

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0072_改0
提出年月日	2021年3月1日

VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書

02 ② VI-2-13-4 R0

2021年3月

東北電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用基準	8
3. 耐震評価	9
3.1 評価対象断面	9
3.2 解析方法	11
3.2.1 構造部材	11
3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき	11
3.2.3 減衰定数	11
3.2.4 解析ケースの選定	11
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	13
3.3.2 荷重	13
3.3.3 荷重の組合せ	14
3.4 入力地震動	15
3.5 解析モデル及び諸元	44
3.5.1 解析モデル	44
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	47
3.5.3 地盤の物性値	47
3.5.4 地下水位	47
3.6 許容限界	48
3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界	48
3.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	50
3.7 評価方法	51
3.7.1 構造部材の健全性に対する評価方法	51
3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法	64
4. 耐震評価結果	65
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	65
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	0

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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について、地震時に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当たっては、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。

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。

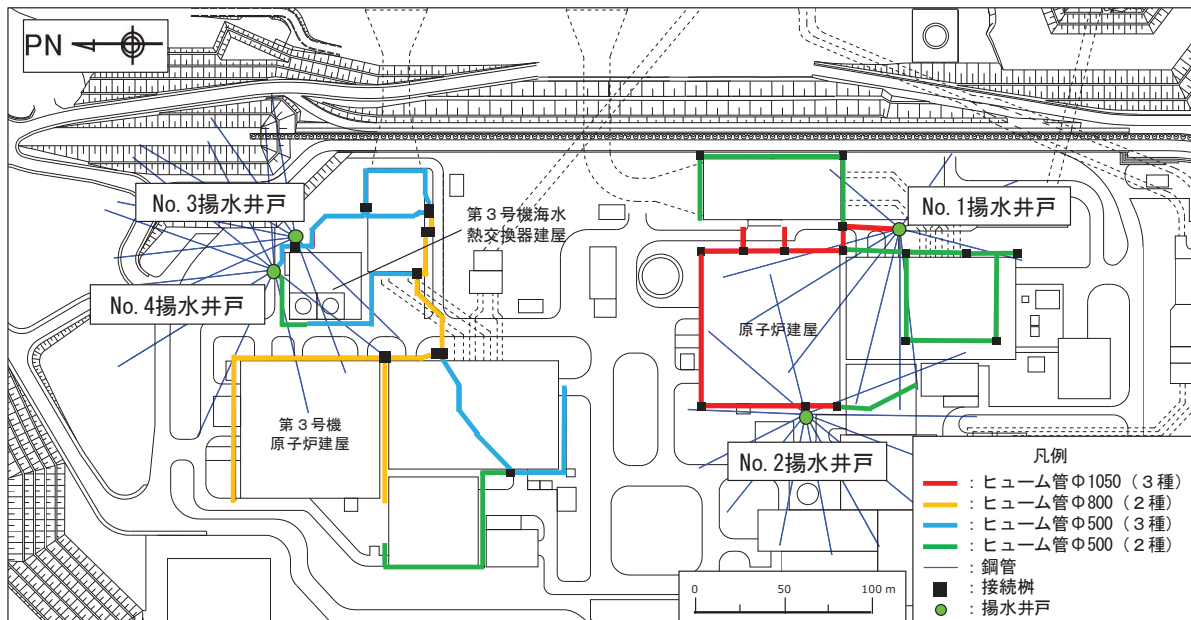


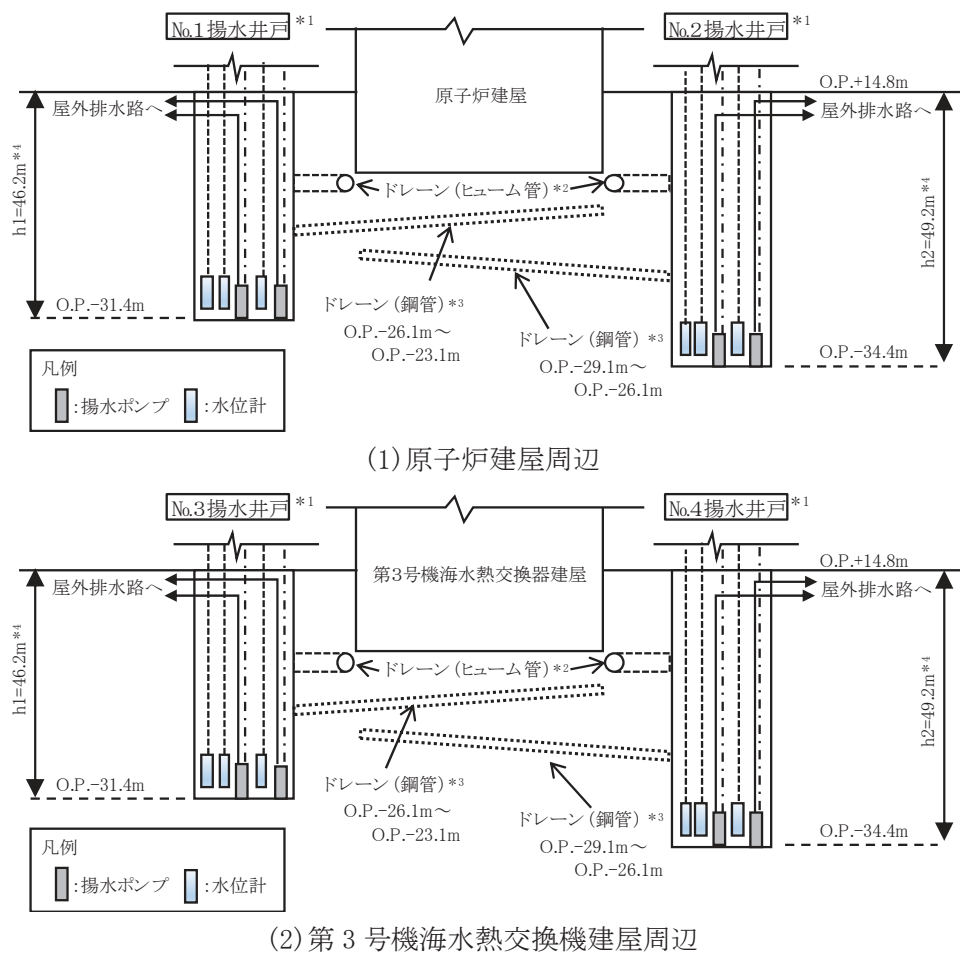
図 2-1 揚水井戸の設置位置

2.2 構造概要

揚水井戸は鉄筋コンクリート造の集水ピットと鋼製の排水シャフトにより構成された円筒状の地中構造物であり、排水シャフトと集水ピットはアンカーボルトにより接合する。集水ピットは岩盤中に設置し、排水シャフトは岩盤及び盛土中に設置する。

集水ピット及び排水シャフトは、保守管理・運用管理に配慮し、内径 4mとしている。揚水井戸の高さは地下水を集水するため岩盤内に設置する鋼管の深度に応じて $h_1=46.2\text{m}$ 、 $h_2=49.2\text{m}$ の 2 種類があり、原子炉建屋周辺と第 3 号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに設置する。

地下水位低下設備の構成概要を図 2-2 に示す。また、揚水井戸の構造概要について、原子炉建屋周辺の揚水井戸 (No. 1 揚水井戸及び No. 2 揚水井戸) を代表として図 2-3 に示す。



注記* 1 : 揚水井戸及び揚水井戸に内包する揚水ポンプ、水位計は新設する。

* 2 : ヒューム管 (接続柵を含む) は揚水井戸との接続部分は新設する。

* 3 : 鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。

* 4 : h_1 及び h_2 は、GL より集水ピット底面までの高さを表す。

図 2-2 地下水位低下設備の構成概要

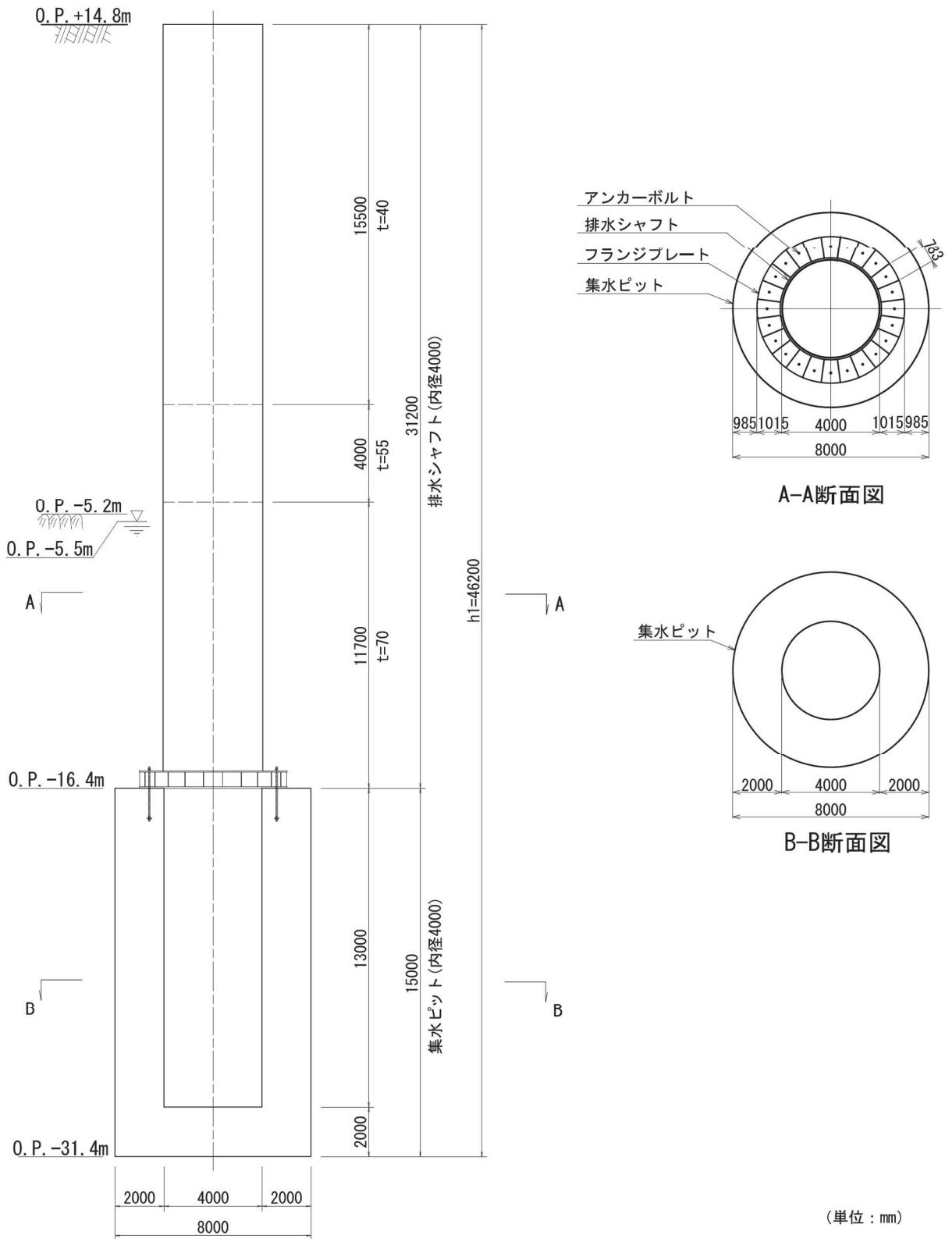


図 2-3(1) No.1 揚水井戸 構造図

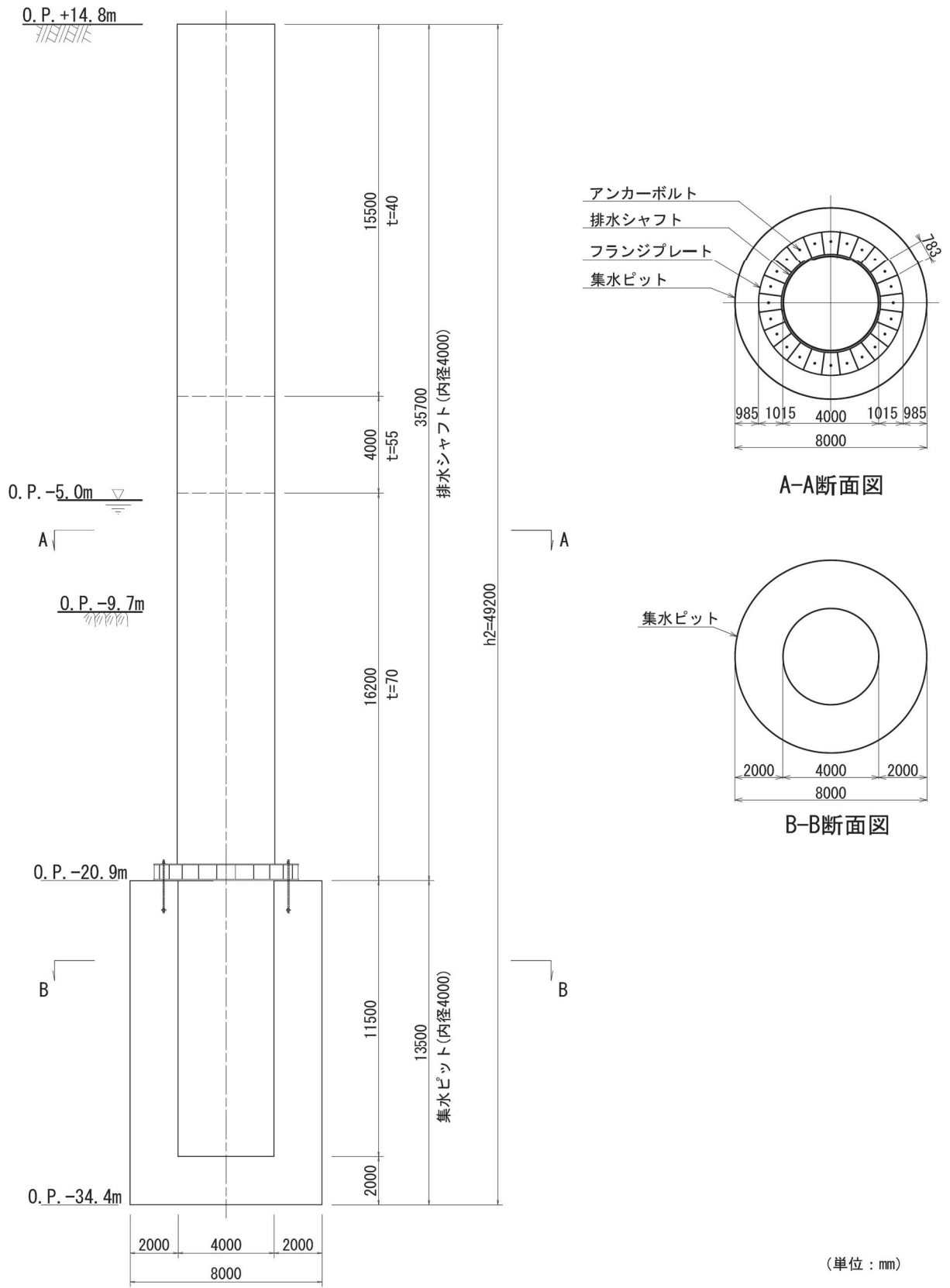


図 2-3 (2) No.2 揚水井戸 構造図

2.3 評価方針

地下水位低下設備の機能は、施設の設計の前提が確保されるよう、「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、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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 2-4 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	構造部材の健全性	排水シャフト	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		集水ピット	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		接合部	発生する応力（引張力，曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

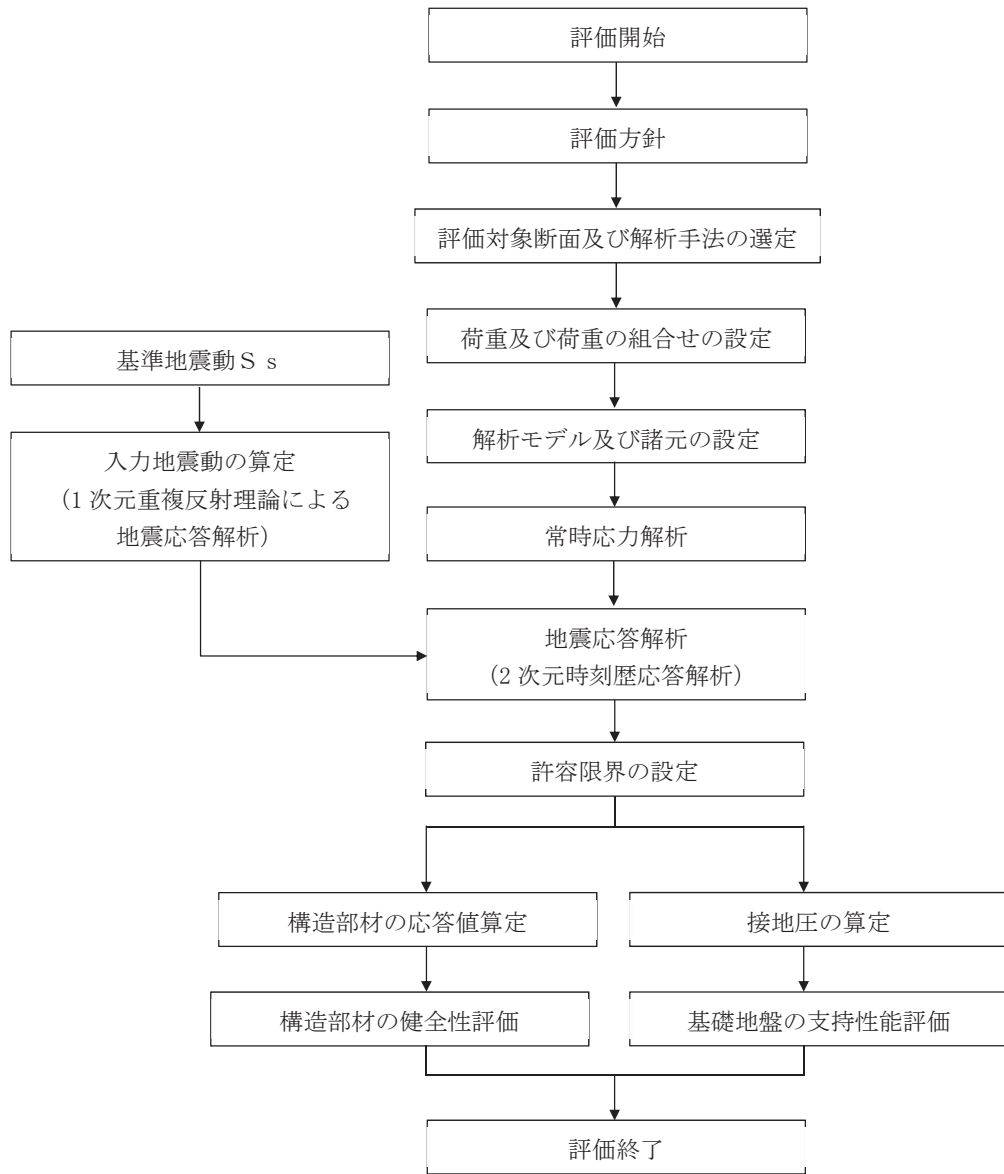


図 2-4 揚水井戸の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
（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・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005改定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会 原子力土木委員会，2005年6月）
- ・トンネル・ライブラリー第27号 シールド工事用立坑の設計（土木学会，2015）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010）
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，1991）
- ・日本産業規格（J I S）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

揚水井戸は多重性を考慮し、原子炉建屋周辺と第3号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに、岩盤内に設置する鋼管の深度に応じて、高さ $h1=46.2\text{m}$ と $h2=49.2\text{m}$ の揚水井戸を設置する。

各建屋に設置する揚水井戸の高さの組合せは同様であることから、高さ $h1$, $h2$ の揚水井戸をそれぞれ評価するため、ここでは原子炉建屋周辺のNo.1 及びNo.2 揚水井戸を評価対象に選定する。

評価対象断面は周囲の建屋配置状況を踏まえ、NS 方向の断面とする。

評価対象揚水井戸の断面位置を図 3-1 に、評価対象断面を図 3-2 に示す。

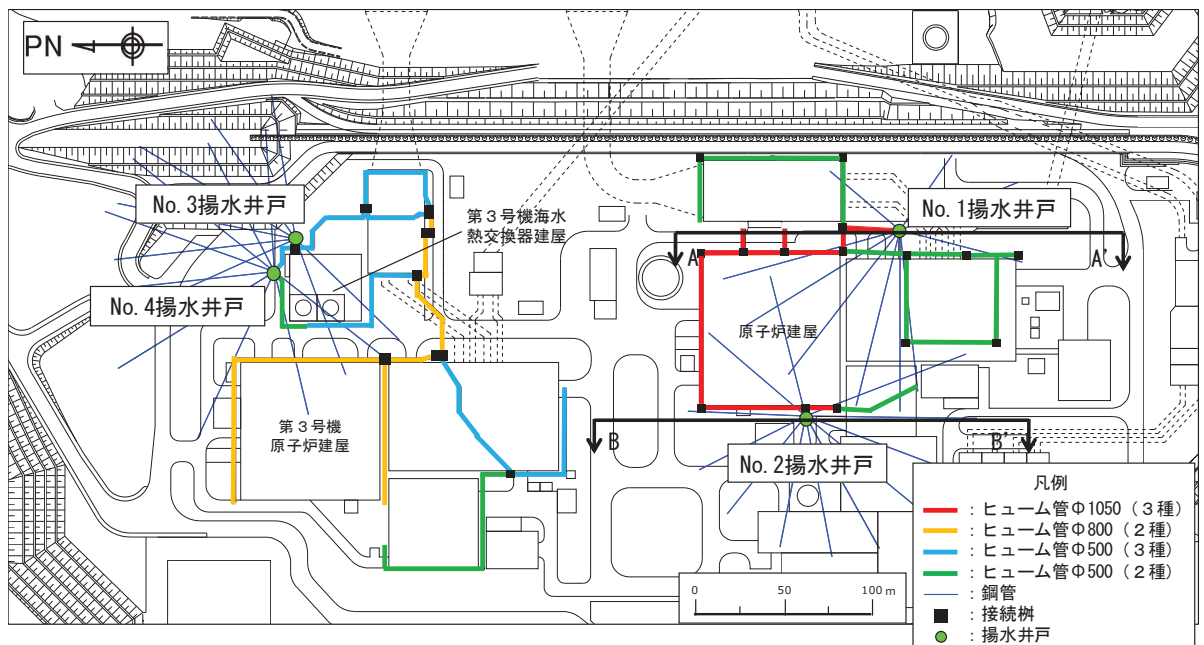


図 3-1 揚水井戸 評価対象揚水井戸 断面位置図

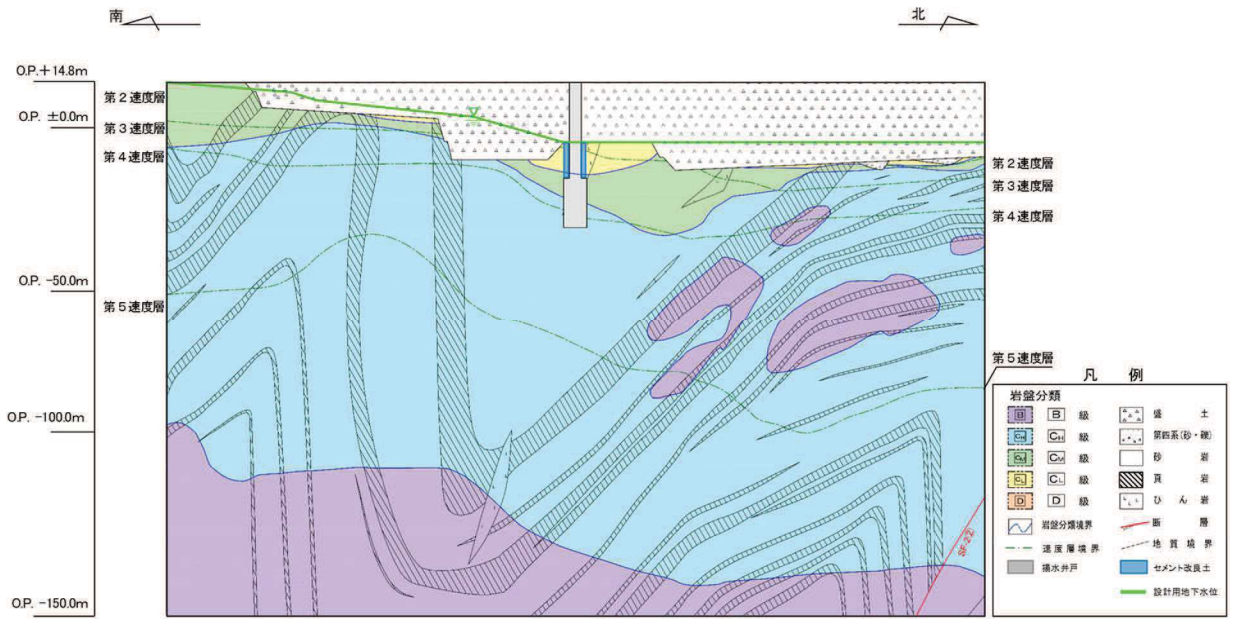


図 3-2(1) No.1 揚水井戸 評価対象断面図 (A' -A断面)

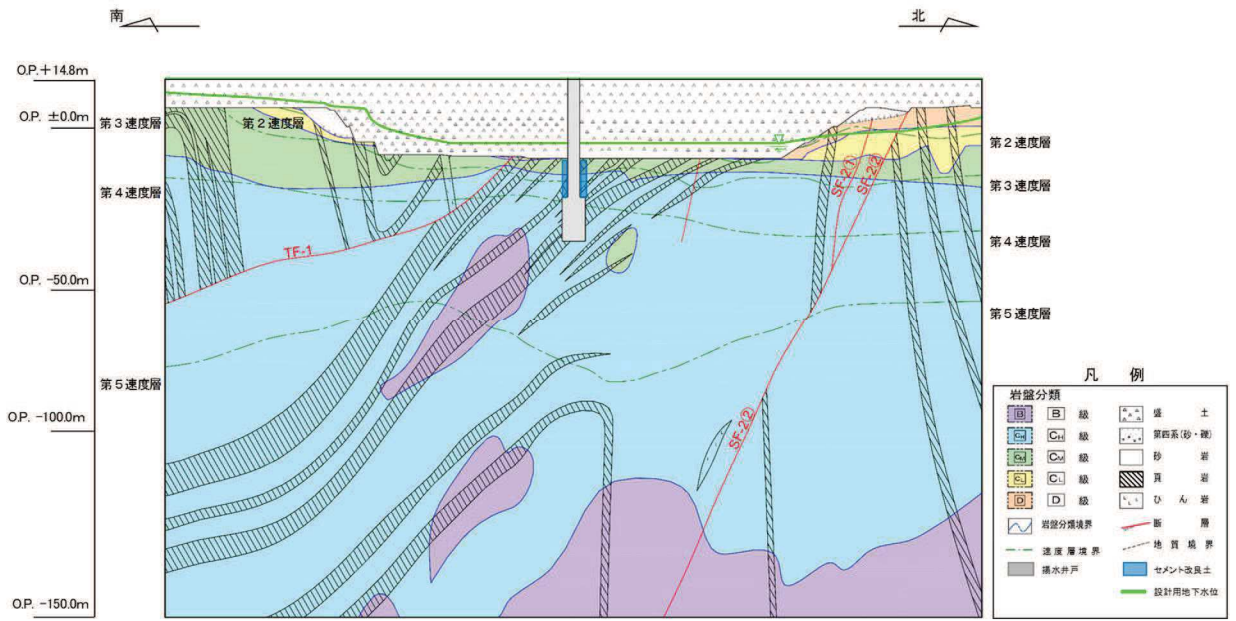


図 3-2(2) No.2 揚水井戸 評価対象断面図 (B' -B断面)

3.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて設定する。

地震応答解析は、盛土及び岩盤等の周辺地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法により、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を行う。

解析方法は、地下水位が岩盤表面以下となる No.1 揚水井戸は全応力解析とする。地下水位が盛土内となる No.2 揚水井戸は地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

有効応力解析には、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用し、全応力解析には解析コード「SLAP ver6.64」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造物は線形はり要素（ビーム要素）にてモデル化し、水平方向には、構造物の幅に応じた仮想剛梁を設置する。

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

揚水井戸の地震時の応答は、周辺地盤との動的相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を評価する。地盤物性のばらつきについては、揚水井戸周辺の地盤状況に応じ表 3-1 とおり考慮する。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値 - 1 σ

3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、有効応力解析では剛性比例型減衰、全応力解析では質量比例型減衰と剛性比例型減衰の組み合わせによる減衰を設定する。

3.2.4 解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実

施する。解析ケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3-1 に示す解析ケース②、③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
地震動(位相)	S _s -D1	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -D2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -D3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F1	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -N1	++*	○		
		-+*	○		

基準地震動S_s (7波) 及び水平動の位相反転を考慮した地震動 (7波) を加えた全14波を用いて実施するケース① (基本ケース) の結果から、排水シャフト、集水ピット、接合部及び基礎地盤の支持力の照査において照査値が0.5以上となる照査項目のうち、部位ごとの照査値が最も厳くなる地震動を用いてケース②、③を実施する。

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

3.3 荷重及び荷重の組合せ

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

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

揚水井戸の地震応答解折において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

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

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

揚水井戸の地震応答解折において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として積雪荷重を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、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。

(4) 地震荷重(S_s)

地震力は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m² を地表面に考慮)

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

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

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を1次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」とする。

入力地震動算定の概念図を図3-3に示す。入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図3-4に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver1.6」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

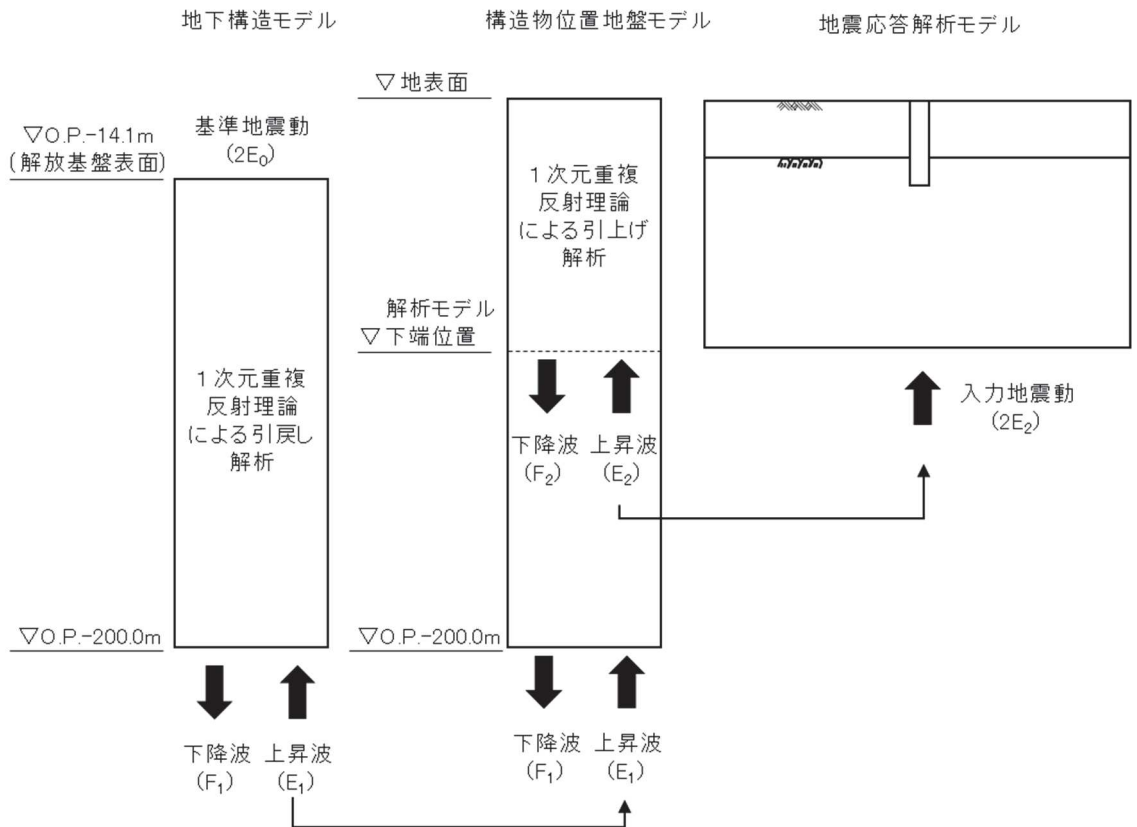
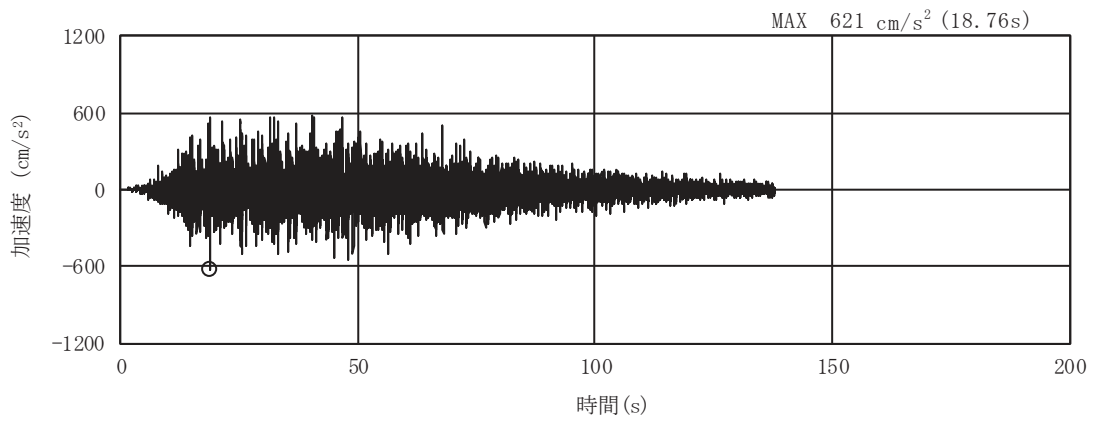
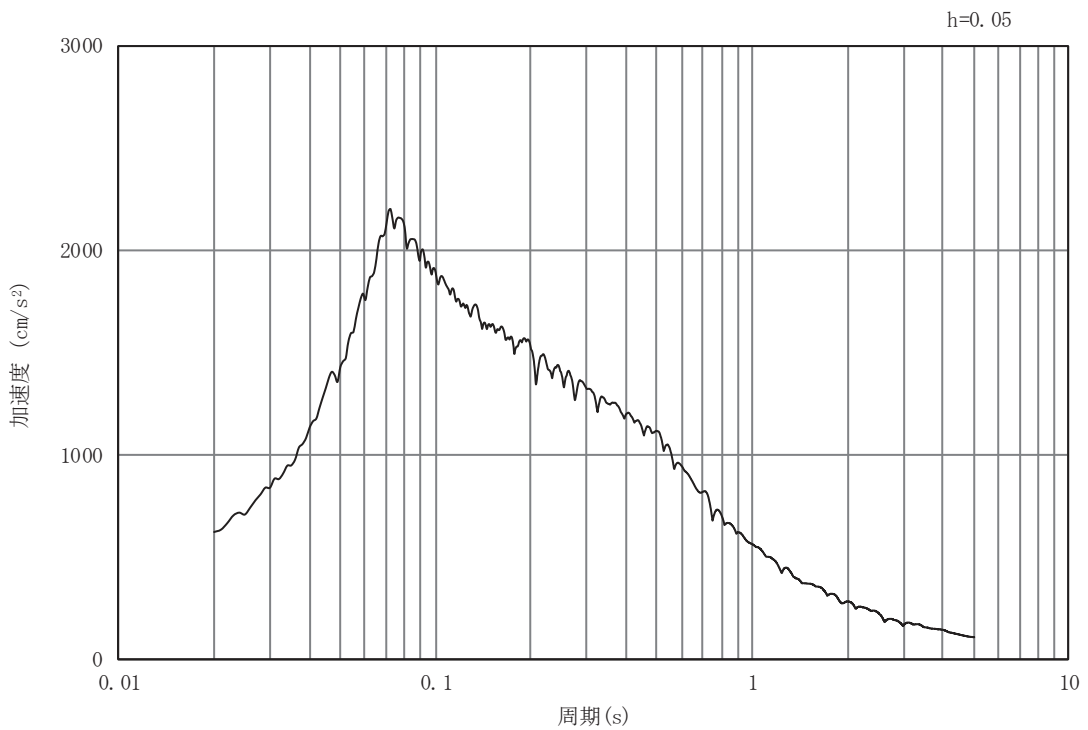


図 3-3 入力地震動算定の概念図

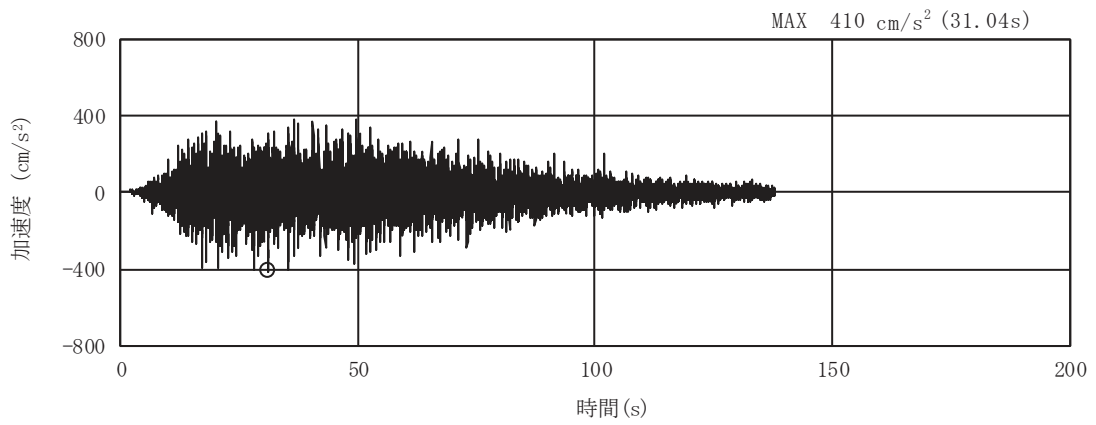


(a) 加速度時刻歴波形

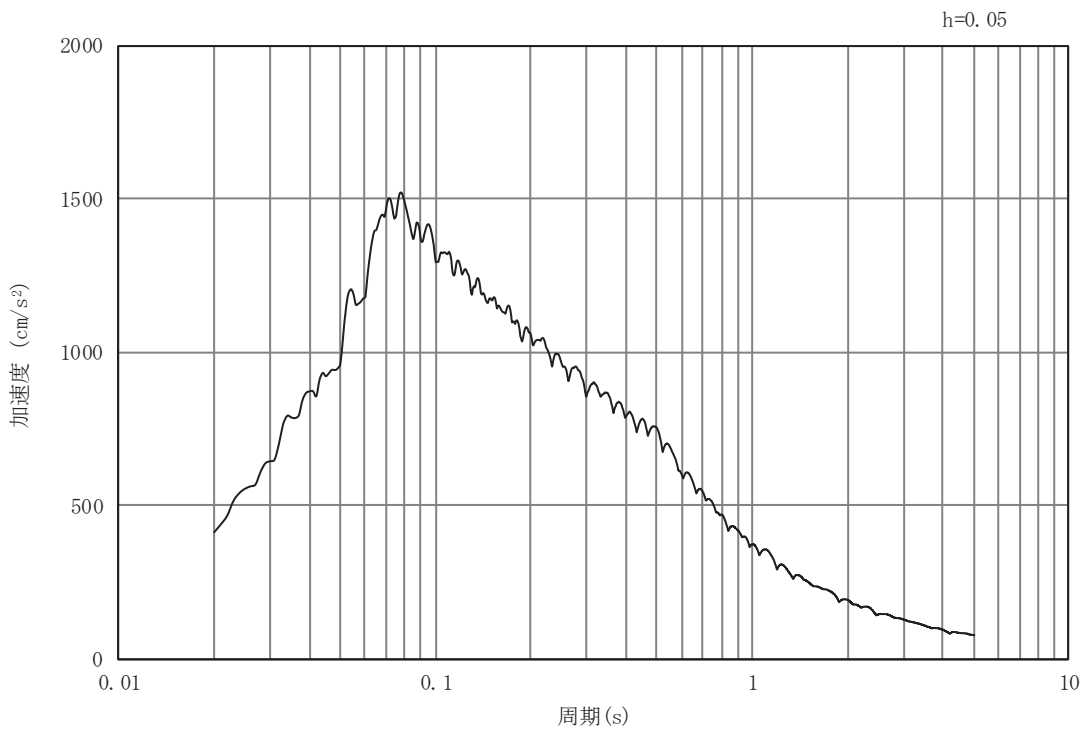


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D 1) , No.1 揚水井戸

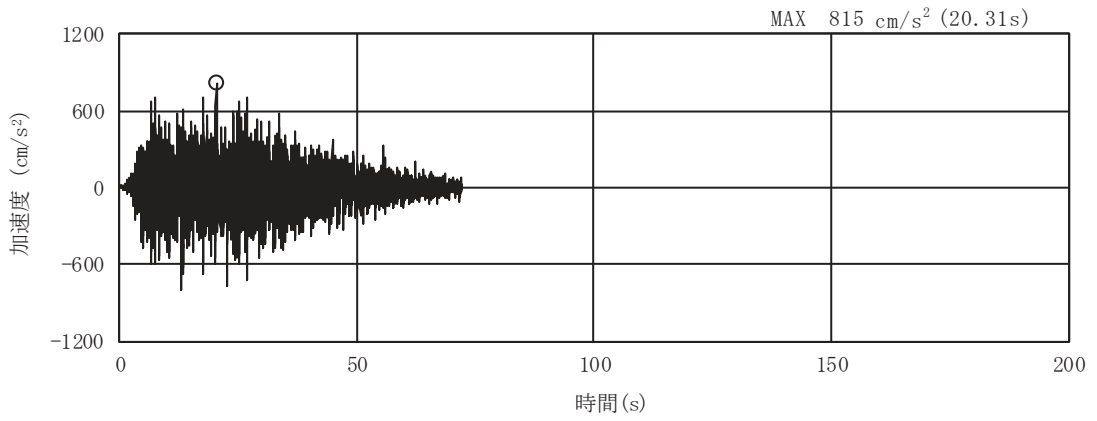


(a) 加速度時刻歴波形

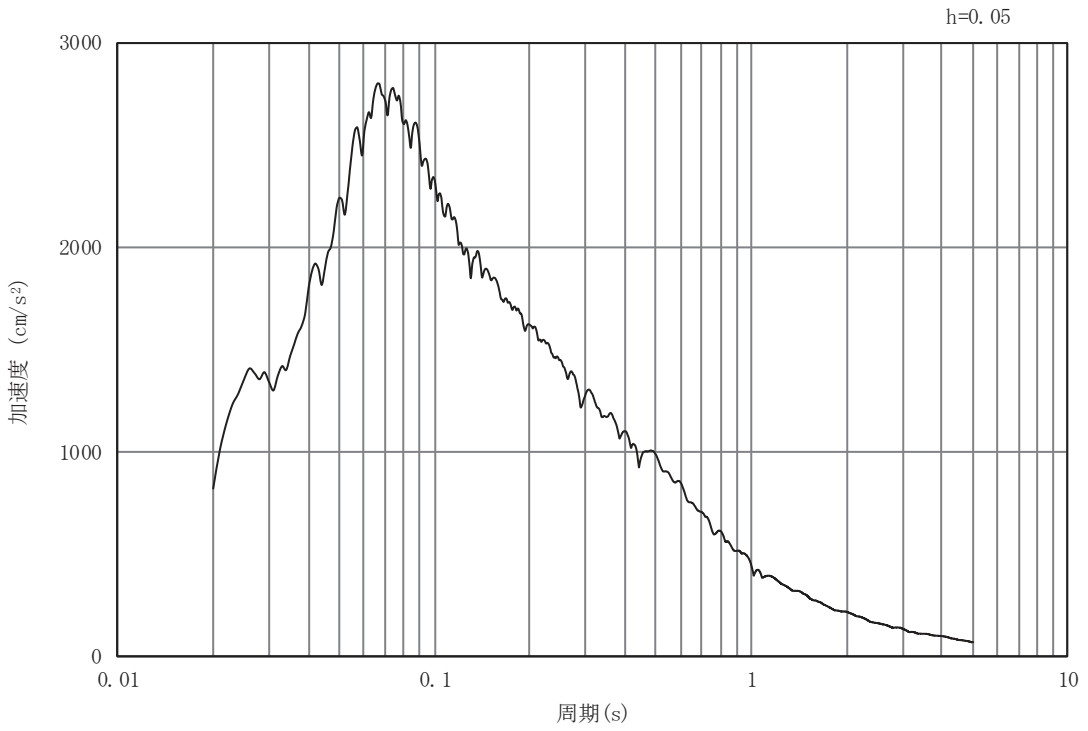


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 1) , No.1 揚水井戸

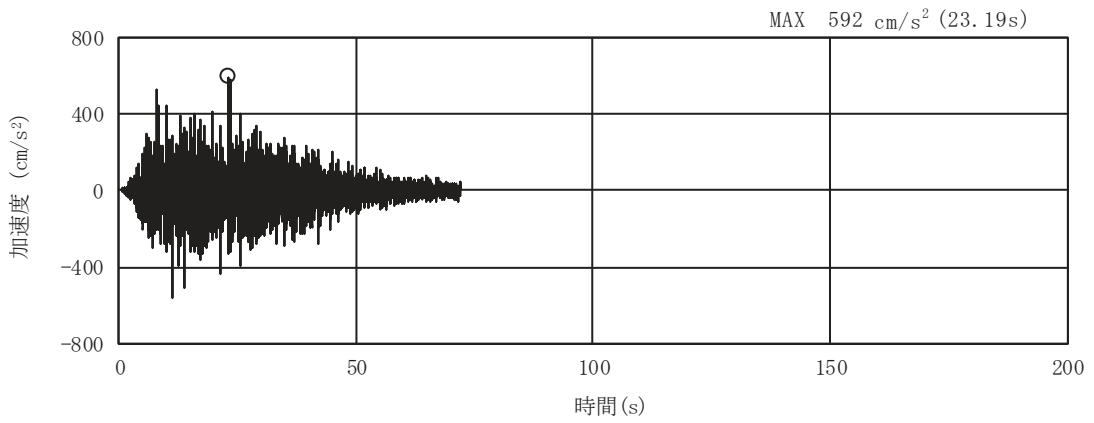


(a) 加速度時刻歴波形

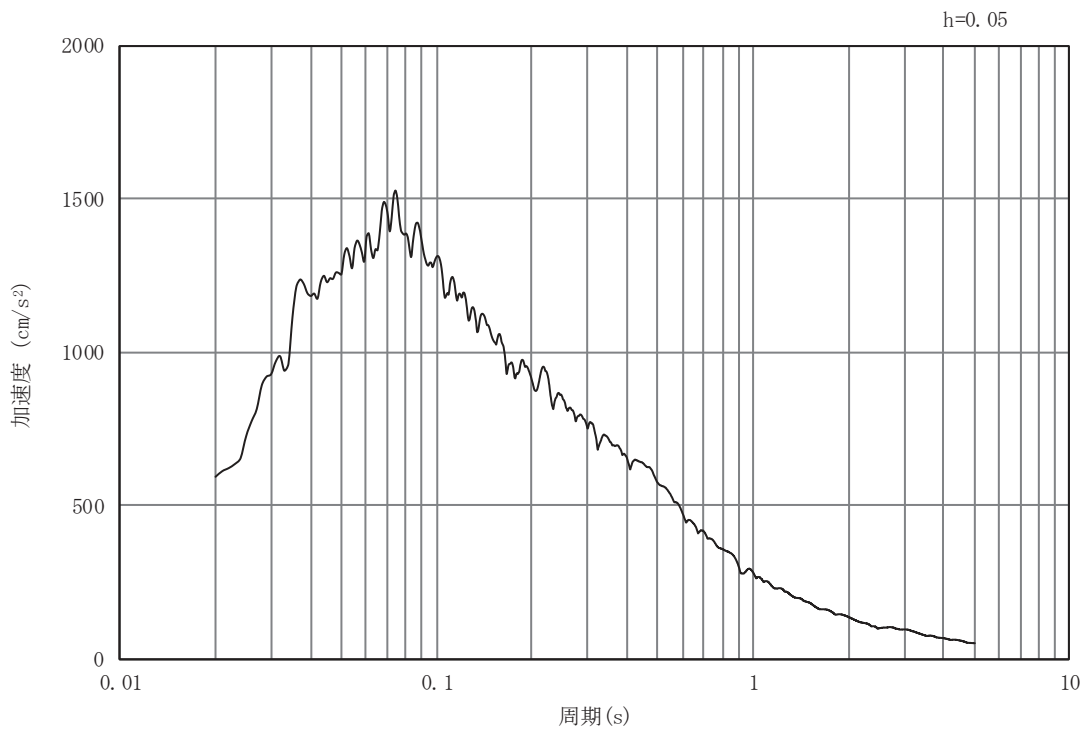


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D 2) , No.1 揚水井戸

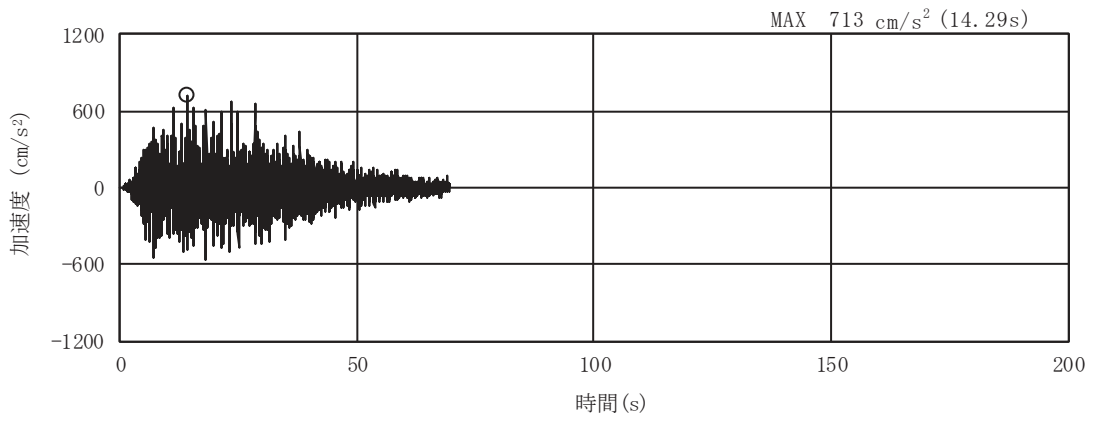


(a) 加速度時刻歴波形

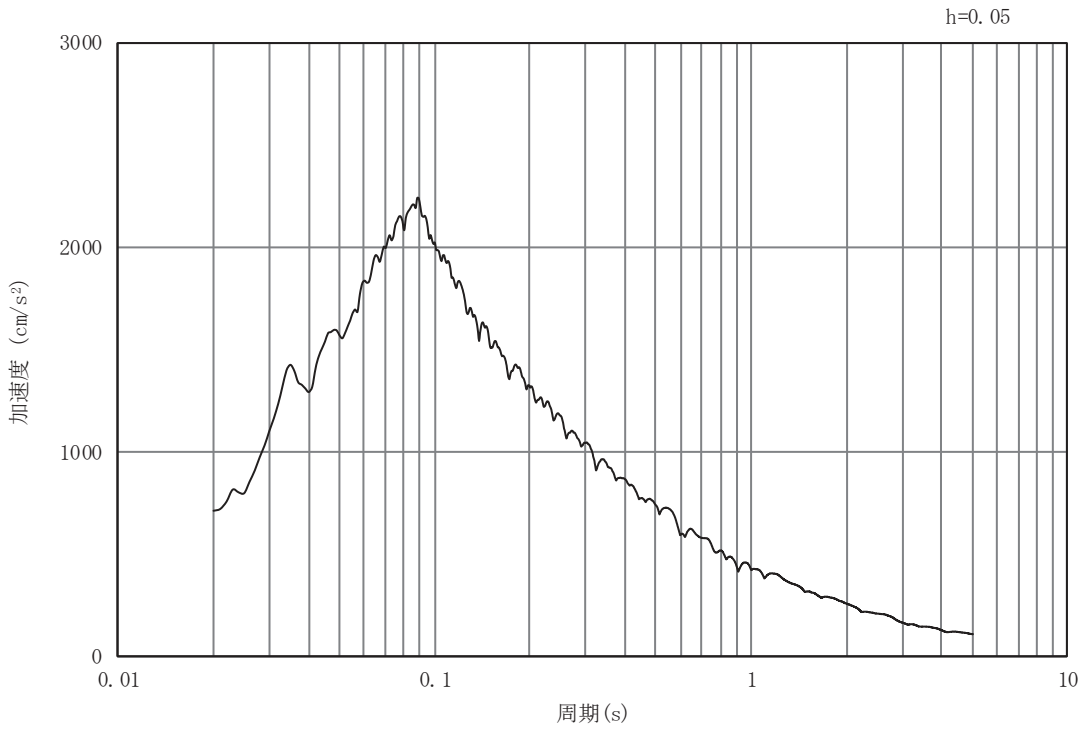


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 2) , No.1 揚水井戸

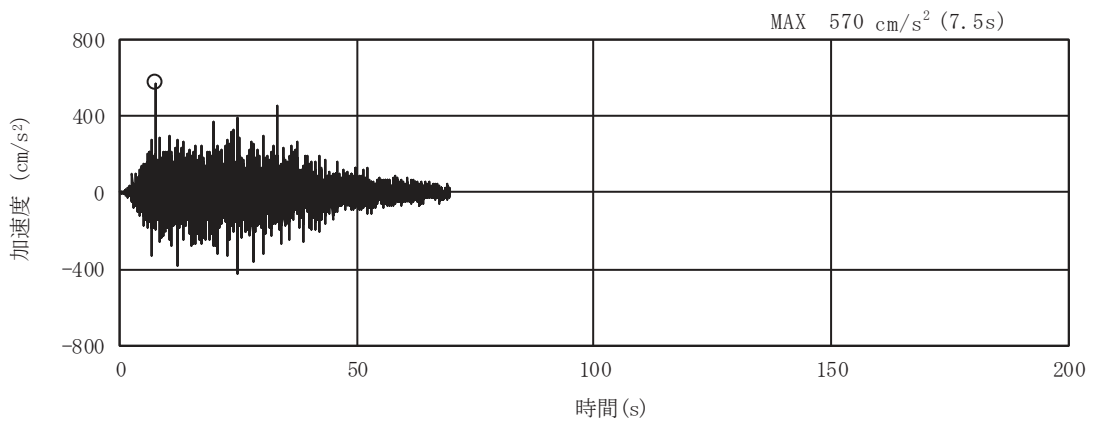


(a) 加速度時刻歴波形

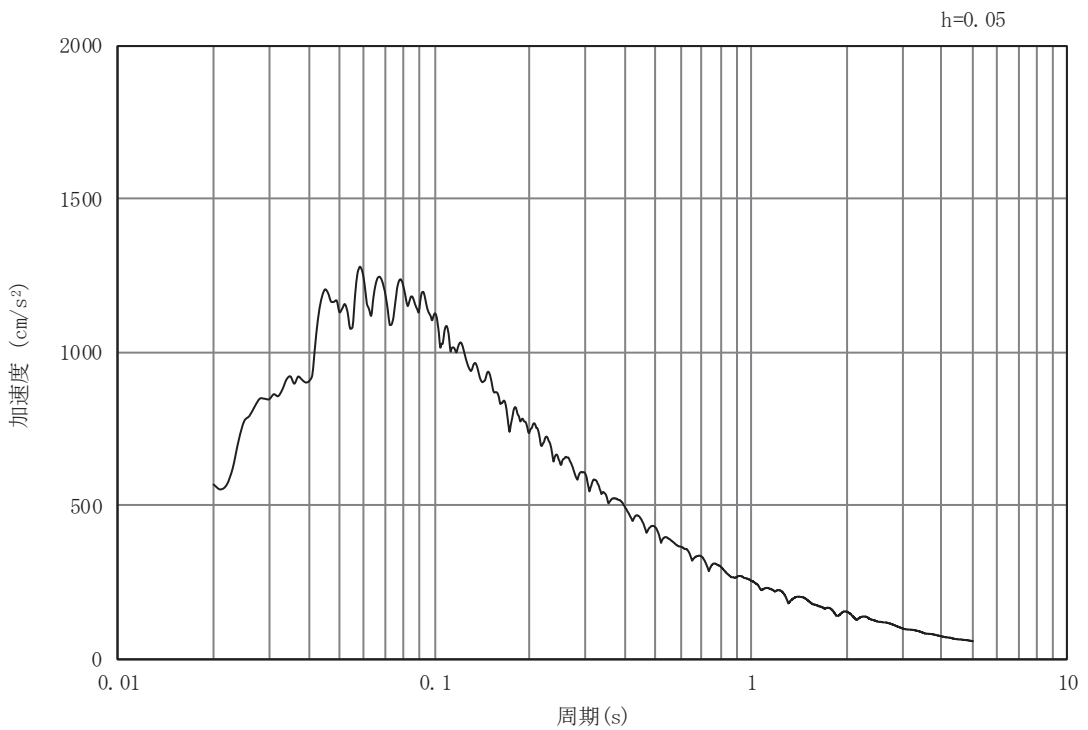


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D 3) , No.1 揚水井戸

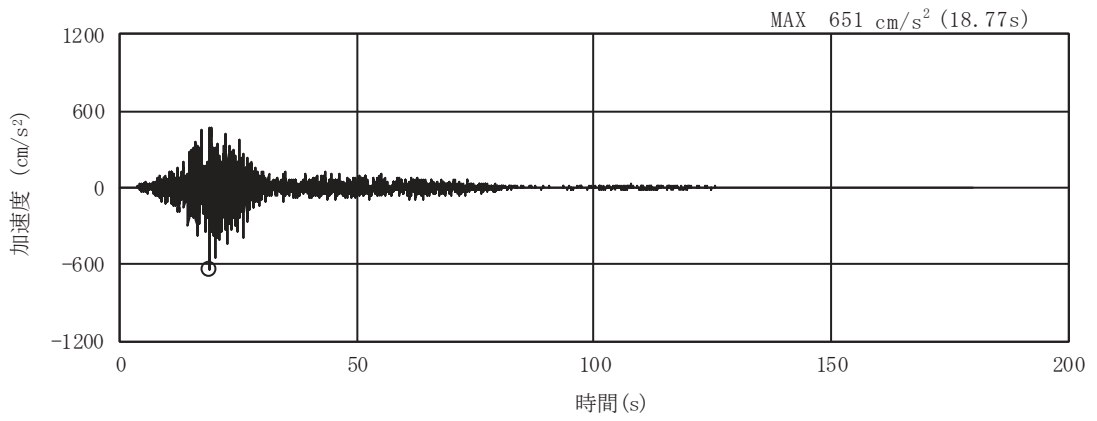


(a) 加速度時刻歴波形

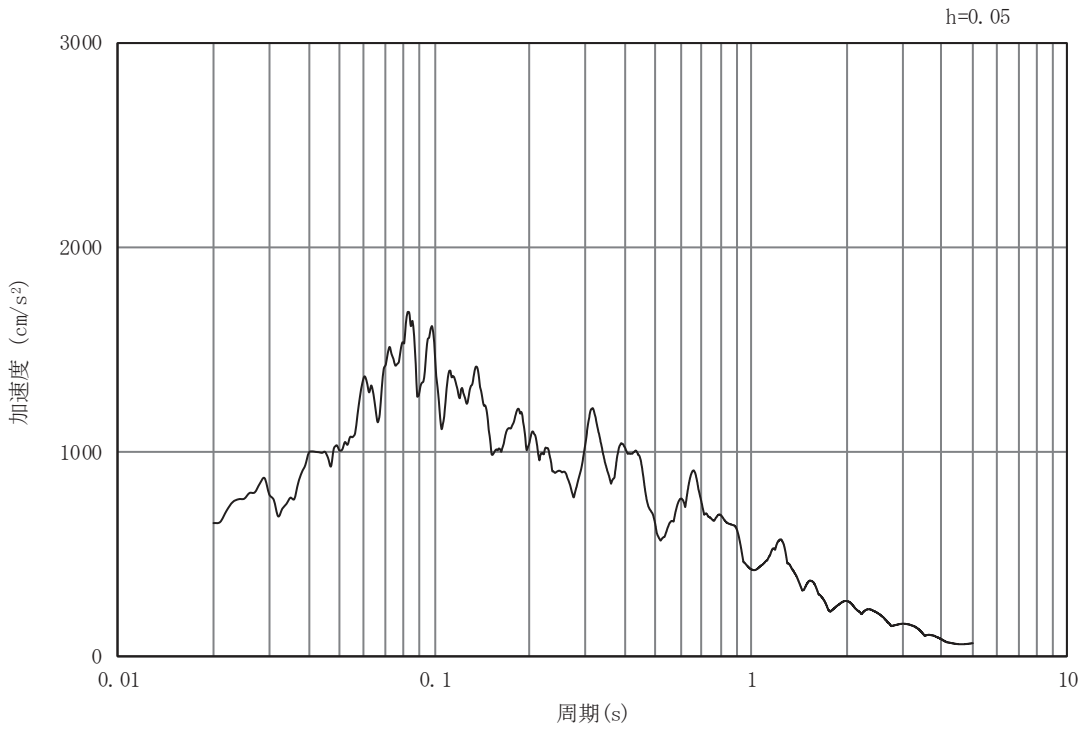


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 3) , No.1 揚水井戸

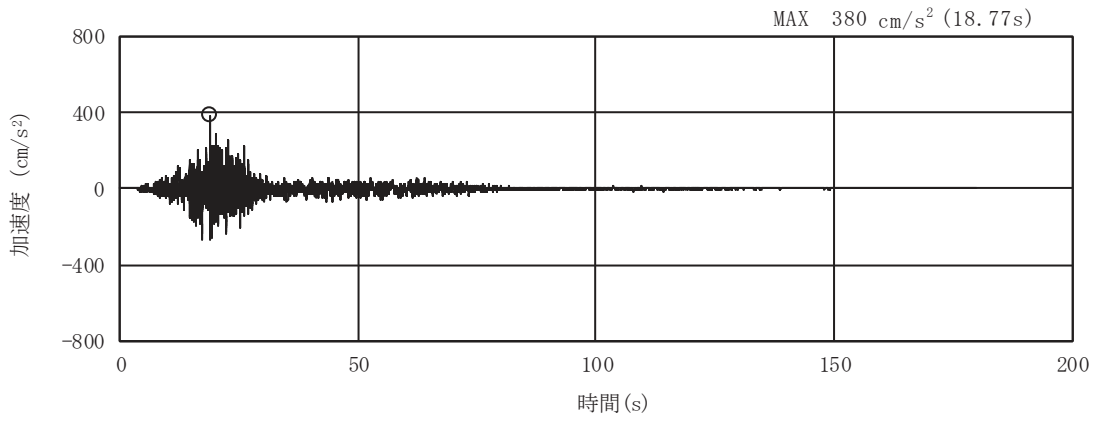


(a) 加速度時刻歴波形

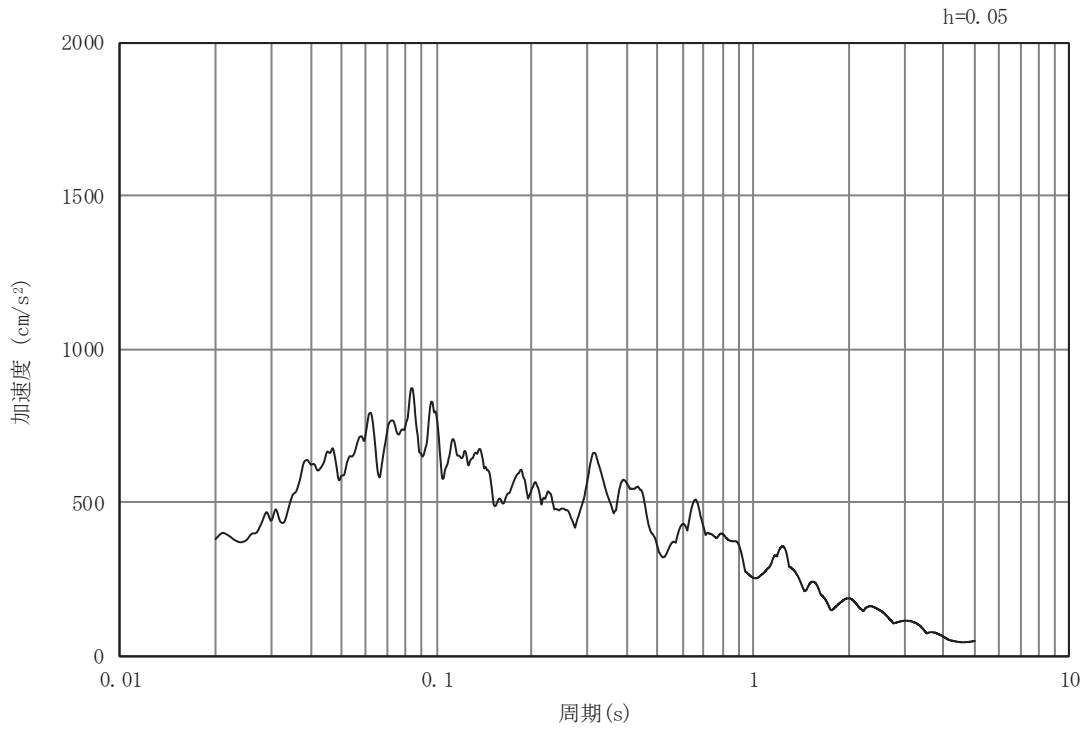


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1) , No.1 揚水井戸

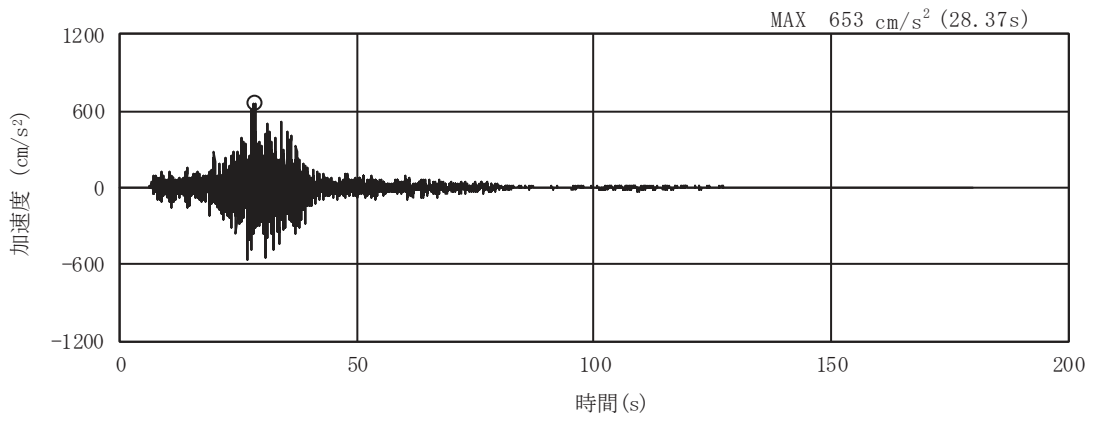


(a) 加速度時刻歴波形

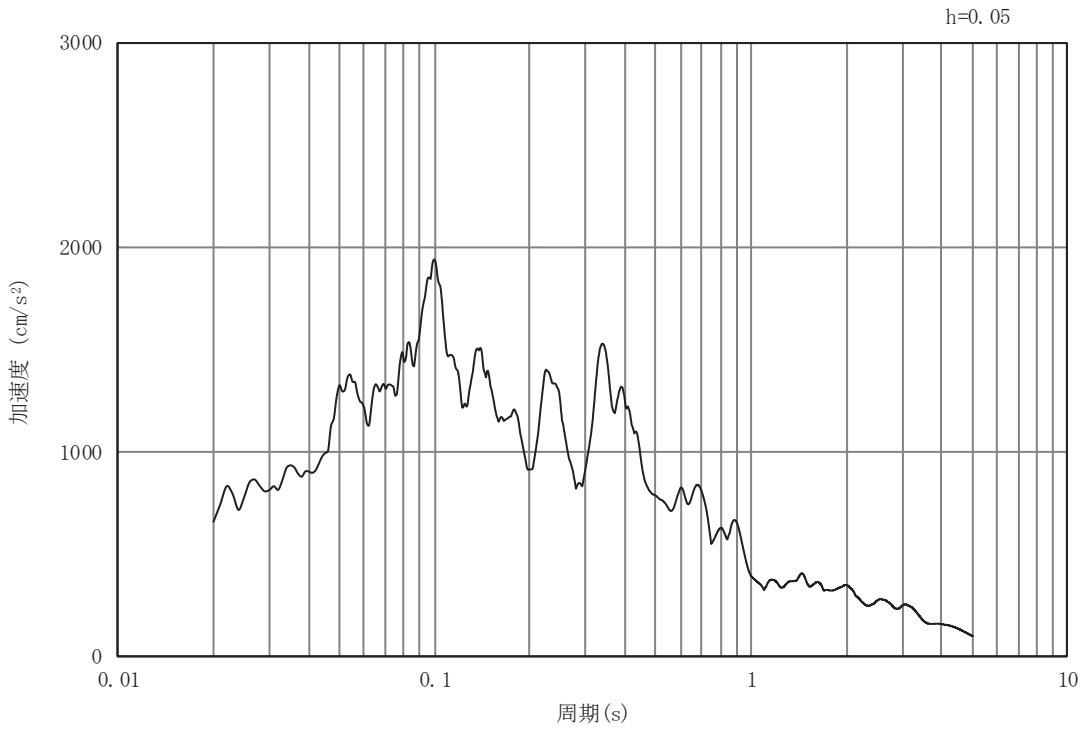


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1) , No.1 揚水井戸

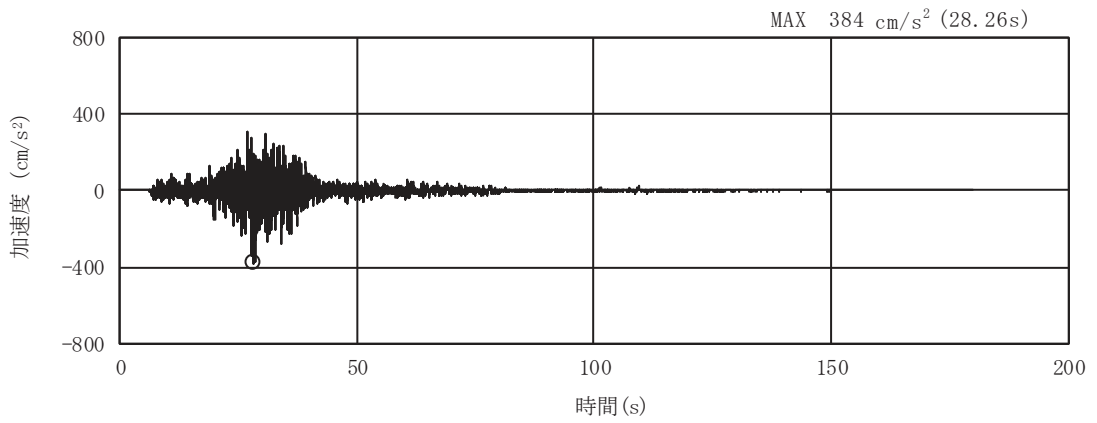


(a) 加速度時刻歴波形

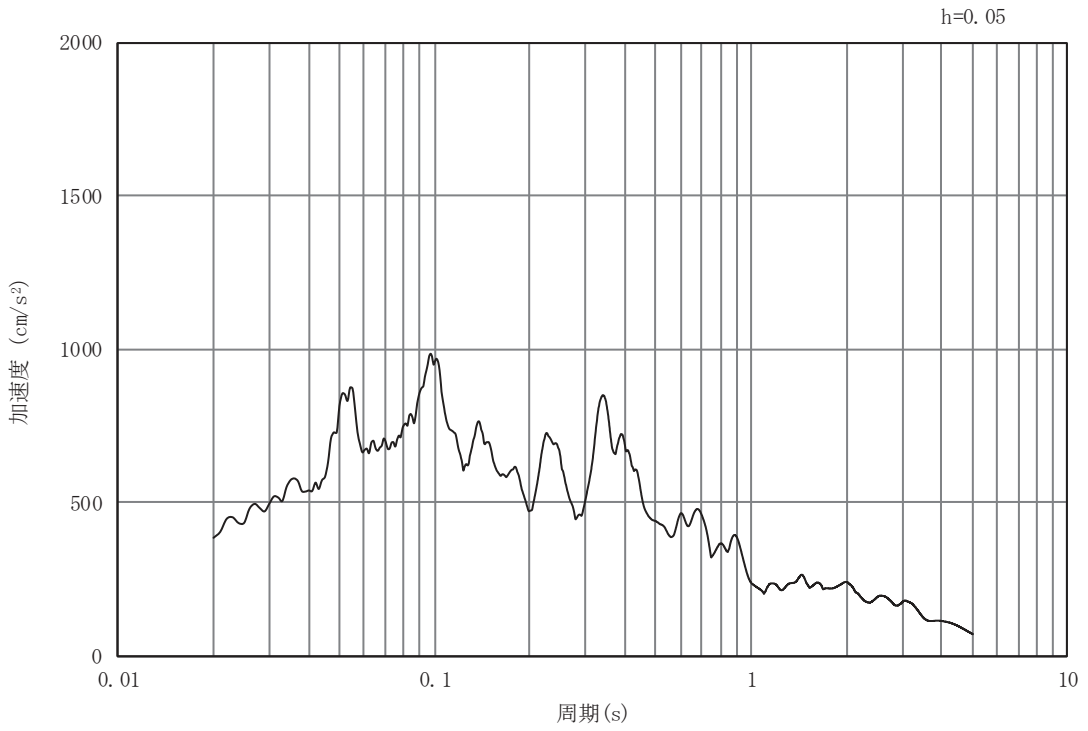


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2) , No.1 揚水井戸

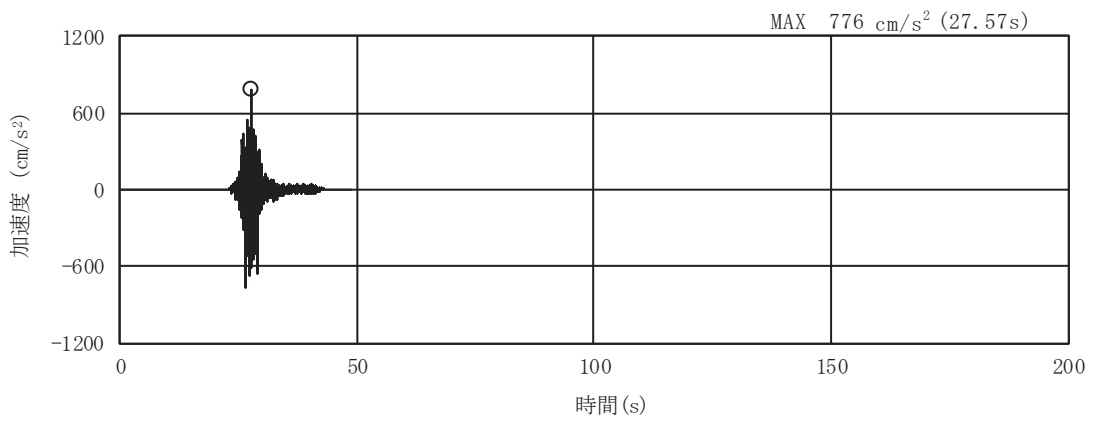


(a) 加速度時刻歴波形

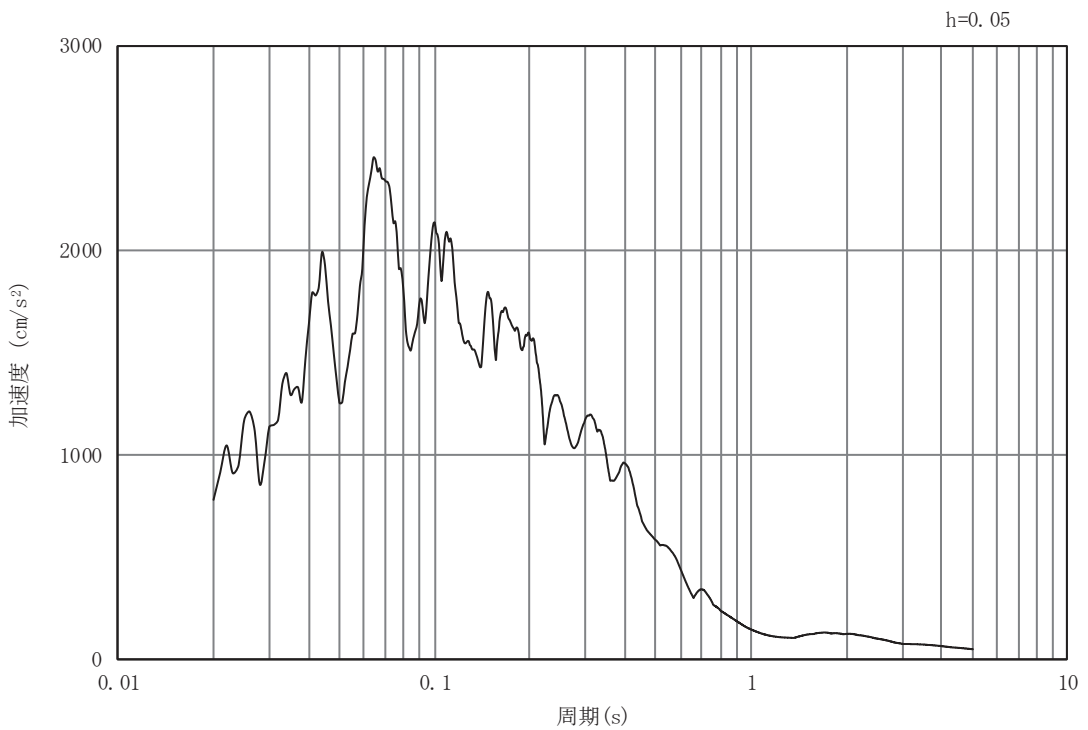


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2) , No.1 揚水井戸

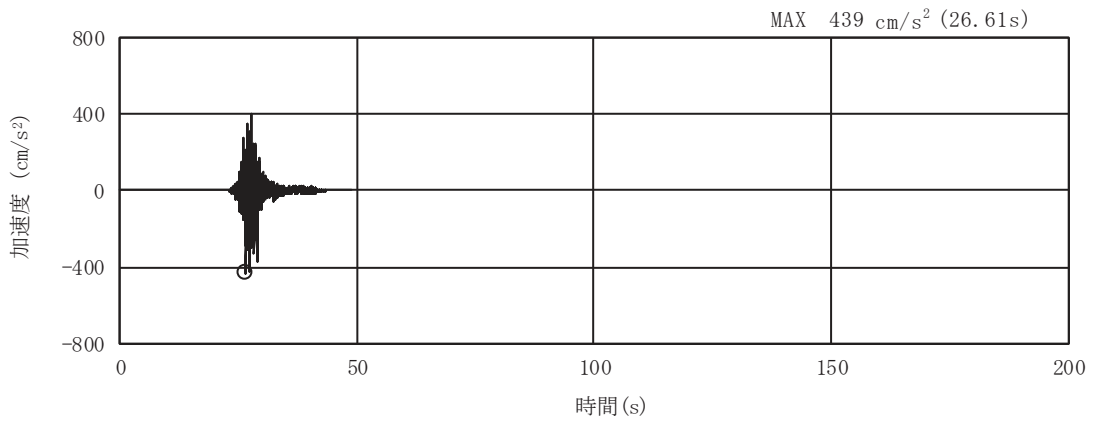


(a) 加速度時刻歴波形

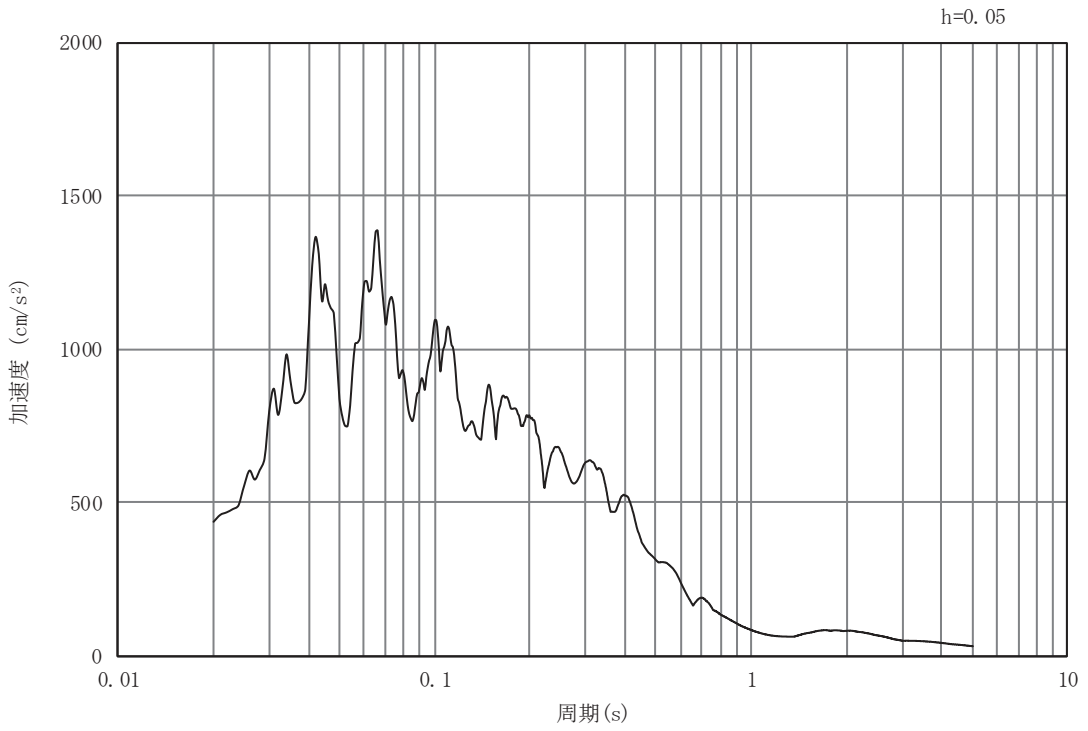


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 3) , No.1 揚水井戸

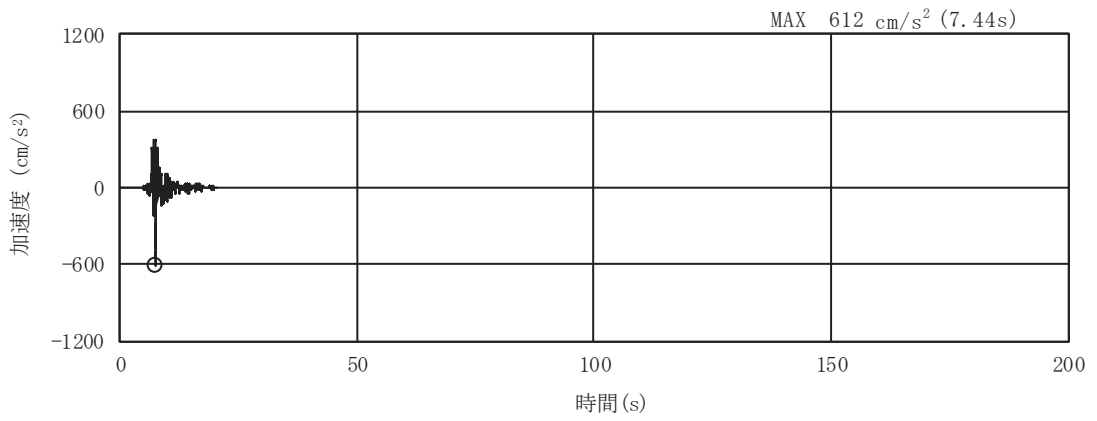


(a) 加速度時刻歴波形

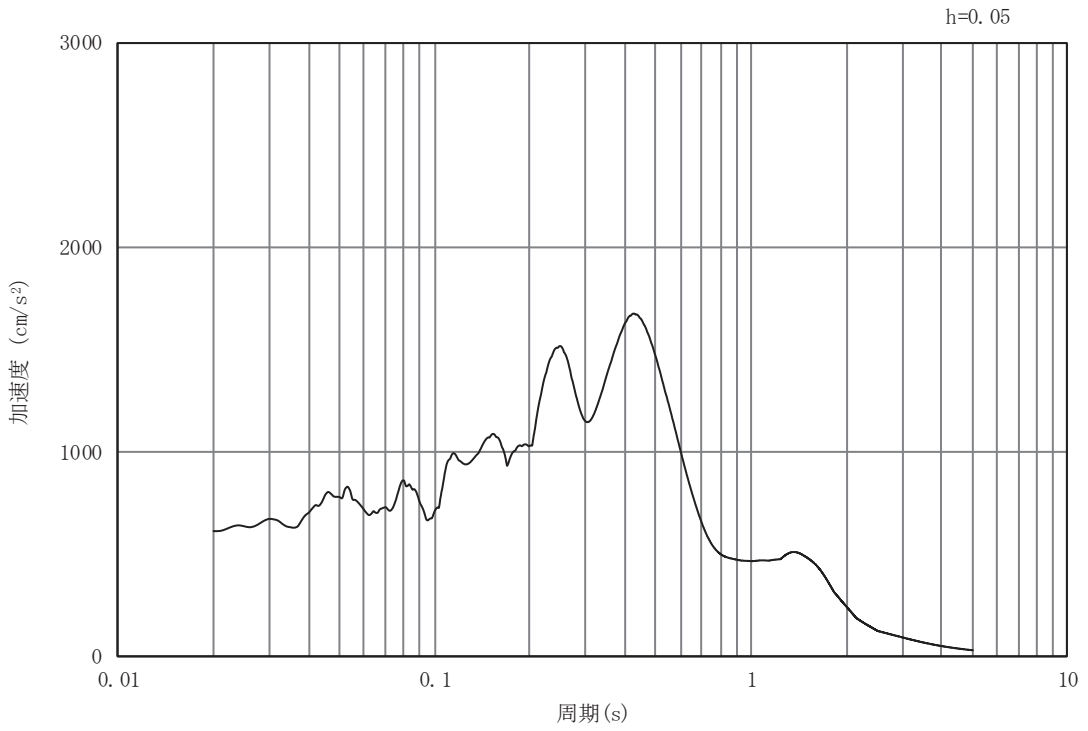


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 3) , No.1 揚水井戸

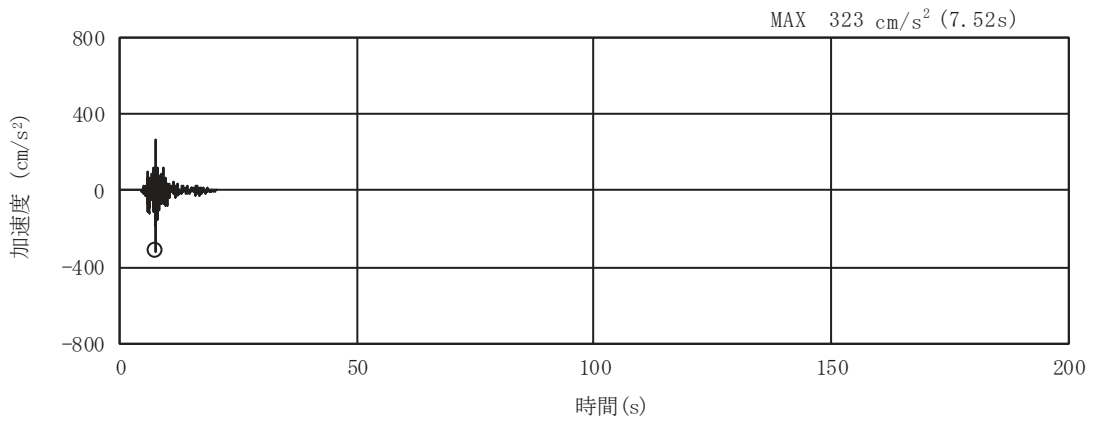


(a) 加速度時刻歴波形

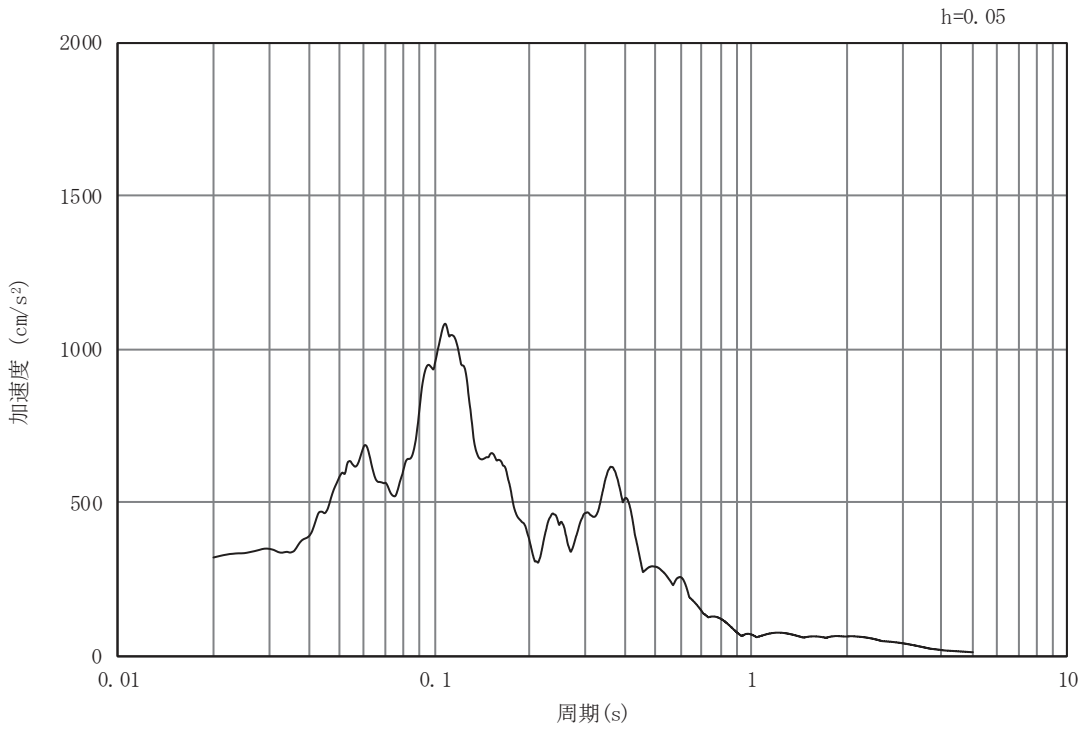


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1) , No.1 揚水井戸

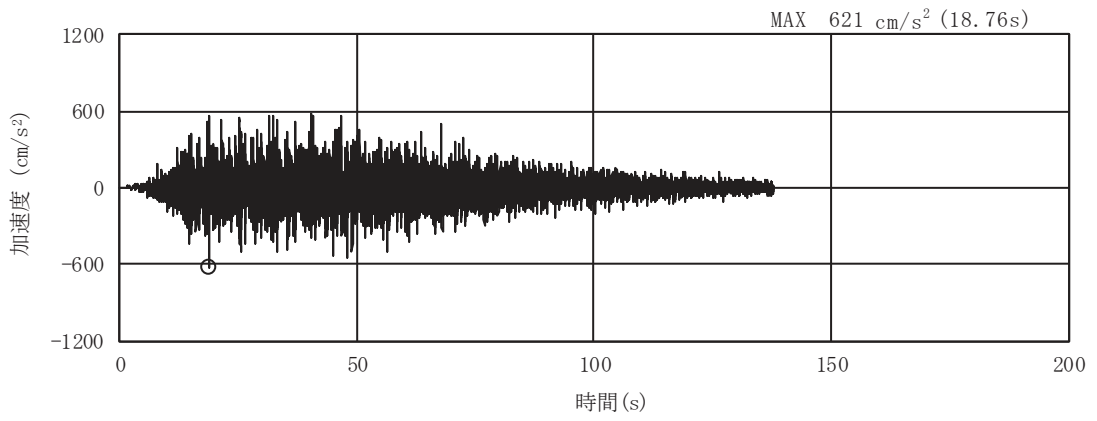


(a) 加速度時刻歴波形

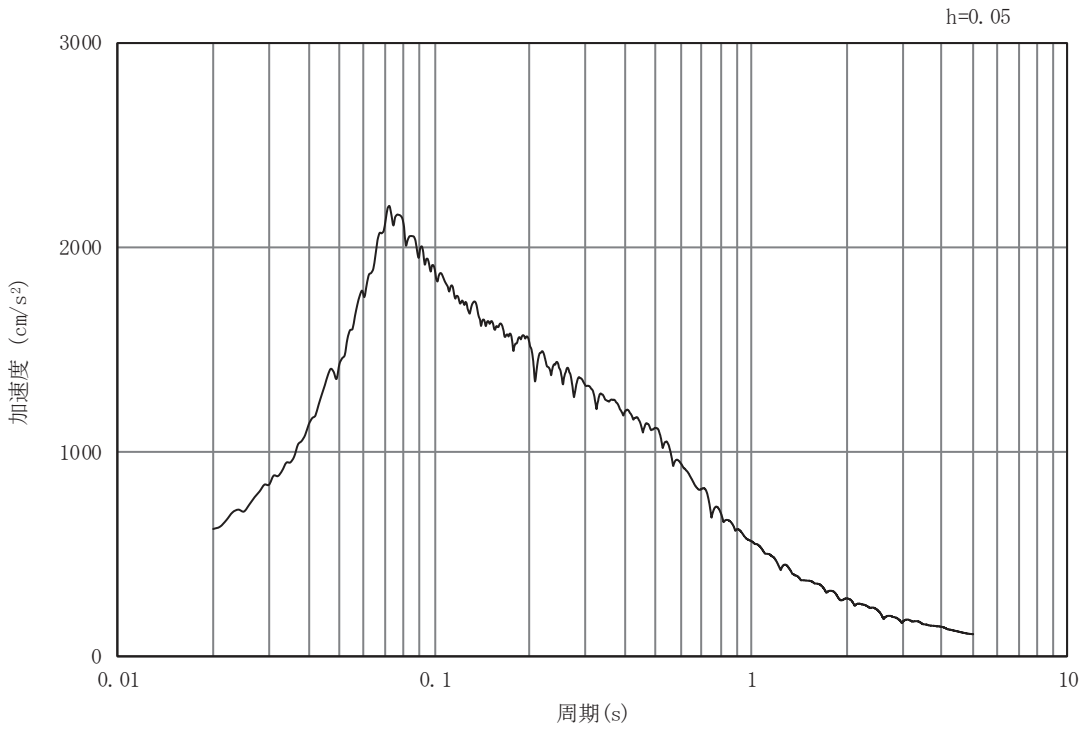


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1) , No.1 揚水井戸

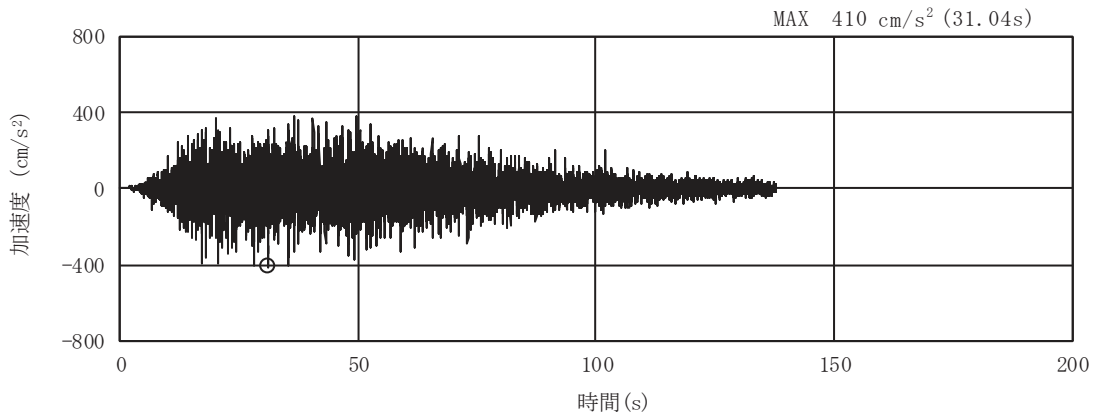


(a) 加速度時刻歴波形

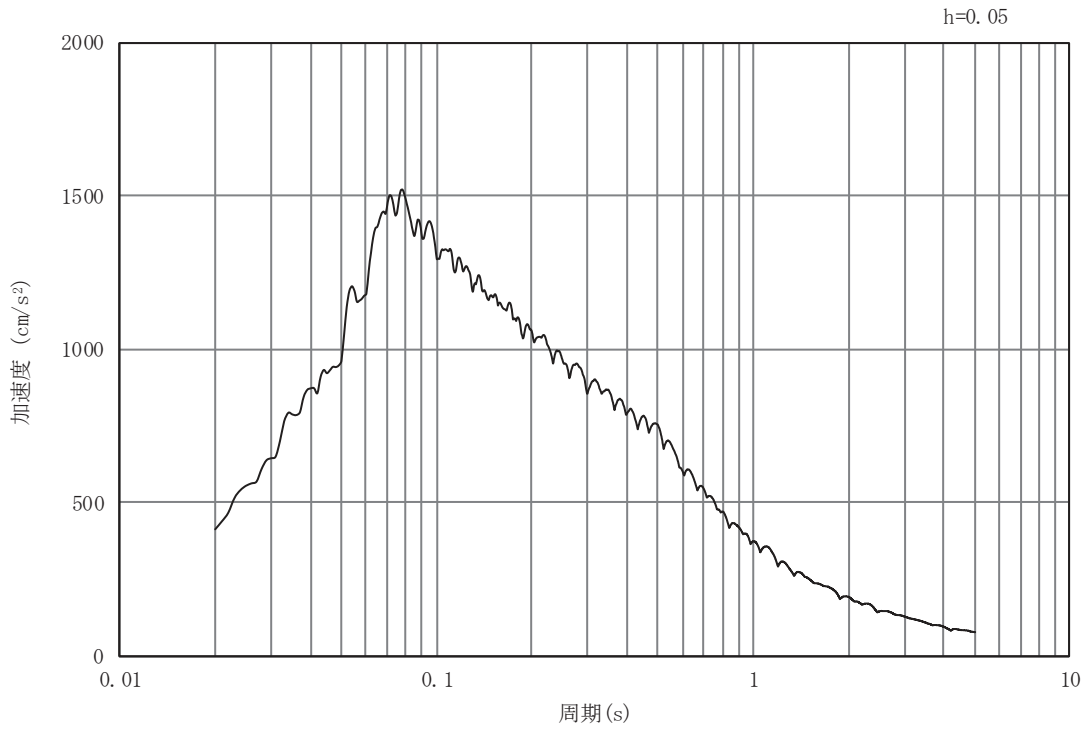


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D 1) , No.2 揚水井戸

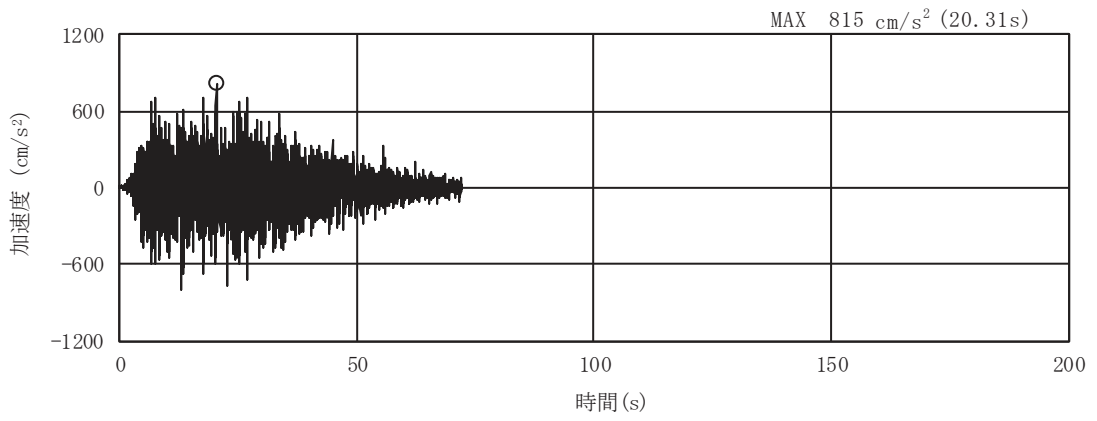


(a) 加速度時刻歴波形

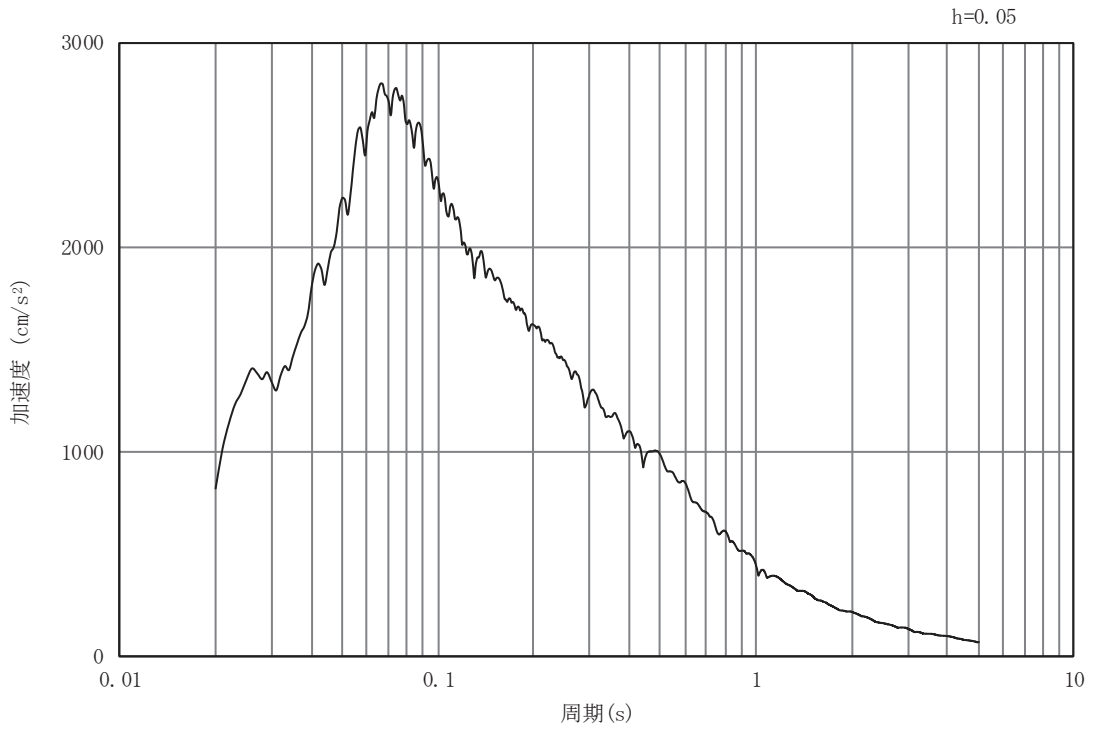


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 1) , No.2 揚水井戸

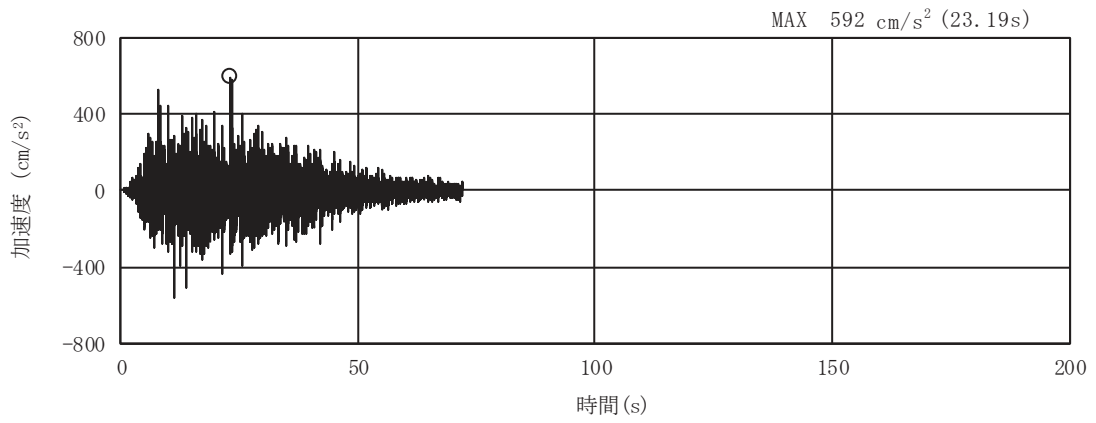


(a) 加速度時刻歴波形

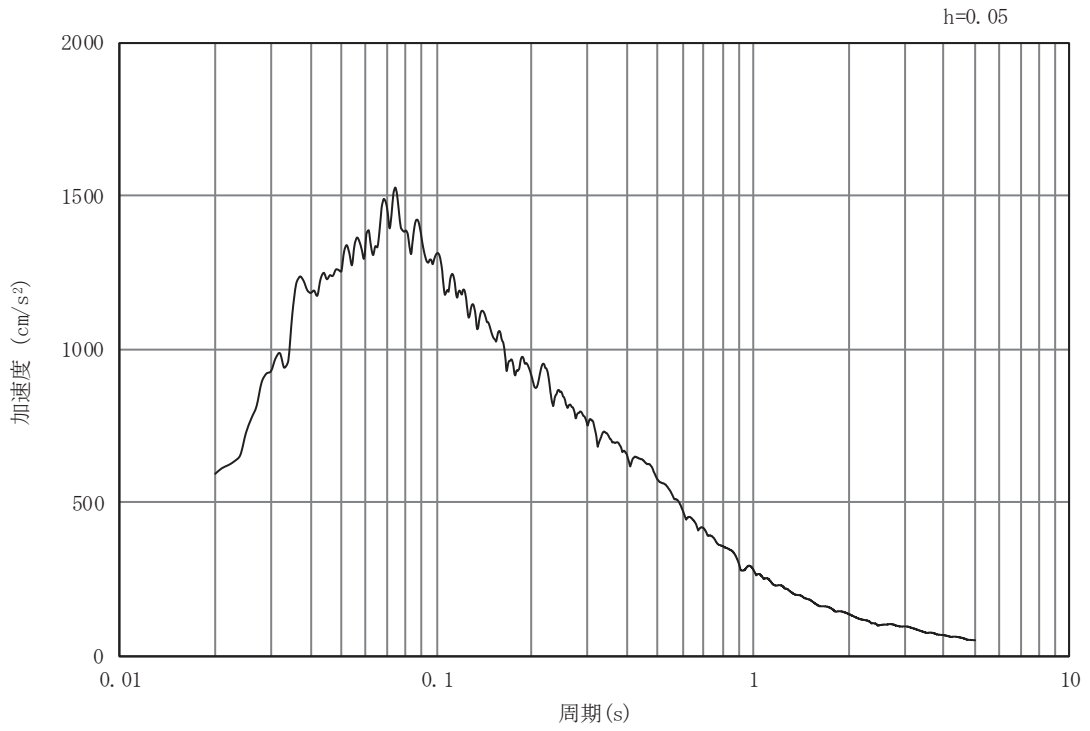


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (17) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - D 2) , No.2 揚水井戸

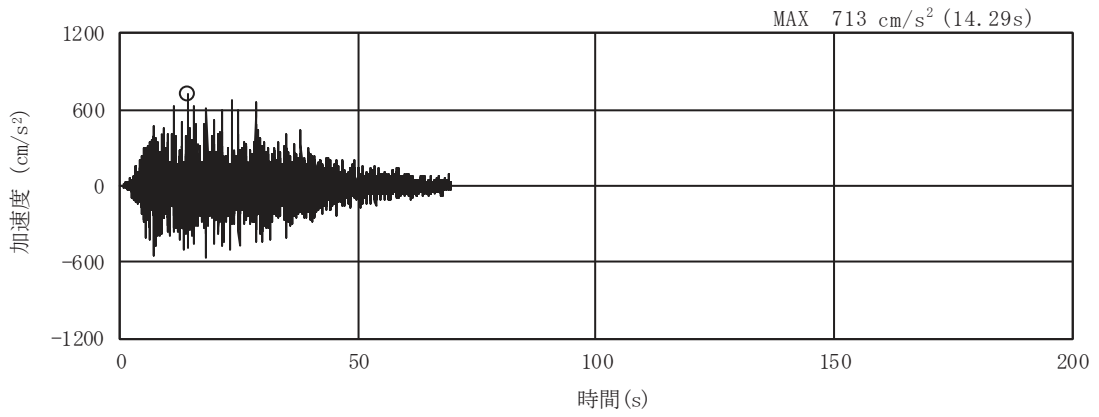


(a) 加速度時刻歴波形

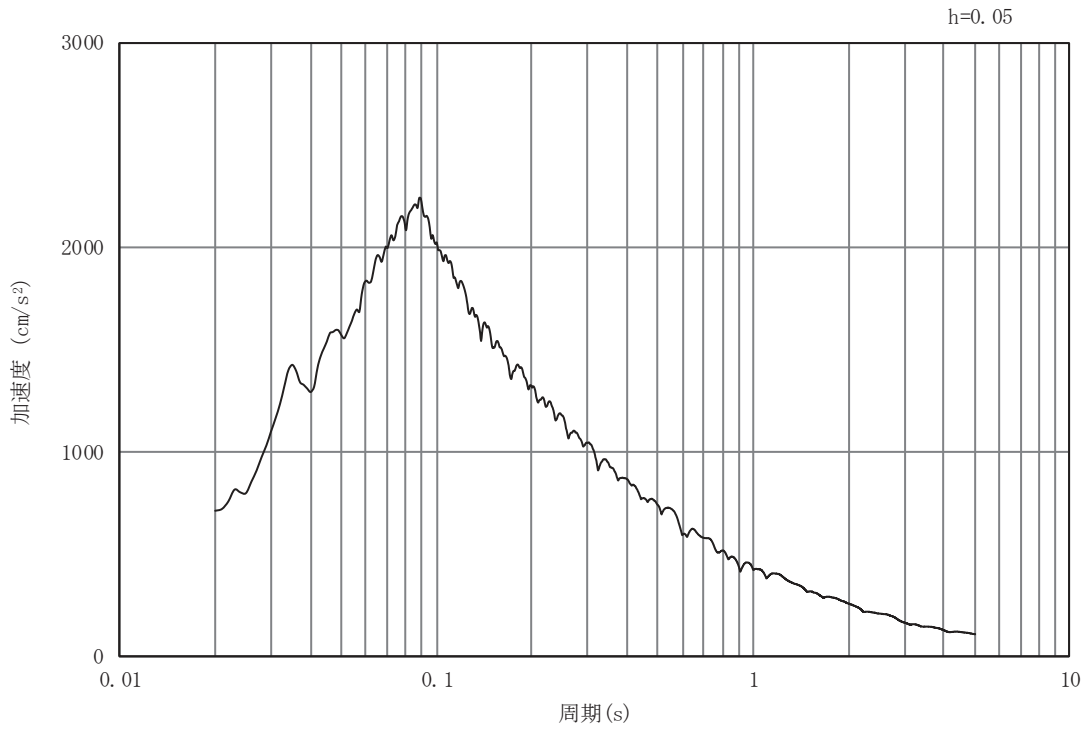


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (18) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 2) , No.2 揚水井戸

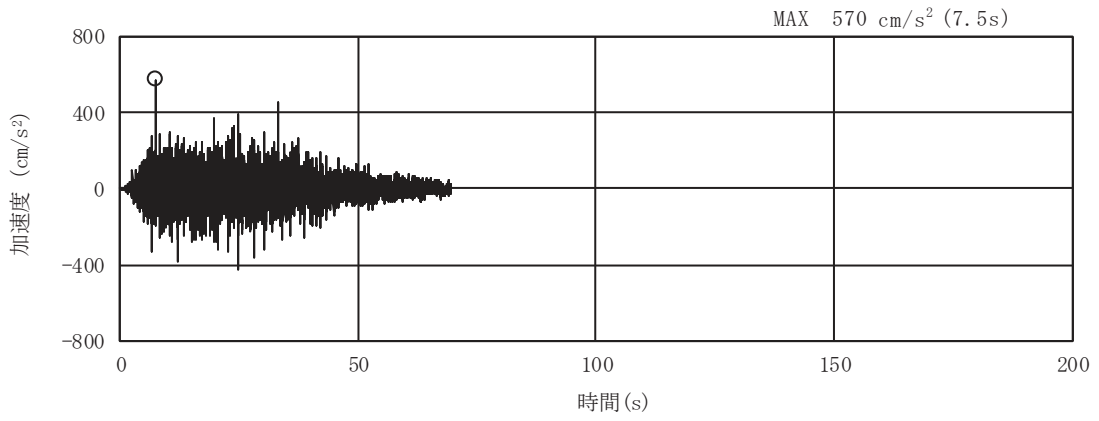


(a) 加速度時刻歴波形

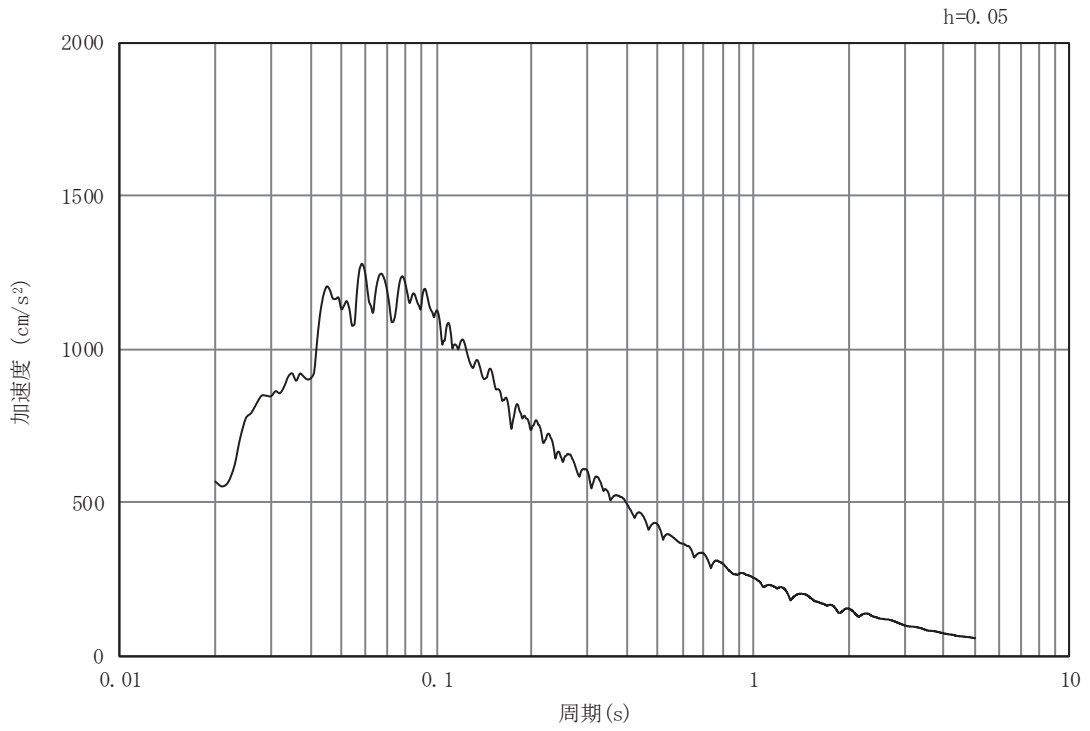


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (19) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D 3) , No.2 揚水井戸

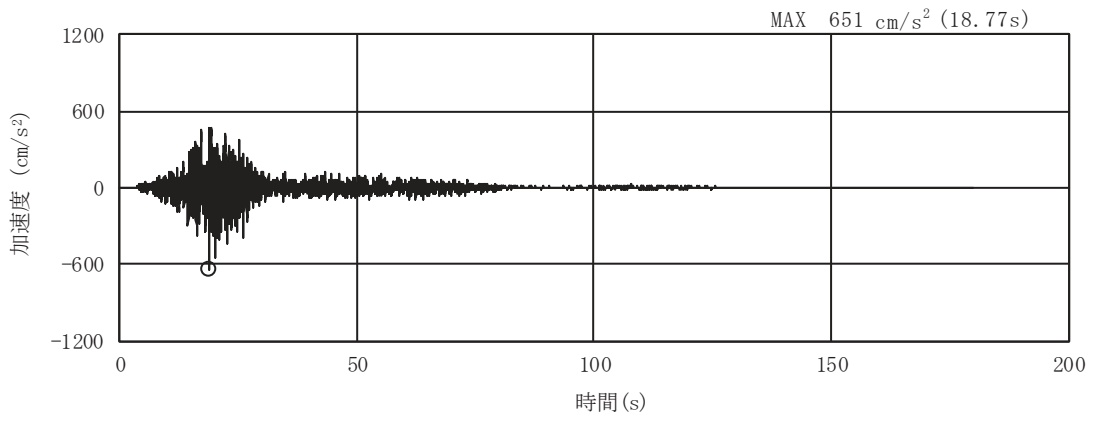


(a) 加速度時刻歴波形

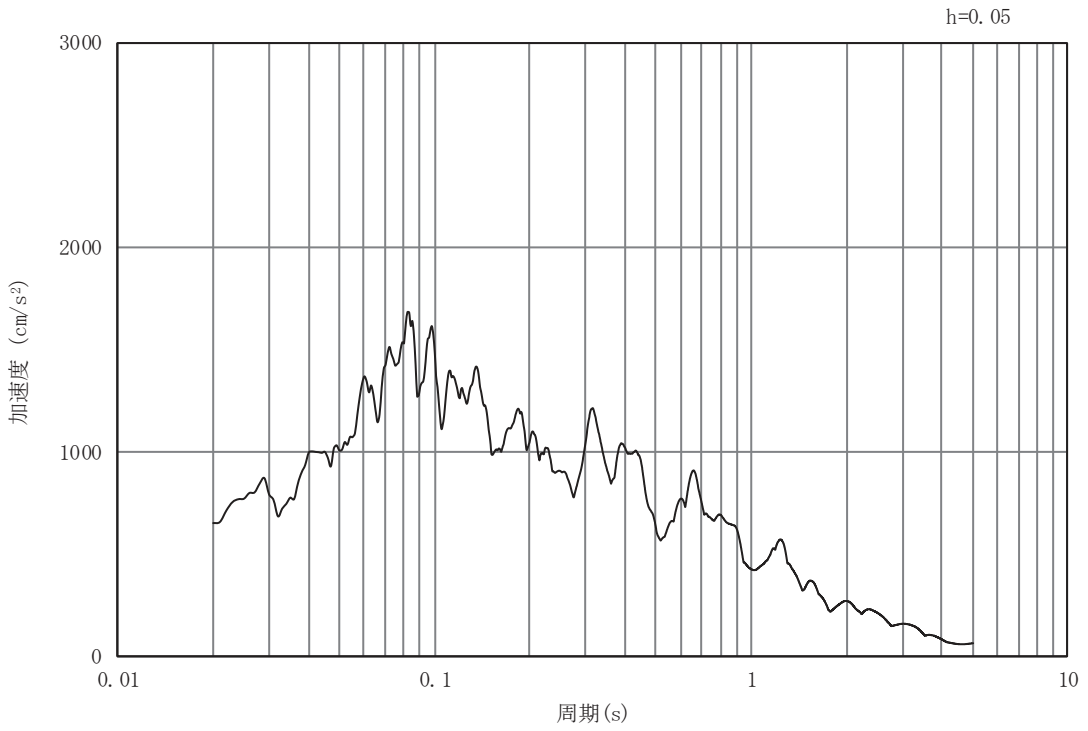


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (20) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 3) , No.2 揚水井戸

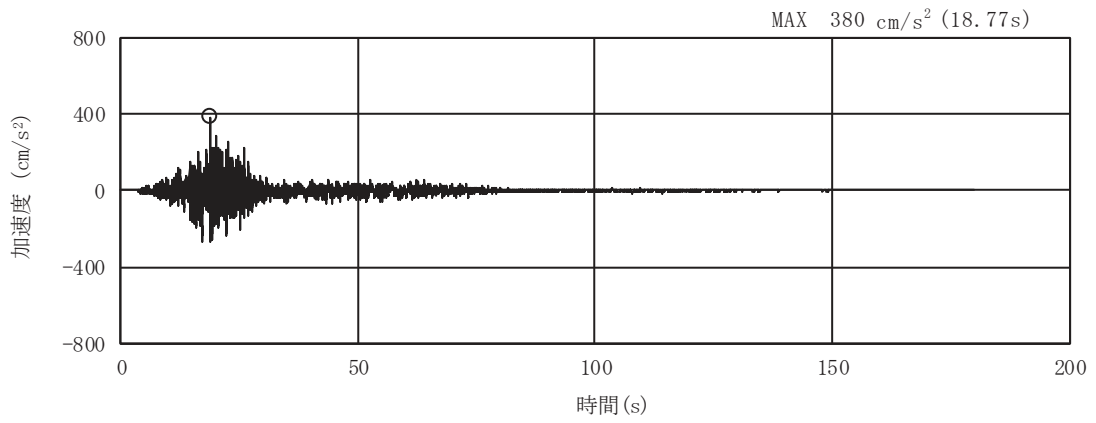


(a) 加速度時刻歴波形

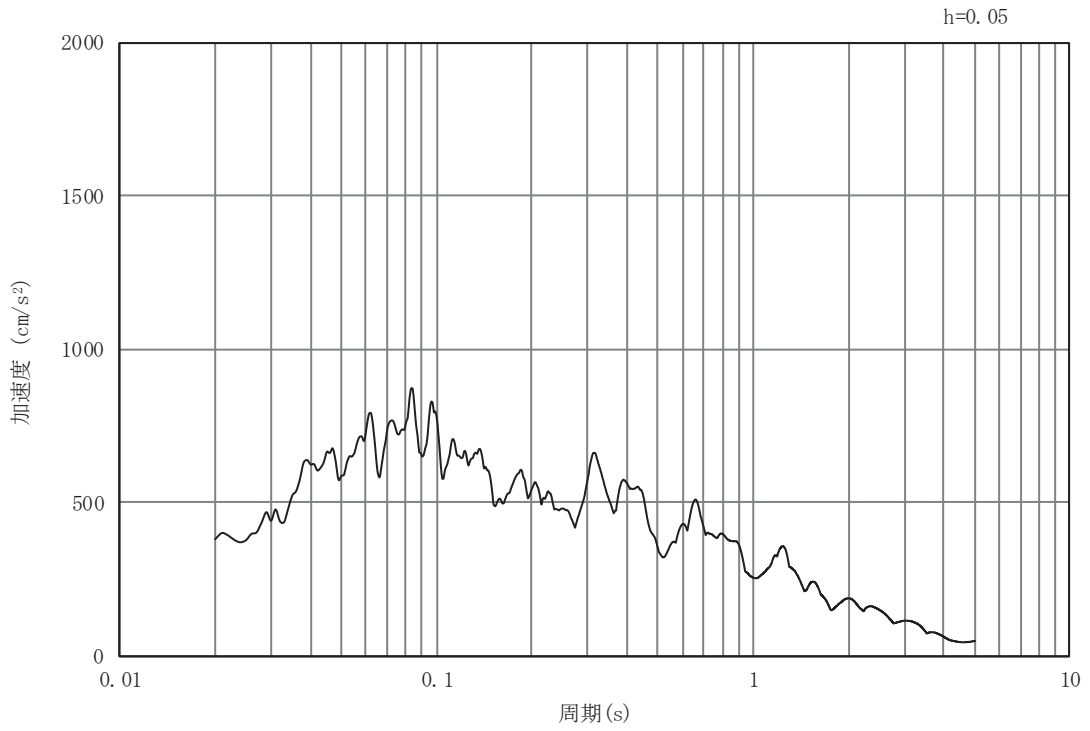


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1) , No.2 揚水井戸

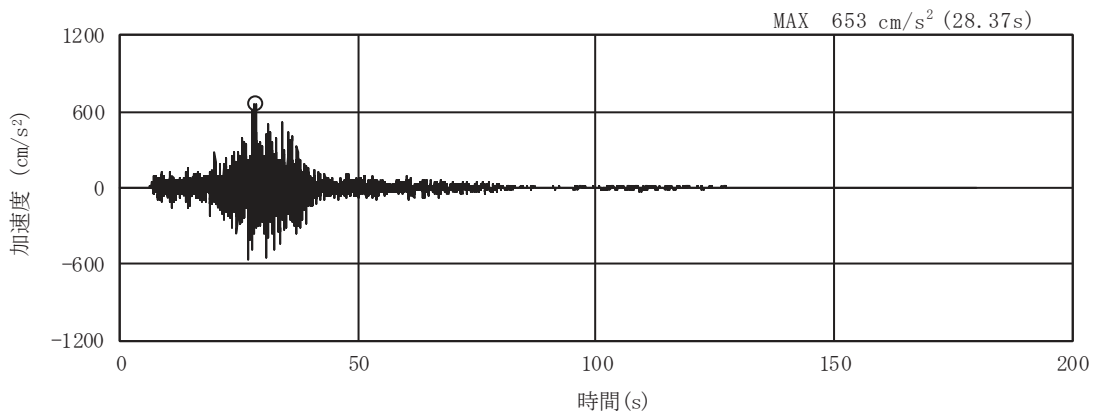


(a) 加速度時刻歴波形

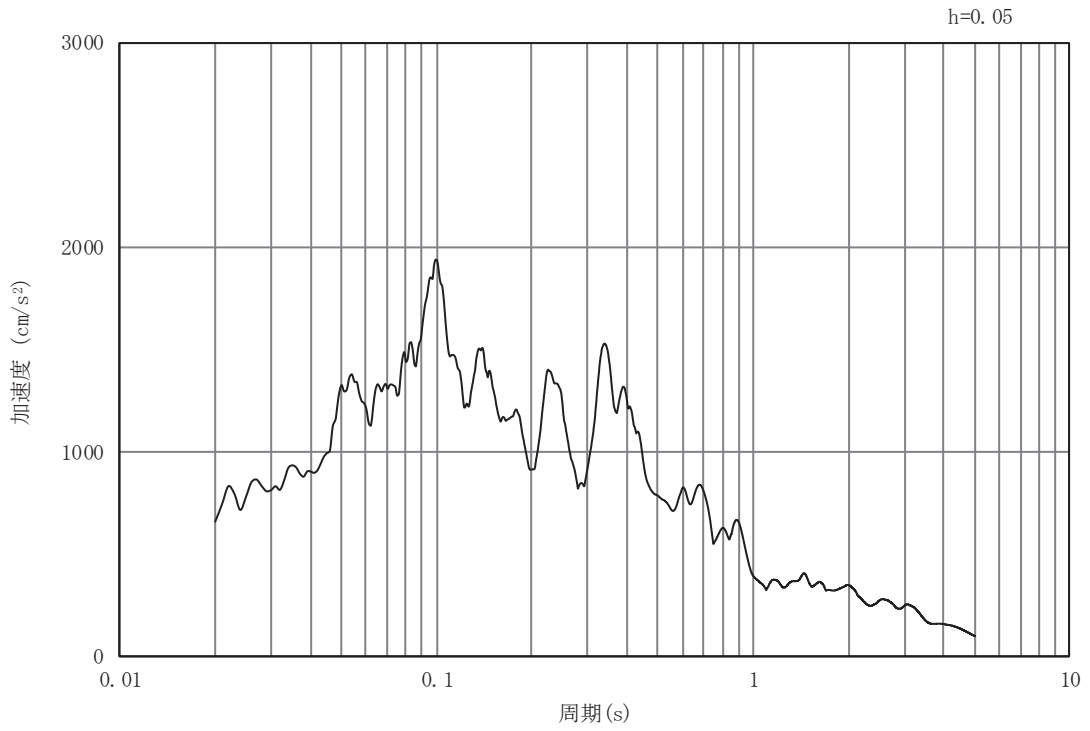


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1) , No.2 揚水井戸

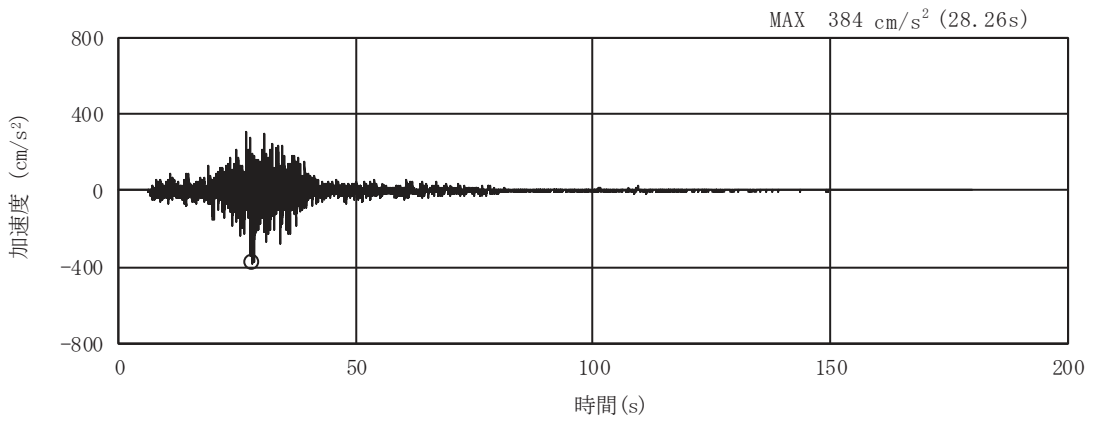


(a) 加速度時刻歴波形

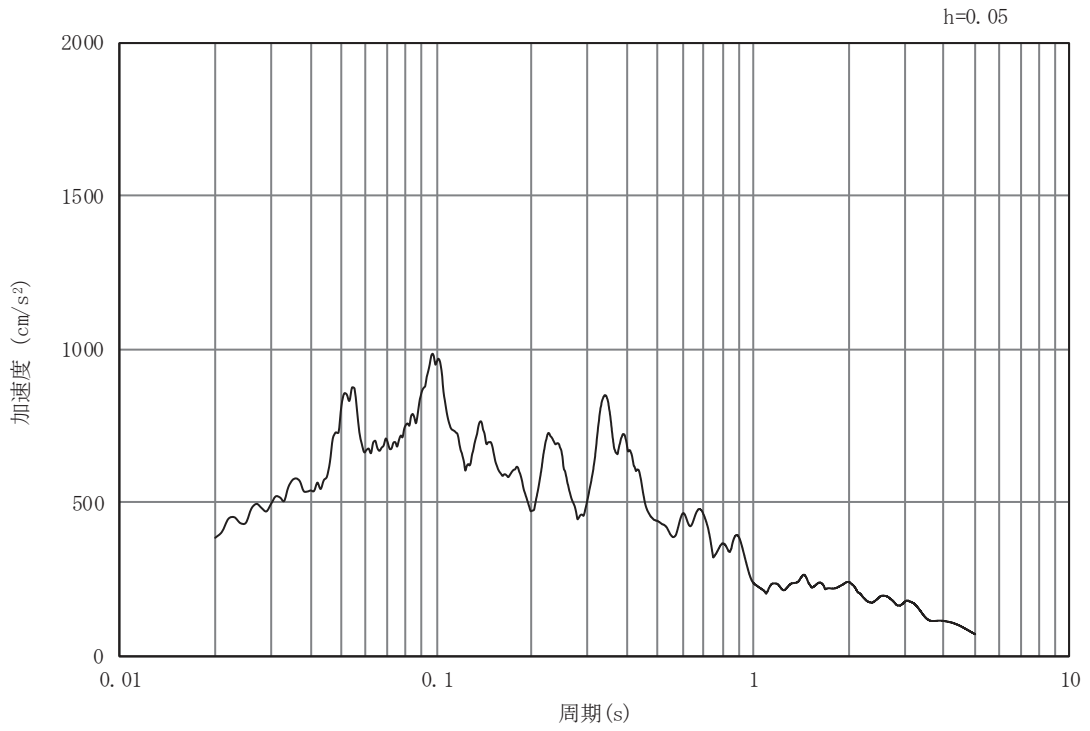


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (23) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2) , No.2 揚水井戸

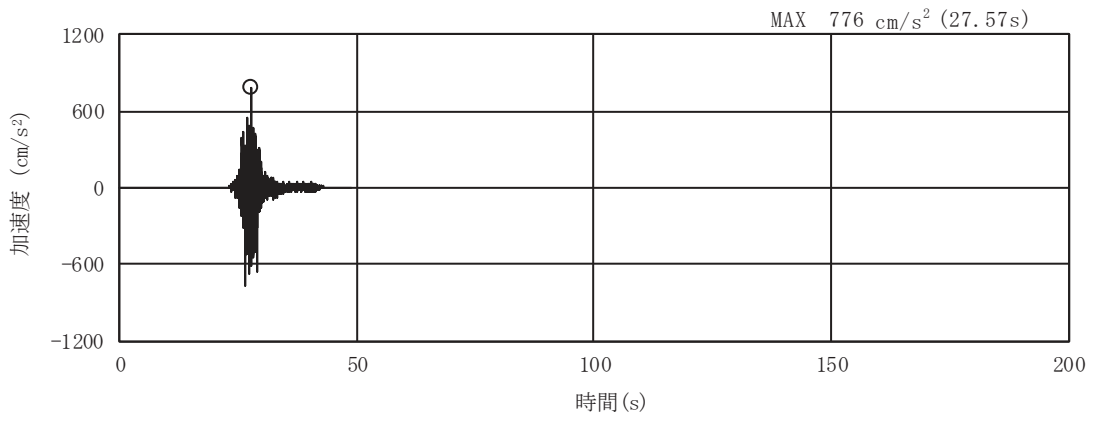


(a) 加速度時刻歴波形

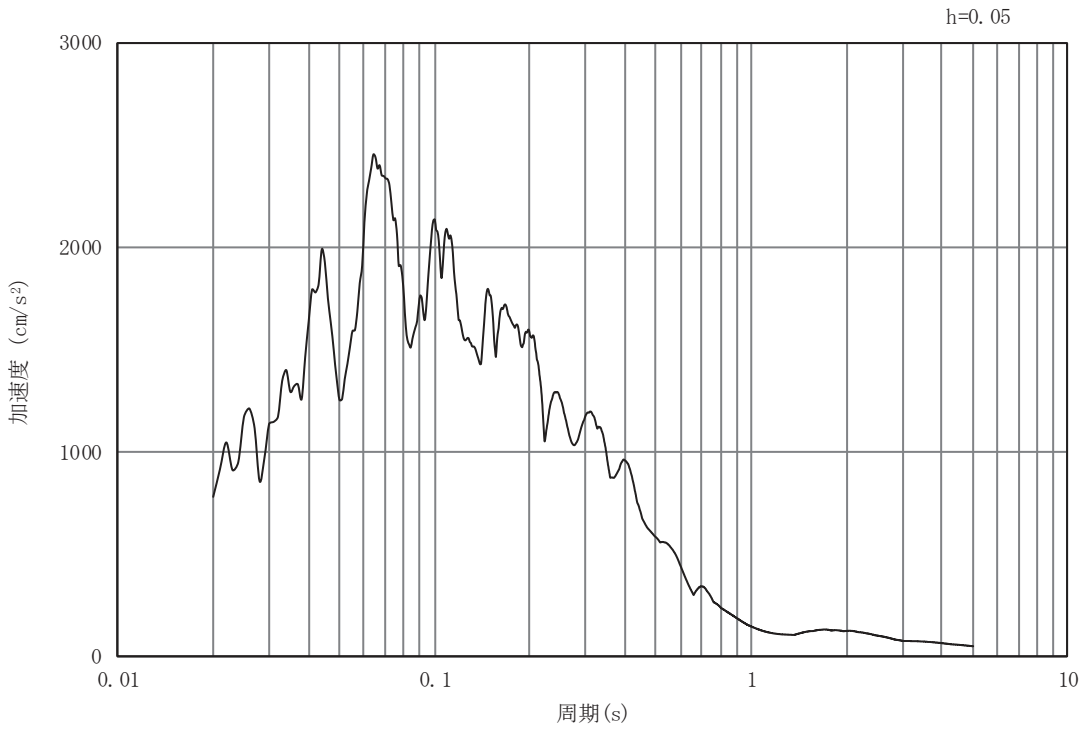


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (24) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2) , No.2 揚水井戸

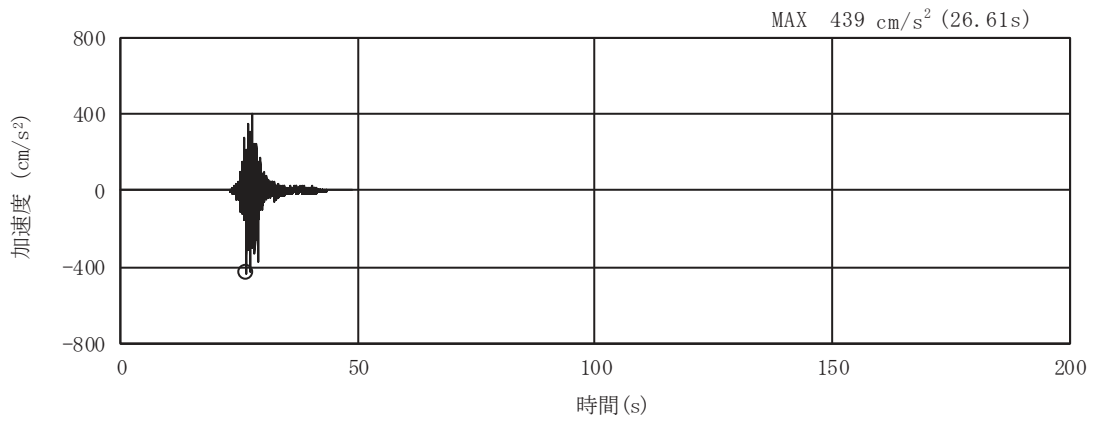


(a) 加速度時刻歴波形

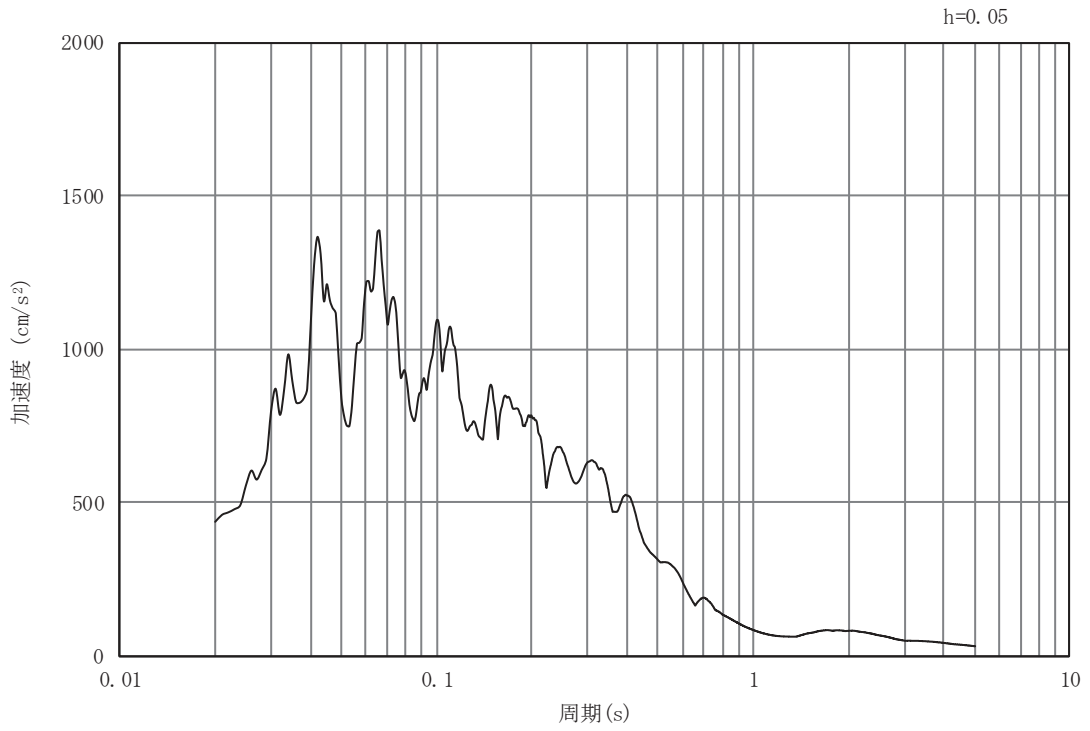


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (25) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 3) , No.2 揚水井戸

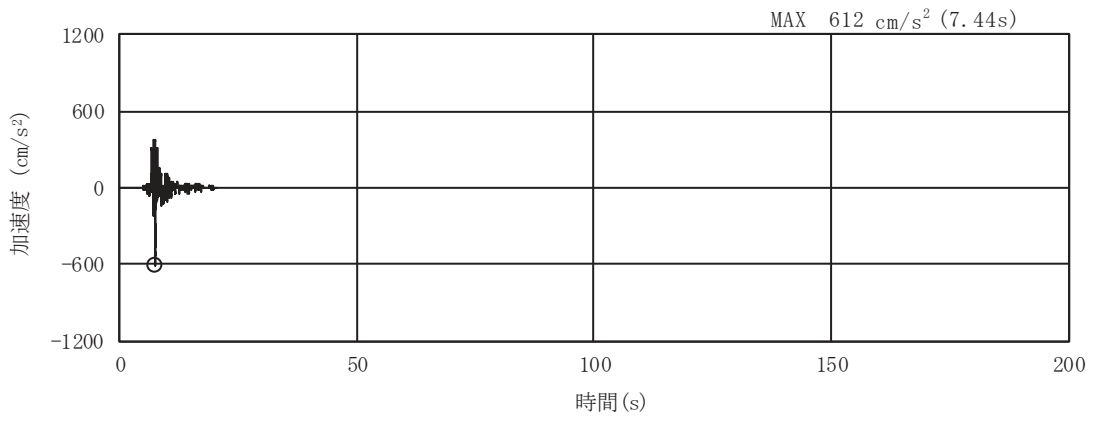


(a) 加速度時刻歴波形

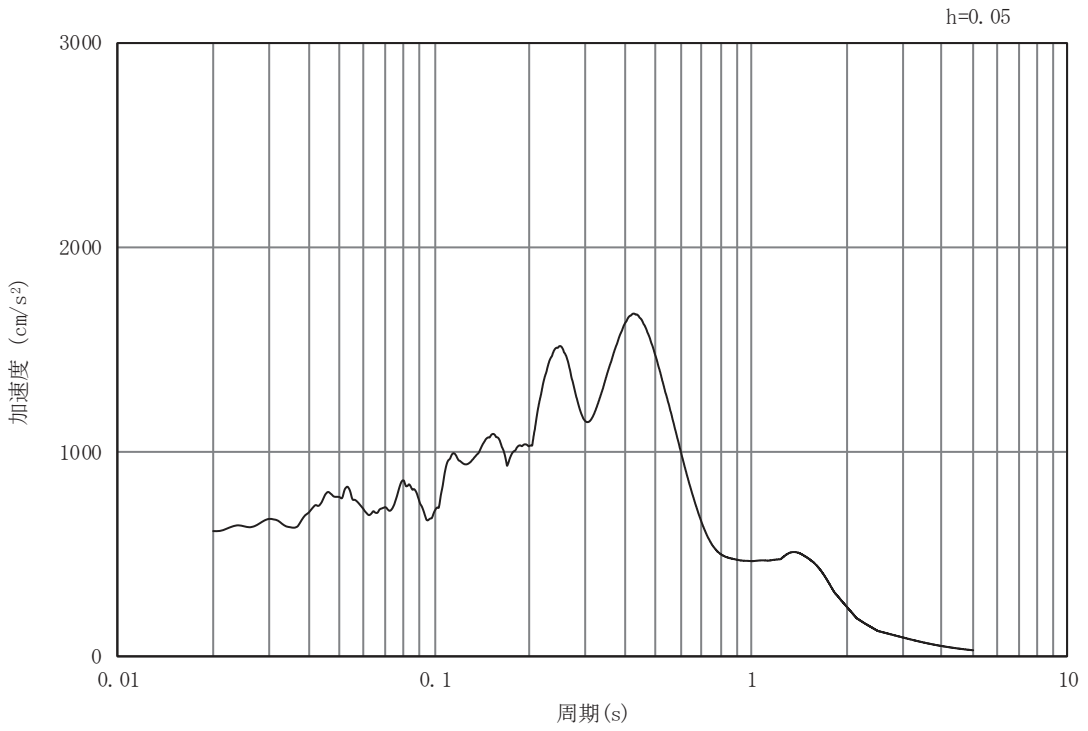


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (26) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 3) , No.2 揚水井戸

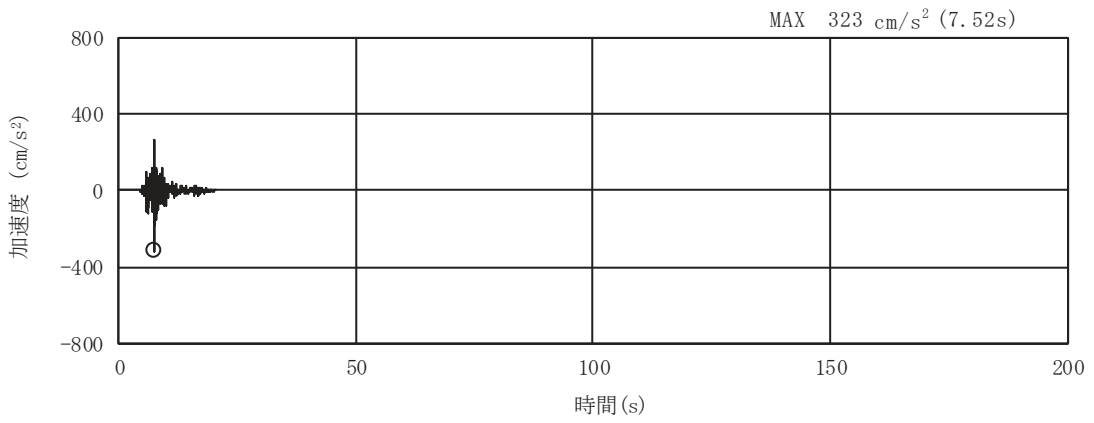


(a) 加速度時刻歴波形

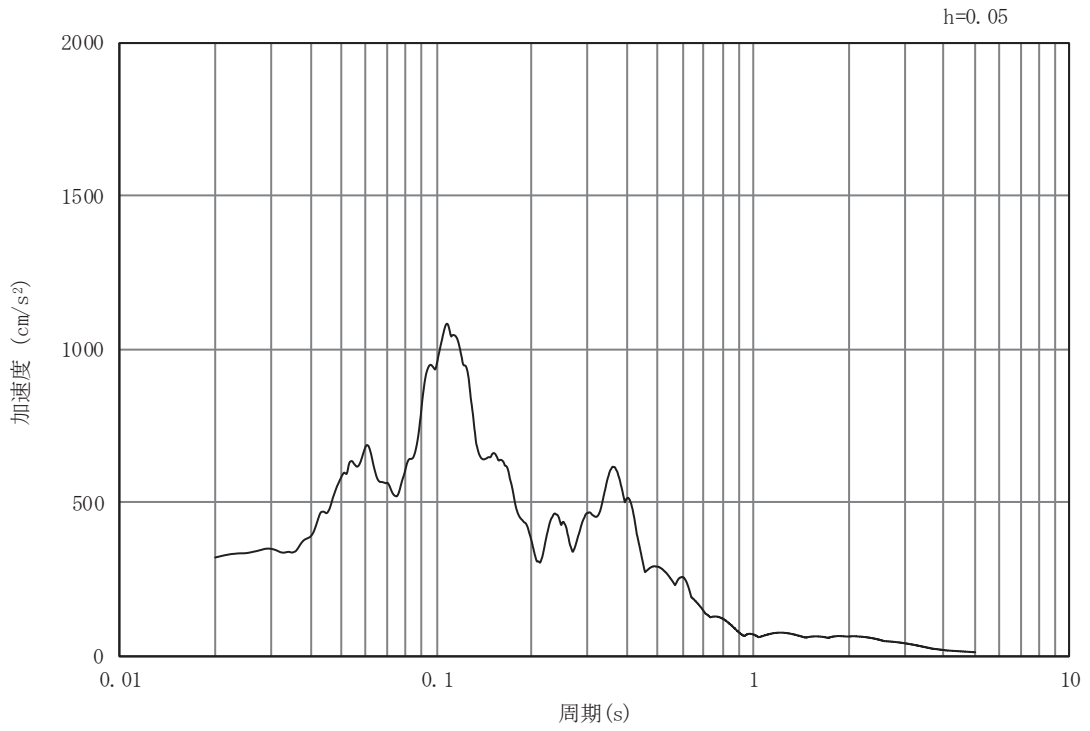


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (27) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1) , No.2 揚水井戸



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 (28) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1) , No.2 揚水井戸

3.5 解析モデル及び諸元

揚水井戸の地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

3.5.1 解析モデル

(1) 解析領域

2次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(2) 境界条件

2次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

構造物は線形はり要素（ビーム要素）にてモデル化し、水平方向には構造物の幅に応じた仮想剛梁を設置する。

(4) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。なお、D級岩盤、セメント改良土及び盛土・旧表土は、地盤の非線形性を考慮するためマルチスプリング要素でモデル化する。また、有効応力解析においては地下水位以深の盛土・旧表土には、液状化パラメータを設定することで、地震時の有効応力の変化に応じた非線形性を考慮する。

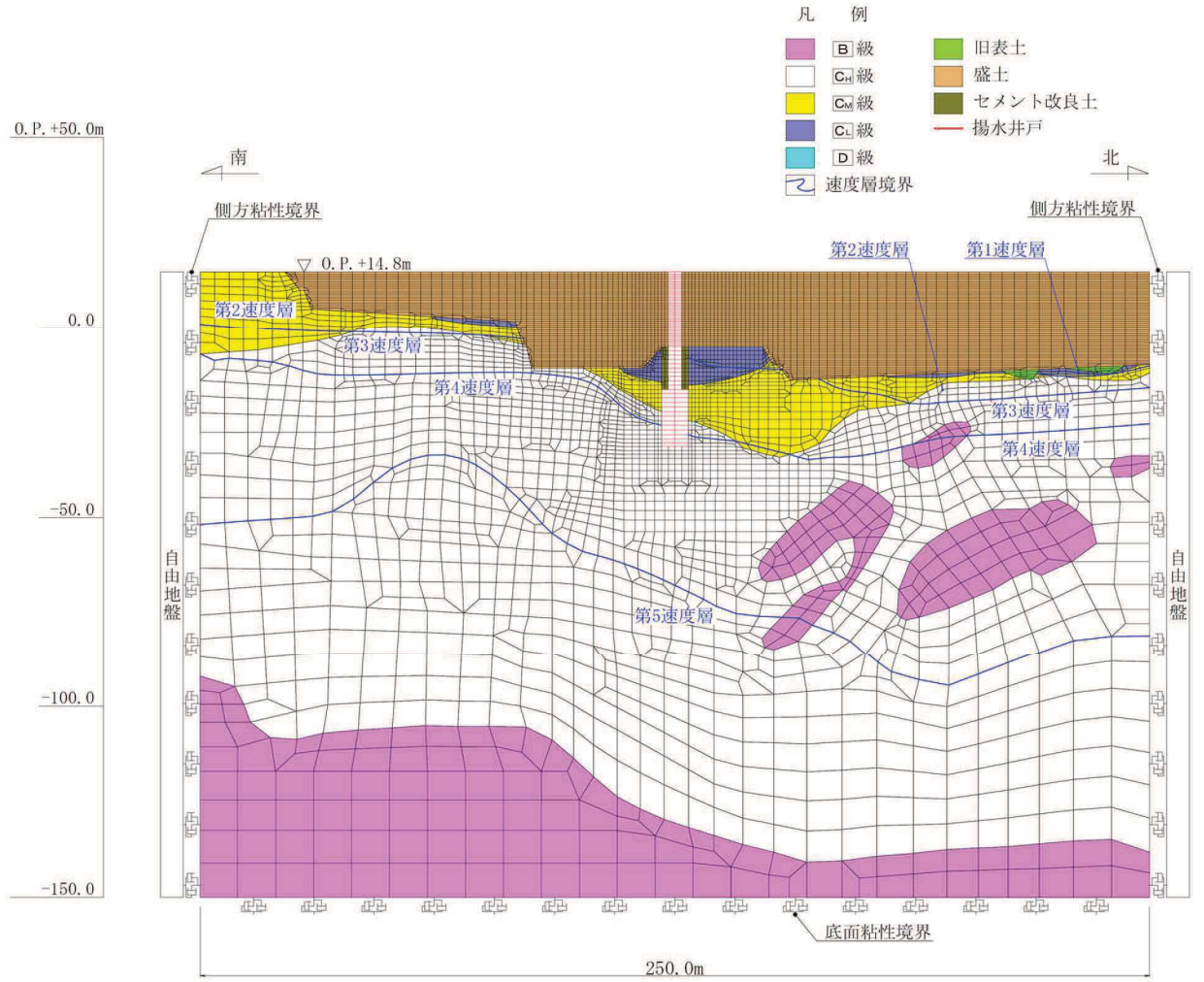


図 3-5(1) No.1 揚水井戸の解析モデル

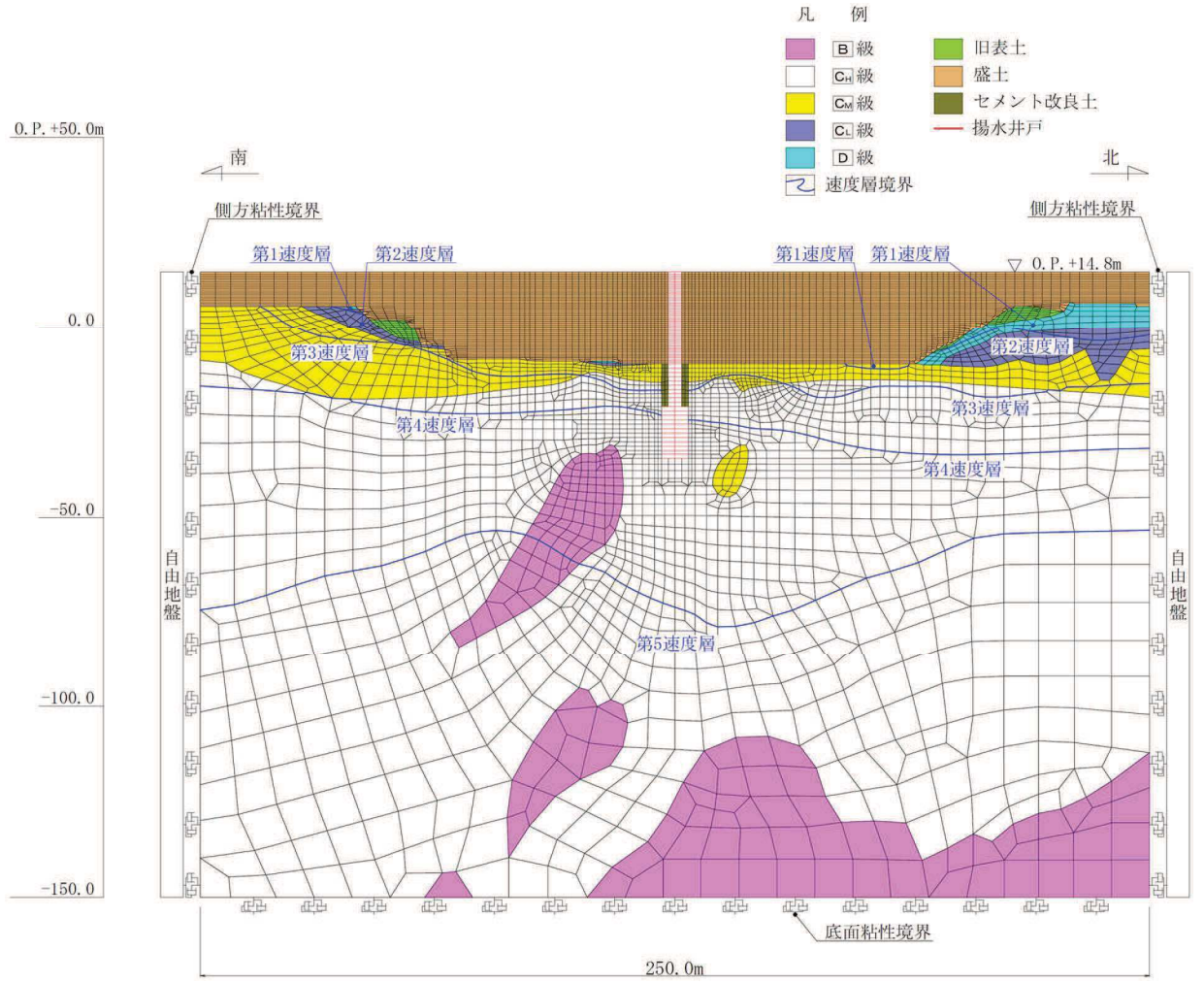


図 3-5(2) No.2 揚水井戸の解析モデル

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 構造物の使用材料

材料		諸元
コンクリート		設計基準強度 $f'_{ck} : 30 \text{ N/mm}^2$
鉄筋		SD345, SD390
鋼材	排水シャフト	SM570
	ベースプレート	SM570
	フランジプレート	SM570
	リブプレート	SM570
	アンカーボルト	ABM490

表 3-5 材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
鉄筋	設計基準強度	24.0	2.8×10^4	0.2
コンクリート	$f'_{ck} : 30\text{N/mm}^2$			
鋼材	SM570	77.0	2.0×10^5	0.3

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「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。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

3.5.4 地下水位

地下水位については、図 3-2 に示す設計用地下水位とする。

表 3-6 に設計用地下水位の一覧を示す。

表 3-6 設計用地下水位の一覧

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
No.1 揚水井戸	A-A' 断面	O. P. +14.8m～ O. P. -5.5m
No.2 揚水井戸	B-B' 断面	O. P. +10.5m～ O. P. -5.0m

3.6 許容限界

3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

排水シャフトの許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，表 3-7 に示す短期許容応力度とする。

集水ピットのコンクリート及び鉄筋の許容限界は，コンクリート標準示方書に基づき，表 3-8，表 3-9 に示す短期許容応力度とする。

接合部の許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会 2005 改定）」に基づき，表 3-10 に示す短期許容応力度を設定する。

表3-7 鋼材（排水シャフト）の許容応力度及び短期許容応力度

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度* (N/mm ²)
	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 σ_{sa}	許容せん断応力度 τ_{sa}	
SM570 ($t \leq 40\text{mm}$)	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 σ_{sa}	255	382.5
	許容せん断応力度 τ_{sa}	145	217.5
SM570 ($40\text{mm} < t \leq 75\text{mm}$)	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 σ_{sa}	245	367.5
	許容せん断応力度 τ_{sa}	140	210.0

注記*：「道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」により鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割り増しを考慮する。

表 3-8 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ¹ (N/mm ²)
f'ck=30 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	11	16.5
	許容せん断応力度 τ_{a1} * ²	0.5	0.75

注記* 1：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

* 2：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，コンクリート標準示方書に基づき設定する。

表 3-9 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	196
SD390	許容引張応力度 σ_{sa}	216	324

注記*：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 3-10 鋼材（接合部）の許容応力度及び短期許容応力度

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度* ¹ (N/mm ²)	適用
	ABM490* ² (M56, M60)	許容引張応力度 f_t	196.6	
許容せん断応力度 f_s		113.5	170.3	
SM570 ($t \leq 40\text{mm}$)	許容せん断応力度 f_s	153.9	230.9	リブプレート
SM570 ($40\text{mm} < t \leq 100\text{mm}$)	許容曲げ応力度 f_b	266.6	400	ベースプレート フランジプレート

注記* 1：「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（日本建築学会 2005 改定）」に基づき鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍の割り増しを考慮する。

* 2：日本産業規格（J I S）に基づく。

3.6.2 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、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層*	13.7

注記* : C_M級岩盤以上の岩盤が対象

3.7 評価方法

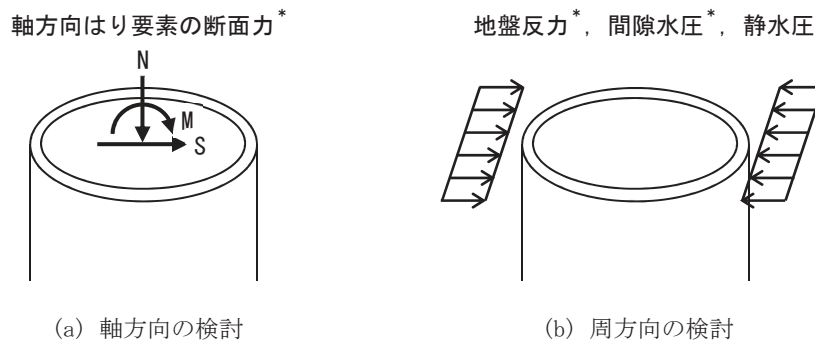
3.7.1 構造部材の健全性に対する評価方法

構造部材の健全性に係る評価対象部位は、揚水井戸の排水シャフト、集水ピット及び接合部とする。

(1) 排水シャフト

排水シャフトの評価は、地震応答解析より算出した軸方向（鉛直方向）の断面力に対して行う検討（以下「軸方向の検討」という）、及び水平方向の地盤反力に対して排水シャフト周方向の評価を行う検討（以下「周方向の検討」という）を実施し、照査用応答値が「3.6 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

排水シャフトの部材評価の概念を図 3-6 に示す。



注記*：地震応答解析の応答値より抽出する

図 3-6 排水シャフトの部材評価の概念

a. 軸方向の検討

軸方向の検討では、地震応答解析より算出した排水シャフトの軸方向の曲げ・軸力及びせん断力に対して照査を行う。

曲げ・軸力に対しては、次式により算定される応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} \dots \dots \dots (3-1)$$

ここで、

- σ：排水シャフトの曲げモーメント及び軸力より算定される応力度 (N/mm²)
- M：排水シャフトに発生する曲げモーメント (N・mm)
- Z：排水シャフトの断面係数 (mm³) *
- N：排水シャフトに発生する軸力 (N)
- A：排水シャフトの断面積 (mm²) *

せん断力に対しては、次式により算定されるせん断応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \frac{S}{A} \dots \dots \dots (3-2)$$

ここで、

τ : 排水シャフトのせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm²)

S : 排水シャフトに発生するせん断力 (N)

A : 排水シャフトの断面積 (mm²) *

κ : せん断応力の分布係数 (2.0)

注記* : 鋼管の外面が土中に接し内面が湿潤状態となるため、各応力度の算定に当たっては、道路橋示方書 (I 共通編・IV 下構造編) ・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月) に基づき、内側及び外側に 1mm の腐食代を考慮する。

b. 周方向の検討

周方向の検討では、地震応答解析より算出した水平方向の地盤反力に対して、排水シャフトの水平断面（中空円形断面形状）をモデル化した2次元静的フレーム解析を実施する。2次元静的フレーム解析モデルの概念図を図3-7に示す。

2次元静的フレーム解析には、解析コード「SLAP ver6.64」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

以上の2次元静的フレーム解析により算定した曲げ・軸力に対し算定される周方向の応力度が短期許容応力度以下であることを確認する。

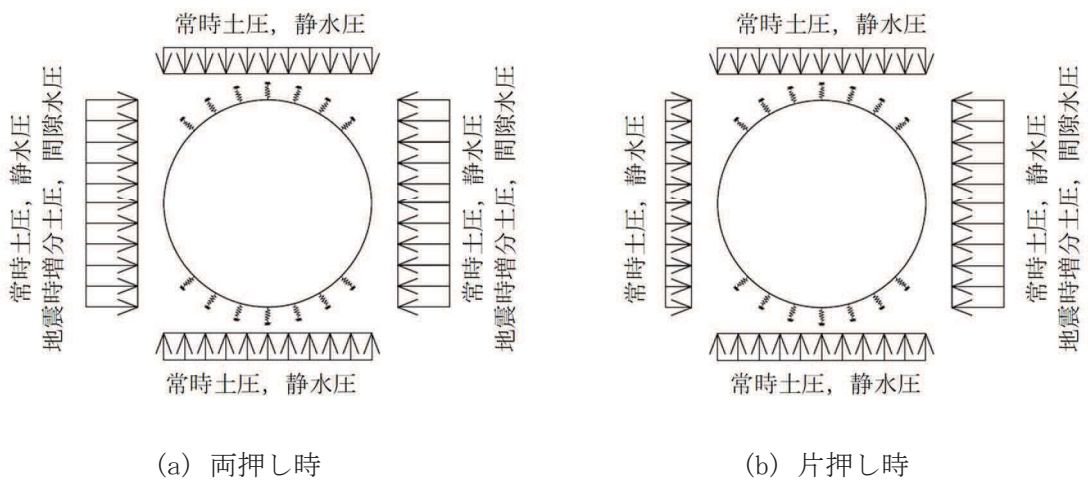
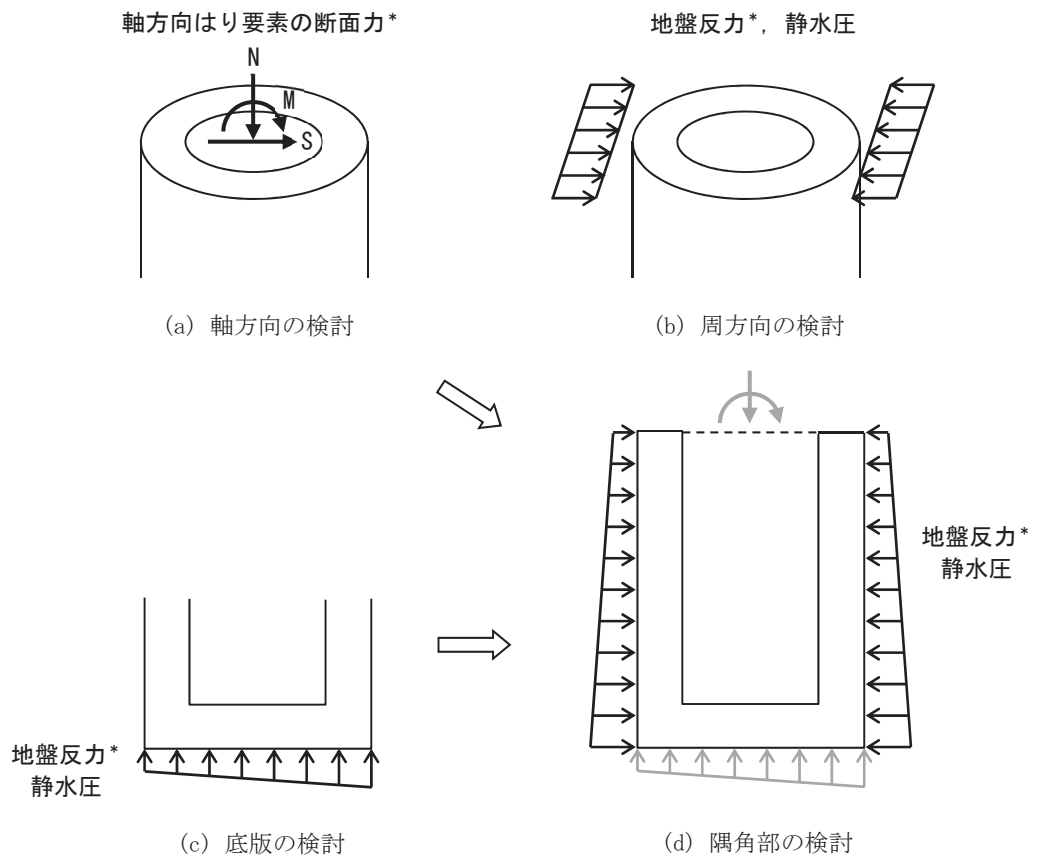


図3-7 2次元静的フレーム解析モデルの概念図（排水シャフト）

(2) 集水ピット

集水ピットの評価は、地震応答解析より算出した軸方向（鉛直方向）の線形はり要素の断面力に対して行う検討（以下「軸方向の検討」という）、及び水平方向の地盤反力に対して集水ピット周方向の評価を行う検討（以下「周方向の検討」という）を実施し側壁について評価を行う。また、集水ピット底面に作用する鉛直方向の地盤反力に対して底版の評価を行い、さらに側壁と底版の隅角部については曲げモーメントの廻り込みを考慮した検討を行う。以上の検討より算定した各部材の照査用応答値が「3.6 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

集水ピットの部材評価の概念を図 3-8 に示す。



注記*：地震応答解析の応答値より抽出する

図 3-8 集水ピットの部材評価の概念

a. 軸方向の検討

軸方向の検討では，地震応答解析より算出した軸方向はり要素の曲げ・軸力及びせん断力に対して鉄筋コンクリート断面の照査を行う。

曲げ・軸力については，側壁の鉛直方向鉄筋を考慮した中空円形断面形状の鉄筋コンクリート断面に対する検討を行い，コンクリートの曲げ圧縮応力度，鉄筋の引張応力度が各々の短期許容応力度以下であることを確認する。せん断に対しては，せん断力が短期許容せん断力以下であることを確認する。

応力度照査には，解析コード「UC-win/Section Ver.6.02.02」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b. 周方向の検討

周方向の検討では，地震応答解析より算出した水平方向の地盤反力に対して，側壁の水平断面（中空円形断面形状）をモデル化した2次元静的フレーム解析を実施する。2次元静的フレーム解析モデルの概念図を図3-9に示す。

2次元静的フレーム解析には，解析コード「SLAP ver6.64」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

以上の2次元静的フレーム解析により算定した断面力に対し，曲げ・軸力については，側壁の周方向鉄筋を考慮した鉄筋コンクリート断面の照査を行い，コンクリートの曲げ圧縮応力度及び鉄筋の引張応力度が各々の短期許容応力度以下であることを確認する。せん断に対しては，せん断力が短期許容せん断力以下であることを確認する。

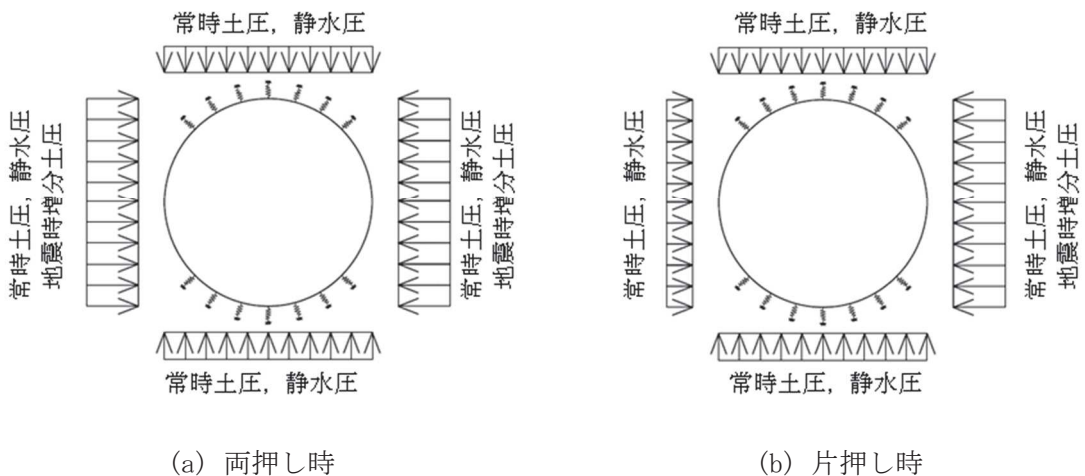


図 3-9 2次元静的フレーム解析モデルの概念図（集水ピット）

c. 底版の検討

底版については、単純支持または固定支持された円板としてモデル化し、地震応答解析より得られた集水ピット底面における地盤反力を作用させる。

以上により算定した断面力に対し、曲げ・軸力については、コンクリートの曲げ圧縮応力度及び鉄筋の引張応力度が各々の短期許容応力度以下であることを確認する。せん断に対しては、せん断力が短期許容せん断力以下であることを確認する。

d. 隅角部の検討

側壁は底版に拘束されるため、集水ピット軸方向の検討において考慮した曲げ・軸力とは別に、土圧及び水圧による局所的な変形に伴う曲げが生じる可能性がある。また、側壁と底版は剛に結合されているため、両部材に発生する曲げモーメントは互いに影響し合うことから、これらの影響を考慮して隅角部の検討を行う。

(3) 接合部

接合部の評価は、地震応答解析より算出した排水シャフト下端における軸方向の線形はり要素の断面力及び地盤反力に対して算定した各部材の照査用応答値が「3.6 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

接合部の構造概要を図 3-10 に示す。

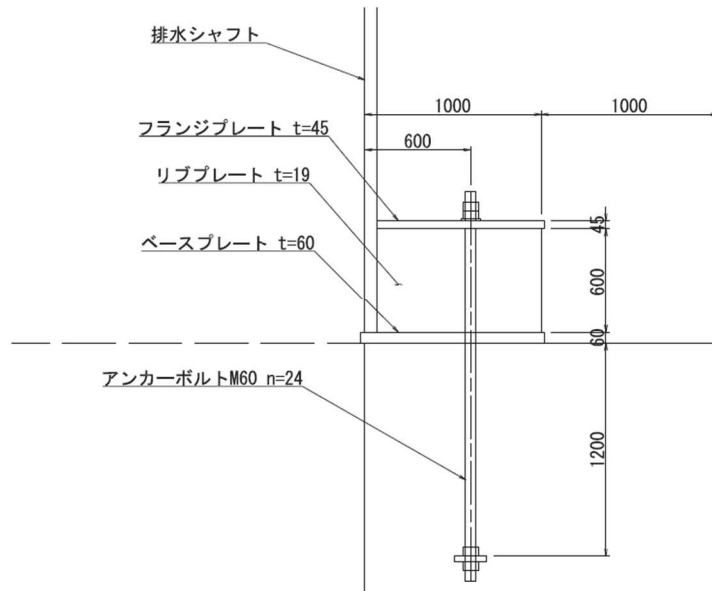


図 3-10(1) 接合部の構造概要 No.1 揚水井戸 (単位: mm)

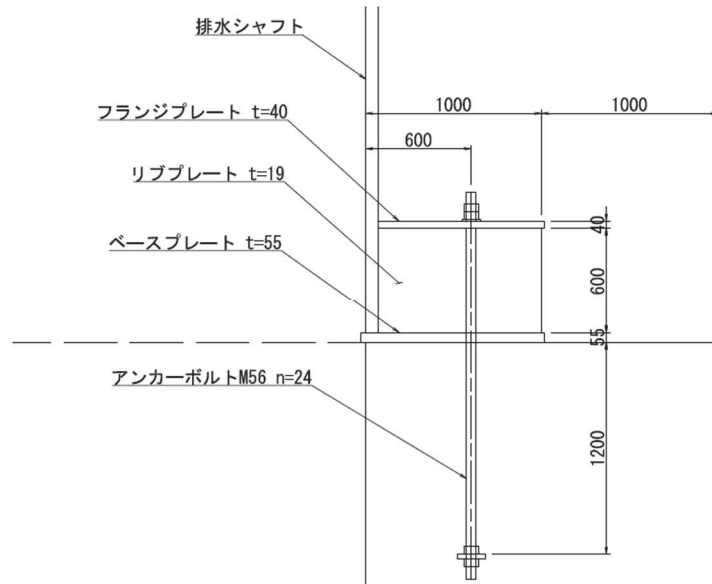


図 3-10(2) 接合部の構造概要 No.2 揚水井戸 (単位: mm)

a. アンカーボルト

アンカーボルトの照査においては、排水シャフト下端の曲げ・軸力及び上載土圧、静水圧を考慮する。

(a) 引張応力度の照査

アンカーボルトの引張応力度は、地震応答解析の結果より算出し、次式により照査を行う。

$$\sigma = T / Ae \dots\dots\dots (3-3)$$

$$\sigma / f_{ts} \leq 1.0 \dots\dots\dots (3-4)$$

$$f_{ts} = 1.4f_t - 1.6 \tau \dots\dots\dots (3-5)$$

ここに、

σ : アンカーボルトの引張応力度 (N/mm²)

T : アンカーボルトの引張力 (N)

Ae : アンカーボルトのねじ部 (有効) 断面積* (mm²)

f_{ts} : せん断力を同時に受けるアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

ただし、 $f_{ts} \geq f_t$ の場合、 $f_{ts} = f_t$ とする。

f_t : アンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

τ : アンカーボルトのせん断応力度 (N/mm²)

注記* : アンカーボルトは集水ピットに埋め込まれること、並びに周囲を無収縮モルタル等で充填することから、設計において腐食代は考慮しない。

(b) せん断応力度の照査

アンカーボルトのせん断応力度は、地震応答解析の結果より算出し、次式により照査を行う。

$$\tau = S / (n \cdot Ae) \dots\dots\dots (3-6)$$

$$\tau / f_s \leq 1.0 \dots\dots\dots (3-7)$$

ここに、

τ : アンカーボルトのせん断応力度 (N/mm²)

S : 排水シャフト下端のせん断力 (N)

n : アンカーボルトの本数

f_s : アンカーボルトの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

b. コンクリート

アンカーボルトの引張力に対する躯体コンクリートのコーン状破壊について次式により照査を行う。

$$T/T_a \leq 1.0 \dots\dots\dots (3-8)$$

ここに、

T : アンカーボルトの引張力 (N)

T_a : コーン状破壊により定まる短期許容引張力 (N)

$$T_a = 2/3 \cdot 0.31 \cdot \sqrt{f'_{ck}} \cdot A_c$$

f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積 (mm²)

c. ベースプレート

ベースプレートは、躯体コンクリートからの反力が分布荷重として作用する3辺固定版として検討する。ベースプレートの照査は次式により行う。

また、ベースプレートの検討概念図を図3-11に示す。

$$\sigma_b = M_b / Z_b \dots\dots\dots (3-9)$$

$$M_b = M_{x1} \cdot w \cdot l_x^2 \dots\dots\dots (3-10)$$

$$\sigma_b / f_b \leq 1.0 \dots\dots\dots (3-11)$$

ここに、

σ_b : ベースプレートの曲げ応力度 (N/mm²)

M_b : ベースプレートの曲げモーメント (N・mm/mm)

Z_b : ベースプレートの断面係数* (mm³/mm)

M_{x1} : 3辺固定版の係数 (l_y/l_xより図3-12を参照し設定)

l_x : 3辺固定版短辺の長さ (mm)

l_y : 3辺固定版長辺の長さ (mm)

w : フランジプレート上面に作用する分布荷重 (N/mm²)

f_b : ベースプレートの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

注記* : ベースプレートは周囲を無収縮モルタル等で充填することから、設計において腐食代は考慮しない。

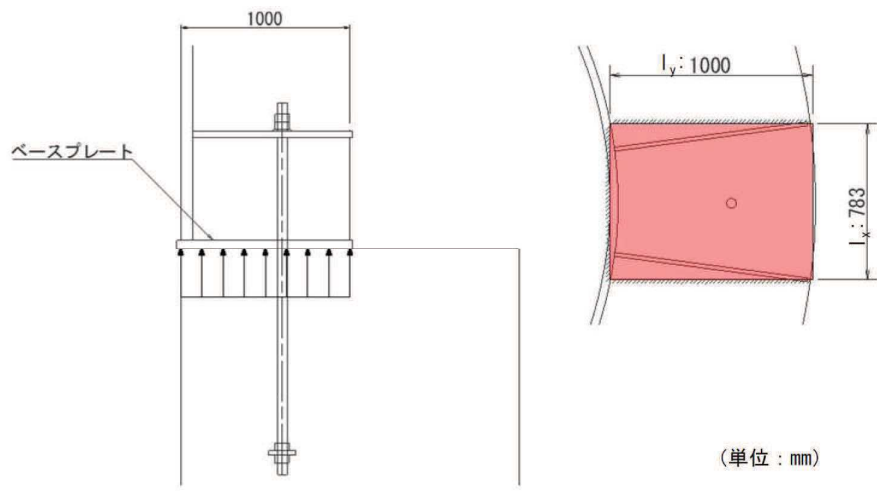


図 3-11 ベースプレート検討概念図

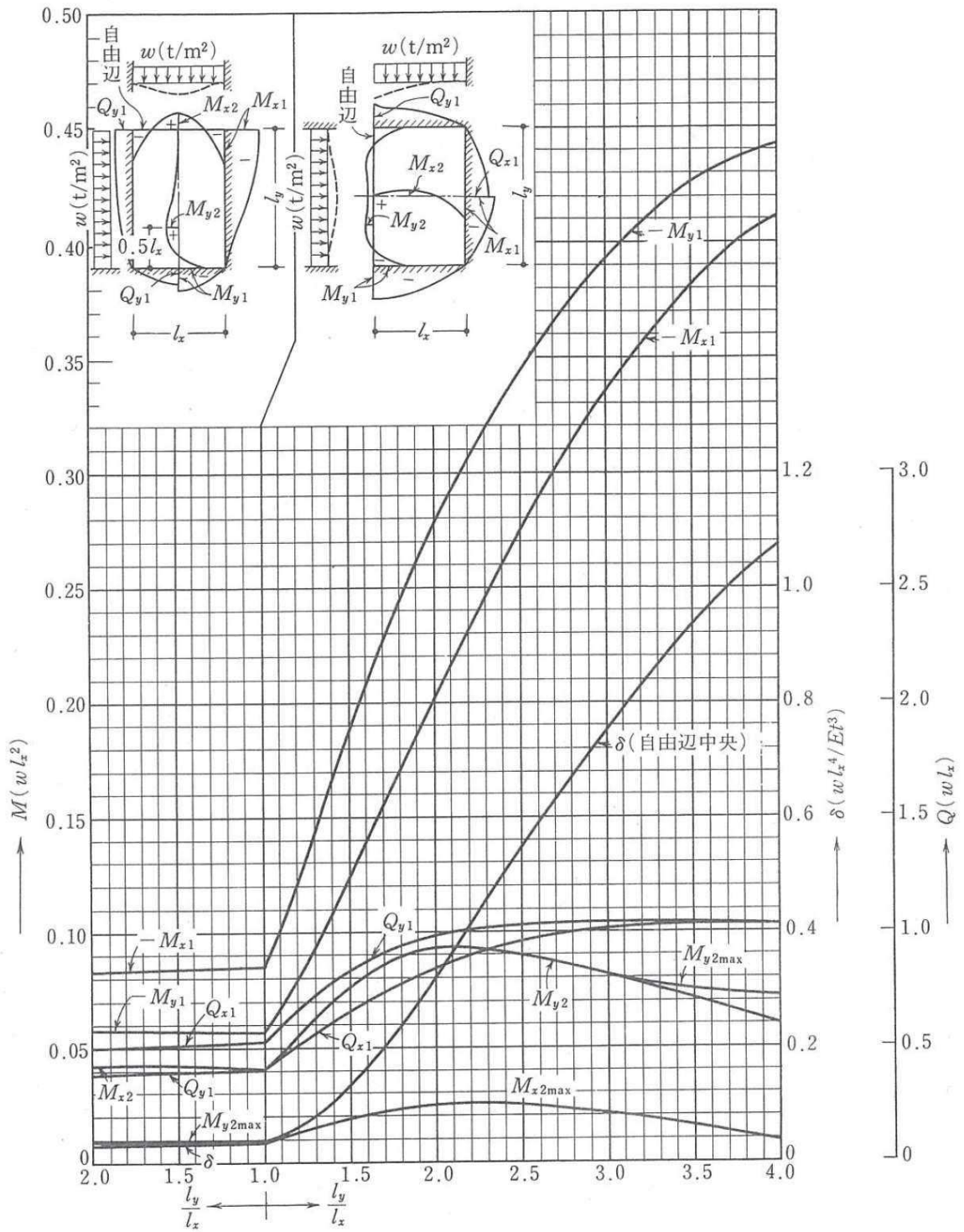


図3-12 等分布荷重時3辺固定1辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ δ

d. フランジプレート

フランジプレートは、上載土圧、静水圧による分布荷重により発生する応力とアンカーボルトの引張力による集中荷重により発生する応力を考慮し検討を行う。

(a) 上載土圧、静水圧による分布荷重

上載土圧、静水圧による分布荷重が作用する3辺固定版として検討する。フランジプレートの曲げモーメントの算定は次式により行う。

また、フランジプレートの検討概念図を図3-13に示す。

$$M_{FA} = M_{x1} \cdot w \cdot l_x^2 \dots\dots\dots (3-12)$$

ここに、

M_{FA} : 分布荷重に対するフランジプレートの曲げモーメント (N・mm/mm)

M_{x1} : 3辺固定版の係数 (1y/1x より図3-12を参照し設定)

l_x : 3辺固定版短辺の長さ (mm)

l_y : 3辺固定版長辺の長さ (mm)

w : フランジプレート上面に作用する分布荷重 (N/mm²)

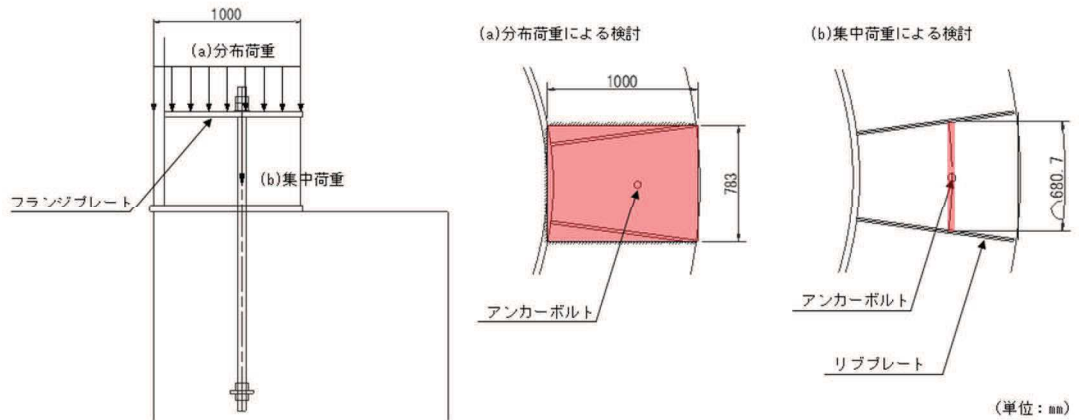


図3-13 フランジプレート検討概念図

(b) アンカーボルトの引張力による集中荷重

アンカーボルトの引張力による集中荷重に対する検討はフランジプレートをリブプレートで支持された両端固定梁として扱い、次式により行う。

$$M_{FB} = T \cdot L / (8 \cdot b) \dots\dots\dots (3-13)$$

ここに、

M_{FB} : 集中荷重に対するフランジプレートの曲げモーメント (N・mm/mm)

- T : アンカーボルトの引張力 (N)
- L : 両端固定梁のスパン長 (mm)
- b : 両端固定梁として考慮する梁幅 (b=L)

(c) 応力度照査

(a) 及び(b)の曲げモーメントを考慮し、次式により照査を行う。

$$\sigma_f = M_f / Z_f \dots\dots\dots (3-14)$$

$$M_f = M_{fA} + M_{fB} \dots\dots\dots (3-15)$$

$$\sigma_f / f_f \leq 1.0 \dots\dots\dots (3-16)$$

ここに、

M_f : 組合せ荷重に対するフランジプレート曲げモーメント (N・mm/mm)

σ_f : フランジプレートの曲げ応力度 (N/mm²)

Z_f : フランジプレートの断面係数* (mm³/mm)

f_f : フランジプレートの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

注記* : フランジプレートは周囲を無収縮モルタル等で充填することから、設計において腐食代は考慮しない。

e. リブプレート

リブプレートの検討は、リブプレート、ベースプレート及びフランジプレートを一つの充腹形断面とみなして、ベースプレートまたはフランジプレート側からの荷重を受ける片持ちはりモデル化し発生するせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。リブプレートの照査は次式により行う。

また、リブプレートの検討概念図を図 3-14 に示す。

$$\tau_r = S_r / A_r \dots\dots\dots (3-17)$$

$$\tau_r / f_{sr} \leq 1.0 \dots\dots\dots (3-18)$$

ここに、

τ_r : リブプレートのせん断応力度 (N/mm²)

S_r : リブプレートのせん断力 (N)

A_r : 有効せん断断面積 (mm²) *

f_{sr} : リブプレートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

注記* : リブプレートは周囲を無収縮モルタル等で充填することから、設計において腐食代は考慮しない。

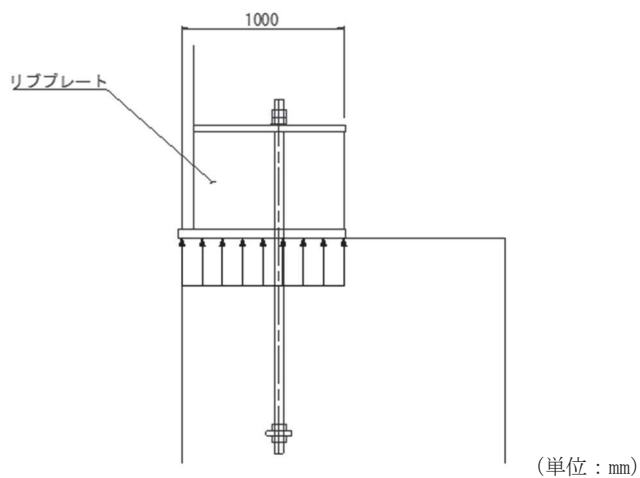


図 3-14 リブプレート検討概念図（ベースプレート側からの荷重作用時）

3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は集水ピットを支持する基礎地盤とし、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。

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

(1) 排水シャフト

排水シャフトの軸方向の断面力分布を図 4-1 及び図 4-2 に、照査結果を表 4-1 及び表 4-2 に示す。また、周方向の断面力分布を図 4-3 に、照査結果を表 4-3 に示す。

この結果から、排水シャフトの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

a. 軸方向の照査結果

発生曲げモーメントは左側引張を正、軸力は引張を正として示す。

数値：最大照査値発生位置の断面力
 曲げ：+左側引張，-右側引張
 軸力：+引張，-圧縮

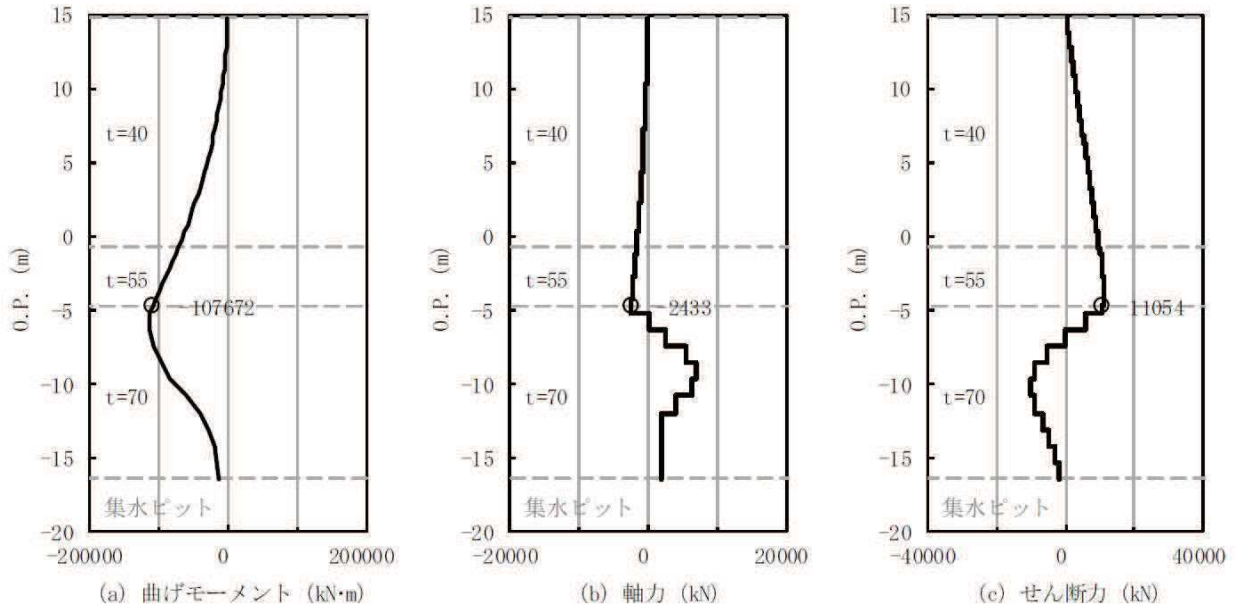


図 4-1(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力
 (No.1 揚水井戸 軸方向照査, S s - N 1 (-+), 7.75s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

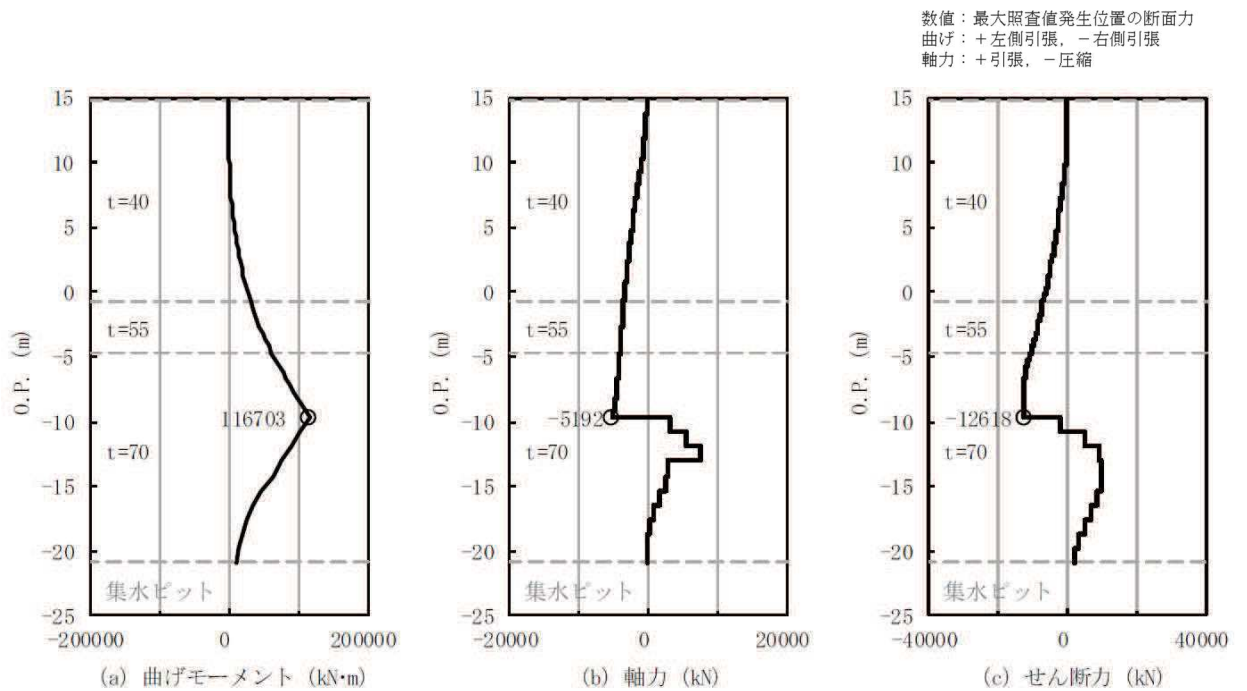


図 4-1(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力
 (No.2 揚水井戸 軸方向照査, S s - F 1 (++) , 23.60s)

解析ケース①：標準物性

表 4-1(1) 排水シャフトの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値 (No.1 揚水井戸 軸方向照査)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - N 1 (-+)	②	-107672	-2433	163	367.5	0.45

表 4-1(2) 排水シャフトの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値 (No.2 揚水井戸 軸方向照査)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - F 1 (++)	①	116703	-5192	141	367.5	0.39

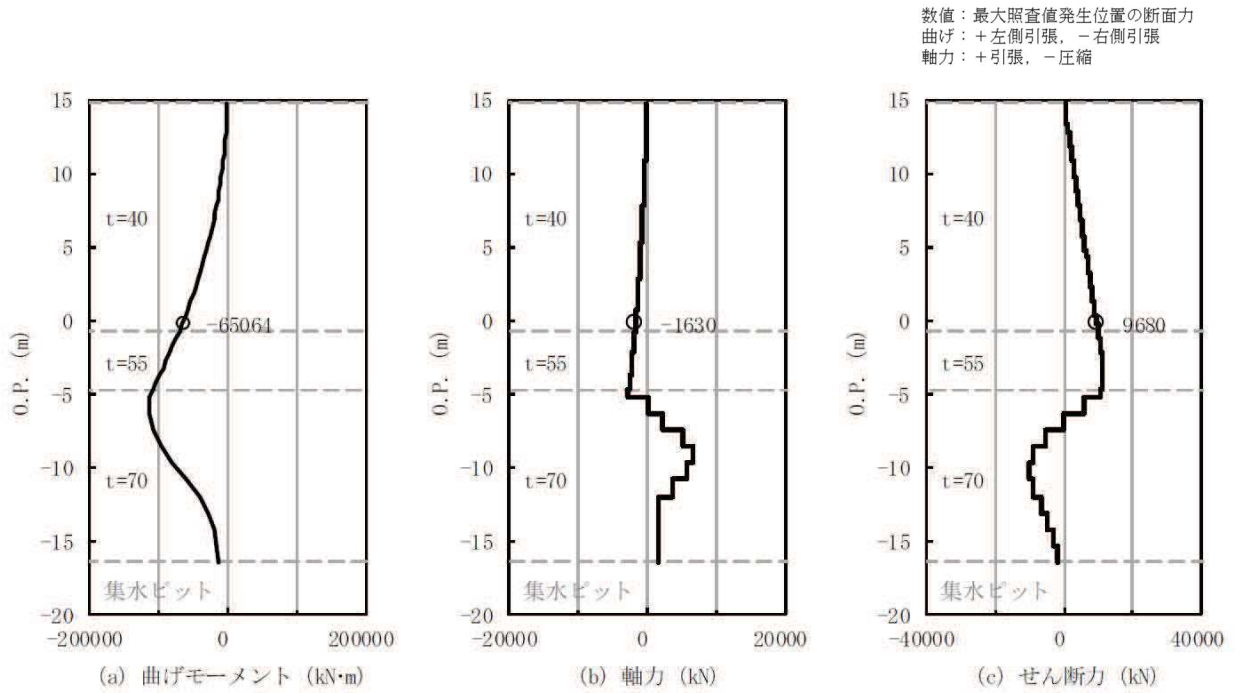


図 4-2(1) せん断系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力
 (No.1 揚水井戸 軸方向照査, S_s-N1 (-+), 7.74s)
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

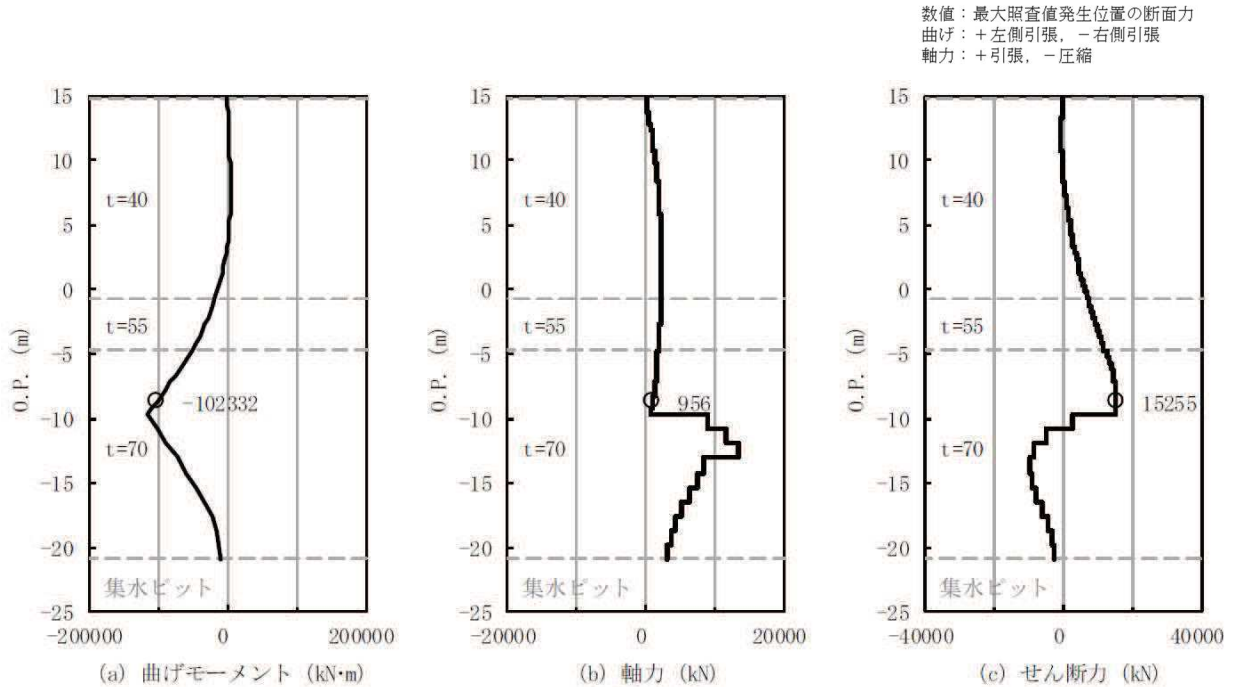


図 4-2(2) せん断系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力
 (No.2 揚水井戸 軸方向照査, S_s-F1 (-+), 22.69s)
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

表 4-2(1) 排水シャフトのせん断破壊に対する照査値 (No.1 揚水井戸 軸方向照査)

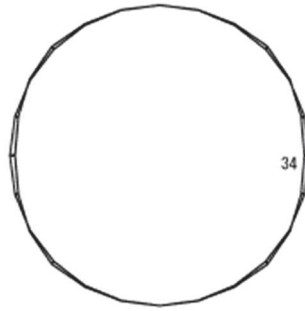
地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -N1(-+)	②	9680	41	217.5	0.19

表 4-2(2) 排水シャフトのせん断破壊に対する照査値 (No.2 揚水井戸 軸方向照査)

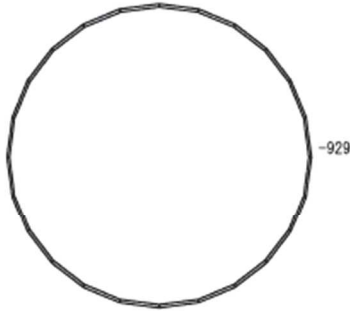
地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -F1(-+)	②	15255	36	210	0.18

b. 周方向の照査結果

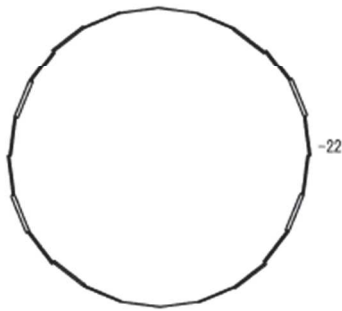
発生曲げモーメントは内側引張を正，軸力は引張を正として示す。



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



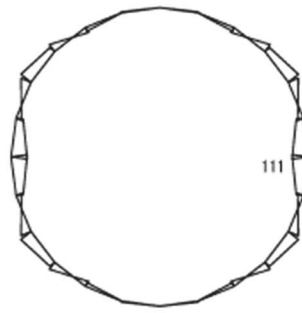
(c) せん断力

数値は照査値最大となる評価位置 (t=40mm) における断面力値を示す

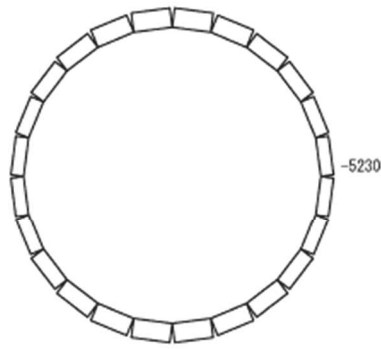
図 4-3(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力

(No.1 揚水井戸 周方向照査, S s - D 2 (++) , 23.56s)

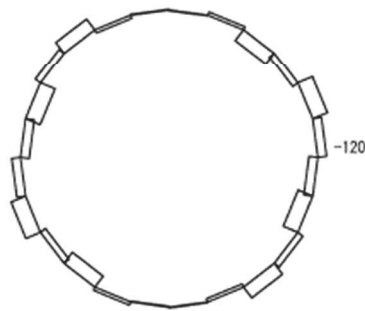
解析ケース①: 標準物性



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



(c) せん断力

数値は照査値最大となる評価位置 (t=70mm) における断面力値を示す

図 4-3(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力

(No.2 揚水井戸 周方向照査, S s - F 1 (-+), 23.62s)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

表 4-3(1) 排水シャフトの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値 (No.1 揚水井戸 周方向照査)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S _s -D 2 (++)	①	34	-929	166	382.5	0.44

表 4-3(2) 排水シャフトの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値 (No.2 揚水井戸 周方向照査)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S _s -F 1 (-+)	②	111	-5230	222	367.5	0.61

(2) 集水ピット

集水ピットの照査結果を表 4-4～表 4-13 に示す。この結果から、集水ピットの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

なお、集水ピットの周方向の検討における周方向鉄筋を対象とした鉄筋応力度の照査においては、集水ピットの全周において全圧縮状態となることを確認している。

a. 軸方向の照査結果

発生曲げモーメントは左側引張を正、軸力は引張を正として示す。

表 4-4(1) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 軸方向照査)

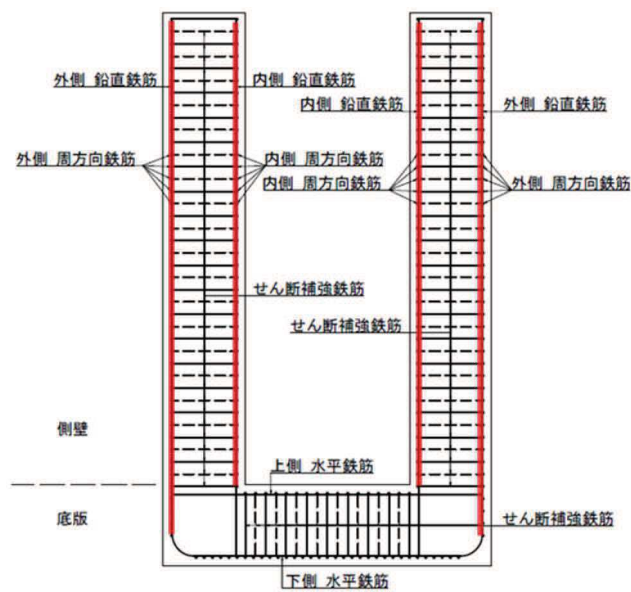
部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - N 1 (-+)	③	18657	-38672	1.3	16.5	0.08

表 4-4(2) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 軸方向照査)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - F 3 (++)	①	15734	-40980	1.3	16.5	0.08

表 4-5(1) 集水ピット 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 軸方向照査)

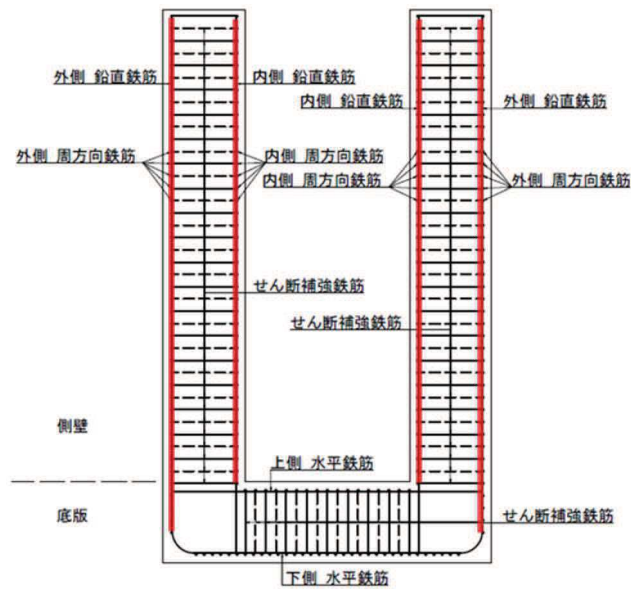
部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 鉛直鉄筋	S s - N 1 (-+)	③	-26211	-6763	16	324	0.05



O 2 ② VI-2-13-4 R 0

表 4-5(2) 集水ピット 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 軸方向照査)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	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}
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 鉛直鉄筋	S s - F 1 (-+)	③	-22915	-8334	7.4	324	0.03



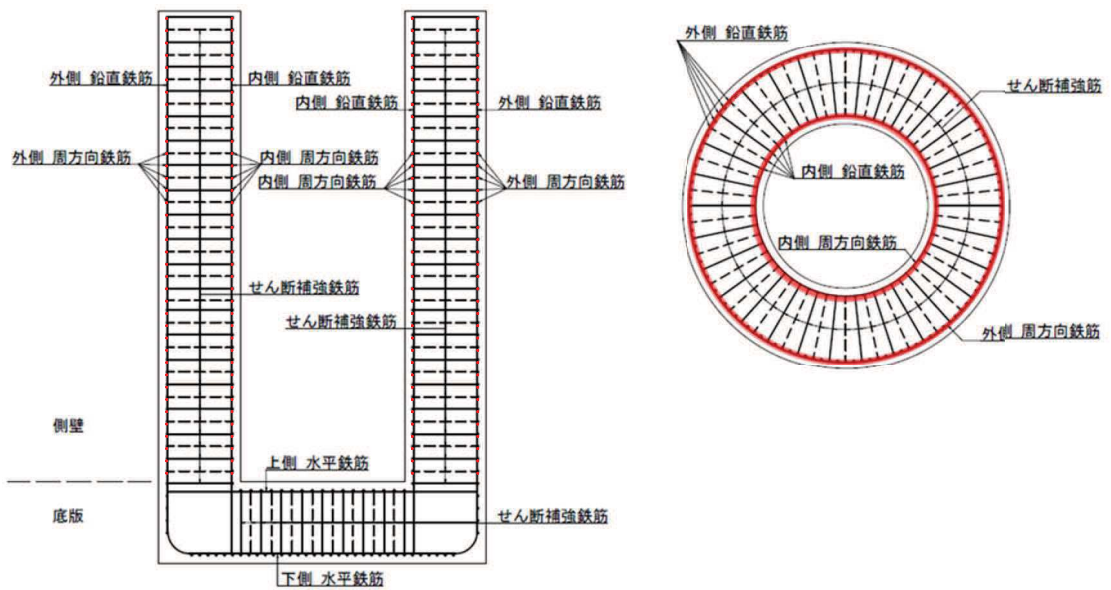
02 ② VI-2-13-4 R0

表 4-6(1) 集水ピット せん断破壊に対する照査値 (No.1 揚水井戸 軸方向照査)

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
側壁	SD345 D38@300 周方向鉄筋	S _s -N 1 (-+)	③	17543	33473	0.53

表 4-6(2) 集水ピット せん断破壊に対する照査値 (No.2 揚水井戸 軸方向照査)

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
側壁	SD345 D38@300 周方向鉄筋	S _s -F 3 (++)	①	14001	33473	0.42



b. 周方向の照査結果

発生曲げモーメントは内側引張を正、軸力は引張を正として示す。

表 4-7(1) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 周方向照査)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - N 1 (++)	①	-327	-2968	1.9	16.5	0.12

表 4-7(2) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 周方向照査)

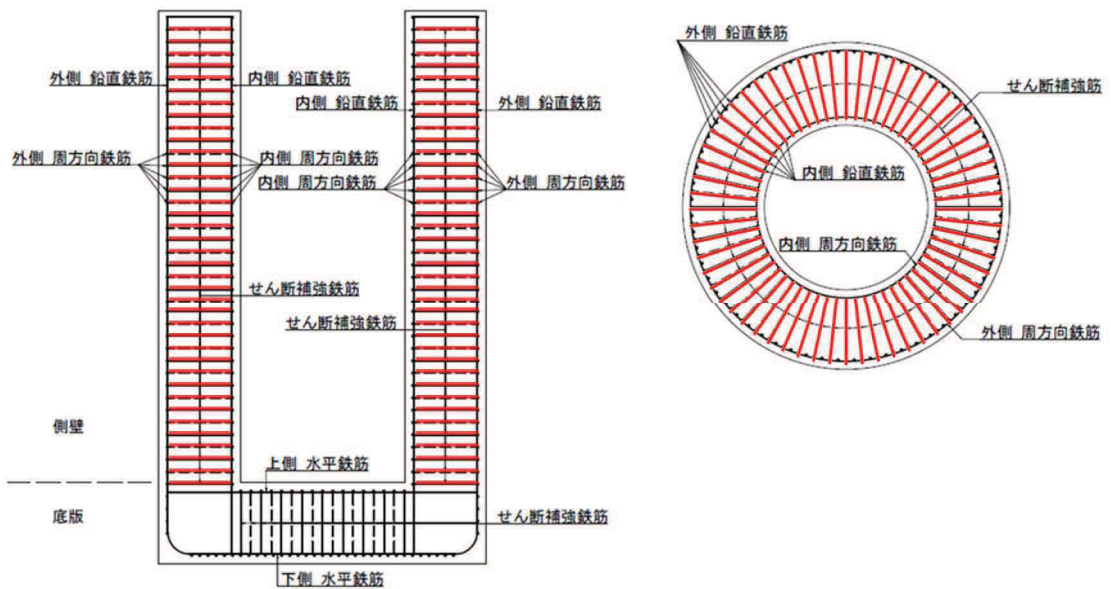
部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 1 (++)	③	-321	-3194	2.0	16.5	0.13

表 4-8(1) 集水ピット せん断破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 周方向照査)

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
側壁	SD345 D22@30 本/周@300 せん断補強鉄筋	S s - N 1 (++)	①	371	1497	0.25

表 4-8(2) 集水ピット せん断破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 周方向照査)

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
側壁	SD345 D22@30 本/周@300 せん断補強鉄筋	S s - D 1 (++)	③	364	1497	0.25



c. 底版の照査結果

発生曲げモーメントは下側引張を正、軸力は引張を正として示す。

表 4-9(1) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 底版照査)

部材	地震動	解析ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
底版	S s - D 2 (-+)	①	-2130	0	4.3	16.5	0.27

表 4-9(2) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 底版照査)

部材	地震動	解析ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
底版	S s - F 3 (-+)	①	-2020	0	4.1	16.5	0.25

表 4-10(1) 集水ピット 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 底版照査)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	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}
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - D 2 (-+)	①	-2130	0	168	324	0.52
底版 (下筋)	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S s - D 2 (-+)	①	1331	0	85	324	0.27

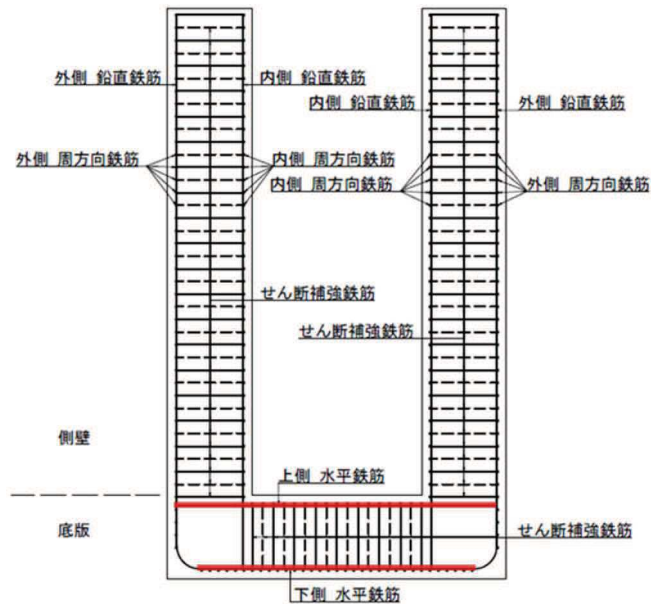


表 4-10(2) 集水ピット 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 底版照査)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	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}
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - F 3 (-+)	①	-2020	0	159	324	0.50
底版 (下筋)	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S s - F 3 (-+)	①	1262	0	81	324	0.25

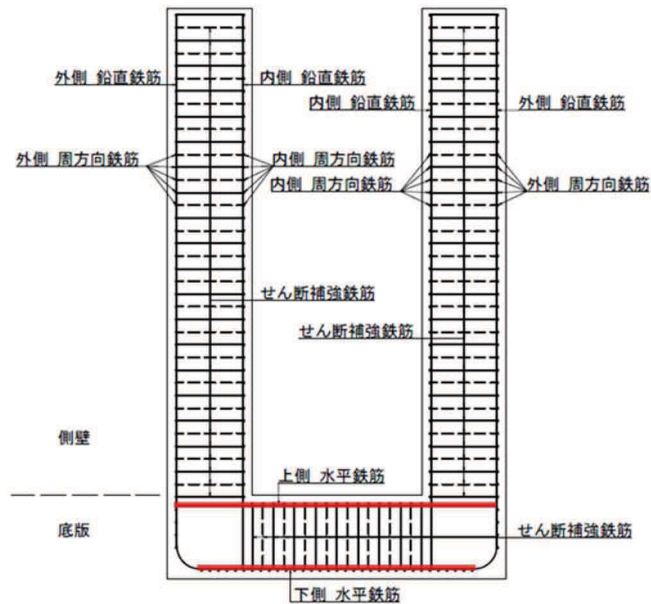
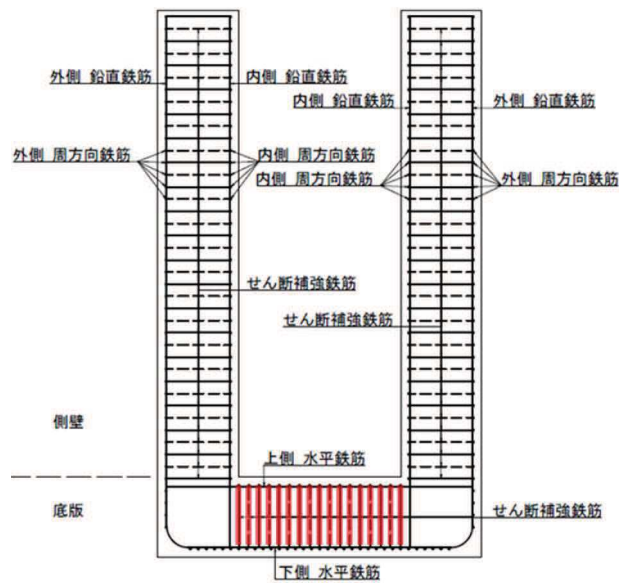


表 4-11(1) 集水ピット せん断破壊に対する照査値 (No.1 揚水井戸 底版照査)

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S _s -D 2 (-+)	①	1184	2384	0.50

表 4-11(2) 集水ピット せん断破壊に対する照査値 (No.2 揚水井戸 底版照査)

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S _s -F 3 (-+)	①	1123	2384	0.48



d. 隅角部の照査結果

表 4-12(1) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 隅角部の照査)

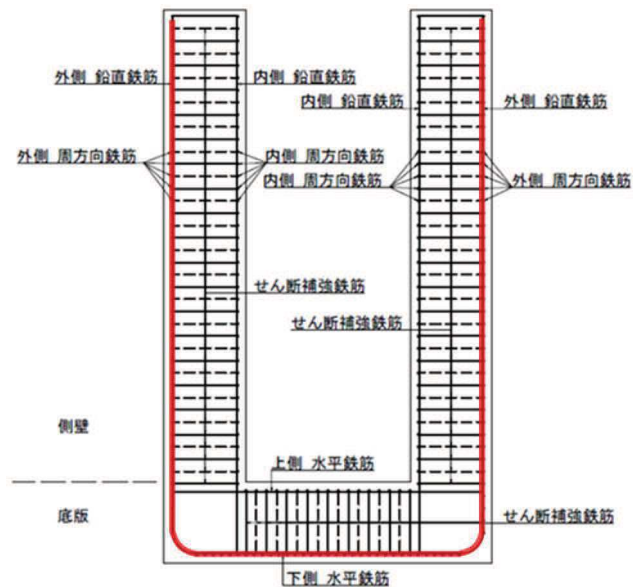
部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 2 (-+)	②	2789	0	5.4	16.5	0.33
底版	S s - D 2 (-+)	②	2789	0	5.4	16.5	0.33

表 4-12(2) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 隅角部の照査)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 1 (++)	③	2946	0	5.7	16.5	0.35
底版	S s - D 1 (++)	③	2946	0	5.7	16.5	0.35

表 4-13(1) 集水ピット 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.1 揚水井戸 隅角部の照査)

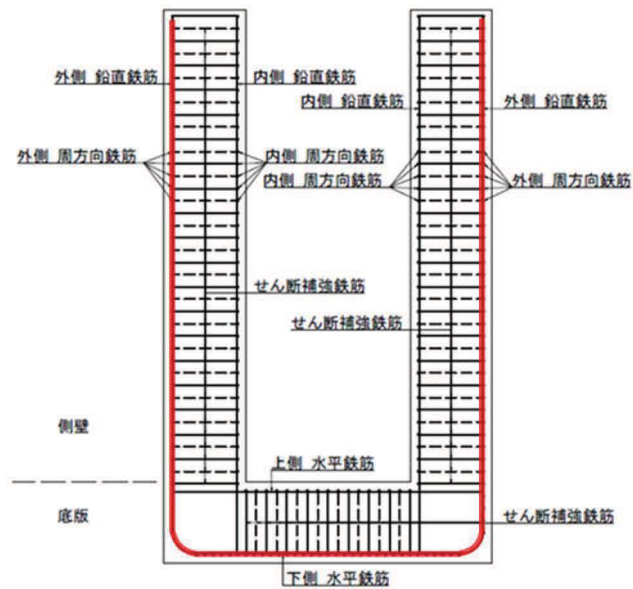
部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 外側鉛直鉄筋	S s - D 2 (-+)	②	2789	0	174	324	0.54
底板	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S s - D 2 (-+)	②	2789	0	177	324	0.55



O 2 ② VI-2-13-4 R 0

表 4-13(2) 集水ピット 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値
(No.2 揚水井戸 隅角部の照査)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	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}
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 外側鉛直鉄筋	S s - D 1 (++)	③	2946	0	184	324	0.57
底版	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S s - D 1 (++)	③	2946	0	187	324	0.58



e. 概略配筋図

集水ピットの概略配筋図を図 4-4 に示す。鉄筋の種類は鉄筋径 D51 については SD390 とし、それ以外は SD345 を用いる。

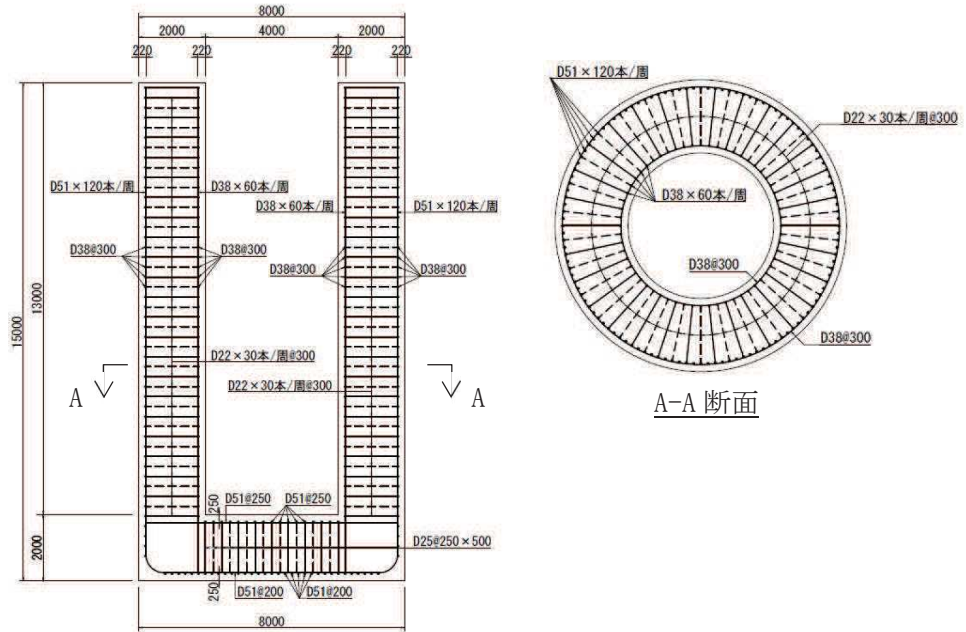


図 4-4(1) No.1 揚水井戸 概略配筋図

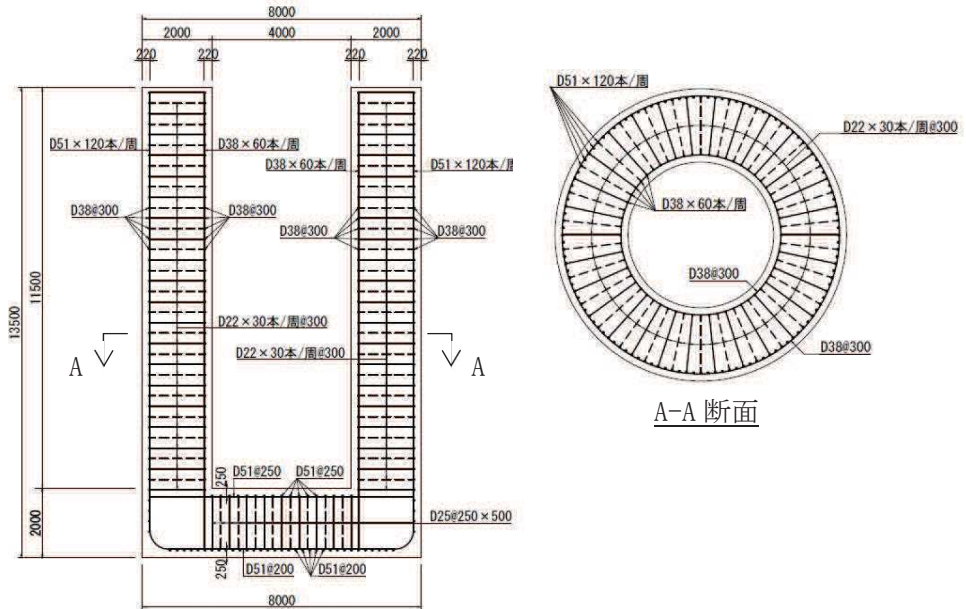


図 4-4(2) No.2 揚水井戸 概略配筋図

(3)接合部

接合部の照査結果を表 4-14～表 4-18 に示す。この結果から、接合部各部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

a. アンカーボルトの照査結果

表 4-14(1) 接合部（アンカーボルト）の照査結果（No.1 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
アンカー ボルト	S s - N 1 (-+)	③	引張応力度	ABM490	130	295*	0.45
	S s - N 1 (-+)	③	せん断応力度		61	170.3	0.36

注記*：せん断力を同時に受ける場合の許容引張応力度

表 4-14(2) 接合部（アンカーボルト）の照査結果（No.2 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
アンカー ボルト	S s - F 1 (-+)	③	引張応力度	ABM490	94	295*	0.32
	S s - D 1 (++)	③	せん断応力度		75	170.3	0.45

注記*：せん断力を同時に受ける場合の許容引張応力度

b. コンクリートの照査結果

表 4-15(1) 接合部（コンクリート）の照査結果（No.1 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応答値 A (kN)	許容 限界 B (kN)	照査値 (A/B)
コンクリート	S s - N 1 (-+)	③	引張力	設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$	322	1415	0.23

表 4-15(2) 接合部（コンクリート）の照査結果（No.2 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応答値 A (kN)	許容 限界 B (kN)	照査値 (A/B)
コンクリート	S s - F 1 (-+)	③	引張力	設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$	200	1414	0.15

c. ベースプレートの照査結果

表 4-16(1) 接合部（ベースプレート）の照査結果（No.1 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
ベースプレート	S s - N 1 (-+)	③	曲げ応力度	SM570	235	400	0.59

表 4-16(2) 接合部（ベースプレート）の照査結果（No.2 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
ベースプレート	S s - F 1 (-+)	③	曲げ応力度	SM570	232	400	0.58

d. フランジプレートの照査結果

表 4-17(1) 接合部（フランジプレート）の照査結果（No.1 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
フランジ プレート	S s - N 1 (-+)	③	曲げ応力度	SM570	218	400	0.55

表 4-17(2) 接合部（フランジプレート）の照査結果（No.2 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
フランジ プレート	S s - F 1 (-+)	③	曲げ応力度	SM570	233	400	0.59

e. リブプレートの照査結果

表 4-18(1) 接合部（リブプレート）の照査結果（No.1 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
リブ プレート	S s - N 1 (-+)	③	せん断応力度	SM570	134	230.9	0.59

表 4-18(2) 接合部（リブプレート）の照査結果（No.2 揚水井戸）

部材	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm ²)	短期許容 応力度 B (N/mm ²)	照査値 (A/B)
リブ プレート	S s - F 1 (-+)	③	せん断応力度	SM570	113	230.9	0.49

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

最大接地圧分布図を図 4-5 に、基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-19 に示す。

この結果から、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。

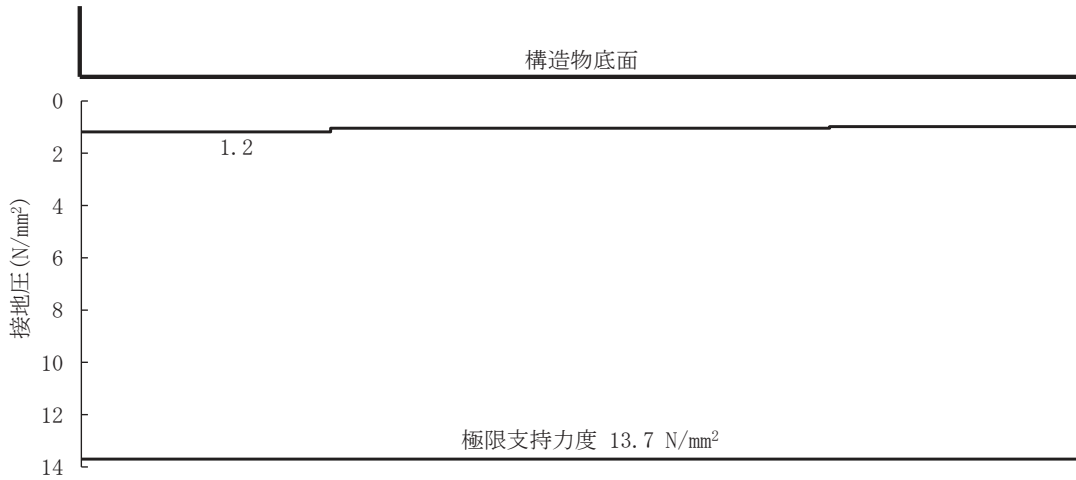


図 4-5(1) 最大接地圧分布図 (No.1 揚水井戸, S s - D 2 (-+))

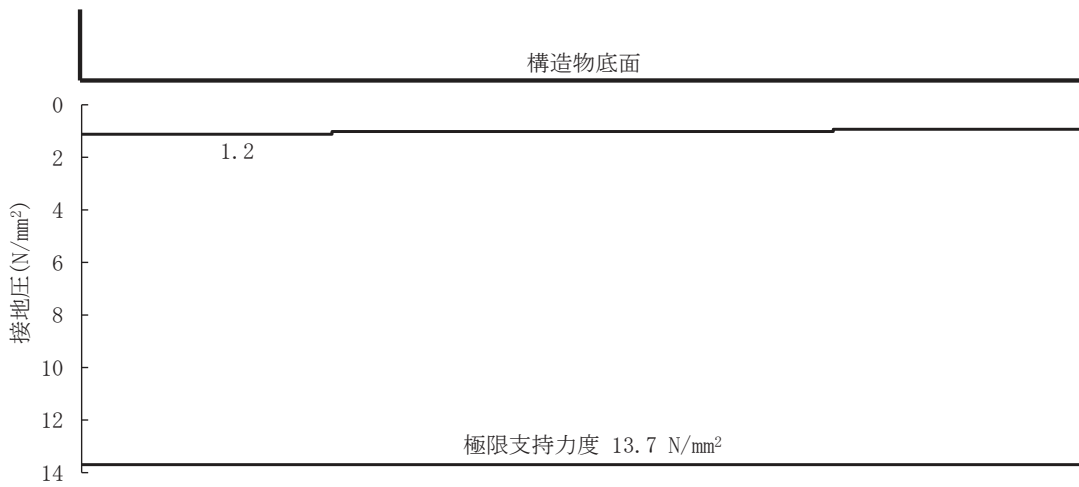


図 4-5(2) 最大接地圧分布図 (No.2 揚水井戸, S s - F 3 (-+))

表 4-19 基礎地盤の支持性能評価結果

部位	地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	許容限界 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
集水ピット (No.1 揚水井戸)	S s - D 2 (-+)	①	1.2	13.7	0.09
集水ピット (No.2 揚水井戸)	S s - F 3 (-+)	①	1.2	13.7	0.09