

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

## 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	11
2.4	適用基準	13
3.	耐震評価	14
3.1	評価対象断面	14
3.2	解析方法	16
3.2.1	構造部材	17
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	17
3.2.3	減衰定数	17
3.2.4	解析ケースの選定	17
3.3	荷重及び荷重の組合せ	19
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	19
3.3.2	荷重	19
3.3.3	荷重の組合せ	20
3.4	入力地震動	21
3.5	解析モデル及び諸元	78
3.5.1	解析モデル	78
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	83
3.5.3	地盤の物性値	83
3.5.4	地下水位	83
3.6	許容限界	84
3.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	84
3.6.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	86
3.7	評価方法	87
3.7.1	構造部材の健全性に対する評価方法	87
3.7.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	100
4.	耐震評価結果	101
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	101
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	134

- (別紙 1) 敷地側集水ピット（北側）の耐震性について
- (別紙 2) 北側排水路（防潮堤横断部）の耐震性について
- (別紙 3) 出口側集水ピット（北側）の耐震性について
- (別紙 4) 敷地側集水ピット（南側）の耐震性について
- (別紙 5) 南側排水路（防潮堤横断部）の耐震性について
- (別紙 6) 出口側集水ピット（南側）の耐震性について

## 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。

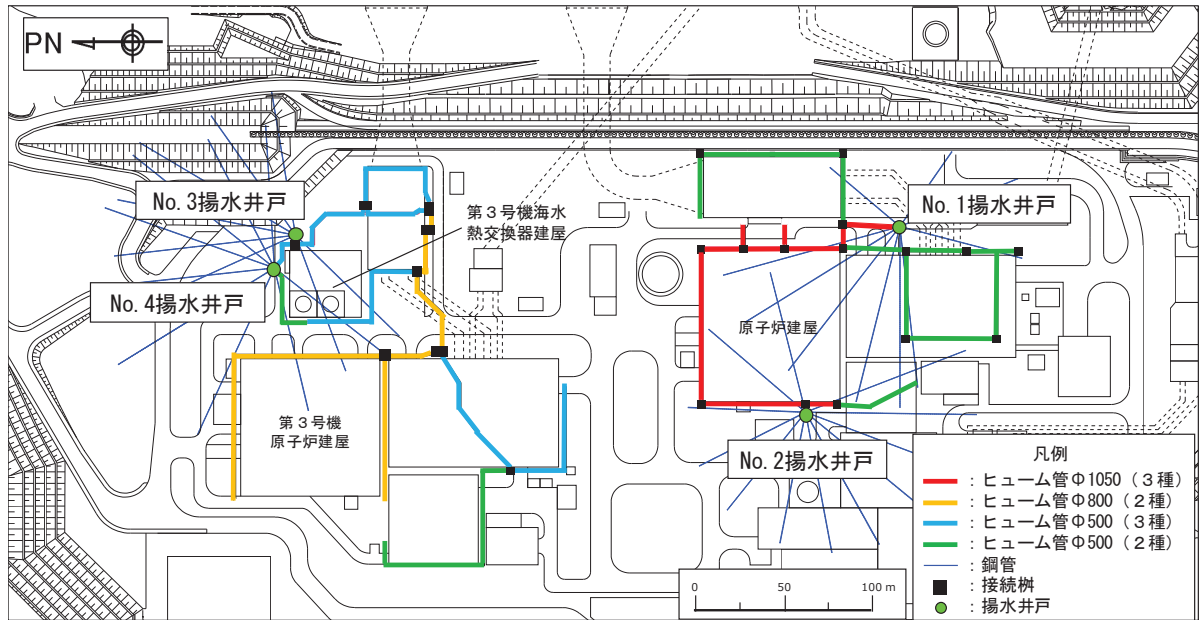


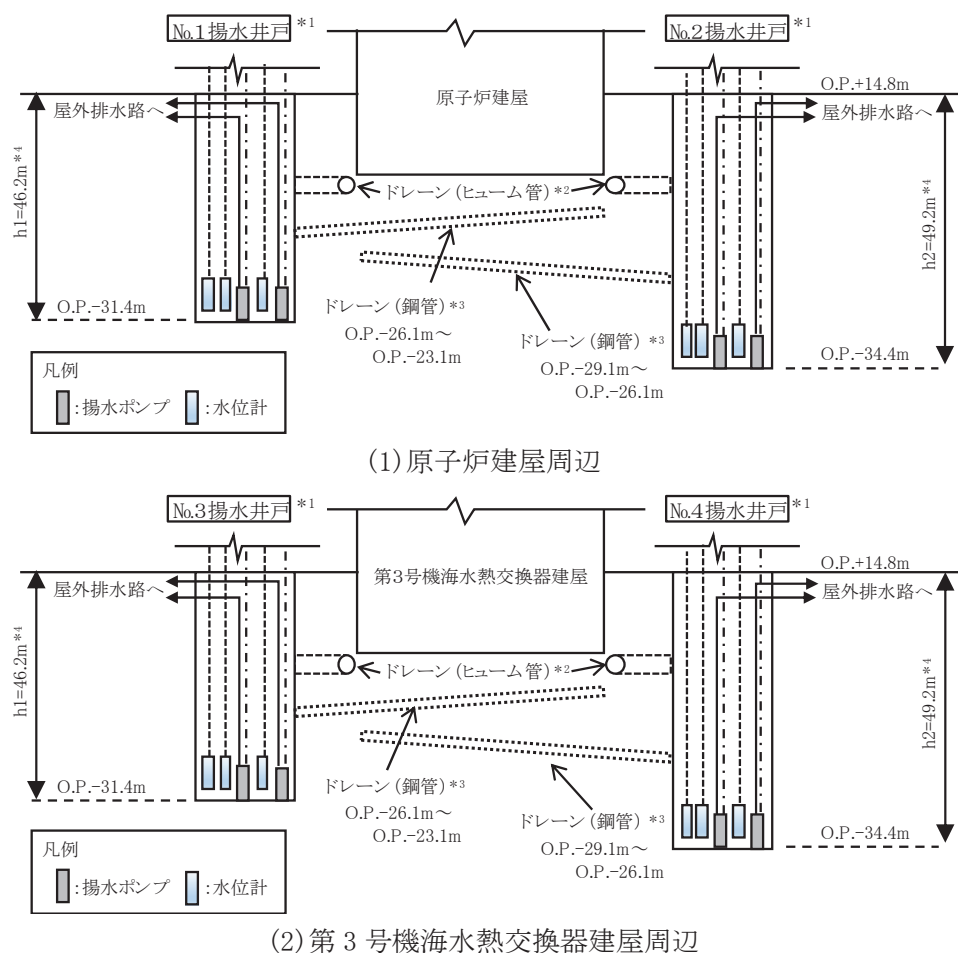
図 2-1 揚水井戸の設置位置

## 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  $h1=46.2\text{m}$ 、 $h2=49.2\text{m}$  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を図 2-3、揚水井戸蓋の構造概要を図 2-4 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是新設する。

\* 3 : 鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。

\* 4 :  $h1$  及び  $h2$  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

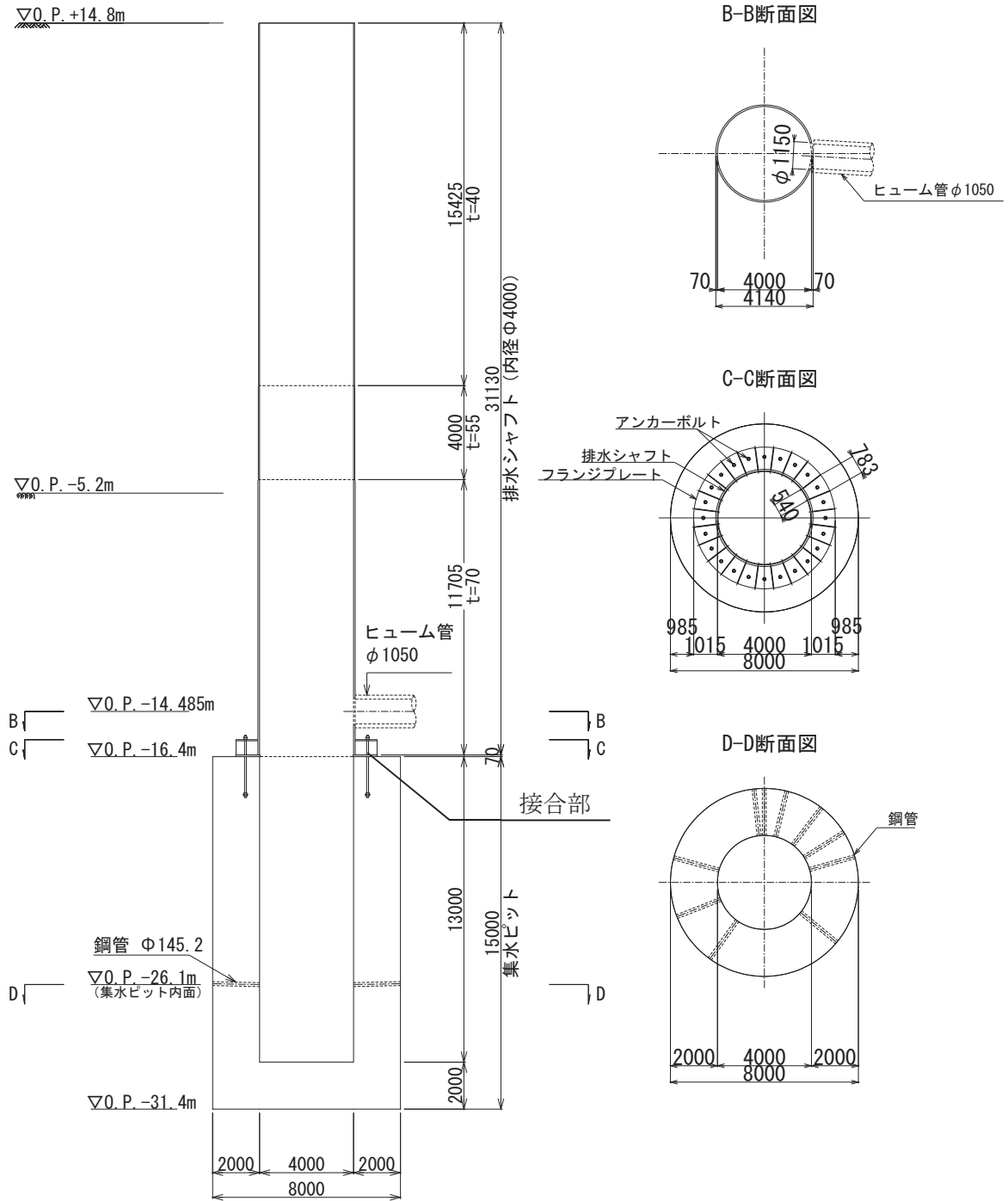


図 2-3(1) No. 1 揚水井戸 構造概要 (単位 : mm)

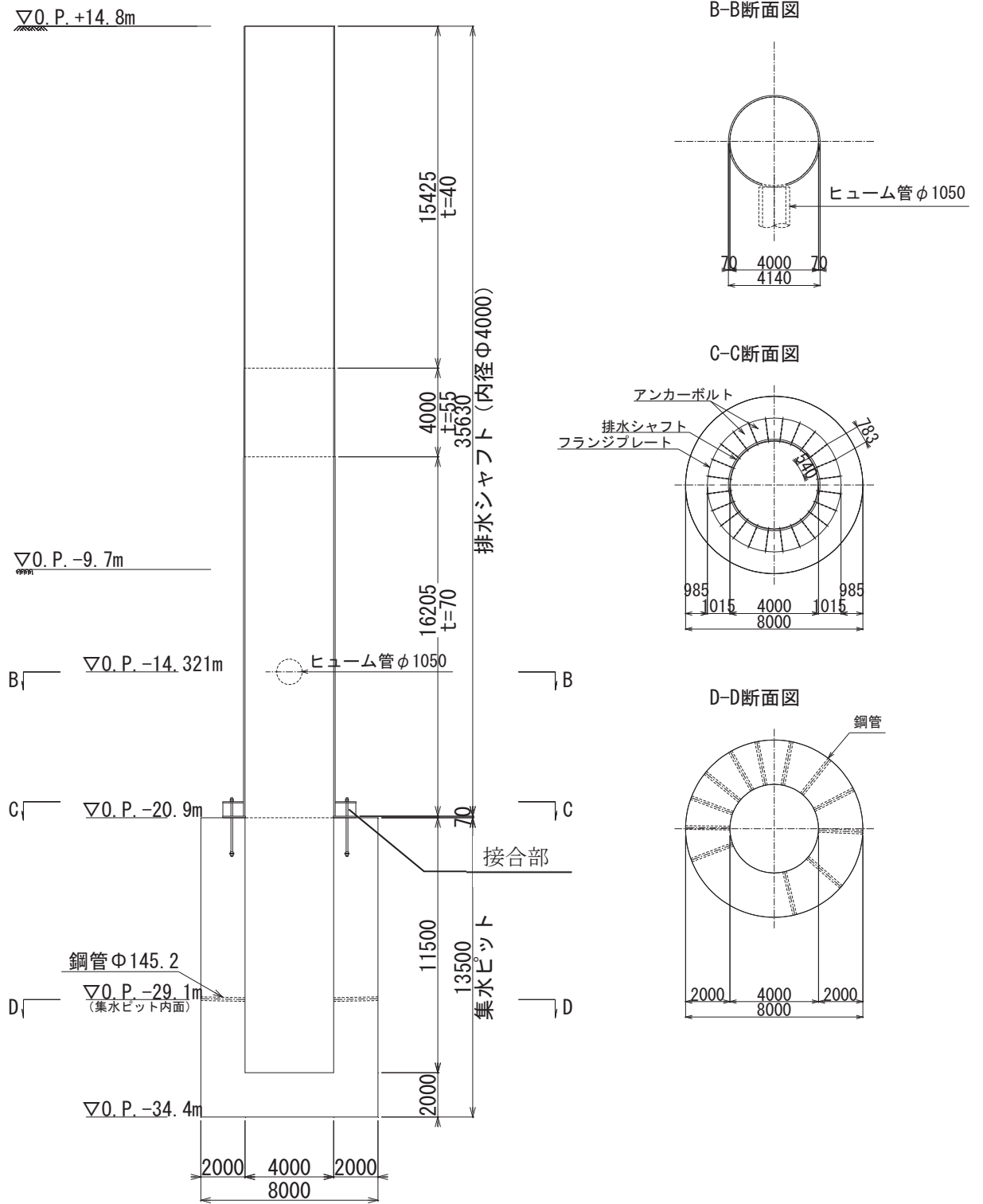


図 2-3(2) No. 2 揚水井戸 構造概要 (単位 : mm)



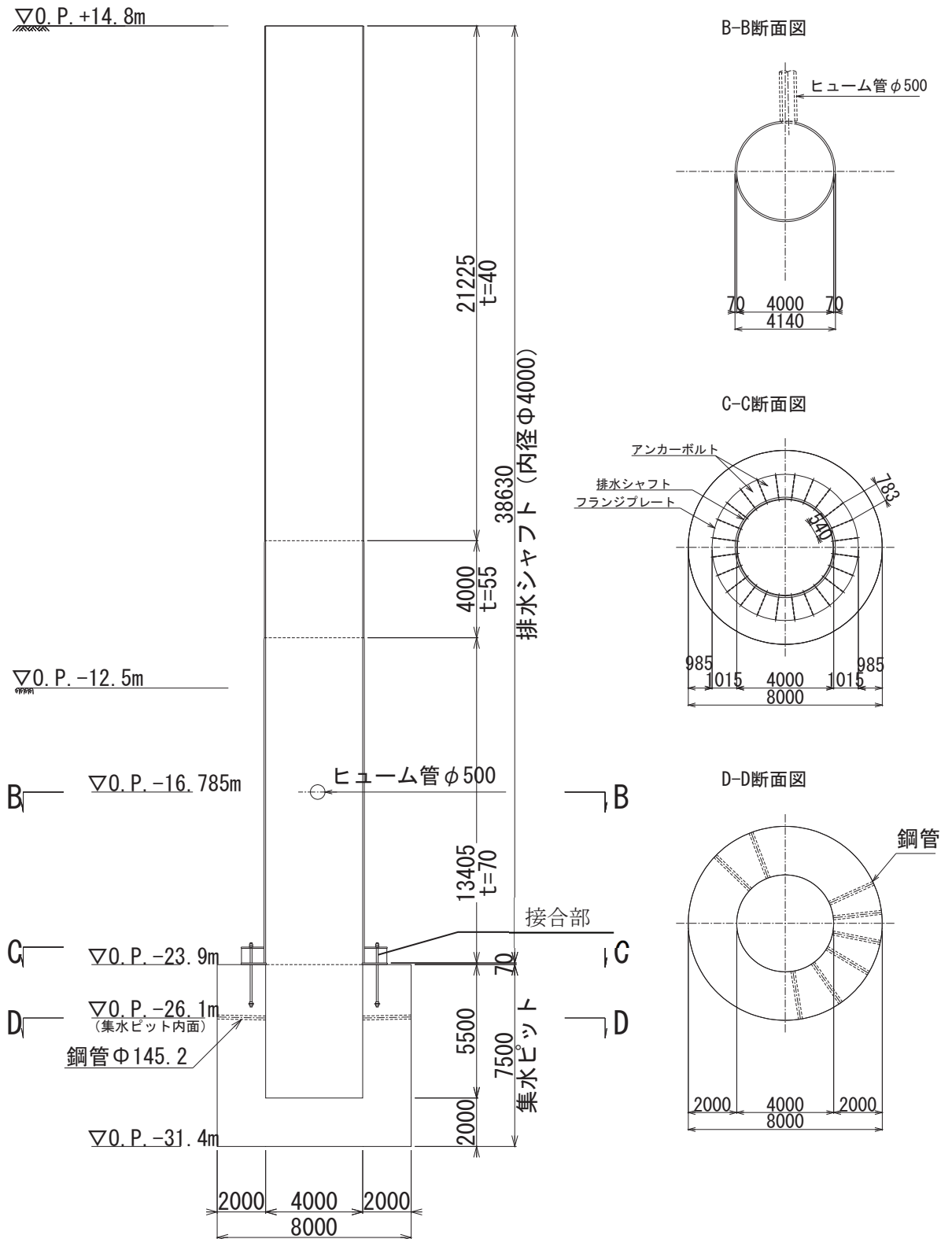


図 2-3 (3) No. 3 揚水井戸 構造概要 (単位: mm)

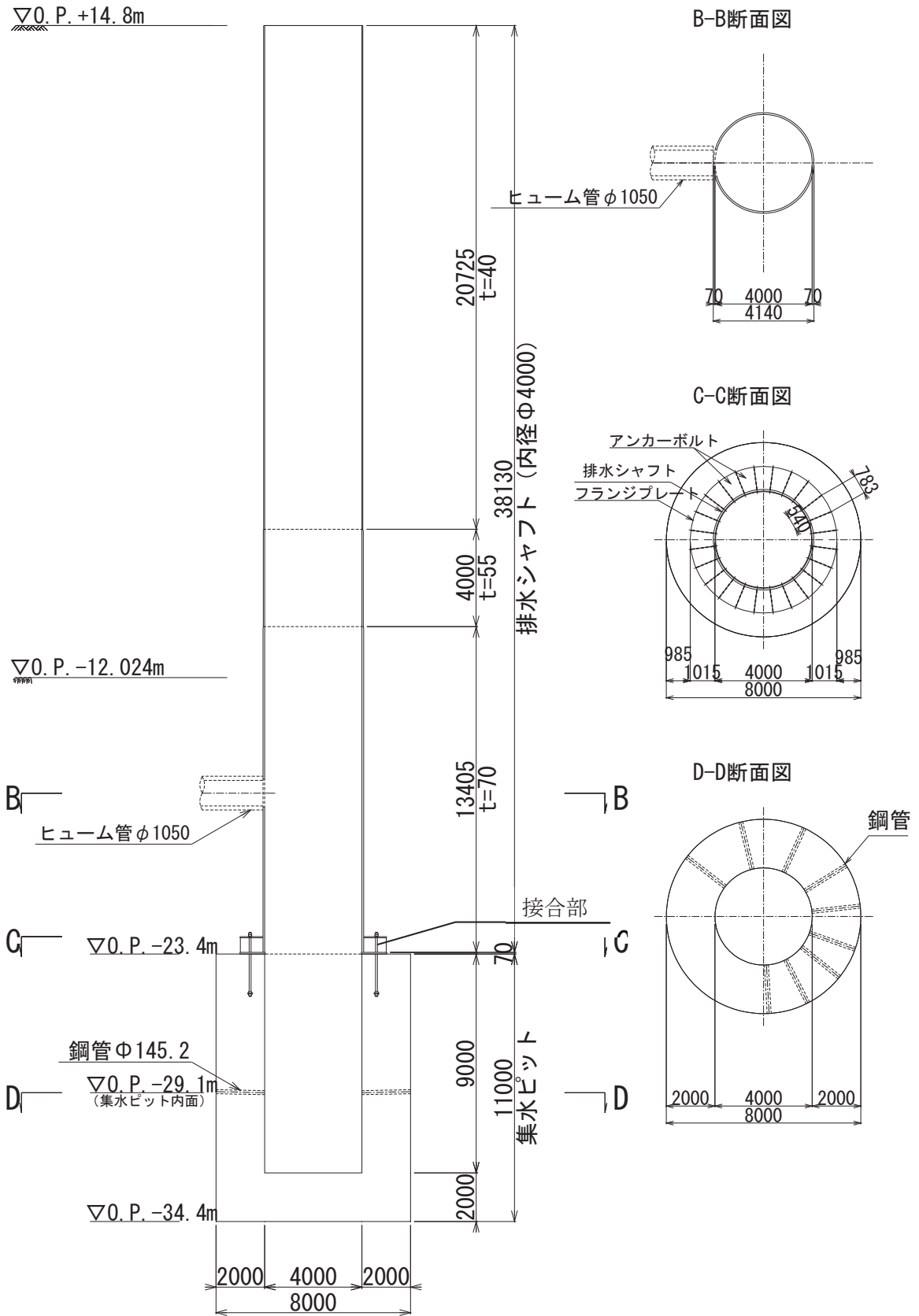


図 2-3(4) No. 4 揚水井戸 構造概要 (単位: mm)

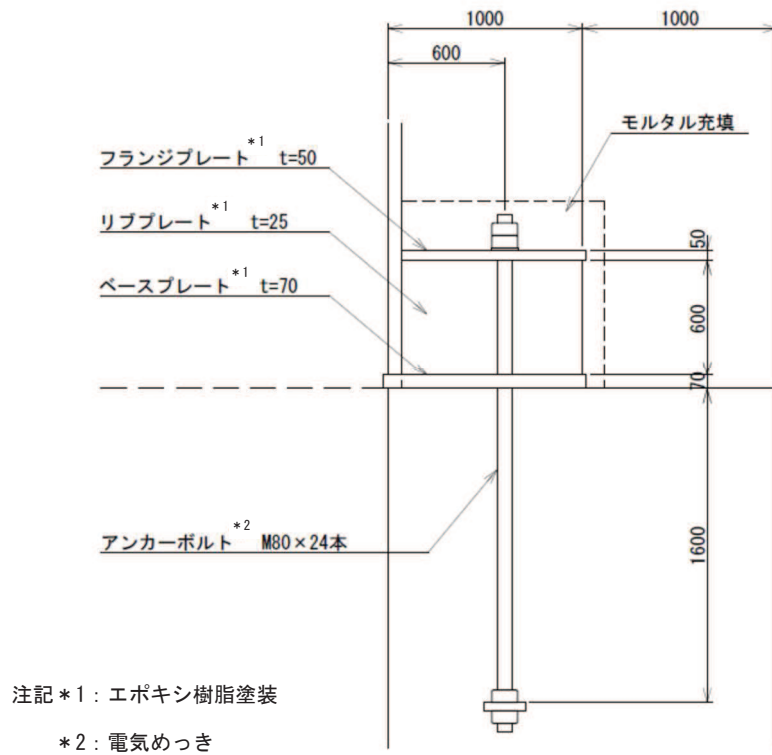


図 2-3(5) 接合部詳細図 (No. 1~4 揚水井戸共通)

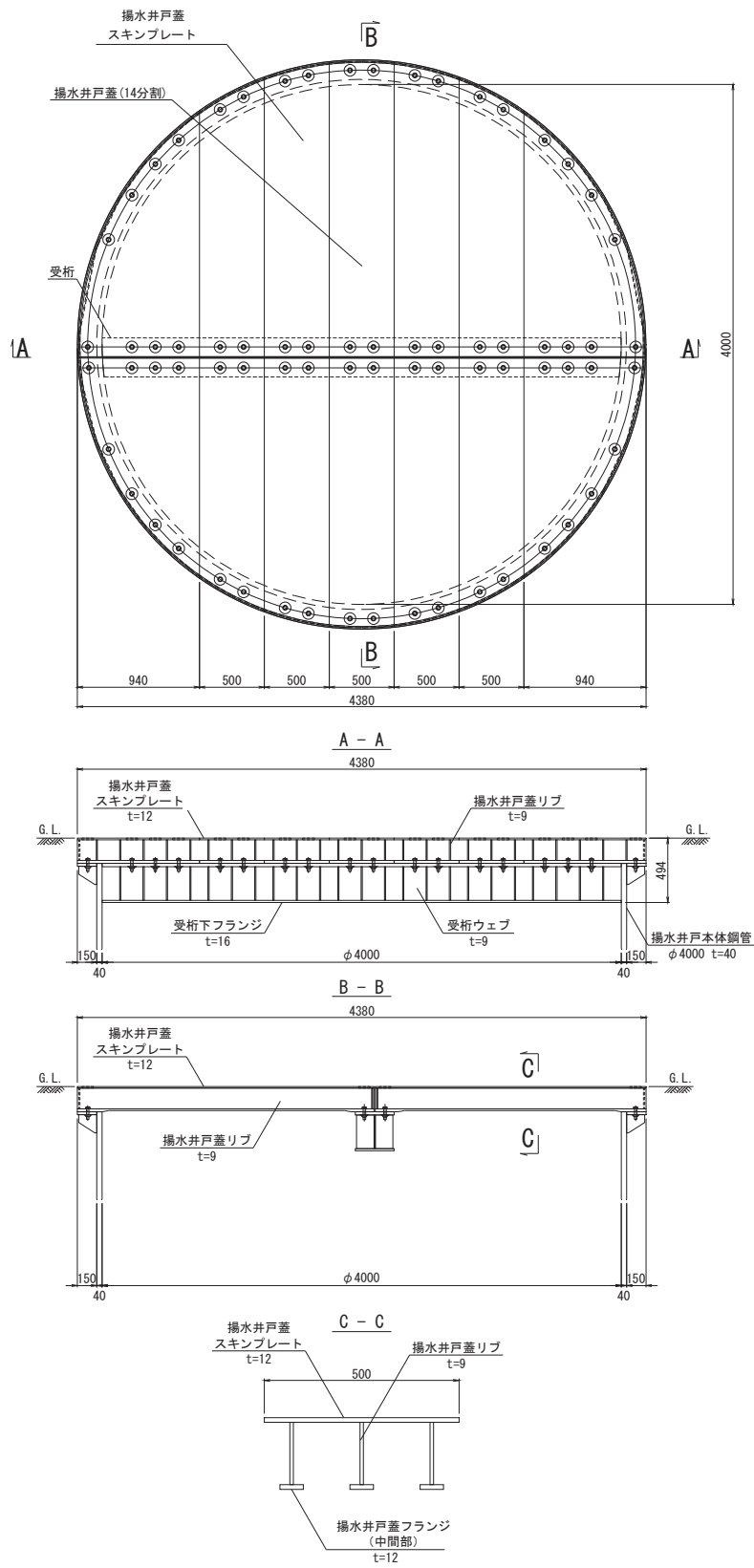


図 2-4(1) No. 1, No. 2 揚水井戸蓋 構造図 (単位 : mm)

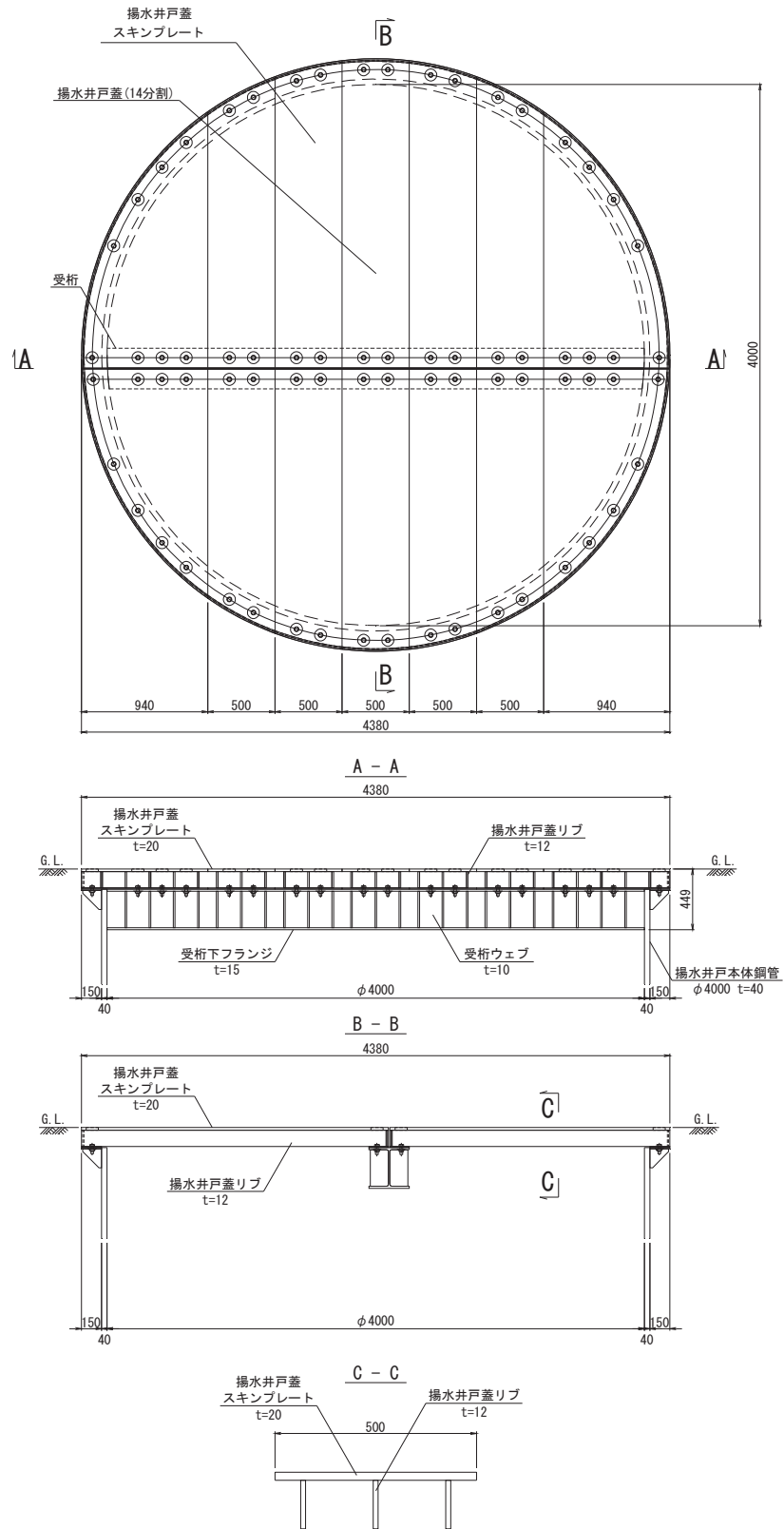


図 2-4(2)No. 3, No. 4 揚水井戸蓋 構造図 (単位 : mm)

### 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 2-5 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。

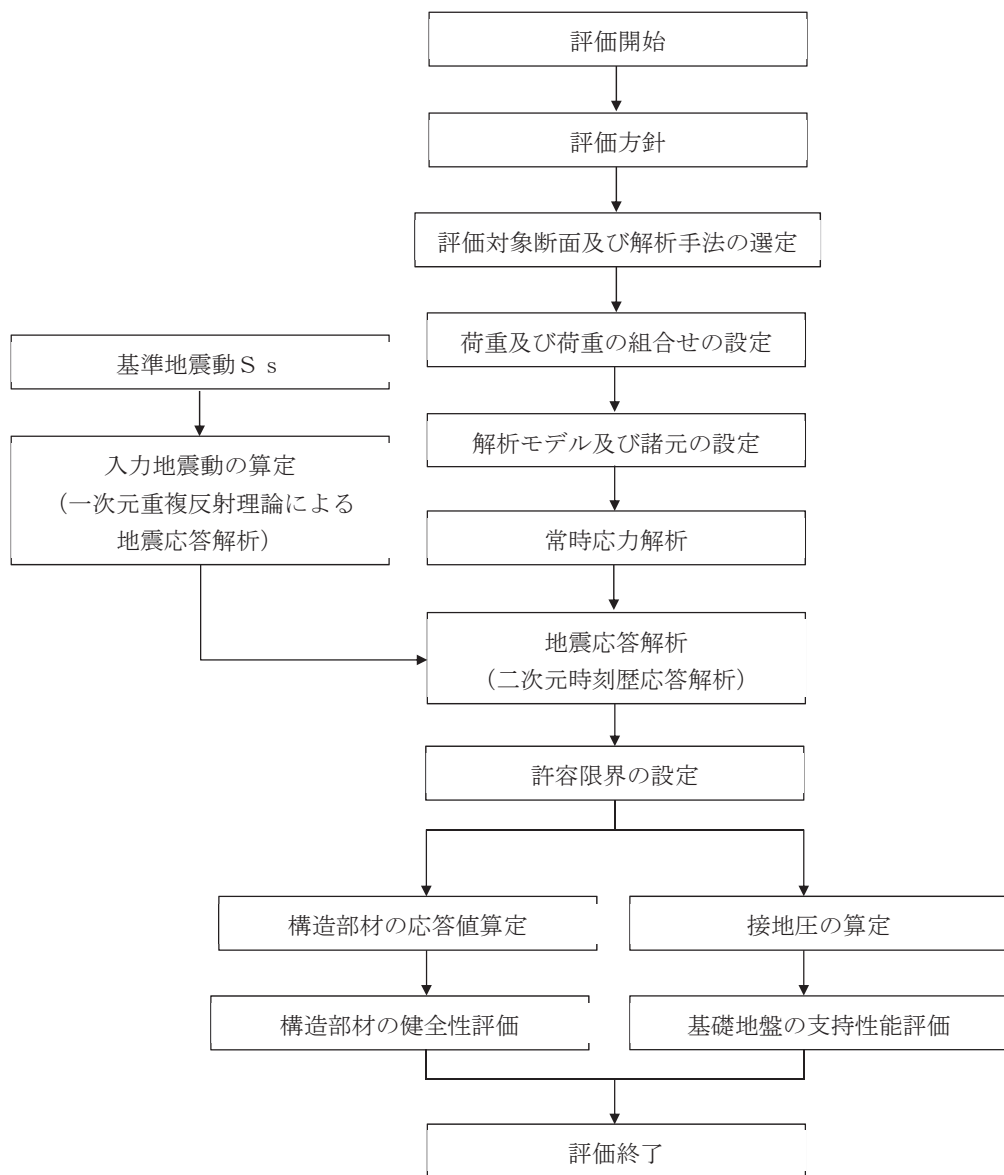


図 2-5 揚水井戸の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- ・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14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- ・日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- ・日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- ・土木学会 2005年 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 2015年 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
- ・日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・日本建築学会 1991年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・日本産業規格（J I S）



### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

揚水井戸の地震時挙動は、構造物の規模や周辺の地盤ならびに地下水位の状況などの影響を受けることから、特徴の異なる No. 1～4 揚水井戸それぞれを評価対象とする。

揚水井戸は岩盤・盛土内に設置されており、特に排水シャフト周辺の盛土の変形の影響を受ける構造であることを踏まえ、周辺構造物による変形抑制が小さく、より盛土の広がりがある断面（NS 方向：No. 1, 2, 3 揚水井戸，EW 方向：No. 4 揚水井戸）とする。

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。

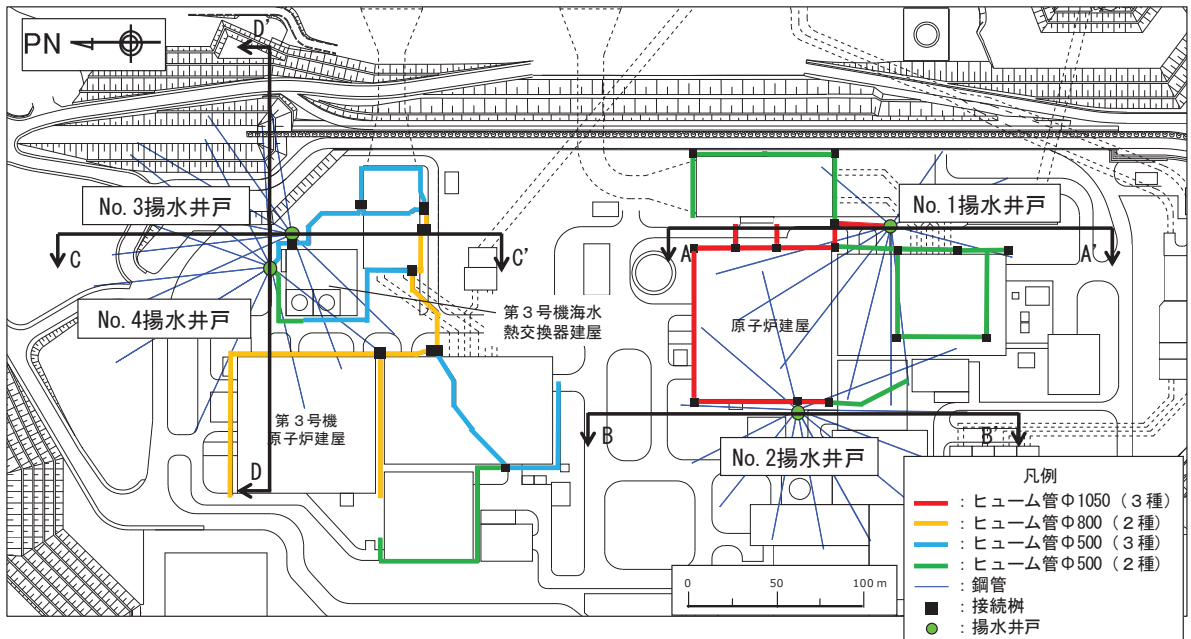


図 3-1 揚水井戸 評価対象断面位置図

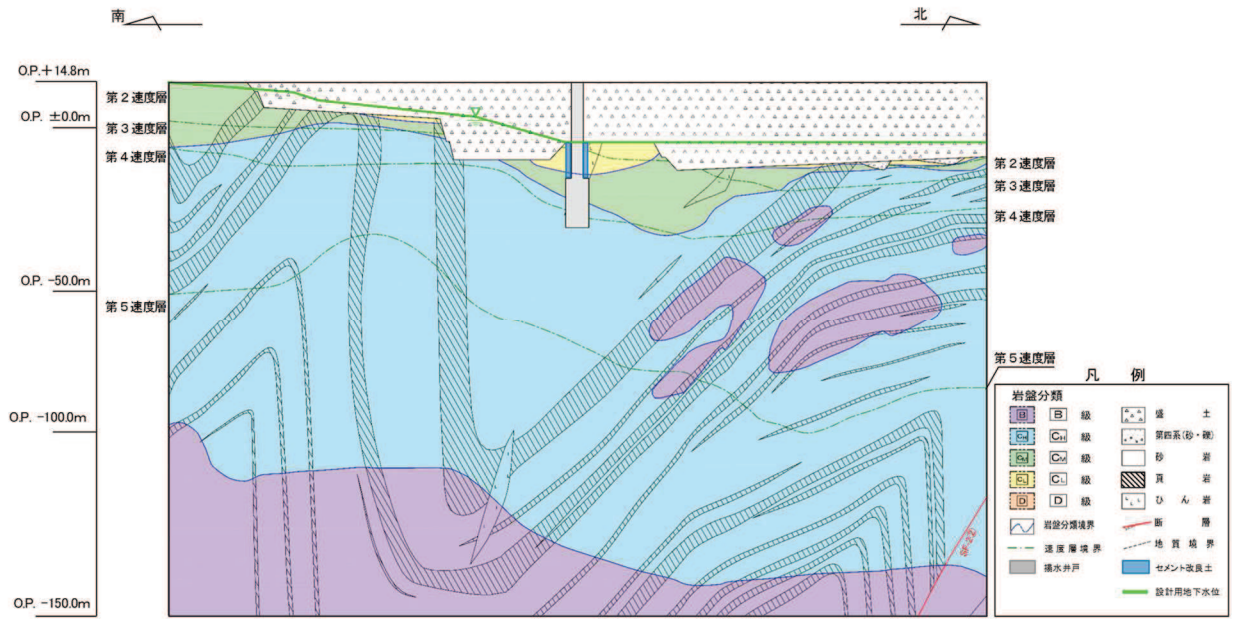


図 3-2(1) No. 1 揚水井戸 評価対象断面図 (A' -A 断面)

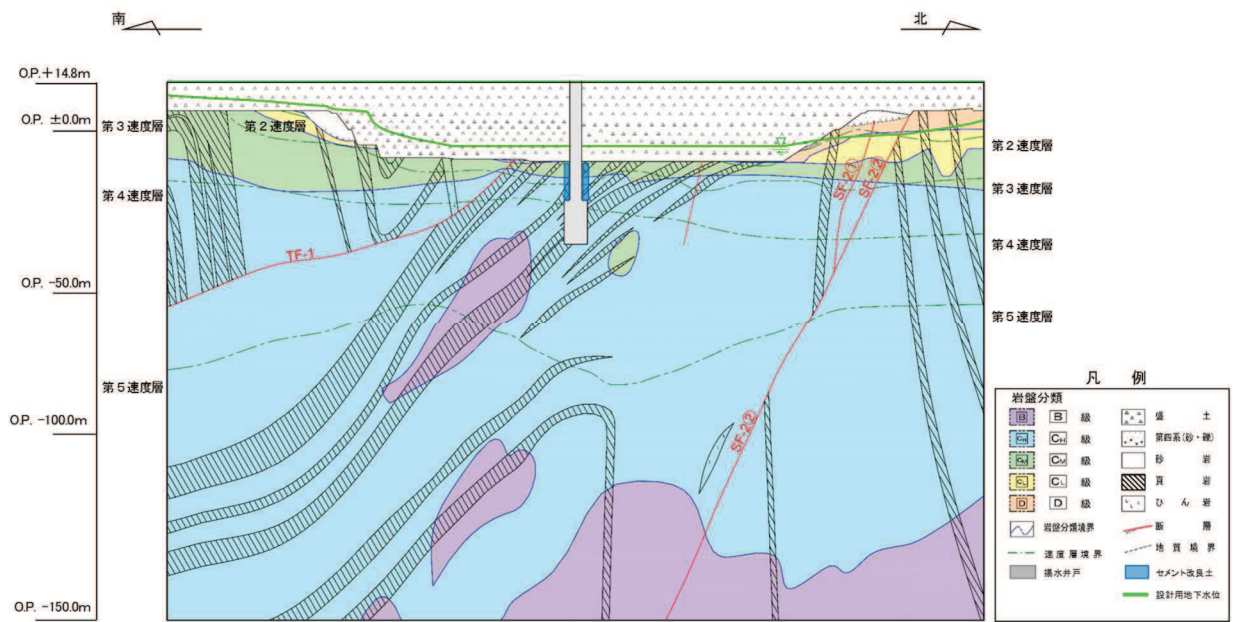


図 3-2(2) No. 2 揚水井戸 評価対象断面図 (B' -B 断面)

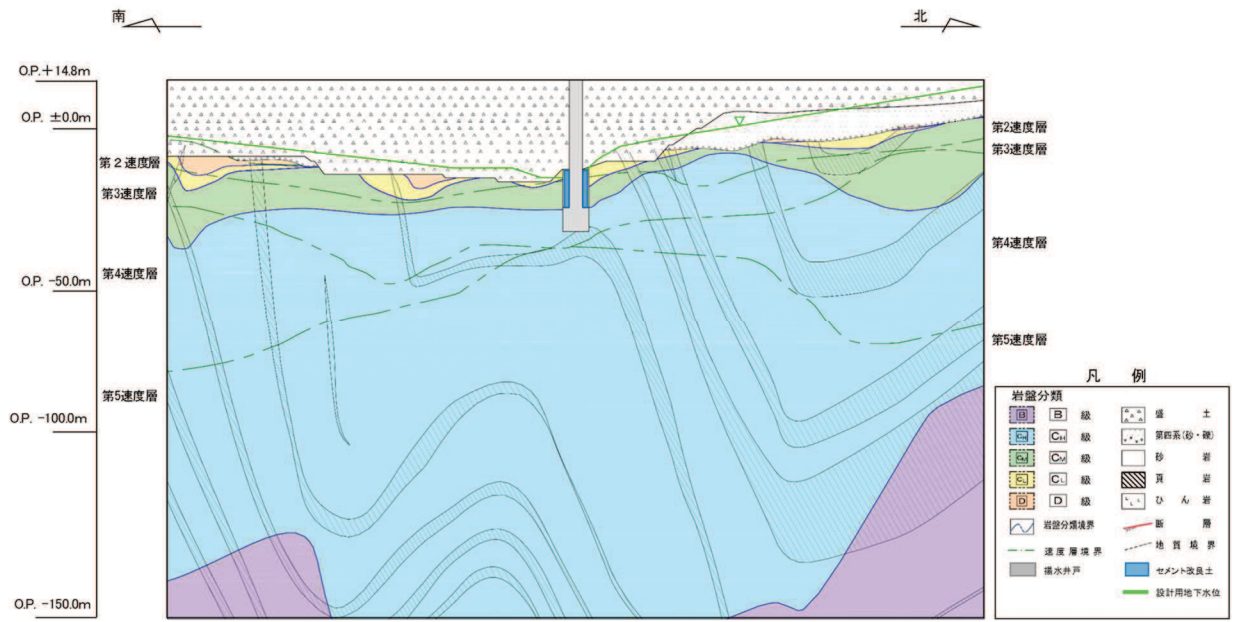


図 3-2(3) No. 3 揚水井戸 評価対象断面図 (C' -C 断面)

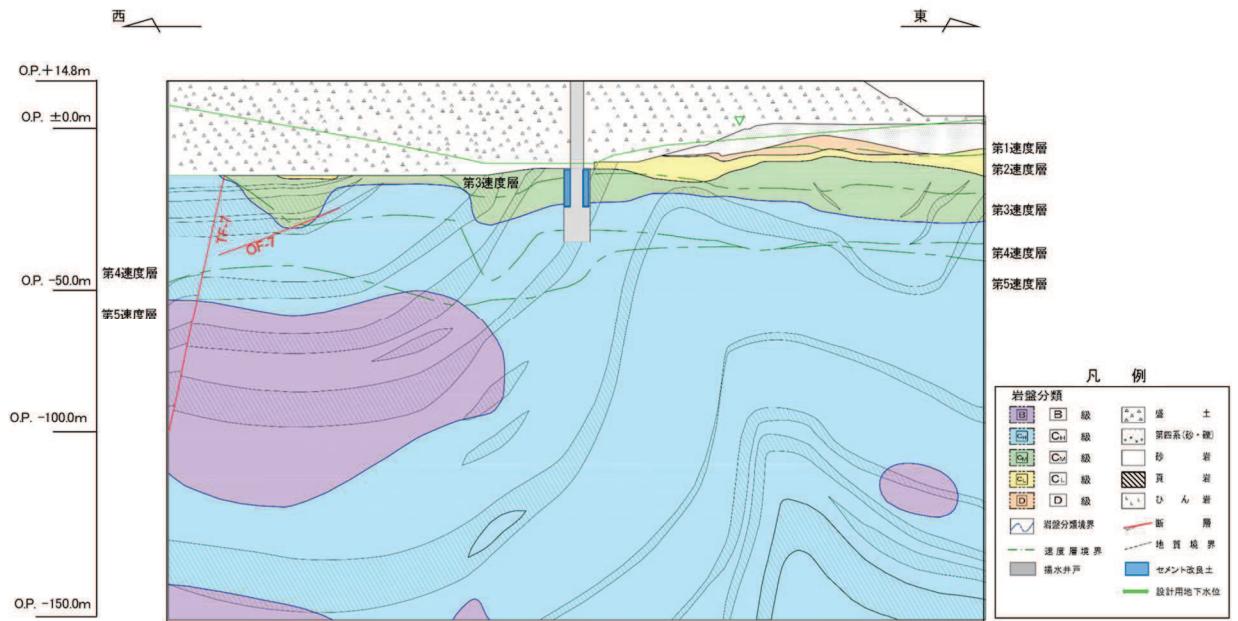


図 3-2(4) No. 4 揚水井戸 評価対象断面図 (D' -D 断面)

### 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二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。

揚水井戸の耐震評価は、施設周辺に液状化対象層が広く分布することを踏まえ、全応力解析及び有効応力解析による評価を実施することにより、液状化特性が構造物に及ぼす影響について網羅的に評価を行う。

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, 6.65」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 <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 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 $\sigma$	平均値 + 1 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$

### 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 (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動(位相)	S <sub>s</sub> -D1	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -D2	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -D3	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F1	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F2	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F3	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -N1	++*	○		
		-+*	○		

基準地震動 S<sub>s</sub> (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析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、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析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、揚水井戸蓋\*、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  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

##### (3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重(S<sub>s</sub>)

地震力は、基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重を考慮する。

注記\*：揚水井戸蓋は揚水井戸の地震応答解析結果を用いて耐震計算を実施している。

また、揚水井戸蓋のスキンプレートの厚さは竜巻に関する強度計算を実施し設定している。

### 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  $4.9\text{kN/m}^2$  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 $S_s$ を一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。

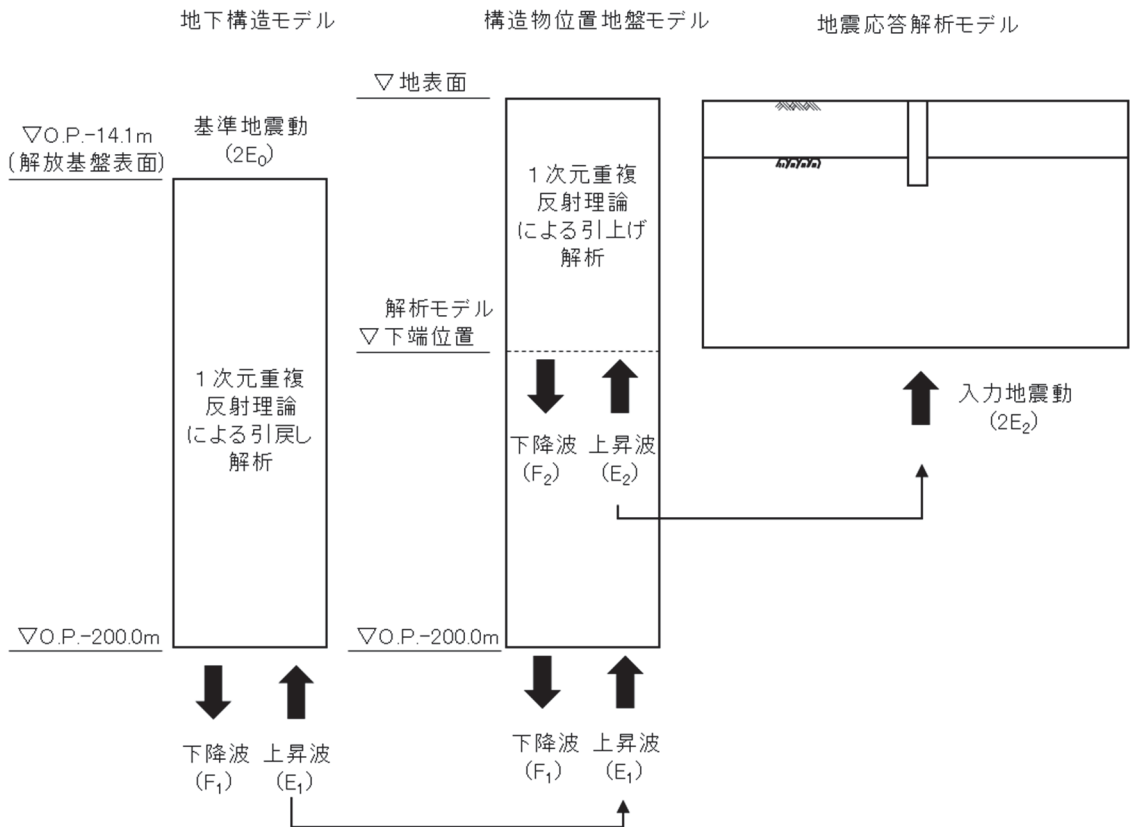
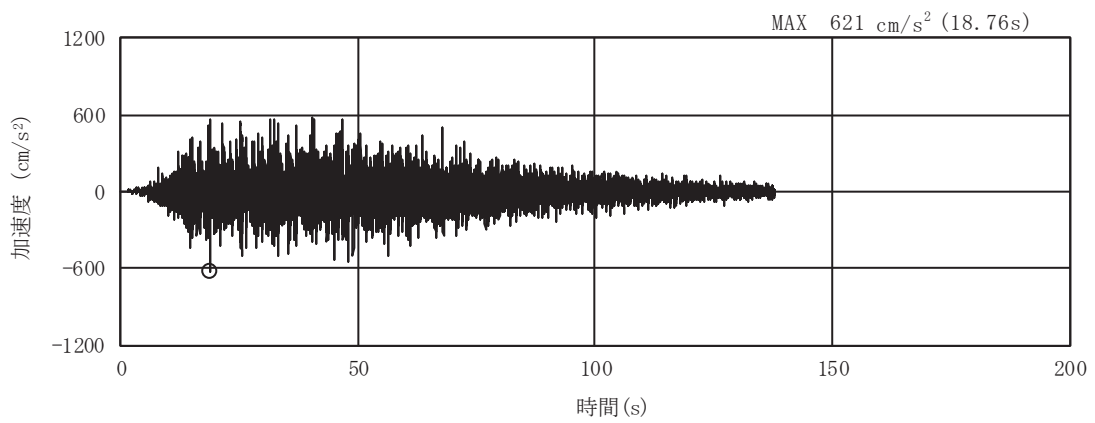
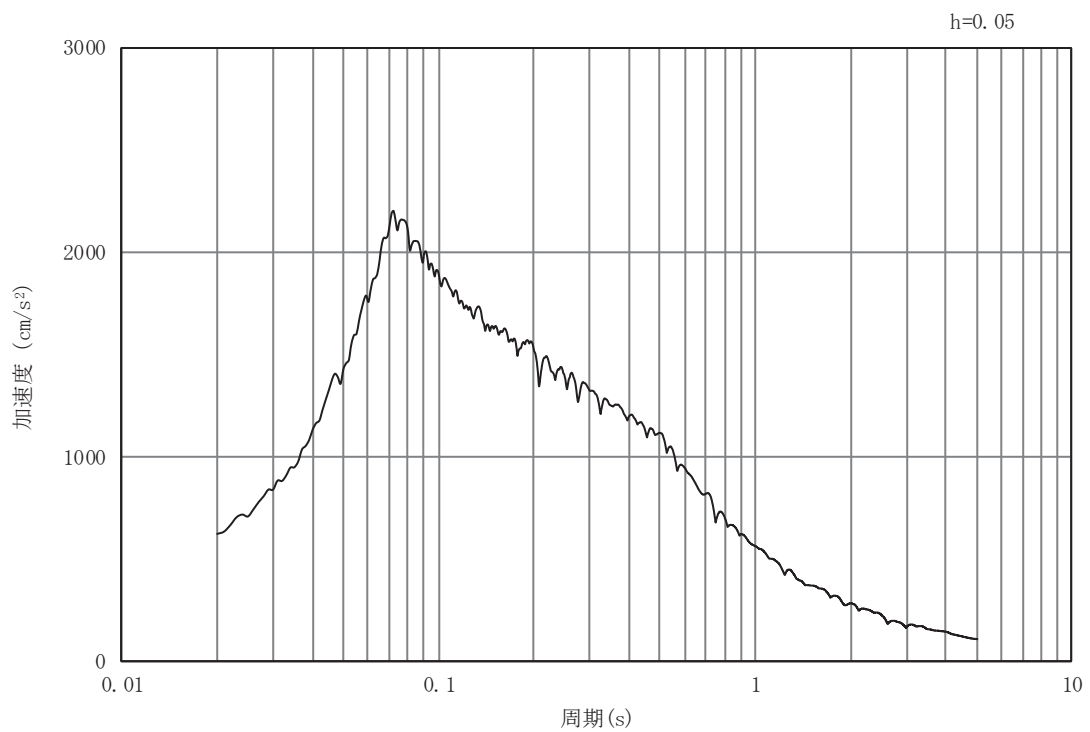


図 3-3 入力地震動算定の概念図



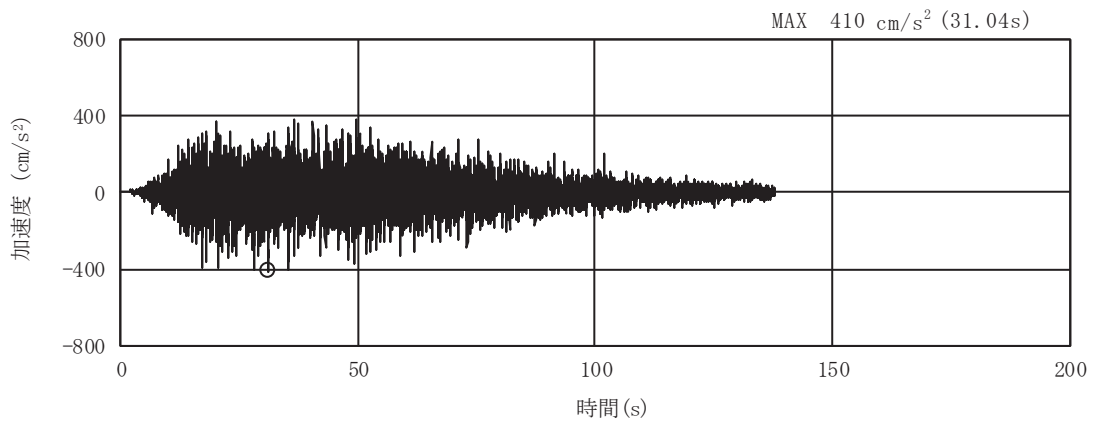


(a) 加速度時刻歴波形

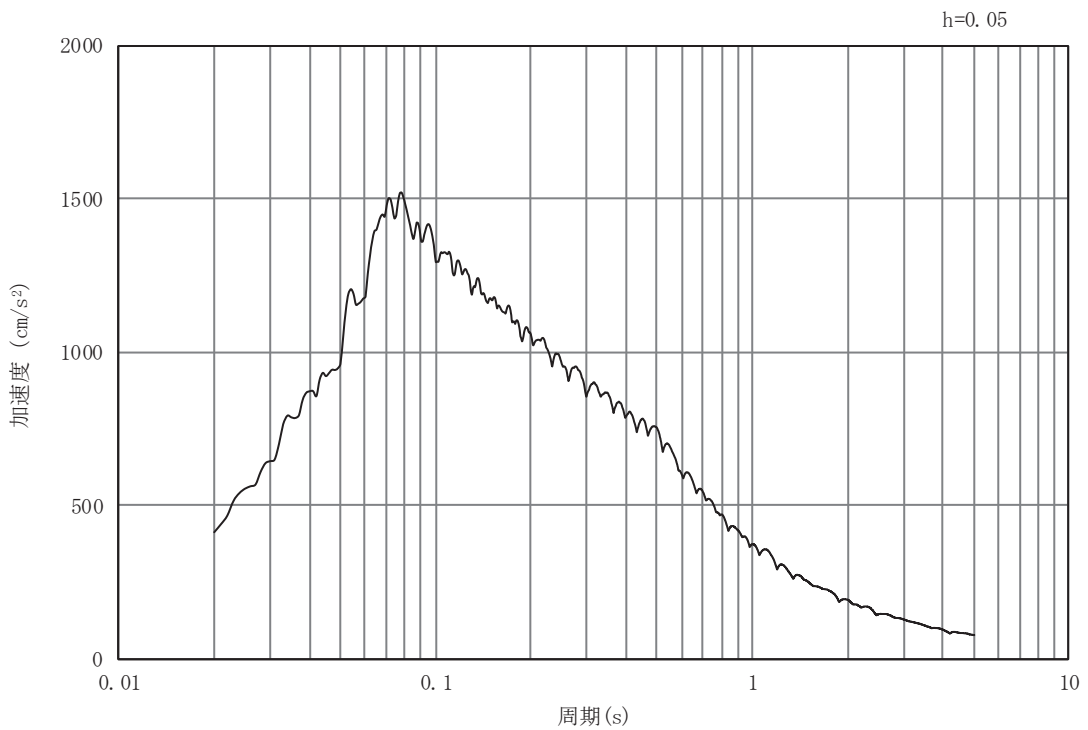


(b) 加速度応答スペクトル

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

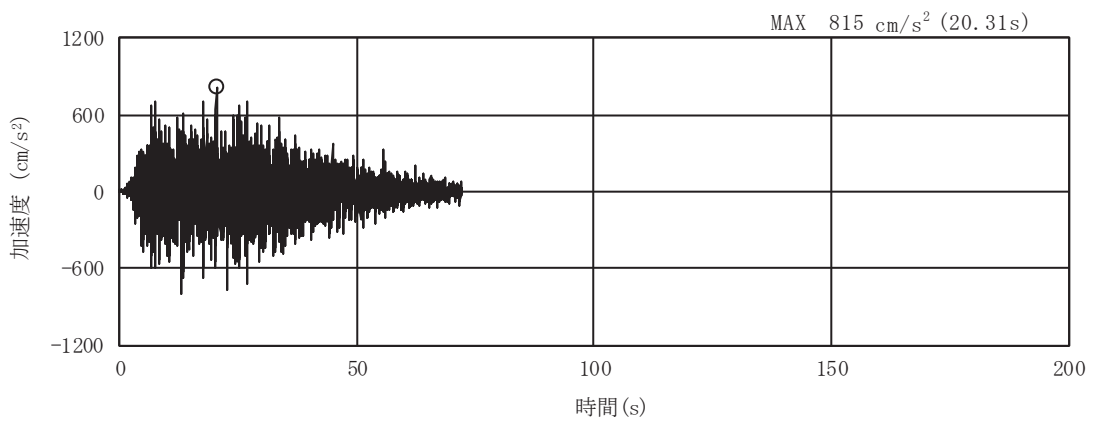


(a) 加速度時刻歴波形

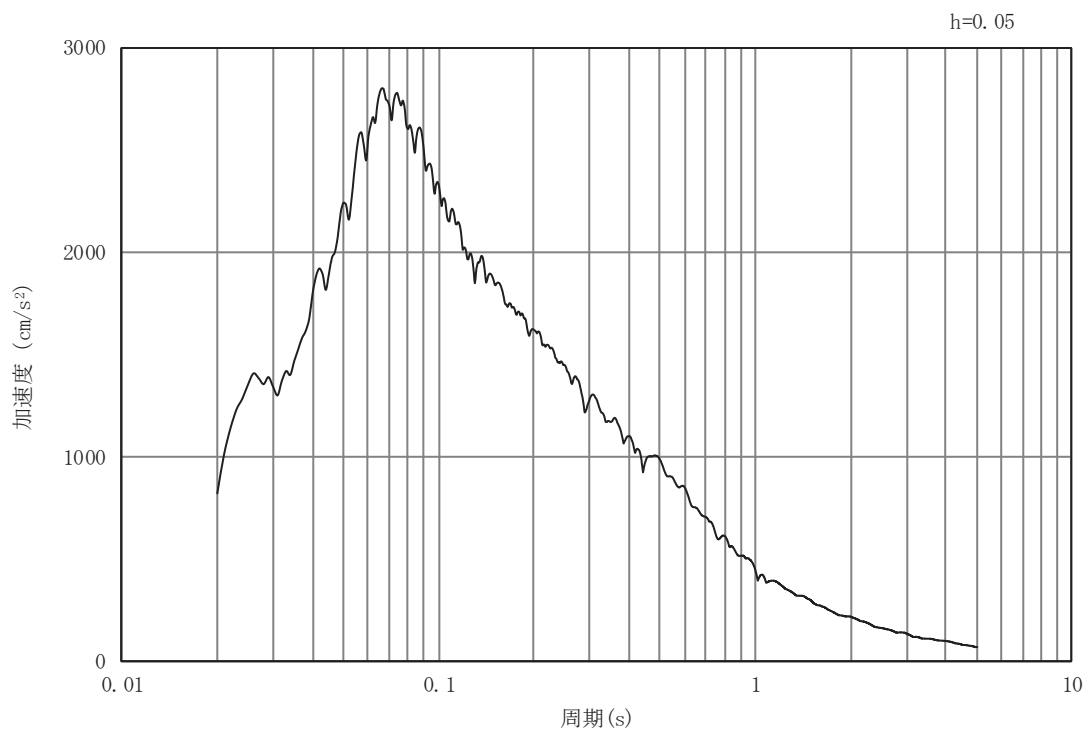


(b) 加速度応答スペクトル

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

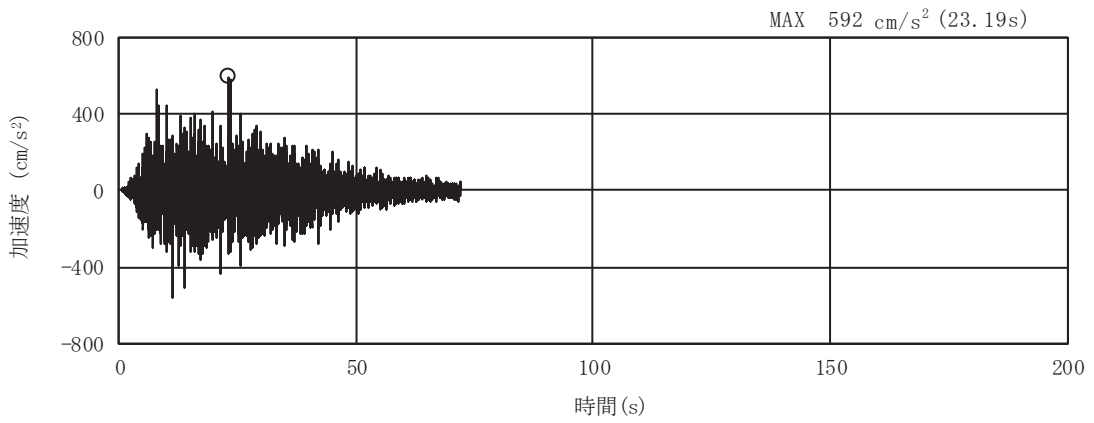


(a) 加速度時刻歴波形

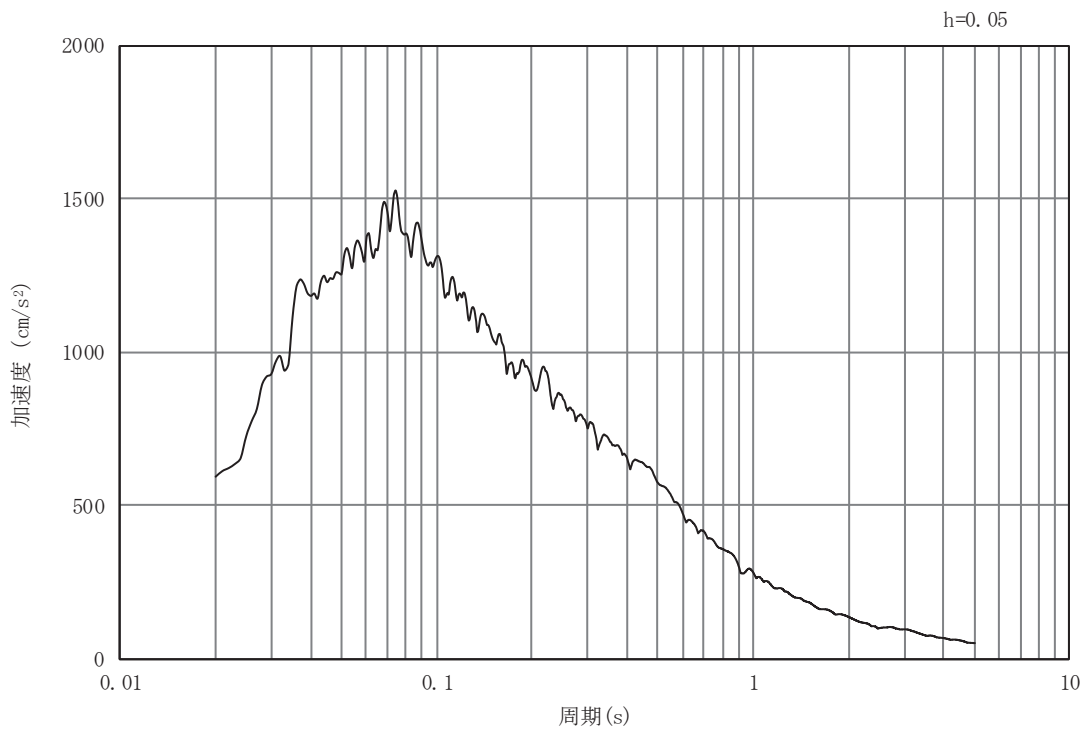


(b) 加速度応答スペクトル

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

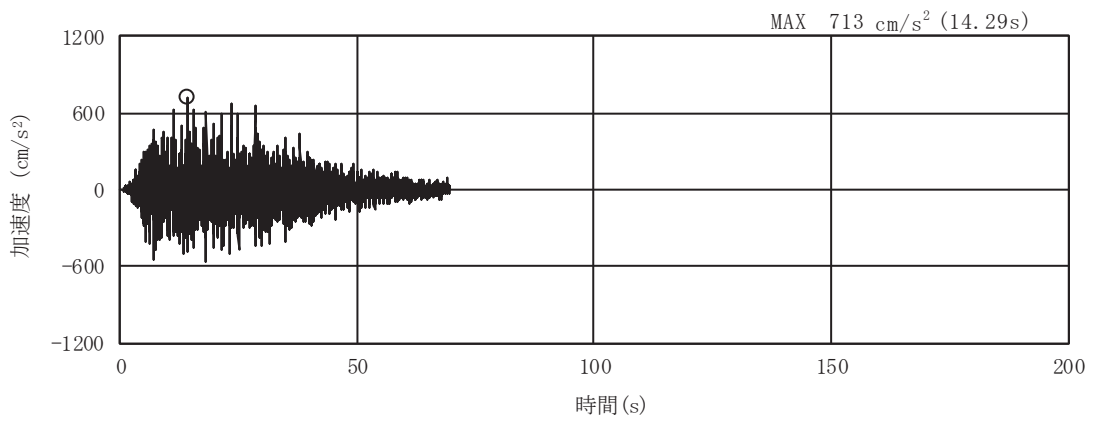


(a) 加速度時刻歴波形

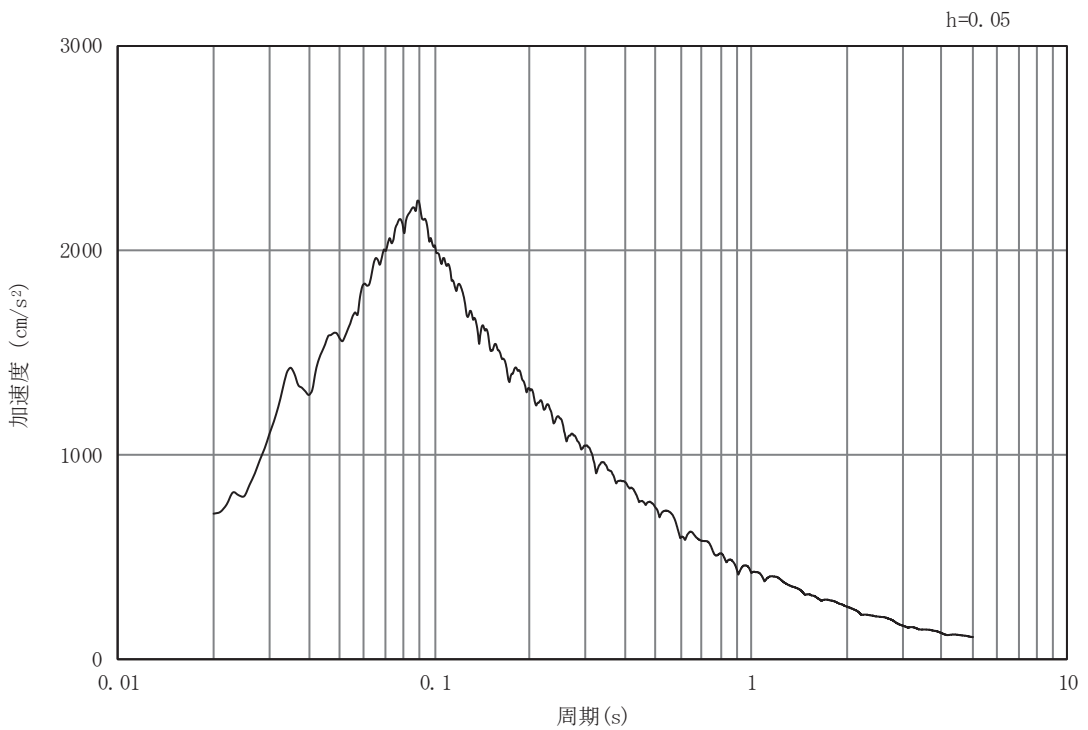


(b) 加速度応答スペクトル

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

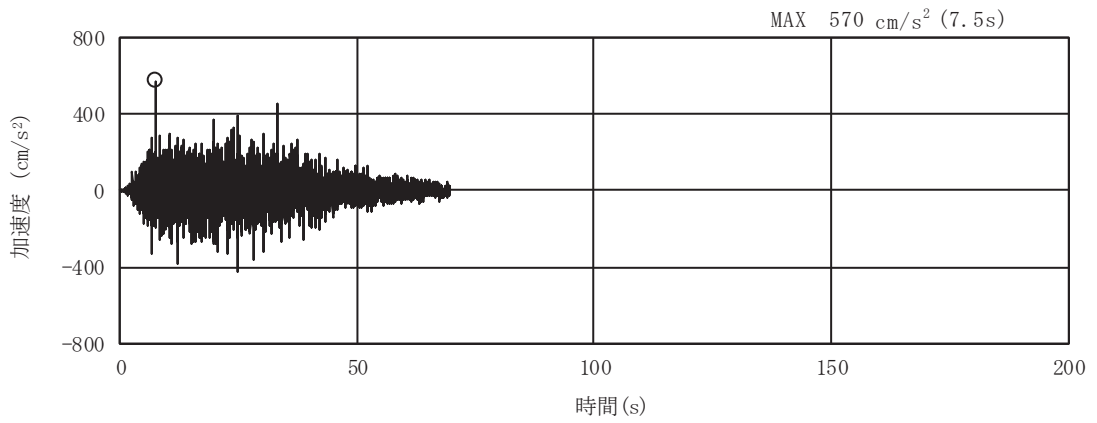


(a) 加速度時刻歴波形

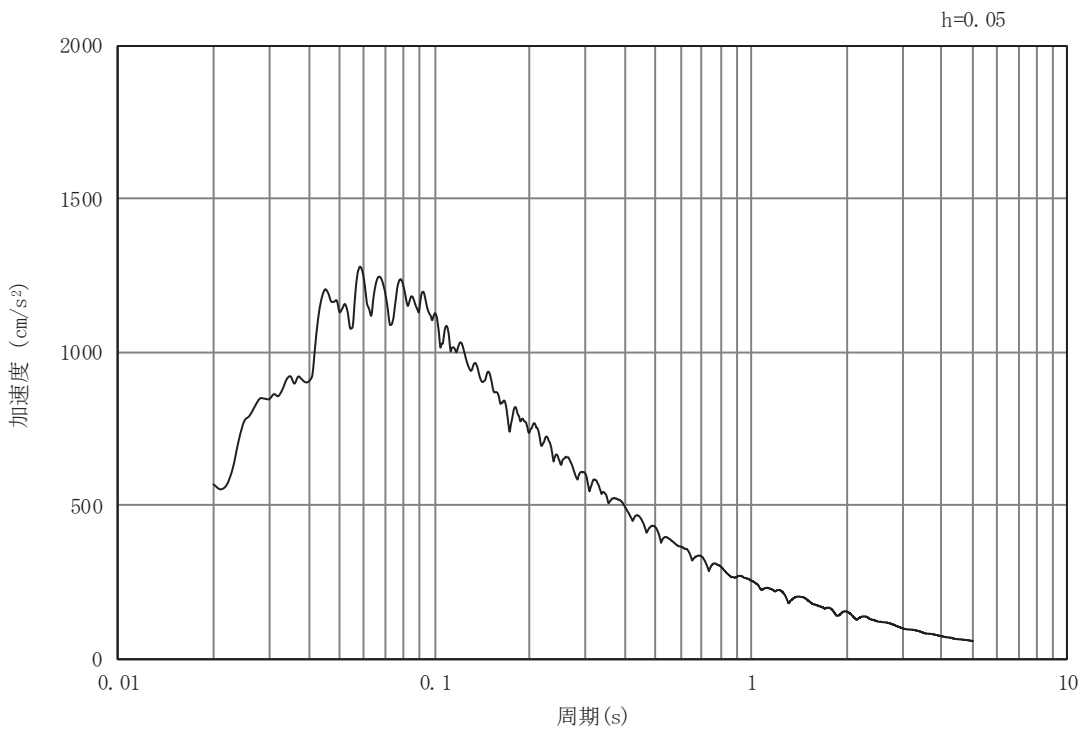


(b) 加速度応答スペクトル

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

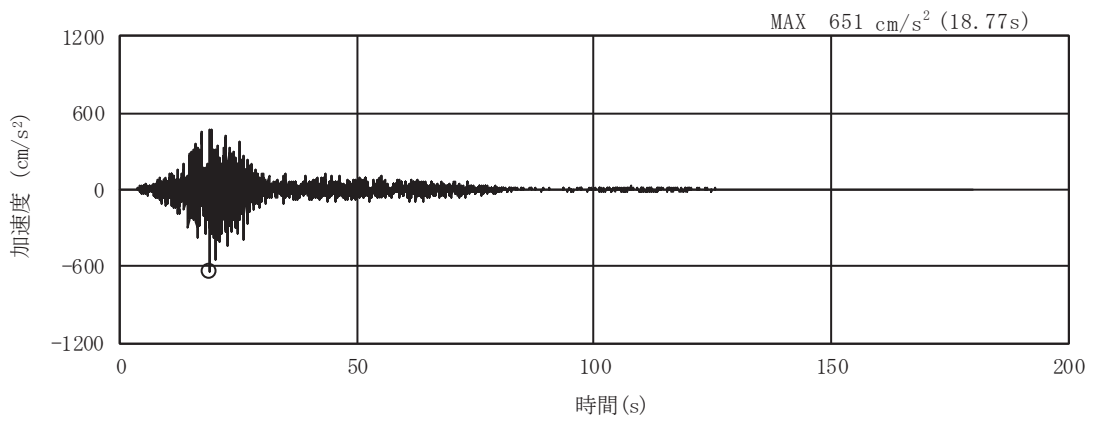


(a) 加速度時刻歴波形

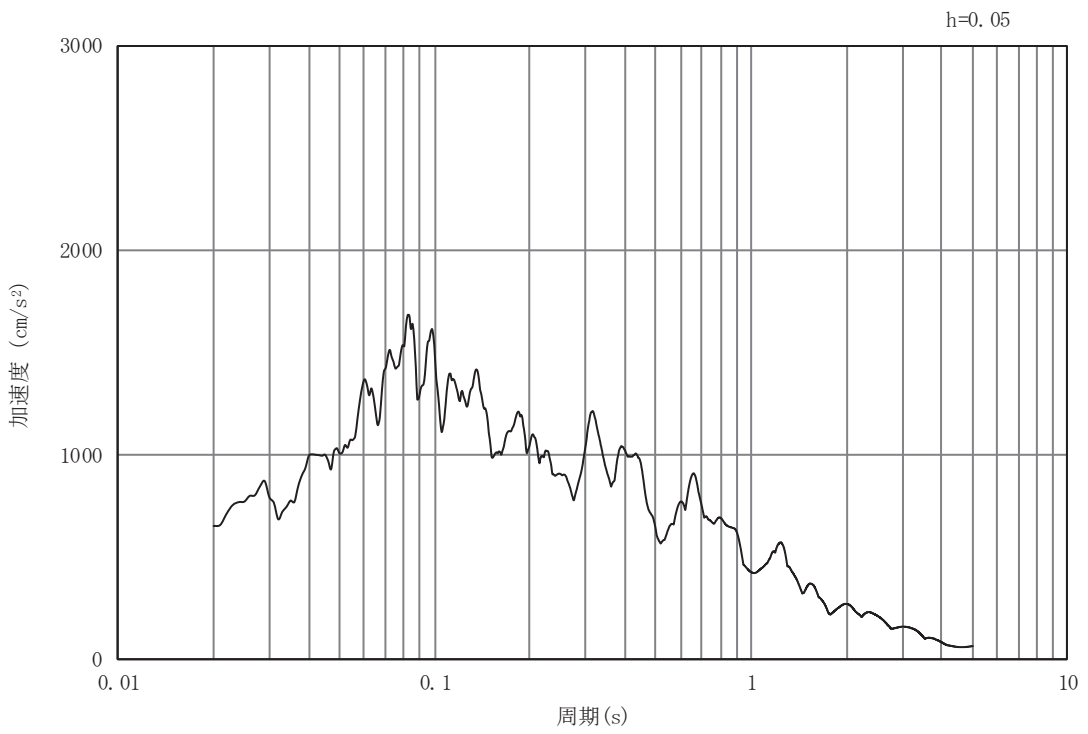


(b) 加速度応答スペクトル

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

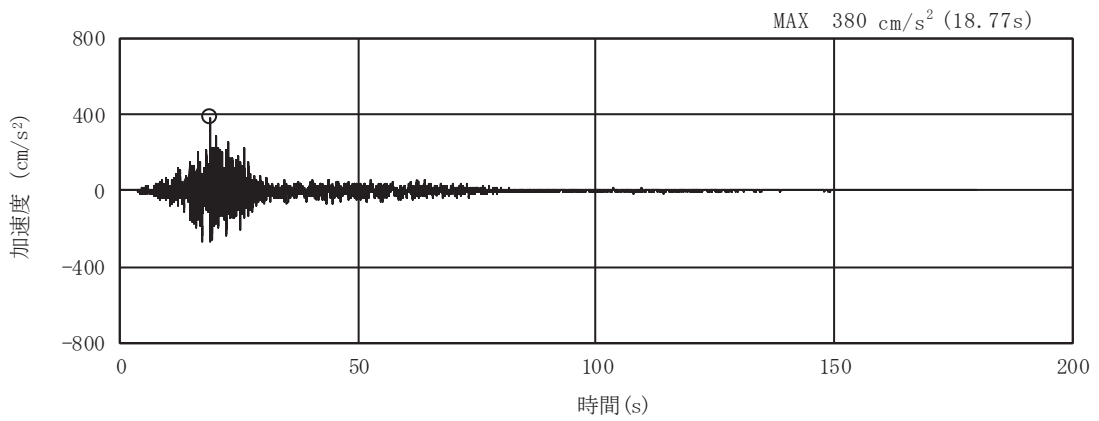


(a) 加速度時刻歴波形

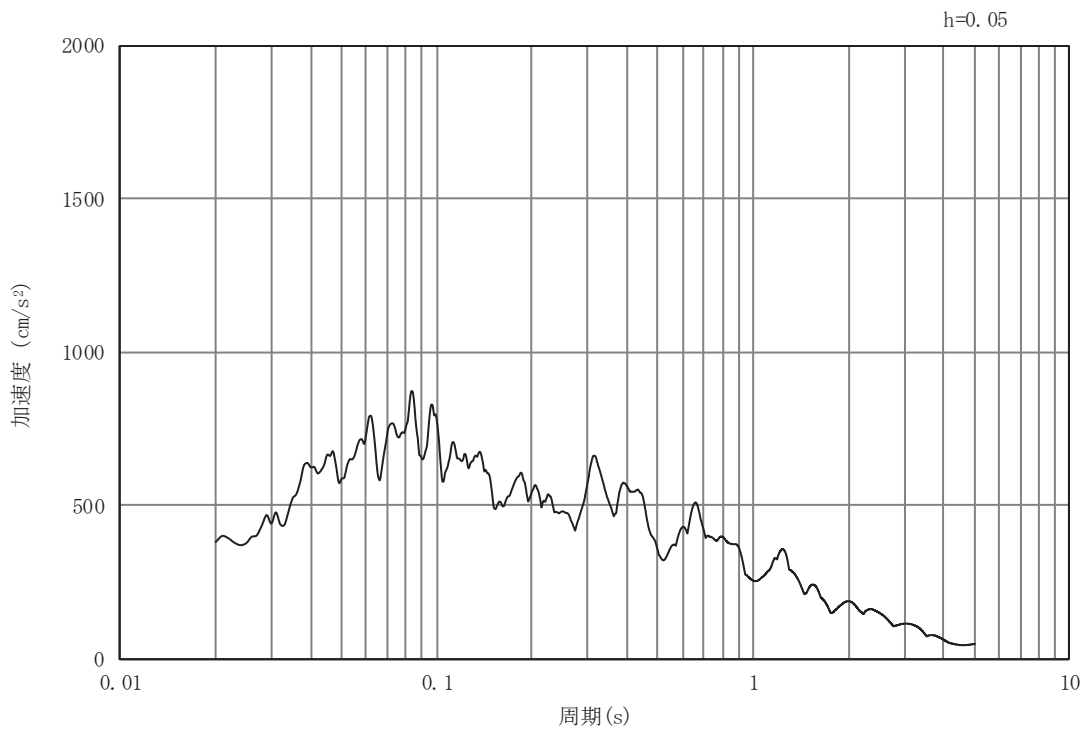


(b) 加速度応答スペクトル

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



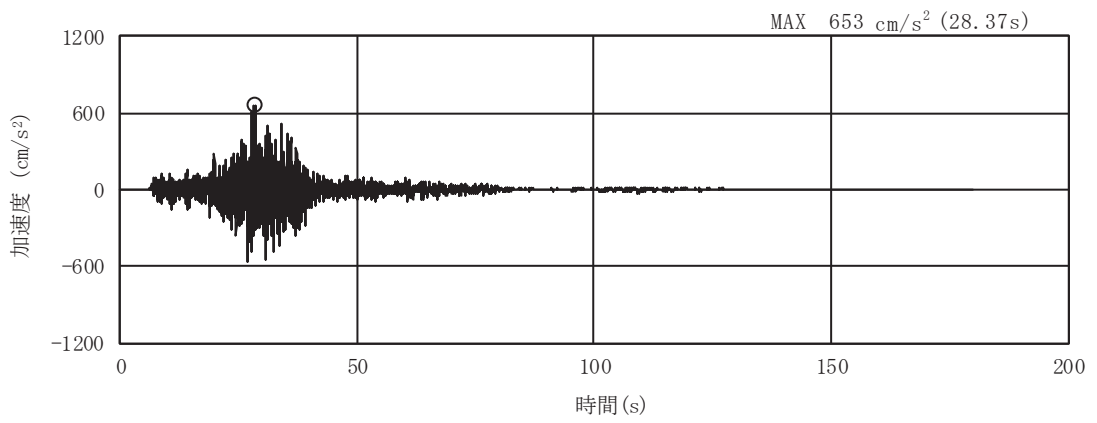
(a) 加速度時刻歴波形



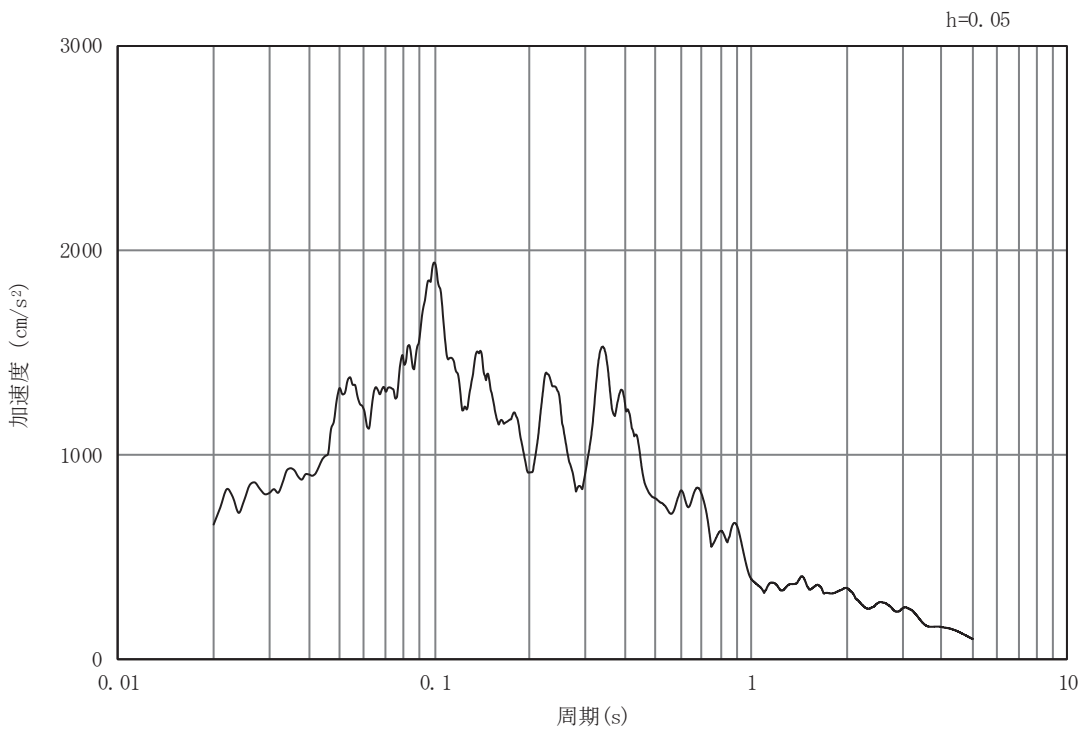
(b) 加速度応答スペクトル

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



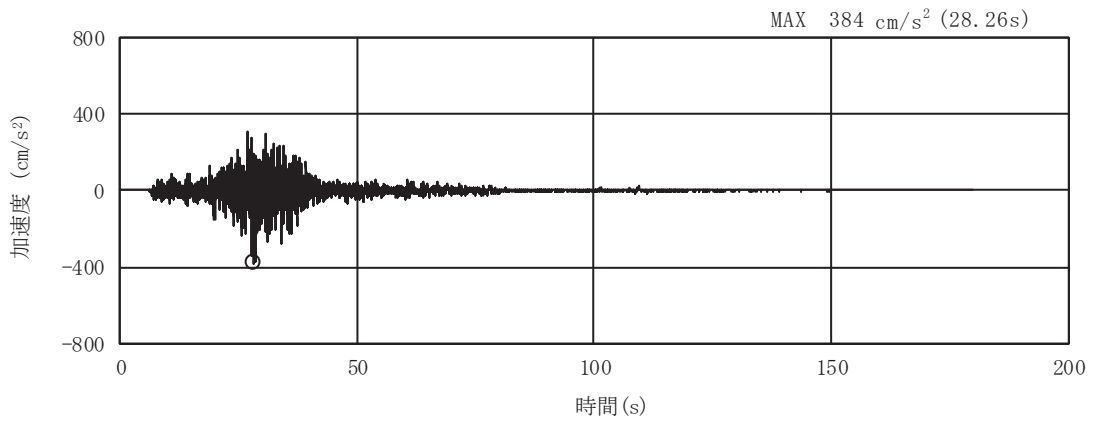


(a) 加速度時刻歴波形

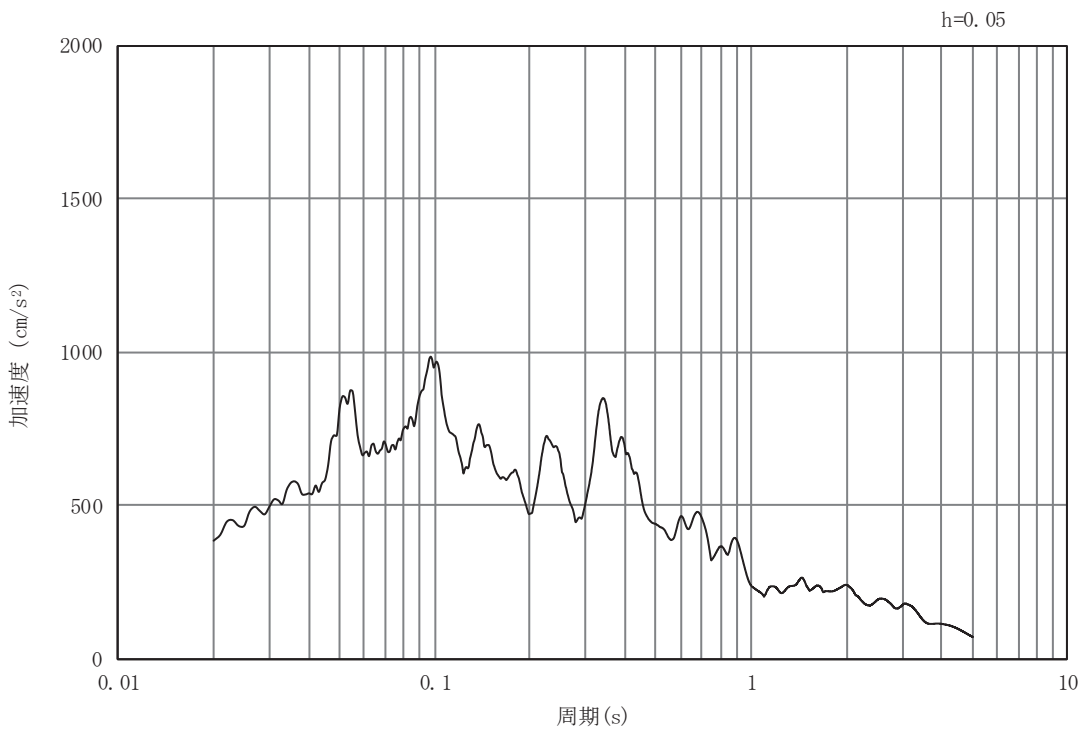


(b) 加速度応答スペクトル

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

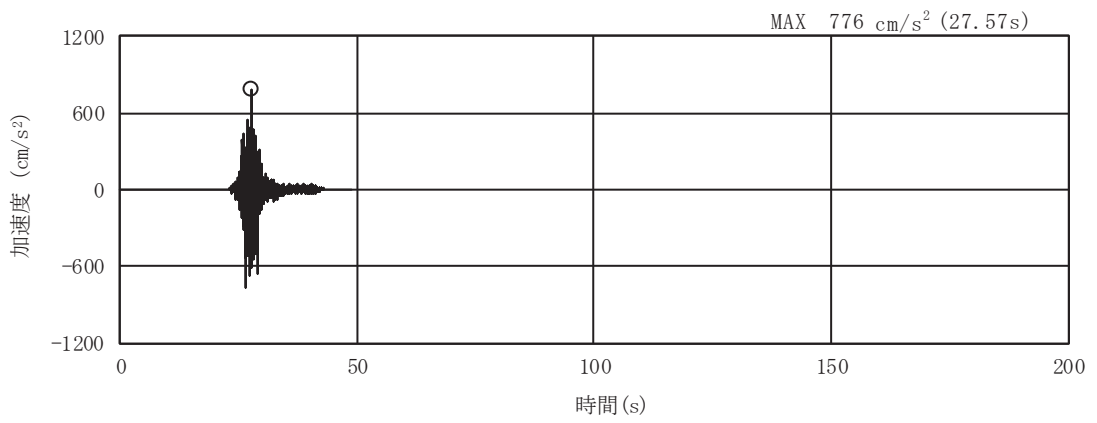


(a) 加速度時刻歴波形

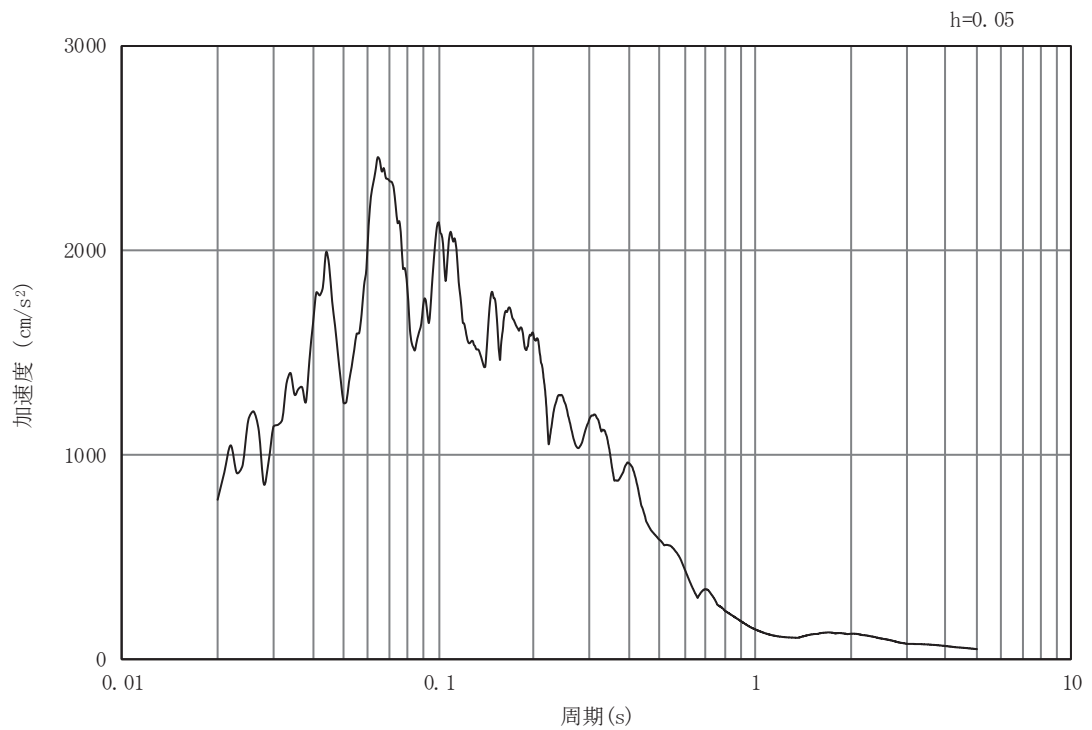


(b) 加速度応答スペクトル

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

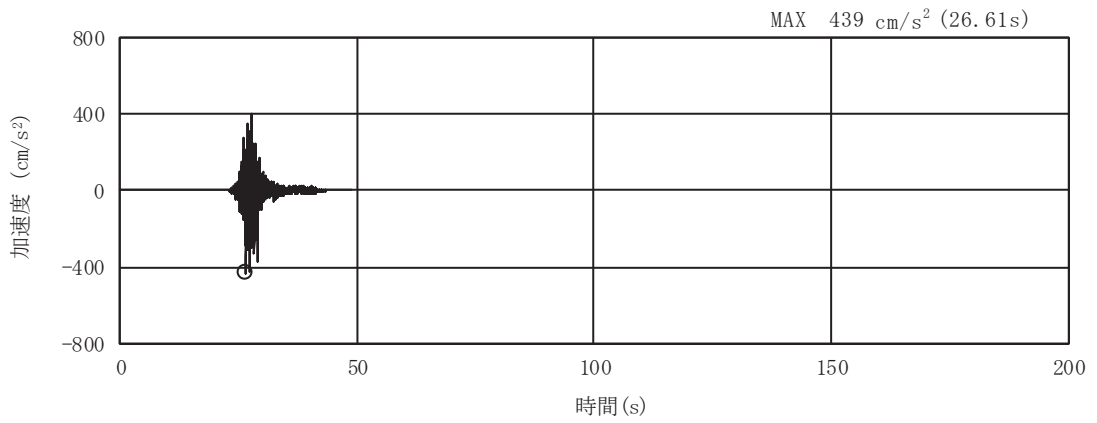


(a) 加速度時刻歴波形

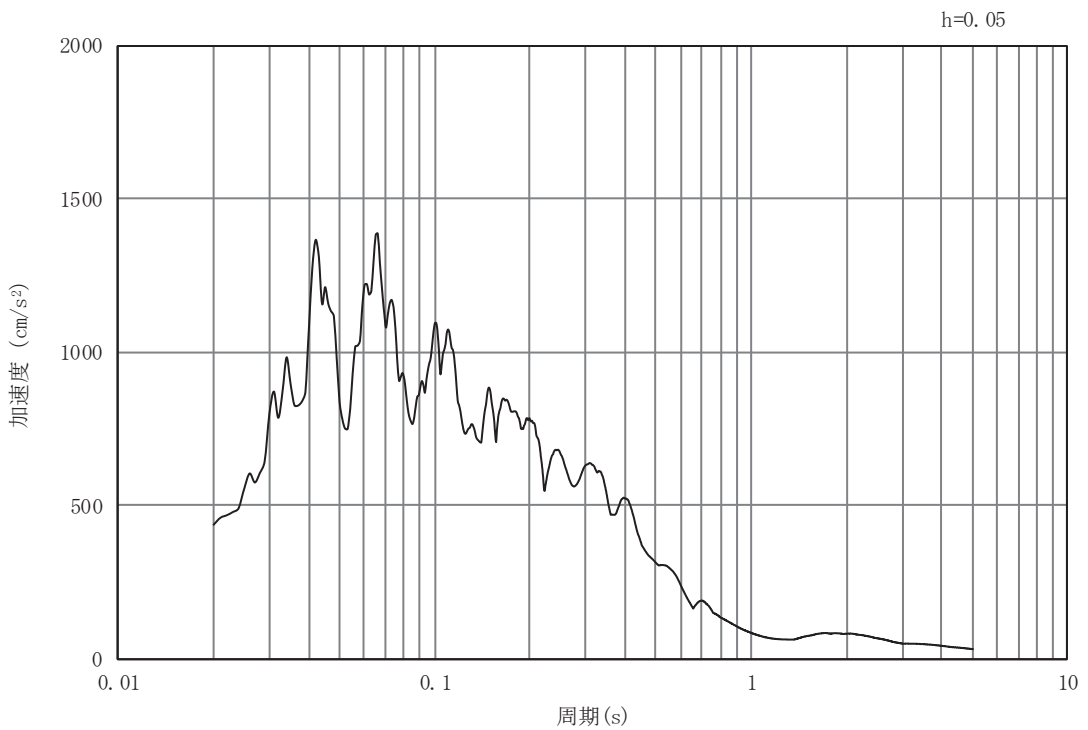


(b) 加速度応答スペクトル

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

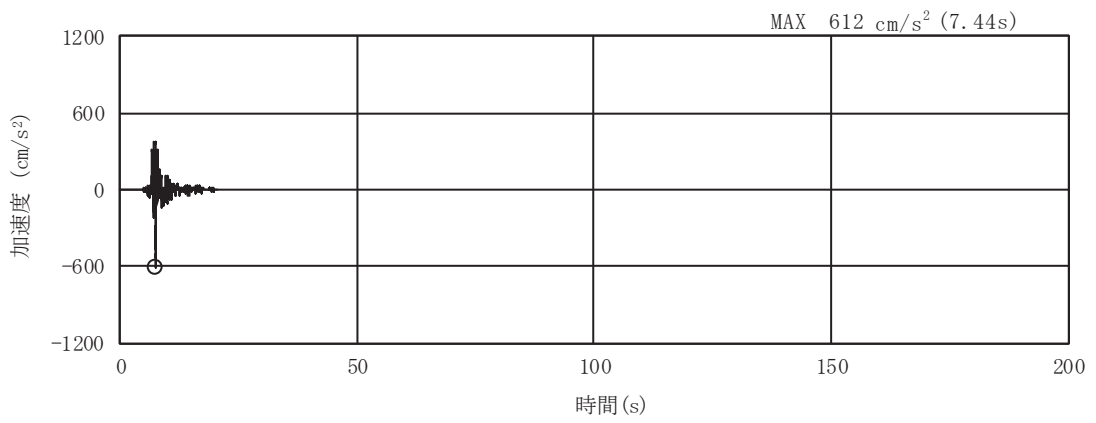


(a) 加速度時刻歴波形

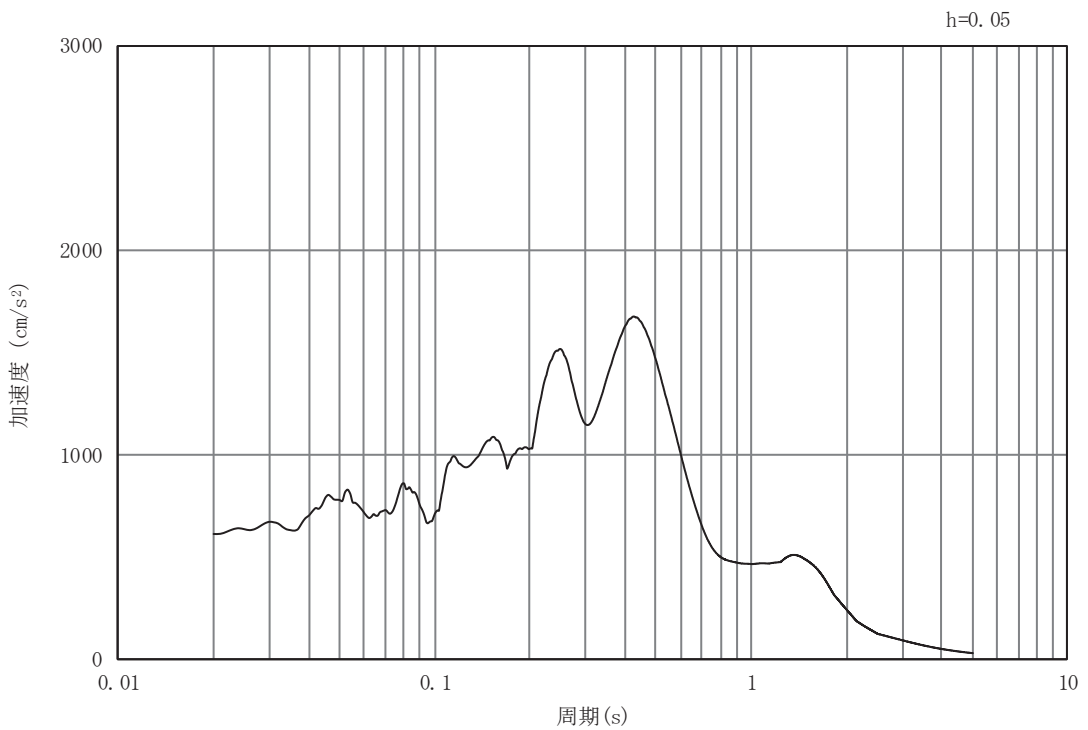


(b) 加速度応答スペクトル

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

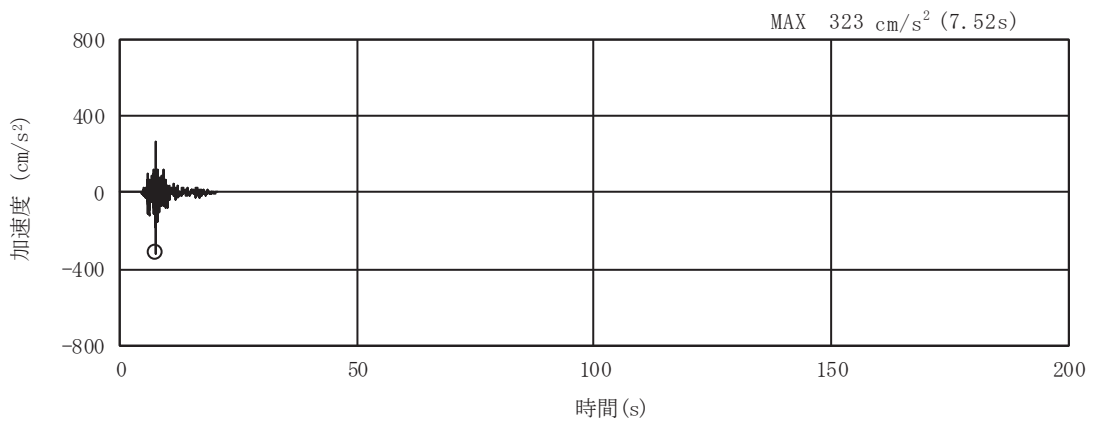


(a) 加速度時刻歴波形

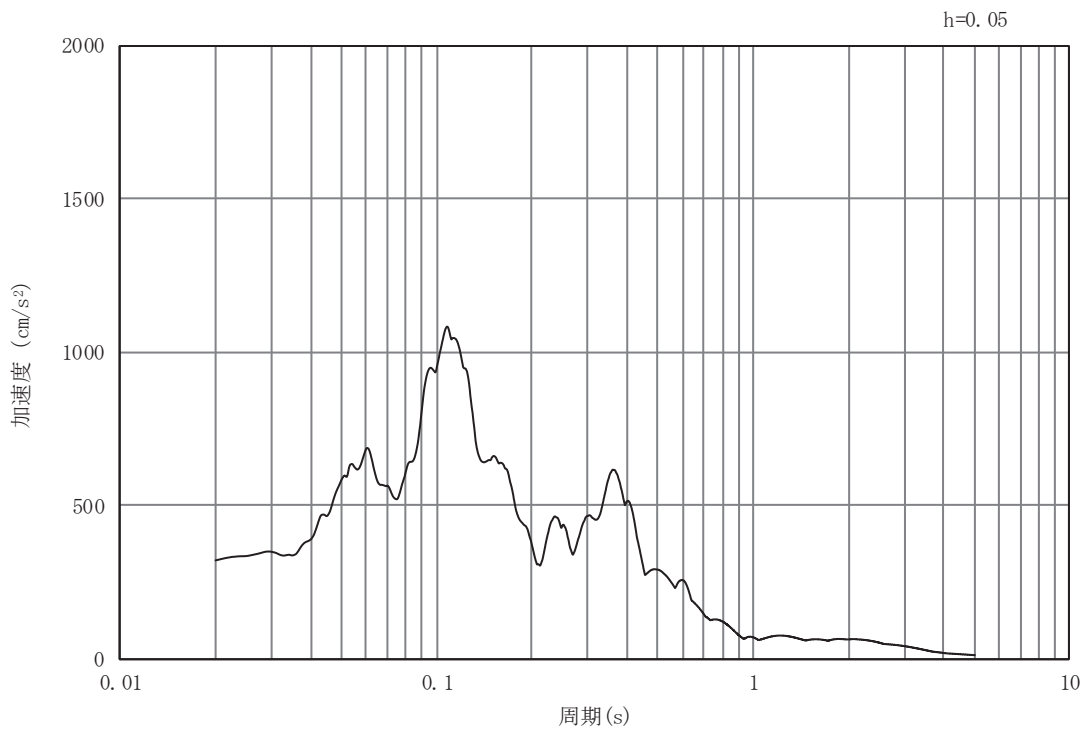


(b) 加速度応答スペクトル

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

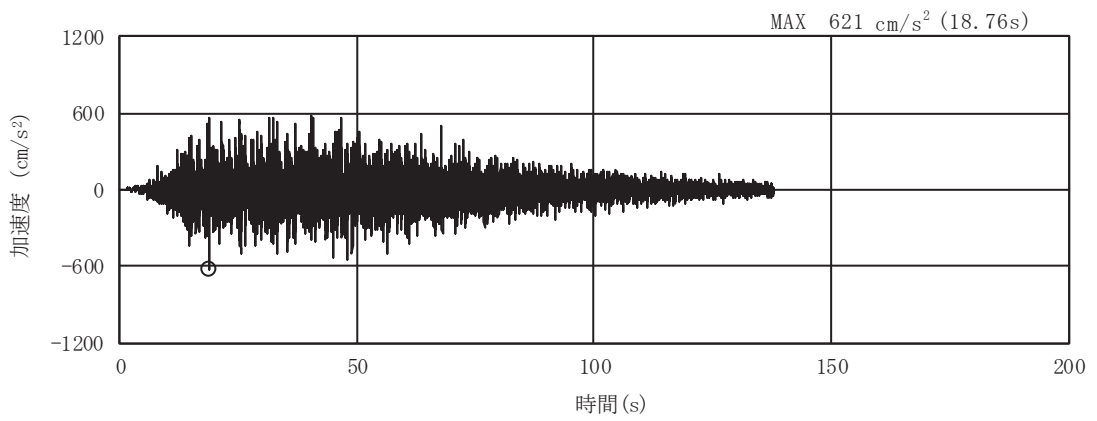


(a) 加速度時刻歴波形

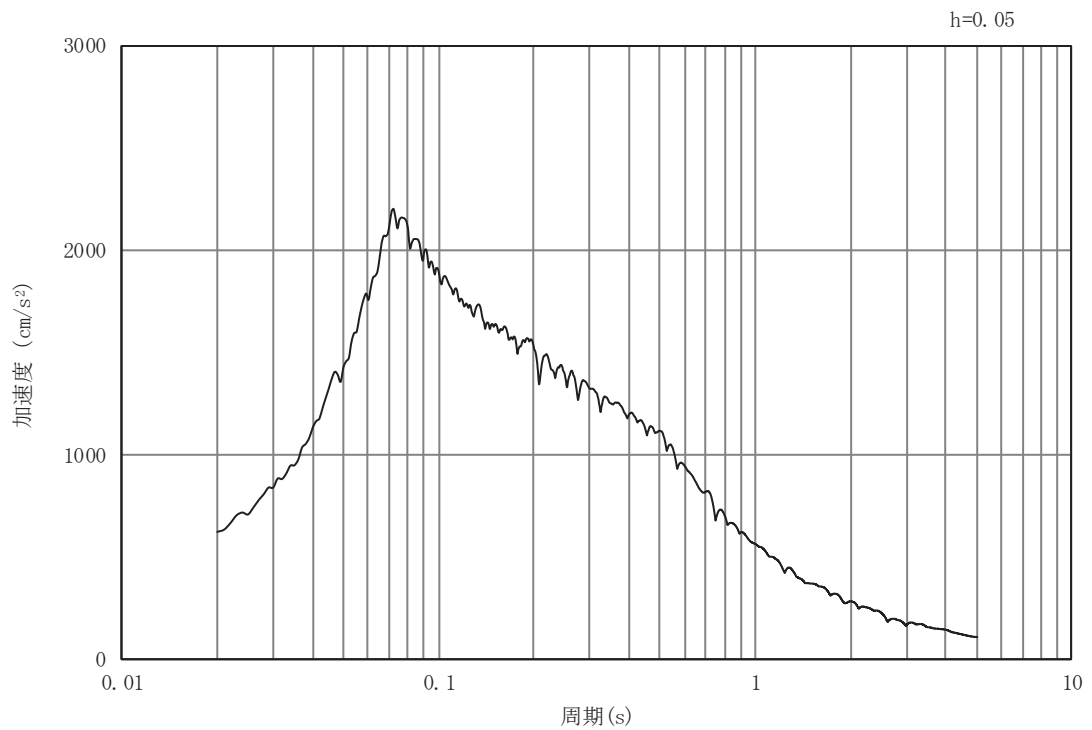


(b) 加速度応答スペクトル

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

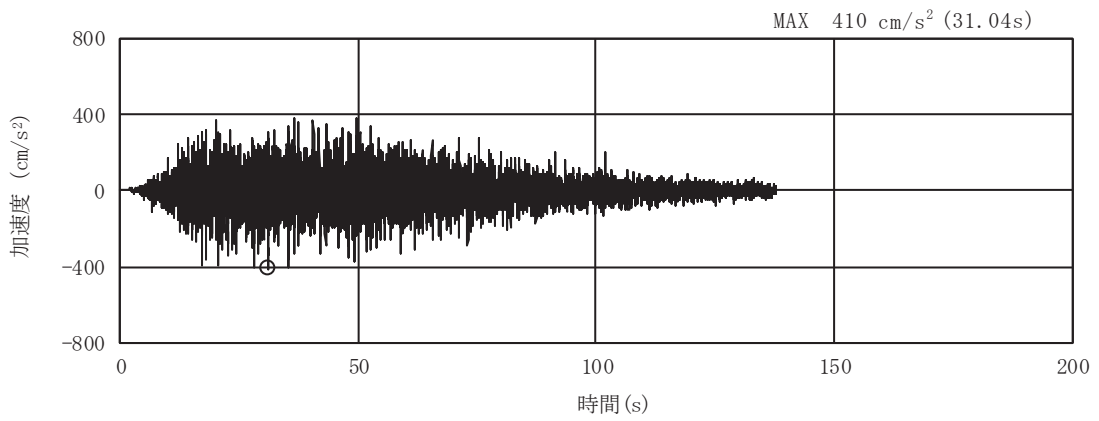


(a) 加速度時刻歴波形

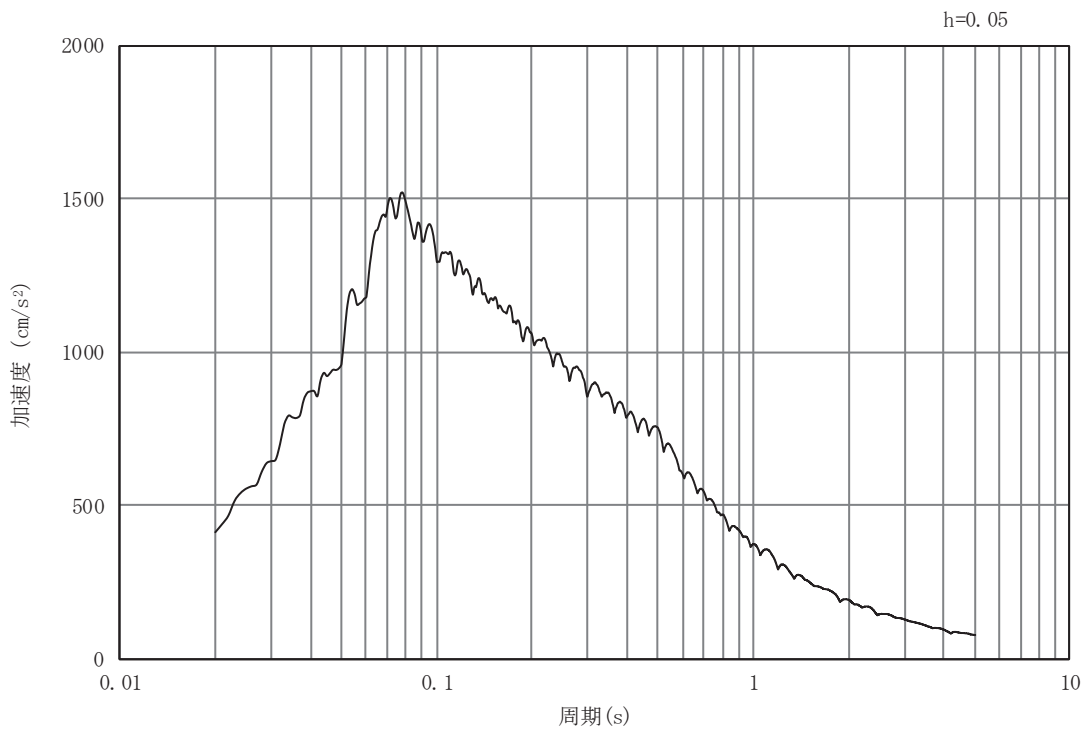


(b) 加速度応答スペクトル

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



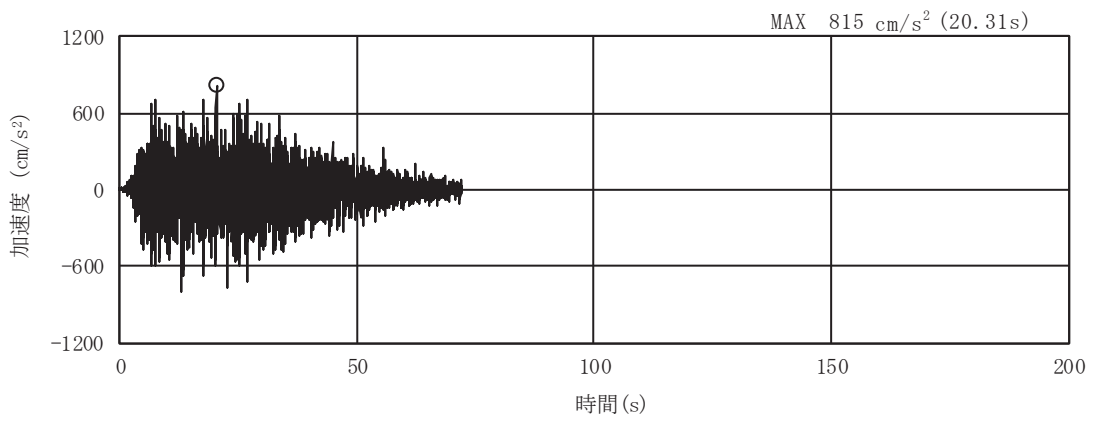
(a) 加速度時刻歴波形



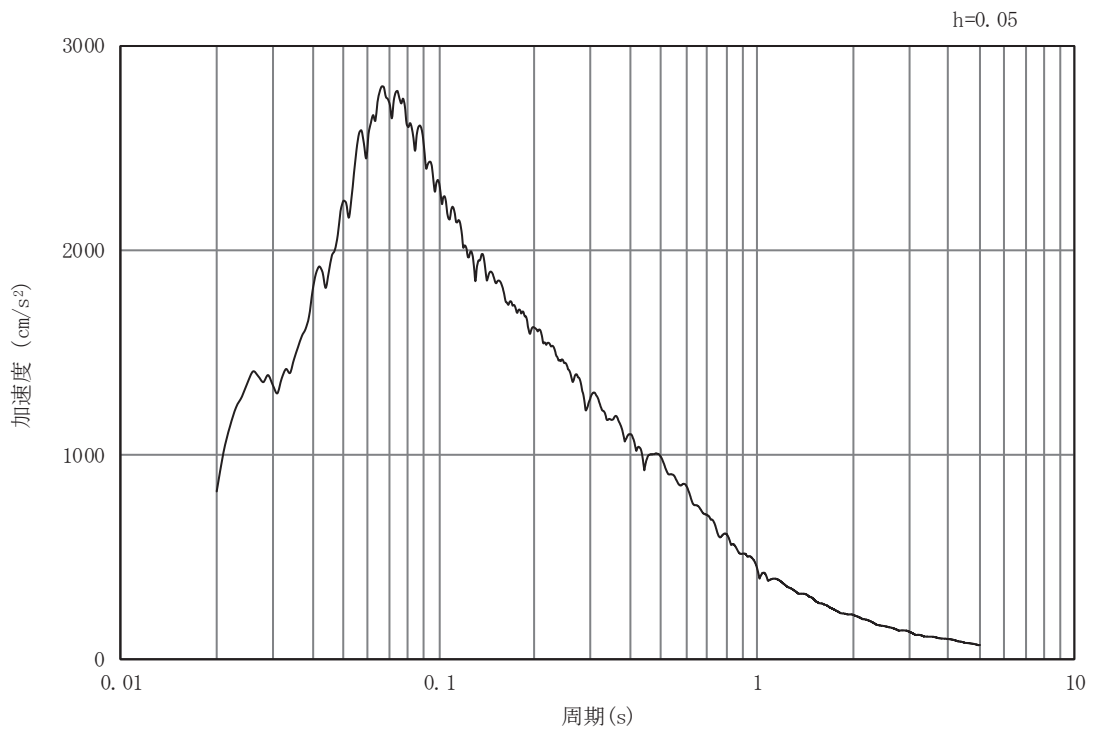
(b) 加速度応答スペクトル

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



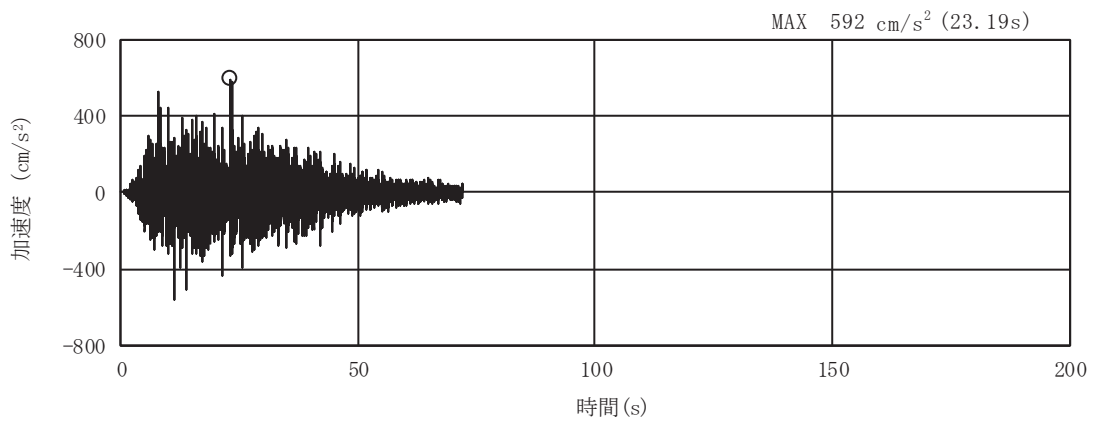


(a) 加速度時刻歴波形

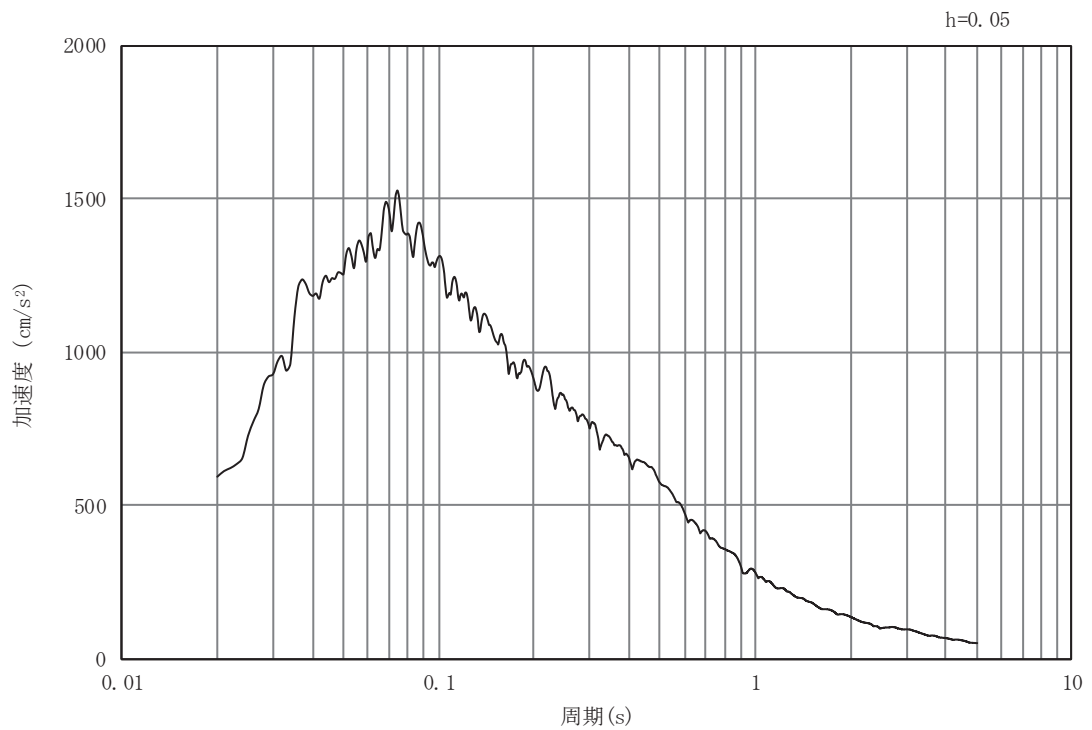


(b) 加速度応答スペクトル

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

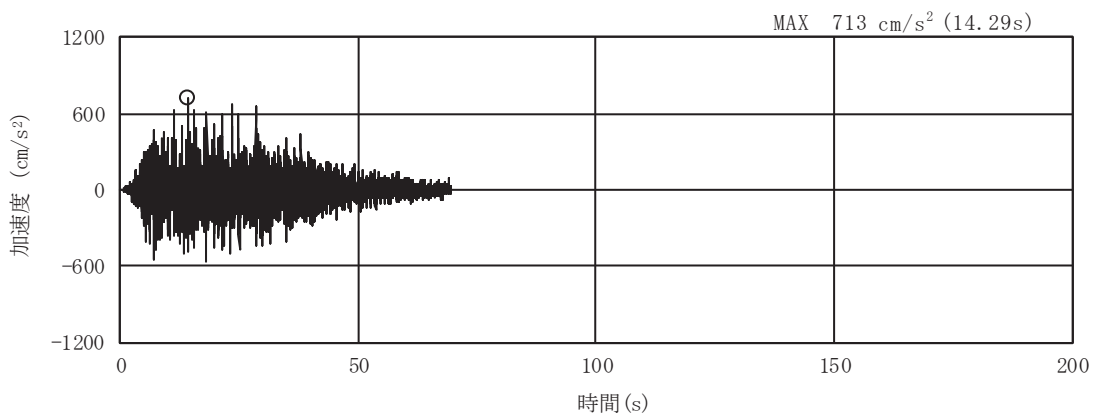


(a) 加速度時刻歴波形

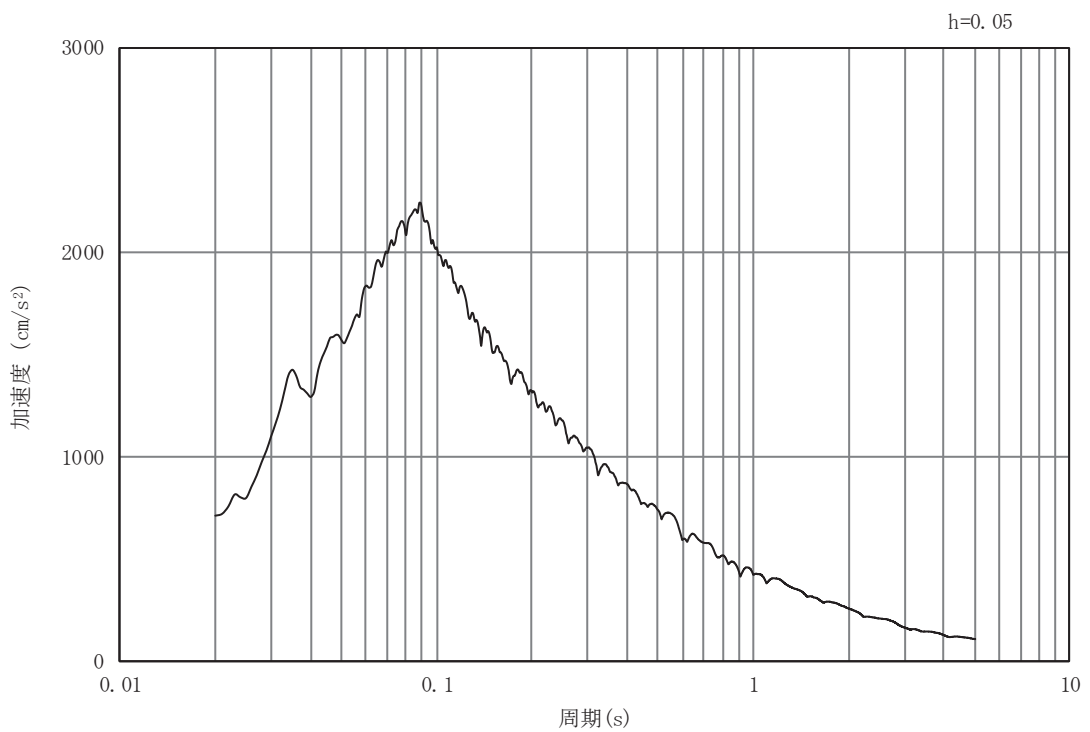


(b) 加速度応答スペクトル

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

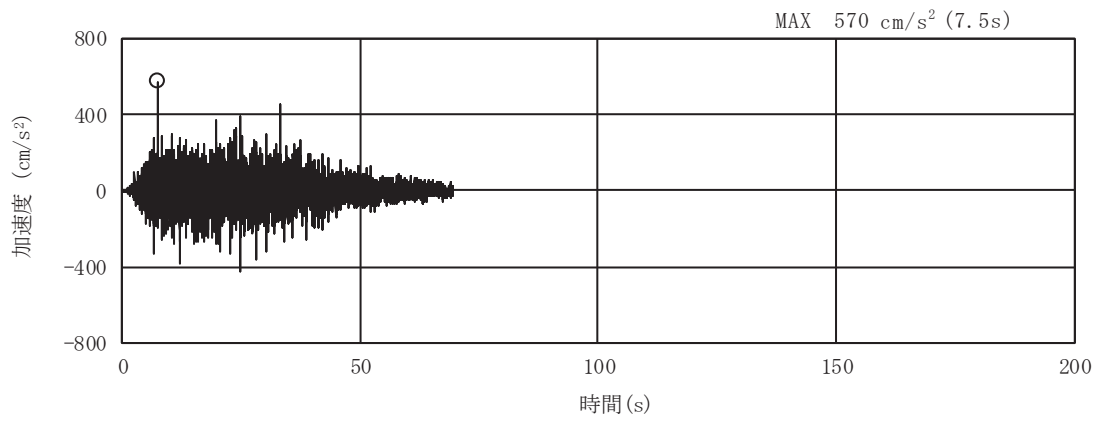


(a) 加速度時刻歴波形

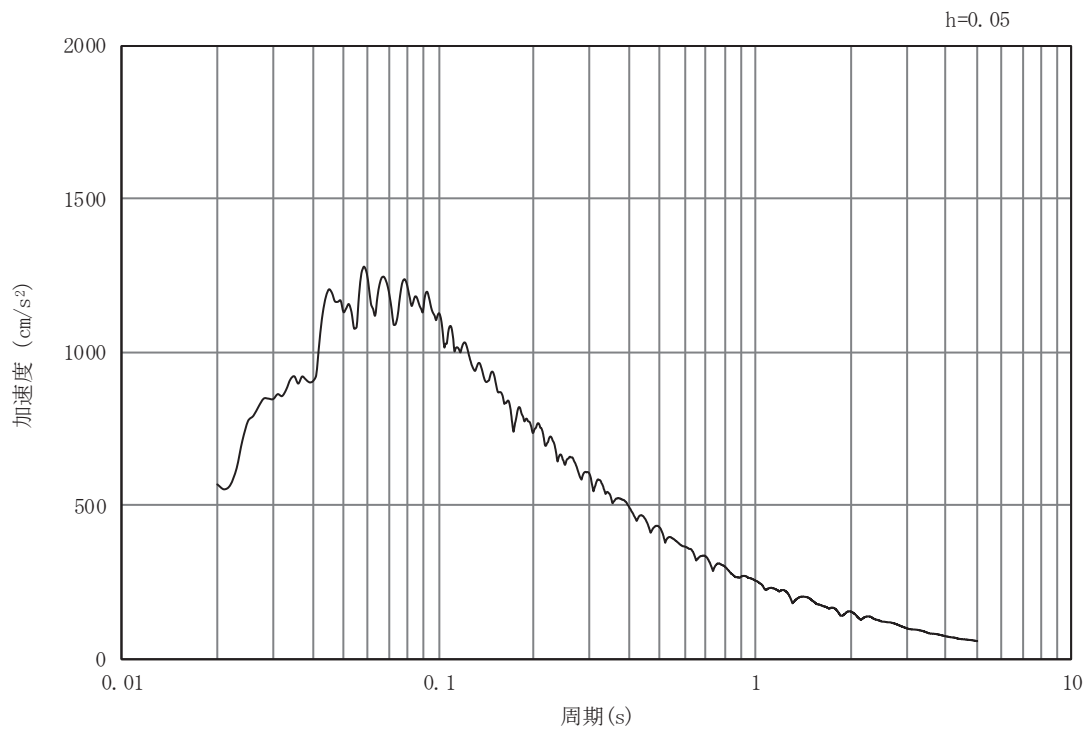


(b) 加速度応答スペクトル

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

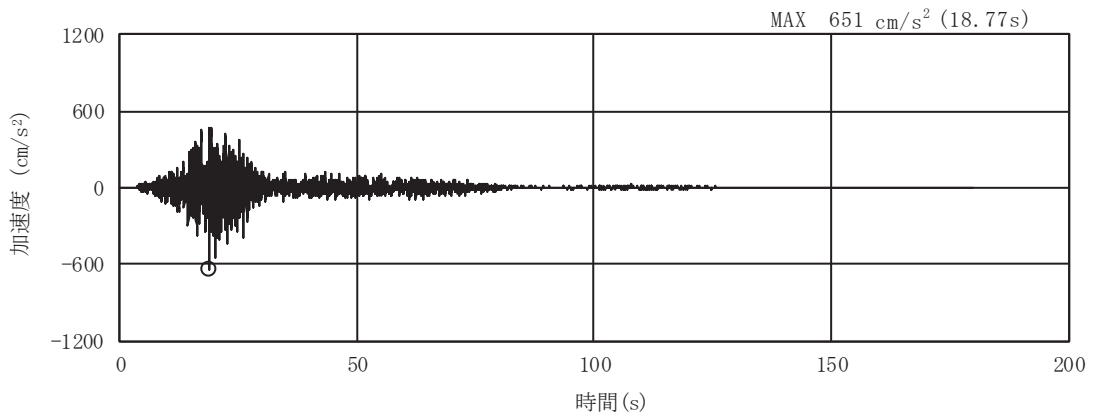


(a) 加速度時刻歴波形

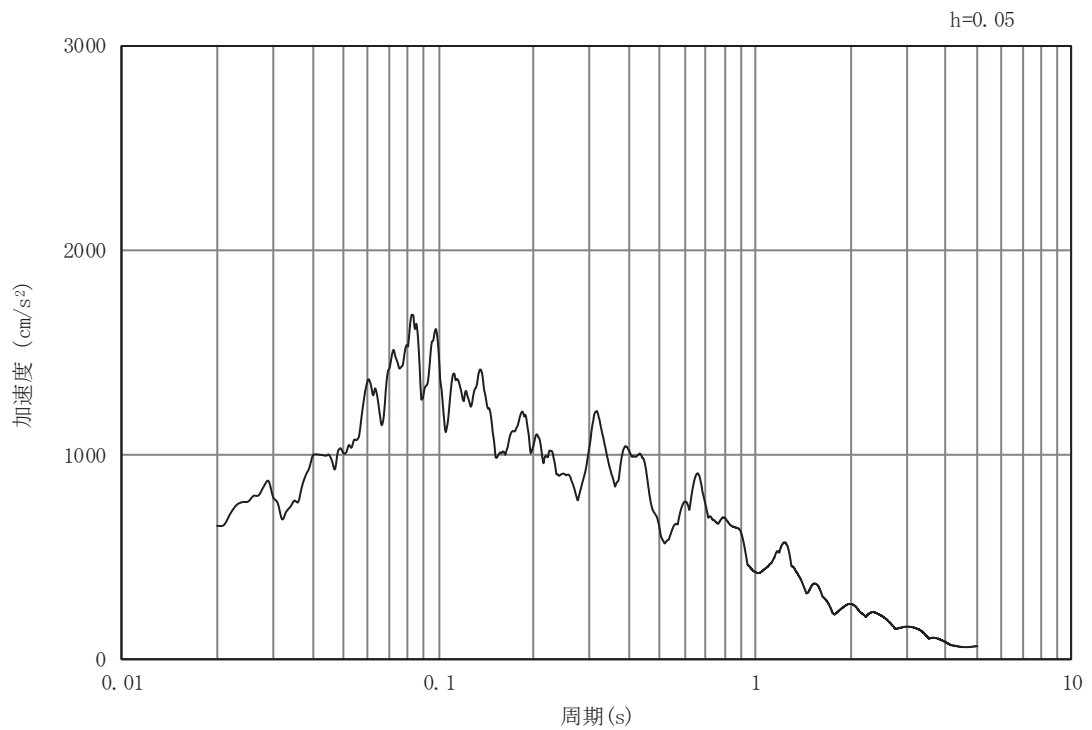


(b) 加速度応答スペクトル

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

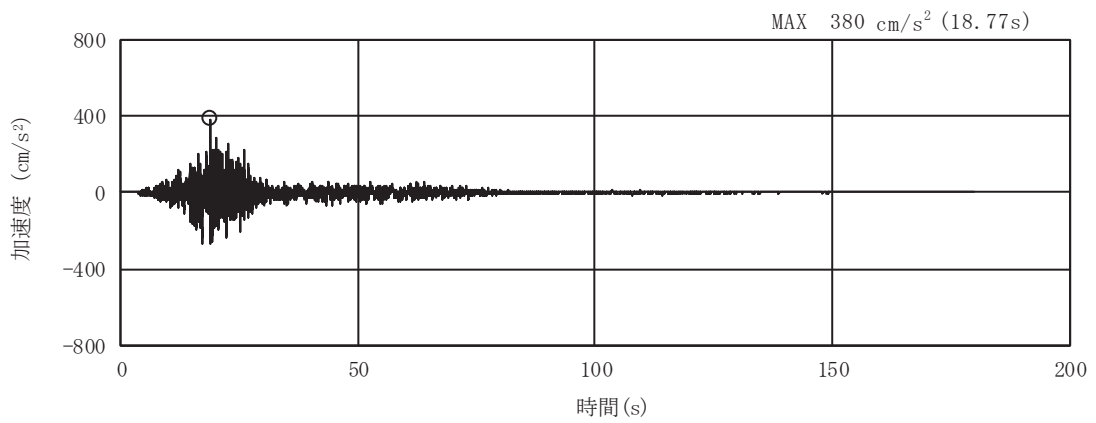


(a) 加速度時刻歴波形

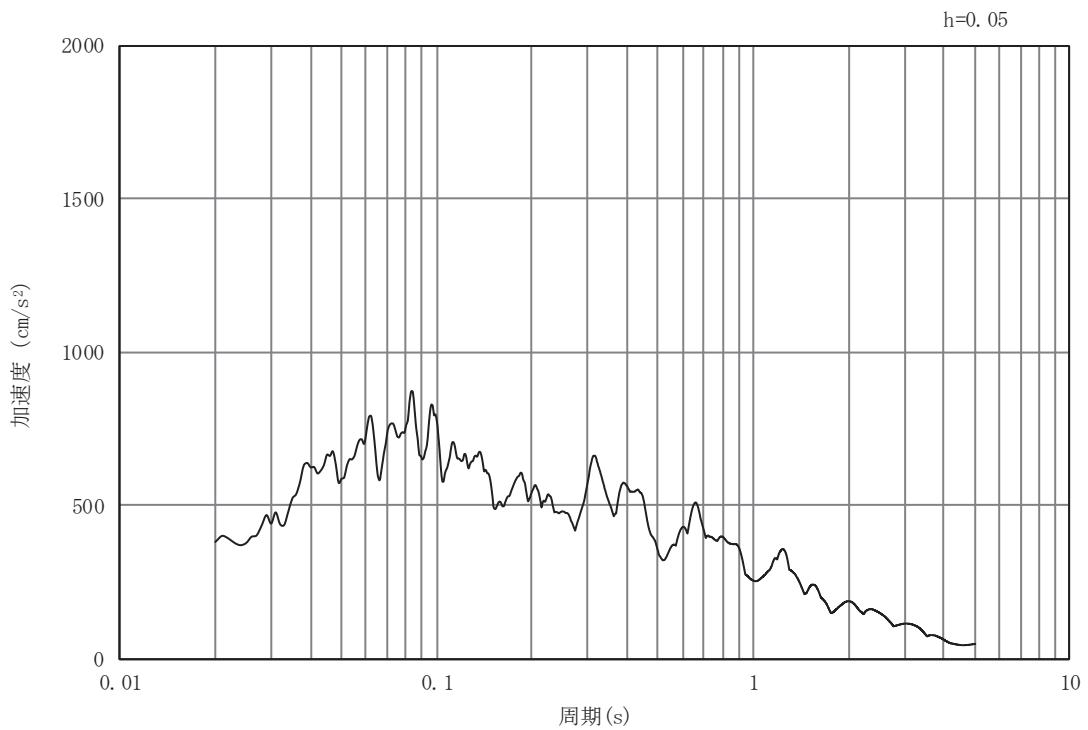


(b) 加速度応答スペクトル

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

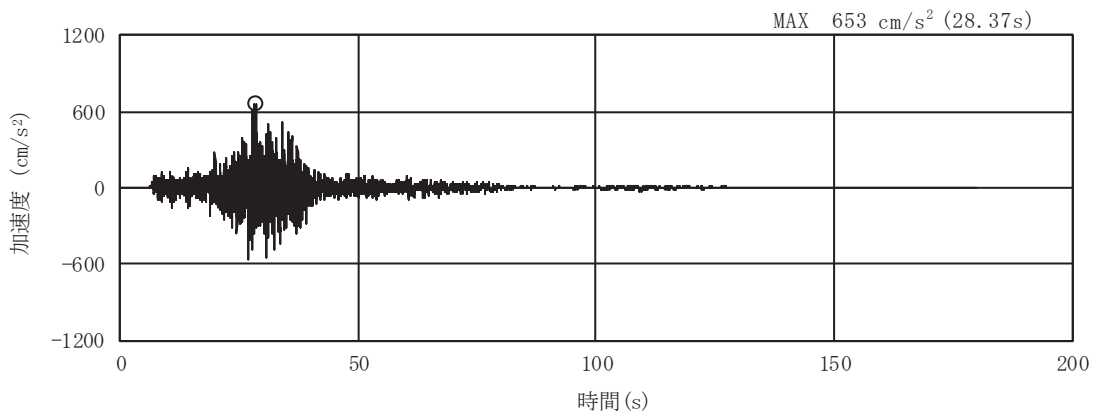


(a) 加速度時刻歴波形

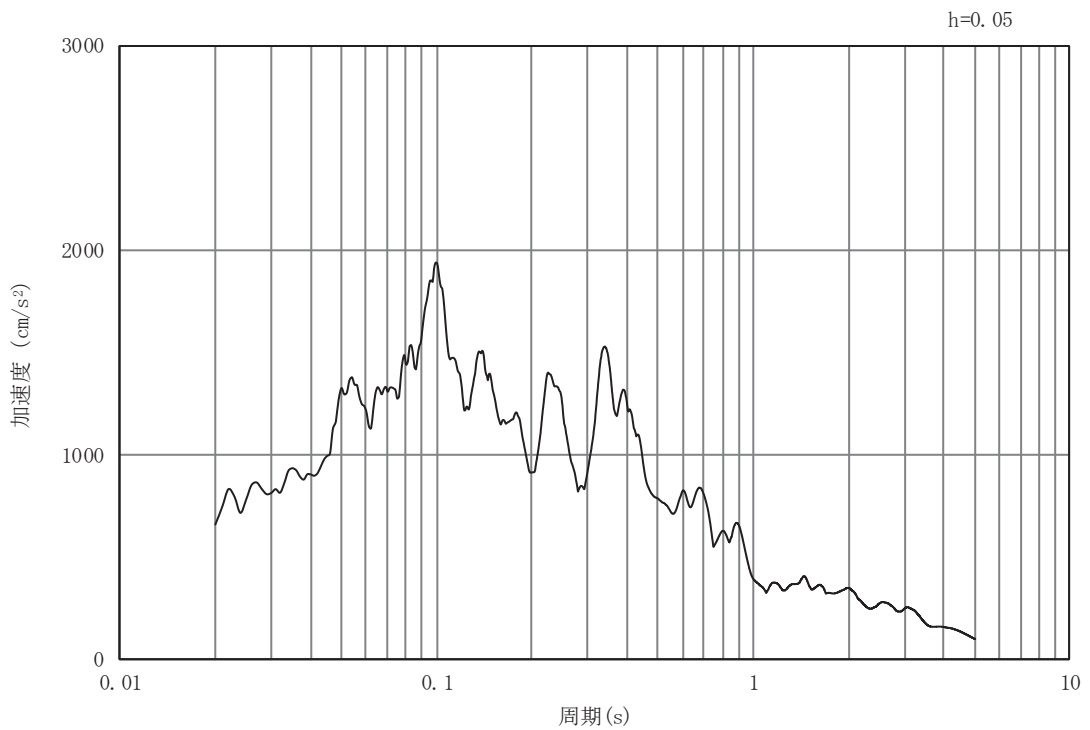


(b) 加速度応答スペクトル

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

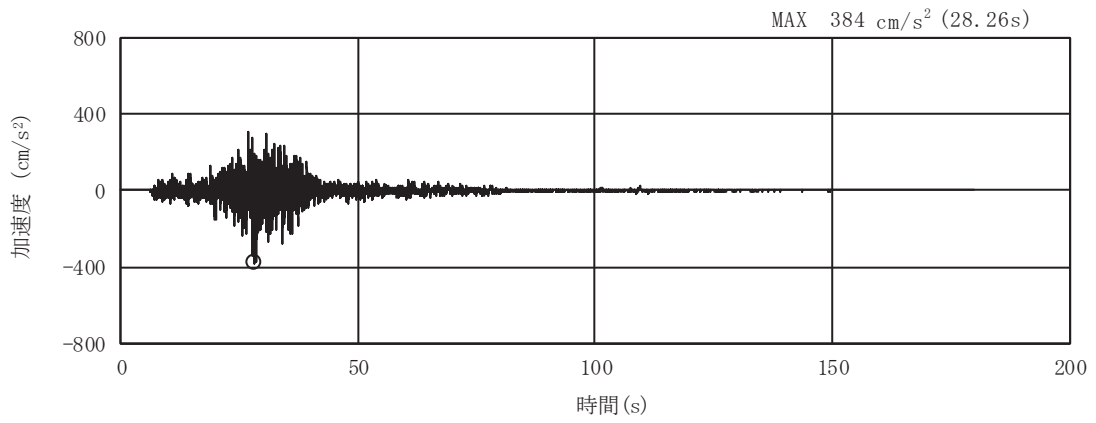


(a) 加速度時刻歴波形

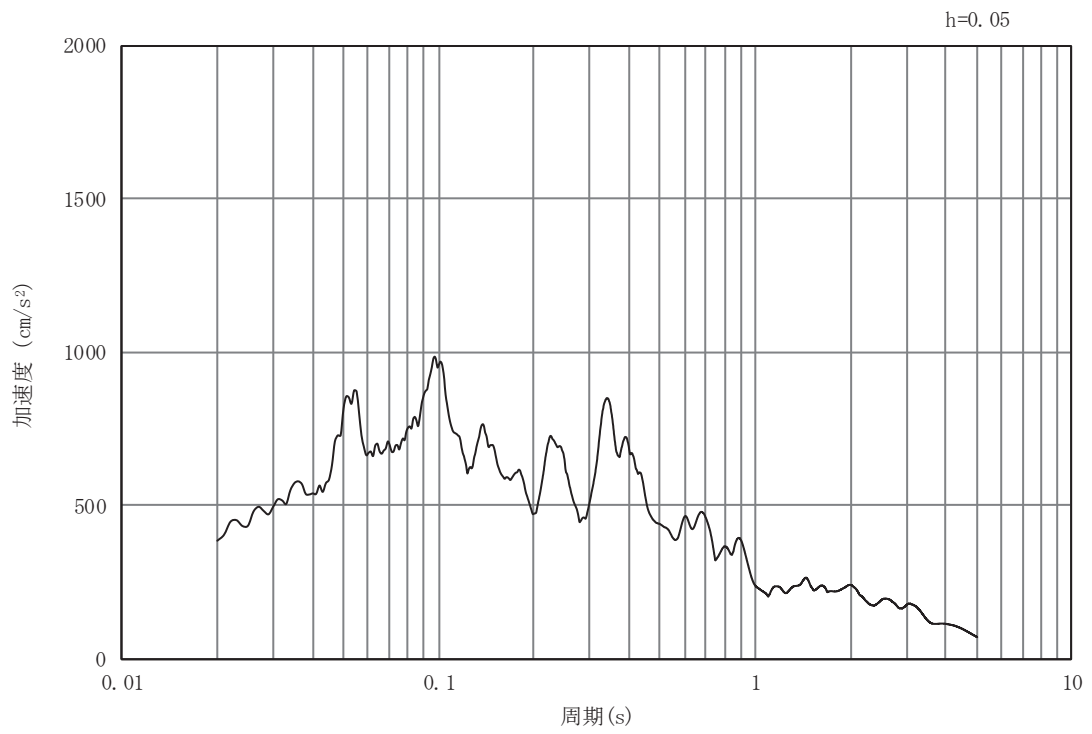


(b) 加速度応答スペクトル

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



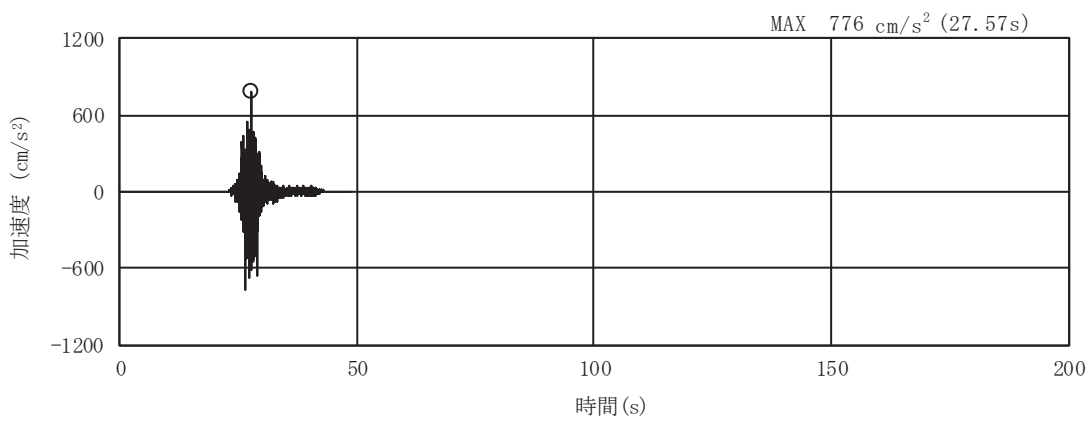
(a) 加速度時刻歴波形



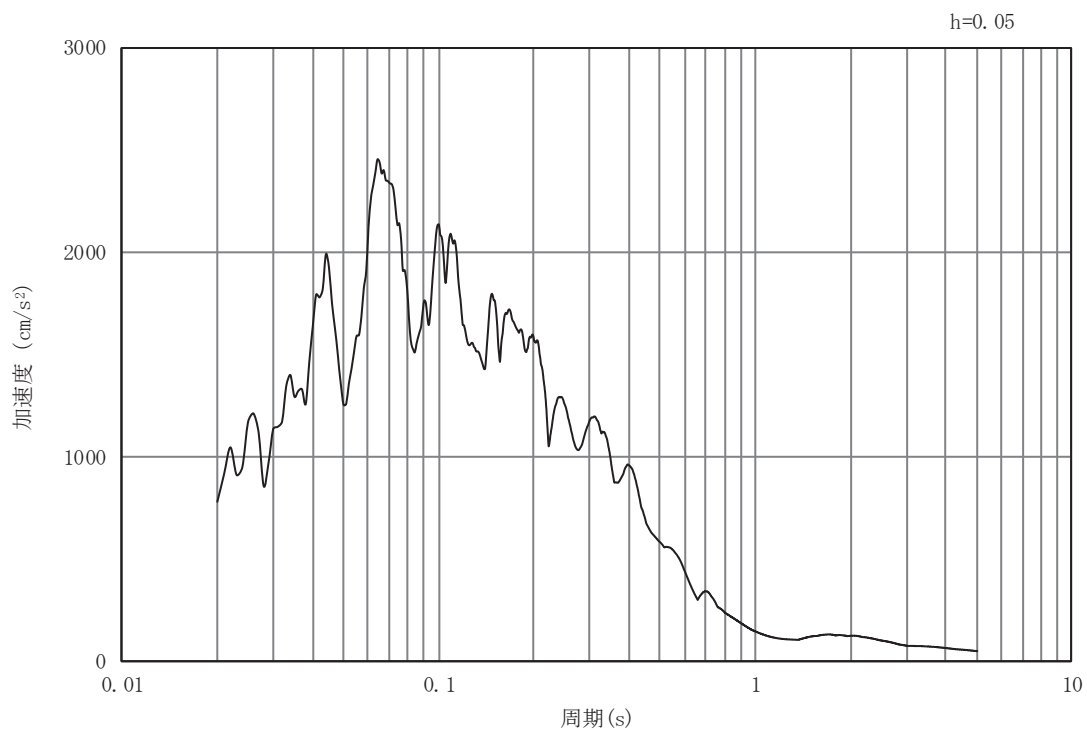
(b) 加速度応答スペクトル

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



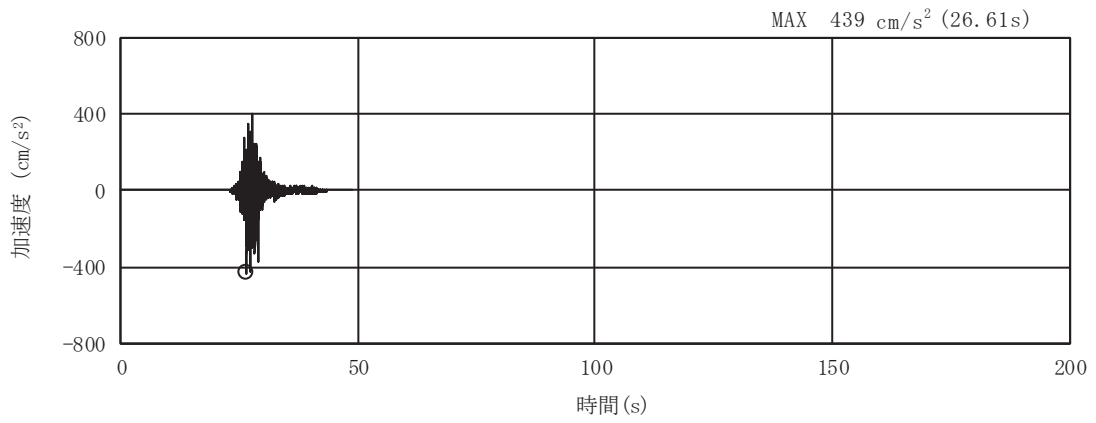


(a) 加速度時刻歴波形

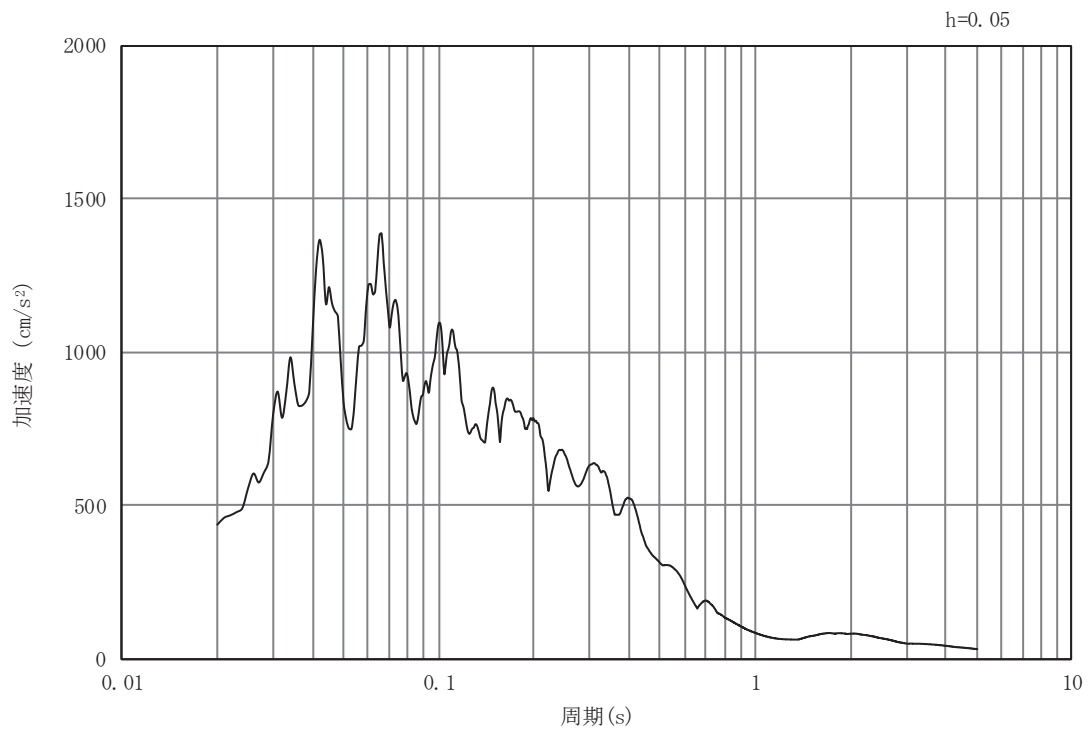


(b) 加速度応答スペクトル

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

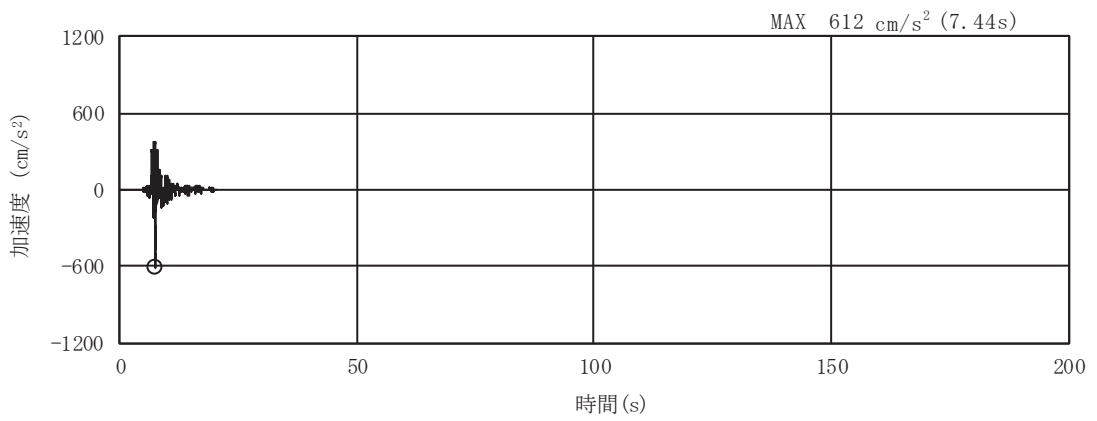


(a) 加速度時刻歴波形

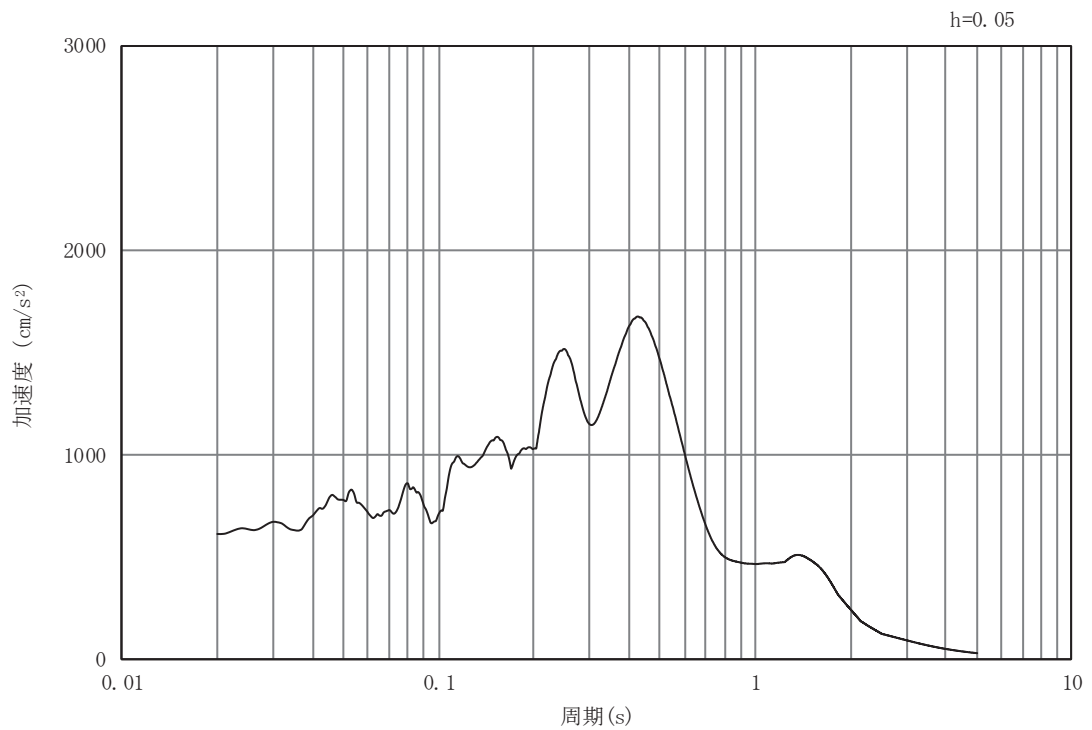


(b) 加速度応答スペクトル

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

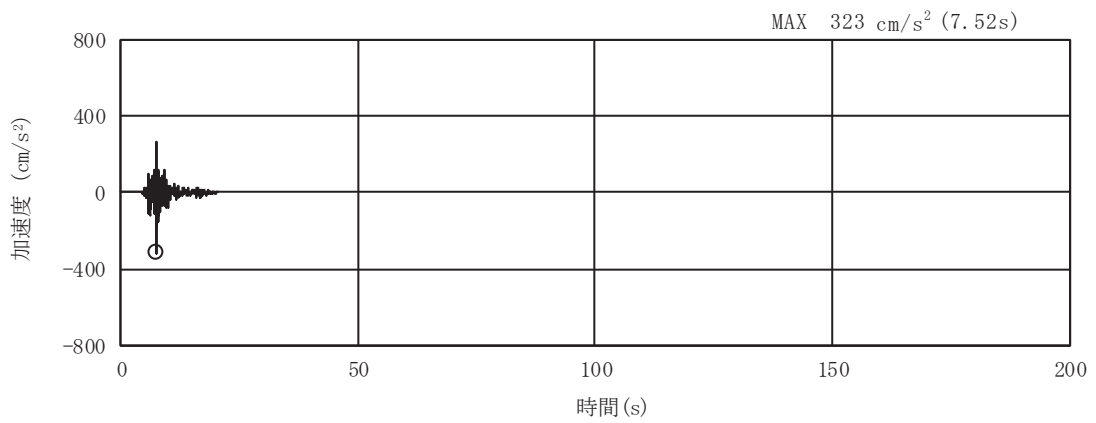


(a) 加速度時刻歴波形

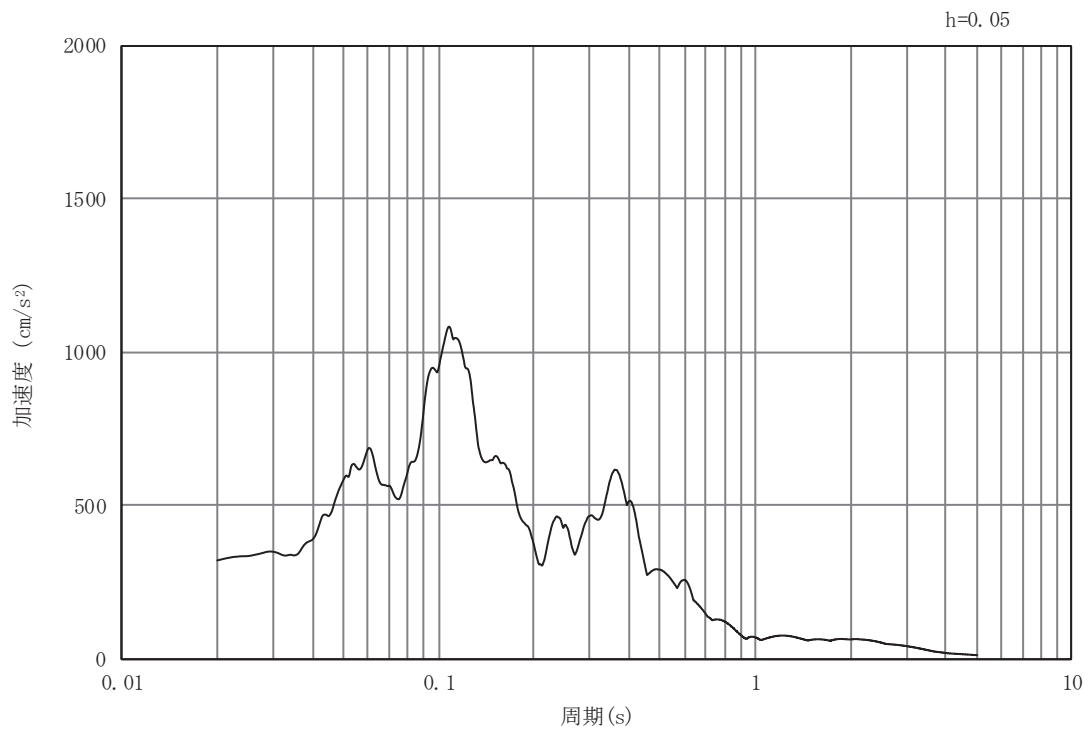


(b) 加速度応答スペクトル

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

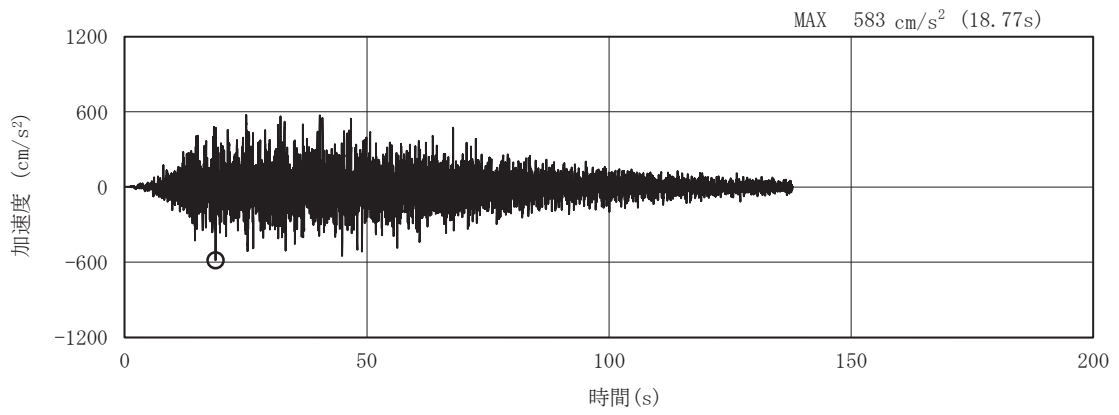


(a) 加速度時刻歴波形

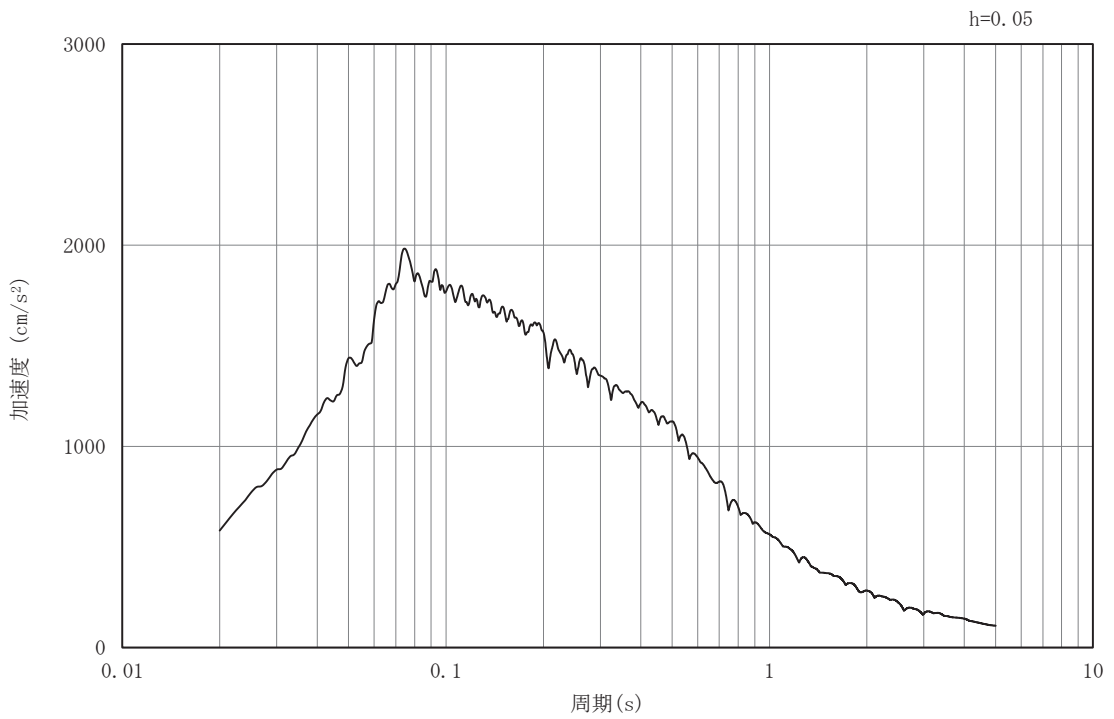


(b) 加速度応答スペクトル

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

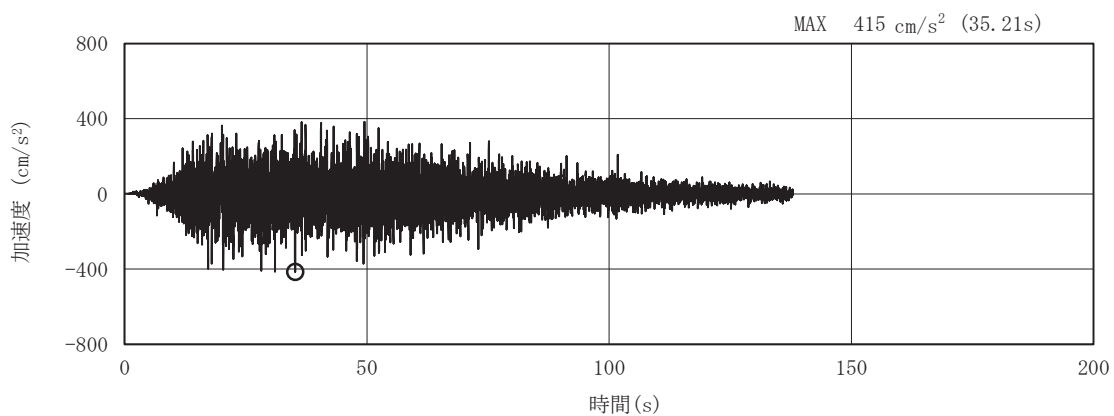


(a) 加速度時刻歴波形

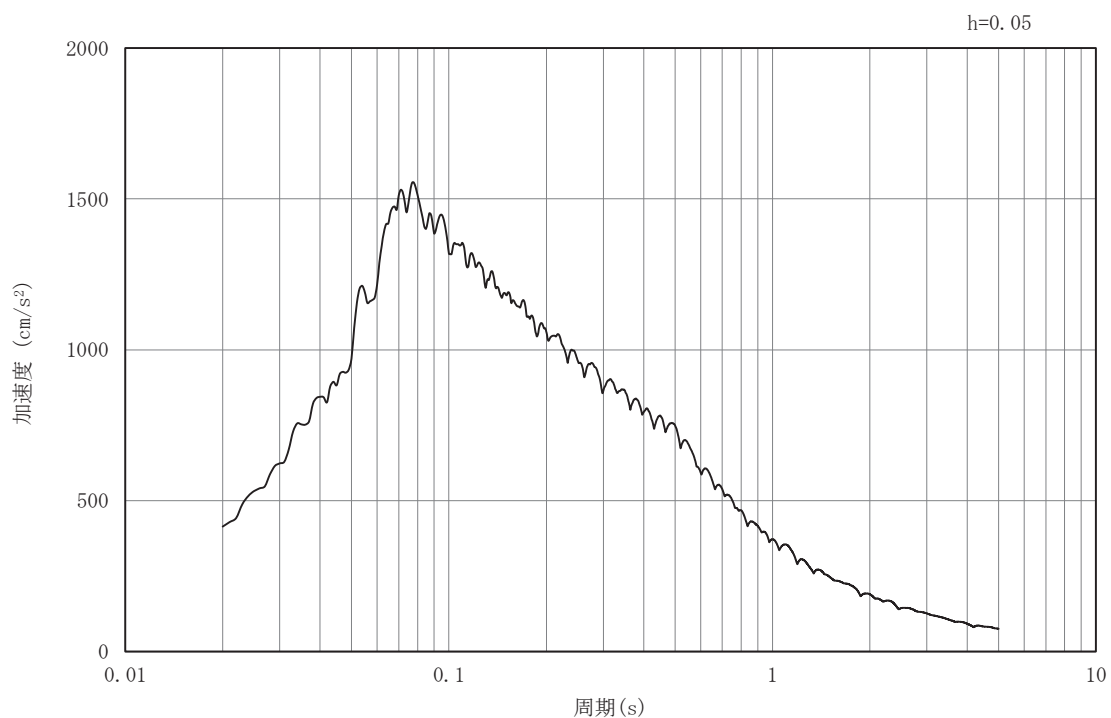


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(29) 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. 3 揚水井戸

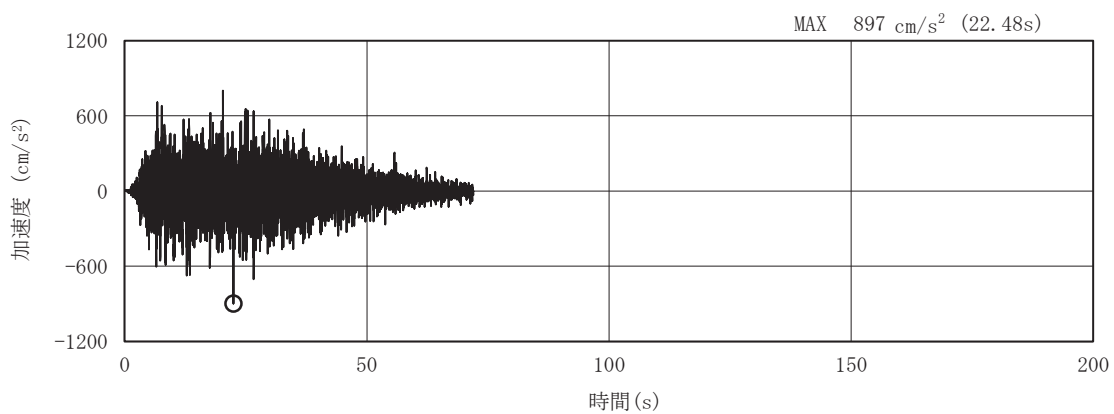


(a) 加速度時刻歴波形

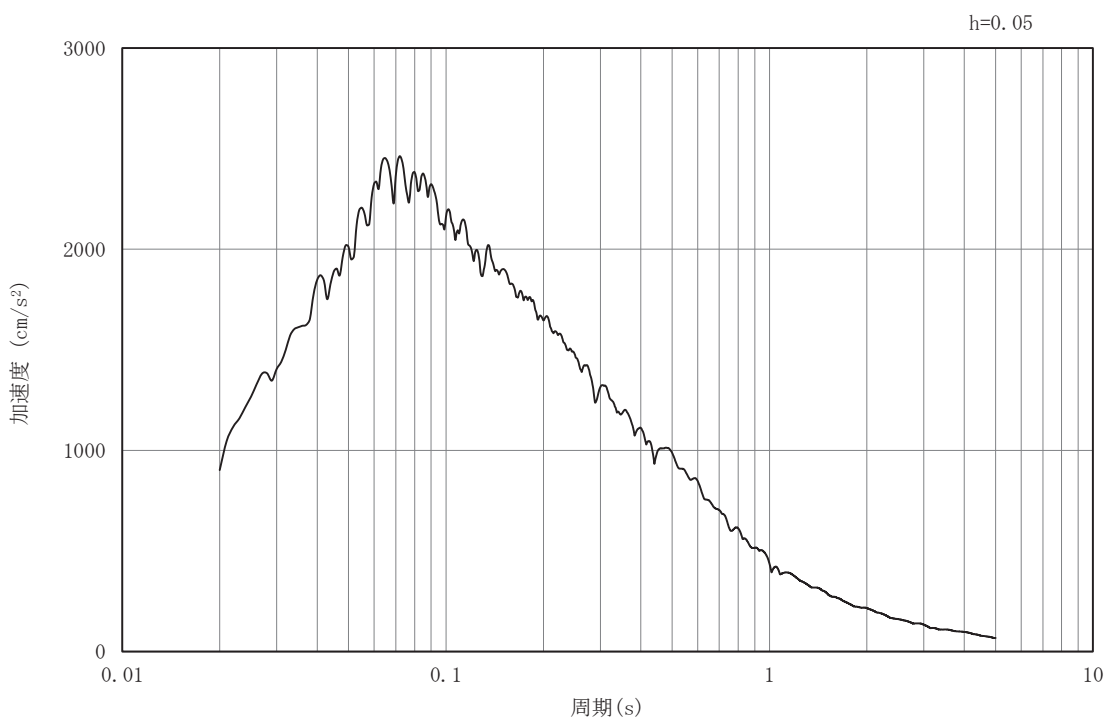


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(30) 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. 3 揚水井戸

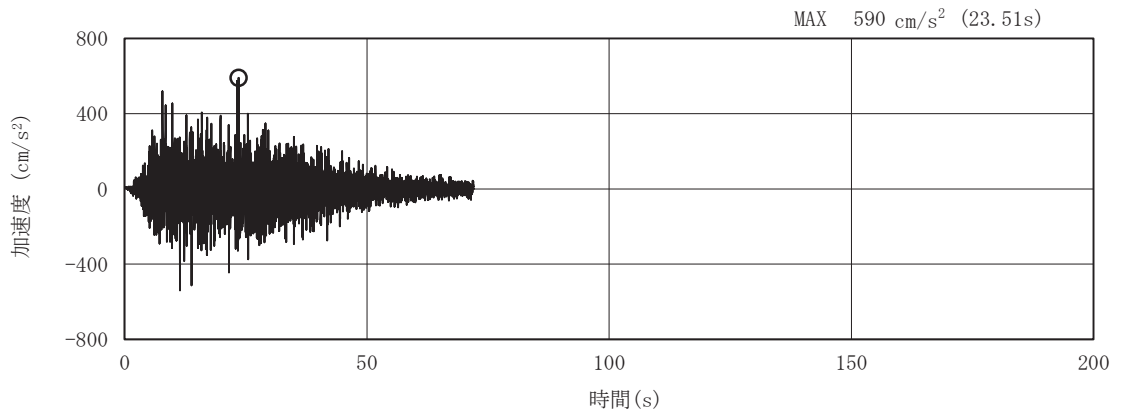


(a) 加速度時刻歴波形

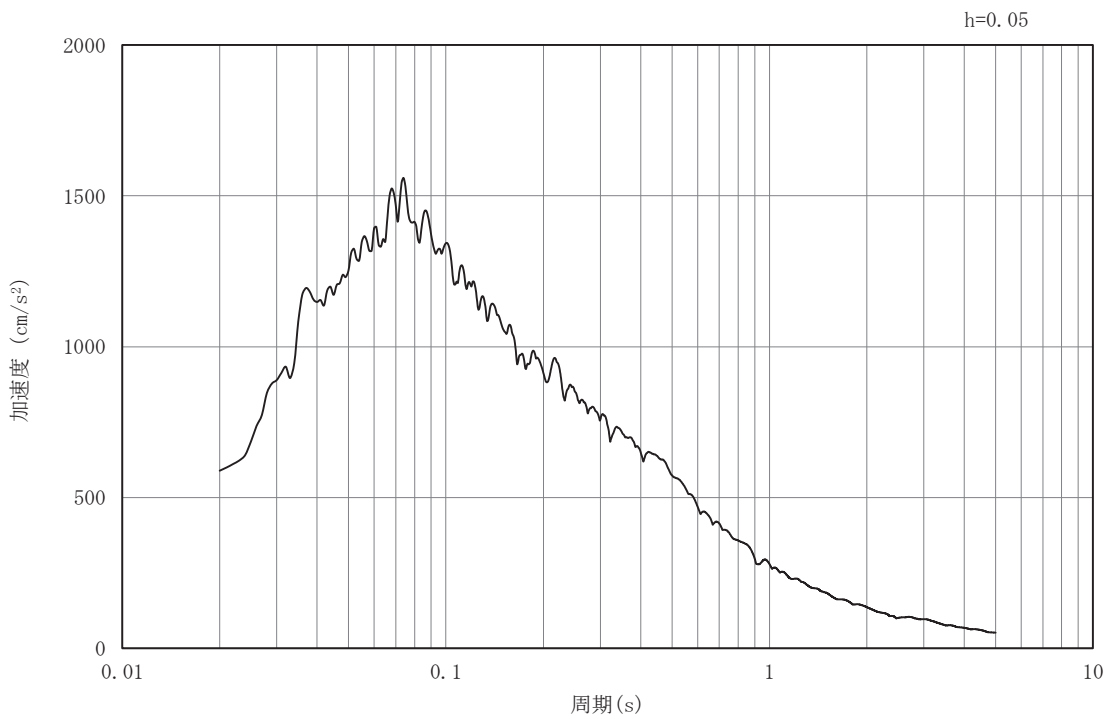


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(31) 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. 3 揚水井戸



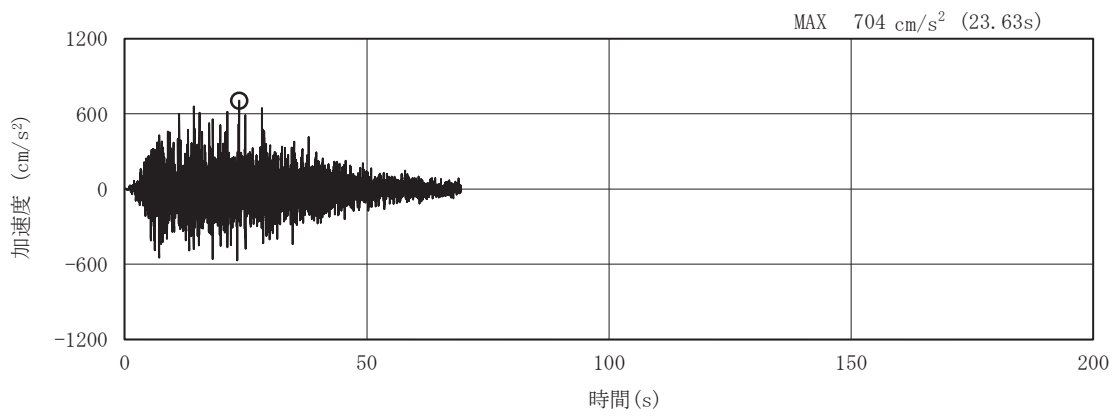
(a) 加速度時刻歴波形



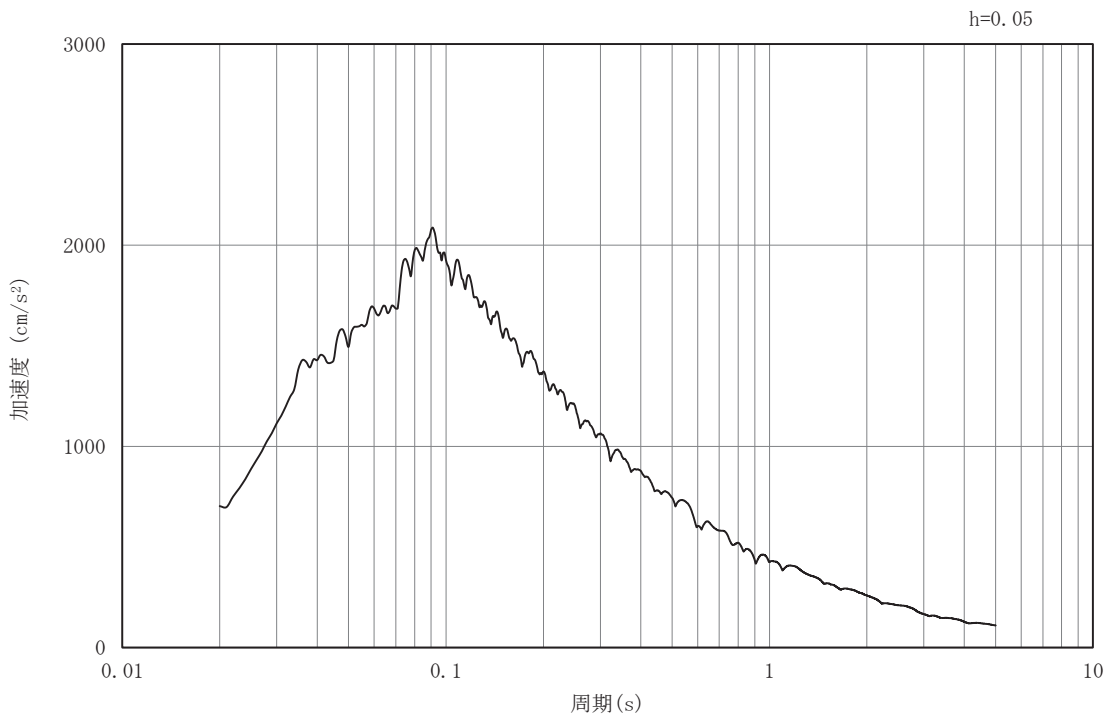
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(32) 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.3 揚水井戸



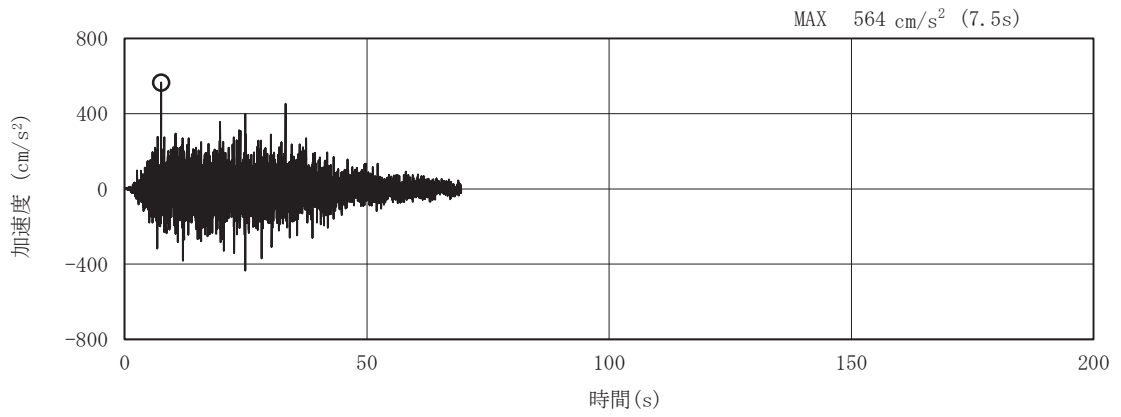


(a) 加速度時刻歴波形

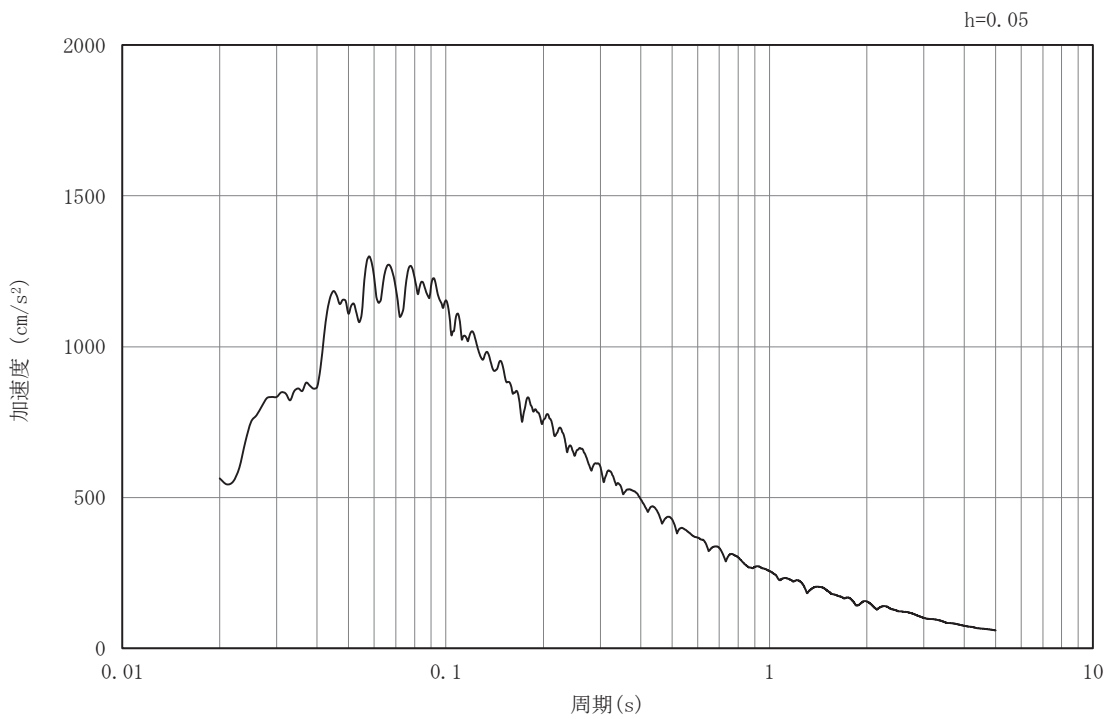


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(33) 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. 3 揚水井戸

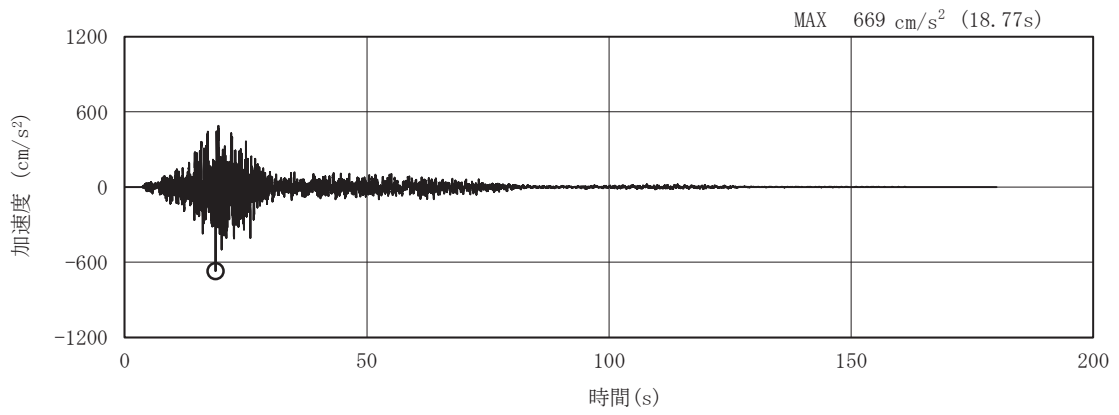


(a) 加速度時刻歴波形

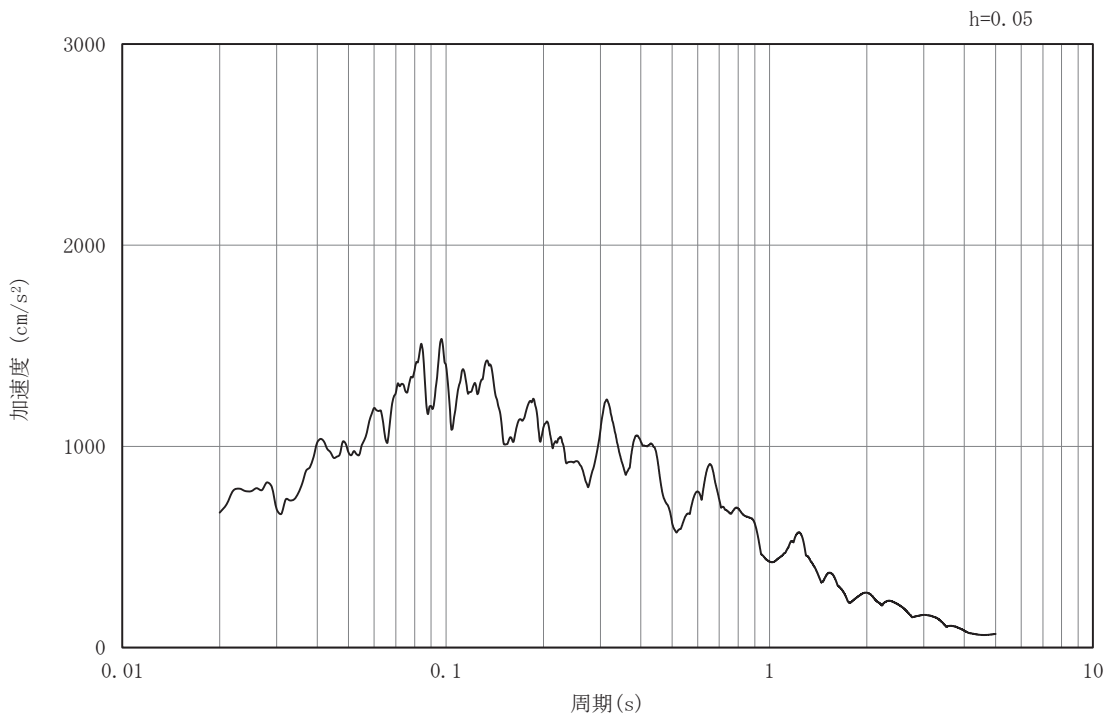


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(34) 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.3 揚水井戸

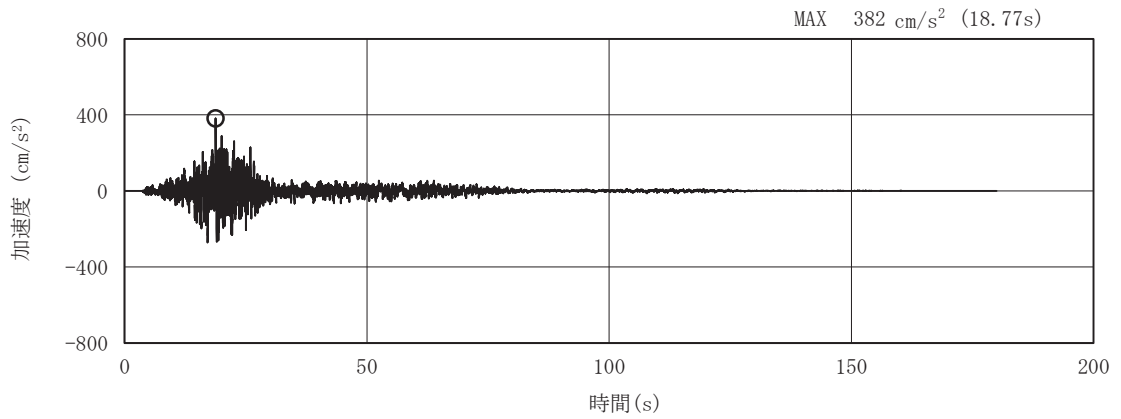


(a) 加速度時刻歴波形

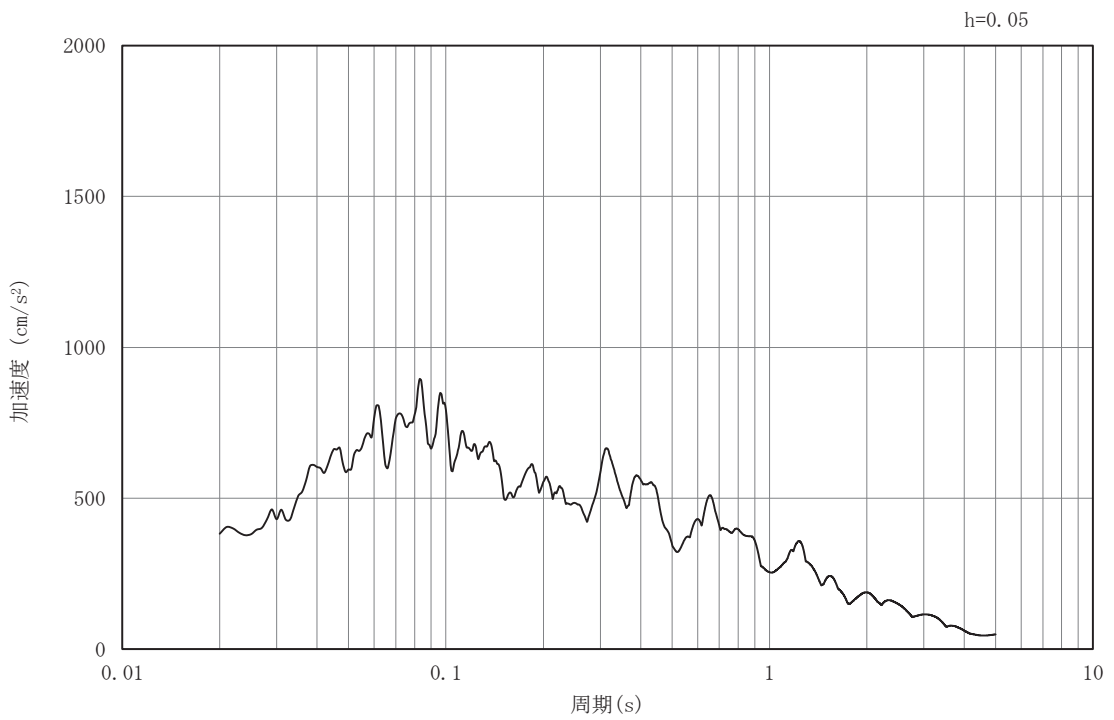


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(35) 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.3 揚水井戸

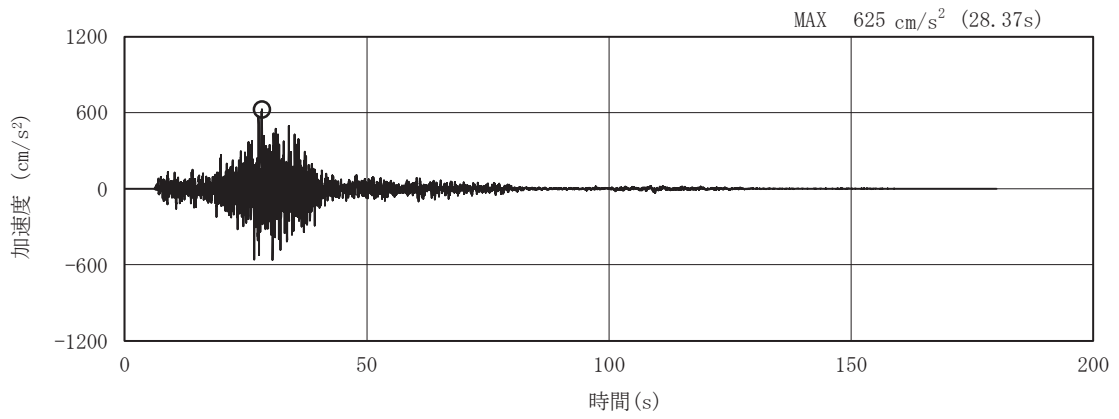


(a) 加速度時刻歴波形

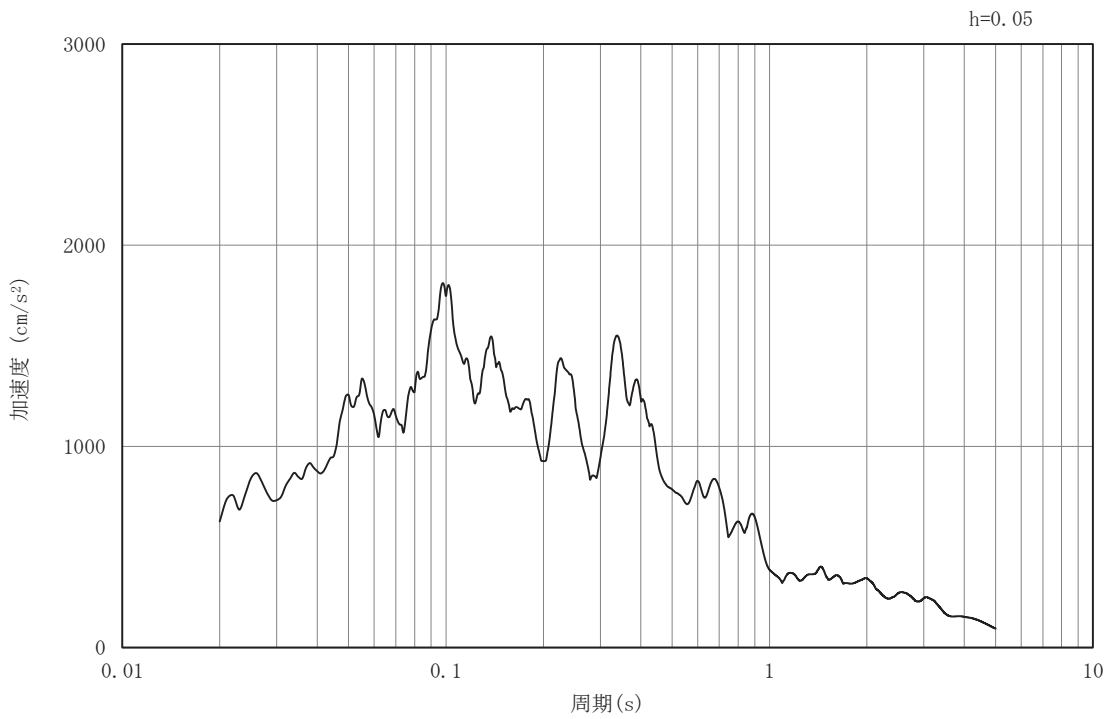


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(36) 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.3 揚水井戸

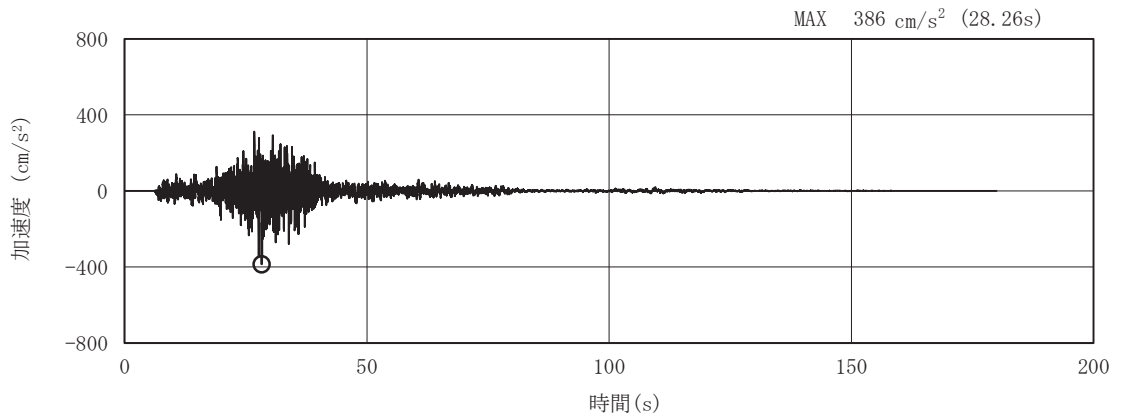


(a) 加速度時刻歴波形

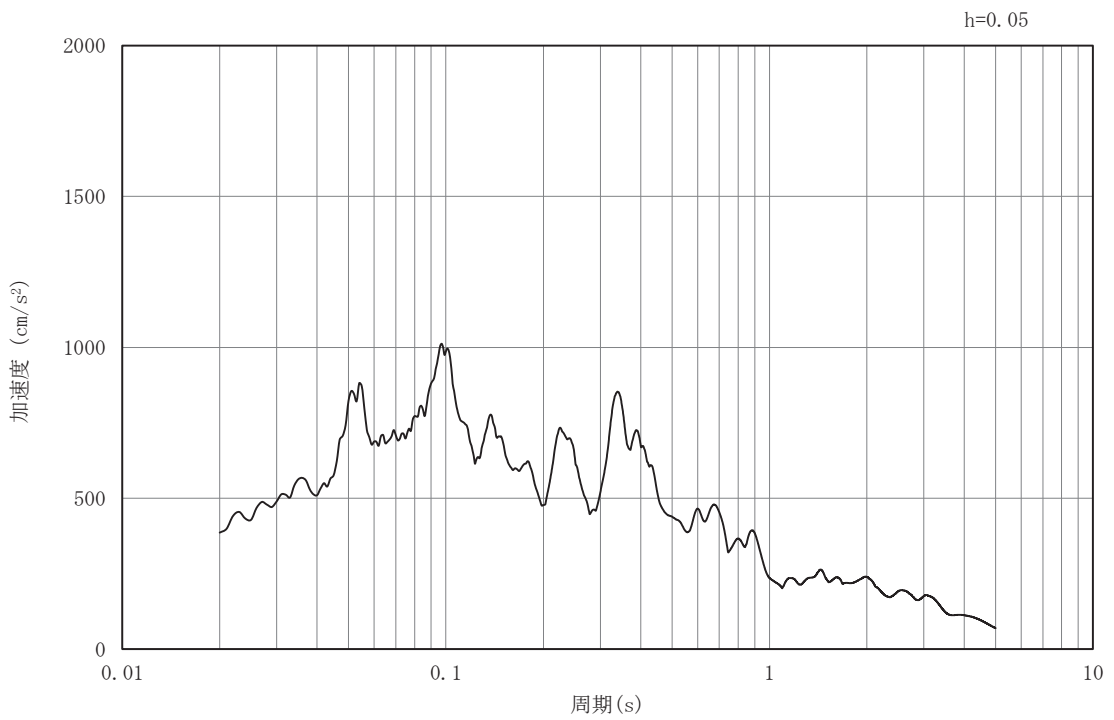


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(37) 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.3 揚水井戸

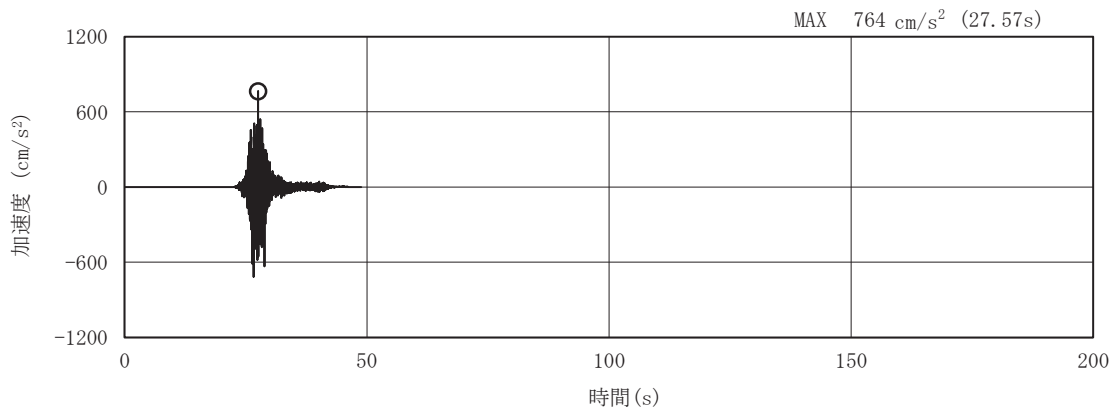


(a) 加速度時刻歴波形

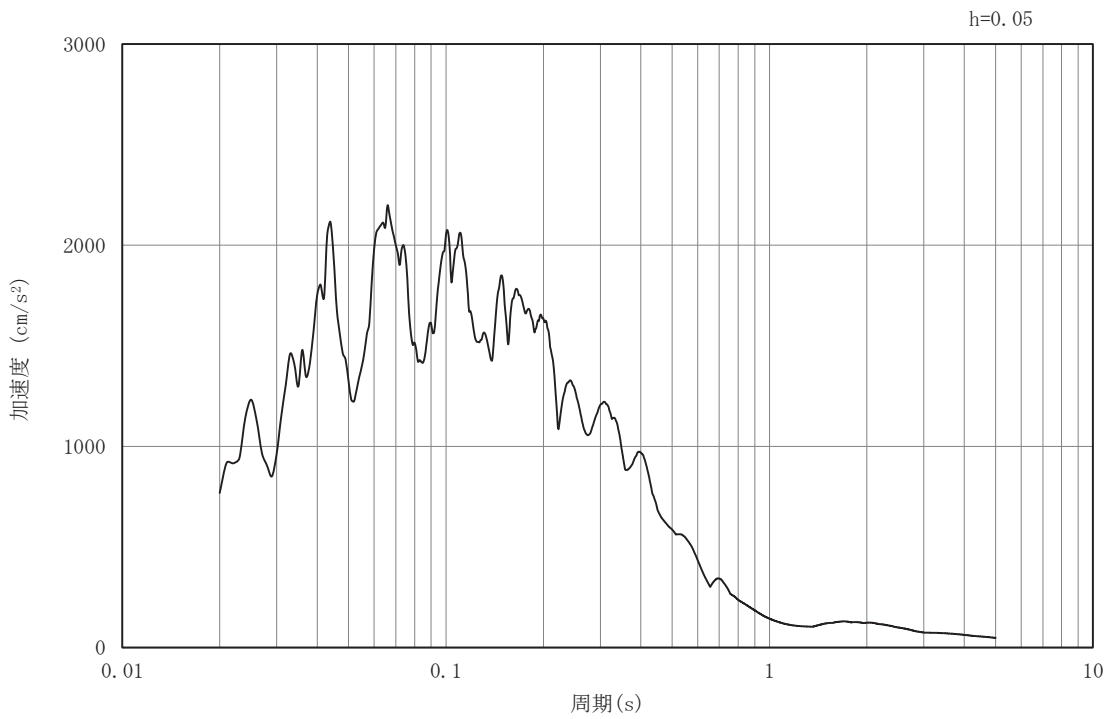


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(38) 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.3 揚水井戸

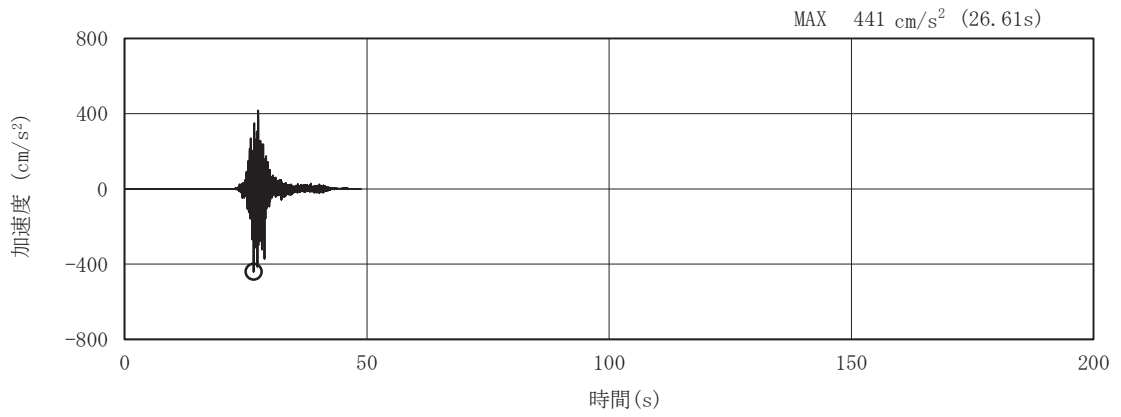


(a) 加速度時刻歴波形

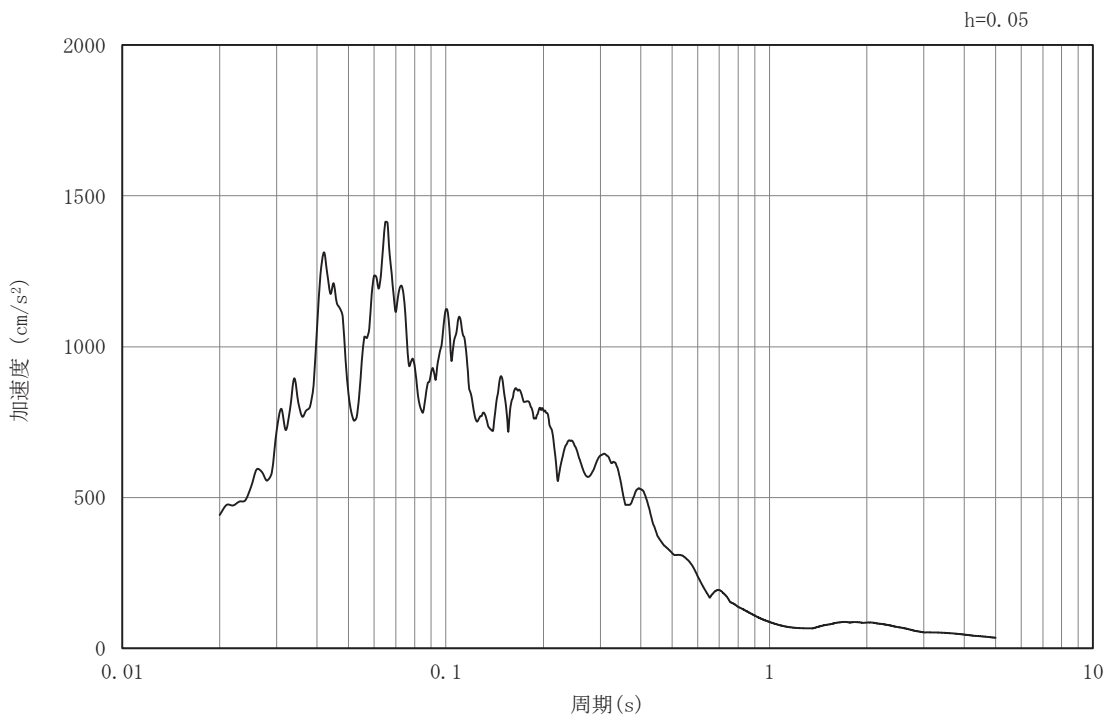


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(39) 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.3 揚水井戸



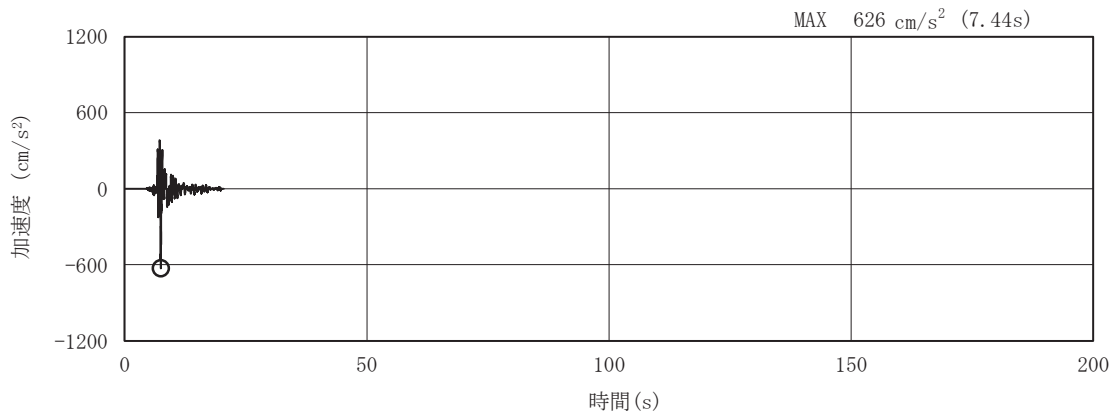
(a) 加速度時刻歴波形



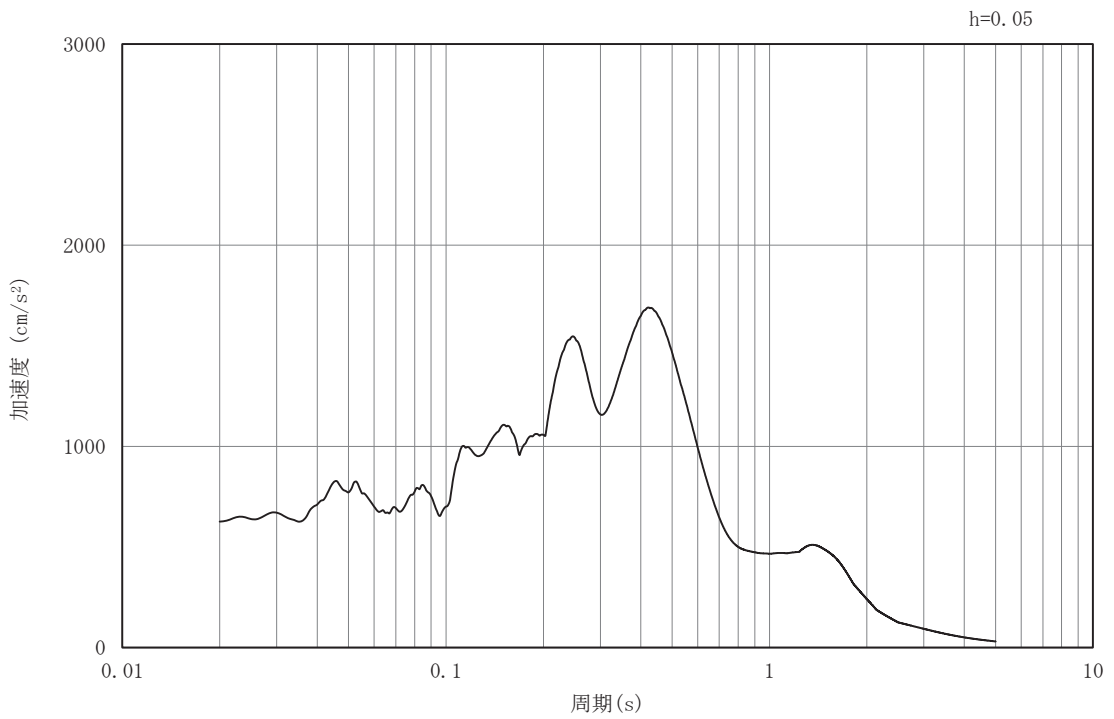
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(40) 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.3 揚水井戸



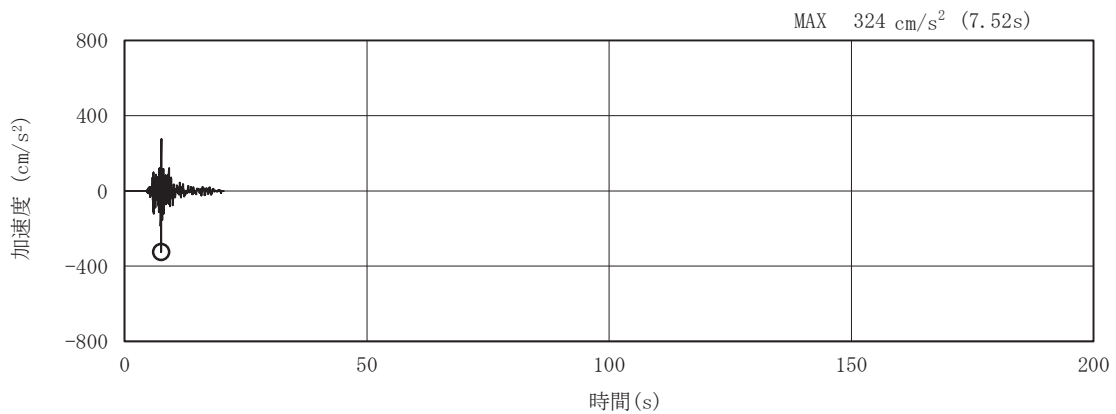


(a) 加速度時刻歴波形

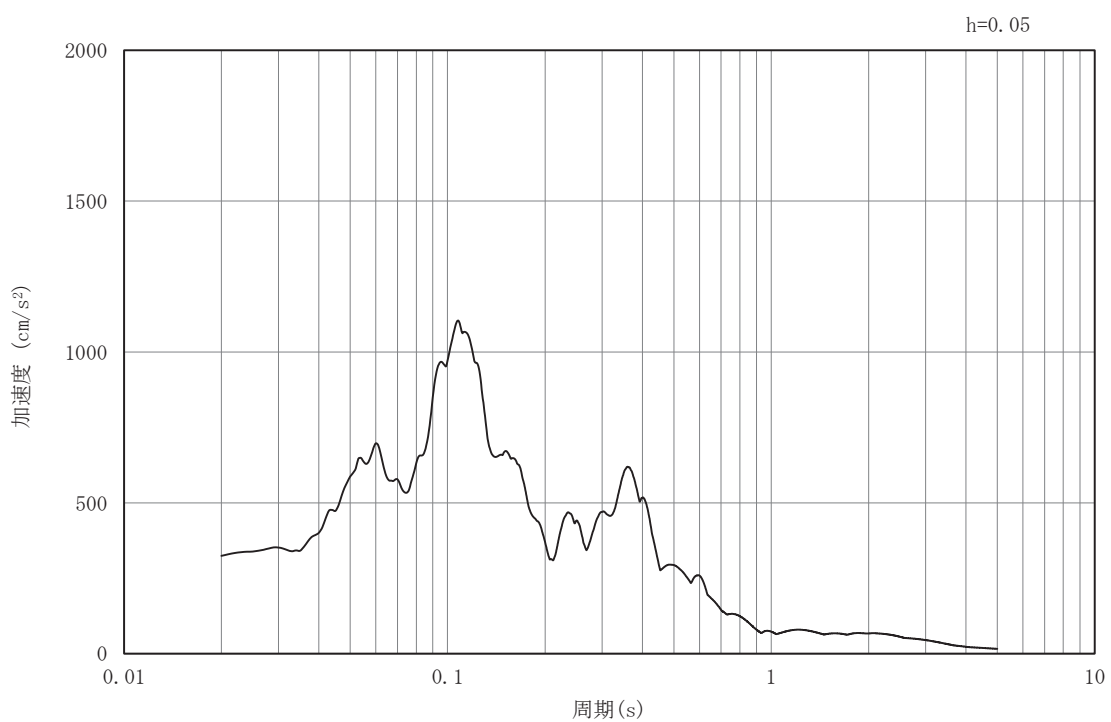


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(41) 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. 3 揚水井戸

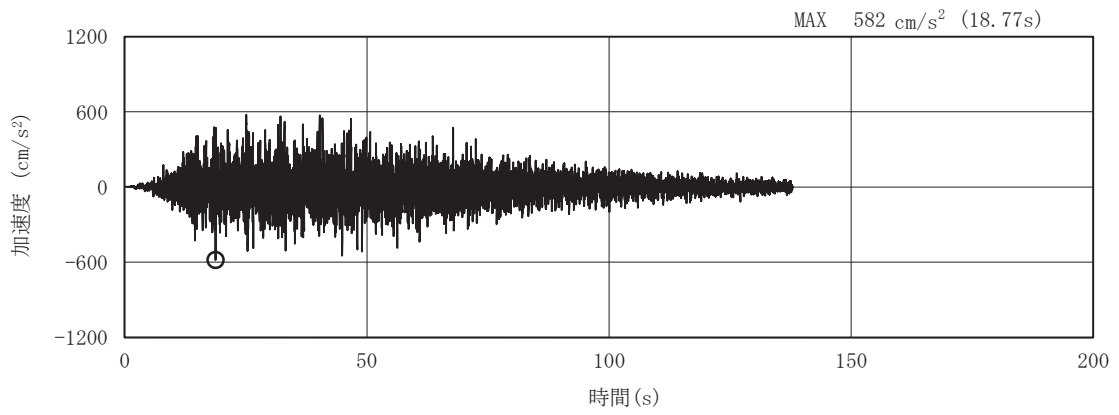


(a) 加速度時刻歴波形

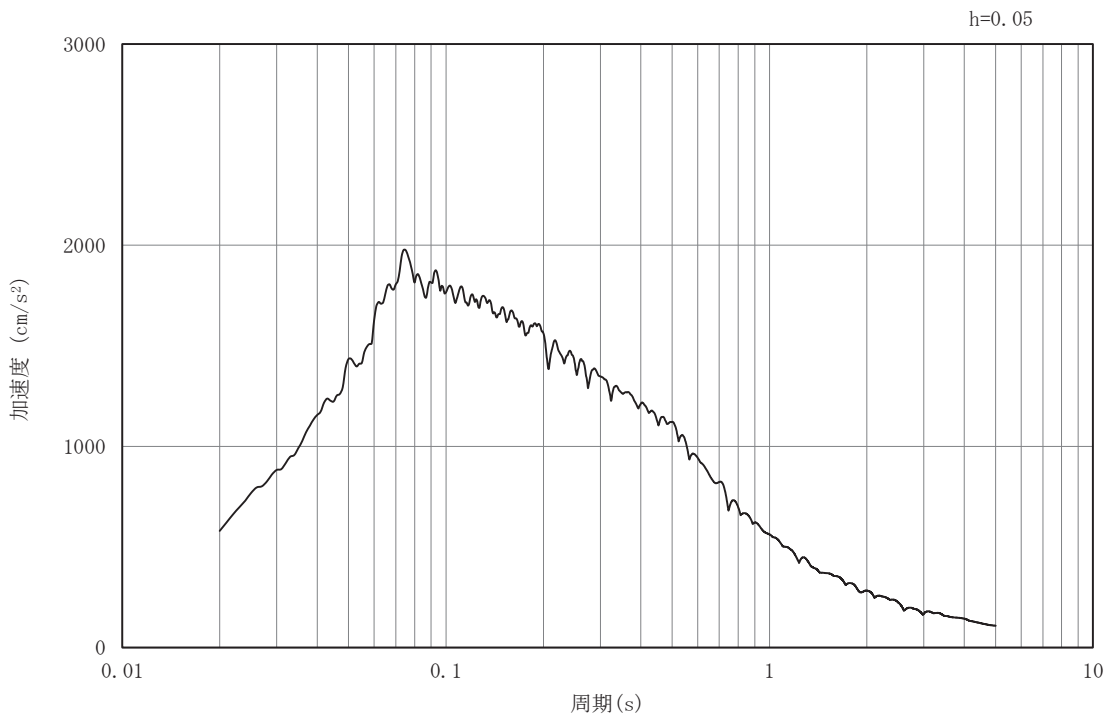


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(42) 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. 3 揚水井戸

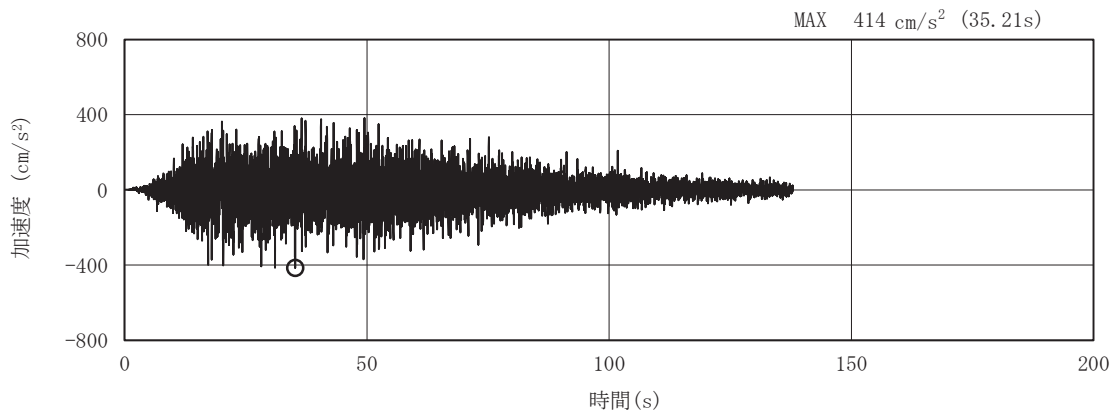


(a) 加速度時刻歴波形

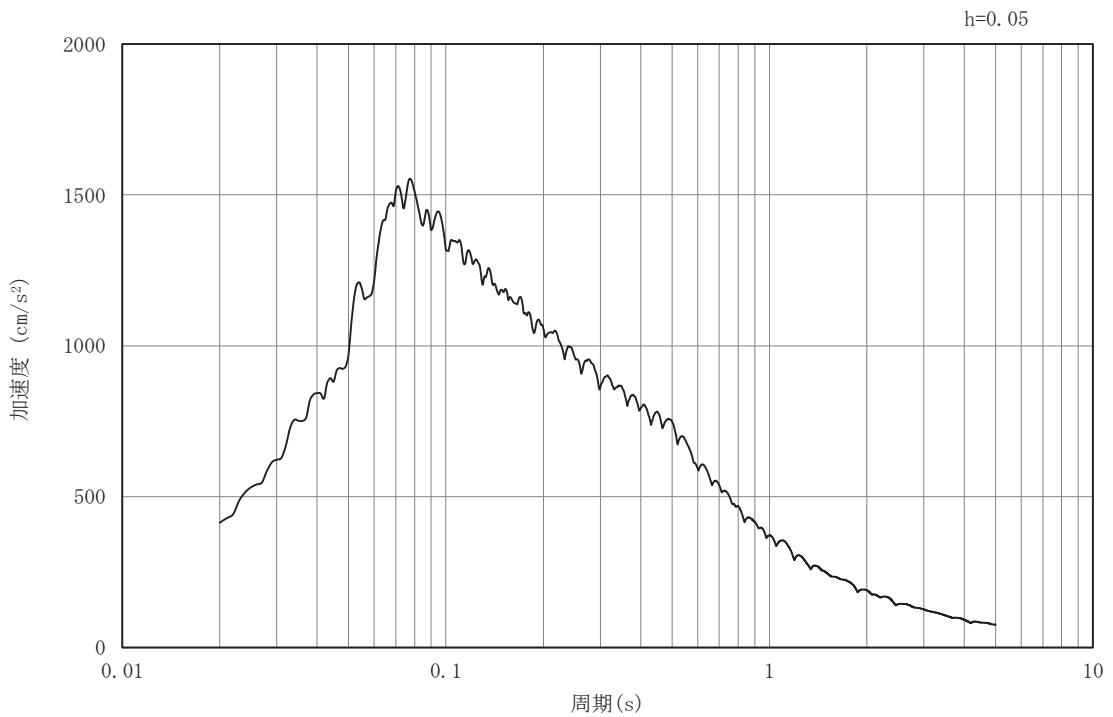


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(43) 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. 4 揚水井戸

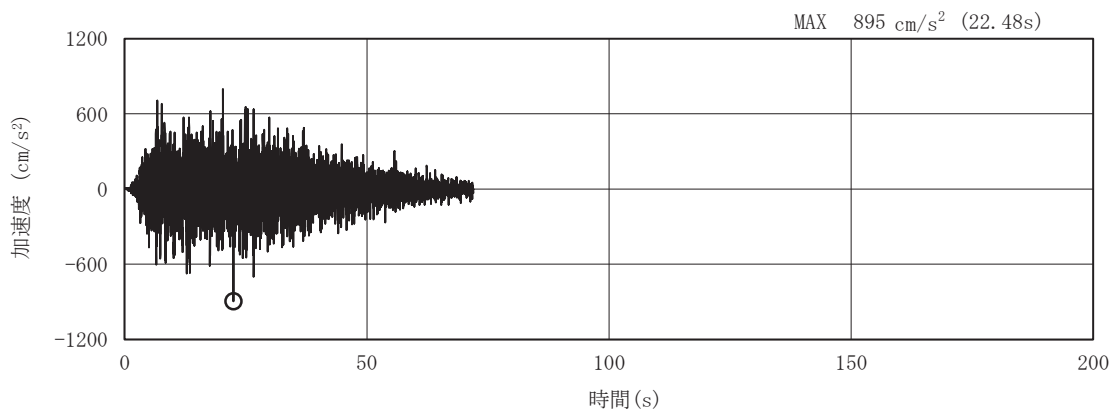


(a) 加速度時刻歴波形

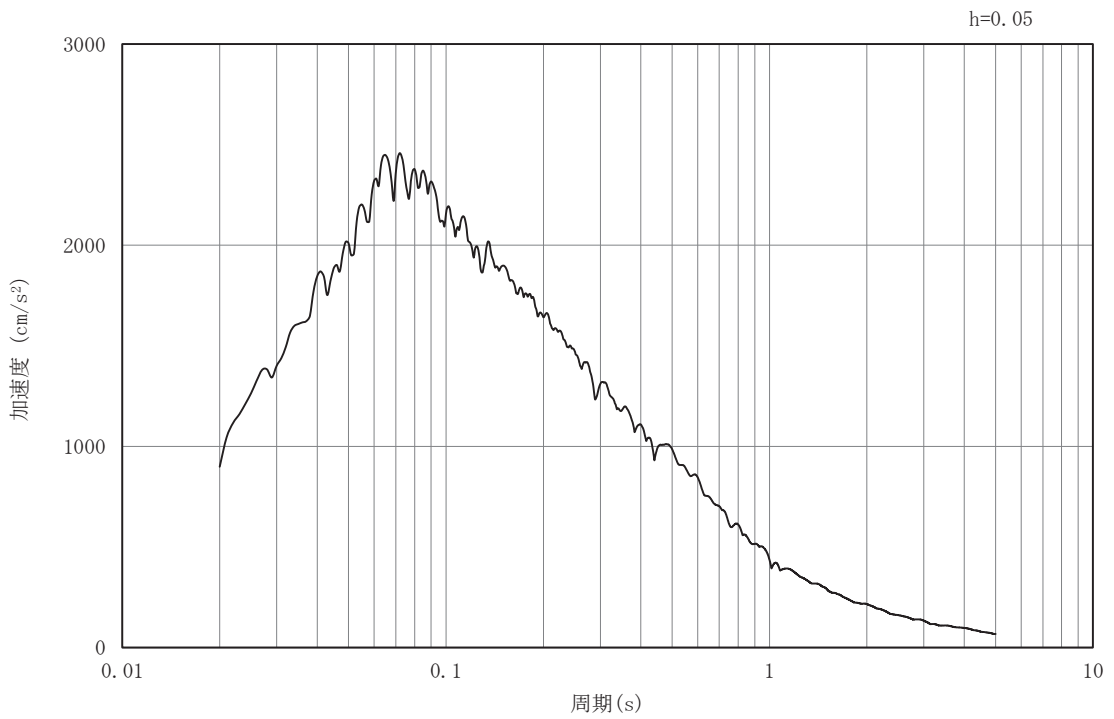


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(44) 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. 4 揚水井戸

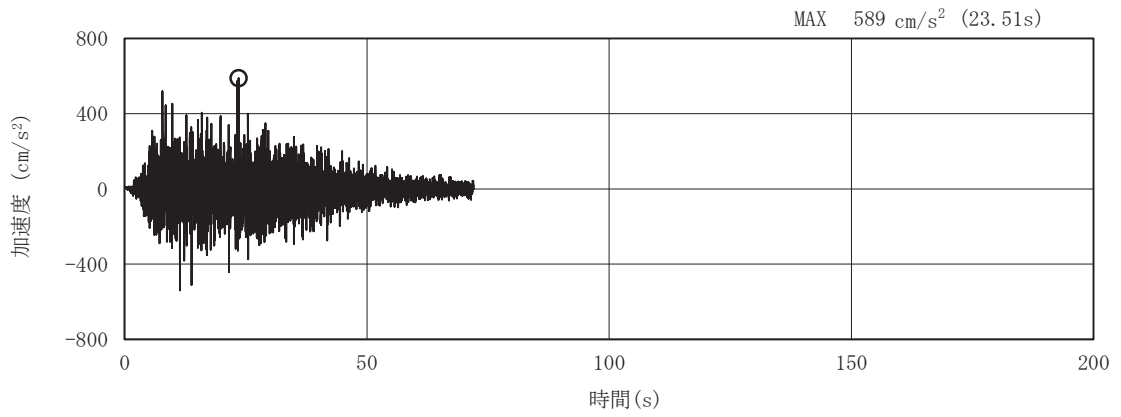


(a) 加速度時刻歴波形

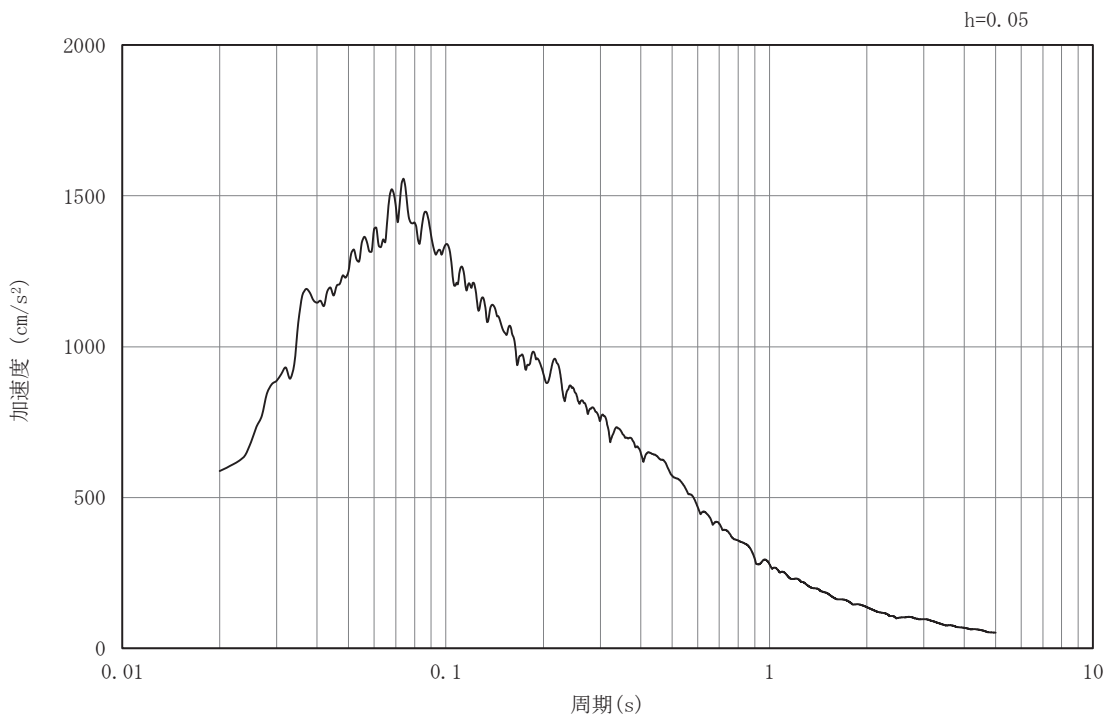


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(45) 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. 4 揚水井戸

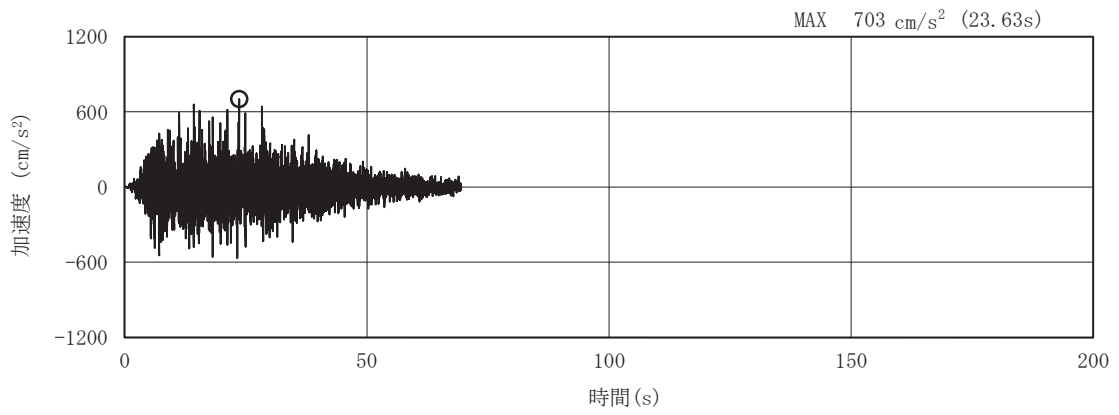


(a) 加速度時刻歴波形

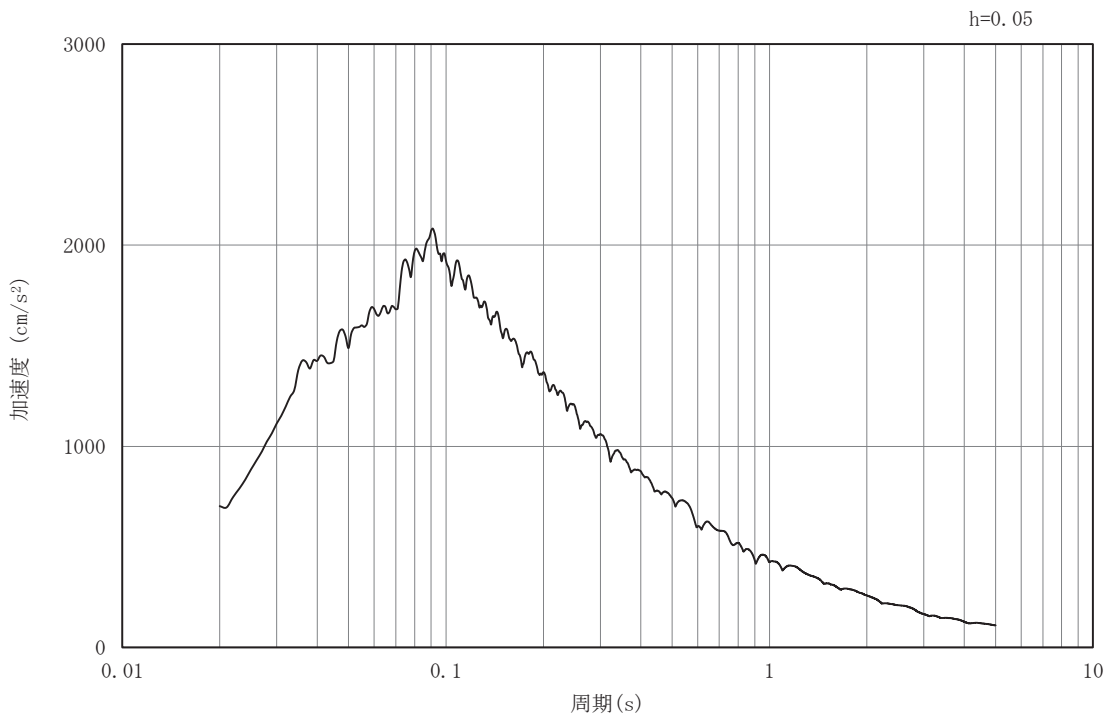


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(46) 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. 4 揚水井戸

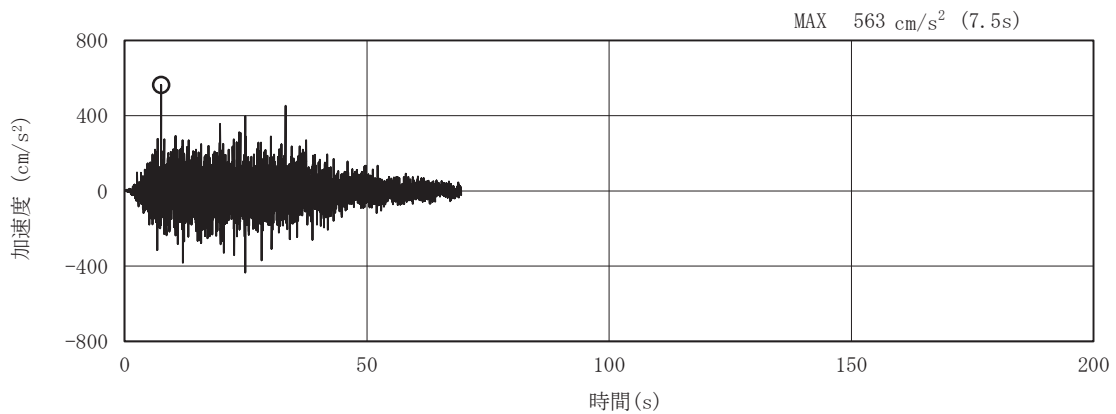


(a) 加速度時刻歴波形

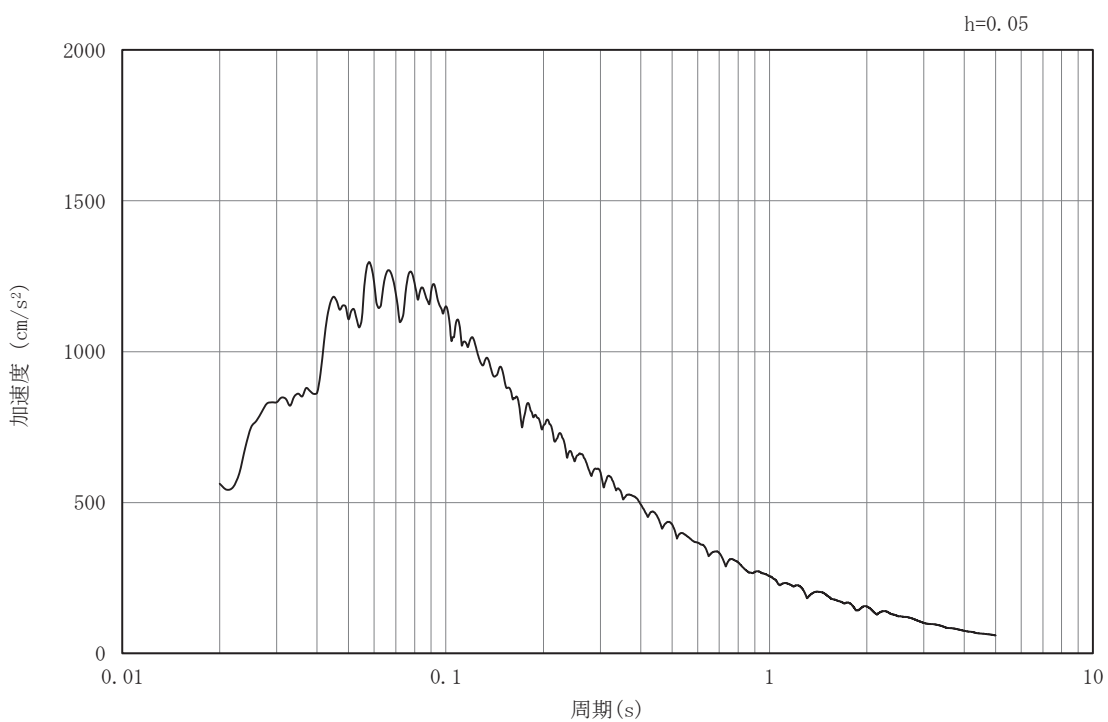


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(47) 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. 4 揚水井戸



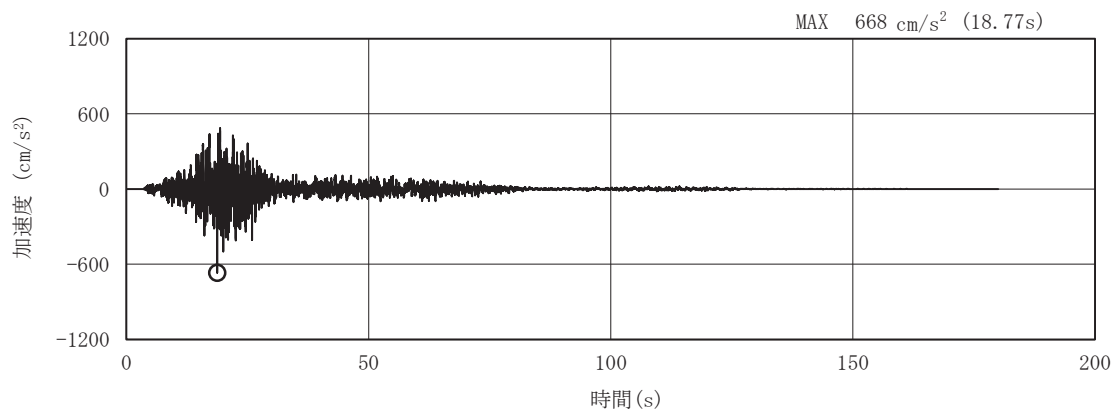
(a) 加速度時刻歴波形



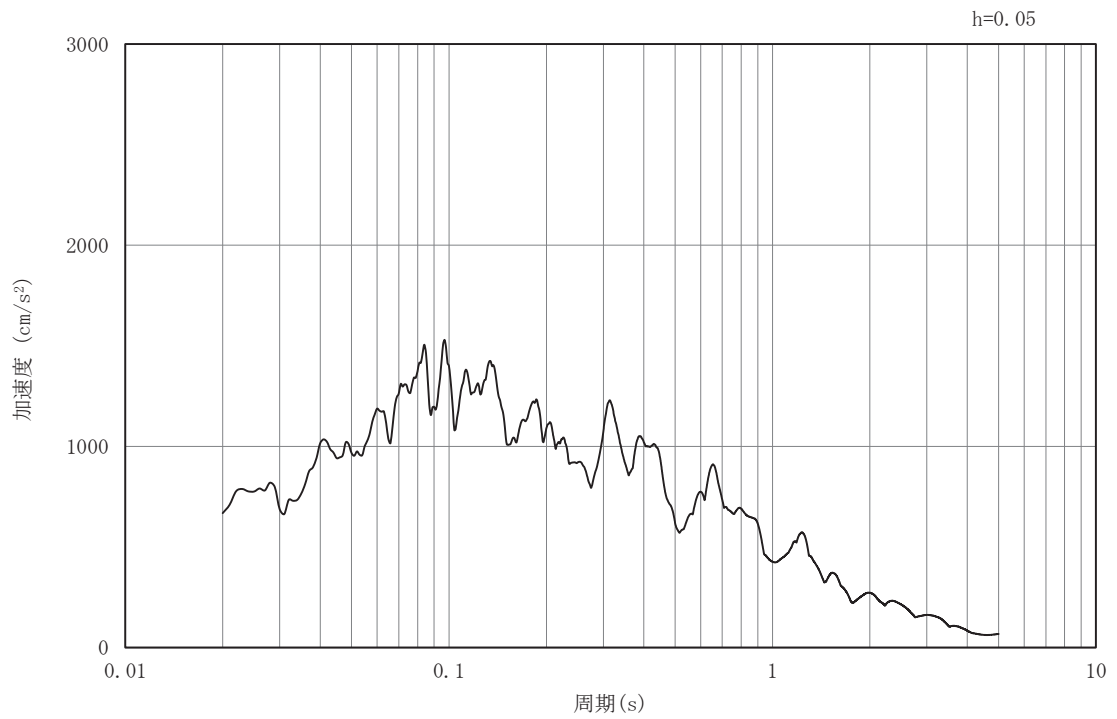
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(48) 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. 4 揚水井戸



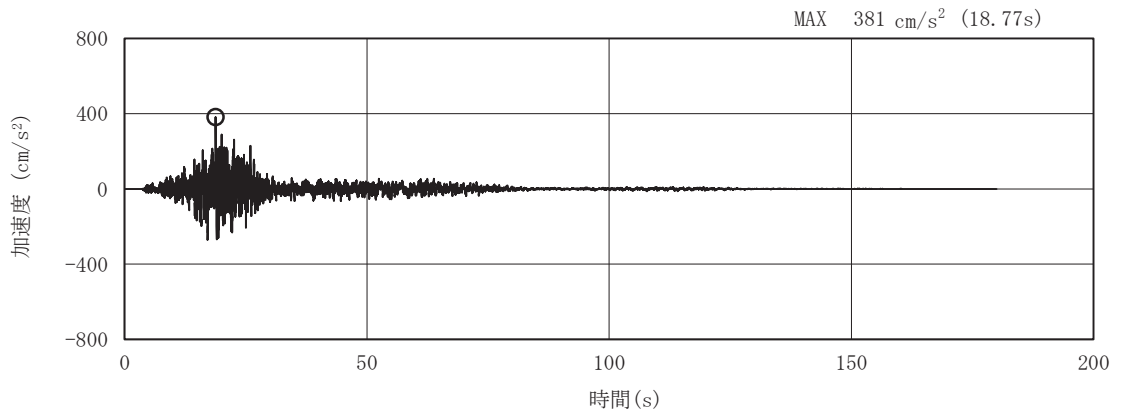


(a) 加速度時刻歴波形

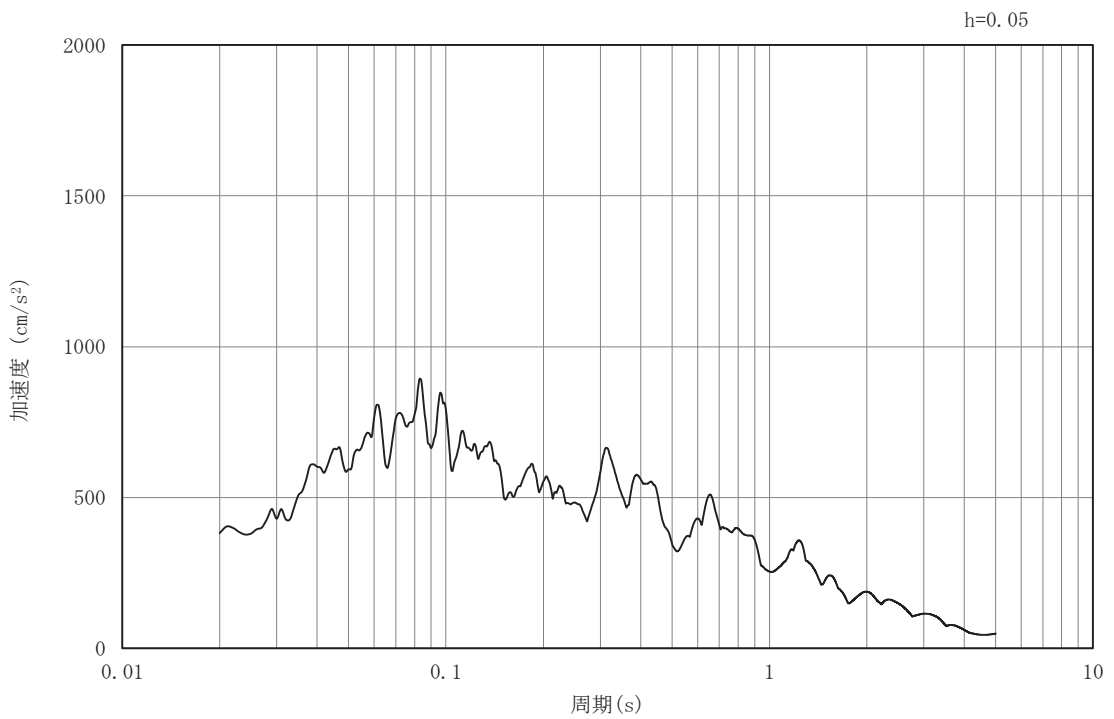


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(49) 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. 4 揚水井戸

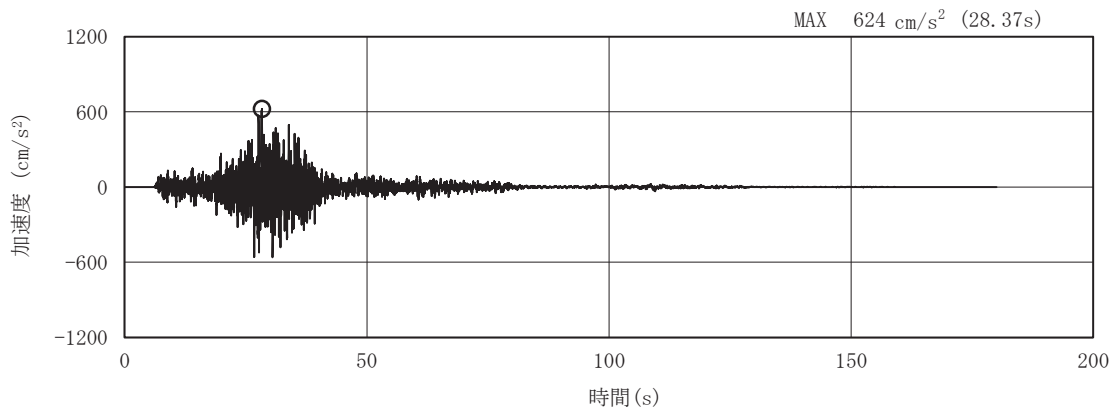


(a) 加速度時刻歴波形

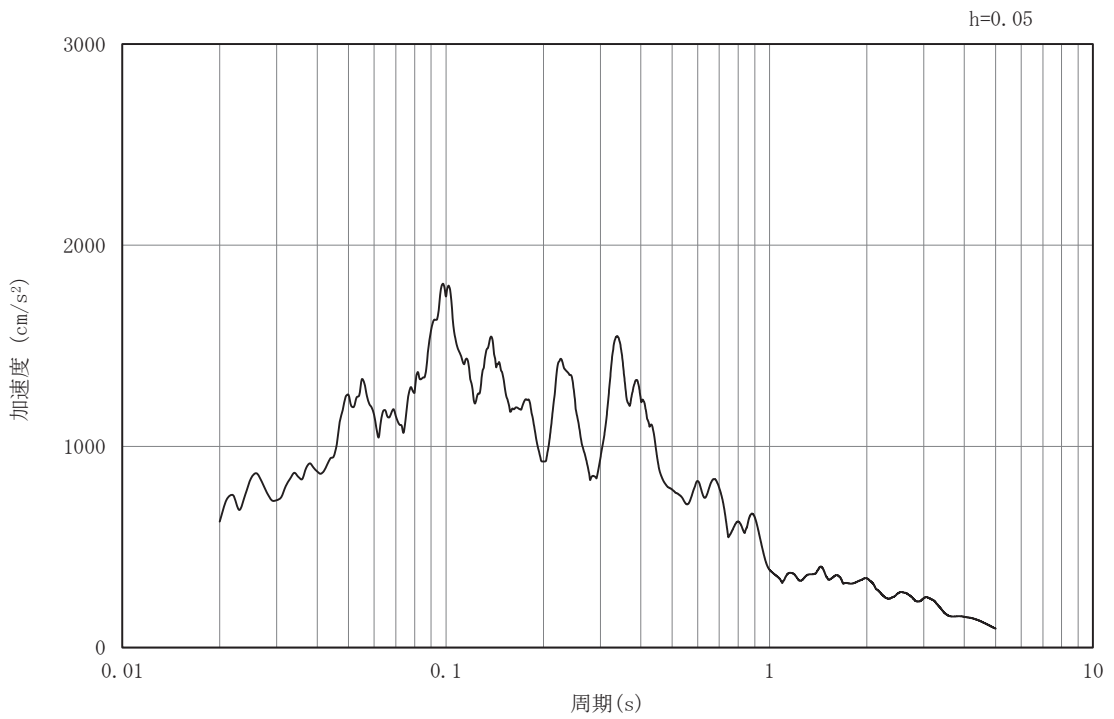


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(50) 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. 4 揚水井戸

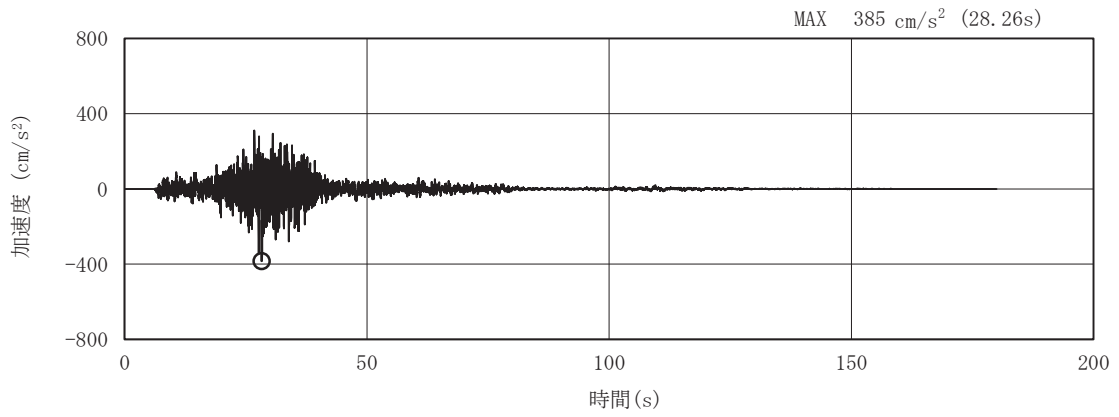


(a) 加速度時刻歴波形

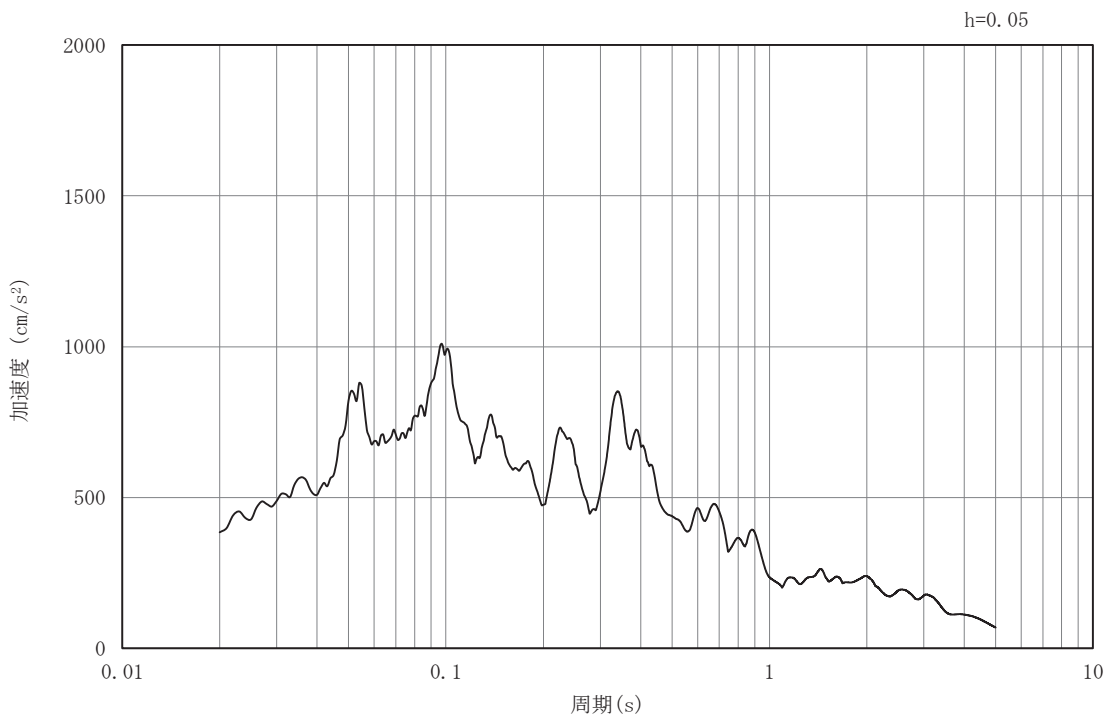


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(51) 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. 4 揚水井戸

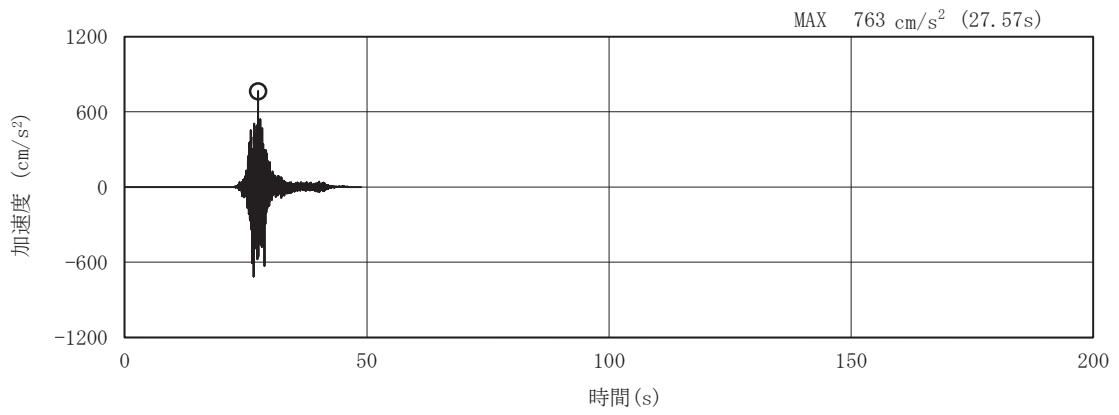


(a) 加速度時刻歴波形

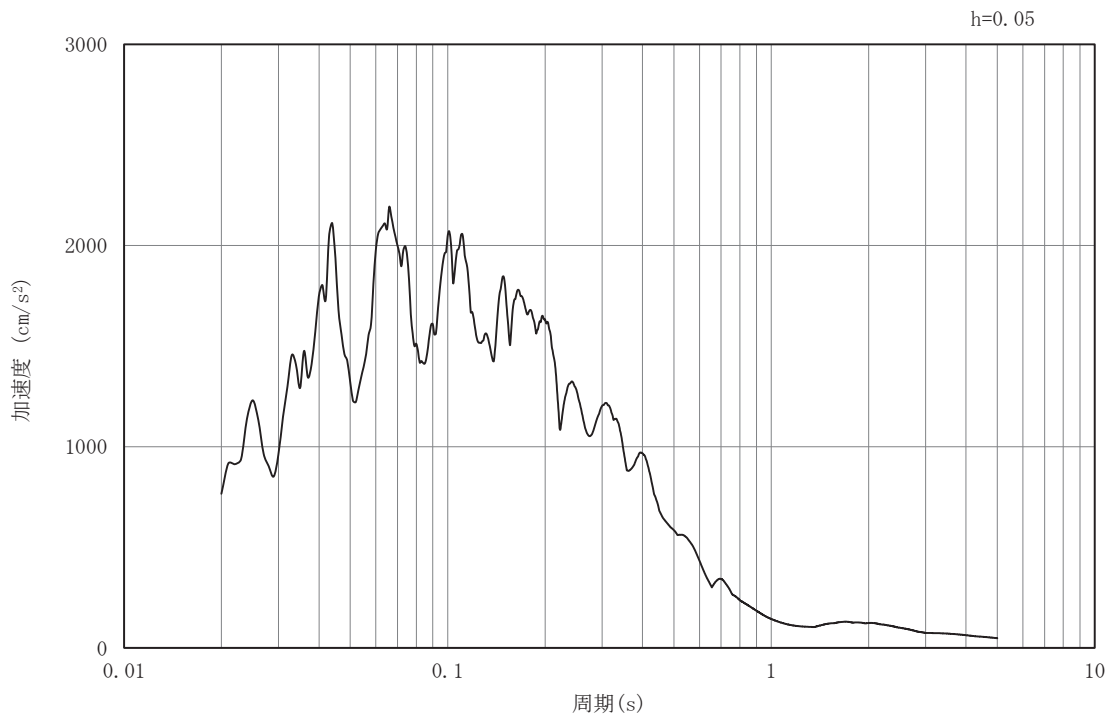


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(52) 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. 4 揚水井戸

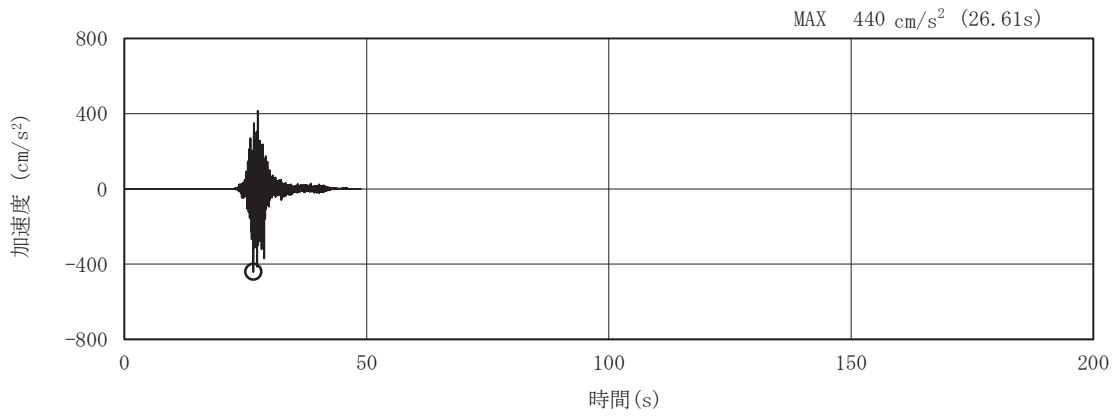


(a) 加速度時刻歴波形

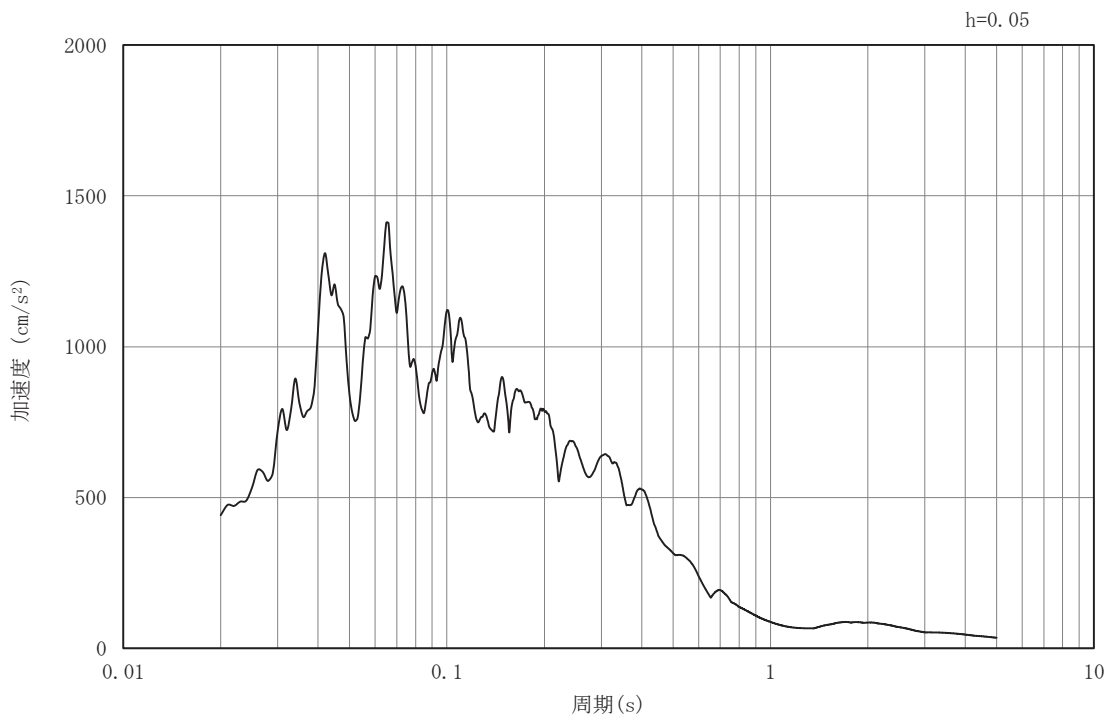


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(53) 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.4 揚水井戸

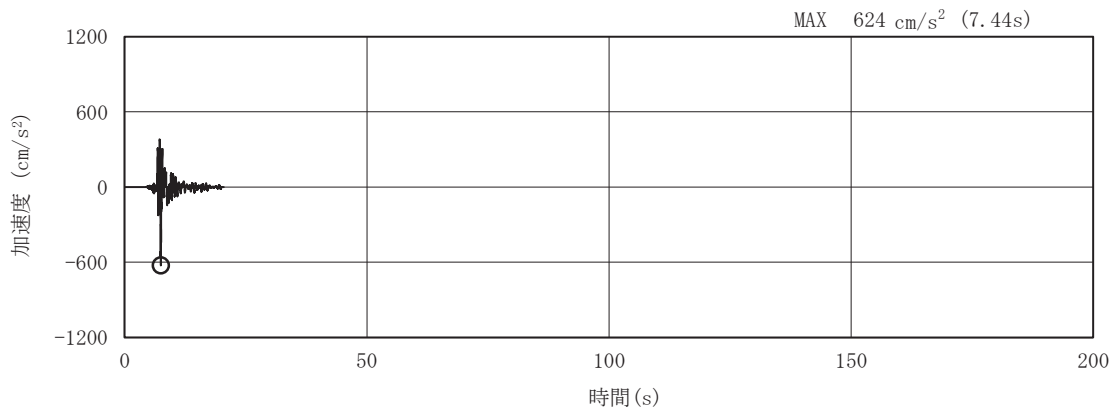


(a) 加速度時刻歴波形

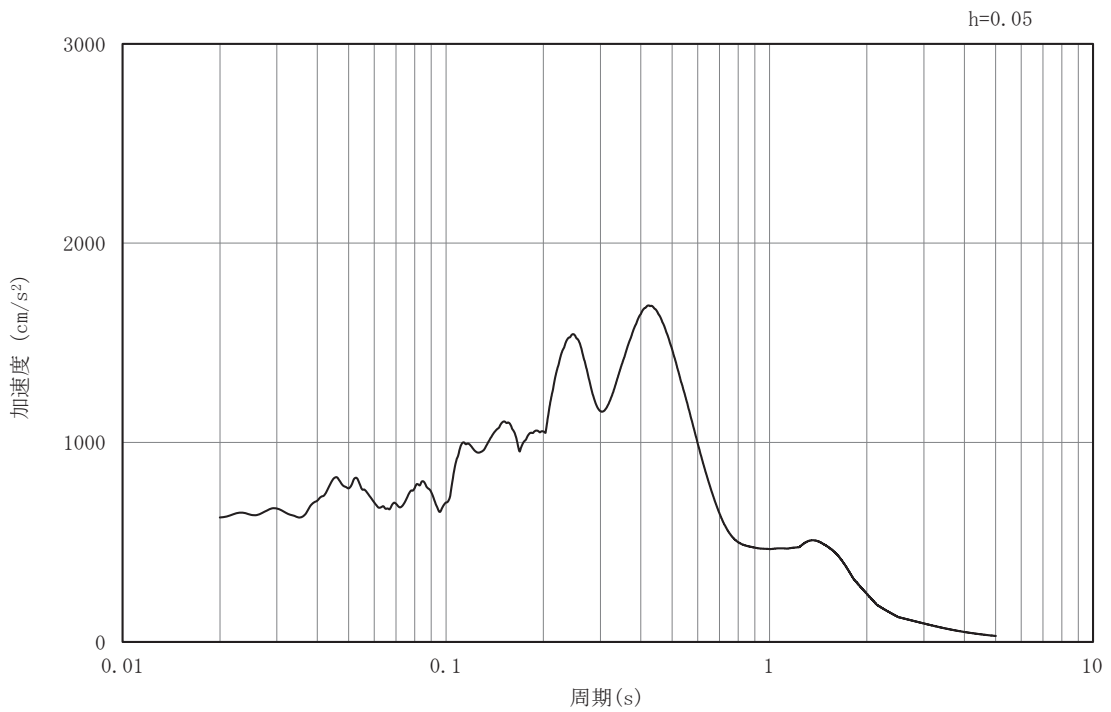


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(54) 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. 4 揚水井戸

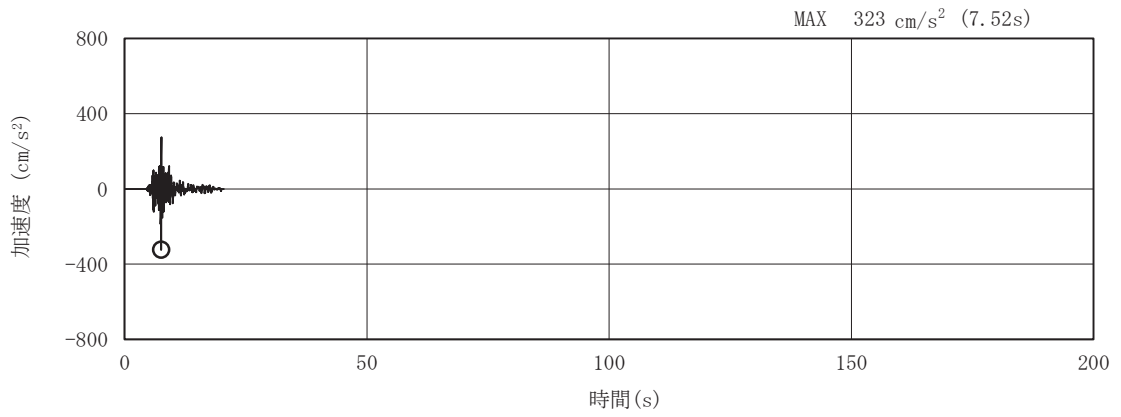


(a) 加速度時刻歴波形

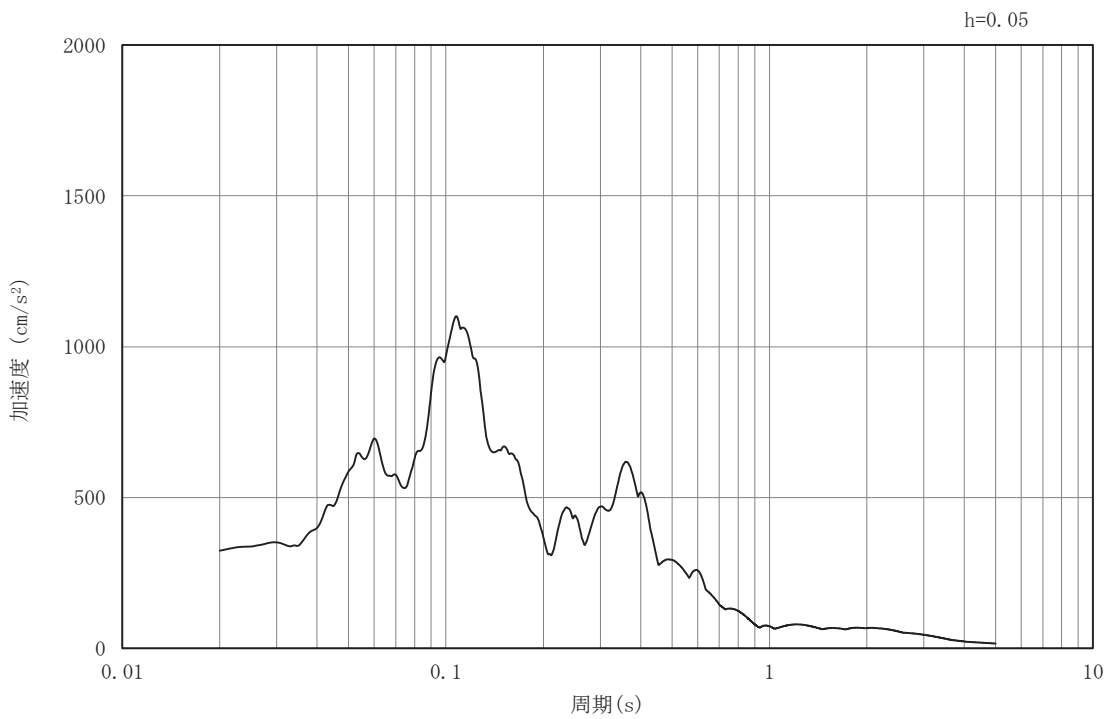


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(55) 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. 4 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(56) 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. 4 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

二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

二次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。

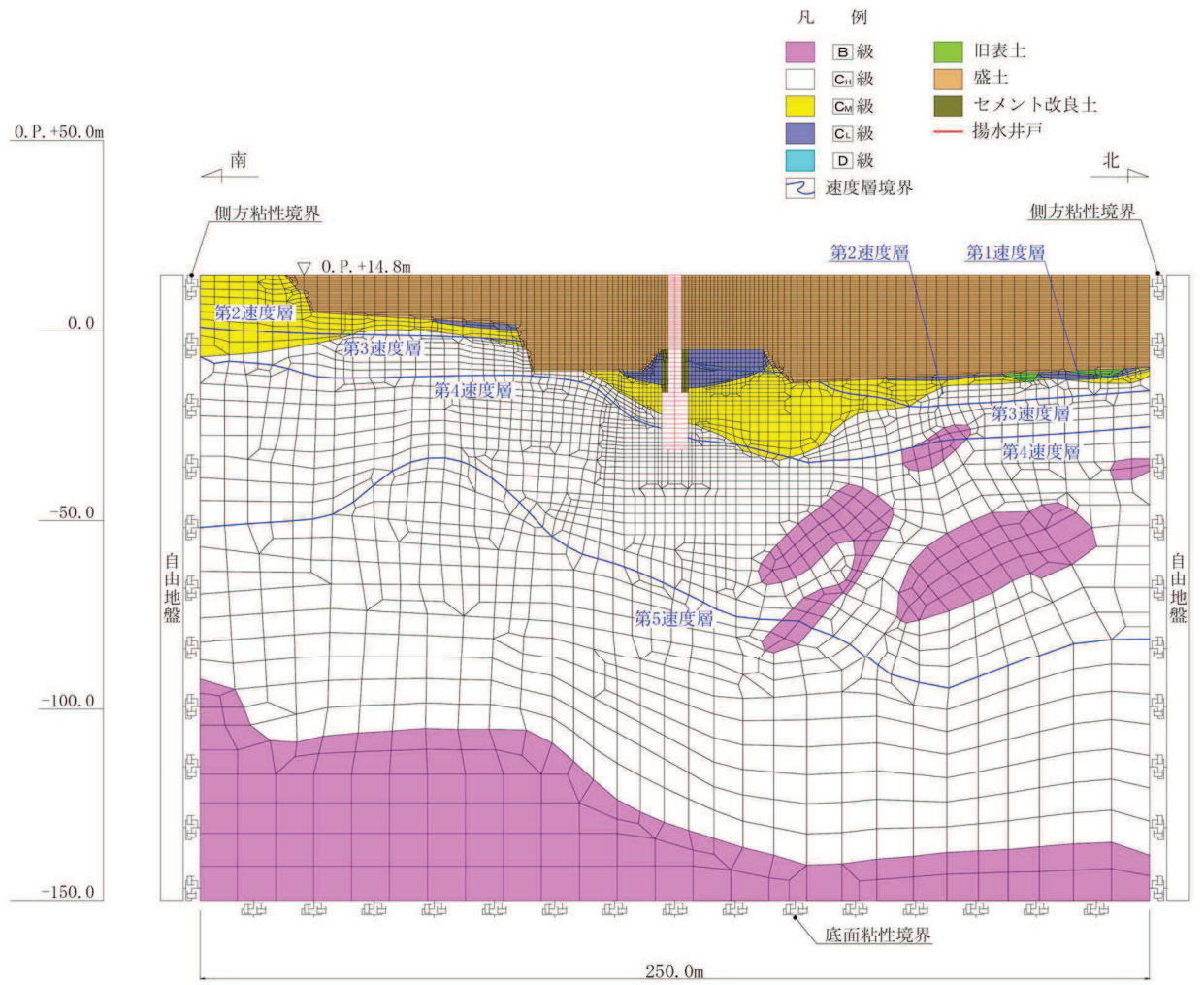


図 3-5(1) No.1 揚水井戸の解析モデル

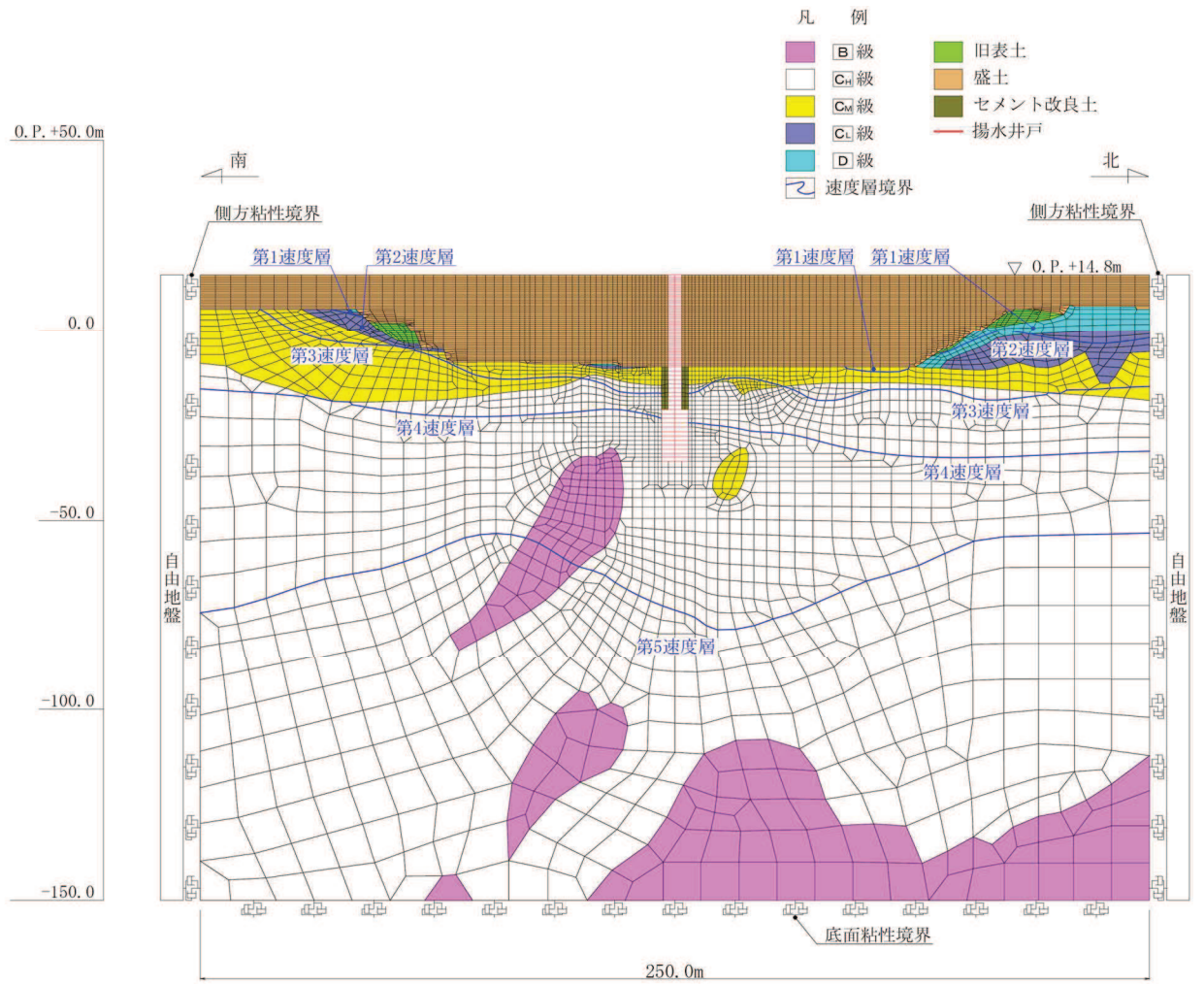


図 3-5 (2) No. 2 揚水井戸の解析モデル

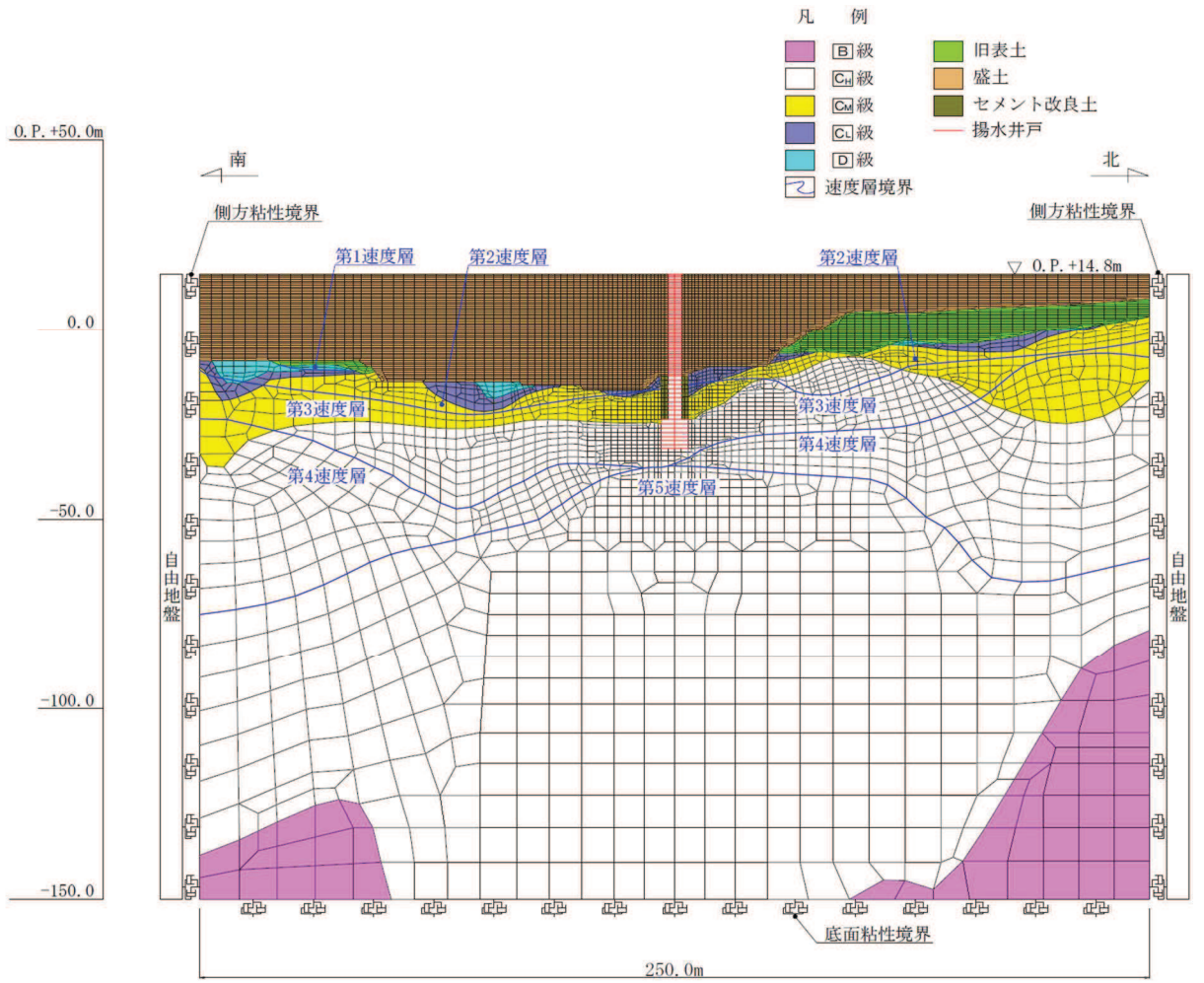


図 3-5 (3) No. 3 揚水井戸の解析モデル

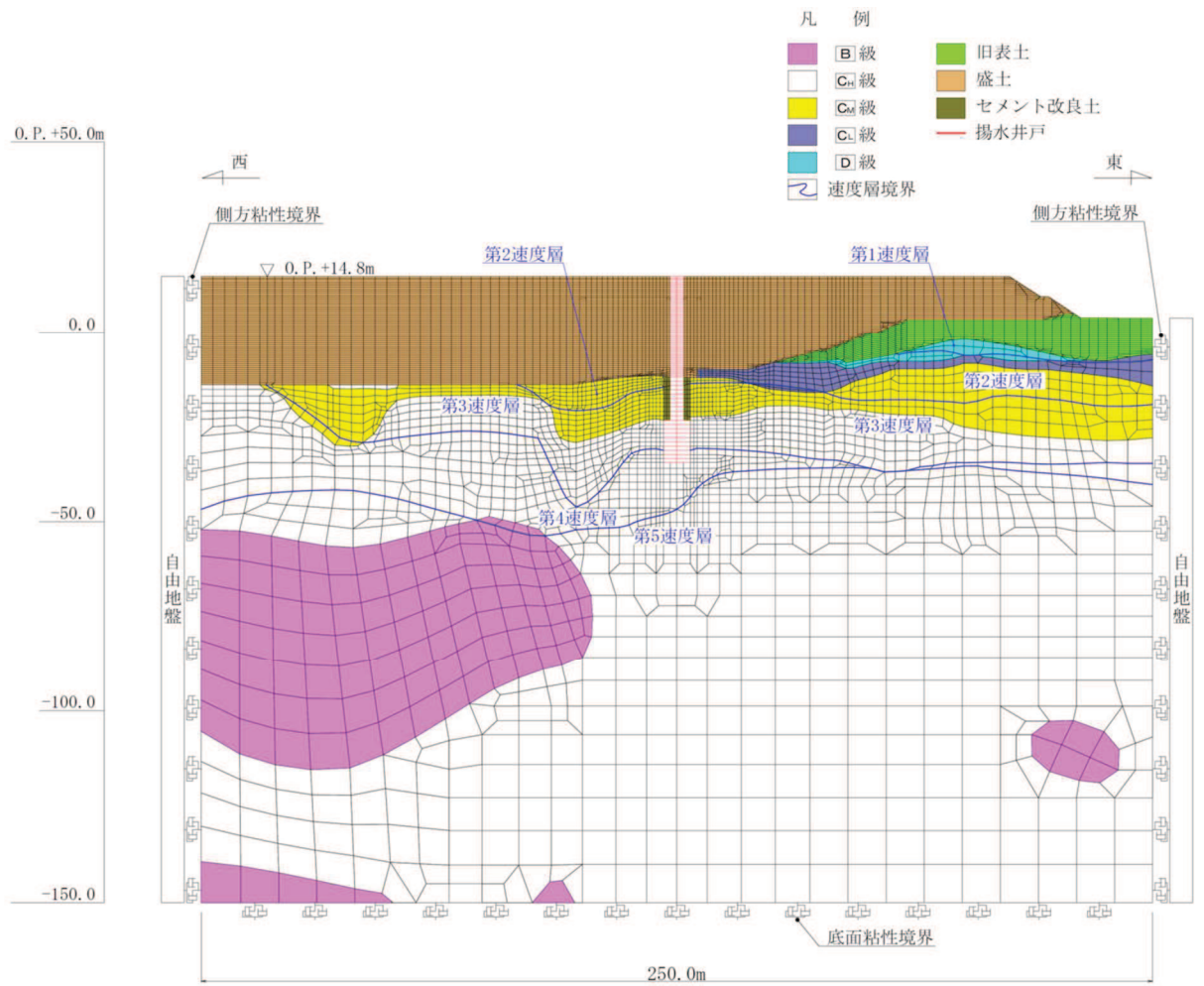


図 3-5 (4) No. 4 揚水井戸の解析モデル

### 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 ( $\text{kN/m}^3$ )	ヤング係数 ( $\text{N/mm}^2$ )	ポアソン比
鉄筋	設計基準強度	24.0	$2.8 \times 10^4$	0.2
コンクリート	$f'_{ck} : 30\text{N/mm}^2$			
鋼材	SM570	77.0	$2.0 \times 10^5$	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
No. 3 揚水井戸	C' -C 断面	O. P. +12. 9m～ O. P. -15. 0m
No. 4 揚水井戸	D' -D 断面	O. P. +7. 3m～ O. P. -10. 5m

### 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、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」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、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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 <sup>2</sup> )		短期許容 応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	
SM570 ( $t \leq 40\text{mm}$ )	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	255	382. 5
	許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	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 $\sigma_{sa}$	245	367. 5
	許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	140	210. 0

注記\*：「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
	f'ck=30 (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma'_{ca}$	11
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$ * <sup>2</sup>		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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
	SD345	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	196
SD390	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	216	324

注記\* 3 : 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 <sup>2</sup> )		短期許容 応力度* <sup>4</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	適用
	ABM490* <sup>5</sup> (M56, M60)	許容引張応力度 $f_t$		
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\* 4 : 「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

\* 5 : 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「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 <sup>2</sup> )
極限支持力	狐崎部層*	13.7
	牧の浜部層*	11.4

注記\* : C<sub>M</sub>級岩盤以上の岩盤が対象

### 3.7 評価方法

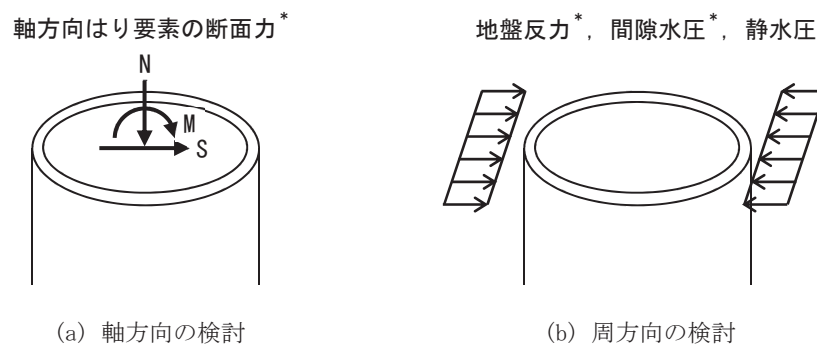
#### 3.7.1 構造部材の健全性に対する評価方法

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/mm<sup>2</sup>)
- 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 (mm<sup>3</sup>) \*
- 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 (mm<sup>2</sup>) \*

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、

$\tau$  : 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/mm<sup>2</sup>)

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 (mm<sup>2</sup>) \*

$\kappa$  : せん断応力の分布係数 (2.0)

注記\* : 排水シャフト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、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編」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）をモデル化した二次元静的フレーム解析を実施する。二次元静的フレーム解析モデルの概念図を図 3-7 に示す。

二次元静的フレーム解析には、解析コード「SLAP ver6.65」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。

以上の二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。

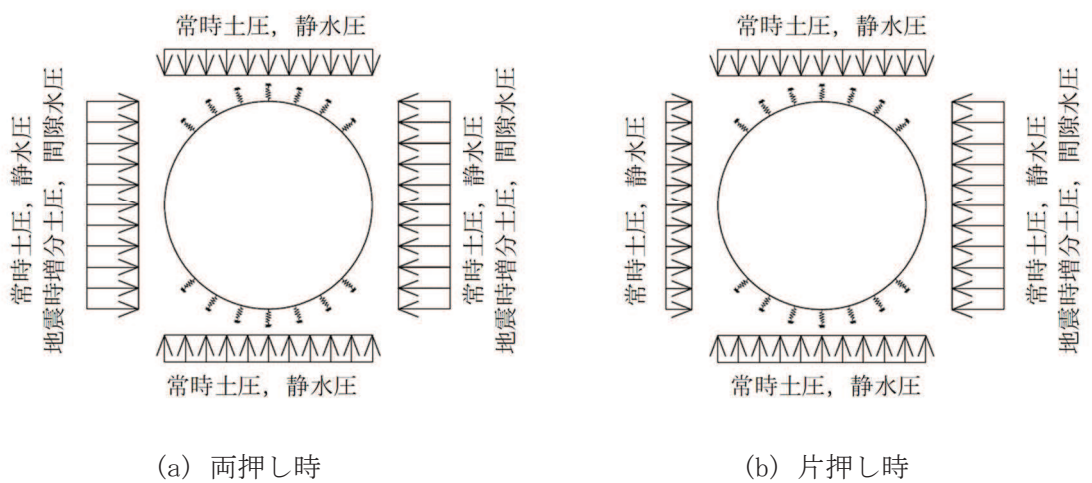
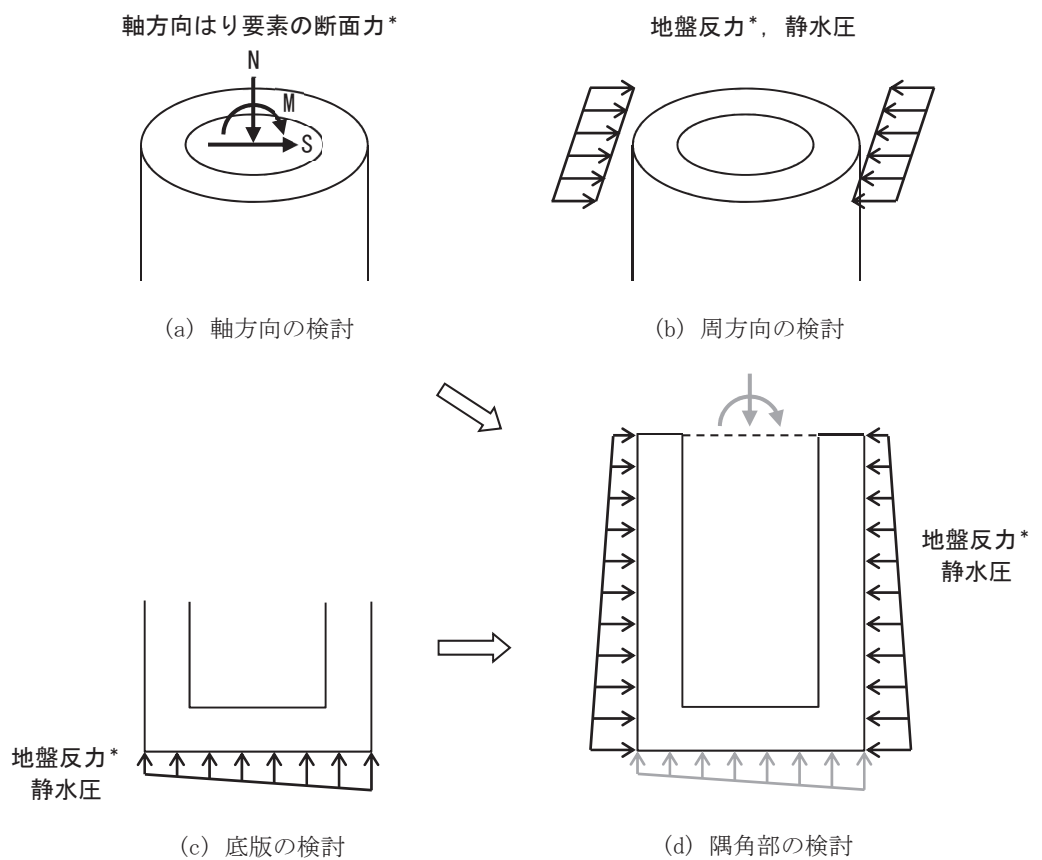


図 3-7 二次元静的フレーム解析モデルの概念図（排水シャフト）

(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）をモデル化した二次元静的フレーム解析を実施する。二次元静的フレーム解析モデルの概念図を図3-9に示す。

二次元静的フレーム解析には，解析コード「SLAP ver6.65」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。

以上の二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。

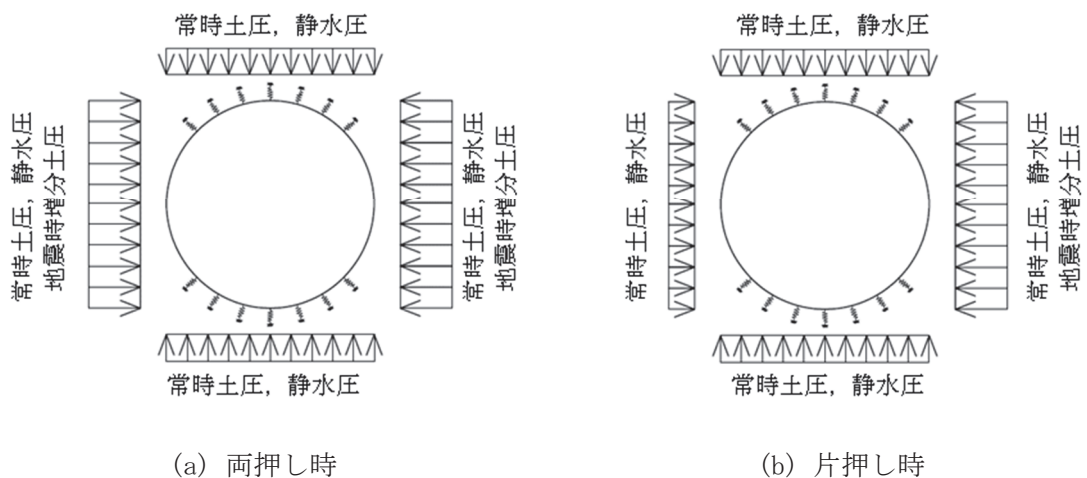


図3-9 二次元静的フレーム解析モデルの概念図（集水ピット）

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。



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、

$\sigma$  : アンカーボルトの引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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\* (mm<sup>2</sup>)

$f_{ts}$  : 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/mm<sup>2</sup>)

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/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : アンカーボルトのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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、

$\tau$  : アンカーボルトのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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/mm<sup>2</sup>)

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<sub>a</sub> : 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'<sub>ck</sub> : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

A<sub>c</sub> : コーン状破壊面の有効水平投影面積 (mm<sup>2</sup>)

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3-10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<sub>b</sub> : ベースプレートの曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M<sub>b</sub> : ベースプレートの曲げモーメント (N・mm/mm)

Z<sub>b</sub> : ベースプレートの断面係数\* (mm<sup>3</sup>/mm)

M<sub>x1</sub> : 3辺固定版の係数 (l<sub>y</sub>/l<sub>x</sub>より図3-11を参照し設定)

l<sub>x</sub> : 3辺固定版短辺の長さ (mm)

l<sub>y</sub> : 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/mm<sup>2</sup>)

f<sub>b</sub> : ベースプレートの短期許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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。

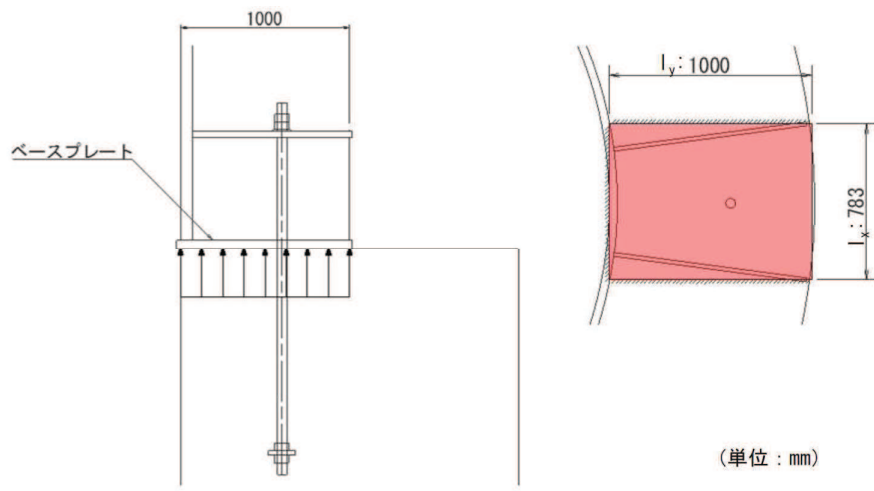


図 3-10 ベースプレート検討概念図

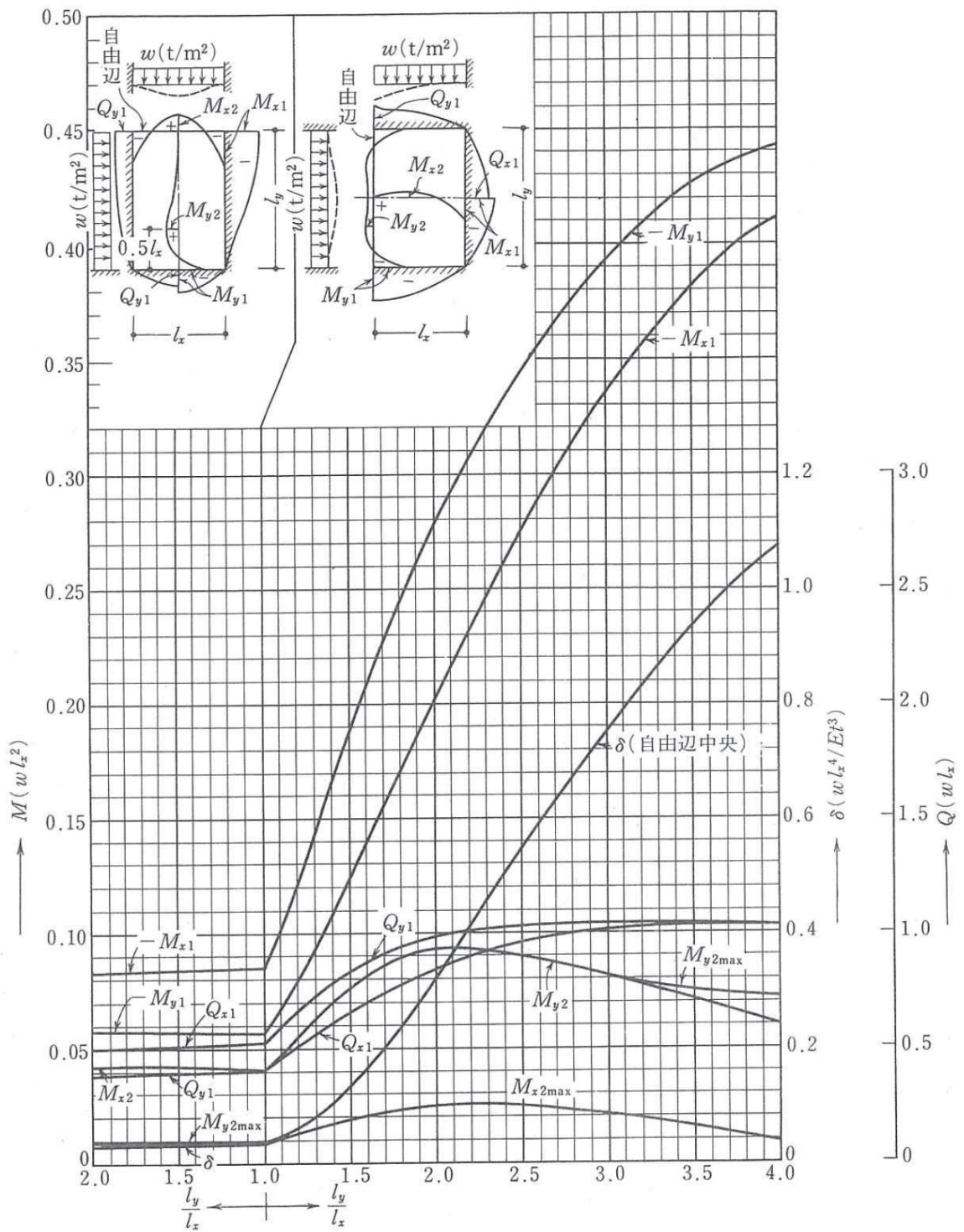


図3-11 等分布荷重時3辺固定1辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ  $\delta$

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3-12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/mm<sup>2</sup>)

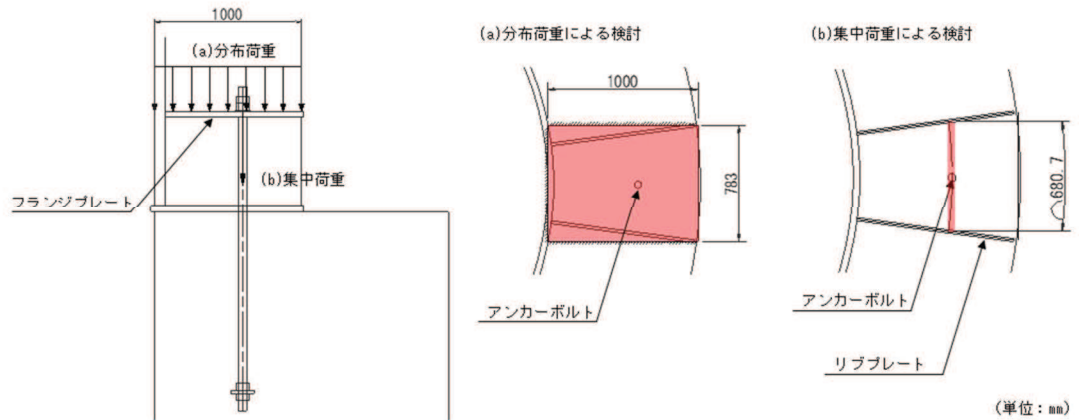


図3-12 フランジプレート検討概念図

(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)

$\sigma_f$  : フランジプレートの曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z_f$  : フランジプレートの断面係数\* (mm<sup>3</sup>/mm)

$f_f$  : フランジプレートの短期許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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 3-13 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、

$\tau_r$  : リブプレートのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_r$  : リブプレートのせん断力 (N)

$A_r$  : 有効せん断断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

$f_{sr}$  : リブプレートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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。

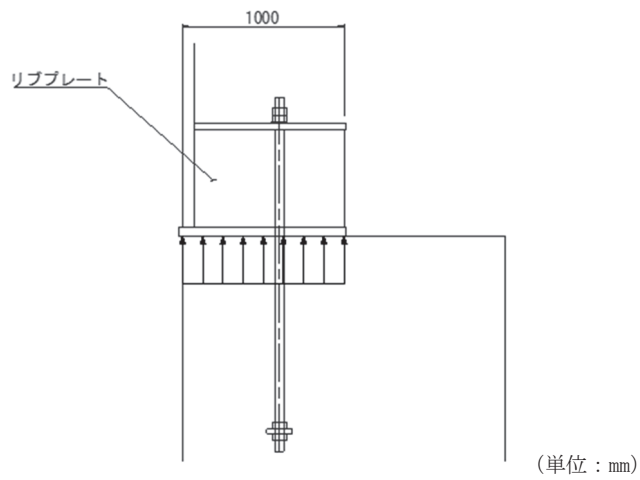


図 3-13 リブプレート検討概念図（ベースプレート側からの荷重作用時）

### 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

以下，照査値最大ケースを対象に評価結果を示す。

##### (1) 排水シャフト

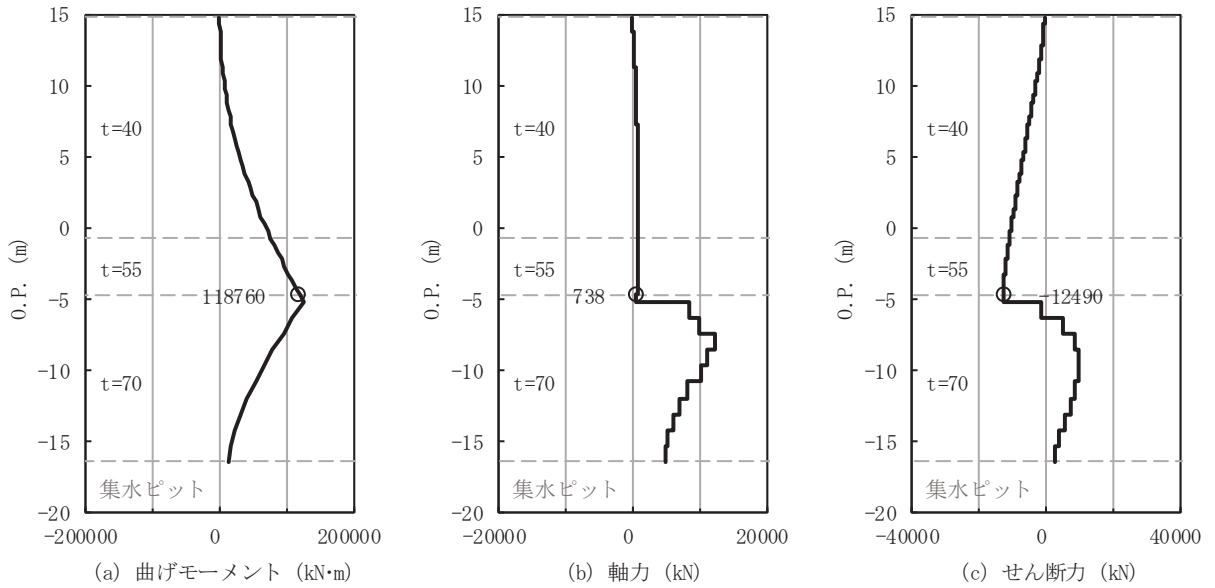
排水シャフトの軸方向の断面力分布を図 4-1 及び図 4-2 に，照査結果を表 4-1 及び表 4-2 に示す。また，周方向の断面力分布を図 4-3 に，照査結果を表 4-3 に示す。

以上より，排水シャフトの発生応力度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

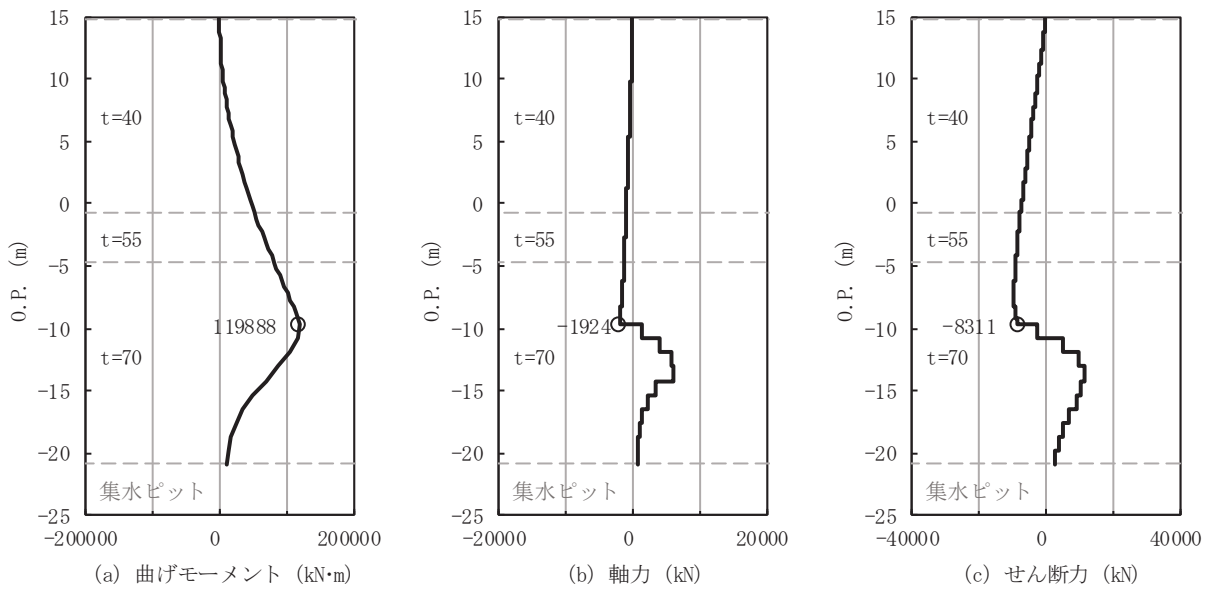
数値：最大照査値発生位置の断面力  
 曲げ：+左側引張，-右側引張  
 軸力：+引張，-圧縮



(No. 1 揚水井戸 (板厚  $t = 55\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1$  (++) , 7.77s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 $\sigma$ ) (有効応力解析)

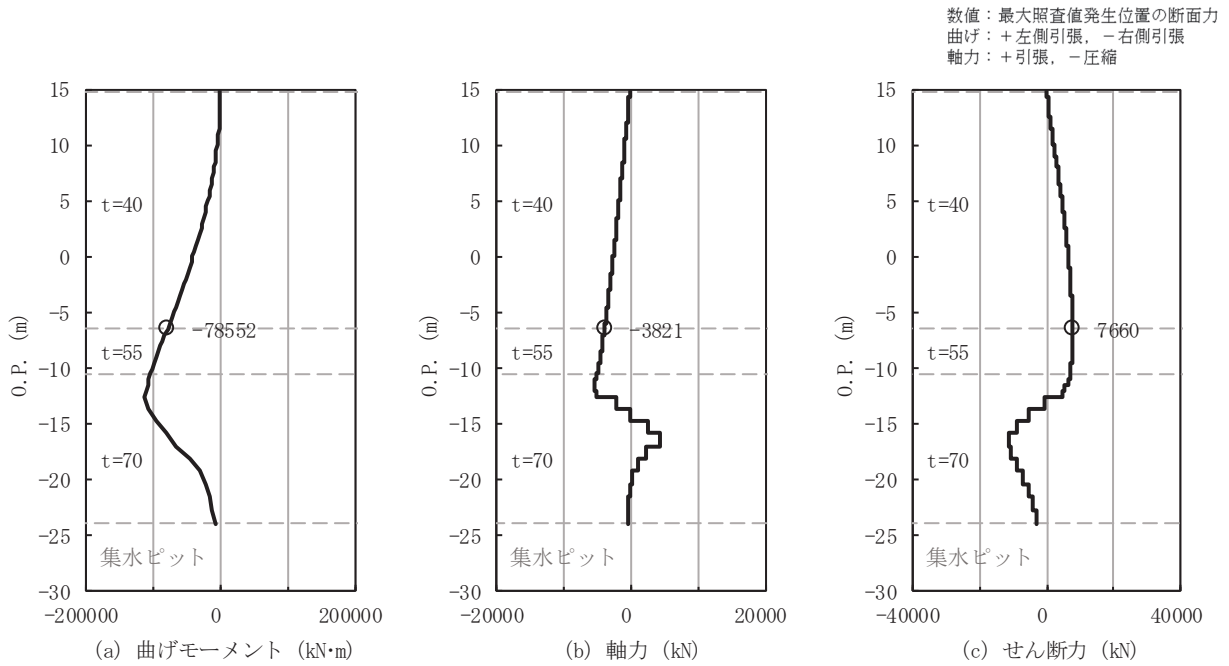
数値：最大照査値発生位置の断面力  
 曲げ：+左側引張，-右側引張  
 軸力：+引張，-圧縮



(No. 2 揚水井戸 (板厚  $t = 70\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1$  (++) , 7.78s)

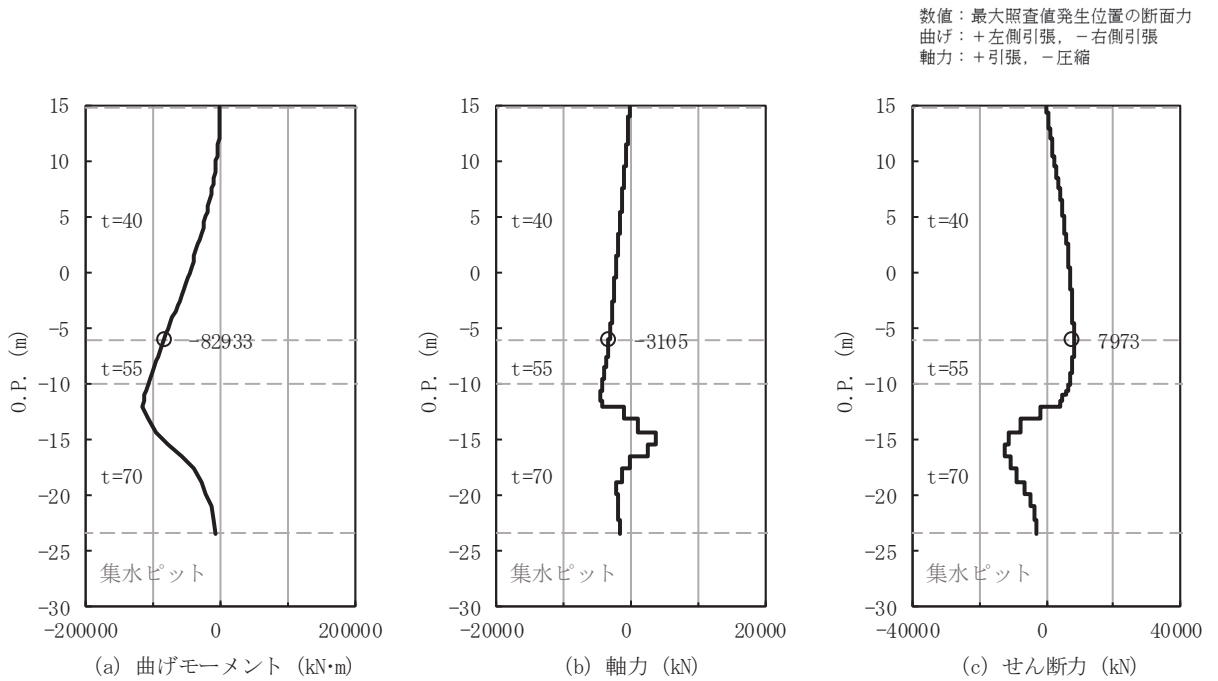
解析ケース①：基本ケース (全応力解析)

図 4-1(1) 排水シャフト 軸方向照査における曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力



(No. 3 揚水井戸 (板厚  $t = 40\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1 (-+)$  , 7.73s)

解析ケース①：基本ケース (全応力解析)



(No. 4 揚水井戸 (板厚  $t = 40\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1 (-+)$  , 7.83s)

解析ケース①：基本ケース (全応力解析)

図 4-1(2) 排水シャフト 軸方向照査における曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力

表 4-1 排水シャフト 軸方向照査における曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

(No. 1 揚水井戸, 有効応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
55	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	118760	738	177	367.5	0.49

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
70	S <sub>s</sub> -N1 (++)	①	119888	-1924	140	367.5	0.39

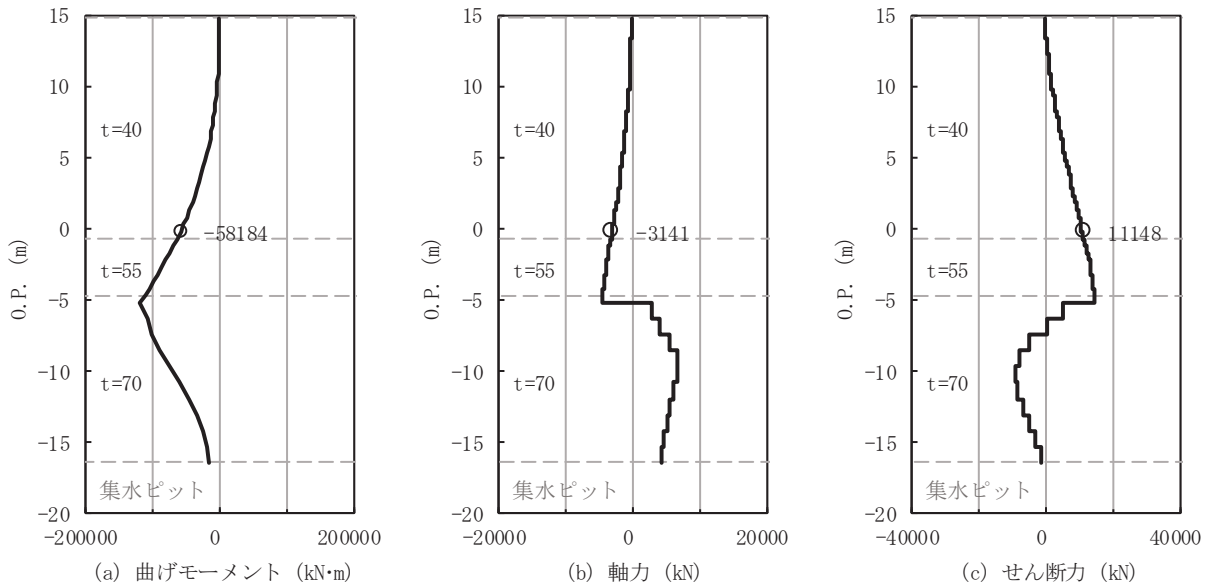
(No. 3 揚水井戸, 全応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
40	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	①	-78552	-3821	171	382.5	0.45

(No. 4 揚水井戸, 全応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
40	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	①	-82933	-3105	179	382.5	0.47

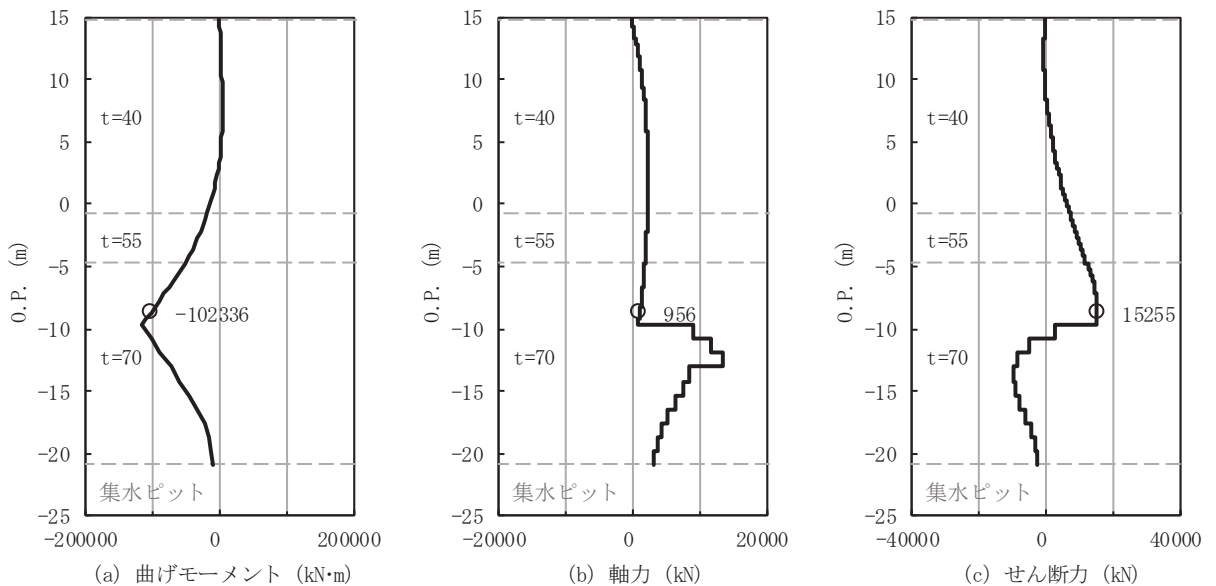
数値：最大照査値発生位置の断面力  
 曲げ：+左側引張，-右側引張  
 軸力：+引張，-圧縮



(No. 1 揚水井戸 (板厚  $t = 40\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1$  (一+) , 7.76s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 $\sigma$ ) (有効応力解析)

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

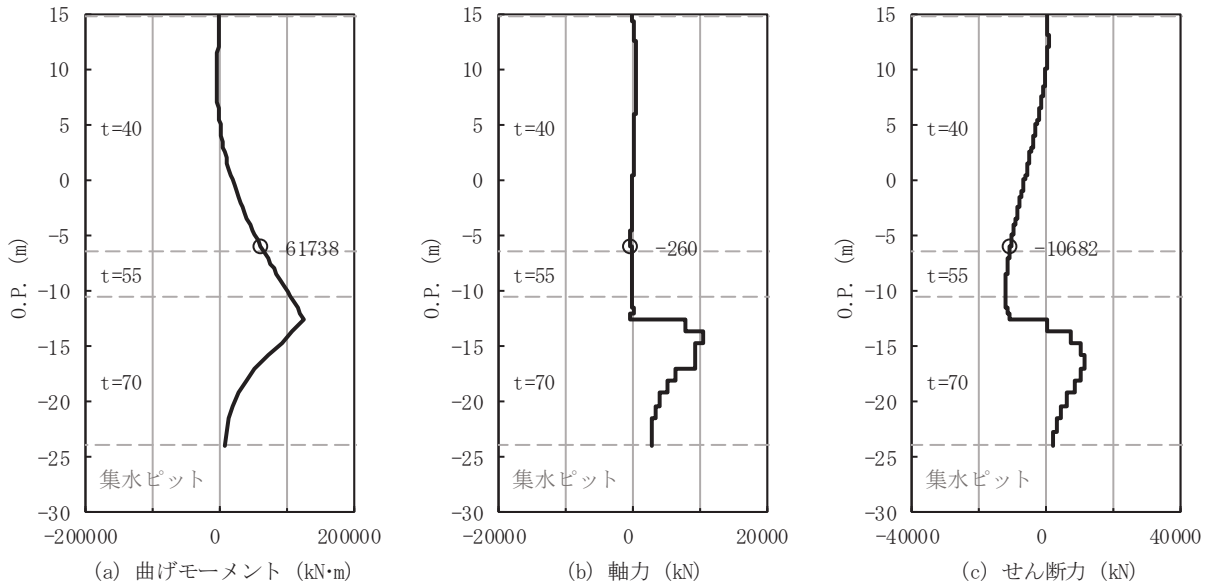


(No. 2 揚水井戸 (板厚  $t = 70\text{mm}$ ) ,  $S_s - F 1$  (一+) , 22.69s)

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+1 $\sigma$ ) (有効応力解析)

図 4-2(1) 排水シャフト 軸方向照査におけるせん断破壊に対する評価時刻での断面力

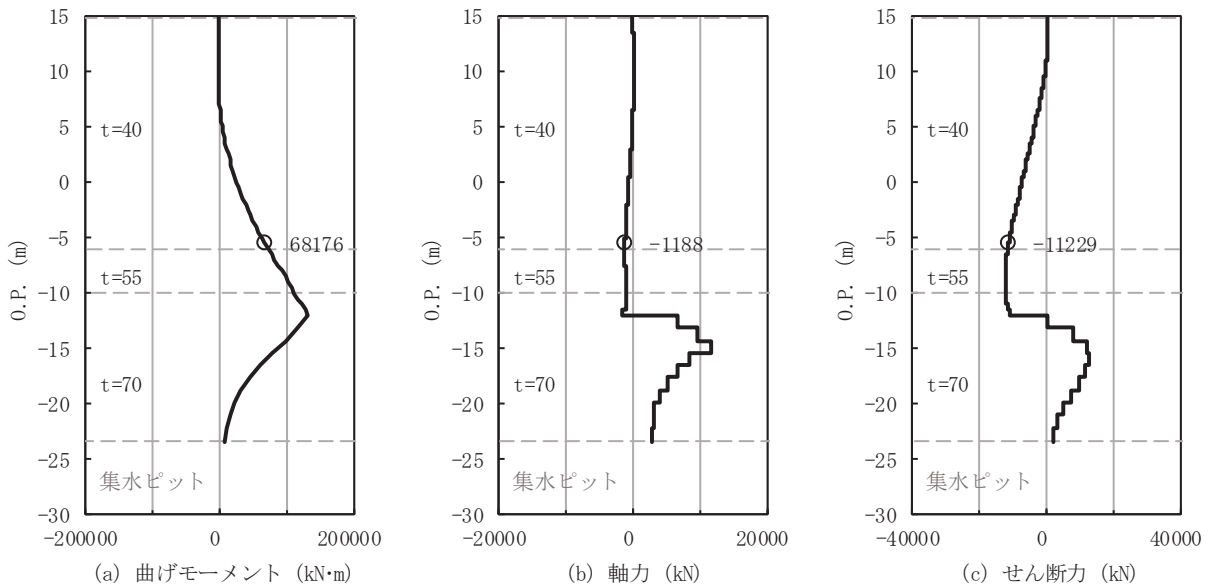
数値：最大照査値発生位置の断面力  
 曲げ：+左側引張、-右側引張  
 軸力：+引張、-圧縮



(No. 3 揚水井戸 (板厚  $t = 40\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1 (+ +)$  , 7.81s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 $+1\sigma$ ) (有効応力解析)

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



(No. 4 揚水井戸 (板厚  $t = 40\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1 (+ +)$  , 7.81s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 $+1\sigma$ ) (有効応力解析)

図 4-2(2) 排水シャフト 軸方向照査におけるせん断破壊に対する評価時刻での断面力

表 4-2 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, 有効応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
40	S s - N 1 (-+)	②	11148	47	217.5	0.22

(No. 2 揚水井戸, 有効応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
70	S s - F 1 (-+)	②	15255	36	210.0	0.18

(No. 3 揚水井戸, 有効応力解析)

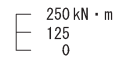
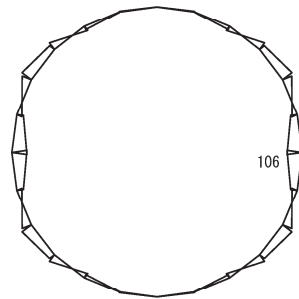
板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
40	S s - N 1 (++)	②	-10682	45	217.5	0.21

(No. 4 揚水井戸, 有効応力解析)

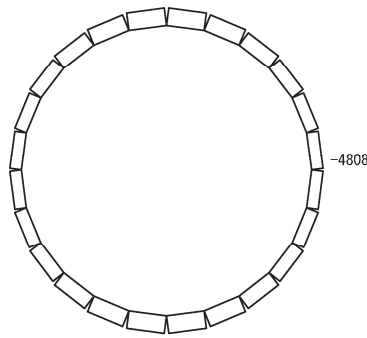
板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
40	S s - N 1 (++)	②	-11229	47	217.5	0.22

b. 周方向の照査結果

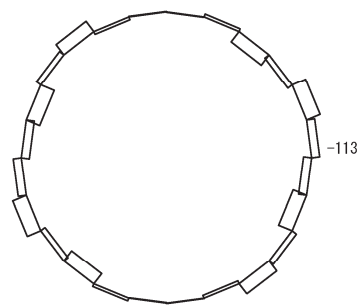
発生曲げモーメントは内側引張を正、軸力は引張を正として示す。



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



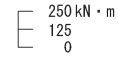
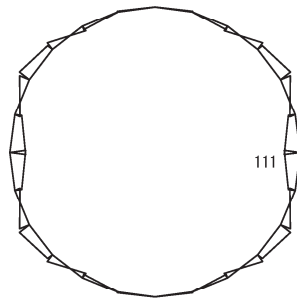
(c) せん断力

数値は照査値最大となる評価位置 (  $t = 70\text{mm}$  ) における断面力値を示す

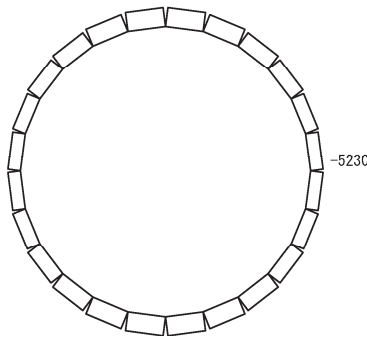
(No.1 揚水井戸 (板厚  $t = 70\text{mm}$ ) ,  $S_s - N1$  (++) , 7.75s)

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+1 $\sigma$ ) (有効応力解析)

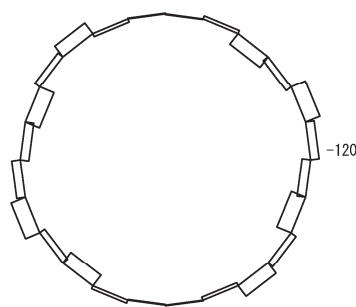
図 4-3(1) 排水シャフト 周方向照査における曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



(c) せん断力

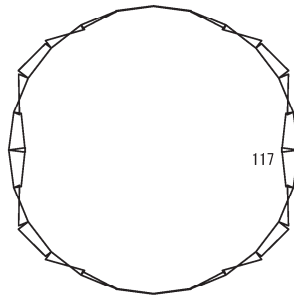
数値は照査値最大となる評価位置 (  $t = 70\text{mm}$  ) における断面力値を示す

(No. 2 揚水井戸 (板厚  $t = 70\text{mm}$ ) , S s - F 1 ( - + ) , 23.62s)

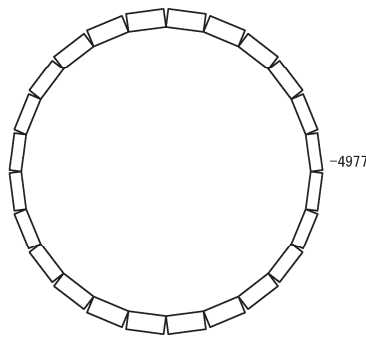
解析ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 +  $1\sigma$ ) (有効応力解析)

図 4-3(2) 排水シャフト 周方向照査における曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力

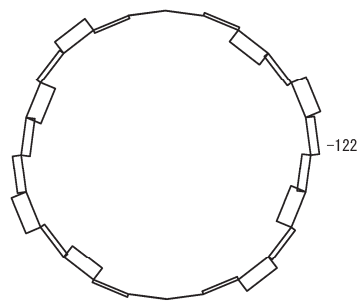




(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



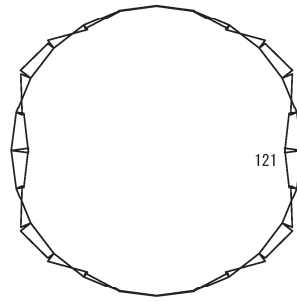
(c) せん断力

数値は照査値最大となる評価位置 (  $t = 70\text{mm}$  ) における断面力値を示す

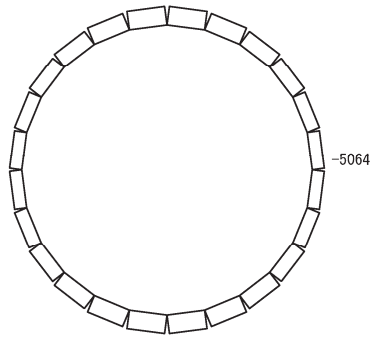
(No. 3 揚水井戸 (板厚  $t = 70\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1$  (++) , 7.81s)

解析ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値  $+1\sigma$ ) (有効応力解析)

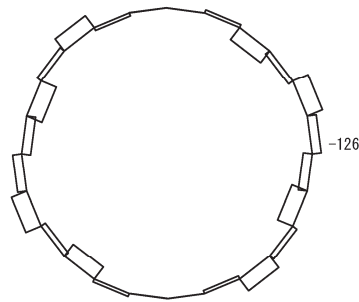
図 4-3(3) 排水シャフト 周方向照査における曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力



(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 (  $t = 70\text{mm}$  ) における断面力値を示す

(No. 4 揚水井戸 (板厚  $t = 70\text{mm}$ ) ,  $S_s - N 1$  (++) , 7.73s)

解析ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値  $+1\sigma$ ) (有効応力解析)

図 4-3(4) 排水シャフト 周方向照査における曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力

表 4-3 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, 有効応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
70	S s - N 1 (++)	②	106	-4808	209	367.5	0.57

(No. 2 揚水井戸, 有効応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
70	S s - F 1 (-+)	②	111	-5230	222	367.5	0.61

(No. 3 揚水井戸, 有効応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
70	S s - N 1 (++)	②	117	-4977	225	367.5	0.62

(No. 4 揚水井戸, 有効応力解析)

板厚 (mm)	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
70	S s - N 1 (++)	②	121	-5064	231	367.5	0.63

(2) 集水ピット

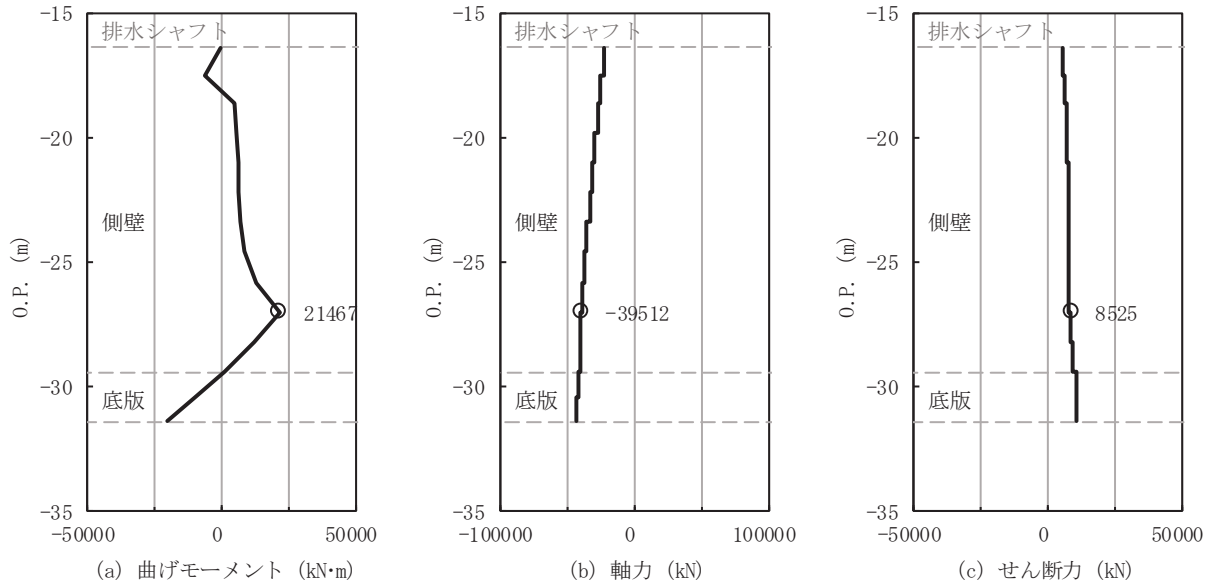
集水ピットにおける照査結果を表 4-4～表 4-13 に、断面力分布を図 4-4, 5 に示す。この結果から、集水ピットの発生応力度等が許容限界以下であることを確認した。

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。

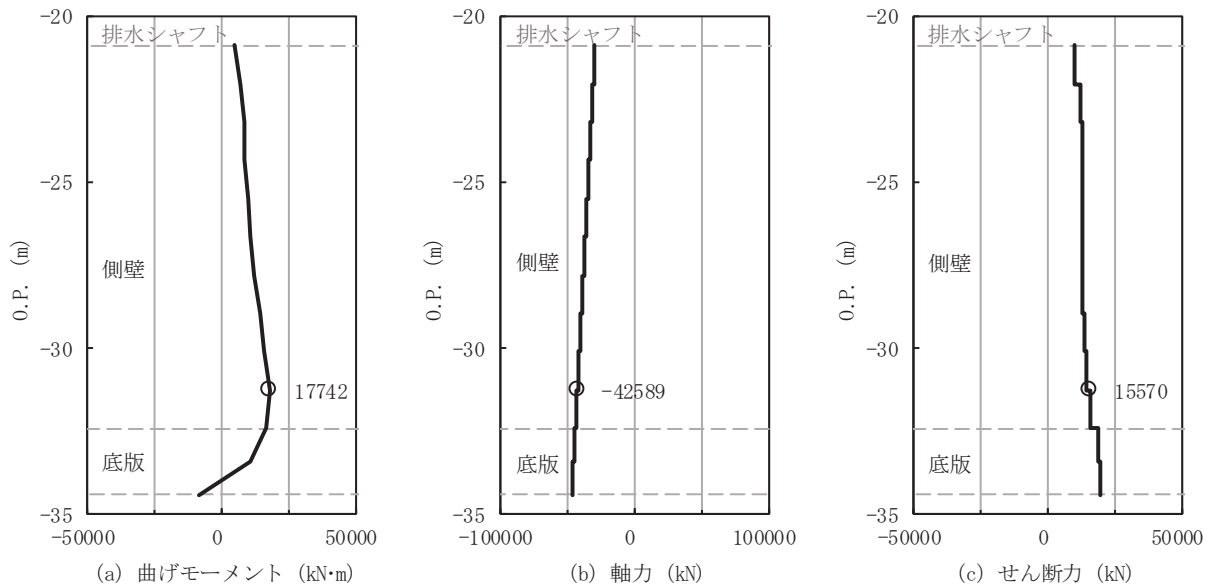
数値：最大照査値発生位置の断面力  
 曲げ：+左側引張，-右側引張  
 軸力：+引張，-圧縮



(No. 1 揚水井戸，S s - N 1 (-+)，7.59s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値-1σ）（有効応力解析）

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

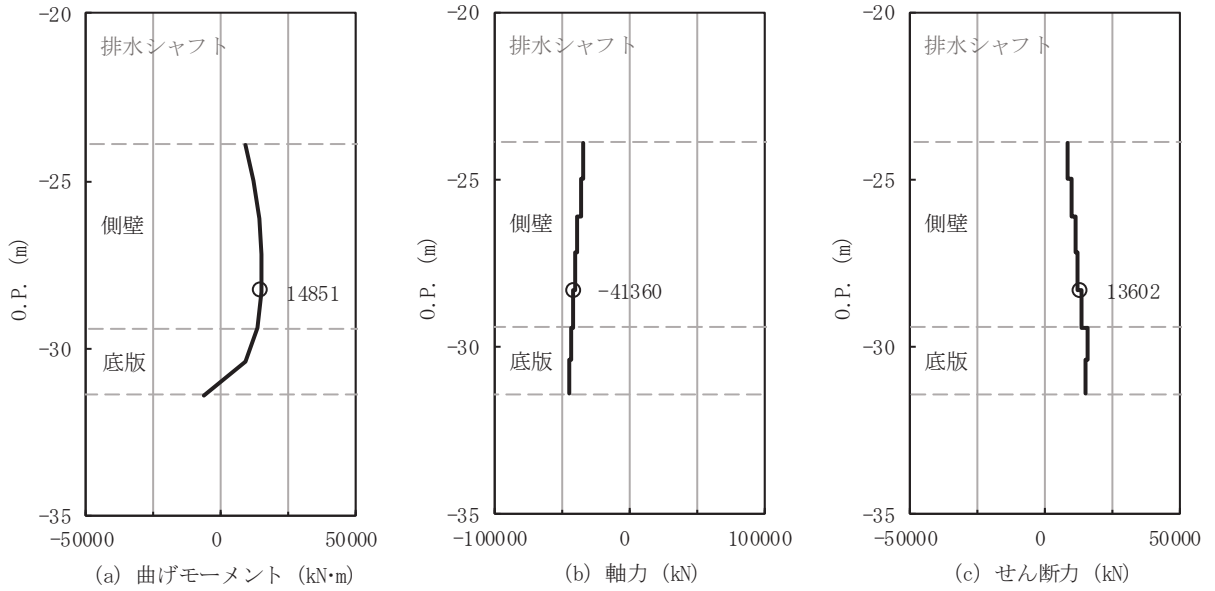


(No. 2 揚水井戸，S s - F 3 (++)，27.63s)

解析ケース①：基本ケース（全応力解析）

図 4-4(1) 集水ピット 軸方向照査におけるコンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する  
 評価時刻での断面力

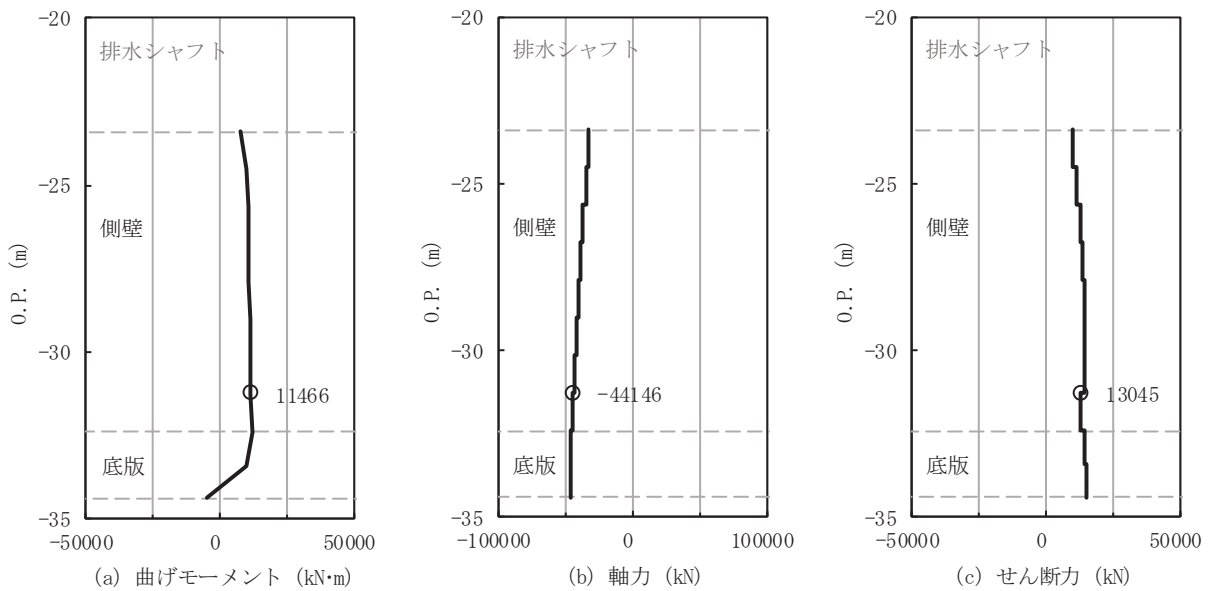
数値：最大照査値発生位置の断面力  
 曲げ：+左側引張，-右側引張  
 軸力：+引張，-圧縮



(No. 3 揚水井戸，S s - F 3 (++)，27.63s)

解析ケース①：基本ケース（全応力解析）

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



(No. 4 揚水井戸，S s - F 3 (++)，27.63s)

解析ケース①：基本ケース（全応力解析）

図 4-4(2) 集水ピット 軸方向照査におけるコンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する  
 評価時刻での断面力

表 4-4 集水ピット 軸方向照査における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, 有効応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - N 1 (-+)	③	21467	-39512	1.4	16.5	0.09

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - F 3 (++)	①	17742	-42589	1.4	16.5	0.09

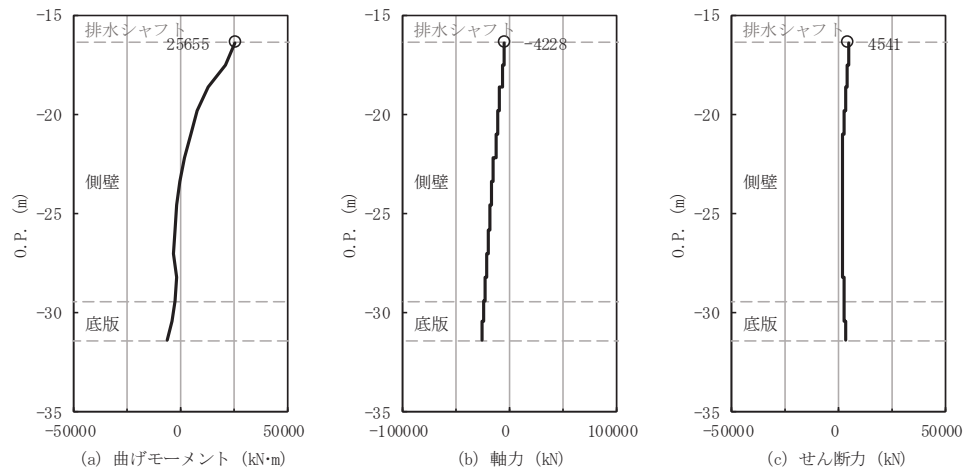
(No. 3 揚水井戸, 全応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - F 3 (++)	①	14851	-41360	1.3	16.5	0.08

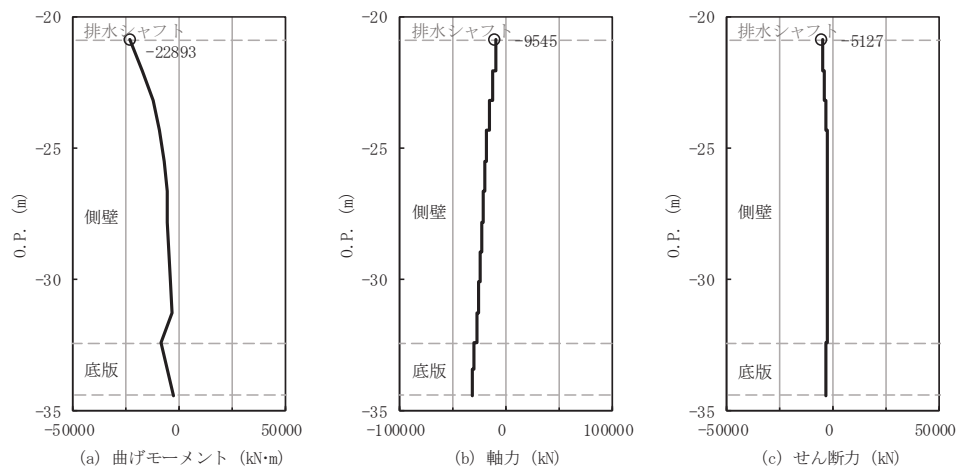
(No. 4 揚水井戸, 全応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - F 3 (++)	①	11466	-44146	1.3	16.5	0.08

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



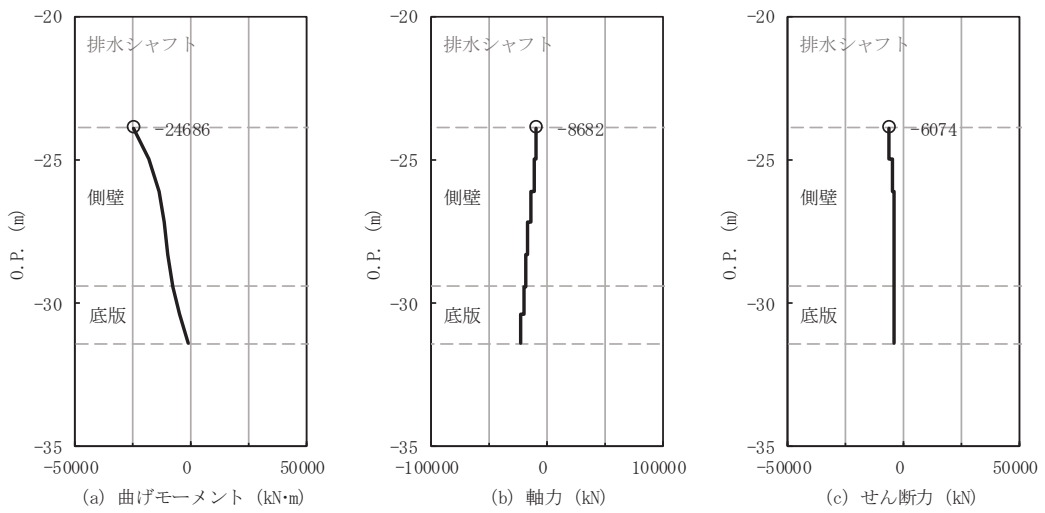
(No. 1 揚水井戸，S s - N 1 (++)，7.80s) 解析ケース①：基本ケース (有効応力解析)



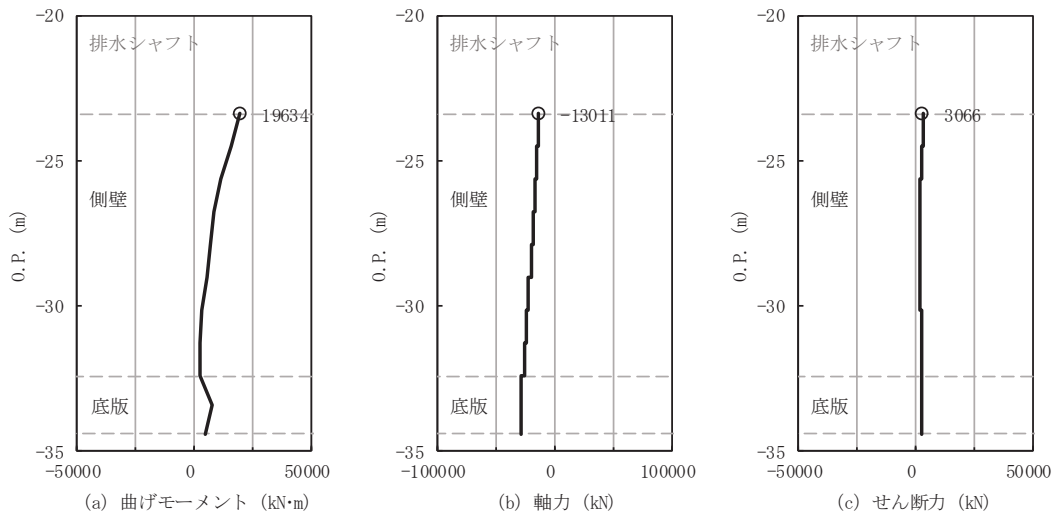
(No. 2 揚水井戸，S s - N 1 (-+)，7.81s) 解析ケース①：基本ケース (有効応力解析)

図 4-5(1) 集水ピット 軸方向照査における鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力





(No. 3 揚水井戸, S s - N 1 ( - + ) , 7.82s) 解析ケース① : 基本ケース (有効応力解析)



(No. 4 揚水井戸, S s - N 1 ( + + ) , 7.82s) 解析ケース① : 基本ケース (有効応力解析)

図 4-5(2) 集水ピット 軸方向照査における鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する評価時刻での断面力

表 4-5 集水ピット 軸方向照査における鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

(No. 1 揚水井戸, 有効応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				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 (++)	①	25655	-4228	23.1	324	0.08

(No. 2 揚水井戸, 有効応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				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 (-+)	①	-22893	-9545	5.2	324	0.02

(No. 3 揚水井戸, 有効応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				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 (-+)	①	-24686	-8682	8.6	324	0.03

(No. 4 揚水井戸, 有効応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				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 (++)	①	19634	-13011	0.6	324	0.01

表 4-6 集水ピット 軸方向照査におけるせん断破壊に対する照査値

(No. 1 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D38@300 周方向鉄筋	S s - F 3 (++)	①	16557	33473	0.50

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D38@300 周方向鉄筋	S s - F 2 (-+)	①	16209	33473	0.49

(No. 3 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D38@300 周方向鉄筋	S s - D 2 (-+)	③	17744	33473	0.54

(No. 4 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D38@300 周方向鉄筋	S s - D 2 (-+)	③	18757	33473	0.57

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 集水ピット 周方向照査における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, 有効応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 1 (-+)	③	-606	-3491	2.5	16.5	0.16

(No. 2 揚水井戸, 有効応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 2 (++)	②	-418	-3208	2.1	16.5	0.13

(No. 3 揚水井戸, 有効応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 1 (++)	①	-470	-3133	2.2	16.5	0.14

(No. 4 揚水井戸, 有効応力解析)

部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 1 (++)	③	-482	-3335	2.3	16.5	0.14

表 4-8 集水ピット 周方向照査におけるせん断破壊に対する照査値

(No. 1 揚水井戸, 有効応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D22×30 本/周@300 せん断補強鉄筋	S s - D 1 (-+)	③	547	1497	0.37

(No. 2 揚水井戸, 有効応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D22×30 本/周@300 せん断補強鉄筋	S s - D 2 (++)	②	380	1497	0.26

(No. 3 揚水井戸, 有効応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D22×30 本/周@300 せん断補強鉄筋	S s - D 1 (++)	①	404	1497	0.27

(No. 4 揚水井戸, 有効応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
側壁	SD345 D22×30 本/周@300 せん断補強鉄筋	S s - D 1 (++)	③	415	1497	0.28

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 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, 全応力解析)

部材	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
底版	S s - D 2 (-+)	①	-2130	4.3	16.5	0.27

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

部材	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
底版	S s - F 3 (-+)	①	-2144	4.4	16.5	0.27

(No. 3 揚水井戸, 全応力解析)

部材	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
底版	S s - D 2 (++)	①	-1834	3.7	16.5	0.23

(No. 4 揚水井戸, 全応力解析)

部材	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
底版	S s - D 2 (++)	①	-2132	4.3	16.5	0.27

表 4-10 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, 全応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - D 2 (-+)	①	-2130	168	324	0.52

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - F 3 (-+)	①	-2144	169	324	0.53

(No. 3 揚水井戸, 全応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - D 2 (++)	①	-1834	145	324	0.45

(No. 4 揚水井戸, 全応力解析)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - D 2 (++)	①	-2132	168	324	0.52

表 4-11 集水ピット せん断破壊に対する照査値

(No. 1 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S <sub>s</sub> -D2 (-+)	①	1184	2384	0.50

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S <sub>s</sub> -F3 (-+)	①	1192	2384	0.50

(No. 3 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S <sub>s</sub> -D2 (++)	①	1019	2384	0.43

(No. 4 揚水井戸, 全応力解析)

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 <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S <sub>s</sub> -D2 (++)	①	1185	2384	0.50



d. 隅角部の照査結果

表 4-12 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, 有効応力解析)

地震動	解析 ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
S s - D 1 (-+)	①	3073	6.0	16.5	0.37

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

地震動	解析 ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
S s - D 2 (-+)	①	2989	5.8	16.5	0.36

(No. 3 揚水井戸, 有効応力解析)

地震動	解析 ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
S s - D 1 (-+)	①	2806	5.5	16.5	0.34

(No. 4 揚水井戸, 有効応力解析)

地震動	解析 ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
S s - D 1 (++)	③	3014	5.9	16.5	0.36

表 4-13 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, 有効応力解析)

地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
S s - D 1 (-+)	①	3073	195	324	0.61

(No. 2 揚水井戸, 全応力解析)

地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
S s - D 2 (-+)	①	2989	190	324	0.59

(No. 3 揚水井戸, 有効応力解析)

地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
S s - D 1 (-+)	①	2806	179	324	0.56

(No. 4 揚水井戸, 有効応力解析)

地震動	解析ケース	曲げモーメント (kN・m)	曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
S s - D 1 (++)	③	3014	192	324	0.60

(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度等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 接合部（アンカーボルト）の照査結果  
(No. 1 揚水井戸)

解析手法	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
有効応力解析	S <sub>s</sub> -N1 (++)	②	引張応力度	ABM490	95	295*	0.33
有効応力解析	S <sub>s</sub> -N1 (++)	③	せん断応力度		36	170.3	0.22

(No. 2 揚水井戸)

解析手法	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
有効応力解析	S <sub>s</sub> -F1 (-+)	③	引張応力度	ABM490	52	295*	0.18
全応力解析	S <sub>s</sub> -D1 (++)	①	せん断応力度		39	170.3	0.23

(No. 3 揚水井戸)

解析手法	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
有効応力解析	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	①	引張応力度	ABM490	53	295*	0.18
有効応力解析	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	①	せん断応力度		38	170.3	0.23

(No. 4 揚水井戸)

解析手法	地震動	解析ケース	応力成分	材質	照査用 応力度 A (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
有効応力解析	S <sub>s</sub> -N1 (-+)	①	引張応力度	ABM490	12	295*	0.05
有効応力解析	S <sub>s</sub> -N1 (++)	③	せん断応力度		32	170.3	0.19

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 接合部（コンクリート）の照査結果

(No. 1 揚水井戸，有効応力解析)

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 (++)	②	引張力	設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N}/\text{mm}^2$	409	1738	0.24

(No. 2 揚水井戸，有効応力解析)

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 $f'_{ck}=30\text{N}/\text{mm}^2$	224	1738	0.13

(No. 3 揚水井戸，有効応力解析)

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 (-+)	①	引張力	設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N}/\text{mm}^2$	228	1738	0.14

(No. 4 揚水井戸，有効応力解析)

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 (-+)	①	引張力	設計基準強度 $f'_{ck}=30\text{N}/\text{mm}^2$	52	1738	0.03

c. ベースプレートの照査結果

表 4-16 接合部（ベースプレート）の照査結果

(No. 1 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
ベース プレート	S s - N 1 (-+)	③	曲げ応力度	SM570	149	400	0.38

(No. 2 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
ベース プレート	S s - F 1 (-+)	③	曲げ応力度	SM570	110	400	0.28

(No. 3 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
ベース プレート	S s - N 1 (-+)	①	曲げ応力度	SM570	108	400	0.27

(No. 4 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
ベース プレート	S s - D 1 (-+)	①	曲げ応力度	SM570	93	400	0.24

d. フランジプレートの照査結果

表 4-17 接合部（フランジプレート）の照査結果

(No. 1 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
フランジ プレート	S s - N 1 (-+)	②	曲げ応力度	SM570	199	400	0.50

(No. 2 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
フランジ プレート	S s - F 1 (-+)	③	曲げ応力度	SM570	157	400	0.40

(No. 3 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
フランジ プレート	S s - N 1 (-+)	①	曲げ応力度	SM570	149	400	0.38

(No. 4 揚水井戸，全応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
フランジ プレート	S s - N 1 (-+)	①	曲げ応力度	SM570	113	400	0.29

e. リブプレートの照査結果

表 4-18 接合部（リブプレート）の照査結果

(No. 1 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
リブ プレート	S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	③	せん断応力度	SM570	86	230.9	0.38

(No. 2 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
リブ プレート	S <sub>s</sub> -F 1 (-+)	③	せん断応力度	SM570	64	230.9	0.28

(No. 3 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
リブ プレート	S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	①	せん断応力度	SM570	62	230.9	0.27

(No. 4 揚水井戸，有効応力解析)

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 <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 B (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (A/B)
リブ プレート	S <sub>s</sub> -D 1 (-+)	①	せん断応力度	SM570	54	230.9	0.24



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 4-6 に、基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-19 に示す。なお、全応力解析・有効応力解析ともに照査値が同値である場合、代表して全応力解析による接地圧分布を示す。

以上より、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。

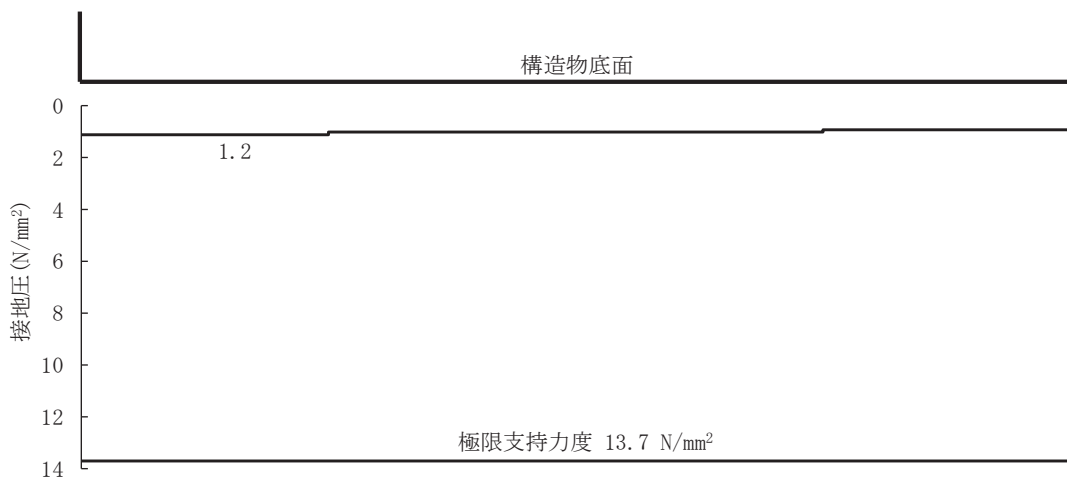
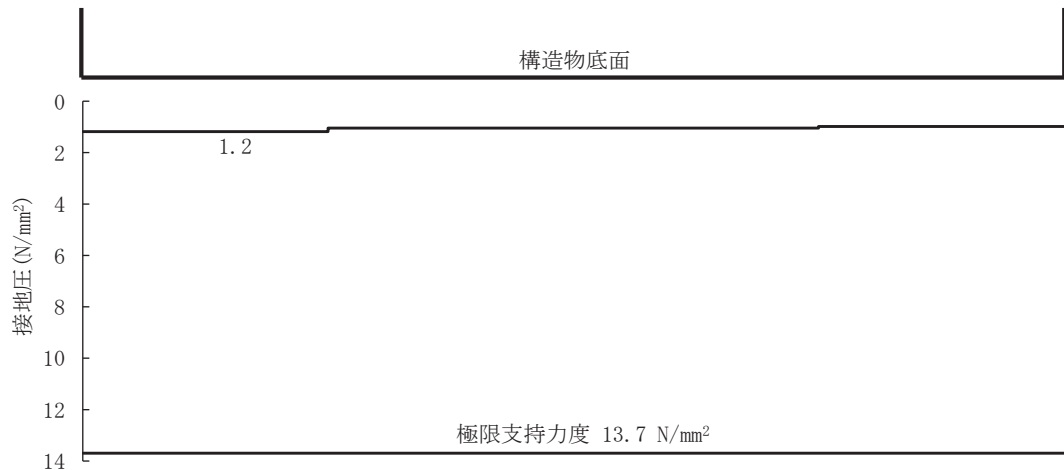
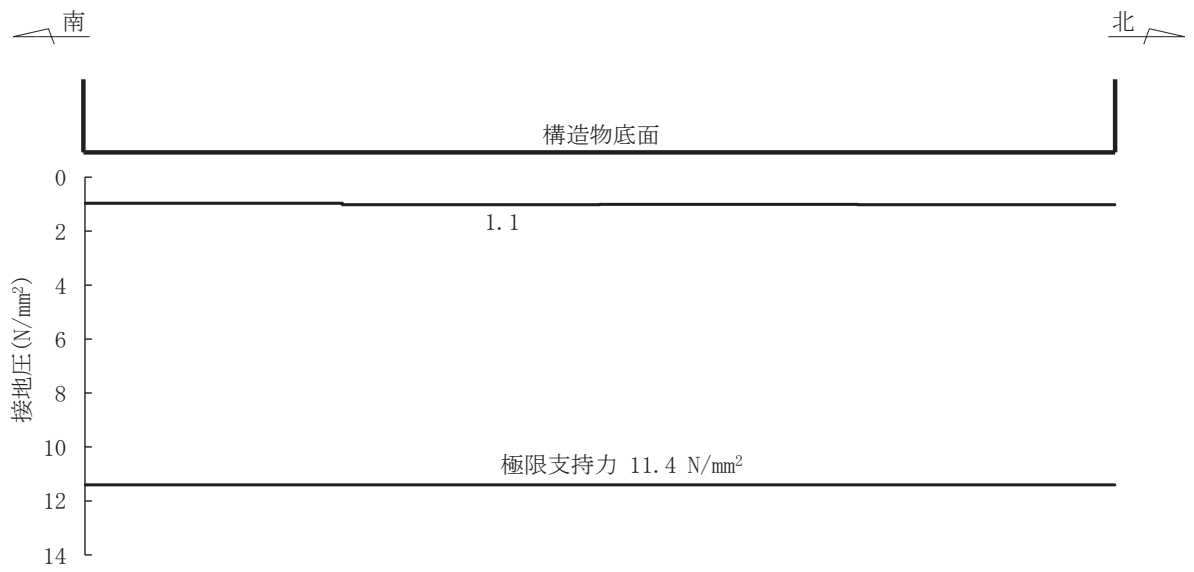
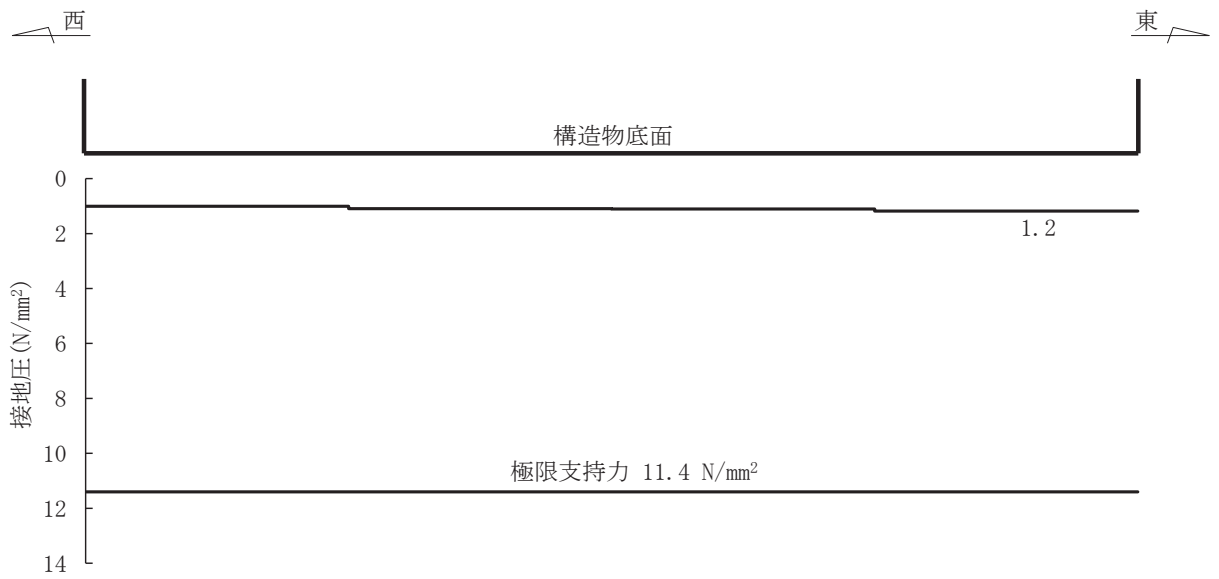


図 4-6(1) 最大接地圧分布図



(No. 3 揚水井戸, S s - D 2 (++) )



(No. 4 揚水井戸, S s - D 2 (++) )

図 4-5(2) 最大接地压分布図

表 4-19 基礎地盤の支持性能評価結果

井戸	解析手法	地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
No. 1 揚水井戸	全応力解析	S s - D 2 (-+)	①	1.2	13.7	0.09
	有効応力解析	S s - D 1 (-+)	②			
No. 2 揚水井戸	全応力解析	S s - F 3 (-+)	①	1.2	13.7	0.09
	有効応力解析					
No. 3 揚水井戸	全応力解析	S s - D 2 (++)	①	1.1	11.4	0.10
	有効応力解析	S s - D 1 (++)		1.0	11.4	0.09
No. 4 揚水井戸	全応力解析	S s - D 2 (++)	①	1.2	11.4	0.11
	有効応力解析	S s - D 1 (++)	③			

(別紙1) 敷地側集水ピット(北側)の耐震性について

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	5
2.4	適用基準	9
3.	地震応答解析	10
3.1	解析方法	11
3.1.1	材料物性及び地盤物性のばらつき	11
3.1.2	解析ケース	11
3.2	荷重及び荷重の組合せ	13
3.2.1	耐震評価上考慮する状態	13
3.2.2	荷重	13
3.2.3	荷重の組合せ	14
3.3	解析モデル及び諸元	15
3.3.1	解析モデル	15
3.3.2	地盤の物性値	15
3.3.3	地下水位	15
3.4	地震応答解析結果	16
4.	フレーム解析	19
4.1	評価対象部位	19
4.2	解析方法	19
4.3	解析モデル	19
4.4	使用材料及び材料の物性値	20
4.5	入力荷重	20
5.	耐震評価	23
5.1	許容限界	23
5.1.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	23
5.1.2	せん断破壊に対する許容限界	23
5.1.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	23
5.2	評価方法	24
6.	耐震評価結果	25
6.1	構造部材の健全性に対する評価結果	25
6.2	地盤の支持性能に対する評価結果	29

## 1. 概要

本資料は、敷地側集水ピット（北側）（以下「集水ピット」という。）について、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震時の構造強度について説明するものであり、その評価は応力解析により行う。

なお、集水ピットの耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

集水ピットの位置を図2-1に示す。

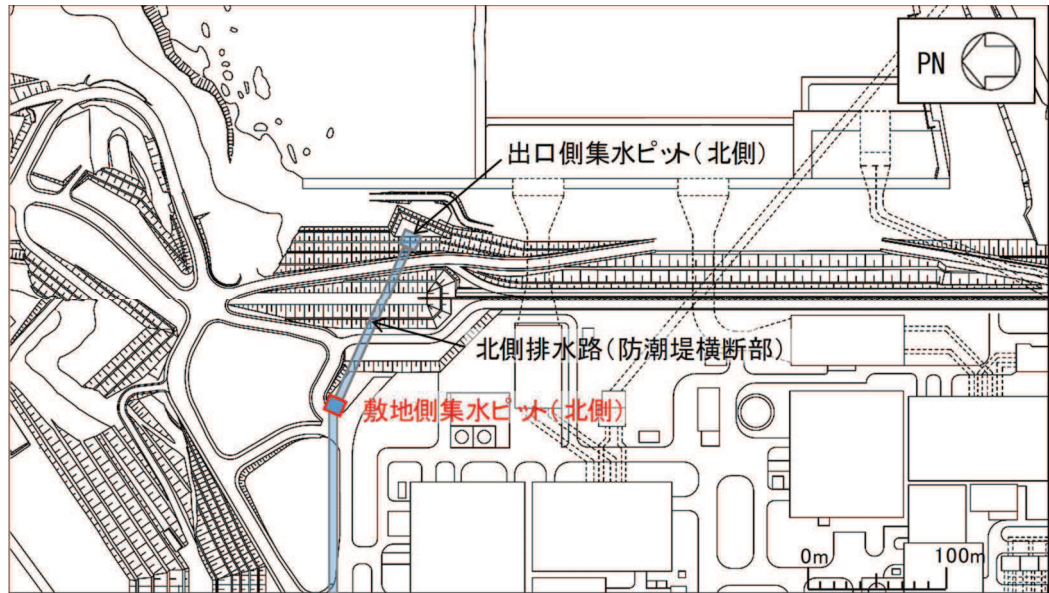


図2-1 集水ピットの位置図

## 2.2 構造概要

集水ピットの構造図を図 2-2、概略配筋図を図 2-3 に示す。

集水ピットは鉄筋コンクリート造の構造物であり、地中に埋設する。上流側（山側）及び下流側（海側）においては屋外排水路を接続する。集水ピット頂部には表面水の集水のためグレーチングパネルを設置する。

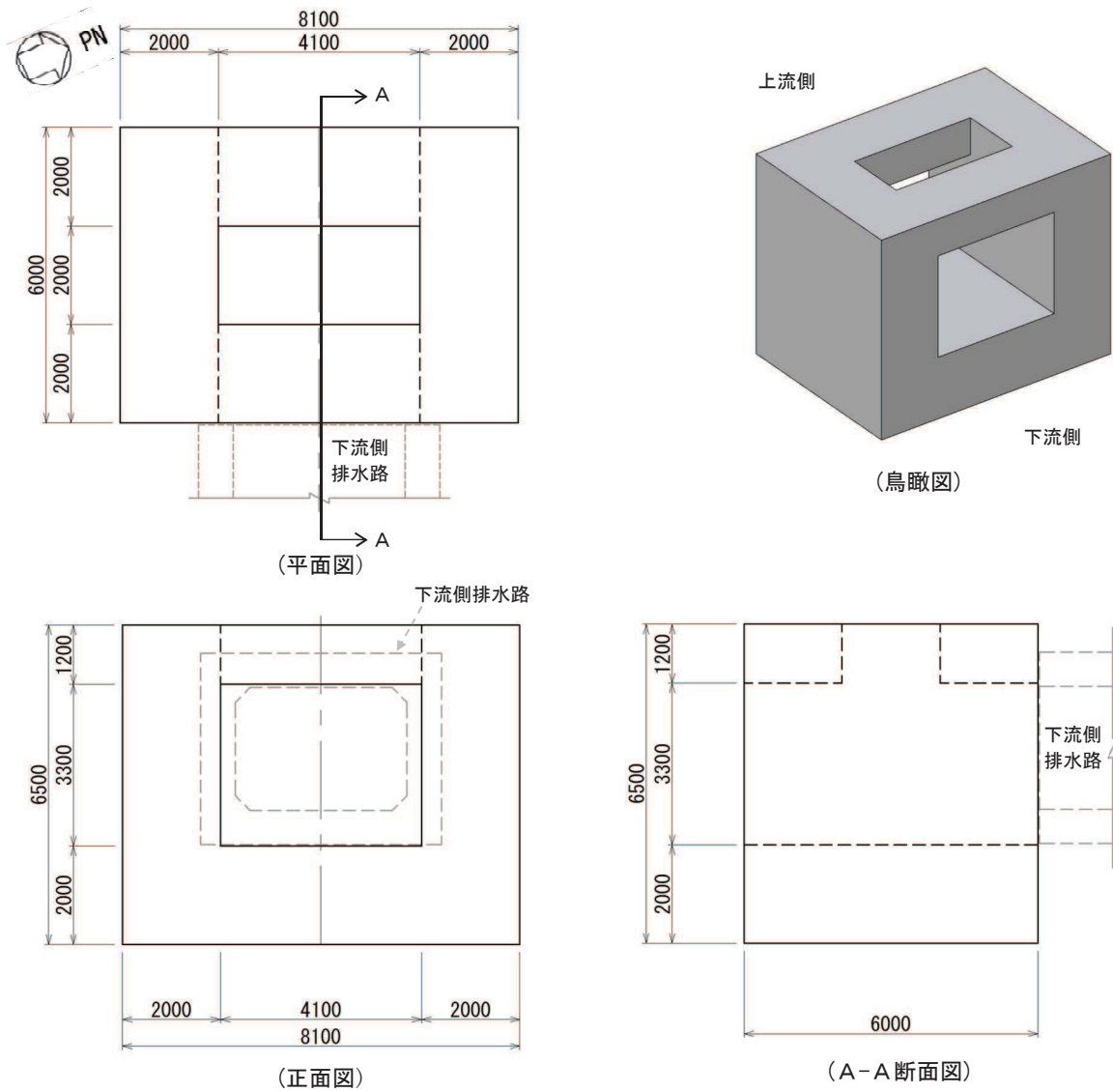


図 2-2 集水ピット構造図 (単位 : mm)

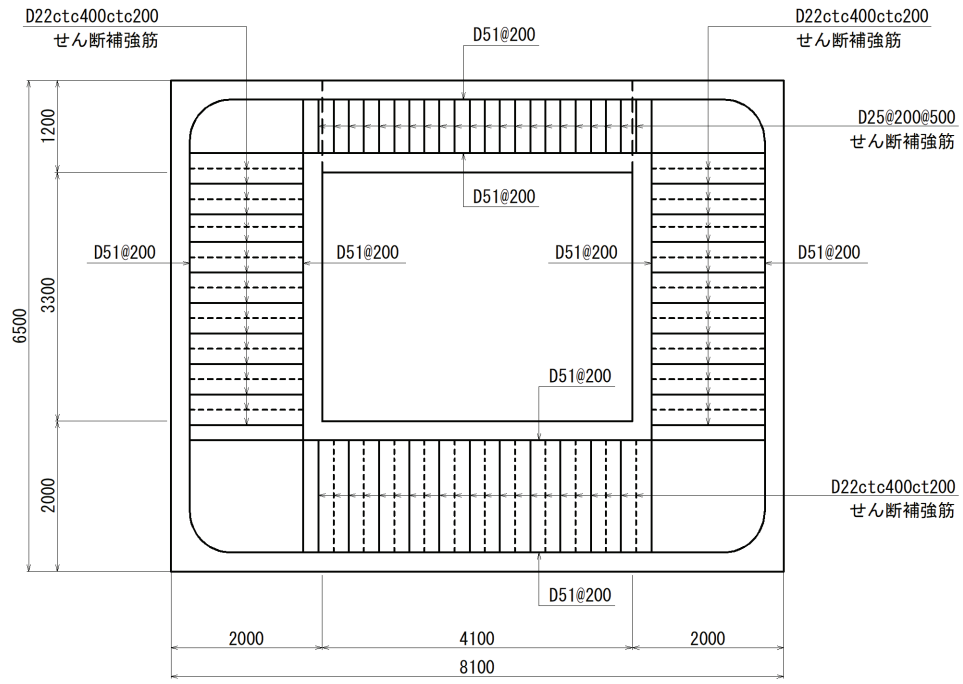


図 2-3 集水ピットの概略配筋図 (単位 : mm)



### 2.3 評価方針

集水ピット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」に基づき応力解析による評価を行うことで、地震時の構造強度の確認を行う。

基準地震動  $S_s$  を対象とした地震応答解析により集水ピット位置での加速度、せん断応力及び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等価剛性を算出する。

次に、集水ピット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。常時解析及び応答変位法による地震時解析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、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。

No.3 揚水井戸の南北断面と集水ピットの位置関係を図2-4及び図2-5に、防潮堤（盛土堤防）の東西断面と集水ピットの位置関係を図2-4及び図2-6に示す。また、集水ピットの評価フローを図2-7に示す。

表 2-1 集水ピットの評価項目

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	鉄筋コンクリート部材	発生する応力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容せん断力
	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。

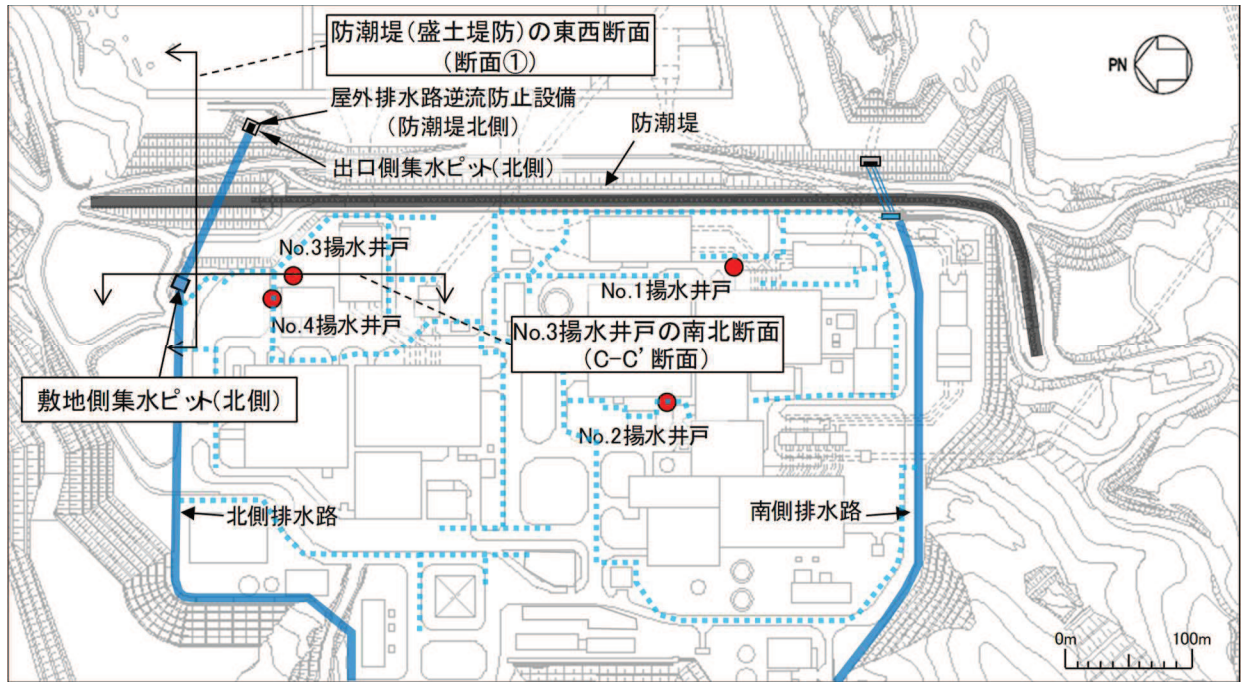


図 2-4 集水ピットと No. 3 揚水井戸及び防潮堤（盛土堤防）の位置関係（平面図）

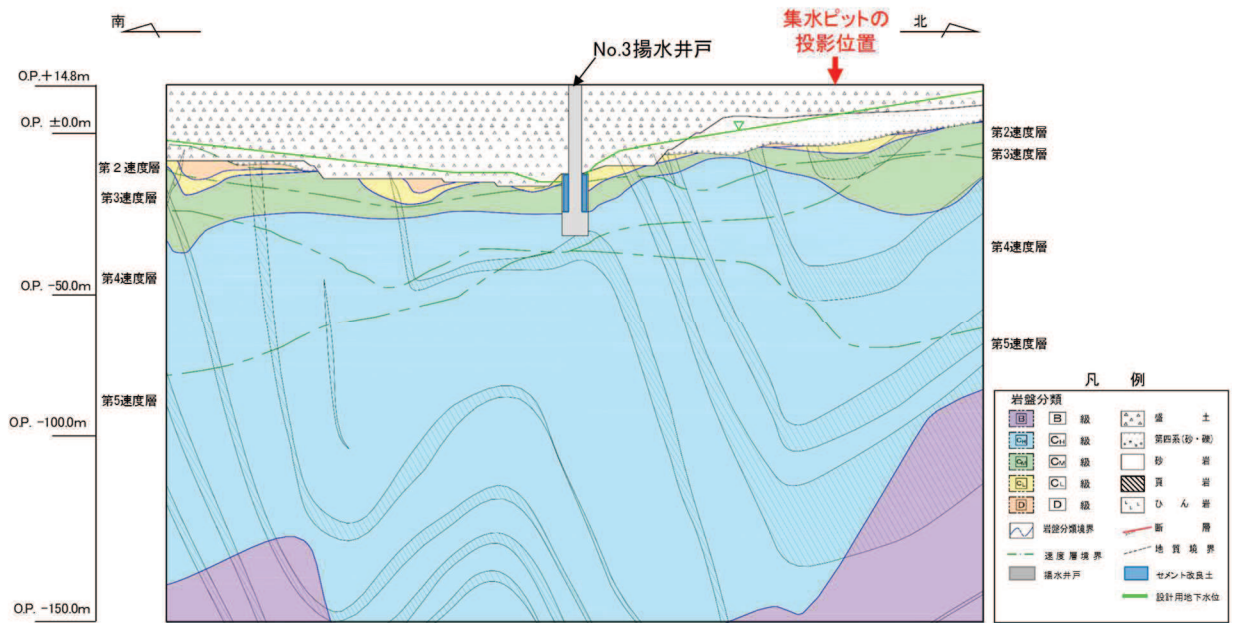


図 2-5 No. 3 揚水井戸と集水ピットの位置関係（断面図，集水ピット投影）

（本図の標高は平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地盤沈下は考慮せずに記載）

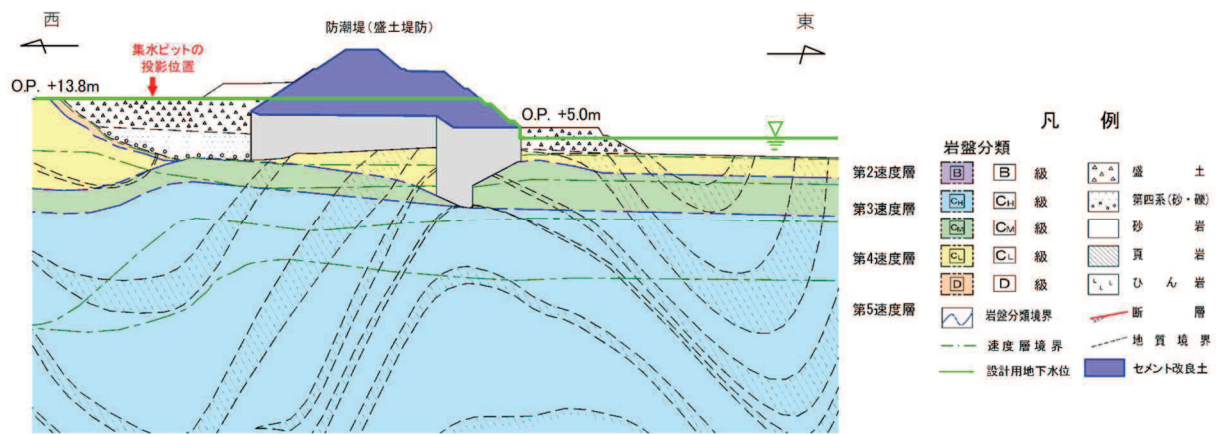


図 2-6 防潮堤 (盛土堤防) と集水ピットの位置関係 (断面図, 集水ピット投影)

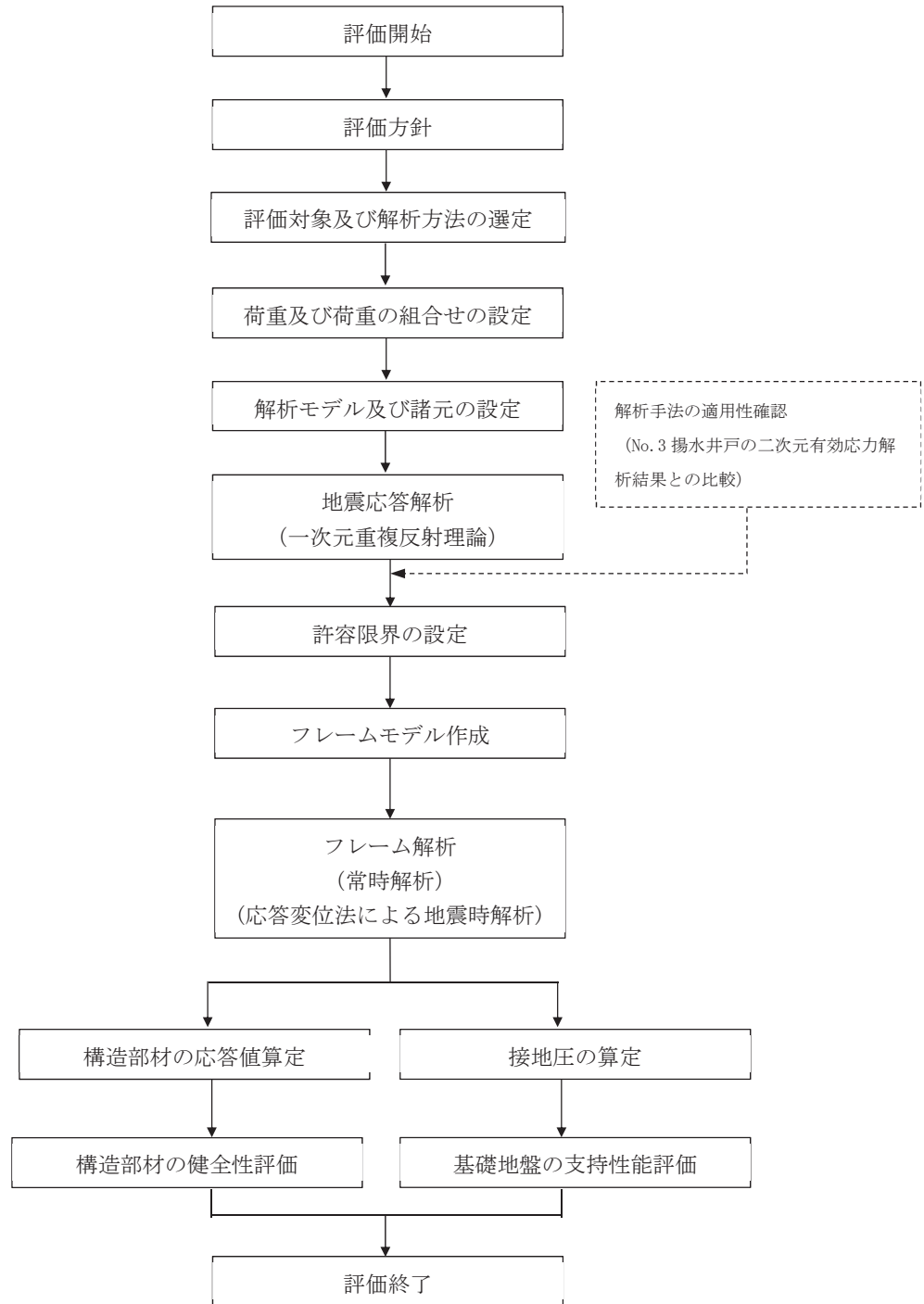


図 2-7 集水ピットの耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

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]
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成25年6月19日原管地発第1306196号)
- ・ 日本港湾協会 2007年 港湾の施設の技術上の基準・同解説

### 3. 地震応答解析

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」を踏まえて実施する。

解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を一次元重複反射理論による引戻し解析により地震応答解析モデル底面位置で評価し、集水ピット位置まで引上げ（以下「一次元地震応答解析」という。），地震応答を求める。引戻し解析に用いる地下構造モデルには、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いることとし、地震応答解析モデルは集水ピット周辺の地質構造を踏まえて設定する。図 3-1 に地震応答解析の概念図を示す。なお、図 2-7 に示す耐震評価フローのとおり一次元地震応答解析を用いることの適用性を確認する観点から、集水ピットに最も近い No. 3 揚水井戸の南北断面（図 2-5）の二次元有効応力解析の結果と比較し、必要に応じて一次元地震応答解析の結果に補正係数を考慮する。

解析には解析コード「SHAKE Ver. 1.6」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。

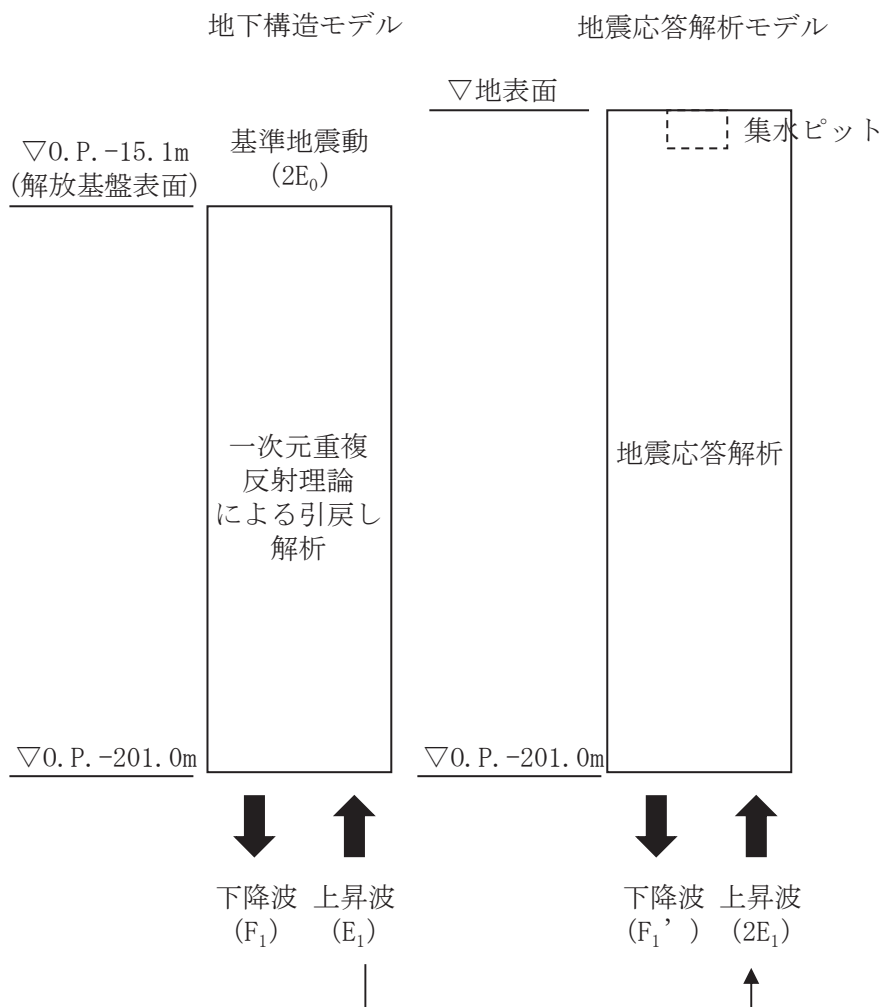


図 3-1 地震応答解析の概念図

### 3.1 解析方法

地震応答解析は、一次元重複反射理論による解析にて実施する。

#### 3.1.1 材料物性及び地盤物性のばらつき

集水ピット周辺には動的変形特性にひずみ依存性がある盛土が分布しており、これらの地盤が地震時応答に影響を与えると考えられることから、これらの地盤物性（せん断弾性係数）のばらつきの影響を確認する。解析における物性値を表 3-1 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 $\sigma$ を用いて設定した解析ケース①～③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

表 3-1 解析における物性値（集水ピット）

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, 改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	C <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 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 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値

#### 3.1.2 解析ケース

耐震評価においては、すべての基準地震動 $S_s$ に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて表 3-2 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
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地震動	S s - D 1	○		
	S s - D 2	○		
	S s - D 3	○		
	S s - F 1	○		
	S s - F 2	○		
	S s - F 3	○		
	S s - N 1	○		

基準地震動 S s (7 波) により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。



### 3.2 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。

#### 3.2.1 耐震評価上考慮する状態

集水ピットの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、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。風の影響については、埋設構造物であるため考慮しない。

##### (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。

#### 3.2.2 荷重

集水ピットの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$ を考慮する。

##### (2) 積雪荷重( $P_s$ )

積雪荷重として、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 $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (3) 地震荷重( $S_s$ )

基準地震動 $S_s$ による地震力及び動水圧を考慮する。

### 3.2.3 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 ( $S_s$ )	$P + S_s$

$P$  : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )

### 3.3 解析モデル及び諸元

#### 3.3.1 解析モデル

地震応答解析モデルは、集水ピット周辺の地質構造を考慮して設定する。解析モデルを図3-2に示す。

なお、図3-2に示すとおり集水ピットの直下は地盤改良を行っているが、地震応答解析においては地盤改良前の地質条件に基づきモデル化を行う。ただし、加速度については地盤改良を行ったモデル（改良地盤をモデル化）とする。

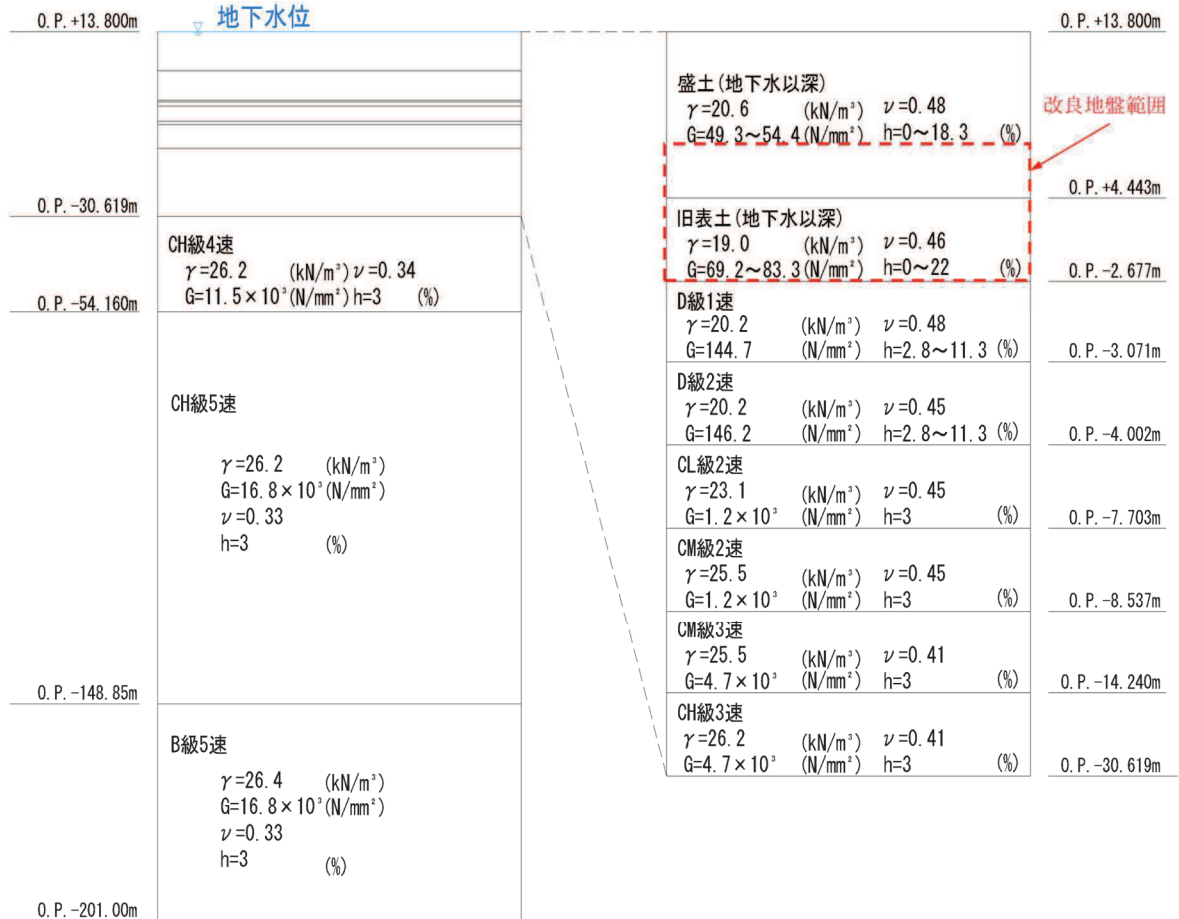


図3-2 地震応答解析モデル

#### 3.3.2 地盤の物性値

改良地盤を含む地盤の物性値は、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。

#### 3.3.3 地下水位

集水ピット周辺の地下水位は保守的に地表面とする。

### 3.4 地震応答解析結果

地震応答解析結果より得られた、各解析ケースにおける最大変位分布、最大加速度分布、せん断応力分布及び等価剛性を図 3-3 に示す。

また、一次元地震応答解析の適用性の観点から、集水ピットの耐震評価において最も影響を及ぼす水平変位を対象に、二次元有効応力解析（No.3 揚水井戸の南北断面）との比較を行った。一次元地震応答解析における地表面の最大水平変位は、図 3-3(1)から S s - N 1 の 12.73 (cm) であり、同地震動における二次元有効応力解析の結果（集水ピットの投影位置での地表面水平変位）では 16.46 (cm) であった。また、その他の地震動においても二次元有効応力解析の結果を確認した結果、最大水平変位は S s - D 1 による 19.40 (cm) であった。そのため、一次元地震応答解析の地表面の最大水平変位が 12.73 (cm) が 20 (cm) となるよう補正係数 ( $20/12.73 \approx 1.58$ ) を設定し各地震動の各深度に乘じ、「4. フレーム解析」において地震時荷重として考慮する。

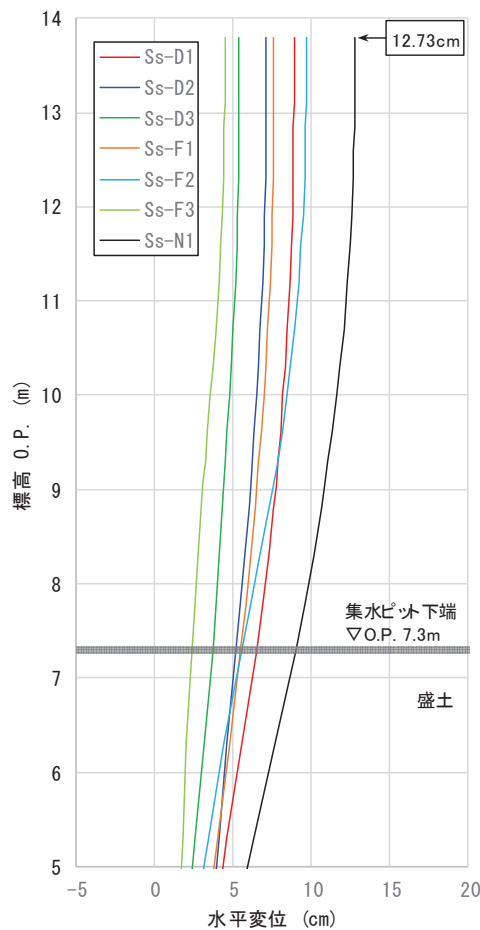


図 3-3(1) 地震応答解析結果（最大変位分布）

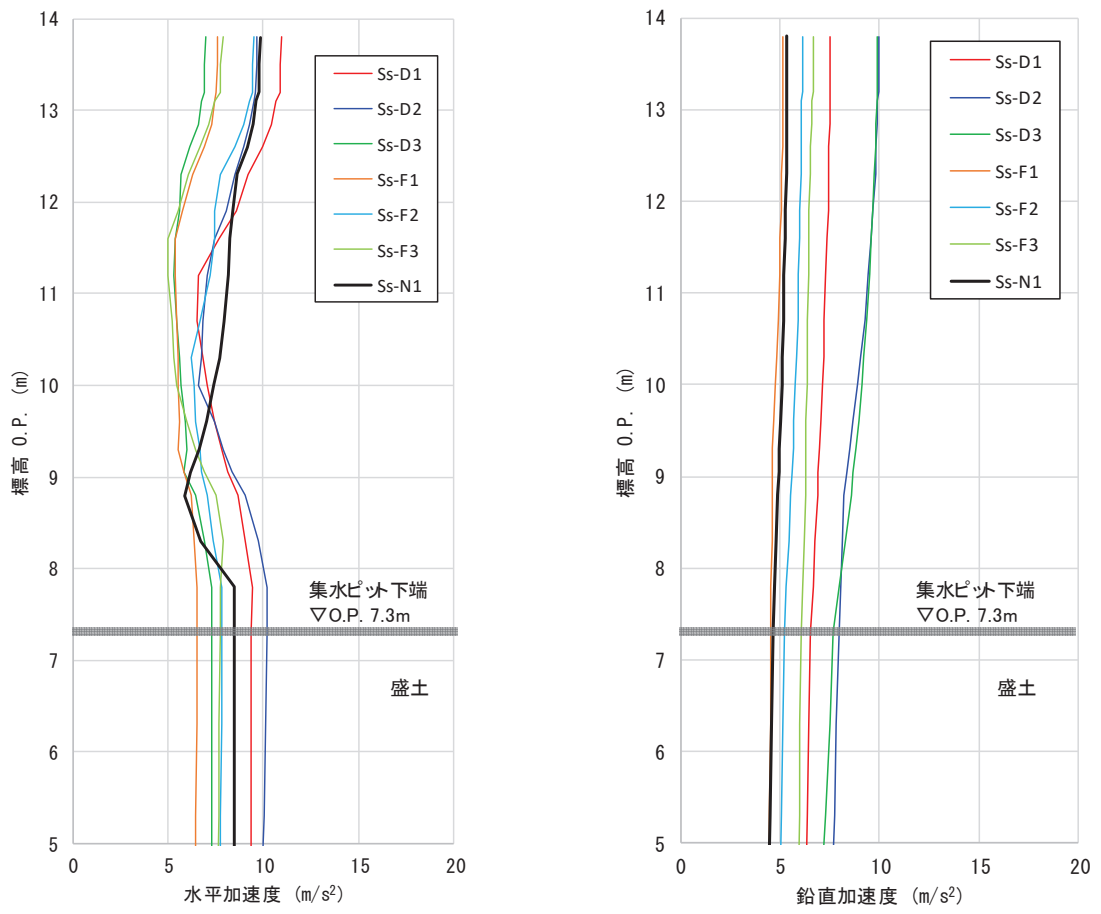


図 3-3(2) 地震応答解析結果 (最大水平加速度, 最大鉛直加速度)

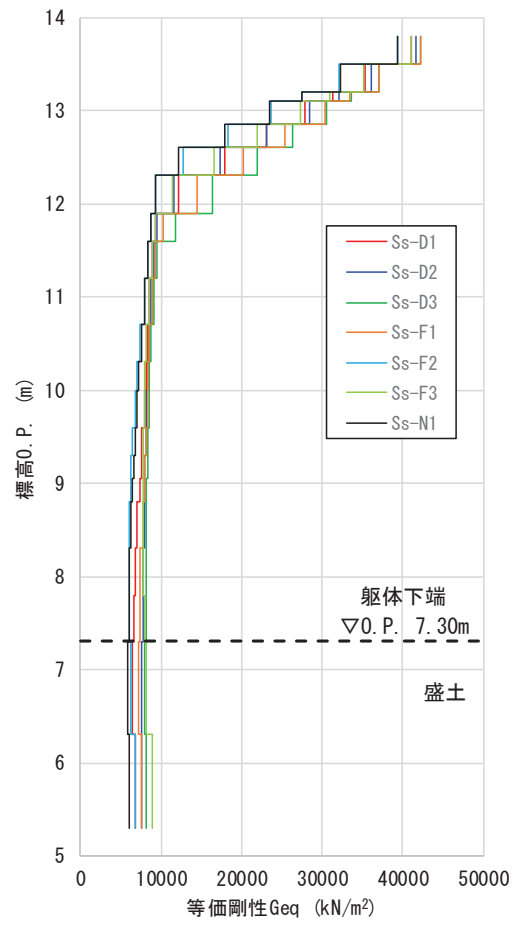
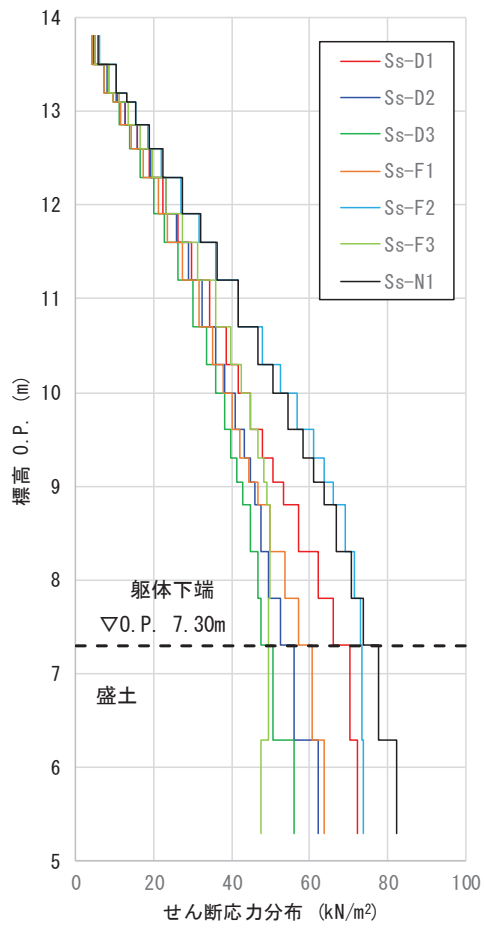


図 3-3(3) 地震応答解析結果 (最大せん断応力分布, 等価剛性)

#### 4. フレーム解析

##### 4.1 評価対象部位

集水ピット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。構造上、弱軸方向（南北方向）が明確であることから、評価対象部位は集水ピットの頂版、側壁（南北面）及び底版とする。

##### 4.2 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「SLAP Ver. 6.65」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。

##### 4.3 解析モデル

解析に用いるフレームモデルは、集水ピットの頂版、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等価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。フレームモデルを図4-1に示す。なお、頂版については図2-2に示すとおり中央に開口を設けていることから、奥行方向（流下方向）の開口率1/3を考慮してモデル化を行う。

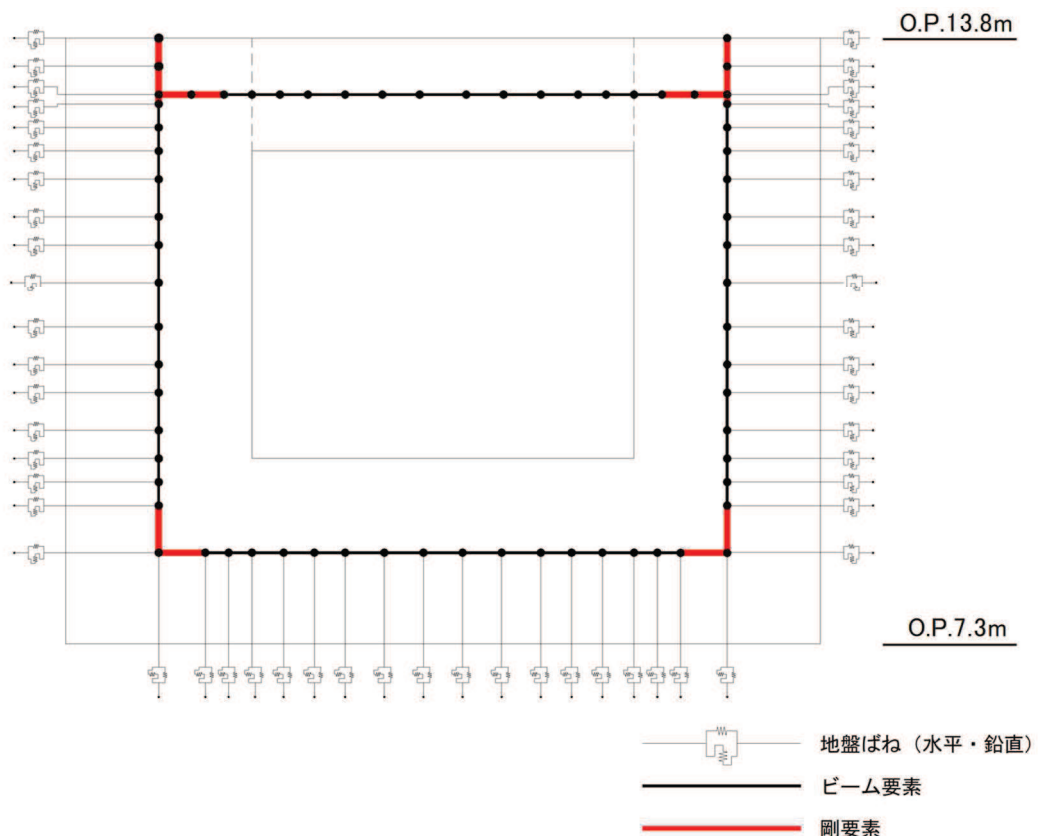


図4-1 フレームモデル

#### 4.4 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 4-1 に、材料の物性値を表 4-2 に示す。

表 4-1 使用材料

諸元		
集水ピット	鉄筋（主筋）	SD345
	コンクリート	$f'_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$

表 4-2 材料の物性値

材料	単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )	ヤング係数 ( $\text{N/mm}^2$ )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0	$2.80 \times 10^4$	0.2

#### 4.5 入力荷重

フレーム解析において考慮する荷重を表 4-3 に示す。また、入力荷重は「3. 地震応答解析」から最大となる水平変位、加速度、せん断力及び等価剛性を地震動毎に設定する。常時荷重を図 4-2 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値及びせん断破壊に対する照査値が最大となるケースの地震時荷重を図 4-3 に示す。

なお、地震時水圧（動水圧）について、通常時の集水ピット内の水位は非常に低く、頂版には開口を設けていることから頂版への影響はないと考えられるが、側壁及び底版に対しては安全側の評価となるように満水状態（O.P.+14.8m）を仮定し、地震時水圧が保守的に作用するよう考慮するとともに、集水ピット内に水が無い状態（以下「空水」という。）についても考慮する。

表4-3 入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	集水ピット本体自重
	積載荷重	積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体に作用する常時水圧
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	地盤変位	応答変位法により求まる水平力
	周面せん断力	側壁に作用するせん断力
	地震時水圧	躯体に作用する地震時水圧



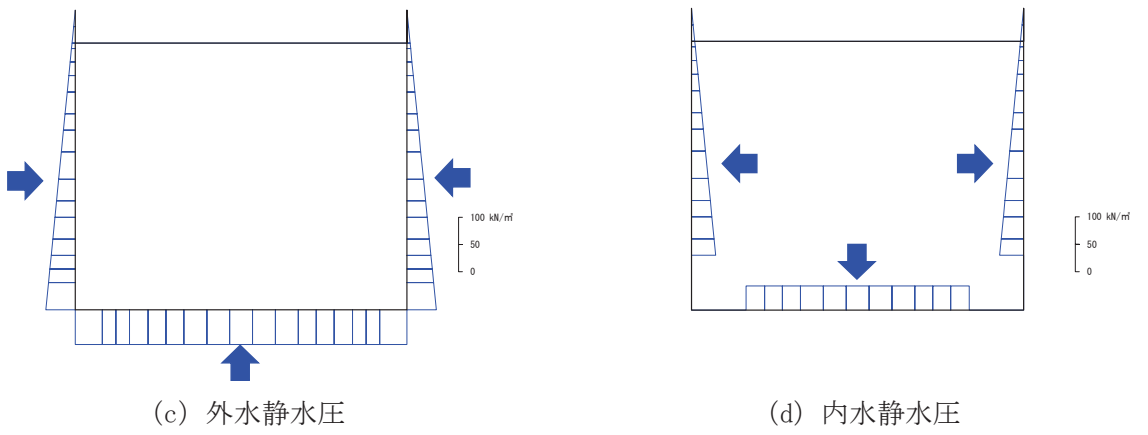
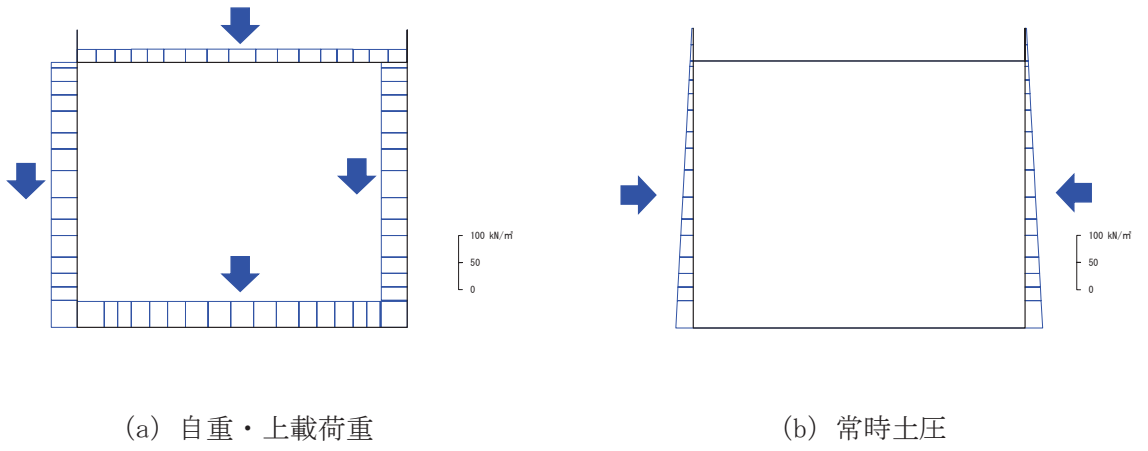


図 4-2 常時荷重 (満水時)

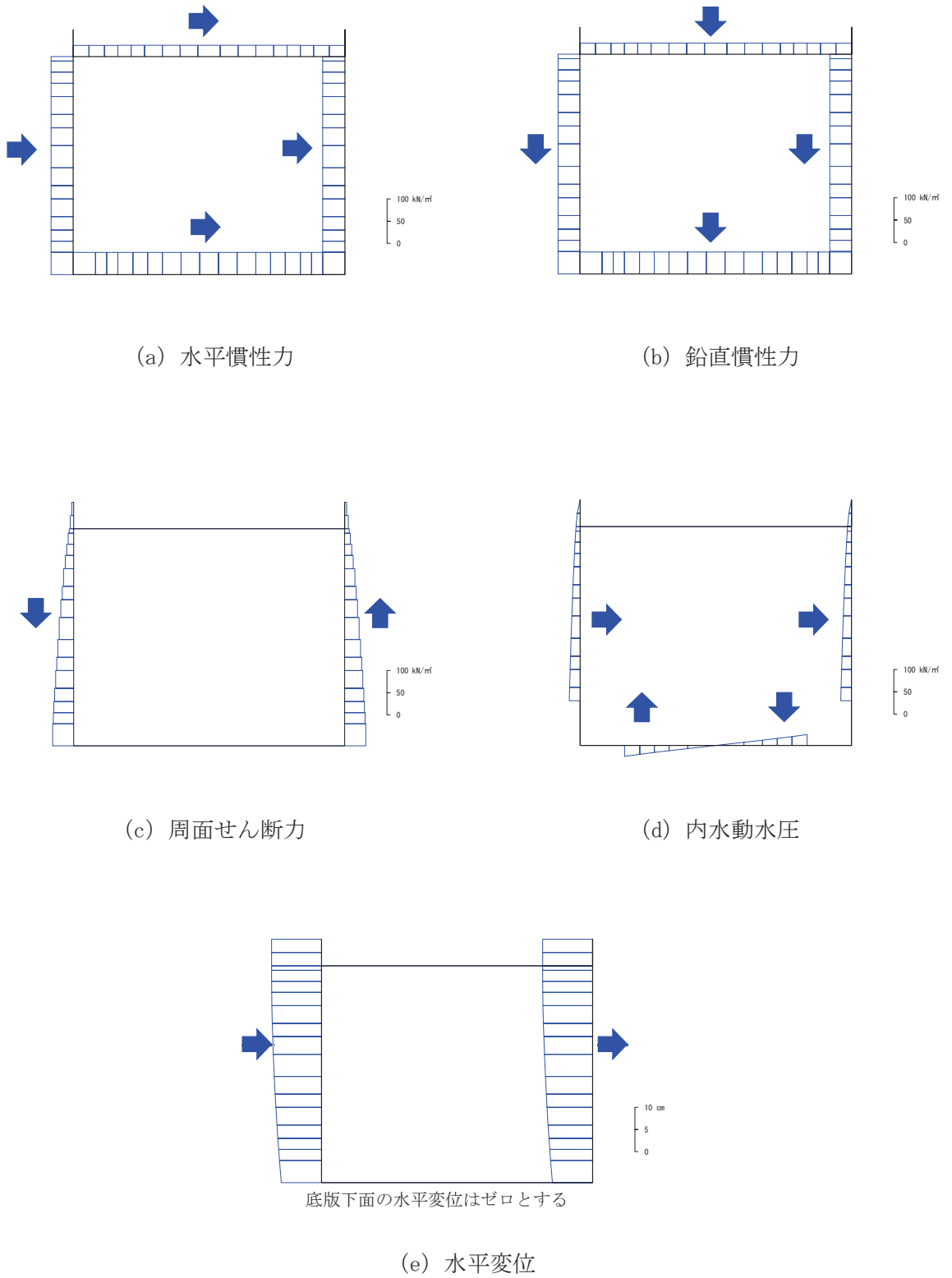


図 4-3 地震時荷重 (S s - D 2, ケース①, 満水時, 震度下向き)

## 5. 耐震評価

### 5.1 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。

#### 5.1.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

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。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	f' <sub>ck</sub> = 30 N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma'_{ca}$	11.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.5	0.75

注記\*：「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 5-2 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	SD345	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	196

注記\*：「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

#### 5.1.2 せん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は、表 5-1 及び表 5-2 に示すコンクリート及び鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

#### 5.1.3 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「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、改良地盤の極限支持力とする。

改良地盤の許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	改良地盤	4.4

## 5.2 評価方法

集水ピットの耐震評価は、地震応答解析により得られた加速度、せん断力及び変位を用いて、応答変位法によりフレーム解析を実施し、照査用応答値を算定する。

構造部材の健全性評価については、フレーム解析により算定した照査用応答値が、「5.1 許容限界」に示す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については、フレーム解析から算定した最大接地圧が、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋及びコンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 6-1 及び表 6-2 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値を表 6-3 に示す。また、集水ピットの評価位置を図 6-1 に示す。

また、最大照査値となる断面力分布を図 6-2 及び図 6-3 に示す。

以上より、集水ピットの発生応力度及びせん断力が、構造部材の許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析ケース	集水ピット内水位条件	発生断面力		発生応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_c / \sigma'_{ca}$	
				曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)				
頂版	3	S s - D 2 *	①	満水	1037	-713	5.7	16.5	0.35
南壁	1	S s - D 2 *	①	満水	-1515	-584	3.0	16.5	0.19
底版	4	S s - D 2 *	①	満水	-2018	-1402	4.0	16.5	0.25

注記\*：鉛直慣性力は下向き

表 6-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析ケース	集水ピット内水位条件	発生断面力		発生応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$	
				曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)				
頂版	3	S s - D 2 *	①	満水	1037	-713	94	294	0.32
南壁	1	S s - D 2 *	①	満水	-1515	-584	70	294	0.24
底版	4	S s - D 2 *	③	満水	-1642	361	122	294	0.42

注記\*：鉛直慣性力は下向き

表 6-3 せん断破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析ケース	集水ピット内水位条件	発生せん断力 V (kN)	短期許容せん断力 V <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>	
頂版	3	S s - D 2 *	①	満水	575	1539	0.38
南壁	1	S s - D 3 *	①	空水	856	2736	0.32
底版	4	S s - D 2 *	①	満水	1024	2736	0.38

注記\*：鉛直慣性力は下向き

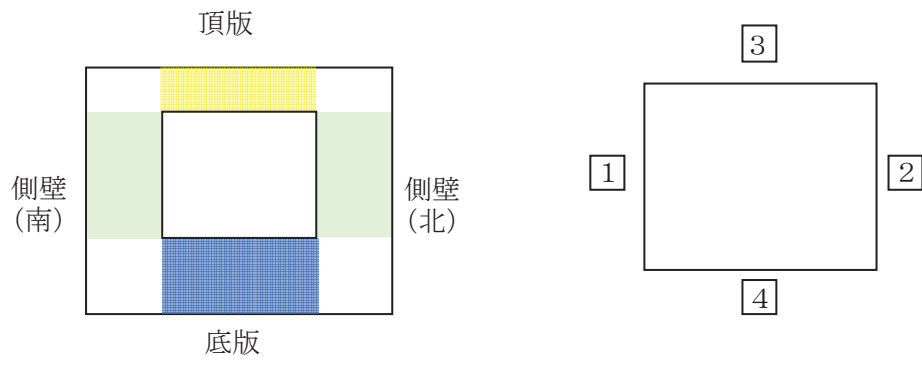
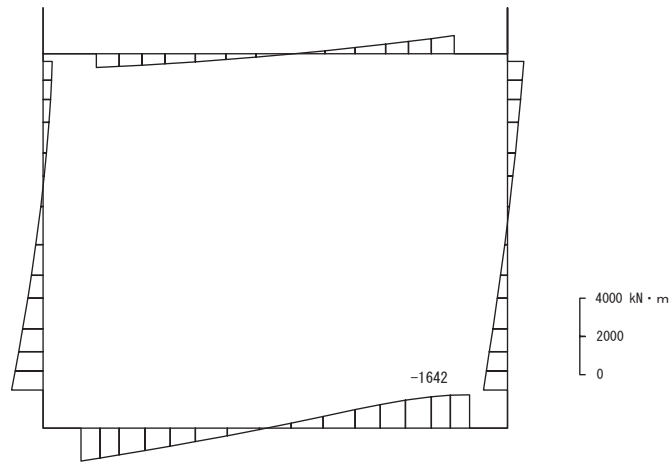
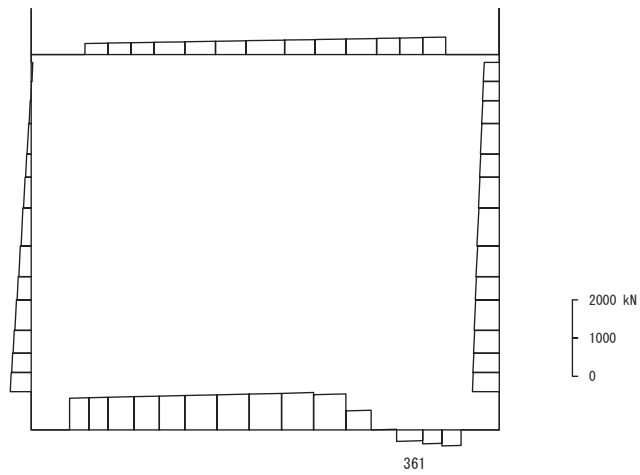


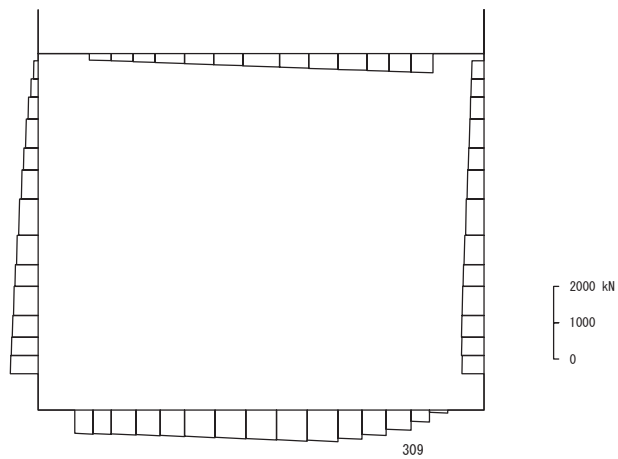
图 6-1 評価位置图



数値：評価位置における断面力  
(a) 曲げモーメント (kN・m)

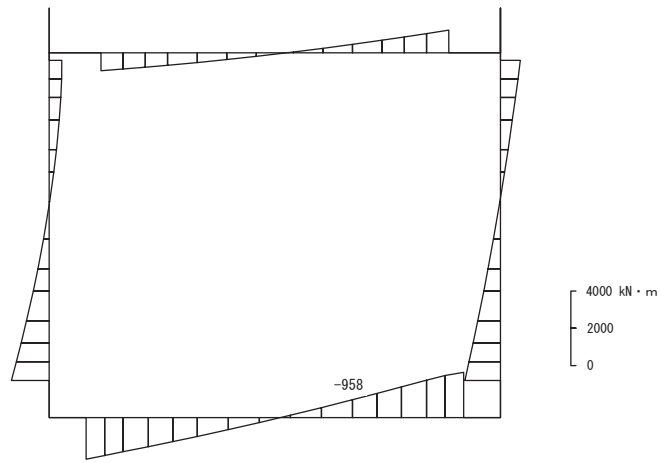


数値：評価位置における断面力  
(b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)

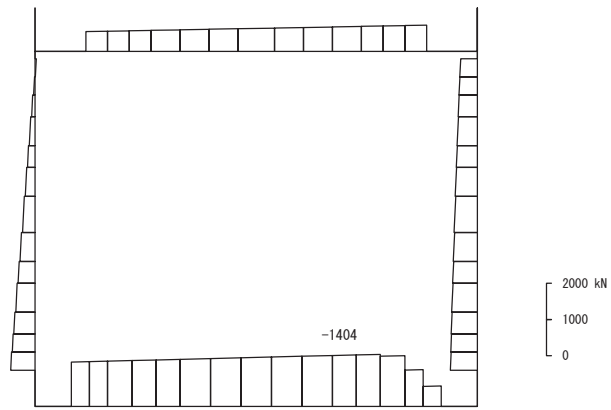


数値：評価位置における断面力  
(c) せん断力 (kN)

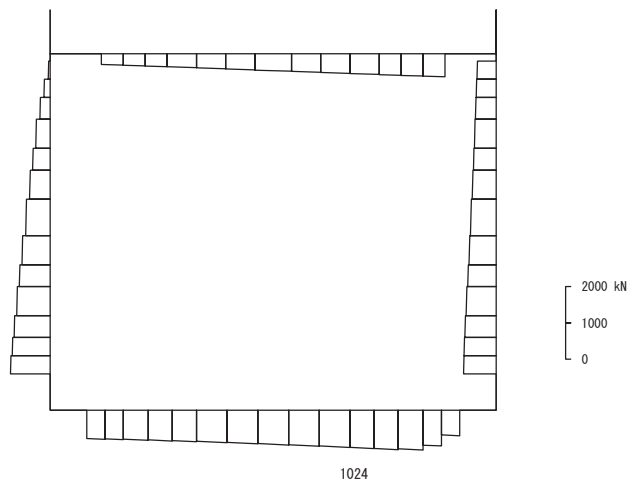
図 6-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値の断面力  
(S s - D 2, ケース③, 鉛直慣性力：下向き, 集水ピット内水位：満水)



数値：評価位置における断面力  
(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力  
(b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)



数値：評価位置における断面力  
(c) せん断力 (kN)

図 6-3 せん断破壊に対する最大照査値の断面力  
(S s - D 2, ケース①, 鉛直慣性力：下向き, 集水ピット内水位：満水)



6.2 地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能評価における最大照査値を表 6-4、最大接地圧分布図を図 6-4 に示す。  
基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 6-4 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動	解析 ケース	集水ピット内 水位条件	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S <sub>s</sub> -D2*	①	満水	2.7	4.4	0.62

注記\*：鉛直慣性力は下向き

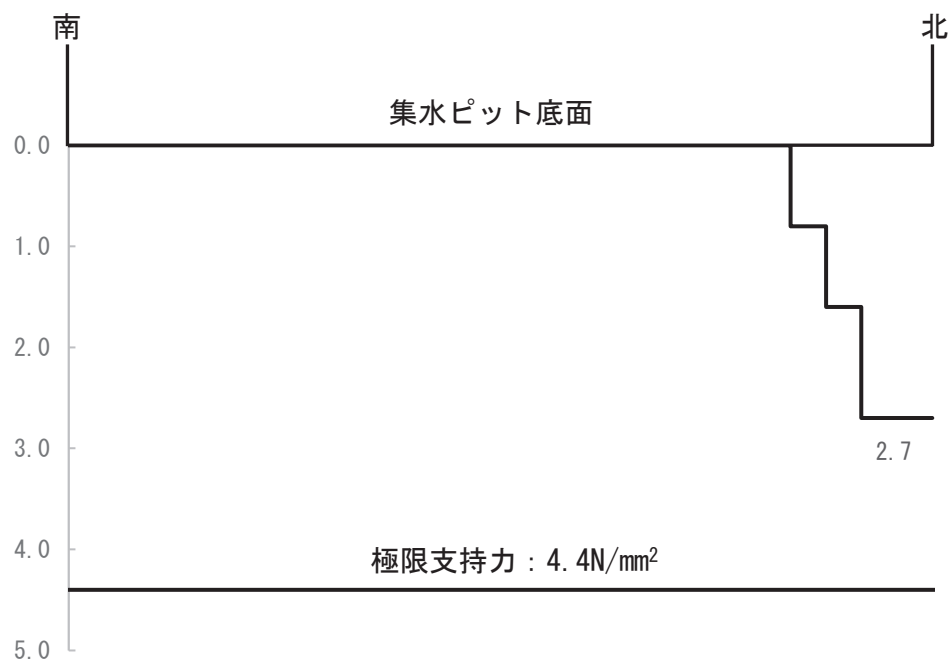


図 6-4 基礎地盤の支持力照査における最大照査値の接地圧分布

(別紙 2) 北側排水路 (防潮堤横断部) の耐震性について

北側排水路 (防潮堤横断部) の耐震性については, 添付書類「VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書」で説明する。

(別紙3) 出口側集水ピット(北側)の耐震性について

出口側集水ピット(北側)の耐震性については、添付書類「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の耐震性についての計算書」で説明する。

(別紙4) 敷地側集水ピット(南側)の耐震性について

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	5
2.4	適用基準	8
3.	地震応答解析	9
3.1	解析方法	10
3.1.1	材料物性及び地盤物性のばらつき	10
3.1.2	解析ケース	10
3.2	荷重及び荷重の組合せ	12
3.2.1	耐震評価上考慮する状態	12
3.2.2	荷重	12
3.2.3	荷重の組合せ	13
3.3	解析モデル及び諸元	14
3.3.1	解析モデル	14
3.3.2	地盤の物性値	15
3.3.3	地下水位	15
3.4	地震応答解析結果	16
4.	フレーム解析	19
4.1	評価対象部位	19
4.2	解析方法	19
4.3	解析モデル	19
4.4	使用材料及び材料の物性値	21
4.5	入力荷重	22
5.	耐震評価	25
5.1	許容限界	25
5.1.1	鉄筋コンクリート部材	25
5.1.2	補強鋼材	31
5.1.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	33
5.2	評価方法	34
5.2.1	鉄筋コンクリート部材	34
5.2.2	補強鋼材	35
5.2.3	基礎地盤の支持性能	47
6.	耐震評価結果	48

6.1	構造部材の健全性に対する評価結果	48
6.2	補強鋼材の健全性に対する評価結果	52
6.3	地盤の支持性能に対する評価結果	53

## 1. 概要

本資料は、敷地側集水ピット（南側）（以下「集水ピット」という。）について、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震時の構造強度について説明するものであり、その評価は応力解析により行う。

なお、集水ピットの耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

集水ピットの位置を図2-1に示す。

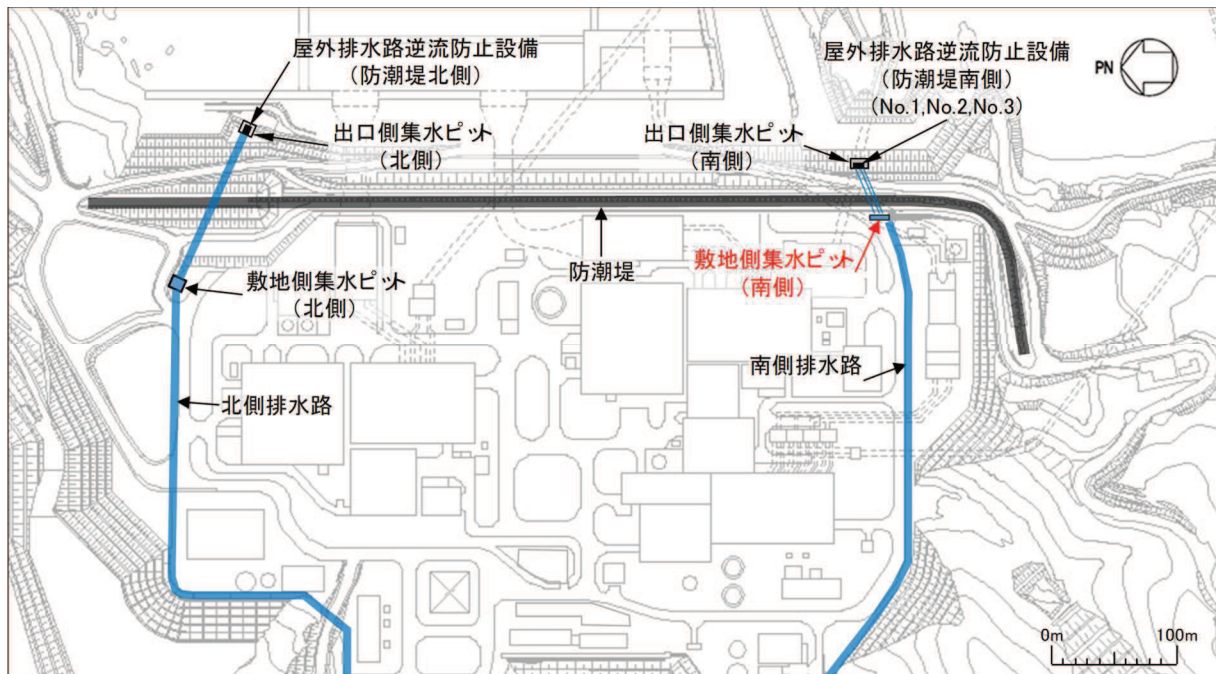


図2-1 集水ピットの位置図

## 2.2 構造概要

集水ピットの構造図を図 2-2、概略配筋図を図 2-3 に示す。

集水ピットは鉄筋コンクリート造の U 字型の構造物であり、地中に埋設する。上流の排水路は北側及び南側の 2 箇所接続し、下流の排水路は西側に接続する。また、集水ピット内には補強鋼材（切梁及び腹起し）を設置することとし、切梁と腹起しはボルト、腹起しと集水ピットはアンカーボルトにて固定する。なお、集水ピット頂部には表面水の集水のためグレーチングパネルを設置する。

西壁の背後は埋戻しによる盛土が集水ピット底板より上部に分布しており、東壁については背後に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工があり、その間をコンクリートにて充填している。

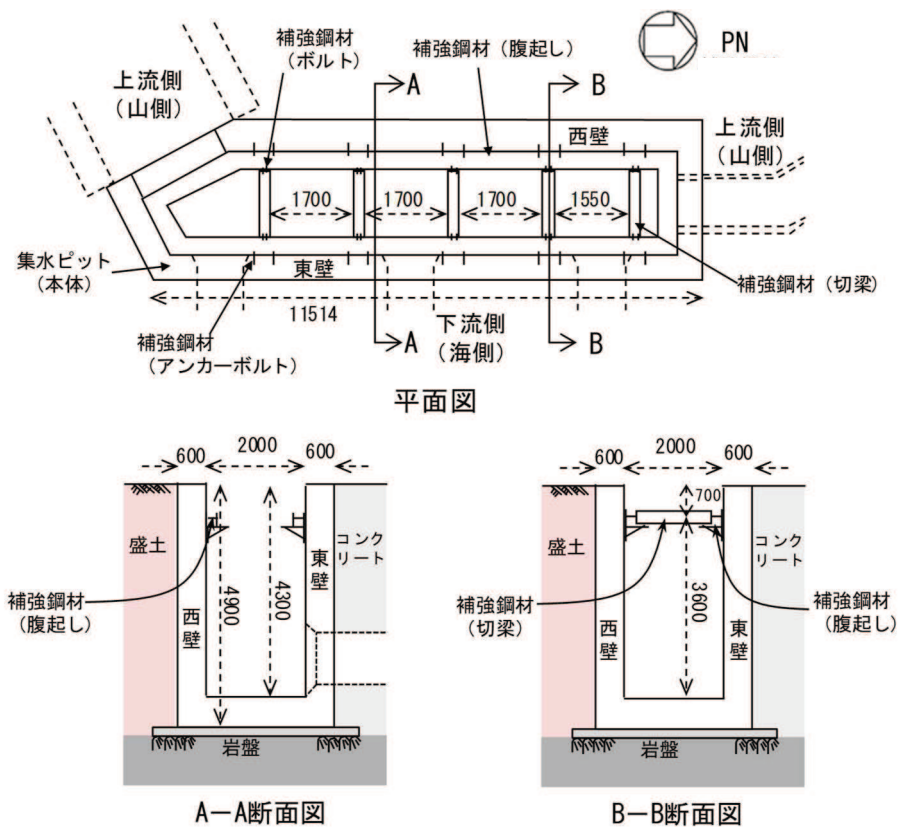


図 2-2 集水ピット構造図（単位：mm）



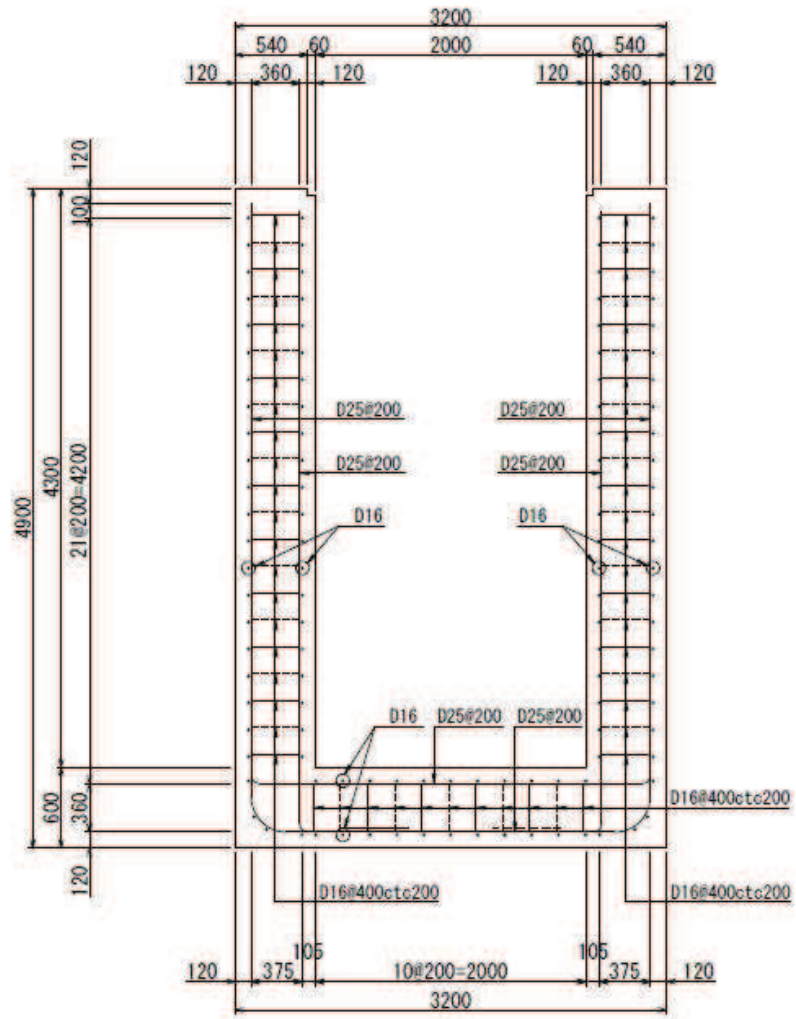


図 2-3 集水ピットの概略配筋図 (単位 : mm)

### 2.3 評価方針

集水ピット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」に基づき応力解析による評価を行うことで、地震時の構造強度の確認を行う。

基準地震動  $S_s$  を対象とした地震応答解析により集水ピット位置での加速度、せん断応力及び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等価剛性を算出する。次に、集水ピット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。応答変位法により求めた地震時増分荷重による断面力と常時応力解析による断面力の足し合わせによる断面力が、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。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面⑤と集水ピットの位置関係を図2-4及び図2-5に示す。また、評価フローを図2-6に示す。

表2-1 集水ピットの評価項目

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	鉄筋コンクリート部材	発生する応力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	圧縮耐力，曲げ耐力
				せん断力	せん断耐力*
		補強鋼材（切梁）		曲げ軸力	短期許容応力度
		補強鋼材（腹起し）		曲げ軸力	短期許容応力度
		補強鋼材（ボルト）		せん断力	短期許容応力度
				引張力	短期許容応力度
		補強鋼材（アンカーボルト）		引張力	短期許容引張力
				せん断力	短期許容せん断力
	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。

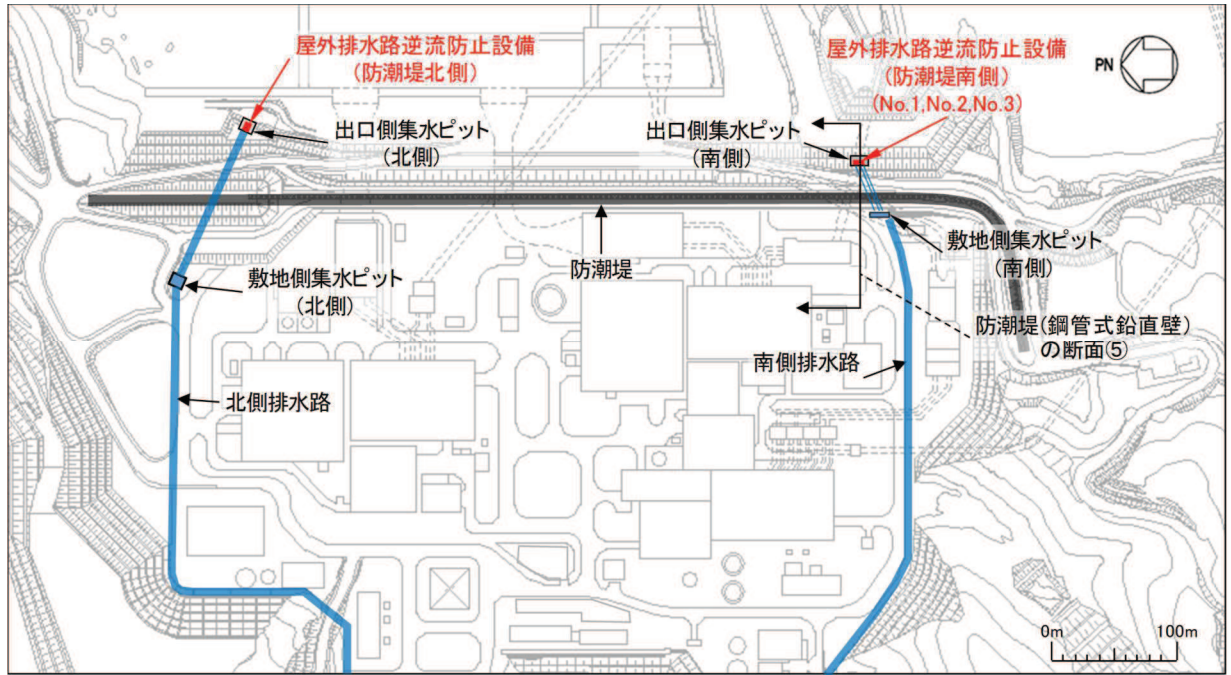


図 2-4 集水ピット，南側排水路（防潮堤横断面）及び出口側集水ピット（南側）の位置関係

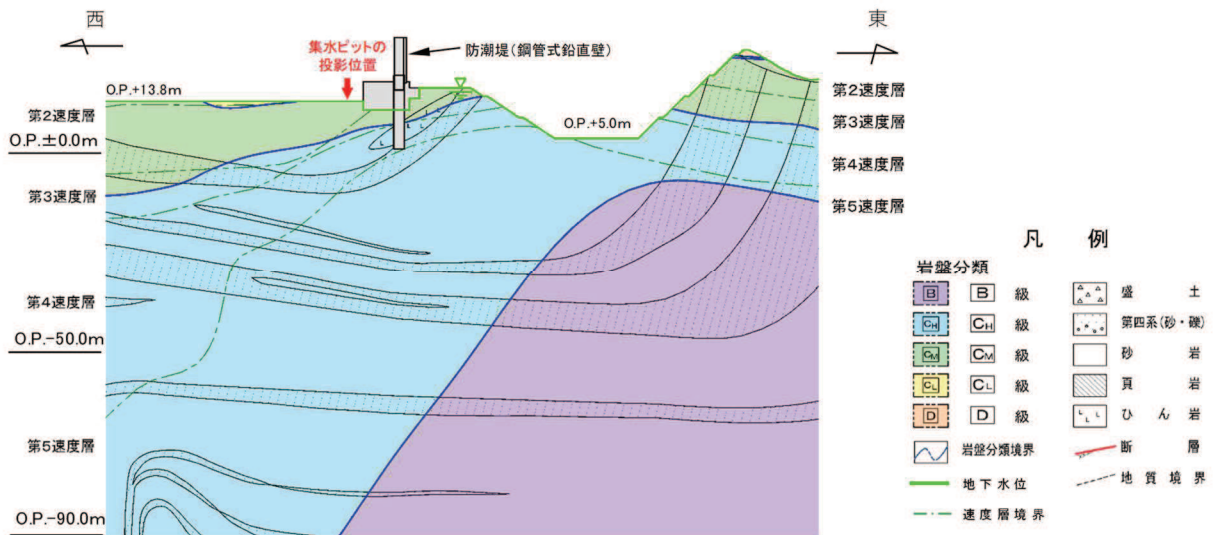


図 2-5 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面⑤と集水ピットの位置関係（投影）

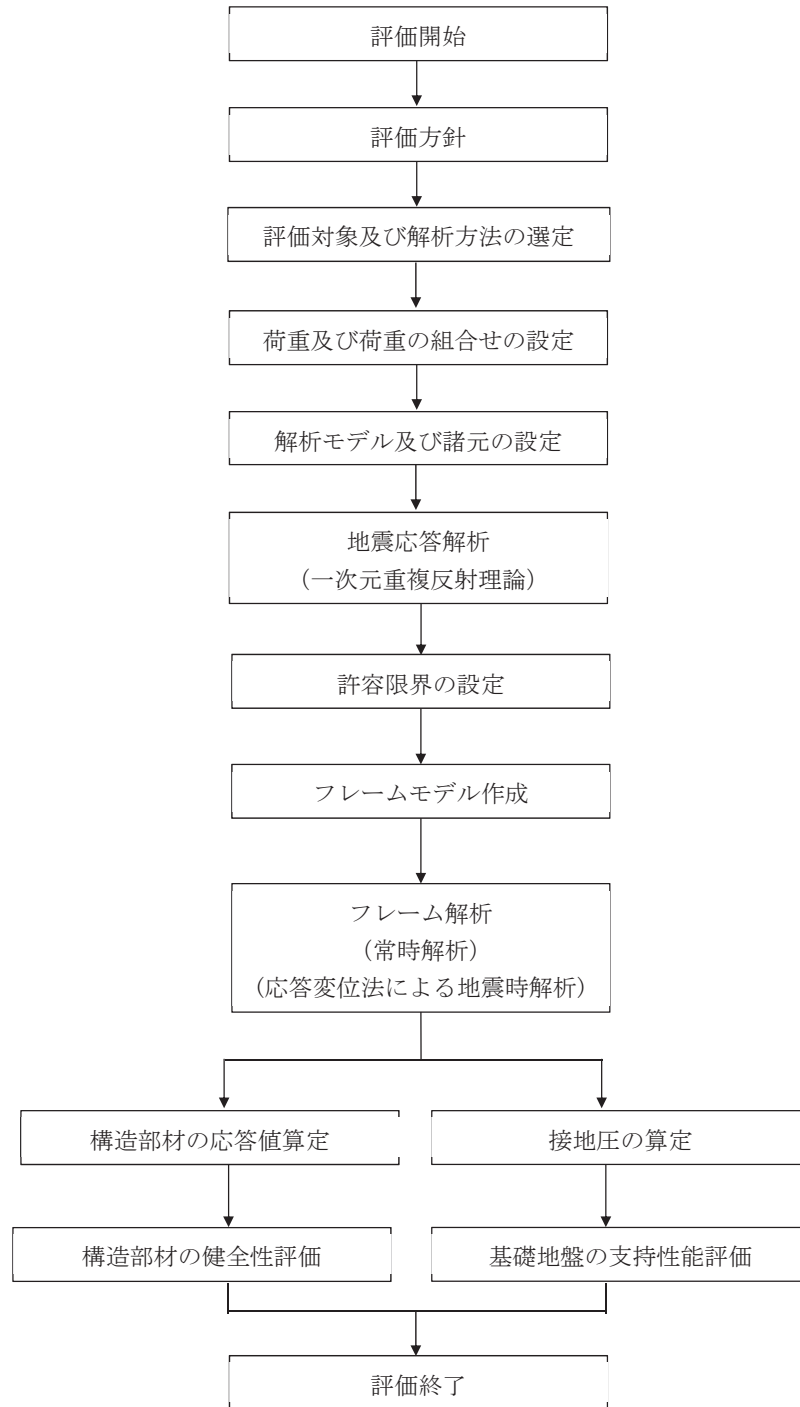


図 2-6 集水ピットの耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

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]
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成25年6月19日原管地発第1306196号)
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II鋼橋編
- ・ 日本道路協会 平成11年 道路土工 仮設構造物指針
- ・ 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 土木学会 2005年 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 (以下「土木学会マニュアル」という。)
- ・ 日本港湾協会 2007年 港湾の施設の技術上の基準・同解説

### 3. 地震応答解析

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」を踏まえて実施する。

解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を一次元重複反射理論による引戻し解析により地震応答解析モデル底面位置で評価し、集水ピット位置まで引上げ（以下「一次元地震応答解析」という。），地震応答を求める。引戻し解析に用いる地下構造モデルには、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いることとし、地震応答解析モデルは集水ピット周辺の地質構造を踏まえて設定する。図 3-1 に地震応答解析の概念図を示す。

解析には解析コード「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。

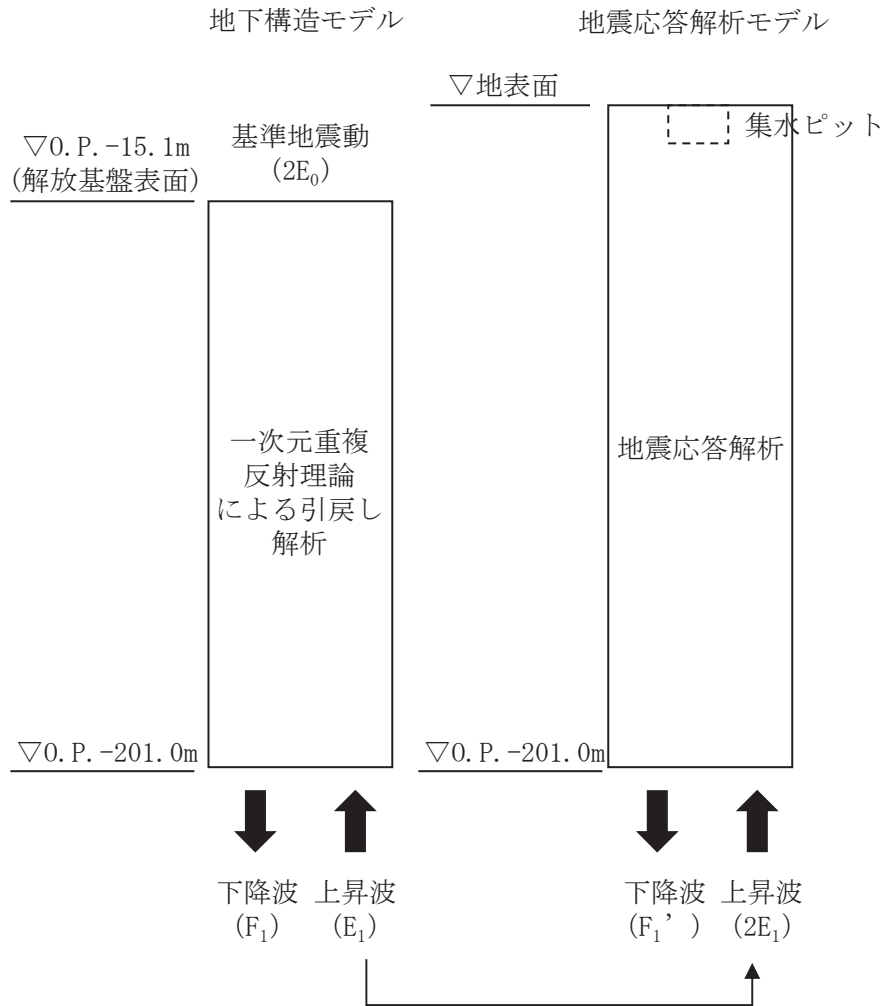


図 3-1 地震応答解析の概念図

### 3.1 解析方法

地震応答解析は、一次元重複反射理論により実施する。

#### 3.1.1 材料物性及び地盤物性のばらつき

集水ピット周辺には動的変形特性にひずみ依存性がある盛土が分布しており、これらの地盤が地震時応答に影響を与えると考えられることから、これらの地盤物性（せん断弾性係数）のばらつきの影響を確認する。解析における物性値を表 3-1 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差  $\sigma$  を用いて設定した解析ケース①～③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

表 3-1 解析における物性値（集水ピット）

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, 改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	C <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 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 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値

#### 3.1.2 解析ケース

耐震評価においては、すべての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて解析ケース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
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地震動	S <sub>s</sub> -D1	○	<p>基準地震動 S<sub>s</sub> (7 波) により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。</p>	
	S <sub>s</sub> -D2	○		
	S <sub>s</sub> -D3	○		
	S <sub>s</sub> -F1	○		
	S <sub>s</sub> -F2	○		
	S <sub>s</sub> -F3	○		
	S <sub>s</sub> -N1	○		



### 3.2 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。

#### 3.2.1 耐震評価上考慮する状態

集水ピットの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、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。風の影響については、埋設構造物であるため考慮しない。

##### (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。

#### 3.2.2 荷重

集水ピットの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$ を考慮する。

##### (2) 積雪荷重( $P_s$ )

積雪荷重として、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 $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (3) 地震荷重( $S_s$ )

基準地震動 $S_s$ による地震力及び動水圧を考慮する。

### 3.2.3 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 ( $S_s$ )	$P + S_s$

$P$  : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )

### 3.3 解析モデル及び諸元

#### 3.3.1 解析モデル

地震応答解析モデルは、集水ピット周辺の地質構造を考慮して設定する。解析モデルを図3-2に示す。

なお、図3-3のとおり集水ピットの東側は防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工があり、その間（2～3m）をコンクリートで充填している。一方、集水ピット西側は試掘後に直掘りを行っているため、盛土範囲は限定的であるものの一部盛土が分布する。上記を踏まえ、地震応答解析モデルでは安全側の評価となるよう集水ピット底板より上部が盛土であると仮定し、モデル化を行った。

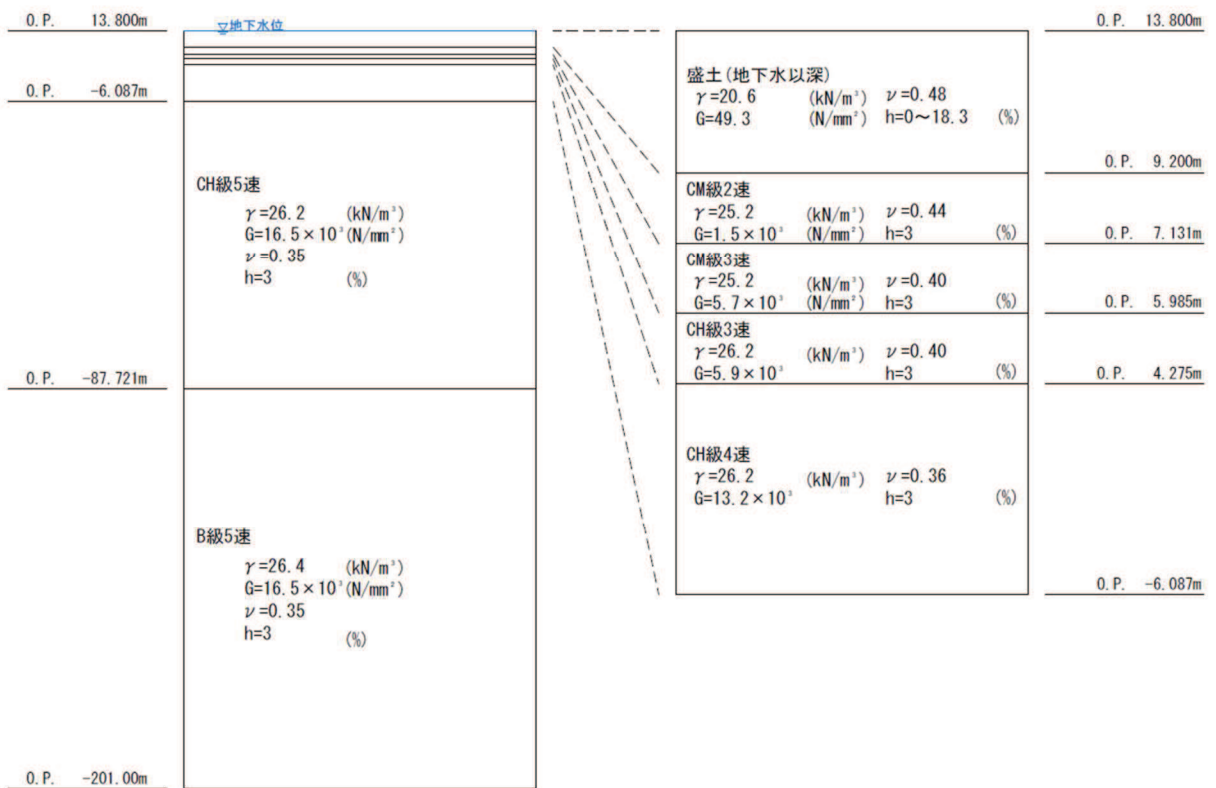


図3-2 地震応答解析モデル

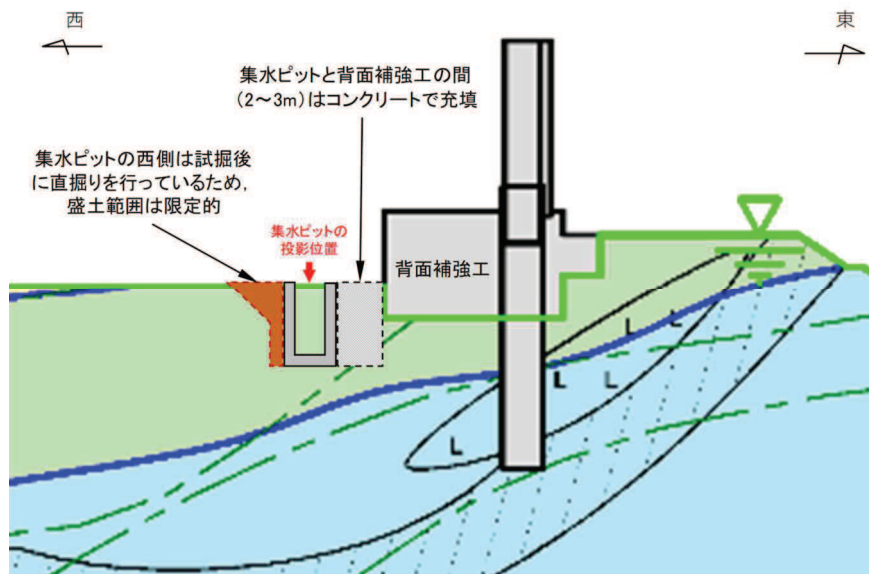


図 3-3 集水ピット東西方向の地質状況 (図 2-5 拡大)

### 3.3.2 地盤の物性値

地盤の物性値は、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。

### 3.3.3 地下水位

集水ピット周辺の地下水位は保守的に地表面とする。

### 3.4 地震応答解析結果

地震応答解析結果より得られた、各解析ケースにおける最大変位分布、最大加速度分布、せん断応力分布及び等価剛性を図3-4～7に示す。

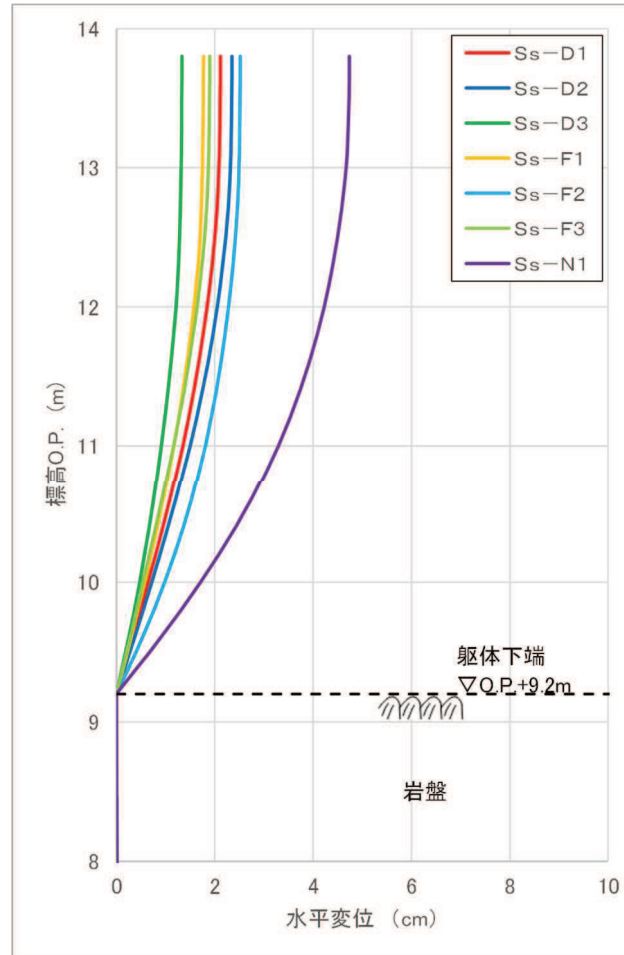


図3-4 地震応答解析結果（最大変位分布）

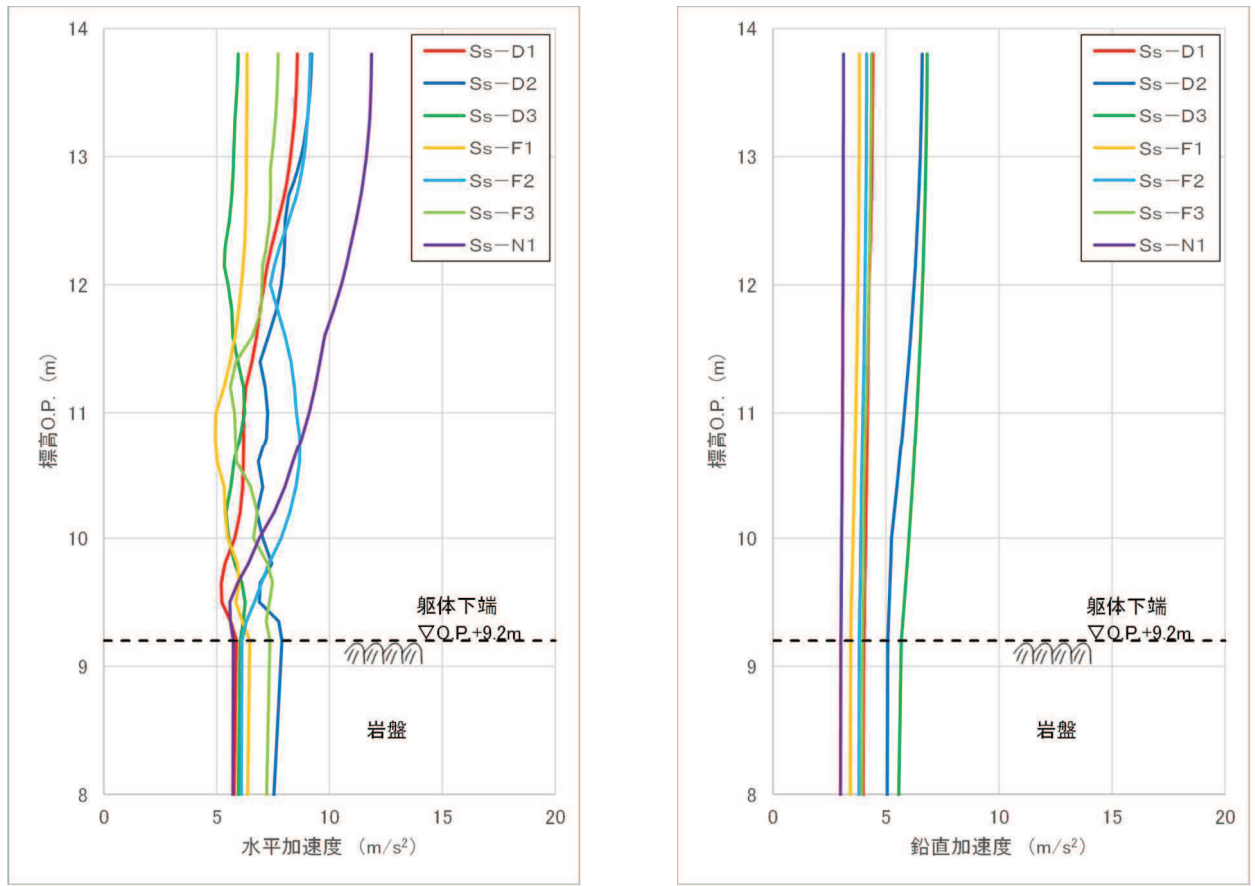


図3-5 地震応答解析結果（最大水平加速度分布，最大鉛直加速度分布）

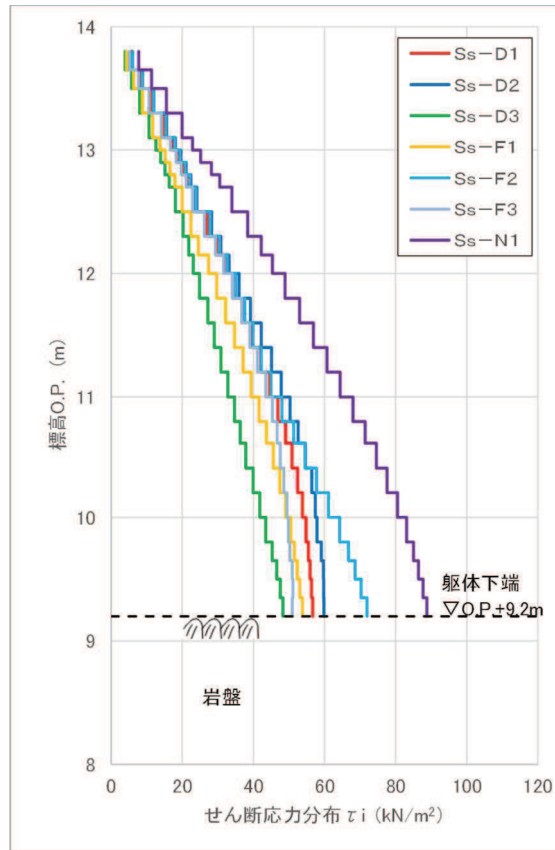


图 3-6 地震応答解析結果（最大せん断応力分布）

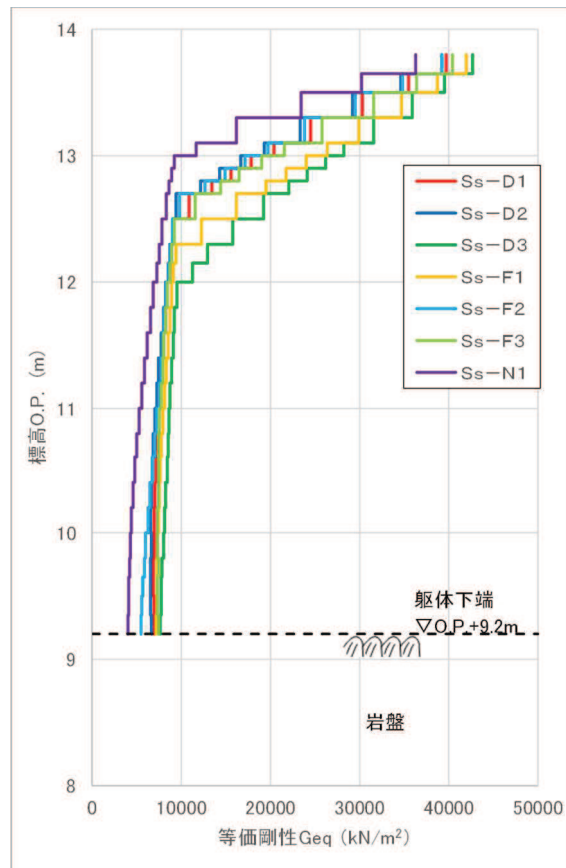


图 3-7 地震応答解析結果（等価剛性）

#### 4. フレーム解析

##### 4.1 評価対象部位

集水ピット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。構造上、弱軸方向（東西方向）が明確であることから、評価対象部位は集水ピットの側壁、底版及び補強鋼材とする。なお、側壁については、東壁と西壁があるが、東壁の背後（東側）には防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工があり、東壁と背面補強工の間をコンクリートで充填している。一方、西壁については背後に盛土が分布していることから、評価対象部位として選定する側壁は西壁のみとする。

評価対象部位を図 4-1 に示す。

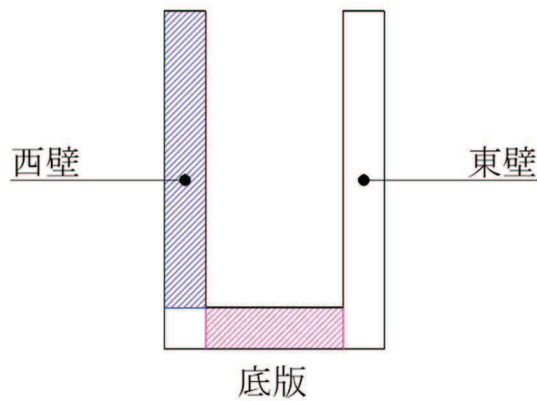


図 4-1 評価対象部位

##### 4.2 解析方法

側壁、底版及び補強鋼材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。

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「SLAP Ver. 6.65」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。

##### 4.3 解析モデル

解析に用いるフレームモデルは、集水ピットの側壁、底版及び補強鋼材を線形はり要素にて模擬し、地盤ばね（面直ノーテンション）を側部及び底部に配置する。ばね定数について、東壁はコンクリートの剛性、底部は  $C_M$  級岩盤の剛性を考慮することとし、西壁については、地盤応答解析から算出した盛土の等価剛性よりばね定数を設定する。フレームモデルを図 4-2 に示す。

なお、集水ピットの側壁及び底版は単位奥行（1m）にてモデル化することとし、補強鋼材（切梁）は切梁の奥行ピッチ（2m）を踏まえ、0.5 本分でモデル化する。また、補強鋼材と集水ピットはピン結合によりモデル化する。



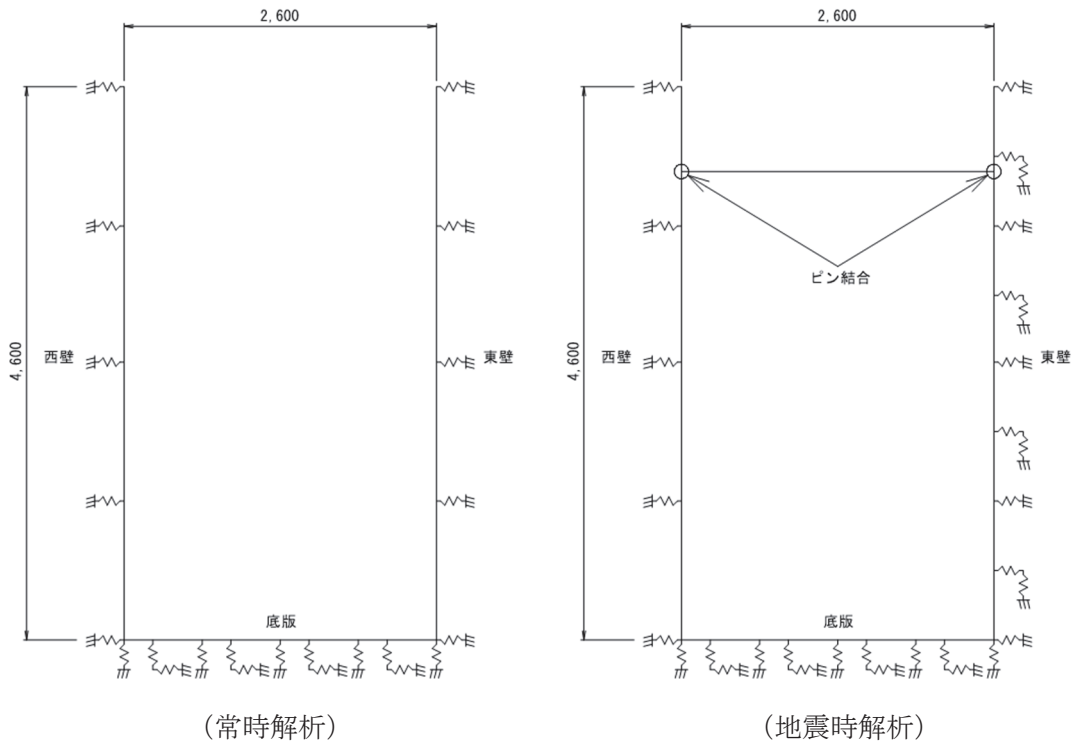


図 4-2 フレームモデル

#### 4.4 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 4-1 に、材料の物性値を表 4-2 に示す。

表 4-1 使用材料

諸元		
集水ピット	コンクリート	設計基準強度：24N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋（主筋）	SD345
補強鋼材	切梁	SM490（H-300×300×10×15）
	腹起し	SM570（H-350×350×12×19）
	ボルト	強度区分 8.8（M20）
	アンカーボルト	SD345（M20）

表 4-2 材料の物性値

項目	材料	材料諸元
単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	鉄筋コンクリート	24.0
	鋼材	77.0
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋及び鋼材	2.00×10 <sup>5</sup>
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート (構造部材)	2.50×10 <sup>4</sup>
ポアソン比		0.2

#### 4.5 入力荷重

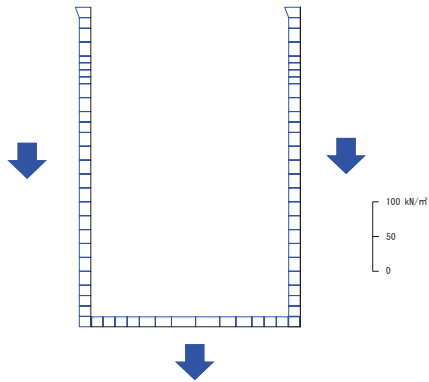
フレーム解析において考慮する荷重を表 4-3 に示す。入力荷重は「3. 地震応答解析」から最大となる水平変位，加速度，せん断力及び等価剛性を地震動毎に設定する。また，切梁には初期軸力（圧縮，30kN）を考慮する。

常時荷重及び地震時荷重を図 4-3 に示す。

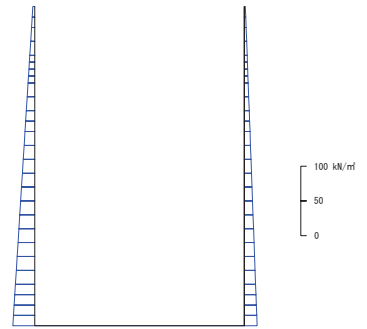
なお，地震時水圧（動水圧）について，通常時の集水ピット内の水位は非常に低く，満水状態になっていることは考えにくい，満水状態（O.P.+13.8m）を仮定し，側壁に対して地震時水圧が保守的に作用するよう考慮するとともに，集水ピット内に水が無い状態（以下「空水」という。）についても考慮する。

表4-3 入力荷重

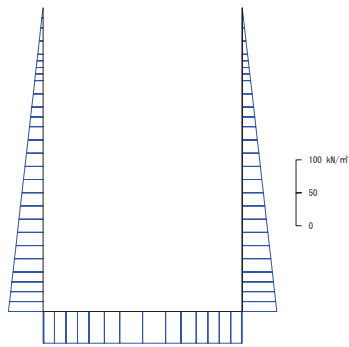
区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	躯体自重
	積載荷重	積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体に作用する常時水圧
	初期軸力	切梁に導入する初期軸力（圧縮，30kN）
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	地震時土圧	躯体側面に作用する地震時土圧
	地震時水圧	躯体に作用する地震時水圧



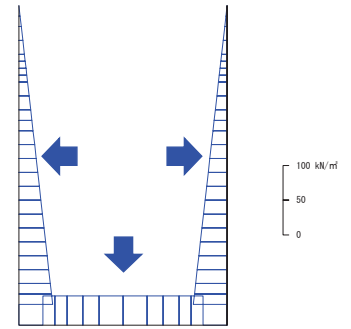
(a) 自重・上載荷重



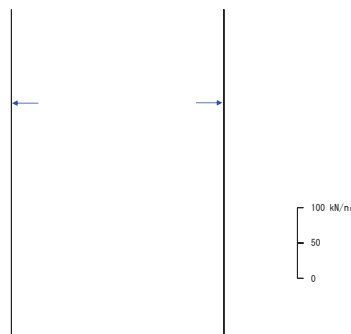
(b) 常時土圧



(c) 外水静水圧

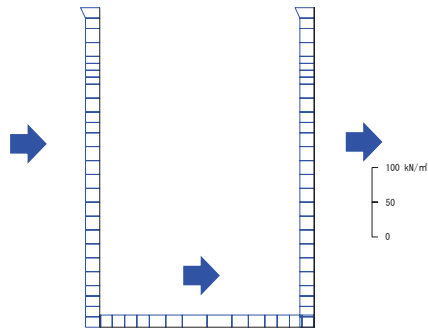


(d) 内水静水圧

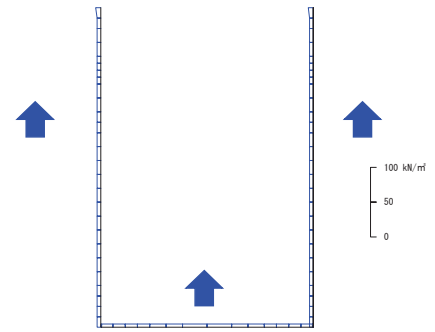


(e) 初期軸力

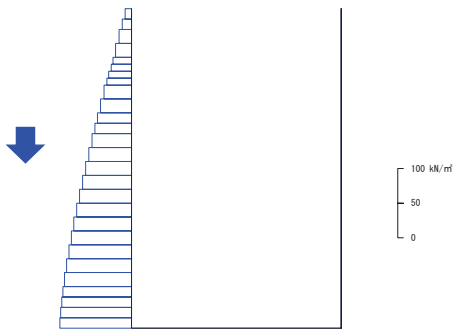
図 4-3(1) 常時荷重 (満水時)



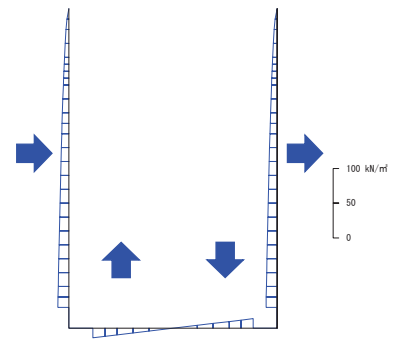
(a) 水平慣性力



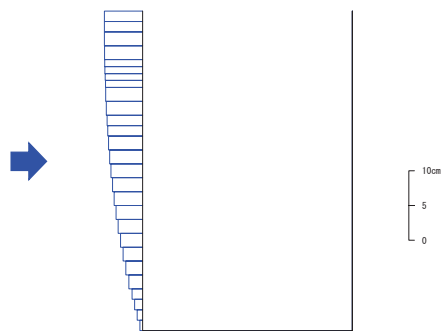
(b) 鉛直慣性力



(c) 周面せん断力



(d) 内水動水圧



底板下面の水平変位はゼロとする

(e) 応答変位荷重 (変位)

図 4-3(2) 地震時荷重 (S s - N 1 (++) , ケース②, 満水, 震度上向き, せん断破壊に対する照査)

5. 耐震評価

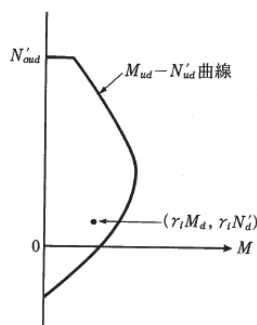
5.1 許容限界

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。

5.1.1 鉄筋コンクリート部材

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」に基づく圧縮耐力及び曲げ耐力とする。圧縮耐力  $N'_{ud}$  と曲げ耐力  $M_{ud}$  の関係を図 5-1 に示す。



解説 図 6.2.1 軸方向耐力と曲げ耐力の関係

図 5-1 圧縮耐力と曲げ耐力の関係

(「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」抜粋)

圧縮耐力の上限値  $N'_{oud}$  は、下式により算定する。

$$N'_{oud} = (k_1 f'_{cd} A_c + f'_{yd} A_{st}) / \gamma_b$$

ここに、

- $k_1$  : 強度の低減係数 ( $=1-0.003f'_{ck} \leq 0.85$ )
- $f'_{ck}$  : コンクリート強度の特性値
- $f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度
- $A_c$  : コンクリートの断面積
- $f'_{yd}$  : 軸方向鉄筋の設計圧縮降伏強度
- $A_{st}$  : 軸方向鉄筋の全断面積
- $\gamma_b$  : 部材係数 ( $=1.3$ )

軸方向力に応じた曲げ耐力は、圧縮縁ひずみ  $\epsilon'_{cu}$  となる時の曲げモーメントを以下の仮定に基づき算定する。

- (1) 維ひずみは、断面の中立軸からの距離に比例する。
- (2) コンクリートの引張応力は無視する。
- (3) コンクリート及び鋼材の応力-ひずみ曲線は図 5-2 に従う。

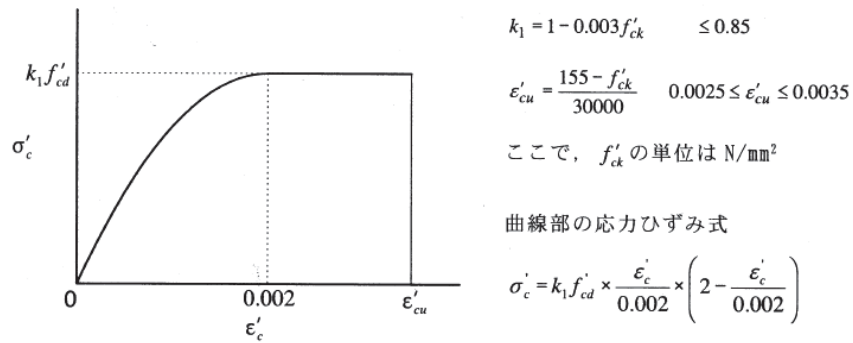


図 3.2.1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

(コンクリート)

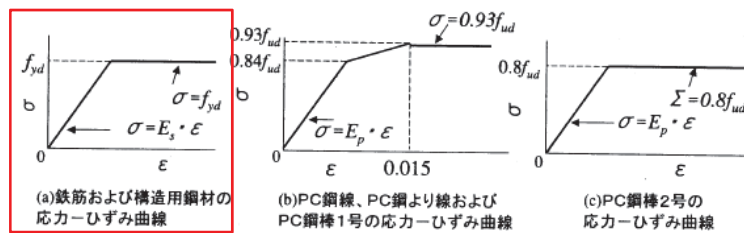


図 3.3.1 鋼材のモデル化された応力-ひずみ曲線

(鋼材)

図 5-2 コンクリート及び鋼材の応力-ひずみ曲線

(「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」抜粋)

なお、部材断面のひずみがすべて圧縮となる場合以外は、コンクリートの圧縮応力度の分布を下図に示す長方形圧縮応力度の分布（等価応力ブロック）と仮定する。

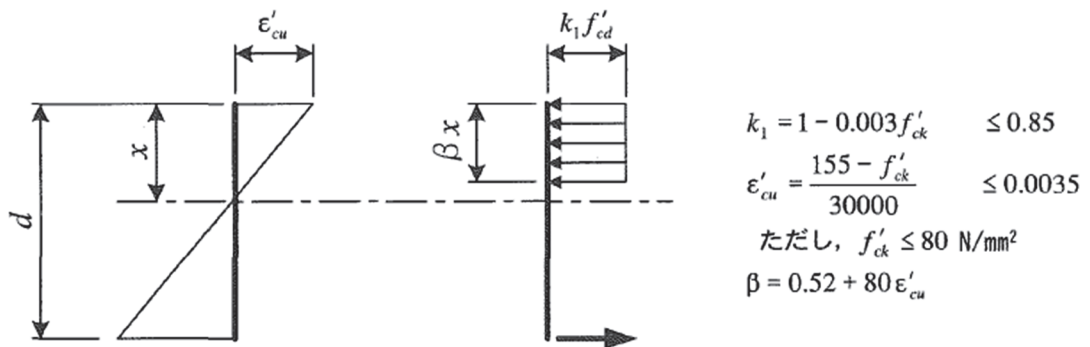


図 5-3 等価応力ブロック

(「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」抜粋)

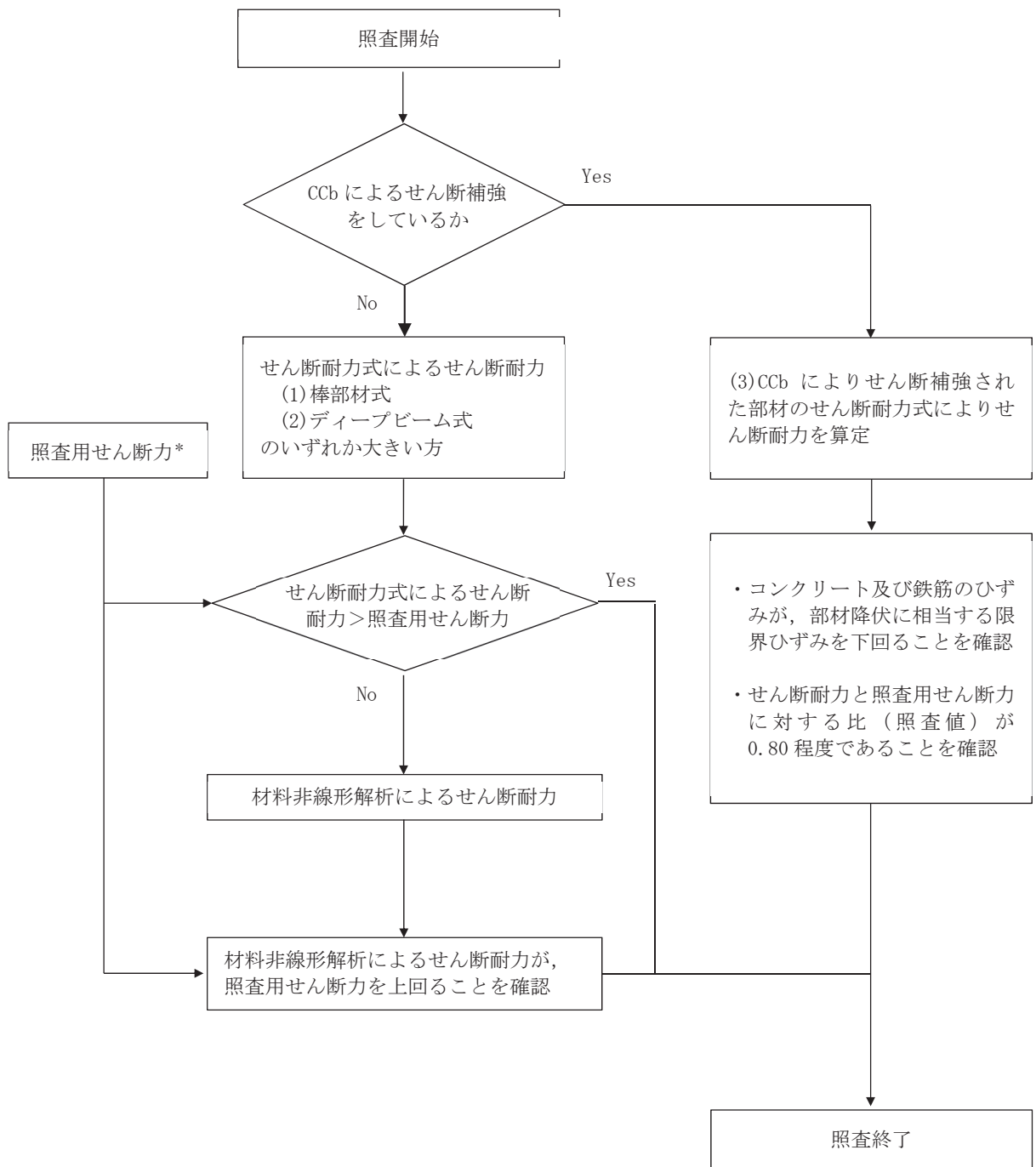
(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。せん断耐力の評価式は部材の種類に応じて3種類を用いる。

せん断耐力は、土木学会マニュアルに基づき「(1) 棒部材式」，「(2) ディープビーム式」のせん断耐力式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方とする。なお、集水ピットにおいてCCb工法を用いる構造部材はない。

せん断破壊に対する耐力評価フローを図5-4に示す。





注記\*：検査用せん断力  $V_d = \text{発生せん断力} V \times \text{構造解析係数} \gamma_a$

図 5-4 せん断破壊に対する検査フロー

a. 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

- ここで、 $V_{yd}$  : せん断耐力  
 $V_{cd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力  
 $V_{sd}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad \text{ただし、} f_{vcd} > 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{) となる場合は}$$

$$f_{vcd} = 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_0/M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_0/M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は } \beta_a = 1.0$$

ここで、 $f'_{cd}$  : コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm<sup>2</sup>)で設計基準強度 $f'_{ck}$ を材料係数 $\gamma_{mc}$ で除したもの

$p_v$  : 引張鉄筋比  $p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

$A_s$  : 引張側鋼材の断面積

$b_w$  : 部材の有効幅

$d$  : 部材の有効高さ

$N'_d$  : 設計軸圧縮力

$M_d$  : 設計曲げモーメント

$M_0$  :  $M_d$ に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$$M_0 = N'_d \cdot D / 6$$

$D$  : 断面高さ

$a/d$  : せん断スパン比

$\gamma_{bc}$  : 部材係数

$\gamma_{mc}$  : 材料係数

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z / \gamma_{bs}$$

- ここで、 $A_w$  : 区間  $s$  におけるせん断補強鉄筋の総断面積  
 $f_{wyd}$  : せん断補強鉄筋の降伏強度を  $\gamma_{ms}$  で除したもので、  
 400N/mm<sup>2</sup>以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値  $f'_{ck}$  が 60N/mm<sup>2</sup> 以上のときは 800N/mm<sup>2</sup> 以下とする。  
 $\alpha$  : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度  
 $s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔  
 $z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で  $d/1.15$  とする。  
 $\gamma_{bs}$  : 部材係数  
 $\gamma_{ms}$  : 材料係数

b. ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

- ここで、 $V_{ydd}$  : せん断耐力  
 $V_{cdd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力  
 $V_{sdd}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1+(a/d)^2}$$

ここで、 $\gamma_{bc}$  : 部材係数

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$\phi = -0.17 + 0.3 a/d + 0.33/p_{wb}$  ただし  $0 \leq \phi \leq 1$   
 ここで、 $p_{wb}$  : せん断補強鉄筋比 (%)

### 5.1.2 補強鋼材

補強鋼材のうち切梁，腹起し及びボルトの許容限界は「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づく短期許容応力度，アンカーボルトの許容限界は「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容引張力及び許容せん断力とする。補強鋼材の許容限界を表 5-1 に示す。

表 5-1 補強鋼材の許容限界

部材		材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
補強 鋼材	切梁	SM490	許容曲げ引張応力度及び 許容曲げ圧縮応力度*	185	277
	腹起し	SM570	許容曲げ圧縮応力度*	255	382
			許容せん断応力度	145	217
	ボルト	強度区分 8.8	許容引張応力度	360	540
			許容せん断応力度	200	300
	アンカー ボルト	SD345	許容引張力(kN)	36.4	72.8
許容せん断力(kN)			39.5	59.2	

注記\*：局部座屈を考慮した許容応力度を以下のとおり算定。

#### 【切梁の局部座屈に対する許容応力度】

切梁の局部座屈を考慮した許容応力度は以下のとおり算出する。座屈を考慮する場合の許容応力度の考え方を図 5-5 に示す。

$$\sigma_{cal} = 185$$

$$: \frac{b}{11.2} = 12.95 \leq t = 15$$

ここで，

$\sigma_{cal}$  : 局部座屈に対する許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

b : 自由突出幅 : 145 (mm)

t : 板厚 : 15 (mm)

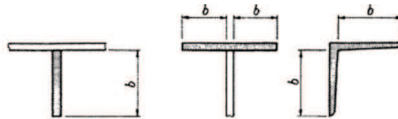


図-4.2.3 自由突出幅

表-4.2.3 自由突出板の局部座屈に対する許容応力度

鋼種	鋼材の板厚 (mm)	局部座屈に対する許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
SS400 SM400 SMA400W	40以下	140 : $\frac{b}{12.8} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{12.8}$
	40をこえ 100以下	125 : $\frac{b}{13.6} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{13.6}$
SM490	40以下	185 : $\frac{b}{11.2} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{11.2}$
	40をこえ 100以下	175 : $\frac{b}{11.5} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{11.5}$
SM490Y SM520 SMA490W	40以下	210 : $\frac{b}{10.5} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{10.5}$
	40をこえ 75以下	195 : $\frac{b}{10.9} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{10.9}$
	75をこえ 100以下	190 : $\frac{b}{11.0} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{11.0}$
SM570 SMA570W	40以下	255 : $\frac{b}{9.5} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{9.5}$
	40をこえ 75以下	245 : $\frac{b}{9.7} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{9.7}$
	75をこえ 100以下	240 : $\frac{b}{9.8} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{9.8}$

図 5-5 局部座屈に対する許容応力度 (切梁)

【腹起しの局部座屈に対する許容応力度】

腹起しの局部座屈を考慮した許容応力度は以下のとおり算出する。座屈を考慮する場合の許容応力度の考え方を図 5-6 に示す。

$$\sigma_{cal}=255$$

$$: \frac{b}{9.5}=17.79 \leq t=19$$

ここで、

$\sigma_{cal}$  : 局部座屈に対する許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

b : 自由突出幅 : 169 (mm)

t : 板厚 : 19 (mm)

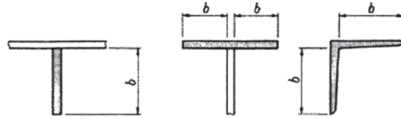


図-4.2.3 自由突出幅

表-4.2.3 自由突出板の局部座屈に対する許容応力度

鋼種	鋼材の板厚 (mm)	局部座屈に対する許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
SS400 SM400 SMA400W	40以下	140 : $\frac{b}{12.8} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{12.8}$
	40をこえ 100以下	125 : $\frac{b}{13.6} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{13.6}$
SM490	40以下	185 : $\frac{b}{11.2} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{11.2}$
	40をこえ 100以下	175 : $\frac{b}{11.5} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{11.5}$
SM490Y SM520 SMA490W	40以下	210 : $\frac{b}{10.5} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{10.5}$
	40をこえ 75以下	195 : $\frac{b}{10.9} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{10.9}$
	75をこえ 100以下	190 : $\frac{b}{11.0} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{11.0}$
SM570 SMA570W	40以下	255 : $\frac{b}{9.5} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{9.5}$
	40をこえ 75以下	245 : $\frac{b}{9.7} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{9.7}$
	75をこえ 100以下	240 : $\frac{b}{9.8} \leq t$ 23,000 $(\frac{t}{b})^2$ : $\frac{b}{16} \leq t < \frac{b}{9.8}$

図 5-6 局部座屈に対する許容応力度 (腹起し)

### 5.1.3 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「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 5-2 に示す。

表 5-2 基礎地盤の支持力に対する許容限界

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

## 5.2 評価方法

### 5.2.1 鉄筋コンクリート部材

集水ピットの耐震評価は，地震応答解析により得られた加速度，せん断力及び変位を用いて，応答変位法によりフレーム解析を実施し，照査用応答値を算定する。

構造部材の健全性評価については，フレーム解析により算定した照査用応答値が，「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

## 5.2.2 補強鋼材

### (1) 切梁

切梁は、軸力（集水ピットからの水平支保工反力）及び曲げモーメント（自重及び鉛直地震力）が同時に作用する部材としてモデル化し、次式により算定される応力が、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に規定される許容応力度以下となることを確認する。

検討モデルを図 5-7 に示す。

また、切梁の検討における軸力については、軸方向力が圧縮及び引張の場合を想定する。軸方向力が圧縮の場合は、「4. フレーム解析」より算定される集水ピットからの水平反力を水平支保工反力として考慮する。

軸方向力が引張の場合（集水ピットが東→西側へ加振される場合）は、フレーム解析においては、地盤ばねをノーテンションばねとして考慮しているため、東壁とコンクリートが剥離し、集水ピット西壁及び東壁は同じような挙動をすることから、ほとんど切梁には引張力が発生しないと考えられる。しかし、本検討においては、保守的に東壁とコンクリートが剥離しない場合も想定し、図 5-8 に示すとおり、集水ピット西壁について底版を固定端、切梁部を支点とした梁を想定し、その場合に得られる支保工反力を切梁に作用する引張力として考慮する。この場合の荷重条件としては、集水ピット西壁の慣性力、内水の静水圧及び動水圧を作用させる。

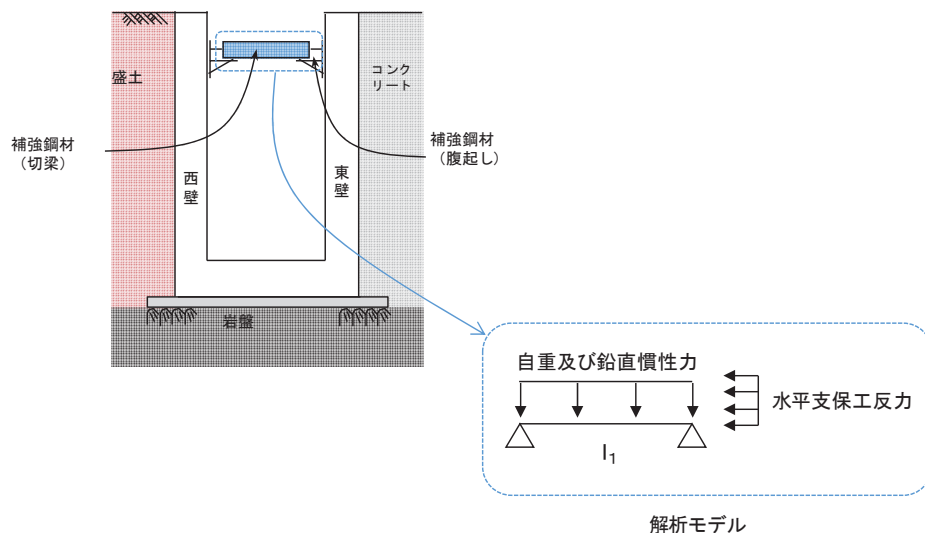


図 5-7 検討モデル（切梁）



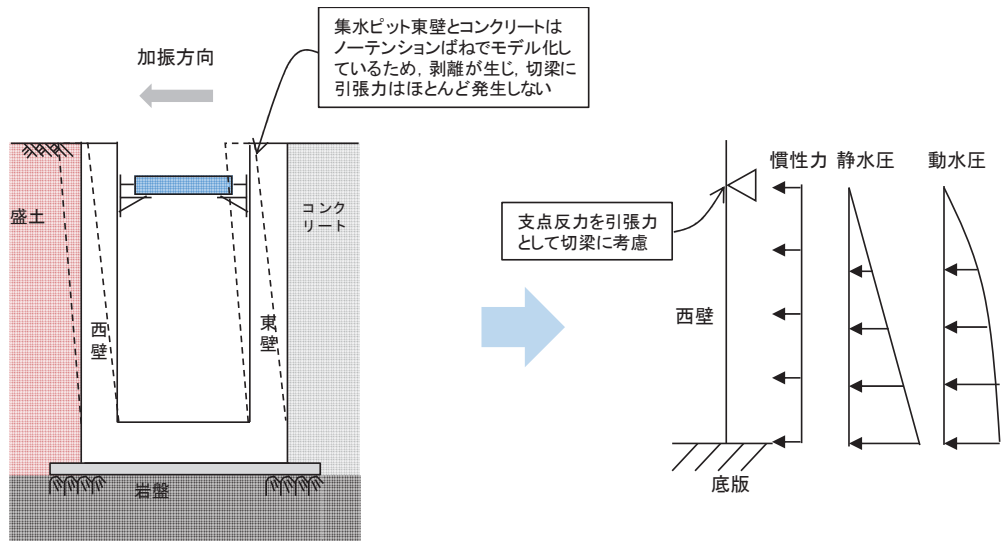


図 5-8 軸方向力が引張の場合の引張力算定イメージ

【軸方向力が圧縮の場合】

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} \leq 1 \quad \dots \text{曲げ圧縮応力度①}$$

$$\sigma_c + \frac{\sigma_{bcy}}{\left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} \leq \sigma_{cal} \quad \dots \text{曲げ圧縮応力度②}$$

$$\sigma_c = \frac{N_{c1}}{A_1}$$

$$\sigma_{bcy} = \frac{M_{c1}}{Z_1}$$

$$N_{c1} = w \cdot s$$

$$M_{c1} = \frac{(1 + kv) \cdot w_1' \cdot l_1^2}{8}$$

ここで、

- $\sigma_c$  : 軸方向力による圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bcy}$  : 強軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{caz}$  : 弱軸まわりの許容軸方向圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{caz} = \sigma_{cag} \cdot \sigma_{cal} / \sigma_{cao}$
- $\sigma_{cag}$  : 局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{cag} = 185 - 1.2 (1/r - 16)$
- $l$  : 有効座屈長 (mm)
- $r$  : 総断面積の断面二次半径 (mm)
- $\sigma_{bao}$  : 局部座屈を考慮しない許容曲げ圧縮応力度の上限値 (=185) (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{cal}$  : 局部座屈に対する許容応力度 (=185) (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bagy}$  : 局部座屈を考慮しない強軸まわりの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{bagy} = 185 - 3.8 (1/b - 4.0)$
- $b$  : 圧縮フランジ幅 (mm)
- $\sigma_{eay}$  : 強軸まわりの許容オイラー座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{eay} = 1,200,000 / (1/r_y)^2$
- $r_y$  : 強軸まわりの断面二次半径 (mm)
- $N_{c1}$  : 軸圧縮時に切梁に作用する軸力 (kN)
- $A_1$  : 切梁の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $M_{c1}$  : 軸圧縮時の曲げモーメント (kN・N)

$Z_1$  : 切梁の断面係数 ( $\text{mm}^3$ )  
 $w$  : 水平支保工反力 ( $\text{kN/m}$ )  
 $s$  : 切梁の奥行ピッチ (m)  
 $k_v$  : 鉛直震度  
 $w_1'$  : 切梁の自重 ( $\text{kN/m}$ )  
 $l_1$  : 切梁のスパン (m)

【軸方向力が引張の場合】

$$\sigma_t + \sigma_{bty} \leq \sigma_{ta} \quad \dots \text{曲げ引張応力度}$$

$$-\frac{\sigma_t}{\sigma_{ta}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}} \leq 1 \quad \dots \text{曲げ圧縮応力度①}$$

$$-\sigma_t + \sigma_{bcy} \leq \sigma_{cal} \quad \dots \text{曲げ圧縮応力度②}$$

$$\sigma_t = \frac{N_{t1}}{A_1}$$

$$\sigma_{bty} = \frac{M_{t1}}{Z_1}$$

$$N_{t1} = w_t \cdot s$$

$$M_{t1} = M_{c1} = \frac{(1 + kv) \cdot w_1' \cdot l_1^2}{8}$$

ここで、

- $\sigma_t$  : 軸方向力による引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bty}$  : 強軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bcy}$  : 強軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{ta}$  : 許容軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bagy}$  : 局部座屈を考慮しない強軸まわりの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{cal}$  : 局部座屈に対する許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $N_{t1}$  : 軸引張時に切梁に作用する軸力 (kN)
- $A_1$  : 切梁の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $M_{t1}$  : 軸引張時の曲げモーメント (kN・N)
- $Z_1$  : 切梁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $w_t$  : 軸引張時の水平支保工反力 (kN/m)
- $s$  : 切梁の奥行ピッチ (m)
- $kv$  : 鉛直震度
- $w_1'$  : 切梁の自重 (kN/m)
- $l_1$  : 切梁のスパン (m)

(2) 腹起し

腹起しは、「4. フレーム解析」により得られる集水ピットからの水平支保工反力、自重及び鉛直地震力を受ける単純ばりでモデル化し、算定される曲げ応力及びせん断応力が、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に規定される許容応力度以下となることを確認する。なお、腹起しにおいては水平方向が強軸方向、鉛直方向が弱軸方向となる。

検討モデルを図 5-9 に示す。

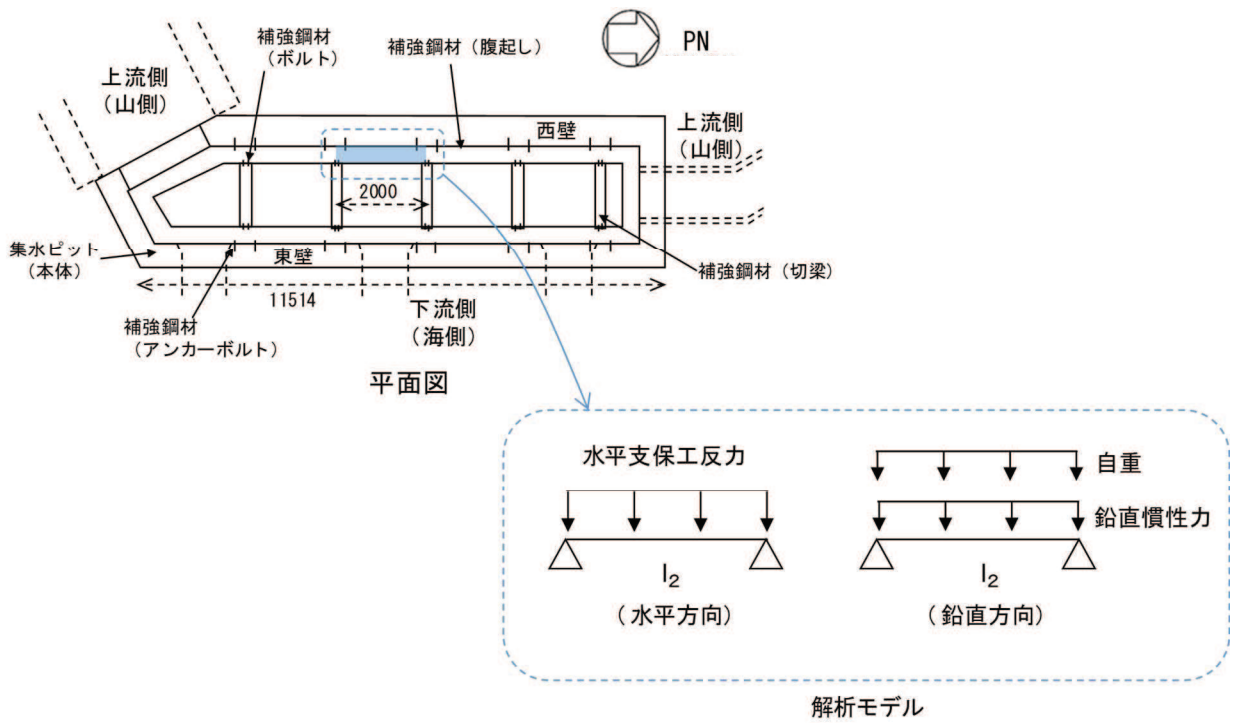


図 5-9 検討モデル (腹起し)

【曲げ圧縮照査】

$$\frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eaz}}\right)} \leq 1 \quad \dots \text{曲げ圧縮応力度①}$$

$$\frac{\sigma_{bcy}}{\left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} + \frac{\sigma_{bcz}}{\left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eaz}}\right)} \leq \sigma_{cal} \quad \dots \text{曲げ圧縮応力度②}$$

$$\sigma_{bcy} = \frac{M_2}{Z_2}$$

$$\sigma_{bcz} = \frac{M_3}{Z_3}$$

$$M_2 = \frac{w \cdot l_2^2}{8}$$

$$M_3 = \frac{(1 + kv) \cdot w' \cdot l_2^2}{8}$$

【せん断照査】

$$\tau_2 = \frac{S_2}{A_{w2}}$$

$$\tau_3 = \frac{S_3}{A_{f3}}$$

$$S_2 = \frac{w \cdot l_2}{2}$$

$$S_3 = \frac{(1 + kv) \cdot w' \cdot l_2}{2}$$

ここで,

- $\sigma_{bcy}$  : 強軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bcz}$  : 弱軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{ba0}$  : 局部座屈を考慮しない許容曲げ圧縮応力度の上限値 (=255) (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{ca1}$  : 局部座屈に対する許容応力度 (=255) (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bagy}$  : 局部座屈を考慮しない強軸まわりの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{bagy} = 255 - 6.6 (l/b - 5.0)$
- $\sigma_{eay}$  : 強軸まわりの許容オイラー座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{eay} = 1,200,000 / (l/r_y)^2$
- $\sigma_{eaz}$  : 弱軸まわりの許容オイラー座屈応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_{eaz} = 1,200,000 / (l/r_z)^2$
- $l$  : 有効座屈長 (mm)
- $r_y$  : 強軸まわりの断面二次半径 (mm)
- $r_z$  : 弱軸まわりの断面二次半径 (mm)
- $M_2$  : 強軸方向の曲げモーメント (kN・m)
- $Z_2$  : 強軸方向の断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $M_3$  : 弱軸方向の曲げモーメント (kN・m)
- $Z_3$  : 弱軸方向の断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $w$  : 水平支保工反力 (kN/m)
- $l_2$  : 腹起しスパン長 (=切梁中心間距離)
- $k_v$  : 鉛直震度
- $w'$  : 腹起しの自重 (kN/m)
- $\tau_2$  : 強軸方向のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $S_2$  : 強軸方向のせん断力 (kN)
- $A_{w2}$  : 強軸方向のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\tau_3$  : 強軸方向のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $S_3$  : 強軸方向のせん断力 (kN)
- $A_{f3}$  : 強軸方向のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)

(3) ボルト

切梁と腹起しを接続するボルト（4本）に作用する引張力及びせん断力が、許容限界以下であることを確認する。

ボルトの引張力は、切梁に発生する軸引張力を、せん断力は切梁の自重及び鉛直慣性力を考慮する。

検討モデルを図5-10に示す。

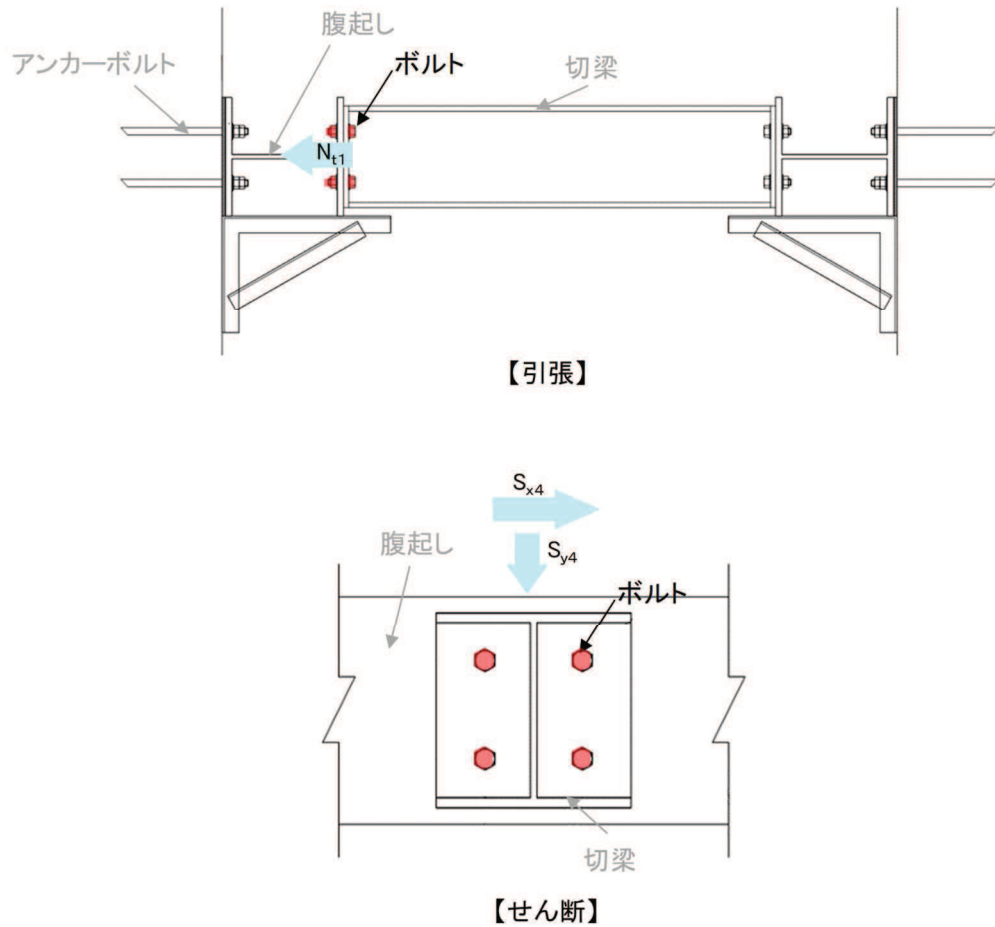


図5-10 検討モデル（ボルト）



【引張照査】

$$\sigma_t = \frac{N_{t1}}{n_4 \cdot A_4}$$

ここで、

- $\sigma_t$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $N_{t1}$  : 軸引張時に切梁に作用する軸力 (kN)  
 $n_4$  : ボルト本数(本)  
 $A_4$  : ボルト有効断面積(mm<sup>2</sup>)

【せん断照査】

$$\tau_4 = \frac{S_4}{n_4 \cdot A_4}$$

$$S_4 = \sqrt{S_{x4}^2 + S_{y4}^2}$$

$$S_{x4} = \frac{k_h \cdot w_1'}{2}$$

$$S_{y4} = \frac{(1 + k_v) \cdot w_1'}{2}$$

ここで、

- $\tau_4$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $S_4$  : せん断力 (kN)  
 $S_{x4}$  : 水平方向のせん断力 (kN)  
 $S_{y4}$  : 鉛直方向のせん断力 (kN)  
 $k_h$  : 水平震度  
 $w_1'$  : 切梁の自重 (kN/m)  
 $k_v$  : 鉛直震度

(4) アンカーボルト

腹起しと集水ピットを接続するアンカーボルト（6本）に作用する引張力及びせん断力が、許容限界以下であることを確認する。

ボルトの引張力は、切梁に発生する軸引張力を、せん断力は切梁及び腹起しの分担長当たりの自重及び慣性力を考慮する。

検討モデルを図5-11に示す。

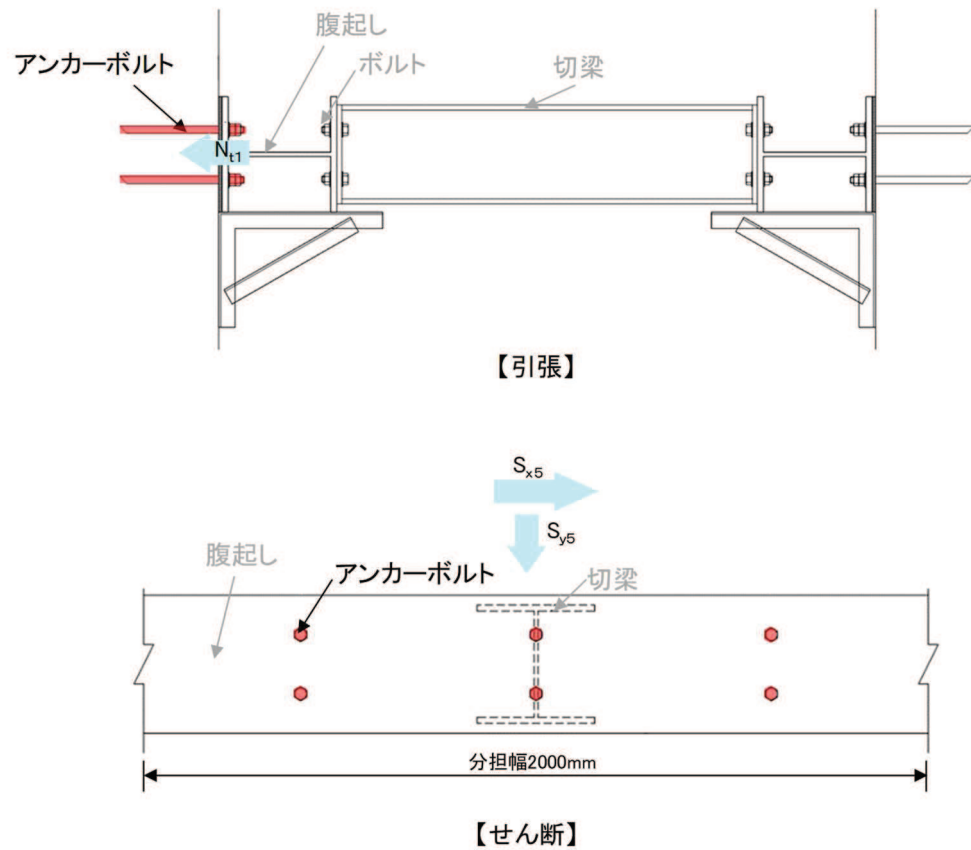


図5-11 検討モデル（アンカーボルト）

【引張照査】

$$p_5 = \frac{N_{t1}}{n_5}$$

ここで、

$p_5$  : アンカーボルト1本あたりに発生する引張力 (kN)

$N_{t1}$  : 軸引張時に切梁に作用する軸力 (kN)

$n_5$  : アンカーボルト本数(本)

【せん断照査】

$$q_5 = \frac{S_5}{n_5}$$

$$S_5 = \sqrt{S_{x5}^2 + S_{y5}^2}$$

$$S_{x5} = k_h \cdot w_5$$

$$S_{y5} = (1 + k_v) \cdot w_5$$

ここで、

$q_5$  : アンカーボルト1本あたりに発生するせん断力 (kN)

$S_5$  : せん断力 (kN)

$S_{x5}$  : 水平方向のせん断力 (kN)

$S_{y5}$  : 鉛直方向のせん断力 (kN)

$k_h$  : 水平震度

$w_5$  : アンカーボルトが分担する切梁及び腹起しの自重 (kN)

$k_v$  : 鉛直震度

### 5.2.3 基礎地盤の支持性能

基礎地盤の支持性能については、フレーム解析から算定した最大接地圧が、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

集水ピットの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 6-1 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値を表 6-2 に示す。また、集水ピットの評価位置を図 6-1 に示す。

また、最大照査値となる断面力分布を図 6-2 及び図 6-3 に示す。

以上より、集水ピットの発生応力度及びせん断力が、構造部材の許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析ケース	集水ピット 内水位条件	発生断面力		圧縮 耐力 $N'_{oud}$ (kN)	曲げ 耐力 $M_{ud}^{*1}$ (kN・m)	照査値	
				曲げ モーメント $M$ (kN・m)	軸力 $N$ (kN)			圧縮 $N/N'_{oud}$	曲げ $M/M_{ud}$
西壁	S s - N 1 *2	①	空水	357	309	8587	451	0.04	0.80
底版	S s - N 1 *2	①	空水	392	470	8587	488	0.06	0.81

注記 \*1: 終局状態時の荷重の釣り合いから、照査断面力比  $M/N$  が等しくなる中立軸位置を計算し、曲げ耐力  $M_{ud}$  を算出。

\*2: 水平慣性力は西→東向き、鉛直慣性力は下向き

表 6-2 せん断破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析ケース	集水ピット 内水位条件	照査用せん断力*1 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V/V_a$
西壁	S s - N 1 *2	②	満水	476	520	0.92
底版	S s - N 1 *3	①	空水	322	563	0.58

注記 \*1: 照査用せん断力  $V_d =$  発生せん断力  $V \times$  構造解析係数  $\gamma_a$

\*2: 水平慣性力は西→東向き、鉛直慣性力は上向き

\*3: 水平慣性力は西→東向き、鉛直慣性力は下向き

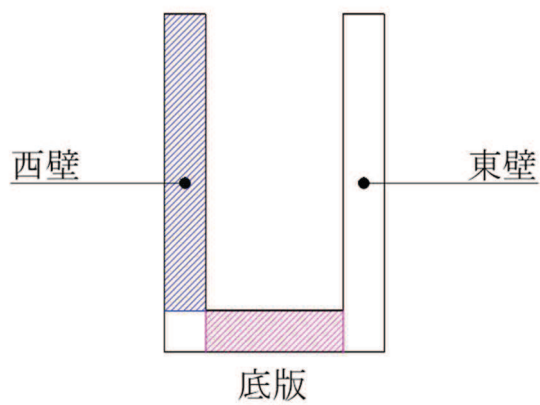
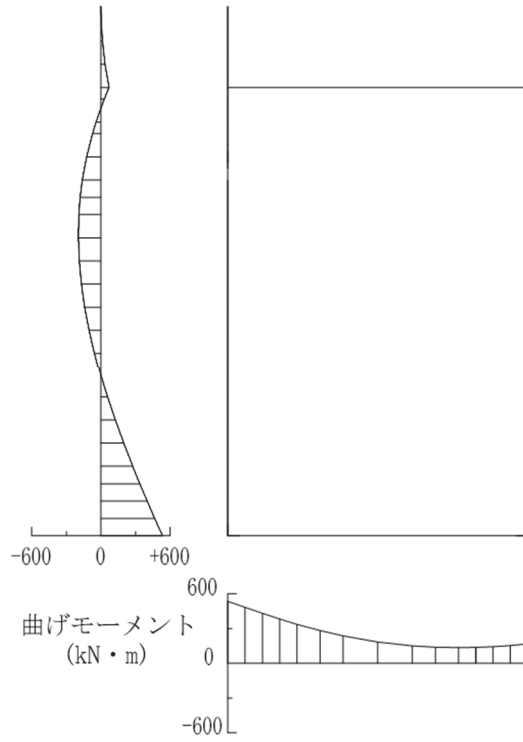
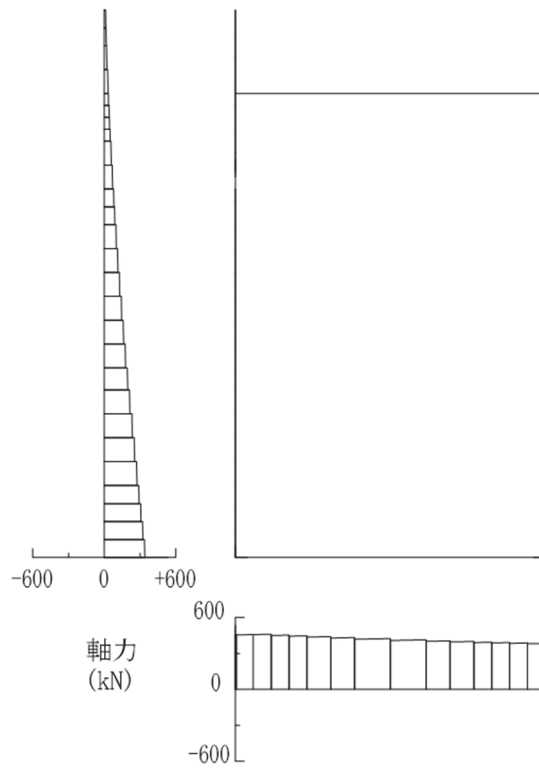


图 6-1 評価位置図



(a) 曲げモーメント図



(b) 軸力図 (圧縮 : 正)

図 6-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値の断面力  
(S s - N 1, 解析ケース①, 空水)

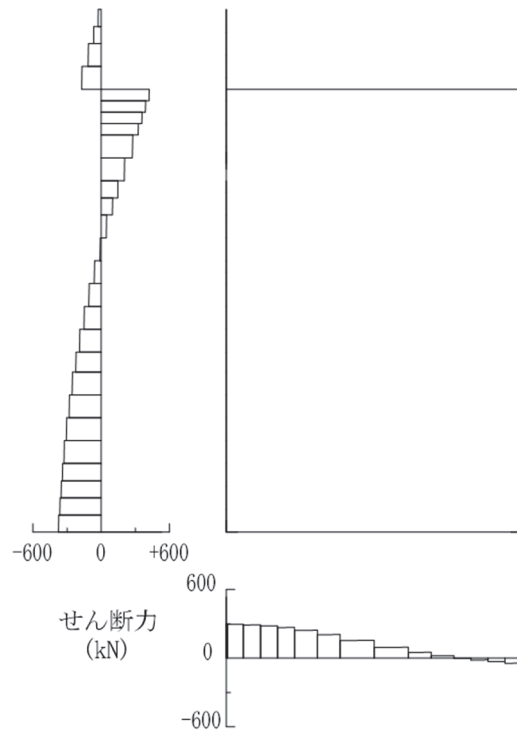


図 6-3 せん断破壊に対する最大照査値の断面力  
(S s - N 1, 解析ケース②, 満水)



## 6.2 補強鋼材の健全性に対する評価結果

補強鋼材の設計震度は図 3-5 に示す地震応答解析結果（最大水平加速度分布，最大鉛直加速度分布）に基づき，表 6-3 のとおり設定する。

補強鋼材の最大照査値を表 6-4 に示す。

以上より，補強鋼材の発生応力が，補強鋼材の許容限界以下であることを確認した。

表 6-3 設計震度

震度方向	地震動	解析ケース	設計震度
水平	S s - N 1	ケース③	1.212
鉛直	S s - D 3	ケース①	0.696

表 6-4 補強鋼材の照査結果

部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)	
補強 鋼材	切梁	SM490	軸方向 圧縮	曲げ圧縮応力度①	0.42	1.0	0.42
				曲げ圧縮応力度② (N/mm <sup>2</sup> )	114	277	0.42
			軸方向 引張	曲げ引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	9	277	0.04
				曲げ圧縮応力度①	-0.1*	—	—
				曲げ圧縮応力度② (N/mm <sup>2</sup> )	-9*	—	—
	腹起し	SM570	曲げ圧縮応力度①		0.40	1.0	0.40
			曲げ圧縮応力度② (N/mm <sup>2</sup> )		149	382	0.39
			せん断応力度（強軸） (N/mm <sup>2</sup> )		180	217	0.83
			せん断応力度（弱軸） (N/mm <sup>2</sup> )		1	217	0.01
	ボルト	強度区分 8.8	引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		108	540	0.20
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		2	300	0.01
	アンカー ボルト	SD345	引張力 (kN)		17.5	73.0	0.24
			せん断力 (kN)		1.2	59.1	0.02

注記\*：軸方向力が引張の場合の圧縮縁照査について，軸方向力による引張応力度  $\sigma_t$  が卓越しており，曲げ圧縮応力度が負値となることから，照査対象外とする。

### 6.3 地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能評価における最大照査値を表 6-5、最大接地圧分布図を図 6-4 に示す。  
集水ピットの基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 6-5 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動	解析 ケース	集水ピット 内水位条件	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a / R_{ua}$
S s - N 1 *	①	満水	2.5	13.7	0.19

注記 \* : 水平慣性力は東→西向き, 鉛直慣性力は下向き

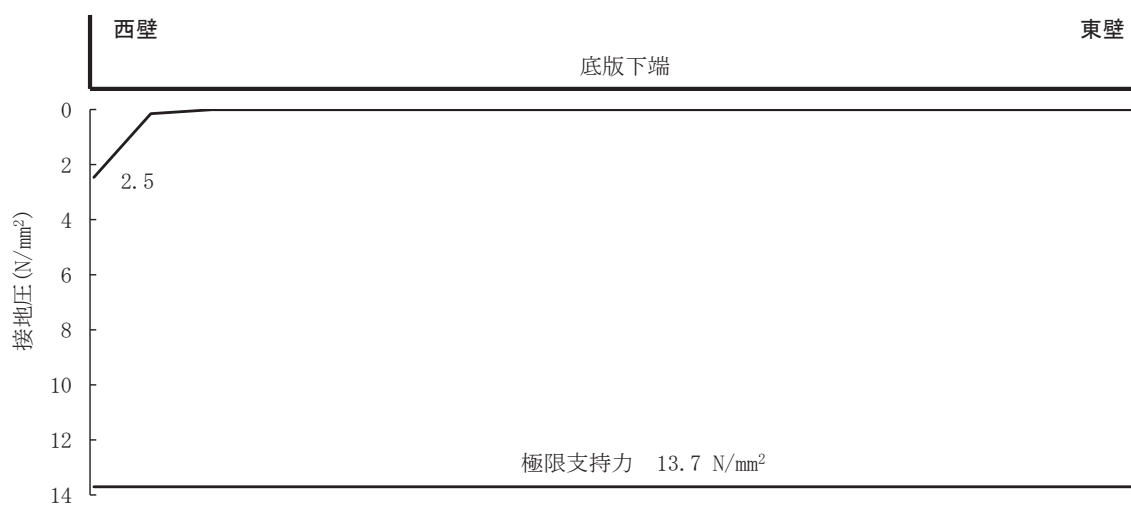


図 6-4 集水ピットの基礎地盤の支持力照査における最大照査値の接地圧分布

(別紙5) 南側排水路(防潮堤横断部)の耐震性について

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	7
2.4	適用基準	9
3.	耐震評価	10
3.1	評価対象断面	10
3.2	解析方法	12
3.2.1	解析方法	12
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	12
3.2.3	減衰定数	13
3.2.4	解析ケース	13
3.3	荷重及び荷重の組合せ	15
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	15
3.3.2	荷重	15
3.3.3	荷重の組合せ	16
3.4	入力地震動	17
3.5	解析モデル及び諸元	32
3.5.1	解析モデル	32
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	34
3.5.3	地盤の物性値	35
3.5.4	地下水位	35
3.6	許容限界	36
3.6.1	MMR(排水路部)	36
3.6.2	基礎地盤	37
3.7	評価方法	38
3.7.1	MMR(排水路部)の健全性評価	38
3.7.2	基礎地盤の支持性能	40
4.	耐震評価結果	41
4.1	MMR(排水路部)の健全性に対する評価結果	41
4.2	地盤の支持性能に対する評価結果	42

## 1. 概要

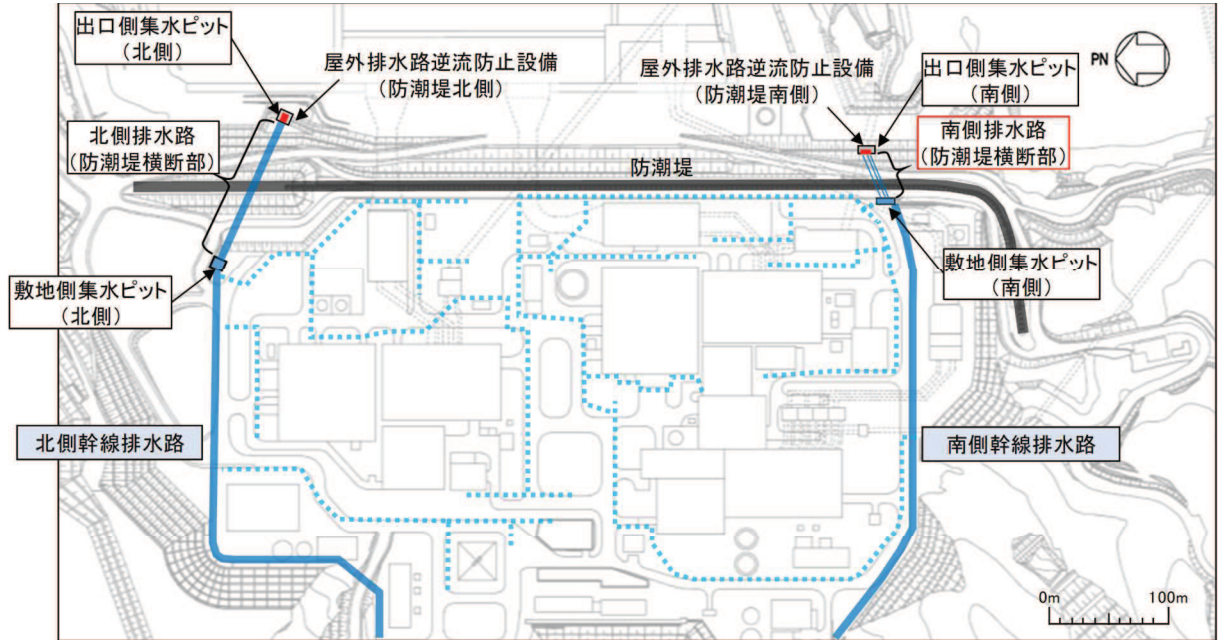
本資料は、添付書類「VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震設計の方針」に基づき、南側排水路（防潮堤横断部）（以下「南側排水路」という。）が基準地震動  $S_s$  に対して排水機能を有していることを確認するものである。

なお、南側排水路の耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

南側排水路の位置を図2-1に示す。



注: 支線排水路(青点線)は2019年10月段階の配置を記載(今後の安全対策工事等によって変更可能性有)。

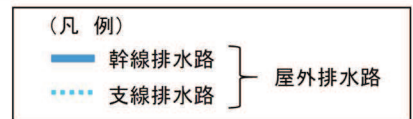


図2-1 南側排水路位置図

## 2.2 構造概要

南側排水路の配置図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 に示す。

南側排水路は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）を横断して敷地側集水ピット（南側）から出口側集水ピット（南側）を結ぶ 3 条の排水路（排水断面は約 1.0m の円形）であり、周囲をマンメイドロック（以下「MMR」という。）により充填している。

このうち、南側排水路の役割である排水機能の維持に周囲の MMR が寄与することを踏まえ、排水断面が閉塞しないことを確認するために、図 2-3 に示す断面図のうち排水断面の周囲 1D（1.0m）分の範囲における MMR を施設（以下「MMR（排水路部）」という。）として扱う。

なお、MMR（排水路部）の範囲について、「土木学会 2016 年 トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説」によると、図 2-4 に示すとおり、小断面トンネル（内空幅 3.0m～5.0m）においては、標準的な「吹付け厚+覆工厚」が 25cm～32cm であることも踏まえると、排水断面の周囲 1D（1.0m）分とすることは妥当である。

また、MMR（排水路部）を含む MMR 打設時において、排水断面を成形するため、排水経路上にダブルプレスト管（ $\phi$ 1.0m；高密度ポリエチレン製）を敷設した上で MMR を充填している。

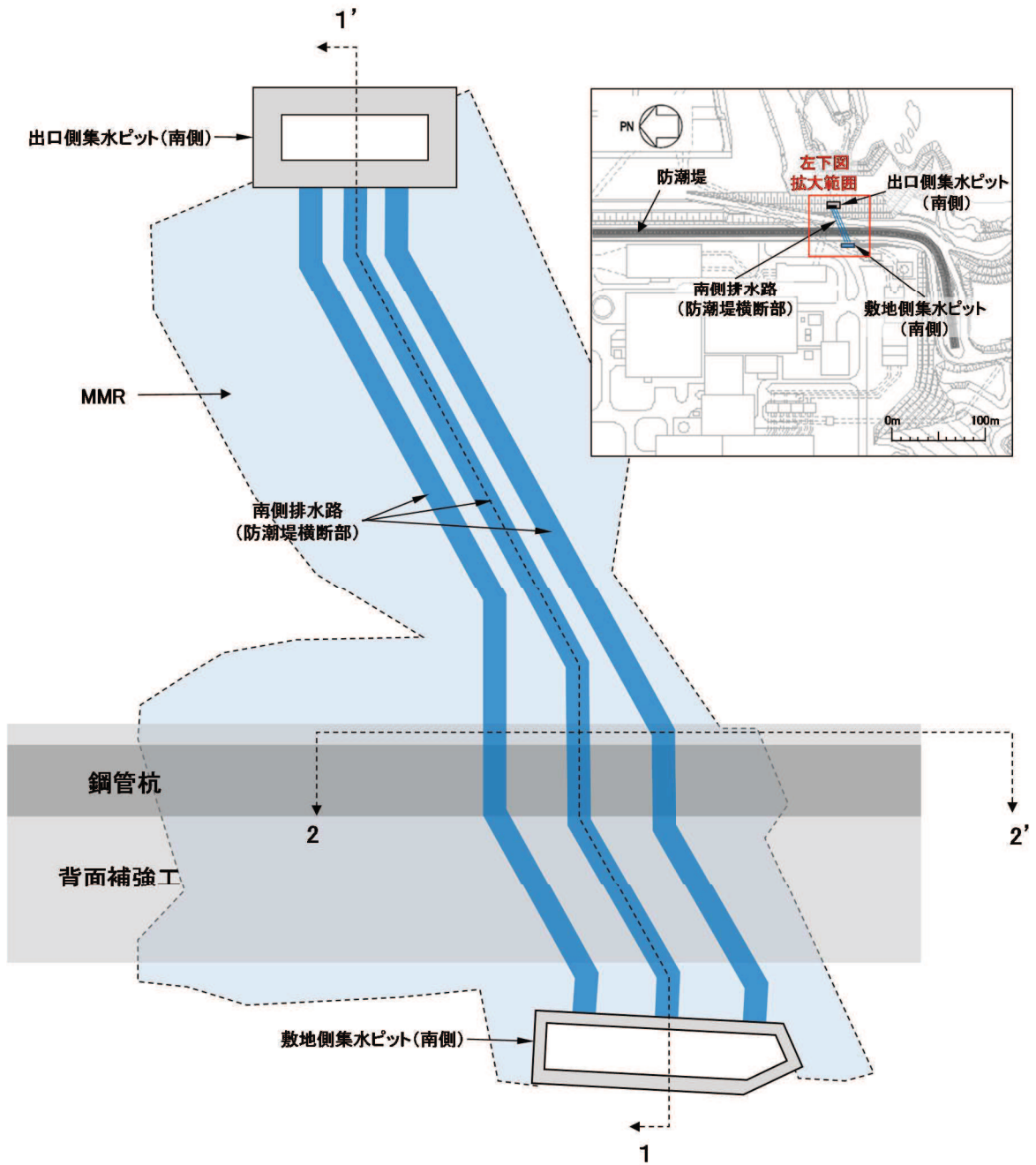


図 2-2(1) 南側排水路配置図 (平面図)

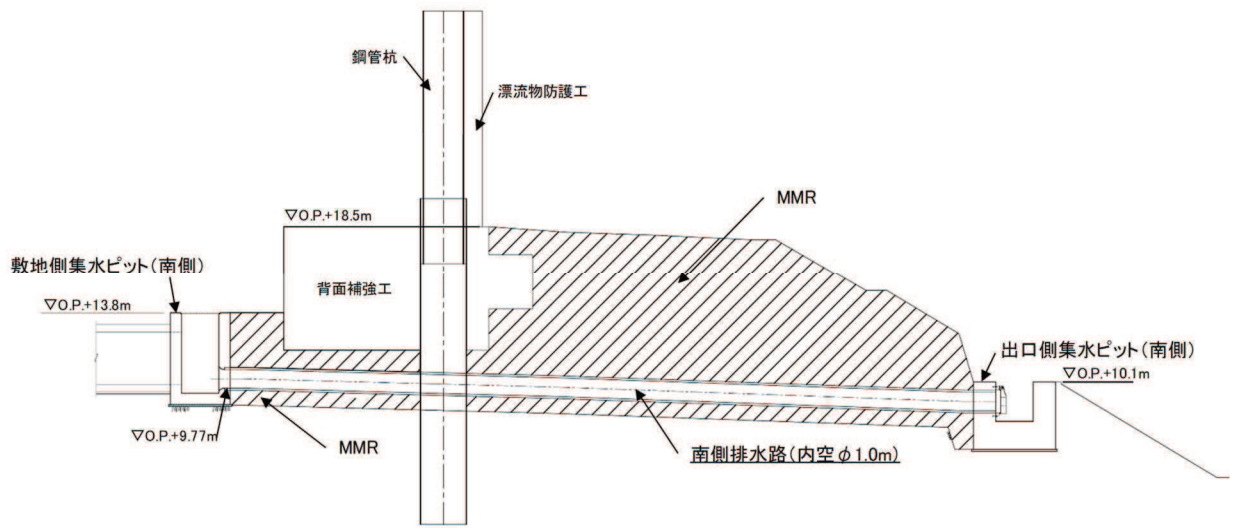


図 2-2(2) 南側排水路配置図 (縦断面図, 1-1' 断面)

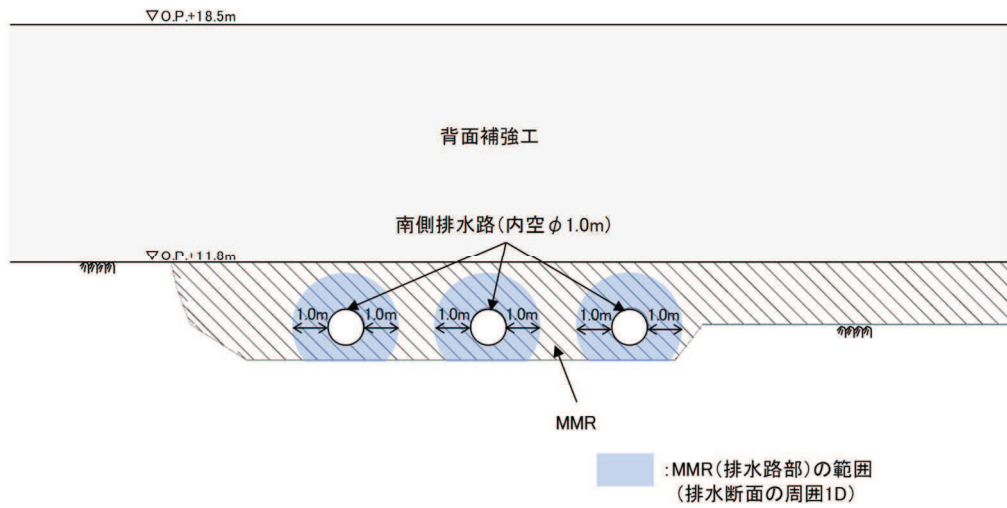


図 2-3 南側排水路断面図 (2-2' 断面)



解説表 3.3.3 道路トンネル(小断面)の標準的な支保パターン例(文献<sup>9)</sup>を加筆修正)

(小断面トンネル 内空幅3.0~5.0m程度)

地山等級	支保パターン	標準掘進長 (m)	ロックボルト				鋼製支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚* (cm)	掘削 工法
			長さ (m)	施工間隔		施工範囲	種類	建込 間隔 (m)				
				周 方向 (m)	延長 方向 (m)							
B	B	2.0	なし	—	—	—	なし	—	5	20	全断面 工法	
CI	CI	1.5	2.0	1.2	1.2~ 1.5	上, 下半	なし	—	5	20		
CII	CII	1.2										
DI	DI	1.0	2.0	1.0	1.0	上, 下半	H-100	1.0	10	20		
DII	DII	1.0	2.0~3.0	1.0 以下	1.0	上, 下半	H-100	1.0	10~12	20		

\* 当該トンネルの利用状況および地山状況等を考慮し、覆工の省略を検討する必要がある。

図 2-4 道路トンネル(小断面)の標準的な覆工厚さ  
(「土木学会 2016年 トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説」抜粋)

### 2.3 評価方針

南側排水路の耐震評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 に示すとおり、MMR（排水路部）の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお、MMR（排水路部）を含む MMR 充填時に敷設するダブルプレスト管は、排水機能の維持には寄与しないことから、評価には考慮しないこととする。

MMR（排水路部）の健全性評価については、添付書類「VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震設計の方針」に基づき、発生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ついては、基礎地盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

南側排水路の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

表 2-1 南側排水路の評価項目

評価方針	評価項目	評価方法	許容限界
排水機能を有すること	MMR（排水路部）の健全性評価	発生する応力が許容限界以下であることを確認	引張強度及びせん断強度
	基礎地盤の支持性能	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。

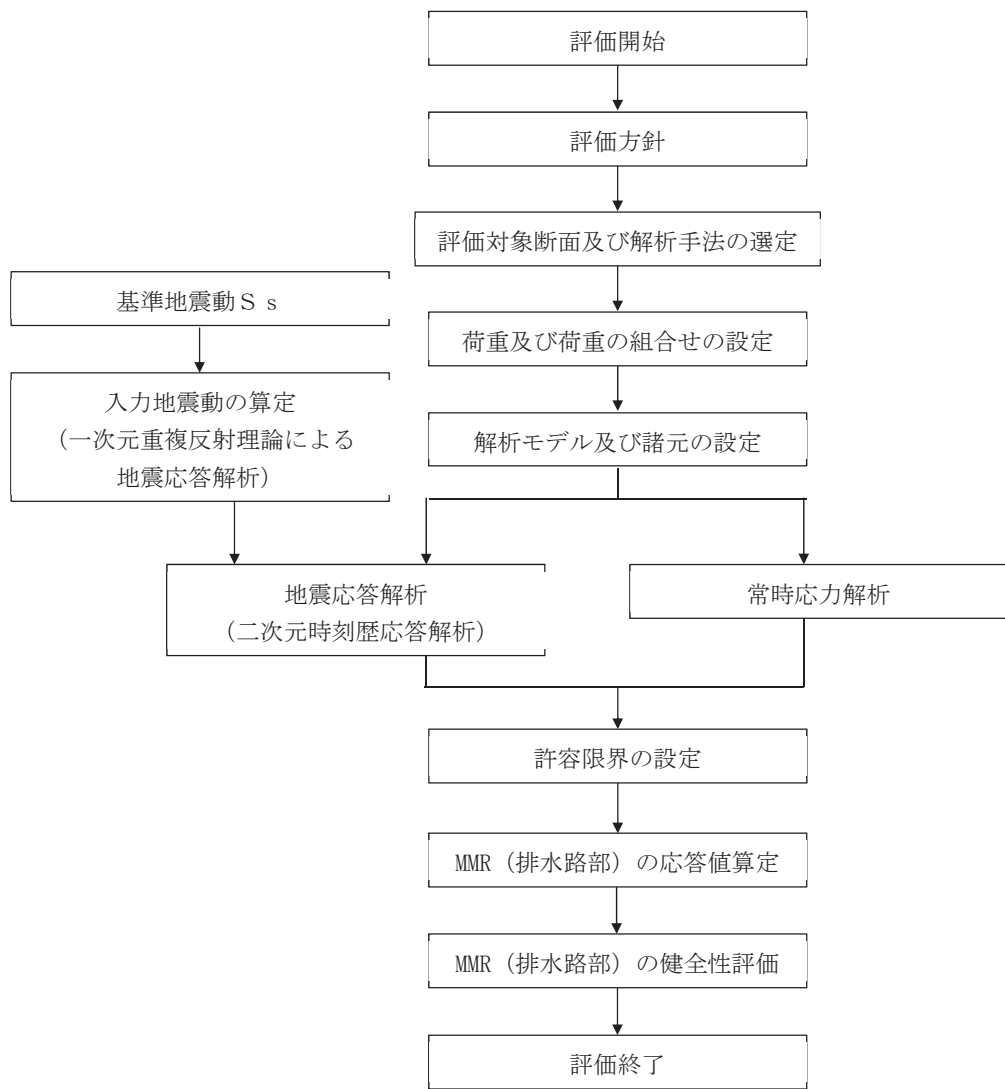


図 2-5 南側排水路の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

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]
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- ・ 土木学会 2013年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編
- ・ 土木学会 2016年 トンネル標準示方書 [山岳工法編] ・ 同解説

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

南側排水路の評価対象断面位置を図 3-1 に、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面⑤に投影した縦断図を図 3-2 に、評価対象断面図を図 3-3 に示す。

南側排水路のうち上載荷重が大きく、発生するせん断応力が大きくなると想定される断面（A-A' 断面）を、評価対象断面として選定する。

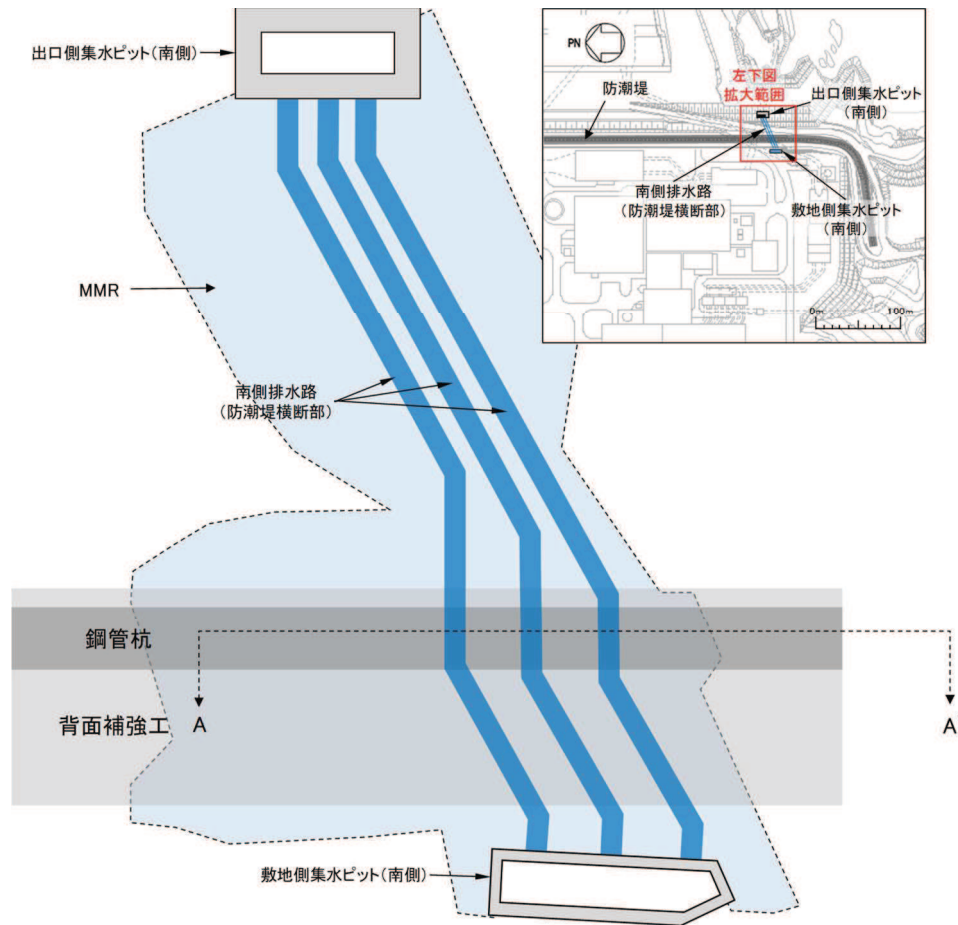


図 3-1 南側排水路の評価対象断面位置

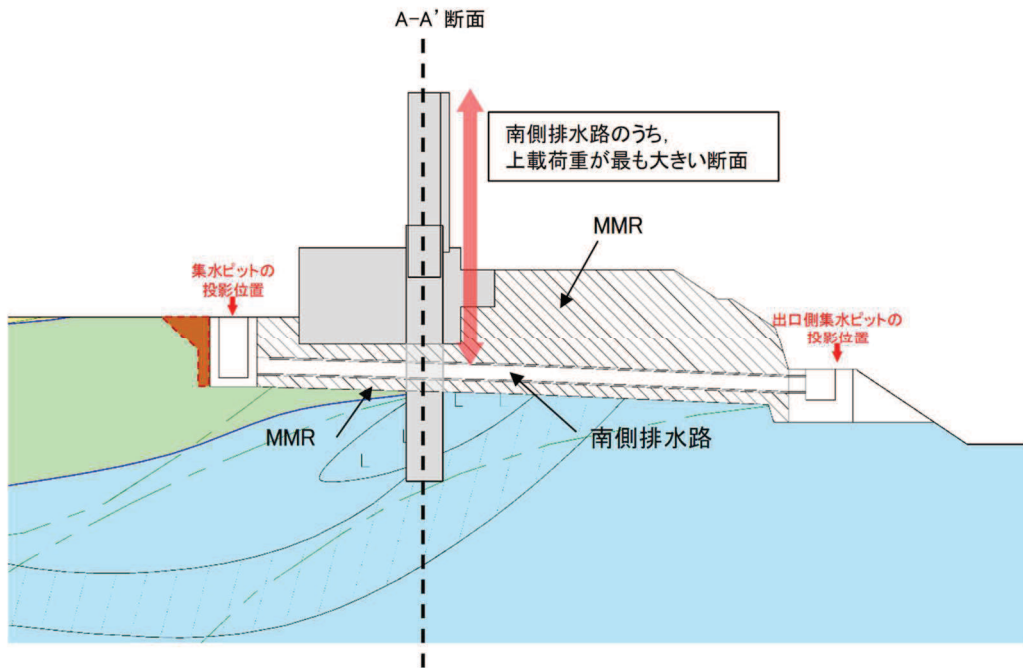


図 3-2 南側排水路の縦断面図（防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面⑤に投影）

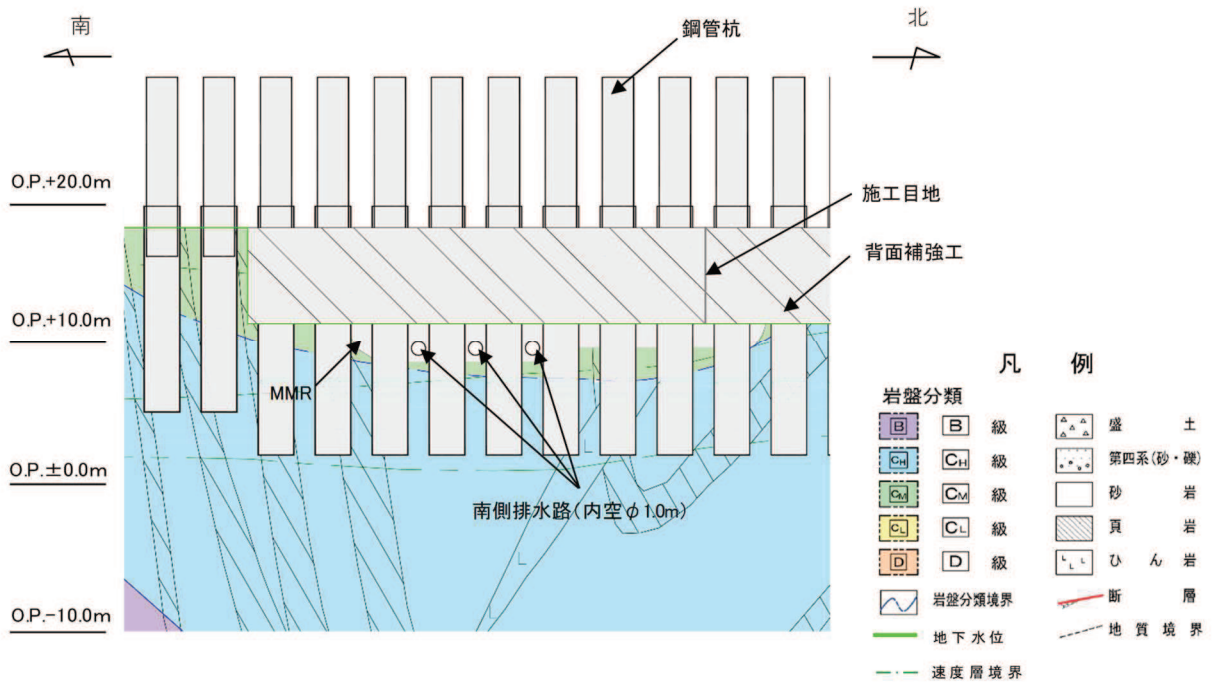


図 3-3 南側排水路評価対象断面図（A-A' 断面）

## 3.2 解析方法

### 3.2.1 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実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二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。

MMR（排水路部）を含む MMR については、線形平面ひずみ要素を用いる。また、防潮堤（鋼管式鉛直壁）について、鋼管杭は線形はり要素、背面補強工は線形平面ひずみ要素でモデル化する。

南側排水路の地震応答解析には、評価対象断面において液状化検討対象層が分布していないことを踏まえ、全応力解析を行うこととし、解析コード「TDAPⅢ Ver.3.11」を使用する。なお、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。

### 3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3-3 に示すとおり、南側排水路の周辺には、主として  $C_M$  級岩盤、 $C_H$  級岩盤及び  $B$  級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に南側排水路の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3-1 に示す。

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、材料物性のばらつきと併せて表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

初期せん断弾性係数の標準偏差  $\sigma$  を用いて設定した解析ケース①～③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

表 3-1 解析ケース（南側排水路）

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
		$C_M$ 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
ケース②	設計基準強度	平均値 + $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - $\sigma$

### 3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、以下に示す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。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス, [M] : 質量マトリックス,

[K] : 剛性マトリックス

$\alpha, \beta$  : 係数

### 3.2.4 解析ケース

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、周辺地盤の健全性の照査値が最も厳しい地震動を用いて解析ケース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 (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動(位相)	S s - D 1	++*	○		
		-+*	○		
	S s - D 2	++*	○		
		-+*	○		
	S s - D 3	++*	○		
		-+*	○		
	S s - F 1	++*	○		
		-+*	○		
	S s - F 2	++*	○		
		-+*	○		
	S s - F 3	++*	○		
		-+*	○		
	S s - N 1	++*	○		
		-+*	○		

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、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

南側排水路の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、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。風の影響については、埋設構造物であるため、風の影響を受けないことから考慮しない。

##### (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

南側排水路の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

##### (2) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重 $P_s$ を含めて地表面に $4.9\text{kN/m}^2$ を考慮する。

##### (3) 積雪荷重( $P_s$ )

積雪荷重として、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 $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重( $S_s$ )

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  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )

### 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  $S_s$  を一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」に示す地下構造モデルを用いる。

図 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE 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。

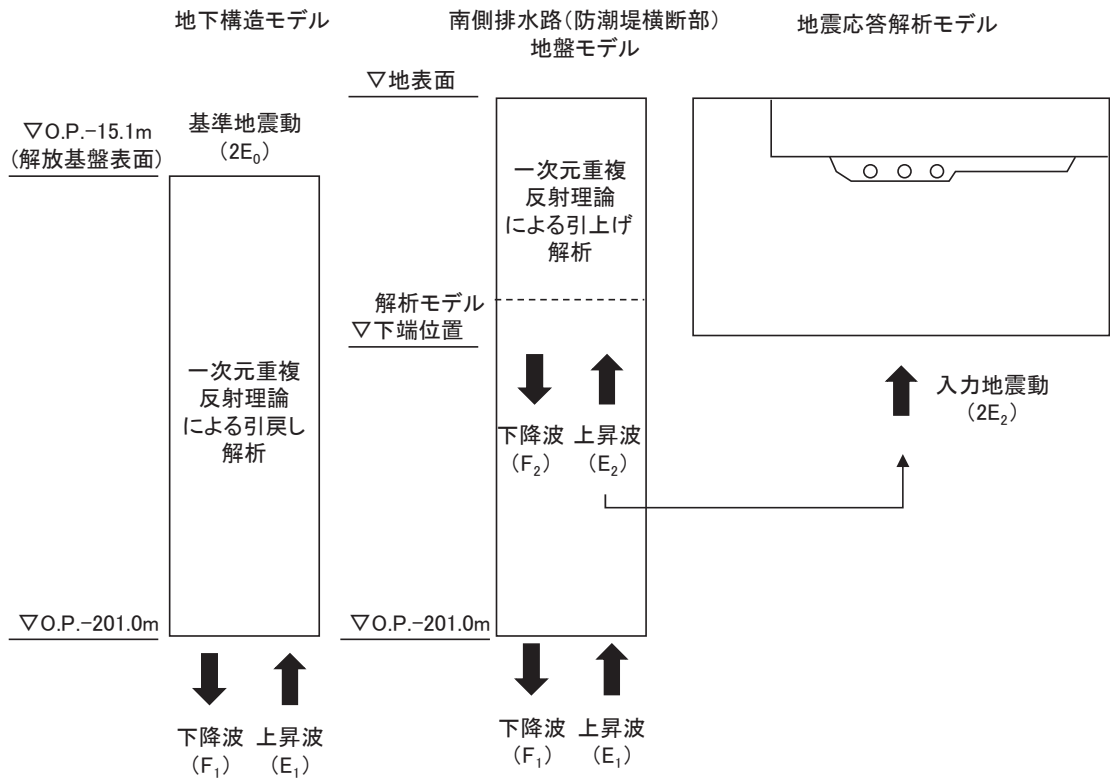
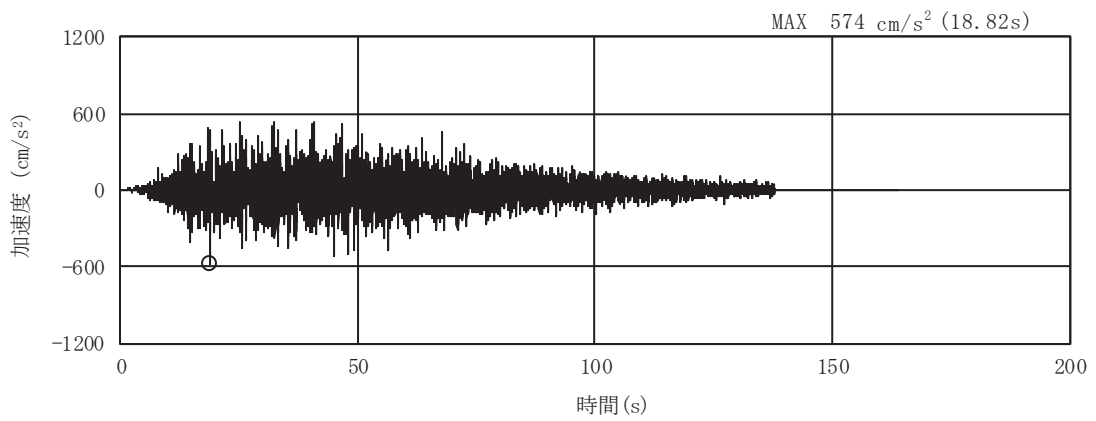
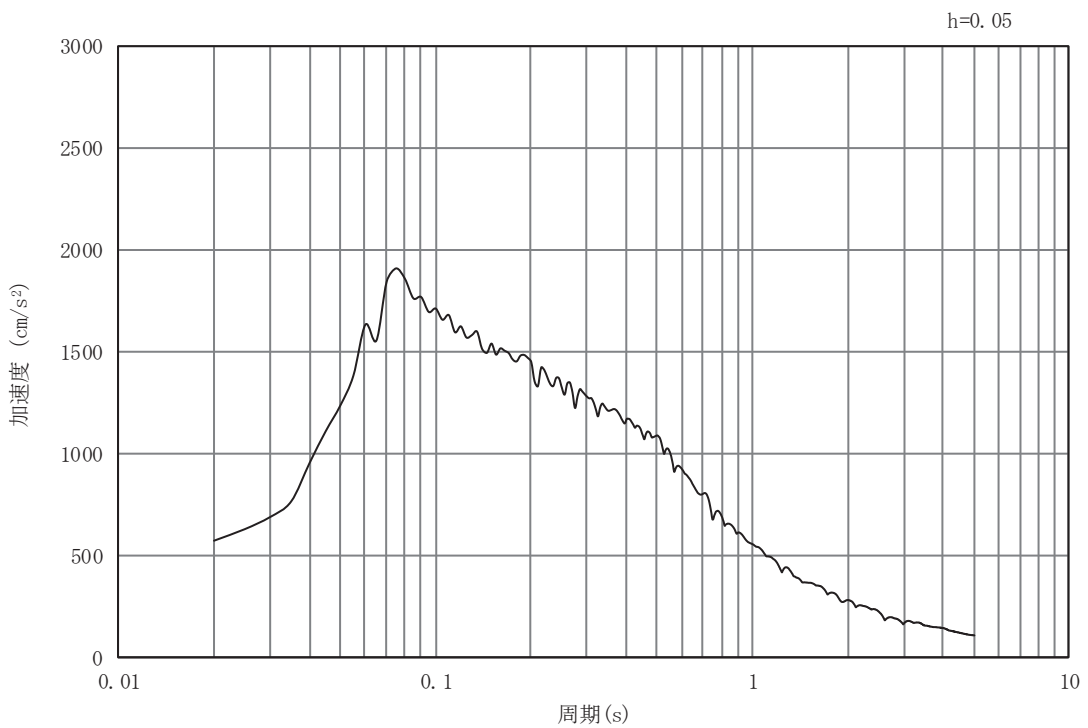


図 3-3 入力地震動算定の概念図

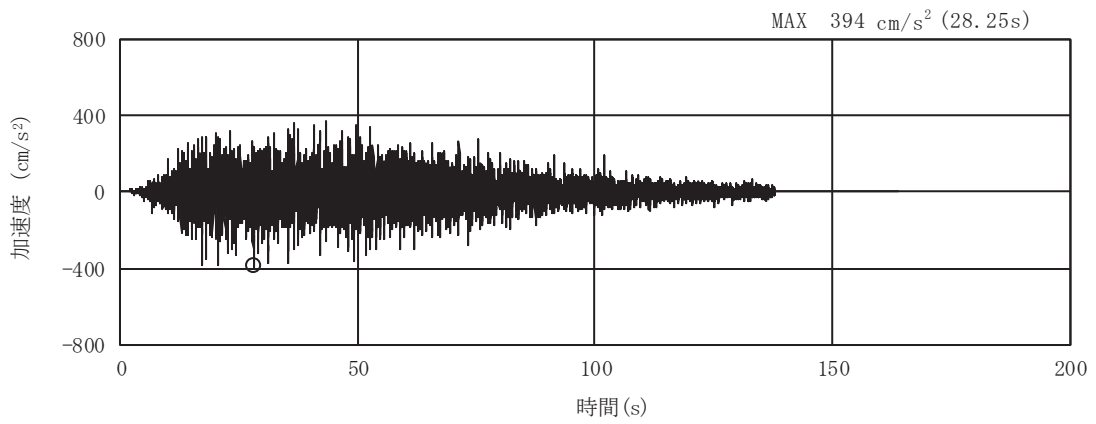


(a) 加速度時刻歴波形

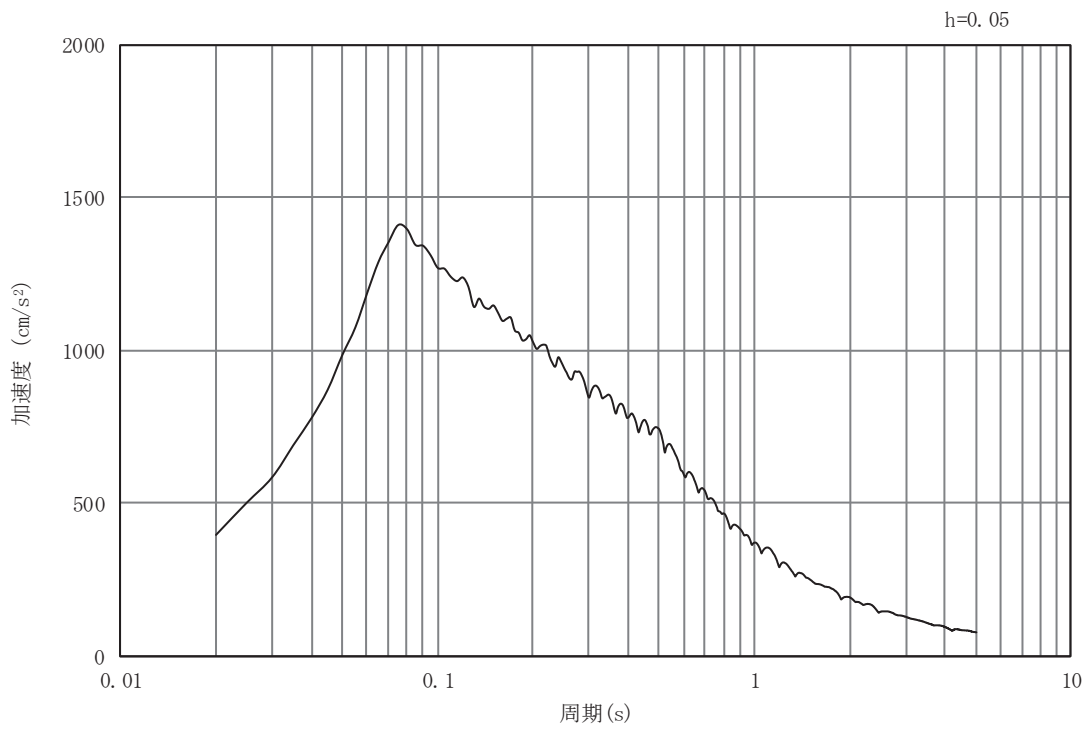


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(水平方向 : S s - D 1)

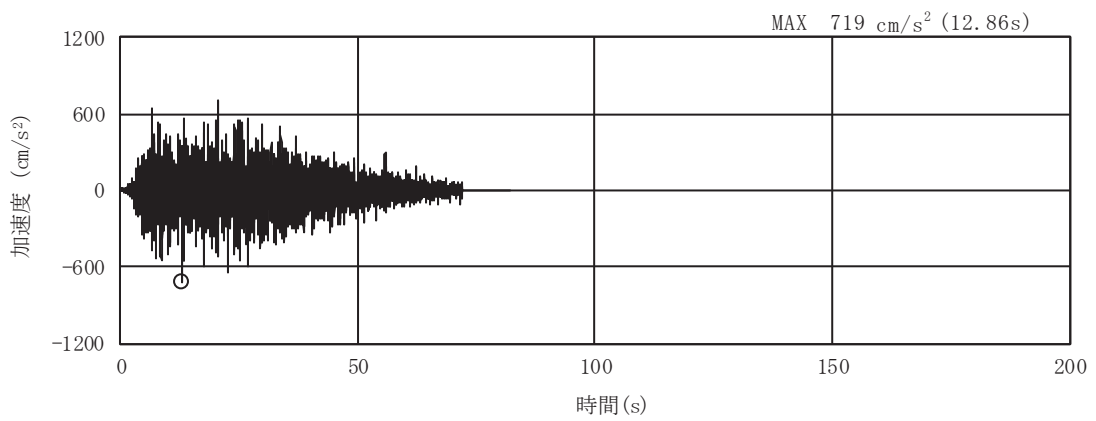


(a) 加速度時刻歴波形

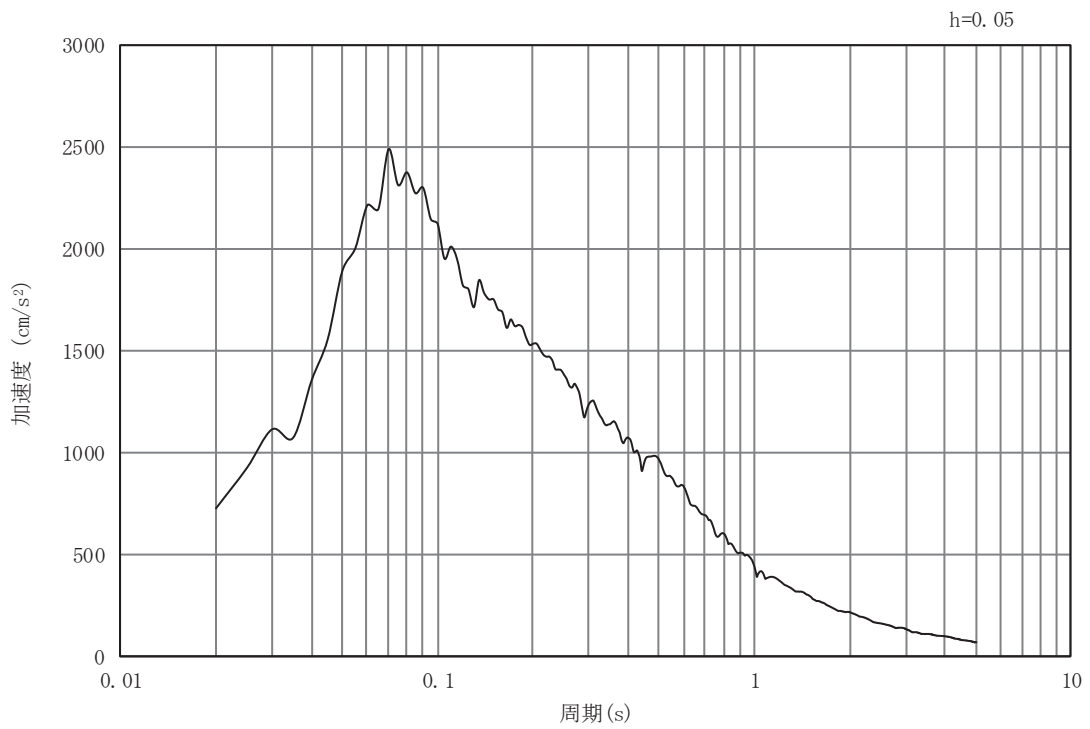


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(鉛直方向：S s - D 1)

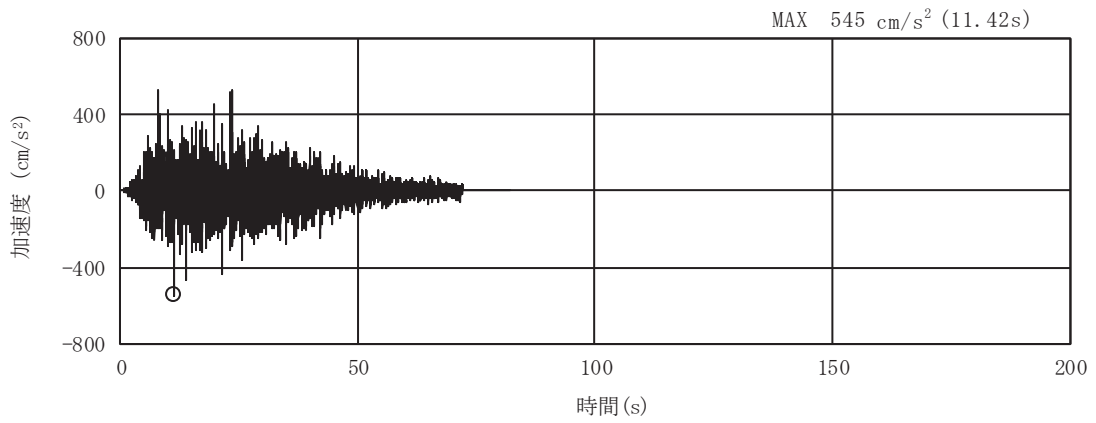


(a) 加速度時刻歴波形

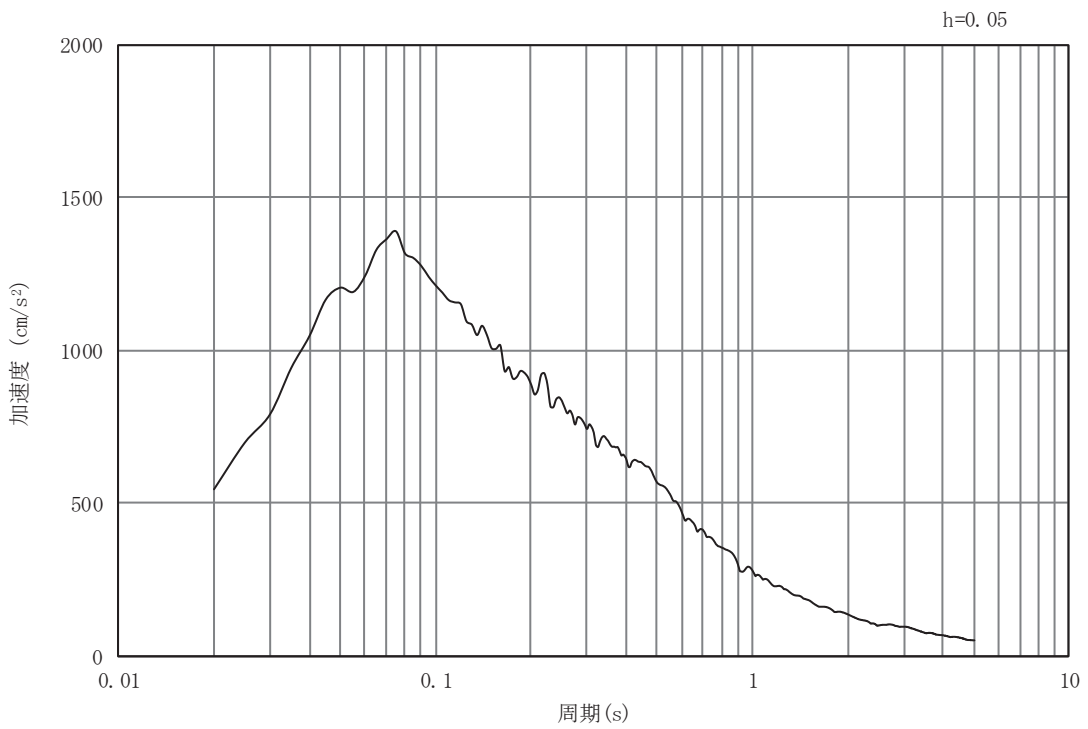


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(水平方向 : S s - D 2)



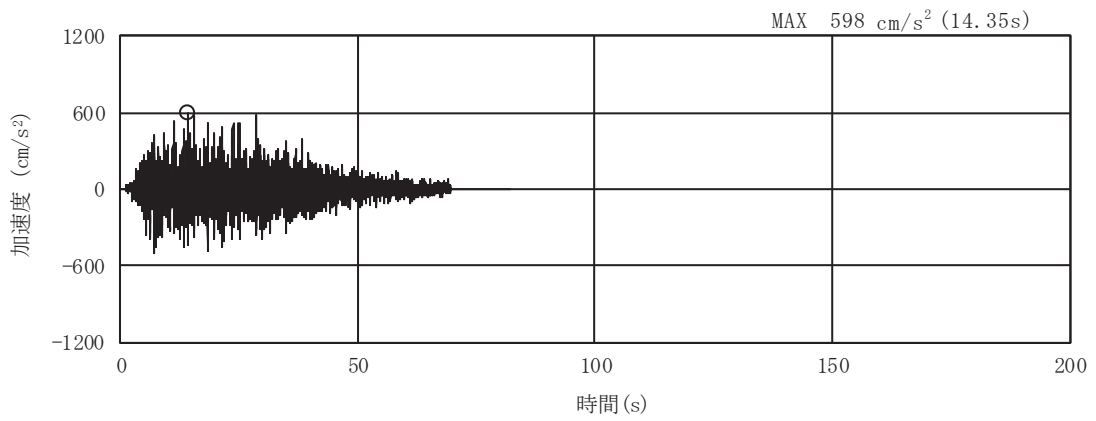
(a) 加速度時刻歴波形



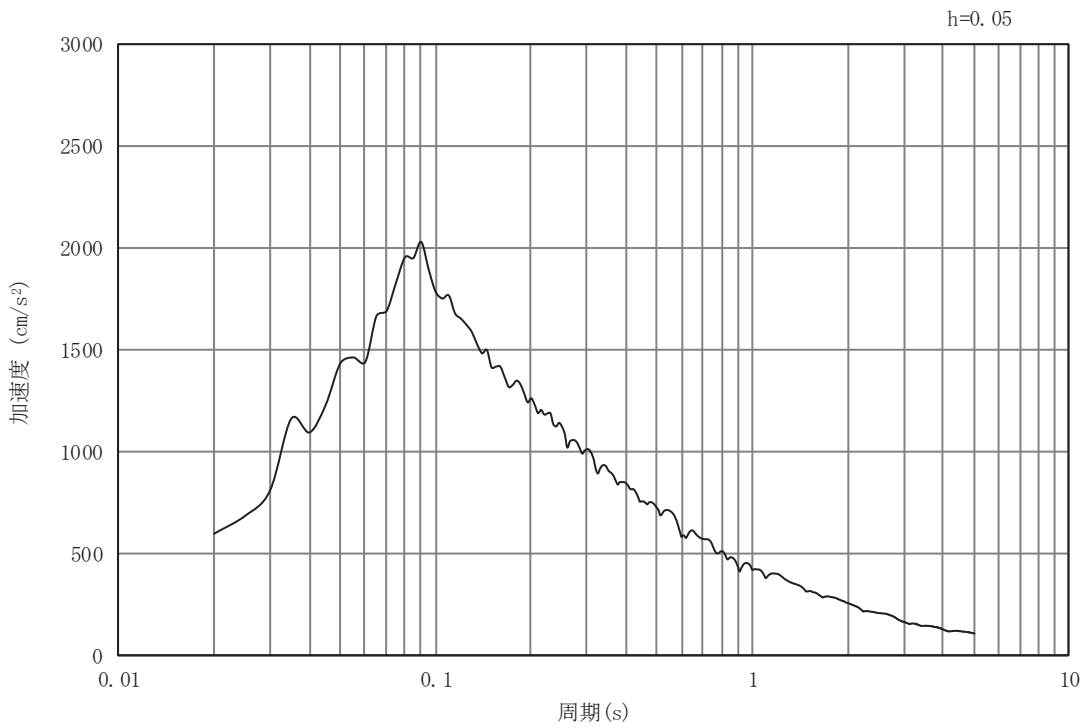
(b) 加速度応答スペクトル

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  
(鉛直方向 : S s - D 2)



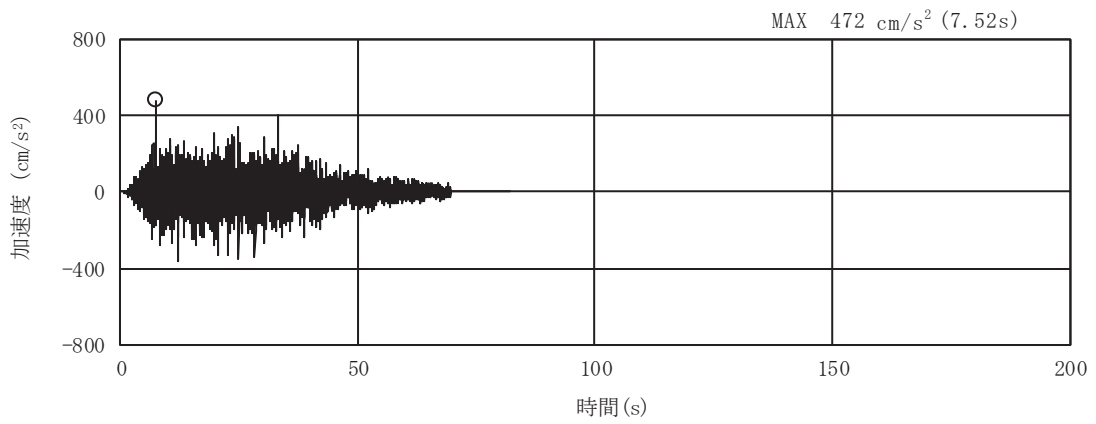


(a) 加速度時刻歴波形

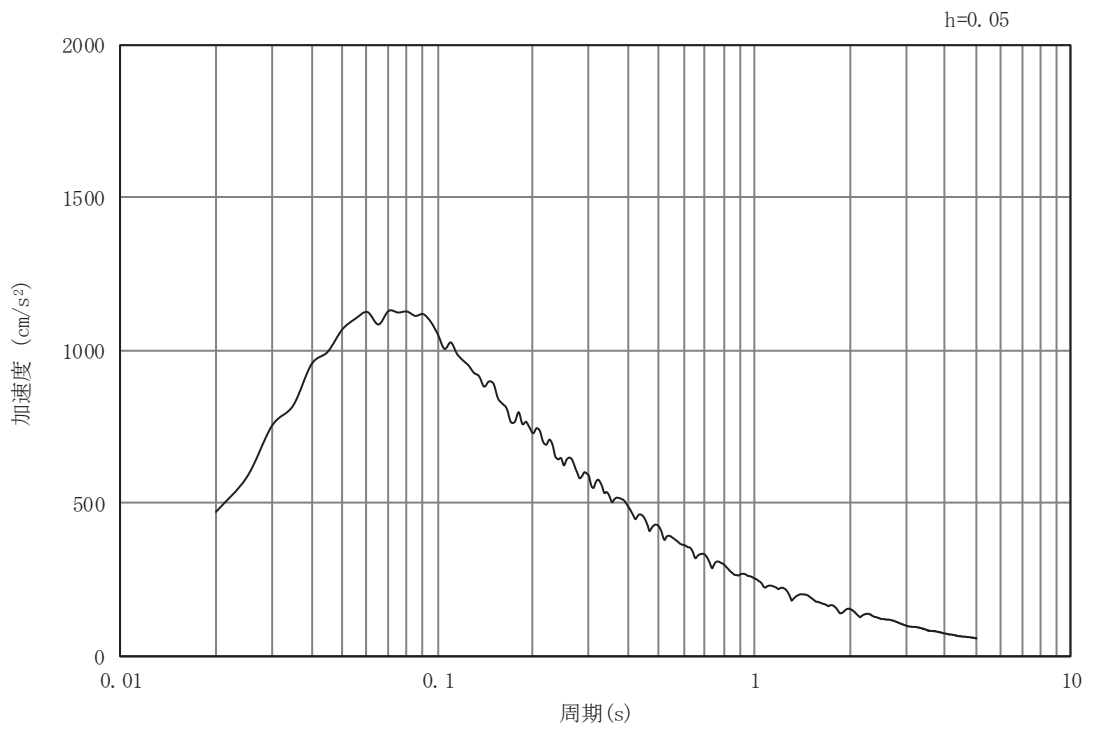


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(水平方向 : S s - D 3)

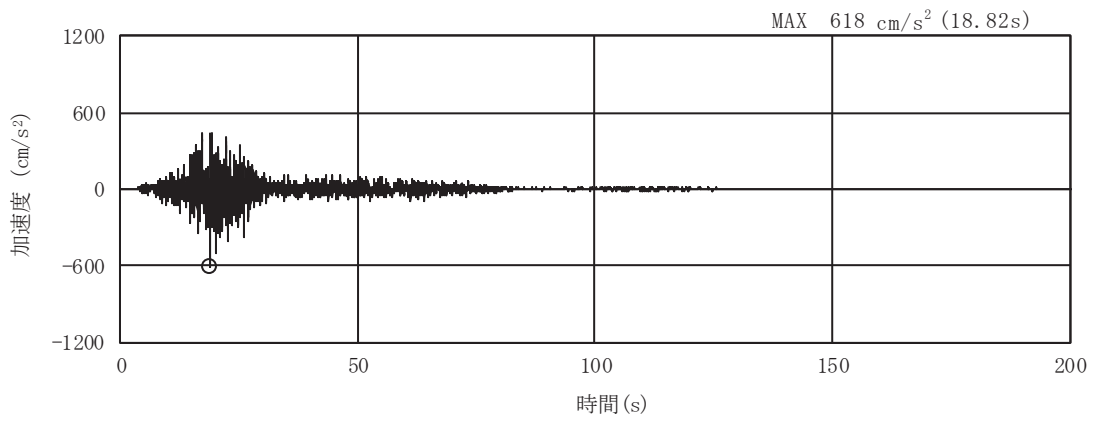


(a) 加速度時刻歴波形

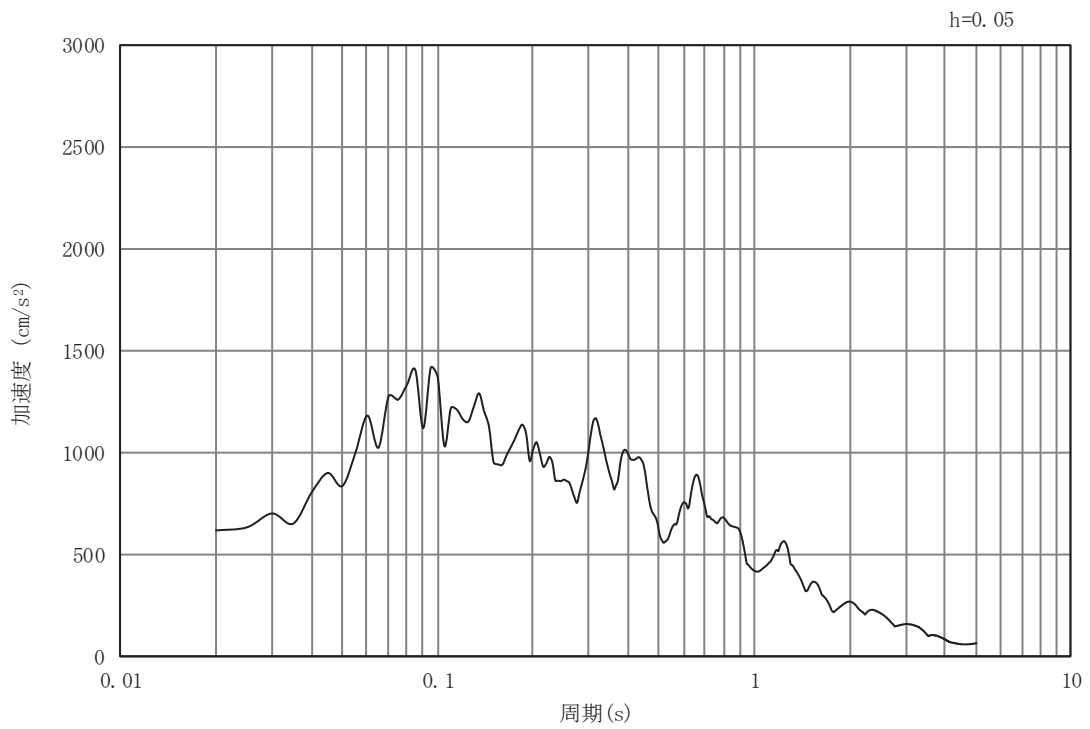


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(鉛直方向 : S s - D 3)

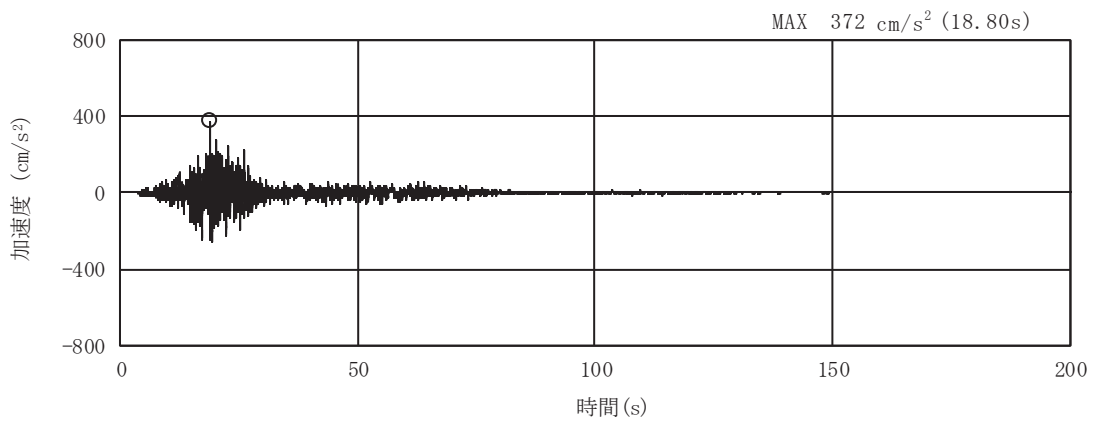


(a) 加速度時刻歴波形

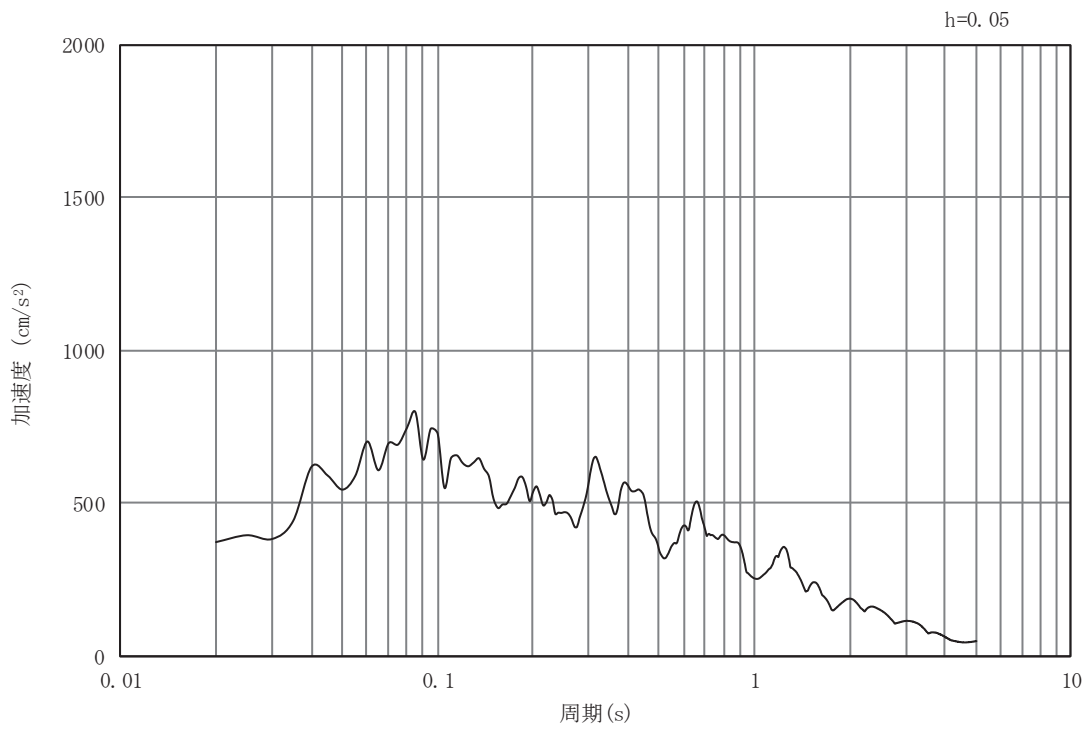


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(水平方向 : S s - F 1)

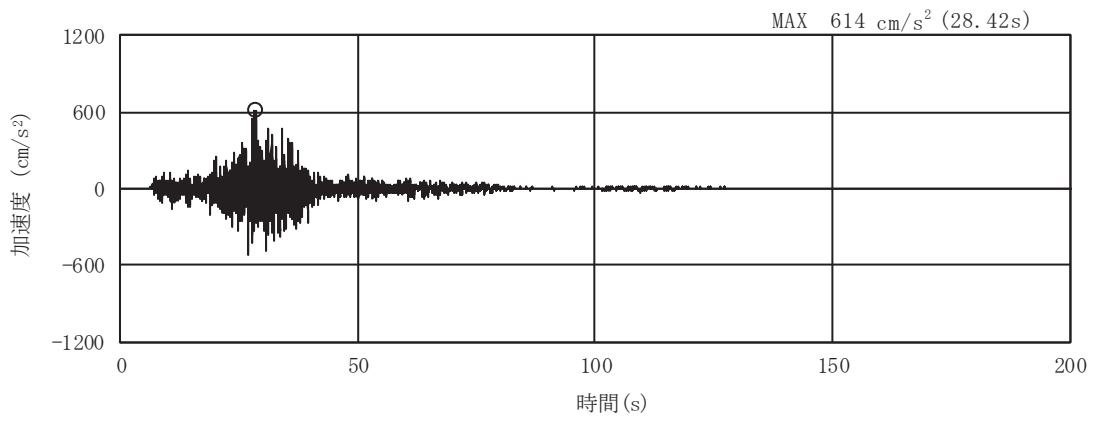


(a) 加速度時刻歴波形

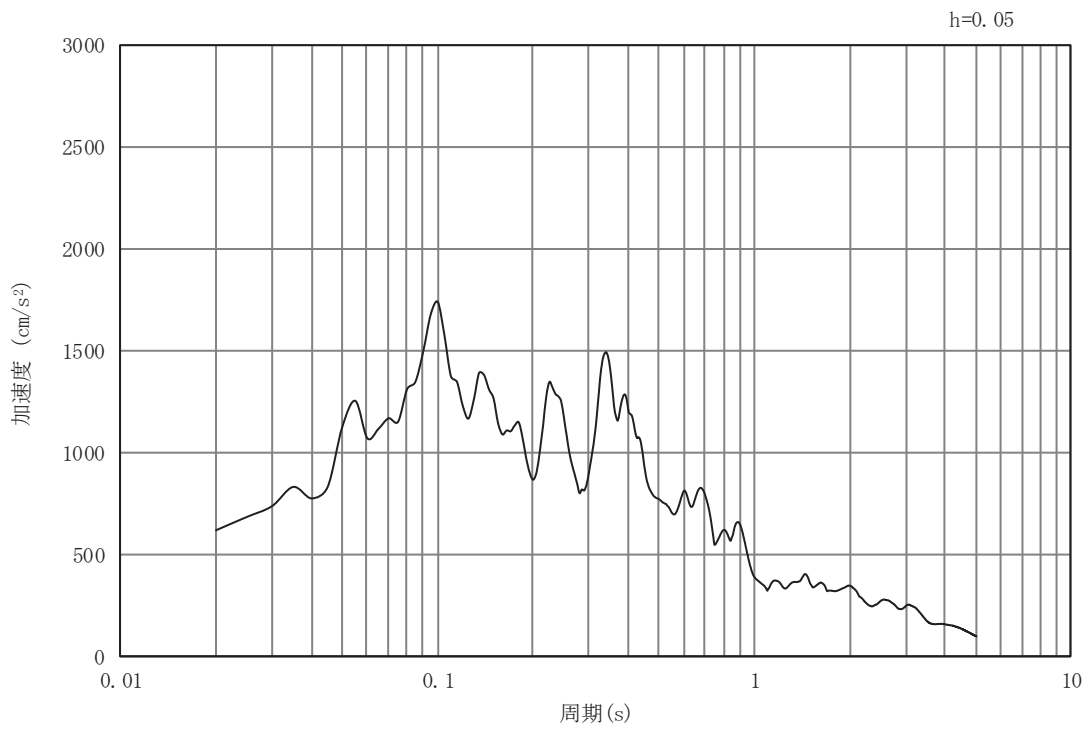


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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  
(鉛直方向 : S s - F 1)

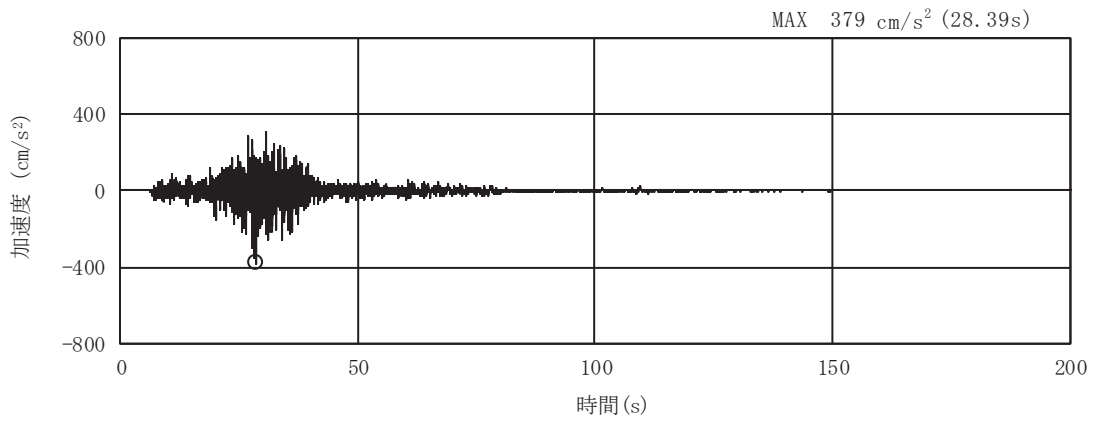


(a) 加速度時刻歴波形

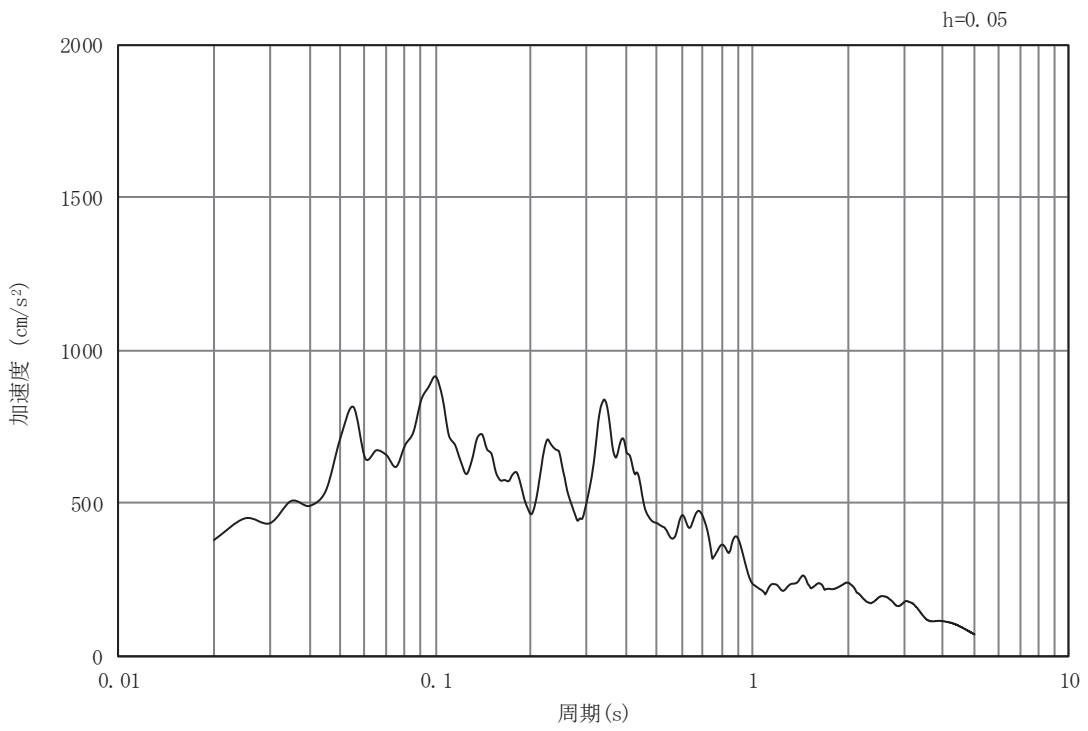


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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  
(水平方向 : S s - F 2)

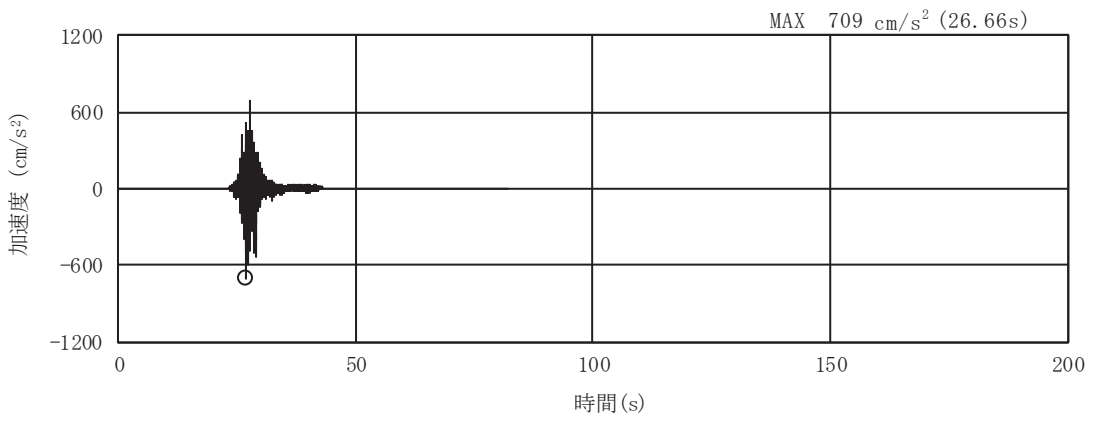


(a) 加速度時刻歴波形

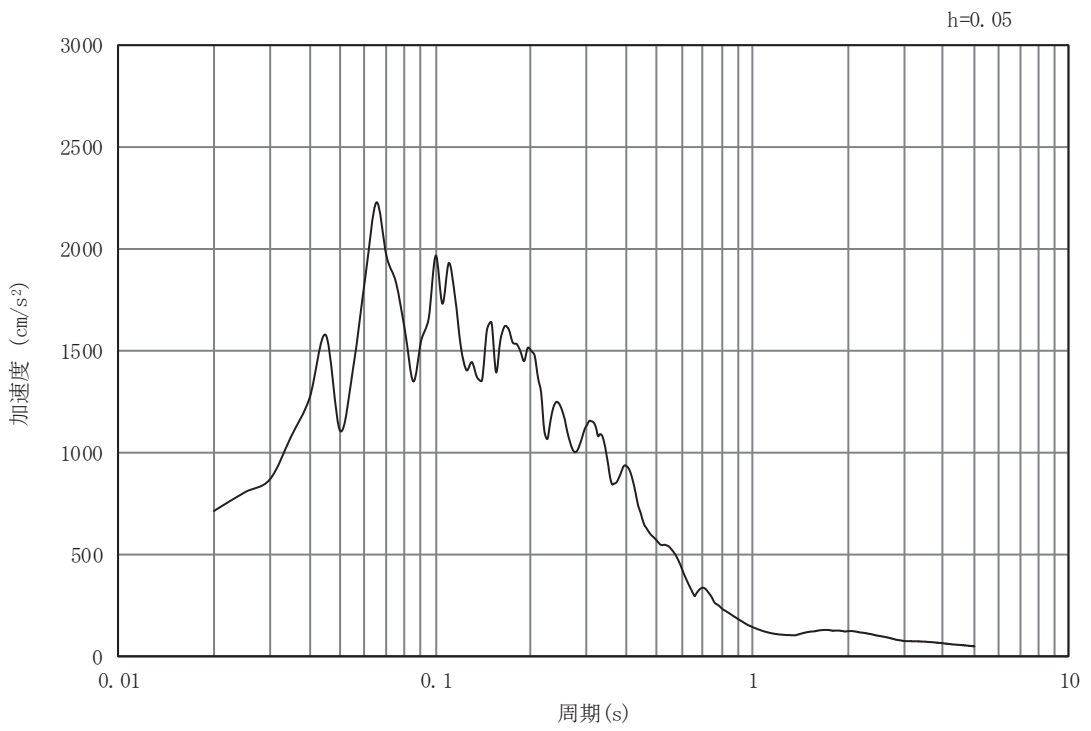


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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  
(鉛直方向：S s - F 2)

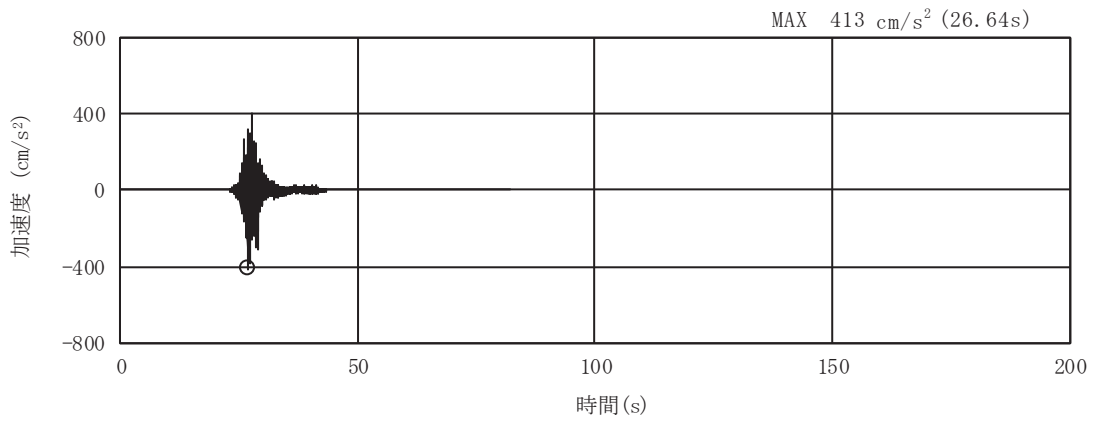


(a) 加速度時刻歴波形

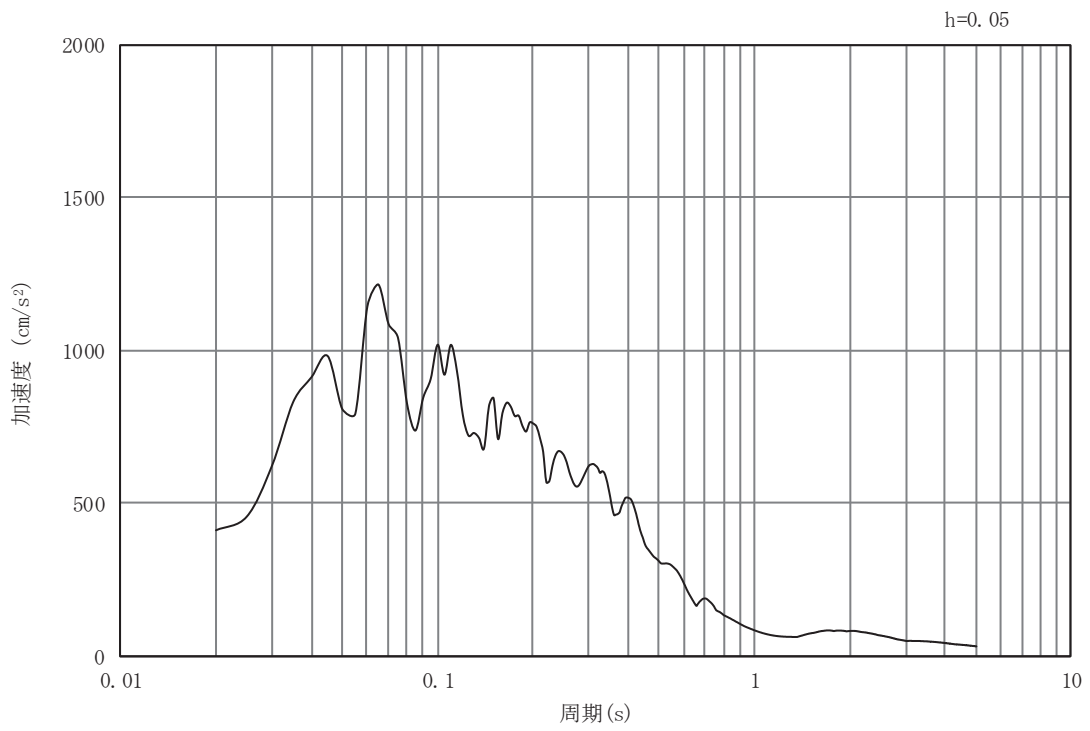


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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  
(水平方向 : S s - F 3)



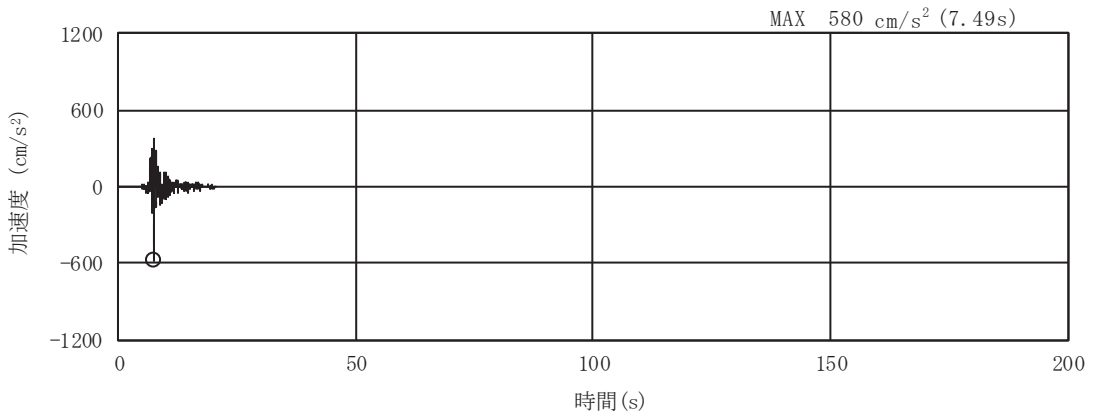
(a) 加速度時刻歴波形



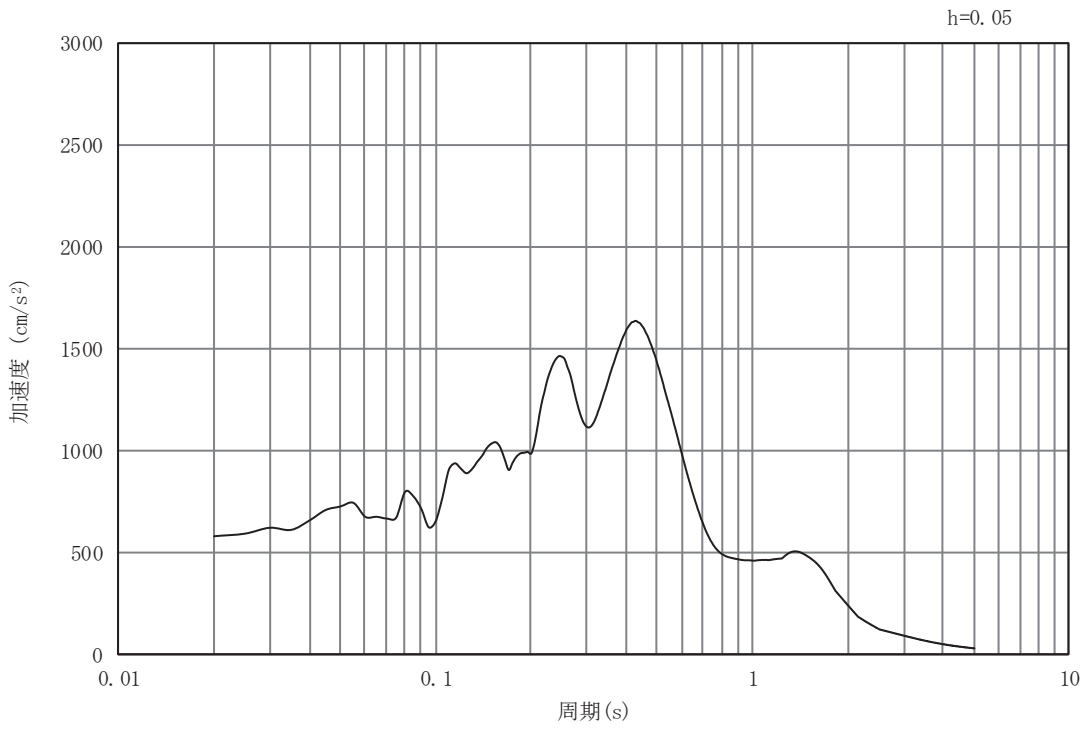
(b) 加速度応答スペクトル

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  
(鉛直方向：S s - F 3)



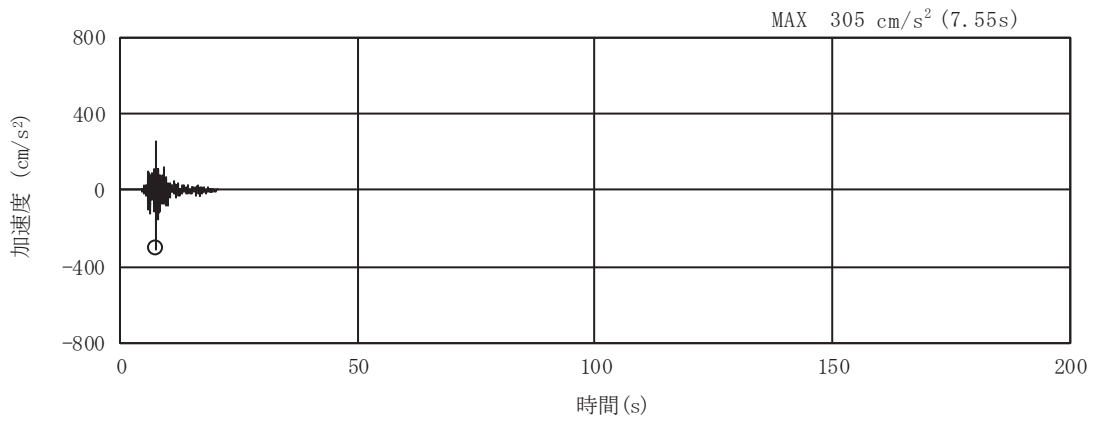


(a) 加速度時刻歴波形

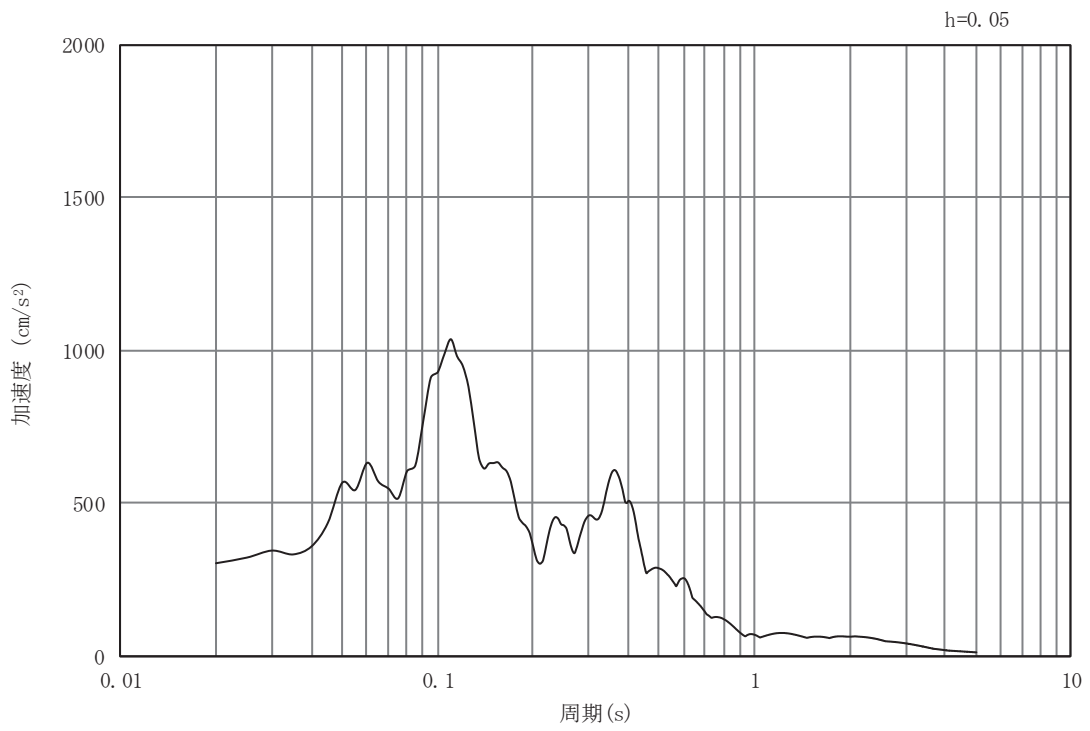


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(水平方向 : S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4(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  
(鉛直方向 : S s - N 1)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

南側排水路の地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

##### (1) 解析領域

二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

二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

MMR（排水路部）を含む MMR については、線形平面ひずみ要素によりモデル化する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）について、鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素），背面補強工は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の「背面補強工と背面補強工（施工目地部）」，「MMR（MMR（排水路部）を含む）と背面補強工」，「MMR（MMR（排水路部）を含む）と岩盤」，「背面補強工と岩盤」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

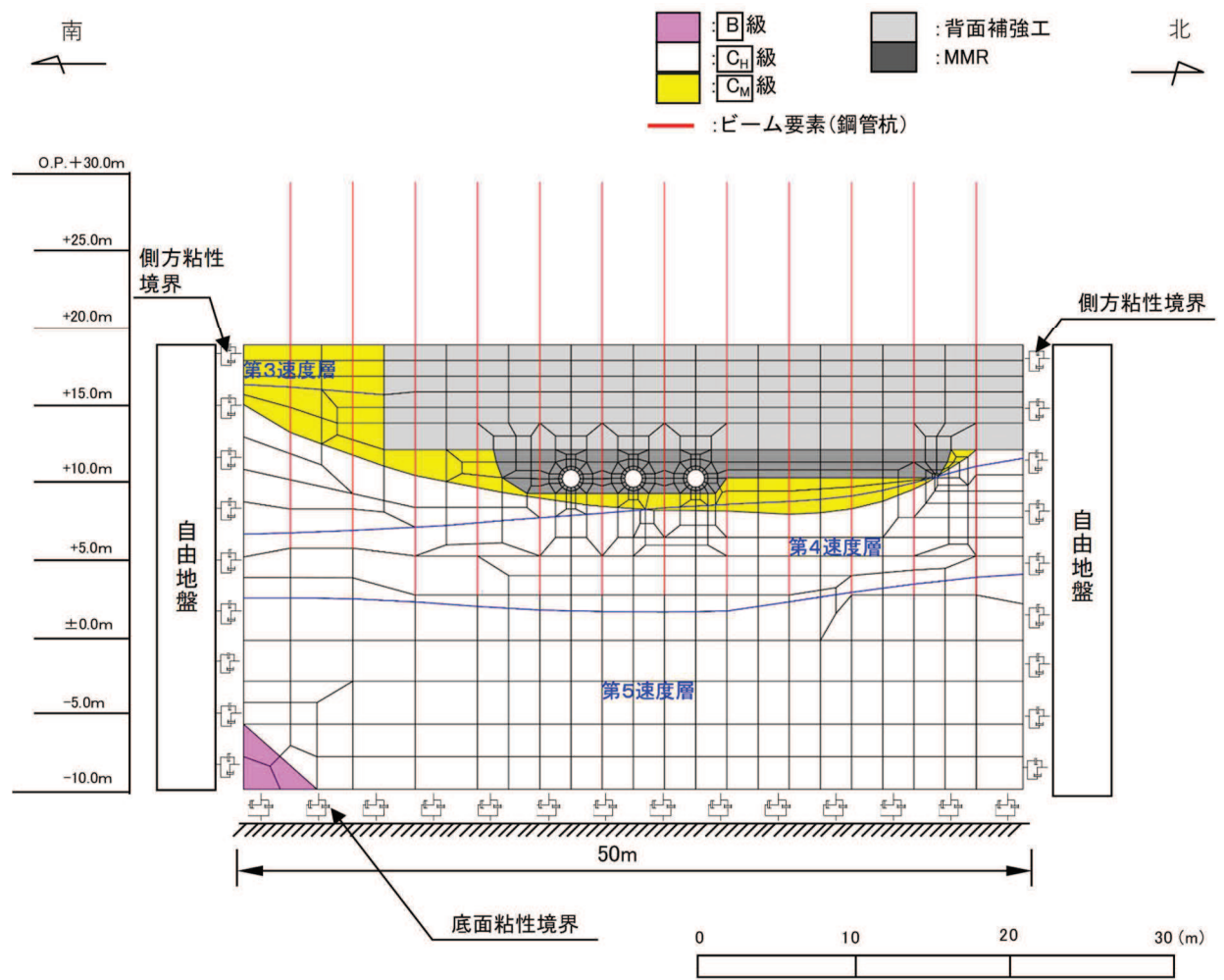


図 3-5 南側排水路の解析モデル (A-A' 断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

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(1) 使用材料 (MMR (MMR (排水路部) を含む))

	設計基準 強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング 係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン 比 $\nu$	せん断弾性 係数 (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 (%)
MMR (MMR (排水路 部) を含む)	21	22.5	23500	0.2	9792	5

表 3-4(2) 使用材料 (防潮堤 (鋼管式鉛直壁))

材料	諸元
コンクリート (背面補強工)	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>
鋼管杭	SM570, SKK490

表 3-5 材料の物性値

材料	項目	材料諸元
コンクリート (背面補強工)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	24.0
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	$2.80 \times 10^4$
	ポアソン比	0.2
鋼管杭 (SM570, SKK490)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	77.0
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	$2.00 \times 10^5$
	ポアソン比	0.3

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、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。

### 3.5.4 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 3-2 及び表 3-6 に示す。

設計用地下水位については、岩盤表面（MMR 上面）に設定する。

表 3-6 設計用地下水位

評価対象断面	設計用地下水位
A-A' 断面	岩盤表面（MMR 上面）に設定する。

### 3.6 許容限界

#### 3.6.1 MMR（排水路部）

許容限界は、添付書類「VI-2-13-1 地下水位低下設備の耐震設計の方針」に基づき、MMR（排水路部）が引張破壊又はせん断破壊しないこととして、引張破壊に対しては引張強度、せん断破壊に対してはせん断強度とする。

- ・ 引張強度は「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」に基づき設定する。MMR（排水路部）の許容限界（引張強度）を表 3-7 に示す。

表 3-7 MMR（排水路部）の許容限界（引張強度）

	項目	許容限界(N/mm <sup>2</sup> )
MMR	引張強度 $\sigma_t$	1.03*

注記 \*：引張強度  $\sigma_t$  は以下のとおり設定する。

$$\begin{aligned}\sigma_t &= f_{td} / \gamma_b = (f_{tk} / \gamma_c) / \gamma_b = (0.23 \times 21^{2/3} / 1.3) / 1.3 \\ &= 1.03 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

ここに、

$f_{td}$  : 設計引張強度 (=  $f_{tk} / \gamma_c$ )

$f_{tk}$  : 引張強度 (=  $0.23 \cdot f'_{ck}{}^{2/3}$ )

$f'_{ck}$  : 設計基準強度 (= 21 N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_b$  : 部材係数 (= 1.3)

$\gamma_c$  : 材料係数 (= 1.3)

せん断強度は、「土木学会 2013 年 コンクリート標準示方書 ダムコンクリート編」より算出する。MMR（排水路部）の許容限界（せん断強度）を表 3-8 に示す。

表 3-8 MMR（排水路部）の許容限界（せん断強度）

項目			許容限界
設計基準強度	$f'_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	21
内部摩擦角	$\phi$	°	0*1
せん断強度	$\tau_0$	N/mm <sup>2</sup>	4.2*2

注記 \*1：保守的に考慮しないこととする

\*2：  $\tau_0 = 1/5 \text{qu} \rightarrow \tau_0 = 0.2 f'_{ck}$

### 3.6.2 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9 基礎地盤の支持力に対する許容限界

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



### 3.7 評価方法

南側排水路の耐震評価は、地震応答解析により算定した応答値が「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。

#### 3.7.1 MMR（排水路部）の健全性評価

MMR（排水路部）の健全性評価においては、地震応答解析により算定した応力（引張応力及びせん断応力）が、引張破壊及びせん断破壊の許容限界以下となることを確認する。

また、評価に当たっては、「2.2 構造概要」に示した施設の範囲（排水断面の周囲 1D（1.0m）分）に対して、図 3-6 に示すとおり施設の範囲を包絡するよう保守的な評価対象範囲を設定し、評価を行う。

引張破壊に対する照査値が最大となる時刻の局所安全係数分布図を図 3-7 に、せん断強度破壊に対する照査値が最大となる時刻の局所安全係数分布図を図 3-8 に示す。

局所安全係数分布図は  $S_s$  の位相、岩盤のばらつきを考慮したケースで最大となる照査値から選定する。

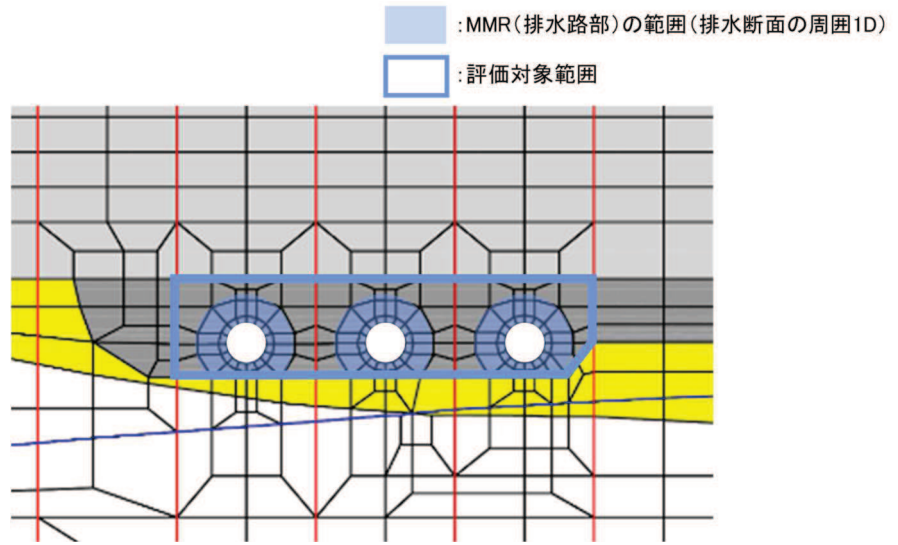


図 3-6 評価対象範囲の考え方

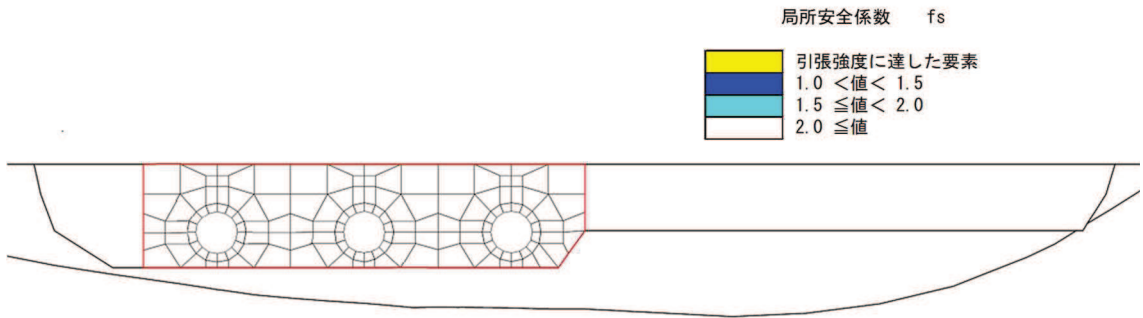


図 3-7 MMR（排水路部）の引張破壊に対する照査値最大となる時刻の局所安全係数分布図  
 (S s - F 2 (++) , t=28.33s)  
 (解析ケース③：地盤物性値のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース)

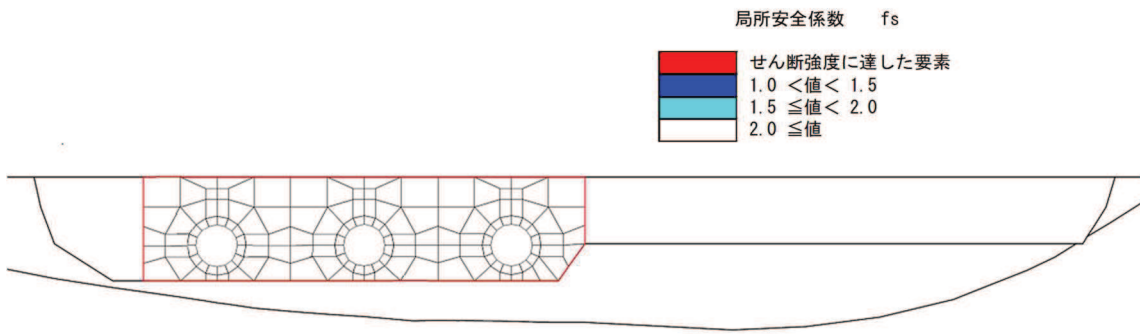


図 3-8 MMR（排水路部）のせん断破壊に対する照査値最大となる時刻の局所安全係数分布図  
 (S s - F 3 (-+) , t=27.64s)  
 (解析ケース①：基本ケース)

### 3.7.2 基礎地盤の支持性能

基礎地盤の支持性能については、地震応答解析から算定した最大接地圧が、「3.6 許容限界」に示す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 MMR（排水路部）の健全性に対する評価結果

MMR（排水路部）の引張破壊に対する照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する照査値を表 4-2 に示す。MMR（排水路部）の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 引張破壊に対する最大照査値

地震動（位相）	解析ケース	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> ) (a)	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) (b)	照査値 (a/b)
S <sub>s</sub> -F2（++）	③	0.30	1.03	0.30

表 4-2 せん断破壊に対する最大照査値

地震動（位相）	解析ケース	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> ) (a)	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> ) (b)	照査値 (a/b)
S <sub>s</sub> -F3（-+）	①	0.42	4.2	0.10

#### 4.2 地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能評価における最大照査値を表 4-3、最大接地圧分布図を図 4-1 に示す。基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動 (位相)	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a / R_{ua}$
S <sub>s</sub> -D3 (++)	①	0.5	13.7	0.04

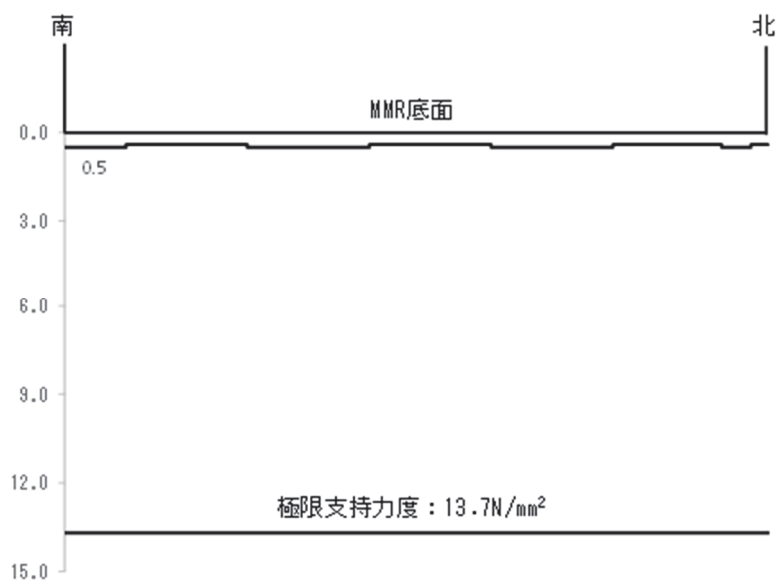


図 4-1 基礎地盤の支持力照査における最大照査値の接地圧分布 (S<sub>s</sub>-D3 (++) , ケース① : 基本ケース)

(別紙6) 出口側集水ピット(南側)の耐震性について

出口側集水ピット(南側)の耐震性については、添付書類「VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤南側)の耐震性についての計算書」で説明する。

VI-2-13-5 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	解析方針	8
2.4	適用基準	10
3.	解析方法	11
3.1	評価対象断面	11
3.2	解析方法	14
3.2.1	構造部材	15
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	15
3.2.3	減衰定数	16
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	16
3.3	荷重及び荷重の組合せ	18
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	18
3.3.2	荷重	18
3.3.3	荷重の組合せ	19
3.4	入力地震動	20
3.5	解析モデル及び諸元	77
3.5.1	解析モデル	77
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	80
3.5.3	地盤の物性値	80
3.5.4	地下水位	80
4.	解析結果	81
4.1	No.1 揚水井戸	81
(1)	全応力解析	81
(2)	有効応力解析	137
4.2	No.2 揚水井戸	151
(1)	全応力解析	151
(2)	有効応力解析	207
4.3	No.3 揚水井戸	221
(1)	全応力解析	221
(2)	有効応力解析	277
4.4	No.4 揚水井戸	291
(1)	全応力解析	291
(2)	有効応力解析	347



## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき実施する地下水位低下設備のうち揚水井戸の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、揚水井戸内に設置する機器・配管系及び揚水井戸上部に設置される蓋が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行うものである。

## 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。

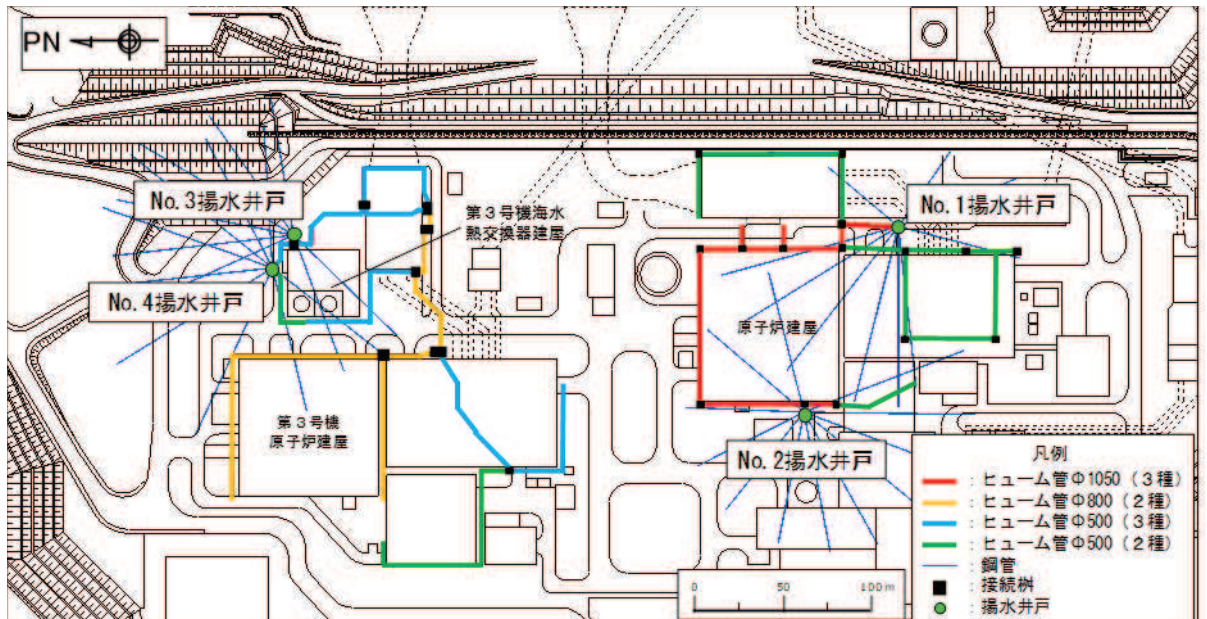


図2-1 揚水井戸の設置位置

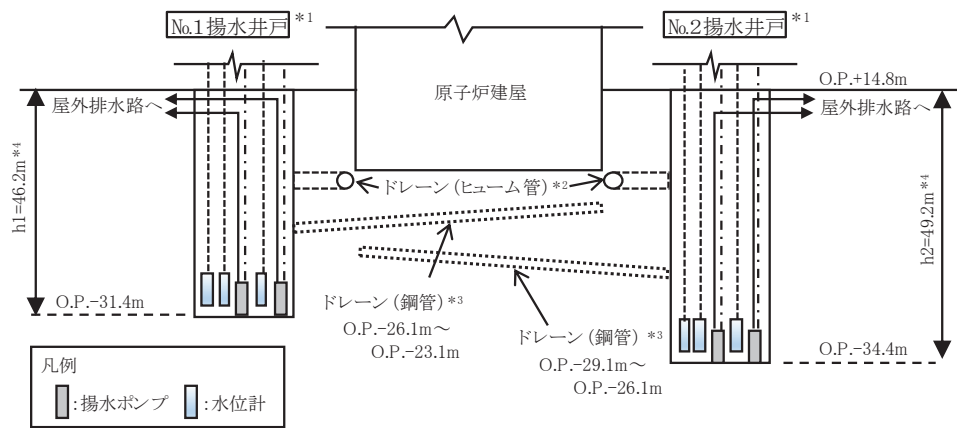
## 2.2 構造概要

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。

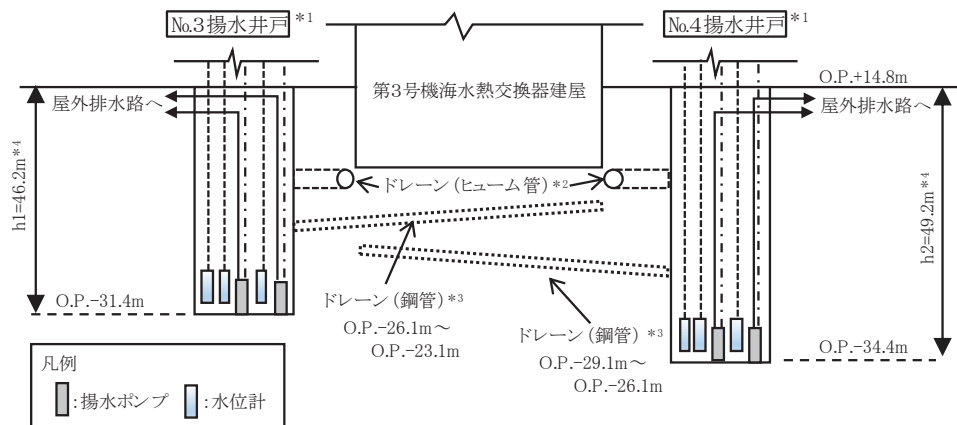
集水ピット及び排水シャフトは、保守管理・運用に配慮し内径 4m とする。揚水井戸の高さは地下水を集水するため岩盤内に設置する鋼管の深度に応じて  $h_1=46.2\text{m}$ 、 $h_2=49.2\text{m}$  の 2 種類があり、原子炉建屋周辺と第 3 号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに設置する。

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

なお、揚水井戸に接続されるドレーン（ヒューム管、鋼管）及び接続柵の詳細については「VI-2-13-2 地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書」、 「VI-2-13-3 地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書」に示す。



(1) 原子炉建屋周辺



(2) 第 3 号機海水熱交換器建屋周辺

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

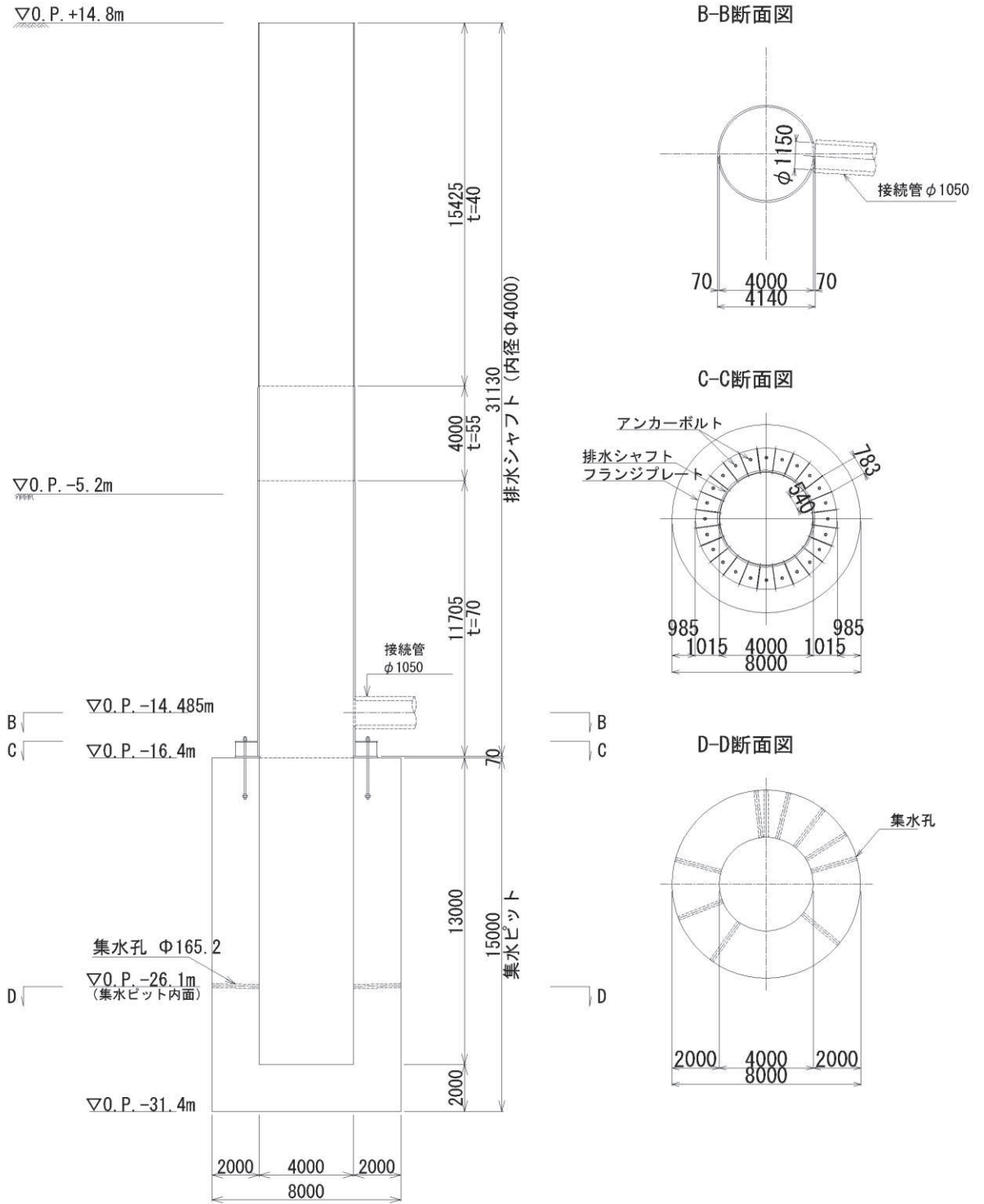


図 2-3(1) No.1 揚水井戸 構造図 (単位 : mm)

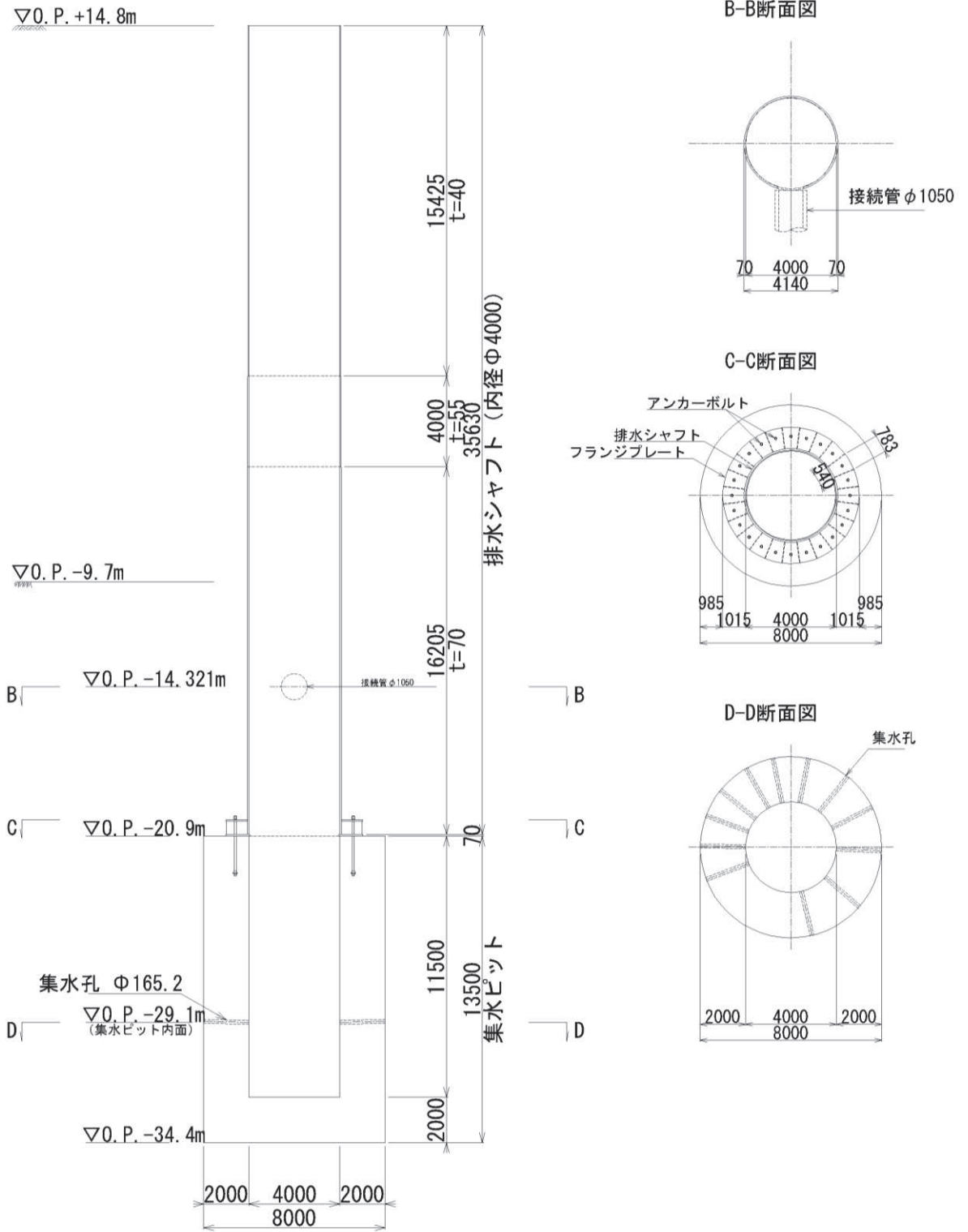


図 2-3(2) No.2 揚水井戸 構造図 (単位 : mm)

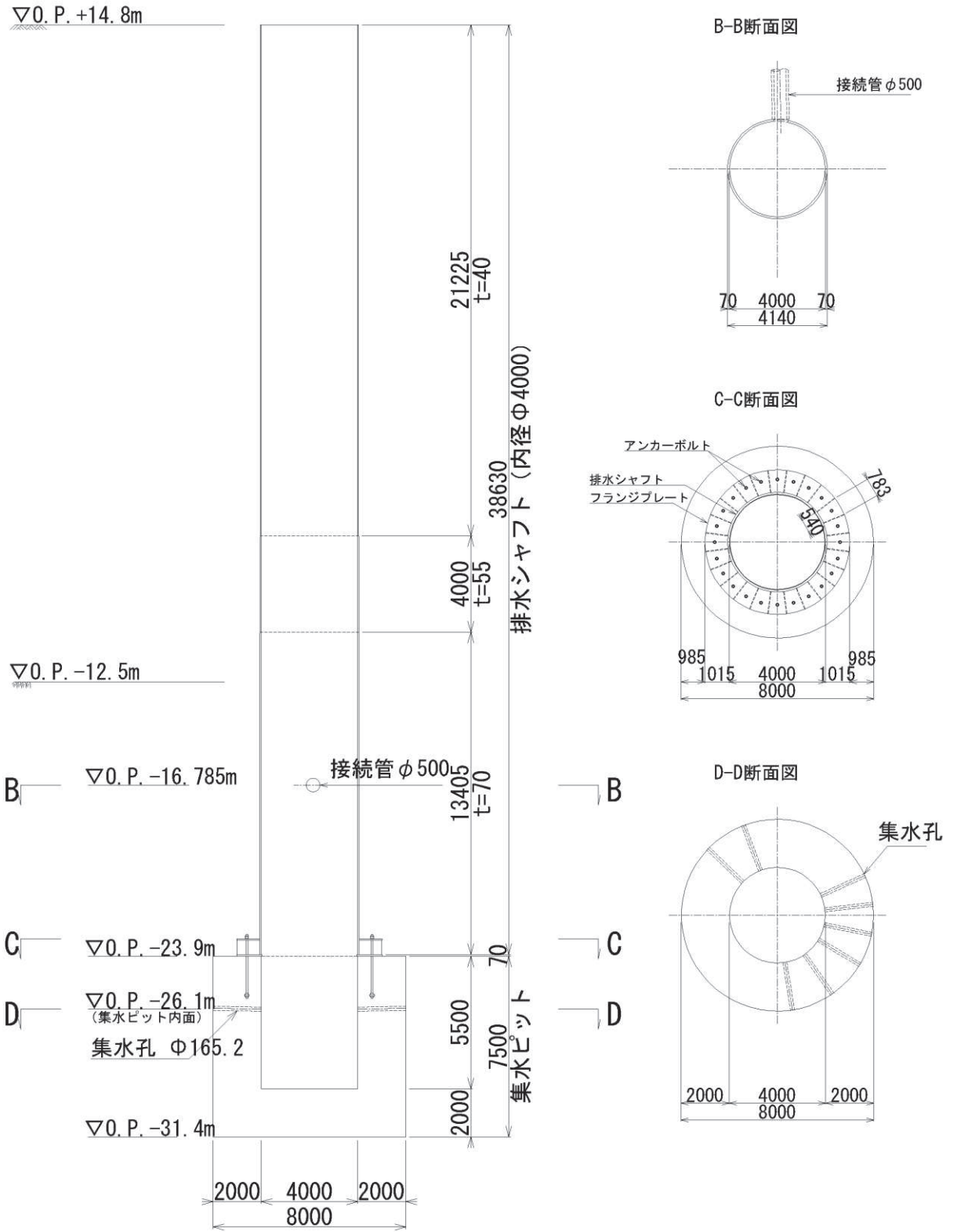


図 2-3(3) No.3 揚水井戸 構造図 (単位 : mm)

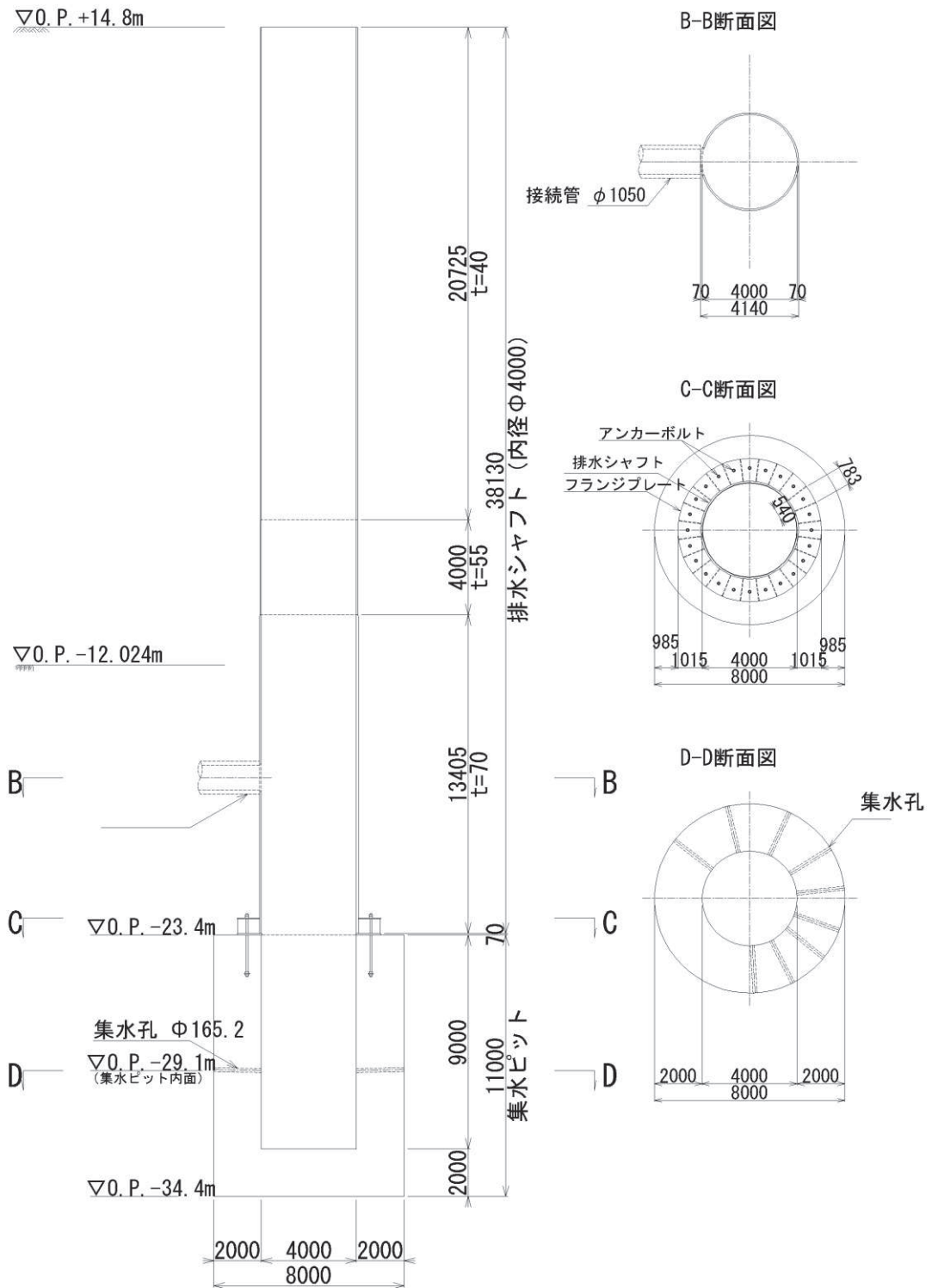


図 2-3(4) No.4 揚水井戸 構造図 (単位 : mm)

### 2.3 解析方針

揚水井戸は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  に対して地震応答解析を実施する。

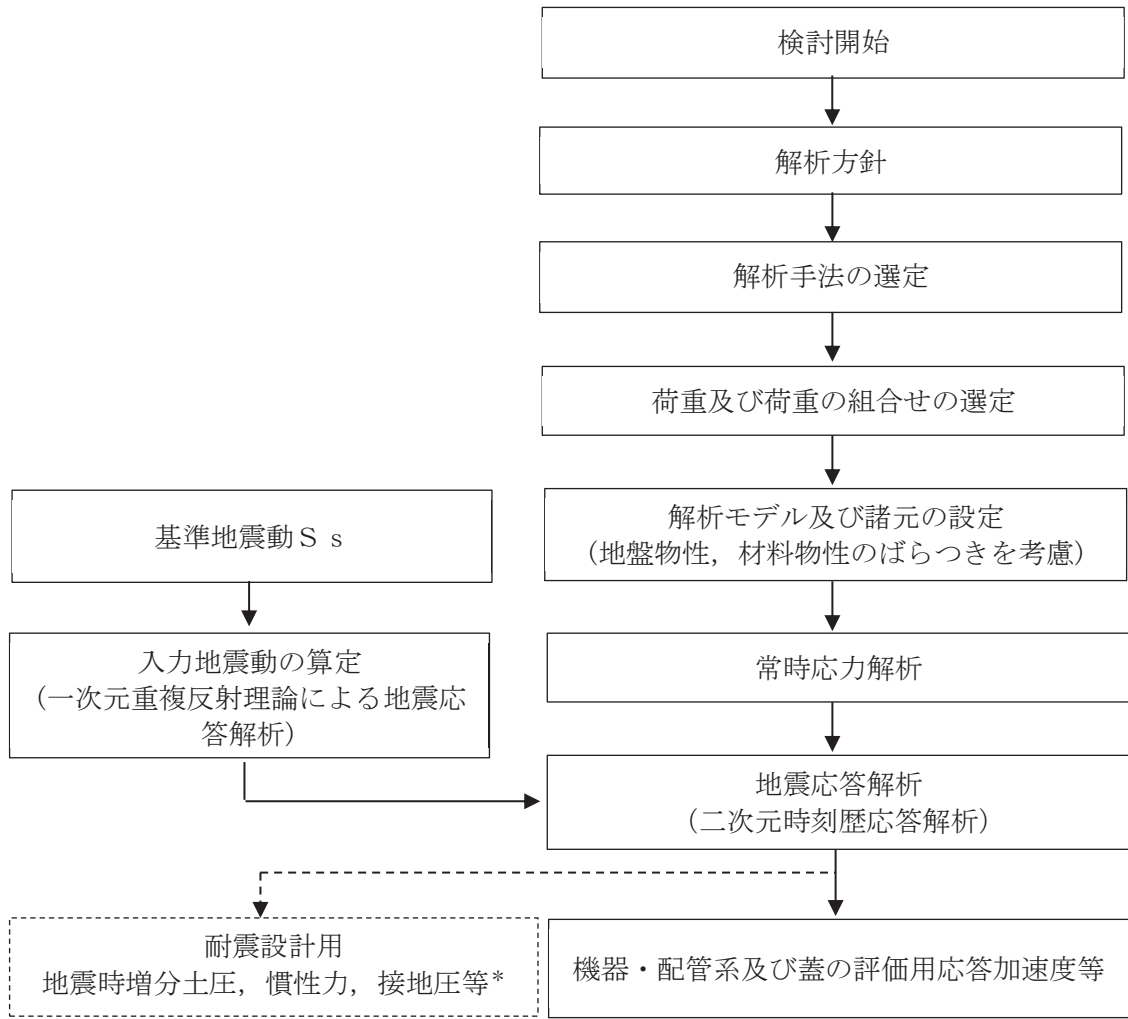
図 2-4 に揚水井戸の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 評価対象断面及び解析手法の選定」に示す断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による二次元有限要素法による時刻歴応答解析により行い、地盤物性及び材料物性のばらつきを適切に考慮する。

二次元有限要素法による時刻歴応答解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

なお、本書における地震応答解析による加速度応答は、機器・配管系及び蓋の耐震評価に用いるものであり、揚水井戸の耐震計算に用いる地震応答解析結果については、「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」に記載している。





注記\* : 詳細については「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」に記載

図 2-4 揚水井戸の地震応答解析フロー

## 2.4 適用基準

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]
- 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- 土木学会 2005 年 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
- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）

### 3. 解析方法

#### 3.1 評価対象断面

揚水井戸の地震時挙動は、構造物の規模や周辺の地盤ならびに地下水位の状況などの影響を受けることから、特徴の異なる No.1～4 揚水井戸それぞれを評価対象とする。

揚水井戸は岩盤・盛土内に設置されており、特に排水シャフト周辺の盛土の変形の影響を受ける構造であることを踏まえ、周辺構造物による変形抑制が小さく、より盛土の広がりがある断面（NS 方向：No.1, 2, 3 揚水井戸，EW 方向 No.4 揚水井戸）を評価対象断面とする。

耐震評価の断面選定フローを図 3-1 に、評価対象断面位置及び断面を図 3-2、図 3-3 に示す。

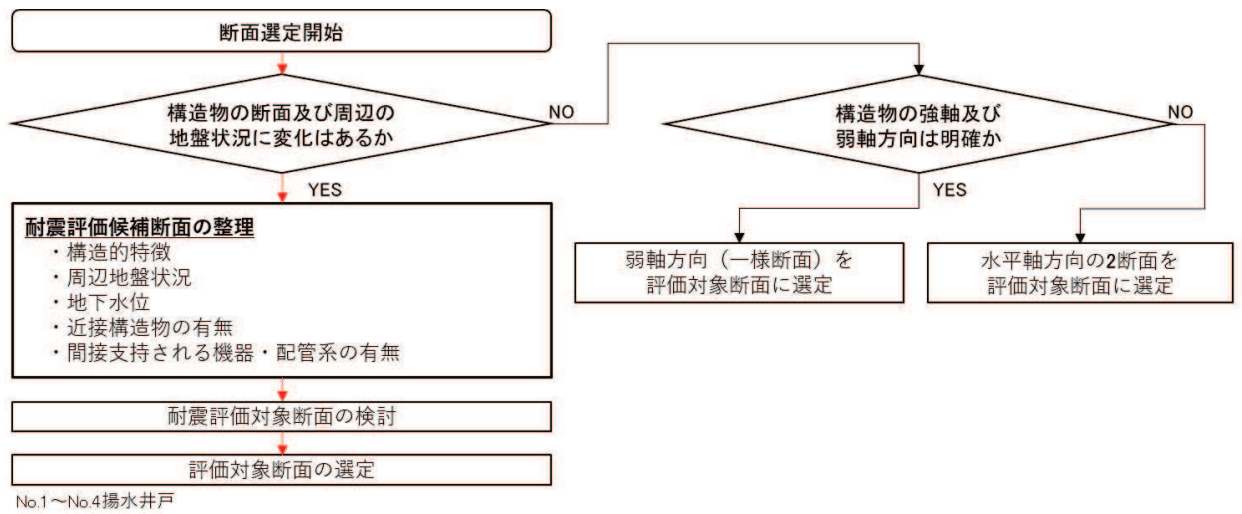


図 3-1 耐震評価の断面選定フロー

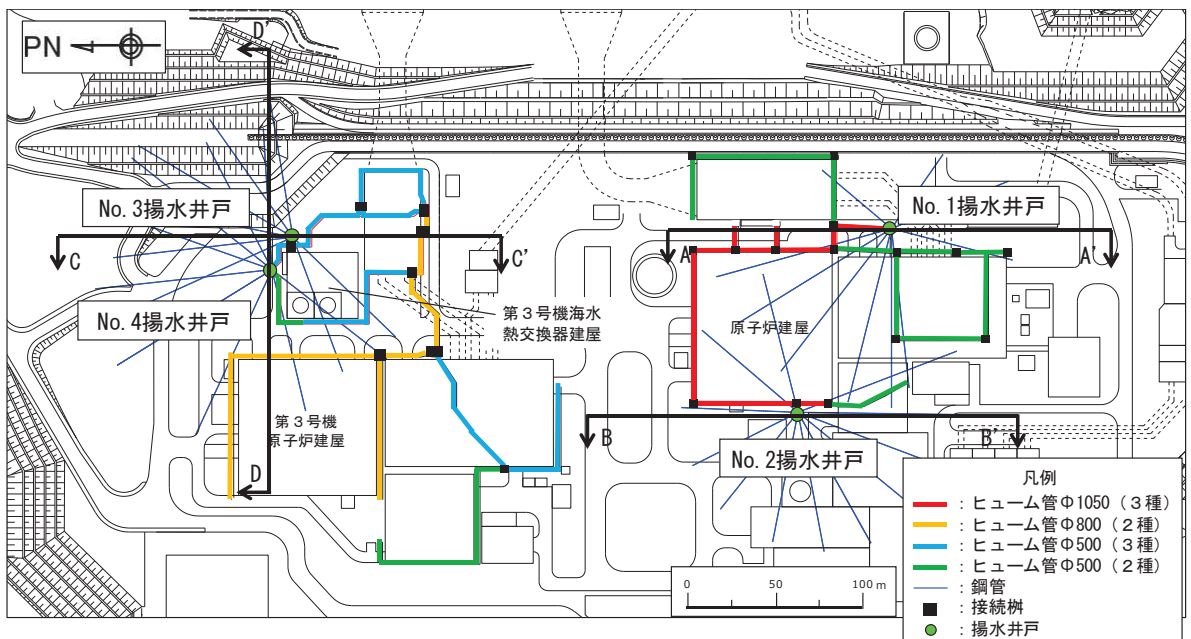


図 3-2 揚水井戸評価対象断面位置図

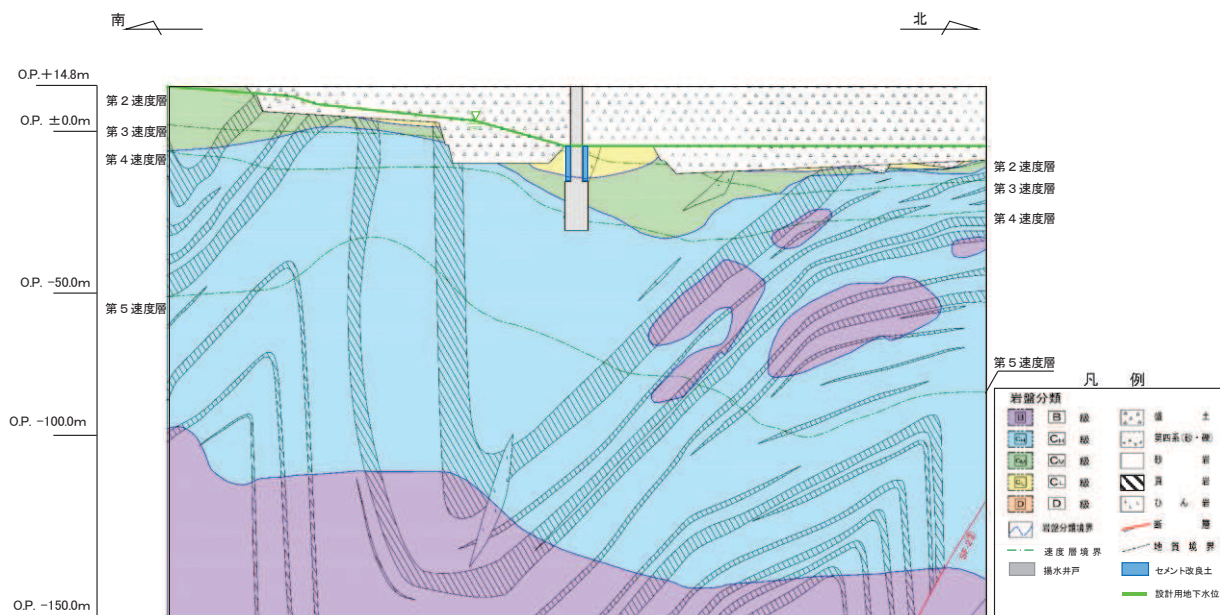


図 3-3(1) No.1 揚水井戸 評価対象断面図 (A' -A 断面)

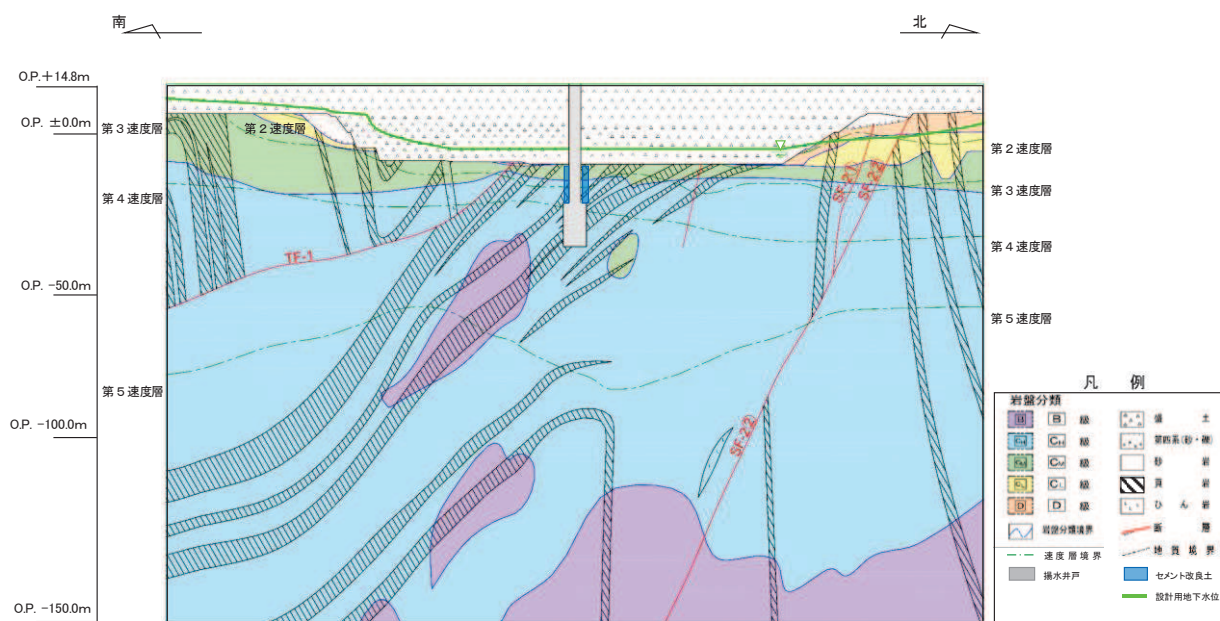


図 3-3(2) No.2 揚水井戸 評価対象断面図 (B' -B 断面)

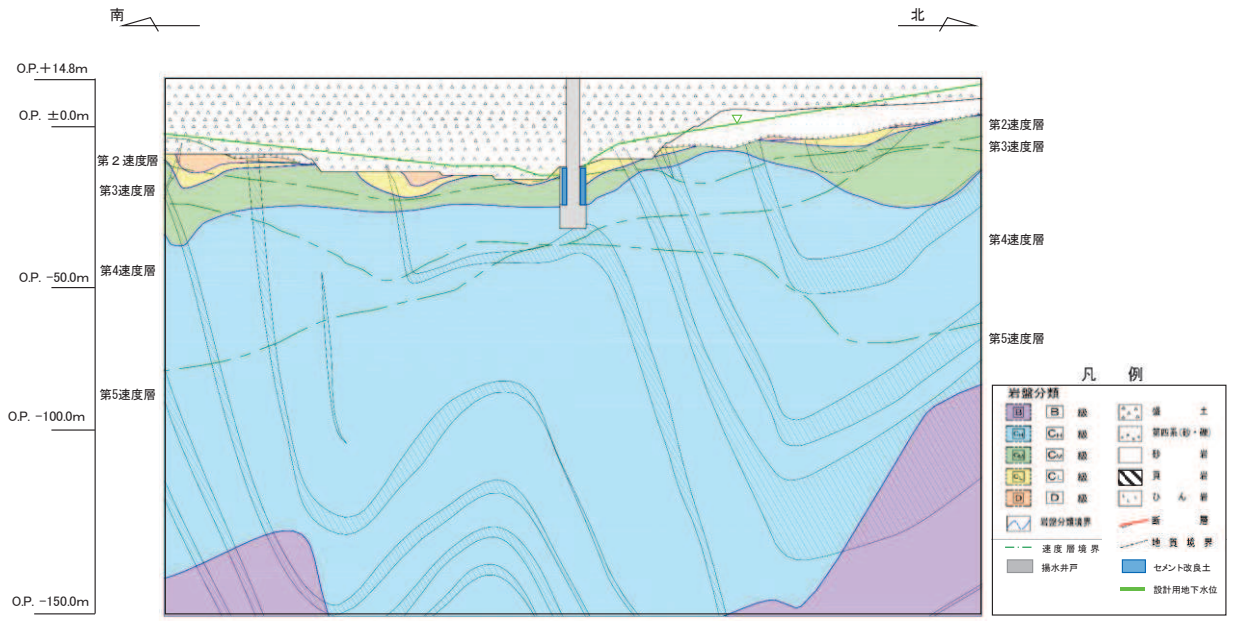


図 3-3(3) No.3 揚水井戸 評価対象断面図 (C' -C 断面)

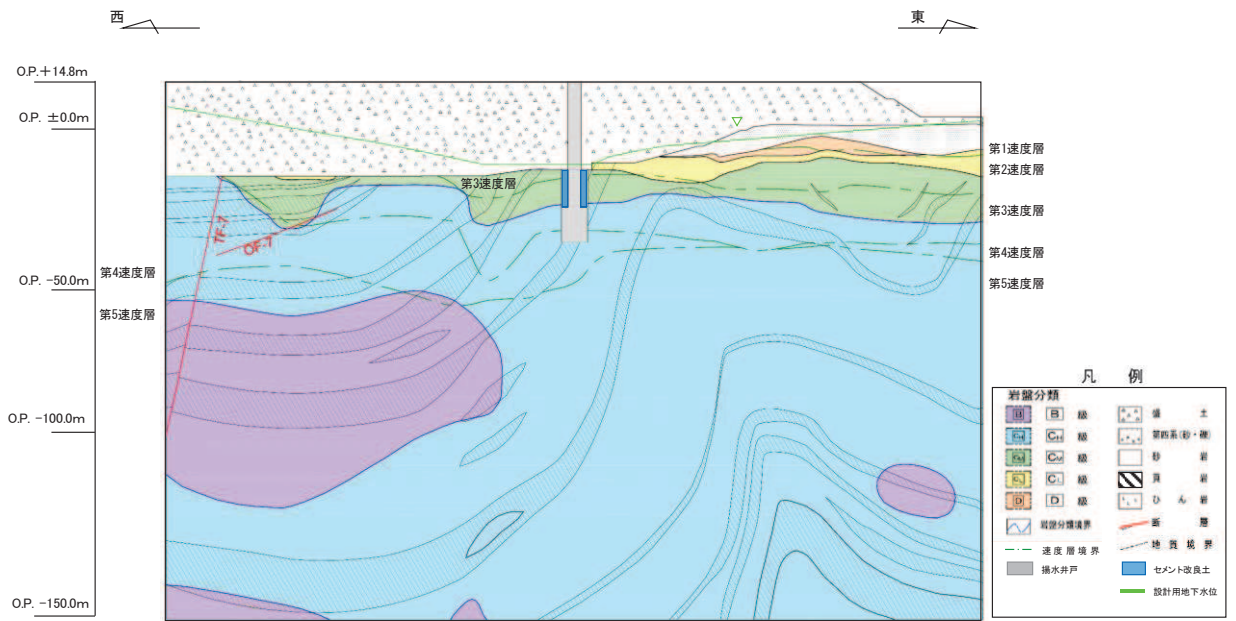


図 3-3(4) No.4 揚水井戸 評価対象断面図 (D' -D 断面)

### 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二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。

地震応答解析手法については、解析手法の選定フロー（図3-4）に基づき選定した。揚水井戸の耐震評価は、施設周辺に液状化対象層が広く分布することを踏まえ、全応力解析及び有効応力解析による評価を実施することにより、液状化特性が構造物に及ぼす影響について網羅的に評価を行った。

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, 6.65」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。

なお、本書における地震応答解析による加速度応答は、機器・配管系及び蓋の耐震評価に用いるものであり、揚水井戸の耐震計算に用いる地震応答解析結果については、「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」に記載している。

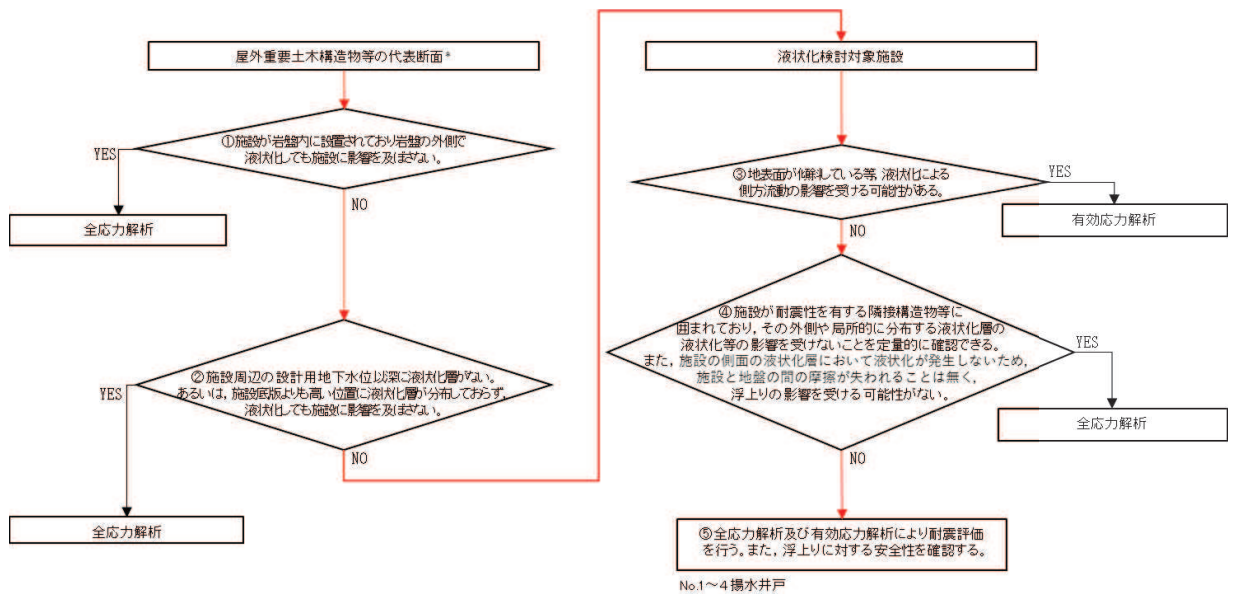


図3-4 解析手法の選定フロー

### 3.2.1 構造部材

構造物は線形はり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

地盤物性及び材料物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

揚水井戸のうち集水ピットは岩盤中、排水シャフトは岩盤及び盛土中に設置され、地震時応答は周辺地盤との動的相互作用による。そのため、揚水井戸周辺に存在する盛土及び各種岩盤の初期せん断弾性係数について、標準偏差  $\sigma$  を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④及び有効応力解析のケース⑤を実施することにより、材料物性及び手法によるばらつきの影響を考慮する。

表 3-1 地盤物性及び材料物性のばらつき考慮ケース

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 <sub>L</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 級岩盤, B級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース①	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 $\sigma$	平均値 + 1 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度	平均値	平均値
ケース⑤*	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$

注記\*: 有効応力解析による結果を使用する。

### 3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した  $\alpha$ 、 $\beta$  を表 3-2 に示す。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

$[c]$  : 減衰係数マトリックス

$[m]$  : 質量マトリックス

$[k]$  : 剛性マトリックス

$\alpha$ 、 $\beta$  : 係数

表 3-2 全応力解析における Rayleigh 減衰の係数  $\alpha$ 、 $\beta$

評価対象断面	$\alpha$	$\beta$
No. 1 揚水井戸	$2.490 \times 10^{-1}$	$1.205 \times 10^{-3}$
No. 2 揚水井戸	$2.934 \times 10^{-1}$	$1.022 \times 10^{-3}$
No. 3 揚水井戸	$2.450 \times 10^{-1}$	$1.224 \times 10^{-3}$
No. 4 揚水井戸	$2.271 \times 10^{-1}$	$1.321 \times 10^{-3}$

### 3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

機器・配管系及び蓋に対する応答加速度抽出においては、表 3-1 に示す解析ケース①～⑤を実施する。機器・配管系及び蓋の応答加速度及び応答変位抽出における解析ケースを表 3-3 に示す。



表 3-3 機器・配管系の応答加速度及び応答変位抽出における解析ケース

解析ケース		有効応力解析					
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	
		基本ケース	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	材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した 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	平均値	平均値-1σ	
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に 基づく圧縮強度	設計基準強度	
地震動 (位相)	S s - D 1	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S s - D 2	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S s - D 3	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S s - F 1	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S s - F 2	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S s - F 3	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S s - N 1	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○

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  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

##### (3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重(S<sub>s</sub>)

地震力は、基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重を考慮する。

### 3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$  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  $S_s$  を一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 3-5 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 3-6 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。

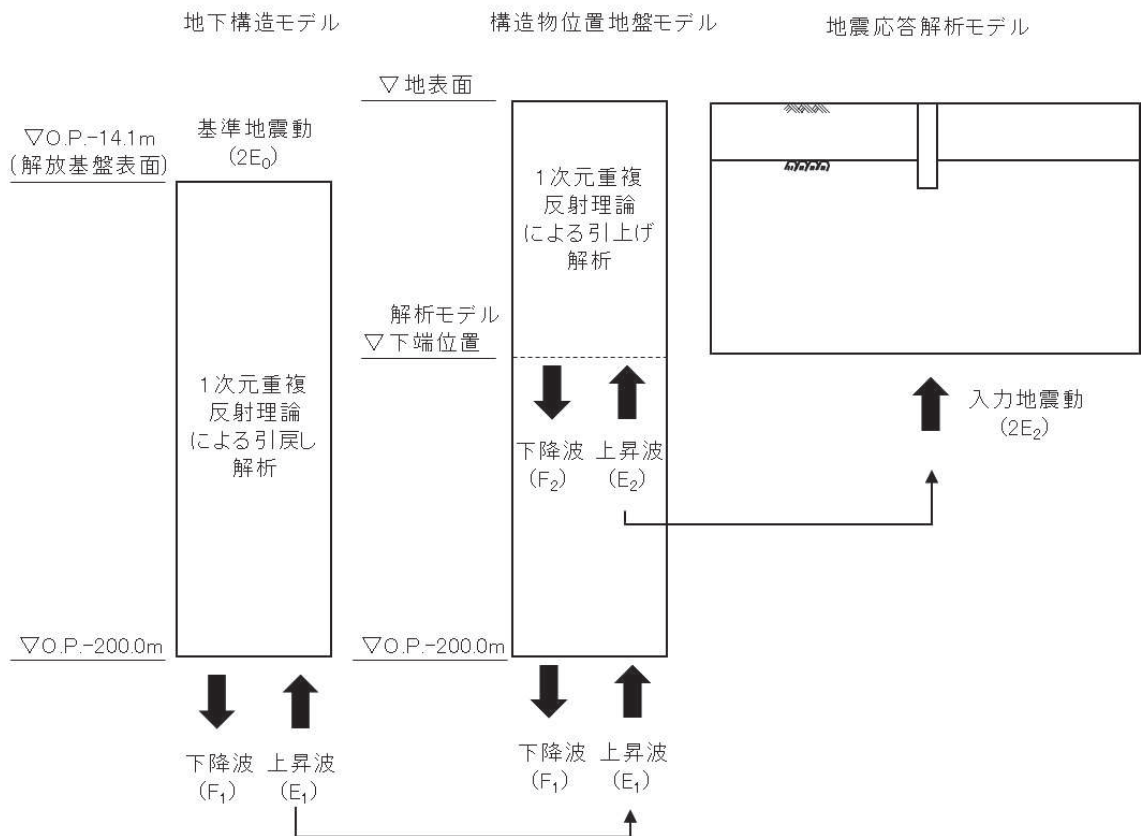
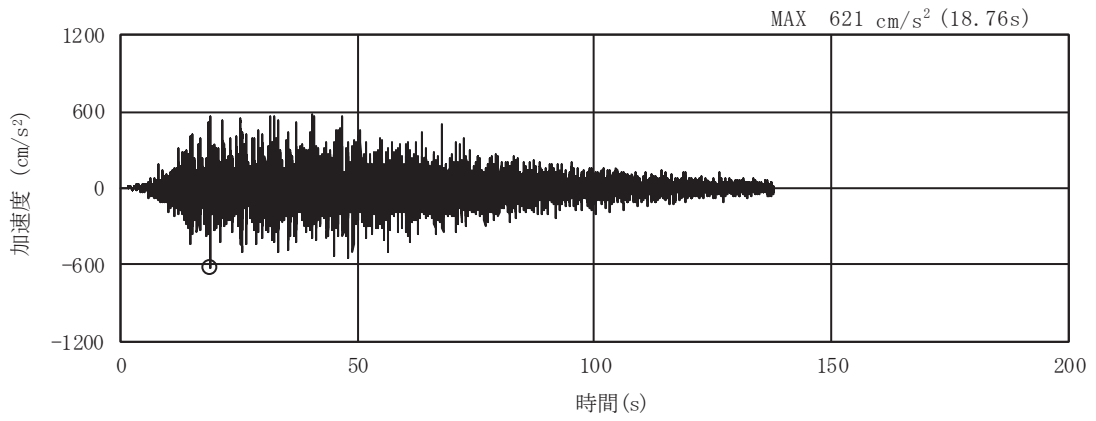
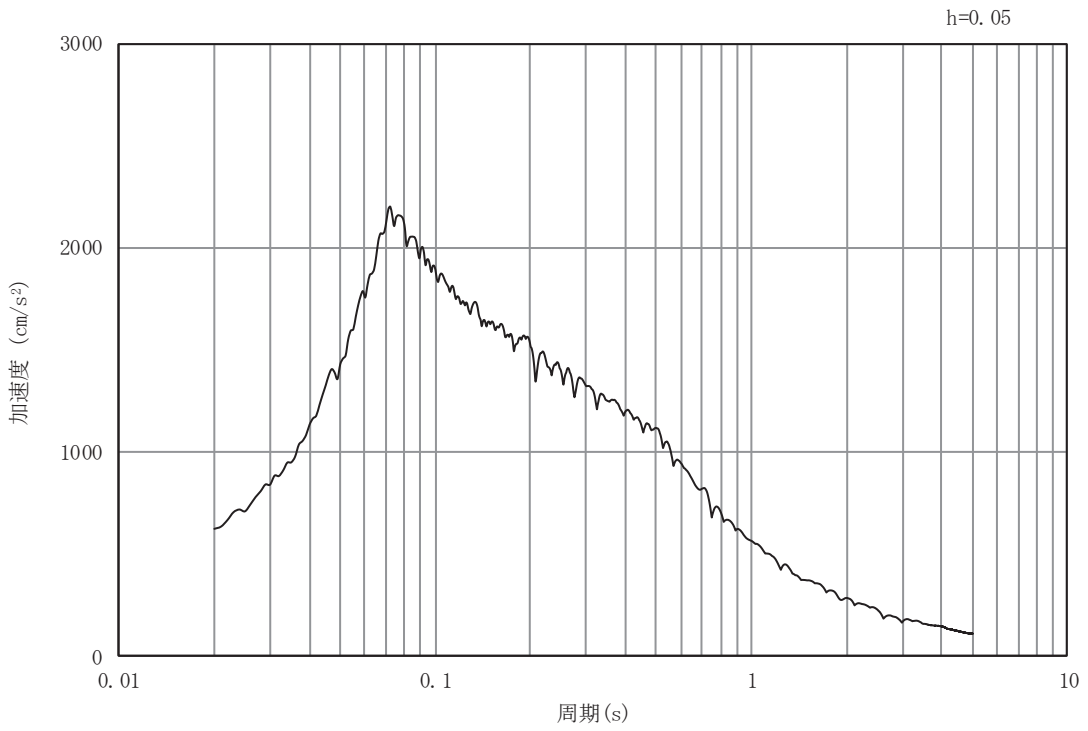


図 3-5 入力地震動算定の概念図

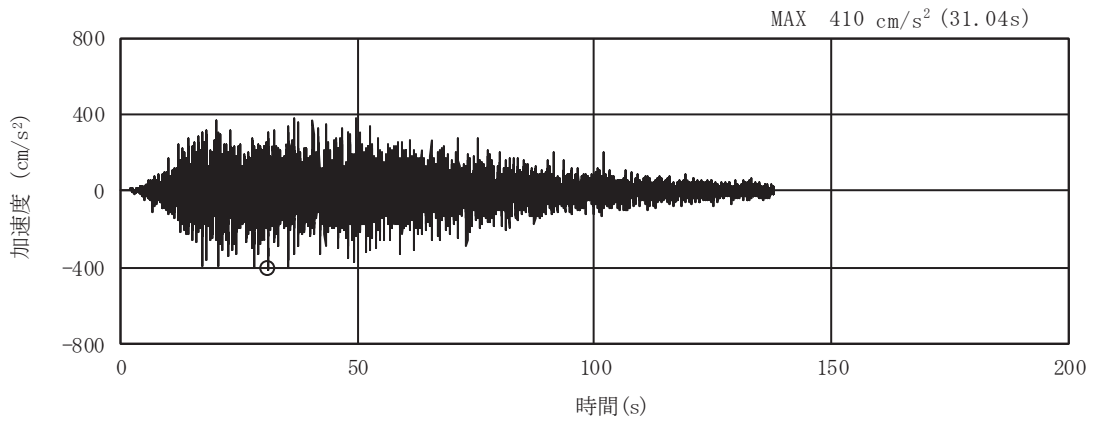


(a) 加速度時刻歴波形

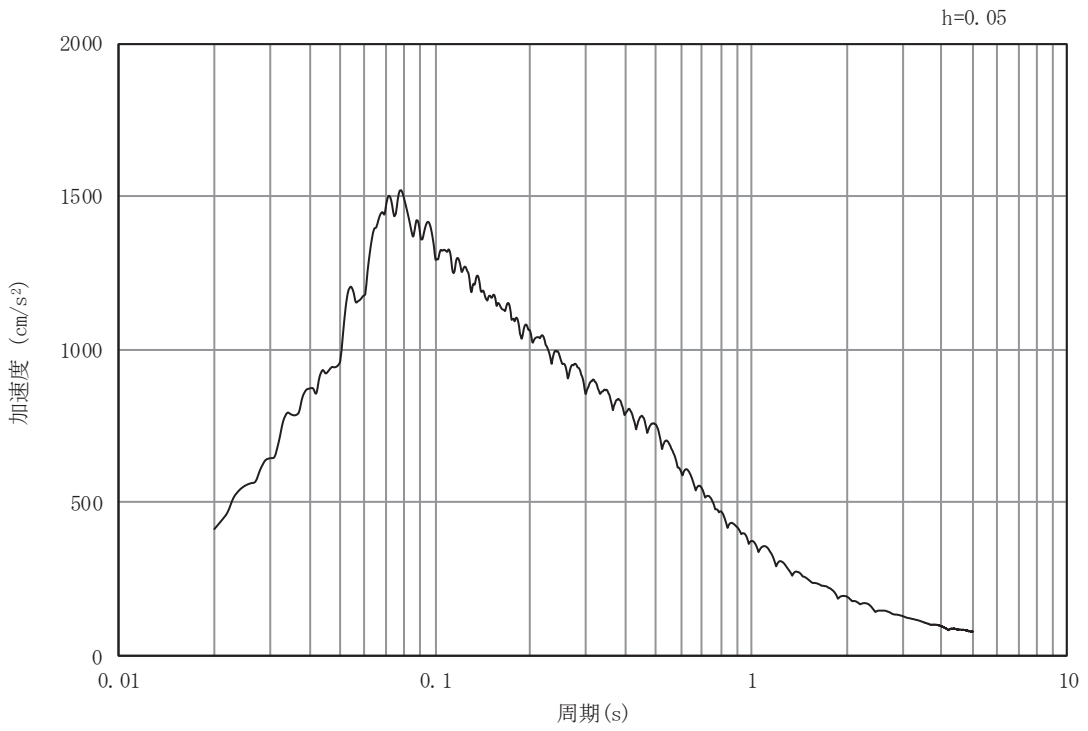


(b) 加速度応答スペクトル

図3-6(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

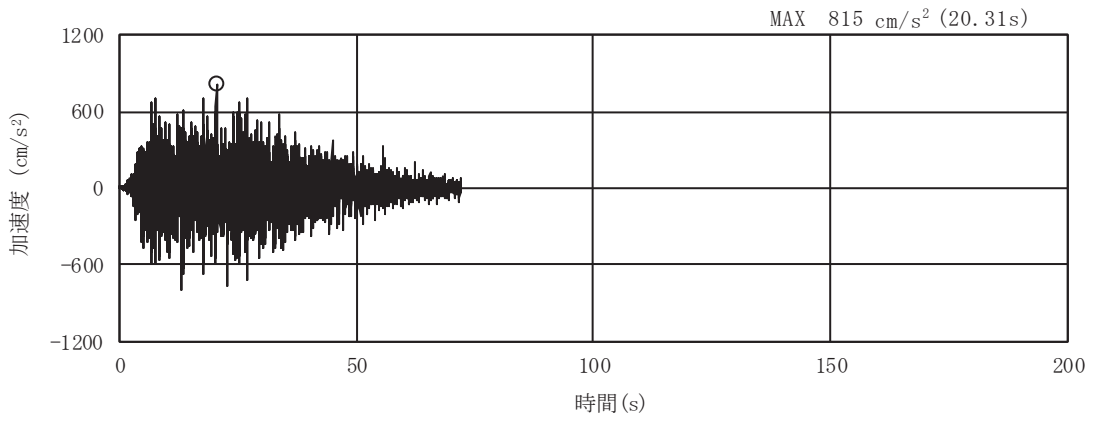


(a) 加速度時刻歴波形

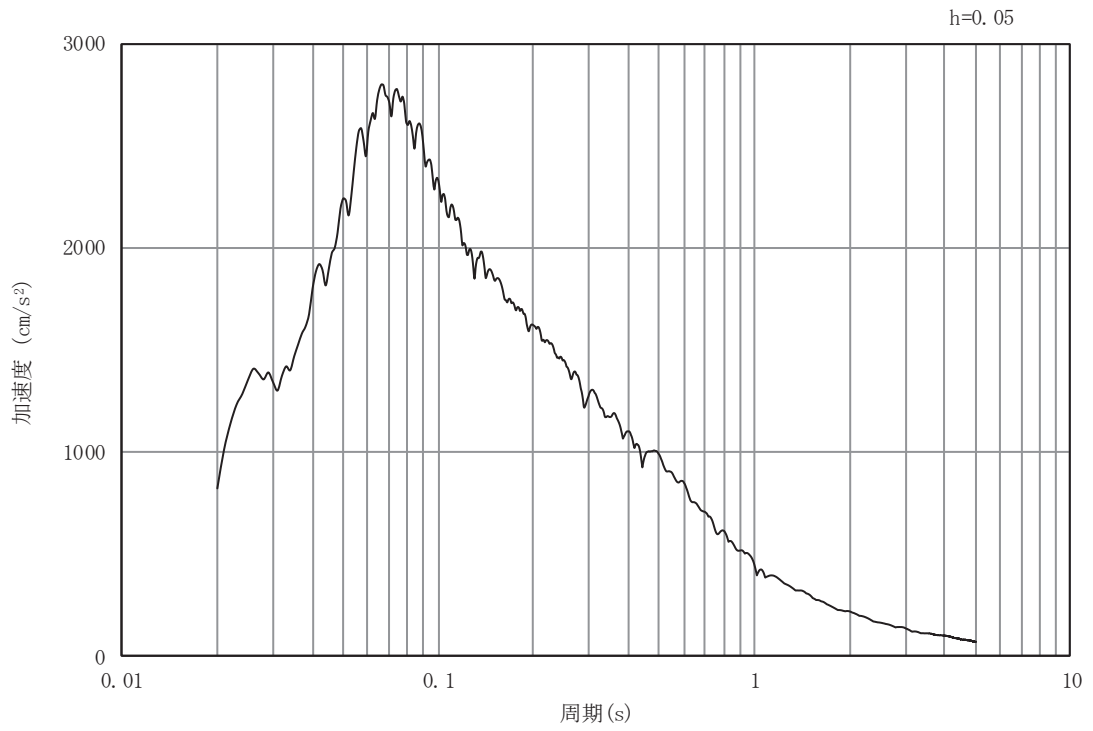


(b) 加速度応答スペクトル

図3-6(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

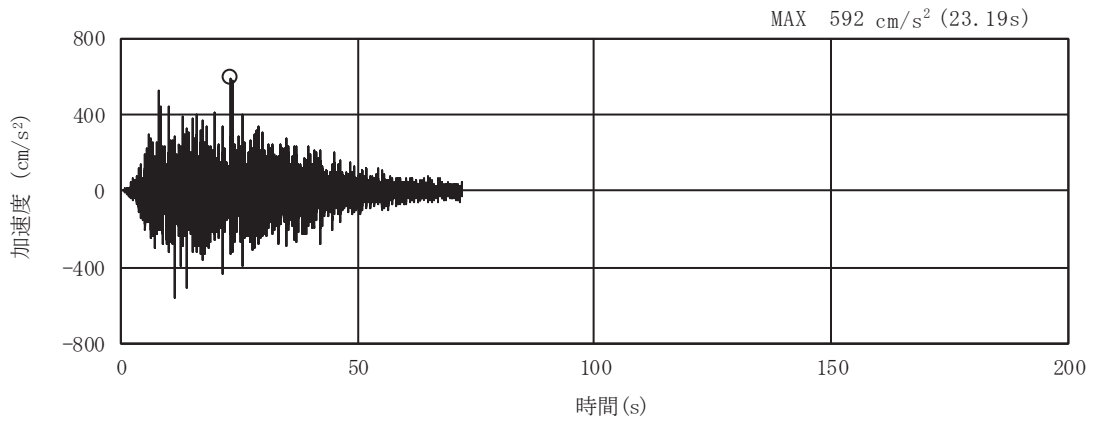


(a) 加速度時刻歴波形

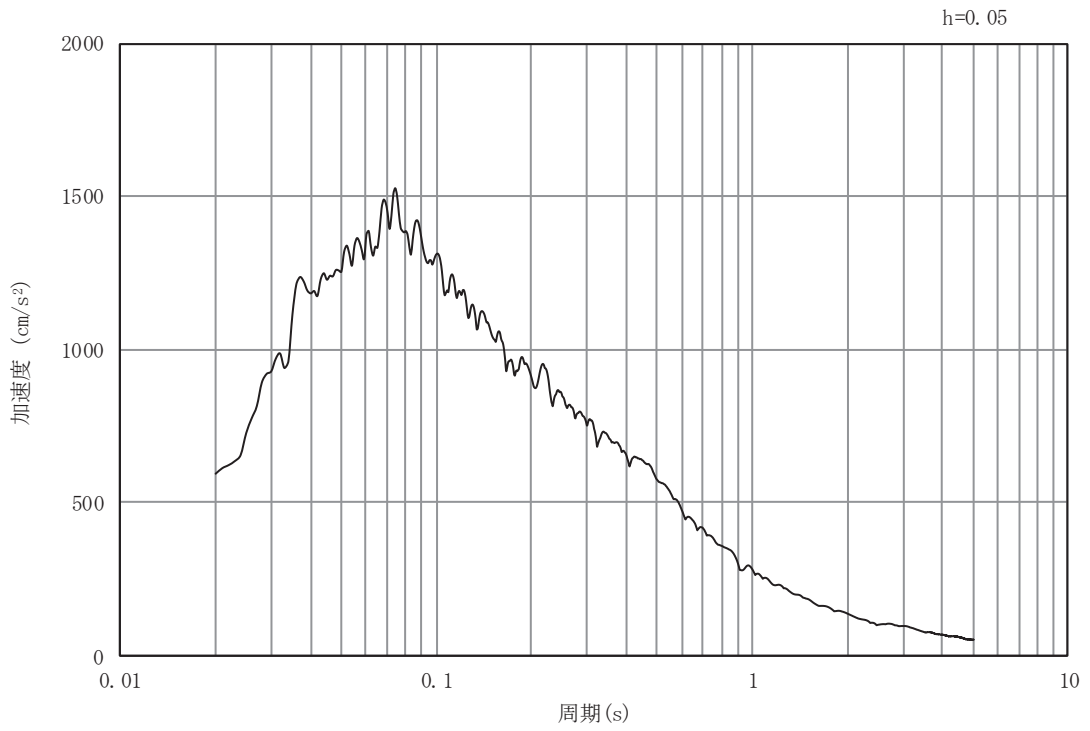


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



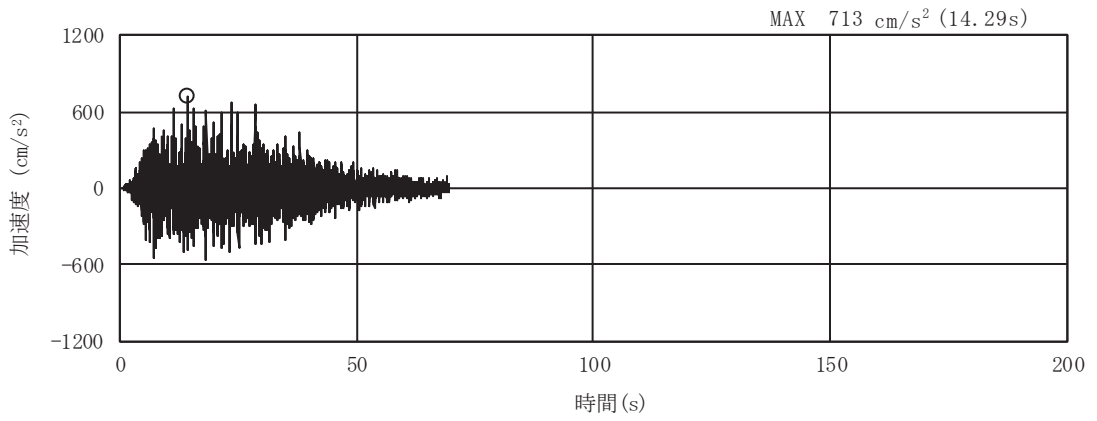
(a) 加速度時刻歴波形



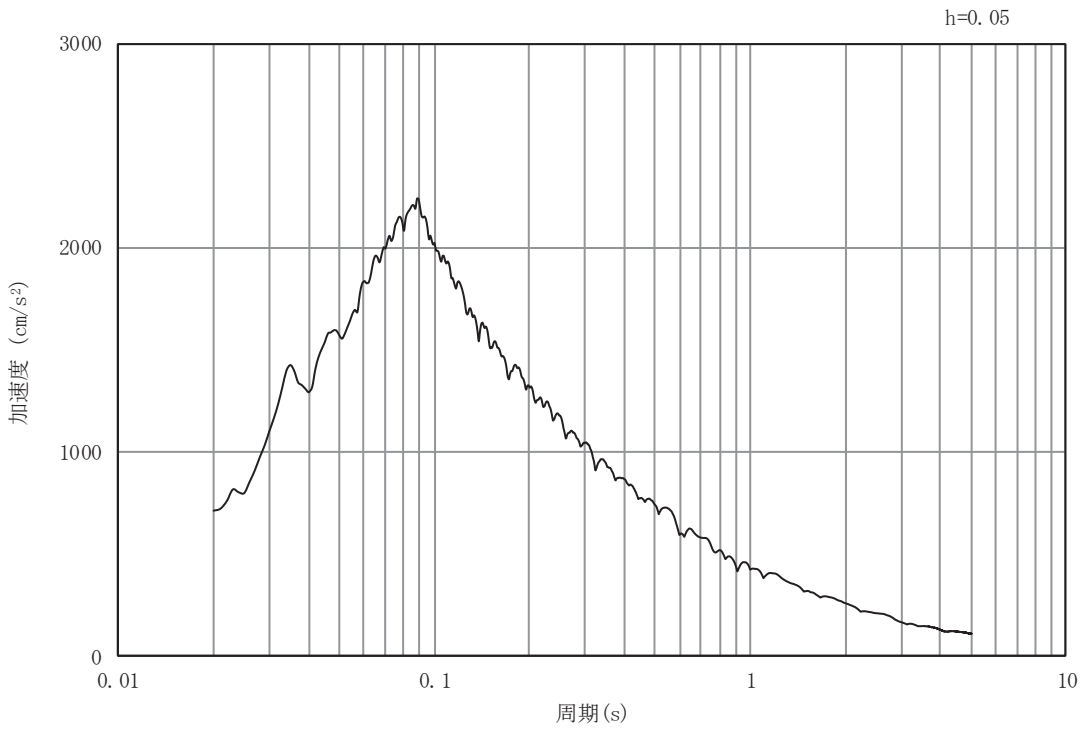
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



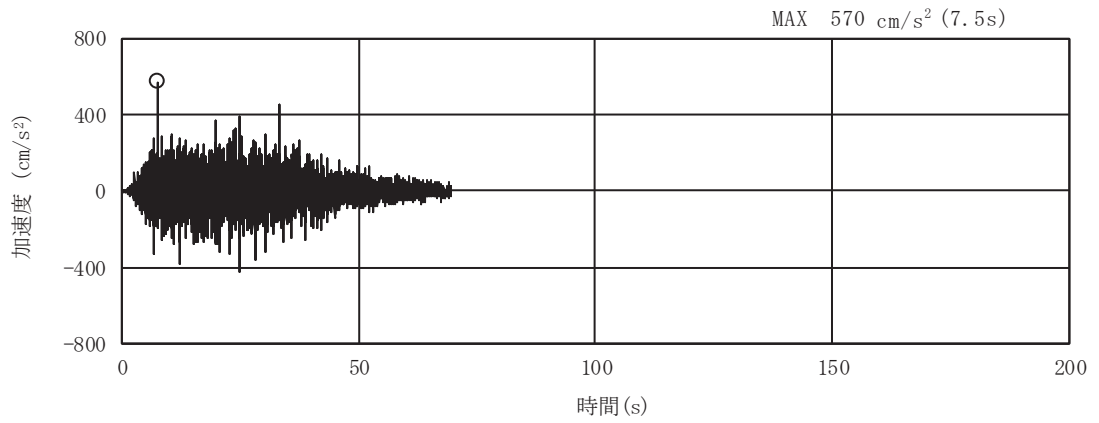


(a) 加速度時刻歴波形

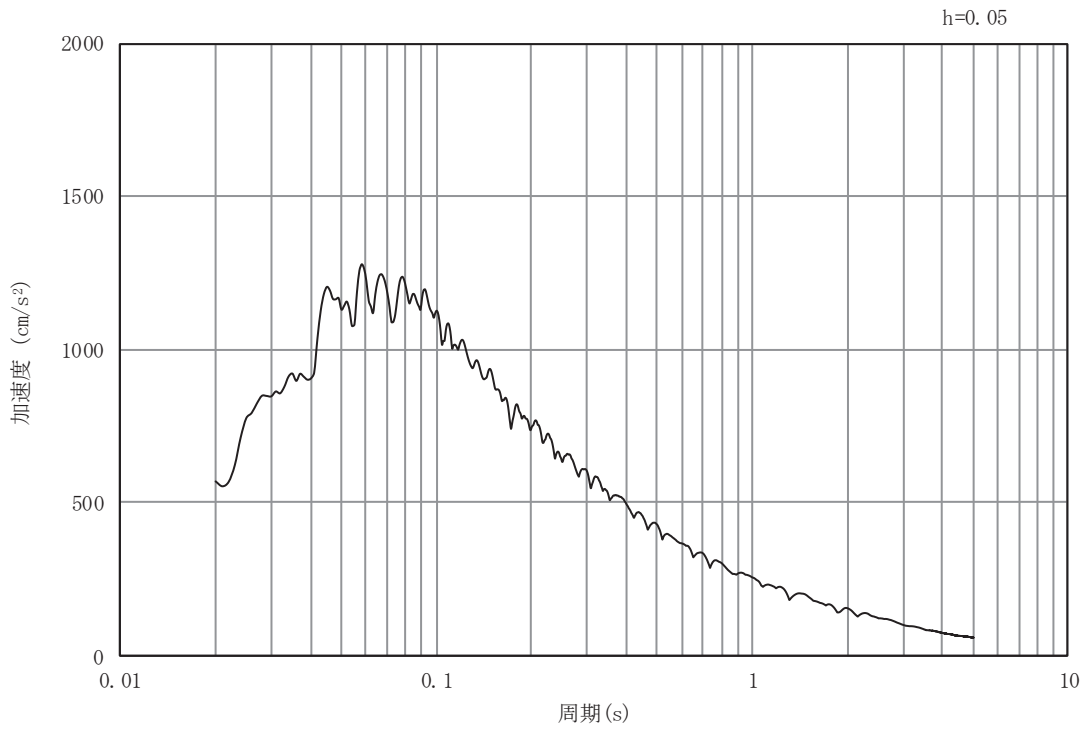


(b) 加速度応答スペクトル

図3-6(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

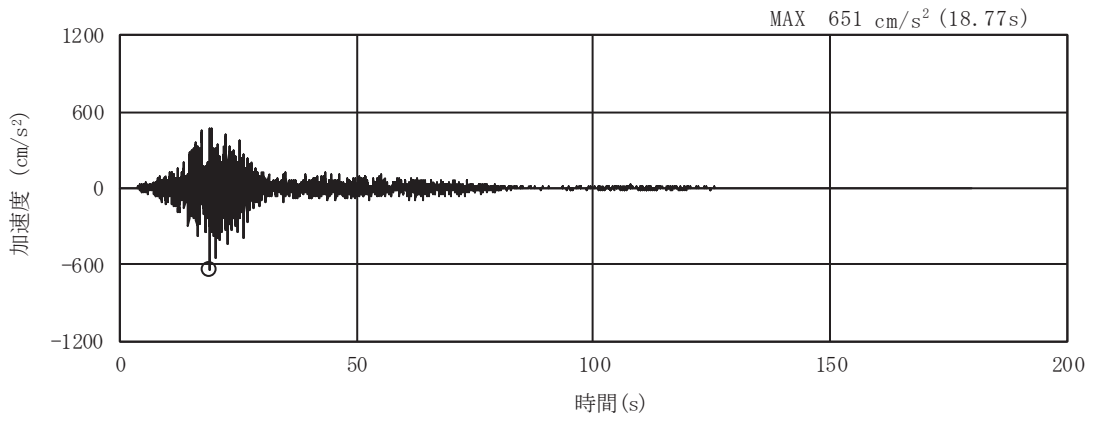


(a) 加速度時刻歴波形

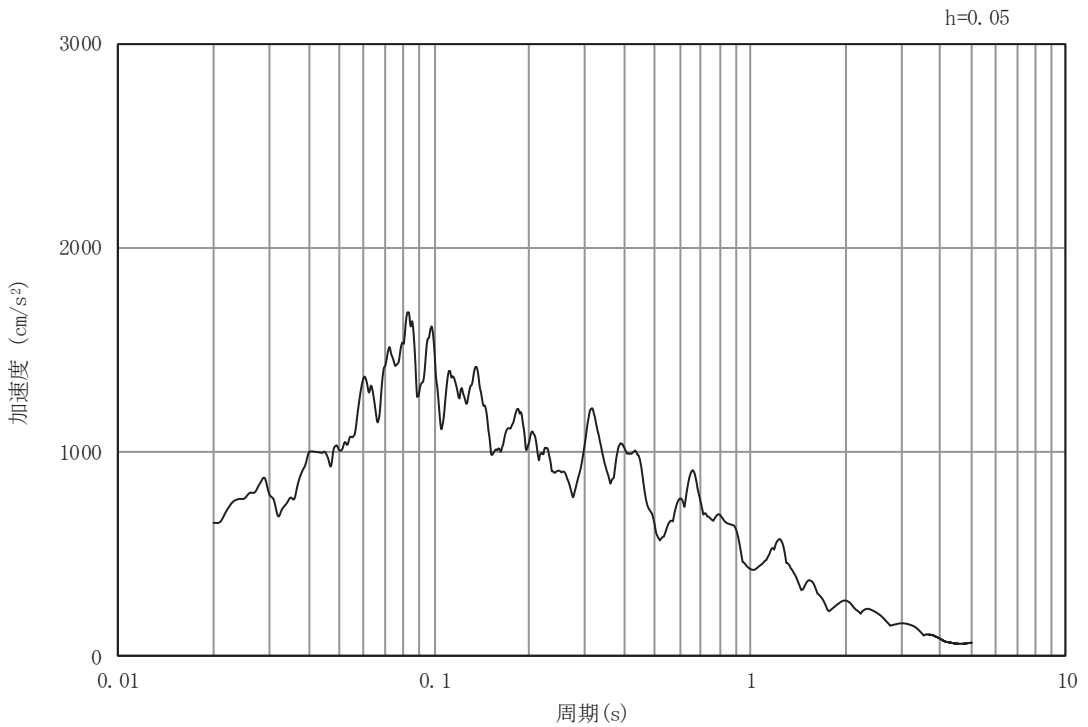


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

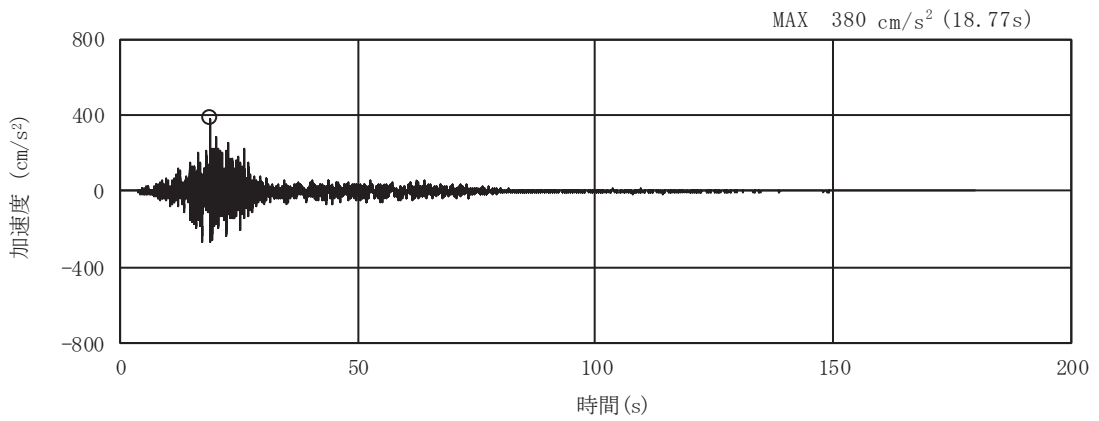


(a) 加速度時刻歴波形

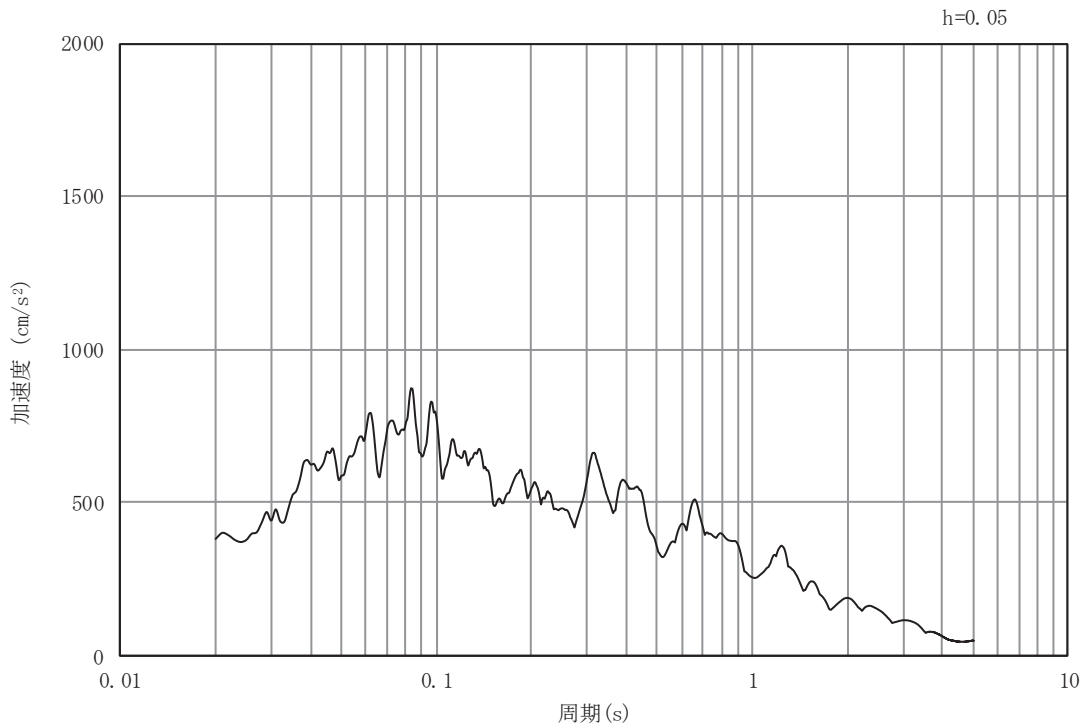


(b) 加速度応答スペクトル

図3-6(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

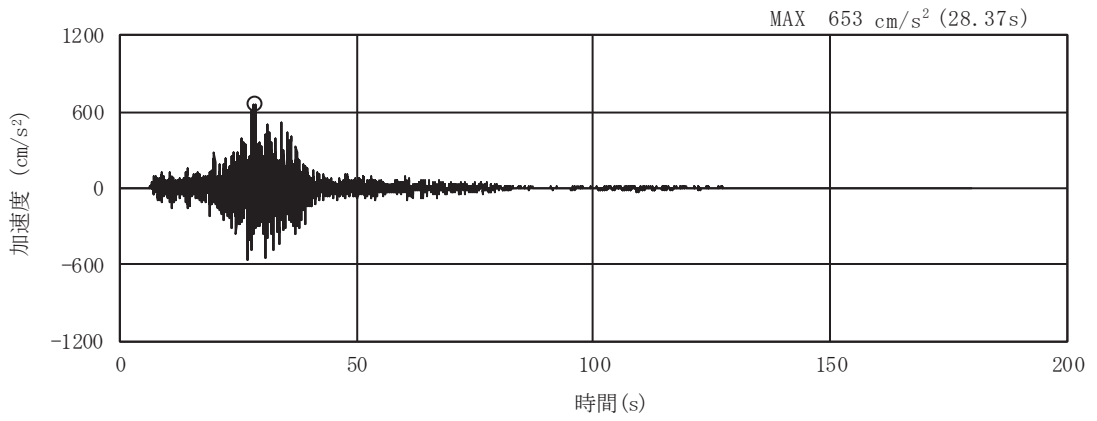


(a) 加速度時刻歴波形

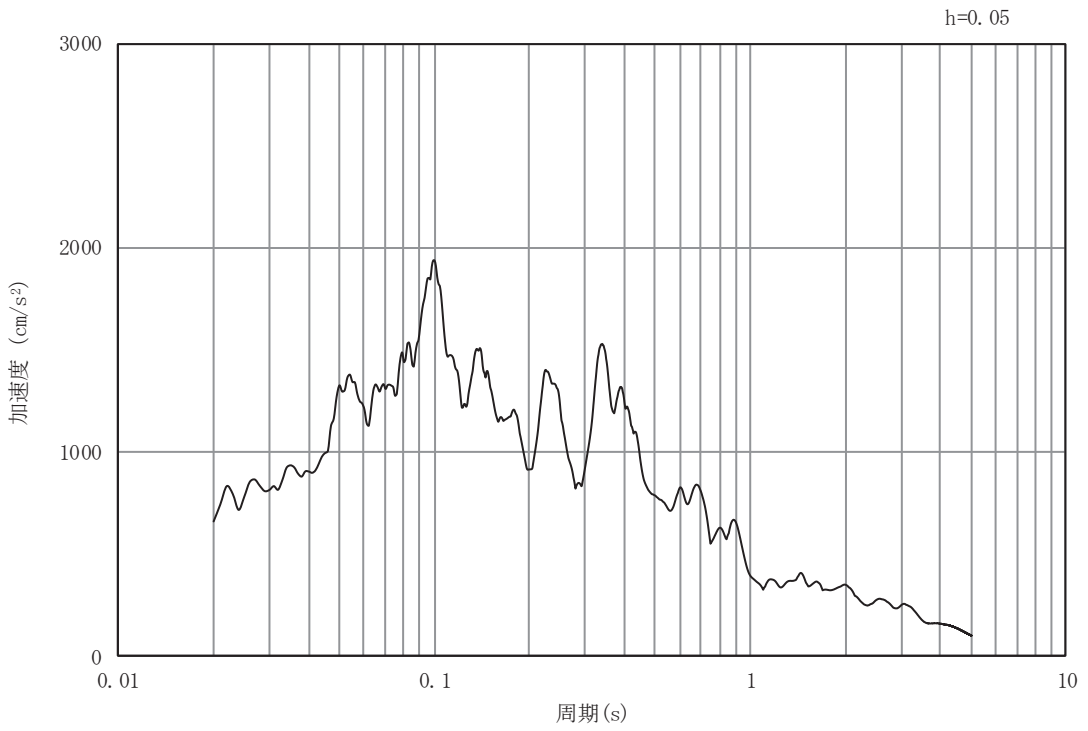


(b) 加速度応答スペクトル

図3-6(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

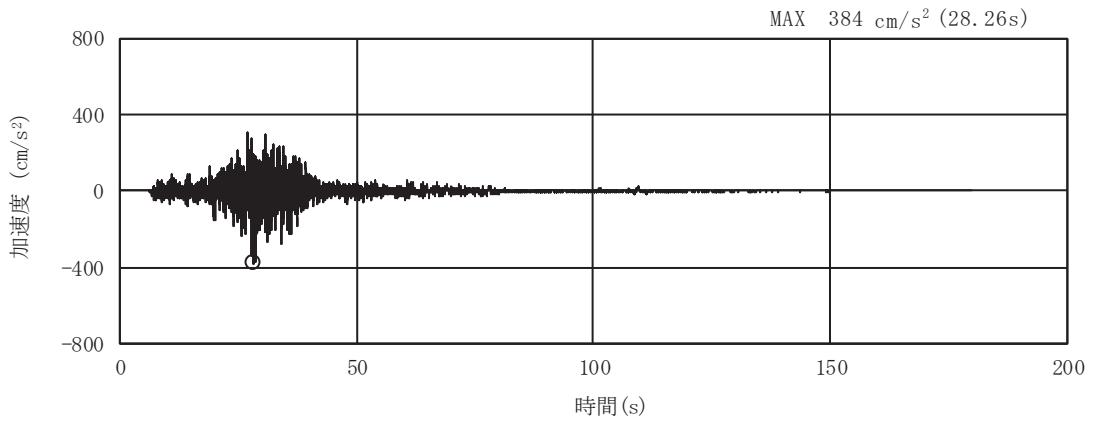


(a) 加速度時刻歴波形

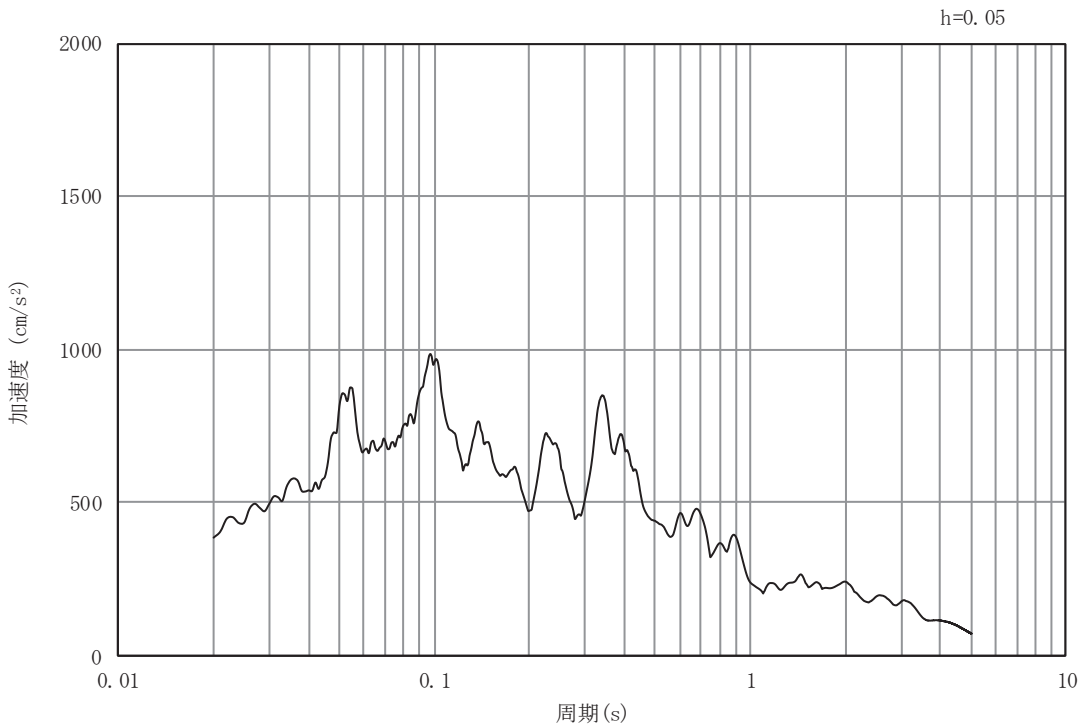


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

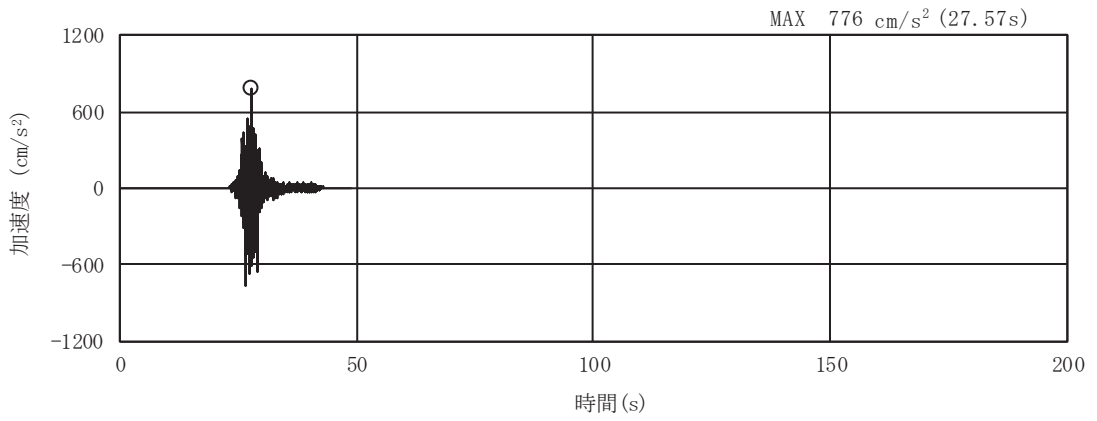


(a) 加速度時刻歴波形

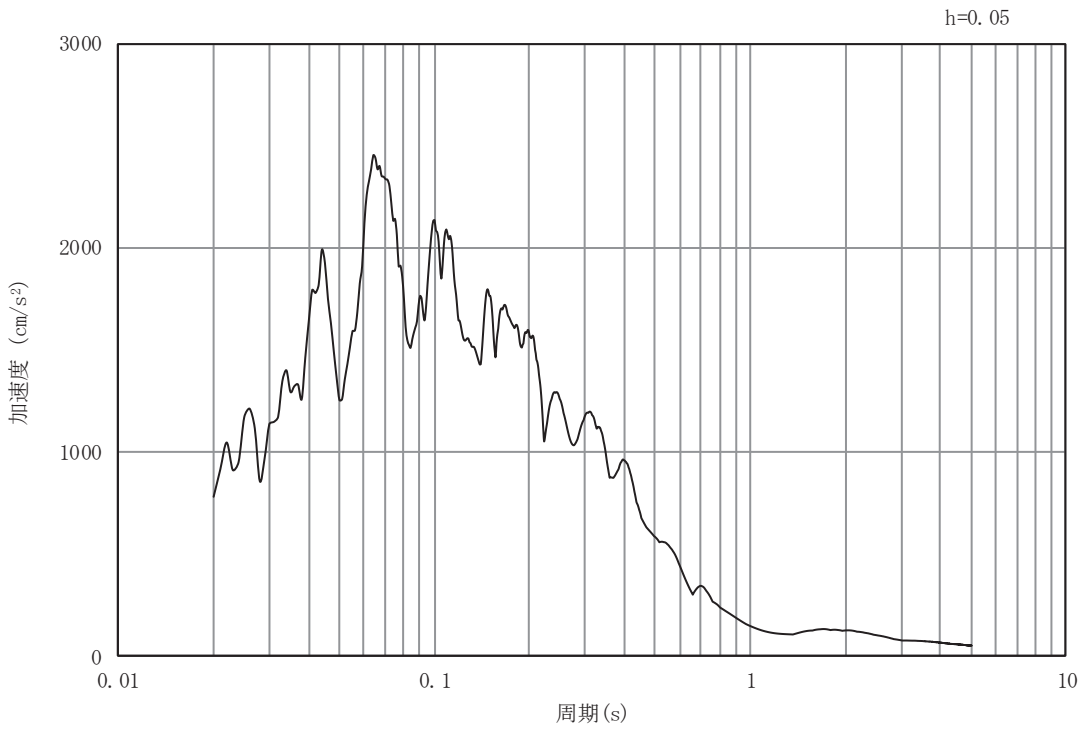


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

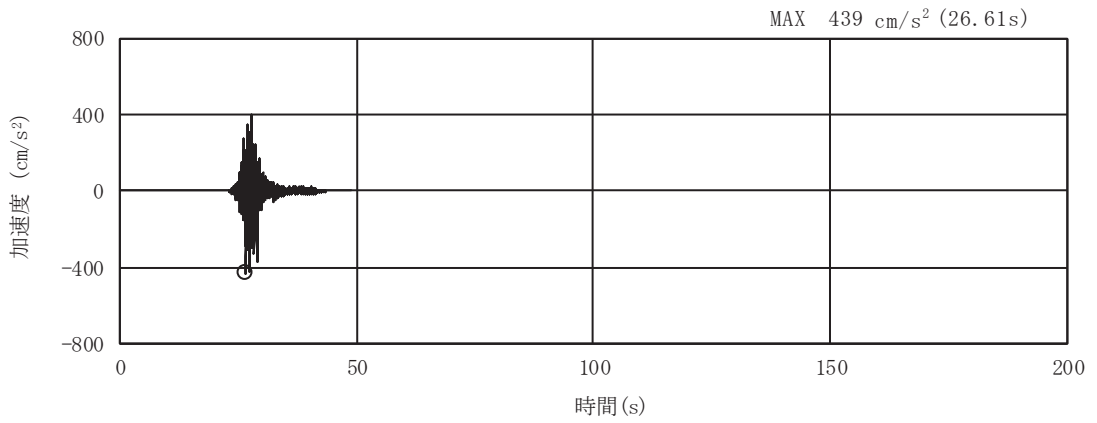


(a) 加速度時刻歴波形

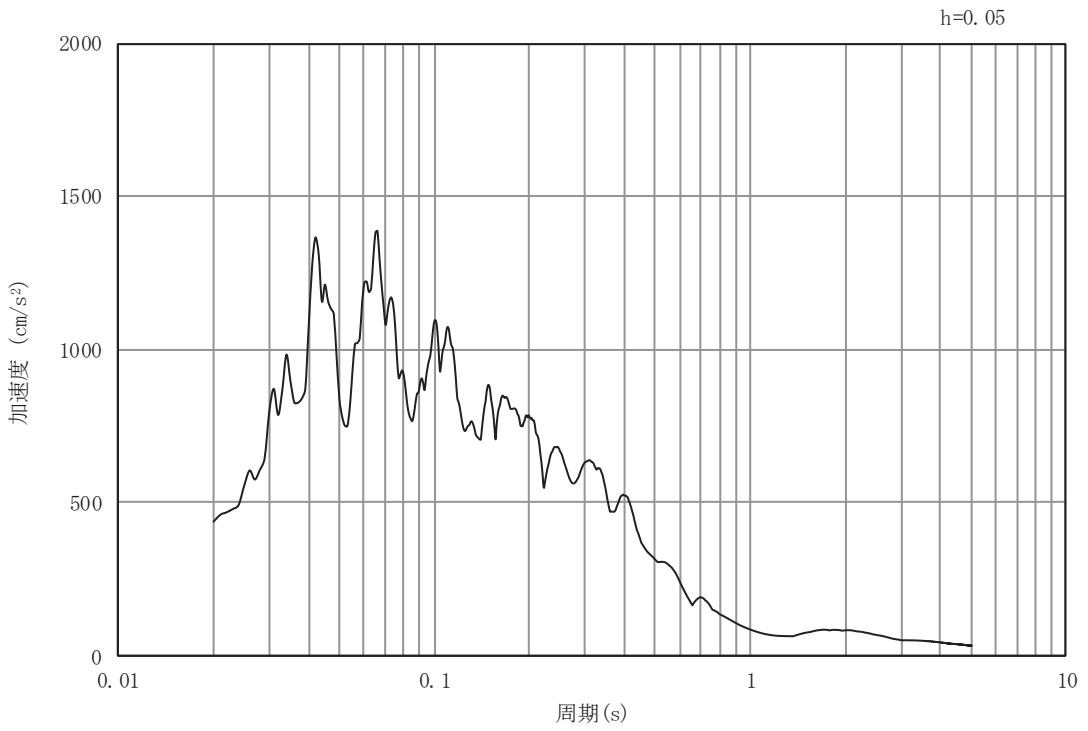


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



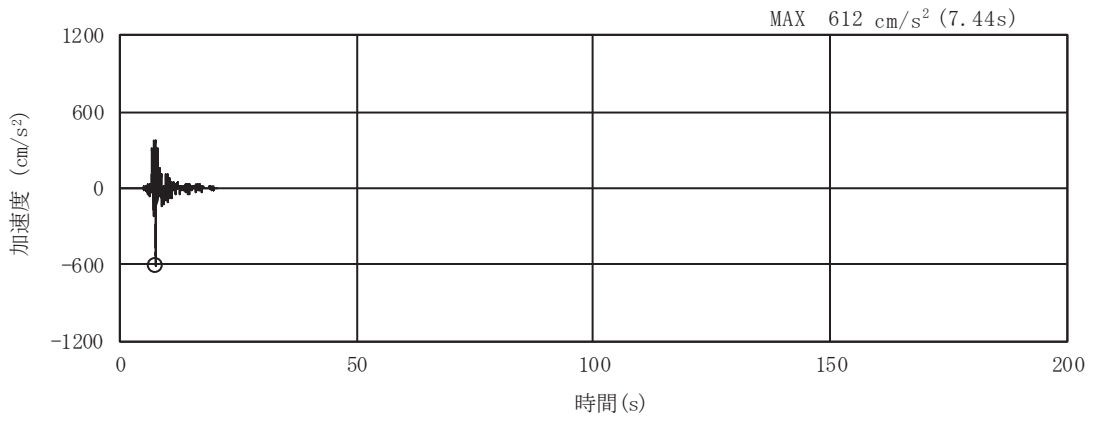
(a) 加速度時刻歴波形



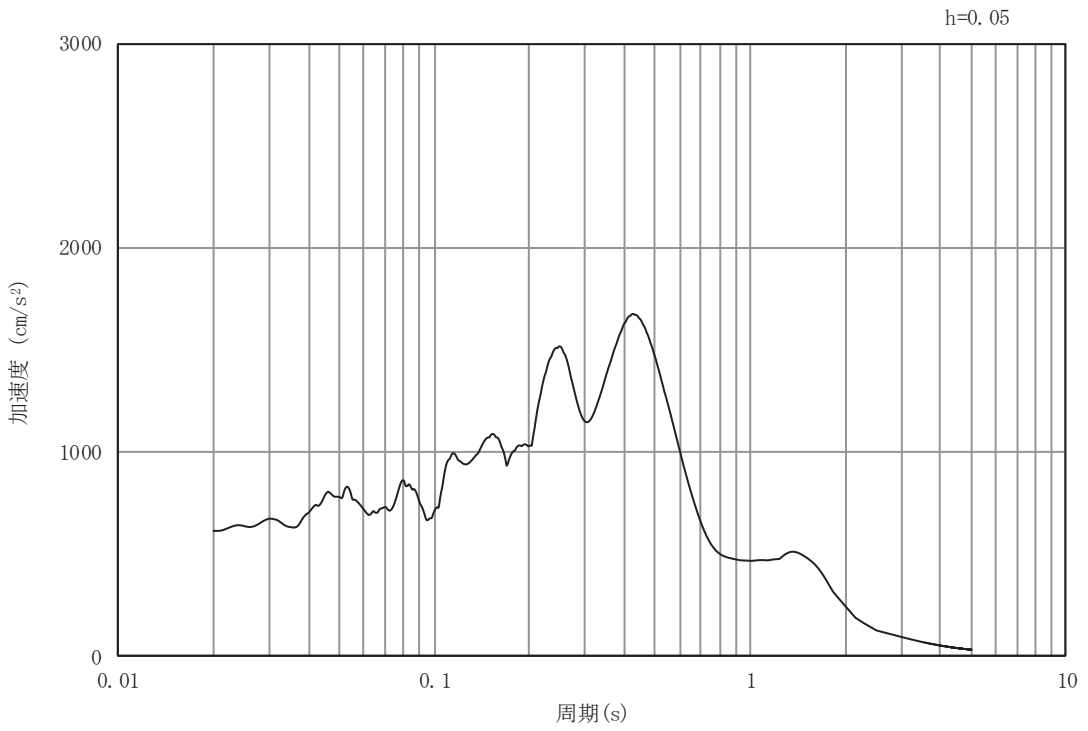
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



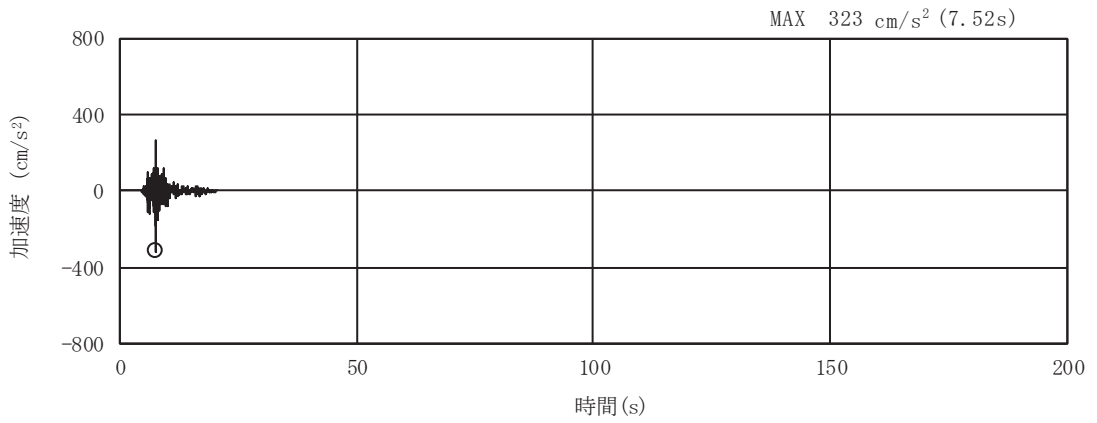


(a) 加速度時刻歴波形

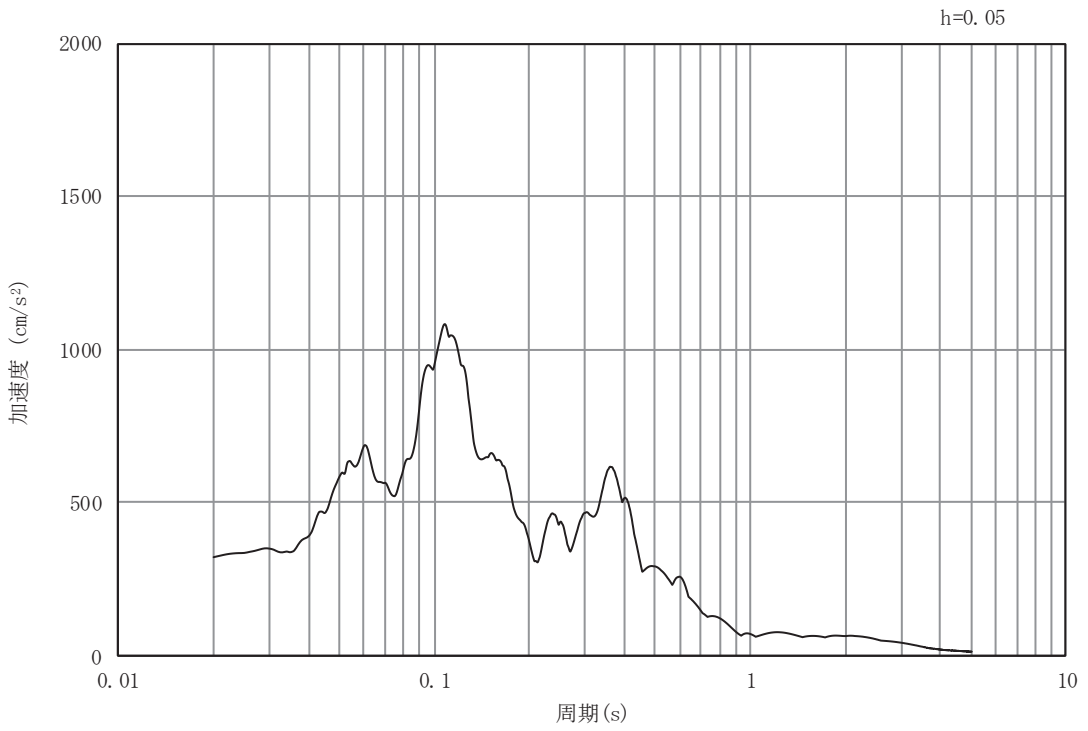


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

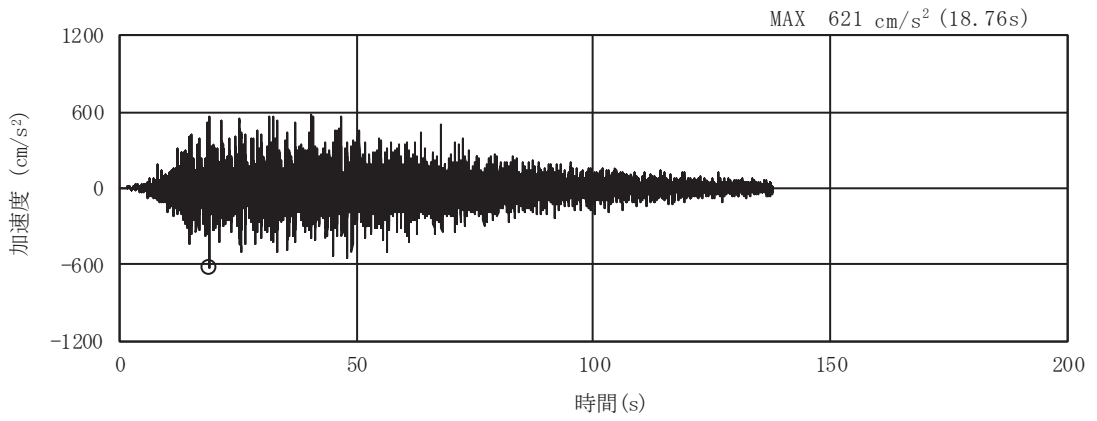


(a) 加速度時刻歴波形

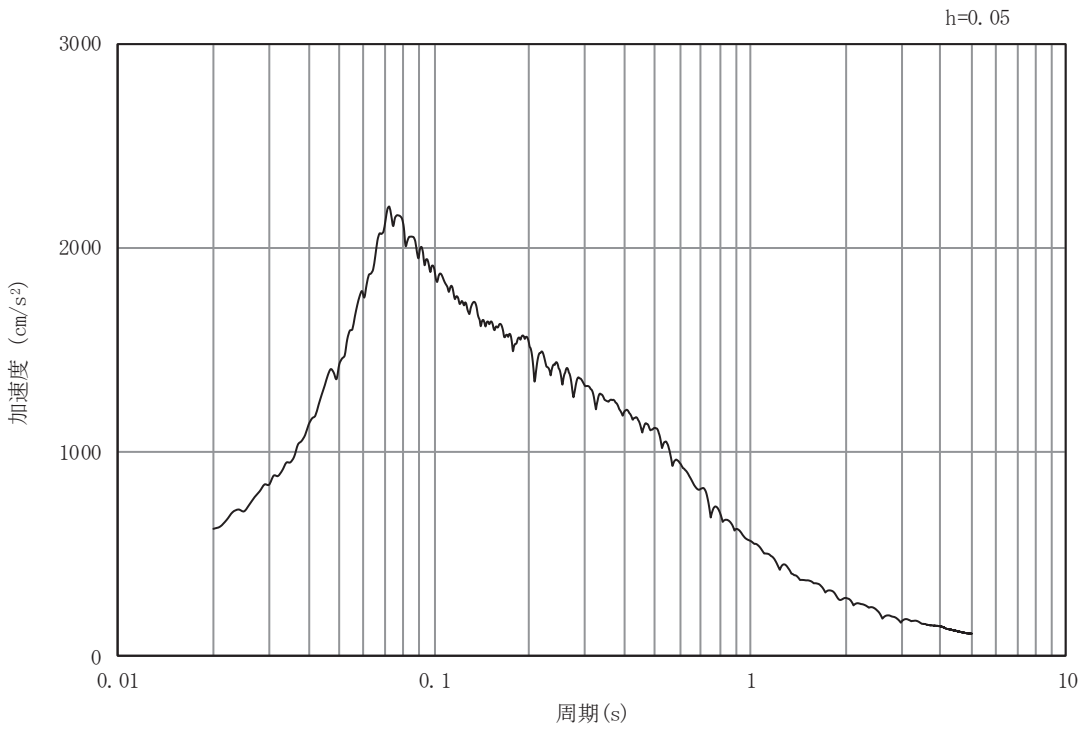


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

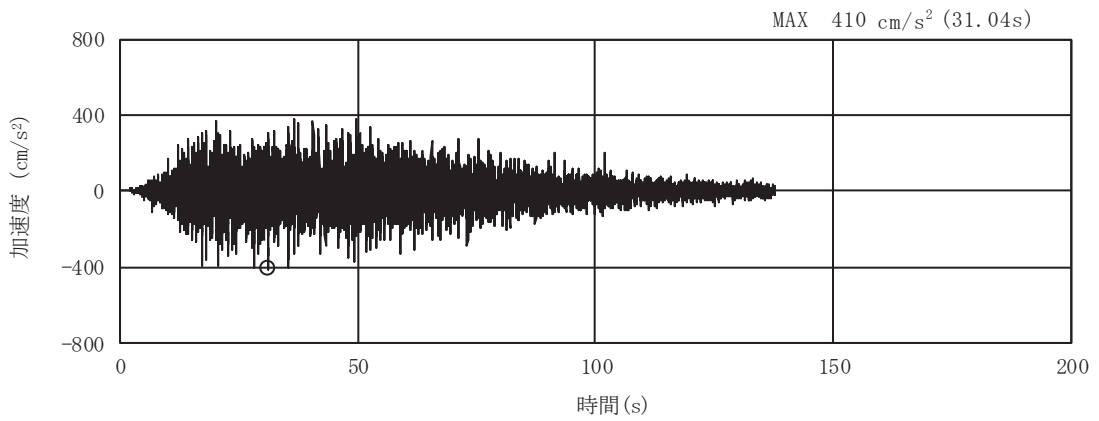


(a) 加速度時刻歴波形

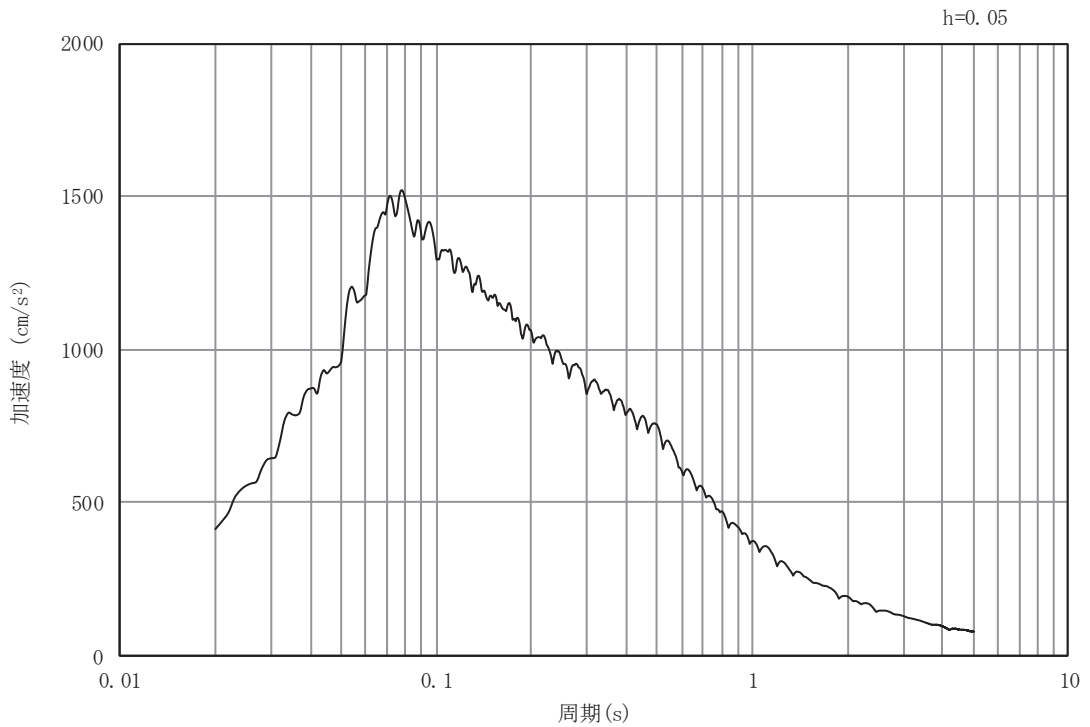


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

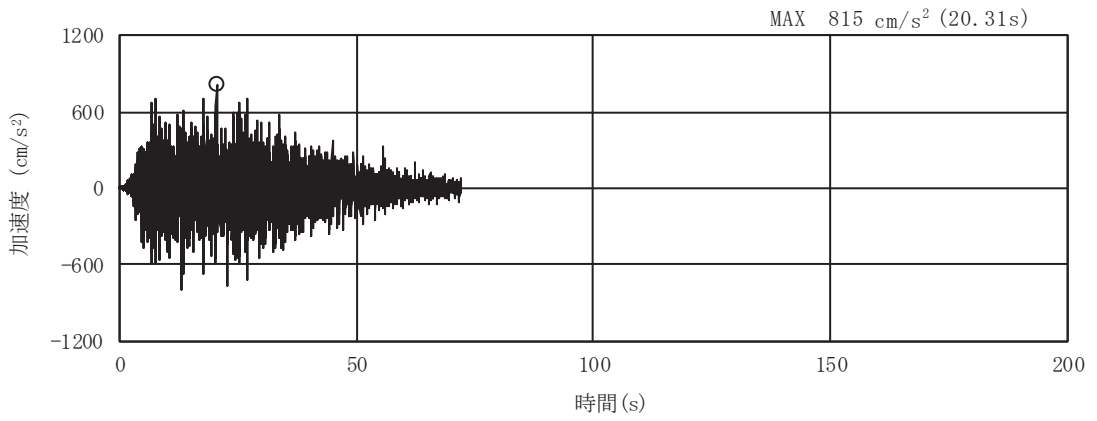


(a) 加速度時刻歴波形

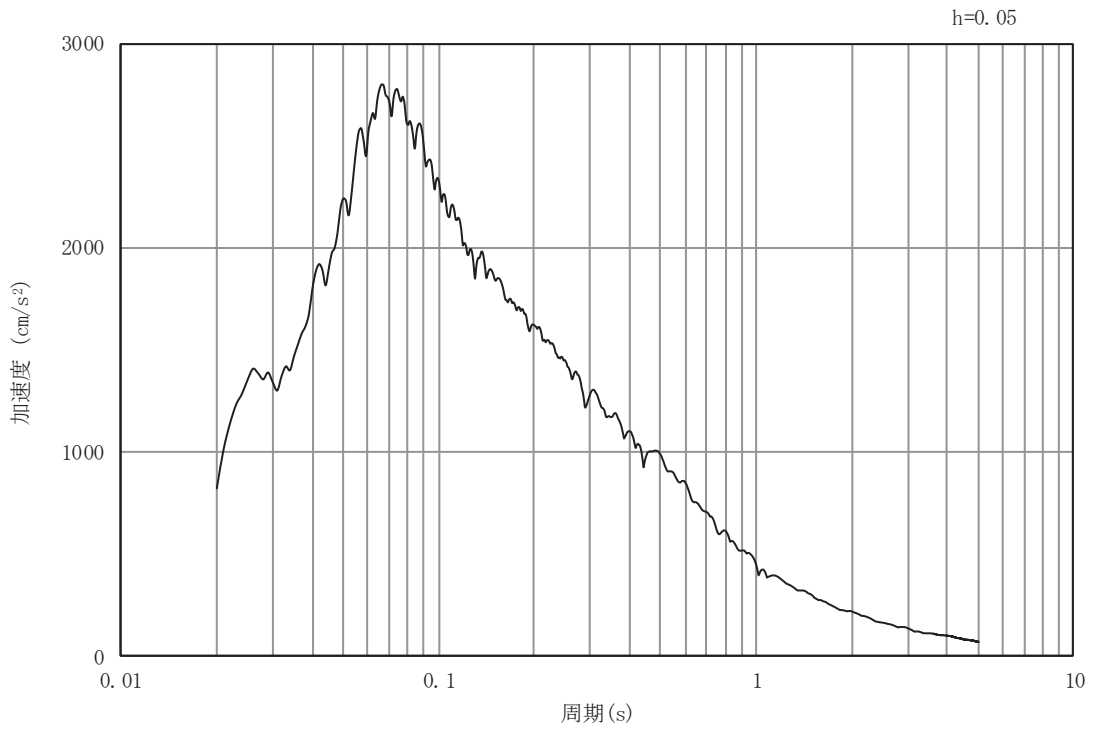


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

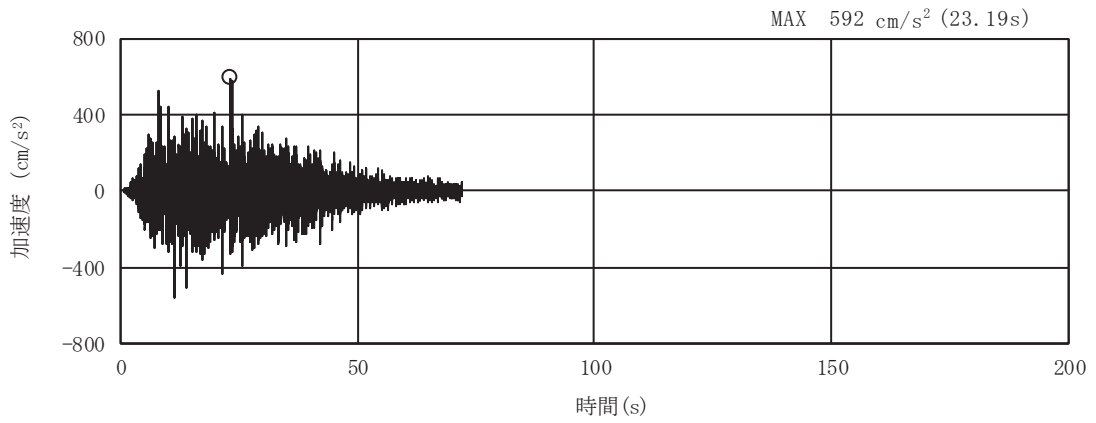


(a) 加速度時刻歴波形

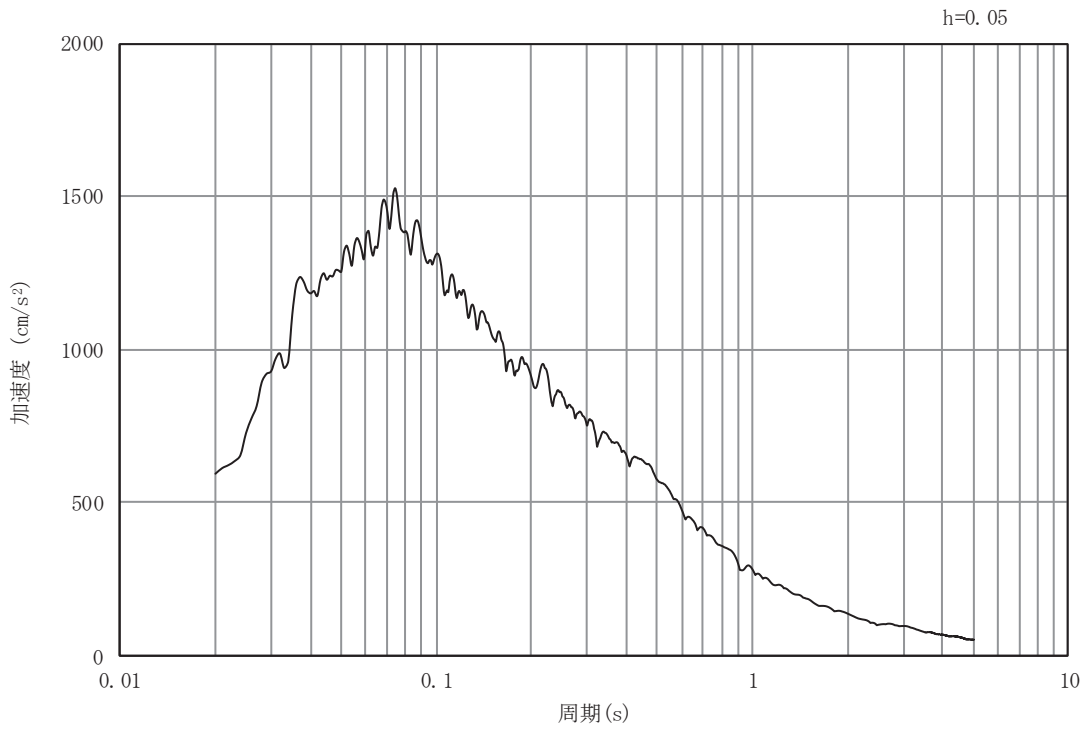


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

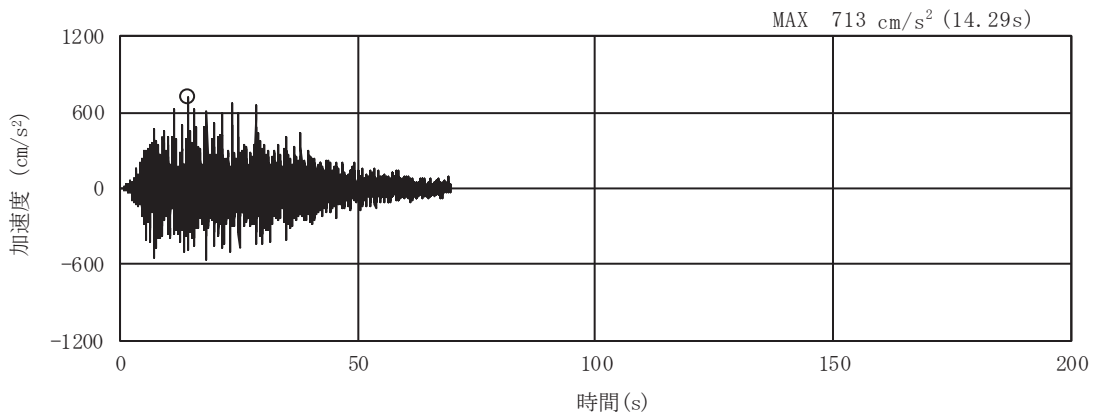


(a) 加速度時刻歴波形

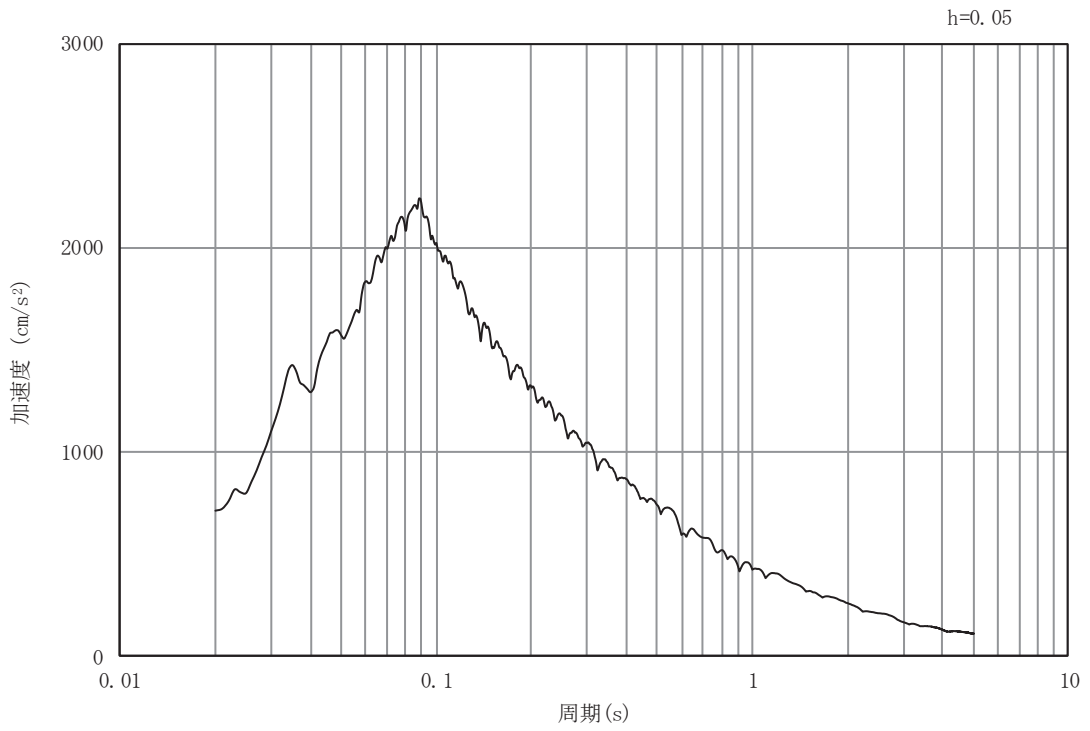


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

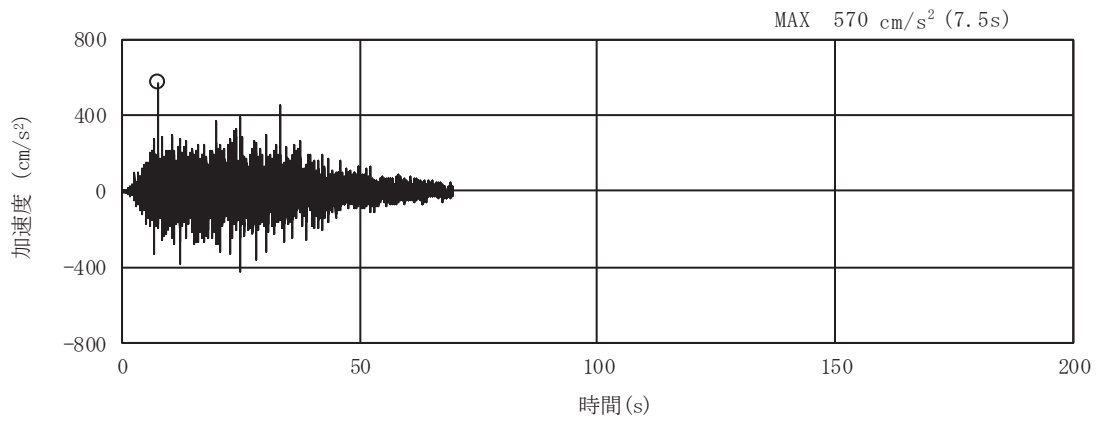


(a) 加速度時刻歴波形

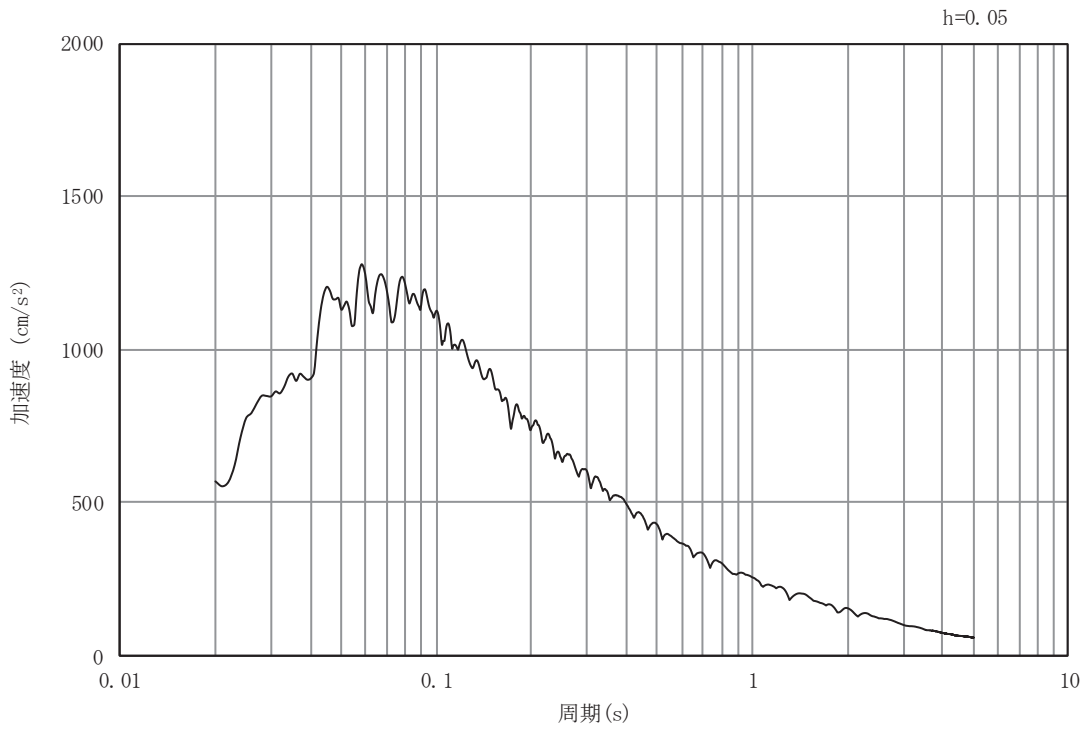


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



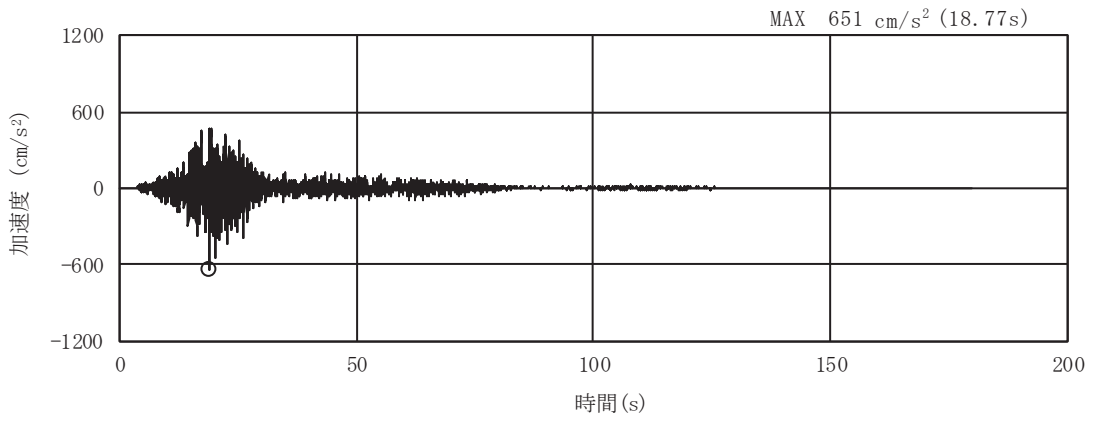
(a) 加速度時刻歴波形



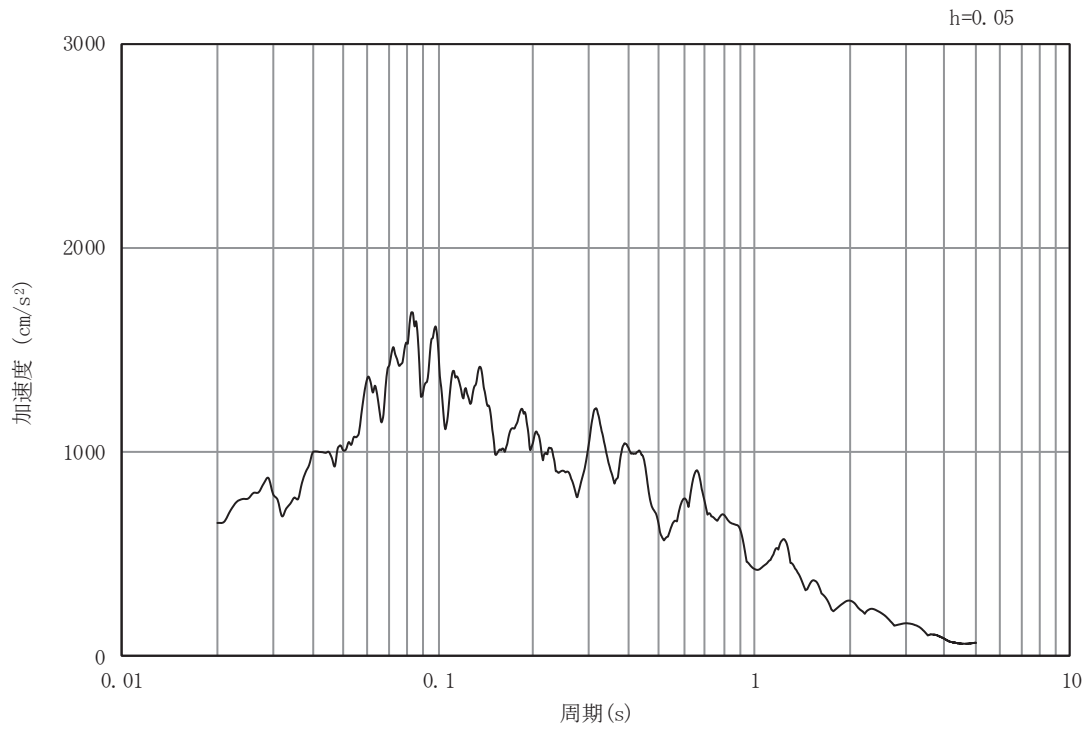
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



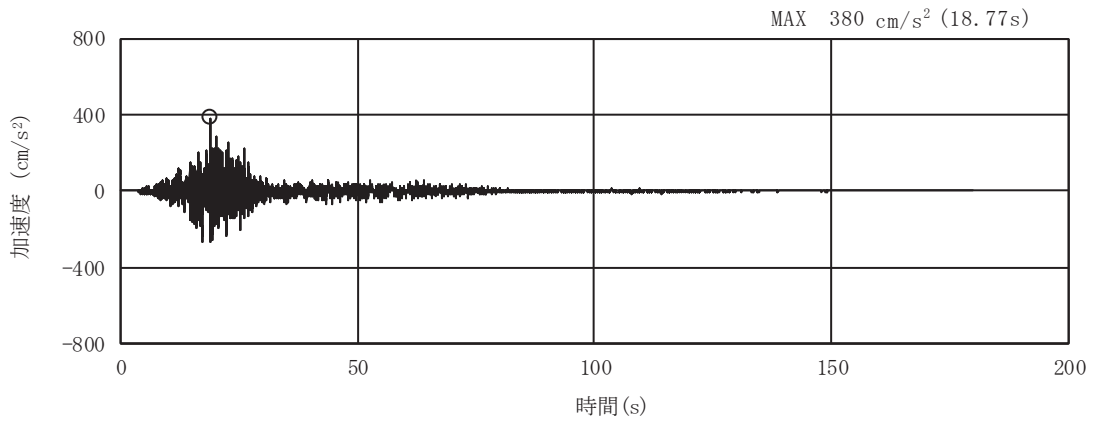


(a) 加速度時刻歴波形

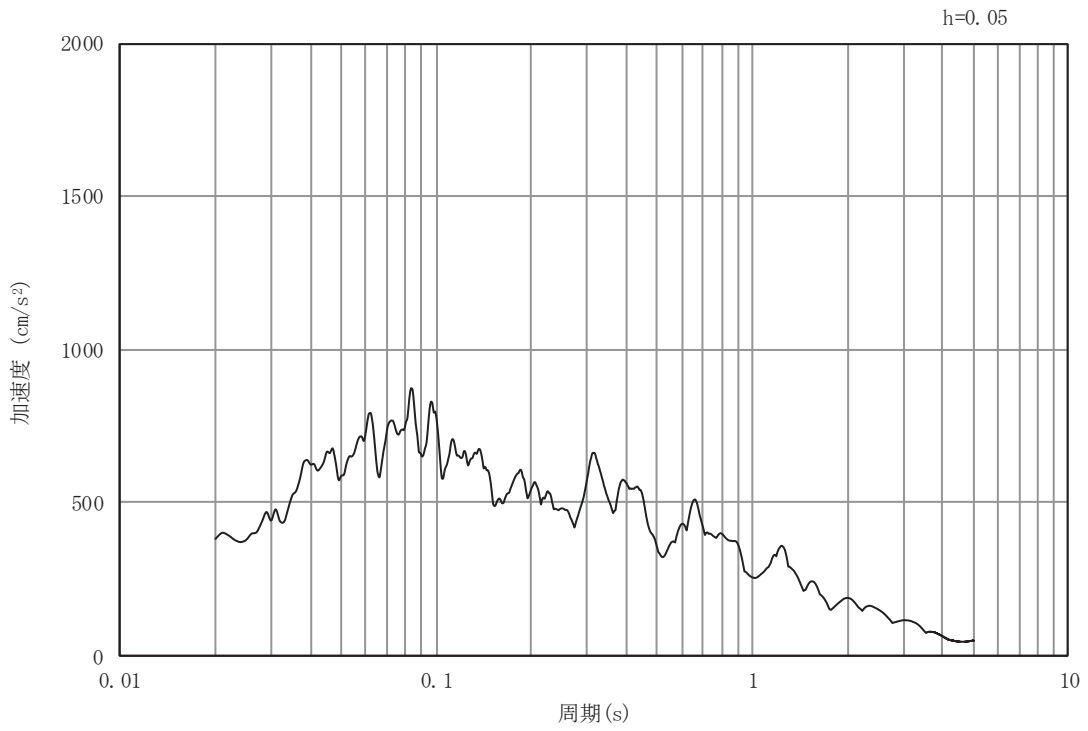


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

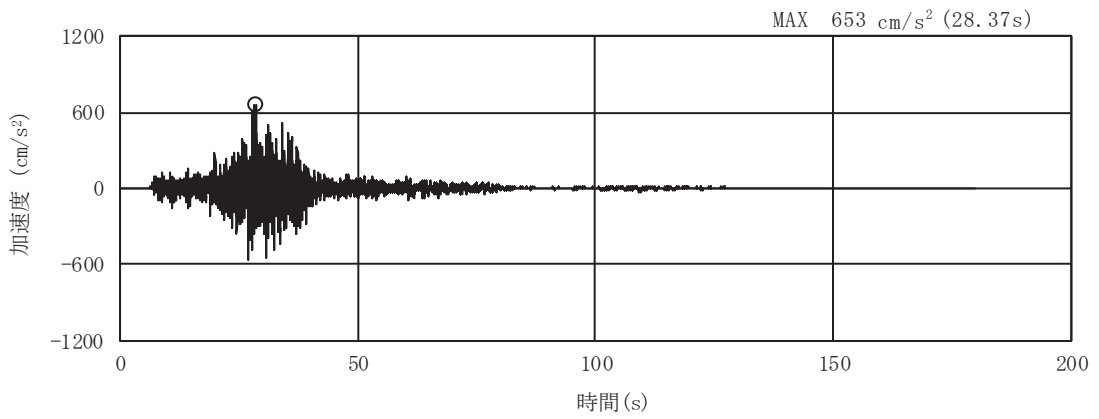


(a) 加速度時刻歴波形

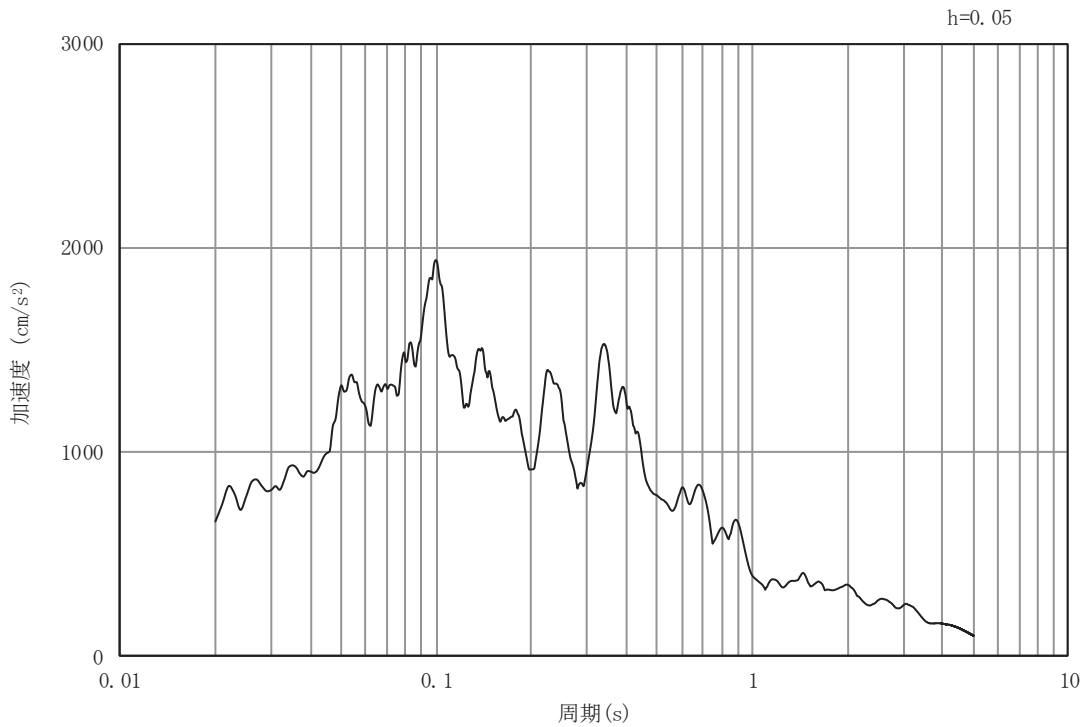


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

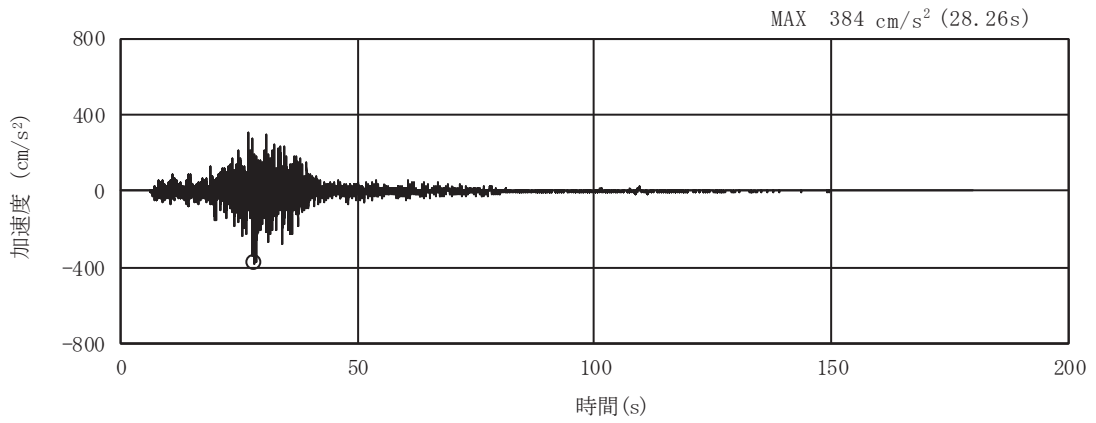


(a) 加速度時刻歴波形

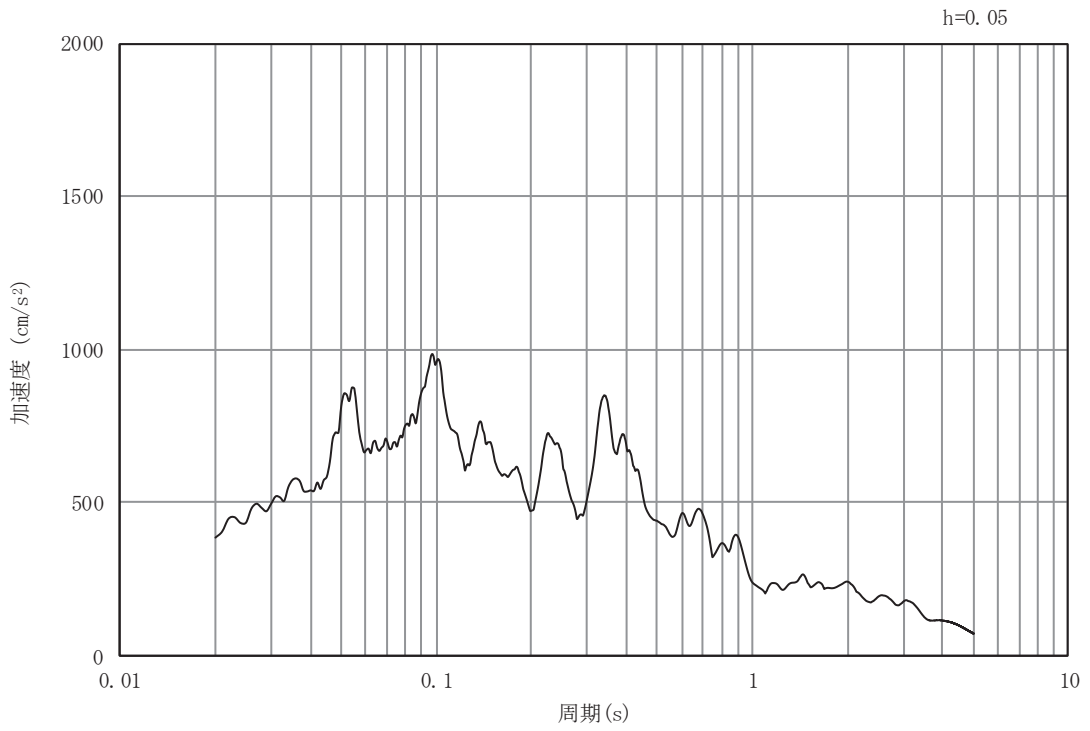


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

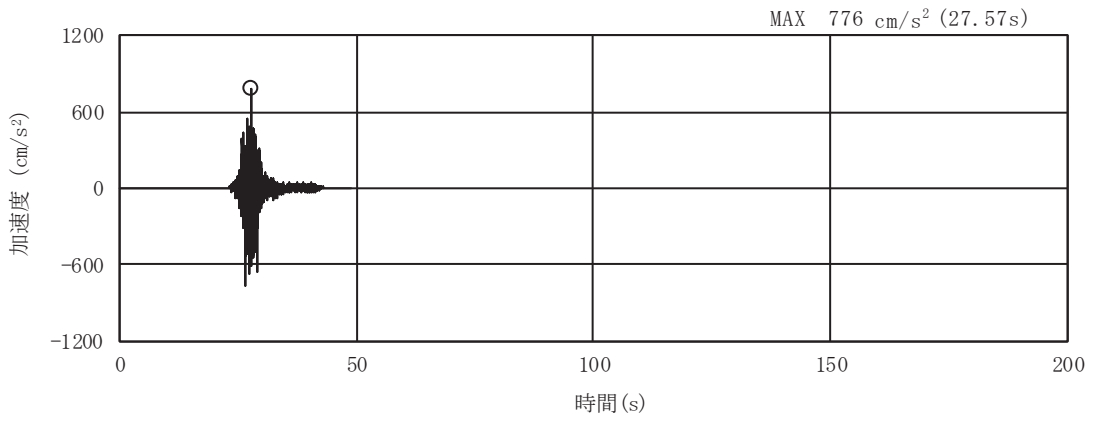


(a) 加速度時刻歴波形

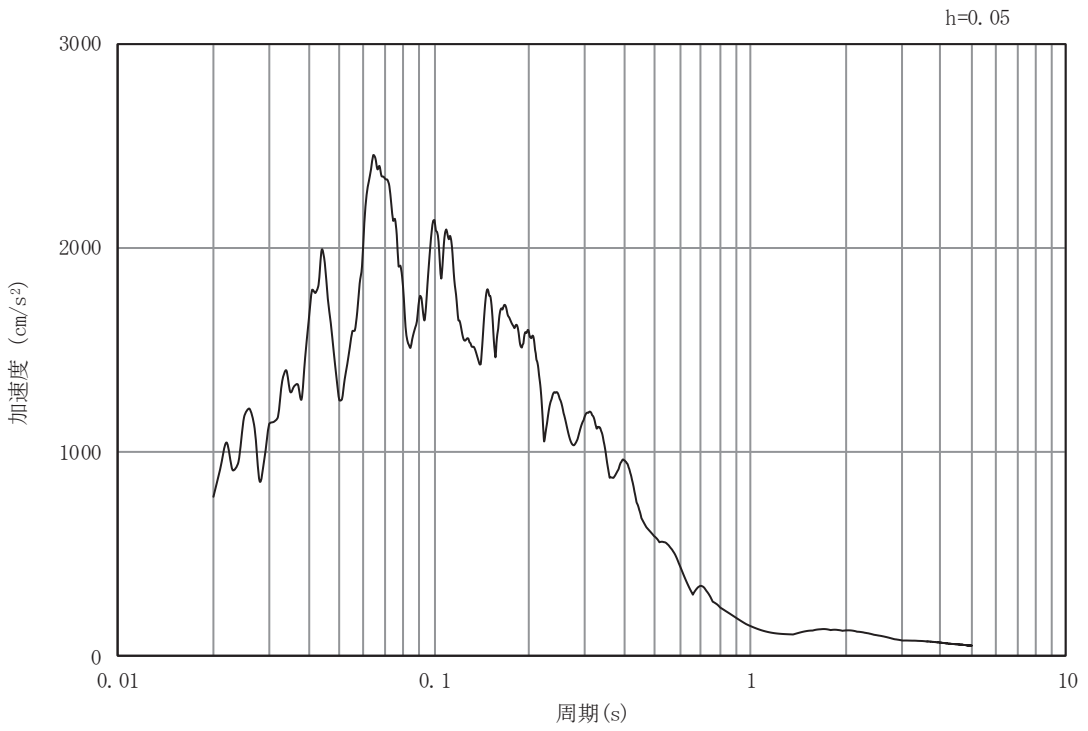


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

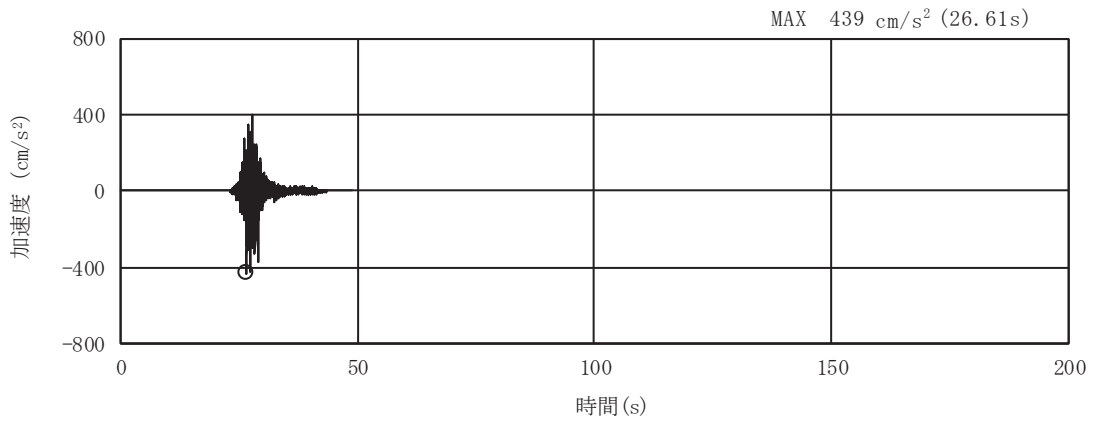


(a) 加速度時刻歴波形

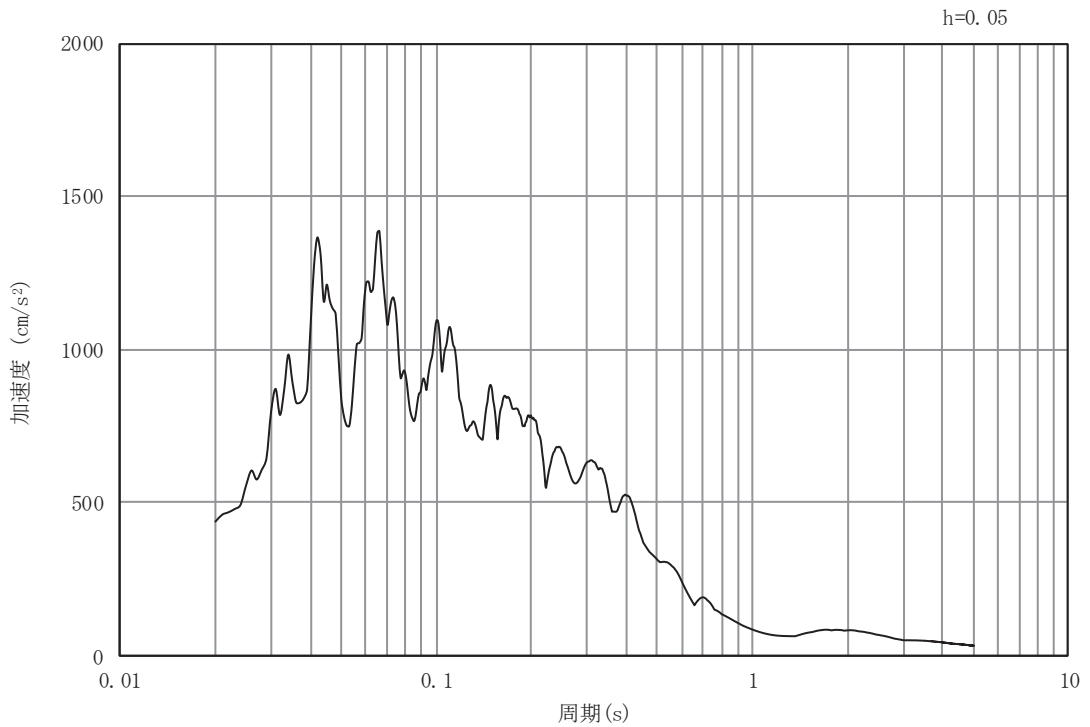


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

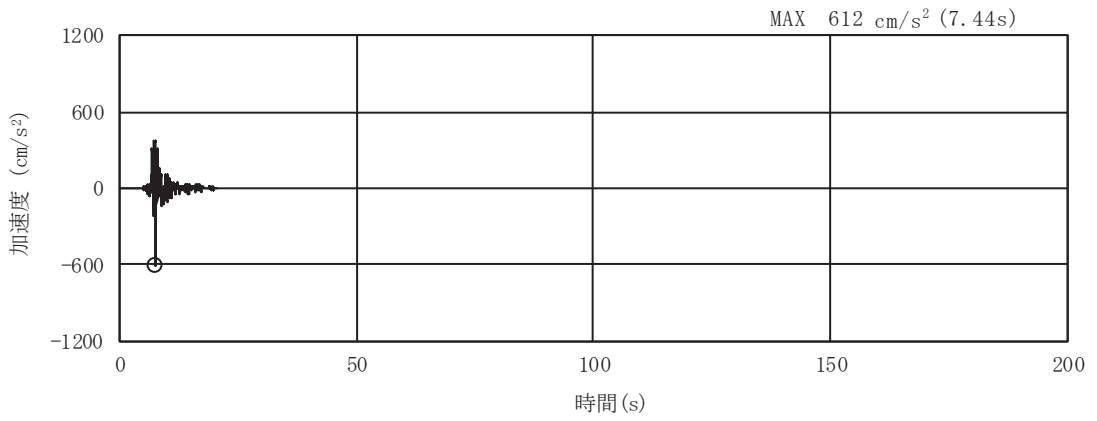


(a) 加速度時刻歴波形

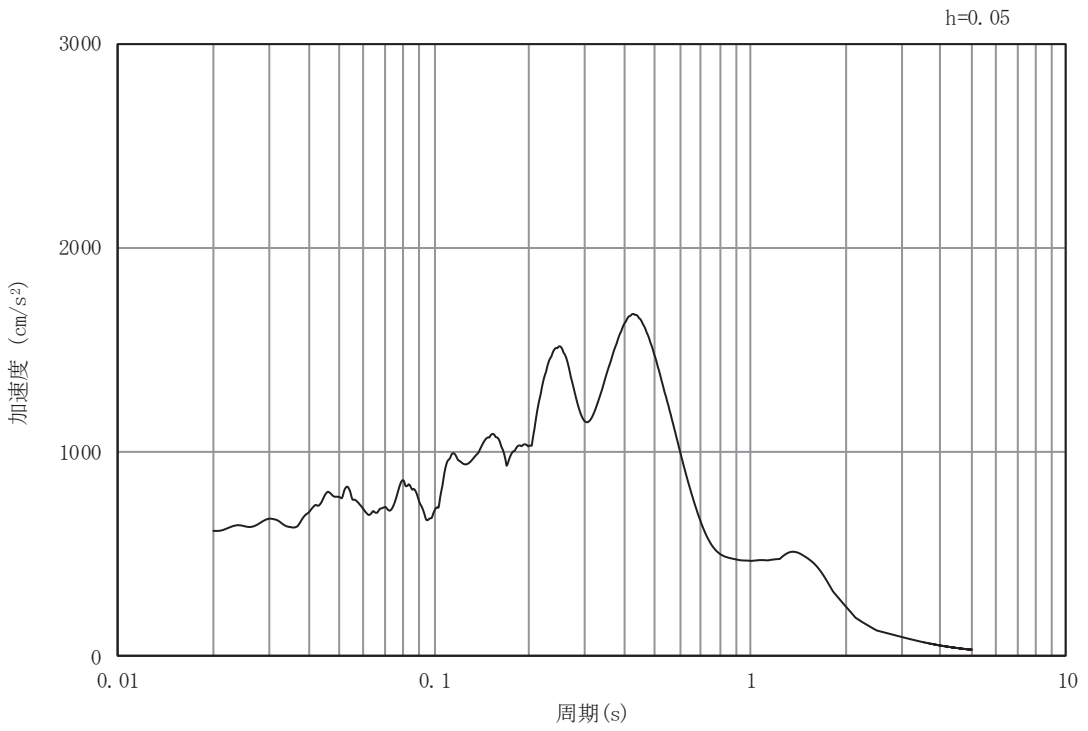


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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

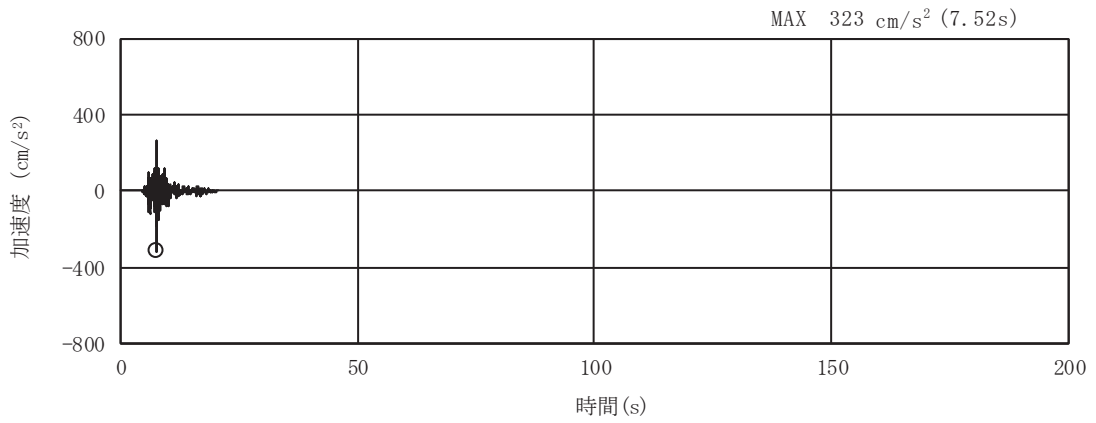


(a) 加速度時刻歴波形

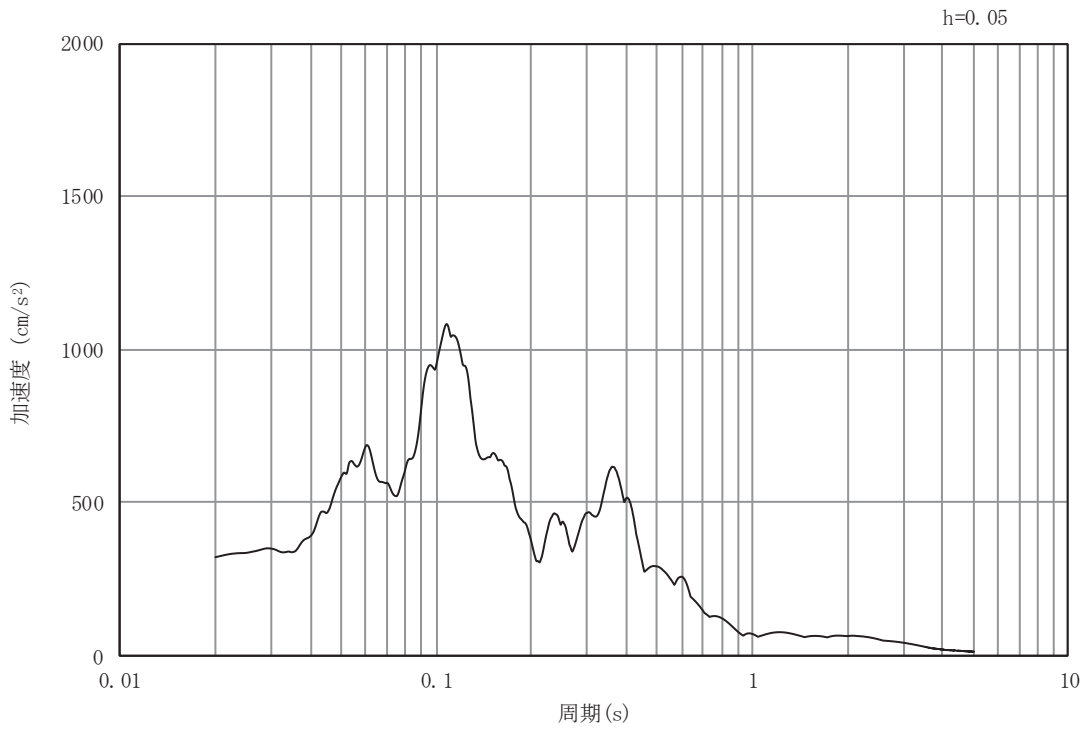


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



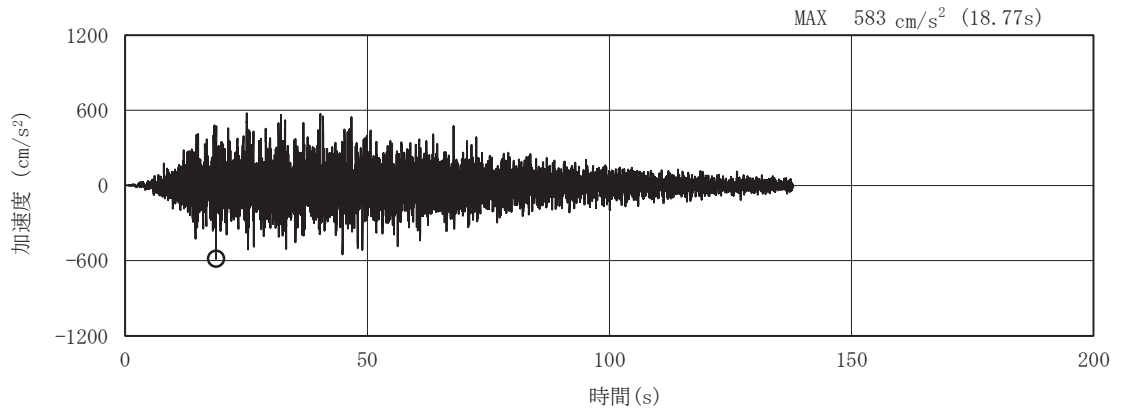
(a) 加速度時刻歴波形



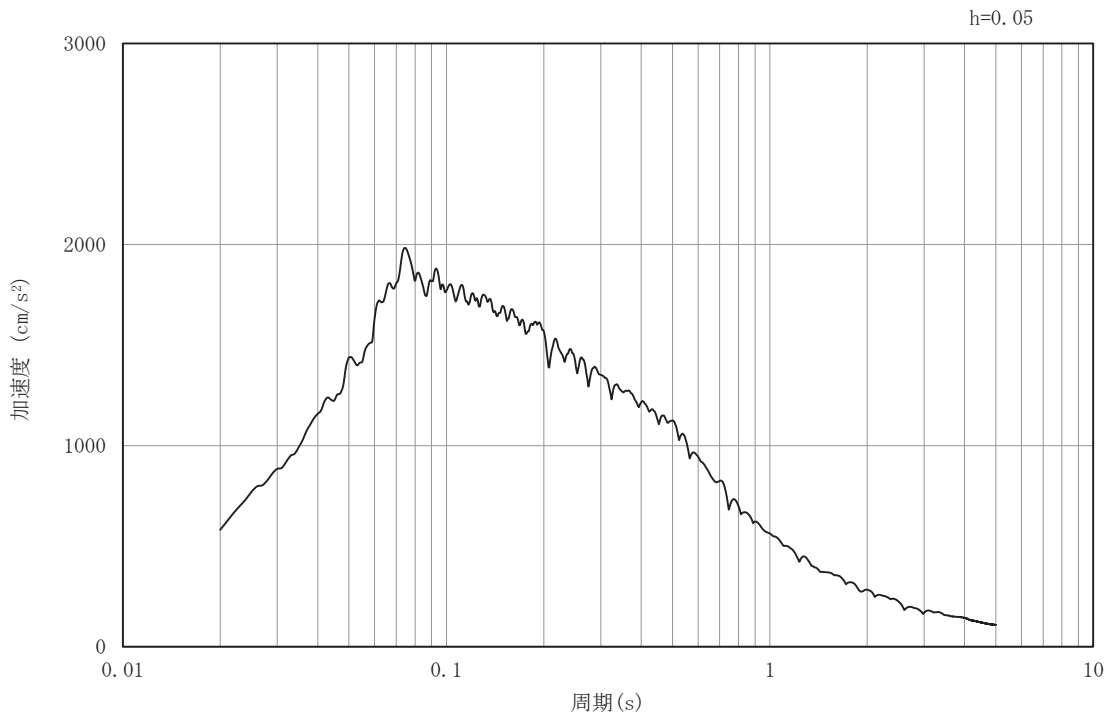
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(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



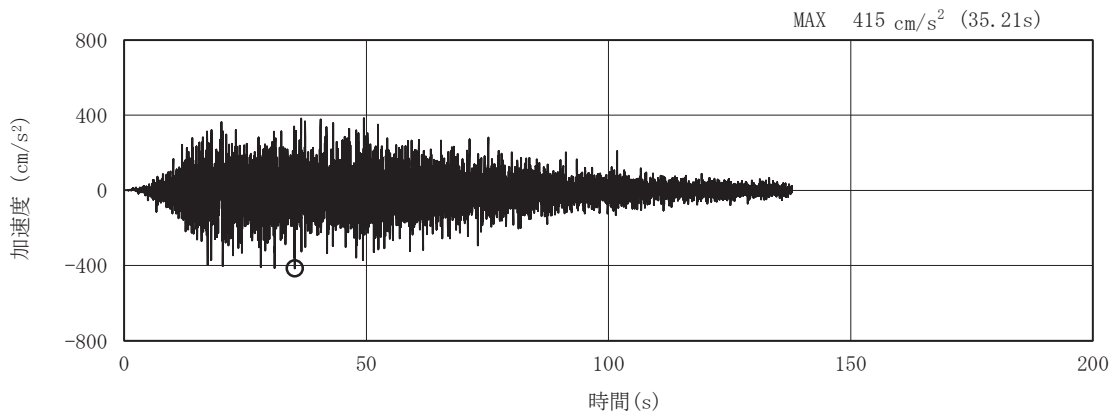


(a) 加速度時刻歴波形

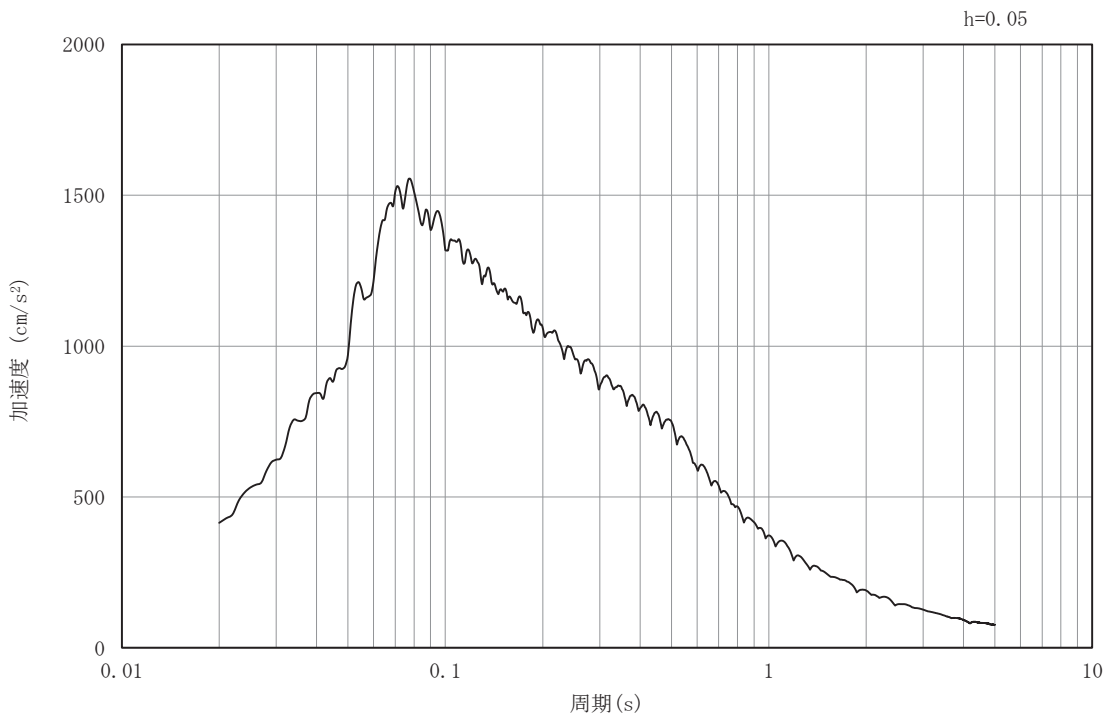


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(29) 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.3 揚水井戸

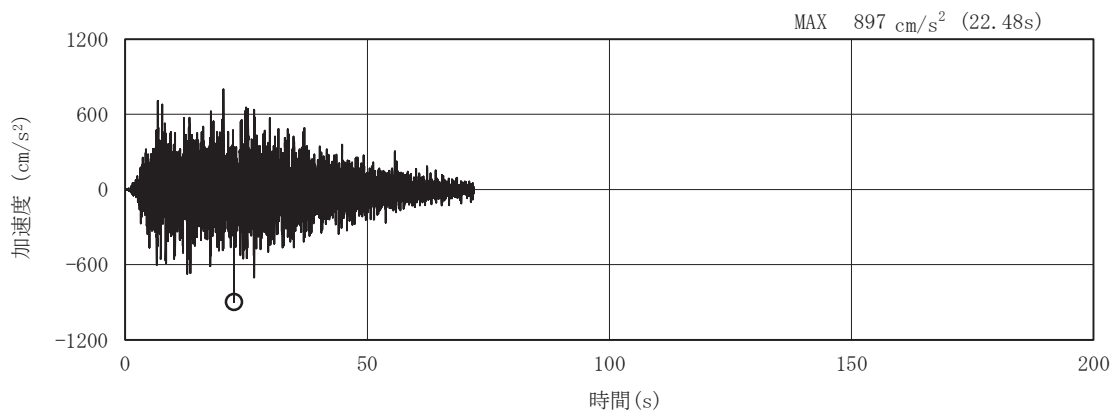


(a) 加速度時刻歴波形

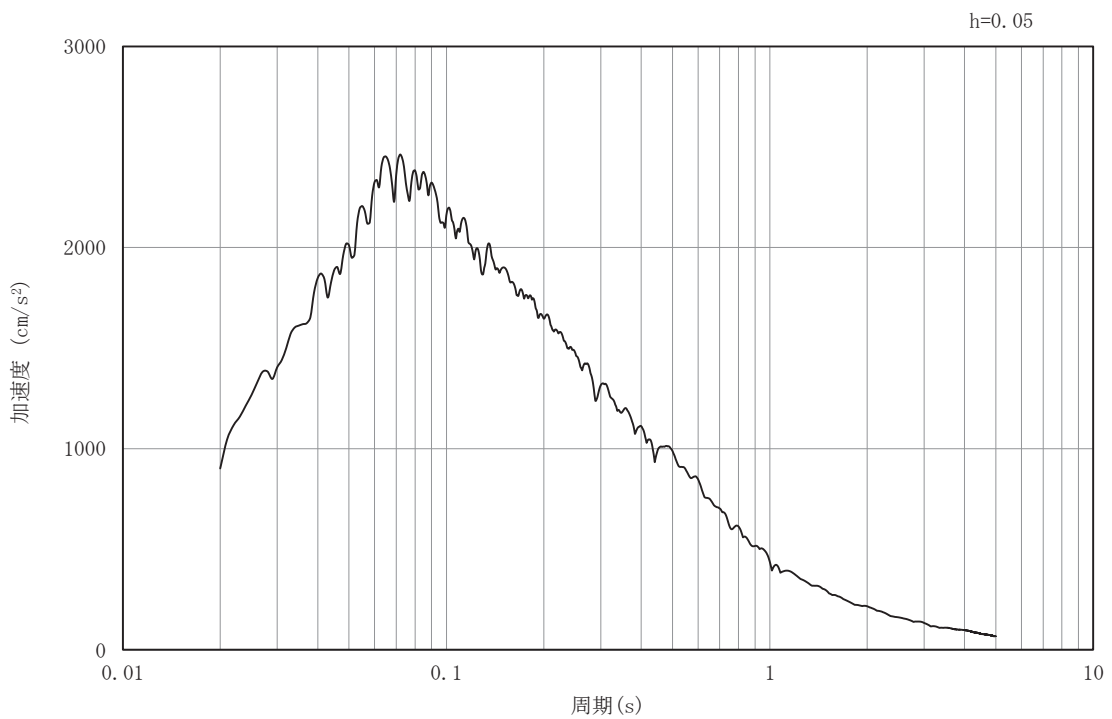


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(30) 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.3 揚水井戸

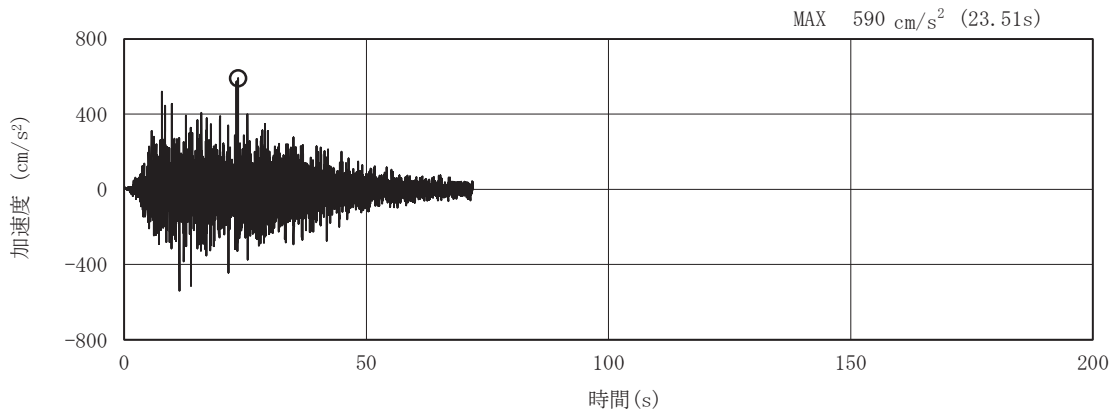


(a) 加速度時刻歴波形

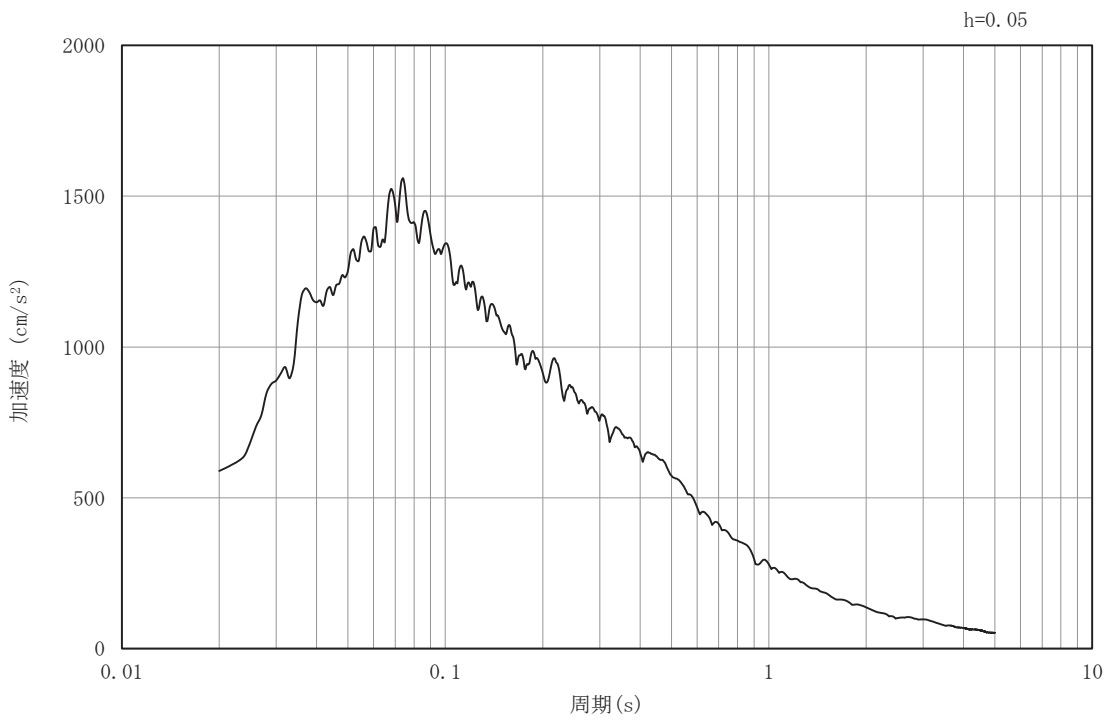


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(31) 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.3 揚水井戸

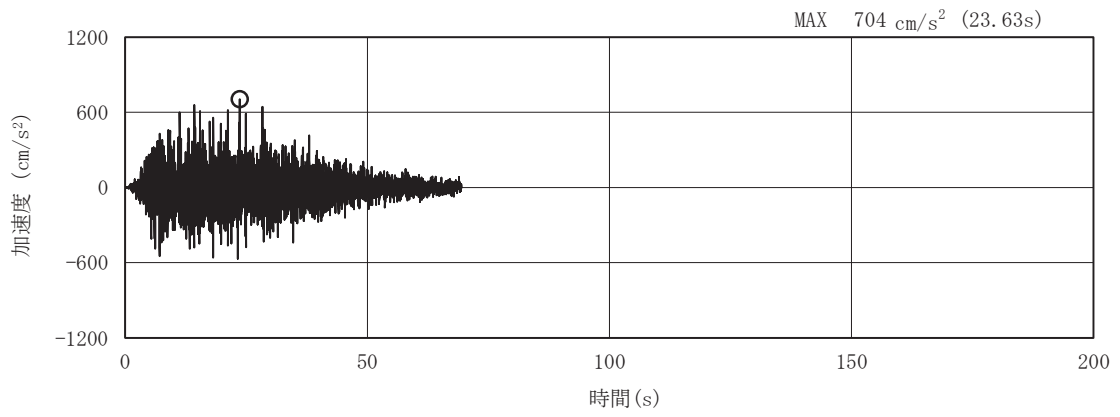


(a) 加速度時刻歴波形

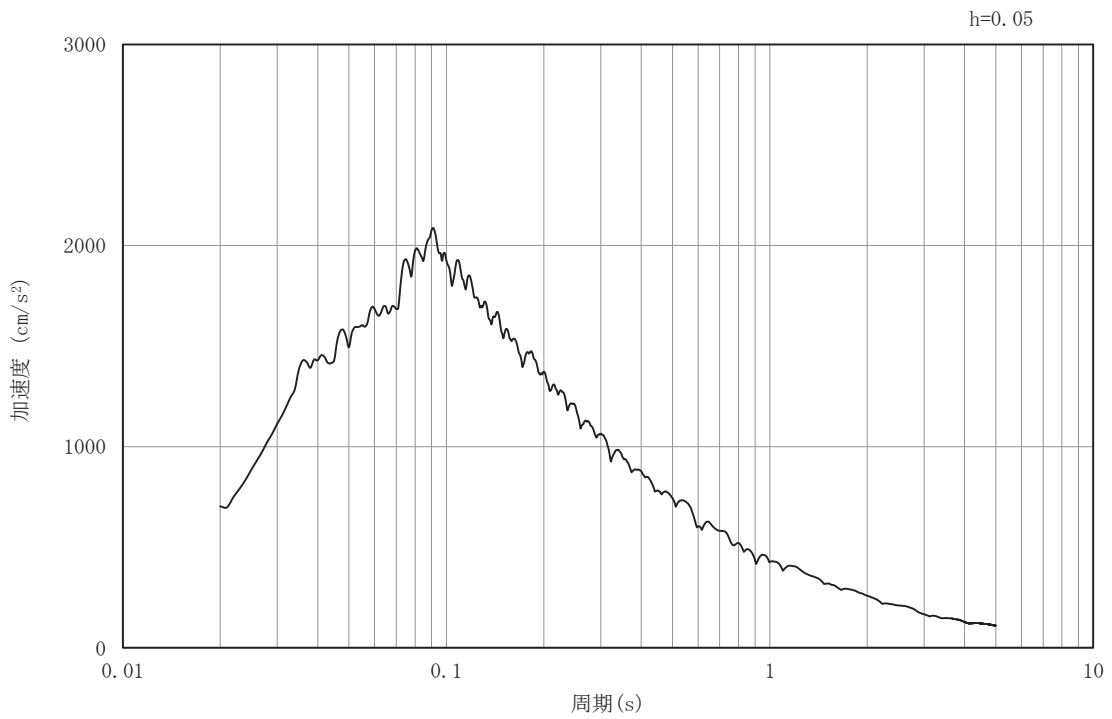


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(32) 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.3 揚水井戸

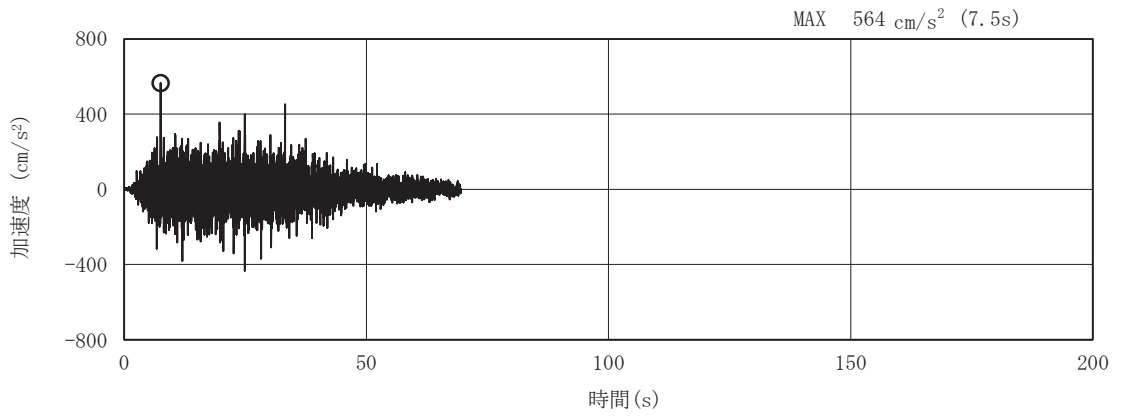


(a) 加速度時刻歴波形

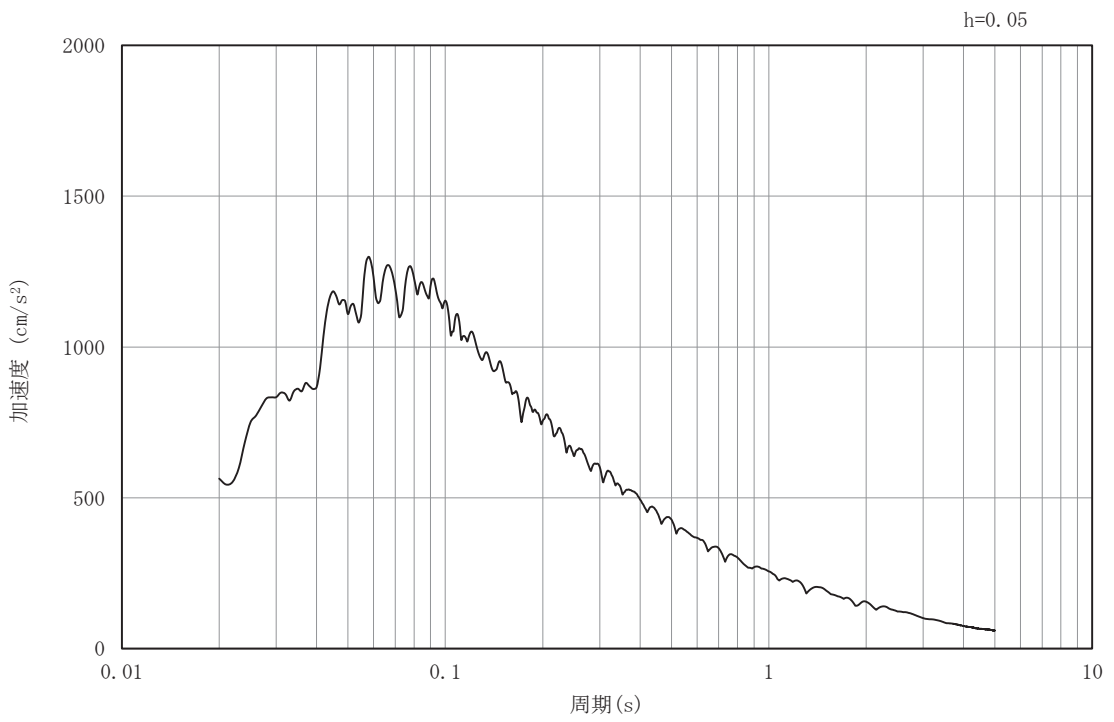


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(33) 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.3 揚水井戸

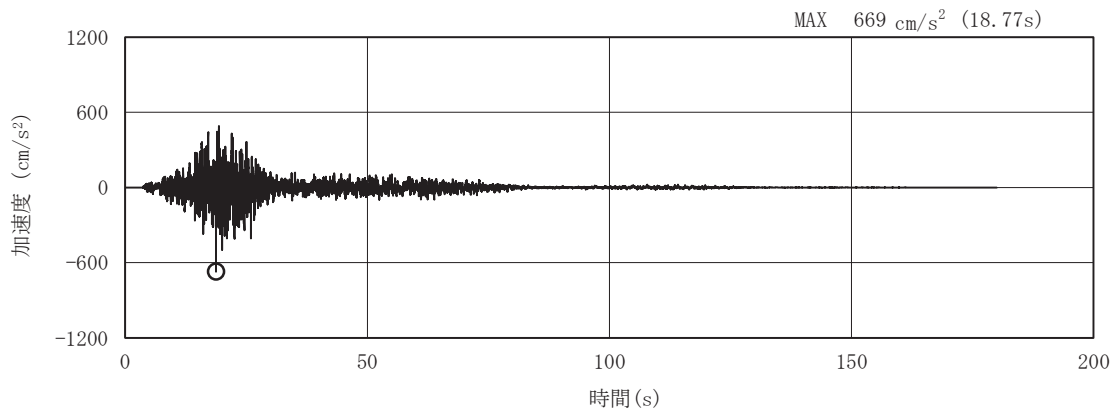


(a) 加速度時刻歴波形

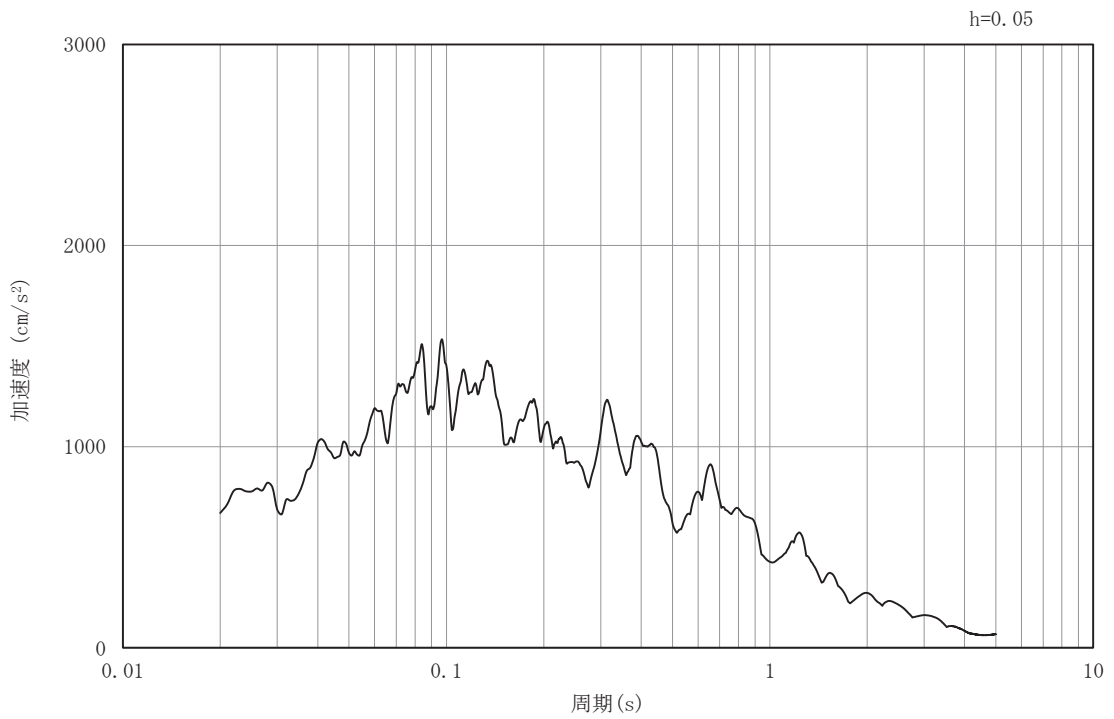


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(34) 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. 3 揚水井戸

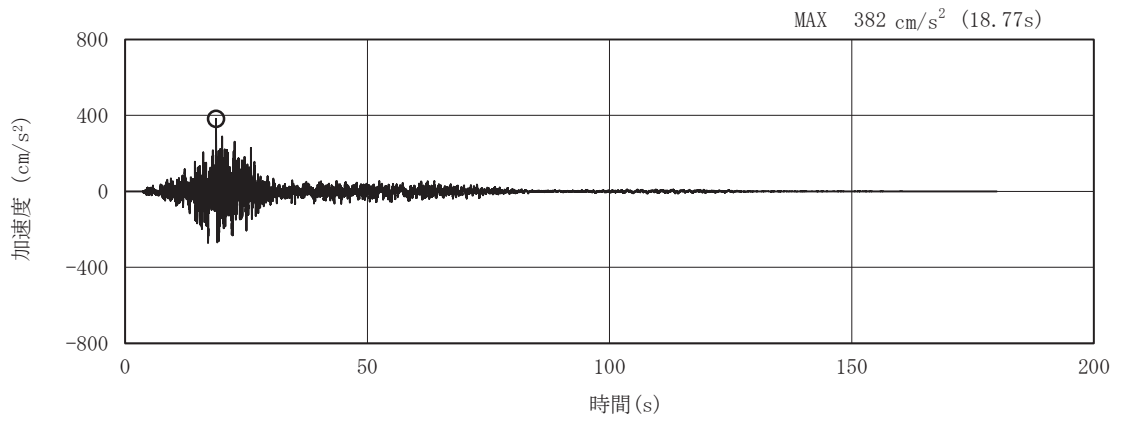


(a) 加速度時刻歴波形

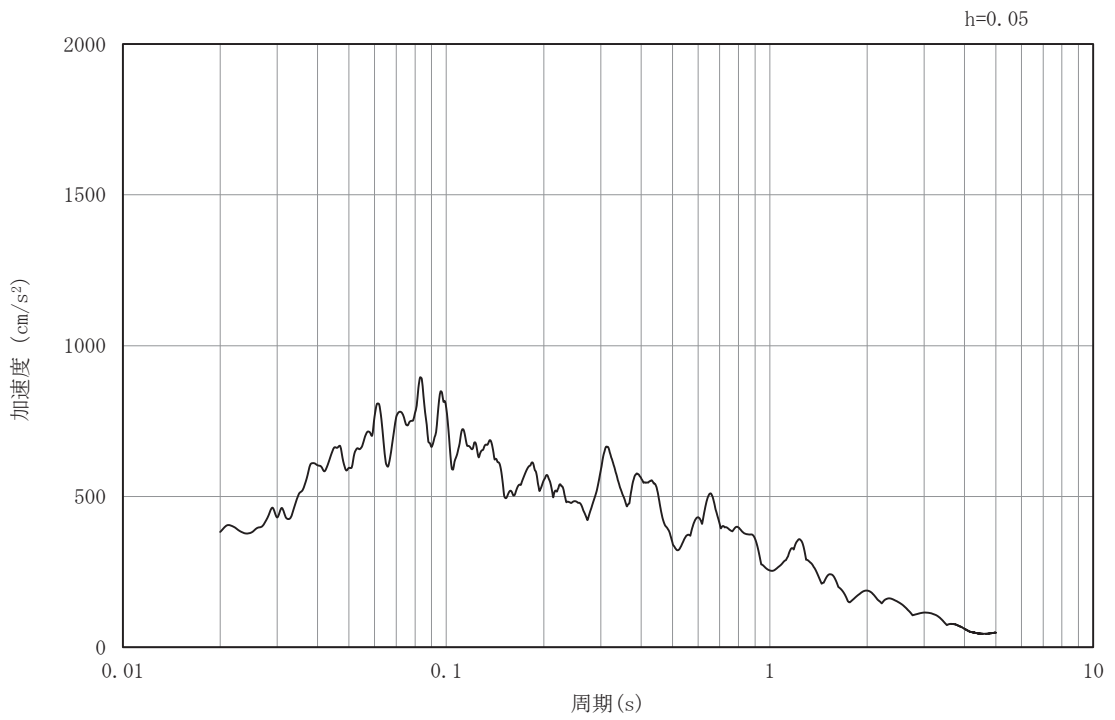


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(35) 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.3 揚水井戸



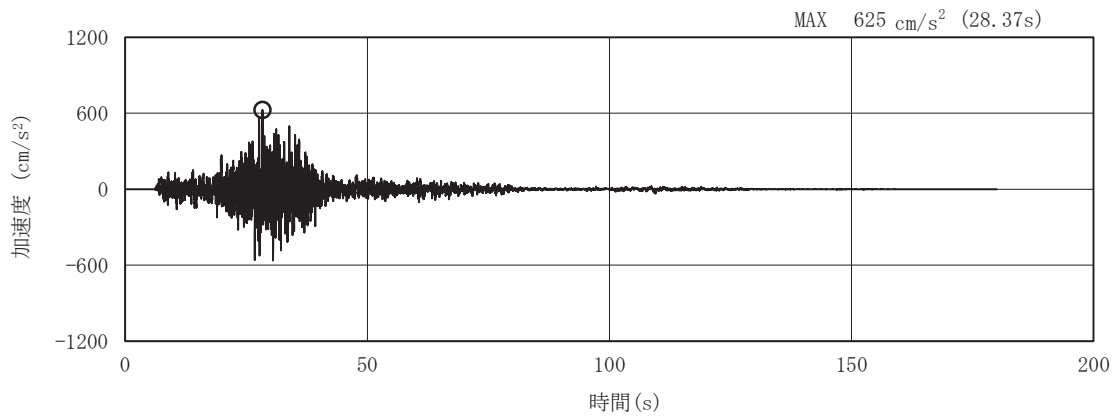
(a) 加速度時刻歴波形



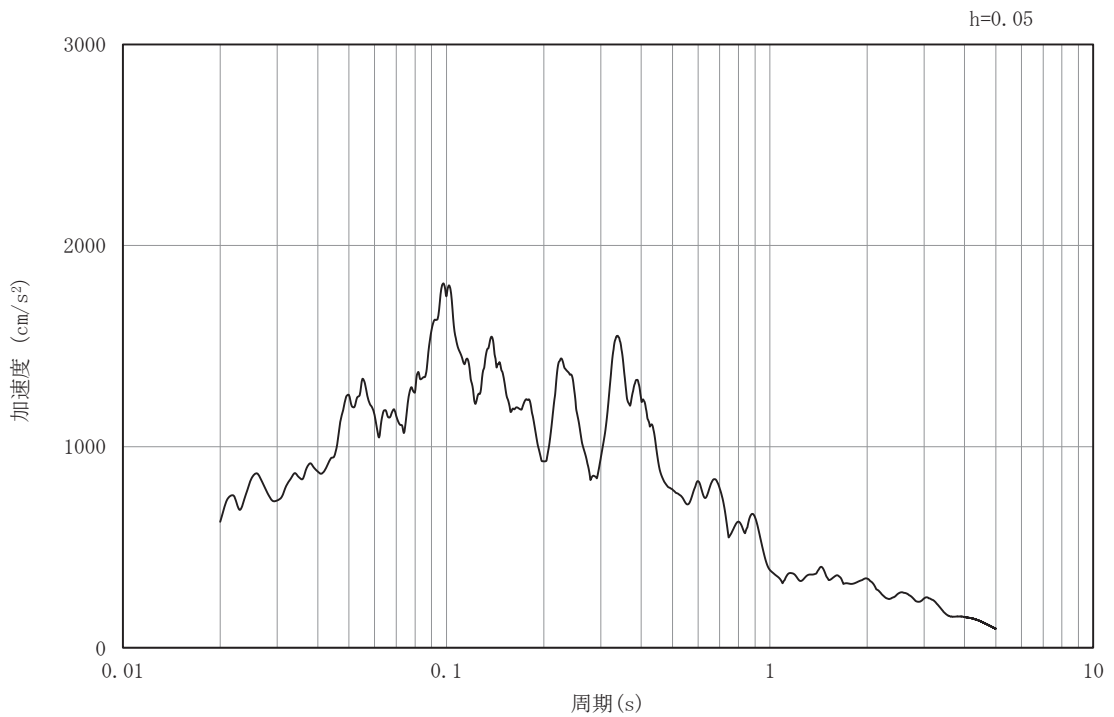
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(36) 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.3 揚水井戸



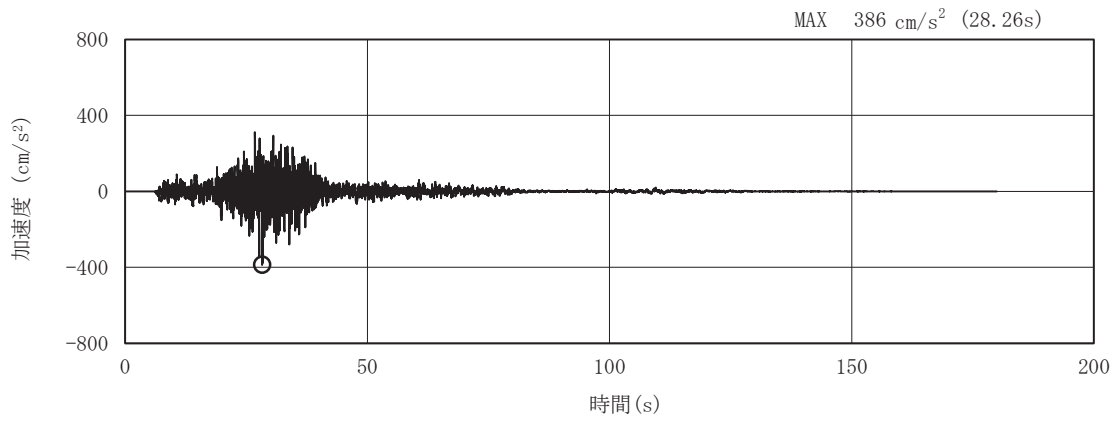


(a) 加速度時刻歴波形

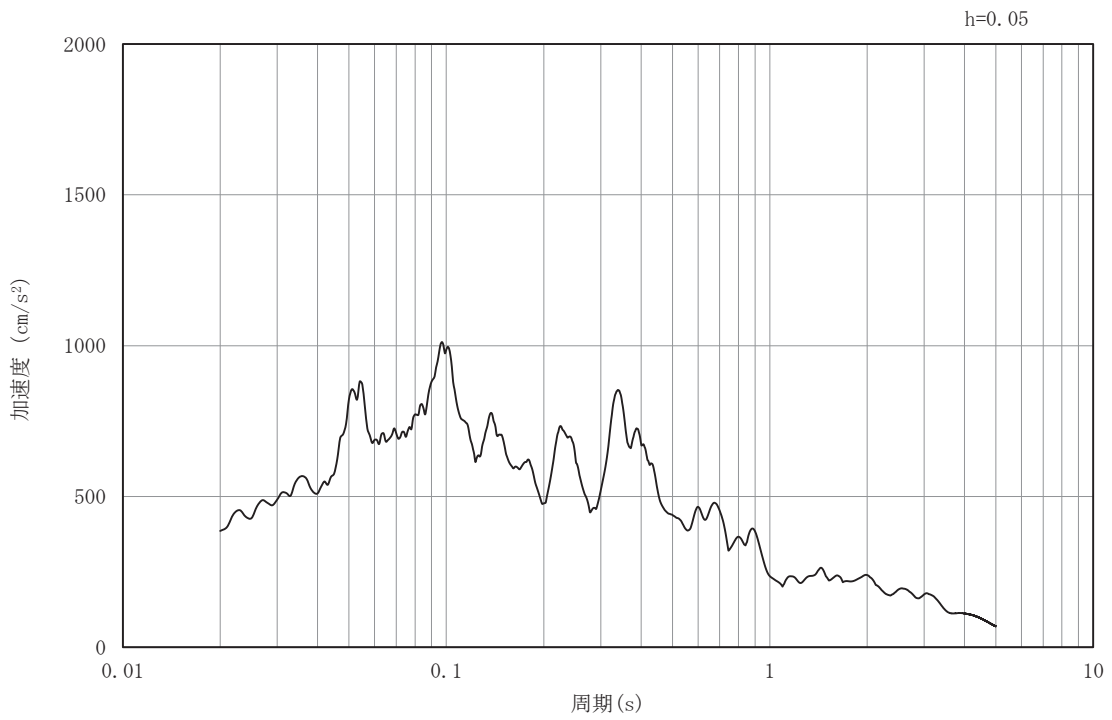


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(37) 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.3 揚水井戸

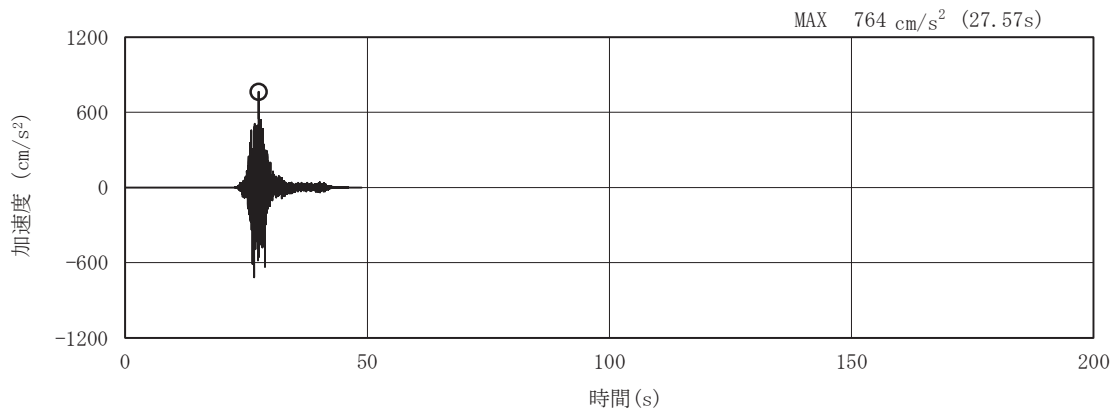


(a) 加速度時刻歴波形

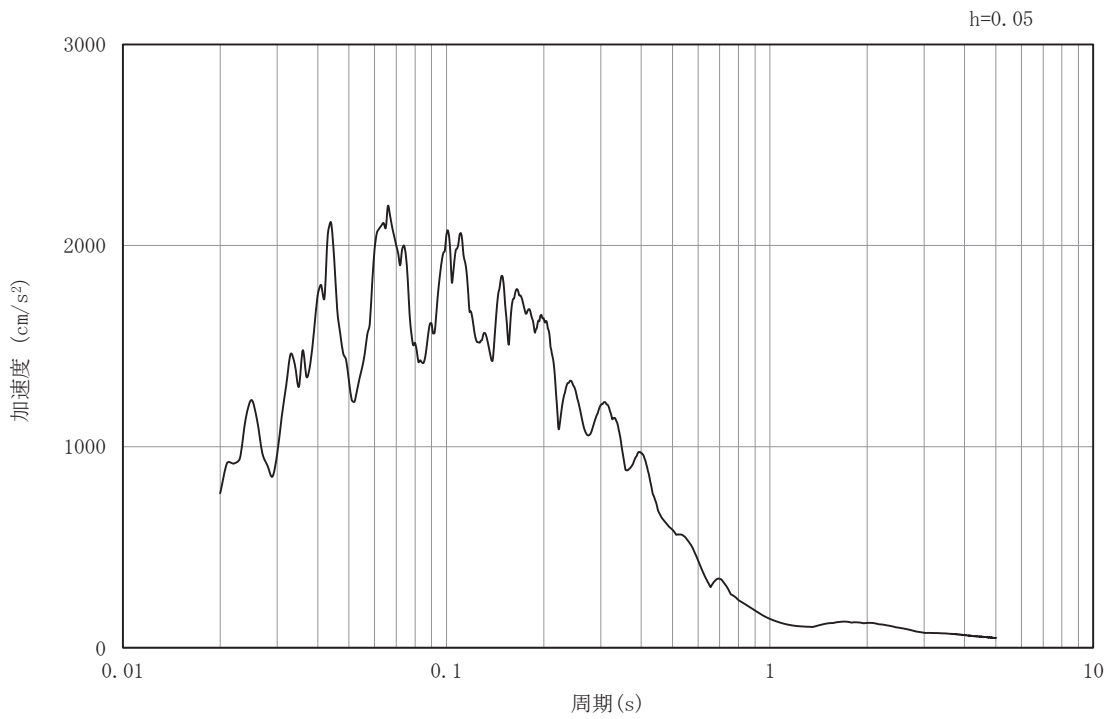


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(38) 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.3 揚水井戸

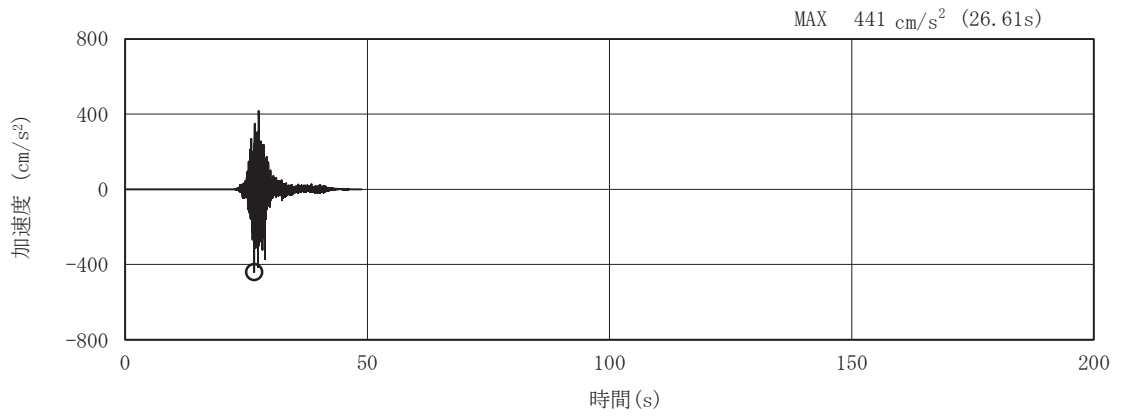


(a) 加速度時刻歴波形

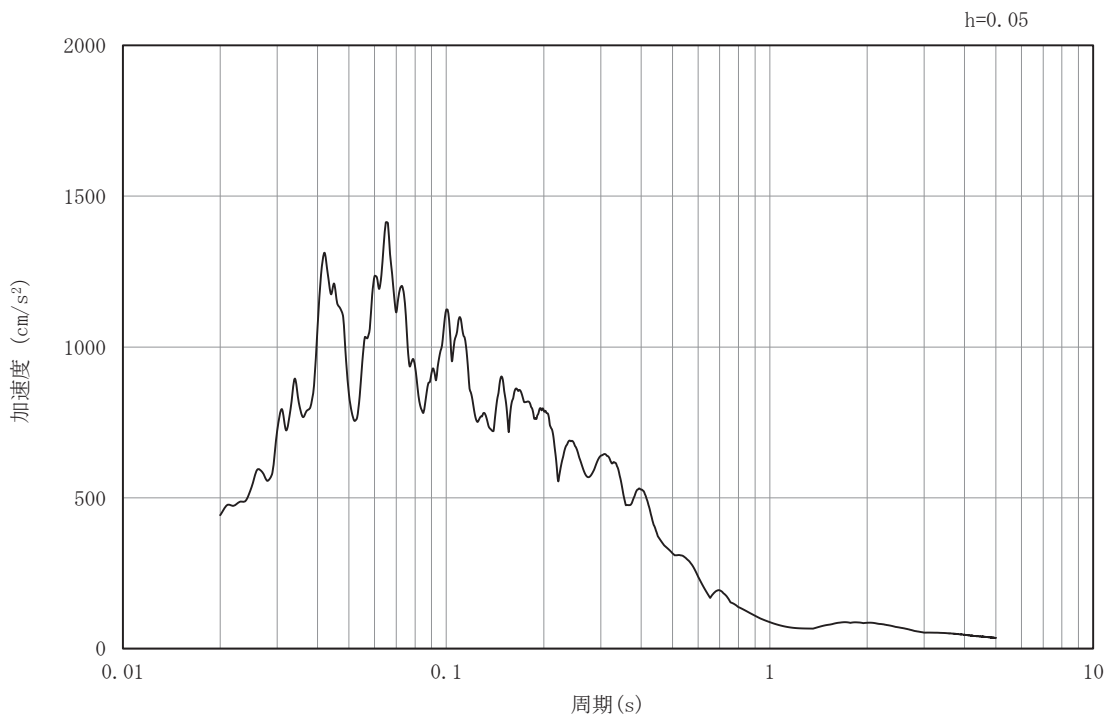


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(39) 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.3 揚水井戸

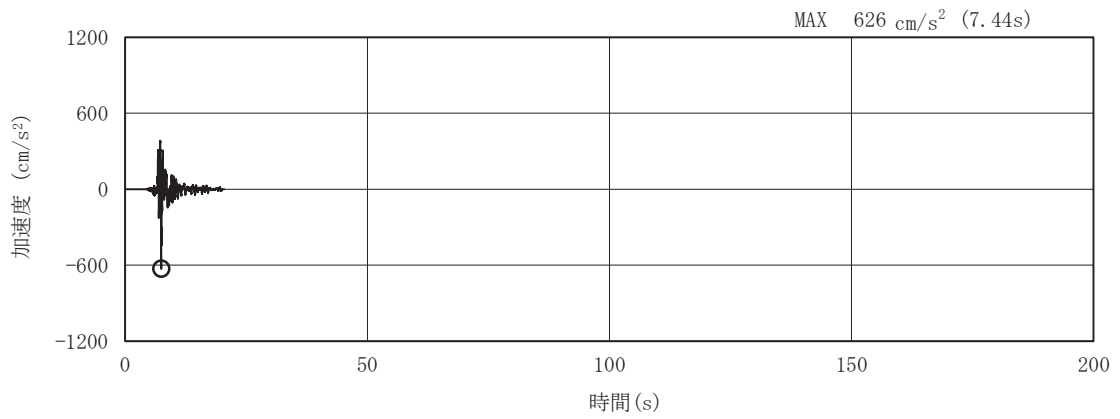


(a) 加速度時刻歴波形

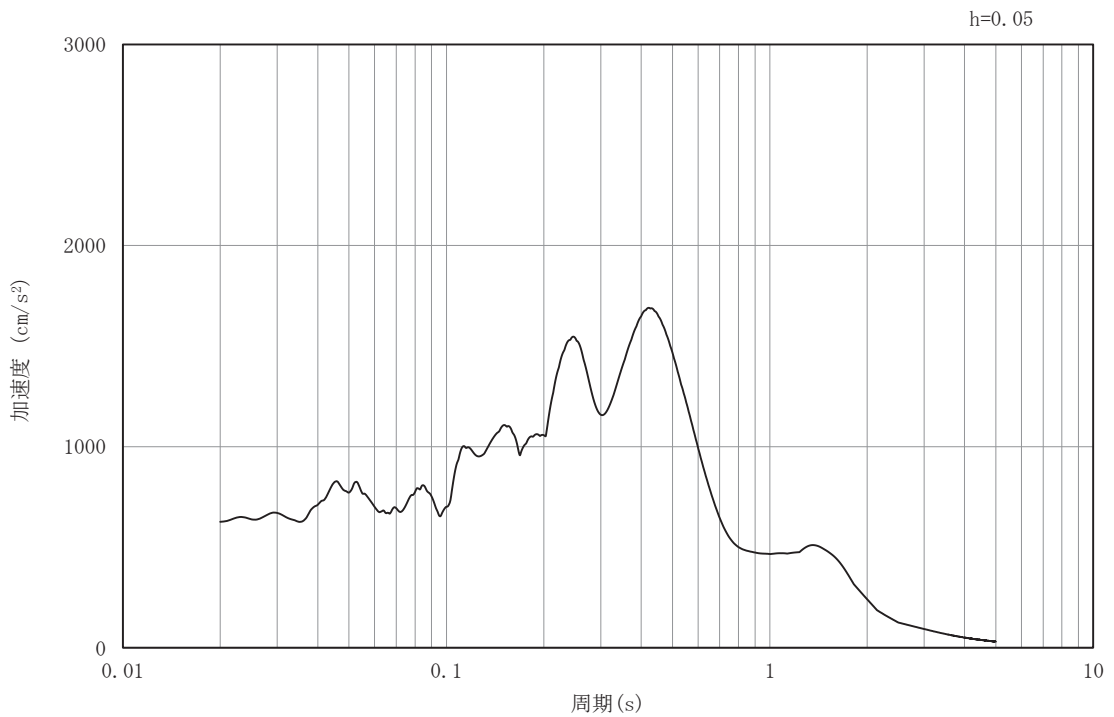


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(40) 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.3 揚水井戸

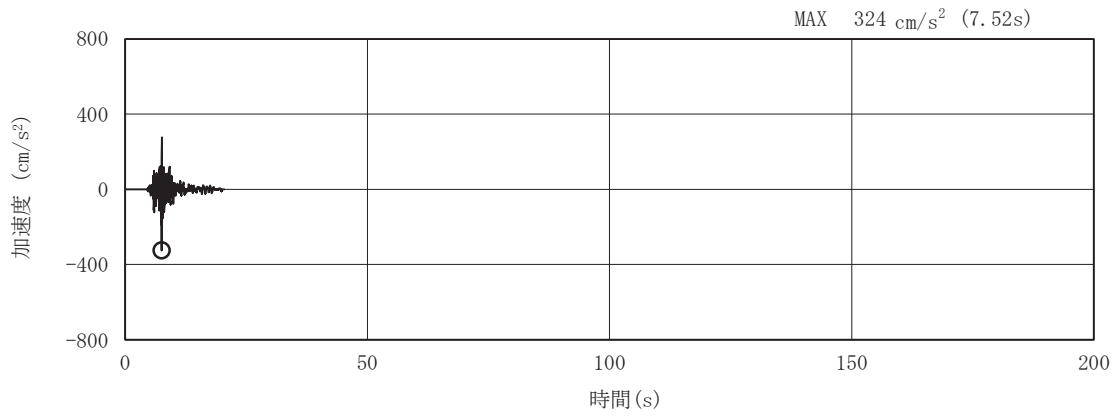


(a) 加速度時刻歴波形

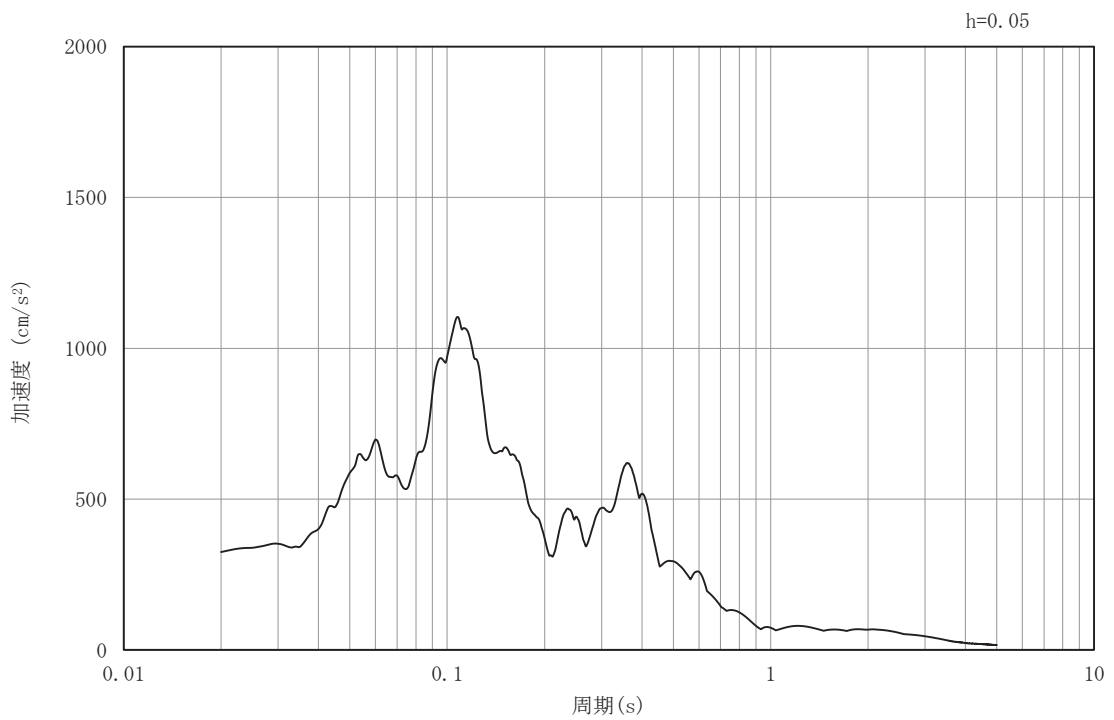


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(41) 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.3 揚水井戸

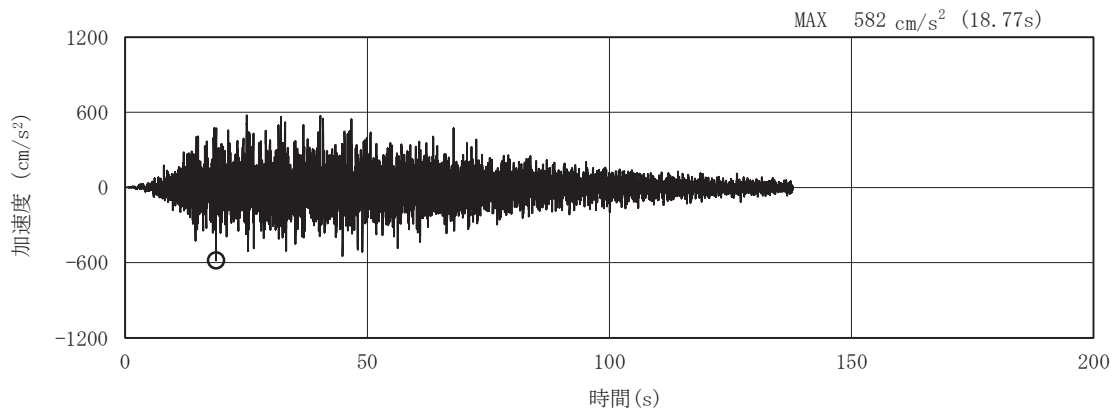


(a) 加速度時刻歴波形

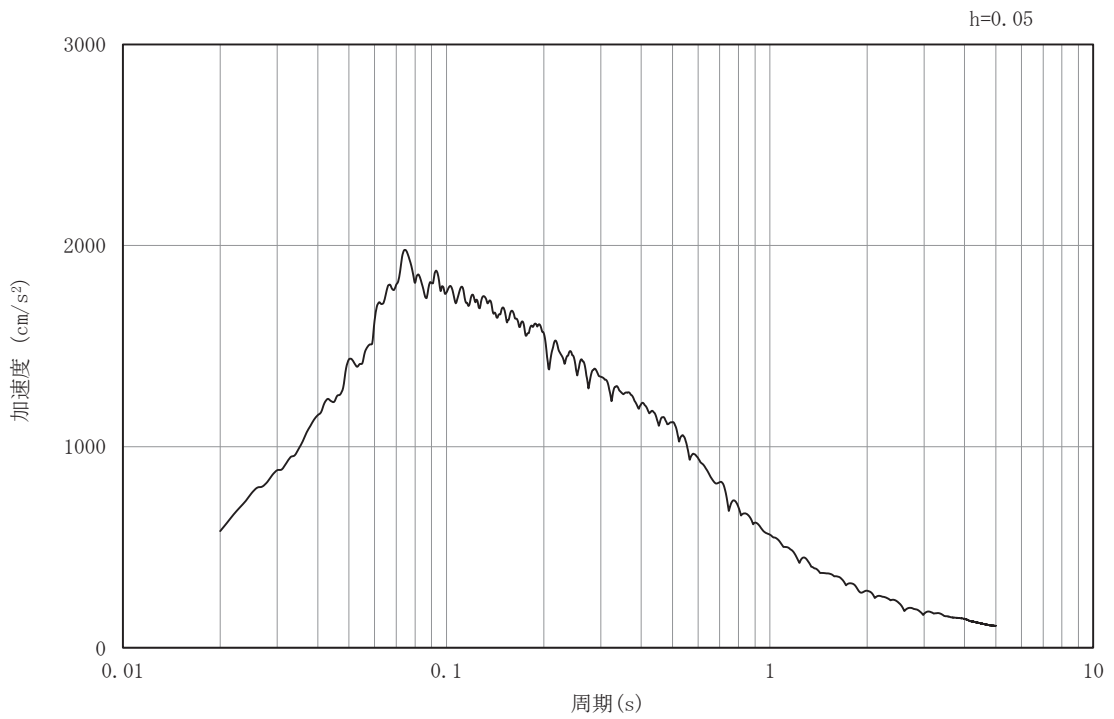


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(42) 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.3 揚水井戸

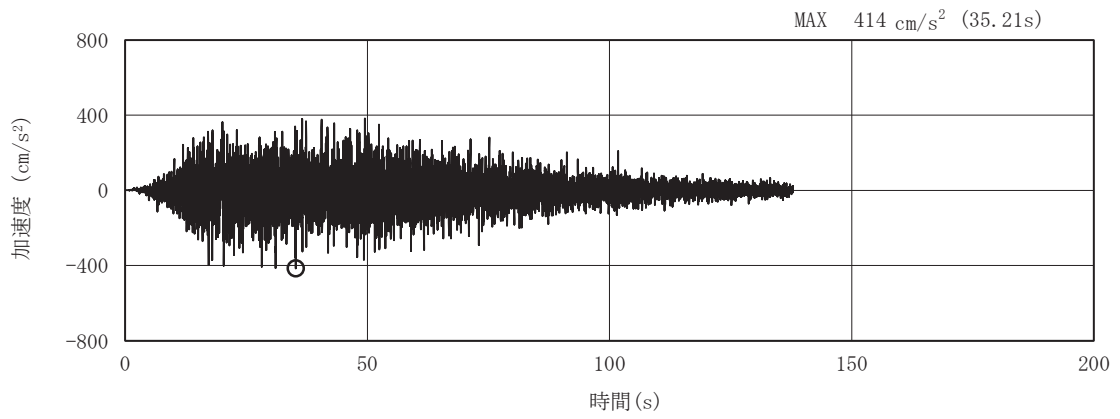


(a) 加速度時刻歴波形

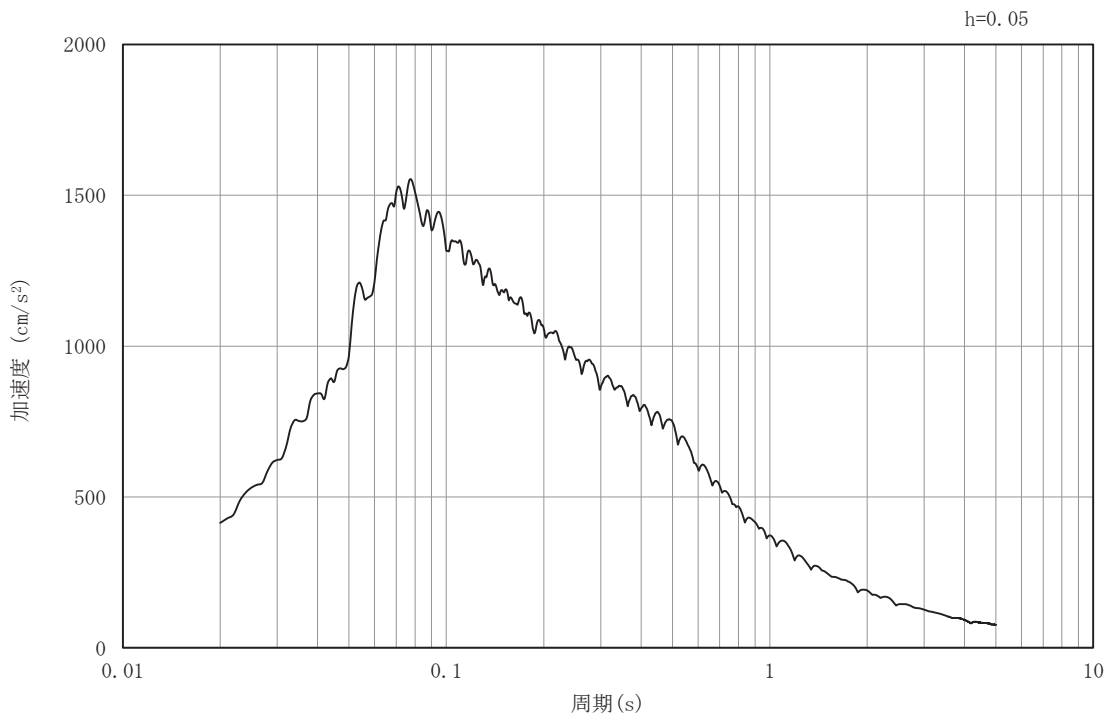


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(43) 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.4 揚水井戸



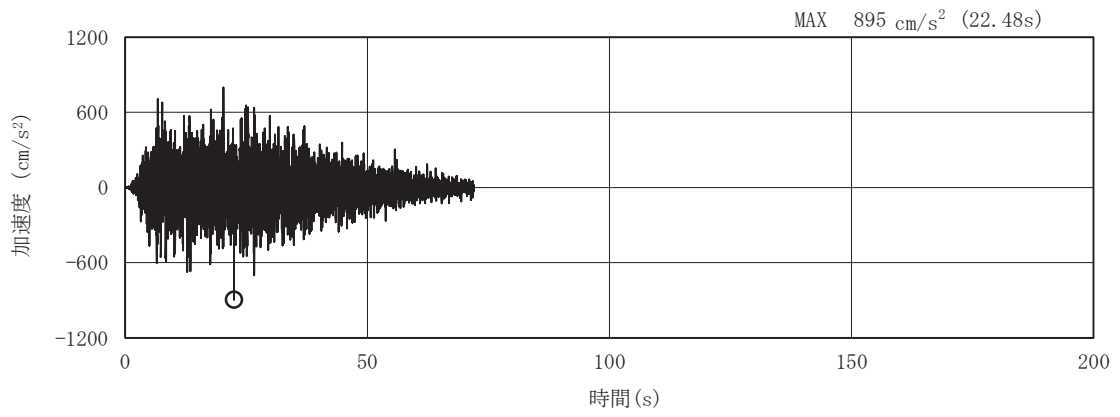
(a) 加速度時刻歴波形



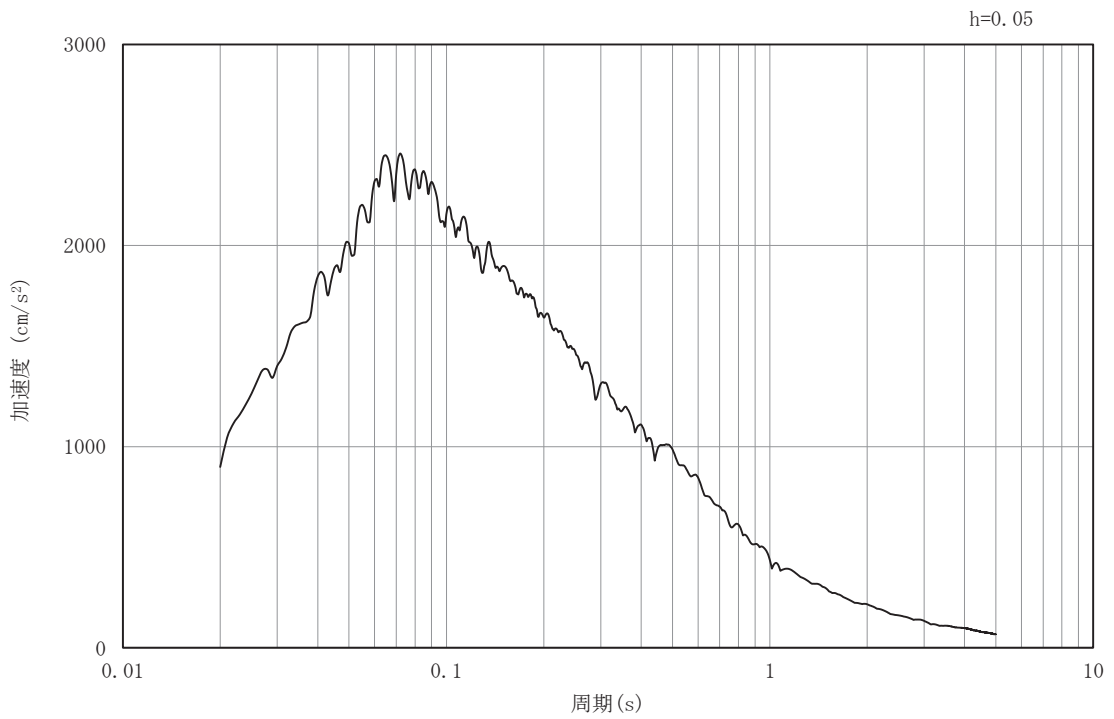
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(44) 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. 4 揚水井戸



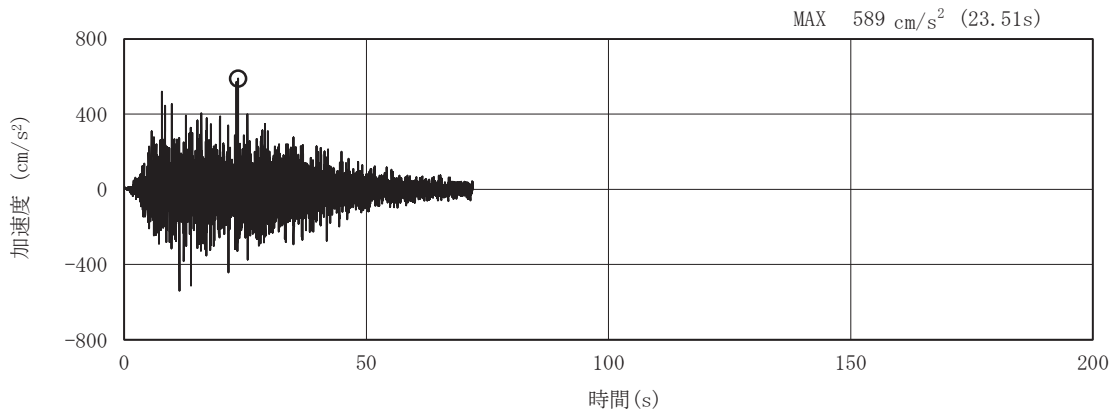


(a) 加速度時刻歴波形

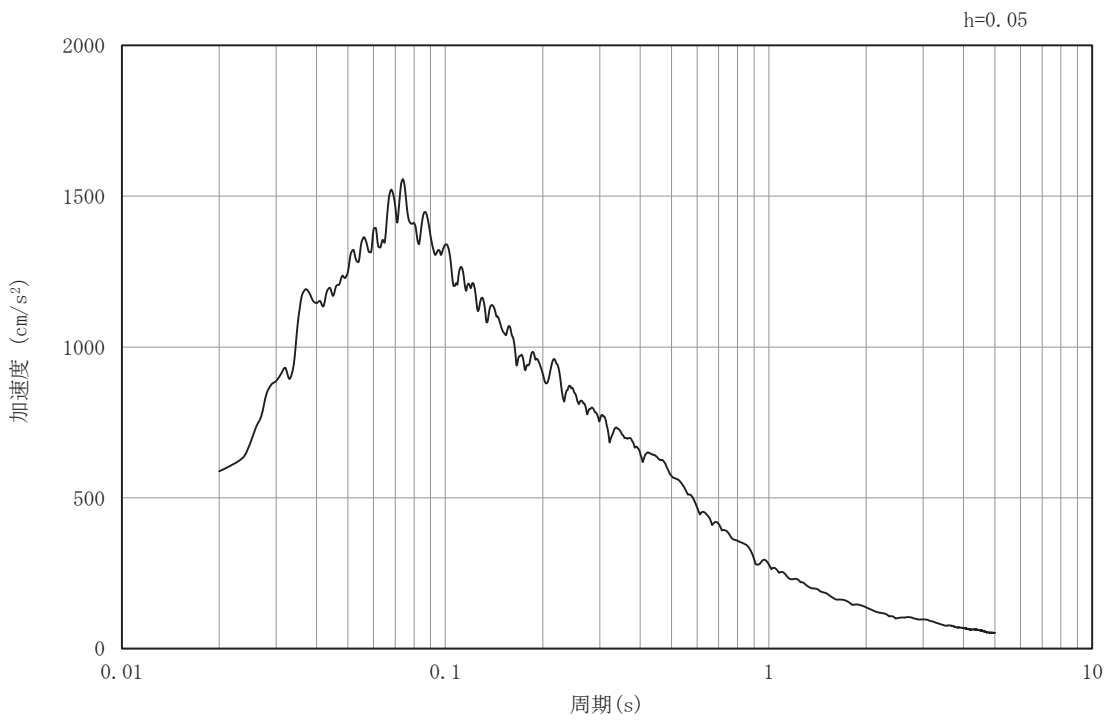


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(45) 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. 4 揚水井戸

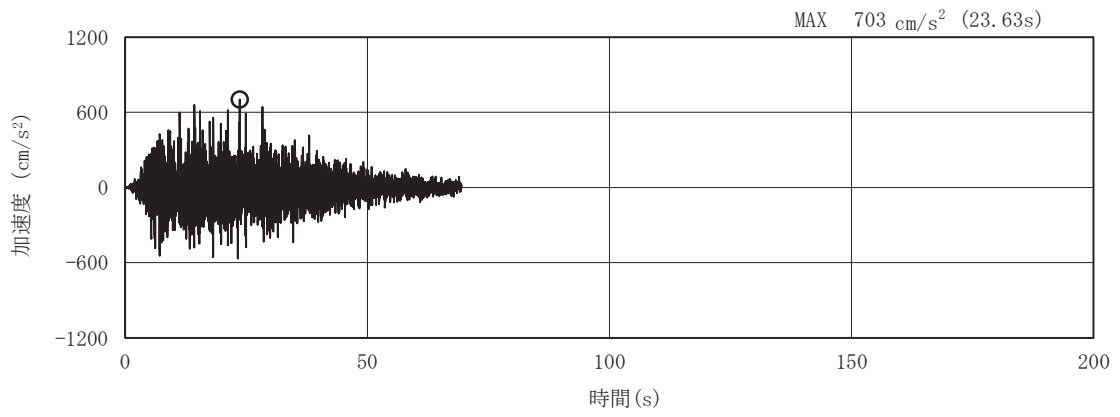


(a) 加速度時刻歴波形

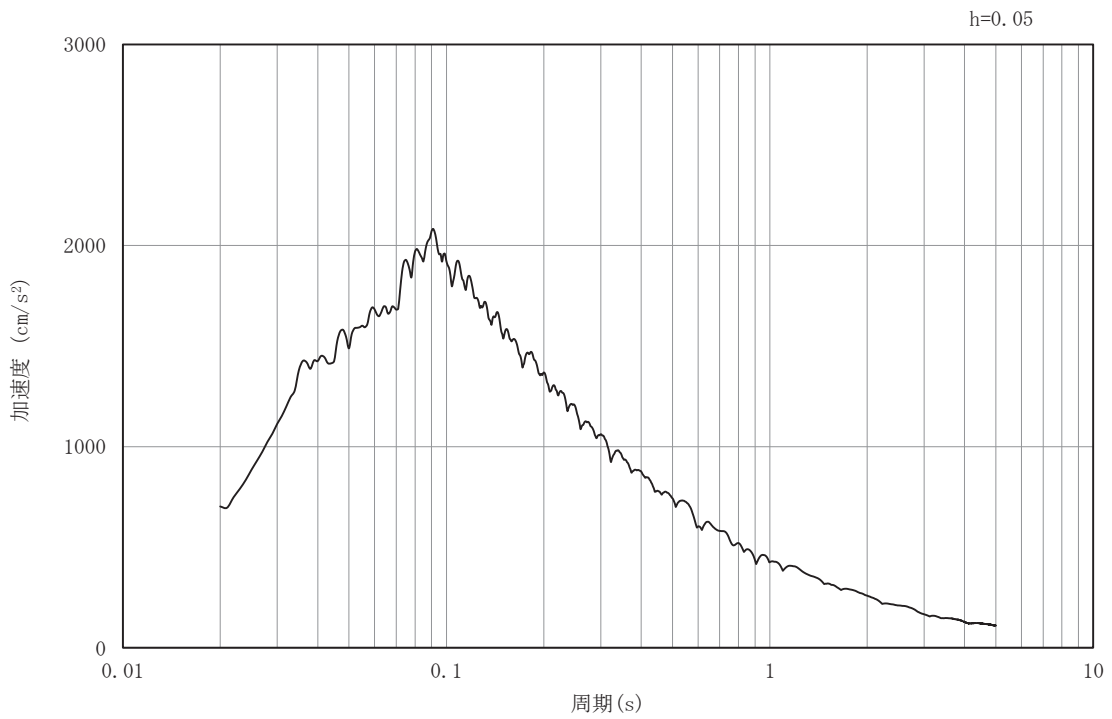


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(46) 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. 4 揚水井戸

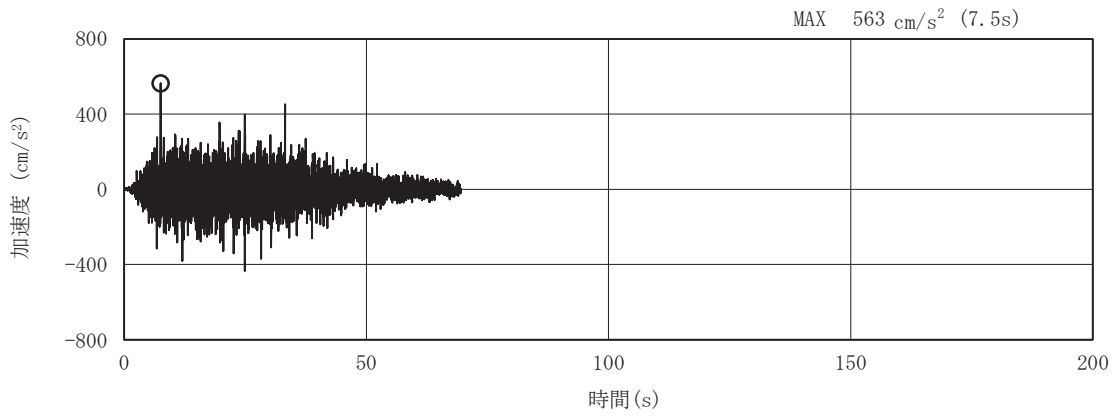


(a) 加速度時刻歴波形

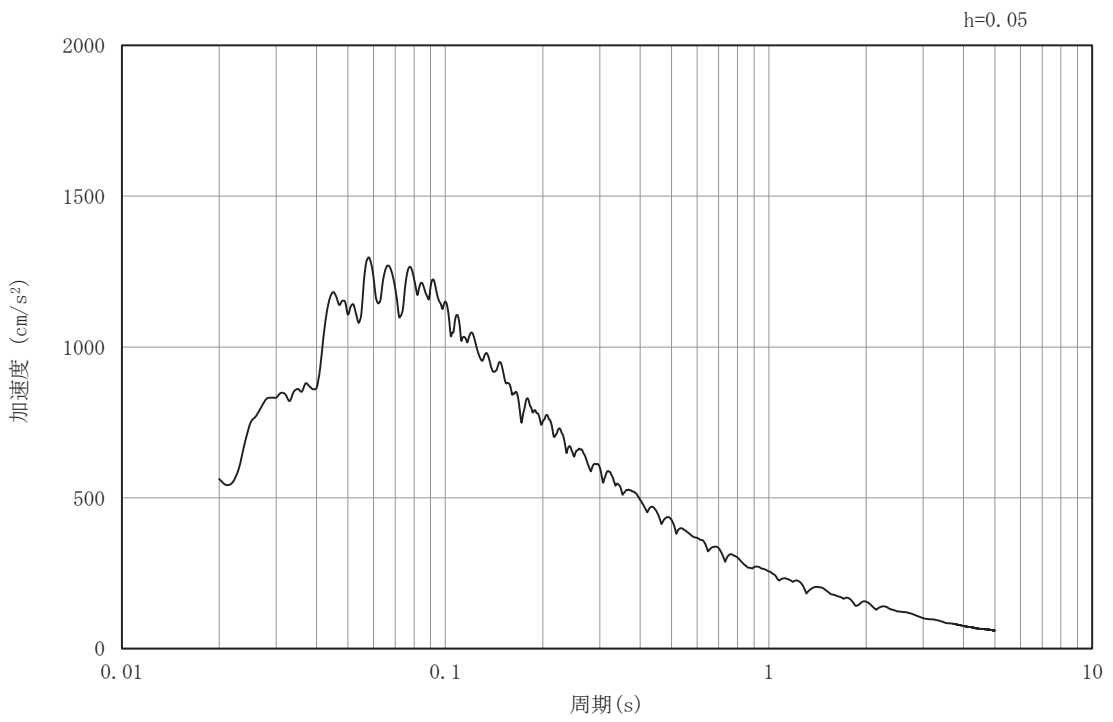


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(47) 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. 4 揚水井戸

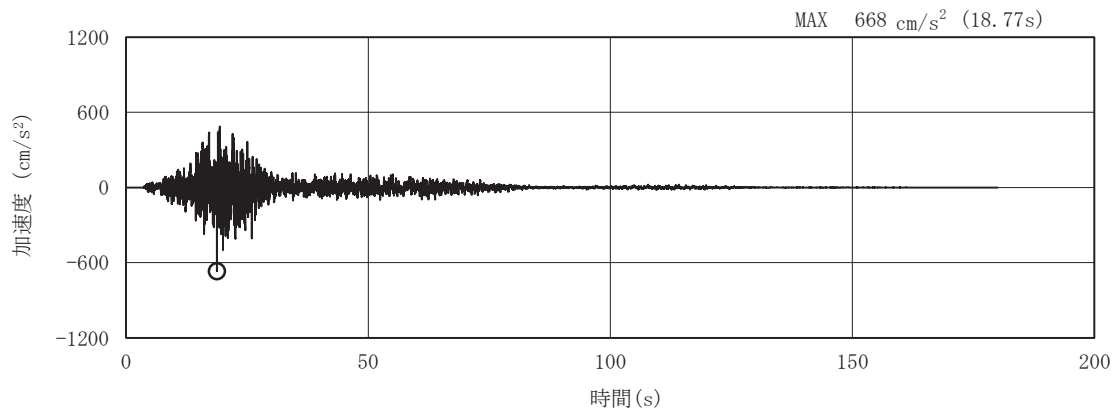


(a) 加速度時刻歴波形

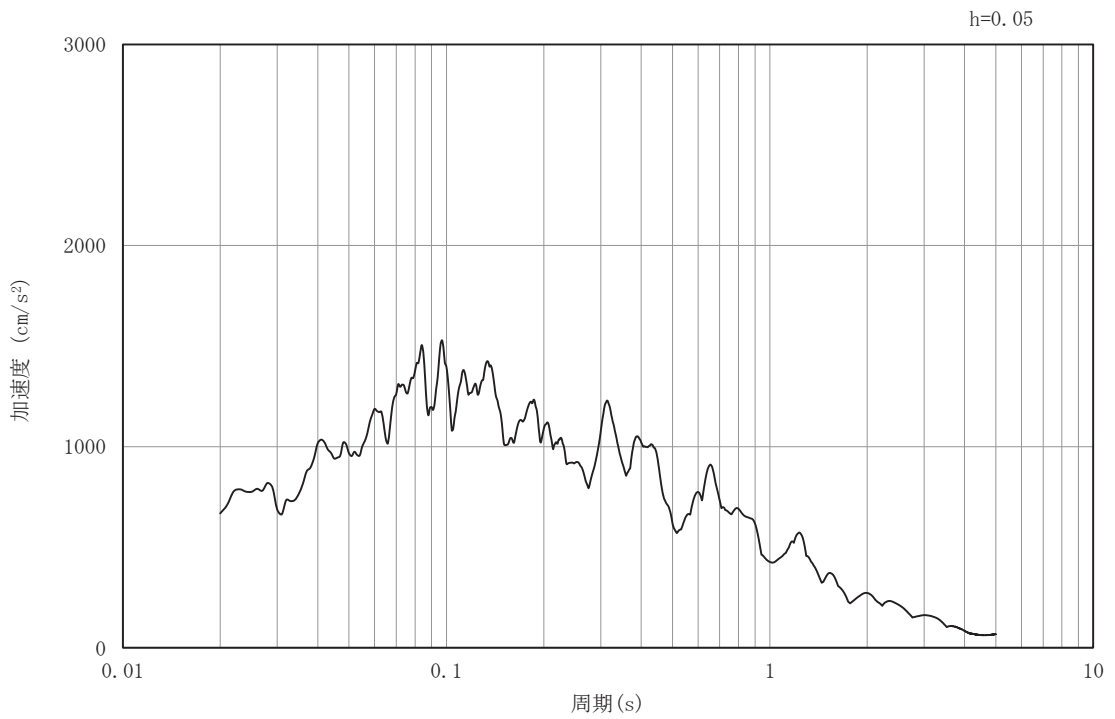


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(48) 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. 4 揚水井戸

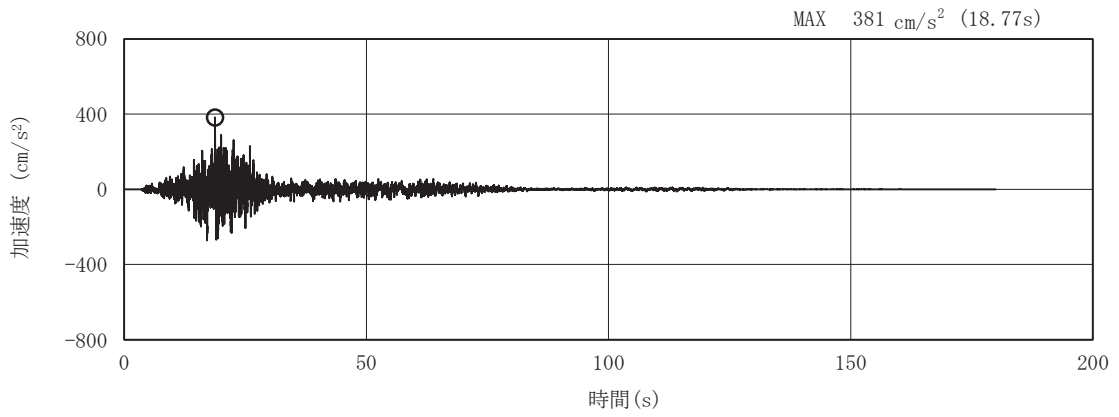


(a) 加速度時刻歴波形

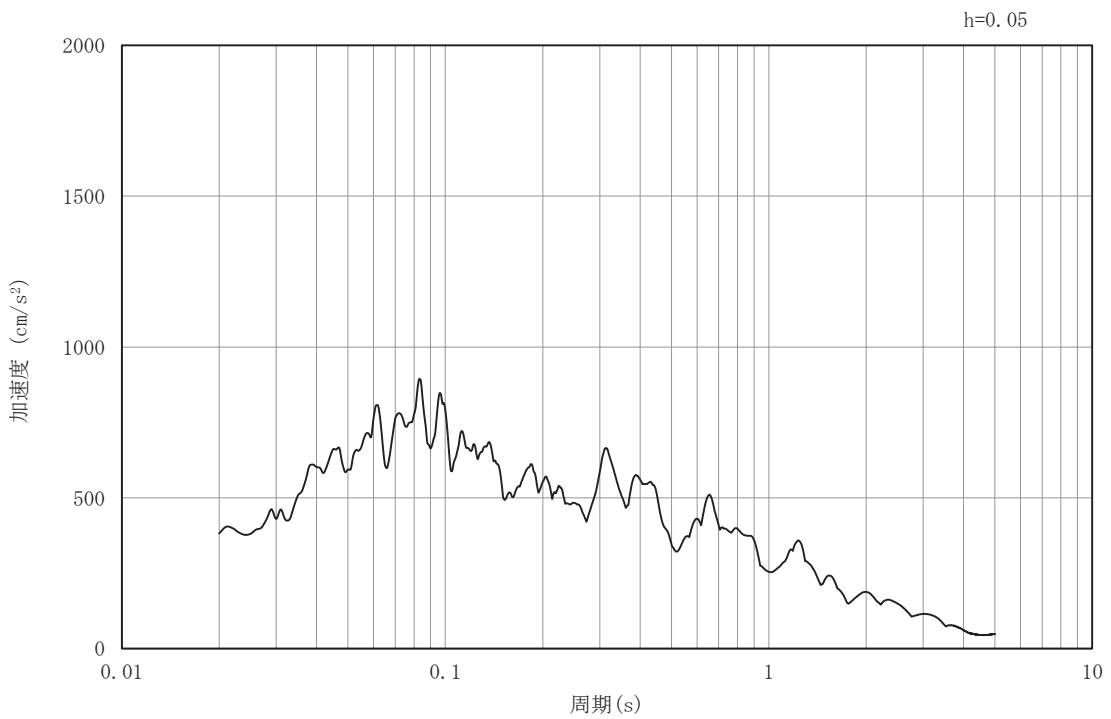


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(49) 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.4 揚水井戸

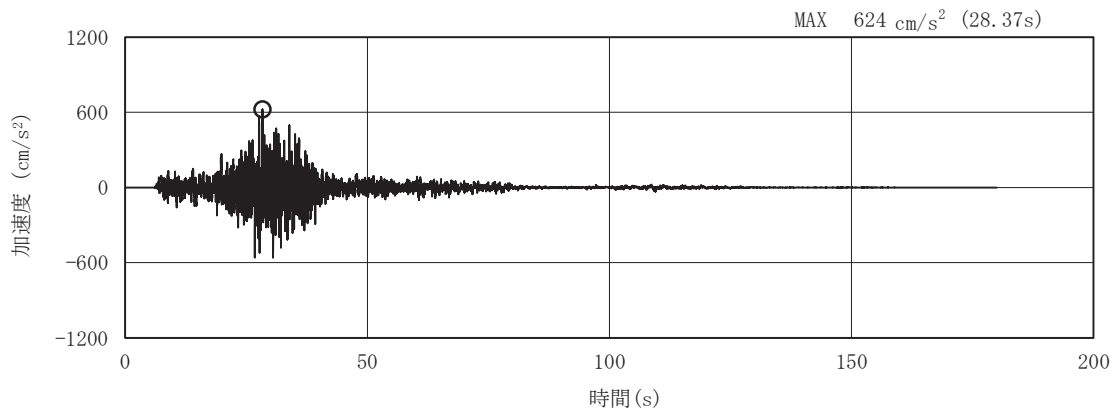


(a) 加速度時刻歴波形

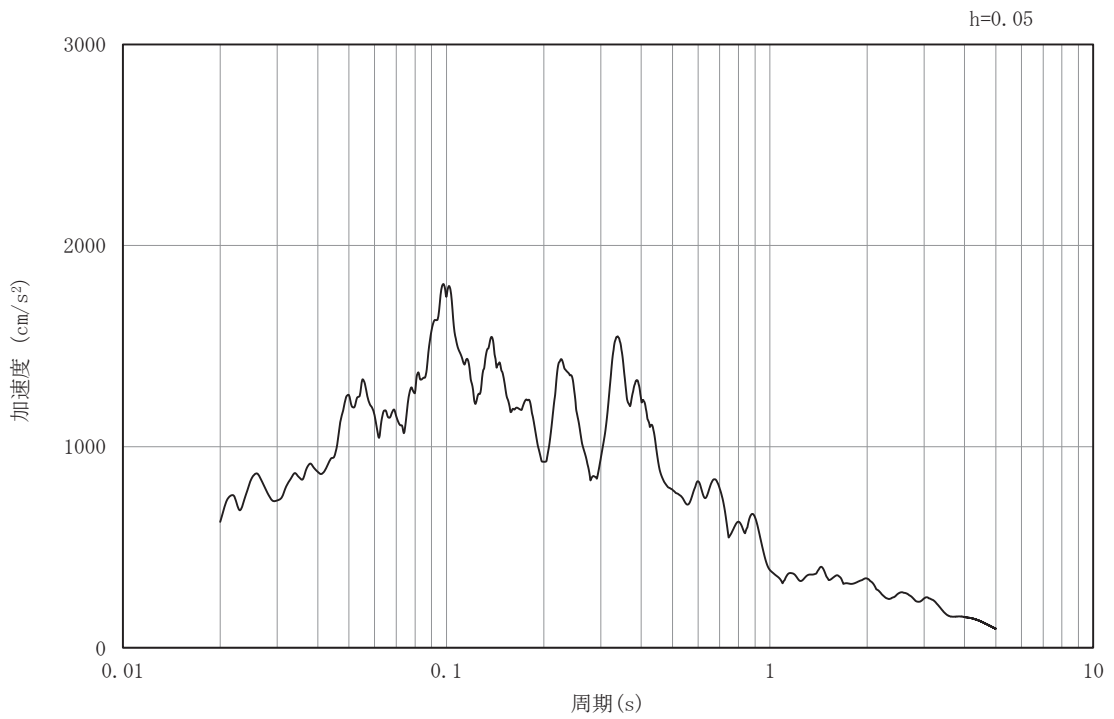


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(50) 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. 4 揚水井戸

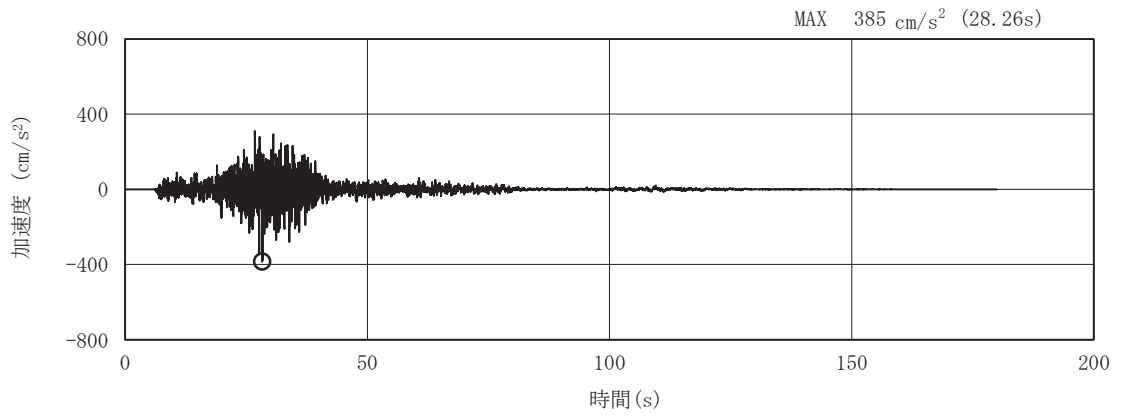


(a) 加速度時刻歴波形

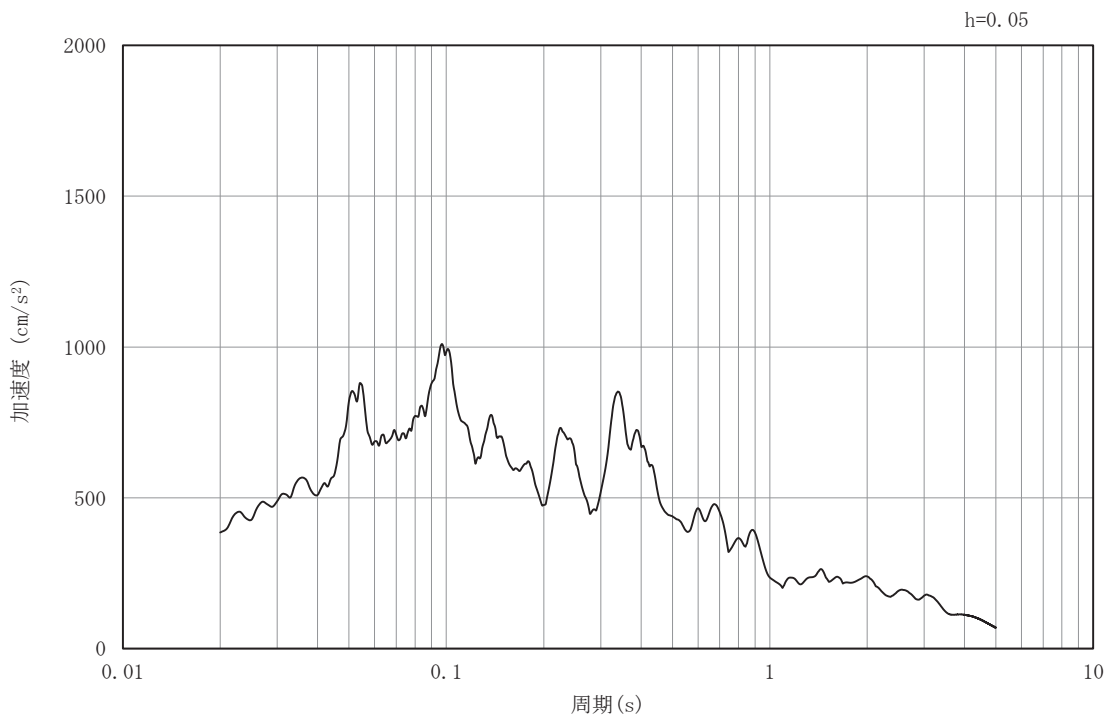


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(51) 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. 4 揚水井戸



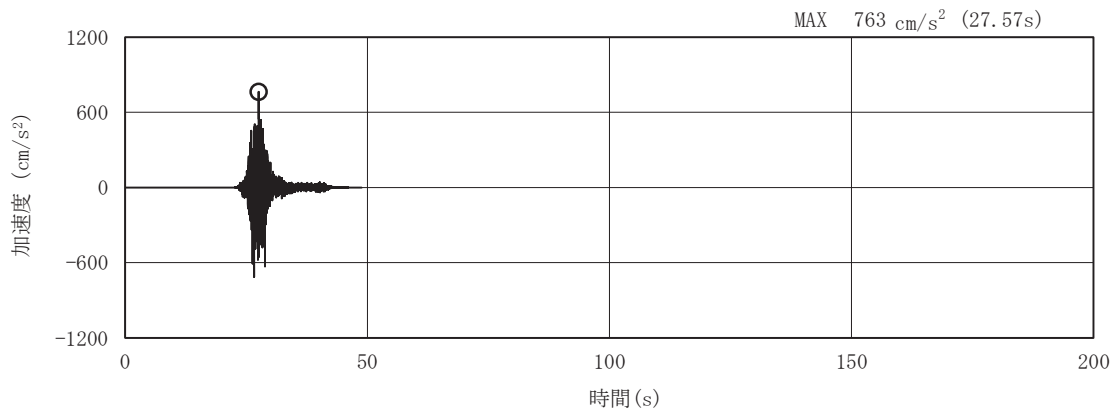
(a) 加速度時刻歴波形



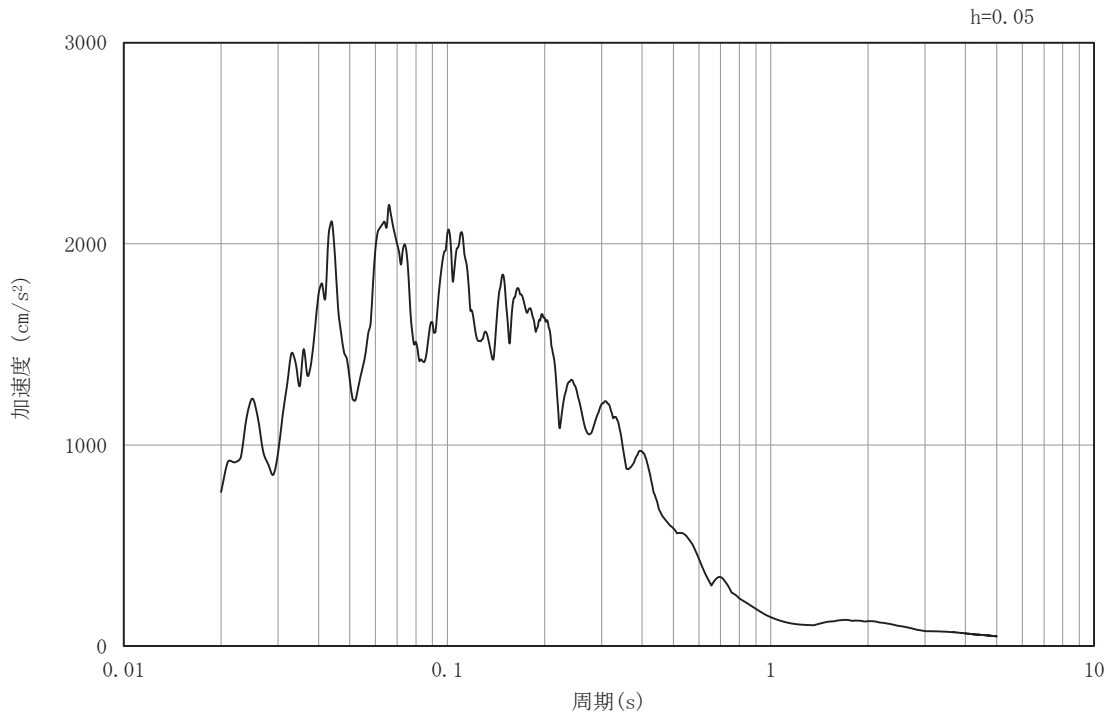
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(52) 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. 4 揚水井戸



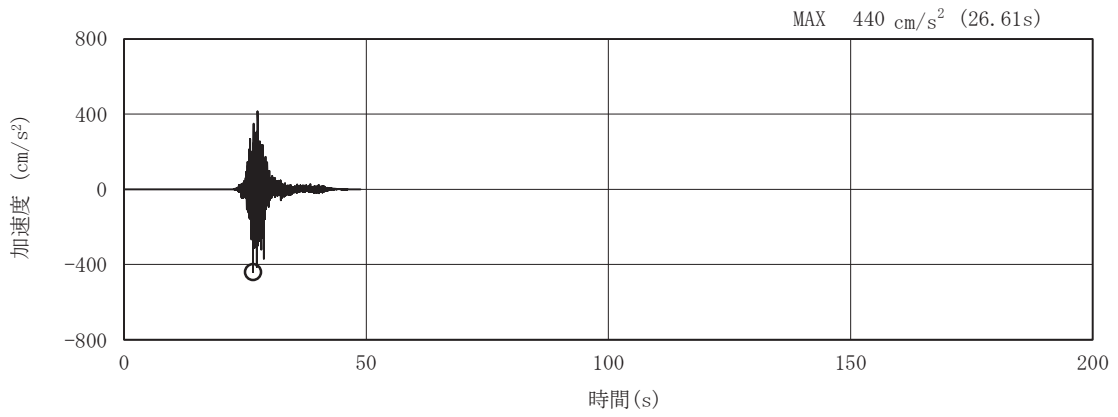


(a) 加速度時刻歴波形

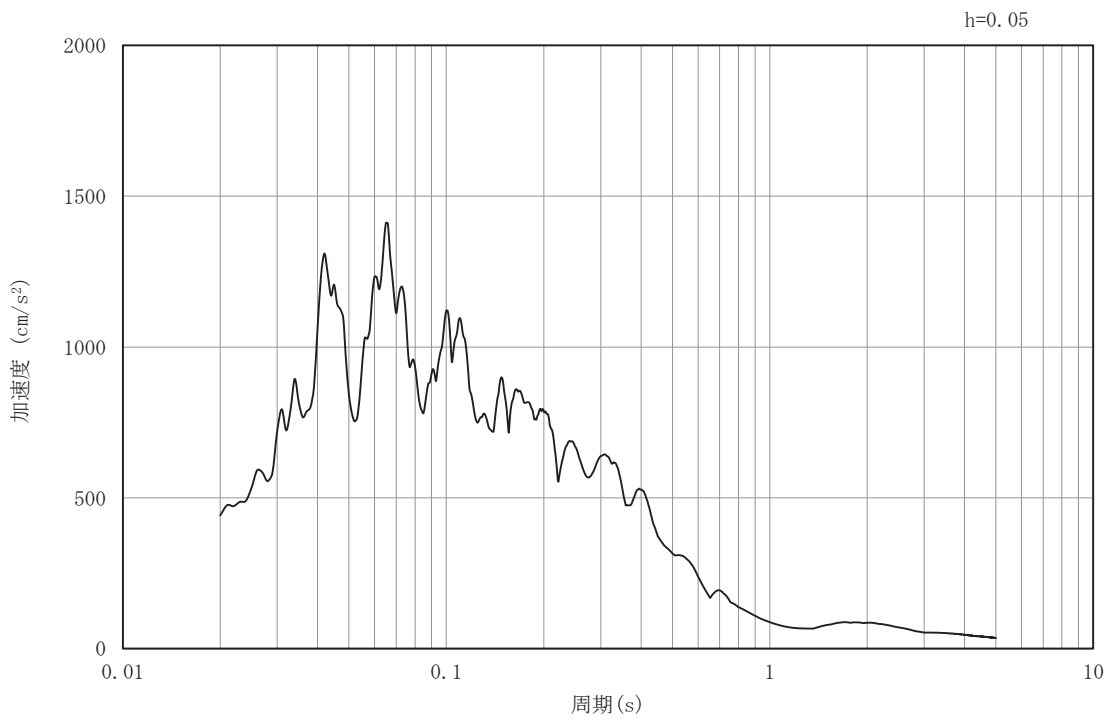


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (53) 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. 4 揚水井戸

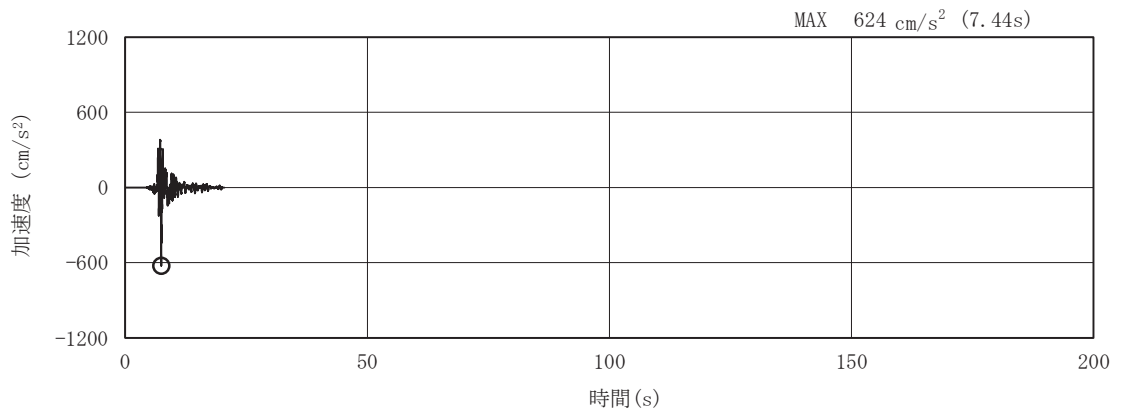


(a) 加速度時刻歴波形

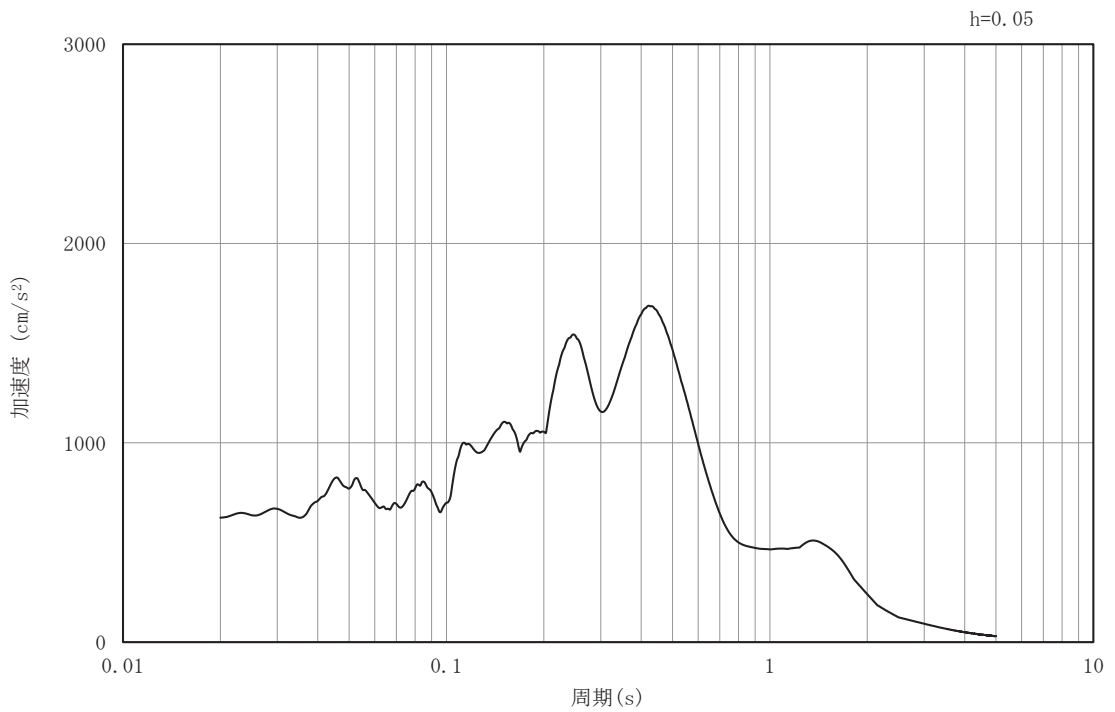


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(54) 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. 4 揚水井戸

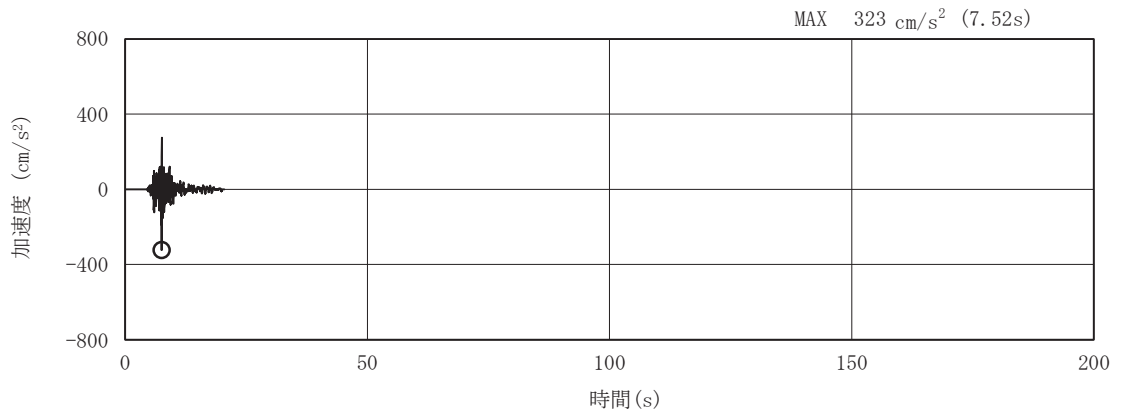


(a) 加速度時刻歴波形

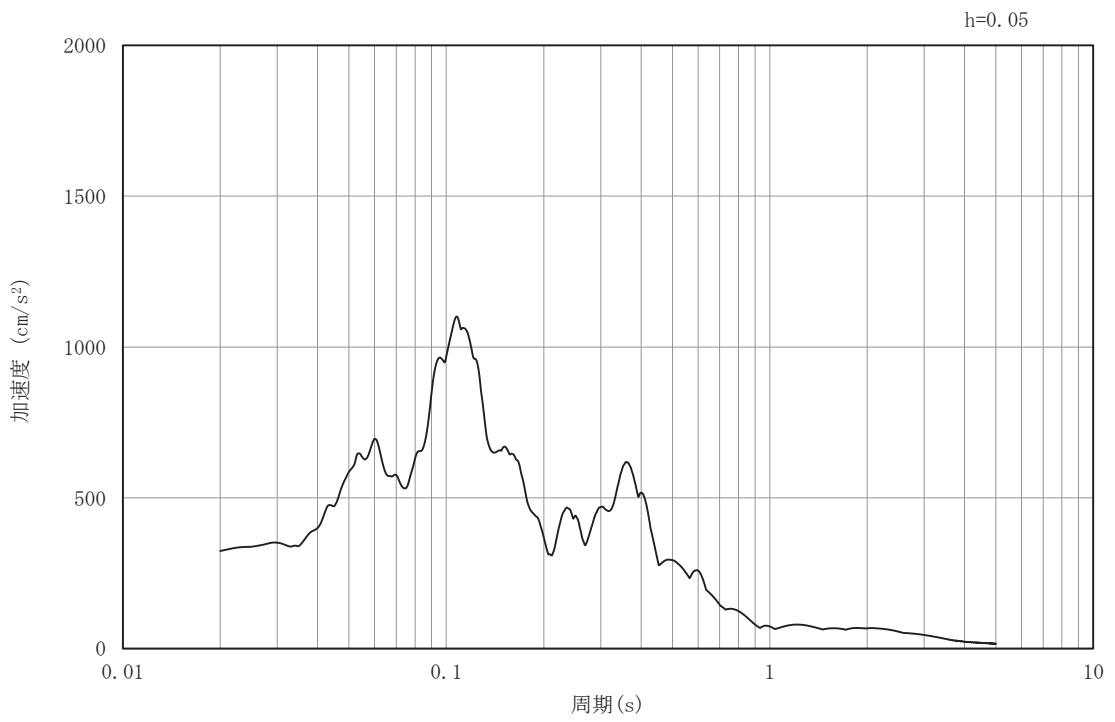


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(55) 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. 4 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 3-6(56) 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. 4 揚水井戸

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

##### (1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析領域は、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

二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。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

解析モデルを図3-7に示す。

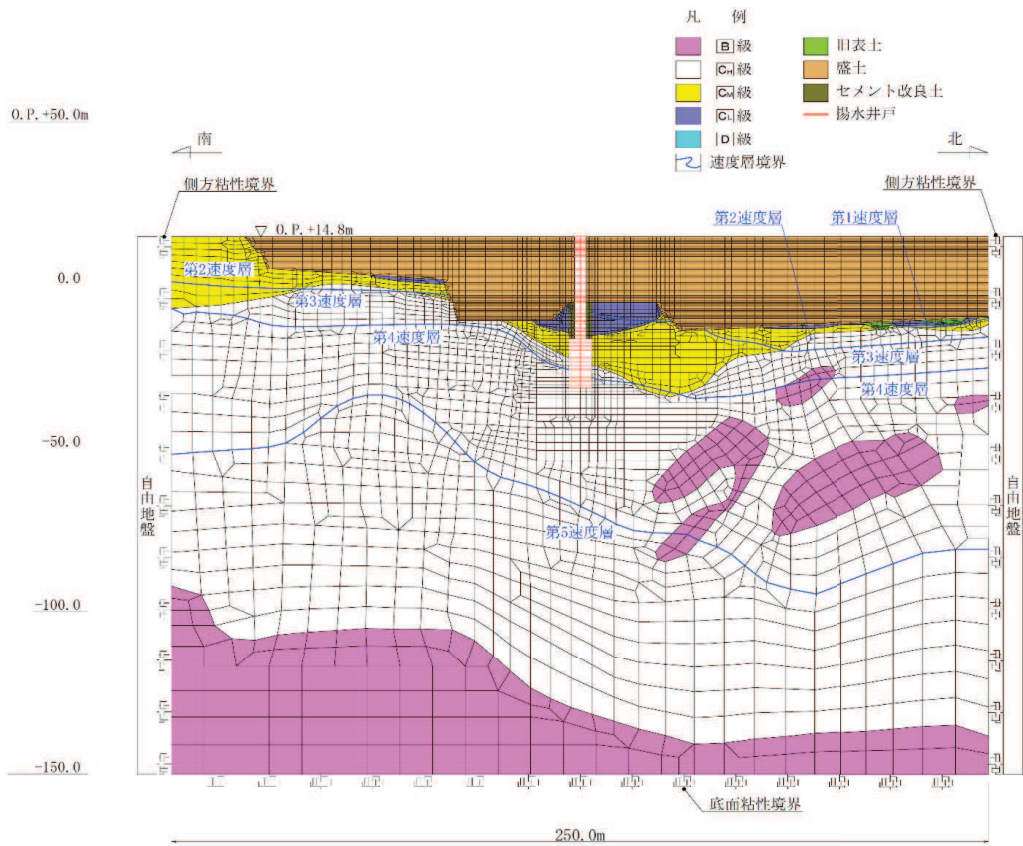


図 3-7(1) No.1 揚水井戸の解析モデル

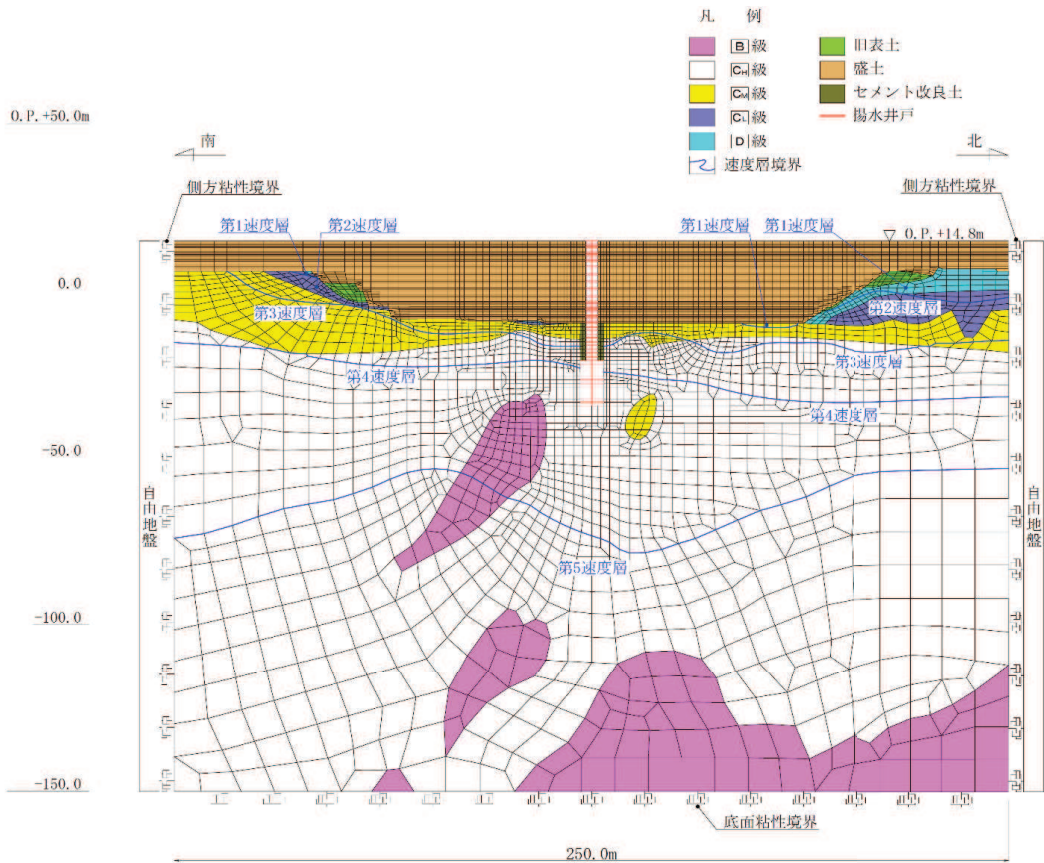


図 3-7(2) No.2 揚水井戸の解析モデル

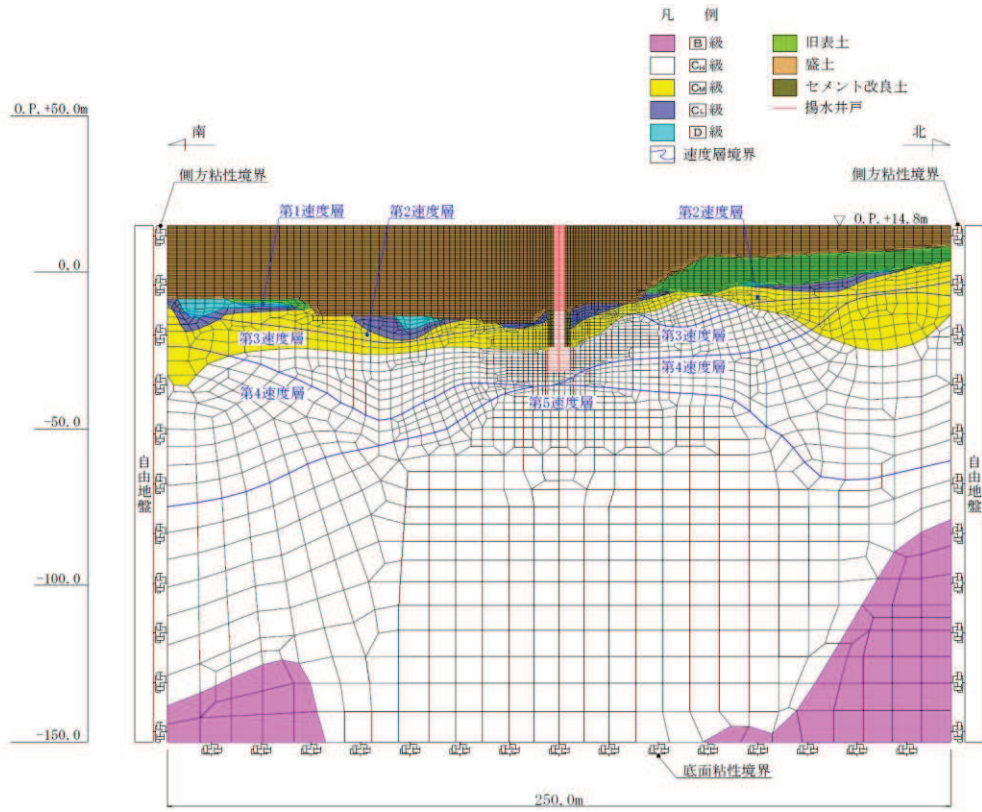


図 3-7(3) No.3 揚水井戸の解析モデル

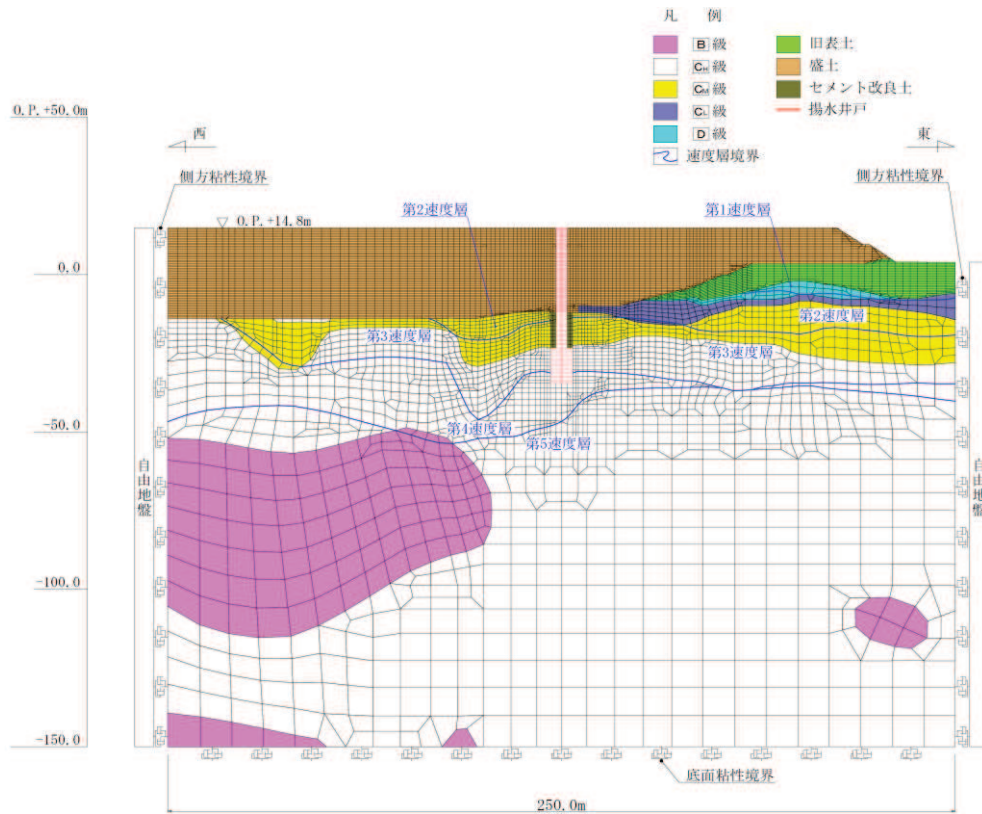


図 3-7(4) No.4 揚水井戸の解析モデル

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 使用材料及び材料の物性値

部材	材料		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン 比
集水ピット	鉄筋コンクリート	設計基準強度 $f'_{ck}$ : 30N/mm <sup>2</sup>	24.0	$2.8 \times 10^4$	0.2
排水シャフト	鋼材	SM570	77.0	$2.0 \times 10^5$	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、下限値として設定する。

### 3.5.4 地下水位

表 3-6 に設計用地下水位を示す。

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
No.3 揚水井戸	C' -C 断面	O. P. +12.9m～ O. P. -15.0m
No.4 揚水井戸	D' -D 断面	O. P. +7.3m～ O. P. -10.5m

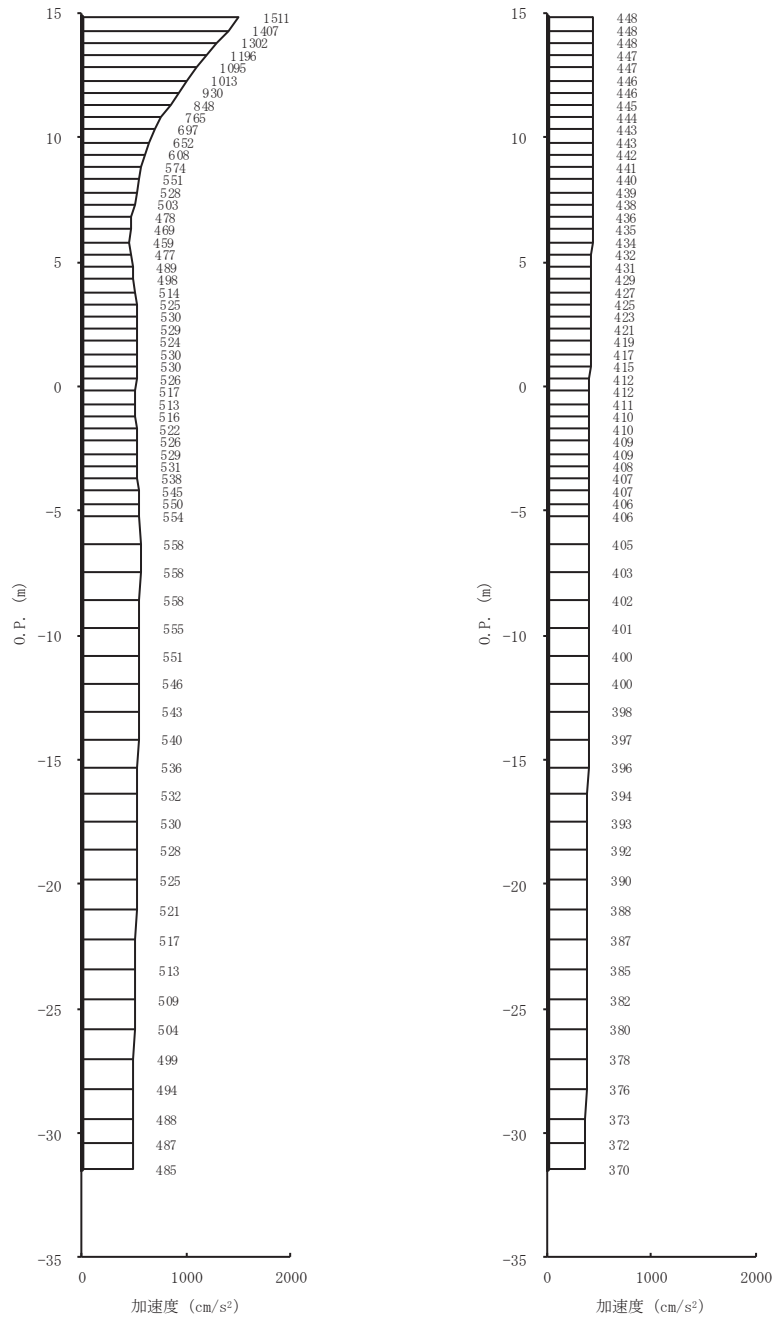


4. 解析結果

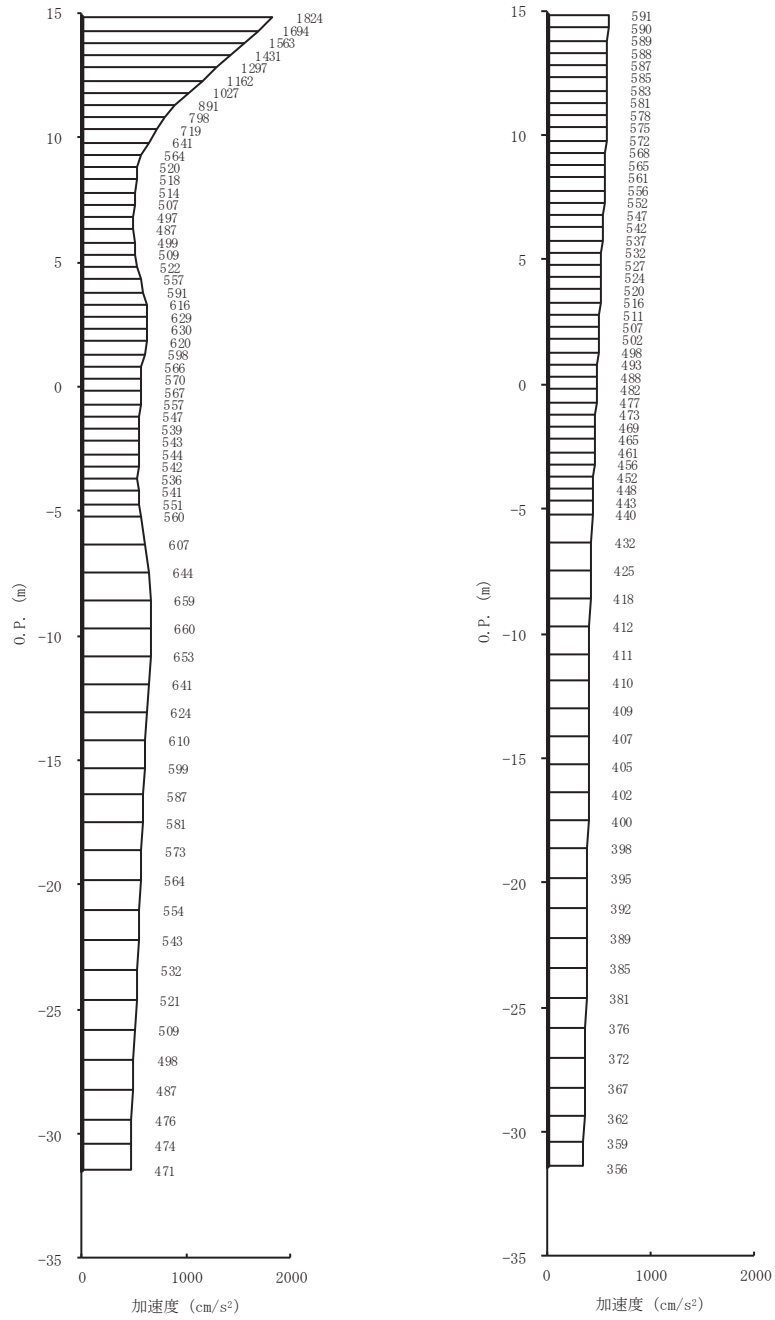
4.1 No.1 揚水井戸

(1) 全応力解析

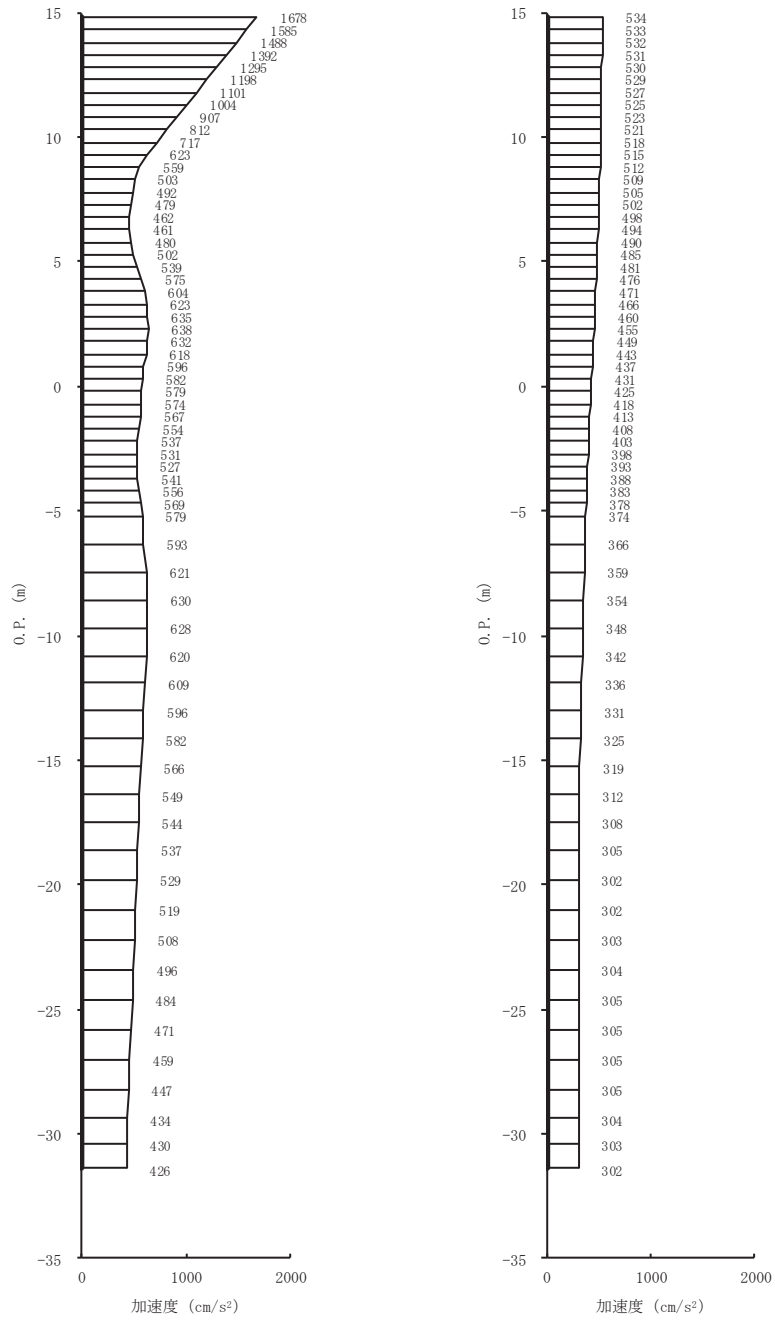
全応力解析結果のうち，解析ケース①～④についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-1（地震動の位相：++），図 4-2（地震動の位相：-+）に示す。



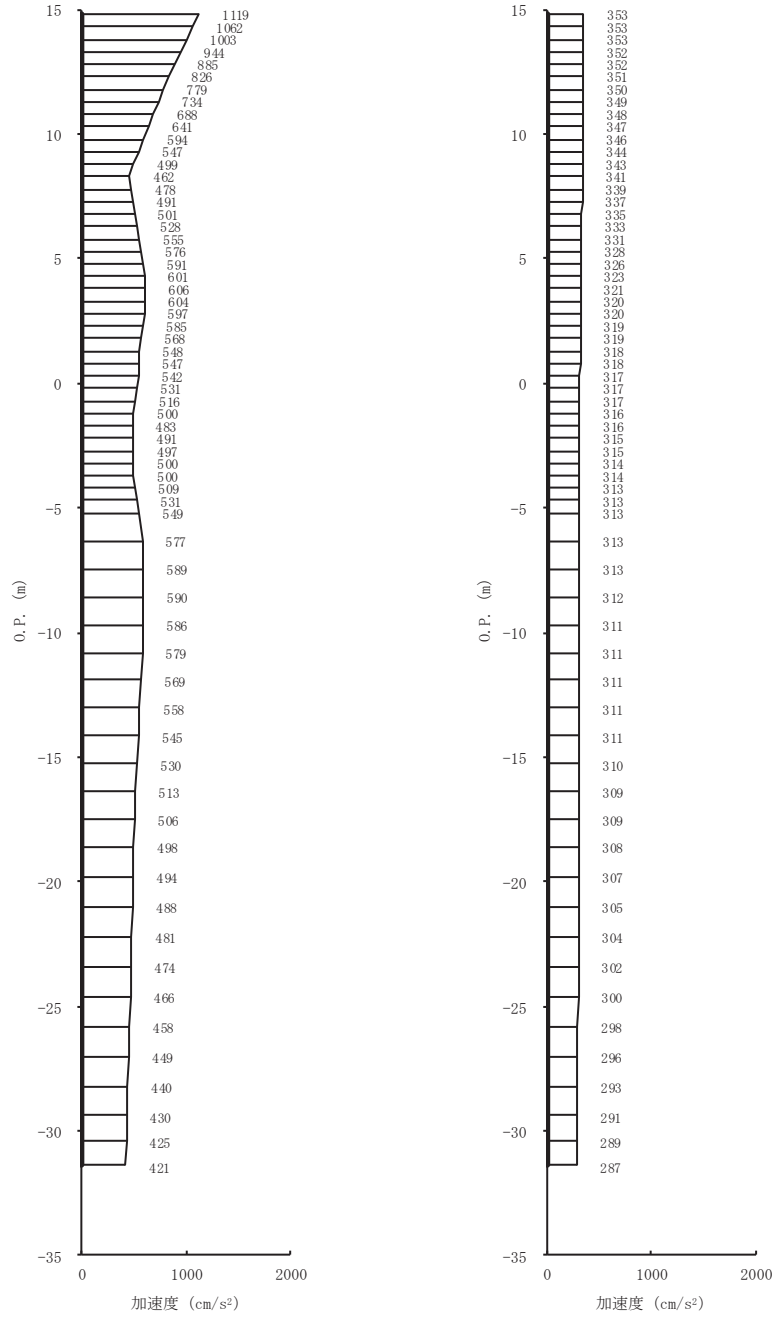
(a)  $S_s - D 1$  (++) 水平 (b)  $S_s - D 1$  (++) 鉛直  
 図 4-1(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



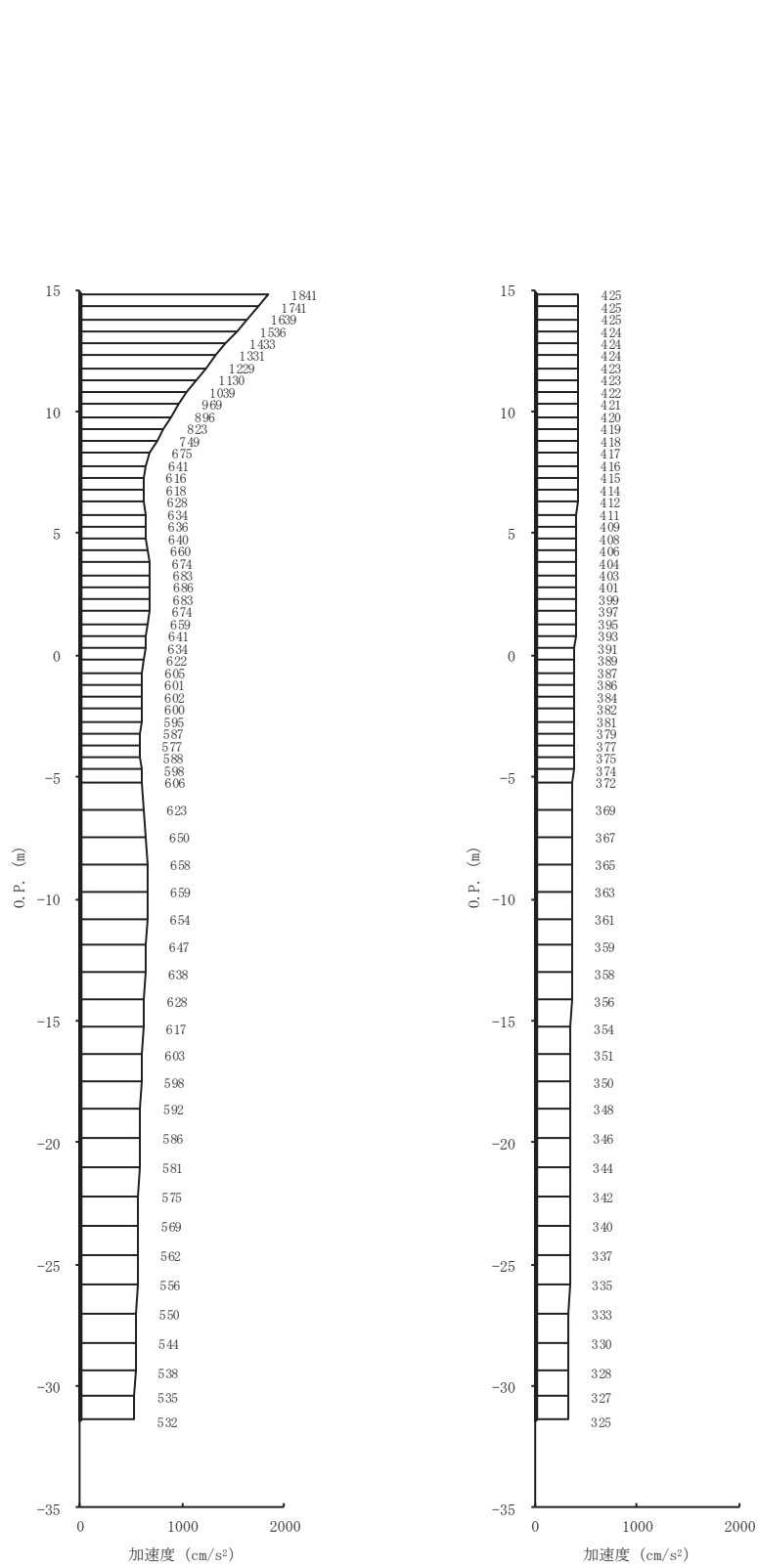
(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



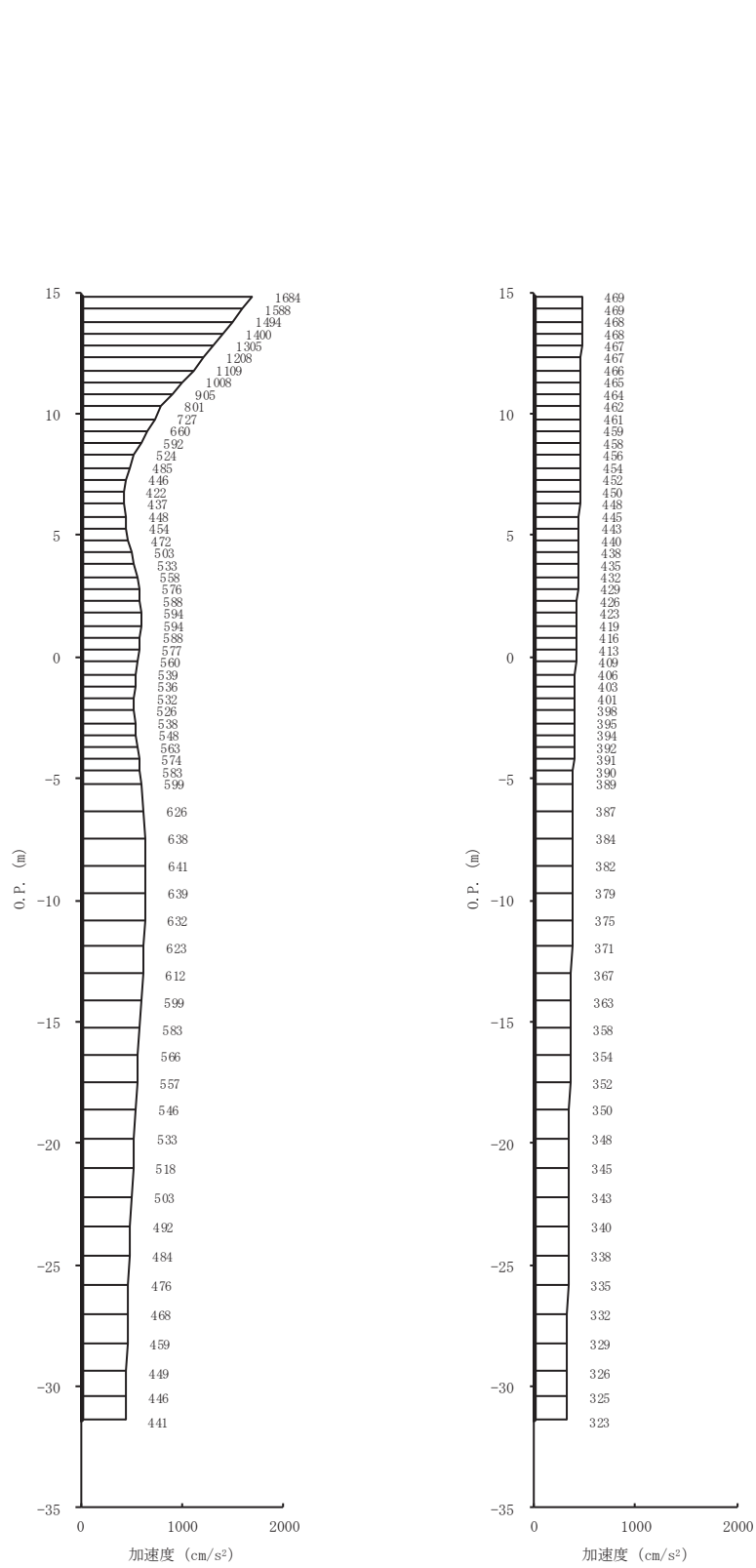
(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No.1 揚水井戸, 解析ケース①)



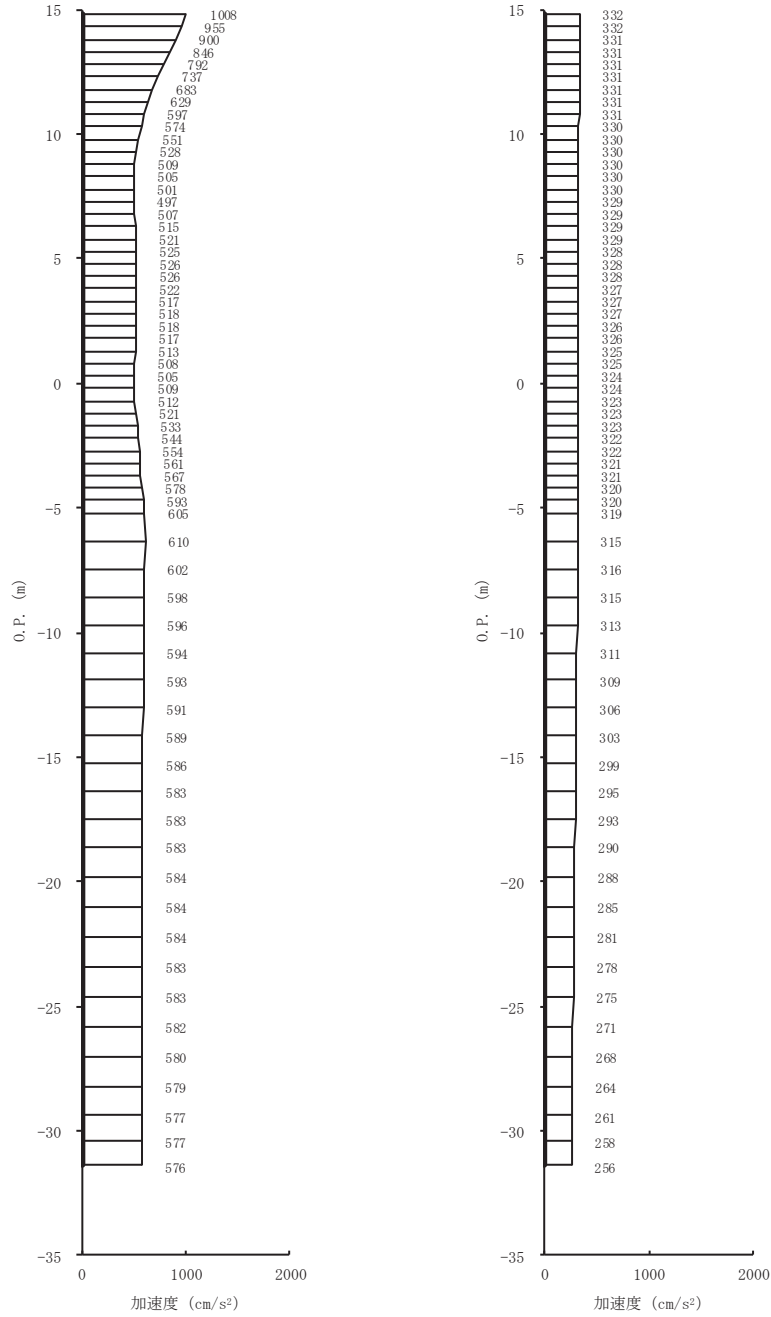
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



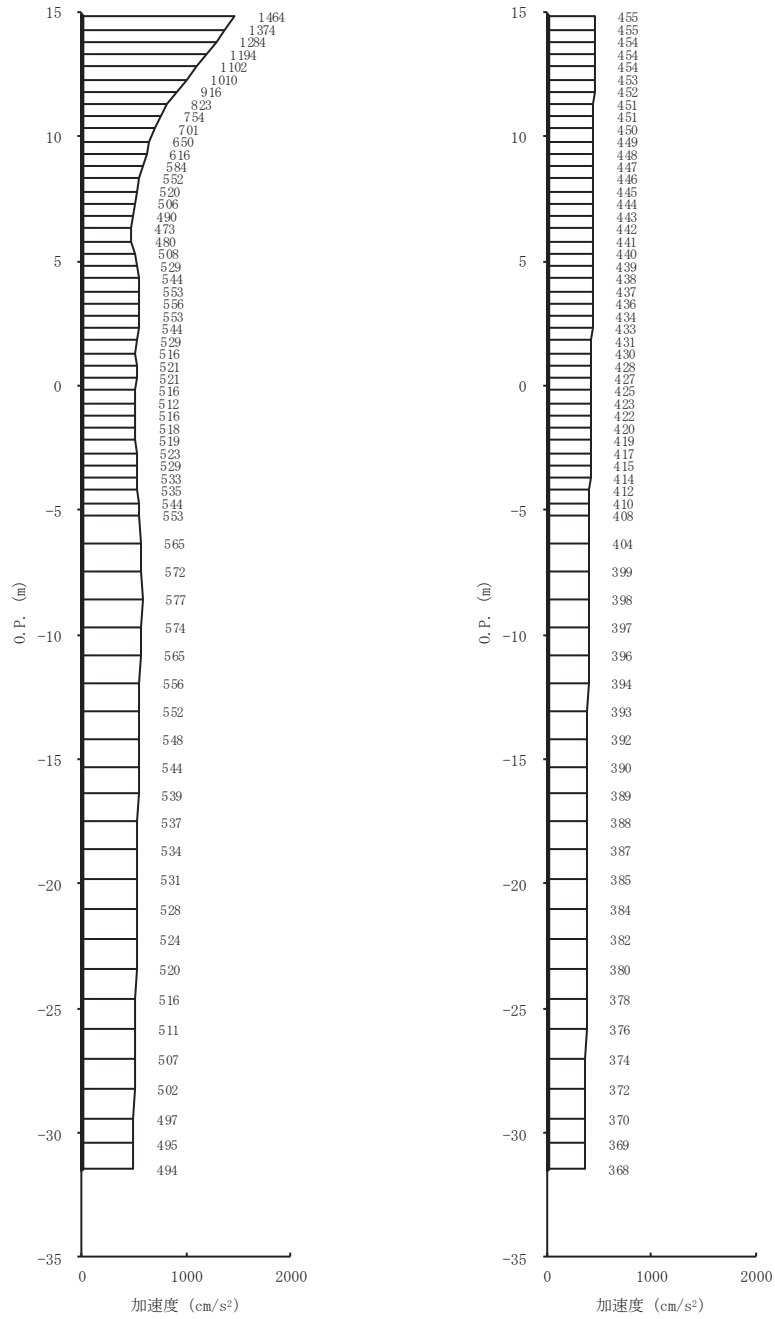
(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No.1 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No.1 揚水井戸, 解析ケース①)

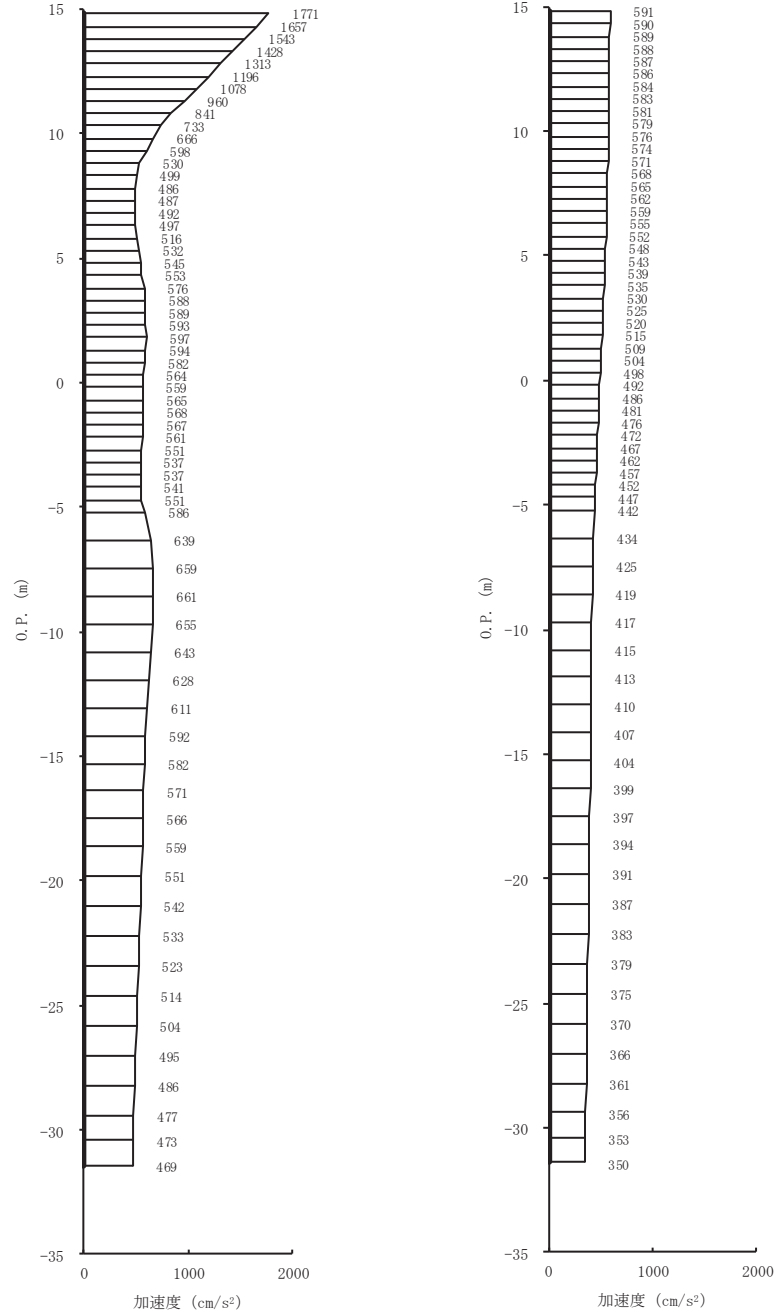


(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

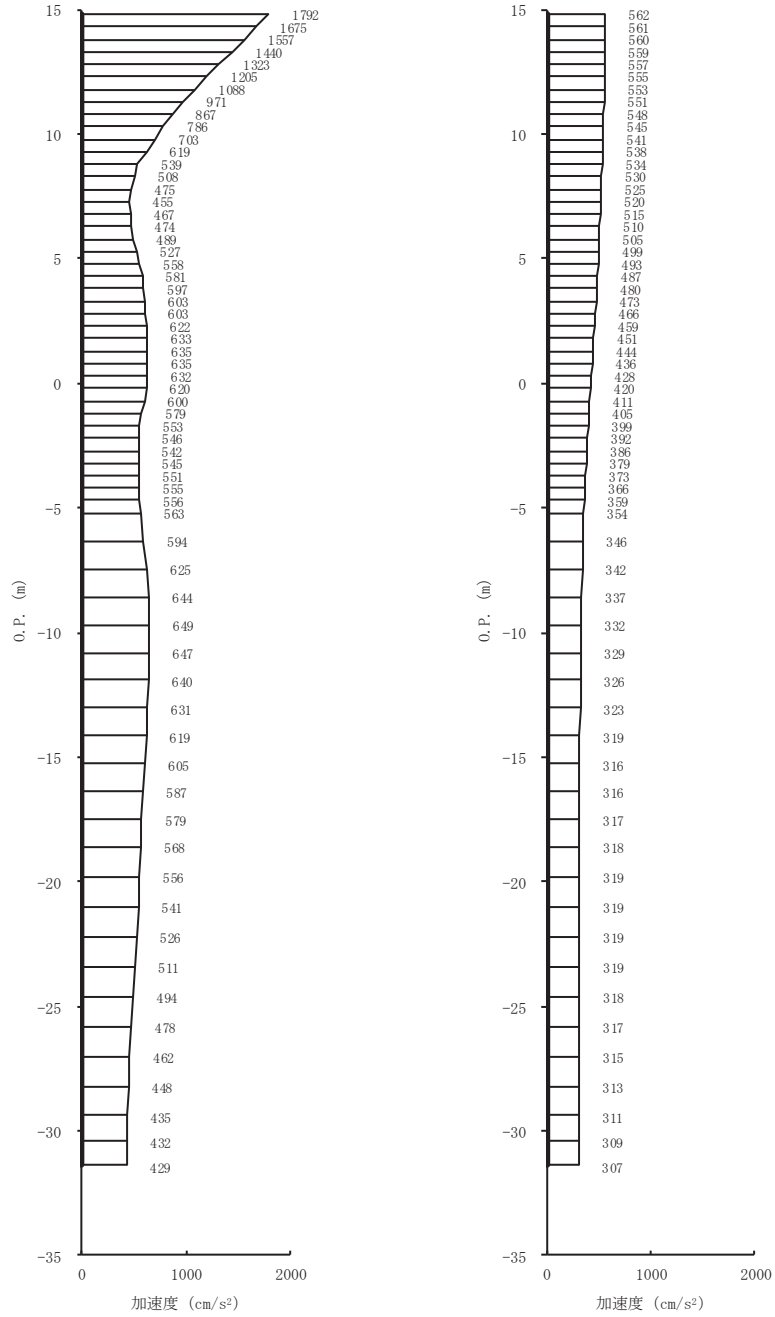


(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)

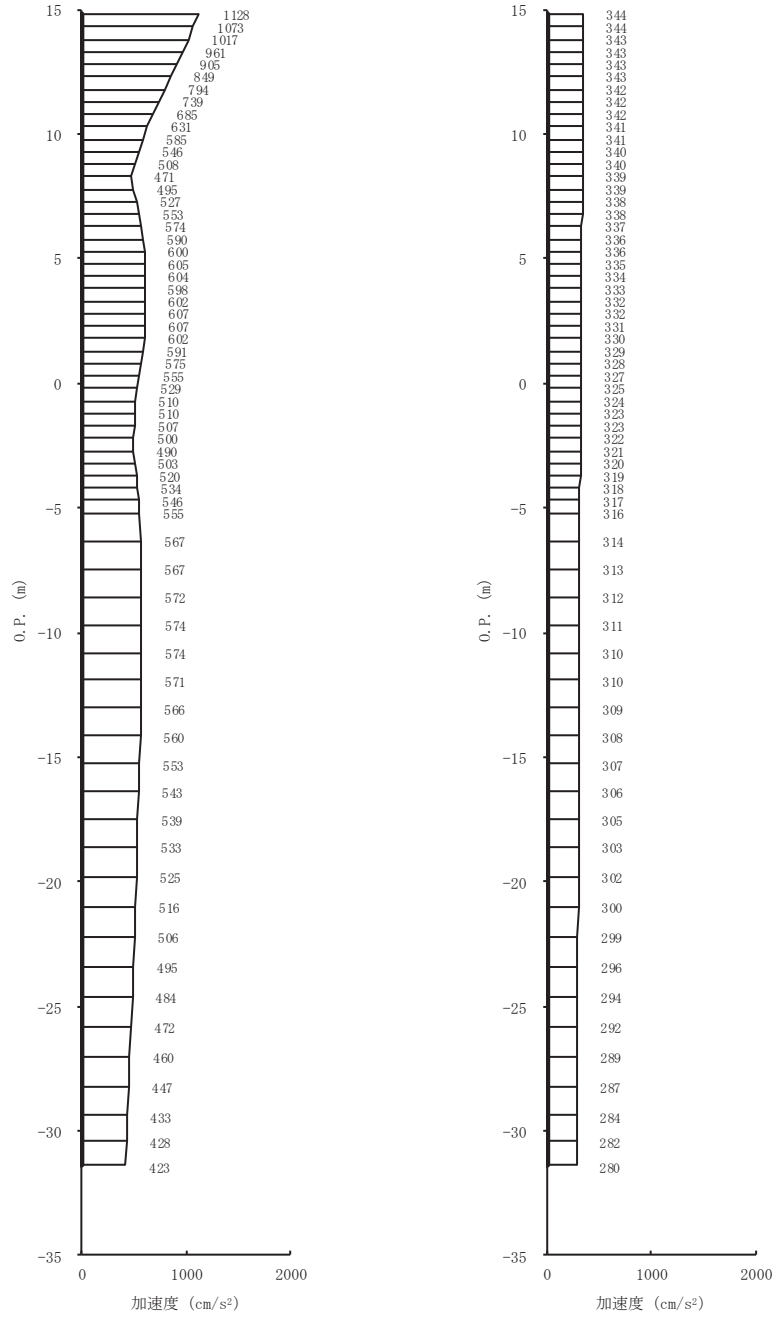




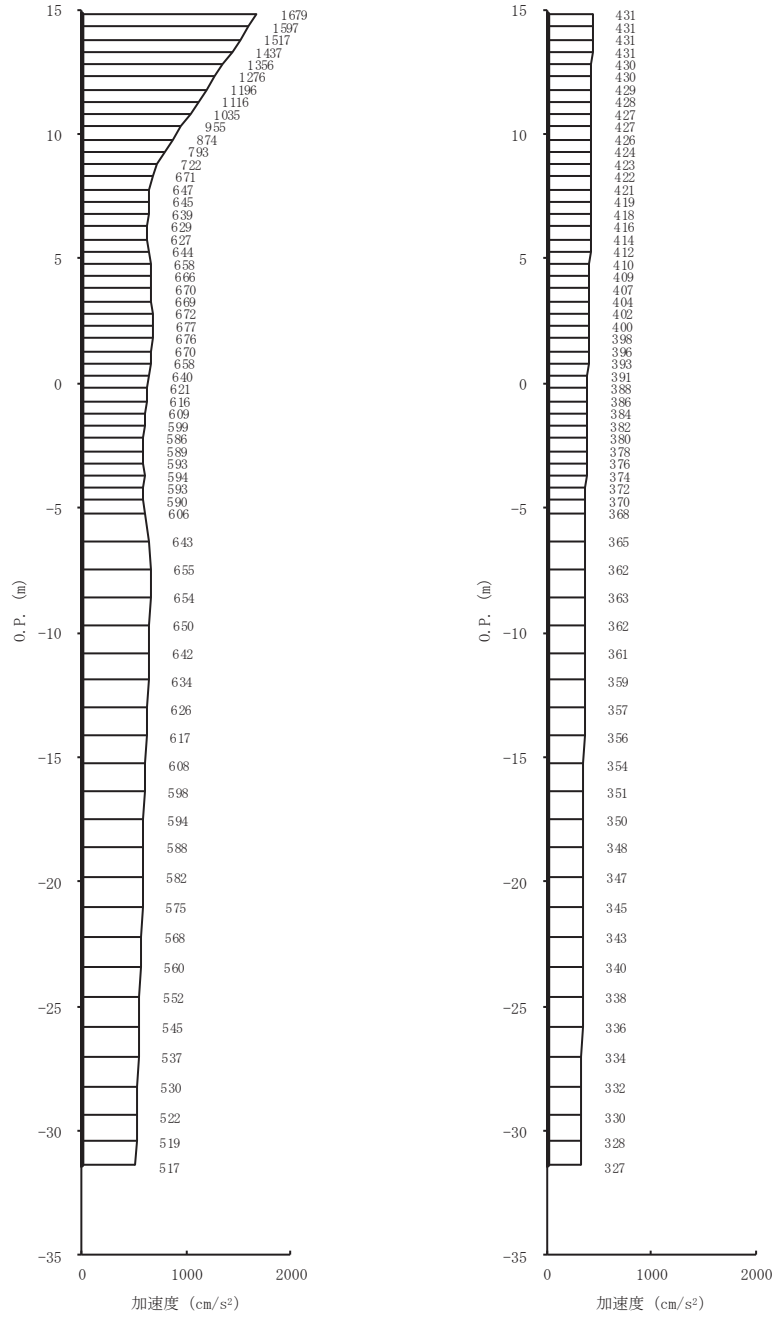
(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No.1 揚水井戸, 解析ケース②)



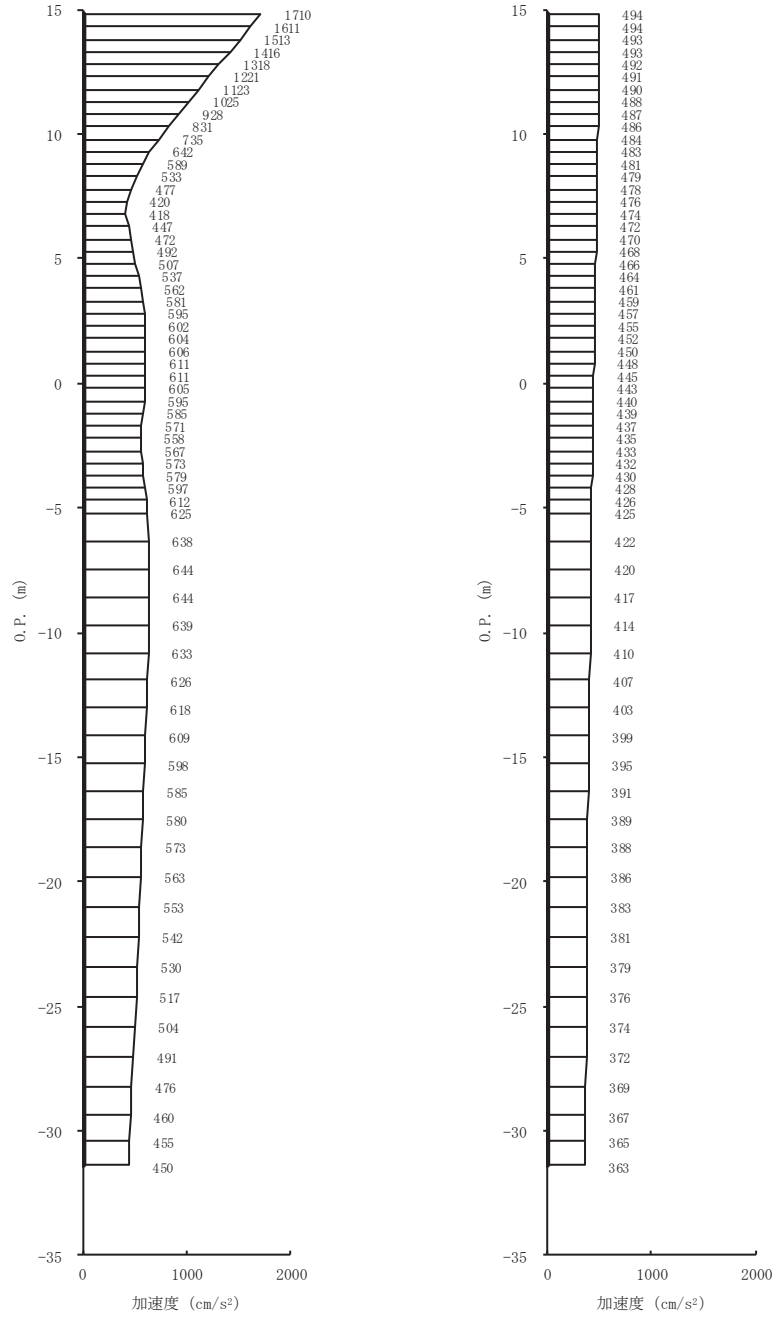
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



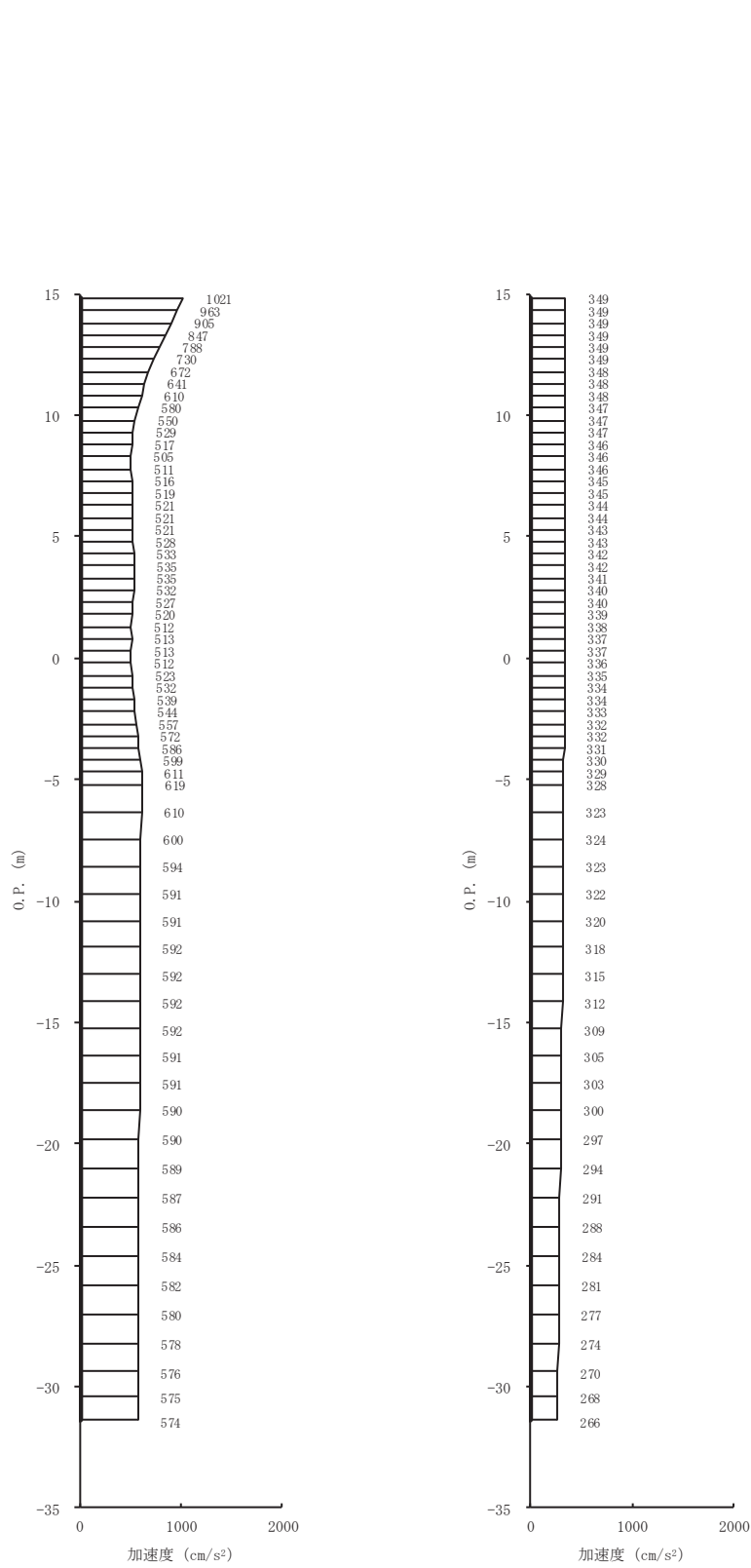
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



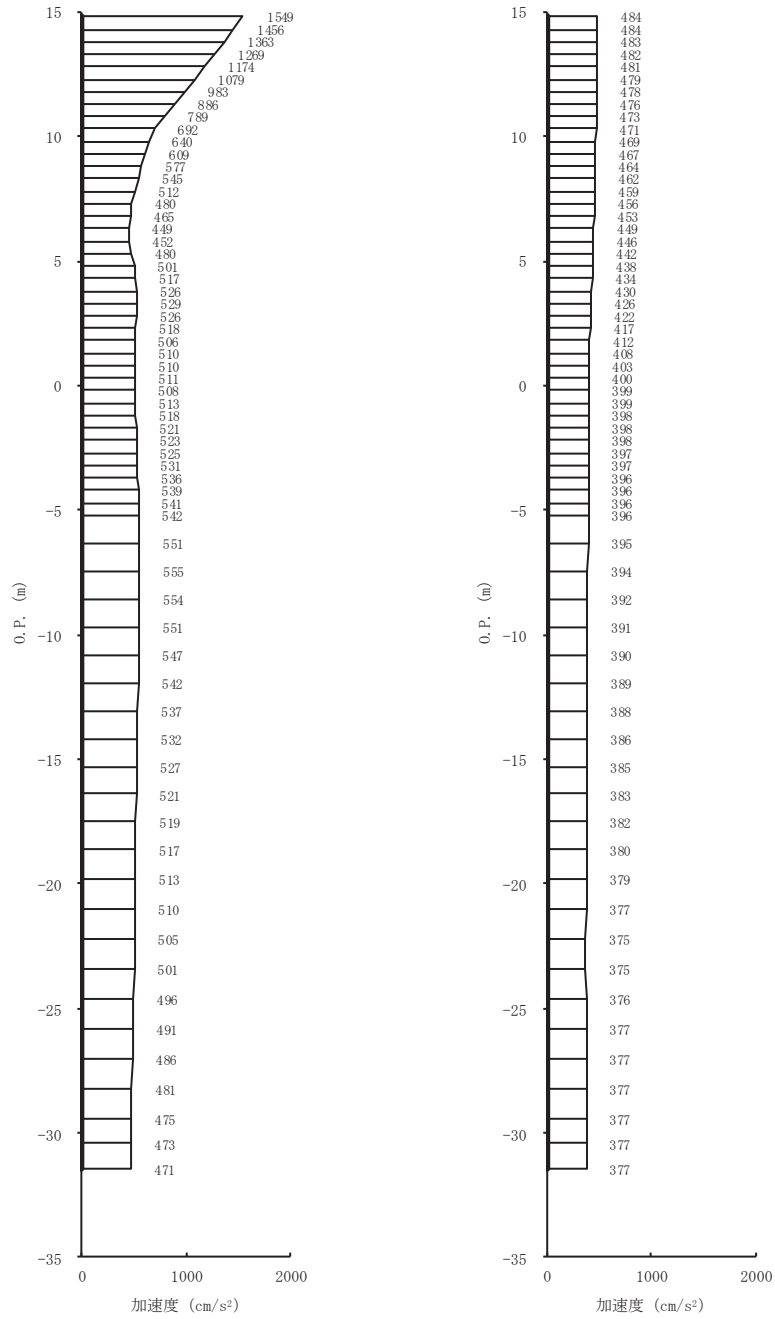
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



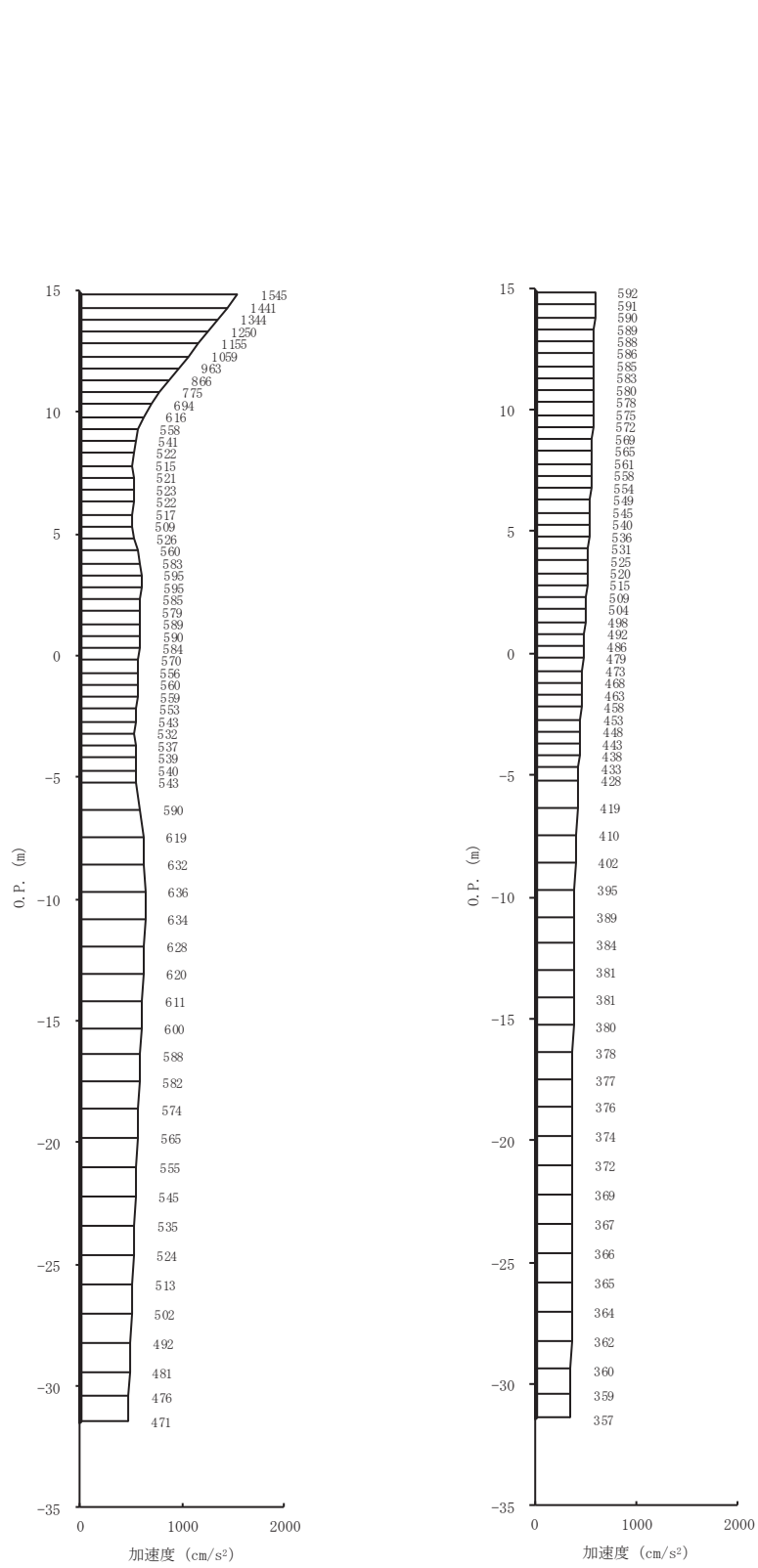
(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)

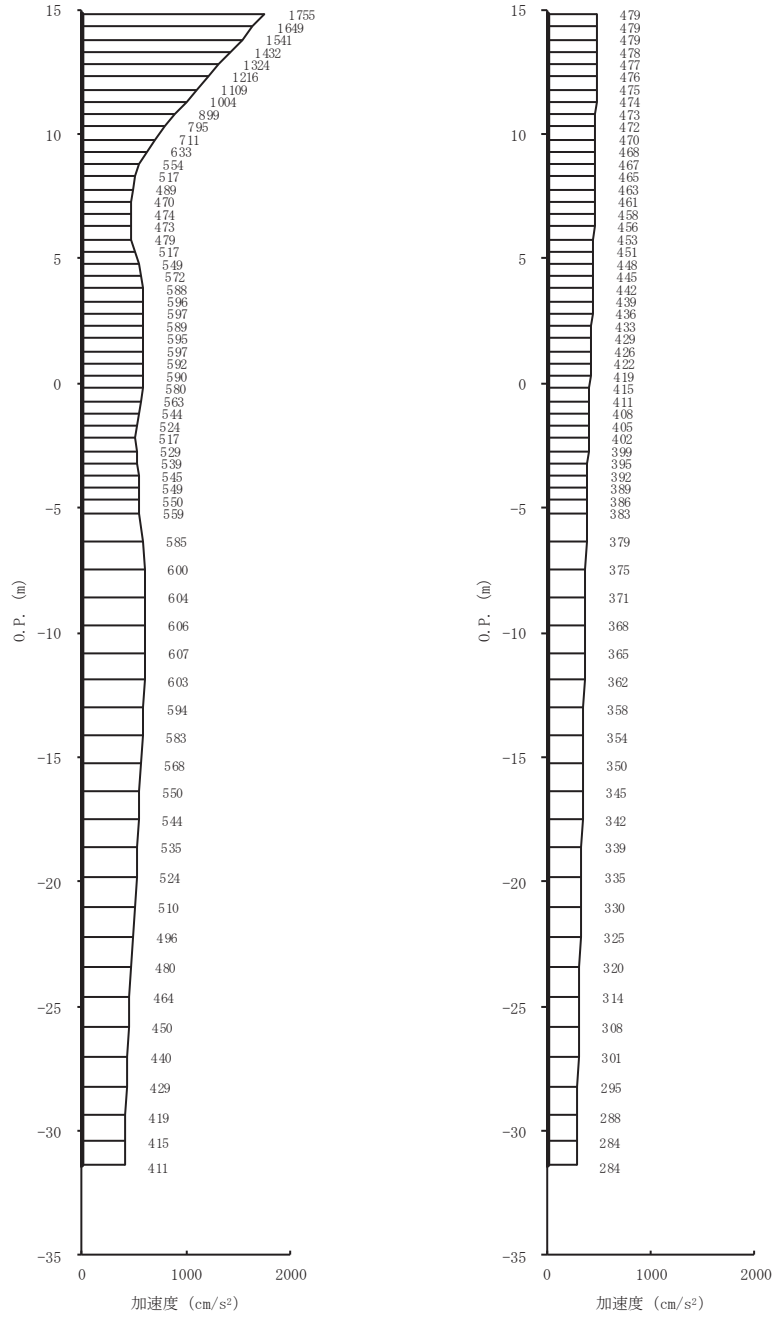


(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)

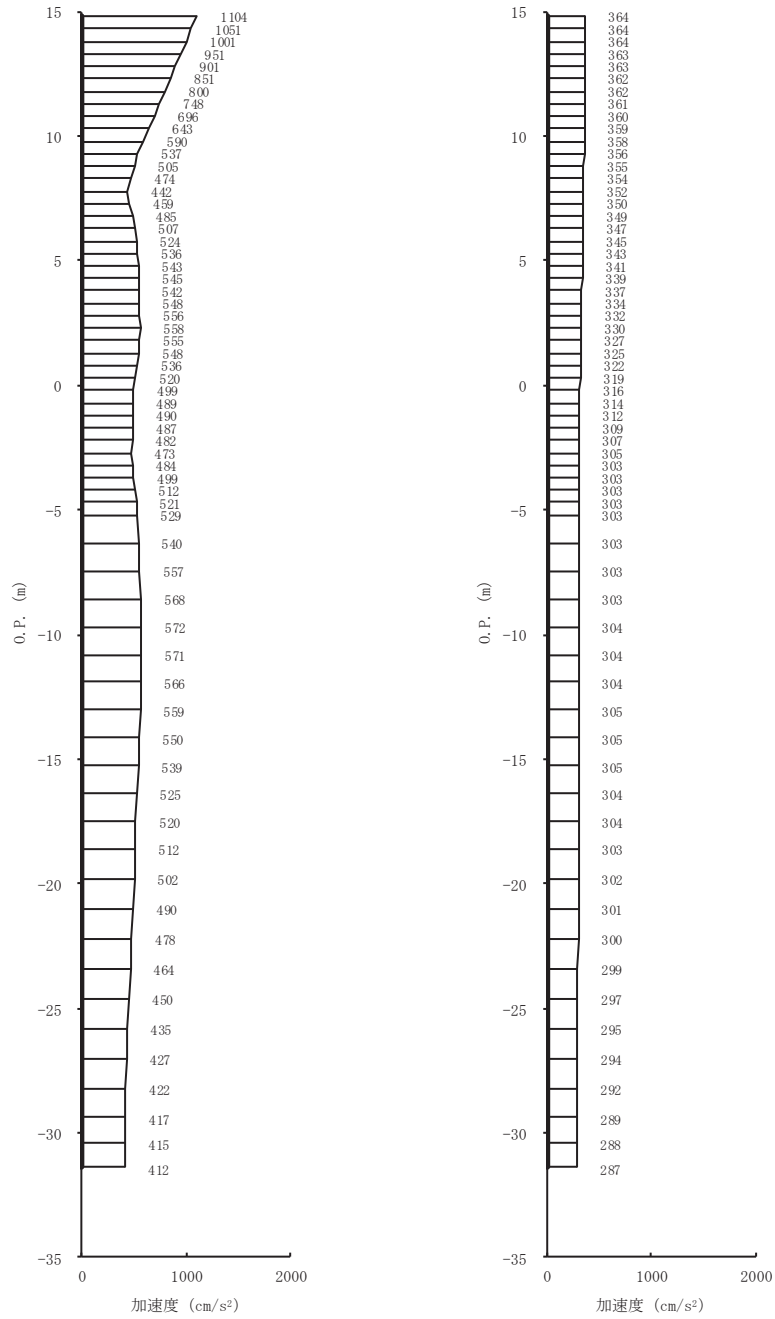


(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)

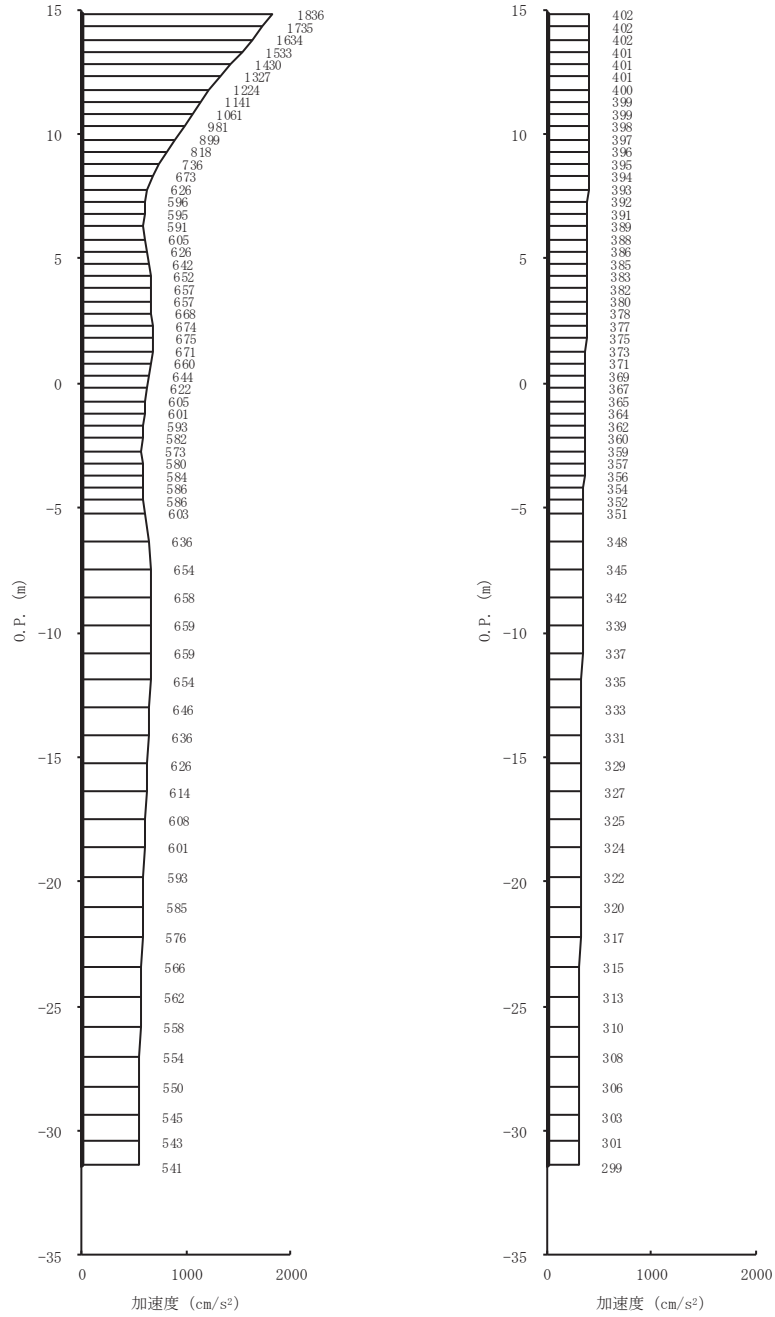




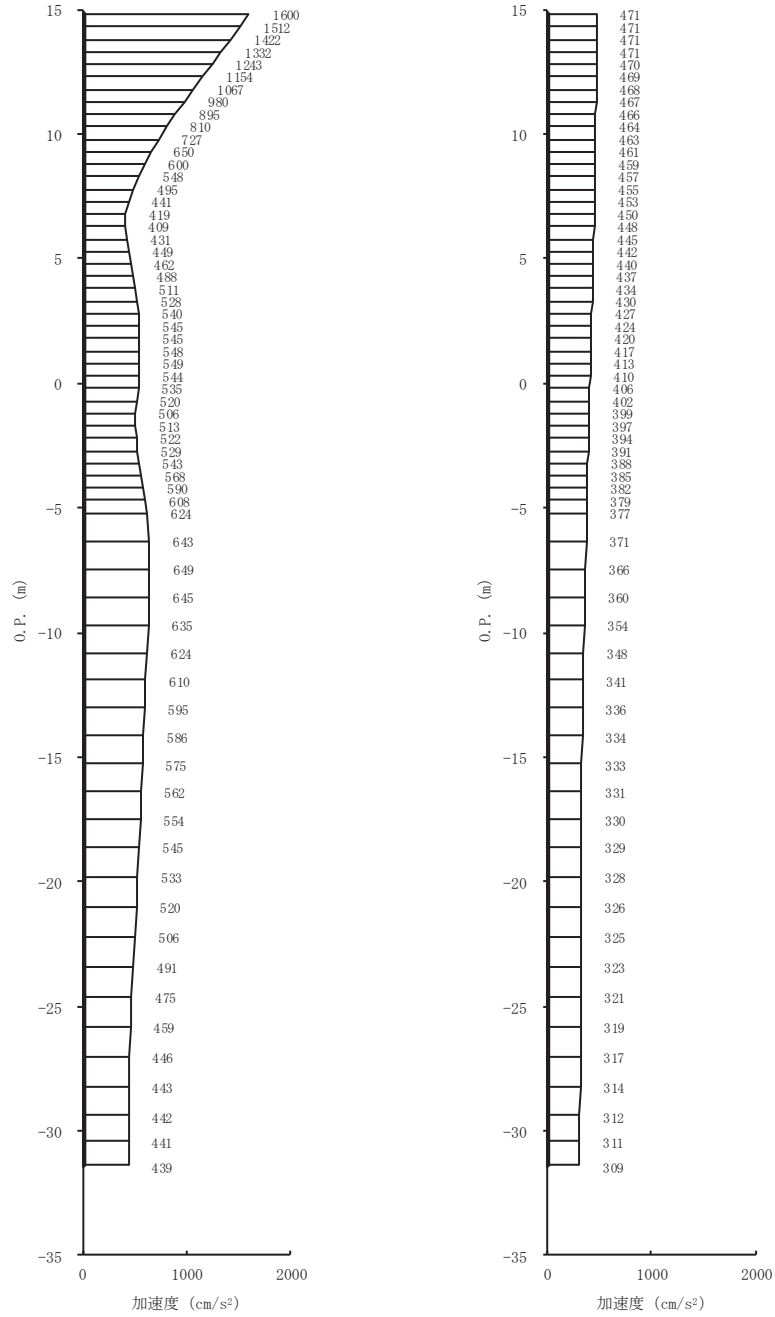
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



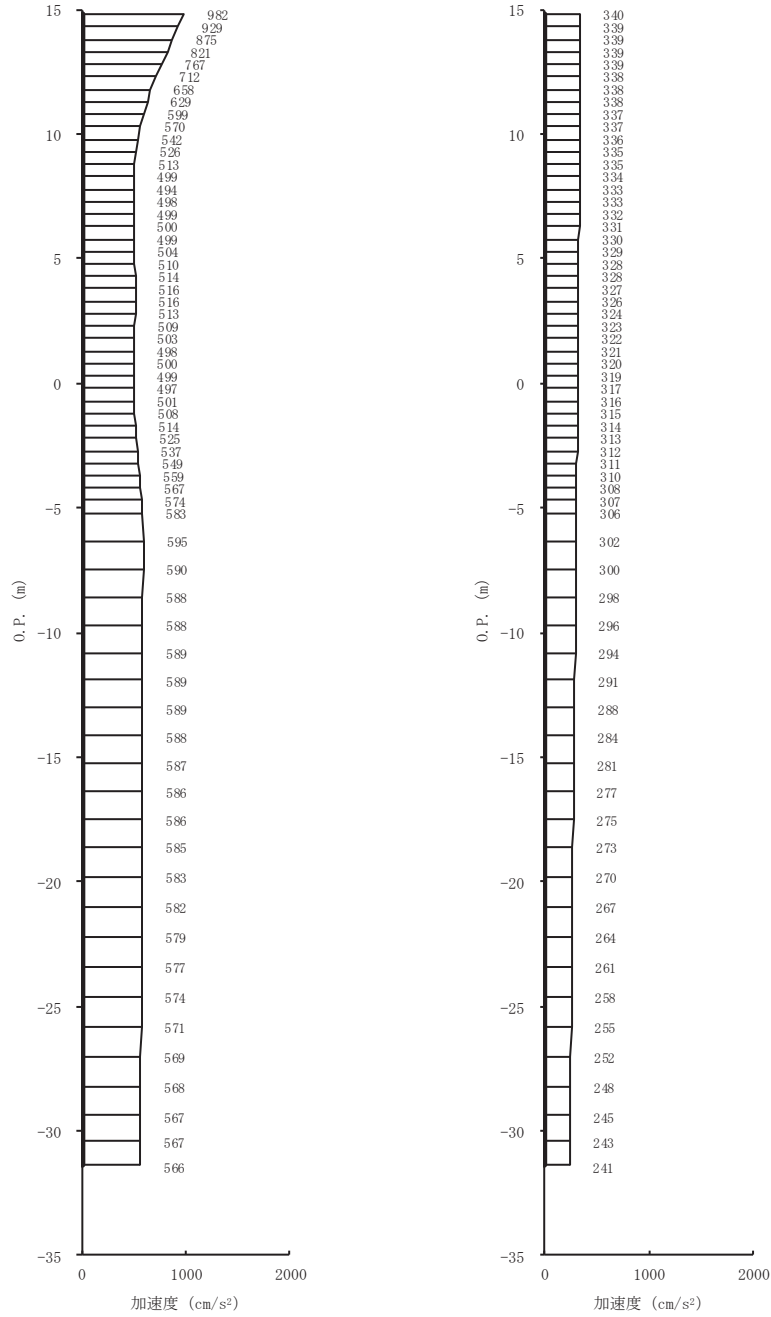
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



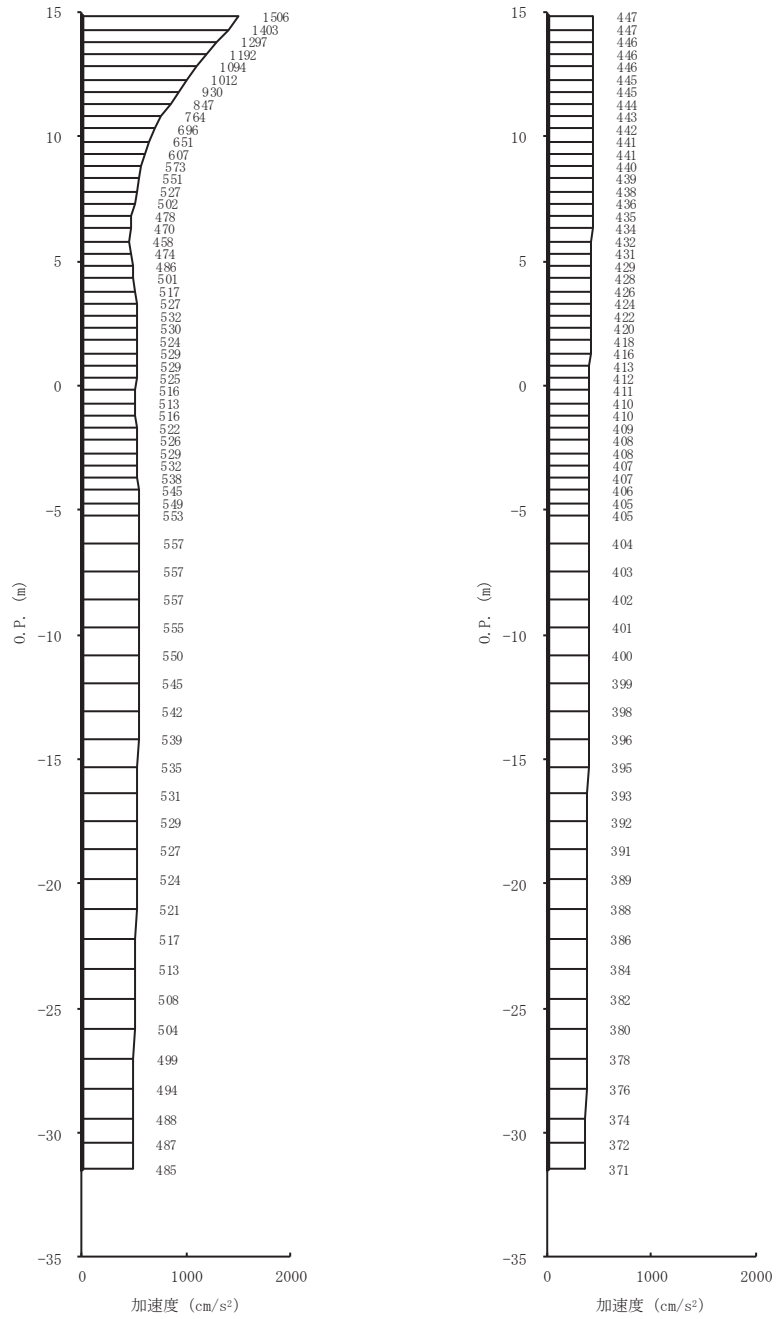
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



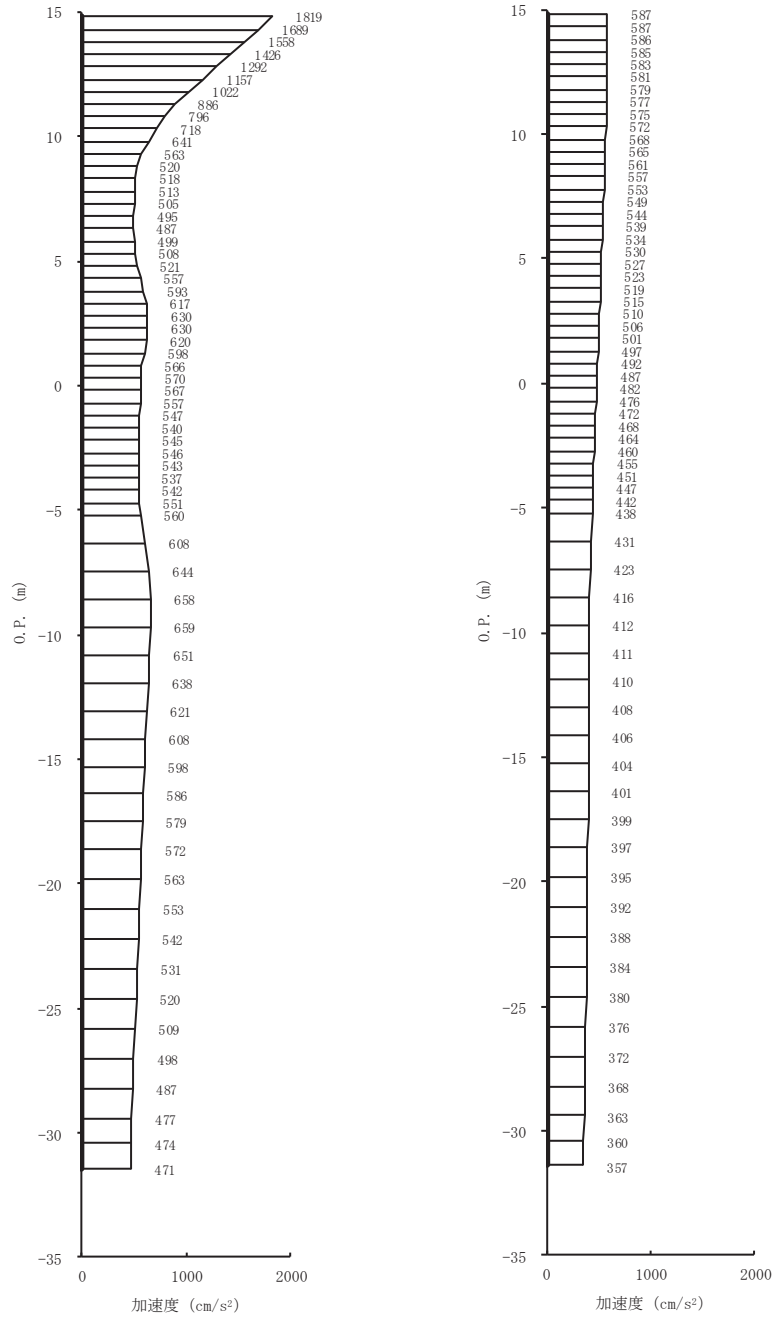
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



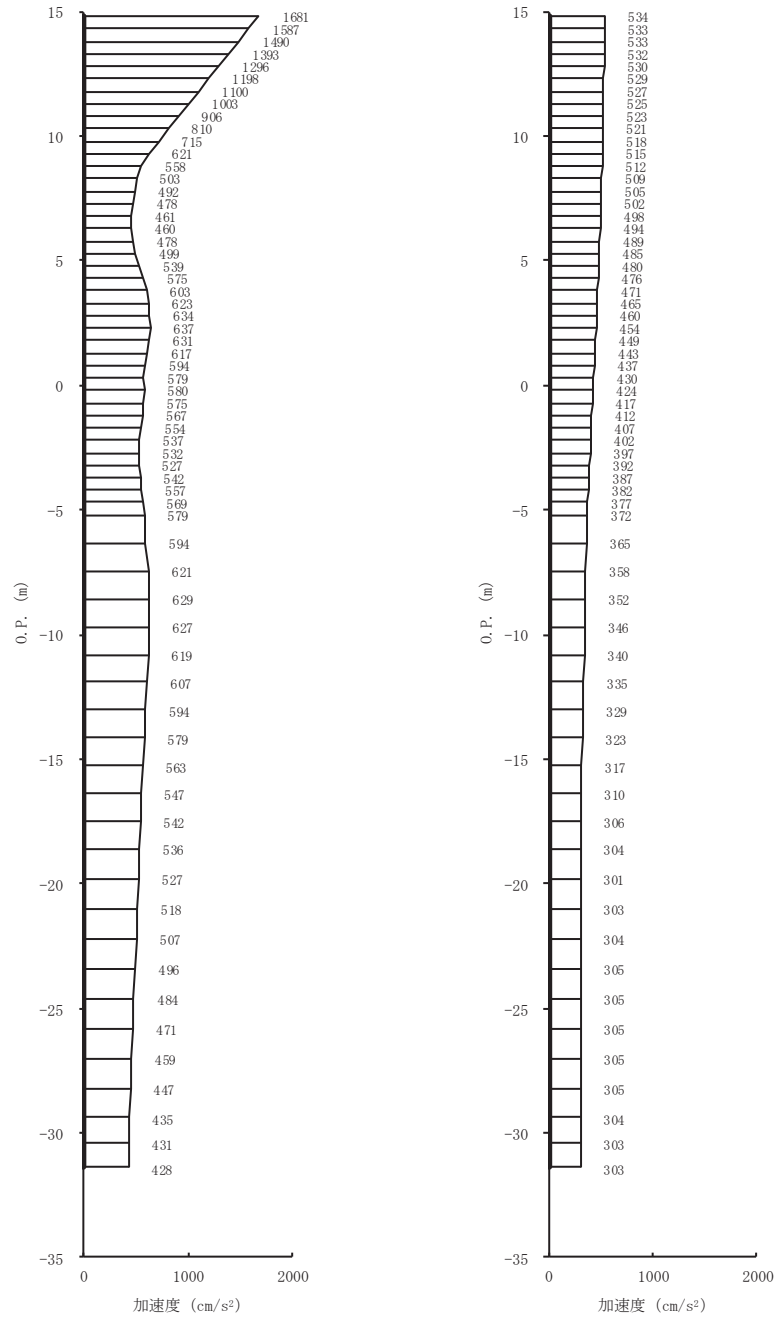
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - D 1 (++) 水平      (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

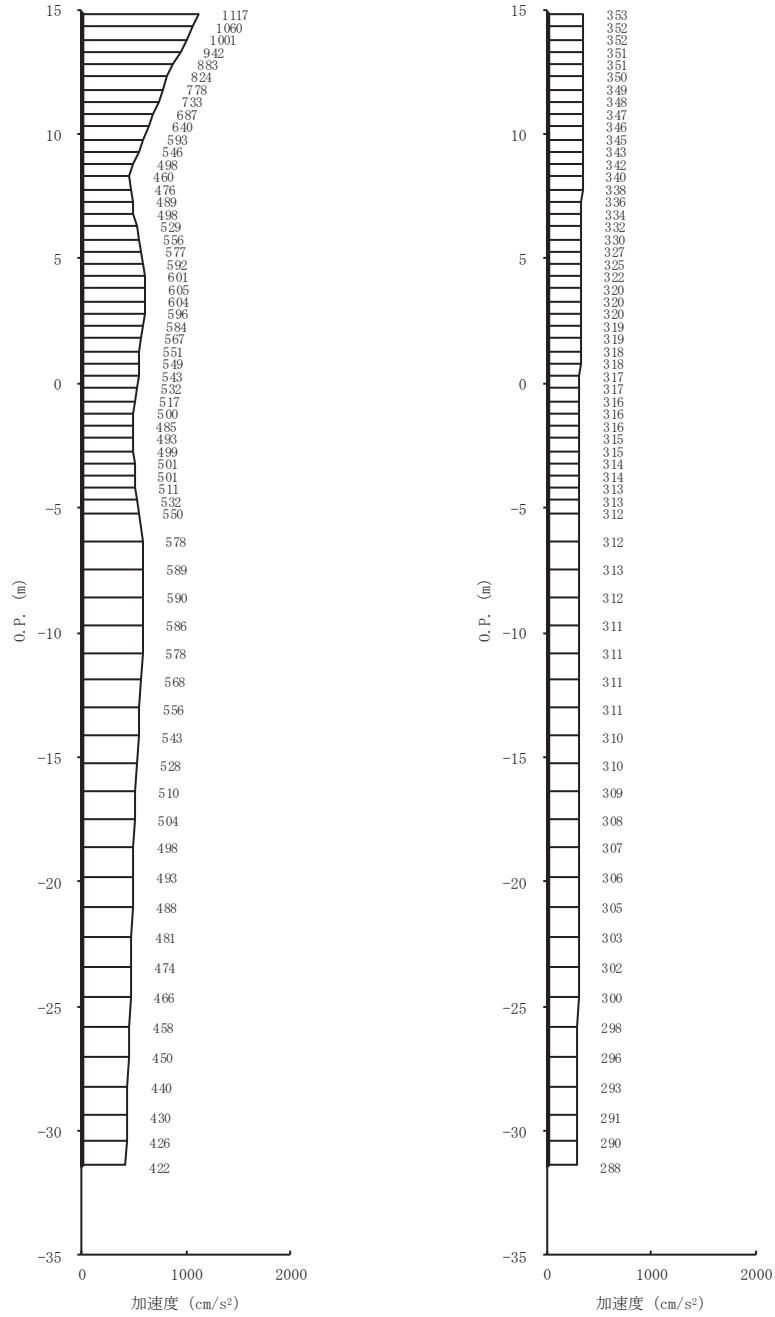


(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

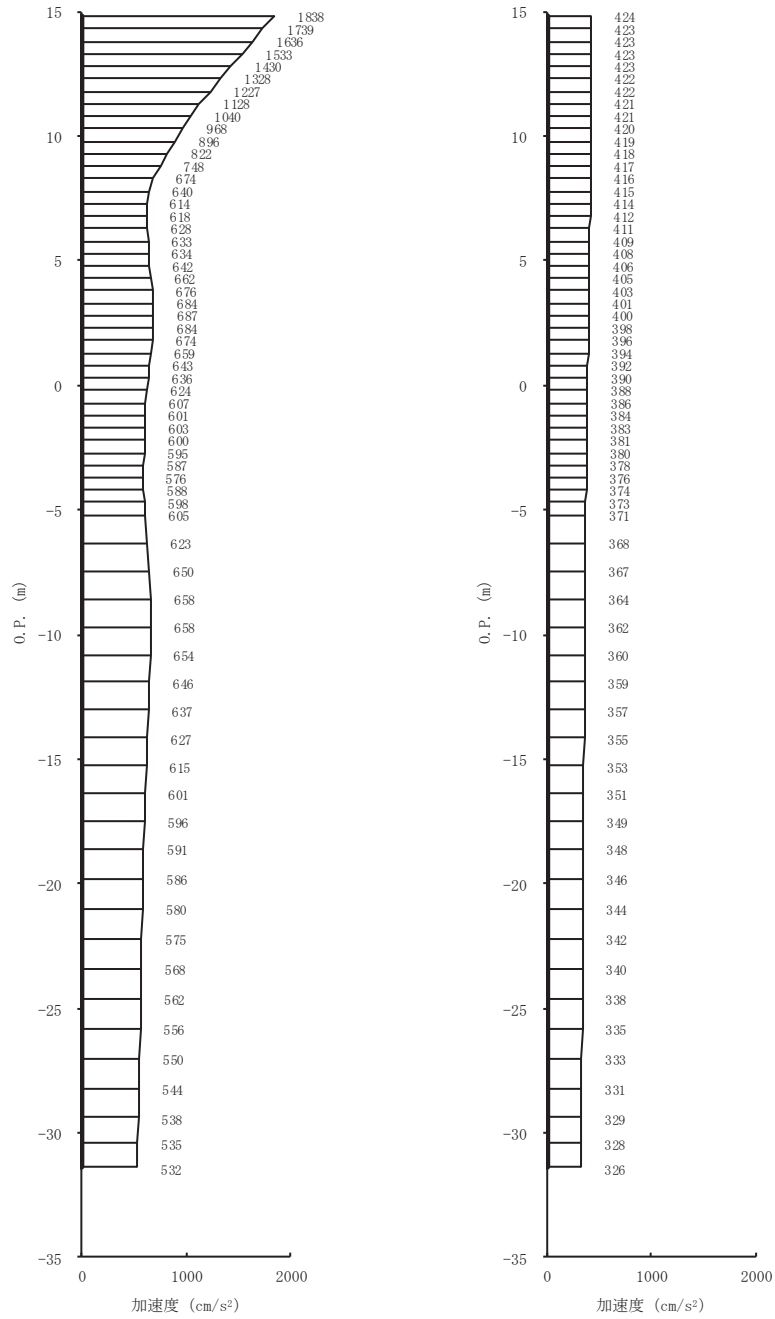


(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

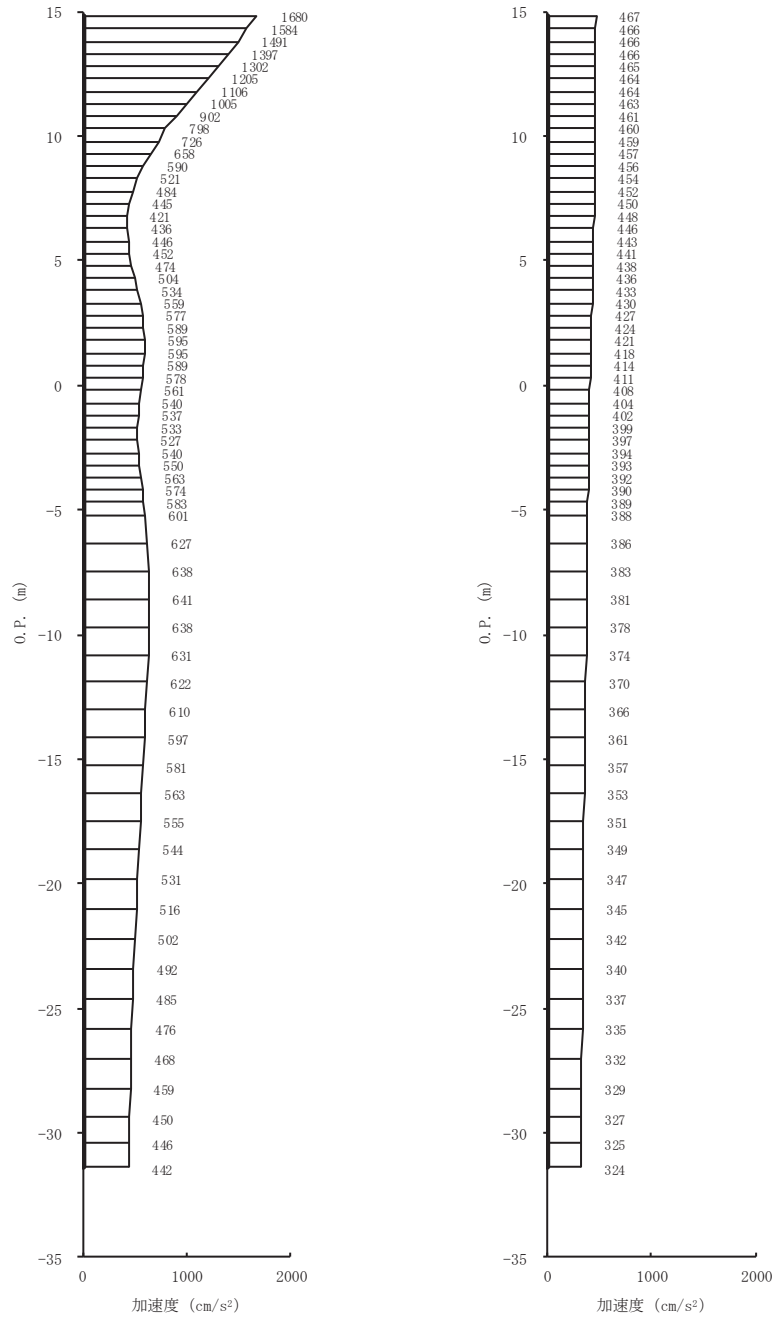




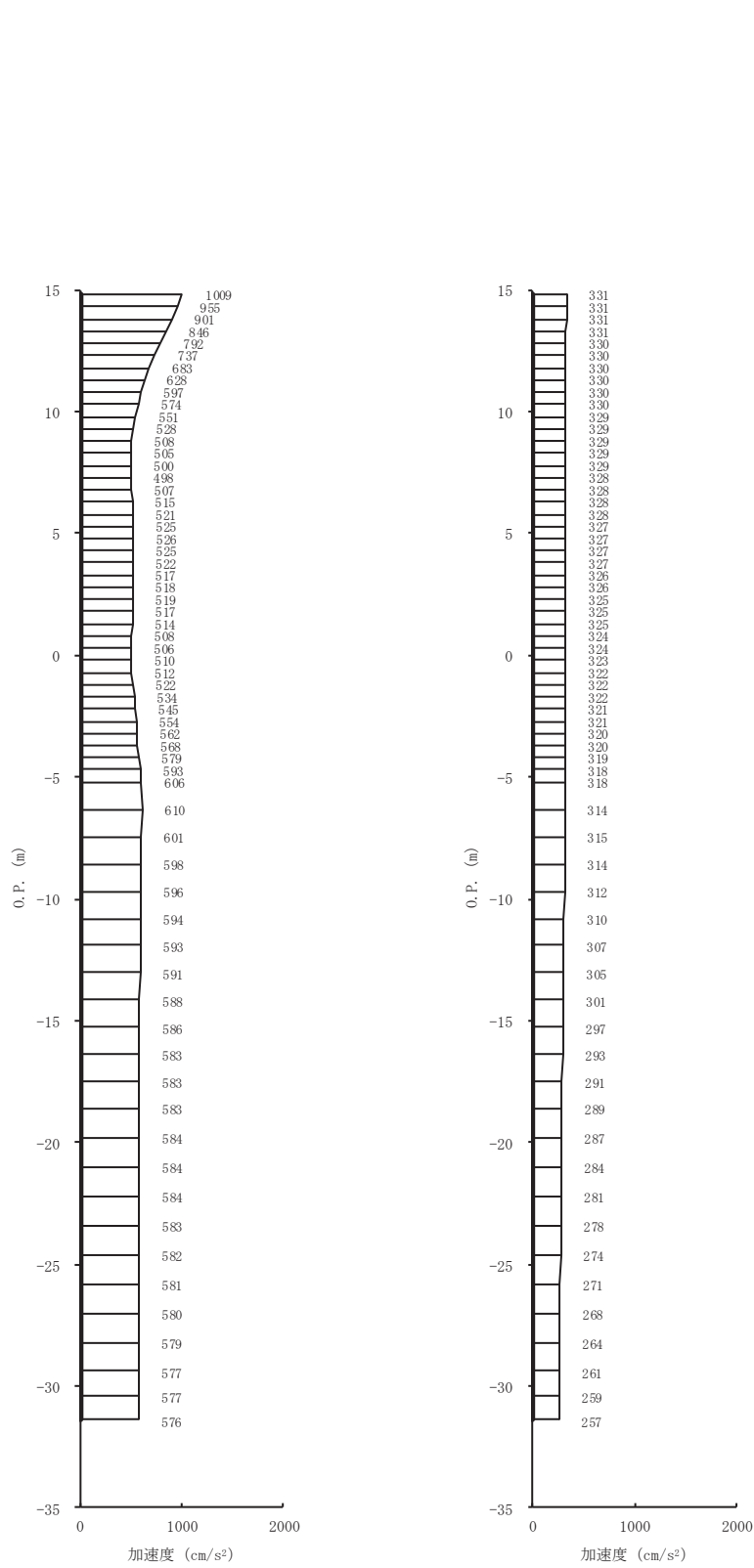
(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



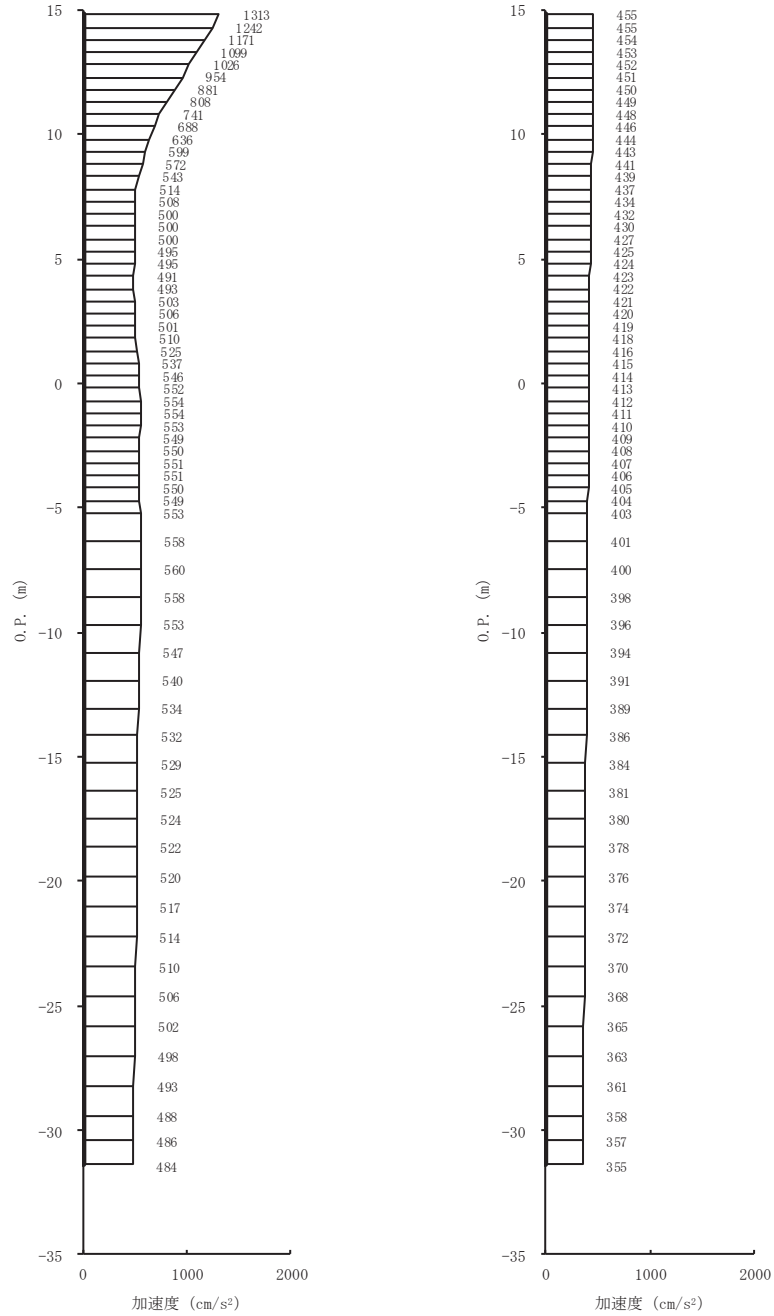
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-1(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



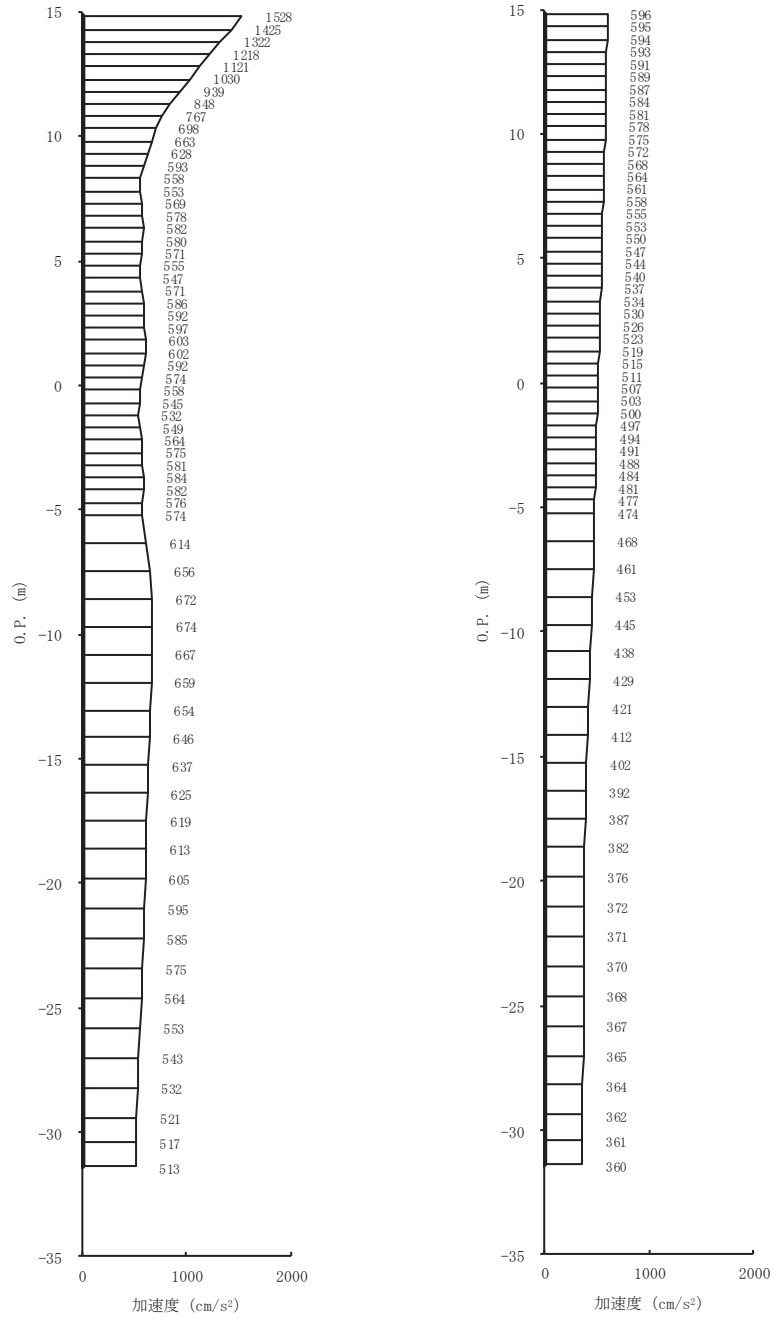
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-1(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



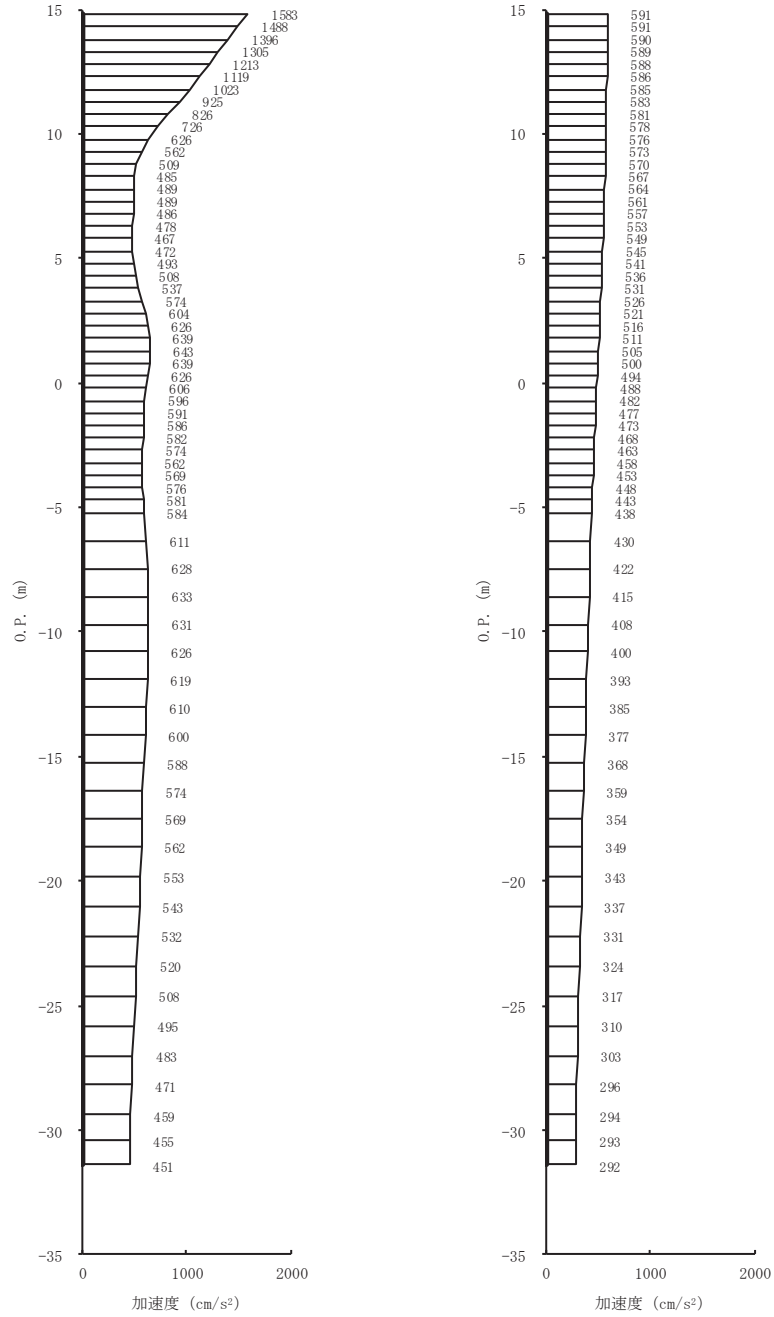
(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-1(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



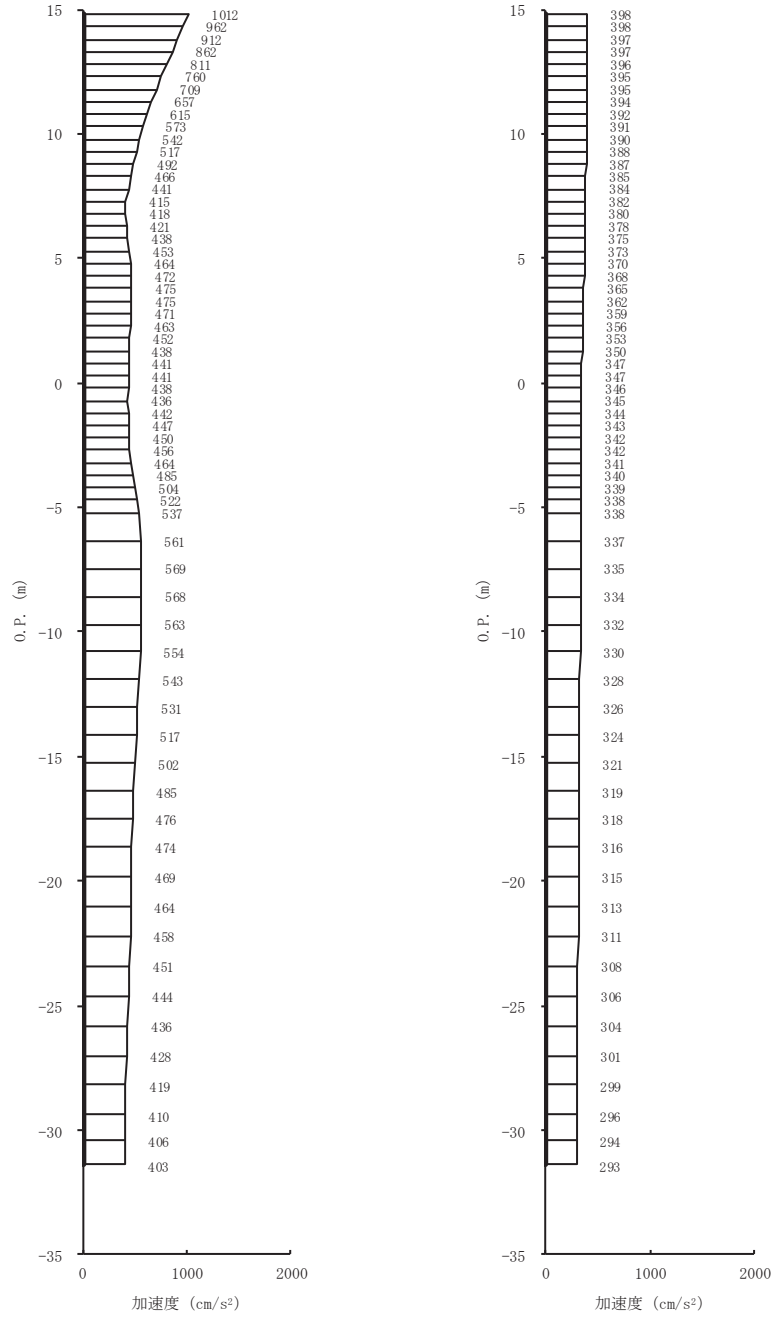
(a) S s - D 1 ( - + ) 水平      (b) S s - D 1 ( - + ) 鉛直  
 図 4-2(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-2(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

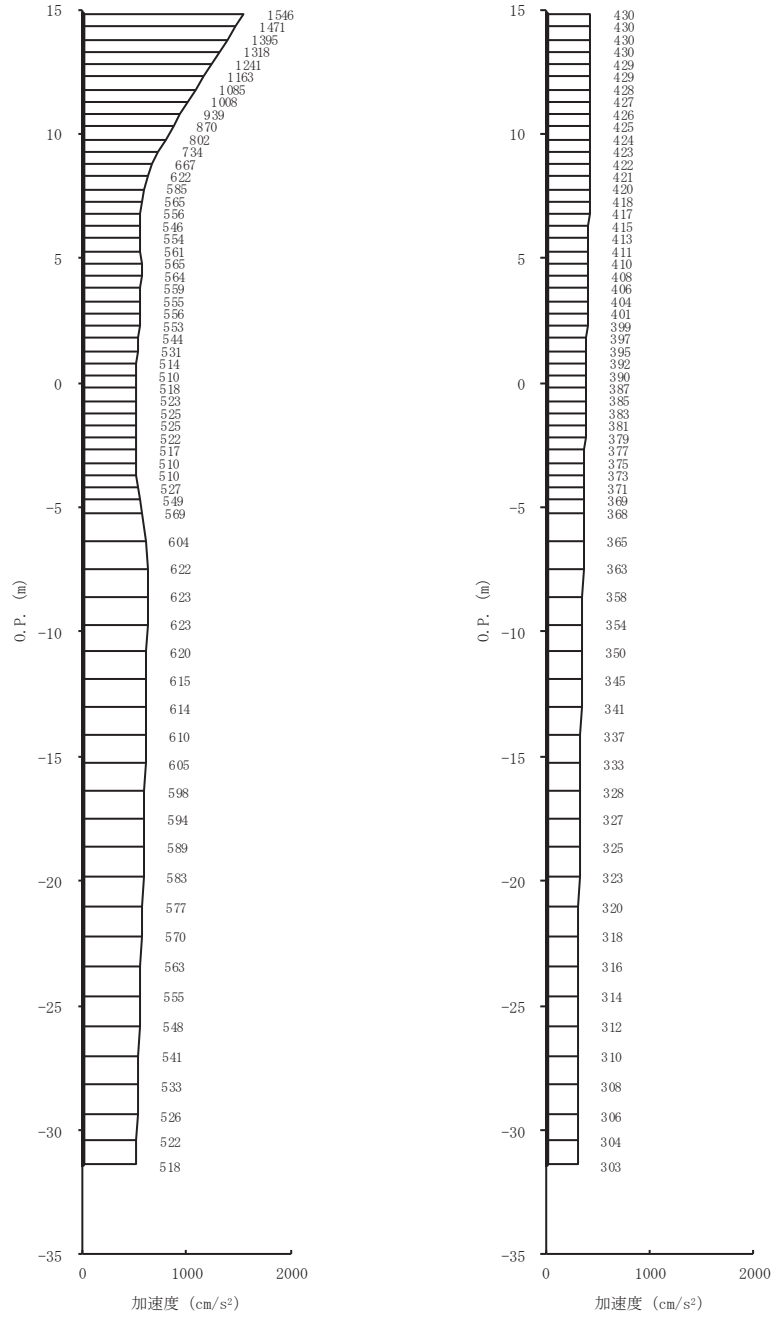


(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-2(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

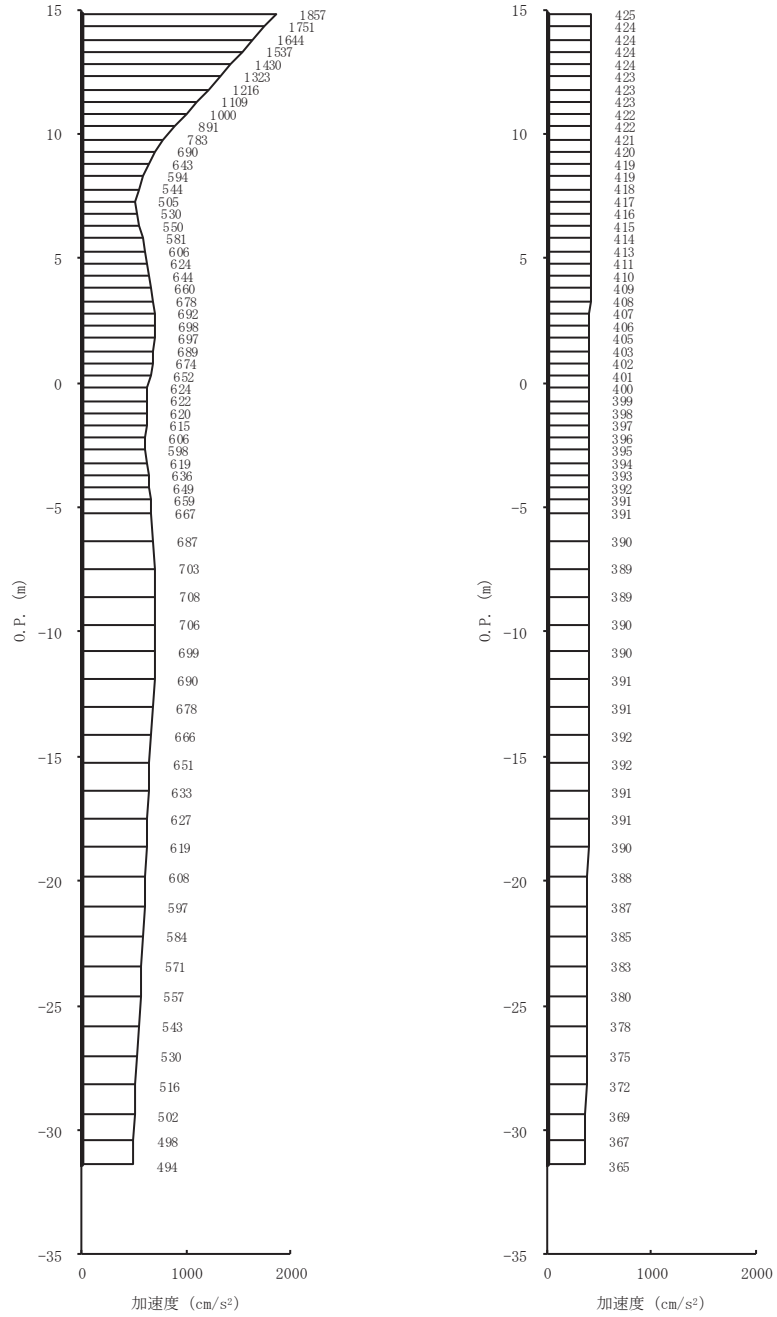


(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-2(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)

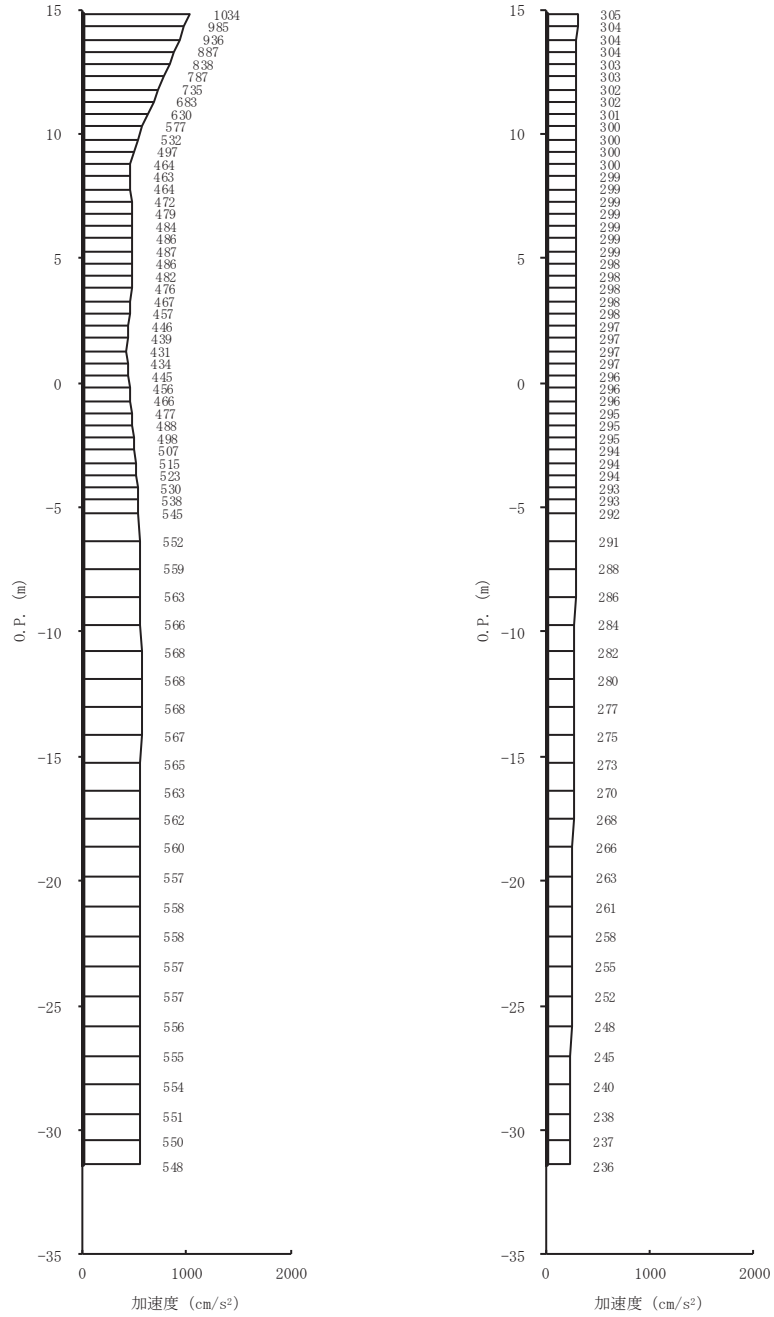




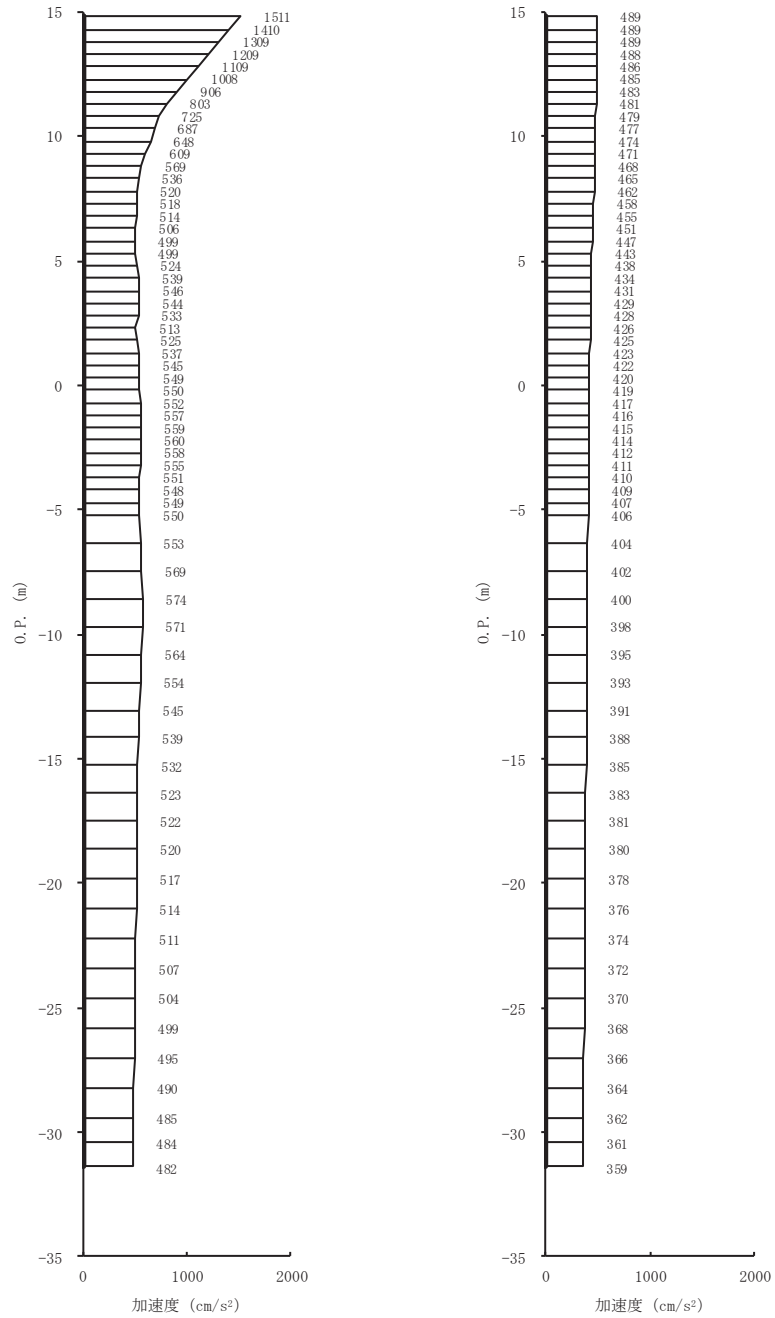
(a) S s - F 2 (-+) 水平 (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-2(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



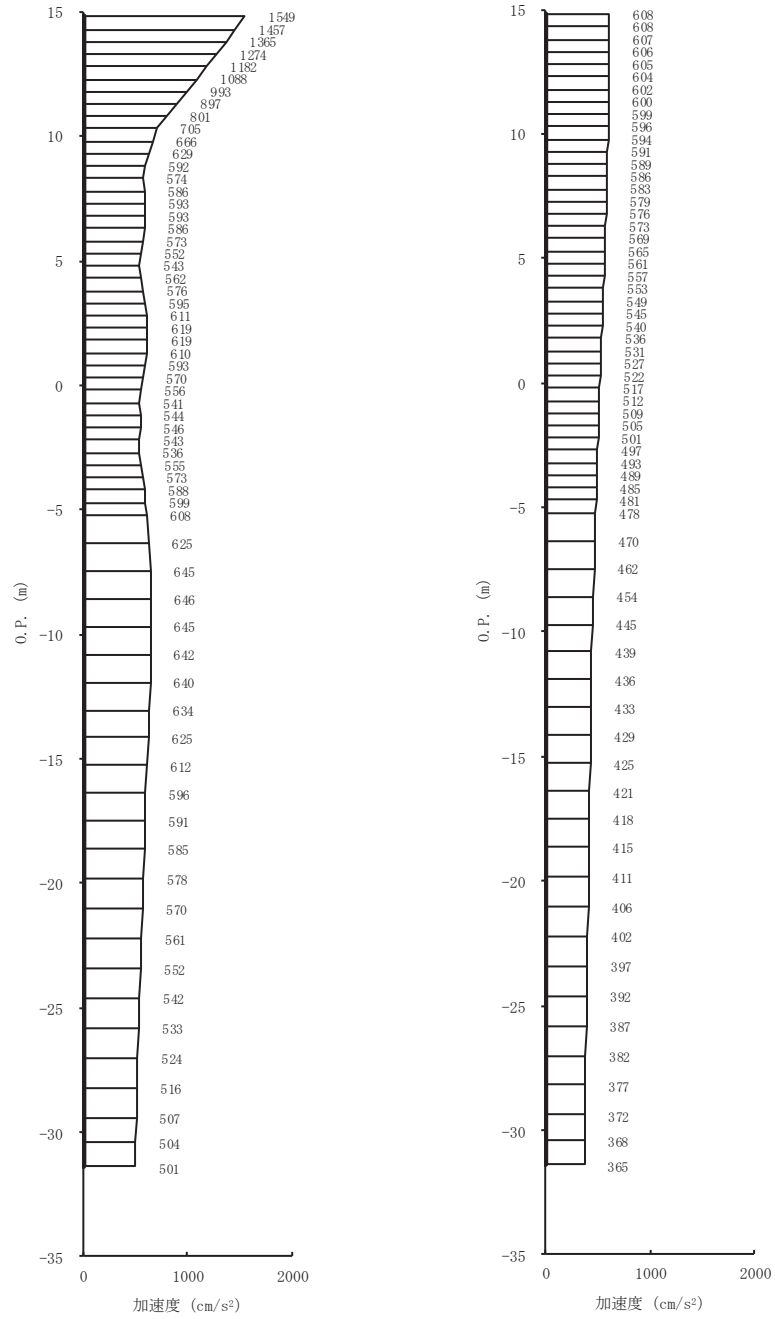
(a) S s - F 3 (-+) 水平 (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-2(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



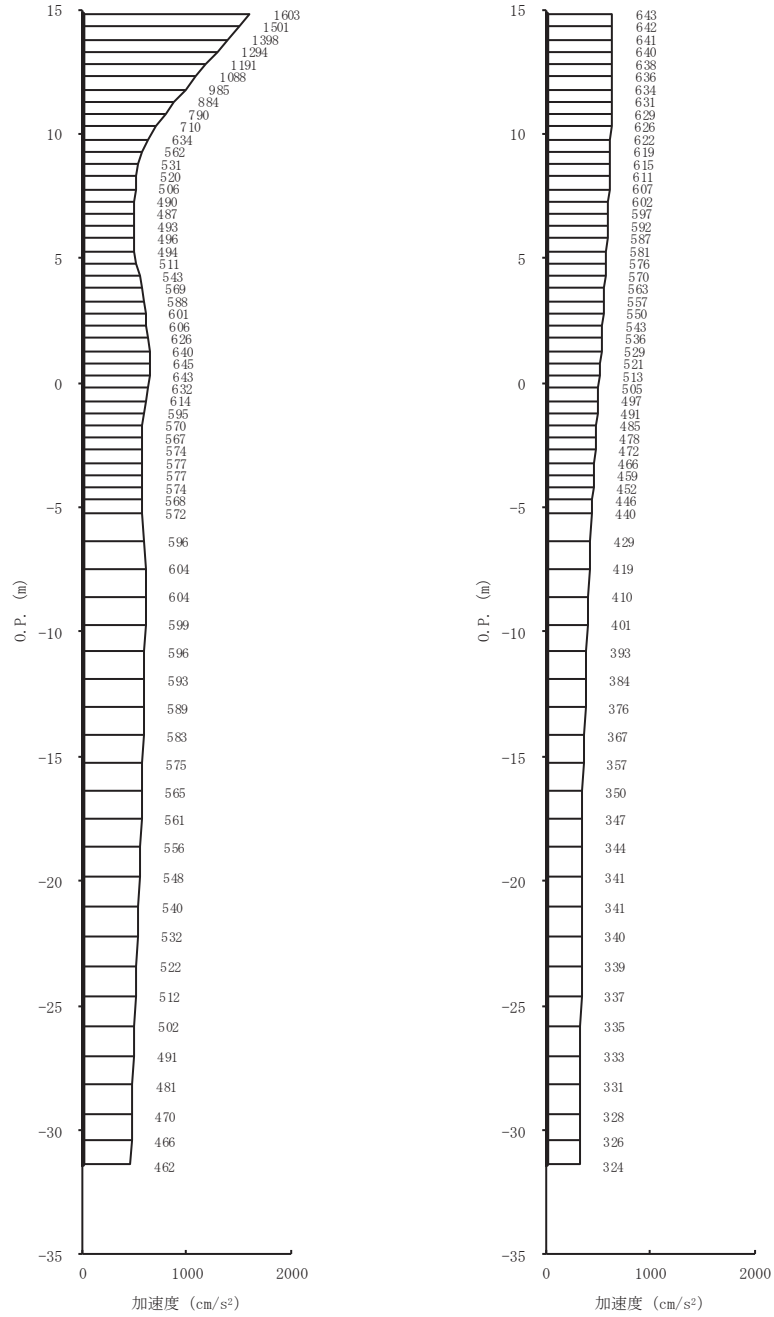
(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-2(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-2(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)

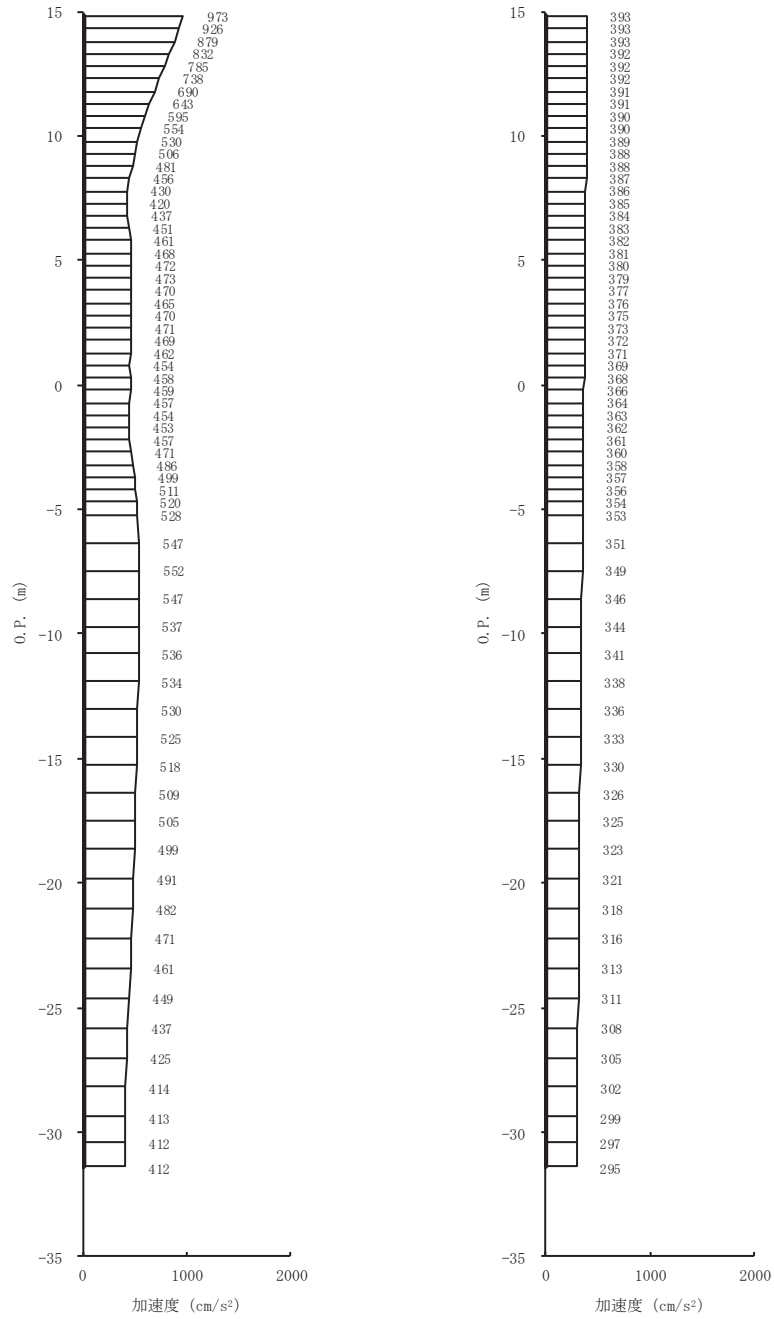


(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-2(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



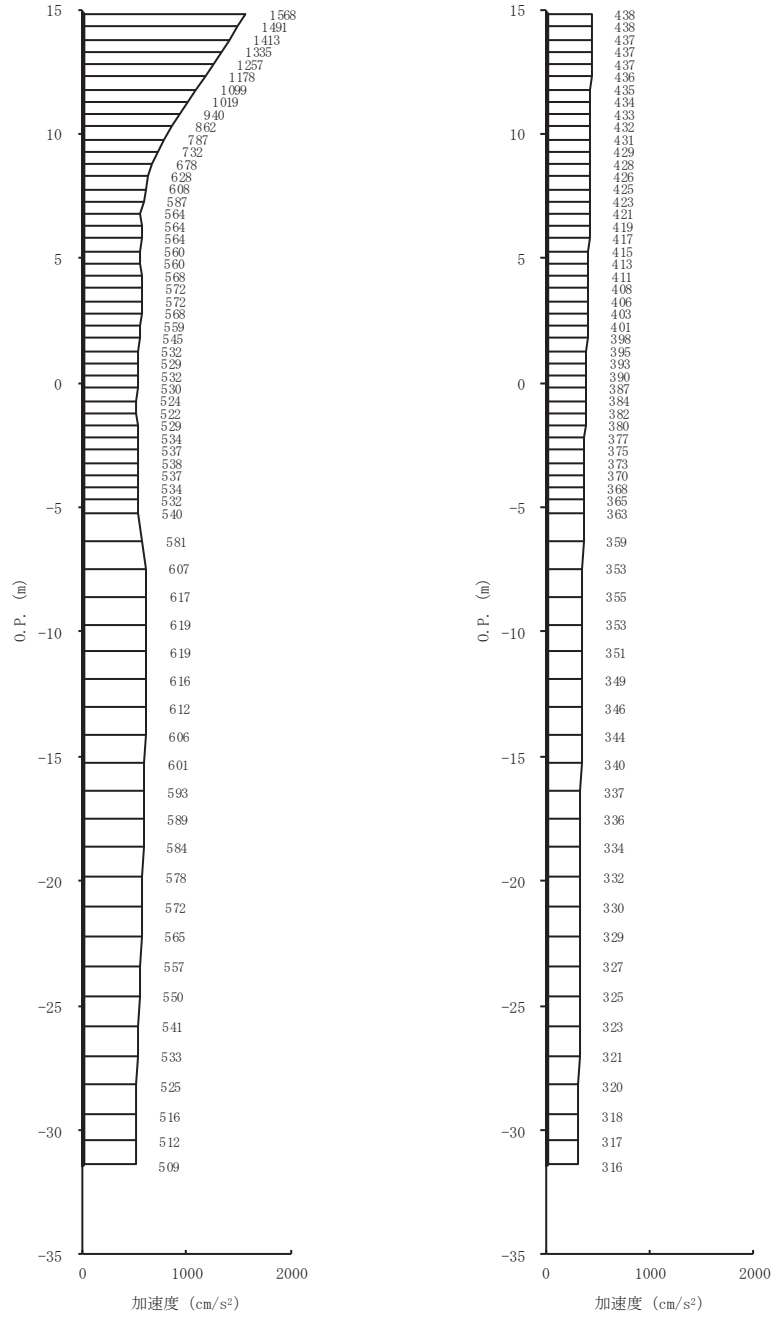
(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

図 4-2(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

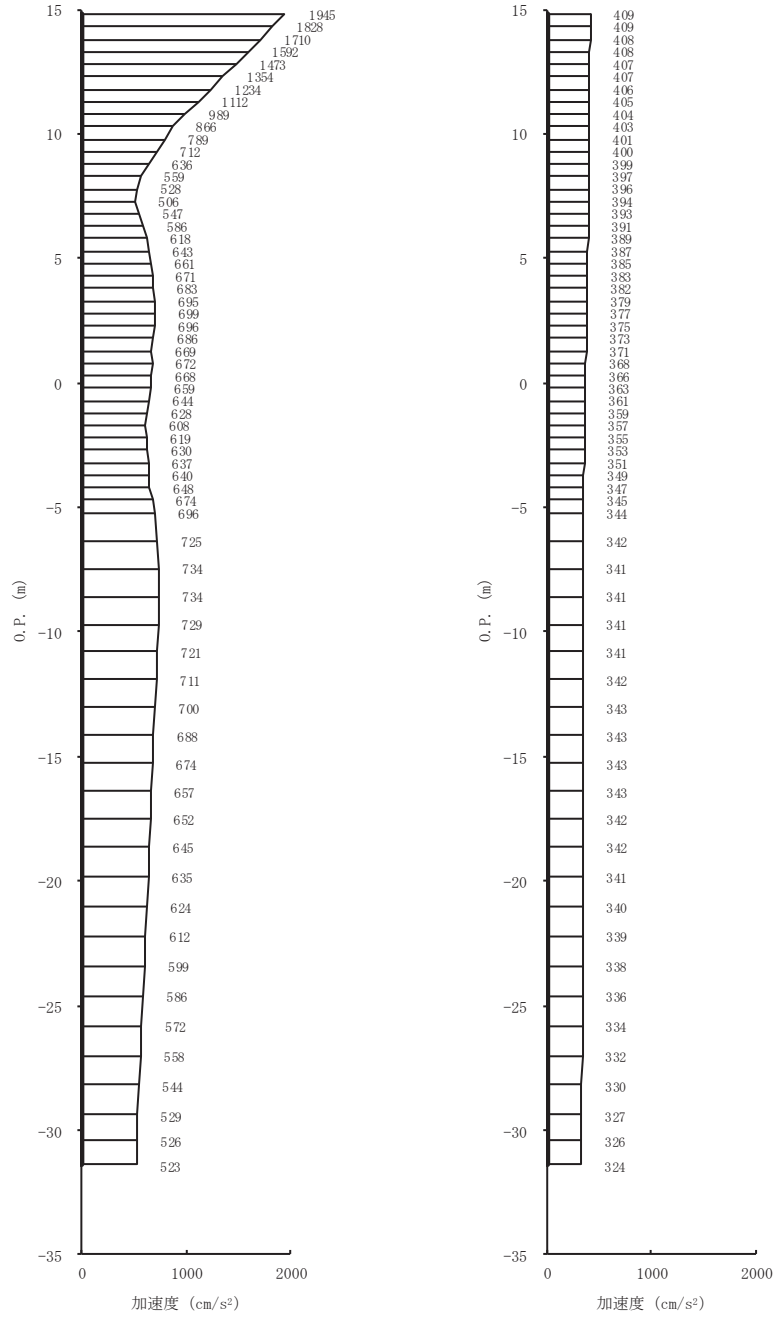
図 4-2(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

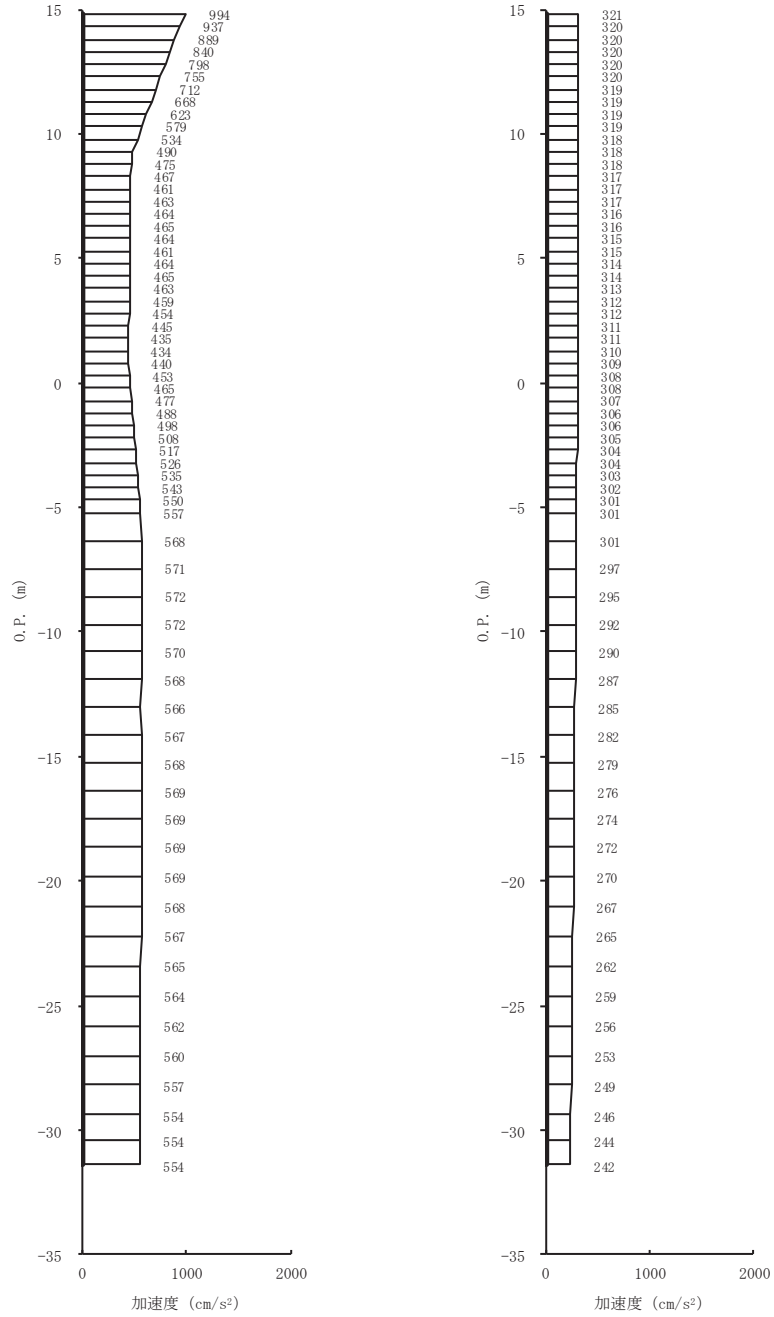
図 4-2(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)





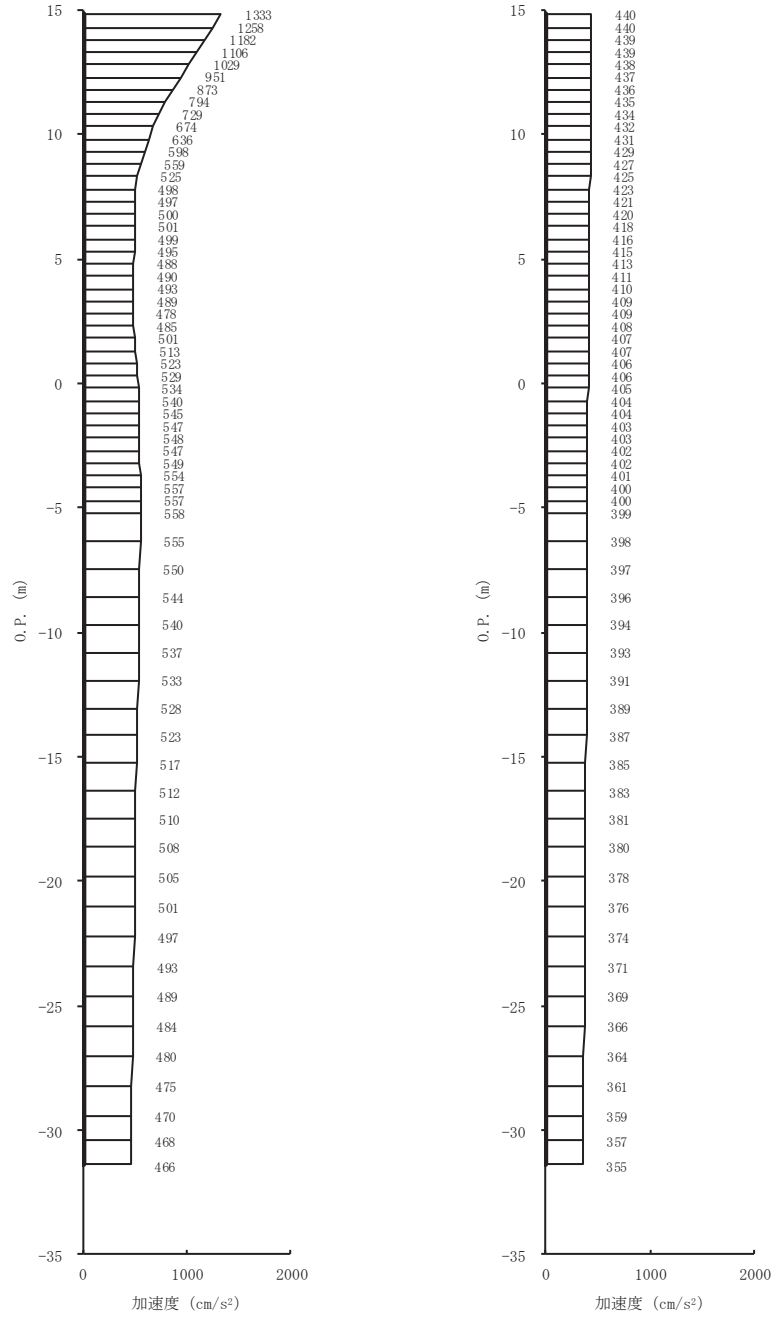
(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

図 4-2(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



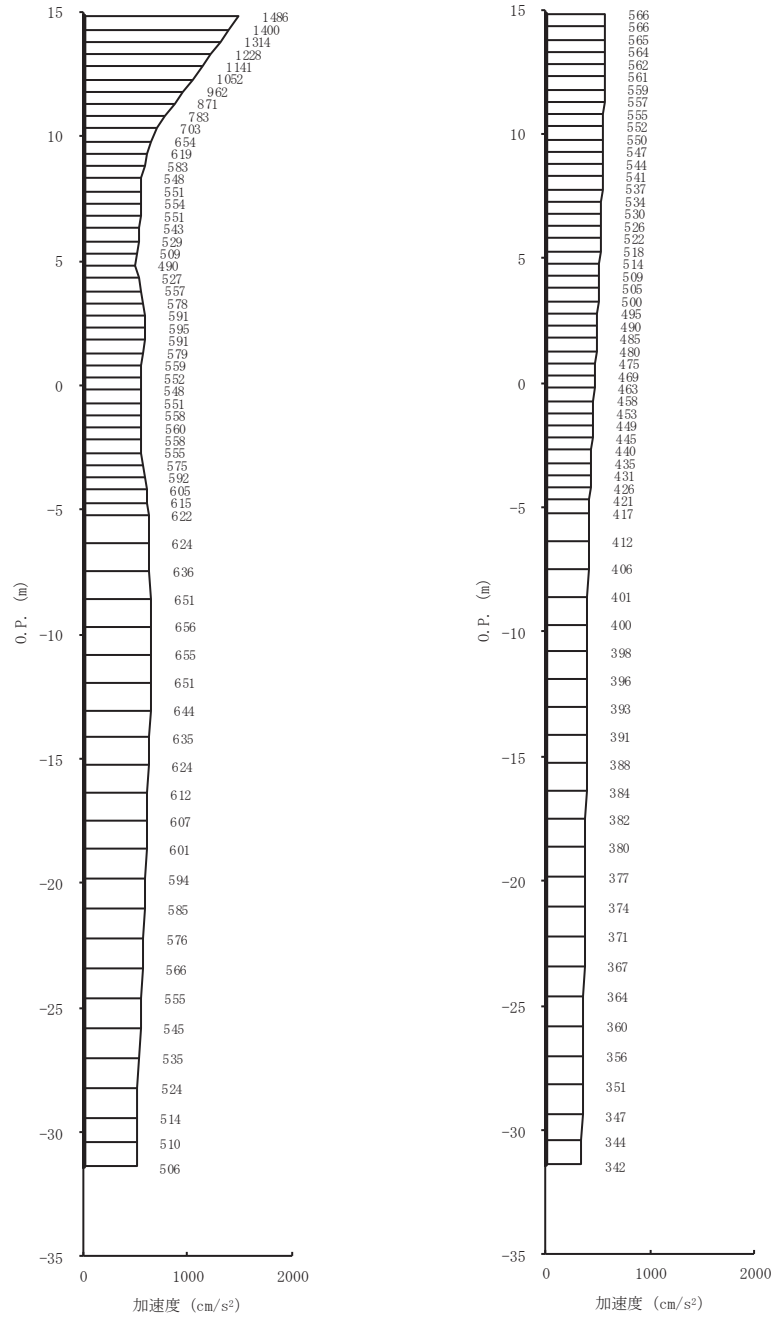
(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-2(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース②)



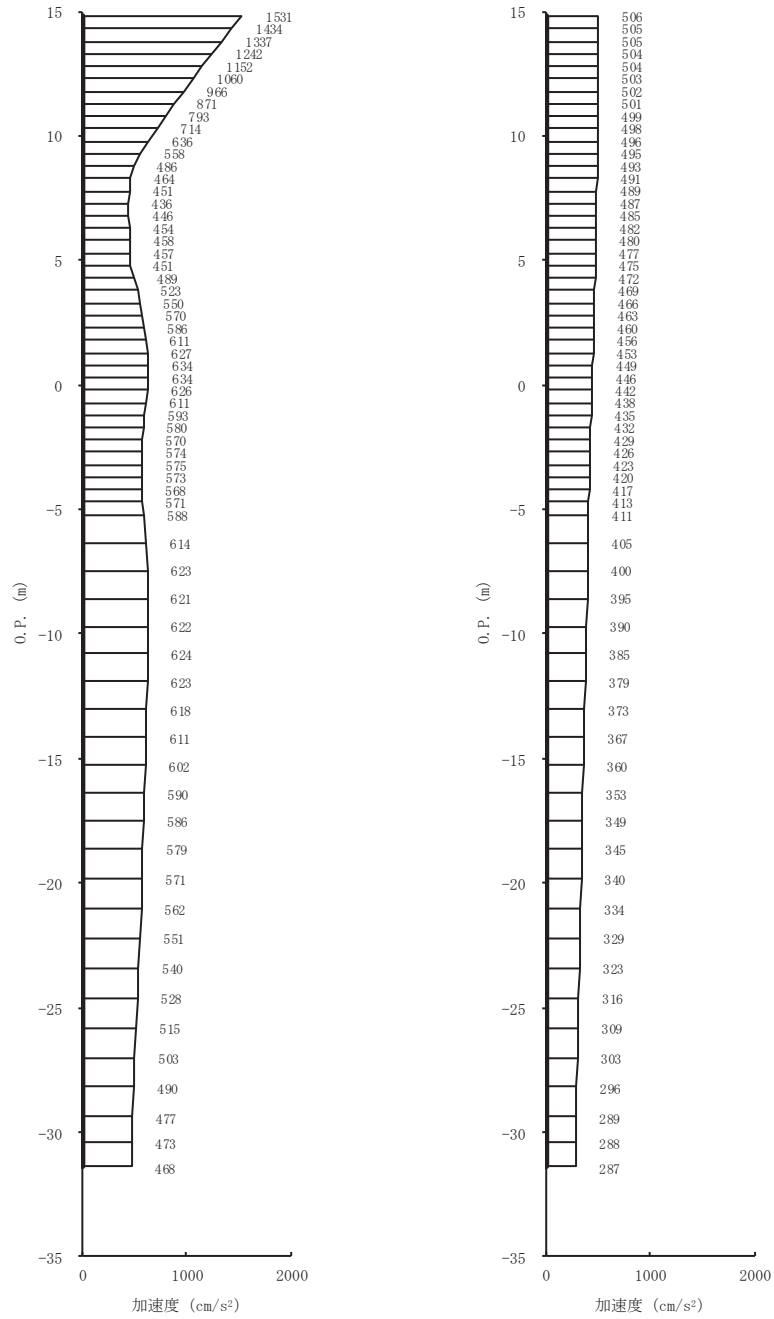
(a) S s - D 1 (-+) 水平      (b) S s - D 1 (-+) 鉛直

図 4-2(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



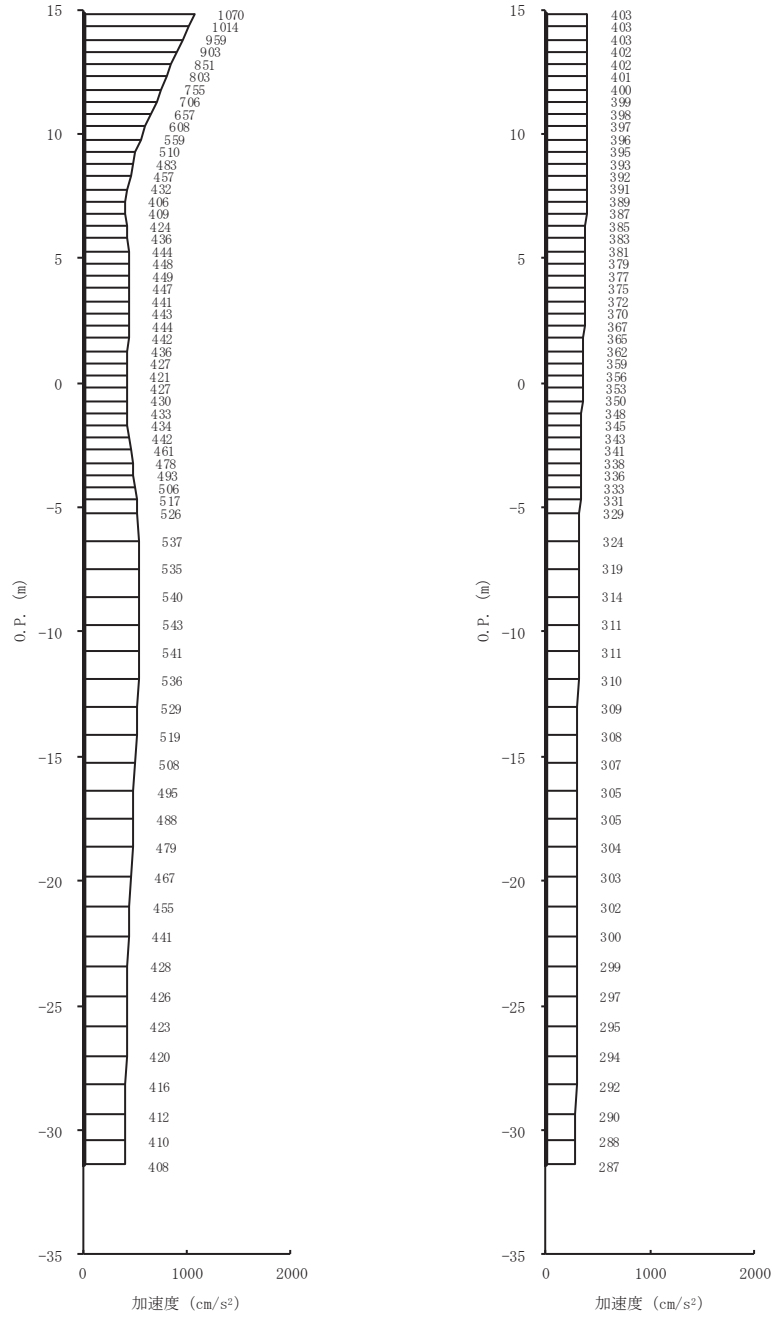
(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直

図 4-2(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



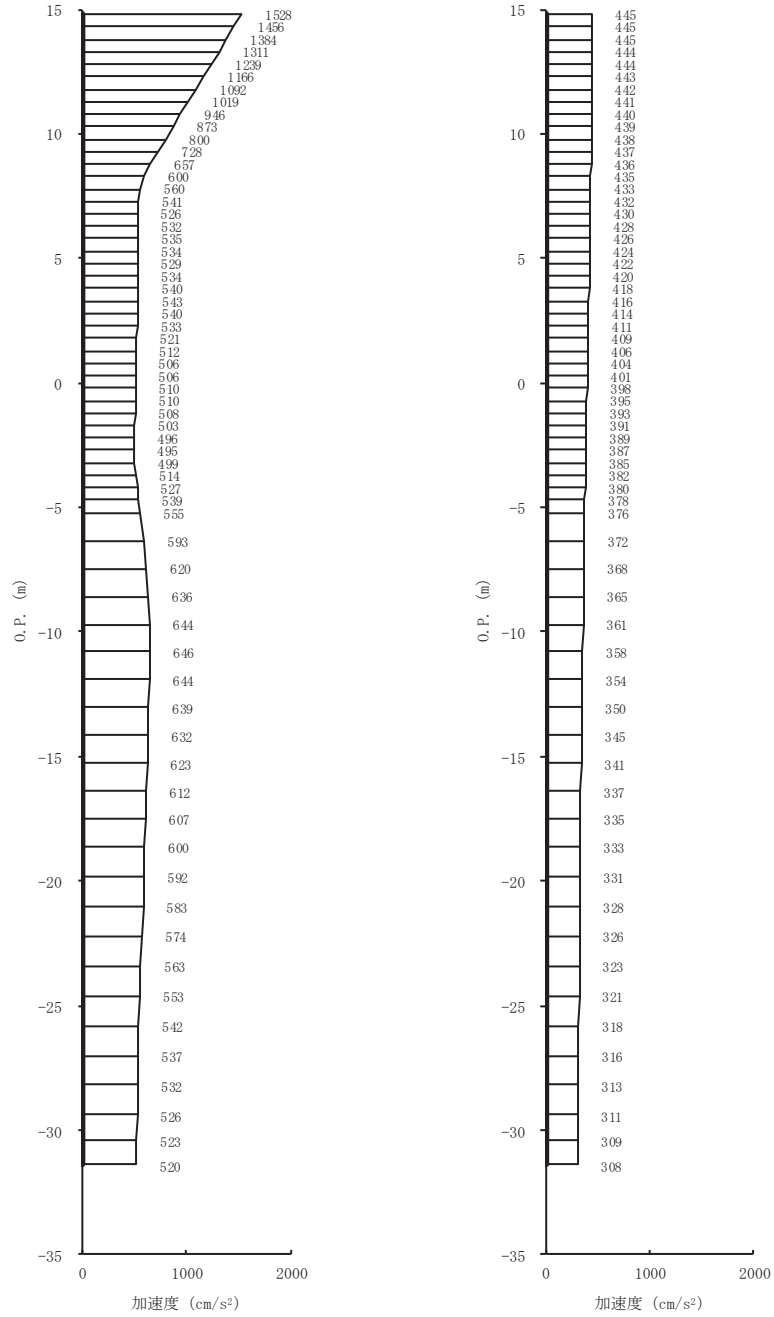
(a) S s - D 3 ( - + ) 水平      (b) S s - D 3 ( - + ) 鉛直

図 4-2(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



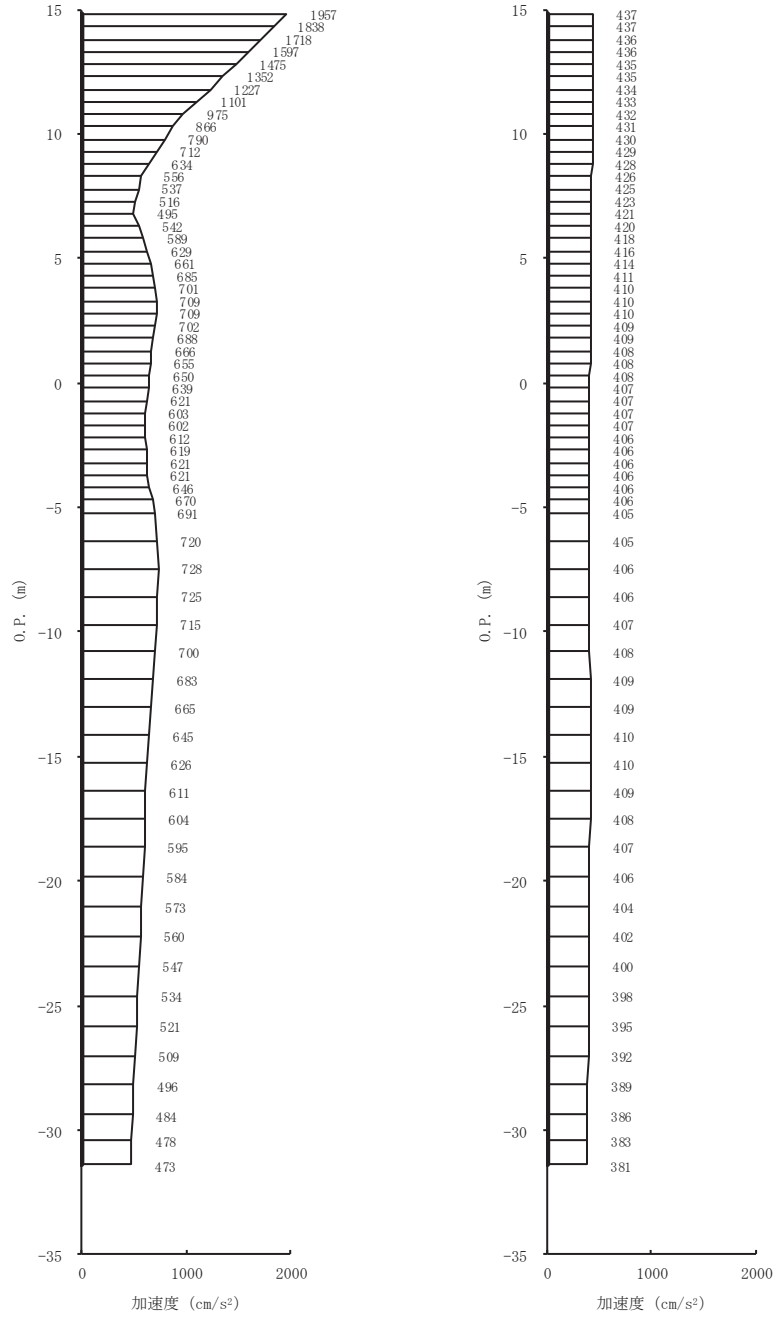
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-2(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

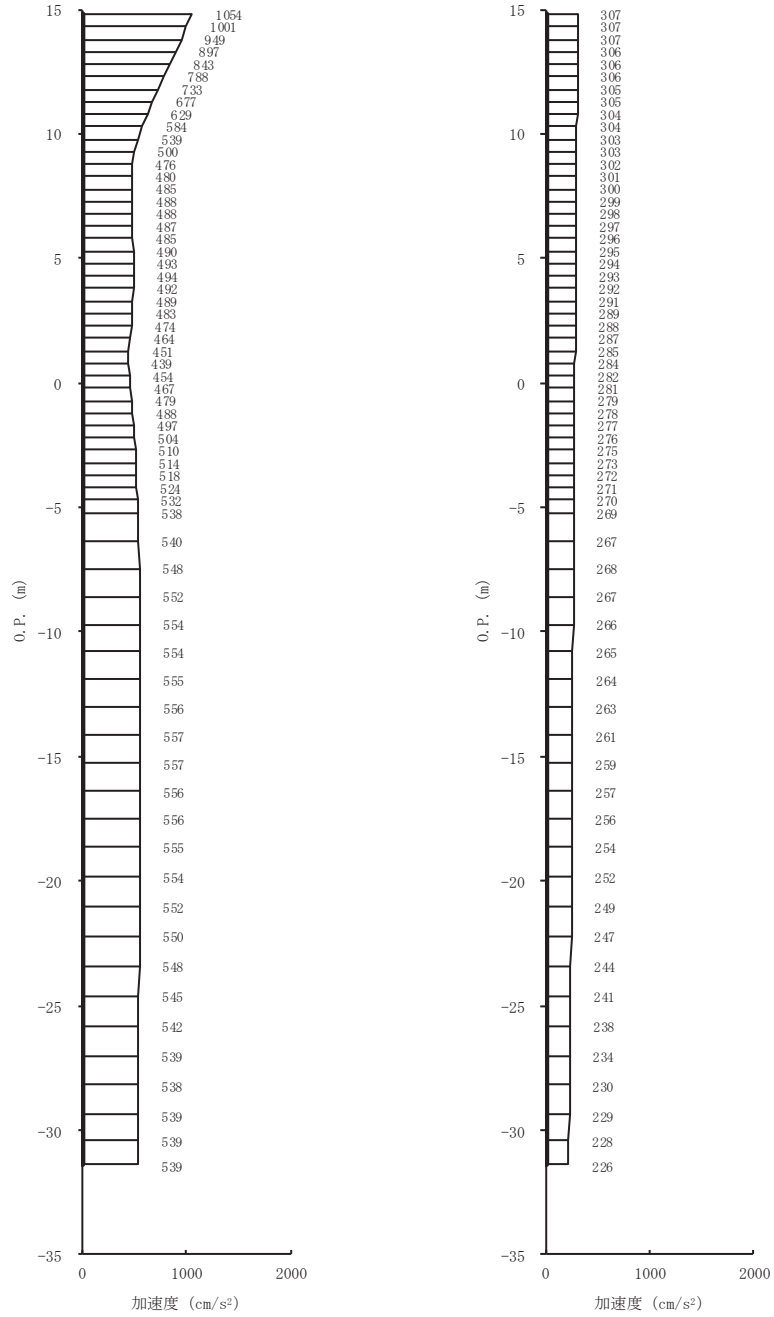
図 4-2(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

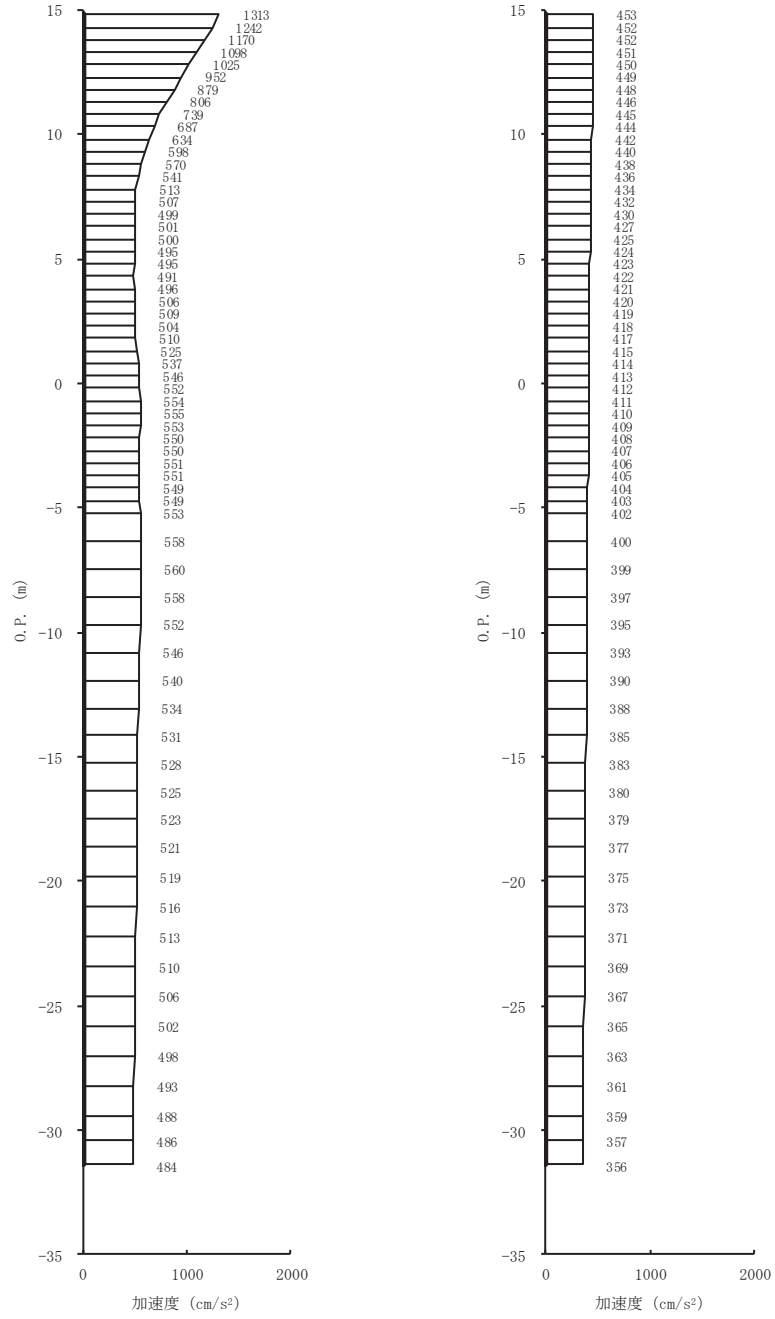
図 4-2(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)





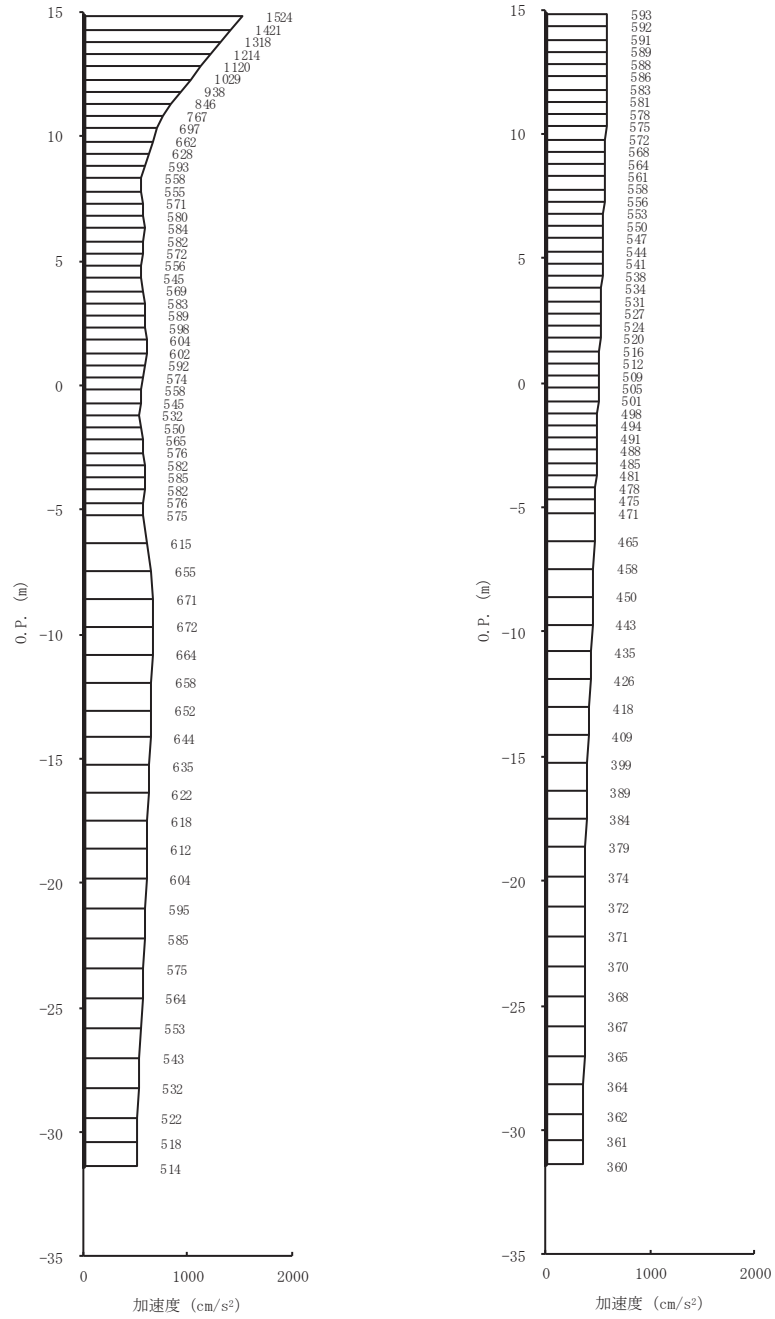
(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-2(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース③)



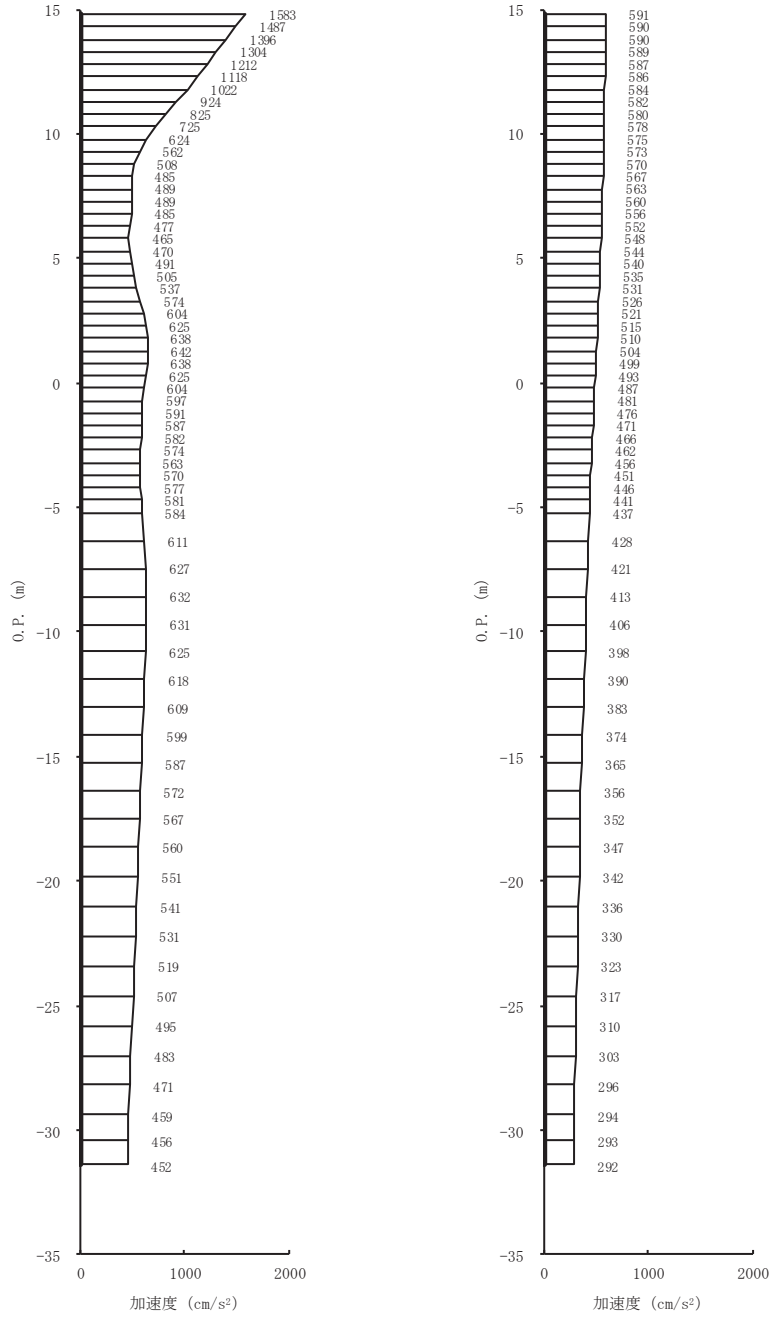
(a) S s - D 1 (-+) 水平      (b) S s - D 1 (-+) 鉛直

図 4-2(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



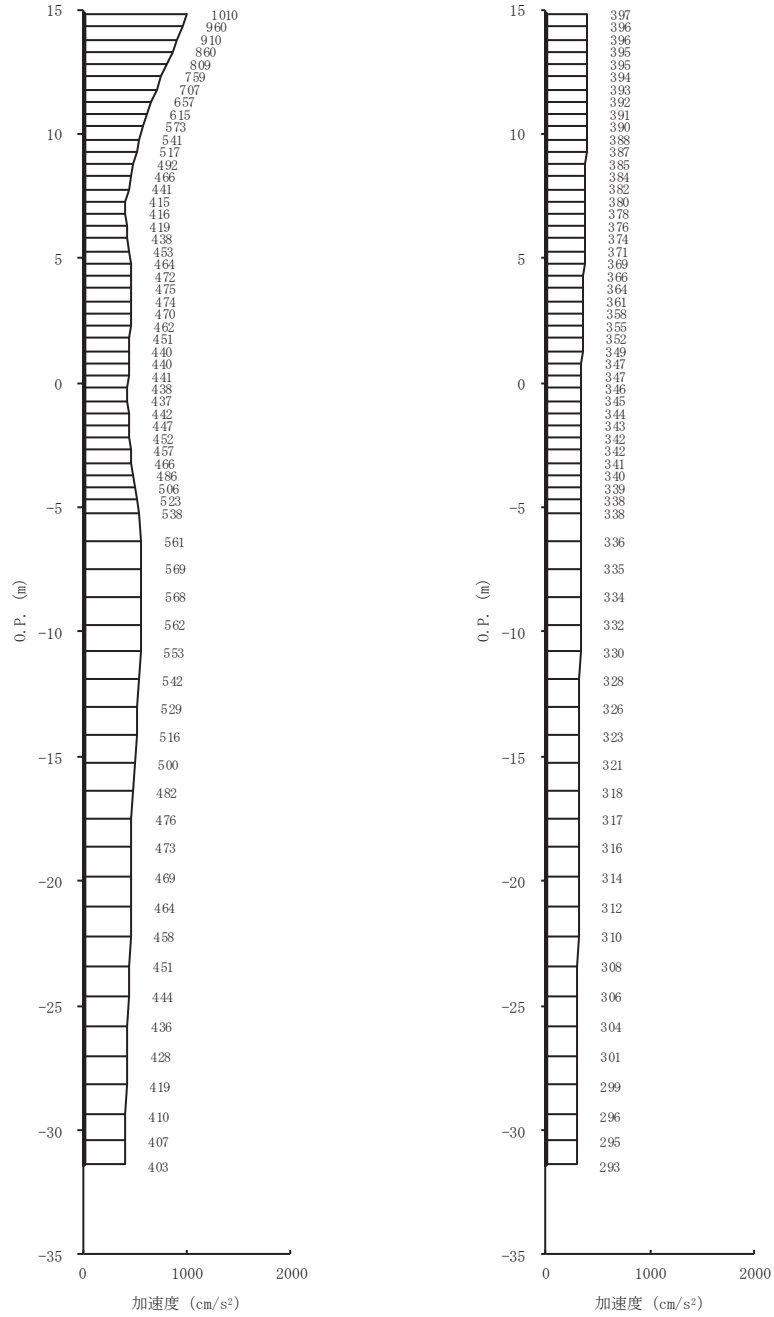
(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直

図 4-2(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



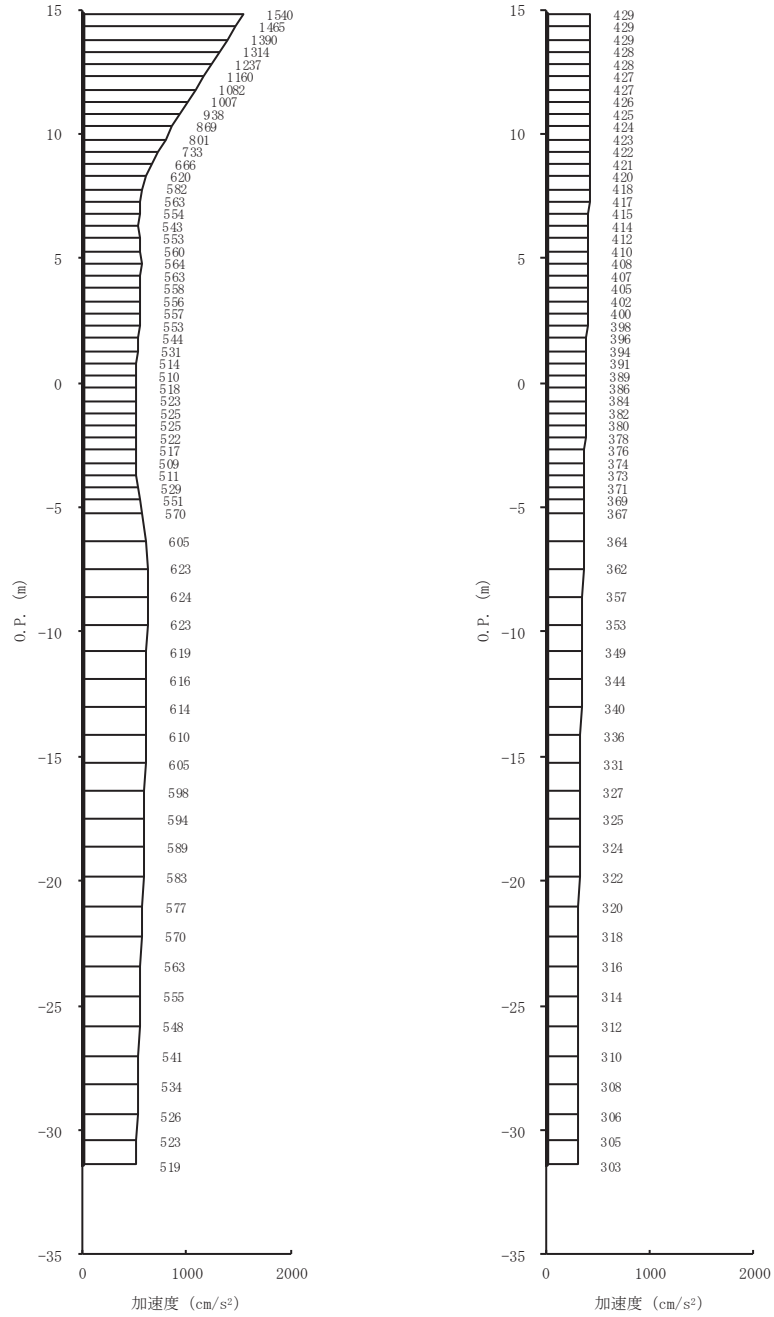
(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

図 4-2(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



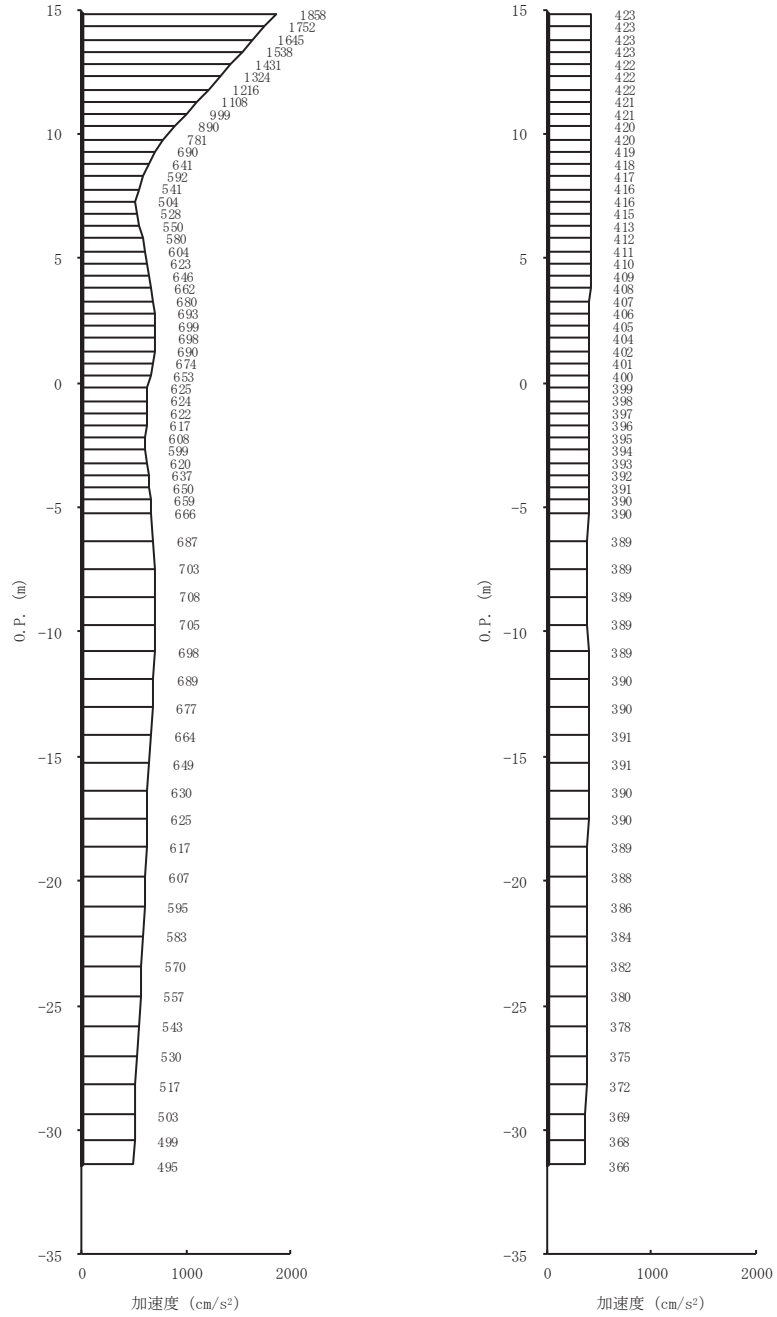
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-2(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)

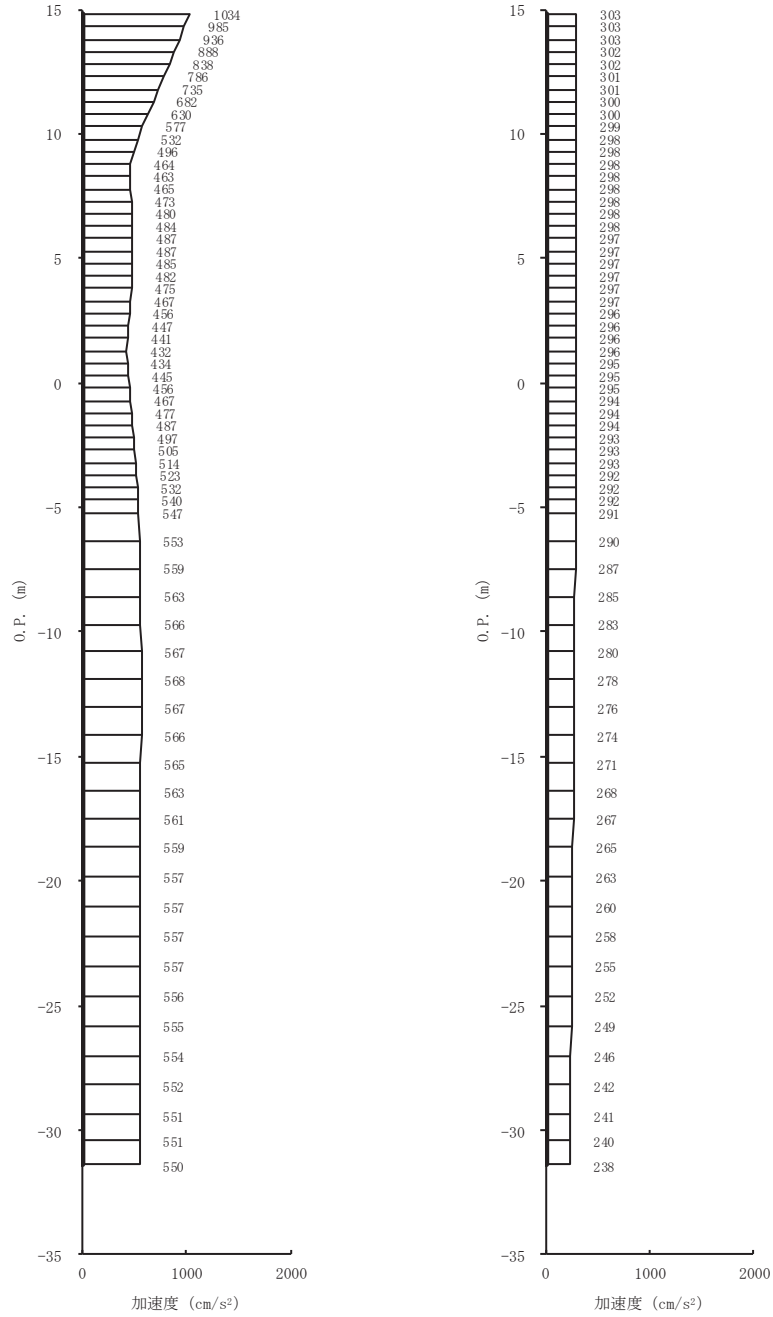


(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-2(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-2(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



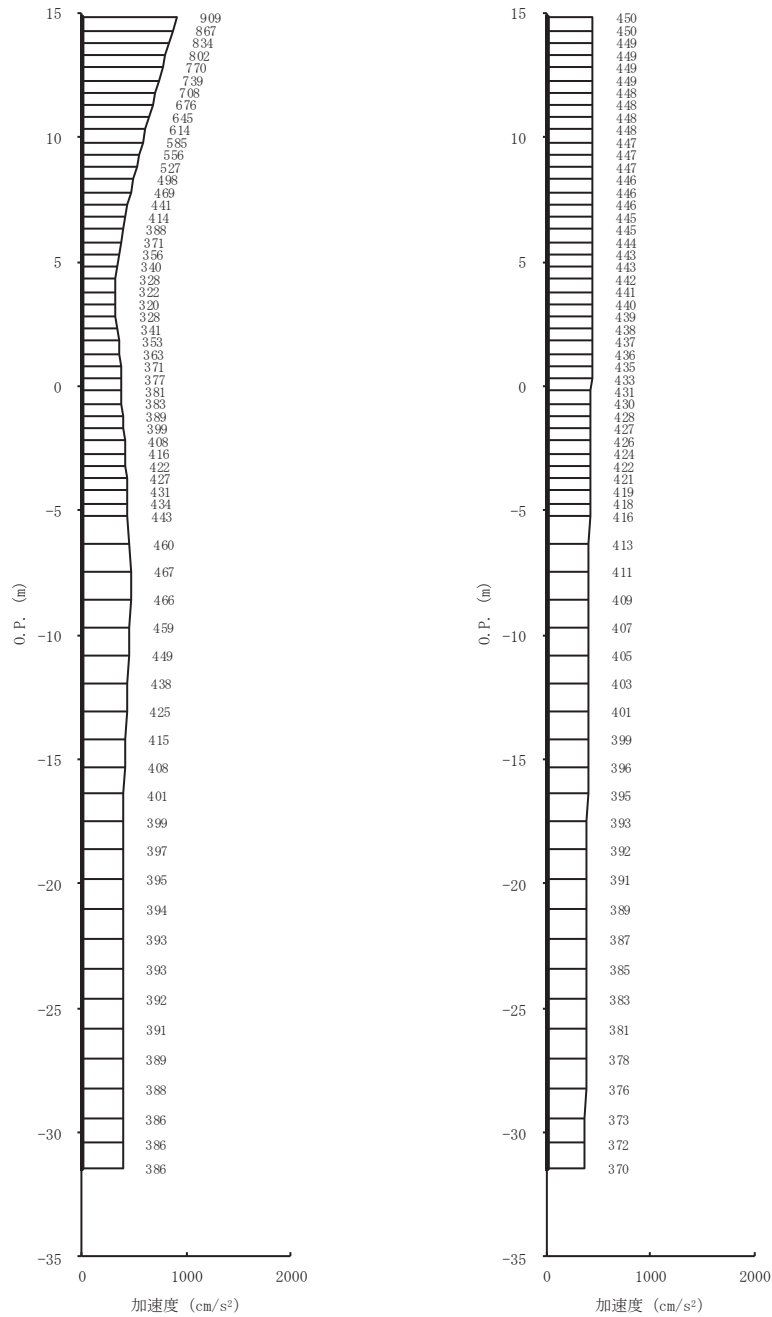
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-2(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース④)



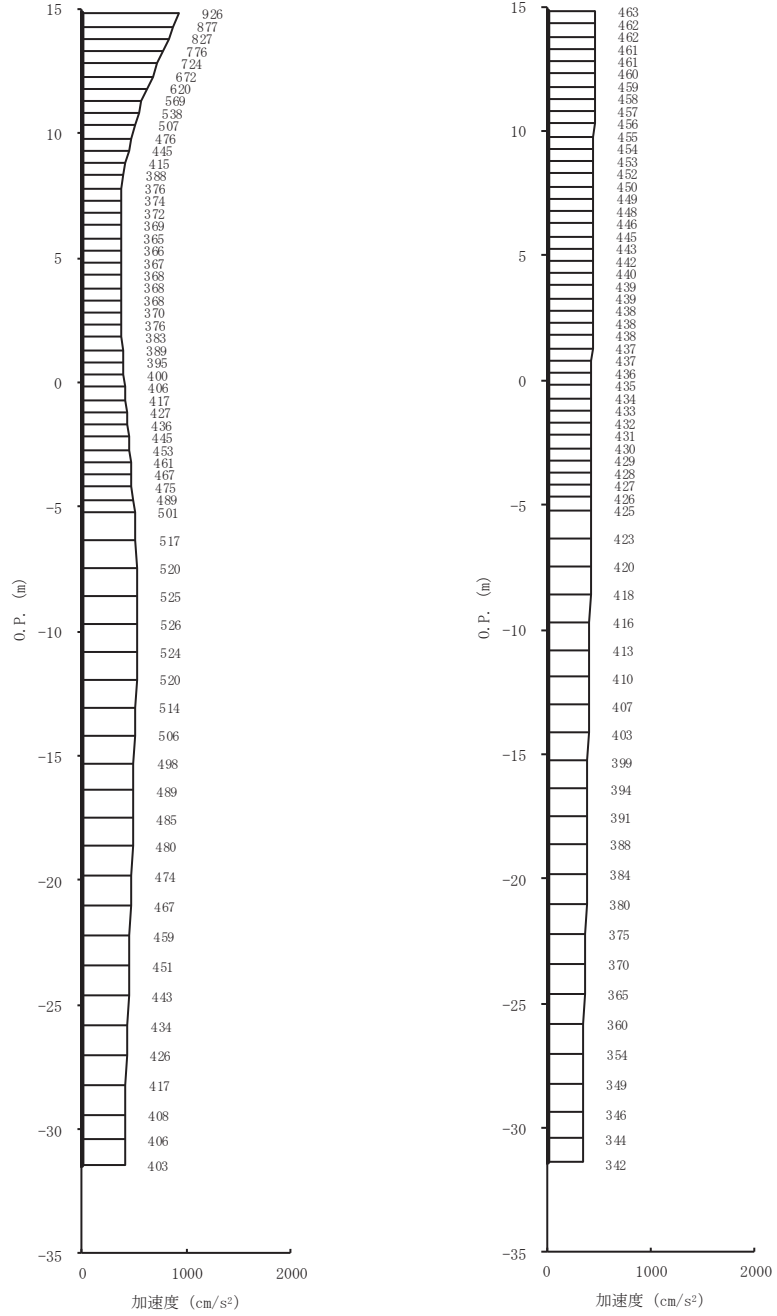
(2) 有効応力解析

有効応力解析結果のうち、解析ケース⑤についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-3 に示す。

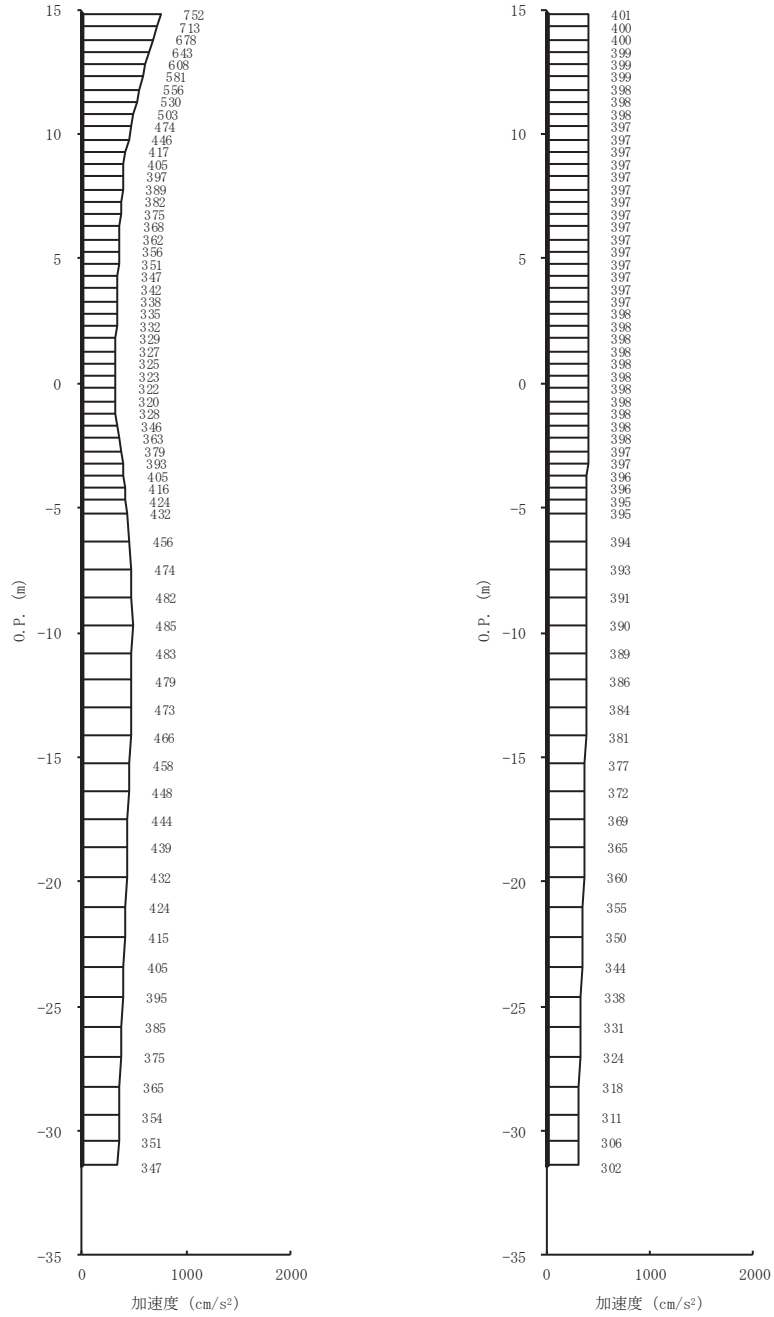


(a)  $S_s - D1$  (++) 水平 (b)  $S_s - D1$  (++) 鉛直

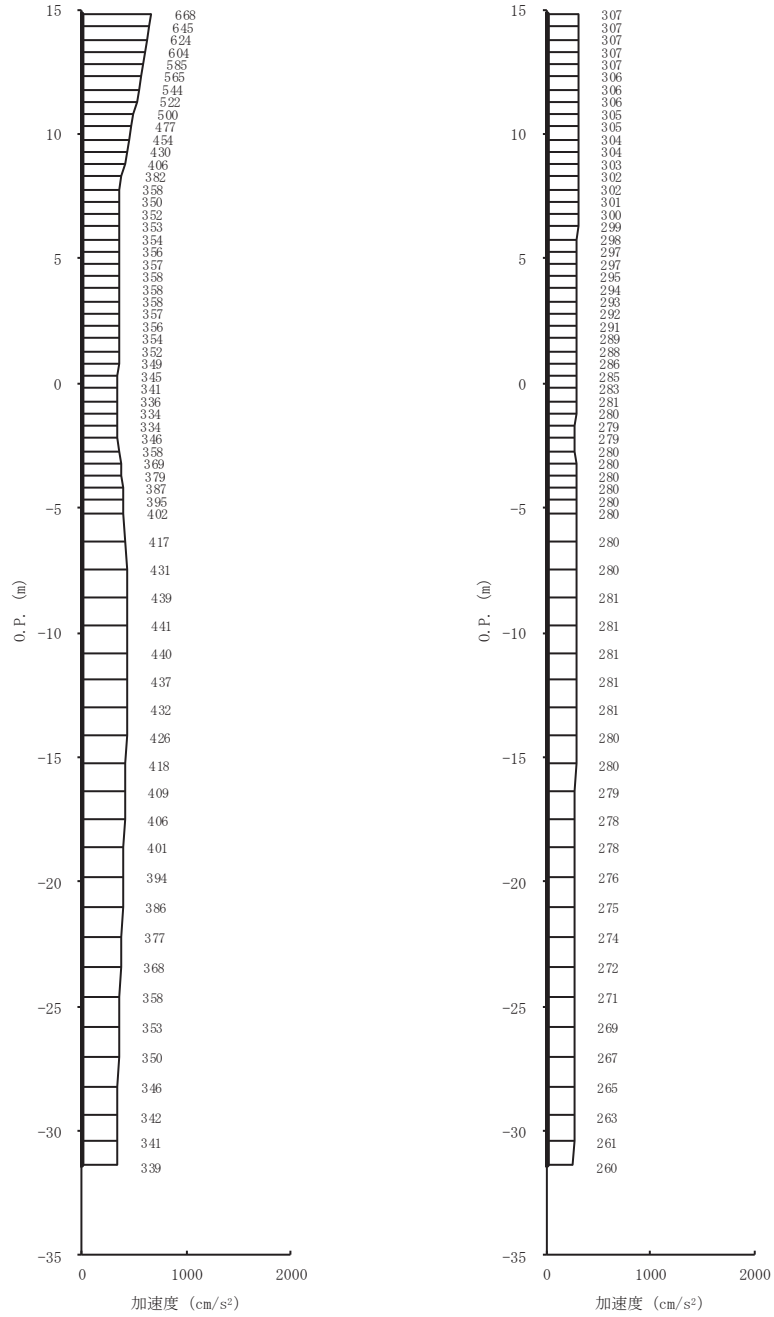
図 4-3(1) 最大加速度分布図 (1/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



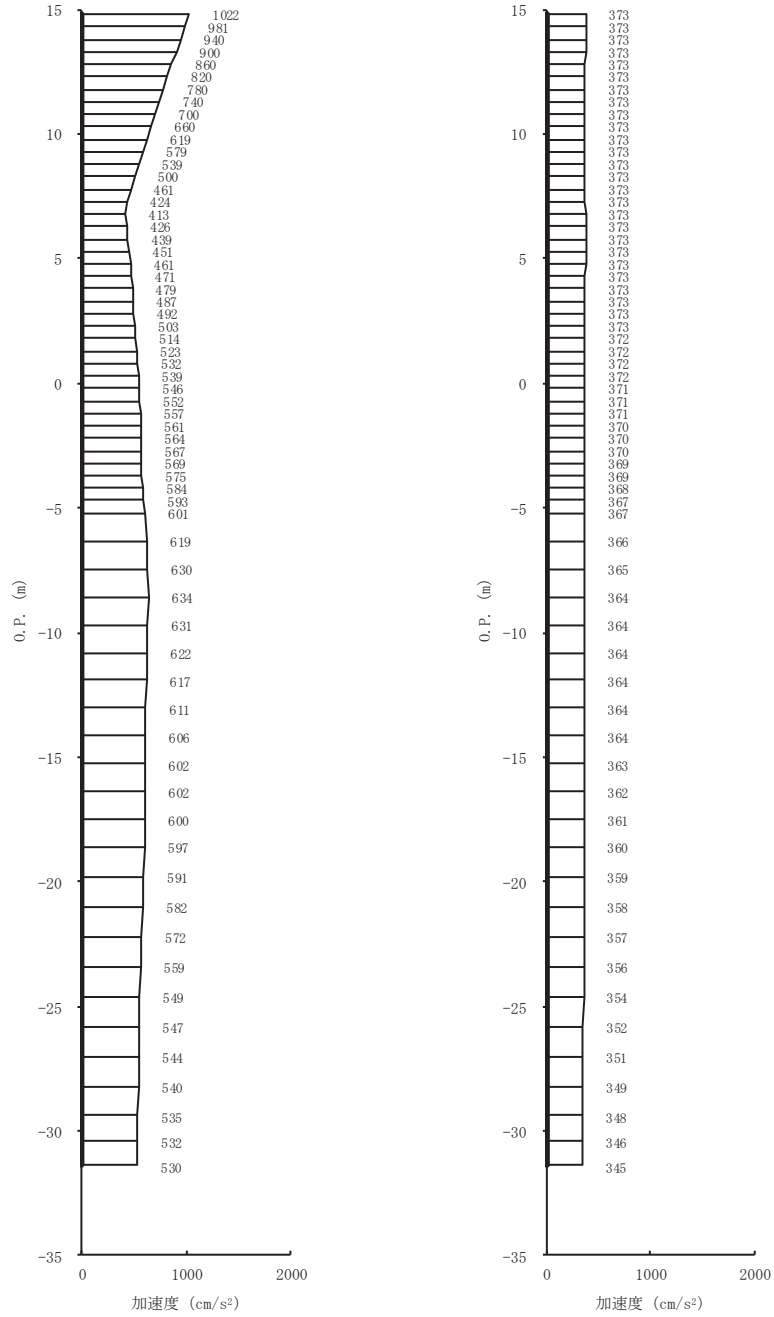
(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-3(2) 最大加速度分布図 (2/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



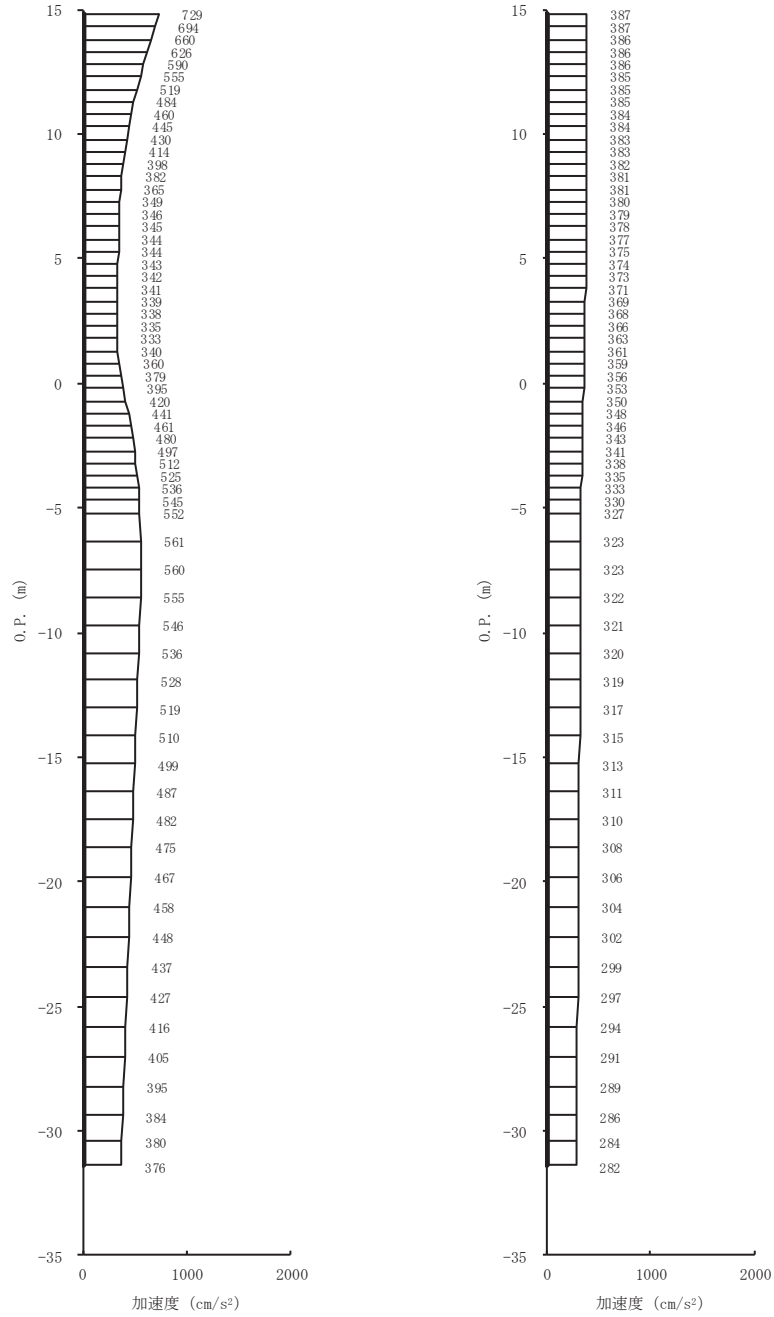
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-3(3) 最大加速度分布図 (3/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



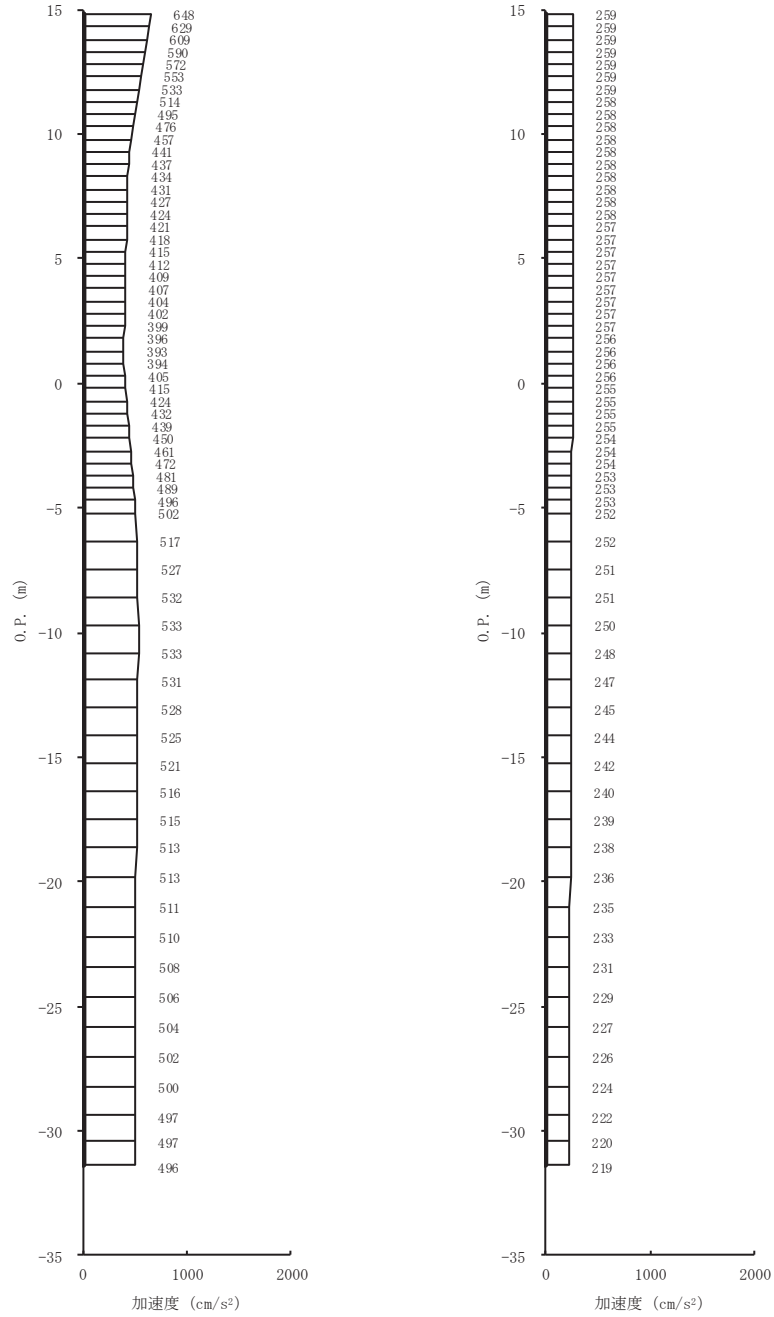
(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-3(4) 最大加速度分布図 (4/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



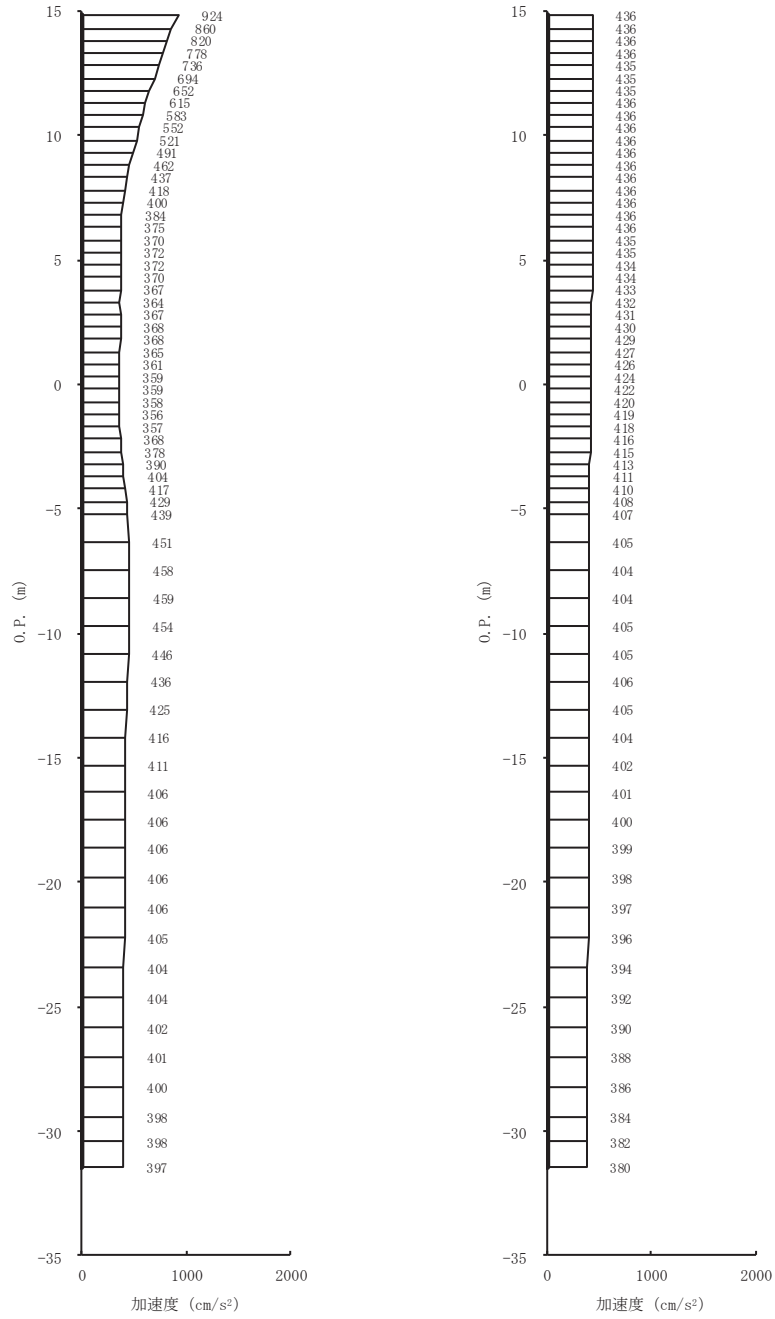
(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-3(5) 最大加速度分布図 (5/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-3(6) 最大加速度分布図 (6/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)

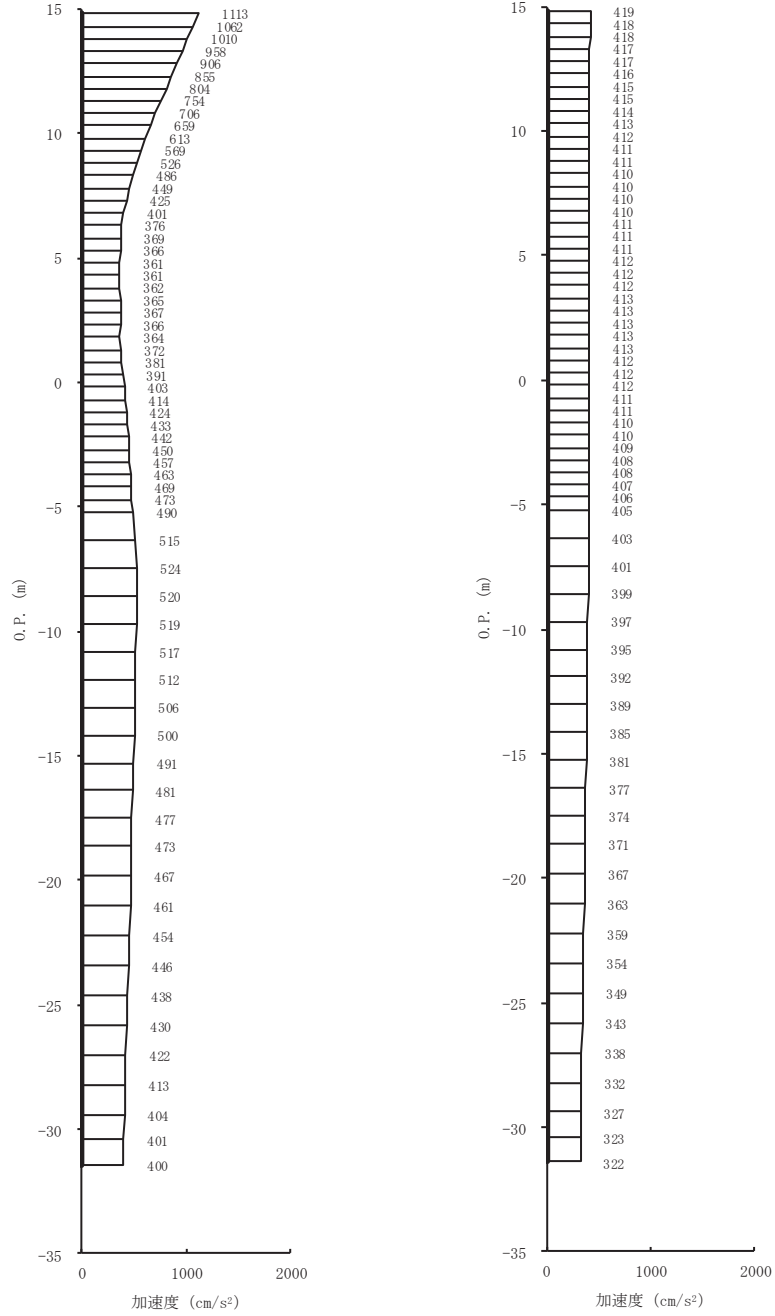


(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-3(7) 最大加速度分布図 (7/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)

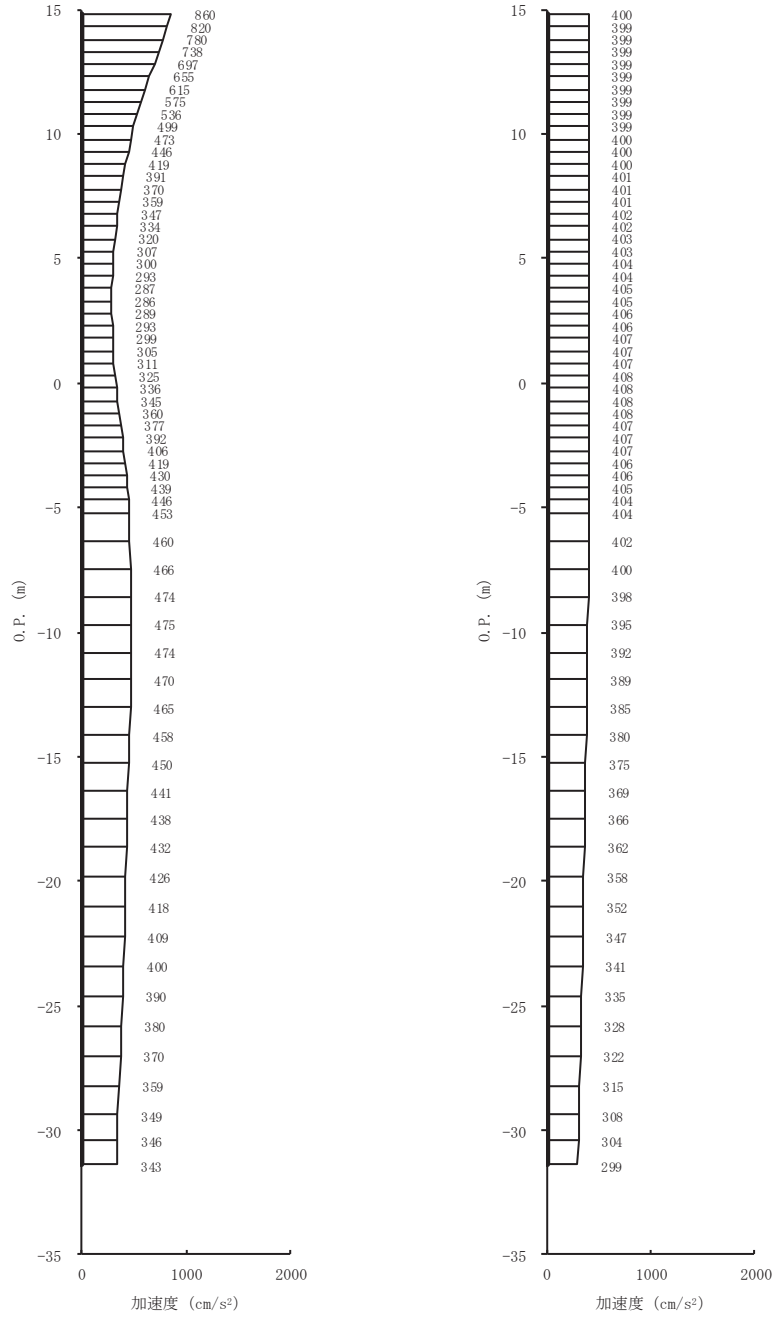


(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-3(8) 最大加速度分布図 (8/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



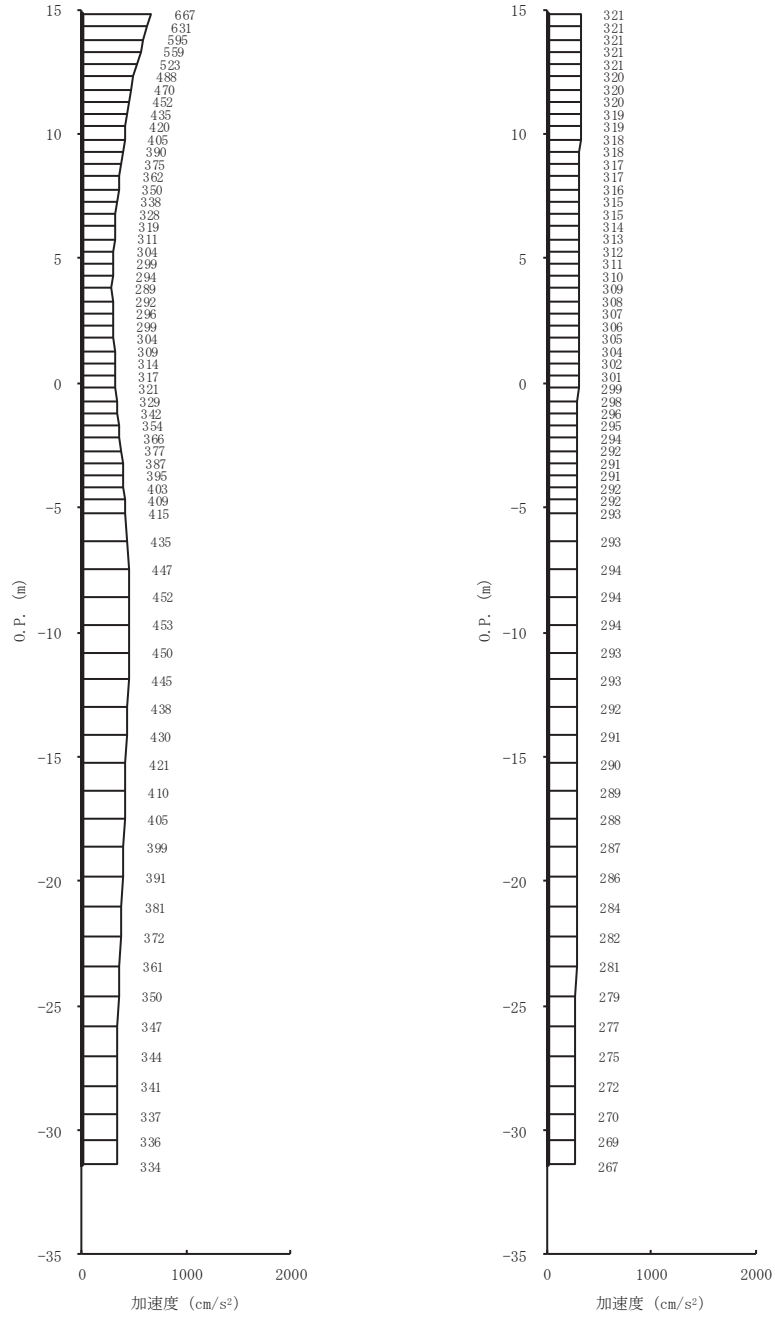


(a) S s - D 2 ( - + ) 水平      (b) S s - D 2 ( - + ) 鉛直  
 図 4-3(9) 最大加速度分布図 (9/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



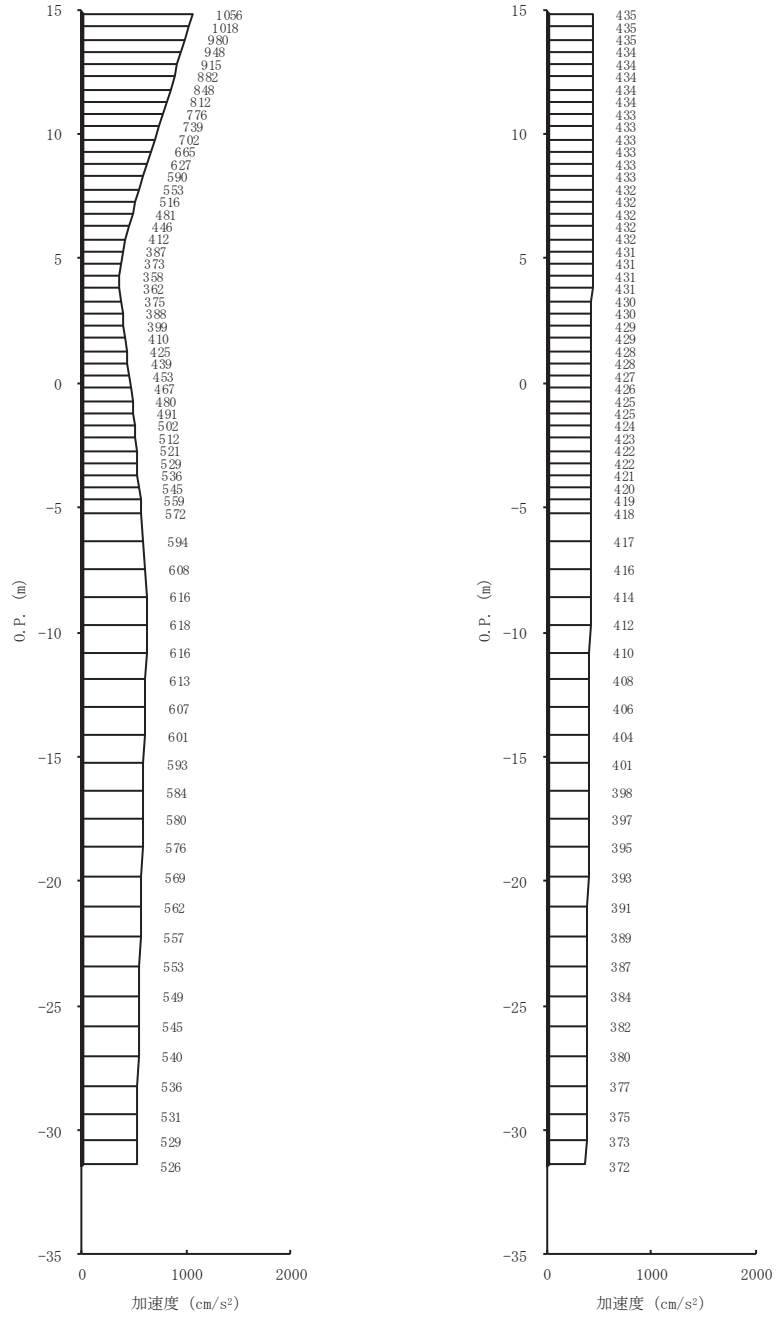
(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

図 4-3(10) 最大加速度分布図 (10/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



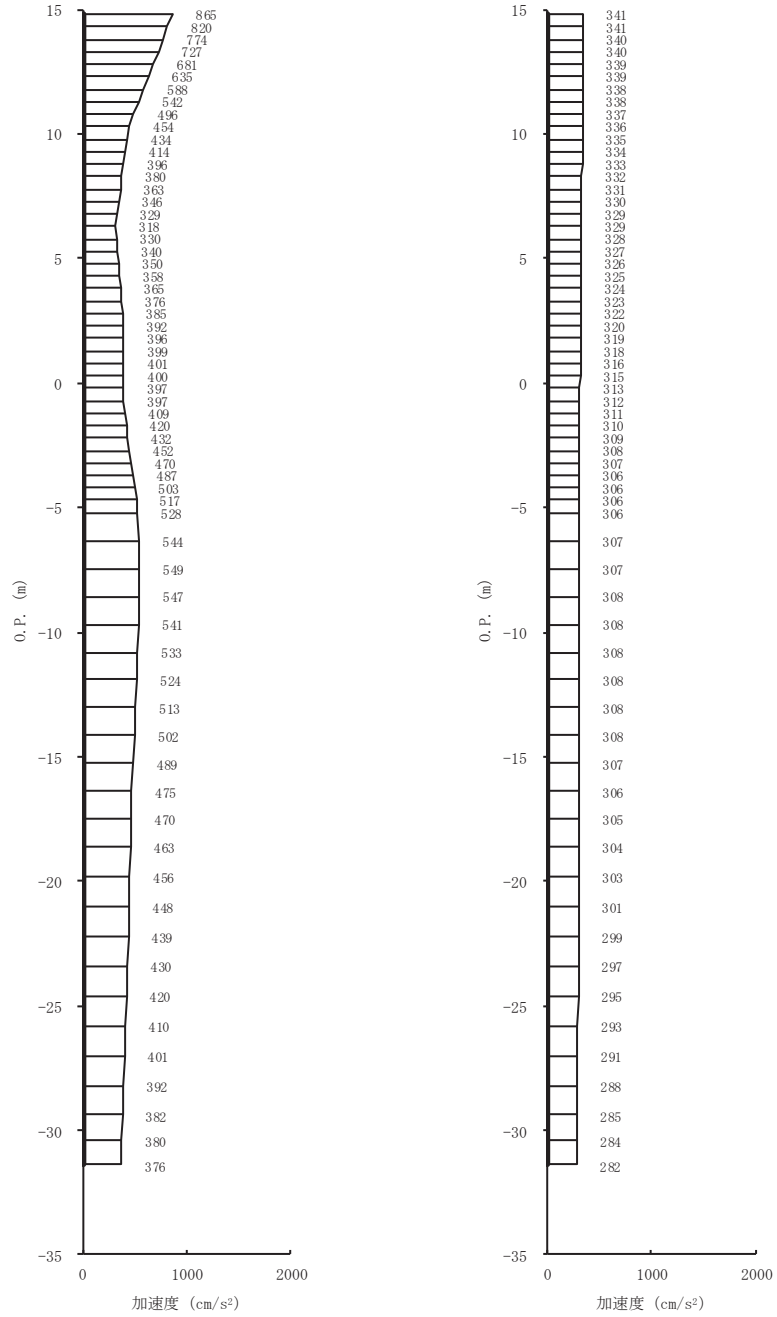
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-3(11) 最大加速度分布図 (11/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



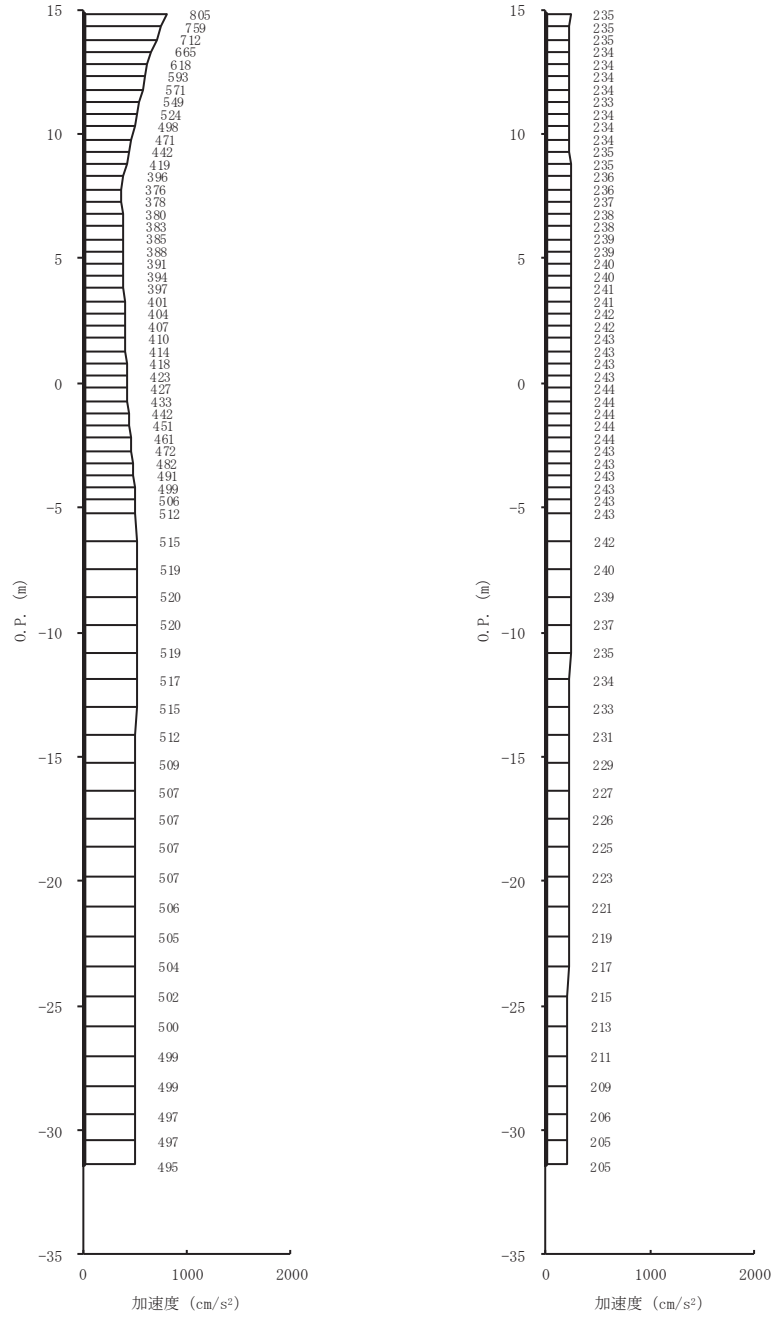
(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-3(12) 最大加速度分布図 (12/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

図 4-3(13) 最大加速度分布図 (13/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)



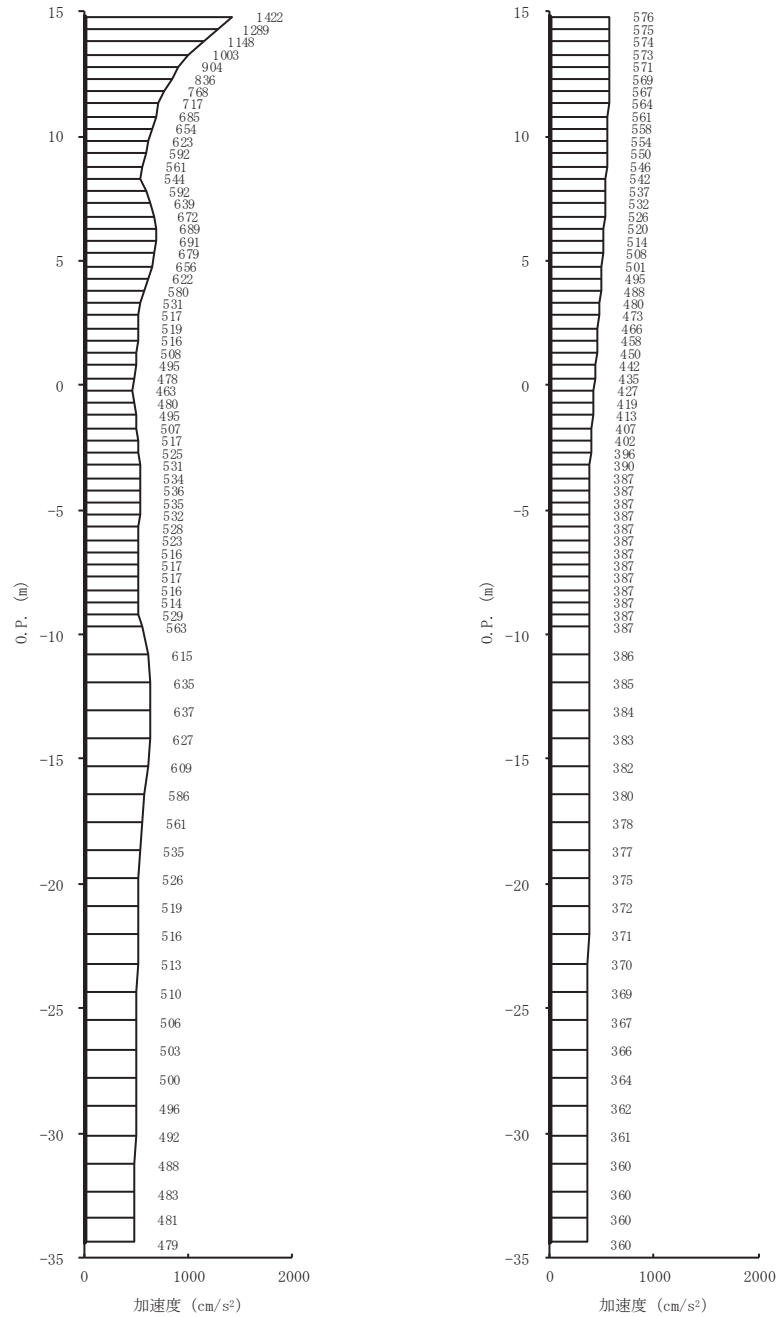
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-3(14) 最大加速度分布図 (14/14) (No. 1 揚水井戸, 解析ケース⑤)

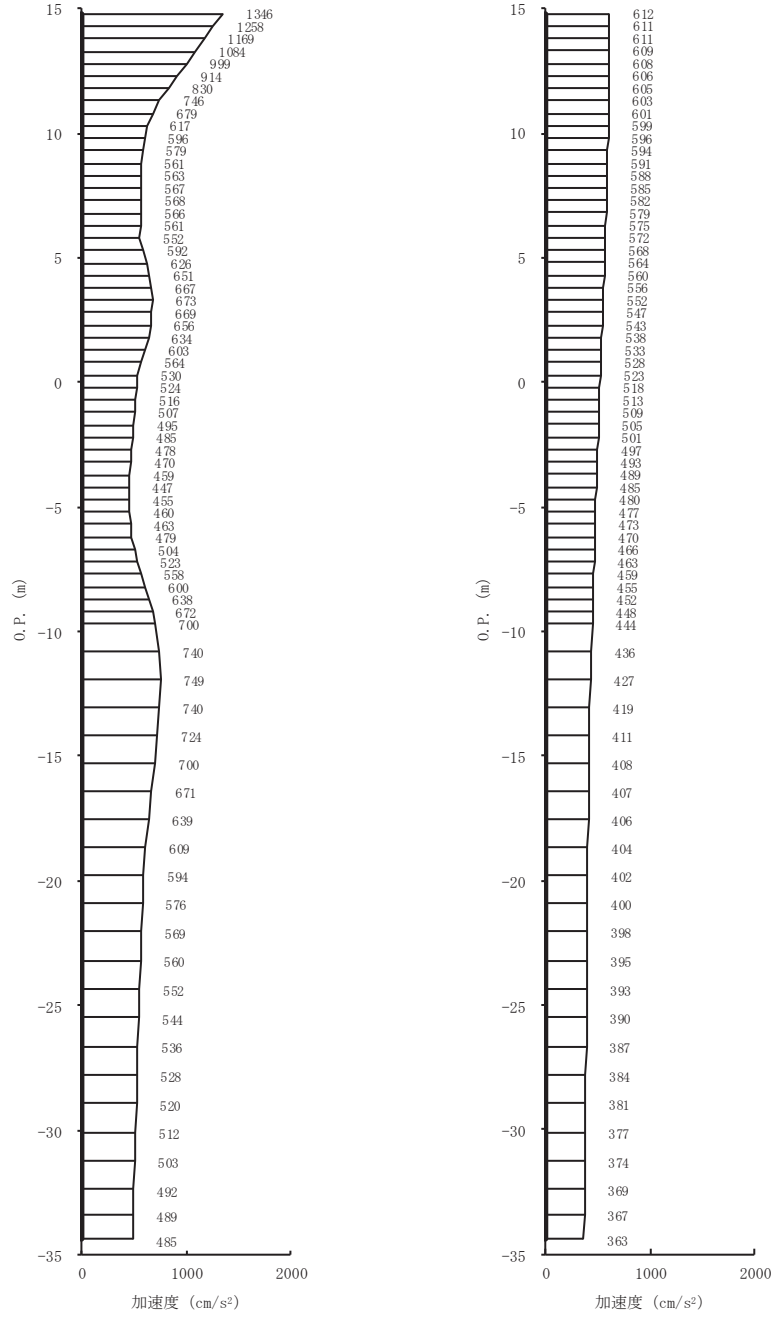
## 4.2 No.2 揚水井戸

### (1) 全応力解析

全応力解析結果のうち、解析ケース①～④についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-4 (地震動の位相：++)，図 4-5 (地震動の位相：-+) に示す。

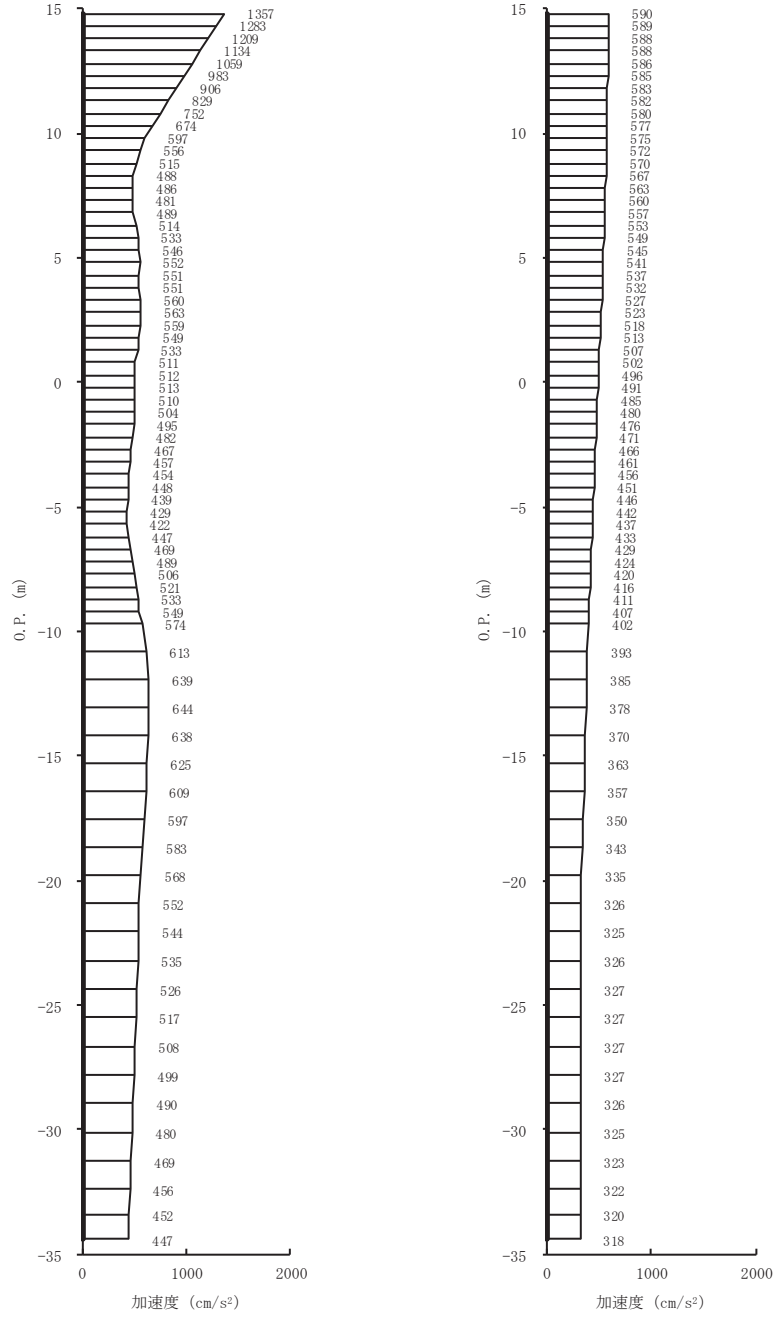


(a)  $S_s - D1$  (++) 水平 (b)  $S_s - D1$  (++) 鉛直  
 図 4-4(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No.2 揚水井戸, 解析ケース①)

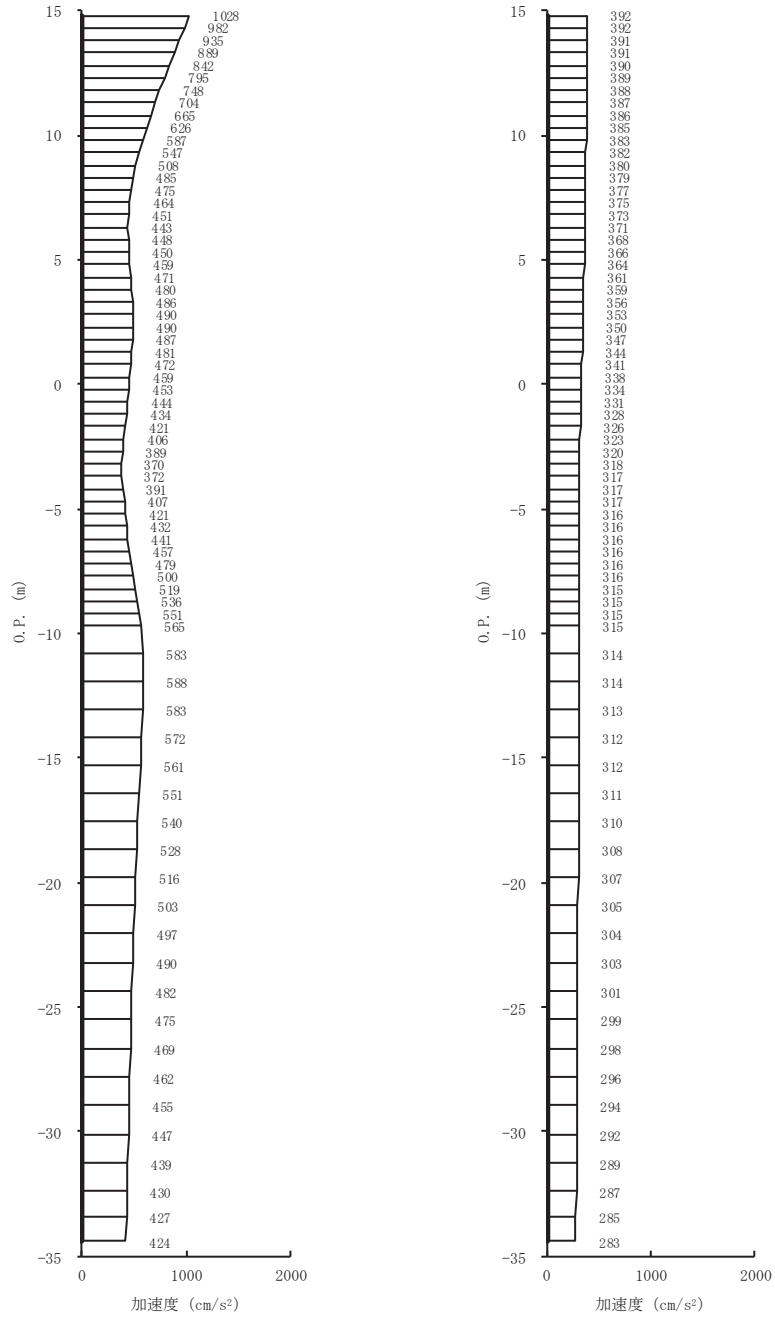


(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-4(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)

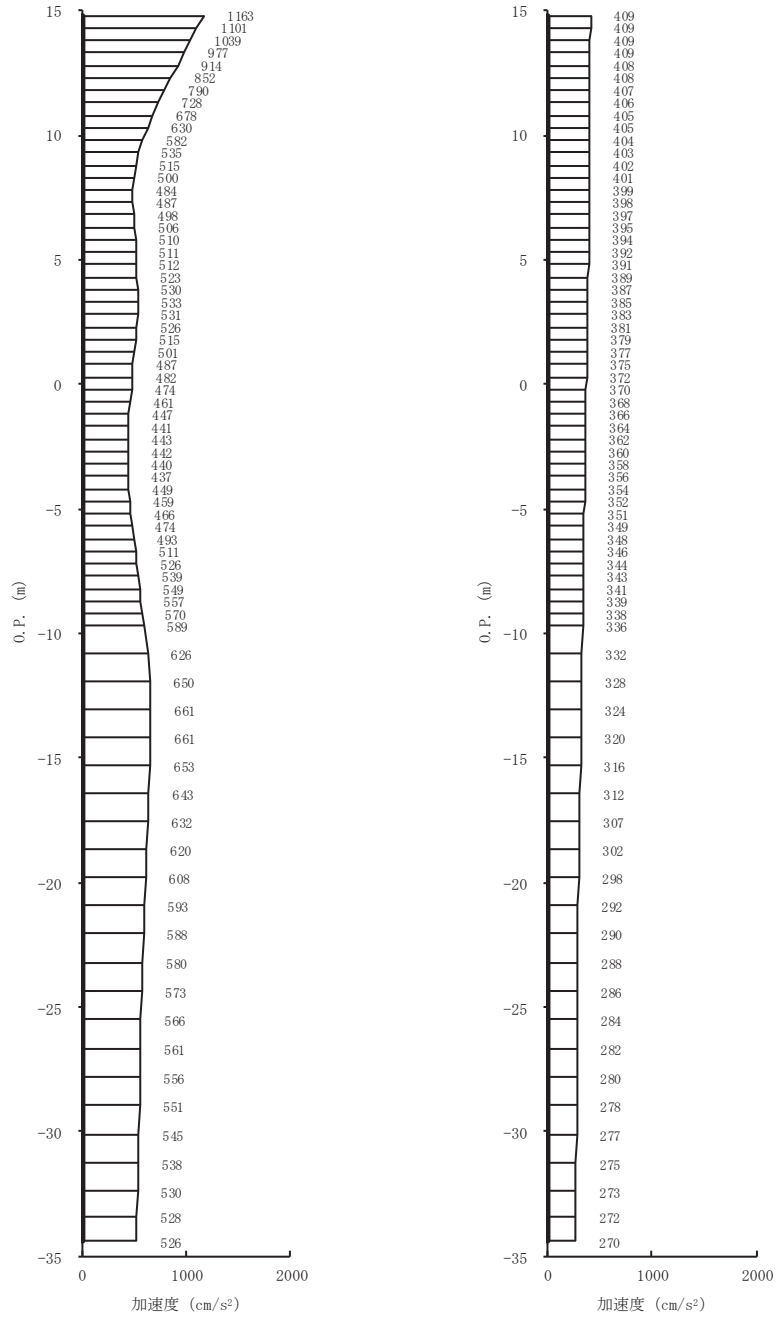




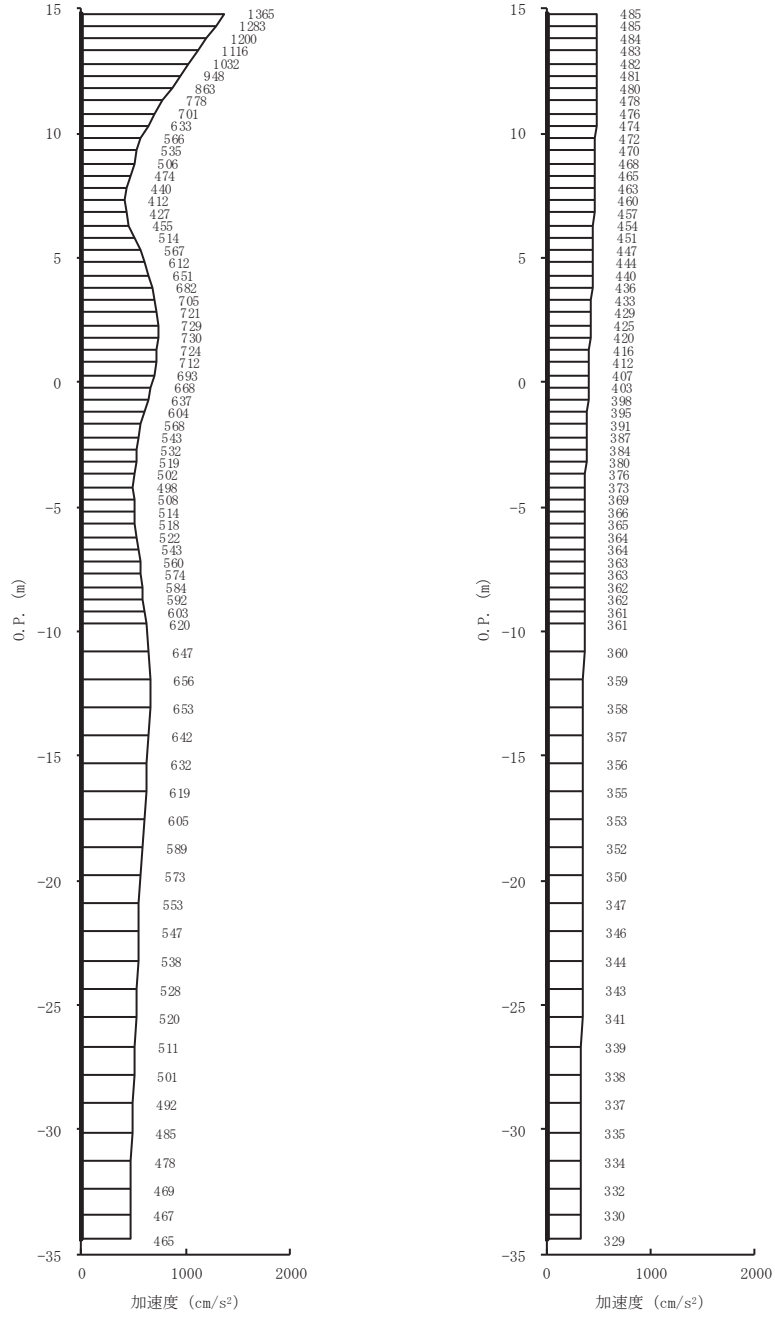
(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



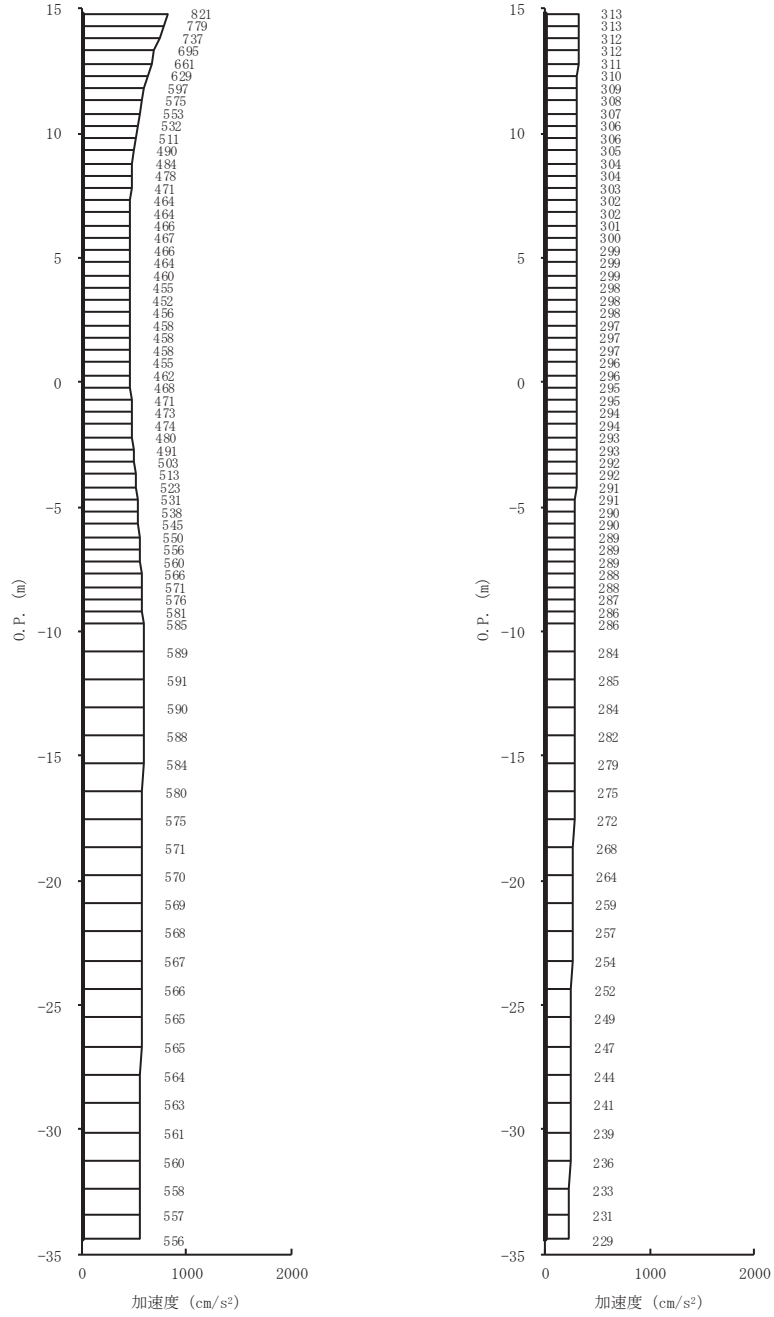
(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



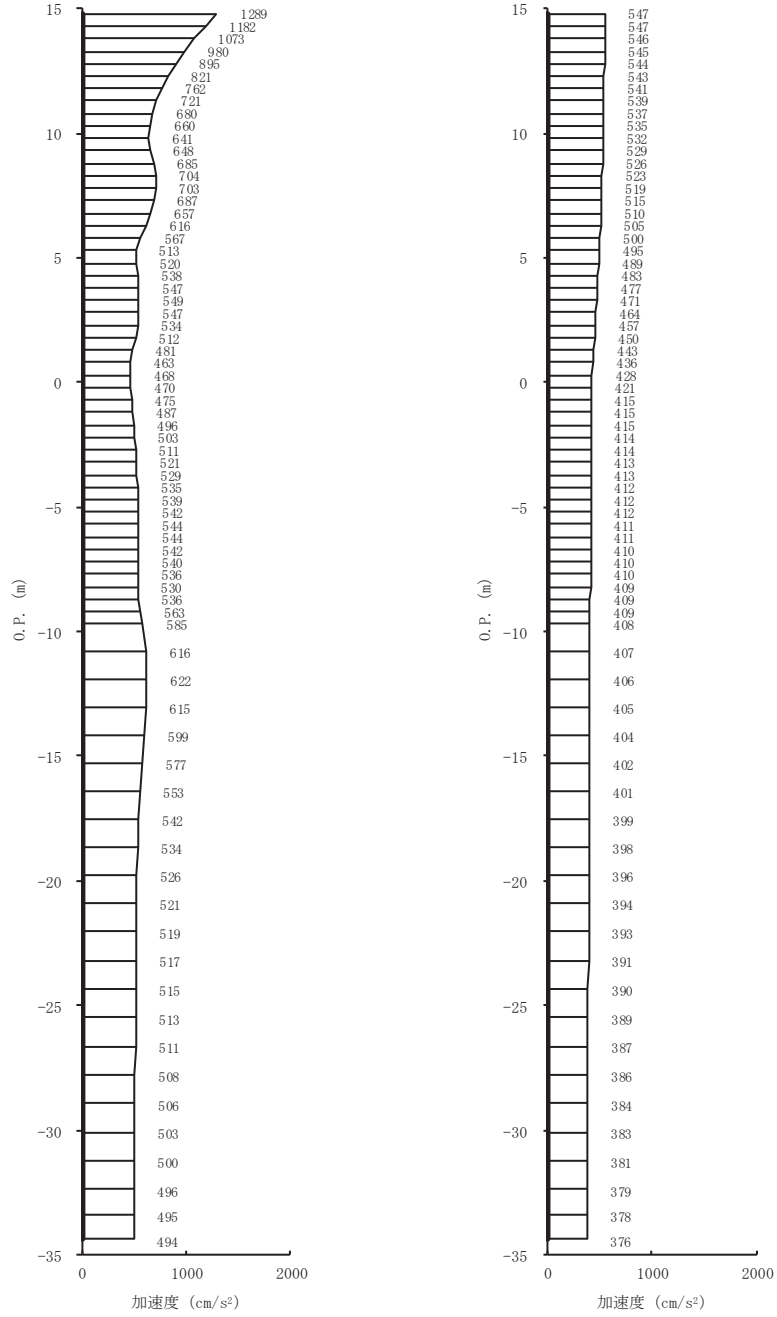
(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-4(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



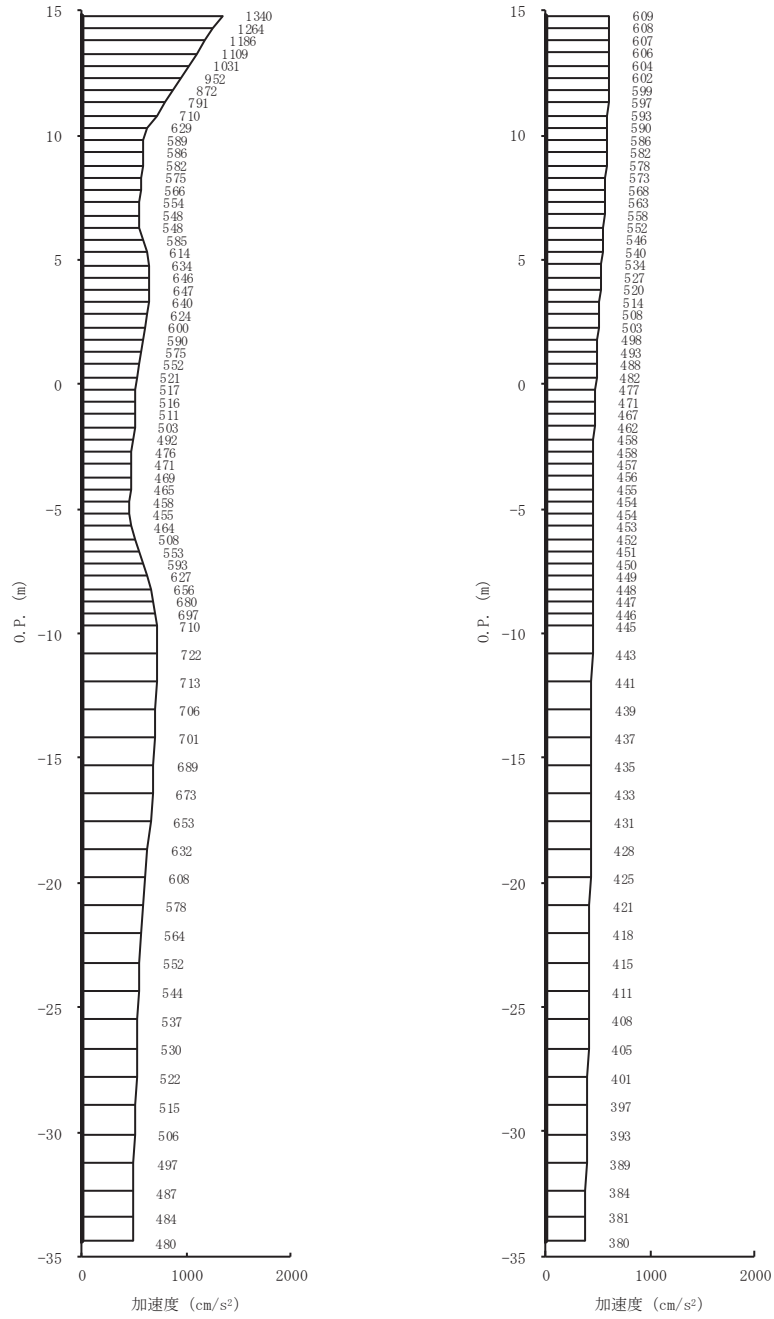
(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



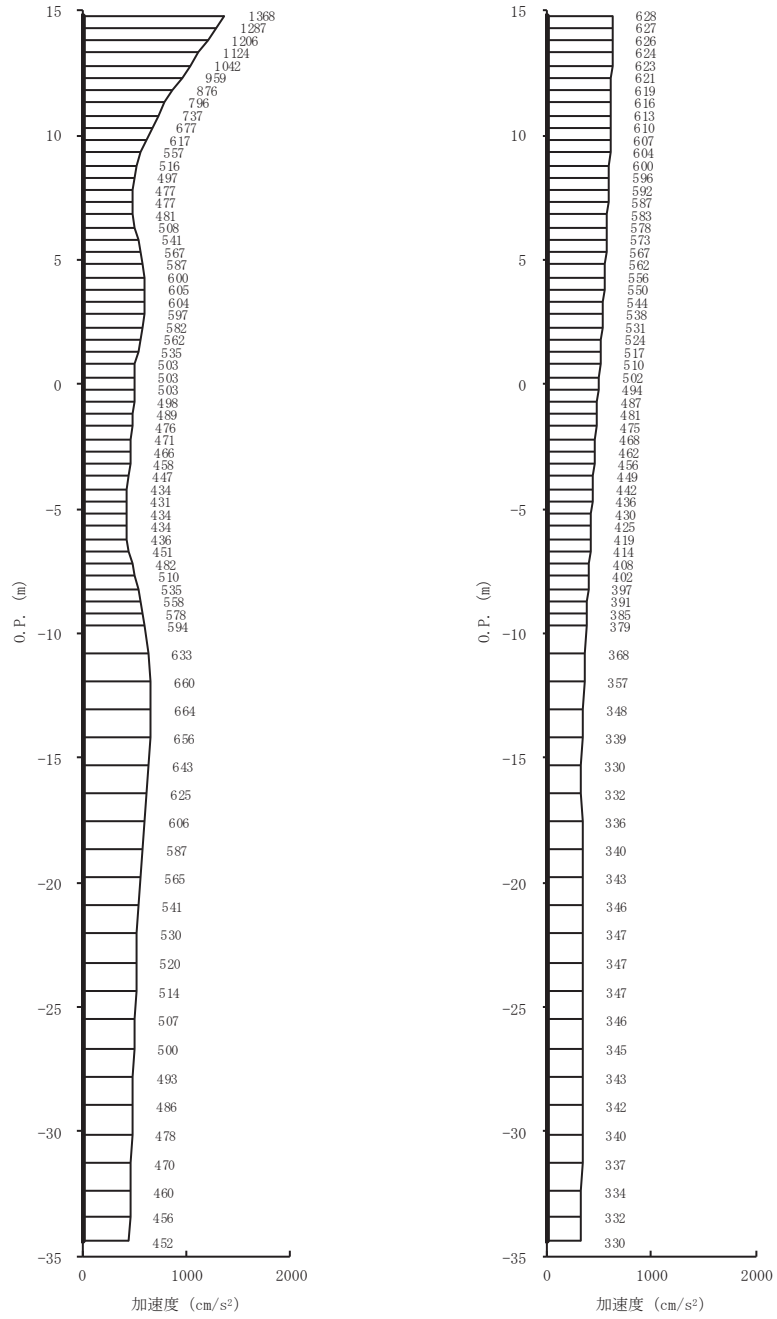
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)

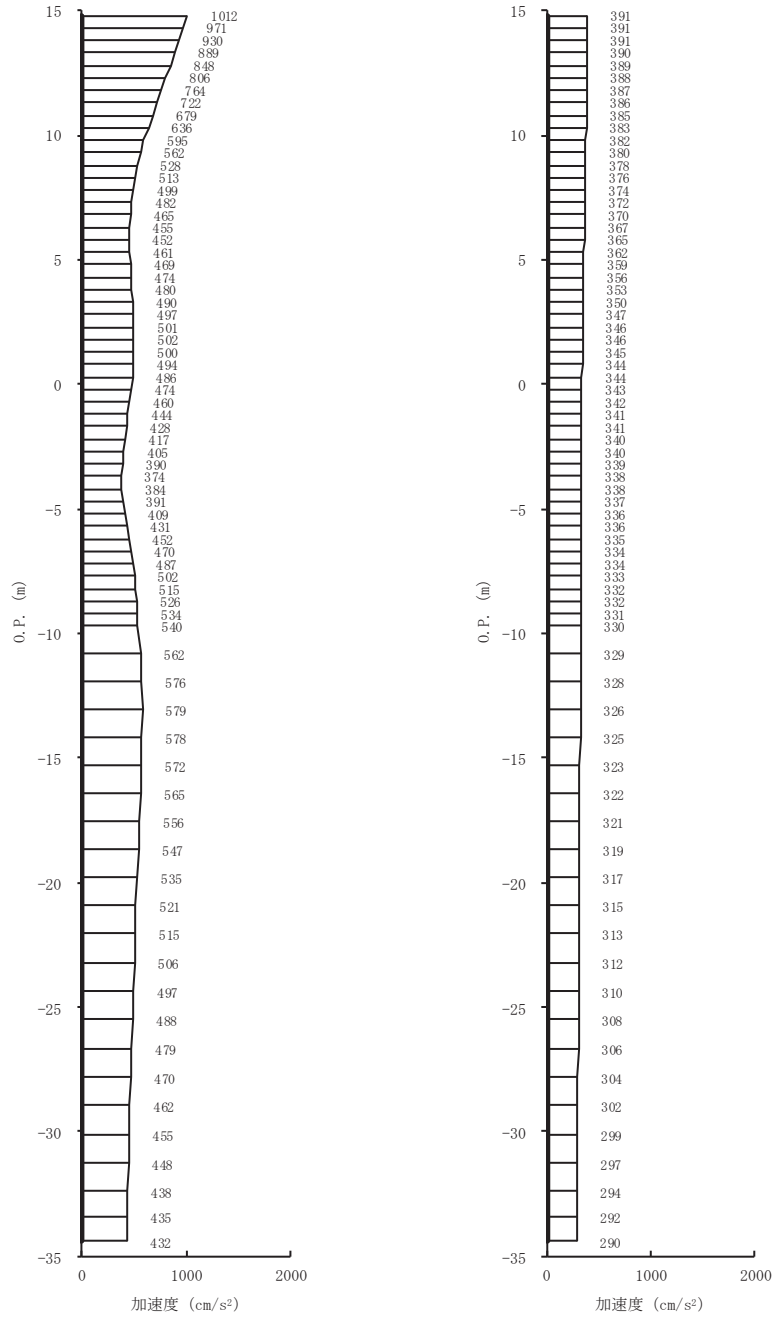


(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-4(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)

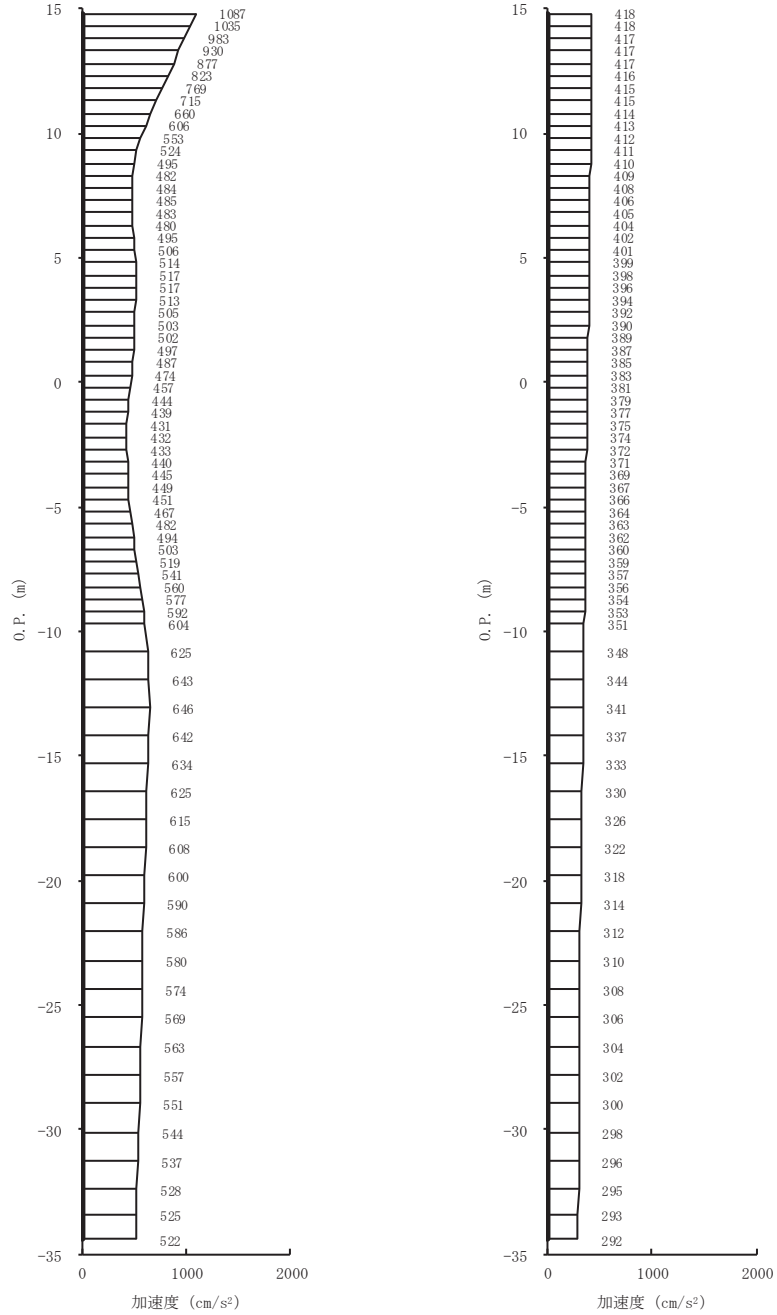


(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)

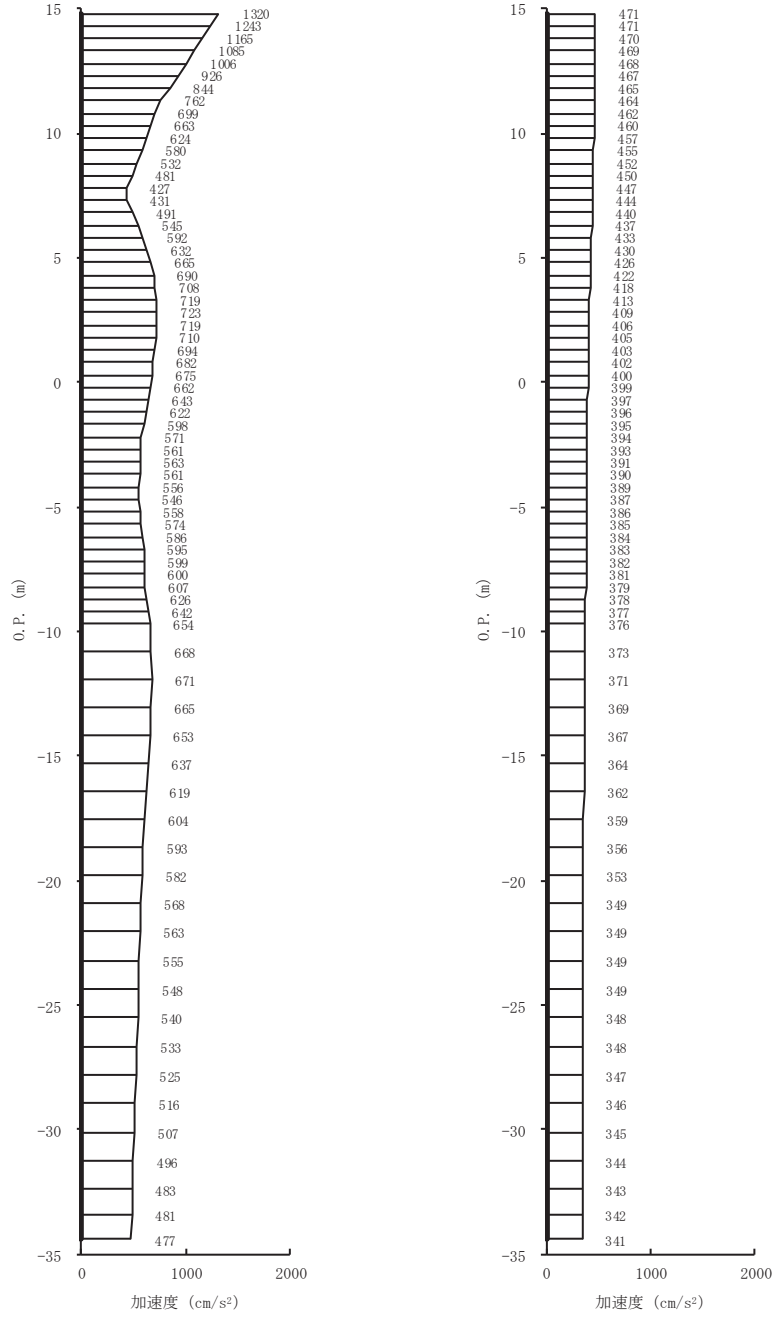




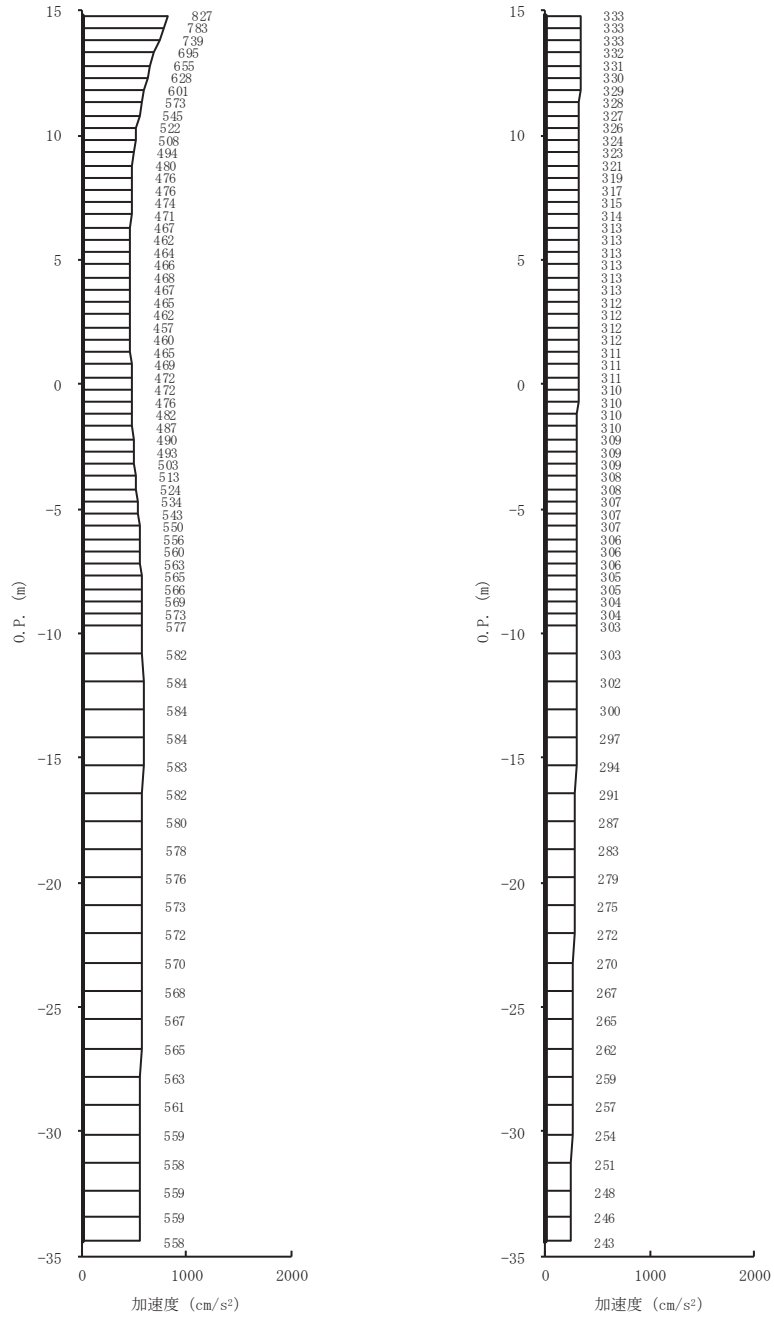
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



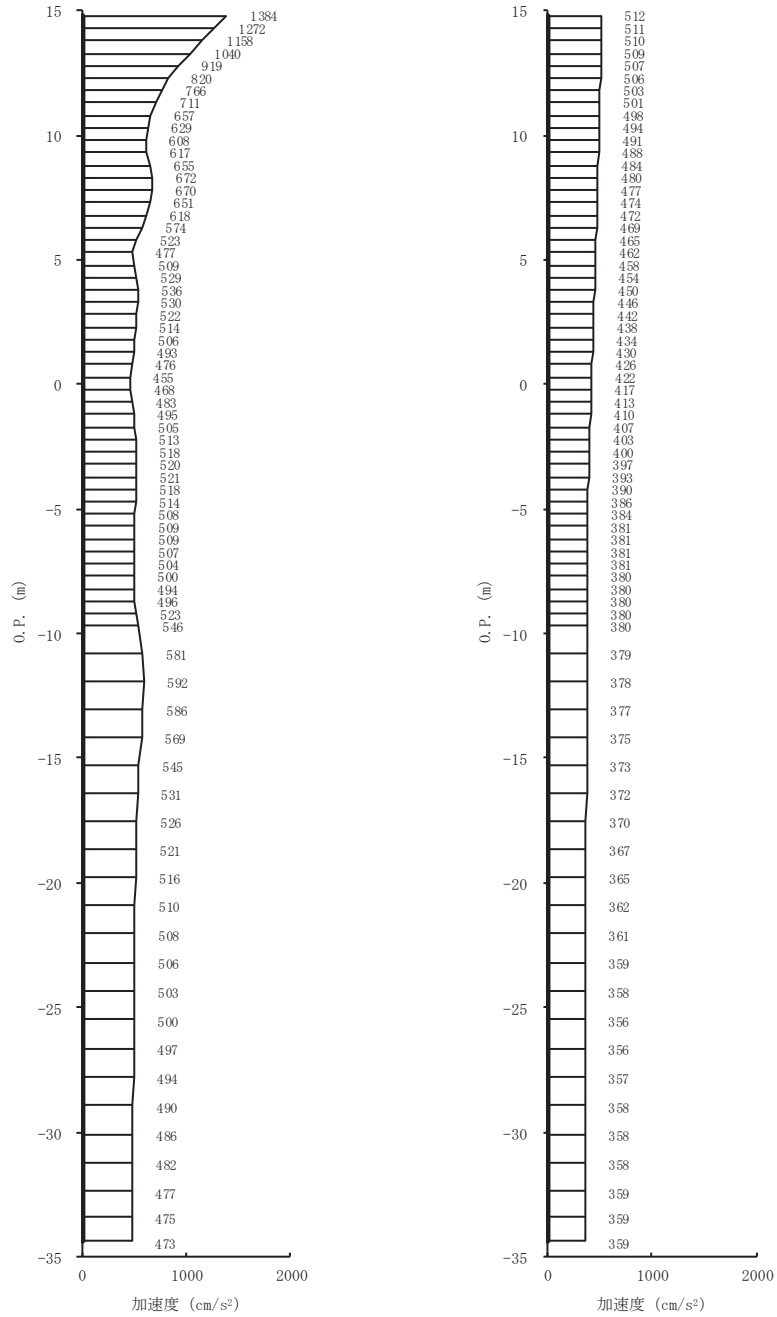
(a)  $S_s - F 2$  (++) 水平      (b)  $S_s - F 2$  (++) 鉛直  
 図 4-4(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



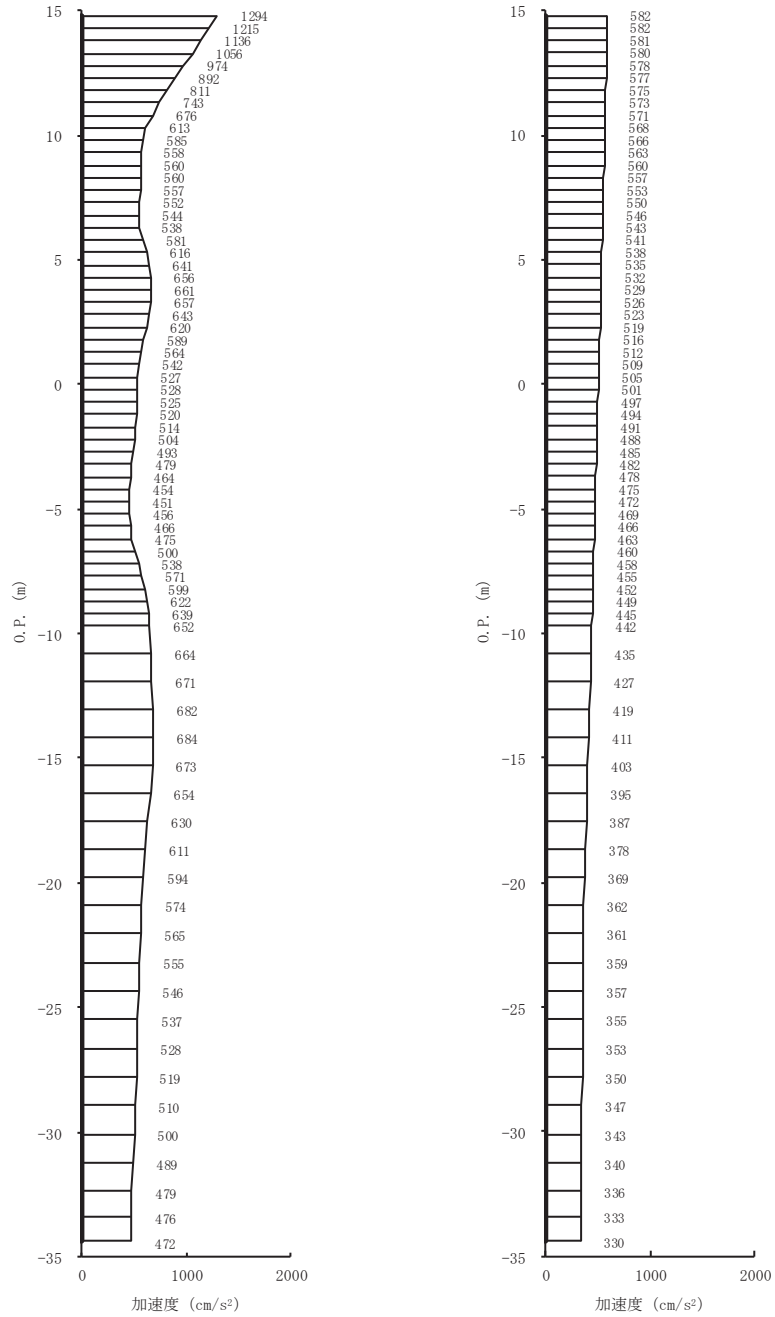
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



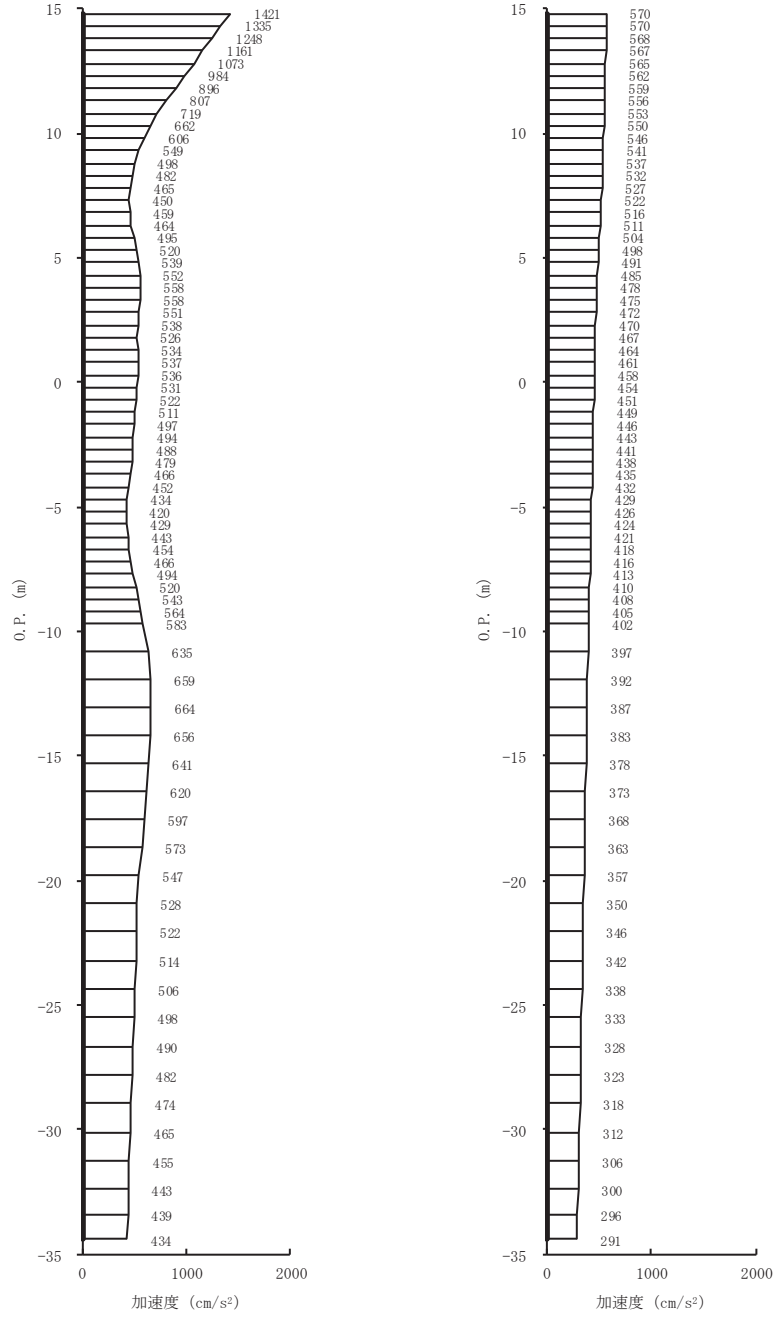
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



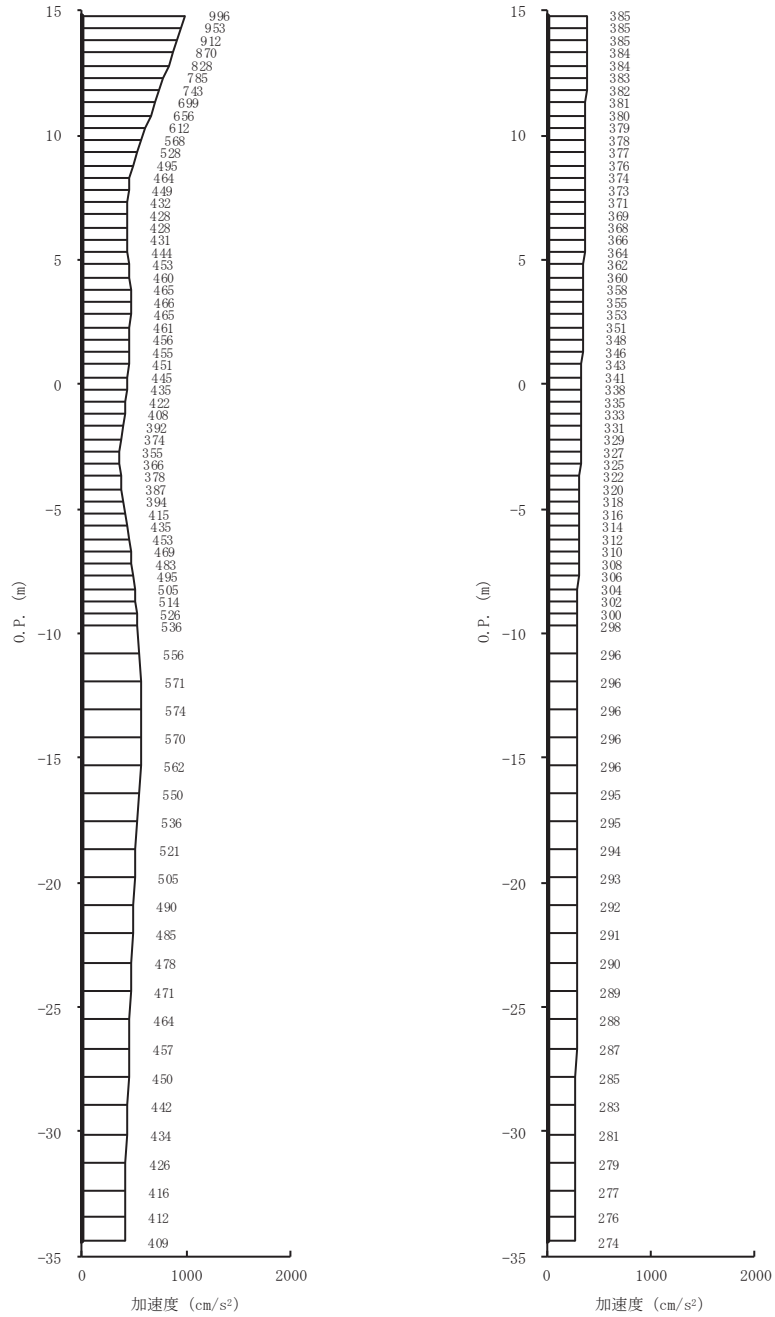
(a) S s - D 1 (++) 水平      (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-4(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)

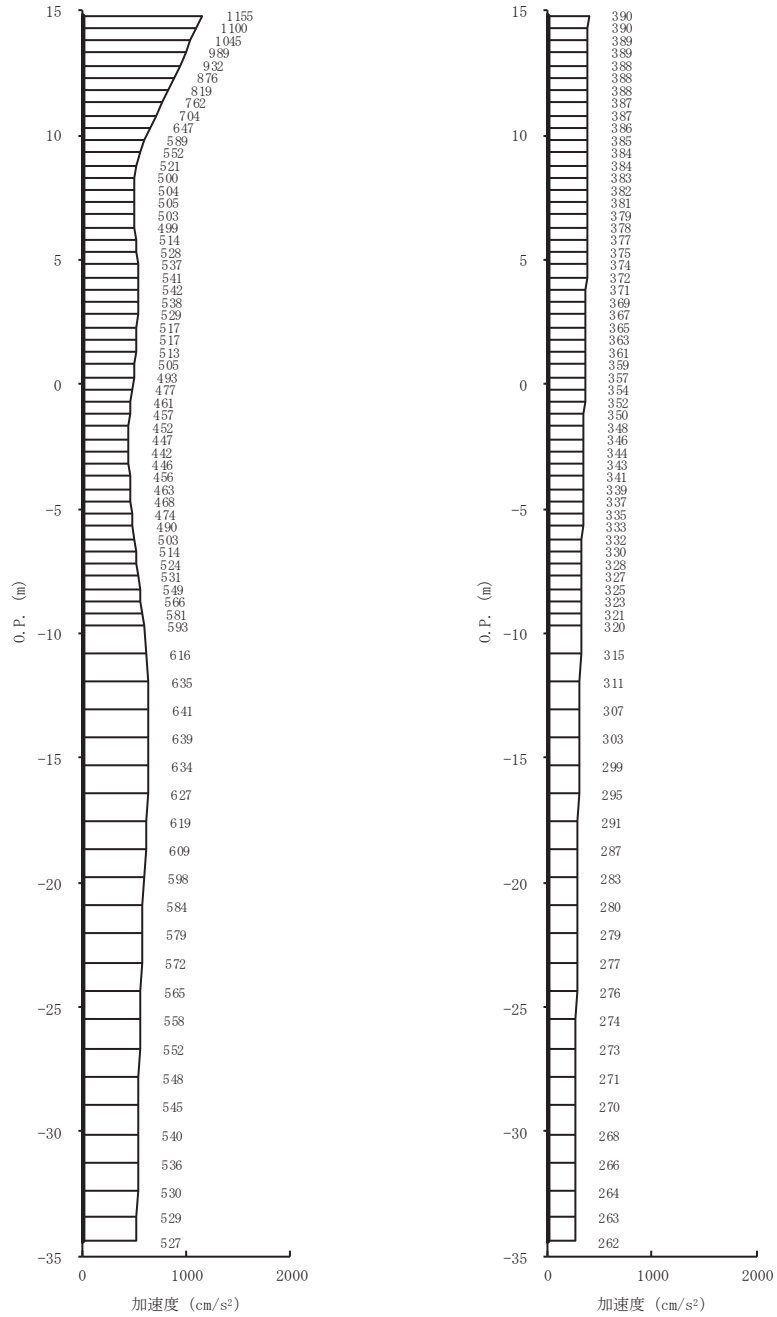


(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)

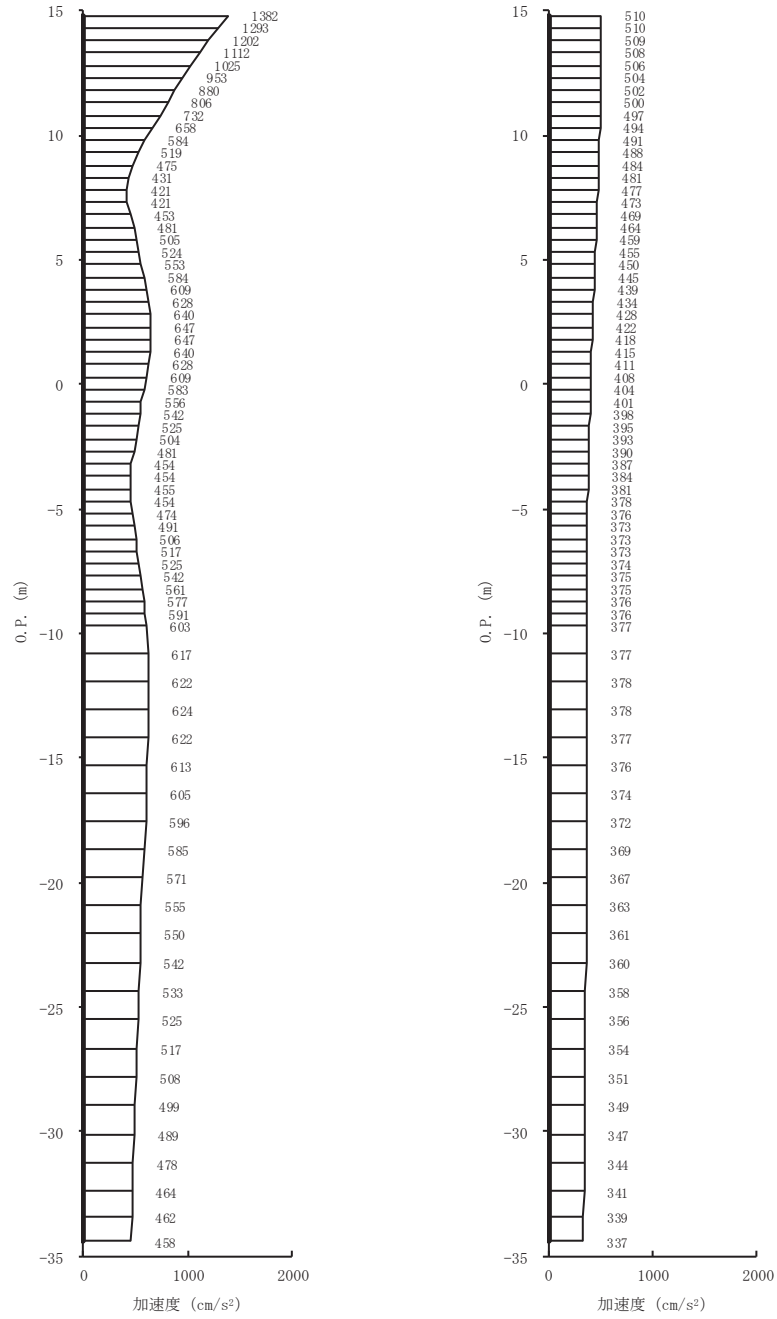


(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)

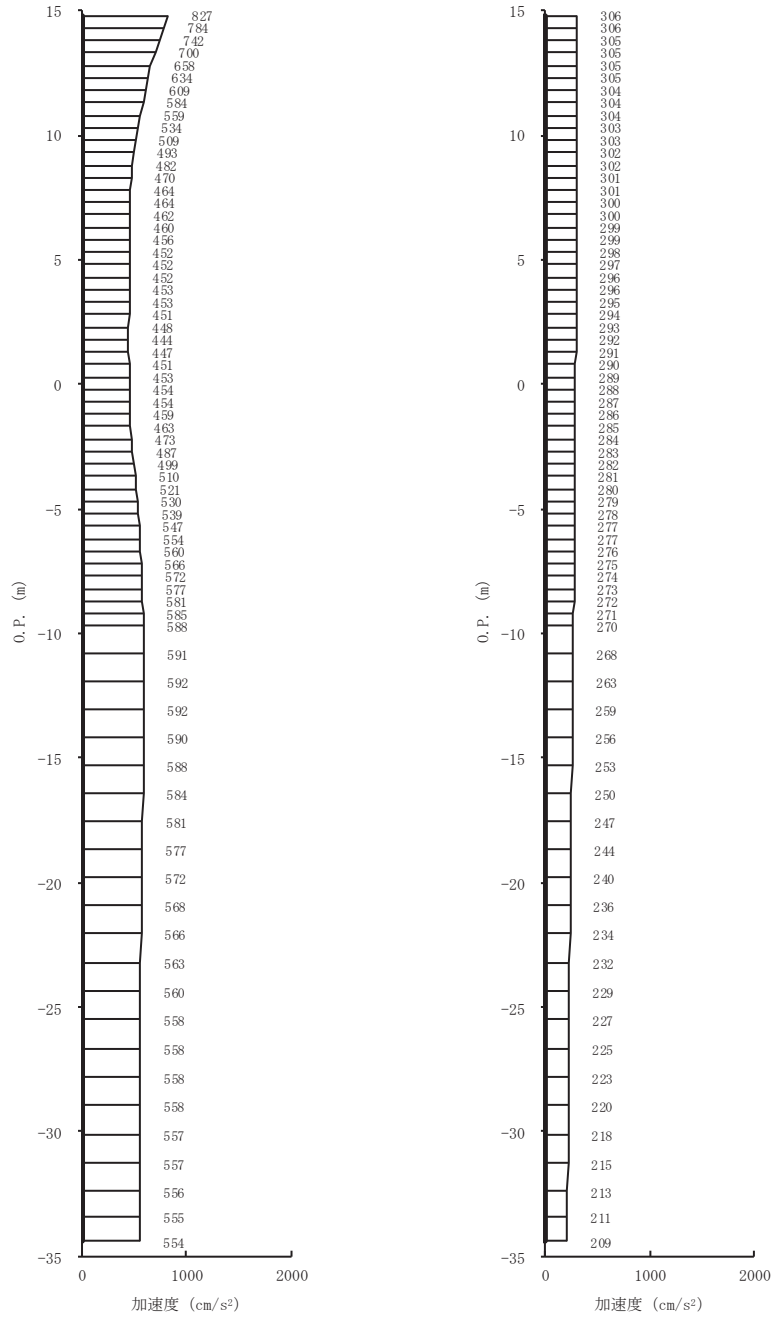




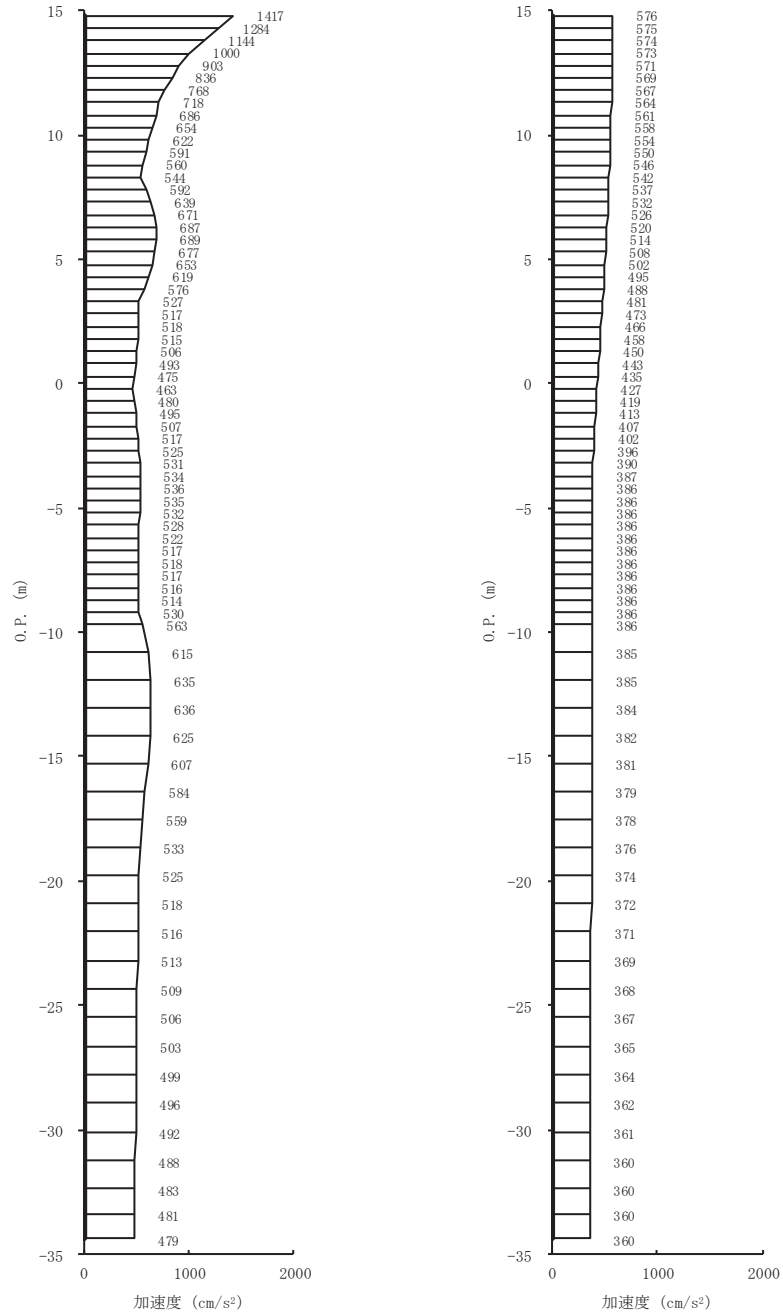
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-4(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



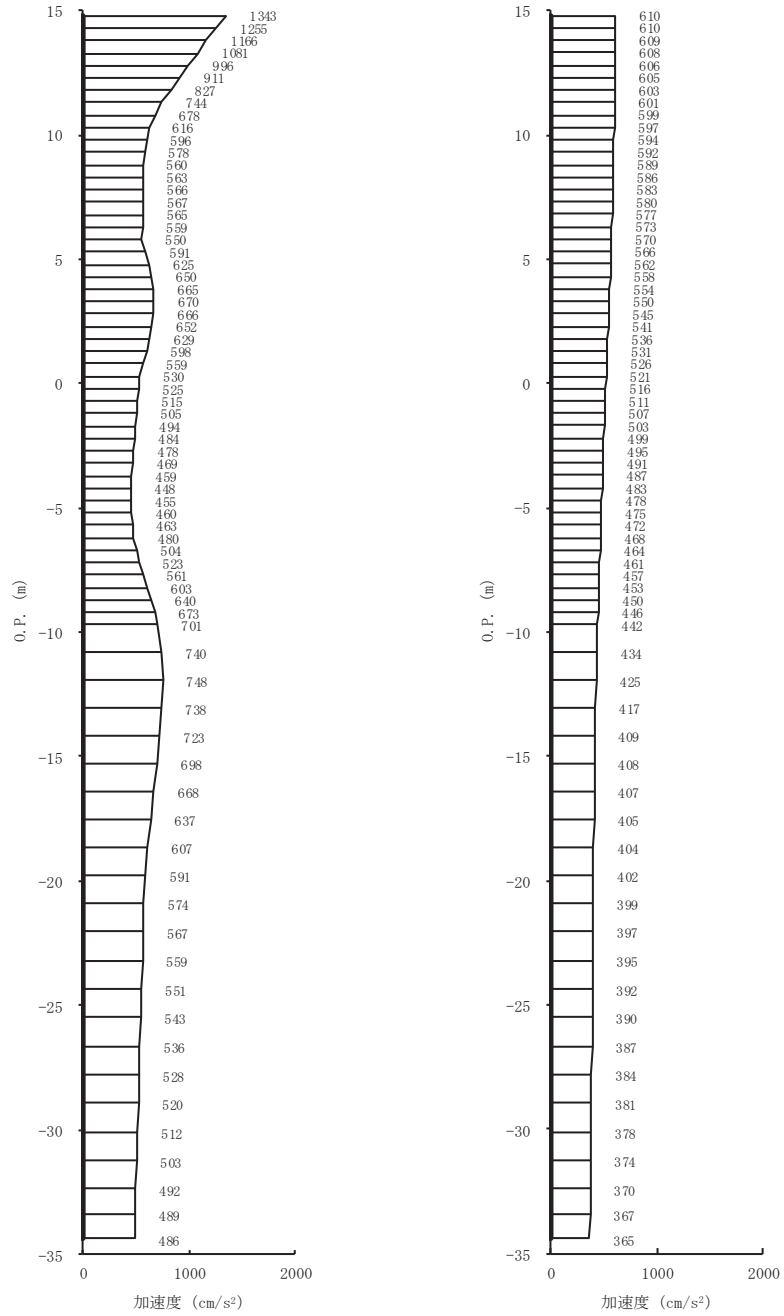
(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



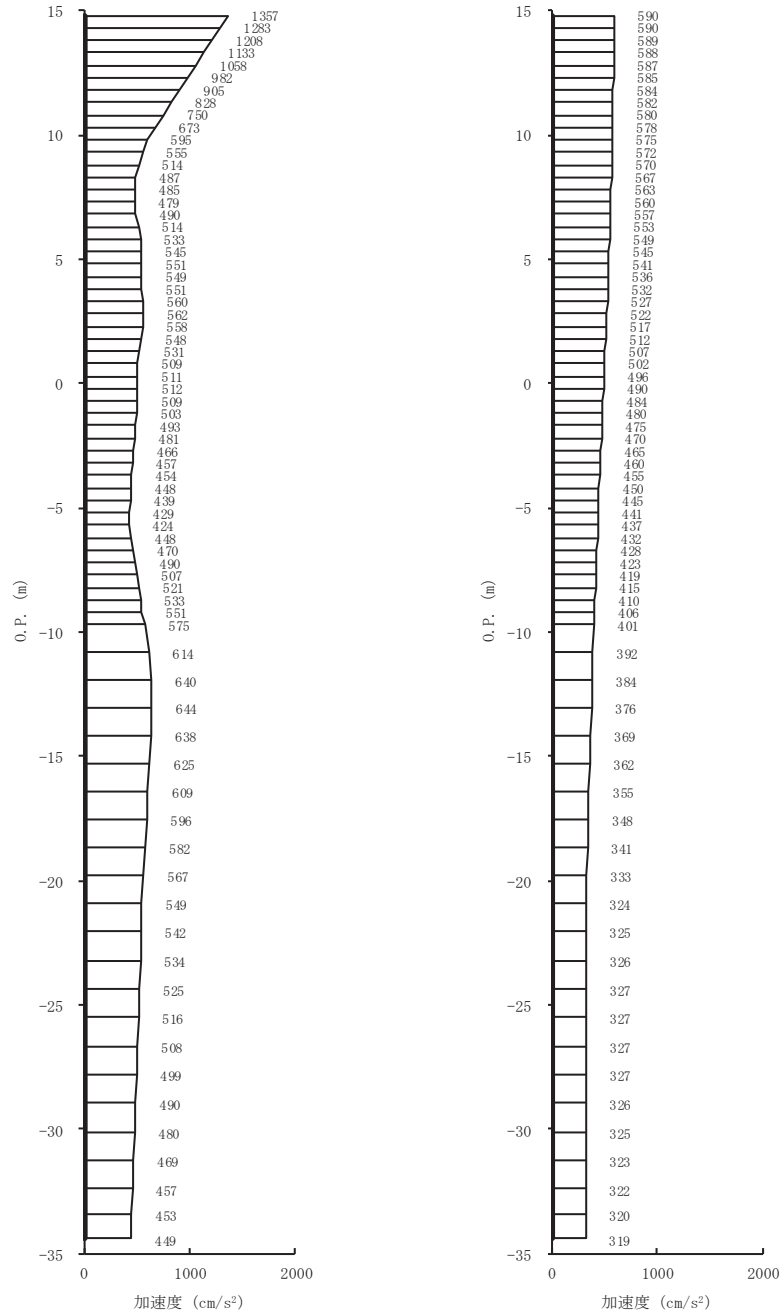
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



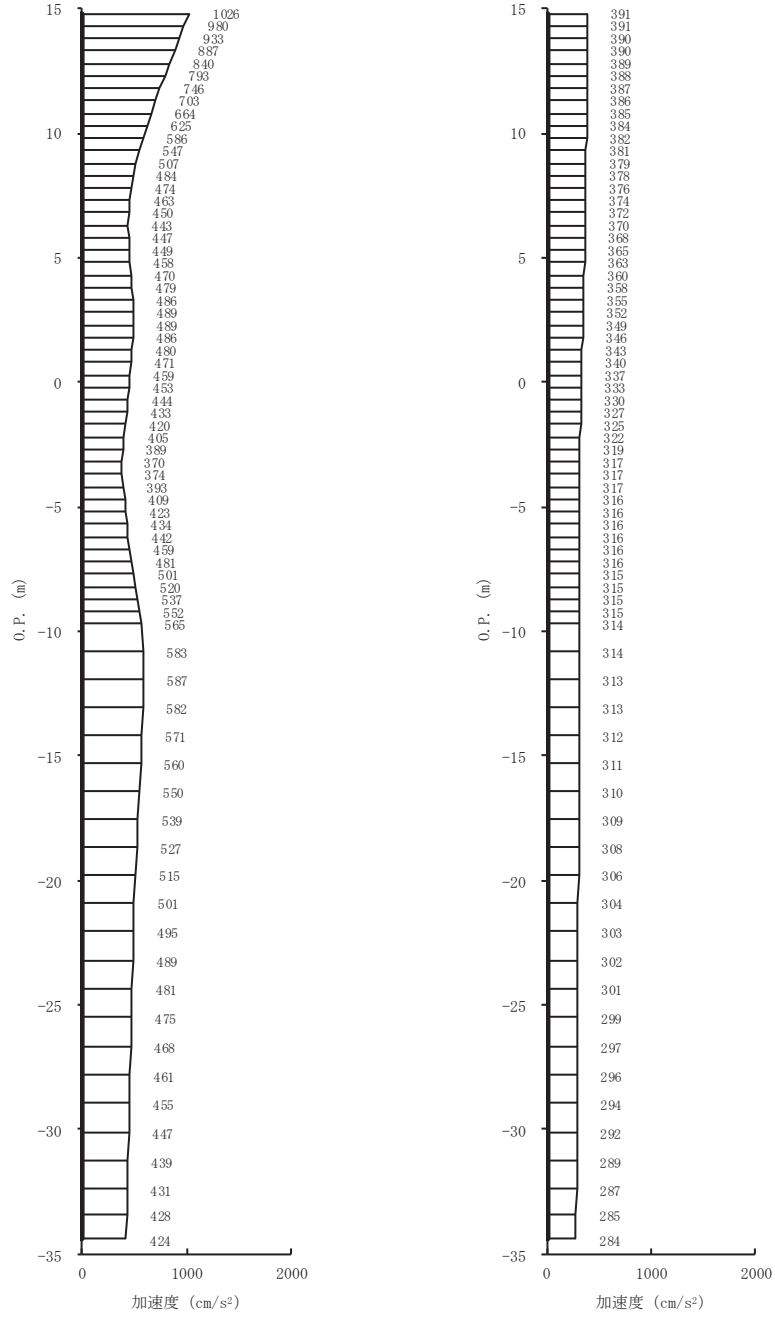
(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



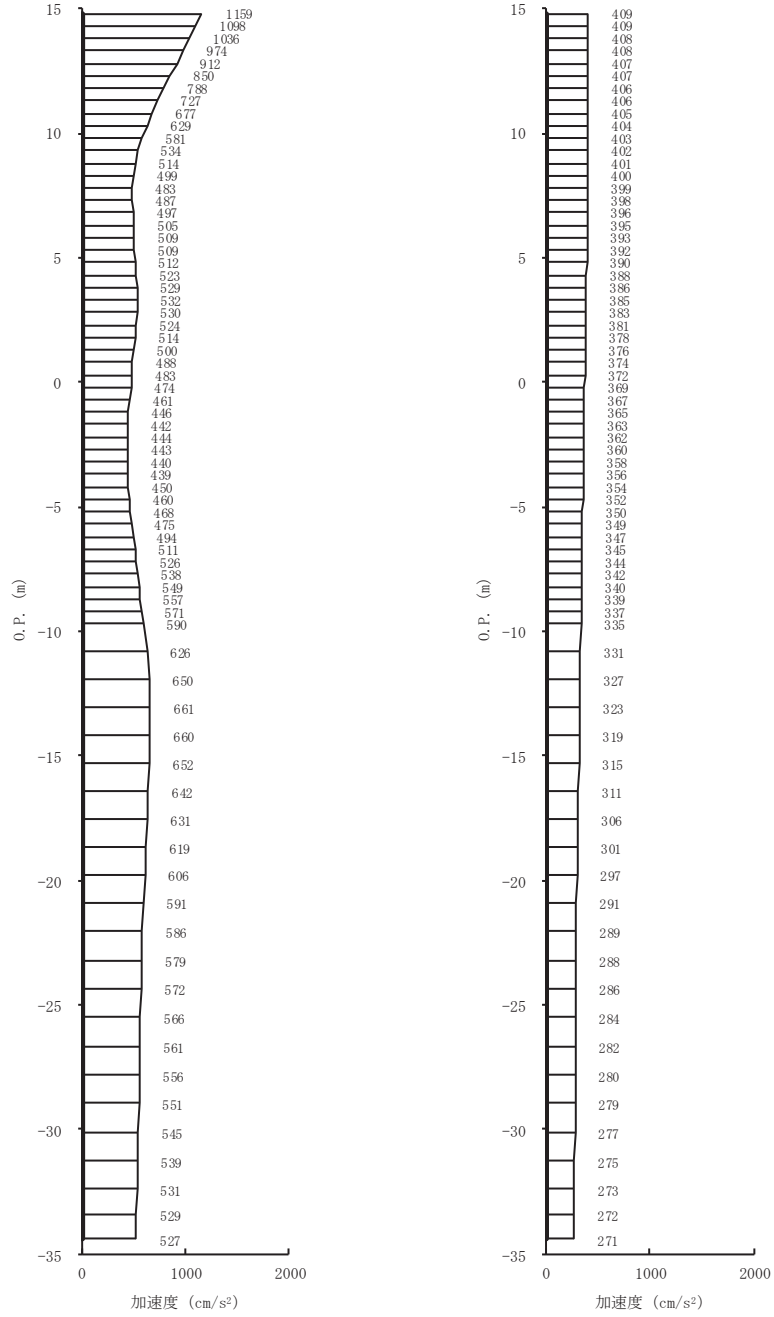
(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-4(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

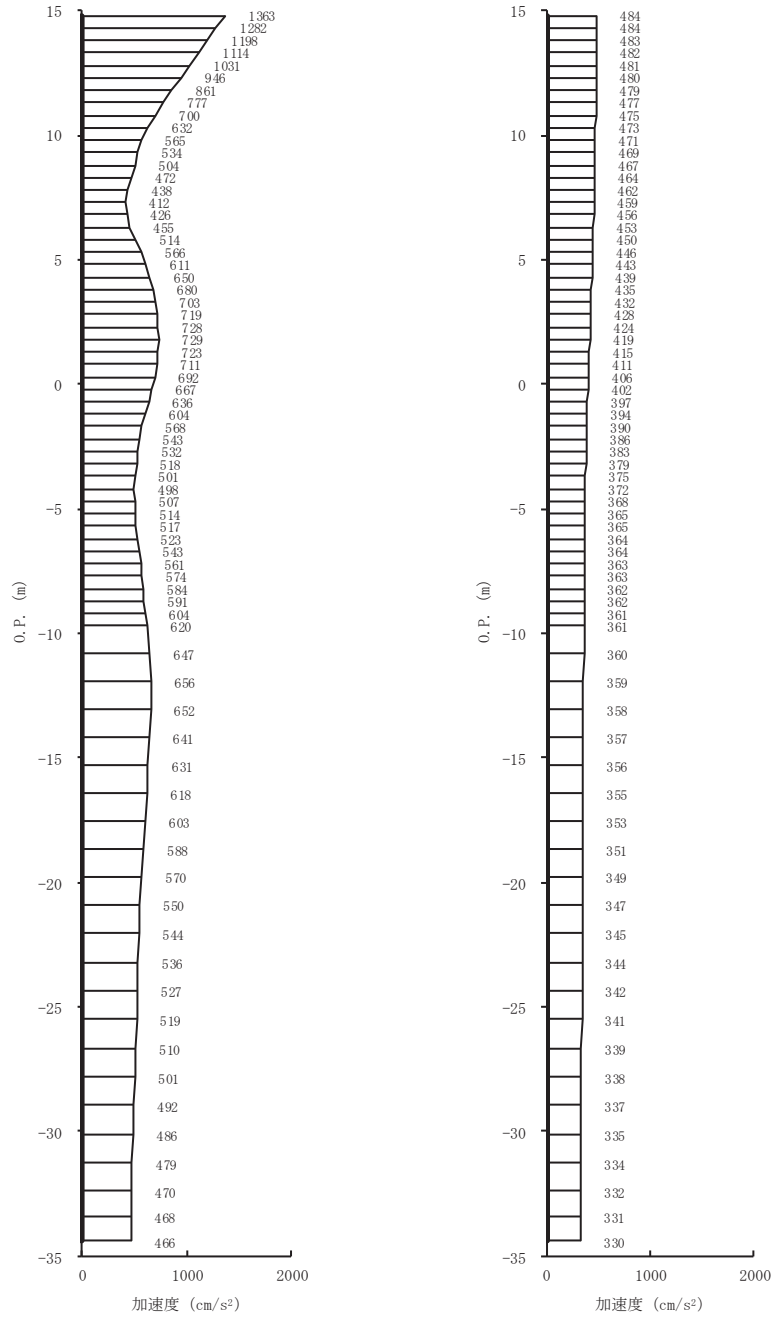


(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

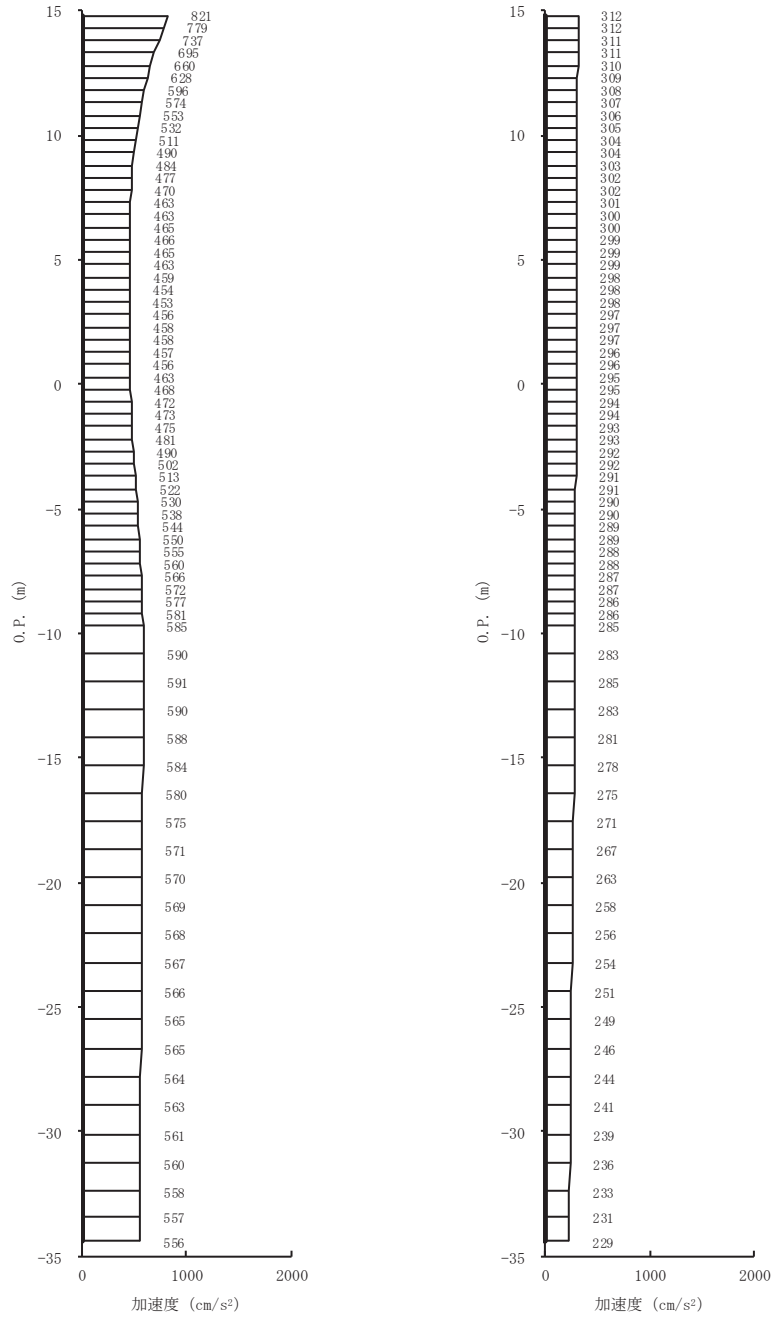


(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-4(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

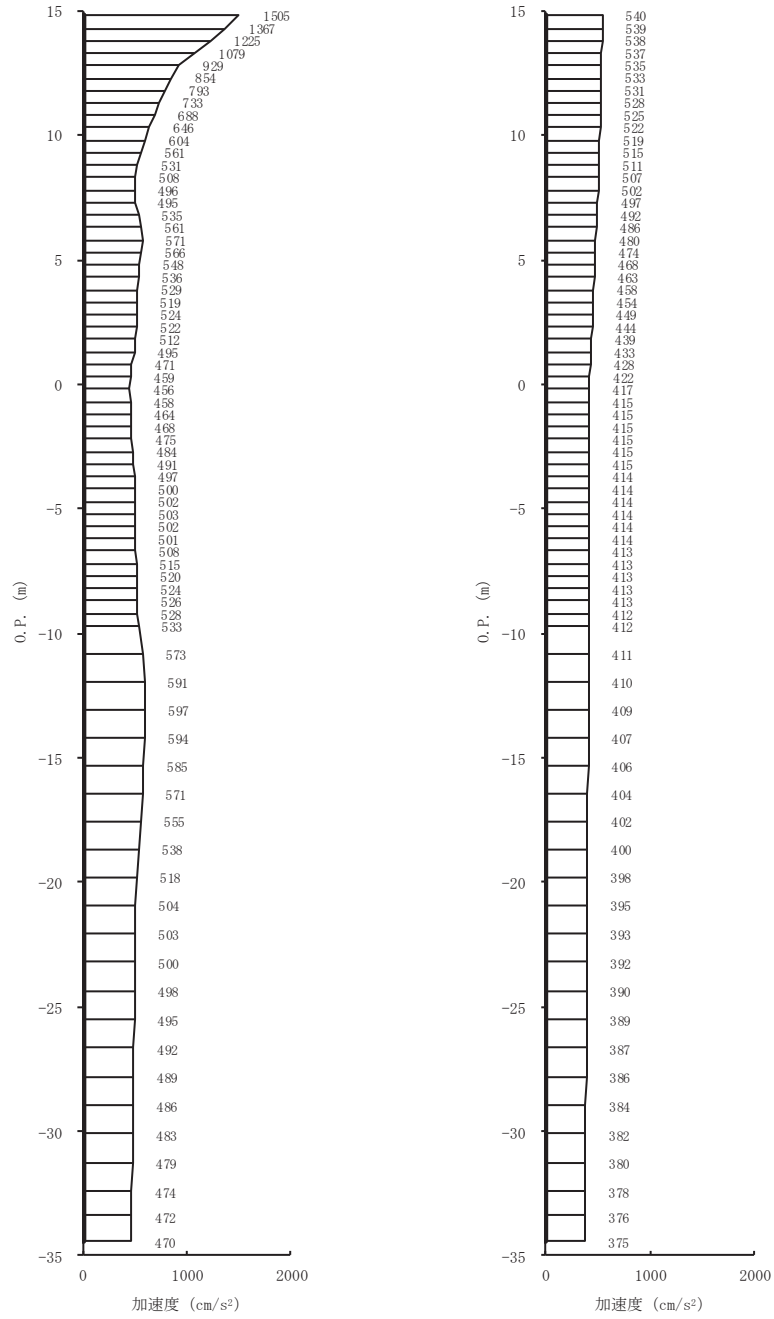




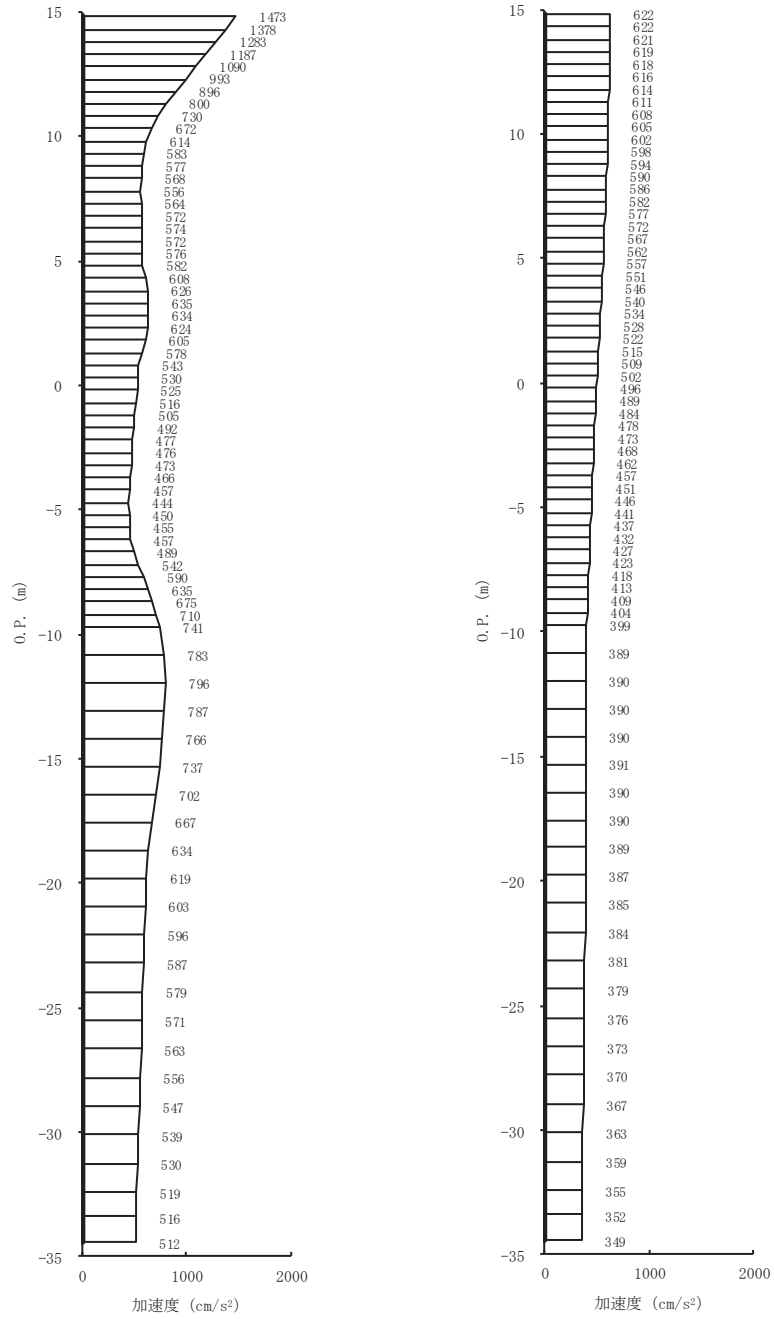
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-4(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



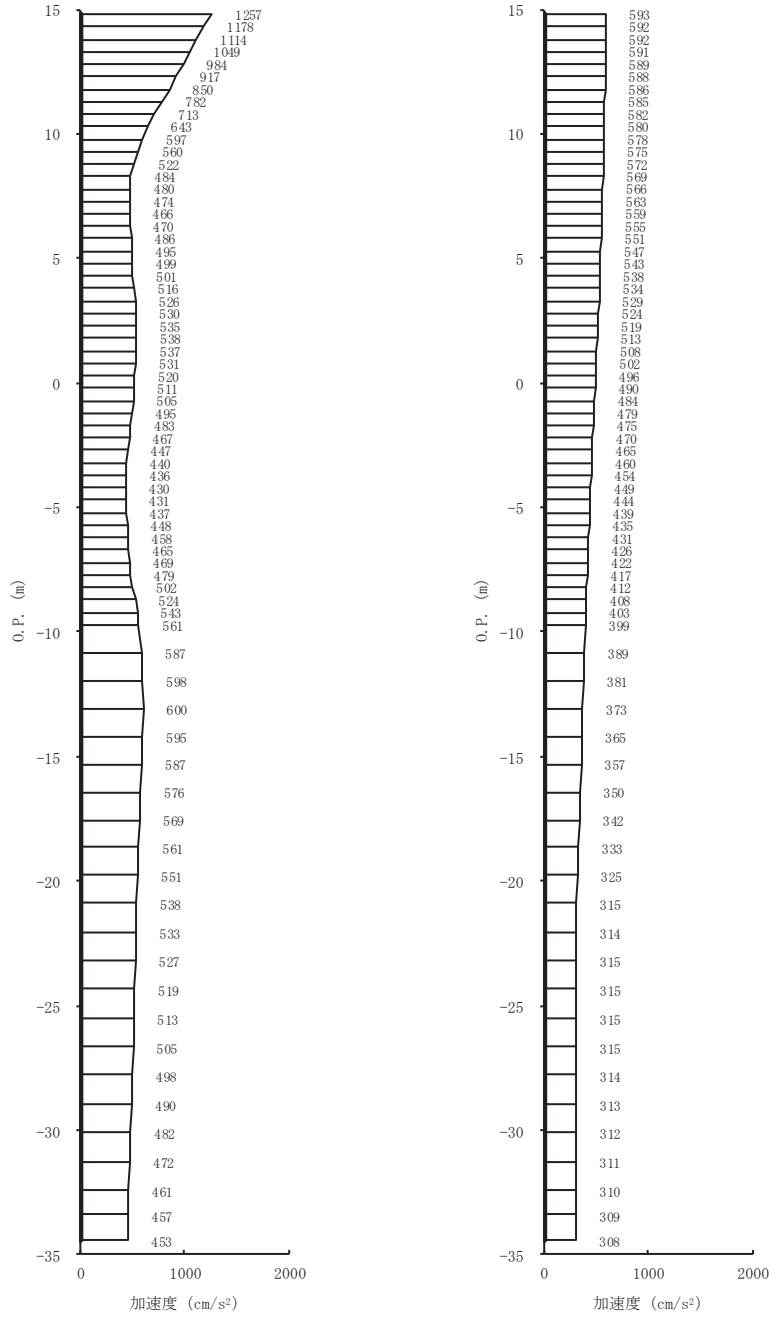
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-4(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



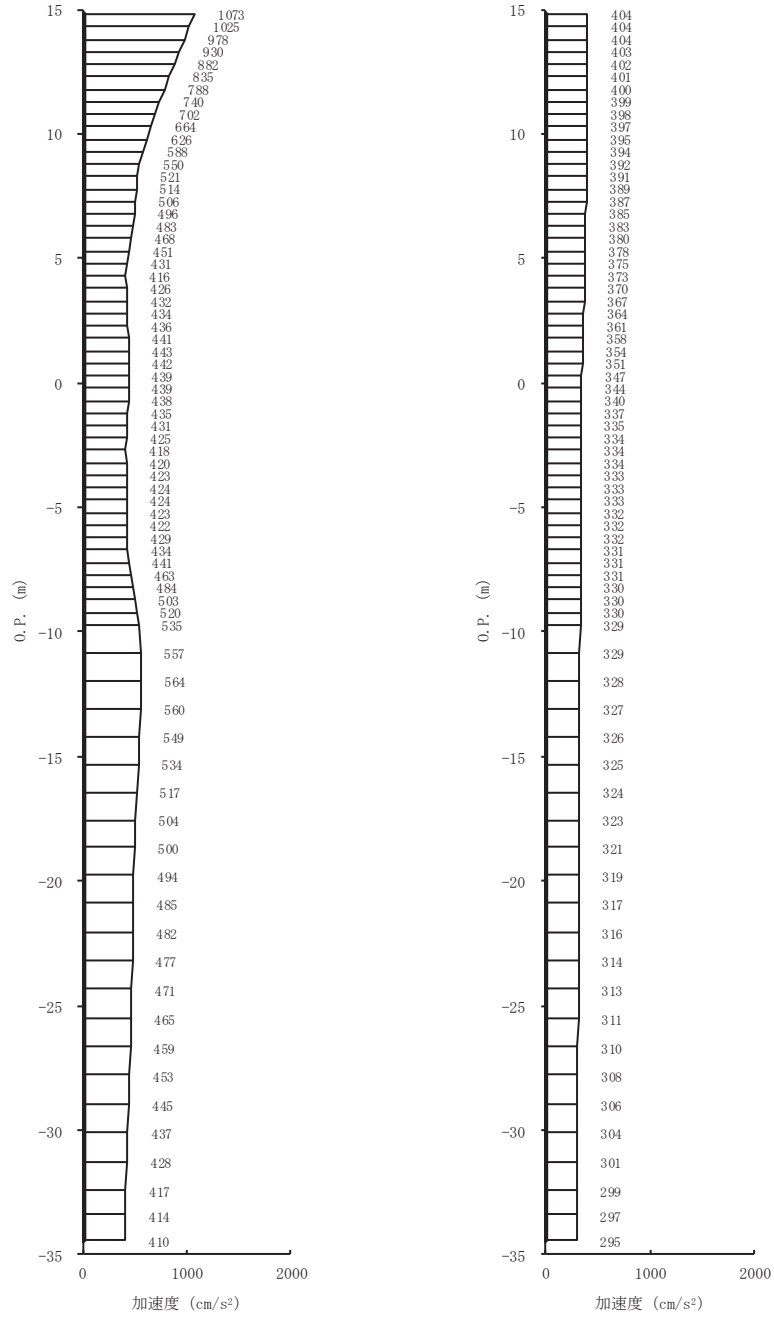
(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-5(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



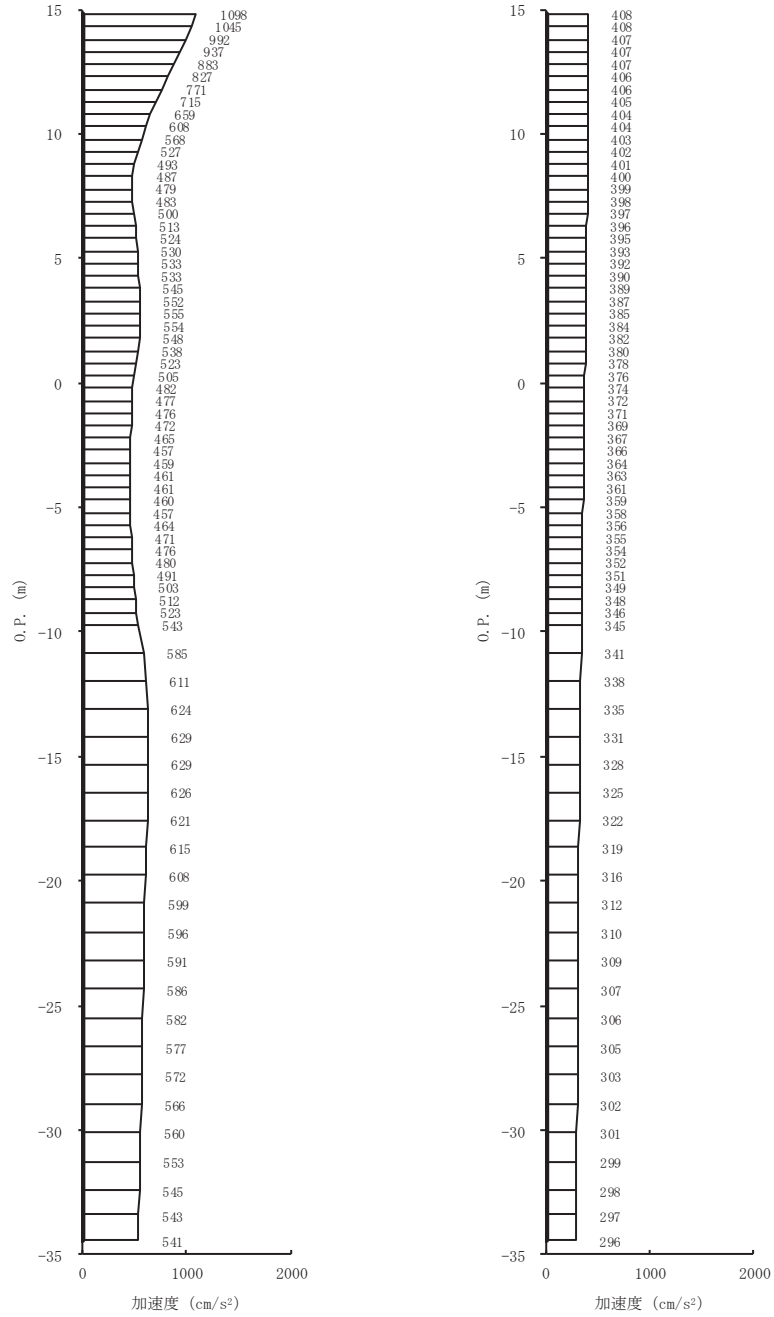
(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-5(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



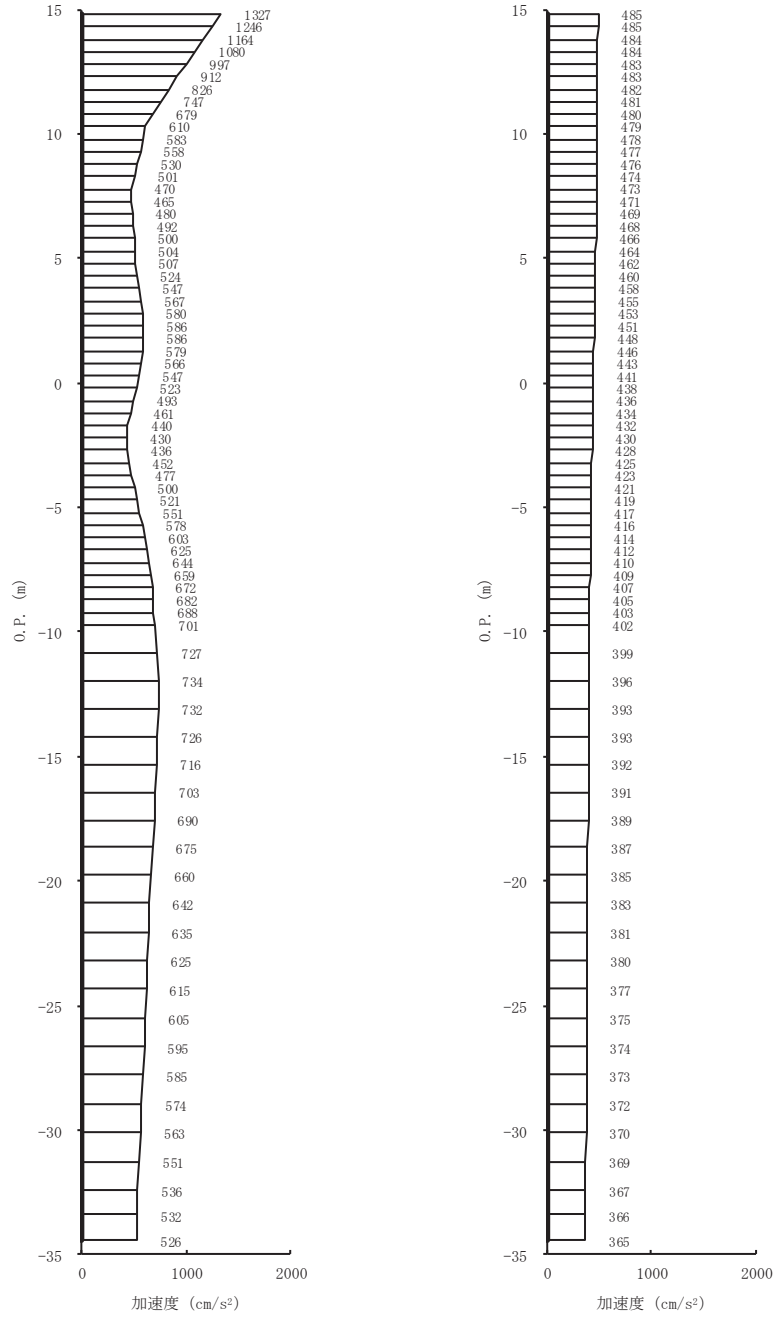
(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-5(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - F 1 (-+) 水平 (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-5(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)

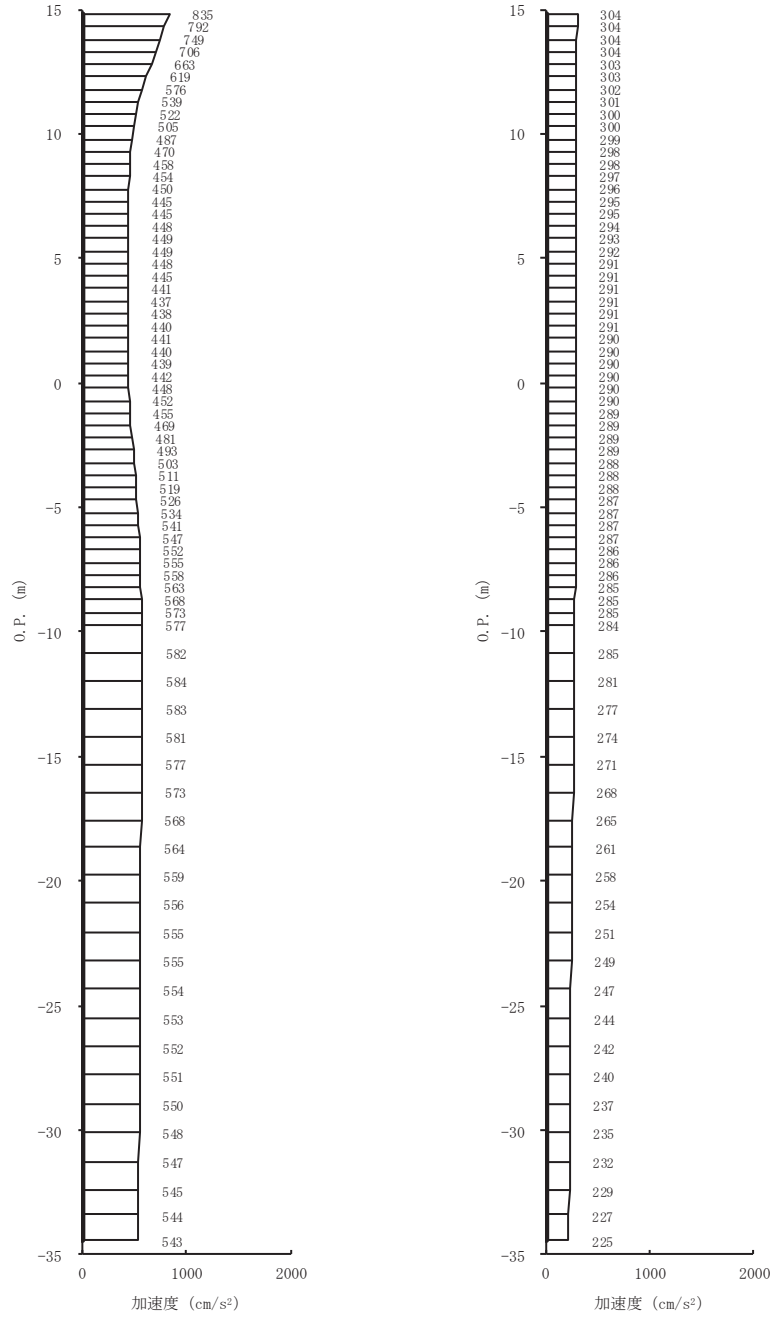


(a) S s - F 2 (-+) 水平 (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-5(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)

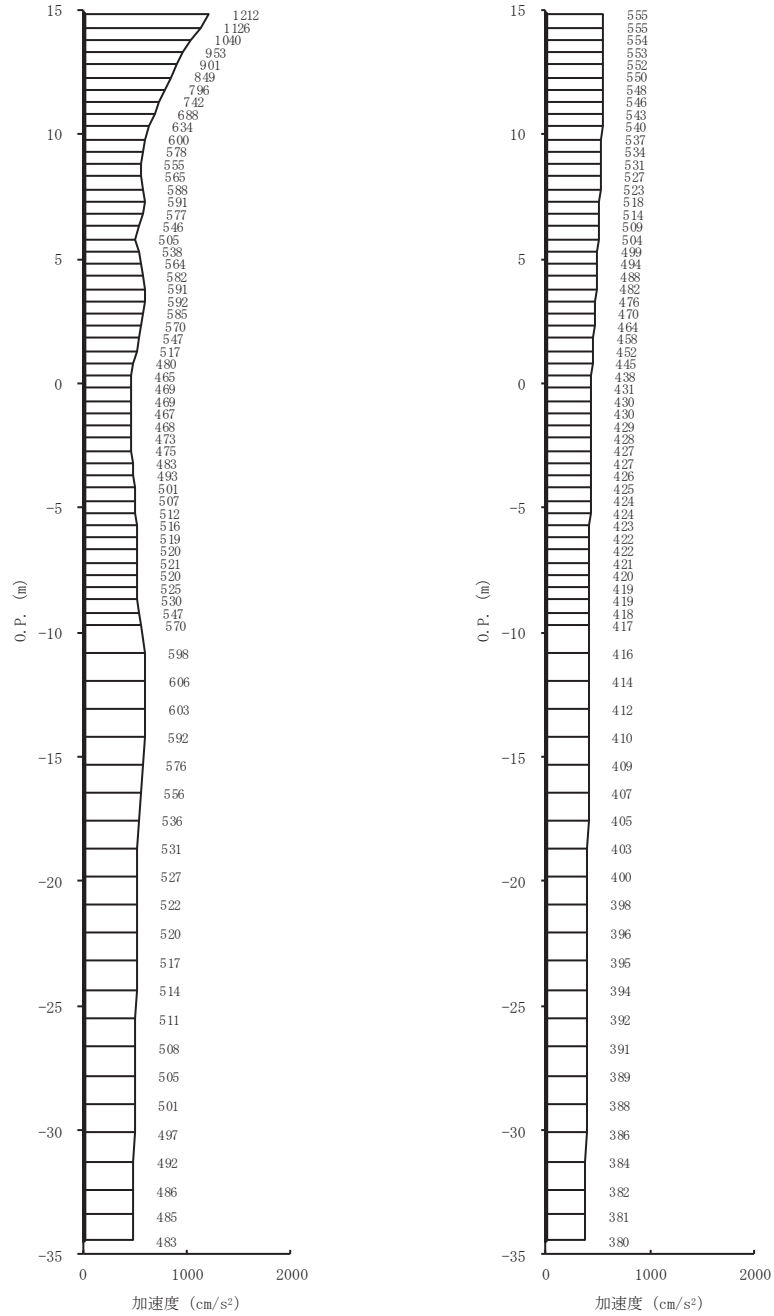


(a) S s - F 3 (-+) 水平 (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-5(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)

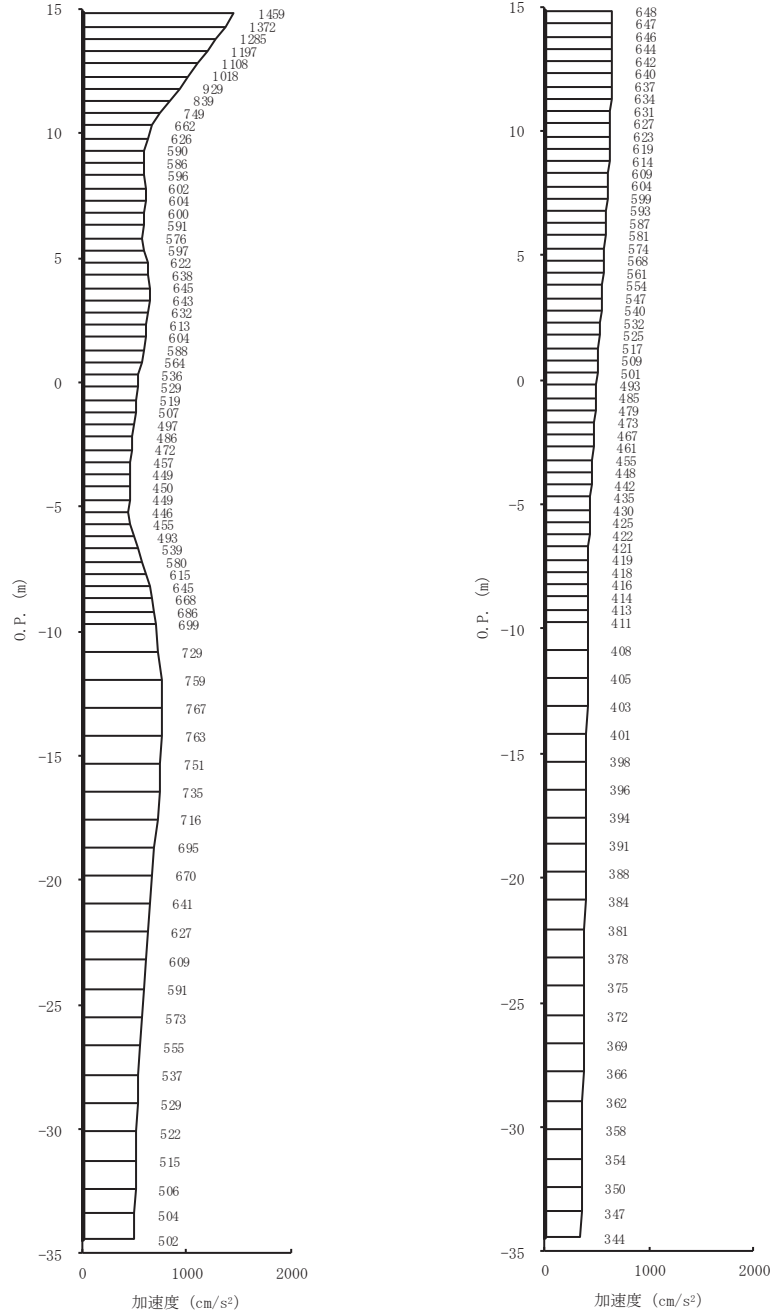




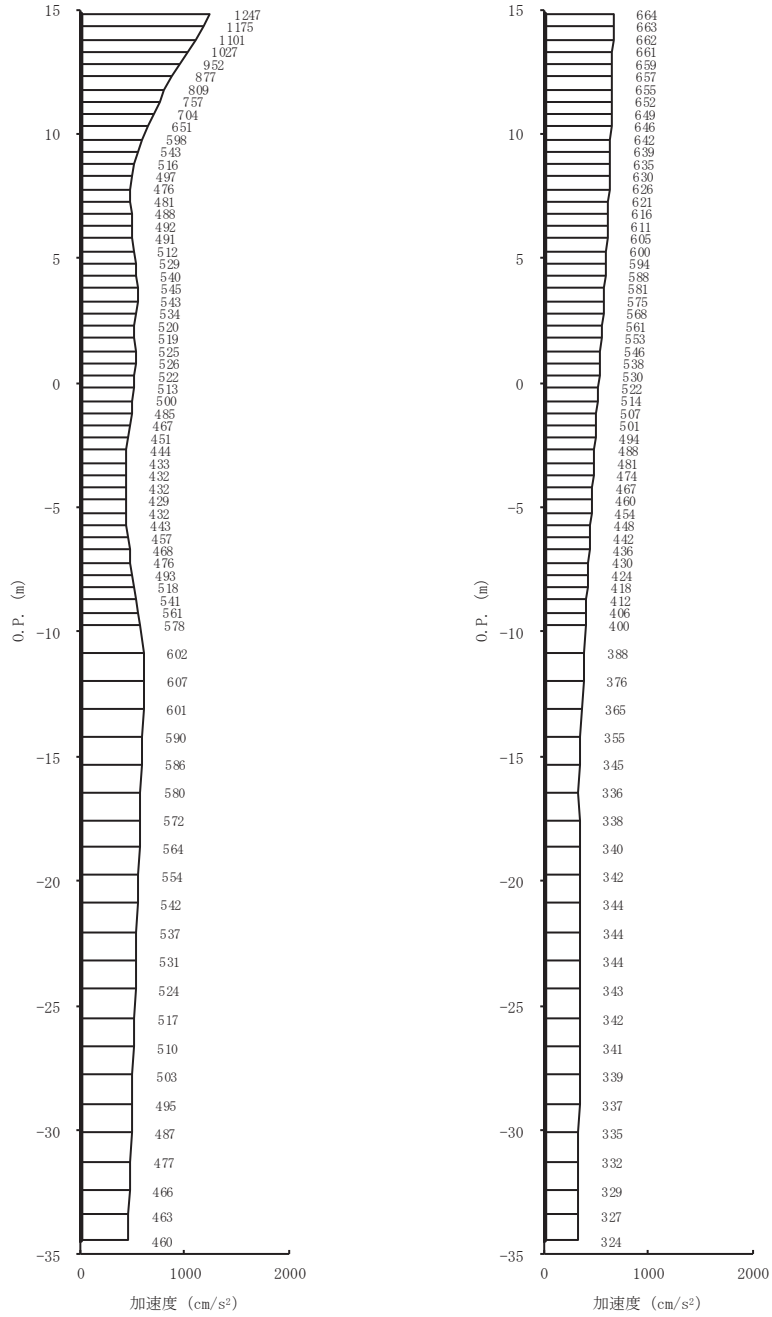
(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-5(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 1 ( - + ) 水平 (b) S s - D 1 ( - + ) 鉛直  
 図 4-5(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)

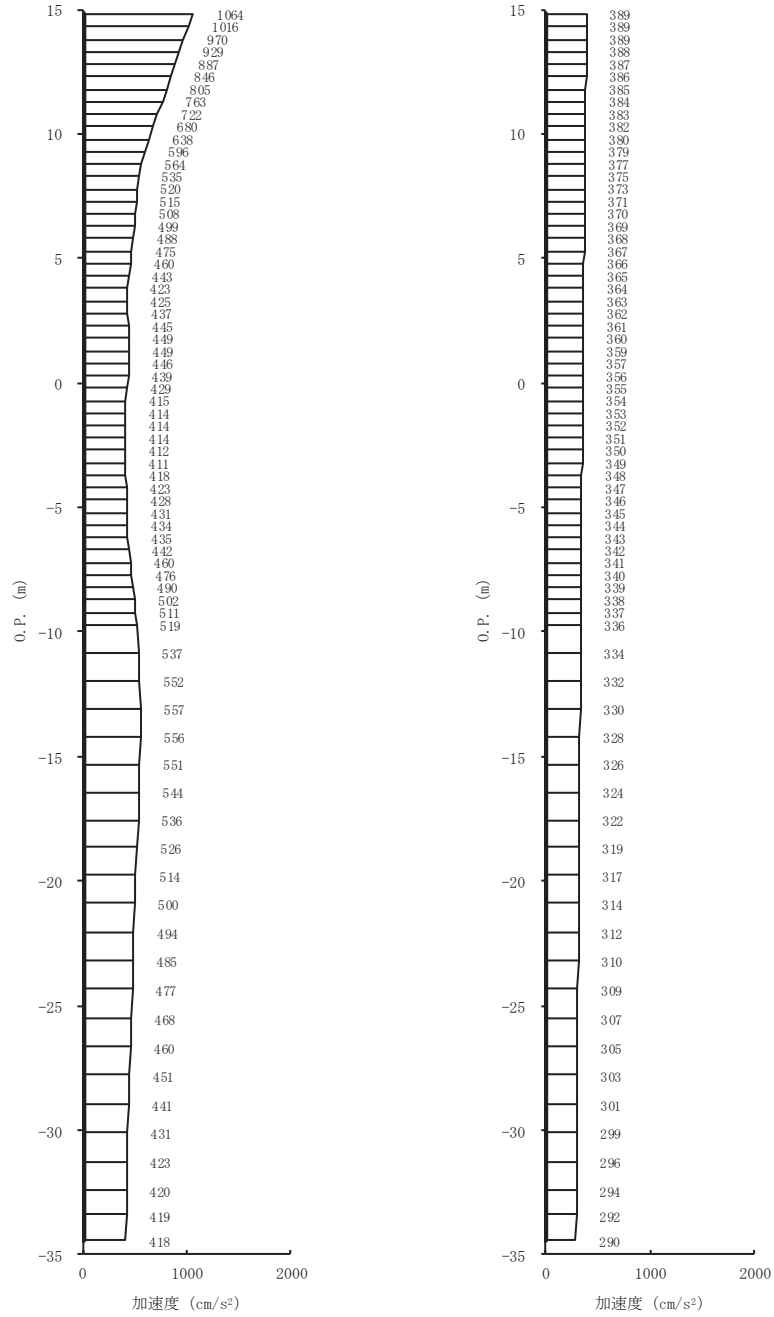


(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-5(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



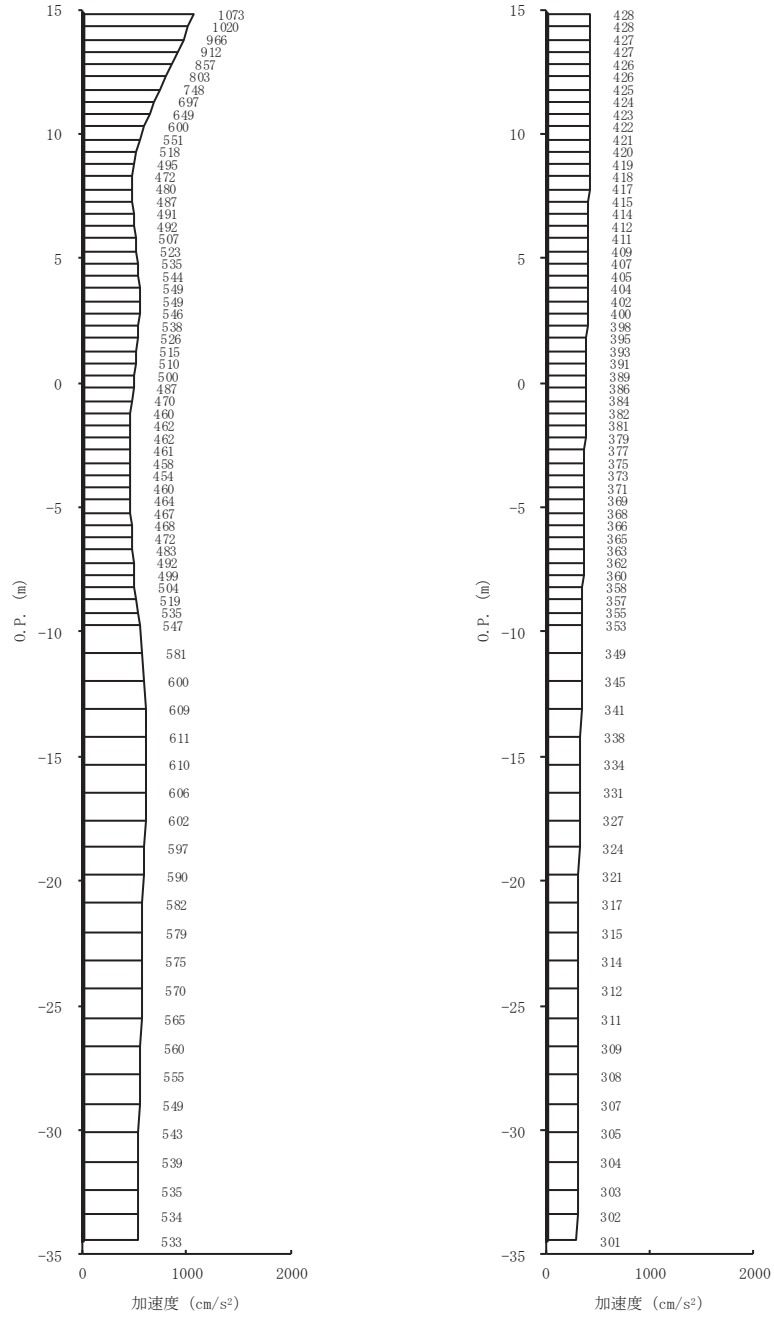
(a) S s - D 3 ( - + ) 水平      (b) S s - D 3 ( - + ) 鉛直

図 4-5(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



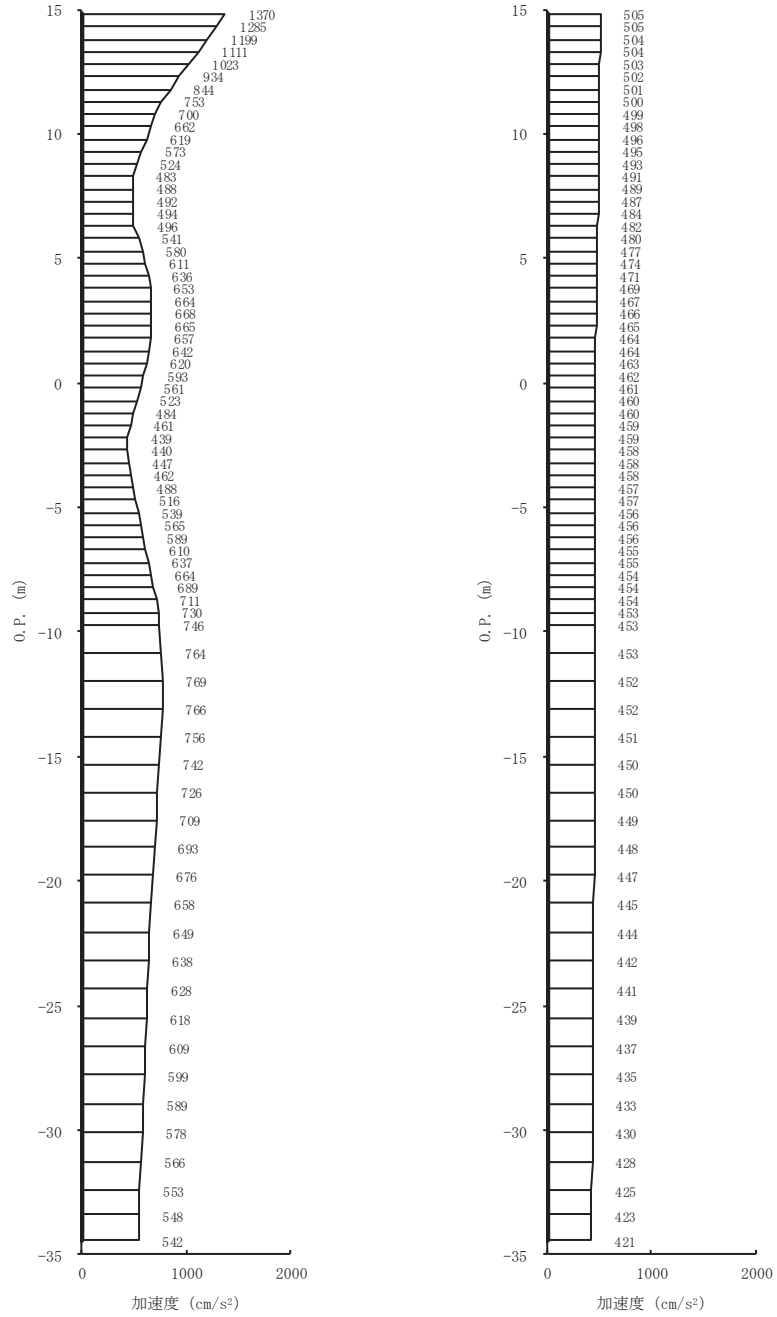
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-5(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



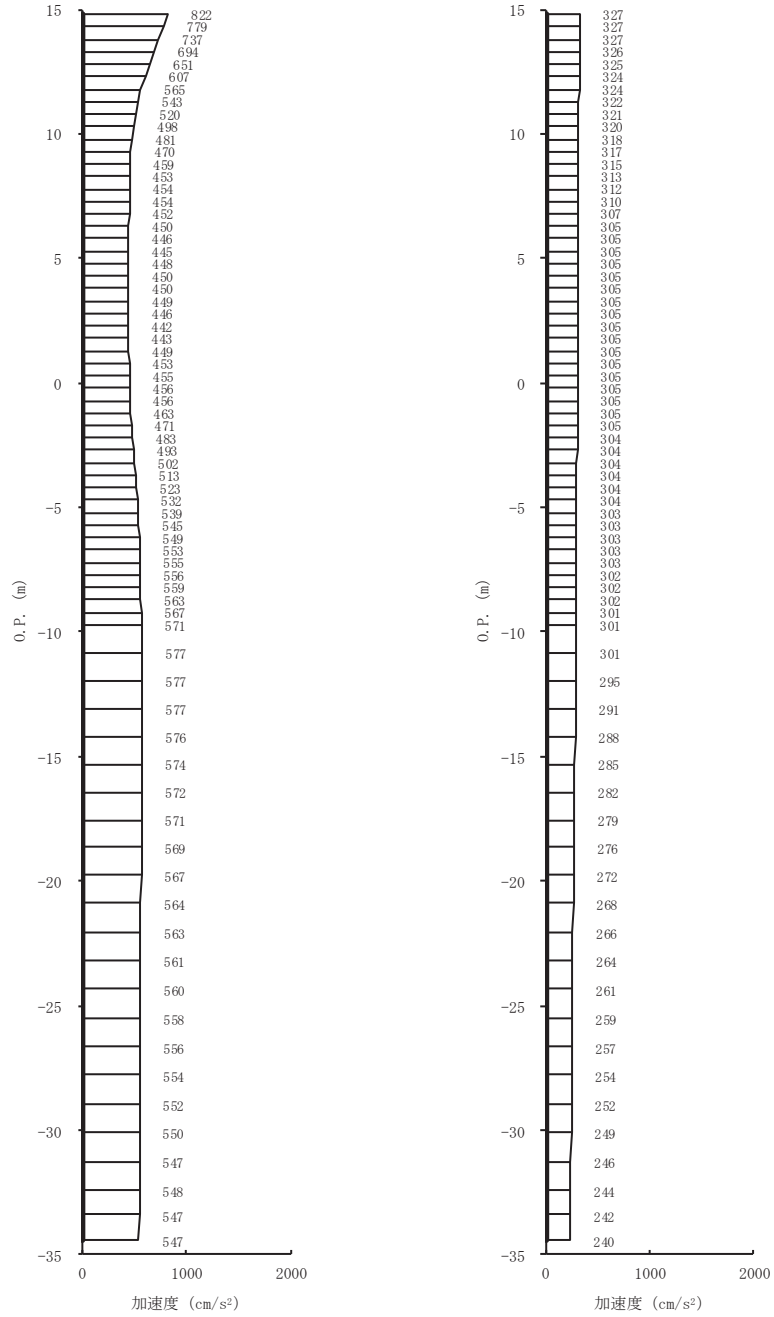
(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-5(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

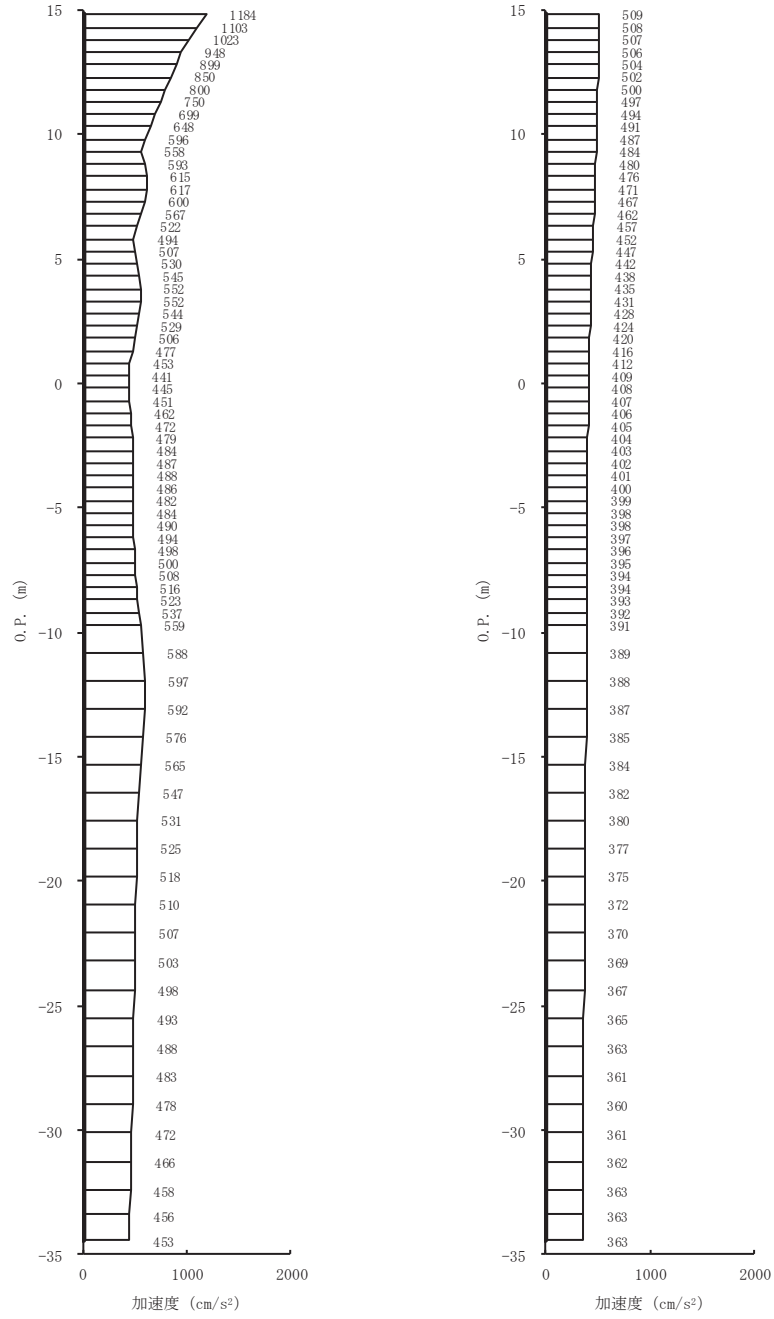
図 4-5(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

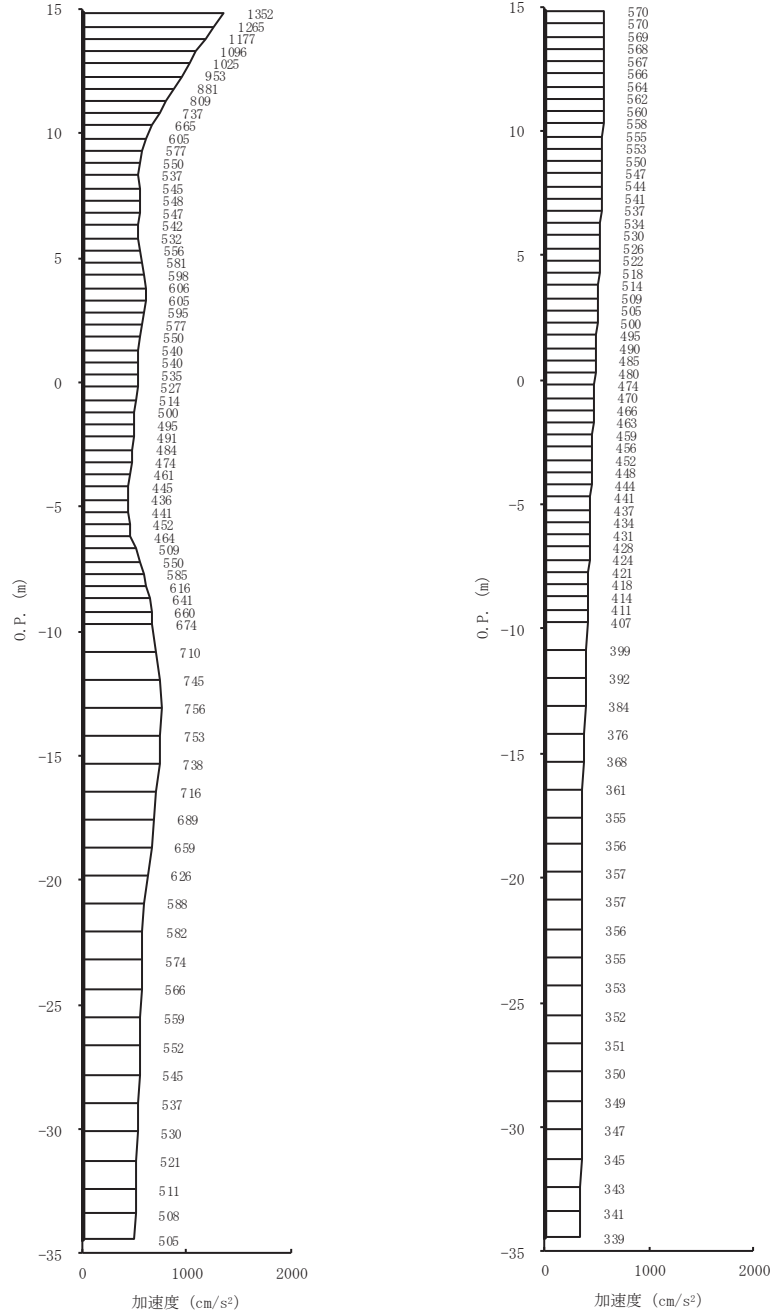
図 4-5(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース②)





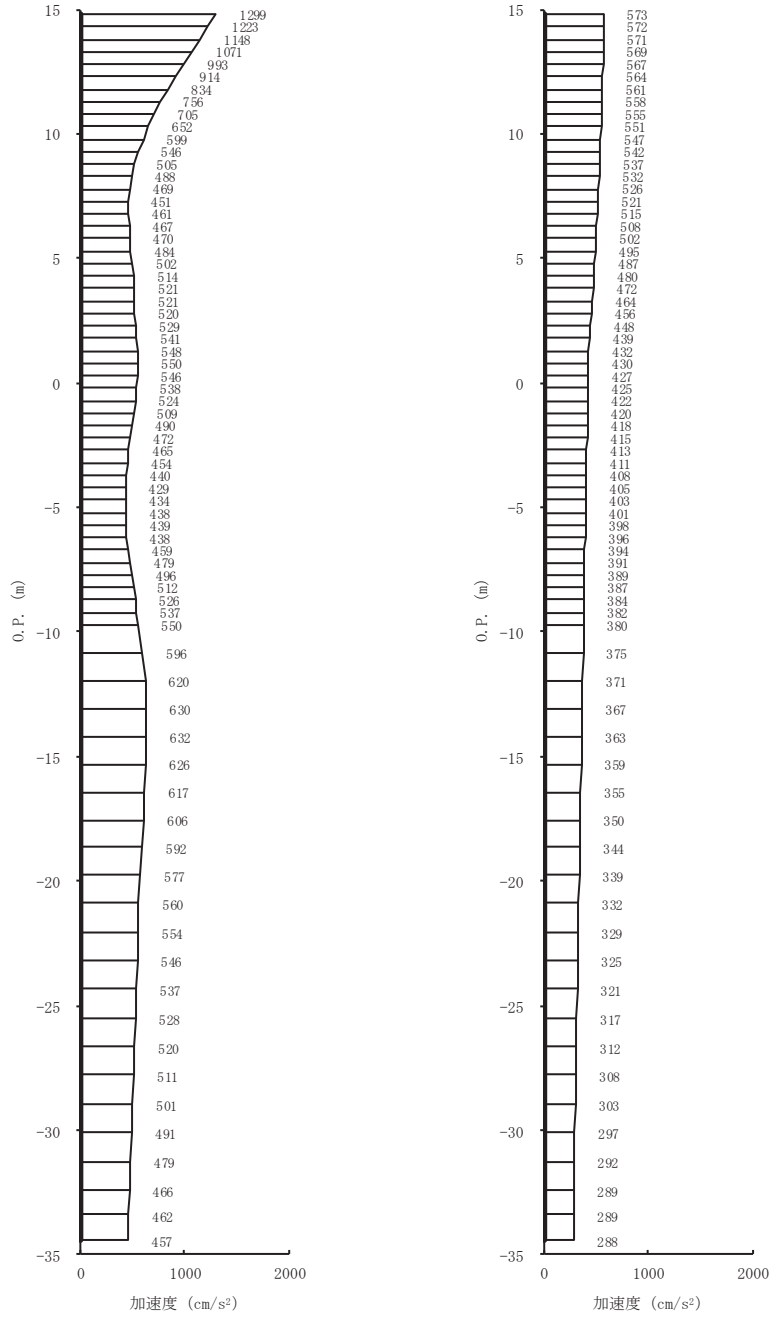
(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直

図 4-5(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



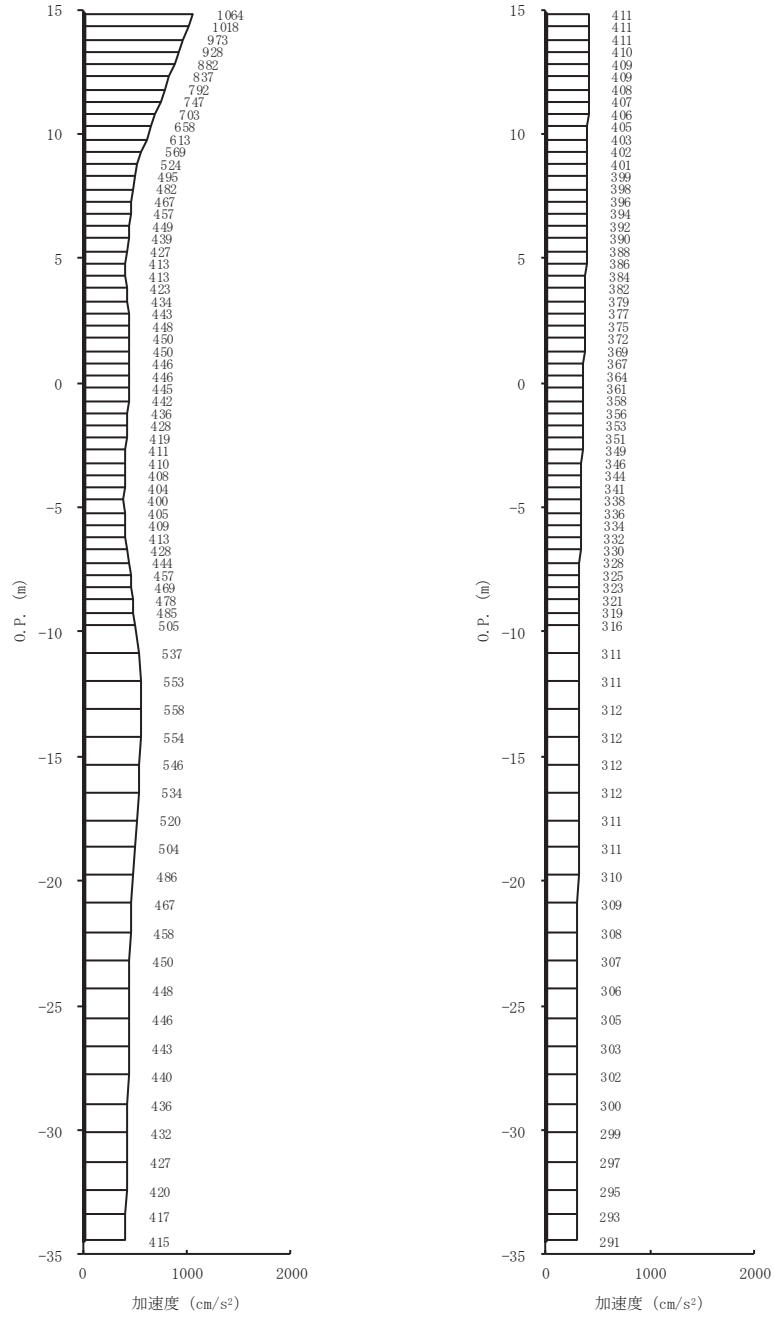
(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直

図 4-5(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



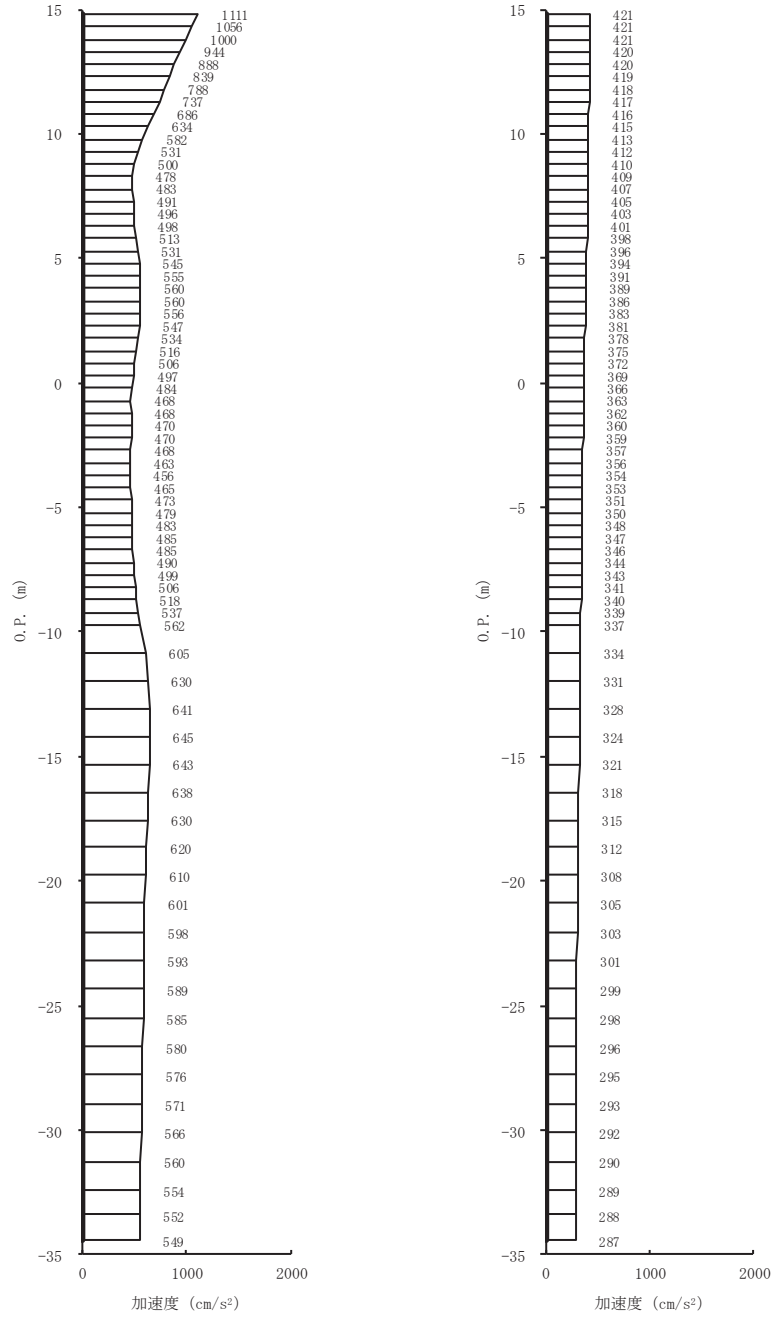
(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

図 4-5(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



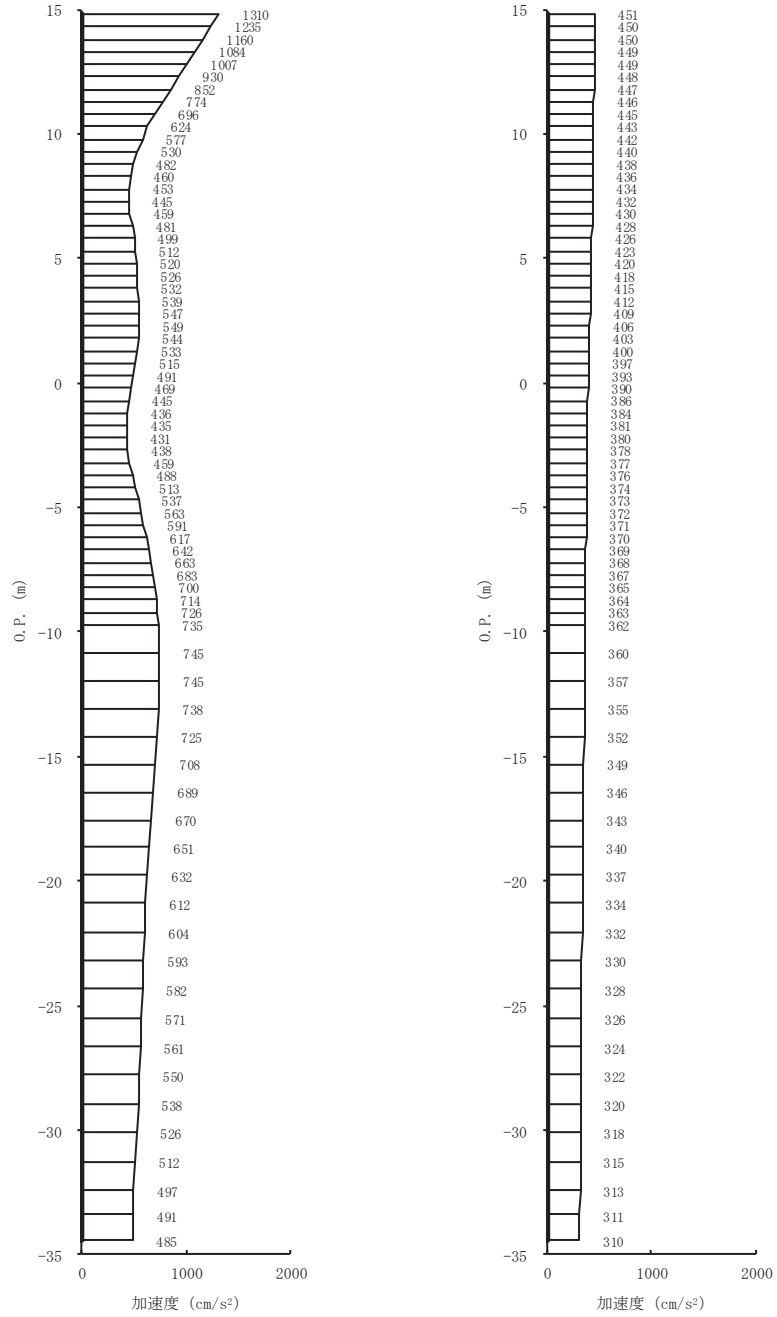
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-5(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



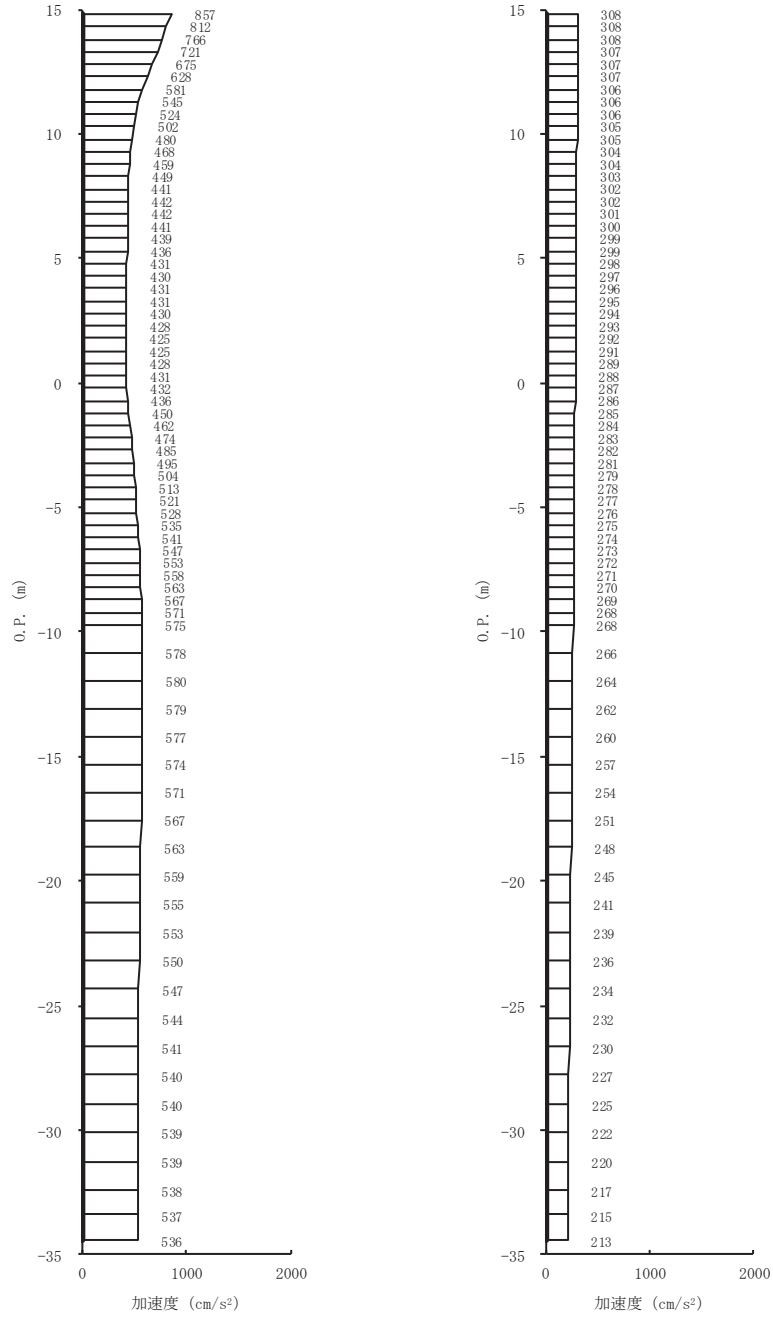
(a) S s - F 2 (-+) 水平 (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-5(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



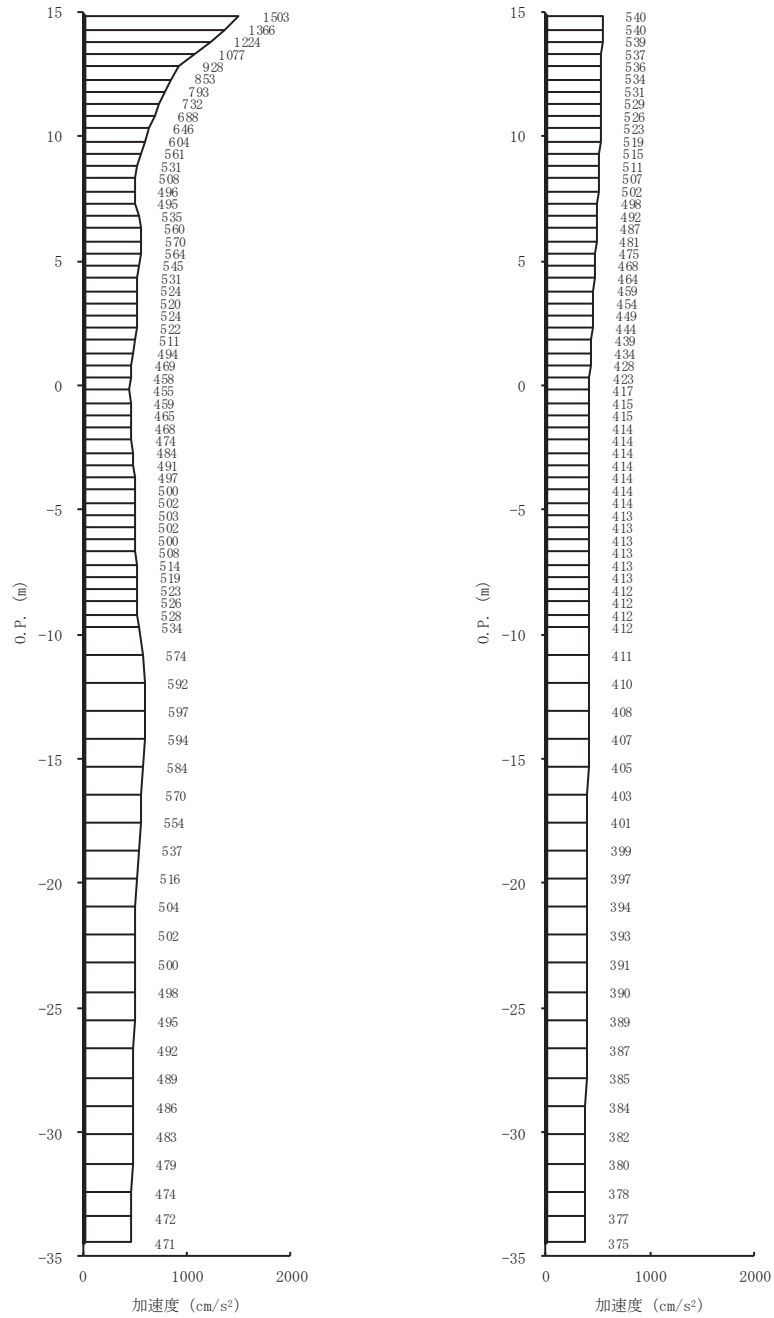
(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

図 4-5(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

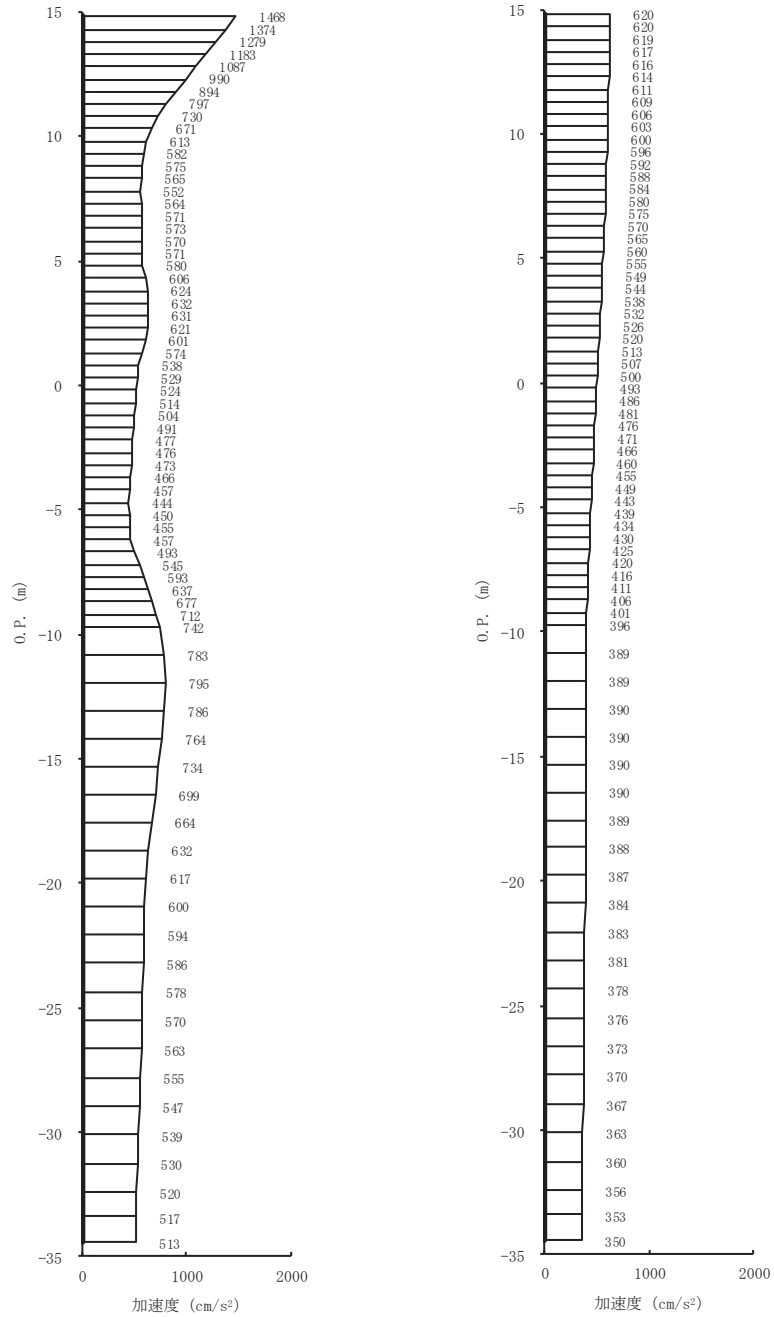
図 4-5(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直

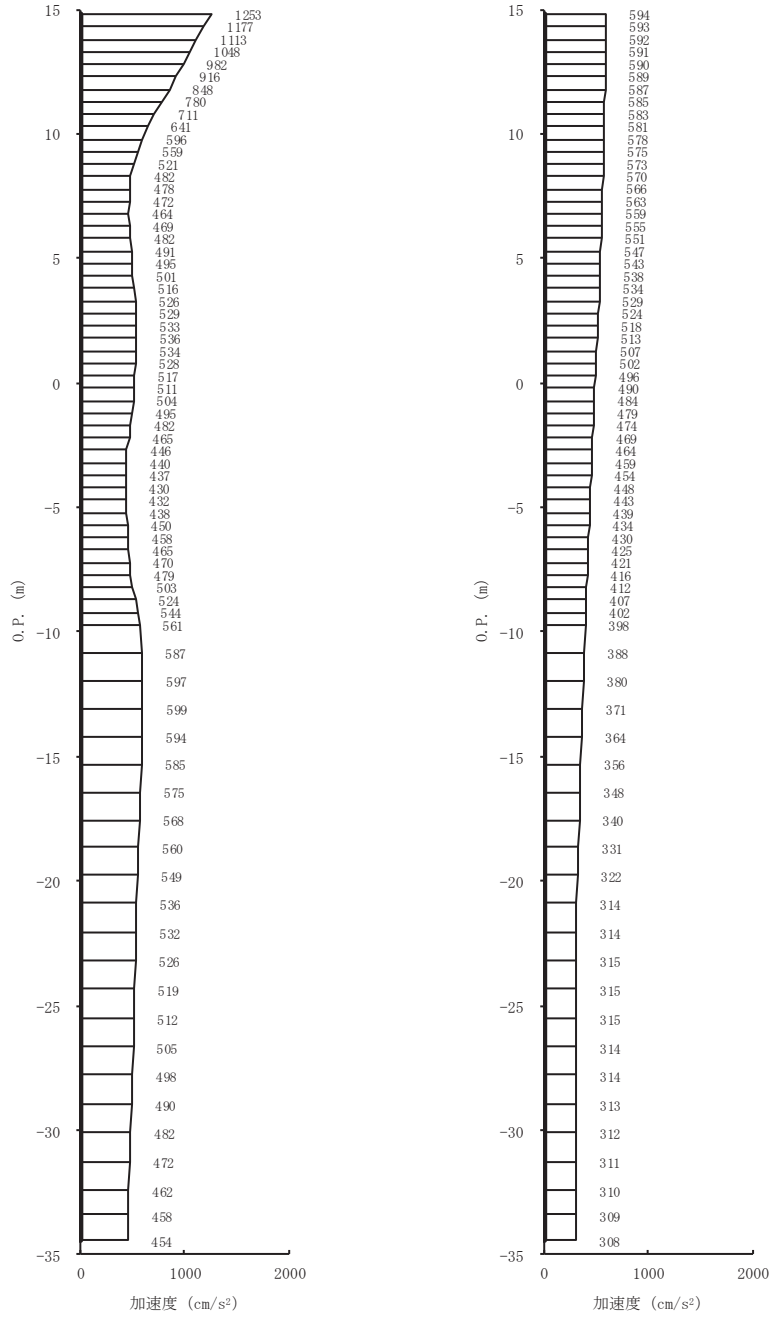
図 4-5(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)





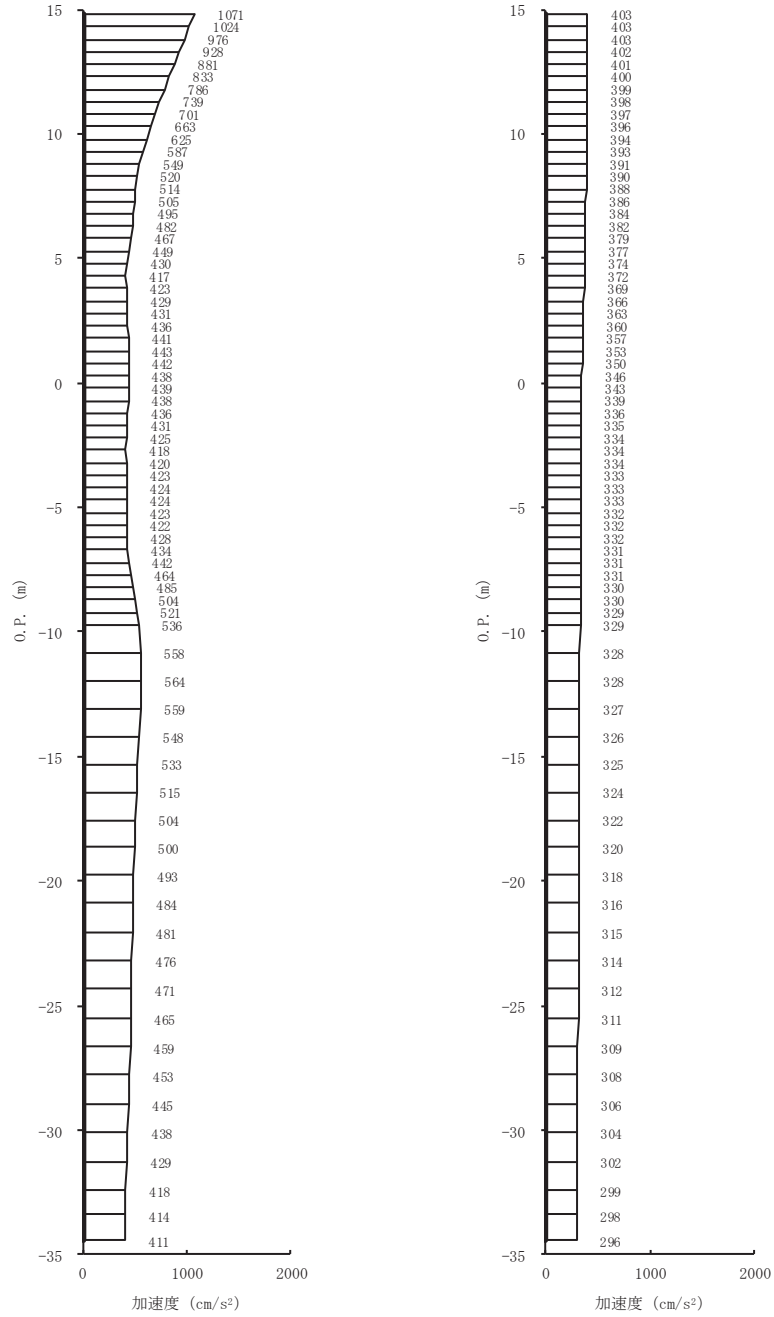
(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直

図 4-5(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



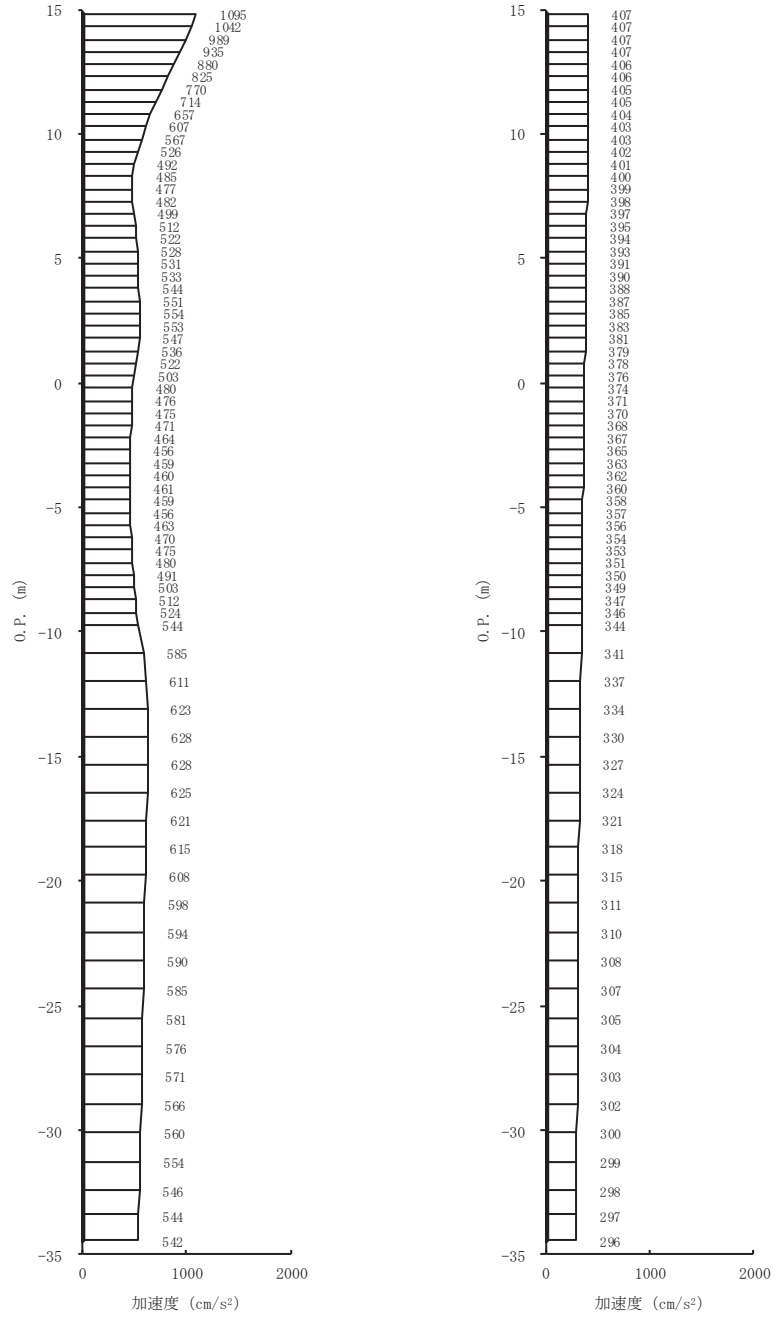
(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

図 4-5(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



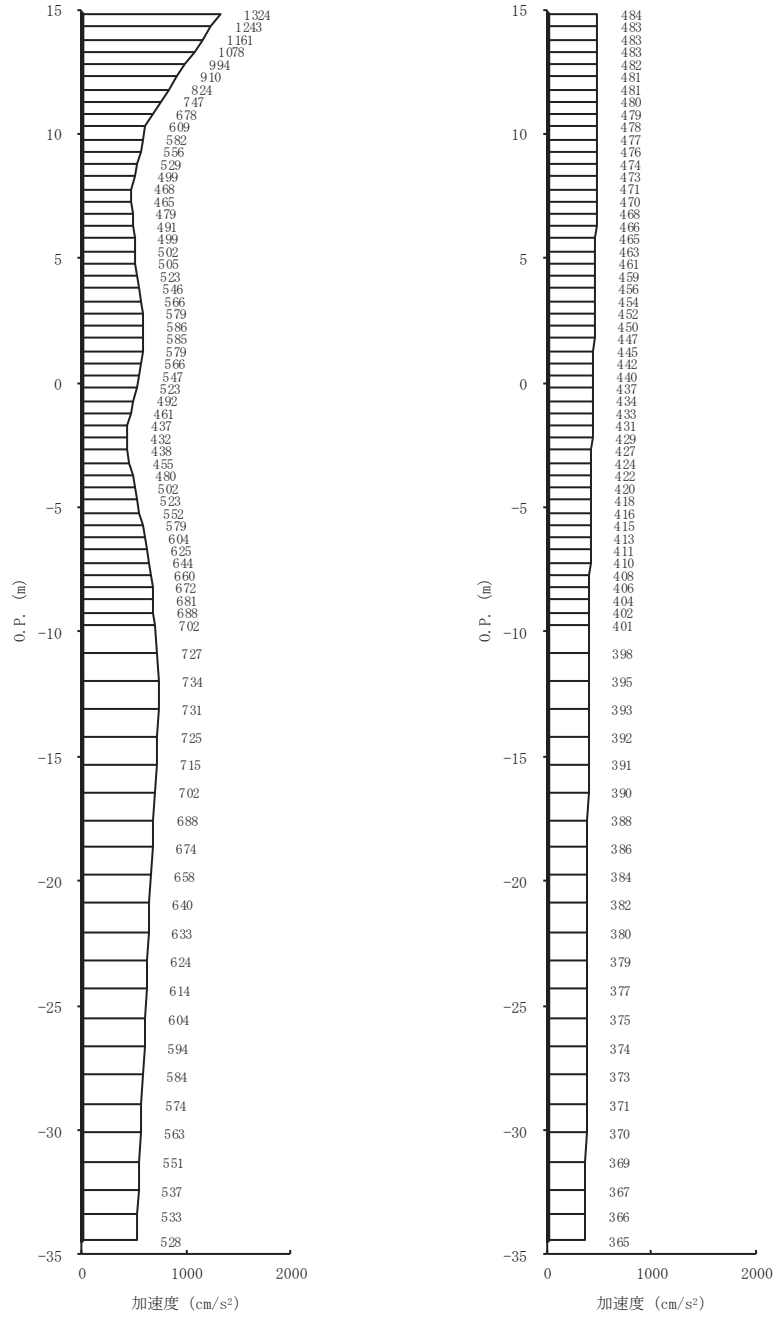
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-5(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



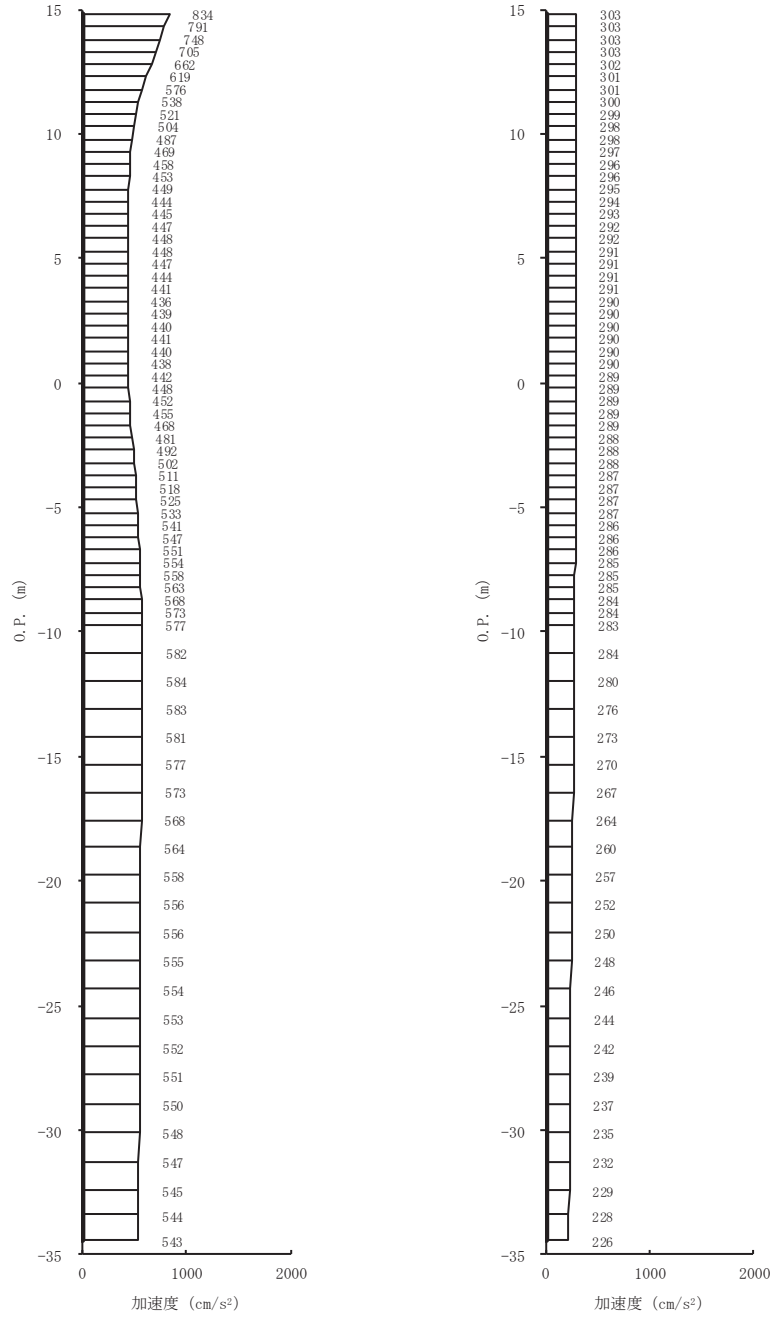
(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-5(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

図 4-5(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

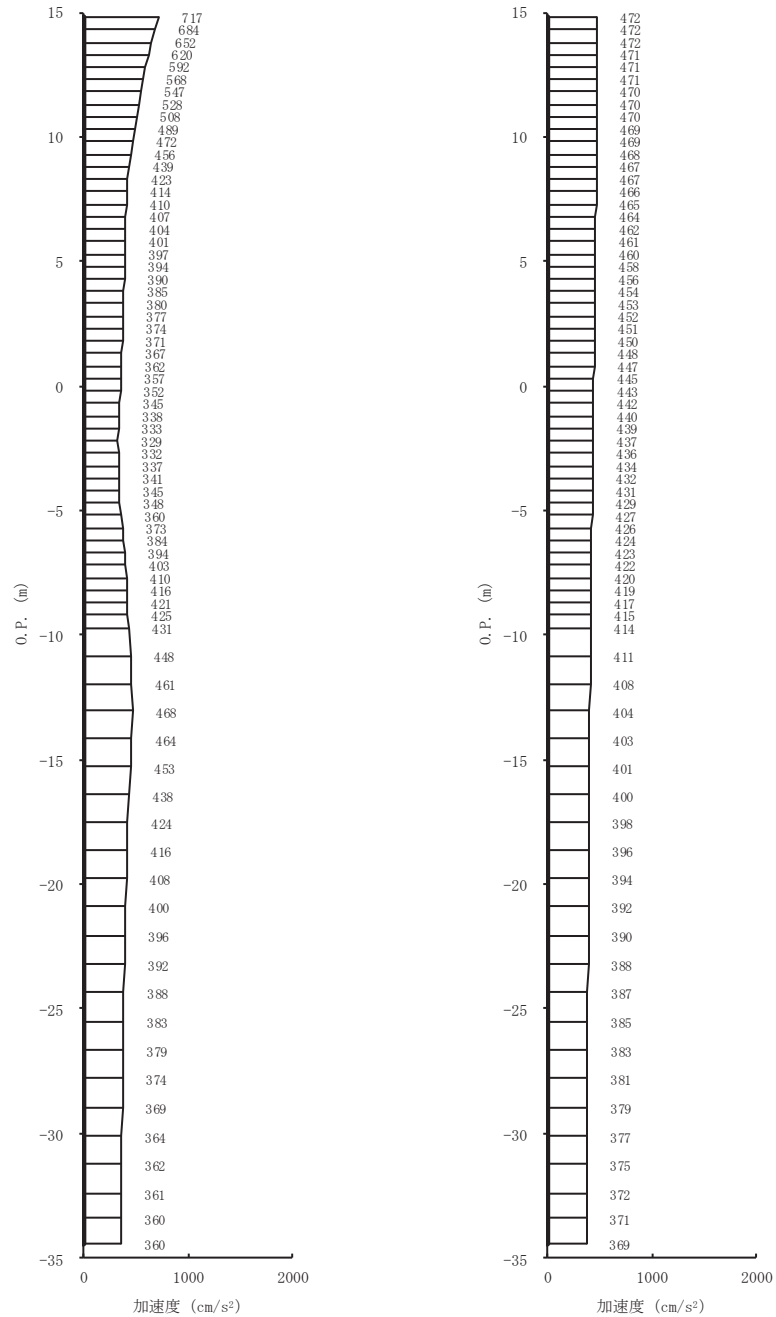


(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-5(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース④)

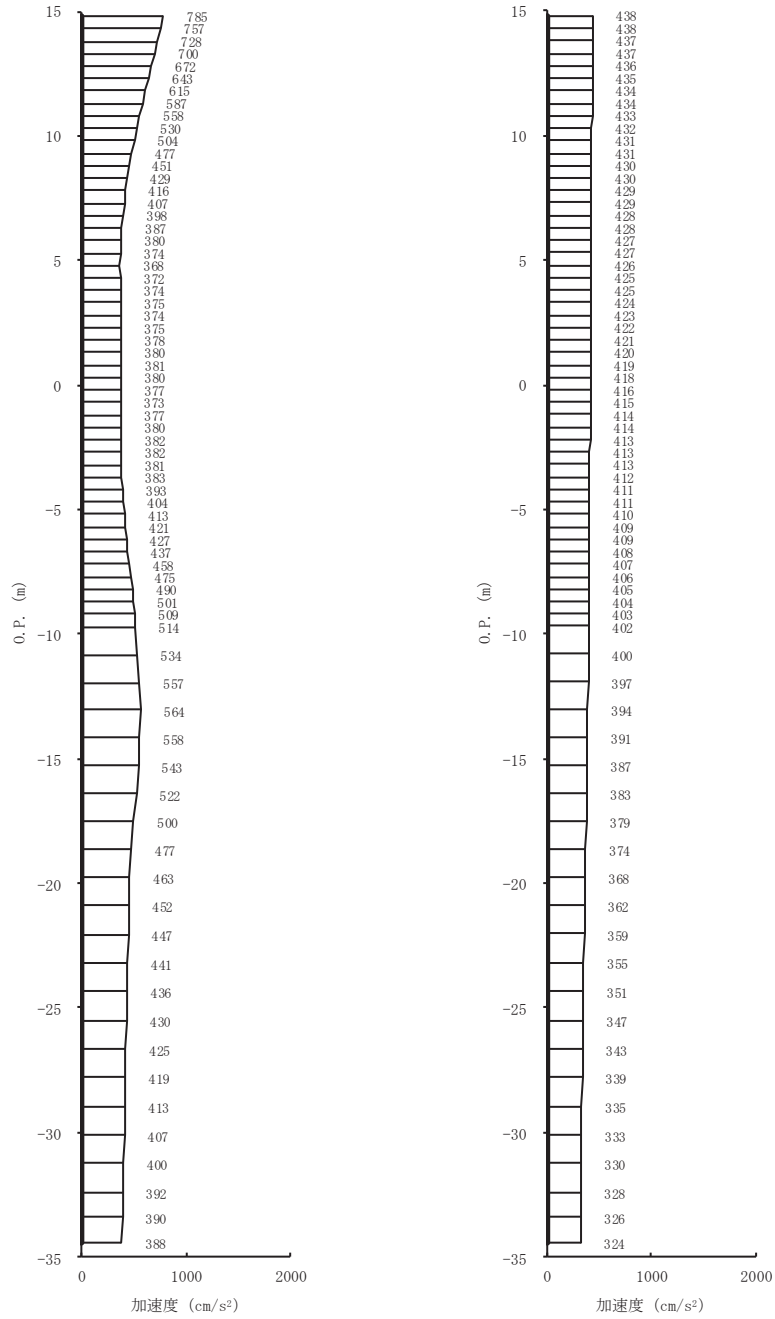
(2) 有効応力解析

有効応力解析結果のうち、解析ケース⑤についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-6 に示す。



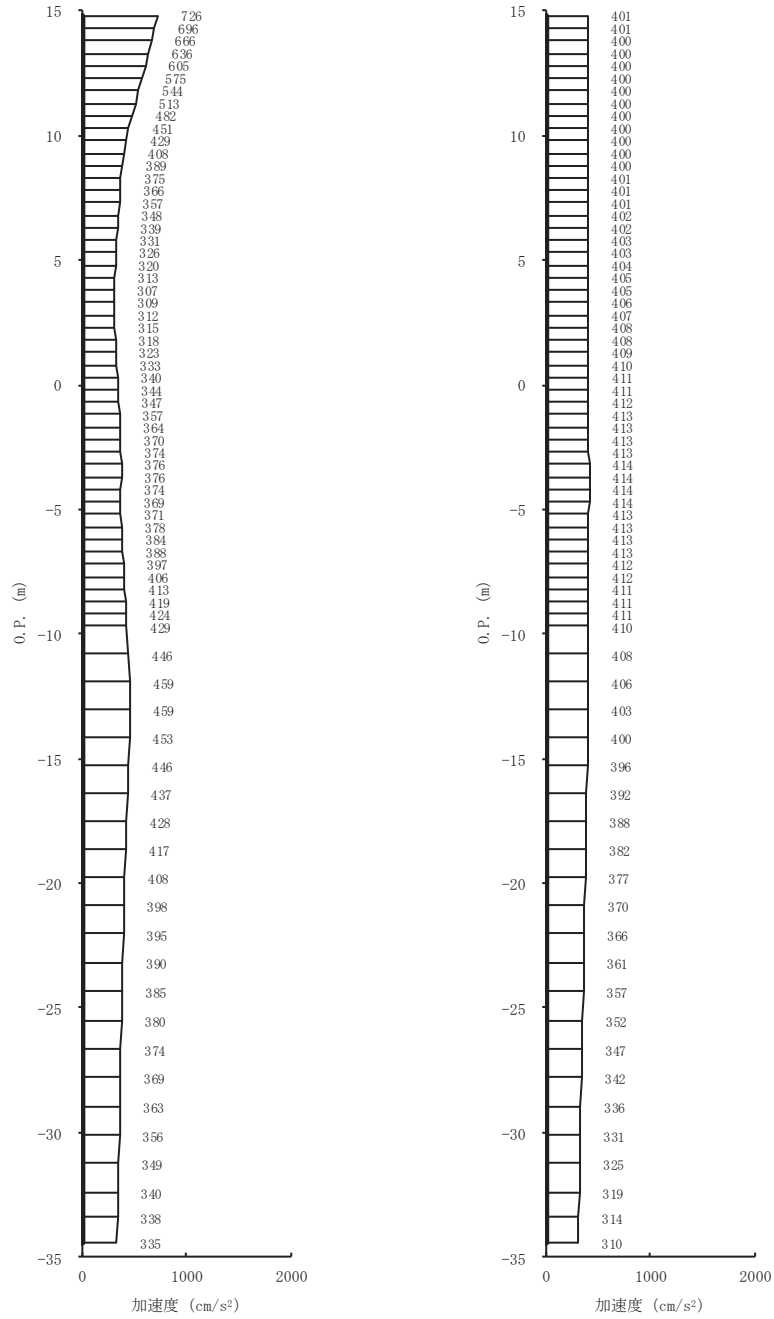
(a)  $S_s - D 1 (+ +)$  水平 (b)  $S_s - D 1 (+ +)$  鉛直

図 4-6(1) 最大加速度分布図 (1/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)

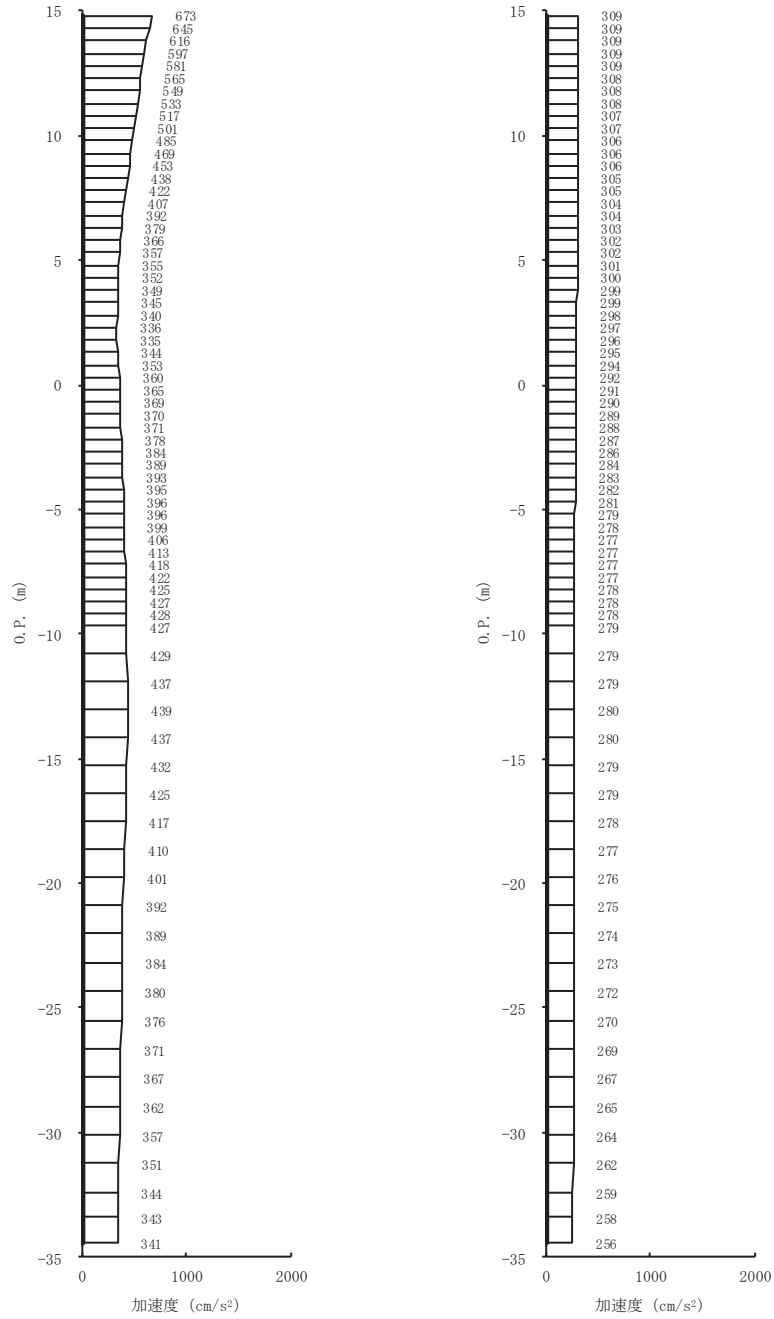


(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-6(2) 最大加速度分布図 (2/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)

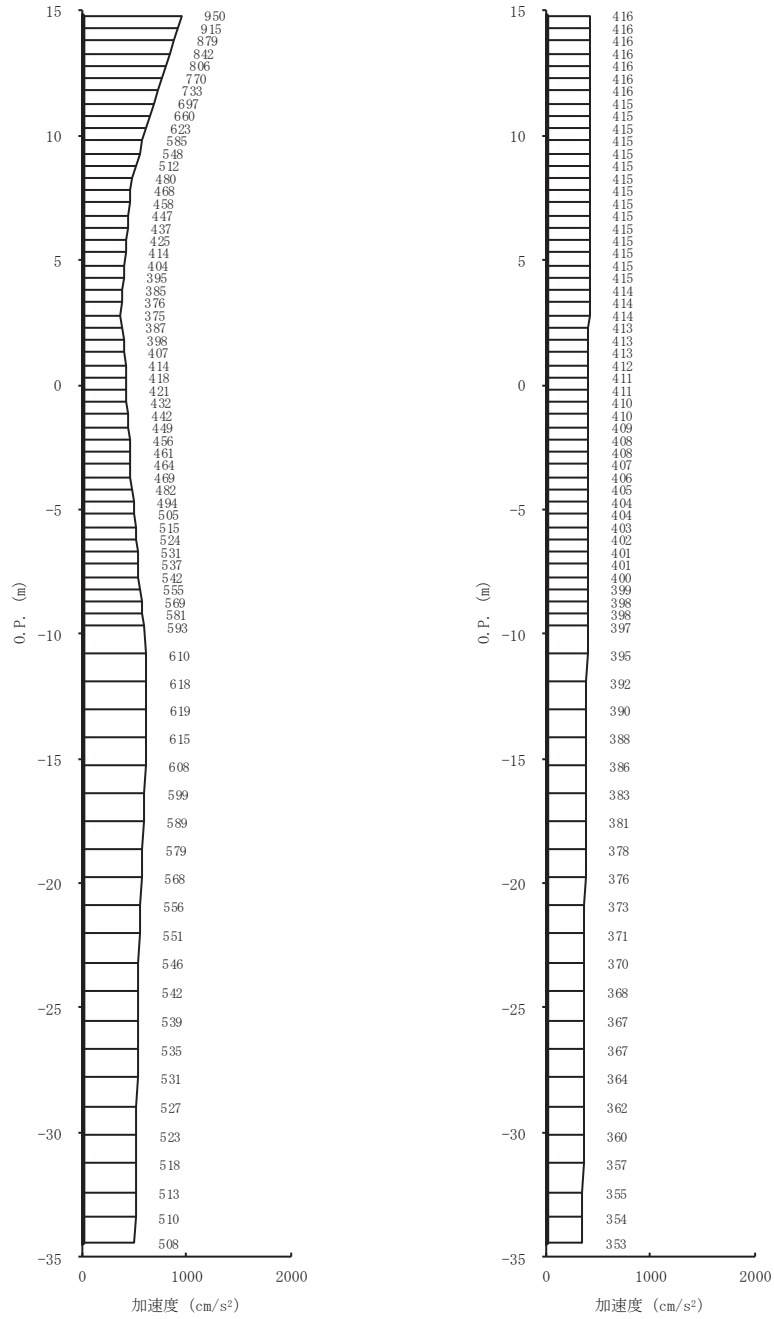




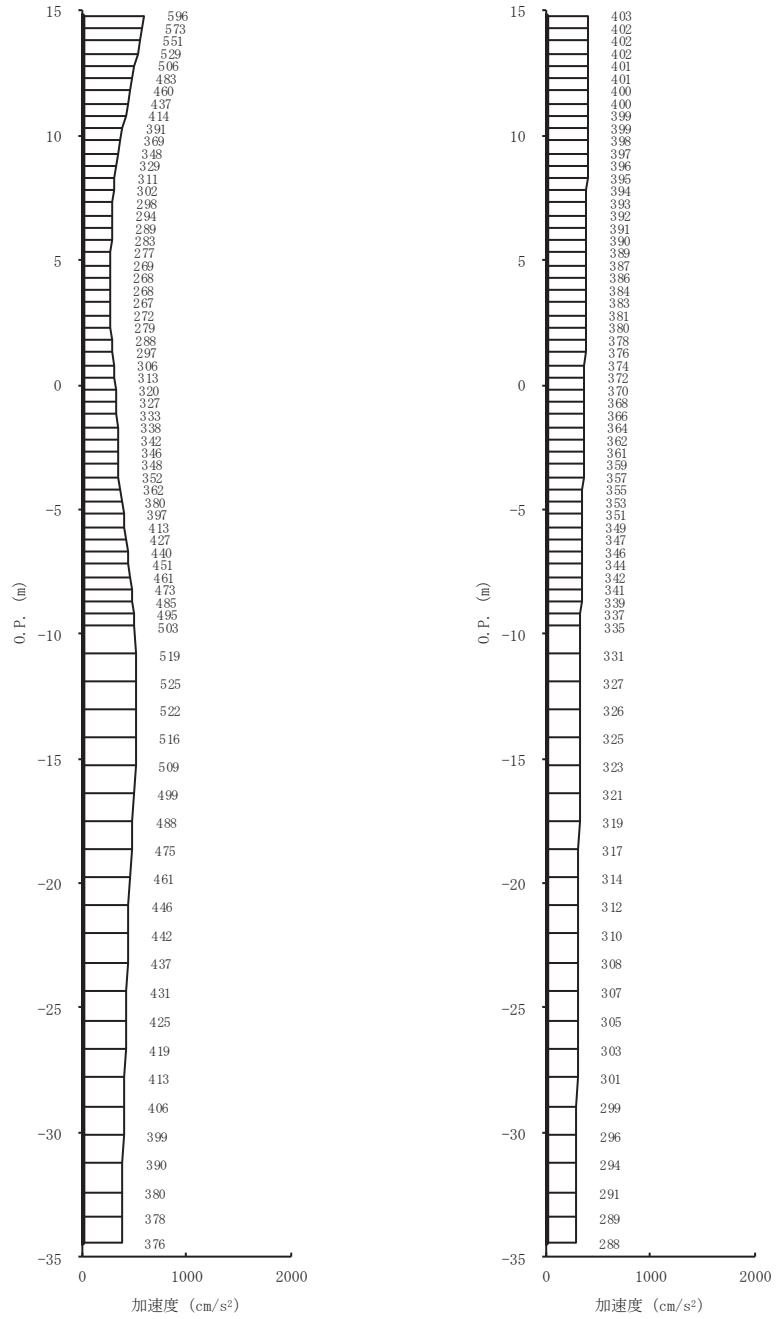
(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-6(3) 最大加速度分布図 (3/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



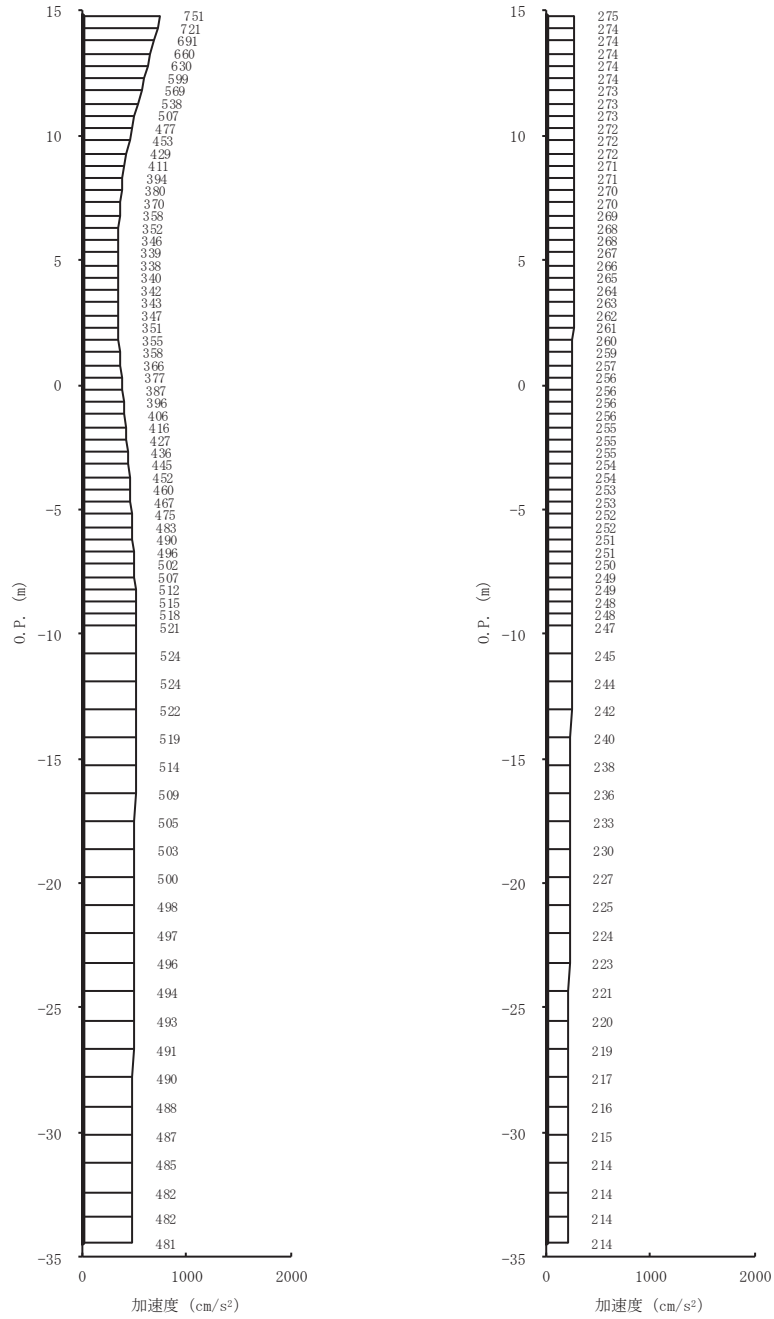
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-6(4) 最大加速度分布図 (4/14) (No.2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



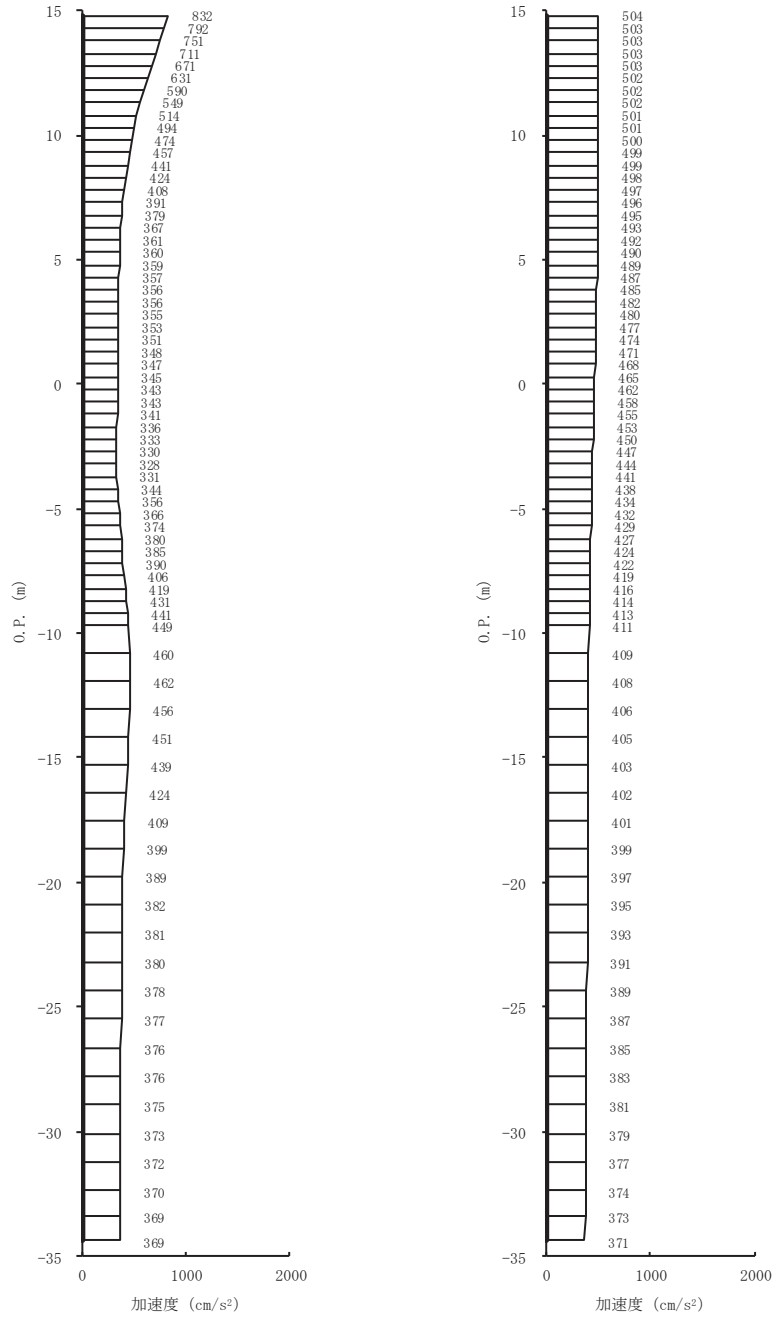
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-6(5) 最大加速度分布図 (5/14) (No.2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



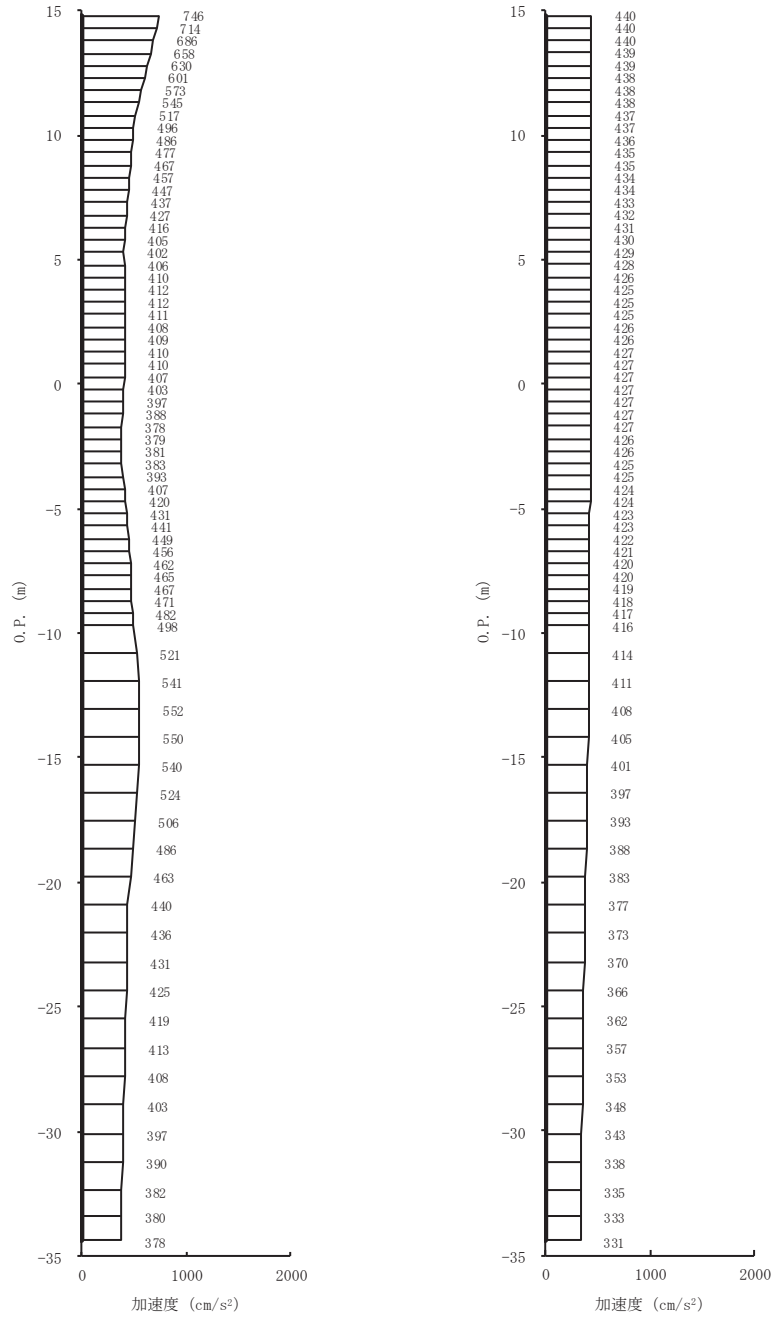
(a)  $S_s - F 3 (++)$  水平 (b)  $S_s - F 3 (++)$  鉛直  
 図 4-6(6) 最大加速度分布図 (6/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



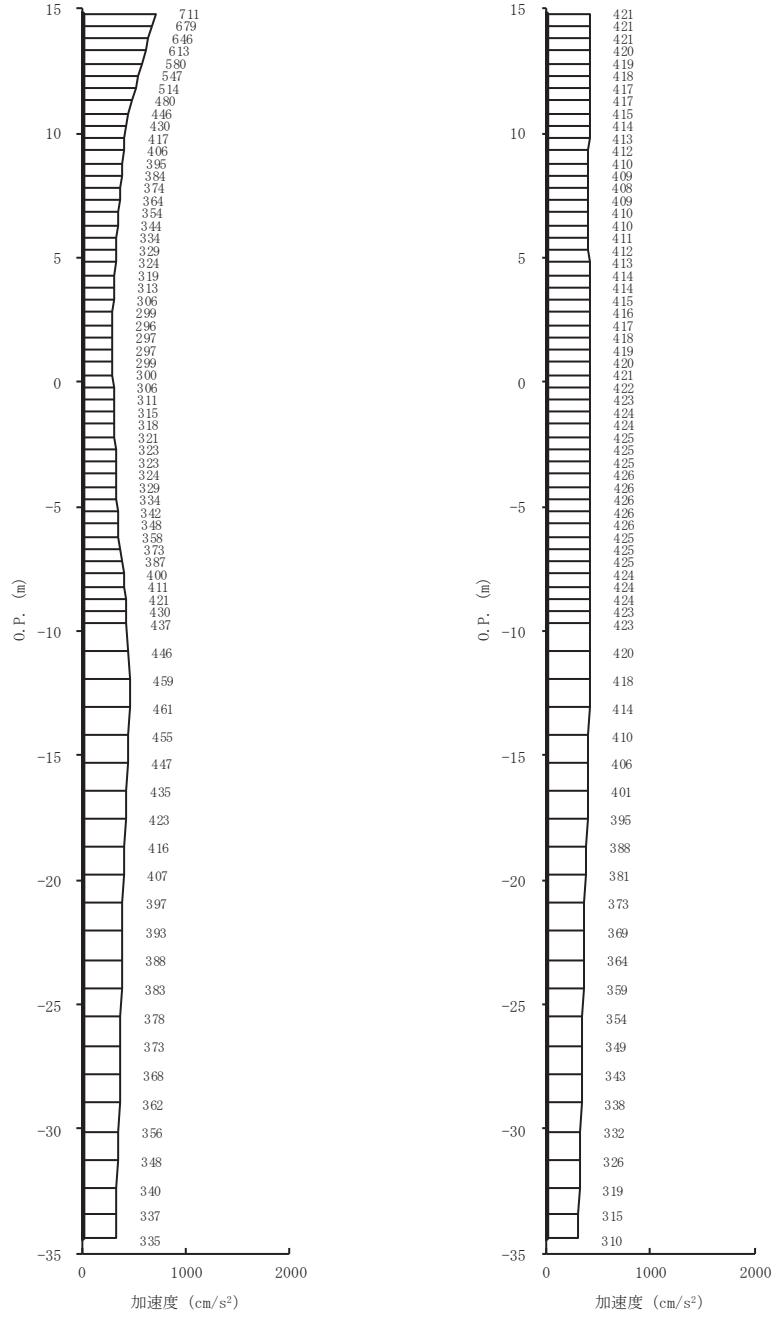
(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-6(7) 最大加速度分布図 (7/14) (No.2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - D 1 (-+) 水平      (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-6(8) 最大加速度分布図 (8/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)

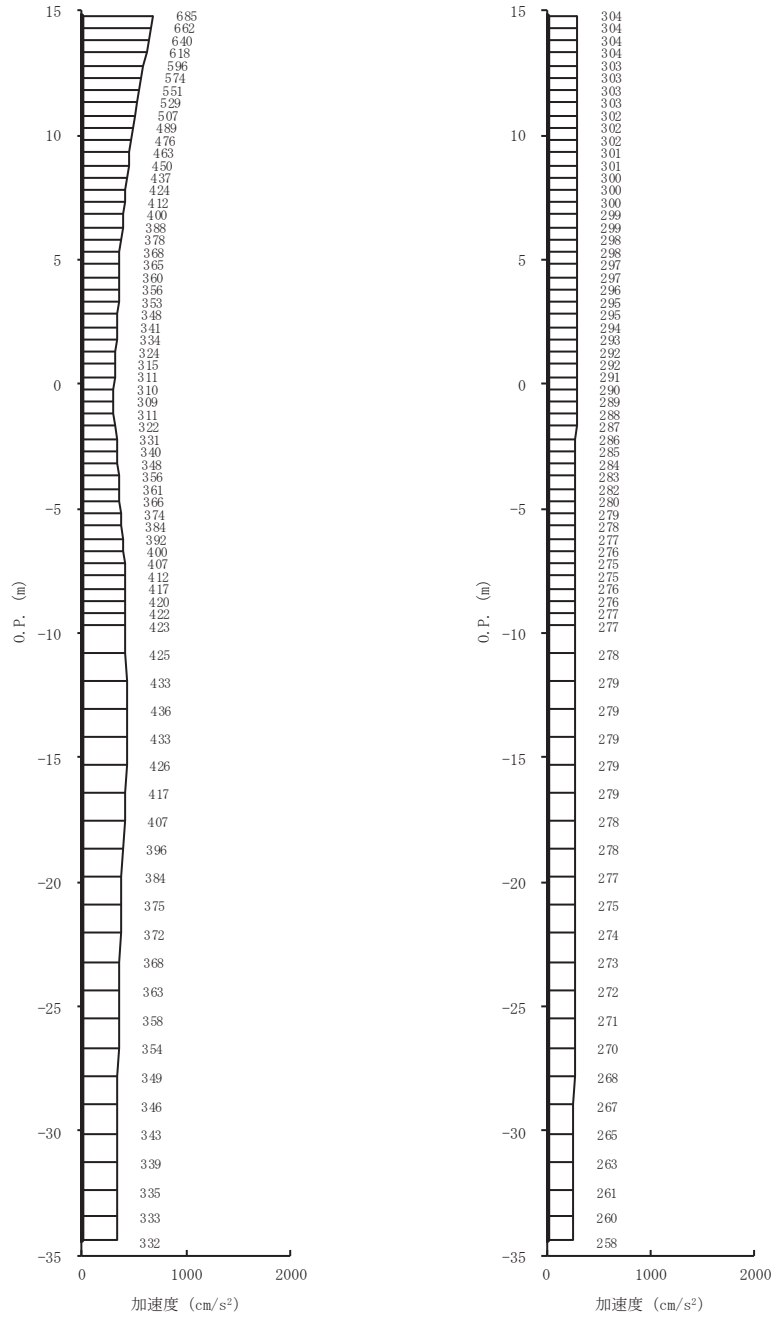


(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-6(9) 最大加速度分布図 (9/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



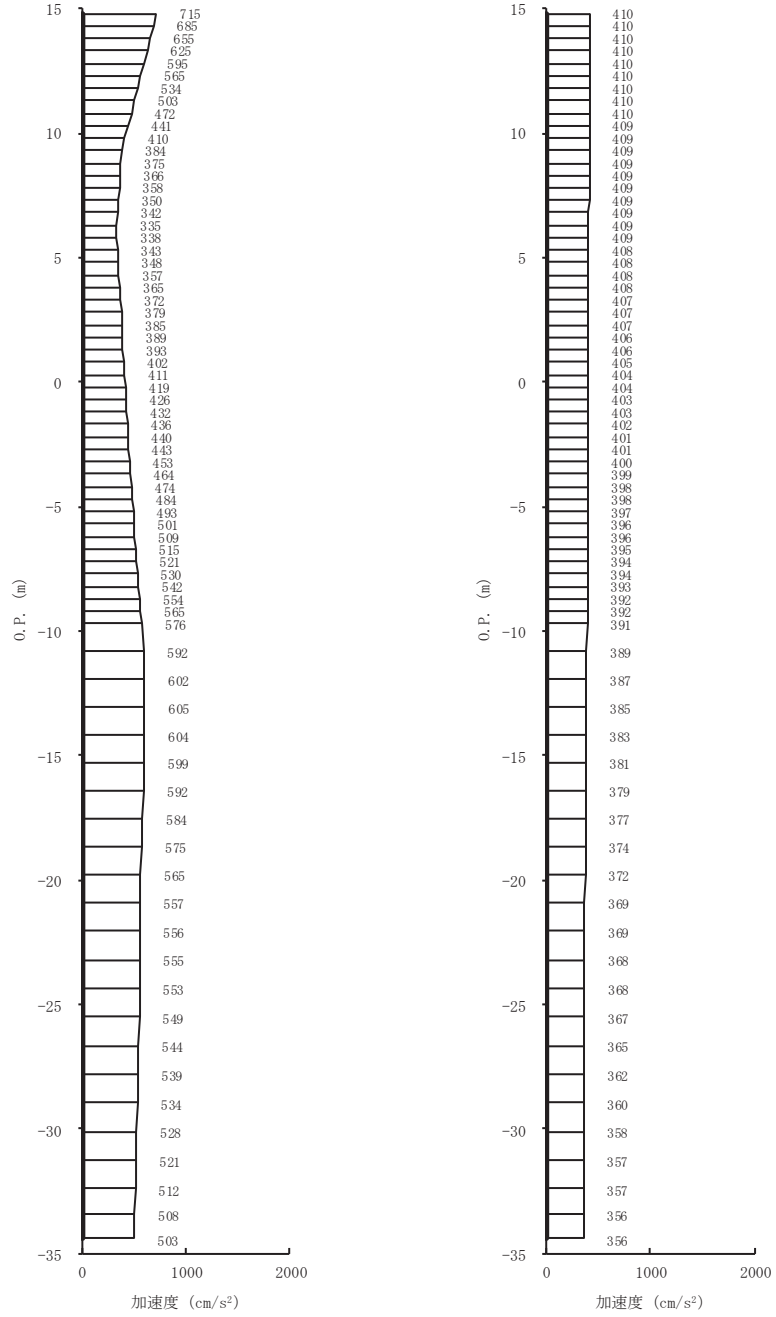
(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-6(10) 最大加速度分布図 (10/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)





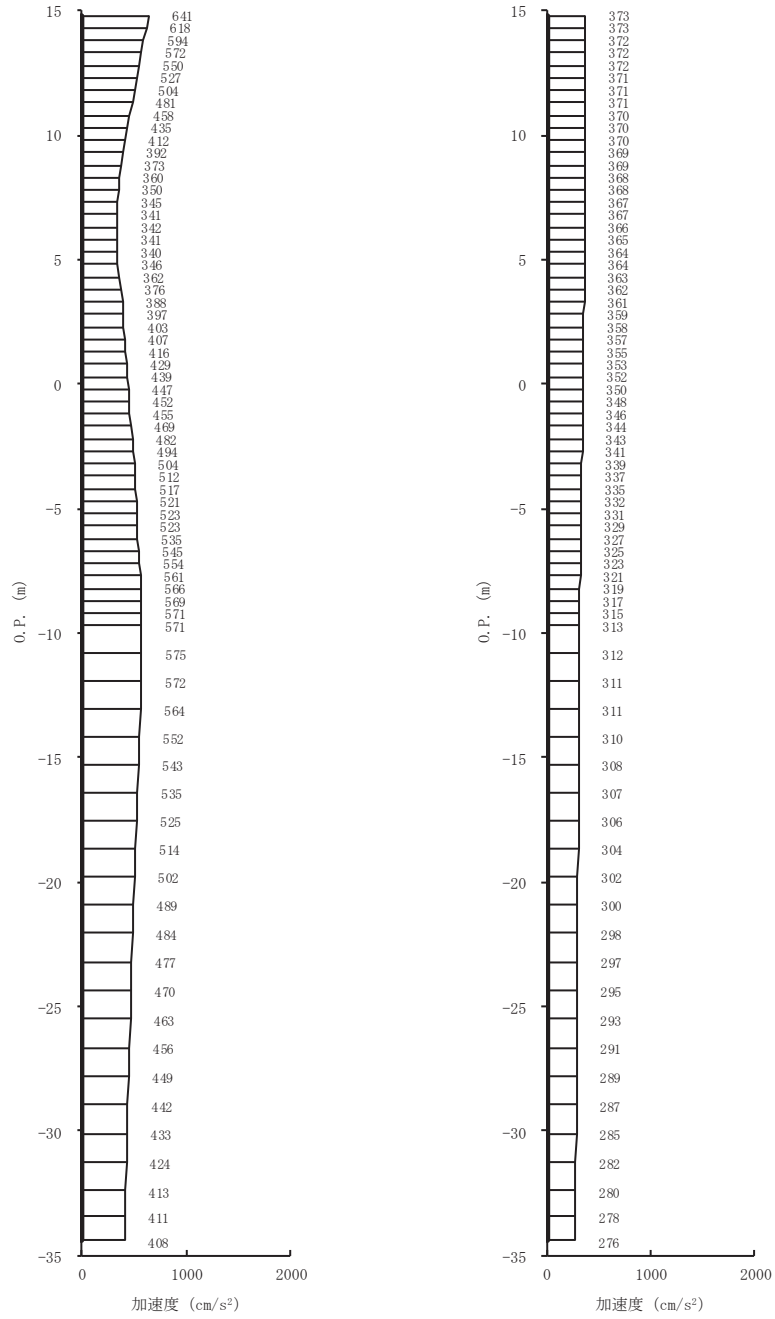
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-6(11) 最大加速度分布図 (11/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



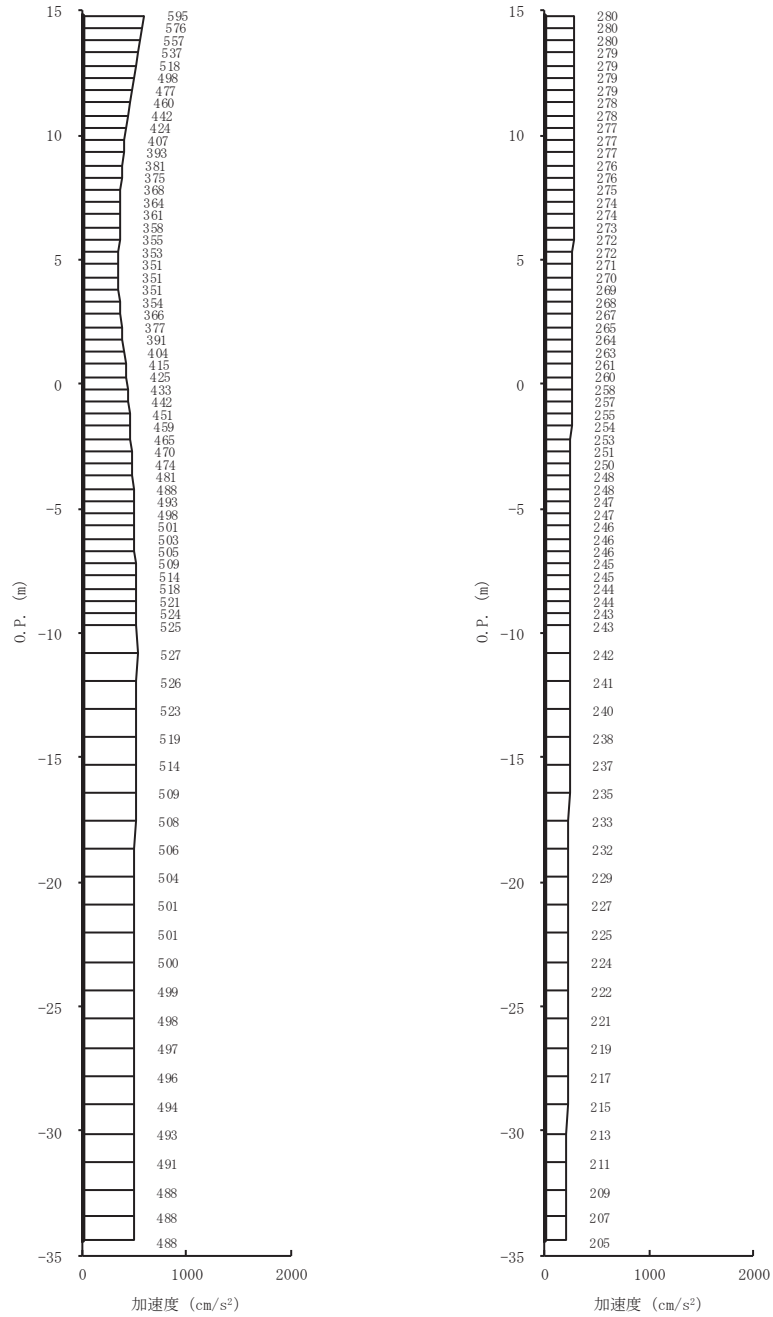
(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-6(12) 最大加速度分布図 (12/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

図 4-6(13) 最大加速度分布図 (13/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)



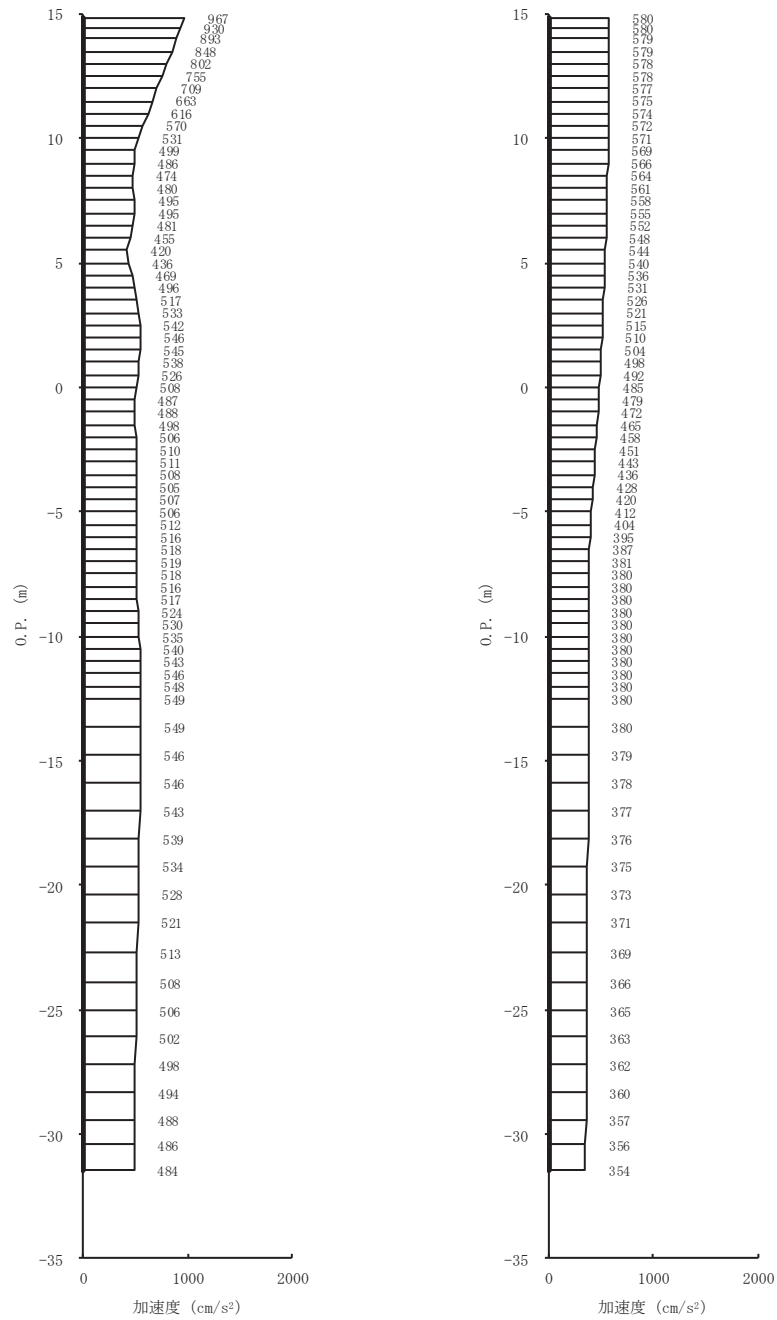
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-6(14) 最大加速度分布図 (14/14) (No. 2 揚水井戸, 解析ケース⑤)

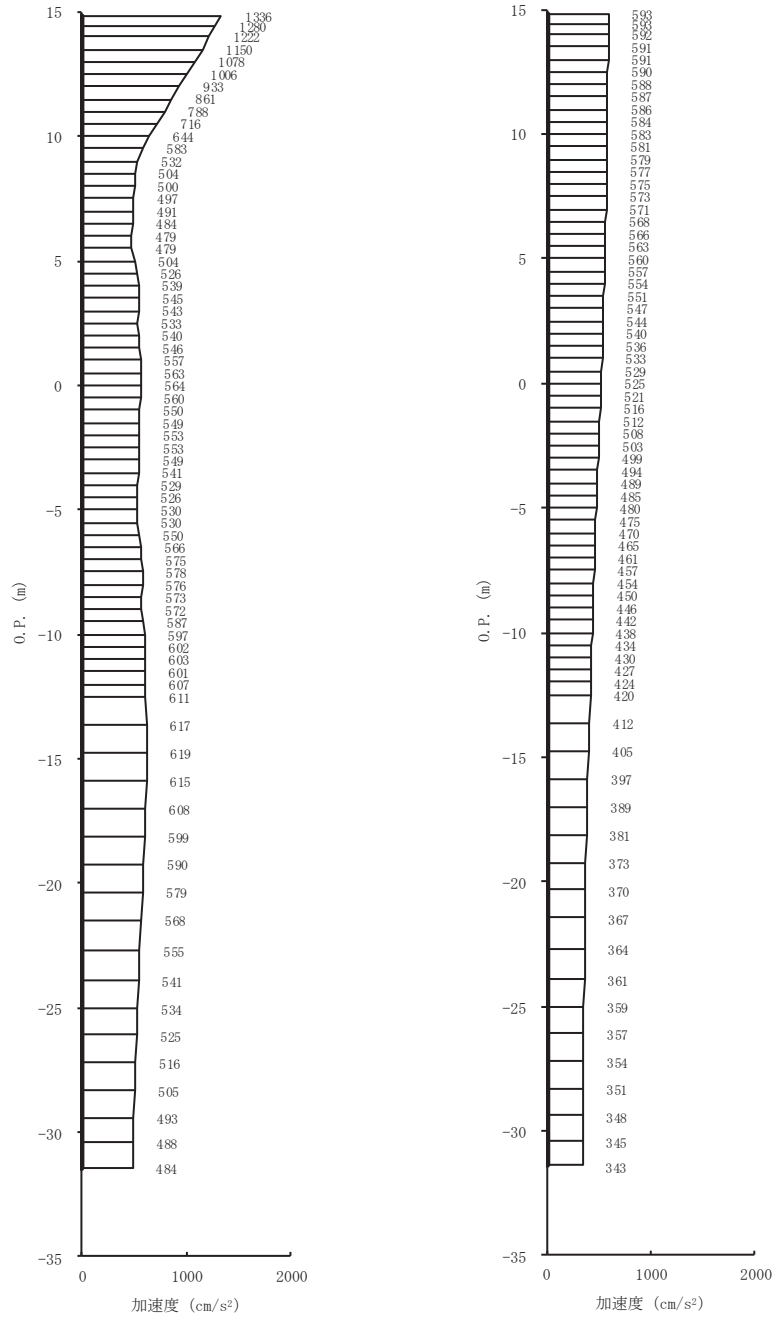
4.3 No.3 揚水井戸

(1) 全応力解析

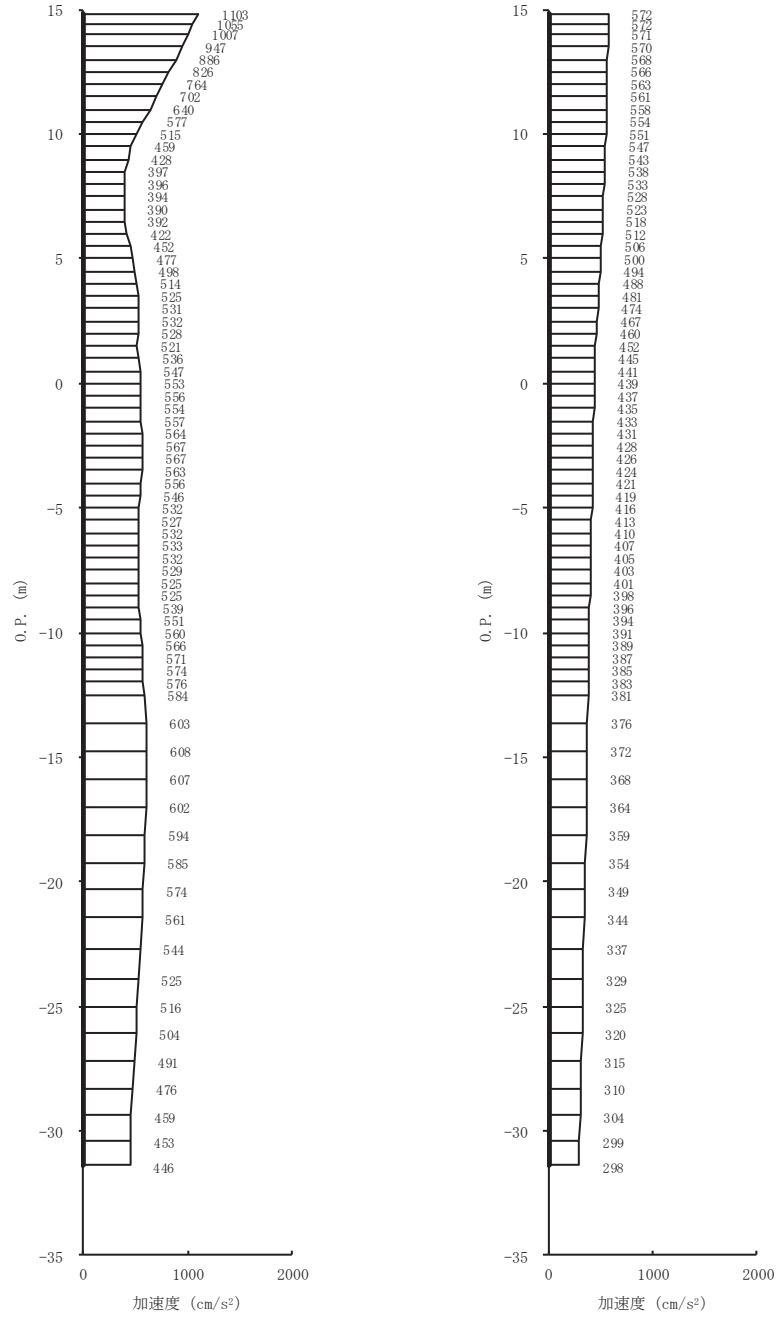
全応力解析結果のうち、解析ケース①～④についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-7 (地震動の位相：++)，図 4-8 (地震動の位相：-+) に示す。



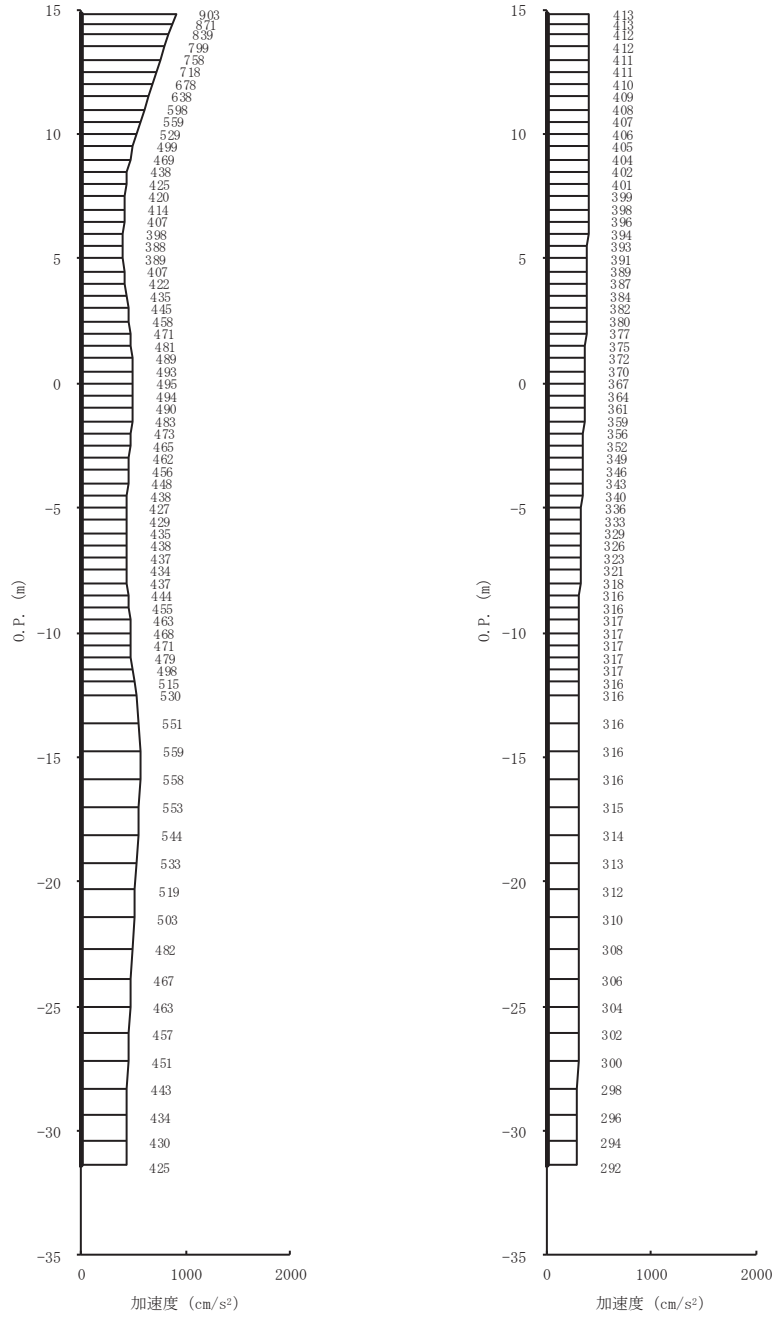
(a)  $S_s - D1$  (++) 水平 (b)  $S_s - D1$  (++) 鉛直  
 図 4-7(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)

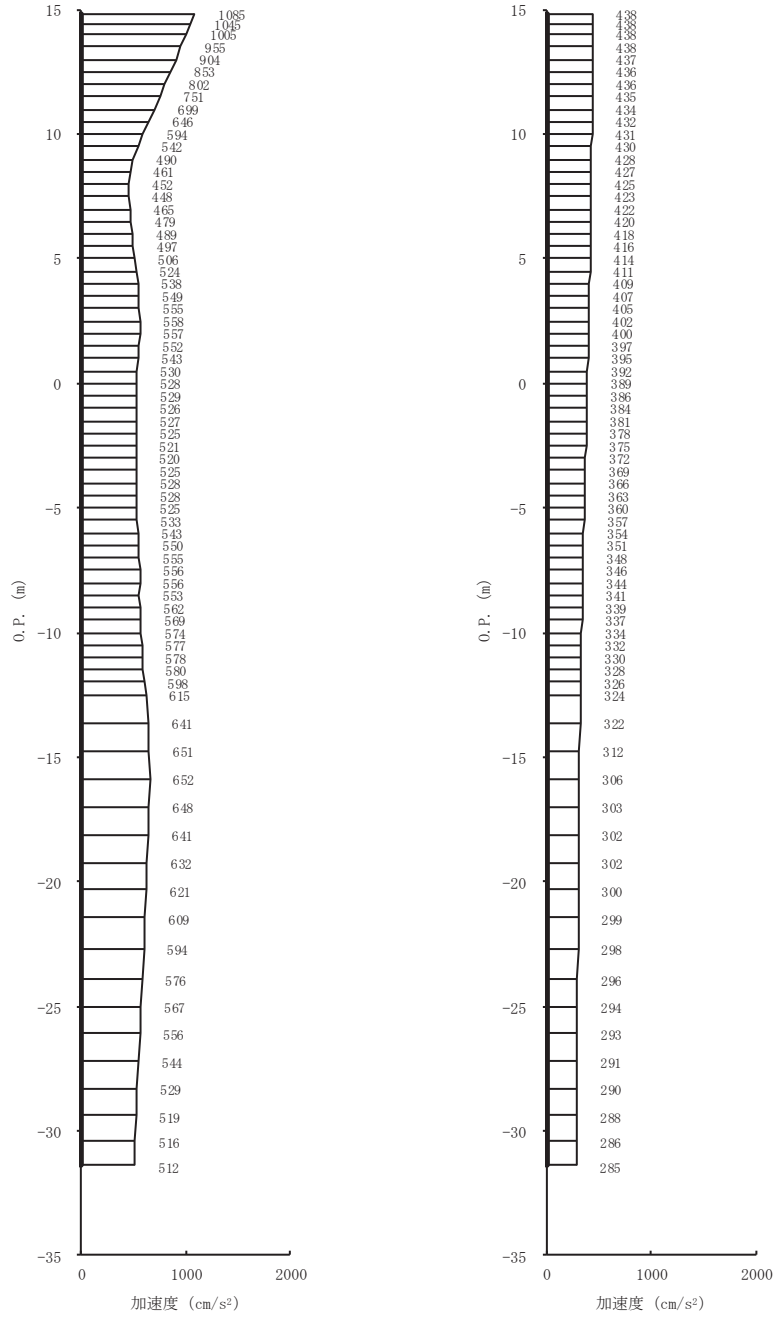


(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)

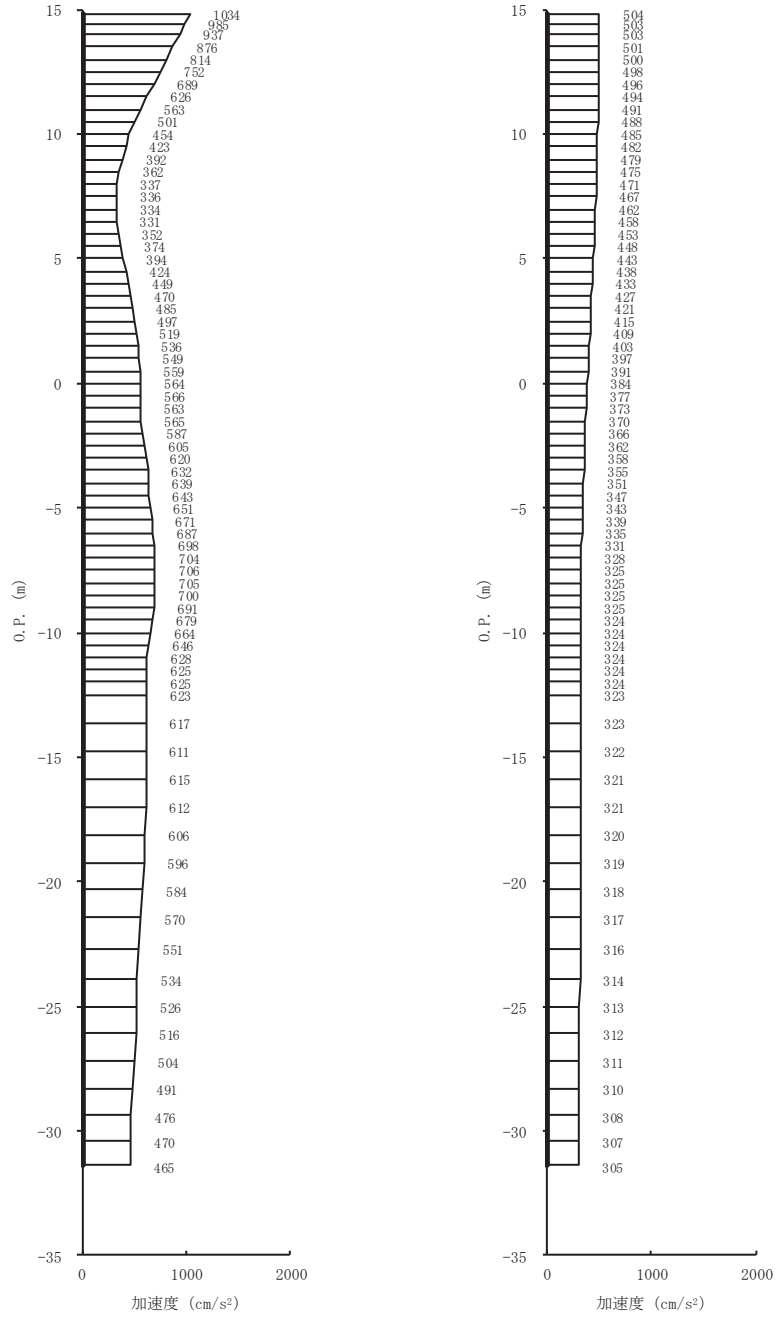


(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)

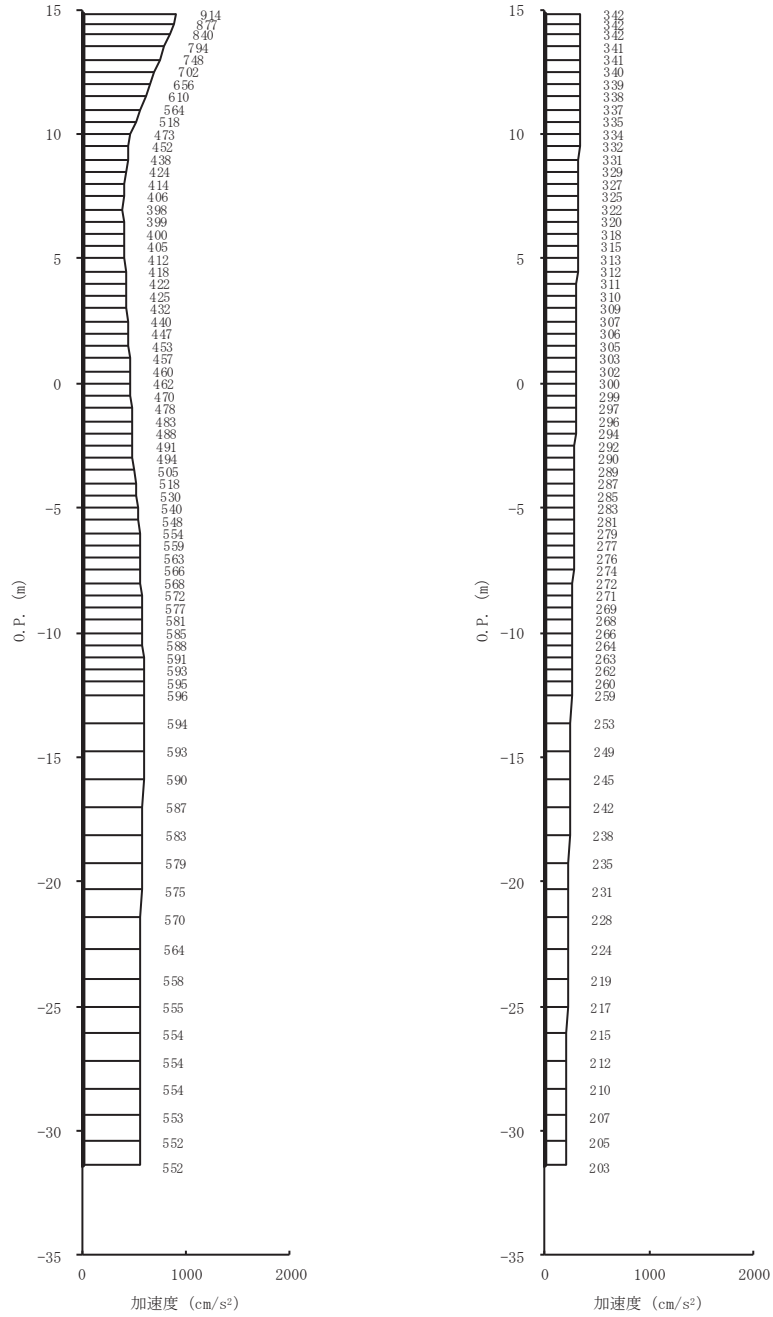




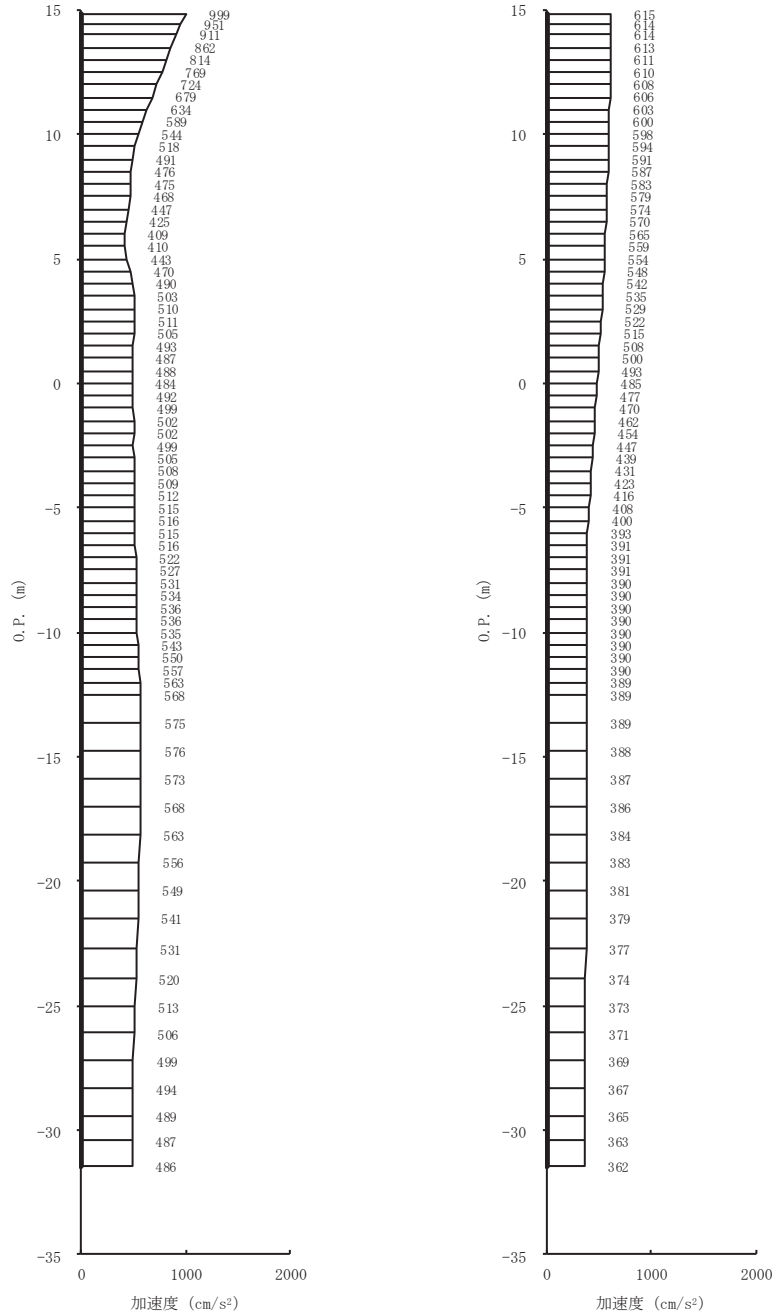
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



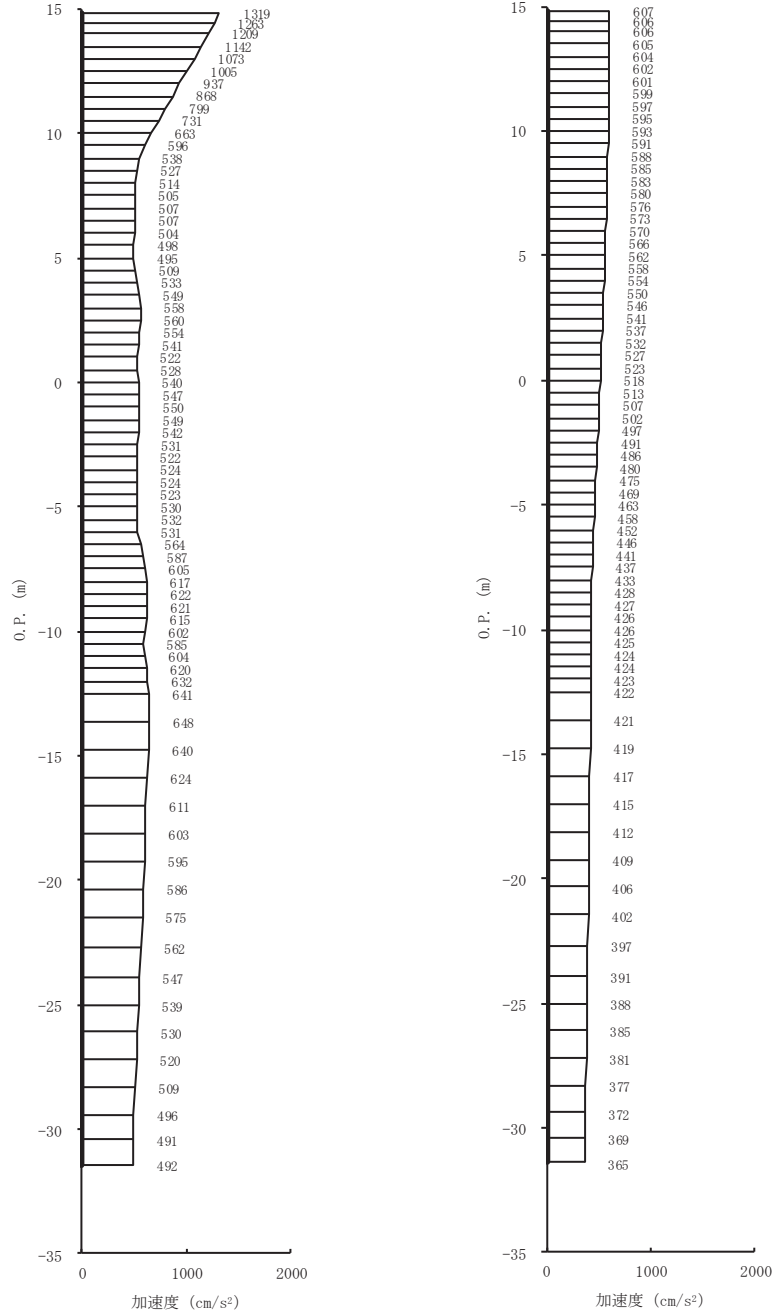
(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



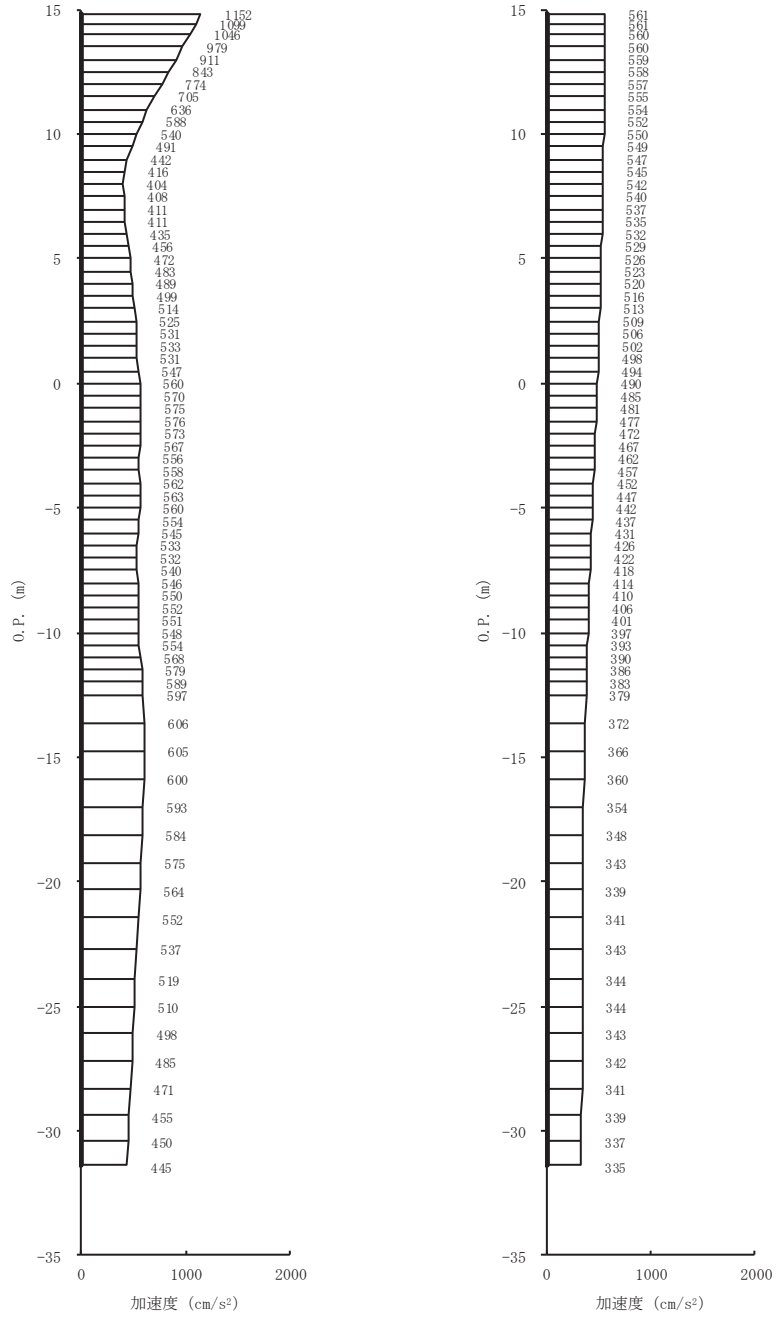
(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



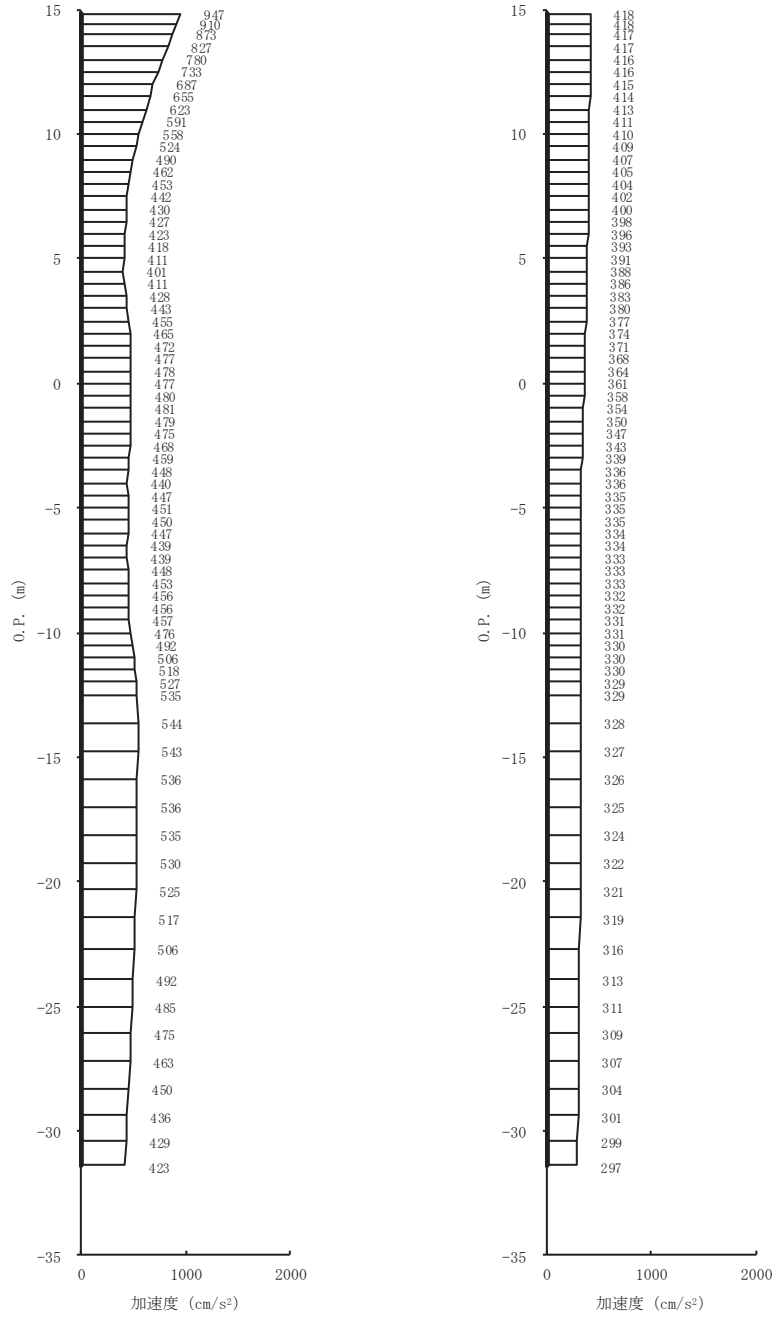
(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



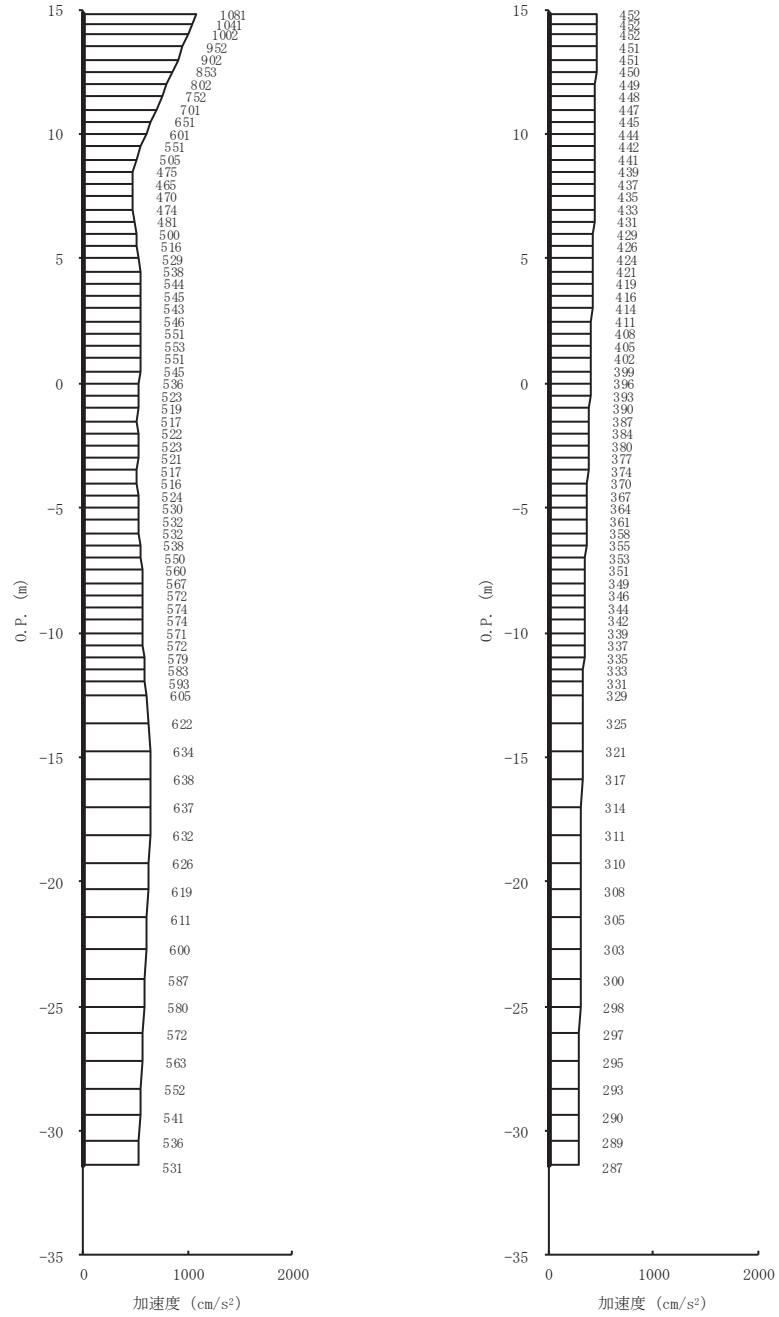
(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)

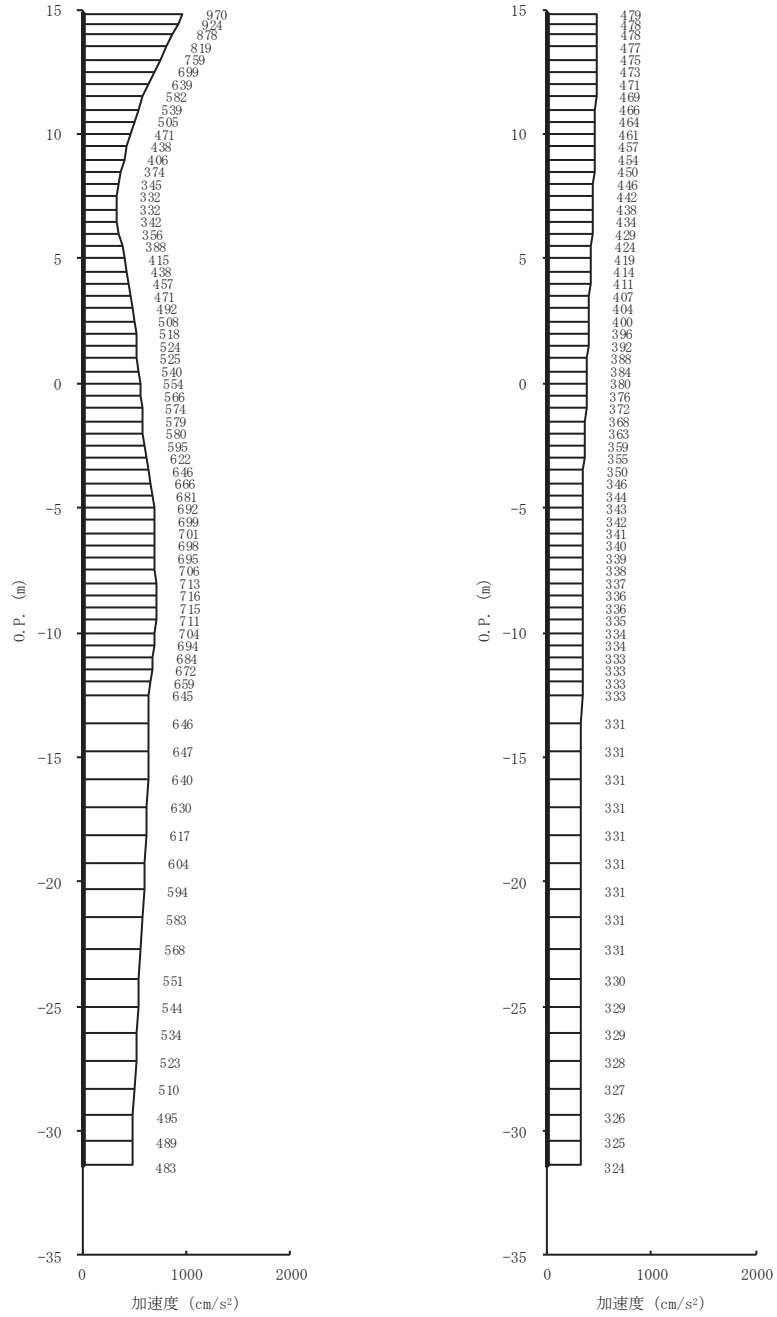


(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)

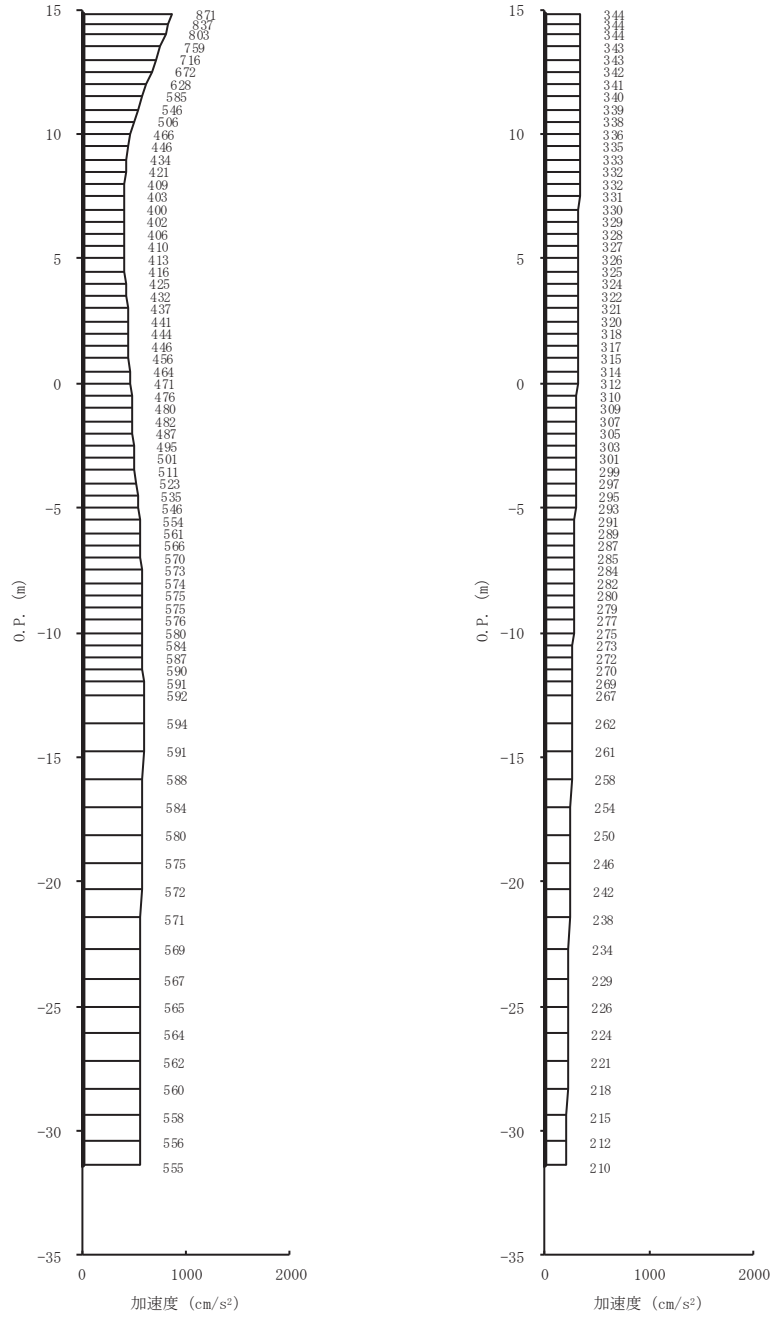


(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)

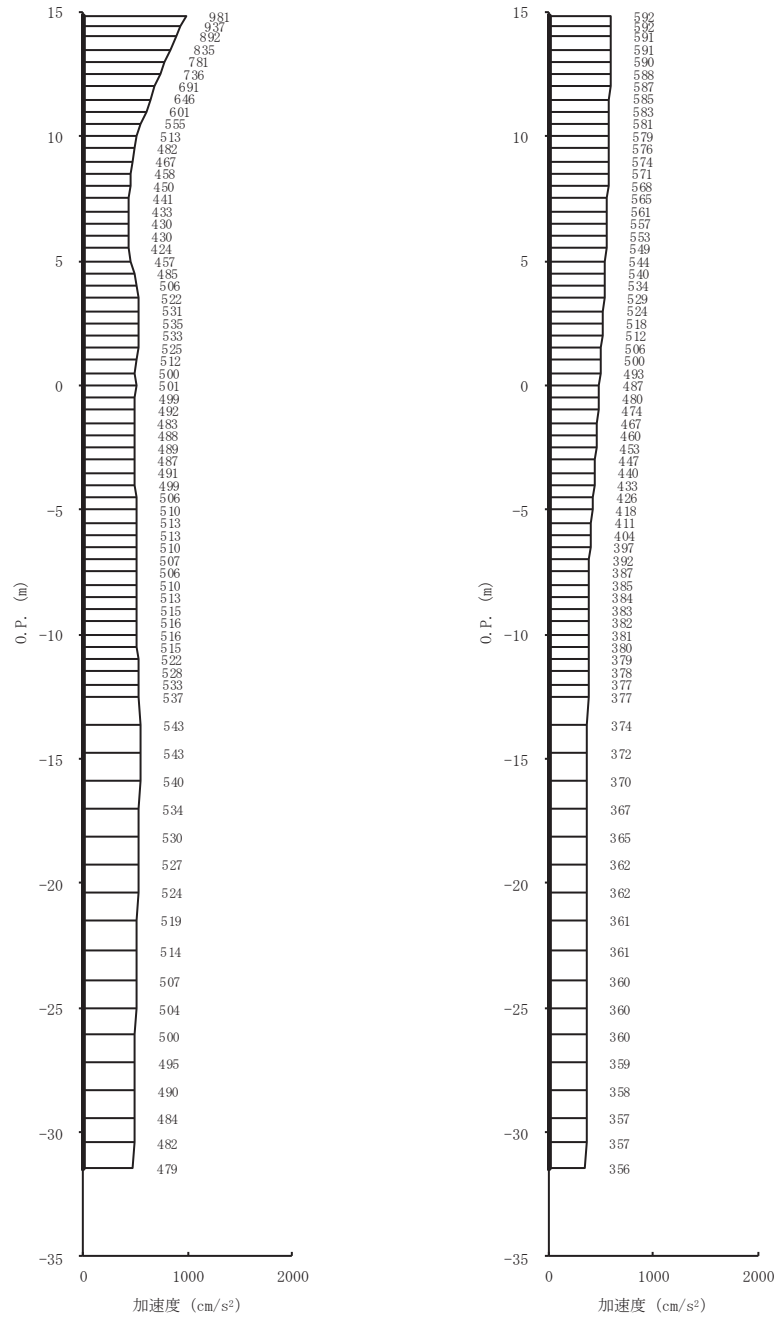




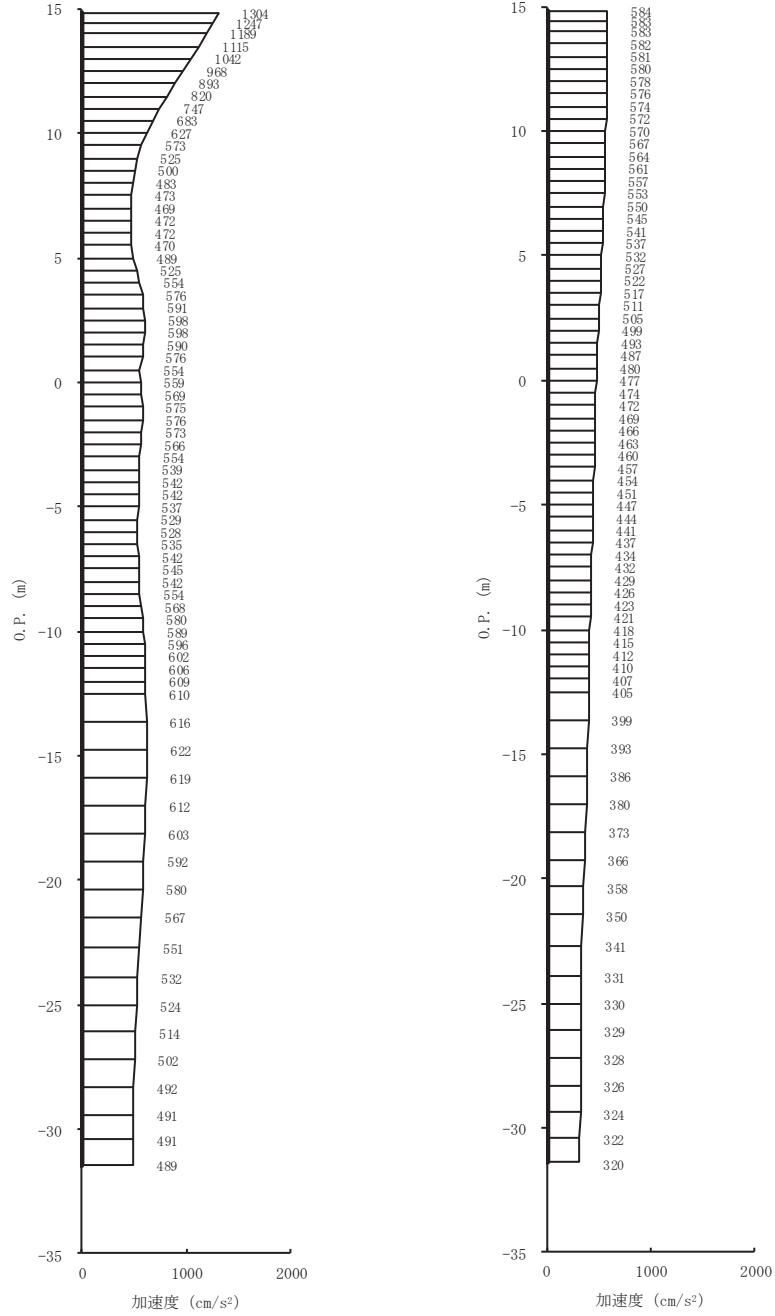
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



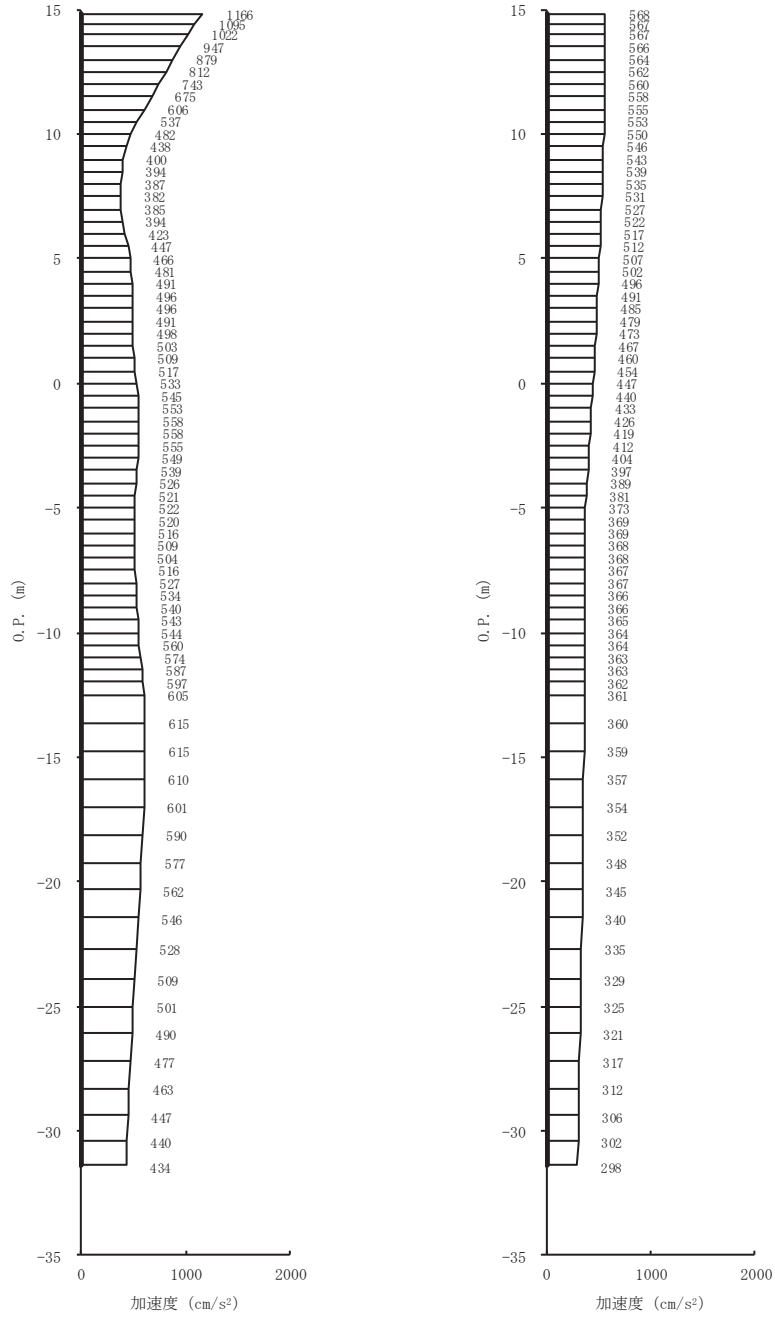
(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



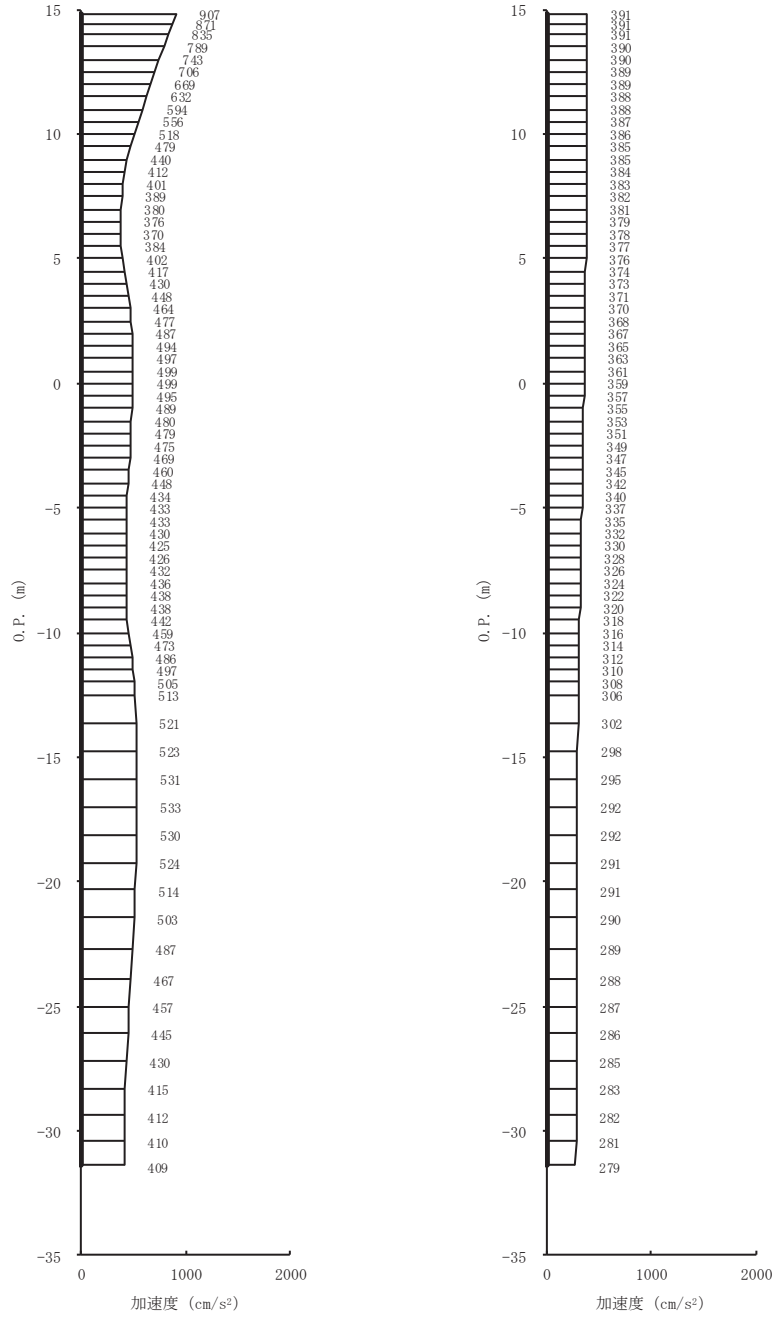
(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



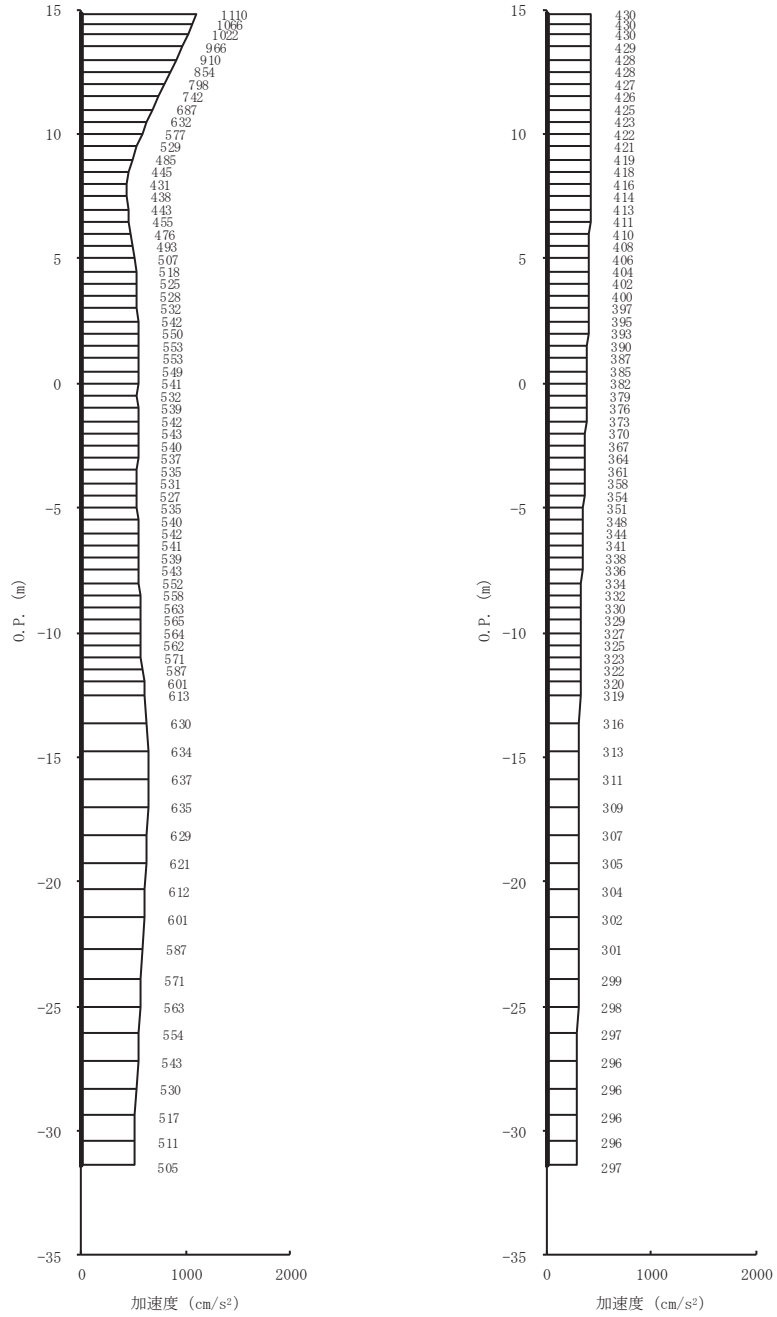
(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



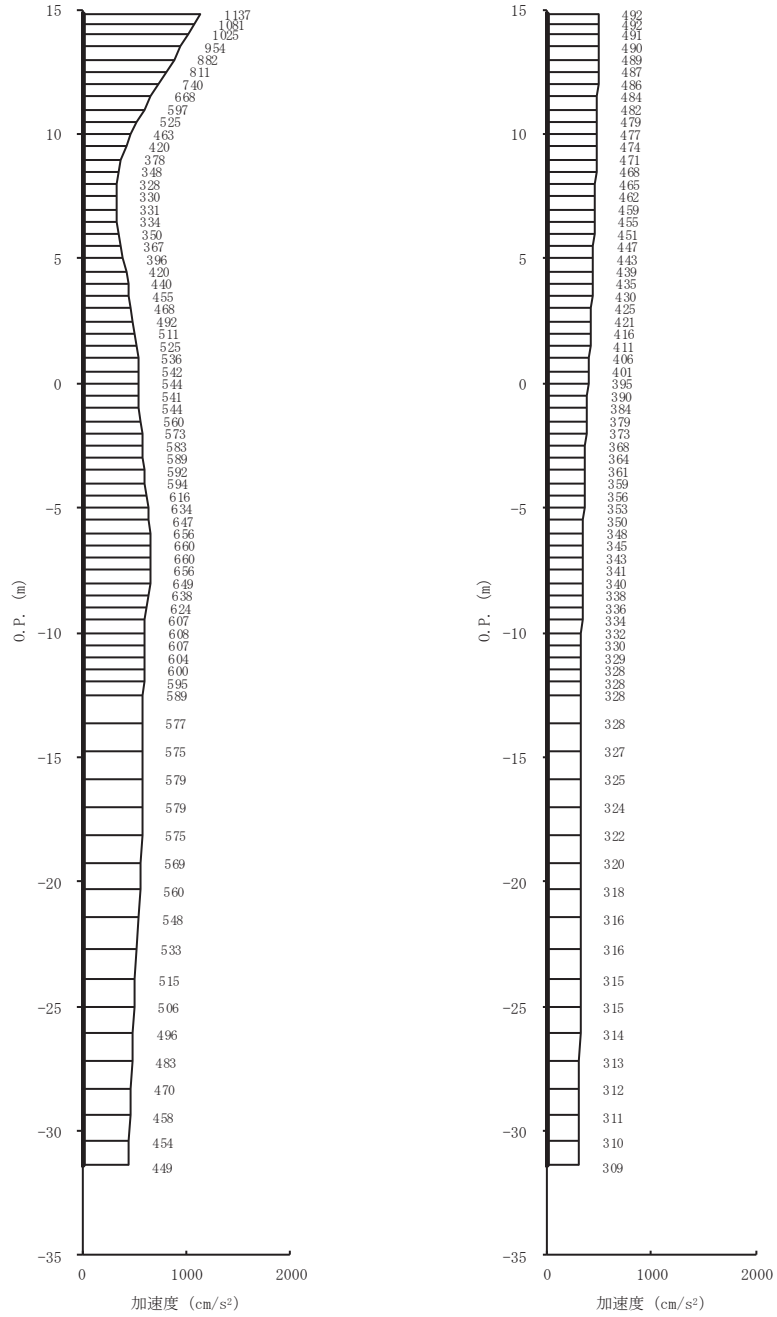
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)

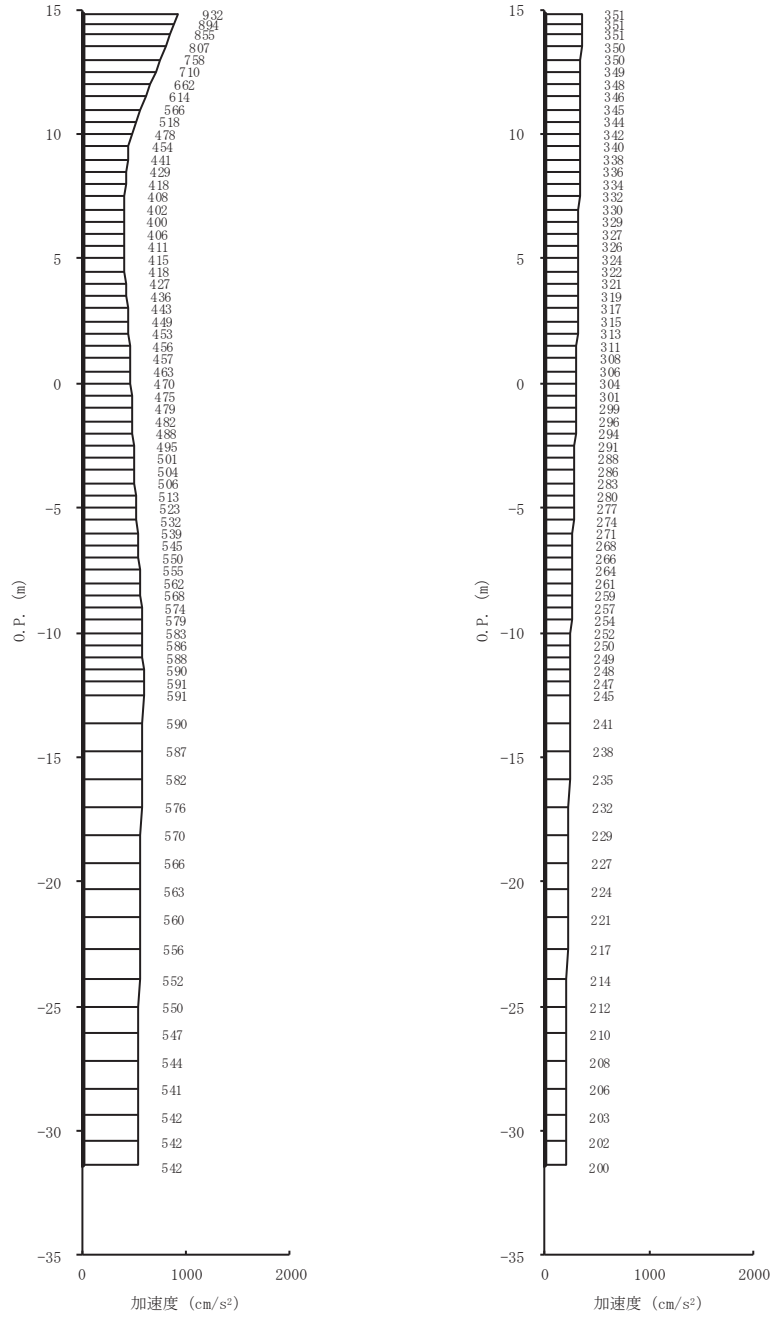


(a) S<sub>s</sub>-F 2 (++) 水平 (b) S<sub>s</sub>-F 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)

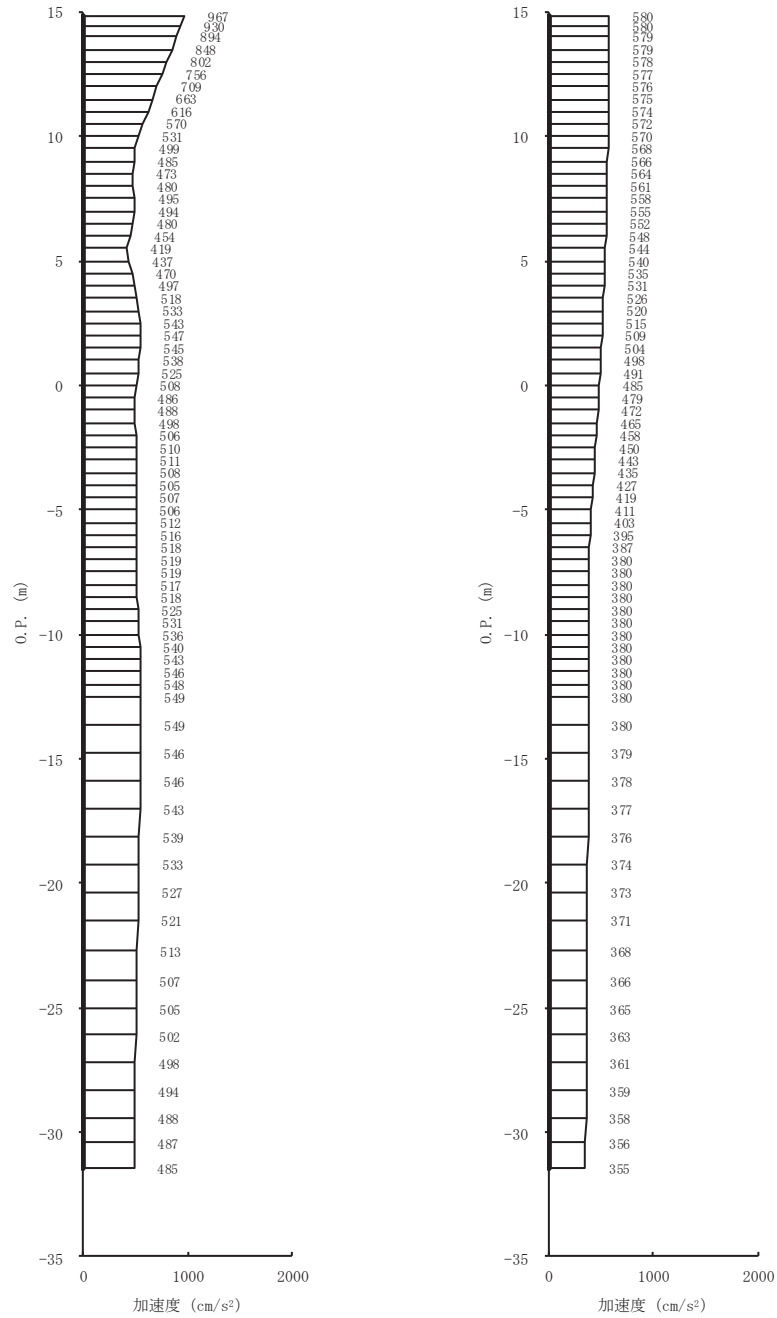


(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)

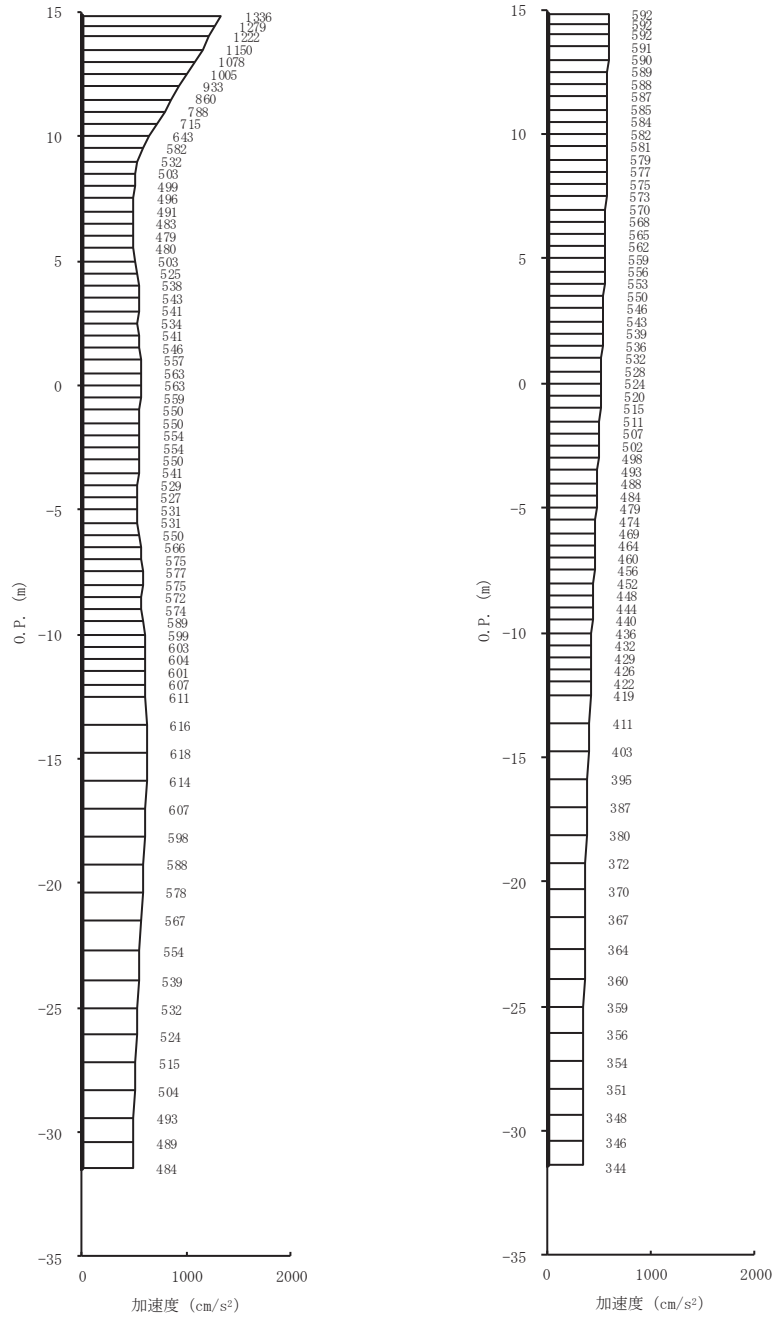




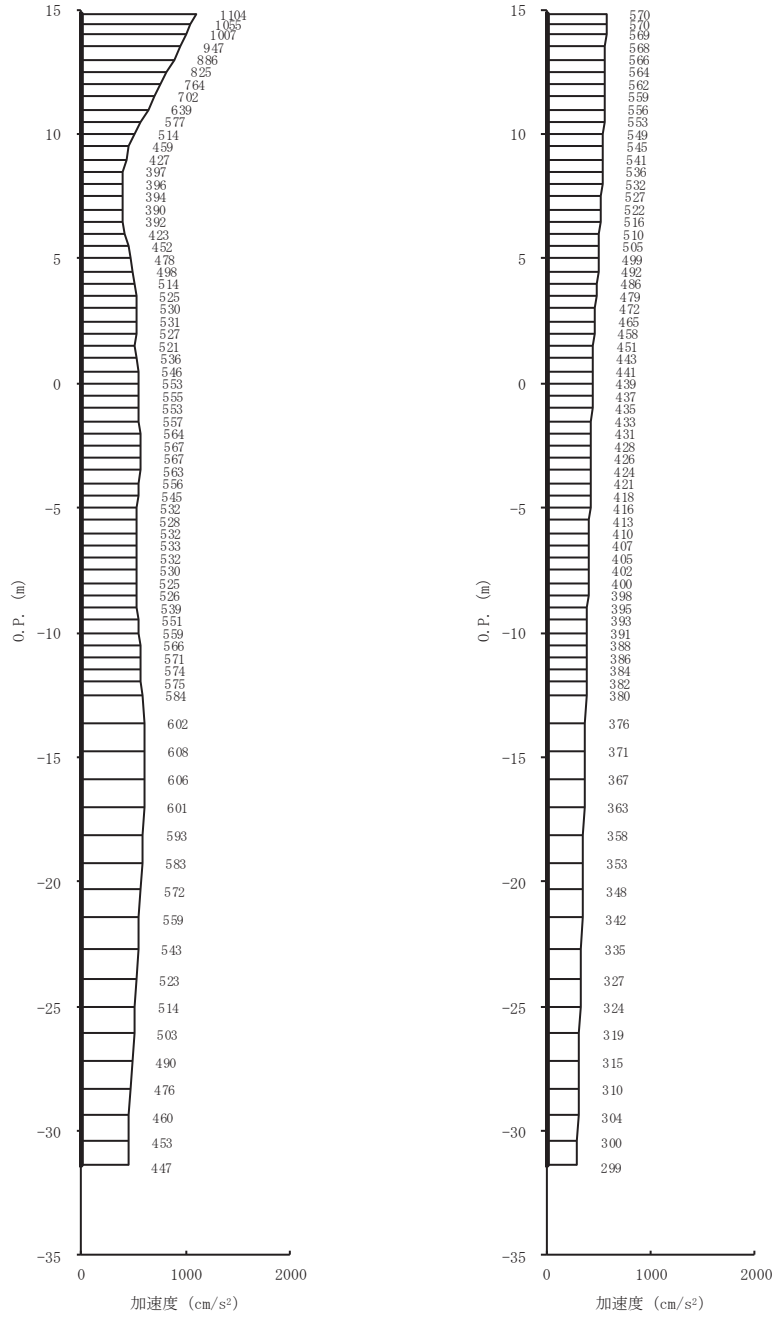
(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



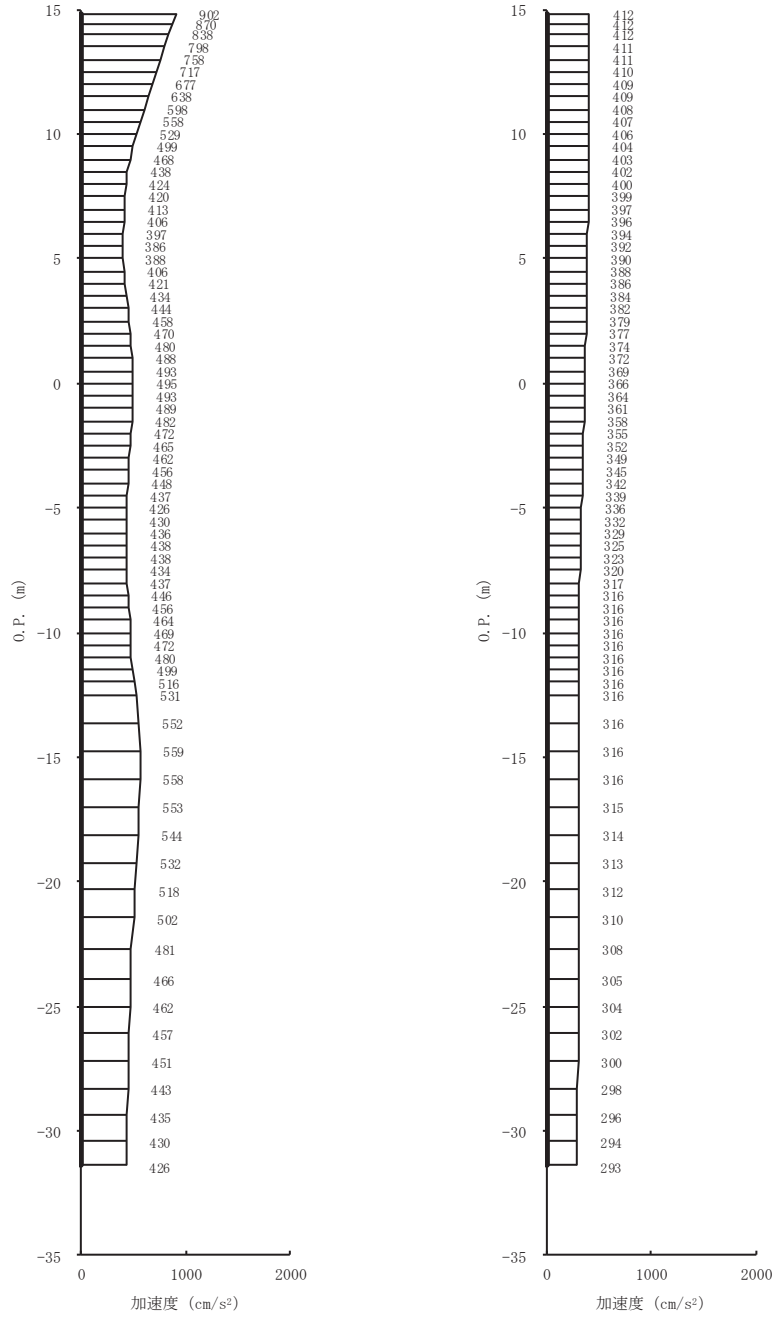
(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)



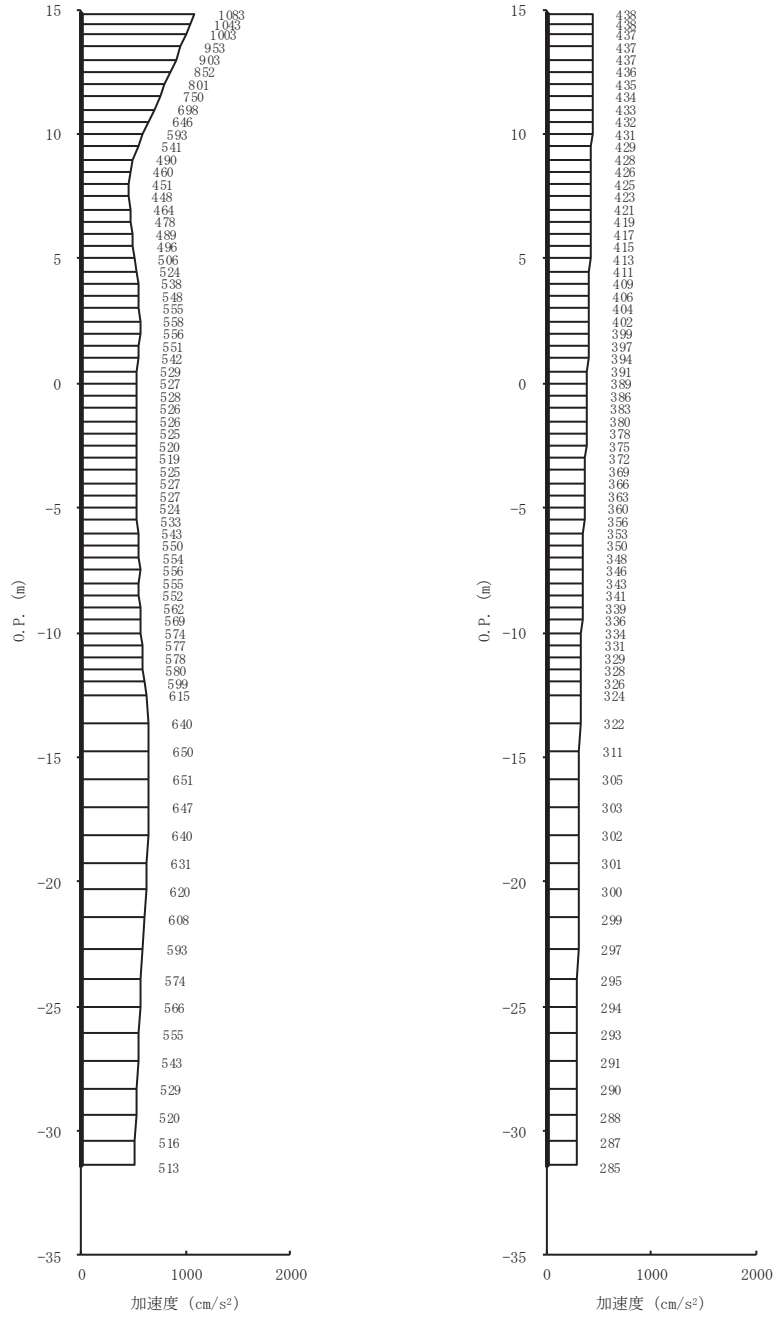
(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)



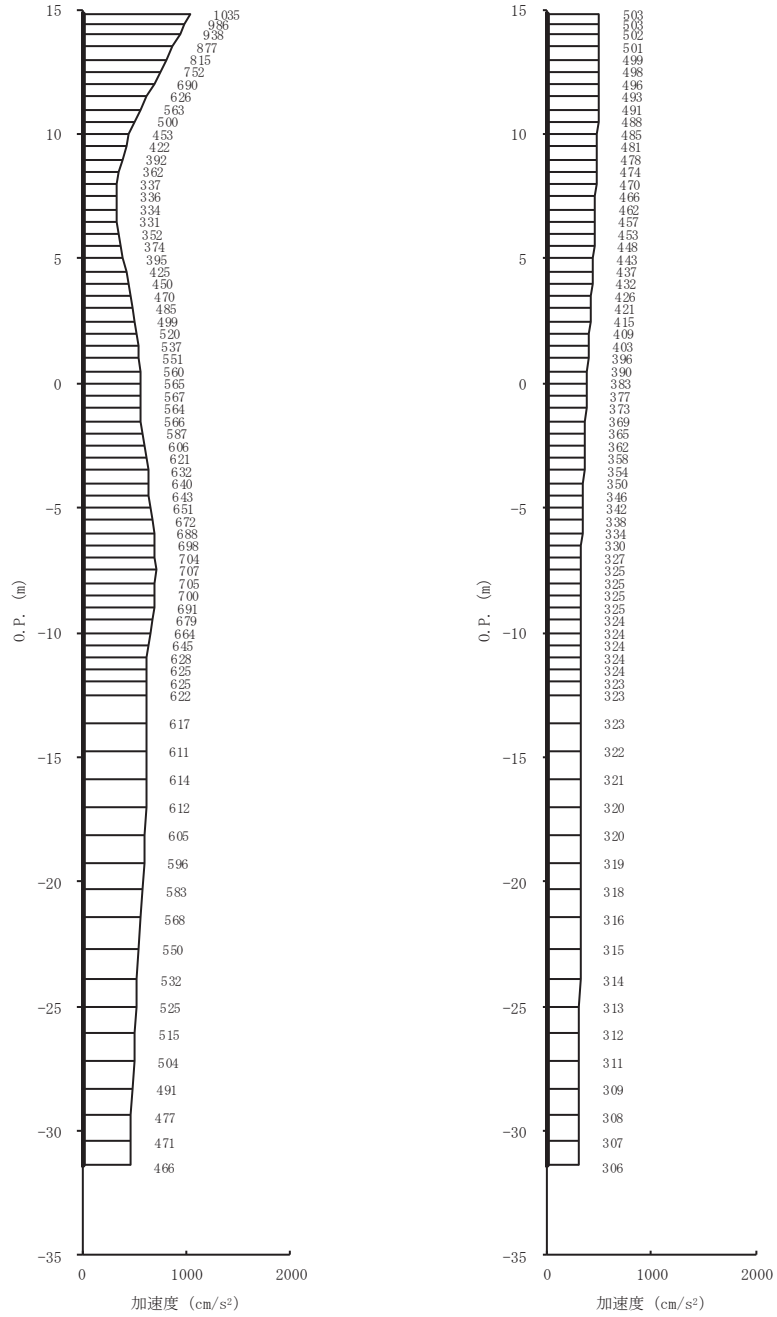
(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)



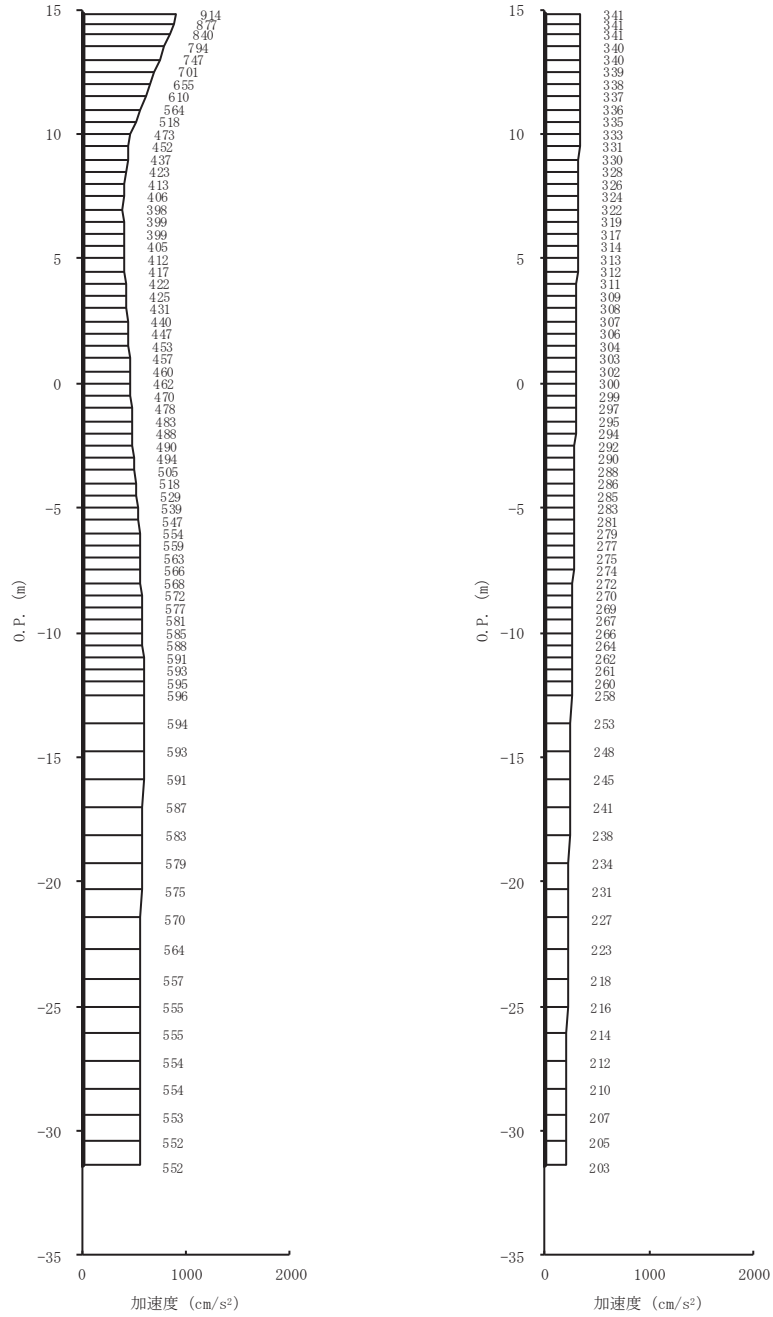
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-7(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)

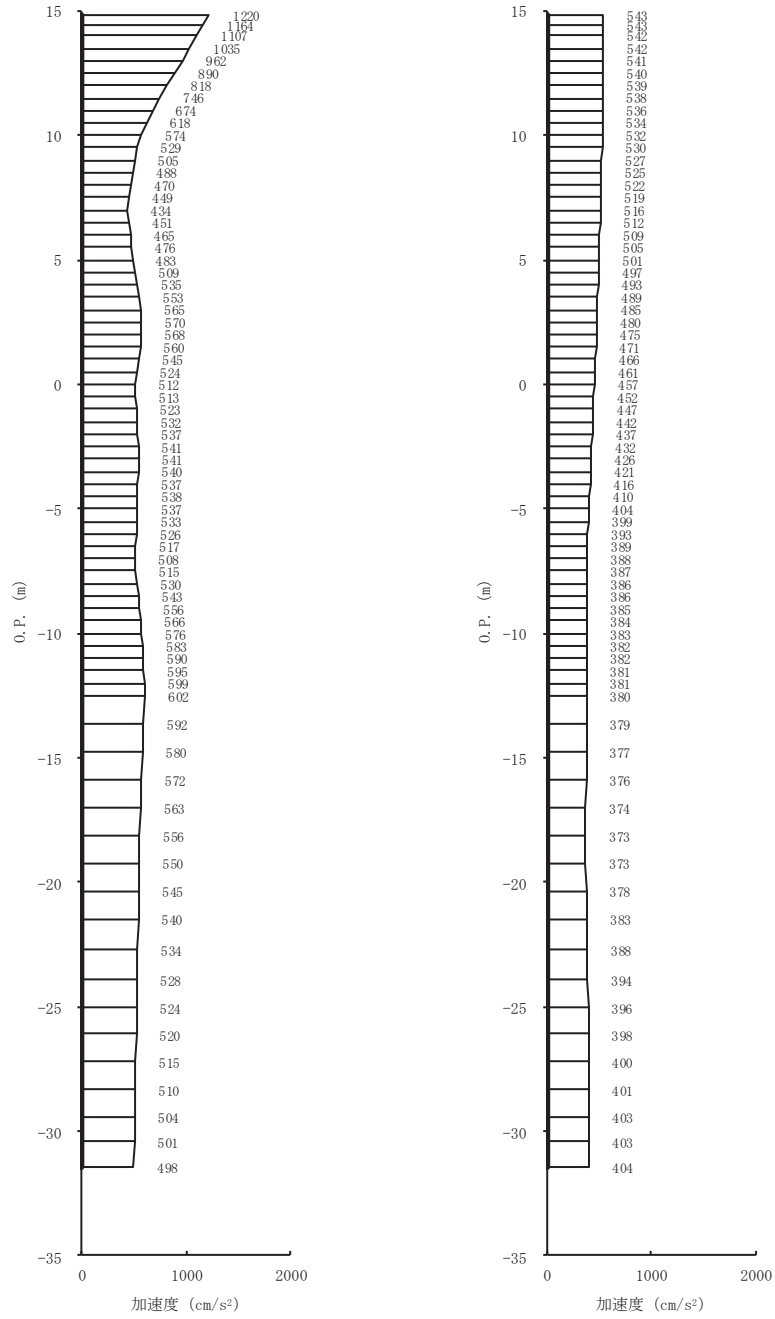


(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-7(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)

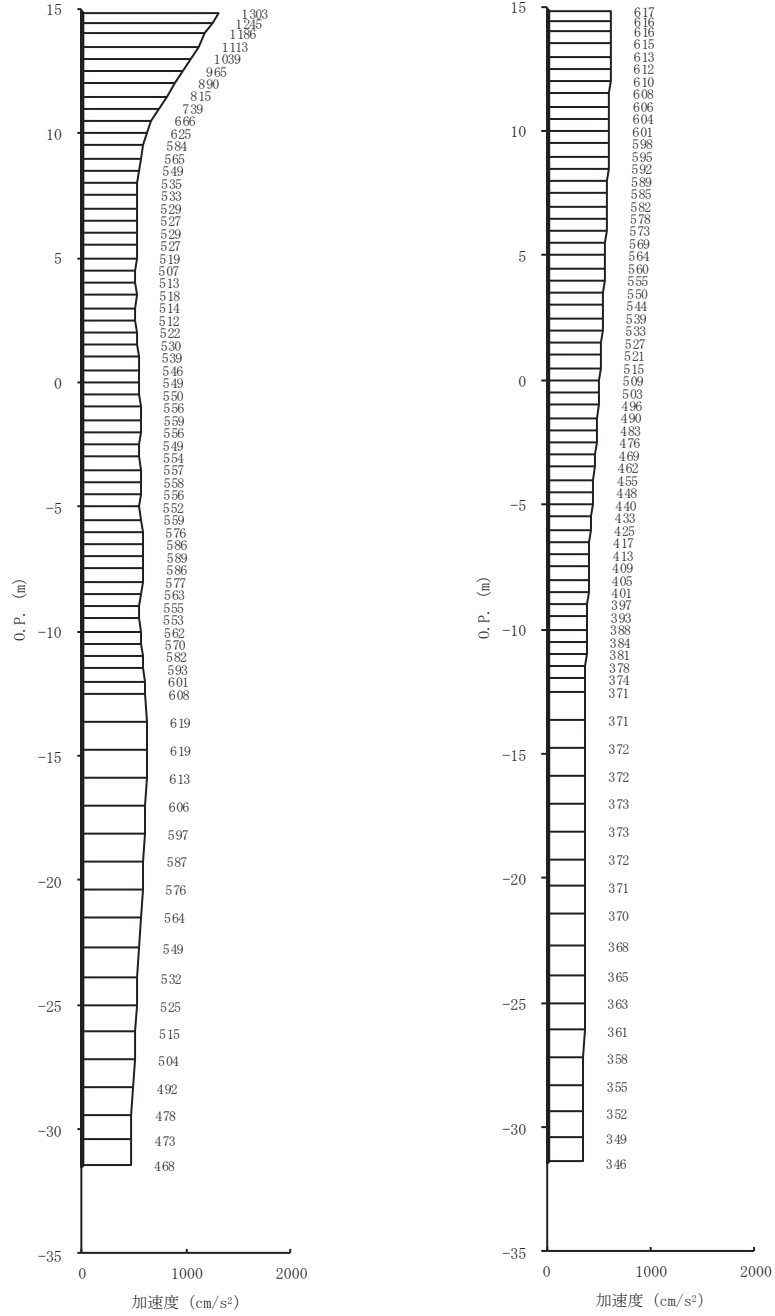


(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-7(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)

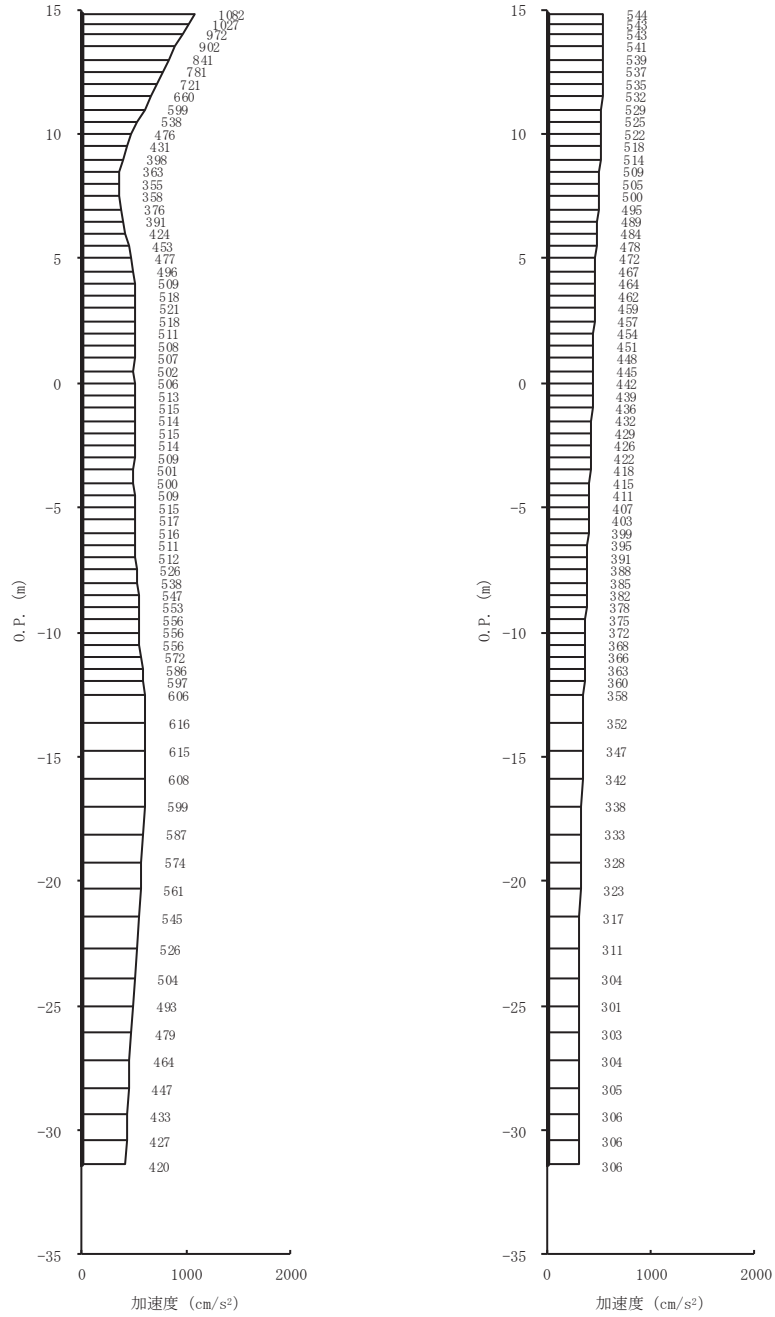




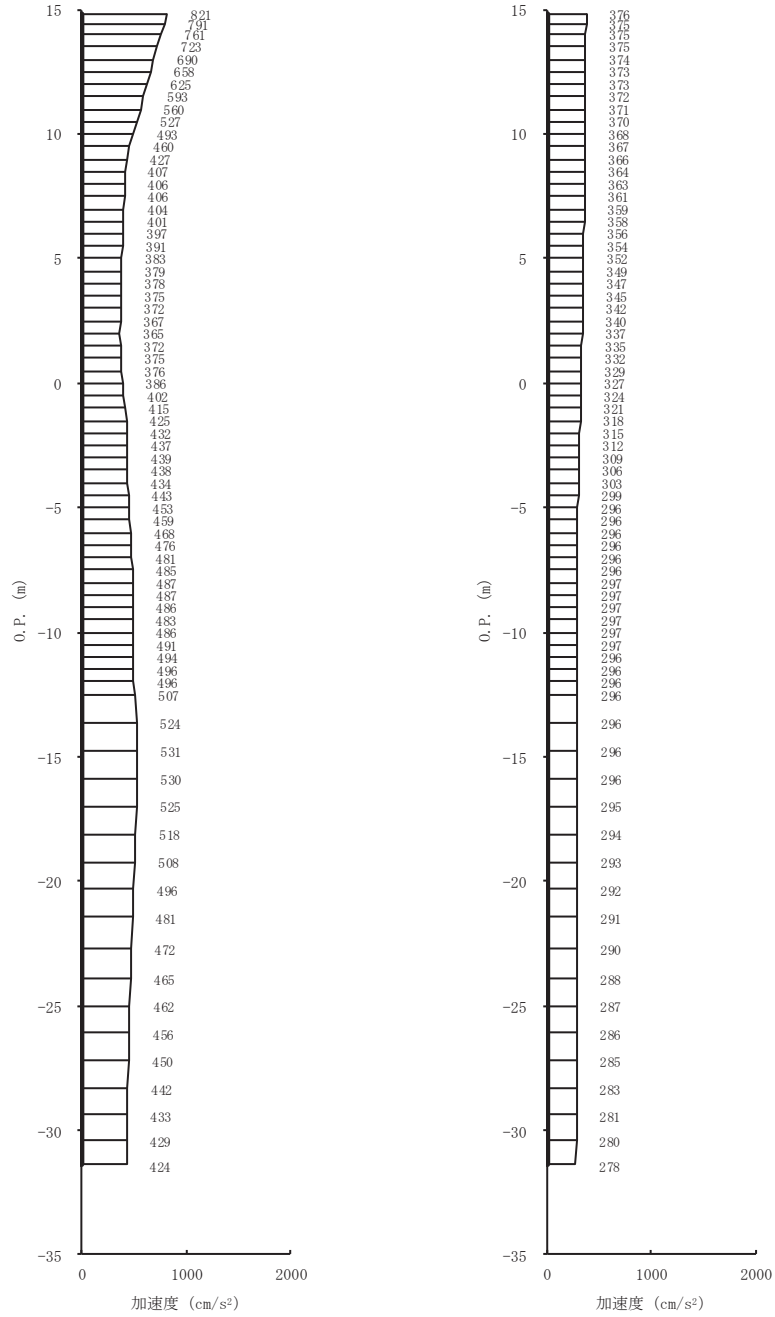
(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-8(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



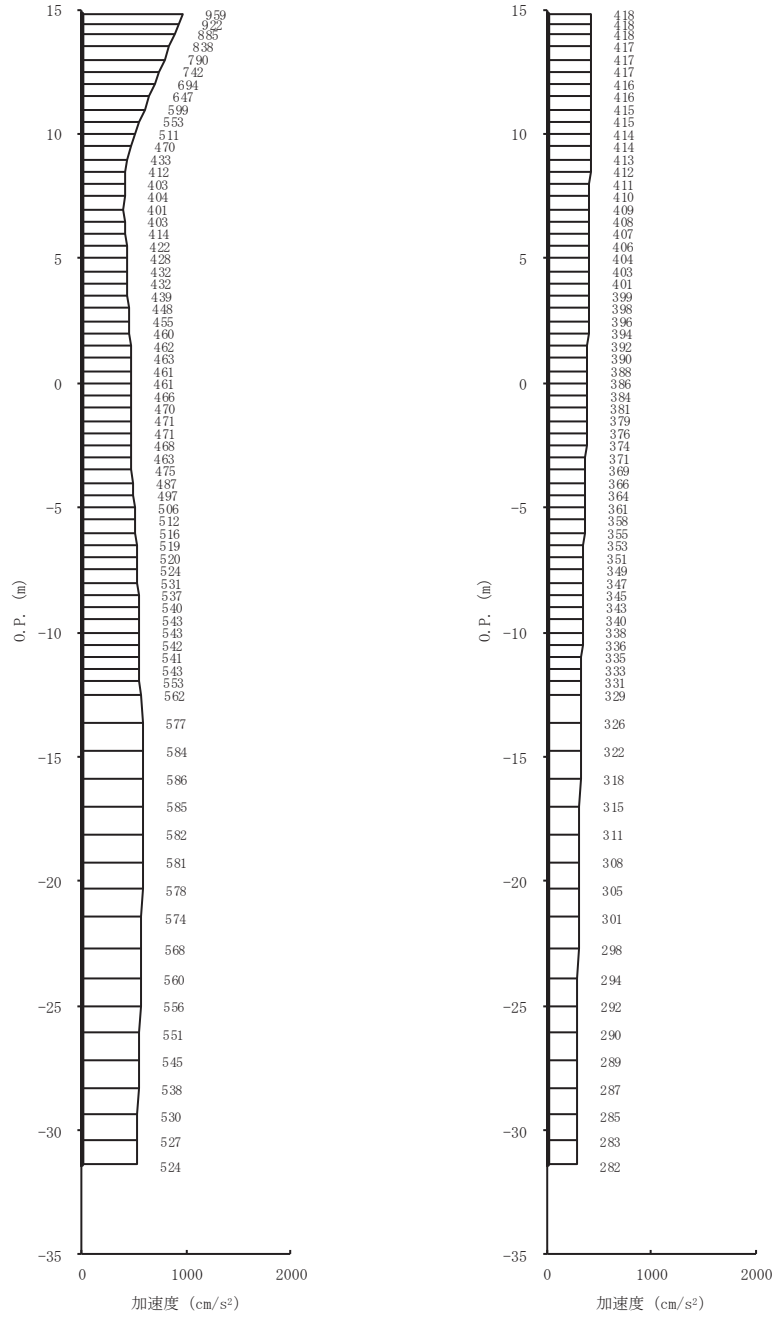
(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-8(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



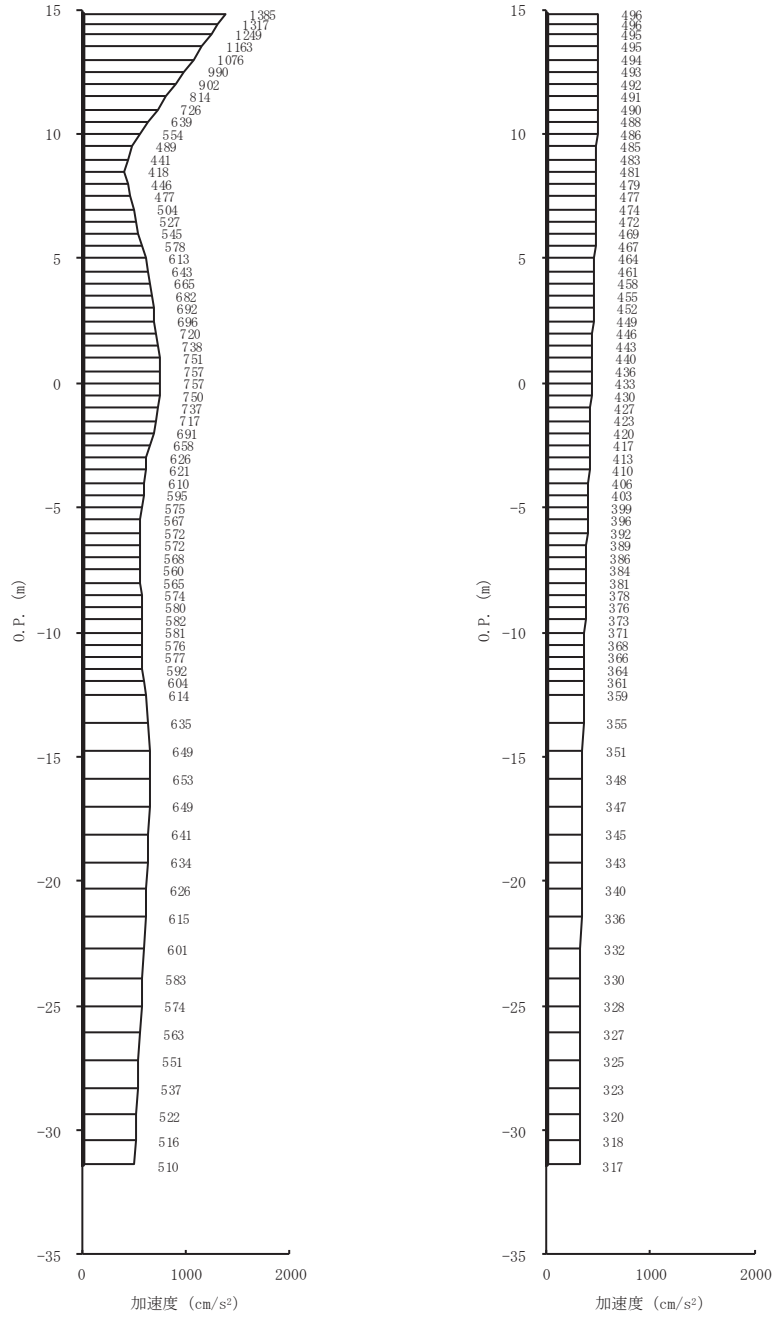
(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-8(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



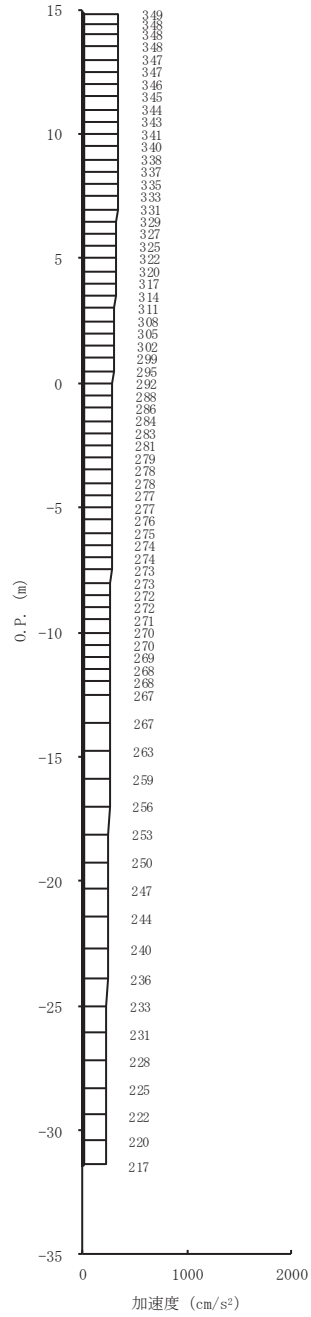
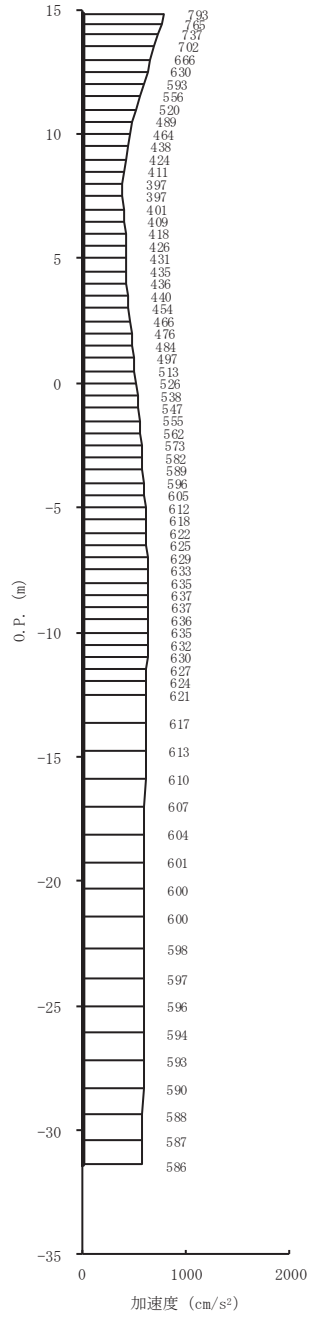
(a) S s - F 1 (-+) 水平 (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-8(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



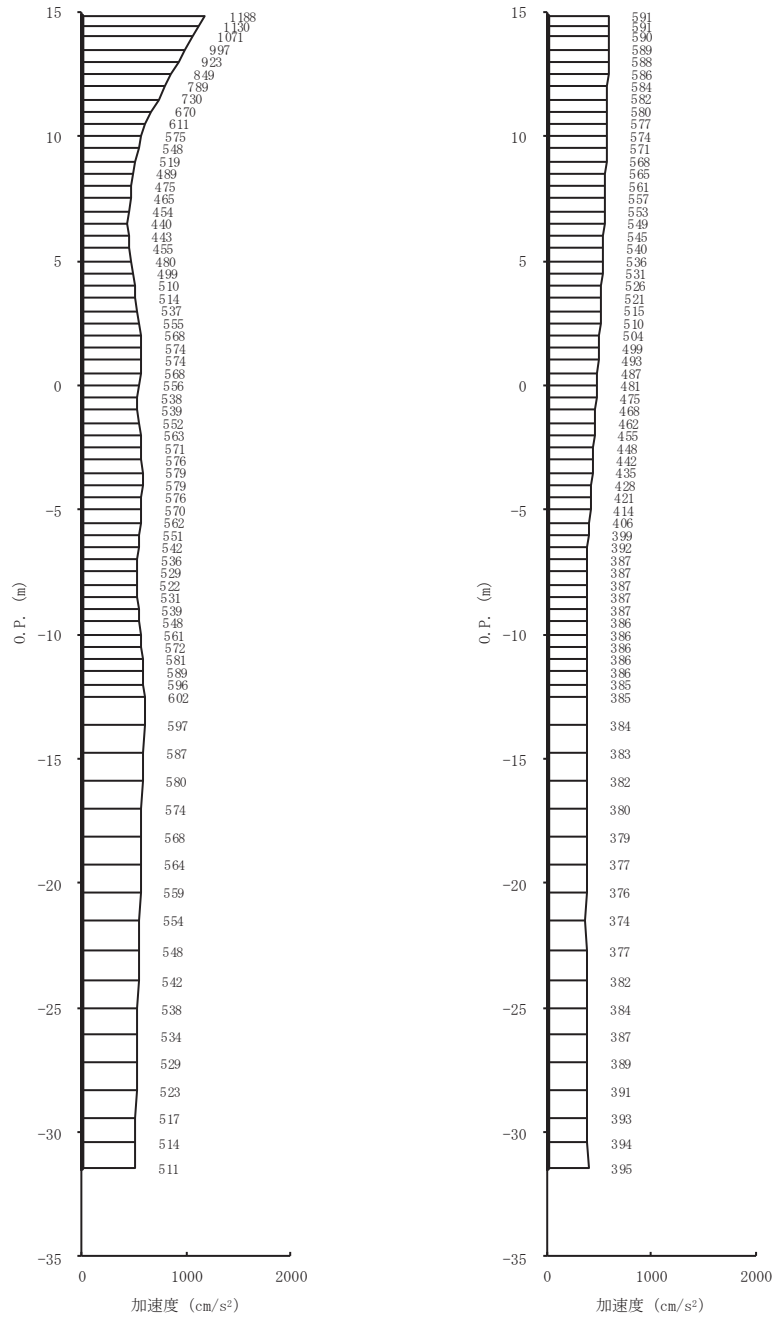
(a) S s - F 2 (-+) 水平 (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-8(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - F 3 (-+) 水平 (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-8(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)

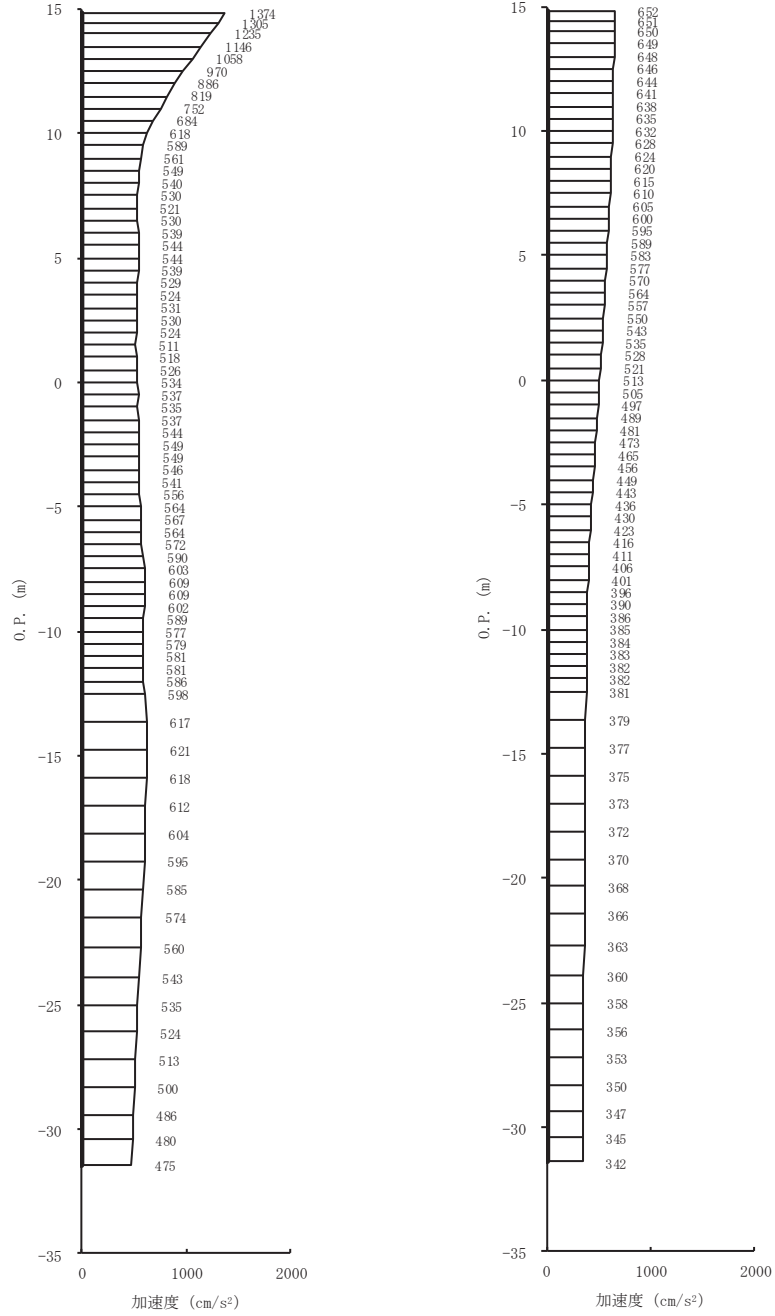


(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-8(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース①)

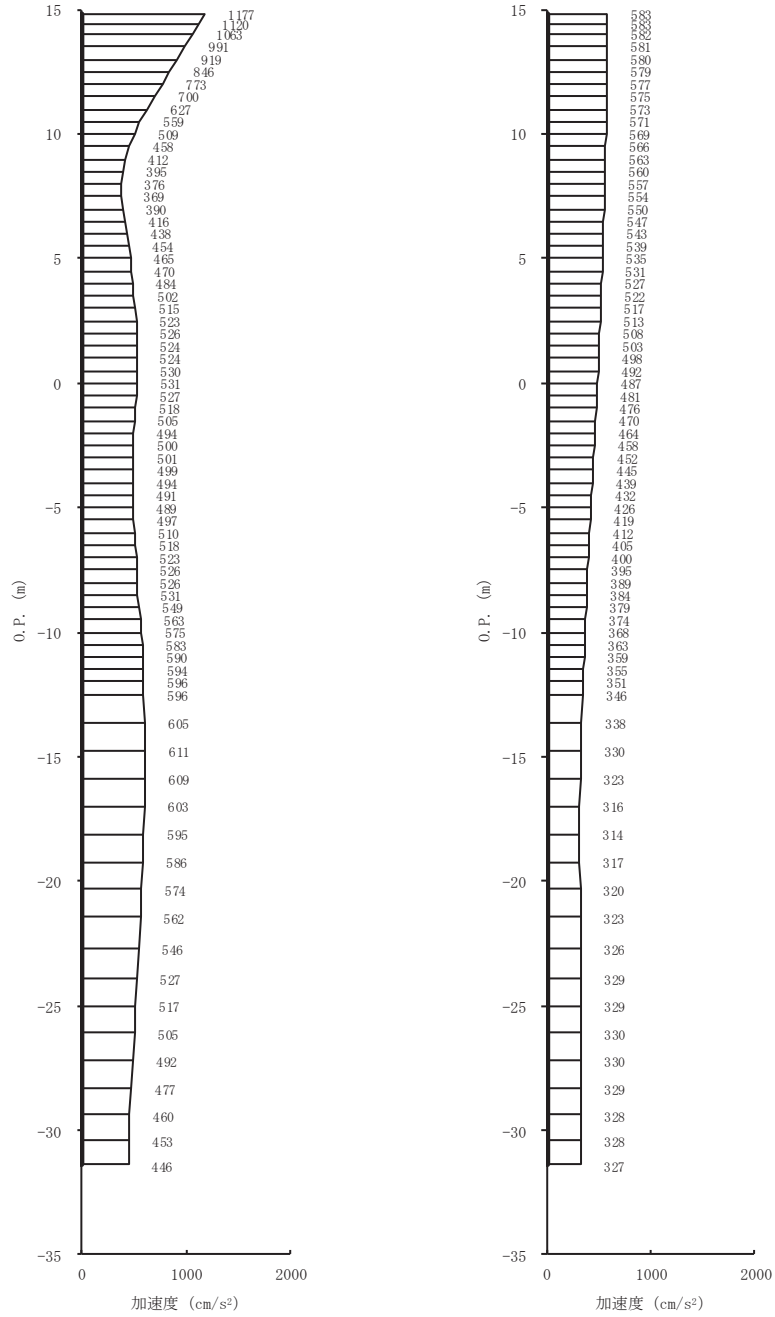


(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-8(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



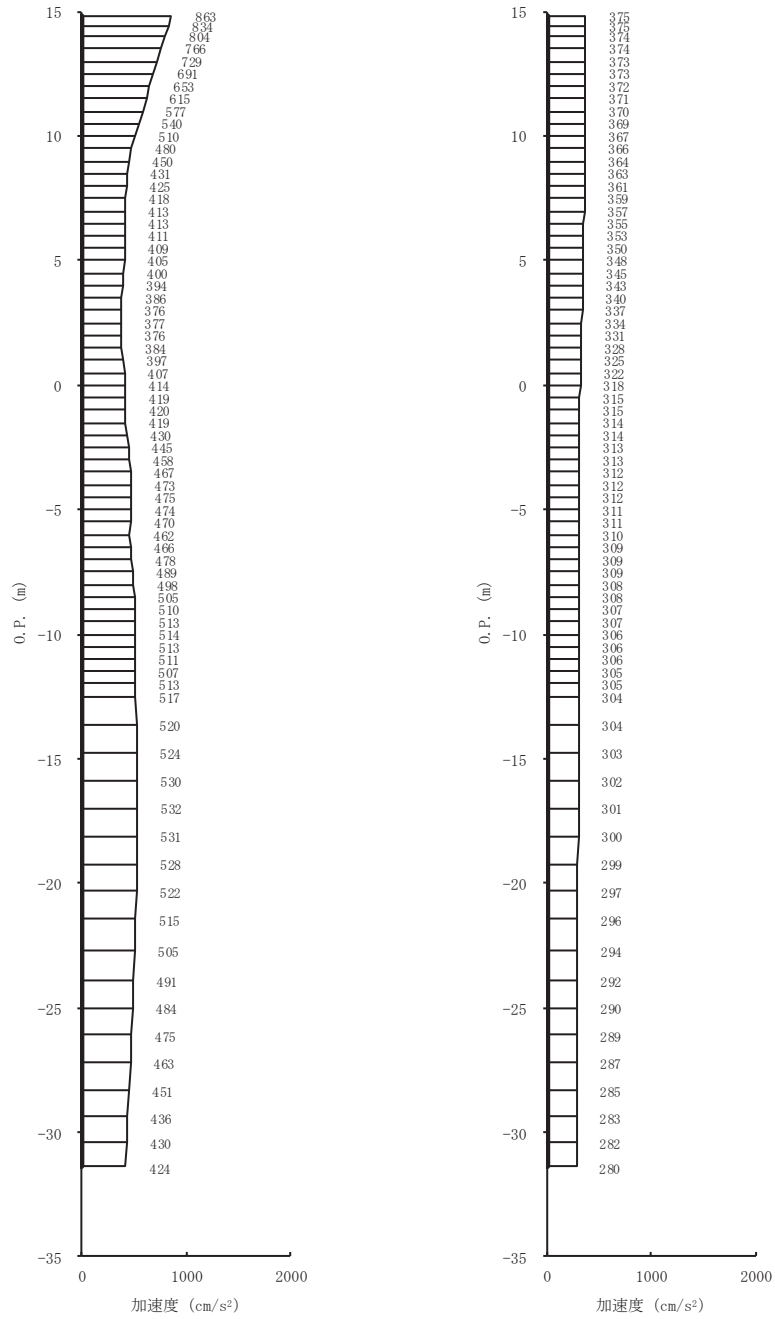


(a) S s - D 2 ( - + ) 水平 (b) S s - D 2 ( - + ) 鉛直  
 図 4-8(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



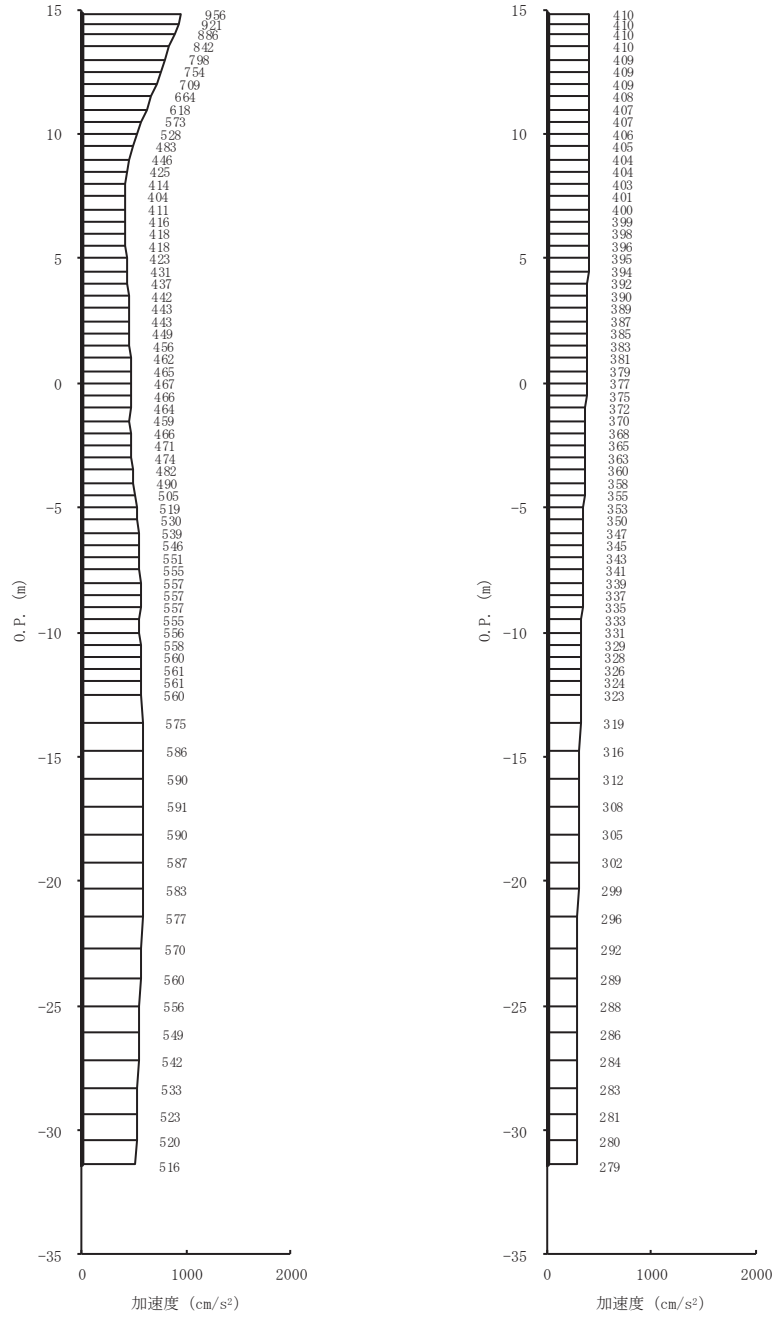
(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

図 4-8(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



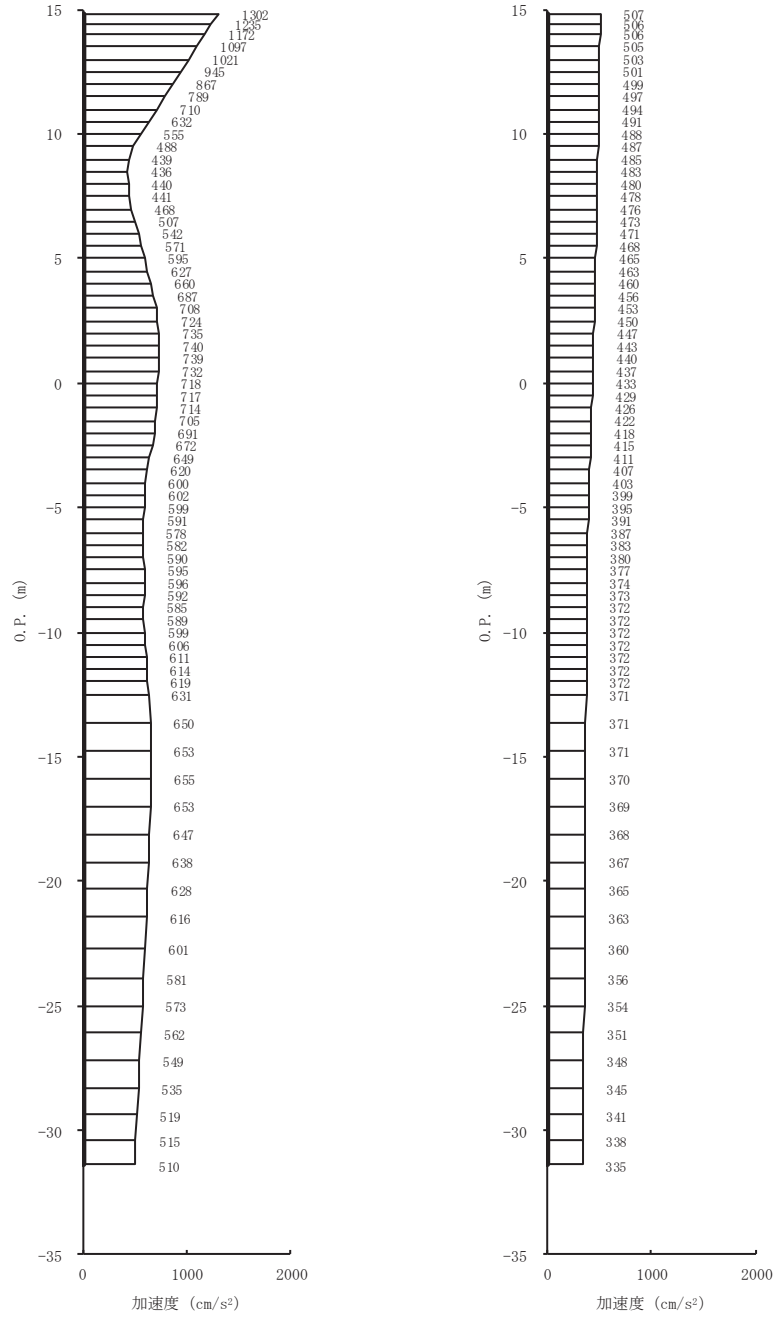
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-8(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



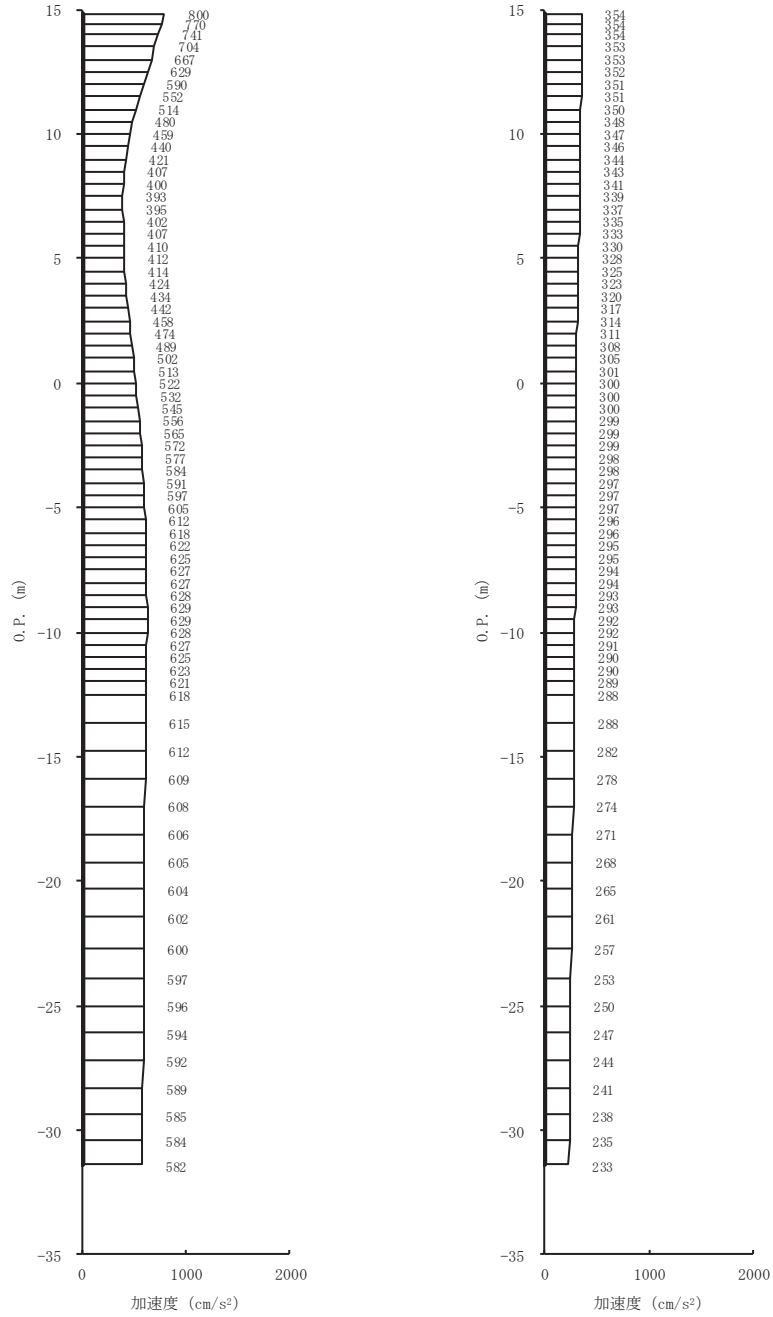
(a) S s - F 2 (-+) 水平 (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-8(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



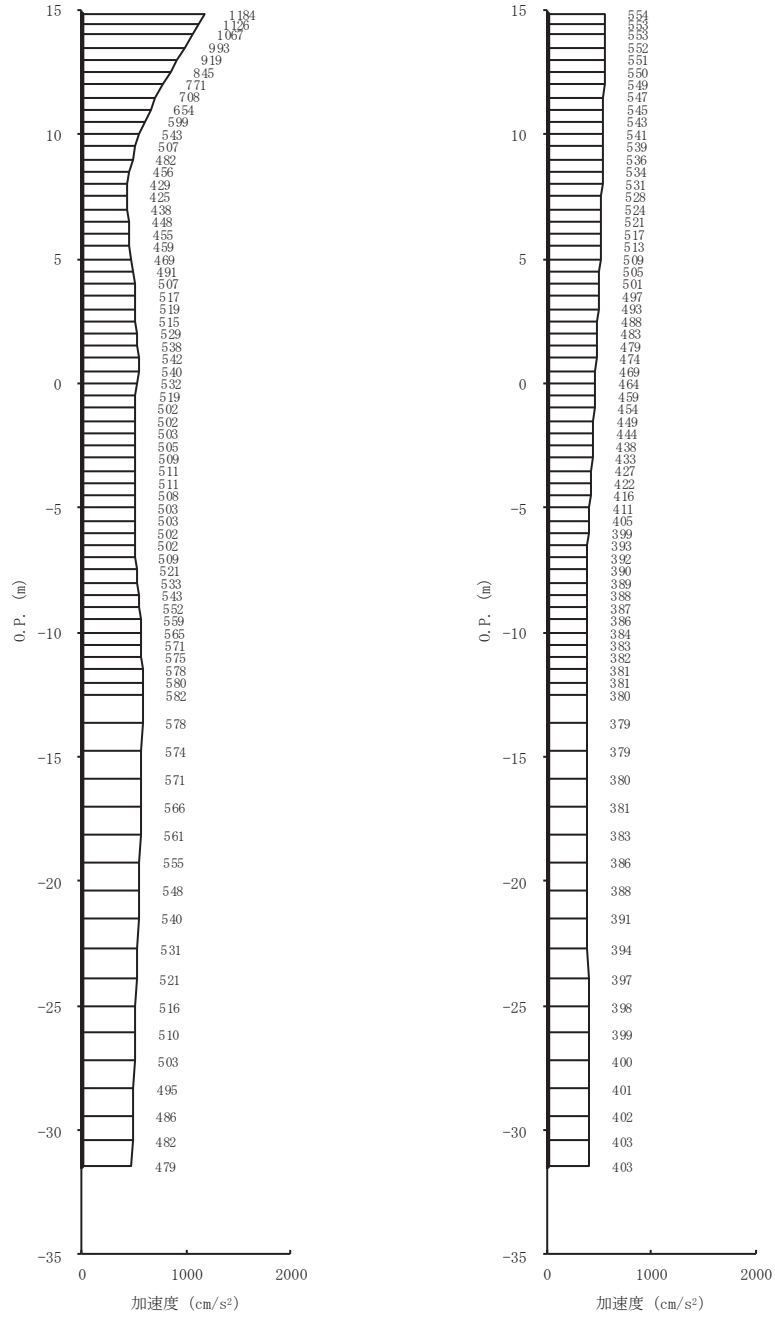
(a) S<sub>s</sub>-F<sub>3</sub> (-+) 水平 (b) S<sub>s</sub>-F<sub>3</sub> (-+) 鉛直

図 4-8(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



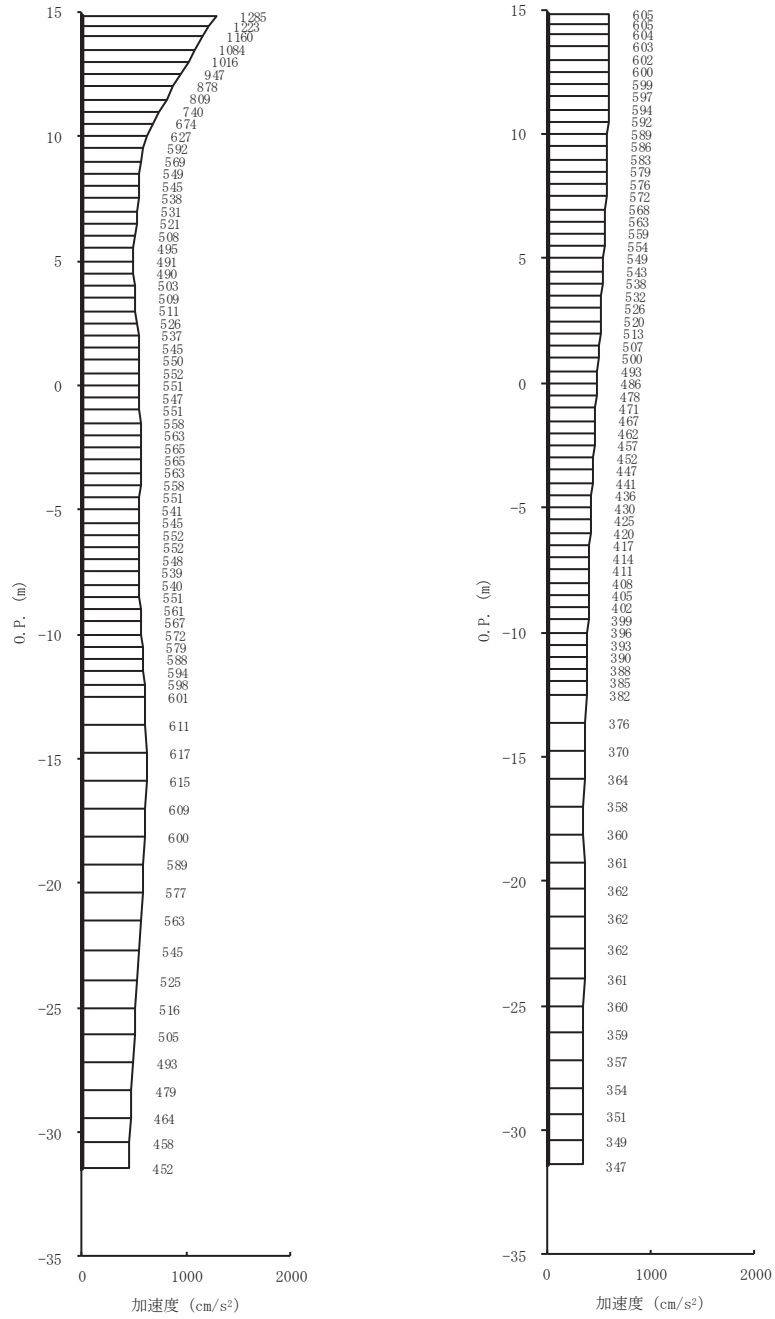
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-8(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - D 1 (-+) 水平      (b) S s - D 1 (-+) 鉛直

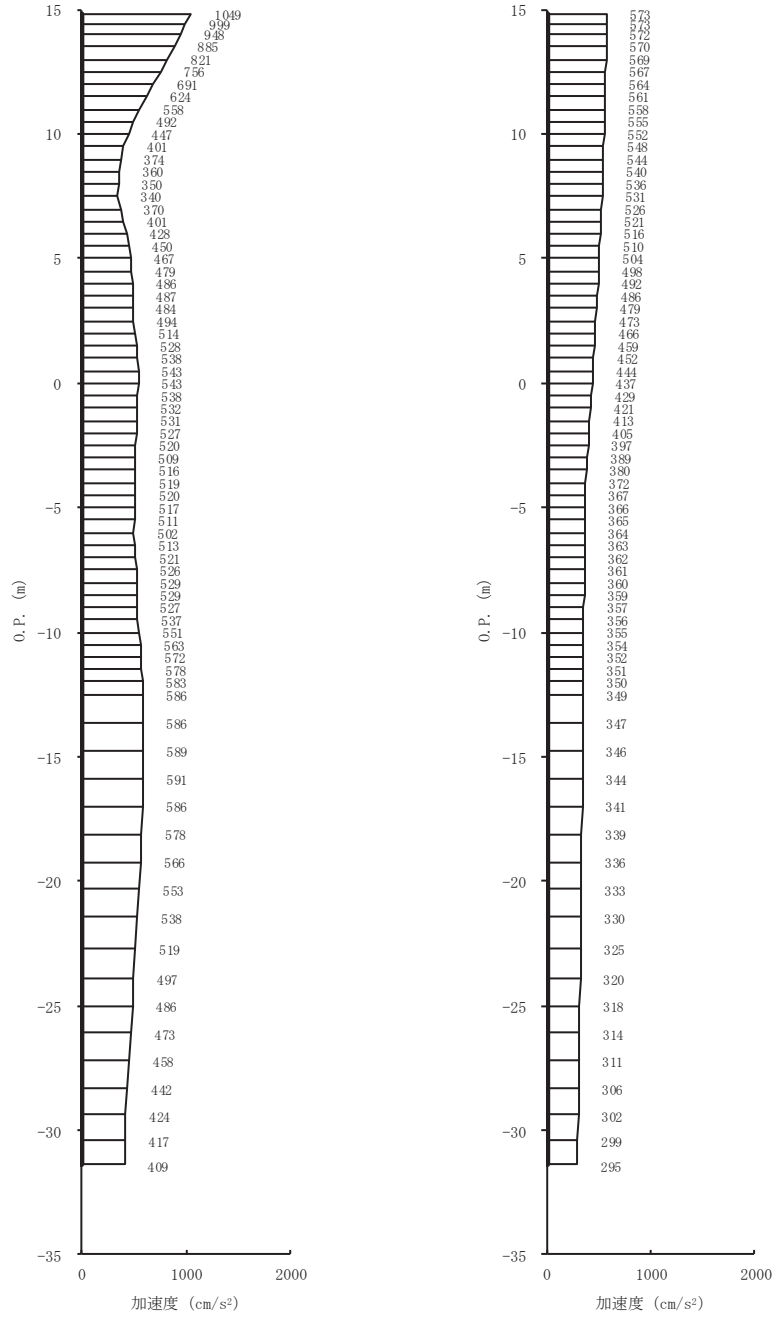
図 4-8(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直

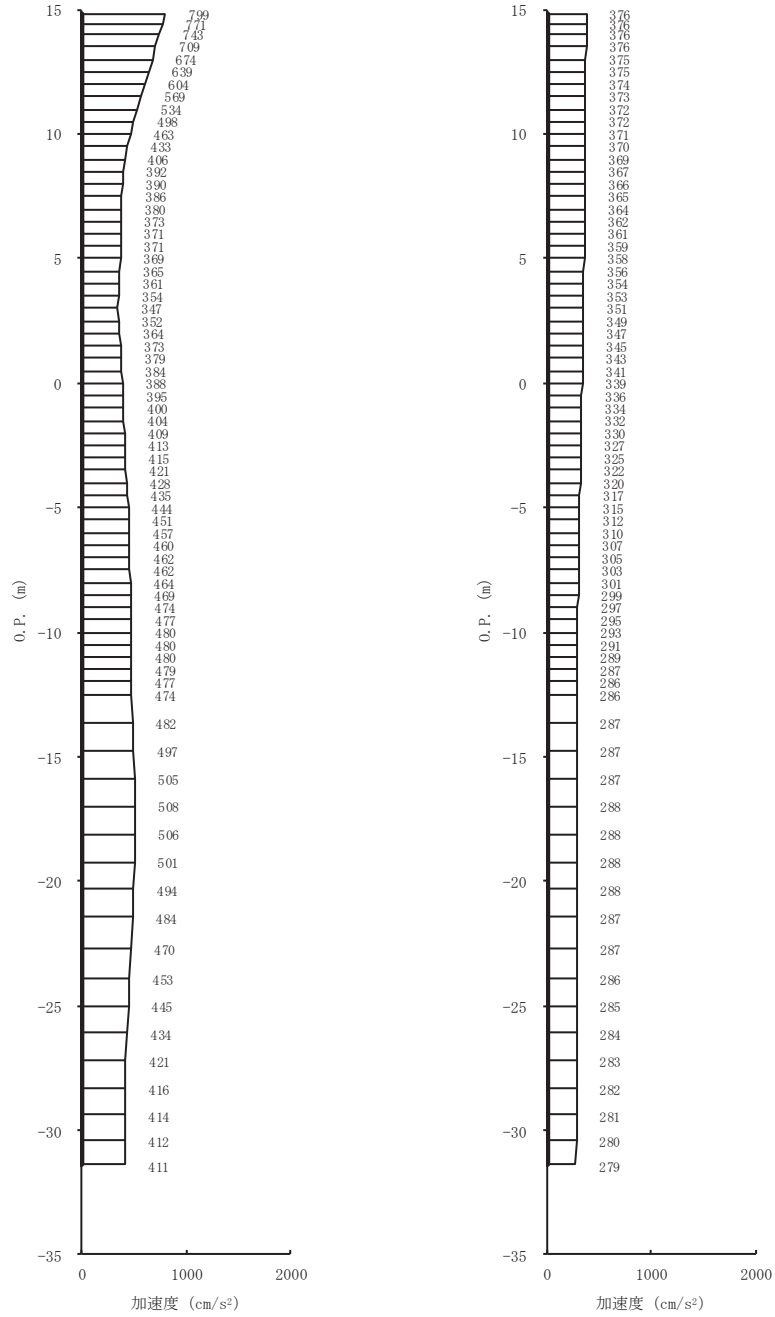
図 4-8(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)





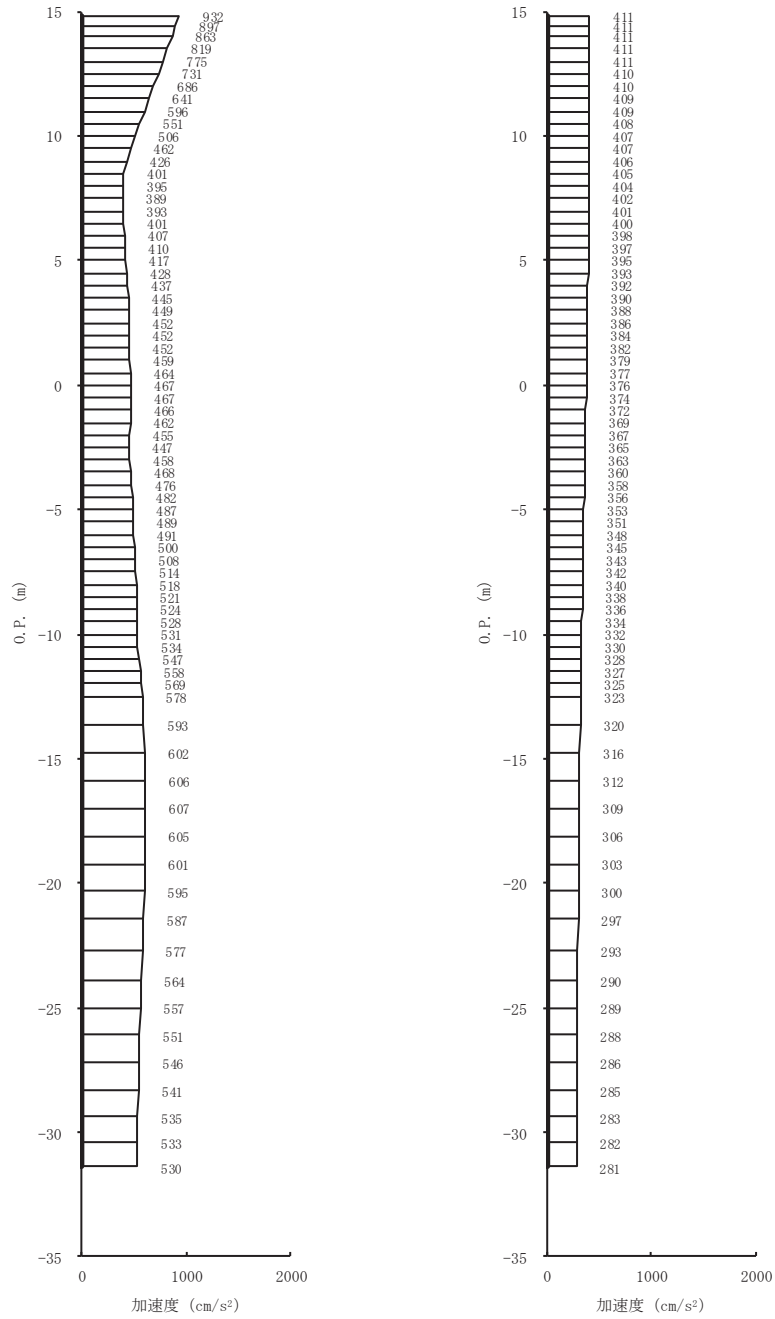
(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

図 4-8(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



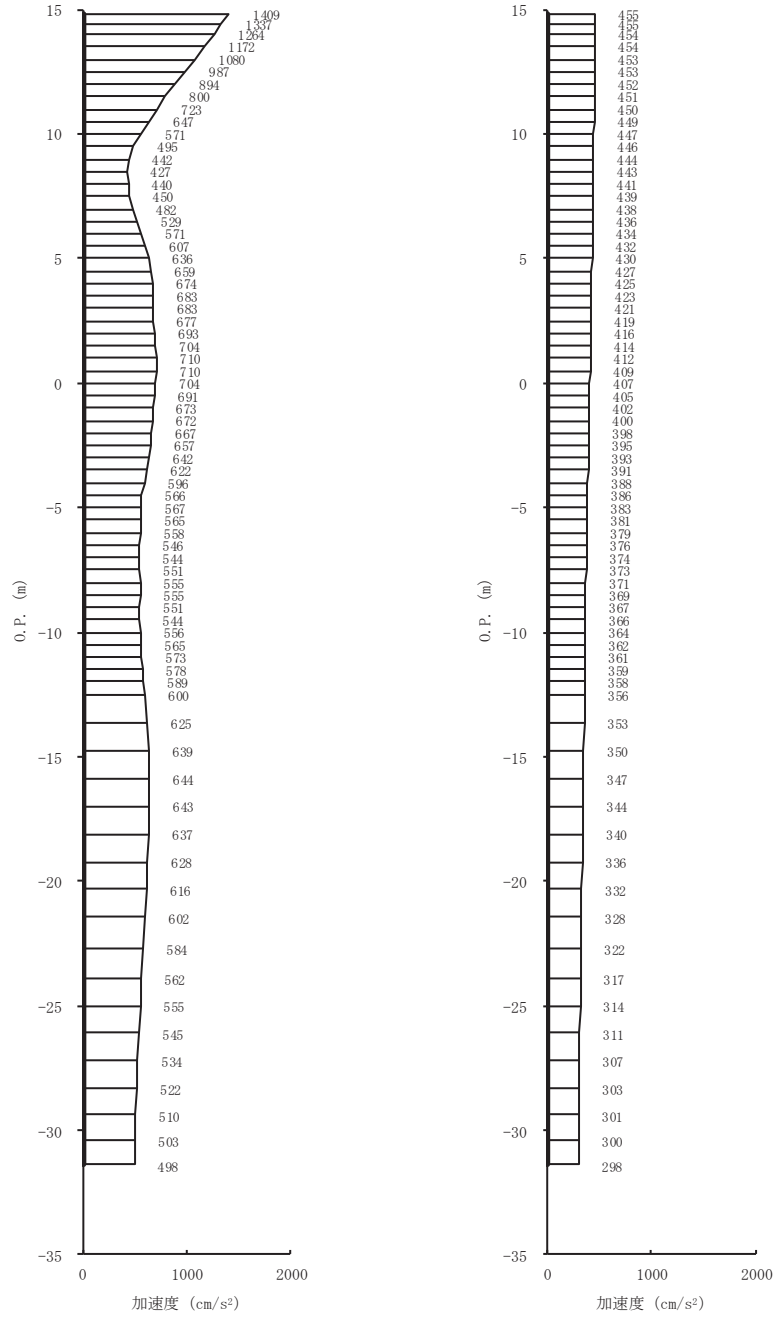
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-8(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



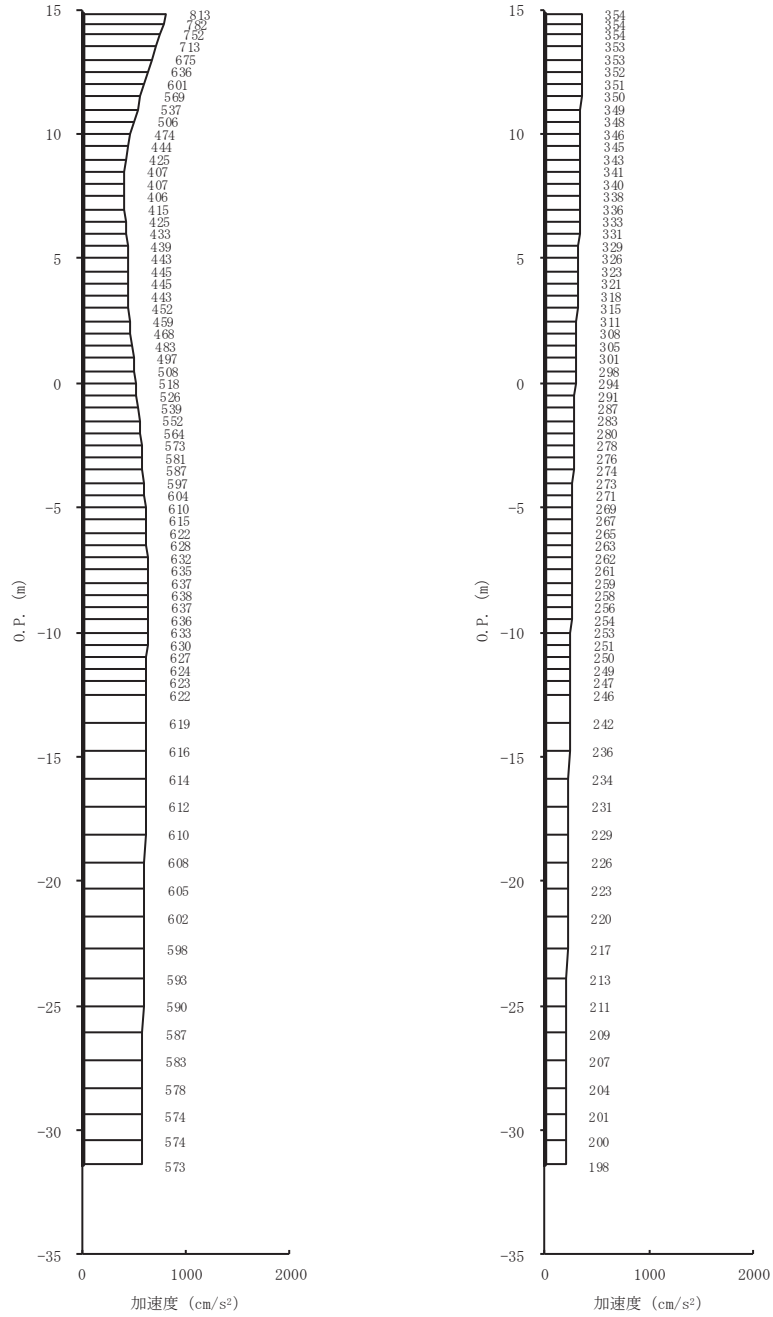
(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-8(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



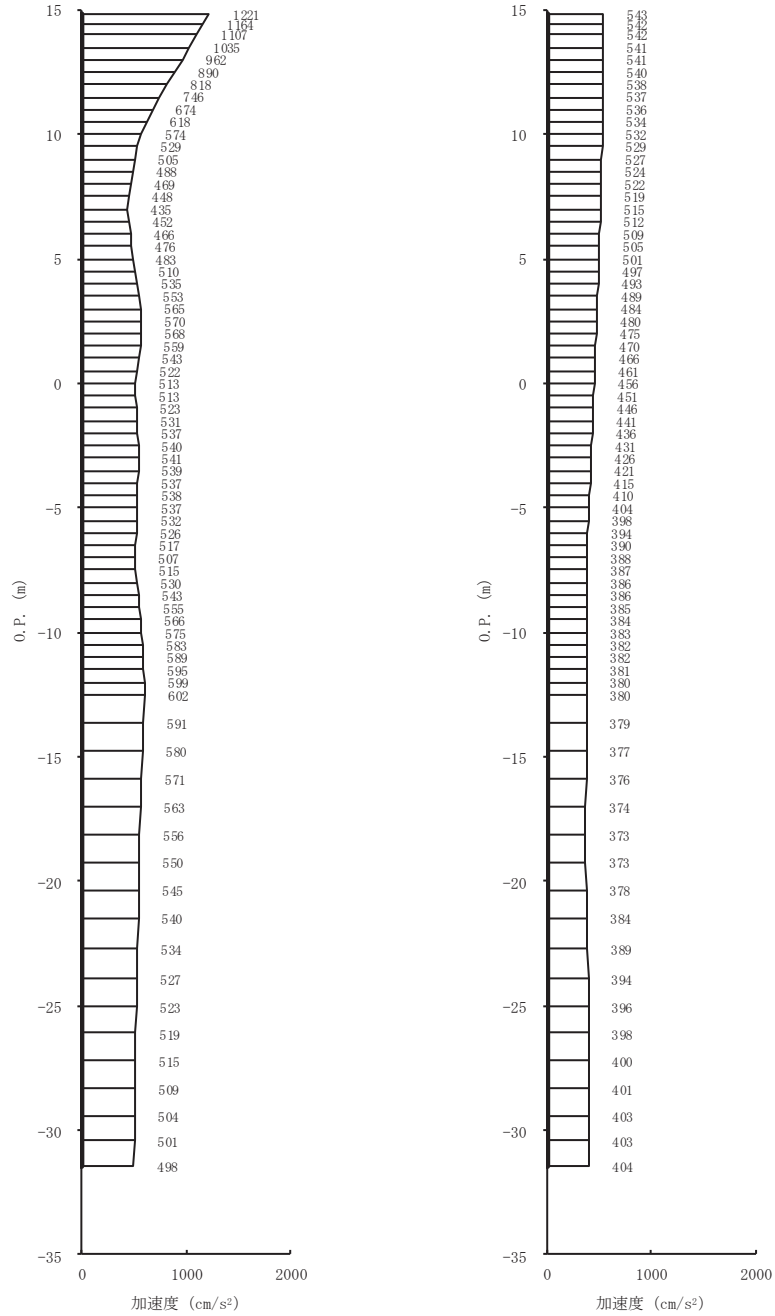
(a) S s - F 3 (-+) 水平 (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

図 4-8(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)



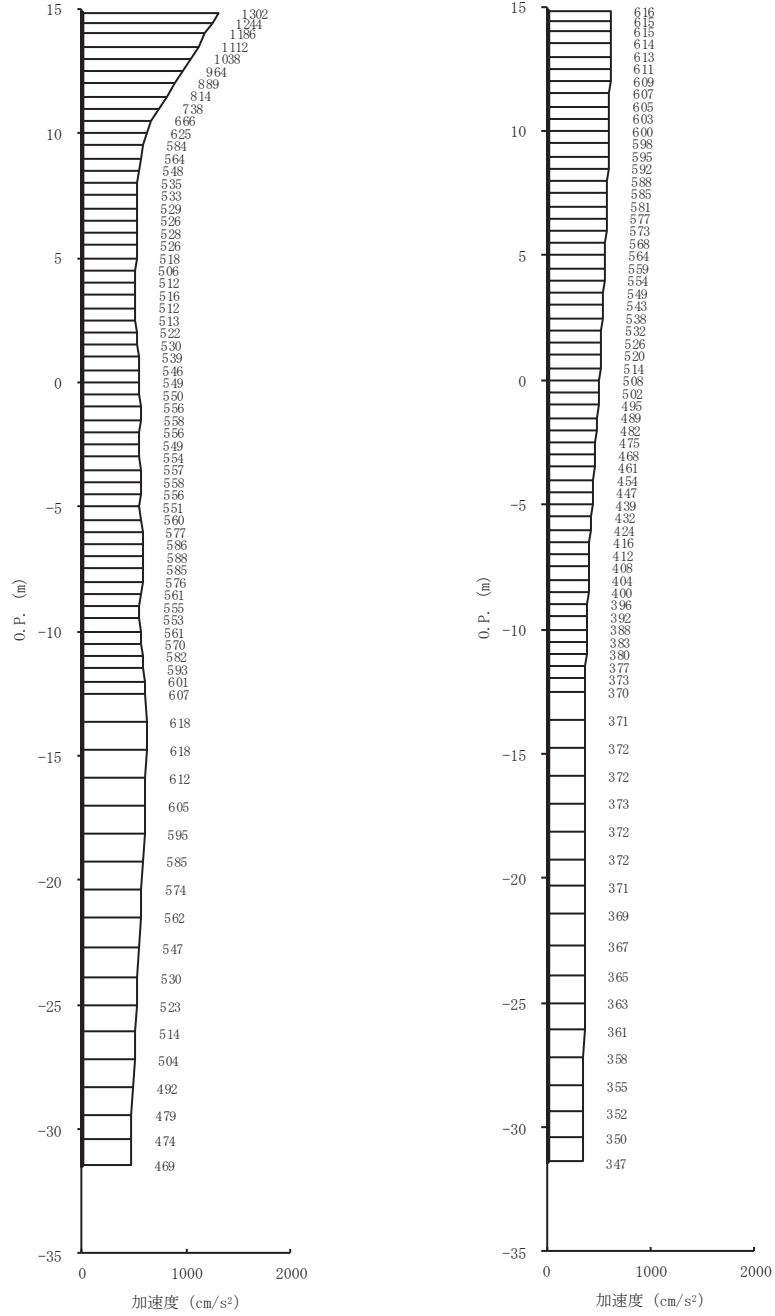
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-8(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース③)

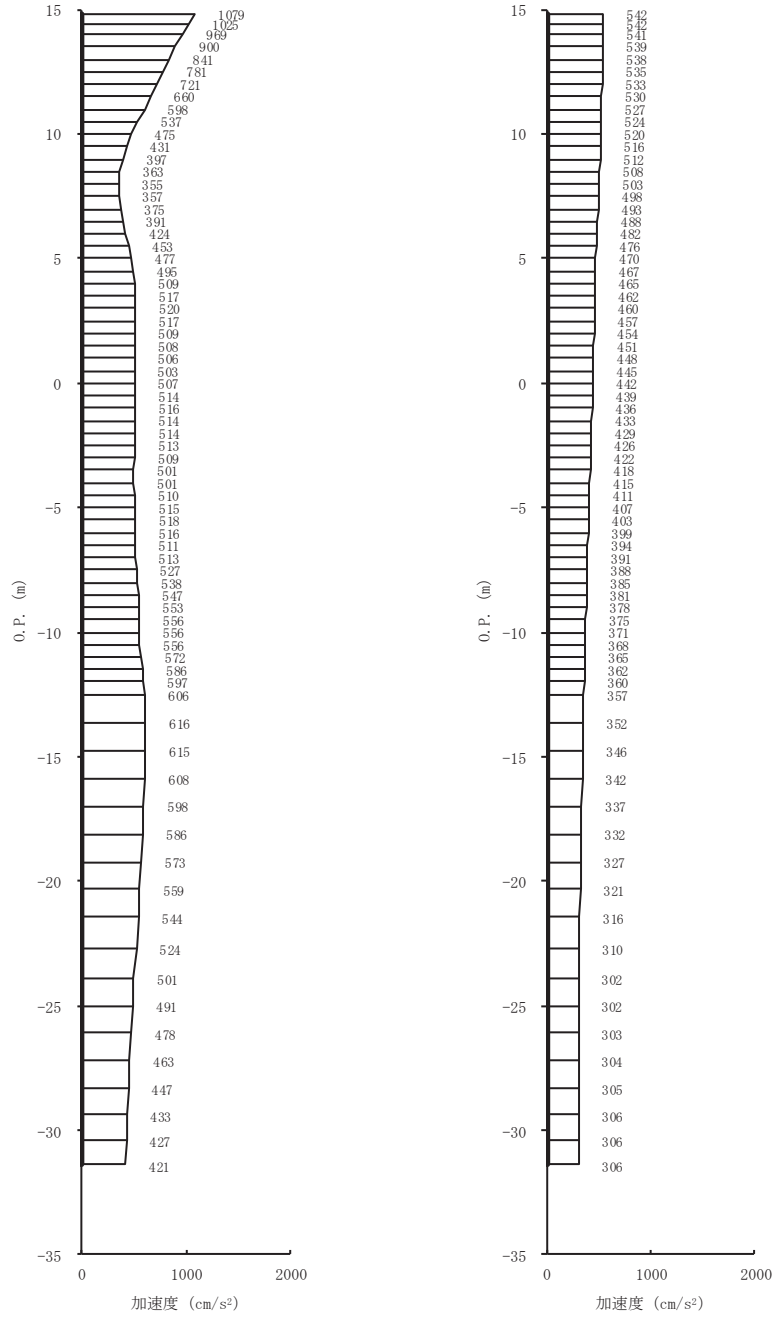


(a) S s - D 1 (-+) 水平      (b) S s - D 1 (-+) 鉛直

図 4-8(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)



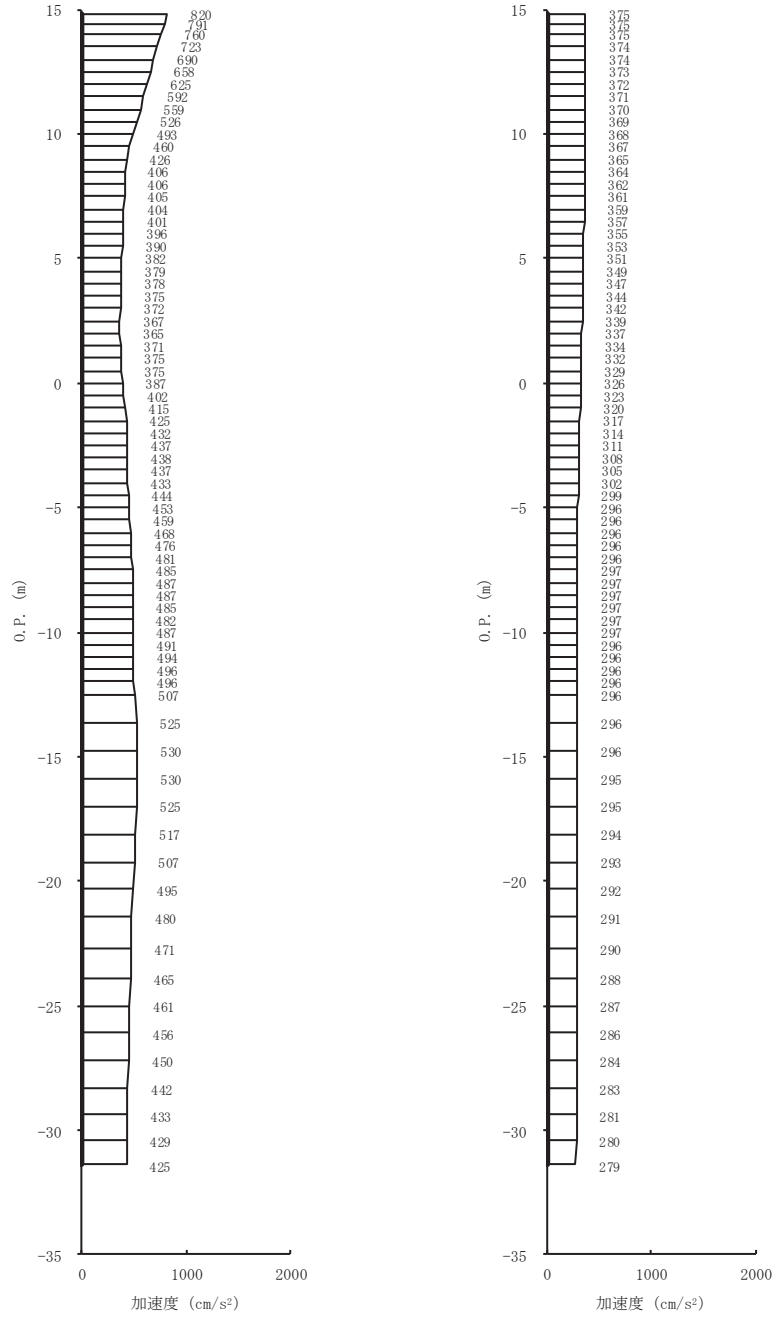
(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-8(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直

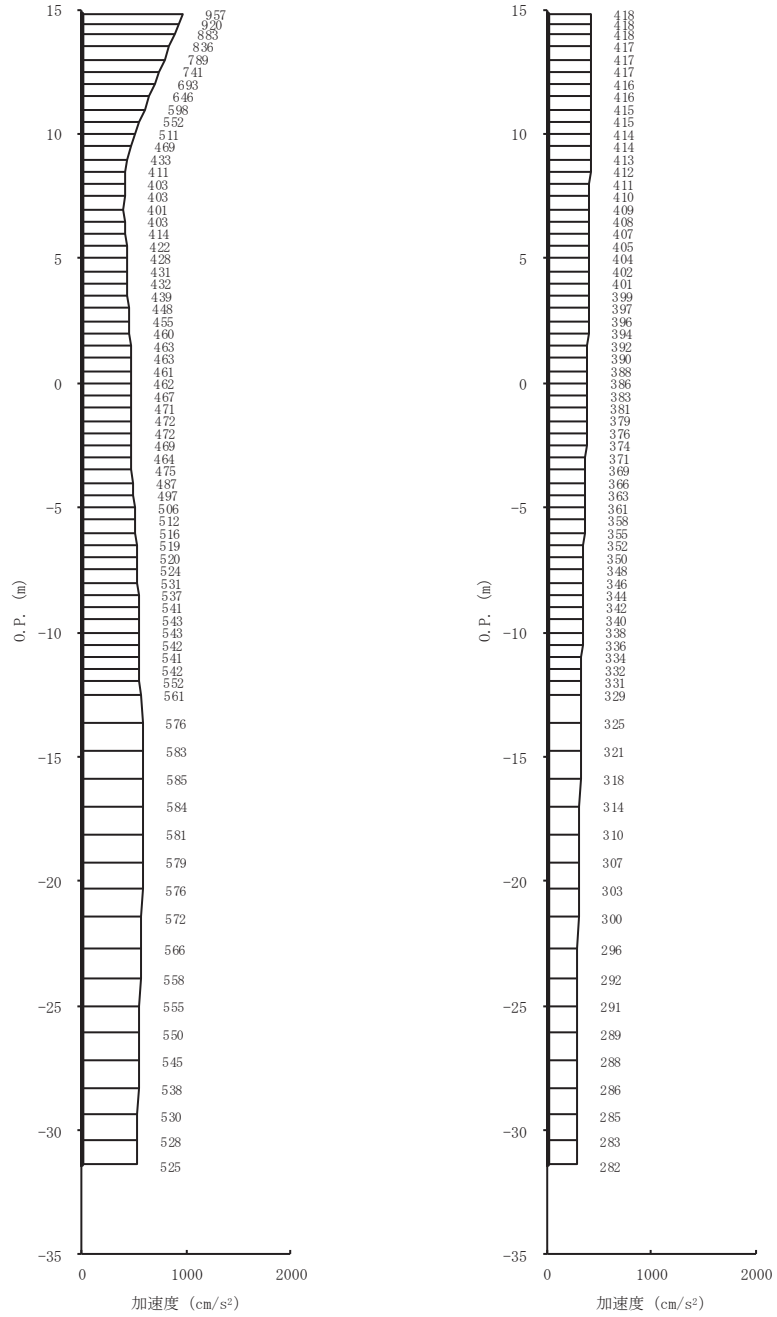
図 4-8(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)





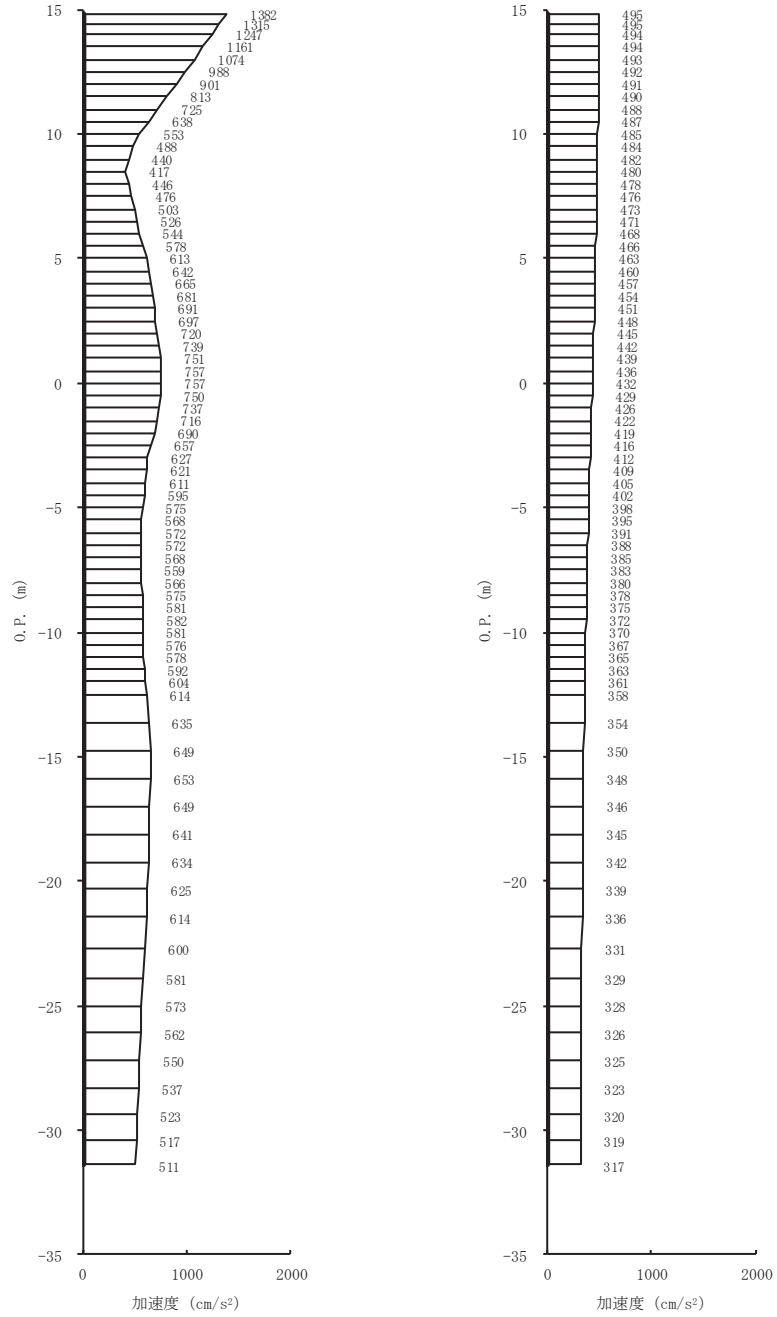
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直

図 4-8(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)

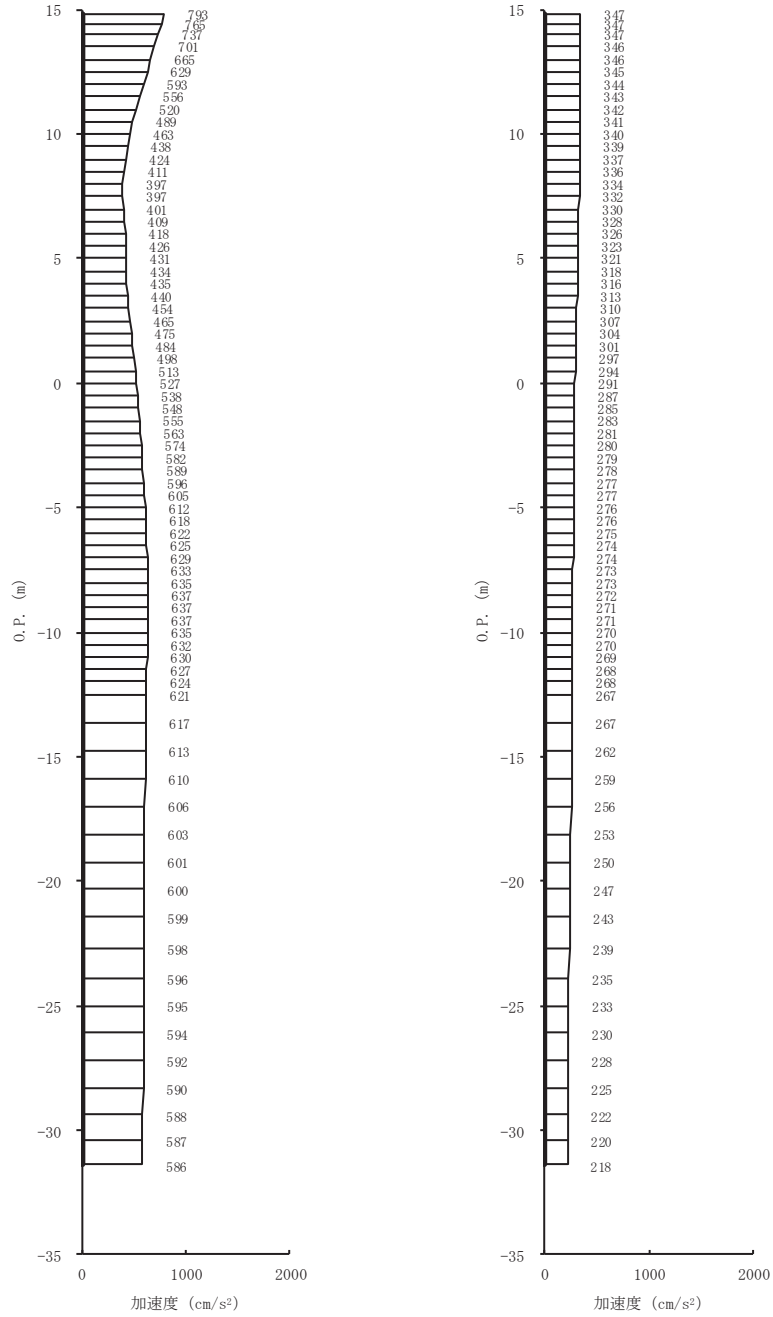


(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 4-8(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - F 3 (-+) 水平 (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-8(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)

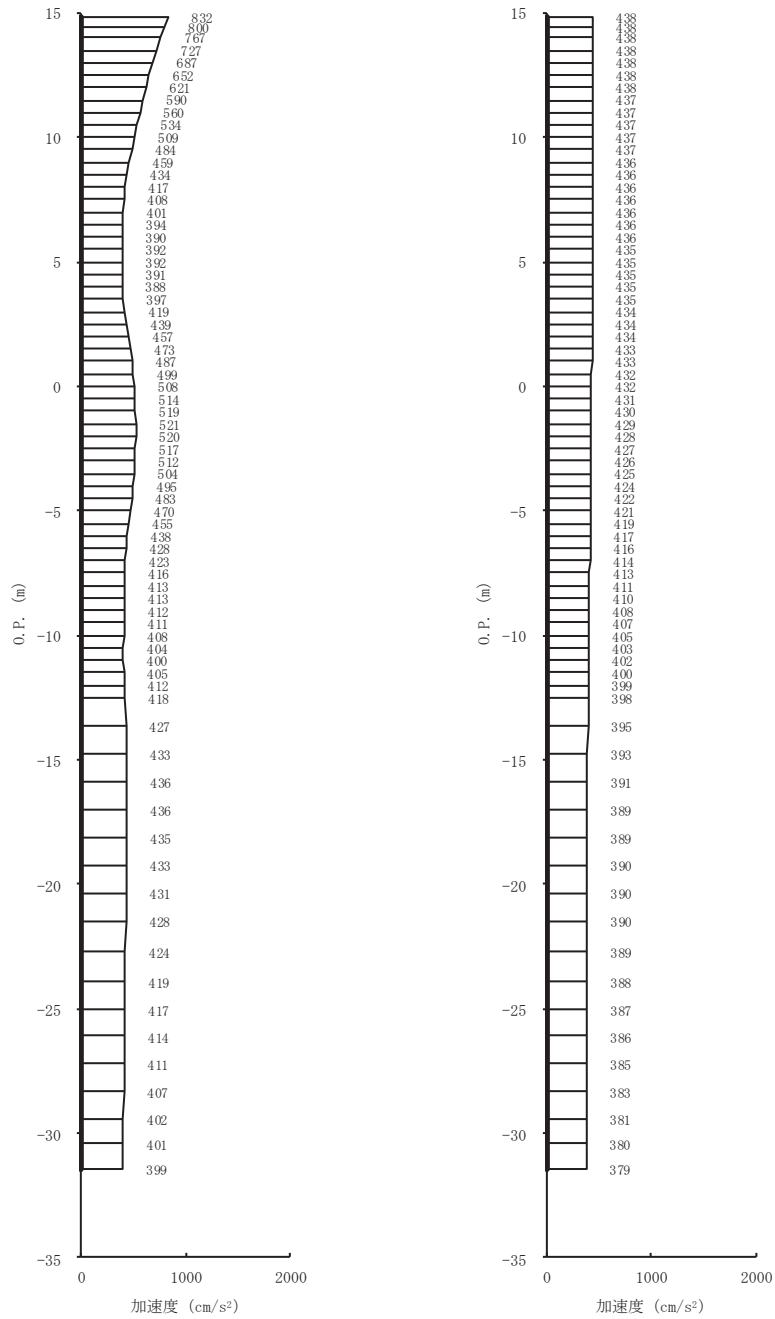


(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直

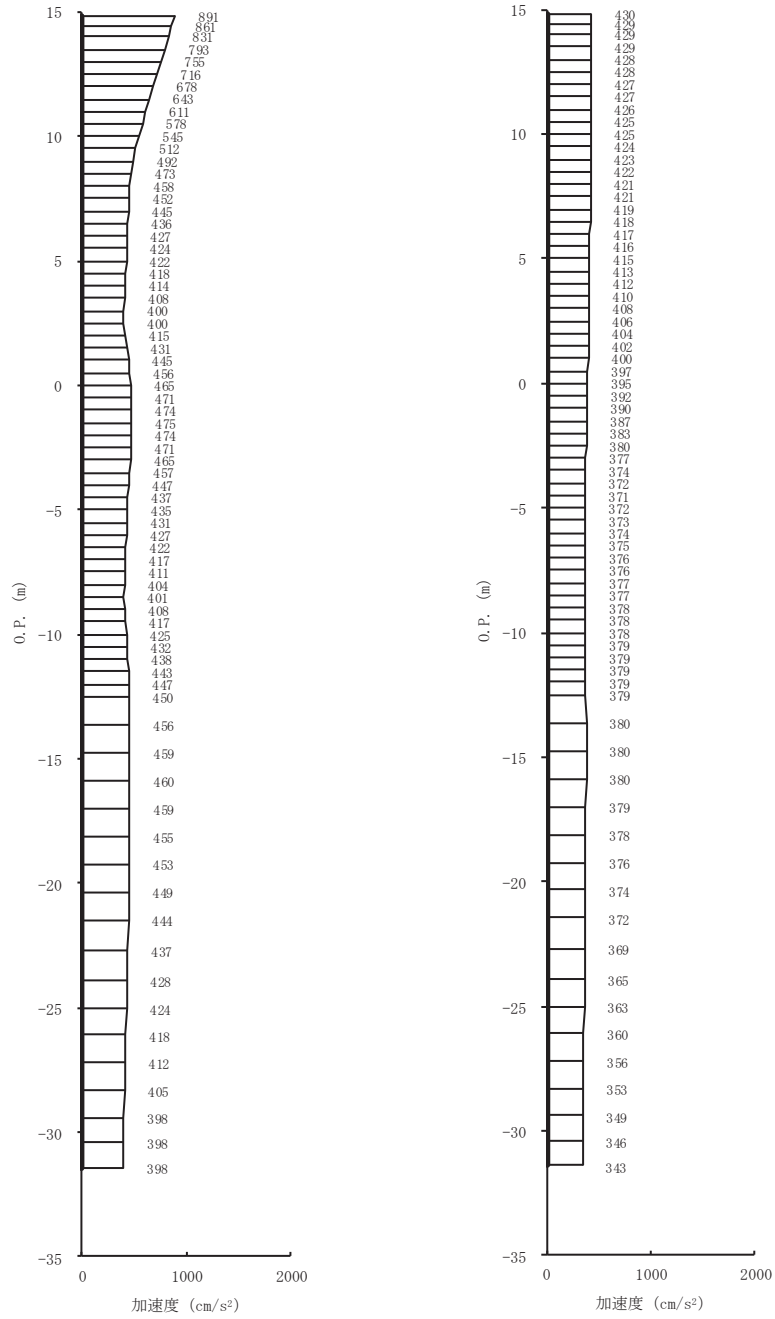
図 4-8(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース④)

(2) 有効応力解析

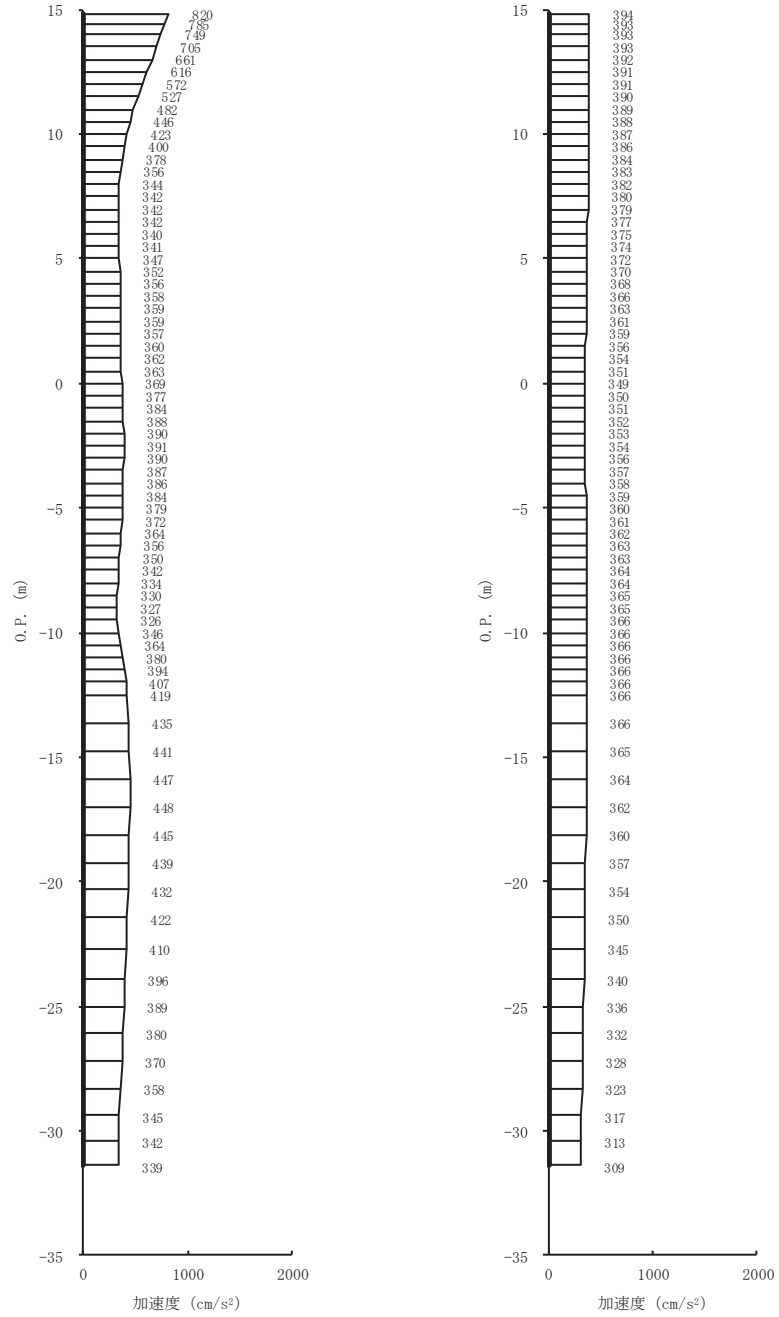
有効応力解析結果のうち、解析ケース⑤についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-9 に示す。



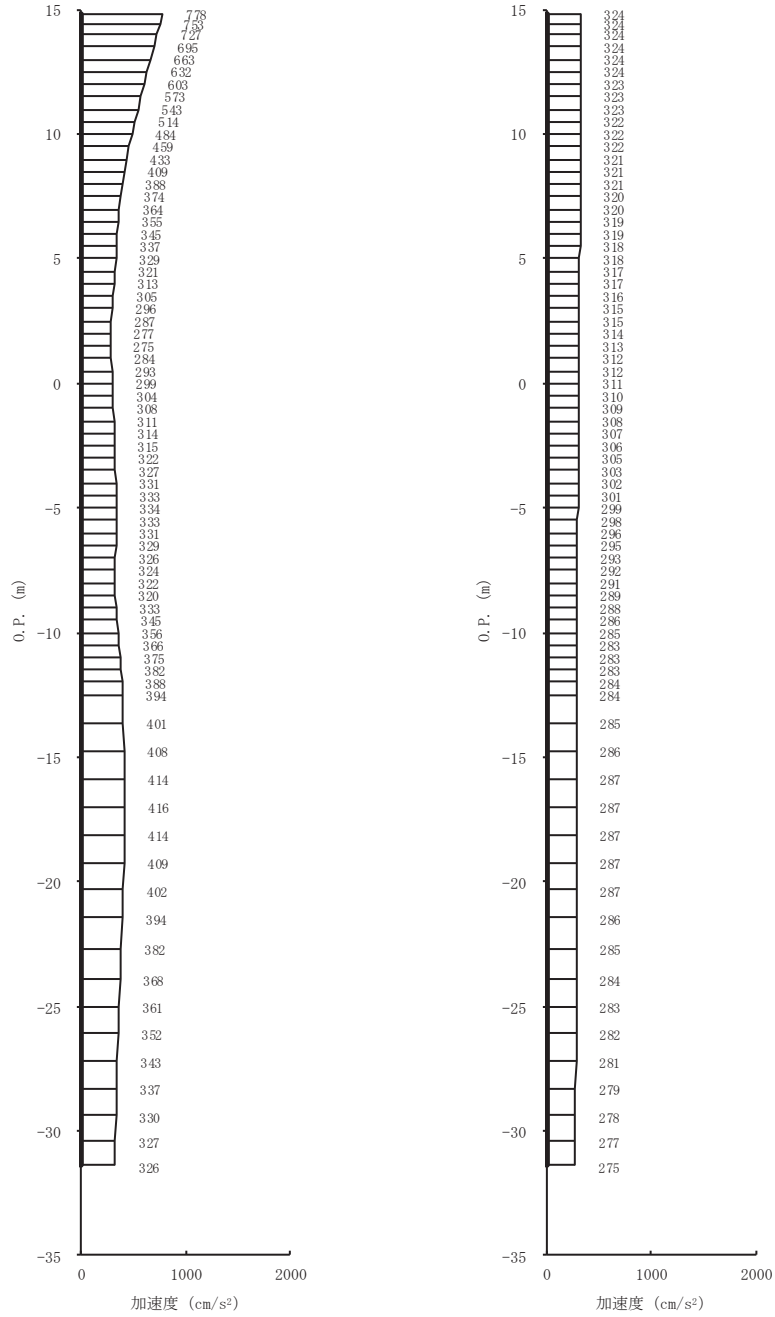
(a)  $S_s - D 1 (+ +)$  水平 (b)  $S_s - D 1 (+ +)$  鉛直  
 図 4-9(1) 最大加速度分布図 (1/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-9(2) 最大加速度分布図 (2/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)

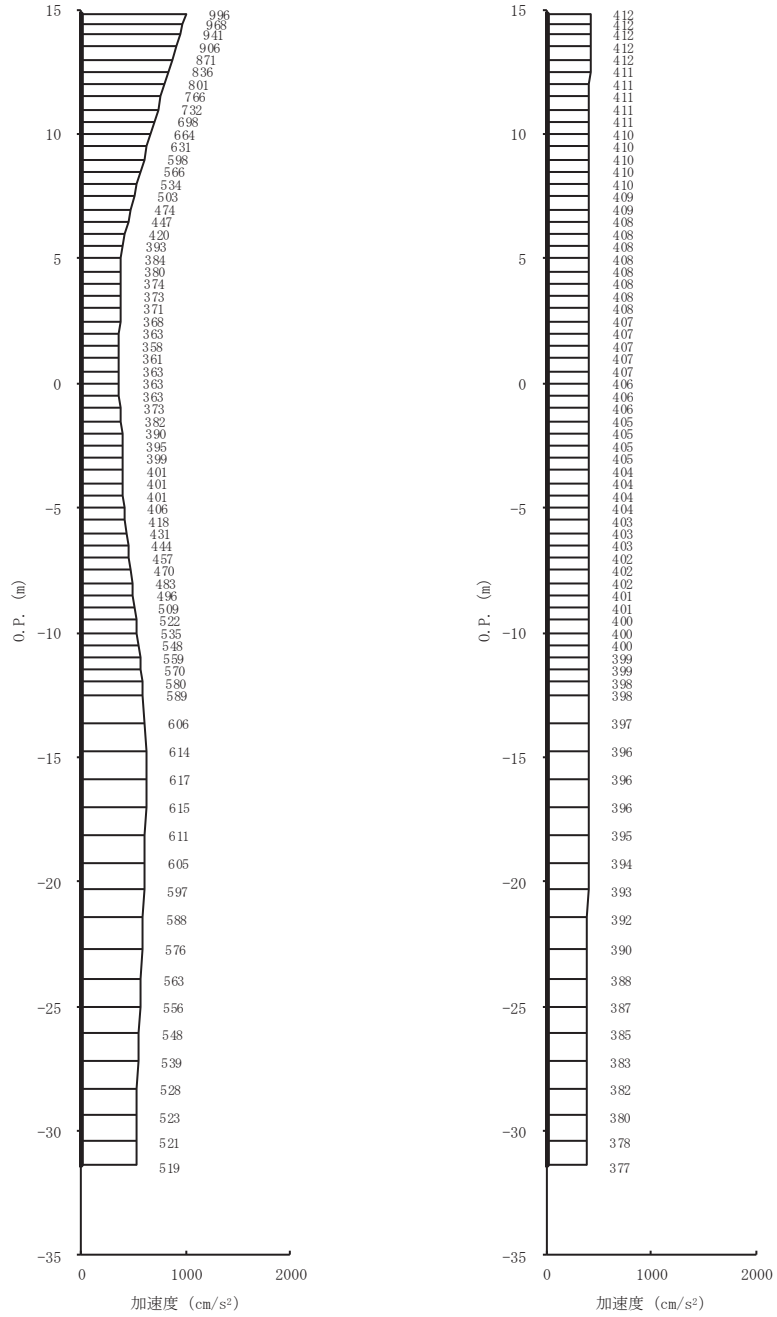


(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-9(3) 最大加速度分布図 (3/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)

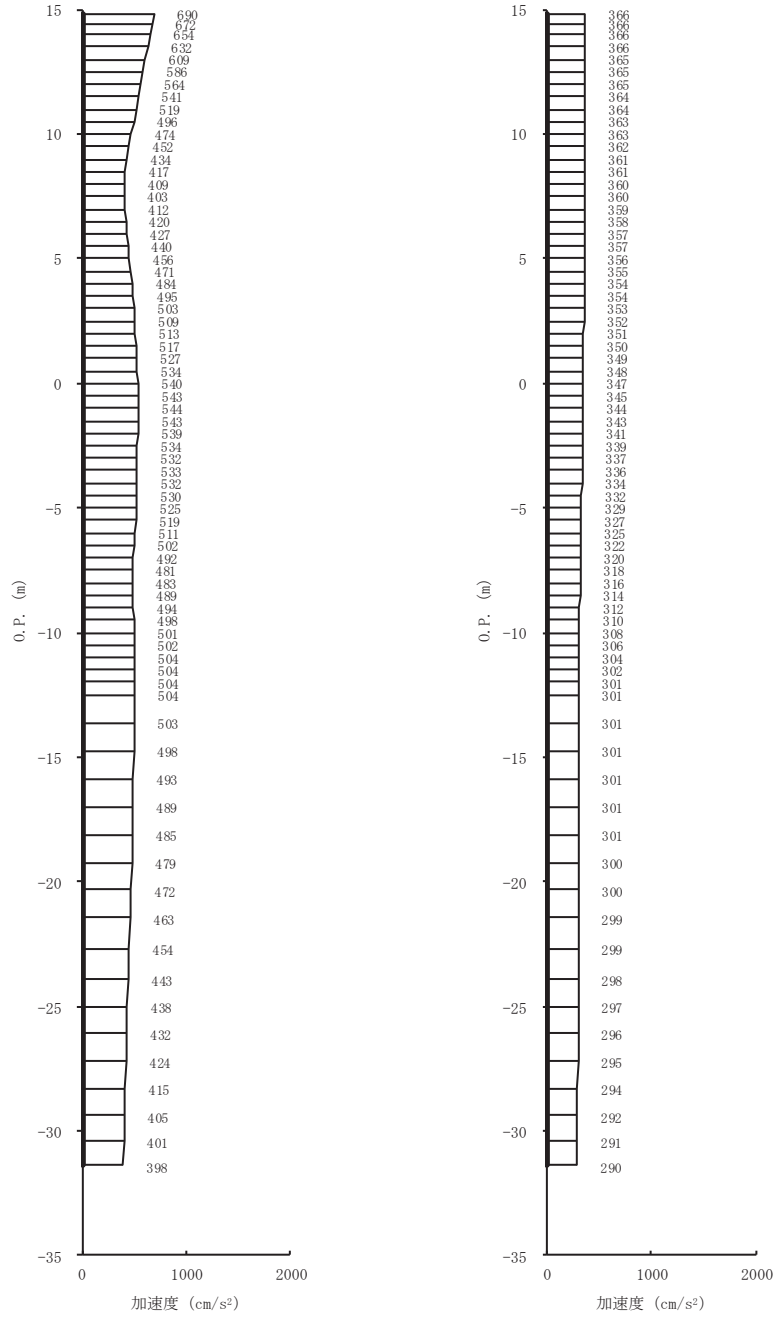


(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-9(4) 最大加速度分布図 (4/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)

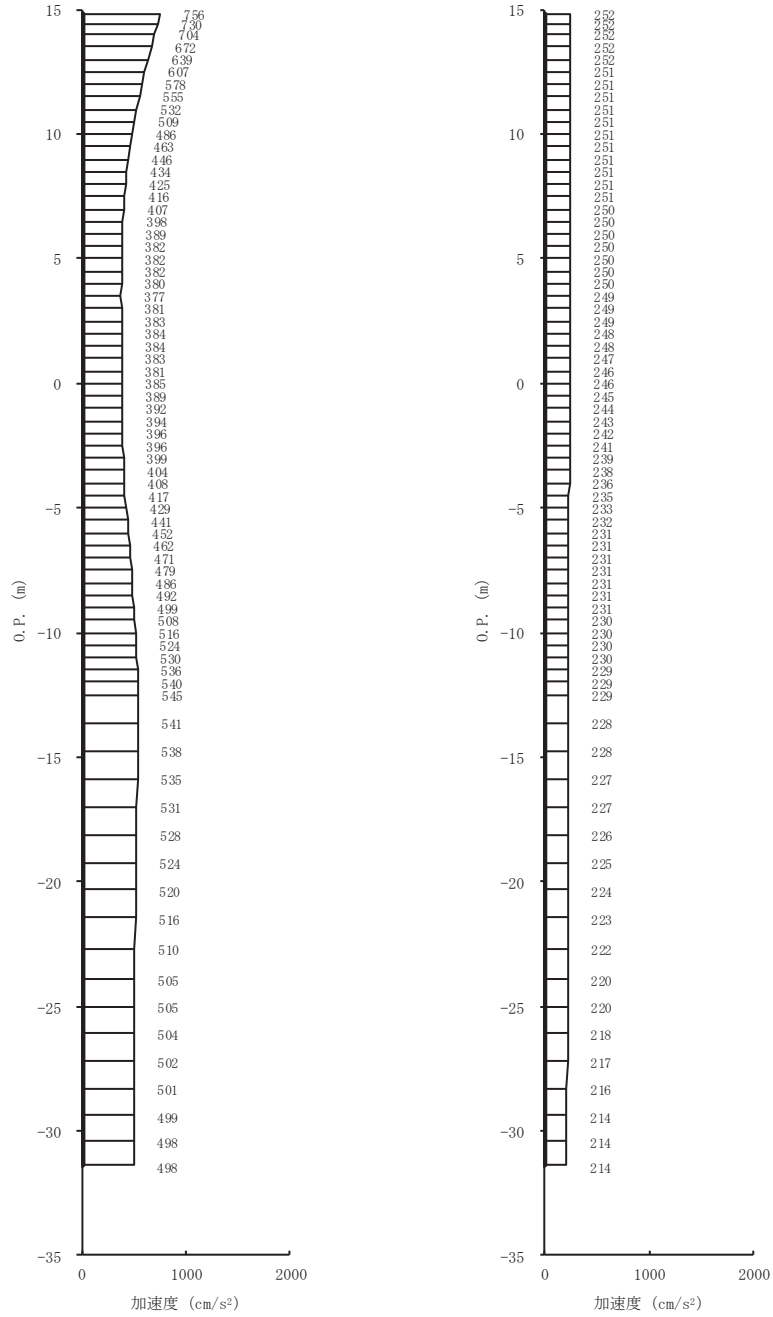




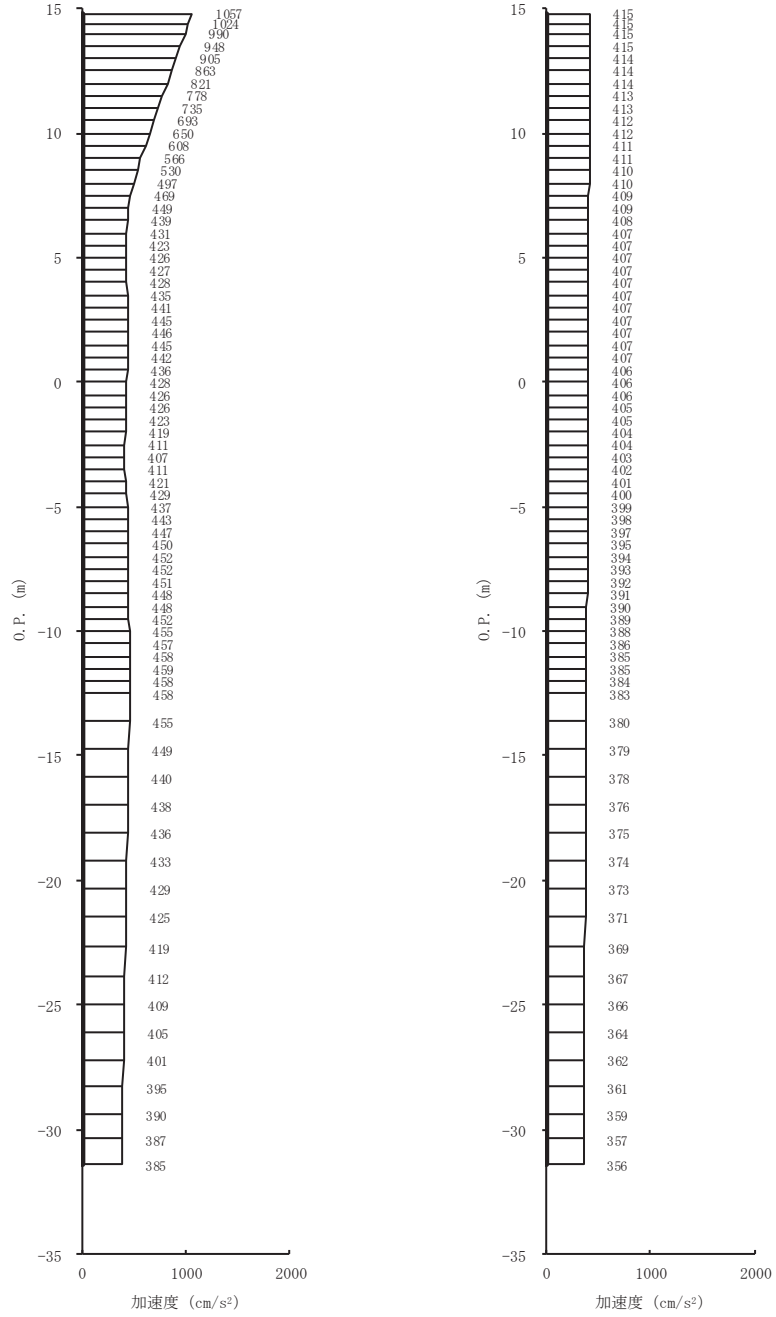
(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-9(5) 最大加速度分布図 (5/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



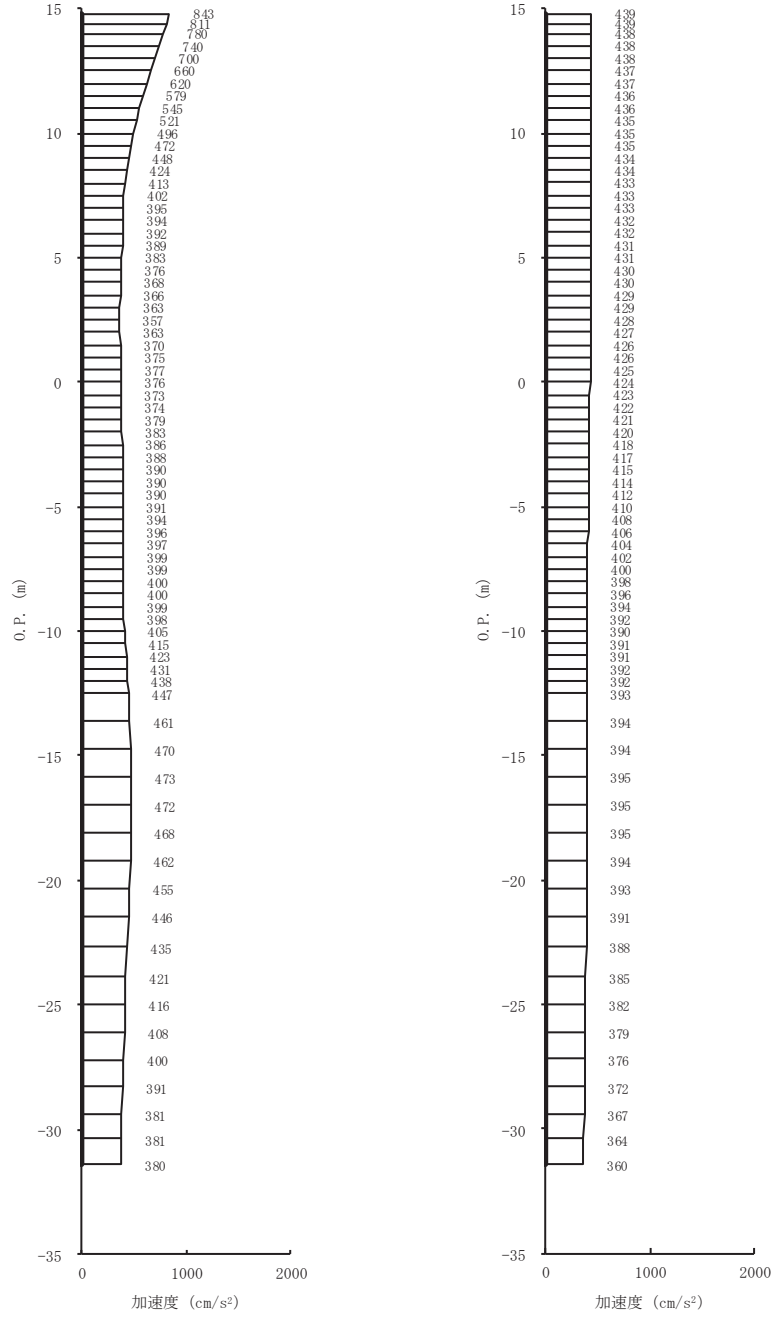
(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-9(6) 最大加速度分布図 (6/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



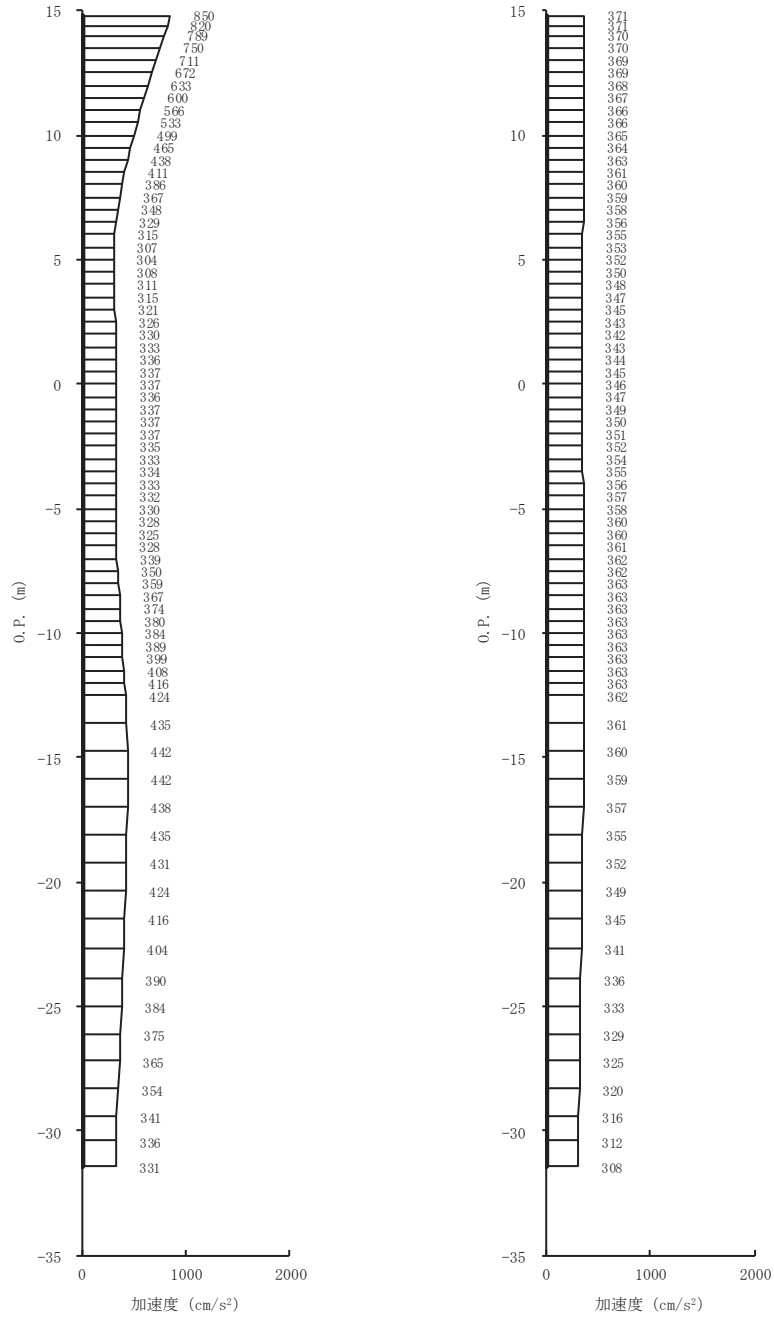
(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-9(7) 最大加速度分布図 (7/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



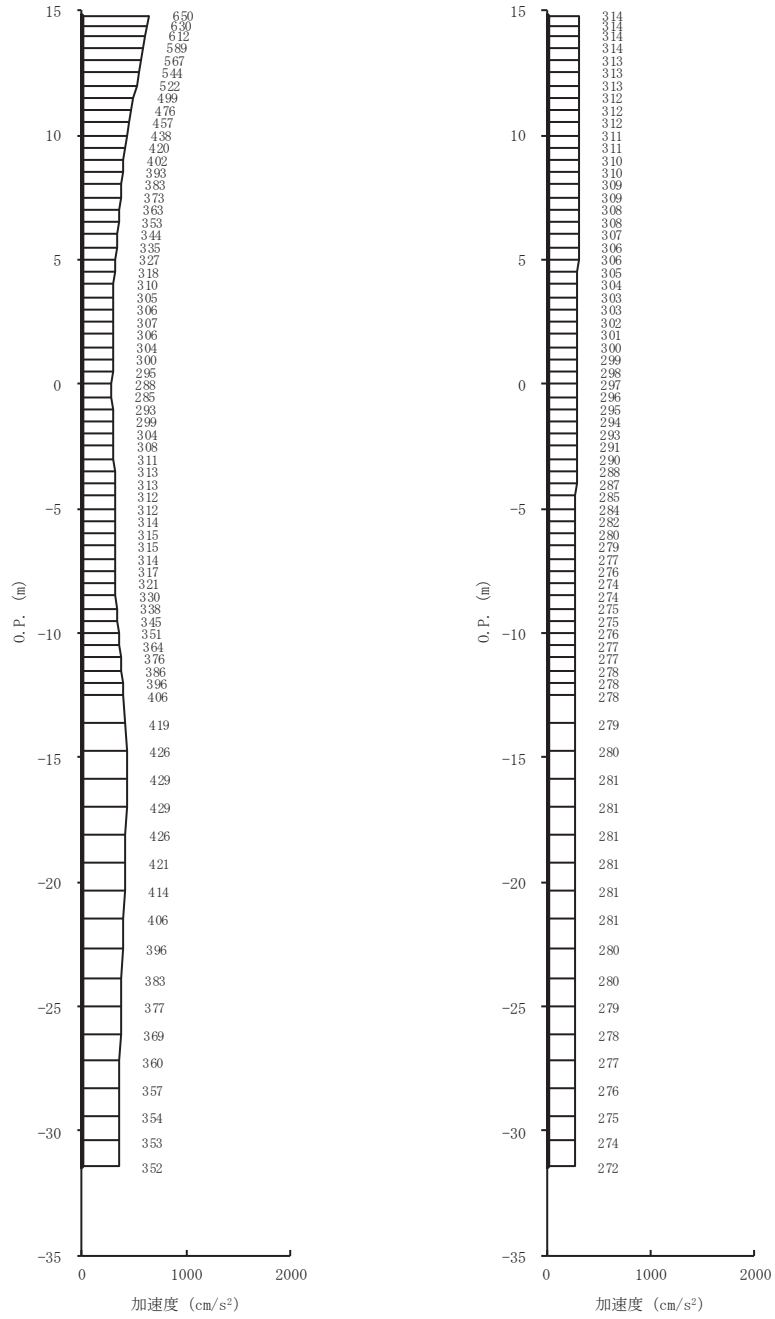
(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-9(8) 最大加速度分布図 (8/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



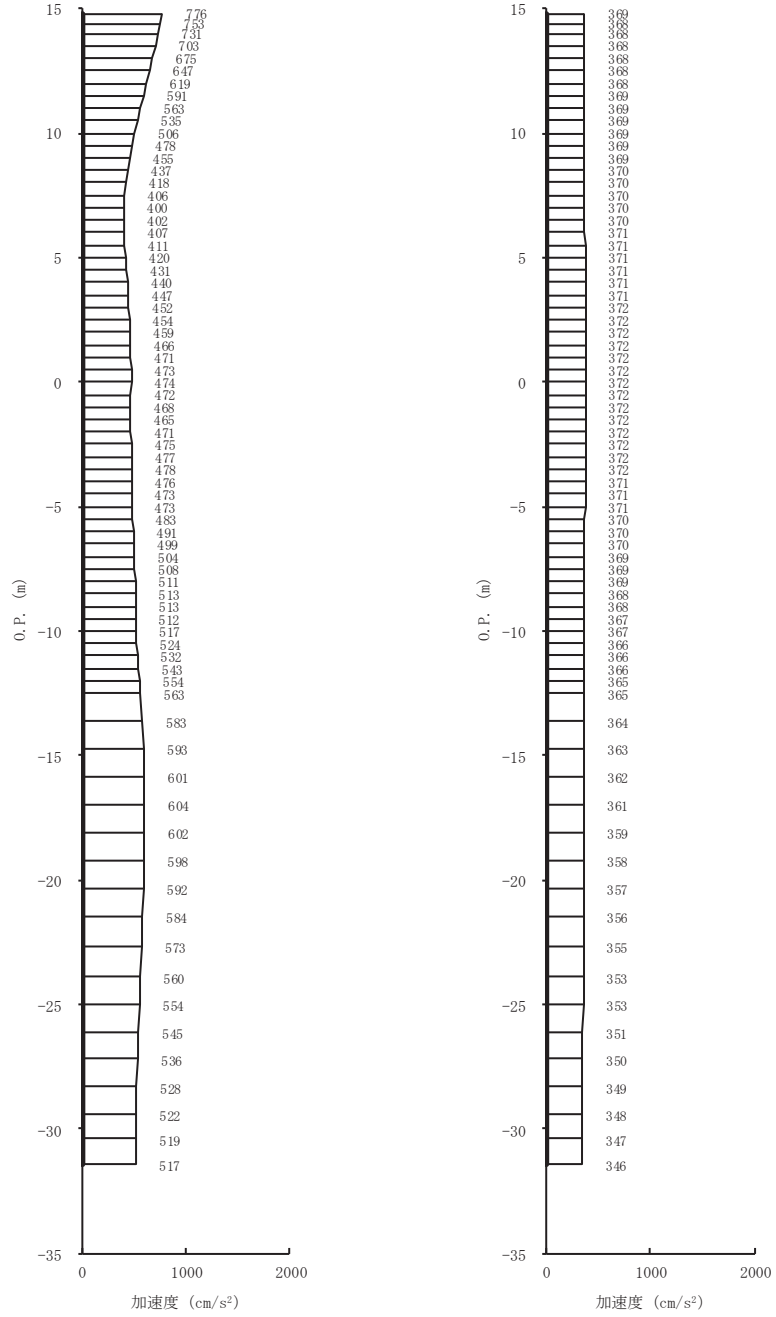
(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-9(9) 最大加速度分布図 (9/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-9(10) 最大加速度分布図 (10/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



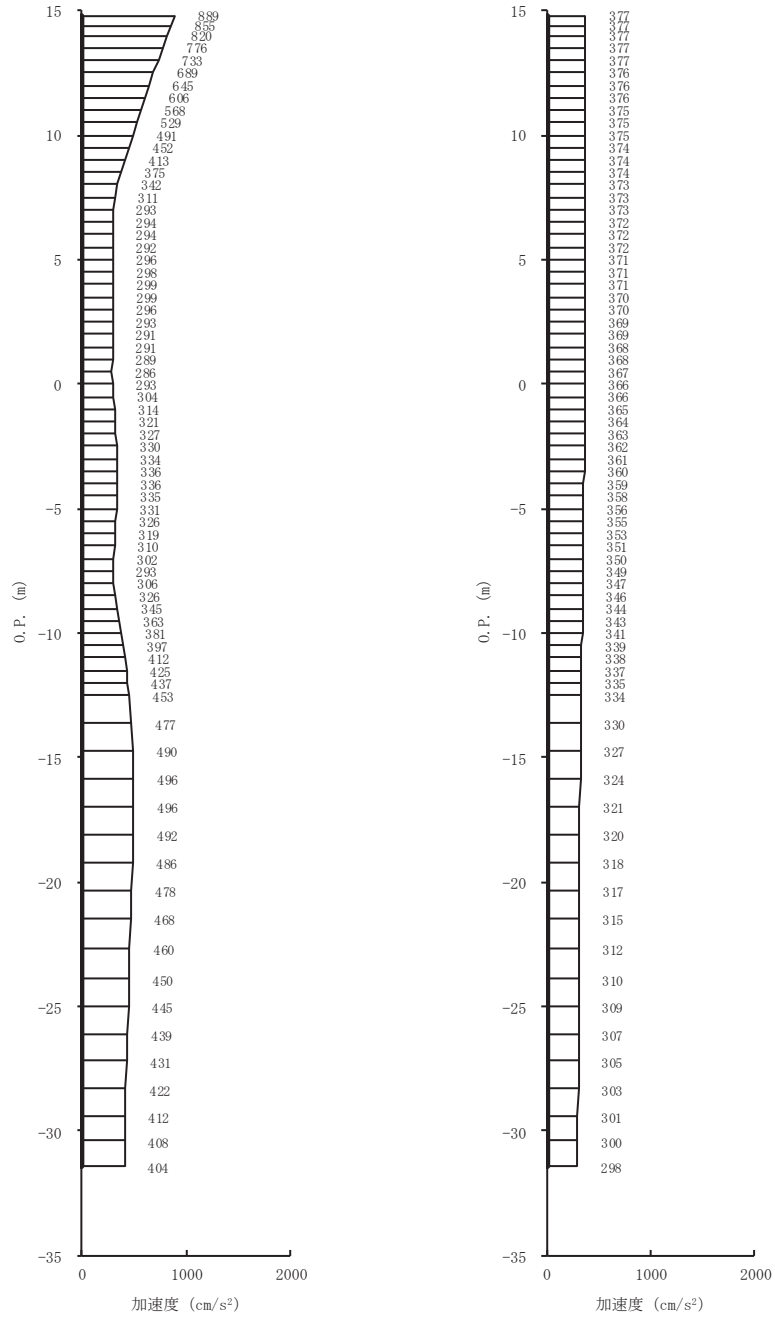
(a) S s - F 1 (-+) 水平 (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-9(11) 最大加速度分布図 (11/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直

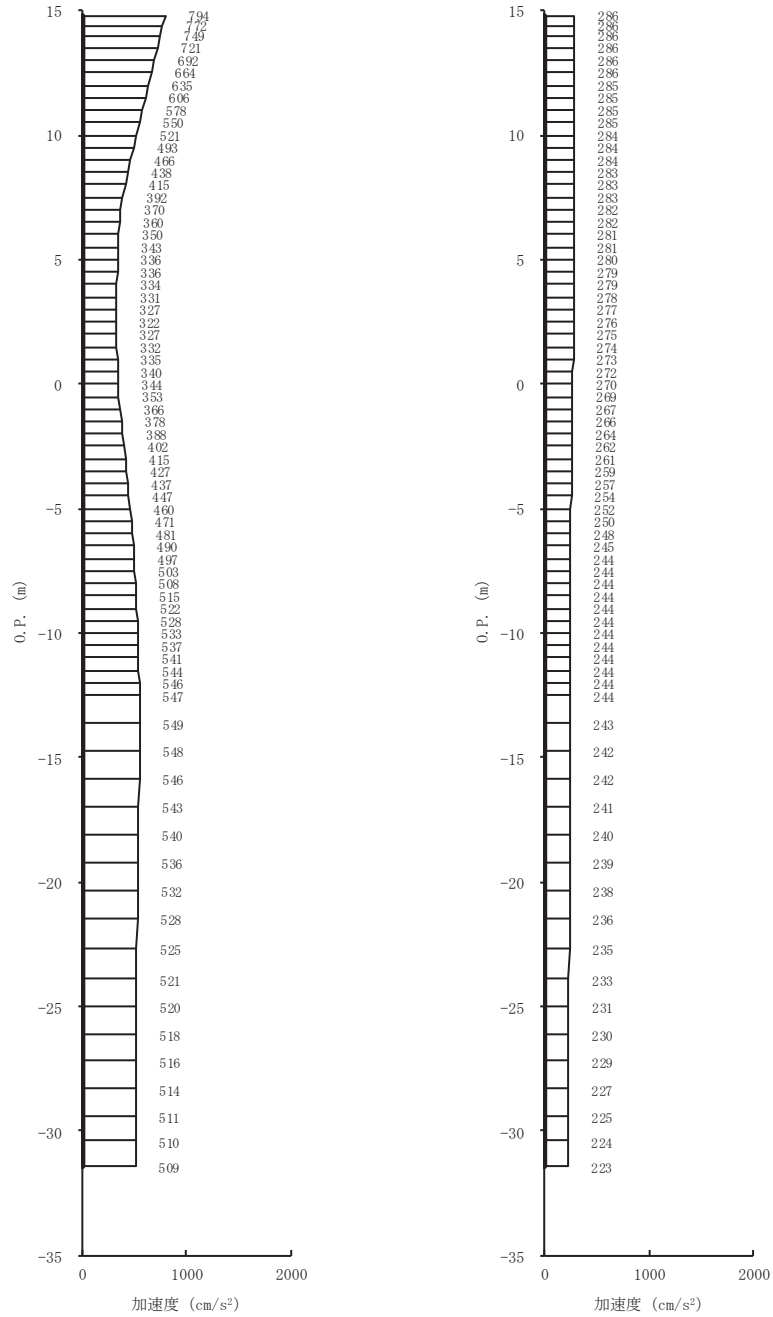
図 4-9(12) 最大加速度分布図 (12/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)





(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直

図 4-9(13) 最大加速度分布図 (13/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)

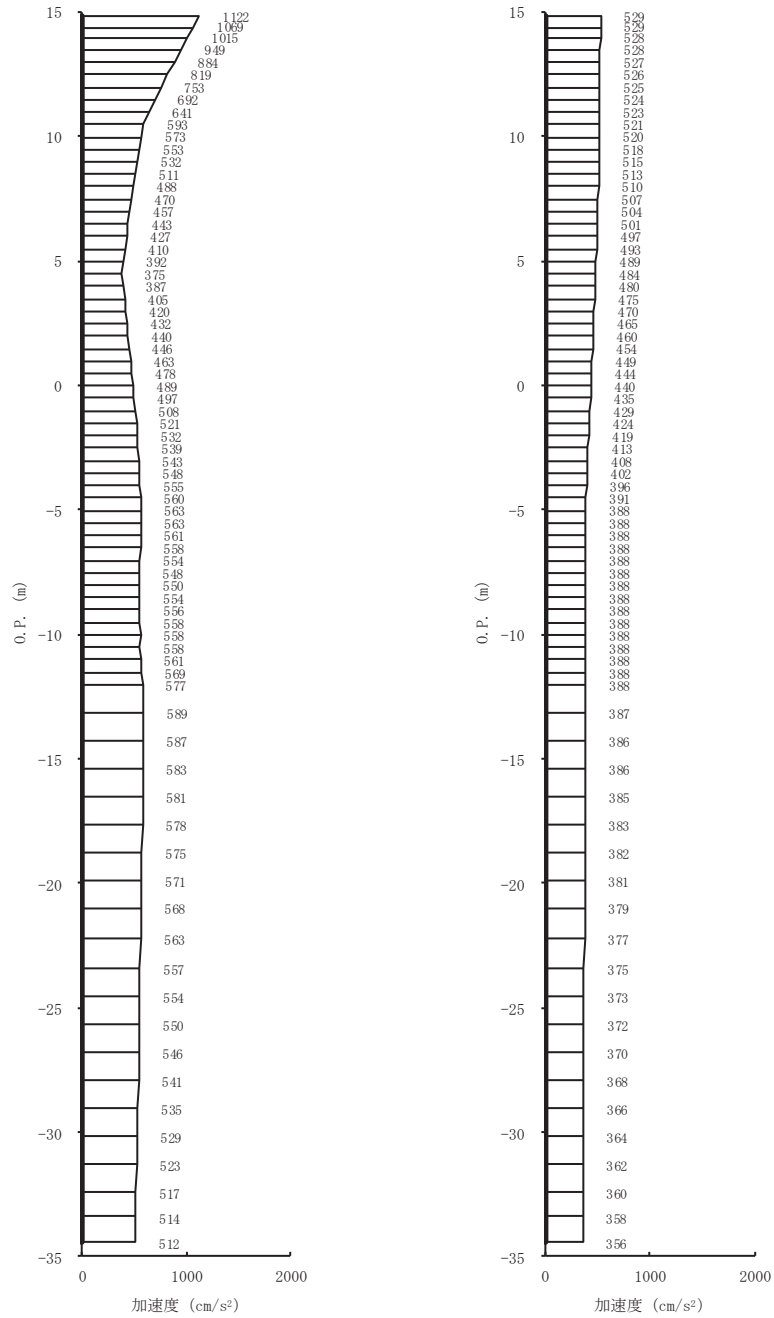


(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-9(14) 最大加速度分布図 (14/14) (No. 3 揚水井戸, 解析ケース⑤)

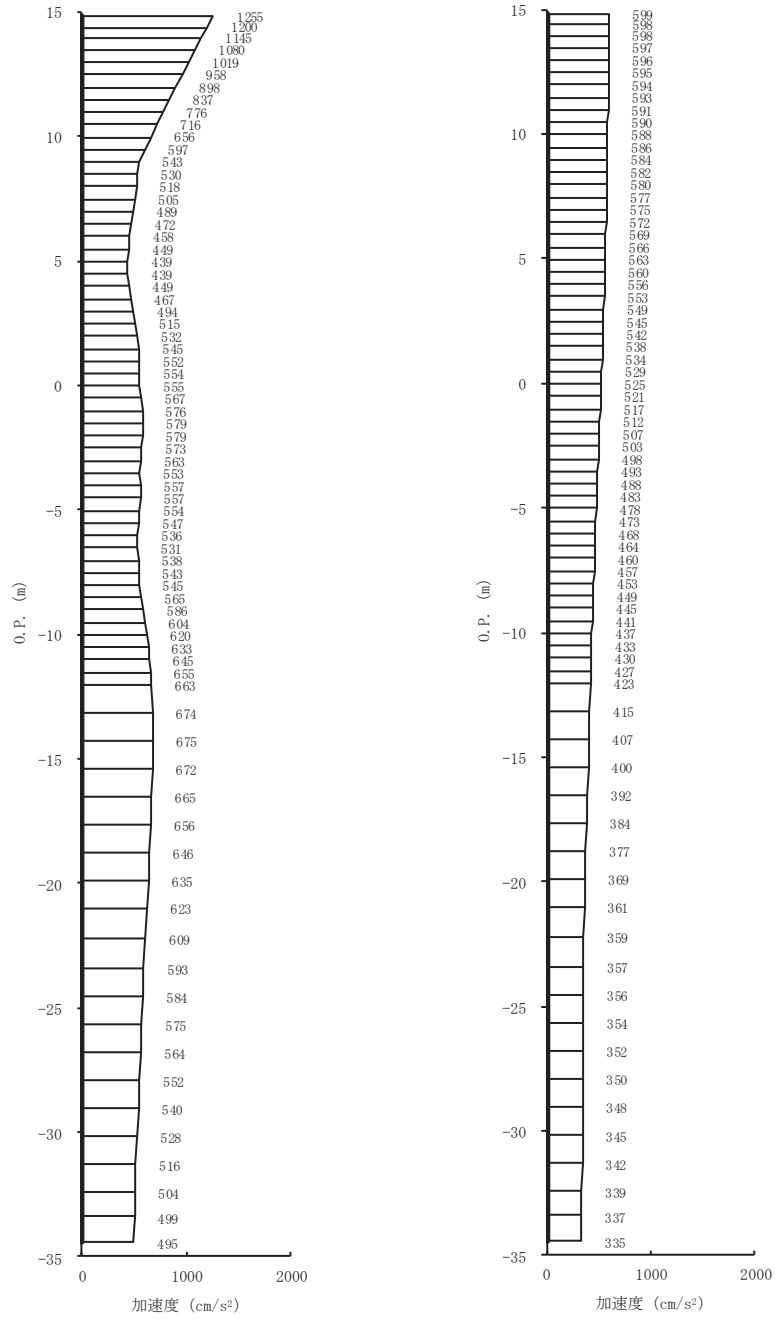
4.4 No.4 揚水井戸

(1) 全応力解析

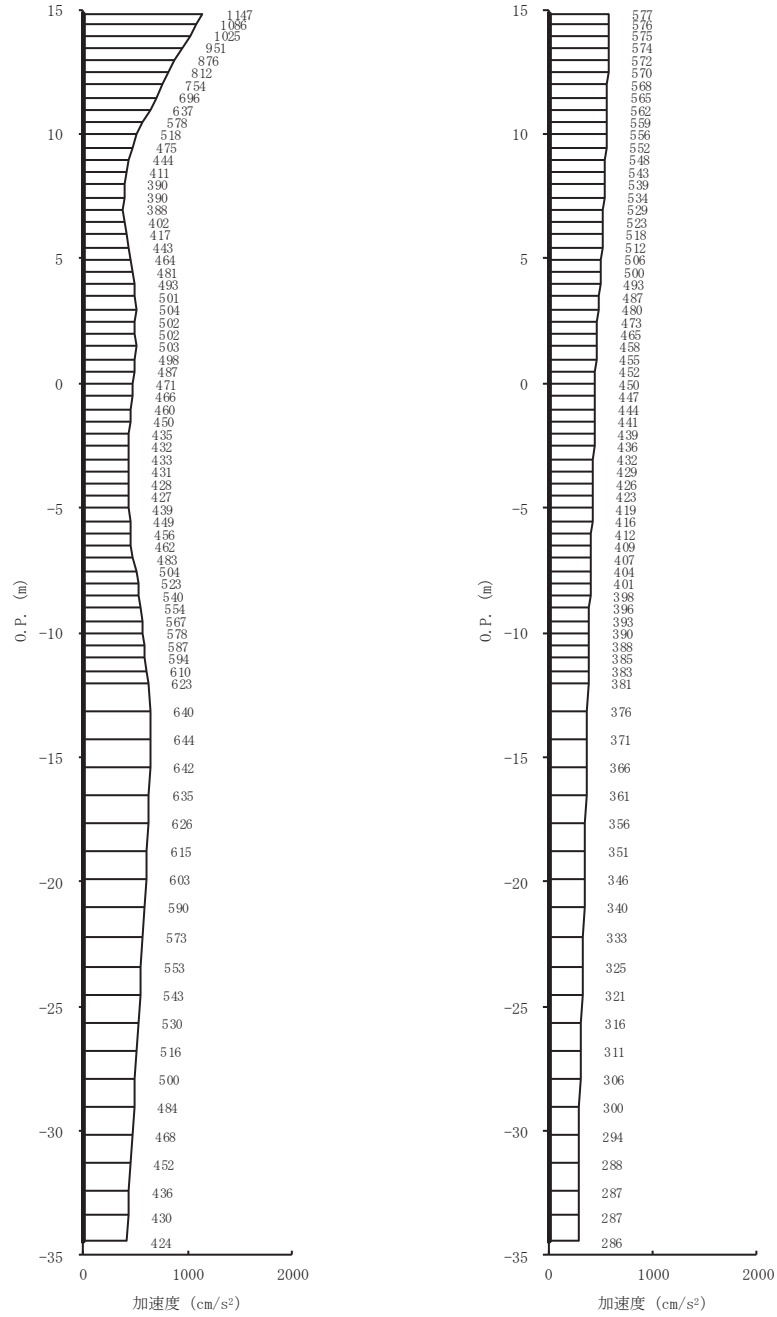
全応力解析結果のうち、解析ケース①～④についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-10（地震動の位相：++），図 4-11（地震動の位相：-+）に示す。



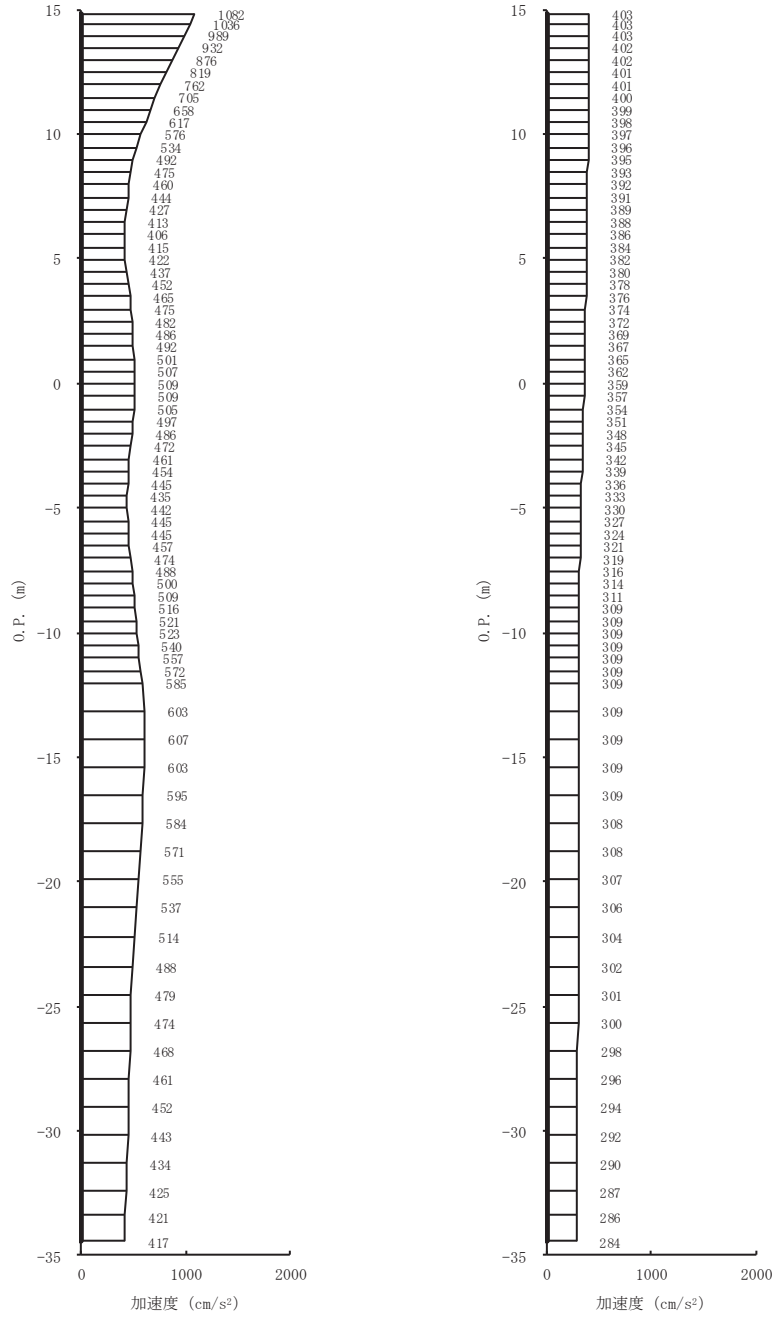
(a)  $S_s - D 1$  (++) 水平 (b)  $S_s - D 1$  (++) 鉛直  
 図 4-10(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



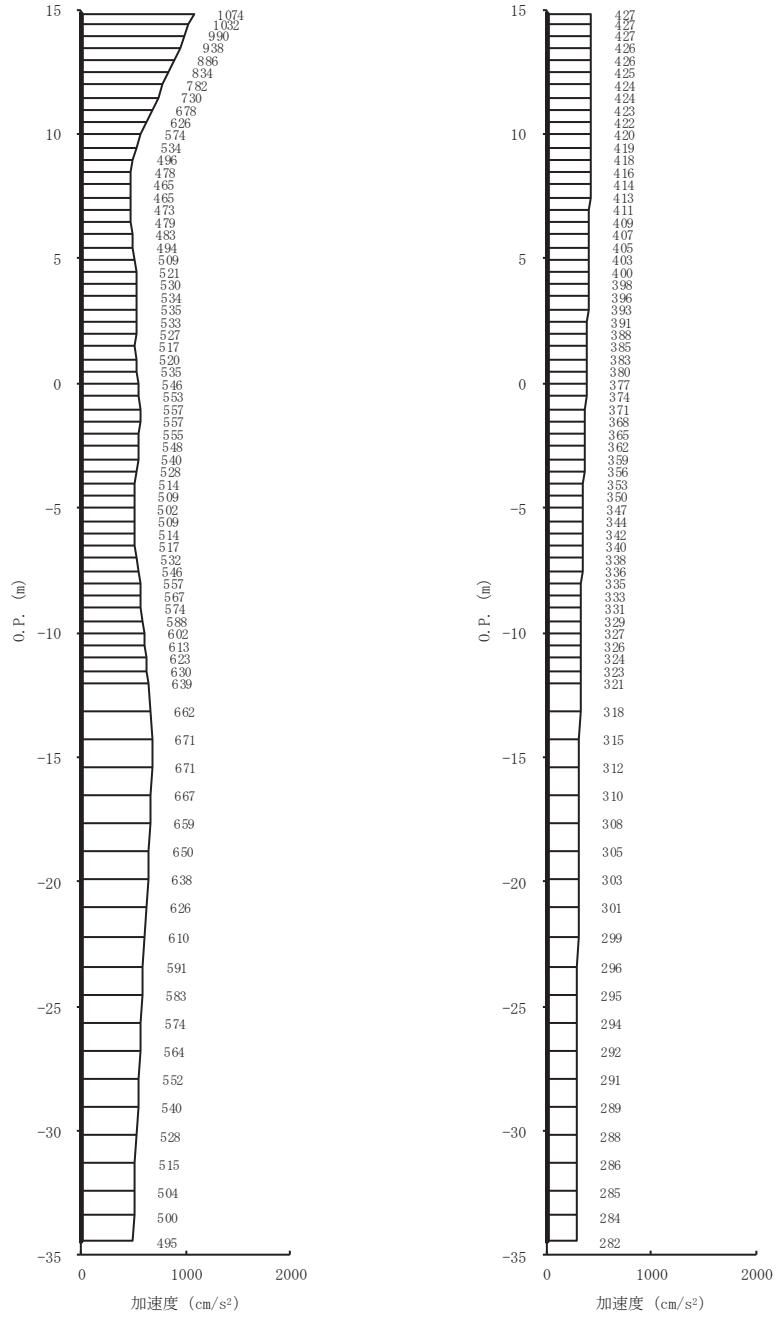
(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



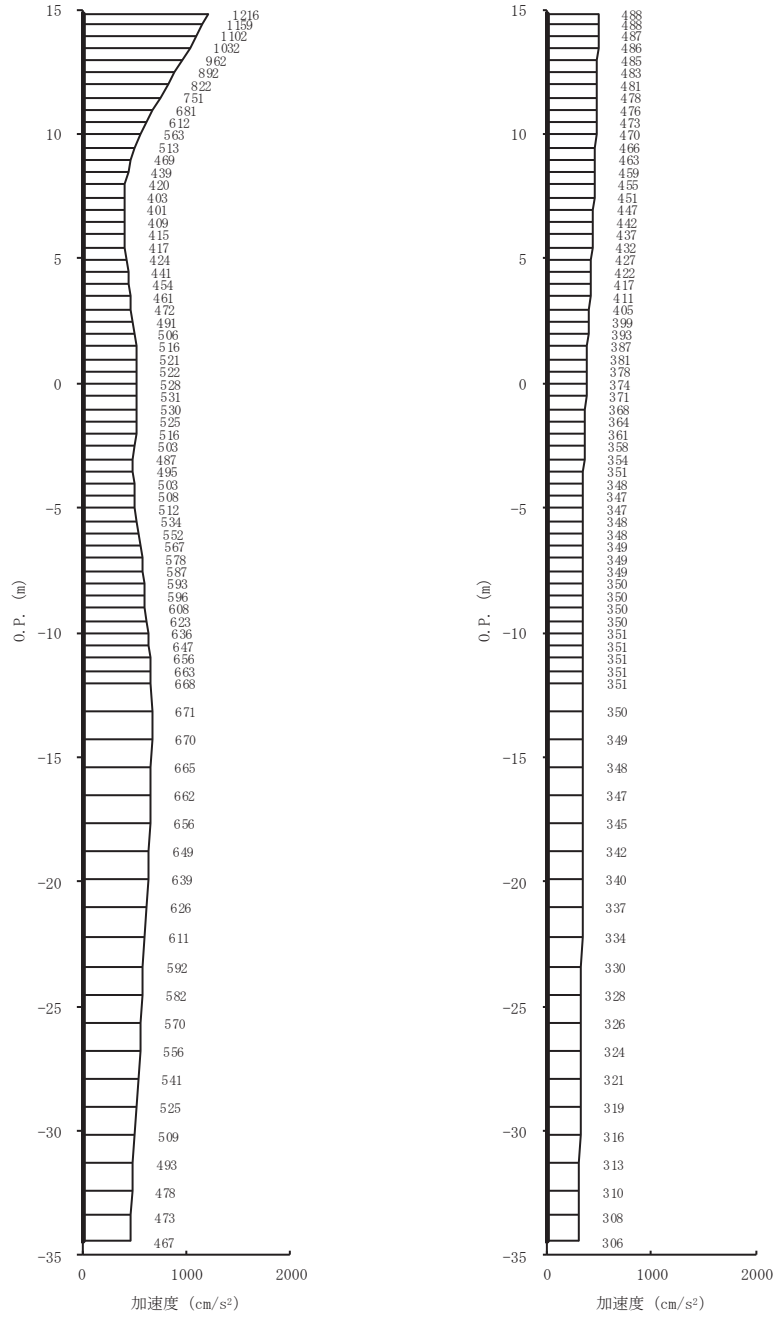
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)

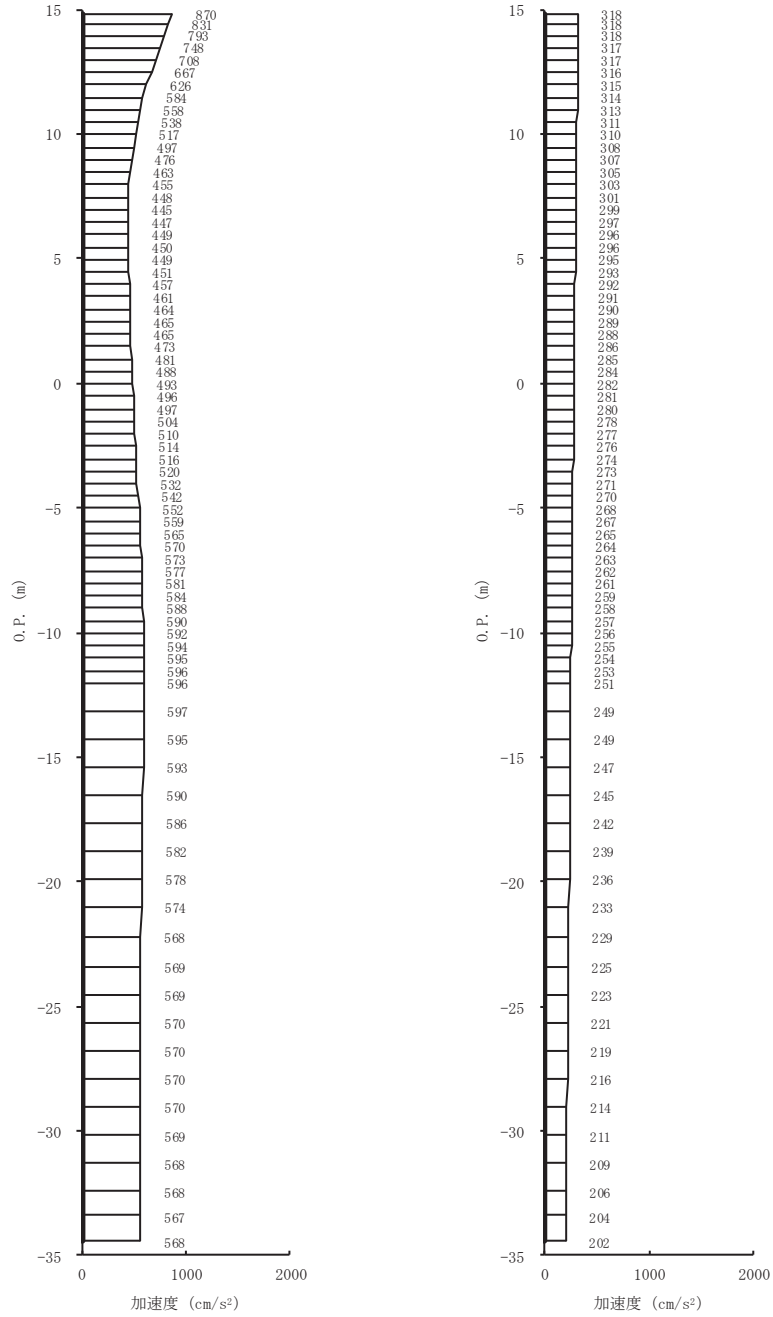


(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)

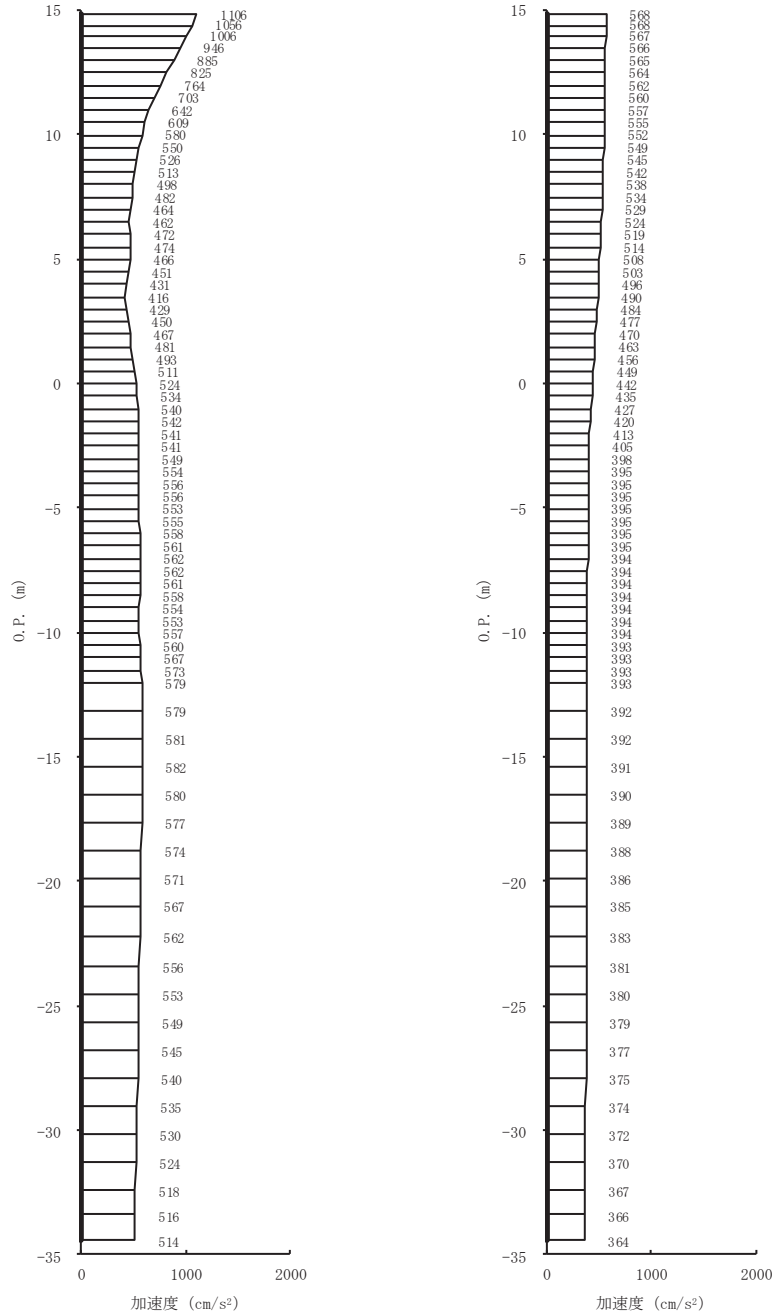


(a) S s - F 3 (++) 水平 (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)

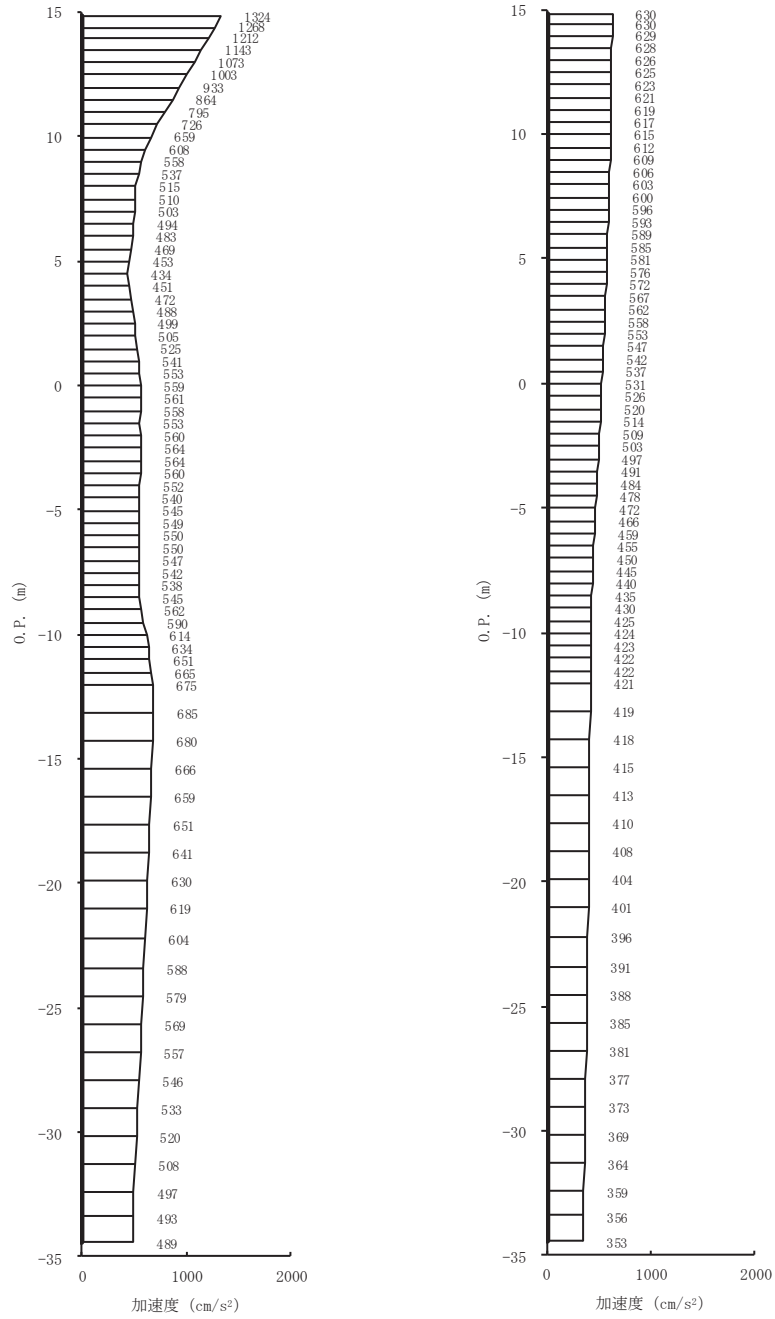




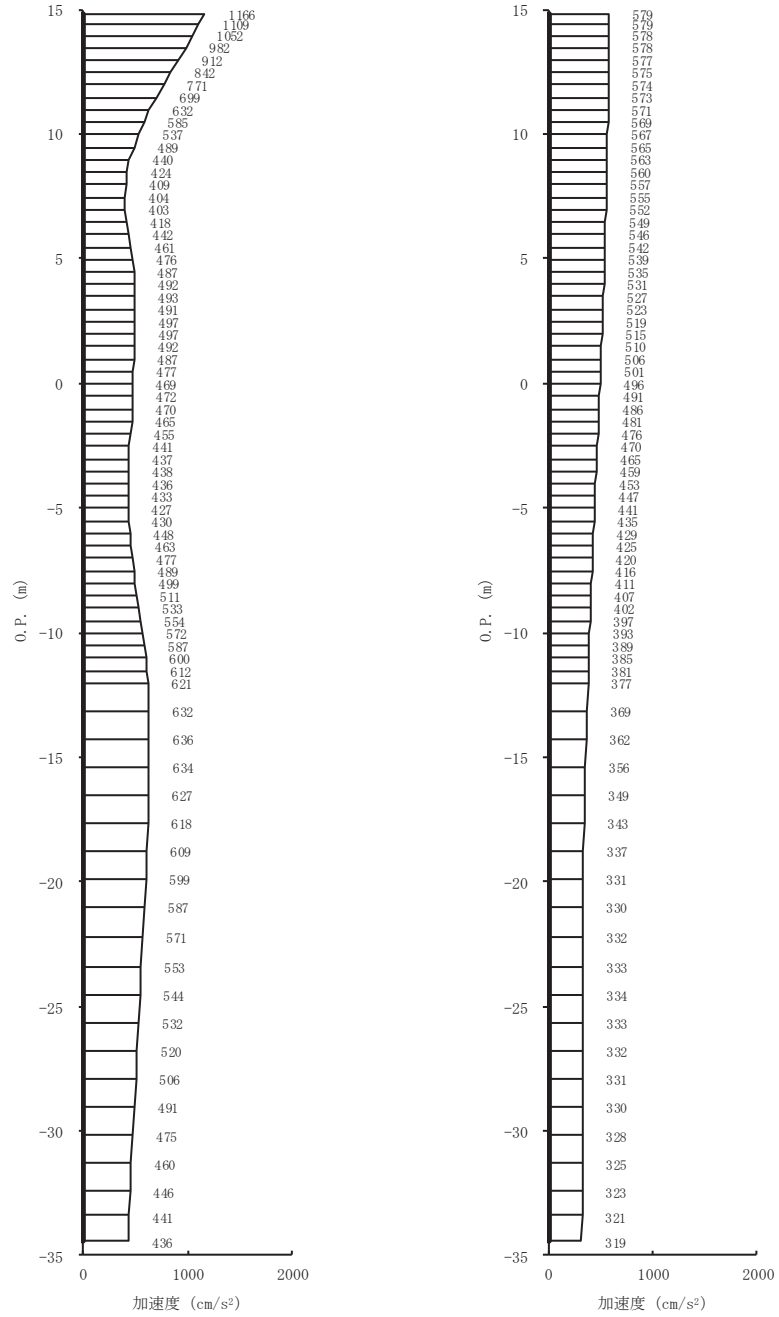
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



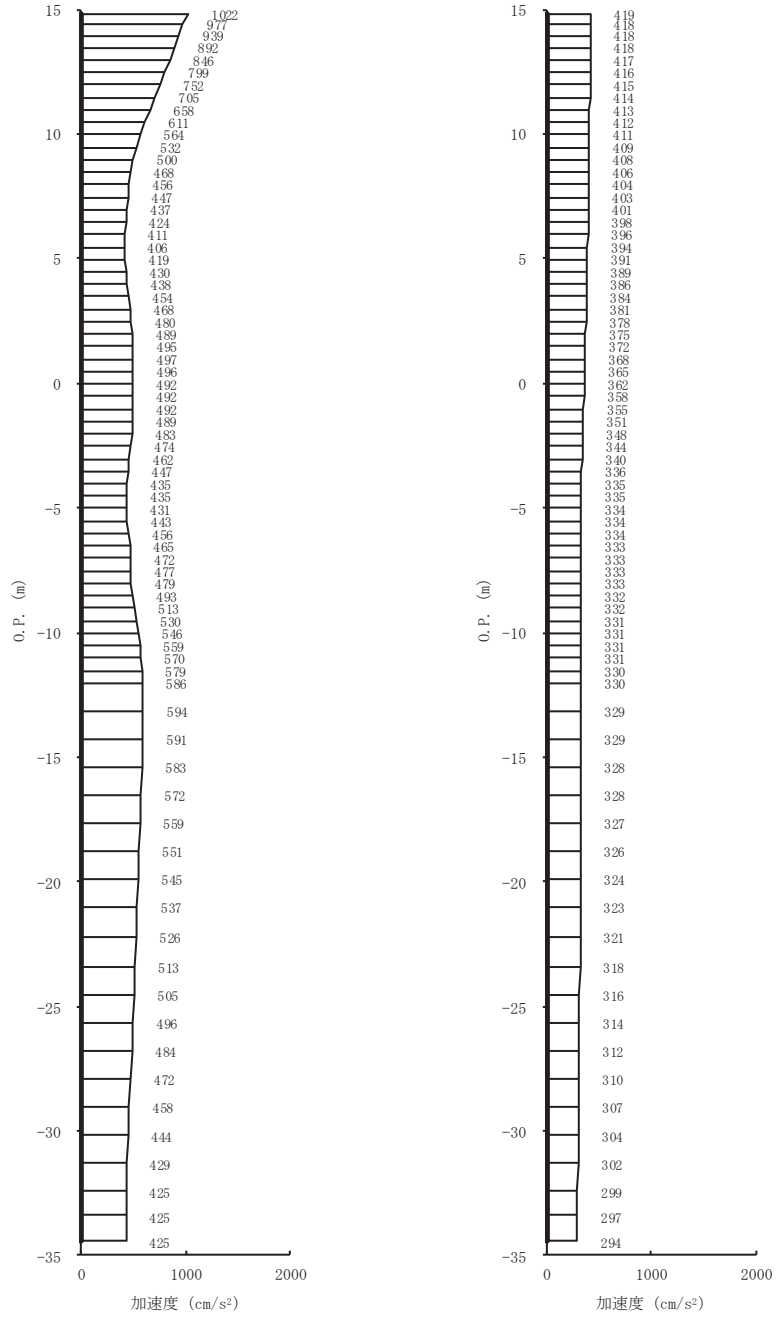
(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



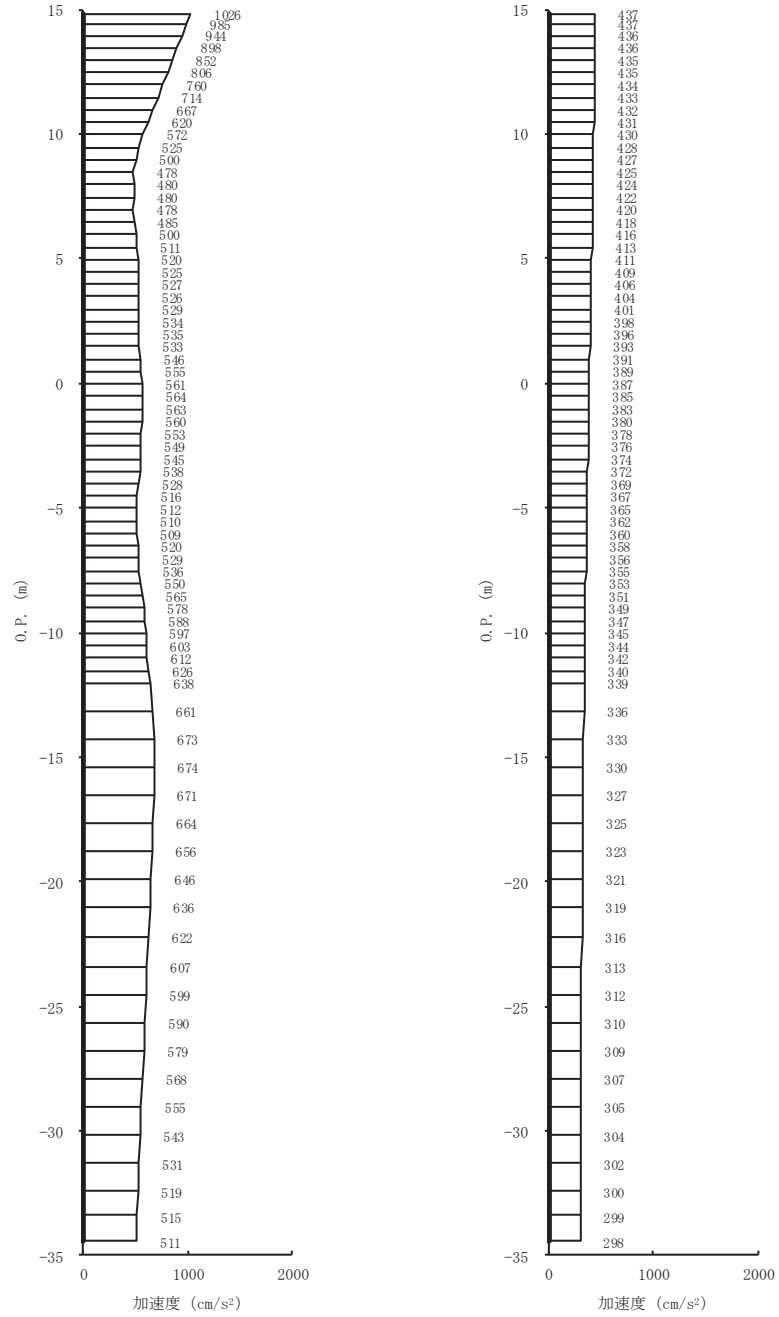
(a) S s - D 2 (++) 水平 (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



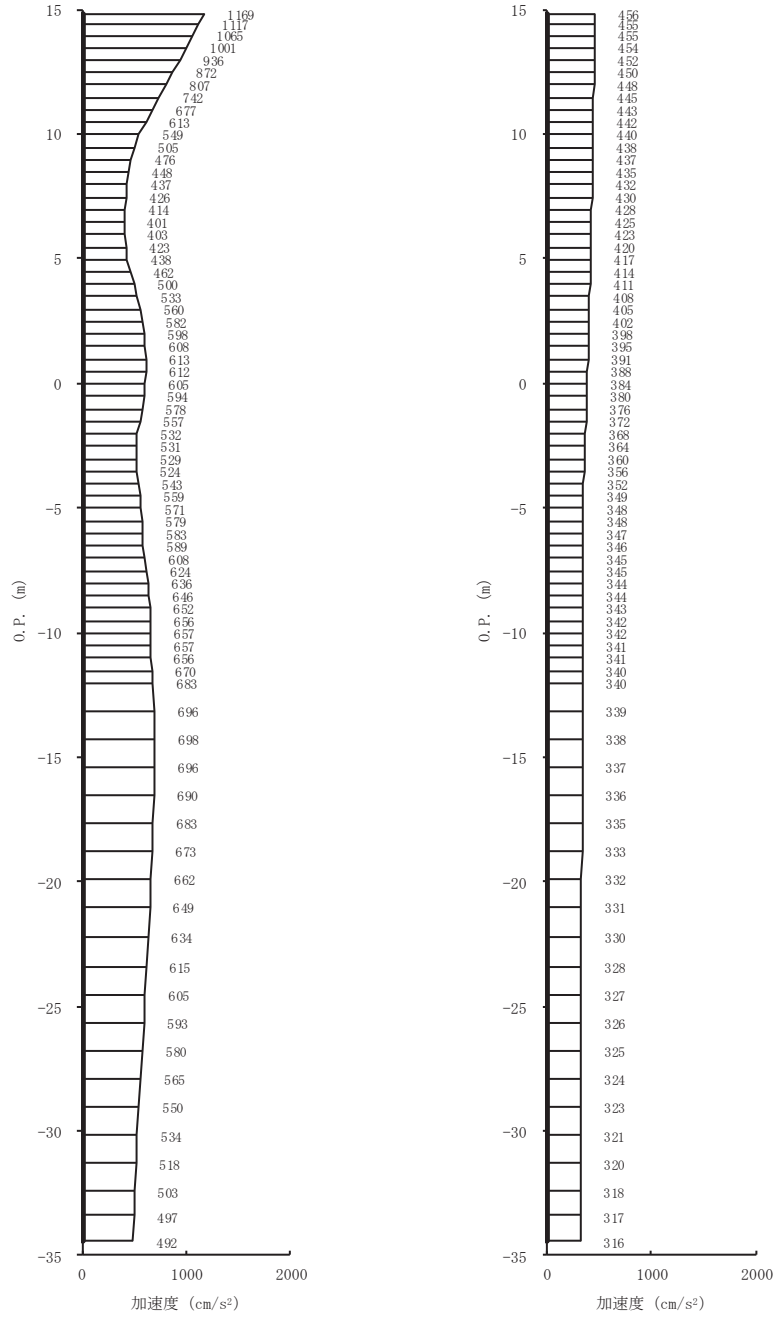
(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



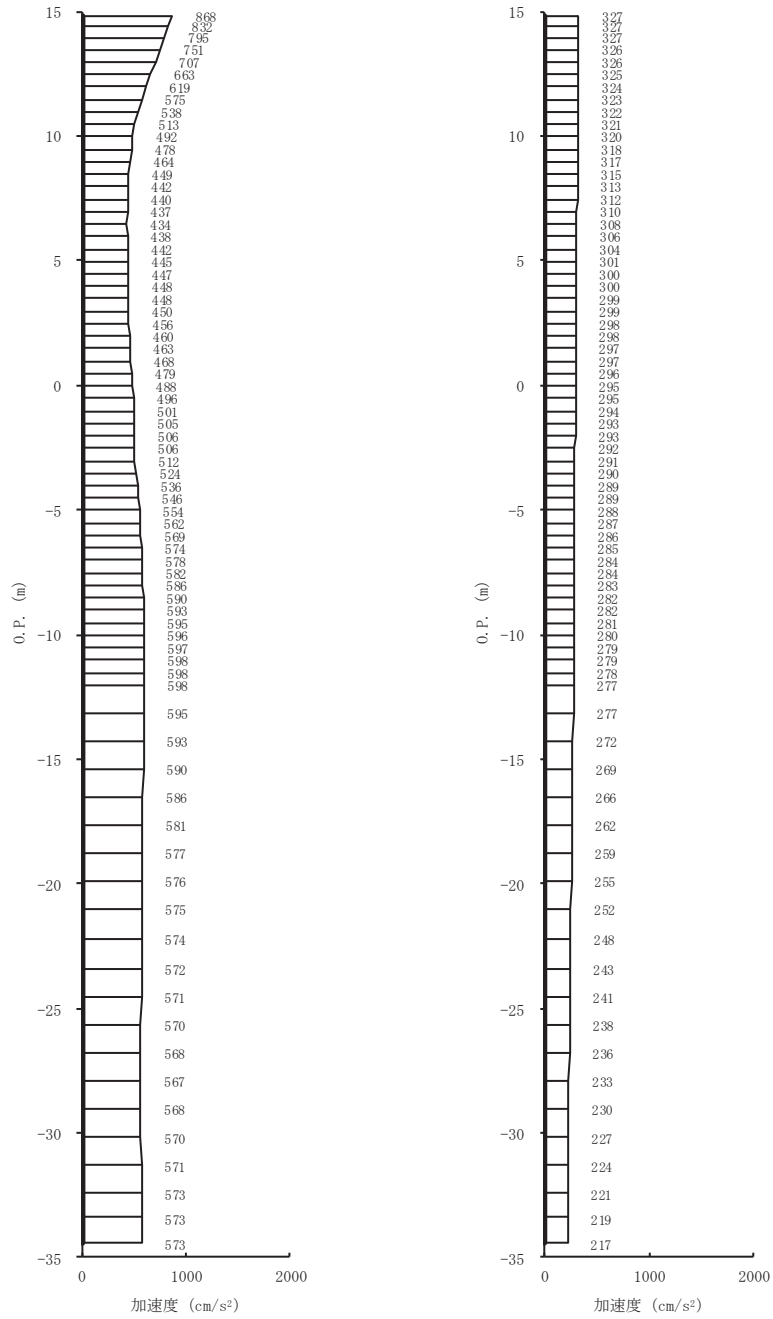
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)

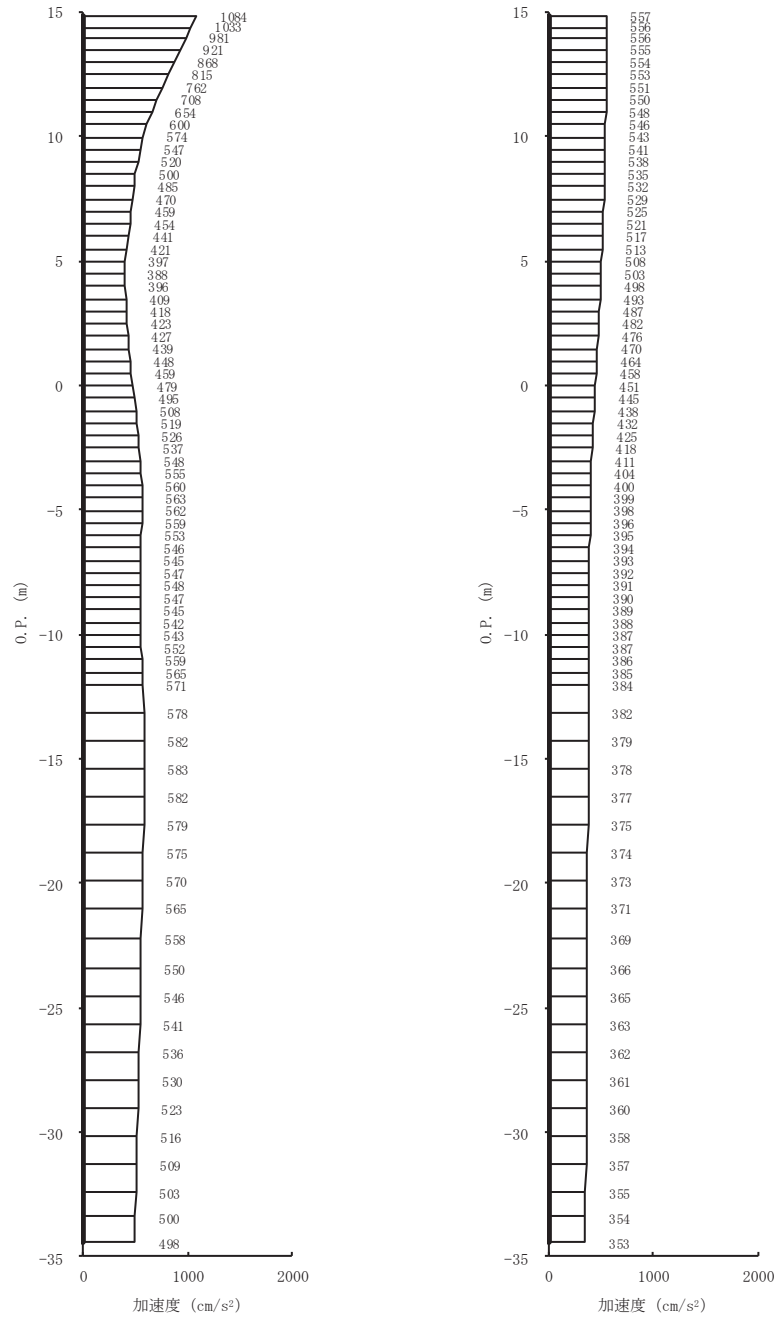


(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)

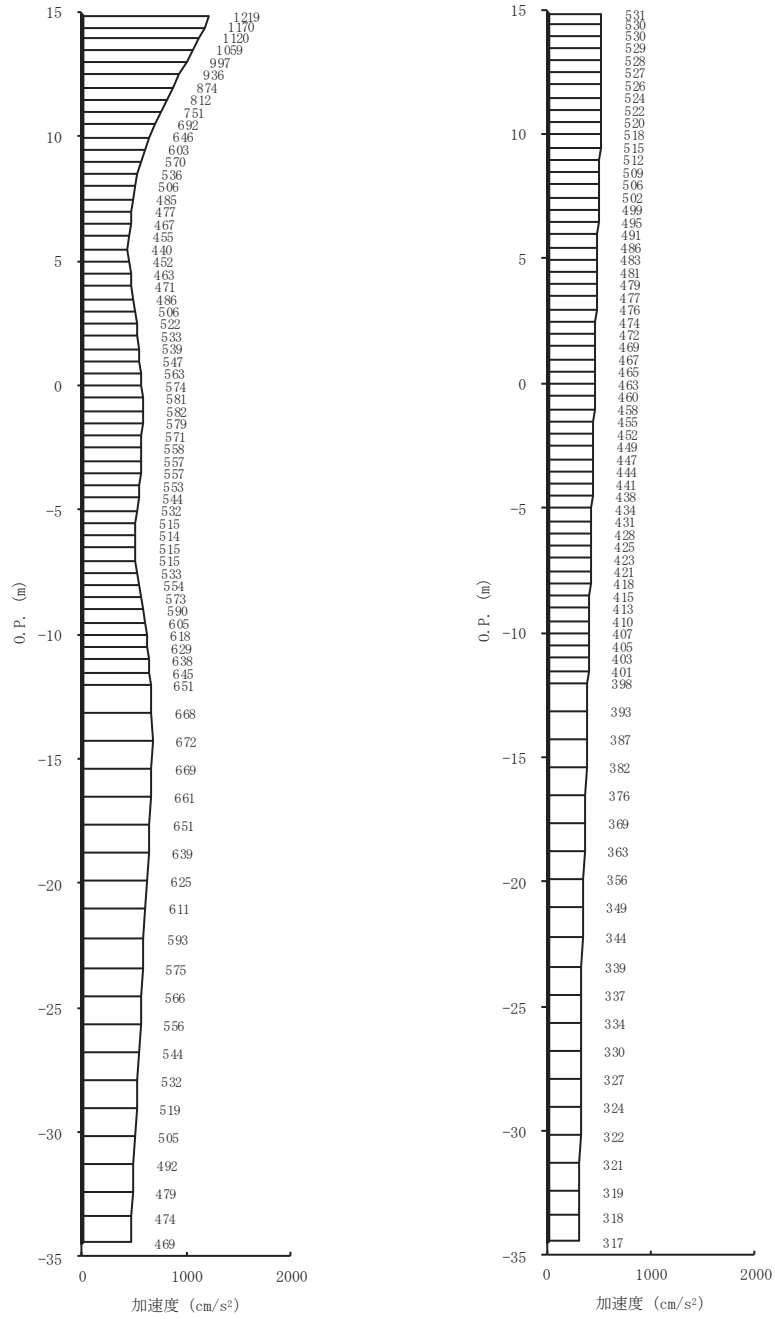


(a) S s - N 1 (++) 水平 (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)

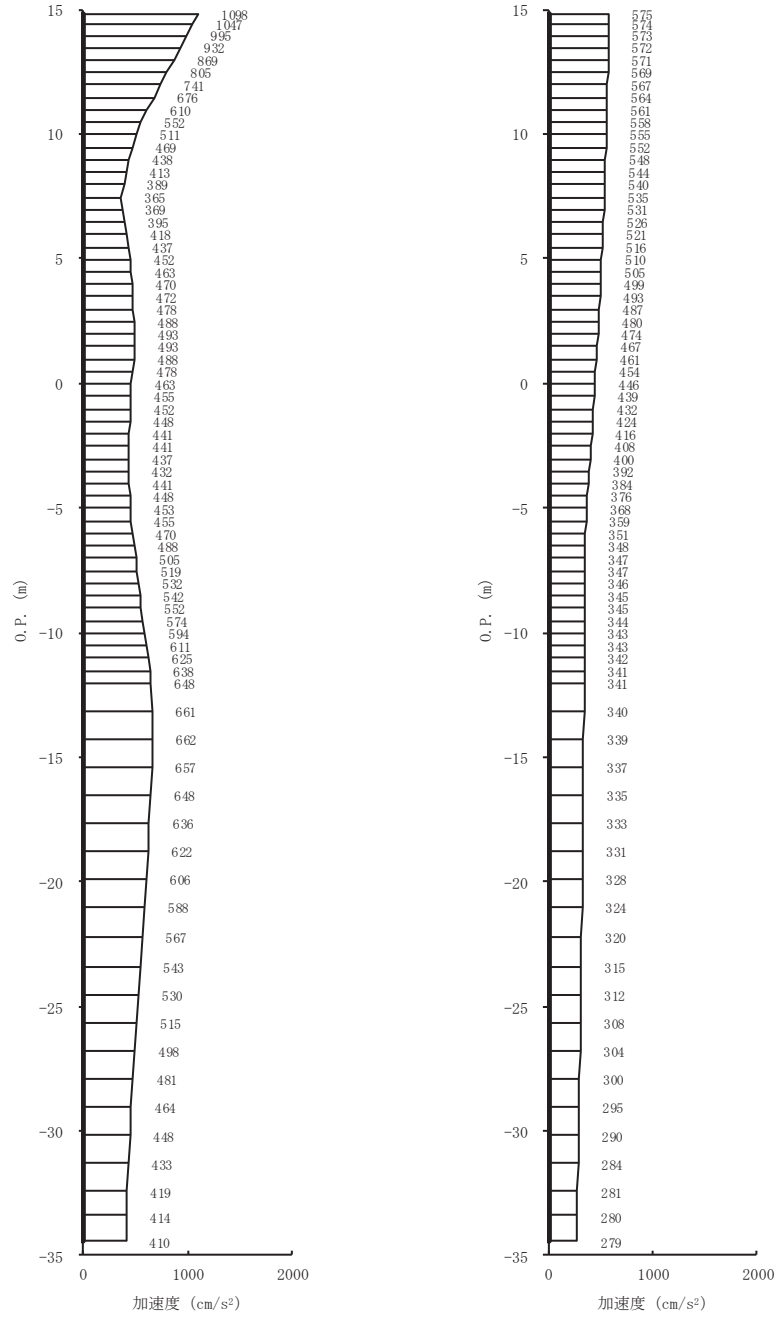




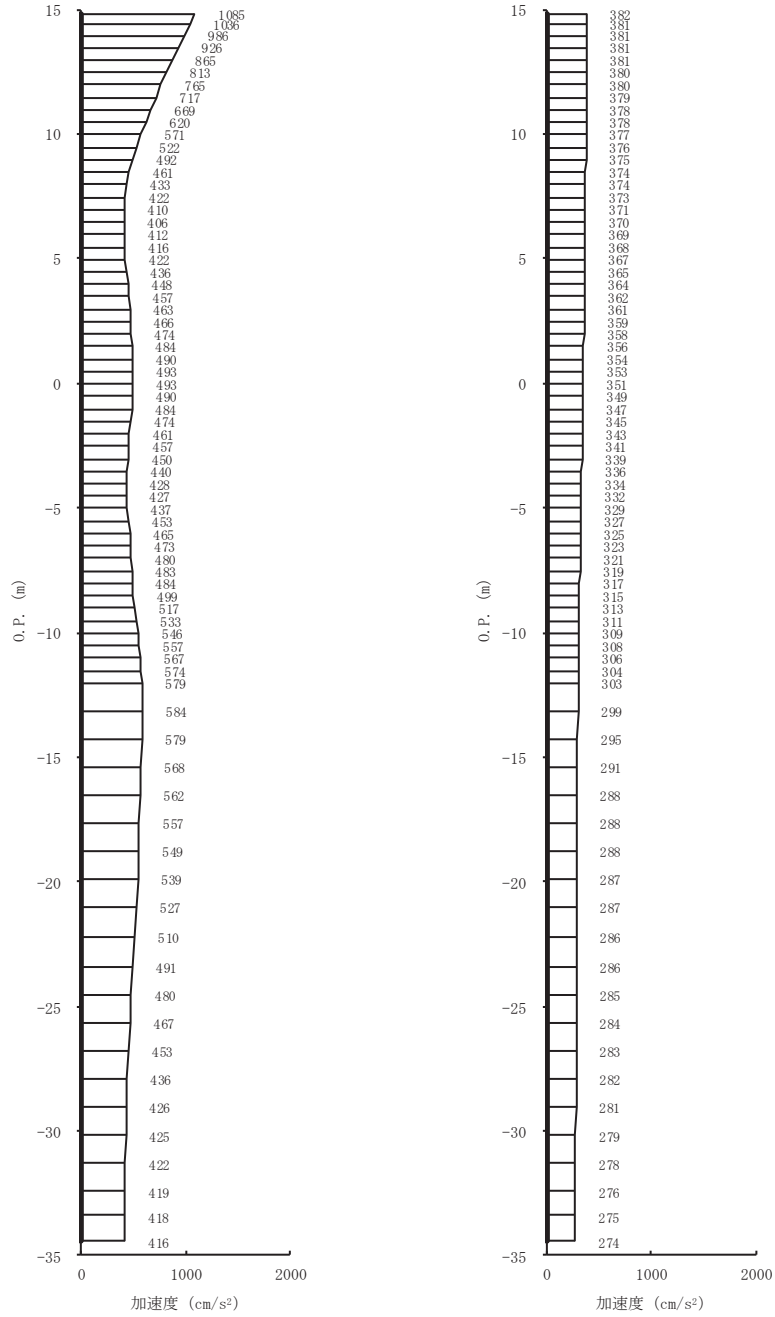
(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



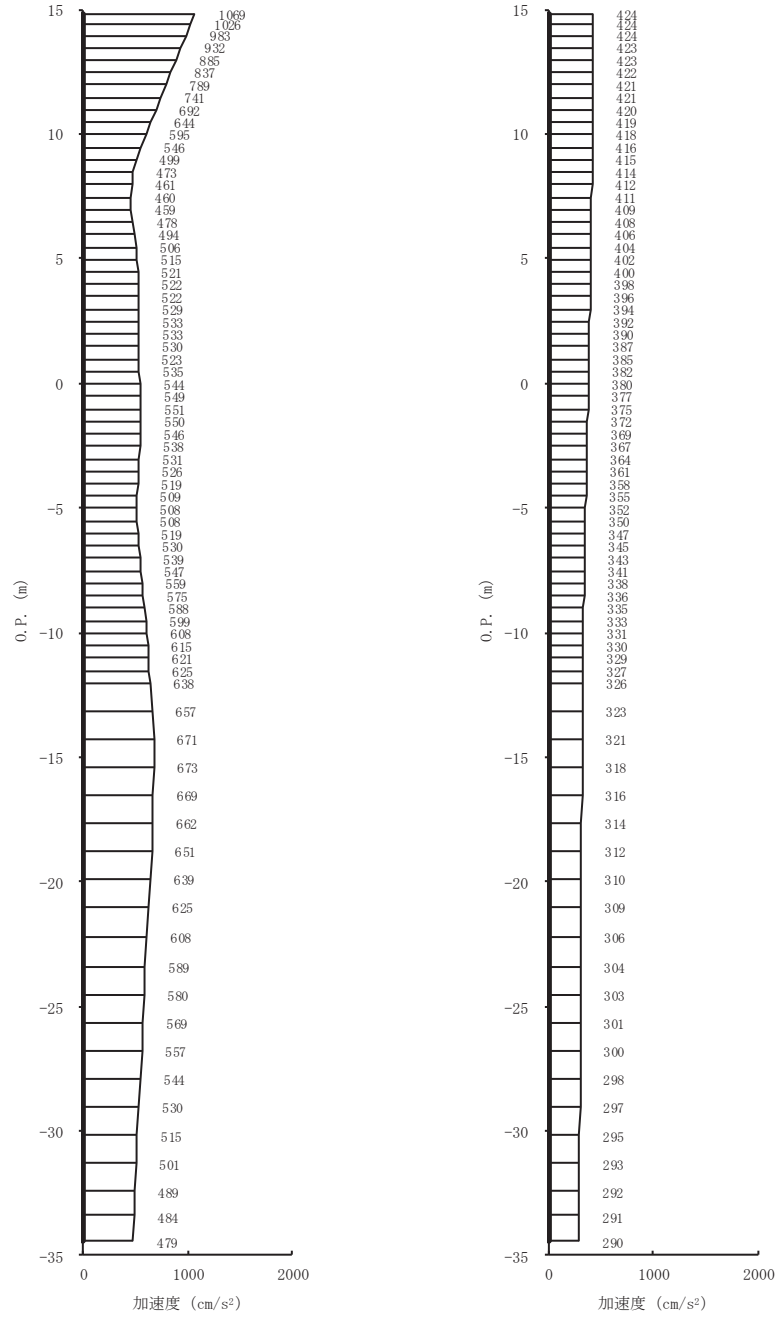
(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



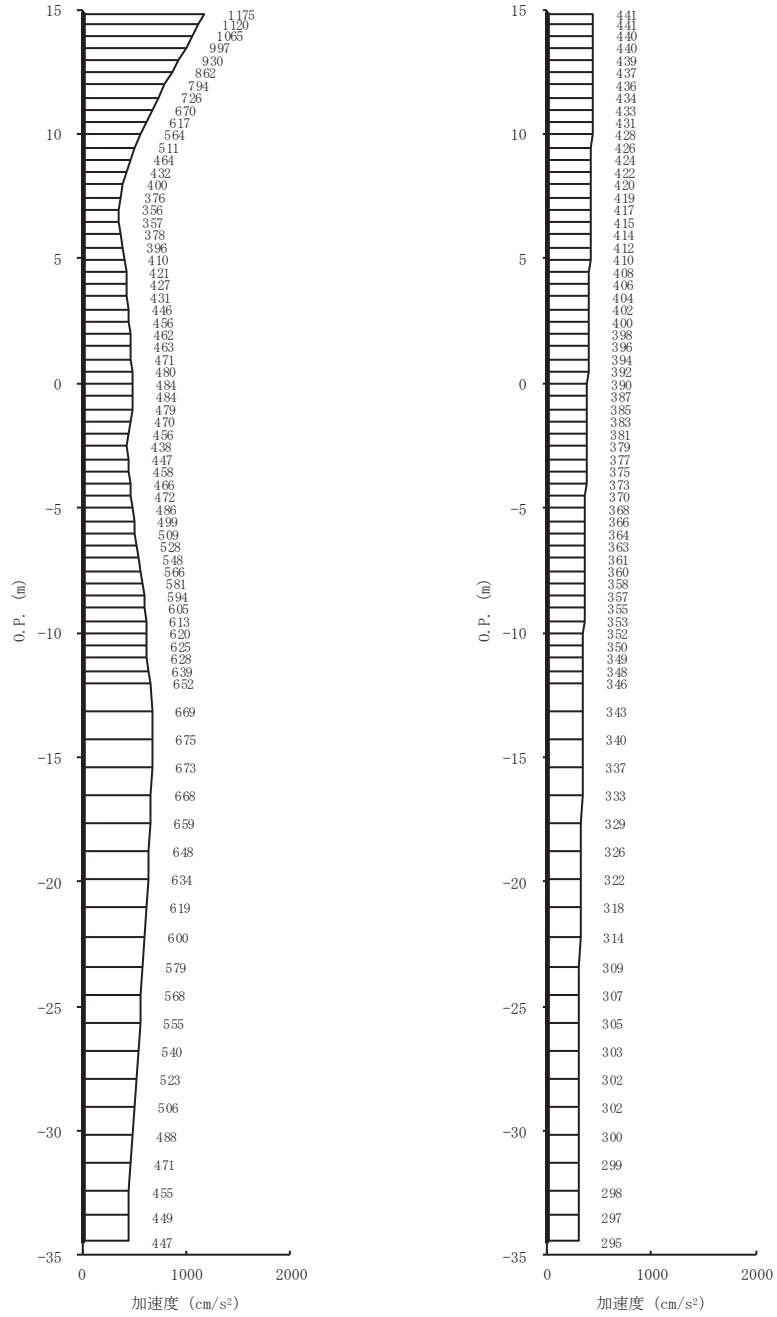
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



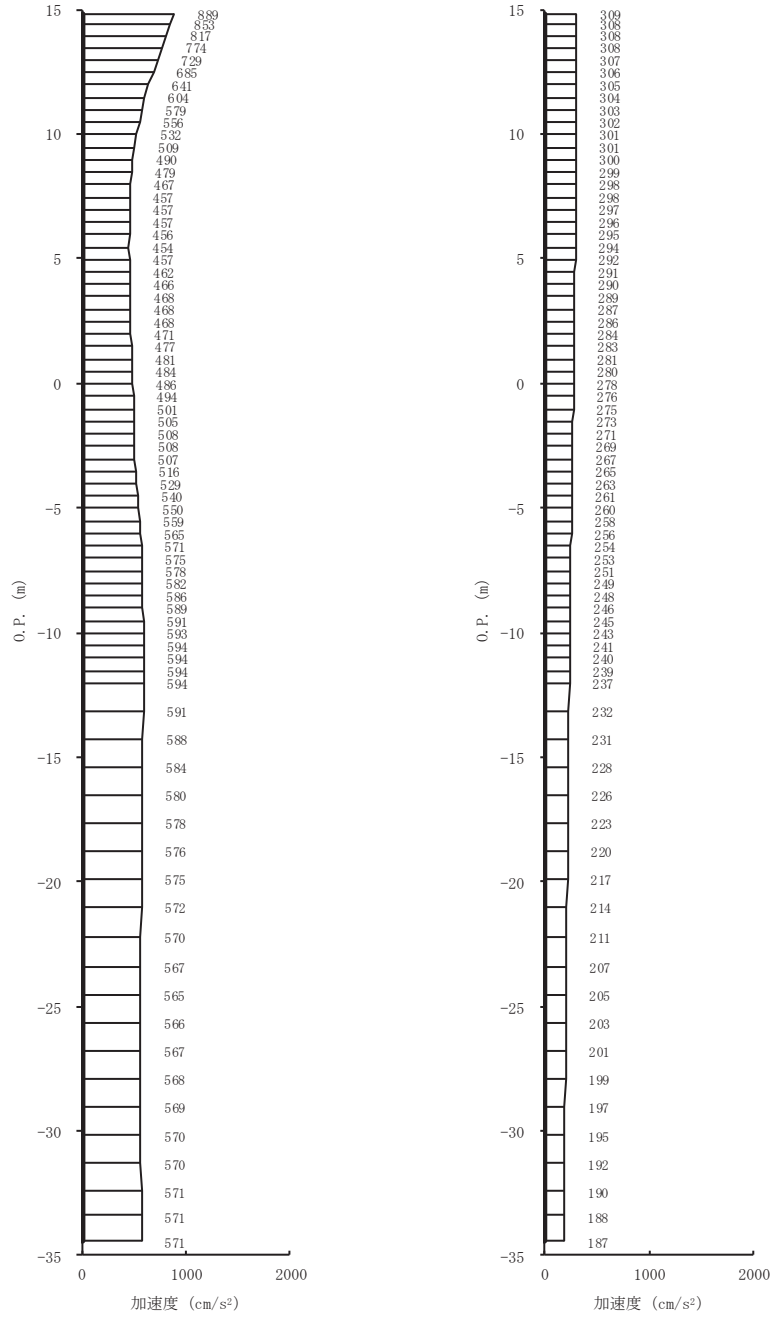
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



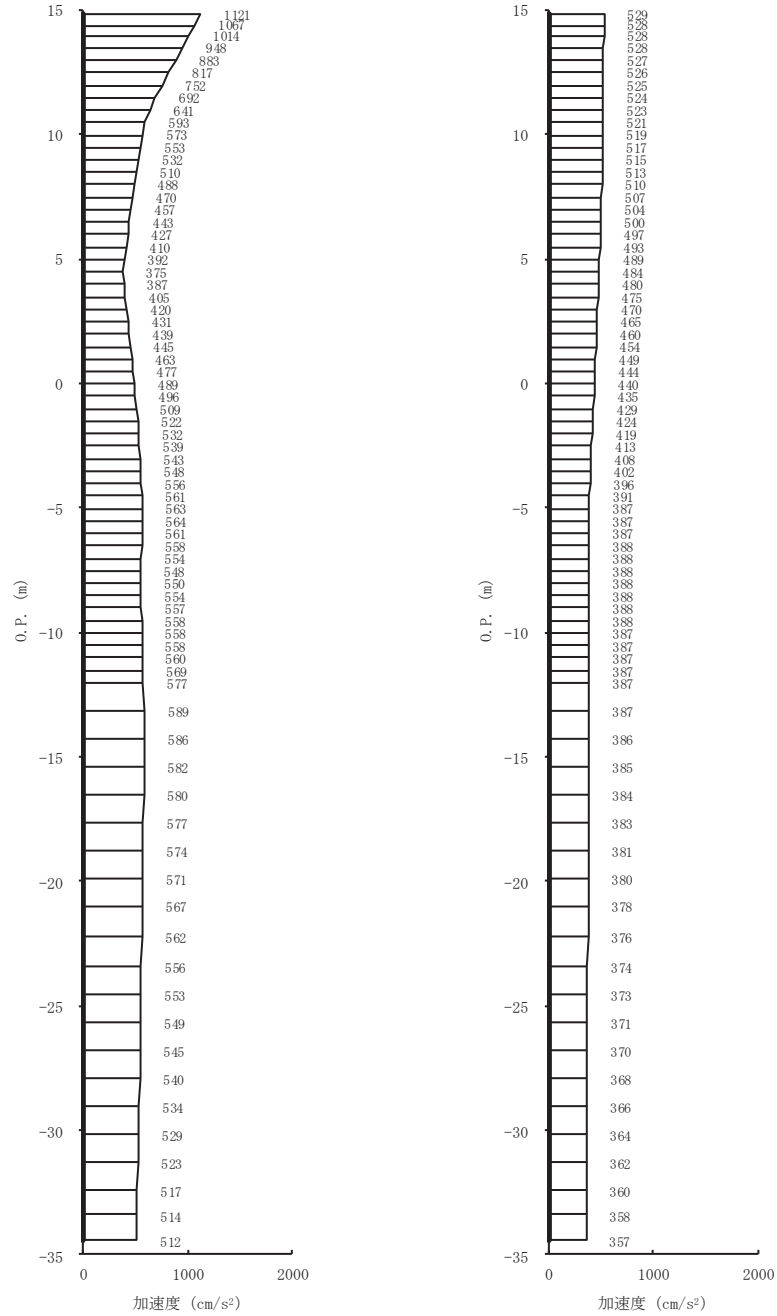
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)

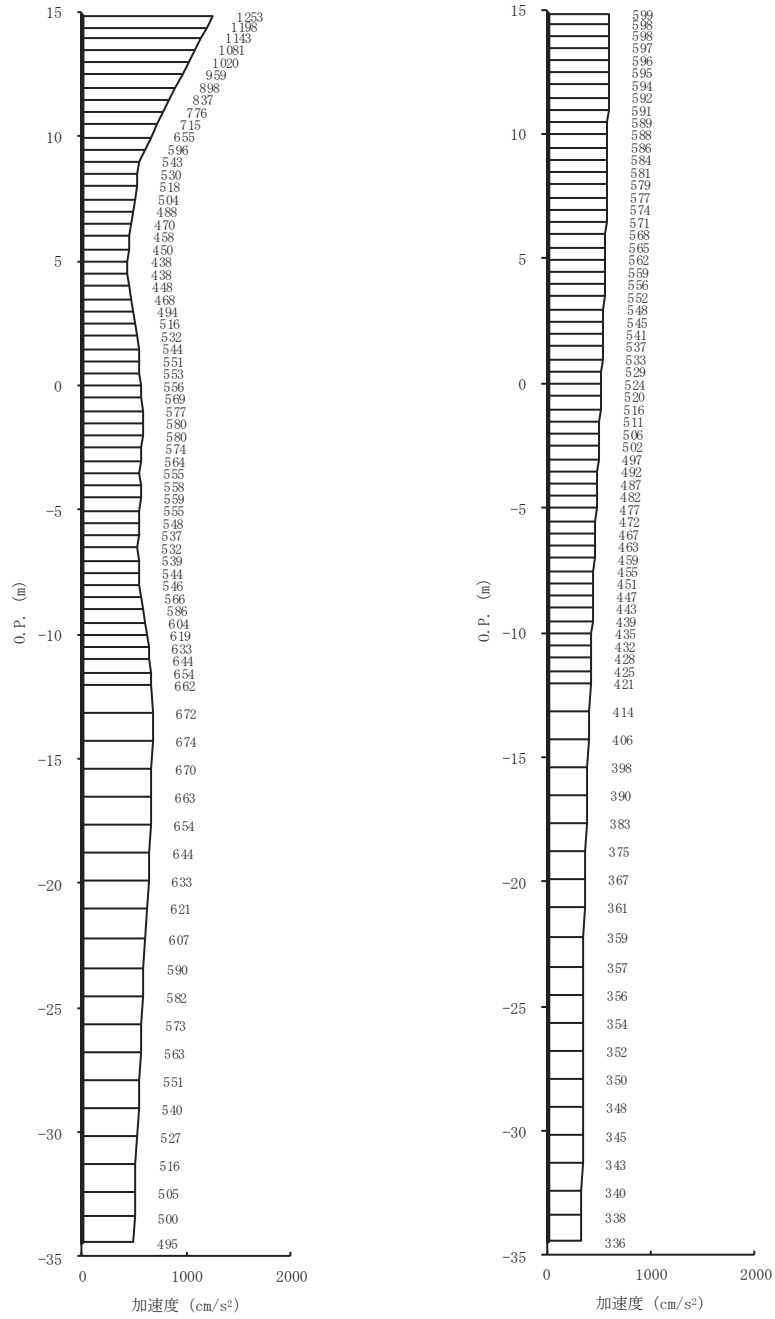


(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)

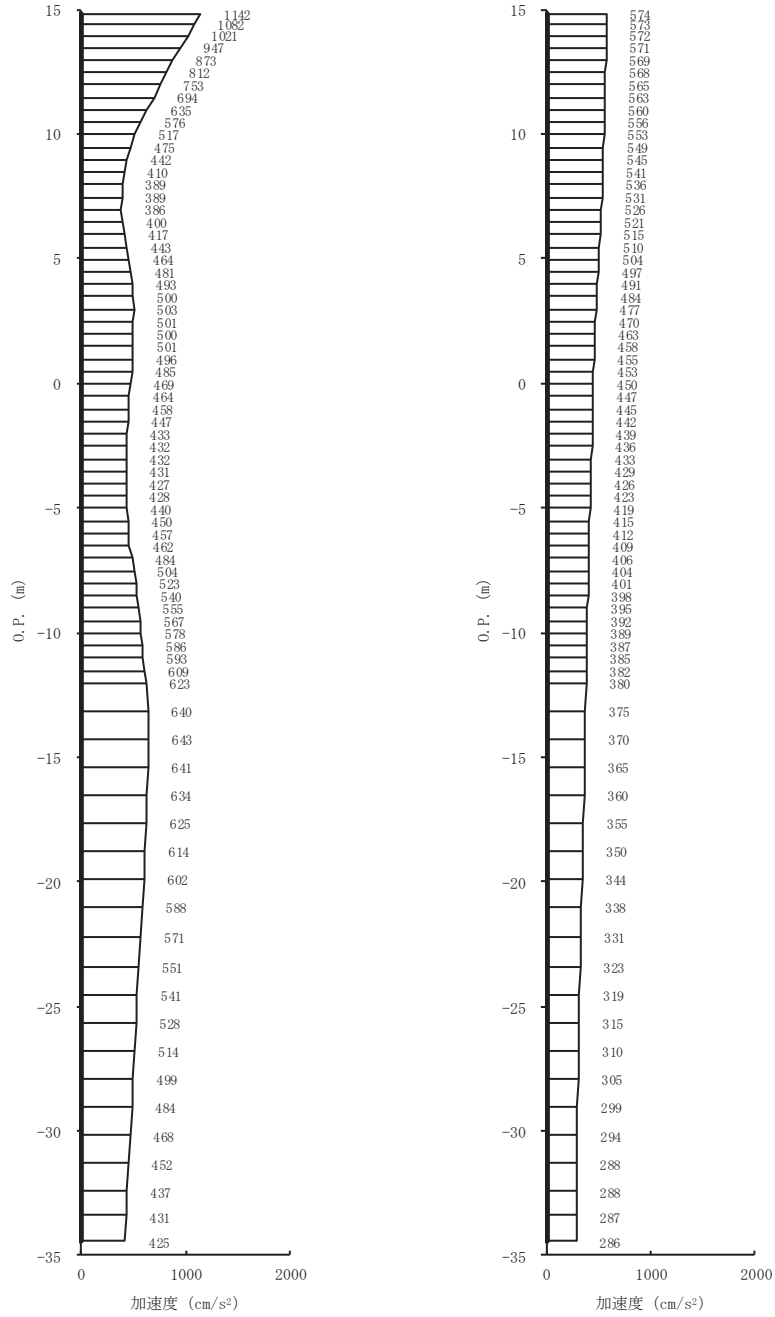


(a) S s - D 1 (++) 水平 (b) S s - D 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)

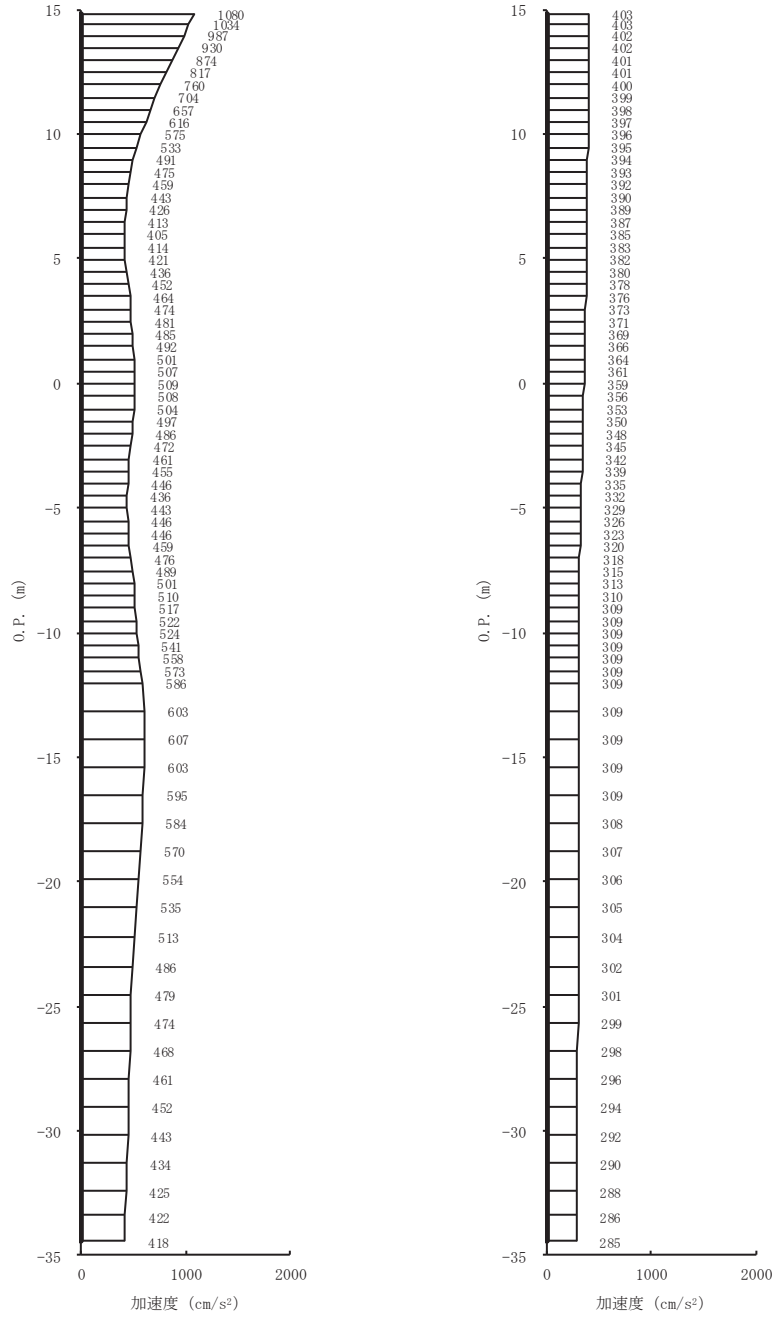




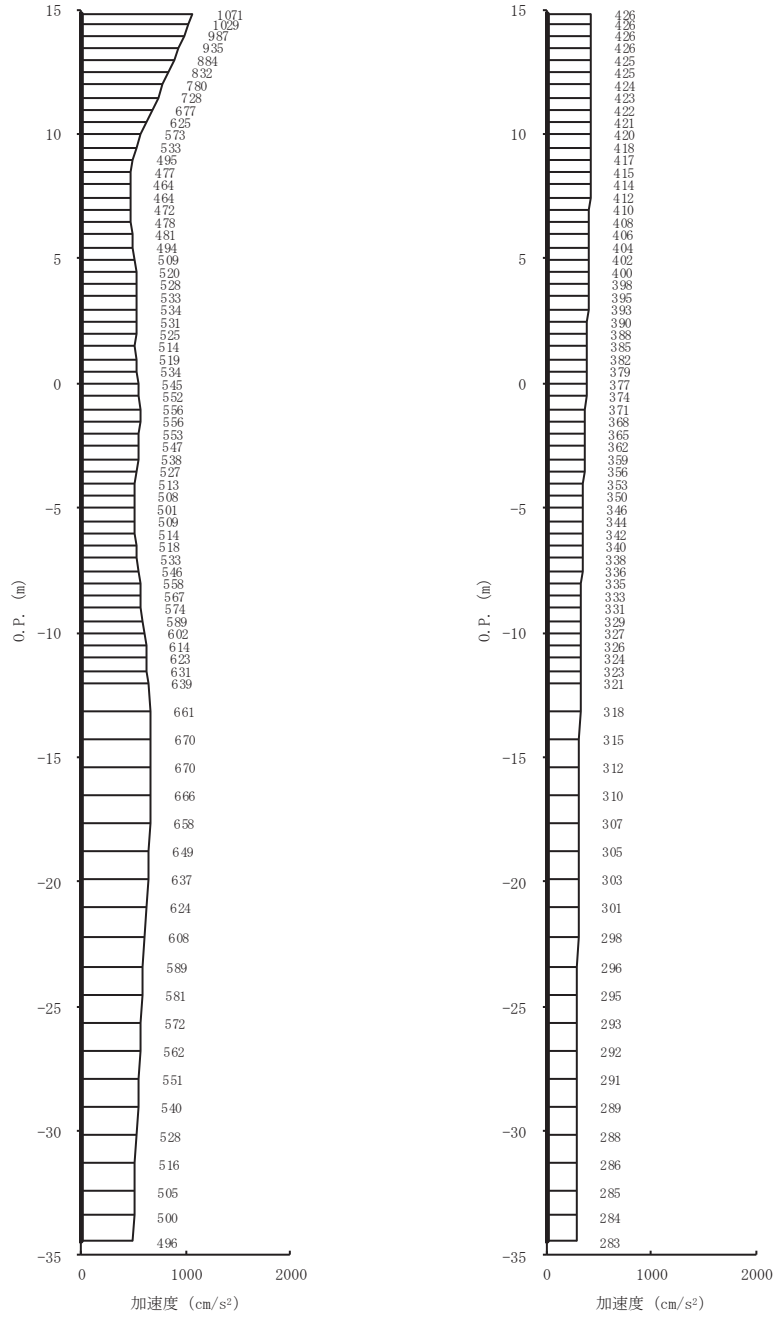
(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



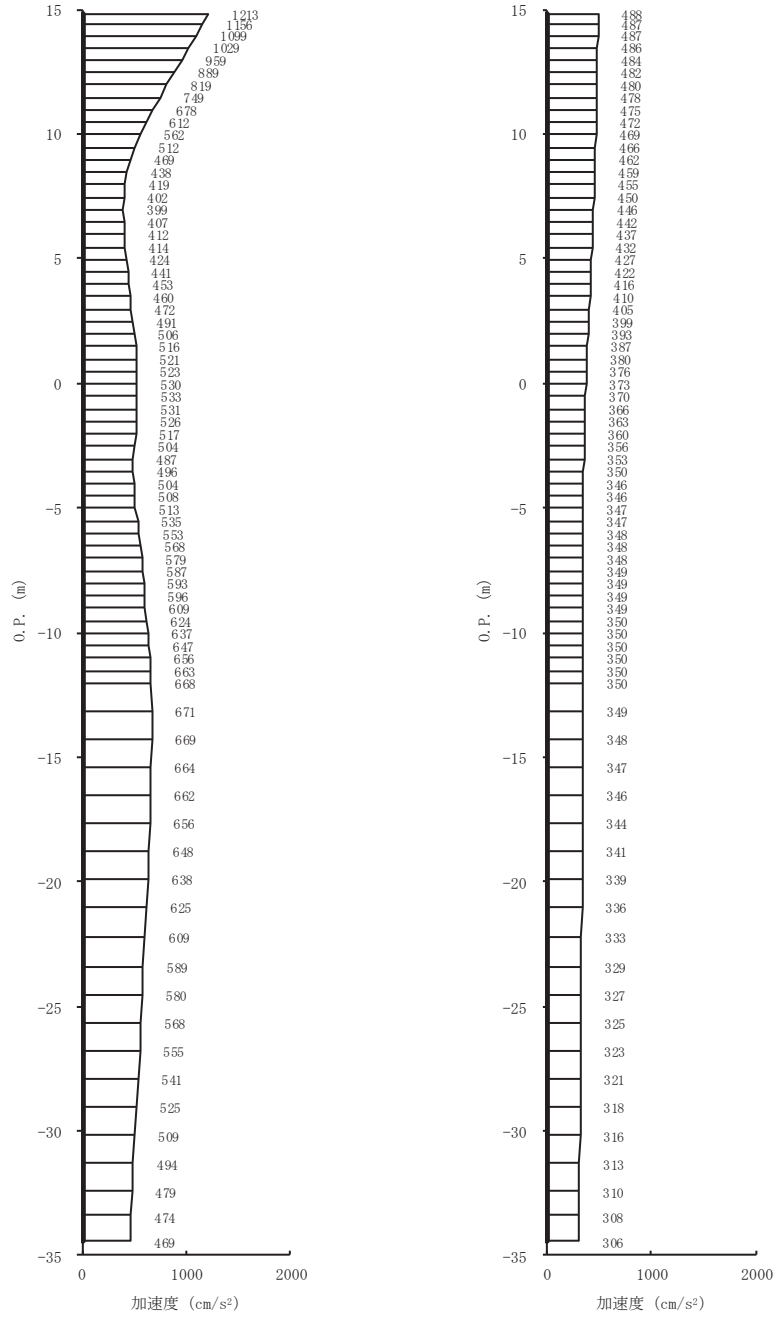
(a) S s - D 3 (++) 水平      (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



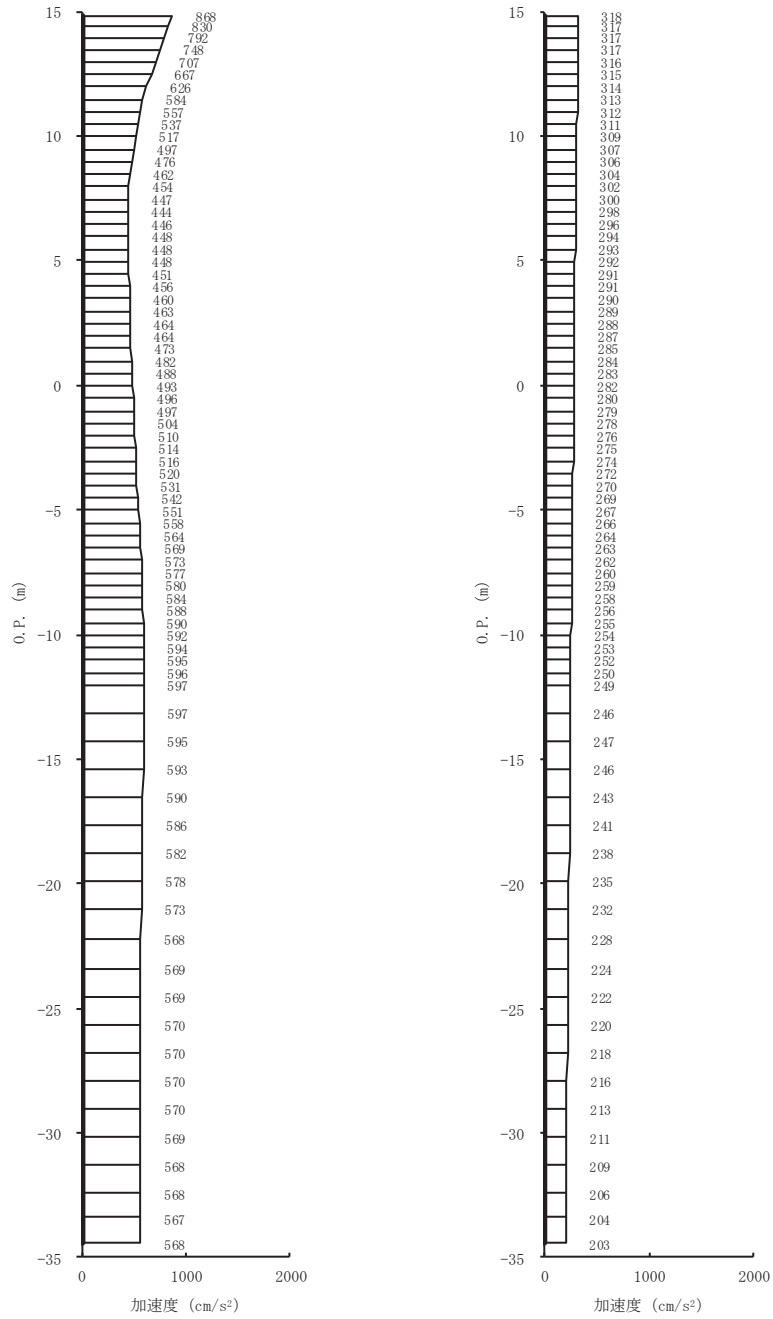
(a) S s - F 1 (++) 水平      (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



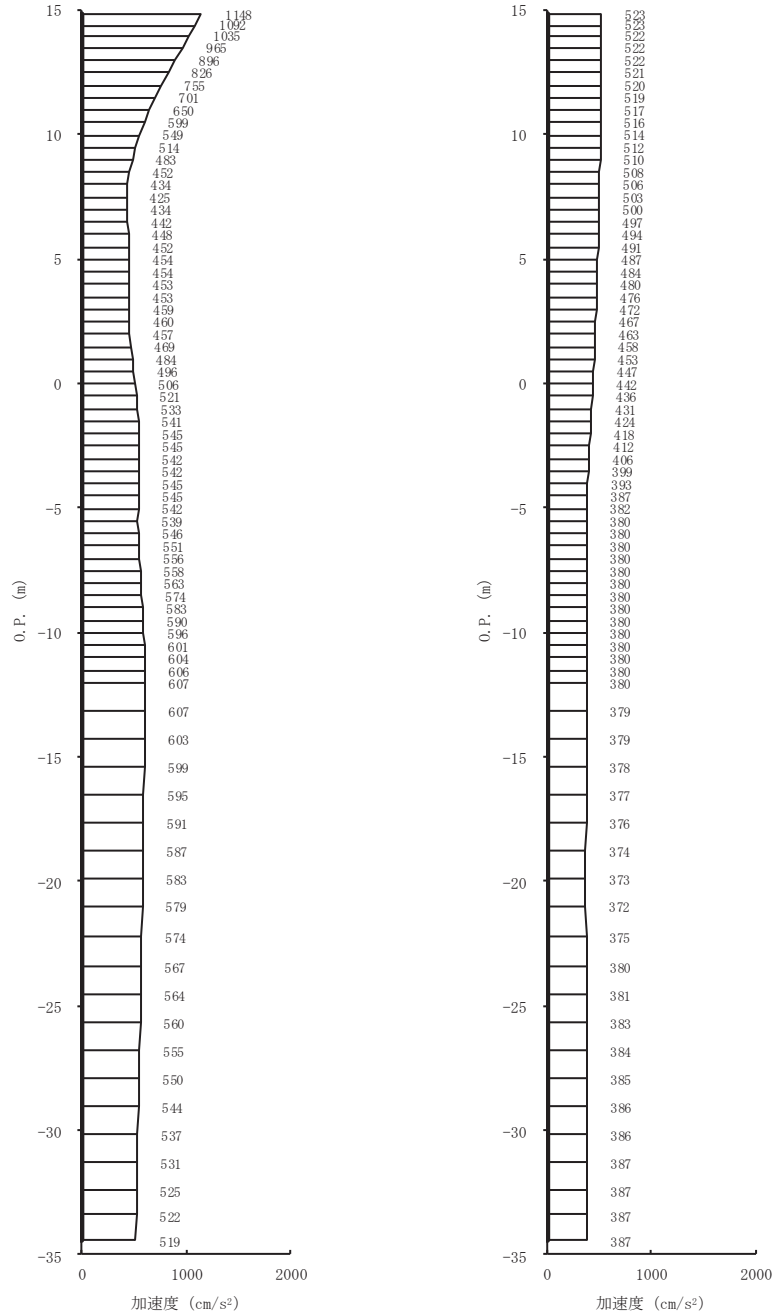
(a) S s - F 2 (++) 水平      (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-10(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



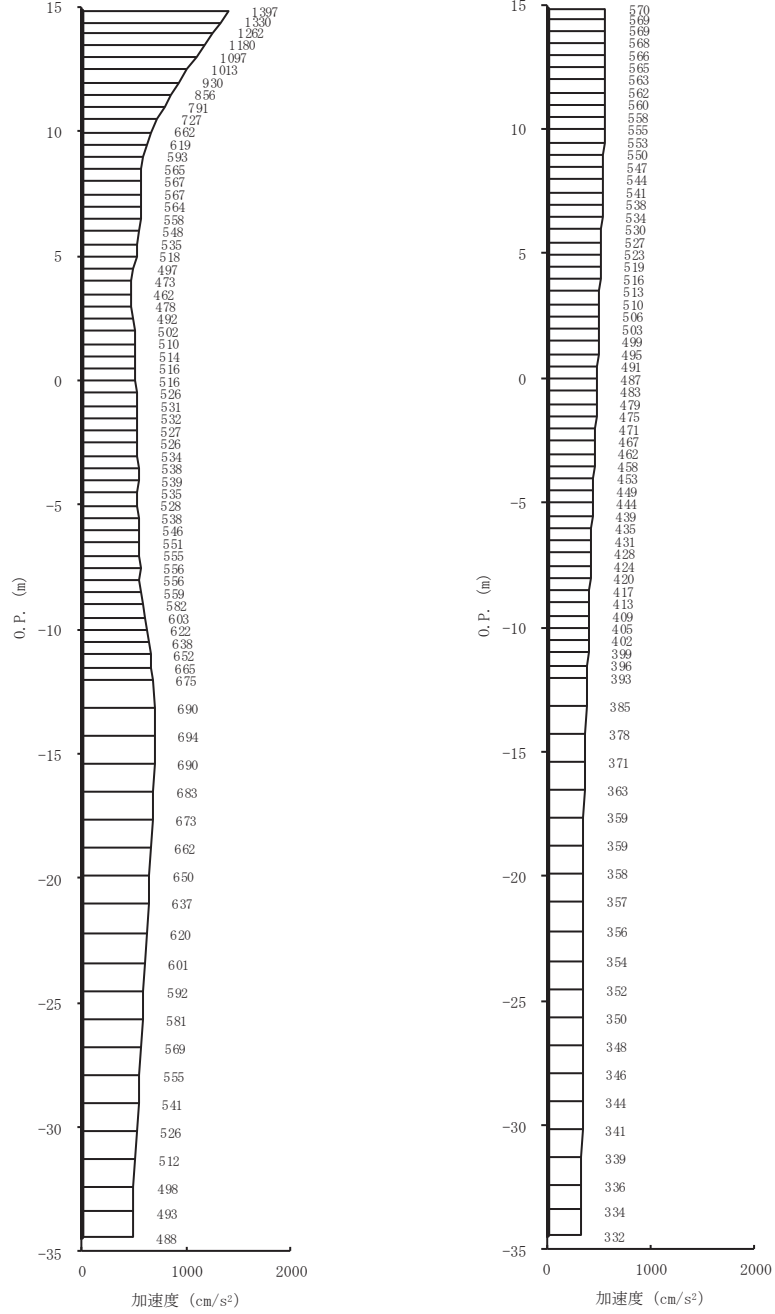
(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-10(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-10(28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)

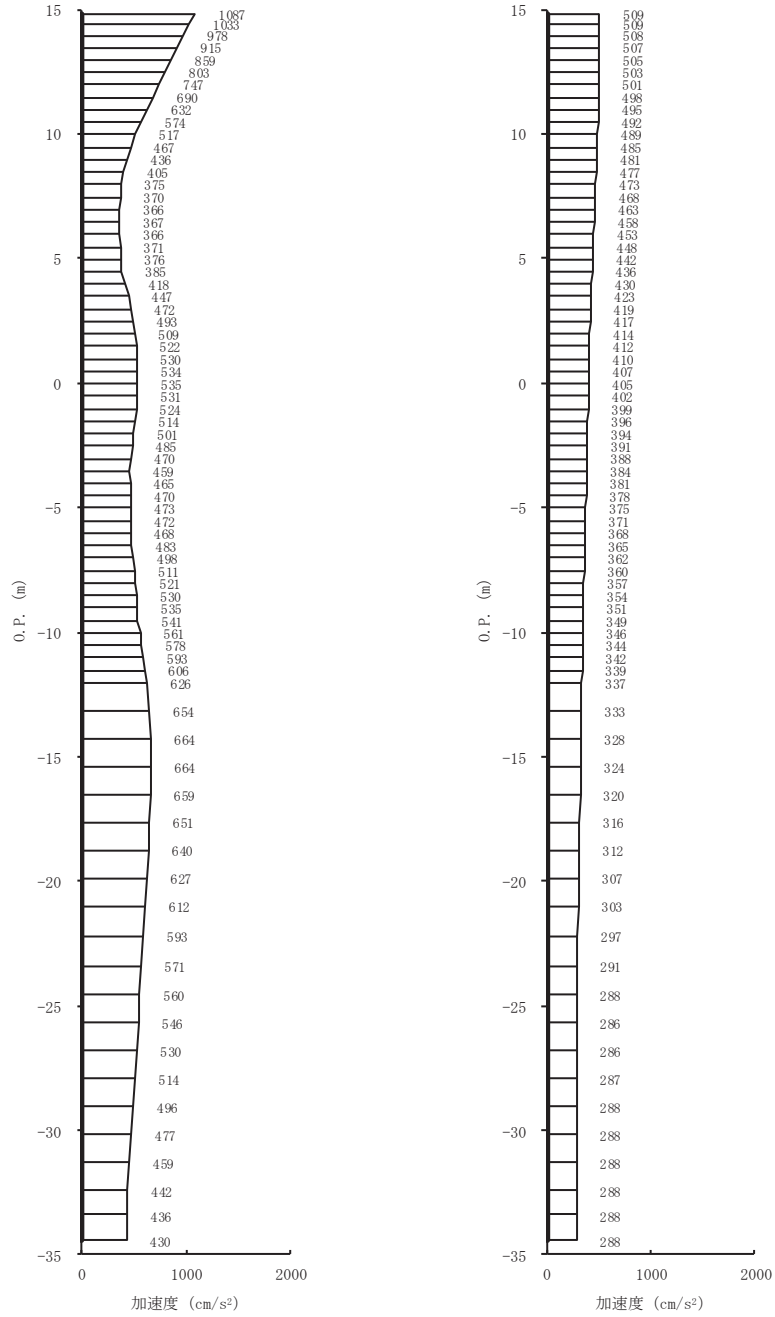


(a) S s - D 1 (-+) 水平      (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11(1) 最大加速度分布図 (1/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)

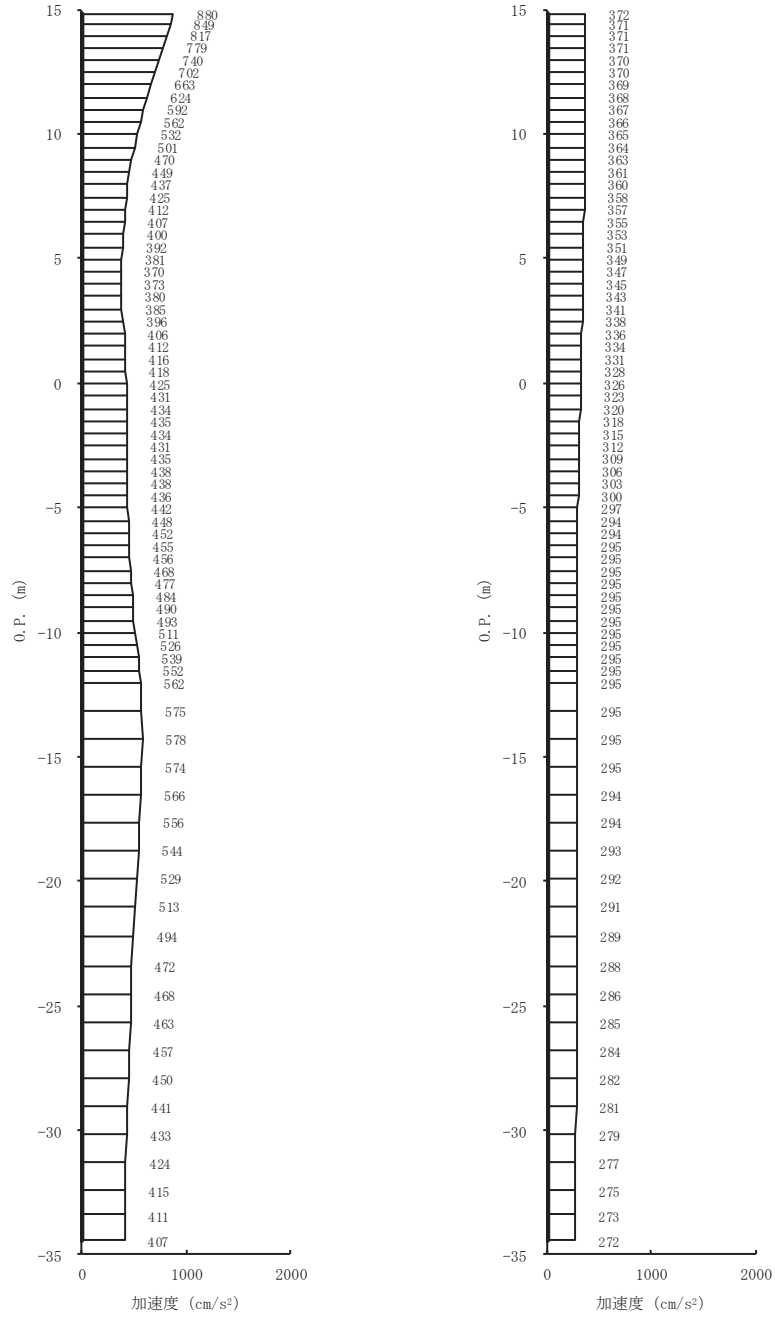


(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (2) 最大加速度分布図 (2/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)

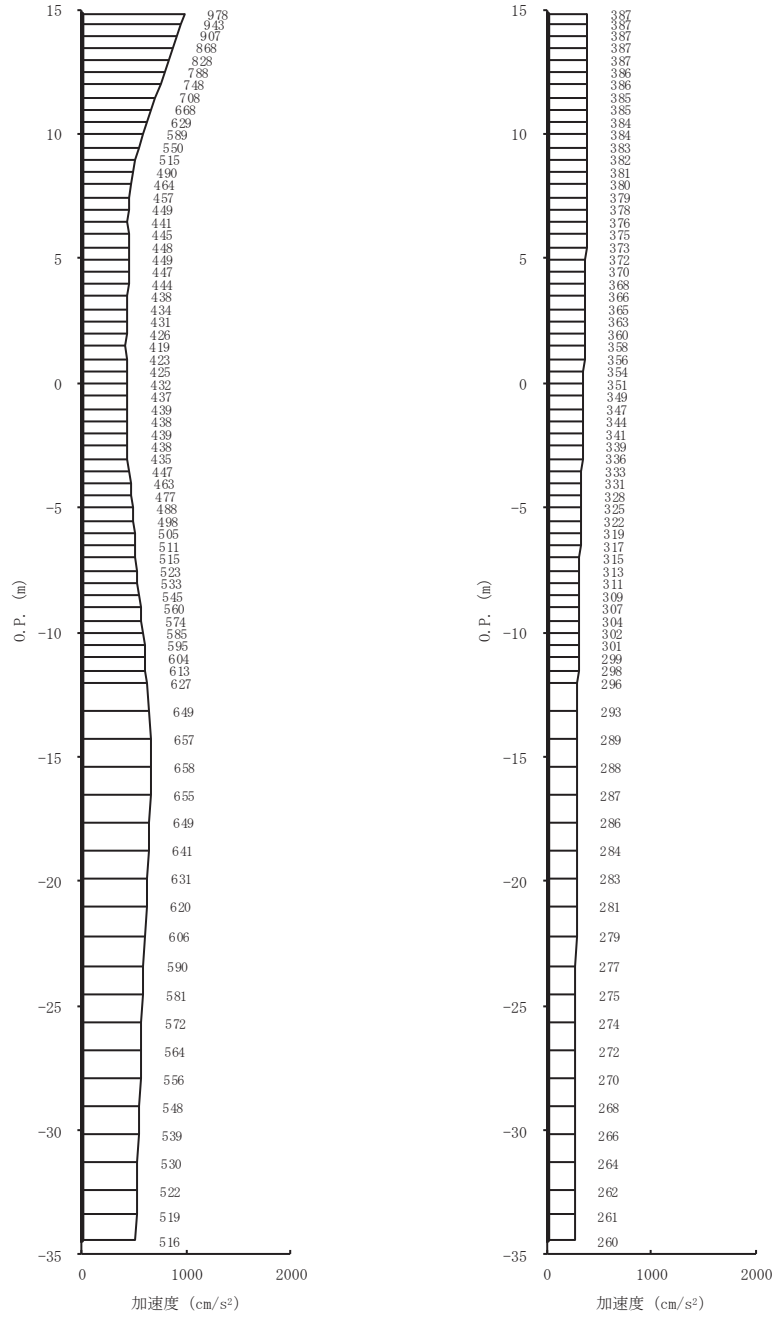




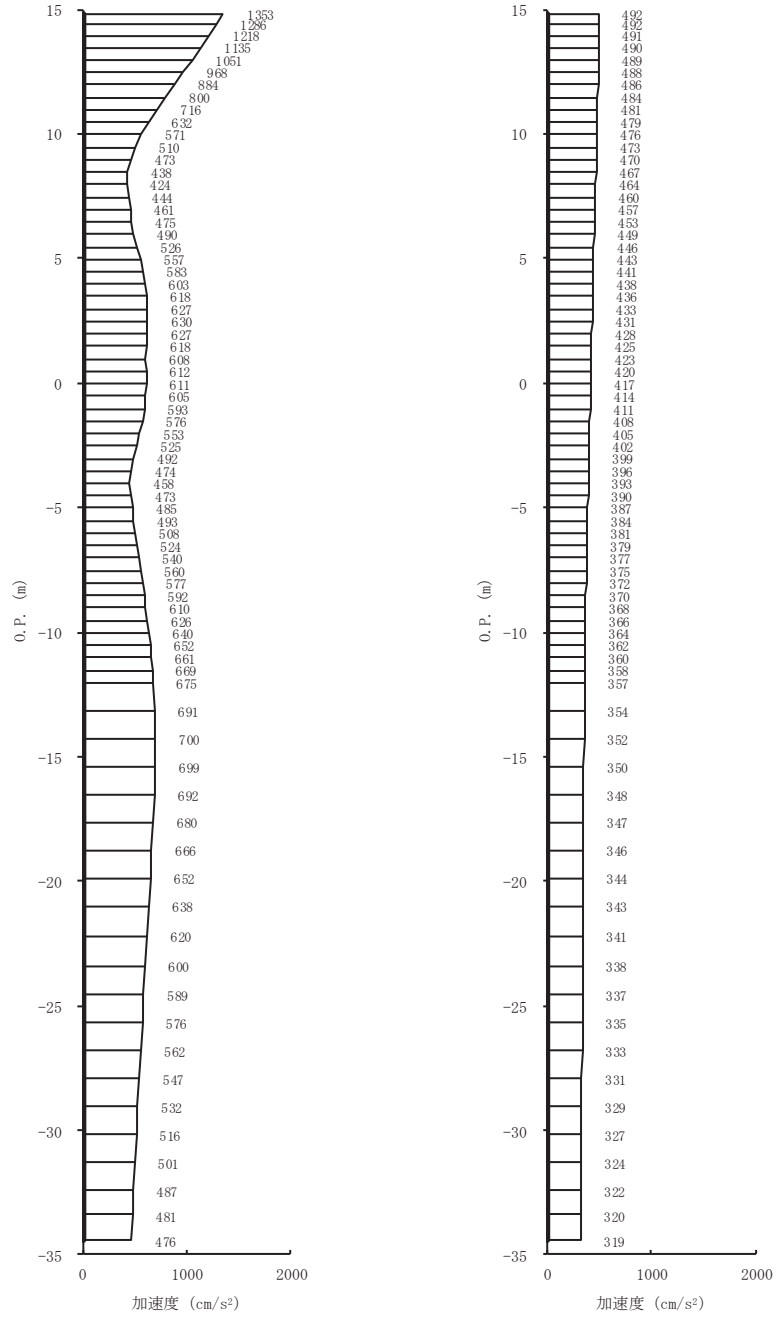
(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (3) 最大加速度分布図 (3/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



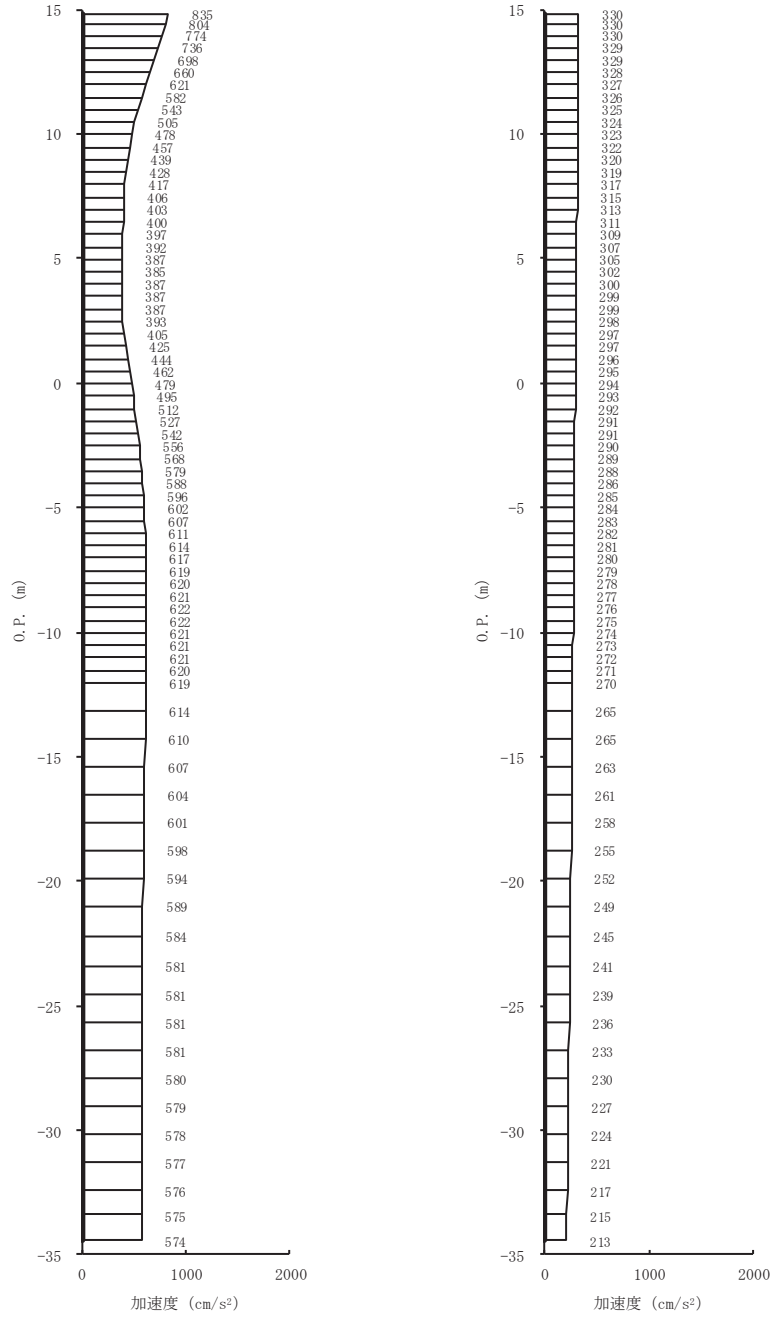
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (4) 最大加速度分布図 (4/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



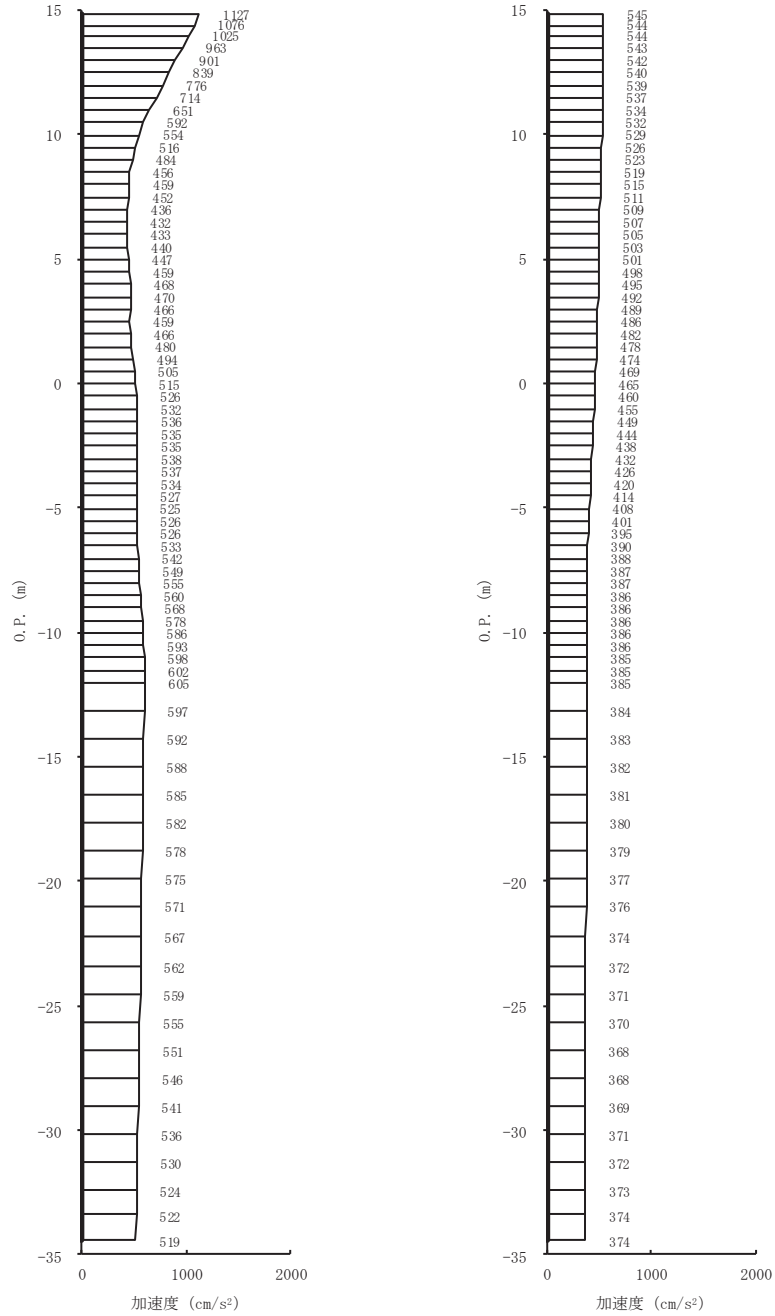
(a) S s - F 2 (-+) 水平 (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11(5) 最大加速度分布図 (5/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



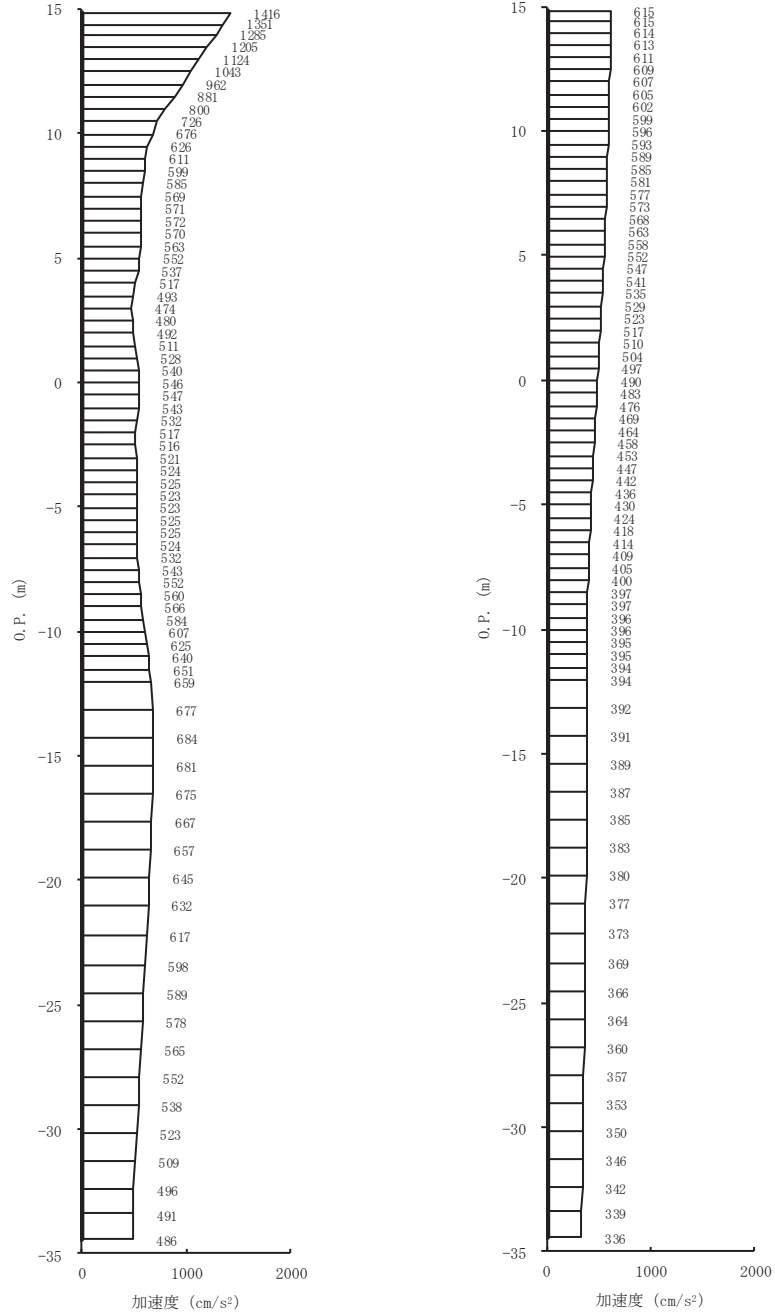
(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (6) 最大加速度分布図 (6/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



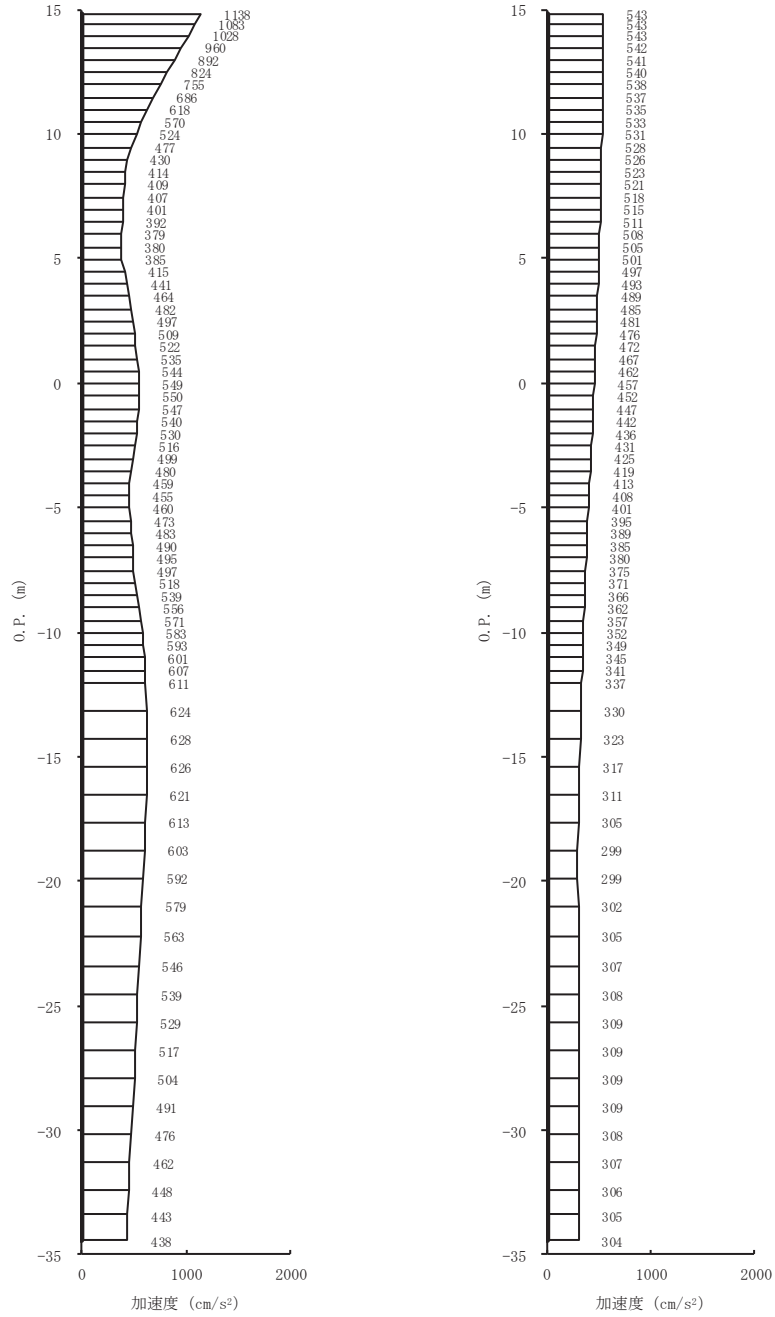
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (7) 最大加速度分布図 (7/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース①)



(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (8) 最大加速度分布図 (8/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)

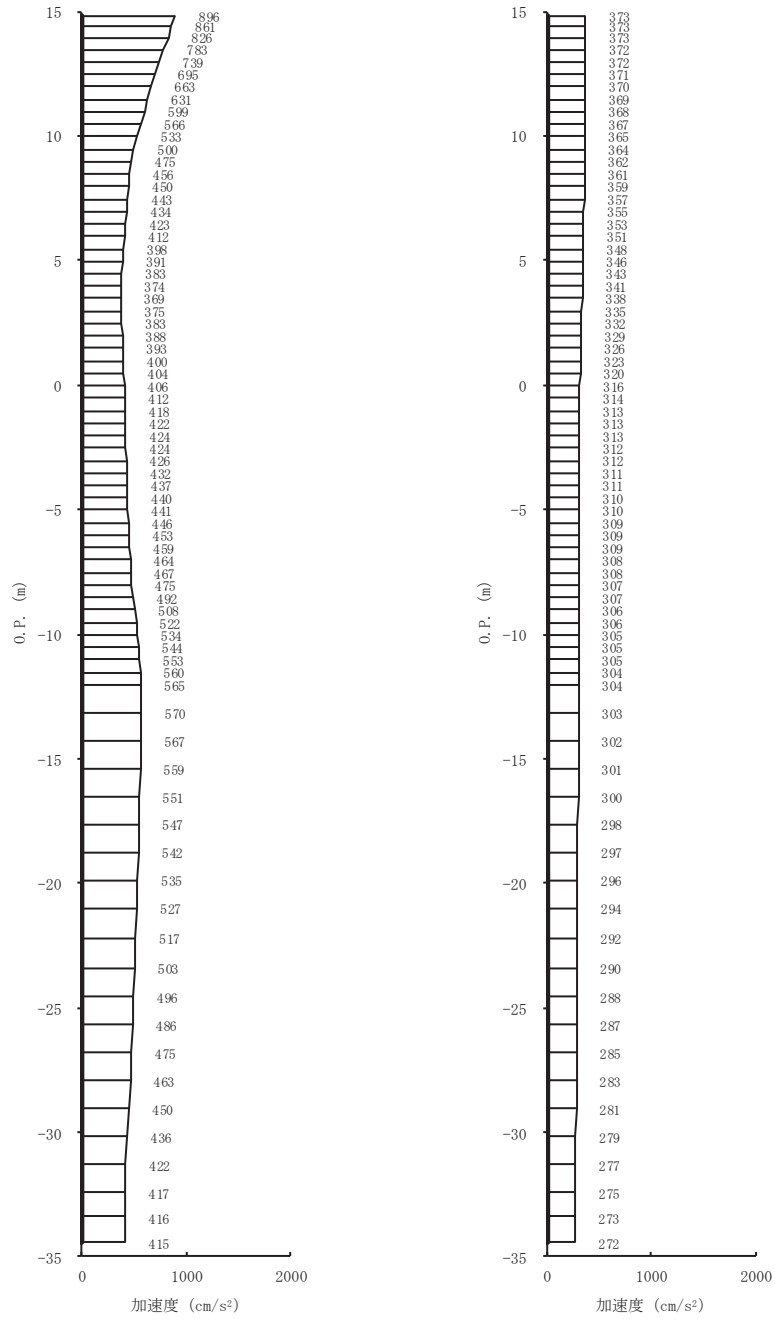


(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (9) 最大加速度分布図 (9/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)

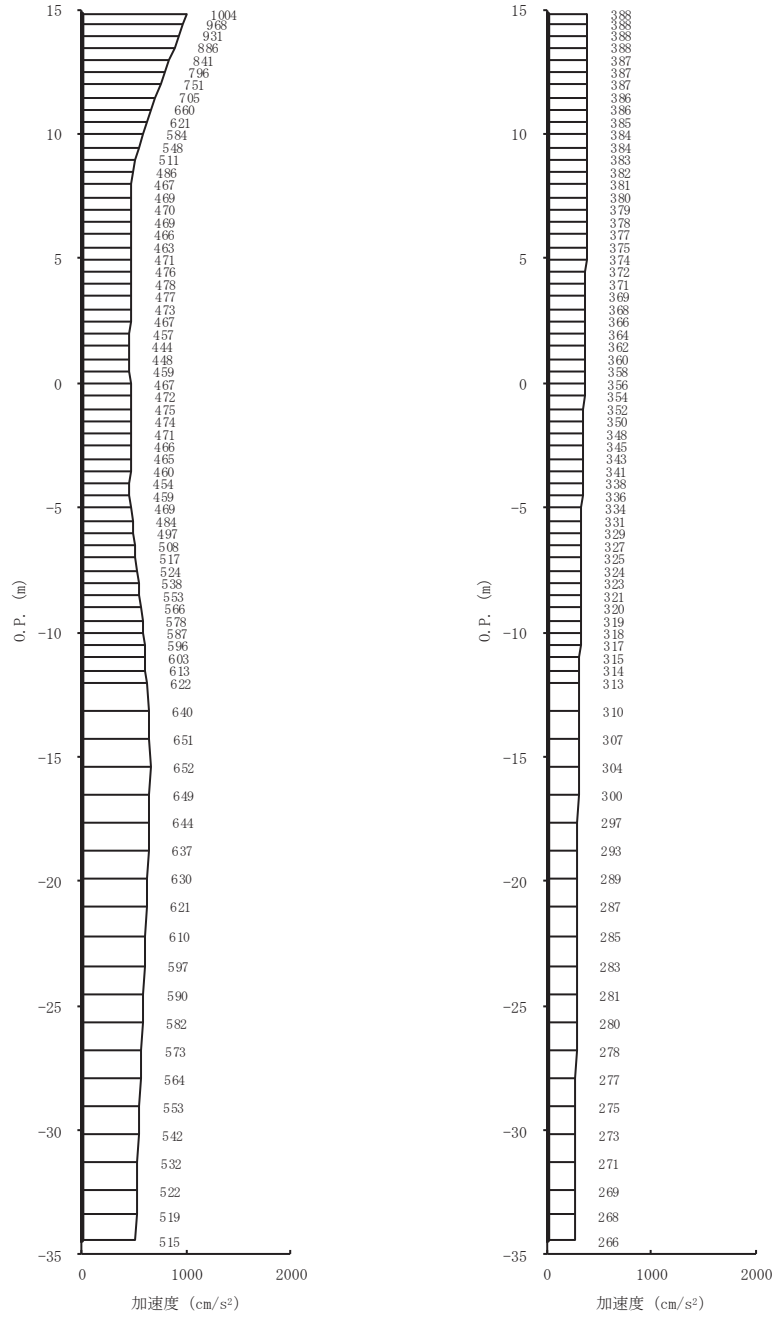


(a) S s - D 3 (-+) 水平 (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11(10) 最大加速度分布図 (10/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)

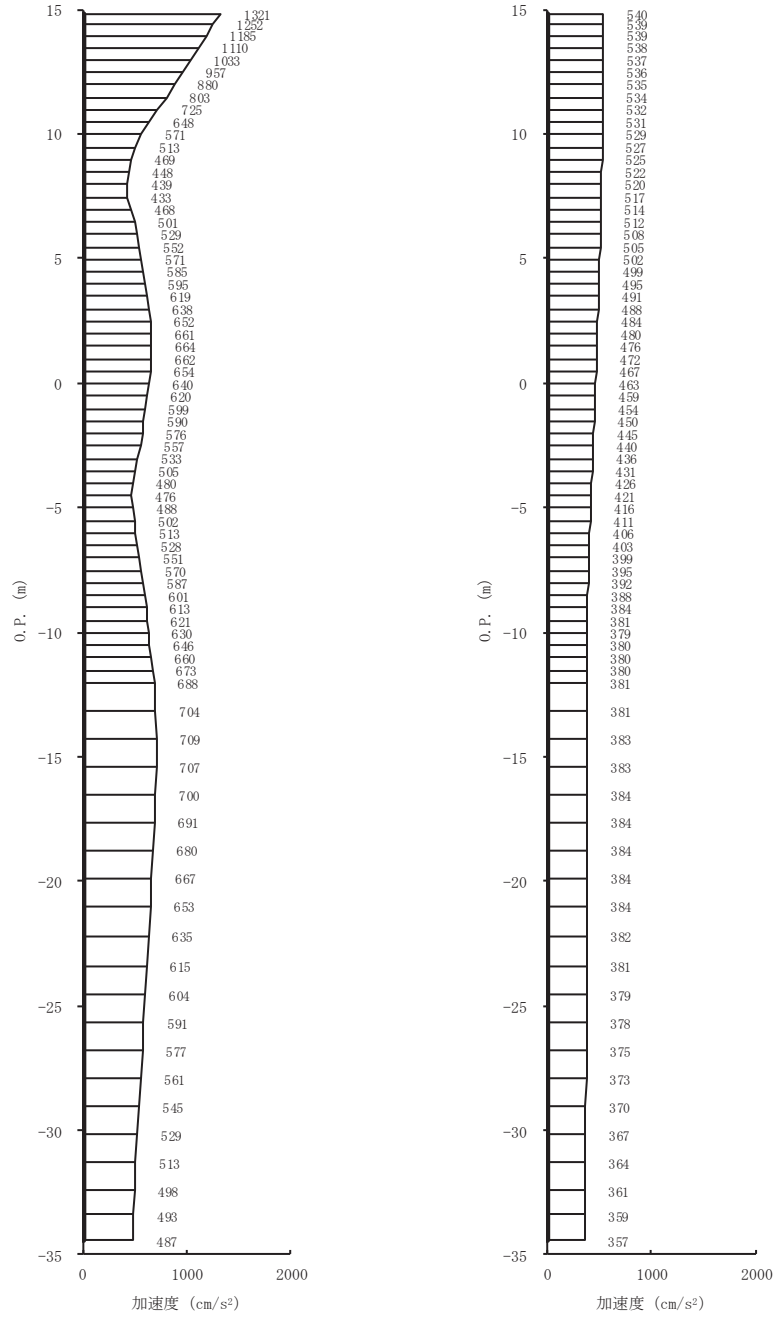




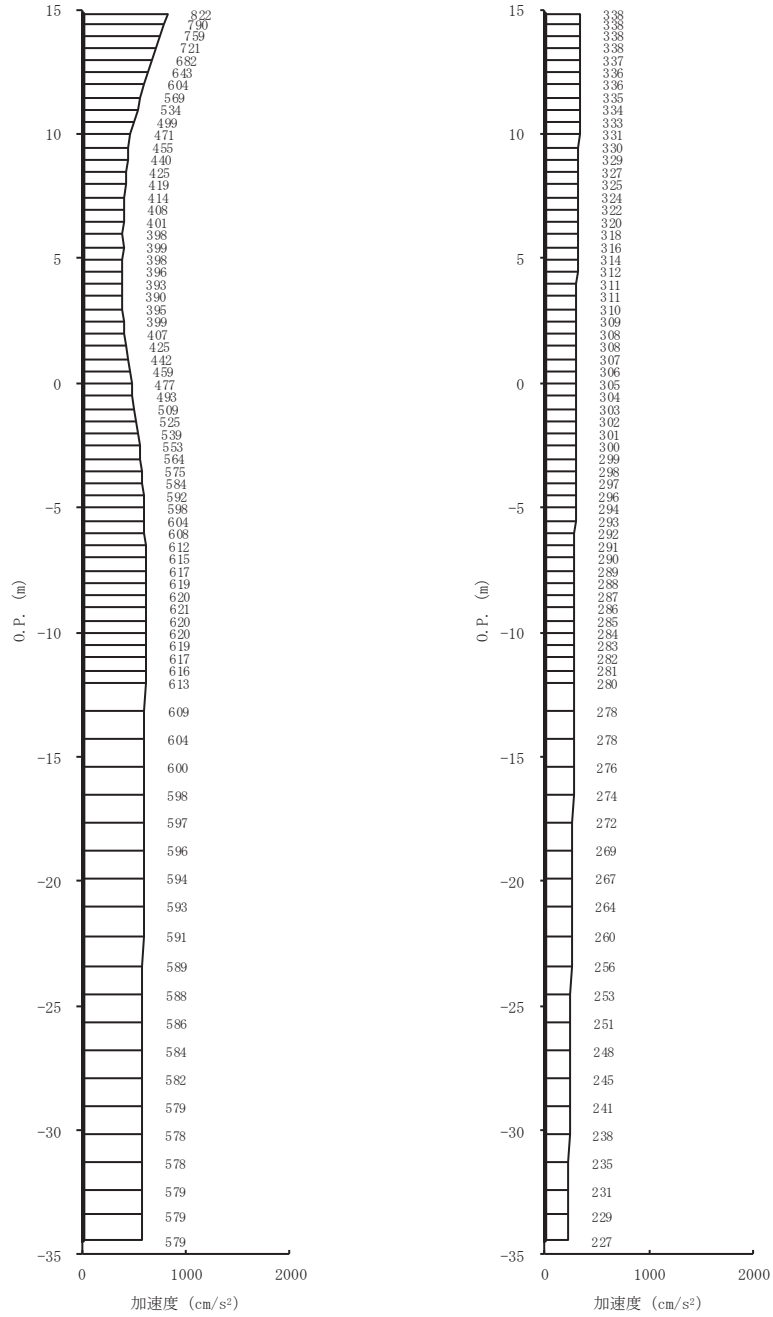
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11(11) 最大加速度分布図 (11/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



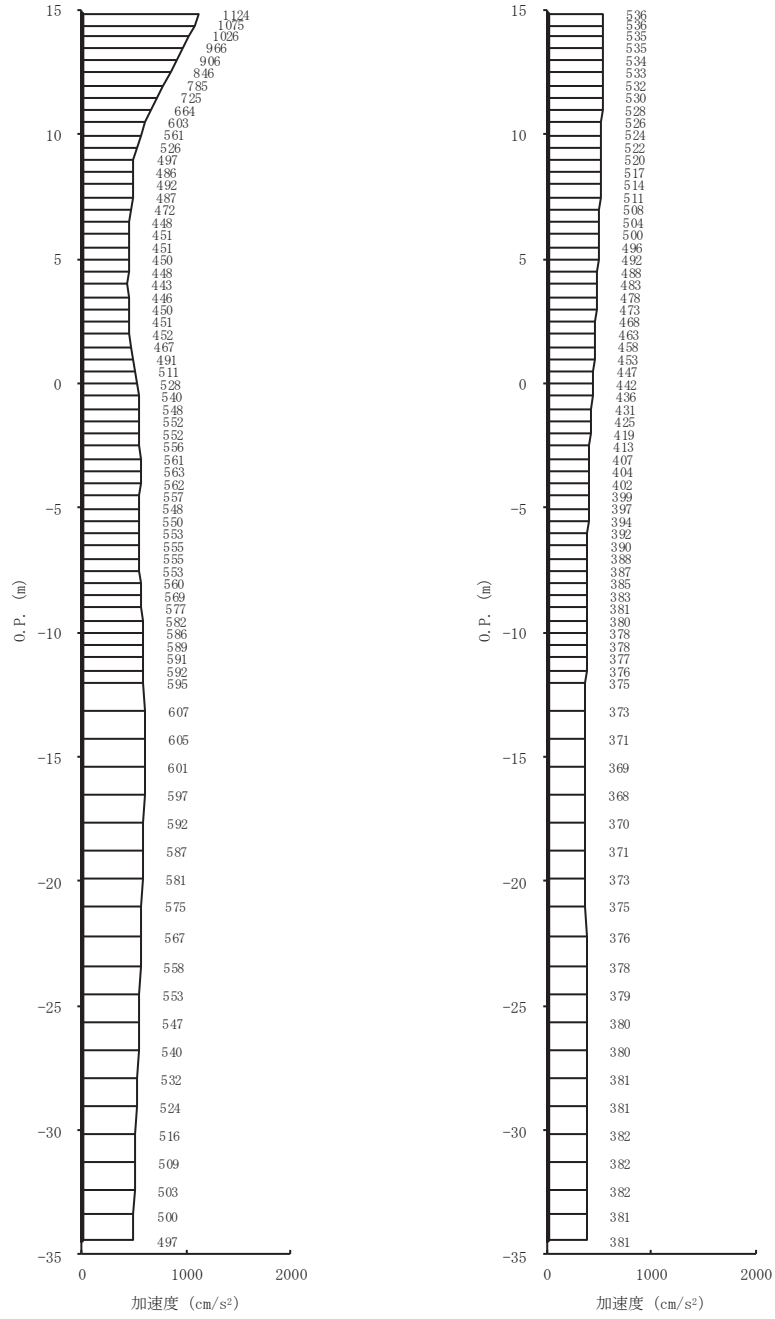
(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11(12) 最大加速度分布図 (12/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



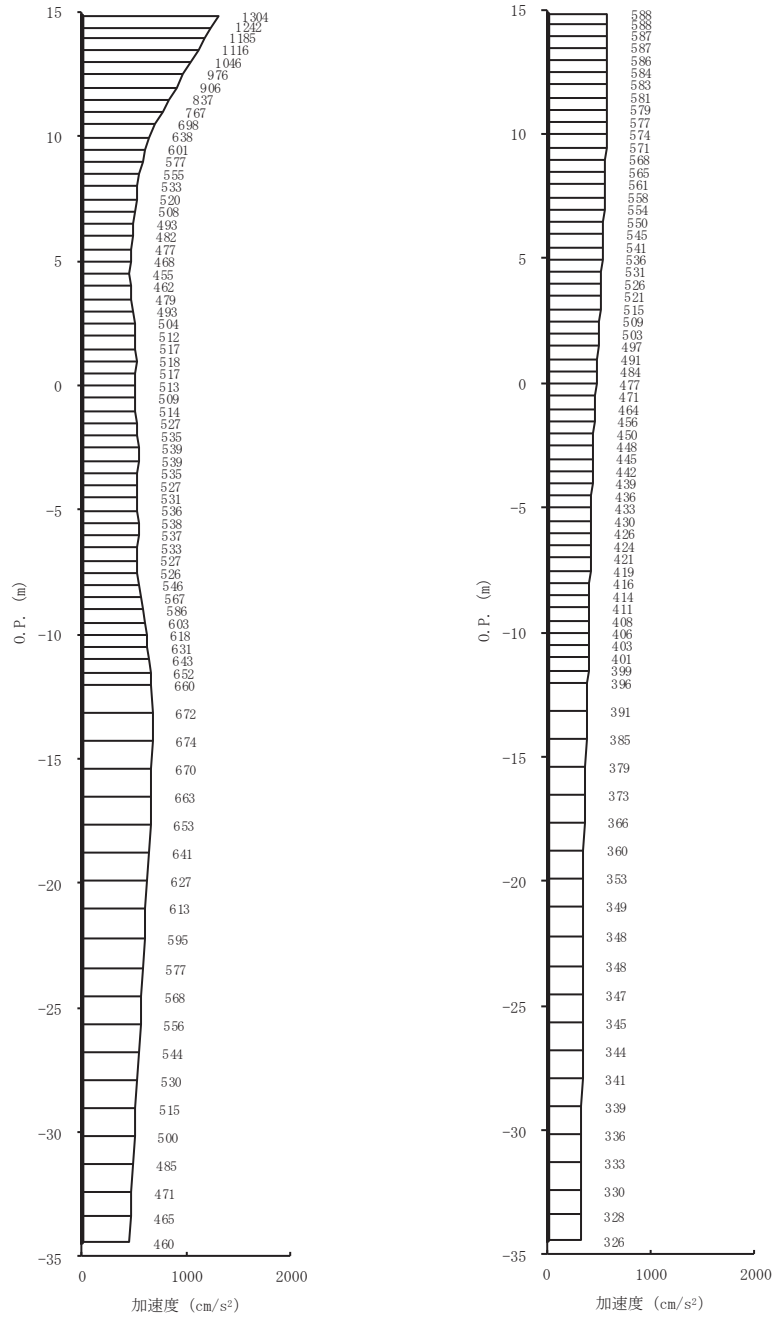
(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11(13) 最大加速度分布図 (13/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



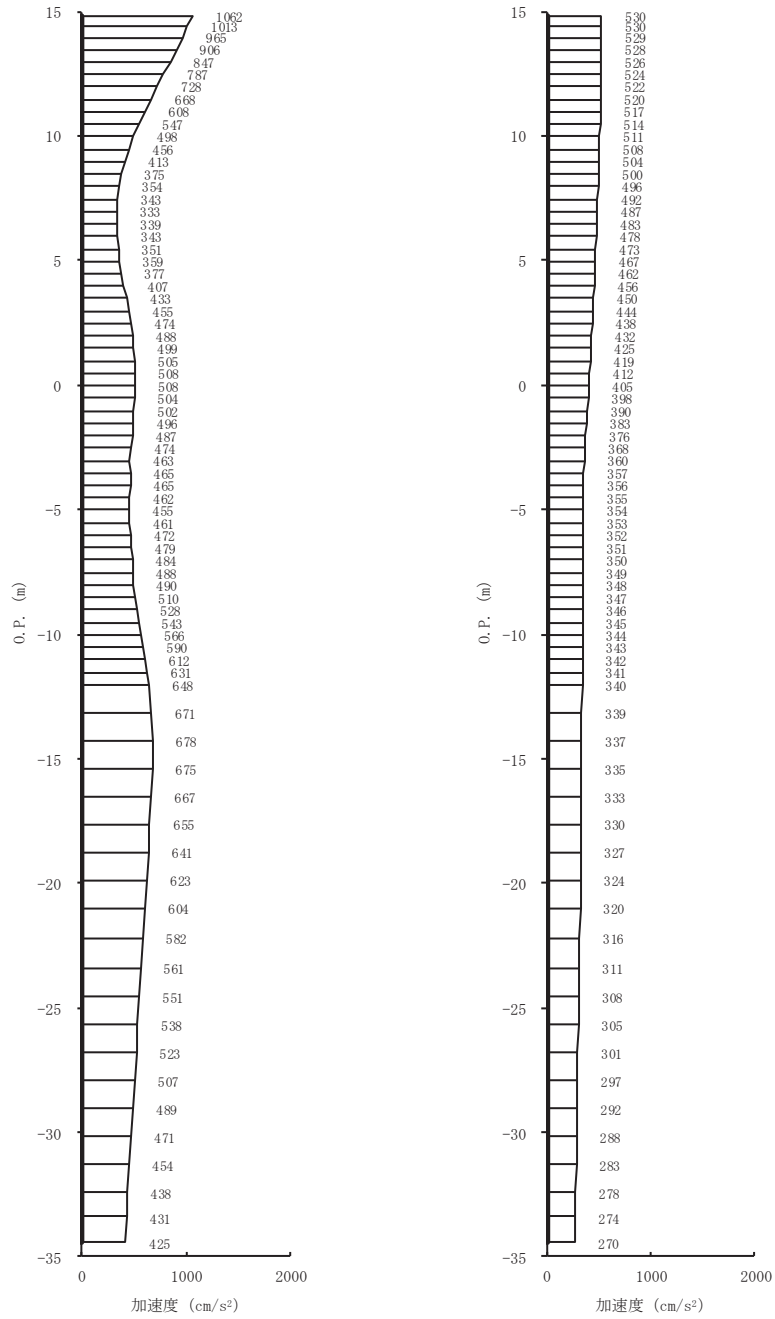
(a) S s - N 1 (-+) 水平 (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11(14) 最大加速度分布図 (14/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース②)



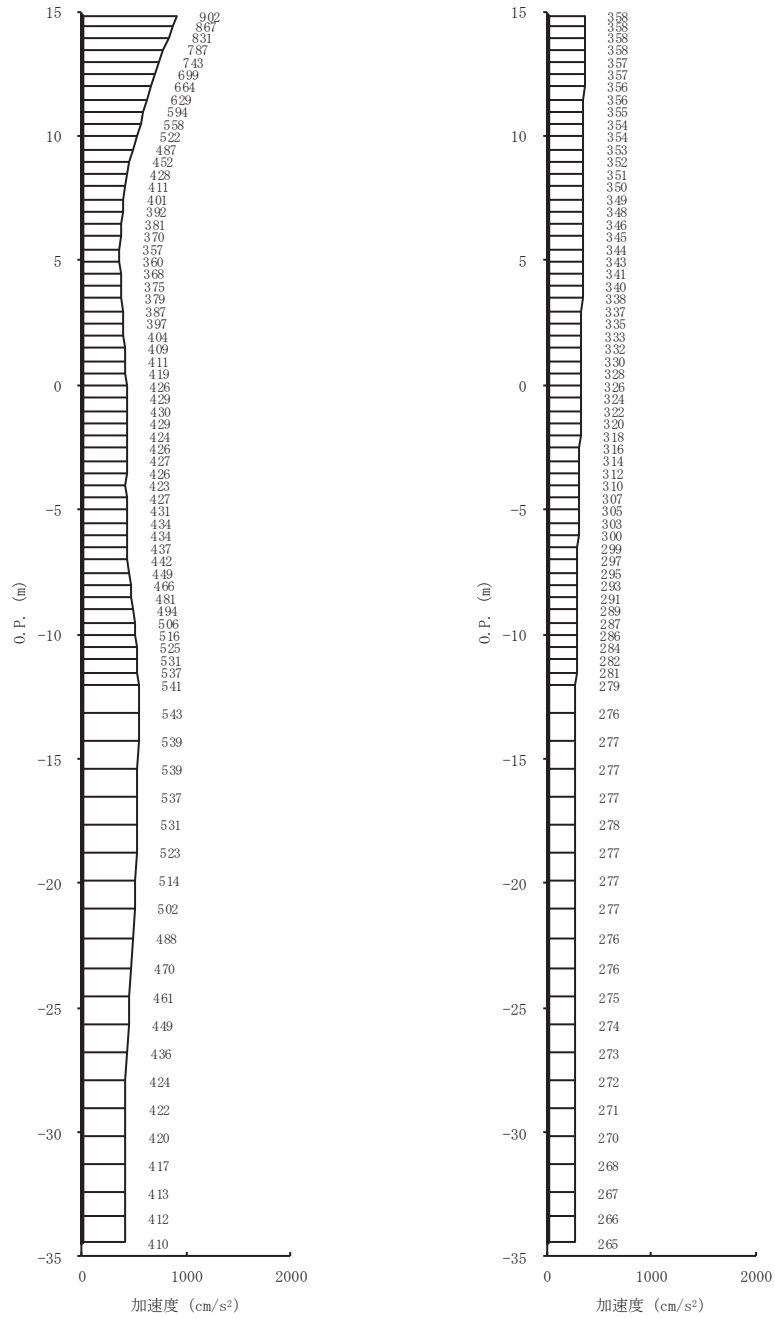
(a) S s - D 1 (-+) 水平      (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11(15) 最大加速度分布図 (15/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11(16) 最大加速度分布図 (16/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)

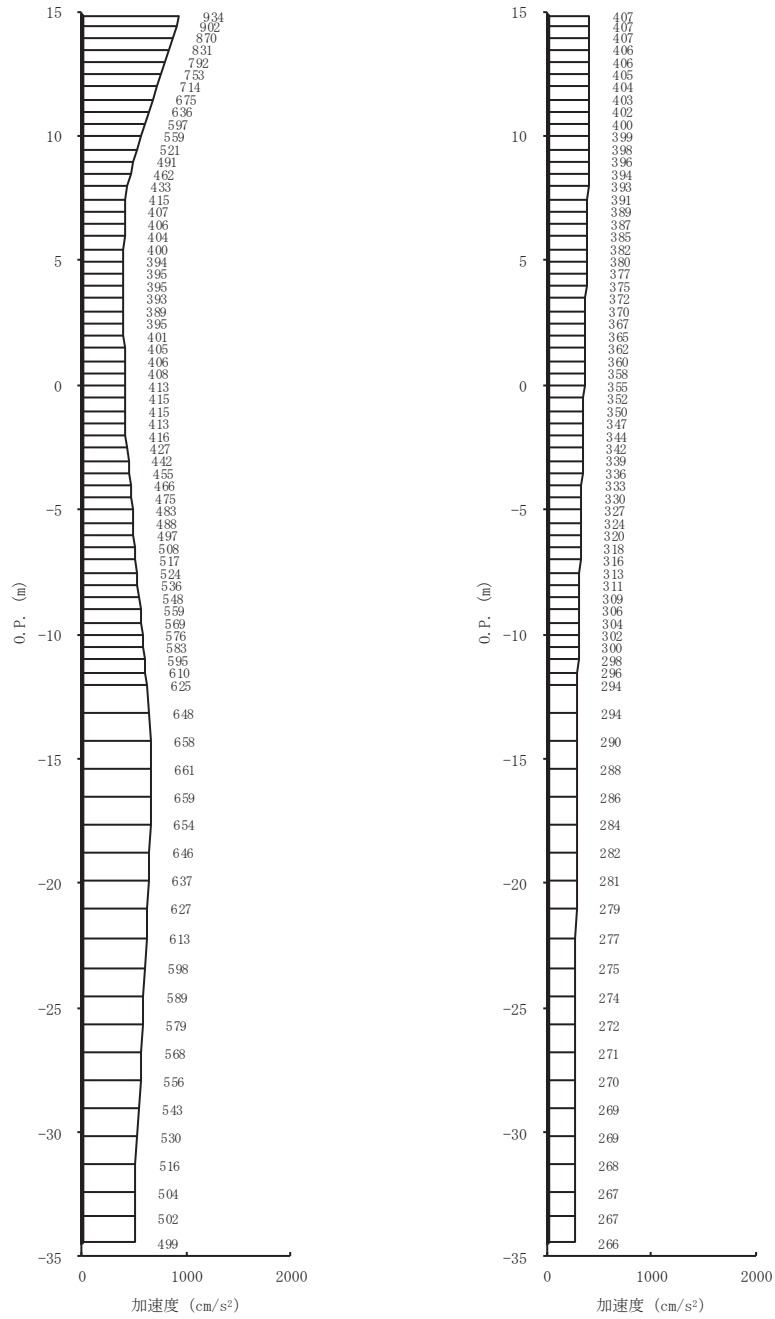


(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11(17) 最大加速度分布図 (17/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)

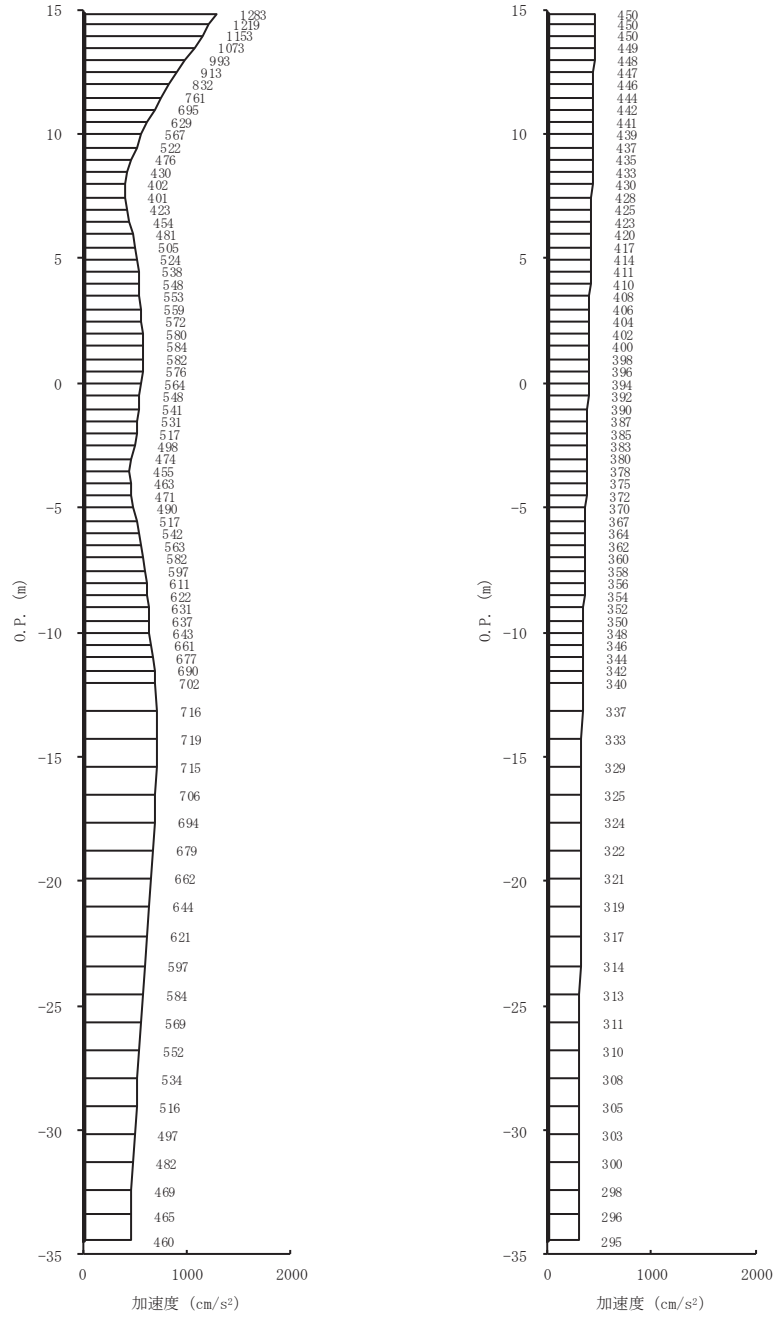


(a) S<sub>s</sub>-F 1 (-+) 水平      (b) S<sub>s</sub>-F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11(18) 最大加速度分布図 (18/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)

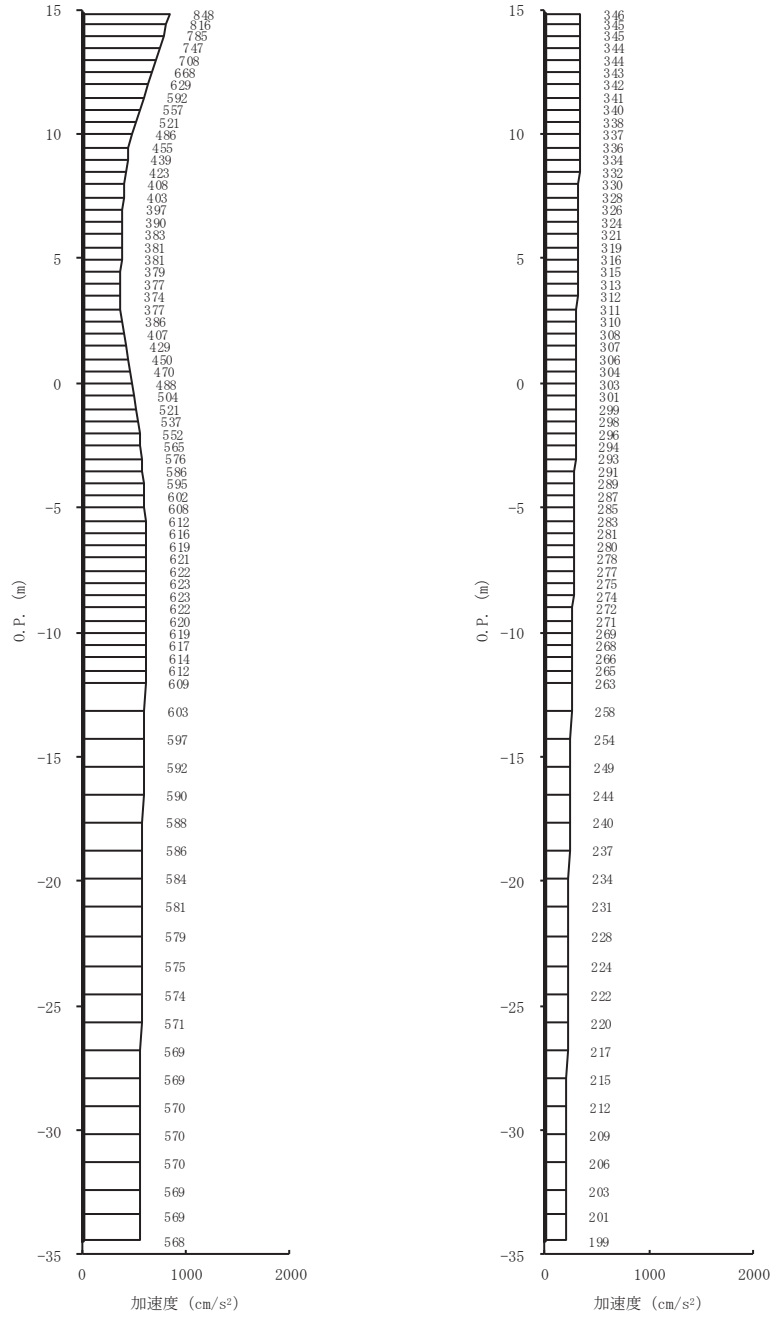




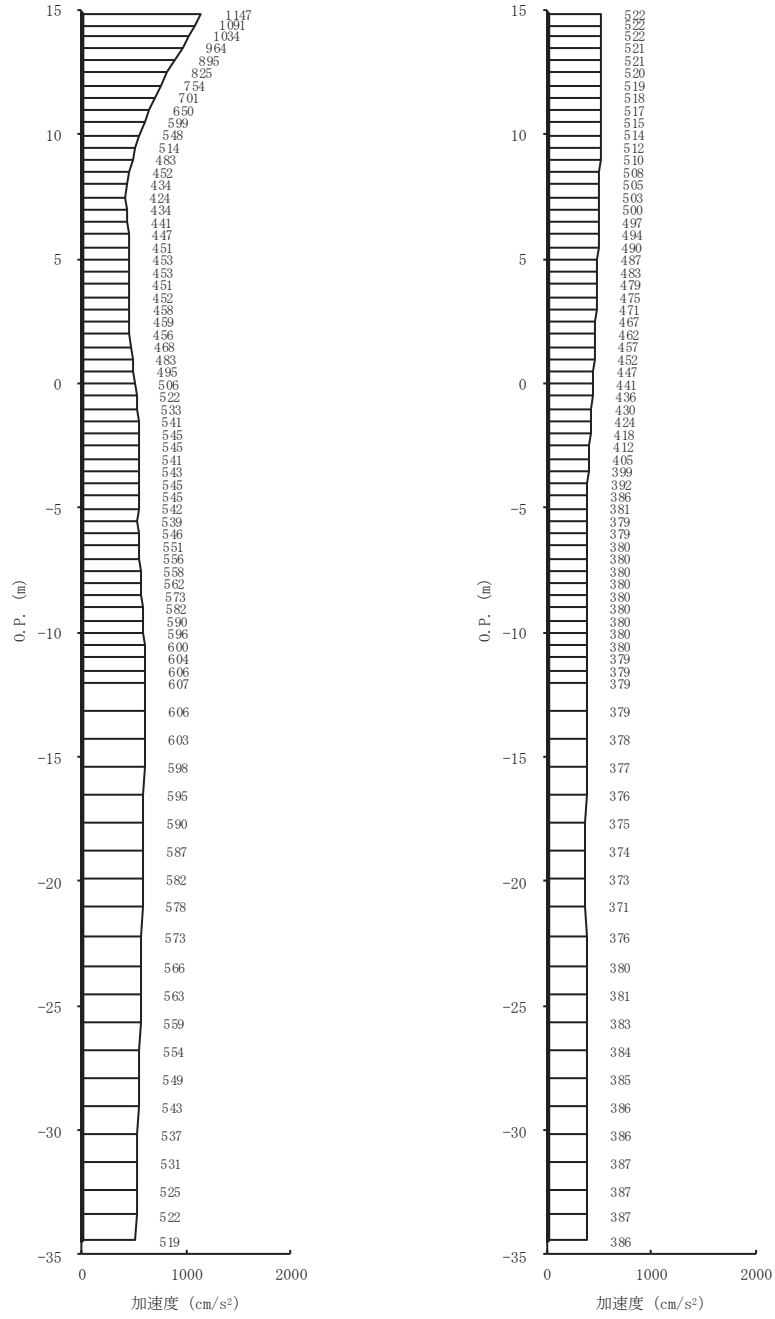
(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11(19) 最大加速度分布図 (19/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



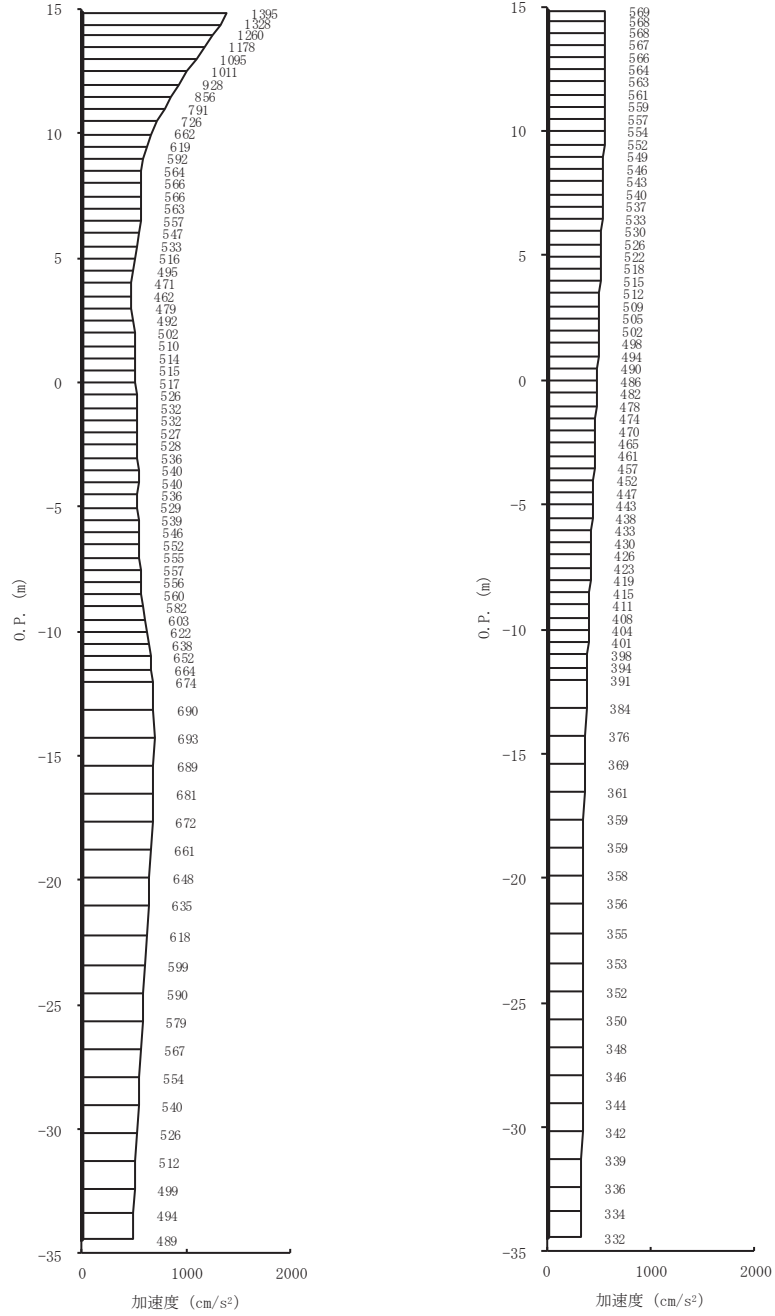
(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (20) 最大加速度分布図 (20/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



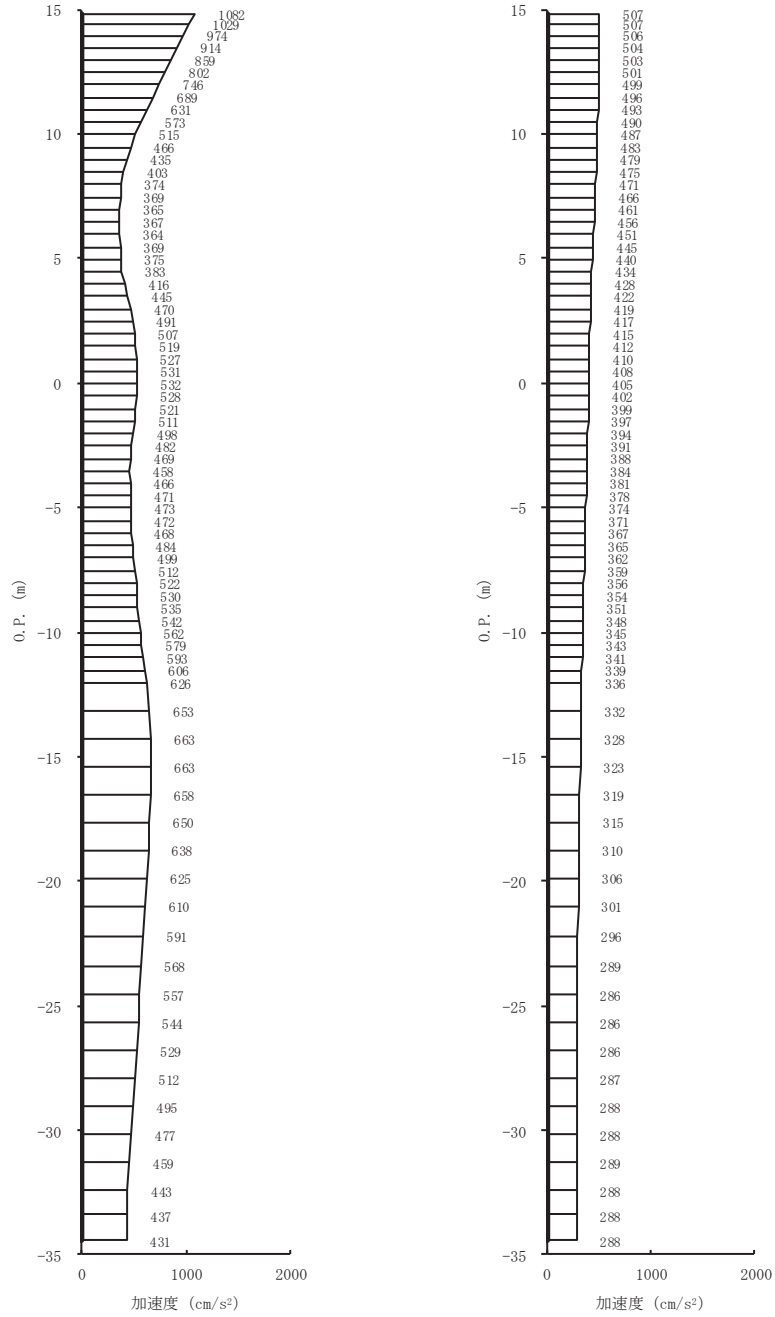
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (21) 最大加速度分布図 (21/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース③)



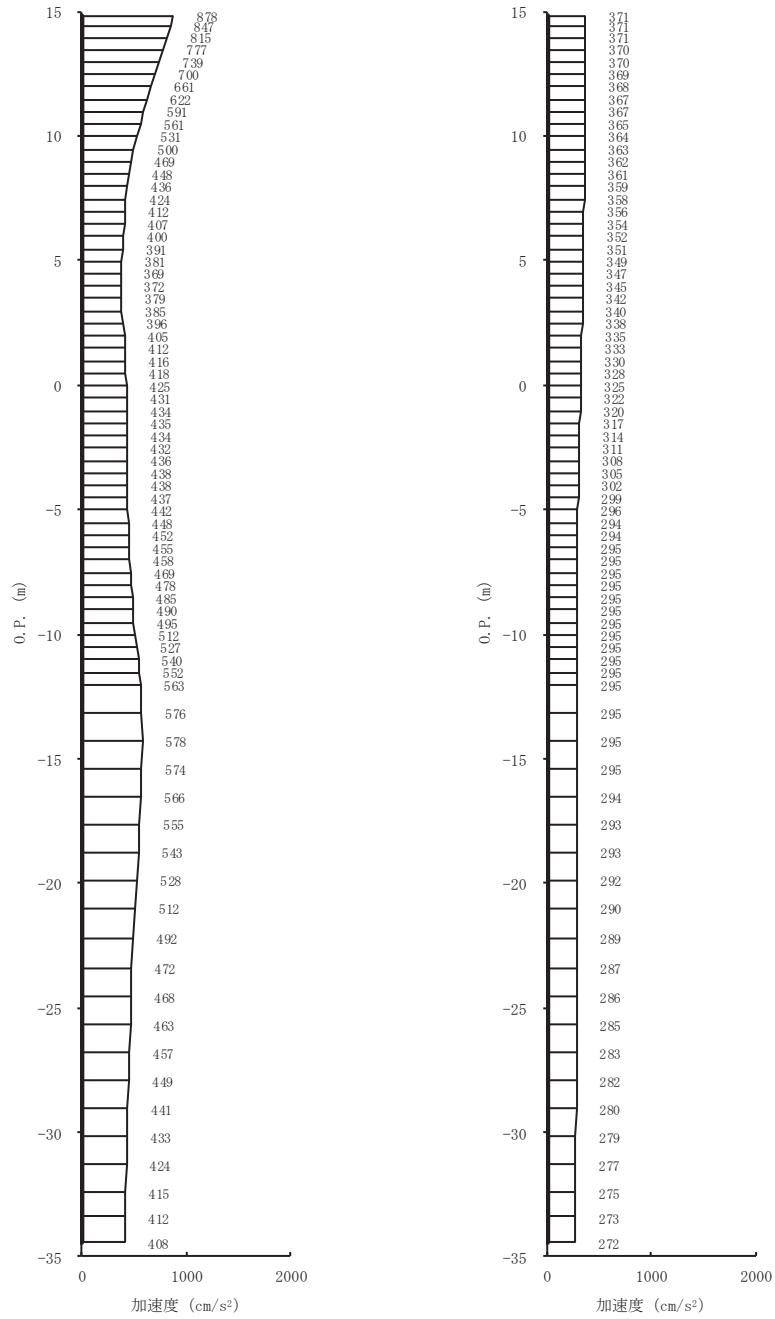
(a) S s - D 1 ( - + ) 水平      (b) S s - D 1 ( - + ) 鉛直  
 図 4-11 (22) 最大加速度分布図 (22/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



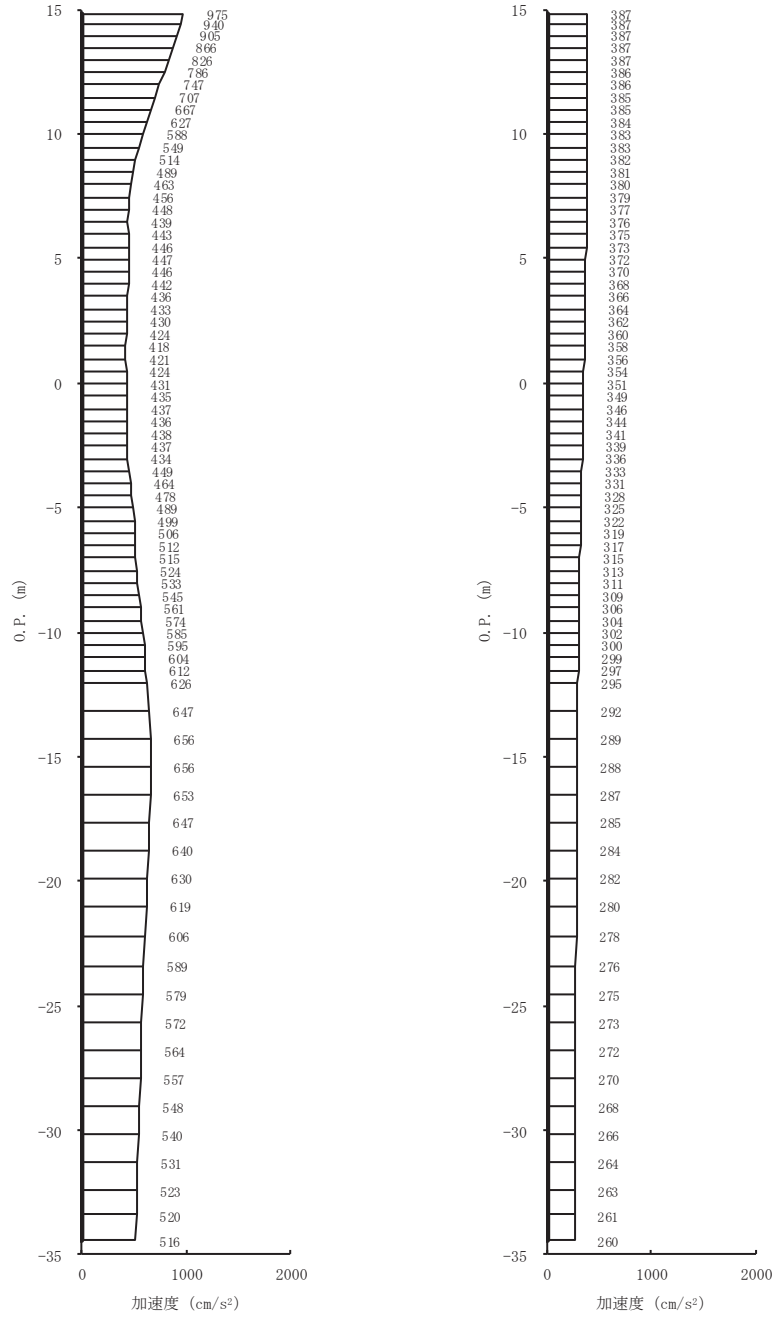
(a) S s - D 2 (-+) 水平      (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (23) 最大加速度分布図 (23/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



(a) S s - D 3 (-+) 水平      (b) S s - D 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (24) 最大加速度分布図 (24/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)

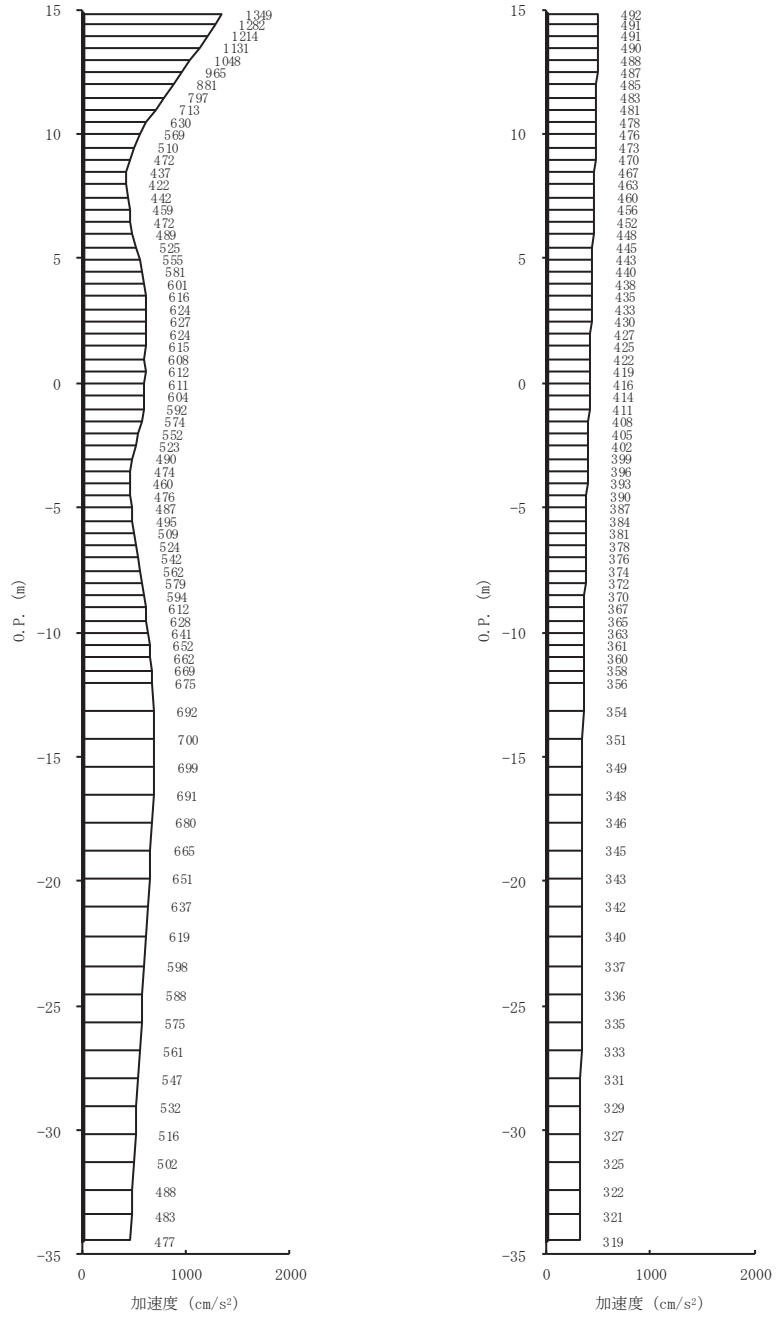


(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (25) 最大加速度分布図 (25/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)

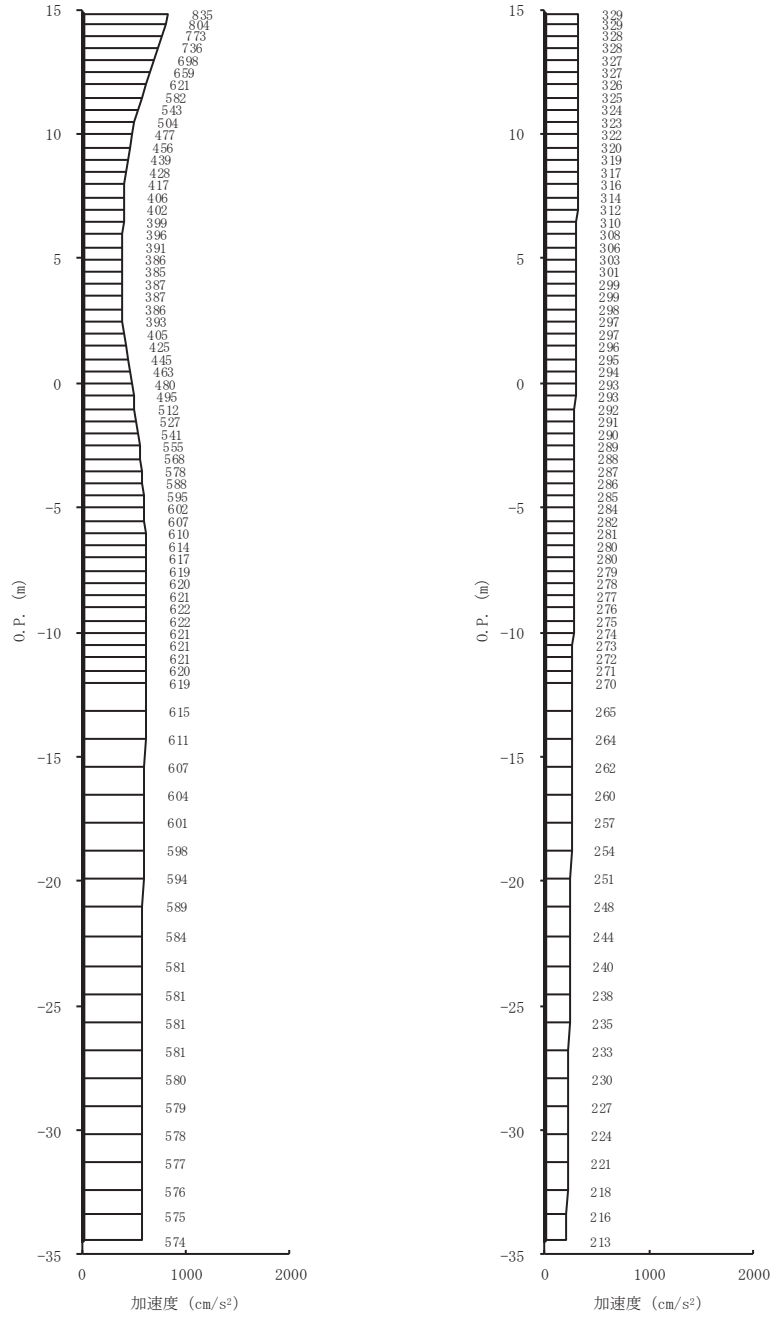


(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-11(26) 最大加速度分布図 (26/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)





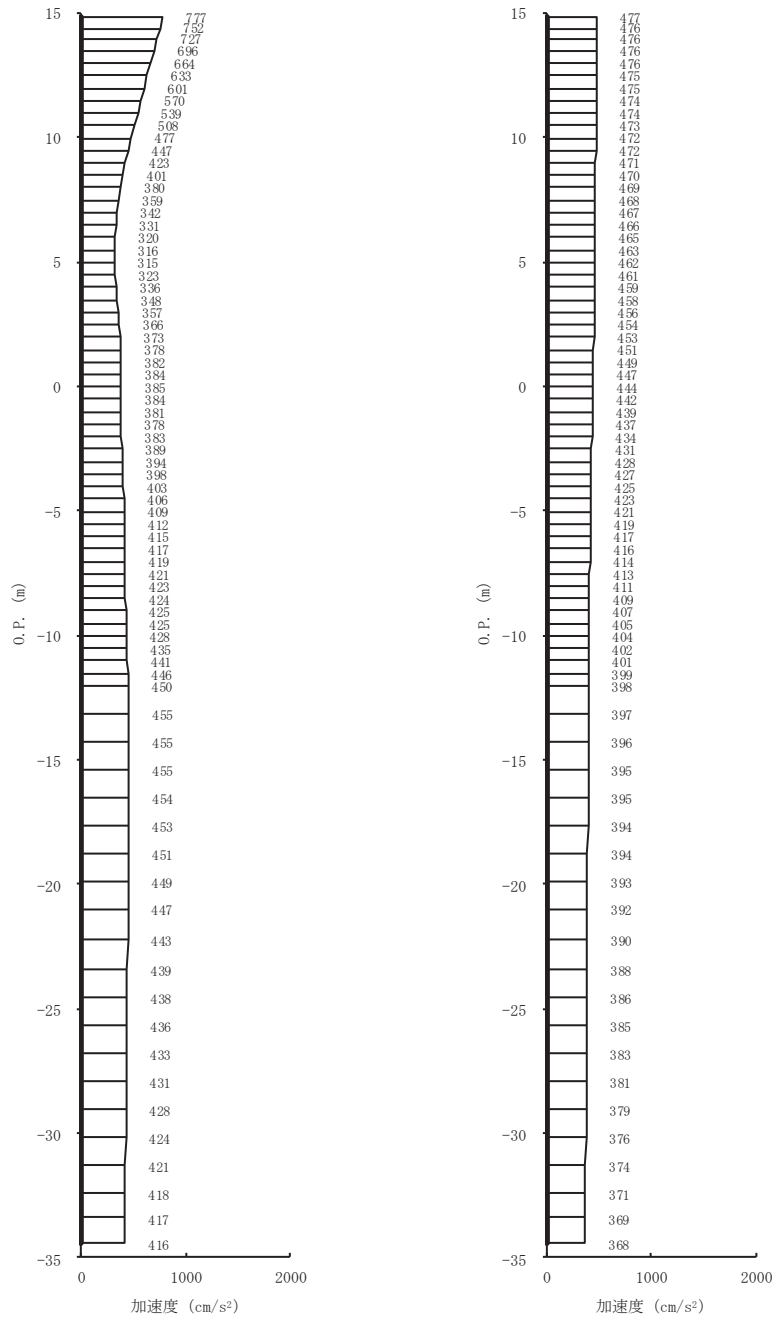
(a) S s - F 3 (-+) 水平 (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-11(27) 最大加速度分布図 (27/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)



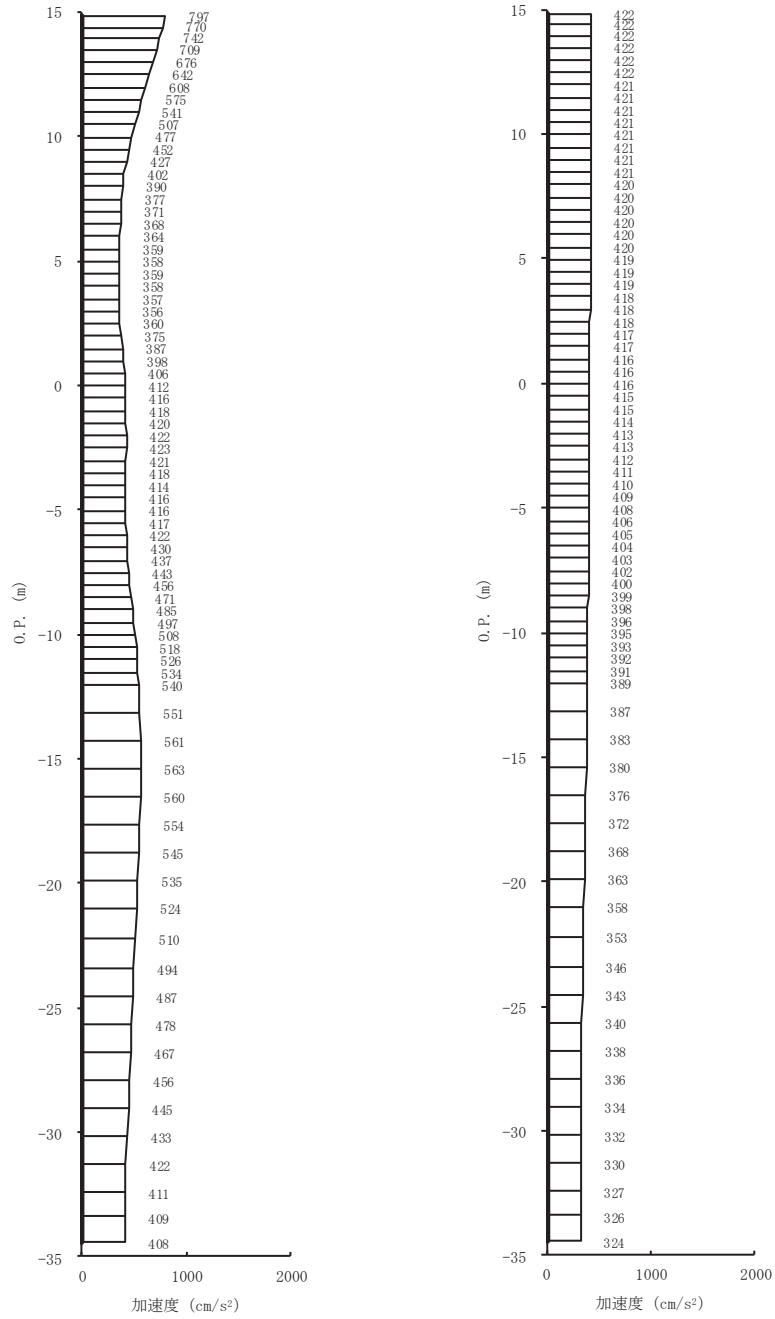
(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-11 (28) 最大加速度分布図 (28/28) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース④)

(2) 有効応力解析

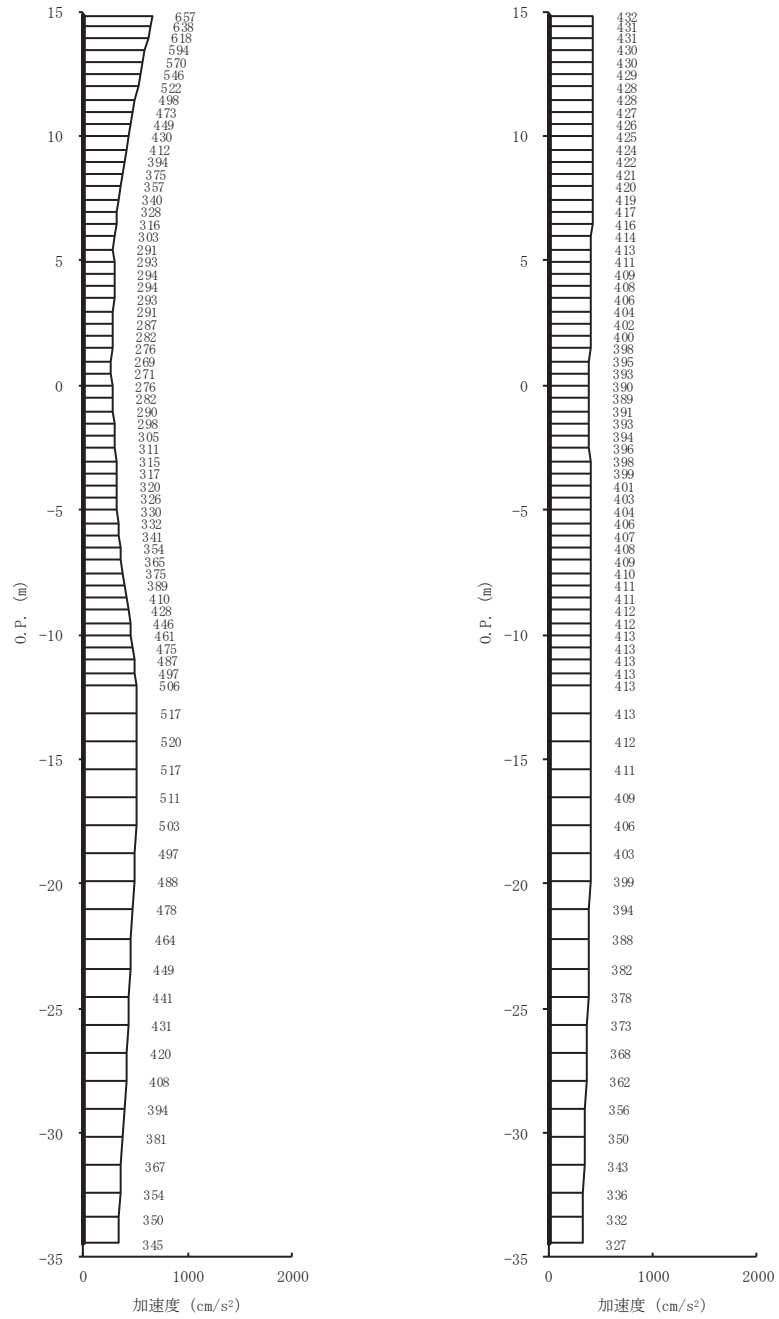
有効応力解析結果のうち、解析ケース⑤についてすべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-12 に示す。



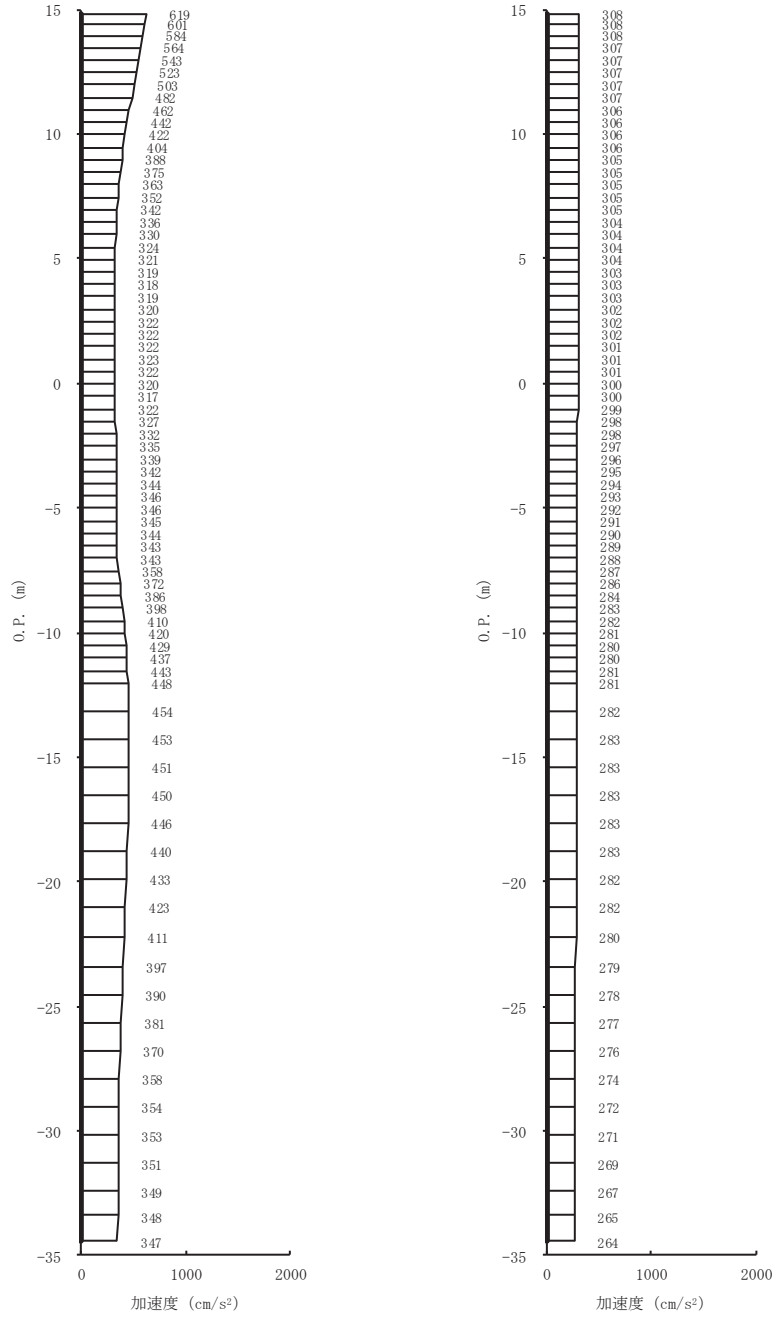
(a)  $S_s - D 1 (+ +)$  水平      (b)  $S_s - D 1 (+ +)$  鉛直  
 図 4-12(1) 最大加速度分布図 (1/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



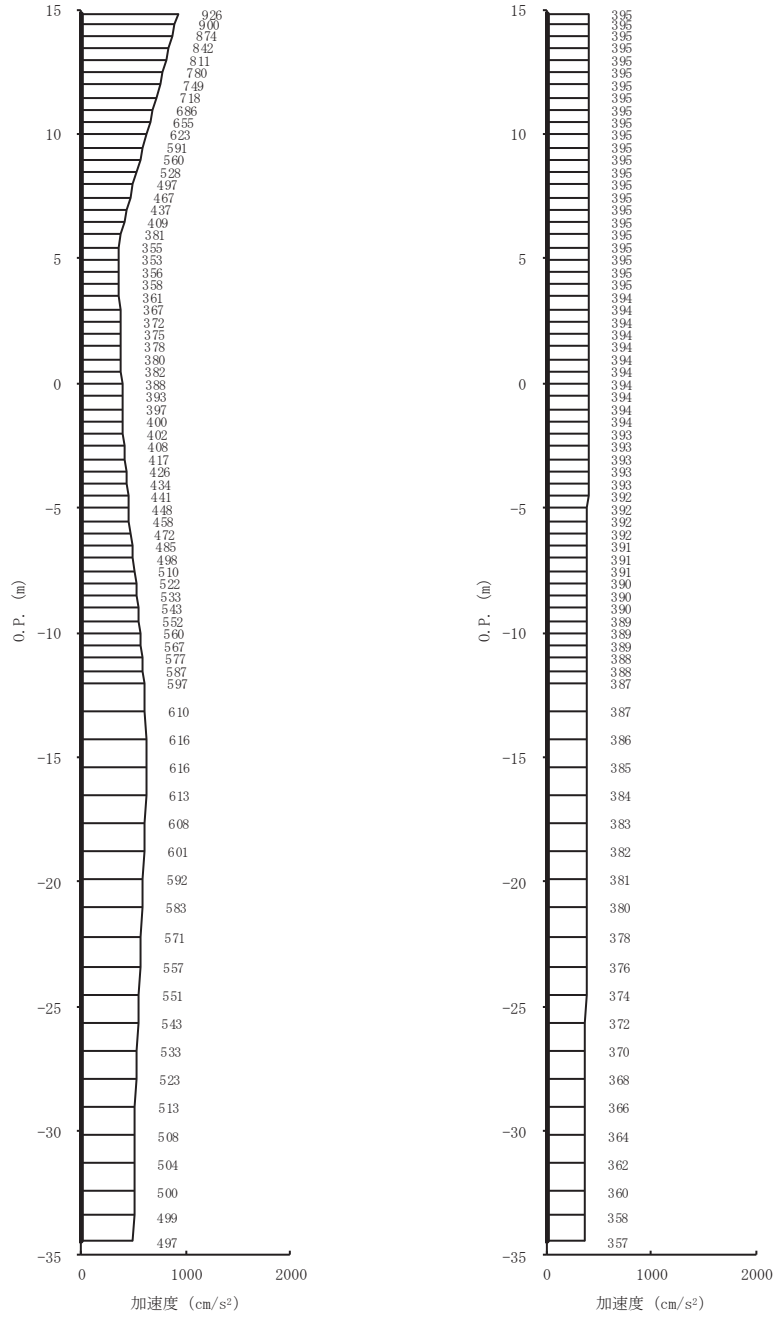
(a) S s - D 2 (++) 水平      (b) S s - D 2 (++) 鉛直  
 図 4-12 (2) 最大加速度分布図 (2/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



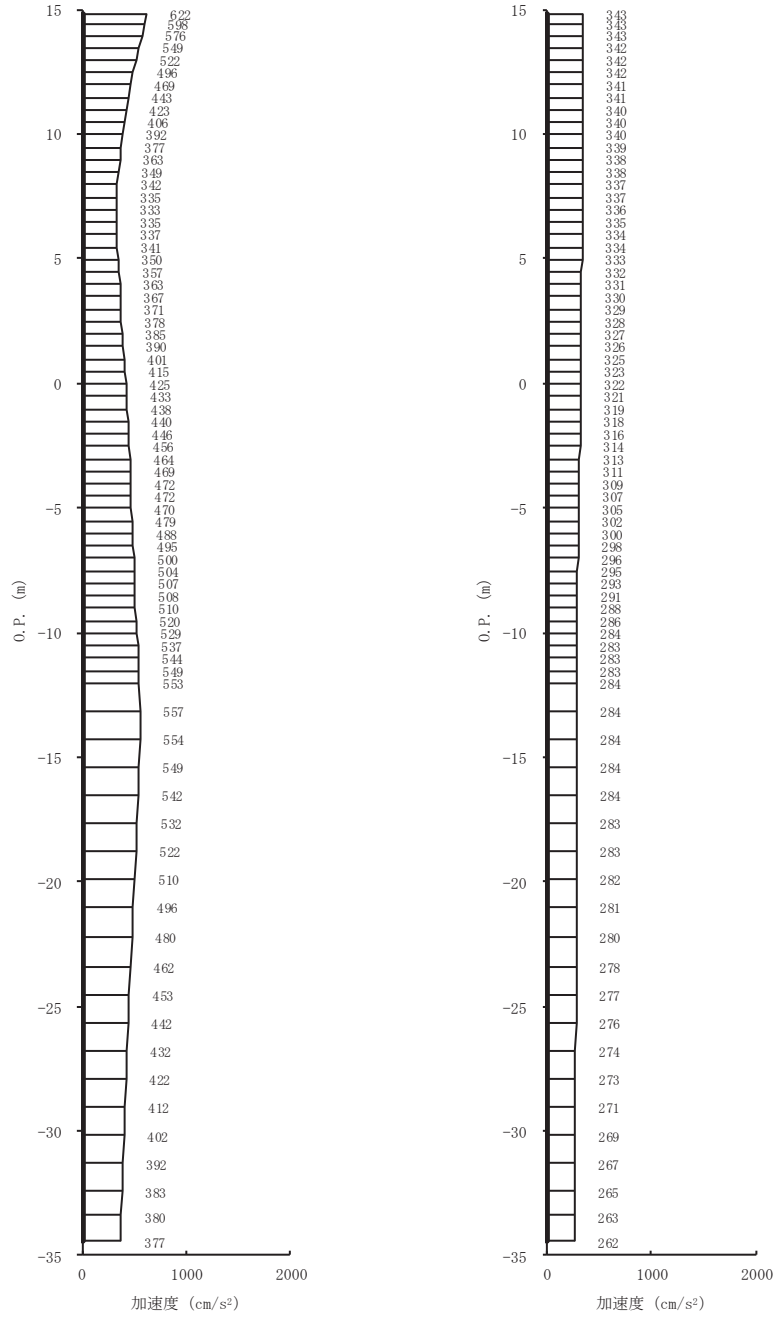
(a) S s - D 3 (++) 水平 (b) S s - D 3 (++) 鉛直  
 図 4-12(3) 最大加速度分布図 (3/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - F 1 (++) 水平 (b) S s - F 1 (++) 鉛直  
 図 4-12(4) 最大加速度分布図 (4/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)

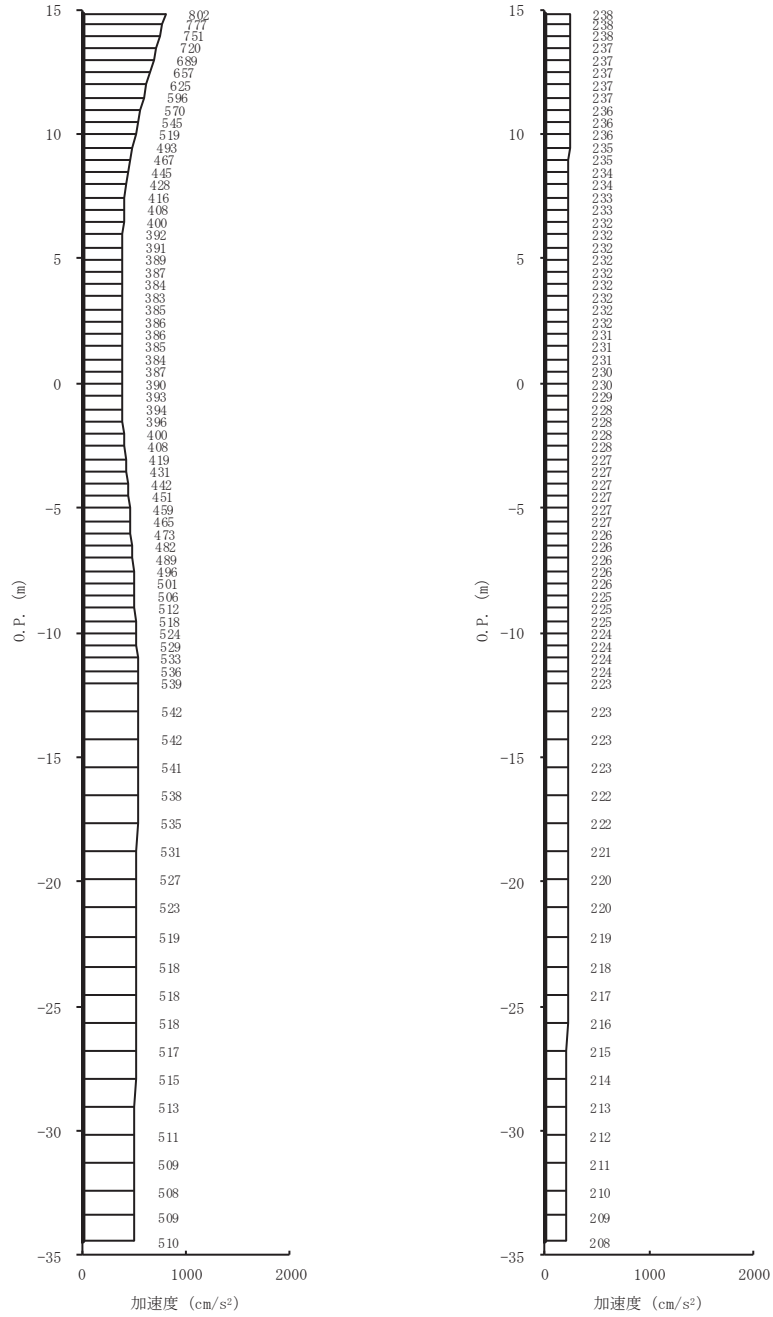


(a) S s - F 2 (++) 水平 (b) S s - F 2 (++) 鉛直  
 図 4-12 (5) 最大加速度分布図 (5/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)

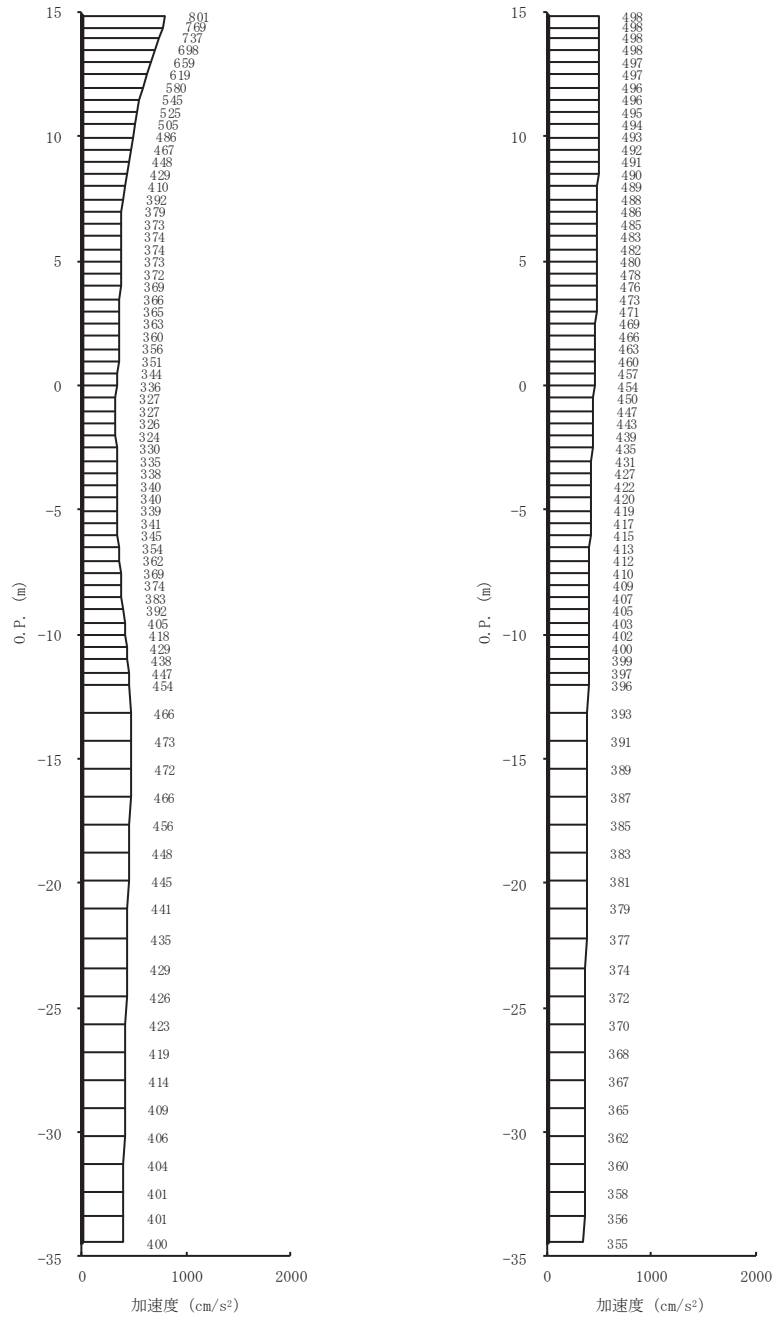


(a) S s - F 3 (++) 水平      (b) S s - F 3 (++) 鉛直  
 図 4-12 (6) 最大加速度分布図 (6/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)

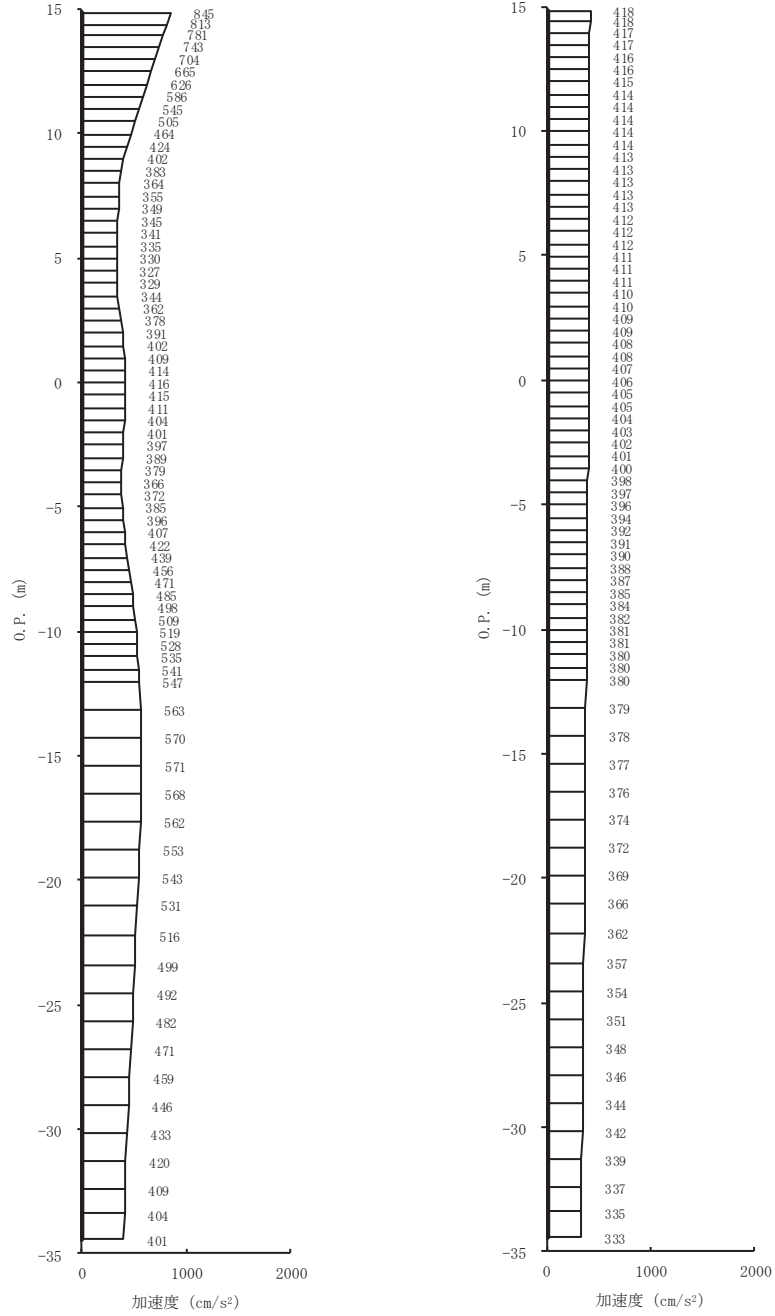




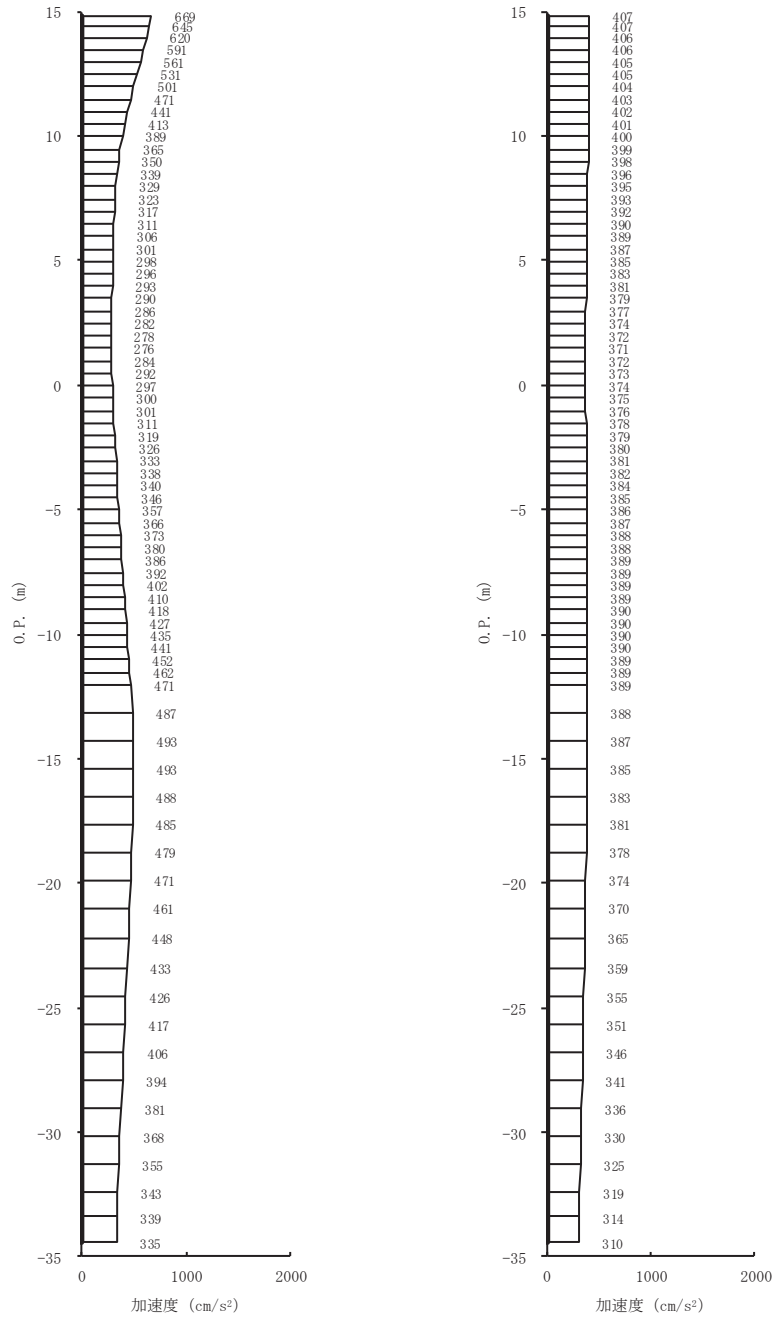
(a) S s - N 1 (++) 水平      (b) S s - N 1 (++) 鉛直  
 図 4-12(7) 最大加速度分布図 (7/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



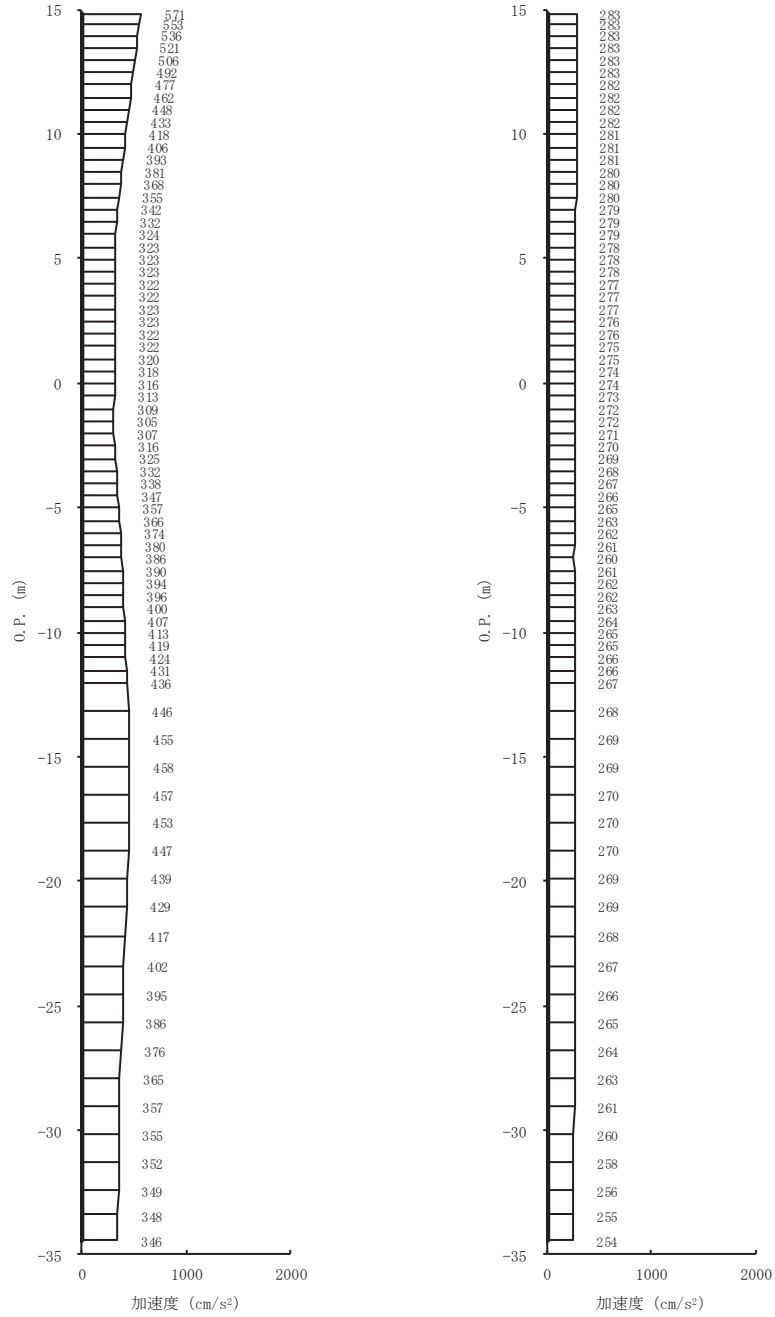
(a) S s - D 1 (-+) 水平 (b) S s - D 1 (-+) 鉛直  
 図 4-12(8) 最大加速度分布図 (8/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



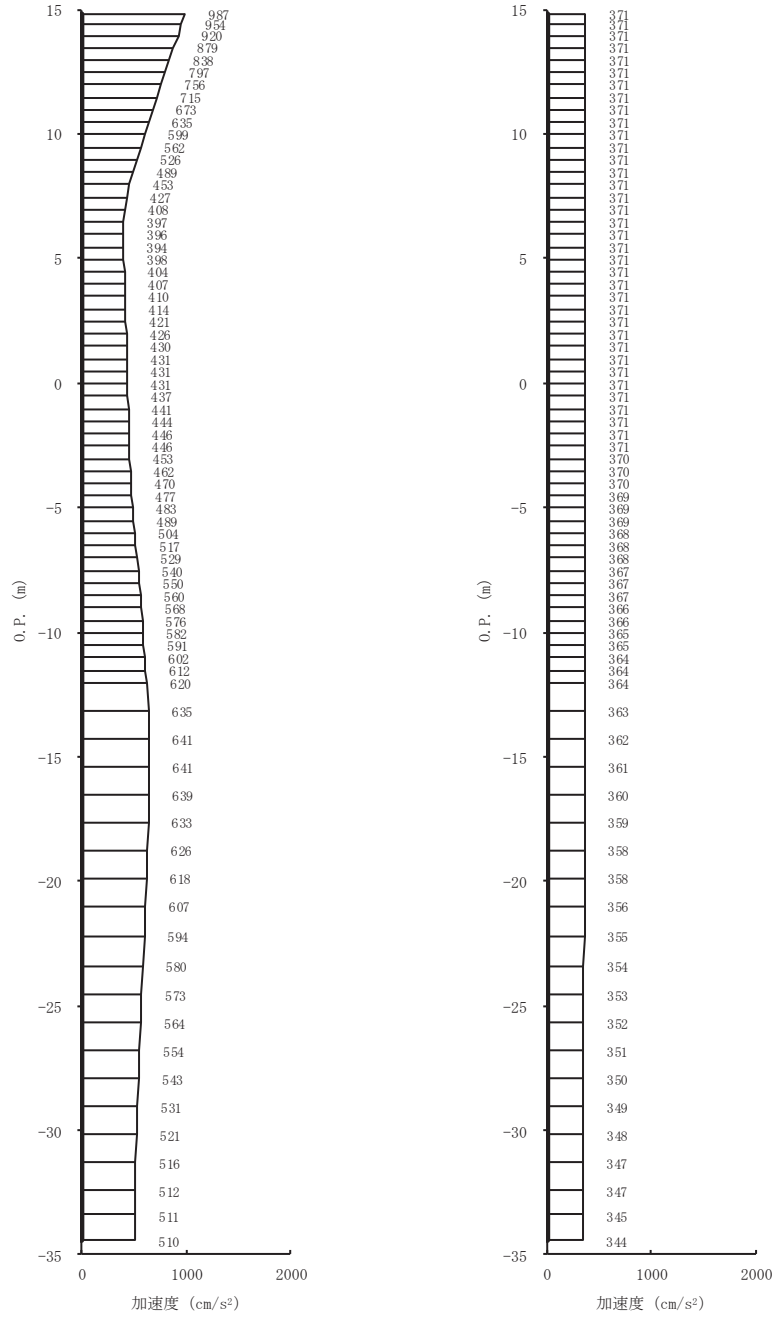
(a) S s - D 2 (-+) 水平 (b) S s - D 2 (-+) 鉛直  
 図 4-12 (9) 最大加速度分布図 (9/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



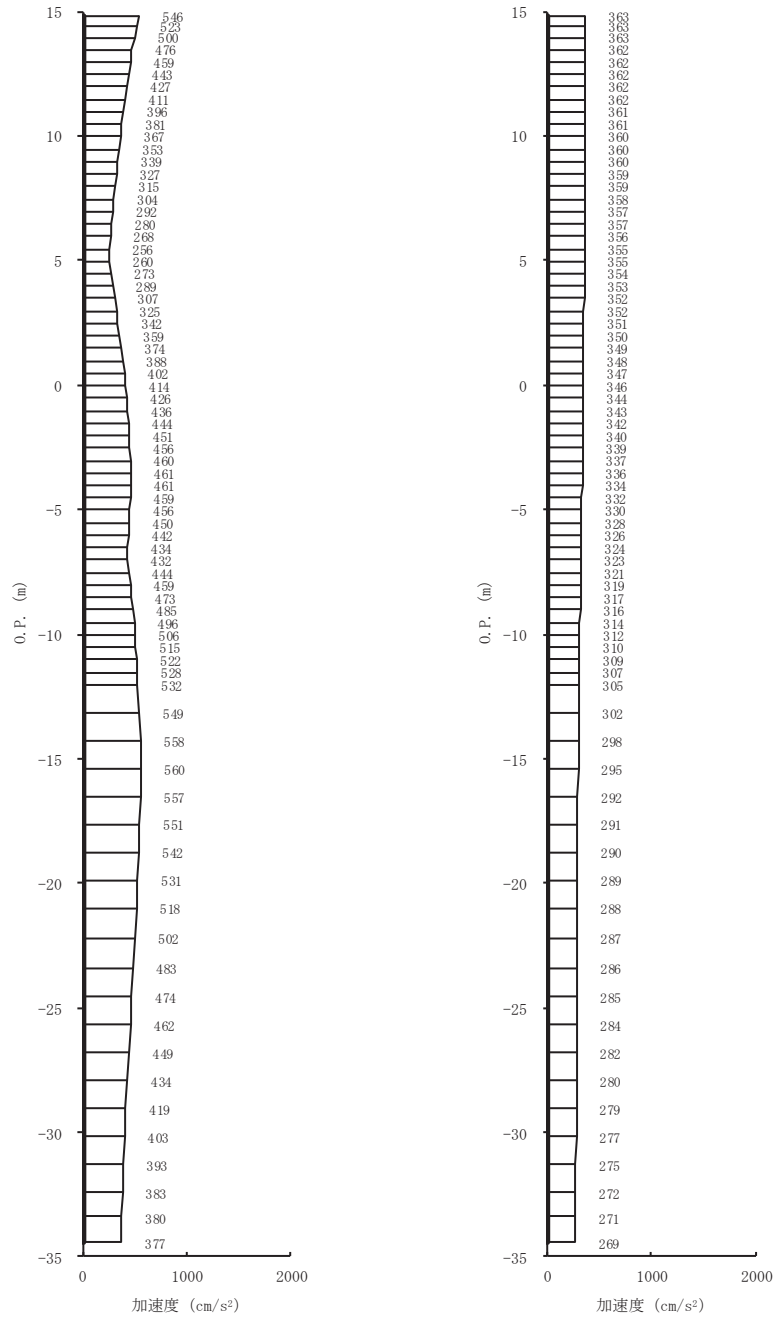
(a) S s - D 3 ( - + ) 水平      (b) S s - D 3 ( - + ) 鉛直  
 図 4-12(10) 最大加速度分布図 (10/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



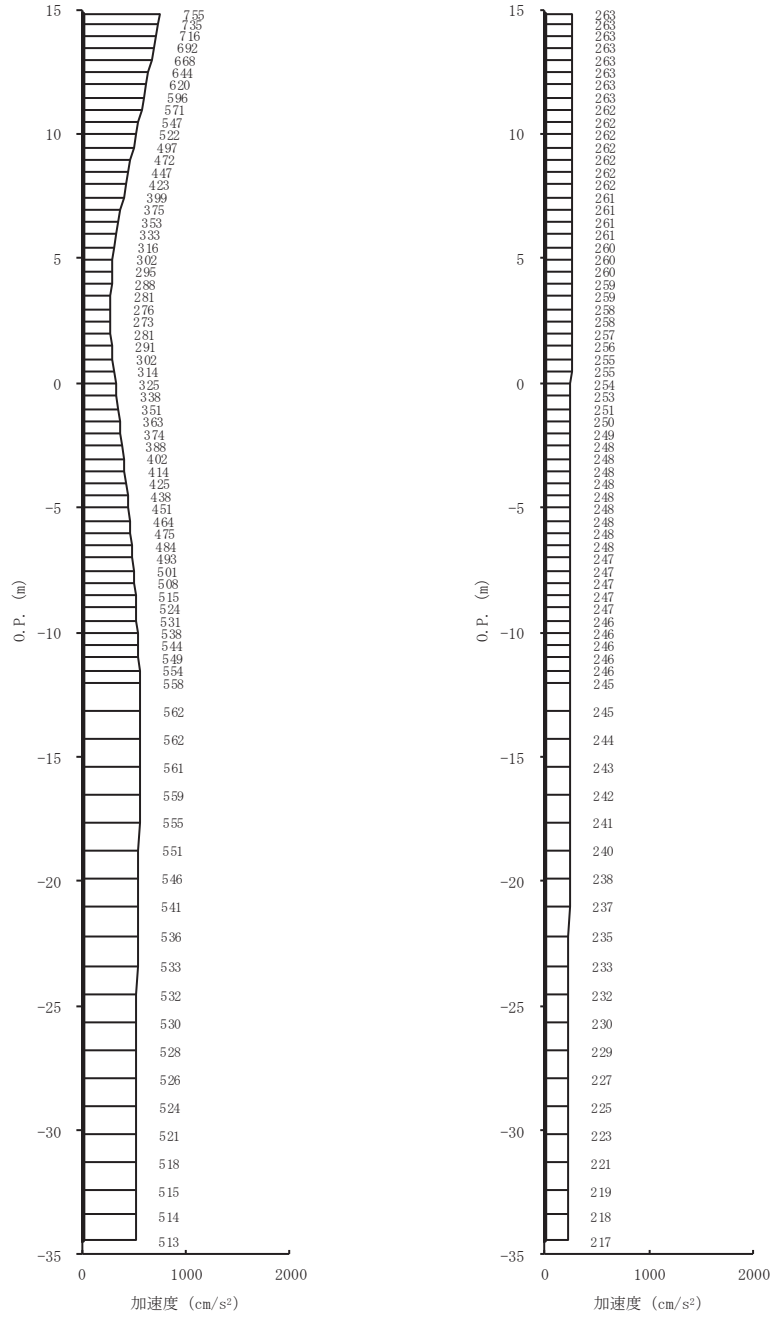
(a) S s - F 1 (-+) 水平      (b) S s - F 1 (-+) 鉛直  
 図 4-12(11) 最大加速度分布図 (11/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - F 2 (-+) 水平      (b) S s - F 2 (-+) 鉛直  
 図 4-12(12) 最大加速度分布図 (12/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - F 3 (-+) 水平      (b) S s - F 3 (-+) 鉛直  
 図 4-12(13) 最大加速度分布図 (13/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



(a) S s - N 1 (-+) 水平      (b) S s - N 1 (-+) 鉛直  
 図 4-12(14) 最大加速度分布図 (14/14) (No. 4 揚水井戸, 解析ケース⑤)



VI-2-13-6 地下水位低下設備揚水ポンプの耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	6
4.	固有周期	7
4.1	基本方針	7
4.2	固有周期の測定方法	7
4.3	固有周期の測定結果	7
5.	構造強度評価	8
5.1	構造強度評価方法	8
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2	許容応力	8
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
5.3	設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）	11
5.4	計算方法	12
5.4.1	応力の計算方法	12
5.5	計算条件	14
5.6	応力の評価	14
6.	機能維持評価	15
6.1	動的機能維持評価方法	15
7.	評価結果	15

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち揚水ポンプが基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

揚水ポンプは、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち、「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建屋・構築物」に基づき、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

揚水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプは、基礎ボルトで床面に固定する。</p>	<p>水中ポンプ</p>	<p>正面図</p> <p>平面図 (A-A 矢視)</p> <p>(単位 : mm)</p>

## 2.2 評価方針

揚水ポンプの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す揚水ポンプの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく基準地震動  $S_s$  による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、揚水ポンプの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

揚水ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

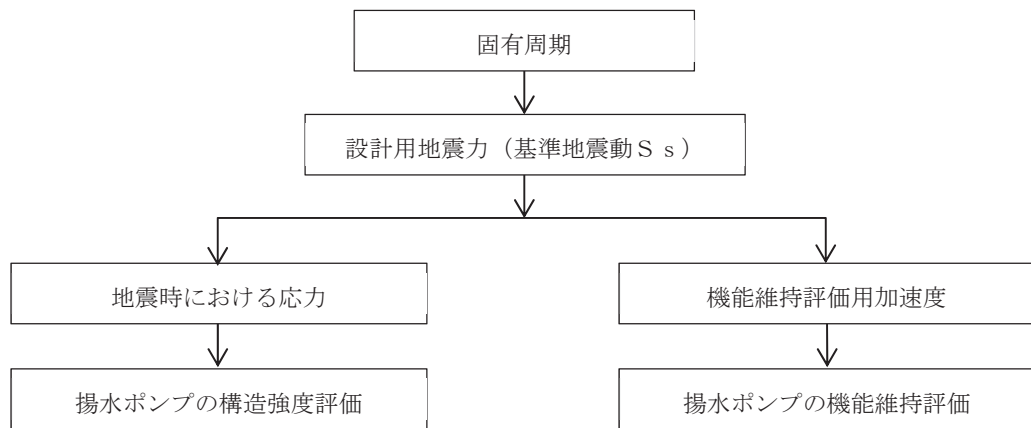


図 2-1 揚水ポンプの耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
(以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_P$	ポンプ振動による震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D$	ボルトのピッチ円直径	mm
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
$f_{sb}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$H_P$	予想最大両振幅	$\mu\text{m}$
$h$	据付面から重心までの距離	mm
$m$	運転時質量	kg
$m_H$	水平方向の水の付加質量を加えた運転時質量	kg
$m_V$	鉛直方向の水の付加質量を加えた運転時質量	kg
$N$	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
$n$	ボルトの本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*3</sup>

注記 \*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

揚水ポンプの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

揚水ポンプの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。



#### 4. 固有周期

##### 4.1 基本方針

揚水ポンプの固有周期は、振動特性把握試験にて求める。

##### 4.2 固有周期の測定方法

振動試験装置により固有周期を測定する。揚水ポンプの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

##### 4.3 固有周期の測定結果

固有周期の測定結果を表 4-1 に示す。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	0.031
鉛直方向	0.02 以下

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

- (1) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力はポンプに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 円形配置である基礎ボルトに対する引張応力は、最も厳しい条件として、支点から最も離れたボルトについて計算する。
- (4) 設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に示す地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。揚水ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。
- (5) 耐震計算に際しては、ポンプ内包水の質量及び水の付加質量を考慮する。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

揚水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

#### 5.2.2 許容応力

揚水ポンプの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

揚水ポンプの使用材料の許容応力の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
施設共通 (地震)	地下水位低下 設備	揚水ポンプ	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記 \* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 \*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		基礎ボルト	SUS316L	周囲環境温度	40	—	175

### 5.3 設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）

評価に用いる設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）を表 5-4 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に示す地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。揚水ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。

なお、水平方向及び鉛直方向それぞれ、各揚水井戸における設計震度が大きい方を設定する。

表 5-4 設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
地下水位低下 設備揚水井戸 No. 1, 3 : O.P. -29.40* No. 2, 4 : O.P. -32.40*	0.031	0.02 以下	—	—	$C_H=0.72$	$C_V=0.53$

注記\*：基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による引張応力とせん断応力について計算する。図 5-1 に計算モデルを示す。

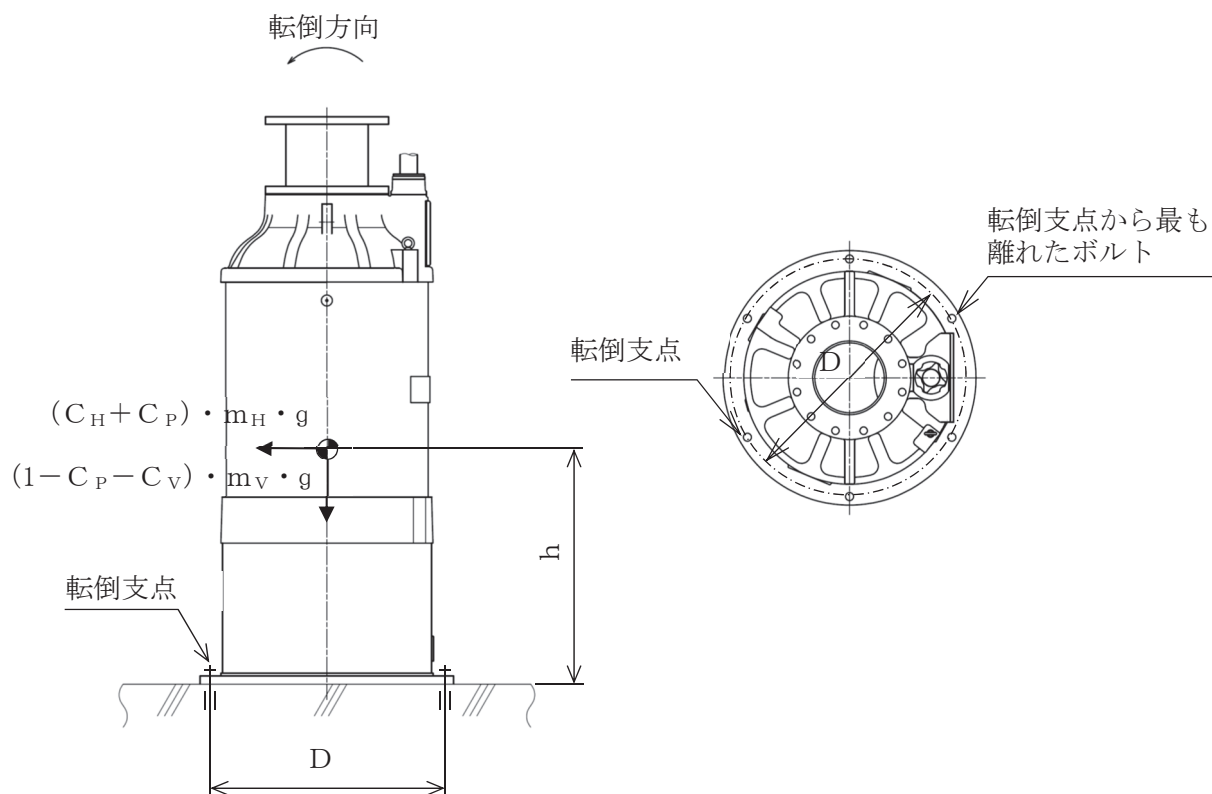


図 5-1 計算モデル

(1) 引張応力

円形配置である基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 で転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力  $F_b$

$$F_b = \frac{(C_H + C_P) \cdot m_H \cdot g \cdot h - (1 - C_P - C_V) \cdot m_V \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

また、 $C_P$  はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

基礎ボルトに作用する引張応力  $\sigma_b$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

ただし、 $F_b$  が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。  
なお、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力  $Q_b$

$$Q_b = m_H \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

5.5 計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【揚水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.4.1 節で求めたボルトの引張応力  $\sigma_b$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \cdots \cdots (5.4.1.7)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。ただし、 $f_{sb}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



## 6. 機能維持評価

### 6.1 動的機能維持評価方法

揚水ポンプの動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に示す地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

揚水ポンプの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式のポンプ単体の振動試験（加振試験）において、動的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
揚水ポンプ	水平方向	2.90
	鉛直方向	1.19

## 7. 評価結果

揚水ポンプの耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【揚水ポンプの耐震性についての計算結果】

1 設計条件

機器名称	耐震 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ポンプ振動 による震度	最高 使用温度 (°C)	周囲 環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
揚水ポンプ	C	地下水位低下設備 揚水井戸 No. 1, 3 : O. P. -29. 40* No. 2, 4 : O. P. -32. 40*	0. 031	0. 02 以下	—	—	C <sub>H</sub> =0. 72	C <sub>V</sub> =0. 53	C <sub>P</sub> =0. 18	—	40

注記\* : 基準床レベルを示す。

2 機器要目

部 材	m (kg)	m <sub>H</sub> (kg)	m <sub>V</sub> (kg)	h (mm)	D (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>f</sub>
基礎ボルト	1750	2458	1864	800	770	24 (M24)	452. 4	6	6

部 材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向		H <sub>P</sub> (μm)	N (rpm)
					弾性設計用 地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>		
基礎ボルト	175*	480*	—	210	—	水平	34	3000

注記 \* : 周囲環境温度で算出

3 計算数値

3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	—	8.704×10 <sup>3</sup>	—	2.148×10 <sup>4</sup>

4 結論

4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS316L	引張り	—	—	σ <sub>b</sub> =20	f <sub>t s</sub> =126*
		せん断	—	—	τ <sub>b</sub> =8	f <sub>s b</sub> =96

注記\* : f<sub>t s</sub> = Min[1.4 · f<sub>t o</sub> - 1.6 · τ<sub>b</sub>, f<sub>t o</sub>]より算出。

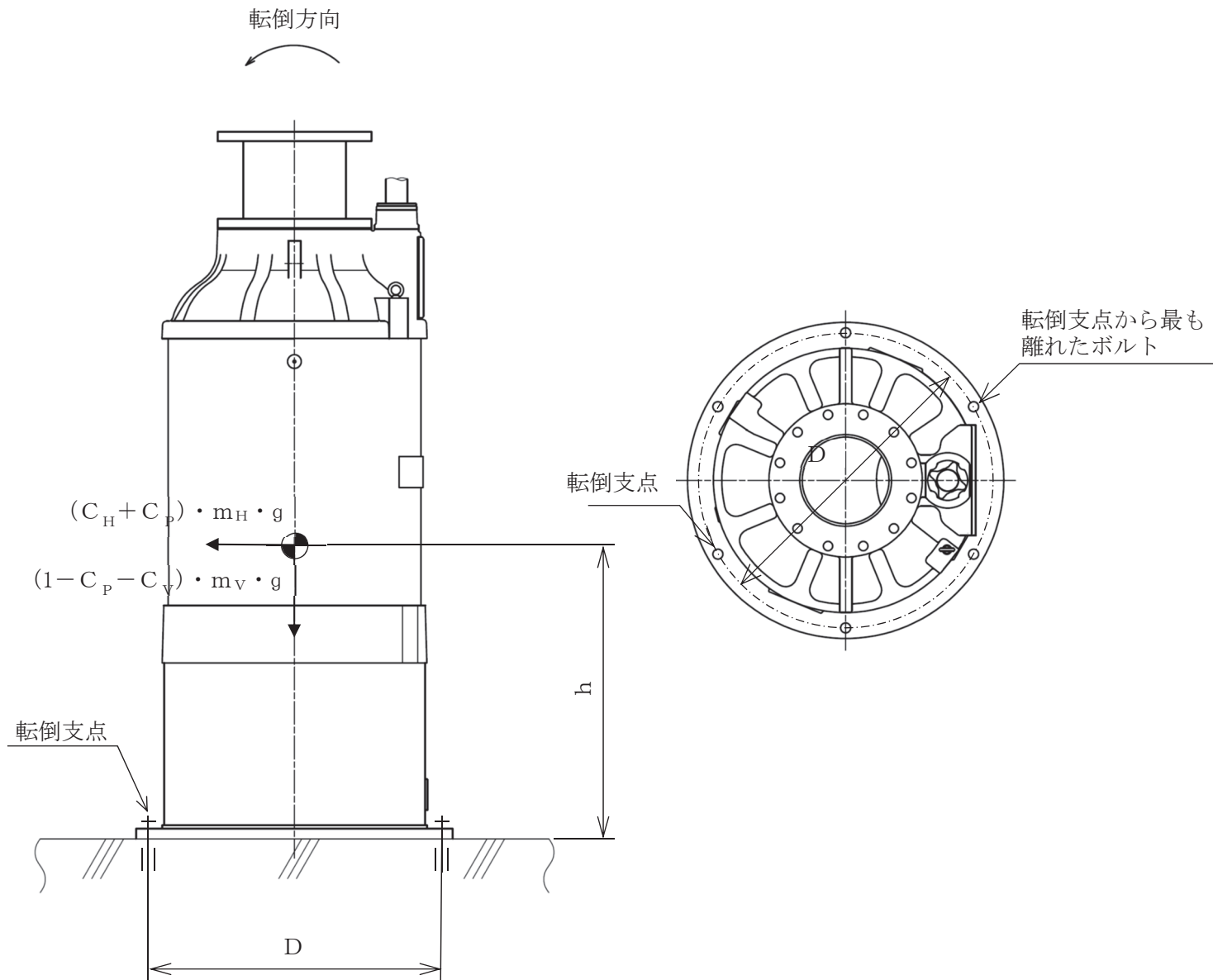
すべて許容応力以下である。

4.2 動的機能の評価結果 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
揚水ポンプ	水平方向	0.60	2.90
	鉛直方向	0.44	1.19

注記\* : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0 ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-13-7 地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書

設計基準対象施設

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	27
4.1 固有周期及び設計震度	27
4.2 評価結果	35
4.2.1 管の応力評価結果	35
4.2.2 支持構造物評価結果	36
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	37
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	38

## 1. 概 要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、地下水位低下設備の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁



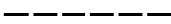
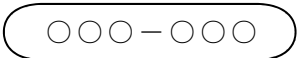

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

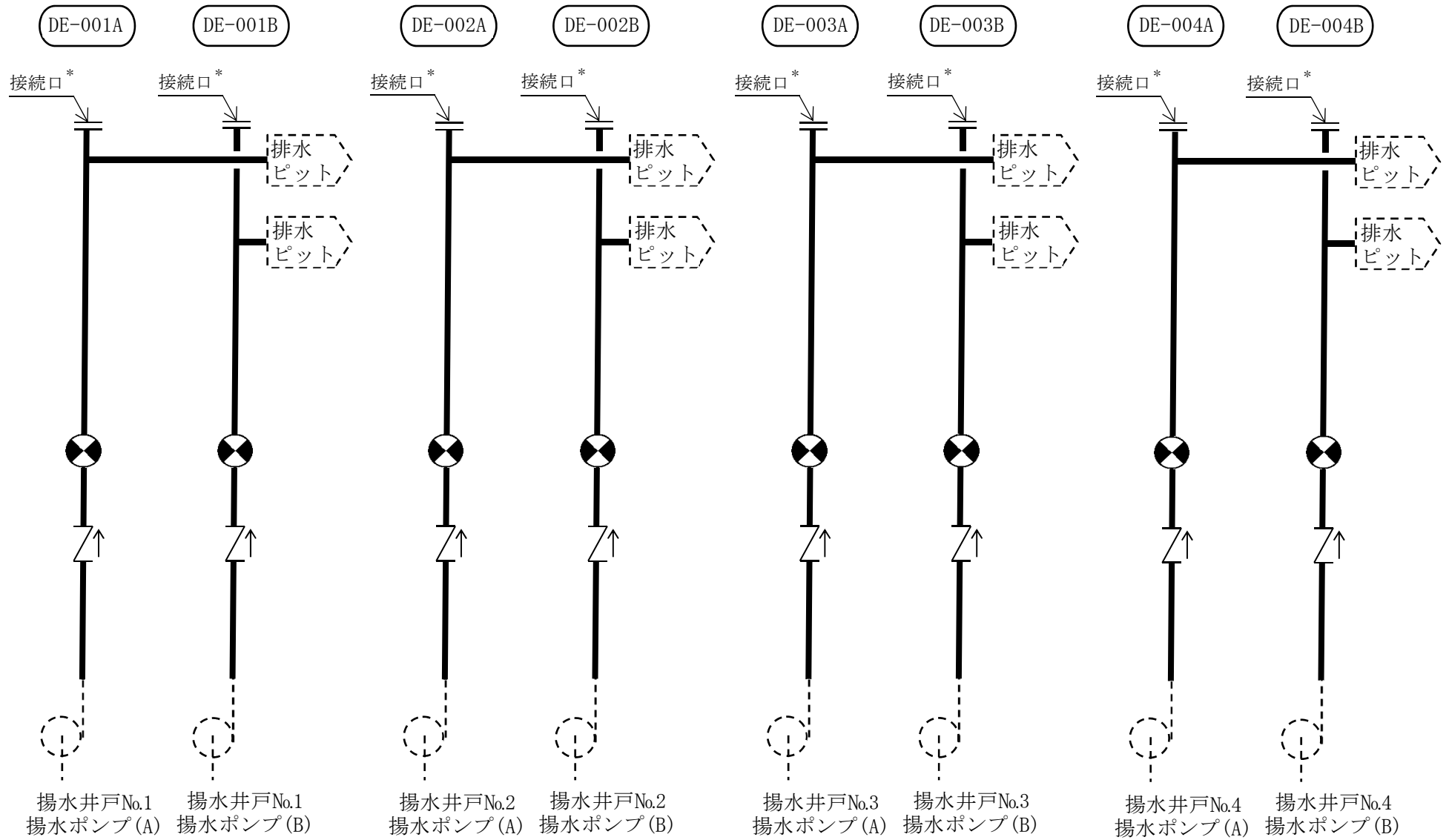


## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

### 2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
 	鳥瞰図番号  アンカ


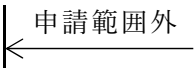
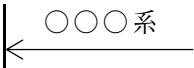


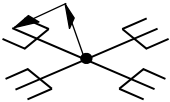
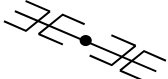
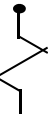
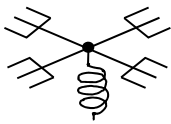
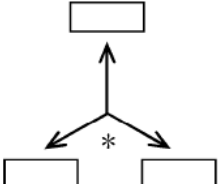


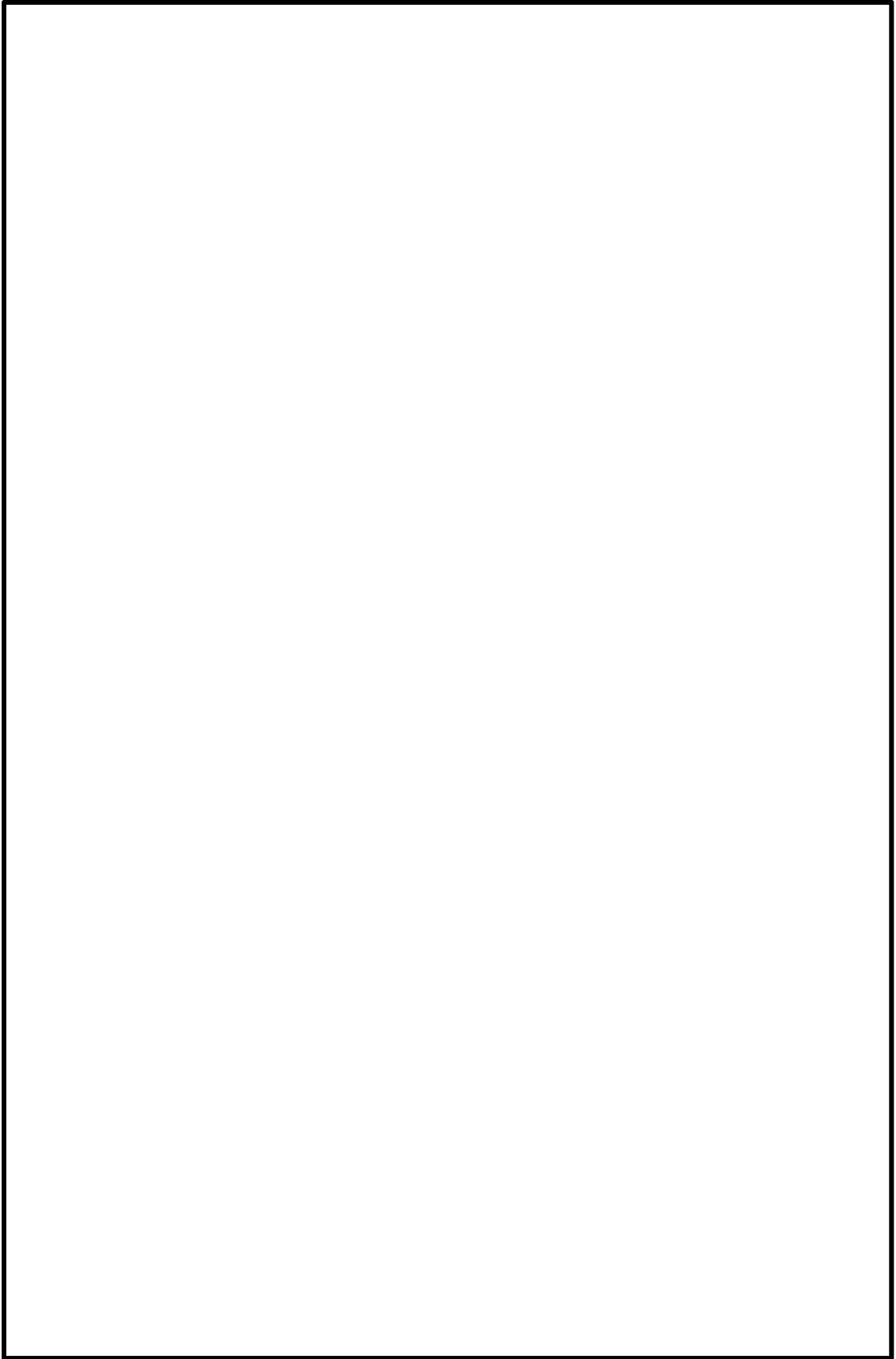
注記\*：屋外排水路の排水異常により地表面での滞水が確認された場合に、排水経路を確保するために仮設ホース等を接続するための接続口を設置する。

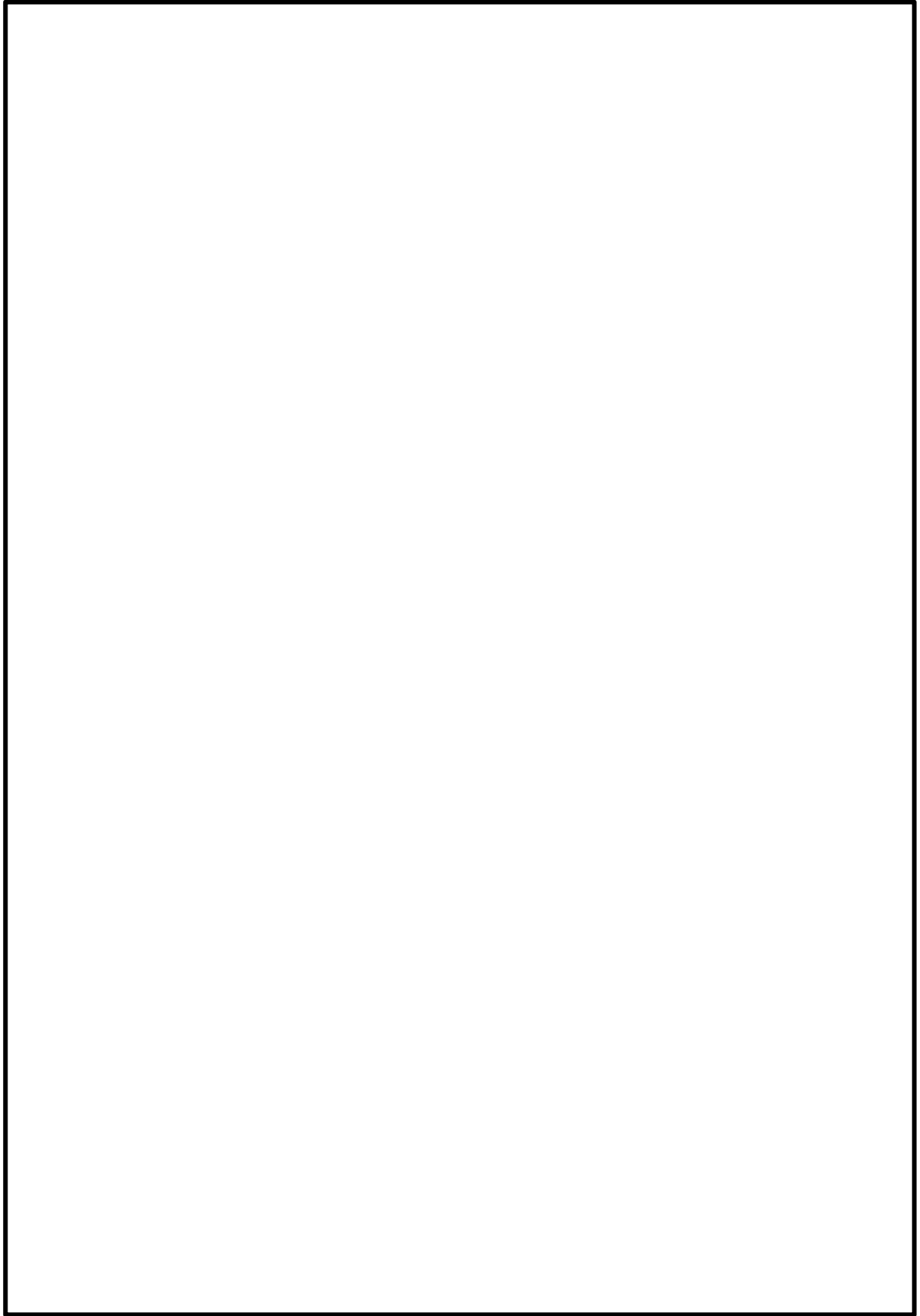
地下水水位低下設備概略系統図

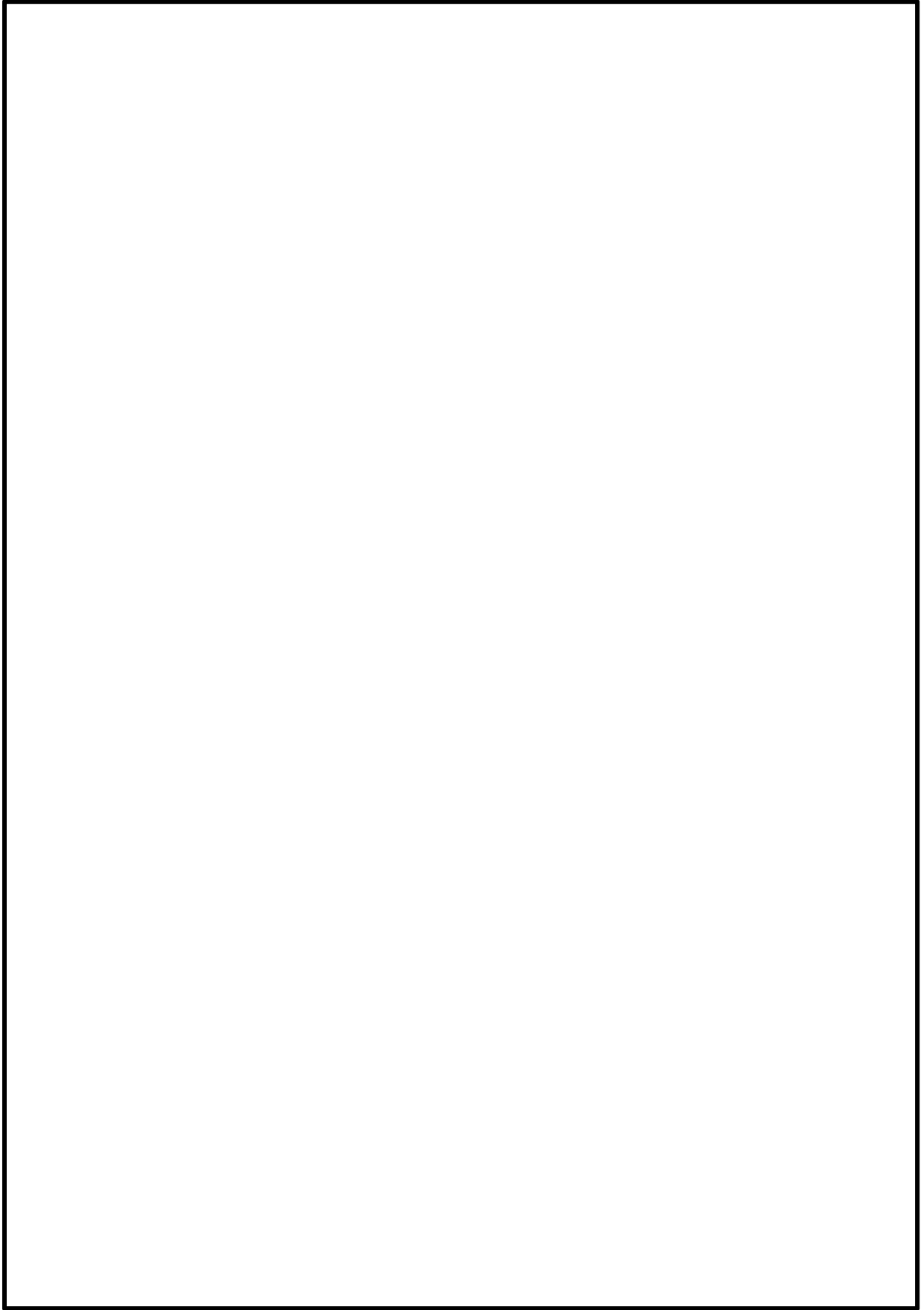
2.2 鳥瞰図

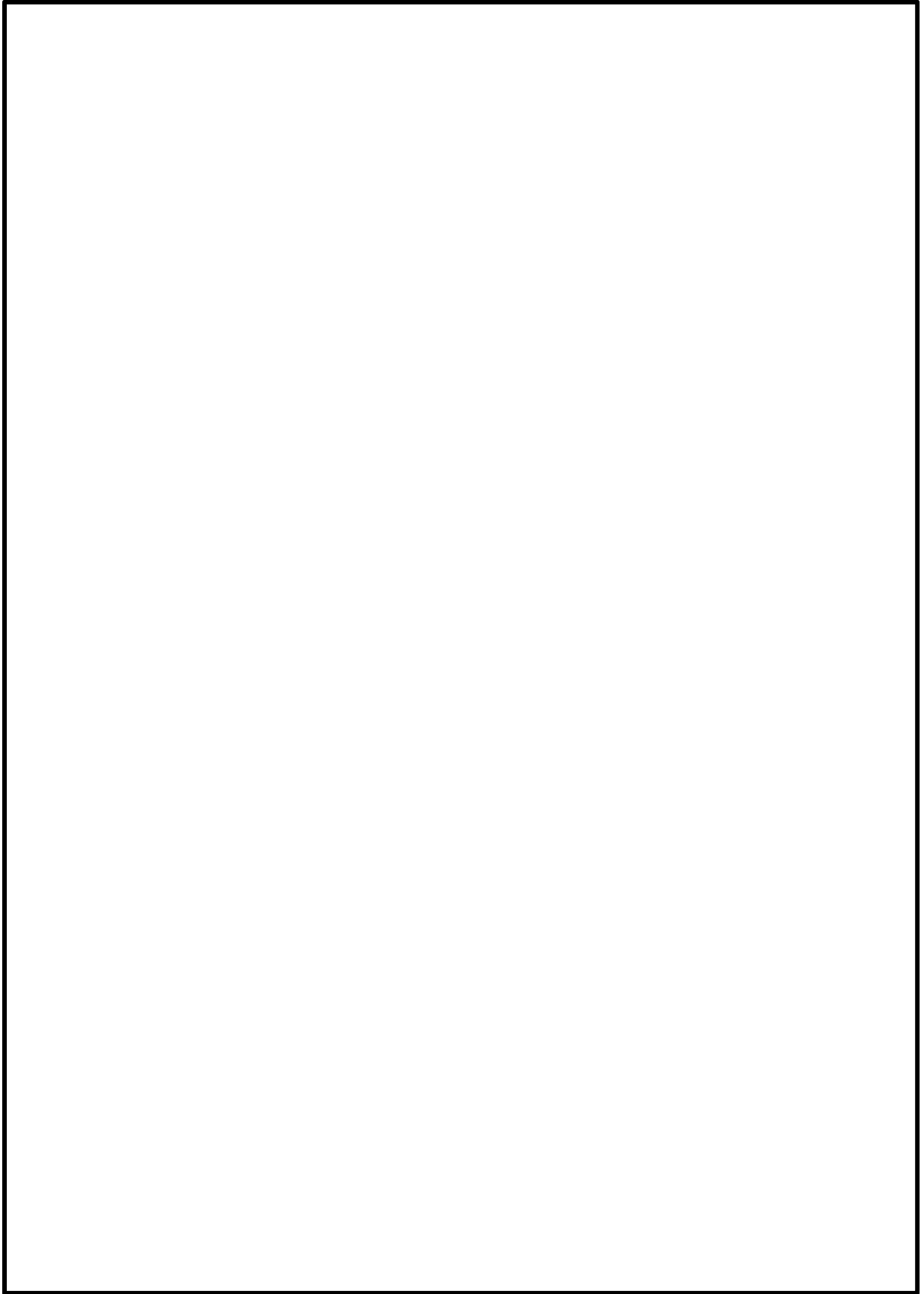
鳥瞰図記号凡例

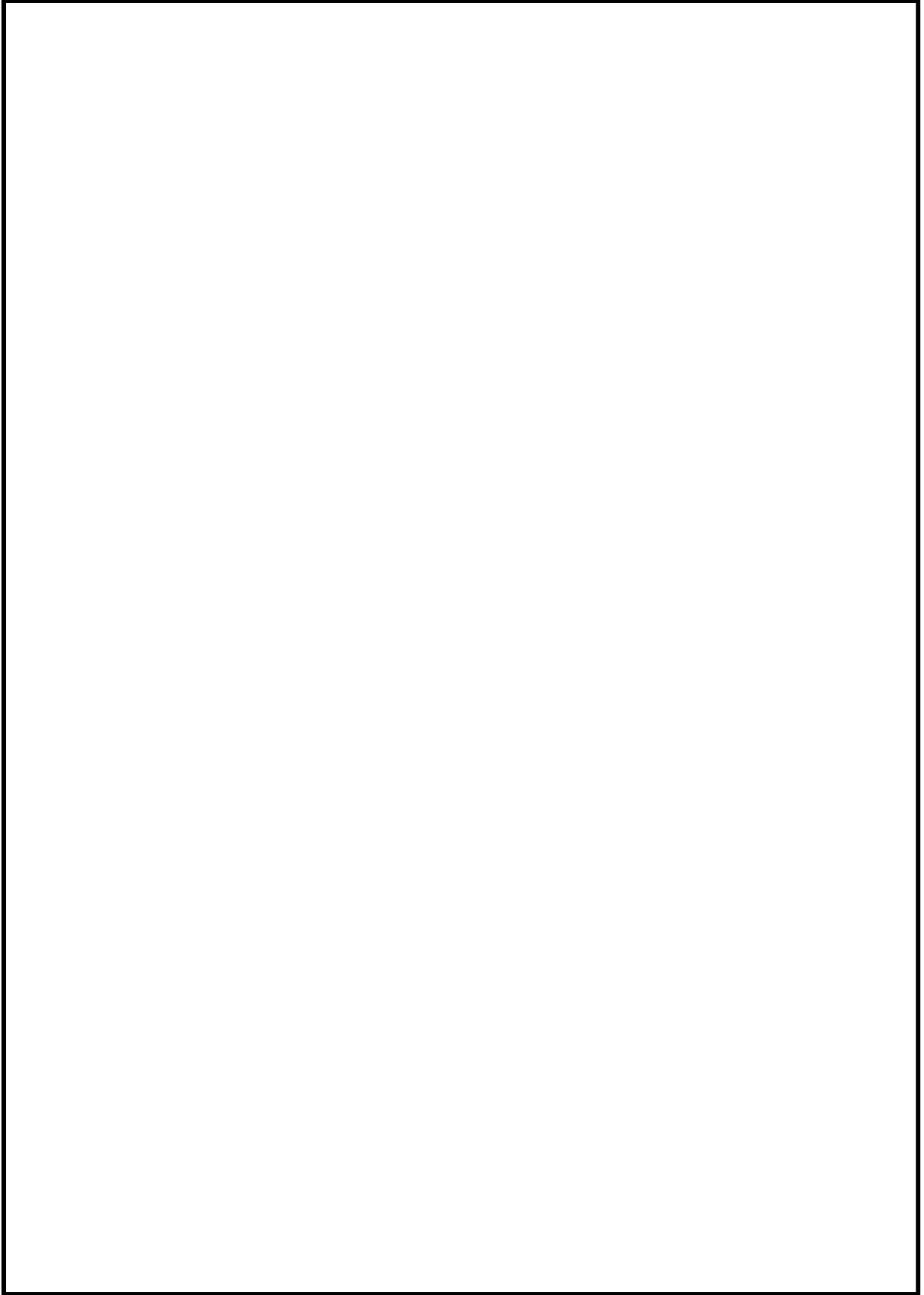
記 号	内 容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また， <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)



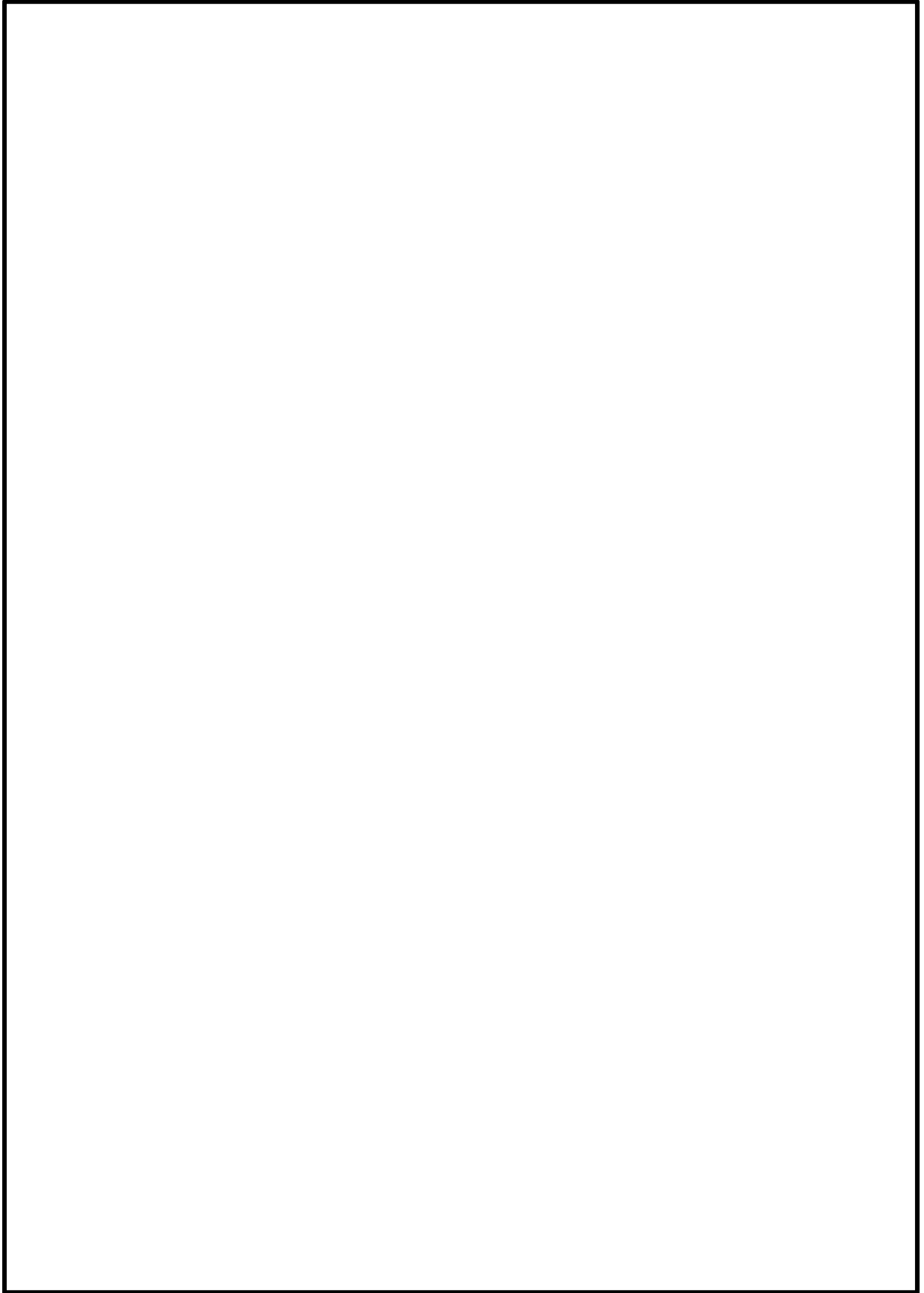












### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。耐震計算に際しては、地下水位低下設備の設計における井戸内の最大水位を踏まえ、表 3-1 に示す最大水位以下の各質点に水の付加質量を考慮する。

解析コードは、「MSAP(配管)」を使用し、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。

また、設計用床応答曲線の作成には、「CHERRY」を使用し、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。

表 3-1 地下水位低下設備の設計における井戸内の最大水位

揚水井戸 No.	水位
No. 1 揚水井戸, No. 3 揚水井戸	O. P. -26. 1m
No. 2 揚水井戸, No. 4 揚水井戸	O. P. -29. 1m

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 <sup>*1</sup>	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*2,3</sup>	許容応力状態
施設共通 (地震)	地下水位 低下設備	—	DB	—	— <sup>*4</sup>	C	I <sub>L</sub> + S <sub>s</sub> II <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	IV <sub>AS</sub>

注記 \*1: DB は設計基準対象施設, SA は重大事故等対処設備を示す。

\*2: 運転状態の添字 L は荷重が作用している状態を示す。

\*3: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*4: クラス 3 管相当として評価する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 DE-001A

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000
2	0.00	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000

鳥 瞰 図 DE-003B

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000
2	0.00	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000

設計条件

管名称と対応する評価点

評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 DE-001A

管名称	対応する評価点
1	1001, 501, 3, 516, 6, 502, 311, 312, 801, 600, 503, 601, 7, 9, 504, 10, 12, 602, 505, 802, 603, 506, 803, 604, 605, 606, 507, 804, 607, 608, 609, 508, 805, 610, 611, 612, 509, 806, 613, 807, 614, 615, 510, 808, 616, 617, 618, 511, 809, 619, 620, 621, 512, 810, 622, 623, 624, 625, 513
2	513, 811, 412, 411, 413, 514, 414, 515, 13

配管の質量(付加質量含む)

鳥 瞰 図 DE-001A

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1001		802		509		810	
501		603		806		622	
3		506		613		623	
516		803		807		624	
6		604		614		625	
502		605		615		513	
801		606		510		811	
600		507		808		412	
503		804		616		411	
601		607		617		413	
7		608		618		514	
9		609		511		414	
504		508		809		515	
10		805		619		13	
12		610		620			
602		611		621			
505		612		512			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
311	
901	
312	

弁部の寸法を下表に示す。

弁No.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	901	267.4	9.3	562.8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 DE-003B

管名称	対応する評価点
1	1006, 501, 1, 515, 4, 516, 100, 311, 312, 600, 801, 502, 601, 7, 9, 503, 10, 12, 802, 504, 602, 803, 505, 603, 604, 605, 804, 506, 606, 607, 608, 805, 507, 806, 609, 610, 807, 508, 611, 612, 613, 808, 509, 614, 615, 616, 809, 510, 617, 618, 619, 810, 511, 620, 621, 622, 811, 623, 512
2	512, 812, 412, 411, 413, 513, 414, 514, 13

配管の質量(付加質量含む)

鳥 瞰 図 DE-003B

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1006		504		807		620	
501		602		508		621	
1		803		611		622	
515		505		612		811	
4		603		613		623	
516		604		808		512	
100		605		509		812	
600		804		614		412	
801		506		615		411	
502		606		616		413	
601		607		809		513	
7		608		510		414	
9		805		617		514	
503		507		618		13	
10		806		619			
12		609		810			
802		610		511			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
311	
901	
312	

弁部の寸法を下表に示す。

弁No.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁 1	901	267.4	9.3	562.8

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 DE-001A

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1001						
801						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 802 **						
** 802 **						
** 803 **						
** 803 **						
** 804 **						
** 804 **						
** 805 **						
** 805 **						

\*\*印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 806 **						
** 806 **						
807						
** 808 **						
** 808 **						
** 809 **						
** 809 **						
** 810 **						
** 810 **						
** 811 **						
** 811 **						

\*\* 印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 DE-003B

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1006						
801						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 802 **						
** 802 **						
** 803 **						
** 803 **						
** 804 **						
** 804 **						
** 805 **						
** 805 **						

\*\*印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
806						
** 807 **						
** 807 **						
** 808 **						
** 808 **						
** 809 **						
** 809 **						
** 810 **						
** 810 **						
** 811 **						
** 811 **						
** 812 **						
** 812 **						

\*\* 印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S <sub>m</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>h</sub> (MPa)
STPT370-S	40	—	215	370	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

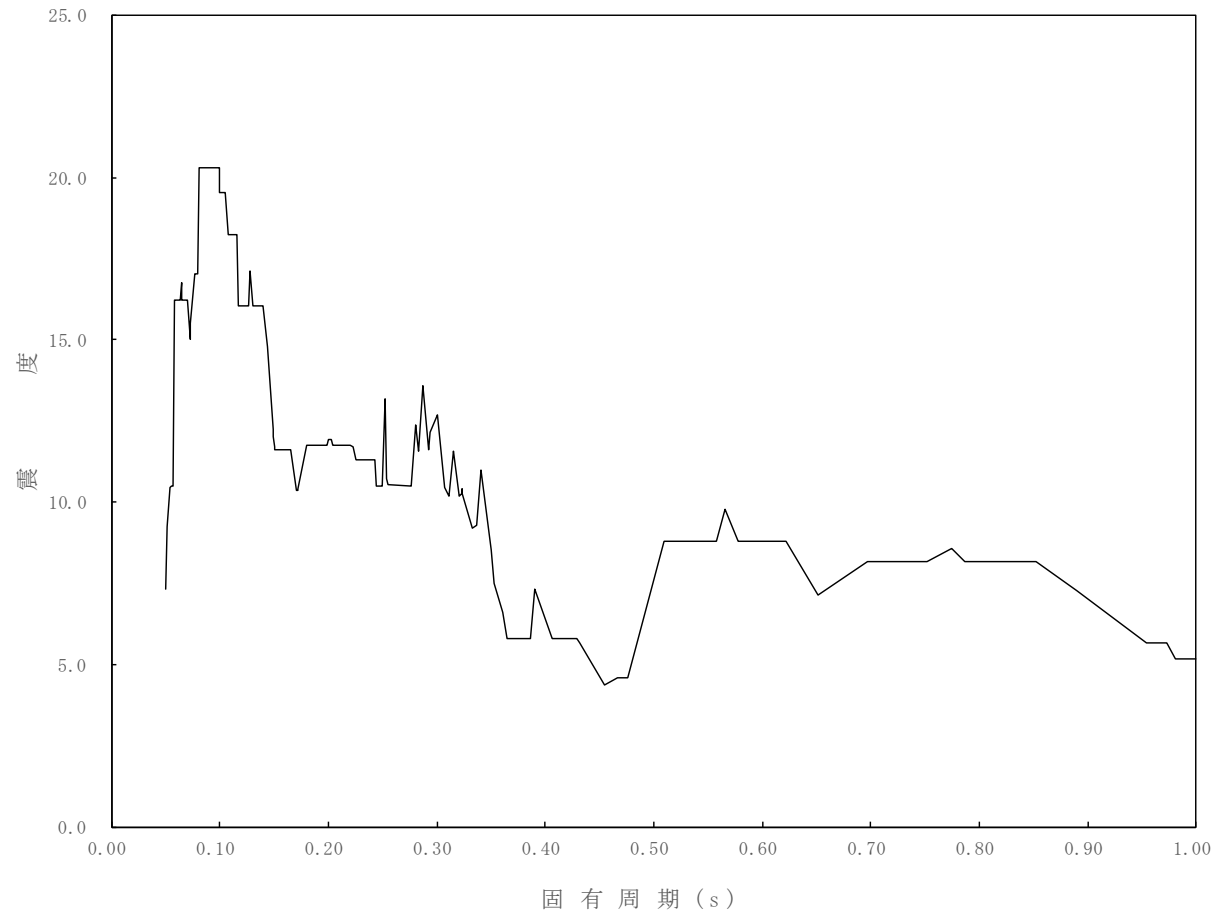
鳥瞰図	建物・構築物	標高 (O.P. (m))	減衰定数 (%)
DE-001A DE-003B	No.1 揚水井戸	14.800 9.800 -0.200 -9.680 -19.800 -24.600 -27.000 -29.400	0.5
	No.3 揚水井戸	14.800 10.000 0.000 -10.000 -20.340 -23.900 -27.200 -29.400	0.5

設計用床応答曲線

構造物名：揚水井戸  
減衰定数：0.5%

標高：0.P. -32.40m~14.80m 包絡  
波形名：基準地震動 S s

—— 水平方向



設計用床応答曲線 (水平方向)



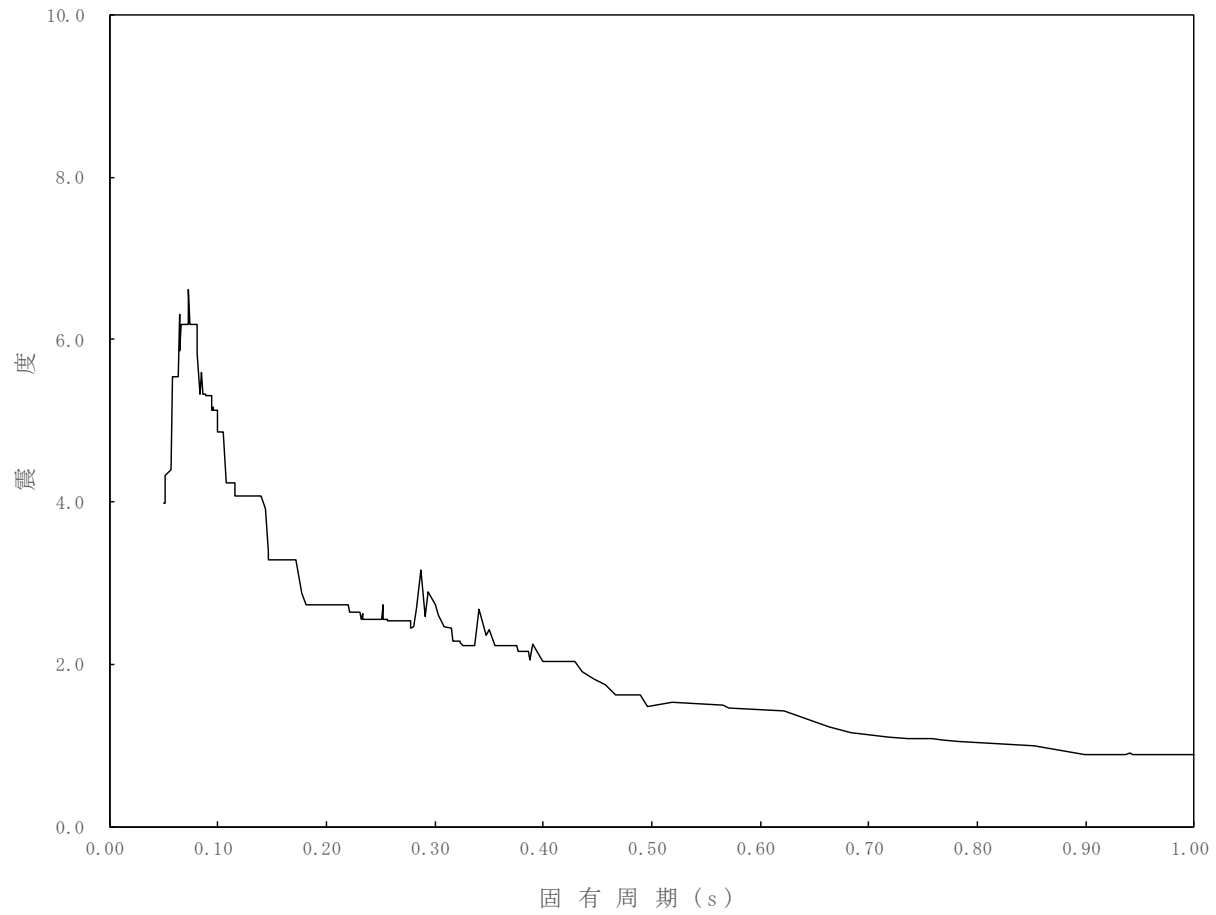
構造物名：揚水井戸

標高：0.P. -32.40m~14.80m 包絡

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動 S s

—— 鉛直方向



設計用床応答曲線（鉛直方向）

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 DE-001A

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>1</sup>		応答鉛直震度* <sup>1</sup>
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.098	20.32	20.32	5.13
2 次	0.054	10.49	10.49	4.37
3 次	0.052	9.26	9.26	4.34
4 次* <sup>2</sup>	0.037	—	—	—
動的震度* <sup>3</sup>		2.40	2.40	0.82
静的震度* <sup>4</sup>		—	—	—

注記\*1: 各モードの固有周期に対し, 設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

\*2: 固有周期が 0.050s 以下であることを示す。

\*3: S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4:  $3.6C_I$  及び  $1.2C_V$  より定めた震度を示す。

鳥 瞰 図 DE-003B

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	20.32	20.32	5.13
2次*2	0.042	—	—	—
動的震度*3		2.40	2.40	0.82
静的震度*4		—	—	—

注記\*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

\*2：固有周期が0.050s以下であることを示す。

\*3：S s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

\*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 DE-001A

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	-0.164	-1.331	0.000
2次	0.054	0.584	-0.066	-0.288
3次	0.052	0.094	0.796	0.000

注記\*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

29

鳥 瞰 図 DE-003B

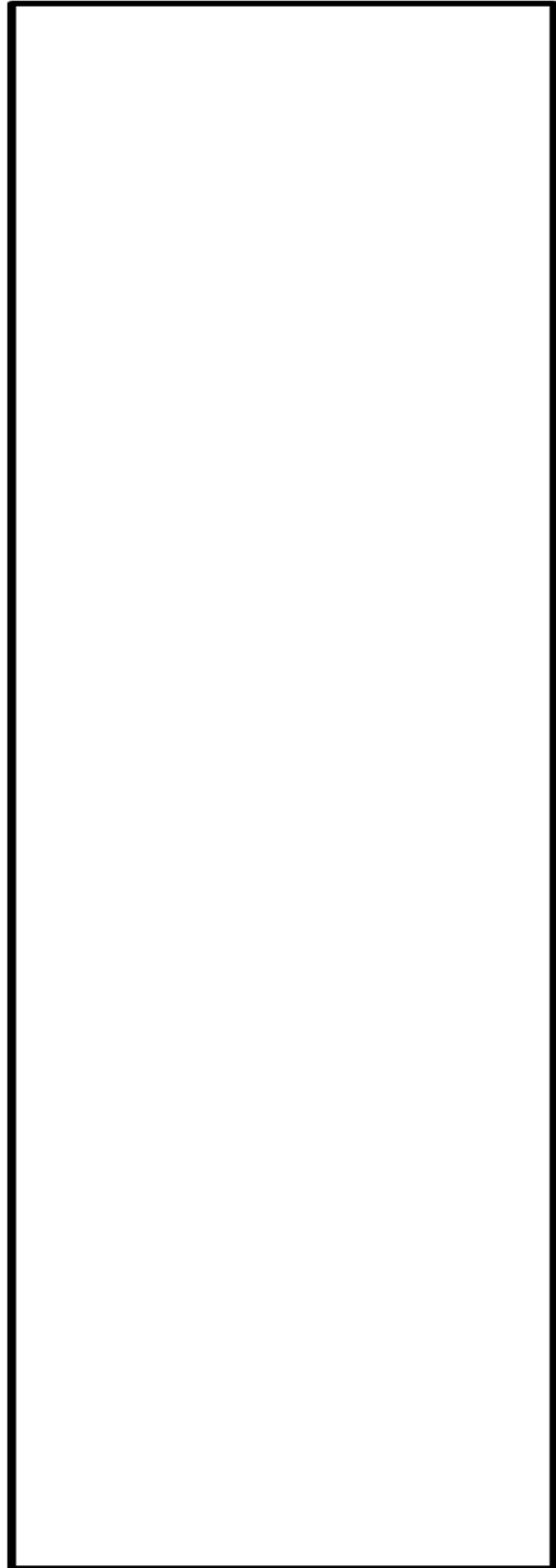
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	0.254	-1.474	0.000

注記\*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）

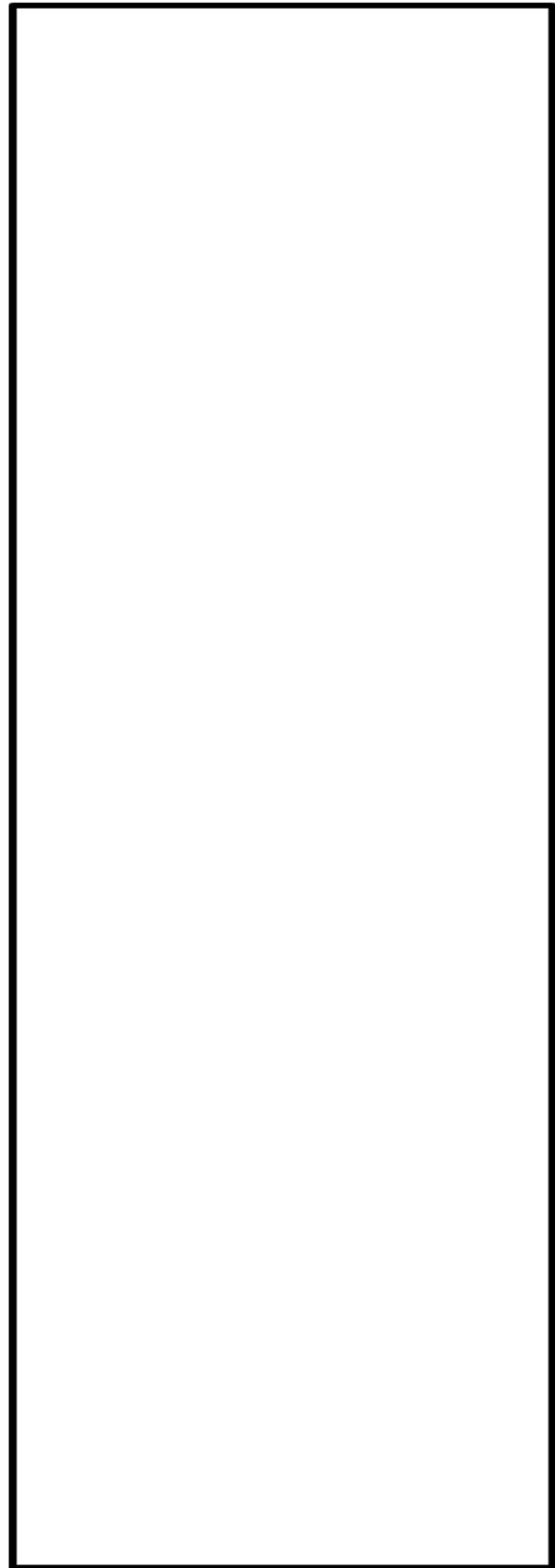


02 ⑥ VI-2-13-7(設) R7

鳥瞰図

DE-001A

代表的振動モード図（2次）



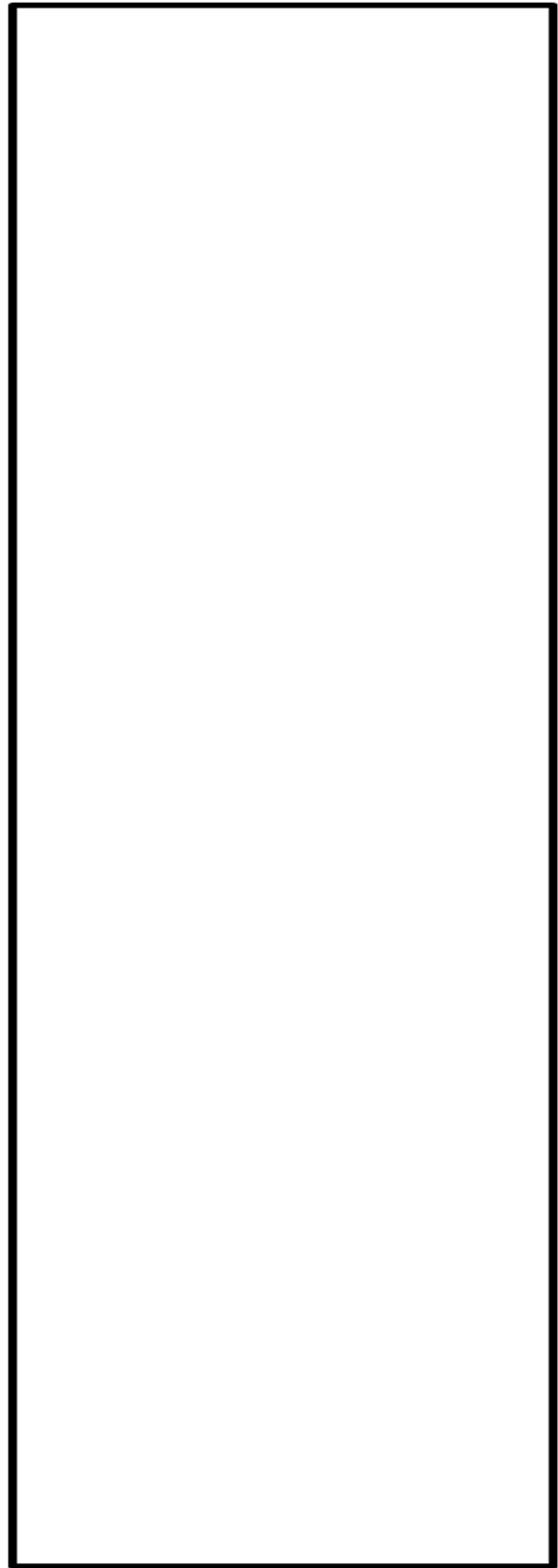
02 ⑥ VI-2-13-7(設) R7

鳥瞰図

DE-001A

代表的振動モード図（3次）

02 ⑥ VI-2-13-7(設) R7

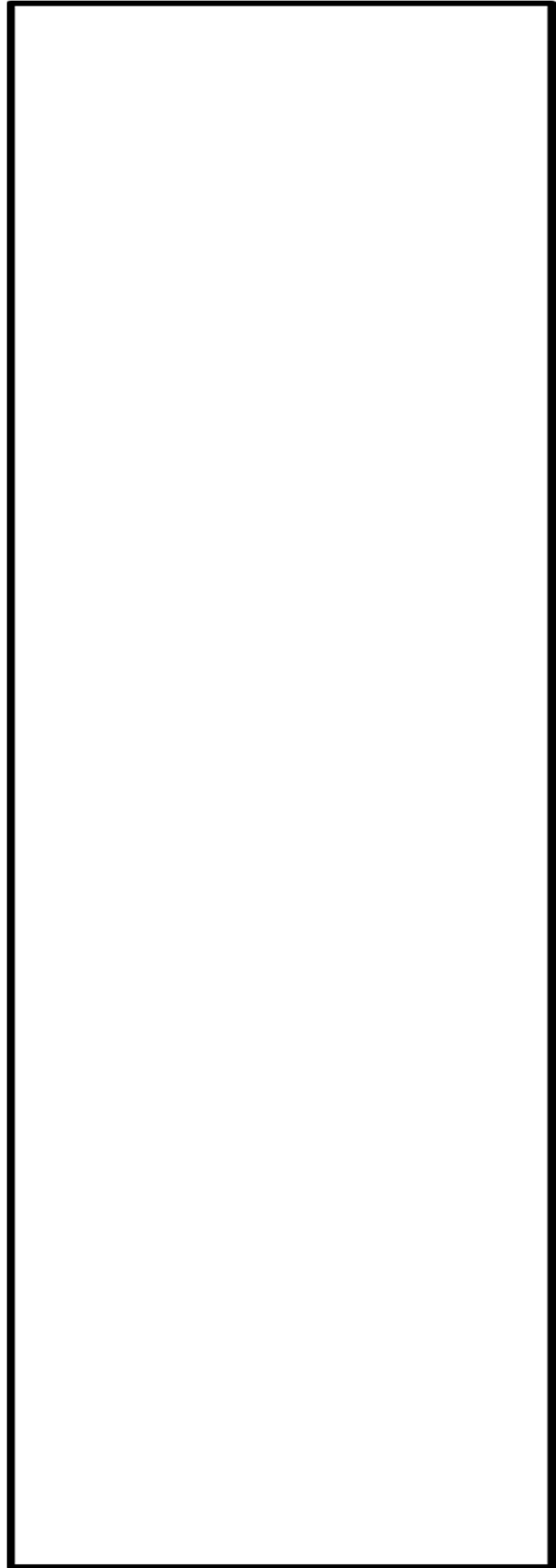


鳥瞰図

DE-001A



代表的振動モード図（1次）



02 ⑥ VI-2-13-7(設) R7

鳥瞰図

DE-003B

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0. 9 S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 ・ S y	疲労累積係数 U S s
DE-001A	IV <sub>A</sub> S	624	S p r m ( S s )	79	333	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	510	S n ( S s )	—	—	205	430	—

クラス 2 以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S p r m ( S s )	許容応力 0. 9 S u	計算応力 S n ( S s )	許容応力 2 ・ S y	疲労累積係数 U S s
DE-003B	IV <sub>A</sub> S	512	S p r m ( S s )	64	333	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	507	S n ( S s )	—	—	212	430	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
DE-003B-12R	レストレイント	Uボルト	SS400	40	38	72	—	—	—	—	組合せ	190	294
DE-002A- 7R	レストレイント	ラグ	SS400	40	—	—	45	—	—	—	組合せ	64	124
DE-004B- 1A	アンカ	ラグ	STPT370	40	92	35	30	18	30	41	組合せ	106	124

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス 2 以下の管）

No.	配管モデル	許容応力状態 IV <sub>A</sub> S												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	DE-001A	624	79	333	4.21	○	510	205	430	2.09	—	—	—	—
2	DE-001B	512	64	333	5.20	—	509	167	430	2.57	—	—	—	—
3	DE-002A	627	78	333	4.26	—	510	149	430	2.88	—	—	—	—
4	DE-002B	512	61	333	5.45	—	507	159	430	2.70	—	—	—	—
5	DE-003A	624	79	333	4.21	—	508	165	430	2.60	—	—	—	—
6	DE-003B	512	64	333	5.20	—	507	212	430	2.02	○	—	—	—
7	DE-004A	627	78	333	4.26	—	510	178	430	2.41	—	—	—	—
8	DE-004B	512	61	333	5.45	—	801	200	430	2.15	—	—	—	—

VI-2-13-8 地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	6
3.	評価部位	6
4.	固有周期	7
4.1	固有周期の計算方法	7
4.2	固有周期の計算条件	9
4.3	固有周期の計算結果	9
5.	構造強度評価	10
5.1	構造強度評価方法	10
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2	許容応力	10
5.2.3	使用材料の許容応力評価条件	10
5.3	設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）	13
5.4	計算方法	14
5.4.1	応力の計算方法	14
5.5	計算条件	18
5.5.1	溶接部の応力計算条件	18
5.6	応力の評価	18
5.6.1	溶接部の応力評価	18
6.	機能維持評価	19
6.1	電氣的機能維持評価方法	19
7.	評価結果	20

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち水位計が基準地震動 $S_s$ に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

水位計は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」に基づき、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

水位計の構造計画を表 2-1 に示す。



表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>水位計は、取付ボルトにより水位計架台に固定される。</p> <p>水位計架台は、壁面の埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>圧力式水位検出器（壁に設置された水位計架台に、水位計を取付ボルトにて固定する構造）</p>	<p>【水位計】</p> <p>正面（水平方向）</p> <p>側面（鉛直方向）</p> <p>水位計架台</p> <p>埋込金物</p> <p>154</p> <p>300</p> <p>溶接</p> <p>壁面</p> <p>水位計</p> <p>取付ボルト</p> <p>(単位：mm)</p>

## 2.2 評価方針

水位計の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す水位計の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく基準地震動  $S_s$  による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、水位計の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電気的機能維持確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

水位計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

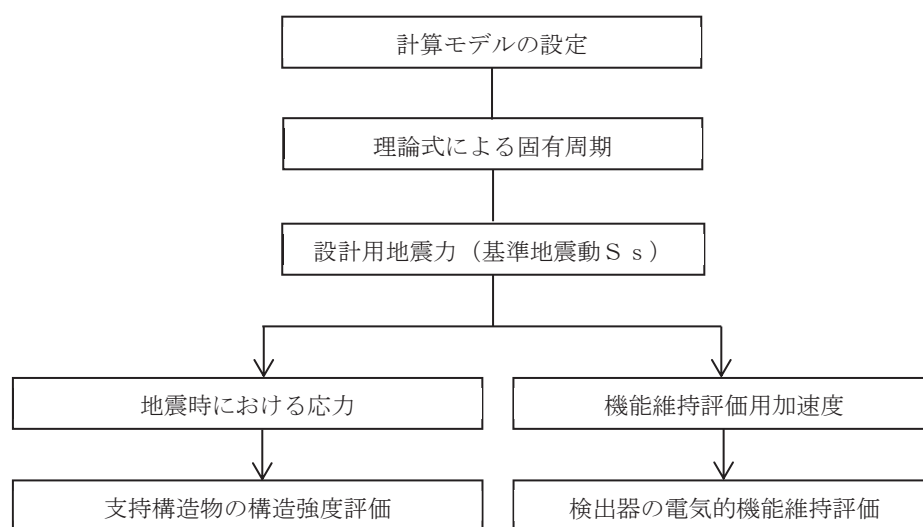


図 2-1 水位計の耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編(J E A G 4 6 0 1・補-1984)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 ( J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 ( J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
(以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 鋼構造設計規準-許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$a$	溶接部の有効のど厚	mm
$A_s$	水位計架台の最小有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$E$	縦弾性係数	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1) に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
$f_s$	溶接部の許容せん断応力	MPa
$G$	せん断弾性係数	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$h$	水位計架台の取付面から重心までの距離	mm
$I_y$	水位計架台の水平方向軸(左右方向)に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_z$	水位計架台の鉛直方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$K_H$	水平方向(左右方向)に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数	N/m
$K_V$	鉛直方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数	N/m
$l$	水位計架台の高さ	mm
$l_a$	水位計架台の幅	mm
$l'$	溶接部1か所あたりの有効長さ	mm
$m$	水位計及び水位計架台の質量	kg
$n$	溶接部の個所数	—
$Q_s$	溶接部に作用するせん断力	N
$Q_{s1}$	水平方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
$Q_{s2}$	鉛直方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
$S$	溶接部1か所あたりの有効断面積	mm <sup>2</sup>
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
$s$	溶接部の脚長	mm
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$t$	水位計架台の板厚	mm
$Z_x$	溶接部1か所あたりの有効ねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	溶接部1か所あたりの水平方向軸(左右方向)に対する有効断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	溶接部1か所あたりの鉛直方向軸に対する有効断面係数	mm <sup>3</sup>
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	溶接部に作用する組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	溶接部に作用する引張応力	MPa
$\sigma_{xz}$	鉛直方向地震及び水位計架台の取付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張応力	MPa
$\sigma_{yz}$	鉛直方向地震及び水位計架台の取付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張応力	MPa
$\tau_s$	溶接部に作用するせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* <sup>1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位* <sup>3</sup>

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

水位計の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる水位計架台と埋込金物間の溶接部について実施する。水位計の耐震評価部位については、表 2-1 の構造計画に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

水位計が設置される，水位計架台の固有周期の計算方法を以下に示す。

##### (1) 計算モデル

- a. 水位計架台の質量は，重心に集中するものとする。
- b. 水位計架台は溶接で壁面の埋込金物に固定されており，固定端とする。
- c. 水位計架台をはりと考え，変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- e. 水位計架台を図 4-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとし，その断面形状は，水位計架台の重量を負担する前後方向に位置する 2 枚の板を合わせたものとして考える。
- f. 固有周期の計算に際しては，水の付加質量を考慮する。

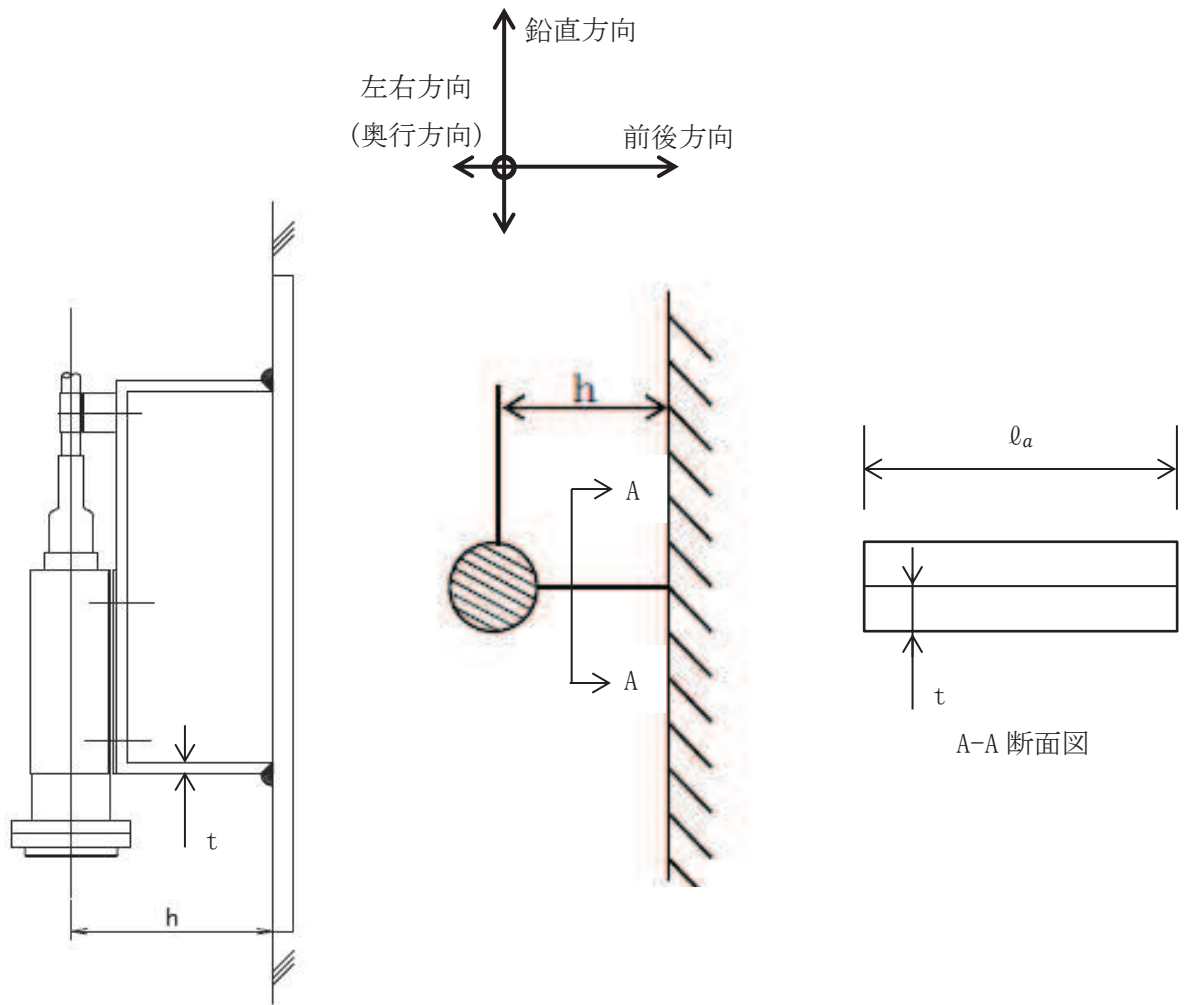


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期 (前後方向, 左右方向)

a. 前後方向は十分な剛性を有していることから, 固有周期の計算を省略する。

b. 左右方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数 $K_H$ は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I_z} + \frac{h}{G \cdot A_S}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって, 左右方向に対する固有周期 $T_H$ は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数 $K_V$ は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I_y} + \frac{h}{G \cdot A_S}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって, 鉛直方向に対する固有周期 $T_V$ は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

#### 4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【水位計の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

#### 4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05s 以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平方向	鉛直方向
0.001	0.017



## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1 項(1)a.～e.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は水位計架台に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 設計用地震力(基準地震動 $S_s$ )は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に示す地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。水位計は剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の1.2倍の値を用いて評価する。
- (3) 転倒方向は、表2-1 構造計画における水平方向及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方(許容値/発生値の小さい方をいう。)を記載する。
- (4) 水位計架台の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (5) 構造強度評価の計算に際しては、水の付加質量を考慮する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

水位計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち評価に用いるものを表5-1に示す。

#### 5.2.2 許容応力

水位計の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

水位計の使用材料の許容応力評価条件のうち評価に用いるものを表5-3に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
施設共通 (地震)	地下水位低下 設備	水位計	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$IV_{AS}$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1 (溶接部)
	一次応力
	せん断
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
溶接部	SUS316L	周囲環境温度	40	175	480	—

### 5.3 設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）

評価に用いる設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）を表 5-4 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に示す地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。水位計は剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。

なお、水平方向及び鉛直方向それぞれ、各揚水井戸における設計震度が大きい方を設定する。

表 5-4 設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）

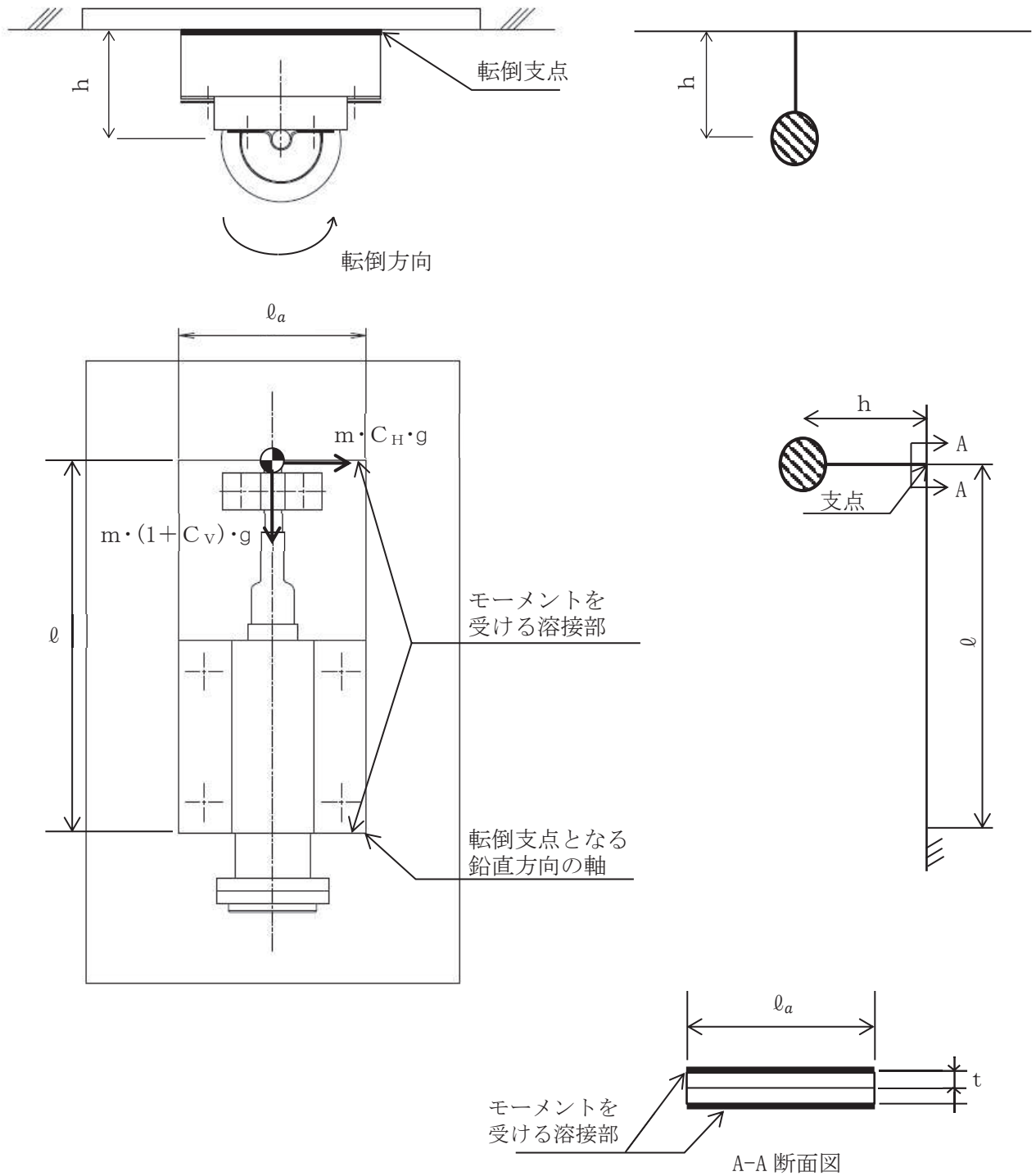
据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
地下水位低下設備 揚水井戸 No. 1, No. 3 : O.P. -27.20* (O.P. -29.40)	0.001	0.017	—	—	$C_H=0.73$	$C_V=0.53$
No. 2, No. 4 : O.P. -30.10* (O.P. -32.40)						

注記\*：基準床レベルを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。図 5-1 に計算モデルを示す。





(1) 引張応力

溶接部に対する引張応力は、最も厳しい条件として、図 5-1 に示す位置における水位計架台を支点とする転倒と考え、これを溶接部全体で受けるものとして計算する。

計算モデル図 5-1(1) の場合の引張応力

$$\sigma_{yz} = m \cdot g \cdot \left\{ \frac{C_H \cdot h}{n \cdot Z_z} + \frac{(1+C_V) \cdot h}{n \cdot Z_y} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

計算モデル図 5-1(2) の場合の引張応力

$$\sigma_{xz} = m \cdot g \cdot \left\{ \frac{C_H}{n \cdot S} + \frac{C_H \cdot \ell + (1+C_V) \cdot h}{n \cdot Z_y} \right\} \dots\dots\dots (5.4.2)$$

溶接部に作用する引張応力  $\sigma_t$

$$\sigma_t = \text{Max} \{ \sigma_{xz}, \sigma_{yz} \} \dots\dots\dots (5.4.3)$$

ここで溶接部 1 箇所あたりの有効断面積  $S$ 、溶接部の有効のど厚  $a$ 、溶接部の 1 か所当たりの有効長さ  $\ell'$  及び水平又は鉛直方向軸に対する有効断面係数  $Z_y$  及び  $Z_z$  は、次式により求める。

$$S = a \cdot \ell' \dots\dots\dots (5.4.4)$$

$$a = 0.7 s \dots\dots\dots (5.4.5)$$

$$\ell' = \ell_a - 2s \dots\dots\dots (5.4.6)$$

$$Z_y = \frac{a^2 \cdot \ell'}{6} \dots\dots\dots (5.4.7)$$

$$Z_z = \frac{a \cdot \ell'^2}{6} \dots\dots\dots (5.4.8)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断力は、これを溶接部全体で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{s1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.9)$$

$$Q_{s2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (5.4.10)$$

$$Q_s = \sqrt{Q_{s1}^2 + Q_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.11)$$

せん断応力  $\tau_s$

$$\tau_s = \frac{Q_s}{n \cdot S} + \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot \ell}{n \cdot Z_x} \dots\dots\dots (5.4.12)$$

ここで溶接部の有効ねじり断面係数  $Z_x$  は次式により求める。

$$Z_x = \frac{a^3 \cdot \ell'}{3a} \dots\dots\dots (5.4.13)$$

(3) 組合せ応力

溶接部に作用する組合せ応力  $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \tau_s^2} \dots\dots\dots (5.4.14)$$



## 5.5 計算条件

### 5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【水位計の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

## 5.6 応力の評価

### 5.6.1 溶接部の応力評価

5.4項で求めた溶接部に作用する組合せ応力  $\sigma$  は、許容せん断応力  $f_s$  以下であること。ただし、 $f_s$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 機能維持評価

### 6.1 電氣的機能維持評価方法

水位計の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書」に示す地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 $S_s$ により定まる応答加速度を設定する。

水位計の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
水位計	水平方向	
	鉛直方向	

## 7. 評価結果

水位計の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 $S_s$ に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【水位計の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		周囲環境温度(°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
水位計	C	地下水位低下設備 揚水井戸 No. 1, 3 : O. P. -27. 20* (O. P. -29. 40) No. 2, 4 : O. P. -30. 10* <sup>1</sup> (O. P. -32. 40)	0. 001	0. 017	—	—	C <sub>H</sub> =0. 73	C <sub>V</sub> =0. 53	40

注記\* : 基準床レベルを示す。

2. 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	t (mm)	ℓ <sub>a</sub> (mm)	ℓ (mm)	S (mm <sup>2</sup> )	n	s (mm)	a (mm)	ℓ' (mm)	Z <sub>x</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )
溶接部	22	154	9	150	300	831. 6	2	9	6. 3	132	1. 746×10 <sup>3</sup>	873. 2	1. 830×10 <sup>4</sup>

部 材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向*	
					弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
溶接部	175	480	-	210	-	鉛直方向

注記\* : 水平, 鉛直方向のうち, 評価の厳しい方向を示す。

E (MPa)	G (MPa)	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
1. 937×10 <sup>5</sup>	7. 449×10 <sup>4</sup>	1. 823×10 <sup>4</sup>	5. 063×10 <sup>6</sup>	2. 700×10 <sup>3</sup>

3. 結論

3.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.001
鉛直方向	0.017

3.2 溶接部に作用する組合せ応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	SUS316L	組合せ	-	-	$\sigma = 58$	$f_s = 121$

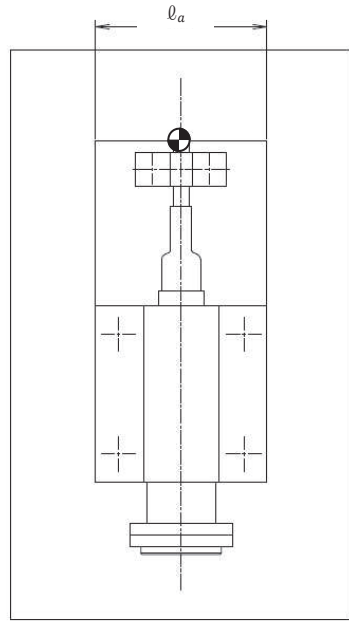
すべて許容応力以下である。

3.3 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

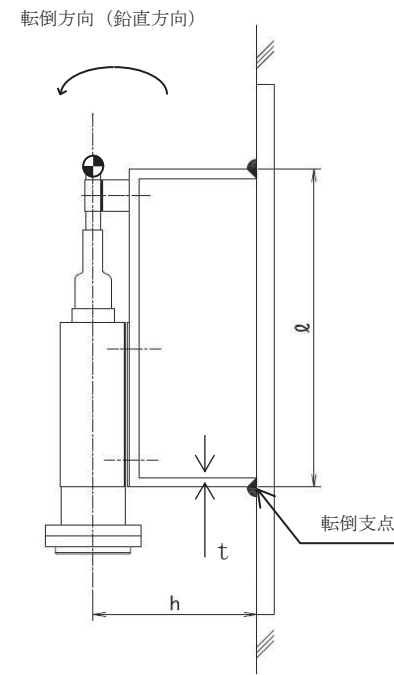
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
水位計	水平方向	0.61	
	鉛直方向	0.44	

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。



正面



側面

VI-2-13-9 地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2	許容応力	8
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	14
4.5	設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）	16
4.6	計算方法	17
4.6.1	応力の計算方法	17
4.7	計算条件	19
4.8	応力の評価	19
4.8.1	器具取付板、盤取付板及び据付架台の応力評価	19
4.8.2	フレームの応力評価	20
4.8.3	盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	21
5.	機能維持評価	22
5.1	電氣的機能維持評価方法	22
6.	評価結果	23



## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち制御盤が基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

制御盤は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」に基づき、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

なお、構造強度評価については、制御盤の設置位置のうち、最も設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）が大きくなる設置位置に設定した上で、制御盤に作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、機能確認済加速度が最も低い器具を代表として評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
地下水位低下設備監視制御盤(A)	4. 地震応答解析及び 構造強度評価	表 2-1 構造計画
地下水位低下設備監視制御盤(B)		
地下水位低下設備現場制御盤(A)		
地下水位低下設備現場制御盤(B) (代表)		

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

地下水位低下設備現場制御盤(B)の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>フレームは、溶接にて盤取付板に固定する。盤取付板は、盤取付ボルトにて据付架台に固定する。据付架台は、基礎ボルトにて壁面に据え付ける。</p>	<p>壁掛型 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛閉鎖型の盤)</p>	<p>【地下水位低下設備現場制御盤(B)】</p> <p>(単位：mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>地下水位低下設備 監視制御盤</th> <th>地下水位低下設備 現場制御盤</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>500</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>800</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>1500</td> <td>1500</td> </tr> </tbody> </table>	機器名称	地下水位低下設備 監視制御盤	地下水位低下設備 現場制御盤	たて	500	500	横	800	800	高さ	1500	1500
機器名称	地下水位低下設備 監視制御盤	地下水位低下設備 現場制御盤												
たて	500	500												
横	800	800												
高さ	1500	1500												

## 2.2 評価方針

制御盤の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す制御盤の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく基準地震動  $S_s$  による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、制御盤の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能維持確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

制御盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

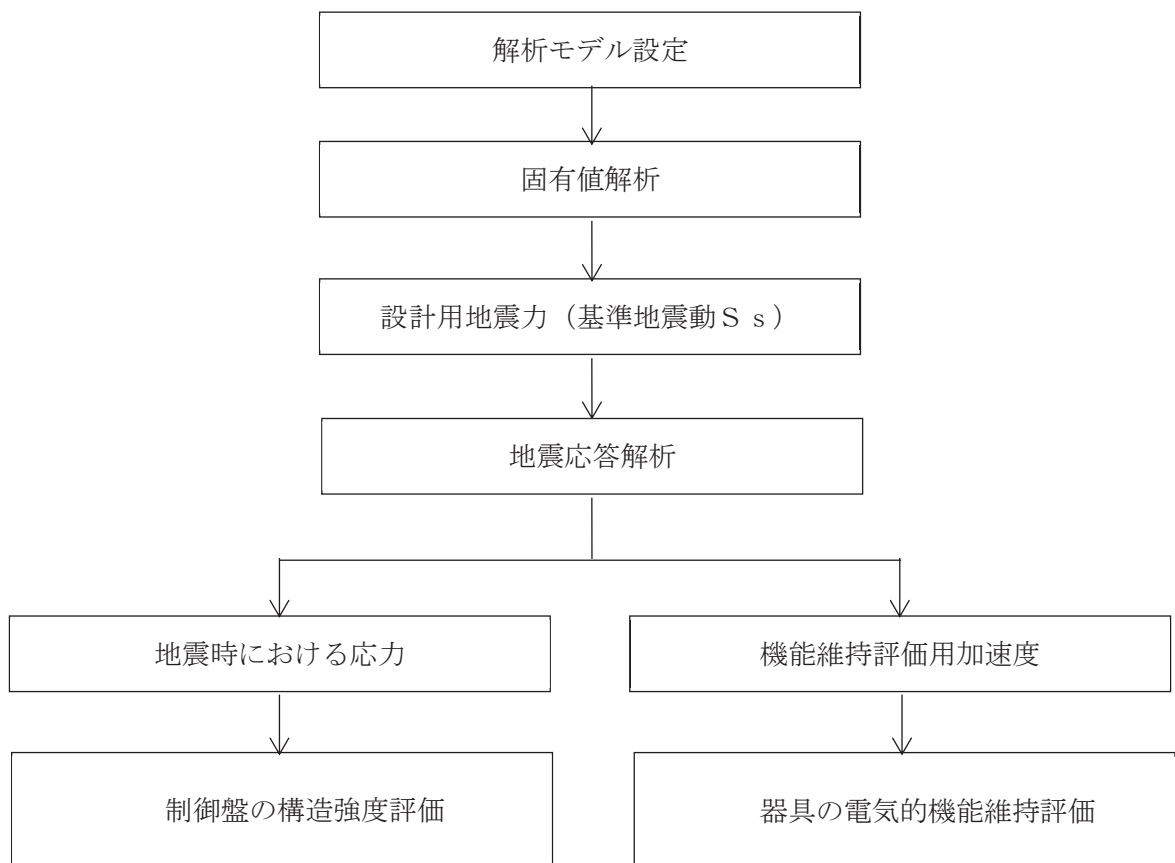


図 2-1 制御盤の耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補－1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	フレームの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	フレームの有効せん断断面積 (y 方向)	mm <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	フレームの有効せん断断面積 (z 方向)	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
d <sub>o</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用する引張力	N
F <sub>x</sub>	フレームまたは盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸力 (x 方向)	N
F <sub>y</sub>	フレームまたは盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (y 方向)	N
F <sub>z</sub>	フレームまたは盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (z 方向)	N
f <sub>b</sub>	フレームの許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	フレームの許容圧縮応力	MPa
f <sub>s</sub>	フレーム又はボルト等の許容せん断応力	MPa
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断 応力	MPa
f <sub>t</sub>	フレーム又はボルト等の許容引張応力	MPa
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	引張力とせん断力を同時に受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの 許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ <sub>k</sub>	座屈長さ	mm
M <sub>x</sub>	フレームのねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M <sub>y</sub>	フレームの曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M <sub>z</sub>	フレームの曲げモーメント (z 軸)	N・mm
m	解析モデル質量	kg
Q <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用するせん断力	N
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y (RT)</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa

記号	記号の説明	単位
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
$Z_p$	フレームのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	フレームの断面係数（y 軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	フレームの断面係数（z 軸）	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	フレームの限界細長比	—
$\lambda$	フレームの有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	器具取付板，盤取付板及び据付架台に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_b$	フレームに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	フレームに生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{fc}$	フレームに生じる応力の組合せ（圧縮+曲げ）	—
$\sigma_{ft}$	フレームに生じる応力の組合せ（引張り+曲げ）	—
$\sigma_t$	フレームに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{tb}$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_x, \sigma_y$	器具取付板，盤取付板及び据付架台に生じる膜+曲げ応力	MPa
$\tau$	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{xy}$	器具取付板，盤取付板及び据付架台に生じるせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		°C	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*3</sup>	四捨五入	小数点以下第 1 位 <sup>*2</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 <sup>*4</sup>
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*5</sup>

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

制御盤の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるフレーム、器具取付板、盤取付板、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。なお、制御盤は、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム、器具取付板、盤取付板、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば電氣的機能を維持できるため、フレーム、器具取付板、盤取付板、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。制御盤の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

## 4. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 制御盤は、十分剛な壁に基礎ボルトにより固定される。
- (2) 制御盤の質量には、盤自身の質量のほか、据付架台の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、制御盤に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち評価に用いるものを表 4-1 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

制御盤の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

制御盤の使用材料の許容応力評価条件のうち評価に用いるものを表 4-3 に示す。



表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
施設共通 (地震)	地下水位低 下設備	制御盤	C	- *	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_{AS}$

注記\* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 許容応力

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)					許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力					一次応力	
	引張り	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
フレーム		周囲環境温度	40	245	400	—
器具取付板						
盤取付板						
据付架台						
盤取付ボルト						
基礎ボルト				215	400	—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

制御盤の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【制御盤の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 制御盤の [ ] でモデル化した F E M モデルを用いる。
- (2) 取付器具は、 [ ] として付加する。
- (3) 基礎ボルトは剛体とし、基礎ボルト位置に [ ] を固定し、回転方向は自由とする。
- (4) 盤取付ボルトは剛なバネ要素でモデル化して [ ] を固定し、回転方向は自由とする。
- (5) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用い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。

[ ] 枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

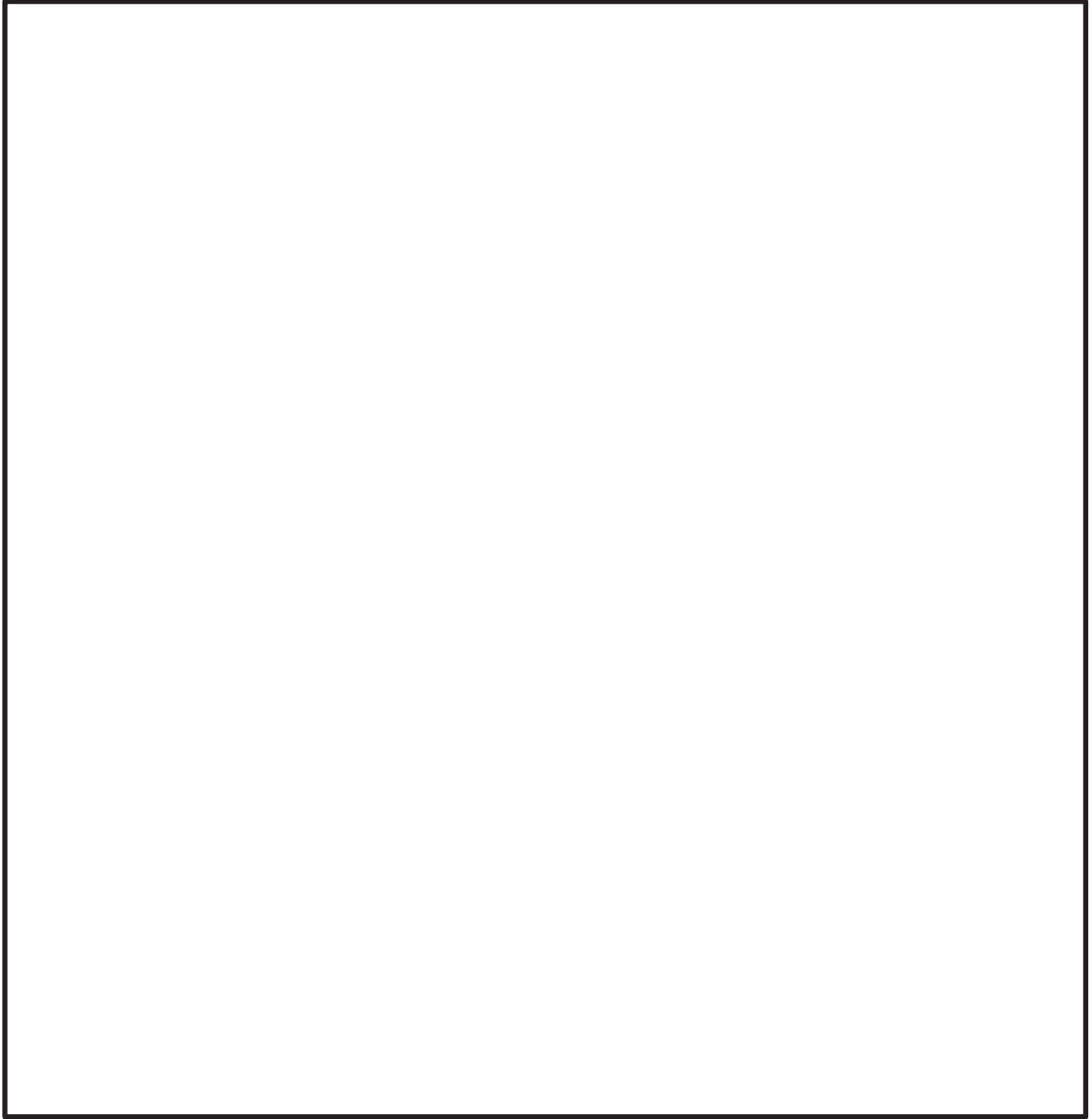


図 4-1 制御盤の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-4 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1 次	水平方向	0.026	—	—	—
3 次	鉛直方向	0.022	—	—	—

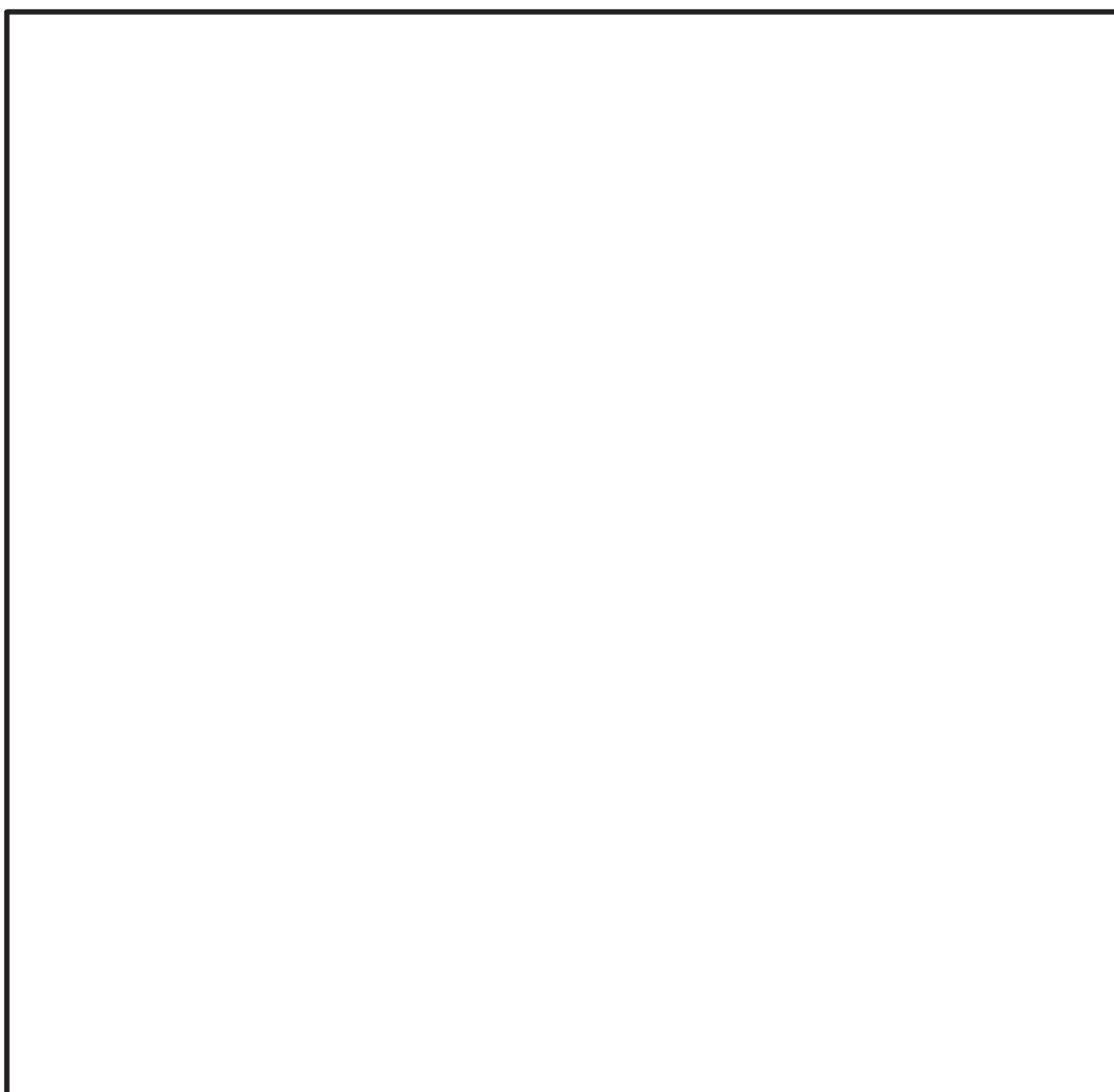


図 4-2 振動モード (1 次モード 水平方向 0.026s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

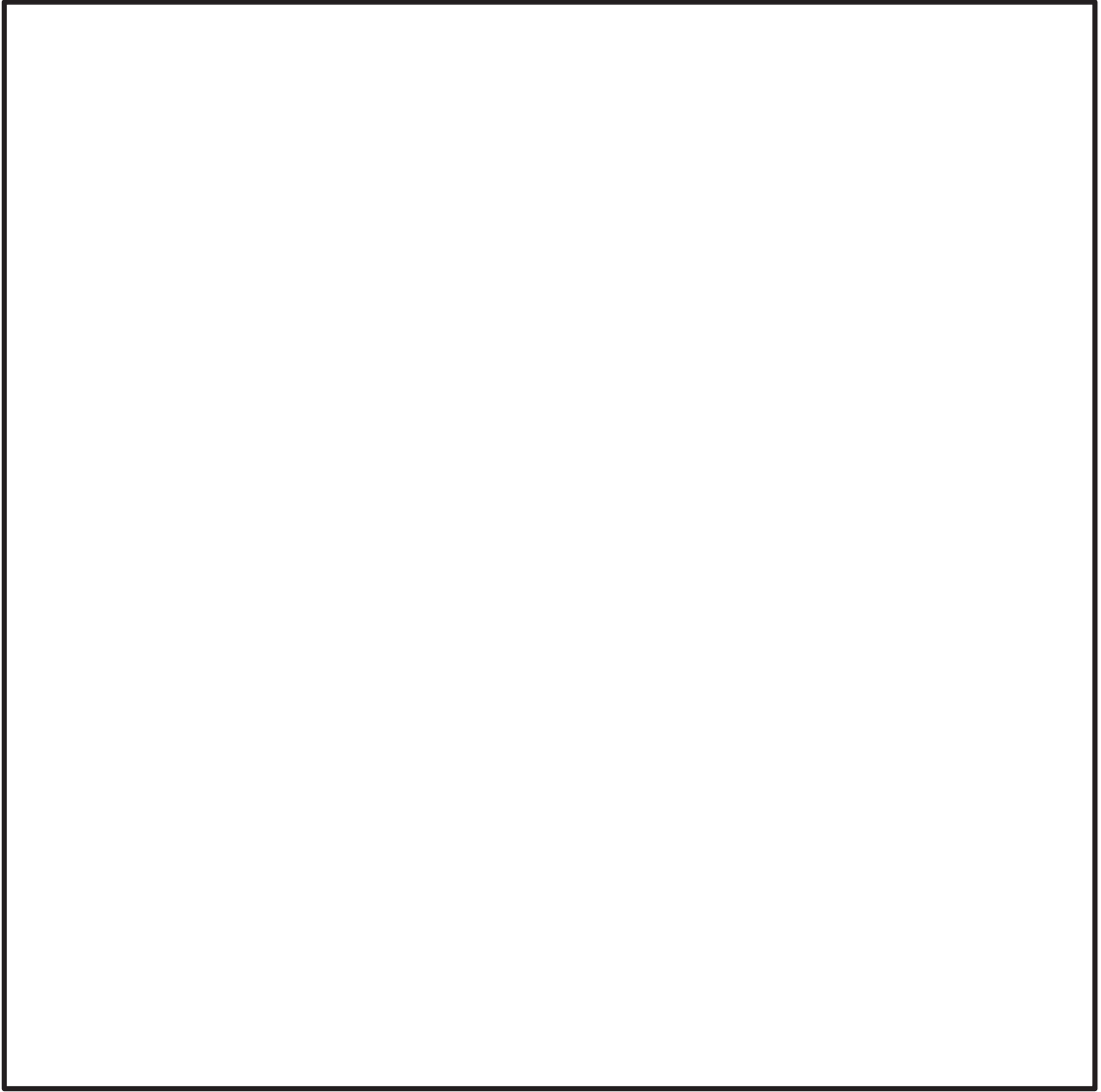


図 4-3 振動モード (3 次モード 鉛直方向 0.022s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.5 設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）

評価に用いる設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）を表 4-5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-5 設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御建屋 O.P. 29.15* <sup>1</sup> (O.P. 22.95)	0.026	0.022	—	—	$C_H = 4.05$	$C_V = 2.29$

注記\*1：基準床レベルを示す。



## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### 4.6.1.1 器具取付板，盤取付板及び据付架台の応力

解析による計算で得られる器具取付板，盤取付板及び据付架台部分の   応力成分を用いて，最大の組合せ応力を次のように求める。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

#### 4.6.1.2 フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力  $F_x$ ，せん断力  $F_y$ ， $F_z$ ，ねじりモーメント  $M_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ ， $M_z$  より各応力を次のように求める。

##### (1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

##### (2) せん断応力

$$\tau = \frac{|F_y|}{A_y} + \frac{|F_z|}{A_z} + \frac{|M_x|}{Z_p} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

##### (3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

##### (4) 組合せ（引張り＋曲げ）

$$\sigma_{ft} = \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

##### (5) 組合せ（圧縮＋曲げ）

$$\sigma_{fc} = \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6.1.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力

盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる軸力 $F_x$ 、せん断力 $F_y$ 、 $F_z$ から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{t b} = \frac{F_x}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

##### (2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は、(4.6.1.3.2)式による。

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【制御盤の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 器具取付板，盤取付板及び据付架台の応力評価

4.6.1.1項で求めた応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力は  $f_t$  以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 フレームの応力評価

4.6.1.2 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は 1 以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_c$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
	$0.277 \cdot F^* \cdot \left( \frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.2.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.2.3)$$

4.8.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3 項で求めた盤取付ボルト及び基礎ボルトの引張応力は，次式より求めた許容引張応力  $f_{t s}$  以下であること。ただし， $f_{t o}$  は下表による。

$$f_{t s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o}] \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力  $f_{s b}$  以下であること。ただし， $f_{s b}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t o}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

制御盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

制御盤に設置される器具の機能維持加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

評価部位	方向	機能確認済加速度
地下水位低下設備現場制御盤(B)	水平方向	
	鉛直方向	

## 6. 評価結果

制御盤の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

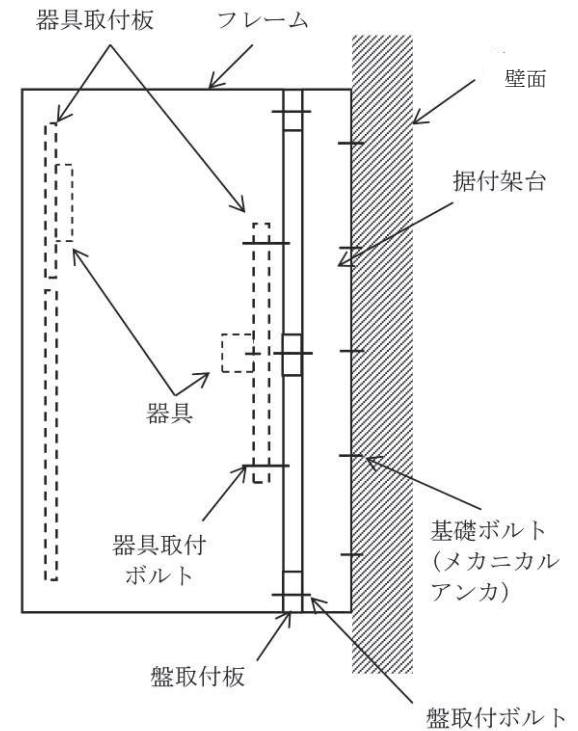
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
地下水位低下設備 現場制御盤 (B)	C	制御建屋 O. P. 29. 15* <sup>1</sup> (O. P. 22. 95)	0. 026	0. 022	—	—	C <sub>H</sub> =4. 05	C <sub>V</sub> =2. 29	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

2. 機器要目

m (kg)	盤取付ボルト		基礎ボルト	
	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
フレーム		245 (厚さ, 径 ≤ 16mm)	400	280
器具取付板				
盤取付板				
据付架台				
盤取付ボルト				
基礎ボルト		215 (径 > 40 mm)	400	258



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



部材	材料	E (MPa)	$\nu'$	$\varrho_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$
フレーム						

	要素番号
材料	
A (mm <sup>2</sup> )	
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	
Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )	
部材	フレーム

3. 計算数値

3.1 フレームの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	2.696×10 <sup>3</sup>	—	3.638×10 <sup>3</sup>
		—	1.332×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	904.2	—	—	—	—
		—	3.677×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	3.669×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.2 フレームのモーメント

(単位：N・mm)

要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	3.492×10 <sup>4</sup>	—	—	—	—
		—	—	—	3.362×10 <sup>4</sup>	—	6.355×10 <sup>4</sup>
		—	—	—	3.540×10 <sup>4</sup>	—	6.406×10 <sup>4</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.3 盤取付ボルトの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	2.995×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	—	—	4.857×10 <sup>3</sup>	—	1.931×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 盤取付ボルトに作用する力 (単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	2.995×10 <sup>3</sup>	—	—
		—	—	—	5.227×10 <sup>3</sup>

3.5 基礎ボルトの荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	6.001×10 <sup>3</sup>	—	199.7
		—	3.641×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で、x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.6 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	6.005×10 <sup>3</sup>
		—	3.641×10 <sup>3</sup>	—	—

4. 結論

4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.026
鉛直方向	0.022

4.2 応力

(単位：MPa)

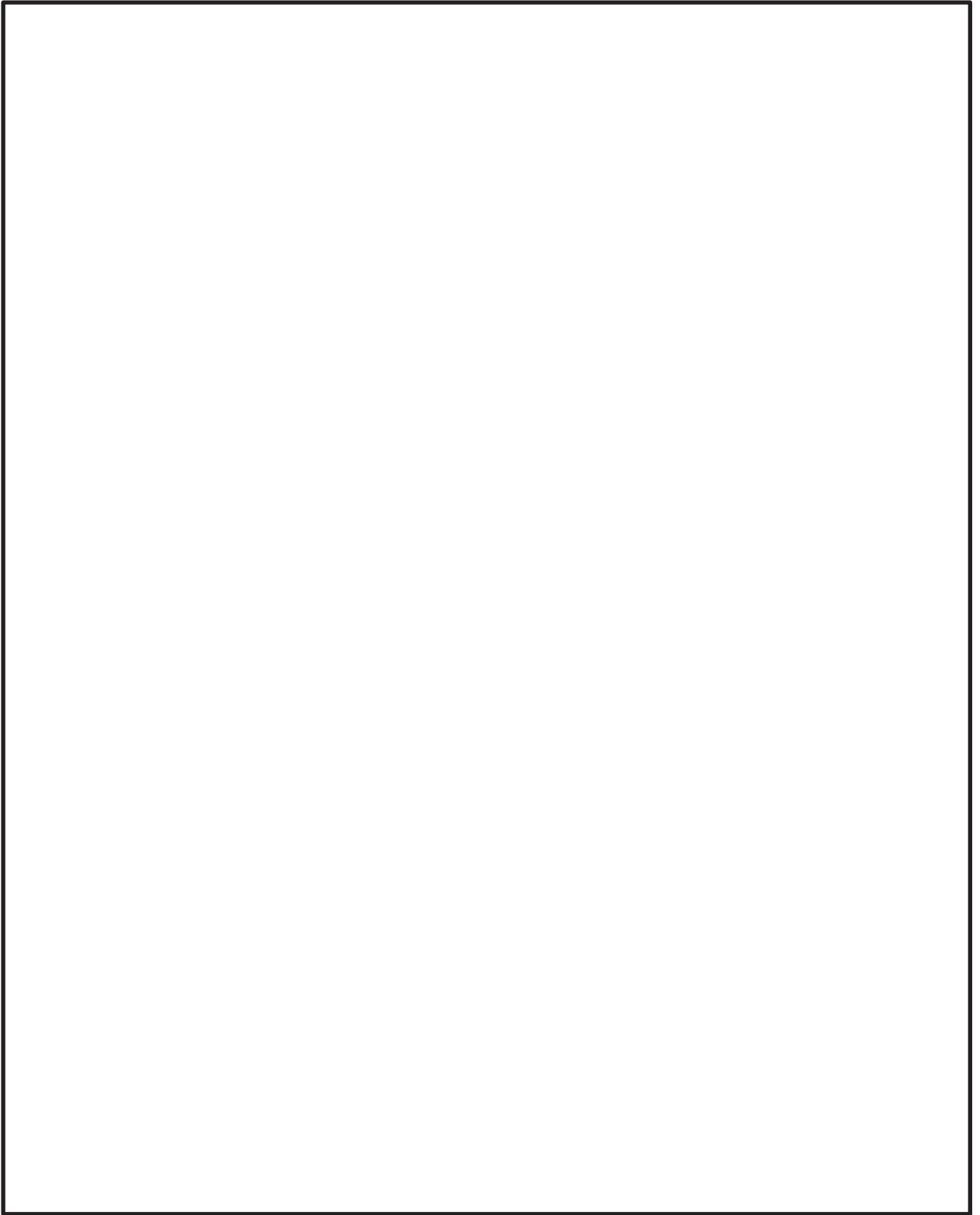
部材	材料	応力	要素番号	節点番号	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
フレーム		引張り			—	—	$\sigma_t = 22$	$f_t = 280$	
		圧縮			—	—	$\sigma_c = 22$ *1	$f_c = 45$	
		せん断			—	—	$\tau = 52$	$f_s = 161$	
		曲げ			—	—	$\sigma_b = 151$	$f_b = 280$	
		組合せ			引張り+曲げ	—	—	$\sigma_{ft} = 0.56$ *2	1 *2
					圧縮+曲げ	—	—	$\sigma_{fc} = 0.70$ *2	
器具取付板 盤取付板 据付架台		組合せ			—	—	$\sigma = 155$	$f_t = 280$	
盤取付ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 39$	$f_{ts} = 187$ *3	
		せん断			—	—	$\tau_b = 67$	$f_{sb} = 161$	
基礎ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 33$	$f_{ts} = 148$ *3	
		せん断			—	—	$\tau_b = 53$	$f_{sb} = 119$	

注記\*1：絶対値を記載

\*2：単位無し

\*3： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ にて算出  
すべて許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 電氣的機能維持の評価結果

( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
地下水位低下設備 現場制御盤(B)	水平方向	3.37	
	鉛直方向	1.91	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-13-10 地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.5	計算精度と数値の丸め方	7
3.	評価部位	8
4.	地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2	許容応力	8
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	8
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	14
4.5	設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）	16
4.6	計算方法	17
4.6.1	応力の計算方法	17
4.7	計算条件	19
4.8	応力の評価	19
4.8.1	器具取付板，筐体及び据付架台の応力評価	19
4.8.2	フレームの応力評価	19
4.8.3	盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価	20
5.	機能維持評価	21
5.1	電氣的機能維持評価方法	21
6.	評価結果	22



1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち電源盤が基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

電源盤は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」に基づき、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

なお、構造強度評価については、電源盤の設置位置のうち、最も設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）が大きくなる設置位置に設定した上で、電源盤に作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電気的機能維持評価については、機能維持評価用加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを評価する。

評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
地下水位低下設備電源盤(A) 地下水位低下設備電源盤(B) (代表)	4. 地震応答解析及び構造強度評価	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

地下水位低下設備電源盤(B)の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>フレームは、盤取付ボルトにて据付架台に固定する。据付架台は、基礎ボルトにて床面に据え付ける。</p>	<p>自立型 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立型閉鎖型の盤)</p>	<p>(上面)</p> <p>(側面)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>地下水位低下設備 電源盤 (A)</th> <th>地下水位低下設備 電源盤 (B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>1000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>2000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>2300</td> <td>2300</td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位 : mm)</p>	機器名称	地下水位低下設備 電源盤 (A)	地下水位低下設備 電源盤 (B)	たて	1000	1000	横	2000	2000	高さ	2300	2300
機器名称	地下水位低下設備 電源盤 (A)	地下水位低下設備 電源盤 (B)												
たて	1000	1000												
横	2000	2000												
高さ	2300	2300												

## 2.2 評価方針

電源盤の応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す電源盤の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく基準地震動  $S_s$  による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、電源盤の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の機能維持評価用加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

電源盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

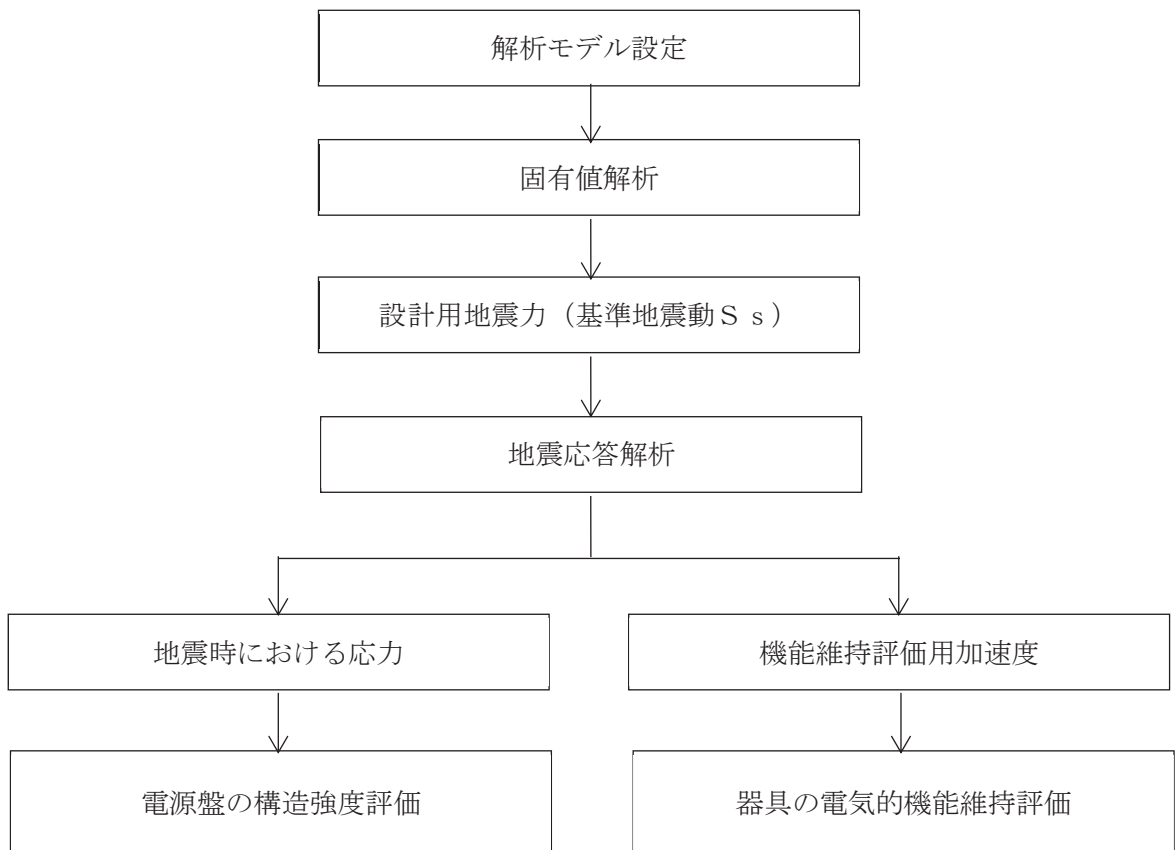


図 2-1 電源盤の耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補－1984）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	フレームの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>y</sub>	フレームの有効せん断断面積 (y 方向)	mm <sup>2</sup>
A <sub>z</sub>	フレームの有効せん断断面積 (z 方向)	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
d <sub>o</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用する引張力	N
F <sub>x</sub>	フレーム又は盤取付ボルト及び基礎ボルトの軸力 (x 方向)	N
F <sub>y</sub>	フレーム又は盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (y 方向)	N
F <sub>z</sub>	フレーム又は盤取付ボルト及び基礎ボルトのせん断力 (z 方向)	N
f <sub>b</sub>	フレームの許容曲げ応力	MPa
f <sub>c</sub>	フレームの許容圧縮応力	MPa
f <sub>s</sub>	フレーム又はボルト等の許容せん断応力	MPa
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断 応力	MPa
f <sub>t</sub>	フレーム又はボルト等の許容引張応力	MPa
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	引張力とせん断力を同時に受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの 許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
l <sub>k</sub>	座屈長さ	mm
M <sub>x</sub>	フレームのねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M <sub>y</sub>	フレームの曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M <sub>z</sub>	フレームの曲げモーメント (z 軸)	N・mm
m	解析モデル質量	kg
Q <sub>b</sub>	盤取付ボルト及び基礎ボルトに作用するせん断力	N
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S <sub>y (RT)</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa

記号	記号の説明	単位
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
$Z_p$	フレームのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	フレームの断面係数（y 軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	フレームの断面係数（z 軸）	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	フレームの限界細長比	—
$\lambda$	フレームの有効細長比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	器具取付板，筐体及び据付架台に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_b$	フレームに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_c$	フレームに生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{fc}$	フレームに生じる応力の組合せ（圧縮＋曲げ）	—
$\sigma_{ft}$	フレームに生じる応力の組合せ（引張り＋曲げ）	—
$\sigma_t$	フレームに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{tb}$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_x, \sigma_y$	器具取付板，筐体及び据付架台に生じる膜＋曲げ応力	MPa
$\tau$	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{xy}$	器具取付板，筐体及び据付架台に生じるせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*3</sup>	四捨五入	小数点以下第 1 位 <sup>*2</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 <sup>*4</sup>
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*5</sup>		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 <sup>*5</sup>

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

\*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

電源盤の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるフレーム、器具取付板、筐体、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。なお、電源盤は、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム、器具取付板、筐体、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば電氣的機能を維持できるため、フレーム、器具取付板、筐体、据付架台、盤取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。電源盤の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

## 4. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 電源盤は、十分剛な床に基礎ボルトにより固定される。
- (2) 電源盤の質量には、盤自身の質量のほか、据付架台質量を考慮する。
- (3) 地震力は、電源盤に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

電源盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち評価に用いるものを表 4-1 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

電源盤の許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

電源盤の使用材料の許容応力評価条件のうち評価に用いるものを表 4-3 に示す。



表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
施設共通 (地震)	地下水位低 下設備	電源盤	C	— *	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 許容応力

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)					許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力					一次応力	
	引張り	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張り	せん断
IV <sub>AS</sub>	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 \*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
フレーム		周囲環境温度	40	245	400	—
器具取付板, 筐体				245	400	—
据付架台				235	400	—
盤取付ボルト				215	400	—
基礎ボルト						

#### 4.3 解析モデル及び諸元

電源盤の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【電源盤の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 電源盤の [ ] でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 取付器具は、 [ ] として付加する。
- (3) 基礎ボルトは剛体として、基礎ボルト位置に [ ] を固定し、回転方向は自由とする。
- (4) 盤取付ボルトは、 [ ] でモデル化して、 [ ] を固定し、回転方向は自由とする。
- (5) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用い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。

[ ] 枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

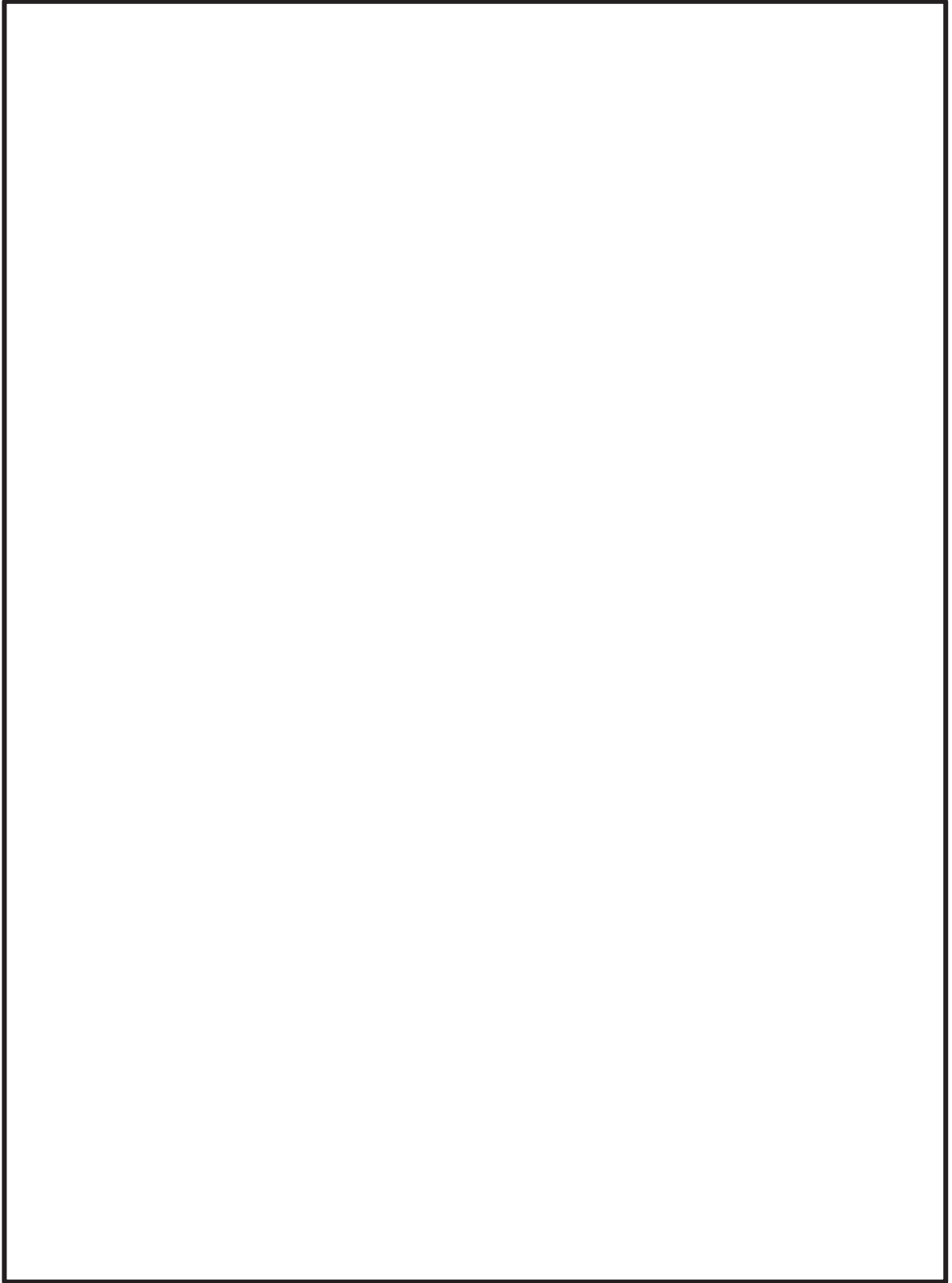


図 4-1 電源盤の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-4 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-4 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平方向	0.045	—	—	—
143次	鉛直方向	0.011	—	—	—

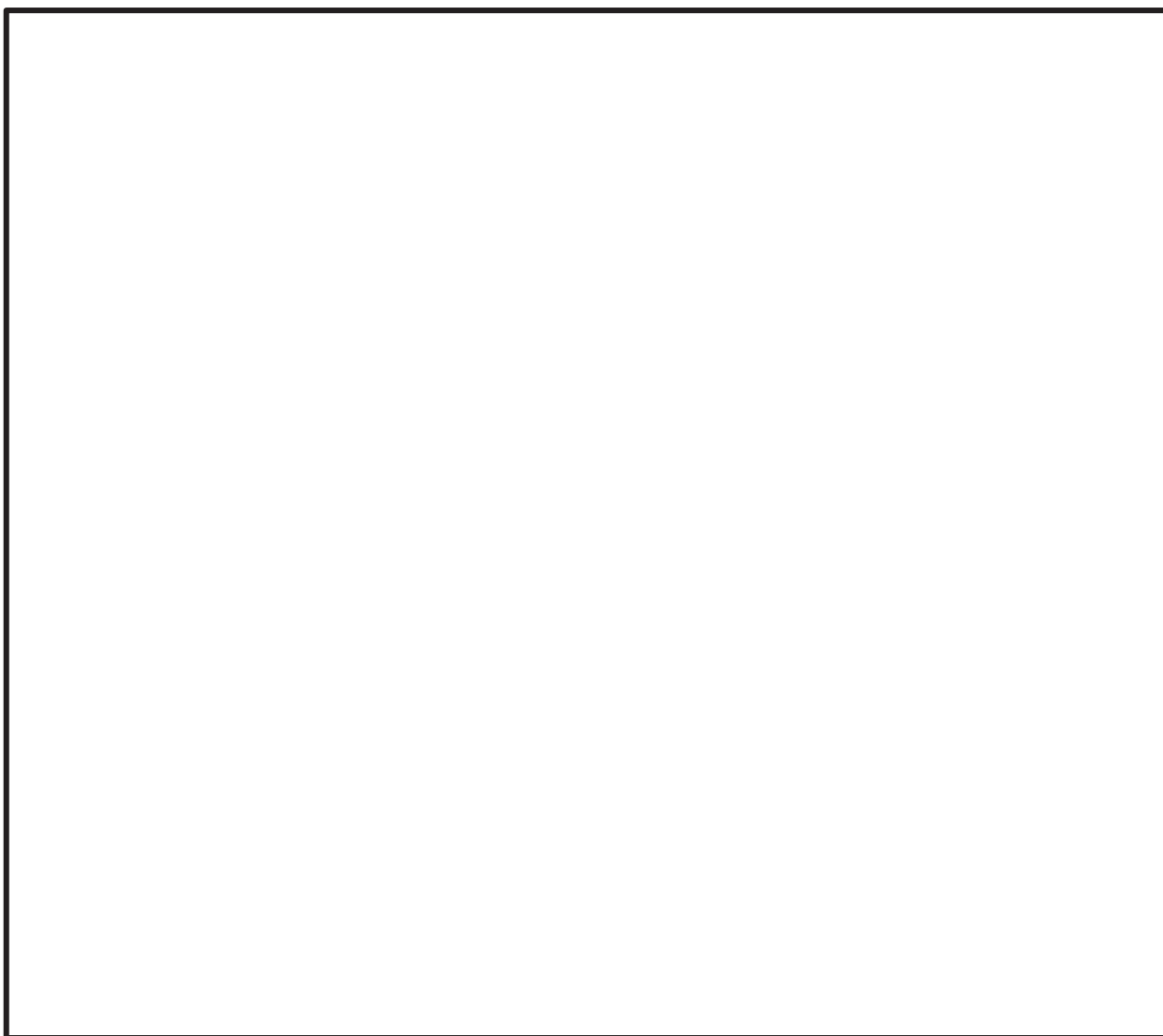


図 4-2 振動モード (1次モード 水平方向 0.045s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

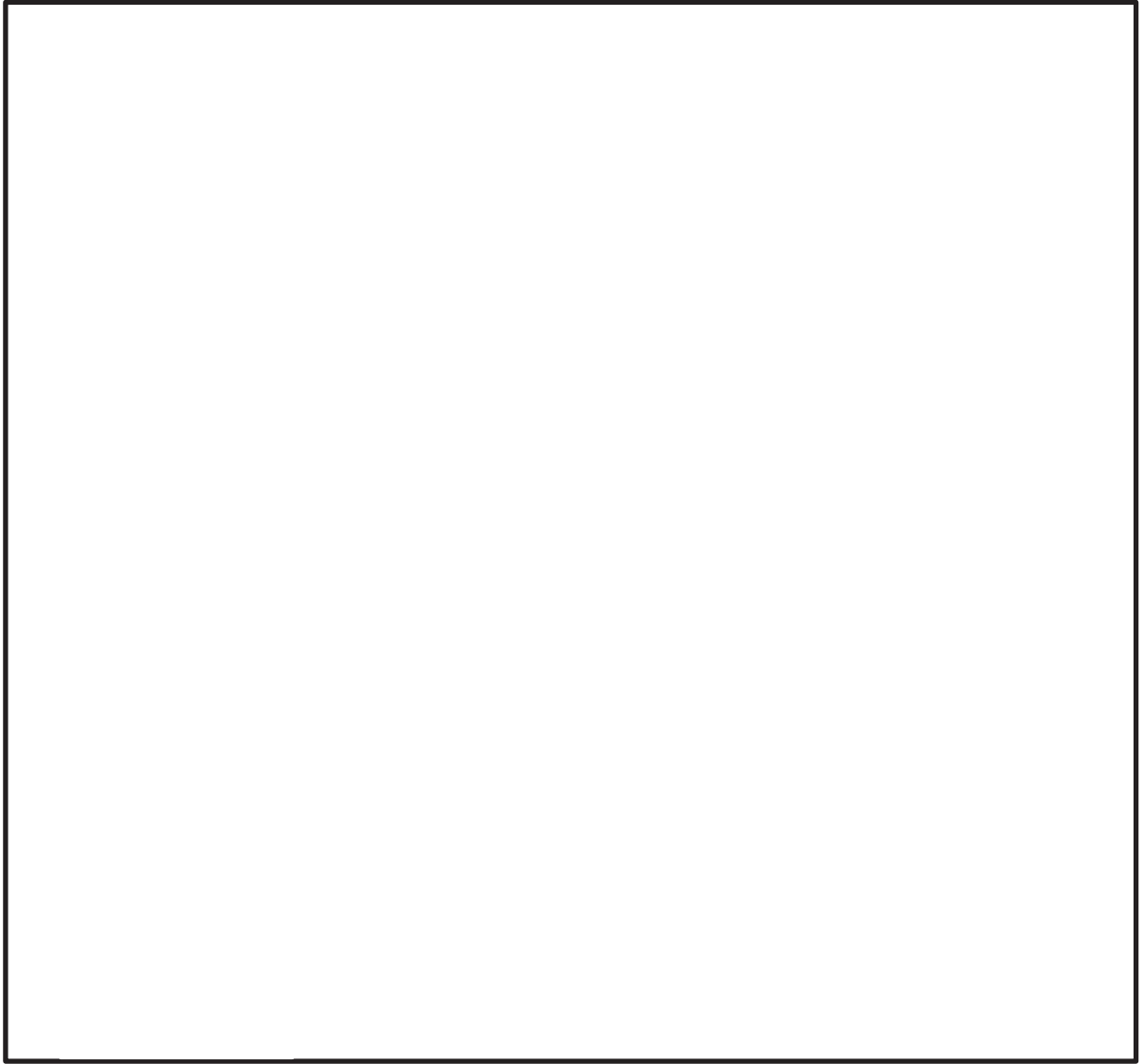


図 4-3 振動モード (143 次モード 鉛直方向 0.011s)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.5 設計用地震力（基準地震動 $S_s$ ）

評価に用いる設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）を表 4-5 に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-5 設計用地震力（基準地震動  $S_s$ ）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 15.00*	0.045	0.011	—	—	$C_H = 1.97$	$C_V = 1.37$

注記\*1：基準床レベルを示す



## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### 4.6.1.1 器具取付板，筐体及び据付架台の応力

解析による計算で得られる器具取付板，筐体及び据付架台部分の  の応力成分を用いて，最大の組合せ応力を次のように求める。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

#### 4.6.1.2 フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力  $F_x$ ，せん断力  $F_y$ ， $F_z$ ，ねじりモーメント  $M_x$  及び曲げモーメント  $M_y$ ， $M_z$  より各応力を次のように求める。

##### (1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

##### (2) せん断応力

$$\tau = \frac{|F_y|}{A_y} + \frac{|F_z|}{A_z} + \frac{|M_x|}{Z_p} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

##### (3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

##### (4) 組合せ（引張り＋曲げ）

$$\sigma_{ft} = \frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

##### (5) 組合せ（圧縮＋曲げ）

$$\sigma_{fc} = \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.6.1.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力

盤取付ボルト及び基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる軸力 $F_x$ 、せん断力 $F_y$ 、 $F_z$ から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。

##### (1) 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_x}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

##### (2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は、(4.6.1.3.2)式による。

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【電源盤の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 器具取付板、筐体及び据付架台の応力評価

4.6.1.1項で求めた応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は  $f_t$  以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

##### 4.8.2 フレームの応力評価

4.6.1.2項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は応力比が1以下であること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_t$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_c$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
	$0.277 \cdot F^* \cdot \left( \frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_s$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_b$	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.2.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (4.8.2.3)$$

4.8.3 盤取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3 項で求めた盤取付ボルト及び基礎ボルトの引張応力は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける盤取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。ただし、 $f_{sb}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

電源盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

電源盤に設置される器具の機能維持加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

評価部位	方向	機能確認済加速度
地下水位低下設備電源盤(B)	水平方向	
	鉛直方向	

## 6. 評価結果

電源盤の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【電源盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計条件

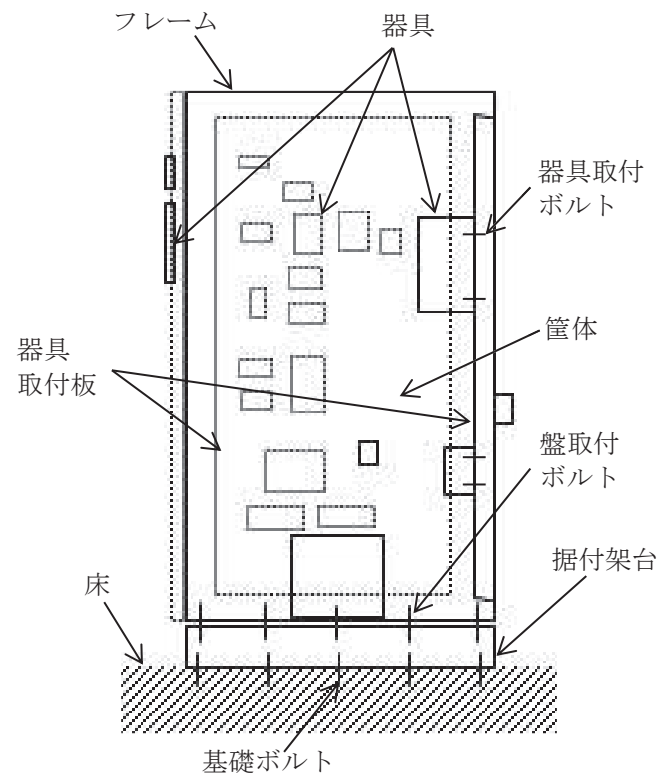
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
地下水位低下設備 電源盤(B)	C	原子炉建屋 O.P. 15.00* <sup>1</sup>	0.045	0.011	—	—	C <sub>H</sub> =1.97	C <sub>V</sub> =1.37	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

2. 機器要目

m (kg)	盤取付ボルト		基礎ボルト	
	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )

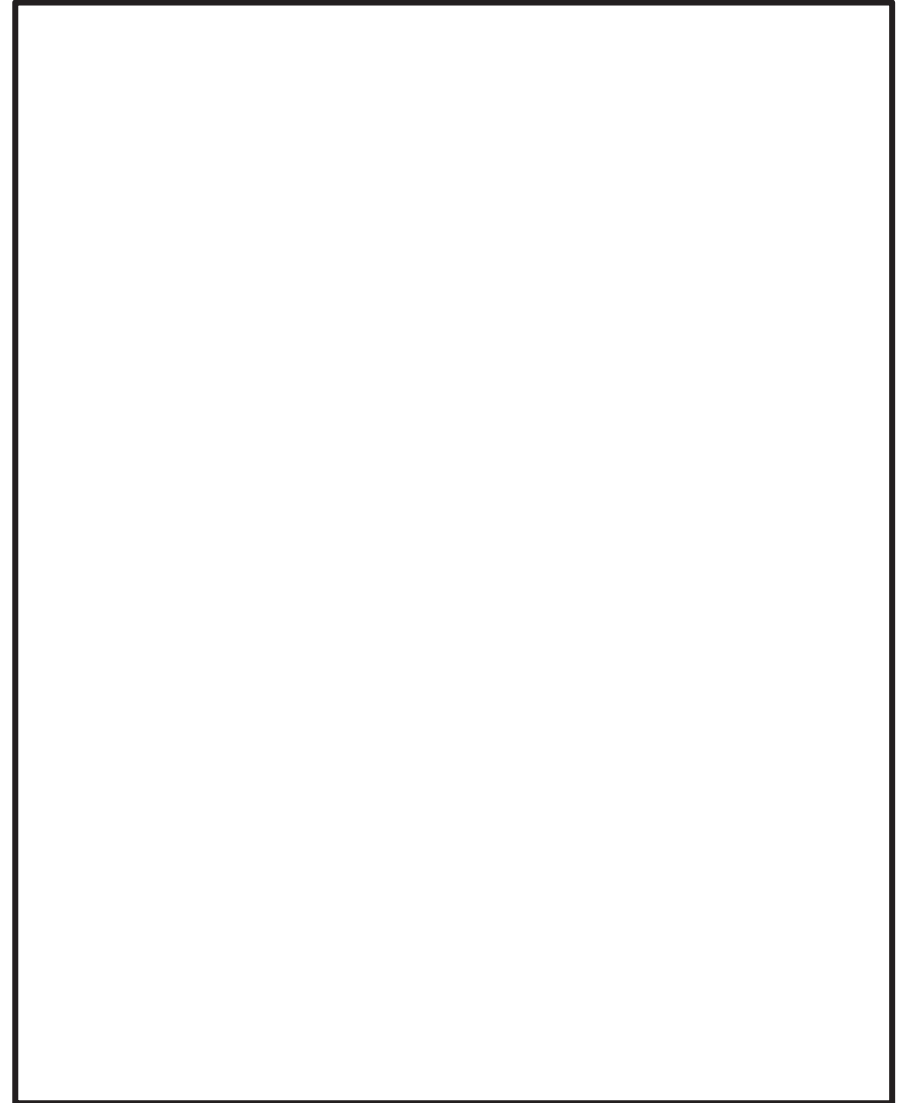
部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
フレーム		245 (厚さ ≤ 16mm)	400	280
器具取付板, 筐体				
据付架台		235 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	400	280
盤取付ボルト		215 (径 > 40mm)	400	258
基礎ボルト		215 (径 > 40mm)	400	258



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材	材料	E (MPa)	$\nu'$	$l_k$ (mm)	i (mm)	$\lambda$
フレーム						

	要素番号
材料	
A (mm <sup>2</sup> )	
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )	
Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )	
部材	フレーム





3. 計算数値

3.1 フレームの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	1.333×10 <sup>4</sup>	—	—	—	—
		—	9.643×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—
		—	—	—	4.096×10 <sup>3</sup>	—	2.995×10 <sup>3</sup>

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.2 フレームのモーメント

(単位：N・mm)

要素番号	節点番号	M <sub>x</sub>		M <sub>y</sub>		M <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	9.908×10 <sup>4</sup>	—	3.541×10 <sup>5</sup>
		—	—	—	—	—	—
		—	1.002×10 <sup>5</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.3 盤取付ボルトの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	3.704×10 <sup>3</sup>	—	4.015×10 <sup>3</sup>
		—	8.691×10 <sup>3</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.4 盤取付ボルトに作用する力

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	5.463×10 <sup>3</sup>
		—	8.691×10 <sup>3</sup>	—	—

3.5 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>x</sub>		F <sub>y</sub>		F <sub>z</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	5.531×10 <sup>3</sup>	—	372.8
		—	1.120×10 <sup>4</sup>	—	—	—	—

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

3.6 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

要素番号	節点番号	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
		—	—	—	5.544×10 <sup>3</sup>
		—	1.120×10 <sup>4</sup>	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 結論

4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.045
鉛直方向	0.011

4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
フレーム		引張り			—	—	$\sigma_t = 17$	$f_t = 280$	
		圧縮			—	—	$\sigma_c = 24^{*1}$	$f_c = 99$	
		せん断			—	—	$\tau = 113$	$f_s = 161$	
		曲げ			—	—	$\sigma_b = 128$	$f_b = 280$	
		組合せ			引張り+曲げ	—	—	$\sigma_{ft} = 0.49^{*2}$	1 <sup>*2</sup>
					圧縮+曲げ	—		$\sigma_{fc} = 0.61^{*2}$	
器具取付板, 筐体		組合せ			—	—	$\sigma = 58$	$f_t = 280$	
据付架台									
盤取付ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 44$	$f_{ts} = 193^{*3}$	
		せん断			—	—	$\tau_b = 28$	$f_{sb} = 148$	
基礎ボルト		引張り			—	—	$\sigma_{tb} = 56$	$f_{ts} = 154^{*3}$	
		せん断			—	—	$\tau_b = 28$	$f_{sb} = 119$	

注記\*1：絶対値を記載

\*2：単位なし

\*3： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ にて算出

すべて許容応力以下である。

4.3 電氣的機能の評価結果

( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
地下水位低下設備 電源盤	水平方向	1.65	□
	鉛直方向	1.15	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## VI-2-別添 1 火災防護設備の耐震性についての計算書

## 目次

- VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針
- VI-2-別添 1-2 火災感知器の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-3 火災受信機盤の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-4 ガスボンベ設備の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-5 選択弁の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-6 制御盤の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-7 消火配管の耐震性についての計算書
- VI-2-別添 1-8 火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

## VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 評価方針	2
2.2 評価対象設備	2
2.3 適用規格・基準等	15
2.4 記号の説明	16
2.5 計算精度と数値の丸め方	31
3. 評価部位	37
4. 固有周期	40
5. 構造強度評価	40
5.1 構造強度評価方法	40
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	43
5.3 設計用地震力	47
5.4 計算方法	48
6. 機能維持評価	69
6.1 火災感知器	69
6.2 火災受信機盤	69
6.3 ガスボンベ設備	69
6.4 選択弁	70
6.5 制御盤	70



## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 11 条及び第 52 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」が適合することを要求している「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」（平成 25 年 6 月 19 日制定）（以下「火災防護に係る審査基準」という。）に適合する設計とするため、添付書類「VI-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」（以下「VI-1-1-7」という。）に示す火災感知設備及び消火設備が、火災防護上重要な機器等の耐震クラス及び重大事故等対処施設の区分に応じた地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

火災防護設備の計算結果は、添付書類「VI-2-別添1-2 火災感知器の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-3 火災受信機盤の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-4 ガスボンベ設備の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-5 選択弁の耐震性についての計算書」、添付書類「VI-2-別添1-6 制御盤の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-別添1-7 消火配管の耐震性についての計算書」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果を、添付書類「VI-2-別添1-8 火災防護設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

応力評価は、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、機能維持評価は地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

耐震評価フローを図 2-1 に示す。

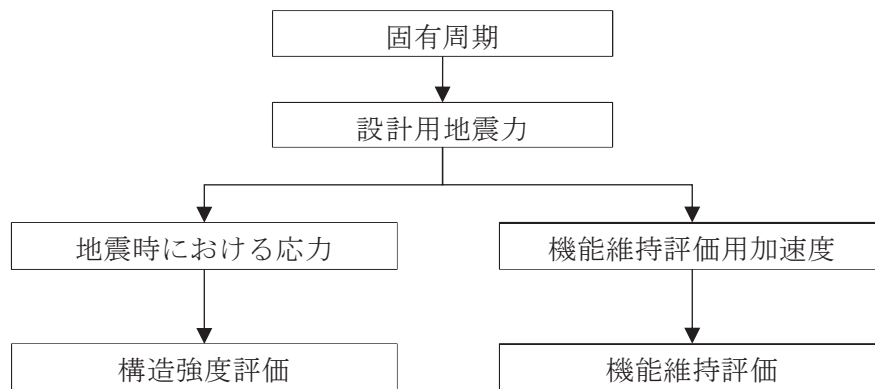


図 2-1 耐震評価フロー

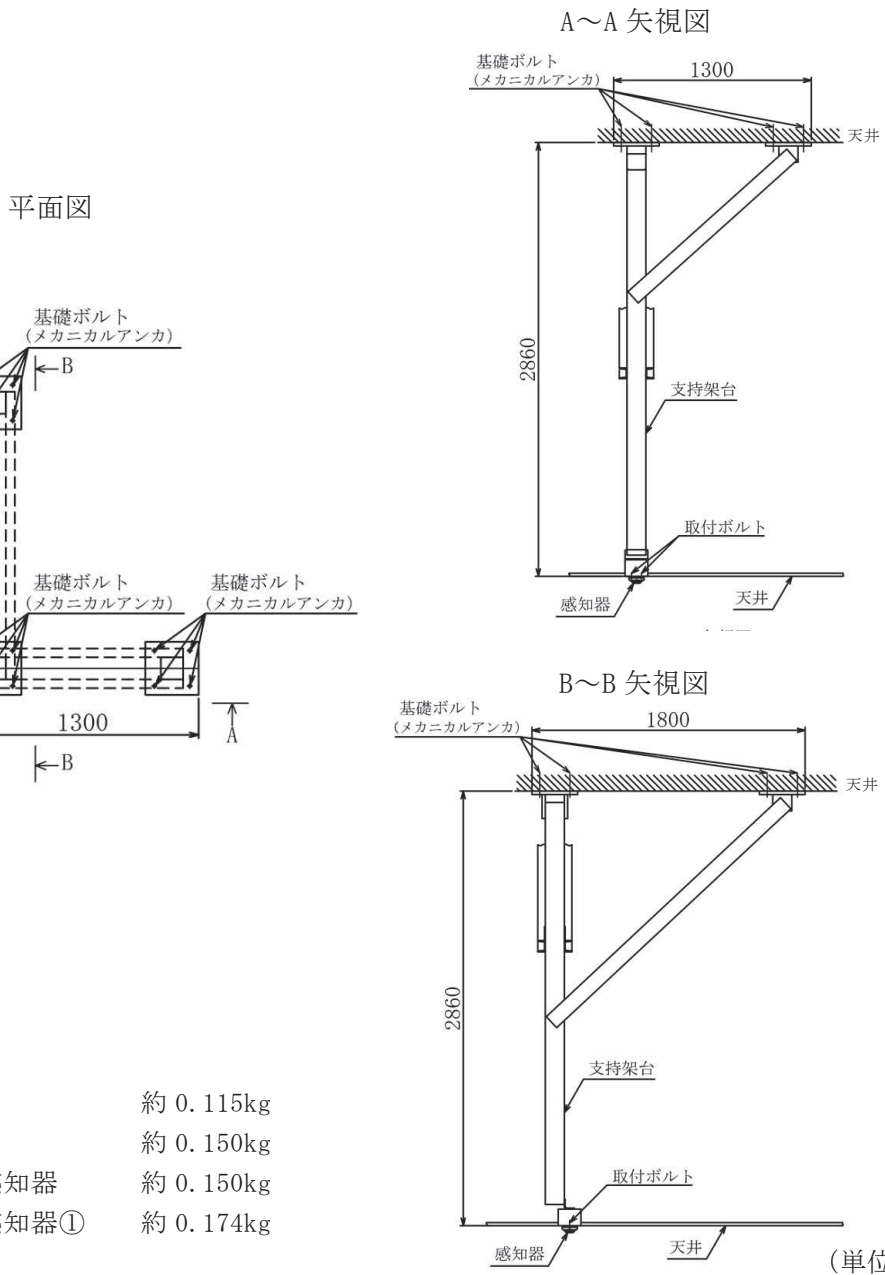
### 2.2 評価対象設備

評価対象設備は、添付書類VI-1-1-7のうち「5.1 火災感知設備について」に示す火災感知設備のうち火災感知器及び火災受信機盤並びに添付書類VI-1-1-7のうち「5.2 消火設備について」に示す消火設備のうちガスボンベ設備、選択弁、制御盤及び消火配管を対象とする。

火災感知設備の構造計画を表2-1及び表2-2に、消火設備の構造計画を表2-3から表2-6に示す。

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(1/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・煙感知器</li> <li>・熱感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul>	各火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・煙感知器</li> <li>・熱感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul> (天井取付形)	図 2-2



注：図の感知器は、質量のより大きい防爆型煙感知器①とする。

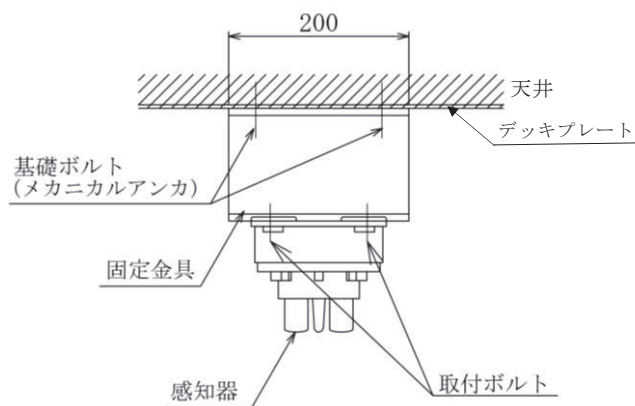
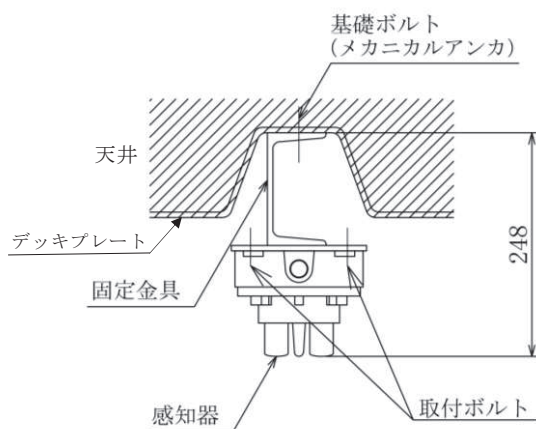
図 2-2 火災感知器（煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①）の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(2/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器②</li> </ul>	各火災感知器は, 取付ボルトにて固定金具に取付け, 固定金具を基礎ボルトにより, 建屋躯体に据え付ける。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器② (天井取付形)</li> </ul>	図 2-3

正面図

側面図



(単位 : mm)

- ・ 防爆型熱感知器 約 1.50kg (設計用震度 水平 : 7.28 鉛直 : 2.09)
- ・ 防爆型煙感知器② 約 3.00kg (設計用震度 水平 : 3.34 鉛直 : 1.70)

注 : 図の感知器は, 設置箇所的设计用震度が大きい防爆型熱感知器とする。

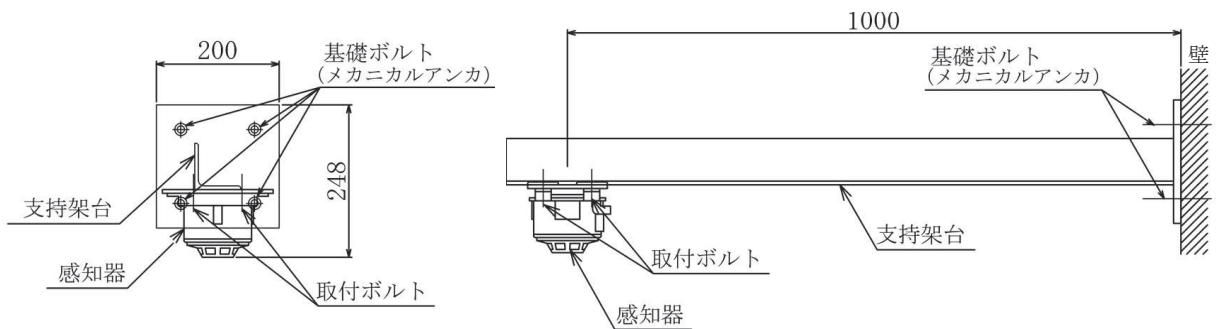
図 2-3 火災感知器 (防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②) の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(3/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
防湿型煙感知器	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。	防湿型煙感知器 (壁掛形)	図 2-4

正面図

側面図



防湿型煙感知器 約 1.00kg

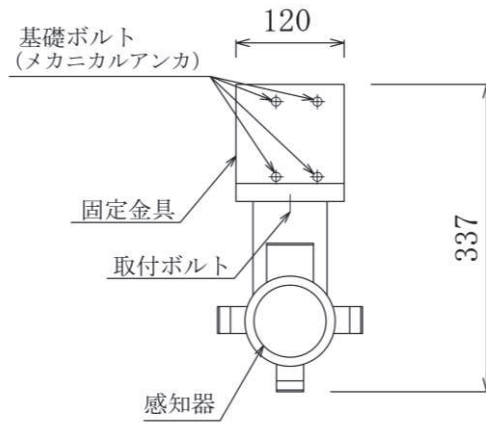
(単位：mm)

図 2-4 火災感知器（防湿型煙感知器）の概要図

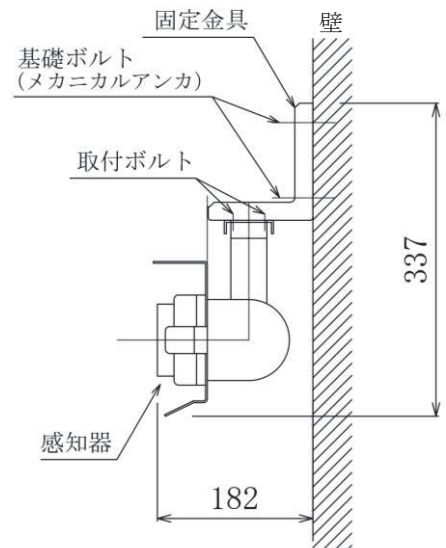
表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(4/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
炎感知器	火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。	炎感知器 (壁掛形)	図 2-5

正面図



側面図



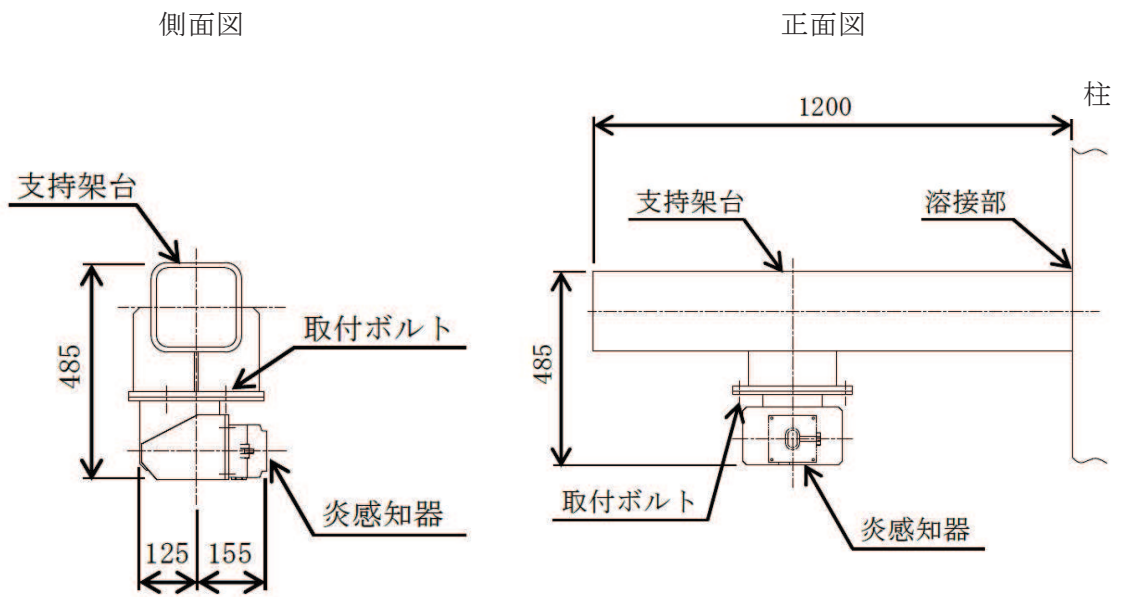
炎感知器 約 0.185kg

(単位：mm)

図 2-5 火災感知器 (炎感知器) の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(5/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
屋外仕様 炎感知器	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋の柱に据付ける。	屋外仕様 炎感知器 (壁掛形)	図 2-6



屋外仕様炎感知器 約 1.3kg

(単位：mm)

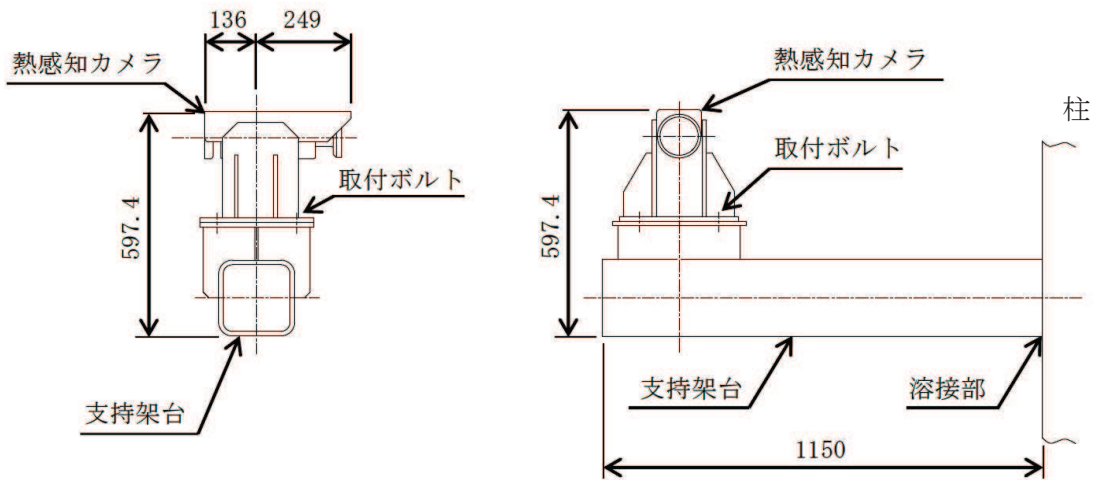
図 2-6 火災感知器（屋外仕様炎感知器）の概要図

表 2-1 火災防護設備のうち火災感知器の構造計画(6/6)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
熱感知カメラ	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋の柱に据付ける。	熱感知カメラ (壁掛形)	図 2-7

側面図

正面図



熱感知カメラ 約 5.4kg

(単位 : mm)

図 2-7 火災感知器 (熱感知カメラ) の概要図



表 2-2 火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤	火災受信機盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに取り付け、チャンネルベースを基礎ボルトにより、建屋躯体に固定する。	火災受信機盤 (垂直自立型)	図 2-8

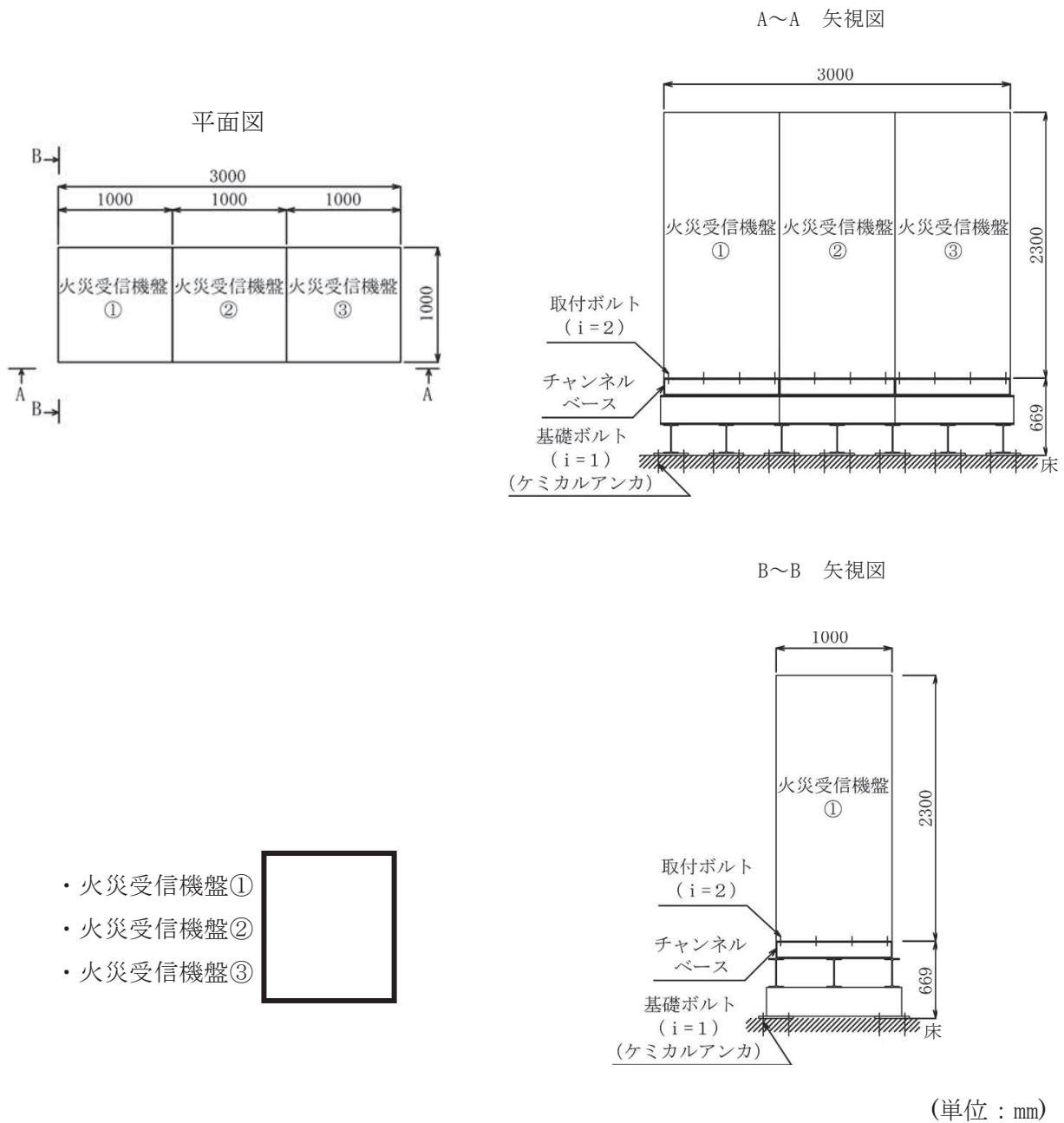


図 2-8 火災受信機盤の概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-3 火災防護設備のうちガスボンベ設備の構造計画 (1/2)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ガスボンベ設備 (ハロンガス消 火設備)	容器弁はガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベはボンベラックに固定し、基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	ガスボンベ及び容器弁(直立型)	図 2-9



図2-9 ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備) の概要図

表 2-3 火災防護設備のうちガスボンベ設備の構造計画 (2/2)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ 消火設備)	容器弁はガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは、ボンベラックに固定し、基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	ガスボンベ及び容器弁(直立型)	図 2-10

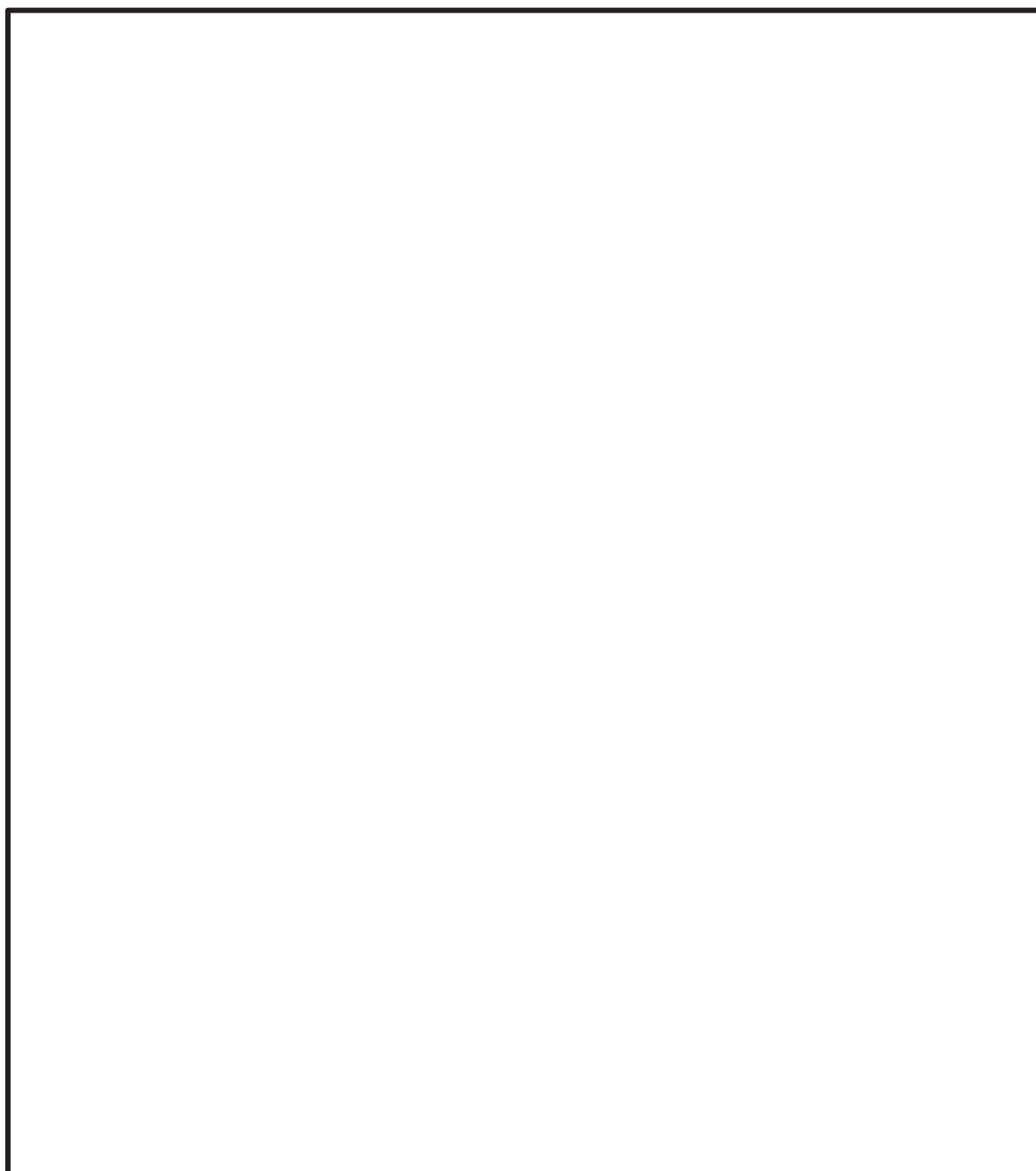
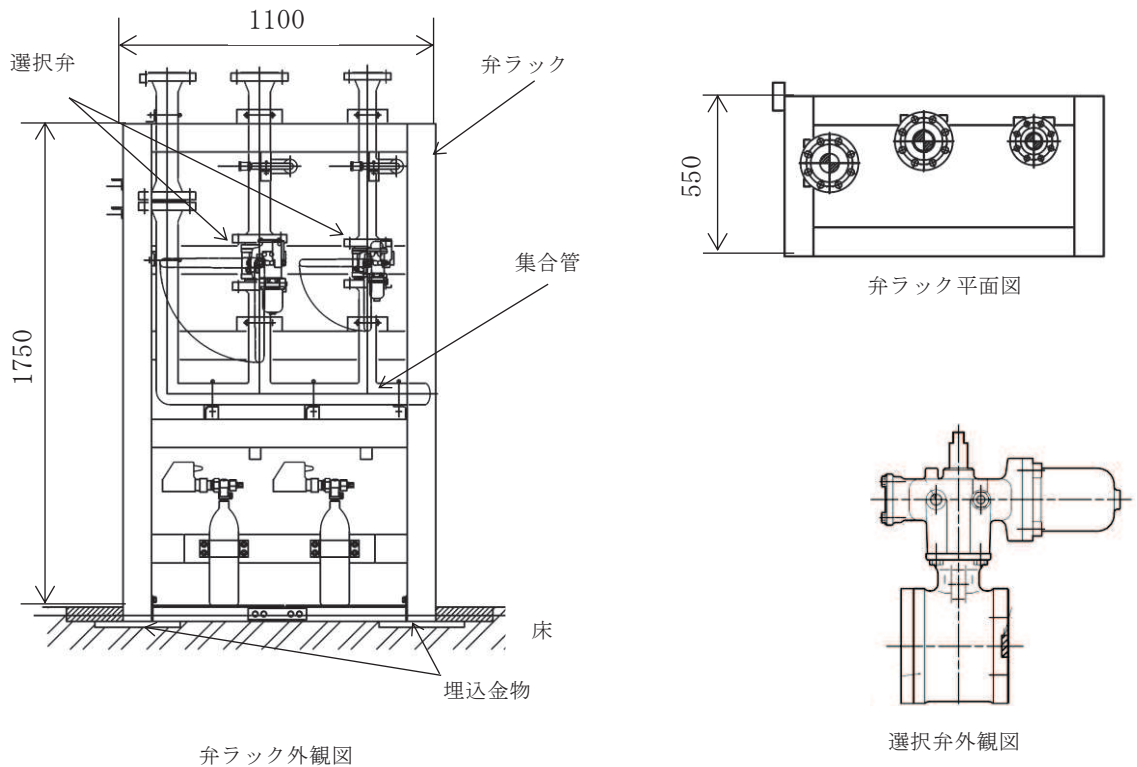


図2-10 ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備) の概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-4 火災防護設備のうち選択弁の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
選択弁	選択弁は集合管に取り付けて固定する。集合管は弁ラックに固定し、埋込金物により弁ラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	選択弁， 集合管 及び弁ラック	図 2-11



(単位 : mm)

図2-11 選択弁の概要図

表 2-5 火災防護設備のうち制御盤の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
制御盤	制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。 チャンネルベースは基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	制御盤 (壁掛型)	図 2-12

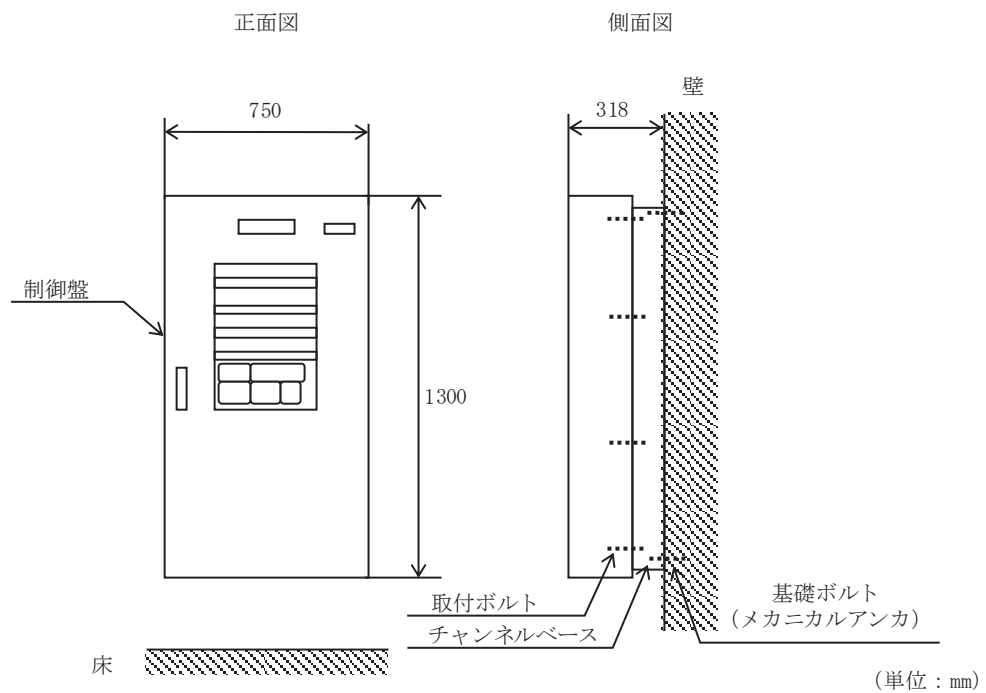


図2-12 制御盤の概要図

表 2-6 火災防護設備のうち消火配管の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
消火配管 (ケーブルトレイ消火設備)	消火配管はケーブルトレイ外において、配管の自在性を活かすために、UボルトやUバンド等にて支持することなくパンチングトレイ内に設置する。	消火配管	図 2-13

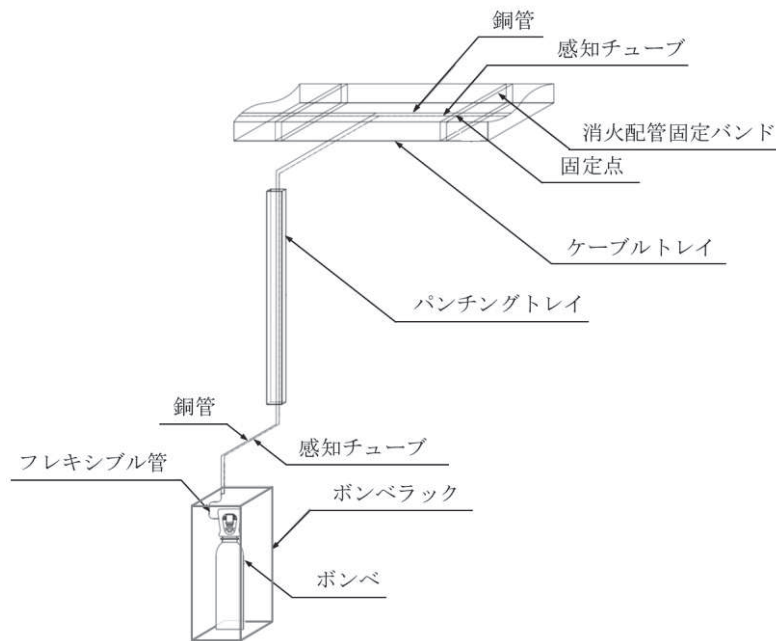


図 2-13 消火配管（ケーブルトレイ消火設備）の概要図

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む）） J S M E S N C 1 - 2005/2007（日本機械学会）
- ・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）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984（日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版（日本電気協会）
- ・鋼構造設計基準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年改定）
- ・日本産業規格（J I S）

2.4 記号の説明

表2-7 煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の応力評価に用いる  
記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$F_{b1i}$	基礎ボルトに作用する引張力及び取付ボルトに作用する短辺方向の引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$F_{b2}$	取付ボルトに作用する長辺方向の引張力（1本当たり）	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$\ell_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$\ell_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$m_i$	機器の質量（据付面の場合支持架台の質量を含む）* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $F_{b1i}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $\ell_{1i}$ ,  $\ell_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字*i*の意味は，以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 取付ボルト

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字*i*の意味は，以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : 取付面

\*3:  $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$



表2-8 防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$F_{b1}$	基礎ボルトに作用する短辺方向の引張力（1本当たり）	N
$F_{b2i}$	基礎ボルトに作用する長辺方向の引張力及び取付ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$l_{1i}$	重心とボルトの水平方向距離* <sup>1, *3</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト又は部材端間の水平方向距離* <sup>1, *3</sup>	mm
$m_i$	機器の質量（据付面の場合固定金具の質量を含む）* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{b2i}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 取付ボルト

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : 取付面

\*3:  $l_{1i} \leq l_{2i}$

表2-9 防湿型煙感知器の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$F_{b1}$	鉛直方向地震力及び壁取付面に対し左右方向の水平方向地震力により基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$F_{b2}$	鉛直方向地震力及び壁取付面に対し前後方向の水平方向地震力により基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$F_{b3}$	取付ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$l_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1, *3</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1, *3</sup>	mm
$l_3$	重心と転倒支点間の鉛直方向距離	mm
$l_4$	転倒支点と上側ボルト間の鉛直方向距離	mm
$m_i$	機器の質量（据付面の場合支持架台の質量を含む）* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$Q_{b1i}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$Q_{b2i}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_{bi}$ ,  $F_i^*$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  
 $Q_{b1i}$ ,  $Q_{b2i}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $\sigma_{bi}$  及び  $\tau_{bi}$  の添字  $i$  の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 取付ボルト

\*2:  $h_i$  及び  $m_i$  の添字  $i$  の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : 取付面

\*3:  $l_{1i} \leq l_{2i}$

表2-10 炎感知器の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$F_{b1}$	鉛直方向地震及び壁取付面に対し左右方向の水平方向地震力により基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$F_{b2}$	鉛直方向地震及び壁取付面に対し前後方向の水平方向地震力により基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$F_{b3}$	取付ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$l_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$l_3$	重心と転倒支点間の鉛直方向距離	mm
$l_4$	転倒支点と上側ボルト間の鉛直方向距離	mm
$m_i$	機器の質量（据付面の場合固定金具の質量を含む）* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$Q_{b1i}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$Q_{b2i}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_{bi}$ ,  $F_i^*$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  
 $Q_{b1i}$ ,  $Q_{b2i}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 基礎ボルト

$i = 2$  : 取付ボルト

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 据付面

$i = 2$  : 取付面

\*3:  $l_{1i} \leq l_{2i}$

表2-11 屋外仕様炎感知器及び熱感知カメラの応力評価に用いる記号の定義 (1/2)

記号	記号の説明	単位
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$l_1$	据付面から重心までの距離	mm
$l_2$	据付部材芯から重心までの距離	mm
$S$	溶接脚長	mm
$a$	溶接部の有効のど厚	mm
$b_w$	溶接の有効長さ (Y方向)	mm
$h_w$	溶接の有効長さ (Z方向)	mm
$m_1$	機器の質量 (支持架台の質量を含む)	kg
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$A_w$	溶接部の有効断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{s w Y}$	前後方向 (Y方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$A_{s w Z}$	鉛直方向 (Z方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
$Z_{w Y}$	溶接断面積における前後方向 (Y方向) 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{w Z}$	溶接断面積における鉛直方向 (Z方向) 軸まわりの断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_t$	軸力により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{b Y 1}$	Y軸まわりの曲げモーメント (左右方向 (X方向) 地震時) により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{b Y 2}$	Y軸まわりの曲げモーメント (前後方向 (Y方向) 地震時) により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{b Z 2}$	Z軸まわりの曲げモーメント (前後方向 (Y方向) 地震時) により生じるせん断応力	MPa
$\tau_Y$	Y方向のせん断力により生じるせん断応力	MPa
$\tau_Z$	Z方向のせん断力により生じるせん断応力	MPa
$\sigma_1$	組合せせん断応力 (左右方向 (X方向) 地震時)	MPa
$\sigma_2$	組合せせん断応力 (前後方向 (Y方向) 地震時)	MPa
$\sigma$	最大組合せせん断応力	MPa
$f_s$	許容せん断応力	MPa

表2-11 屋外仕様炎感知器及び熱感知カメラの応力評価に用いる記号の定義 (2/2)

記号	記号の説明	単位
$A_{b2}$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$d_2$	ボルトの呼び径	mm
$F_{b2}$	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
$F_{b12}$	鉛直方向地震力及び壁取付面に対し左右方向の水平方向地震力により取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
$F_{b22}$	鉛直方向地震力及び壁取付面に対し前後方向の水平方向地震力により取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
$h_2$	取付面から重心までの距離	mm
$\ell_{12}$	重心とボルト間の水平方向距離	mm
$\ell_{22}$	重心とボルト間の水平方向距離 ( $\ell_{12} \leq \ell_{22}$ )	mm
$m_2$	機器の質量	kg
$n_2$	ボルトの本数	—
$n_{f2}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
$Q_{b2}$	ボルトに作用するせん断力	N
$\sigma_{b2}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_{b2}$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$f_{t o 2}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{s b 2}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t s 2}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa

表2-12 火災受信機盤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_{Hi}$	水平方向設計震度	—
$C_{Vi}$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本あたり）* <sup>1</sup>	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$l_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離（垂直自立型）* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離（垂直自立型）* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$m_i$	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（垂直自立型）* <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値* <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値* <sup>1</sup>	N
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $C_{Hi}$ ,  $C_{Vi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 基礎ボルト

$i = 2$ : 取付ボルト

\*2:  $h_i$ 及び $m_i$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : 取付面

\*3:  $l_{1i} \leq l_{2i}$



表2-13 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3及びSSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	基礎ボルトの引張力	N
$F_x$	軸力	N
$F_y$	せん断力(Y軸方向)	N
$F_z$	せん断力(Z軸方向)	N
$M_x$	ねじりモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_y$	曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$Z_x$	ねじり断面係数	$\text{mm}^3$
$Z_y$	断面係数	$\text{mm}^3$
$A$	軸方向断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s_y}$	ラック部材の有効せん断断面積(Y軸方向)	$\text{mm}^2$
$A_{s_z}$	ラック部材の有効せん断断面積(Z軸方向)	$\text{mm}^2$
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値	MPa
$\sigma$	ラックの組合せ応力	MPa
$\sigma_a$	ラックの軸応力	MPa
$\sigma_b$	ラックの曲げ応力	MPa
$\sigma_{bt}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau$	ラックのせん断応力	MPa
$\tau_y$	ラックのせん断応力(Y軸方向)	MPa
$\tau_z$	ラックのせん断応力(Z軸方向)	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_t$	ねじりモーメントに生じるせん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力	MPa
$f_{t_o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{s_b}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t_s}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力	MPa

表2-14 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_b$	ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	ボルトの呼び径	mm
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$F_{b1}$	ボルトに作用する長辺方向の引張力（1本当たり）	N
$F_{b2}$	ボルトに作用する短辺方向の引張力（1本当たり）	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$h$	取付面から重心までの距離	mm
$\ell_1$	重心と左側ボルト又は右側ボルト間の水平方向距離のうち、短い側の距離	mm
$\ell_2$	重心と左側ボルト又は右側ボルト間の水平方向距離のうち、長い側の距離	mm
$m$	運転時質量	kg
$n$	ボルトの総本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
$Q_b$	ボルトに作用するせん断力	N
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bt}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_b$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力 SSB-3131により規定される値	MPa
$f_s$	許容せん断応力 SSB-3131により規定される値	MPa
$f_t^*$	$f_t$ 、 $f_s$ を算出する際に、 $S_y$ を $1.2S_y$ と読み替えて算出した値	MPa
$f_{t0}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{sb}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を受けるボルトの許容引張応力	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

表2-15 選択弁の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{r e a}$	$R_1$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_1$	$R_2$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_2$	$R_3$ 軸方向の力を受けるフレームの断面積	$mm^2$
$A_w$	固定端溶接部の断面積	$mm^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$E$	フレームの縦弾性係数	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
$M_1$	$R_1$ 軸廻りのモーメント (フレーム部)	$N \cdot mm$
$M_2$	$R_2$ 軸廻りのモーメント (フレーム部)	$N \cdot mm$
$M_3$	$R_3$ 軸廻りのモーメント (フレーム部)	$N \cdot mm$
$R_1$	$R_1$ 軸方向の力 (フレーム部)	N
$R_2$	$R_2$ 軸方向の力 (フレーム部)	N
$R_3$	$R_3$ 軸方向の力 (フレーム部)	N
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
$Z_1$	$R_3$ 軸廻りのモーメント $M_3$ を受けるフレームの断面係数	$mm^3$
$Z_2$	$R_2$ 軸廻りのモーメント $M_2$ を受けるフレームの断面係数	$mm^3$
$Z_{p1}$	$R_2$ 軸方向の応力を組合せる時のモーメント $M_1$ を受けるねじり断面係数	$mm^3$
$Z_{p2}$	$R_3$ 軸方向の応力を組合せる時のモーメント $M_1$ を受けるねじり断面係数	$mm^3$
$Z_{pw}$	溶接部のねじり断面係数	$mm^3$
$Z_w$	固定端溶接部の断面係数	$mm^3$
$\sigma_a$	フレームに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_t$	フレームに生じる引張応力	MPa
$\sigma_b$	フレームに生じる曲げ応力	MPa
$\tau_s$	フレームに生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{sa}$	固定端溶接部に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{st}$	固定端溶接部に生じる軸応力	MPa
$\tau_{ss}$	固定端溶接部に生じるせん断応力	MPa
$f_t$	許容引張応力	MPa
$f_b$	許容曲げ応力	MPa
$f_s$	許容せん断応力	MPa

表2-16 制御盤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * <sup>1</sup>	N
$F_{b1i}$	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$F_{b2i}$	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	据付面又は取付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$l_{1i}$	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛型) * <sup>1</sup>	mm
$l_{2i}$	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛型) * <sup>1</sup>	mm
$l_{3i}$	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 (壁掛型) * <sup>1</sup>	mm
$m_i$	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fVi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向) (壁掛型) * <sup>1</sup>	—
$n_{fHi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向) (壁掛型) * <sup>1</sup>	—
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$Q_{b1i}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$Q_{b2i}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛型) * <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa

注記\*1:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $F_{b1i}$ ,  $F_{b2i}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  
 $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $l_{3i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fVi}$ ,  $n_{fHi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $Q_{b1i}$ ,  
 $Q_{b2i}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $S_{yi} (RT)$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は,

以下のとおりとする。

$i = 1$  : 基礎ボルト

$i = 2$  : 取付ボルト

\*2 :  $h_i$  及び  $m_i$  の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 据付面

$i = 2$  : 取付面

表2-17 消火配管の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
$S_m$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表1に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表9に定める値	MPa
$S_h$	設計・建設規格 付録材料図表Part5表5に定める値	MPa
$S_{p r m}$	一次応力	MPa
$S_n$	一次+二次応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

表示する数値の丸め方は表 2-18 から表 2-23 に示すとおりである。

表 2-18 火災感知器の表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

注記\*1：設計上定める値が小数点第 1 位の場合は，小数点第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-19 火災受信機盤の表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

注記\*1：設計上定める値が小数点第 1 位の場合は，小数点第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。



表 2-20 ガスボンベ設備の表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

注記\*1：設計上定める値が小数点第 1 位の場合は，小数点第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-21 選択弁の表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* <sup>1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* <sup>3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

注記\*1：設計上定める値が小数点第 1 位の場合は，小数点第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-22 制御盤の表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
機能維持評価用加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度	×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

注記\*1：設計上定める値が小数点第 1 位の場合は，小数点第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

表 2-23 消火配管の表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
計算条件	圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位* <sup>1</sup>
	温度	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	厚さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
	縦弾性係数	MPa	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	回転ばね定数	N・mm/rad	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	方向余弦	—	小数点以下第 5 位	四捨五入	小数点以下第 4 位
	許容応力* <sup>2</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
	減衰定数	%	—	—	小数点以下第 1 位
	解析結果 及び条件	固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
刺激係数		—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
計算応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* <sup>2</sup>		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
計算荷重		kN	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容荷重		kN	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
疲労累積係数		—	小数点以下第 5 位	切上げ	小数点以下第 4 位
機能維持評価 用加速度		×9.8m/s <sup>2</sup>	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加 速度		×9.8m/s <sup>2</sup>	—	—	小数点以下第 2 位

注記\*1：必要に応じて小数点第 3 位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

\*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

火災防護設備の耐震評価は、「5. 構造強度評価」に示す条件に基づき、以下について評価を実施する。

#### (1) 火災感知器

##### a. 基礎ボルト，溶接部及び取付ボルト

火災感知器は，耐震性を有する原子炉建屋等にボルト等で固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し，火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災感知器は，基準地震動  $S_s$  による地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，火災感知器を固定する火災感知器の基礎ボルト，溶接部及び取付ボルトの許容限界は，基準地震動  $S_s$  による地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

#### (2) 火災受信機盤

##### a. 基礎ボルト及び取付ボルト

火災受信機盤は，耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し，火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災受信機盤は，基準地震動  $S_s$  による地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，火災受信機盤を固定する火災受信機盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は，基準地震動  $S_s$  による地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ，添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

### (3) ガスボンベ設備

#### a. ボンベラック及び基礎ボルト

ガスボンベ設備は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

ガスボンベ設備は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、ガスボンベ設備の構成品であるボンベラック及び基礎ボルトの許容限界は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

### (4) 選択弁

#### a. 弁ラック及び溶接部

選択弁は、耐震性を有する緊急用電気品建屋等に埋込金物で固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

選択弁は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、選択弁の構成品である弁ラック及び溶接部の許容限界は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

### (5) 制御盤

#### a. 基礎ボルト及び取付ボルト

制御盤は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し、主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし、具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

制御盤は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、制御盤を固定する制御盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基

準地震動  $S_s$  による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(6) 消火配管

a. 管及び支持構造物

消火配管（ケーブルトレイ消火設備を除く。）は、耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し、主要な構造部材が、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処設備に対する火災の影響を限定し、火災を早期に消火する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、消火配管が塑性ひずみを生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

消火配管のうちケーブルトレイ消火設備は、ケーブルトレイ外において、配管の自在性を活かすため、消火配管をUボルトやUバンド等にて支持することなく、パンチングトレイ内に設置することで基準地震動  $S_s$  による地震力に対し、主要な構造部材が、火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

#### 4. 固有周期

火災感知設備及び消火設備の固有周期は、振動試験、3次元多質点系はりモデル又は、はり・シェルモデルによる解析及び理論式により求める。

なお、火災受信機盤の鉛直方向の固有周期については、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4. 固有周期」に基づき、構造が同様な盤に対する振動試験の結果確認された固有周期を使用する。

#### 5. 構造強度評価

##### 5.1 構造強度評価方法

###### 5.1.1 火災感知器

- (1) 火災感知器の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は火災感知器に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 火災感知器は、取付ボルトにて固定金具又は支持架台に取付けられている。固定金具又は支持架台は、基礎ボルト又は溶接にて建屋躯体部に固定されているため、固定金具又は支持架台と建屋躯体部との固定部を固定端とする。
- (4) 天井取付型の火災感知器については、図5-1及び図5-2における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。壁掛型の火災感知器については図5-3から図5-6における左右方向及び前後方向\*について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (5) 重心位置については、転倒方向を考慮して、実機での重心位置又は計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記\*：壁掛型の火災感知器の転倒方向は、火災感知器を正面より見て左右に転倒する場合を左右方向、前方に転倒する場合を前後方向転倒という。

###### 5.1.2 火災受信機盤

火災受信機盤の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

###### 5.1.3 ガスボンベ設備

###### 5.1.3.1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）

- (1) ボンベラックについては、3次元多質点系はりモデル又は、はり・シェルモデルによる固有値解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。
- (2) ガスボンベはボンベラックに固定され、ボンベラックは、基礎ボルトにより建屋躯体である床に固定される。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有振動数が20Hz以上の場合は



剛構造として1.2ZPAの加速度による静的解析を行い、20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 5.1.3.2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）

(1) 1質点系モデルとし、設備の重心位置に地震荷重が作用するものとする。

(2) ガスボンベはボンベラックに固定され、ボンベラックは、基礎ボルトにより建屋躯体である床に固定される。

(3) ガスボンベ設備については、図5-7における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 5.1.4 選択弁

(1) 弁ラックについては、3次元多質点系はりモデルによる固有値解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

(2) 選択弁は、集合管に固定され、弁ラックは、埋込金物により建屋躯体である床に固定される。

(3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として1.2ZPAの加速度による静的解析を行い、20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

#### 5.1.5 制御盤

制御盤の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

#### 5.1.6 消火配管

(1) 消火配管及び支持構造物の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

(2) ケーブルトレイ消火設備の消火配管については、消火配管の自在性を活かした設置方法であり、解析による評価が困難であることから、加振試験を行い、加振試験後の外観検査及び気密試験による健全性の確認及び、設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較により、耐震評価を実施する。

耐震評価に用いる設置位置での加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 $S_s$ により定まる応答加速度とし、評価対象フロアは各消火配管の中で最上階に設置されたフロアを対象とするが、消火配管は建屋壁に支持されていることから、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の基準地震動 $S$

sにより定まる応答加速度を適用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の種類

荷重は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す荷重を用いる。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、火災起因の荷重は発生しないため、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す、機器、配管系の荷重の組合せを用いる。

評価対象部位ごとの荷重の組合せを表 5-1 に示す。

5.2.3 許容応力

許容限界は、添付書類VI-1-1-7のうち「5.1 火災感知設備について」及び「5.2 消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標に従い、評価対象部位ごとに設定する。

各評価項目の許容限界を表5-2から表5-8に示す。

5.2.4 ボルトの許容引張応力

ボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  を次式に示す。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.2.4.1)$$

許容引張応力  $f_{to}$  は下表による。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組み合わせの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$

表5-1 設備ごとの荷重の組合せ及び許容応力状態

施設分類	設備	耐震重要度 分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力 状態
DB	火災感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	火災受信機盤	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	ガスボンベ設備	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	選択弁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	制御盤	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S
	消火配管	C	クラス3管	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せで許容応力を適用する。

表5-2 火災感知器の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (溶接部)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	せん断		引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_s^*$		$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力についても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-3 火災受信機盤の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力についても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-4 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (部材)	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (基礎ボルト)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-5 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (基礎ボルト)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-6 選択弁の許容限界

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (部材)	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (溶接部)
	一次応力	一次応力
	組合せ	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-7 制御盤の許容限界

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力についても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-8 消火配管の許容限界

許容応力状態	許容限界		
	一次応力 (曲げ応力含む)	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IV <sub>A</sub> S	$0.9 \cdot S_u$	S <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析*を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は行わない。	

注記\*： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (ただし、S<sub>m</sub>は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

### 5.3 設計用地震力

地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく地震力又はそれを上回る地震力を設定する。

5.4 計算方法

5.4.1 火災感知器の計算方法

5.4.1.1 煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は，地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-1に示す。

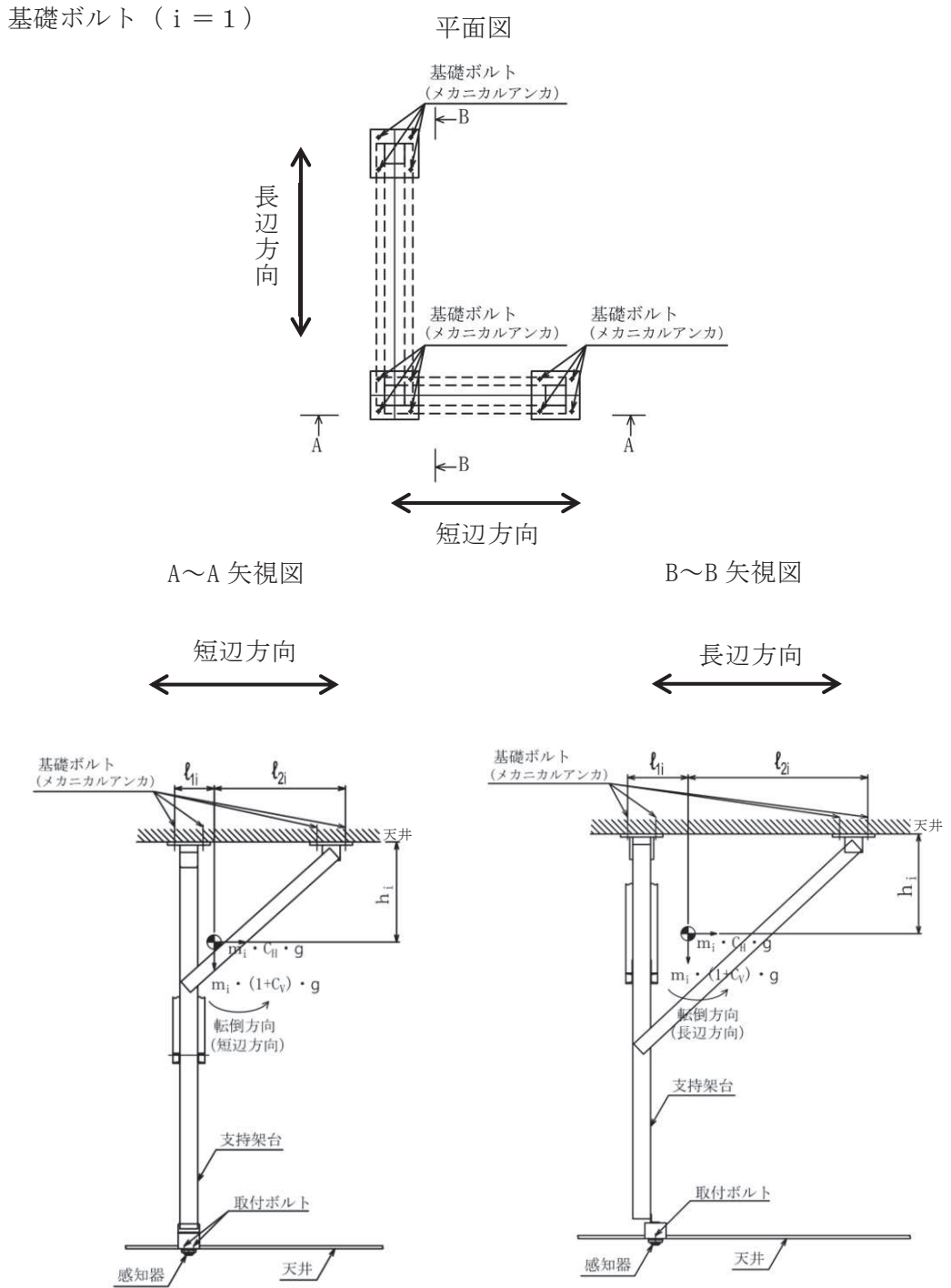


図 5-1 煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の計算モデル(1/2)



取付ボルト ( i = 2 )

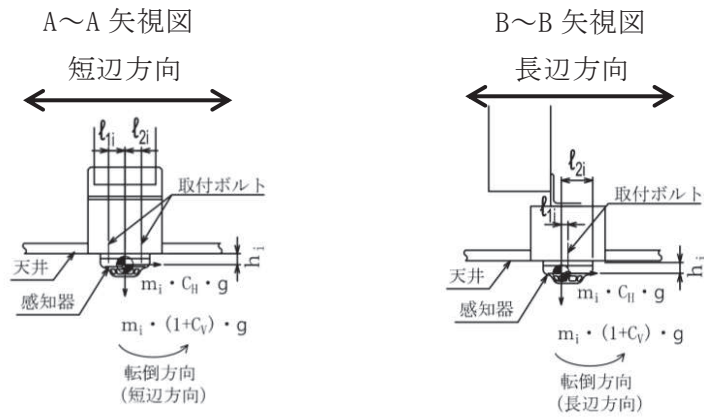


図 5-1 煙感知器，熱感知器，防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の計算モデル(2/2)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図 5-1 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1i} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_i \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$F_{b2} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_i \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_{bi} = \text{Max} ( F_{b1i}, F_{b2i} ) \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで，ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

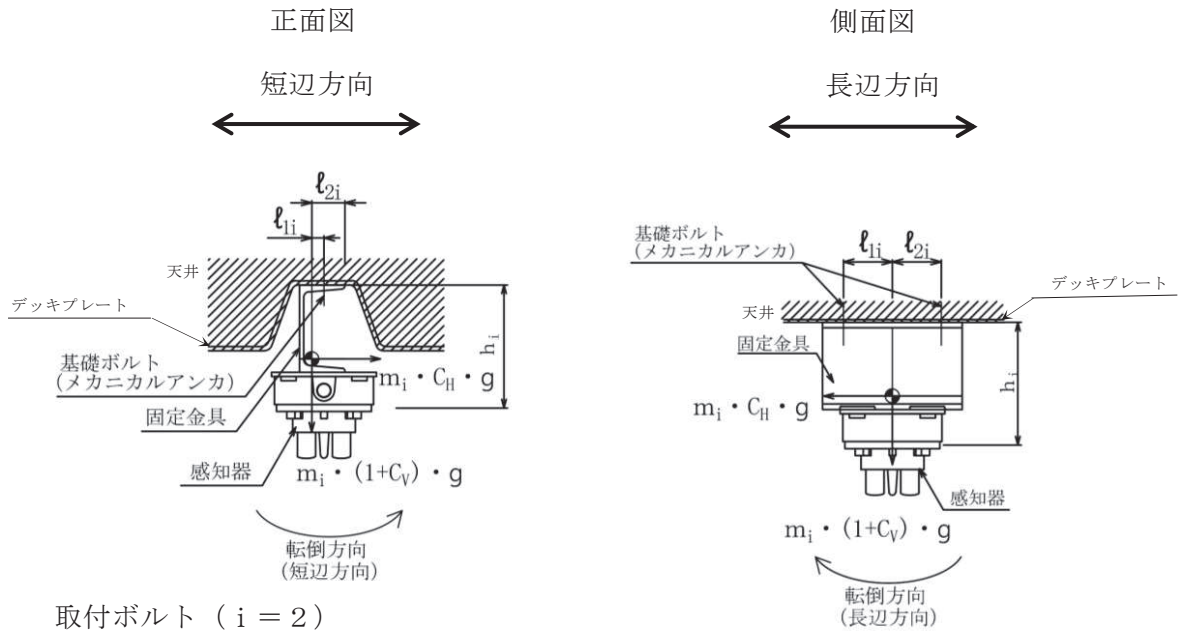
せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

5.4.1.2 防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-2に示す。

基礎ボルト (  $i = 1$  )



取付ボルト (  $i = 2$  )

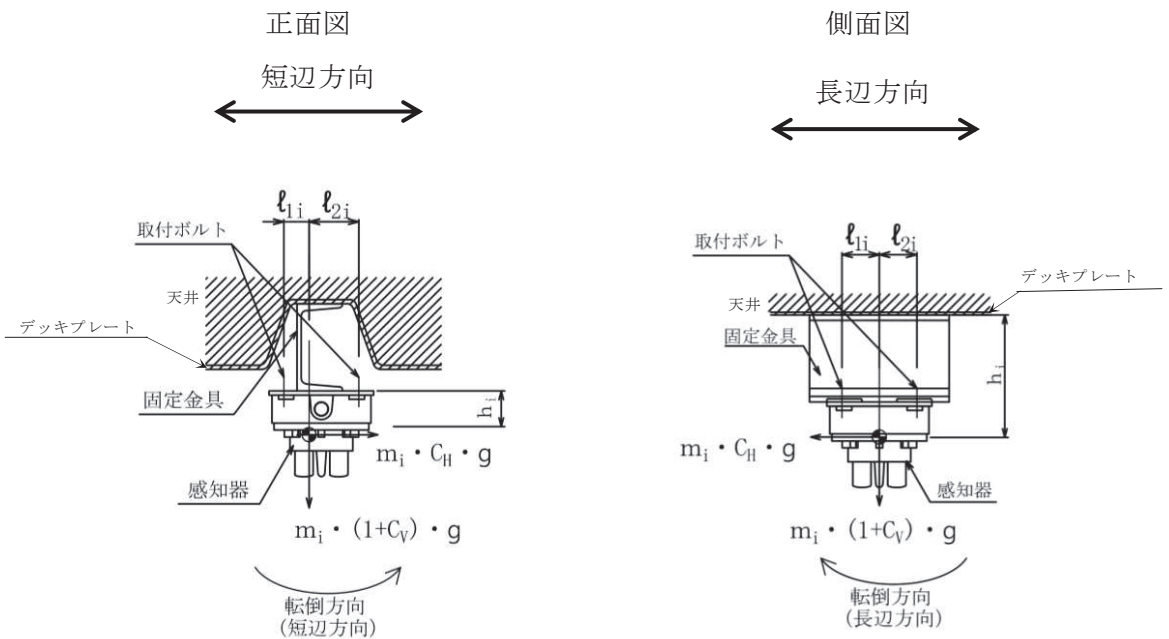


図 5-2 防爆型熱感知器，防爆型煙感知器②の計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図5-2で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_{1i} \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$F_{b2i} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_{1i} \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

$$F_{bi} = \text{Max} (F_{b1i}, F_{b2i}) \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

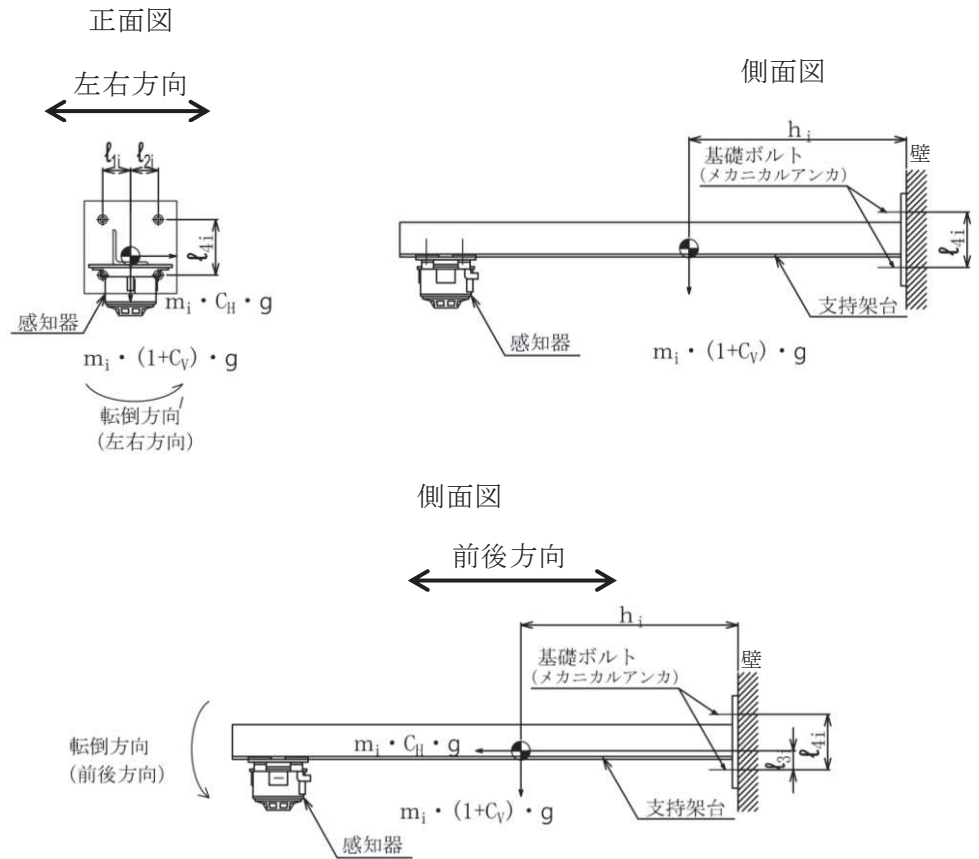
せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

5.4.1.3 防湿型煙感知器

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-3に示す。

基礎ボルト ( $i = 1$ )



取付ボルト ( $i = 2$ )

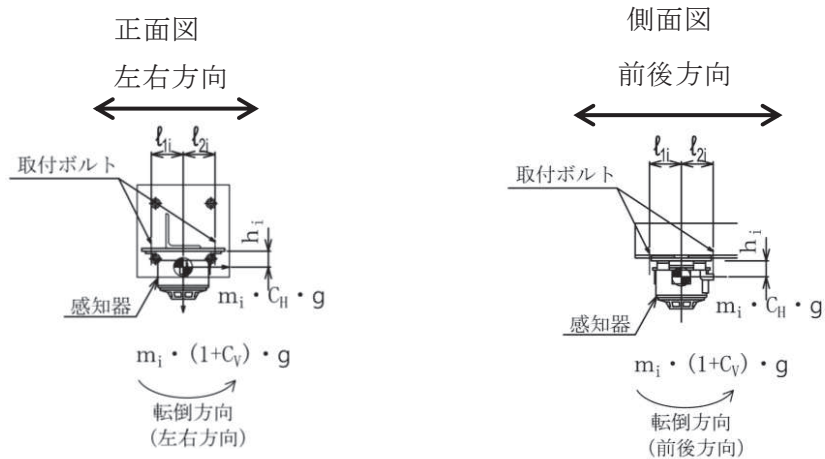


図 5-3 防湿型煙感知器の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-3 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} + \frac{(1+C_V) \cdot m_i \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot \ell_{4i}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

$$F_{b2} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot \ell_{3i} \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot \ell_{4i}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

$$F_{b3} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_i \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

$$F_{bi} = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}, F_{b3}) \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.3.6)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.3.7)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.3.8)$$

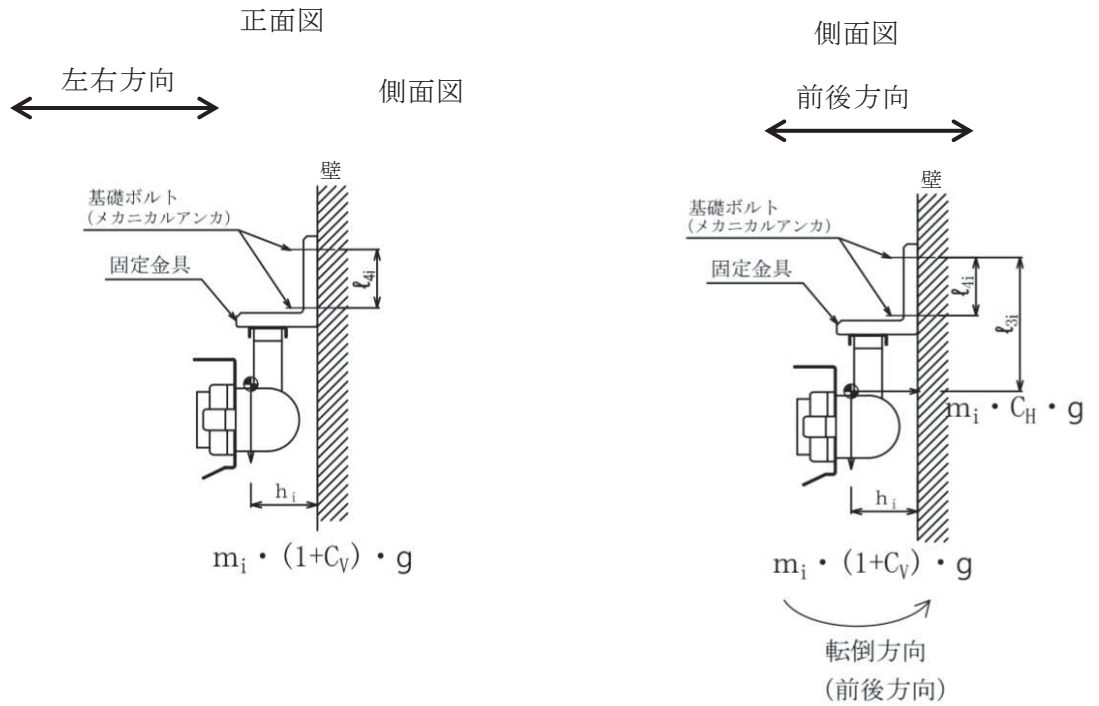
せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.9)$$

5.4.1.4 炎感知器

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は、地震力による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-4に示す。

基礎ボルト (  $i = 1$  )



取付ボルト (  $i = 2$  )

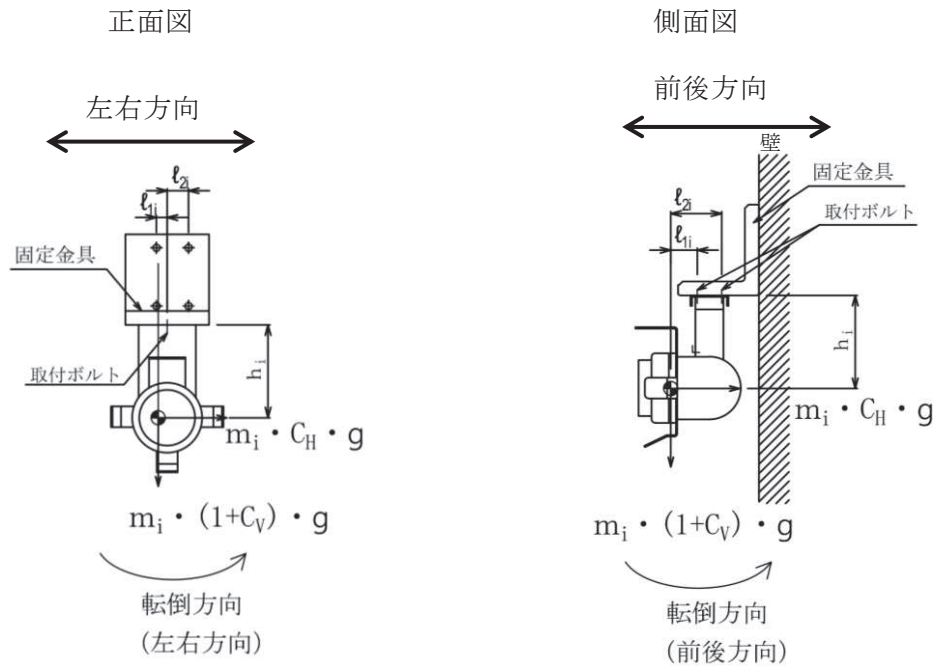


図 5-4 炎感知器の計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-4 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} + \frac{(1+C_V) \cdot m_i \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot \ell_4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

$$F_{b2} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot \ell_3 \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot h_i \cdot g}{n_{fi} \cdot \ell_4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

$$F_{b3} = \frac{C_H \cdot m_i \cdot h_i \cdot g + (1+C_V) \cdot m_i \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{2i} - \ell_{1i})} \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

$$F_{bi} = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}, F_{b3}) \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots \dots \dots (5.4.1.4.6)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.7)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.8)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.4.9)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.10)$$

5.4.1.5 屋外仕様炎感知器及び熱感知カメラ

(1) 溶接部

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じるせん断力について計算する。計算モデルを図5-5及び図5-6に示す。

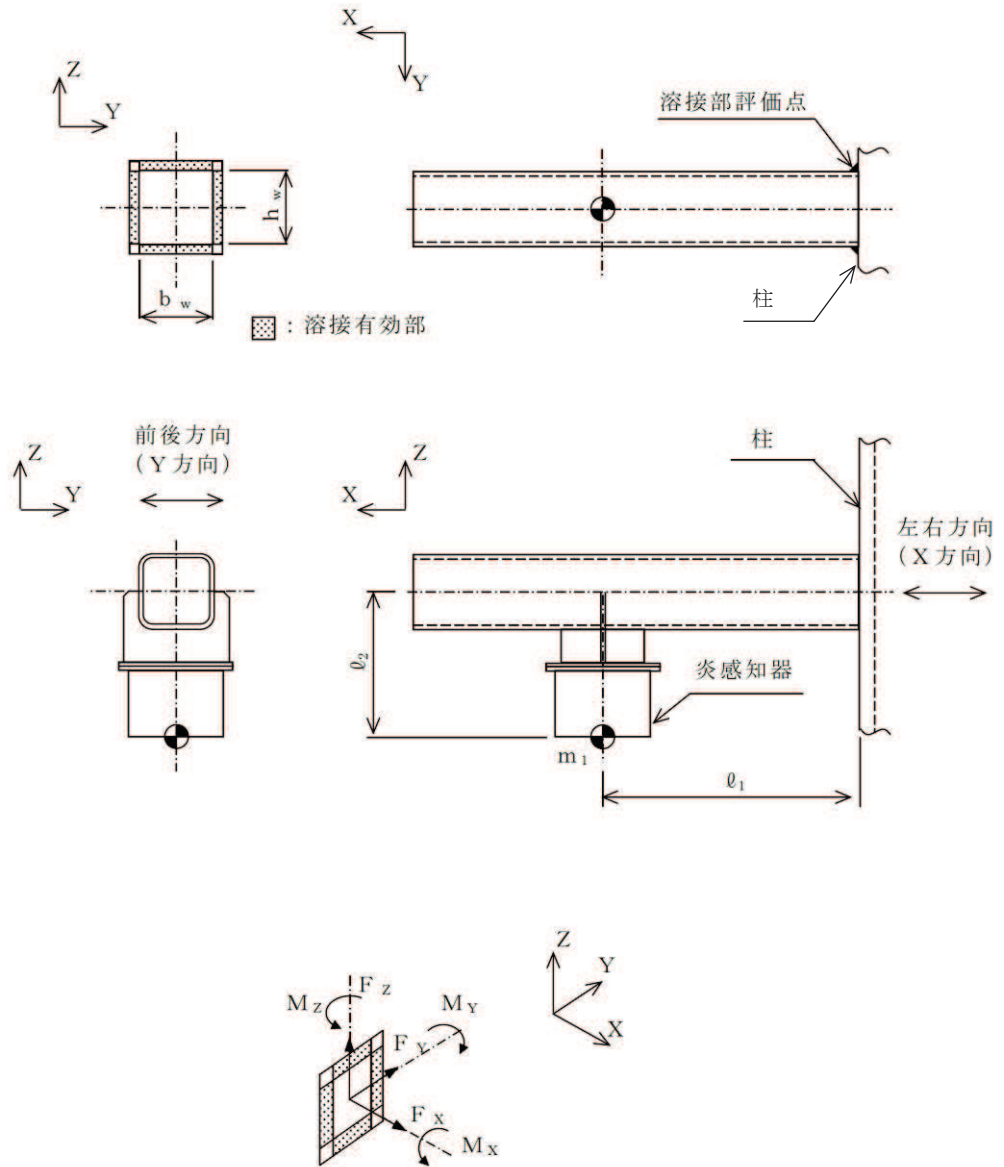


図5-5 屋外仕様炎感知器溶接部 計算モデル



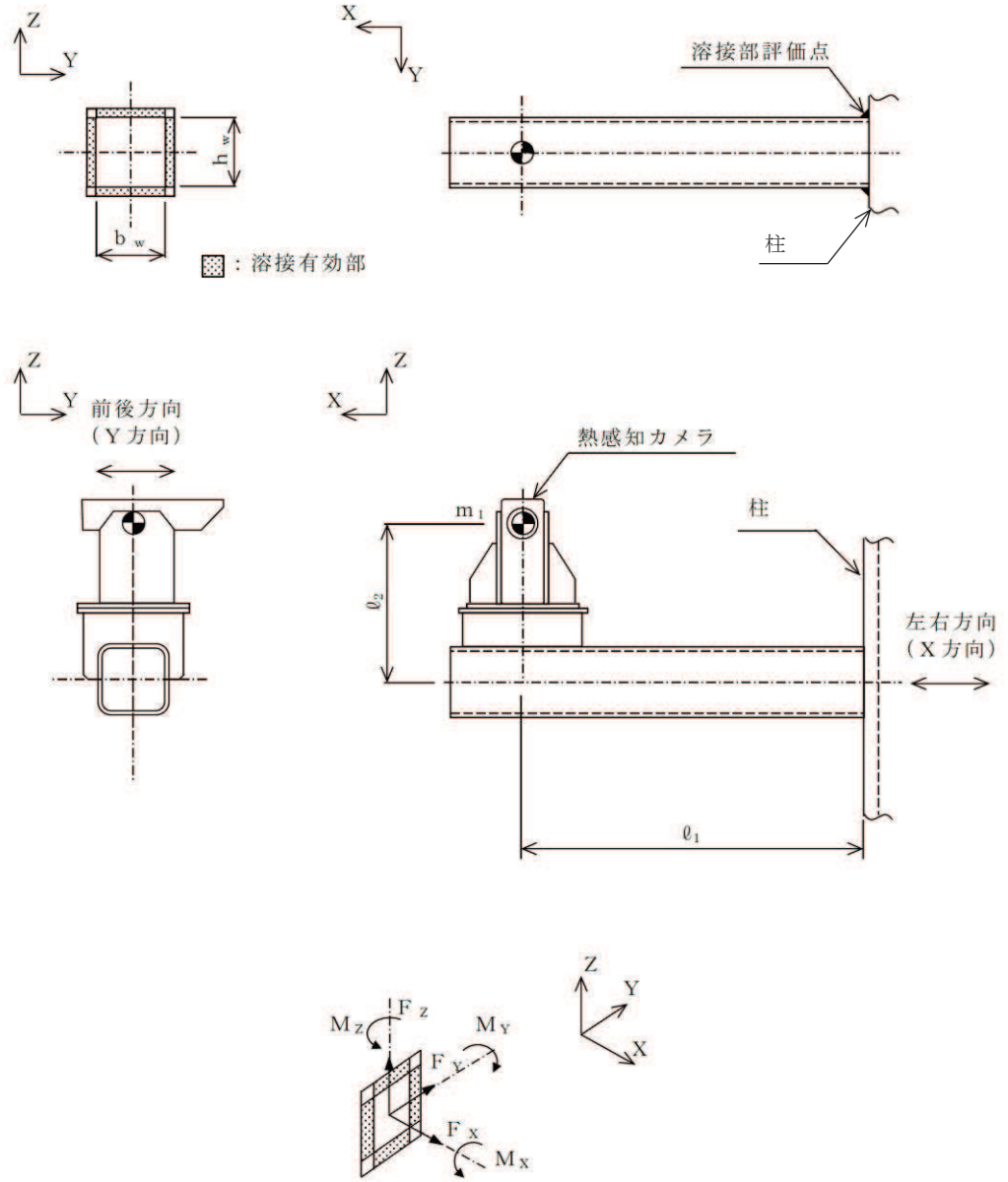


図5-6 熱感知カメラ溶接部 計算モデル

a. せん断応力

(a) 軸力により生じるせん断応力

i. 左右方向 (X方向) 地震時

$$\sigma_t = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{A_w} \dots \dots \dots (5.4.1.5.1)$$

ここで、 $A_w$ は次式により求める。

$$A_w = 2a \cdot (b_w + h_w) \dots \dots \dots (5.4.1.5.2)$$

ただし、 $b_w$ 、 $h_w$ は各溶接部における溶接長さを示し、溶接部の有効のど厚  $a$  は、次式により求める。

$$a = 0.7S \dots \dots \dots (5.4.1.5.3)$$

なお、前後方向 (Y方向) 地震時は部材に軸力が発生しないため考慮しない。

(b) せん断力により生じるせん断応力

部材に発生するせん断力により生じるせん断応力は、各方向の有効せん断断面積で受けるものとして計算する。

i. 左右方向 (X方向) 地震時

$$\tau_z = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot g}{A_{swz}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.4)$$

ここで、 $A_{swz}$ は次式により求める。

$$A_{swz} = 2 \cdot a \cdot h_w \dots \dots \dots (5.4.1.5.5)$$

ii. 前後方向 (Y方向) 地震時

$$\tau_y = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{A_{swY}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.6)$$

ここで、 $A_{swY}$ は次式により求める。

$$A_{swY} = 2 \cdot a \cdot b_w \dots \dots \dots (5.4.1.5.7)$$

なお、 $1 + C_V < C_H$ より、前後方向 (Y方向) 地震時でのZ方向のせん断力は、Y方向のせん断力に比べて小さいので、Z方向のせん断力を考慮しない。

(c) 曲げモーメントにより生じるせん断応力

部材に発生するY軸、Z軸まわりの曲げモーメントにより生じるせん断応力は、次式により求める。

i. 左右方向 (X方向) 地震時

$$\sigma_{bY1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot \ell_2 + m \cdot (1 + C_V) \cdot g \cdot \ell_1}{Z_{wY}} \dots \dots (5.4.1.5.8)$$

ii. 前後方向 (Y方向) 地震時

$$\sigma_{bY2} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot g \cdot \ell_1}{Z_{wY}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.9)$$

$$\sigma_{bZ2} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot \ell_1}{Z_{wZ}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.10)$$

(d) 組合せせん断応力

組合せせん断応力は、次式により求める。

i. 左右方向 (X方向) 地震時

$$\sigma_1 = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_{bY1})^2 + \tau_Z^2} \dots \dots \dots (5.4.1.5.11)$$

ii. 前後方向 (Y方向) 地震時

$$\sigma_2 = \sqrt{(\sigma_{bY2} + \sigma_{bZ2})^2 + \tau_Y^2} \dots \dots \dots (5.4.1.5.12)$$

従って、最大せん断応力は次式により求める。

$$\sigma = \text{Max}(\sigma_1, \sigma_2) \dots \dots \dots (5.4.1.5.13)$$

(2) 取付ボルト

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じるせん断力について計算する。計算モデルを図 5-7 及び図 5-8 に示す。

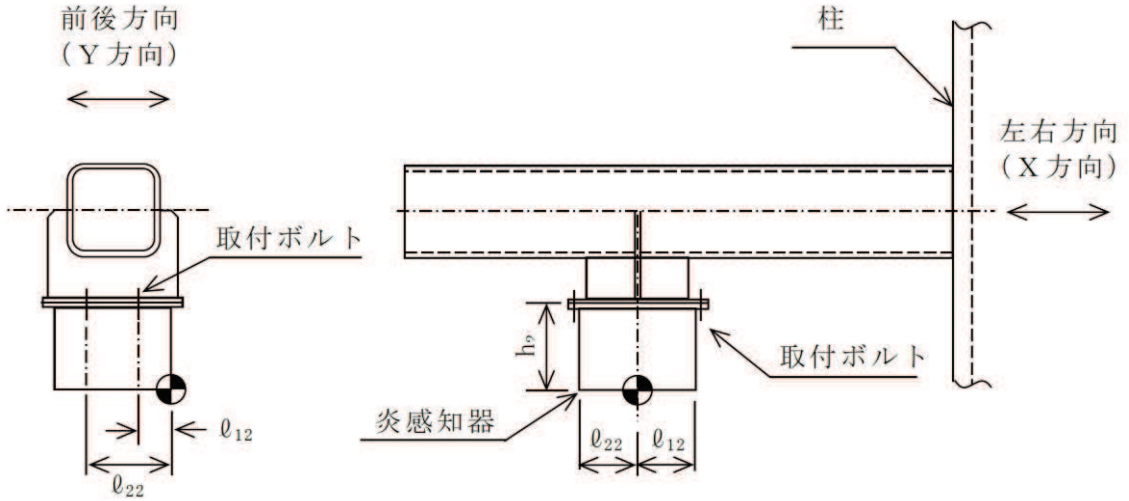


図5-7 屋外仕様炎感知器取付ボルト 計算モデル

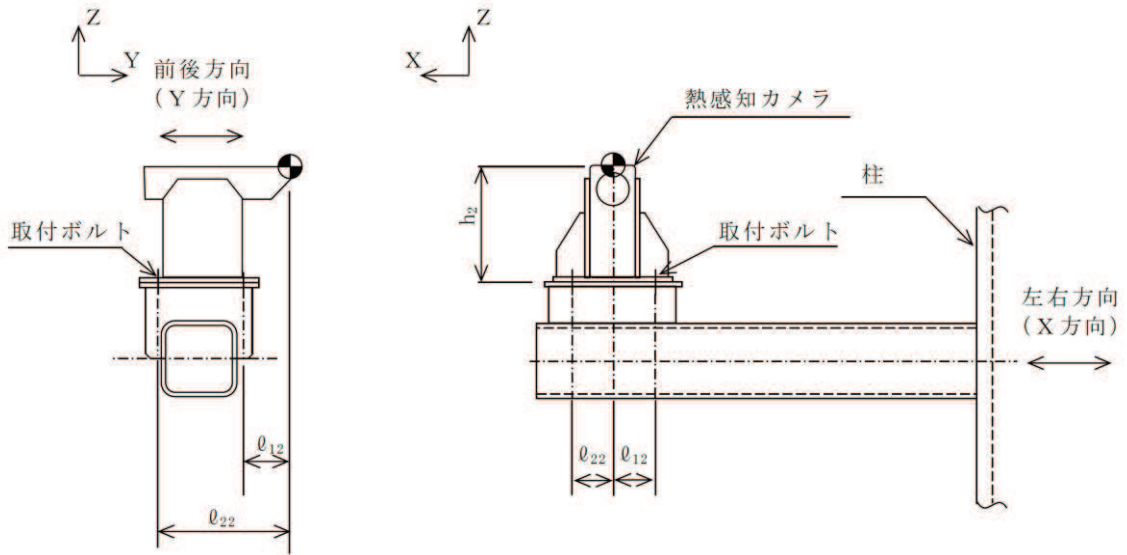


図5-8 熱感知カメラ取付ボルト 計算モデル

a. 引張応力

ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-7 及び図 5-8 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

屋外仕様炎感知器

(左右方向)

$$F_{b12} = \frac{C_H \cdot m_2 \cdot h_2 \cdot g + (1 + C_V) \cdot m_2 \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.5.14)$$

(前後方向)

$$F_{b22} = \frac{C_H \cdot m_2 \cdot h_2 \cdot g + (C_V - 1) \cdot m_2 \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{22} - \ell_{12})} \dots\dots\dots (5.4.1.5.15)$$

熱感知カメラ

(左右方向)

$$F_{b12} = \frac{C_H \cdot m_2 \cdot h_2 \cdot g - (1 - C_V) \cdot m_2 \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.5.16)$$

(前後方向)

$$F_{b22} = \frac{C_H \cdot m_2 \cdot h_2 \cdot g + (1 + C_V) \cdot m_2 \cdot \ell_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{22} - \ell_{12})} \dots\dots\dots (5.4.1.5.17)$$

$$F_{b2} = \text{Max} (F_{b12}, F_{b22}) \dots\dots\dots (5.4.1.5.18)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.19)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.5.20)$$

b. せん断応力

ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.21)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.22)$$

#### 5.4.2 火災受信機盤の計算方法

火災受信機盤の計算方法は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

なお、火災受信機盤は火災受信機盤①、火災受信機盤②及び火災受信機盤③の3面で構成されており、基礎ボルトの評価においてはチャンネルベースの構造上、基礎ボルトには3面全ての荷重が作用することから、評価上は3面を1面の盤として仮定して基礎ボルトの構造強度評価を実施する。

5.4.3 ガスボンベ設備の計算方法

5.4.3.1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）

ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）については，3次元FEMモデルによる固有値解析結果から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また，「2.2 評価対象設備」の表2-3に示すとおり，ボンベをラックに固定し，ラックを基礎ボルトにより据え付けるため，ラック及び基礎ボルト，それぞれに対し構造強度評価を実施する。

(1) ボンベラックの構造強度評価

a. ボンベラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めたボンベラック部材の引張応力，曲げ応力及びせん断応力を用いて，以下の式によりボンベラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_a = \frac{F_x}{A} \dots \dots \dots (5.4.3.1.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} \dots \dots \dots (5.4.3.1.2)$$

せん断応力

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_{s_y}} \dots \dots \dots (5.4.3.1.3)$$

$$\tau_z = \frac{F_z}{A_{s_z}} \dots \dots \dots (5.4.3.1.4)$$

$$\tau = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2} \dots \dots \dots (5.4.3.1.5)$$

ねじり応力

$$\tau_t = \frac{M_x}{Z_x} \dots \dots \dots (5.4.3.1.6)$$

ボンベラックの組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3(\tau + \tau_t)^2} \dots \dots \dots (5.4.3.1.7)$$



(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b} \cdot \dots \dots \dots (5.4.3.1.8)$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて、以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \cdot \dots \dots \dots (5.4.3.1.9)$$

5.4.3.2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）

ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）については、「2.2 評価対象設備」の表2-4に示すとおり、基礎ボルトにより据え付けるため、基礎ボルトに対し構造強度評価を実施する。

また、基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

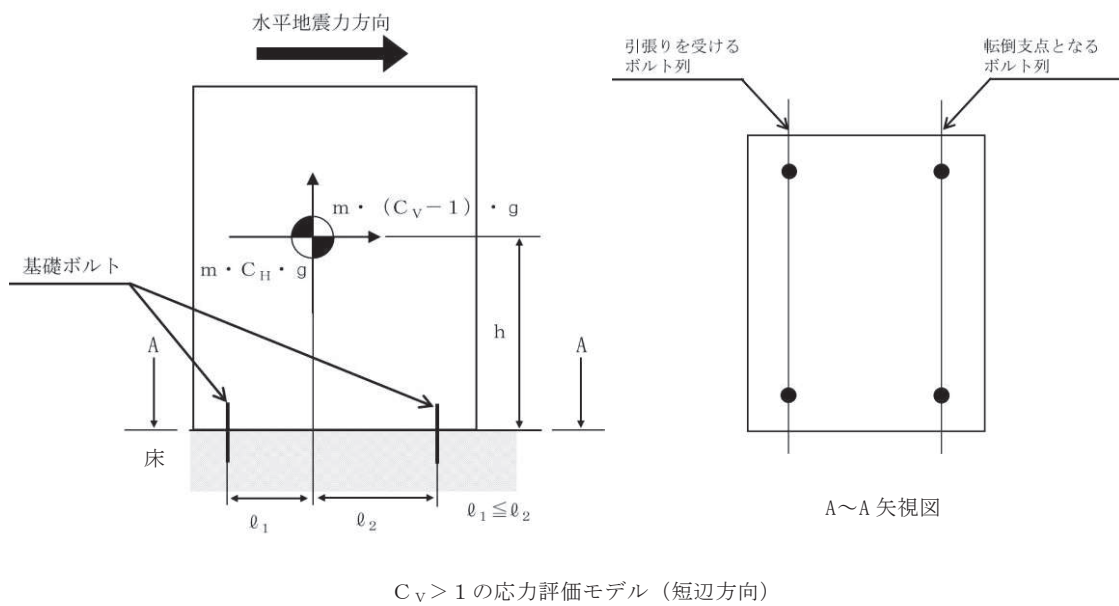


図 5-9 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備） 計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに発生する引張応力は、片側のボルトを支点とし、この支点から最も離れた位置にあるボルトで受けるものとして以下の式を用いて計算する。

引張力 (ただし  $C_V > 1$ )

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots \dots \dots (5.4.3.2.1)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots \dots \dots (5.4.3.2.2)$$

$$F_b = \text{M a x} (F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots (5.4.3.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.3.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.3.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.4.3.2.6)$$

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.3.2.7)$$

#### 5.4.4 選択弁の計算方法

選択弁については、3次元FEMモデルによる固有値解析結果から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。また、「2.2 評価対象設備」の表2-4に示すとおり、選択弁を弁ラックに固定し、弁ラックを埋込金物により据え付けるため、ラック及び埋込金物、それぞれに対し構造強度評価を実施する。

##### (1) 弁ラックの構造強度評価

弁ラックの軸応力、曲げ応力及びせん断応力を用いて、以下の式によりラックの組合せ応力を算出する。

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau_s^2 \dots \dots \dots} \quad (5.4.4.1)$$

##### (2) 溶接部の強度評価

固定端反力の応力を合成し溶接部のせん断力を算出する。

$$\sigma_{sa} = \sqrt{\sigma_{st}^2 + \tau_{ss}^2 \dots \dots \dots} \quad (5.4.4.2)$$

#### 5.4.5 制御盤の計算方法

制御盤の計算方法は、添付書類「VI-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

#### 5.4.6 消火配管の計算方法

消火配管の構造強度評価は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。(ケーブルトレイ消火設備の消火配管については、消火配管の自在性を活かした設置方法であり、解析による評価が困難であるため加振試験により耐震評価を行う。)

## 6. 機能維持評価

火災感知設備及び消火設備は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能及び電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

### 6.1 火災感知器

火災感知器は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

### 6.2 火災受信機盤

火災受信機盤は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

### 6.3 ガスボンベ設備

ガスボンベ設備のうち容器弁は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

#### 6.4 選択弁

選択弁は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

#### 6.5 制御盤

制御盤は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

VI-2-別添 1-2 火災感知器の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	13
3.1 固有周期の確認方法	13
3.2 固有周期の確認結果	13
3.3 設計用地震力	14
4. 構造強度評価	15
4.1 構造強度評価方法	15
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
5. 機能維持評価	19
5.1 電氣的機能維持評価方法	19
6. 評価結果	20



## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、火災感知器が基準地震動  $S_s$  による地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に感知する機能を維持することを確認するものである。

評価結果は、裕度（許容値／発生値）が最小となるものを代表として記載する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

火災感知器の構造計画を表2-1に示す。

また、火災感知器における基礎ボルト、溶接部及び取付ボルトの構造強度評価モデルの諸元を表2-2から表2-7に示す。

なお、火災感知器は、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件及び炎が生じる前に発煙する等の予想される火災の性質を考慮して選定された種類の火災感知器を発電所全体にわたって広範囲に設置する。

表2-1 構造計画 (1/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱感知器</li> <li>・煙感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul>	<p>各火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱感知器</li> <li>・煙感知器</li> <li>・防水型熱感知器</li> <li>・防爆型煙感知器①</li> </ul> <p>(天井取付形)</p>	<p>（単位：mm）</p>

表2-1 構造計画 (2/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器②</li> </ul>	<p>各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 防爆型熱感知器</li> <li>・ 防爆型煙感知器②</li> </ul> <p>(天井取付形)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図 (単位：mm)</p>
防湿型煙感知器	<p>火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取り付け、支持架台を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<p>防湿型煙感知器</p> <p>(壁掛型)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図 (単位：mm)</p>

表2-1 構造計画 (3/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
炎感知器	<p>火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<p>炎感知器 (壁掛型)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位 : mm)</p>

表2-1 構造計画 (4/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
屋外仕様 炎感知器	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋の柱に据え付ける。	屋外仕様 炎感知器  (壁掛型)	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

表2-1 構造計画 (5/5)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
熱感知カメラ	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋の柱に据え付ける。	熱感知カメラ (壁掛型)	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位：mm)</p>

表2-2 煙感知器, 熱感知器, 防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の  
構造強度評価モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
基礎 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b1}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_1$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	据付面から重心までの距離	$h_1$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{11}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{21}$	mm	
	機器の質量 (支持架台の質量を含む)	$m_1$	kg	
	ボルトの本数	$n_1$	—	12
	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f1}$	—	2
取付 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b2}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_2$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	取付面から重心までの距離	$h_2$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{12}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{22}$	mm	
	機器の質量	$m_2$	kg	
	ボルトの本数	$n_2$	—	2
	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f2}$	—	1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-3 防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②の構造強度評価モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
基礎 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b1}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_1$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	据付面から重心までの距離	$h_1$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$\ell_{11}$	mm	
	重心と部材端間の水平方向距離 ( $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$ )	$\ell_{21}$	mm	
	機器の質量 (固定金具の質量を含む)	$m_1$	kg	
	ボルトの本数	$n_1$	—	
	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f1}$	—	2
取付 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b2}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_2$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	取付面から重心までの距離	$h_2$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$\ell_{12}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $\ell_{1i} \leq \ell_{2i}$ )	$\ell_{22}$	mm	
	機器の質量	$m_2$	kg	
	ボルトの本数	$n_2$	—	4
	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f2}$	—	2



表2-4 防湿型煙感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
基礎 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b1}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_1$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	据付面から重心までの距離	$h_1$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{11}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{21}$	mm	
	重心と転倒支点間の鉛直方向距離	$l_3$	mm	
	転倒支点と上側ボルト間の鉛直方向距離	$l_4$	mm	
	機器の質量 (支持架台の質量を含む)	$m_1$	kg	
	ボルトの本数	$n_1$	—	4
	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f1}$	—	2
取付 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b2}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_2$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	取付面から重心までの距離	$h_2$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{12}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{22}$	mm	
	機器の質量	$m_2$	kg	
	ボルトの本数	$n_2$	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f2}$	—	2	

O 2 ⑥ VI-2-2-別添 1-2 R 6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-5 炎感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
基礎 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b1}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_1$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	据付面から重心までの距離	$h_{11}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{11}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{21}$	mm	
	重心と転倒支点間の鉛直方向距離	$l_3$	mm	
	転倒支点と上側ボルト間の鉛直方向距離	$l_4$	mm	
	機器の質量 (固定金具の質量を含む)	$m_1$	kg	
	ボルトの本数	$n_1$	—	4
	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f1}$	—	2
取付 ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b2}$	$\text{mm}^2$	
	ボルトの呼び径	$d_2$	mm	
	重力加速度	$g$	$\text{m/s}^2$	9.80665
	取付面から重心までの距離	$h_2$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{12}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{22}$	mm	
	機器の質量	$m_2$	kg	
	ボルトの本数	$n_2$	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f2}$	—	1	

O 2 © VI-2-別添 1-2 R 6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-6 屋外仕様炎感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
溶接部	機器の質量（支持架台の質量を含む）	$m_1$	kg	
	重力加速度	$g$	$m/s^2$	9.80665
	据付面から重心までの距離	$l_1$	mm	
	据付部材芯から重心までの距離	$l_2$	mm	
	溶接脚長	$S$	mm	
	溶接部の有効のど厚	$a$	mm	
	溶接の有効長さ（Y方向）	$b_w$	mm	
	溶接の有効長さ（Z方向）	$h_w$	mm	
	溶接部の有効断面積	$A_w$	$mm^2$	
	前後方向（Y方向）荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swY}$	$mm^2$	
	鉛直方向（Z方向）荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swZ}$	$mm^2$	
	溶接断面積における前後方向（Y方向）軸まわりの断面係数	$Z_{wY}$	$mm^3$	
	溶接断面積における鉛直方向（Z方向）軸まわりの断面係数	$Z_{wZ}$	$mm^3$	
取付ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b2}$	$mm^2$	
	ボルトの呼び径	$d_2$	mm	
	重力加速度	$g$	$m/s^2$	9.80665
	取付面から重心までの距離	$h_2$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{12}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{22}$	mm	
	機器の質量	$m_2$	kg	
	ボルトの本数	$n_2$	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f2}$	—	2	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-7 熱感知カメラの構造強度評価モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
溶接部	機器の質量（支持架台の質量を含む）	$m_1$	kg	
	重力加速度	$g$	$m/s^2$	9.80665
	据付面から重心までの距離	$l_1$	mm	
	据付部材芯から重心までの距離	$l_2$	mm	
	溶接脚長	$S$	mm	
	溶接部の有効のど厚	$a$	mm	
	溶接の有効長さ（Y方向）	$b_w$	mm	
	溶接の有効長さ（Z方向）	$h_w$	mm	
	溶接部の有効断面積	$A_w$	$mm^2$	
	左右方向（Y方向）荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swY}$	$mm^2$	
	鉛直方向（Z方向）荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	$A_{swZ}$	$mm^2$	
	溶接断面積における左右方向（Y方向）軸まわりの断面係数	$Z_{wY}$	$mm^3$	
	溶接断面積における鉛直方向（Z方向）軸まわりの断面係数	$Z_{wZ}$	$mm^3$	
取付ボルト	ボルトの軸断面積	$A_{b2}$	$mm^2$	
	ボルトの呼び径	$d_2$	mm	
	重力加速度	$g$	$m/s^2$	9.80665
	取付面から重心までの距離	$h_2$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離	$l_{12}$	mm	
	重心とボルト間の水平方向距離 ( $l_{1i} \leq l_{2i}$ )	$l_{22}$	mm	
	機器の質量	$m_2$	kg	
	ボルトの本数	$n_2$	—	
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	$n_{f2}$	—		

O 2 ⑥ VI-2-別添 1-2 R 6

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認方法

火災感知器の固有周期は、添付書類「別添1-1」の「4. 固有周期」に示す算出方法に基づき、正弦波掃引試験、固有値解析又は理論式により確認する。

3.2 固有周期の確認結果

火災感知器（支持架台又は固定金具を含む）の固有周期の確認結果を表3-1に示す。

火災感知器（支持架台又は固定金具を含む）の固有周期は、0.050秒以下であり剛であることを確認した。

表3-1 火災感知器（支持架台又は固定金具を含む）の固有周期（単位：s）

機器名称	方向	固有周期
		火災感知器 (支持架台又は固定金具を含む)
火災感知器	熱感知器 煙感知器	水平
		鉛直
	防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	水平
		鉛直
	防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	水平
		鉛直
	防湿型煙感知器	水平
		鉛直
	炎感知器	水平
		鉛直
	屋外仕様炎感知器	水平
		鉛直
	熱感知カメラ	水平
		鉛直

注記 \*1：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

\*2：固有値解析により固有周期を算定。

\*3：理論式により固有周期を算定。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.3 設計用地震力

火災感知器の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

火災感知器は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方針」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、火災感知器の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

###### 4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

火災感知器の基礎ボルト及び溶接部における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

火災感知器における基礎ボルト及び溶接部の許容応力評価条件を表4-3に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	火災防護設備	熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	IV <sub>A</sub> S
		防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	IV <sub>A</sub> S
		防湿型煙感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	IV <sub>A</sub> S
		炎感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	IV <sub>A</sub> S
		屋外仕様炎感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	IV <sub>A</sub> S
		熱感知カメラ	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	IV <sub>A</sub> S

注記 \*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。



表4-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界(溶接部)*1, *2	許容限界(ボルト等)*1, *2	
	一次応力	一次応力	
	せん断	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 \*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-3 許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器① 防爆型熱感知器 防爆型煙感知器② 防湿型煙感知器 炎感知器	基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	40 (周囲環境温度)	215	400	258
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器① 防爆型熱感知器 防爆型煙感知器② 炎感知器	取付ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	40 (周囲環境温度)	215	400	258
防湿型煙感知器	取付ボルト	SUS304	40 (周囲環境温度)	205	520	205
屋外仕様炎感知器 熱感知カメラ	溶接部	STKR400	40 (周囲環境温度)	245	400	280
屋外仕様炎感知器 熱感知カメラ	取付ボルト	SUS316L	40 (周囲環境温度)	175	480	175

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

火災感知器は、添付書類「別添 1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 6. 評価結果

火災感知器の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災感知器（支持架台又は固定金具を含む）の耐震性についての計算結果】

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	設置場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度(℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	C	原子炉建屋 O.P. 50.50* <sup>1</sup>			C <sub>H</sub> =7.28	C <sub>V</sub> =2.09	40
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	C	原子炉建屋 O.P. 50.50* <sup>1</sup>			C <sub>H</sub> =7.28	C <sub>V</sub> =2.09	40
防湿型煙感知器	C	原子炉建屋 O.P. 50.50* <sup>1</sup>			C <sub>H</sub> =7.28	C <sub>V</sub> =2.09	40
炎感知器	C	原子炉建屋 O.P. 50.50* <sup>1</sup>			C <sub>H</sub> =7.28	C <sub>V</sub> =2.09	40
屋外仕様炎感知器	C	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90* <sup>2</sup>			C <sub>H</sub> =3.32	C <sub>V</sub> =0.99	40
熱感知カメラ	C	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90* <sup>2</sup>			C <sub>H</sub> =3.32	C <sub>V</sub> =0.99	40

注記 \*1：最も設計震度が大きい階の基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度を用いる。

\*2：建屋壁に固定しているため、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度を用いる。

\*3：正弦波掃引試験及び解析又は理論式により 0.050 秒以下であり、剛であることを確認した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト及び取付ボルトの機器要目

機器名称	部材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$l_{1i}$ (mm)	$l_{2i}$ (mm)	$l_3$ (mm)	$l_4$ (mm)	$d_i$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{fi}$
熱感知器 煙感知器	基礎ボルト ( $i=1$ )									12	2
	防水型熱感知器 防爆型煙感知器①									取付ボルト ( $i=2$ )	2
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト ( $i=1$ )									2	2
	取付ボルト ( $i=2$ )									4	2
防湿型煙感知器	基礎ボルト ( $i=1$ )									4	2
	取付ボルト ( $i=2$ )									4	2
炎感知器	基礎ボルト ( $i=1$ )									4	2
	取付ボルト ( $i=2$ )									2	1
屋外仕様炎感知器	取付ボルト ( $i=2$ )									4	2
熱感知カメラ	取付ボルト ( $i=2$ )									4	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

機器名称	部材	$S_{y i}$ (MPa)	$S_{u i}$ (MPa)	$F_{i}^*$ (MPa)
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器① 防爆型熱感知器 防爆型煙感知器② 防湿型煙感知器 炎感知器	基礎ボルト ( $i = 1$ )	215	400	258
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器① 防爆型熱感知器 防爆型煙感知器② 炎感知器	取付ボルト ( $i = 2$ )	215	400	258
防湿型煙感知器	取付ボルト ( $i = 2$ )	205	520	205
屋外仕様炎感知器 熱感知カメラ	取付ボルト ( $i = 2$ )	175	480	175

1.2.2 溶接部の機器要目

機器名称	部材	$m_1$ (kg)	$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	S (mm)	a (mm)	$b_w$ (mm)	$h_w$ (mm)	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )
屋外仕様炎感知器	溶接部								
熱感知カメラ	溶接部								

機器名称	部材	$A_{swY}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{swZ}$ (mm <sup>2</sup> )	$Z_{wY}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{wZ}$ (mm <sup>3</sup> )
屋外仕様炎感知器	溶接部				
熱感知カメラ	溶接部				

部材	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F* (MPa)
溶接部	245	400	280



1.3 計算数値

(1) 基礎ボルト及び取付ボルトに作用する力

(単位：N)

機器名称	部材	$F_{bi}$	$Q_{bi}$
熱感知器 煙感知器	基礎ボルト ( $i=1$ )		
	防水型熱感知器 防爆型煙感知器①		
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト ( $i=1$ )		
	取付ボルト ( $i=2$ )		
防湿型煙感知器	基礎ボルト ( $i=1$ )		
	取付ボルト ( $i=2$ )		
炎感知器	基礎ボルト ( $i=1$ )		
	取付ボルト ( $i=2$ )		
屋外仕様炎感知器	取付ボルト ( $i=2$ )		
熱感知カメラ	取付ボルト ( $i=2$ )		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 溶接部に作用する応力

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

機器名称	部材	$\sigma_1$	$\sigma_2$
屋外仕様炎感知器	溶接部	9	12
熱感知カメラ	溶接部	12	16

1.4 構造強度評価結果

1.4.1 構造強度評価結果

(単位 : MPa)

機器名称	部材	材料	応力分類	発生応力	許容応力
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	基礎ボルト ( i = 1 )	SS400	引張り	$\sigma_{bi} = 29$	$f_{tsi} = 154^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 6$	$f_{sbi} = 119$
	取付ボルト ( i = 2 )	SS400	引張り	$\sigma_{bi} = 4$	$f_{tsi} = 193^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 3$	$f_{sbi} = 148$
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト ( i = 1 )	SS400	引張り	$\sigma_{bi} = 8$	$f_{tsi} = 154^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 2$	$f_{sbi} = 119$
	取付ボルト ( i = 2 )	SS400	引張り	$\sigma_{bi} = 2$	$f_{tsi} = 193^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 2$	$f_{sbi} = 148$
防湿型煙感知器	基礎ボルト ( i = 1 )	SS400	引張り	$\sigma_{bi} = 25$	$f_{tsi} = 154^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 3$	$f_{sbi} = 119$
	取付ボルト ( i = 2 )	SUS304	引張り	$\sigma_{bi} = 1$	$f_{tsi} = 153^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 1$	$f_{sbi} = 118$
炎感知器	基礎ボルト ( i = 1 )	SS400	引張り	$\sigma_{bi} = 6$	$f_{tsi} = 154^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 1$	$f_{sbi} = 119$
	取付ボルト ( i = 2 )	SS400	引張り	$\sigma_{bi} = 20$	$f_{tsi} = 193^*$
			せん断	$\tau_{bi} = 4$	$f_{sbi} = 148$

機器名称	部材	材料	応力分類	発生応力	許容応力
屋外仕様炎感知器	溶接部	STKR400	せん断	$\sigma = 12$	$f_s = 161$
	取付ボルト ( $i = 2$ )	SUS316L	引張り	$\sigma_{b i} = 5$	$f_{t s i} = 131^*$
			せん断	$\tau_{b i} = 2$	$f_{s b i} = 101$
熱感知カメラ	溶接部	STKR400	せん断	$\sigma = 16$	$f_s = 161$
	取付ボルト ( $i = 2$ )	SUS316L	引張り	$\sigma_{b i} = 22$	$f_{t s i} = 131^*$
			せん断	$\tau_{b i} = 6$	$f_{s b i} = 101$

すべて許容応力以下である。

注記 \* :  $f_{t s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o}]$  より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

機器名称	据え付け場所及び 床面高さ (m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用 加速度	機能確認済 加速度	機能維持評価用 加速度	機能確認済 加速度
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	10.00	1.74	5.00
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	10.00	1.74	5.00
防湿型煙感知器	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	11.00	1.74	6.00
炎感知器	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	9.00	1.74	5.00
屋外仕様炎感知器	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	2.77	7.74	0.82	2.55
熱感知カメラ	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	2.77	10.21	0.82	8.60

注記 \*1：最も設計震度が大きい階の基準地震動 S<sub>s</sub>により定まる応答加速度を用いる。

\*2：建屋壁に固定しているため、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の基準地震動 S<sub>s</sub>により定まる応答加速度を用いる。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-別添 1-3 火災受信機盤の耐震性についての計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
3.	固有周期	3
3.1	固有周期の確認方法	3
3.2	固有周期の確認結果	3
3.3	設計用地震力	3
4.	構造強度評価	4
4.1	構造強度評価方法	4
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	4
5.	機能維持評価	6
5.1	電氣的機能維持評価方法	6
6.	評価結果	7

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、火災受信機盤が基準地震動  $S_s$  による地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に感知する機能を維持することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

火災受信機盤の構造計画を表2-1に示す。



表2-1 構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤	火災受信機盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに取り付け、チャンネルベースを基礎ボルトにより、建屋躯体に固定する。	火災受信機盤 (垂直自立型)	<p>平面図</p> <p>A～A 矢視図</p> <p>B～B 矢視図</p> <p>(単位：mm)</p>

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の確認方法

火災受信機盤の水平方向の固有周期は、添付書類「別添1-1」の「4.固有周期」に示す算出方法に基づき、打振試験（プラスチックハンマ等）により当該盤に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により固有振動数（共振振動数）を記録確認する。鉛直方向の固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ盤に対する打振試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を採用する。

#### 3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表3-1に示す。

火災受信機盤の固有周期は、火災受信機盤①，②，③共に0.050秒以下であり剛であることを確認した。

表3-1 火災受信機盤の固有周期（単位：s）

盤名称	方向	固有周期
火災受信機盤①	水平	0.050秒以下
	鉛直	
火災受信機盤②	水平	
	鉛直	
火災受信機盤③	水平	
	鉛直	

#### 3.3 設計用地震力

火災受信機盤の構造強度評価計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」の最大応答加速度を用いる。

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方針」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

###### 4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

基礎ボルト及び取付ボルトにおける許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表4-2に示す。

また、基礎ボルト及び取付ボルトの許容応力評価条件を表4-3に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	火災受信機盤	C	-*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_{AS}$

注記\* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 (ボルト等) *1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
$IV_{AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-3 許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)
基礎ボルト ( $i = 1$ )	SS400 ( $40\text{mm} < \text{径} \leq 100\text{mm}$ )	40 (周囲環境温度)	215	400	258
取付ボルト ( $i = 2$ )	SS400 ( $16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$ )	40 (周囲環境温度)	235	400	280

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

火災受信機盤は、添付書類「別添 1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方法に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 6. 評価結果

火災受信機盤の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

評価結果は、裕度（許容値／発生値）が最小となるものを代表として記載する。  
構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災受信機盤の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	設置場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は設計震度		基準地震動 S s *2		周囲環境温度(°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	水平方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
火災受信機盤	C	制御建屋 (0. P. 22. 95*1)			—	—	C <sub>H1</sub> =2.78	C <sub>V1</sub> =2.00	40
							C <sub>H2</sub> =2.89*3	C <sub>V2</sub> =2.03*3	

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：上段は基礎ボルトの設計震度を示し、下段は取付ボルトの設計震度を示す。

\*3：上下階の震度を用いた線形補完後の設計震度を示す。

1.2 機器要目

部材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$\ell_{1i}^*$ (mm)	$\ell_{2i}^*$ (mm)	$d_i$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{fi}^*$
基礎ボルト ( $i=1$ )			150	1070	16 (M16)	201.1	84	14
			87	3009				6
取付ボルト ( $i=2$ )			0	920	16 (M16)	201.1	12	4
			0	920				4

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)	転倒方向	
				弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト ( $i=1$ )	215 (40mm < 径 ≤ 100 mm)	400	258	—	長辺方向
取付ボルト ( $i=2$ )	235 (16mm < 径 ≤ 40 mm)	400	280	—	長辺方向

注記\* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	—	$2.010 \times 10^4$	—	$9.217 \times 10^4$
取付ボルト (i=2)	—	$1.682 \times 10^4$	—	$2.355 \times 10^4$

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=100$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=84$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

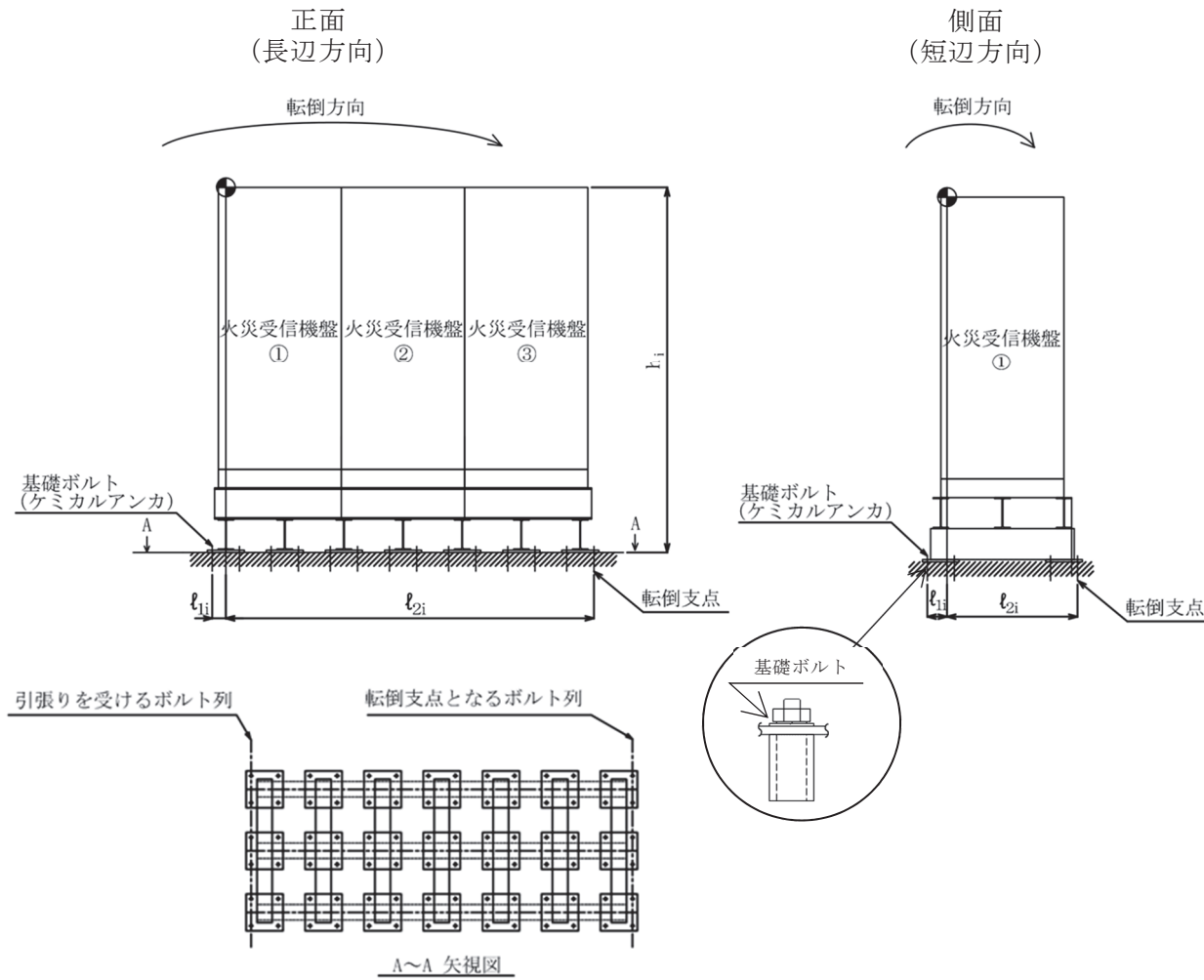
(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*1	機能維持確認済加速度
火災受信機盤①, ②	水平方向	2.41	5.00
	鉛直方向	1.69	3.00
火災受信機盤③	水平方向	2.41	2.86
	鉛直方向	1.69	3.00

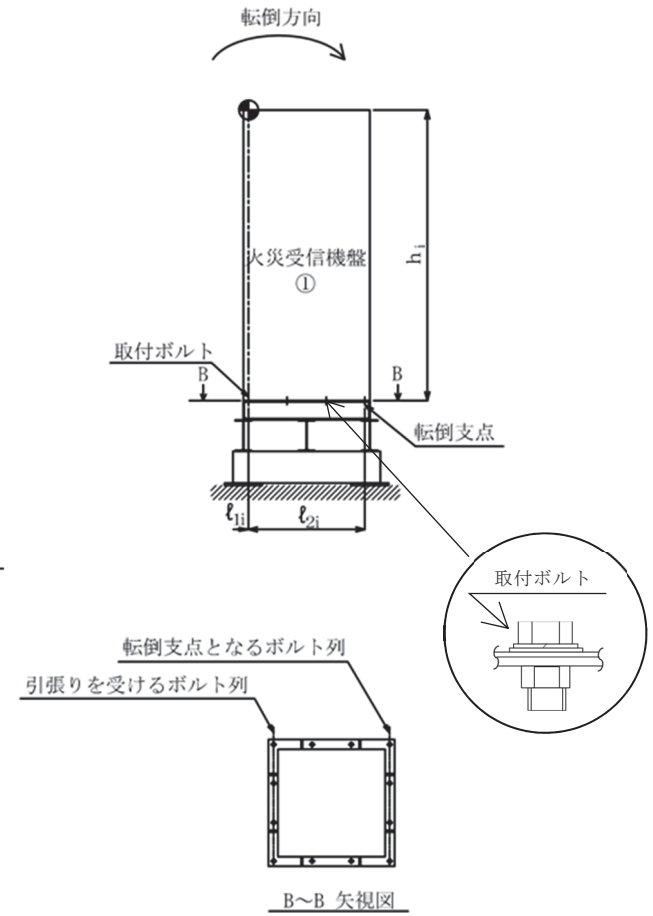
注記\* : 基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

基礎ボルト (  $i = 1$  )



取付ボルト (  $i = 2$  )



VI-2-別添 1-4 ガスボンベ設備の耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値確認及び構造強度評価	4
3.1 固有値確認及び構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	11
3.5 設計用地震力	14
4. 機能維持評価	15
4.1 動的機能維持評価方法	15
5. 評価結果	16

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、ガスボンベ設備が基準地震動  $S_s$  による地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を維持することを確認するものである。

評価結果は、裕度（許容値／発生値）が最小となるものを代表として記載する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ガスボンベ設備の構造計画を表2-1、表2-2に、ガスボンベ設備及び容器弁の外観図を図2-1、図2-2に示す。

また、ガスボンベ設備は、火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず、煙、流出流体、爆発等の二次的影響を受けず、火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないように設置する。

表2-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。 ガスボンベはボンベラックに固定し，基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。	ガスボンベ及び 容器弁 （直立型）	図 2-1



図2-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）外観図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。                      ガスボンベはボンベラックに固定し，基礎ボルトによりボンベラックを建屋床のコンクリート躯体に据え付ける。</p>	<p>ガスボンベ及び                      容器弁                      （直立型）</p>	<p>図 2-2</p>

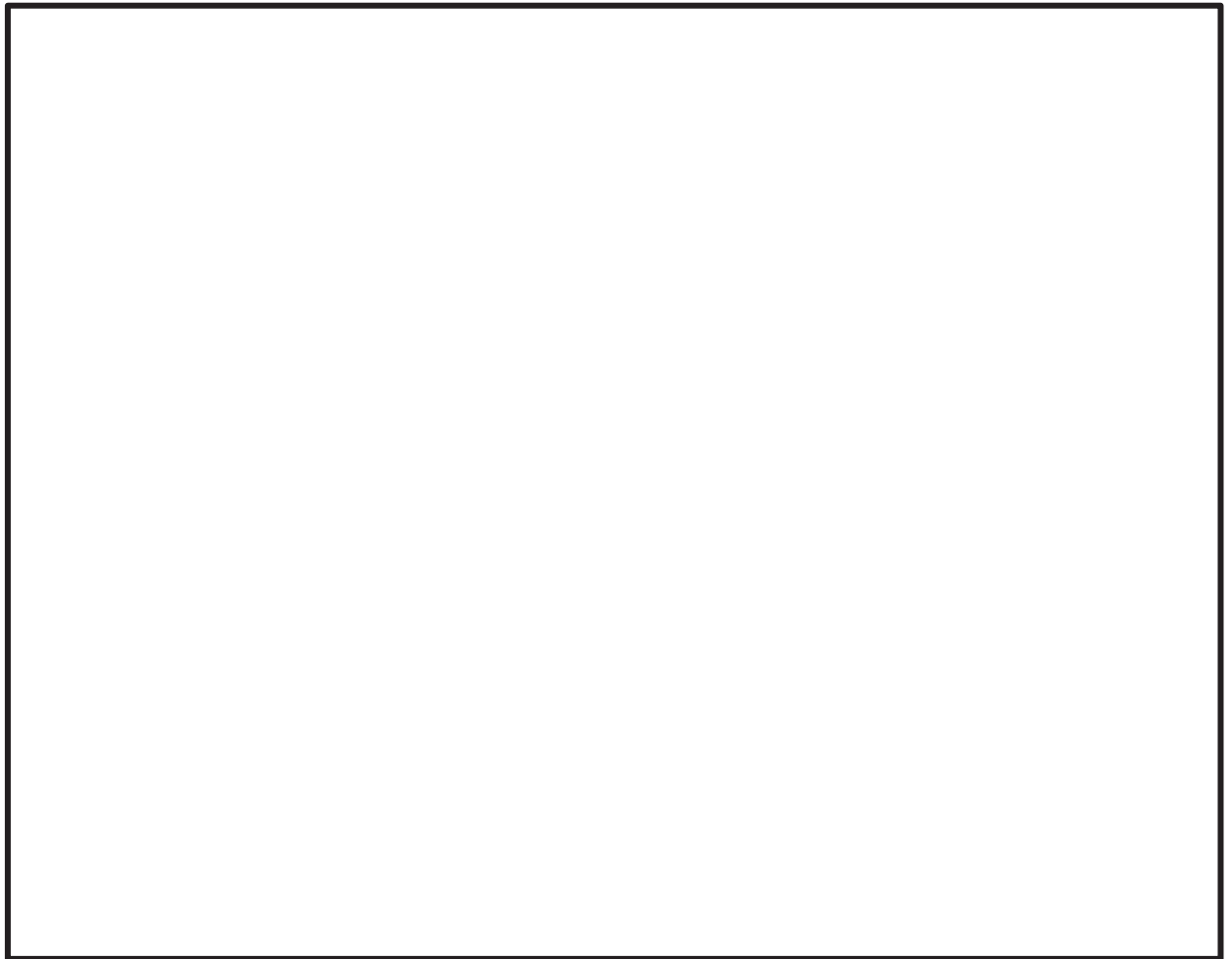


図2-2 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）外観図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



### 3. 固有値確認及び構造強度評価

ガスボンベ設備の固有周期及び構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「4. 固有周期」及び「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に基づき、3次元FEMモデルによる解析又は正弦波掃引試験により固有周期及び構造強度を評価する。

#### 3.1 固有値確認及び構造強度評価方法

##### 3.1.1 固有値確認方法

###### (1) ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）

###### ① ボンベラックの確認方法

対象部位であるボンベラックについて、3次元FEMモデルによる解析を実施する。

###### ② 容器弁の確認方法

容器弁は、正弦波掃引試験を実施する。

###### (2) ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）

###### ① ボンベラックの確認方法

対象部位であるボンベラックについて、正弦波掃引試験を実施する。

###### ② 容器弁の確認方法

容器弁は、正弦波掃引試験を実施する。

##### 3.1.2 構造強度評価方法

ガスボンベ設備の構造強度評価は、添付書類「別添1-1」の「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。なお、ガスボンベ設備の構造強度評価は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮して実施する。

### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1」の「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

#### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、ガスボンベ設備の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表3-1に示す。

#### 3.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

ガスボンベ設備における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表3-2、表3-3に示す。また、ガスボンベ設備におけるボンベラック及び基礎ボルトの許容応力評価条件を表3-4、表3-5に示す。

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他の発電用原 子炉の附属施設	火災防護設備	ガスボンベ設備	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_{AS}$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-2 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2		
	(部材)	(ボルト等)	
	一次応力		
	組合せ	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表3-3 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2	
	(ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表3-4 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
ボンベラック	STKR400	40 (周囲環境温度)	245	400	280
	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280
	SNB7	40 (周囲環境温度)	725	860	602
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

∞

表3-5 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16 mm)	40 (周囲環境温度)	245	400	280

### 3.3 解析モデル及び諸元

「3.1.1 固有値確認方法」に示すガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の解析モデルを図3-1に、解析モデルの諸元を表3-6に、ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の外観図を図2-1に示す。

- (1) ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）を構成する部材をはり・シェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 基礎ボルト部の拘束条件として、並進3方向回転3方向固定とする。
- (3) ガスボンベは、はり要素でモデル化し、ボンベ及び消火剤の質量を分布質量として設定する。
- (4) ガスボンベ押さえはシェル要素でモデル化し、ガスボンベと押さえは水平2方向結合とする。
- (5) ガスボンベ底部の拘束条件として、鉛直方向固定として設定する。
- (6) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、評価に用い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-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

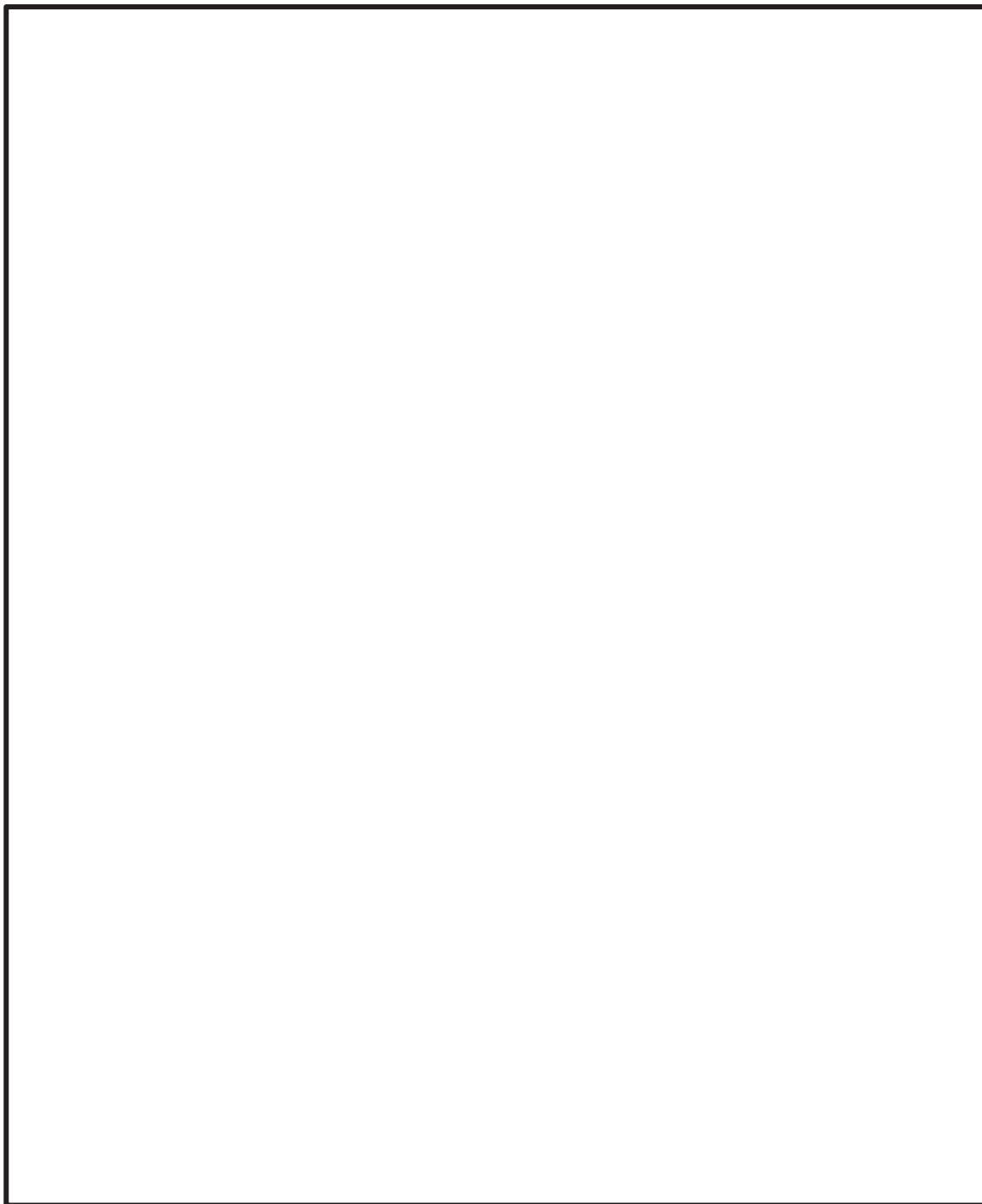


図 3-1 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6 解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元	縦弾性 係数 (MPa)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )	
						強軸	弱軸
ボンベ ラック	①	STKR400		$2.02 \times 10^5$	$1.217 \times 10^3$	$9.860 \times 10^5$	$9.860 \times 10^5$
	②	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.953 \times 10^3$	$2.184 \times 10^6$	$1.091 \times 10^6$
	③	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.270 \times 10^3$	$6.440 \times 10^5$	$6.440 \times 10^5$
	④	SS400		$2.02 \times 10^5$	$1.044 \times 10^3$	$5.787 \times 10^5$	$2.054 \times 10^5$
	⑤	SNB7		$2.01 \times 10^5$	150.3	$1.798 \times 10^3$	$1.798 \times 10^3$
	⑥	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
	⑦	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
	⑧	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
	⑨	SS400		$2.02 \times 10^5$	—	—	—
基礎 ボルト	⑩	SS400		—	—	—	—
温度条件 (°C)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—	2095	—	—	—	—
ポアソン 比	—	—	0.3	—	—	—	—

O 2 ⑥ VI-2-別添 1-4 R 6

### 3.4 固有周期

ガスボンベ設備の固有値確認結果を「3.4.1 ガスボンベ設備」に、ガスボンベ設備の容器弁の固有値確認結果を「3.4.2 容器弁」に示す。

#### 3.4.1 ガスボンベ設備

ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の固有値確認結果を表3-7に、振動モード図を図3-2に示す。ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の固有値確認結果を表3-8に示す。固有周期は0.050秒以下であり剛であることを確認した。

#### 3.4.2 容器弁

容器弁（ハロンガス消火設備）の固有値確認結果を表3-9、容器弁（ケーブルトレイ消火設備）の固有値確認結果を表3-10に示す。固有周期は0.050秒以下であり剛であることを確認した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



表3-7 ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期 (s)
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	水平	
	鉛直	

表3-8 ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期* (s)
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

注記\*：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

表3-9 容器弁（ハロンガス消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期* (s)
容器弁 (ハロンガス消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

注記\*：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

表3-10 容器弁（ケーブルトレイ消火設備）の固有周期

機器名称	方向	固有周期* (s)
容器弁 (ケーブルトレイ消火設備)	水平	0.050以下
	鉛直	0.050以下

注記\*：正弦波掃引試験により 33Hz まで共振振動数がないことを確認。

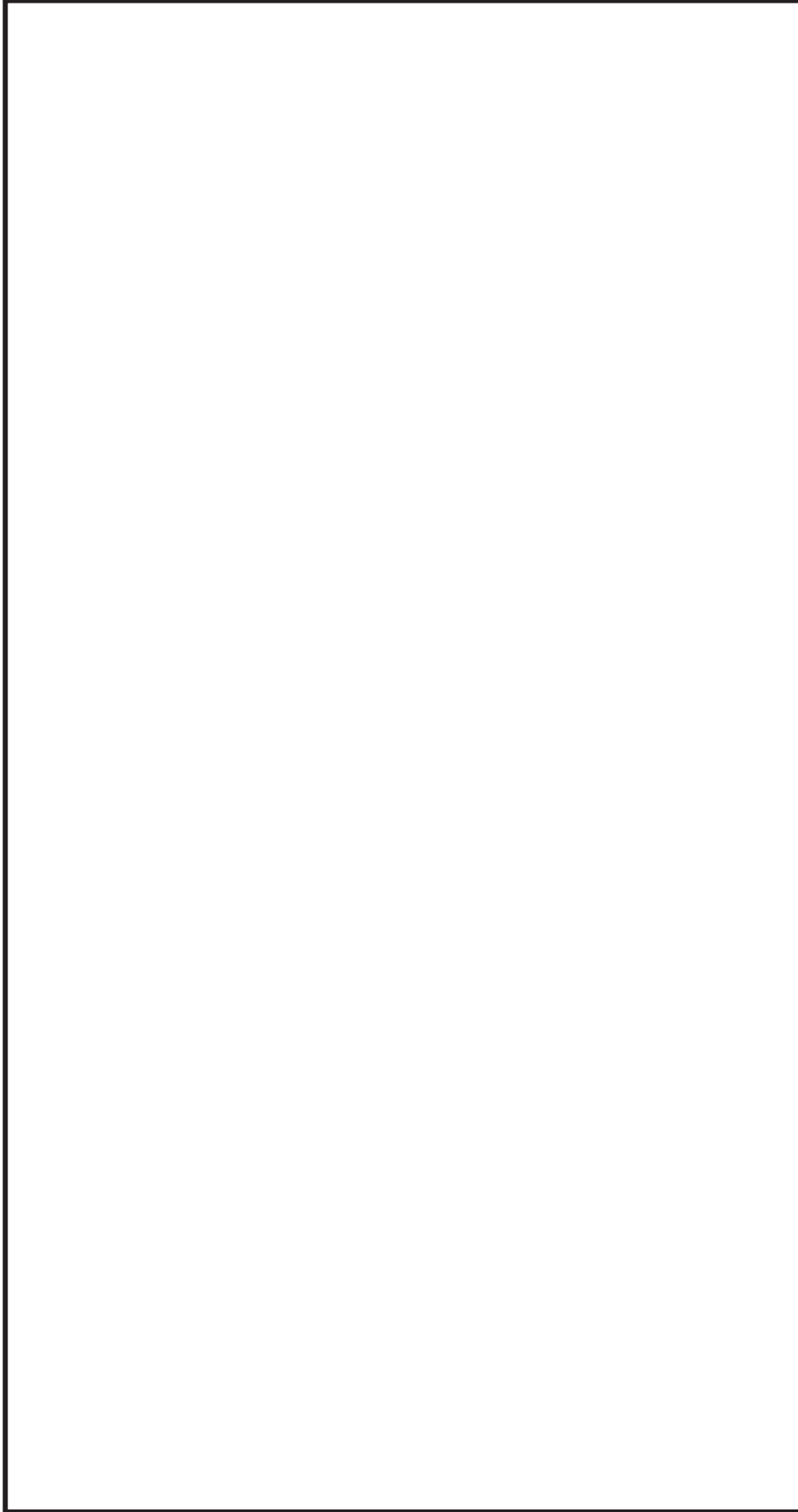


図3-2 振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.5 設計用地震力

ガスボンベ設備の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 動的機能維持評価方法

ガスボンベ設備は、添付書類「別添1-1」の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

## 5. 評価結果

ガスボンベ設備の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ガスボンベ設備（ハロンガス消火設備）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	設置場所及び床面 高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	C	原子炉建屋 0.P. 22. 50*			C <sub>H</sub> =2. 12	C <sub>V</sub> =1. 56	40

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	F <sub>b</sub> (N)	Q <sub>b</sub> (N)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト	1. 416×10 <sup>4</sup>	1. 494×10 <sup>4</sup>	201. 1

1.3 結論

1.3.1 固有周期 (単位：s)

水平方向	
鉛直方向	

1.3.2 構造強度評価結果 (単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	計算応力	許容応力
ガスボンベ設備 (ハロンガス消火設備)	ボンベラック	SS400	組合せ応力		$f_t = 280$
	基礎ボルト	SS400	引張応力		$f_{ts} = 168^*$
			せん断応力		$f_{sb} = 129$

すべて許容応力以下である。 注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.3.3 動的機能維持評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

機器名称	据付場所及び 床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度
容器弁	原子炉建屋 O.P. 22.50	1.77	10.00	1.30	5.00

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

【ガスボンベ設備（ケーブルトレイ消火設備）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	設置場所及び床面 高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 $S_s$		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	C	原子炉建屋 O.P. 23.60* <sup>1</sup>	0.050以下	0.050以下	$C_H=2.65^{*2}$	$C_V=1.77^{*2}$	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：建屋中間階に設置されるため、評価対象フロアの上下階のうちいずれか大きい方の基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を用いる。

19

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	$\ell_1^*$ (mm)	$\ell_2^*$ (mm)	d (mm)	n	$n_f^*$
基礎ボルト							

注記\*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	$F_b$ (N)	$Q_b$ (N)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト	$4.694 \times 10^3$	$5.276 \times 10^3$	201.1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

水平方向	0.050以下
鉛直方向	0.050以下

1.4.2 構造強度評価結果 (単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	計算応力	許容応力
ガスボンベ設備 (ケーブルトレイ消火設備)	基礎ボルト	SS400	引張応力		$f_{ts} = 168^*$
			せん断応力		$f_{sb} = 129$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.3 動的機能維持評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

機器名称	据付場所及び 床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用 加速度*	機能確認済加速度
容器弁	原子炉建屋 O.P. 23.60	2.21		1.47	

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。