

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04
提出年月日	2023年5月31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5月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	6
2.3.1	2次元地震応答解析	9
2.3.2	鉛直断面に対する耐震評価	10
2.3.3	水平断面に対する耐震評価	13
2.3.4	底版に対する耐震評価	15
2.4	適用規格・基準等	16
3.	耐震評価	17
3.1	評価対象断面	17
3.2	使用材料及び材料の物性値	20
3.3	許容限界	21
3.3.1	構造部材の健全性に対する許容限界	21
3.3.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	21
3.4	評価方法	22
3.4.1	構造部材の健全性評価	22
3.4.2	基礎地盤の支持性能評価	29
4.	耐震評価結果	30
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	30
4.1.1	鉛直断面に対する評価結果	30
4.1.2	水平断面に対する耐震評価結果	33
4.1.3	底版に対する耐震評価結果	38
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	40
	(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	

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」で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、地下水位低下設備のうち、揚水井戸が基準地震動 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ものである。

揚水井戸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及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

なお、本資料においては、安全対策工事に伴う掘削後の状態を前提とする。

2. 基本方針

2.1 位置

地下水位低下設備のうち揚水井戸の設置位置を図 2-1 に示す。



図 2-1 揚水井戸の設置位置

2.2 構造概要

揚水井戸は、揚水ポンプ等を支持する、内径 3.5m、高さ 31.9m の鉄筋コンクリート造の円筒状の地中構造物であり、十分な支持性能を有する C_M級岩盤に支持される。

地下水位低下設備の構成概要を図 2-2 に、揚水井戸の構造概要を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4 に示す。

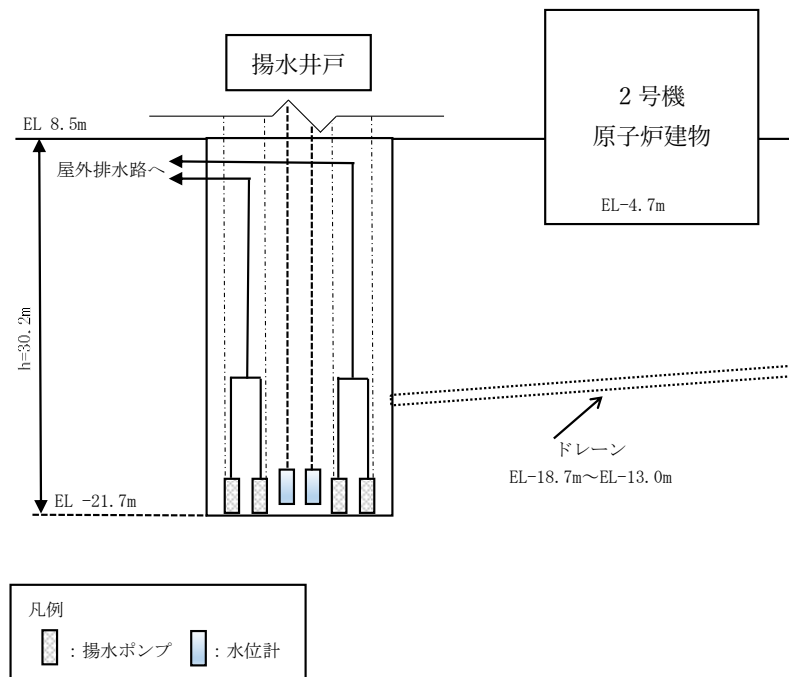


図 2-2 地下水位低下設備の構成概要

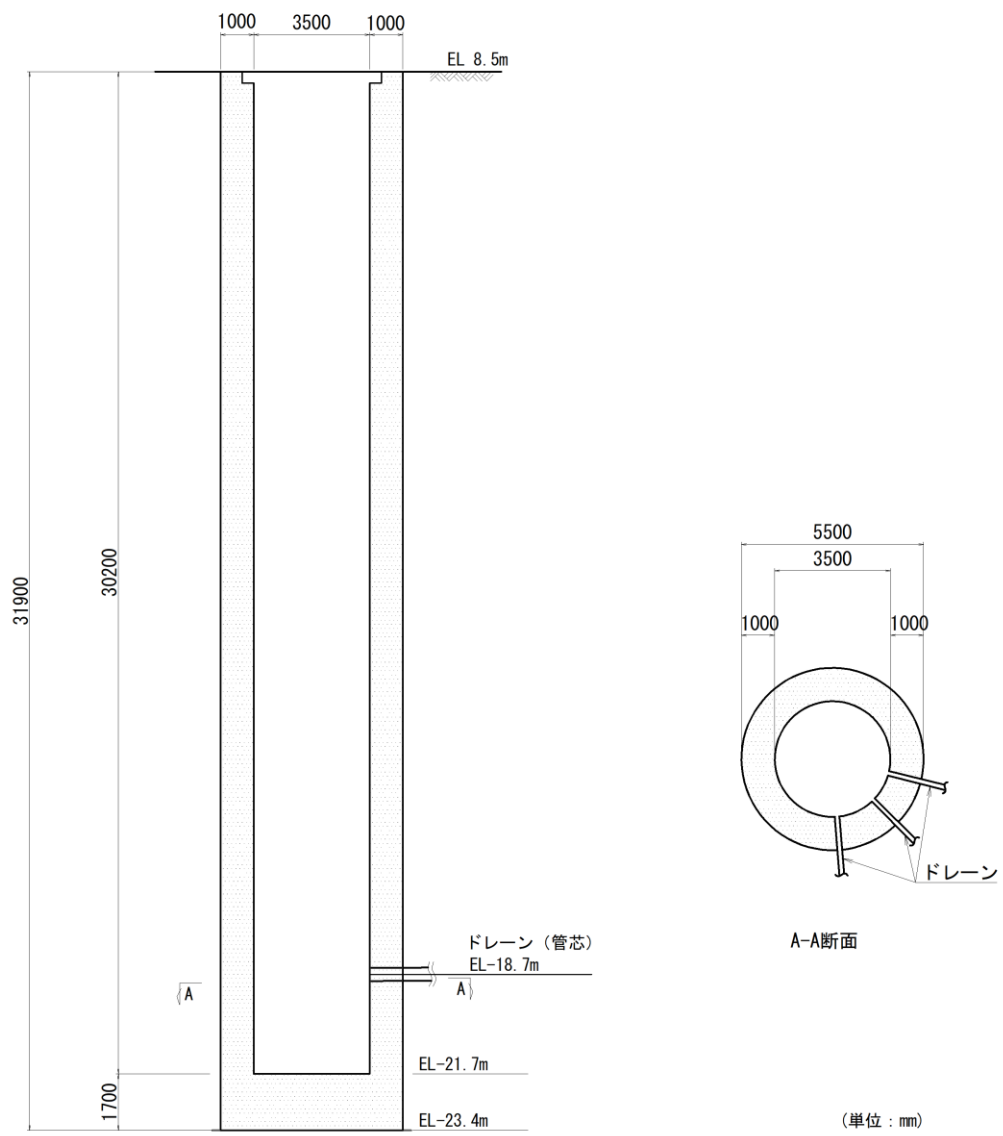


図 2-3 揚水井戸の構造概要

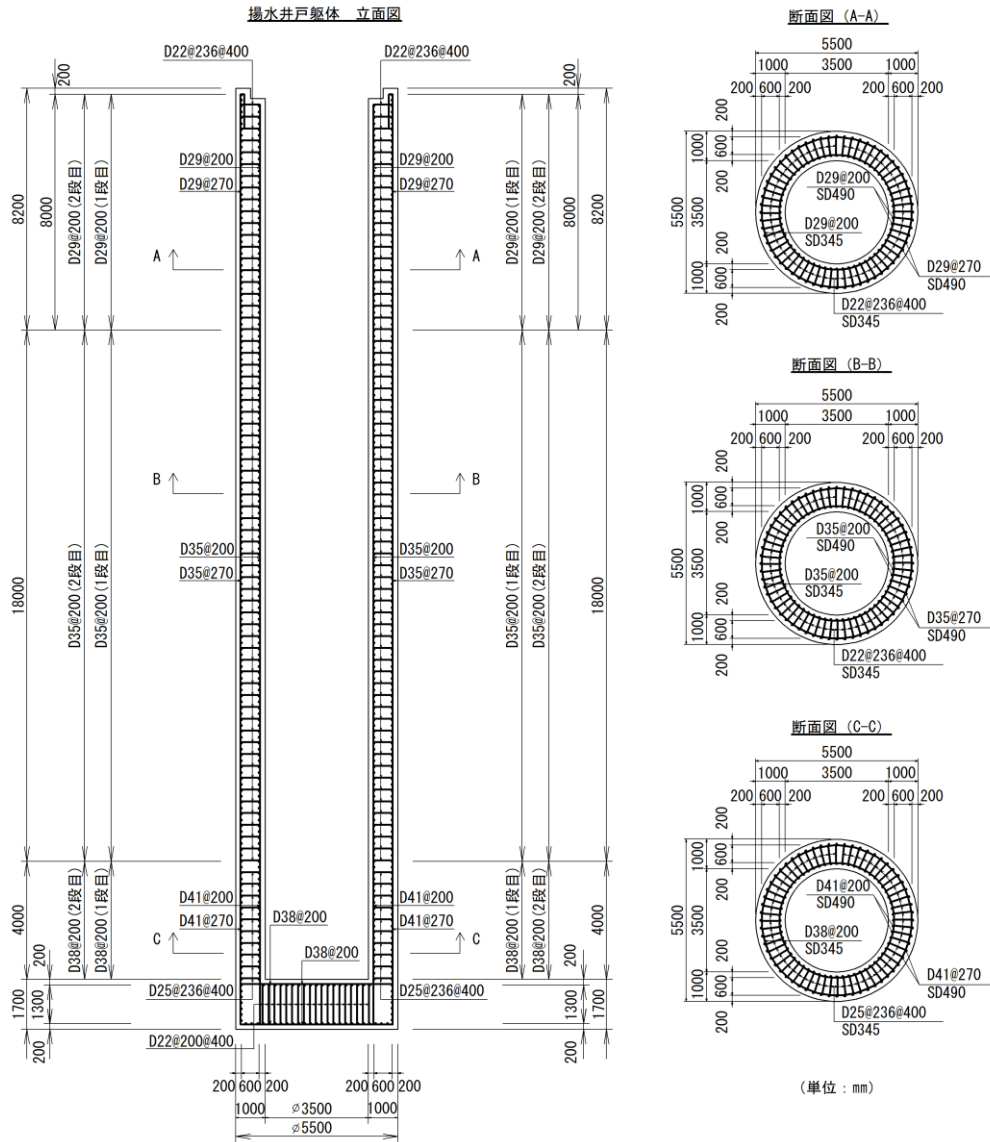


図 2-4 揚水井戸の概略配筋図

2.3 評価方針

地下水位低下設備の要求機能は、原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持することであり、揚水井戸は支持・閉塞防止機能を維持する必要がある。揚水井戸を含む地下水位低下設備は耐震重要度分類Cクラスに分類されるが、その機能を維持するため、基準地震動 S_s に対して耐震性を確保する設計としている。

揚水井戸の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき、発生する応力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、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

構造部材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を確認する。

揚水井戸の耐震評価フローを図 2-5 に、構造部材の応答値算定及び健全性評価についての耐震評価詳細フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 揚水井戸の評価項目

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	構造部位の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生する応力（曲げ軸力、せん断力）が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	極限支持力度*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

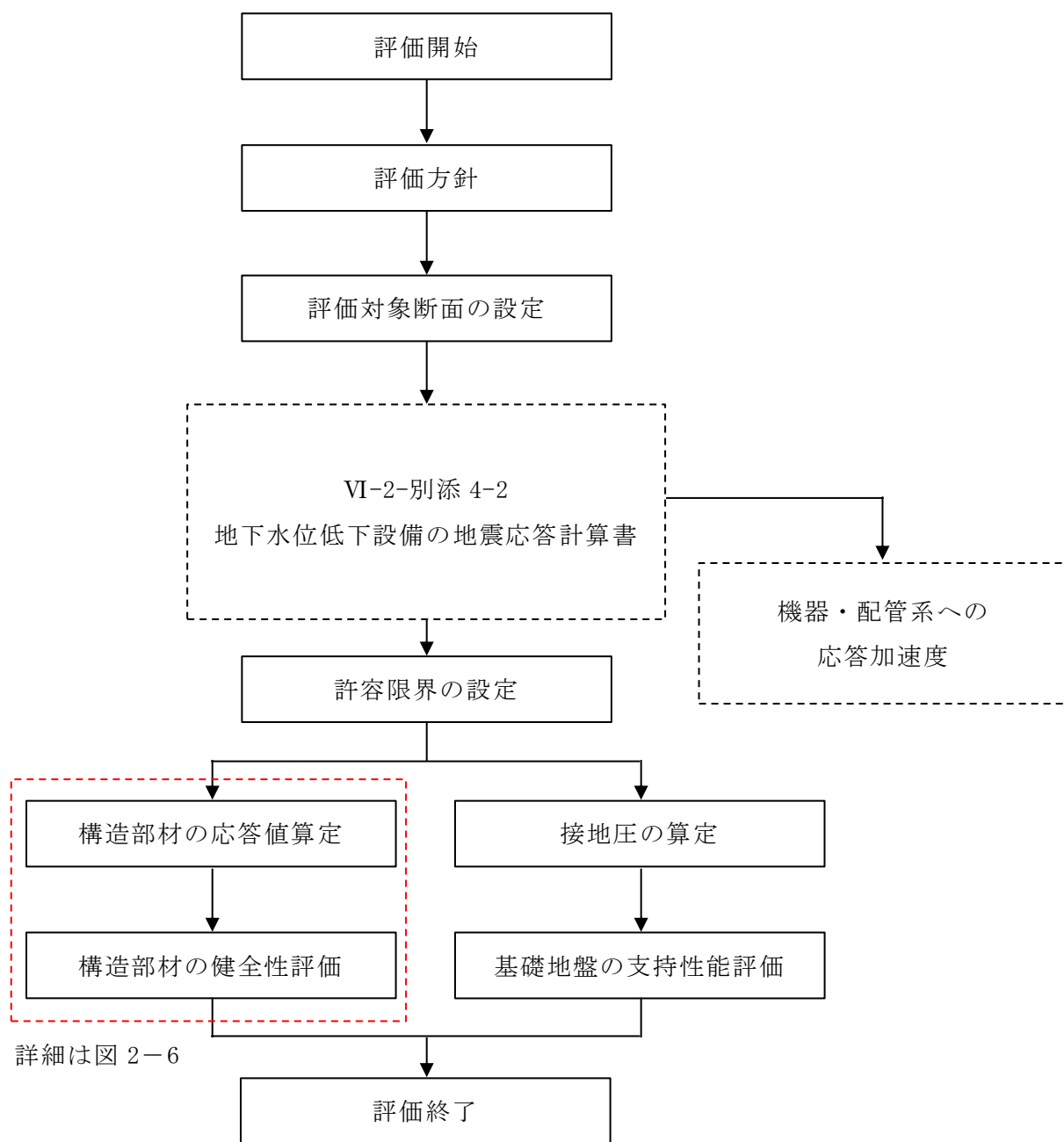


図 2-5 揚水井戸の耐震評価フロー

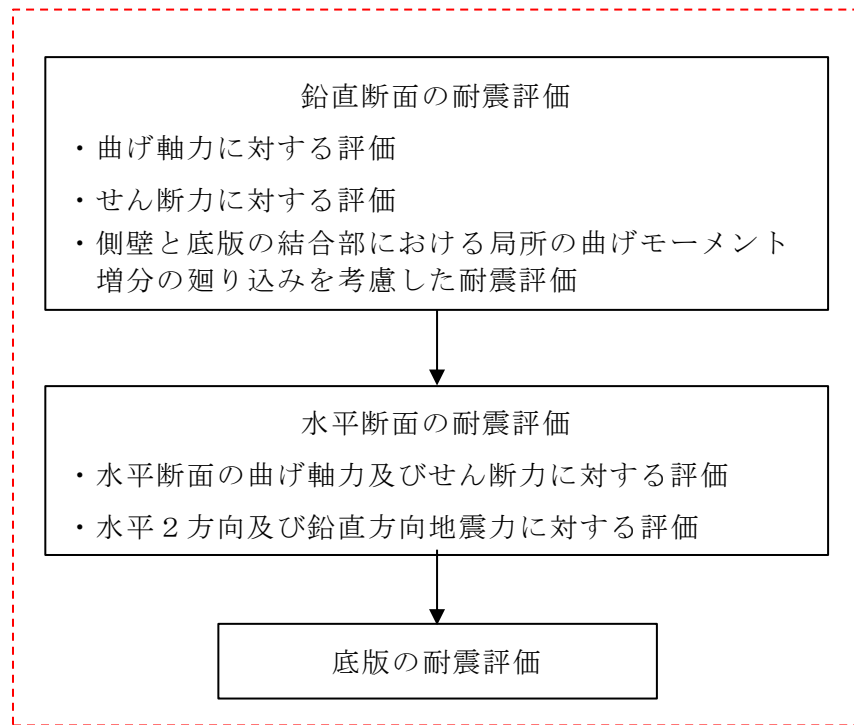


図 2-6 構造部材の応答値算定及び健全性評価についての耐震評価詳細フロー

2.3.1 2次元地震応答解析

揚水井戸の地震応答解析は、地盤と構造物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て行う。揚水井戸は、中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する構造はり(線形はり要素)によりモデル化する。

2次元地震応答解析を実施し、揚水井戸の鉛直鉄筋の健全性評価のために、2次元地震応答解析にて算出される線形はり要素の発生断面力(曲げモーメント、軸力、せん断力)を抽出する。揚水井戸の水平鉄筋の健全性評価のために、揚水井戸側方の地震時地盤反力の時刻歴最大値、すなわち地震時最大地盤反力を抽出する。さらに、底版の健全性評価のために、揚水井戸底面をモデル化した仮想剛はり要素に地盤から作用する鉛直方向の地震時地盤反力を底面方向分布に応じて合計した値、すなわち鉛直方向の地震時地盤反力の時刻歴最大値を抽出する。

2次元地震応答解析からの応答値の抽出概念図を図2-7に示す。

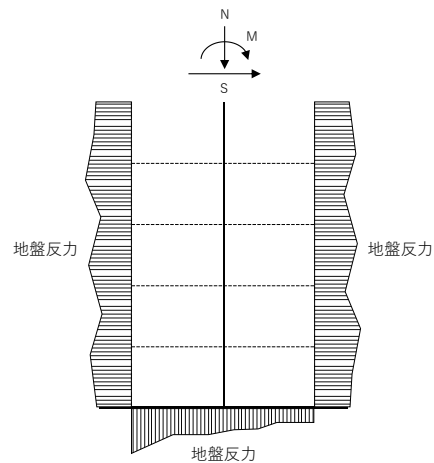


図2-7 2次元地震応答解析からの応答値の抽出概念図

2.3.2 鉛直断面に対する耐震評価

(1) 鉛直断面の曲げ軸力に対する評価

揚水井戸は直交する2断面（東西方向，南北方向）を解析断面として選定し，2次元地震応答解析を実施し部材の設計を行う。揚水井戸の鉛直鉄筋は2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生断面力（曲げ軸力）を用いて2次元静的フレーム解析を実施し，照査を行う。その際，水平2方向及び鉛直方向地震力に対して円筒状立抗の場合は，地震動の加振方向に対して抵抗する部位が明確でない。そこで，円筒状立抗の曲げ軸力が時刻歴最大となる時刻の曲げモーメントが直交する方向にも同時に作用するものと仮定（曲げモーメントを $\sqrt{2}$ 倍）して，構造部材の曲げ軸力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。2次元静的フレーム解析には解析コード「TDA P III」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。

線形はり要素の鉛直断面設計概念図を図2-8に示す。

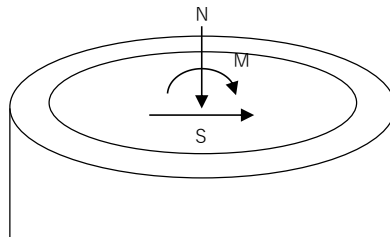


図2-8 線形はり要素の鉛直断面設計概念図

(2) 鉛直断面のせん断力に対する評価

2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力（ S ）に対しコンクリートの有効断面積（ A_w ）で抵抗するものとし，せん断力度 $\tau = S / A_w$ が「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）」に示される許容せん断応力度 τ_{a1} を超える場合はせん断補強筋が必要となる。

本評価においては，2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力を用いて2次元静的フレーム解析を実施し，照査を行い，構造部材の発生せん断力が鉄筋コンクリートとしての許容限界，すなわち短期許容せん断力 V_a 以下であることを確認する。

(3) 側壁と底版の結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した耐震評価

側壁と底版の隅角部には、床版曲げモーメント (M_1) が側壁に廻り込む。また側壁が底版に支持される拘束効果により、地震時荷重を面外方向に受けた場合に曲げモーメント (M_2) が反転する。この現象は2次元地震応答解析において考慮することができないため、側壁と底版の結合部における曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した設計を行う。

側壁と底版を結合することにより底版に発生する端部の曲げモーメント (M_1) は、底版両端を固定支持とした理論解により算定する。荷重については、底版の地盤反力の和が最大となる時刻の地盤反力を作用させる。

また、側壁に作用する荷重による、側壁と底版の結合部に発生する曲げモーメント (M_2) は、底版と揚水井戸上端をスパンとした単位幅の1方向を考慮した両端固定はりとしてモデル化し、2次元静的フレーム解析により算定する。荷重については、地盤反力の和が最大となる時刻の地盤反力を作用させる。

底版の端曲げモーメント (M_1) 及び底版に拘束された側壁に発生する端曲げモーメント (M_2) の和を設計曲げモーメントとする。

上記により得られる設計曲げモーメントから鉛直鉄筋の引張応力度 (σ_{v2}) を算定する。円筒状立抗の曲げ軸力が時刻歴最大となる時刻の曲げモーメントを直行する方向にも同時に作用させるものと仮定(曲げモーメントを $\sqrt{2}$ 倍)して求められた鉛直鉄筋の引張応力度 (σ_{v1}') を加算した鉛直鉄筋の引張応力度 ($\sigma_{v1}' + \sigma_{v2}$) が許容限界以下であることを確認する。

底版から側壁に廻り込む曲げモーメント概念図を図2-9に示す。

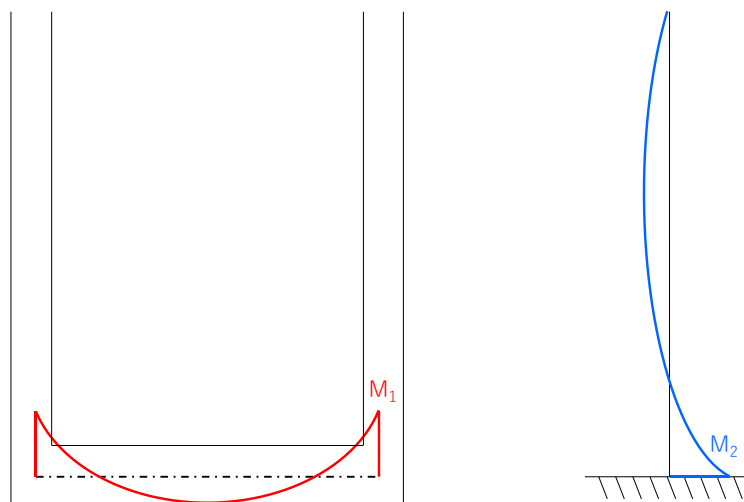


図 2-9 底版から側壁に廻り込む曲げモーメント概念図

2.3.3 水平断面に対する耐震評価

(1) 水平断面の曲げ軸力及びせん断力に対する評価

揚水井戸の水平断面については、側壁を線形はり要素によりモデル化した2次元静的フレーム解析に基づき照査を行う。水平断面の評価概念図を図2-10に示す。

揚水井戸の水平断面の検討では、揚水井戸側方の地震時地盤反力の時刻歴最大時の荷重を作用させる場合（両押し時）と地震時地盤反力の時刻歴最大時の荷重を片側のみ作用させる場合（片押し時）の2つの荷重状態について検討する。

常時荷重については常時土圧及び静水圧を考慮する。地震時地盤反力を考慮する方向と直交する方向の荷重は、地震時地盤反力を打ち消す効果があるため、常時荷重については、設計断面の適用範囲ごとに最浅部（最小）の常時荷重を算定し、図2-10に示すように、水平断面の2次元静的フレーム解析に用いる。

構造部材の発生断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）が許容限界以下であることを確認する。なお、ここで設計する主鉄筋は、2次元静的フレーム解析モデルの側壁面外方向の地震時最大地盤反力で生じる曲げ応力に対する配筋である。

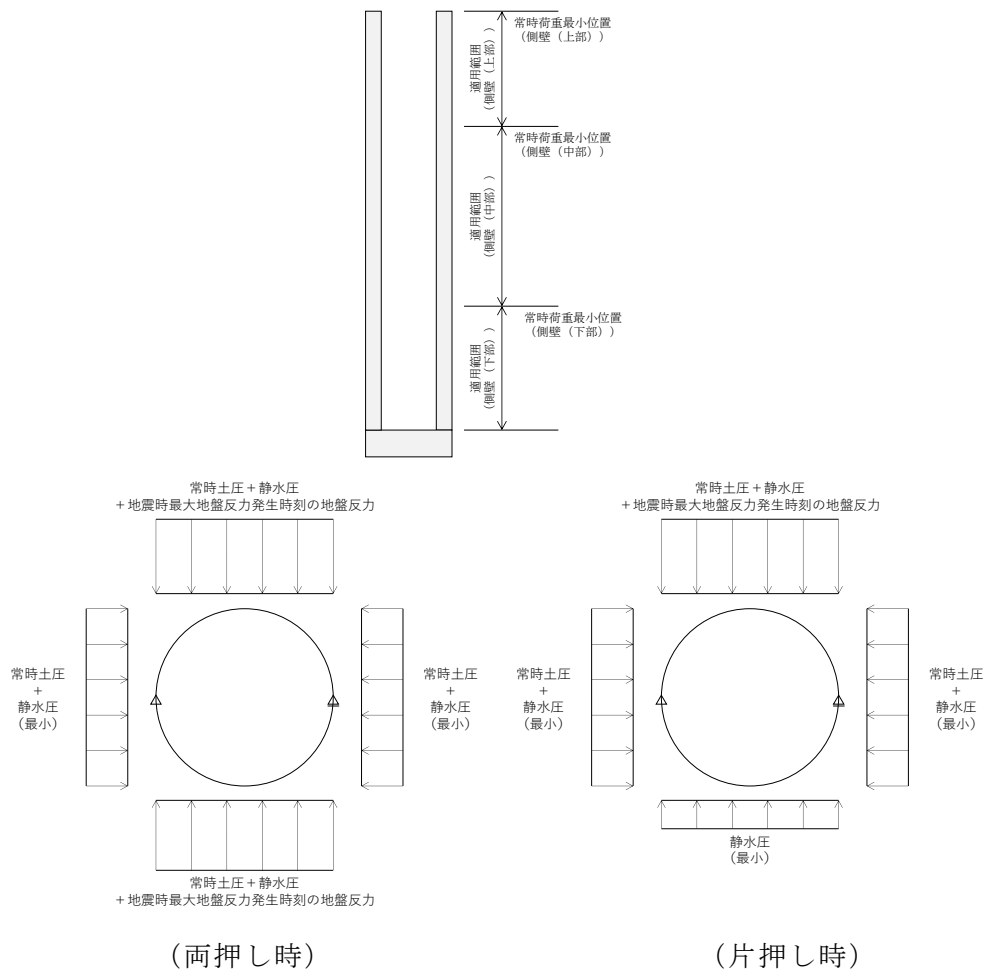


図2-10 水平断面の評価概念図(フレーム解析)

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する評価

揚水井戸の設計における水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する耐震安全性は、側壁面内方向の水平鉄筋の配筋量にて確認する。

揚水井戸の側壁における面内方向の水平鉄筋として、2次元地震応答解析(鉛直断面)モデルの側壁面内方向のせん断力に対するせん断補強鉄筋(A_{s1})と、水平断面の2次元静的フレーム解析モデルの側壁面外方向の地震時最大地盤反力で生じる曲げ軸力に対する主鉄筋(A_{s2})は同じ向きの配筋となる。したがって、 A_{s1} の必要鉄筋量と A_{s2} の必要鉄筋量を足し合わせた合計必要鉄筋量以上の実配筋量が側壁の面内方向に配置されていることを確認する。

側壁の水平鉄筋の設計イメージを図 2-11 に示す。

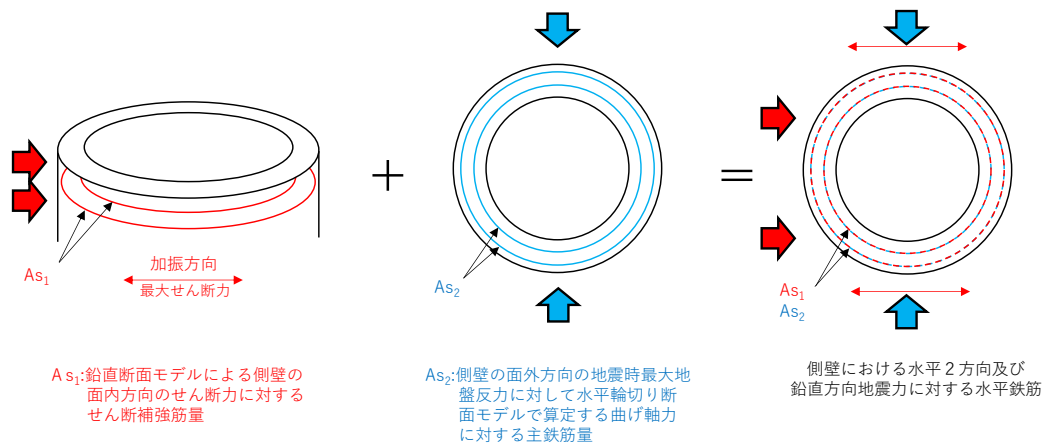


図 2-11 側壁の水平鉄筋の設計イメージ

2.3.4 底版に対する耐震評価

底版は接続する側壁の中心間距離をスパンとした単位幅の1方向を考慮し、両端を単純支持とした理論解により設計断面力を算定する。

設計荷重は2次元地震応答解析において、仮想剛はり要素(底面)下面の地盤要素に発生する地震時地盤反力の和が最大となる時刻を抽出し、その時刻における地盤反力を作用させる。また、静水圧も分布荷重として考慮する。

揚水井戸の底版の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。底版の応答解析概念図を図2-12に示す。

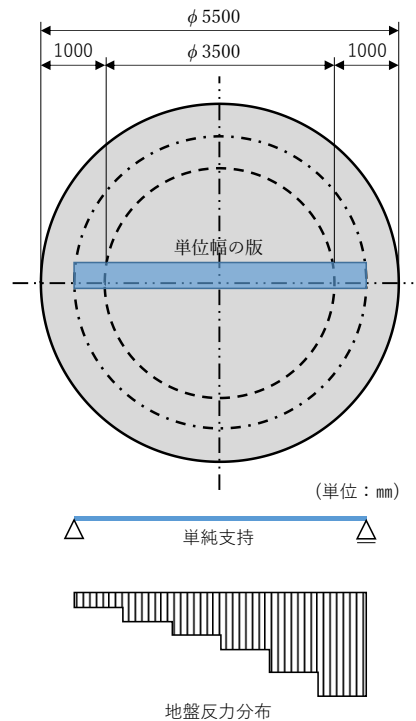


図 2-12 底版の応答解析概念図

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24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）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

揚水井戸の断面は、東西方向及び南北方向の 2 断面とする。

評価対象断面の地質断面図位置を図 3-1 に、評価対象断面の地質断面図を図 3-2 に示す。

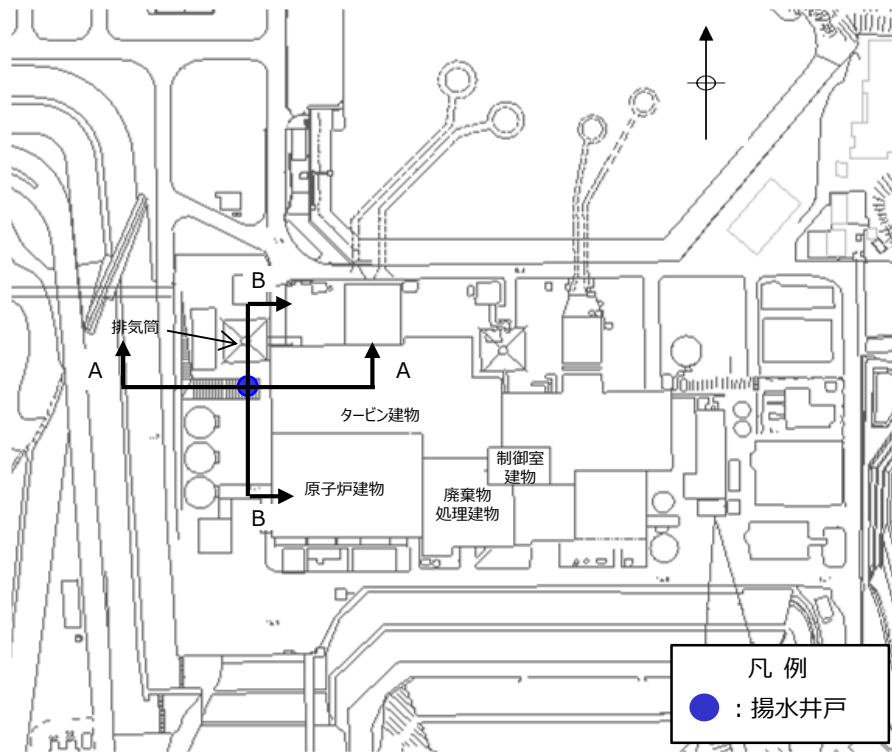


図 3-1 評価対象断面の地質断面図位置

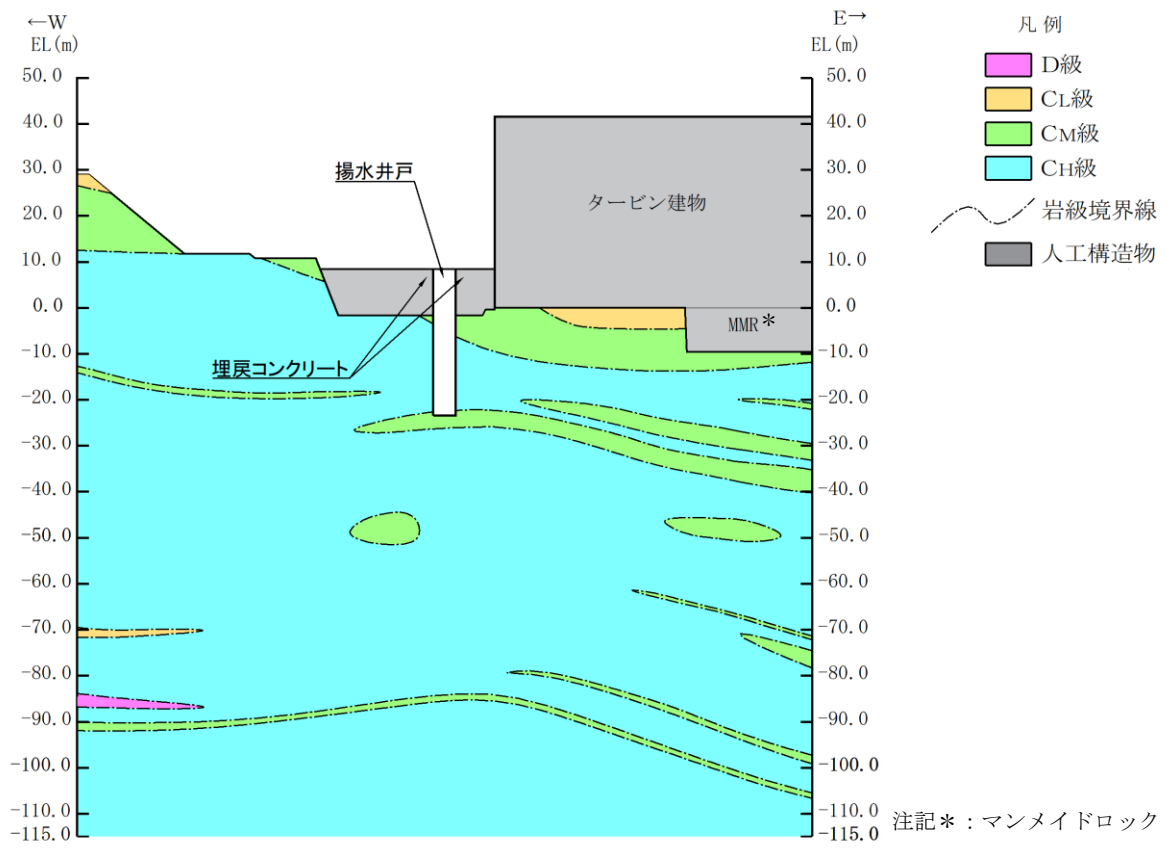


図 3-2(1) 評価対象断面の地質断面図 (A-A断面 (東西方向))

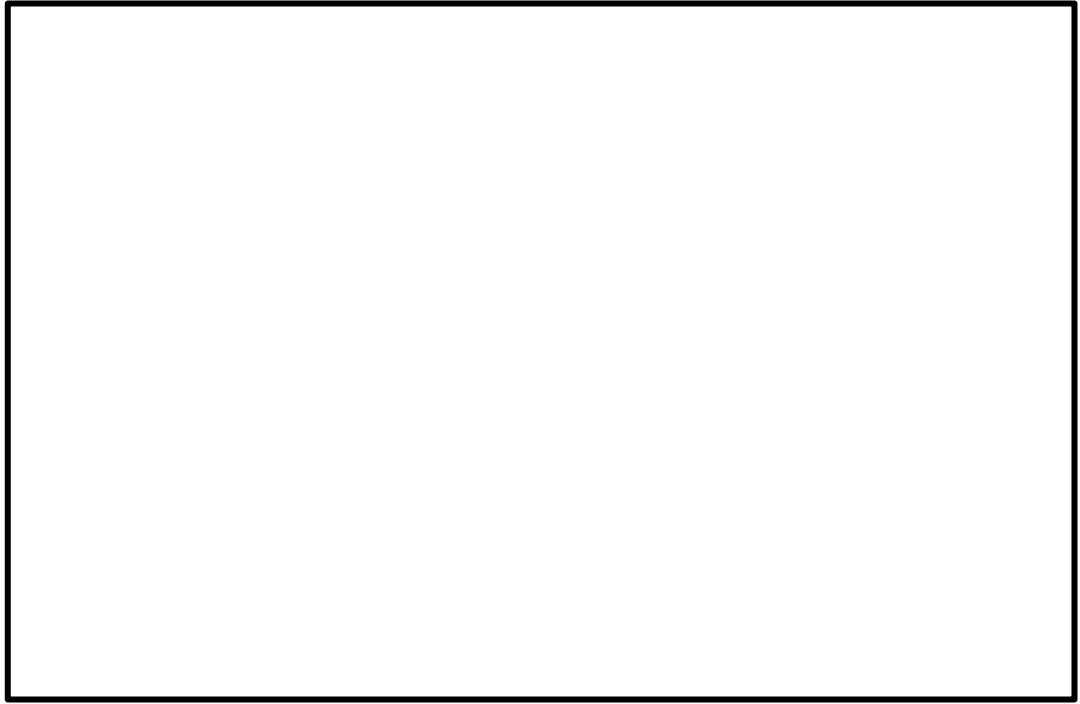


図 3-2(2) 評価対象断面の地質断面図 (B-B断面 (南北方向))

3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-1 に、材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 構造物の使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 36.0N/mm ²
	鉄筋	SD345, SD490
埋戻コンクリート		設計基準強度 18.0N/mm ²
MMR		設計基準強度 15.6N/mm ²
		設計基準強度 23.5N/mm ²

表 3-2 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	2.98×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
埋戻コンクリート (18.0N/mm ²)	2.20×10 ⁴	22.6* ²	
MMR (15.6N/mm ²)	2.08×10 ⁴		
MMR (23.5N/mm ²)	2.48×10 ⁴		

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。

3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき設定する。

3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界

揚水井戸は、許容応力度法による照査を行う。コンクリート及び鉄筋の健全性に対する許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 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* ¹ f' _{c k} = 36 (N/mm ²)	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	19.2
	短期許容せん断応力度 τ_{a1}	0.795
鉄筋	SD490 短期許容引張応力度 σ_{sa} (曲げ軸力) * ²	435
	SD345 短期許容引張応力度 σ_{sa} (曲げ軸力) * ¹	294

注記*¹: コンクリート標準示方書

*²: 道路橋示方書

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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、岩盤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 3-4 に示す。

表 3-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

3.4 評価方法

揚水井戸の耐震評価は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.3 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.4.1 構造部材の健全性評価

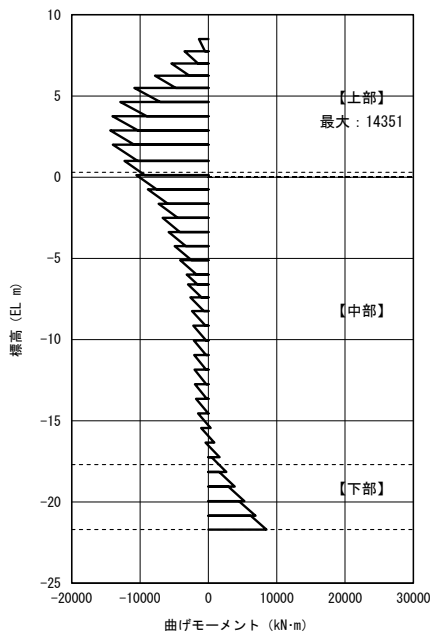
(1) 鉛直断面の構造部材の健全性評価

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

鉛直断面の構造部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した発生応力が許容限界以下であることを確認する。照査は、配筋の異なる位置ごと（上部、中部及び下部）で実施する。

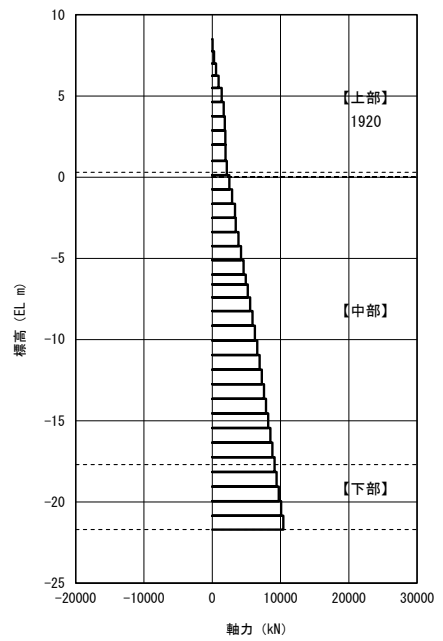
東西断面（以下「A-A断面」という。）の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-3 に、せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-4 に示す。

南北断面（以下「B-B断面」という。）の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-5 に、せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-6 に示す。



$$+M \left(i \text{ --- } j \right) +M$$

曲げモーメント図



$$+N \rightarrow i \text{ --- } j \leftarrow +N$$

軸力図

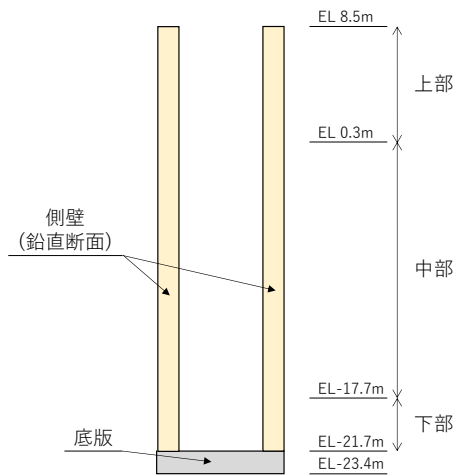
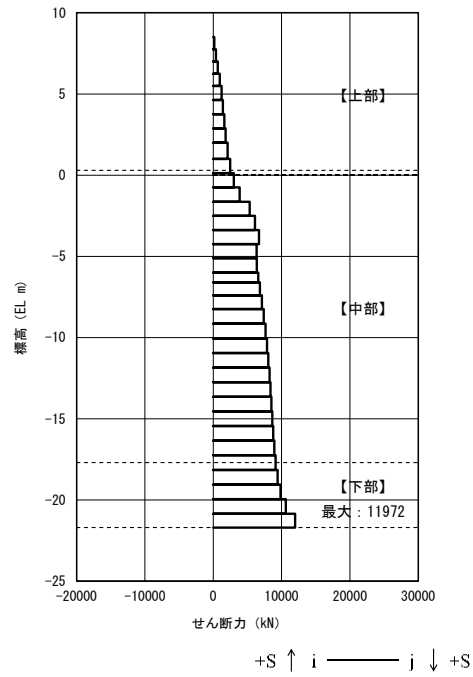


図 3-3 曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図
 (A-A断面, S s-D (-+), t=10.27s) (解析ケース③)



せん断力図

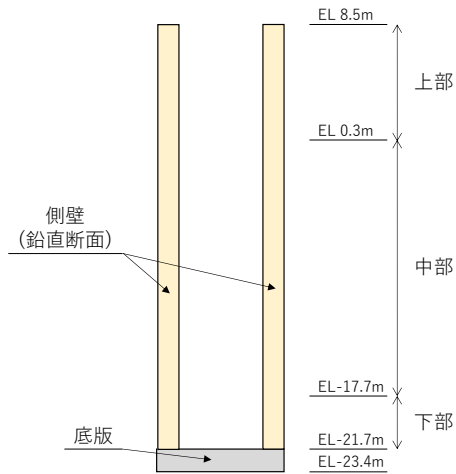
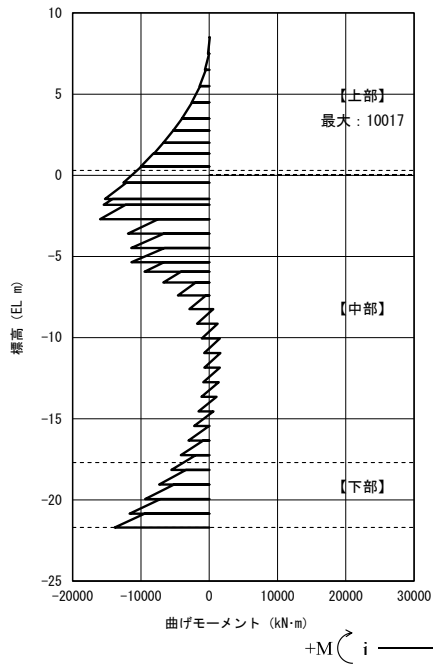
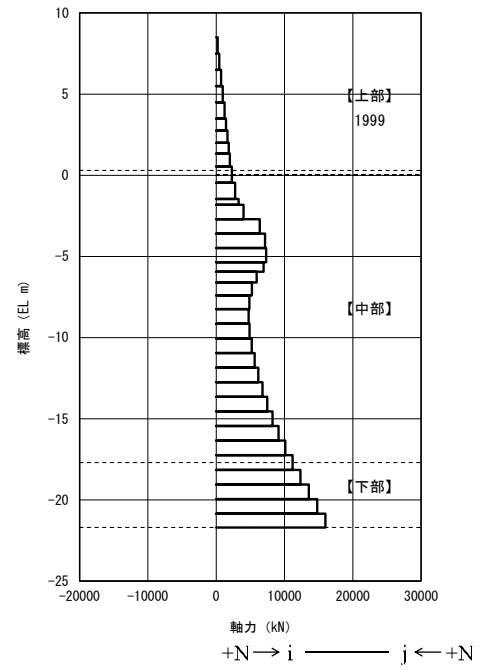


図 3-4 せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図
 (A-A断面, S_s-D(---), t=8.92s) (解析ケース③)



曲げモーメント図



軸力図

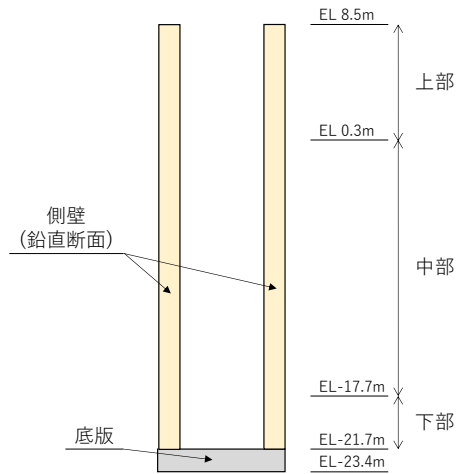
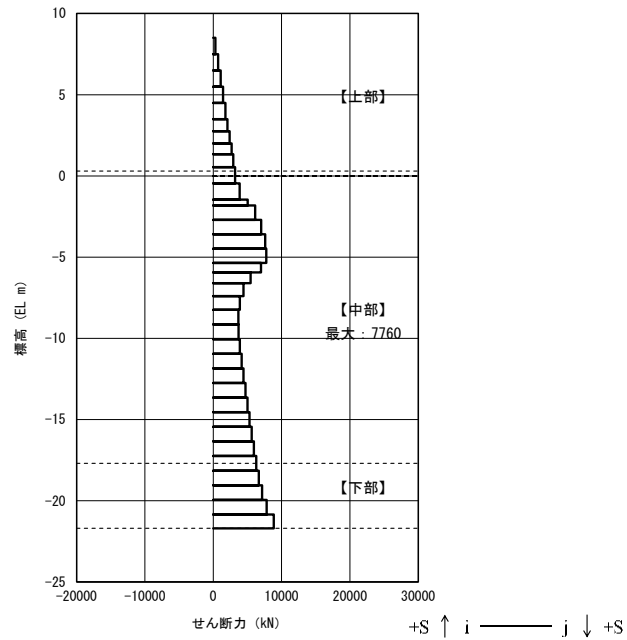


図 3-5 曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図
 (B-B 断面, S s - D (-+), t=8.93s) (解析ケース①)



せん断力図

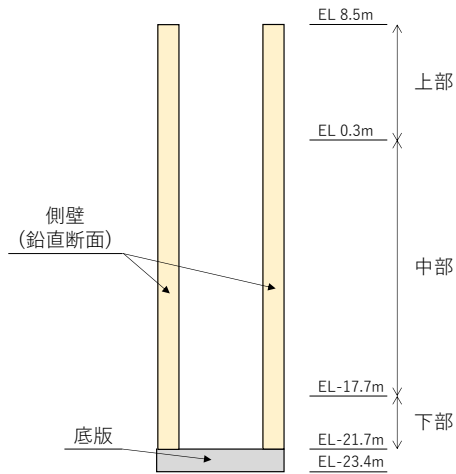
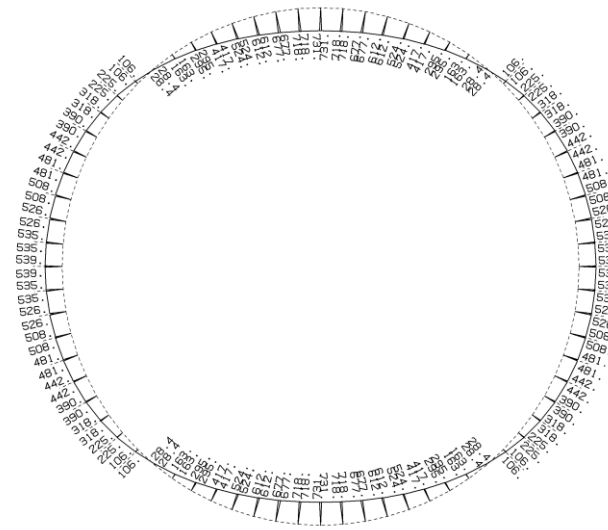


図 3-6 せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図
 (B-B断面, $S_s - D(-+)$, $t=8.55s$) (解析ケース③)

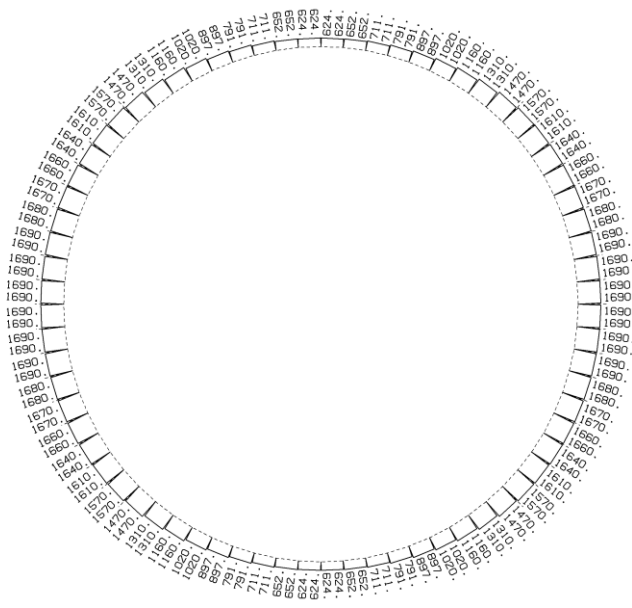
(2) 水平断面の構造部材の健全性評価

水平断面については，地震応答解析結果より，各部材の照査値が最も厳しい荷重条件を抽出して2次元静的フレーム解析を実施し，発生応力が許容限界以下であることを確認する。

水平断面の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図3-7に，せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図3-8に示す。



曲げモーメント (kN・m/m)



軸力 (kN/m)

図3-7 水平断面の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図 (A-A断面，中部，S s - N 1 (++)，t=7.60s) (解析ケース③)

3.4.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、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。

接地圧が許容限界に対して最も厳しくなる解析ケースにおいて、基礎地盤に生じる最大接地圧分布を図 3-9 に示す。

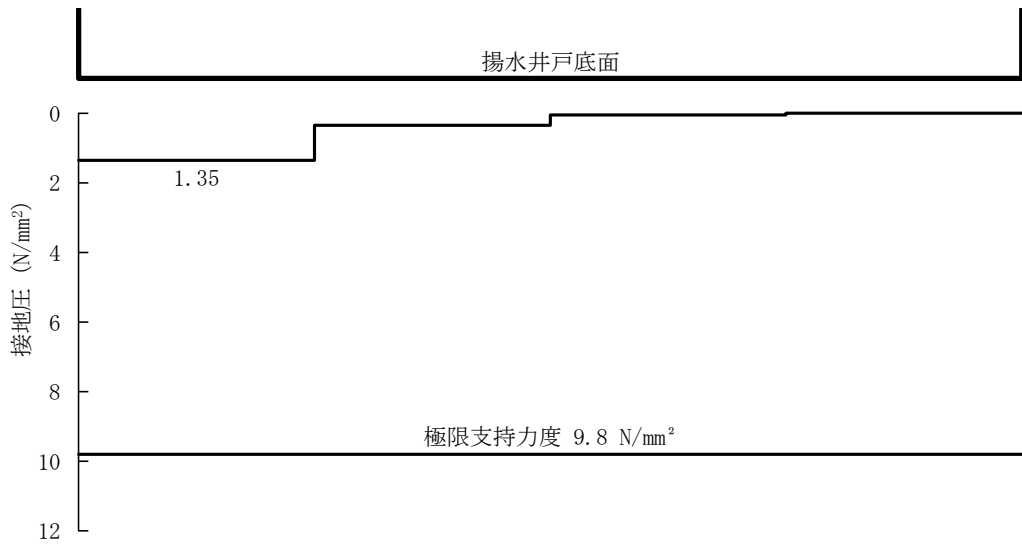


図 3-9 (1) A-A 断面における最大接地圧分布図
($S_s - N1 (-+)$, $t=7.60s$) (解析ケース①)

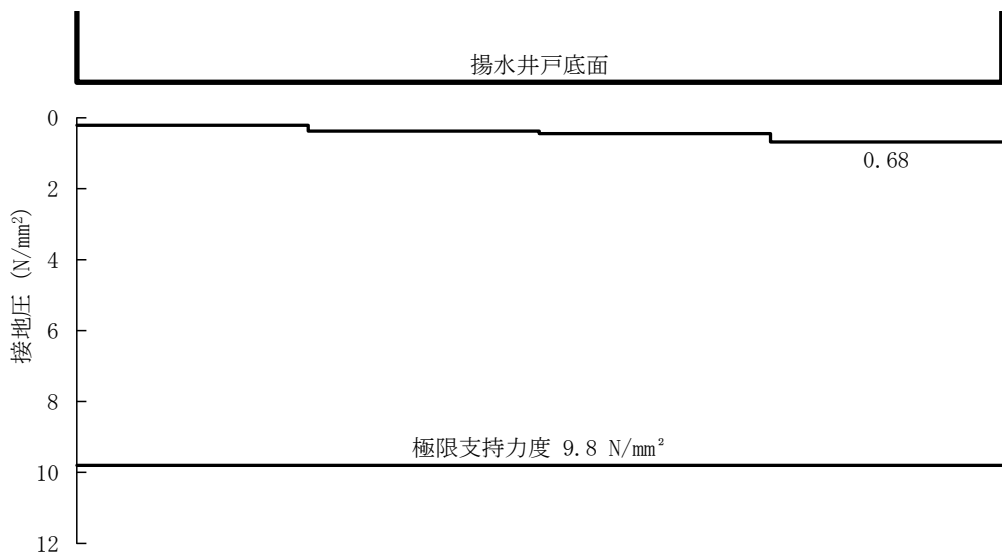


図 3-9 (2) B-B 断面における最大接地圧分布図
($S_s - N1 (++)$, $t=7.59s$) (解析ケース①)

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

(1) 2次元有効応力解析に対する健全性評価

2次元有効応力解析により得られるコンクリートの曲げ軸力に対する評価結果を表4-1に、鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果を表4-2に、鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果を表4-3に示す。なお、発生応力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上より、揚水井戸の鉛直断面の構造部材における発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表4-1(1) コンクリートの曲げ軸力に対する評価結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)		曲げ モーメント* (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-D (-+)	上部	1772	4874	4463	D29×60本(外側) D29×60本(内側)	21216	3124	3.4	19.2	0.18
③	Ss-D (-+)	中部	1772	4874	4463	D35×60本(外側) D35×60本(内側)	18578	5780	2.3	19.2	0.12
①	Ss-N1 (-+)	下部	1772	4874	4463	D41×60本(外側) D41×60本(内側)	22769	14463	2.4	19.2	0.13

注記*：曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表4-1(2) コンクリートの曲げ軸力に対する評価結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)		曲げ モーメント* (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-D (-+)	上部	1772	4874	4463	D29×60本(外側) D29×60本(内側)	14166	1999	2.3	19.2	0.12
①	Ss-D (-+)	中部	1772	4874	4463	D35×60本(外側) D35×60本(内側)	22814	4609	3.0	19.2	0.16
①	Ss-D (++)	下部	1772	4874	4463	D41×60本(外側) D41×60本(内側)	26758	16989	2.9	19.2	0.16

注記*：曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表 4-2(1) 鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)		曲げ モーメント* (kN・m)	軸力 (kN)			
③	Ss-D (-+)	上部	1772	4874	4463	D29×60 本(外側) D29×60 本(内側)	20295	1920	145.4	435	0.34
①	Ss-N1 (++)	中部	1772	4874	4463	D35×60 本(外側) D35×60 本(内側)	12519	297	72.8	435	0.17
①	Ss-D (+-)	下部	1772	4874	4463	D41×60 本(外側) D41×60 本(内側)	20273	9091	26.8	435	0.07

注記* : 曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表 4-2(2) 鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)		曲げ モーメント* (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-D (-+)	上部	1772	4874	4463	D29×60 本(外側) D29×60 本(内側)	14166	1999	90.7	435	0.21
①	Ss-D (-+)	中部	1772	4874	4463	D35×60 本(外側) D35×60 本(内側)	22814	4609	88.7	435	0.21
①	Ss-D (+-)	下部	1772	4874	4463	D41×60 本(外側) D41×60 本(内側)	25278	14127	20.2	435	0.05

注記* : 曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表 4-3(1) 鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋)	発生 せん断力 V(kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)				
①	Ss-D (++)	上部	1772	4874	4463	D29@200(2段)	6584	17393	0.38
①	Ss-D (--)	中部	1772	4874	4463	D35@200(2段)	9154	24563	0.38
③	Ss-D (--)	下部	1772	4874	4463	D38@200(2段)	11972	28748	0.42

表 4-3(2) 鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋)	発生 せん断力 V(kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)				
②	Ss-D (-+)	上部	1772	4874	4463	D29@200(2段)	3984	17393	0.23
③	Ss-D (-+)	中部	1772	4874	4463	D35@200(2段)	7760	24563	0.32
③	Ss-D (-+)	下部	1772	4874	4463	D38@200(2段)	8877	28748	0.31

(2) 側壁と底版の結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した耐震評価

A-A断面，B-B断面それぞれで最大の照査値を示す評価位置，解析ケース及び基準地震動での鉛直断面の評価結果を表4-4に示す。

以上より，揚水井戸の鉛直断面の構造部材における発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表4-4(1) 鉛直断面のコンクリートの曲げ軸力に対する評価結果

断面	解析ケース	地震動	評価位置		断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		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}	
					部材 幅 b (mm)	部材 高 h (mm)	有効 高 d (mm)		曲げ モーメント* (kN・m)	軸力 (kN)				
A-A 断面	①	Ss-N1 (++)	下部	全応力解析	σ_{v1}'	1772	4874	4463	SD490	22769	14463	2.4	19.2	0.13
				拘束効果 による曲げ	σ_{v2}	1000	1000	800		1108	0	9.9	19.2	0.52
				合計	$\sigma_{v1}'+$ σ_{v2}	-	-	-		-	-	12.3	19.2	0.65
B-B 断面	①	Ss-D (++)	下部	全応力解析	σ_{v1}'	1772	4874	4463	SD490	26758	16989	2.9	19.2	0.16
				拘束効果 による曲げ	σ_{v2}	1000	1000	800		690	0	6.2	19.2	0.33
				合計	$\sigma_{v1}'+$ σ_{v2}	-	-	-		-	-	9.1	19.2	0.48

注記*：全応力解析及び有効応力解析による曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して

$\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表4-4(2) 鉛直断面の鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果

断面	解析ケース	地震動	評価位置		断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		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}	
					部材 幅 b (mm)	部材 高 h (mm)	有効 高 d (mm)		曲げ モーメント* (kN・m)	軸力 (kN)				
A-A 断面	③	Ss-D (++)	下部	全応力解析	σ_{v1}'	1772	4874	4463	SD490	30076	4554	99.7	435	0.23
				拘束効果 による曲げ	σ_{v2}	1000	1000	800		1015	0	257.8	435	0.60
				合計	$\sigma_{v1}'+$ σ_{v2}	-	-	-		-	-	357.5	435	0.83
B-B 断面	①	Ss-D (++)	下部	全応力解析	σ_{v1}'	1772	4874	4463	SD490	25278	14127	20.2	435	0.05
				拘束効果 による曲げ	σ_{v2}	1000	1000	800		649	0	164.8	435	0.38
				合計	$\sigma_{v1}'+$ σ_{v2}	-	-	-		-	-	185.0	435	0.43

注記*：全応力解析及び有効応力解析による曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して

$\sqrt{2}$ 倍した値を記載

4.1.2 水平断面に対する耐震評価結果

(1) 2次元静的フレーム解析に対する健全性評価

コンクリートの曲げ軸力に対する評価結果を表4-5に、鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果を表4-6に、鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果を表4-7に示す。なお、発生応力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上より、揚水井戸の水平断面の構造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4-5(1) 水平断面のコンクリートの曲げ軸力に対する評価結果 (A-A断面)

解析ケース	地震動	評価位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
③	Ss-N1 (++)	上部	両押し	最小	1000	1000	800	D29@200 (2段)	531	1043	5.5	19.2	0.29
③	Ss-N1 (++)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D35@200 (2段)	731	624	7.1	19.2	0.37
③	Ss-N1 (++)	下部	両押し	最小	1000	1000	800	D38@200 (2段)	477	1027	4.2	19.2	0.22

表4-5(2) 水平断面のコンクリートの曲げ軸力に対する評価結果 (B-B断面)

解析ケース	地震動	評価位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-D (++)	上部	両押し	最小	1000	1000	800	D29@200 (2段)	48	127	0.5	19.2	0.03
③	Ss-D (-+)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D35@200 (2段)	670	598	6.5	19.2	0.34
③	Ss-D (-+)	下部	両押し	最小	1000	1000	800	D38@200 (2段)	279	697	2.4	19.2	0.13

表4-6(1) 水平断面の鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果 (A-A断面)

解析ケース	地震動	評価位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
③	Ss-N1 (++)	上部	両押し	最小	1000	1000	800	D29@200 (2段)	531	1043	76.6	294	0.27
③	Ss-N1 (++)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D35@200 (2段)	731	624	152.9	294	0.53
③	Ss-N1 (++)	下部	両押し	最小	1000	1000	800	D38@200 (2段)	477	1027	38.8	294	0.14

表 4-6(2) 水平断面の鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss- N2_NS (++)	上部	片押し	最小	1000	1000	800	D29@200 (2段)	-29	47	12.7	294	0.05
③	Ss-D (-+)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D35@200 (2段)	670	598	137.5	294	0.47
③	Ss-D (-+)	下部	両押し	最小	1000	1000	800	D38@200 (2段)	279	697	16.9	294	0.06

表 4-7(1) 水平断面の鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋)	発生 せん断力 V(kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)				
③	Ss-D (+-)	上部	片押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	565	1116	0.51
③	Ss-D (+-)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	515	1116	0.47
①	Ss-N1 (++)	下部	片押し	最小	1000	1000	800	D25@236@400	463	1375	0.34

表 4-7(2) 水平断面の鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋)	発生 せん断力 V(kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)				
①	Ss-D (++)	上部	片押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	53	1116	0.05
③	Ss-D (-+)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	633	1116	0.57
③	Ss-D (-+)	下部	片押し	最小	1000	1000	800	D25@236@400	288	1375	0.21

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する耐震評価結果

揚水井戸の水平鉄筋については、直交する 2 断面の 2 次元地震応答解析による側壁の面内方向のせん断力に対する必要せん断補強筋量 (A_{s1}) と面外方向の地震時最大地盤反力に対する必要鉄筋量 (A_{s2}) をそれぞれ算定し、足し合わせた合計必要鉄筋量以上が実配筋量として配置されていることを確認した。

A-A 断面, B-B 断面それぞれで地震時最大地盤反力が生じる評価位置, 解析ケース及び基準地震動での必要鉄筋量と実配筋量との比率を表 4-8, 表 4-9 に示す。

表 4-8(1) 鉛直断面のせん断力に対する評価結果 (A_{s1})

鉛直断面モデルによる側壁の面内方向のせん断力に対する必要鉄筋量 (A-A 断面)

(側壁の面内方向の鉄筋のうち, A_{s1} のみを考慮)

解析 ケース	地震動	評価 位置	発生 せん断力 V (kN)	腹部幅 b (mm)	有効高 d (mm)	コンクリート 許容 せん断 応力度 τ_{s1} (N/mm ²)	コンクリート 許容 せん断力 V_{ca} (kN)	せん断 補強筋が 負担する せん断力 V_{sreq} (kN)	必要せん断 補強鉄筋	
									A_{wreq} (mm ² /組)	A_{s1} (mm ² /m)
①	Ss-D (++)	上部	6584	1772	4463	0.795	2734	3850	675	844
③	Ss-D (--)	中部	9130	1772	4463	0.795	2734	6396	1121	1401
③	Ss-D (--)	下部	11972	1772	4463	0.795	2734	9238	1619	2024

表 4-8(2) 鉛直断面のせん断力に対する評価結果 (A_{s1})

鉛直断面モデルによる側壁の面内方向のせん断力に対する必要鉄筋量 (B-B 断面)

(側壁の面内方向の鉄筋のうち, A_{s1} のみを考慮)

解析 ケース	地震動	評価 位置	発生 せん断力 V (kN)	腹部幅 b (mm)	有効高 d (mm)	コンクリート 許容 せん断 応力度 τ_{s1} (N/mm ²)	コンクリート 許容 せん断力 V_{ca} (kN)	せん断 補強筋が 負担する せん断力 V_{sreq} (kN)	必要せん断 補強鉄筋	
									A_{wreq} (mm ² /組)	A_{s1} (mm ² /m)
②	Ss-D (-+)	上部	3984	1772	4463	0.795	2734	1250	219	274
③	Ss-D (-+)	中部	7760	1772	4463	0.795	2734	5026	881	1101
③	Ss-D (-+)	下部	8877	1772	4463	0.795	2734	6143	1077	1346

表 4-8(3) 水平断面の曲げ軸力に対する評価結果 (A_{s2})

側壁の面外方向の地震時最大地盤反力に対して水平輪切り断面モデルで算定する曲げ軸力に対する必要鉄筋量 (A-A断面)
(側壁の面内方向の鉄筋のうち、 A_{s2} のみを考慮)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面性状			鉄筋 種別	発生断面力		短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	必要 鉄筋量 A_{s2} (mm ² /m)
			部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)		
①	Ss-D (++)	上部	1000	1000	800	SD345	456	904	294	728
③	Ss-D (--)	中部	1000	1000	800	SD345	559	646	294	2756
③	Ss-D (--)	下部	1000	1000	800	SD345	425	970	294	163

表 4-8(4) 水平断面の曲げ軸力に対する評価結果 (A_{s2})

側壁の面外方向の地震時最大地盤反力に対して水平輪切り断面モデルで算定する曲げ軸力に対する必要鉄筋量 (B-B断面)
(側壁の面内方向の鉄筋のうち、 A_{s2} のみを考慮)

解析 ケース	地震動	評価 位置	断面性状			鉄筋 種別	発生断面力		短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	必要 鉄筋量 A_{s2} (mm ² /m)
			部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)		
②	Ss-D (-+)	上部	1000	1000	800	SD345	31	99	294	0
③	Ss-D (-+)	中部	1000	1000	800	SD345	581	674	294	2871
③	Ss-D (-+)	下部	1000	1000	800	SD345	263	697	294	0

表 4-9(1) A_{s1} の必要鉄筋量と A_{s2} の必要鉄筋量を足し合わせた

必要合計鉄筋量と実配筋量との比率 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	評価位置	鉛直断面の せん断力 に対する 必要鉄筋量 A_{s1} ($\text{mm}^2/\text{m}/\text{段}$)	水平断面の 曲げ軸力 に対する 必要鉄筋量 A_{s2} (mm^2/m)	[1] 合計必要 鉄筋量 $A_{s1}+A_{s2}$ (mm^2/m)	[2] 実配筋量 A_s (mm^2/m)	比率 [1]/[2]
①	SS-D (++)	上部	844	728	1572	3212	0.49
③	SS-D (--)	中部	1401	2756	4157	4783	0.87
③	SS-D (--)	下部	2024	163	2187	5700	0.39

表 4-9(2) A_{s1} の必要鉄筋量と A_{s2} の必要鉄筋量を足し合わせた

必要合計鉄筋量と実配筋量との比率 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価位置	鉛直断面の せん断力 に対する 必要鉄筋量 A_{s1} ($\text{mm}^2/\text{m}/\text{段}$)	水平断面の 曲げ軸力 に対する 必要鉄筋量 A_{s2} (mm^2/m)	[1] 合計必要 鉄筋量 $A_{s1}+A_{s2}$ (mm^2/m)	[2] 実配筋量 A_s (mm^2/m)	比率 [1]/[2]
②	SS-D (-+)	上部	274	0	274	3212	0.09
③	SS-D (-+)	中部	1101	2871	3972	4783	0.84
③	SS-D (-+)	下部	1346	0	1346	5700	0.24

4.1.3 底版に対する耐震評価結果

コンクリートの曲げ軸力に対する評価結果を表4-10に、鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果を表4-11に、鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果を表4-12に示す。なお、発生応力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上より、揚水井戸の底版の構造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4-10(1) コンクリートの曲げ軸力に対する評価結果(A-A断面)

解析ケース	地震動	評価位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
			部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-N1 (++)	底版	1000	1700	1500	D38@200(2段)	1417	0	4.4	19.2	0.23

表4-10(2) コンクリートの曲げ軸力に対する評価結果(B-B断面)

解析ケース	地震動	評価位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-N1 (++)	底版	1000	1700	1500	D38@200(2段)	1132	0	3.4	19.2	0.18

表4-11(1) 鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果(A-A断面)

解析ケース	地震動	評価位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-N1 (++)	底版	1000	1700	1500	D38@200(2段)	1417	0	183.3	435	0.43

表4-11(2) 鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果(B-B断面)

解析ケース	地震動	評価位置	断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 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}
			部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss-N1 (++)	底版	1000	1700	1500	D38@200(2段)	1132	0	146.4	435	0.34

表 4-12(1) 鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果(A-A断面)

解析 ケース	地震 動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋)	発生 せん断力 V(kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)				
①	Ss-N1 (-+)	底版	1000	1700	1500	D22@200@400	1054	2374	0.45

表 4-12(2) 鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果(B-B断面)

解析 ケース	地震 動	評価 位置	断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋)	発生 せん断力 V(kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
			部材幅 b(mm)	部材高 h(mm)	有効高 d(mm)				
①	Ss-N1 (++)	底版	1000	1700	1500	D22@200@400	842	2374	0.36

4.2 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評価結果を表 4-13 に示す。

揚水井戸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 4-13(1) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果(A-A断面)

解析ケース	地震動	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
①	Ss-N1 (-+)	1.35	9.8	0.14

表 4-13(2) 基礎地盤の支持性能に対する評価結果(B-B断面)

解析ケース	地震動	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
①	Ss-N1 (++)	0.68	9.8	0.07

(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。

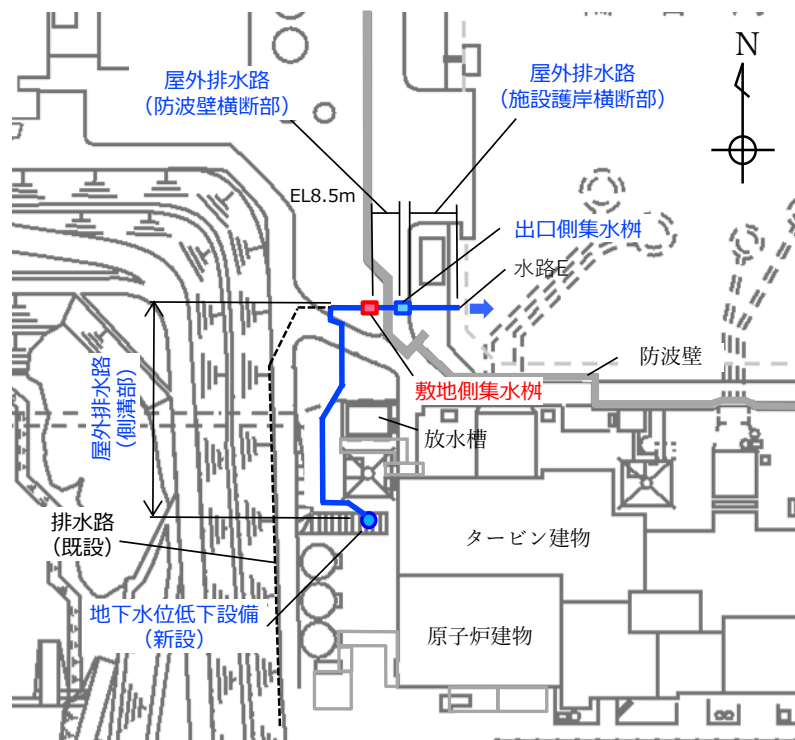


図 2-1 敷地側集水桝の設置位置図

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]（土木学会，2012年）」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。

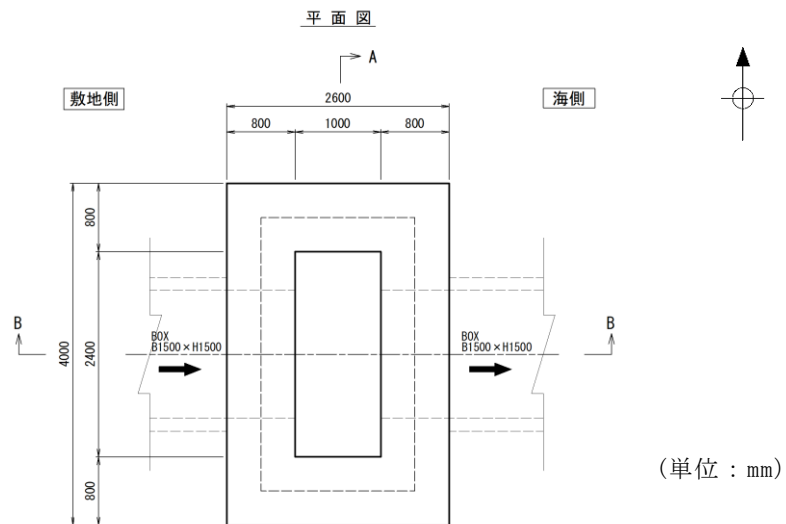
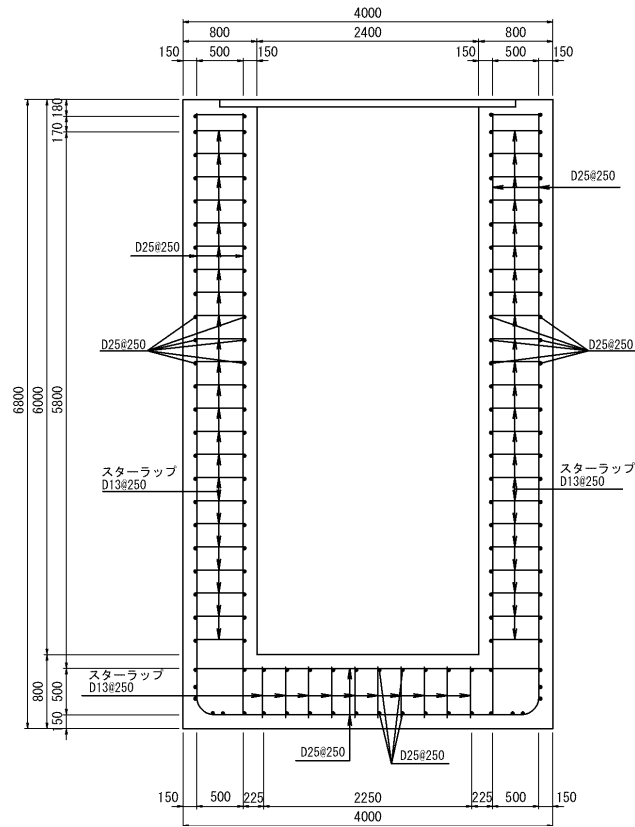


図 2-2 敷地側集水桝の概略平面図



(単位 : mm)

(A-A断面)

図 2-4 敷地側集水桝の概略配筋図

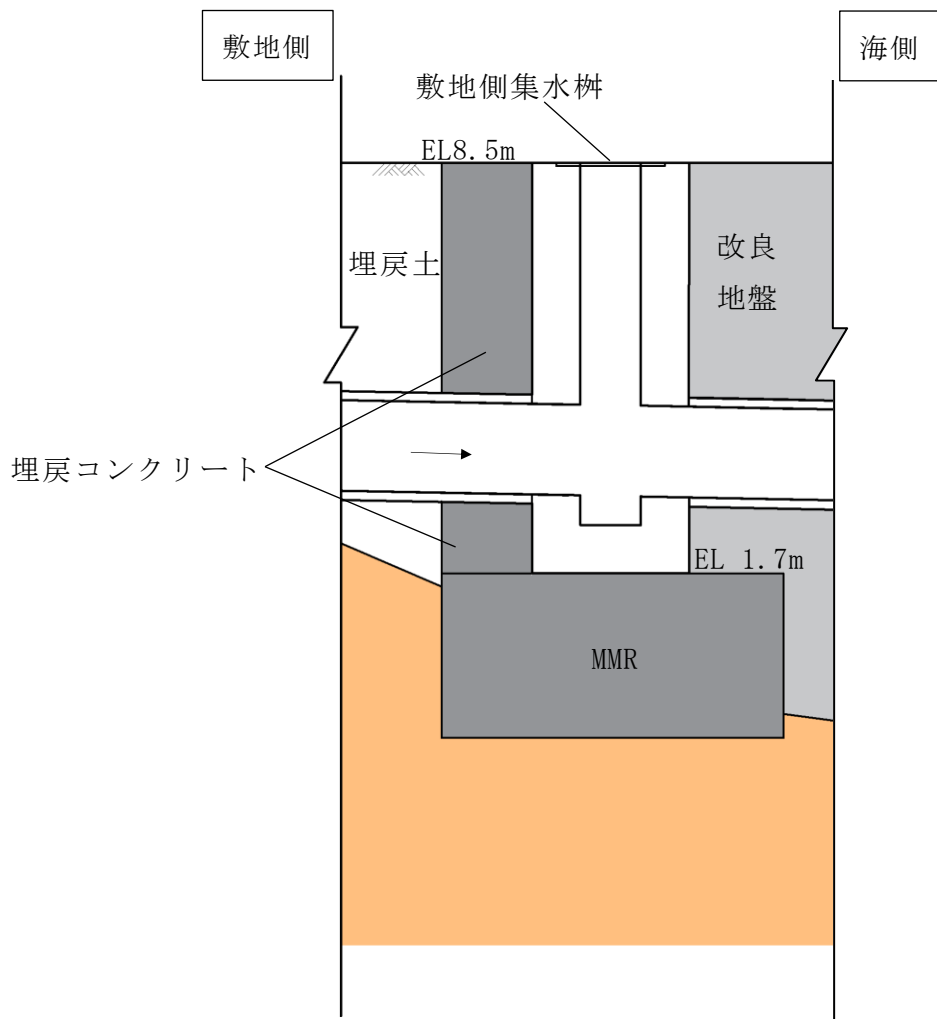


図 2-5 敷地側集水桝の地盤への支持構造

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。

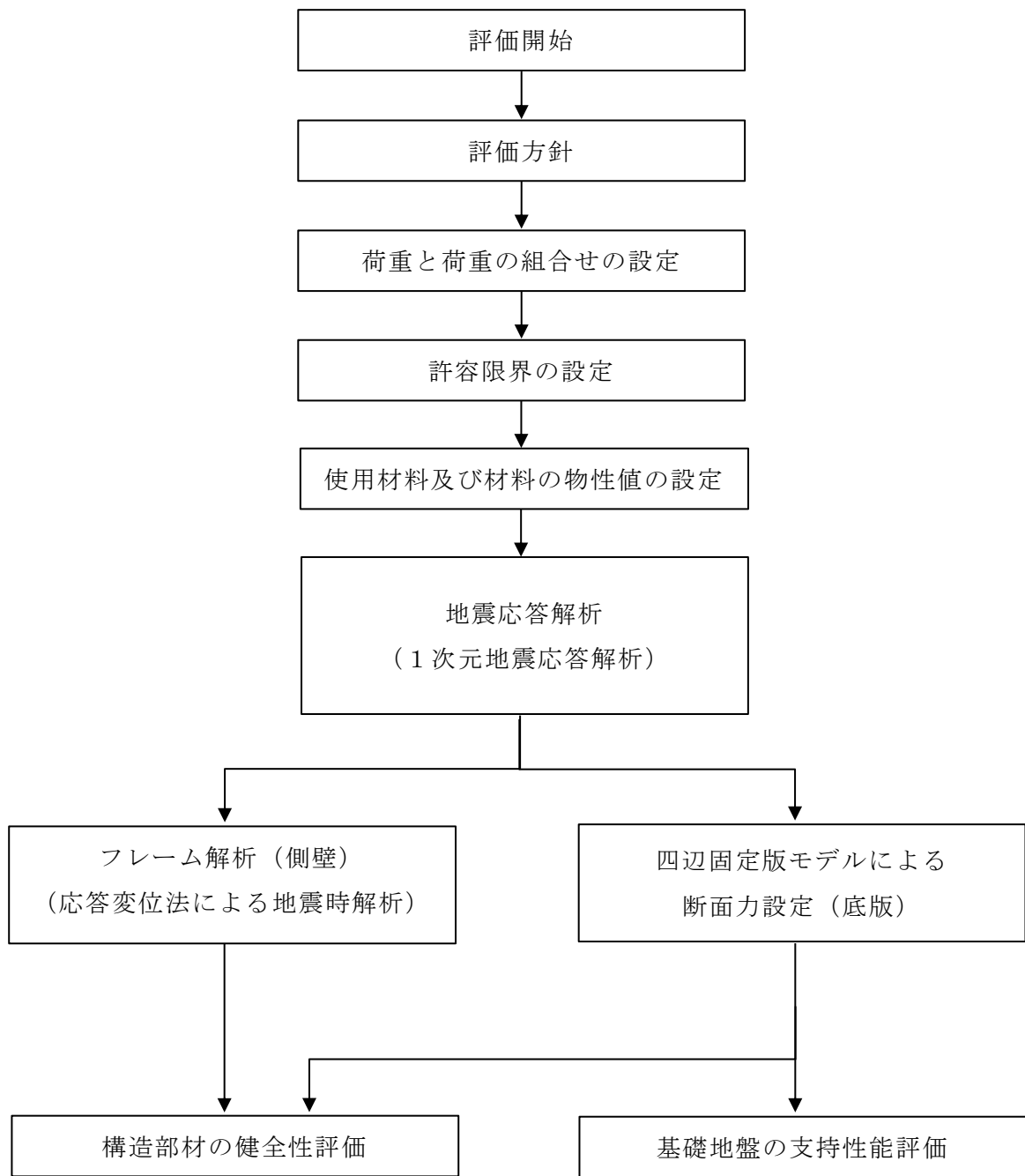


図 2-6 敷地側集水柵の耐震評価フロー

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]（土木学会，2002年）（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]（土木学会，2012年）
- ・日本道路協会 平成24年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編（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）
- ・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。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。

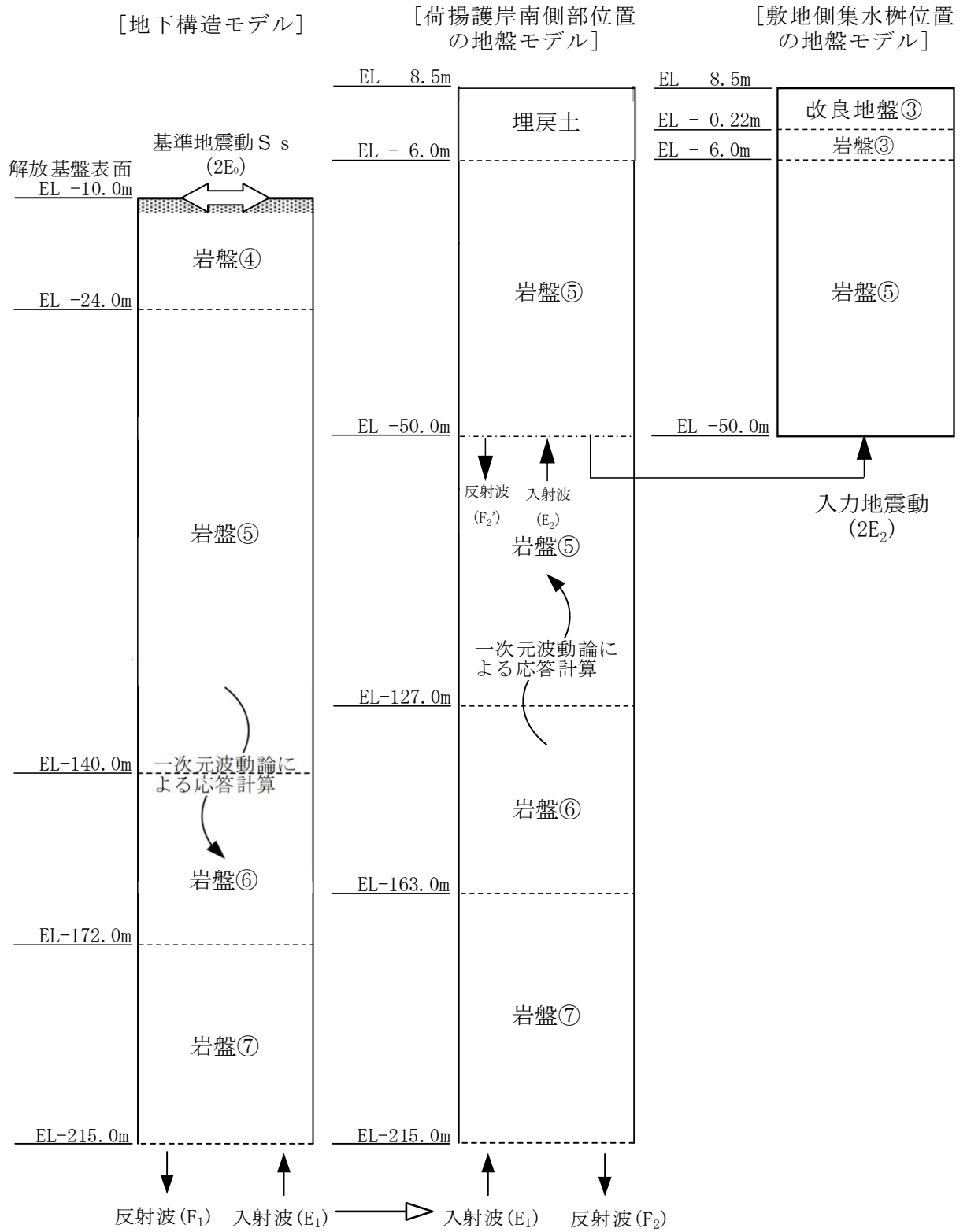


図 3-1 1次元地震応答解析用地盤モデル

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。

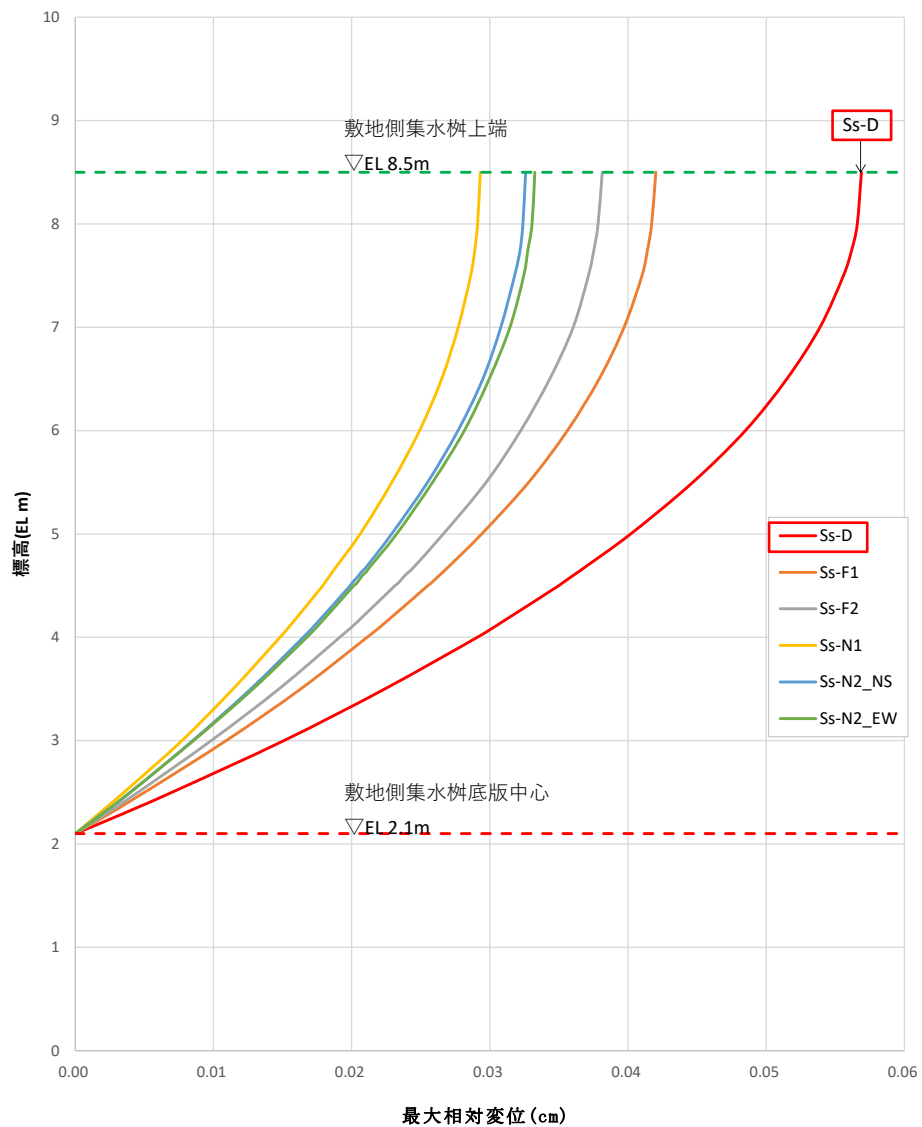


図 3-2(1) 地震応答解析結果（最大相対変位分布）

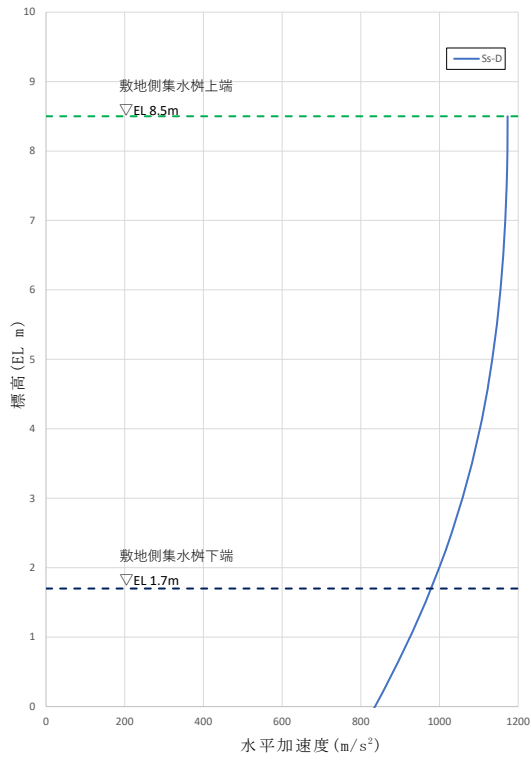


図 3-2(2) 地震応答解析結果（最大相対変位発生時刻での水平加速度分布）

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）

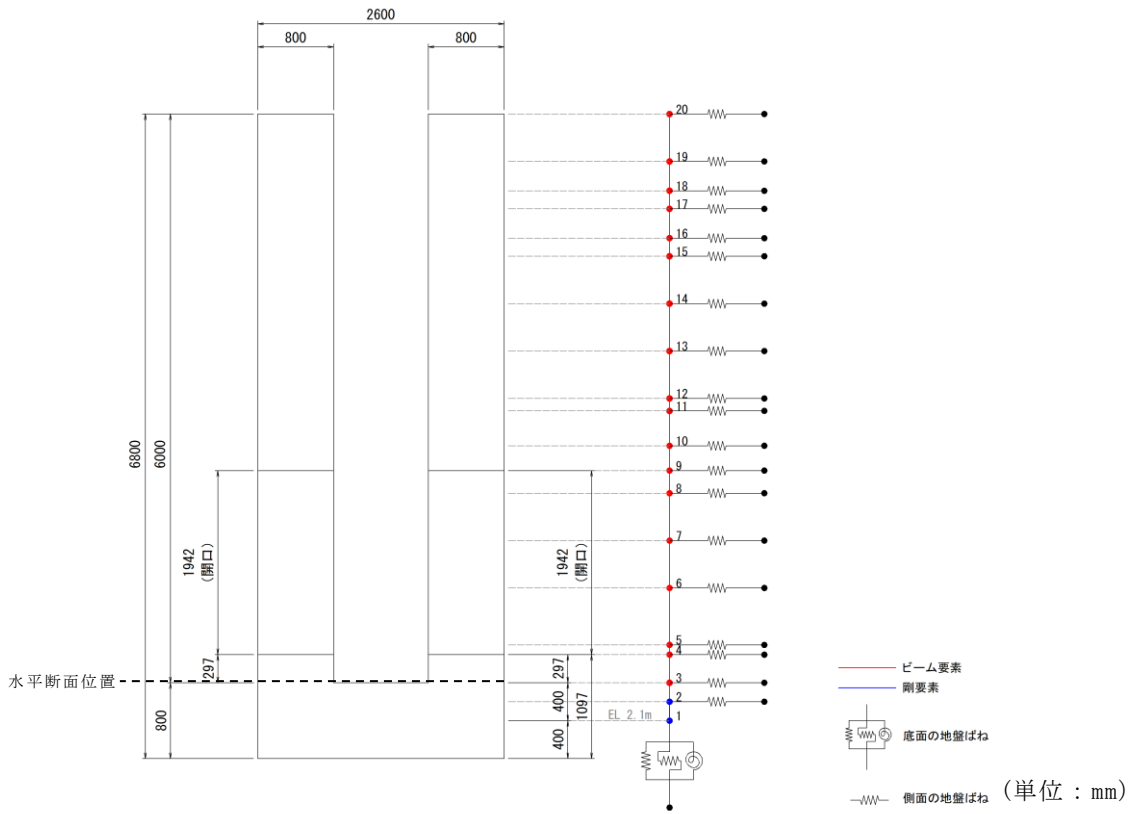
節点番号	地盤ばね定数 k_x 水平 (kN/m^2)
20	4,790,590
19	4,760,016
18	4,719,887
17	4,695,046
16	4,675,937
15	4,662,561
14	4,601,412
13	4,547,908
12	4,503,957
11	4,494,403
10	4,471,472
9	4,461,918
8	4,437,076
7	4,404,591
6	4,379,750
5	4,330,067
4	4,320,512
3	4,295,671
2	4,272,740

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）

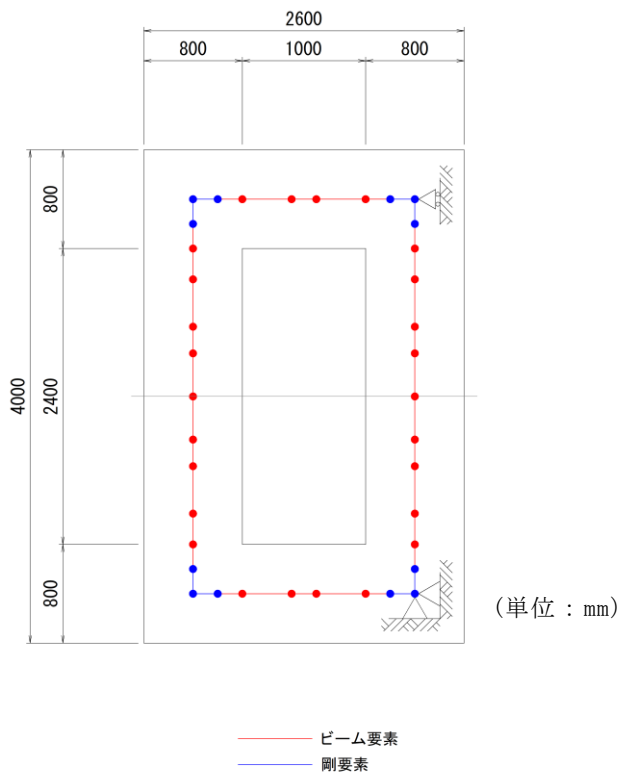
地盤ばね定数 k_x 水平 (kN/m^2)	地盤ばね定数 k_y 鉛直 (kN/m^2)	地盤ばね定数 k_θ 回転 (kN/m^2)
3,893,000	12,980,000	7,309,000

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	6.7×10^{-2}



(鉛直方向)



(単位：mm)

(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 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。

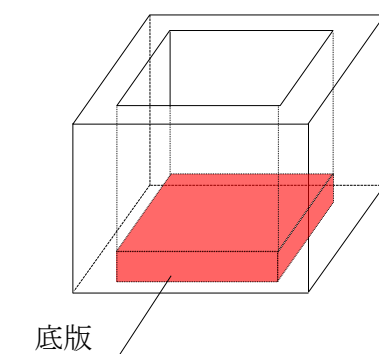


図 4-2 四辺固定版モデル概要図

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。

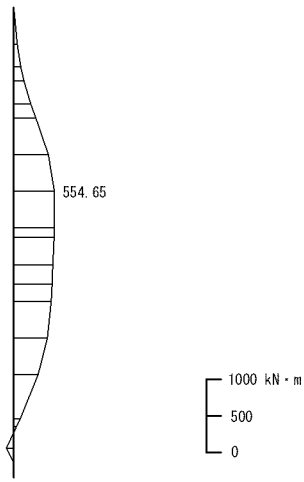
評価対象部材に発生する曲げ圧縮応力、曲げ引張応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 曲げ軸力に対する照査結果（側壁（鉛直断面））

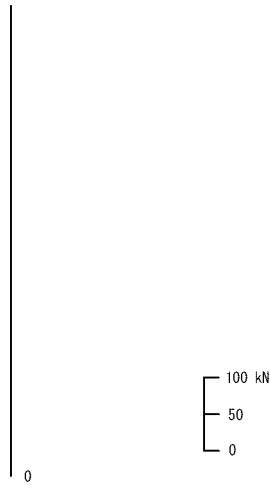
設備名称	解析 ケース	曲げ モーメント (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)		曲げ 圧縮 応力 照査値	曲げ 引張 応力 照査値
					曲げ 圧縮	曲げ 引張		
敷地側 集水桝	Ss-D	554.65	0.34	23.91	13.5	294	0.03	0.09

表 5-2 せん断力に対する照査結果（側壁（鉛直断面））

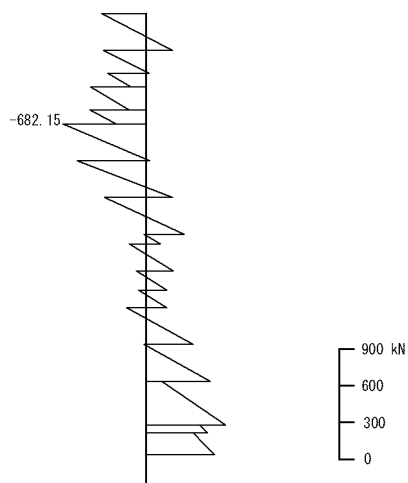
設備名称	設計基準 強度 (N/mm ²)	解析 ケース	発生せん断 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
敷地側 集水桝	24	Ss-D	0.19	0.67	0.29



(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)

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。

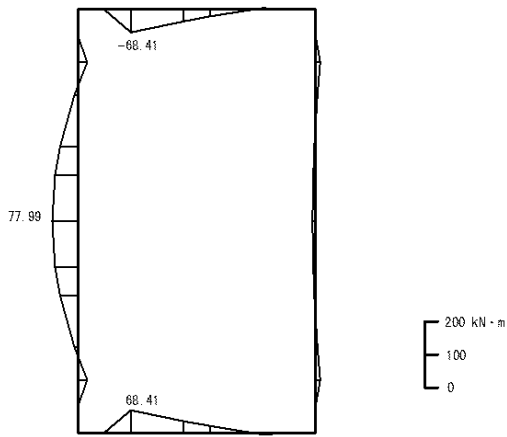
評価対象部材に発生する曲げ圧縮応力、曲げ引張応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-3 曲げ軸力に対する照査結果（側壁（水平断面））

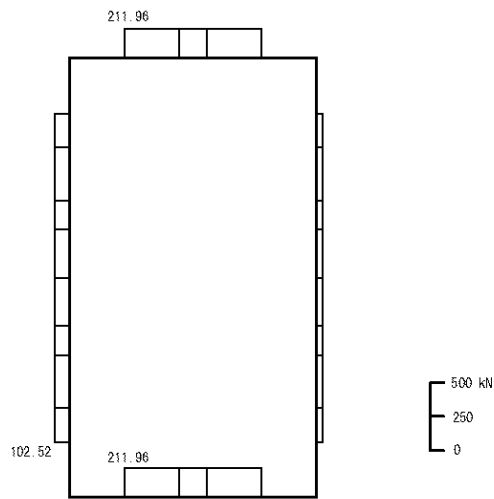
設備名称	側壁寸法 (mm)	解析 ケース	曲げ モーメント (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)		曲げ 圧縮 応力 照査値	曲げ 引張 応力 照査値
						曲げ 圧縮	曲げ 引張		
敷地側 集水桝	6800 × 4000	Ss-D	77.99	1.36	38.00	13.5	294	0.11	0.13

表 5-4 せん断力に対する照査結果（側壁（水平断面））

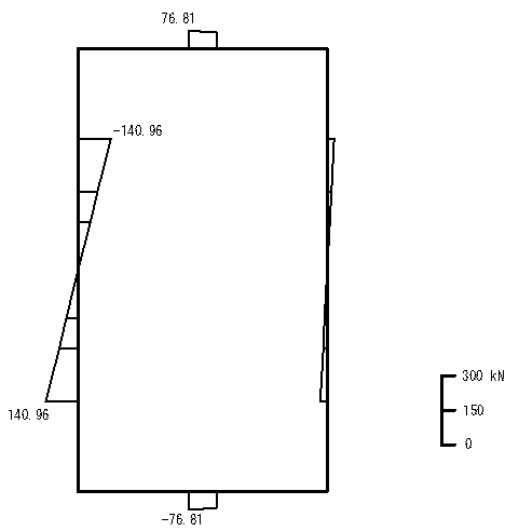
設備名称	設計基準 強度 (N/mm ²)	解析 ケース	発生せん断 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
敷地側 集水桝	24	Ss-D	0.21	0.67	0.32



(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)

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	14.46		

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、屋外排水路（防波壁横断部）、屋外排水路（施設護岸横断部）及び出口側集水柵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。

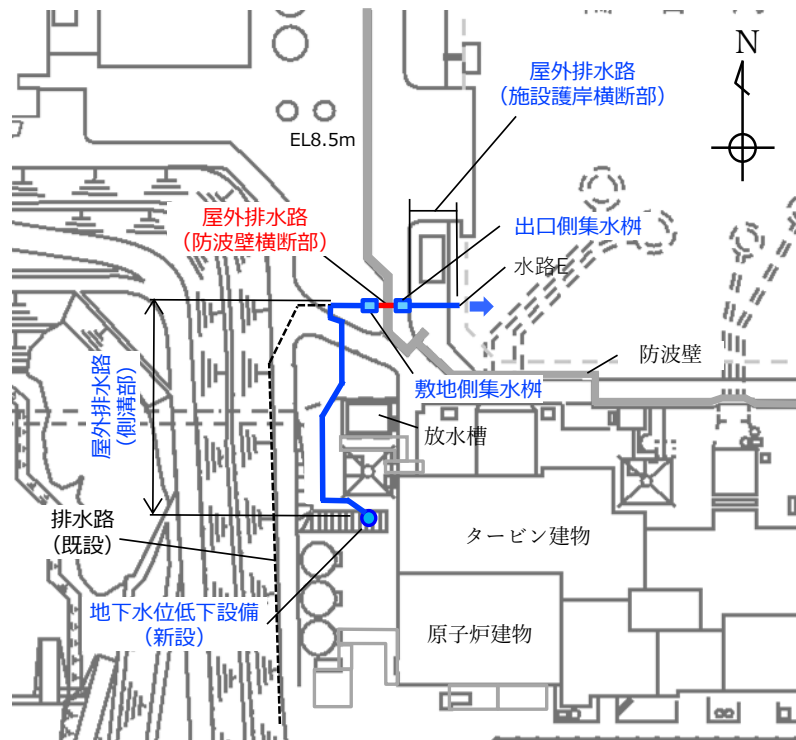


図 2-1 屋外排水路（防波壁横断部）の設置位置図

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。

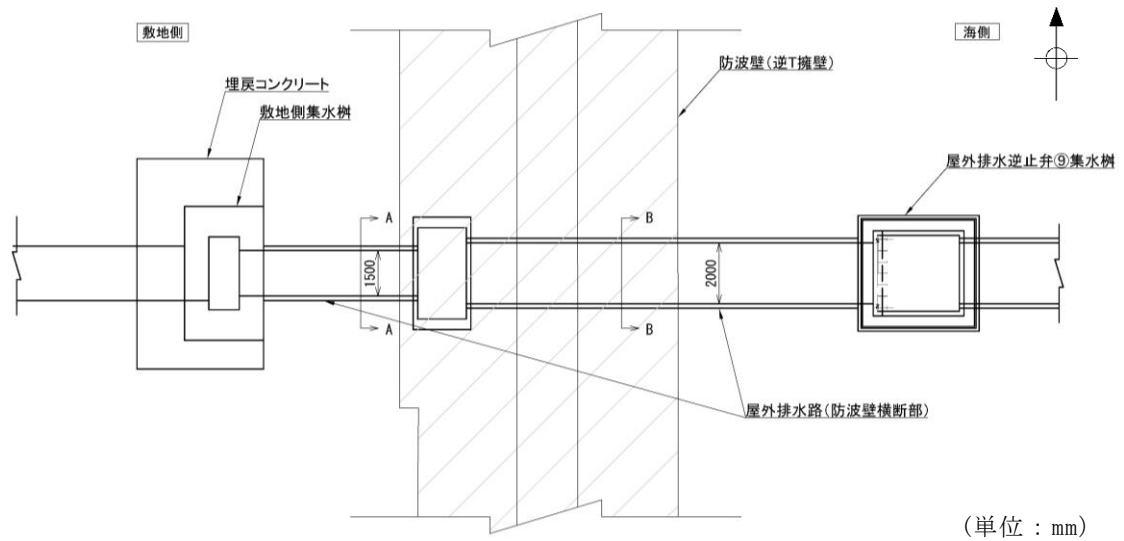


図 2-2 屋外排水路（防波壁横断部）の概略平面図

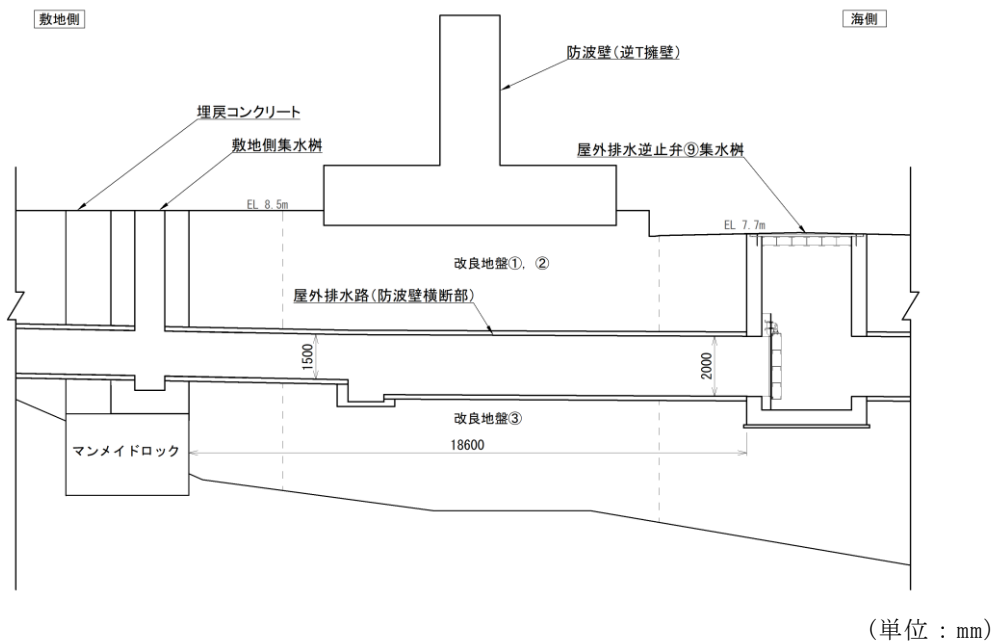
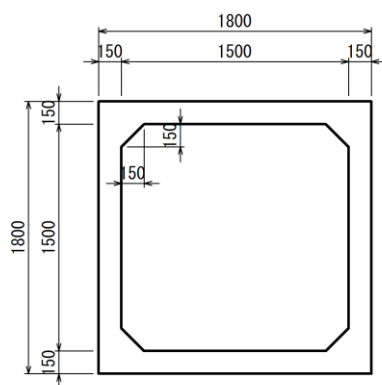


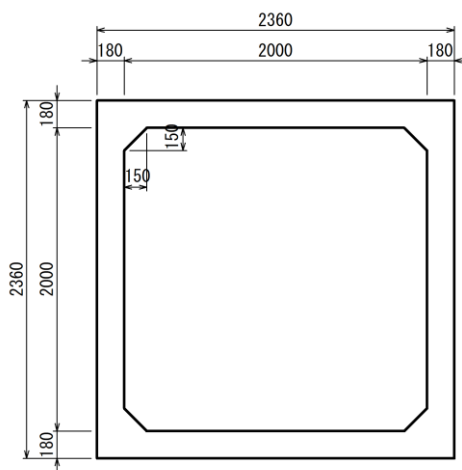
図 2-3 屋外排水路（防波壁横断部）の概略縦断図



(単位 : mm)

(A-A断面 : □1500×1500)

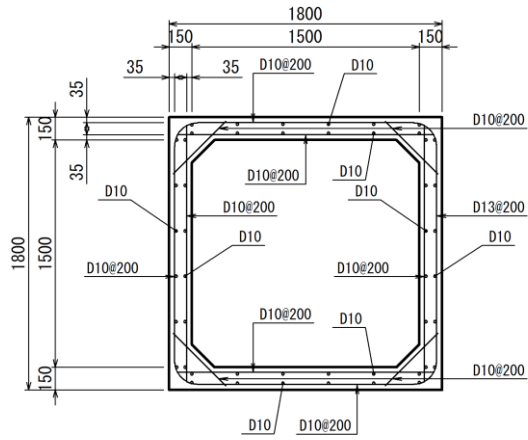
図 2-4(1) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図



(単位 : mm)

(B-B断面, □2000×2000)

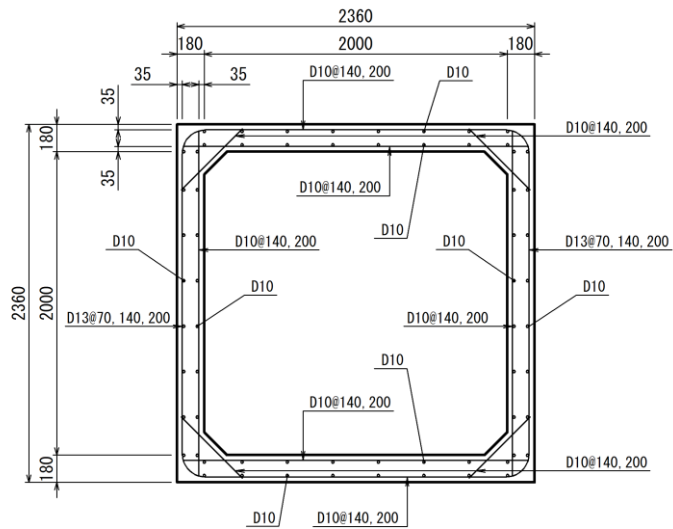
図 2-4(2) 屋外排水路 (防波壁横断部) の概略断面図



(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

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。

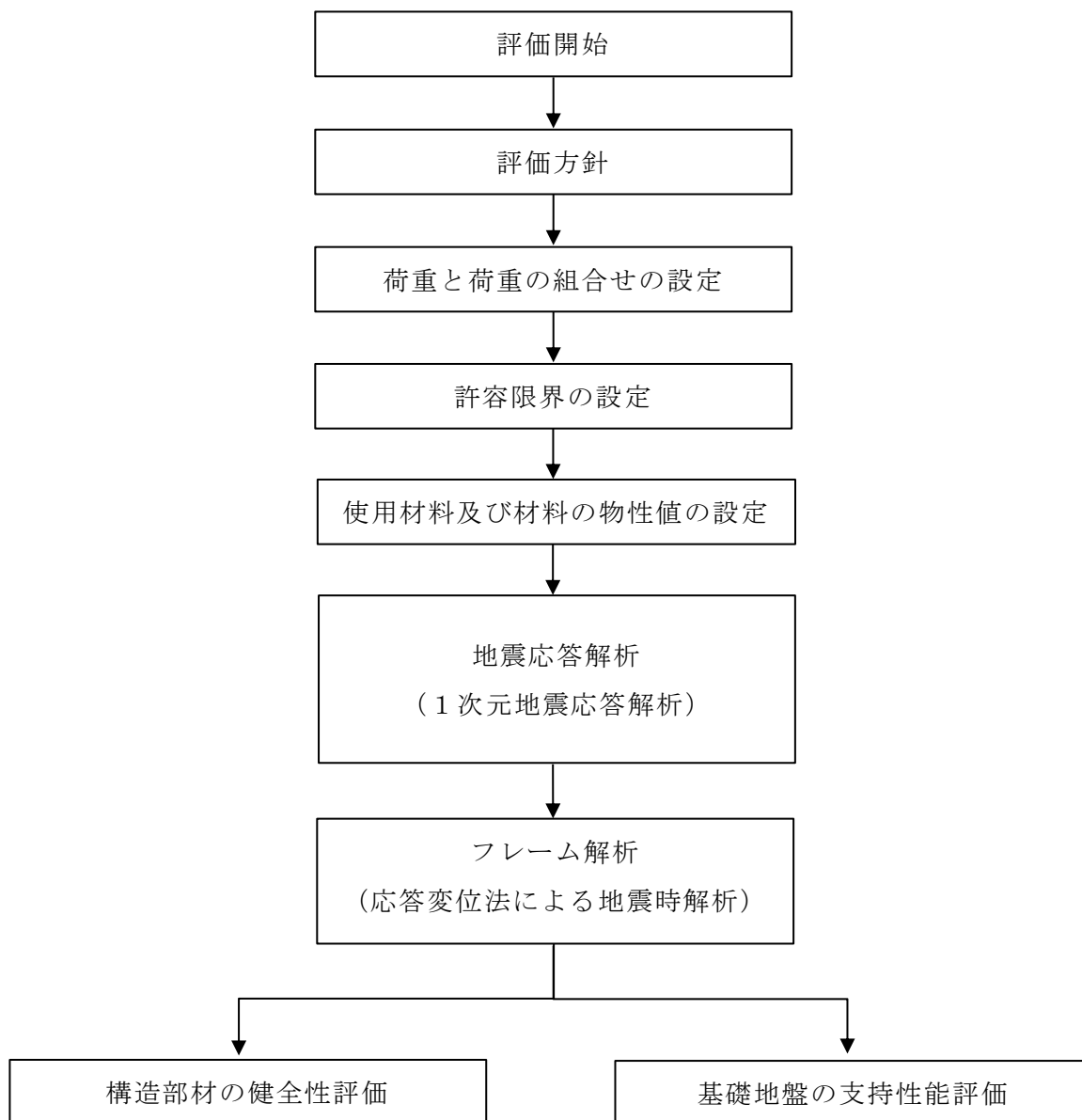


図 2-6 屋外排水路（防波壁横断部）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（以下「コンクリート標準示方書」という。）」
- ・日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編（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）

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。

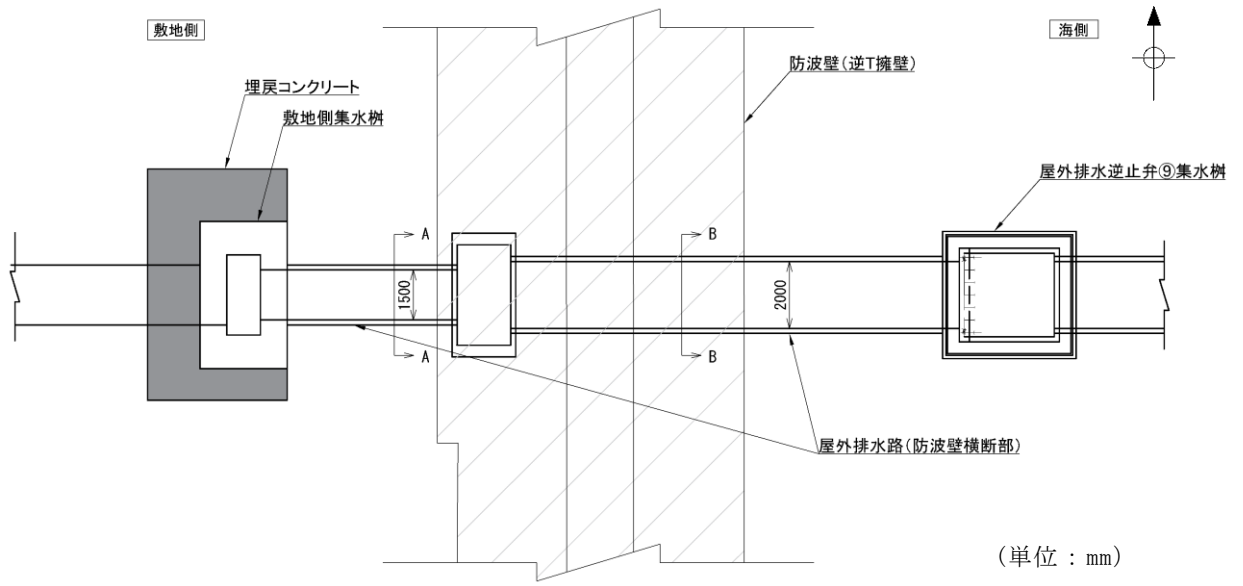


図 3-1 屋外排水路（防波壁横断部）の平面図

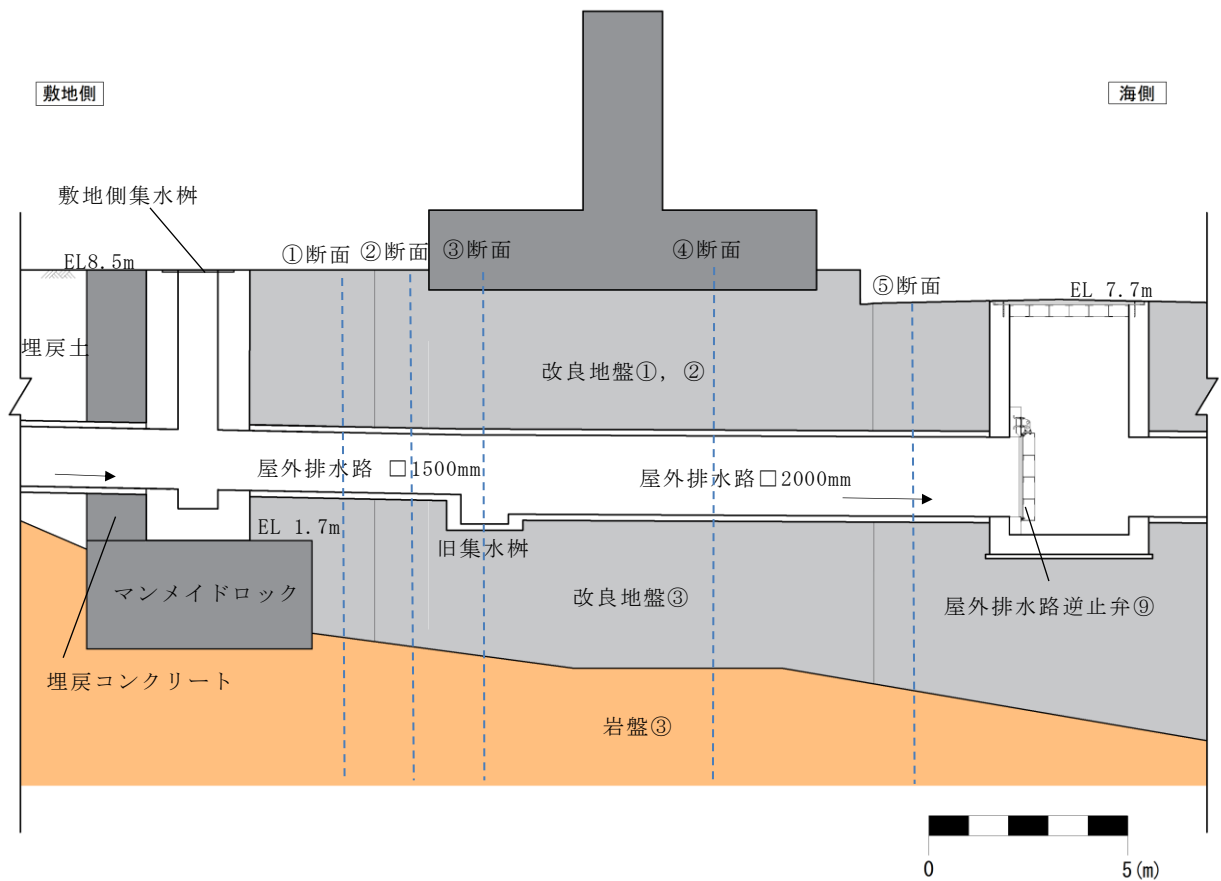


図 3-2 屋外排水路（防波壁横断部）の縦断図

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、外水圧，内水圧，積雪荷重，土被り荷重及び永久上載荷重を考慮する。積雪荷重は，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する。永久上載荷重として防波壁の自重を考慮する。荷重は 30° 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。

(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	外水圧	○ 外水圧を考慮する（地表面）。
		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。		
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	－	動水圧は考慮しない。
	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〔構造性能照査編〕（土木学会）に基づき、曲げ耐力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

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	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。

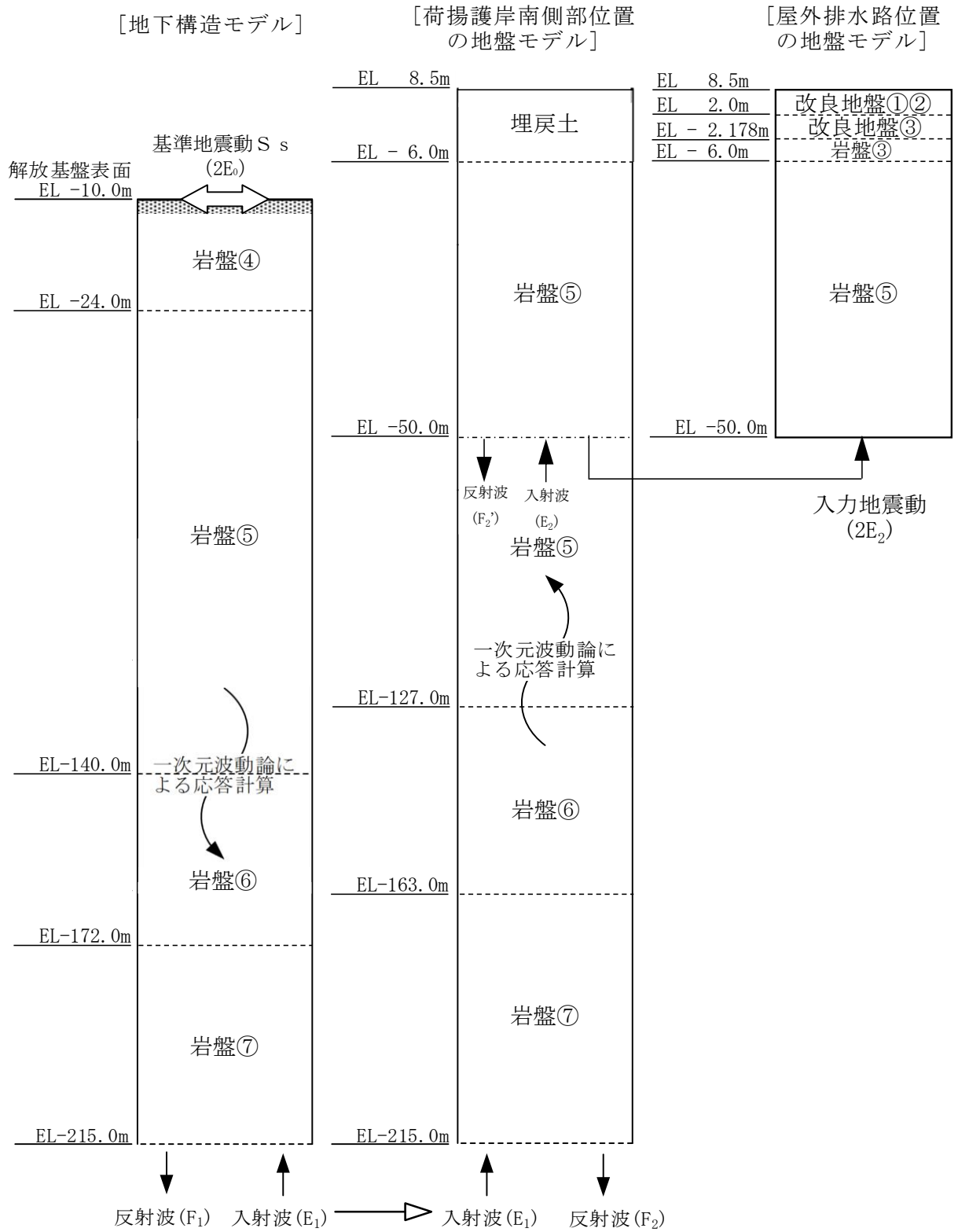


図 3-3 1次元地震応答解析用地盤モデル

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。

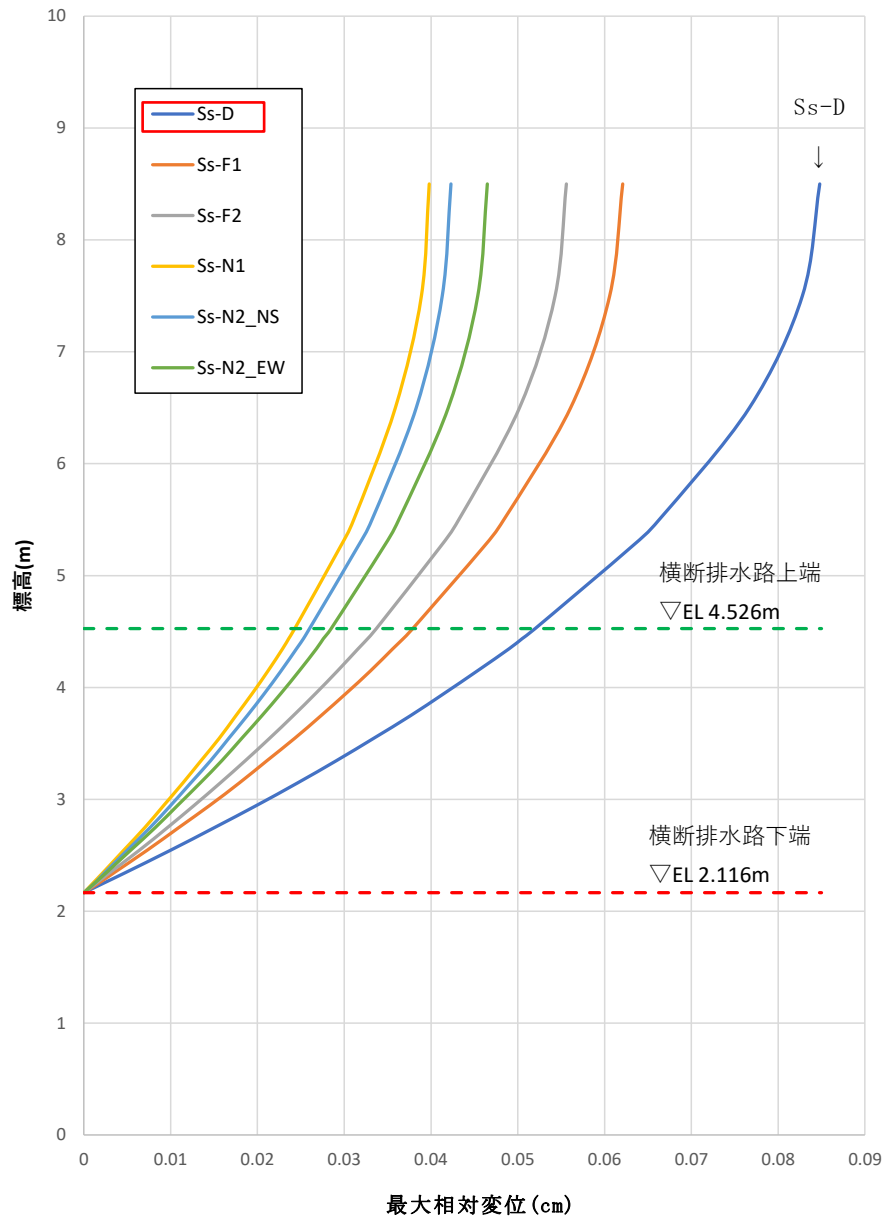


図 3-4(1) 地震応答解析結果（最大相対変位分布）

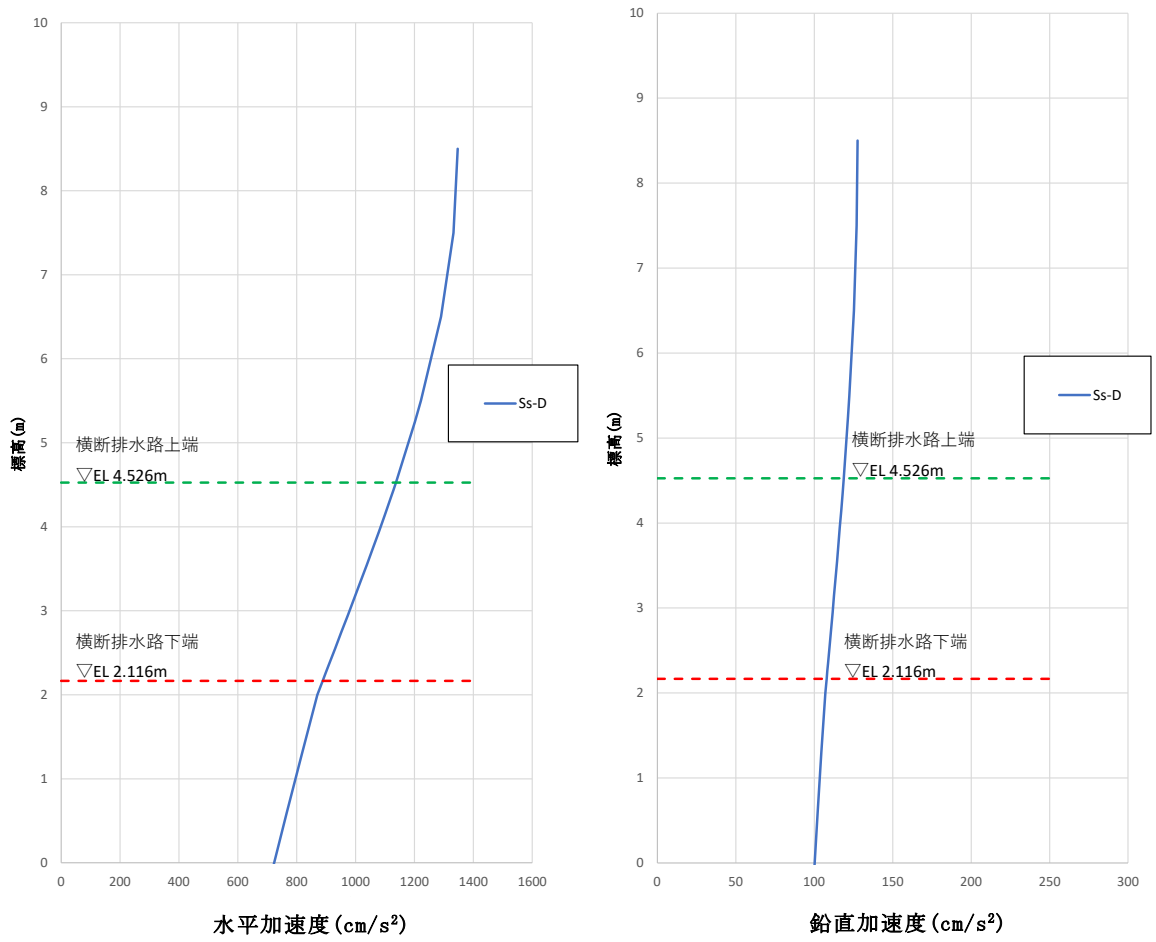


図 3-4(2) 地震応答解析結果 (最大相対変位発生時刻での水平加速度分布及び鉛直加速度分布)

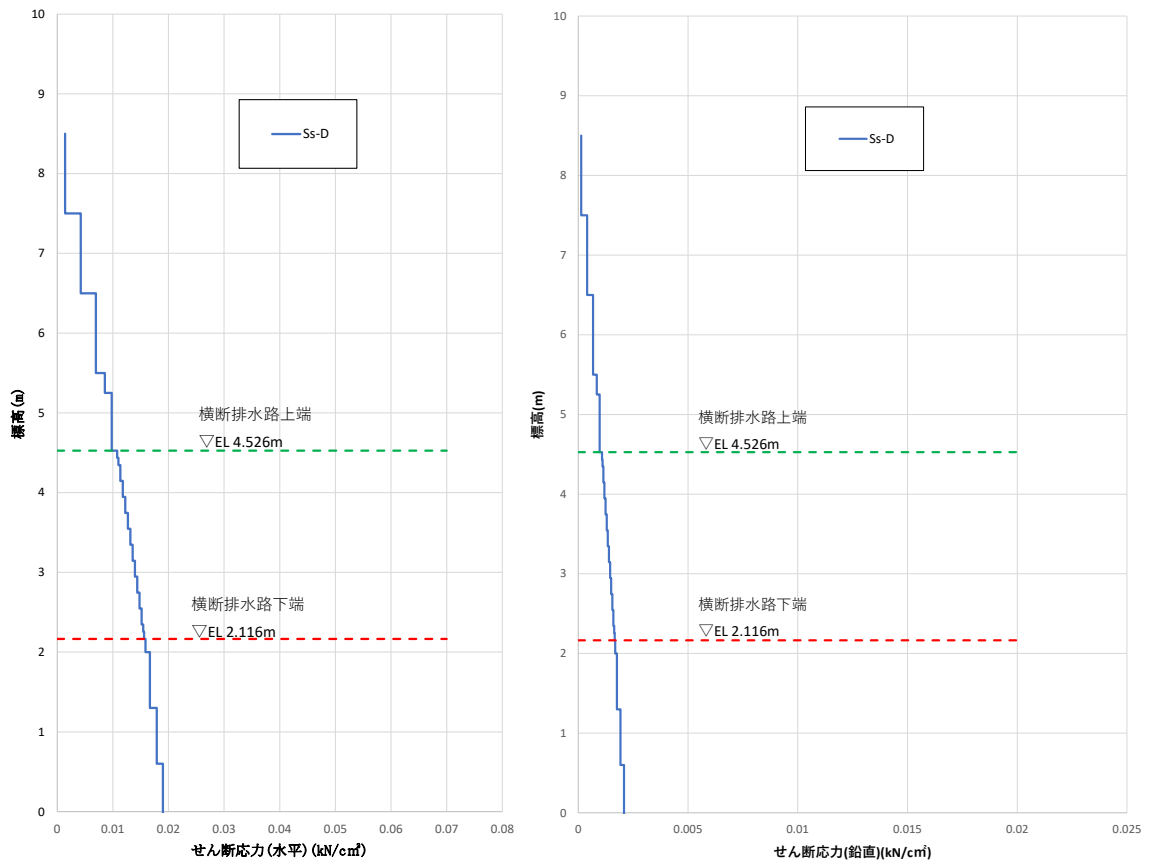


図3-4(3) 地震応答解析結果 (最大相対変位発生時刻でのせん断応力分布)

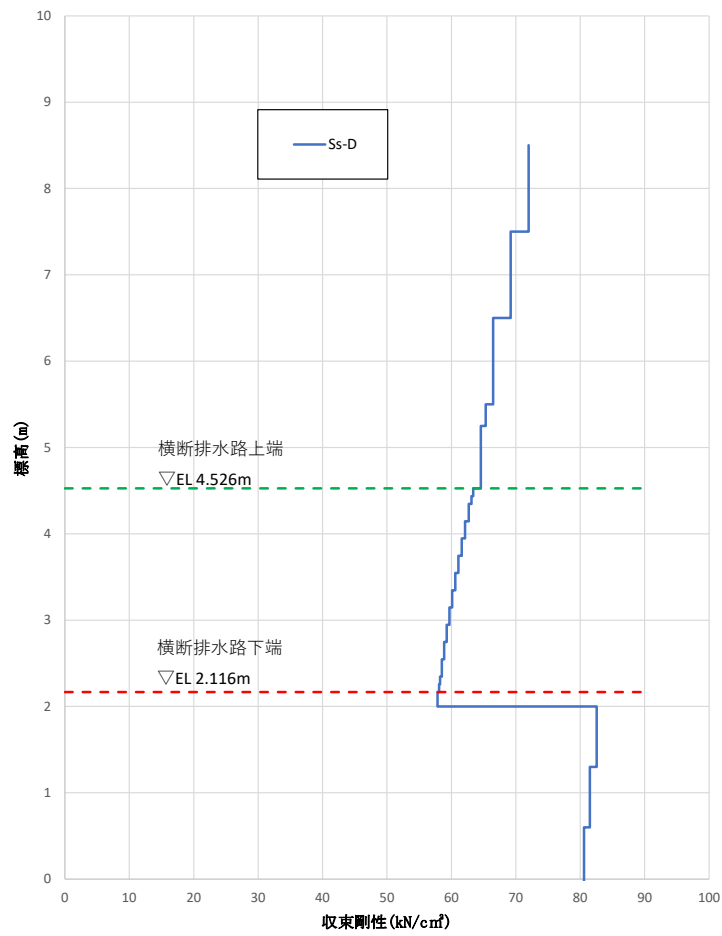


図3-4(4) 地震応答解析結果（収束剛性）

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	節点番号	k_x (kN/m)	k_y (kN/m)
側壁	↑ 上	15	75560	25190
		14	125100	41700
		13	124700	41580
		12	86940	28980
		11	206900	68960
		10	356300	118800
		9	487500	162500
		8	640000	213300
		7	473100	157700
		6	340600	113500
		5	194400	64790
		4	81590	27200
		3	116300	38780
		2	116200	38730
	↓ 下	1	69530	23180
	↑ 上	30	75560	25190
		29	125100	41700
		28	124700	41580
		27	86940	28980
		26	206900	68960
		25	356300	118800
		24	487500	162500
		23	640000	213300
		22	473100	157700
		21	340600	113500
		20	194400	64790
		19	81590	27200
		18	116300	38780
↓ 下		17	116200	38730
16	69530	23180		

位置	節点番号	k_x (kN/m)	k_y (kN/m)
底版	1	23180	69530
	31	38630	115900
	32	38630	115900
	33	27040	81110
	34	64380	193100
	35	112000	336000
	36	154500	463500
	37	206000	618000
	38	154500	463500
	39	112000	336000
	40	64380	193100
	41	27040	81110
	42	38630	115900
	43	38630	115900
	16	23180	69530
	頂板	15	25190
44		41980	125900
45		41980	125900
46		29380	88150
47		69960	209900
48		121700	365200
49		167900	503700
50		223900	671600
51		167900	503700
52		121700	365200
53		69960	209900
54		29380	88150
55		41980	125900
56		41980	125900
30	25190	75560	

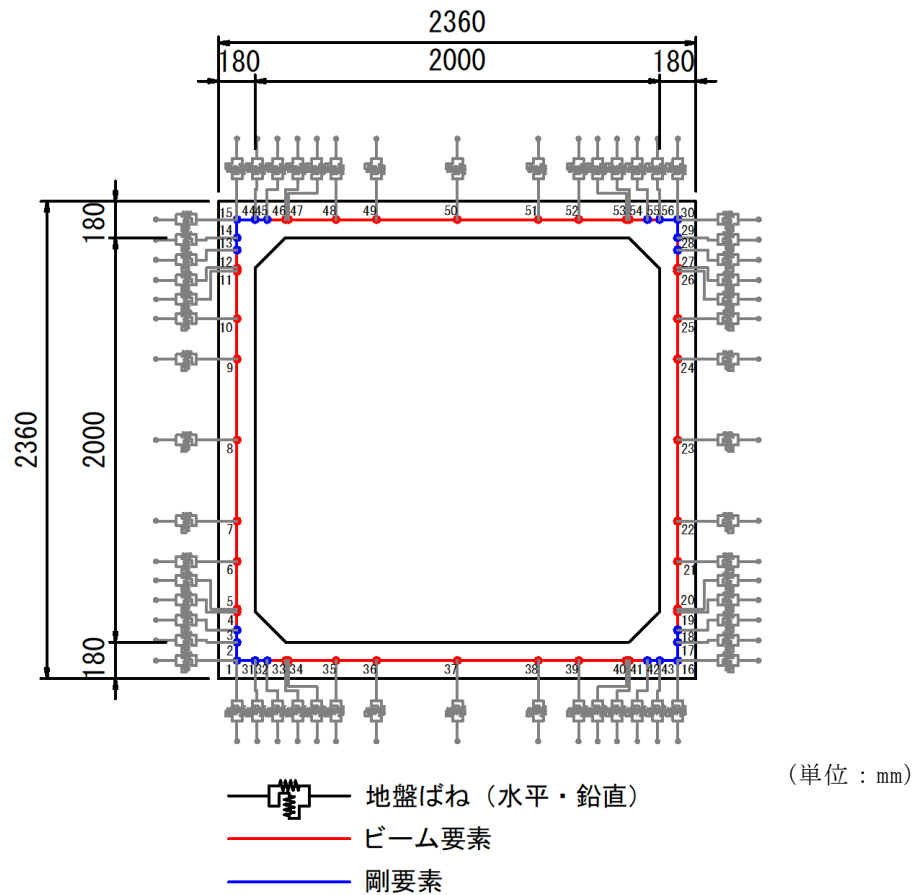


図 4-1 2次元フレーム解析モデル図

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。

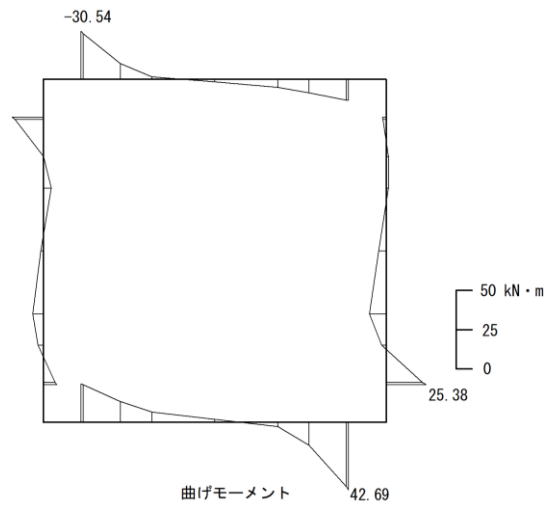
評価対象部位の発生応力度及びせん断力は、許容限界以下であり、屋外排水路（防波壁横断面）が基準地震動 S_s による地震力に対して損壊に至らず、排水断面が確保されていることを確認した。

表 5-1 曲げ・軸力系破壊に対する最大照査値

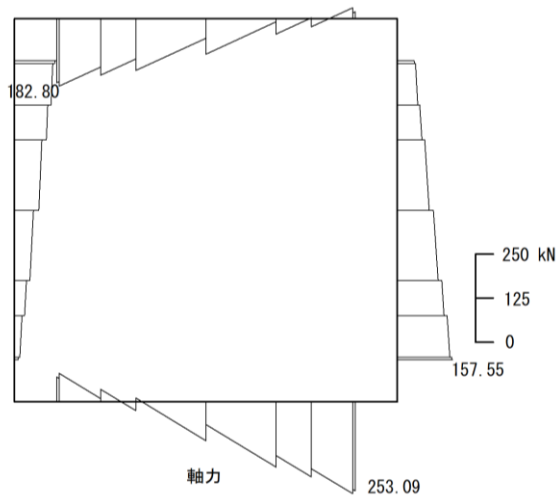
評価対象部位	地震動	設計断面力		曲げ耐力 M_{ud} (N/mm^2)	照査値 M_d/M_{ud}
		曲げ モーメント M_d ($kN \cdot m$)	軸力 N'_d (kN)		
頂版	S_s-D	30.54	182.80	53.02	0.58
側壁	S_s-D	25.38	157.55	57.53	0.45
底版	S_s-D	42.69	253.09	58.07	0.74

表 5-2 せん断破壊に対する最大照査値

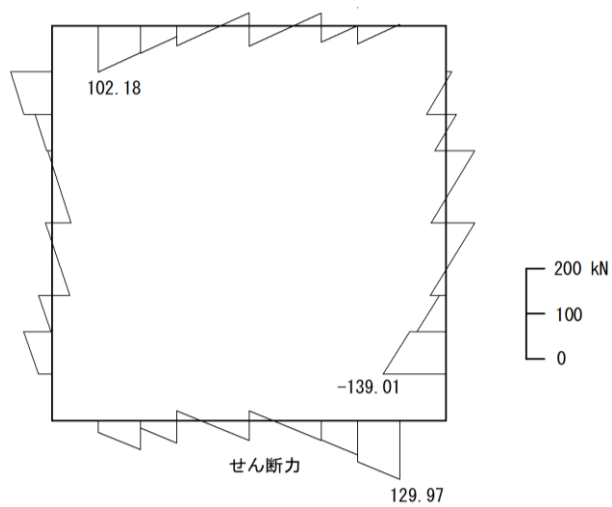
評価対象部位	地震動	設計 せん断力 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
頂版	S_s-D	102.18	192.41	0.54
側壁	S_s-D	139.01	178.80	0.78
底版	S_s-D	129.97	206.93	0.63



(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 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

(別紙 3) 出口側集水桝の耐震性について

出口側集水桝は、浸水防止設備である屋外排水路逆止弁⑨の間接支持構造物であり、耐震性については、VI-2-10-2-7 「屋外排水路逆止弁の耐震性についての計算書」に示す。