

本資料のうち、枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

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-19-0131_改0
提出年月日	2021年5月12日

VI-2-10-2-4 取放水路流路縮小工の耐震性についての計算書

02 ② VI-2-10-2-4 R0

2021年5月

東北電力株式会社

目 次

VI-2-10-2-4-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-4-2 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-4-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）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	4
2.4 適用基準	6
3. 耐震評価	7
3.1 評価対象断面	7
3.2 解析方法	8
3.2.1 構造部材	8
3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき	8
3.2.3 減衰定数	8
3.2.4 解析ケースの選定	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	10
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	10
3.3.2 荷重	10
3.3.3 荷重の組合せ	11
3.4 入力地震動	12
3.5 解析モデル及び諸元	27
3.5.1 解析モデル	27
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	29
3.5.3 地盤の物性値	29
3.5.4 地下水位	29
3.6 評価対象部位	29
3.6.1 構造部材の健全性評価	29
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	29
3.7 許容限界	29
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	30
3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	30
3.8 評価方法	31
3.8.1 構造部材の健全性評価	31
3.8.2 基礎地盤の支持性能評価	34
4. 耐震評価結果	35
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	35
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	35

1. 概要

本資料は、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、取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析よ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。

なお、取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)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

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の位置図を図2-1に示す。

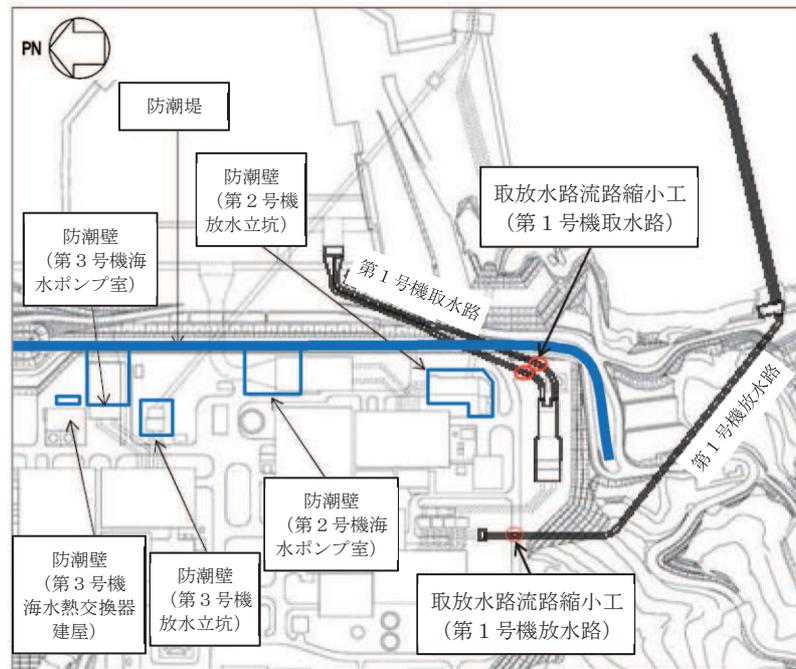


図2-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の平面図及び断面図を図2-2に示す。

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)は、第1号機取水路からの津波の流入を抑制し、第1号機取水路から敷地への津波の流入を防止するため、第1号機取水路内に無筋のコンクリートを充填する。よって、取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)は、覆工部と充填部から構成される。

なお、第1号機の補機冷却海水ポンプに必要な海水を取水するため、貫通部（×2条）を設ける。

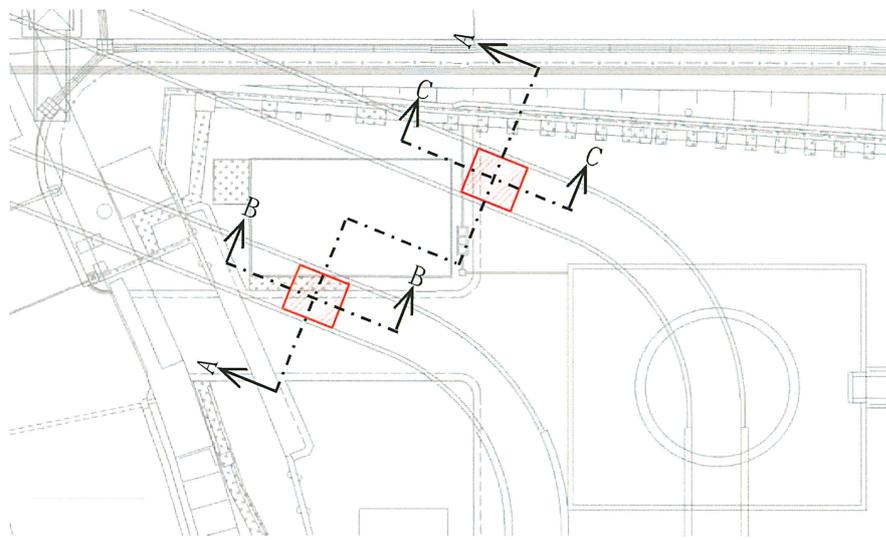


図2-2(1) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2) 平面図

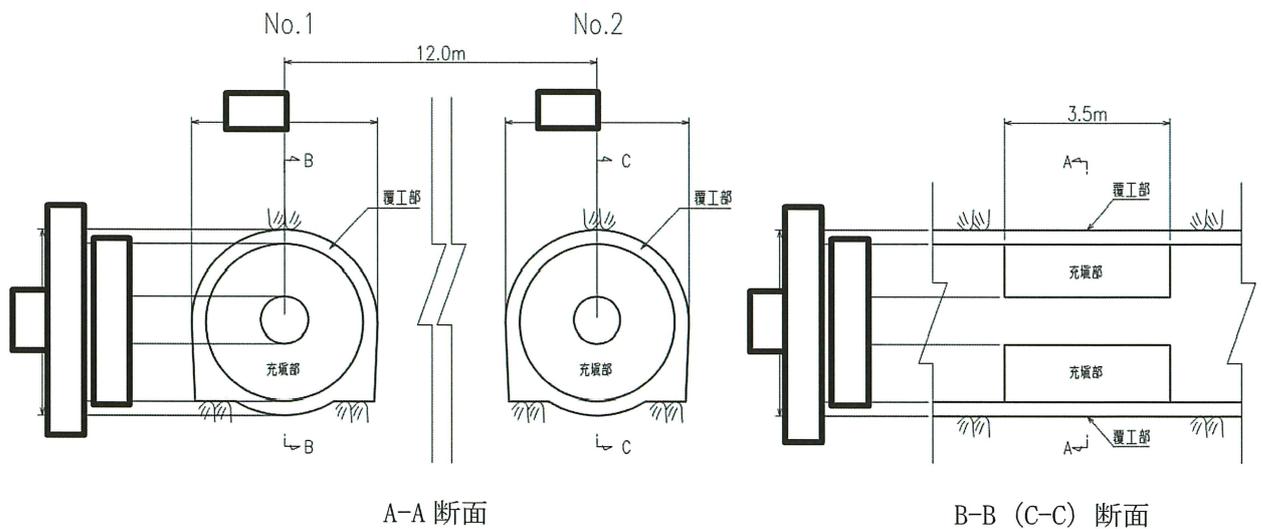


図2-2(2) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2) 断面図

2.3 評価方針

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、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実施することで、構造強度を有することを確認する。

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の地震応答解析においては、構造物周辺は岩盤に覆われているため、線形解析を実施する。

地震応答解析に用いる地盤物性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

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」のうち「3.1 構造強度上の制限」に基づき流路縮小工の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

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」のうち「3.1 構造強度上の制限」に基づき流路縮小工の基礎地盤に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の耐震評価フローを図2-3に示す。

表2-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)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	流路縮小工	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	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

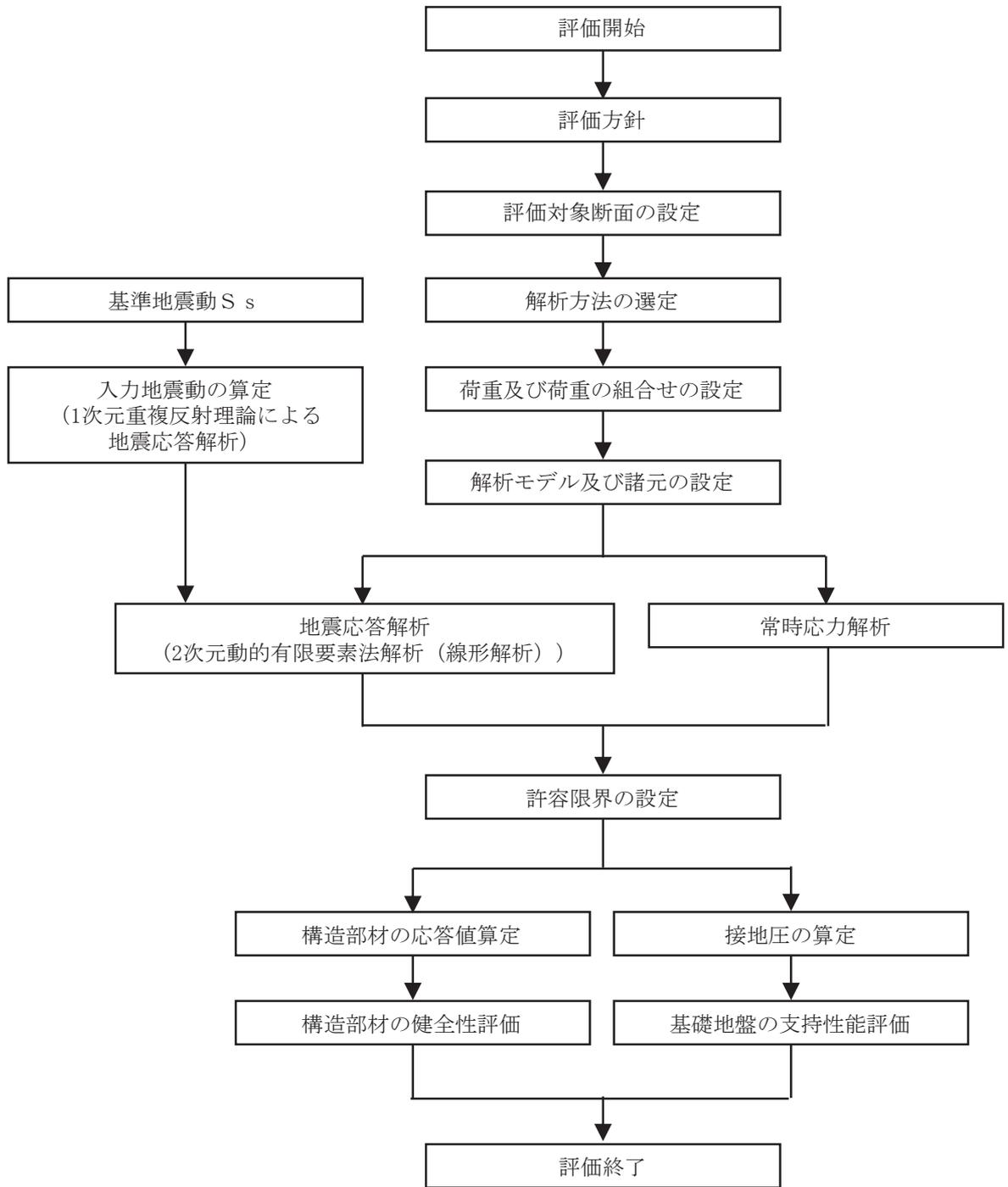


図 2-3 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会原子力土木委員会，2005年6月）（以下「土木学会マニュアル」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）
- ・コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2017年制定）
- ・コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013年制定）
- ・トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説（土木学会，2016年制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 （日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の評価対象断面位置を図3-1に示す。
 評価対象断面の地質図を図3-2に示す。

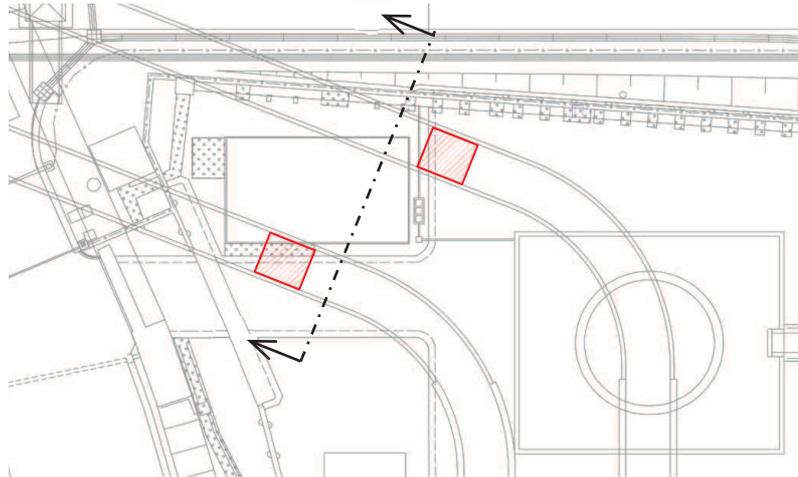


図3-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の評価対象断面位置図

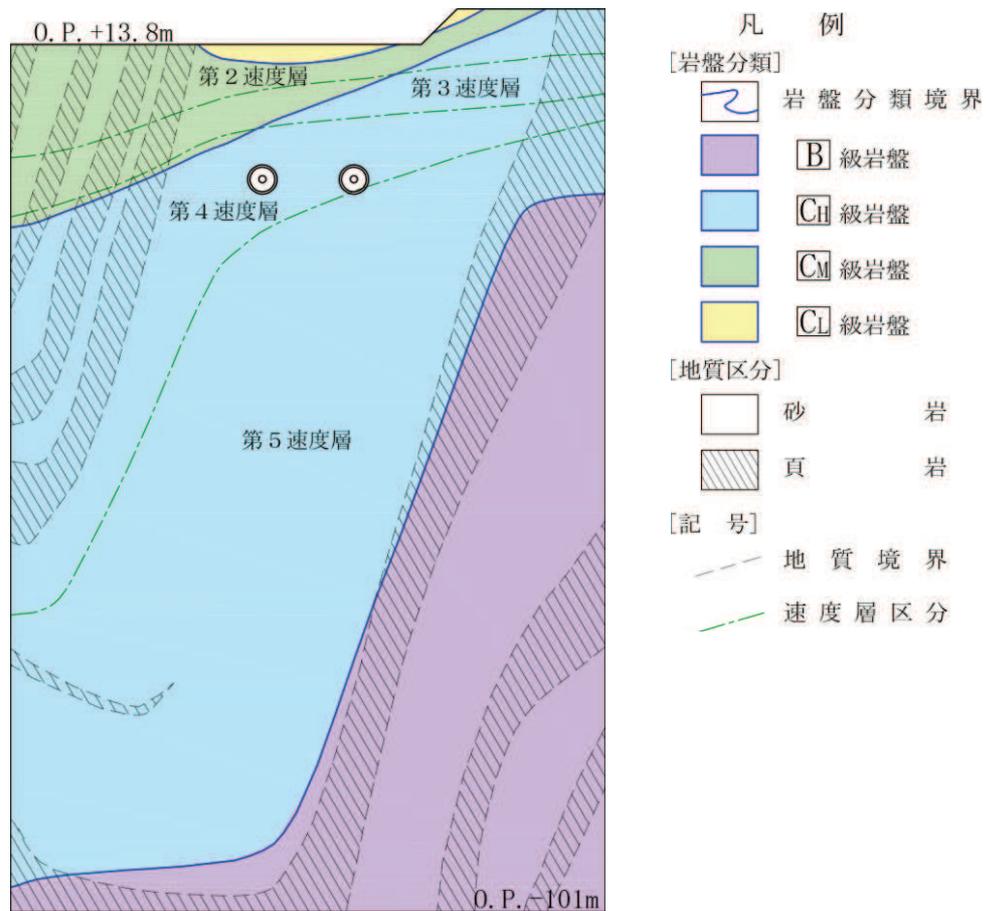


図3-2 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の評価対象断面の地質図

3.2 解析方法

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の地震応答解析は、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2次元動的有限要素法解析により、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線形解析にて行う。

常時応力解析は、解析コード「TDAPⅢ Ver. 3.10.01」、地震応答解析は、解析コード「SuperFLUSH/2D Ver. 6.1」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

流路縮小工は、流路縮小工の形状を踏まえた部材の応力を評価するため、平面ひずみ要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤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。

表3-1 耐震評価における解析ケース

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
		C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1σ

3.2.3 減衰定数

減衰定数は、流路縮小工については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3. 設計用減衰定数」に示される鉄筋コンクリートの減衰定数を、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」のうち「3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」に示される狐崎部層の減衰定数を使用する。

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、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査値が最大となる最も厳しい地震動を用いて、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 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動(位相)	S _s -D 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)において、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力の照査値が最も厳しい(許容限界に対する裕度が最も小さい)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	++*	○		
		-+*	○		

注記 * : 取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2) の耐震評価にあたっては、「土木学会マニュアル」に従い水平方向の位相反転を考慮する。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

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)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（第1号機）が停止状態にあり、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

岩盤内構造物であるため、風、並びに積雪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

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)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)

地表面に積載荷重 $4.9 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ を考慮する。

(3) 地震荷重 (S s)

基準地震動 S s による荷重を考慮する。

なお、第1号機取水路トンネルは、地山の変形が収束した後に覆工を施工する NATM 工法を用いていることから覆工に掘削解放応力が作用しているとは考えにくく考慮しない。また、当該位置の地山強度比*は十分大きいことから、地山のゆるみ土圧も荷重として考慮しない。

注記 * : 当該地点の一軸圧縮強度 ($q_u=153.0 \text{ N/mm}^2$) より地山強度比 G_n は 430 程度である。

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 (4.9kN/m²を地表面に考慮)

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

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

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

入力地震動算定の概念図を図3-3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3-4に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「ArkQuake Ver. 3.10.01」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。

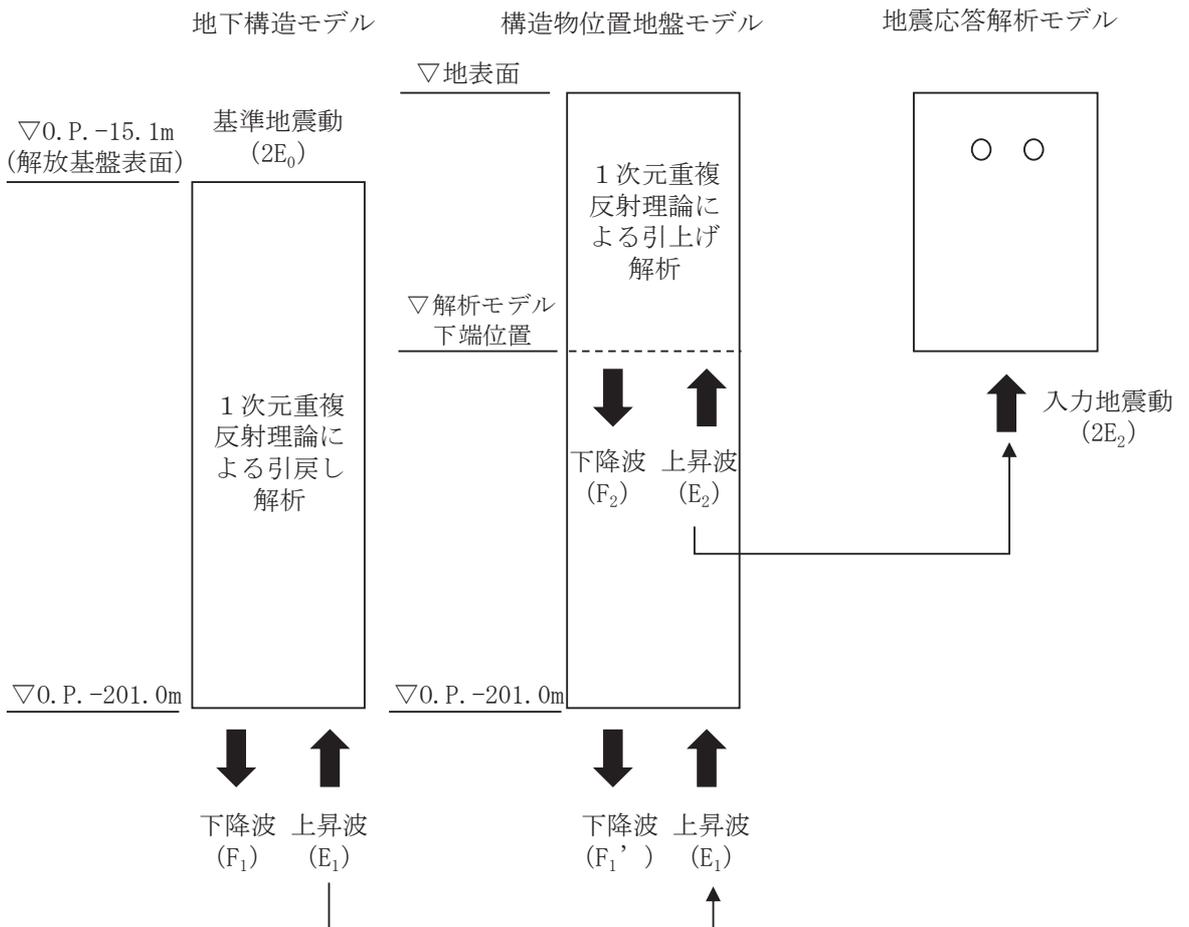
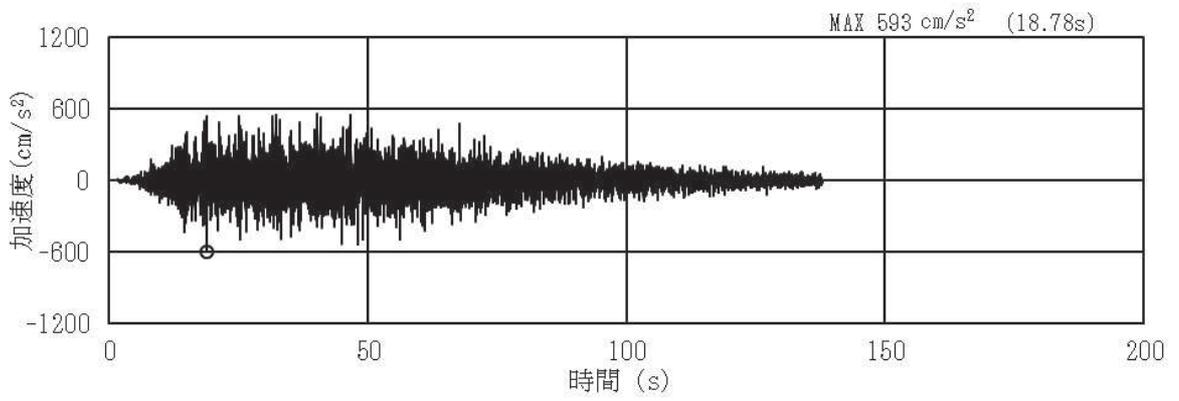
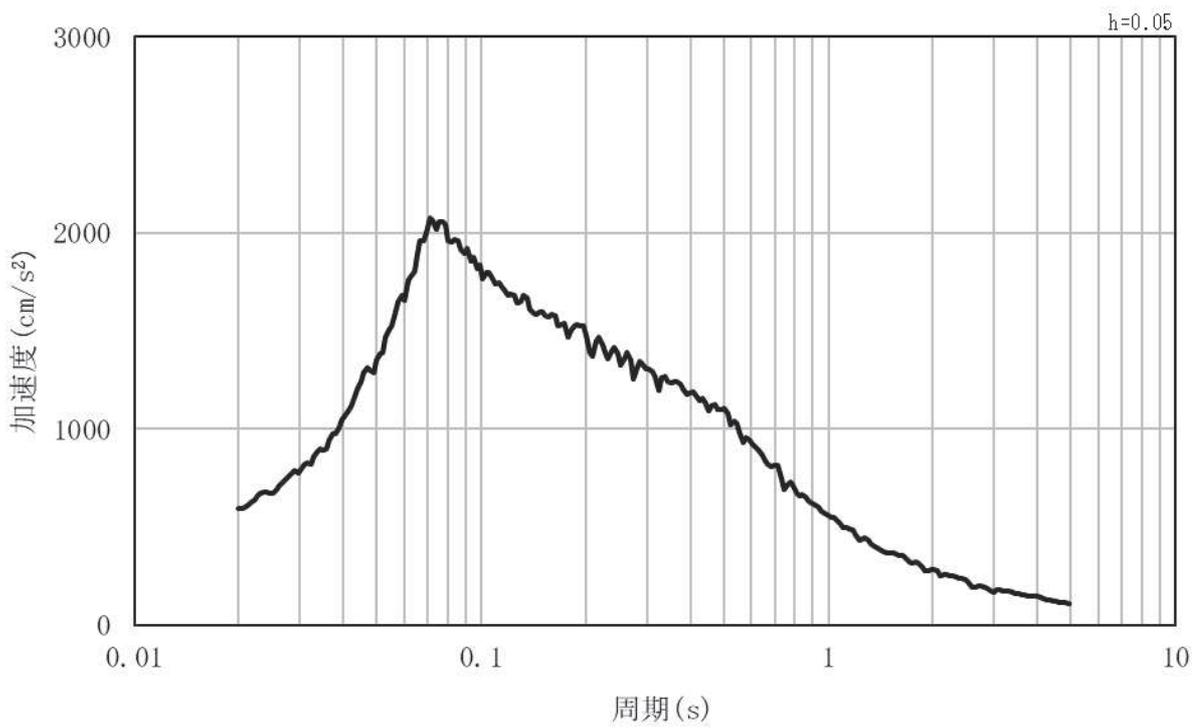


図 3-3 入力地震動算定の概念図

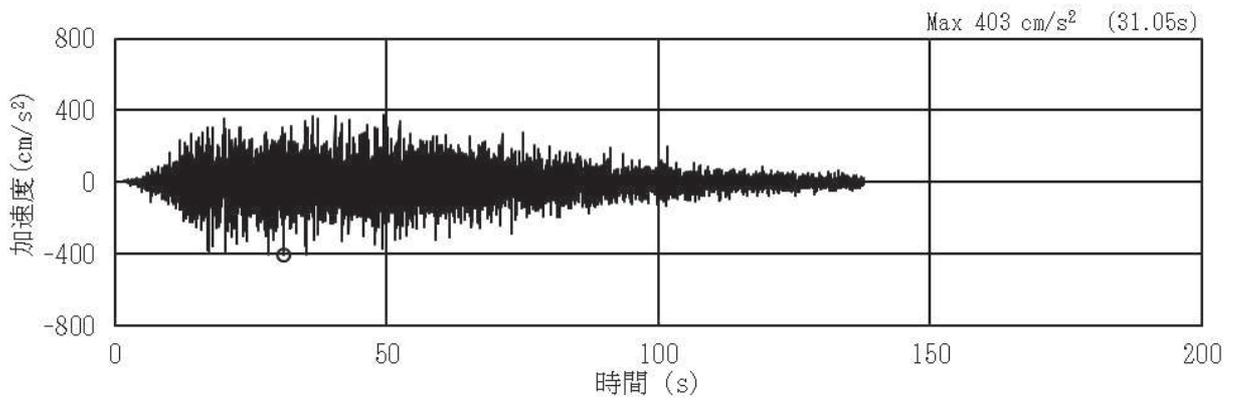


(a) 加速度時刻歴波形

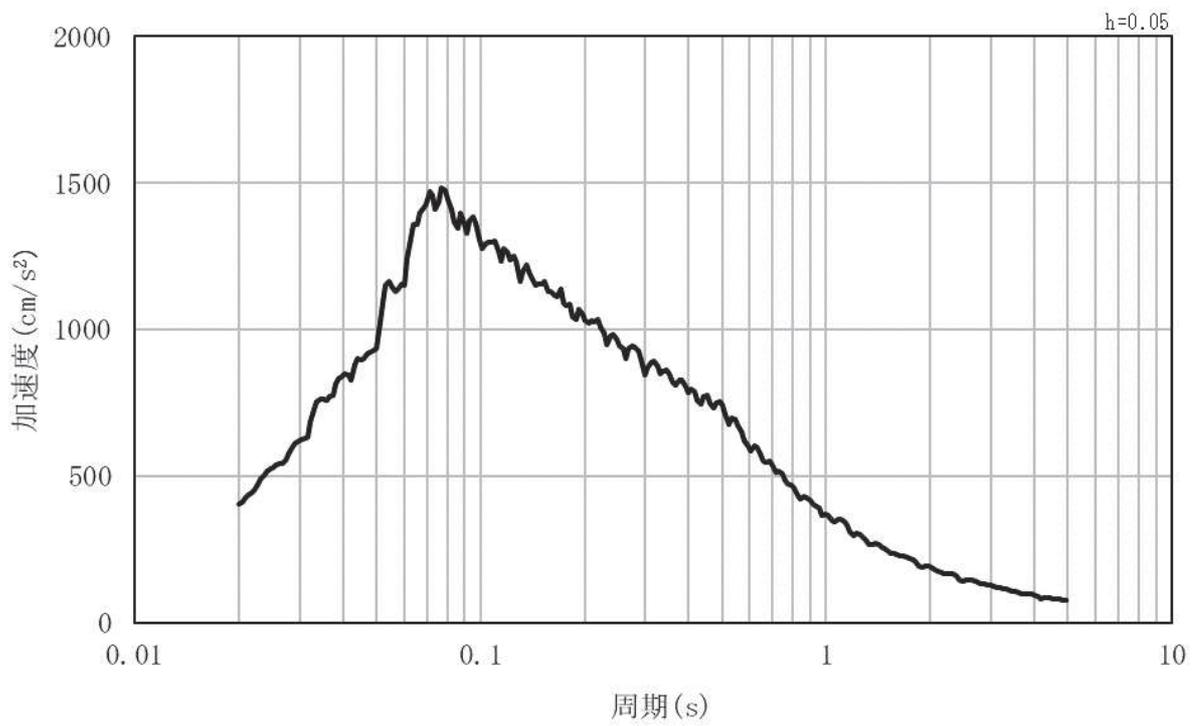


(b) 加速度応答スペクトル

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)

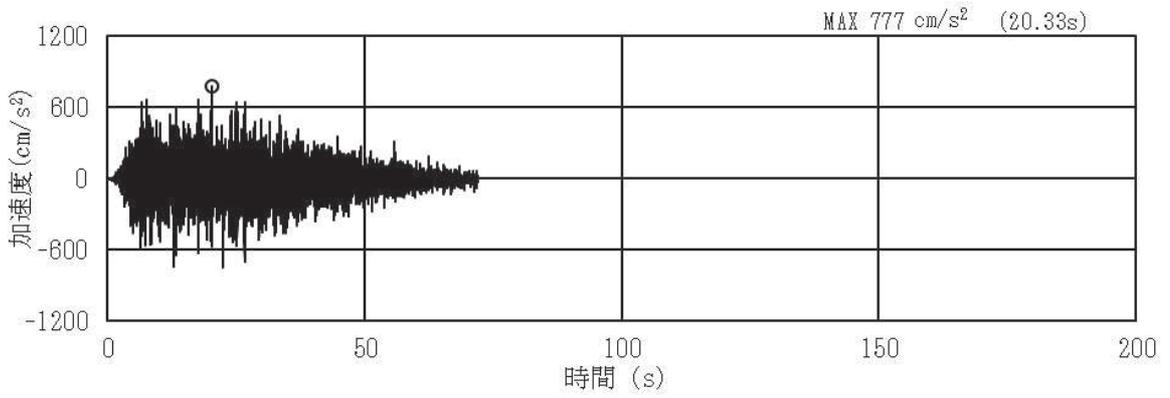


(a) 加速度時刻歴波形

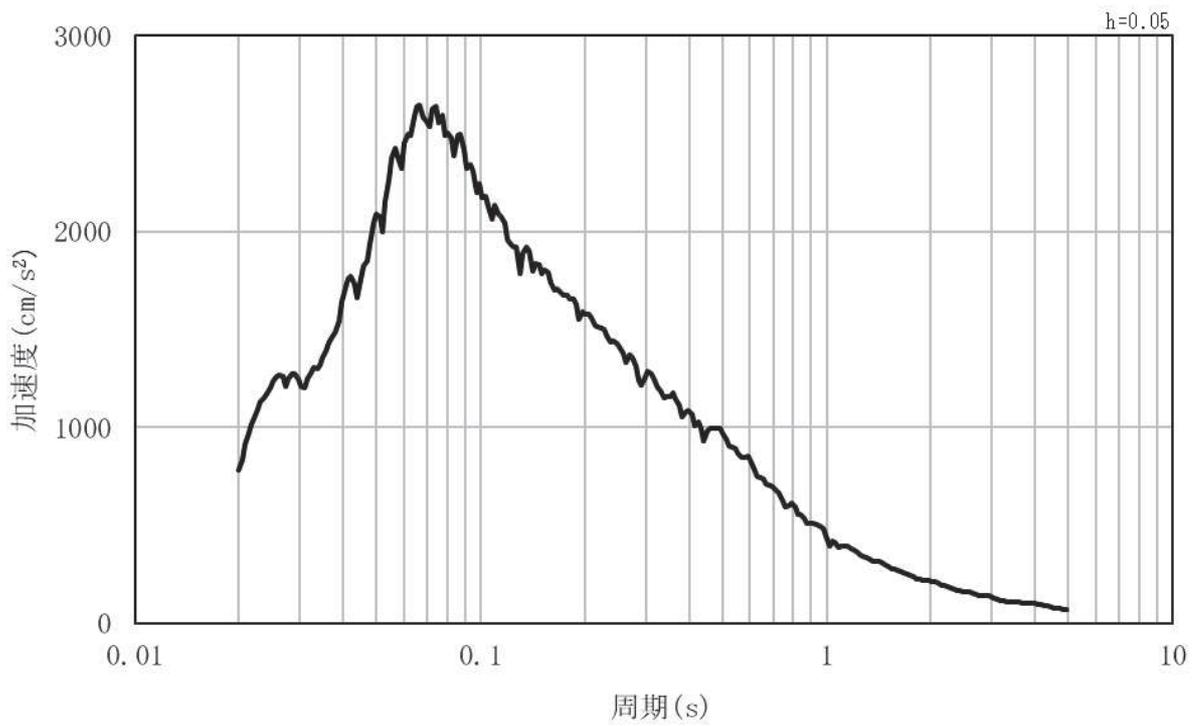


(b) 加速度応答スペクトル

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)

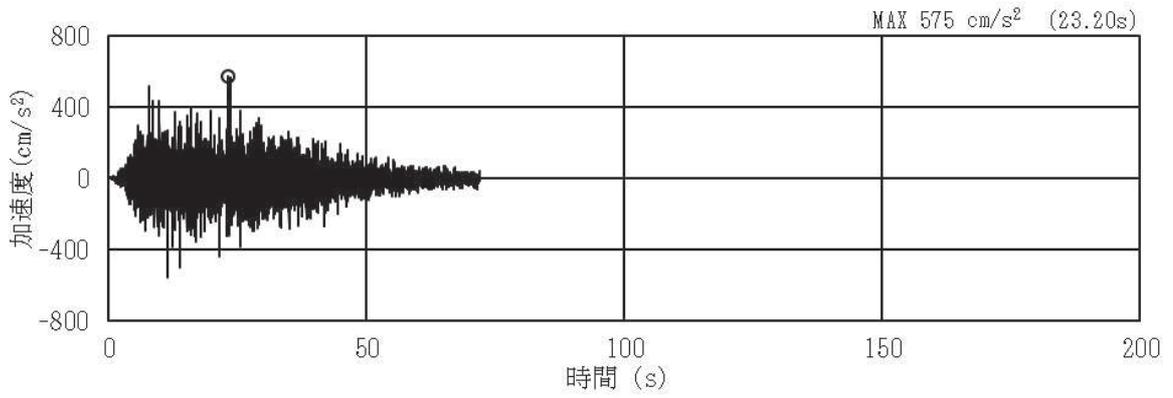


(a) 加速度時刻歴波形

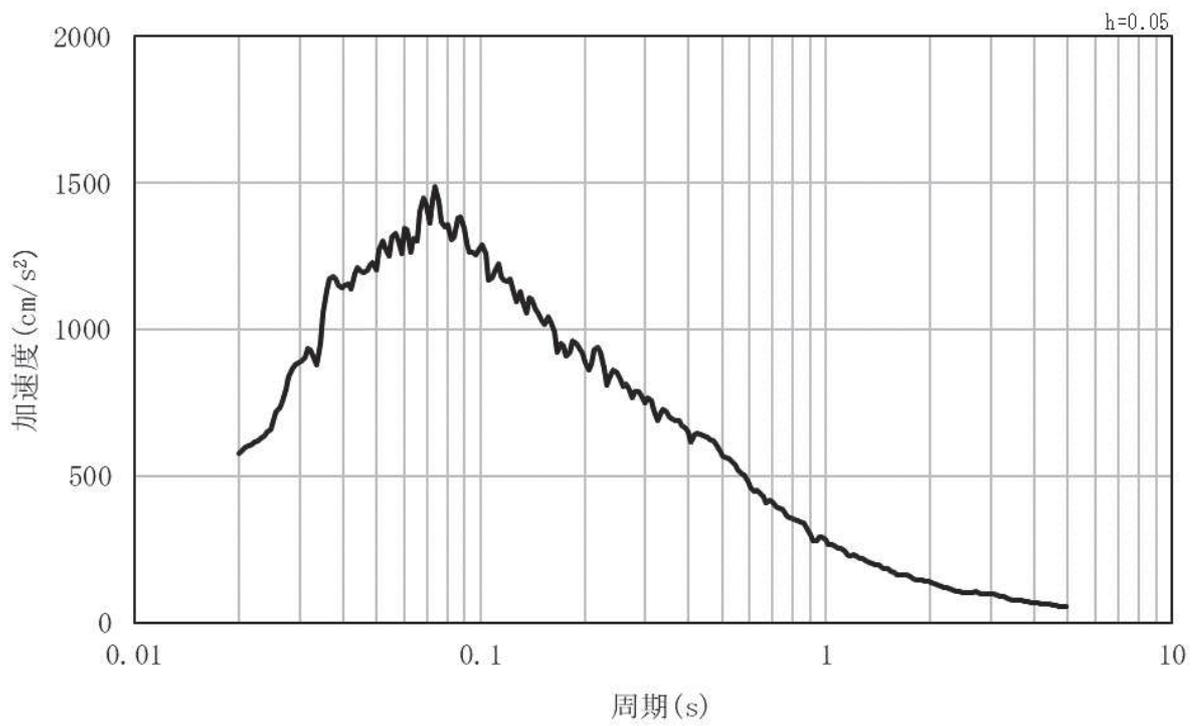


(b) 加速度応答スペクトル

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)

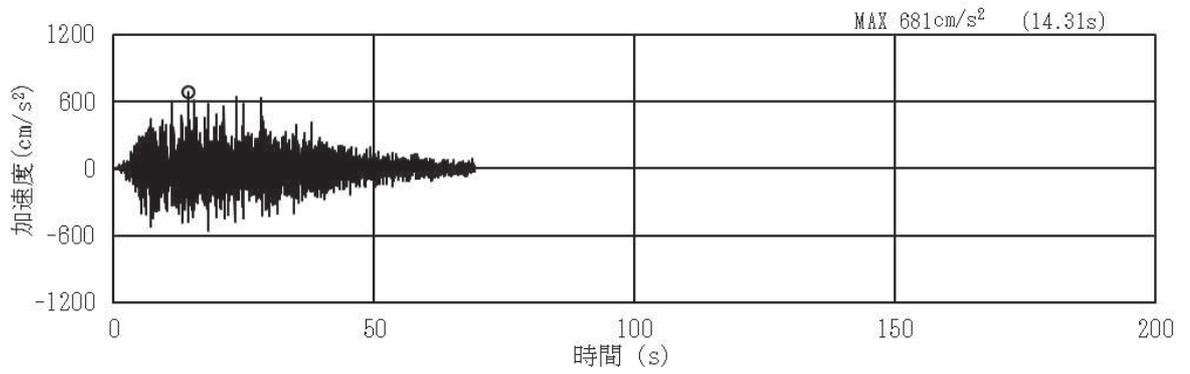


(a) 加速度時刻歴波形

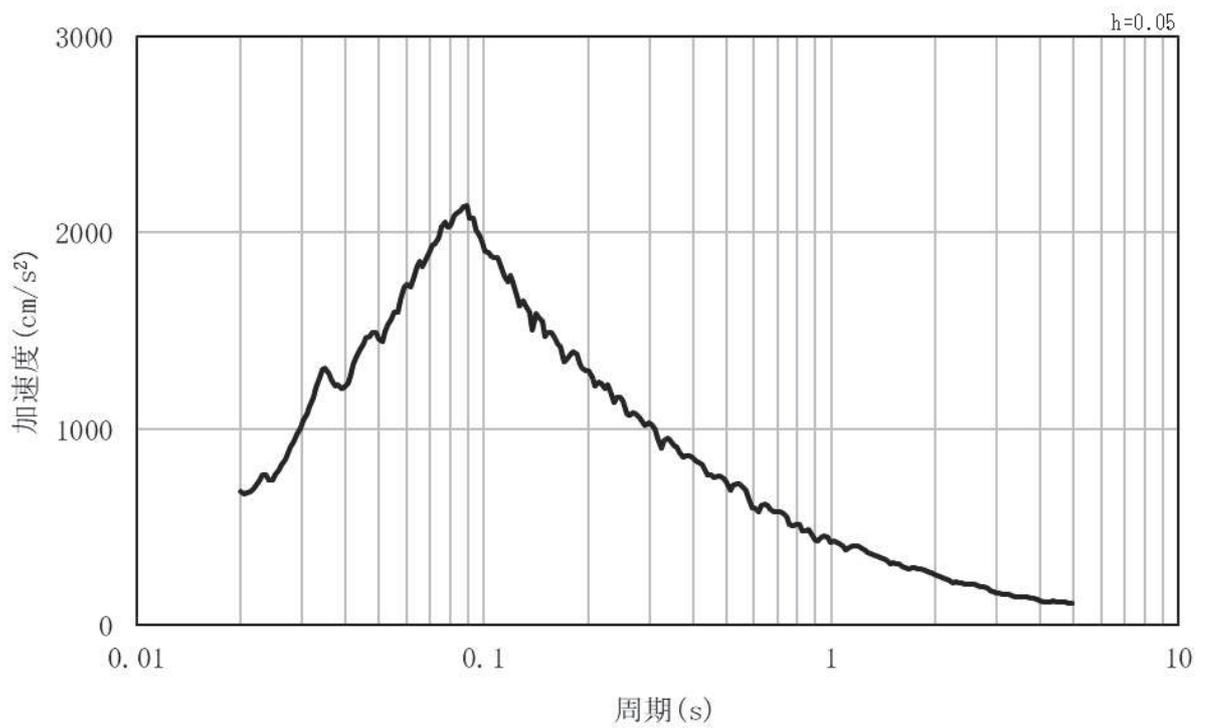


(b) 加速度応答スペクトル

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)

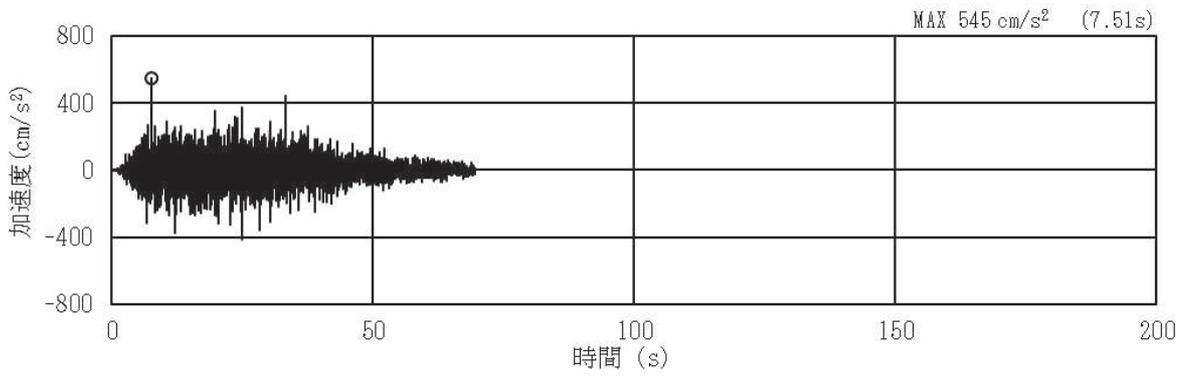


(a) 加速度時刻歴波形

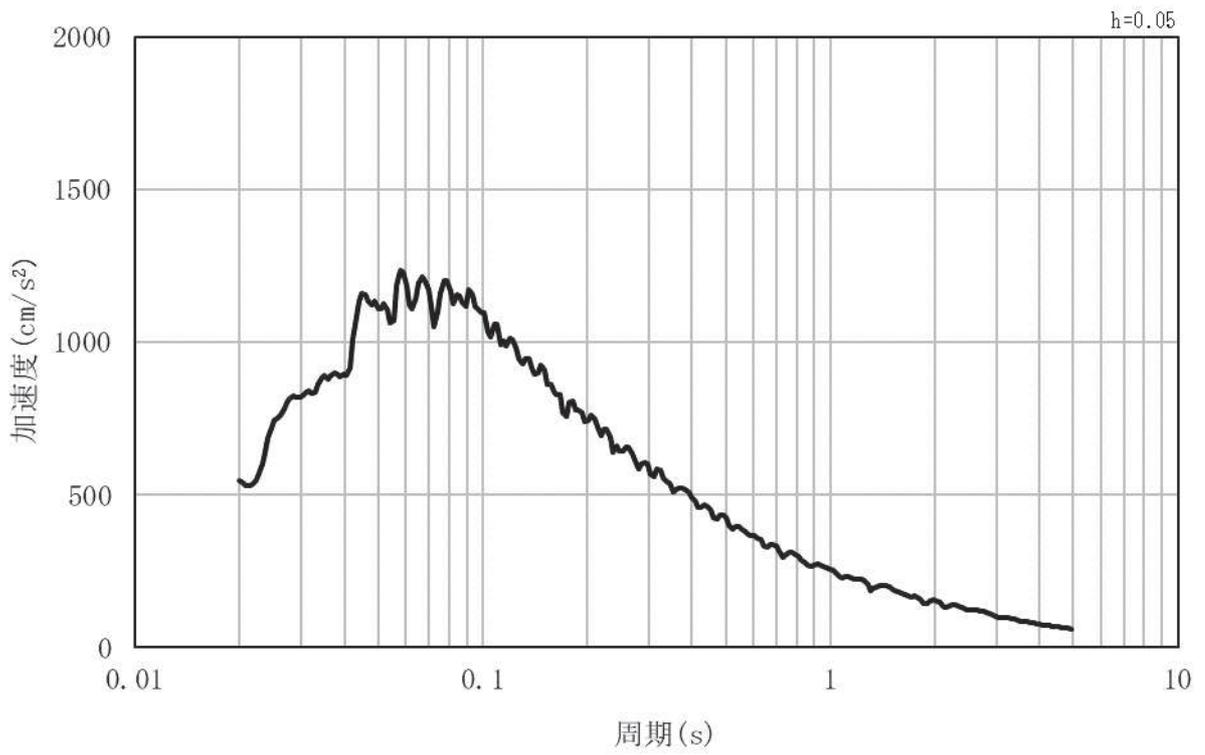


(b) 加速度応答スペクトル

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)

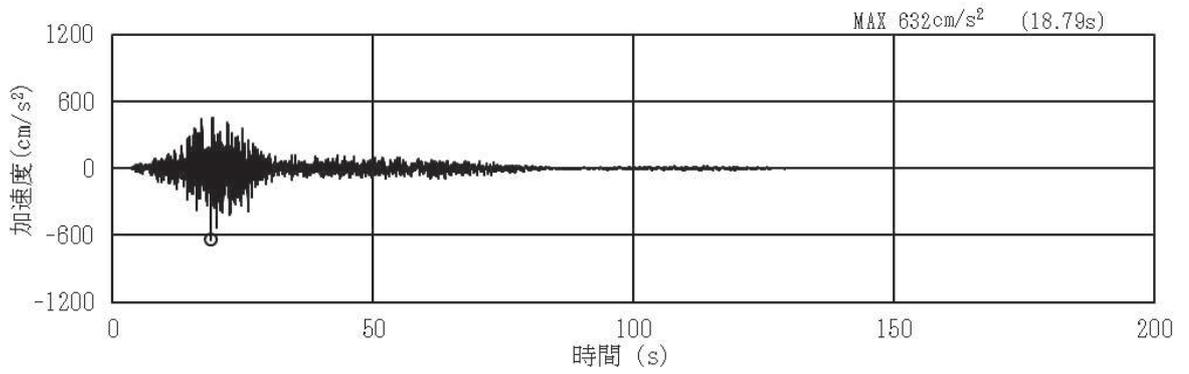


(a) 加速度時刻歴波形

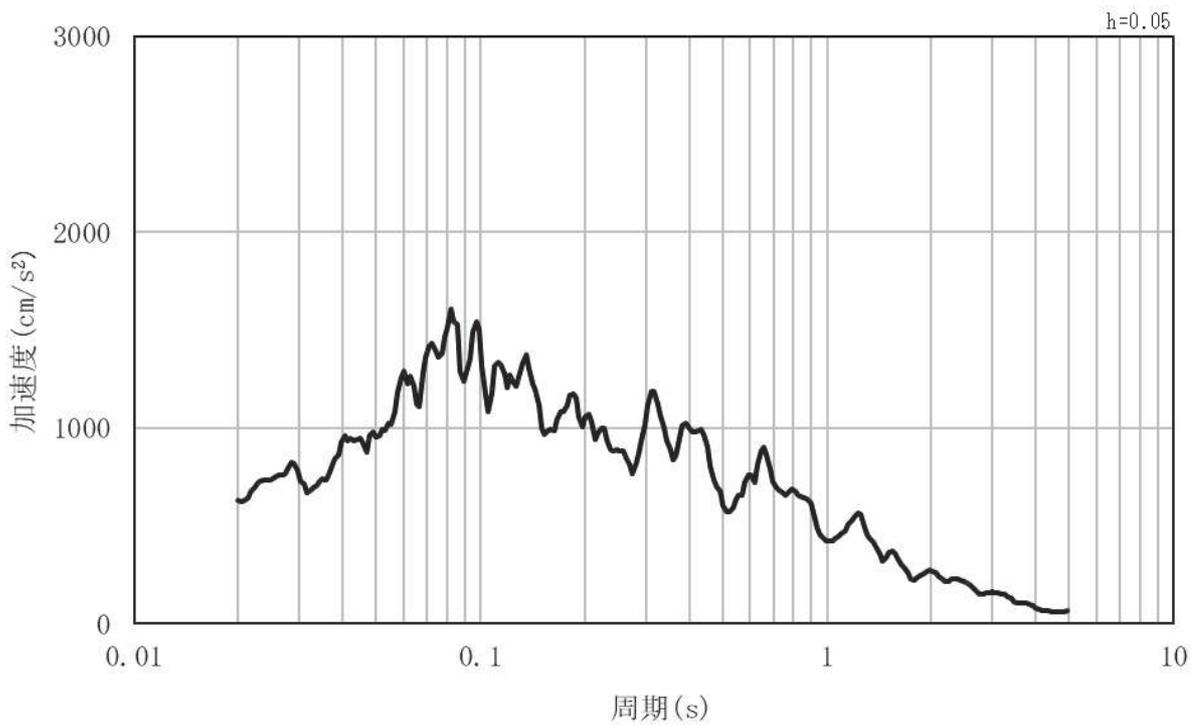


(b) 加速度応答スペクトル

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)

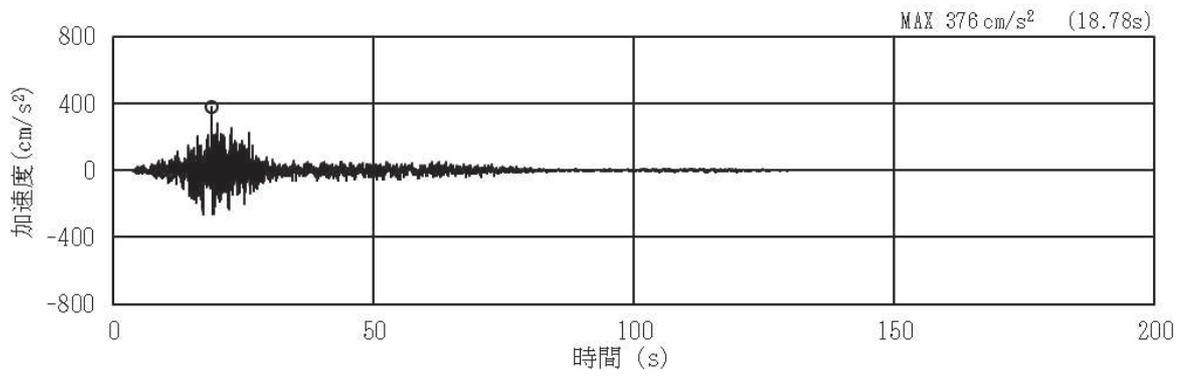


(a) 加速度時刻歴波形

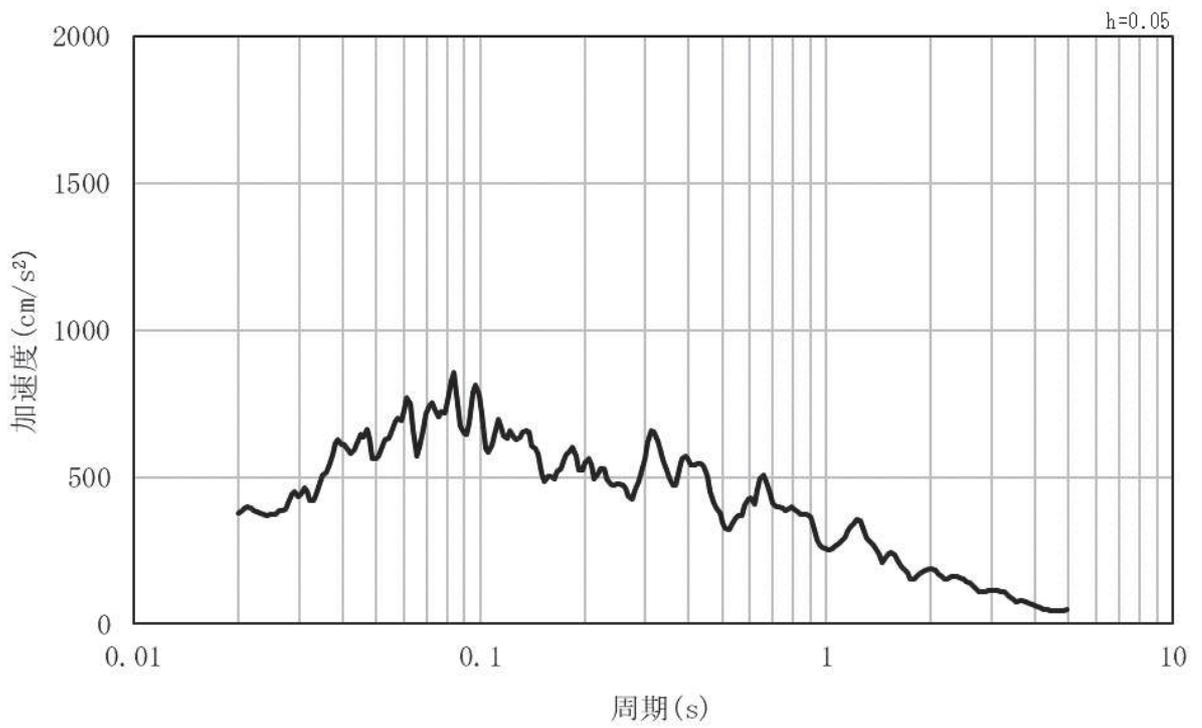


(b) 加速度応答スペクトル

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)

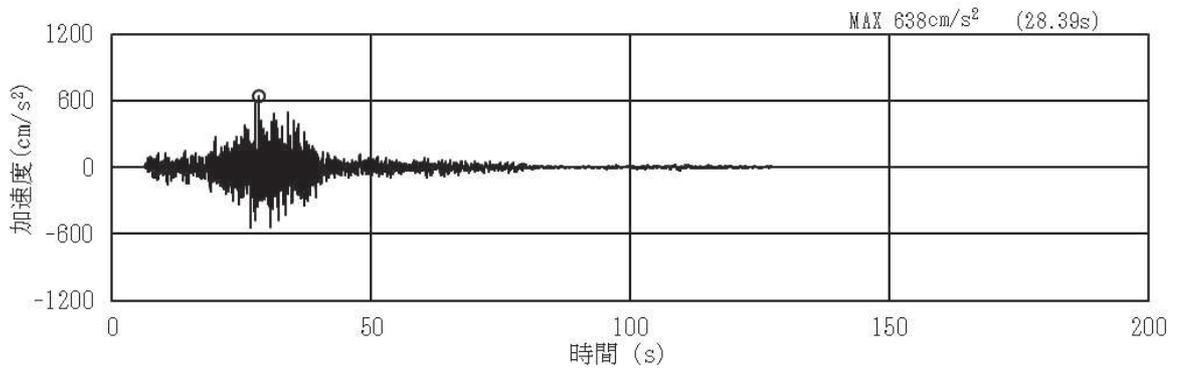


(a) 加速度時刻歴波形

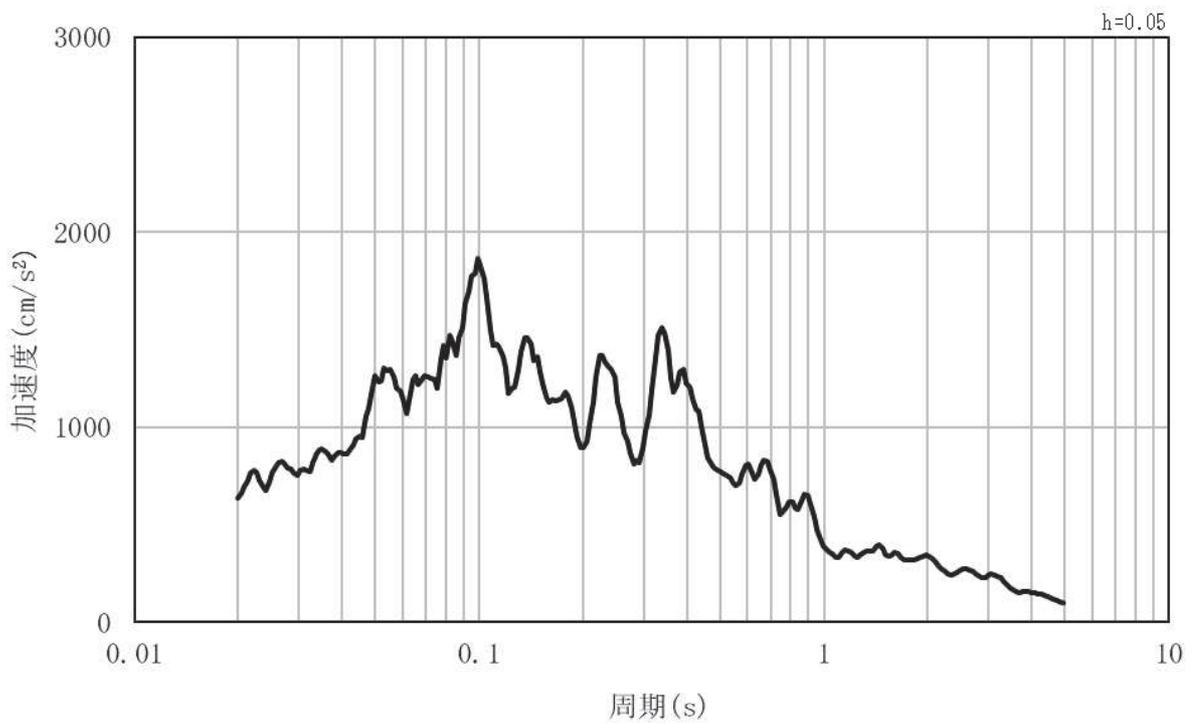


(b) 加速度応答スペクトル

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)

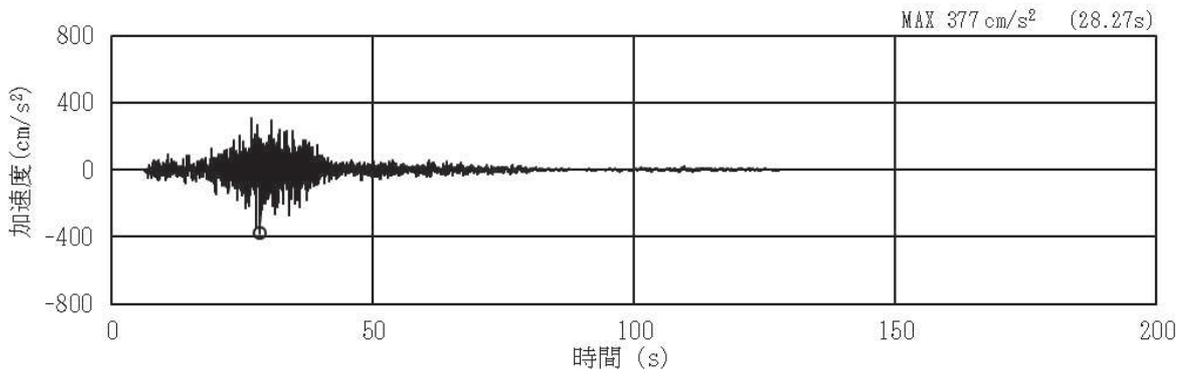


(a) 加速度時刻歴波形

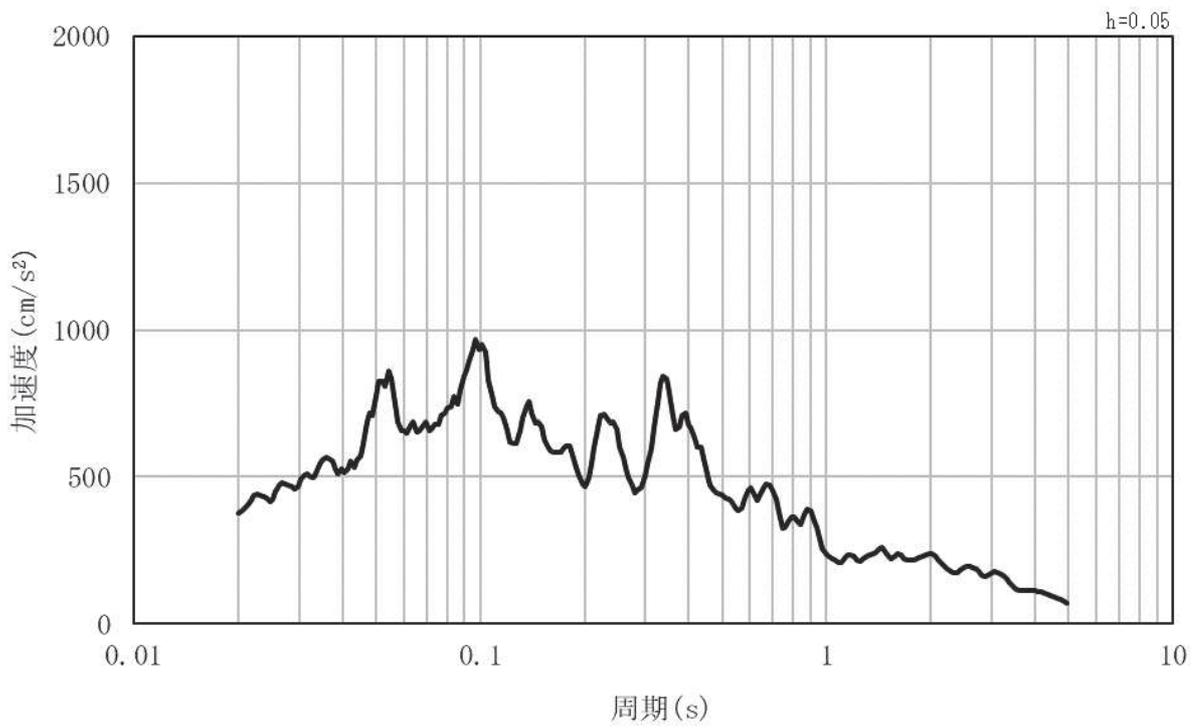


(b) 加速度応答スペクトル

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)

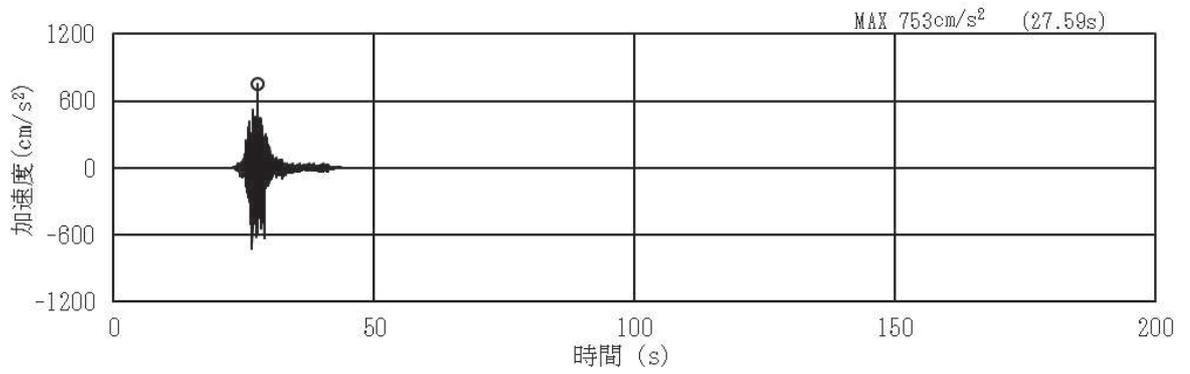


(a) 加速度時刻歴波形

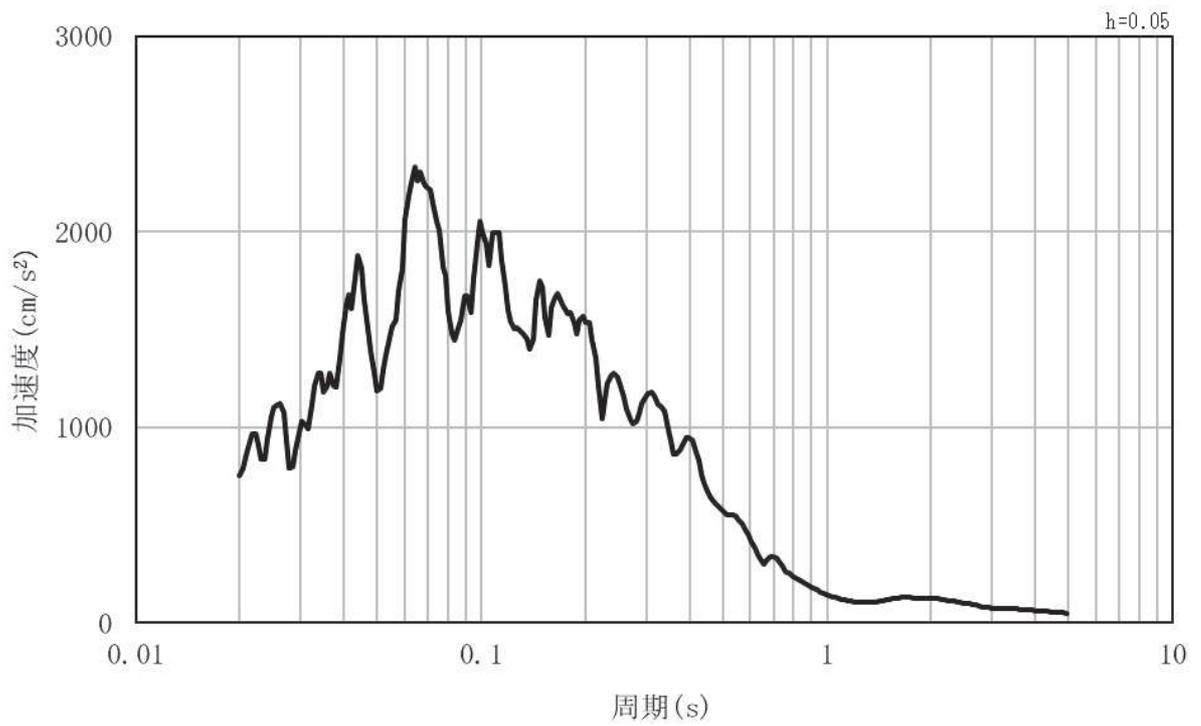


(b) 加速度応答スペクトル

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)

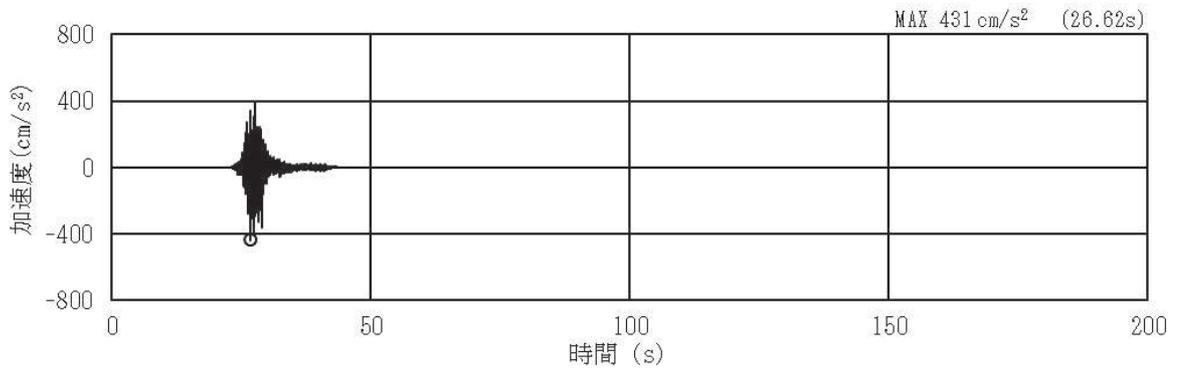


(a) 加速度時刻歴波形

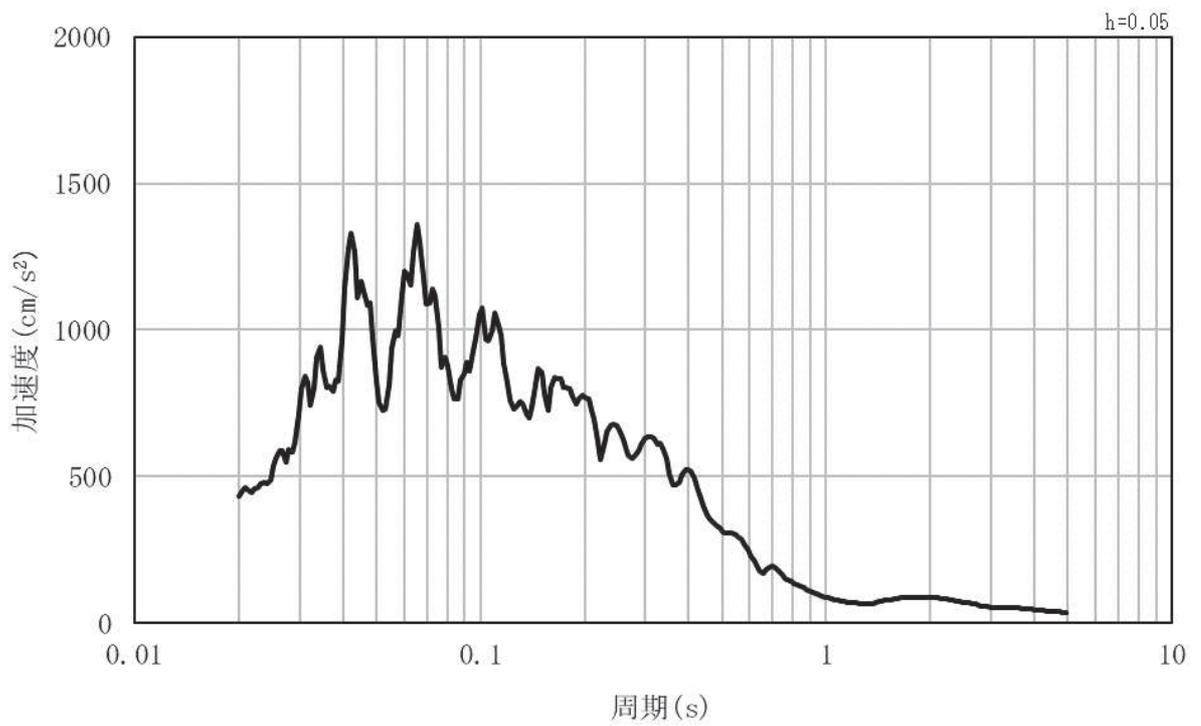


(b) 加速度応答スペクトル

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)

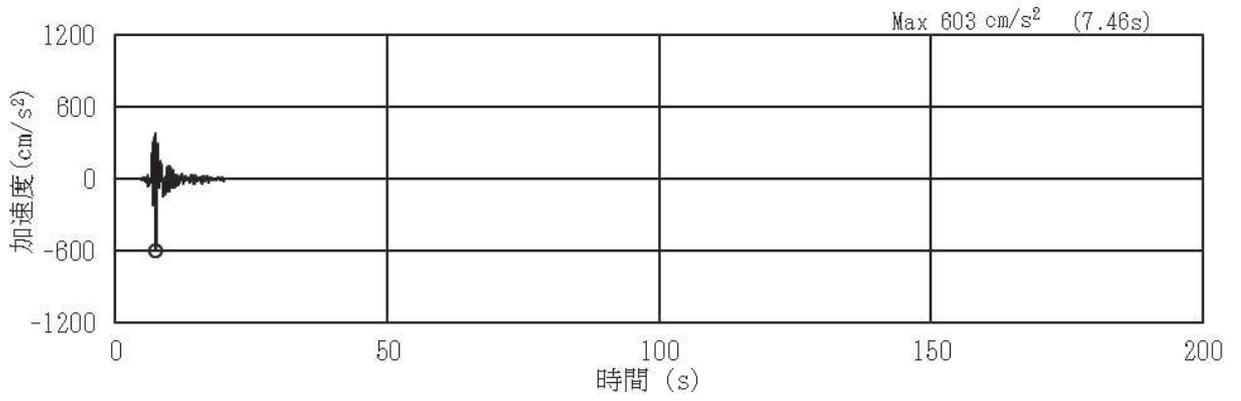


(a) 加速度時刻歴波形

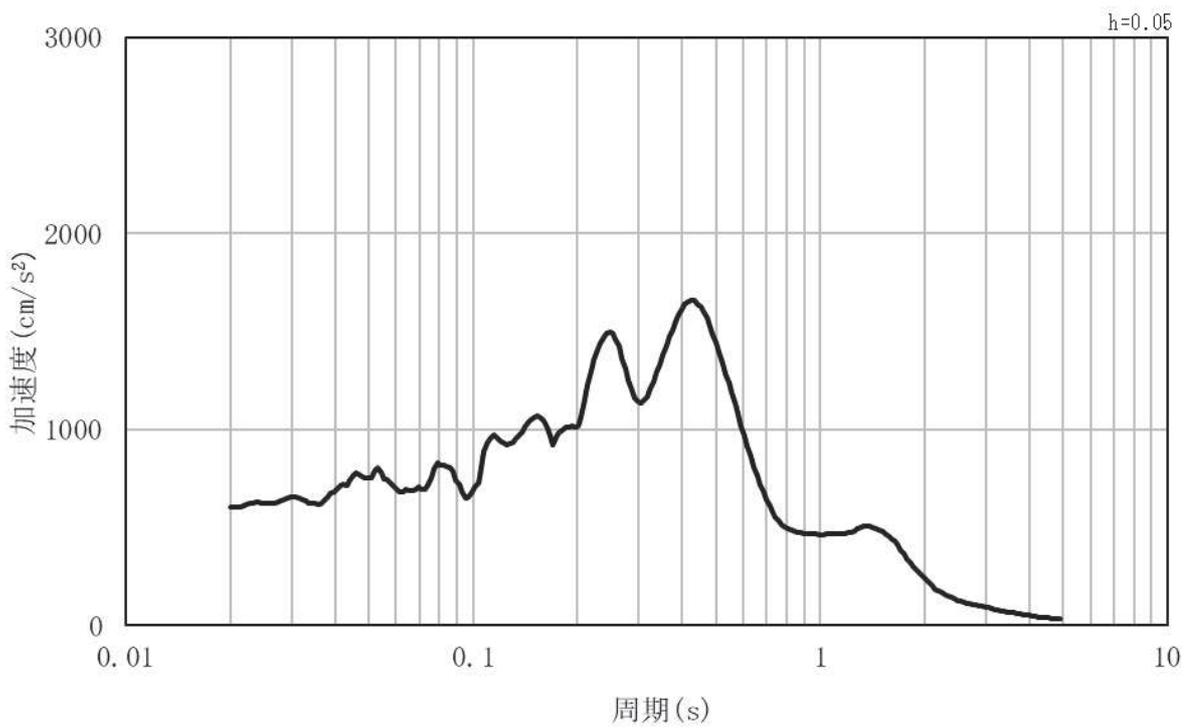


(b) 加速度応答スペクトル

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)

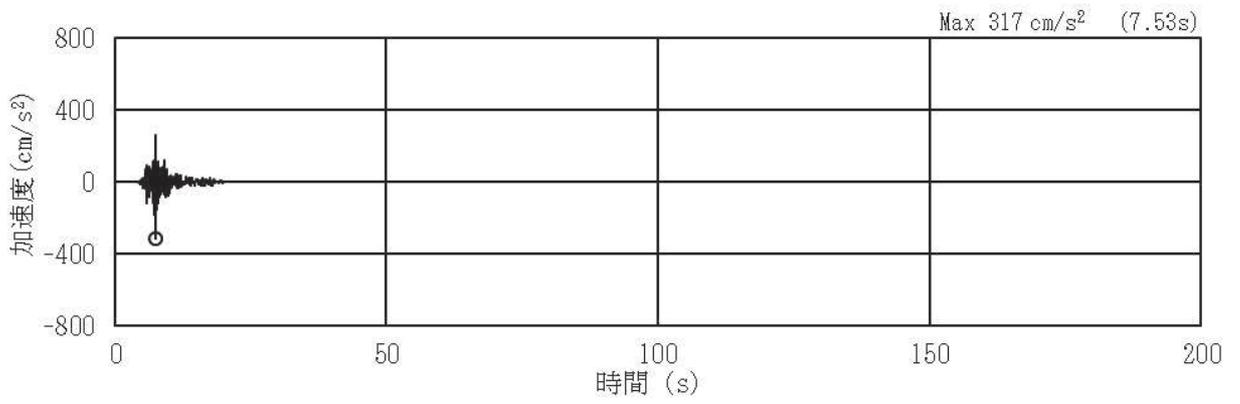


(a) 加速度時刻歴波形

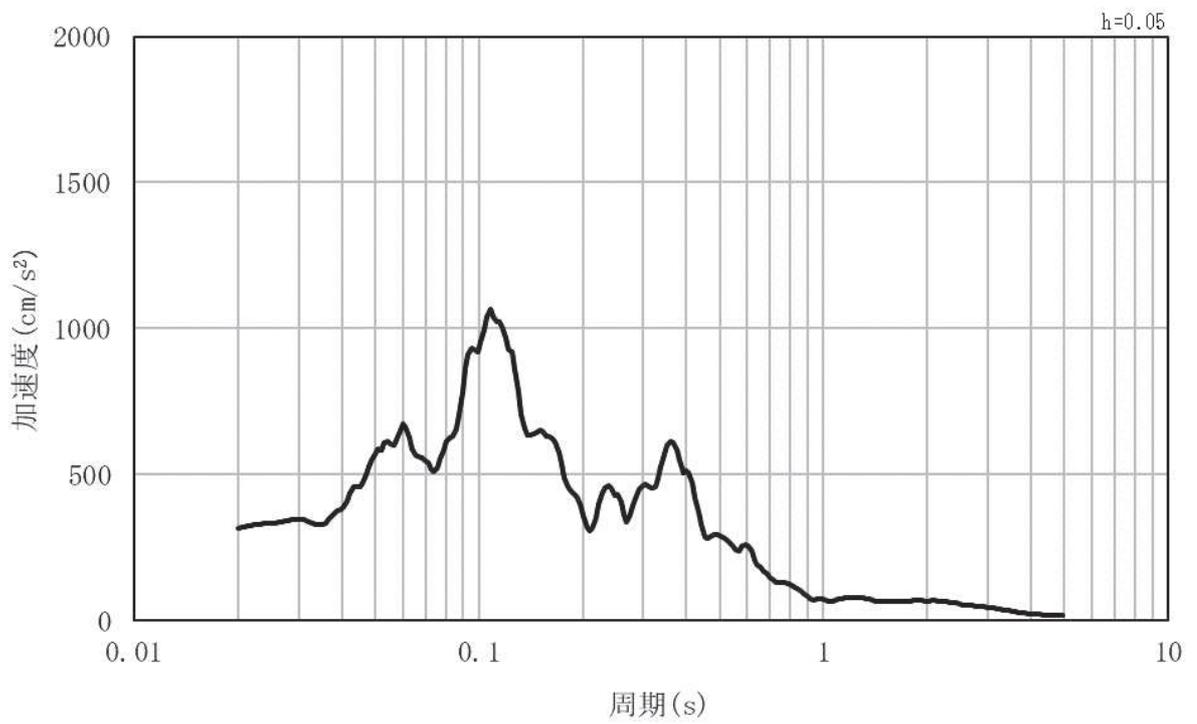


(b) 加速度応答スペクトル

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

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No.1), (No.2)の地震応答解析モデルを図3-5に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方にはエネルギー伝達境界、底面にはエネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

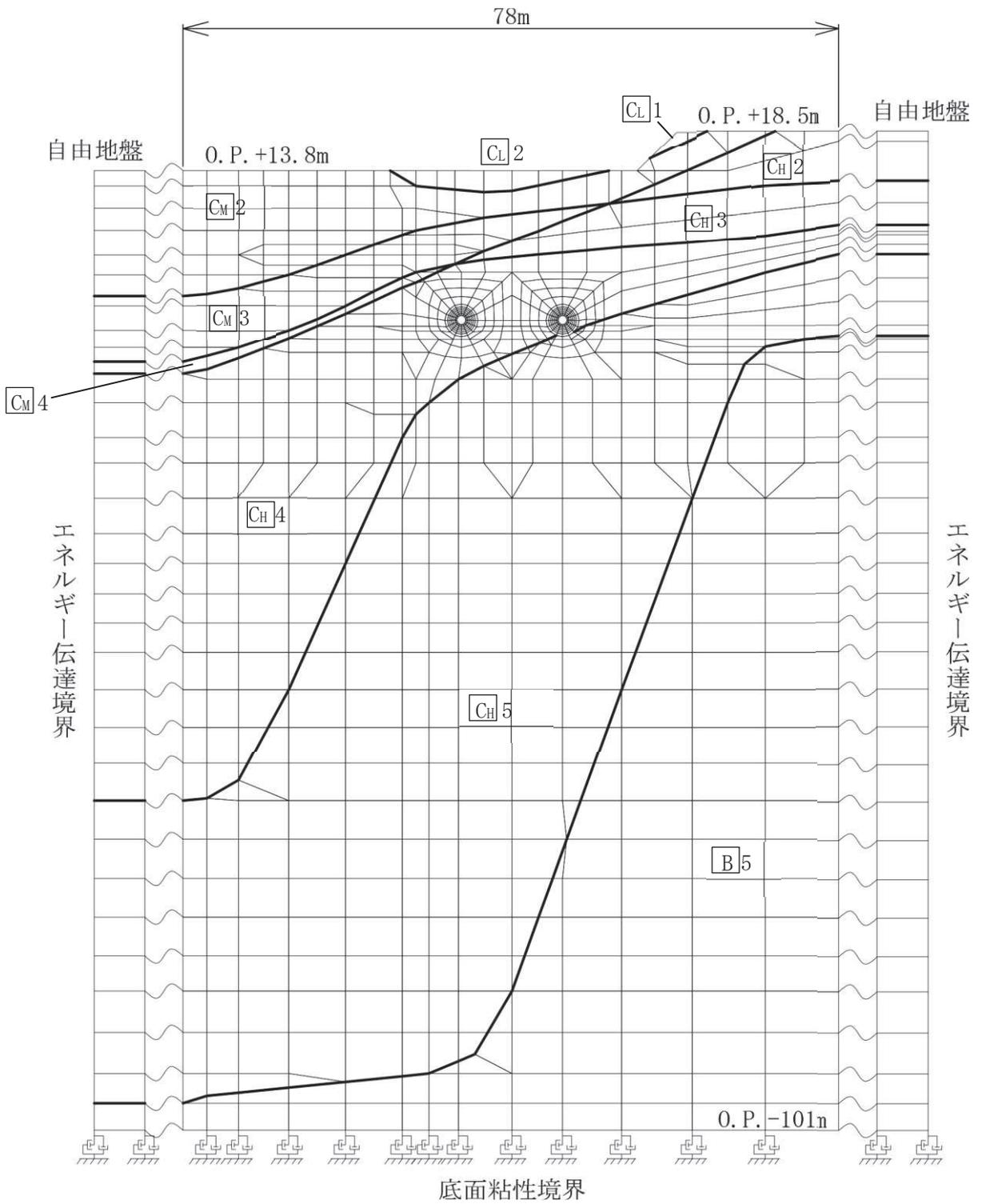
構造部材（覆工部及び充填部）は、平面ひずみ要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

地盤は、平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 内水のモデル化

内水は、付加質量としてモデル化する。



注) C_H 5は C_H 級岩盤の第5速度層を示す。

図 3-5 取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2) の地震応答解析モデル

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。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 使用材料

部位	材料	諸元
覆工部	コンクリート	設計基準強度： $f'_{ck}=20.5\text{N/mm}^2$
充填部	コンクリート	設計基準強度： $f'_{ck}=50.0\text{N/mm}^2$

表 3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比 (-)
コンクリート ($f'_{ck}=20.5\text{N/mm}^2$)	24.0	2.33×10^4	0.20
コンクリート ($f'_{ck}=50.0\text{N/mm}^2$)	23.0	3.30×10^4	0.20

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使用する。

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」に従って設定した地表面とする。

3.6 評価対象部位

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、覆工部及び充填部とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、覆工部を支持する岩盤とする。

3.7 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。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

覆工部及び充填部に対する許容限界は、引張強度及びせん断強度である。

引張強度は「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)」に基づき設定する。

覆工部及び充填部の許容限界を表 3-6 に示す。

表 3-6 覆工部及び充填部の許容限界 (引張強度)

部位	項目	許容限界 (N/mm ²)
覆工部	引張強度 σ_t	1.019
充填部	引張強度 σ_t	1.847

せん断強度に関する許容限界は、覆工部及び充填部に発生する応力と表 3-7 に示す物性値を用いて算定する。せん断強度は、「コンクリート標準示方書 (ダムコンクリート編) (土木学会, 2013 年制定)」より算出する。

表 3-7 覆工部及び充填部の許容限界 (せん断強度)

項目			覆工部	充填部
設計基準強度	f'_{ck}	N/mm ²	20.5	50.0
内部摩擦角	ϕ	°	0 ^{*1}	0 ^{*1}
せん断強度	τ_0	N/mm ²	4.1 ^{*2}	10.0 ^{*2}

注記 *1: 保守的に考慮しないこととする

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

3.7.2 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。

基礎地盤の極限支持力を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

3.8 評価方法

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の耐震評価は，地震応答解析により算定した照査用応答値が，「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

地震応答解析により算定した覆工及び充填部の応力が，引張強度及びせん断強度の許容限界以下となることを確認する。

引張強度における照査値が最大となる時刻の応力分布図を図3-6及び図3-7に，せん断強度における照査値が最大となる時刻の応力分布図を図3-8及び図3-9に示す。

応力分布図は 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。

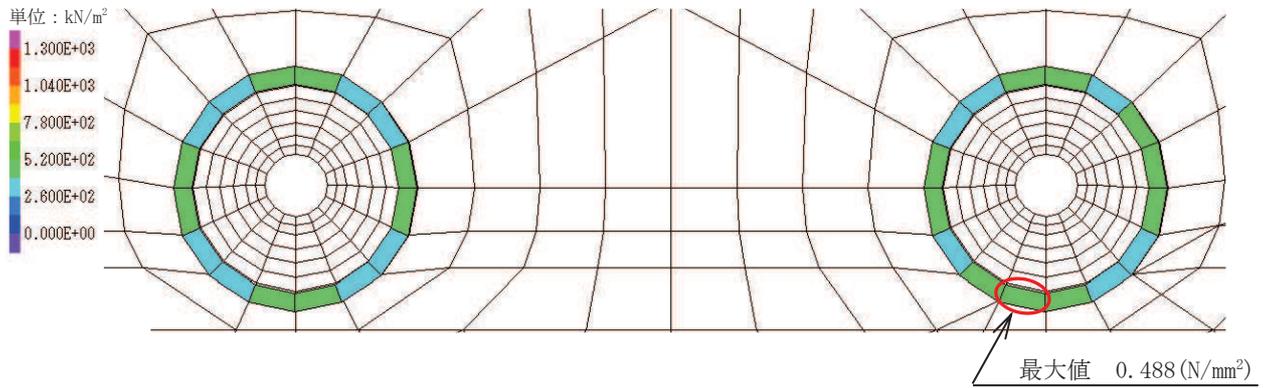


図 3-6 覆工部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (-+), t=27.64s)

(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)

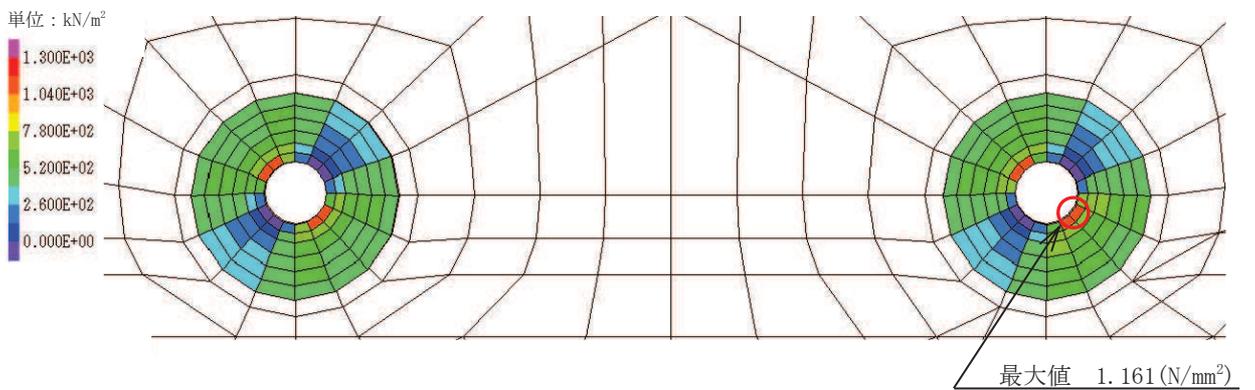


図 3-7 充填部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (-+), t=27.64s)

(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)

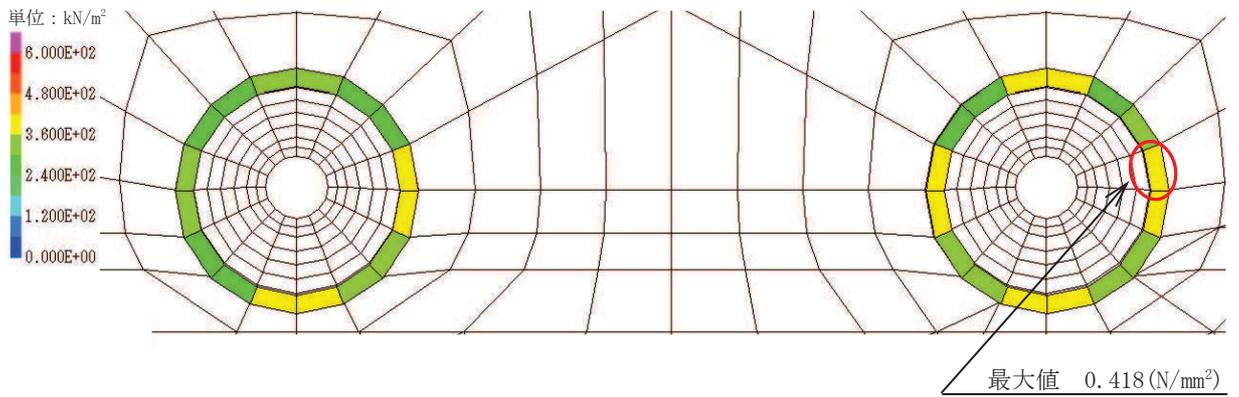


図 3-8 覆工部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (-+), t=27.64s)

(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)

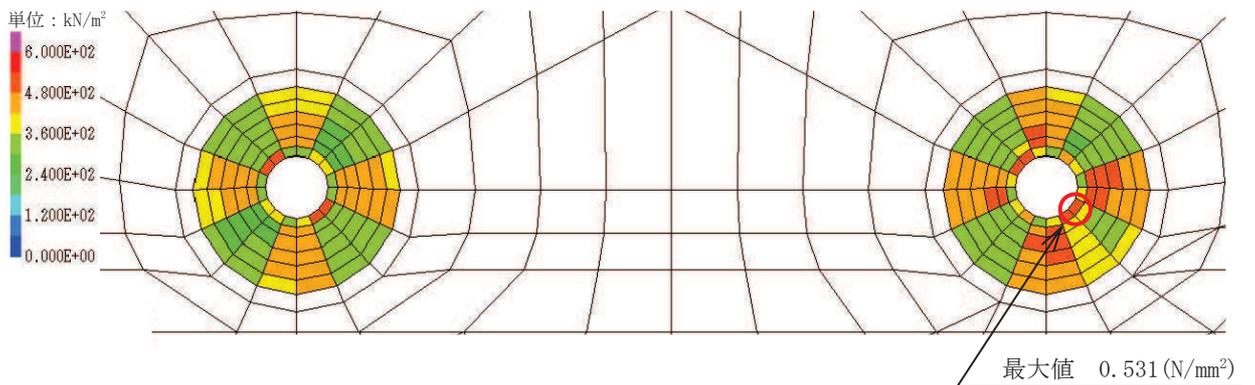


図 3-9 充填部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (-+), t=27.64s)

(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)

3.8.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、覆工部を支持する基礎岩盤に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

最大接地圧の分布図を図 3-10 に示す。

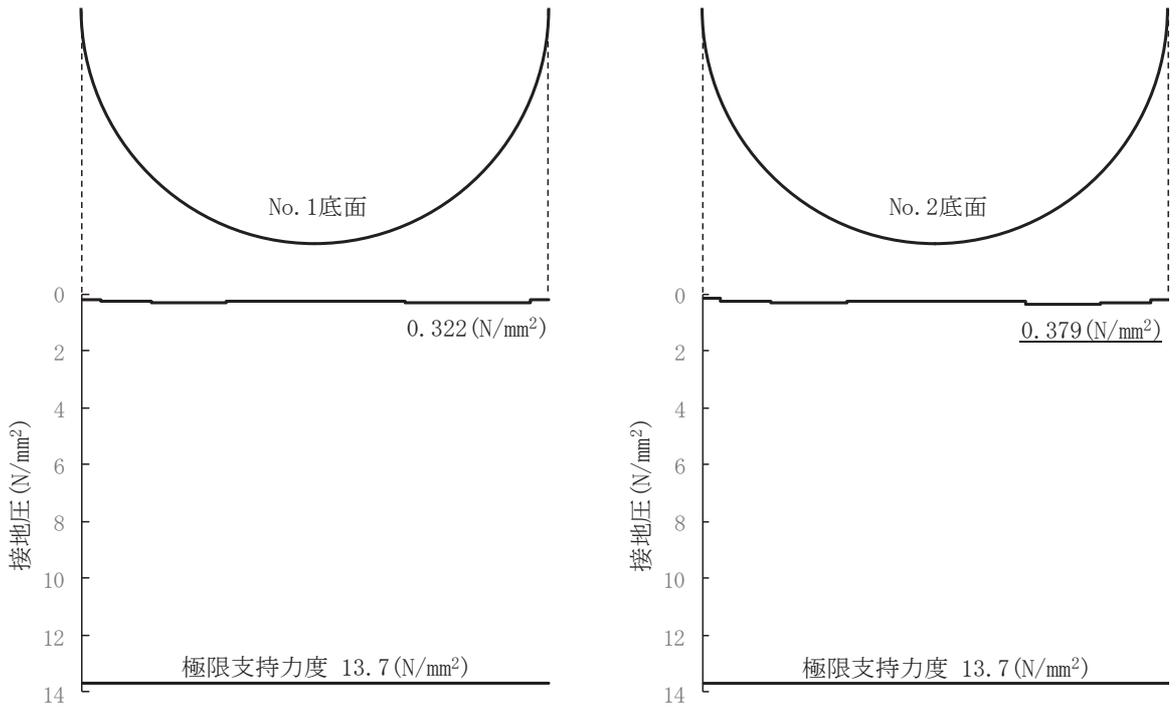


図 3-10 最大接地圧の分布図

(S s - D 2 (++))

(解析ケース①：基本ケース)

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

覆工部及び充填部の引張強度における照査値を表 4-1 に、せん断強度における照査値を表 4-2 に示す。覆工部及び充填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 引張強度における最大照査値

部位	地震動	解析ケース	発生応力 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
覆工部	S s - F 3 (-+)	③	0.488	1.019	0.48
充填部	S s - F 3 (-+)	③	1.161	1.847	0.63

表 4-2 せん断強度における照査値

部位	地震動	解析ケース	発生応力 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
覆工部	S s - F 3 (-+)	③	0.418	4.1	0.11
充填部	S s - F 3 (-+)	③	0.531	10.0	0.06

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 4-3 に示す。

覆工部を支持する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照査結果

地震動	解析ケース	最大接地圧 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
S s - D 2 (++)	①	0.379	13.7	0.03

VI-2-10-2-4-2 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）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	4
2.4 適用基準	6
3. 耐震評価	7
3.1 評価対象断面	7
3.2 解析方法	8
3.2.1 構造部材	8
3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき	8
3.2.3 減衰定数	8
3.2.4 解析ケースの選定	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	10
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	10
3.3.2 荷重	10
3.3.3 荷重の組合せ	11
3.4 入力地震動	12
3.5 解析モデル及び諸元	27
3.5.1 解析モデル	27
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	29
3.5.3 地盤の物性値	29
3.5.4 地下水位	29
3.6 評価対象部位	29
3.6.1 構造部材の健全性評価	29
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	29
3.7 許容限界	29
3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界	30
3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	30
3.8 評価方法	31
3.8.1 構造部材の健全性評価	31
3.8.2 基礎地盤の支持性能評価	34
4. 耐震評価結果	35
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	35
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	35

1. 概要

本資料は、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、取放水路流路縮小工（第1号機放水路）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析よ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。

なお、取放水路流路縮小工（第1号機放水路）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

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の位置図を図2-1に示す。

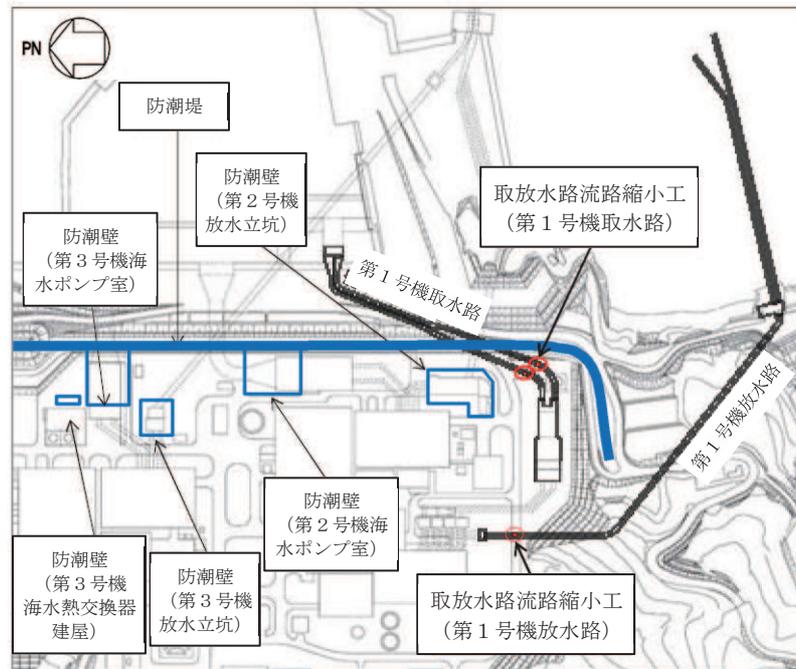


図 2-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の位置図（全体平面図）

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.2 構造概要

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の平面図及び断面図を図2-2に示す。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）は、第1号機放水路からの津波の流入を抑制し、第1号機放水路から敷地への津波の流入を防止するため、第1号機放水路内に無筋のコンクリートを充填する。よって、取放水路流路縮小工（第1号機放水路）は、覆工部と充填部から構成される。

なお、第1号機の補機冷却海水を放水するため、貫通部（×1条）を設ける。

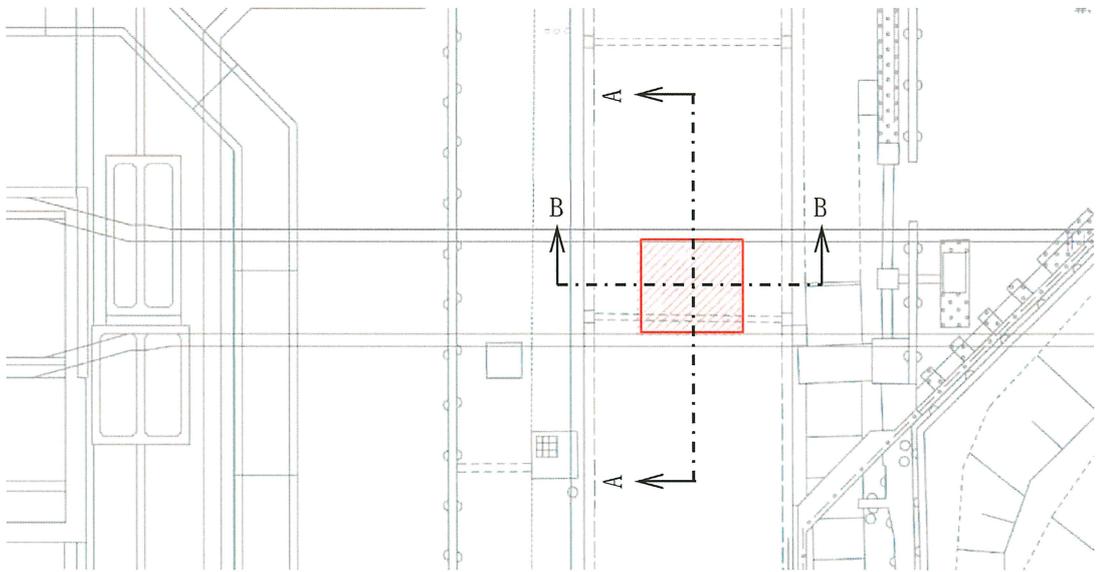


図 2-2(1) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 平面図

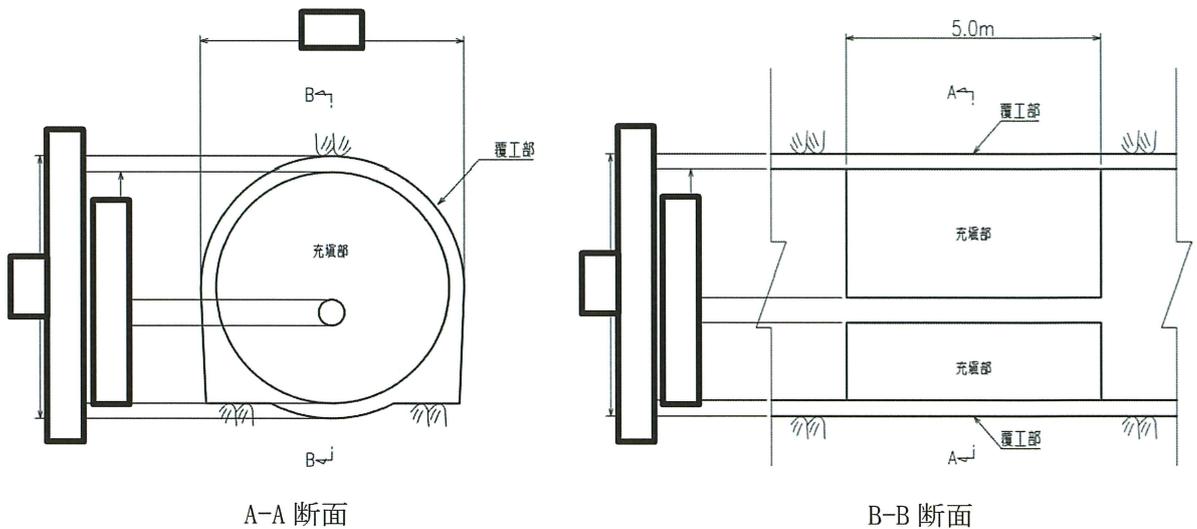


図 2-2(2) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 断面図

2.3 評価方針

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、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実施することで、構造強度を有することを確認する。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析においては、構造物周辺は岩盤に覆われているため、線形解析を実施する。

地震応答解析に用いる地盤物性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

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」のうち「3.1 構造強度上の制限」に基づき流路縮小工の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

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」のうち「3.1 構造強度上の制限」に基づき流路縮小工の基礎地盤に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震評価フローを図2-3に示す。

表2-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）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	流路縮小工	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	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

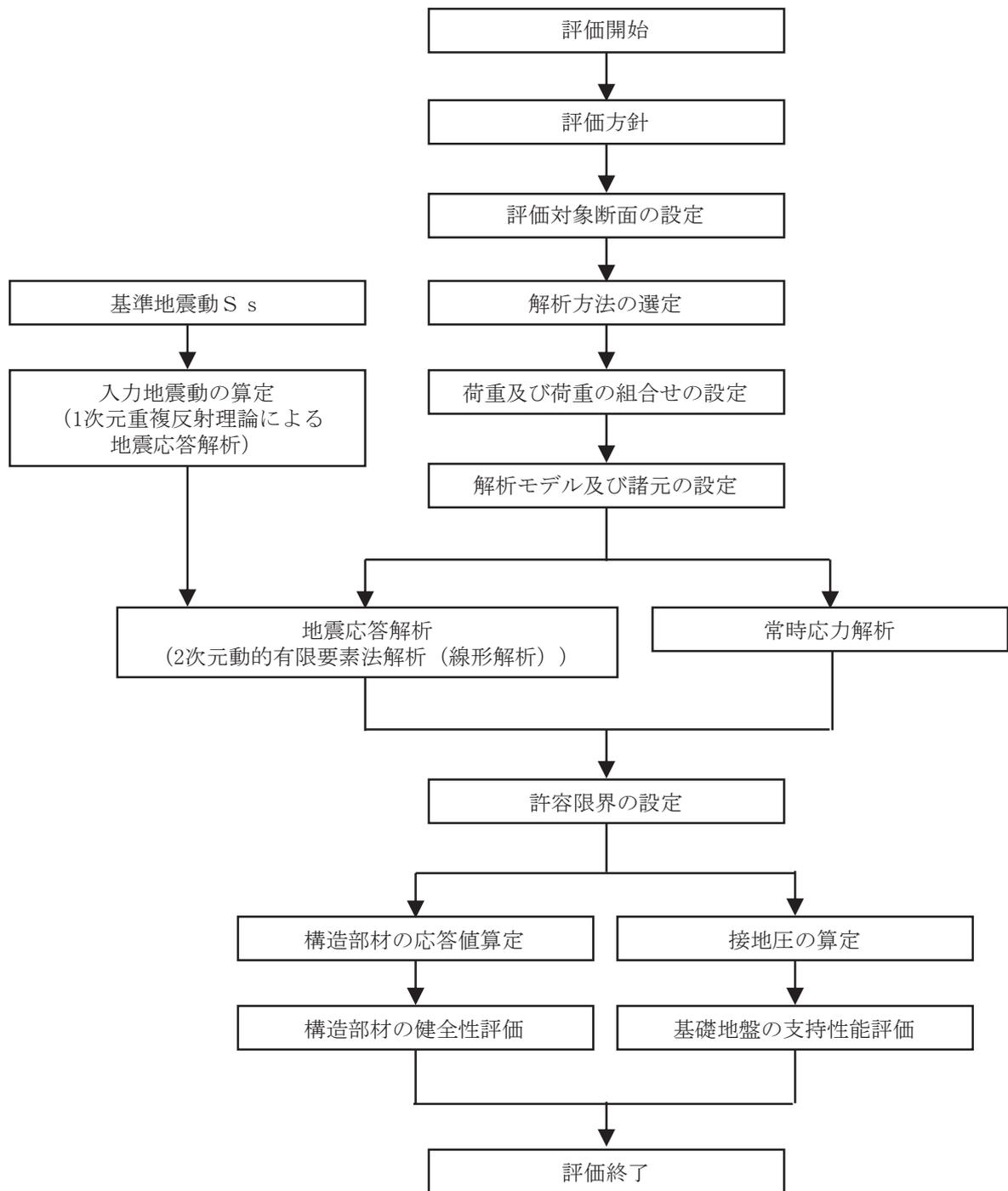


図 2-3 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会原子力土木委員会，2005年6月）（以下「土木学会マニュアル」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）
- ・コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2017年制定）
- ・コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013年制定）
- ・トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説（土木学会，2016年制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 （日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面位置を図3-1に示す。評価対象断面の地質図を図3-2に示す。

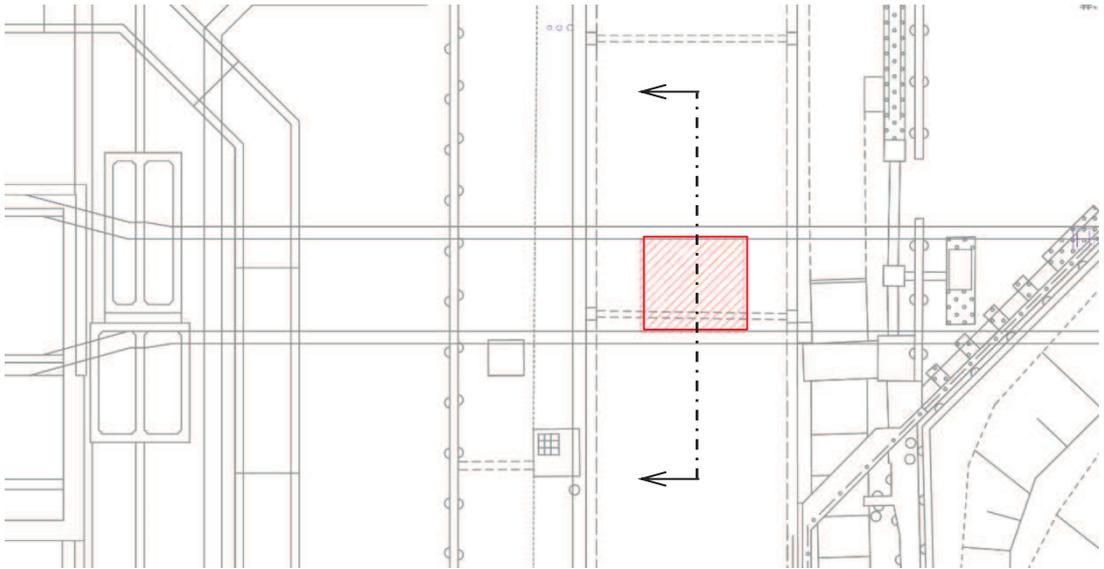


図3-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面位置図

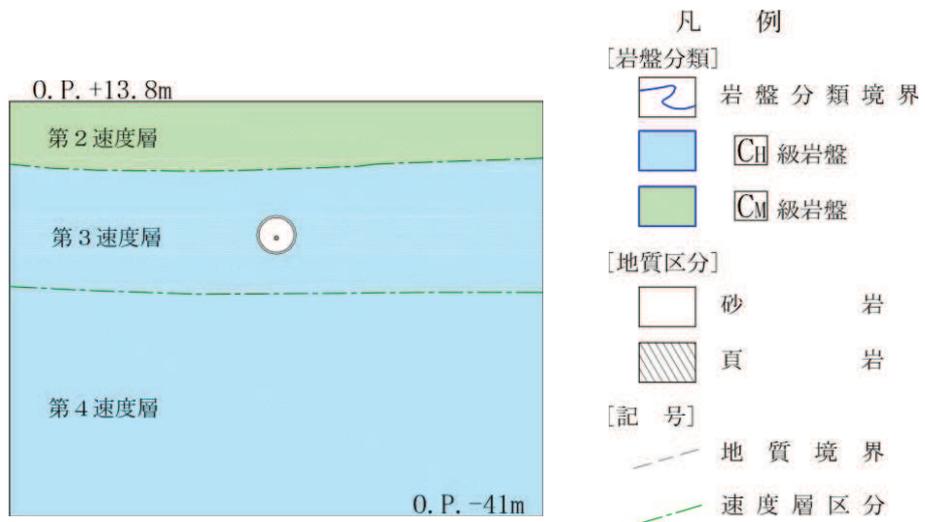


図3-2 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面の地質図

3.2 解析方法

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析は、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2次元動的有限要素法解析により、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線形解析にて行う。

常時応力解析は、解析コード「TDAPⅢ Ver.3.10.01」、地震応答解析は、解析コード「SuperFLUSH/2D Ver.6.1」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

流路縮小工は、流路縮小工の形状を踏まえた部材の応力を評価するため、平面ひずみ要素によりモデル化する。

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤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。

表3-1 耐震評価における解析ケース

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
		C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1σ

3.2.3 減衰定数

減衰定数は、流路縮小工については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」のうち「3.設計用減衰定数」に示される鉄筋コンクリートの減衰定数を、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」のうち「3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」に示される狐崎部層の減衰定数を使用する。

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、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査値が最大となる最も厳しい地震動を用いて、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 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動(位相)	S _s -D1	++*	○	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)において、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力の照査値が最も厳しい(許容限界に対する裕度が最も小さい)地震動を用いてケース②、③を実施する。	
		-+*	○		
	S _s -D2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -D3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F1	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F2	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -F3	++*	○		
		-+*	○		
	S _s -N1	++*	○		
		-+*	○		

注記 * : 取放水路流路縮小工 (第1号機放水路) の耐震評価にあたっては、「土木学会マニュアル」に従い水平方向の位相反転を考慮する。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

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）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（第1号機）が停止状態にあり，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

岩盤内構造物であるため，風，並びに積雪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

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）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）

地表面に積載荷重 $4.9(\text{kN/m}^2)$ を考慮する。

(3) 地震荷重（S s）

基準地震動 S s による荷重を考慮する。

なお，第1号機放水路トンネルは，地山の変形が収束した後に覆工を施工する NATM 工法を用いていることから覆工に掘削解放応力が作用しているとは考えにくく考慮しない。また，当該位置の地山強度比*は十分大きいことから，地山のゆるみ土圧も荷重として考慮しない。

注記 *：当該地点の一軸圧縮強度（ $q_u=153.0\text{N/mm}^2$ ）より地山強度比 G_n は 380 程度である。

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 (4.9kN/m²を地表面に考慮)

S s : 地震荷重

3.4 入力地震動

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

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

入力地震動算定の概念図を図3-3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3-4に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「ArkQuake Ver. 3.10.01」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。

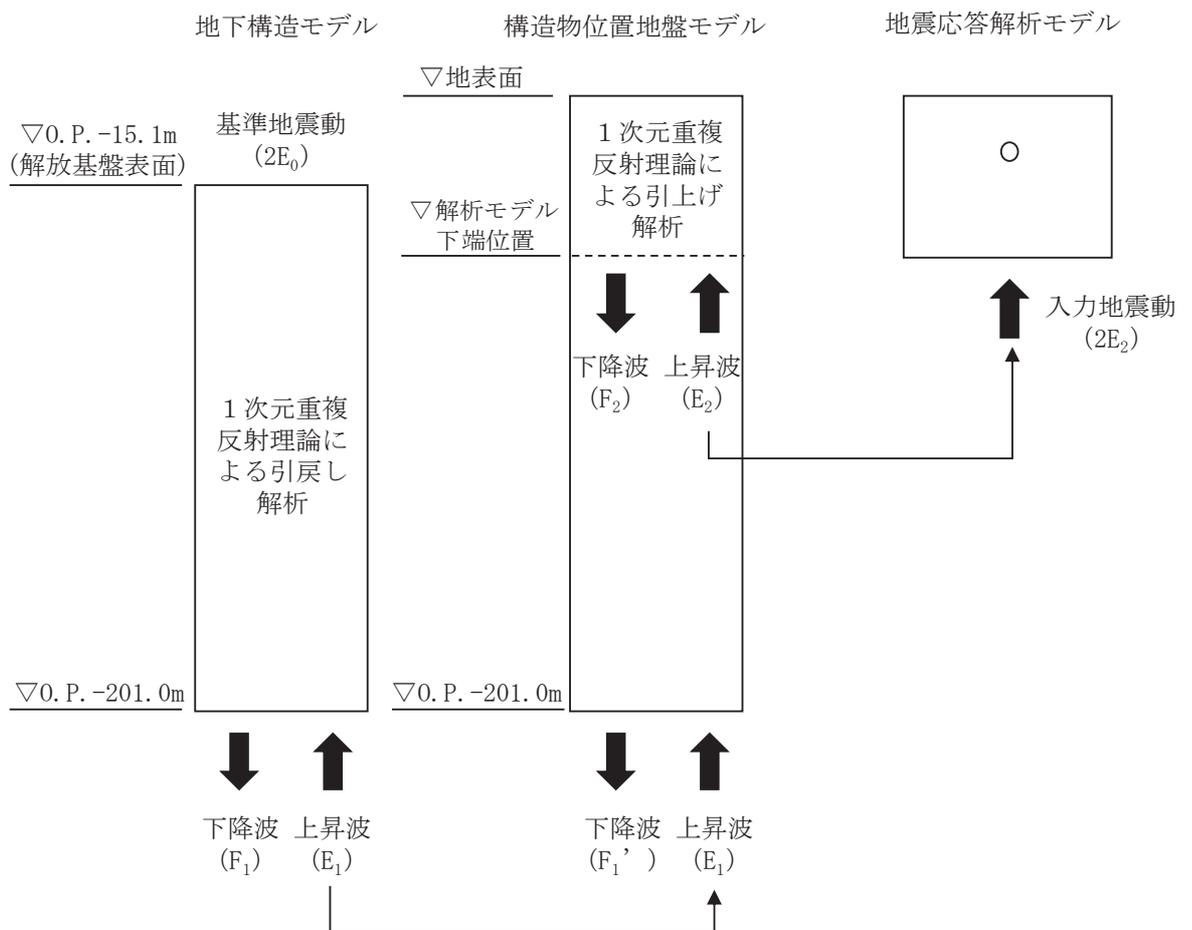
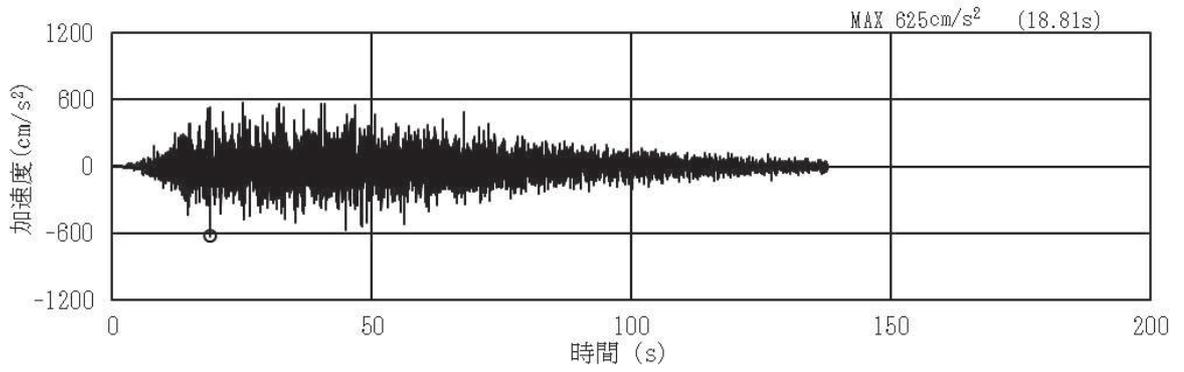
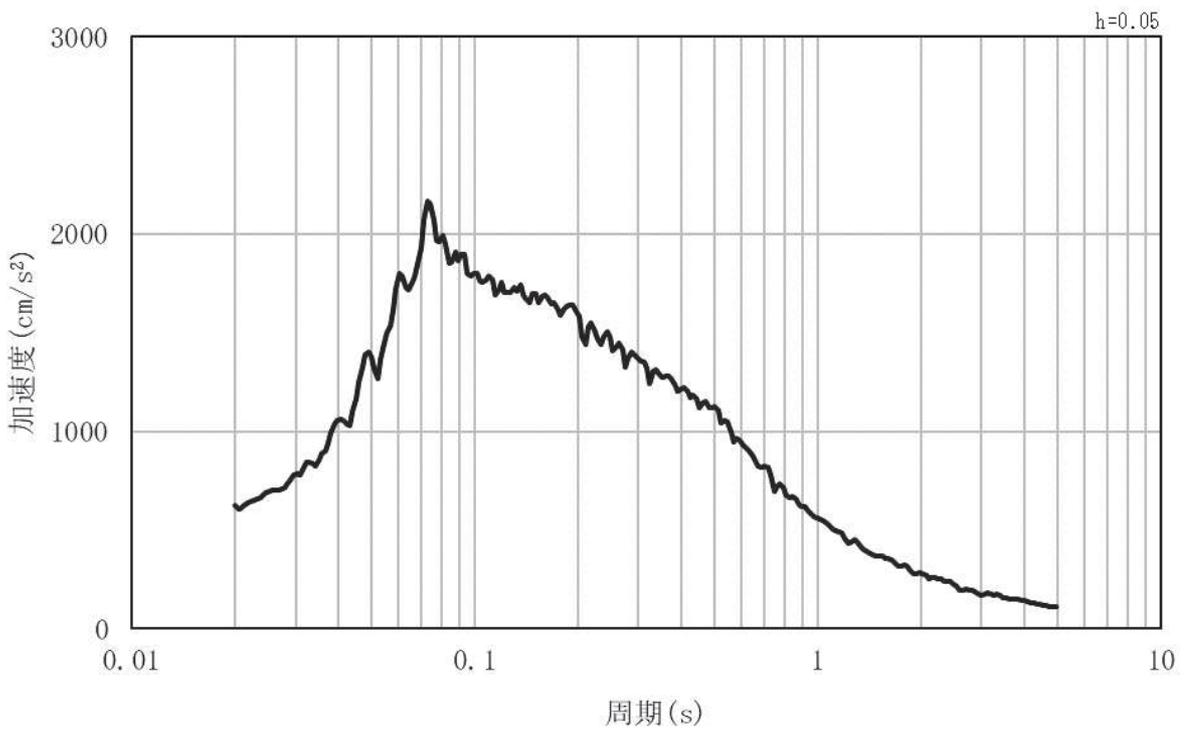


図 3-3 入力地震動算定の概念図

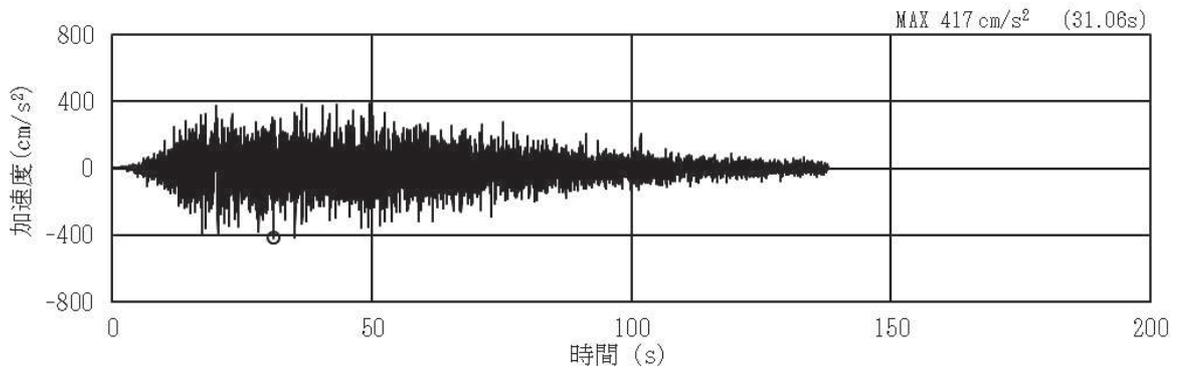


(a) 加速度時刻歴波形

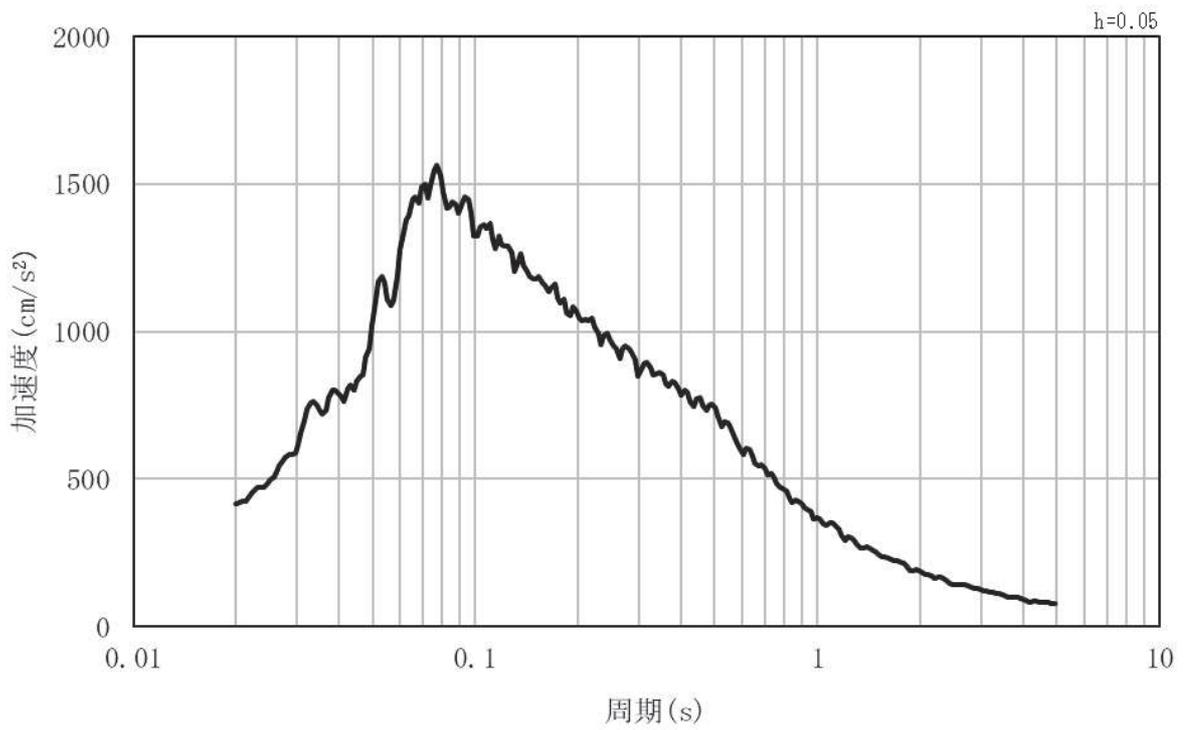


(b) 加速度応答スペクトル

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)

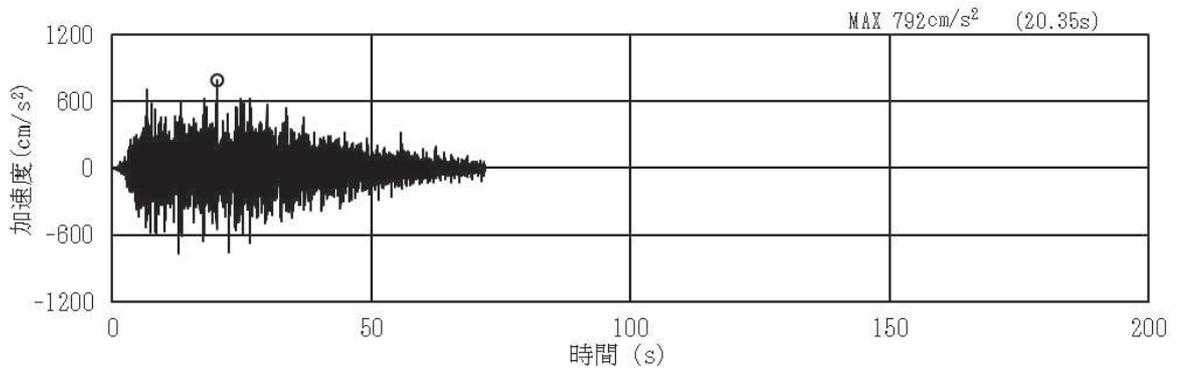


(a) 加速度時刻歴波形

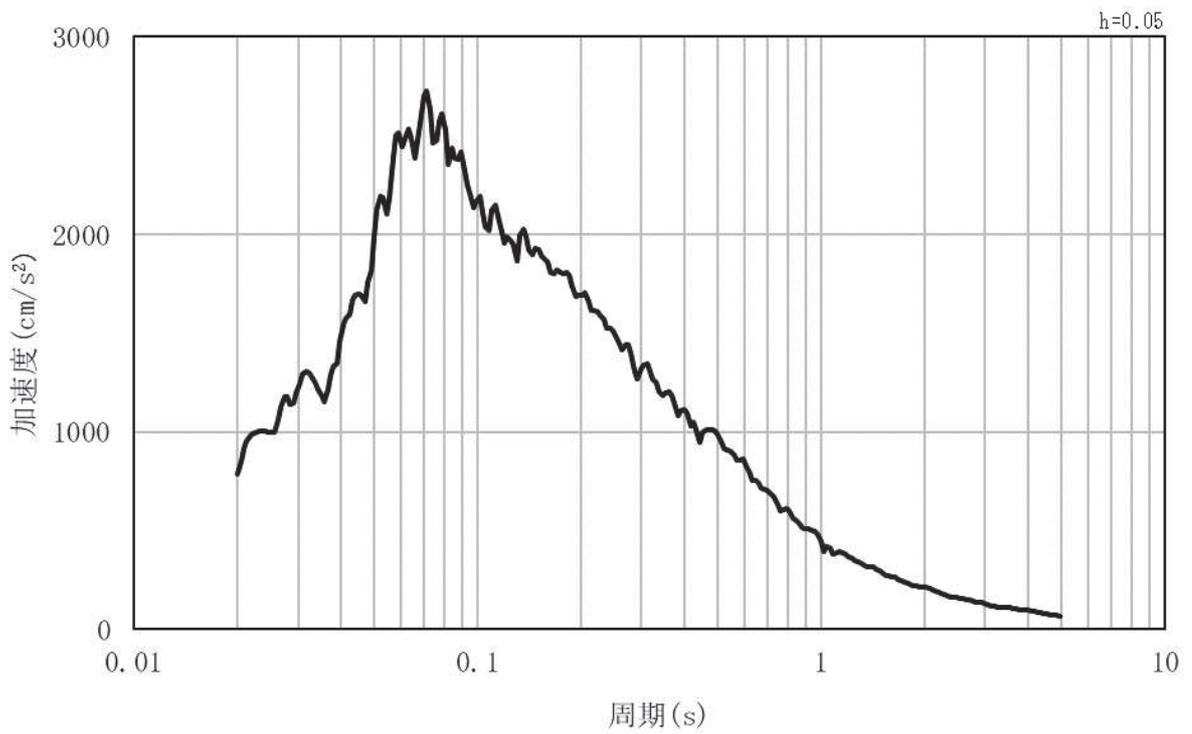


(b) 加速度応答スペクトル

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)

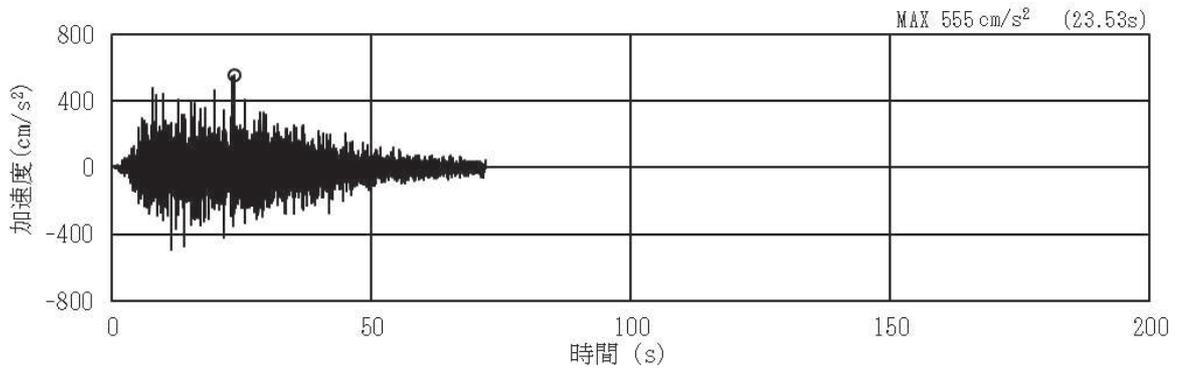


(a) 加速度時刻歴波形

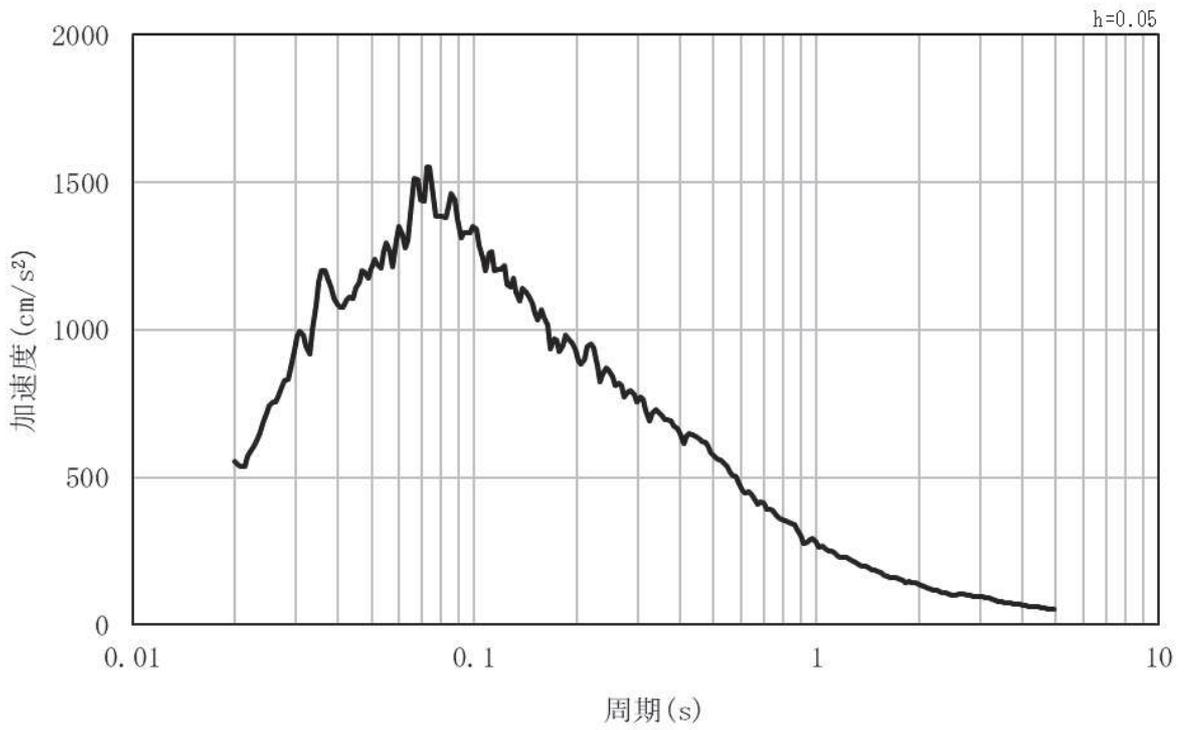


(b) 加速度応答スペクトル

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)

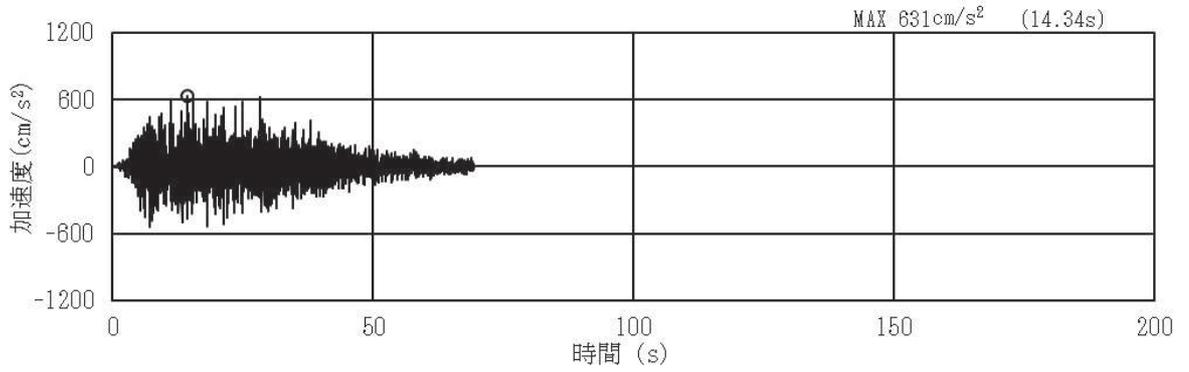


(a) 加速度時刻歴波形

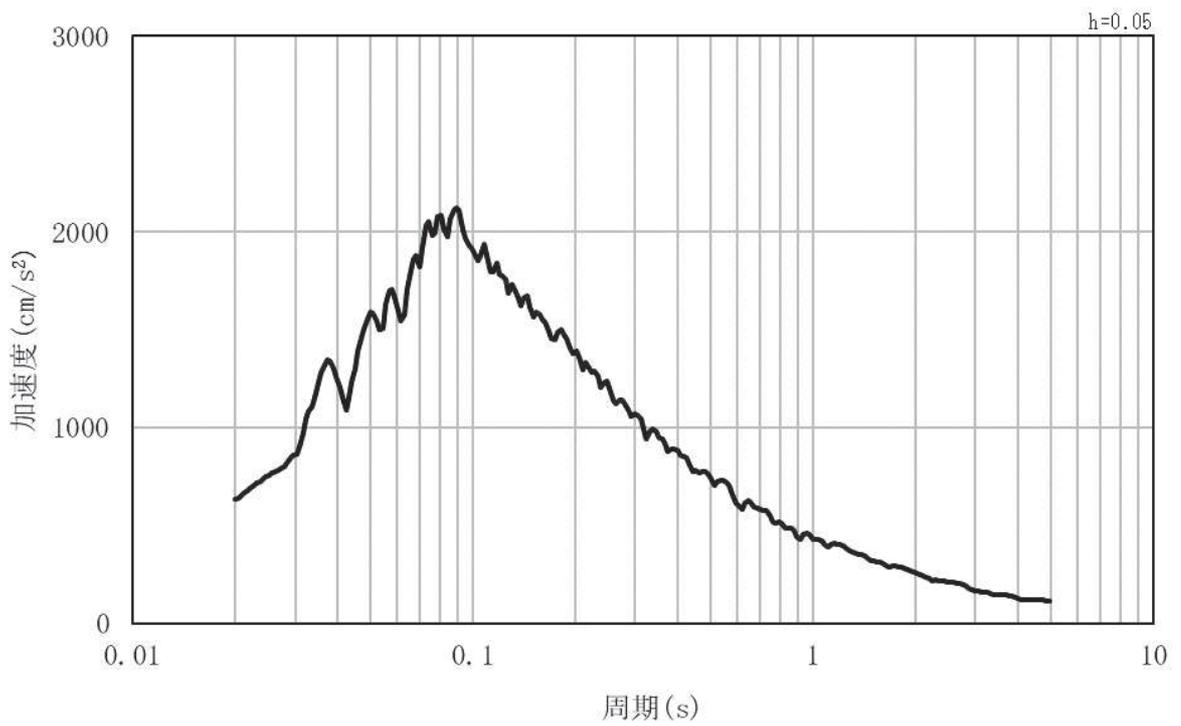


(b) 加速度応答スペクトル

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)

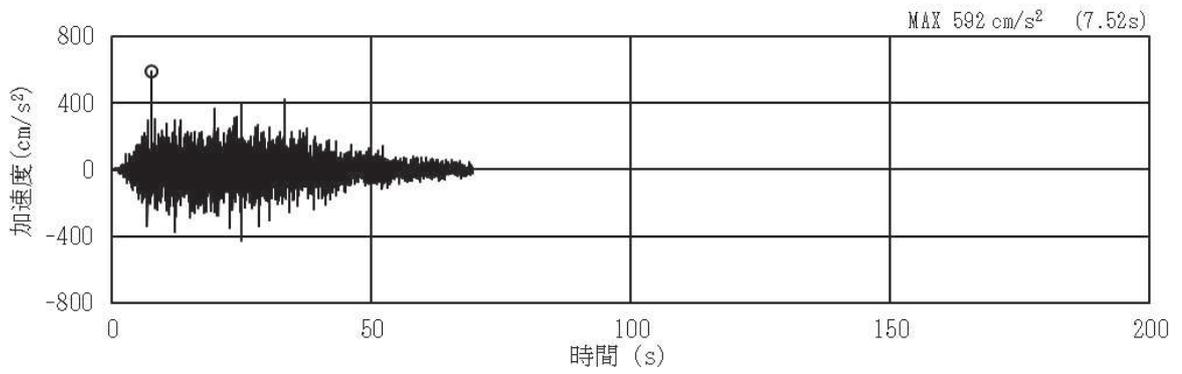


(a) 加速度時刻歴波形

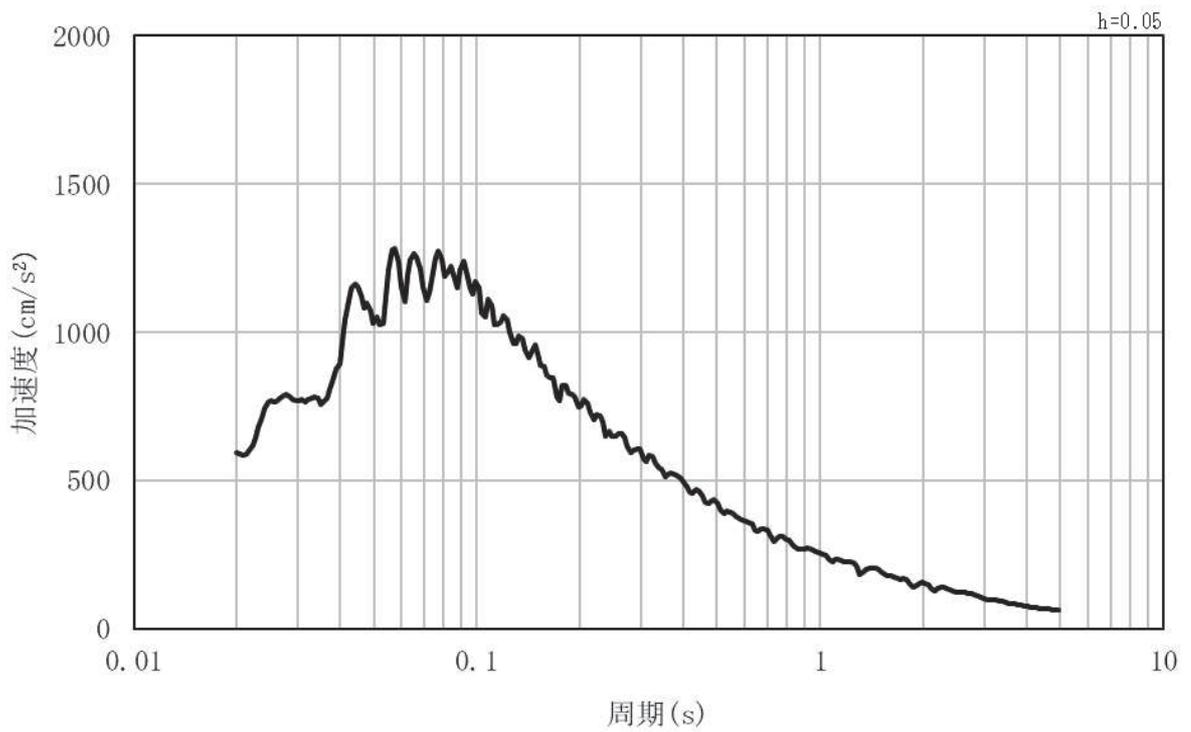


(b) 加速度応答スペクトル

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)

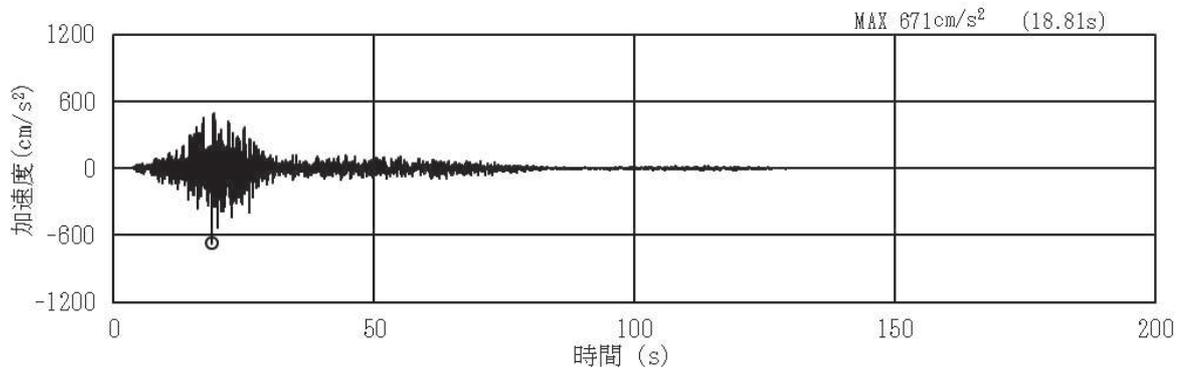


(a) 加速度時刻歴波形

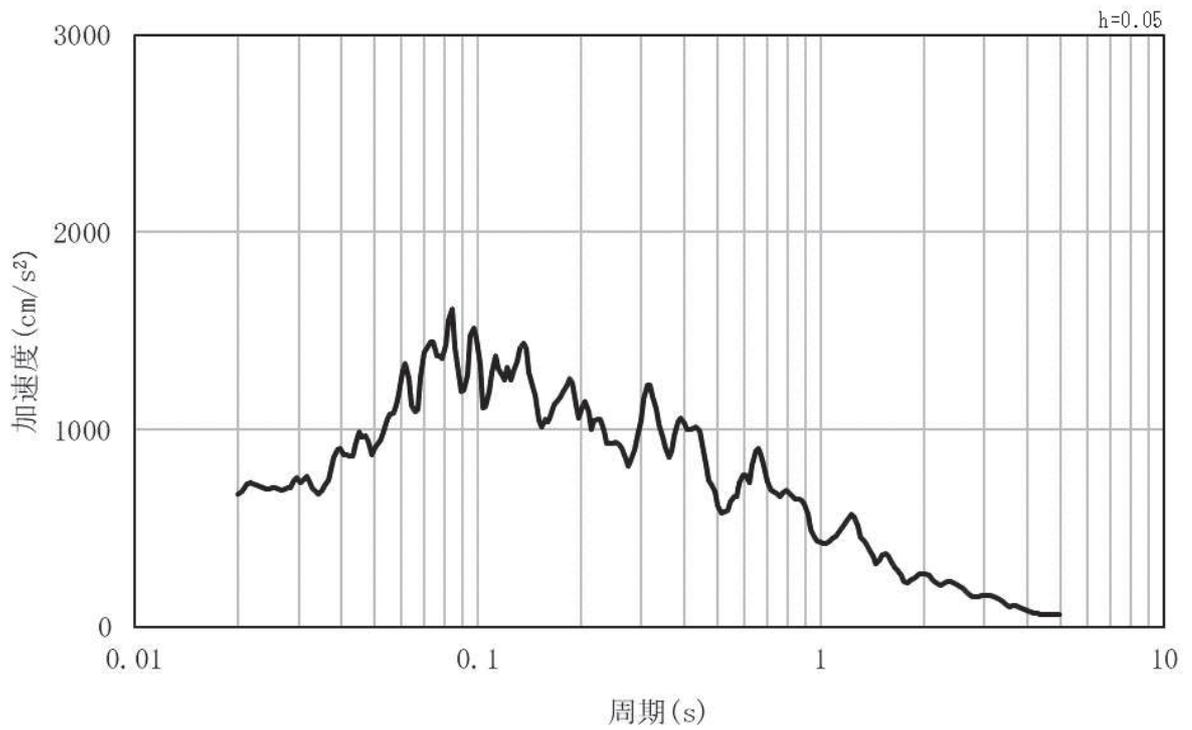


(b) 加速度応答スペクトル

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)

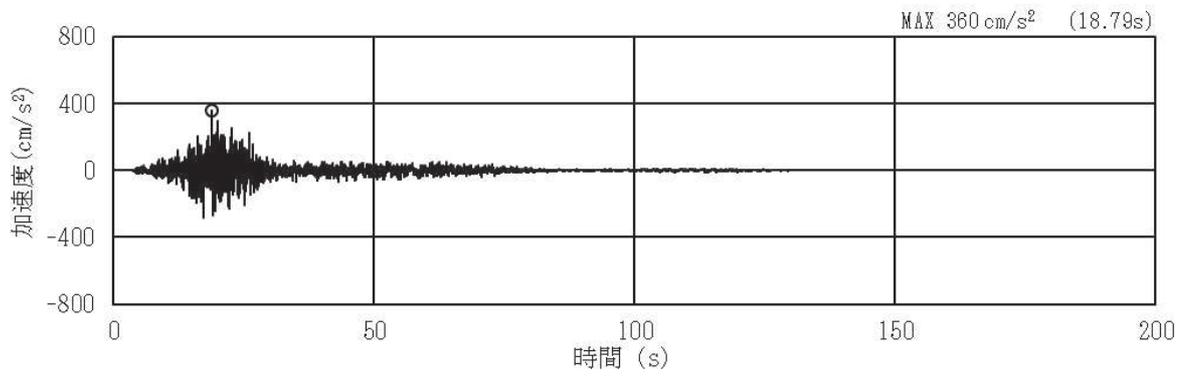


(a) 加速度時刻歴波形

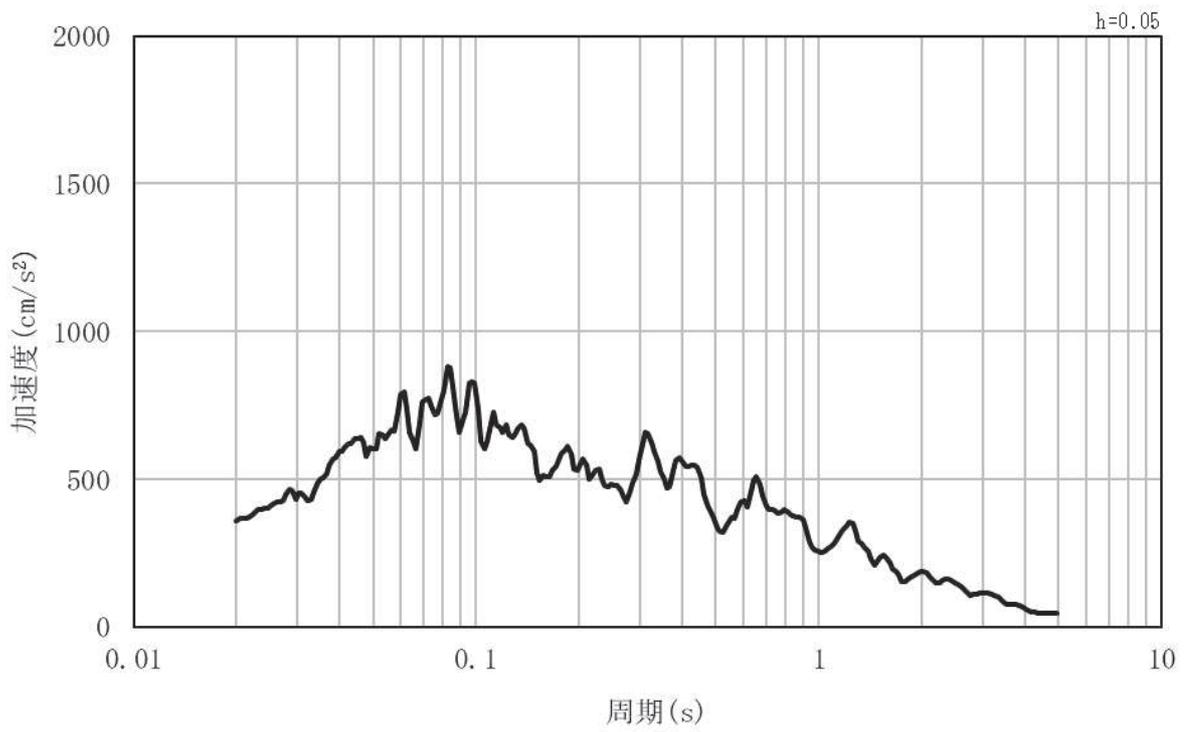


(b) 加速度応答スペクトル

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)

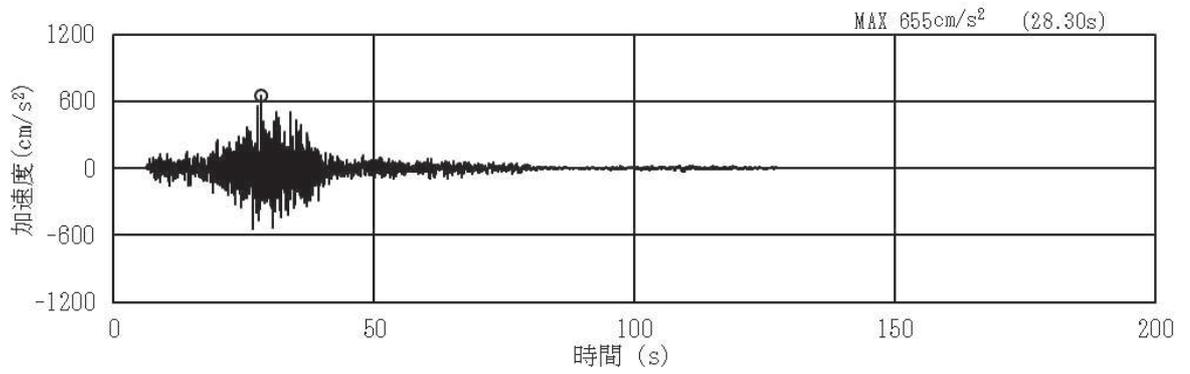


(a) 加速度時刻歴波形

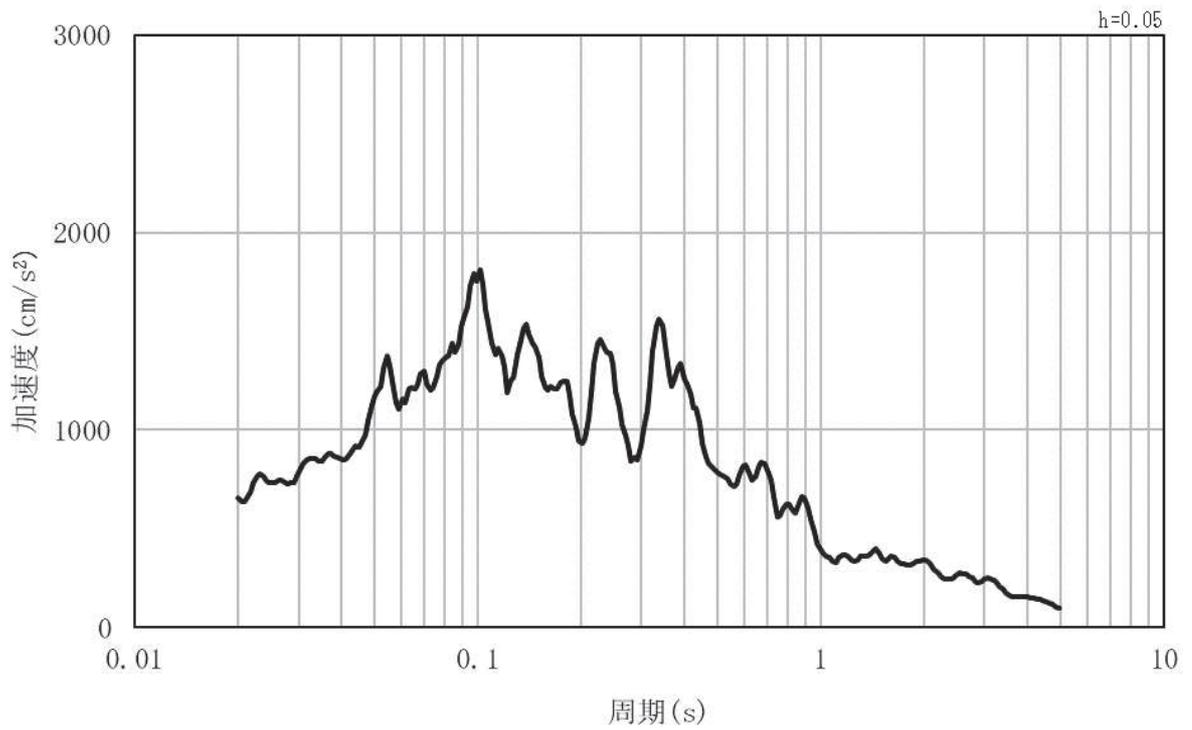


(b) 加速度応答スペクトル

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)

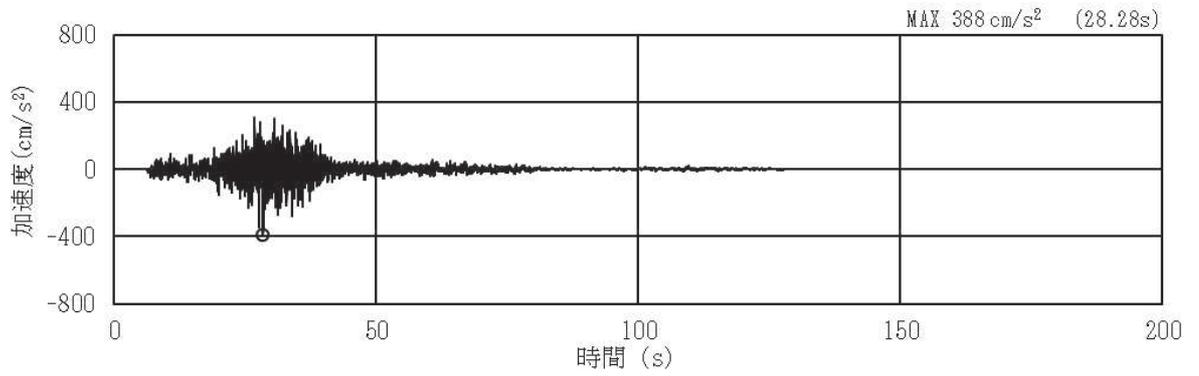


(a) 加速度時刻歴波形

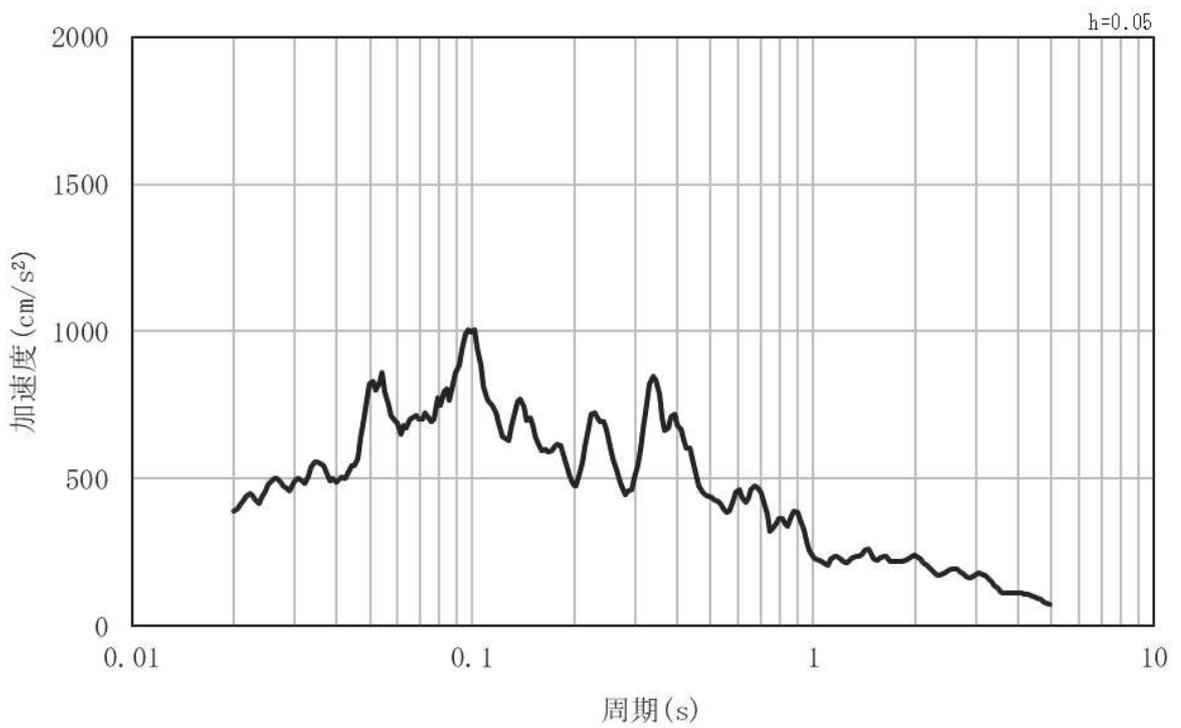


(b) 加速度応答スペクトル

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)

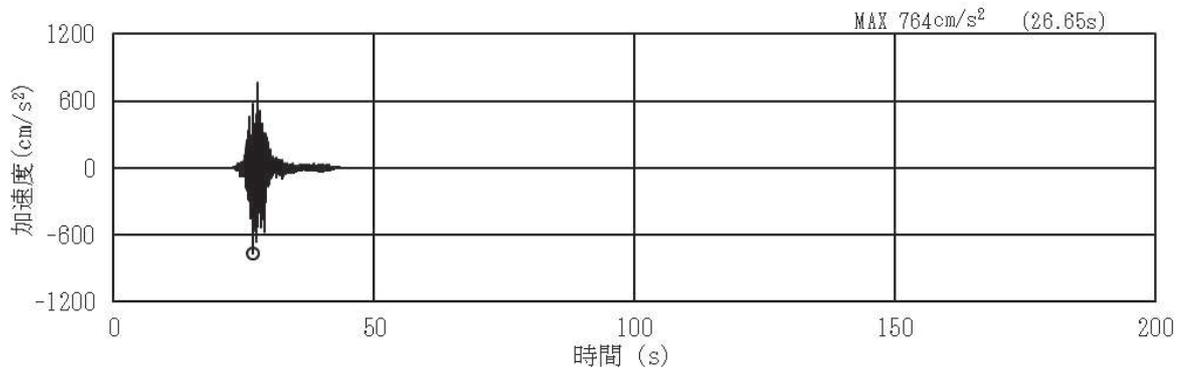


(a) 加速度時刻歴波形

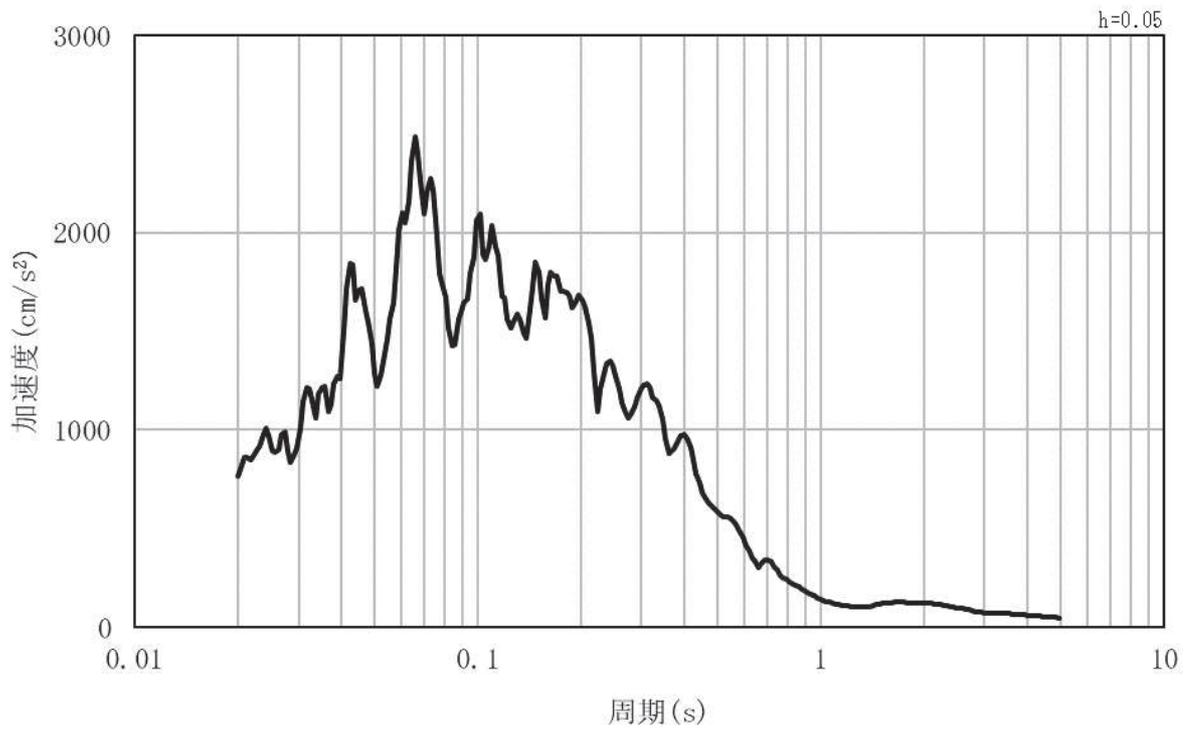


(b) 加速度応答スペクトル

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)

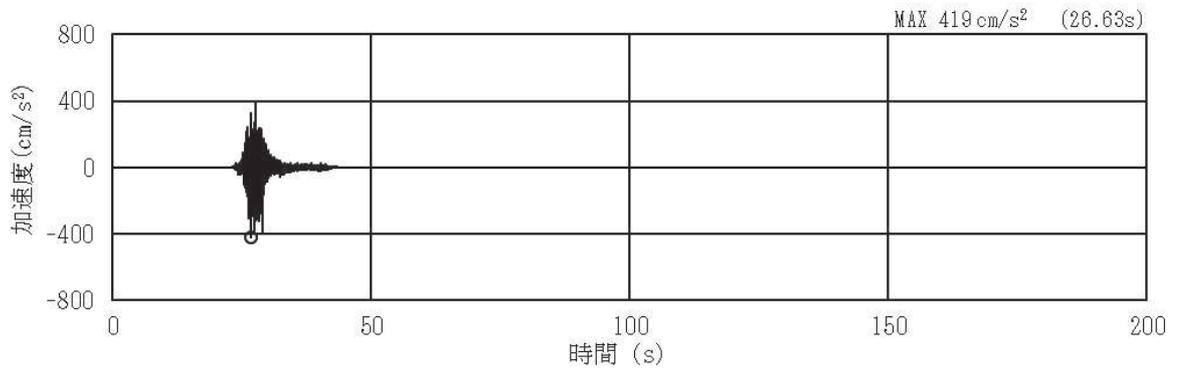


(a) 加速度時刻歴波形

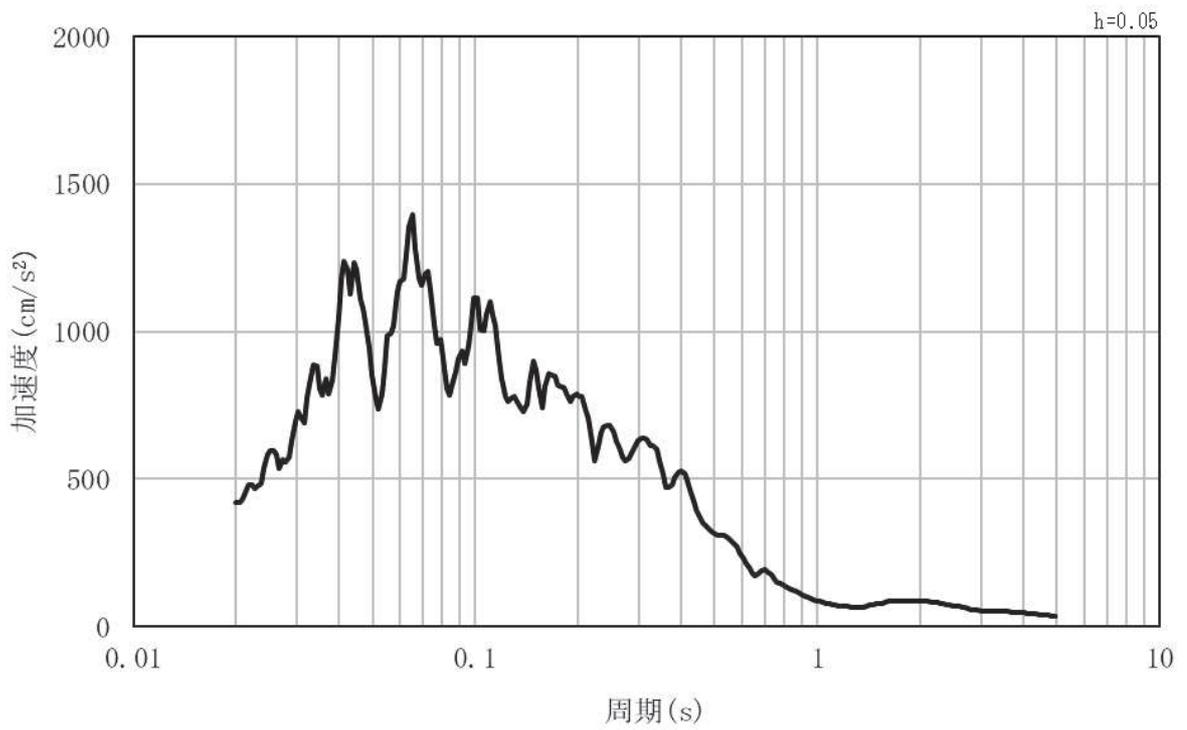


(b) 加速度応答スペクトル

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)

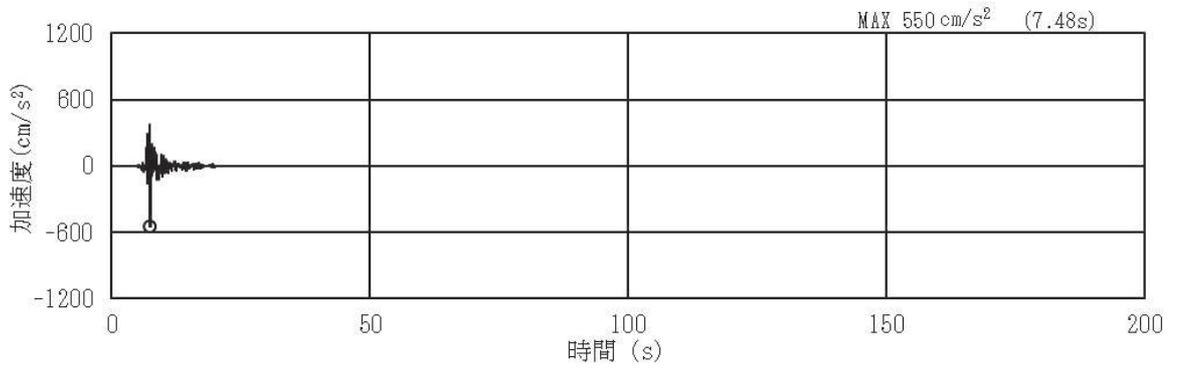


(a) 加速度時刻歴波形

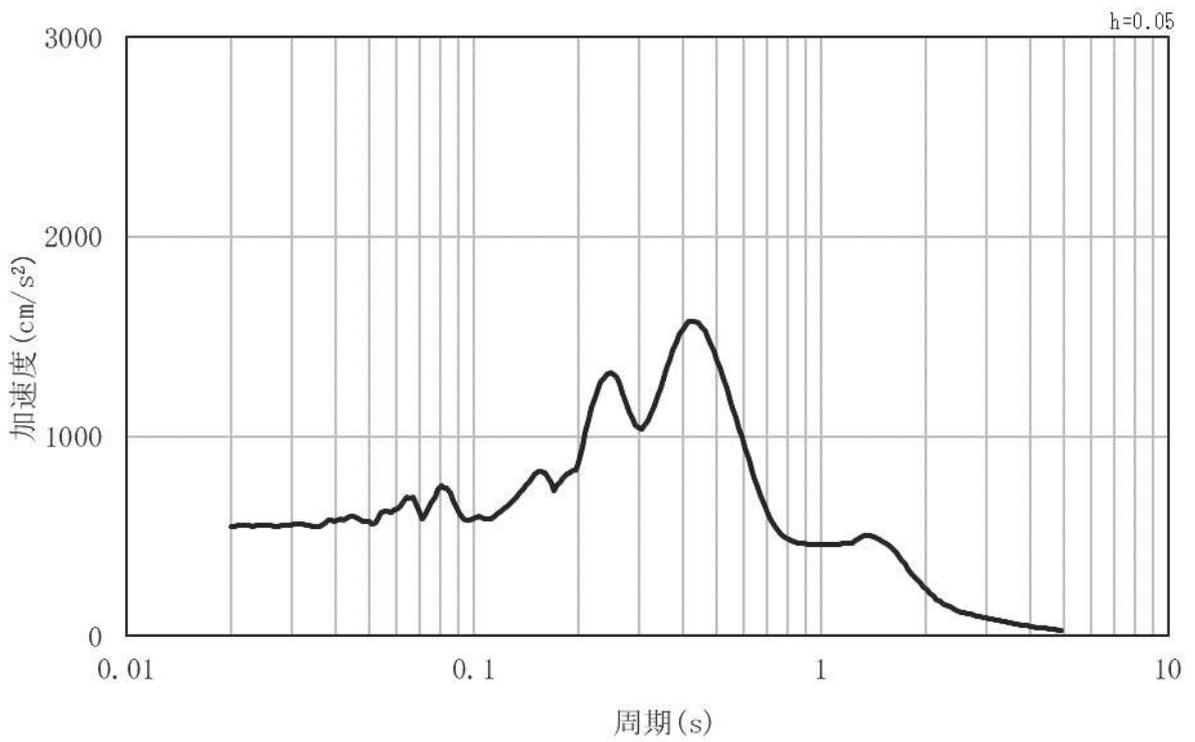


(b) 加速度応答スペクトル

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)

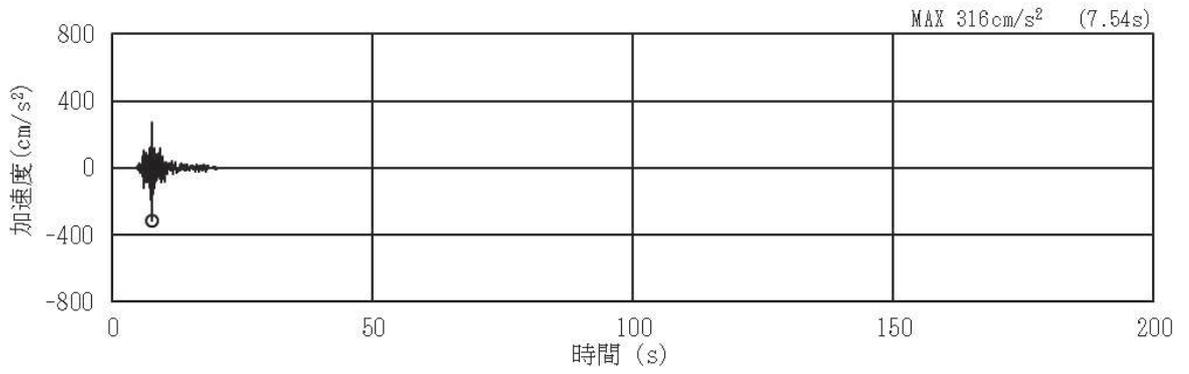


(a) 加速度時刻歴波形

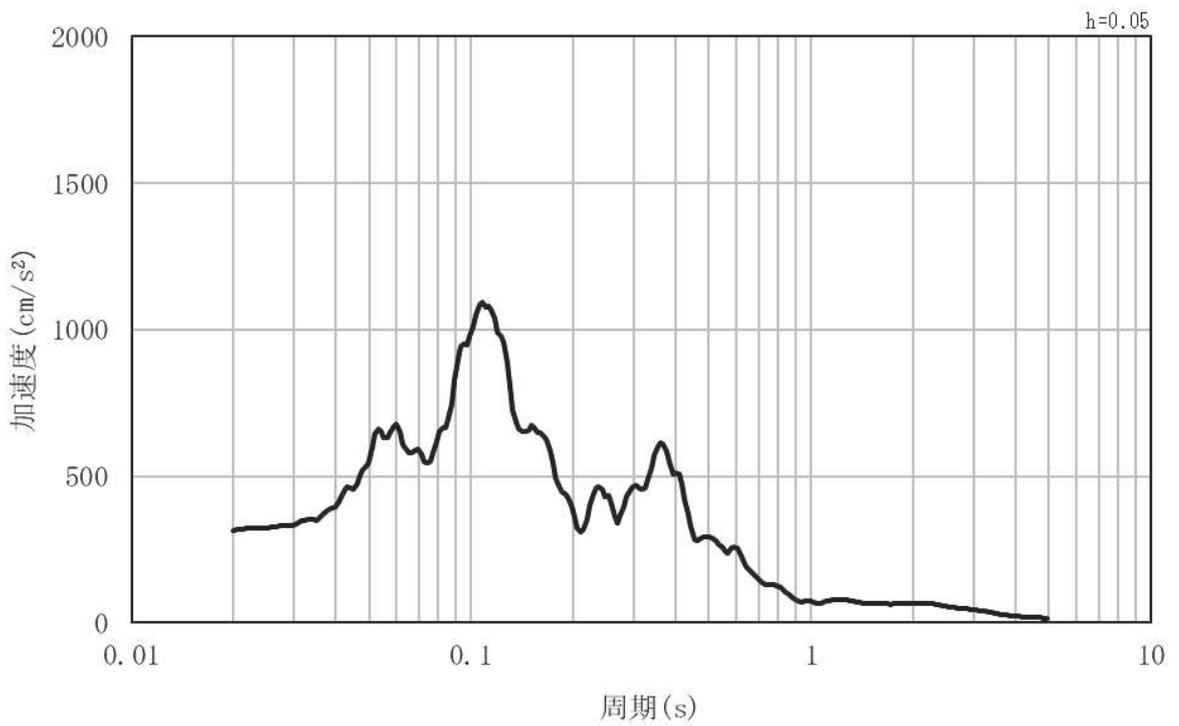


(b) 加速度応答スペクトル

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

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の地震応答解析モデルを図3-5に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方にはエネルギー伝達境界、底面にはエネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

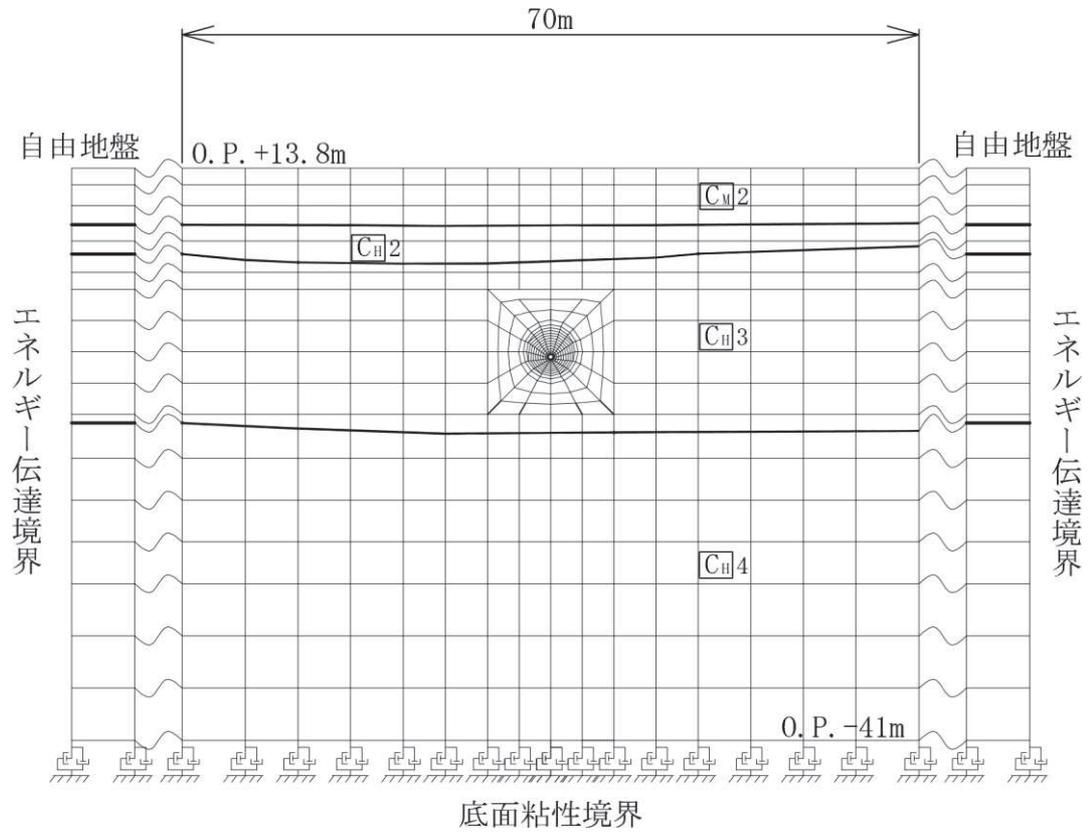
構造部材（覆工部及び充填部）は、平面ひずみ要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

地盤は、平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 内水のモデル化

内水は、付加質量としてモデル化する。



注) C_H4 は C_H 級岩盤の第 4 速度層を示す。

図 3-5 取放水路流路縮小工 (第 1 号機放水路) の地震応答解析モデル

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。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 使用材料

部位	材料	諸元
覆工部	コンクリート	設計基準強度： $f'_{ck}=20.5\text{N/mm}^2$
充填部	コンクリート	設計基準強度： $f'_{ck}=50.0\text{N/mm}^2$

表 3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比 (-)
コンクリート ($f'_{ck}=20.5\text{N/mm}^2$)	24.0	2.33×10^4	0.20
コンクリート ($f'_{ck}=50.0\text{N/mm}^2$)	23.0	3.30×10^4	0.20

3.5.3 地盤の物性値

地盤は、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使用する。

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」に従って設定した地表面とする。

3.6 評価対象部位

3.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、覆工部及び充填部とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、覆工部を支持する岩盤とする。

3.7 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。

3.7.1 構造部材の健全性に対する許容限界

覆工部及び充填部に対する許容限界は、引張強度及びせん断強度である。

引張強度は「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)」に基づき設定する。

覆工部及び充填部の許容限界を表 3-6 に示す。

表 3-6 覆工部及び充填部の許容限界 (引張強度)

部位	項目	許容限界 (N/mm ²)
覆工部	引張強度 σ_t	1.019
充填部	引張強度 σ_t	1.847

せん断強度に関する許容限界は、覆工部及び充填部に発生する応力と表 3-7 に示す物性値を用いて算定する。せん断強度は、「コンクリート標準示方書 (ダムコンクリート編) (土木学会, 2013 年制定)」より算出する。

表 3-7 覆工部及び充填部の許容限界 (せん断強度)

項目			覆工部	充填部
設計基準強度	f'_{ck}	N/mm ²	20.5	50.0
内部摩擦角	ϕ	°	0 ^{*1}	0 ^{*1}
せん断強度	τ_0	N/mm ²	4.1 ^{*2}	10.0 ^{*2}

注記 *1: 保守的に考慮しないこととする

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

3.7.2 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。

基礎地盤の極限支持力を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

3.8 評価方法

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.7 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.8.1 構造部材の健全性評価

地震応答解析により算定した覆工及び充填部の応力が、引張強度及びせん断強度の許容限界以下となることを確認する。

引張強度における照査値が最大となる時刻の応力分布図を図3-6及び図3-7に、せん断強度における照査値が最大となる時刻の応力分布図を図3-8及び図3-9に示す。

応力分布図は 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。

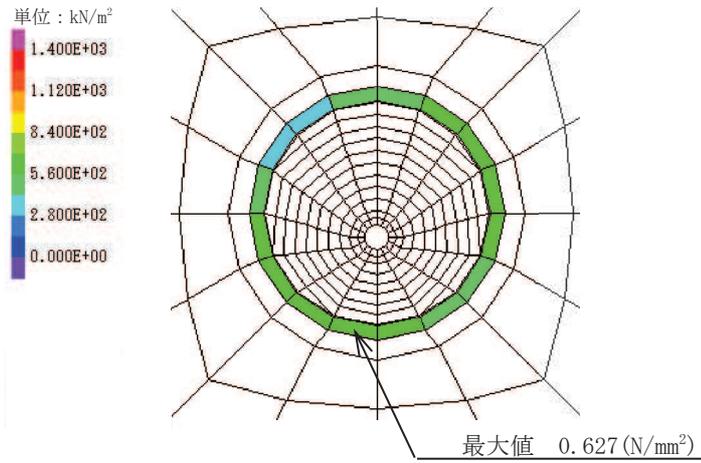


図 3-6 覆工部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (-+), t=27.64s)

(解析ケース① : 基本ケース)

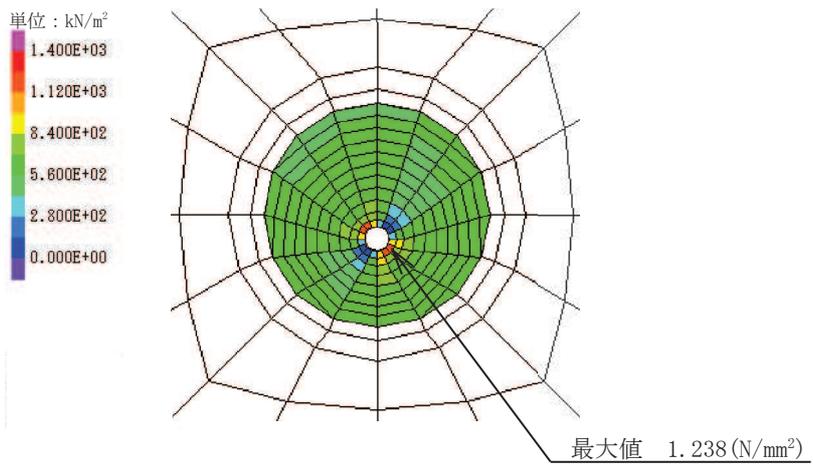


図 3-7 充填部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (-+), t=27.64s)

(解析ケース① : 基本ケース)

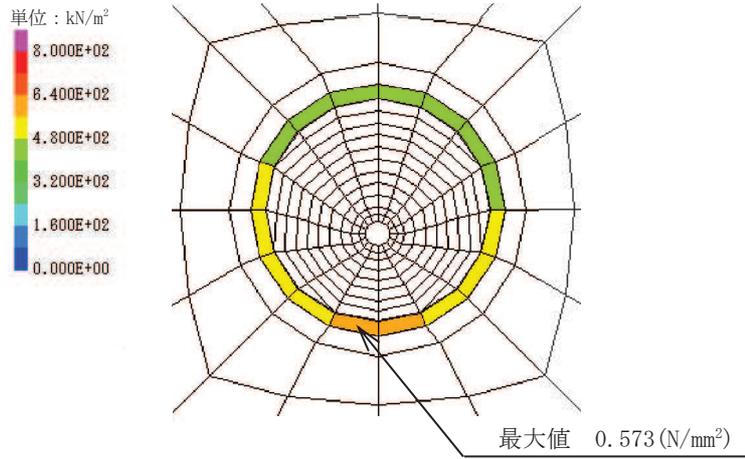


図 3-8 覆工部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (++) , t=27.64s)

(解析ケース① : 基本ケース)

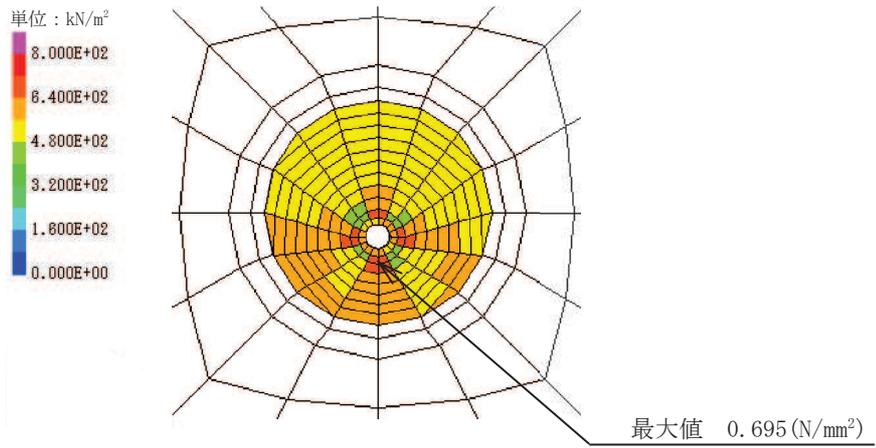


図 3-9 充填部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(S s - F 3 (++) , t=27.64s)

(解析ケース① : 基本ケース)

3.8.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、覆工部を支持する基礎岩盤に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

最大接地圧の分布図を図 3-10 に示す。

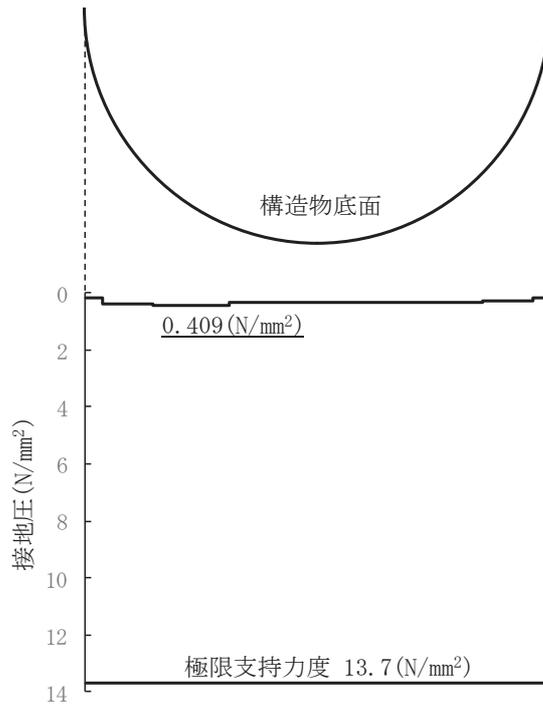


図 3-10 最大接地圧の分布図

(S s - F 3 (-+))

(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)

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

覆工部及び充填部の引張強度における照査値を表 4-1 に、せん断強度における照査値を表 4-2 に示す。覆工部及び充填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 引張強度における最大照査値

部位	地震動	解析ケース	発生応力 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
覆工部	S s - F 3 (-+)	①	0.627	1.019	0.62
充填部	S s - F 3 (-+)	①	1.238	1.847	0.68

表 4-2 せん断強度における照査値

部位	地震動	解析ケース	発生応力 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
覆工部	S s - F 3 (++)	①	0.573	4.1	0.14
充填部	S s - F 3 (++)	①	0.695	10.0	0.07

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 4-3 に示す。

覆工部を支持する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照査結果

地震動	解析ケース	最大接地圧 (N/mm ²) (a)	許容限界 (N/mm ²) (b)	照査値 (a/b)
S s - F 3 (-+)	③	0.409	13.7	0.03