

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-019-07改05
提出年月日	2023年6月5日

VI-2-別添 4-3-5 揚水井戸の耐震性についての計算書

2023年6月

中国電力株式会社

目 次

今回提出範囲：



1. 概要
 2. 基本方針
 - 2.1 位置
 - 2.2 構造概要
 - 2.3 評価方針
 - 2.3.1 2次元地震応答解析
 - 2.3.2 鉛直断面に対する耐震評価
 - 2.3.3 水平断面に対する耐震評価
 - 2.3.4 底版に対する耐震評価
 - 2.4 適用規格・基準等
 3. 耐震評価
 - 3.1 評価対象断面
 - 3.2 使用材料及び材料の物性値
 - 3.3 許容限界
 - 3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界
 - 3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界
 - 3.4 評価方法
 - 3.4.1 構造部材の健全性評価
 - 3.4.2 基礎地盤の支持性能評価
 4. 耐震評価結果
 - 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果
 - 4.1.1 鉛直断面に対する評価結果
 - 4.1.2 水平断面に対する耐震評価結果
 - 4.1.3 底版に対する耐震評価結果
 - 4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果
- (別紙1) 敷地側集水桝の耐震性について
- (別紙2) 屋外排水路(防波壁横断部)の耐震性について
- (別紙3) 出口側集水桝の耐震性について

(別紙1) 敷地側集水桝の耐震性について

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。

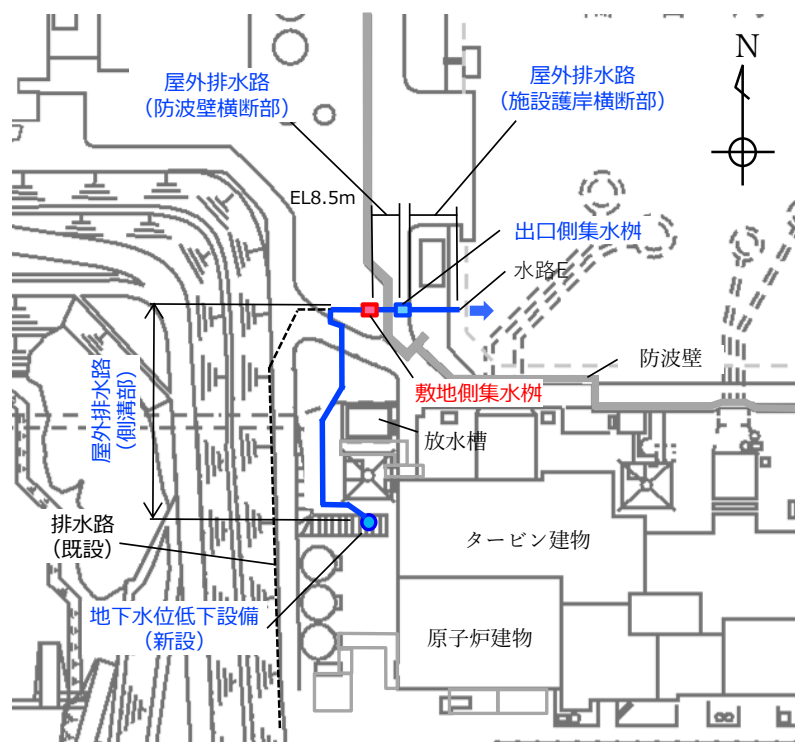


図2-1 敷地側集水桝の設置位置図

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。

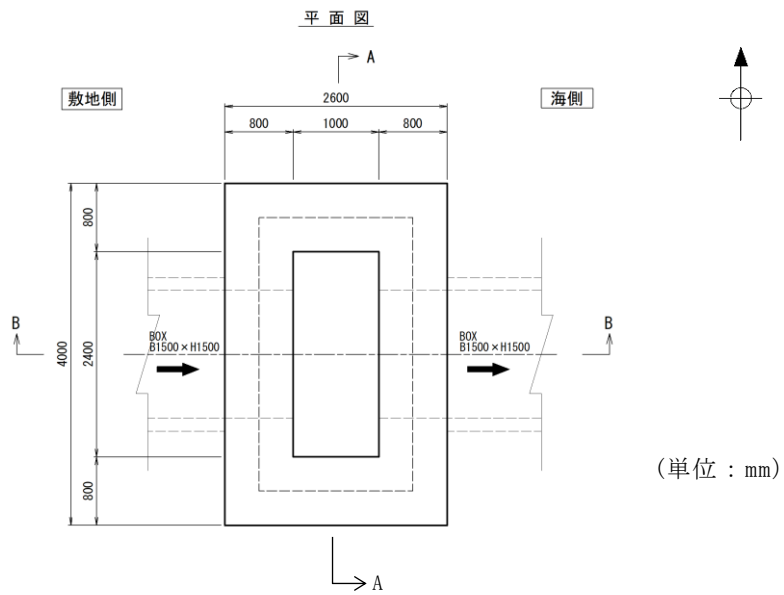
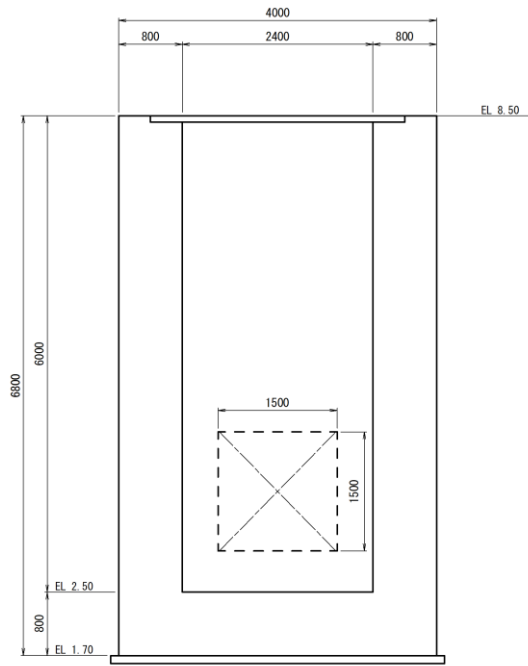


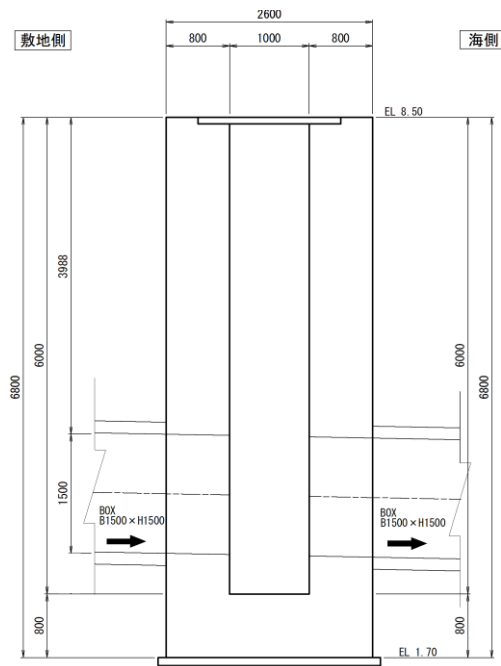
図 2-2 敷地側集水桝の概略平面図



(単位 : mm)

(A - A 断面)

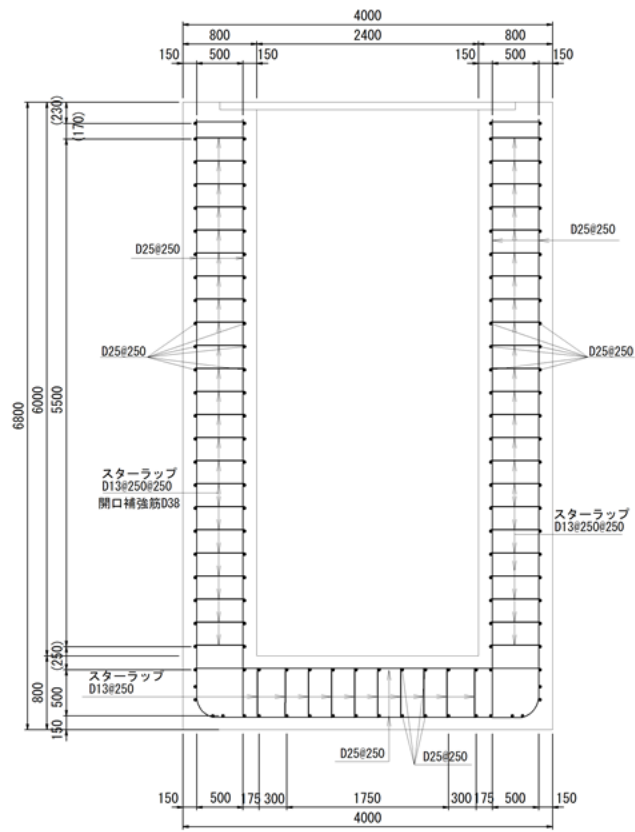
図 2-3(1) 敷地側集水桝の概略断面図



(単位 : mm)

(B - B 断面)

図 2-3(2) 敷地側集水桝の概略断面図



(単位 : mm)

(A-A断面)

図 2-4 敷地側集水樹の概略配筋図

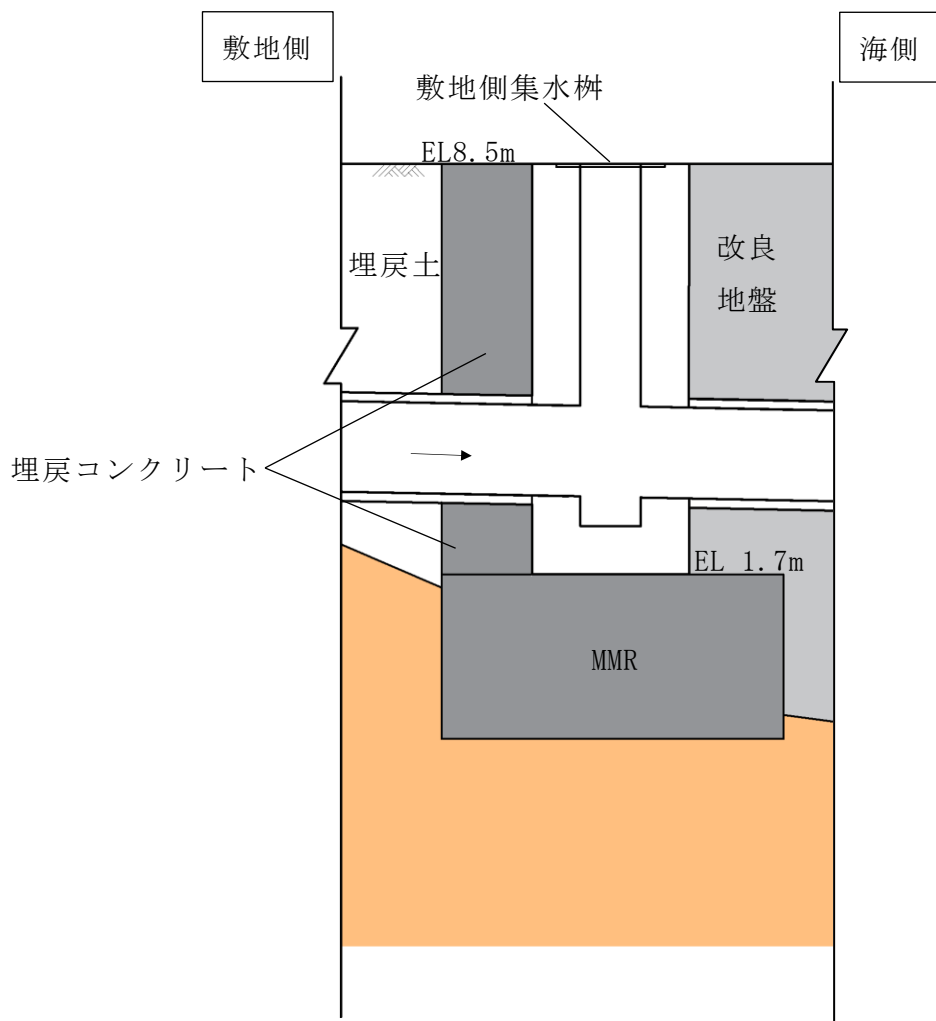


図 2-5 敷地側集水柵の地盤への支持構造

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。

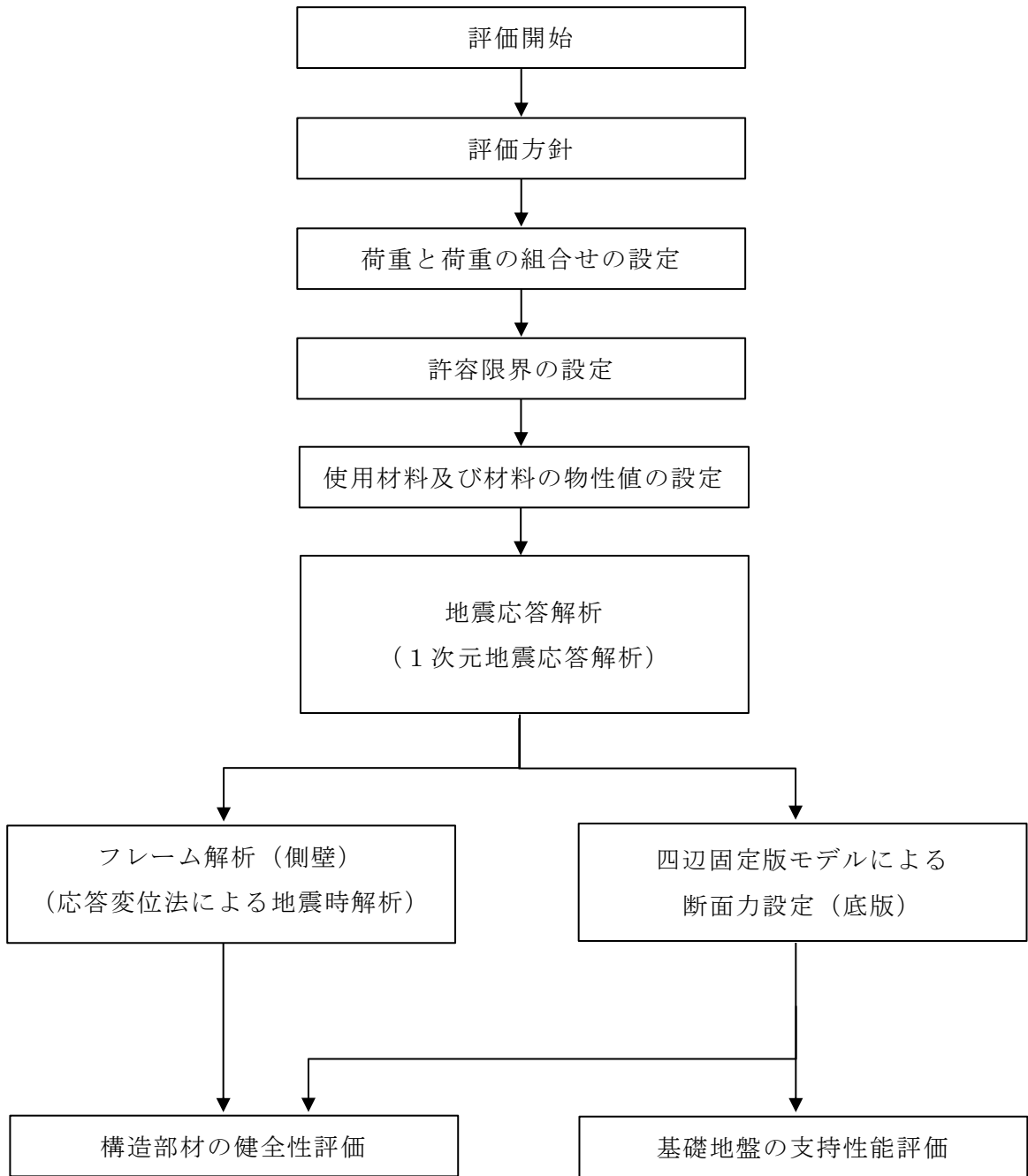


図 2-6 敷地側集水桝の耐震評価フロー

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。

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 _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 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	○	○	敷地側集水桝満水時の水位 (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 _s 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 _s 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。

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。

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 ²)
コンクリート* f'c _k =24 (N/mm ²)	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	13.5
	短期許容せん断応力度 τ_{a1}	0.67
鉄筋* SD345	短期許容引張応力度 σ_{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 ²)
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 ²
	鉄筋	SD345

表 3-5 使用材料の物性値

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	2.50×10 ⁴	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3-1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。

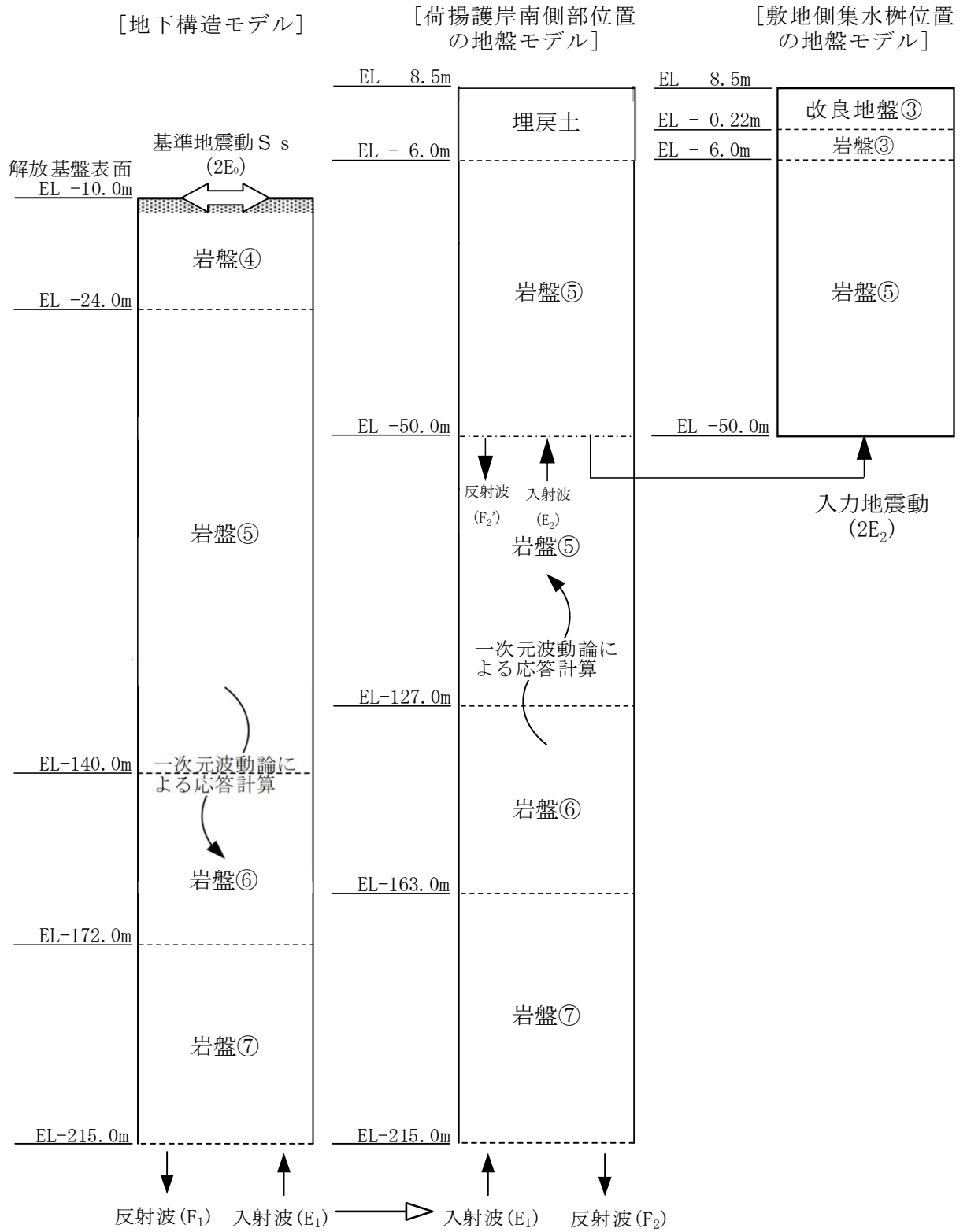


図 3-1 1次元地震応答解析用地盤モデル

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 3-2 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柵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。

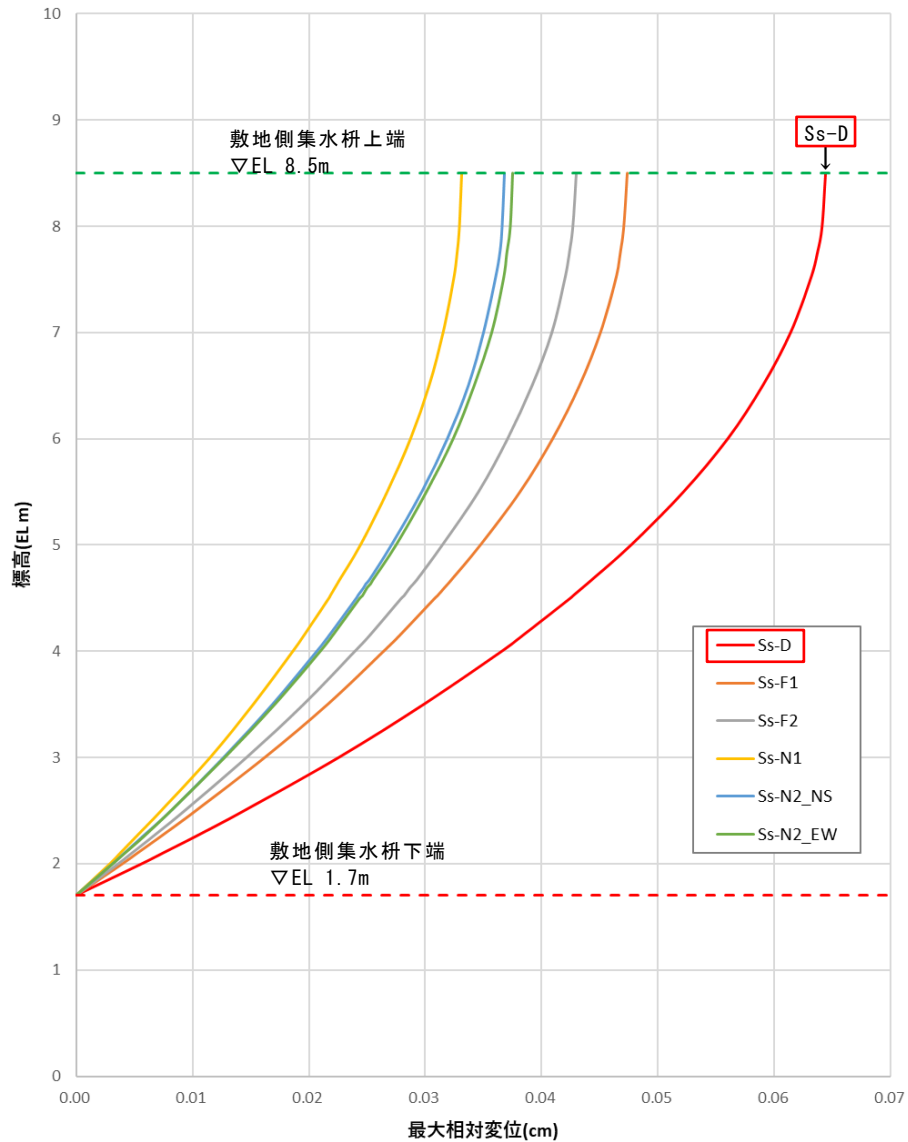


図 3-2(1) 地震応答解析結果（最大相対変位分布）

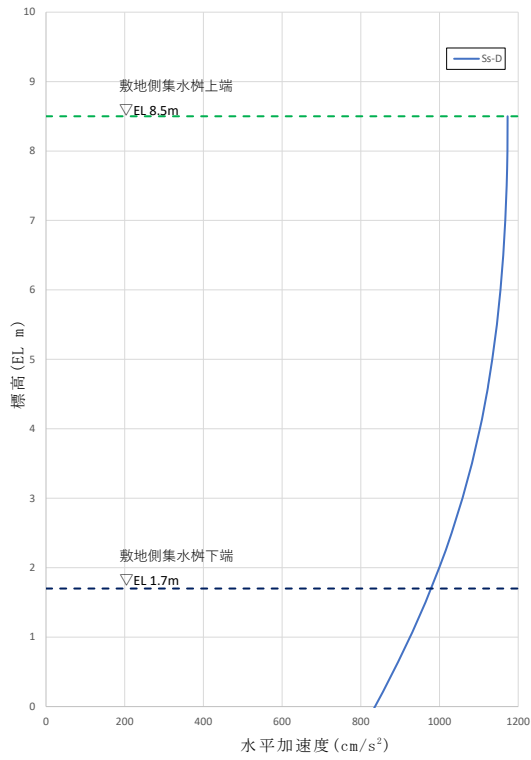


図 3-2(2) 地震応答解析結果（最大相対変位発生時刻での水平加速度分布）

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。

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，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 (kN/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 (kN/m^2)	地盤ばね定数 k_y 鉛直 (kN/m^2)	地盤ばね定数 k_θ 回転 (kN/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 (kN/m^2)	断面積 (m^2)	断面2次モーメント (m^4)
鉛直断面	2.5×10^7	8.0	5.6
水平断面	2.5×10^7	0.8	4.3×10^{-2}

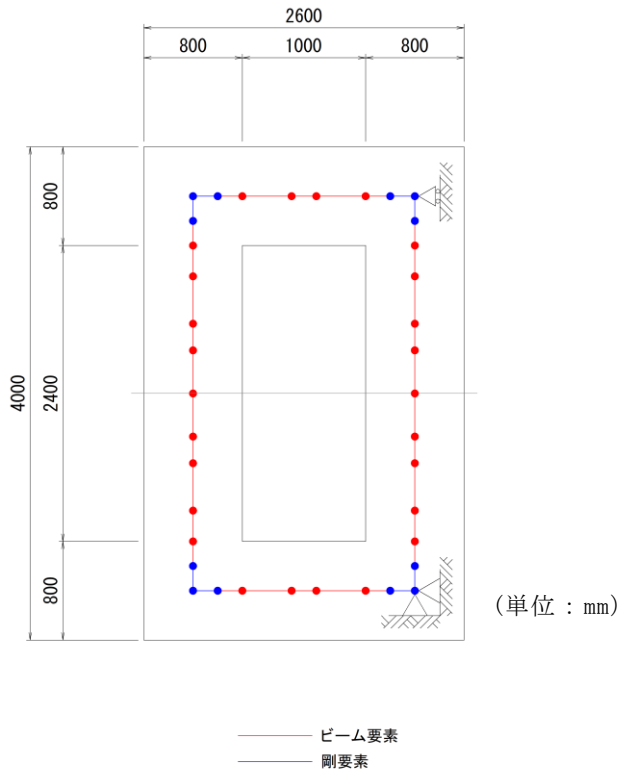
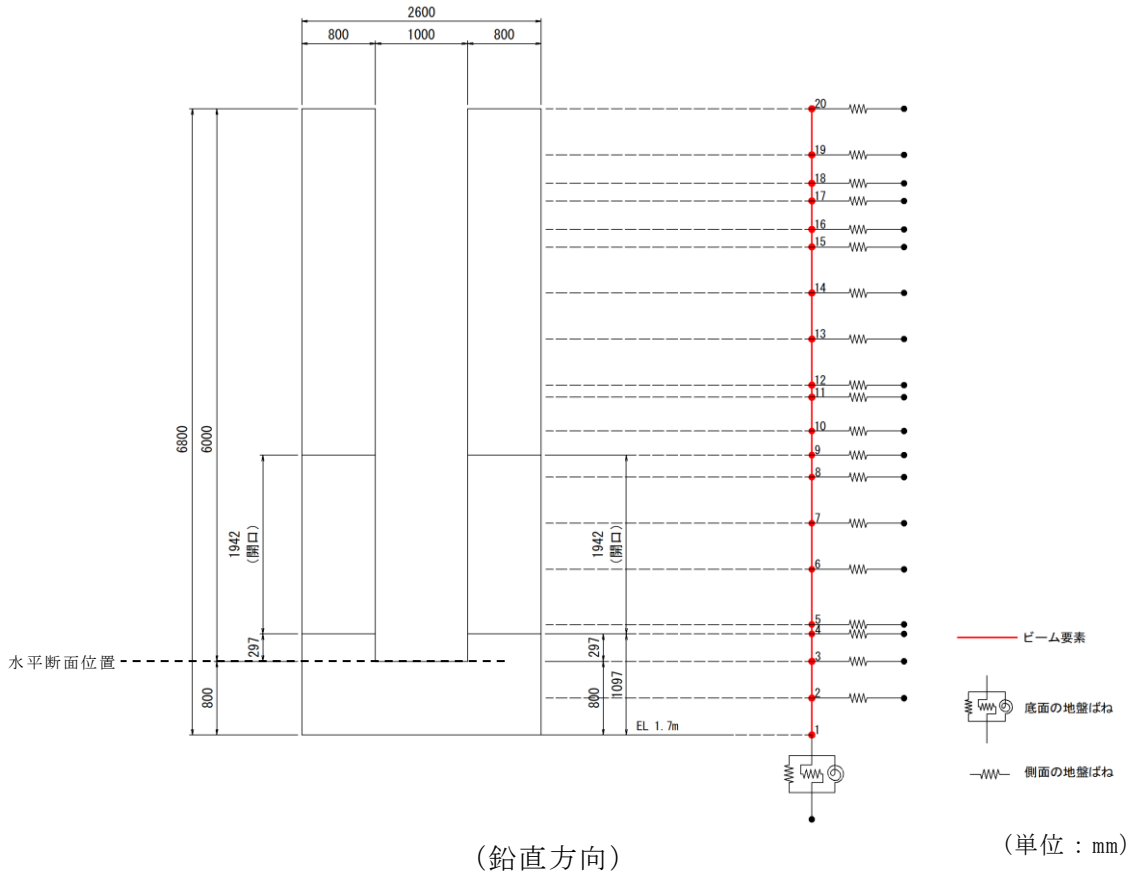


図 4-1 フレーム解析モデル図

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 に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。

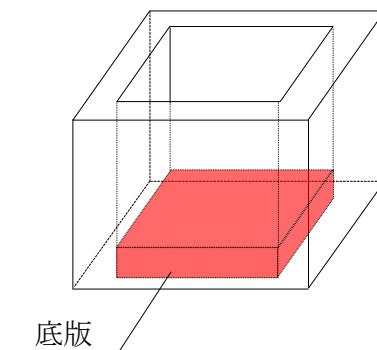


図 4-2 四辺固定版モデル概要図

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。

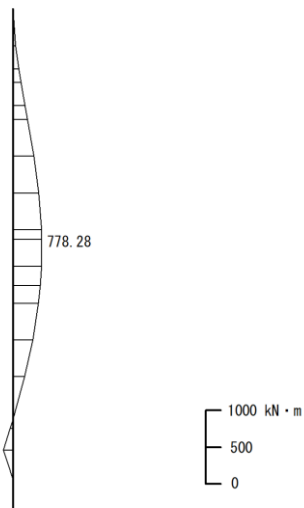
評価対象部材に発生する曲げ圧縮応力、曲げ引張応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 曲げ軸力に対する照査結果（側壁（鉛直断面））

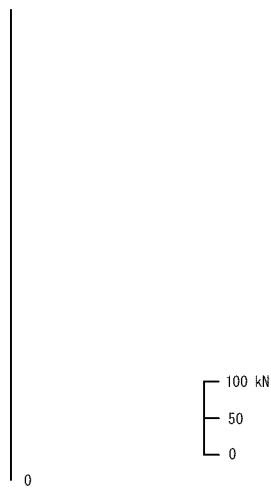
設備名称	解析 ケース	曲げ モーメント (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)		曲げ 圧縮 応力 照査値	曲げ 引張 応力 照査値
					曲げ 圧縮	曲げ 引張		
敷地側 集水桝	Ss-D	778.28	0.40	23.97	13.5	294	0.03	0.09

表 5-2 せん断力に対する照査結果（側壁（鉛直断面））

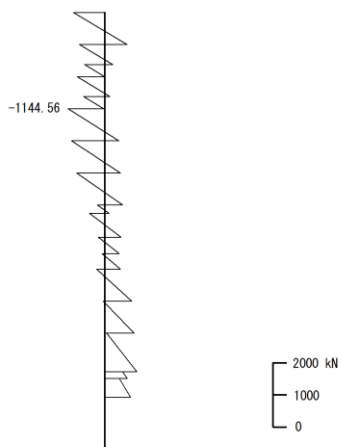
設備名称	設計基準 強度 (N/mm ²)	解析 ケース	発生せん断 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
敷地側 集水桝	24	Ss-D	0.32	0.67	0.48



(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。

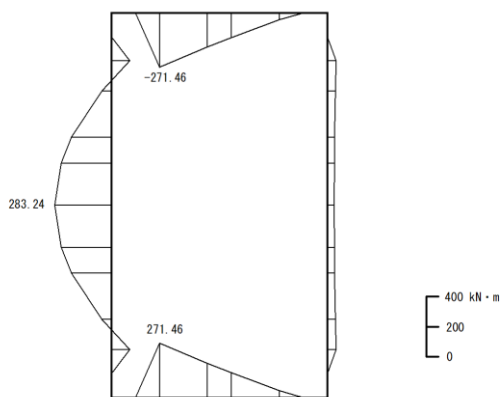
表 5-3 曲げ軸力に対する照査結果（側壁（水平断面））

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 ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)		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

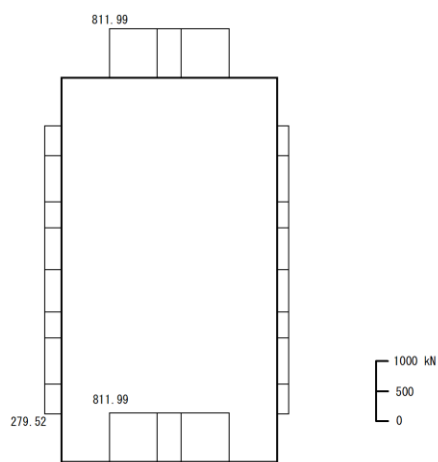
表 5-4 せん断力に対する照査結果（側壁（水平断面））

設備名称	設計基準 強度 (N/mm ²)	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	24	Ss-D	495.09	546.45	0.91

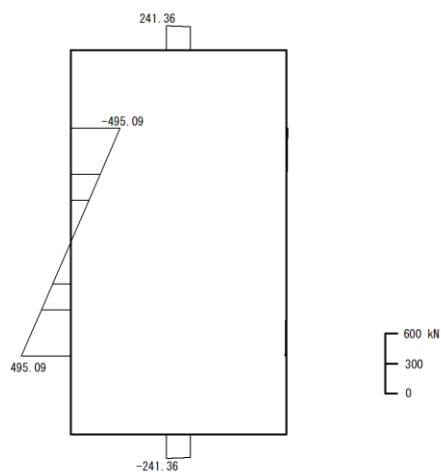
注記*：せん断補強筋を考慮した値



(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 ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)		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		

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 (N/mm ²)	発生せん断 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
敷地側 集水桝	24	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 ²)	極限支持力度 (N/mm ²)	支持力照査値
敷地側集水桝	0.2	18.0	0.02

(別紙2) 屋外排水路(防波壁横断部)の耐震性について

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。

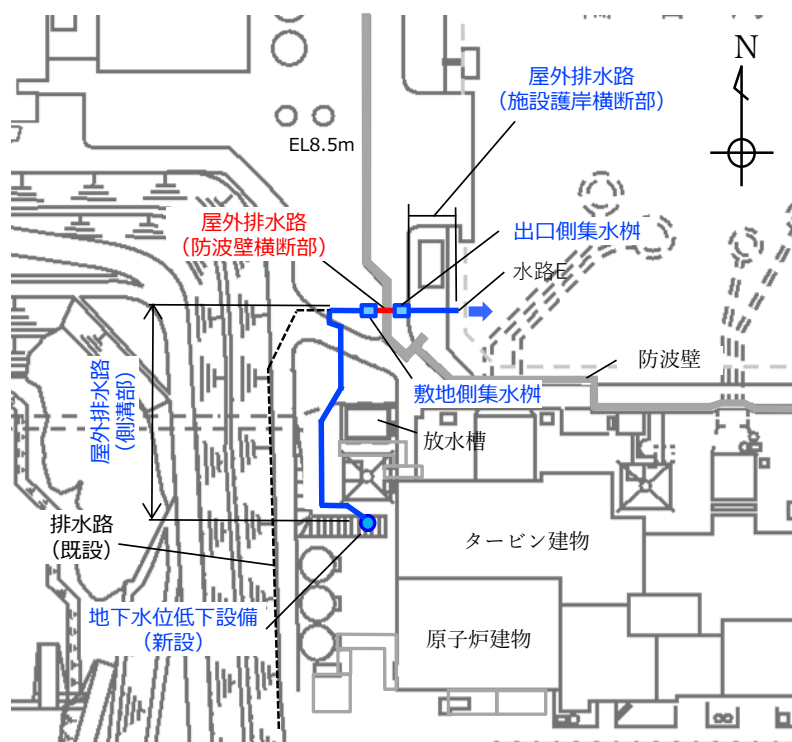


図2-1 屋外排水路(防波壁横断部)の設置位置図

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。

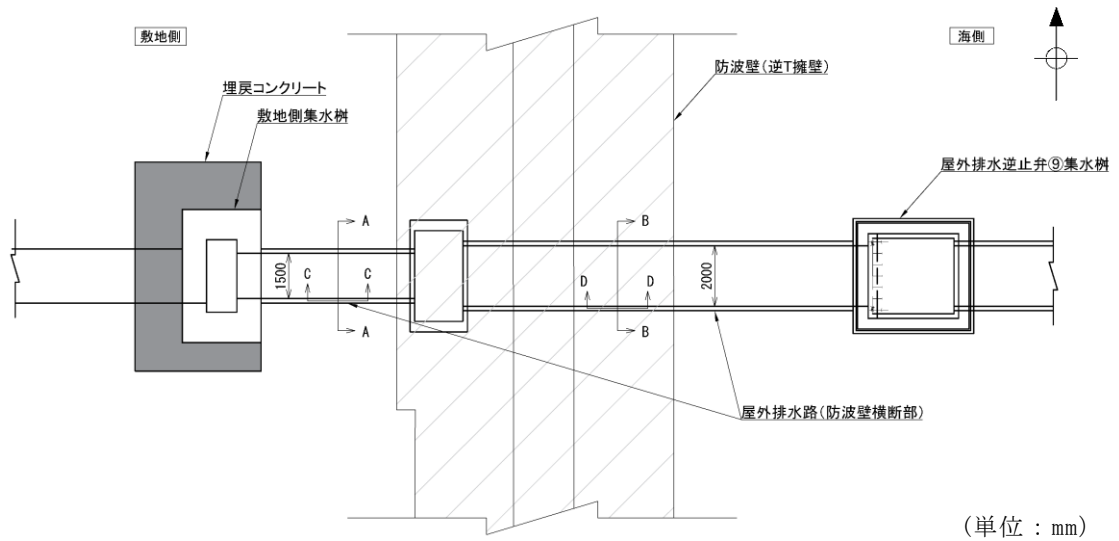


図 2-2 屋外排水路（防波壁横断部）の概略平面図

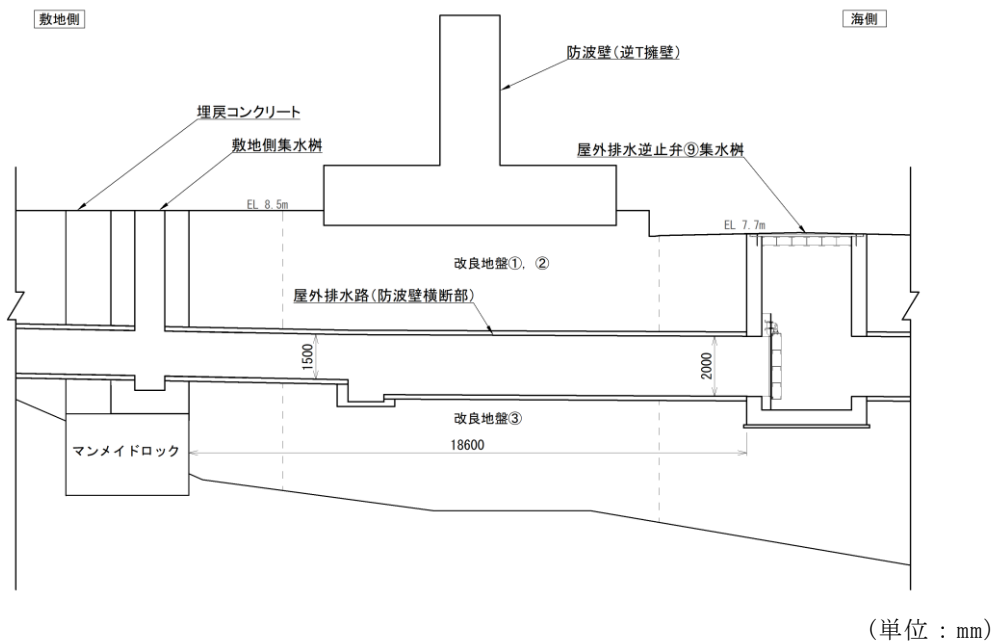
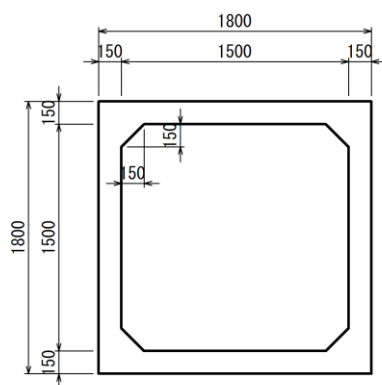


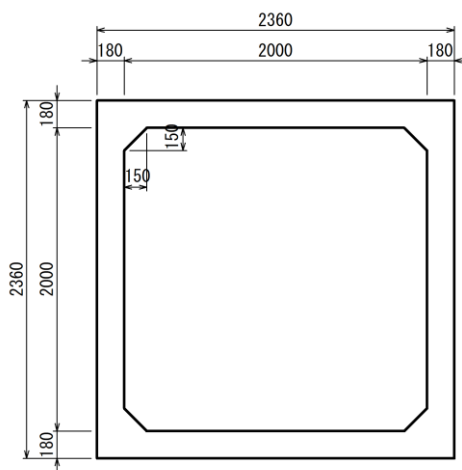
図 2-3 屋外排水路（防波壁横断部）の概略縦断図



(単位 : mm)

(A-A断面 : □1500×1500)

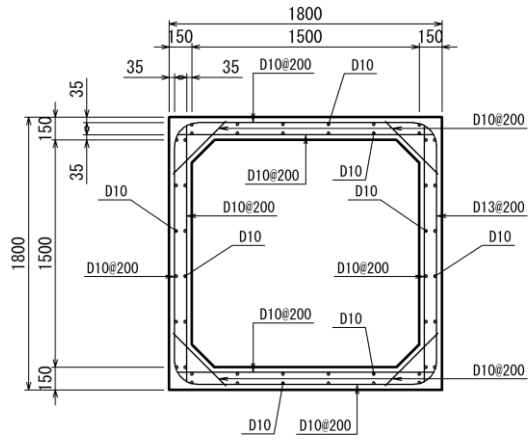
図 2-4(1) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図



(単位 : mm)

(B-B断面, □2000×2000)

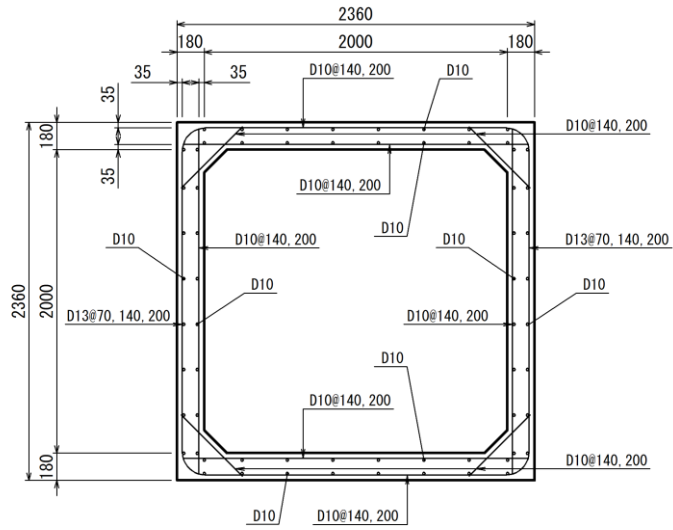
図 2-4(2) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図



(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

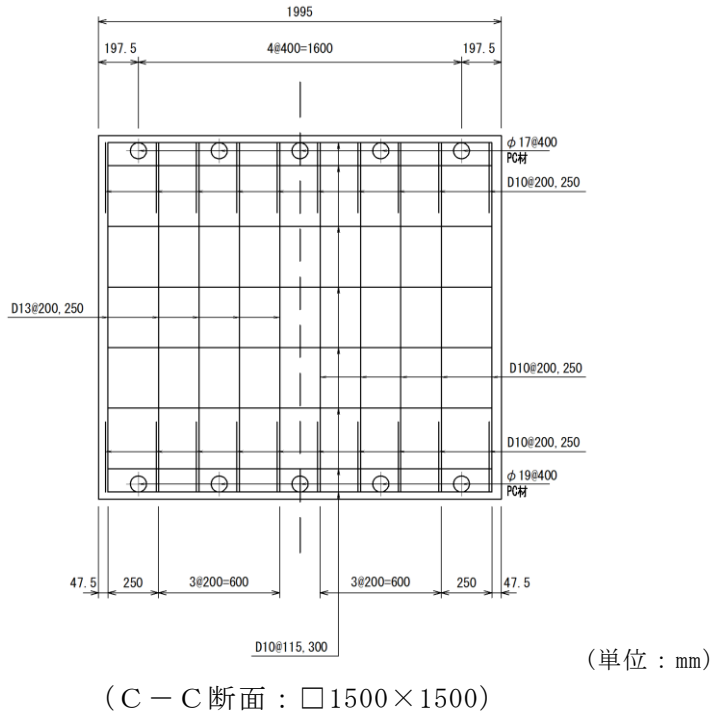


図 2-5(3) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図

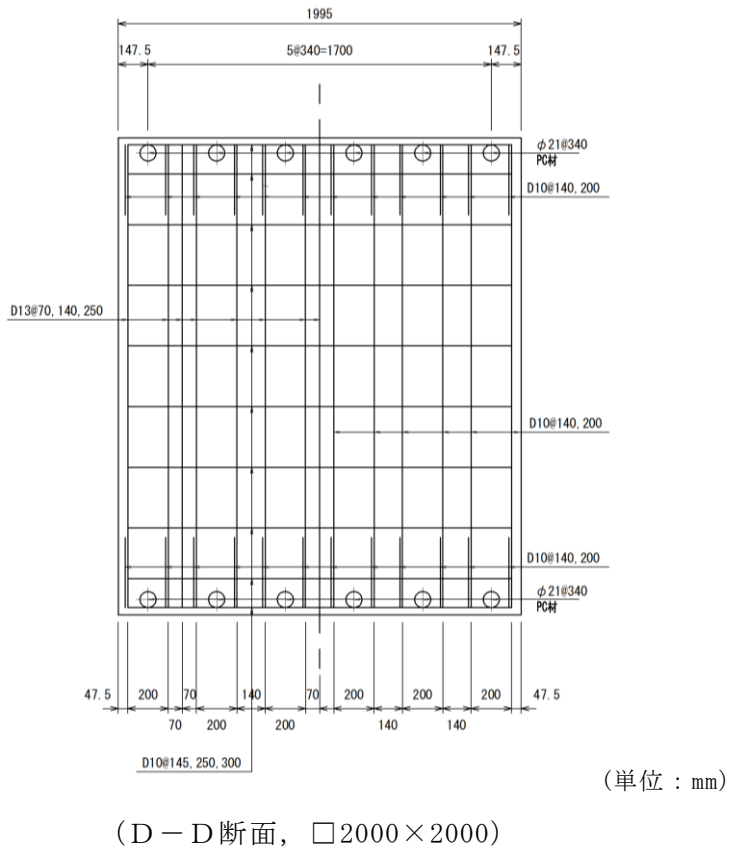


図 2-5(4) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図

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）位置での変位及び加速度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。

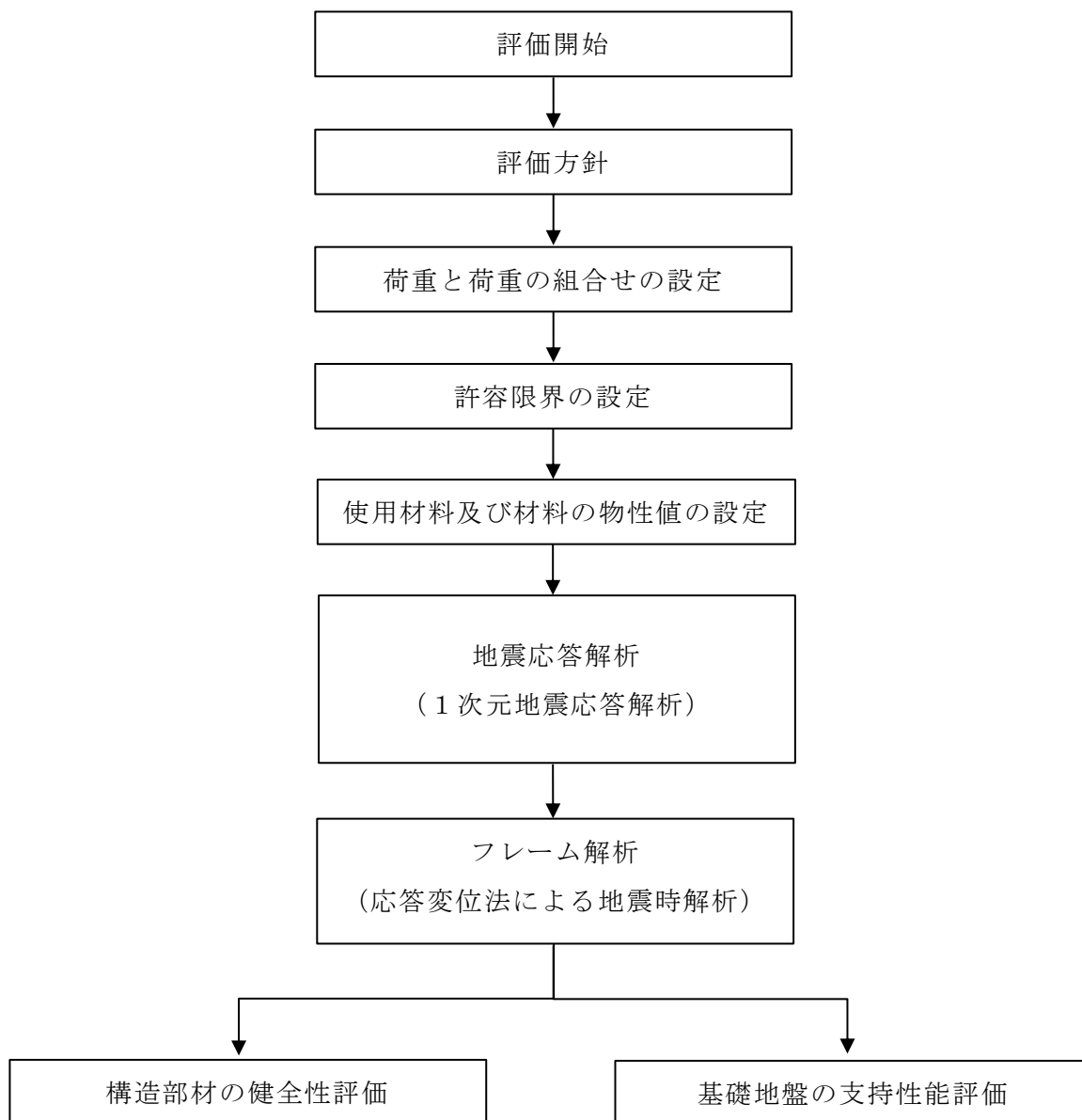


図 2-6 屋外排水路（防波壁横断部）の耐震評価フロー

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）の平面図を図 3-1 に，縦断図を図 3-2 に示す。

屋外排水路（防波壁横断部）の設置状況から，耐震評価上，厳しくなると考えられる④断面（□2000mm）を評価対象断面とする。

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。

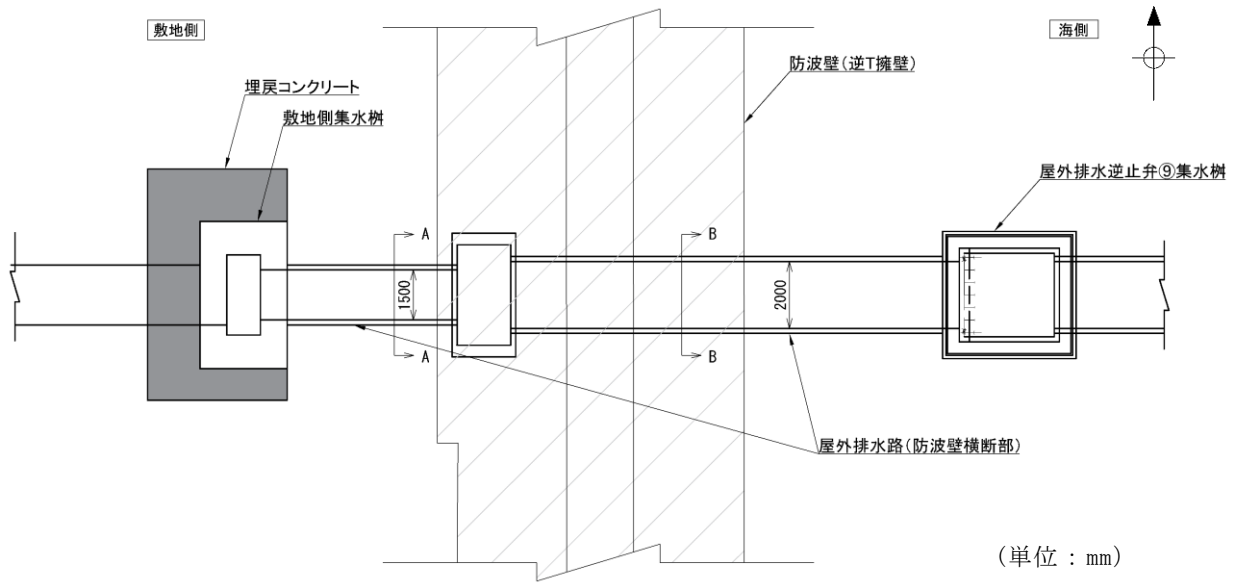


図 3-1 屋外排水路（防波壁横断部）の平面図

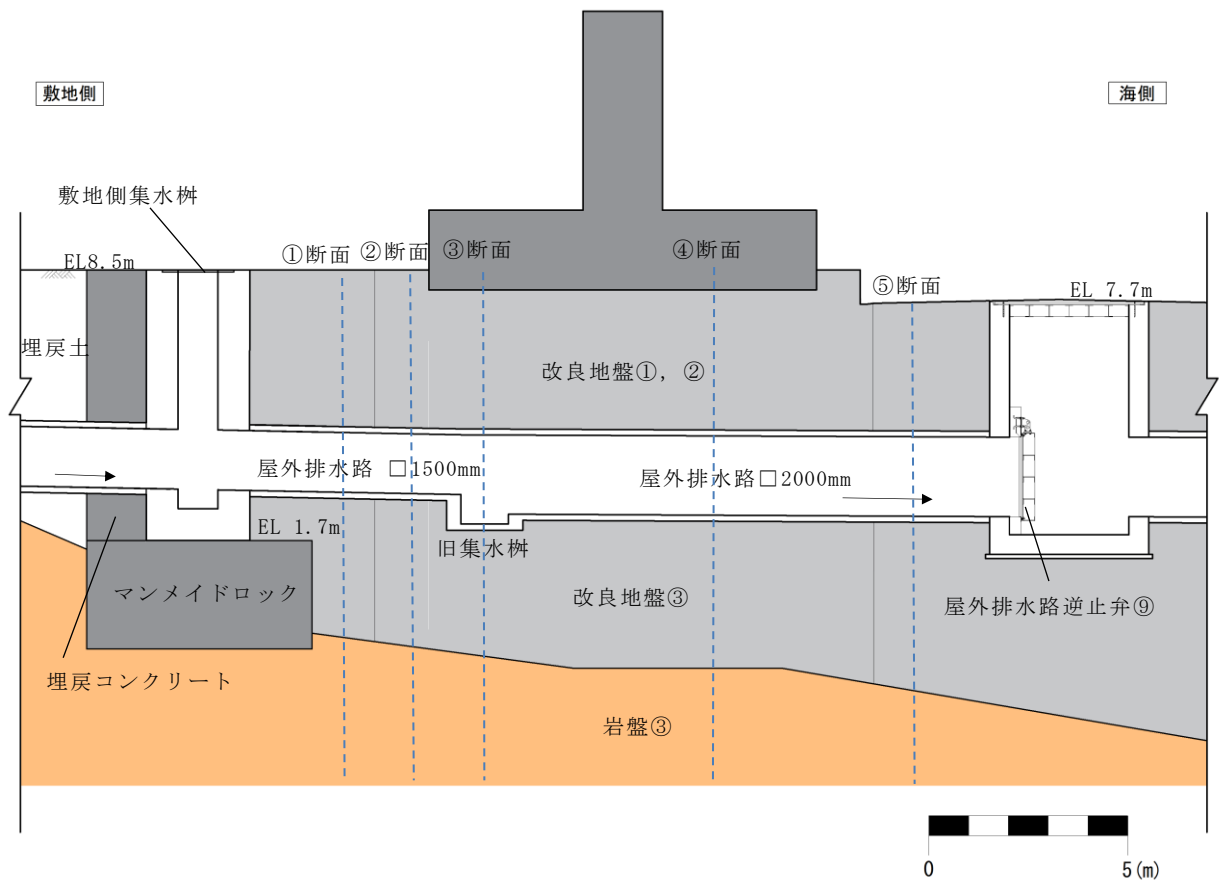


図 3-2 屋外排水路（防波壁横断部）の縦断図

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_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。

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 _s

G : 固定荷重

P : 積雪荷重

S_s : 地震荷重

表 3-1(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 ²) 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 _s 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 _s による地震応答解析により設定する。

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 3-2 に示す。

表 3-2 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 ²)
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 3-3 に、使用材料の物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 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 ²
	鉄筋	SD295A
	PC 鋼棒	SBPR1080/1230

表 3-4 使用材料の物性値

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	3.10×10 ⁴	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3-3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。

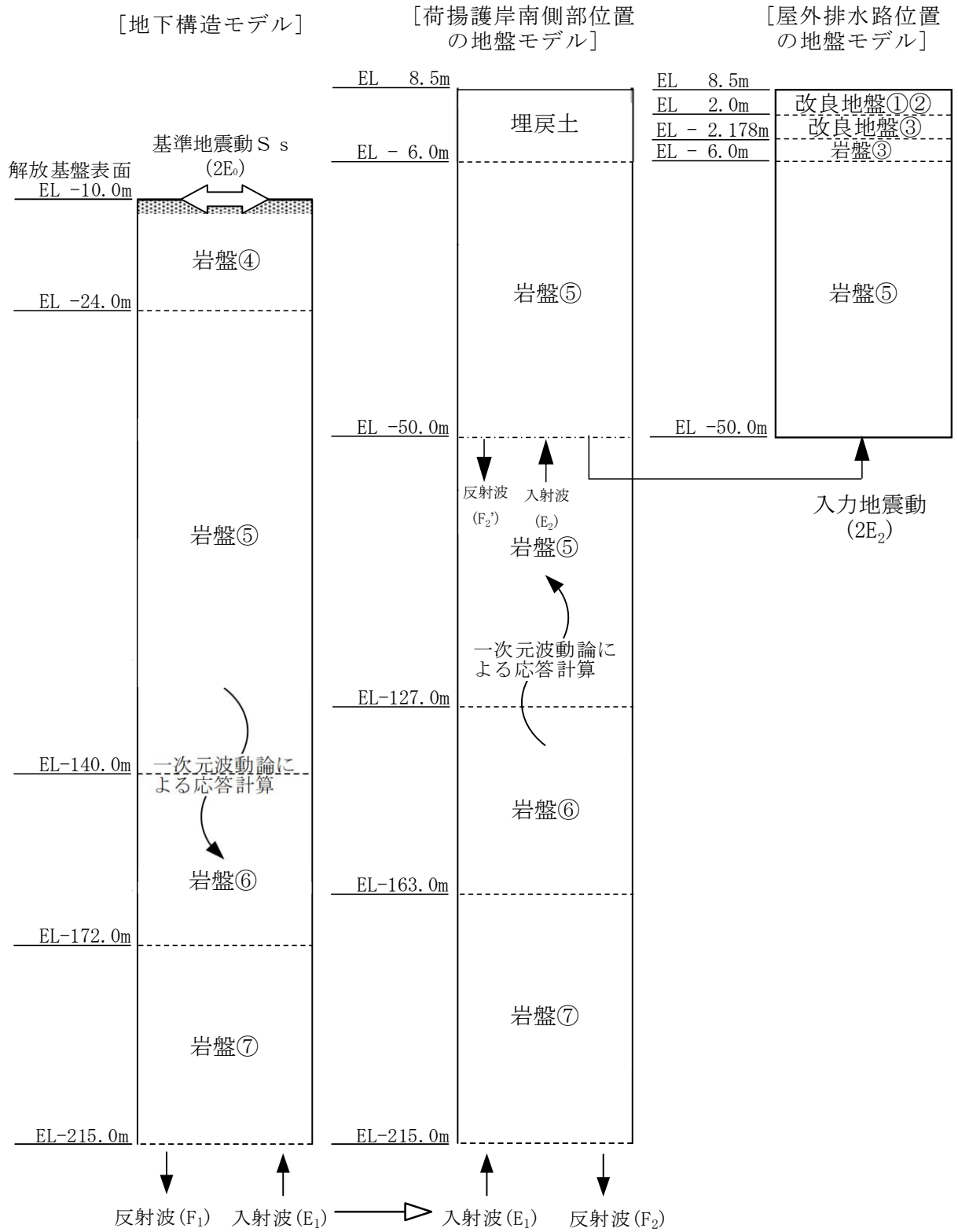


図 3-3 1次元地震応答解析用地盤モデル

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 3-4 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 3-5 に示す。

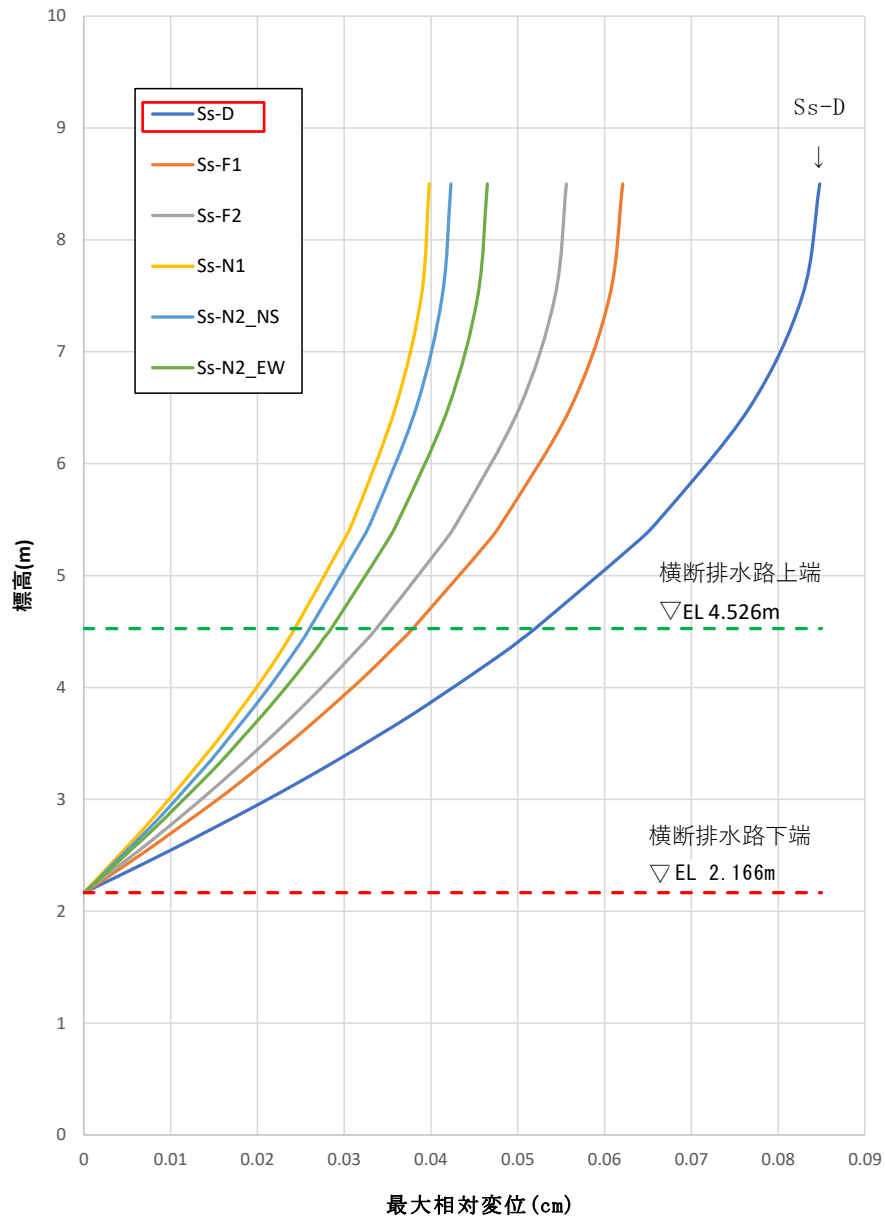


図 3-4(1) 地震応答解析結果（最大相対変位分布）

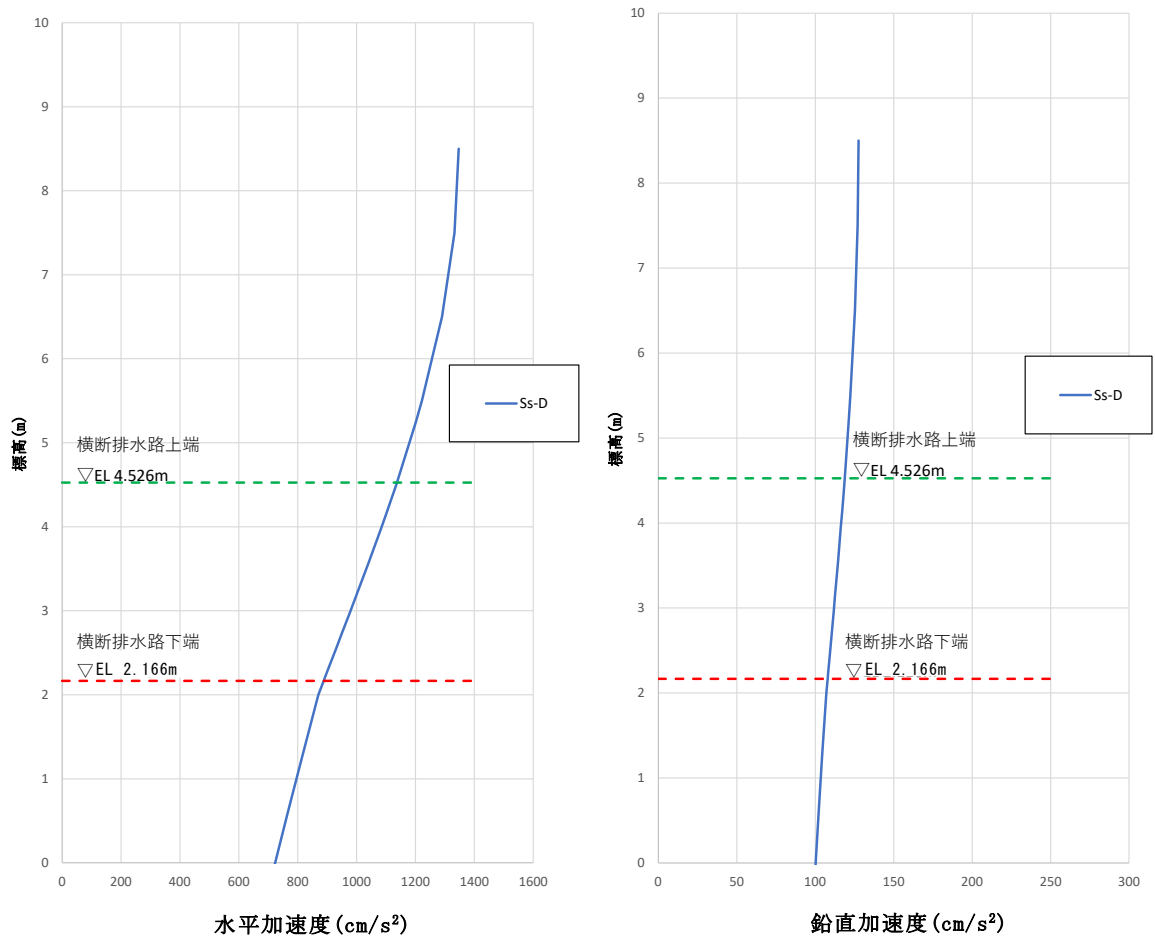


図 3-4(2) 地震応答解析結果 (最大相対変位発生時刻での水平加速度分布及び鉛直加速度分布)

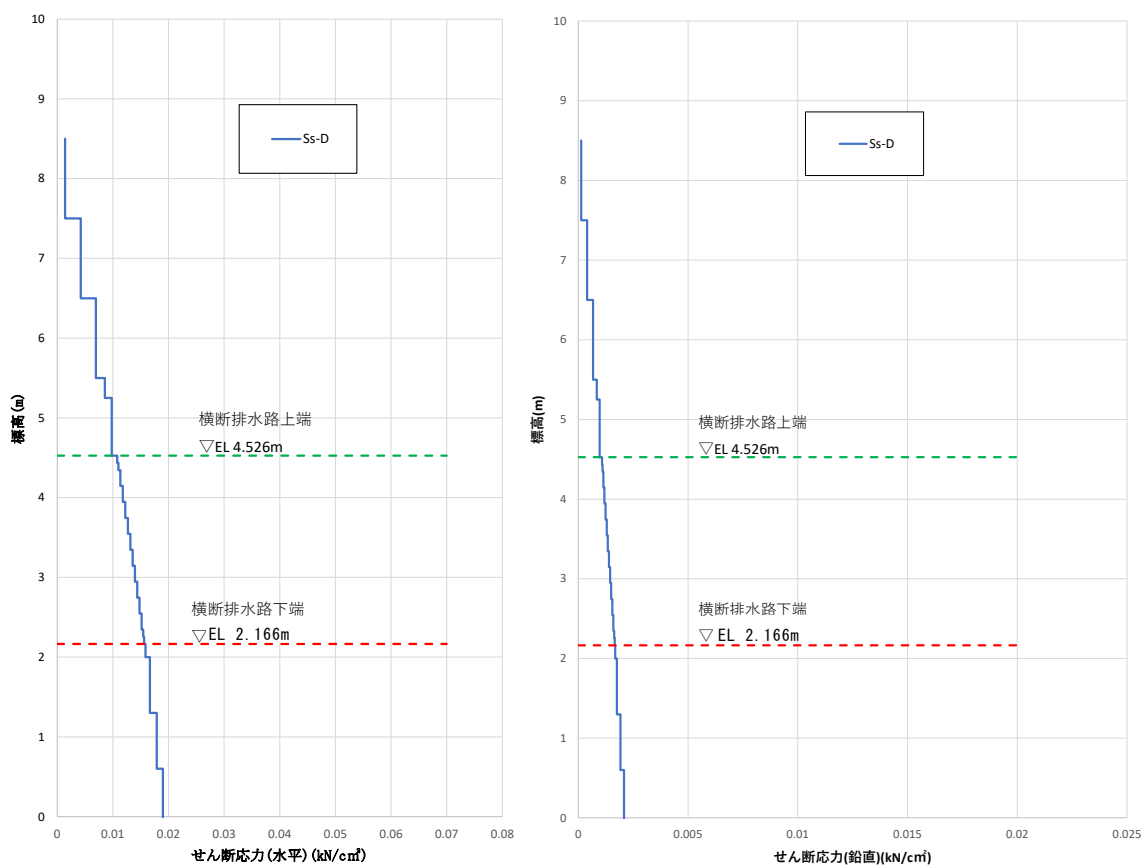


図3-4(3) 地震応答解析結果 (最大相対変位発生時刻でのせん断応力分布)

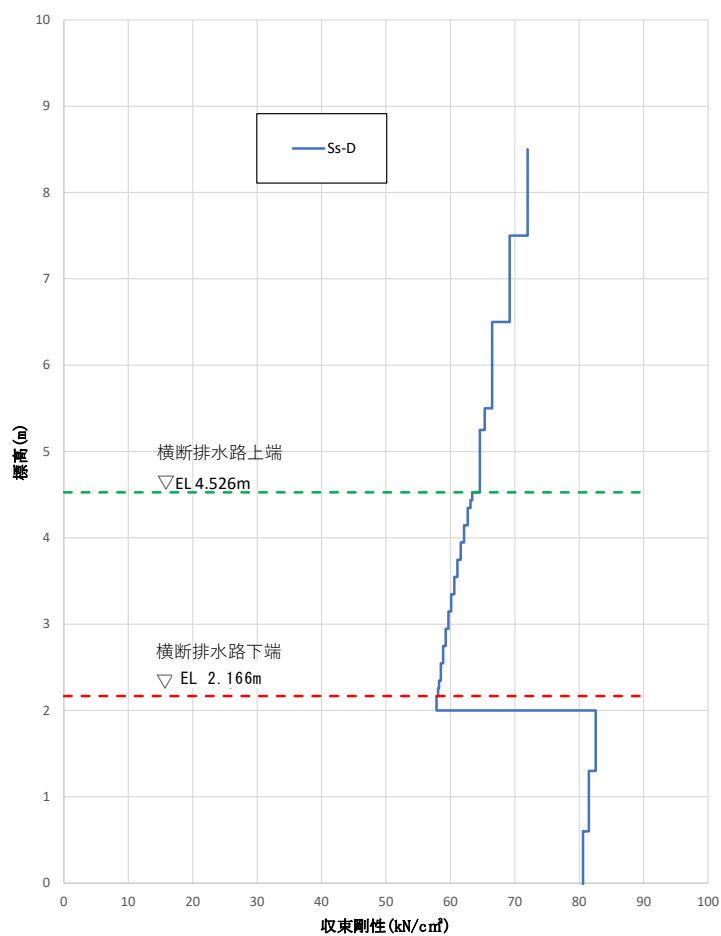


図3-4(4) 地震応答解析結果 (収束剛性)

表 3-5 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	
	↓ 下	26	185100	61710	
		25	268800	89590	
		24	340200	113400	
		23	483700	161200	
		22	330100	110000	
21		257900	85970		
20		173900	57980		
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	

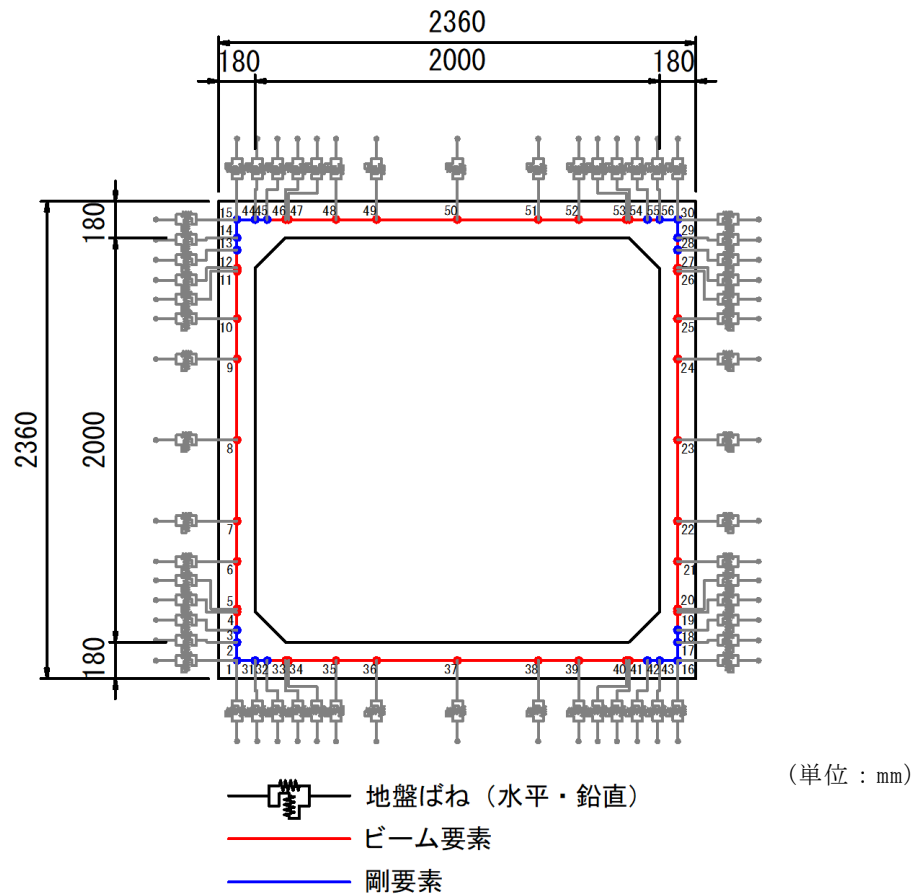


図 4-1 2次元フレーム解析モデル図

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

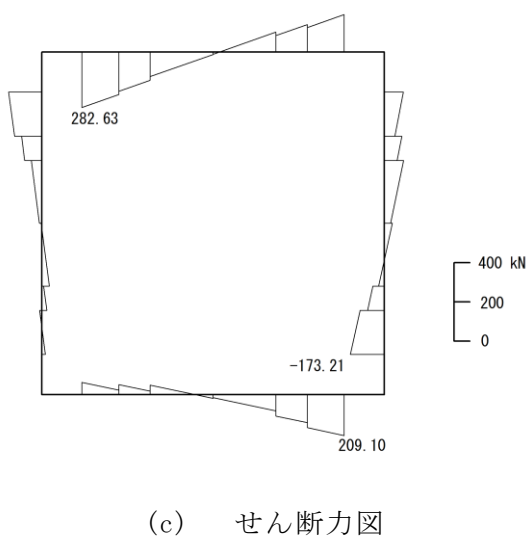
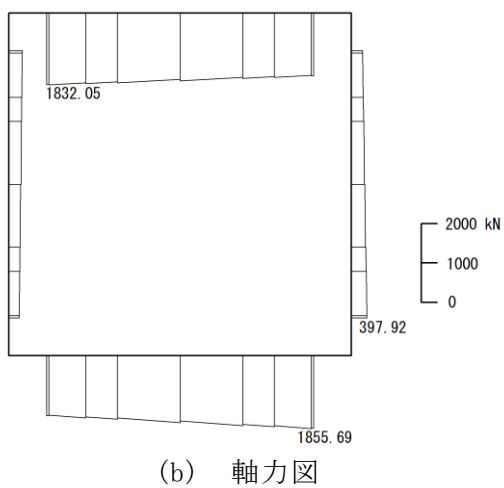
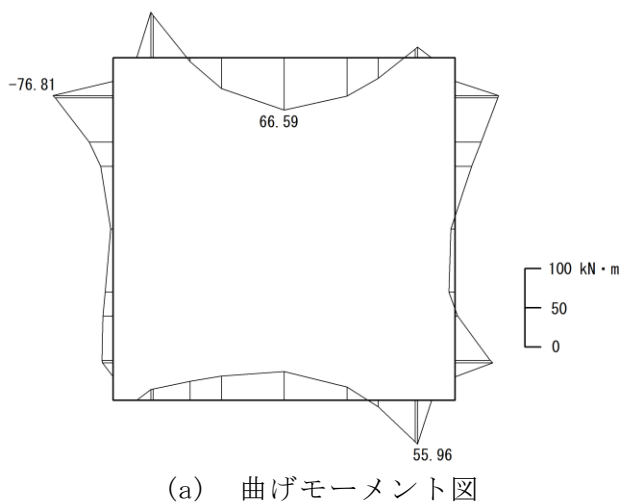


図 5-1 断面力図 (南北断面)

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 ²)	極限支持力度 (N/mm ²)	支持力照査値
屋外排水路 (防波壁横断部)	S _s -D	0.1	1.4	0.08