

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-12改06
提出年月日	2023年6月5日

地下水位低下設備の耐震性に係る補足説明資料

2023年6月

中国電力株式会社

## 目 次

第 1 章 揚水井戸の耐震性に係る補足説明

第 2 章 ドレーンの耐震性に係る補足説明

(別紙 1) 敷地側集水柵の耐震性に係る補足説明

(別紙 2) 屋外排水路（防波壁横断部）の耐震性に係る補足説明

(別紙 3) 揚水井戸蓋の耐震計算について

(別紙 4) 揚水井戸蓋の強度計算について

第 3 章 揚水ポンプの加振試験に関する補足説明

今回提出範囲：

本補足説明資料は、地下水位低下設備の設計方針及び耐震計算の方針に基づき耐震評価を実施する構造物について、内容を補足するものである。本補足説明資料と添付資料との関係を以下の表1に示す。

表1 補足説明資料と添付資料の関係

補足説明資料		添付資料（計算書）	添付資料（方針書）	
NS2-補-023-12 地下水位低下設備の耐震性に係る補足説明資料			VI-2-別添 4-1 地下水位低下設備の耐震計算の方針	VI-2-1-1-別添 1 地下水位低下設備の設計方針 (耐震設計の基本方針)
第1章	揚水井戸の耐震性に係る補足説明資料	VI-2-別添 4-3-5 揚水井戸の耐震性についての計算書	地下水位低下設備	地下水位低下設備
第2章	ドレーンの耐震性に係る補足説明資料	VI-2-別添 4-3-6 ドレーンの耐震性についての計算書		
(別紙1)	敷地側集水桝の耐震性に係る補足説明資料	VI-2-別添 4-3-5 揚水井戸の耐震性についての計算書 (別紙1) 敷地側集水桝の耐震性について	—	排水異常時の対応として地震時の排水経路を確保する方針を記載
(別紙2)	屋外排水路（防波壁横断部）の耐震性に係る補足説明資料	VI-2-別添 4-3-5 揚水井戸の耐震性についての計算書 (別紙2) 屋外排水路（防波壁横断部）の耐震性について	—	
—	—	VI-2-別添 4-3-5 揚水井戸の耐震性についての計算書 (別紙3) 出口側集水桝の耐震性について	—	
(別紙3)	揚水井戸蓋の耐震計算について	—	—	竜巻等により設備に影響が及ばないように蓋を設置する方針を記載
(別紙4)	揚水井戸蓋の強度計算について	—	—	
第3章	揚水ポンプの加振試験に関する補足説明資料	VI-2-別添 4-3-1 揚水ポンプの耐震性についての計算書	地下水位低下設備	地下水位低下設備
[参考] NS2-補-023-11 地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料  ・地下水流入量評価の補足事項 ・屋外排水路の設計方針の補足事項		—	—	地下水流入量を記載

(別紙 1) 敷地側集水桝の耐震性に係る補足説明資料

1. 概要

本資料は、VI-2-1-1-別添 1「地下水位低下設備の設計方針」において、地震時に屋外排水路の排水異常により敷地内に地下水が溢れた場合の対応として、敷地側集水桝、屋外排水路（防波壁横断部）及び出口側集水桝の耐震性を確保することで、海までの排水経路を確保する方針としている。このうち、敷地側集水桝について、基準地震動  $S_s$  による地震動に対する耐震評価を実施し、排水可能であることを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

敷地側集水桝の設置位置図を図 2-1 に示す。

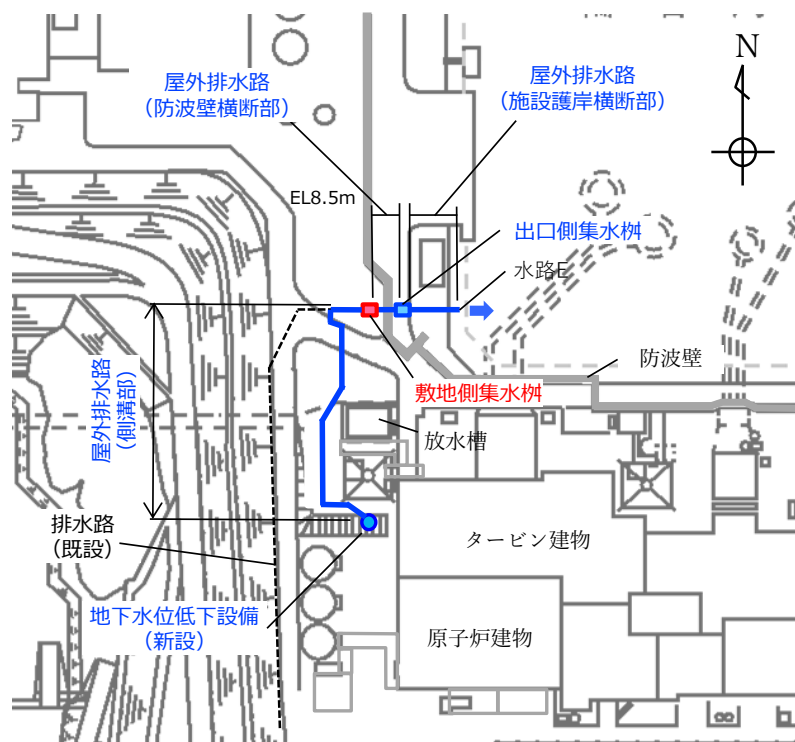


図 2-1 敷地側集水桝の設置位置図

## 2.2 構造概要

敷地側集水桝は、屋外排水路の集水桝であり、内空 1.0m×2.4m、壁厚 0.8m、高さ約 6m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）及び改良地盤により周囲を埋め戻し、MMR を介して岩盤に支持されている。また頂部には、屋外排水路（側溝部）が損傷し、地表面に地下水が溢れ出した場合でも、確実に集水することができるよう、グレーチングを設置する。なお、本集水桝の開口部周辺には、「コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2012年制定）」に基づき、開口により配置できなくなった鉄筋について、必要な鉄筋間隔を確保した上で、鉛直断面及び水平断面において所要鉄筋量を満足するように、開口部の周辺に配置する。

敷地側集水桝の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4、地盤への支持構造を図 2-5 に示す。

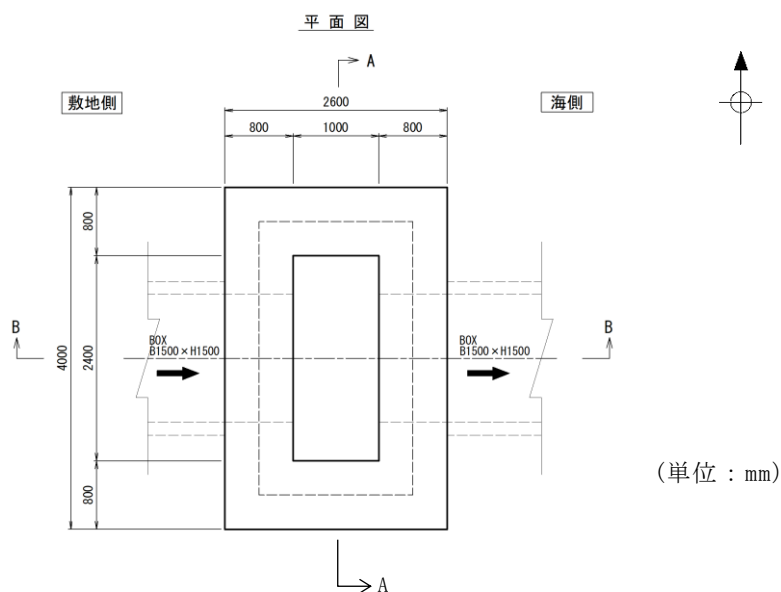
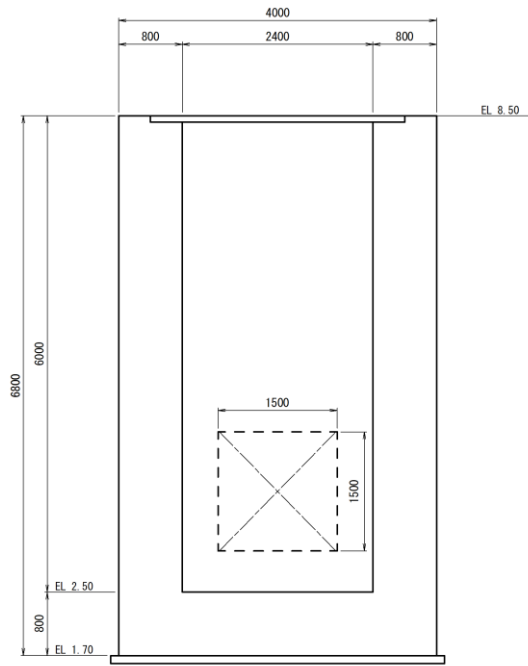


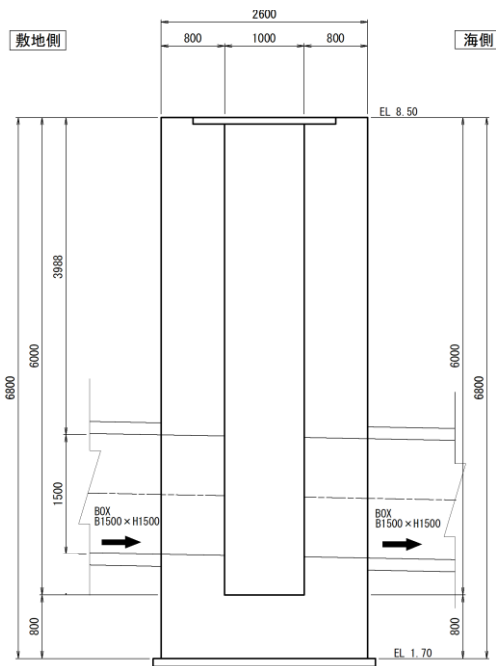
図 2-2 敷地側集水桝の概略平面図



(単位：mm)

(A-A断面)

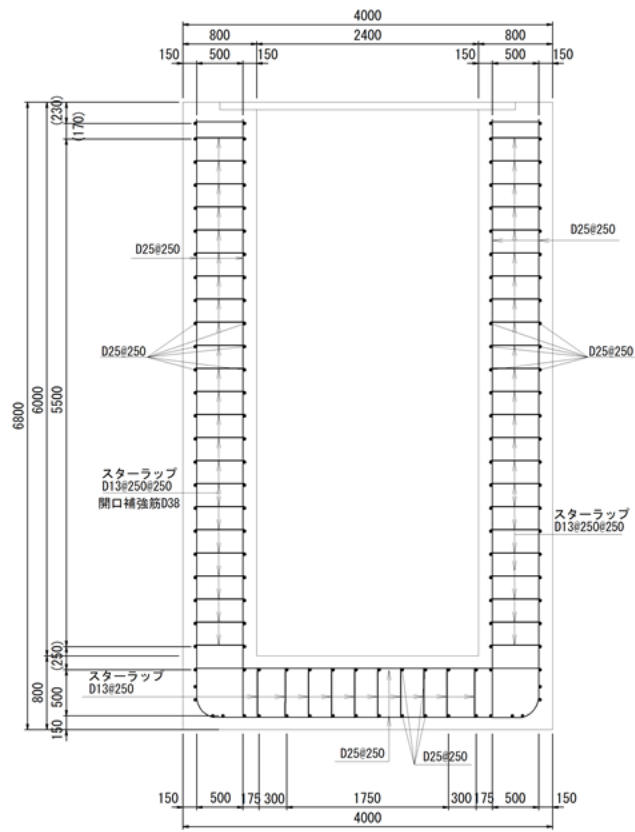
図 2-3(1) 敷地側集水枡の概略断面図



(単位：mm)

(B-B断面)

図 2-3(2) 敷地側集水枡の概略断面図



(A-A断面)

図 2-4 敷地側集水桝の概略配筋図

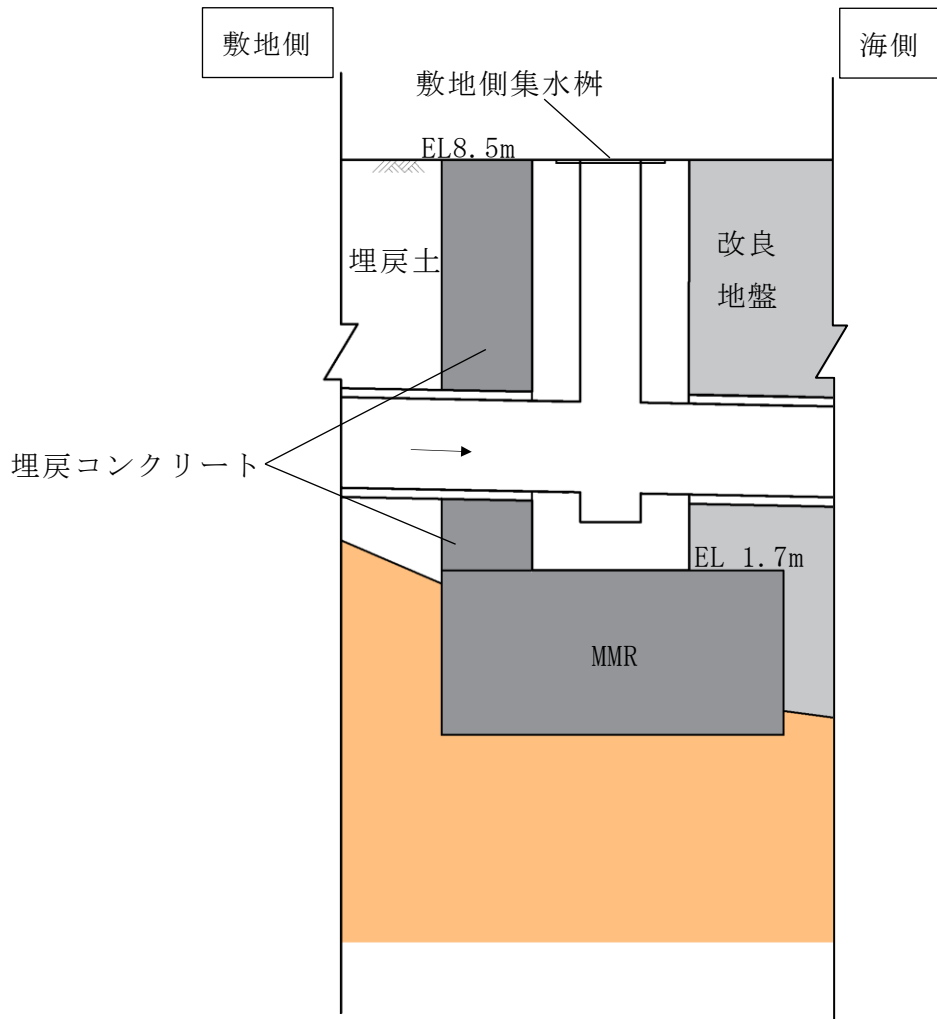


図 2-5 敷地側集水桝の地盤への支持構造



### 2.3 評価方針

敷地側集水桝の耐震評価は、基準地震動  $S_s$ （6波）による1次元地震応答解析により算定した設計用地震力に対して排水断面を確保することを確認するため、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査を実施する。また、基礎地盤の支持性能評価を実施する。

基準地震動  $S_s$  を対象とした地震応答解析により敷地側集水桝位置での変位を抽出する。また、フレーム解析に用いる地盤ばね設定のため地盤の剛性を設定する。

次に、「水道施設設計指針（（社）日本水道協会，2012年）」及び「水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年）」に基づき、敷地側集水桝の側壁について鉛直断面及び水平断面を対象に線形はり要素でモデル化し、応答変位法によるフレーム解析を実施する。常時及び地震荷重から算定した断面力に基づき発生応力を算出し、許容限界以下であることを確認する。底版については、四辺固定版モデルとして算定した断面力に基づき発生応力を算出し、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、最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

敷地側集水桝の耐震評価フローを図2-6に示す。

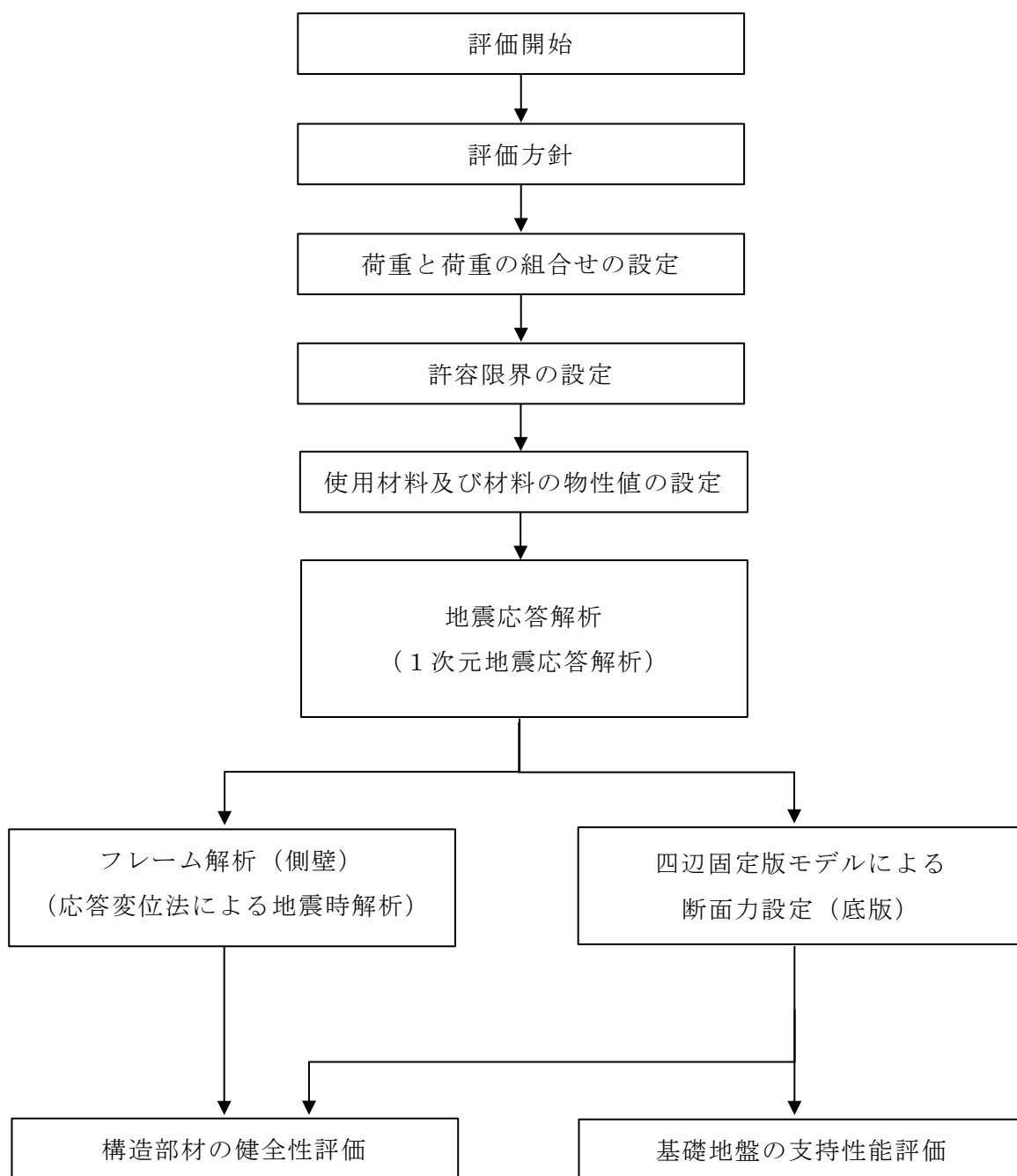


図 2-6 敷地側集水柵の耐震評価フロー

## 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）（以下「コンクリート標準示方書」という。）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2012年制定）
- ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会 平成14年3月）（以下「道路橋示方書」という。）
- ・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）
- ・水道施設設計指針（（社）日本水道協会，2012年）
- ・水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年）（以下「水道施設耐震工法指針」という。）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面及び評価対象部位

評価対象断面は、耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きく弱軸方向となる短辺方向（B－B断面）とする。評価対象部位は、敷地側集水桝を構成する側壁及び底版とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

##### 3.2.1 荷重の設定

敷地側集水桝の耐震評価には、以下の荷重を用いる。

##### (1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重及び蓋荷重を考慮する。

##### (2) 積載荷重（P）

積載荷重として、静止土圧、外水圧、内水圧及び積雪荷重を考慮する。

##### (3) 地震荷重（ $S_s$ ）

地震荷重として、基準地震動 $S_s$ による地震力を考慮する。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に示す。また、作用荷重概念図を図 3-1 に示す。  
 なお、作用荷重のうち、打ち消しあう方向に作用するものは表示しない。

表 3-1(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	G + P + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重

表 3-1(2) 荷重の組合せ

種別	荷重		モデル		算定方法の概要
			側壁	底版	
永久荷重 (常時荷重)	固定荷重	躯体自重	-*	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		蓋荷重	-*	○	蓋の重量に基づいて算定する。
	積載荷重	静止土圧	○	-	地表からの深度に応じて設定する。
		外水圧	○	○	地下水位に応じた静水圧として考慮する。地下水の密度を考慮する。
		内水圧	○	○	敷地側集水枴満水時の水位 (EL 8.5m) の内水圧を考慮する。地下水の密度を考慮する。
		積雪荷重	○	○	地表面に考慮する。
	偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	-	基準地震動 S <sub>s</sub> による慣性力を考慮する。
鉛直地震動		-	○		
動水圧		○	○	水位条件及び密度は、永久荷重の外水圧及び内水圧と同様とする。	
地震時土圧		○	-	基準地震動 S <sub>s</sub> による地震応答解析により設定する。	

注記\* : 躯体自重及び蓋荷重を考慮しないこととすると、鉛直方向の軸方向力(圧縮)が発生せず、曲げ耐力が低減することから、曲げ・軸力系の破壊について安全側の評価が可能となる。

- (1) 外水圧  
地下水位を地表面(EL 8.5m)に設定する。地下水の荷重は $9.81\text{kN/m}^3$ とする。
- (2) 内水圧  
敷地側集水桝内の内水圧水頭は、満水時の水位(EL 8.5m)の内水位とする。地下水位の荷重は $9.81\text{kN/m}^3$ とする。
- (3) 積雪荷重  
積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等における損傷の防止に関する基本方針」に基づき、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により、積雪量1cmごとに $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。
- (4) 動水圧  
側壁では、Westergaard式をもとに、地震応答解析における敷地側集水桝下面と上面の相対変位最大時刻の水平震度に応じた動水圧を考慮する。なお、動水圧は、実際は地震時土圧の抗力となる向きに発生するが、保守的に、地震時土圧の作用方向と同じ方向に作用させる。  
また、底版では、底版の天端標高における静水圧に、地震応答解析における敷地側集水桝設置範囲の最大鉛直震度を乗じたものを、動水圧として考慮する。
- (5) 水平地震動  
地震応答解析における敷地側集水桝下面と上面の相対変位最大時刻の水平震度に応じた水平地震動(慣性力)を考慮する。なお、水平地震動(慣性力)は、実際は地震時土圧の抗力となる向きに発生するが、保守的に、地震時土圧の作用方向と同じ方向に作用させる。
- (6) 鉛直地震動  
底版では、地震応答解析における敷地側集水桝設置範囲の最大鉛直震度と躯体自重を乗じたものを、鉛直地震動(慣性力)として考慮する。

(7) 地震時土圧

側壁（鉛直断面）に作用させる地震時土圧は、水道施設耐震工法指針に基づき、地盤変位と地盤ばね定数を用いて、下式により算出する。

$$P_H = K_H \cdot \delta$$

ここに、

$P_H$  : 敷地側集水柵前面に作用する地盤変位による荷重 (kN/m)

$K_H$  : 敷地側集水柵前面の水平ばね定数 (kN/m<sup>2</sup>)

$\delta$  : 敷地側集水柵底版中心と上端の地盤変位の相対変位最大時刻の変位 (m)

また、側壁（水平断面）に作用させる地震時土圧は、水道施設耐震工法指針に基づき、下式により算出する。

$$w_R = (\Delta U_h - \delta_z) \cdot K$$

ここに、

$w_R$  : 水平断面の単位面積あたりの地盤反力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\Delta U_h$  : 地表面からの深さ  $z$  (m)における地盤の相対変位 (m)

$$\Delta U_h = U_{h2} - U_{h1}$$

$U_{h2}$  : 地表面からの深さ  $z$  (m)における地盤の水平変位振幅 (m)

(時刻は底版下面と上面の相対変位最大時刻)

$U_{h1}$  : 敷地側集水柵底版中心における地盤の水平変位振幅 (m)

(時刻は底版下面と上面の相対変位最大時刻)

$\delta_z$  : 鉛直断面の計算結果による地表面からの深さ  $z$  (m)における部材変位 (m)

$K$  : 地表面からの深さ  $z$  (m)における単位面積あたりの地盤ばね定数 (kN/m<sup>3</sup>)

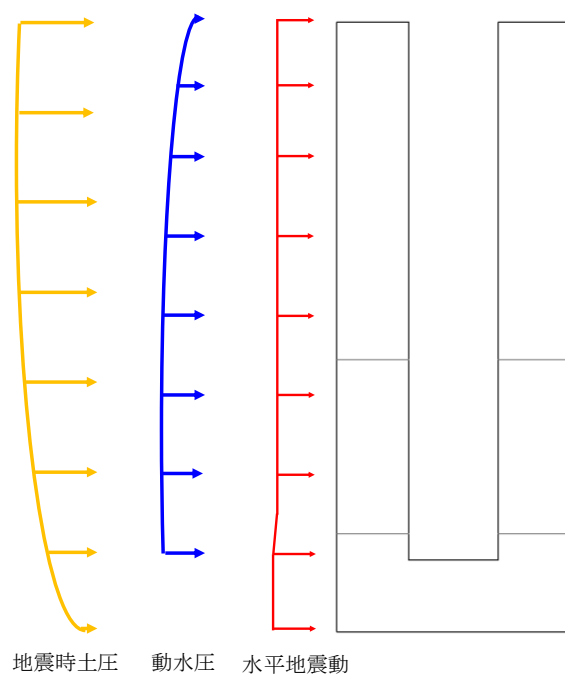


図 3-1(1) 作用荷重概念図（側壁（鉛直断面））

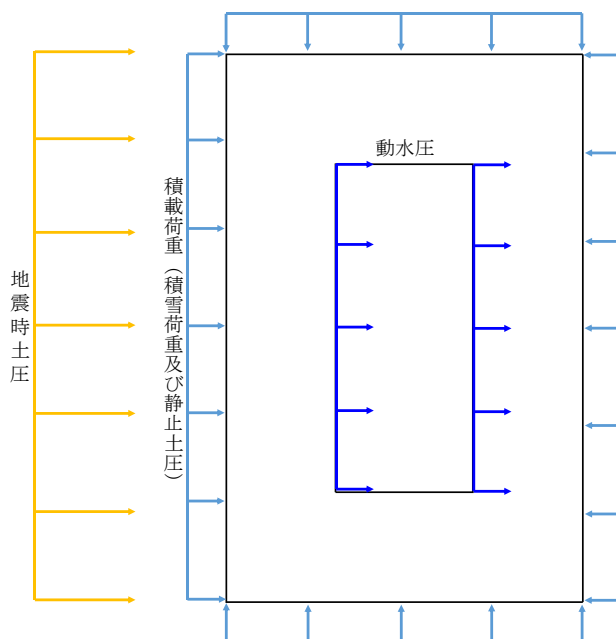


図 3-1(2) 作用荷重概念図（側壁（水平断面））



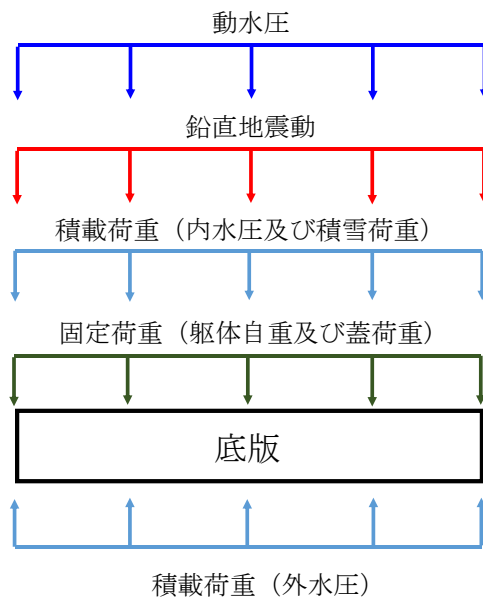


図 3-1(3) 作用荷重概念図 (底板の四辺固定版)

### 3.3 許容限界

敷地側集水桝の耐震評価は許容応力度法による照査を行う。構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、短期許容せん断応力度又は短期許容せん断力とする。また、基礎地盤の支持性能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、MMRの極限支持力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容限界を表3-2に、基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表3-3に示す。

短期許容せん断力は、表3-2に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

$$V_a = V_c + V_s$$

ここに、 $V_a$  : 短期許容せん断力

$V_c$  : コンクリートが分担するせん断力

$V_s$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断力

$$V_c = \frac{1}{2} \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$$

ここに、 $\tau_{a1}$  : コンクリートの短期許容せん断応力度

$b_w$  : 部材の有効幅

$d$  : 部材の有効高さ

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で  $d/1.15$  とする。

ただし、せん断補強筋に期待しない場合は、許容限界をコンクリートの短期許容せん断応力度とする。

$$V_s = \left\{ A_w \sigma'_{sa} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z$$

ここに、 $A_w$  : 区間  $s$  におけるせん断補強筋の総断面積

$\sigma'_{sa}$  : 鉄筋の短期許容引張応力度

$\alpha$  : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

$s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔

ただし、せん断補強筋を有さない場合は、 $V_s=0$

表 3-2 構造部材の健全性に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート* f'c <sub>k</sub> = 24 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	13.5
	短期許容せん断応力度 $\tau_{a1}$	0.67
鉄筋* SD345	短期許容引張応力度 $\sigma_{sa}$ (曲げ軸力) *	294

注記\* : コンクリート標準示方書

表 3-3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	MMR	18.0

### 3.4 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-4 に、使用材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋	SD345

表 3-5 使用材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
構造物	2.50×10 <sup>4</sup>	24.0*	0.2

注記\* : 鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

### 3.5 地震応答解析

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評価したものを用いる。敷地側集水桝は、埋戻コンクリート及び改良地盤に囲まれており、本構造物の周辺には、液状化対象層が存在しないため、1次元地震応答解析における応答解析は、全応力解析とする。集水桝周辺の地盤は改良地盤③としてモデル化する。

解析には解析コードは「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。

1次元地震応答解析の地盤モデルを図3-2に示す。

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。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、地表面（EL 8.5m）に設定する。

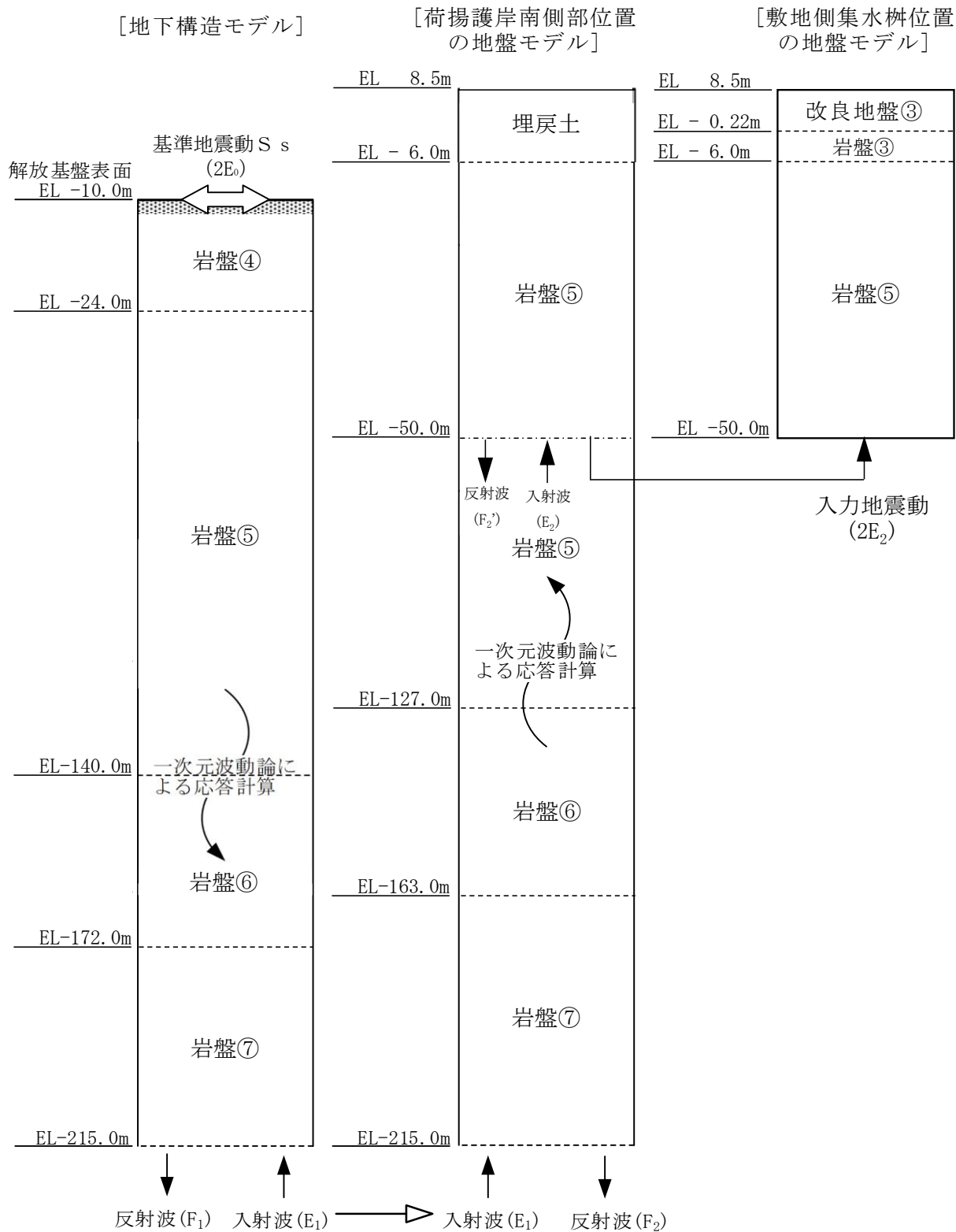


図 3-2 1次元地震応答解析用地盤モデル

### 3.6 地震応答解析結果

側壁の評価に使用する設計用地震力として、地震応答解析結果より得られた、各ケースにおける最大相対変位分布、最大相対変位発生時刻での水平加速度分布を図3-3に示す。相対変位は地震時土圧を、水平加速度は水平地震動（慣性力）を算出するため使用する。相対変位最大となった基準地震動 Ss-D により応答変位法に使用する相対変位を設定する。

また、底版及び基礎地盤の支持性能の評価に使用する設計用地震力は、1次元地震応答解析における集水桝位置の全時刻の最大応答加速度（鉛直）に基づき設定する。底版及び基礎地盤の支持性能の評価に用いる設計用地震力を表3-6に示す。

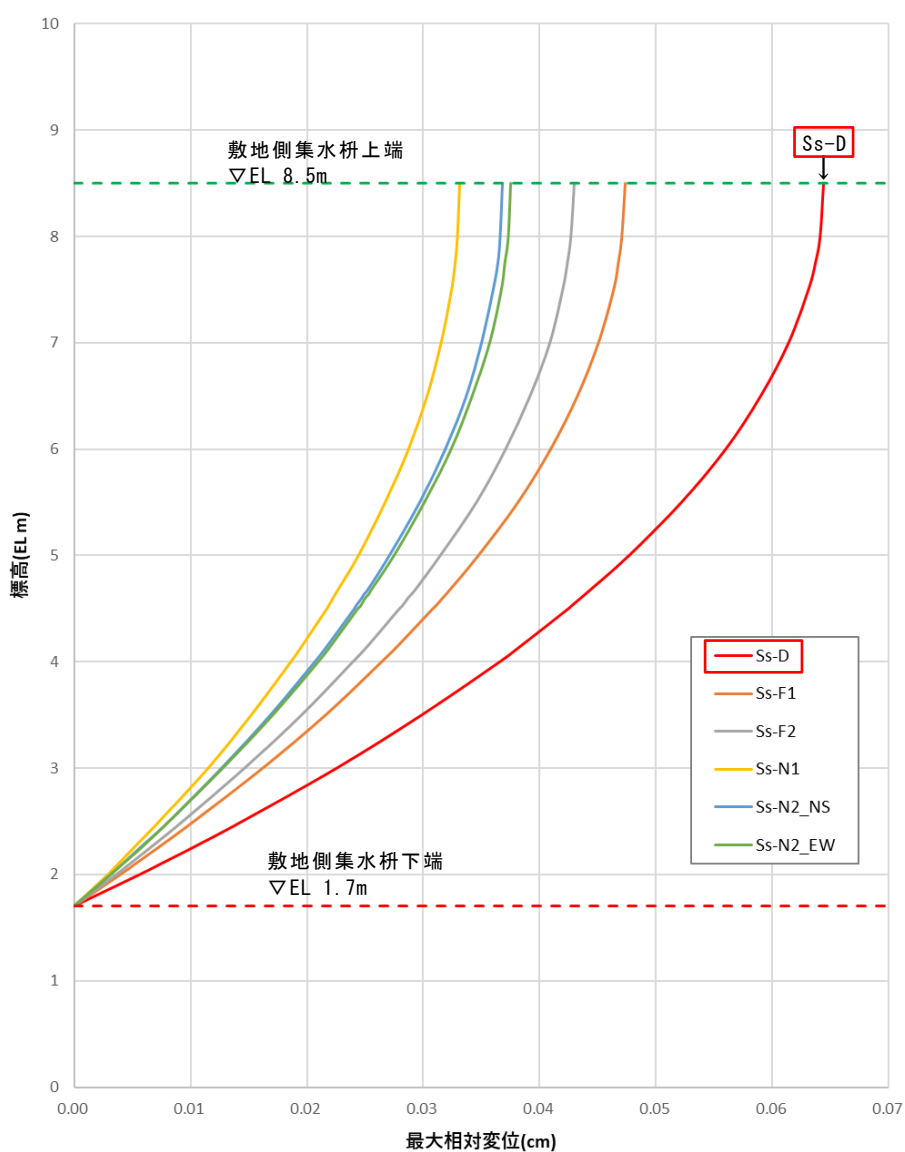


図3-3(1) 地震応答解析結果（最大相対変位分布）

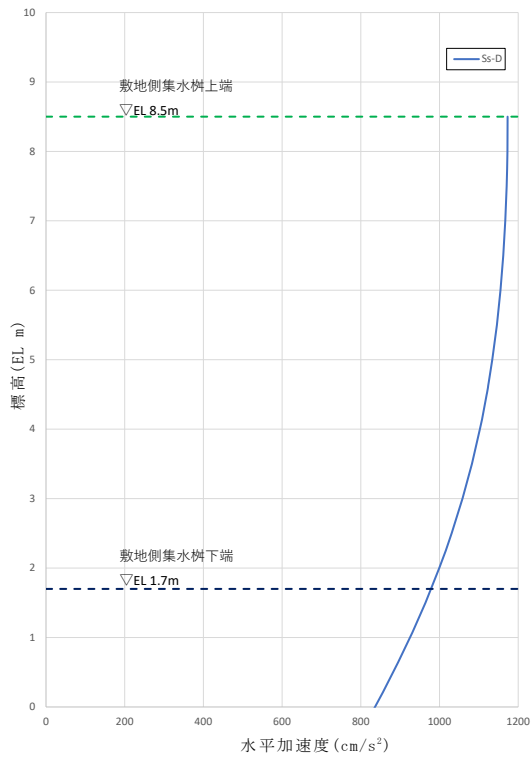


図 3-3(2) 地震応答解析結果（最大相対変位発生時刻での水平加速度分布）

表 3-6 敷地側集水樹の底版及び基礎地盤の評価に用いる設計用地震力

抽出位置	設計用地震力 (鉛直)
敷地側集水樹	0.67

#### 4. 評価方法

##### 4.1 敷地側集水桝（側壁）

側壁を線形はり要素でモデル化し、1次元地震応答解析を踏まえて設定した荷重を作用させ、フレーム解析を実施する。フレーム解析は、鉛直断面及び水平断面に分けて実施する。水平断面位置は、水道施設耐震工法指針に基づき、常時の土圧作用が最大となる集水桝最下部を照査断面位置とする。

側壁には開口部が存在するが、「コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会、2012年）」に基づき、所要鉄筋量を満足するように開口補強筋を配置するため、開口部以外の断面と同様の諸元を設定する。

鉛直断面のフレーム解析に用いる地盤ばねは、道路橋示方書に示される地盤反力係数を基に設定する。水平断面のフレーム解析においては、地盤ばねは設定せず、水道施設耐震工法指針に示される支持条件とする。

モデルに作用させる荷重のうち、地震時土圧については、応答変位法により算出する。鉛直断面のフレーム解析に使用した地盤ばね定数を表4-1に、鉛直断面及び水平断面の断面諸元を表4-2に示す。また、鉛直断面及び水平断面のフレーム解析モデルを図4-1に示す。

解析には解析コード「FREMING」及び「EMRGING」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。



表 4-1(1) フレーム解析に使用した地盤ばね定数（鉛直断面モデル，モデル前面）

(Ss-D)

節点番号	地盤ばね定数 $k_x$ 水平 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
20	4790590
19	4760016
18	4719887
17	4695046
16	4675937
15	4662561
14	4601412
13	4547908
12	4503957
11	4494403
10	4471472
9	4461918
8	4437076
7	4404591
6	4379750
5	4330067
4	4320512
3	4295671
2	4245988

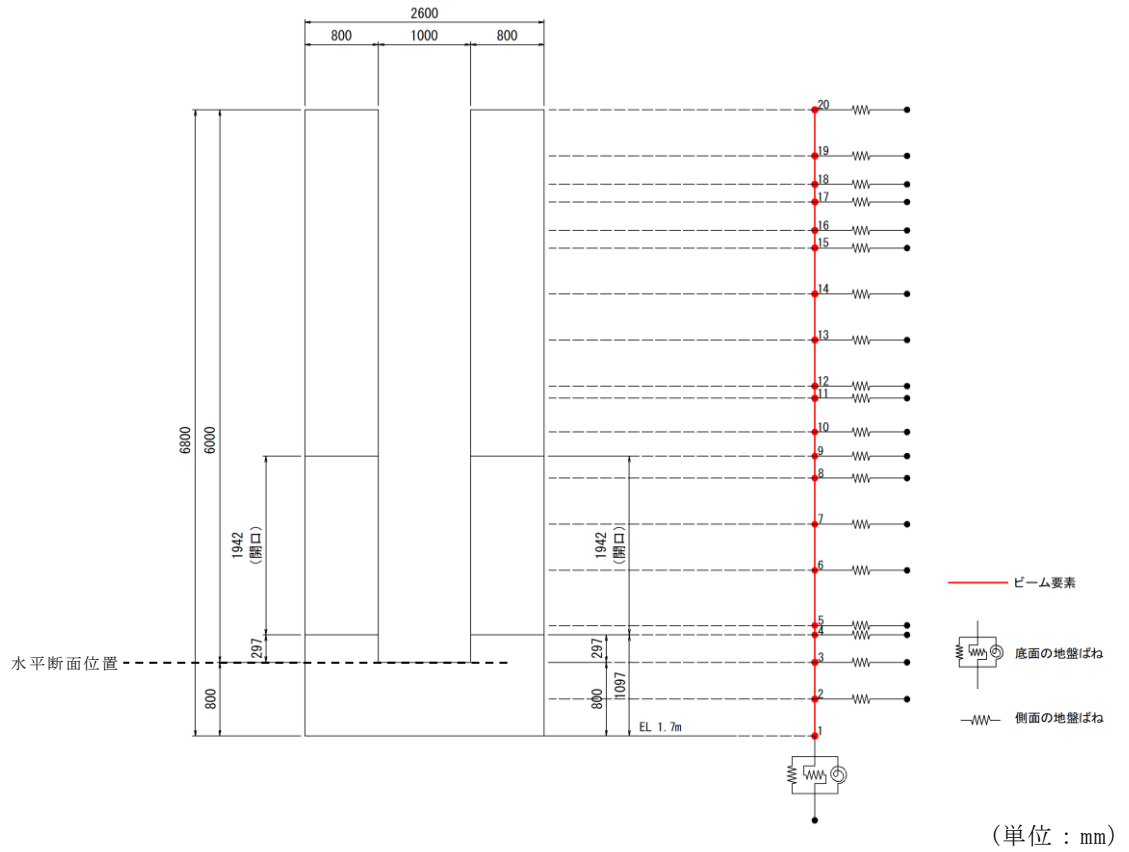
表 4-1(2) フレーム解析に使用した地盤ばね定数（鉛直断面モデル，モデル底面）

(Ss-D)

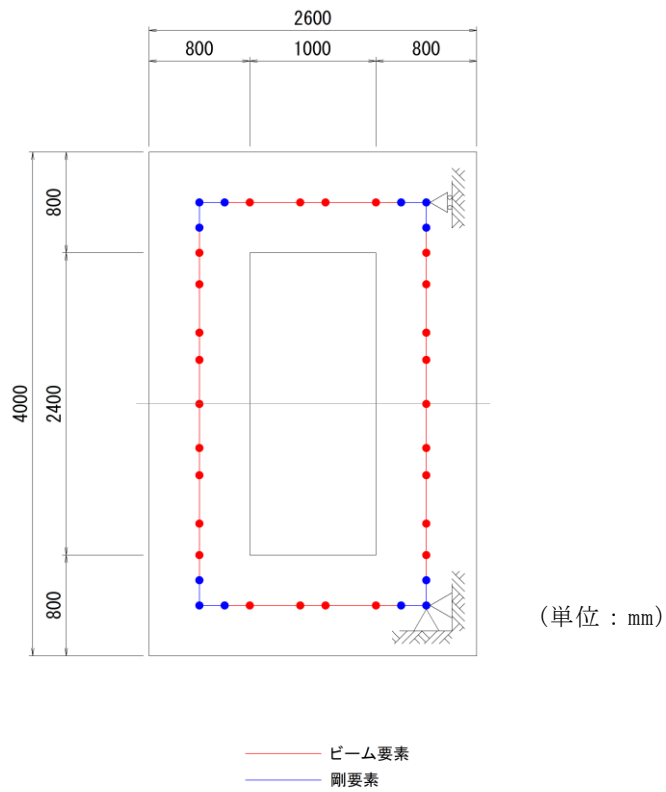
地盤ばね定数 $k_x$ 水平 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	地盤ばね定数 $k_y$ 鉛直 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	地盤ばね定数 $k_\theta$ 回転 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )
3893000	12980000	7309000

表 4-2 フレーム解析に使用した断面諸元

断面	ヤング係数 ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	断面積 ( $\text{m}^2$ )	断面2次モーメント ( $\text{m}^4$ )
鉛直断面	$2.5 \times 10^7$	8.0	5.6
水平断面	$2.5 \times 10^7$	0.8	$4.3 \times 10^{-2}$



(鉛直方向)



(水平方向)

図 4-1 フレーム解析モデル図

#### 4.2 敷地側集水桝（底版）

底版については，法線方向及び法線直交方向の側壁との結合部を固定端とする四辺固定版モデルとして鉄筋コンクリート部材の構造健全性を確認する。「3.2.2 荷重の組合せ」に示すとおり，常時荷重については，集水桝の自重，蓋荷重，外水圧，内水圧，積雪荷重を，地震荷重については，集水桝の自重による鉛直地震動（慣性力）及び内水の動水圧を考慮して，鉛直方向の合力を算定する。その合力を用いて，底版に生じる曲げモーメント及びせん断力によって応力度を算出し許容限界以下であることを確認する。底版の有効断面積は，図 4-2 で示すとおり，側壁下端部を含まないものとする。四辺固定版モデル概要図を図 4-2 に示す。

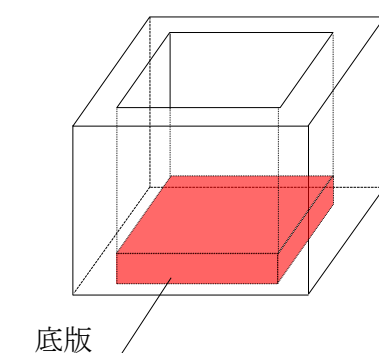


図 4-2 四辺固定版モデル概要図

#### 4.3 基礎地盤の支持性能の評価

基礎地盤の支持性能評価においては，「3.2.2 荷重の組合せ」に示すとおり，常時荷重については，集水桝の自重，蓋荷重，外水圧，内水圧，積雪荷重を，地震荷重については，集水桝の自重による鉛直地震動（慣性力）及び内水の動水圧を考慮して，鉛直方向の合力を算定する。その合力を底版面積で除すことにより接地圧を算出し，基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

5. 評価結果

5.1 構造部材の健全性に対する評価結果

5.1.1 敷地側集水桝（側壁）の鉛直断面

敷地側集水桝（側壁）の鉛直断面の曲げ軸力に対する照査結果を表 5-1 に、せん断に対する照査結果を表 5-2 に示す。また、最大照査値となる断面力図分布図を図 5-1 に示す。

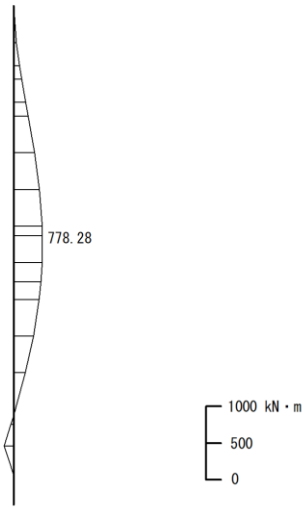
評価対象部材に発生する曲げ圧縮応力、曲げ引張応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 曲げ軸力に対する照査結果（側壁（鉛直断面））

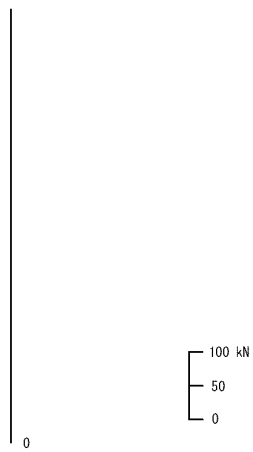
設備名称	側壁寸法 (mm)	解析 ケース	曲げ モーメント (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )		曲げ 圧縮 応力 照査値	曲げ 引張 応力 照査値
						曲げ 圧縮	曲げ 引張		
敷地側 集水桝	6800 × 4000	Ss-D	778.28	0.40	23.97	13.5	294	0.03	0.09
		Ss-F1	557.23	0.28	17.16			0.03	0.06
		Ss-F2	504.23	0.26	15.53			0.02	0.06
		Ss-N1	435.15	0.22	13.40			0.02	0.05
		Ss-N2(NS)	441.45	0.22	13.60			0.02	0.05
		Ss-N2(EW)	439.57	0.22	13.54			0.02	0.05

表 5-2 せん断力に対する照査結果（側壁（鉛直断面））

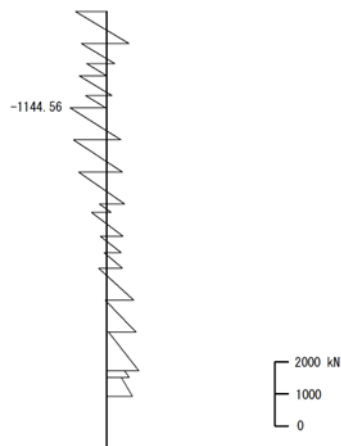
設備名称	設計基準 強度	解析 ケース	発生せん断 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
敷地側 集水桝	24N/mm <sup>2</sup>	Ss-D	0.32	0.67	0.48
		Ss-F1	0.24		0.36
		Ss-F2	0.22		0.33
		Ss-N1	0.17		0.26
		Ss-N2(NS)	0.19		0.29
		Ss-N2(EW)	0.19		0.29



(a) 曲げモーメント図



(b) 軸力図



(c) せん断力図

図 5-1 断面力図 (鉛直モデル) (Ss-D)

### 5.1.2 敷地側集水桝（側壁）の水平断面

敷地側集水桝（側壁）の水平断面の曲げ軸力に対する照査結果を表 5-3 に、せん断に対する照査結果を表 5-4 に示す。また、最大照査値となる断面力図分布図を図 5-2 に示す。

評価対象部材に発生する曲げ圧縮応力、曲げ引張応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

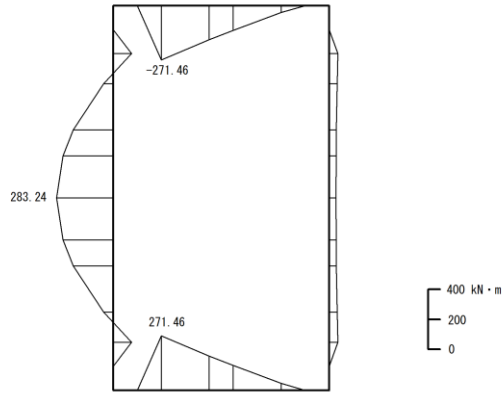
表 5-3 曲げ軸力に対する照査結果（側壁（水平断面））

設備名称	側壁寸法 (mm)	解析 ケース	曲げ モーメント (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )		曲げ 圧縮 応力 照査値	曲げ 引張 応力 照査値
						曲げ 圧縮	曲げ 引張		
敷地側 集水桝	6800 × 4000	Ss-D	283.24	5.00	159.47	13.5	294	0.37	0.55
		Ss-F1	84.45	1.47	41.20			0.11	0.15
		Ss-F2	55.22	0.95	23.05			0.08	0.08
		Ss-N1	76.76	1.33	36.36			0.10	0.13
		Ss-N2(NS)	73.01	1.27	34.85			0.10	0.12
		Ss-N2(EW)	72.29	1.26	34.57			0.10	0.12

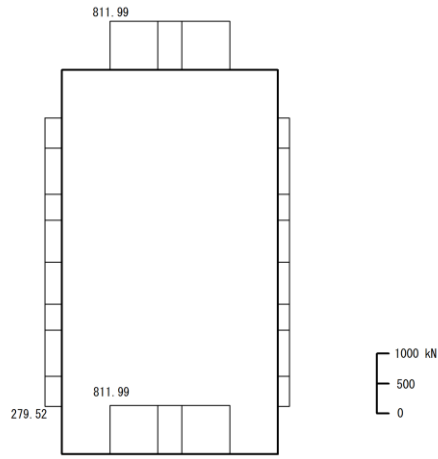
表 5-4 せん断力に対する照査結果（側壁（水平断面））

設備名称	設計基準 強度	解析 ケース	発生せん断力 (kN)	短期許容せん断力* (kN)	照査値
敷地側 集水桝	24N/mm <sup>2</sup>	Ss-D	495.09	546.45	0.91
		Ss-F1	153.00		0.28
		Ss-F2	104.21		0.20
		Ss-N1	140.24		0.26
		Ss-N2(NS)	132.61		0.25
		Ss-N2(EW)	131.12		0.24

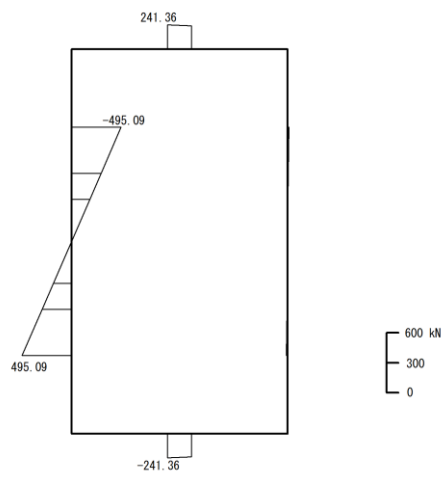
注記\*：せん断補強筋を考慮した値



(a) 曲げモーメント図



(b) 軸力図



(c) せん断力図

図 5-2 断面力図 (水平モデル) (Ss-D)

### 5.1.3 敷地側集水桝（底版）

敷地側集水桝（底版）の曲げ軸力に対する照査結果を表 5-5 に、せん断に対する照査結果を表 5-6 に示す。

評価対象部材に発生する曲げ圧縮応力、曲げ引張応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-5 曲げ軸力に対する照査結果（底版）

設備名称	曲げ モーメント (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ 引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )		曲げ 圧縮 応力 照査値	曲げ 引張 応力 照査値
				曲げ 圧縮	曲げ 引張		
敷地側 集水桝	14.65	0.29	12.19	13.5	294	0.03	0.05

表 5-6 せん断力に対する照査結果（底版）

設備名称	設計基準 強度	発生せん断 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
敷地側 集水桝	24N/mm <sup>2</sup>	0.14	0.67	0.21



## 5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 5-7 に示す。

基礎地盤の支持力に対する照査を行った結果、最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-7 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

設備名称	最大接地圧 (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 (N/mm <sup>2</sup> )	支持力照査値
敷地側集水柵	0.2	18.0	0.02

(別紙 2) 屋外排水路 (防波壁横断部) の耐震性に係る補足説明

1. 概要

本資料は、VI-2-1-1-別添 1「地下水位低下設備の設計方針」において、地震時に屋外排水路の排水異常により敷地内に地下水が溢れた場合の対応として、敷地側集水桝、屋外排水路 (防波壁横断部) 及び出口側集水桝の耐震性を確保することで、排水経路を確保する方針としている。このうち、屋外排水路 (防波壁横断部) について、基準地震動  $S_s$  による地震動に対する耐震評価を実施し、排水可能であることを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

屋外排水路 (防波壁横断部) の設置位置図を図 2-1 に示す。

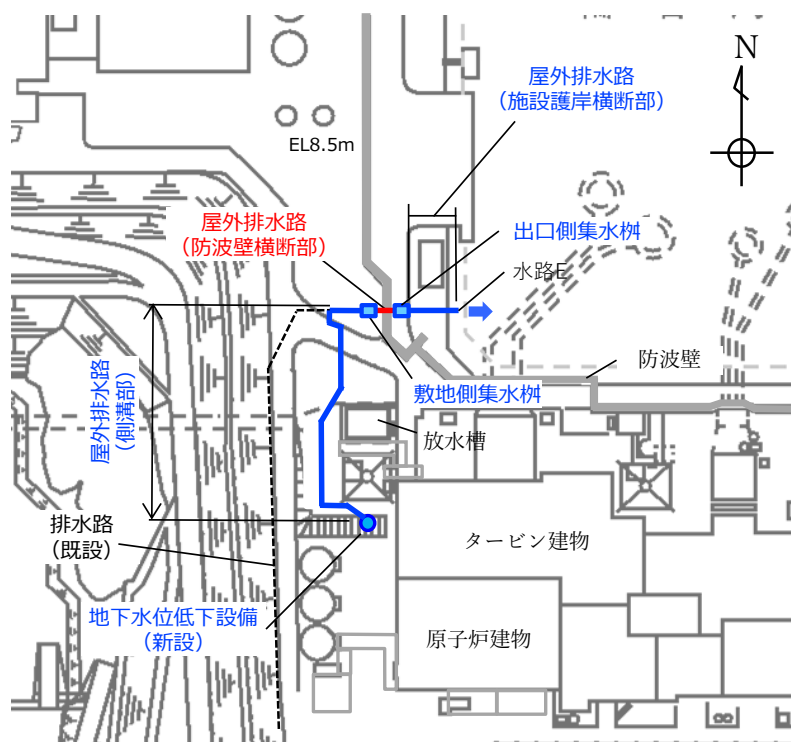


図 2-1 屋外排水路 (防波壁横断部) の設置位置図

## 2.2 構造概要

屋外排水路（防波壁横断部）は、高さ 1.5m（水路幅 1.5m×延長約 6m）及び高さ 2.0m（水路幅 2.0m×延長約 13m）の鉄筋コンクリート造（プレキャストコンクリート）の地中構造物であり、改良地盤で支持されている。

屋外排水路（防波壁横断部）の概略平面図を図 2-2 に、概略縦断図を図 2-3 に、概略断面図を図 2-4 に、概略配筋図を図 2-5 に示す。

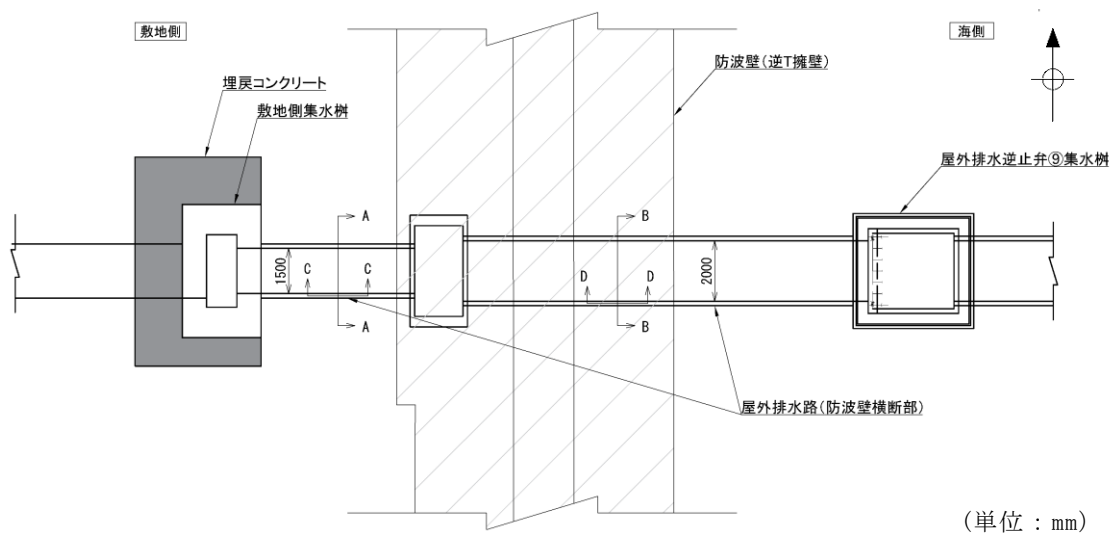


図 2-2 屋外排水路（防波壁横断部）の概略平面図

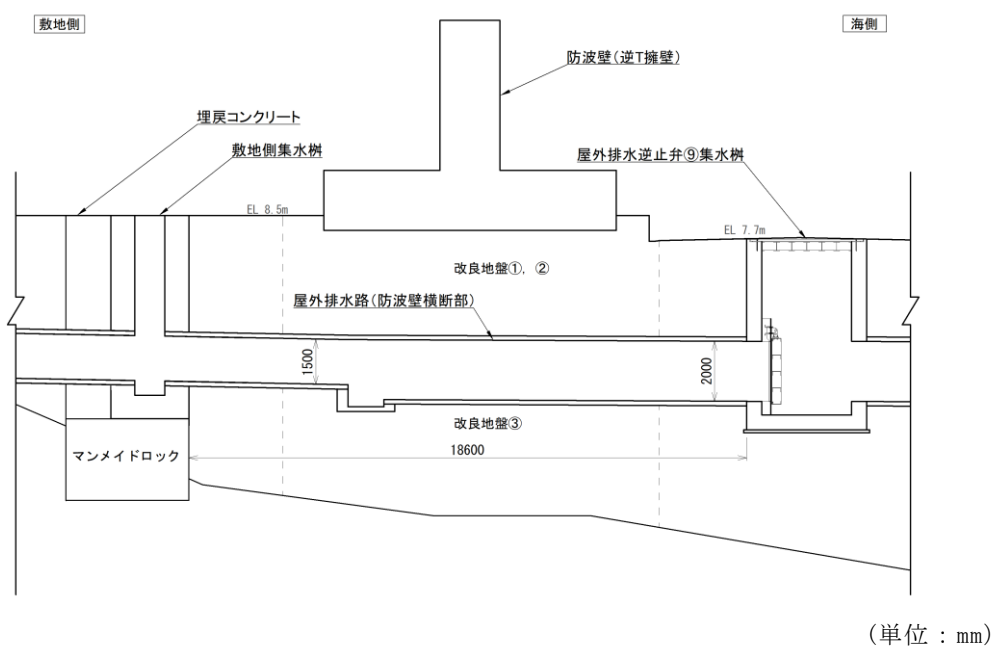
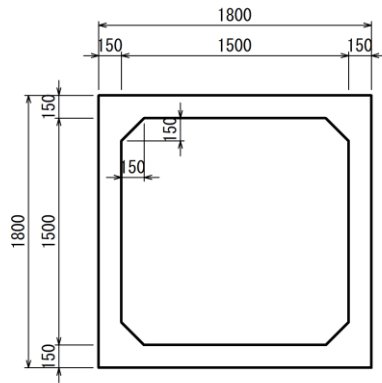


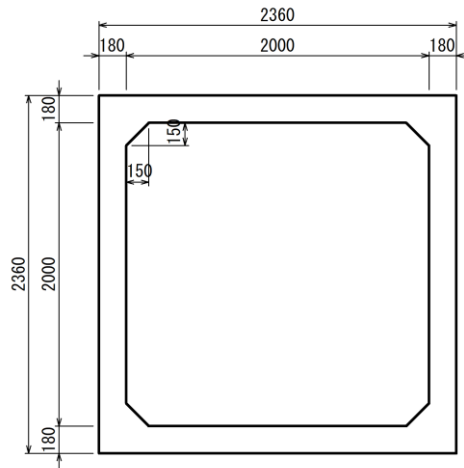
図 2-3 屋外排水路（防波壁横断部）の概略縦断図



(単位 : mm)

(A-A断面 : □1500×1500)

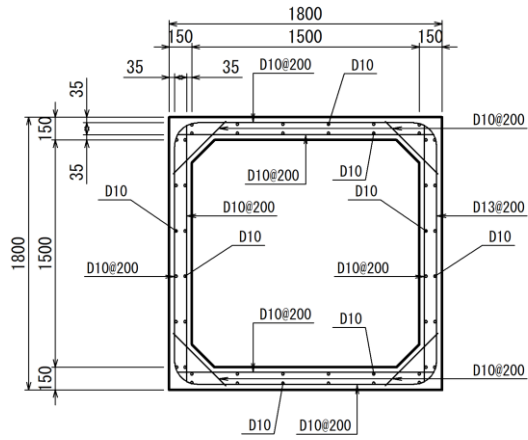
図 2-4(1) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図



(単位 : mm)

(B-B断面, □2000×2000)

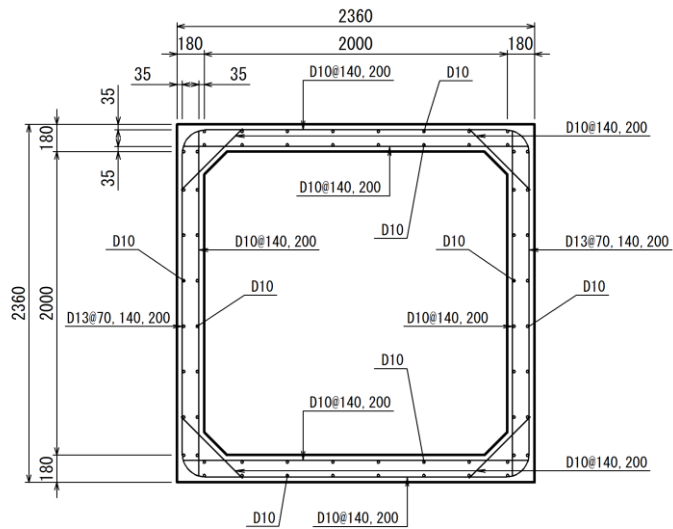
図 2-4(2) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図



(単位 : mm)

(A-A断面 : □1500×1500)

図 2-5(1) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略配筋図



(単位 : mm)

(B-B断面, □2000×2000)

図 2-5(2) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略配筋図

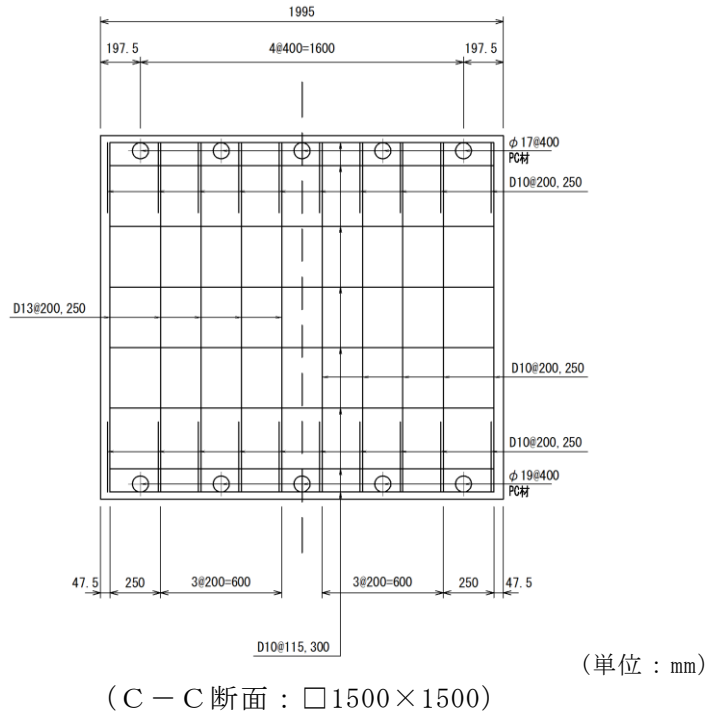


図 2-5(3) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略配筋図

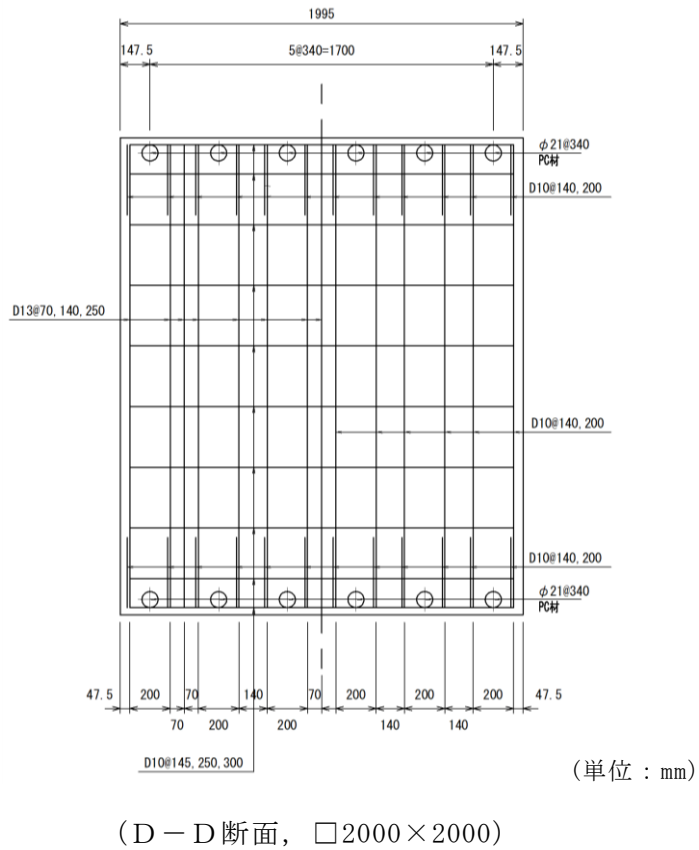


図 2-5(4) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略配筋図

### 2.3 評価方針

屋外排水路（防波壁横断部）の耐震評価は、基準地震動  $S_s$ （6波）による1次元地震応答解析により算定した設計用地震力に対して排水断面を確保することを確認するため、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査を実施する。また、基礎地盤の支持性能評価を実施する。

基準地震動  $S_s$  を対象とした地震応答解析により屋外排水路（防波壁横断部）位置での変位及び慣性力を抽出するとともに、フレーム解析に用いる地盤ばね設定のため収束剛性を算出する。

次に、屋外排水路（防波壁横断部）を線形はり要素にてモデル化し、応答変位法によるフレーム解析を実施する。常時及び地震荷重から算定した断面力に基づき発生応力を算出し、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、最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

屋外排水路（防波壁横断部）の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

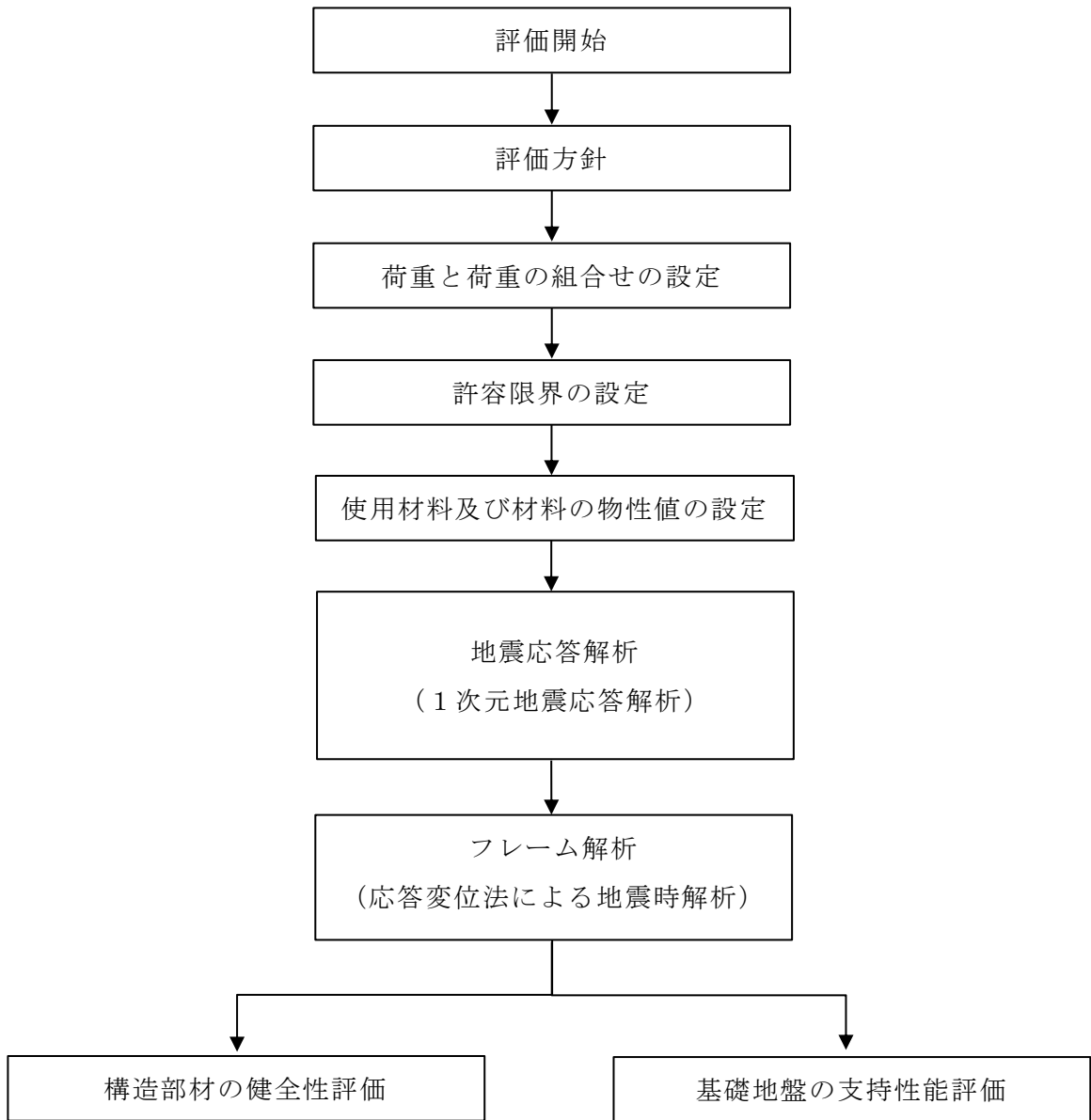


図 2-6 屋外排水路（防波壁横断部）の耐震評価フロー



## 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）（以下「コンクリート標準示方書」という。）
- ・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）（以下「道路橋示方書」という。）
- ・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）
- ・水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年）
- ・水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2022年）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面及び評価対象部位

屋外排水路（防波壁横断部）は、内空寸法及び壁厚が異なるが、大部分が防波壁（逆T擁壁）の直下であり、周囲は全線にわたり改良地盤に囲まれている。

屋外排水路（防波壁横断部）の平面図を図3-1に、縦断図を図3-2に、評価対象断面の選定の考え方を表3-1に示す。

屋外排水路（防波壁横断部）の設置状況から、防波壁の荷重の影響を受け、耐震評価上、厳しくなると考えられる断面として、②断面、③断面及び④断面の3断面が抽出される。

この3断面うち、②断面（□1500mm）及び④断面（□2000mm）については、内空寸法及び壁厚が異なるものの、構造及び材料が同仕様である。このため、内空寸法が大きく、岩盤上面の深さが深い位置にある④断面（□2000mm）を評価対象断面とする。

また、③断面（旧集水柵）については、柵構造であり延長も短く、壁厚も比較的大きいため、地震時に排水経路が閉塞に至るような変形・破壊は生じないと考える。

評価対象部位については、屋外排水路を構成する側壁、底版及び頂版とする。

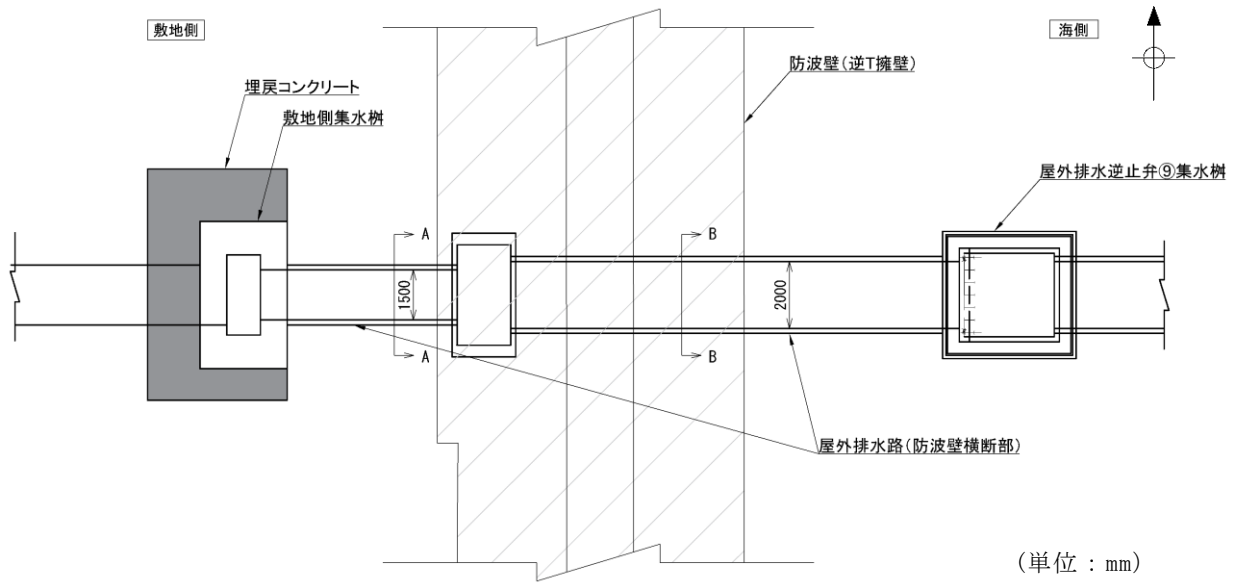


図 3-1 屋外排水路（防波壁横断部）の平面図

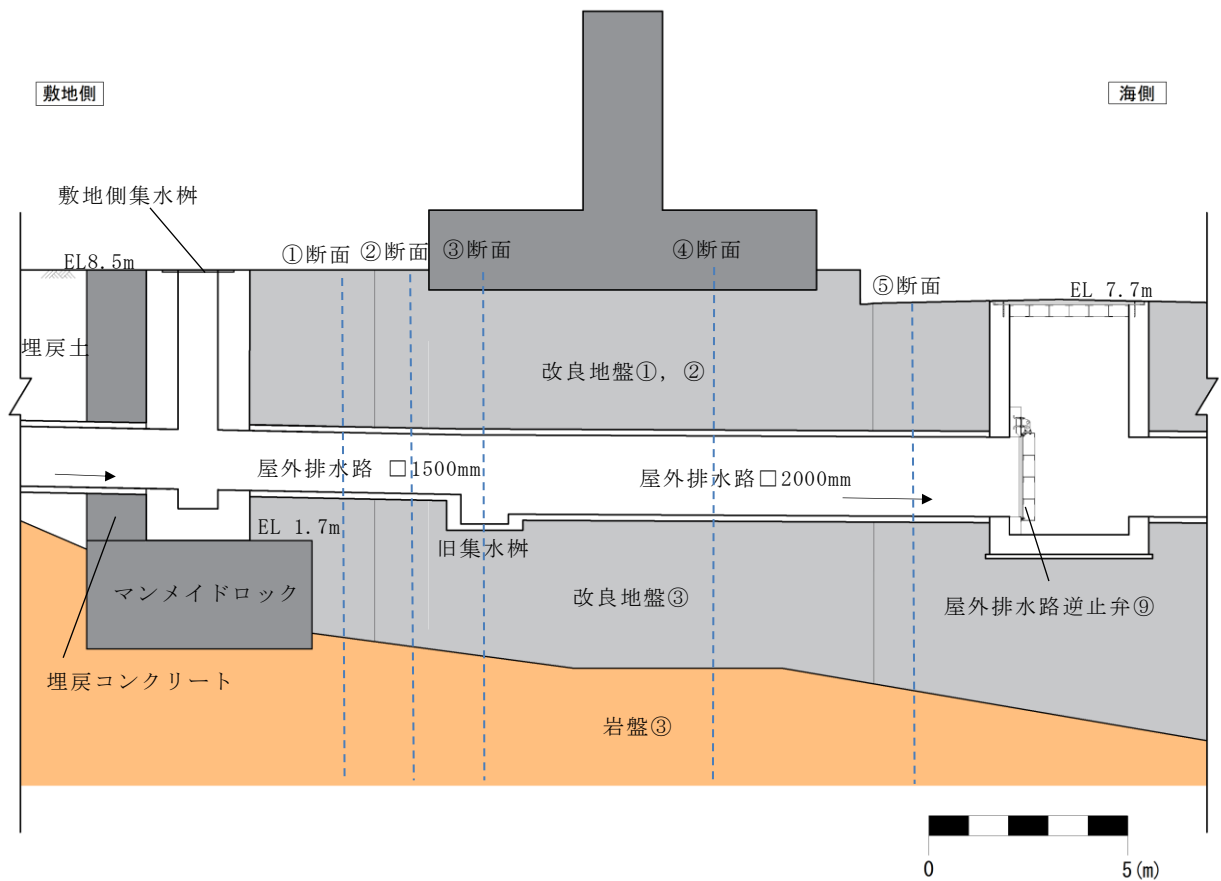


図 3-2 屋外排水路（防波壁横断部）の縦断図

表 3-1 屋外排水路（防波壁横断部）の評価対象断面選定の考え方

断面	敷地側	防波壁直下			海側
	①	②	③	④	⑤
排水路の内空寸法及び壁厚	排水路 □1500mm (t=150mm)	排水路 □1500mm (t=150mm)	旧集水枥 H2235mm× B3000mm (t=350mm)	排水路 □2000mm (t=180mm)	排水路 □2000mm (t=180mm)
防波壁の荷重の影響	無	有	有	有	無
岩盤上面の深さ（地表面）	約 9.7m	約 10.0m	約 10.2m	約 10.7m	約 10.1m
評価対象断面	×	×	×	○	×

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.2.1 荷重の設定

屋外排水路（防波壁横断部）の耐震評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、静止土圧、外水圧、内水圧、積雪荷重、土被り荷重、永久上  
載荷重及びプレストレス力を考慮する。

(3) 地震荷重（S<sub>s</sub>）

地震荷重として、基準地震動S<sub>s</sub>による地震力を考慮する。

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-2 に示す。また、作用荷重概念図を図 3-3 に示す。

表 3-2(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	G + P + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重

表 3-2(2) 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法
永久荷重 (常時荷重)	固定荷重	躯体自重	○ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	－ 機器・配管自重は考慮しない。
	積載荷重	静止土圧	○ 地表からの深度に応じて設定する。
		外水圧	○ 外水圧を考慮する (EL 3.9m)。
		内水圧	○ 内水圧を考慮する (満水)。
		積雪荷重	○ 積雪荷重 (0.7kN/m <sup>2</sup> ) を考慮する。
		土被り荷重	○ 土被り荷重を考慮する。
		永久上載荷重	○ 防波壁の荷重を考慮する。
風荷重	－ 風荷重は考慮しない。		
プレストレス力	○ プレストレス力を考慮する。		
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	基準地震動 S <sub>s</sub> による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動	○	
	動水圧	○	水位条件及び密度は、永久荷重の内水圧と同様とする。
	地震時土圧	○	基準地震動 S <sub>s</sub> による地震応答解析により設定する。

(1) 外水圧

地下水位はVI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき(EL 3.9m)に設定する。地下水の荷重は  $9.81\text{kN/m}^3$  とする。

(2) 内水圧

屋外排水路(防波壁横断部)内の内水圧水頭は、満水時の水位の内水位とする。地下水位の荷重は  $9.81\text{kN/m}^3$  とする。

(3) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等における損傷の防止に関する基本方針」に基づき、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により、積雪量1cmごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 永久上載荷重

永久上載荷重として防波壁の自重を考慮する。荷重は  $30^\circ$  の角度を持ち分散して屋外排水路(防波壁横断部)に伝達する。

(5) プレストレス力

プレストレス力はコンクリート標準示方書 設計編(土木学会, 2012年制定)に基づき、頂版及び底版に、軸方向力( $255\text{kN/本}$ )として入力する。

(6) 動水圧

水平方向では、Westergaard式をもとに、地震応答解析における屋外排水路(防波壁横断部)底面と上面の相対変位最大時刻の水平震度に応じた動水圧を考慮する。

また、鉛直方向では、底版の天端標高における静水圧に、地震応答解析における屋外排水路(防波壁横断部)底面と上面の相対変位最大時刻の鉛直震度を乗じたものを、動水圧として考慮する。

(7) 水平地震動

地震応答解析における屋外排水路(防波壁横断部)下面と上面の相対変位最大時刻の水平震度に応じた水平地震動(慣性力)を考慮する。

(8) 鉛直地震動

地震応答解析における屋外排水路（防波壁横断面）下面と上面の相対変位最大時刻の水平震度に応じた水平地震動（慣性力）を考慮する。

(9) 地震時土圧

地震時土圧は、水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年）に基づき、地盤変位と地盤ばね定数を用いて、下式により算出する。

$$P_H = K_H \cdot \delta$$

ここに、

$P_H$ ：敷地側集水柵前面に作用する地盤変位による荷重（kN/m）

$K_H$ ：敷地側集水柵前面の水平ばね定数（kN/m<sup>2</sup>）

$\delta$ ：敷地側集水柵底版中心と上端の地盤変位の相対変位最大時刻の変位（m）

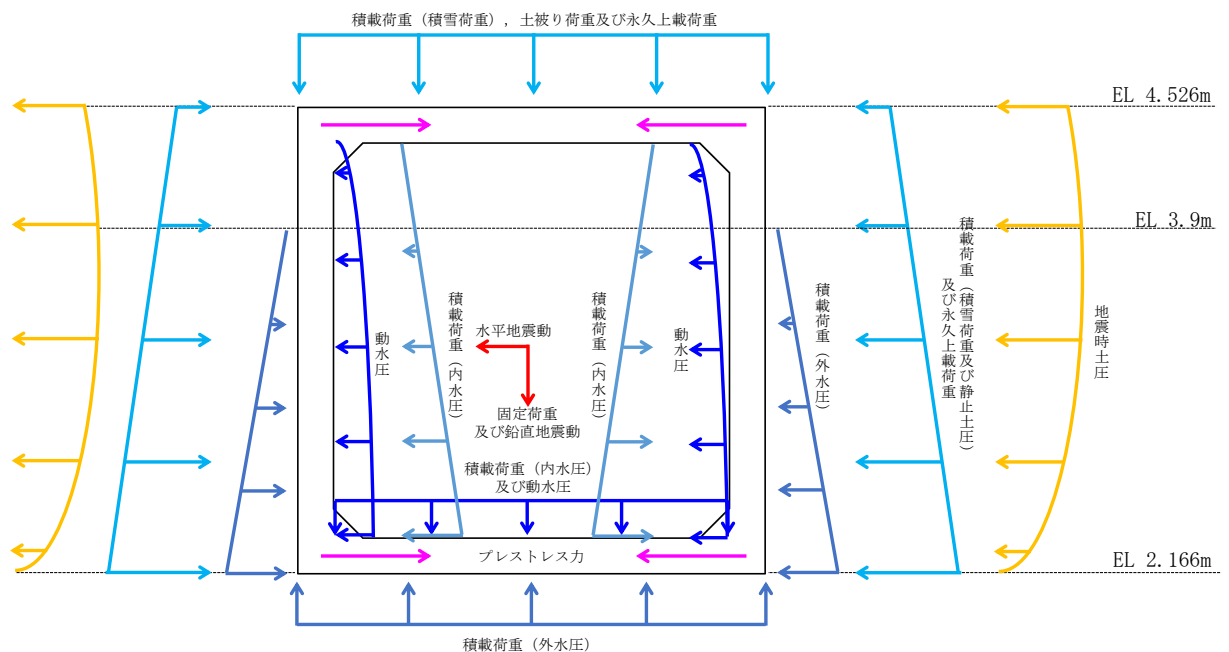


図 3-3 作用荷重概念図



### 3.3 許容限界

屋外排水路（防波壁横断部）の耐震評価は、コンクリート標準示方書に基づき、**終局曲げモーメント**及びせん断耐力を許容限界とする。また、基礎地盤の支持性能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、改良地盤③の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	改良地盤③	1.4

### 3.4 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-4 に、使用材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 40.0N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋	SD295A
	PC 鋼棒	SBPR1080/1230

表 3-5 使用材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
構造物	3.10×10 <sup>4</sup>	24.5*	0.2

注記\*：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

### 3.5 地震応答解析及び設計用地震力

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評価したものを用いる。屋外排水路（防波壁横断部）周辺には、改良地盤が施されており、液状化対象層が存在しないため、1次元地震応答解析における応答解析は、全応力解析とする。

解析には解析コード「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。

1次元地震応答解析の地盤モデルを図3-4に示す。

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。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、地表面（EL 8.5m）に設定する。

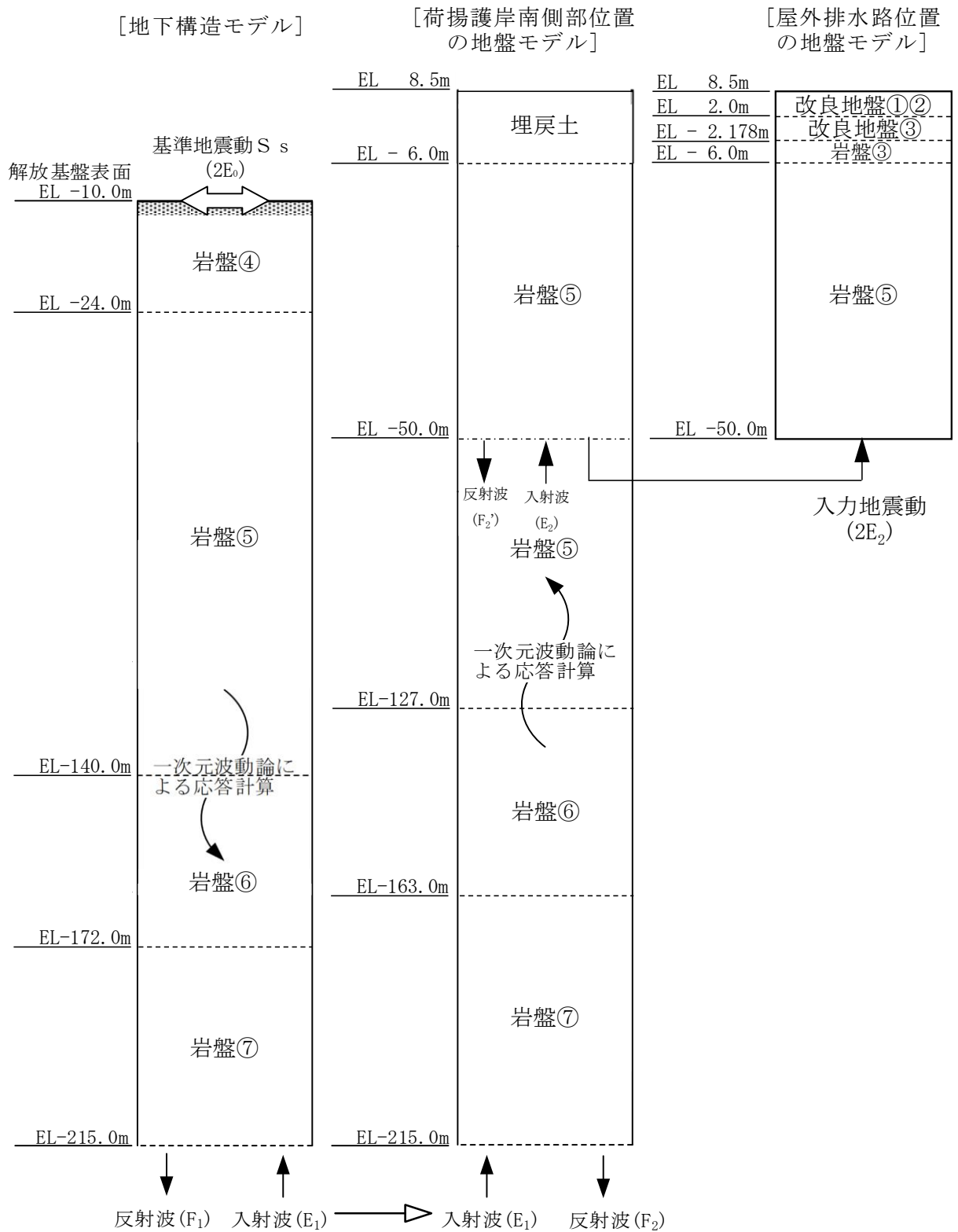


図 3-4 1次元地震応答解析用地盤モデル

### 3.6 地震応答解析結果

地震応答解析結果より得られた、各ケースにおける最大相対変位分布、最大相対変位発生時刻での加速度分布、最大相対変位発生時刻でのせん断応力分布及び収束剛性を図 3-5 に示す。相対変位は地震力による反力を、加速度は慣性力を、せん断応力は壁面摩擦力を、収束剛性はばね定数を算出するため使用する。

相対変位最大となった基準地震動 Ss-D により応答変位法に使用する相対変位を設定する。

また、底版及び基礎地盤の支持性能の評価に使用する設計用地震力は、1次元地震応答解析における屋外排水路位置の全時刻の最大応答加速度（鉛直）に基づき設定する。基礎地盤の支持性能の評価に用いる設計用地震力を表 3-6 に示す。

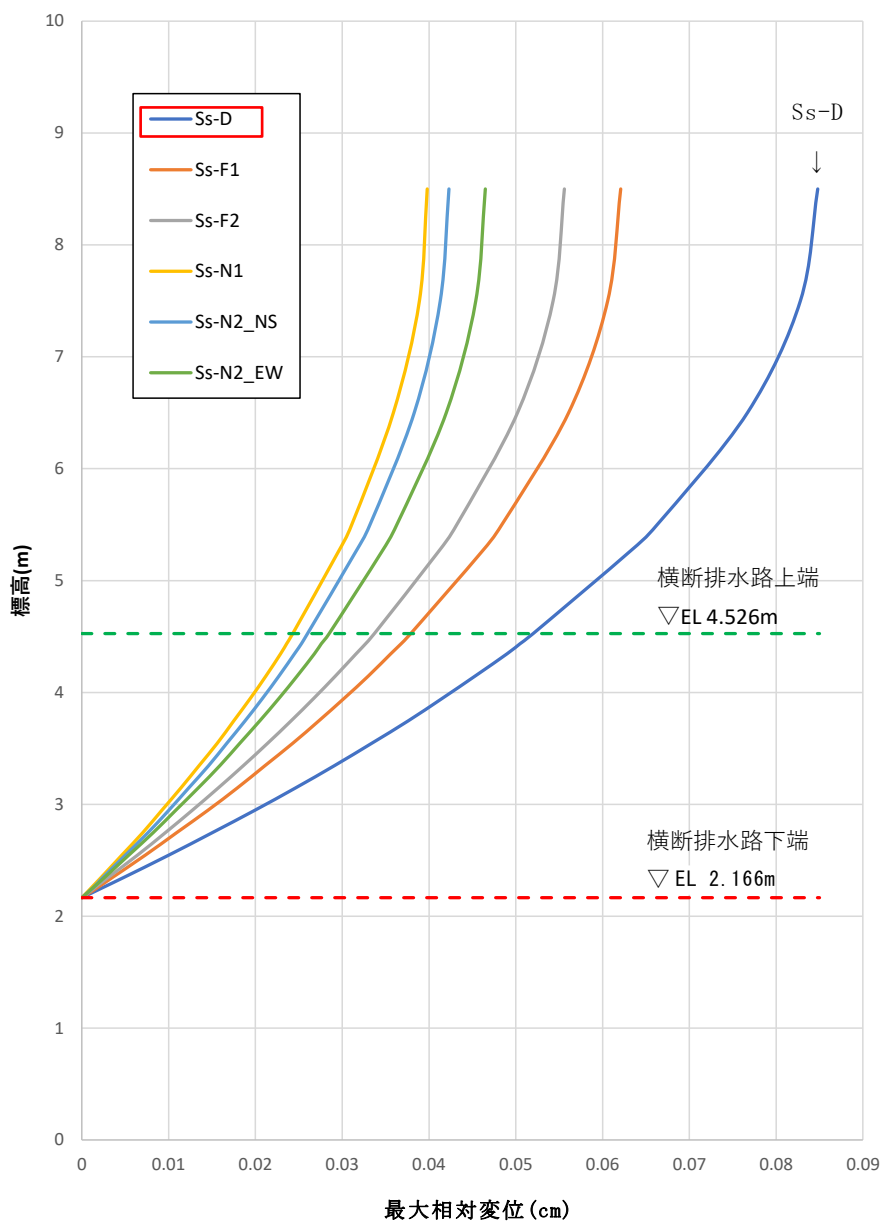


図 3-5(1) 地震応答解析結果（最大相対変位分布）

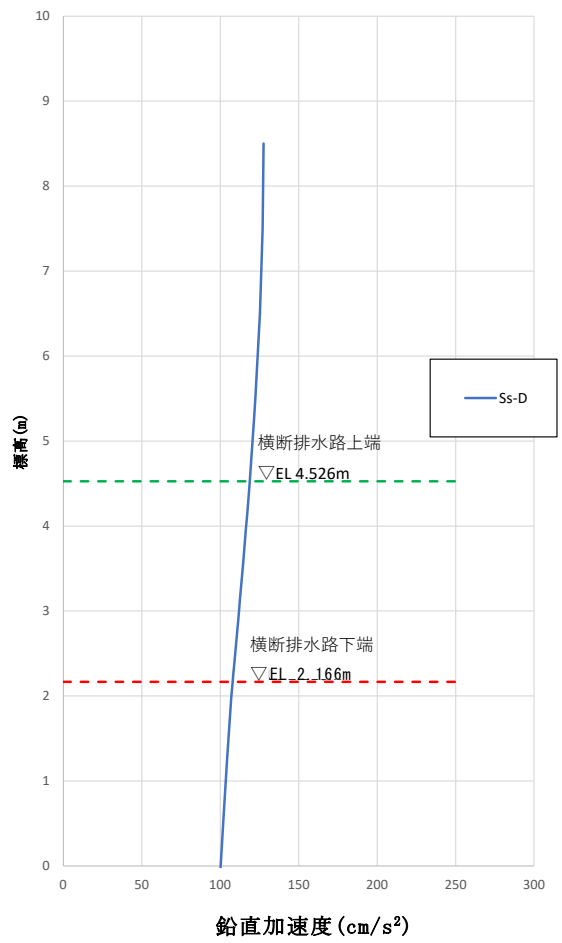
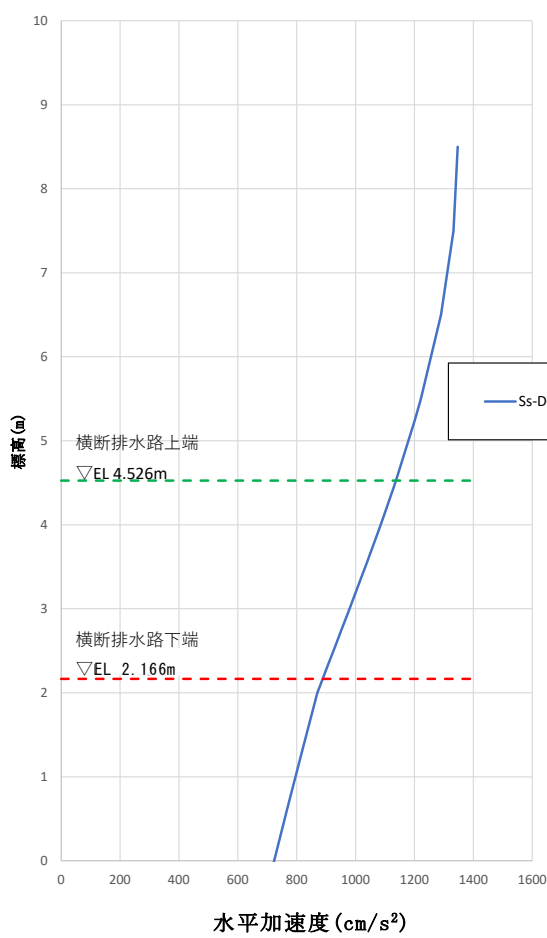


図 3-5(2) 地震応答解析結果 (最大相対変位発生時刻での水平加速度分布及び鉛直加速度分布)

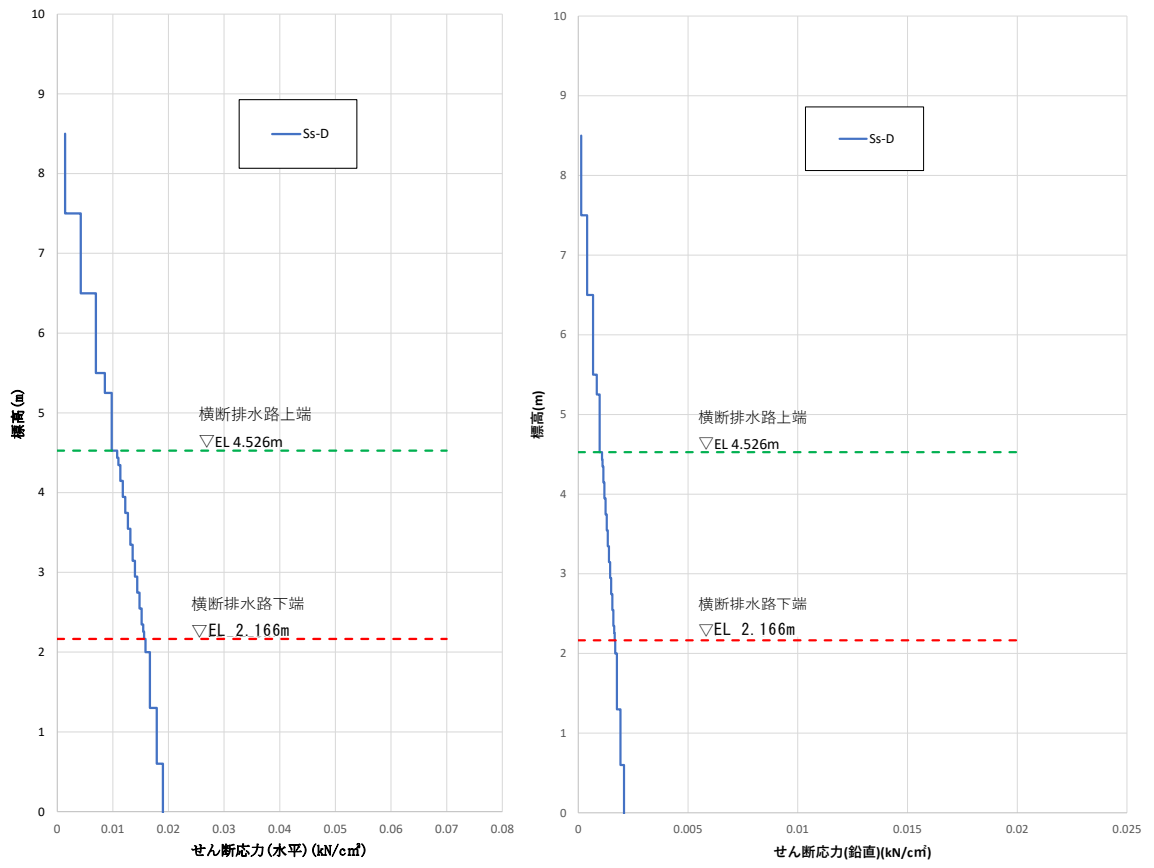


図3-5(3) 地震応答解析結果 (最大相対変位発生時刻でのせん断応力分布)

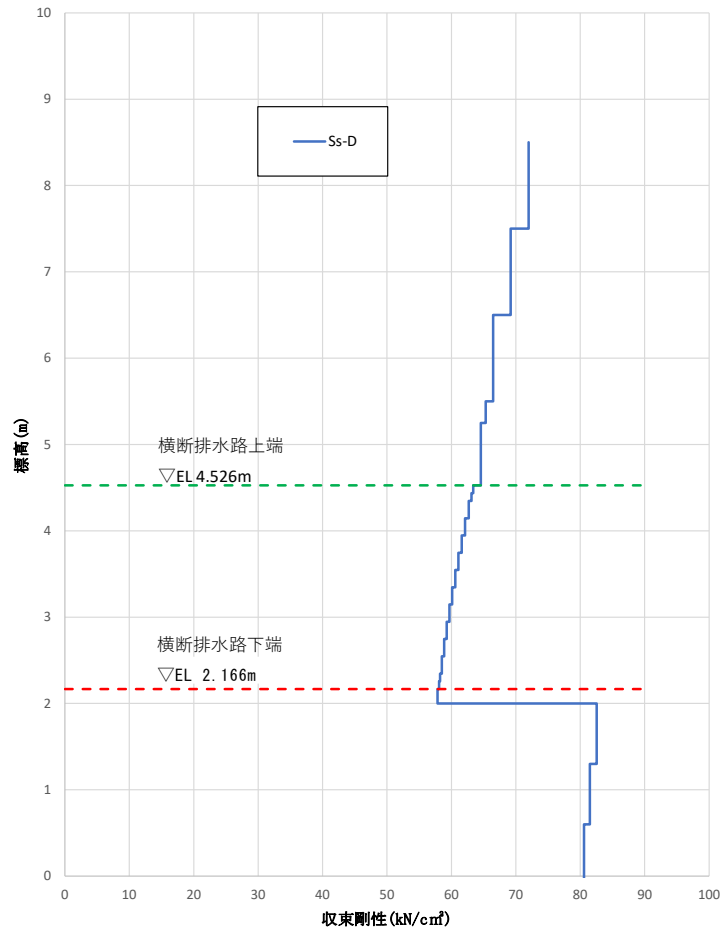


図3-5(4) 地震応答解析結果（収束剛性）

表 3-6 屋外排水路（防波壁横断部）の評価に用いる設計用地震力

抽出位置	設計用地震力 (鉛直)
屋外排水路 (防波壁横断部)	0.67

## 4. 評価方法

### 4.1 屋外排水路

#### 4.1.1 評価対象部位

屋外排水路（防波壁横断部）は地中に埋設することから、地震時には土圧が主たる荷重として作用すると考えられるため、評価対象部位は、弱軸方向（水路直交方向）の頂版、側壁及び底版とする。

#### 4.1.2 解析方法

頂版、側壁及び底版を線形はり要素でモデル化し、地震応答解析を踏まえて設定した荷重を載荷し、フレーム解析を実施する。フレーム解析に用いる地盤ばねは地震応答解析結果から算出した等価剛性を踏まえて設定し、モデルに作用させる荷重のうち、地震時増分応力については、応答変位法により算出する。

解析には解析コード「FREMING」及び「EMRGING」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。

#### 4.1.3 解析モデル

解析に用いるフレームモデルは、屋外排水路（防波壁横断部）の頂版、側壁及び底版を線形はり要素にて模擬し、地盤応答解析から算出した収束剛性よりばね定数を設定した地盤ばねを側部及び底部に配置する。

フレーム解析に使用した地盤ばね定数を表 4-1 に、2次元フレーム解析モデル図を図 4-1 に示す。



表 4-1 フレーム解析に使用した地盤ばね定数

( $k_x$  : 地盤ばね定数 (水平) ,  $k_y$  : 地盤ばね定数 (鉛直) )

位置	方向	部材番号	$k_x(kN/m)$	$k_y(kN/m)$	
側壁	↑ 上	15	57100	19030	
		14	94550	31520	
		13	94270	31420	
		12	65710	21900	
		11	185100	61710	
		10	268800	89590	
		9	340200	113400	
		8	483700	161200	
		7	330100	110000	
		6	257900	85970	
		5	173900	57980	
		4	61660	20550	
	下 ↓	3	87920	29310	
		2	87800	29270	
		1	52550	17520	
		↑ 上	30	57100	19030
			29	94550	31520
			28	94270	31420
			27	65710	21900
			26	185100	61710
			25	268800	89590
			24	340200	113400
			23	483700	161200
			22	330100	110000
21	257900		85970		
20	173900		57980		
下 ↓	19		61660	20550	
	18	87920	29310		
	17	87800	29270		
	16	52550	17520		

位置	部材番号	$k_x(kN/m)$	$k_y(kN/m)$
底版	1	52550	17520
	31	87580	29190
	32	87580	29190
	33	61300	20430
	34	172800	57610
	35	254000	84660
	36	323500	107800
	37	467100	155700
	38	323500	107800
	39	254000	84660
	40	172800	57610
	41	61300	20430
	42	87580	29190
	43	87580	29190
	16	52550	17520
	頂版	15	57100
44		95170	31720
45		95170	31720
46		66620	22210
47		187800	62600
48		276000	92000
49		351500	117200
50		507600	169200
51		351500	117200
52		276000	92000
53		187800	62600
54		66620	22210
55		95170	31720
56		95170	31720
30		57100	19030

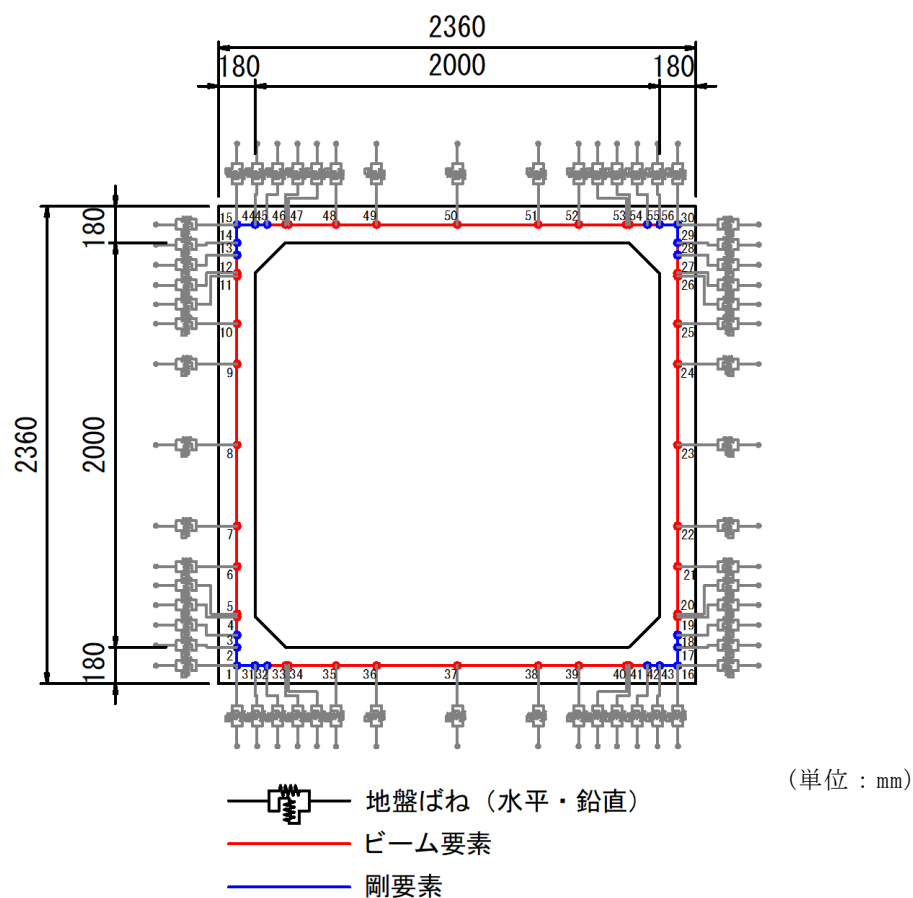


図 4-1 2次元フレーム解析モデル図

#### 4.2 基礎地盤の支持性能の評価

基礎地盤の支持性能評価においては、屋外排水路(防波壁横断部)底版に作用する屋外排水路(防波壁横断部)及び内部貯留水の慣性力による鉛直方向の合力を底版面積で除すことにより接地圧を算出し、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

## 5. 評価結果

### 5.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系破壊に対する照査値を表 5-1 に、せん断破壊に関する照査値を表 5-2 に示す。また、最大照査値となる断面力分布図を図 5-1 に示す。

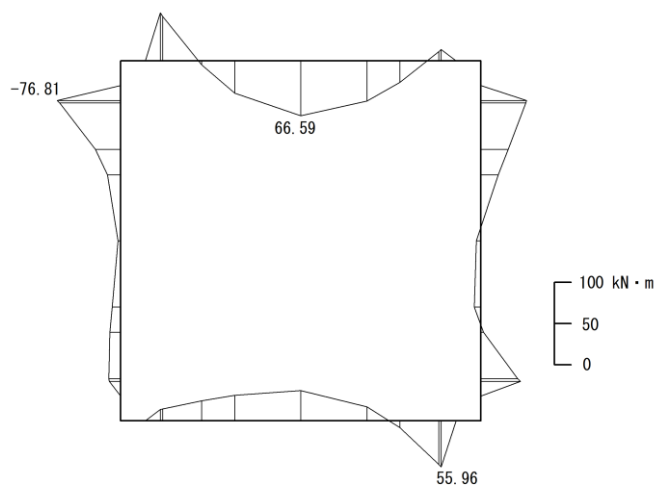
評価対象部位の発生応力度及びせん断力は、許容限界以下であり、屋外排水路（防波壁横断部）が基準地震動  $S_s$  による地震力に対して損壊に至らず、排水断面が確保されていることを確認した。

表 5-1 曲げ・軸力系破壊に対する最大照査値

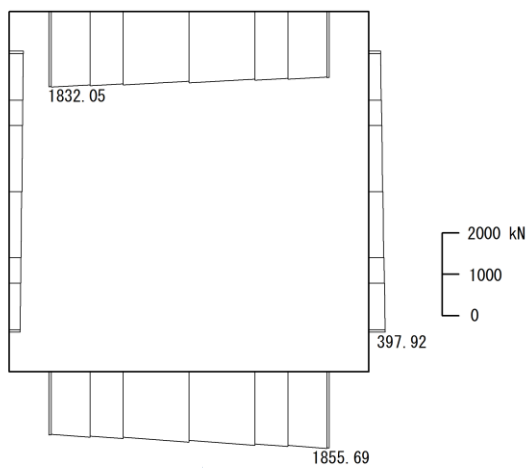
評価対象部位	地震動	設計断面力		終局曲げモーメント $M_{ud}$ (kN・m)	照査値 $M_d/M_{ud}$
		曲げモーメント $M_d$ (kN・m)	軸力 $N'_d$ (kN)		
頂版	$S_s-D$	66.59	1688.43	145.46	0.46
側壁	$S_s-D$	76.81	342.58	100.77	0.77
底版	$S_s-D$	55.96	1837.34	153.41	0.37

表 5-2 せん断破壊に対する最大照査値

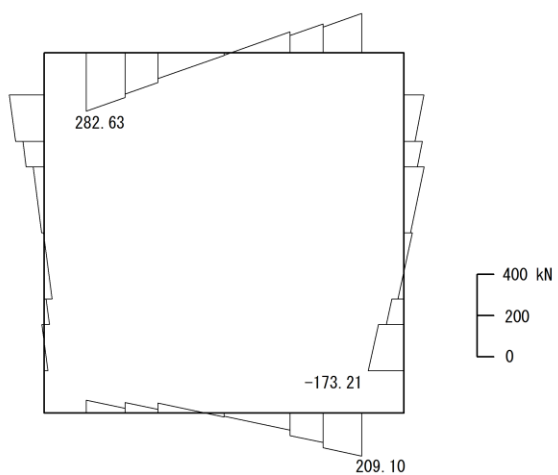
評価対象部位	地震動	設計せん断力 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{yd}$
頂版	$S_s-D$	282.63	304.27	0.93
側壁	$S_s-D$	173.21	253.14	0.69
底版	$S_s-D$	209.10	304.27	0.69



(a) 曲げモーメント図



(b) 軸力図



(c) せん断力図

図 5-1 断面力図 (南北断面)

## 5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 5-3 に示す。

基礎地盤の支持力に対する照査を行った結果、最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

設備名称	解析ケース	最大接地圧 (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 (N/mm <sup>2</sup> )	支持力照査値
屋外排水路 (防波壁横断部)	S <sub>s</sub> -D	0.1	1.4	0.08