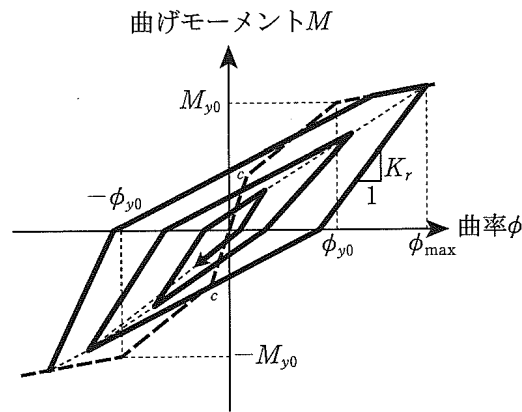
地震応答解析に用いる構造モデルとしては、1号機取水槽北側壁については非線形はり要素、その他の部材は線形はり要素でモデル化し、漸拡ダクト部充填コンクリート及びピット部充填コンクリートについては線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、漸拡ダクト部以外の妻壁については平面応力要素でモデル化する。

なお、非線形はり要素については、図3-3に示す $M-\phi$ 関係のトリリニアモデルとする。履歴特性は、図3-4に示すとおり修正武田モデルを適用し、図3-5に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。図3-6に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。



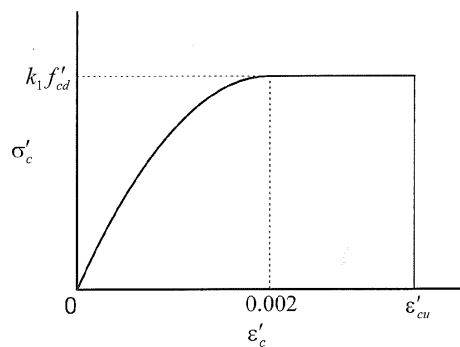
(「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル ((社) 土木学会, 2005年) 」より引用)

図 3-3 鉄筋コンクリート部材のM-φ関係



(「道路橋示方書 (V耐震設計編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14年 3月) 」より引用)

図 3-4 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)



$$k_1 = 1 - 0.003 f'_{ck} \leq 0.85$$

$$\epsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_{ck}}{30000} \quad 0.0025 \leq \epsilon'_{cu} \leq 0.0035$$

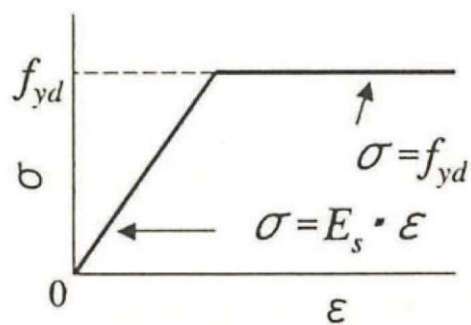
ここで, f'_{ck} の単位は N/mm^2

曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_{cd} \times \frac{\epsilon'_c}{0.002} \times \left(2 - \frac{\epsilon'_c}{0.002} \right)$$

(「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002年制定) 」より引用)

図 3-5 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定) 」より引用)

図 3-6 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

3.2.2 地盤

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

1号機取水槽は、直接又はMMRを介して十分な支持性能を有するC_M級又はC_H級岩盤に設置され、側面に埋戻土が分布し、主たる荷重は埋戻土の土圧となることから、埋戻土の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

解析ケースについては、せん断弾性係数の平均値を基本ケース（表 3-1 に示すケース①）とした場合に加えて、平均値±1.0×標準偏差（ σ ）のケース（表 3-1 に示すケース②及び③）について確認を行う。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表 3-1 解析ケース（A-A断面）

解析ケース	解析手法	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)	有効応力解析	平均値	平均値
ケース②	有効応力解析	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	有効応力解析	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	全応力解析	平均値	平均値
ケース⑤	全応力解析	平均値 + 1 σ	平均値

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) とする。

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度抽出

1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度抽出においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれら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、解析ケース①（基本ケース）を実施する。

また、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。）の強度計算のため弾性設計用地震動 $S_d - D$ に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。

1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度抽出における地震応答解析の解析ケースを表3-2に示す。

表3-2 応答加速度抽出における地震応答解析の解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ - *	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2 (NS)$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2 (EW)$	++*	○
		-+*	○
$S_d - D$	++*	○	

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。

(2) 北側壁の耐震評価

北側壁の耐震評価においては、基準地震動 S s 全波（6波）及びこれら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、解析ケース①（基本ケース）を実施する。

基本ケースにおいて、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-3 に示す解析ケース②～⑤を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、解析ケース②～⑤を実施する。

耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース	有効応力解析			全応力解析	
	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤
基本ケース	平均値	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	非液化化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液化化の条件を仮定した解析ケース
地盤物性	平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ	平均値	平均値 + 1σ
地震動 (位相)	++*	○			
	-+*	○			
	+ - *	○			
	- - *	○			
	+ + *	○			
	+ + *	○			
	- + *	○			
	+ + *	○			
	- + *	○			
	+ + *	○			

基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい(許容限界に対する裕度が最も小さい)地震動を用いてケース②～⑤を実施する。
 全ての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～⑤を実施する。

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。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

1号機取水槽の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

1号機取水槽の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重及び流路縮小工荷重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として、水圧、土圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については「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)」により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

(5) 余震荷重(S_d)

弾性設計用地震動 S_d-D による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s
余震時 (S _d) *	G + P + S _d

注記* : 1号機取水槽流路縮小工の重畳時の強度計算に用いる。

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重(基準地震動 S_s)

S_d : 余震荷重(基準地震動 S_d-D)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び解析コード「microSHAKE/3D」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。

3.4.1 A-A断面

図3-7に入力地震動算定の概念図を、図3-8～図3-21に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を示す。

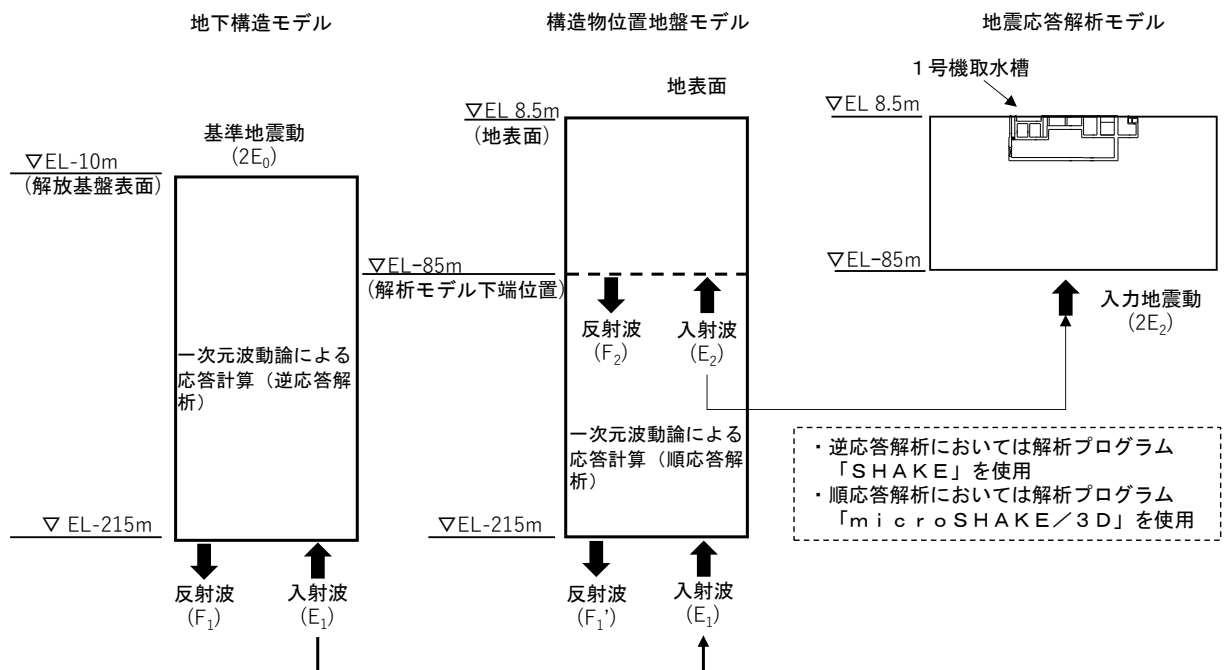
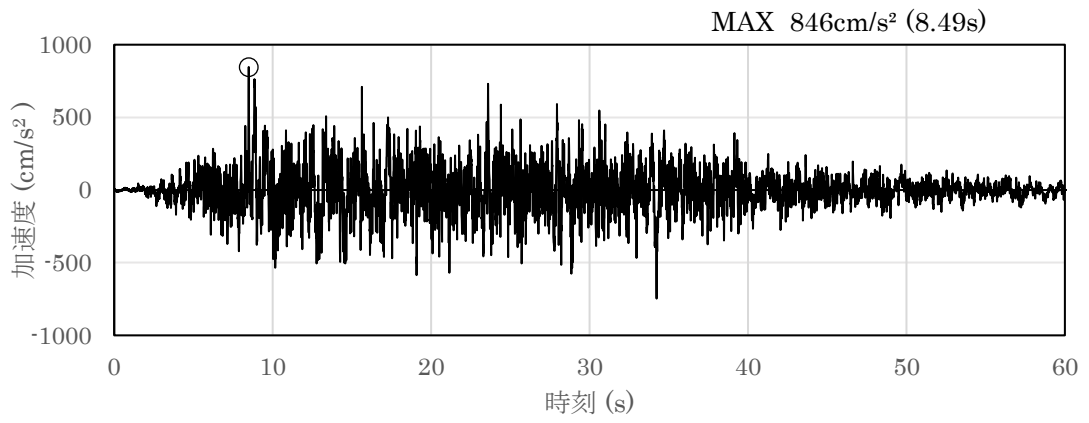
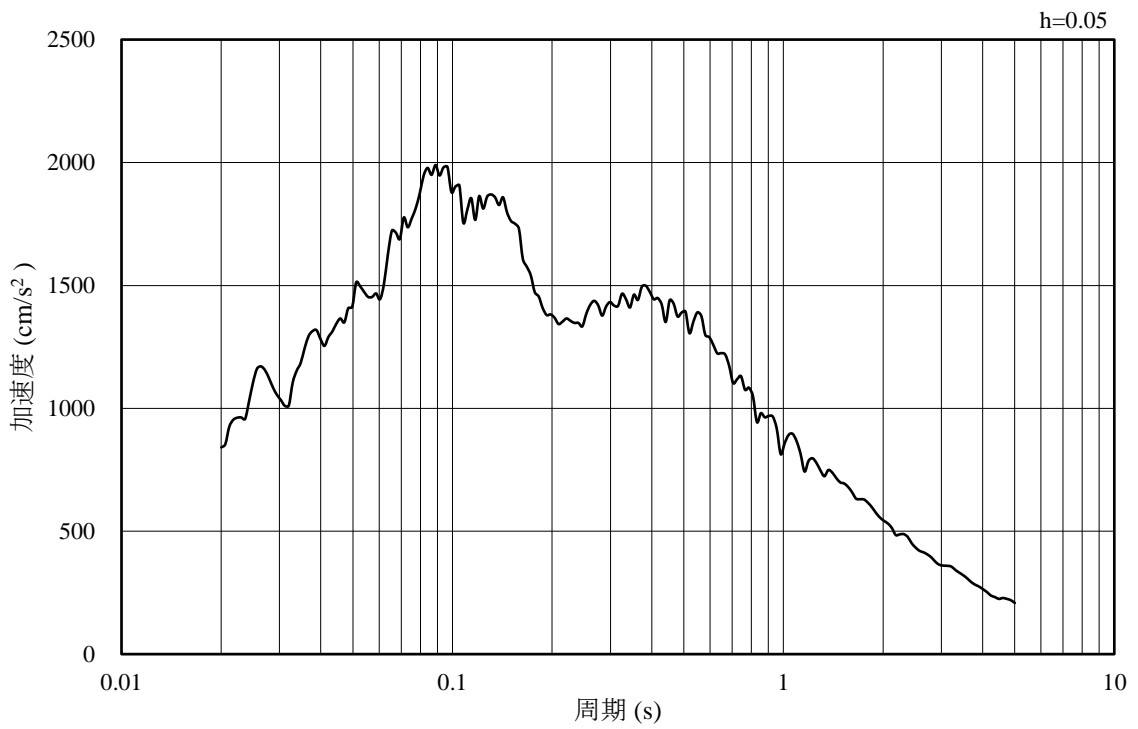


図3-7 入力地震動算定の概念図

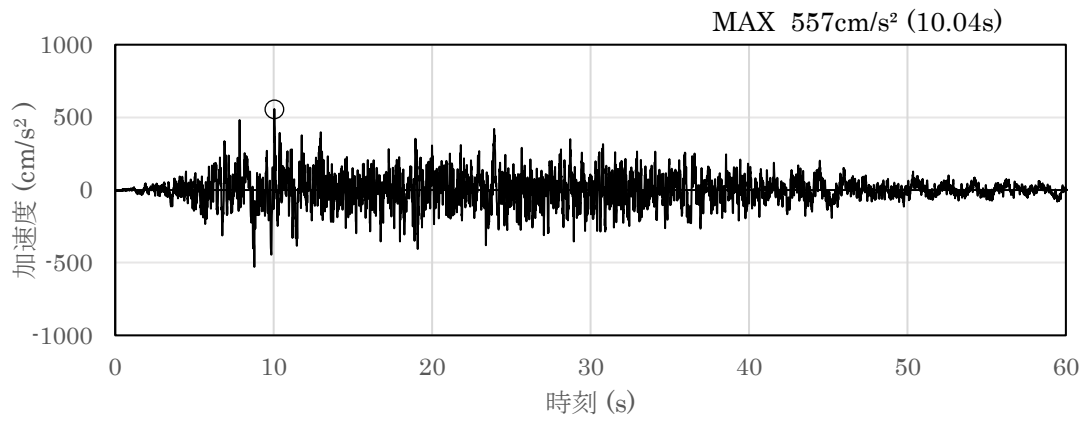


(a) 加速度時刻歴波形

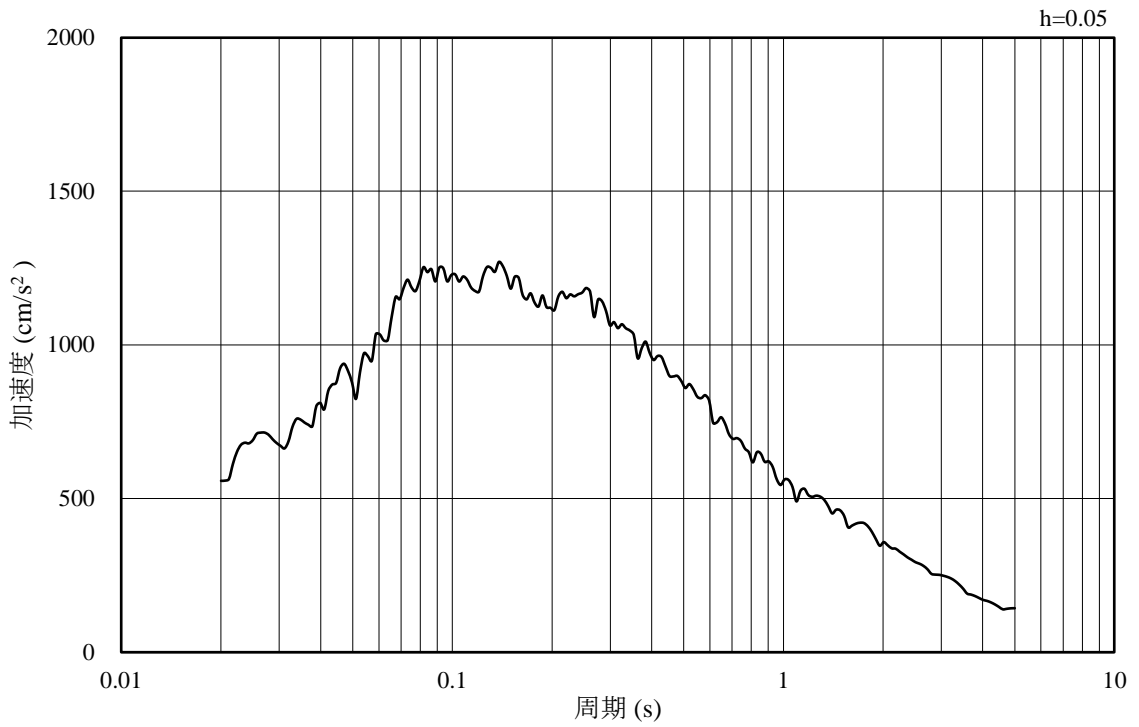


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 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 - D)

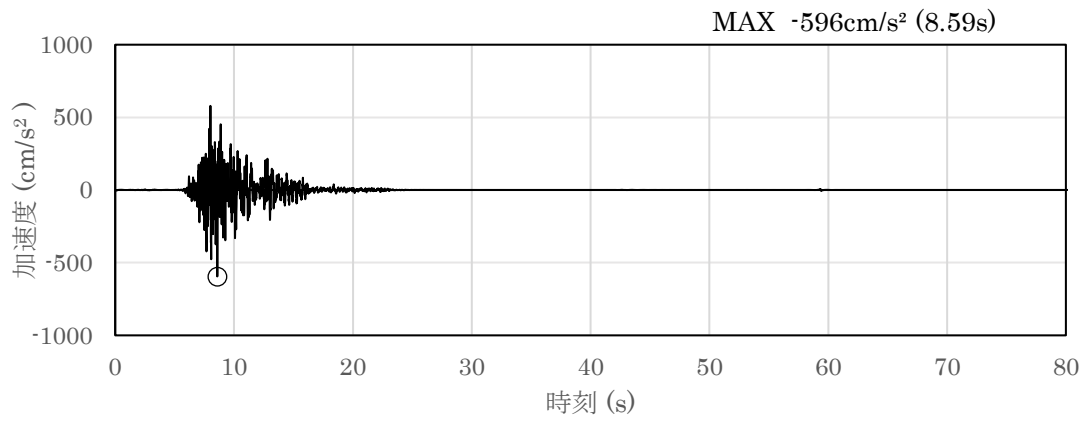


(a) 加速度時刻歴波形

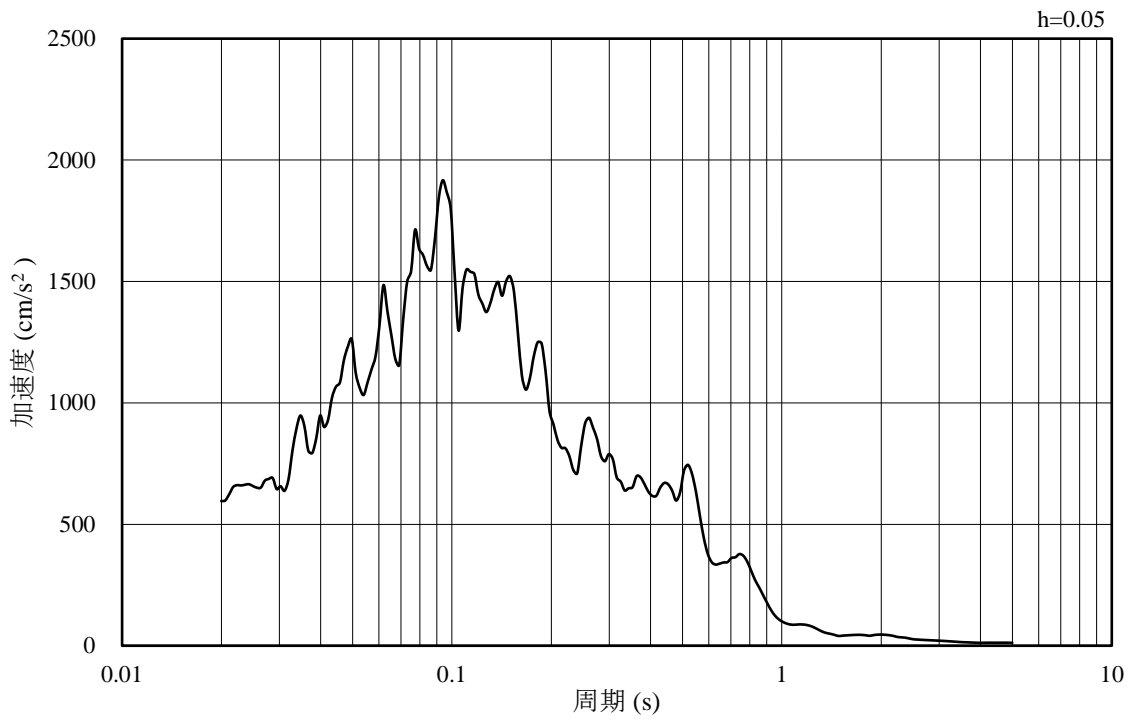


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 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
(鉛直成分：S s - D)

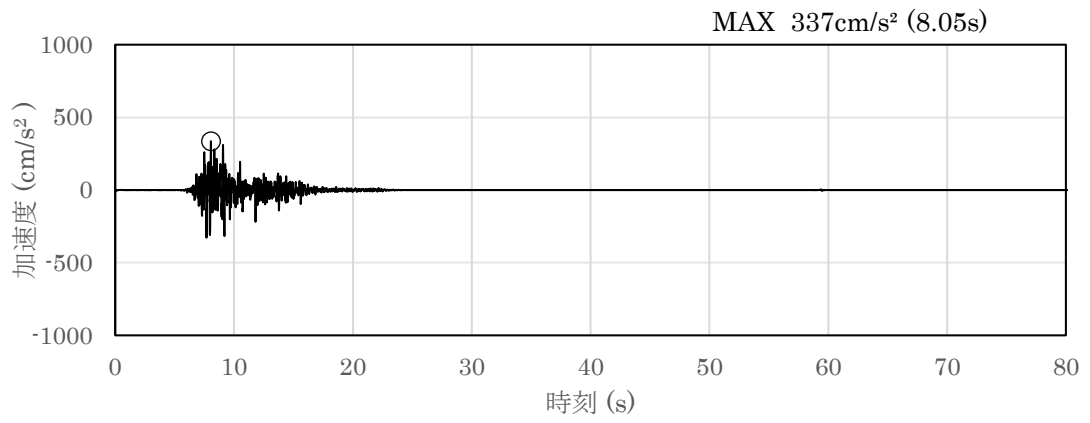


(a) 加速度時刻歴波形

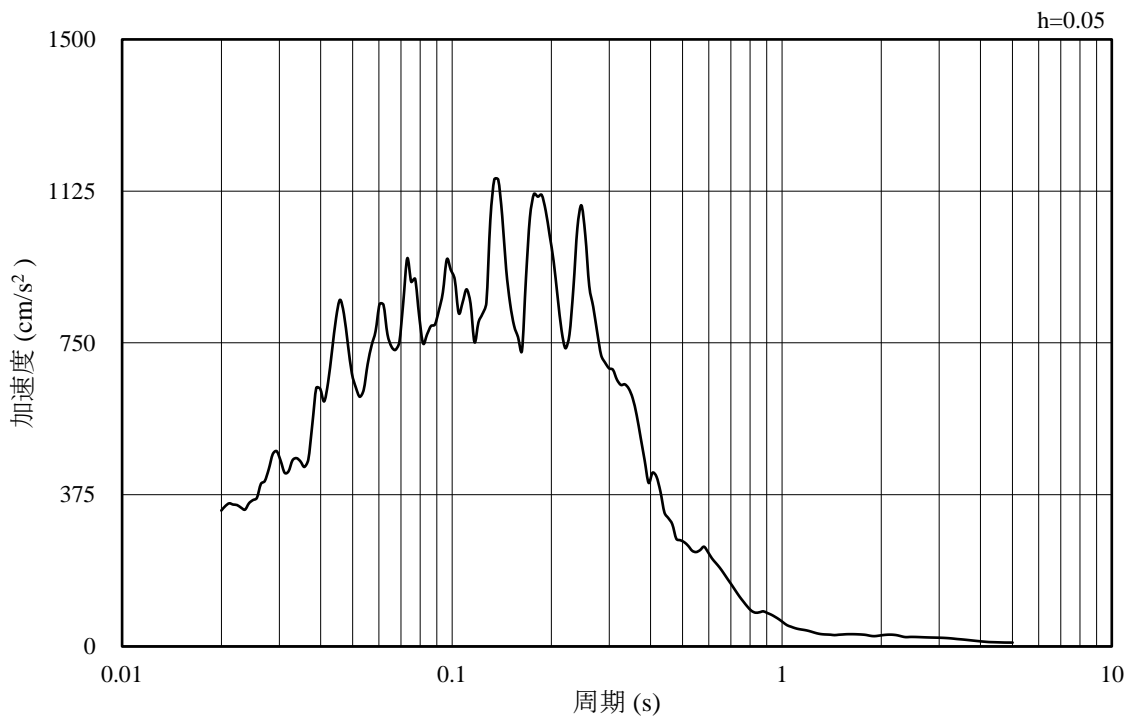


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 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 1)

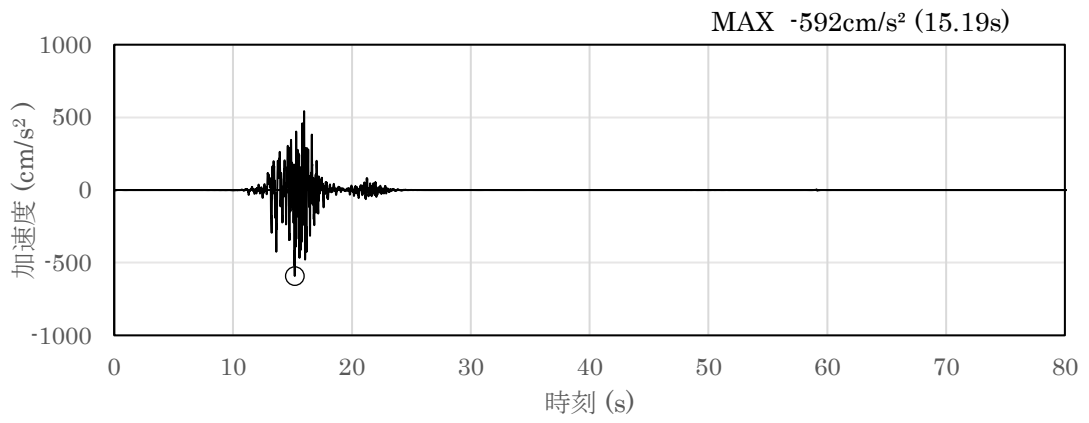


(a) 加速度時刻歴波形

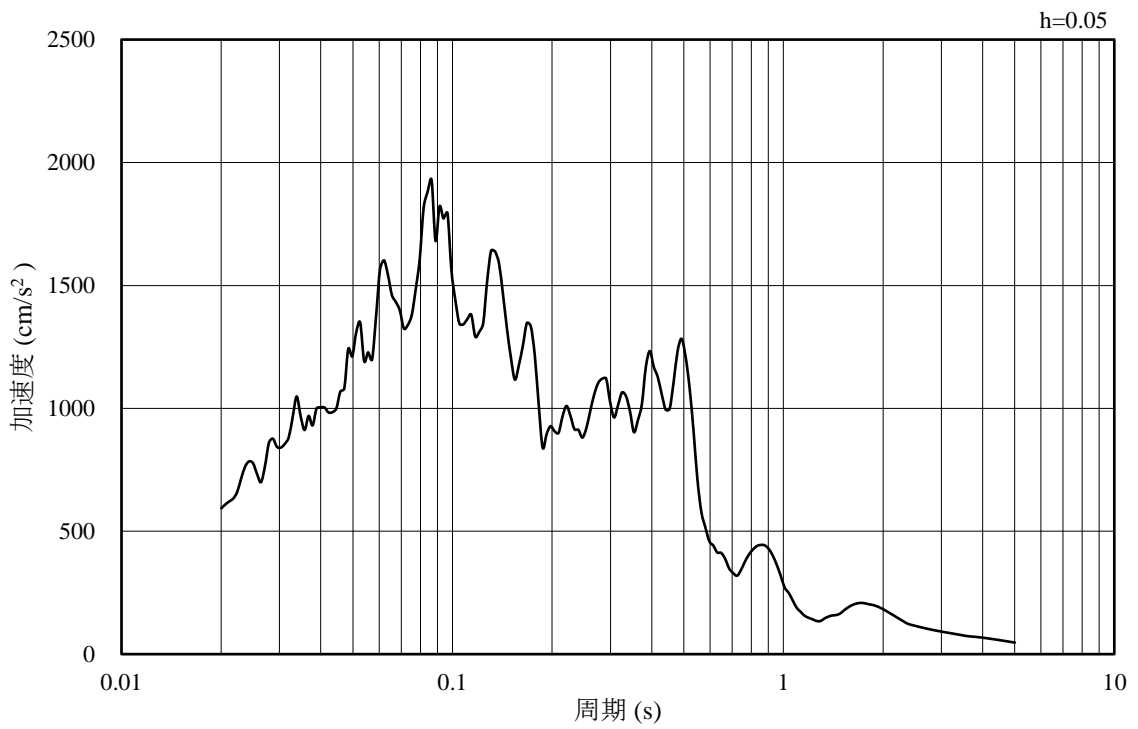


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 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
(鉛直成分：S s - F 1)

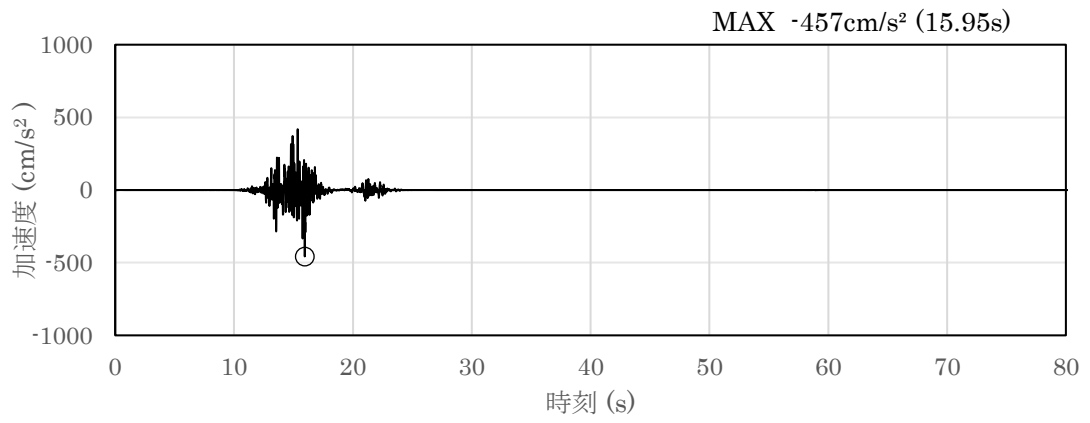


(a) 加速度時刻歴波形

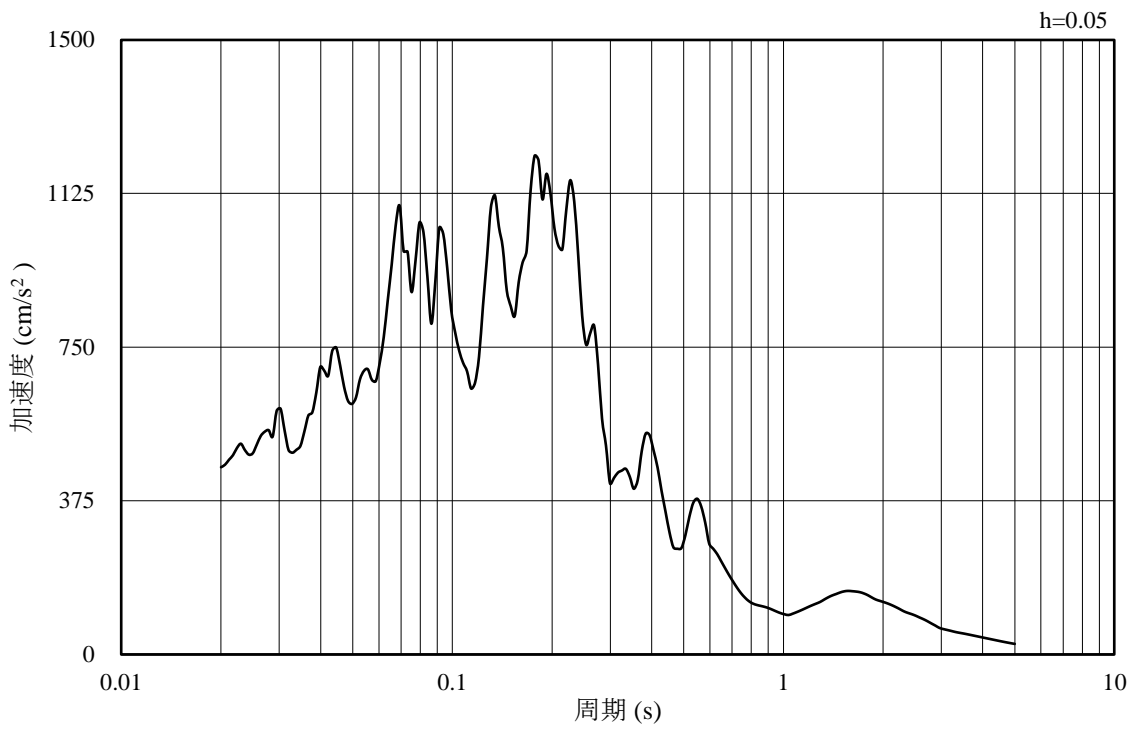


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 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)

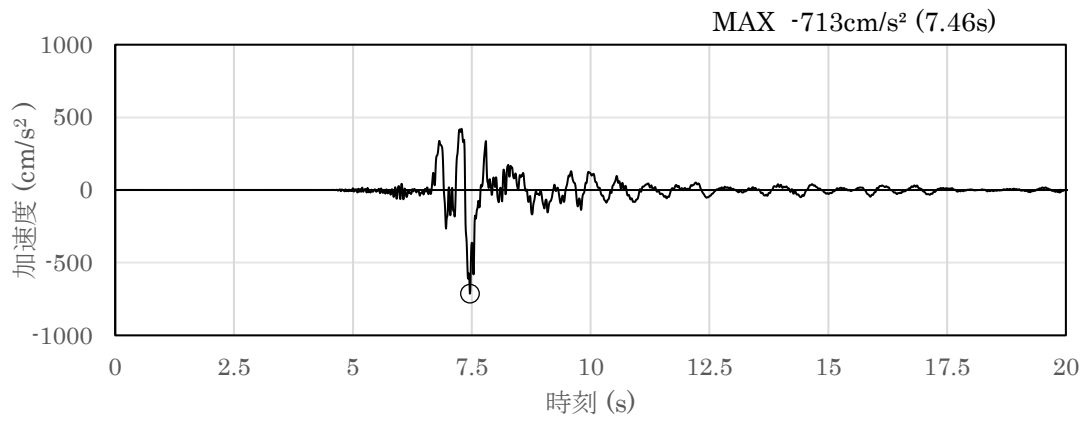


(a) 加速度時刻歴波形

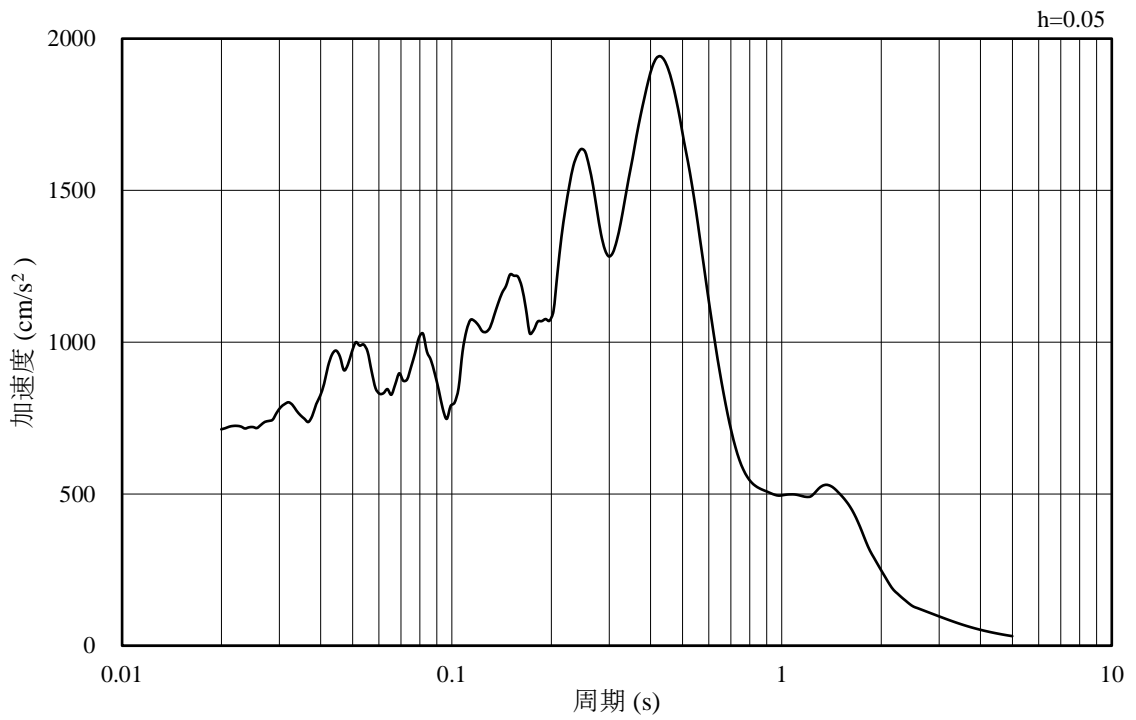


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 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
(鉛直成分：S s - F 2)

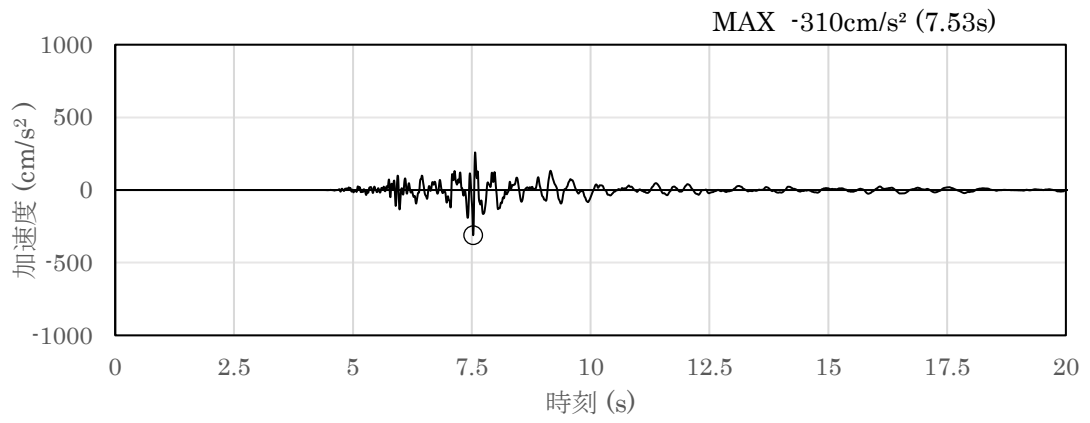


(a) 加速度時刻歴波形

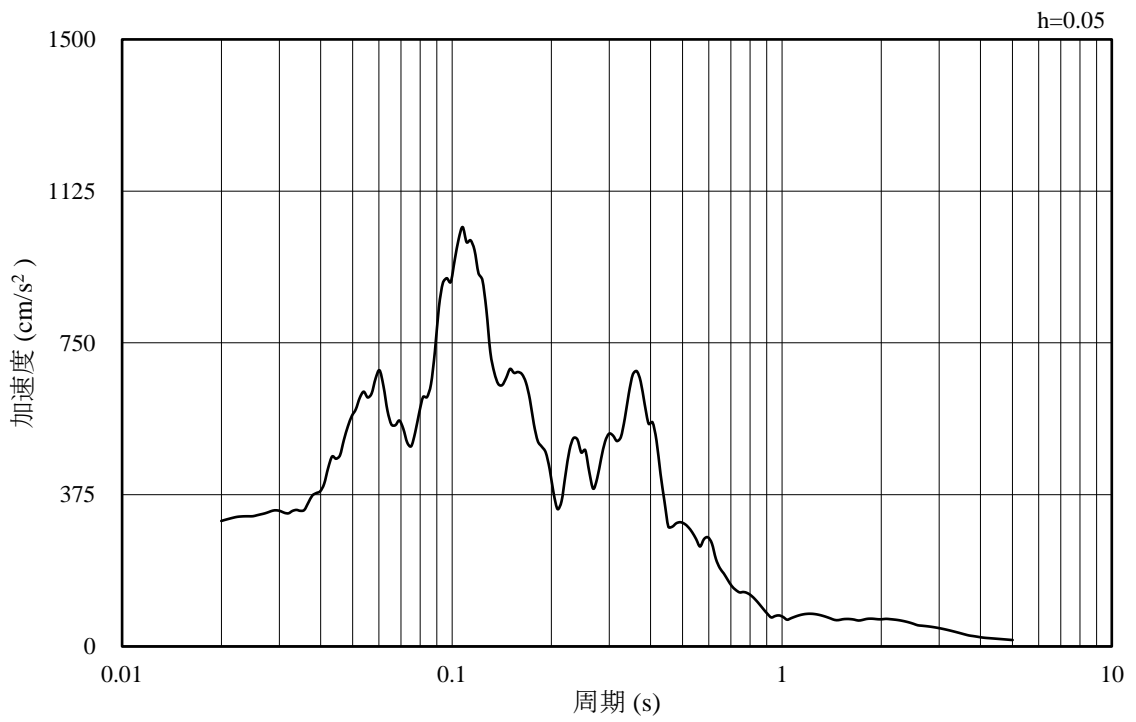


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 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 - N 1)

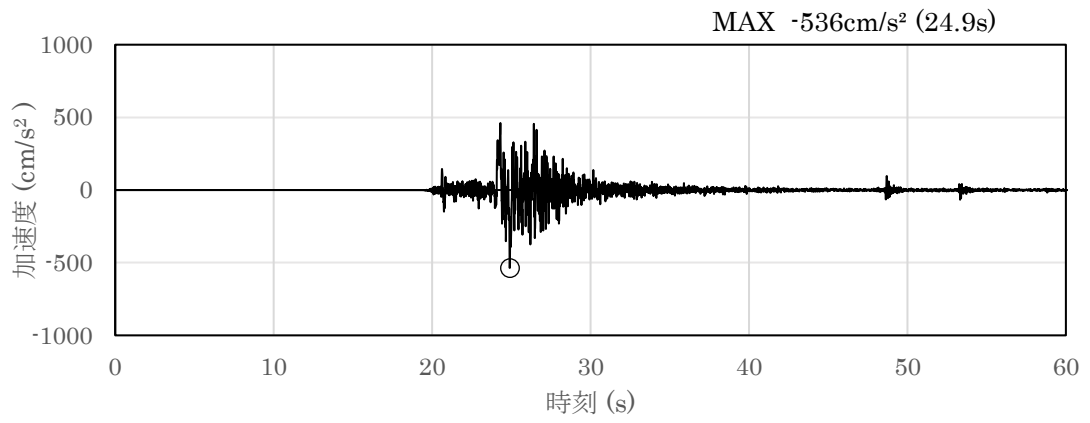


(a) 加速度時刻歴波形

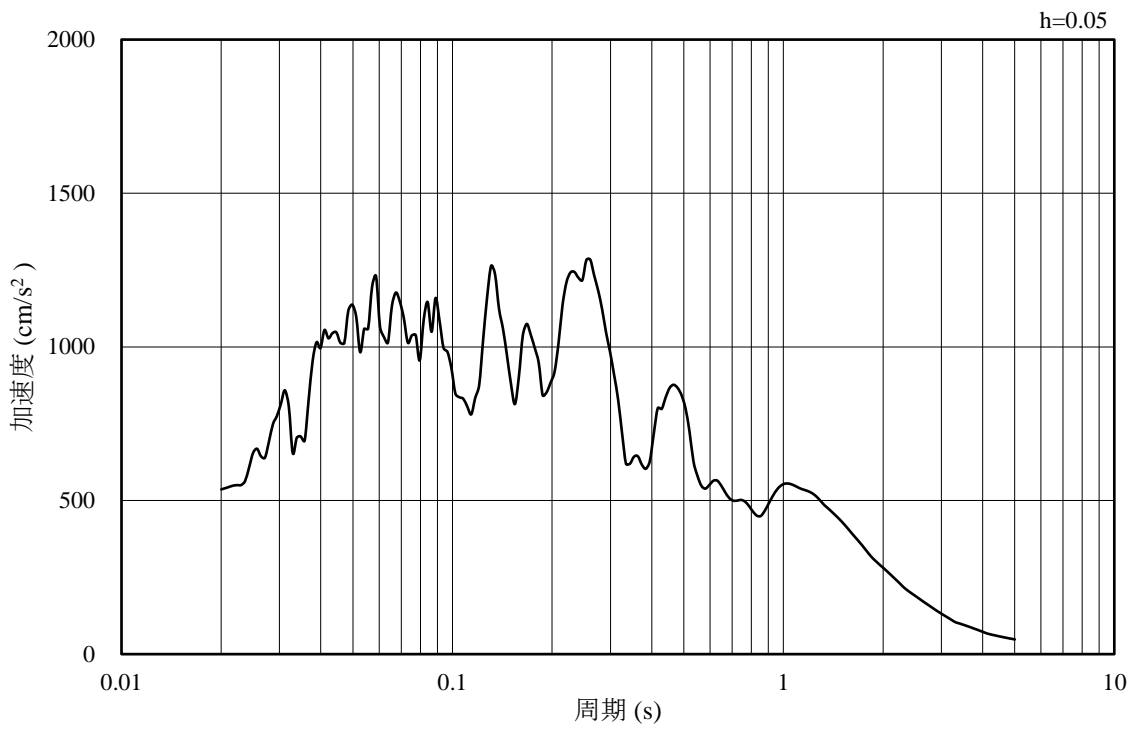


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 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
(鉛直成分：S s - N 1)

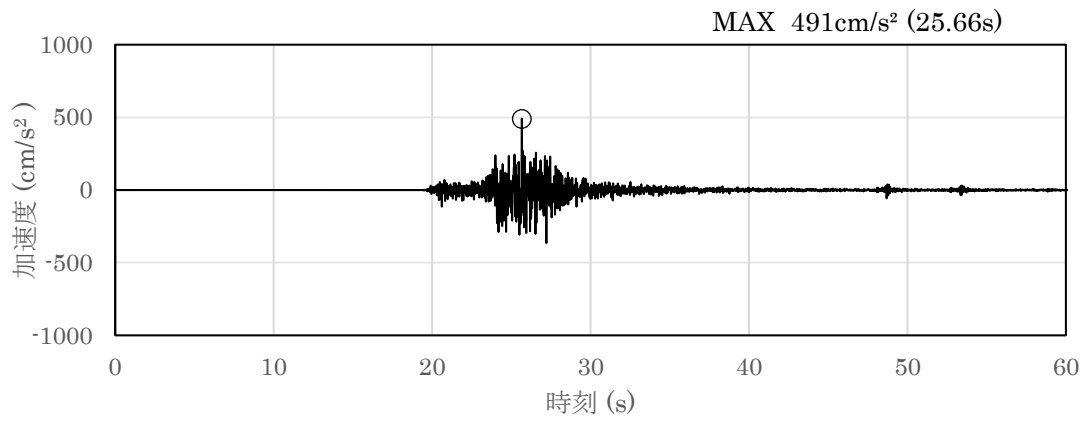


(a) 加速度時刻歴波形

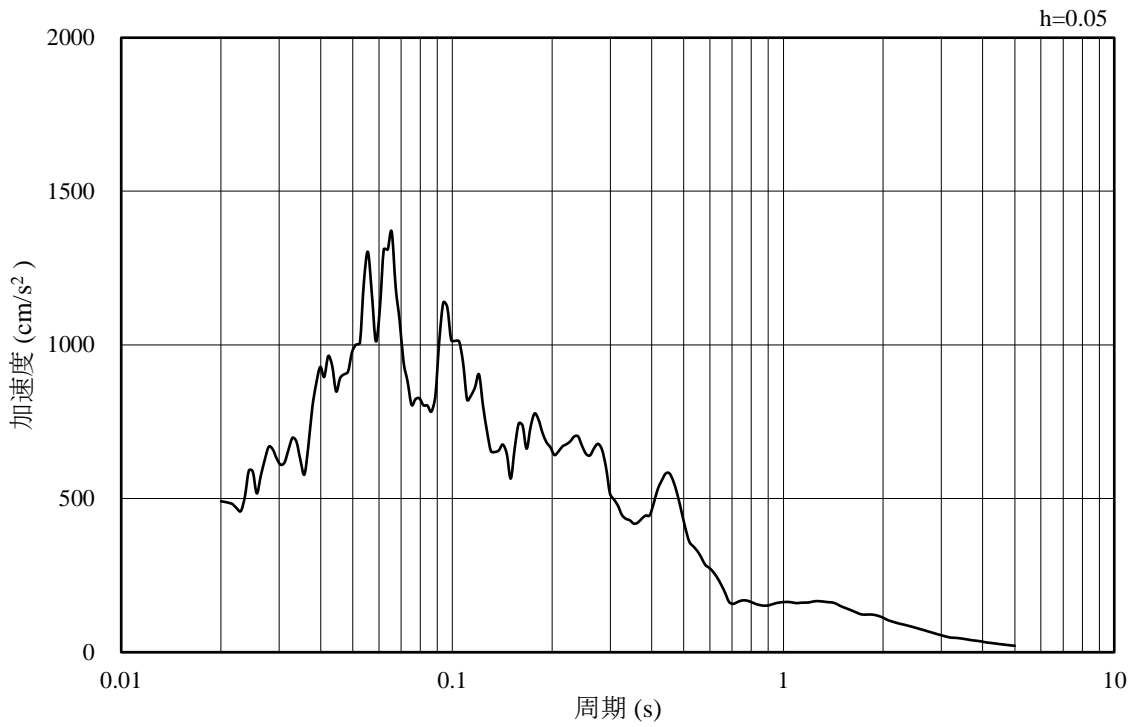


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 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 - N 2 (N S))

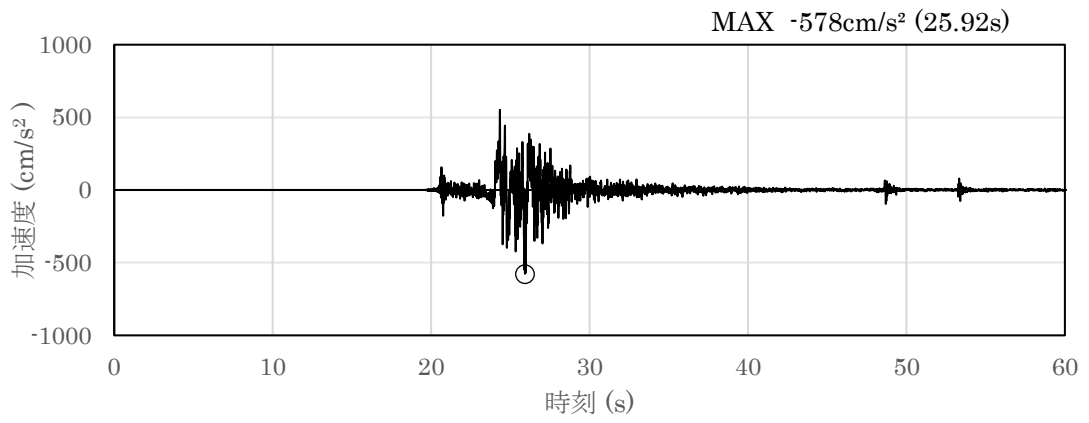


(a) 加速度時刻歴波形

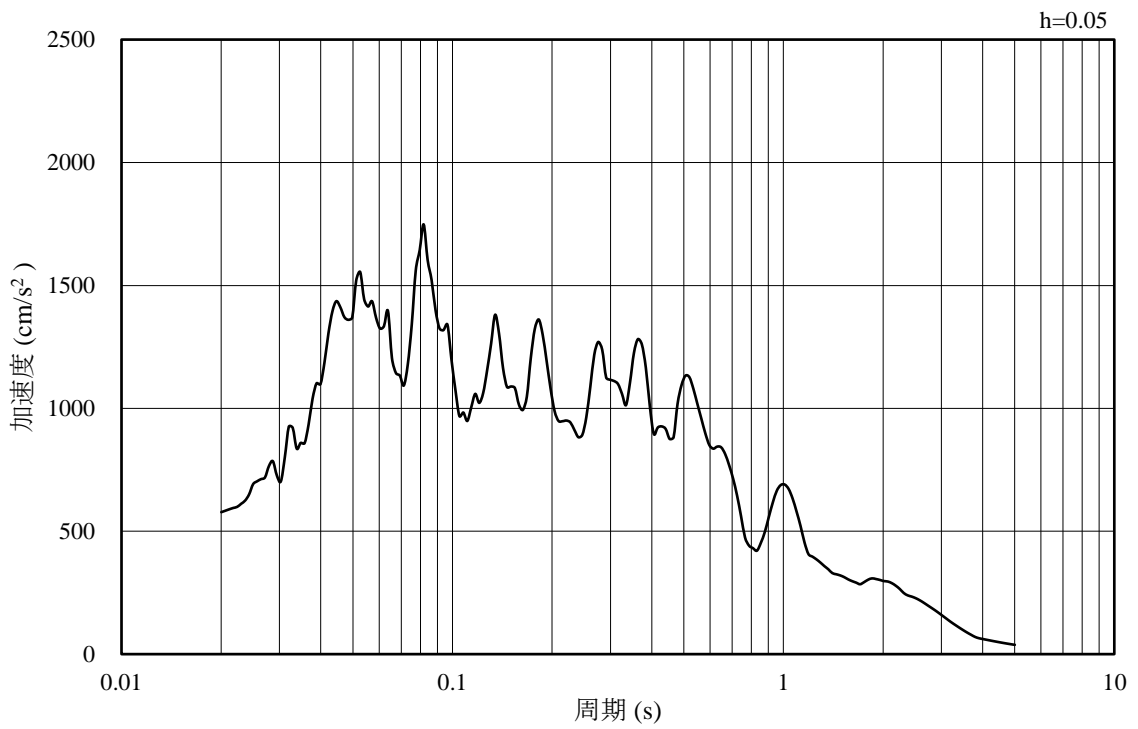


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 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
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

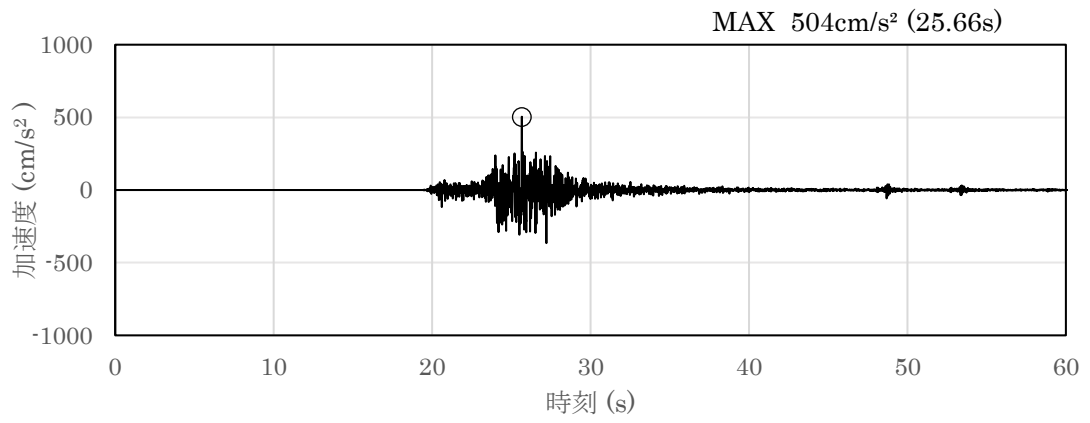


(a) 加速度時刻歴波形

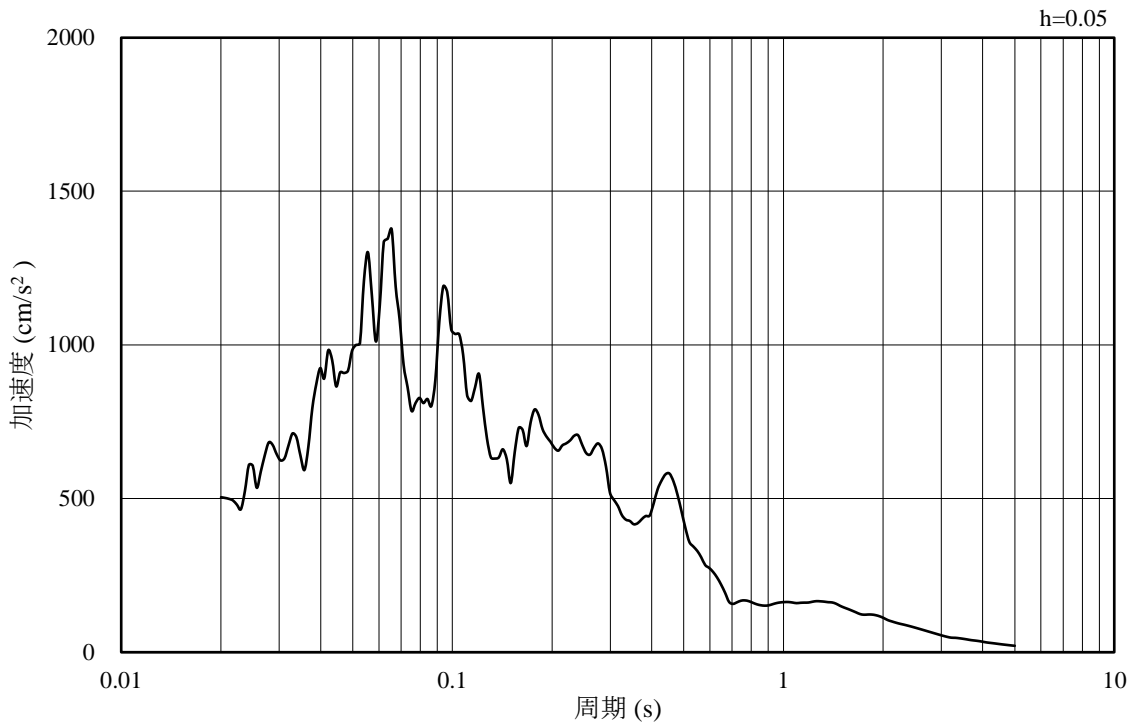


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 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 - N 2 (E W))

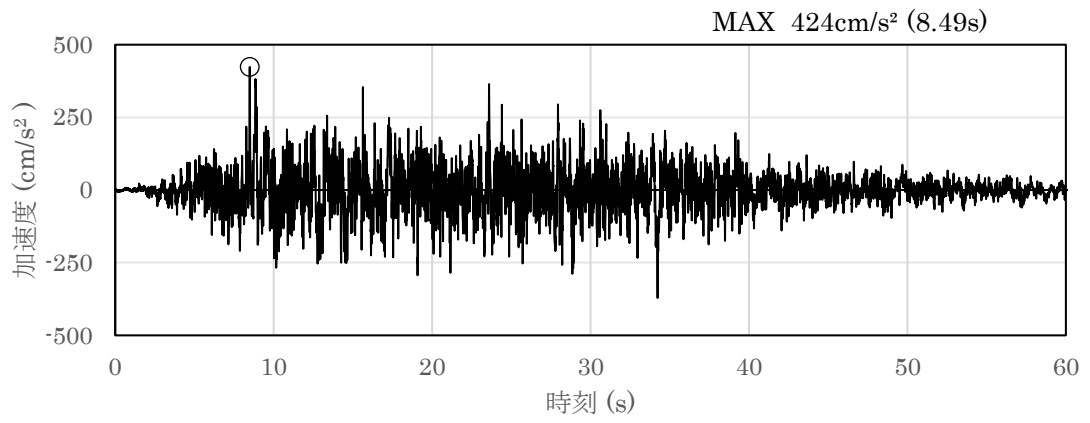


(a) 加速度時刻歴波形

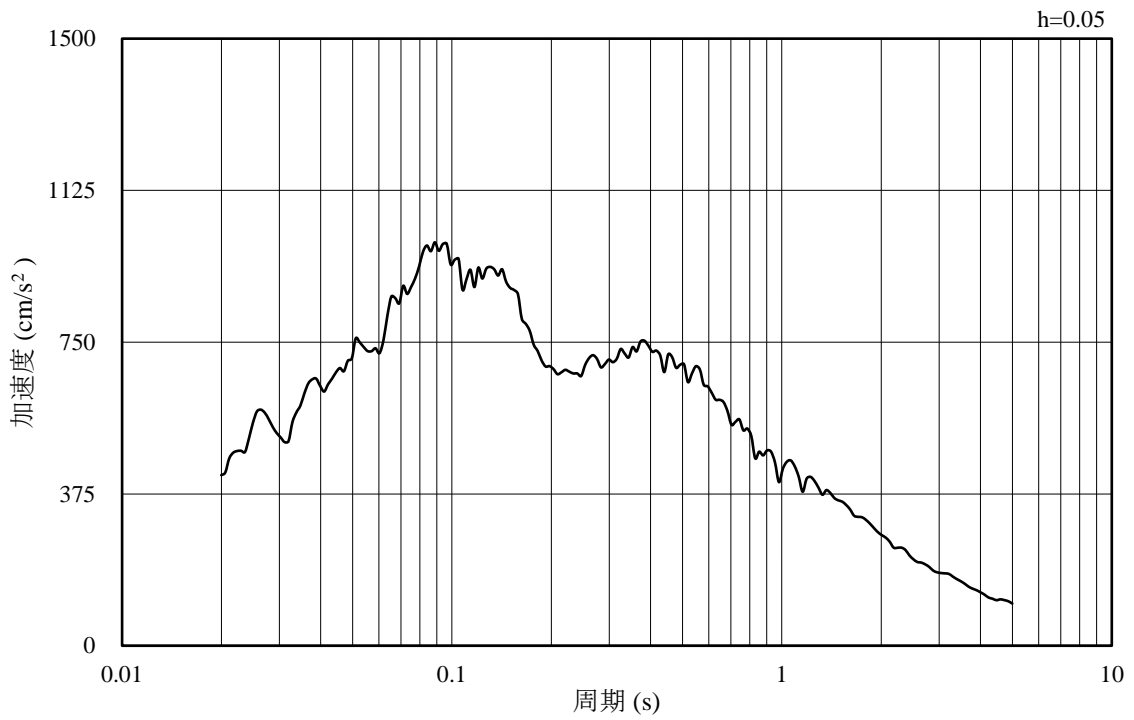


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 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
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

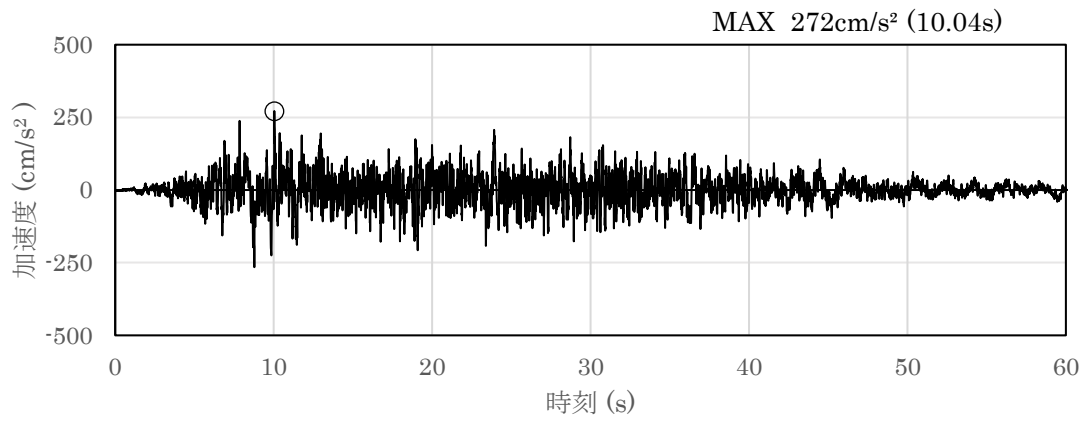


(a) 加速度時刻歴波形

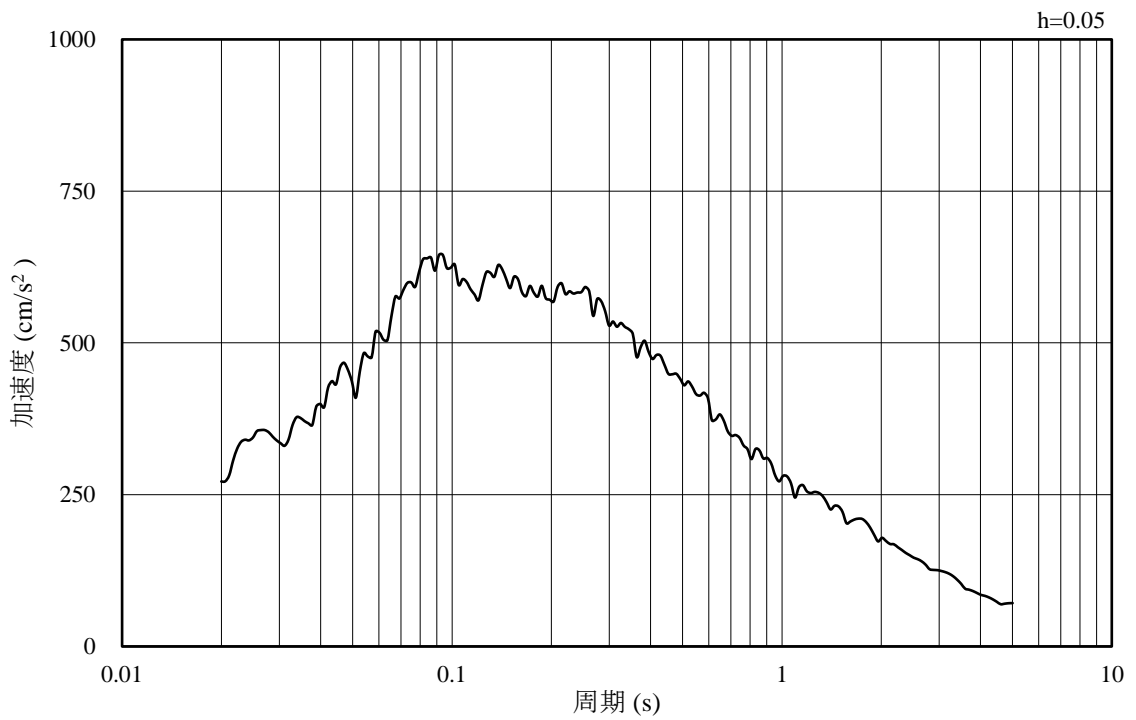


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 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 d - D)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 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
(鉛直成分：S d - D)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

1号機取水槽の地震応答解析モデル図を図3-22に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、線形はり要素、非線形はり要素及び平面応力要素でモデル化する。充填コンクリート部材については線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

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。

(4) 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。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 隣接構造物のモデル化

A-A断面の解析モデル範囲において隣接構造物となるタービン建物は、等価剛性として線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、線形はり要素でモデル化する。

(6) MMRのモデル化

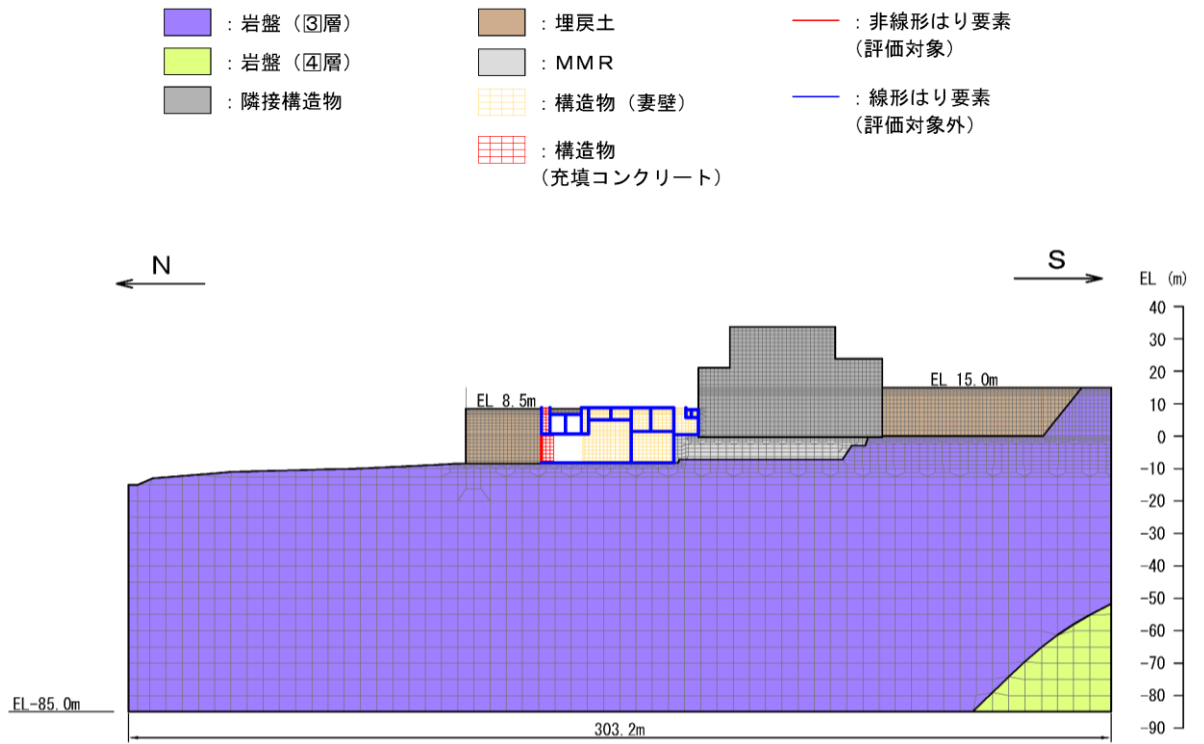
MMRは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

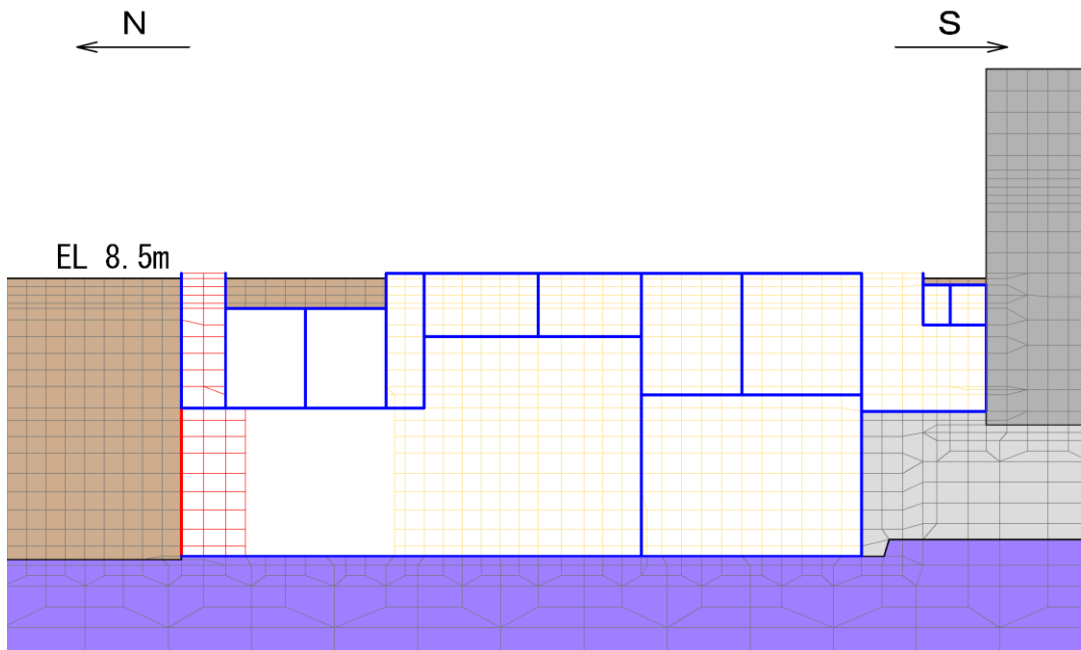
地震時の「地盤と構造物」及び「構造物とMMR」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

(8) 水位条件

1号機取水槽の内水位は、EL 0.58mとする。



(全体図)



(拡大図)

図 3-22 地震応答解析モデル図 (A-A断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 に示す。

表 3-5 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 20.6N/mm ²
	充填コンクリート	設計基準強度 21.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 18.0N/mm ²

表 3-6 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート)	2.33×10 ⁴	24.0 ^{*1}	0.2
構造物 (漸拡ダクト部充填 コンクリート) ^{*3}	2.33×10 ⁴	24.0 ^{*1}	
構造物 (ピット部充填 コンクリート) ^{*3}	2.33×10 ⁴	24.0 ^{*1}	
MMR	2.20×10 ⁴	22.6 ^{*2}	

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*3：ヤング係数については設計基準強度 20.6N/mm²の鉄筋コンクリート構造物と同様の値を設定し、単位体積重量については鉄筋コンクリートの重量を設定する。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については，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。

3.5.4 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。
設計地下水位の一覧を表3-7に示す。

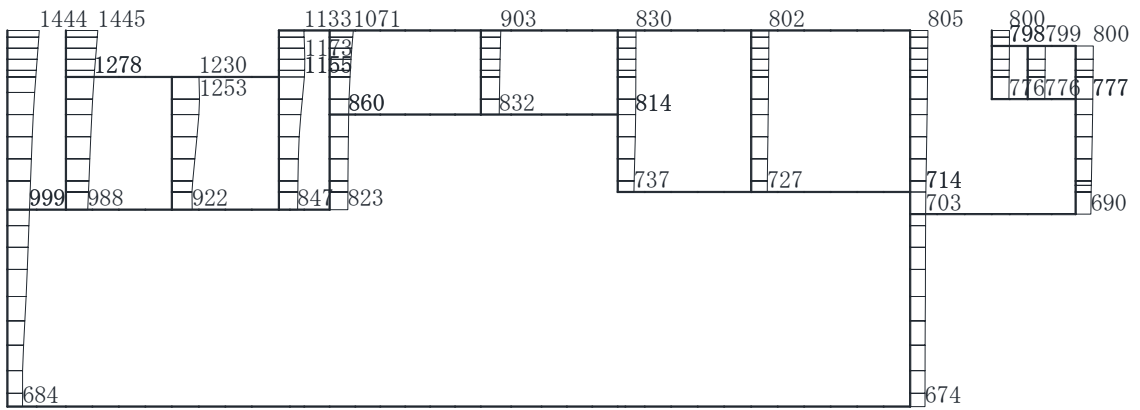
表3-7 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
1号機取水槽	A-A断面	3.0

4. 解析結果

4.1 A-A断面の解析結果

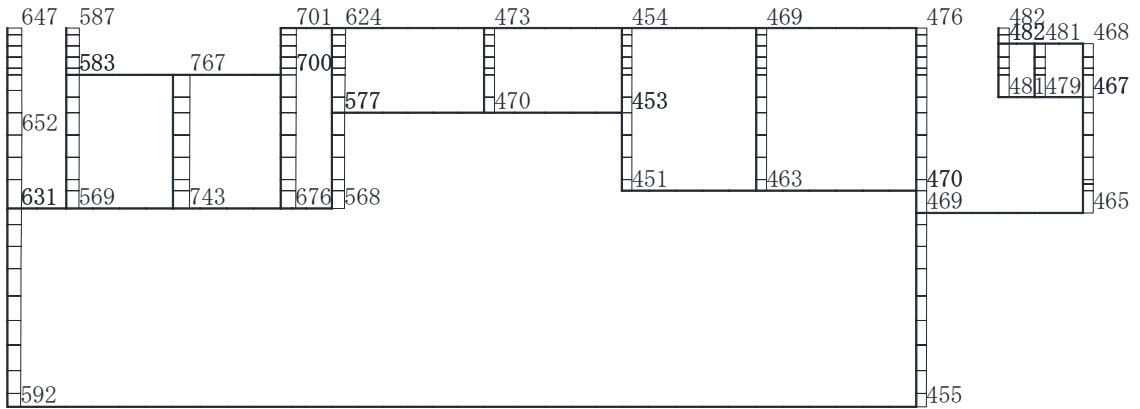
1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度，北側壁の耐震評価のために用いる応答加速度として，解析ケース①（基本ケース）について，すべての基準地震動 S_s に対する最大応答加速度分布図を図4-1～図4-12に示す。また，解析ケース①において，北側壁の照査値が最大となる地震動に対しての解析ケース②～⑤の最大応答加速度分布図を図4-13～図4-16に示す。これらに加え，解析ケース①の弾性設計用地震動 S_d-D に対する最大応答加速度分布図を図4-17に示す。



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - D (++) 水平

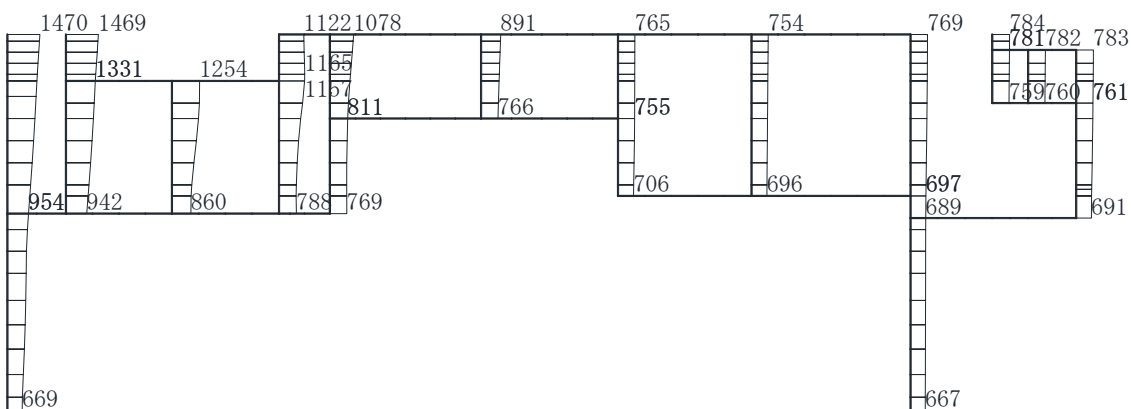


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - D (++) 鉛直

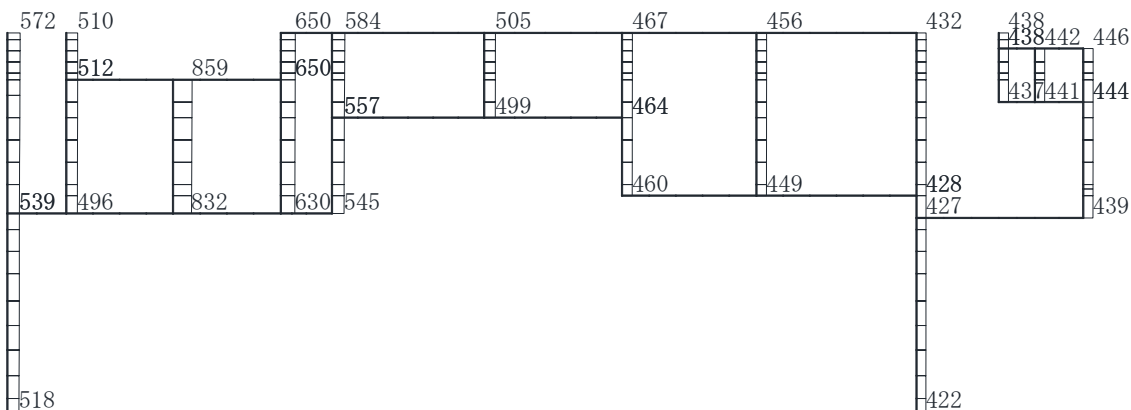
図 4-1 最大応答加速度分布図(1/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - D (- +) 水平

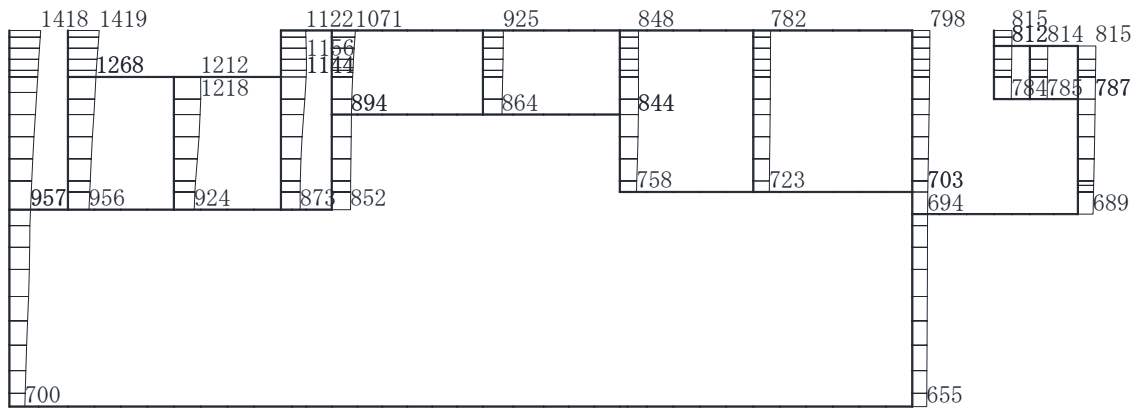


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - D (- +) 鉛直

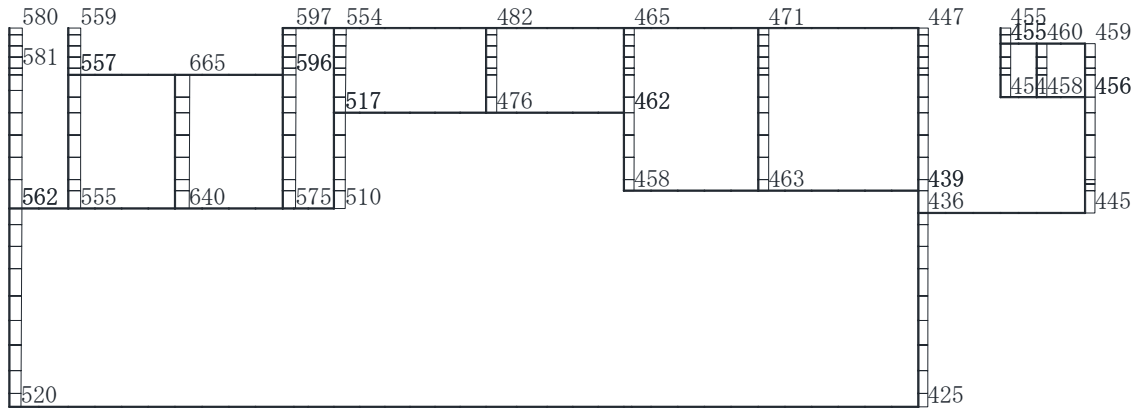
図 4-2 最大応答加速度分布図 (2/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - D (+ -) 水平

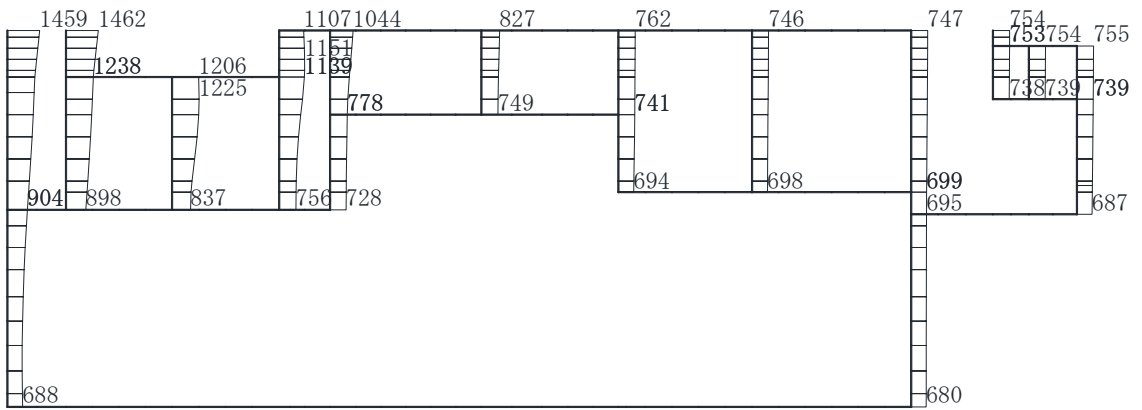


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - D (+ -) 鉛直

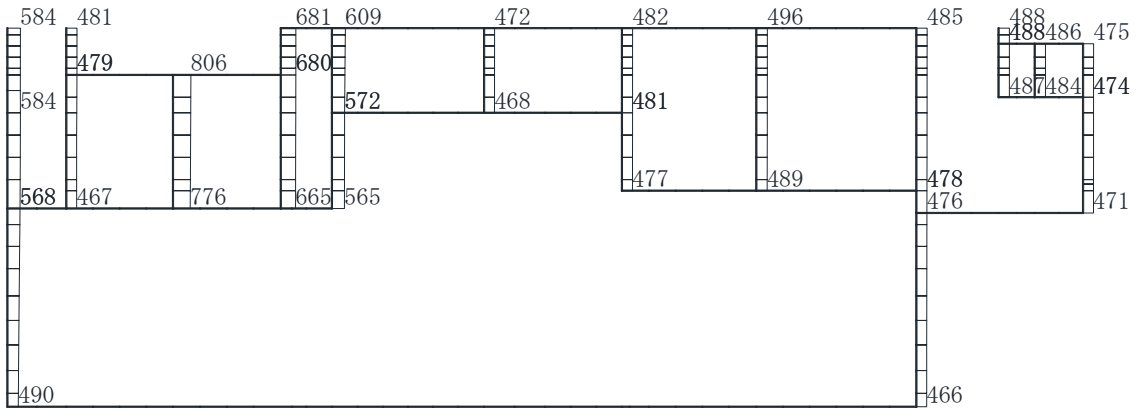
図 4-3 最大応答加速度分布図 (3/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - D (--) 水平

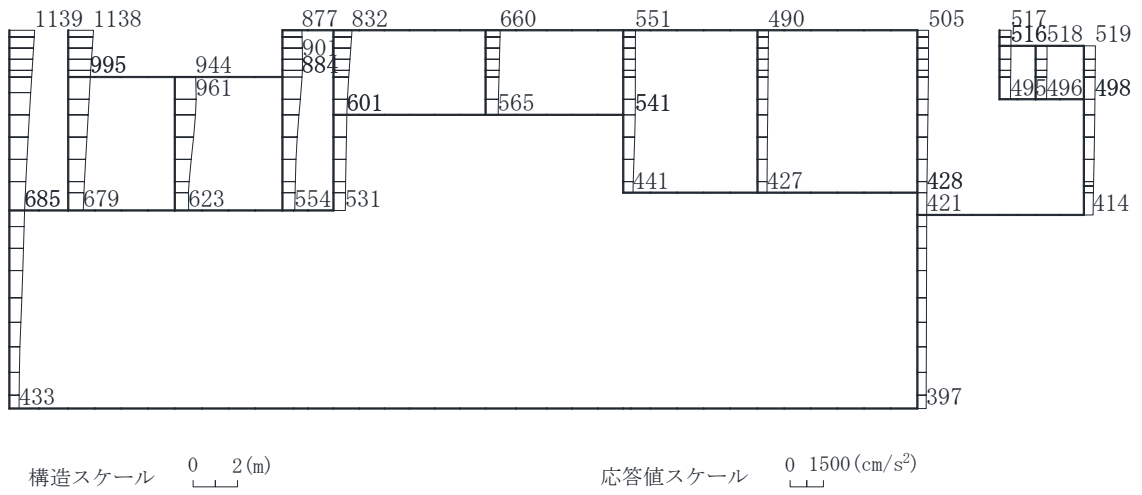


構造スケール 0 2(m)

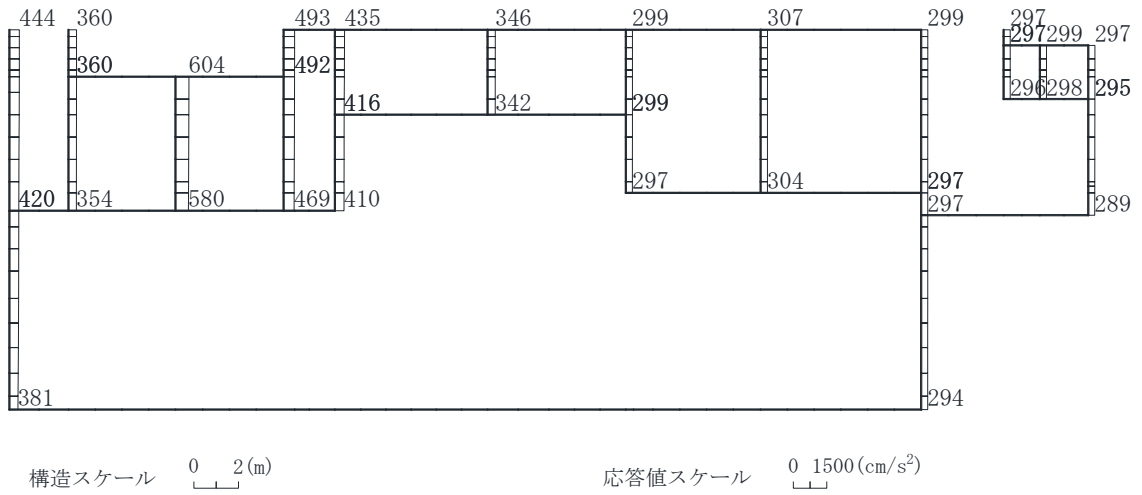
応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - D (--) 鉛直

図 4-4 最大応答加速度分布図(4/17) (解析ケース①)

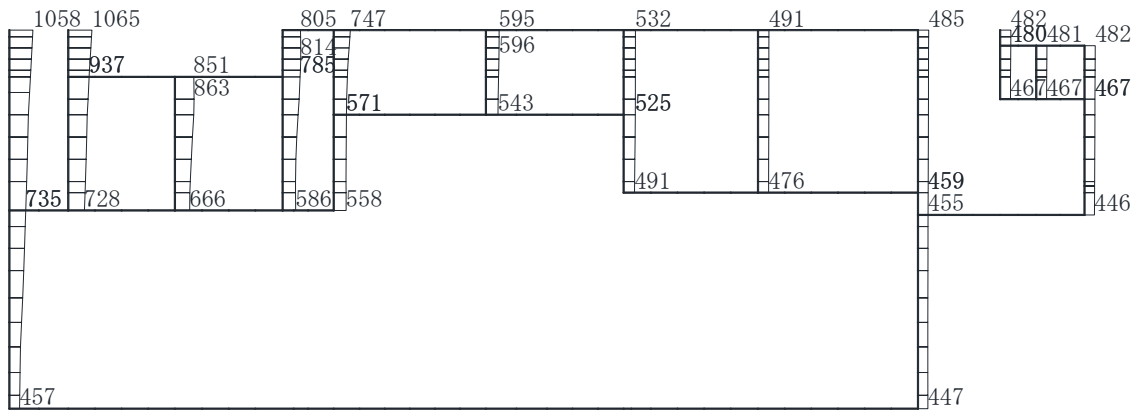


(a) S s - F 1 (++) 水平



(b) S s - F 1 (++) 鉛直

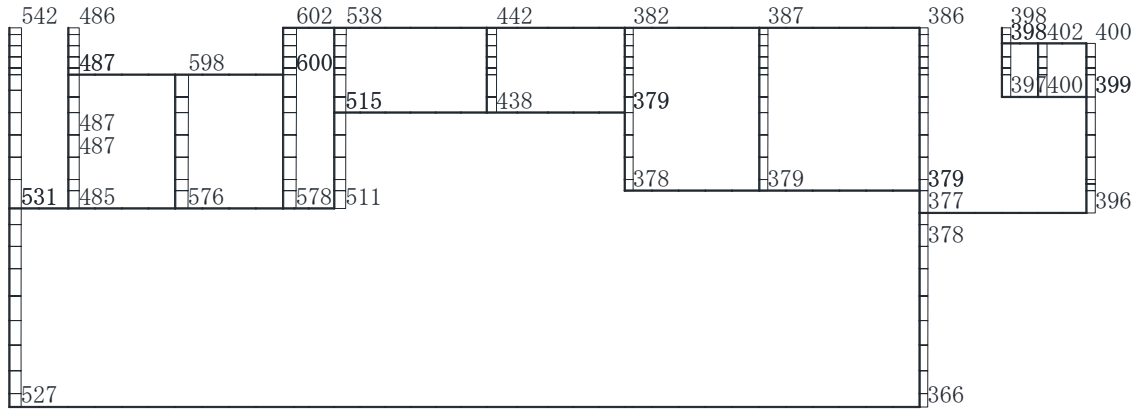
図 4-5 最大応答加速度分布図(5/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - F 2 (++) 水平

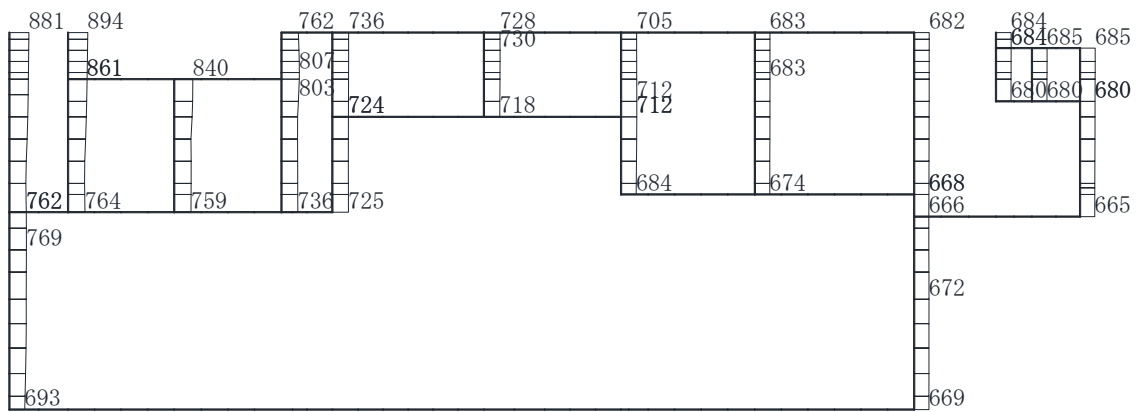


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - F 2 (++) 鉛直

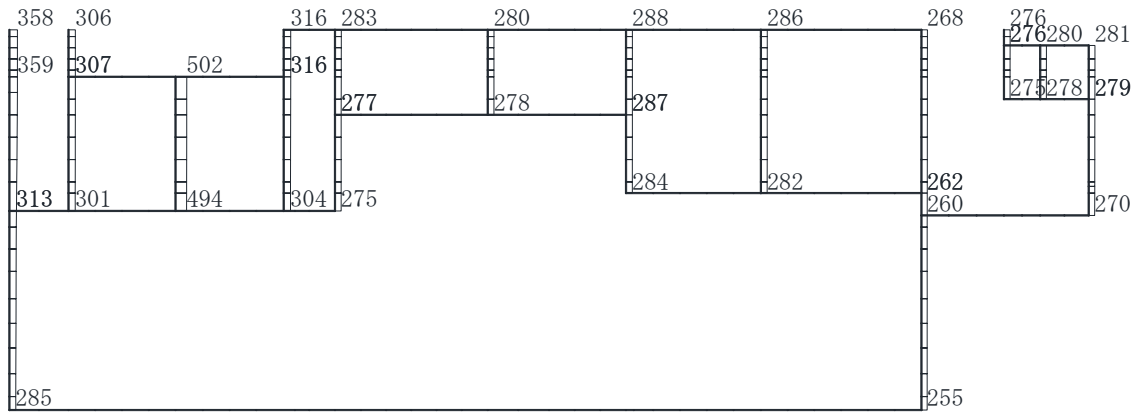
図 4-6 最大応答加速度分布図(6/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - N 1 (++) 水平

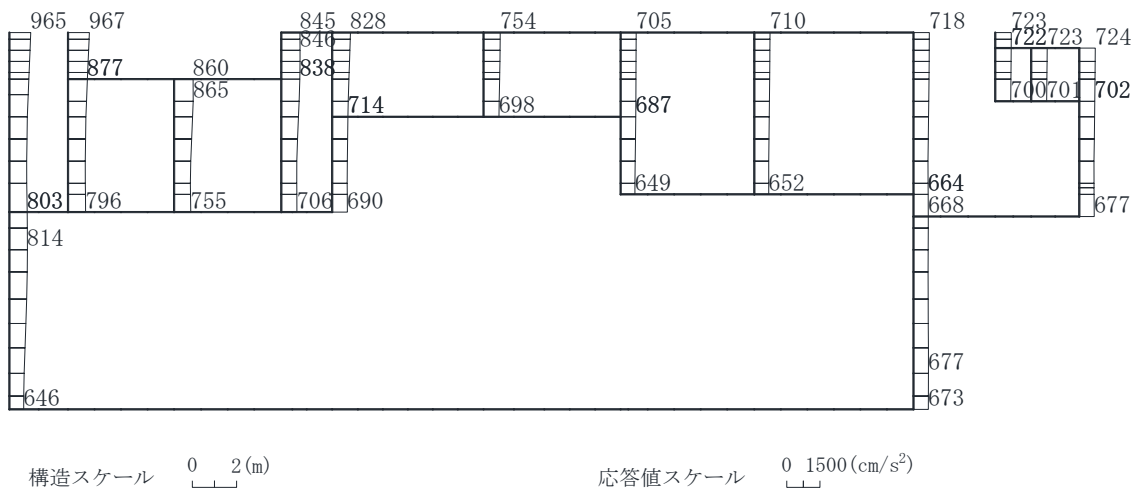


構造スケール 0 2(m)

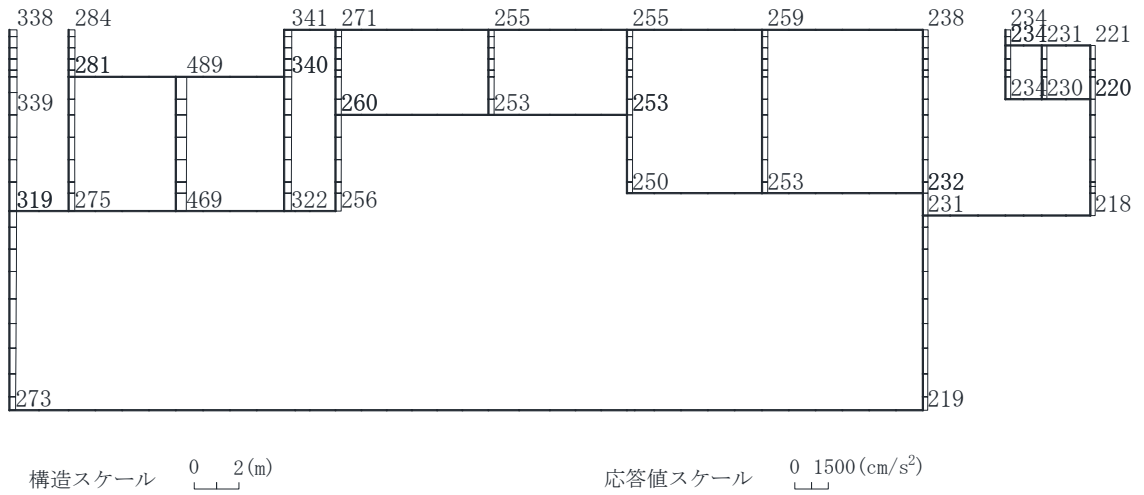
応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-7 最大応答加速度分布図(7/17) (解析ケース①)

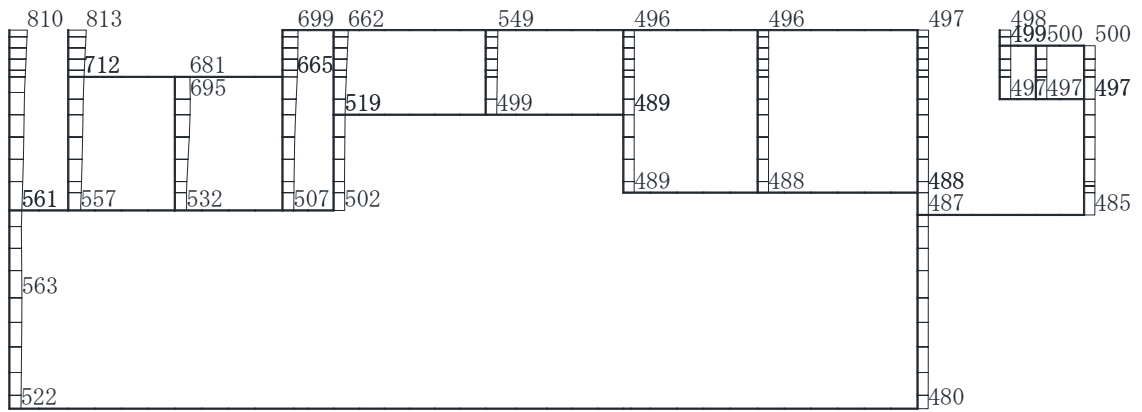


(a) S s - N 1 (- +) 水平



(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

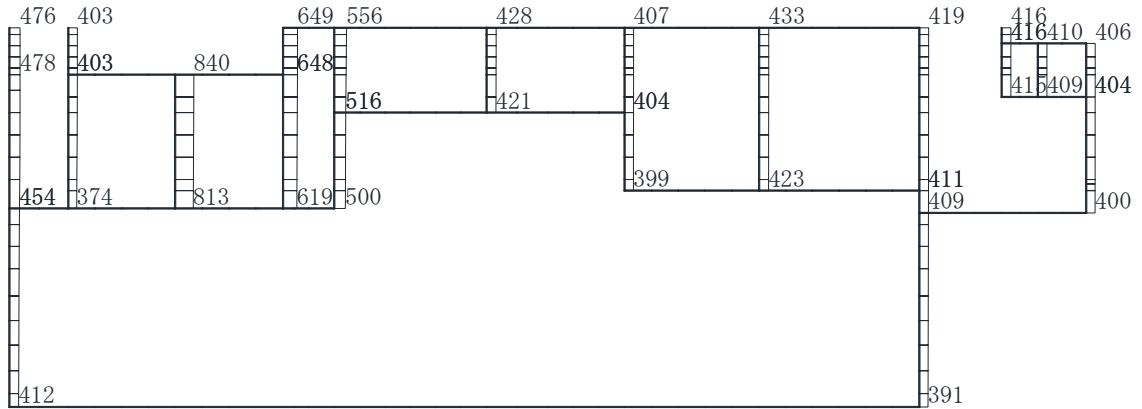
図 4-8 最大応答加速度分布図(8/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S_s - N 2 (NS) (++) 水平

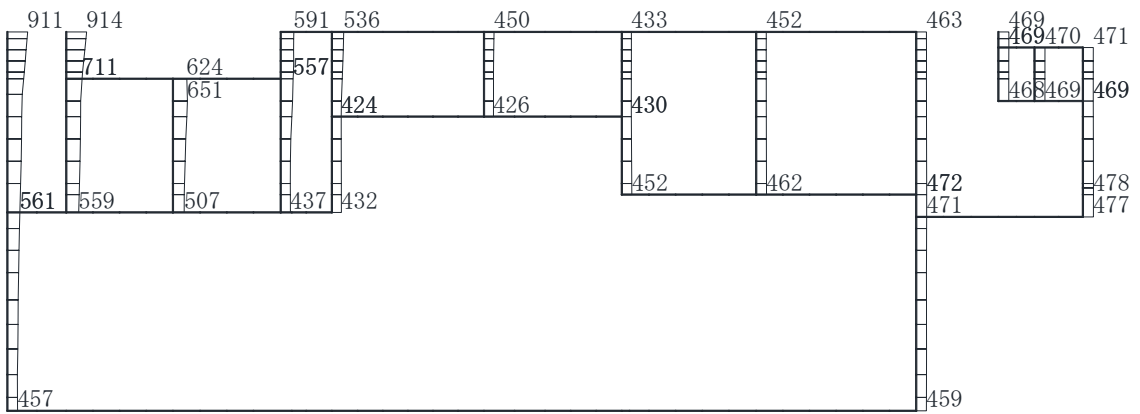


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S_s - N 2 (NS) (++) 鉛直

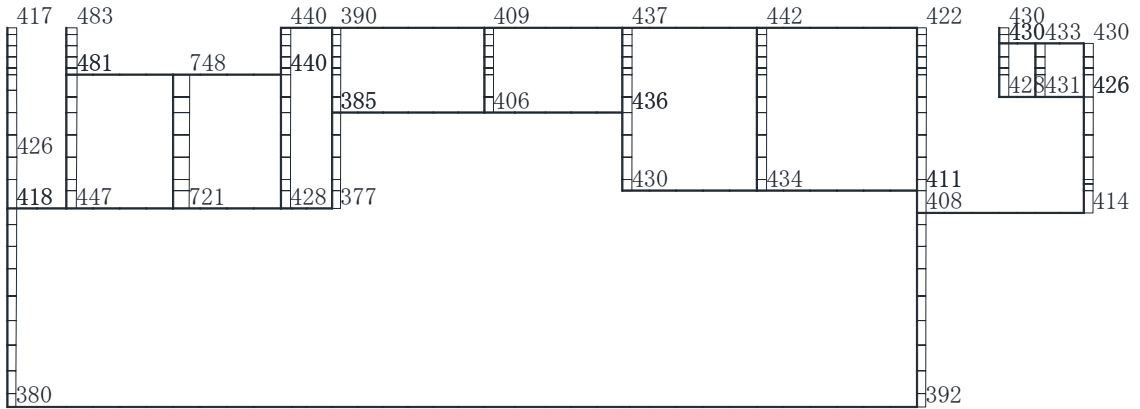
図 4-9 最大応答加速度分布図(9/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - N 2 (N S) (- +) 水平

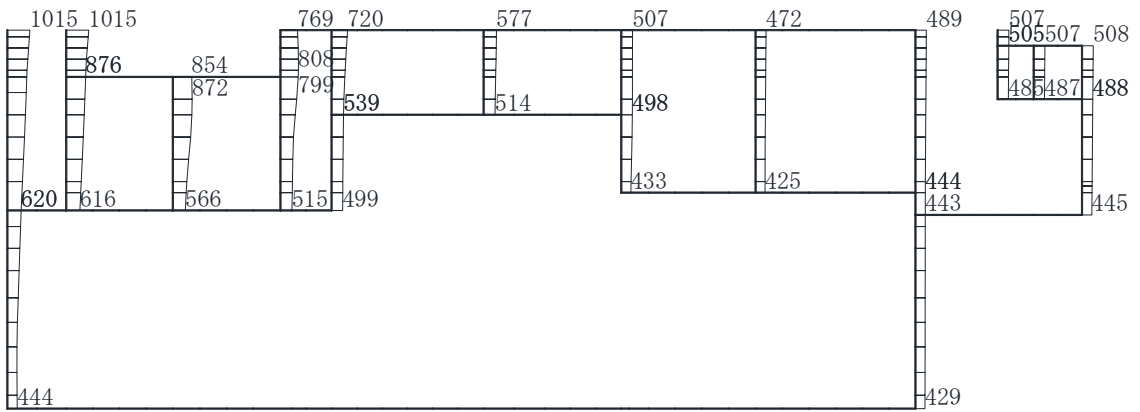


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - N 2 (N S) (- +) 鉛直

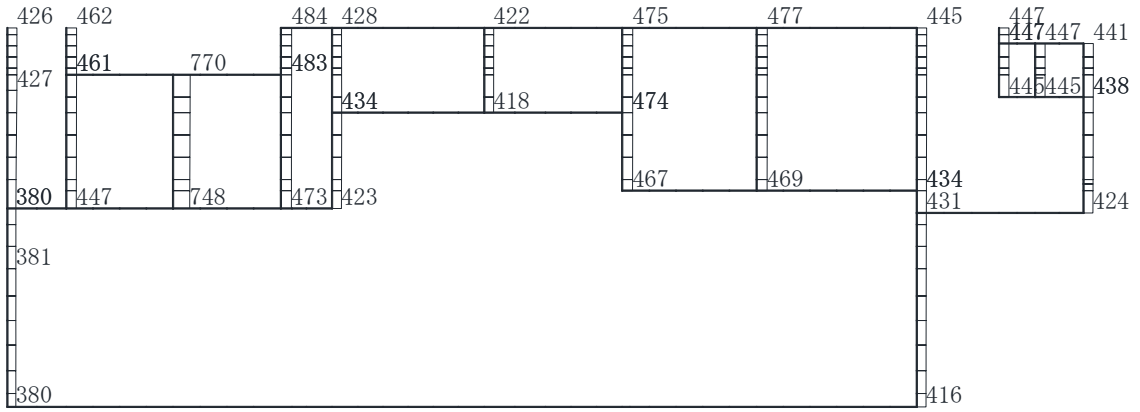
図 4-10 最大応答加速度分布図(10/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S_s - N 2 (E W) (++) 水平

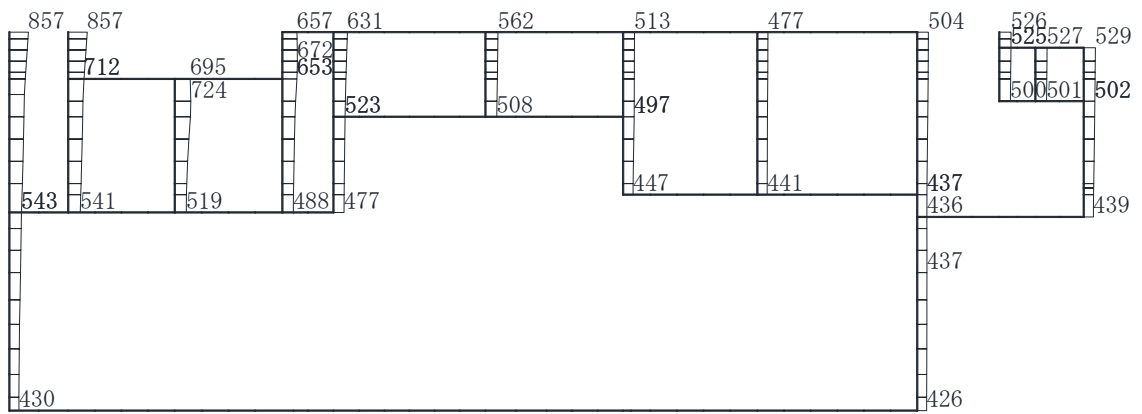


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S_s - N 2 (E W) (++) 鉛直

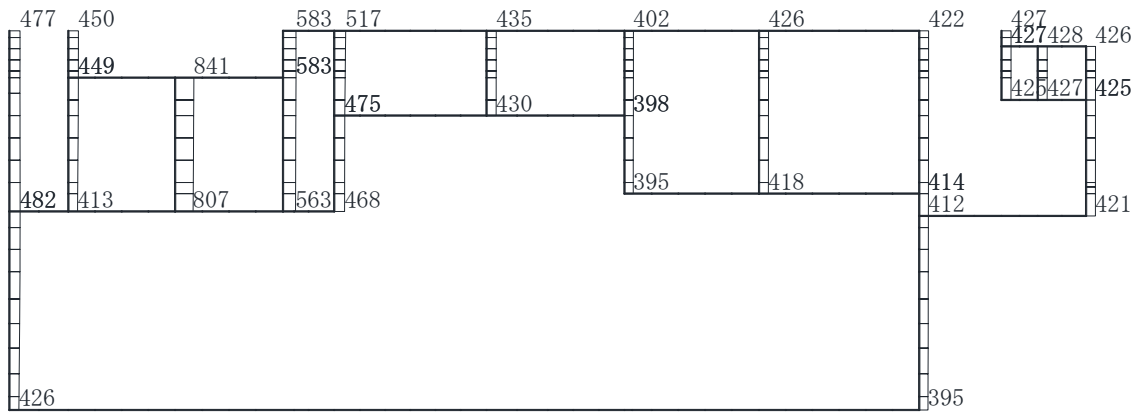
図 4-11 最大応答加速度分布図(11/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平

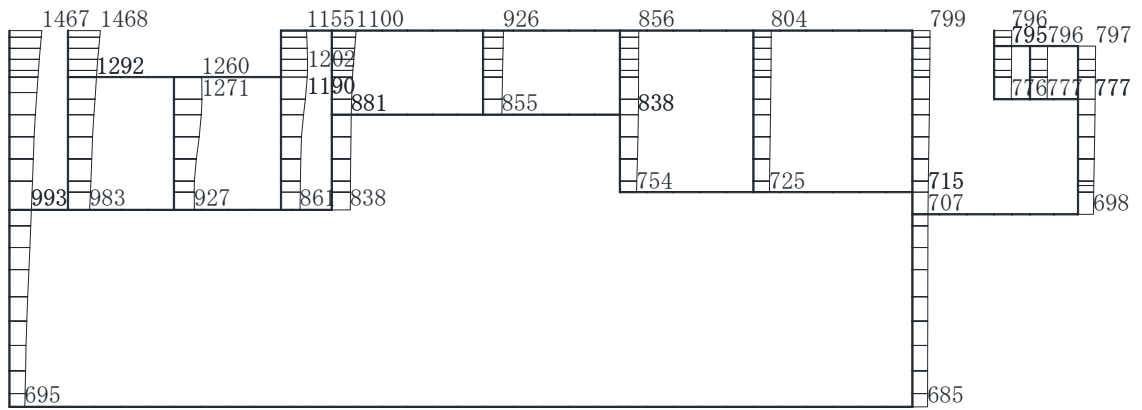


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直

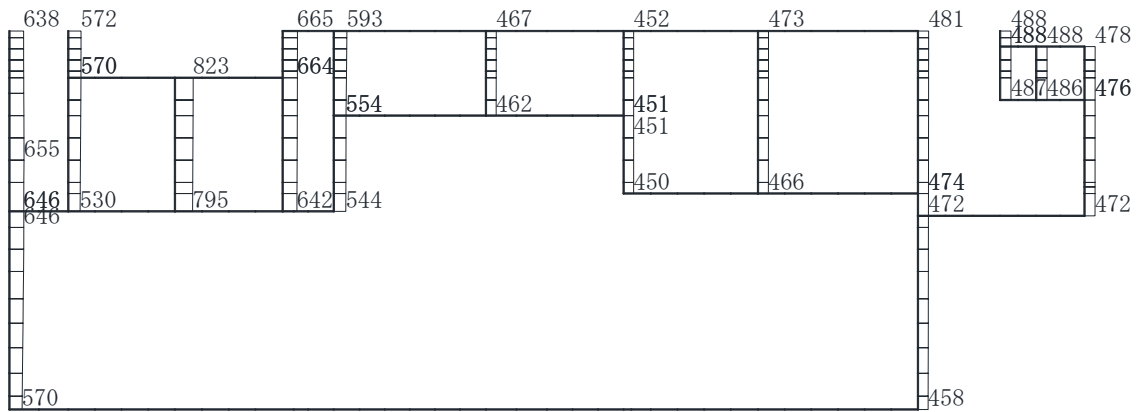
図 4-12 最大応答加速度分布図(12/17) (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - D (++) 水平

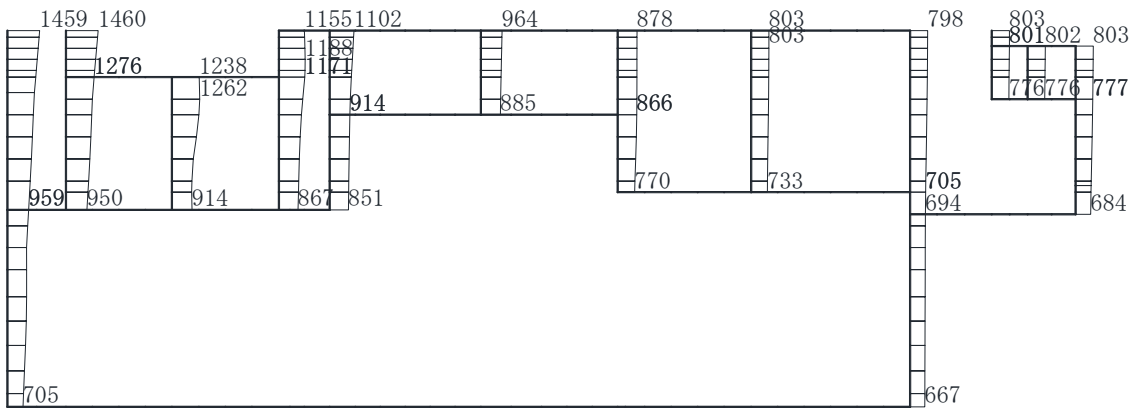


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - D (++) 鉛直

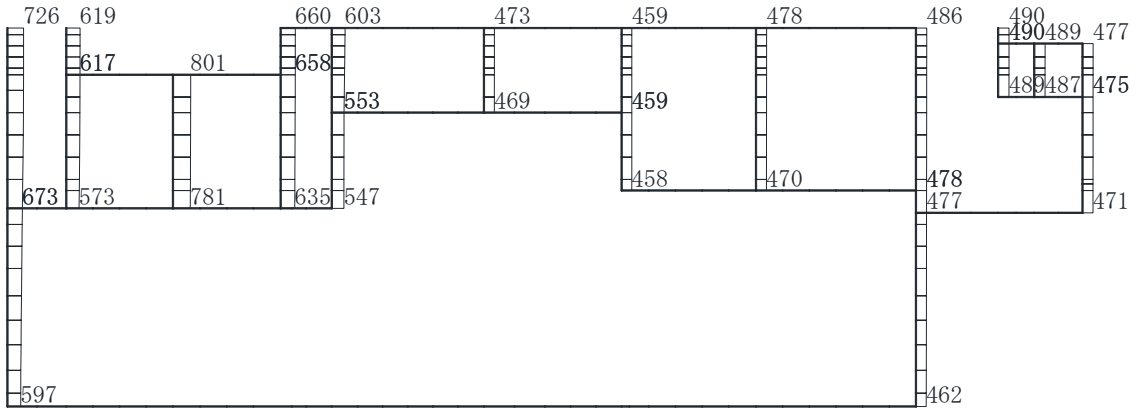
図 4-13 最大応答加速度分布図(13/17) (解析ケース②)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - D (++) 水平

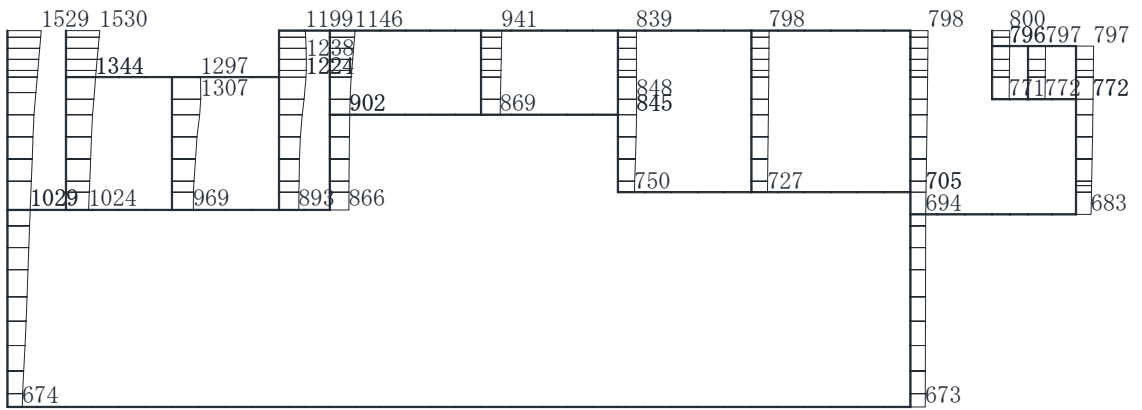


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - D (++) 鉛直

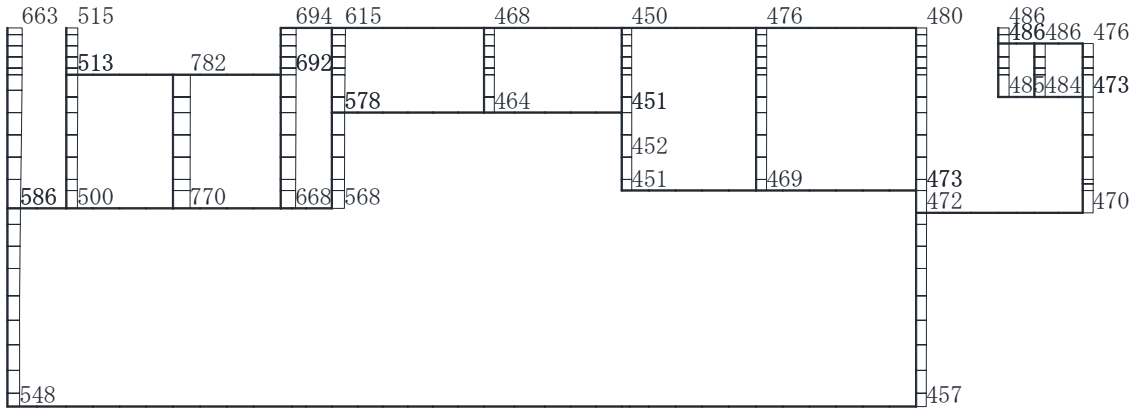
図 4-14 最大応答加速度分布図(14/17) (解析ケース③)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(a) S s - D (++) 水平

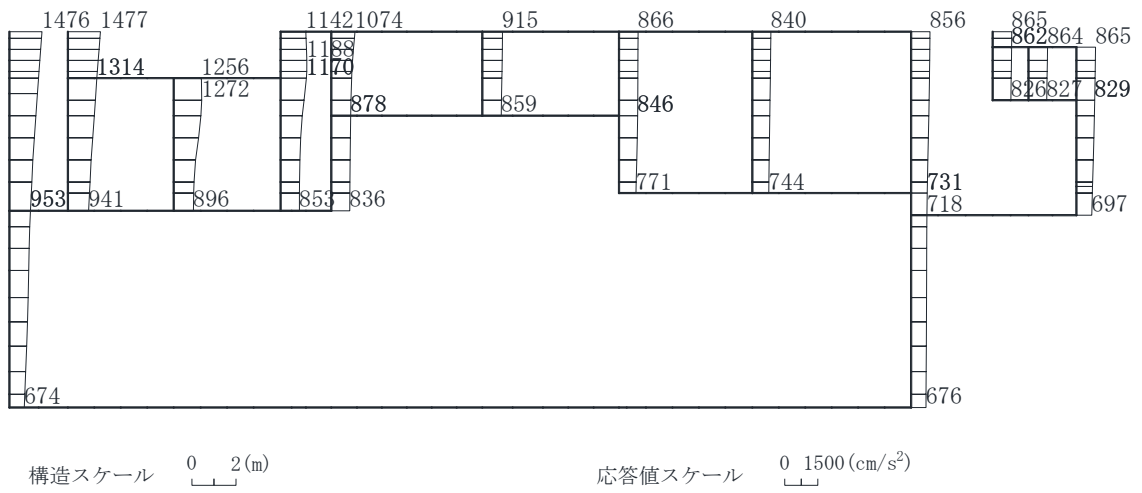


構造スケール 0 2(m)

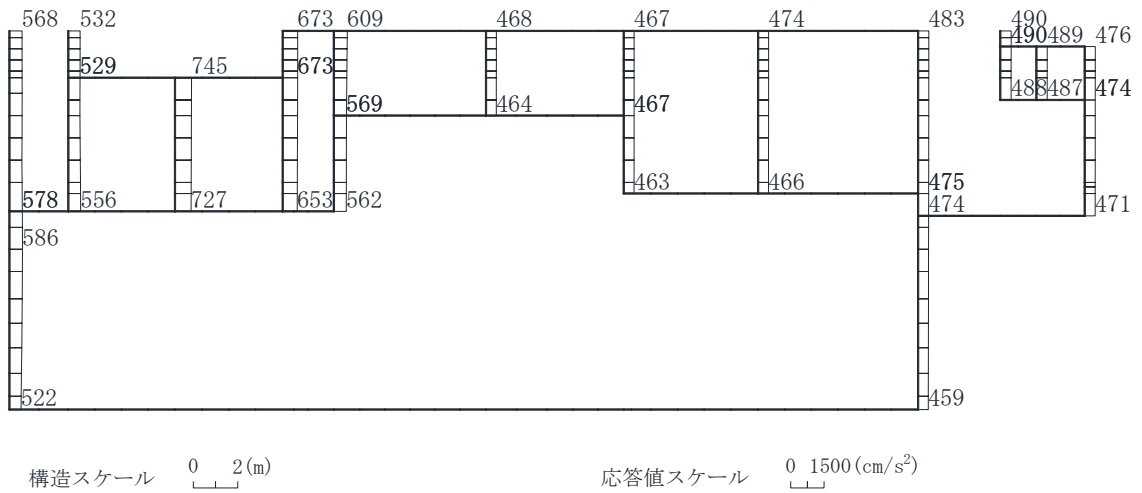
応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

(b) S s - D (++) 鉛直

図 4-15 最大応答加速度分布図 (15/17) (解析ケース④)

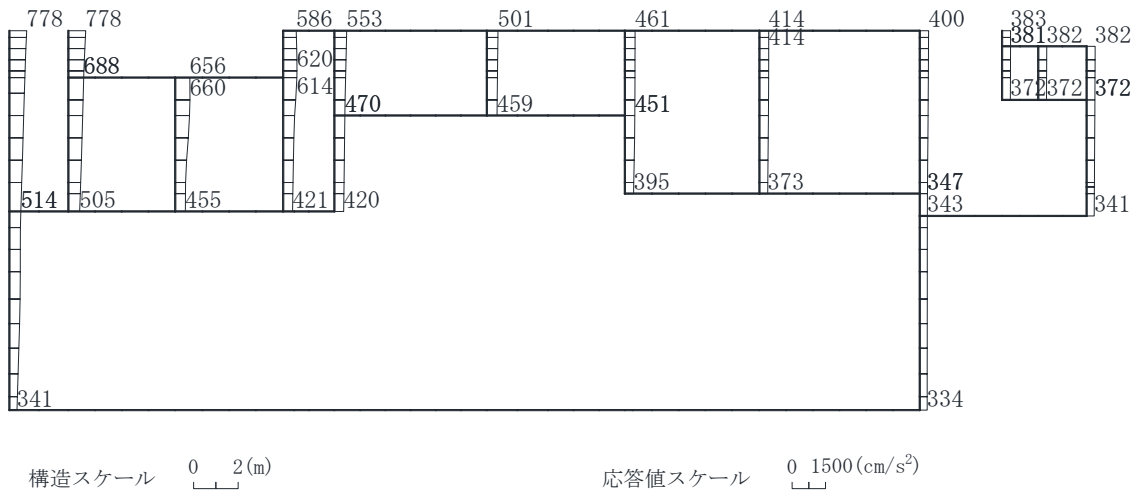


(a) S s - D (++) 水平

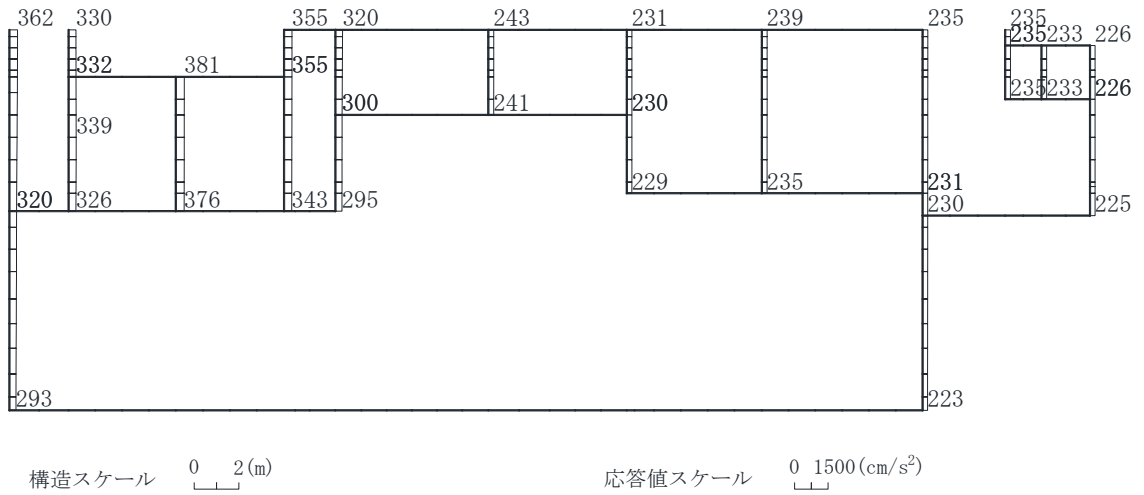


(b) S s - D (++) 鉛直

図 4-16 最大応答加速度分布図(16/17) (解析ケース⑤)



(a) S d - D (++) 水平



(b) S d - D (++) 鉛直

図 4-17 最大応答加速度分布図(17/17) (解析ケース①)