

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0070_改1
提出年月日	2021年9月27日

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

2021年9月

東北電力株式会社

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	6
2.4	適用基準	9
3.	耐震評価	10
3.1	評価対象断面	10
3.2	荷重及び荷重の組合せ	14
3.2.1	耐震評価上考慮する状態	14
3.2.2	荷重	14
3.2.3	荷重の組合せ	15
3.3	解析方法	16
3.3.1	解析方法	16
3.3.2	設計用震度の算定	17
3.4	許容限界	49
3.4.1	構造部材の健全性に対する許容限界	49
3.4.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	51
3.5	応力解析による評価方法	51
3.5.1	構造部材の健全性に対する評価方法	51
4.	耐震評価結果	54
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	54
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	59

## 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ドレーンについて、地震時の構造強度を有していることを確認するものである。

ドレーン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を行う。

## 2. 基本方針

設計用地下水位の評価においては、耐震性を含む信頼性を満足するドレーン（ヒューム管・鋼管）を、管路あるいは透水層として取り扱っている。

本図書では、管路あるいは透水層として設定するドレーン（ヒューム管・鋼管）を対象に地震時における構造強度及び機能維持の確認を行う。

### 2.1 位置

地下水位低下設備のうちドレーンの設置位置を図 2-1 に示す。

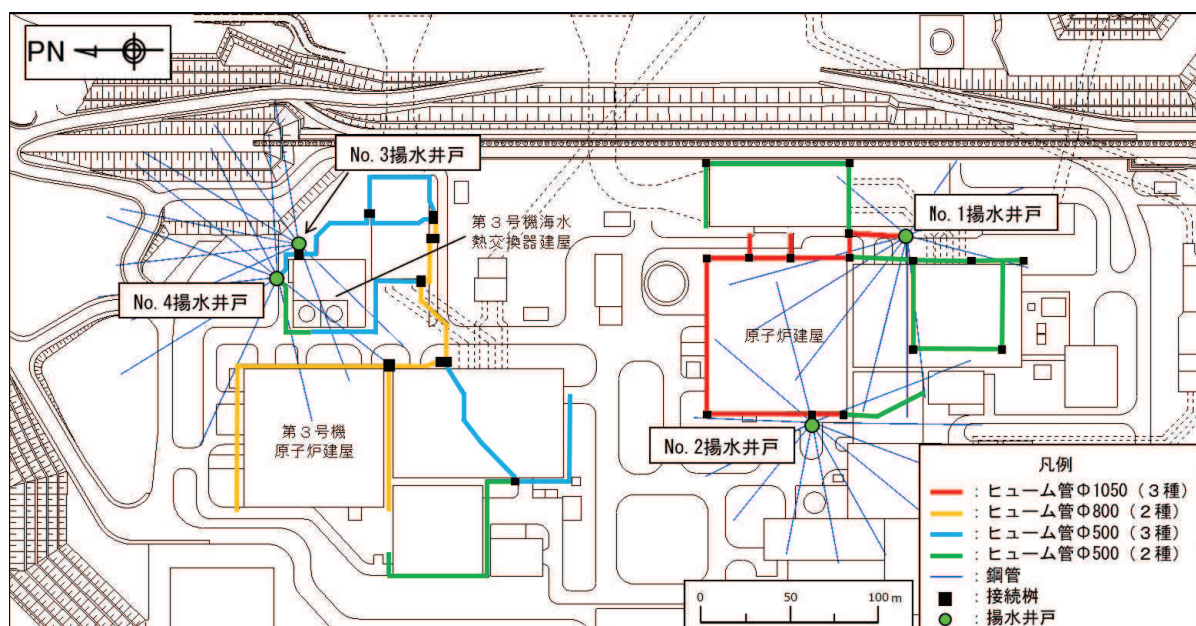
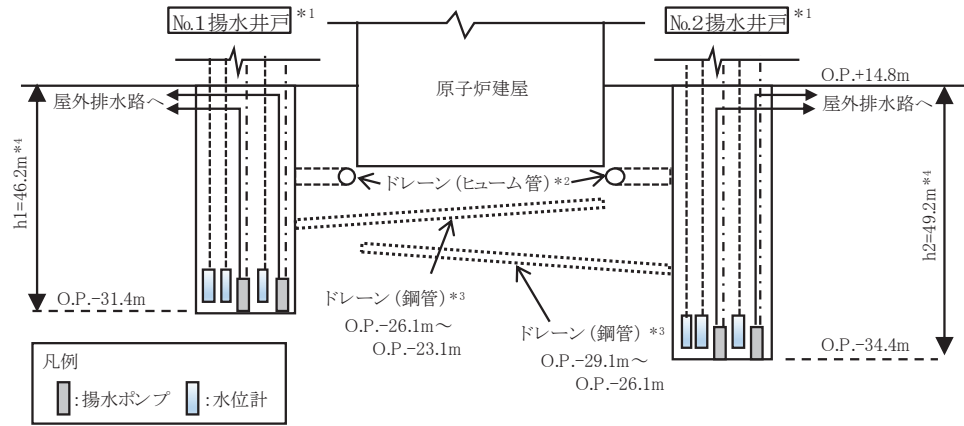


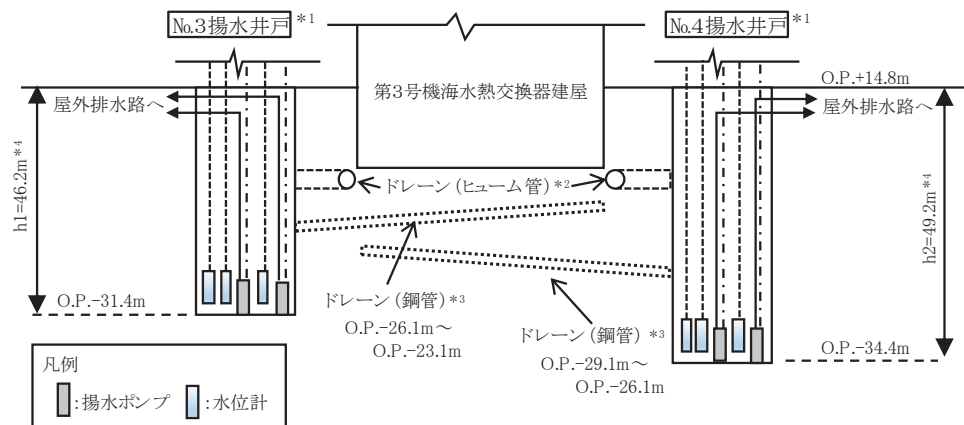
図 2-1 ドレーンの設置位置

## 2.2 構造概要

地下水位低下設備の構成概要を図 2-2 に示す。以下、ドレーンを構成するヒューム管と鋼管の構造概要を説明する。



(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：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

### (1) ヒューム管

ヒューム管は建屋等構造物外縁部又は建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内に設置し、分岐・交差部等の一部に設けた接続柵を介して接続している。

ヒューム管はφ500mm、800mm及び1050mmがあり、外圧への耐性（外圧強さ）により2種類（2種あるいは3種（「技術資料ヒューム管設計施工要覧（日本ヒューム管協会、平成21年7月）」））を使用している。

ヒューム管の構造概要を図 2-3 に示す。

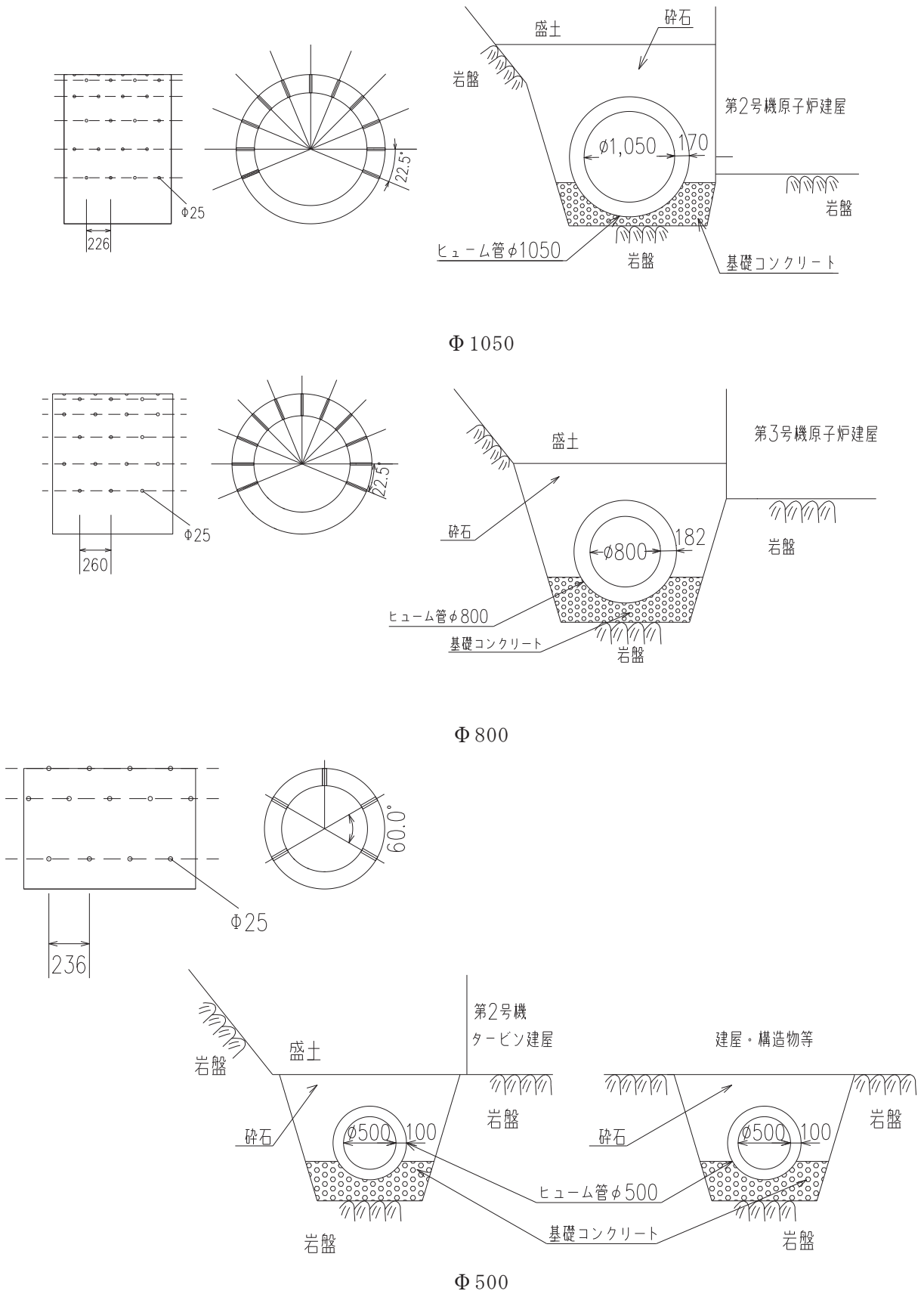


図 2-3 ヒューム管の構造概要 (単位: mm)

(2) 鋼管

図 2-1 に示すとおり，鋼管は揚水井戸の集水ピットを起点として岩盤内に放射状に設置する。鋼管は  $\phi 145.2$  mm であり，No.1 揚水井戸及びNo.3 揚水井戸に接続される鋼管は O.P. -23.1m～O.P. -26.1m，No.2 揚水井戸及びNo.4 揚水井戸に接続される鋼管は O.P. -26.1m～O.P. -29.1m の範囲に設置する。

鋼管の構造概要を図 2-4 に示す。

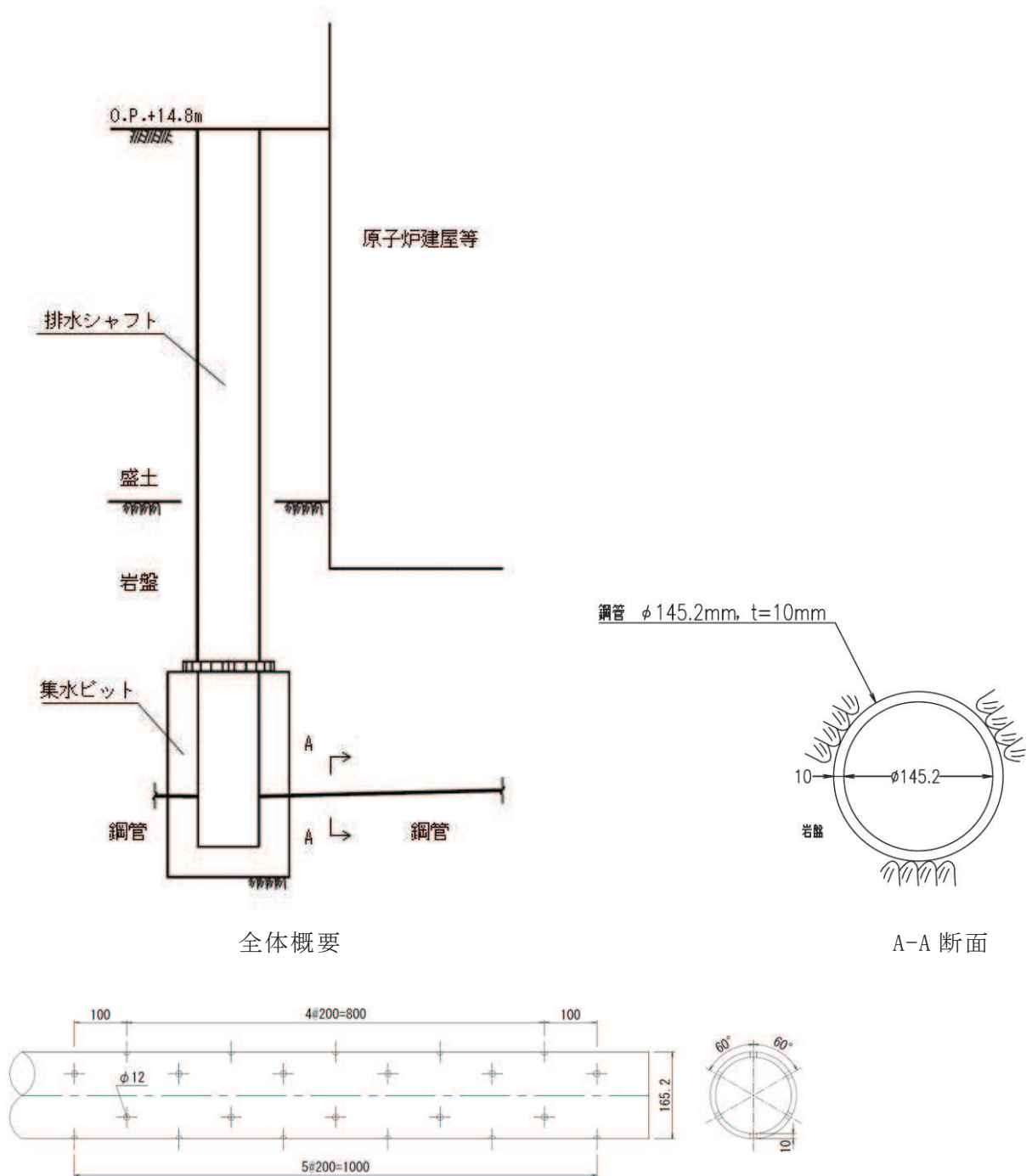


図 2-4 鋼管の構造概要

### 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、ドレーンは繰り返しの地震に対しても地下水の集水機能を維持する必要がある。ドレーン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。なお、ドレーンは集水機能を有する有孔管であることから、水密性の観点からの要求はない。

ドレーン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。

表 2-1 ドレーンの評価項目

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	ヒューム管	発生する応力が許容限界以下であることを確認	ひび割れ保証モーメント
		鋼管		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。



(1) ヒューム管

ヒューム管の評価フローを図 2-5 に示す。

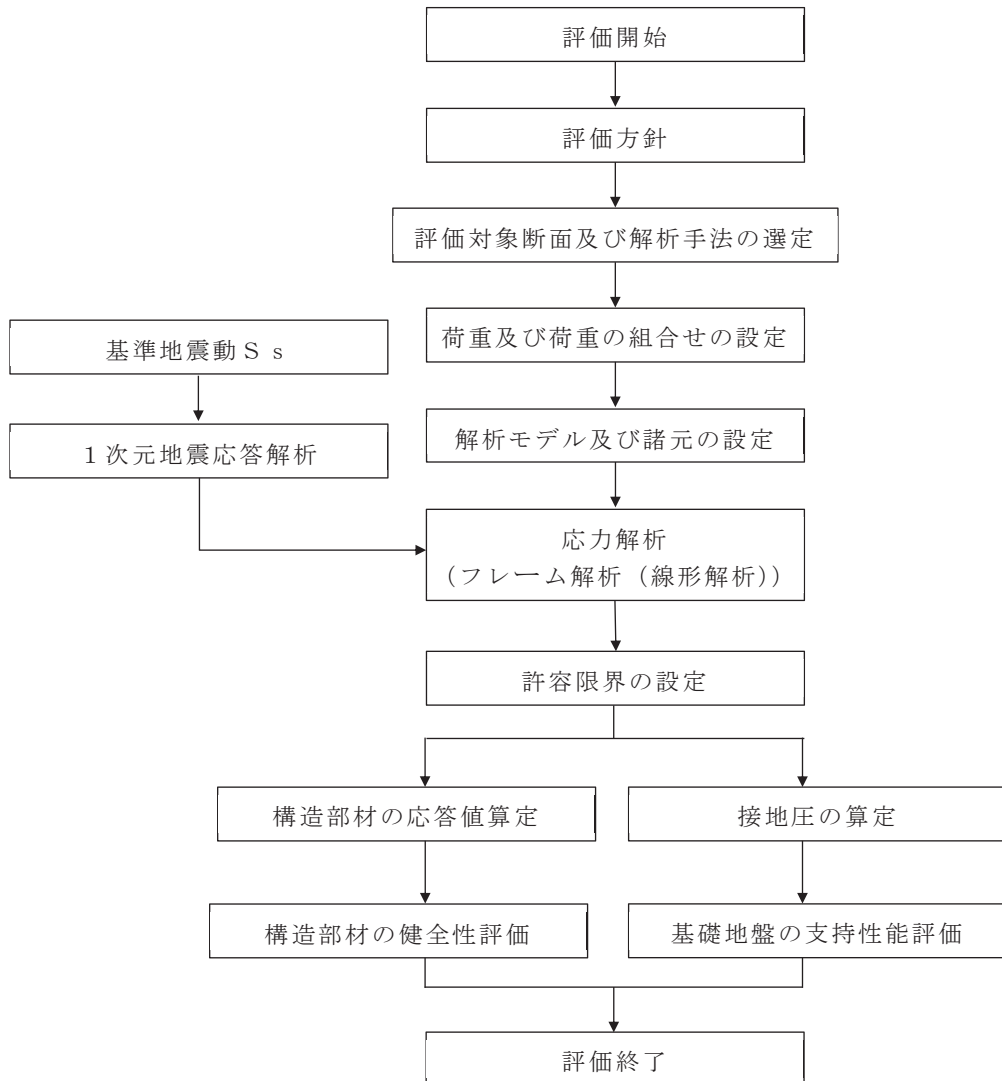


図 2-5 ヒューム管の耐震評価フロー

(2) 鋼管

鋼管は、図 2-4 に示すとおり岩盤内に埋め込まれており、地震時は地盤の挙動に追従すると考えられることから、「既発電用原子炉設置変更許可申請 添付書類六（原規規発第 2002261 号 令和 2 年 2 月 26 日許可）」に示す、原子炉建屋の基礎地盤安定性評価に用いた 2 次元動的有限要素法解析より抽出した地盤応力を用いて耐震評価を行う。

鋼管の評価フローを図 2-6 に示す。

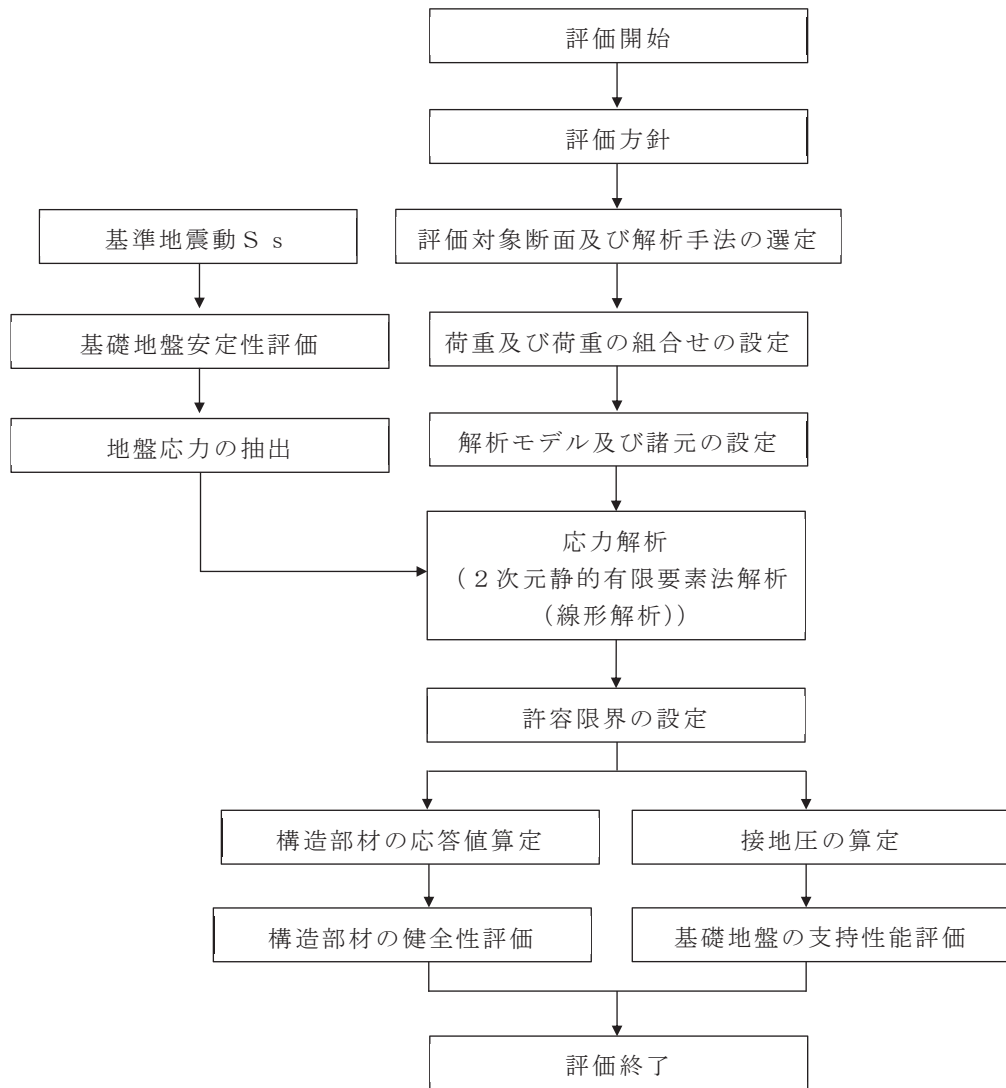


図 2-6 鋼管の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

ドレーンの評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版-（日本下水道協会，2014年）  
（以下「下水道耐震指針」という。）
- ・ コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- ・ 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・ 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・ 技術資料ヒューム管設計施工要覧（全国ヒューム管協会，平成21年7月）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

##### (1) ヒューム管

ヒューム管は掘込まれた岩盤内に設置され、地震時には鉛直土圧が主たる荷重として作用すると考えられる。また、場所により管径及び外圧強さが異なることを踏まえ、管径及び外圧強さごとに土被り厚が最大となる箇所を評価対象断面として抽出する。

φ500（2種）については、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されており、地震応答が異なると考えられることから、両エリアより抽出する。

建屋基礎直下の岩盤を掘込んで設置したヒューム管が存在するが、各建屋等外縁部に設置したヒューム管と比べ、作用する鉛直荷重が十分に小さいため、評価対象断面として選定しない。

以上を踏まえ、評価対象断面①～⑤を選定した。ヒューム管の評価対象断面位置を図3-1に、ヒューム管設置位置の地質状況を図3-2に示す。

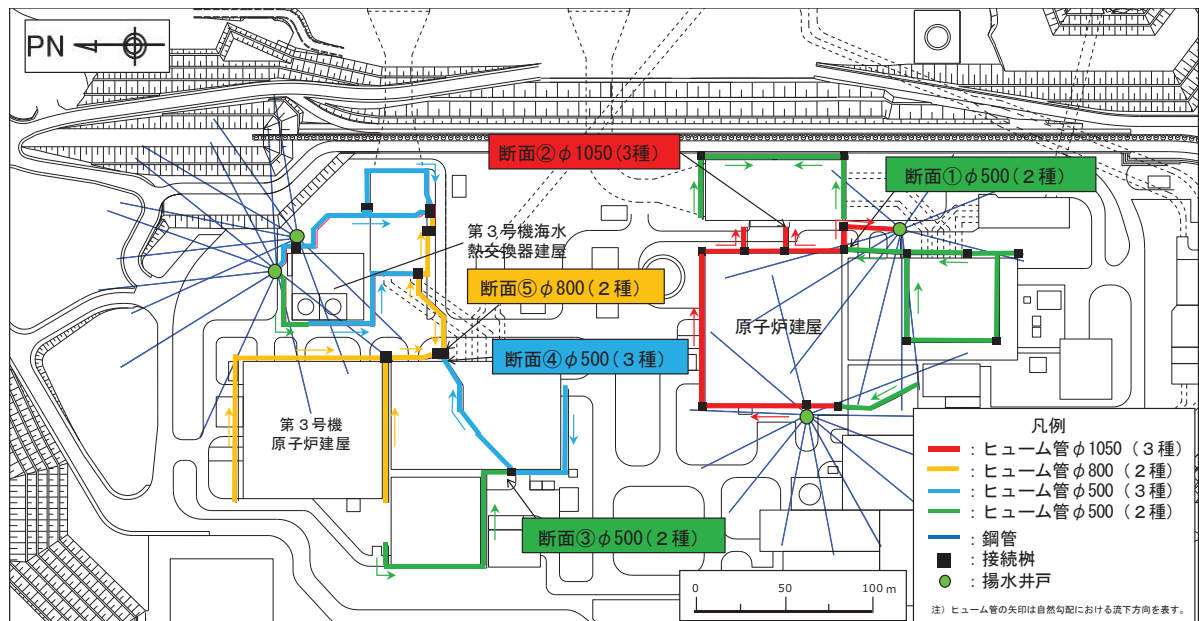


図 3-1 ヒューム管 評価対象断面位置

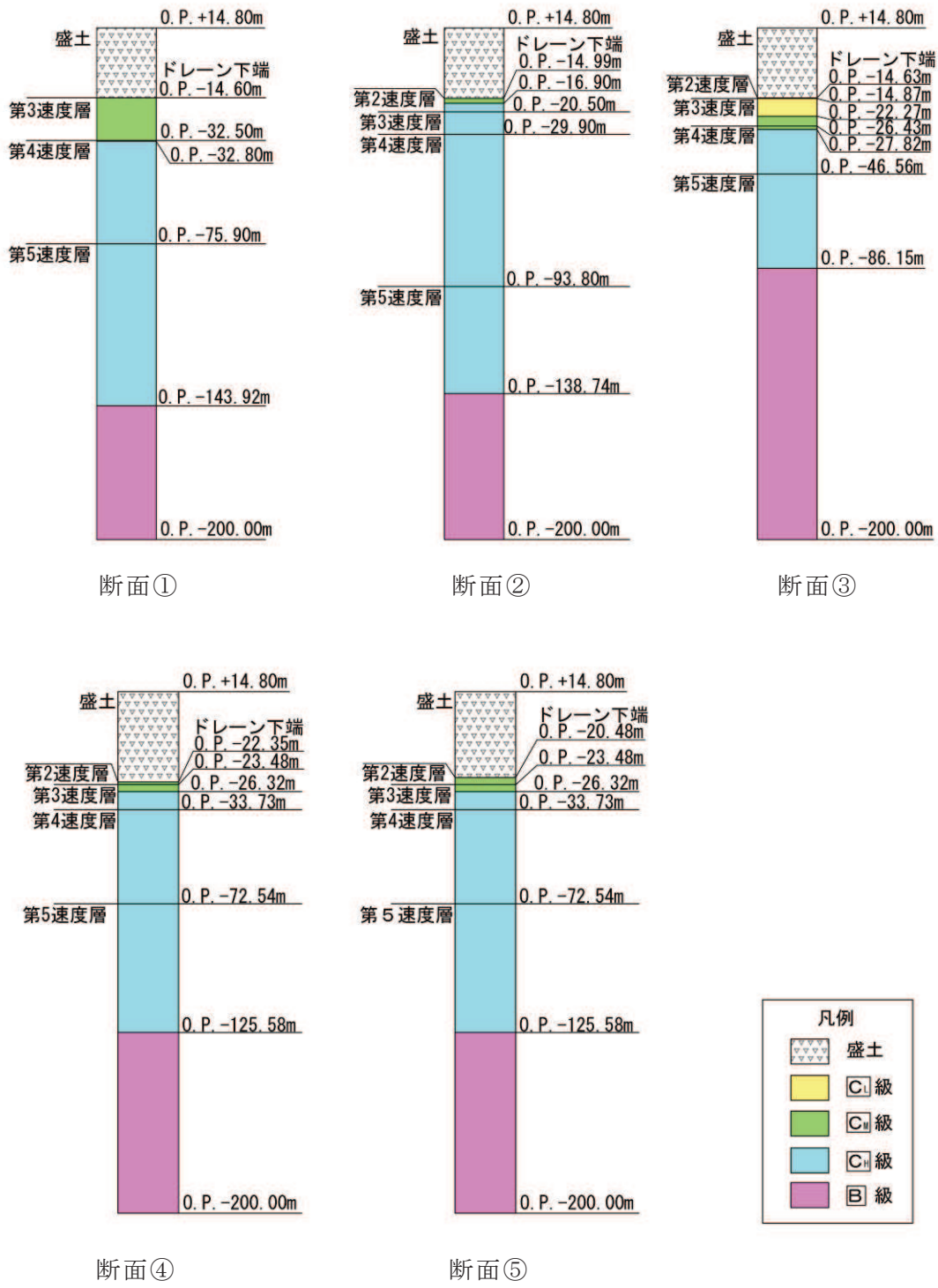


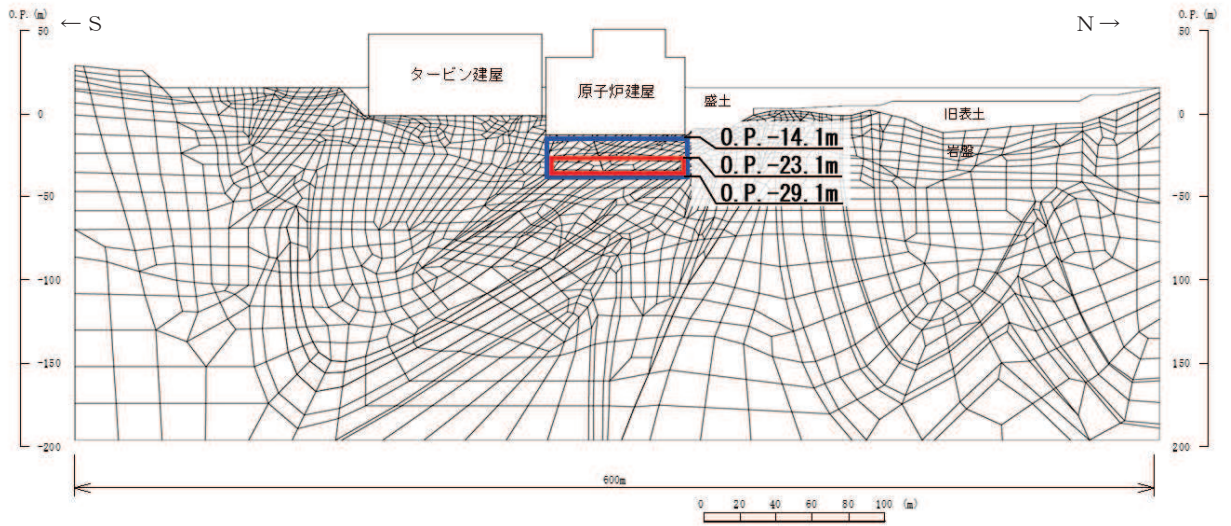
図 3-2 ヒューム管設置位置の地質状況

(2) 鋼管

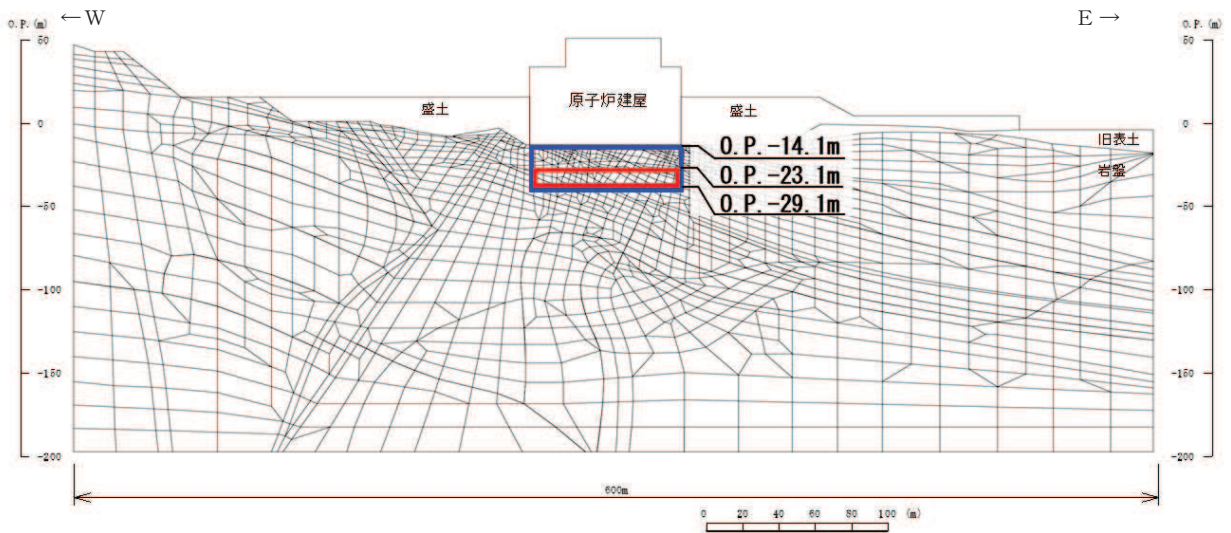
鋼管は岩盤内に設置され、その一部は原子炉建屋等の直下に位置するため、これらの構造物の荷重が岩盤を介して作用するものと考えられる。この時、構造物の重量が大きい程、鋼管に作用する荷重も大きくなるため、鋼管の設置範囲において重量の大きい原子炉建屋の下に設置する鋼管を評価対象とする。

鋼管に作用する荷重は、地震時の原子炉建屋及び地盤の応答を評価できる基礎地盤安定解析（NS, EW 断面）より抽出する。抽出範囲は、鋼管の設置範囲（O. P. -23.1m～O. P. -29.1m）を包絡するよう、鋼管設置範囲の下端（O. P. -29.1m）から上端は保守的に原子炉建屋の荷重が直接作用する原子炉建屋底面レベル（O. P. -14.1m）までとする。抽出対象範囲を図 3-3 に示す。

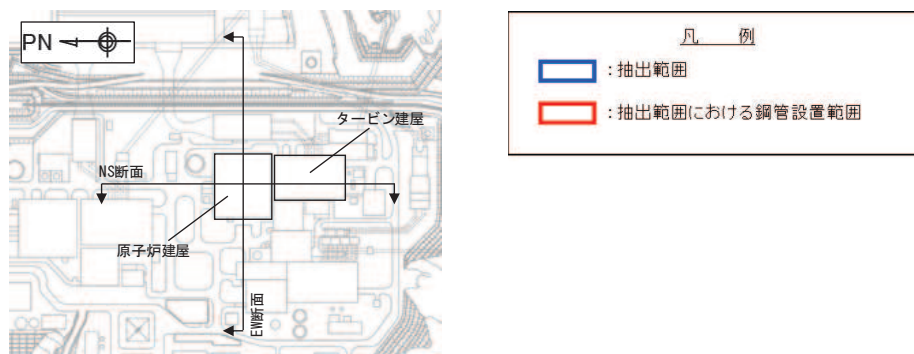
抽出した応力状態については、鋼管を含めてモデル化した二次元有限要素法モデルに外力として載荷させることで再現し、これにより鋼管の発生応力を確認する。鋼管を含めた二次元有限要素法モデルは「3.3 解析方法」にて詳述する。



(1) NS 断面



(2) EW 断面



断面位置図

図 3-3 主応力の抽出範囲



### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価に用いる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

耐震評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### a. 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。

##### b. 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。

##### c. 設計用自然条件

ヒューム管は積雪の影響を考慮し、埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。鋼管は岩盤内構造物であるため、積雪、並びに風の影響は考慮しない。

##### d. 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

##### (1) ヒューム管

作用する荷重は、ヒューム管が建屋等構造物外縁部の掘込まれた岩盤内に設置されていることを踏まえ設定する。

耐震評価において、考慮する荷重を以下に示す。

##### a. 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重と上載土による鉛直土圧、水平土圧を考慮する。常時の水平土圧は、鉛直土圧に静止土圧係数 0.50 を乗じて算定する。

##### b. 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。

##### c. 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。

##### d. 地震荷重(S<sub>s</sub>)

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

一次元応答解析により設計用震度を算出し、土圧増分のうち鉛直増分土圧は、



設計用鉛直震度と常時鉛直土圧を乗じ、水平増分土圧は鉛直方向の増分土圧に側圧係数  $k_0 = \nu_d / (1 - \nu_d)$  を乗じて算定する。ヒューム管周辺は砕石で埋め戻されているが、 $\nu_d$ には盛土の動ポアソン比 0.48 を用いる。

躯体慣性力については設計用震度を躯体自重に乘以て求める。

(2) 鋼管

鋼管の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。

- a. 固定荷重 (G)  
固定荷重として躯体自重を考慮する。
- b. 積載荷重 (P)  
積載荷重として建屋荷重を考慮する。
- c. 地震荷重 (S<sub>s</sub>)  
基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重を考慮する。

3.2.3 荷重の組合せ

ヒューム管及び鋼管の耐震評価における荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1(1) 荷重の組合せ (ヒューム管)

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

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P<sub>s</sub> を含めて 4.9kN/m<sup>2</sup> を地表面に考慮)

S<sub>s</sub> : 地震荷重

表 3-1(2) 荷重の組合せ (鋼管)

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

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重

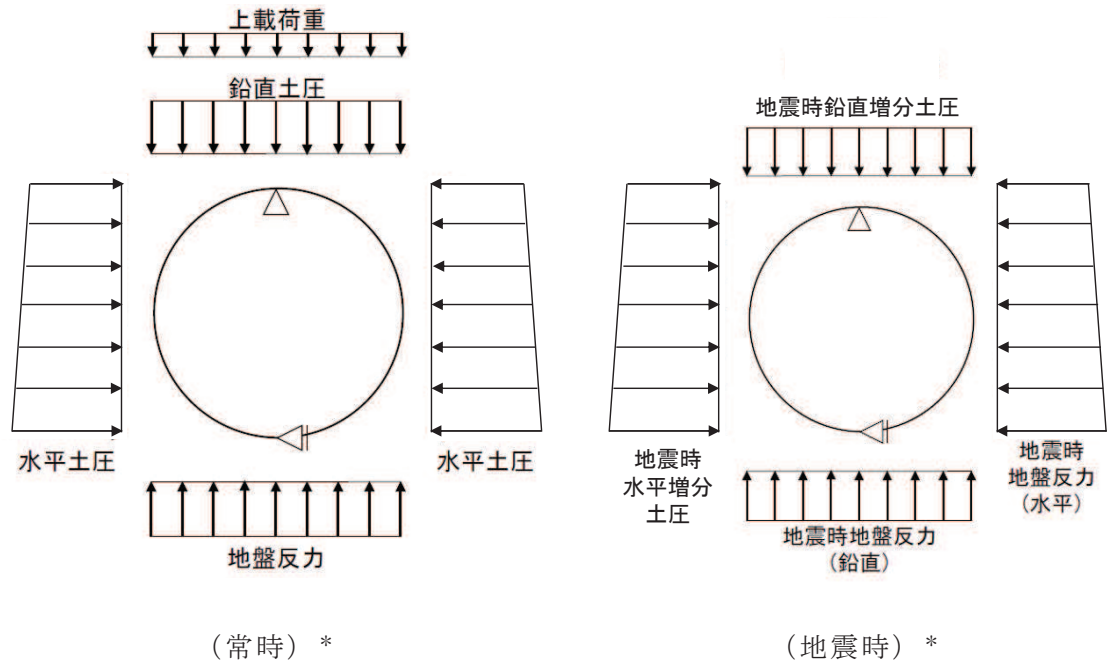
### 3.3 解析方法

ドレーンの耐震評価は、弱軸である横断方向断面（管軸直交方向）について照査を実施し、照査用応答値が「3.4 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。

#### 3.3.1 解析方法

##### (1) ヒューム管

ヒューム管の耐震評価は、1次元地震応答解析から求めた鉛直震度及び動ポアソン比を用い、地震時増分土圧等を算定した上でヒューム管断面を円形状の線形はり要素にモデル化した2次元フレームモデルに常時荷重及び地震時荷重を載荷し行う。2次元フレームモデル概念図を図3-4に示す。



注記\*：上記荷重の他、常時荷重として躯体自重、地震時荷重として躯体慣性力を考慮する。

図 3-4 ヒューム管の解析モデル概念図

##### (2) 鋼管

鋼管の耐震評価は、基礎地盤安定性評価の結果から、図3-3に示す抽出対象範囲における主応力（最大圧縮応力）が最大となる要素の鉛直・水平応力及びせん断応力を抽出し、図3-5に示す2次元静的有限要素法モデルに載荷し行う。モデル化に際しては、鋼管は線形はり要素（ビーム要素）とし、周辺地盤は平面ひずみ要素（ソリッド要素）とする。

周辺地盤は  $C_M$  級の岩盤としてモデル化する。

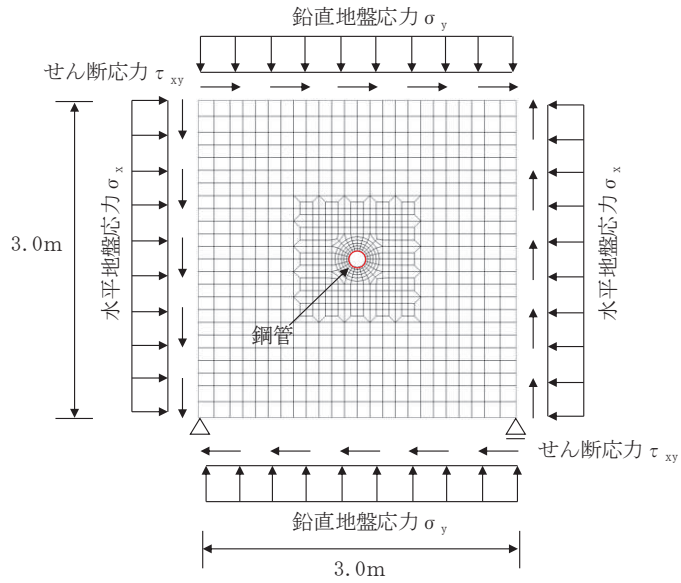


図 3-5 鋼管の解析モデル\*

注記\*：上記荷重の他、常時荷重として躯体自重、地震時荷重として躯体慣性力を考慮する。

### 3.3.2 設計用震度の算定

#### (1) ヒューム管

##### a. 地盤物性のばらつき

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。

また、地震応答解析においては、地盤物性（盛土部）のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 解析ケース（ヒューム管）

解析ケース	地盤物性
	盛土 ( $G_0$ ：初期せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + 1 $\sigma$
ケース③	平均値 - 1 $\sigma$

b. 地震応答解析の解析ケースの選定

地震応答解析においては全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①を実施し、解析ケース①において照査値が最も厳しい地震動を対象に、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 3-3 に示す。

表 3-3 ヒューム管の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	$S_s - D 1$	○	基準地震動 $S_s$ (7波) を用いて実施するケース① (基本ケース) において、照査値が最も厳しい地震動を用いてケース②、③を実施する。	
	$S_s - D 2$	○		
	$S_s - D 3$	○		
	$S_s - F 1$	○		
	$S_s - F 2$	○		
	$S_s - F 3$	○		
	$S_s - N 1$	○		

c. 地下水位

地下水位を管の中心高さに設定する。

d. 地震応答解析

入力地震動は、基準地震動  $S_s$  を用いて添付書類「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」を踏まえて算定する。設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力して評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念を図 3-6 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図 3-7 に示す。

ヒューム管は岩盤を掘込み設置しており、地下水位が岩盤内にあるため液状化の影響が軽微であると考えられることから、液状化検討対象施設には該当せず、解析手法は全応力解析とする。

解析コードには、入力地震動算定に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地震応答解析による設計用震度算定には「TDAPⅢ Ver3.11」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。

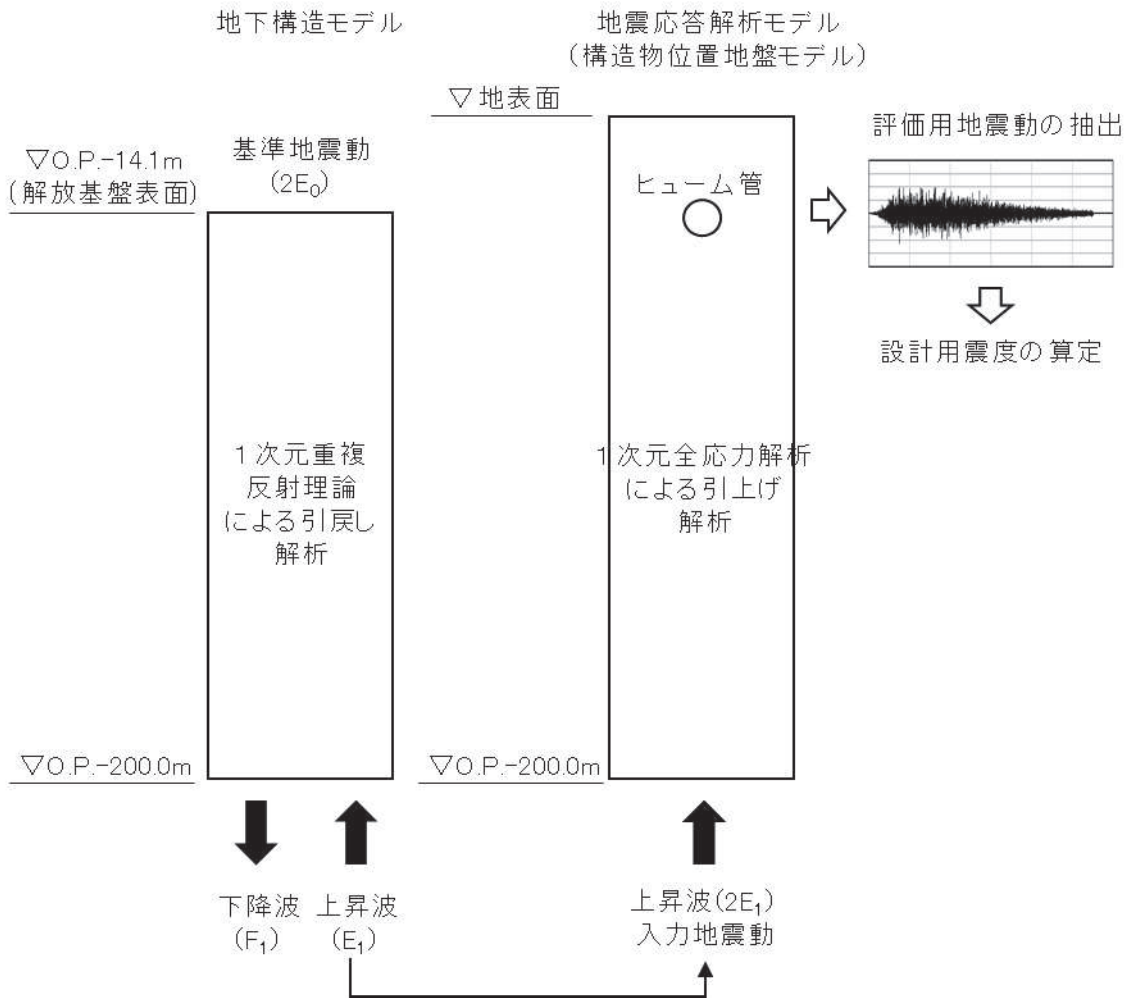
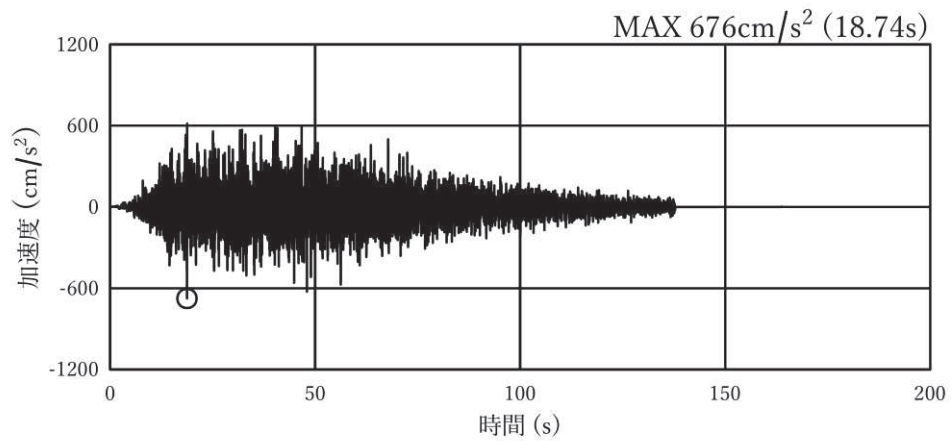
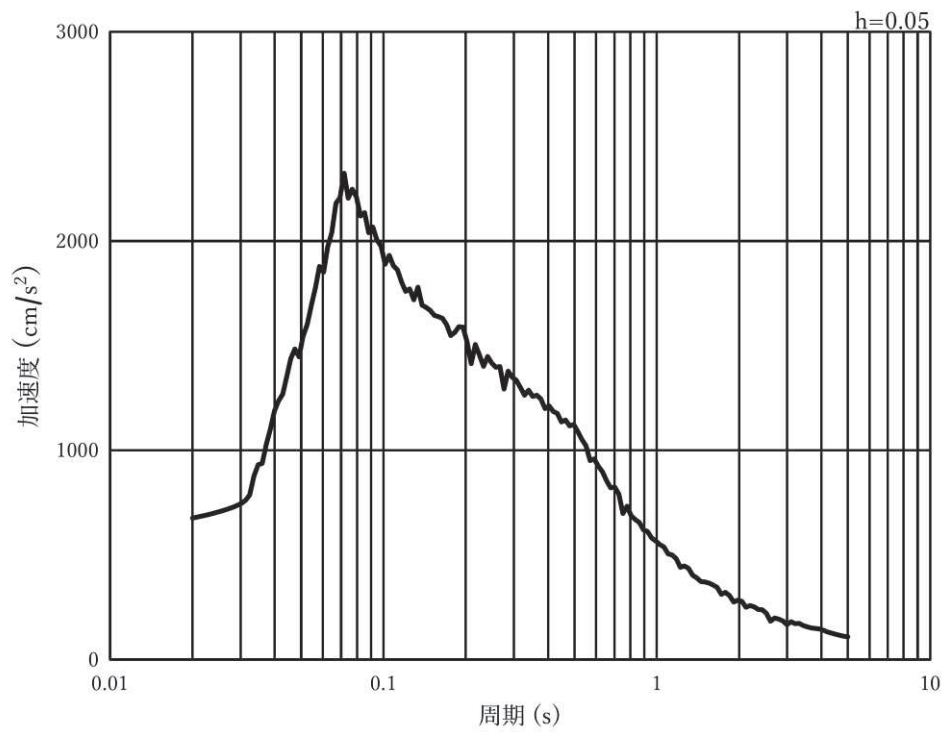


図 3-6 地震応答解析の概念

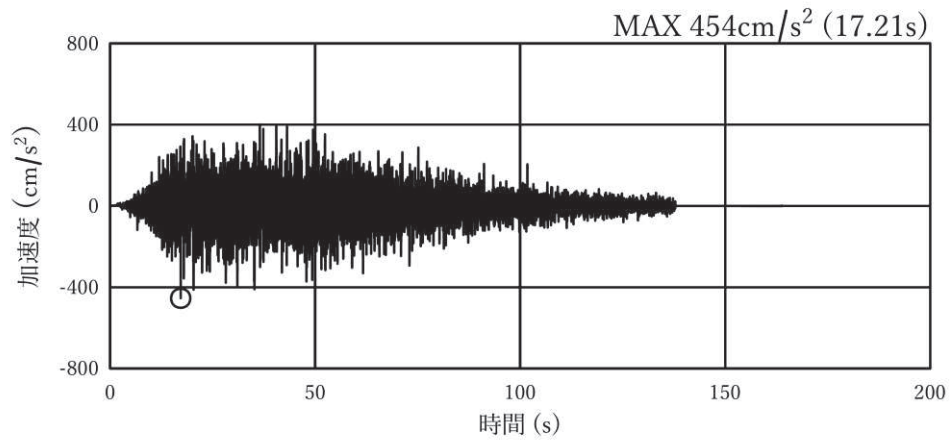


(a) 加速度時刻歴波形

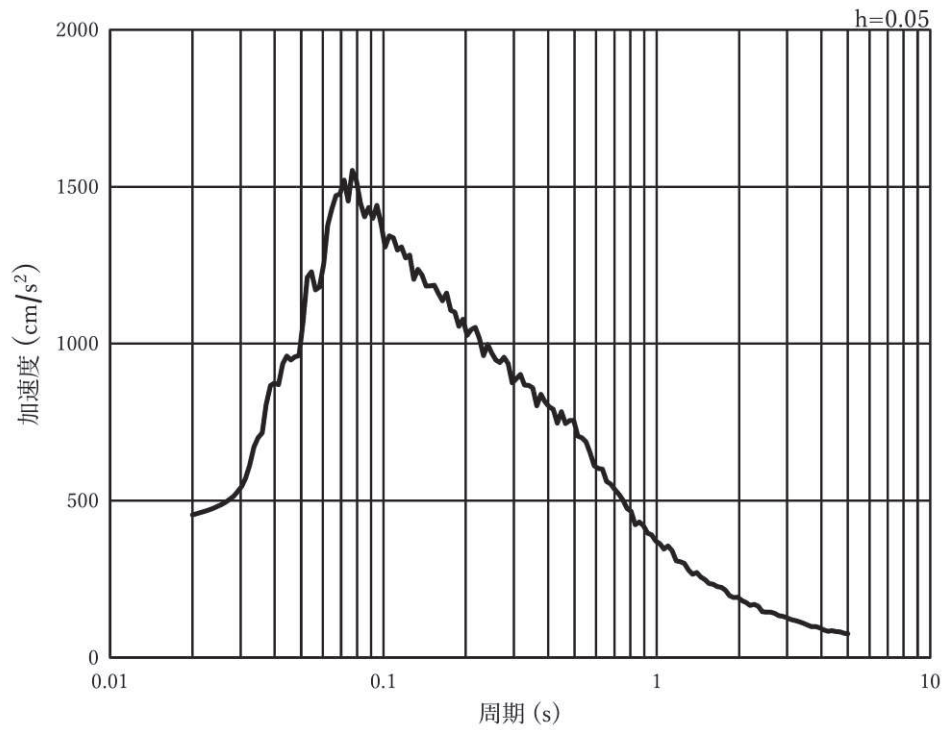


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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), 断面①, ②

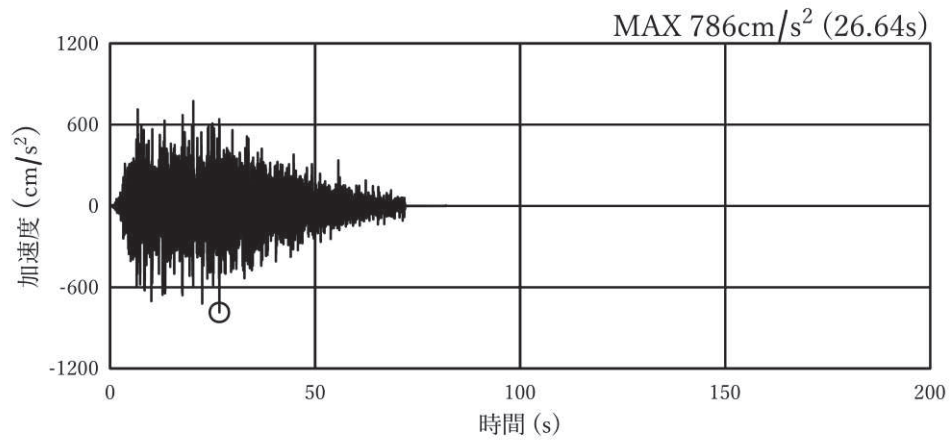


(a) 加速度時刻歴波形

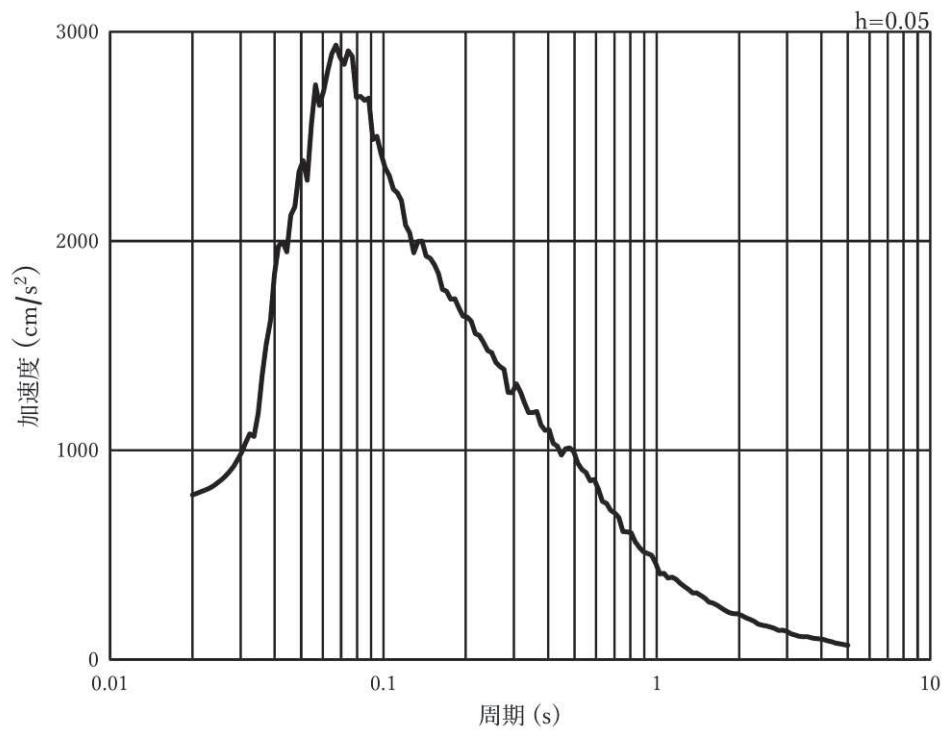


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②



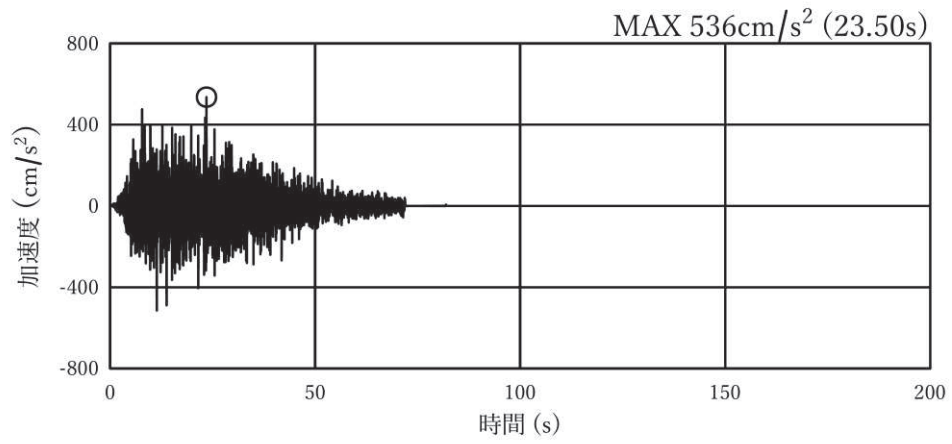
(a) 加速度時刻歴波形



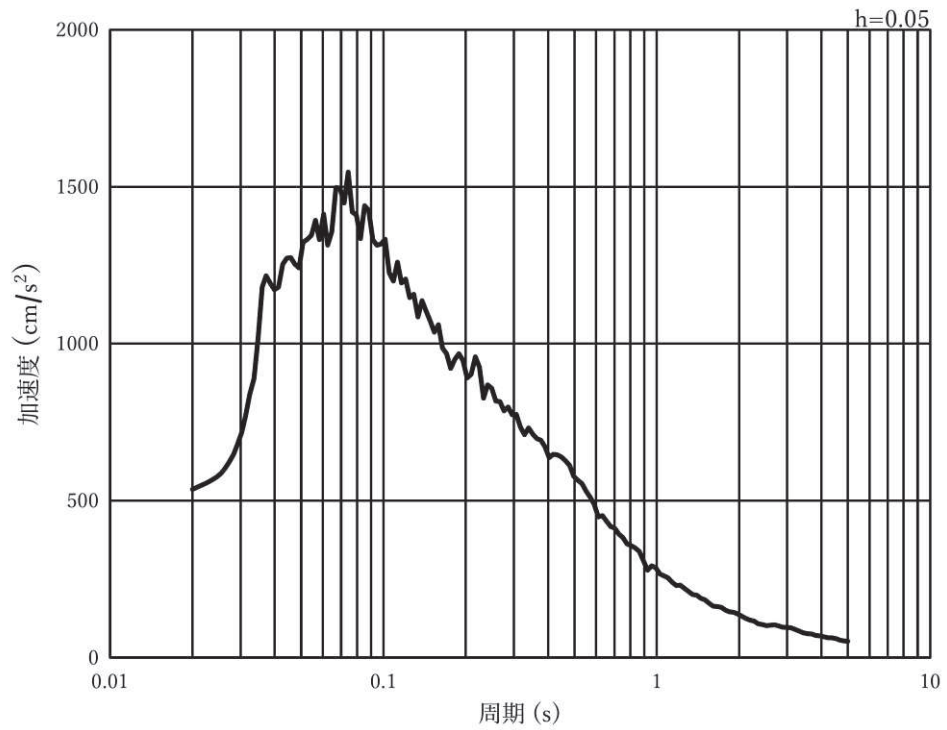
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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), 断面①, ②



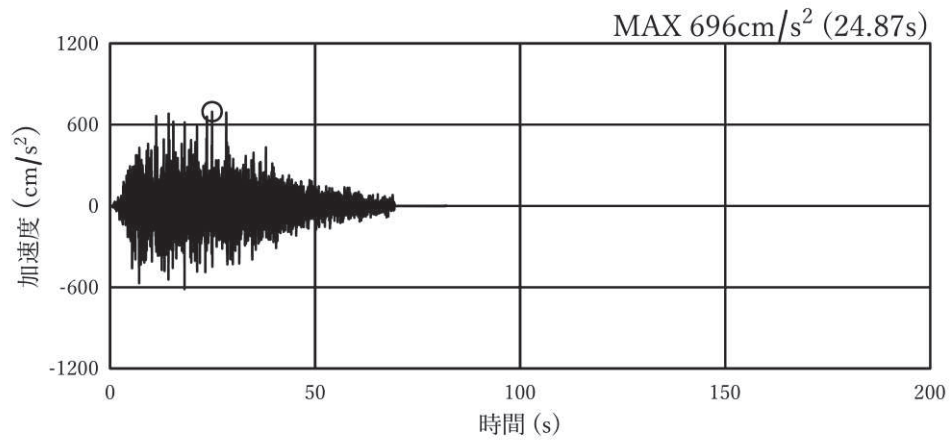


(a) 加速度時刻歴波形

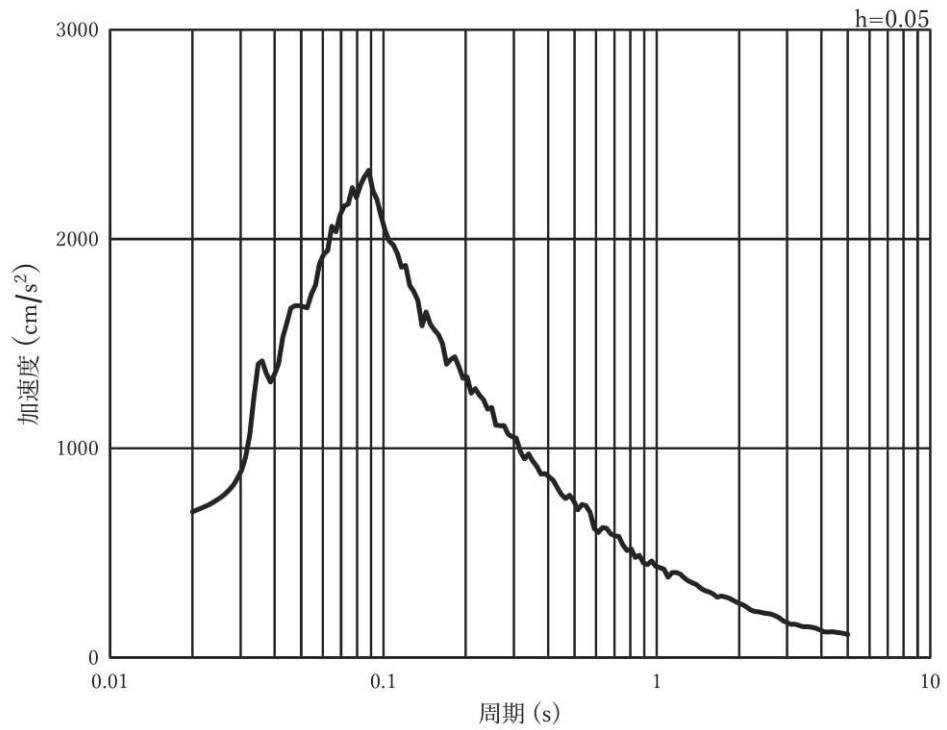


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②

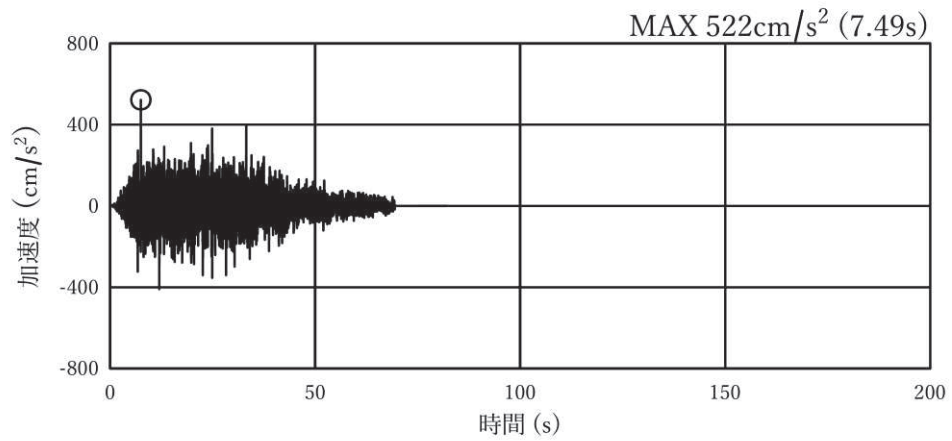


(a) 加速度時刻歴波形

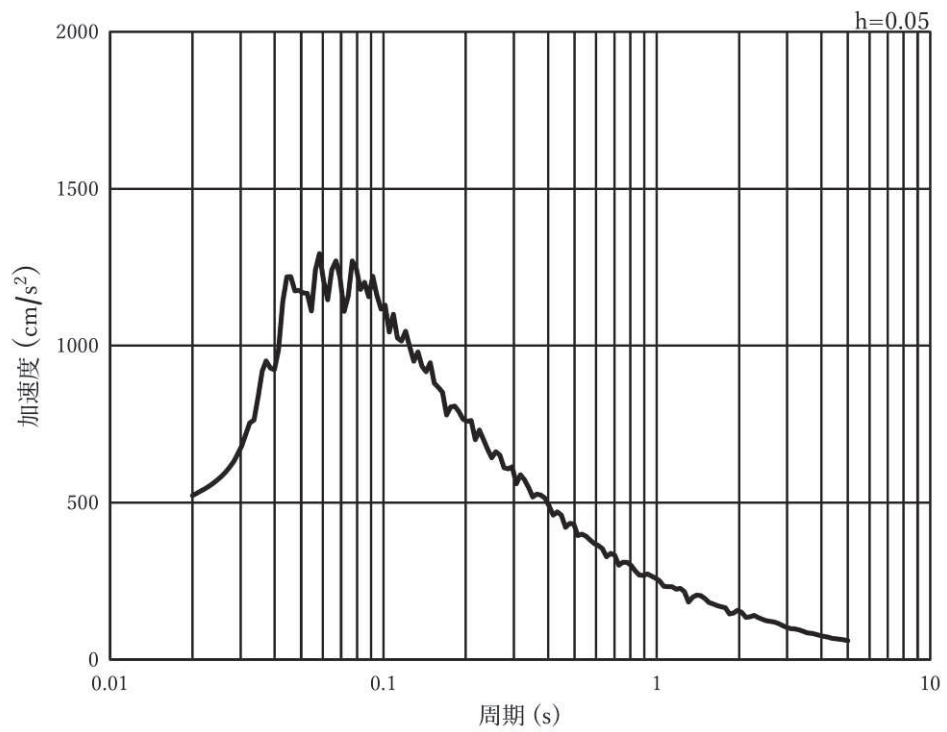


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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), 断面①, ②

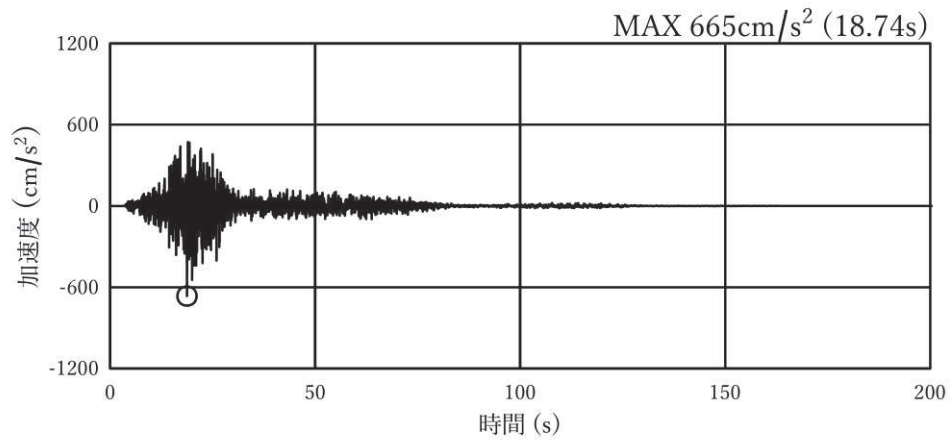


(a) 加速度時刻歴波形

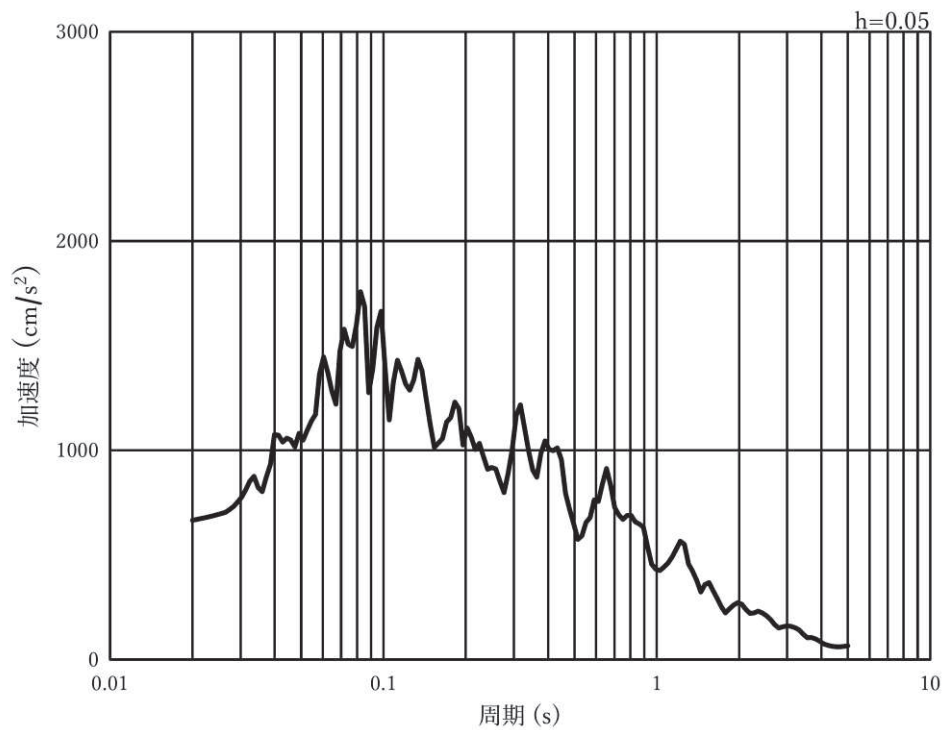


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②

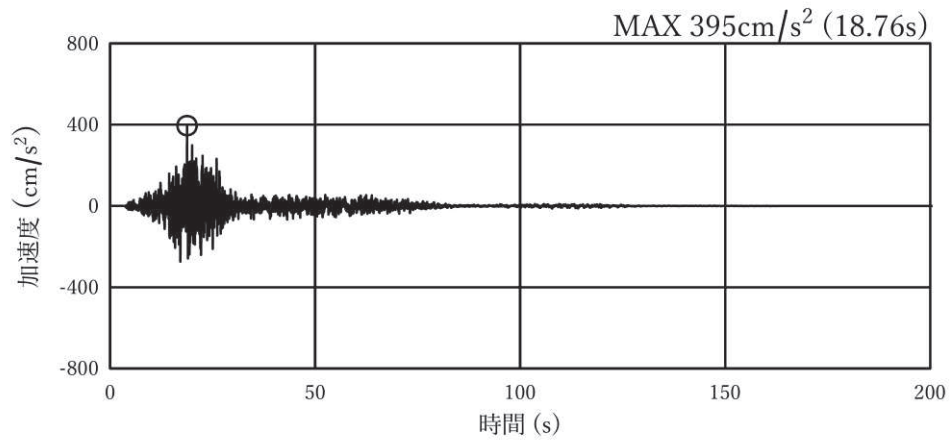


(a) 加速度時刻歴波形

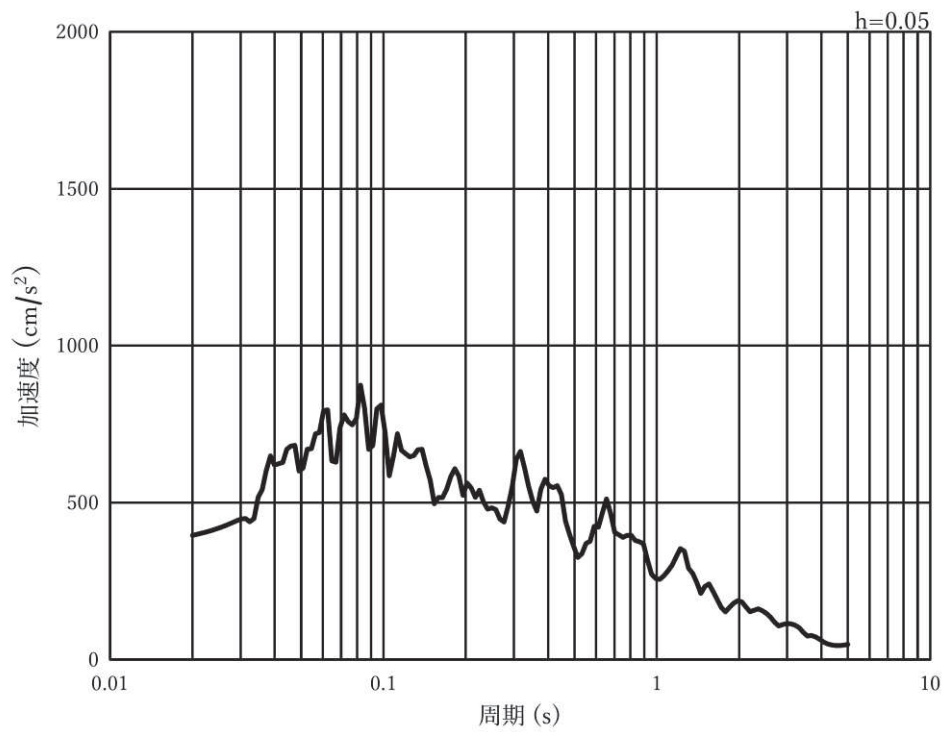


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②

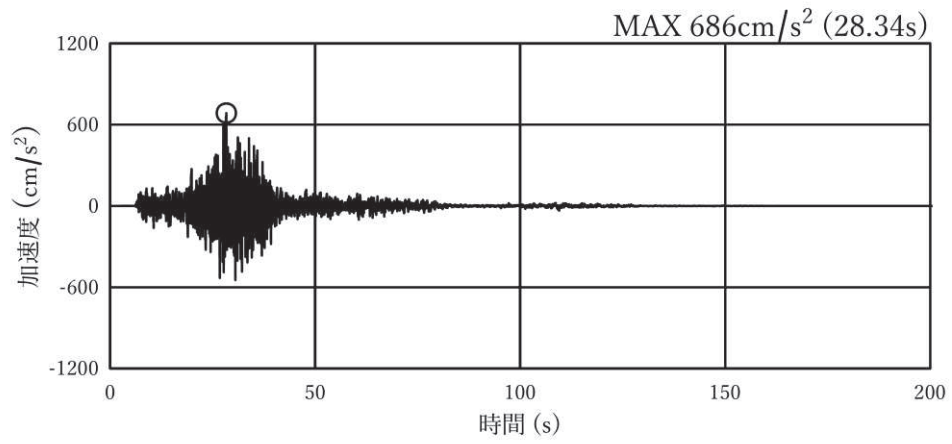


(a) 加速度時刻歴波形

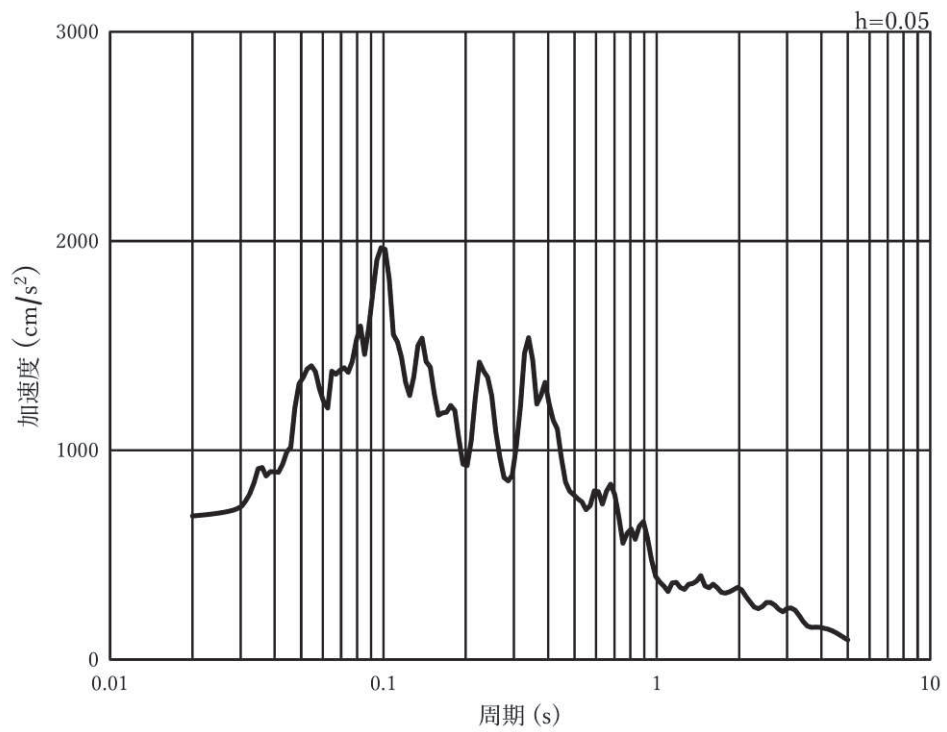


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②

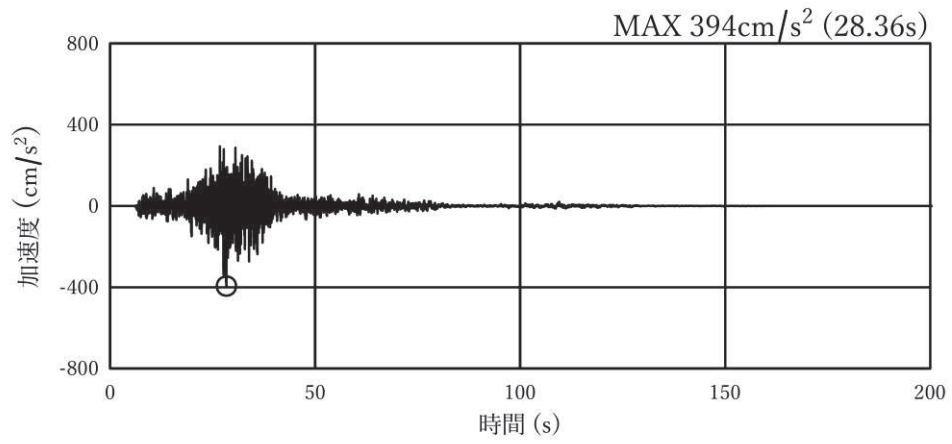


(a) 加速度時刻歴波形

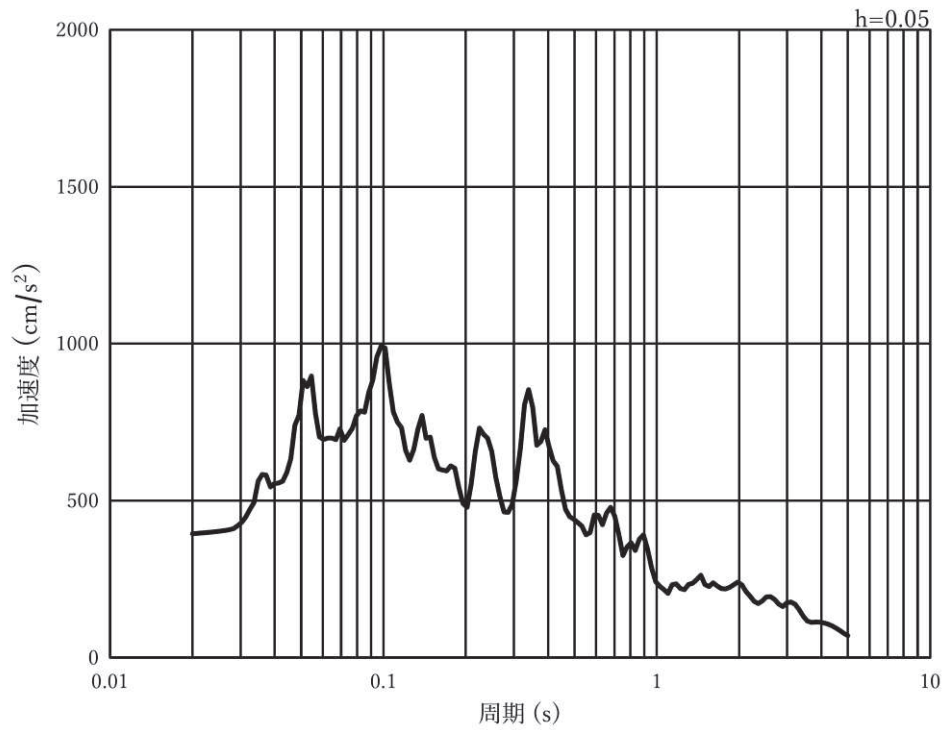


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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), 断面①, ②

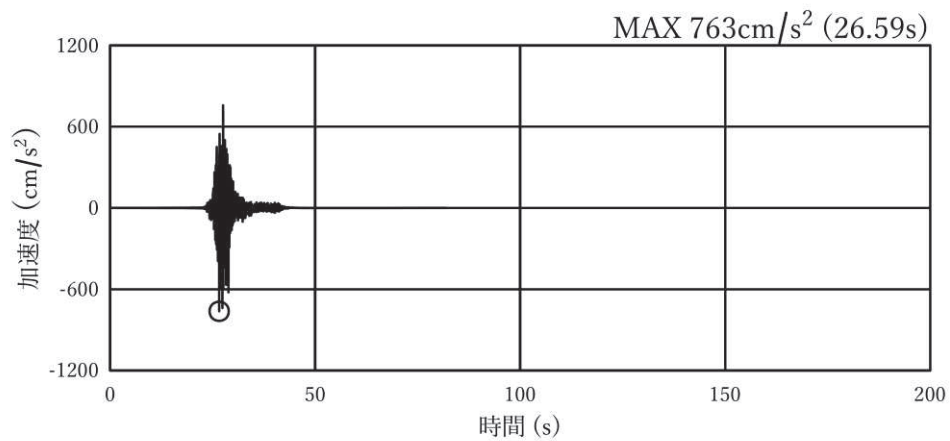


(a) 加速度時刻歴波形

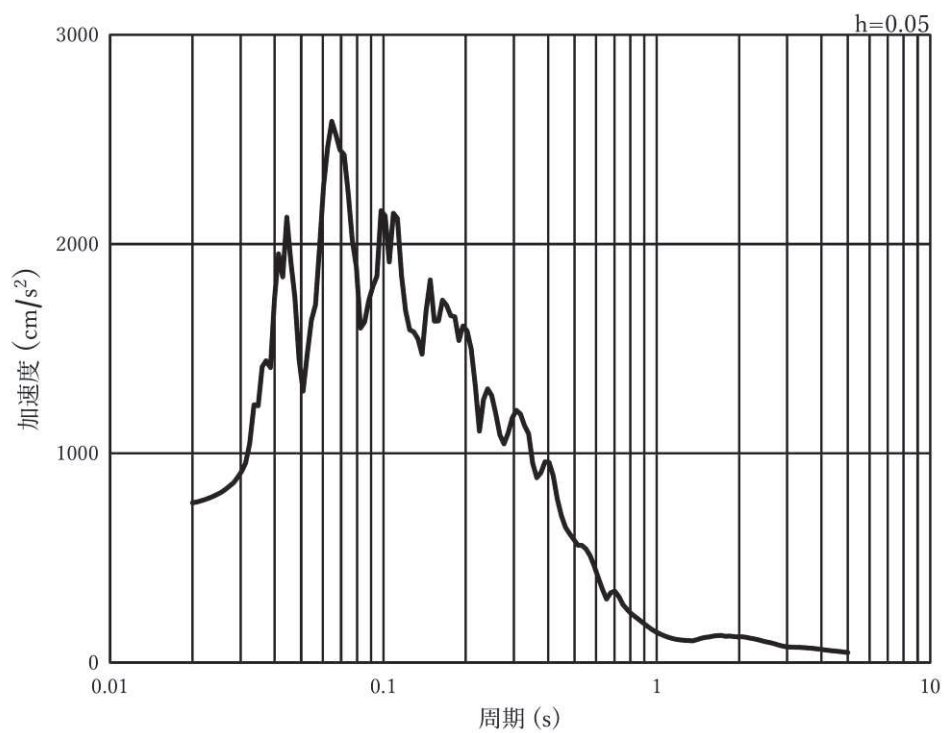


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②



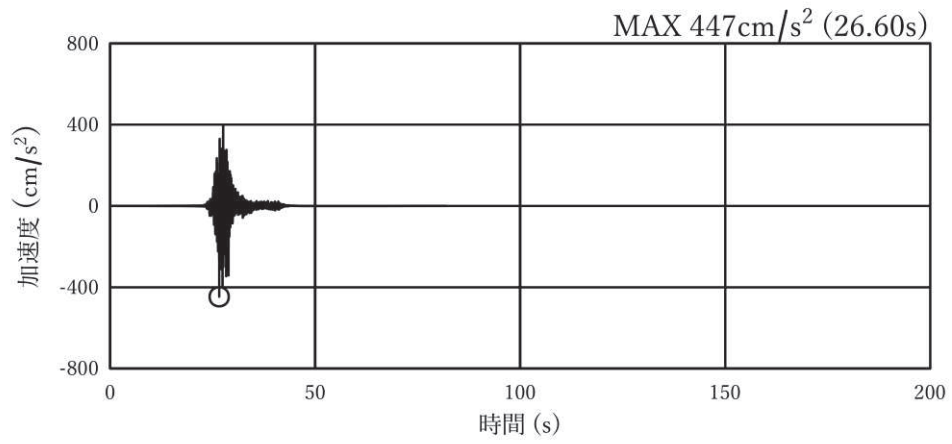
(a) 加速度時刻歴波形



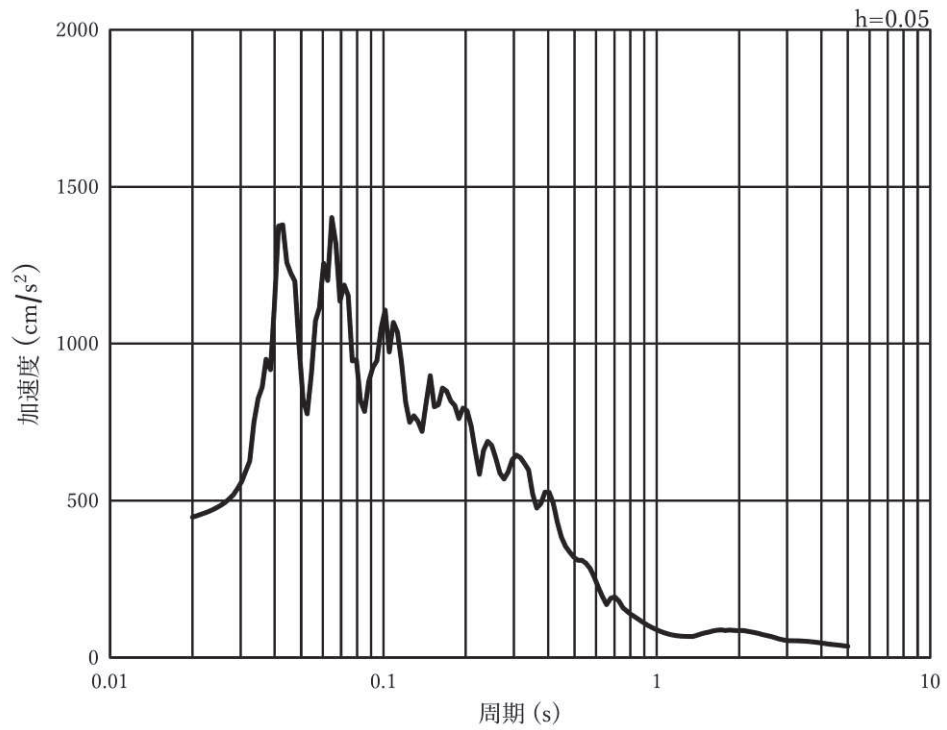
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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), 断面①, ②



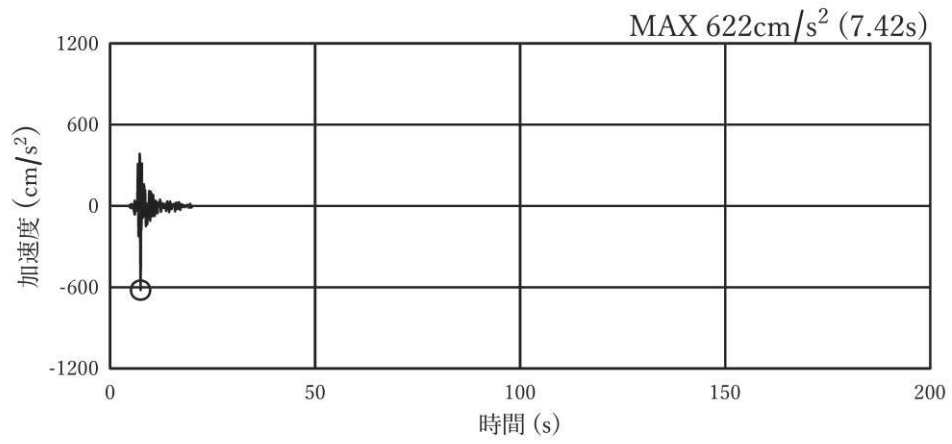


(a) 加速度時刻歴波形

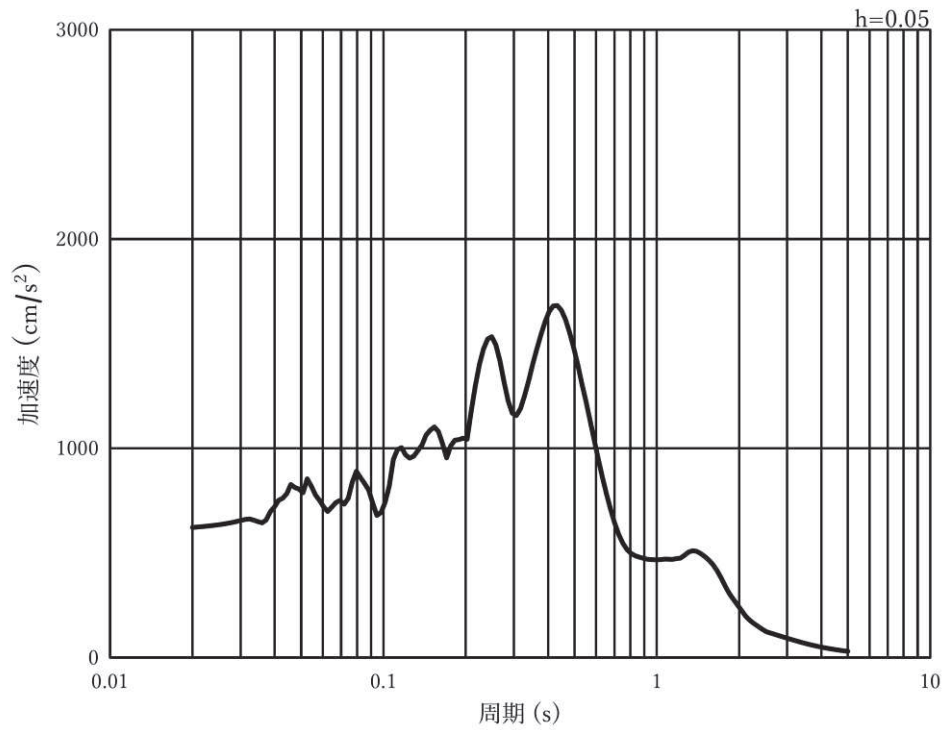


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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), 断面①, ②

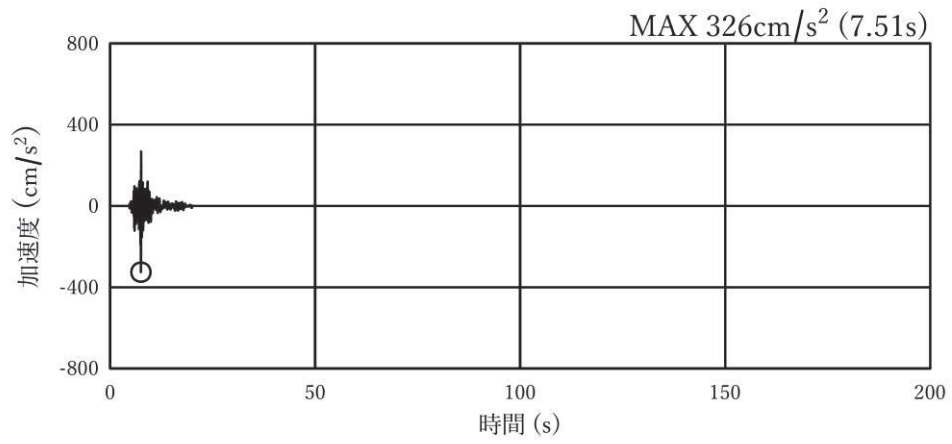


(a) 加速度時刻歴波形

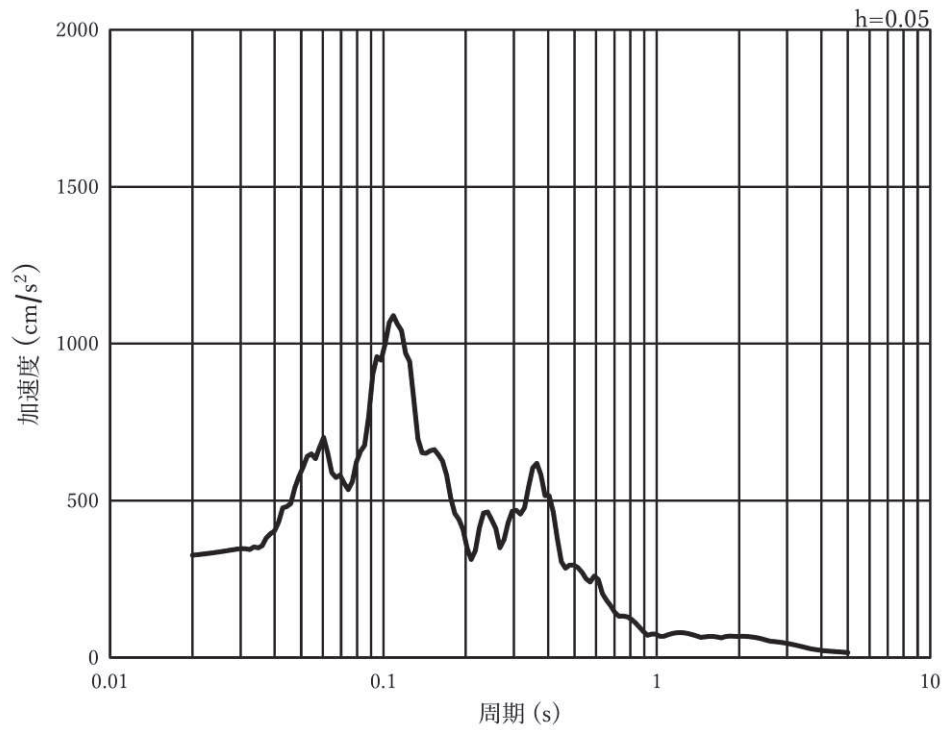


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②

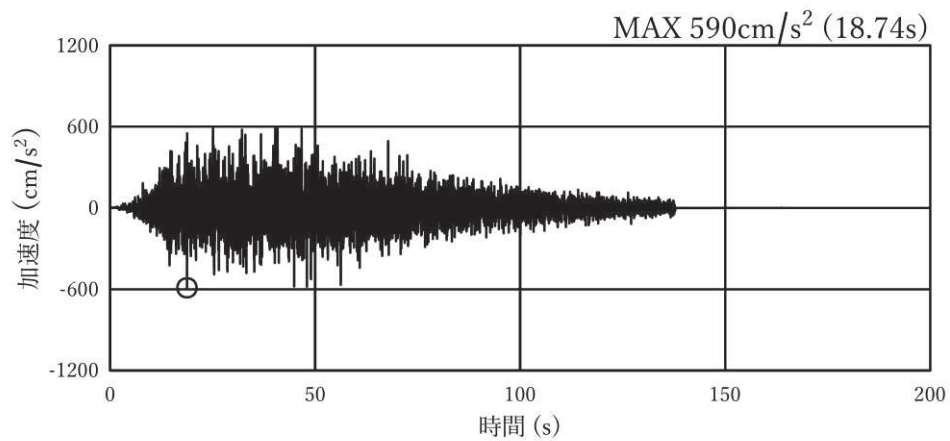


(a) 加速度時刻歴波形

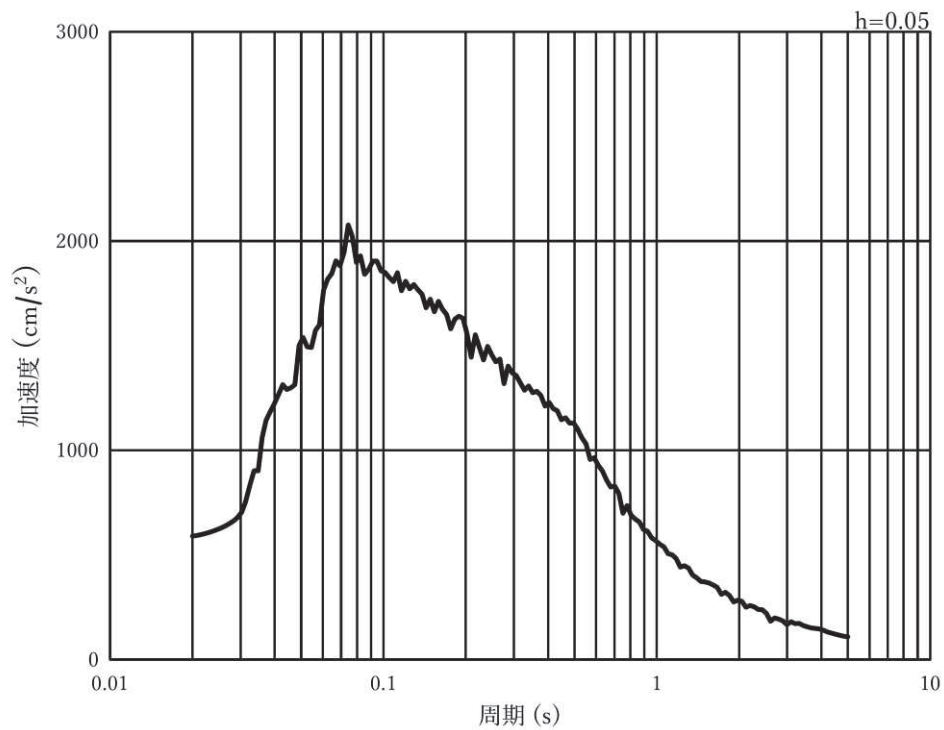


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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)，断面①，②

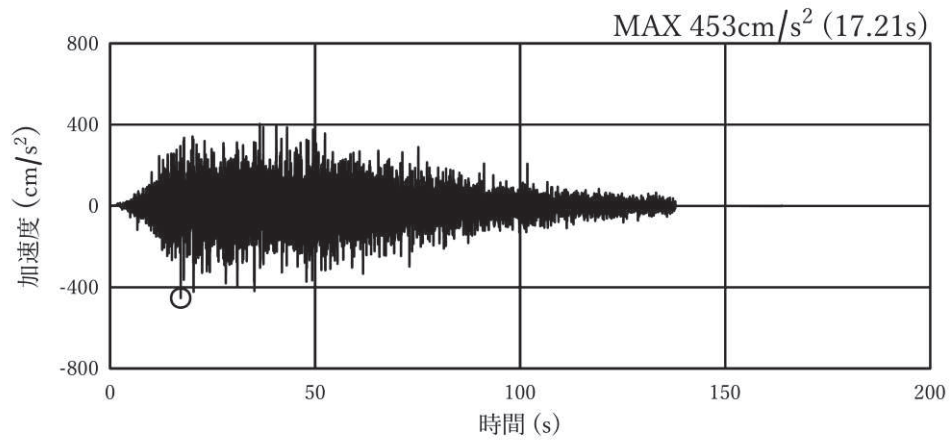


(a) 加速度時刻歴波形

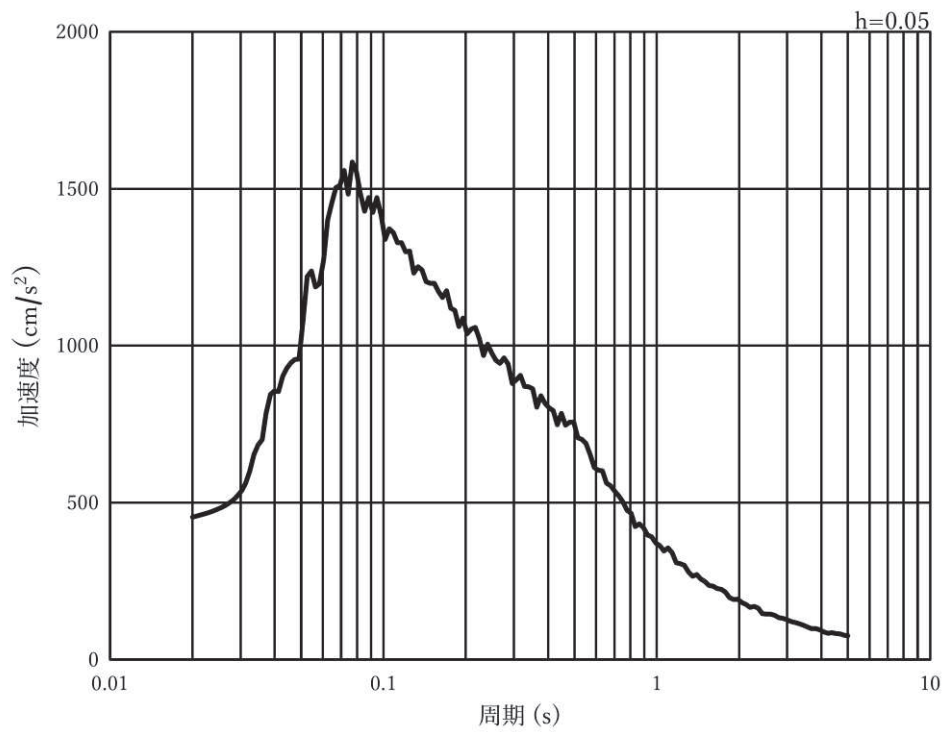


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(水平方向：S s - D 1)，断面③，④，⑤

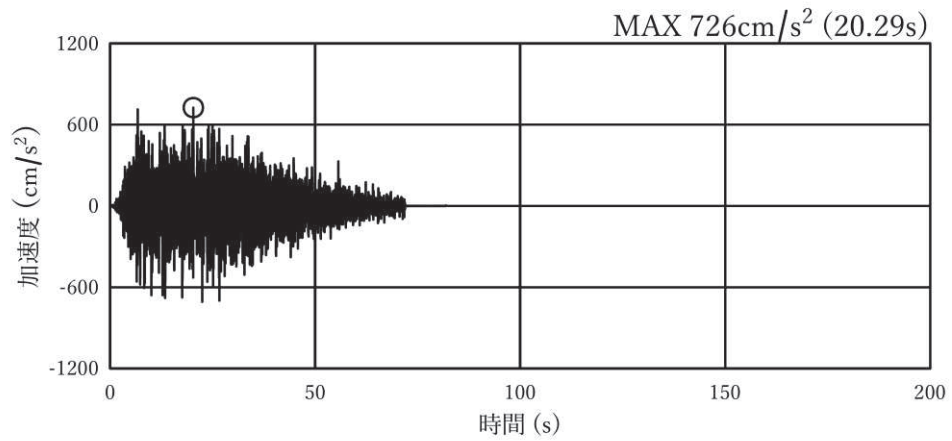


(a) 加速度時刻歴波形

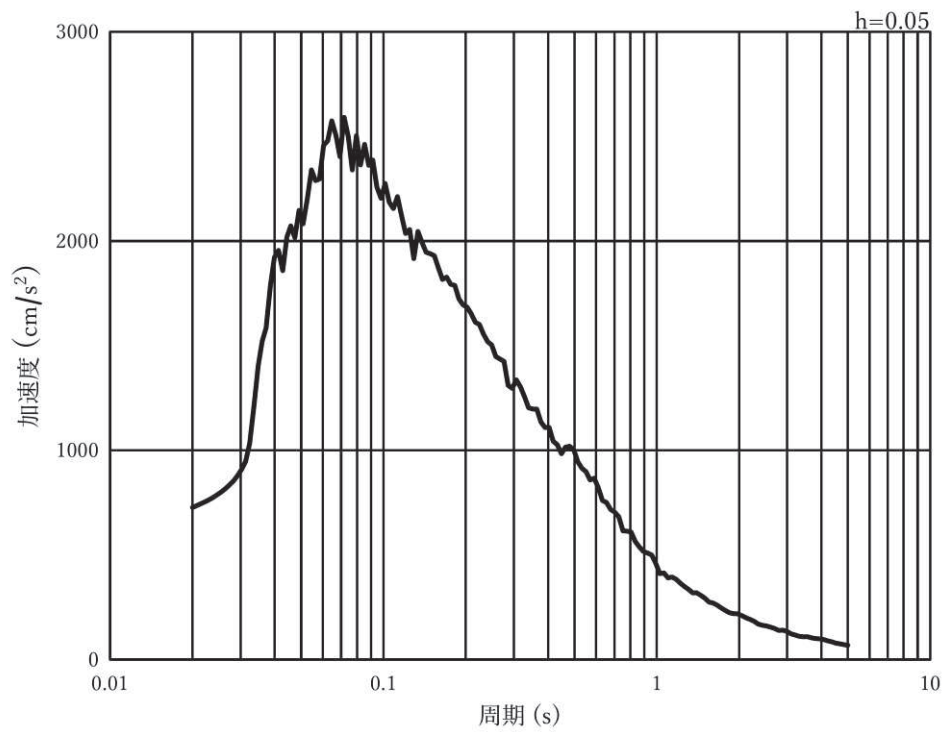


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(鉛直方向：S s - D 1)，断面③，④，⑤

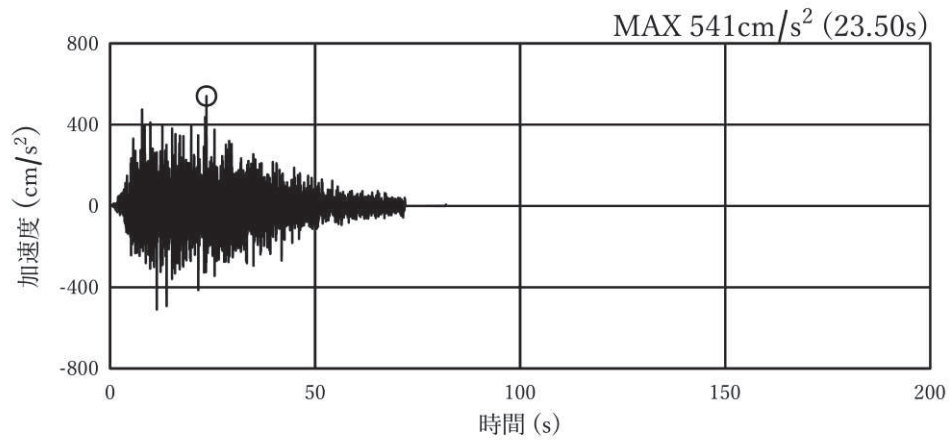


(a) 加速度時刻歴波形

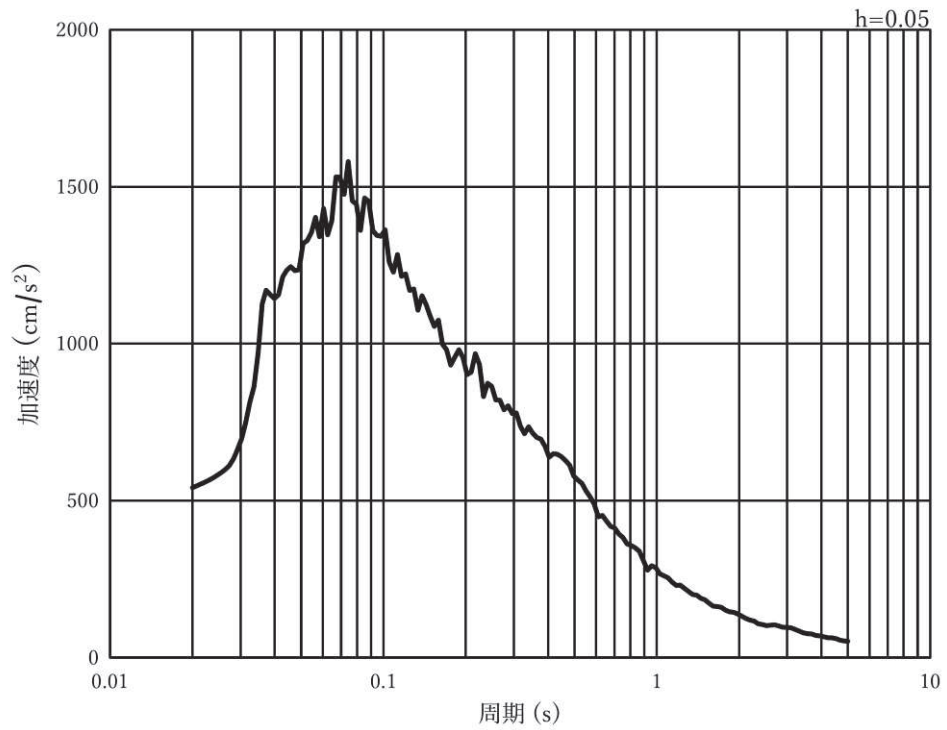


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(水平方向：S s - D 2)，断面③，④，⑤

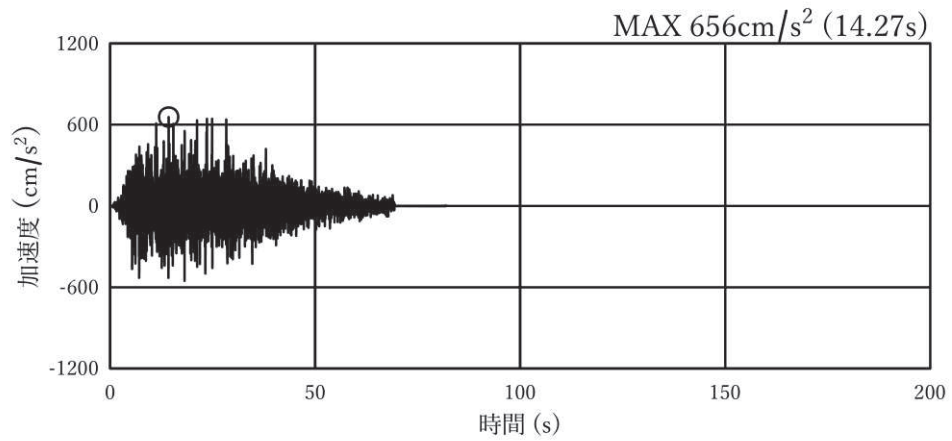


(a) 加速度時刻歴波形

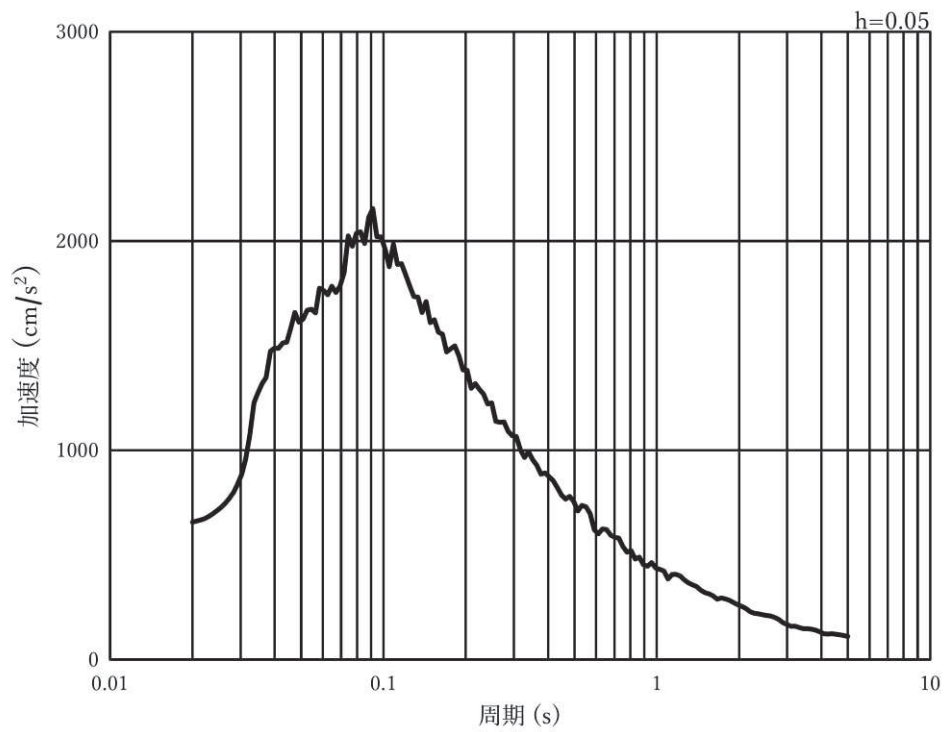


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(鉛直方向：S s - D 2)，断面③，④，⑤



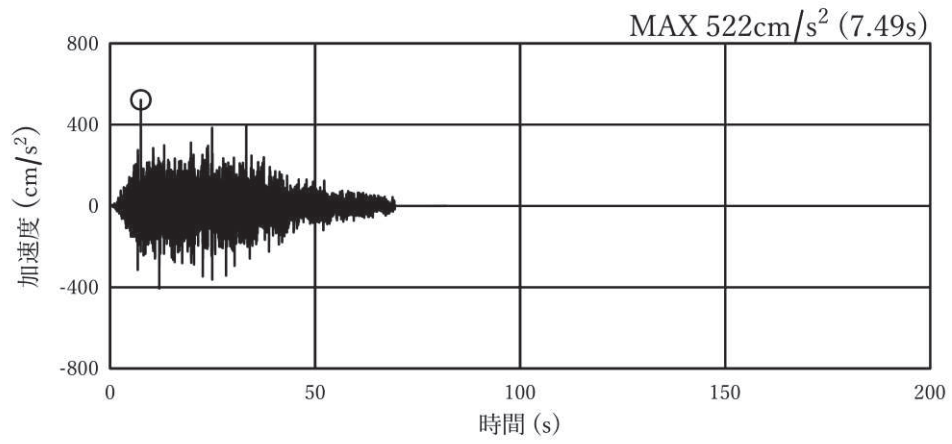
(a) 加速度時刻歴波形



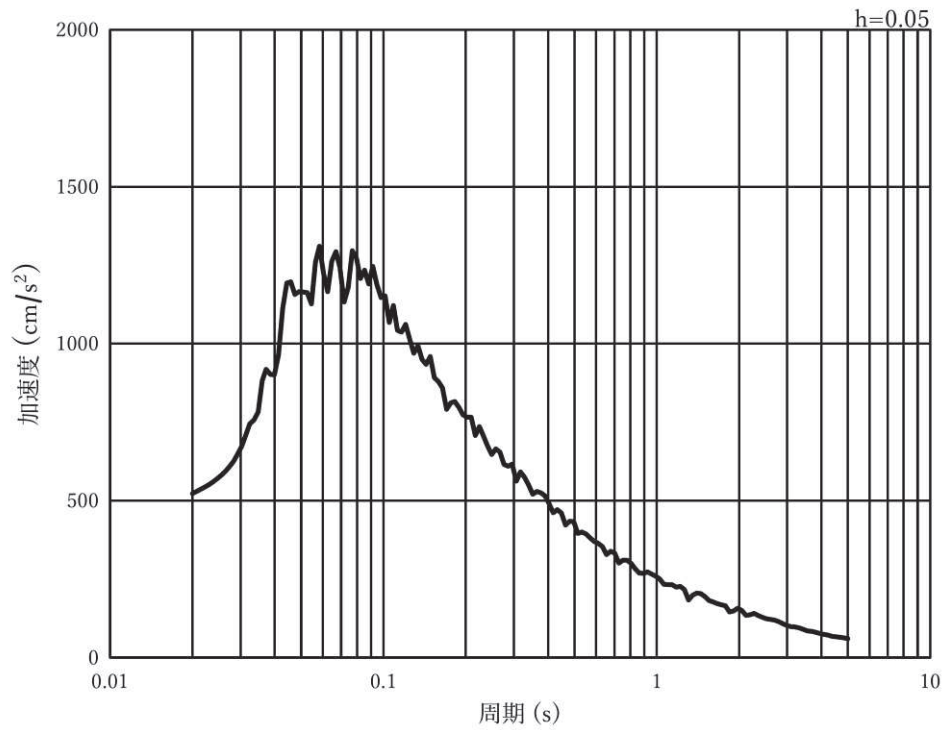
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(水平方向 : S s - D 3), 断面③, ④, ⑤



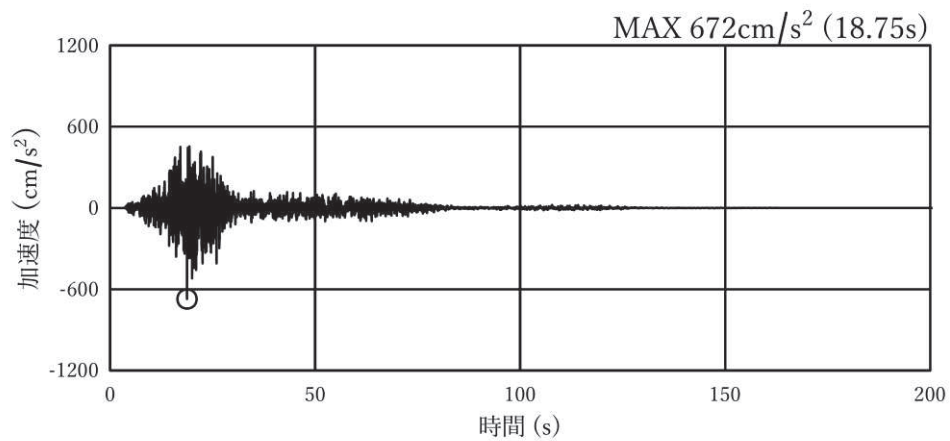


(a) 加速度時刻歴波形

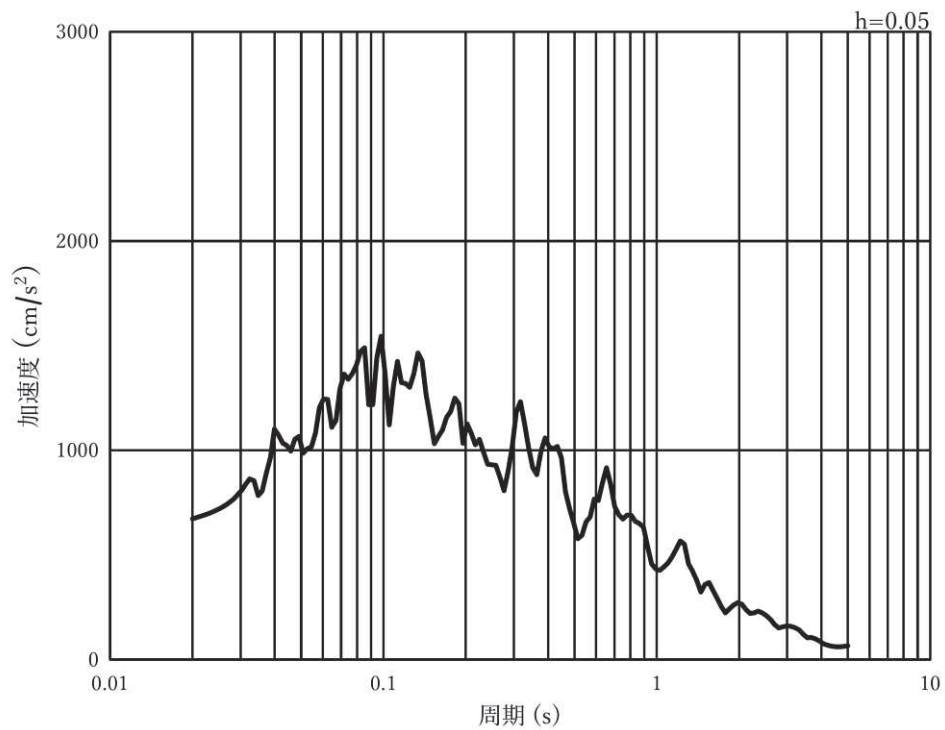


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(鉛直方向：S s - D 3)，断面③，④，⑤

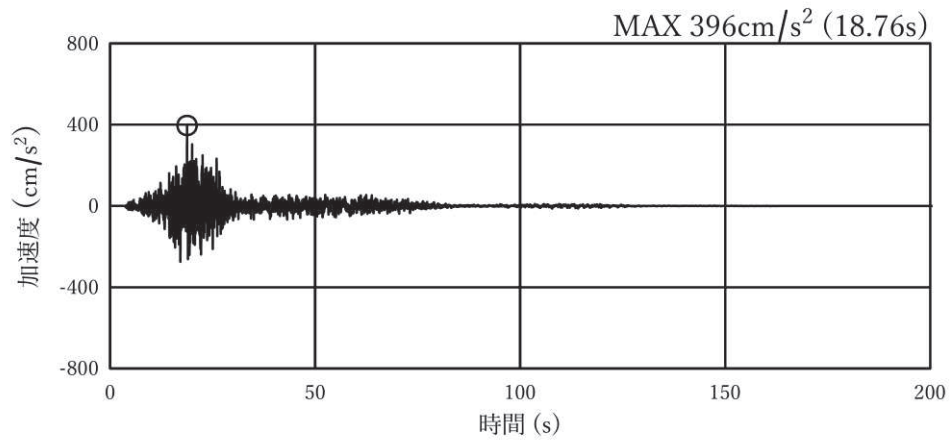


(a) 加速度時刻歴波形

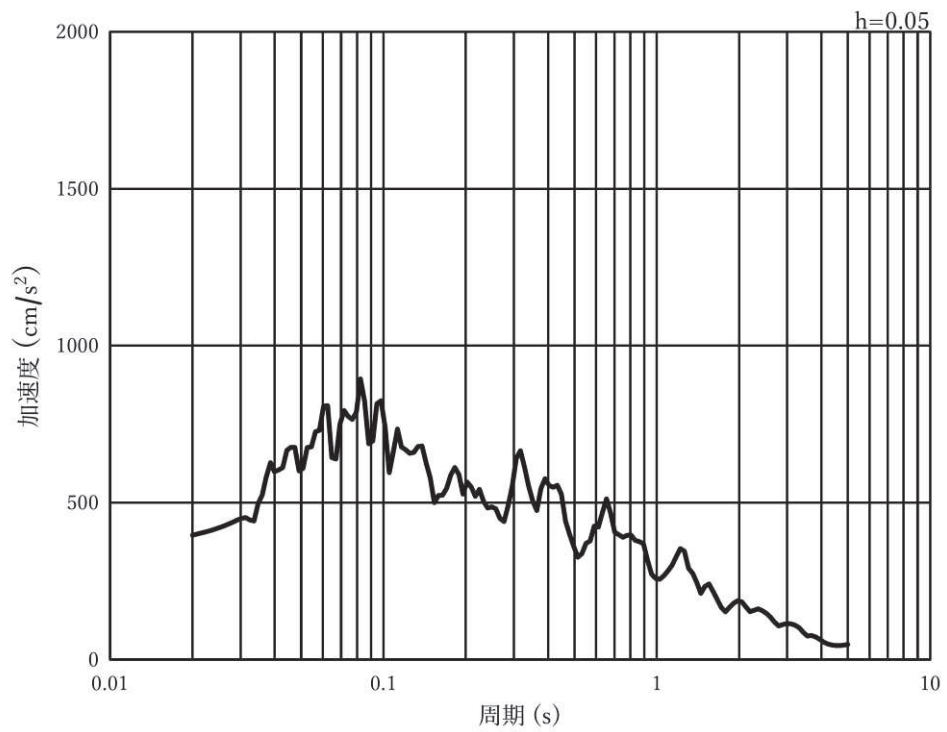


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(水平方向：S s - F 1)，断面③，④，⑤

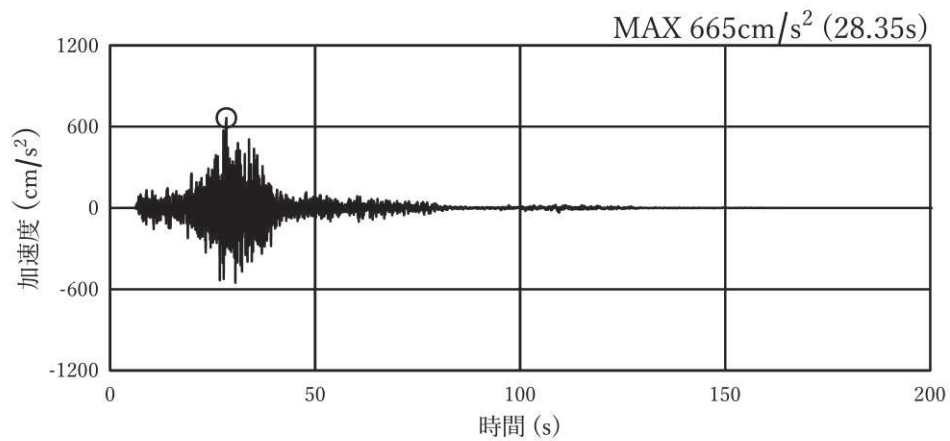


(a) 加速度時刻歴波形

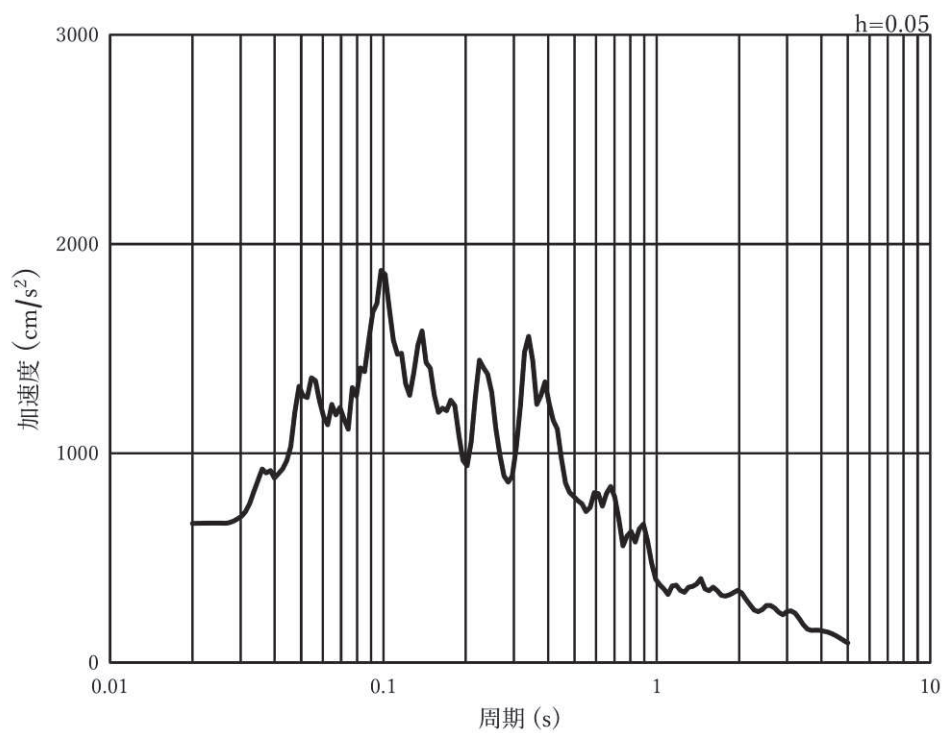


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(鉛直方向：S s - F 1)，断面③，④，⑤

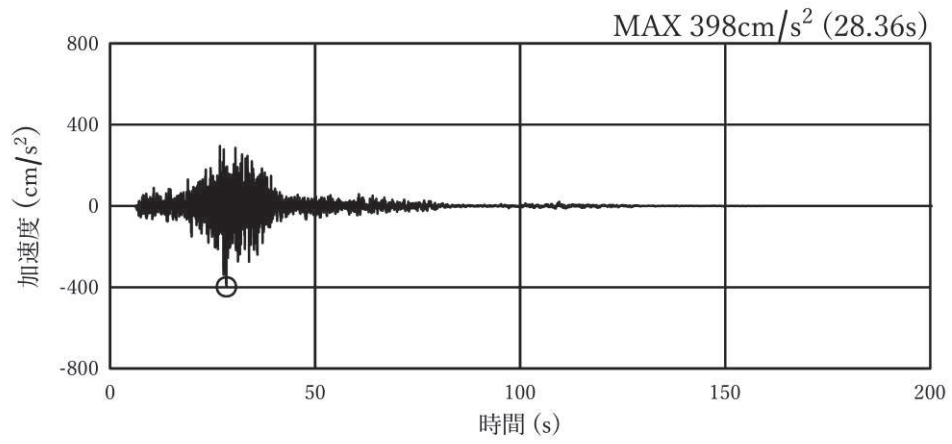


(a) 加速度時刻歴波形

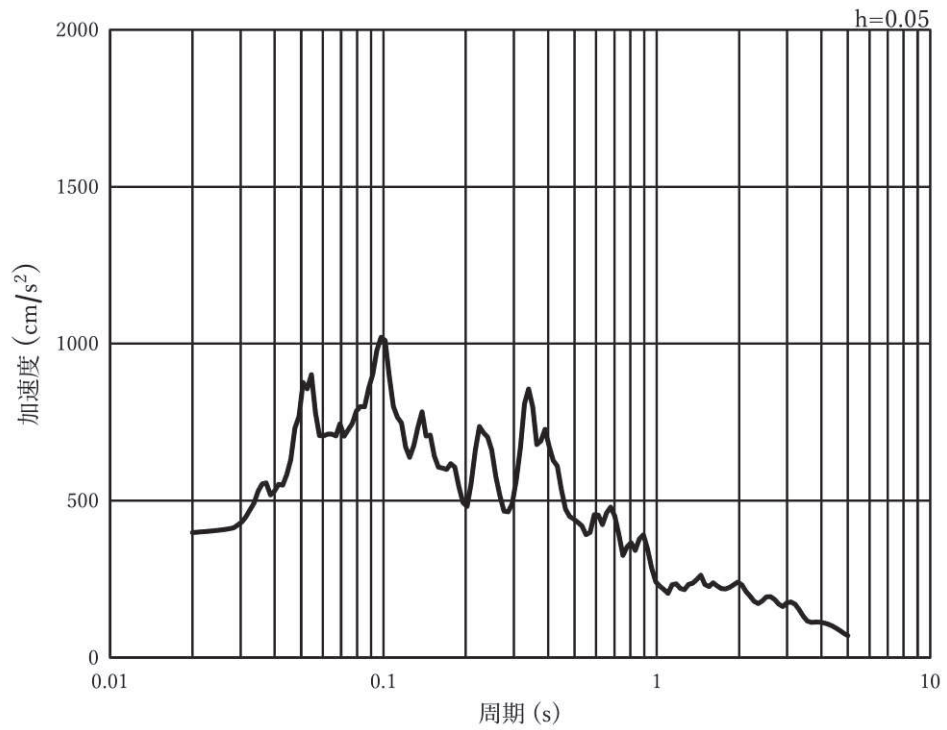


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(水平方向：S s - F 2)，断面③，④，⑤

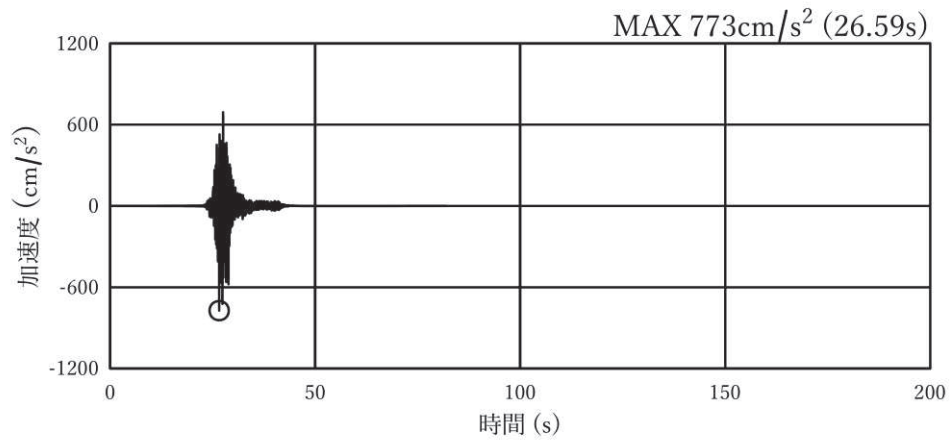


(a) 加速度時刻歴波形

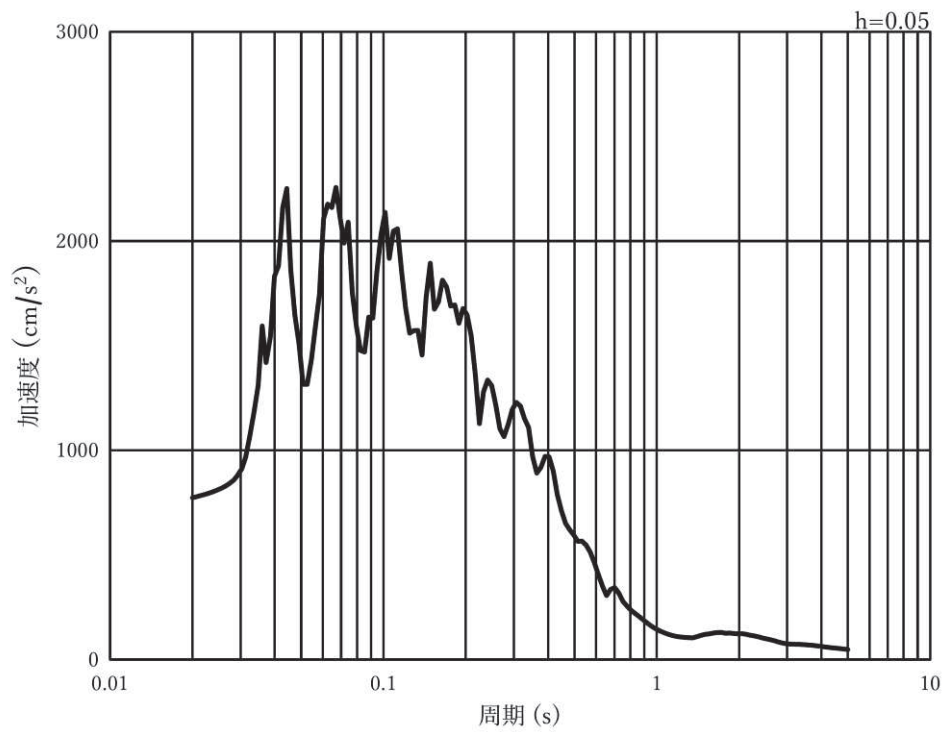


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(鉛直方向：S s - F 2)，断面③，④，⑤

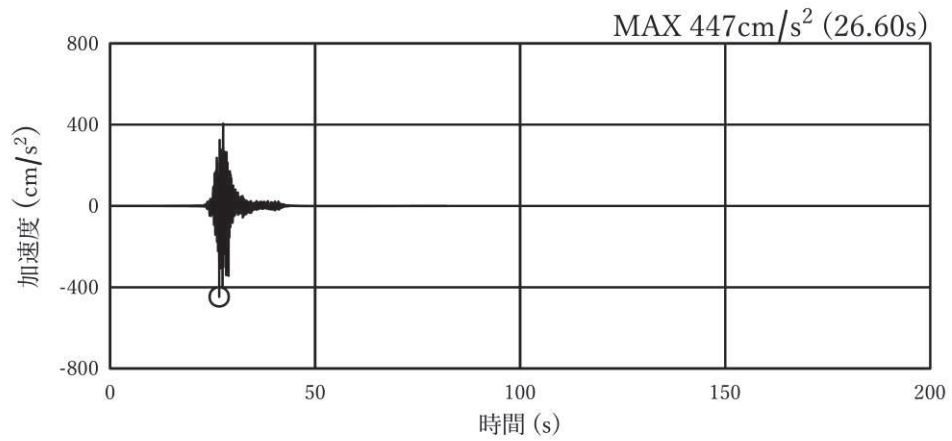


(a) 加速度時刻歴波形

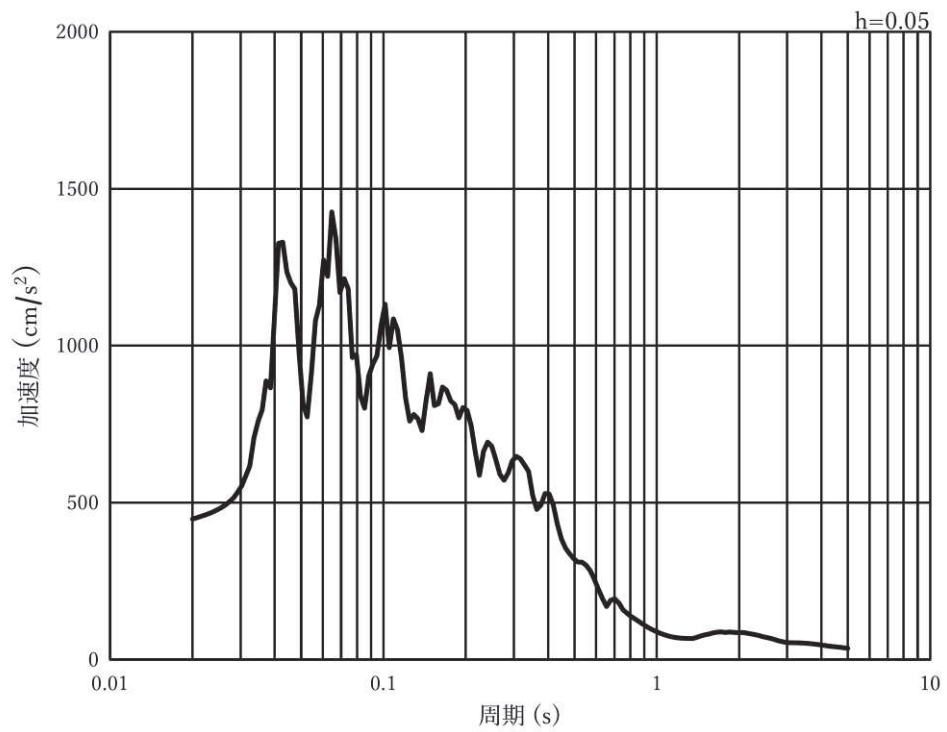


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(水平方向：S s - F 3)，断面③，④，⑤

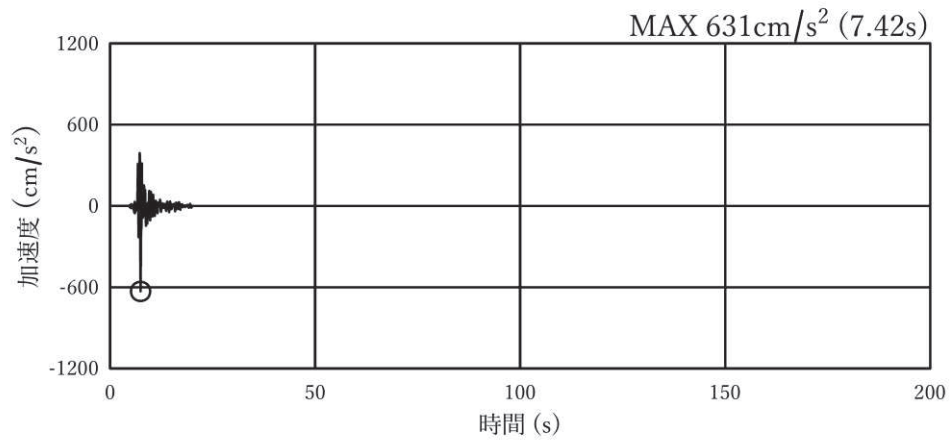


(a) 加速度時刻歴波形

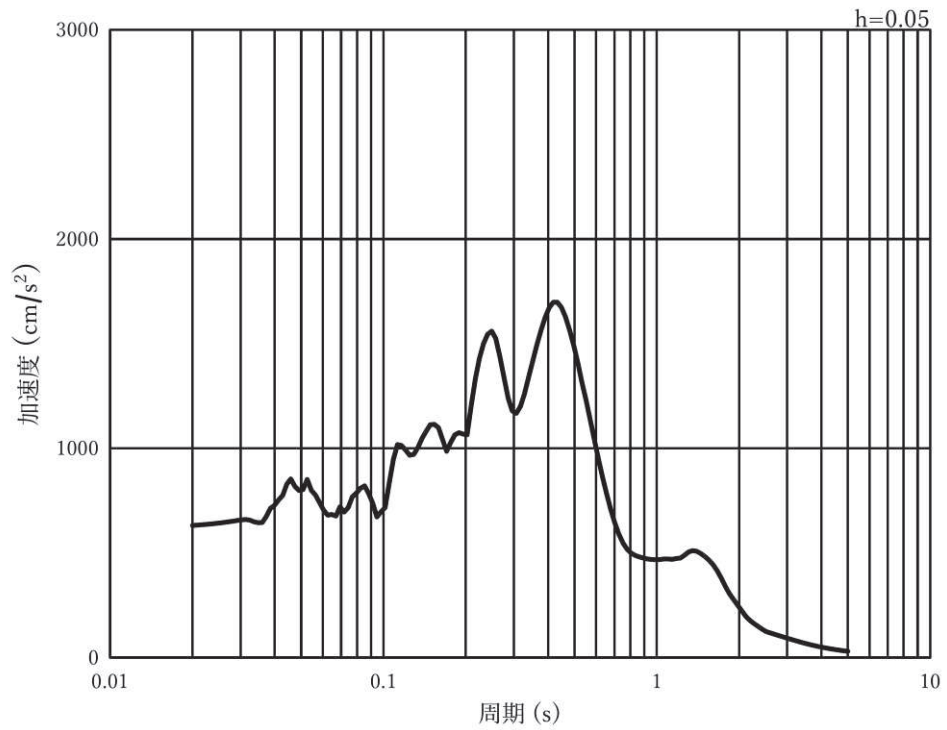


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(鉛直方向：S s - F 3)，断面③，④，⑤



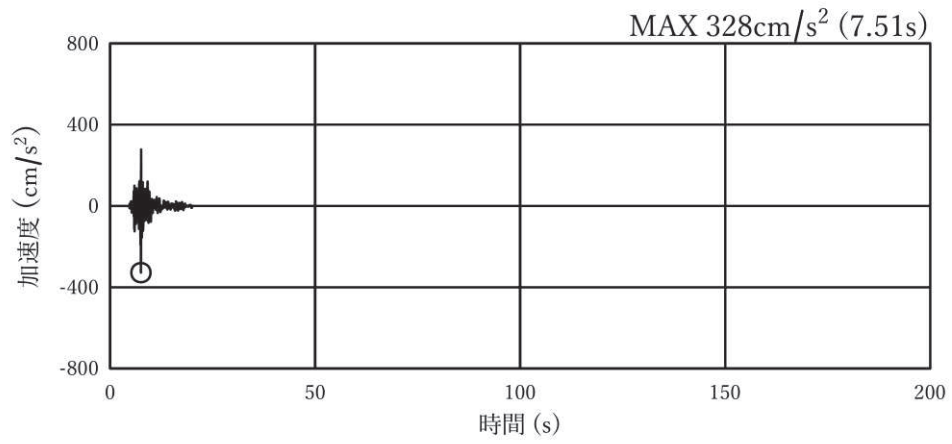
(a) 加速度時刻歴波形



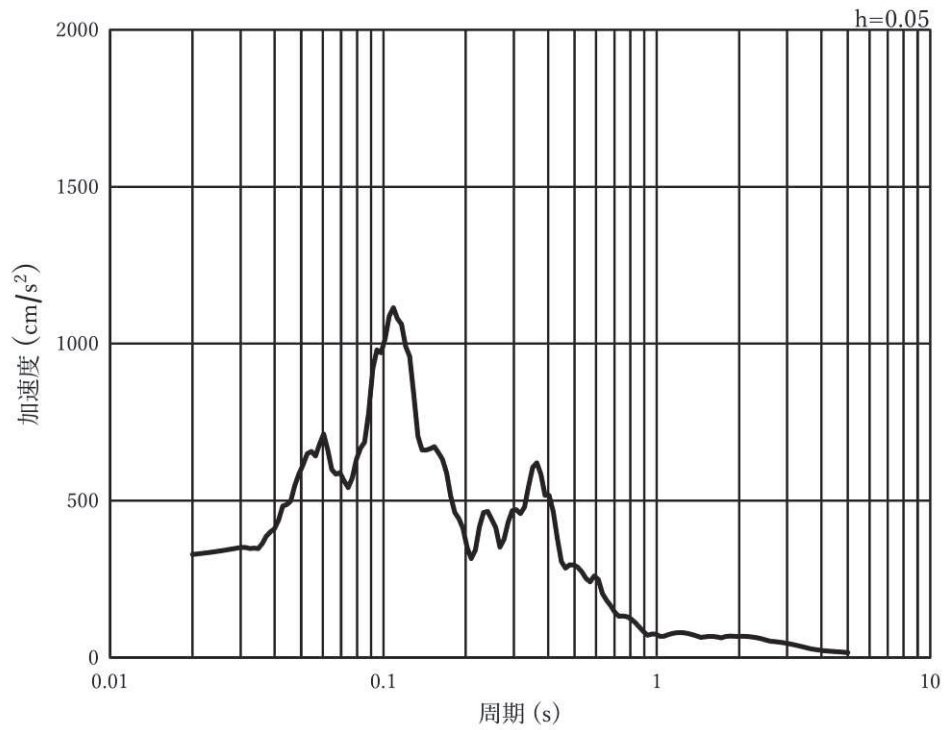
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(水平方向：S s - N 1)，断面③，④，⑤





(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(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  
(鉛直方向：S s - N 1)，断面③，④，⑤

e. ヒューム管の設計用震度の算定

各評価対象断面位置における最大鉛直震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 ヒューム管位置の最大鉛直震度

号機	断面		地震動	解析ケース	鉛直震度 ( $k_v$ )
第 2 号機	①	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース②	0.43
		外圧強さ : 2 種			
第 2 号機	②	管径 : $\phi 1050\text{mm}$	S s - D 1	ケース②	0.44
		外圧強さ : 3 種			
第 3 号機	③	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース②	0.43
		外圧強さ : 2 種			
	④	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース③	0.44
外圧強さ : 3 種					
⑤	管径 : $\phi 800\text{mm}$	S s - D 1	ケース③	0.44	
	外圧強さ : 2 種				

(2) 鋼管

a. 鋼管の評価に用いる応力

基礎地盤安定性評価結果を参照し, 図 3-3 に示す抽出対象範囲より主応力(最大圧縮応力)が最大となる地盤要素の応力(水平応力  $\sigma_x$ , 鉛直応力  $\sigma_y$  及びせん断応力  $\tau_{xy}$ )を抽出する。鋼管評価においては, 基礎地盤安定解析より抽出した地震時増分応力を保守的に 1.5 倍した応力を用いる。評価に用いる応力を表 3-5 に示す。

表 3-5 鋼管の評価に用いる応力

地震動	$\sigma_x^*$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$\sigma_y^*$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$\tau_{xy}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
S s - N 1	-2.13	-5.35	0.33

注記\* : 引張を正として示す

### 3.4 許容限界

#### 3.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

##### (1) ヒューム管

応力解析による評価に用いるヒューム管のひび割れ保証モーメントは、下水道耐震指針より次式で算定する。各断面・材料のひび割れ保証モーメントを表 3-6 に示す。

$$M_c = 0.318 \cdot P_c \cdot r + 0.239 \cdot W \cdot r \dots \dots \dots (3-1)$$

$M_c$  : ひび割れ保証モーメント (kN・m)

$P_c$  : ひび割れ荷重 (kN/m)

$W$  : 管きよの自重 (kN/m)

$r$  : 管きよの管厚中心半径 (m)

表 3-6 ヒューム管のひび割れ保証モーメント

管径 (mm)	外圧 強さ*1	ひび割れ荷重 $P_c$ (kN/m)	自重 $W$ (kN/m)	管厚中心半径*2 $r$ (m)	ひび割れ保証 モーメント $M_c$ (kN・m)
φ 500	2 種	205.5	4.5	0.300	19.6
φ 500	3 種	284.3	4.5	0.300	27.0
φ 800	2 種	393.5	13.4	0.491	61.9
φ 1050	3 種	332.9	15.6	0.610	65.6

注記\*1 : 外圧強さの分類は「技術資料ヒューム管設計施工要覧 (日本ヒューム管協会, 平成 21 年 7 月)」による。

\*2 : 管芯から管厚の中心までの半径を示す。

##### (2) 鋼管

応力解析による評価に用いる鋼管の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 鋼材の許容応力度及び短期許容応力度

鋼材の種類	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
SM570* <sup>1</sup> (t ≤ 40mm)	許容引張応力度	255	382.5

注記\* 1 : 鋼管の使用材料はSM570相当以上とする

\* 2 : 「道路橋示方書 ( I 共通編・II 鋼橋編) ・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月)」により鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割り増しを考慮する。

### 3.4.2 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 3-8 に示す。

表 3-8 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 <sup>*1</sup>	13.7
	牧の浜部層 <sup>*1</sup>	11.4
	C <sub>L</sub> 級	1.8 <sup>*2</sup>

注記\*1：C<sub>M</sub>級岩盤以上の岩盤が対象

\*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき，一軸圧縮強度に応じた最大地盤反力度の上限値より設定する。

### 3.5 応力解析による評価方法

#### 3.5.1 構造部材の健全性に対する評価方法

##### (1) ヒューム管

「3.3.1 解析方法」に基づき，評価を実施する。ヒューム管の諸元及び物性値を表 3-9 に示す。

解析コードには，「FRAME(面内) Ver5.0.7」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。

表 3-9 ヒューム管の諸元及び物性値

管径 (mm)	外圧 強さ <sup>*1</sup>	管厚 (mm)	管厚中心半径 <sup>*2</sup> (mm)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )
φ 500	2 種	100	300	24.0	3.3×10 <sup>4</sup>
φ 500	3 種	100	300	24.0	3.3×10 <sup>4</sup>
φ 800	2 種	182	491	24.0	3.3×10 <sup>4</sup>
φ 1050	3 種	170	610	24.0	3.3×10 <sup>4</sup>

注記\*1：外圧強さの分類は「技術資料ヒューム管設計施工要覧（日本ヒューム管協会，平成 21 年 7 月）」による。

\*2：管芯から管厚の中心までの半径を示す。



### 3.5.2 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ヒューム管及び鋼管を支持する基礎地盤とし、基礎地盤に生じる応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

なお、ヒューム管の接地圧算出においては、図 3-8 のとおり管底部の約  $120^\circ$  が基礎コンクリートに埋め込まれて設置されていることを踏まえ、ヒューム管に作用する反力を、支承角を  $120^\circ$  としたときの荷重分布幅（図 3-8 の赤線）で除して算定する。

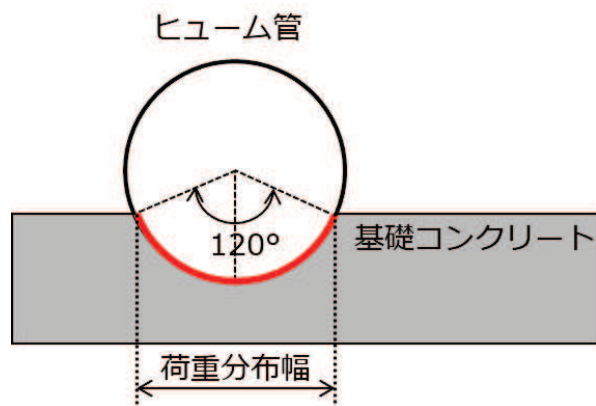


図 3-8 ヒューム管における基礎地盤の接地圧の考え方

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

###### (1) ヒューム管

ヒューム管各断面の最大曲げモーメント図を図 4-1 に、最大曲げモーメントに関する照査結果を表 4-1 に示す。

以上より、発生値が許容値を超えないことを確認した。

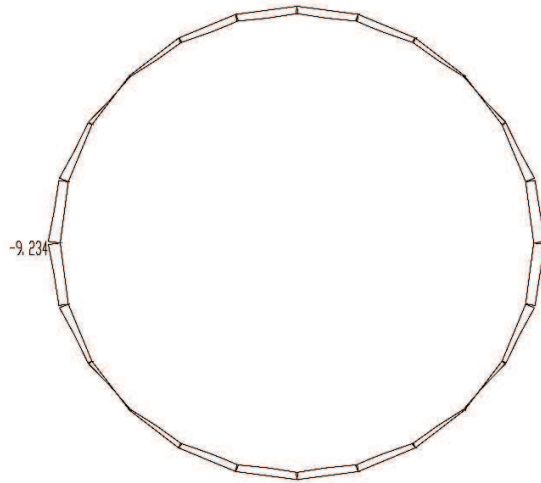


図 4-1(1) 曲げモーメント図

(断面① (φ 500mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)

(解析ケース : ケース②)

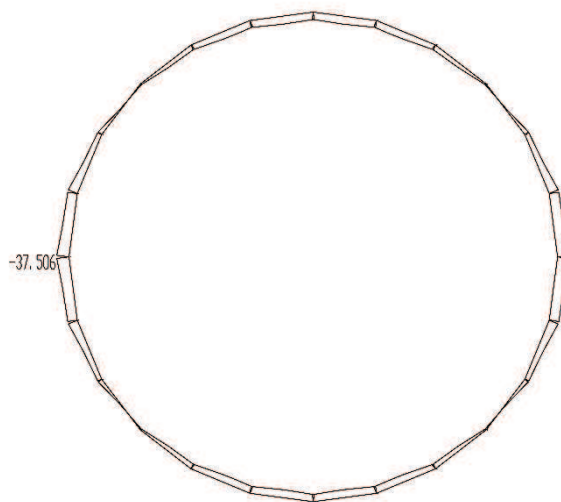


図 4-1(2) 曲げモーメント図

(断面② (φ 1050mm, 3種), S s - D 1, t = 17.25 秒)

(解析ケース : ケース②)



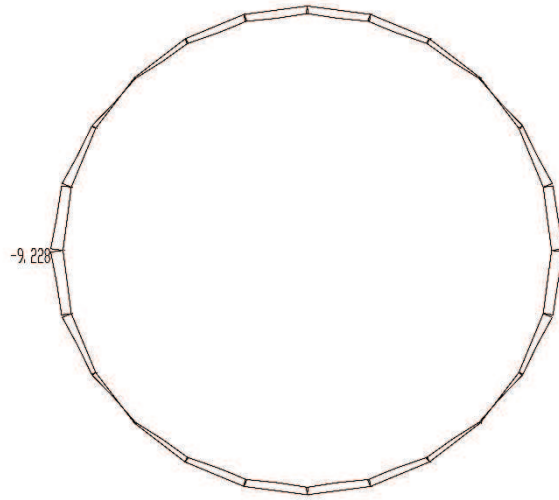


図 4-1(3) 曲げモーメント図  
(断面③ (φ 500mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)  
(解析ケース : ケース②)

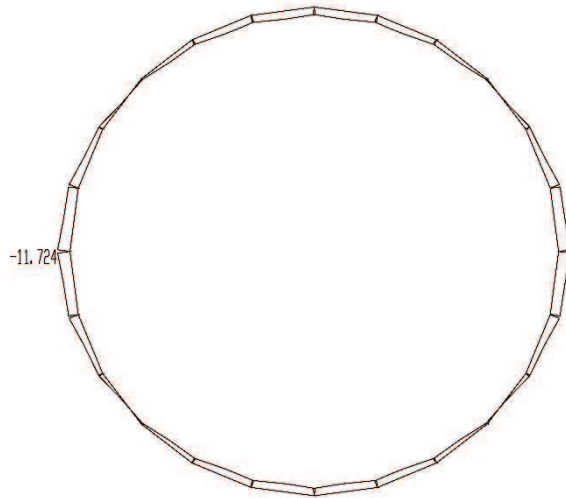


図 4-1(4) 曲げモーメント図  
(断面④ (φ 500mm, 3種), S s - D 1, t = 35.23 秒)  
(解析ケース : ケース③)

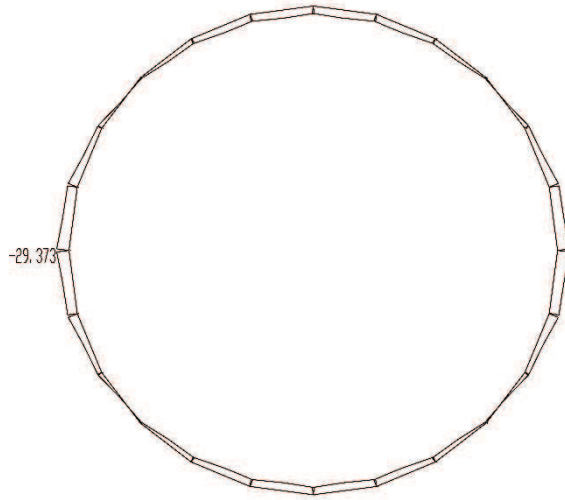


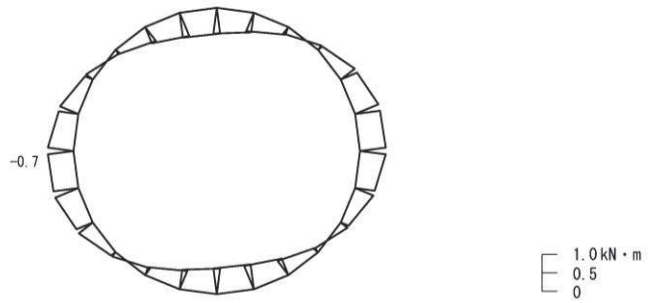
図 4-1(5) 曲げモーメント図  
(断面⑤ (φ 800mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)  
(解析ケース : ケース③)

表 4-1 ヒューム管の評価結果

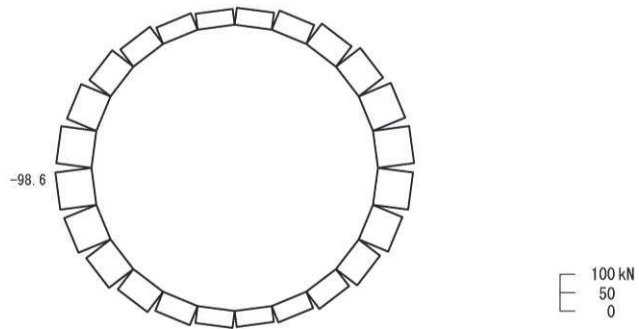
号機	断面		地震動	解析 ケース	最大曲げ モーメント M(kN・m)	ひび割れ保証 モーメント Mc(kN・m)	照査値 M/Mc
第 2 号 機	①	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース ②	9.3	19.6	0.48
		外圧強さ : 2種					
第 3 号 機	②	管径 : $\phi 1050\text{mm}$	S s - D 1	ケース ②	37.6	65.6	0.58
		外圧強さ : 3種					
第 3 号 機	③	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース ②	9.3	19.6	0.48
		外圧強さ : 2種					
第 3 号 機	④	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース ③	11.8	27.0	0.44
		外圧強さ : 3種					
第 3 号 機	⑤	管径 : $\phi 800\text{mm}$	S s - D 1	ケース ③	29.4	61.9	0.48
		外圧強さ : 2種					

(2) 鋼管

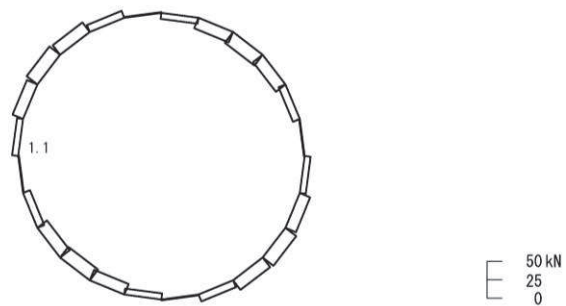
鋼管の発生主応力最大時の断面力図を図 4-2 に、照査結果を表 4-2 に示す。  
 以上より、発生値が許容値を超えないことを確認した。



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



(c) せん断力

図 4-2 鋼管の断面力図

( $S_s - N 1$ ,  $t = 7.62$  秒)

(基礎地盤安定性解析における主応力 (最大圧縮応力) 最大時刻)

表 4-2 鋼管の評価結果

地震動	解析 ケース	発生断面力*		照査用 応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) (A)	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) (B)	照査値 (A/B)
		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N1	ケース③	-0.7	-98.6	83.2	382.5	0.22

注記\*：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。

#### 4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

##### (1) ヒューム管

ヒューム管の基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-3 に示す。

ヒューム管の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能評価結果（ヒューム管）

断面	地震動	解析 ケース	最大接地圧 R <sub>a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 R <sub>u a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 R <sub>a</sub> /R <sub>u a</sub>
①	S <sub>s</sub> -D1	ケース②	1.2	13.7	0.09
②	S <sub>s</sub> -D1	ケース②	1.2	13.7	0.09
③	S <sub>s</sub> -D1	ケース②	1.2	1.8	0.67
④	S <sub>s</sub> -D1	ケース③	1.5	11.4	0.14
⑤	S <sub>s</sub> -D1	ケース③	1.4	11.4	0.13

##### (2) 鋼管

鋼管の基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-4 に示す。

鋼管の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-4 基礎地盤の支持性能評価結果（鋼管）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R <sub>a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 R <sub>u a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 R <sub>a</sub> /R <sub>u a</sub>
S <sub>s</sub> -N1	ケース③	1.9	13.7	0.14