

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や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-補-E-01-0140-1_改 11
提出年月日	2021年5月12日

補足-140-1 【津波への配慮に関する説明書の補足説明資料】

目次

1. 入力津波の評価
 - 1.1 潮位観測記録の考え方について
 - 1.2 遡上・浸水域の考え方について
 - 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について
 - 1.4 管路解析モデルについて
 - 1.5 入力津波の不確かさの考慮について
 - 1.6 津波シミュレーションにおける解析モデルについて
 - 1.7 非常用取水設備内に貯留される水量の算定について
2. 津波防護対象設備
 - 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について
3. 取水性に関する考慮事項
 - 3.1 砂移動による影響確認について
 - 3.2 除塵装置の取水性への影響について
 - 3.3 非常用海水ポンプの波力に対する強度評価について
4. 漂流物に関する考慮事項
 - 4.1 設計に用いる遡上波の流速について
 - 4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性
 - 4.3 漂流物による衝突荷重について
5. 設計における考慮事項
 - 5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について
 - 5.2 耐津波設計における現場確認プロセスについて
 - 5.3 津波防護に関する施設の機能設計・構造設計に係る許容限界について
 - 5.4 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性について
 - 5.5 スロッシングによる貯水量に対する影響評価
 - 5.6 津波防護施設の強度計算における津波荷重，余震荷重及び衝突荷重の組合せについて
 - 5.7 浸水防護施設の評価における衝突荷重，風荷重及び積雪荷重について
 - 5.8 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況について
 - 5.9 耐震及び耐津波設計における許容限界について
 - 5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について
 - 5.11 地殻変動後の津波襲来時における海水ポンプの取水性への影響について
 - 5.12 浸水防護施設のアンカーボルトの設計について

- 5.13 強度計算に用いた規格・基準類の適用性について
- 5.14 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について
- 5.15 浸水量評価について
- 5.16 強度評価における津波荷重等の鉛直方向荷重の考え方について
- 5.17 津波に対する止水性能を有する施設の評価について
- 5.18 防潮壁内のスロッシングによる非常用海水ポンプへの被水影響について
- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
 - 6.1 防潮堤に関する補足説明
 - 6.2 取放水路流路縮小工に関する補足説明
 - 6.3 防潮壁に関する補足説明
 - 6.4 貯留堰に関する補足説明
 - 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
 - 6.5.1 逆流防止設備に関する補足説明
 - 6.5.2 水密扉に関する補足説明
 - 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
 - 6.5.4 浸水防止壁に関する補足説明
 - 6.5.5 逆止弁付ファンネルに関する補足説明
 - 6.5.6 貫通部止水処置に関する補足説明
 - 6.6 津波監視設備に関する補足説明
 - 6.6.1 津波監視カメラに関する補足説明
 - 6.6.2 取水ピット水位計に関する補足説明

: 本日の説明範囲

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.2 取放水路流路縮小工に関する補足説明

目 次

- 6.2.1 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に関する補足説明
- 6.2.2 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に関する補足説明
- 6.2.3 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の強度計算書に関する補足説明
- 6.2.4 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度計算書に関する補足説明
- 6.2.5 取放水路流路縮小工の設置による津波防護機能，第1号機取水機能及び放水機能への影響について

参考資料 1 取放水路流路縮小工貫通部におけるすり減りに対する影響評価について

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.2 取放水路流路縮小工の設計に関する補足説明
- 6.2.1 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に関する補足説明

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
2.5 記号の説明	7
3. 耐震評価	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	14
3.4 入力地震動	16
3.5 解析モデル及び諸元	33
3.6 評価対象部位	37
3.7 許容限界	37
3.8 評価方法	38
4. 耐震評価結果	69
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	69
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	72

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2.1-1に示す。

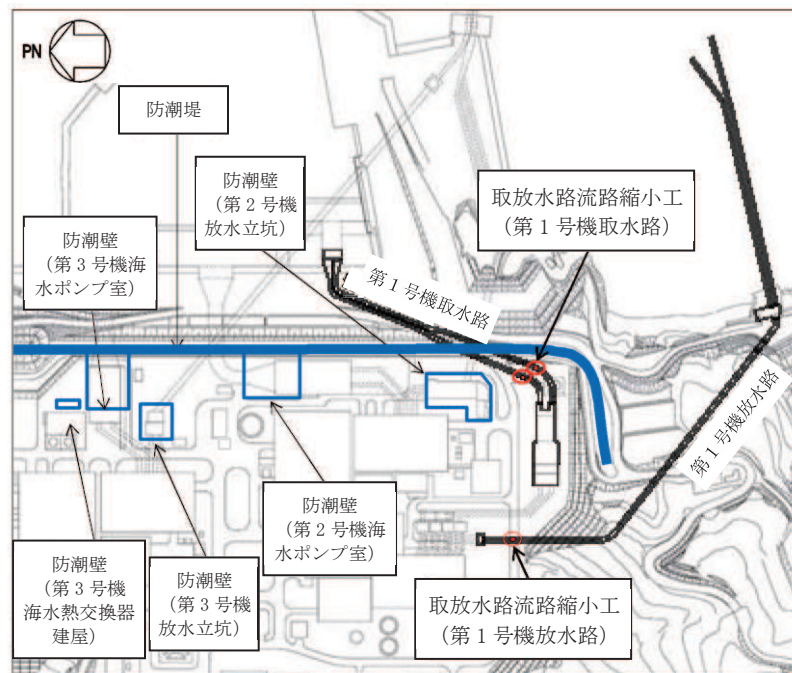


図 2.1-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の位置図（全体平面図）

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2.2-1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。

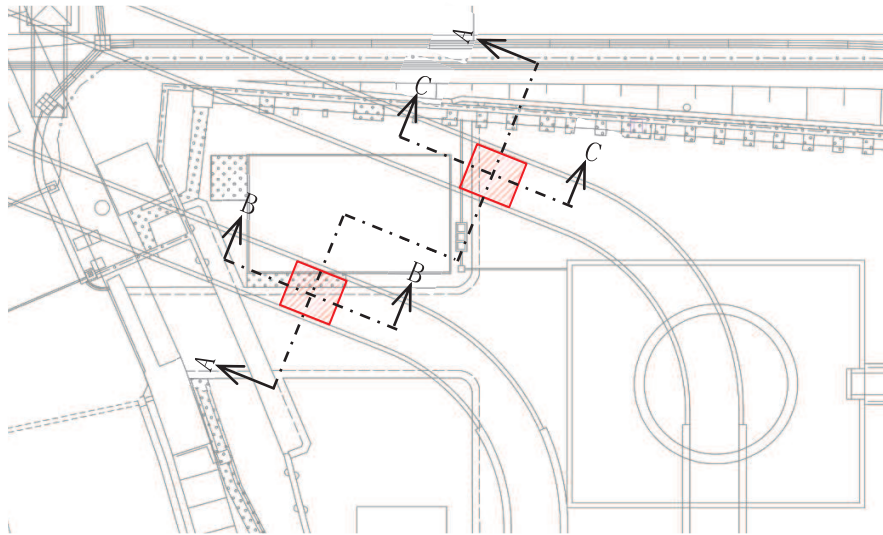


図2.2-1(1) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）（No.1）,（No.2） 平面図

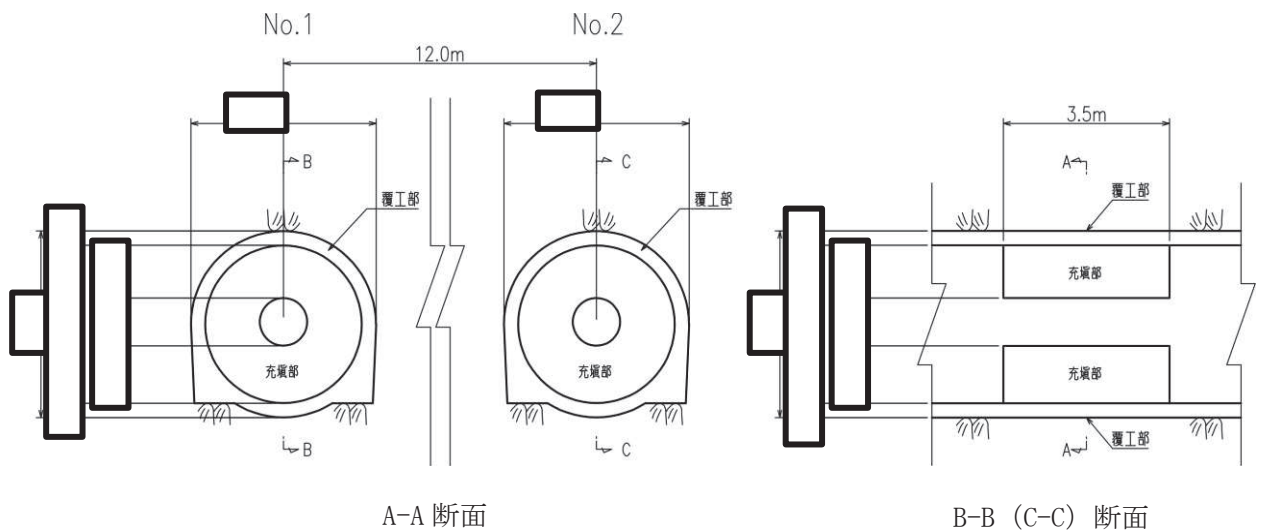


図2.2-1(2) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）（No.1）,（No.2） 断面図

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2.3-1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2.3-1に示す。

表2.3-1 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

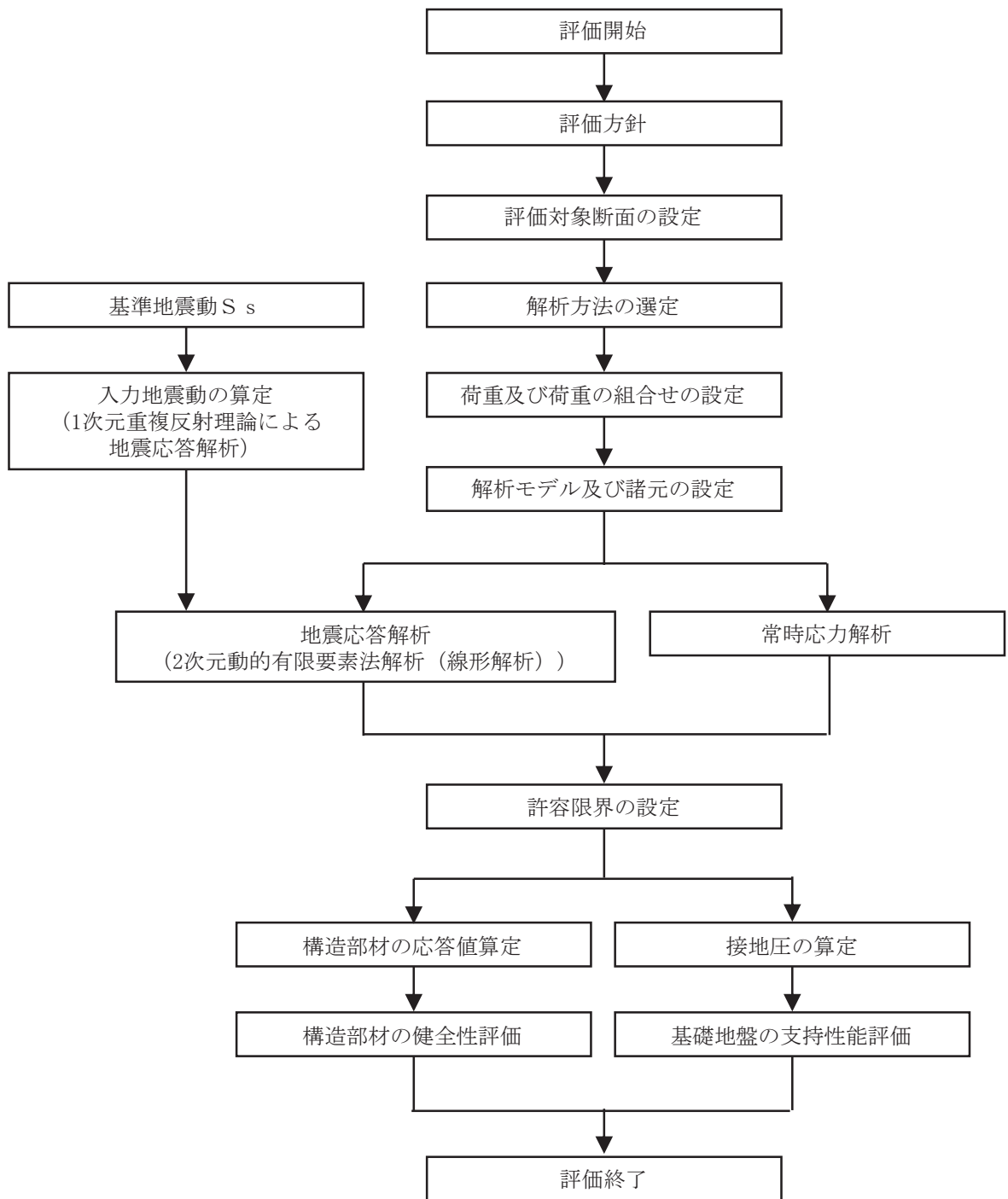


図 2.3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。また，各項目で適用する規格，基準類を表 2.4-1 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）

表 2.4-1 各項目で適用する規格，基準類

項目		適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数		<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定） ・コンクリート標準示方書〔設計編〕（2017年制定） 	—
荷重及び荷重の組合せ		<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002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（2016年制定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組み合わせを検討 ・トンネル掘削による解放応力及び地山のゆるみ土圧の検討
許容限界	覆工部及び充填部	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定） ・コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（2013年制定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・引張強度及びせん断強度に対して，発生応力が許容限界以下であること確認
地震応答解析		<ul style="list-style-type: none"> ・土木学会マニュアル ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会） 	<ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法による二次元モデルを用いた線形解析

2.5 記号の説明

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の応力評価に用いる記号を表 2.5-1 に示す。

表 2.5-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の応力評価に用いる記号

記号	定義	単位
G	固定荷重（躯体の自重）	N
P	積載荷重	kN/m ²
S _s	地震荷重	N
f _{ck}	コンクリートの設計基準強度	N/mm ²
σ _t	引張強度	N/mm ²
f _{td}	設計引張強度	N/mm ²
f _{tk}	引張強度	N/mm ²
γ _b	部材係数	—
γ _c	材料係数	—
φ	内部摩擦角	°
τ ₀	せん断強度	N/mm ²

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)は、2系統（No.1, No.2）が岩盤を介して隣接していること、縦断方向の地質に有意な差がないことから、No.1とNo.2の中央位置（A-A断面）を評価対象断面として選定する。

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3.1-1に示す。評価対象断面の地質図を図3.1-2に示す。

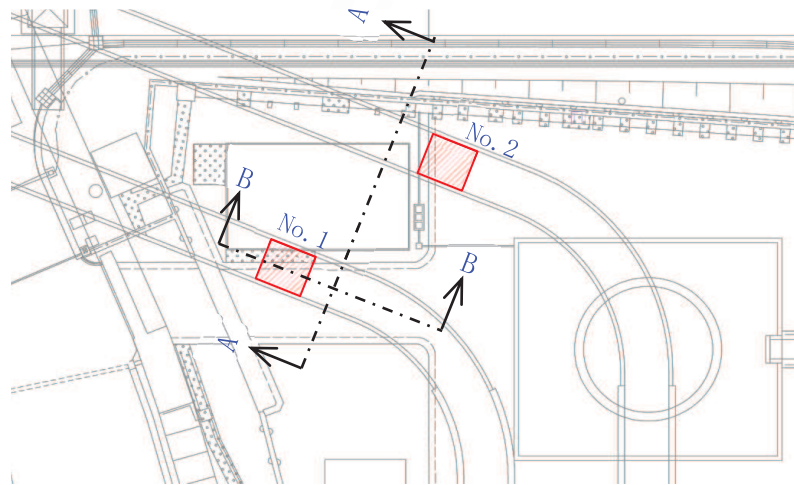


図 3.1-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No.1), (No.2)の評価対象断面位置図

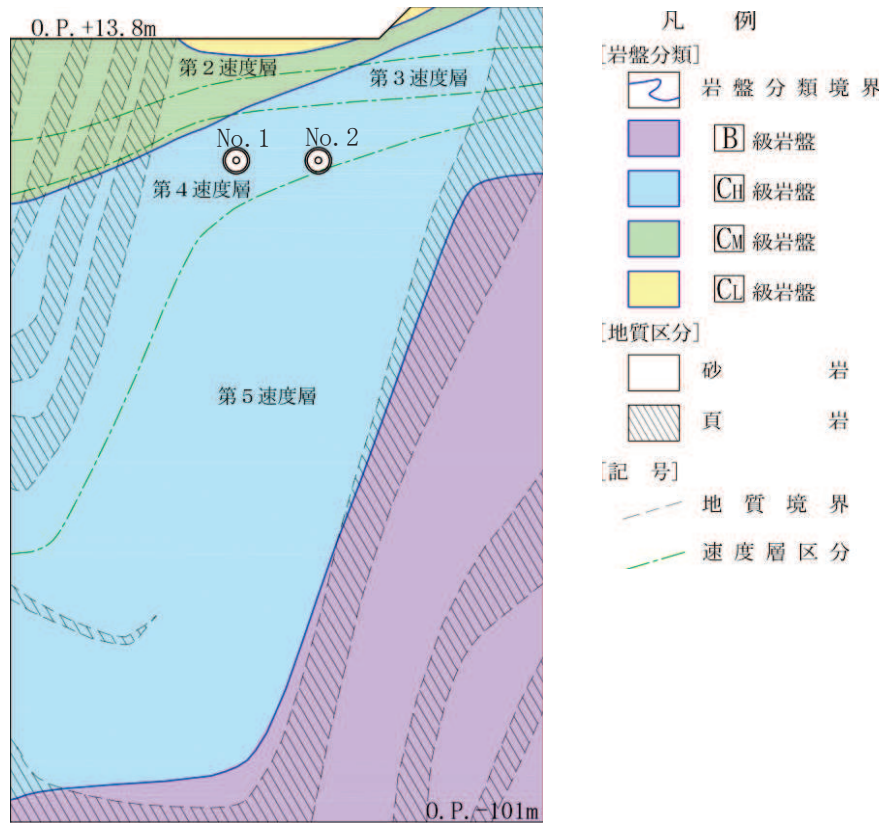


図 3.1-2(1) 取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2) の地質図 (A-A 断面図)

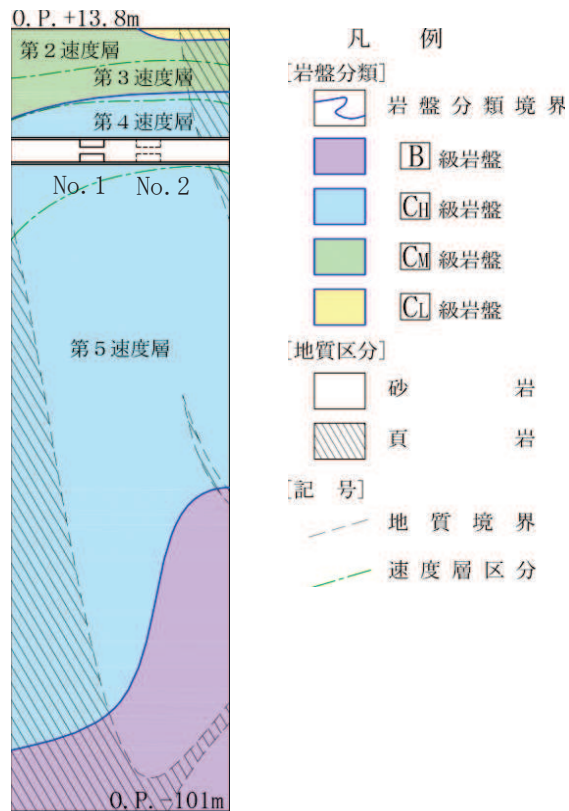


図 3.1-2(2) 取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2) の地質図 (B-B 断面図)

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。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価に用いる構造部材の応答値及び接地圧は、地震応答解析から得られる地震時増分と常時応力解析から得られる常時応力を重ね合わせて算定する。

地震応答解析及び常時応力解析では、構造物周辺が岩盤に覆われているため、線形解析を実施する。

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

3.2.1 地震応答解析手法

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。

構造部材については、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こととし、物性値は線形とする。

地盤（岩盤）については、平面ひずみ要素によりモデル化することとし、物性値は線形とする。

地震応答解析の選定フローを図 3.2-1 に示す。

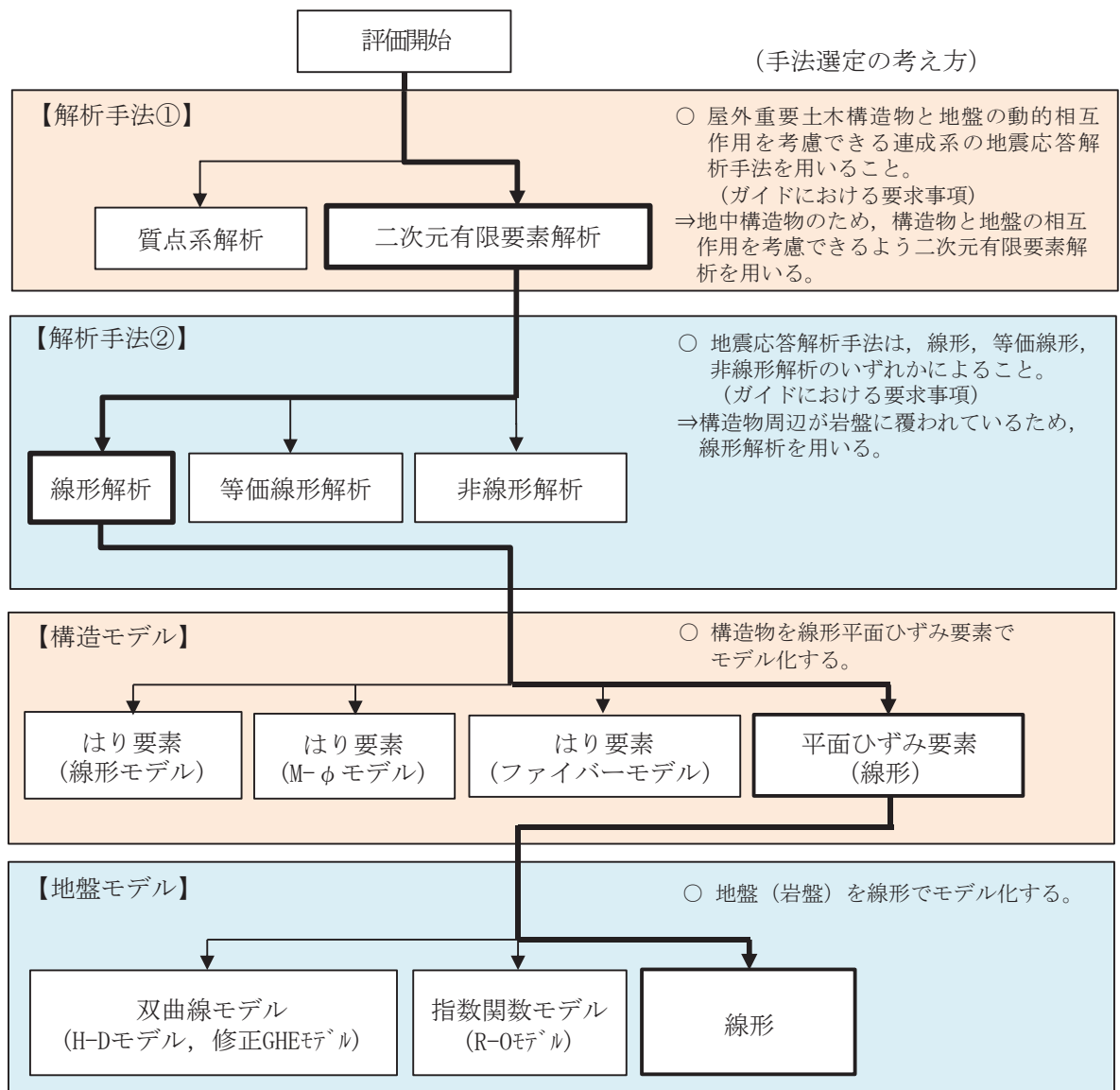


図 3.2-1 地震応答解析の選定フロー

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 3.2-1 に示す解析ケースを設定する。

地盤物性のばらつきは、岩級区分ごとの PS 検層の結果から得られるせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する (解析ケース②, ③)。

表 3.2-1 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、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、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 3.2-1 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 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
地震動(位相)	S _s -D1	++*	○	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 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となるすべての項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②、③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる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 $4.9(\text{kN}/\text{m}^2)$ 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号機取水路トンネルは、地山の变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 360 程度と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*：トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[山岳工法編]（土木学会，2016 制定）に基づき、地山強度比 $G_n = q_u / \gamma H$ により算定。

(q_u ：地山の一軸圧縮強度 $153.0\text{N}/\text{mm}^2$ ， γ ：地山の単位体積重量 $26.2\text{ kN}/\text{mm}^3$ ， H ：トンネルの土被り 15.947m)

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1(1) 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

表 3.3-1(2) 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	固定 荷重	躯体自重	○	・ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	・ 対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	—	・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。
		積載荷重	○	・ 地表面に 4.9(kN/m ²)を考慮する。
	静止土圧		—	・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。
	外水圧		—	・ つり合っているため考慮しない
	内水圧		—	・ つり合っているため考慮しない
	積雪荷重		—	・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。
	風荷重		—	・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。
偶発荷重	水平地震動		○	・ 基準地震動 S _s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動		○	
	動水圧		○	・ 朔望平均満潮位での動水圧を考慮する。

3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1(2) 動的地震力」及び添付書類「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」を用いる。

入力地震動算定概念図を図 3.4-1 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 3.4-2 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。

① 引戻し解析

引戻し地盤モデル（解放基盤モデル）を用いて、水平方向地震動及び鉛直方向地震動をそれぞれ引戻し地盤モデル底面位置まで引戻す。

② 水平方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（水平方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで水平方向地震動を引上げる。

③ 鉛直方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（鉛直方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで鉛直方向地震動を引上げる。

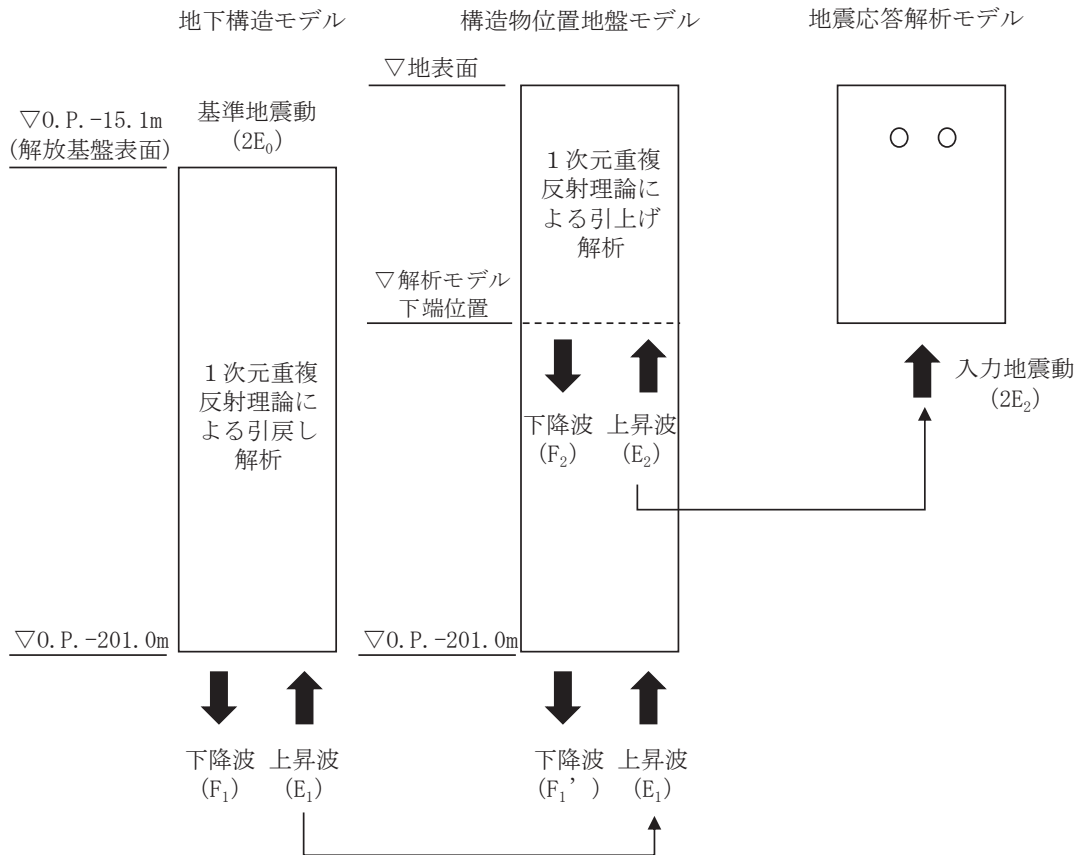
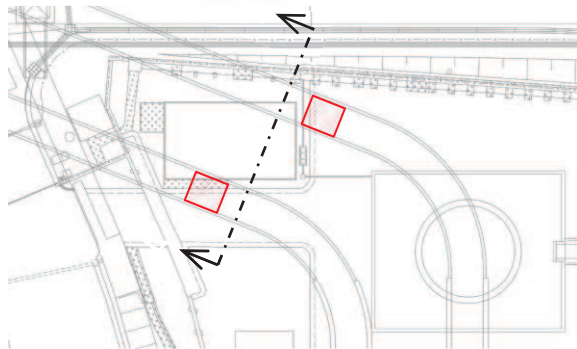
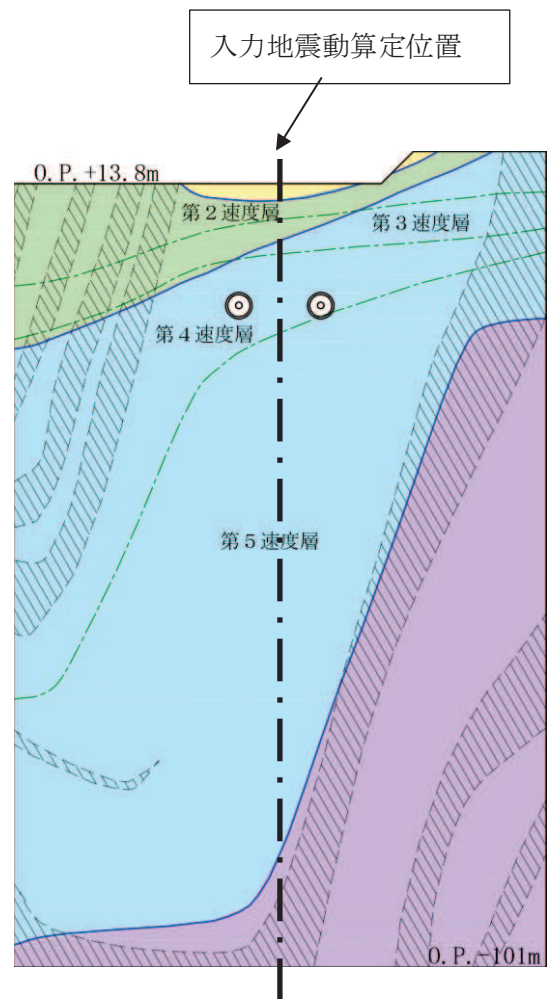


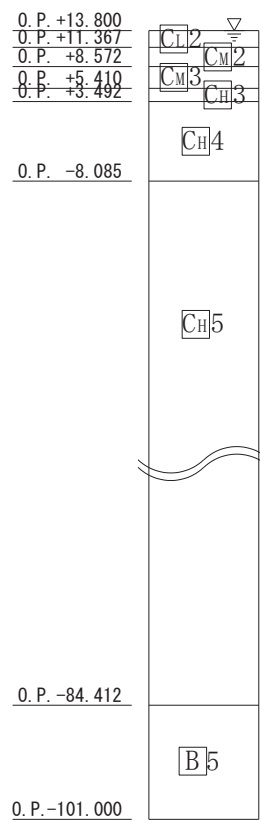
図 3.4-1(1) 入力地震動算定の概念図



解析地盤モデル位置図

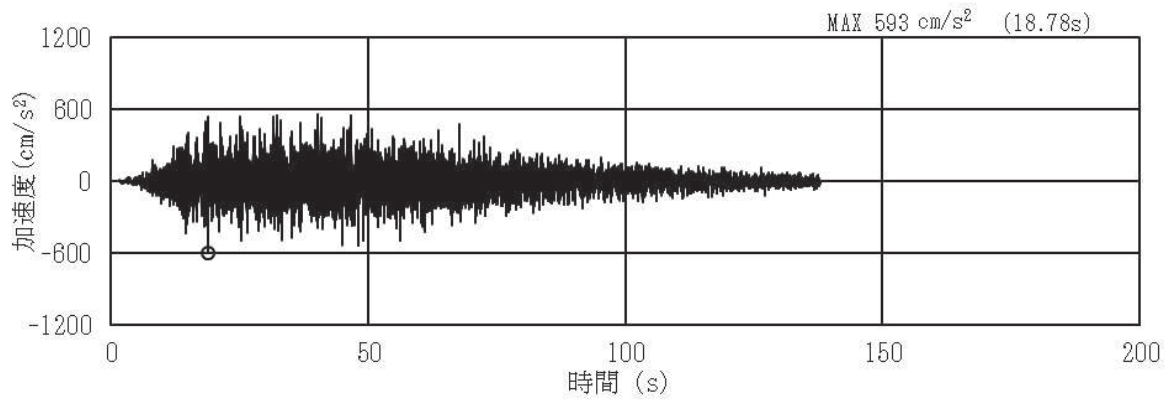


解析地盤モデル (地質図)

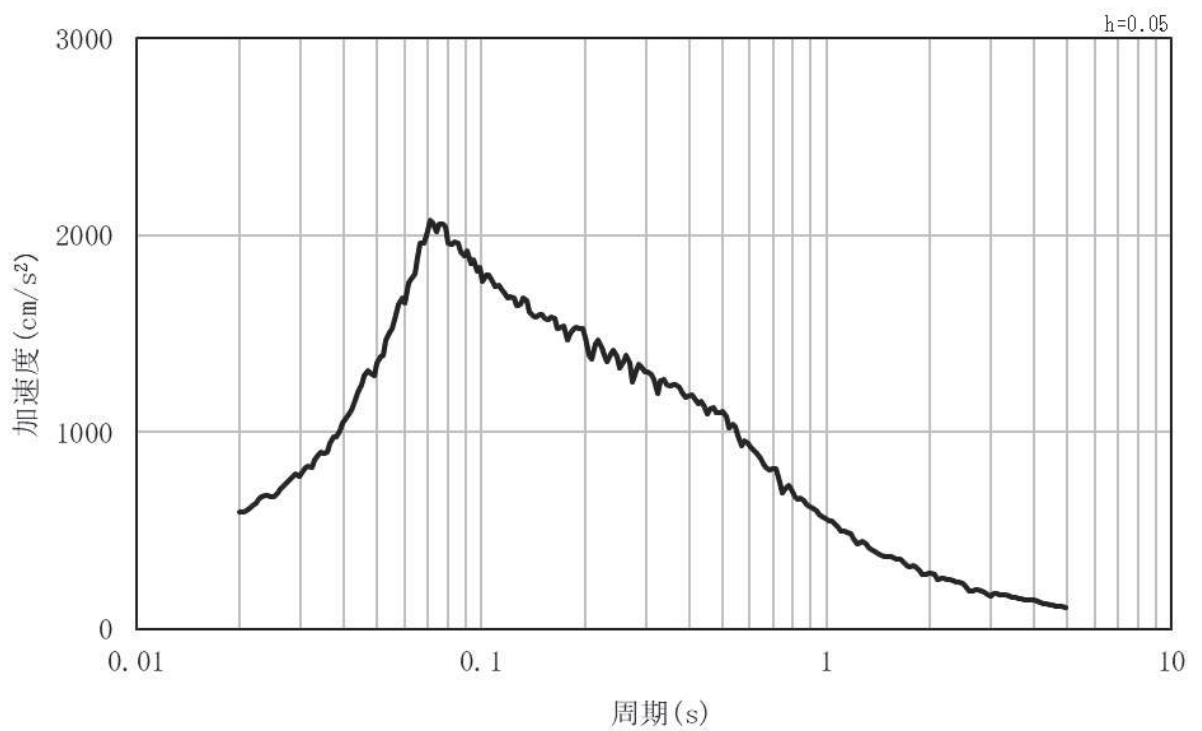


注記 C_H5 は C_H 級岩盤の第5速度層を示す。

図 3.4-1(2) 入力地震動算定の概念図 (引上げ地盤モデル)

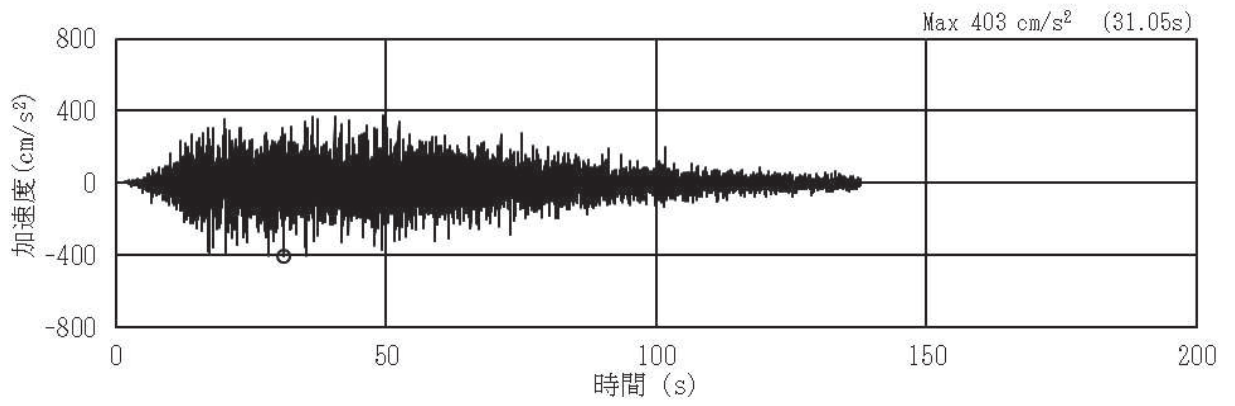


(a) 加速度時刻歴波形

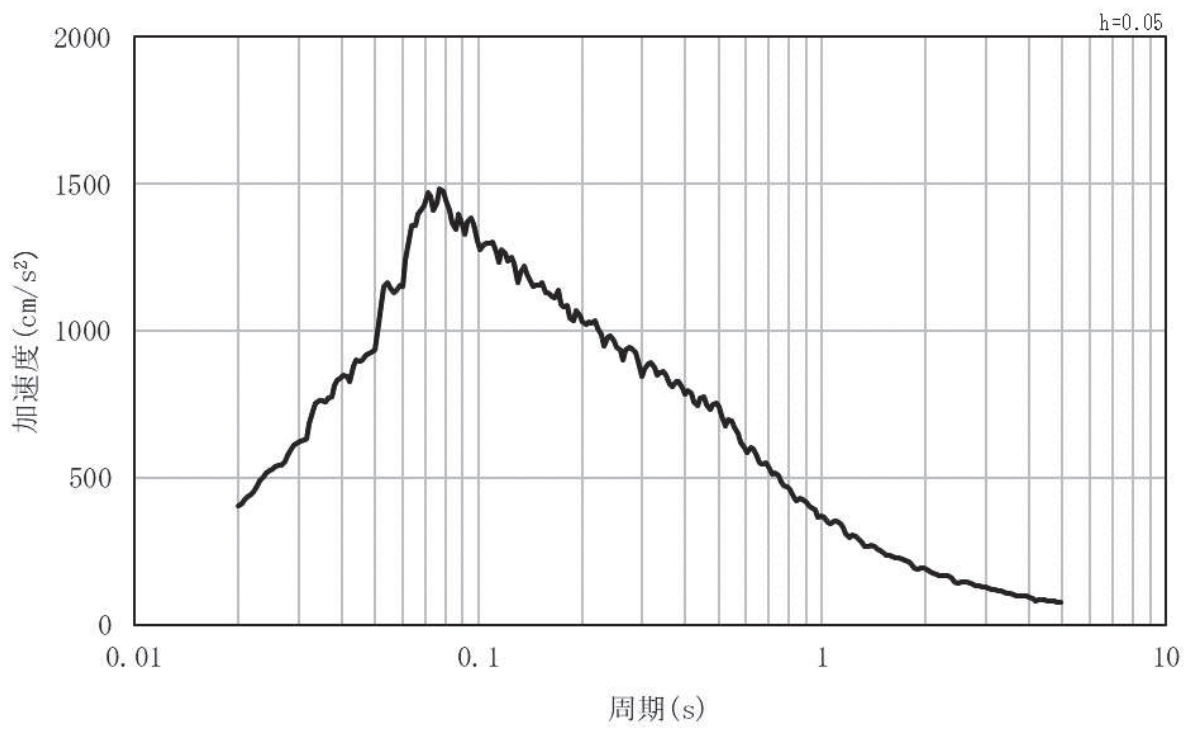


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

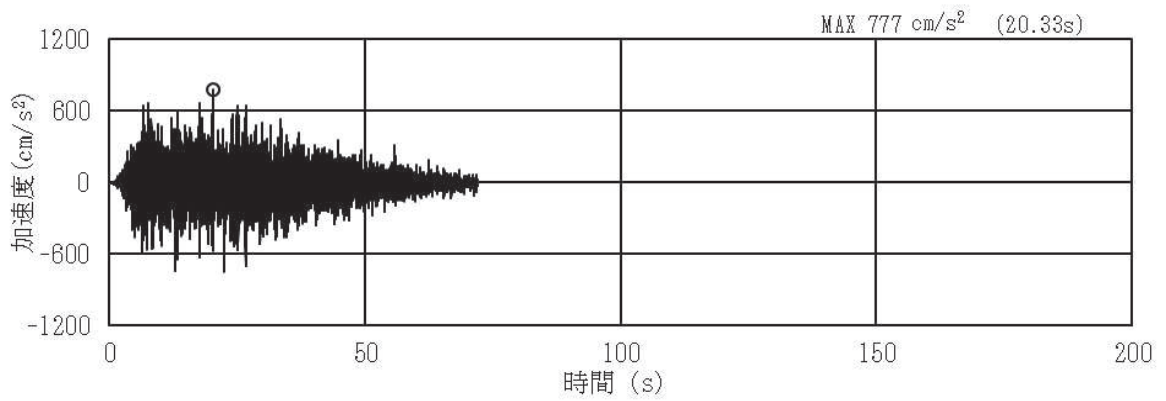


(a) 加速度時刻歴波形

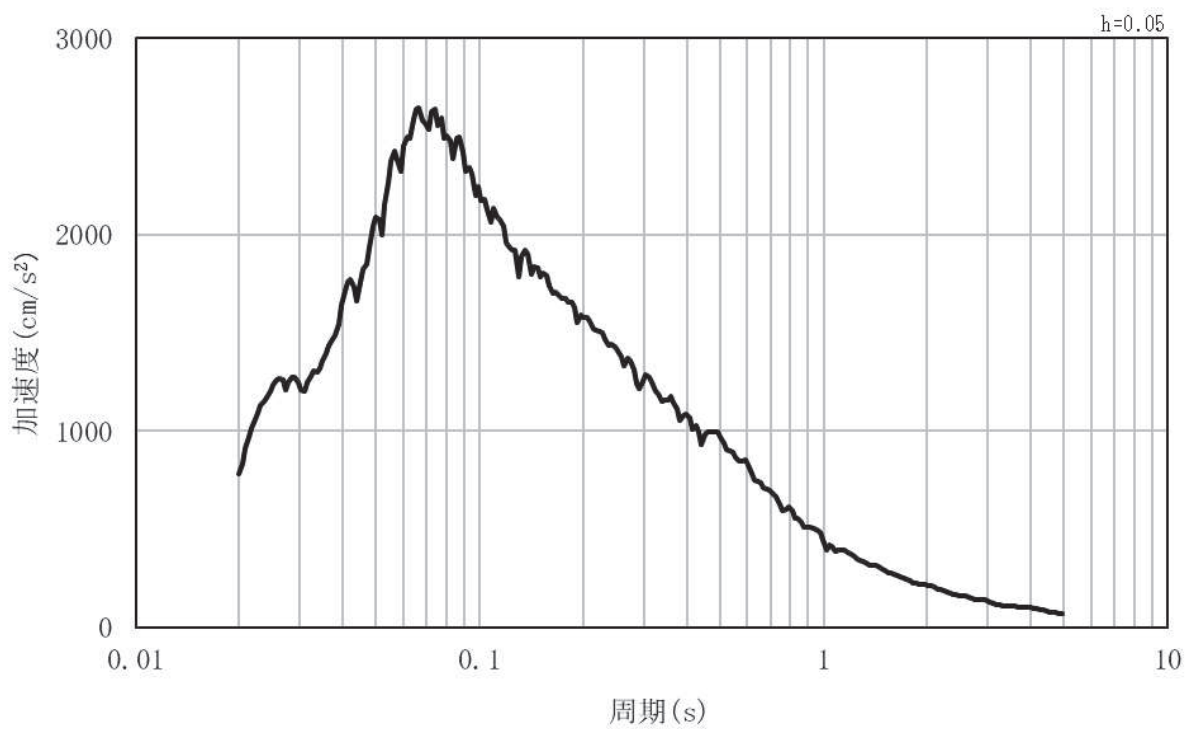


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

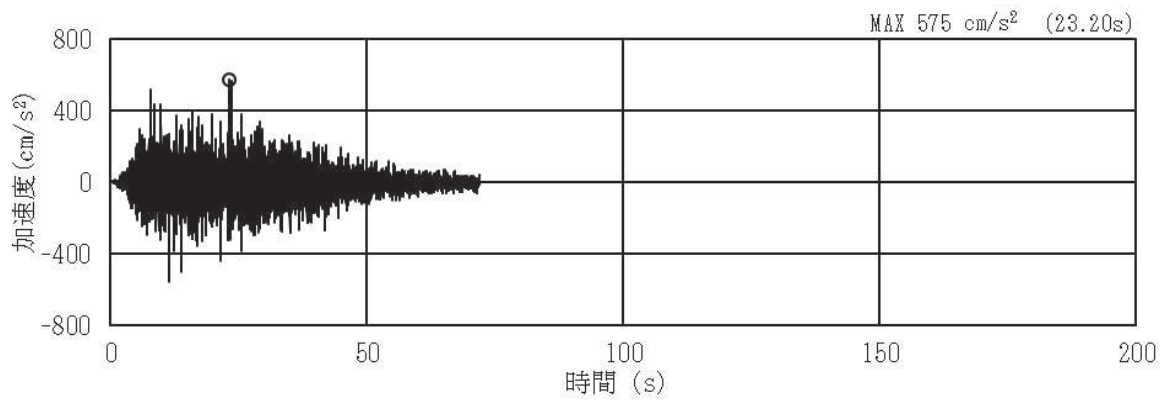


(a) 加速度時刻歴波形

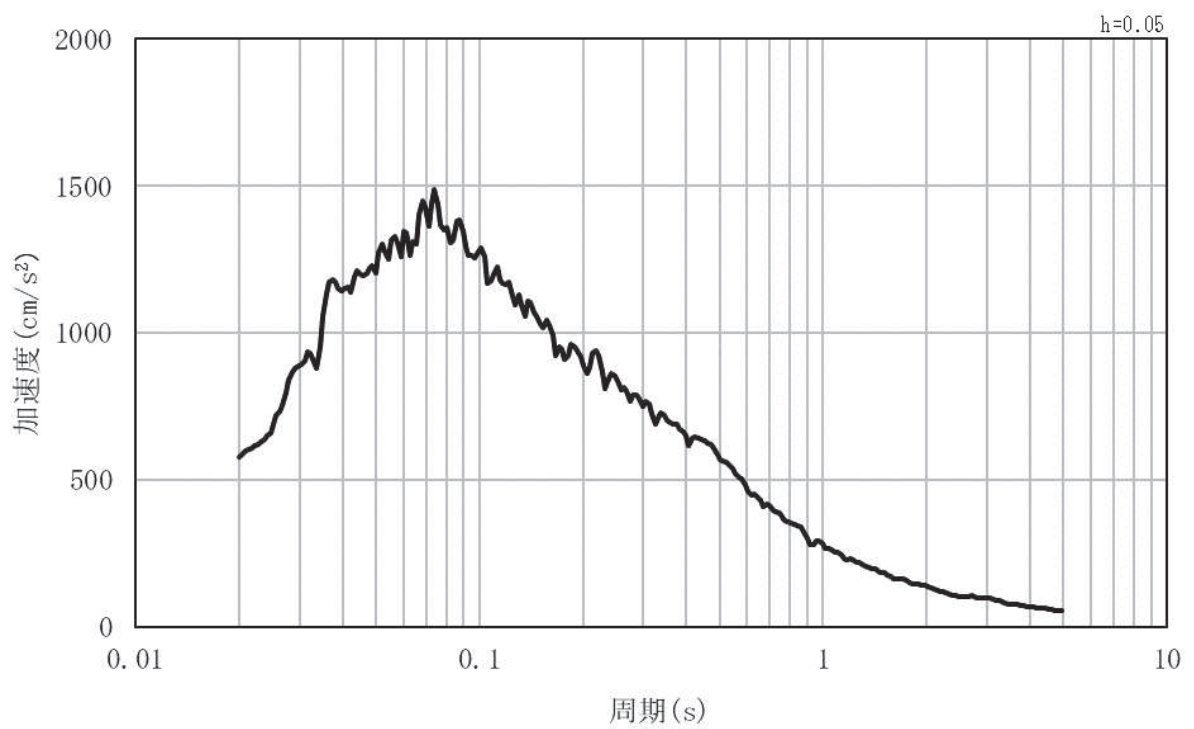


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

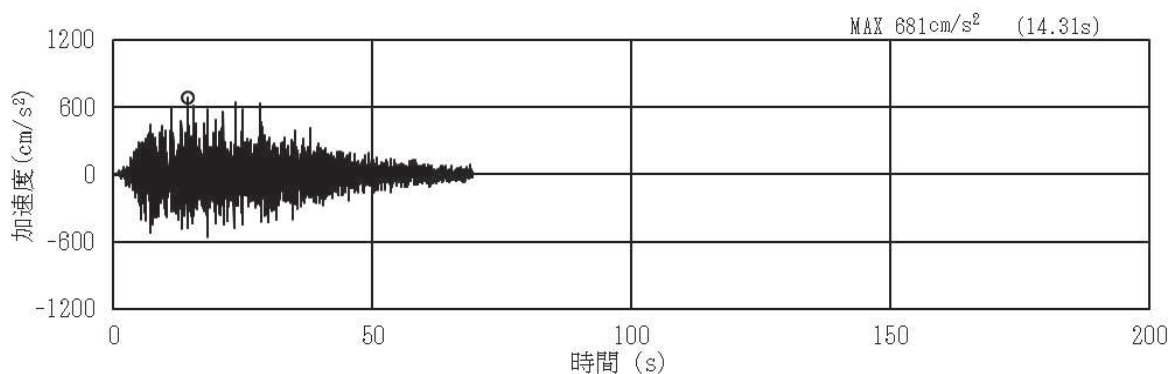


(a) 加速度時刻歴波形

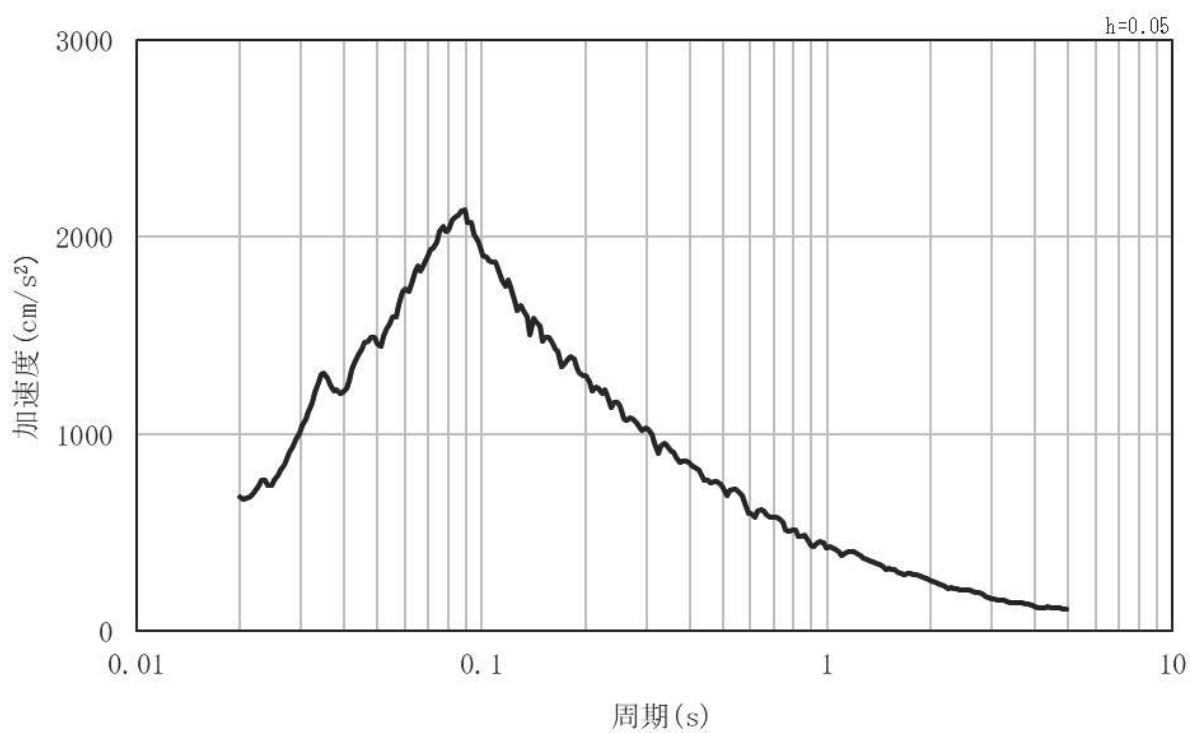


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

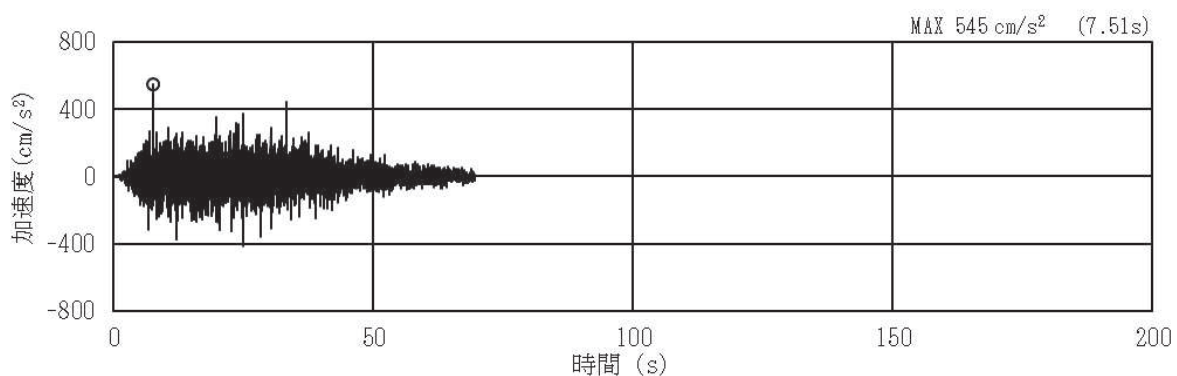


(a) 加速度時刻歴波形

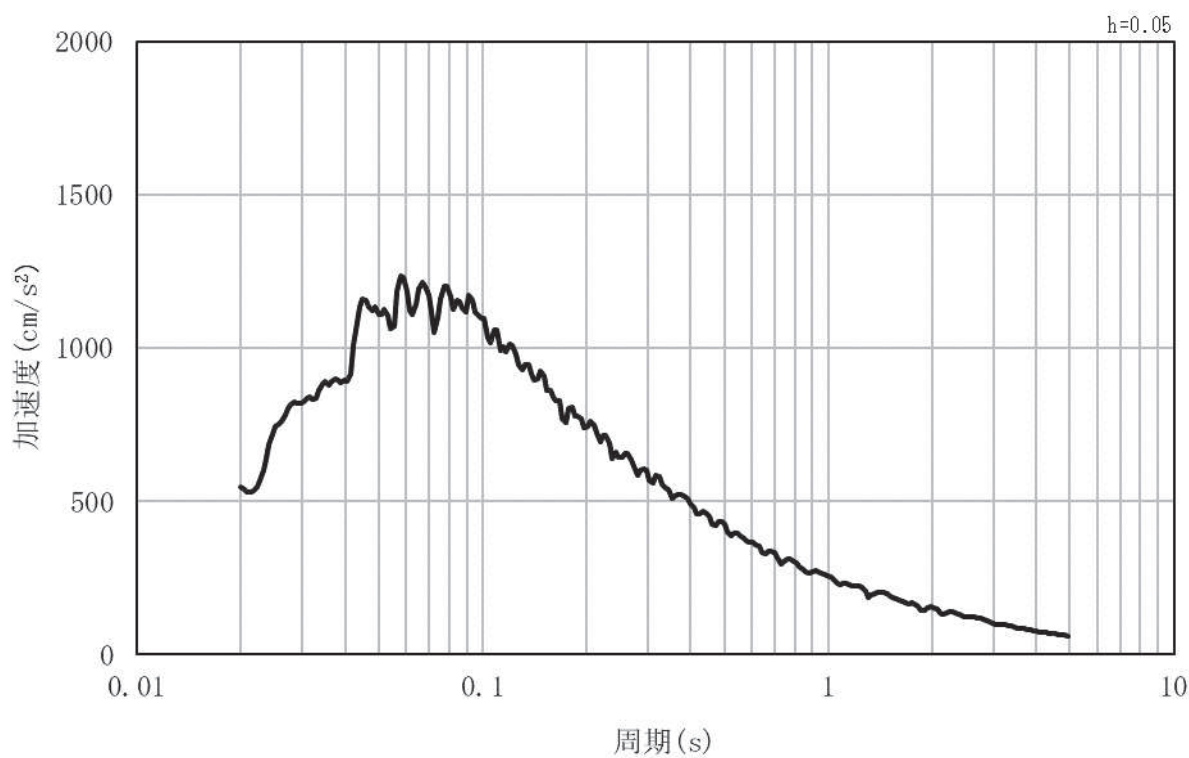


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

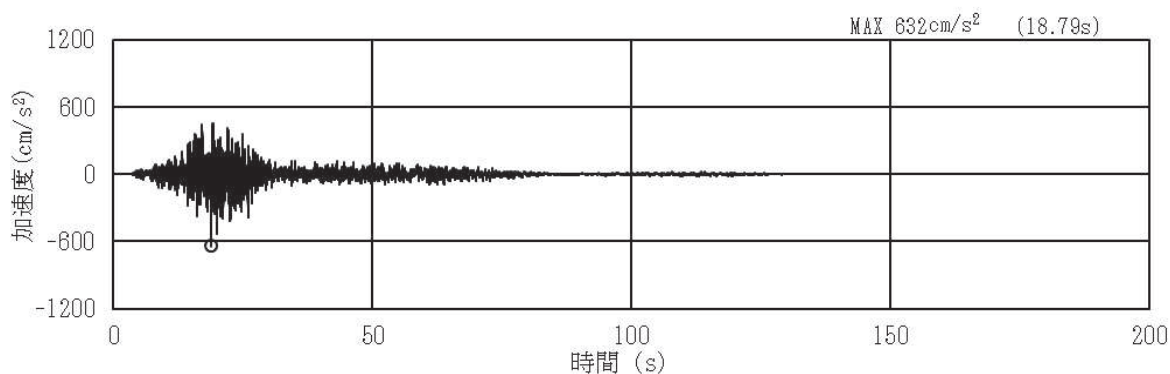


(a) 加速度時刻歴波形

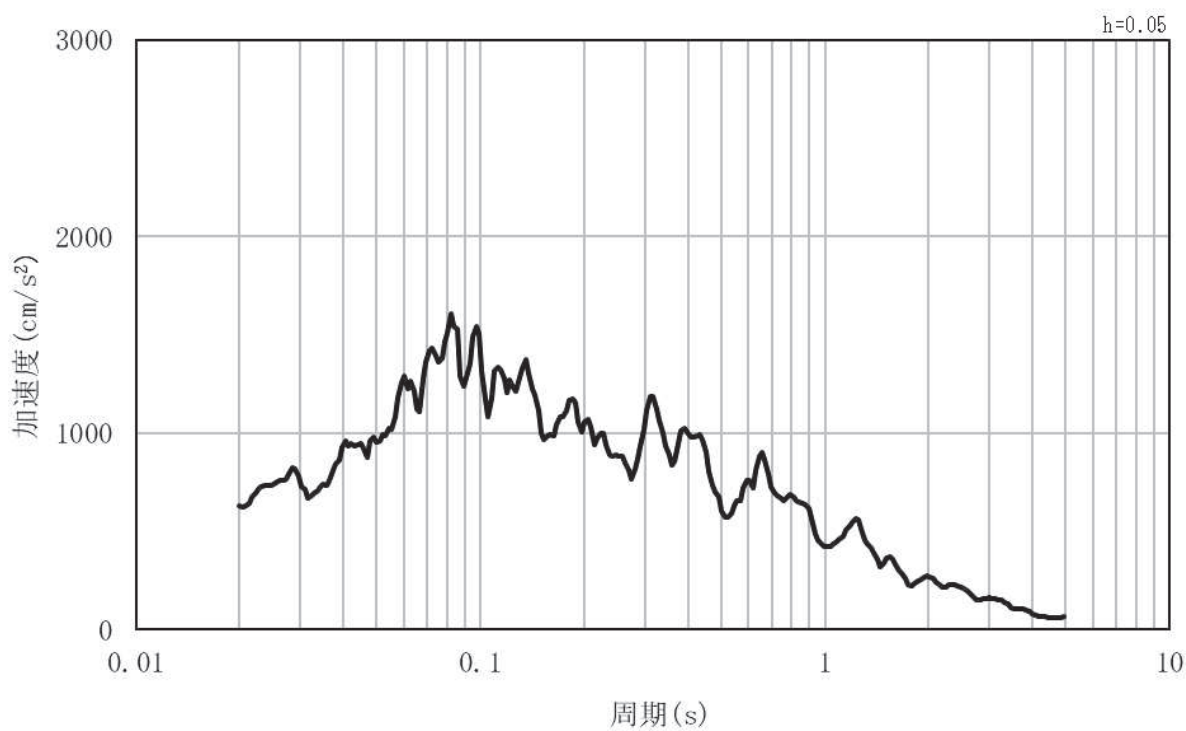


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

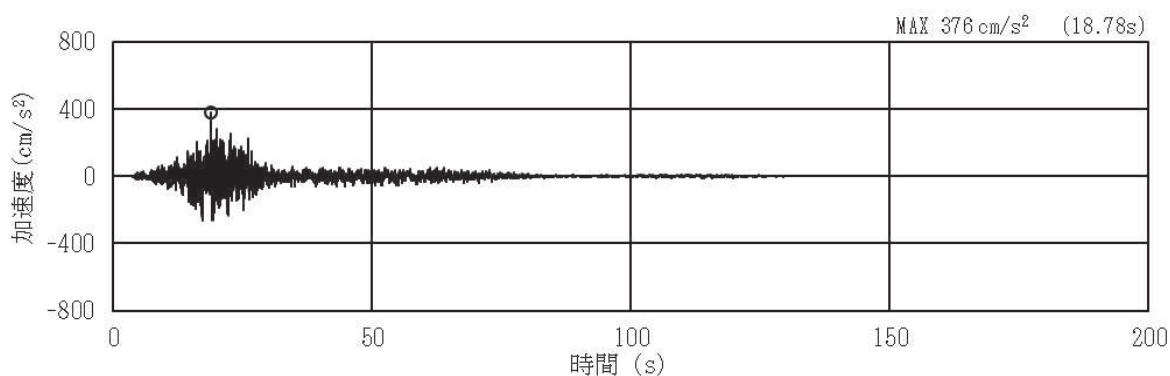


(a) 加速度時刻歴波形

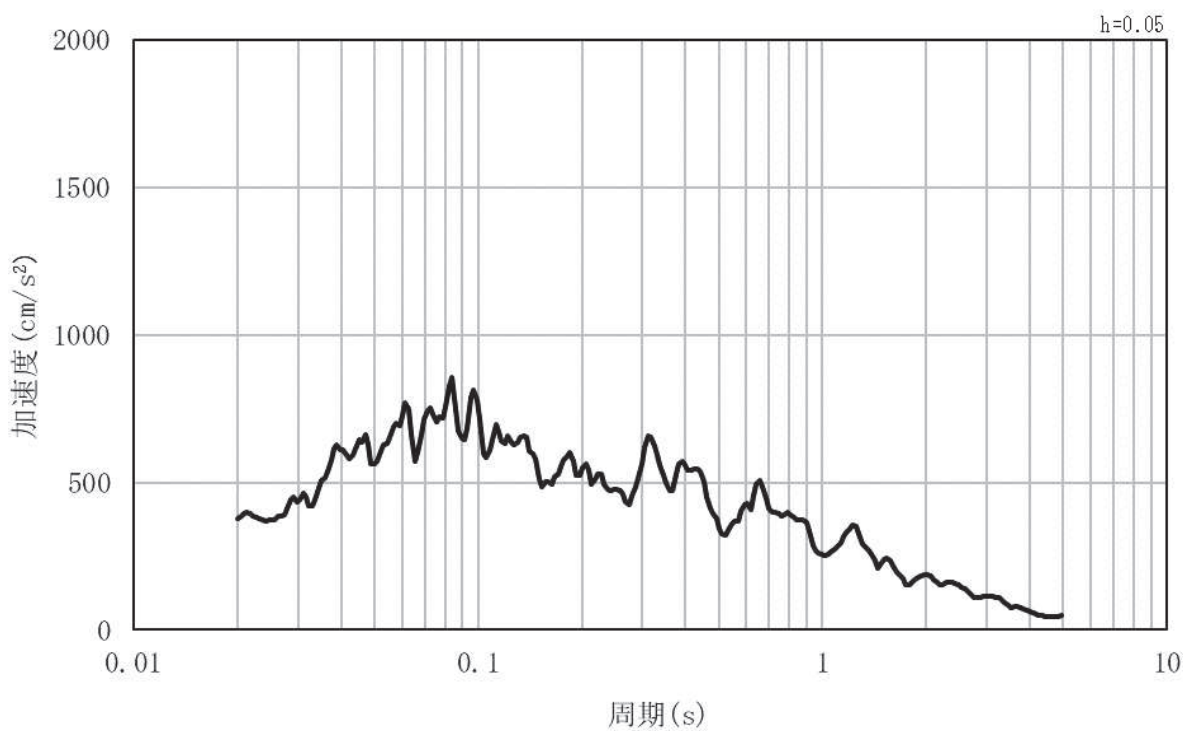


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

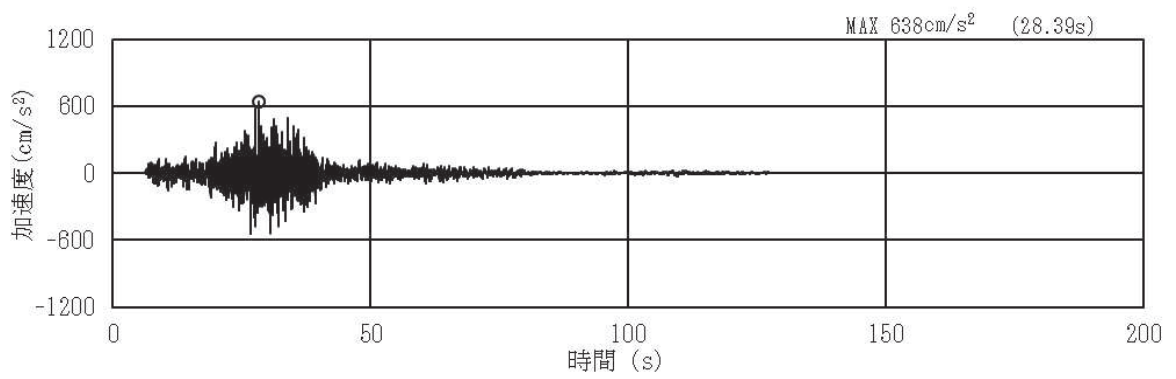


(a) 加速度時刻歴波形

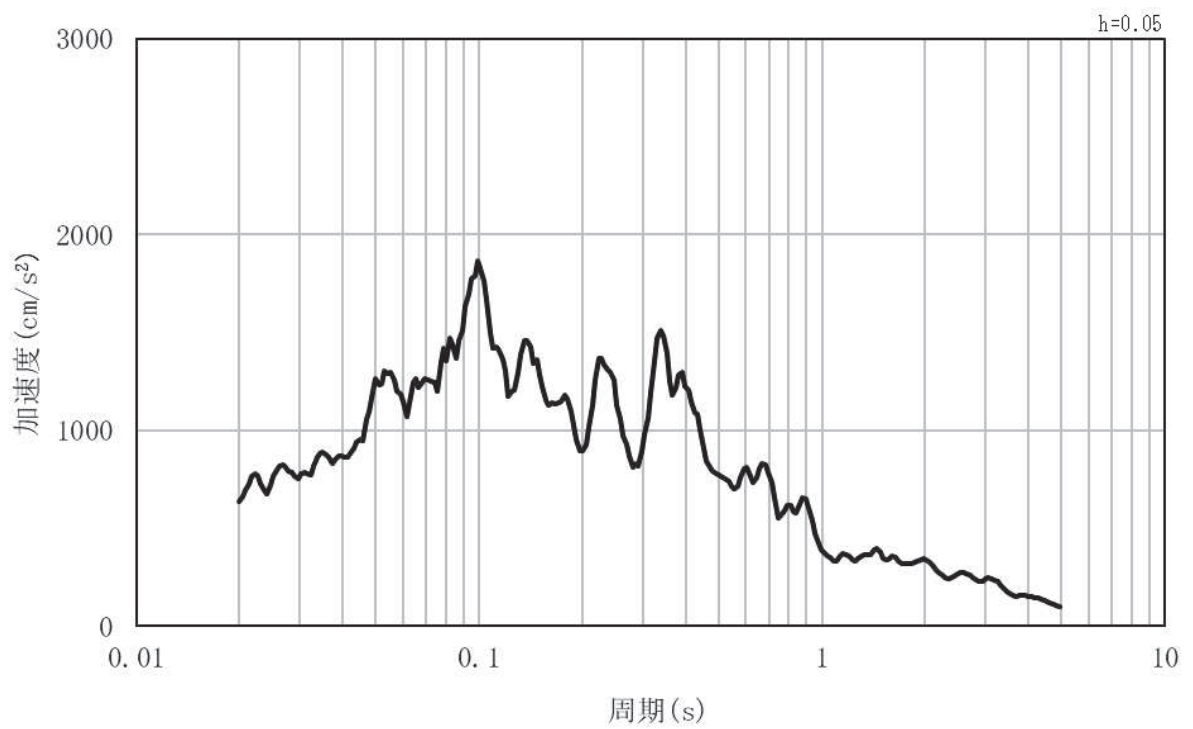


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

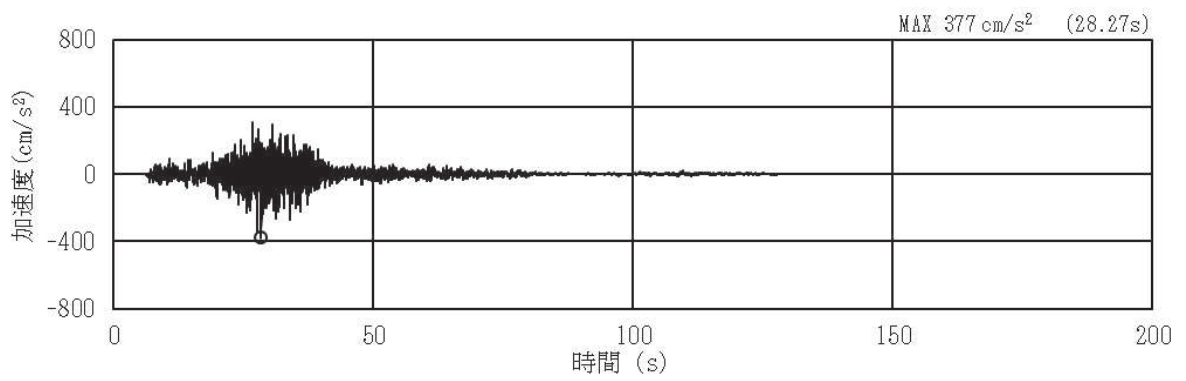


(a) 加速度時刻歴波形

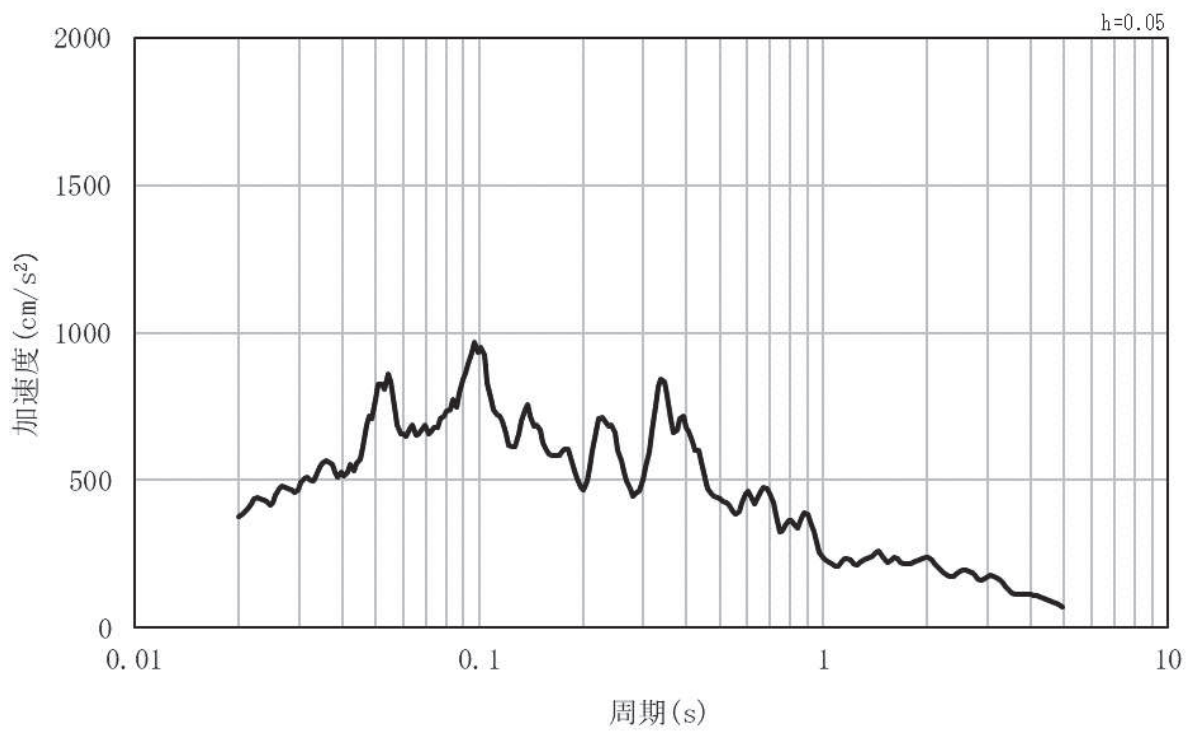


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

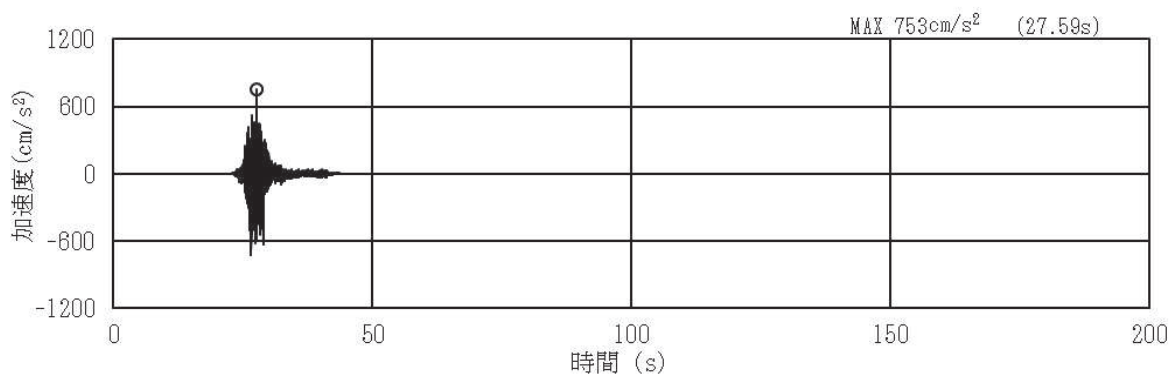


(a) 加速度時刻歴波形

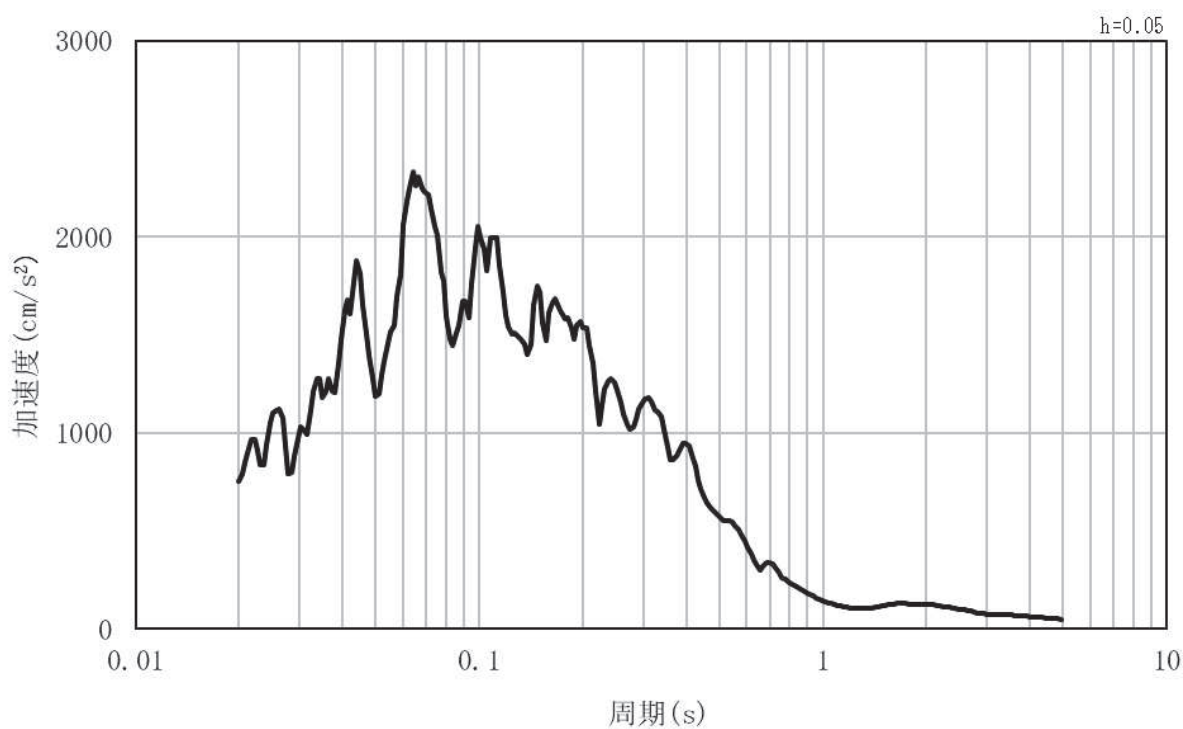


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

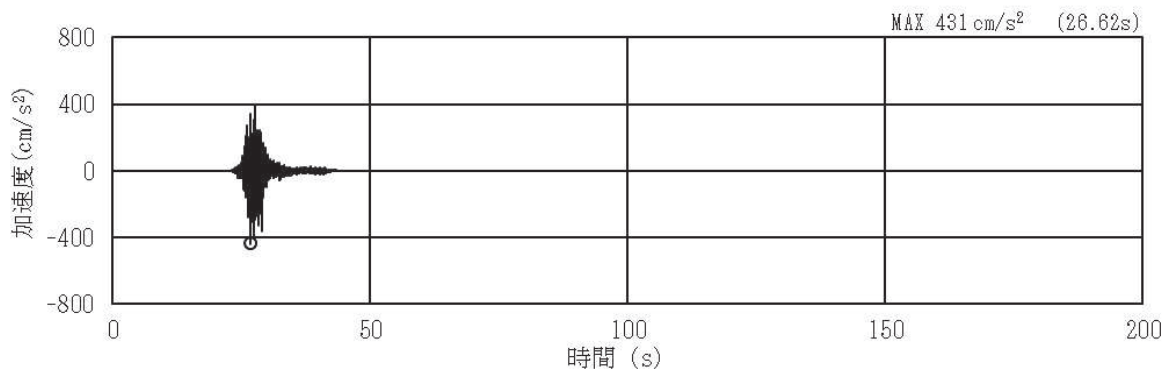


(a) 加速度時刻歴波形

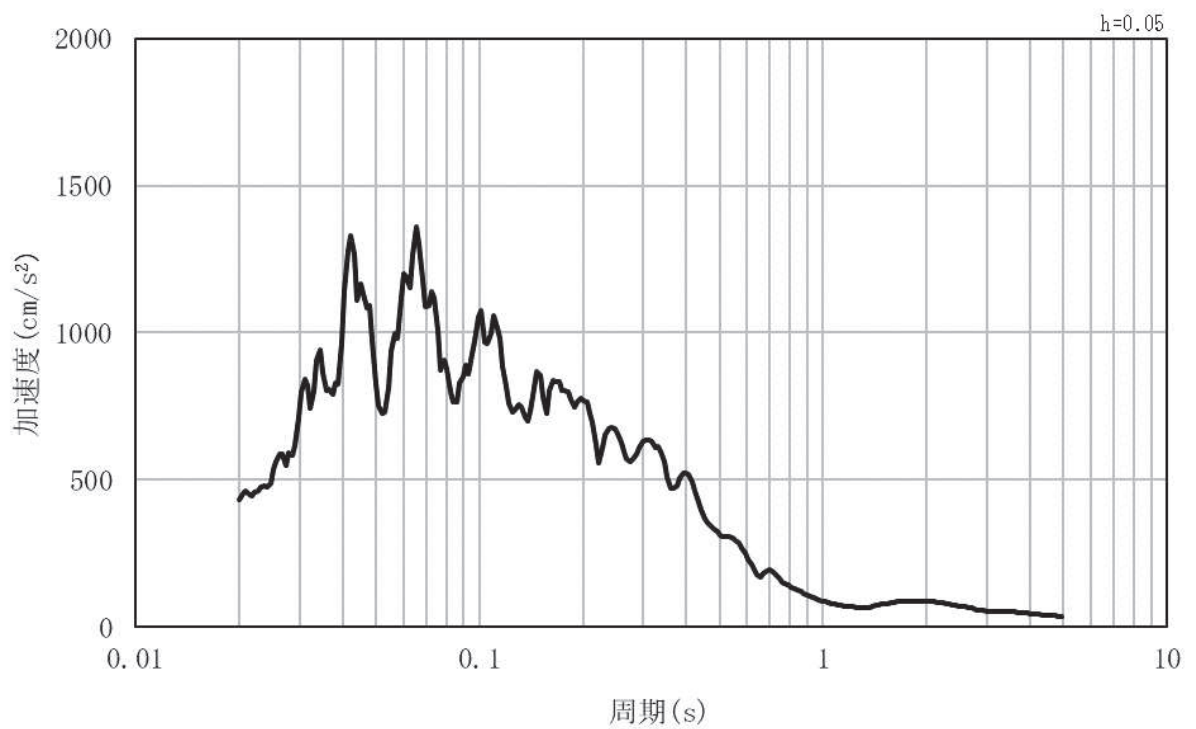


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

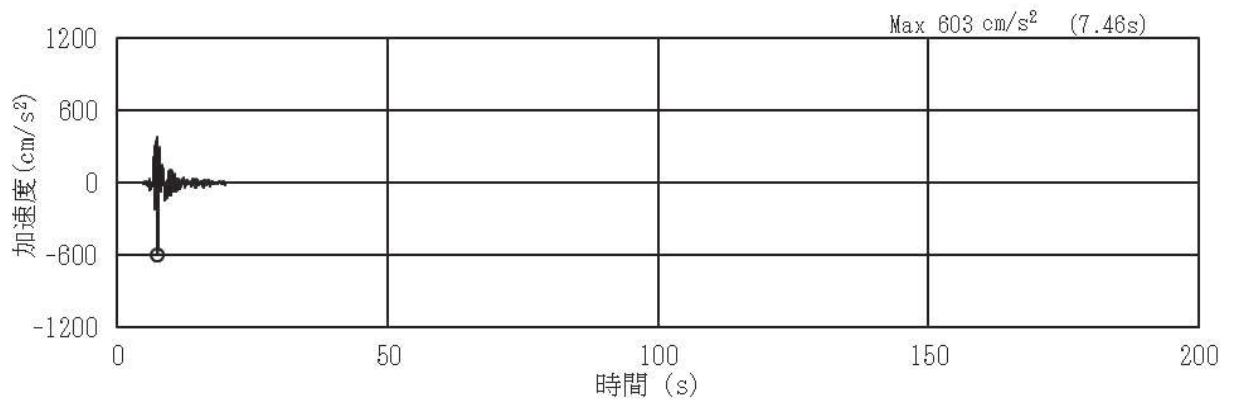


(a) 加速度時刻歴波形

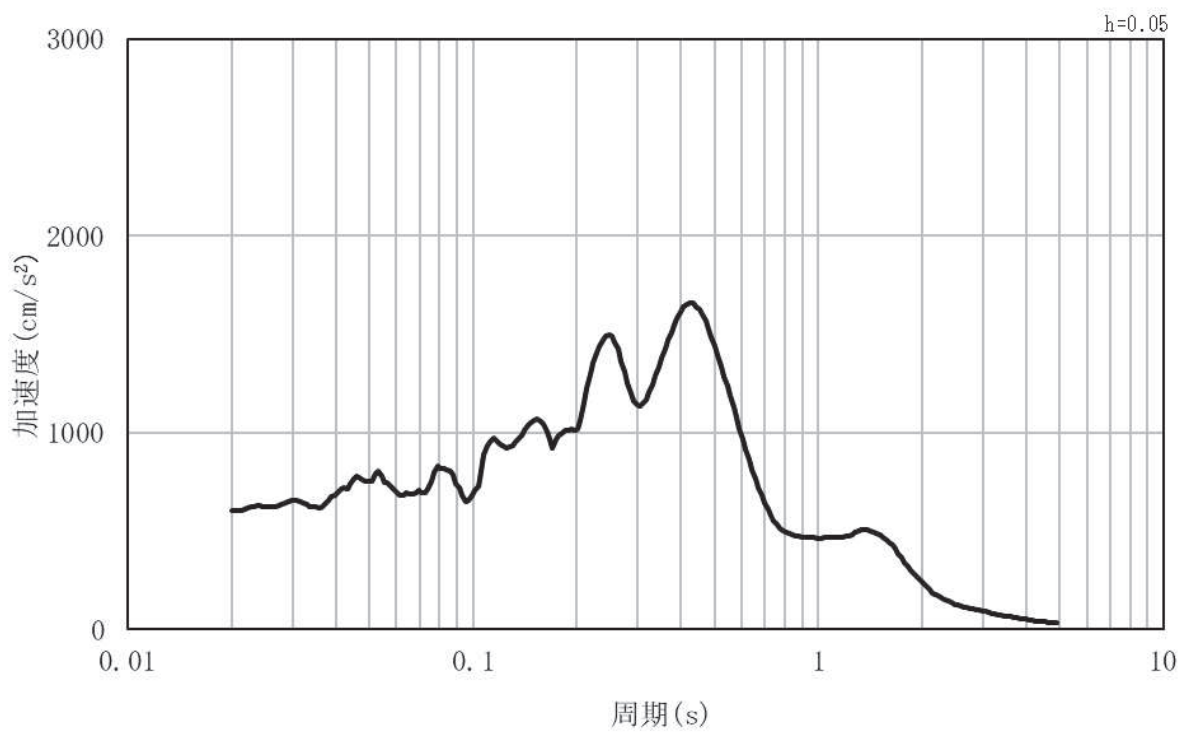


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

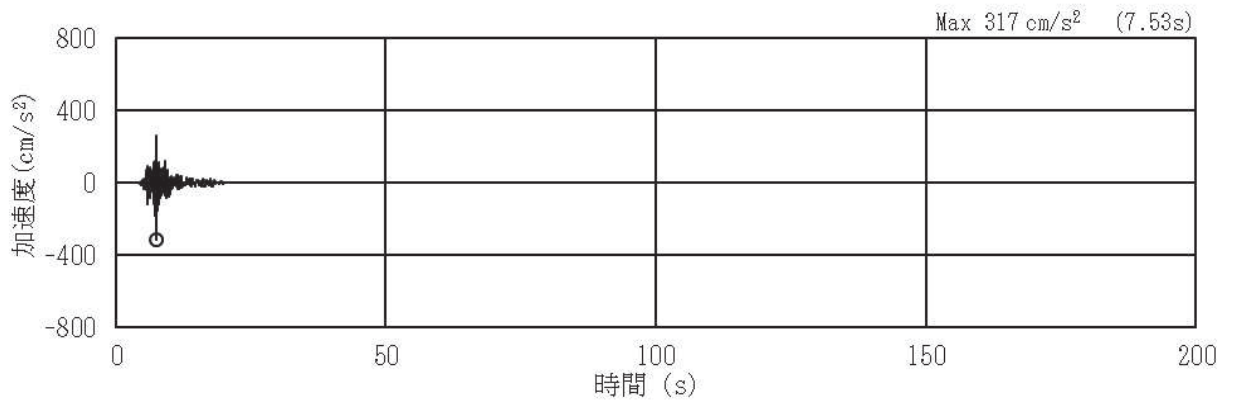


(a) 加速度時刻歴波形

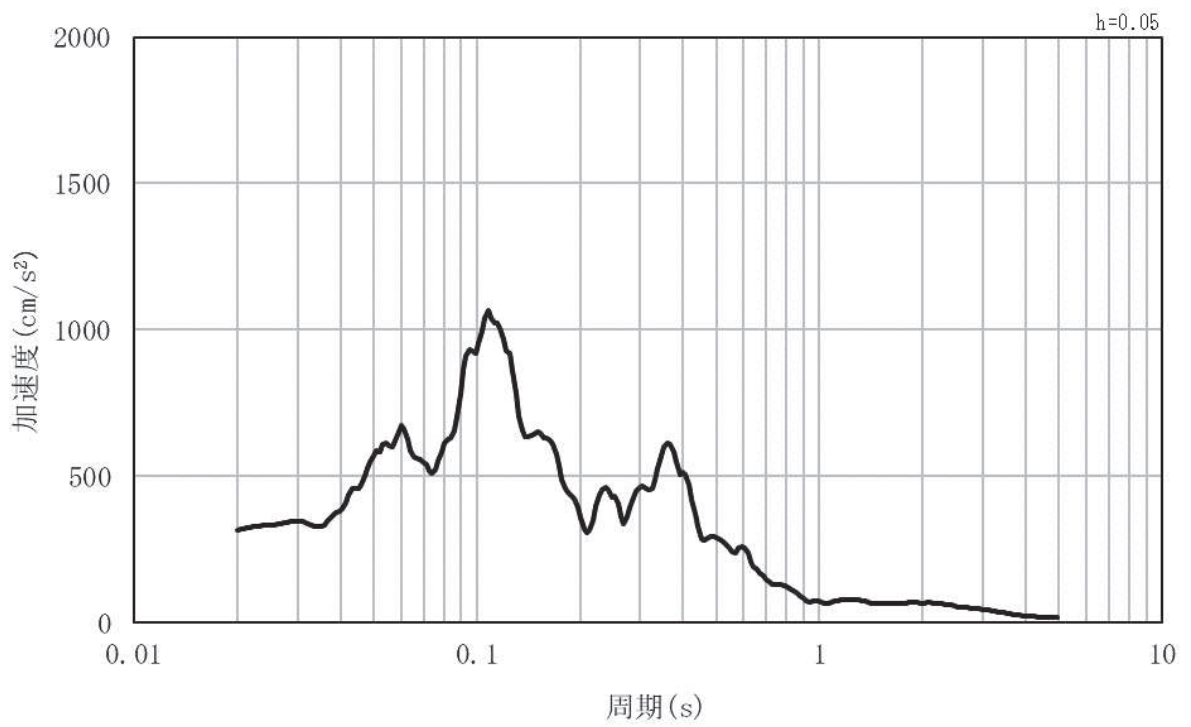


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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 3.4-2(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

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 - 1987 を参考に、図 3.5-1 のモデル範囲の考え方に示すとおり、モデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物基礎幅の 2 倍以上とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面をエネルギー伝達境界、底面を粘性境界とする。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 または 4 分割、すなわち $V_s/100$ または $V_s/80$ を考慮し、設定する。

構造物の要素分割については、構造物に接する地盤の要素分割に合わせて設定する。

解析モデルの下端については、第 4 速度層及び第 5 速度層の分布に着目し、O.P. -101.0m までモデル化する。

二次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する一次元地盤モデルである。

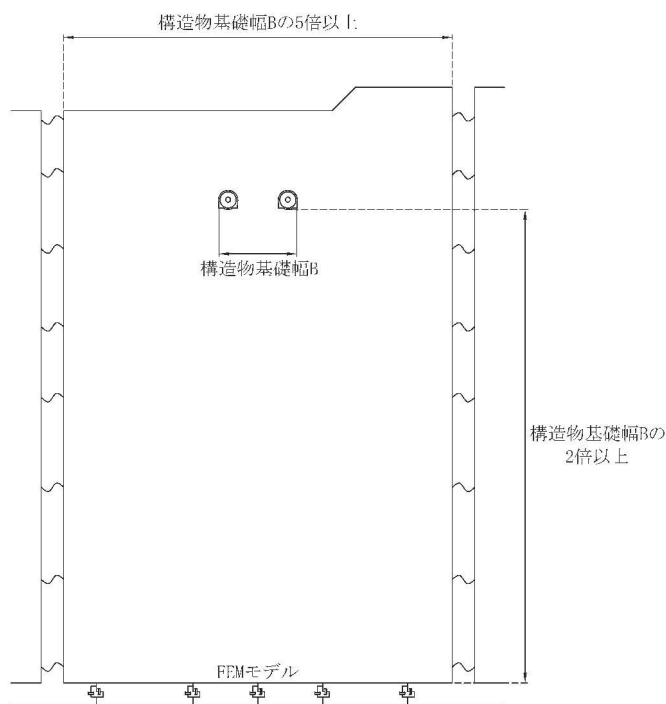


図 3.5-1 モデル範囲の考え方

(2) 境界条件

a. 常時応力解析時

常時応力解析は、構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の応力を算定するために行う。常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

常時応力解析における境界条件の概念図を図 3.5-2 に示す。

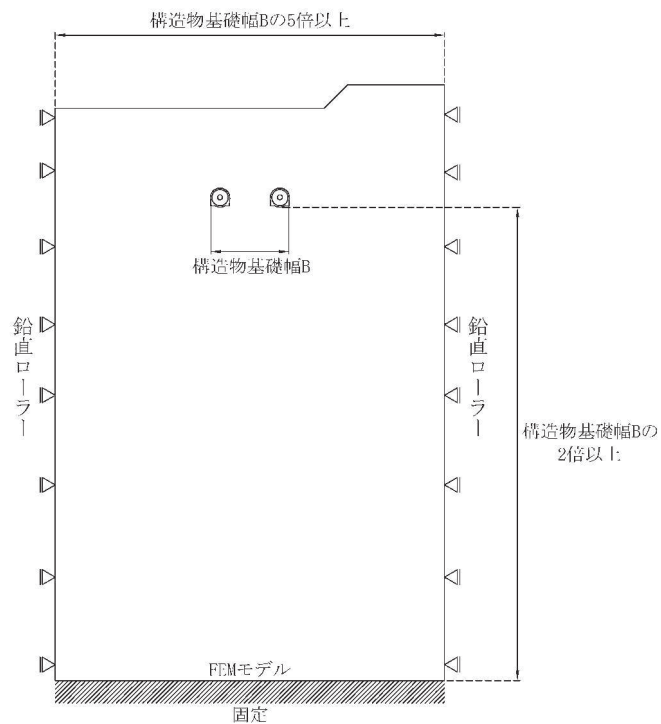


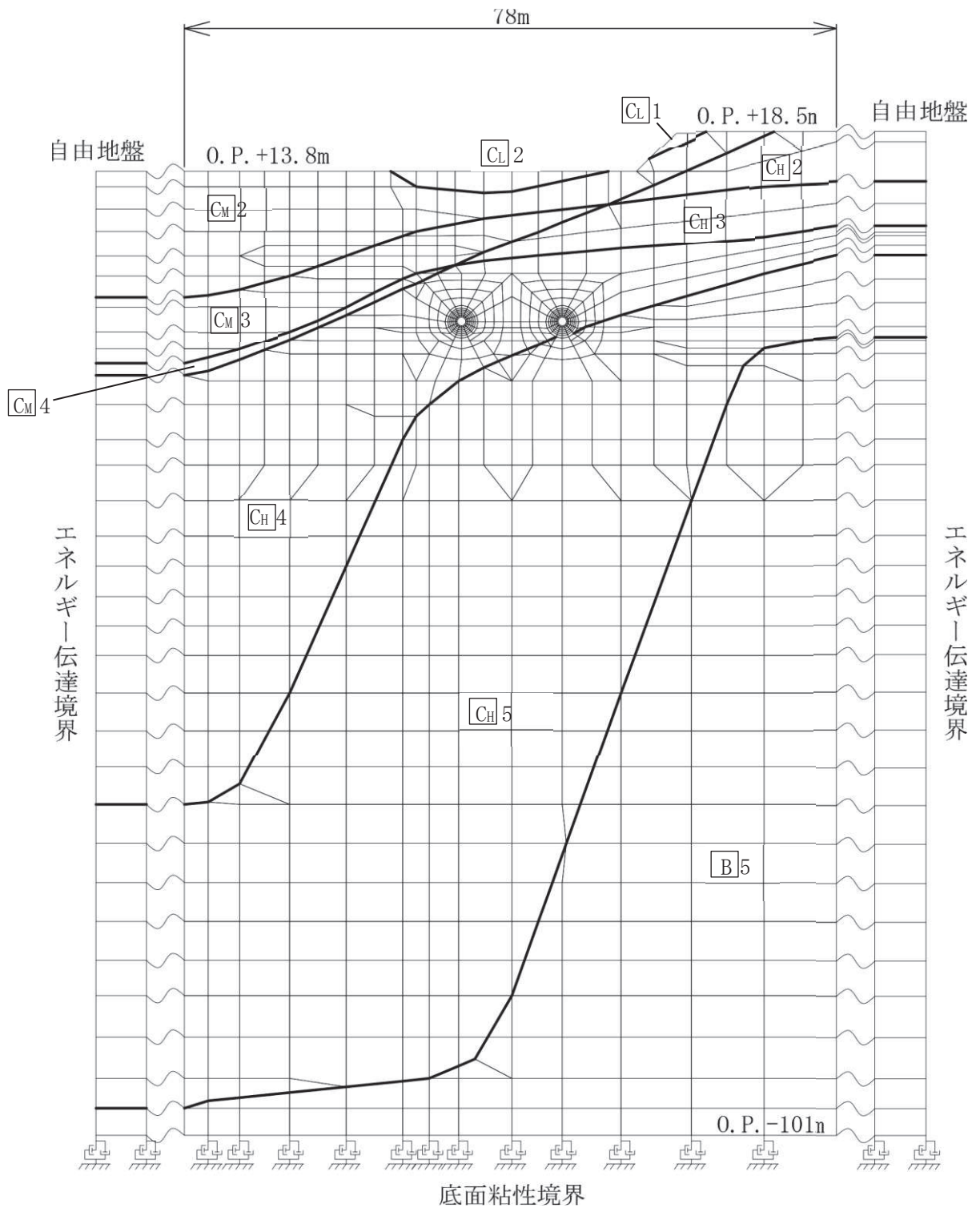
図 3.5-2 常時応力解析における境界条件の概念図

b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素法における半無限地盤を模擬するため、底面に粘性境界、側方にエネルギー伝達境界を設ける。

底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方のエネルギー伝達境界については、自由地盤の地盤振動と不成型地盤側方の差分が側方を通過していく状態を模擬するものである。

取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の地震応答解析モデルを図 3.5-3 に示す。



注) $C_H 5$ は C_H 級岩盤の第 5 速度層を示す。

図 3.5-3 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) 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。

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 3.5-1 に、材料の物性値を表 3.5-2 に示す。

表 3.5-1 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： $f'_{c k}=20.5\text{N/mm}^2$
充填部	コンクリート	設計基準強度： $f'_{c k}=50.0\text{N/mm}^2$

表 3.5-2 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 ($f'_{c k}=20.5\text{N/mm}^2$)	24.0 *	2.33×10^4 *	0.20 *
コンクリート ($f'_{c k}=50.0\text{N/mm}^2$)	23.0 *	3.30×10^4 *	0.20 *

注記*：コンクリート標準示方書 [設計編]（土木学会，2017年制定）

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 3.7-1 に示す。

表 3.7-1 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

引張強度 σ_t の設定方法 (例: 充填部の場合)

$$\begin{aligned}\text{引張強度の限界値} \quad \sigma_t &= f_{td} / \gamma_b = (f_{tk} / \gamma_c) / \gamma_b \\ &= (0.23 \times 50^{2/3} / 1.3) / 1.3 \\ &= 1.847 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

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 ($=50 \text{ N/mm}^2$)

γ_b : 部材係数 ($=1.3$)

γ_c : 材料係数 ($=1.3$)

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 3.7-2 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。なお、せん断強度の設定方法については、「補

足 600-1【地盤の支持性能について】参考資料 23 MMR のせん断強度について」に示すとおり、試験及び既往文献により妥当性が確認されており、打継処理の管理をした上で施工することから、上記設定は妥当であると考えられる。

表 3.7-2 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

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

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 3.7-3 に示す。

表 3.7-3 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。

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。

また、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

値がそれぞれ最大となる最も厳しい地震動を用いて、表 3.2-1 に示す解析ケース②, ③を実施する。

引張強度における照査値を表 3.8-1 に、せん断強度における照査値を表 3.8-2 に、支持力における照査値を表 3.8-3 に示す。

また、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 3.8-1 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 3.8-2 に示す。また、各解析ケースの基準地震動に対する設置圧の分布を図 3.8-3 に示す。

表 3.8-1(1) 引張強度における照査値（覆工部）

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	++	0.36		
		-+	0.34		
	S _s -D2	++	0.37		
		-+	0.38		
	S _s -D3	++	0.34		
		-+	0.35		
	S _s -F1	++	0.27		
		-+	0.34		
	S _s -F2	++	0.38		
		-+	0.37		
	S _s -F3	++	0.38		
		-+	0.44	0.41	0.48
	S _s -N1	++	0.29		
		-+	0.30		

表 3.8-1(2) 引張強度における照査値（充填部）

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	++	0.45		
		-+	0.44		
	S _s -D2	++	0.49		
		-+	0.50		
	S _s -D3	++	0.44		
		-+	0.46		
	S _s -F1	++	0.36		
		-+	0.43		
	S _s -F2	++	0.51		
		-+	0.50		
	S _s -F3	++	0.51		
		-+	0.57	0.54	0.63
	S _s -N1	++	0.39		
		-+	0.41		

表 3.8-2(1) せん断強度における照査値（覆工部）

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	++	0.08		
		-+	0.08		
	S _s -D2	++	0.09		
		-+	0.09		
	S _s -D3	++	0.08		
		-+	0.09		
	S _s -F1	++	0.08		
		-+	0.07		
	S _s -F2	++	0.10		
		-+	0.09		
	S _s -F3	++	0.10		
		-+	0.10	0.10	0.11
	S _s -N1	++	0.08		
		-+	0.08		

表 3.8-2(2) せん断強度における照査値（充填部）

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	++	0.04		
		-+	0.04		
	S _s -D2	++	0.05		
		-+	0.05		
	S _s -D3	++	0.04		
		-+	0.04		
	S _s -F1	++	0.04		
		-+	0.04		
	S _s -F2	++	0.05		
		-+	0.05		
	S _s -F3	++	0.05		
		-+	0.05	0.05	0.06
	S _s -N1	++	0.04		
		-+	0.04		

表 3.8-3 支持力における照査値

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	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -D2	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -D3	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -F1	++	0.02		
		-+	0.02		
	S _s -F2	++	0.02		
		-+	0.03		
	S _s -F3	++	0.03		
		-+	0.03	0.03	0.03
	S _s -N1	++	0.02		
		-+	0.03		

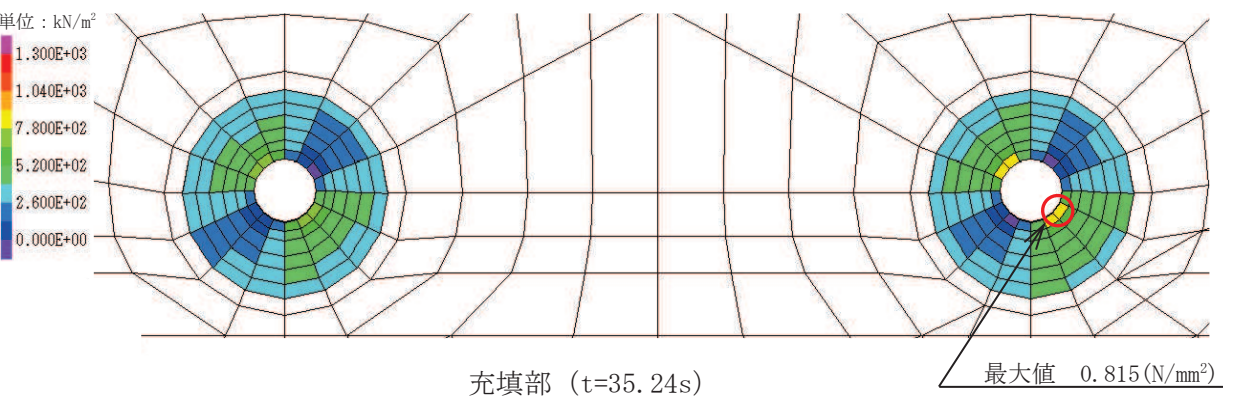
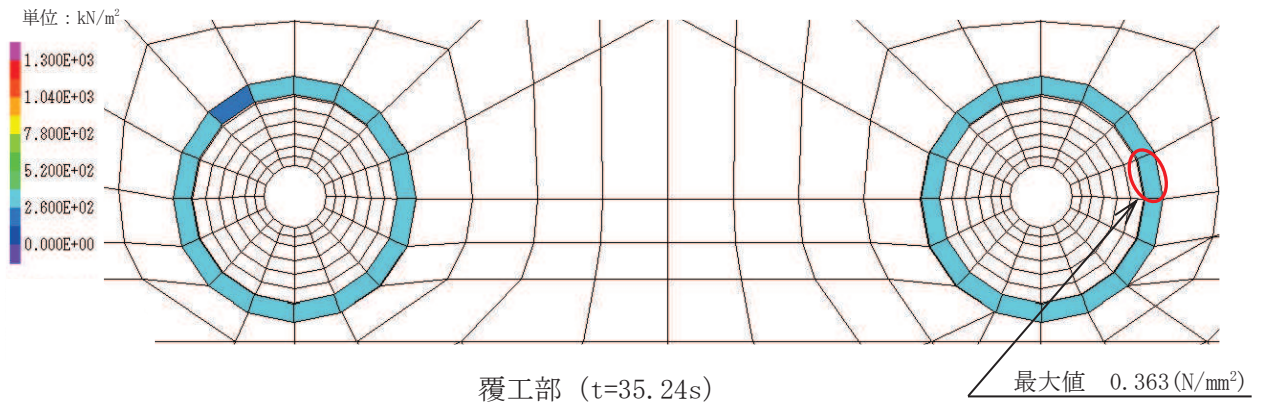


図 3.8-1(1) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1 (+ +)$ に対する引張強度の応力分布図

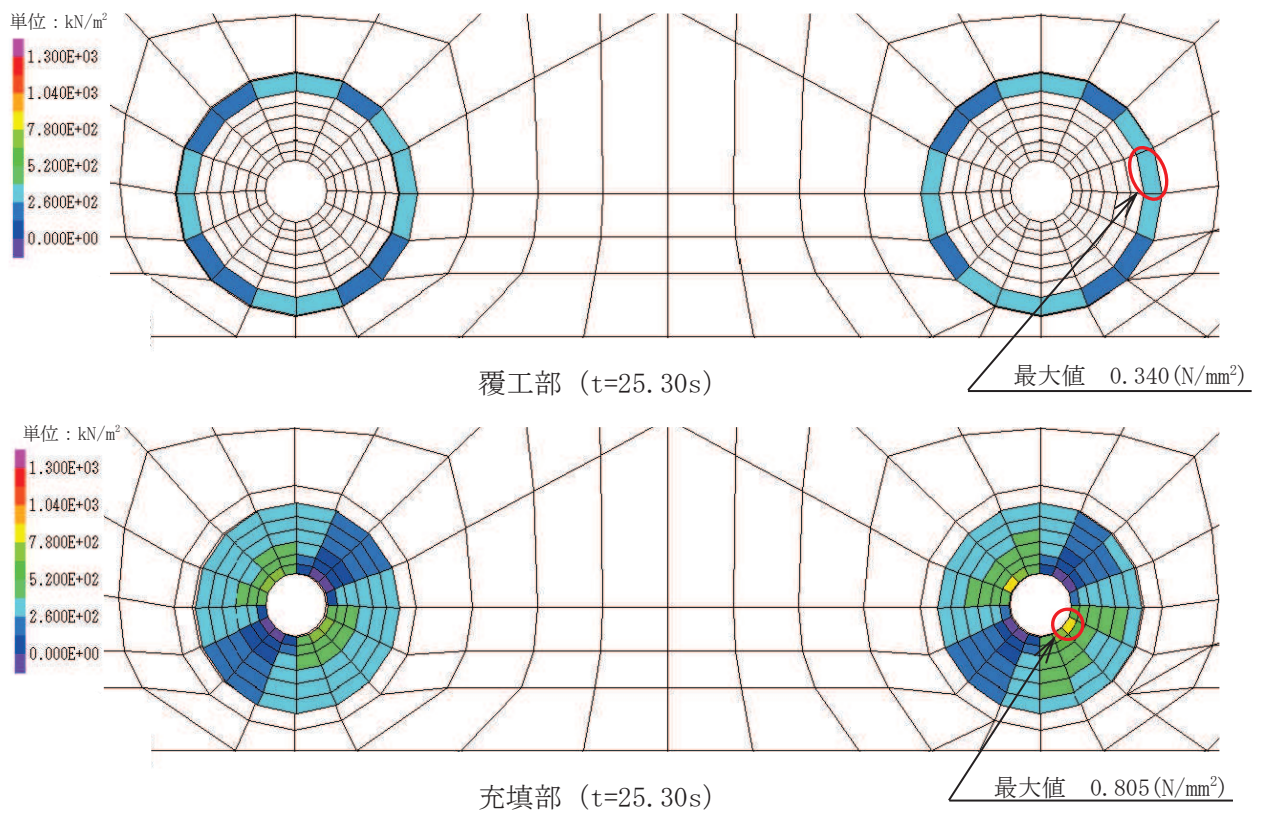


図 3.8-1(2) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1 (- +)$ に対する引張強度の応力分布図

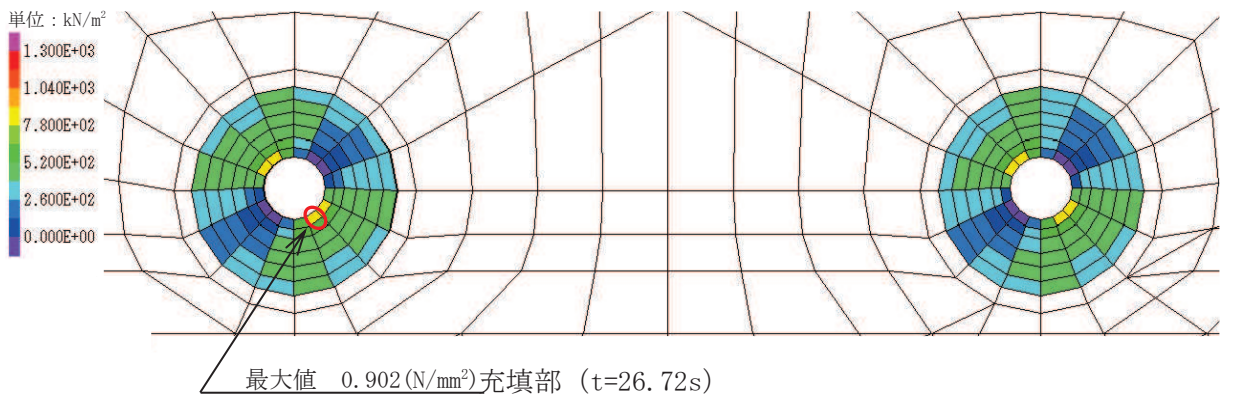
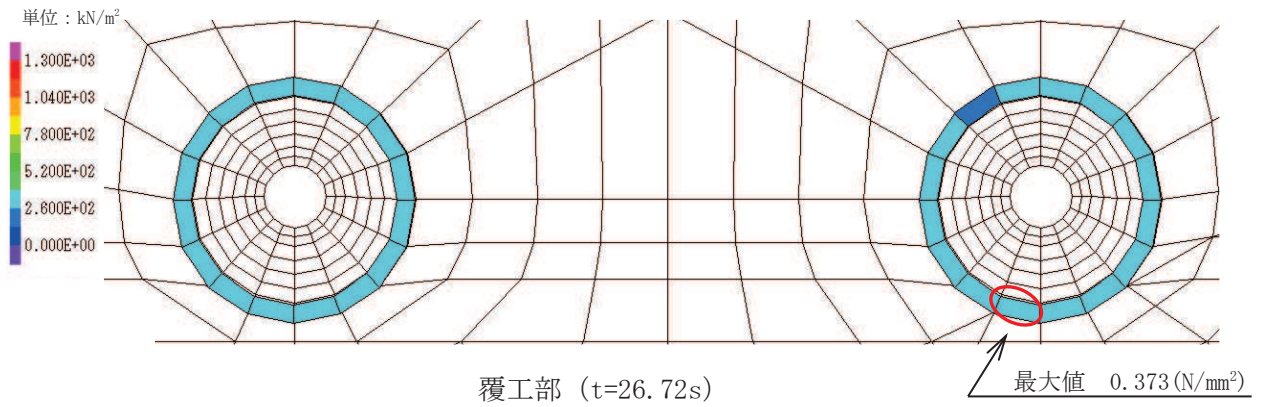


図 3.8-1(3) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D2 (+ +)$ に対する引張強度の応力分布図

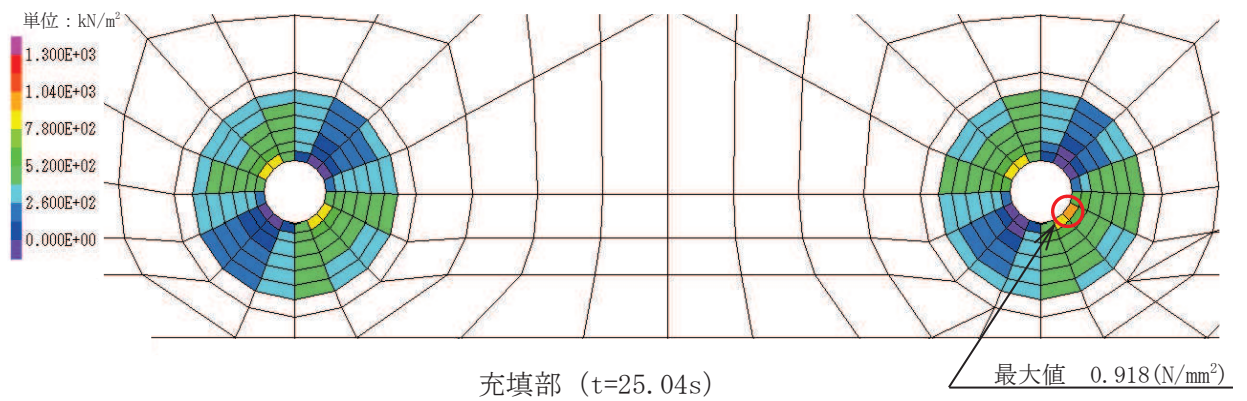
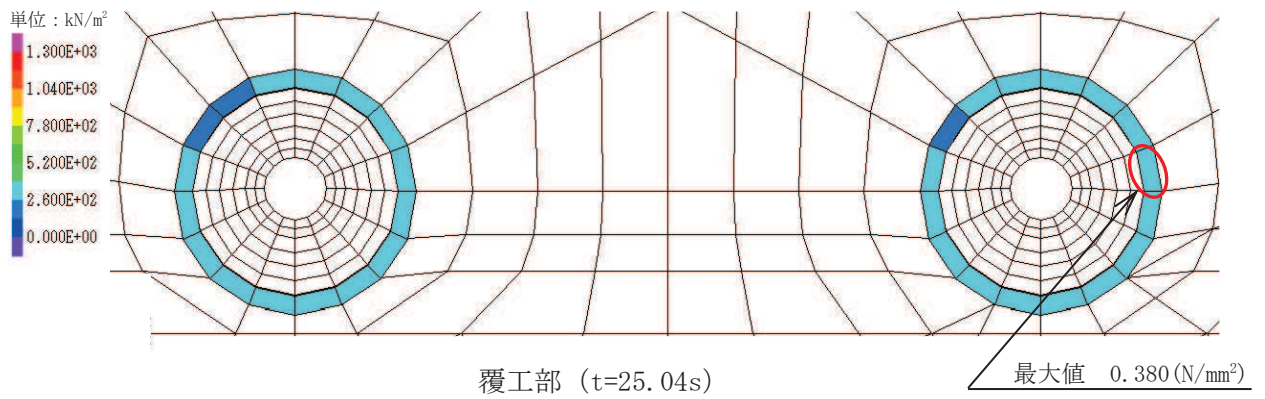


図 3.8-1(4) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D2 (- +)$ に対する引張強度の応力分布図

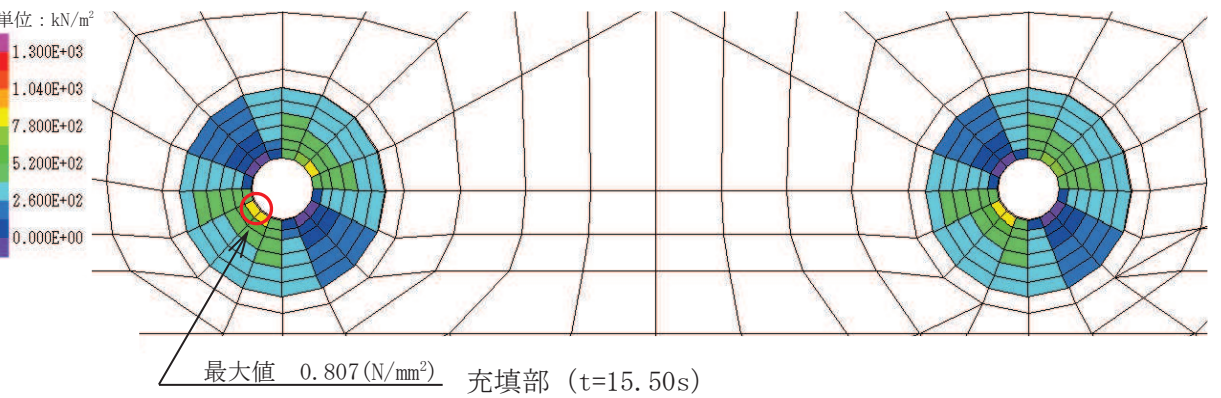
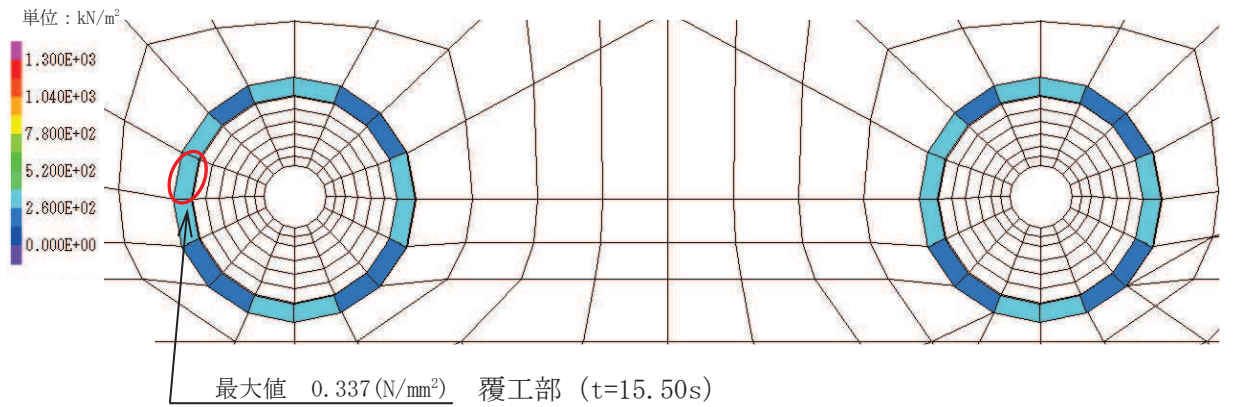


図 3.8-1(5) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D3 (++) に対する引張強度の応力分布図

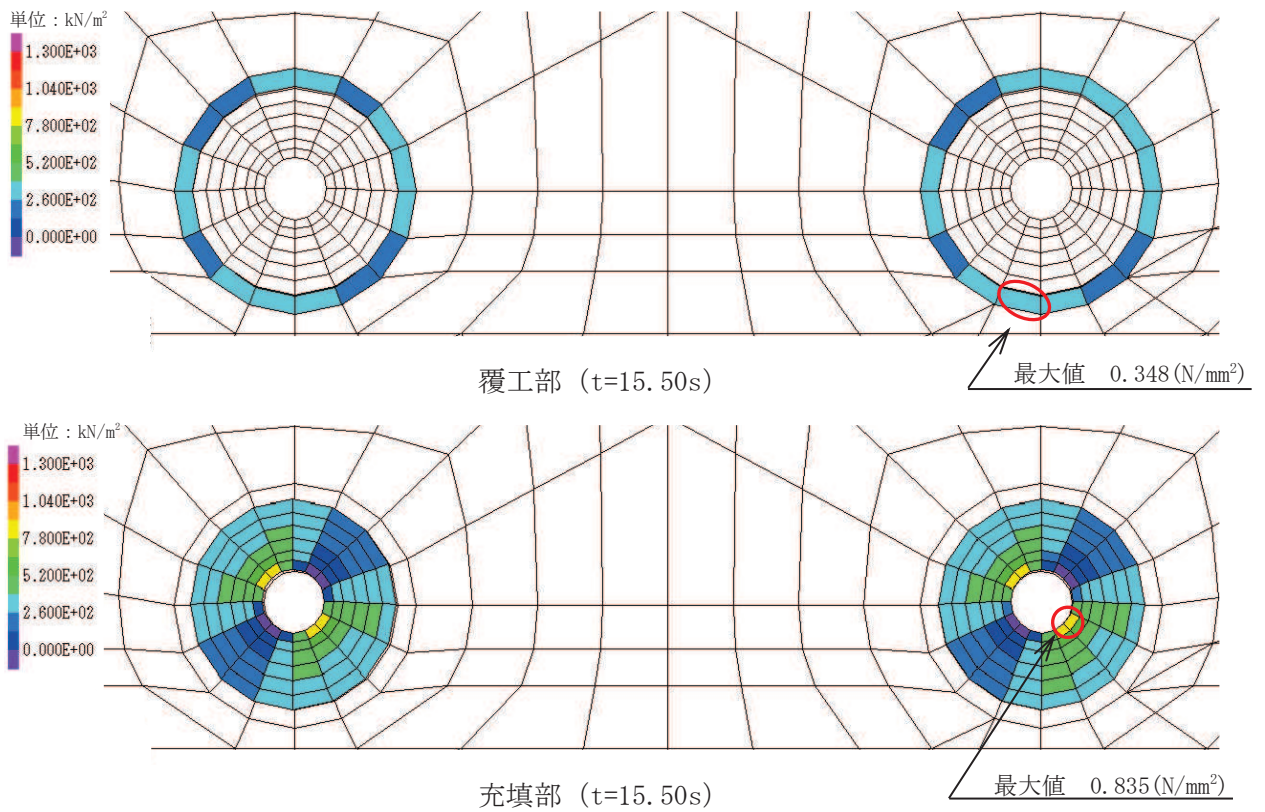


図 3.8-1(6) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D3 (-+) に対する引張強度の応力分布図

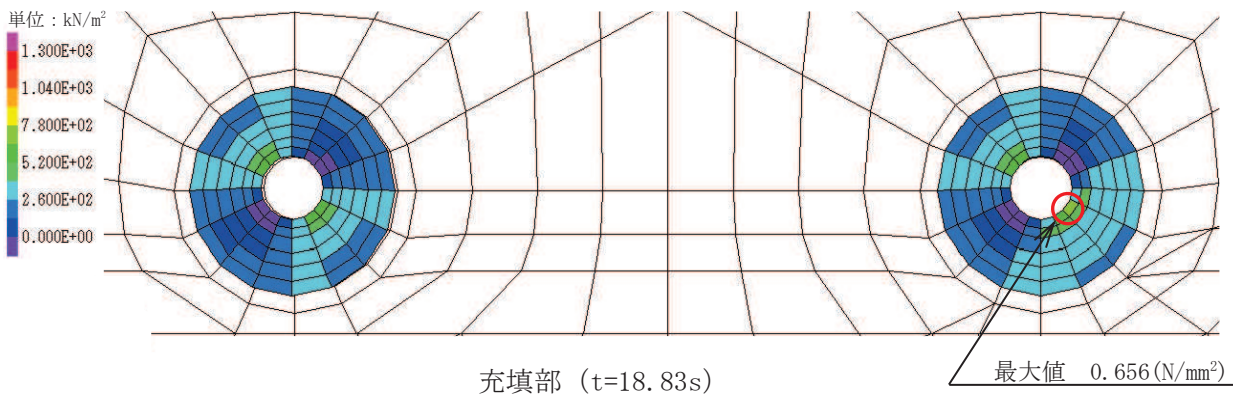
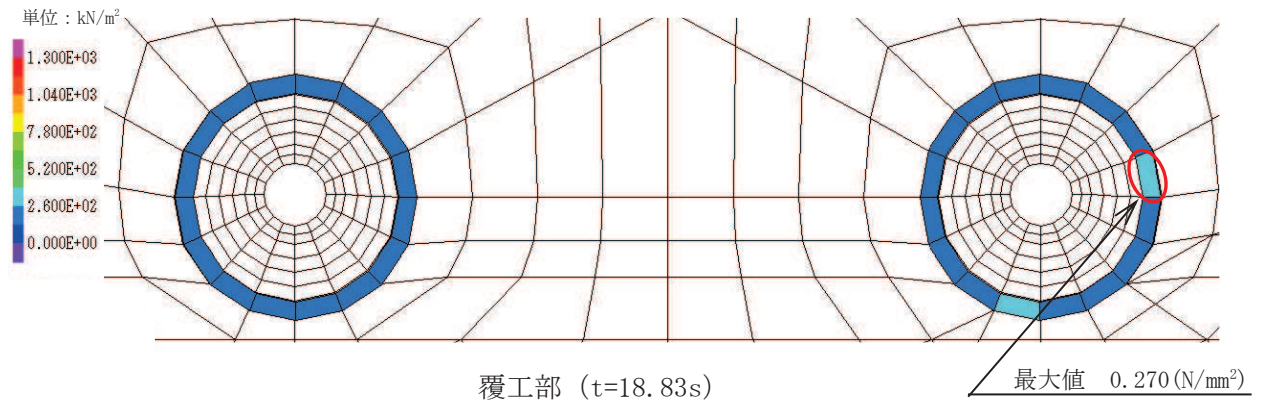


図 3.8-1(7) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F1 (+ +)$ に対する引張強度の応力分布図

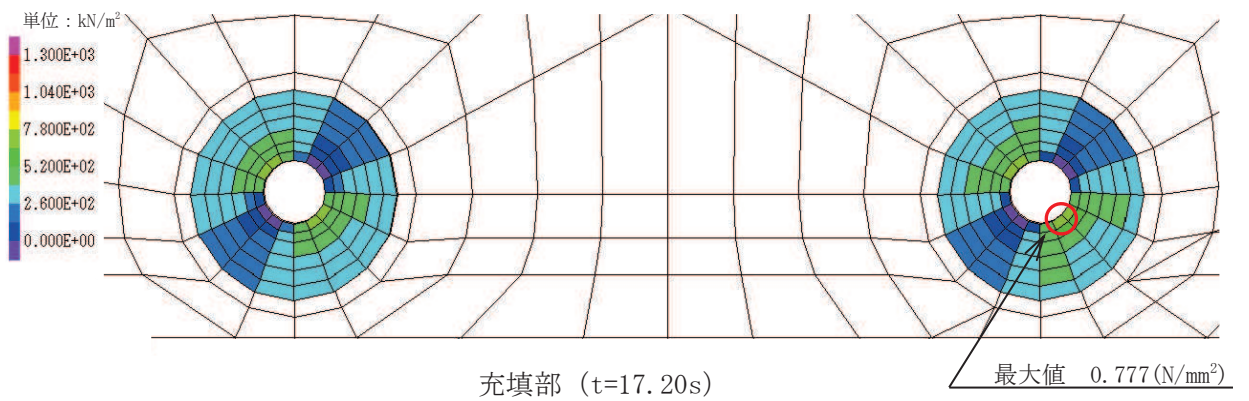
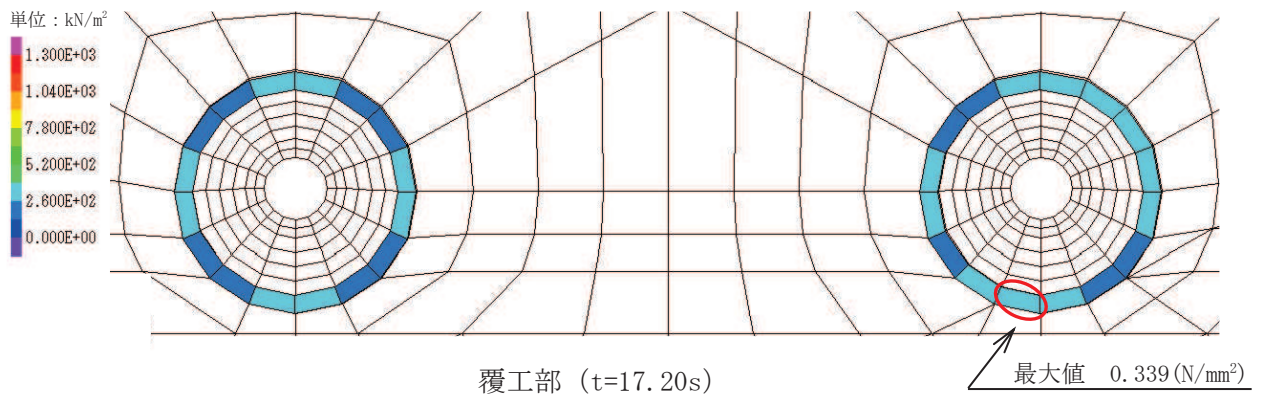


図 3.8-1(8) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F1 (- +)$ に対する引張強度の応力分布図

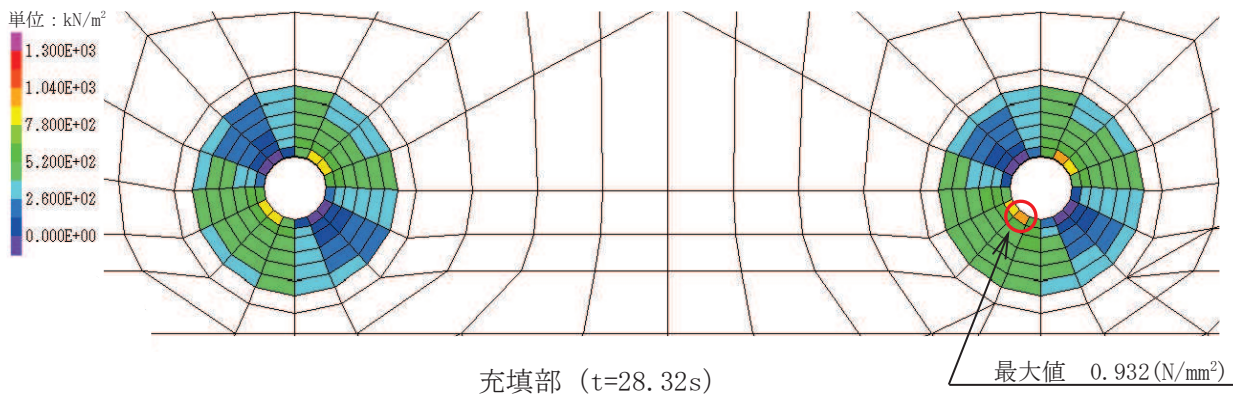
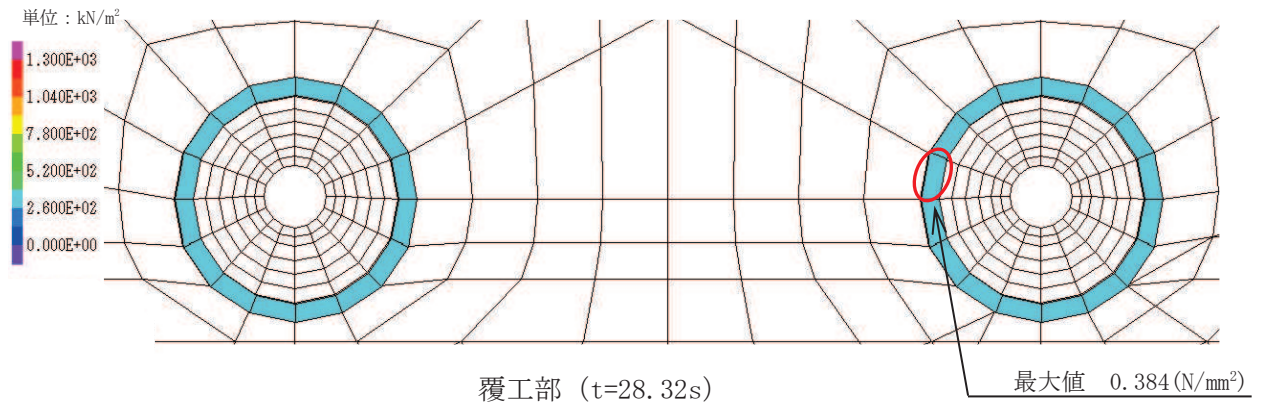


図 3.8-1(9) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F_2 (+ +)$ に対する引張強度の応力分布図

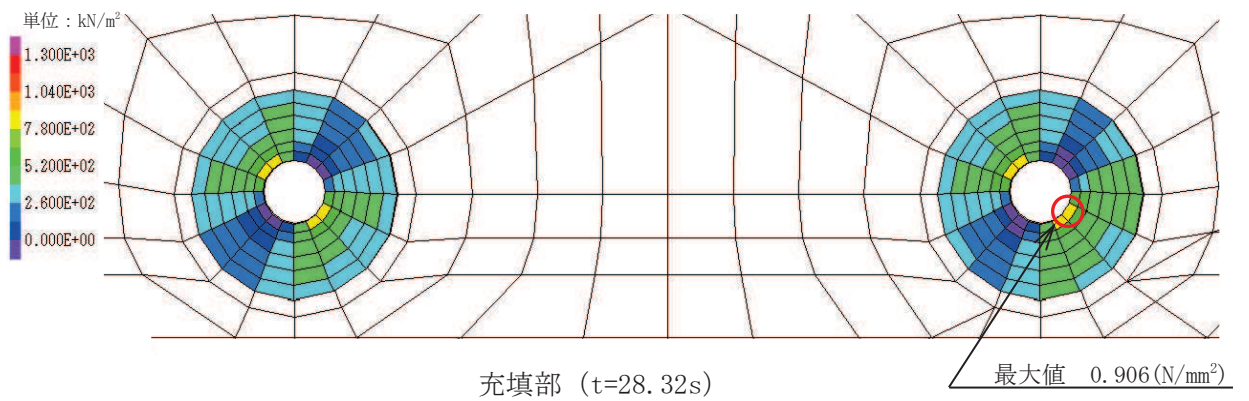
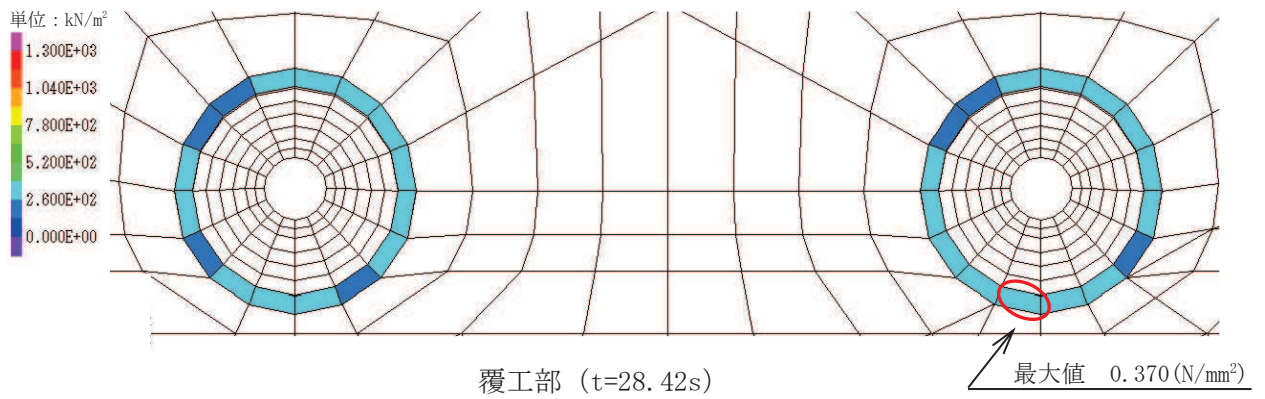


図 3.8-1(10) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F_2 (- +)$ に対する引張強度の応力分布図

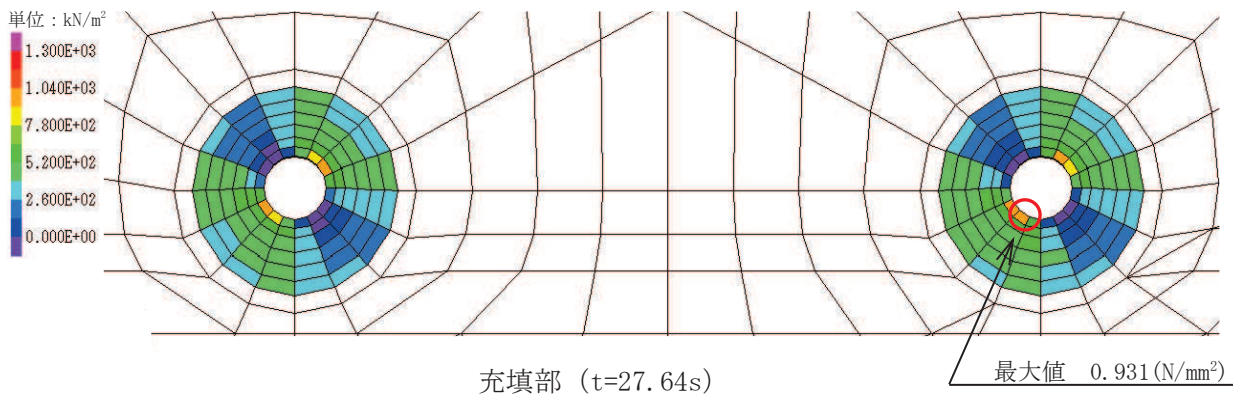
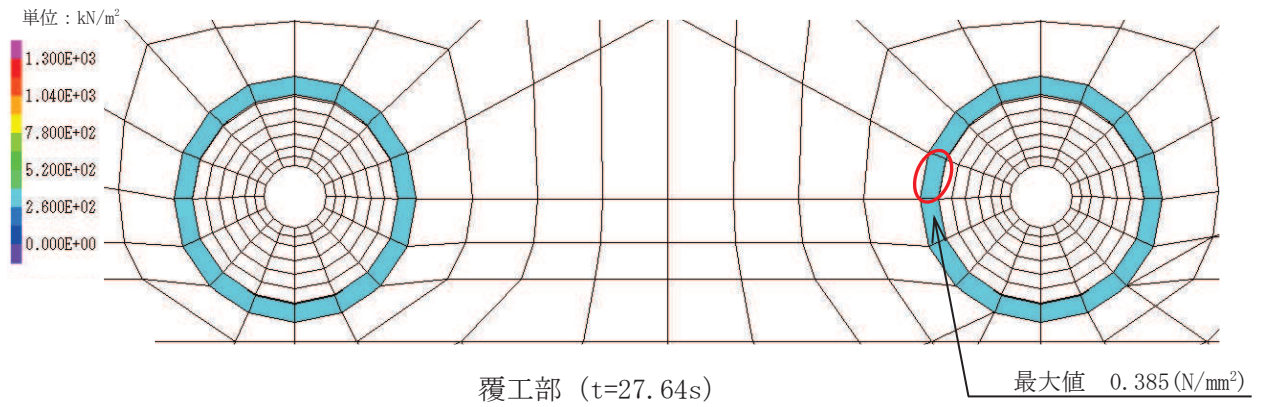


図 3.8-1(11) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F3 (+ +)$ に対する引張強度の応力分布図

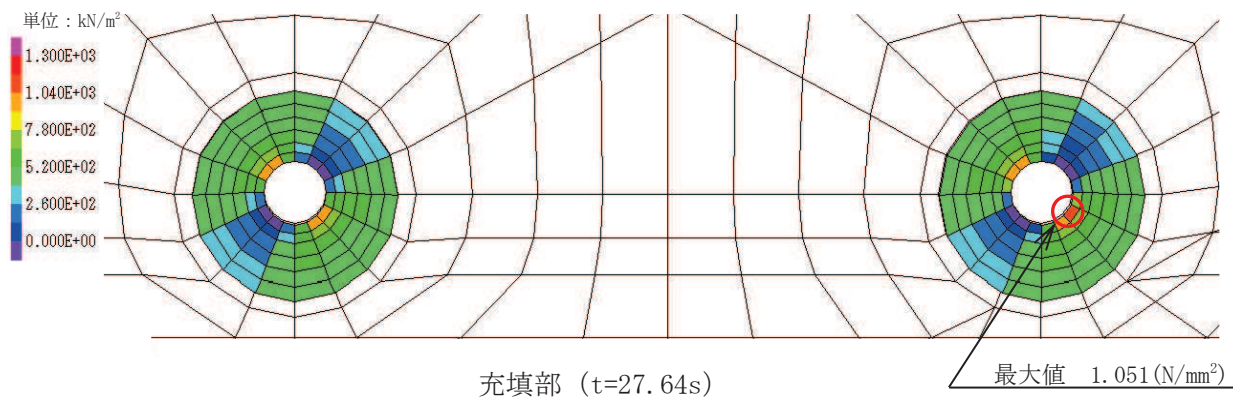
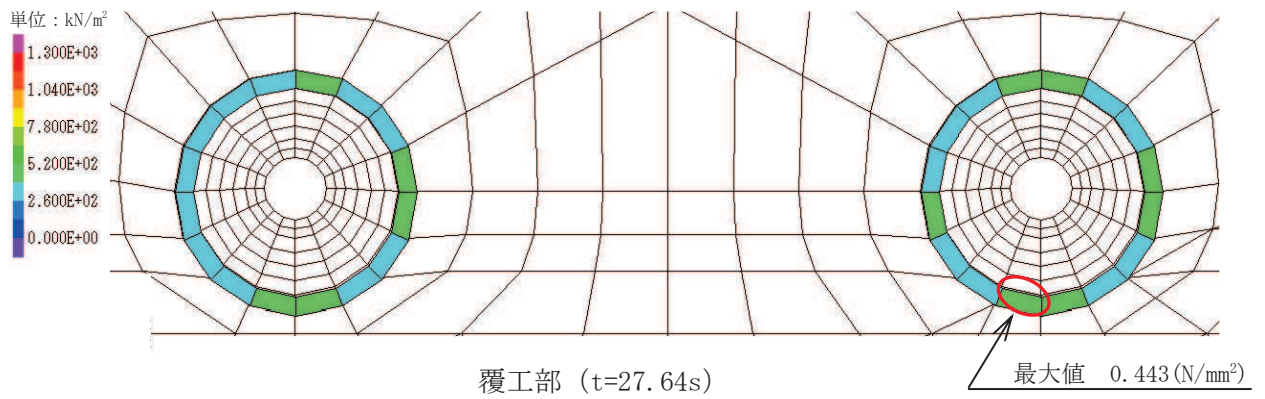


図 3.8-1(12) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F3 (- +)$ に対する引張強度の応力分布図

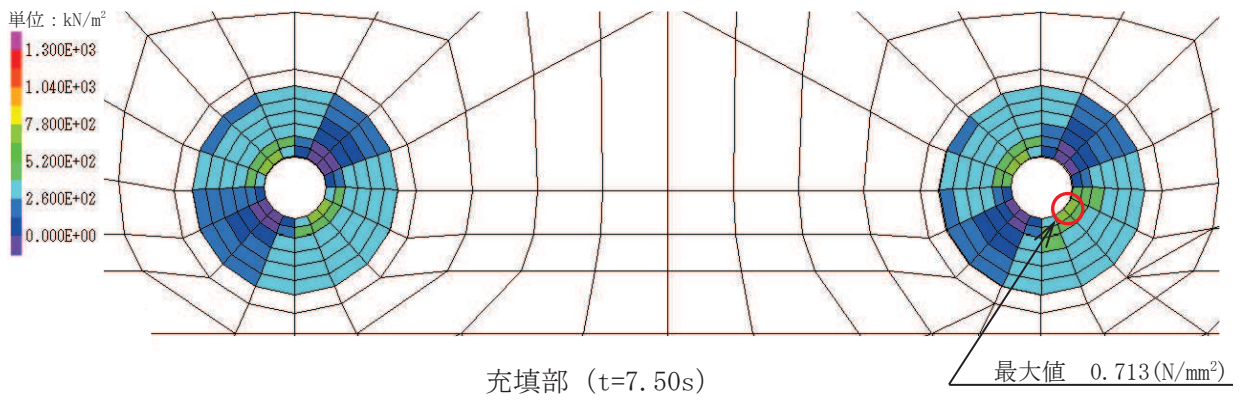
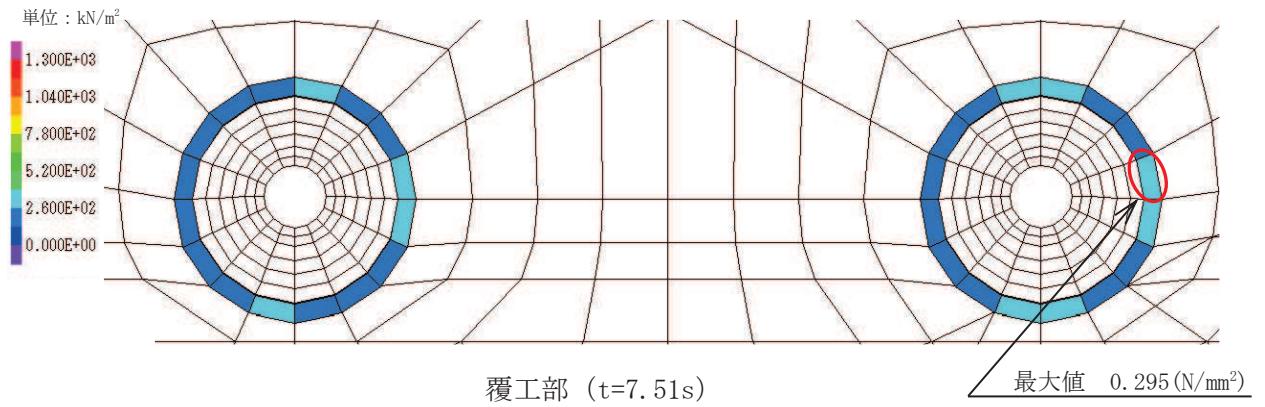


図 3.8-1(13) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (+ +)$ に対する引張強度の応力分布図

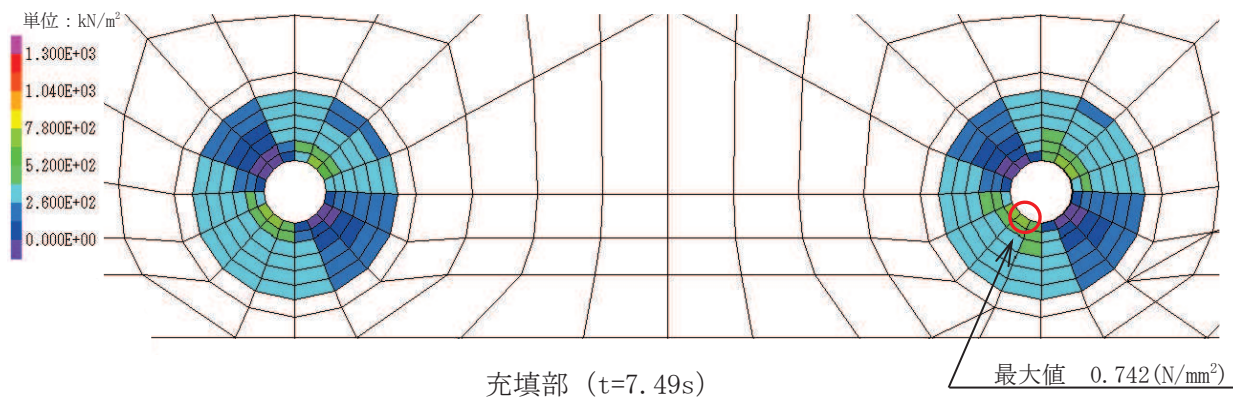
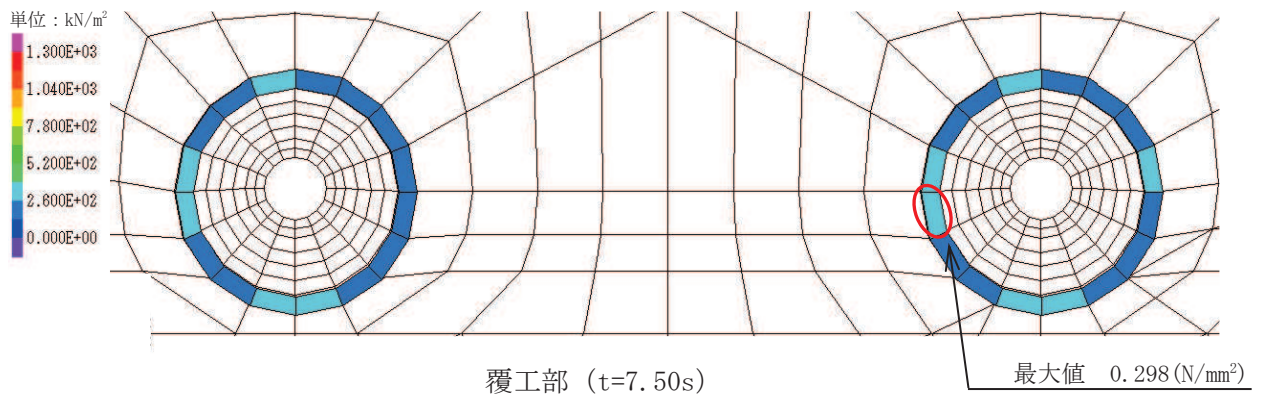


図 3.8-1(14) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (- +)$ に対する引張強度の応力分布図

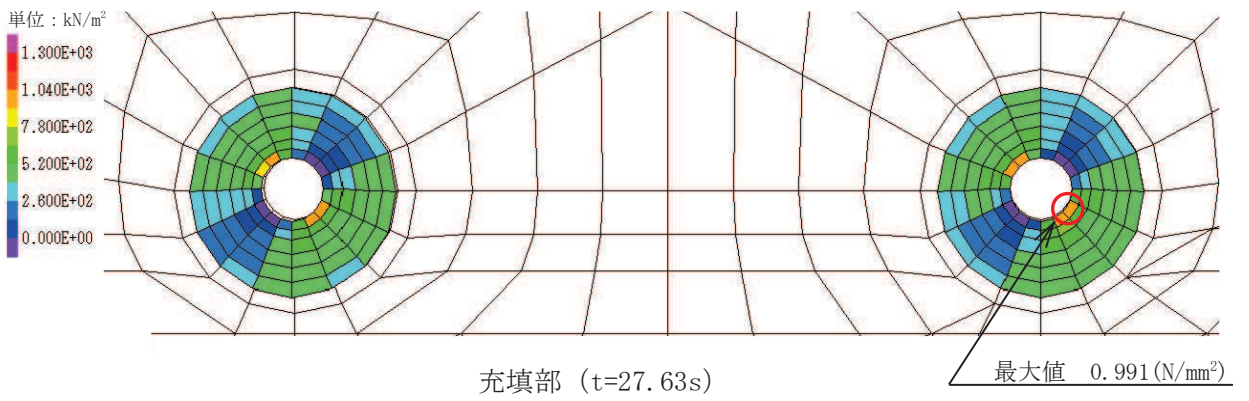
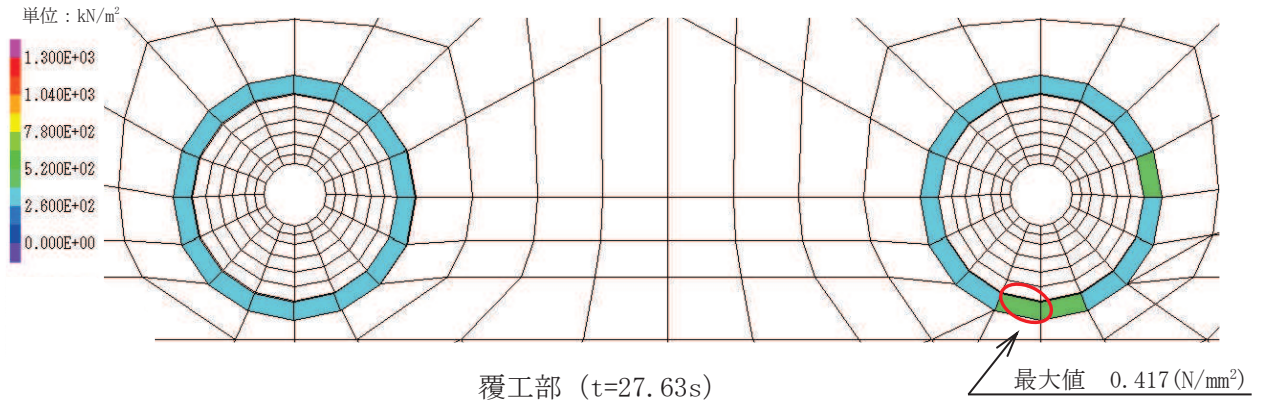


図 3.8-1(15) 解析ケース② 基準地震動 $S_s - F3$ (一+) に対する引張強度の応力分布図

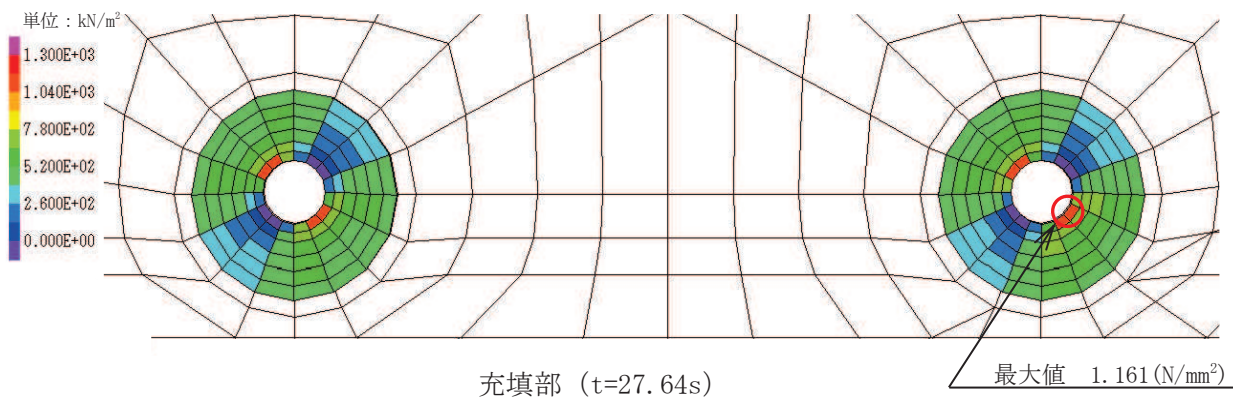
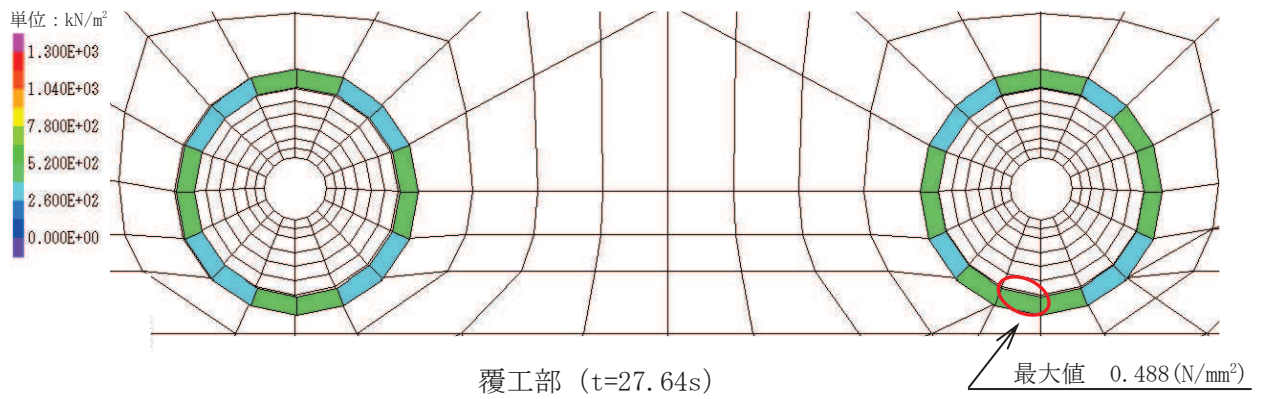


図 3.8-1(16) 解析ケース③ 基準地震動 $S_s - F3$ (一+) に対する引張強度の応力分布図

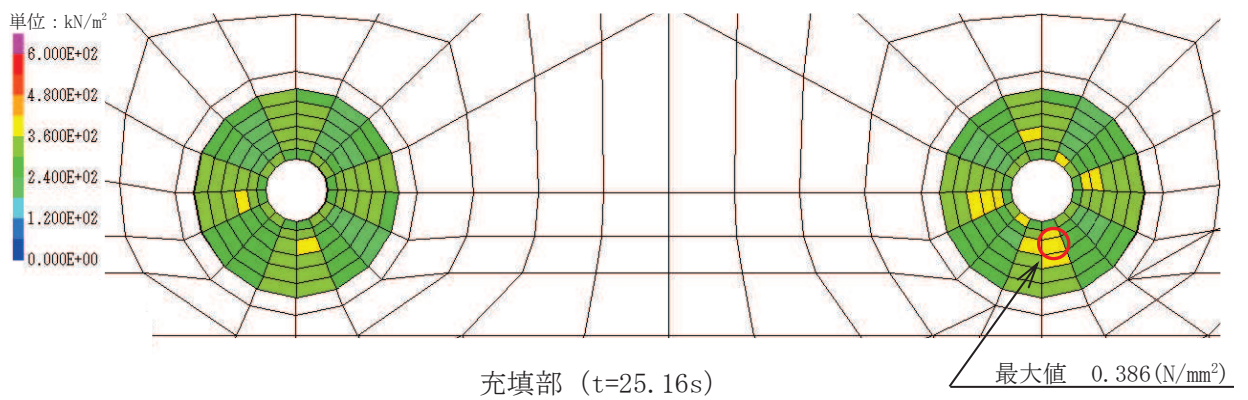
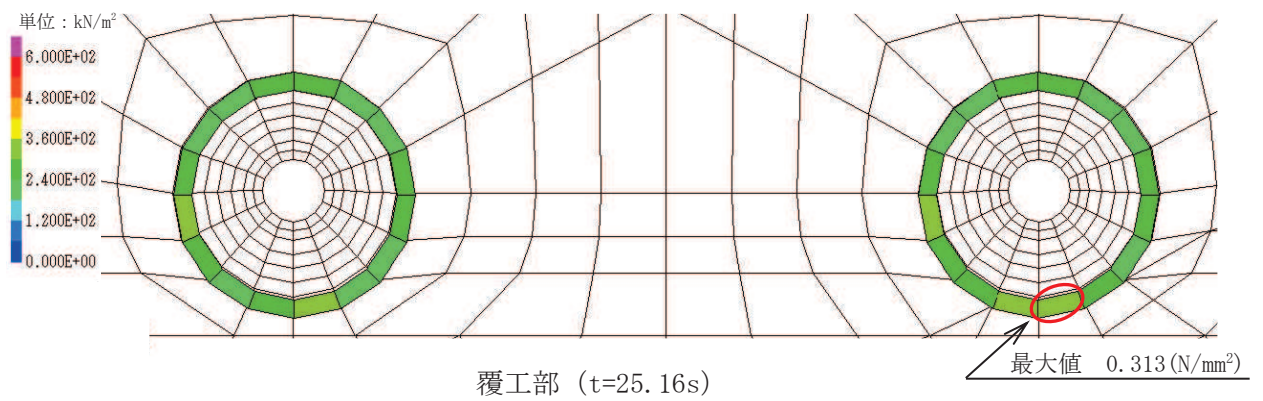


図 3.8-2(1) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1 (+)$ に対するせん断強度の応力分布図

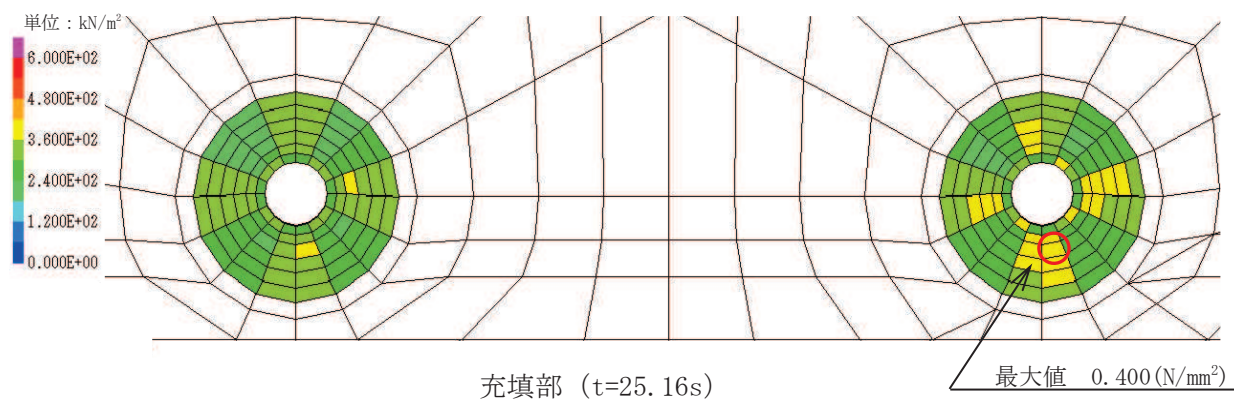
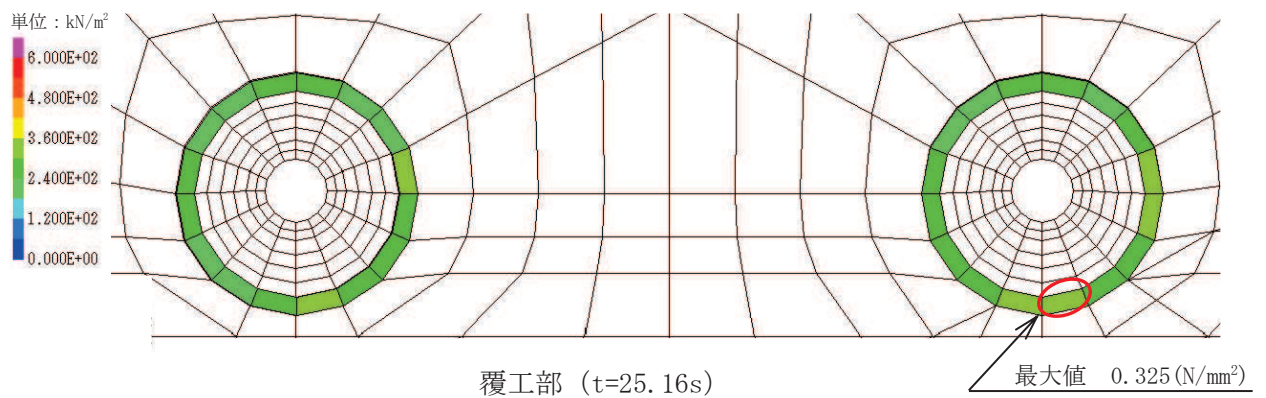


図 3.8-2(2) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1 (-)$ に対するせん断強度の応力分布図

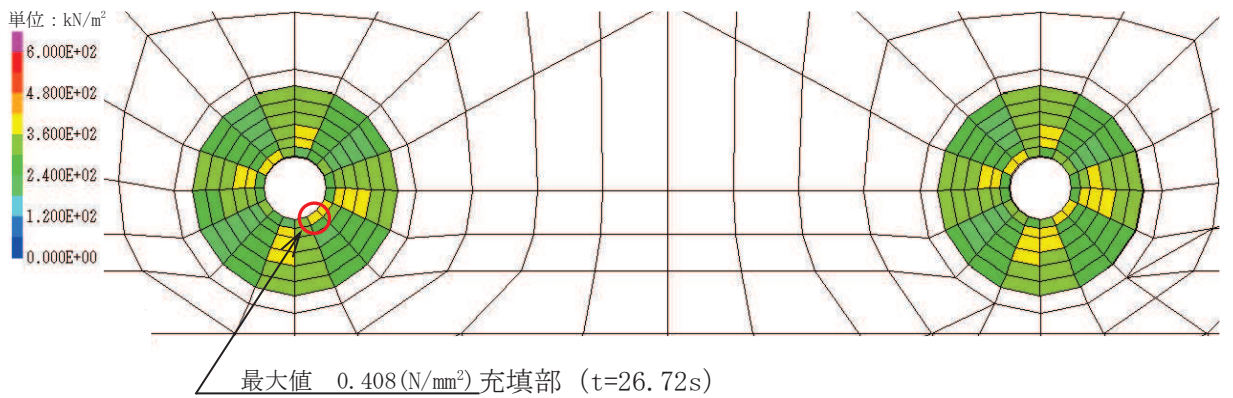
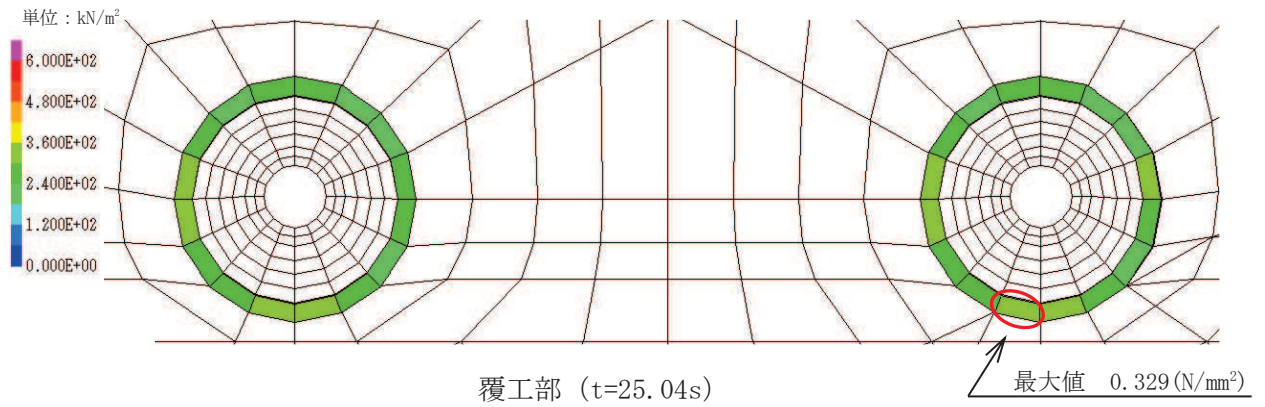


図 3.8-2(3) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (++) に対するせん断強度の応力分布図

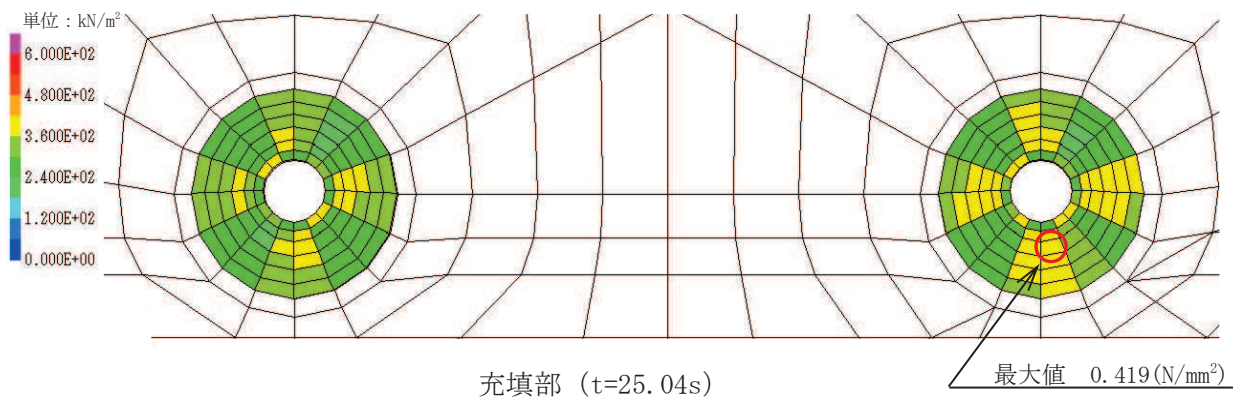
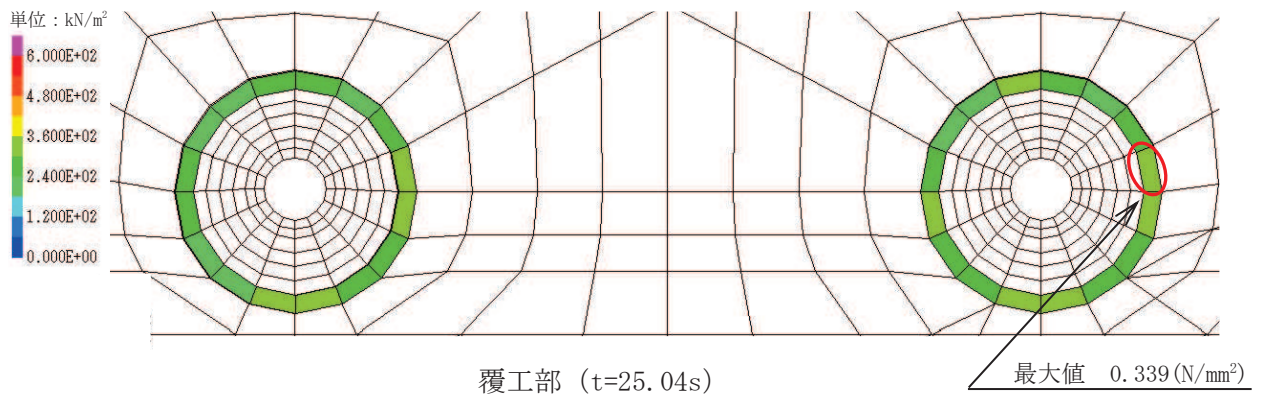


図 3.8-2(4) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

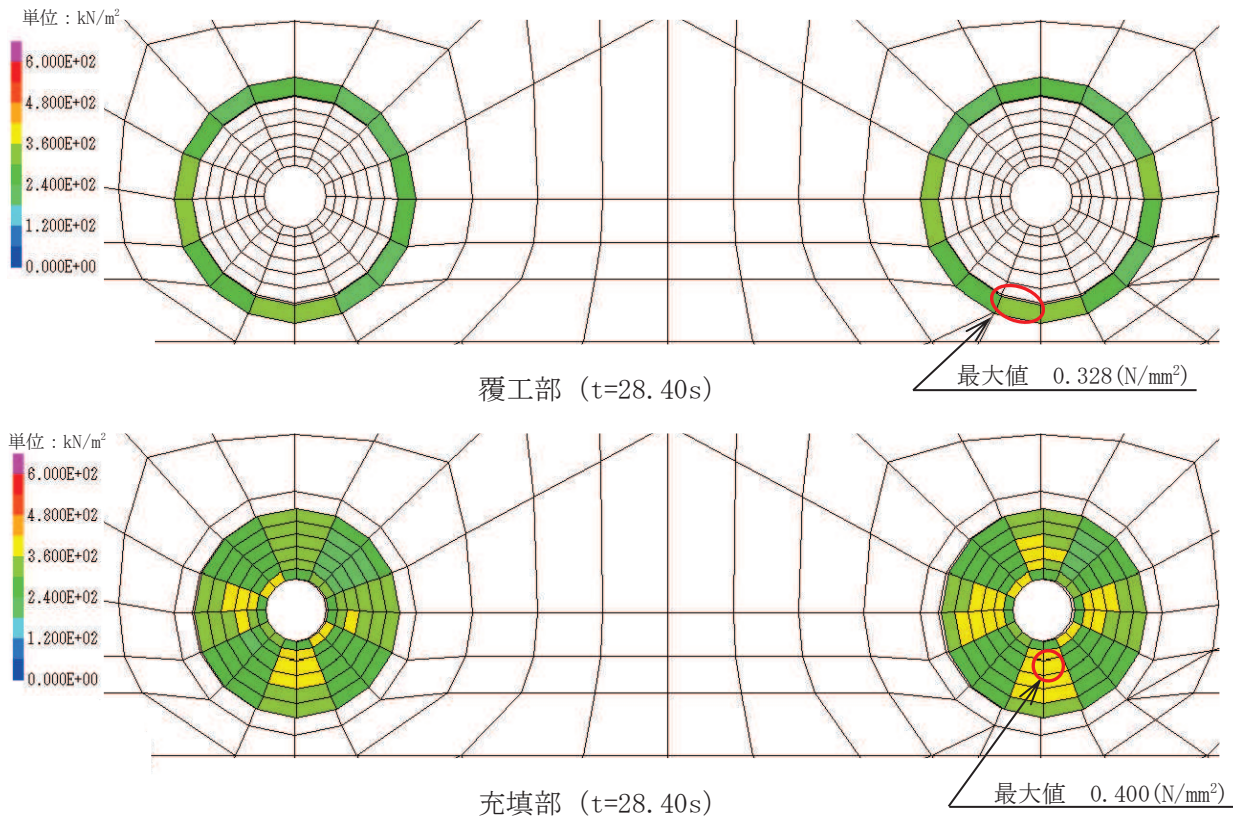


図 3.8-2(5) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D3 (+ +)$ に対するせん断強度の応力分布図

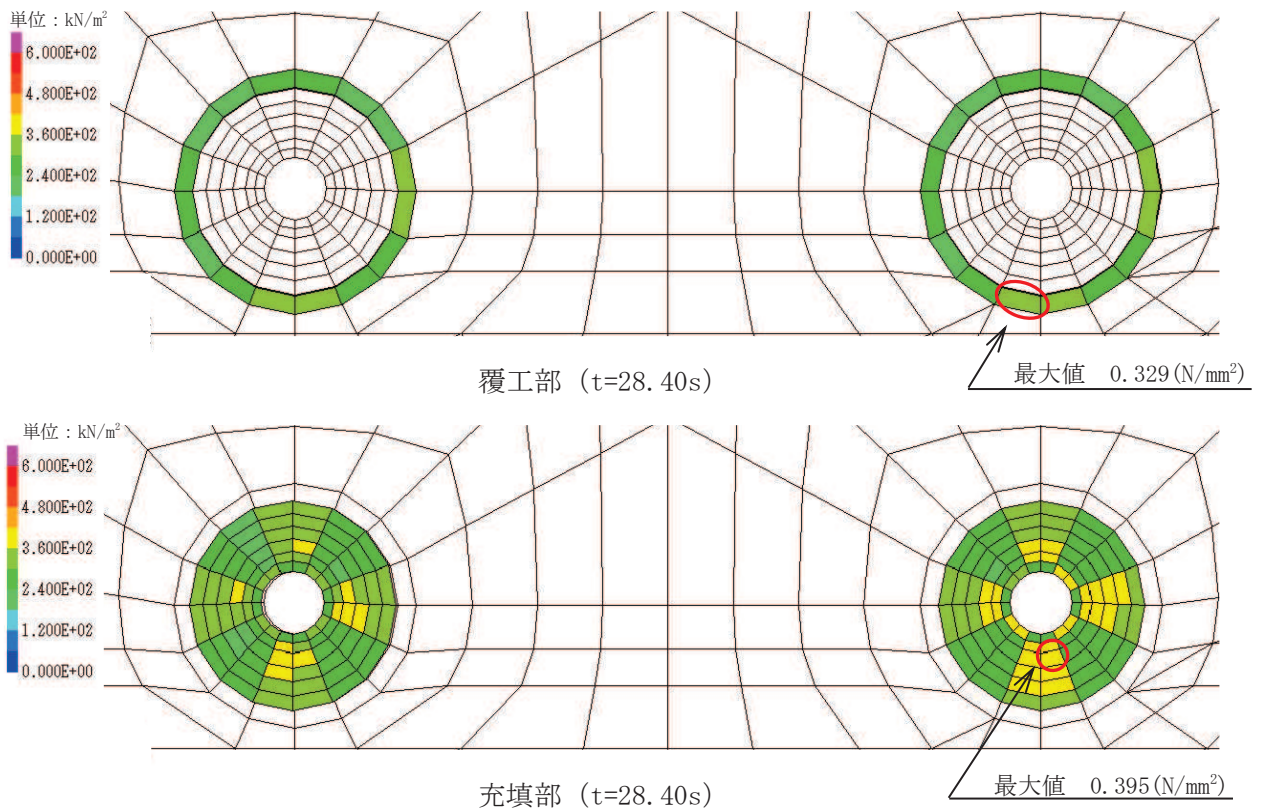


図 3.8-2(6) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D3 (- +)$ に対するせん断強度の応力分布図

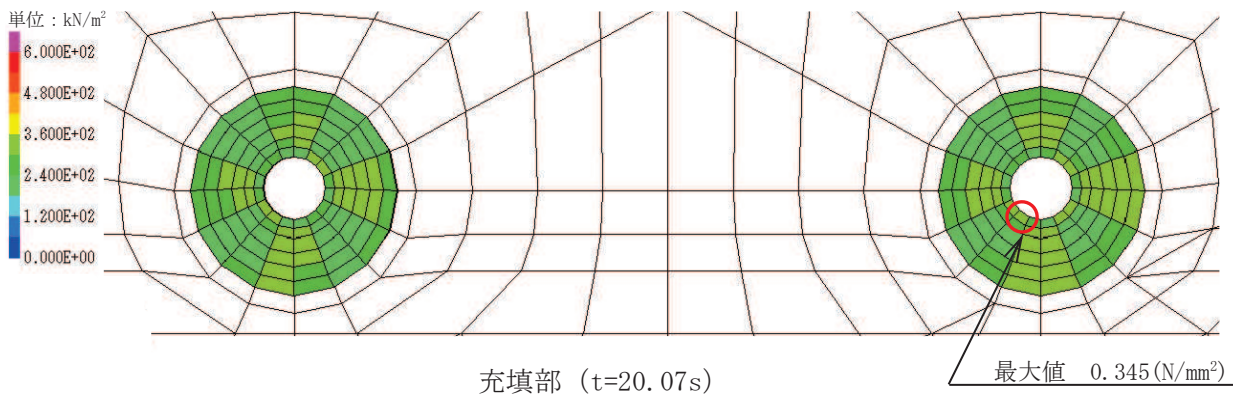
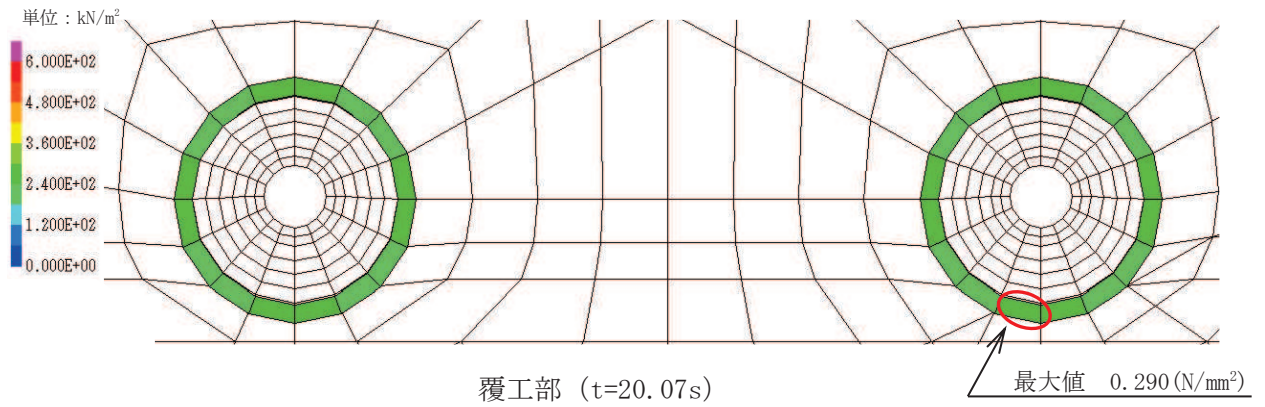


図 3.8-2(7) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F1 (+)$ に対するせん断強度の応力分布図

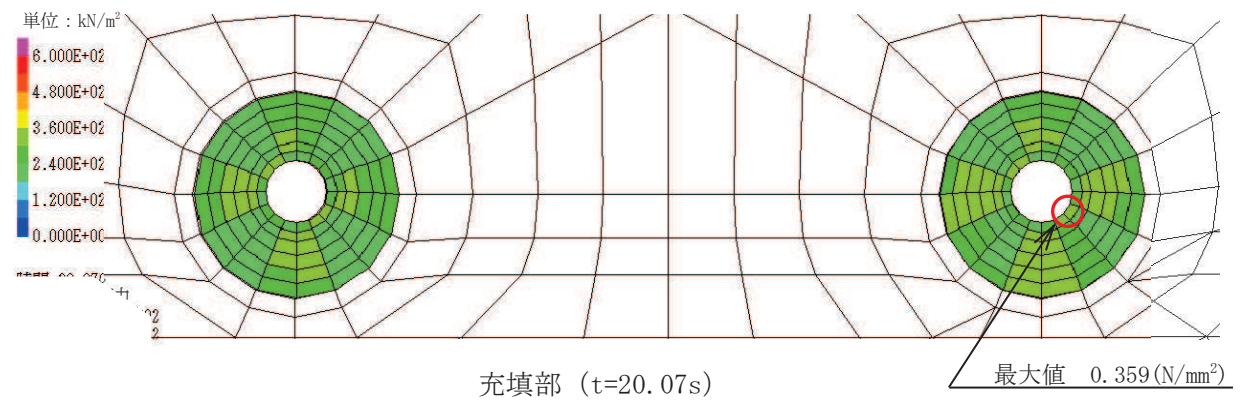
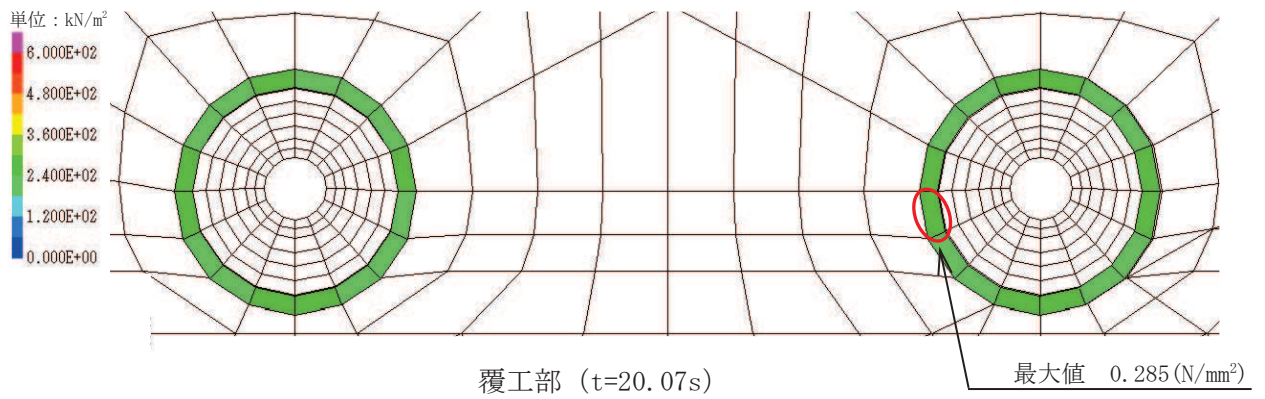


図 3.8-2(8) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F1 (-)$ に対するせん断強度の応力分布図

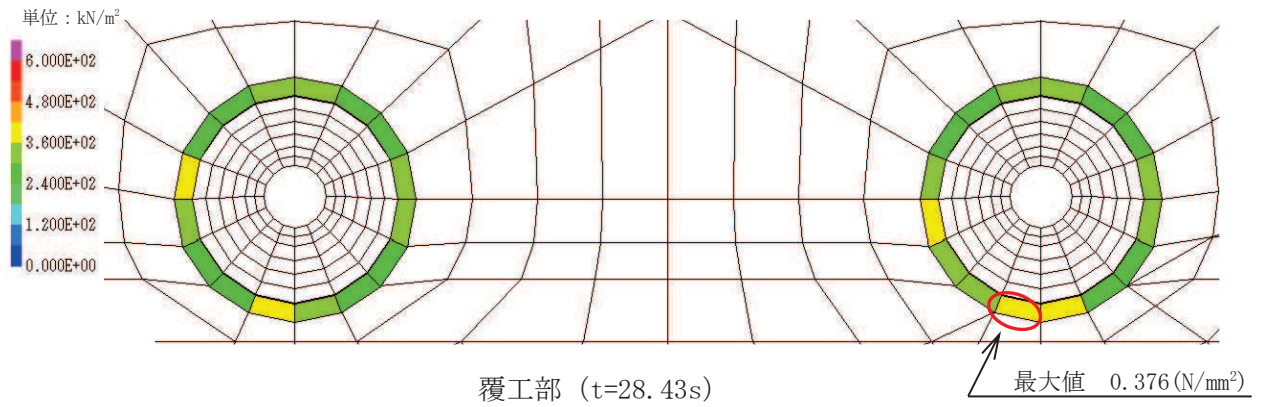


図 3.8-2(9) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 2 (++) に対するせん断強度の応力分布図

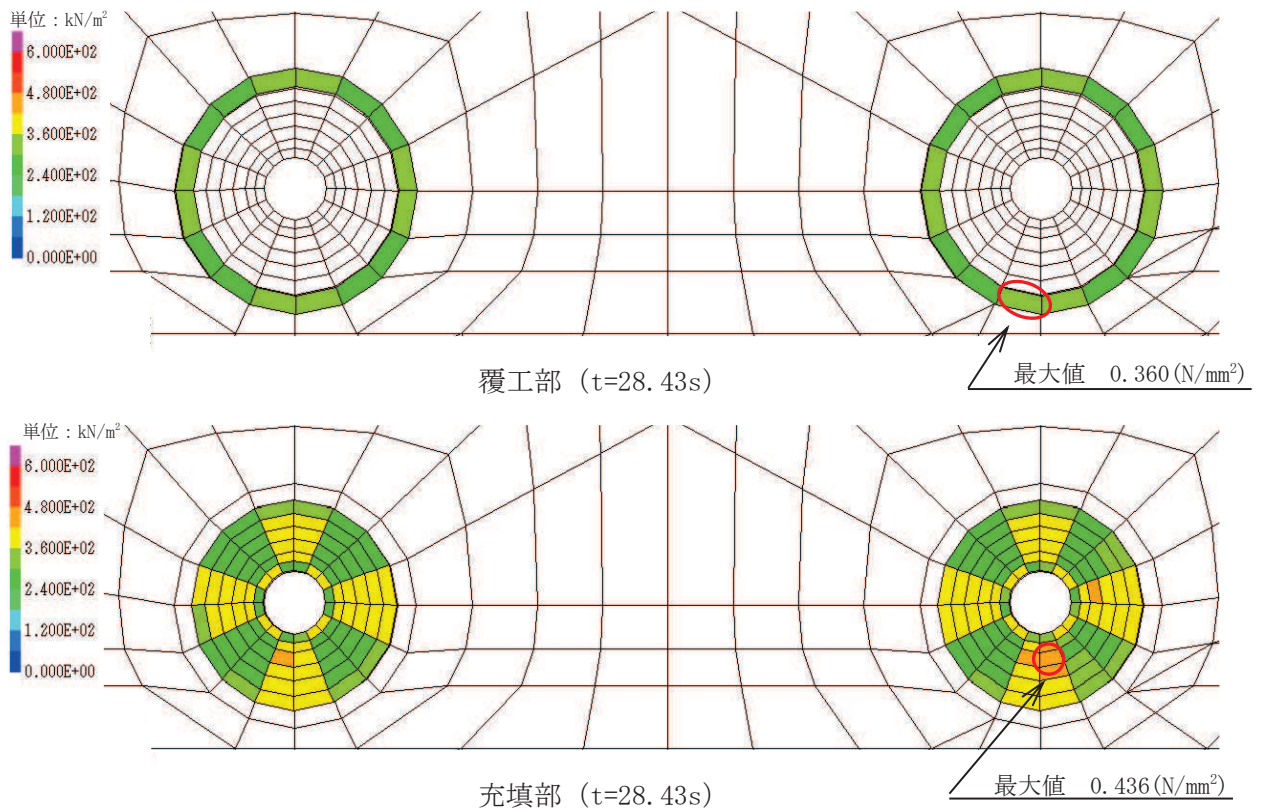


図 3.8-2(10) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 2 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

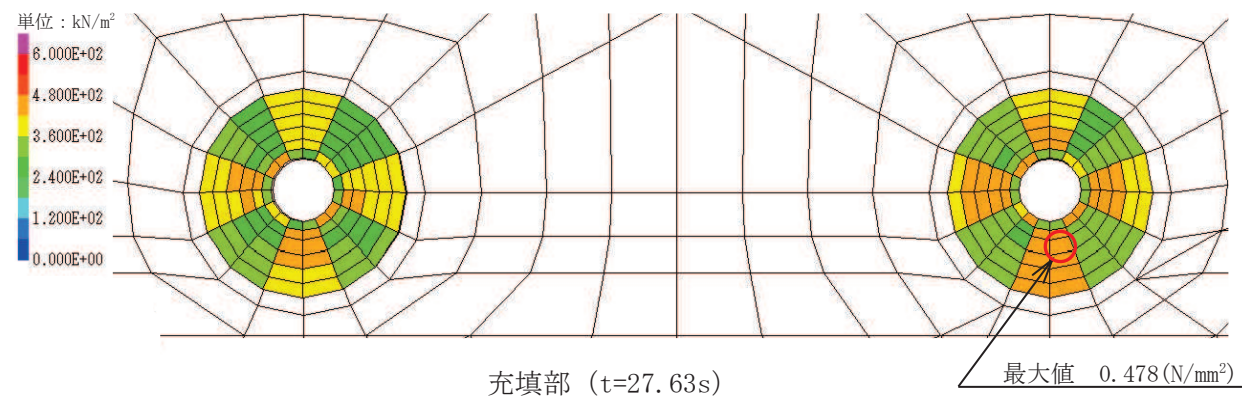
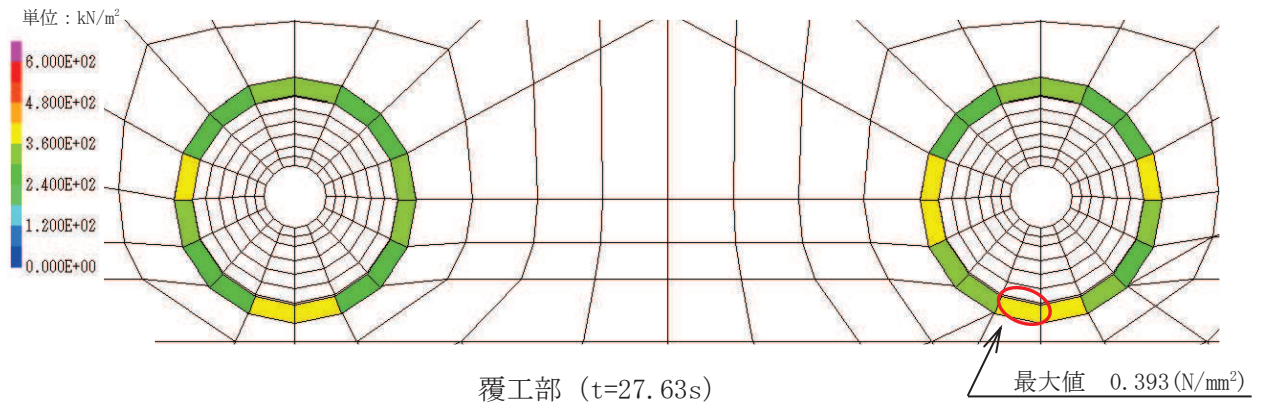


図 3.8-2(11) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 3 (++) に対するせん断強度の応力分布図

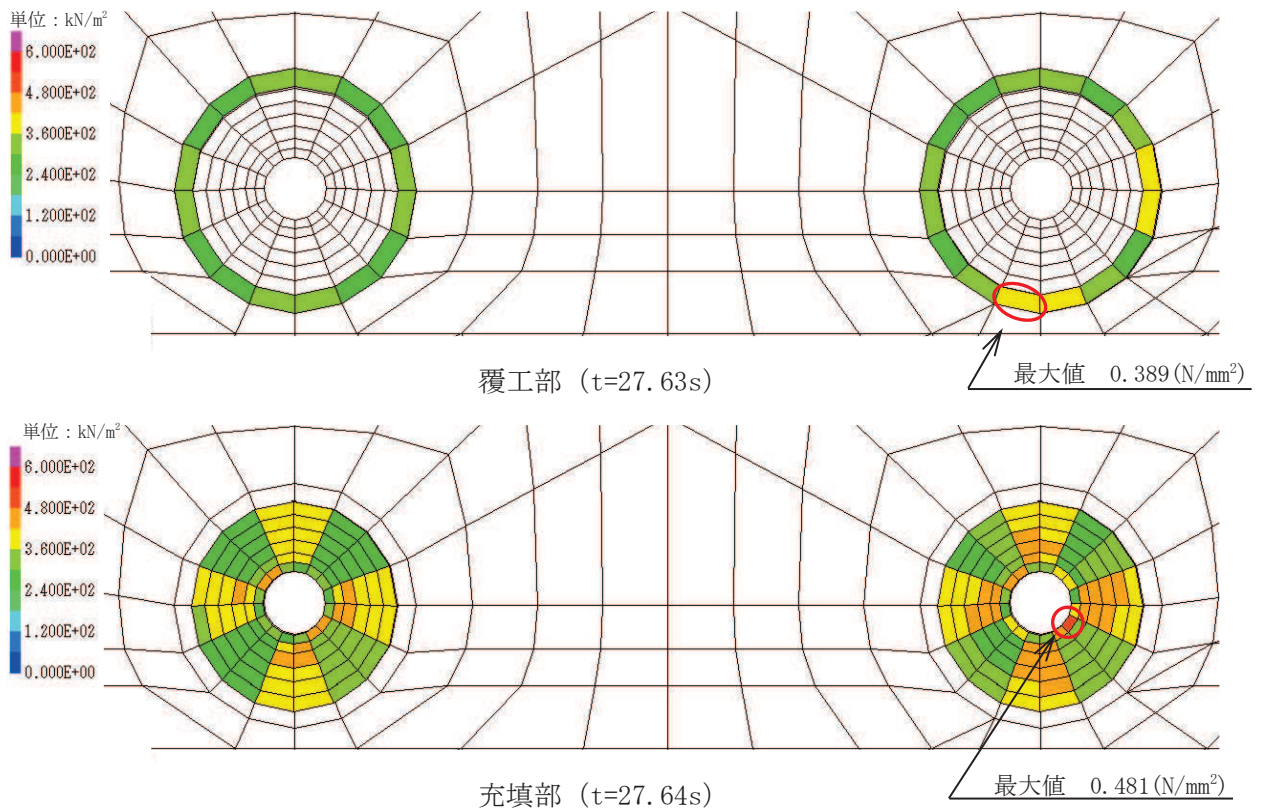


図 3.8-2(12) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 3 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

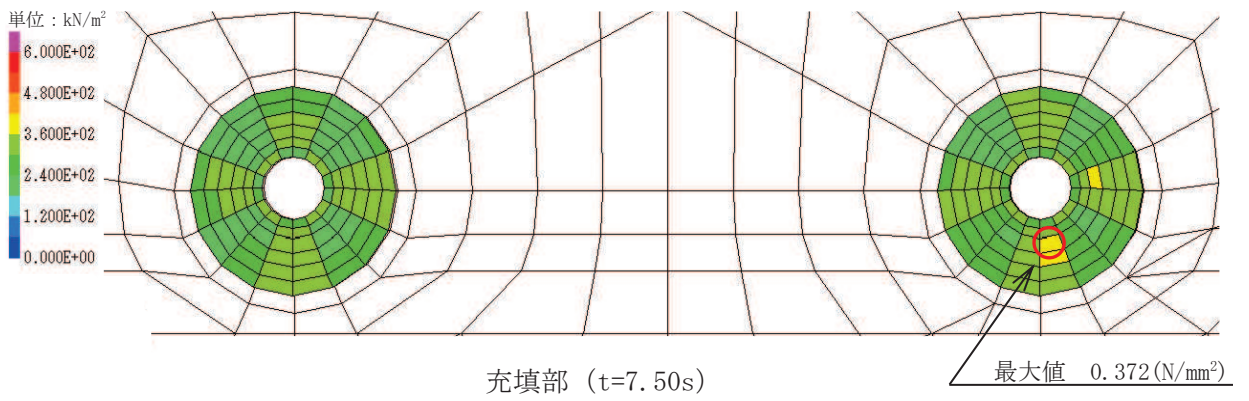
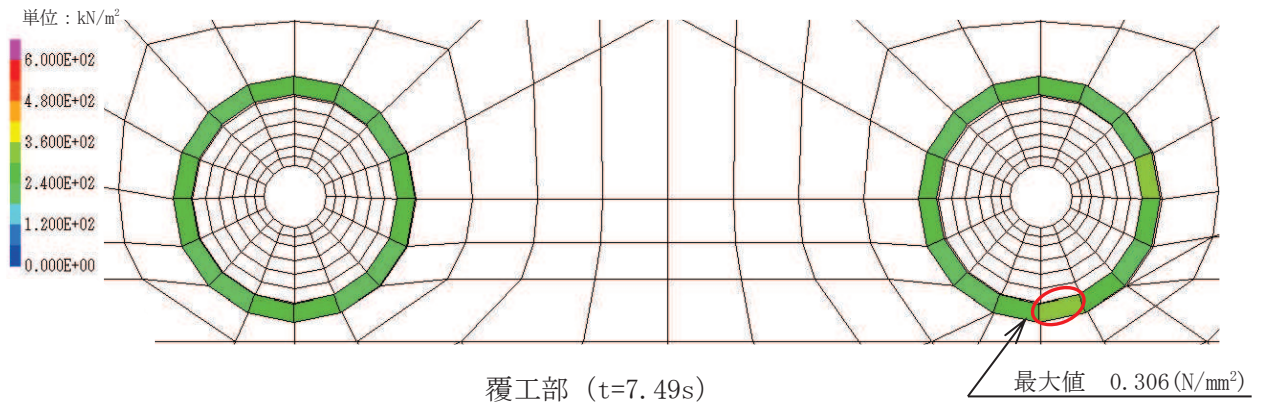


図 3.8-2(13) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (+ +)$ に対するせん断強度の応力分布図

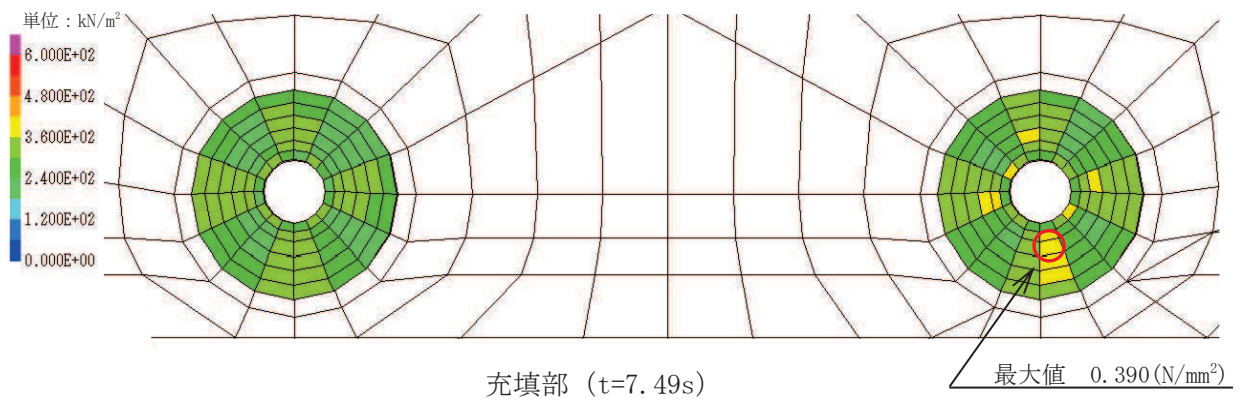
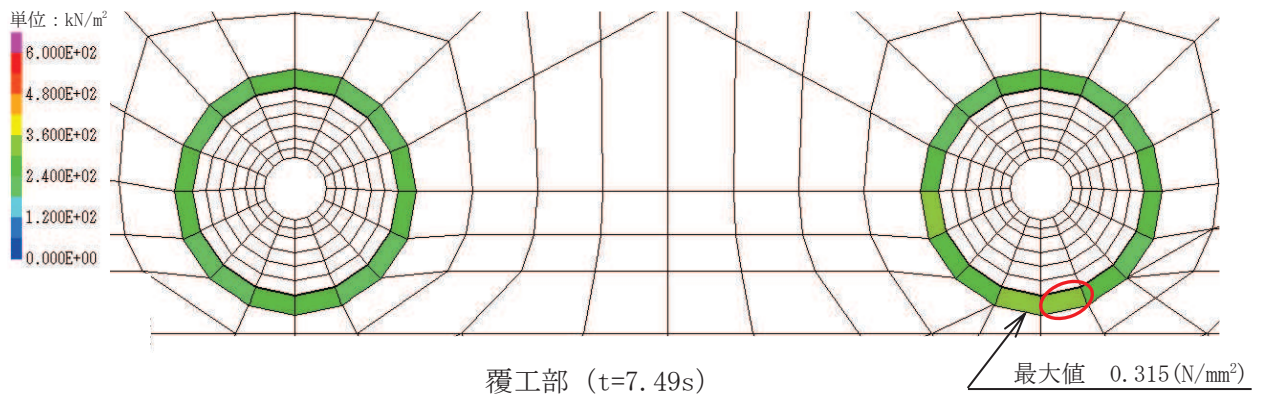


図 3.8-2(14) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (- +)$ に対するせん断強度の応力分布図

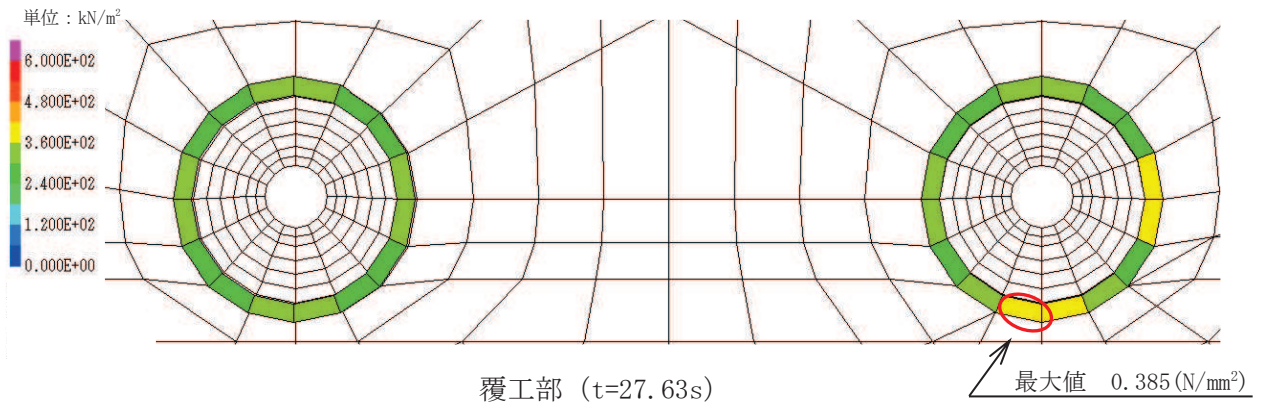


図 3.8-2(15) 解析ケース② 基準地震動 S s - F 3 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

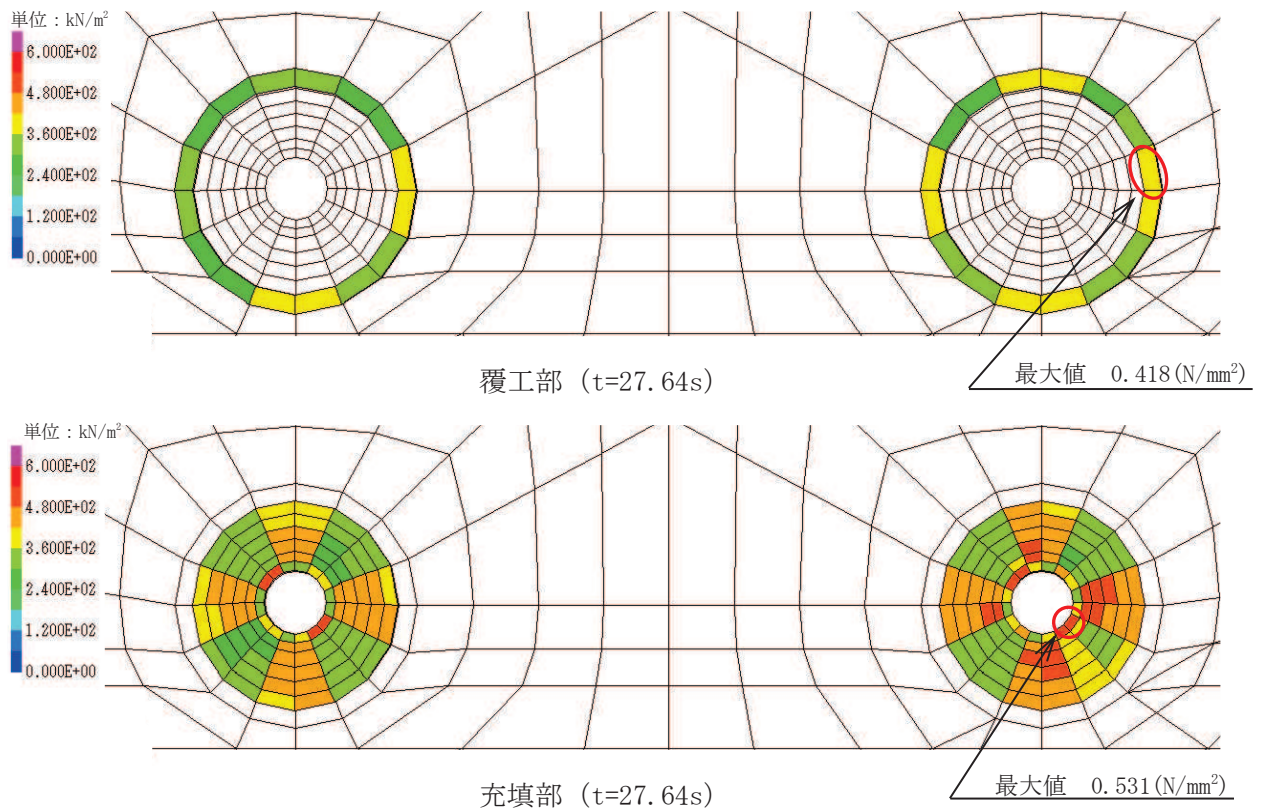


図 3.8-2(16) 解析ケース③ 基準地震動 S s - F 3 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

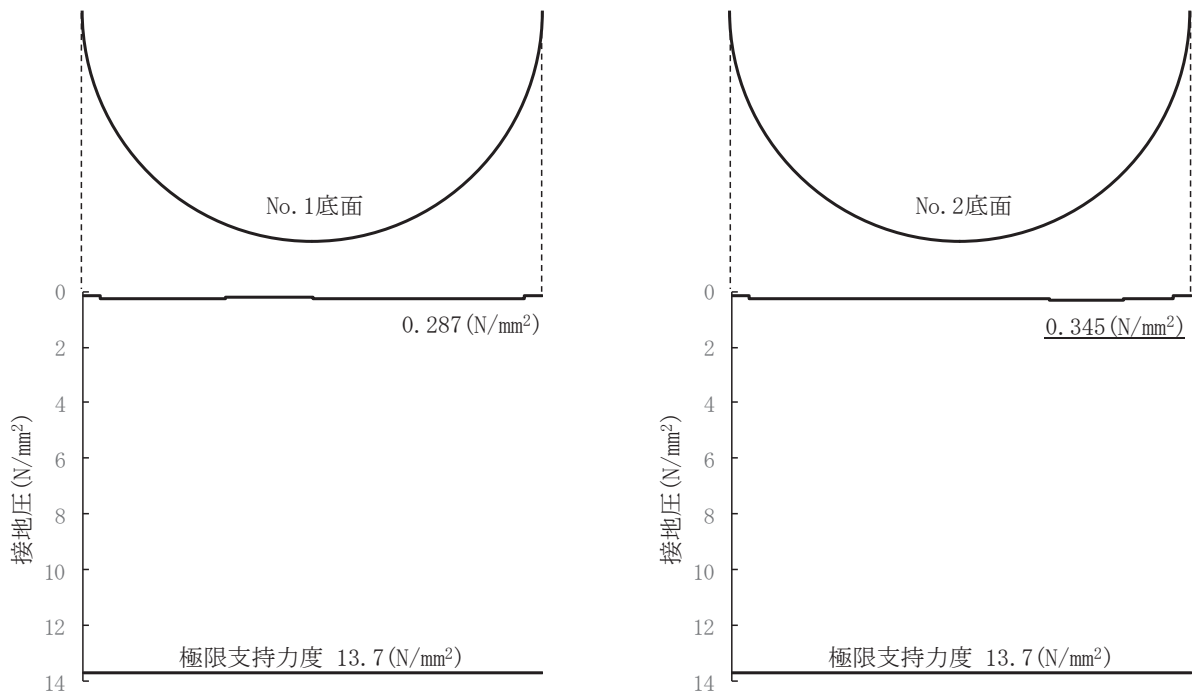


図 3.8-3(1) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1$ (++) に対する設置圧の分布図

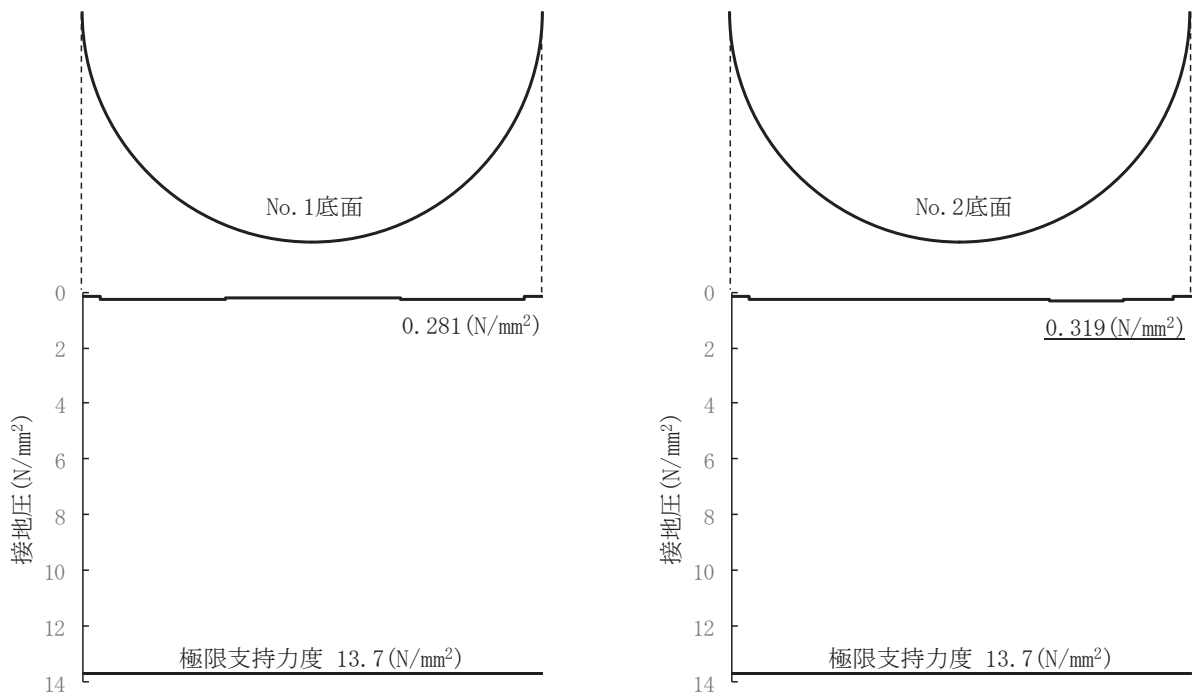


図 3.8-3(2) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1$ (-+) に対する設置圧の分布図

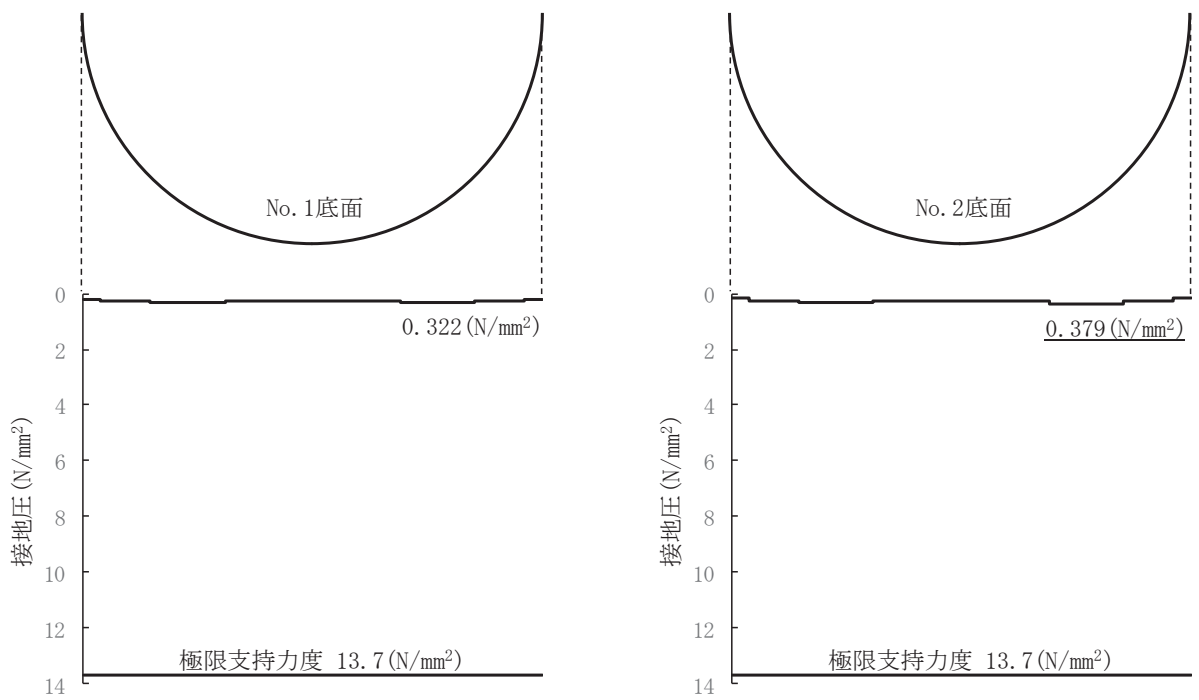


図 3.8-3(3) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (+ +) に対する設置圧の分布図

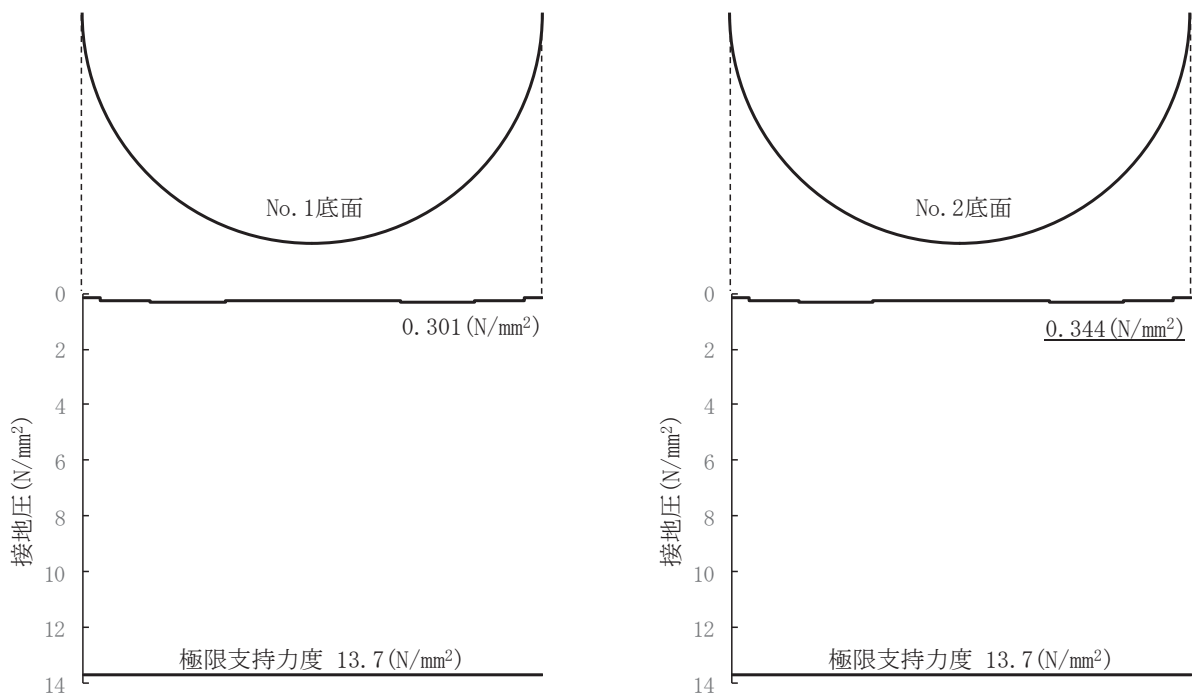


図 3.8-3(4) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (- +) に対する設置圧の分布図

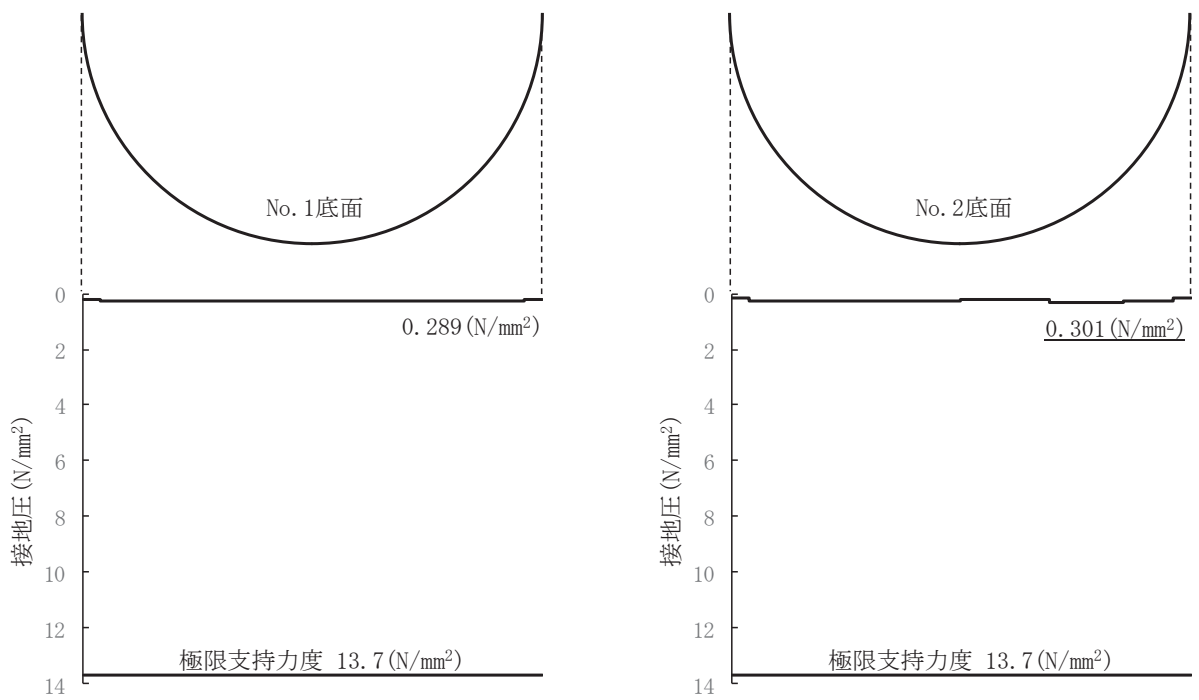


図 3.8-3(5) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 3 (+ +) に対する設置圧の分布図

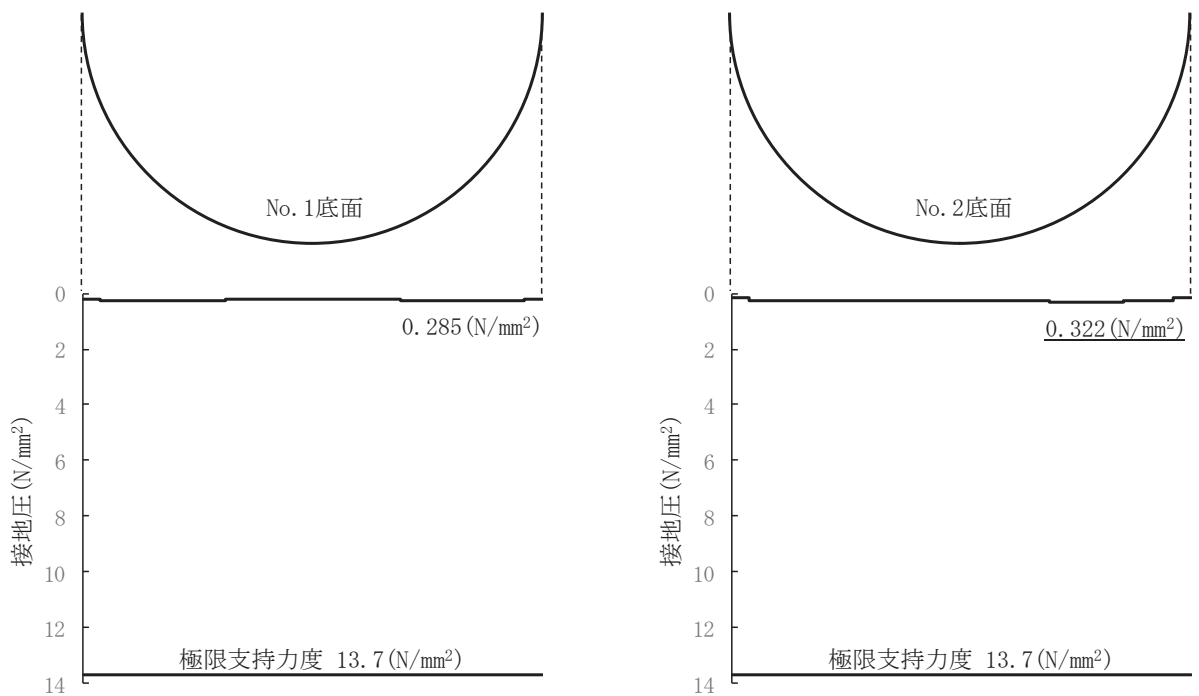


図 3.8-3(6) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 3 (- +) に対する設置圧の分布図

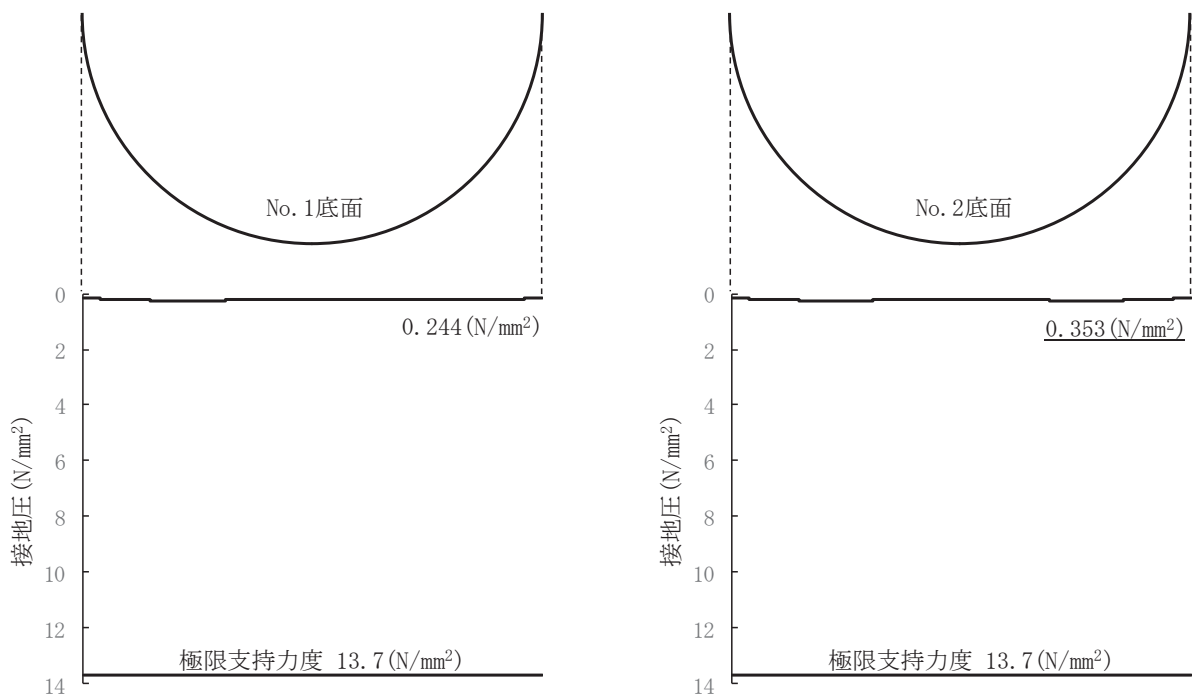


図 3.8-3(7) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 1 (+) に対する設置圧の分布図

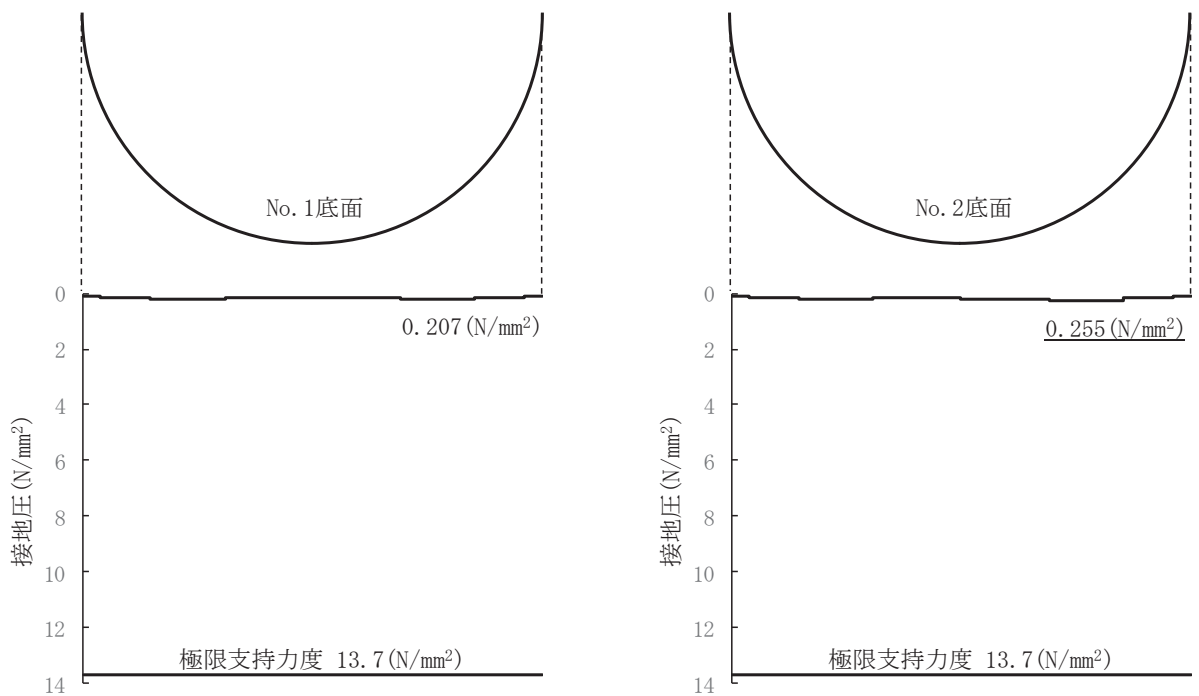


図 3.8-3(8) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 1 (-) に対する設置圧の分布図

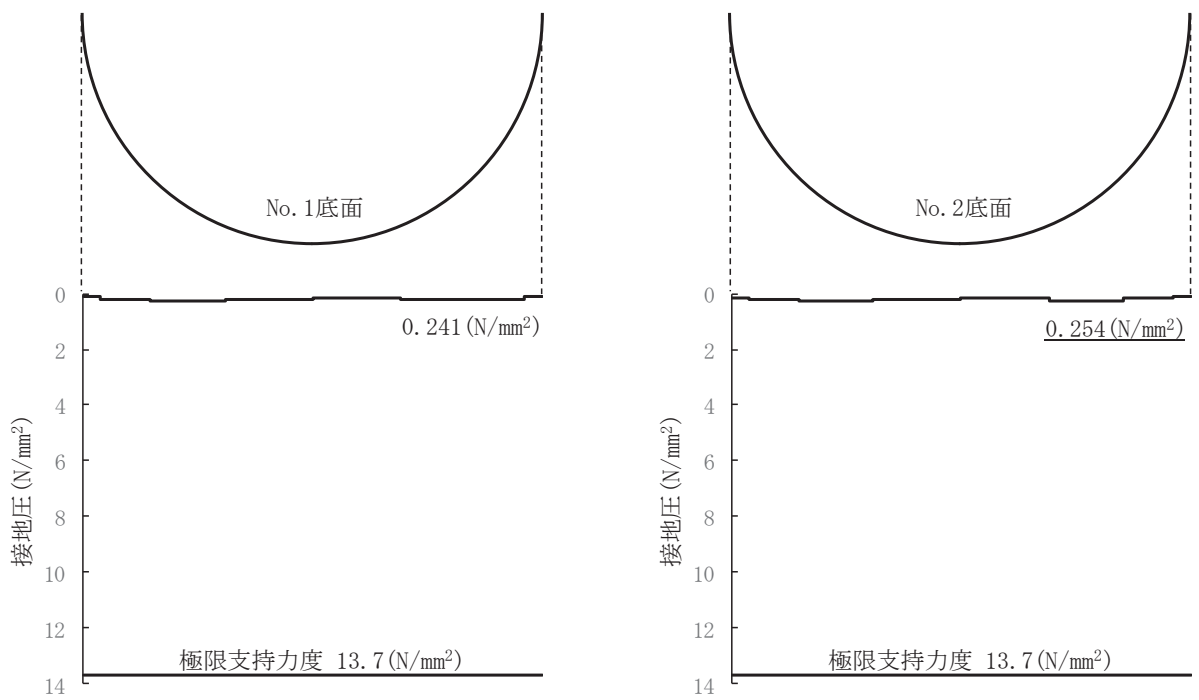


図 3.8-3(9) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 2 (+ +) に対する設置圧の分布図

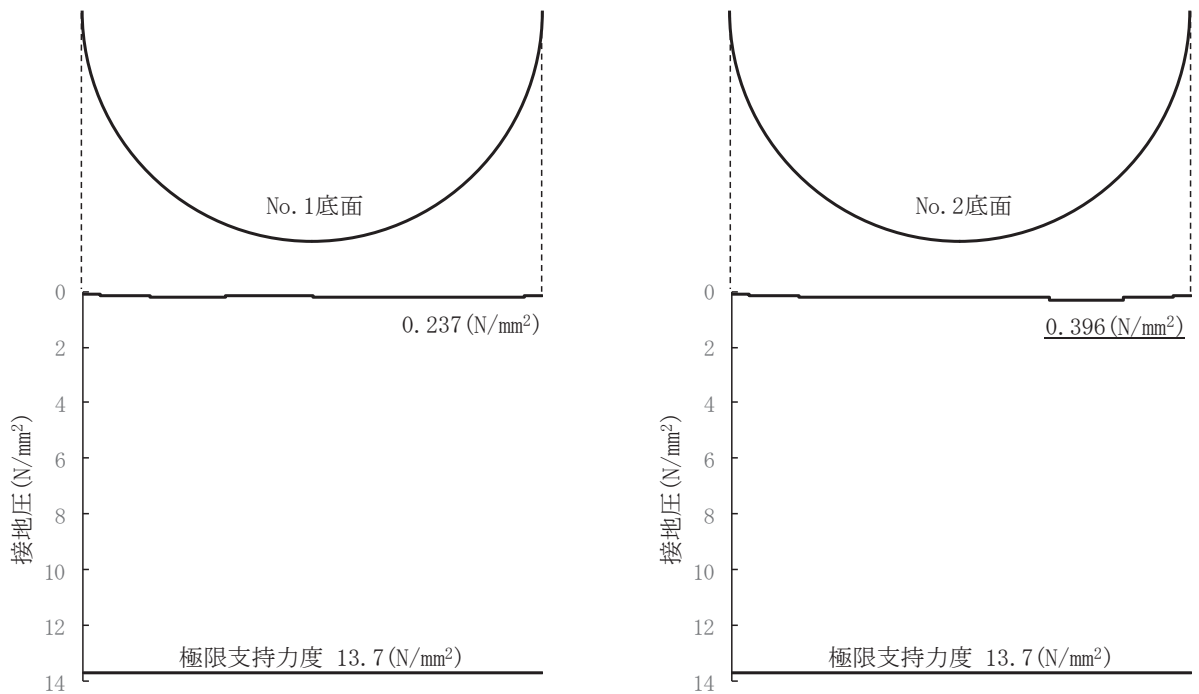


図 3.8-3(10) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 2 (- +) に対する設置圧の分布図

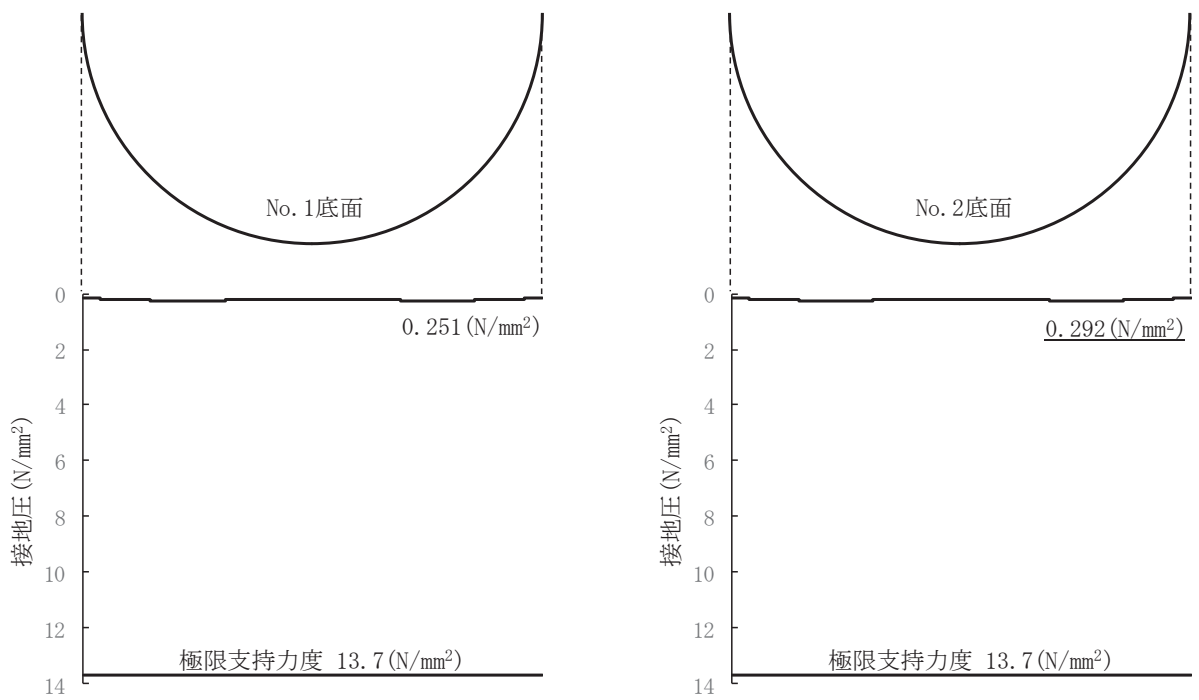


図 3.8-3(11) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F3 (+ +)$ に対する設置圧の分布図

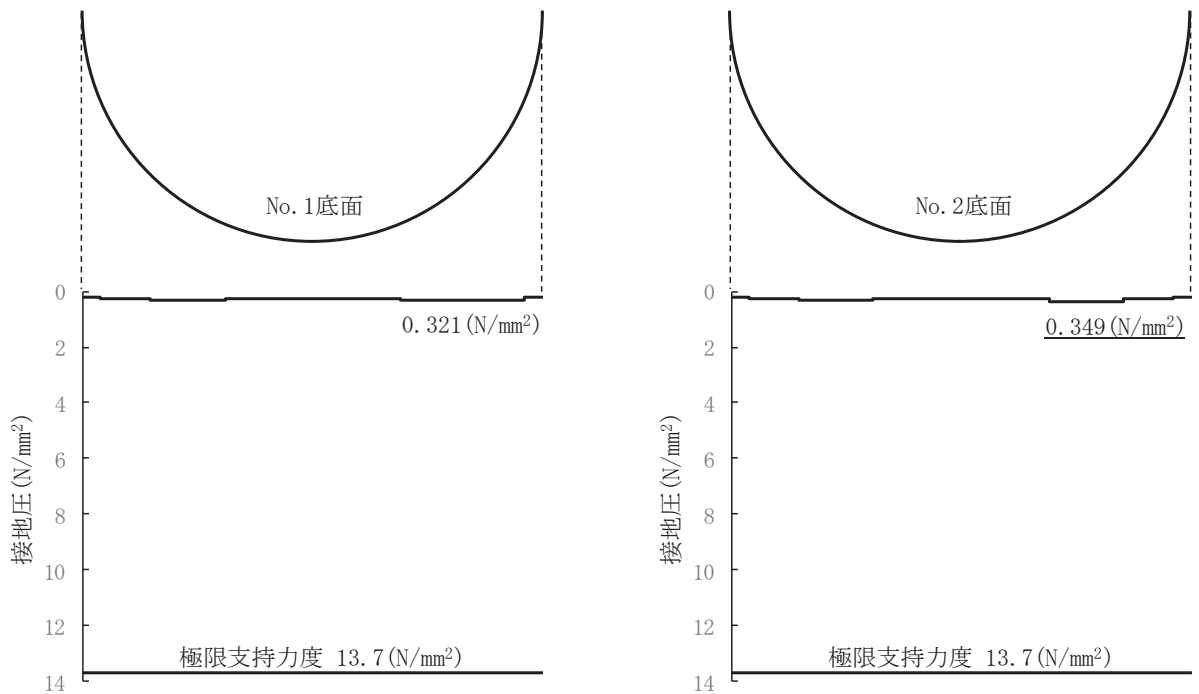


図 3.8-3(12) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F3 (- +)$ に対する設置圧の分布図

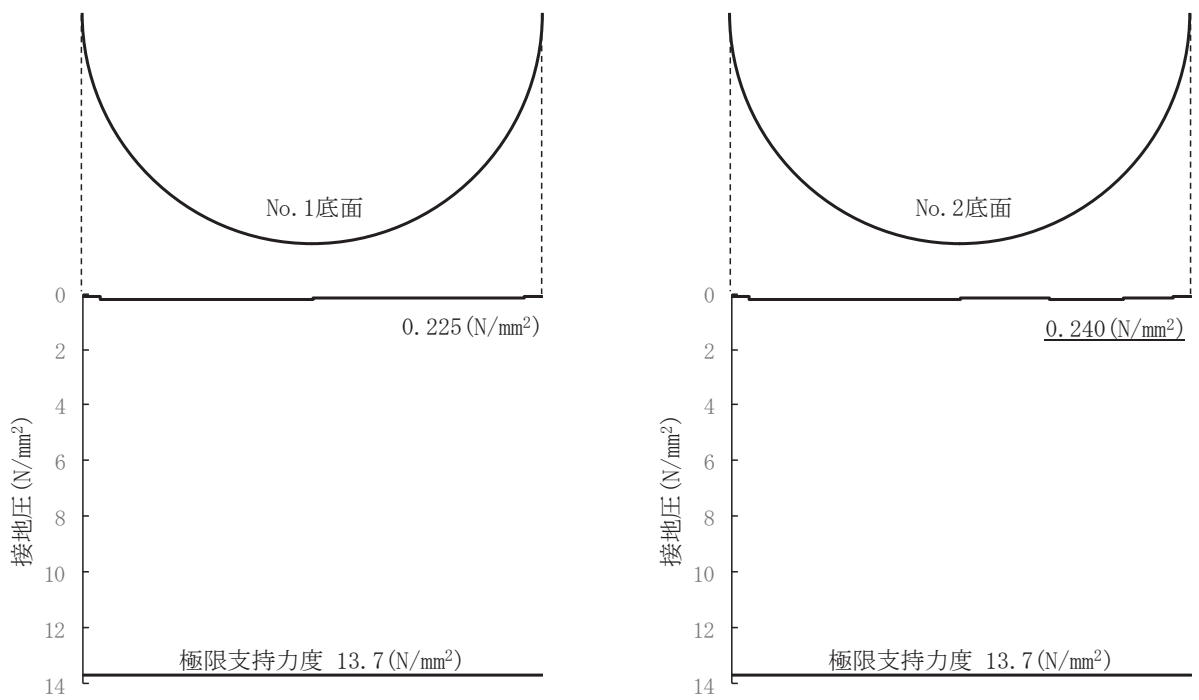


図 3.8-3(13) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (+ +)$ に対する設置圧の分布図

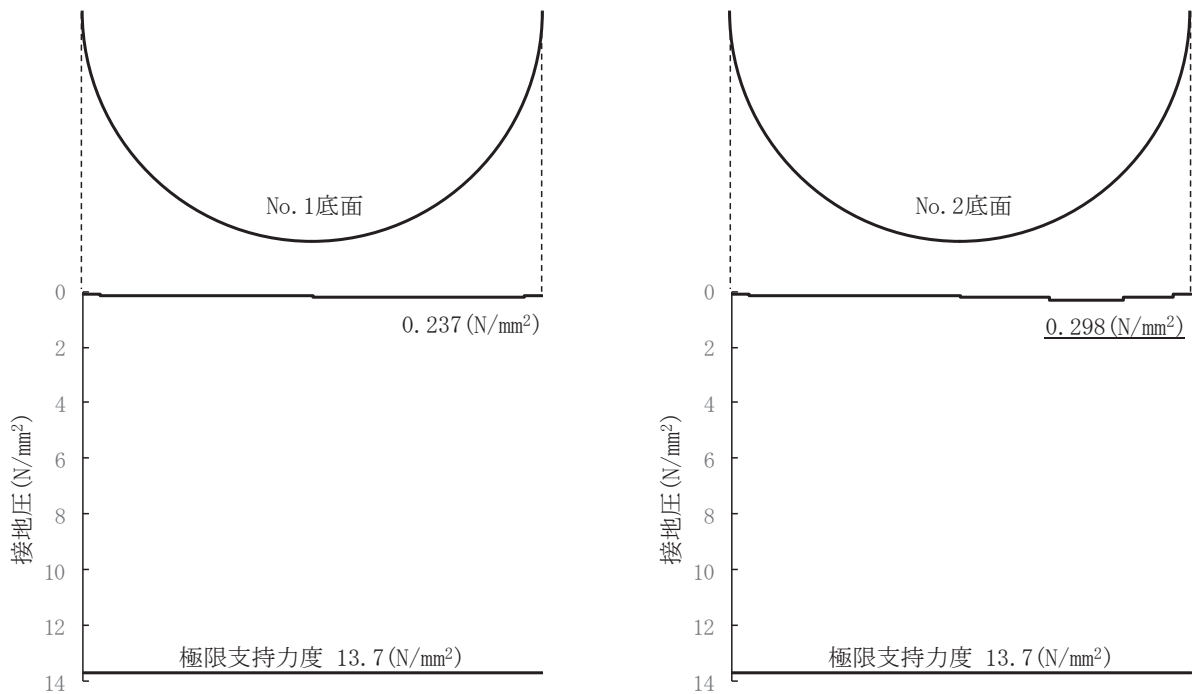


図 3.8-3(14) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (- +)$ に対する設置圧の分布図

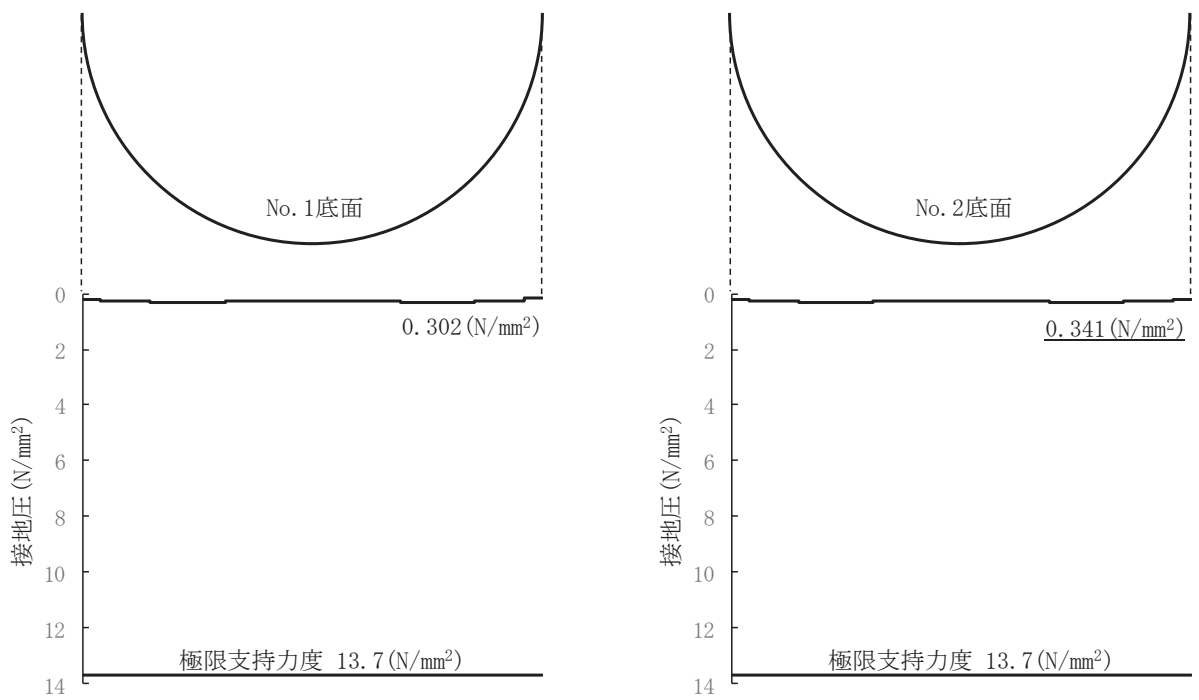


図 3.8-3(15) 解析ケース② 基準地震動 $S_s - F3$ (一十) に対する設置圧の分布図

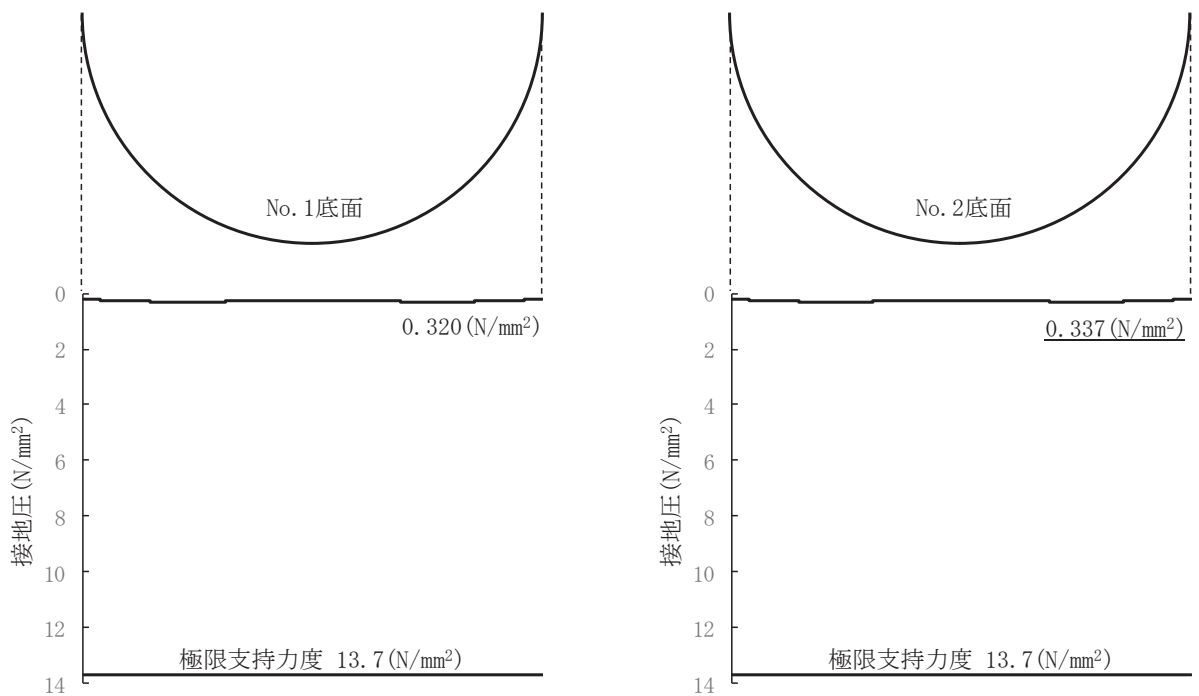


図 3.8-3(16) 解析ケース③ 基準地震動 $S_s - F3$ (一十) に対する設置圧の分布図

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 4.1-1 に、せん断強度における照査値を表 4.1-2 に示す。また、覆工部及び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を図 4.1-1 に、せん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布を図 4.1-2 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 4.1-1 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 4.1-2 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

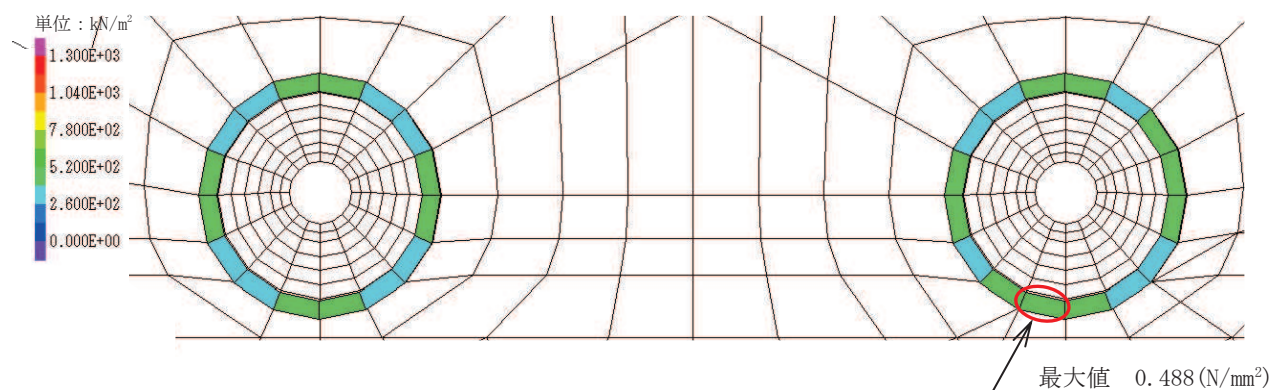


図 4.1-1(1) 覆工部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(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)

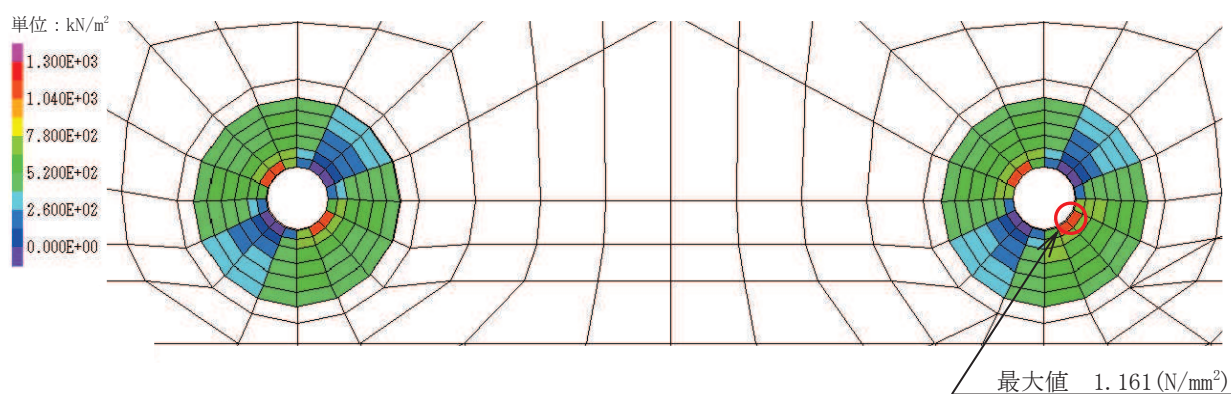


図 4.1-1(2) 充填部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(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)

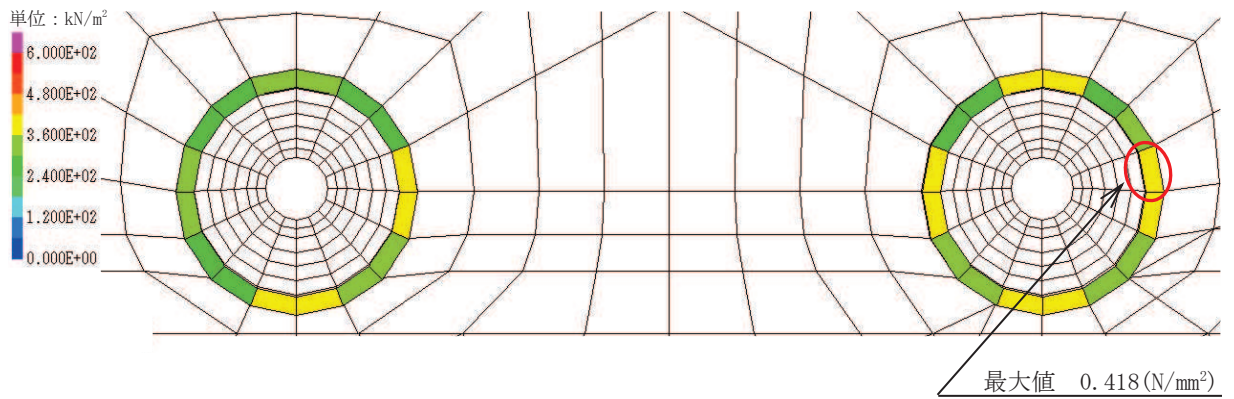


図 4.1-2(1) 覆工部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(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)

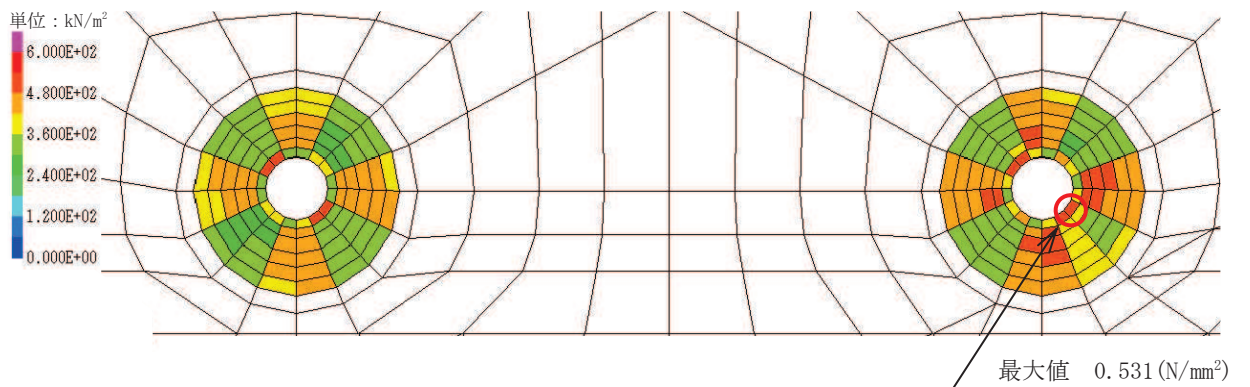


図 4.1-2(2) 充填部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図

(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)

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 4.2-1 に示す。また、最大接地圧の分布図を図 4.2-1 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 4.2-1 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 -D2 (++)	①	0.379	13.7	0.03

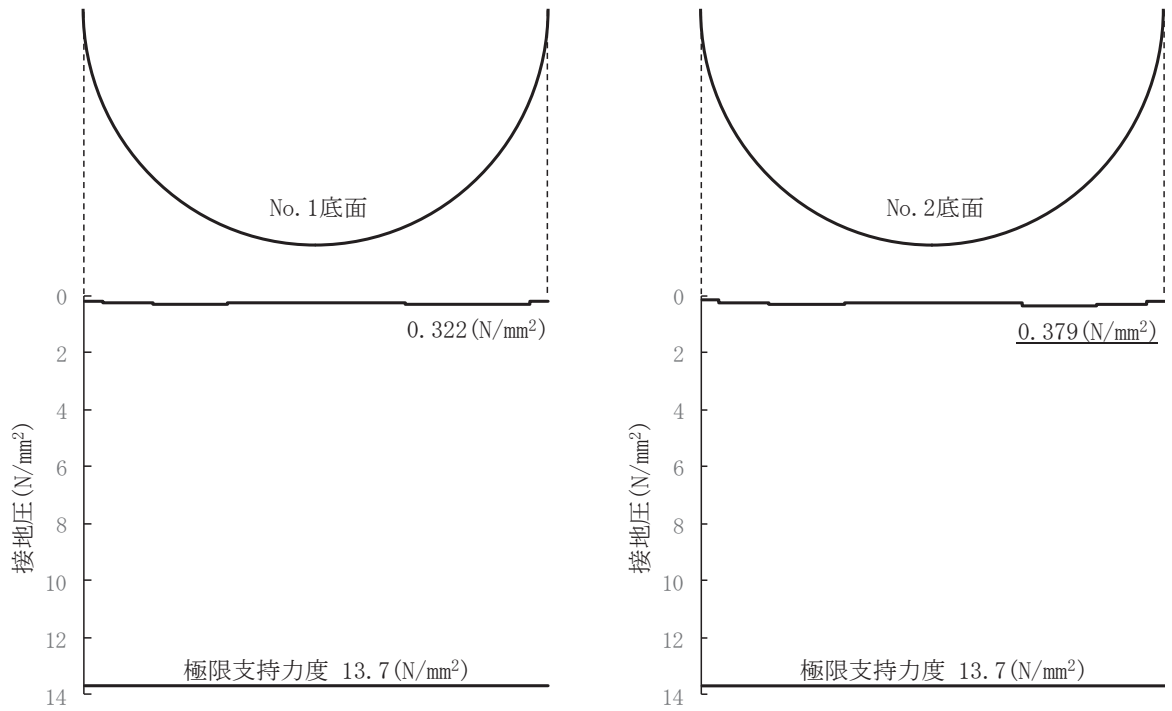


図 4.2-1 最大接地圧の分布図
 (S s - D 2 (++)
 (解析ケース① : 基本ケース)

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.2 取放水路流路縮小工の設計に関する補足説明
- 6.2.2 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に関する補足説明

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
2.5 記号の説明	7
3. 耐震評価	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 入力地震動	15
3.5 解析モデル及び諸元	32
3.6 評価対象部位	36
3.7 許容限界	36
3.8 評価方法	38
4. 耐震評価結果	68
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果.....	68
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果.....	71

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2.1-1に示す。

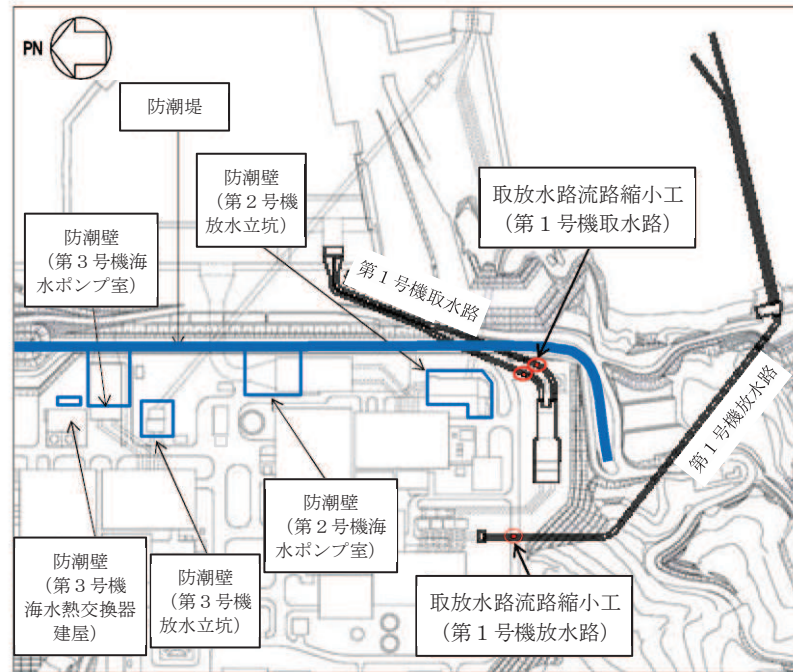



図 2.1-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の位置図（全体平面図）

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2.2-1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。

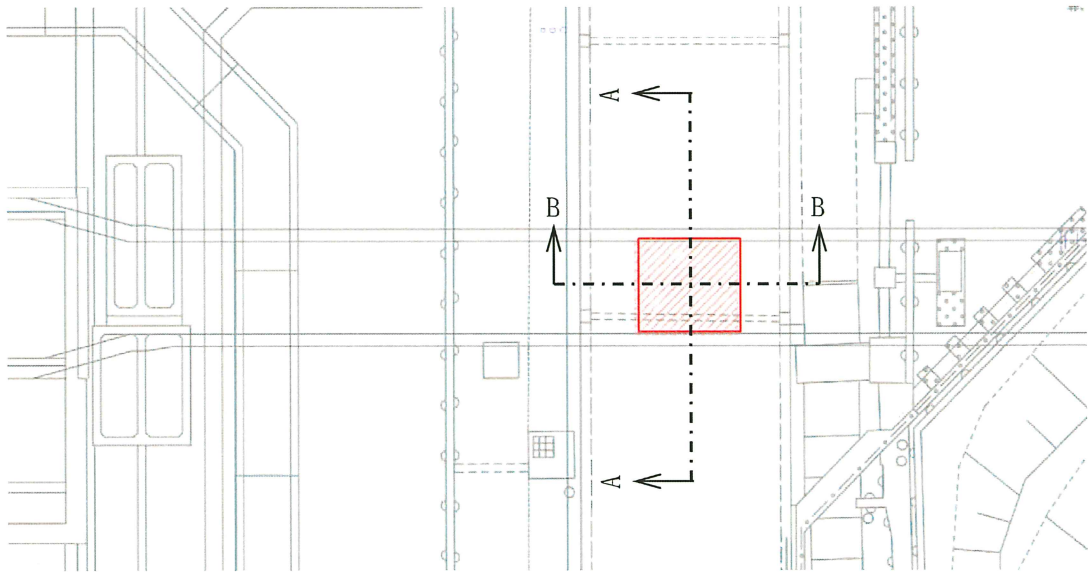


図 2.2-1(1) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 平面図

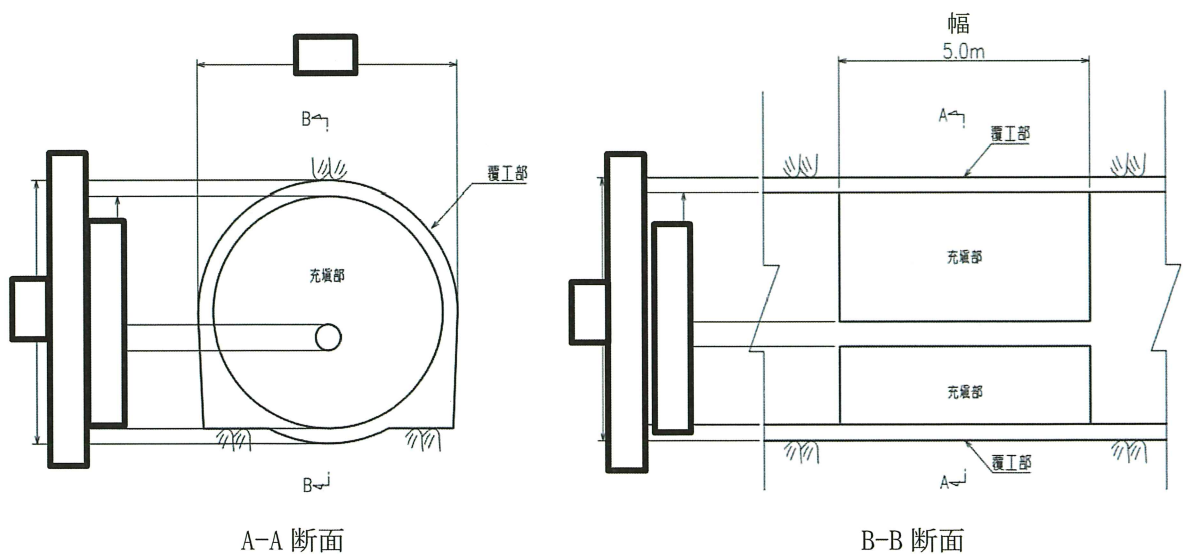


図 2.2-1(2) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 断面図

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2.3-1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2.3-1に示す。

表 2.3-1 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

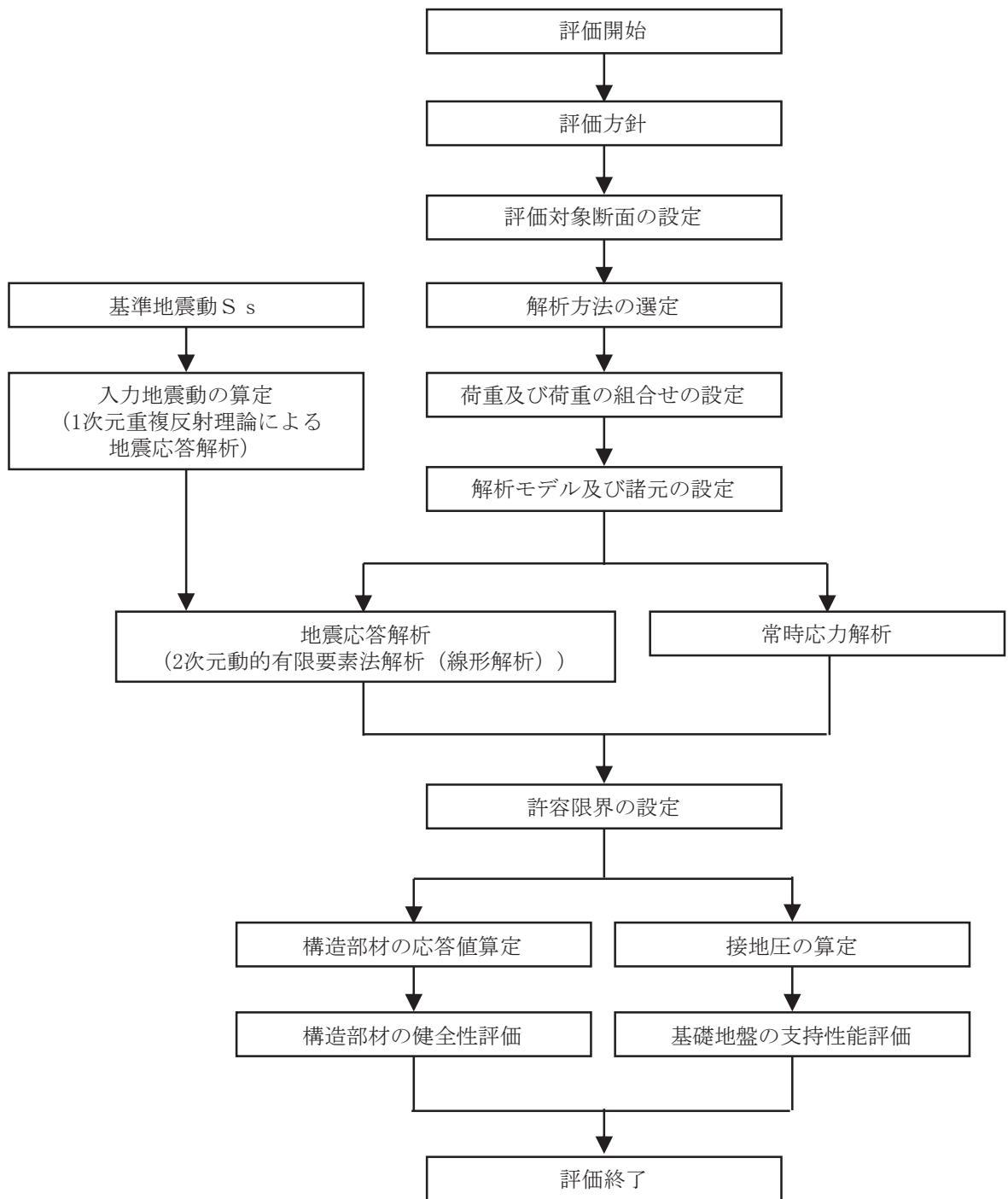


図 2.3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。また，各項目で適用する規格，基準類を表 2.4-1 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）

表 2.4-1 各項目で適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定） ・コンクリート標準示方書〔設計編〕（2017年制定） 	—
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002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（2016年制定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組み合わせを検討 ・トンネル掘削による解放応力及び地山のゆるみ土圧の検討
許容限界	覆工部及び充填部 <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002年制定） ・コンクリート標準示方書〔ダムコンクリート編〕（2013年制定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・引張強度及びせん断強度に対して，発生応力が許容限界以下であること確認
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> ・土木学会マニュアル ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会） 	<ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法による2次元モデルを用いた線形解析

2.5 記号の説明

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の応力評価に用いる記号を表2.5-1に示す。

表 2.5-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の応力評価に用いる記号

記号	定義	単位
G	固定荷重（躯体の自重）	N
P	積載荷重	kN/m ²
S _s	地震荷重	N
f' _{ck}	コンクリートの設計基準強度	N/mm ²
Σt	引張強度	N/mm ²
f _{td}	設計引張強度	N/mm ²
f _{tk}	引張強度	N/mm ²
γ _b	部材係数	—
γ _c	材料係数	—
φ	内部摩擦角	°
τ ₀	せん断強度	N/mm ²

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3.1-1に示す。評価対象断面の地質図を図3.1-2に示す。

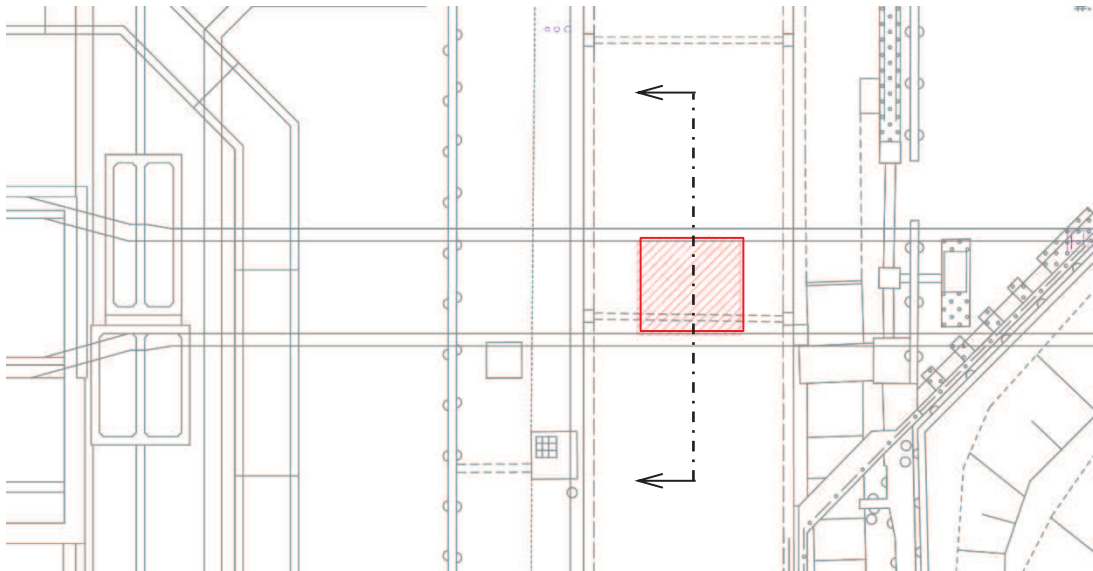


図 3.1-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面位置図

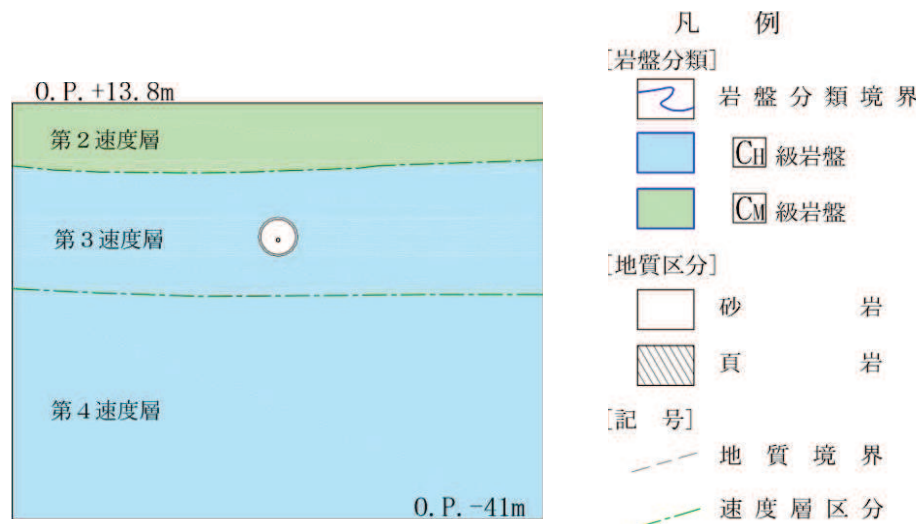


図 3.1-2 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面の地質図

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。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価に用いる構造部材の応答値及び接地圧は、地震応答解析から得られる地震時増分と常時応力解析から得られる常時応力を重ね合わせて算定する。

地震応答解析及び常時応力解析では、構造物周辺が岩盤に覆われているため、線形解析を実施する。

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

3.2.1 地震応答解析手法

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。

構造部材については、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こととし、物性値は線形とする。

地盤（岩盤）については、平面ひずみ要素によりモデル化することとし、物性値は線形とする。

地震応答解析の選定フローを図3.2-1に示す。

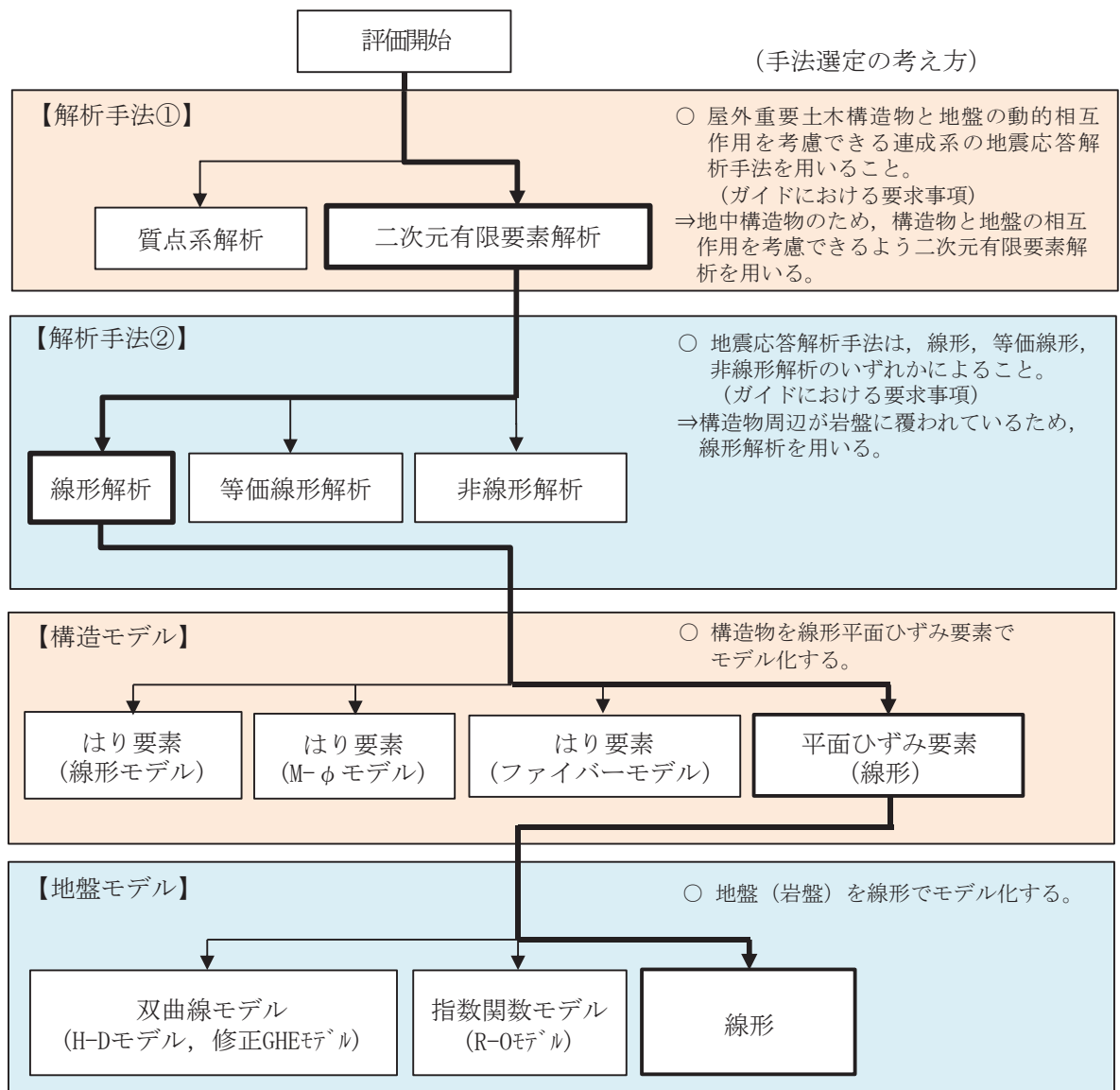


図 3.2-1 地震応答解析の選定フロー

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 3.2-1 に示す解析ケースを設定する。

地盤物性のばらつきは、岩級区分ごとの PS 検層の結果から得られるせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する (解析ケース②, ③)。

表 3.2-1 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 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ

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、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、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 3.2-1 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 3.2-2 に示す。

表 3.2-2 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波により照査を行ったケース①(基本ケース)の結果から、引張破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が0.5以上となるすべての項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②③を実施する。 照査値がいずれも0.5未満の場合は、照査値が最も厳しくなる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 $4.9(\text{kN}/\text{m}^2)$ 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、地山の变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 380 程度と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 *：トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[山岳工法編]（土木学会，2016 制定）

に基づき、地山強度比 $G_n = q_u / \gamma H$ により算定。（ q_u ：地山の一軸圧縮強度 $153.0\text{N}/\text{mm}^2$ ， γ ：地山の単位体積重量 $26.2\text{kN}/\text{mm}^3$ ， H ：トンネルの土被り 14.99m ）

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1(1) 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

表 3.3-1(2) 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	固定 荷重	躯体自重	○	・ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	・ 対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	—	・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。
		積載荷重	○	・ 地表面に 4.9(kN/m ²)を考慮する。
	静止土圧		—	・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。
	外水圧		—	・ つり合っているため考慮しない
	内水圧		—	・ つり合っているため考慮しない
	積雪荷重		—	・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。
	風荷重		—	・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。
偶発荷重	水平地震動		○	・ 基準地震動 S _s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動		○	
	動水圧		○	・ 朔望平均満潮位での動水圧を考慮する。

3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1(2) 動的地震力」及び添付書類「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 3.4-1 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 3.4-2 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。

①引戻し解析

引戻し地盤モデル（解放基盤モデル）を用いて、水平方向地震動及び鉛直方向地震動をそれぞれ引戻し地盤モデル底面位置まで引戻す。

②水平方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（水平方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで水平方向地震動を引上げる。

③鉛直方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（鉛直方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで鉛直方向地震動を引上げる。

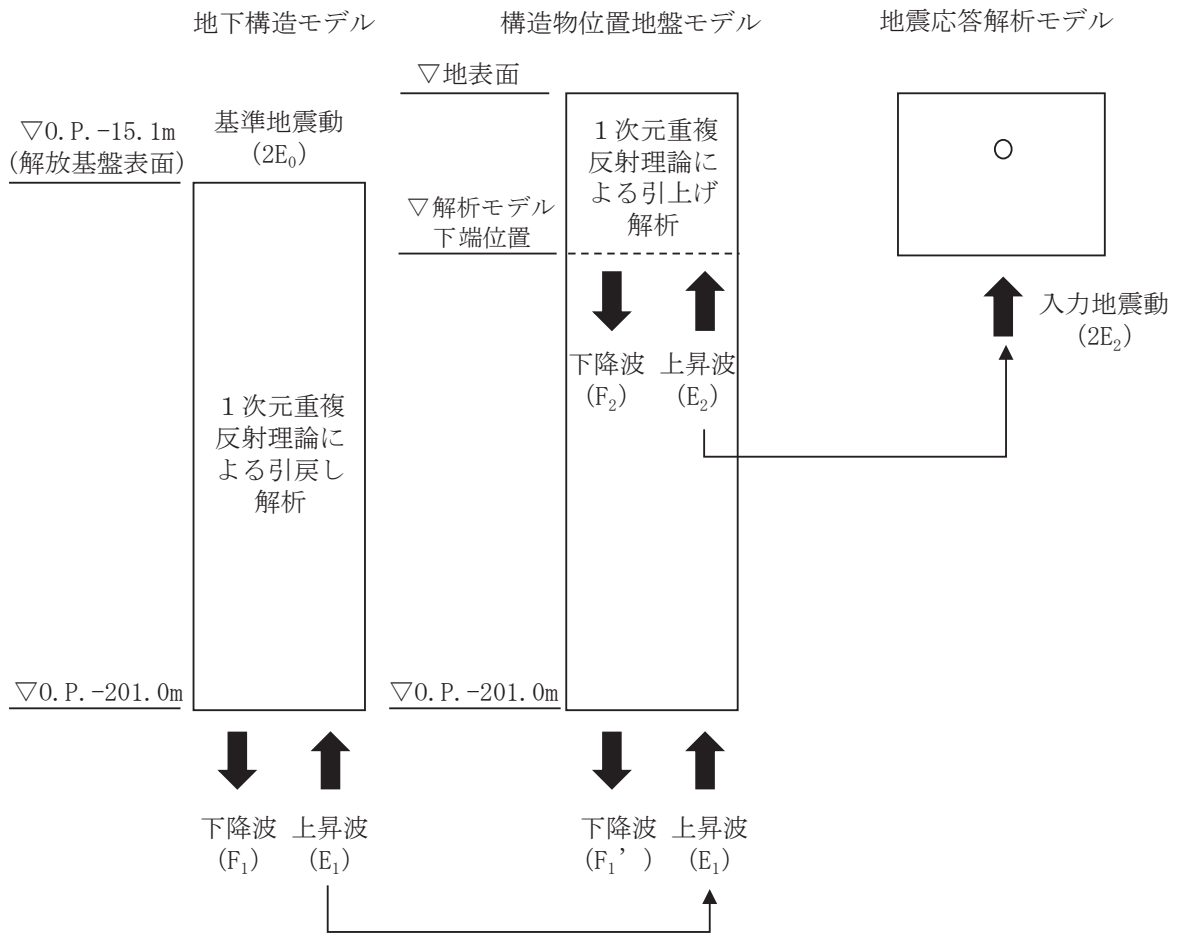
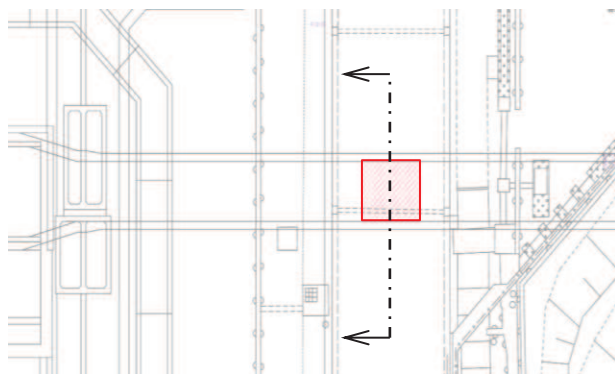
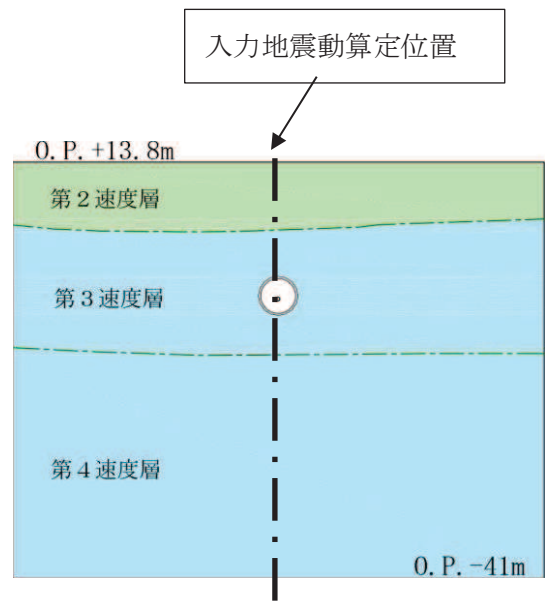


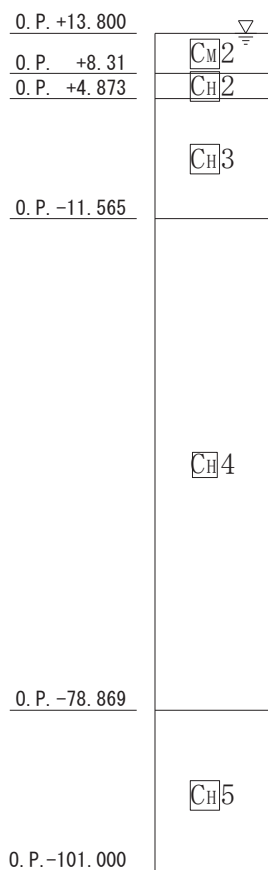
図 3.4-1(1) 入力地震動算定の概念図



解析地盤モデル位置図

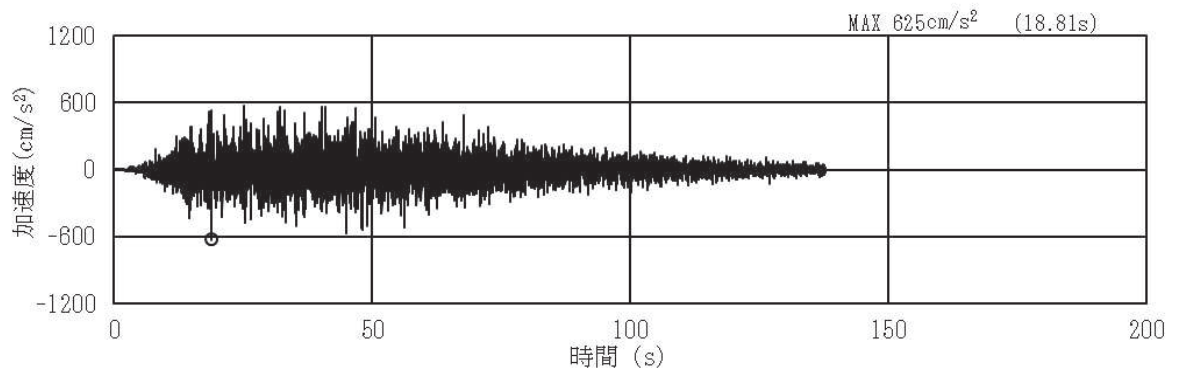


解析地盤モデル（地質図）

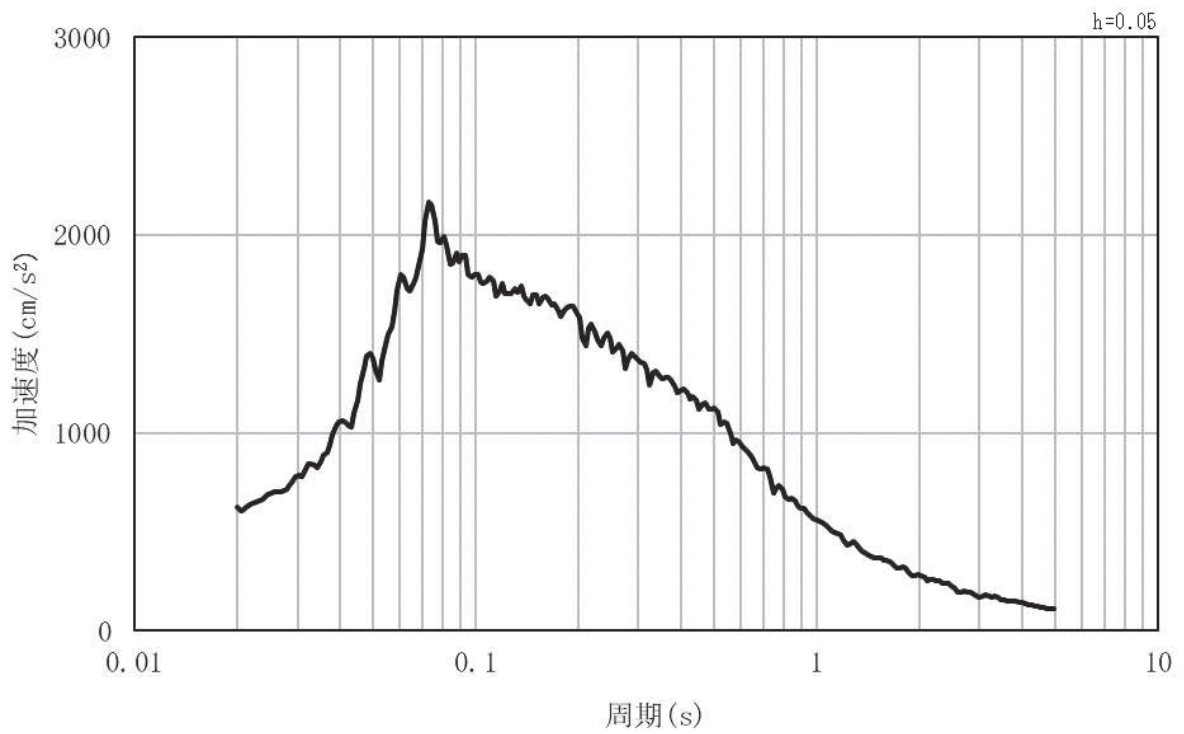


注記 CH5 は CH級岩盤の第5速度層を示す。

図 3.4-1(2) 入力地震動算定の概念図（引上げ地盤モデル）

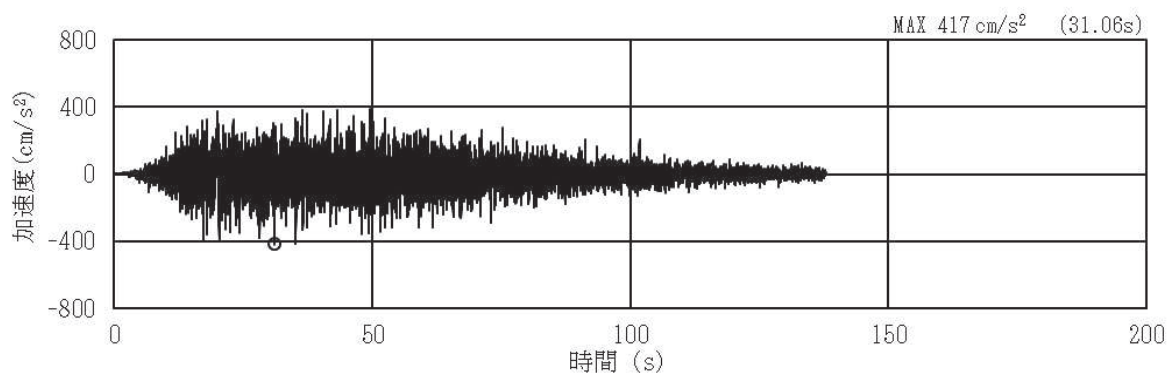


(a) 速度時刻歴波形

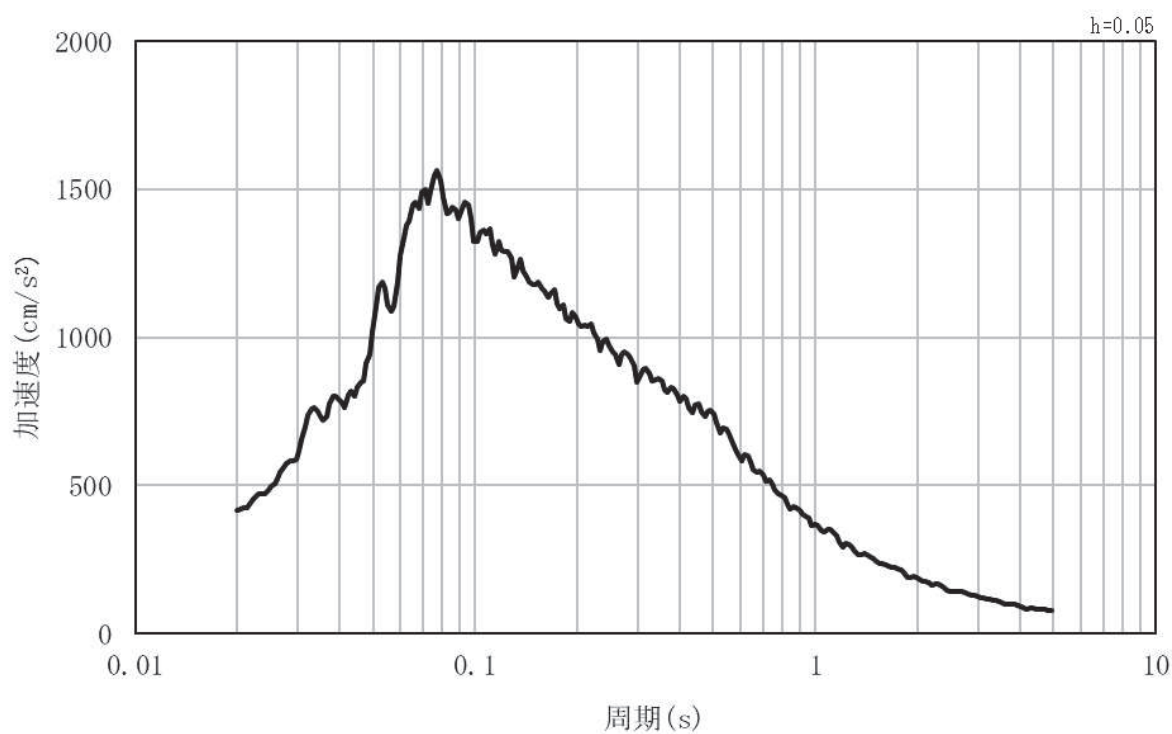


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

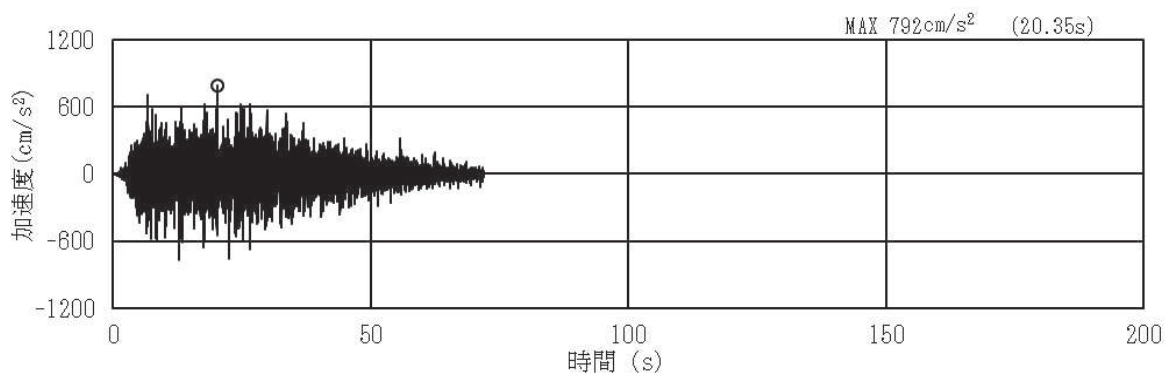


(a) 加速度時刻歴波形

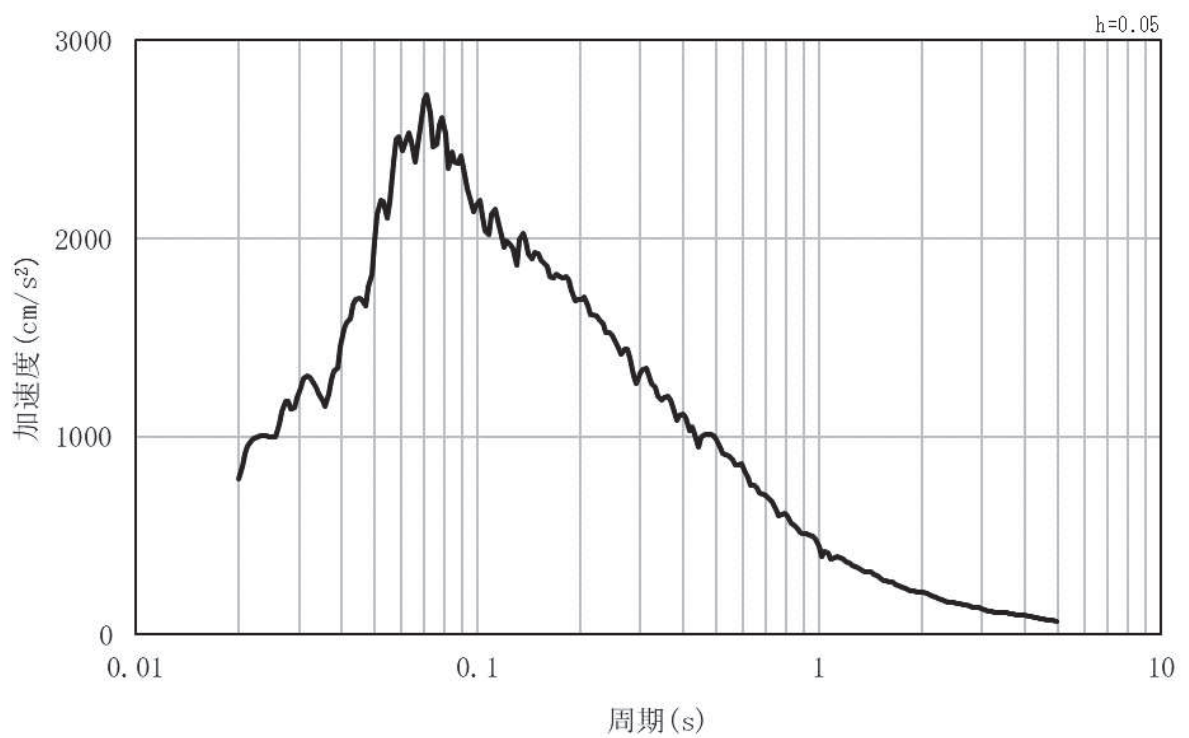


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

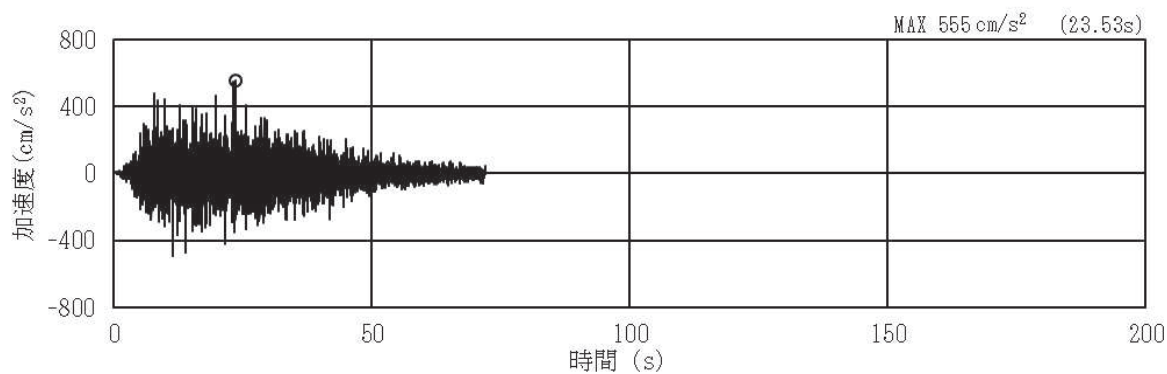


(a) 加速度時刻歴波形

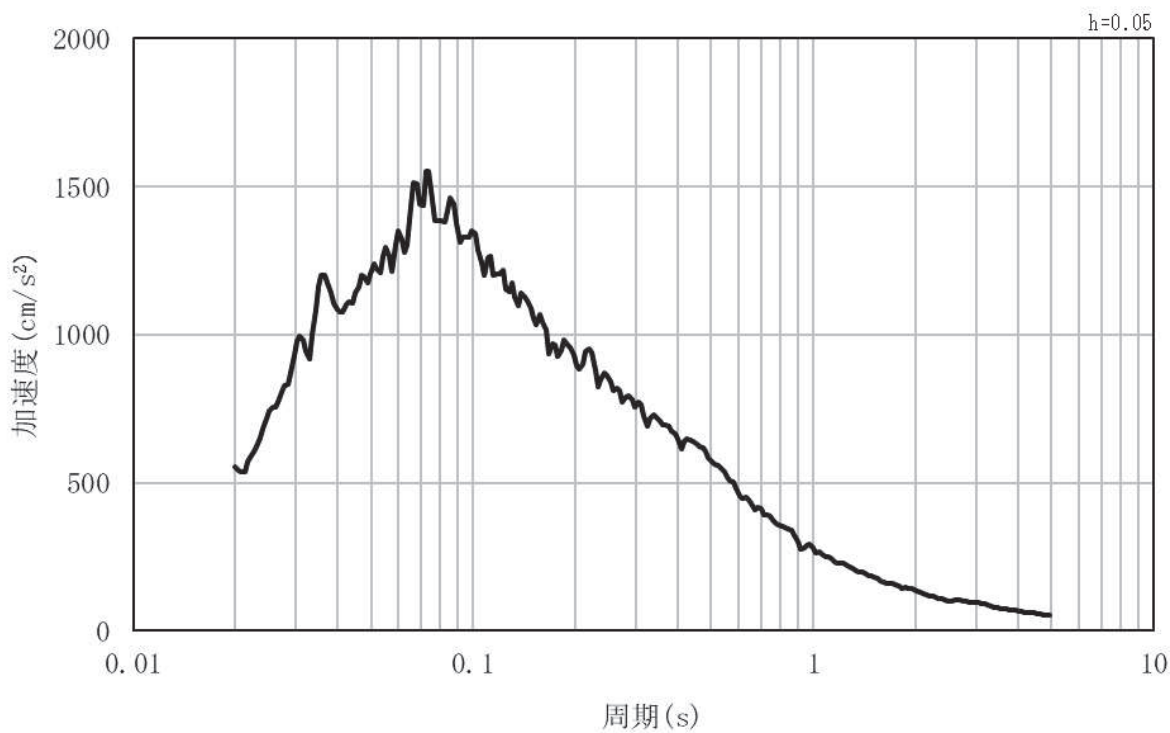


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

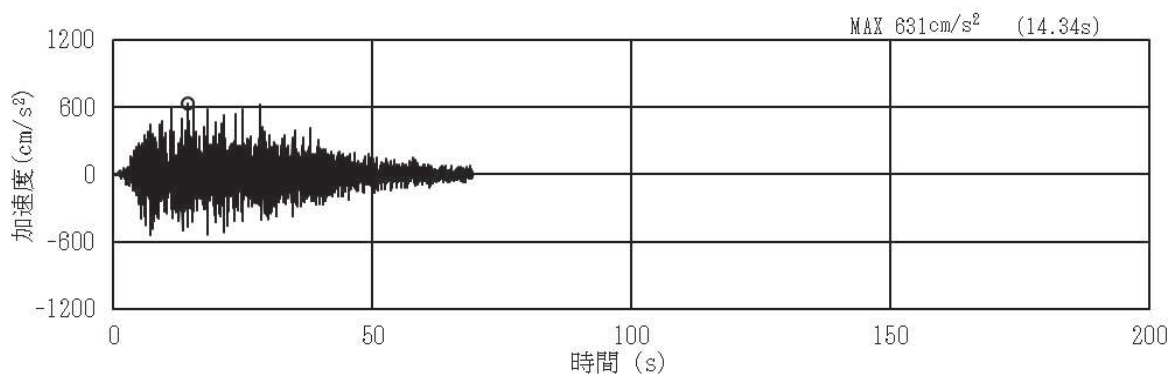


(a) 加速度時刻歴波形

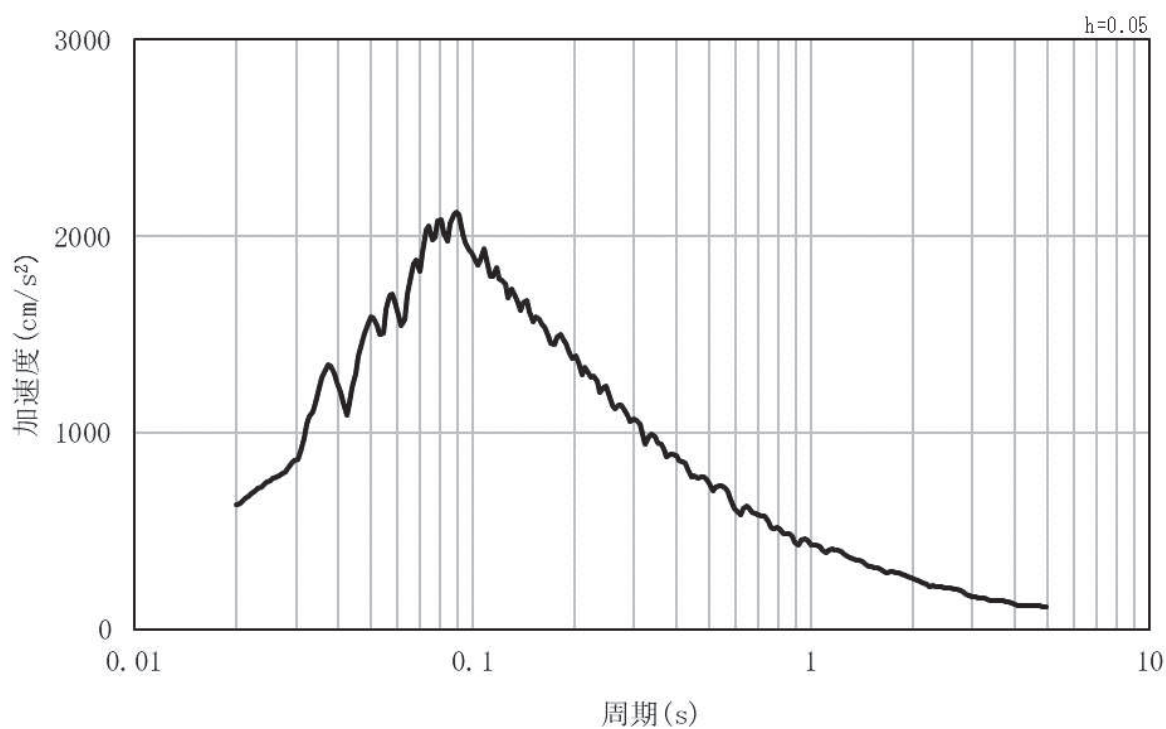


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

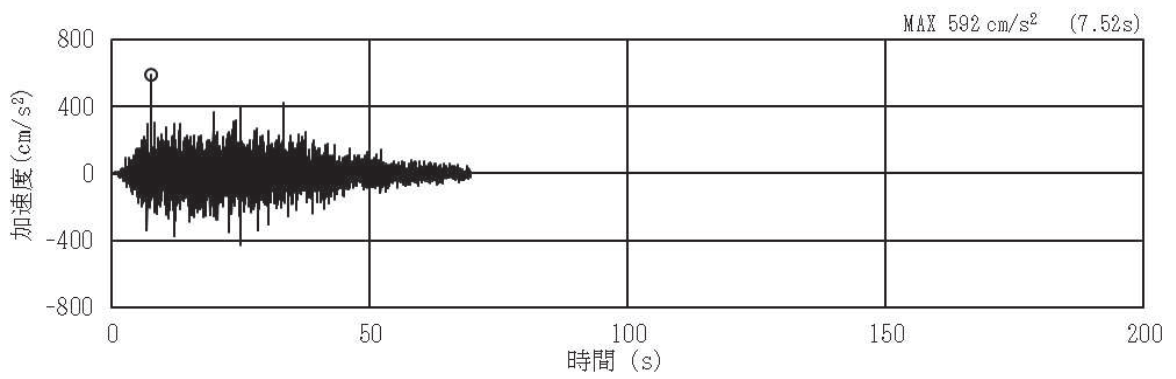


(a) 加速度時刻歴波形

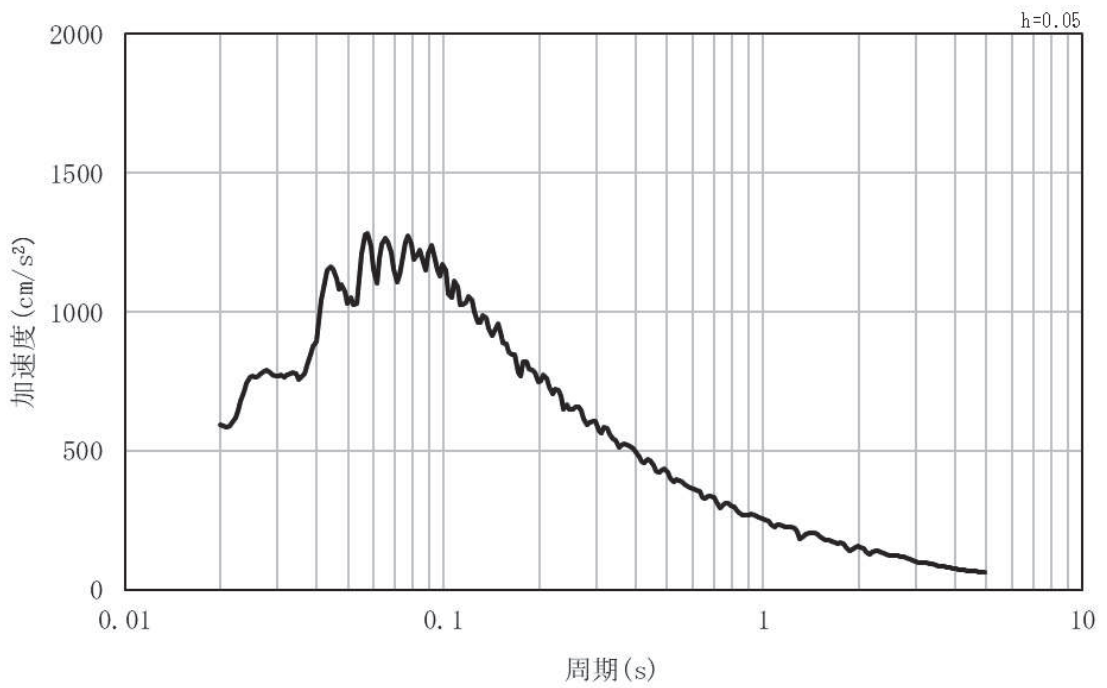


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

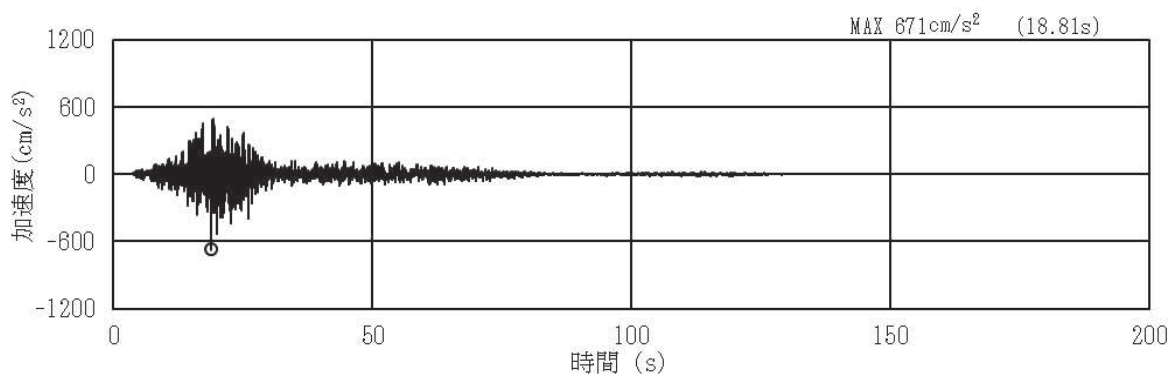


(a) 加速度時刻歴波形

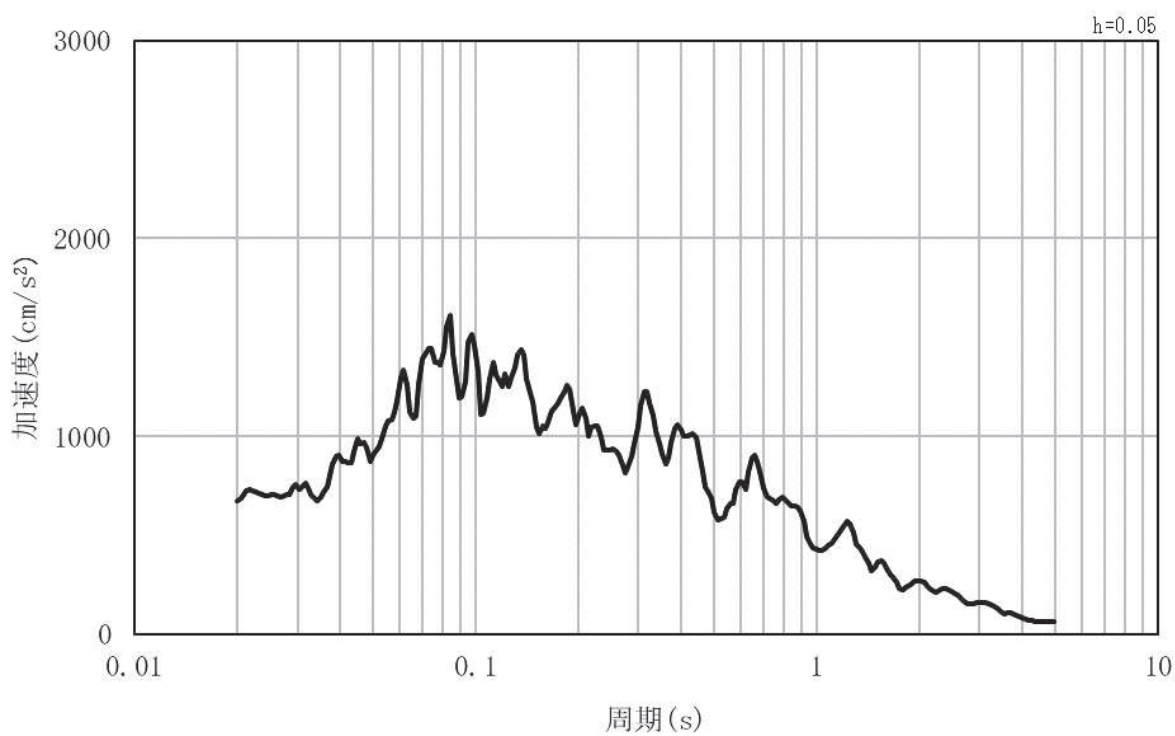


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

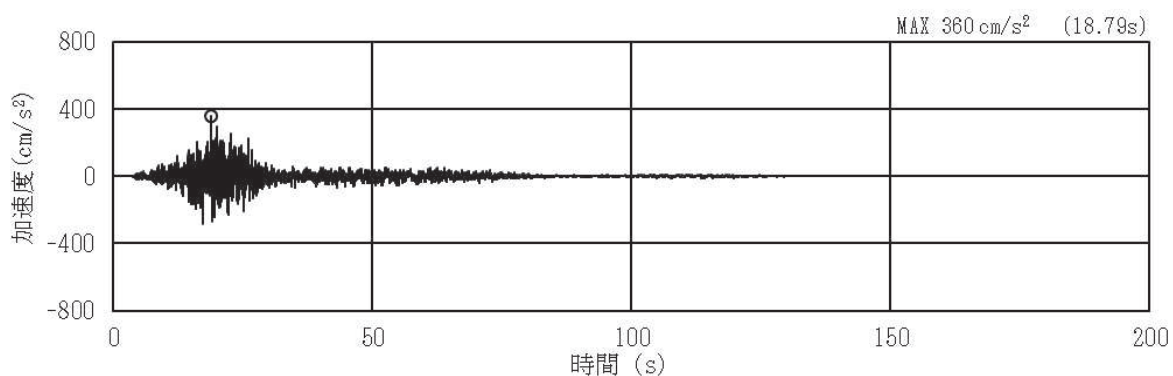


(a) 加速度時刻歴波形

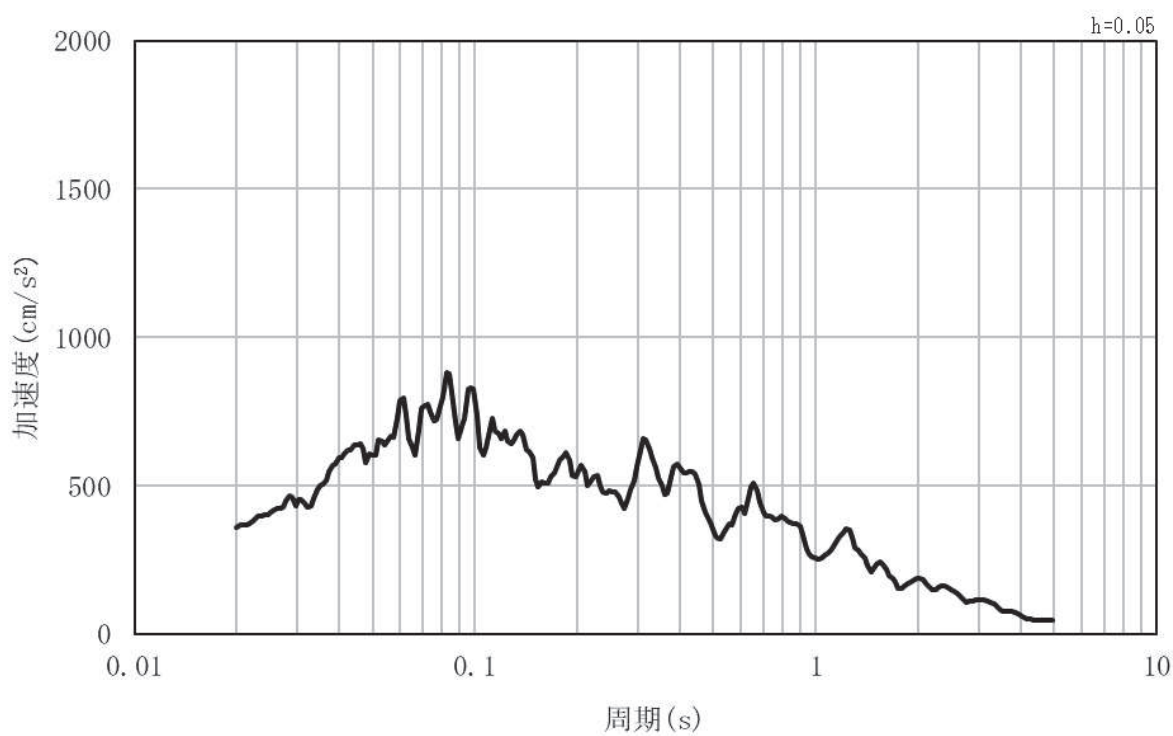


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

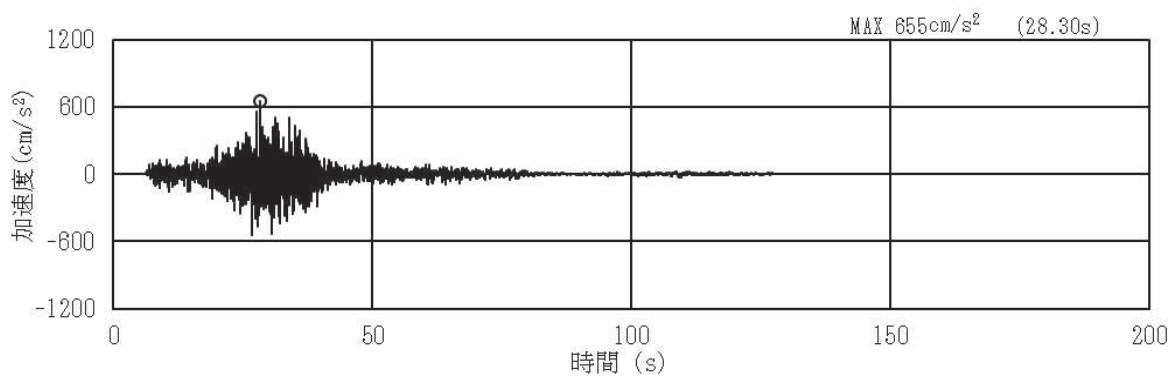


(a) 加速度時刻歴波形

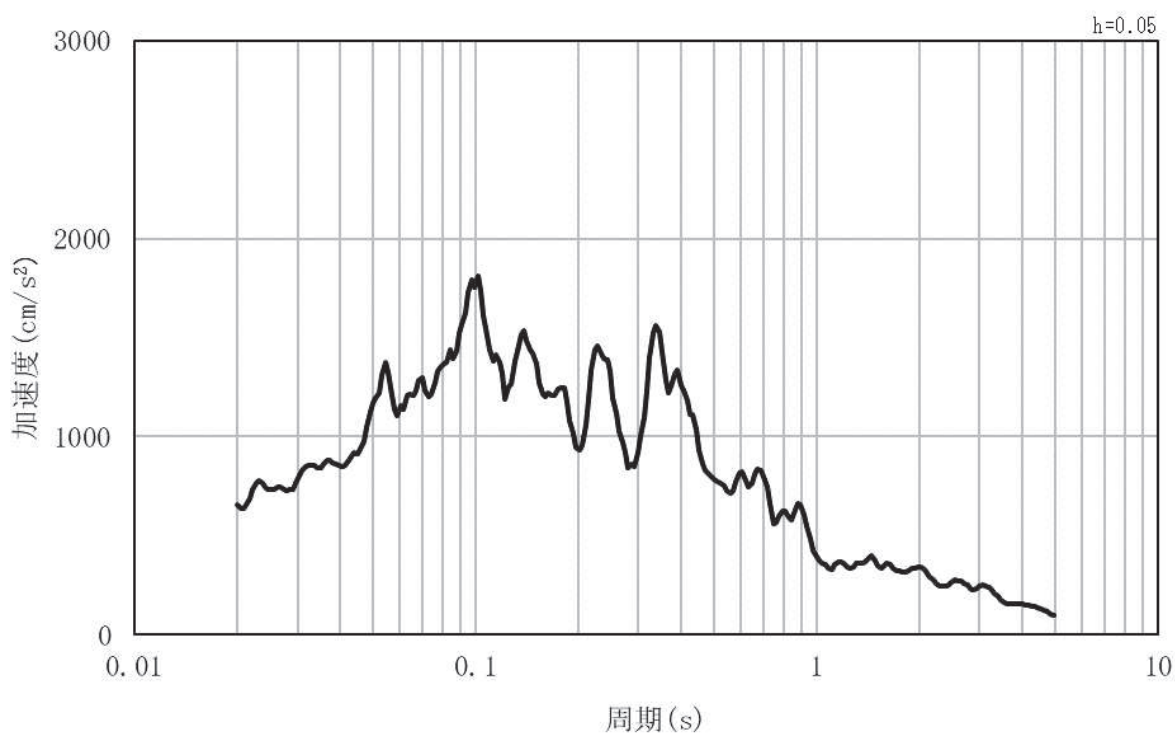


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

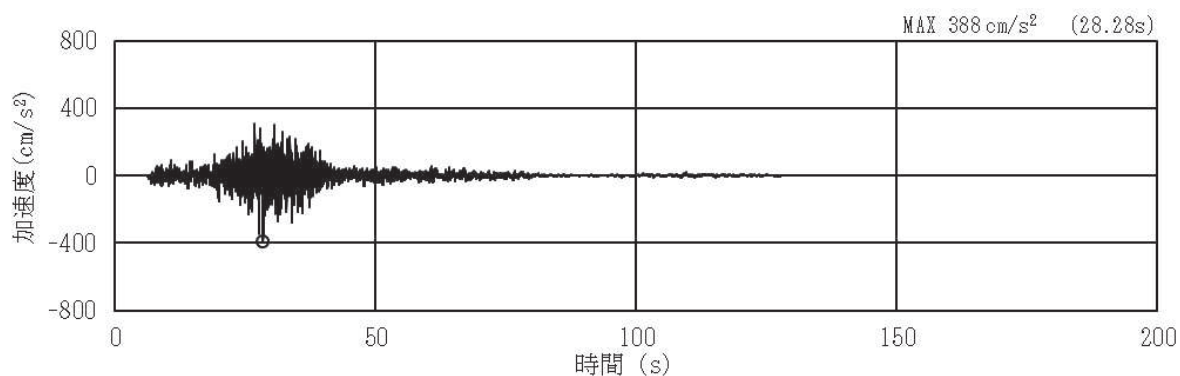


(a) 加速度時刻歴波形

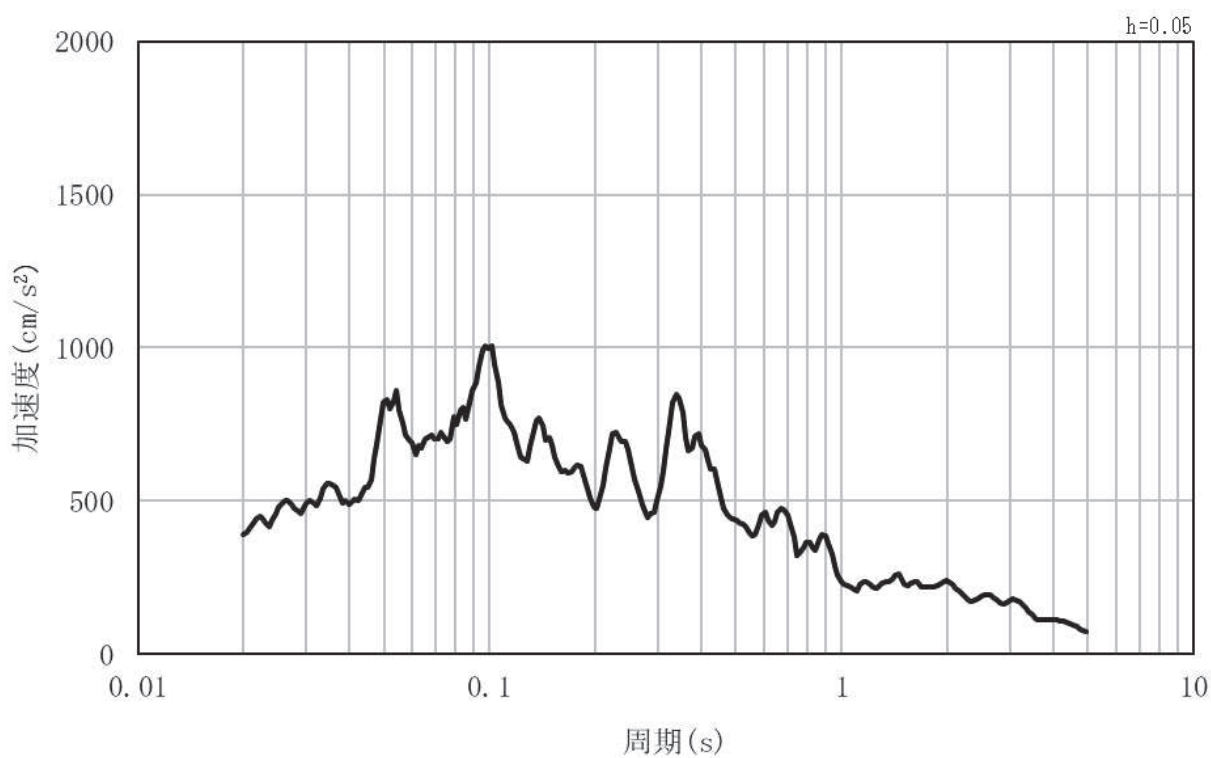


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

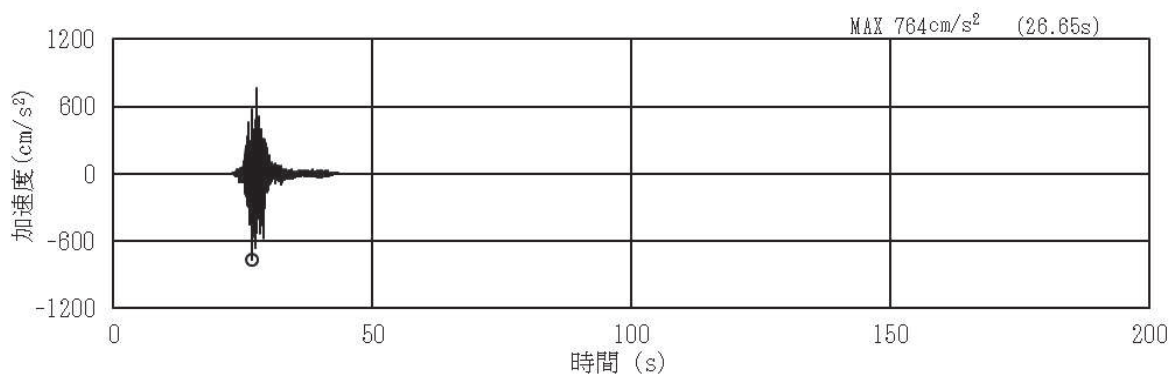


(a) 加速度時刻歴波形

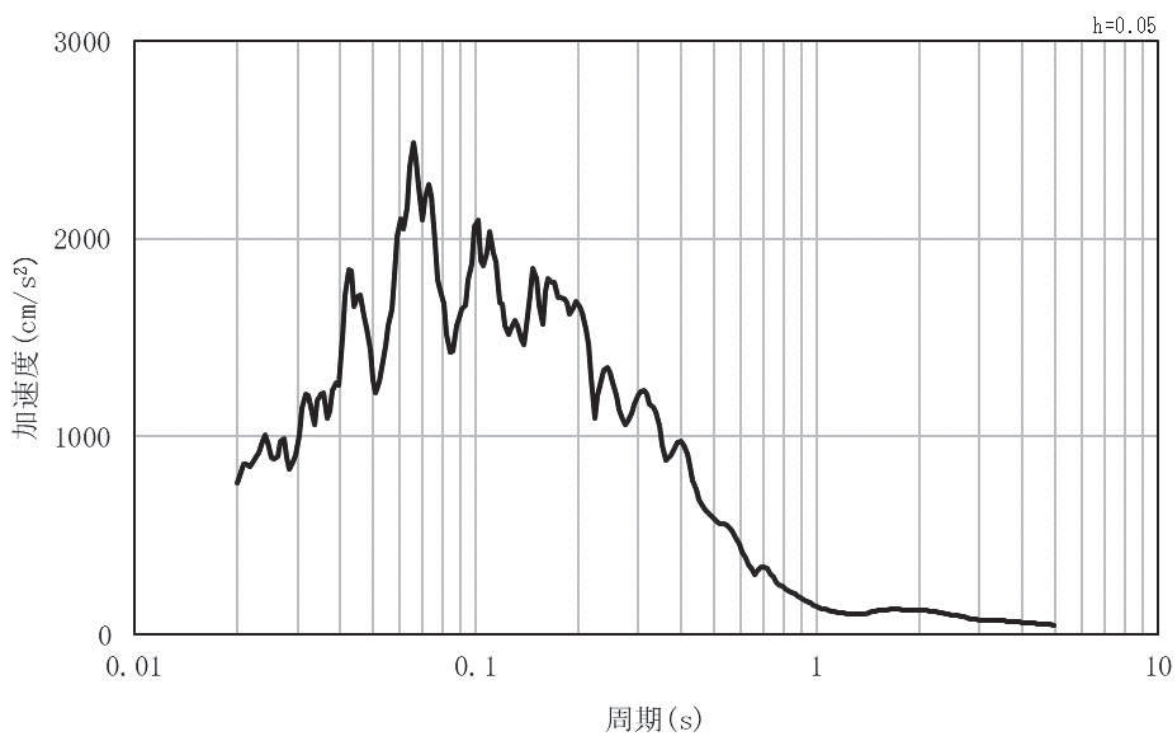


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

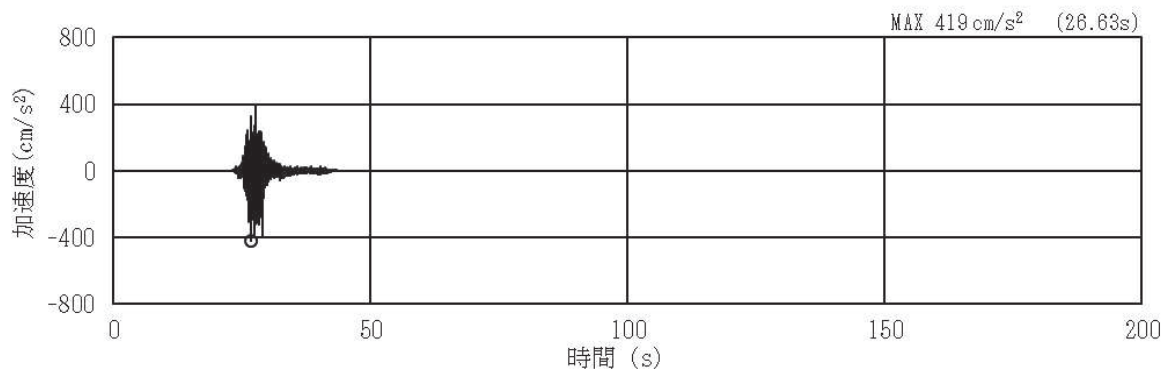


(a) 加速度時刻歴波形

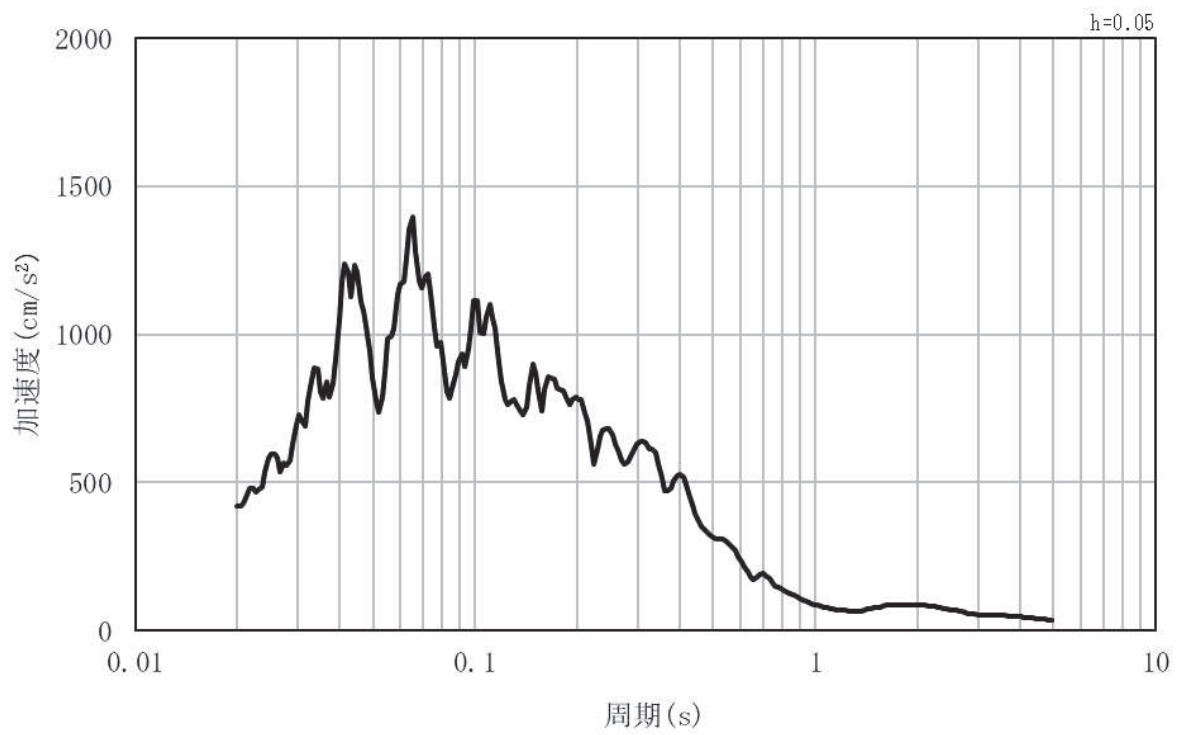


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

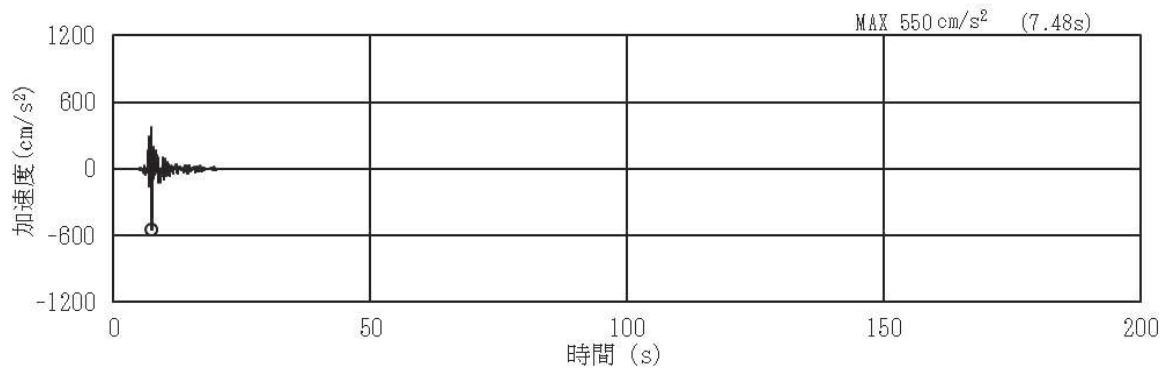


(a) 加速度時刻歴波形

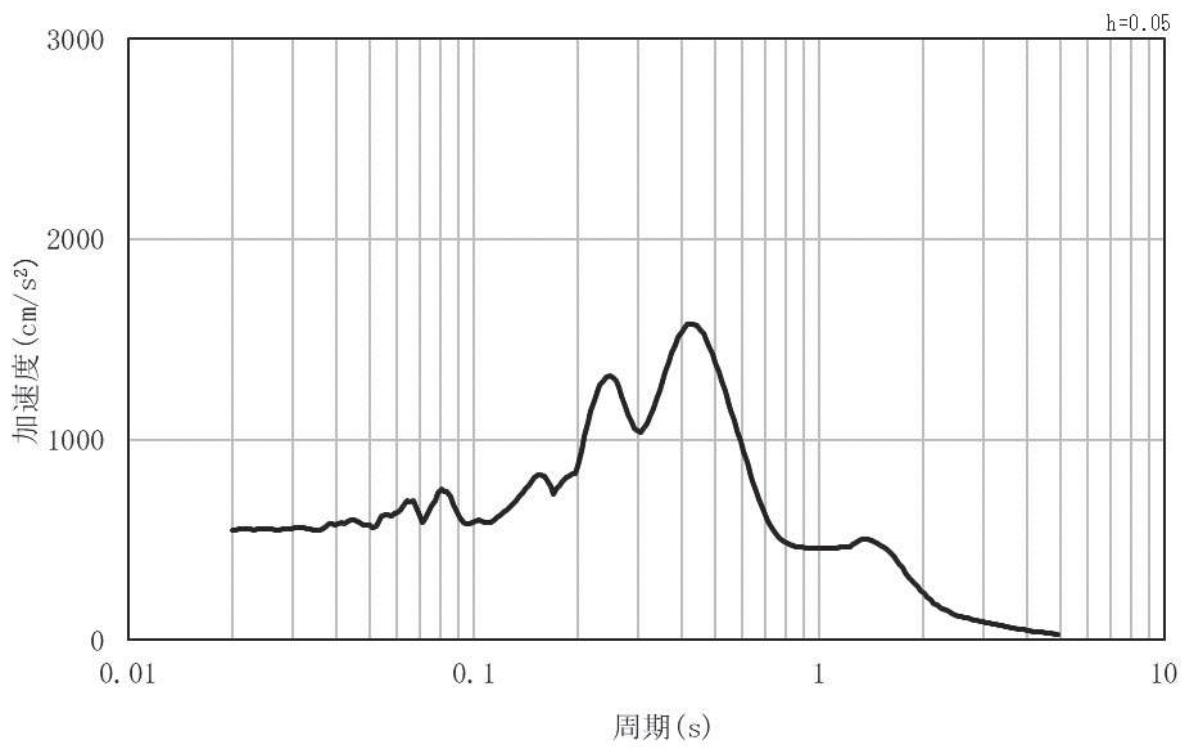


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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)

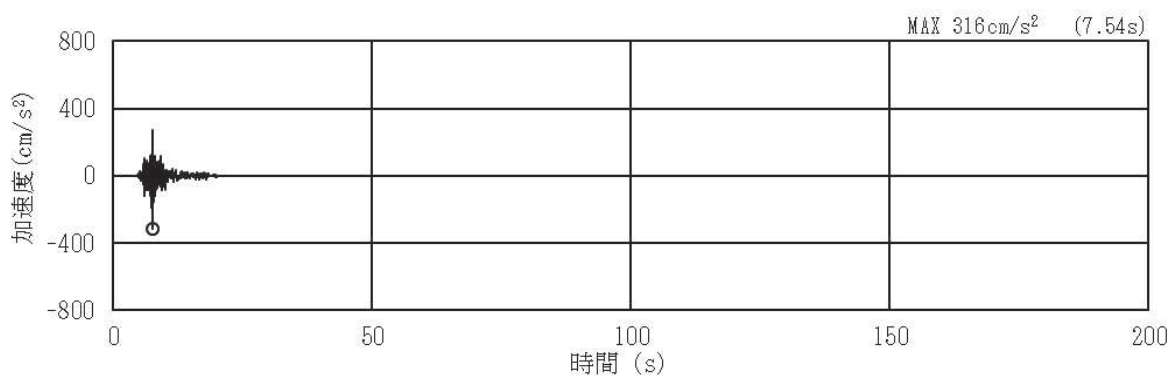


(a) 加速度時刻歴波形

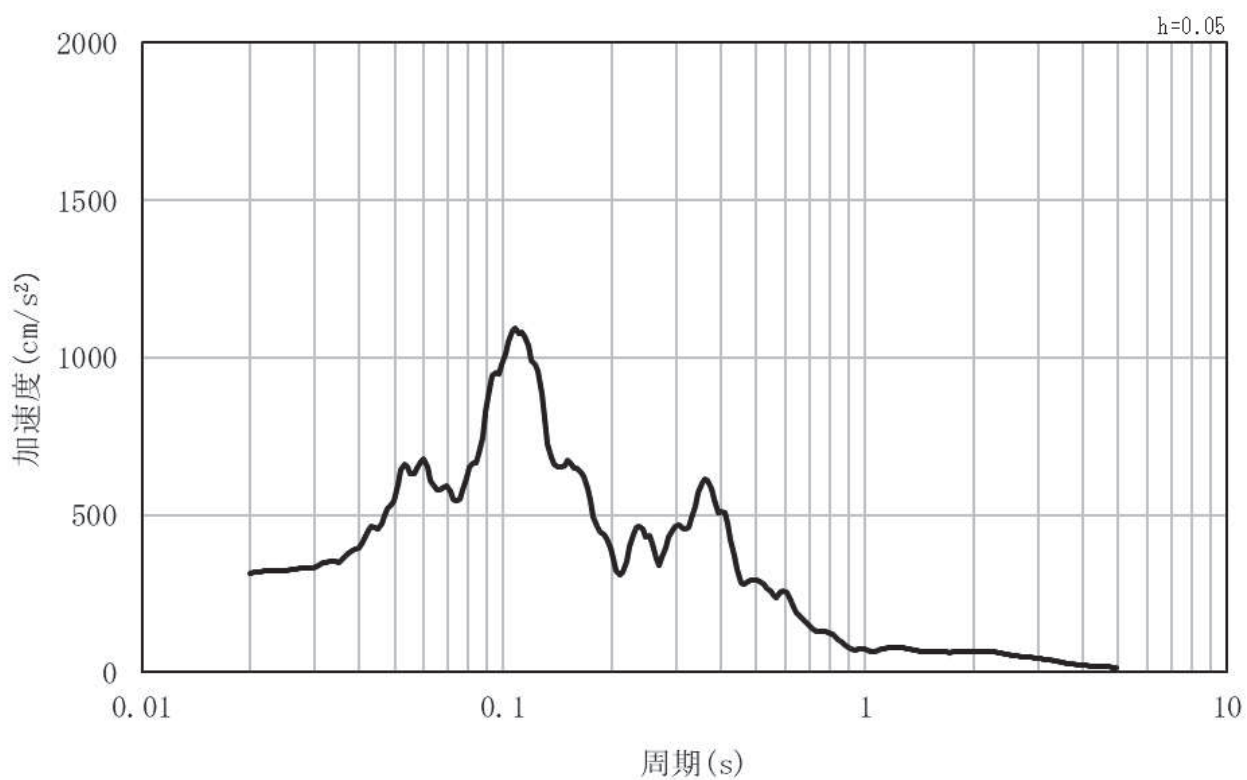


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4-2(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 3.4-2(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

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 - 1987 を参考に、図 3.5 - 1 のモデル範囲の考え方に示すとおり、モデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物基礎幅の 2 倍以上とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面をエネルギー伝達境界、底面を粘性境界とする。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20Hz 及びせん断波速度 V_s で算定される波長の 5 または 4 分割、すなわち $V_s/100$ または $V_s/80$ を考慮し、設定する。

構造物の要素分割については、構造物に接する地盤の要素分割に合わせて設定する。

解析モデルの下端については、第 4 速度層及び第 5 速度層の分布に着目し、O.P. -101.0m までモデル化する。

二次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する 1 次元地盤モデルである。

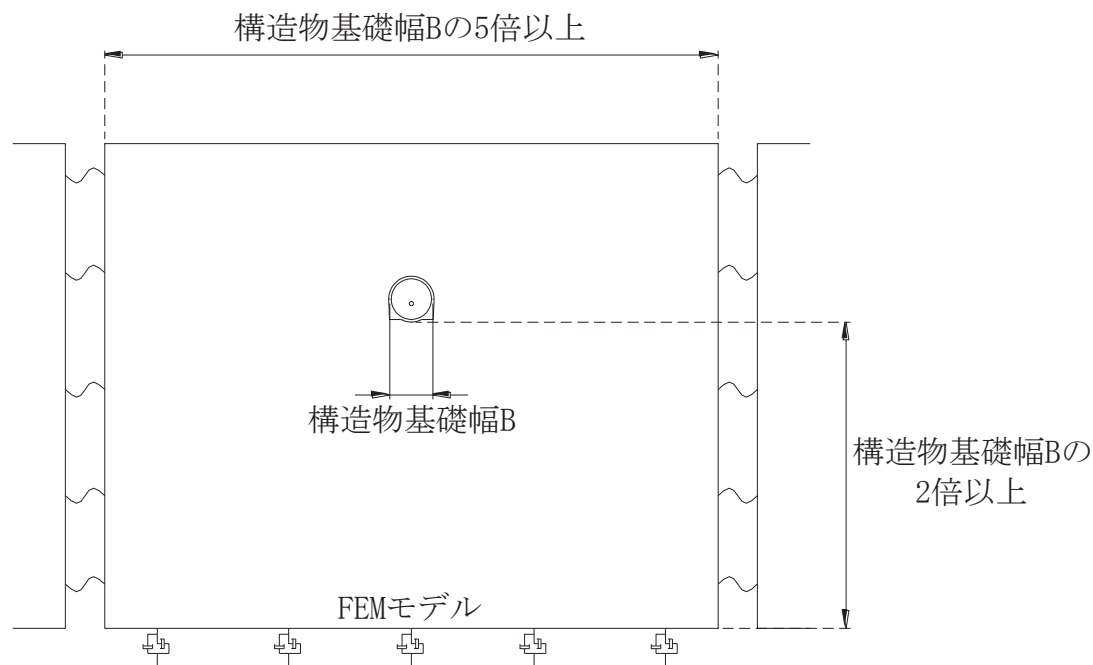


図 3.5-1 モデル範囲の考え方

(2) 境界条件

a. 常時応力解析時

常時応力解析は、構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の応力を算定するために行う。常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

常時応力解析における境界条件の概念図を図 3.5-2 に示す。

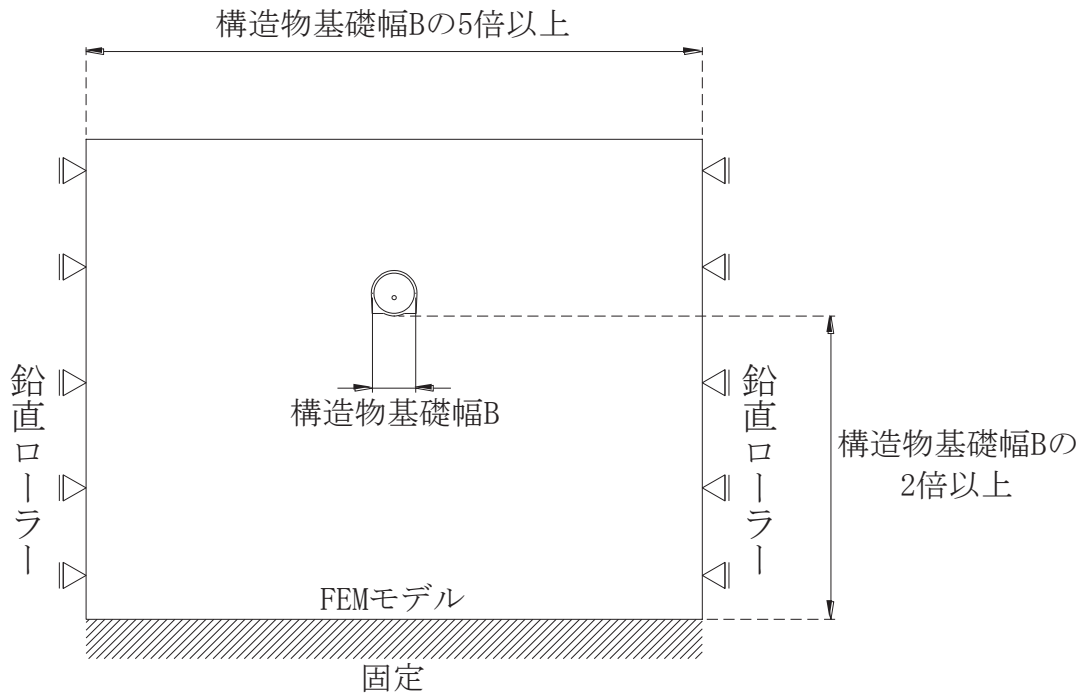


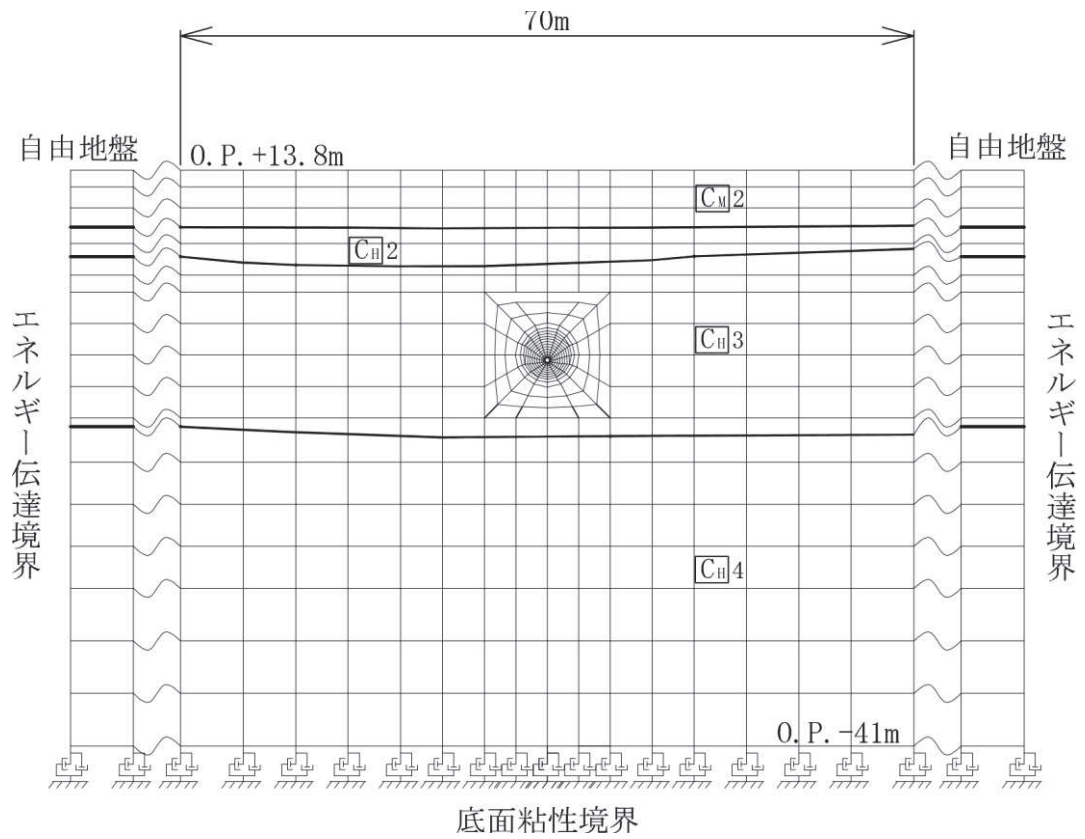
図 3.5-2 常時応力解析における境界条件の概念図

b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素法における半無限地盤を模擬するため、底面に粘性境界、側方にエネルギー伝達境界を設ける。

底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方のエネルギー伝達境界については、自由地盤の地盤振動と不成型地盤側方の差分が側方を通過していく状態を模擬するものである。

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 3.5-3 に示す。



注) C_H5はC_H級岩盤の第5速度層を示す。

図 3.5-3 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) 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。

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 3.5-1 に、材料の物性値を表 3.5-2 に示す。

表 3.5-1 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 3.5-2 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 *

注記 *：コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2017年制定）

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 3.7-1 に示す。

表 3.7-1 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

引張強度 σ_t の設定方法 (例: 充填部の場合)

$$\begin{aligned}\text{引張強度の限界値} \quad \sigma_t &= f_{td} / \gamma_b = (f_{tk} / \gamma_c) / \gamma_b \\ &= (0.23 \times 50^{2/3} / 1.3) / 1.3 \\ &= 1.847 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

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 ($=50 \text{ N/mm}^2$)

γ_b : 部材係数 ($=1.3$)

γ_c : 材料係数 ($=1.3$)

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 3.7-2 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。なお、せん断強度の設定方法については、「補

足 600-1【地盤の支持性能について】参考資料 23 MMR のせん断強度について」に示すとおり、試験及び既往文献により妥当性が確認されており、打継処理の管理をした上で施工することから、上記設定は妥当であると考えられる。

表 3.7-2 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

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

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 3.7-3 に示す。

表 3.7-3 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。

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。

また、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それぞれ最大となる最も厳しい地震動を用いて、表 3.2-1 に示す解析ケース②、③を実施する。

引張強度における照査値を表 3.8-1 に、せん断強度における照査値を表 3.8-2 に、支持力における照査値を表 3.8-3 に示す。

また、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 3.8-1 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 3.8-2 に示す。また、各解析ケースの基準地震動に対する設置圧の分布を図 3.8-3 に示す。

表 3.8-1(1) 引張強度における照査値（覆工部）

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	++	0.46		
		-+	0.46		
	S _s -D2	++	0.51		
		-+	0.52		
	S _s -D3	++	0.45		
		-+	0.46		
	S _s -F1	++	0.39		
		-+	0.39		
	S _s -F2	++	0.52		
		-+	0.53		
	S _s -F3	++	0.61		
		-+	0.62	0.60	0.61
	S _s -N1	++	0.37		
		-+	0.36		

表 3.8-1(2) 引張強度における照査値（充填部）

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	++	0.50		
		-+	0.50		
	S _s -D2	++	0.57		
		-+	0.57		
	S _s -D3	++	0.49		
		-+	0.50		
	S _s -F1	++	0.42		
		-+	0.43		
	S _s -F2	++	0.57		
		-+	0.57		
	S _s -F3	++	0.67		
		-+	0.68	0.66	0.67
	S _s -N1	++	0.41		
		-+	0.40		

表 3.8-2(1) せん断強度における照査値（覆工部）

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	++	0.11		
		-+	0.11		
	S _s -D2	++	0.12		
		-+	0.12		
	S _s -D3	++	0.12		
		-+	0.12		
	S _s -F1	++	0.10		
		-+	0.10		
	S _s -F2	++	0.12		
		-+	0.12		
	S _s -F3	++	0.14		
		-+	0.14	0.14	0.14
	S _s -N1	++	0.10		
		-+	0.10		

表 3.8-2(2) せん断強度における照査値（充填部）

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	++	0.06		
		-+	0.06		
	S _s -D2	++	0.06		
		-+	0.06		
	S _s -D3	++	0.06		
		-+	0.06		
	S _s -F1	++	0.05		
		-+	0.05		
	S _s -F2	++	0.06		
		-+	0.06		
	S _s -F3	++	0.07		
		-+	0.07	0.07	0.07
	S _s -N1	++	0.05		
		-+	0.05		

表 3.8-3 支持力における照査値

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	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -D2	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -D3	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -F1	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -F2	++	0.03		
		-+	0.03		
	S _s -F3	++	0.03		
		-+	0.03	0.03	0.03
	S _s -N1	++	0.03		
		-+	0.03		

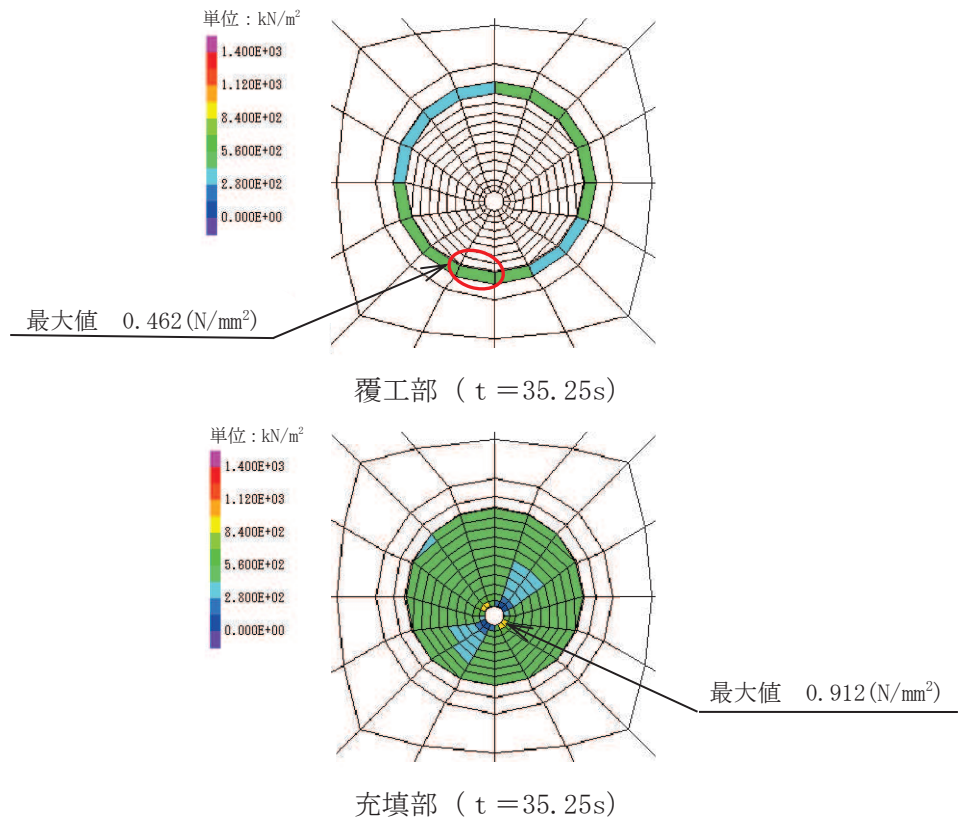


図 3.8-1(1) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1 (+ +)$ に対する引張強度の応力分布図

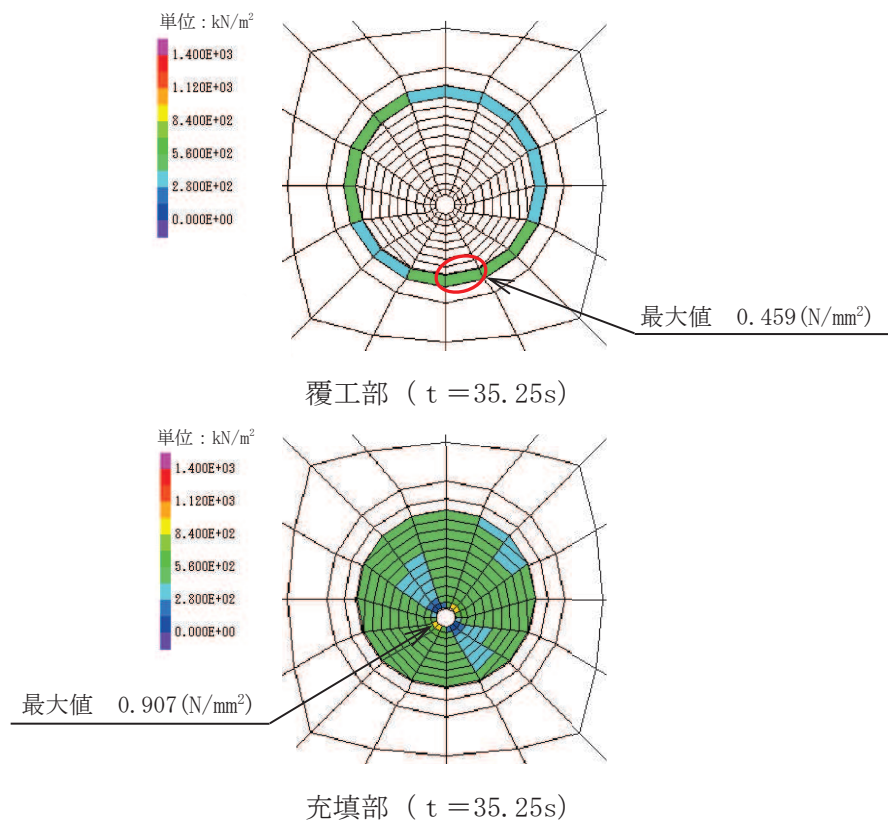
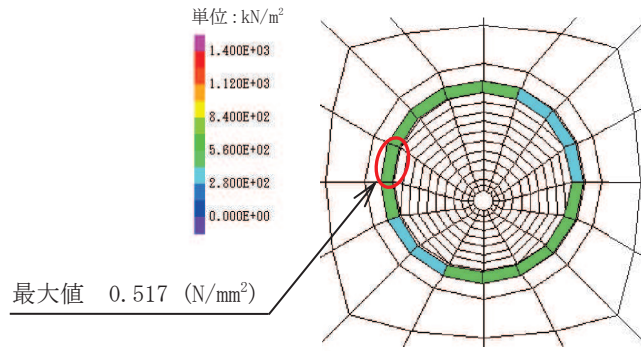
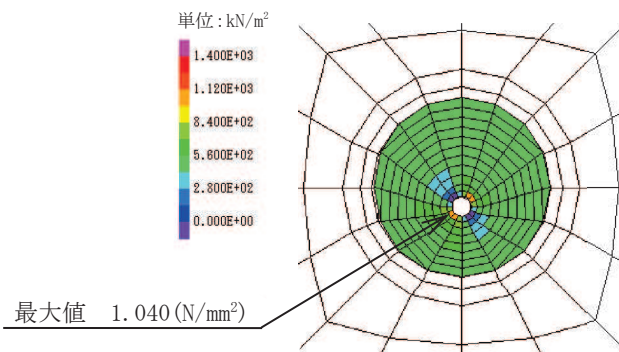


図 3.8-1(2) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - D1 (- +)$ に対する引張強度の応力分布図

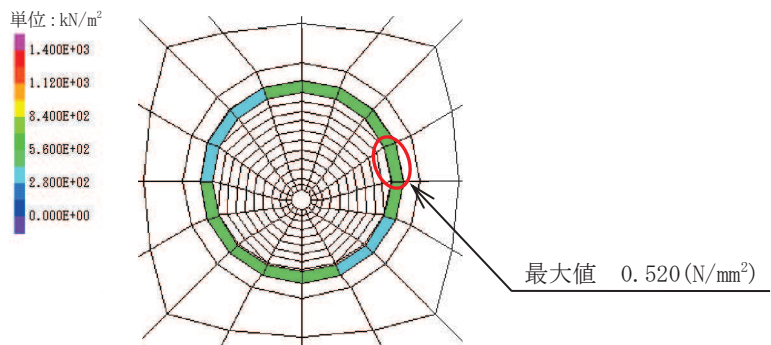


覆工部 (t = 17.77s)

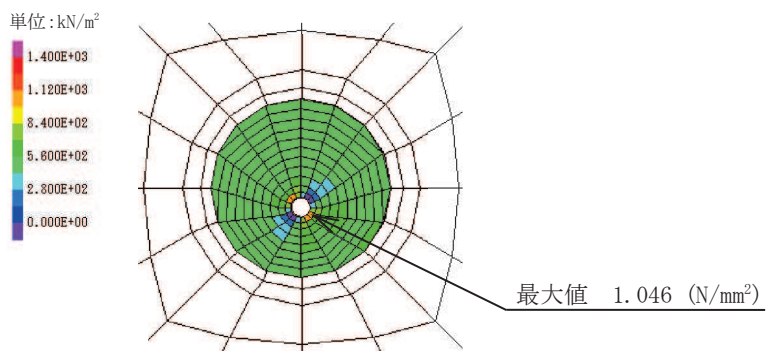


充填部 (t = 17.77s)

図 3.8-1(3) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (++) に対する引張強度の応力分布図



覆工部 (t = 17.77s)



充填部 (t = 17.77s)

図 3.8-1(4) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (-+) に対する引張強度の応力分布図

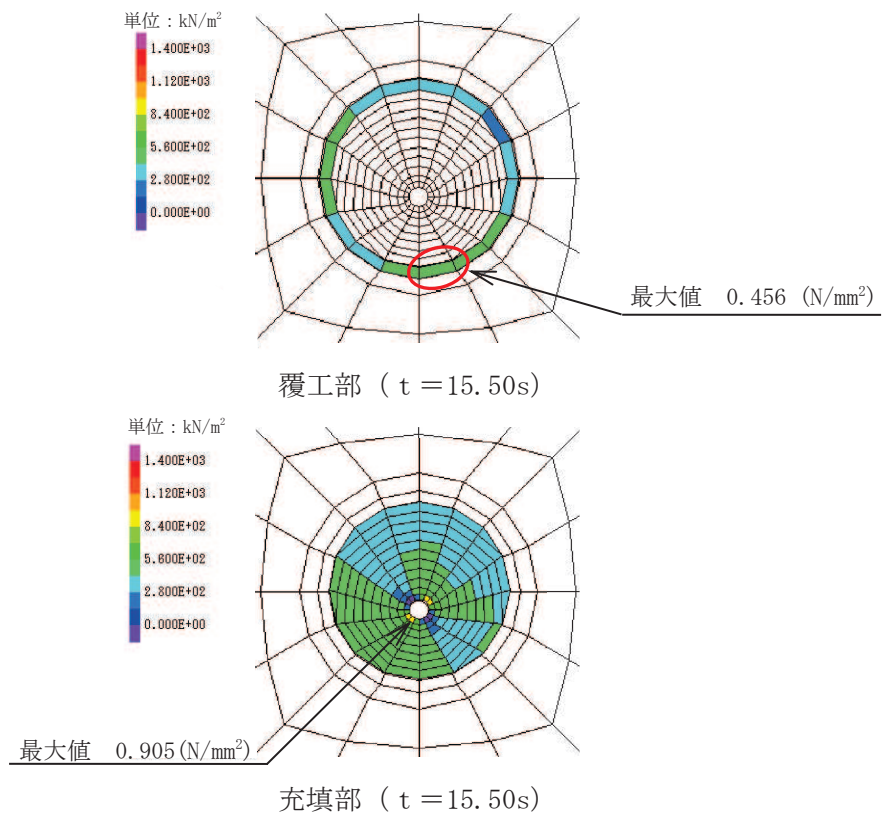


図 3.8-1(5) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D3 (++) に対する引張強度の応力分布図

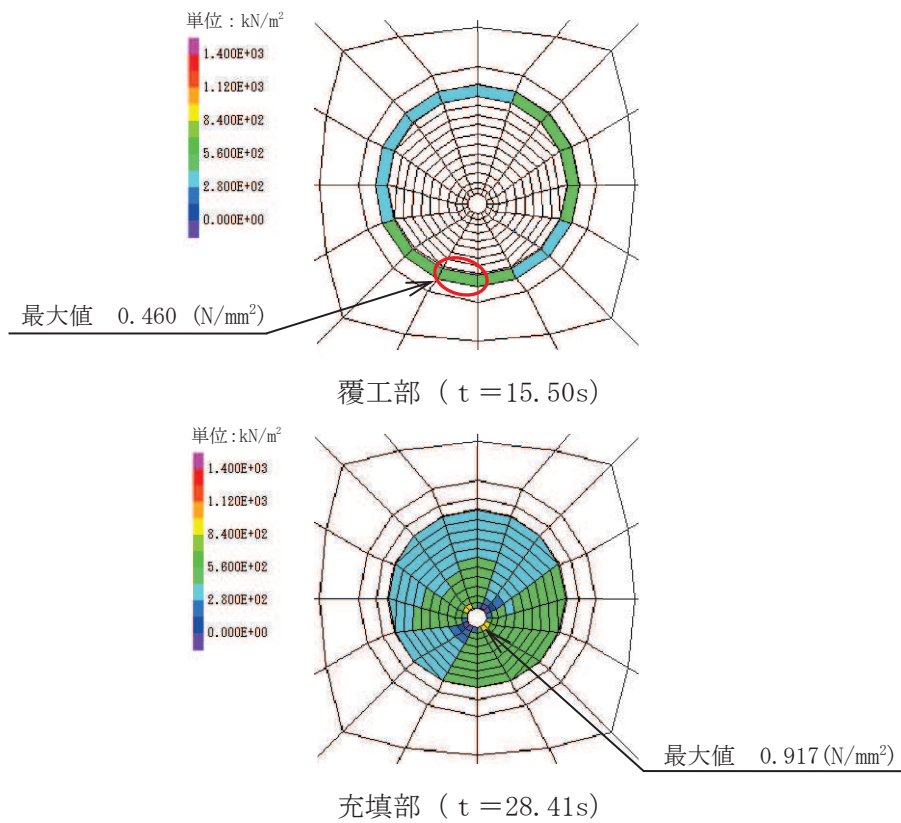


図 3.8-1(6) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D3 (-+) に対する引張強度の応力分布図

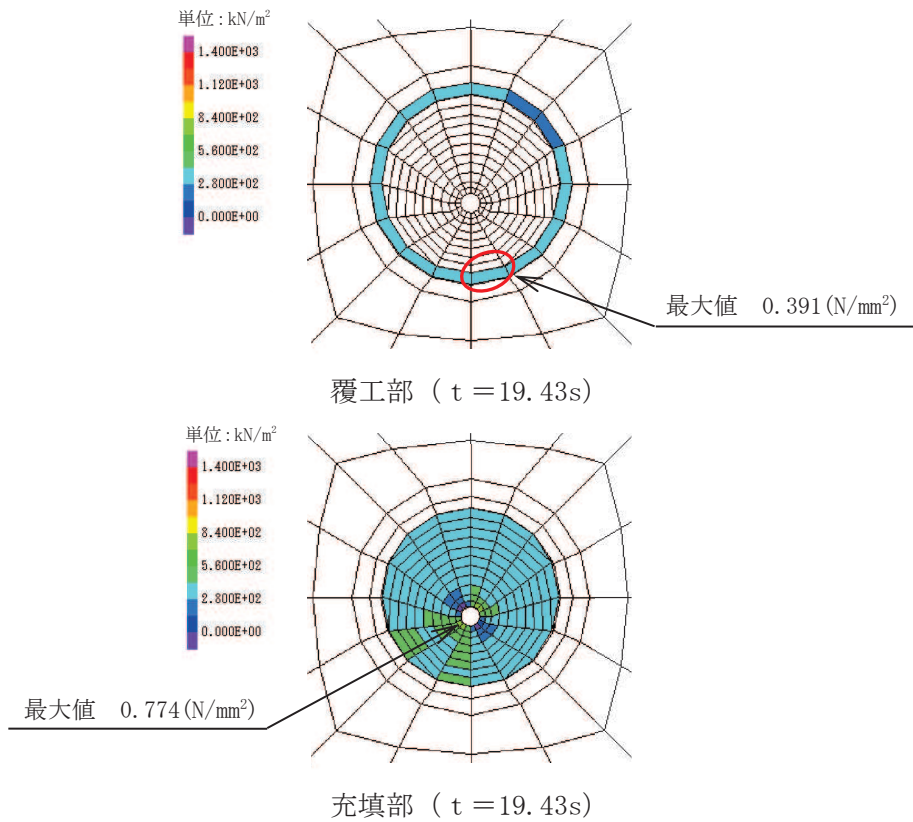


図 3.8-1(7) 解析ケース① 基準地震動 S_s-F1 (++) に対する引張強度の応力分布図

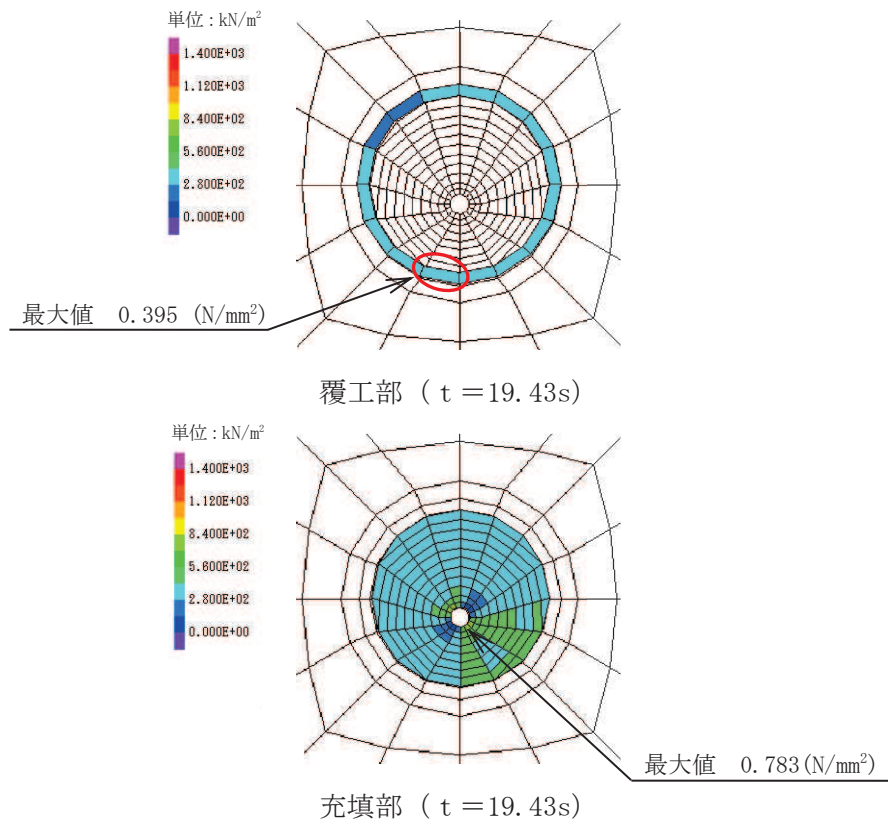


図 3.8-1(8) 解析ケース① 基準地震動 S_s-F1 (-+) に対する引張強度の応力分布図

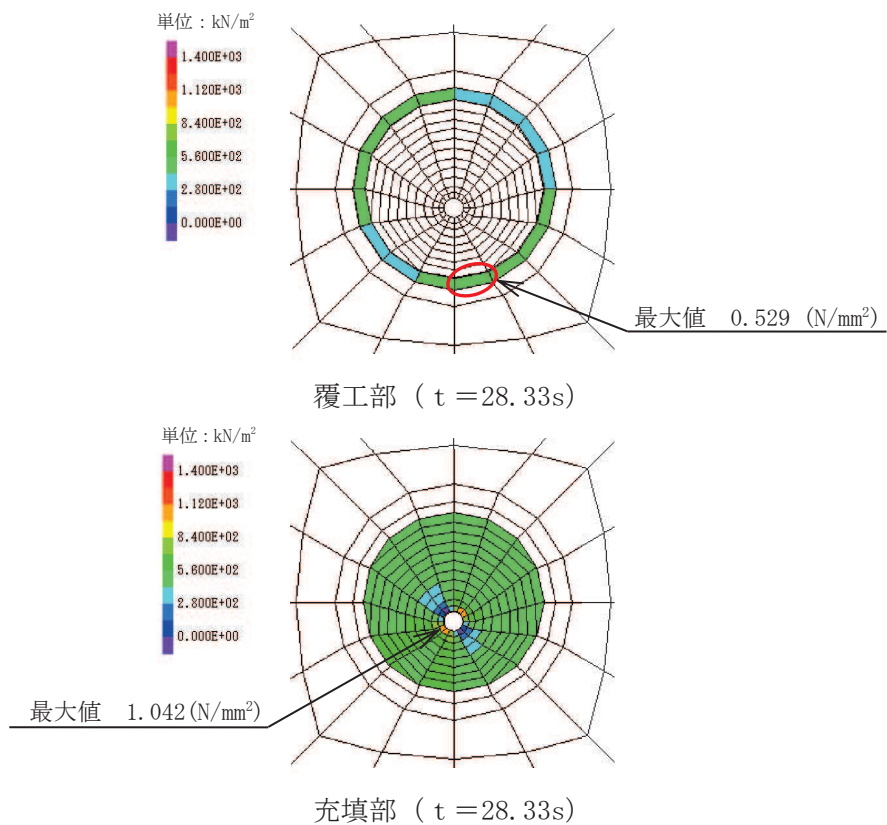


図 3.8-1(9) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F_2(++)$ に対する引張強度の応力分布図

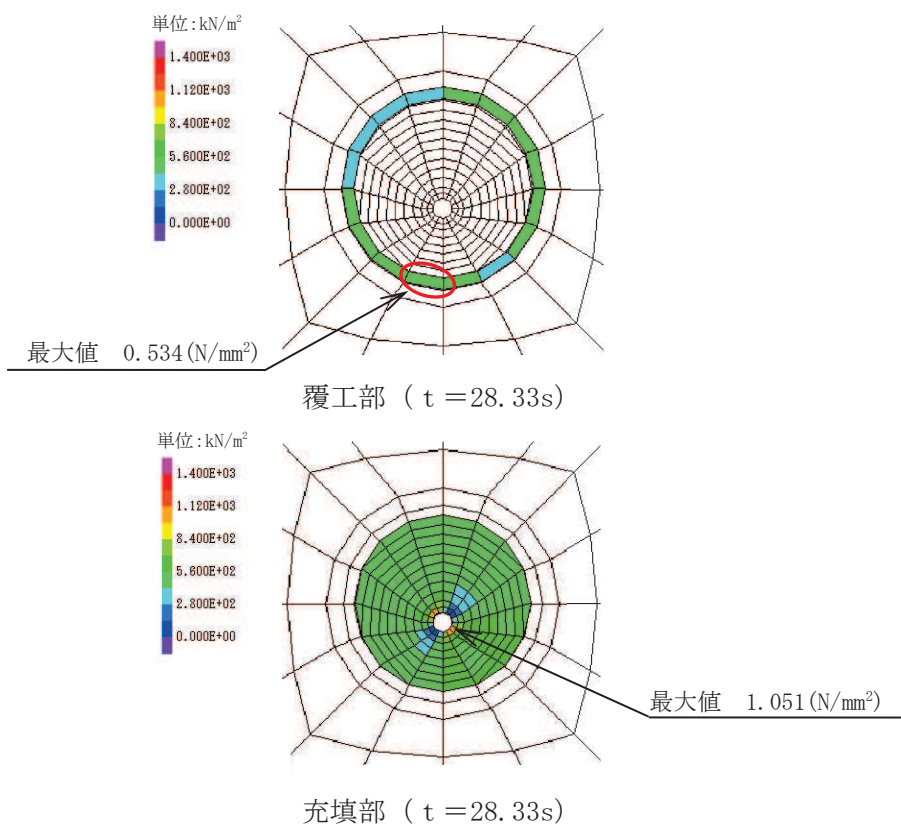


図 3.8-1(10) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F_2(-+)$ に対する引張強度の応力分布図

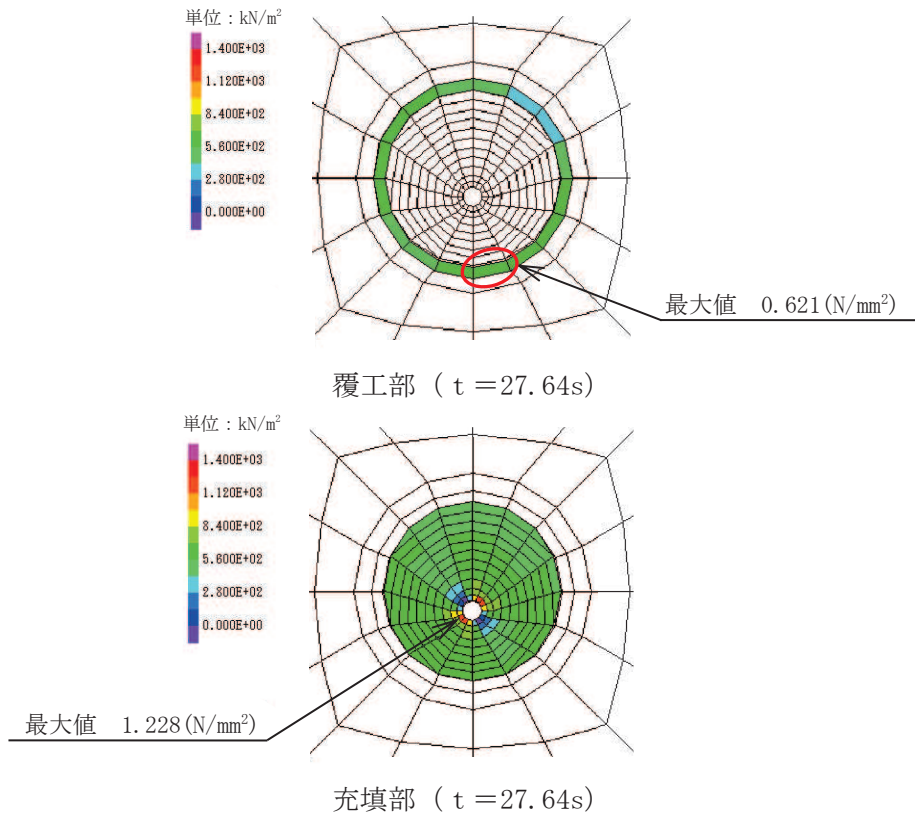


図 3.8-1(11) 解析ケース① 基準地震動 S_s-F3(++) に対する引張強度の応力分布図

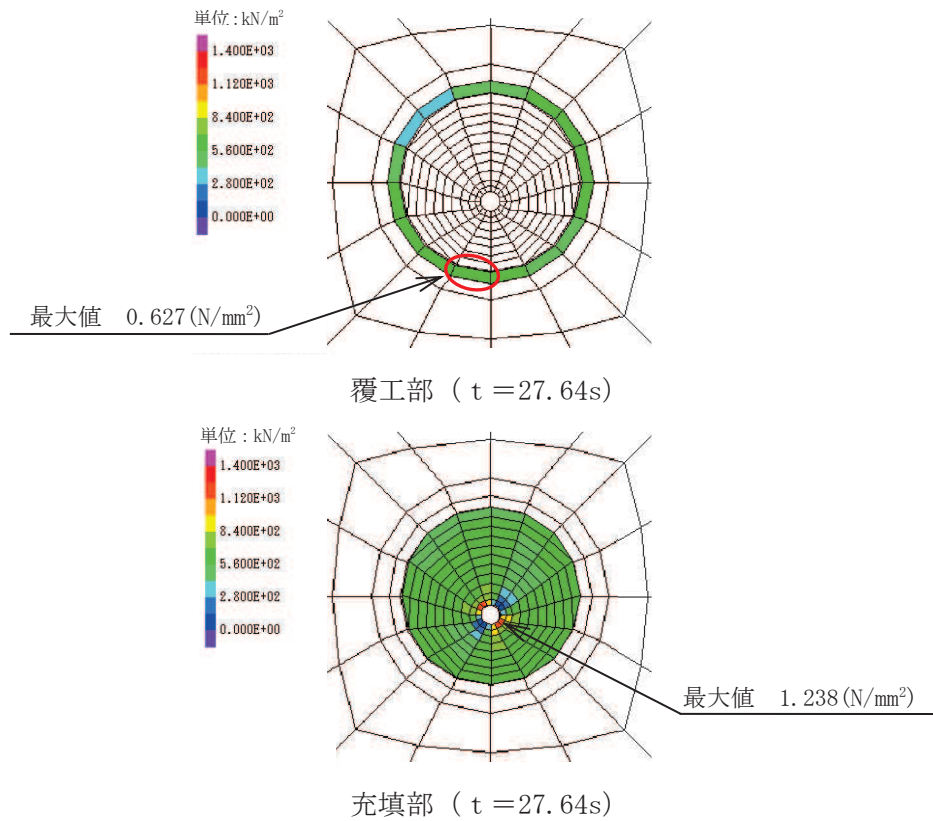


図 3.8-1(12) 解析ケース① 基準地震動 S_s-F3(-+) に対する引張強度の応力分布図

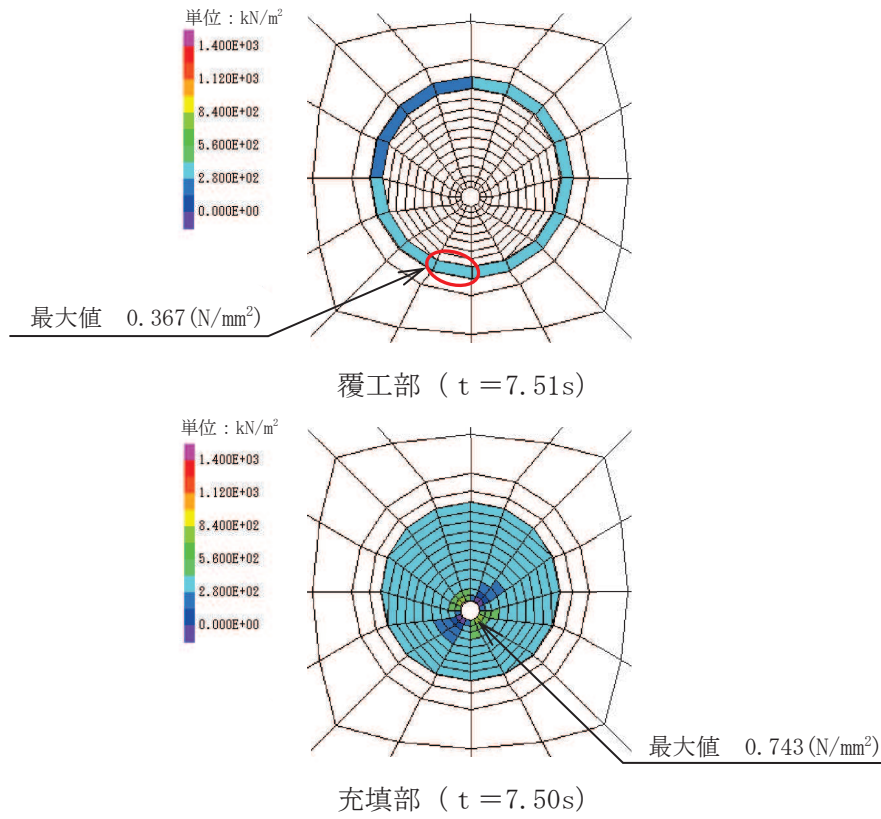


図 3.8-1(13) 解析ケース① 基準地震動 S_s-N1 (++) に対する引張強度の応力分布図

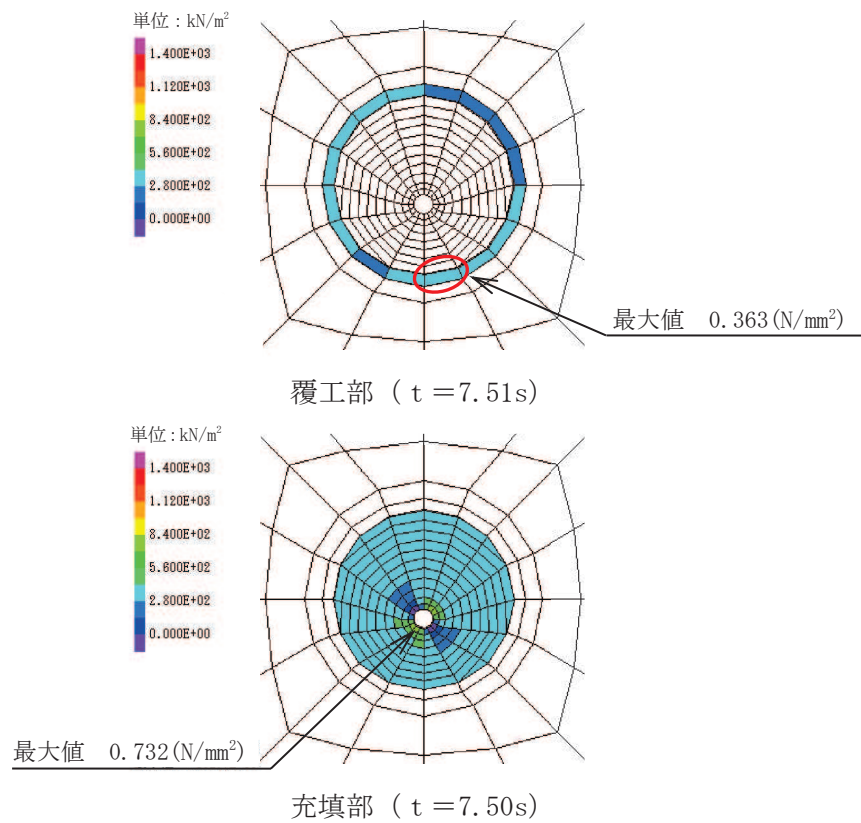


図 3.8-1(14) 解析ケース① 基準地震動 S_s-N1 (-+) に対する引張強度の応力分布図

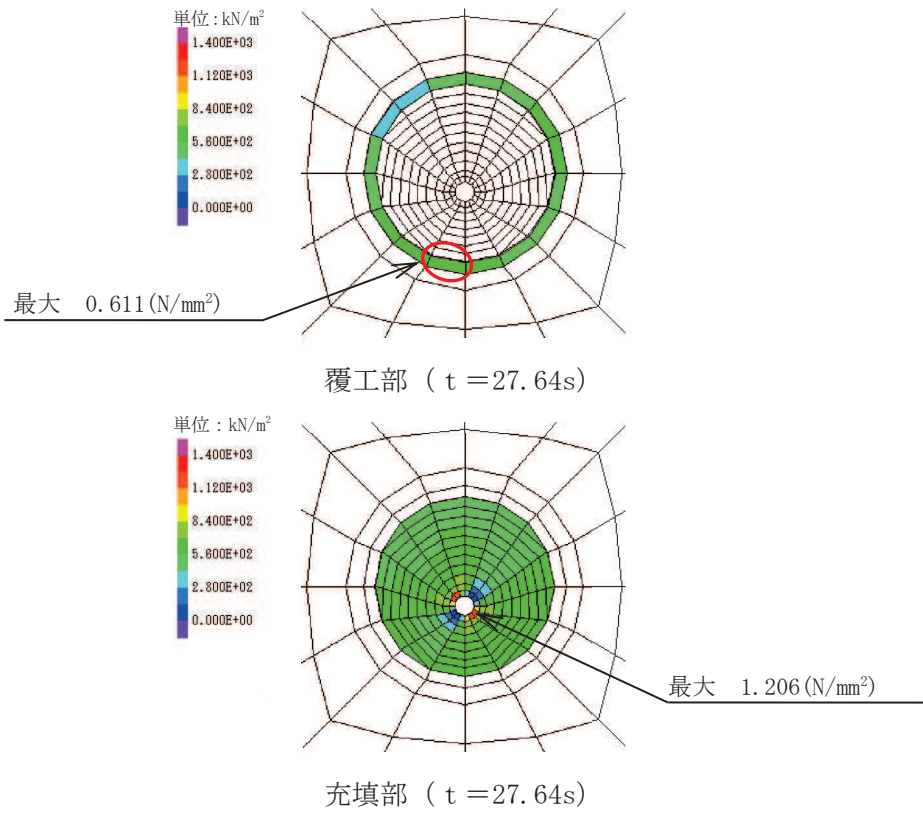


図 3.8-1(15) 解析ケース② 基準地震動 S_s-F3 (-+) に対する引張強度の応力分布図

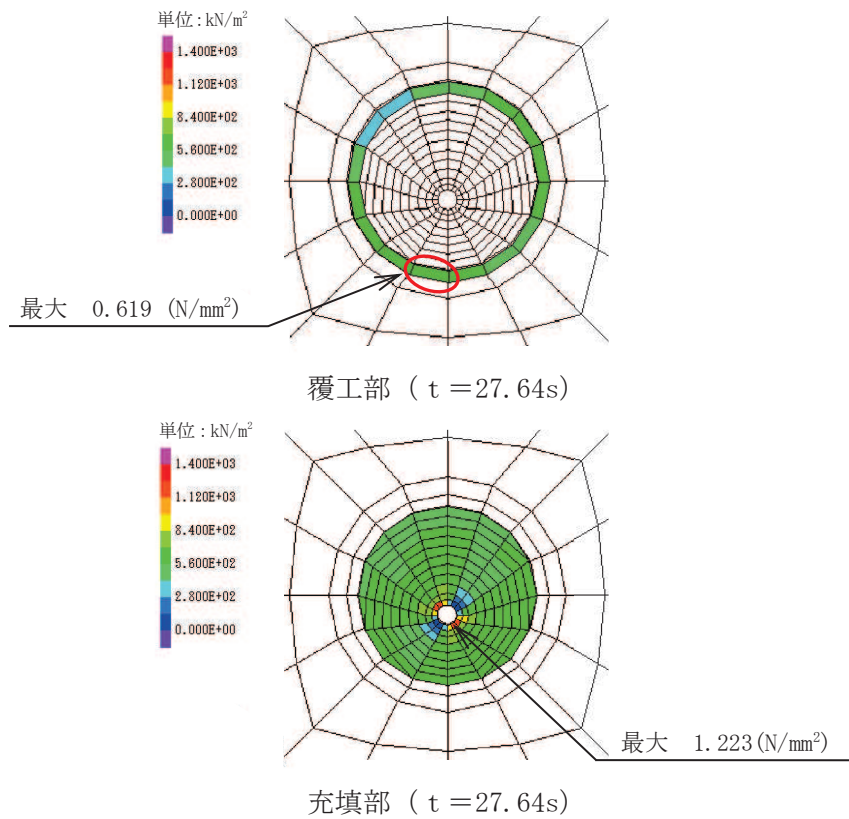


図 3.8-1(16) 解析ケース③ 基準地震動 S_s-F3 (-+) に対する引張強度の応力分布図

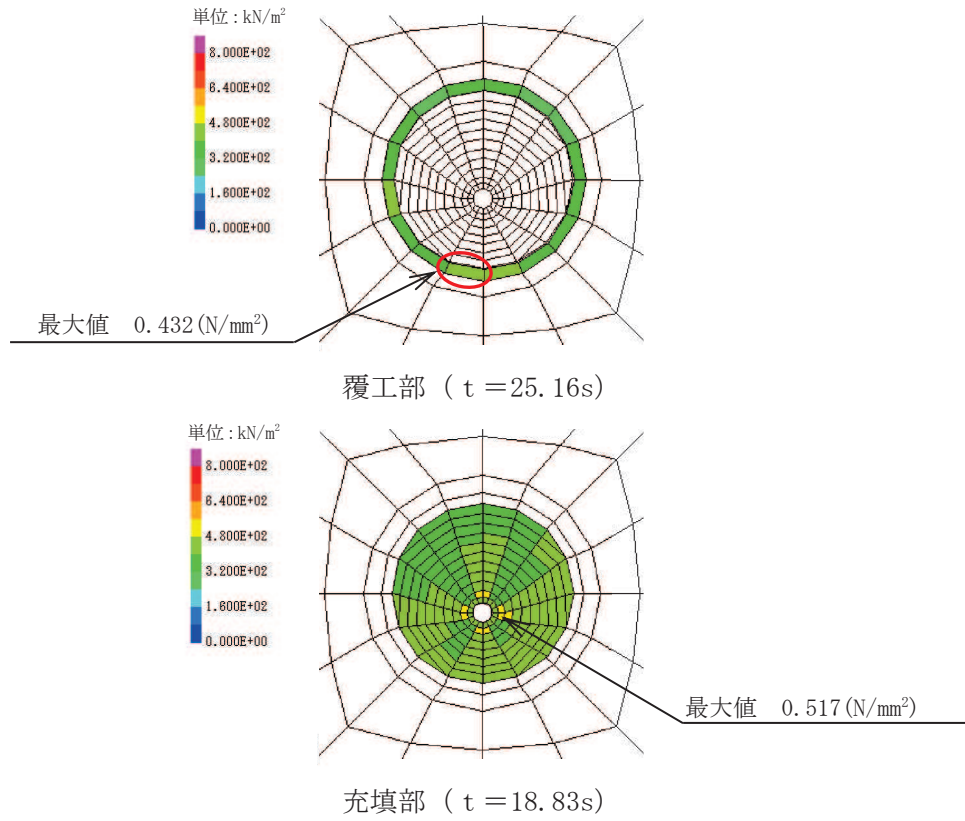


図 3.8-2(1) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D1 (++) に対するせん断強度の応力分布図

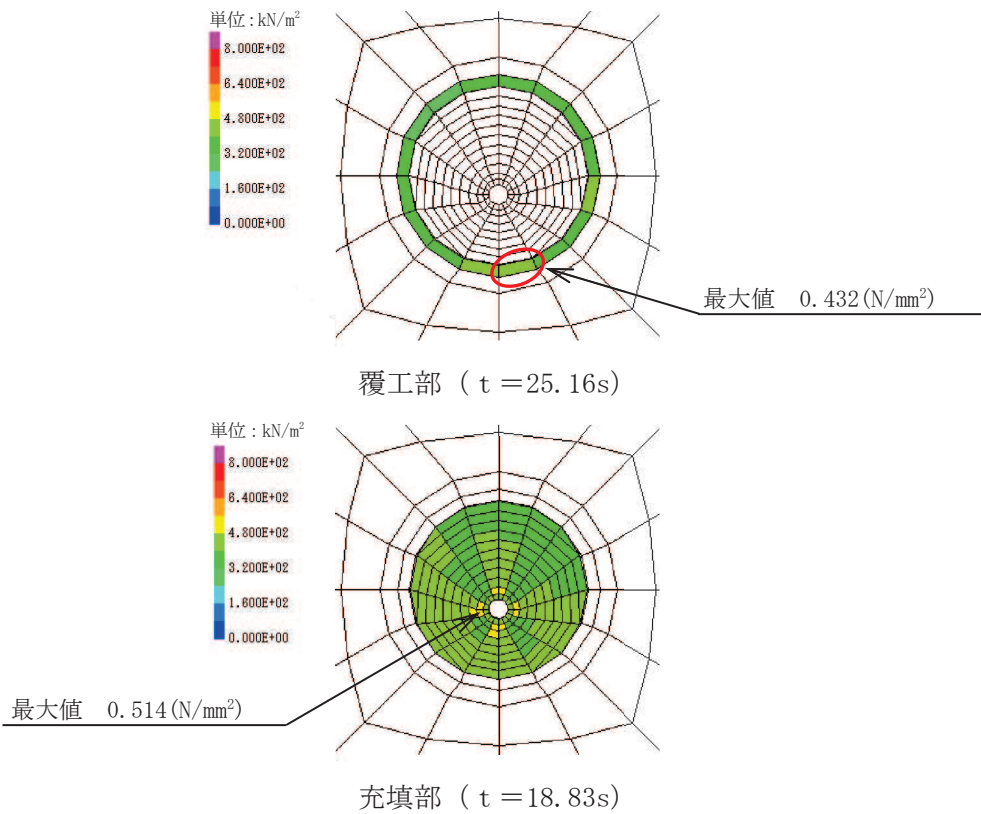
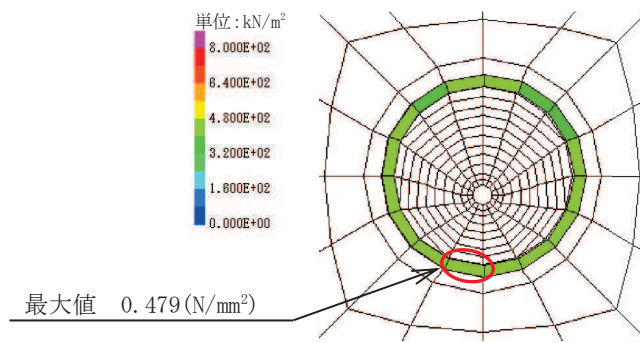
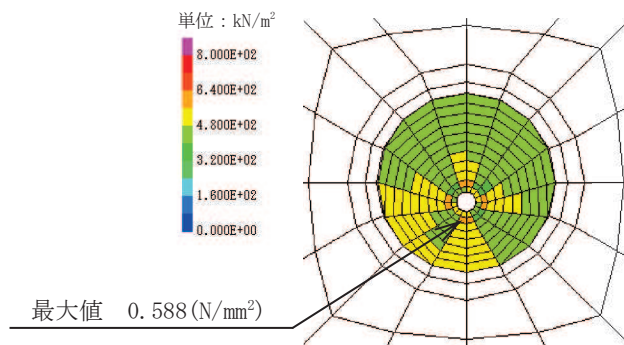


図 3.8-2(2) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D1 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

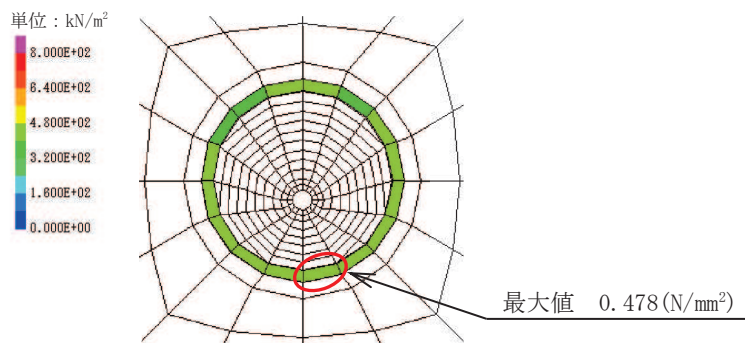


覆工部 (t = 17.77s)

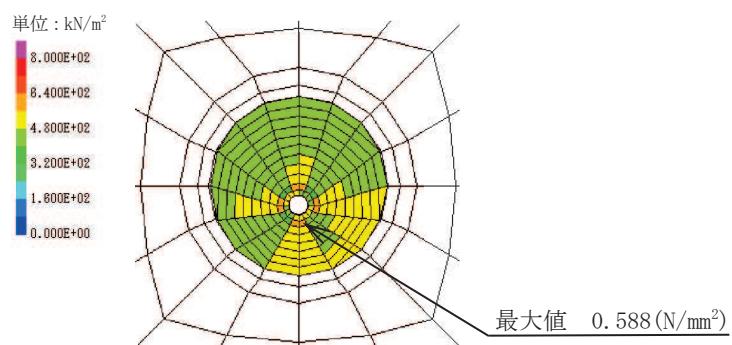


充填部 (t = 17.77s)

図 3.8-2(3) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (++) に対するせん断強度の応力分布図



覆工部 (t = 17.77s)



充填部 (t = 17.77s)

図 3.8-2(4) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (- +) に対するせん断強度の応力分布図

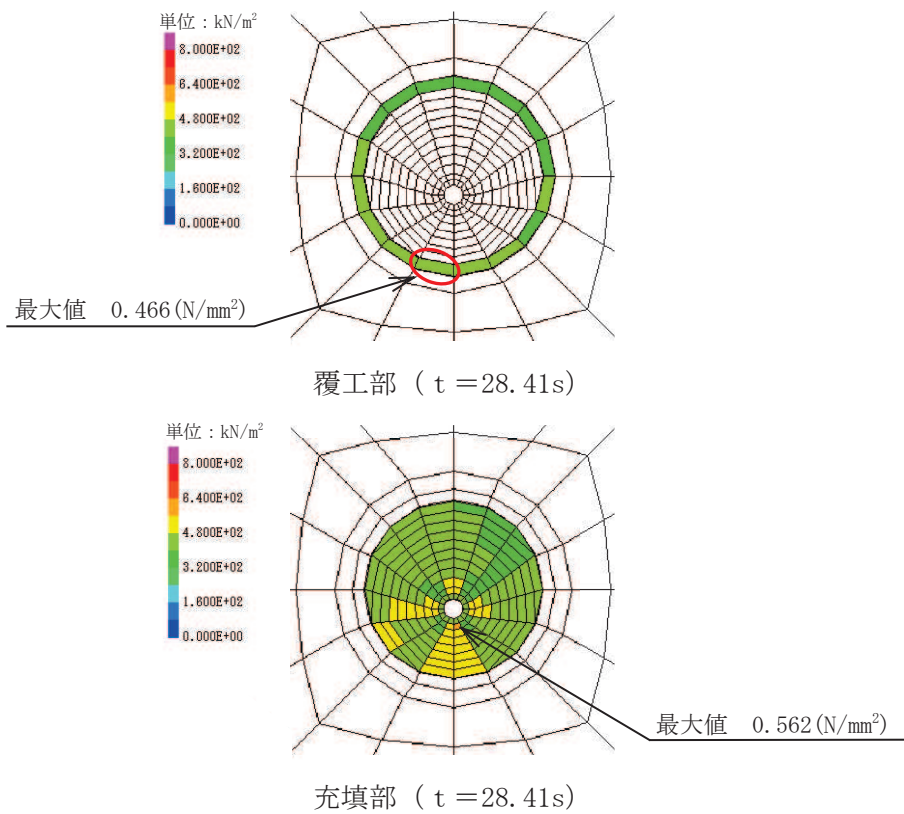


図 3.8-2(5) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D3 (++) に対するせん断強度の応力分布図

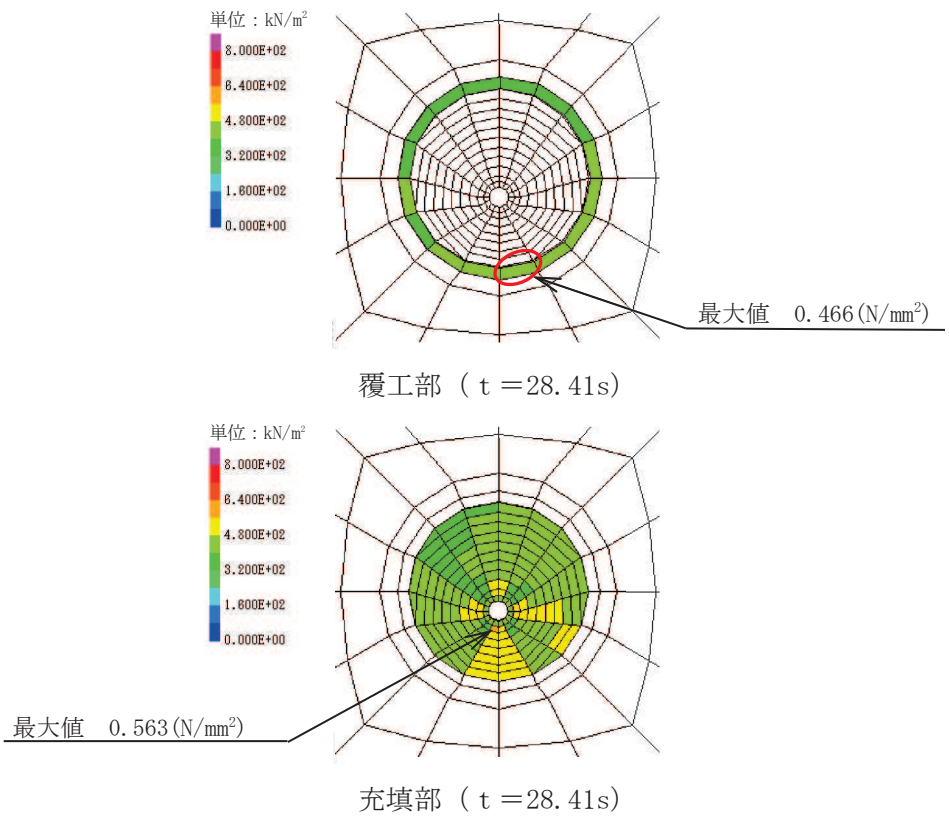


図 3.8-2(6) 解析ケース① 基準地震動 S_s-D3 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

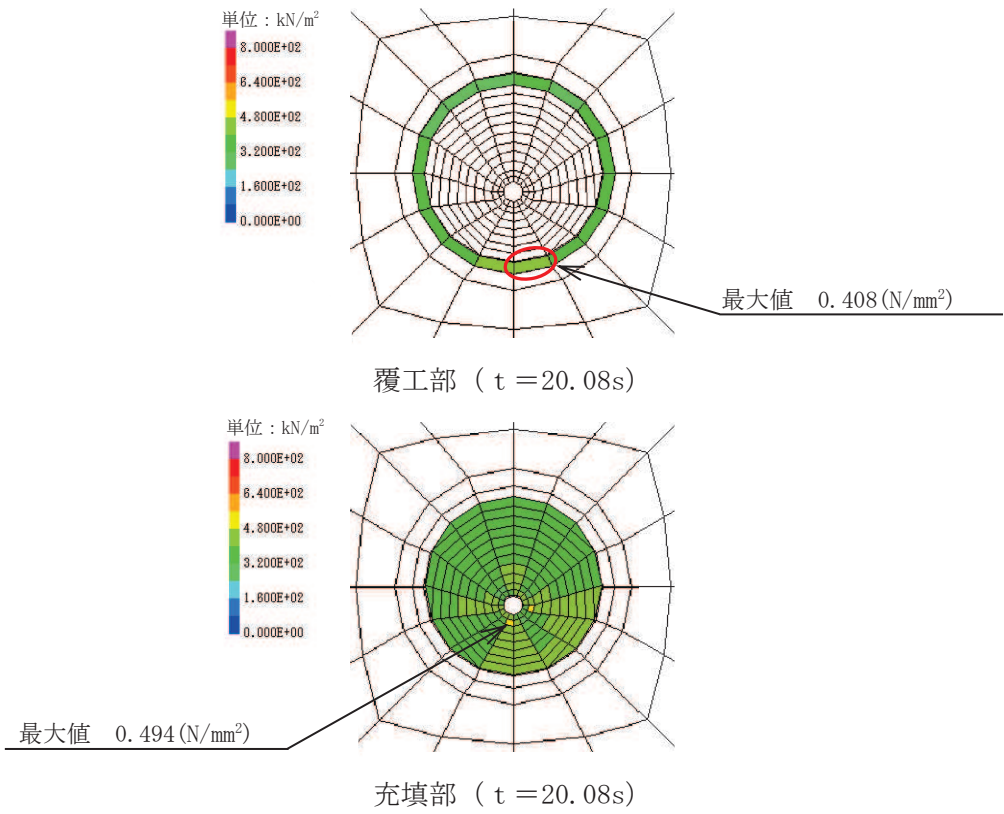


図 3.8-2(7) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F1 (+ +)$ に対するせん断強度の応力分布図

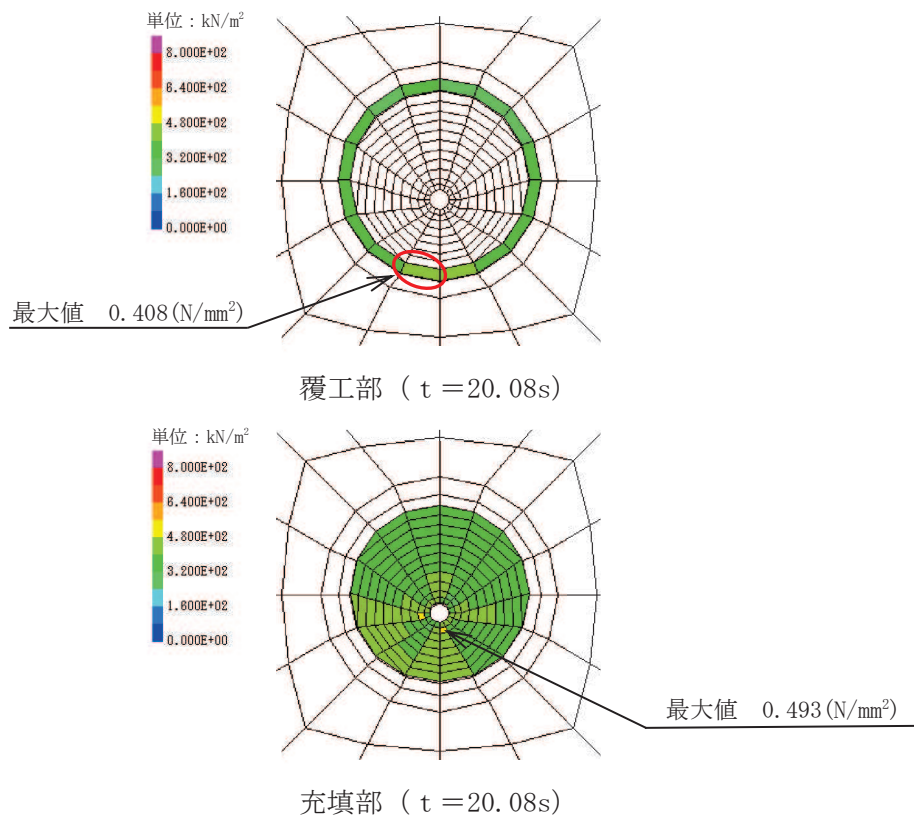


図 3.8-2(8) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F1 (- +)$ に対するせん断強度の応力分布図

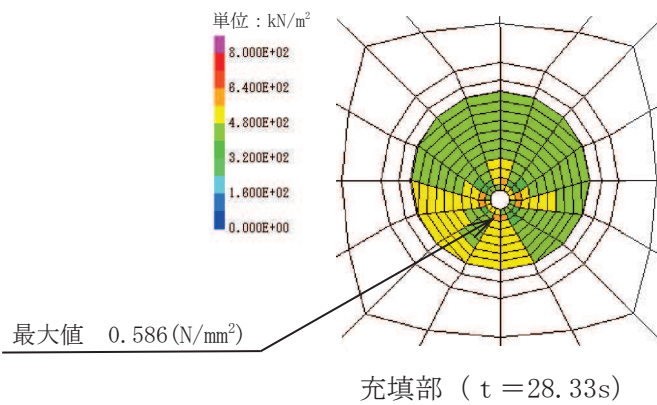
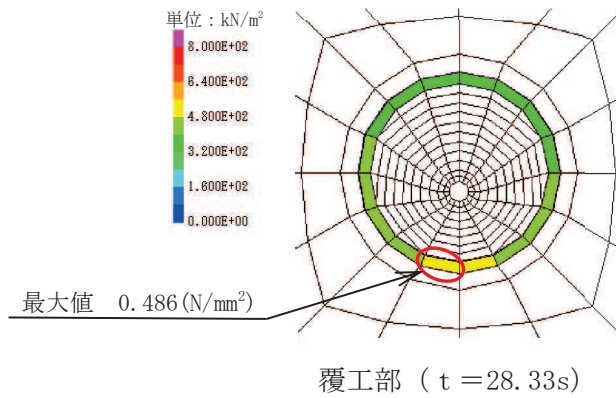


図 3.8-2(9) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F2 (+ +)$ に対するせん断強度の応力分布図

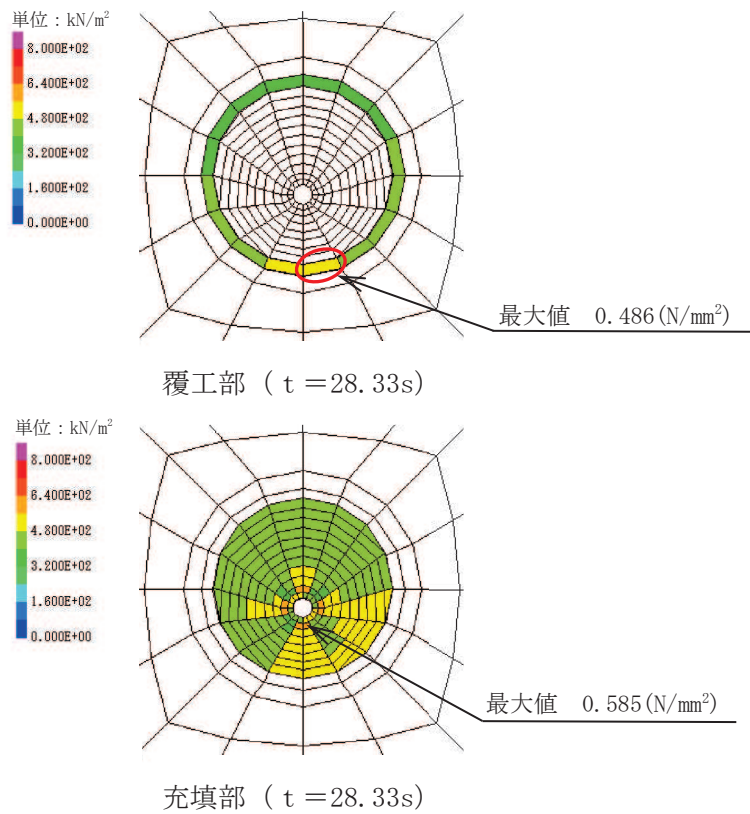
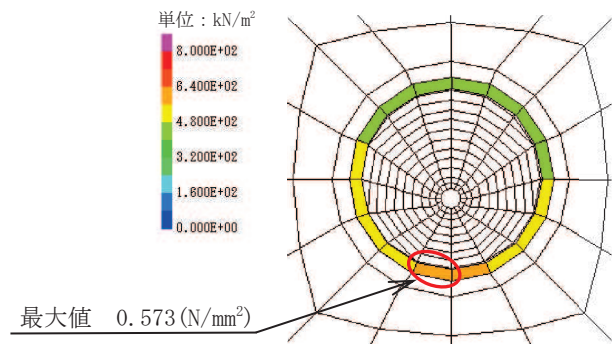
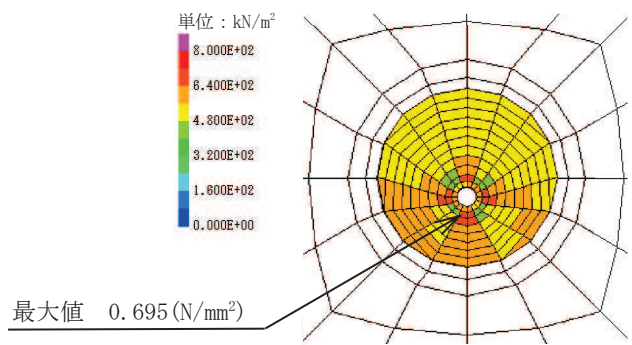


図 3.8-2(10) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F2 (- +)$ に対するせん断強度の応力分布図

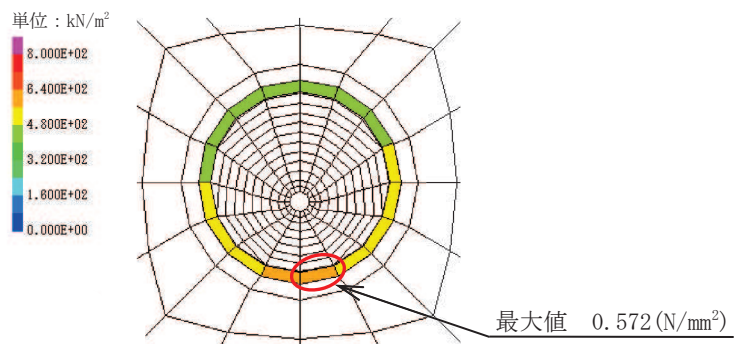


覆工部 (t = 27.64s)

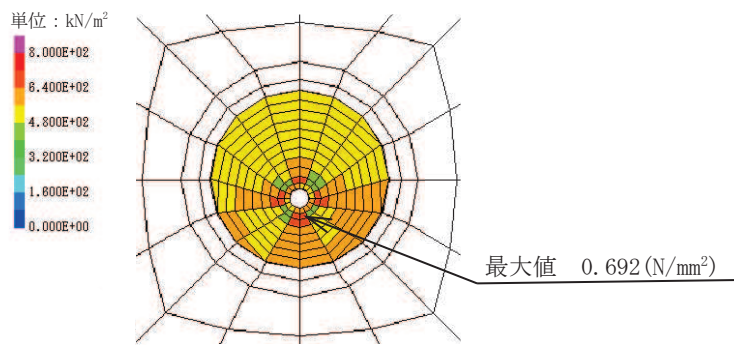


充填部 (t = 27.64s)

図 3.8-2(11) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 3 (++) に対するせん断強度の応力分布図



覆工部 (t = 27.64s)



充填部 (t = 27.64s)

図 3.8-2(12) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 3 (- +) に対するせん断強度の応力分布図

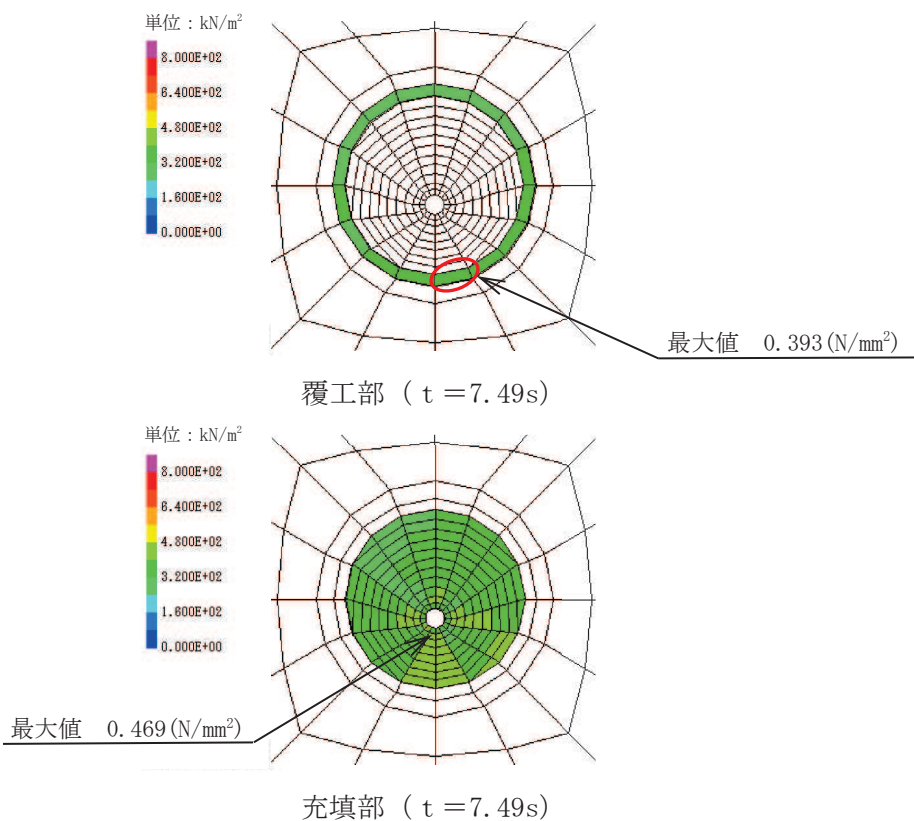


図 3.8-2(13) 解析ケース① 基準地震動 S_s-N1 (++) に対するせん断強度の応力分布図

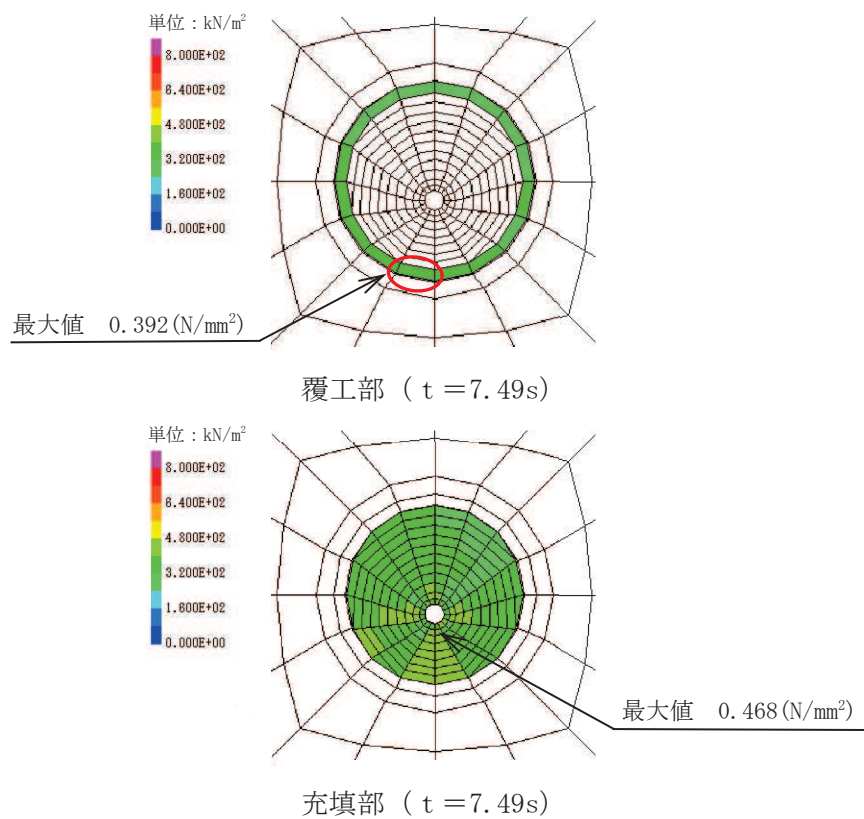
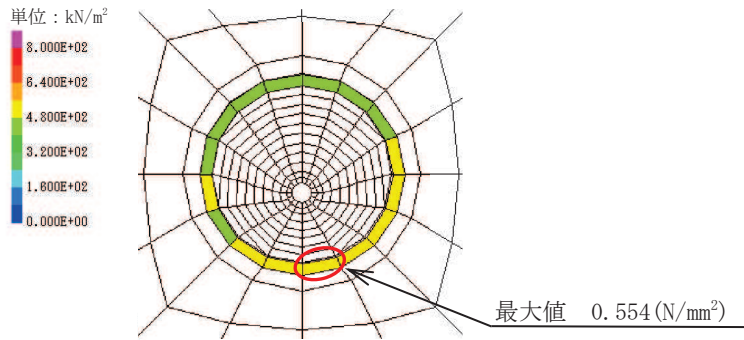
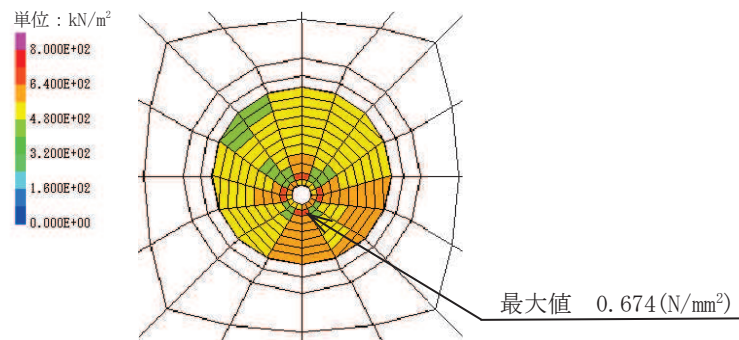


図 3.8-2(14) 解析ケース① 基準地震動 S_s-N1 (-+) に対するせん断強度の応力分布図

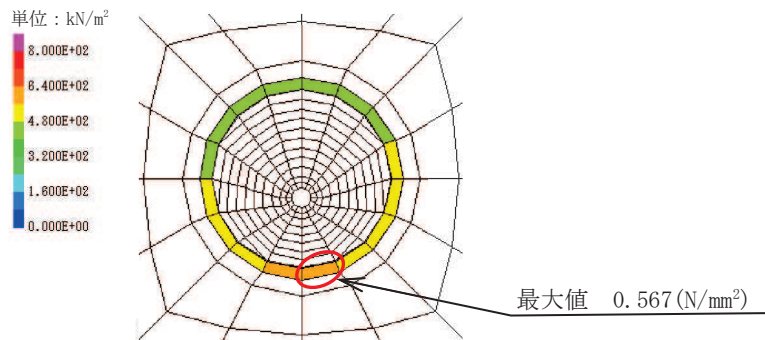


覆工部 (t = 27.64s)

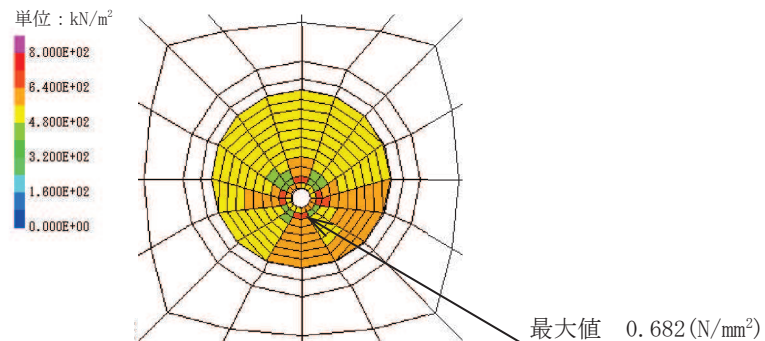


充填部 (t = 27.64s)

図 3.8-2(15) 解析ケース② 基準地震動 $S_s - F3$ (- +) に対するせん断強度の応力分布図



覆工部 (t = 27.64s)



充填部 (t = 27.64s)

図 3.8-2(16) 解析ケース③ 基準地震動 $S_s - F3$ (- +) に対するせん断強度の応力分布図

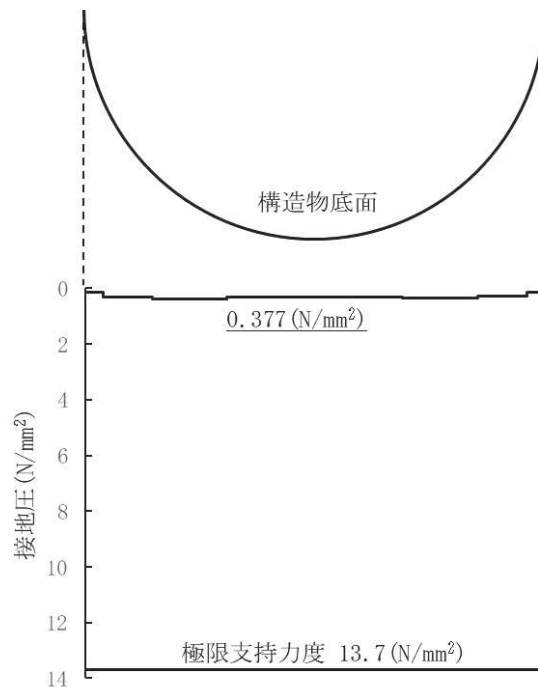


図 3.8-3(1) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 1 (++) に対する設置圧の分布図

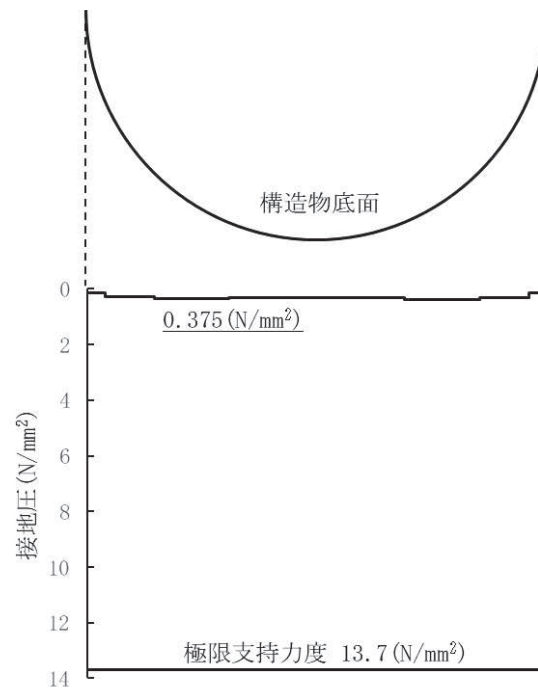


図 3.8-3(2) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 1 (-+) に対する設置圧の分布図

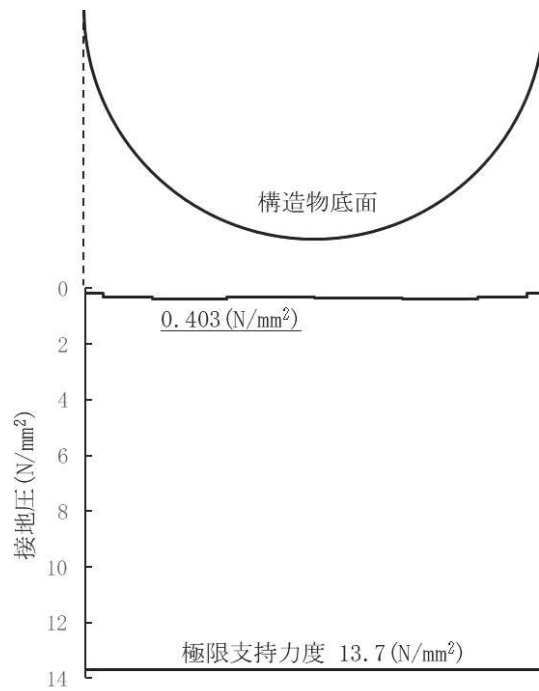


図 3.8-3(3) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (+ +) に対する設置圧の分布図

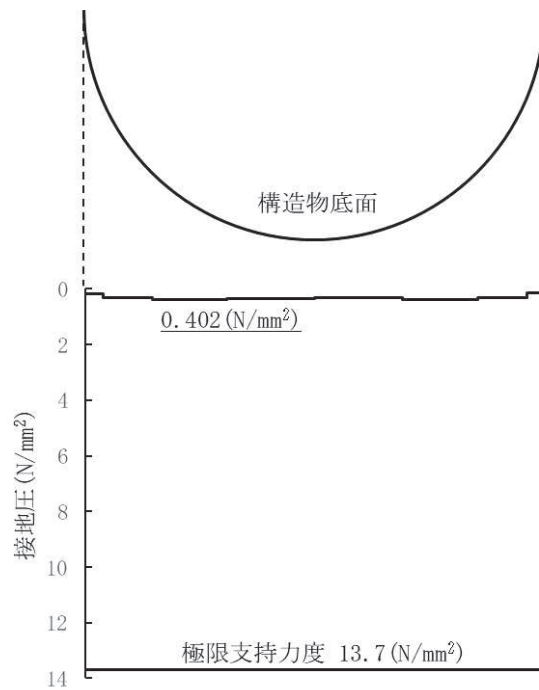


図 3.8-3(4) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 2 (- +) に対する設置圧の分布図

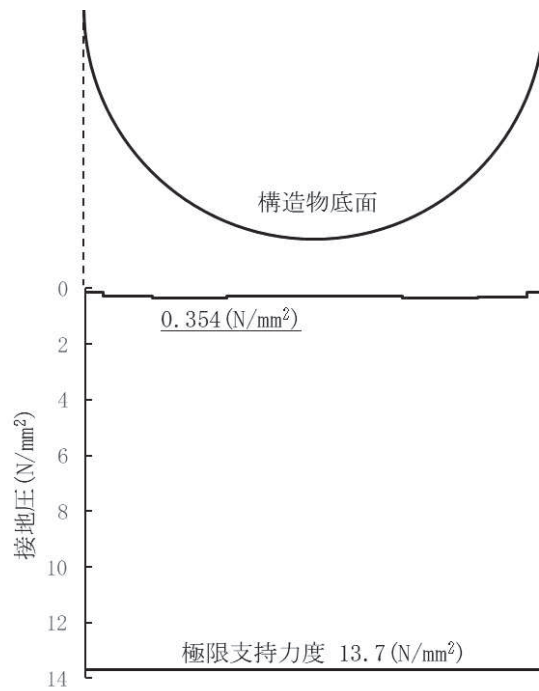


図 3.8-3(5) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 3 (++) に対する設置圧の分布図

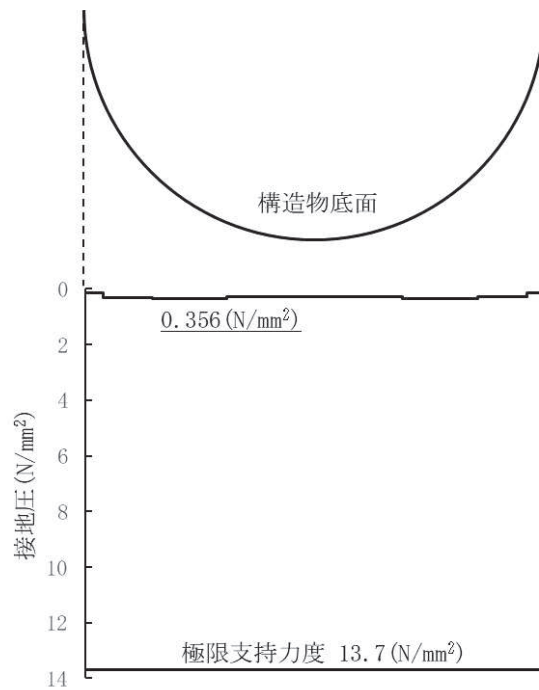


図 3.8-3(6) 解析ケース① 基準地震動 S s - D 3 (-+) に対する設置圧の分布図

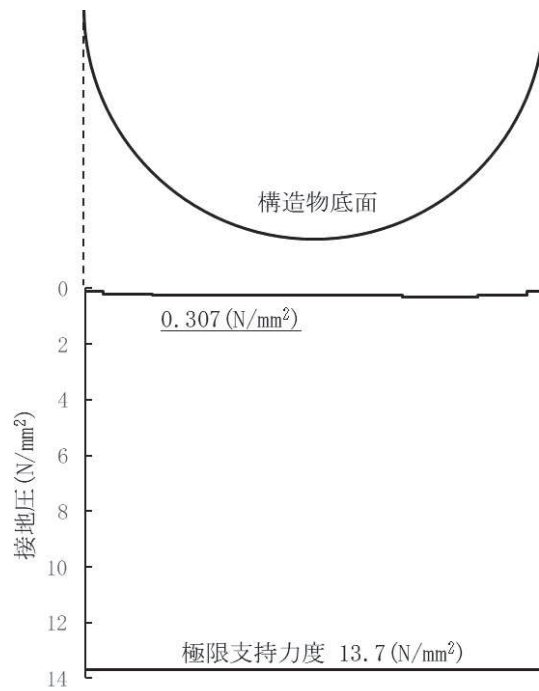


図 3.8-3(7) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 1 (++) に対する設置圧の分布図

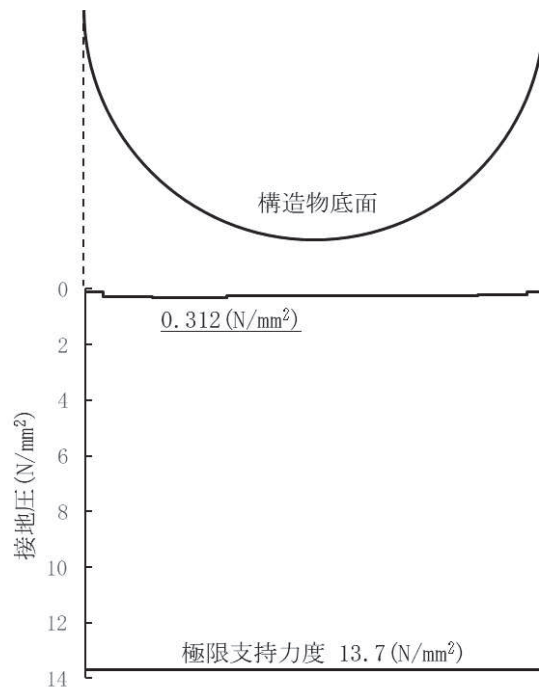


図 3.8-3(8) 解析ケース① 基準地震動 S s - F 1 (-+) に対する設置圧の分布図

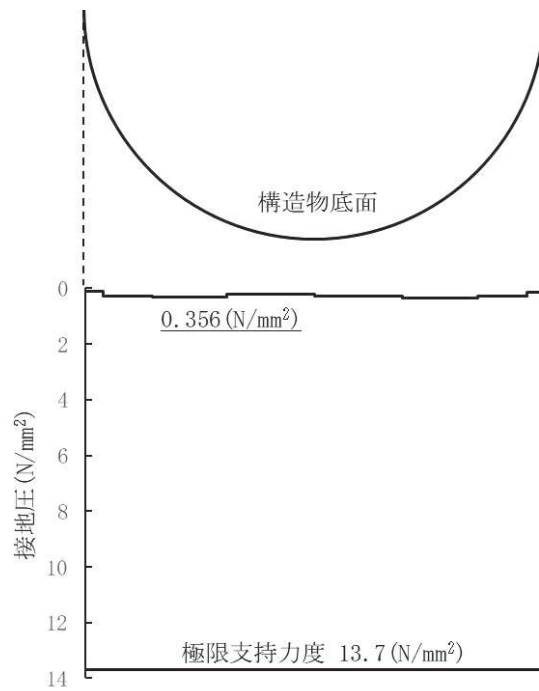


図 3.8-3(9) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F2 (+ +)$ に対する設置圧の分布図

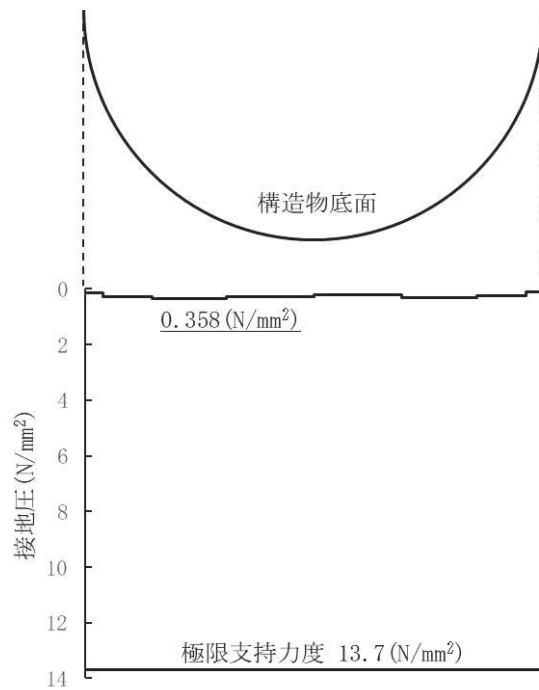


図 3.8-3(10) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F2 (- +)$ に対する設置圧の分布図

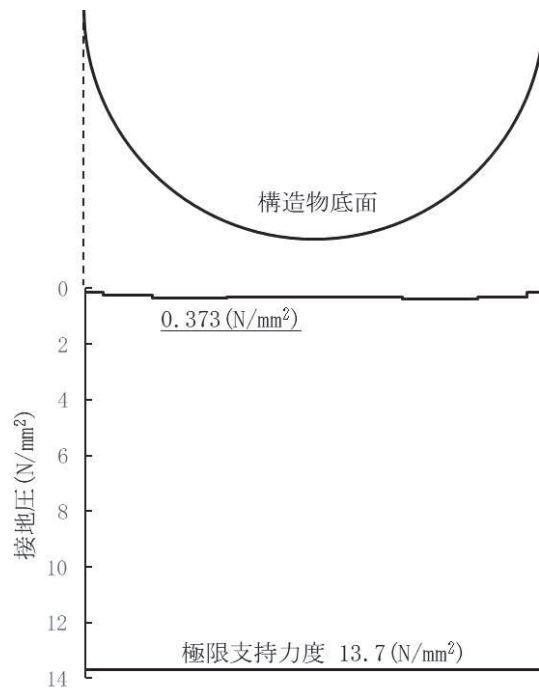


図 3.8-3(11) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F_3 (+ +)$ に対する設置圧の分布図

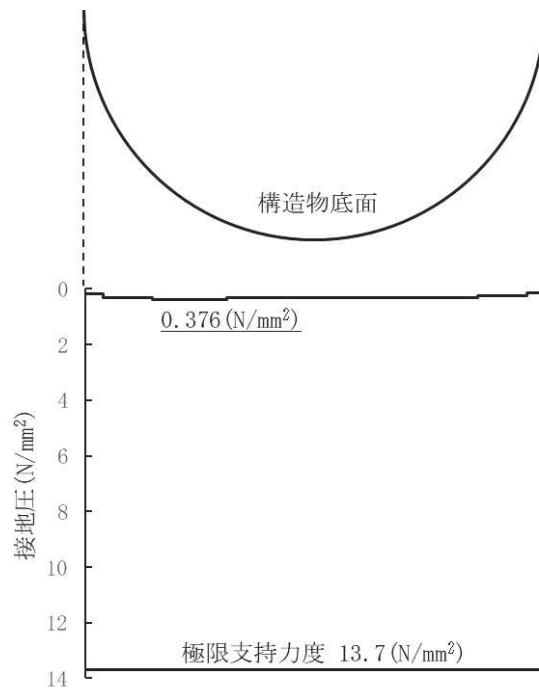


図 3.8-3(12) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - F_3 (- +)$ に対する設置圧の分布図

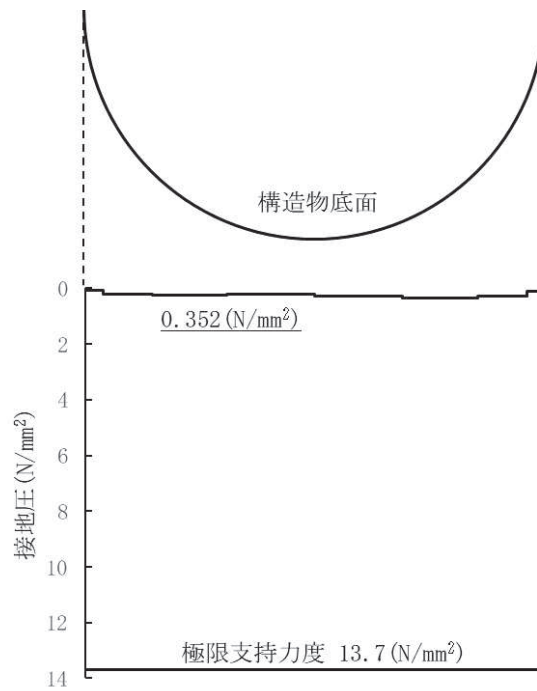


図 3.8-3(13) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (+ +)$ に対する設置圧の分布図

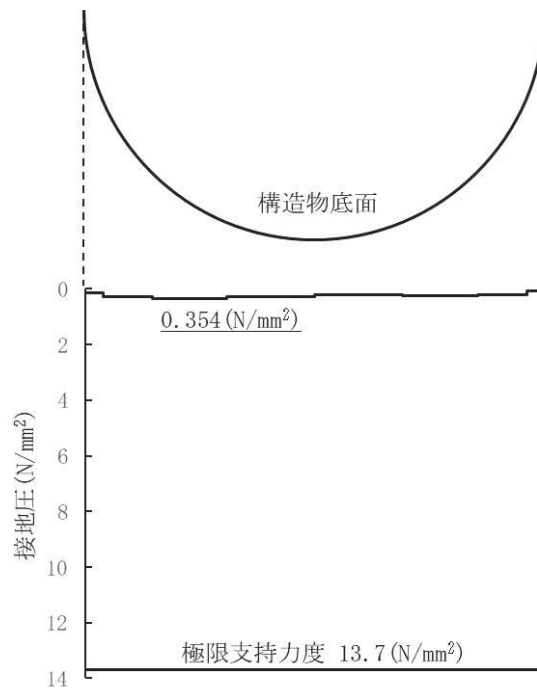


図 3.8-3(14) 解析ケース① 基準地震動 $S_s - N1 (- +)$ に対する設置圧の分布図

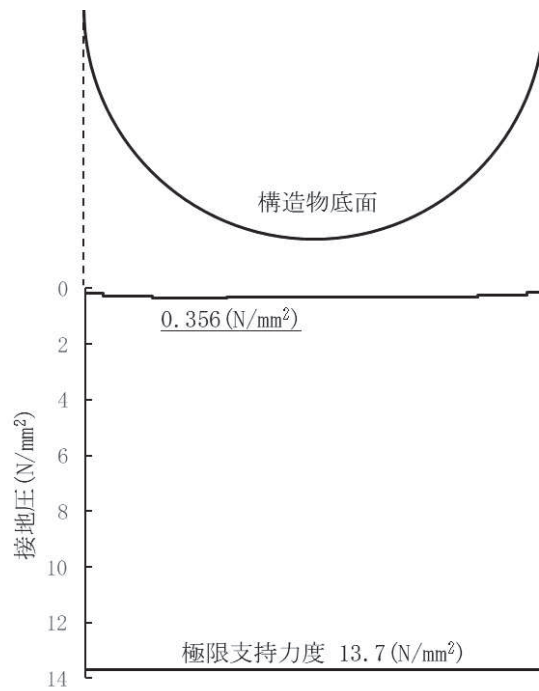


図 3.8-3(15) 解析ケース② 基準地震動 $S_s - F3$ (一十) に対する設置圧の分布図

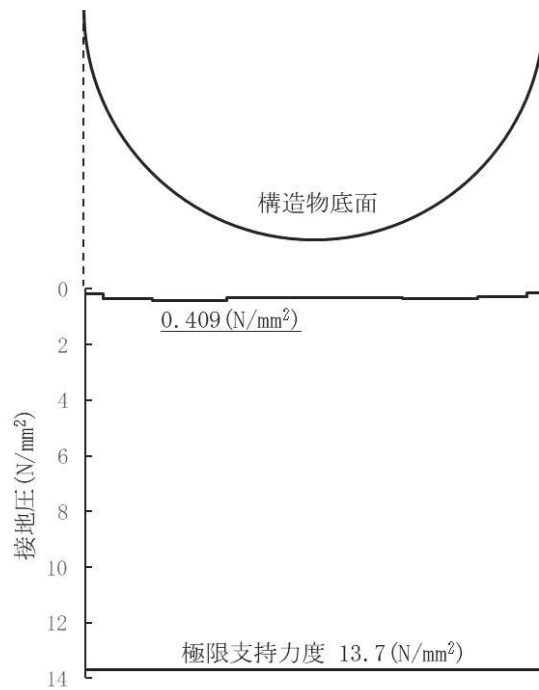


図 3.8-3(16) 解析ケース③ 基準地震動 $S_s - F3$ (一十) に対する設置圧の分布図

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 4.1-1 に、せん断強度における照査値を表 4.1-2 に示す。また、覆工部及び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を図 4.1-1 に、せん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布を図 4.1-2 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 4.1-1 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 4.1-2 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

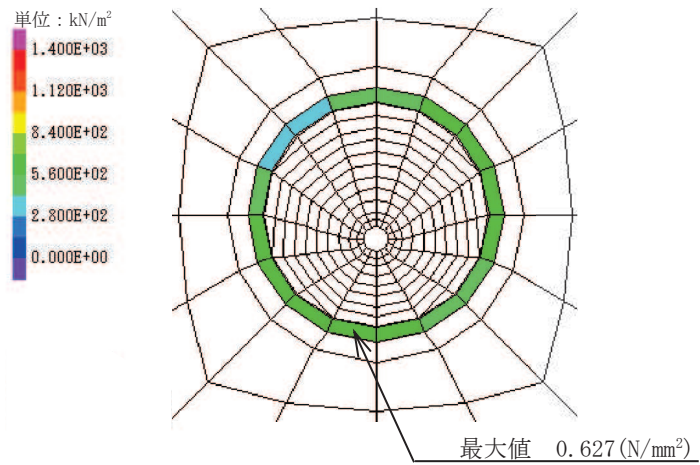


図 4.1-1(1) 覆工部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (-+), t = 27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

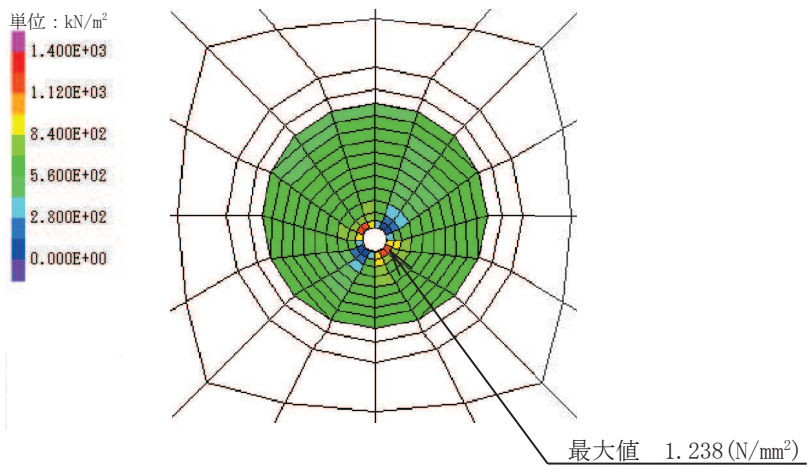


図 4.1-1(2) 充填部の引張強度における照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (-+), t = 27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

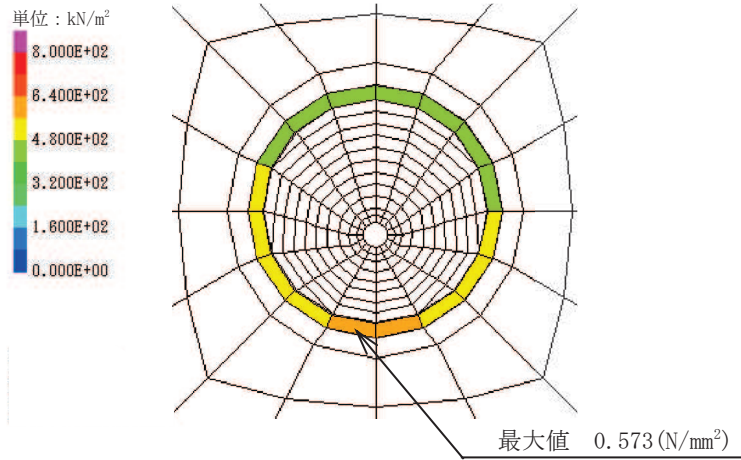


図 4.1-2(1) 覆工部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (++) , t = 27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

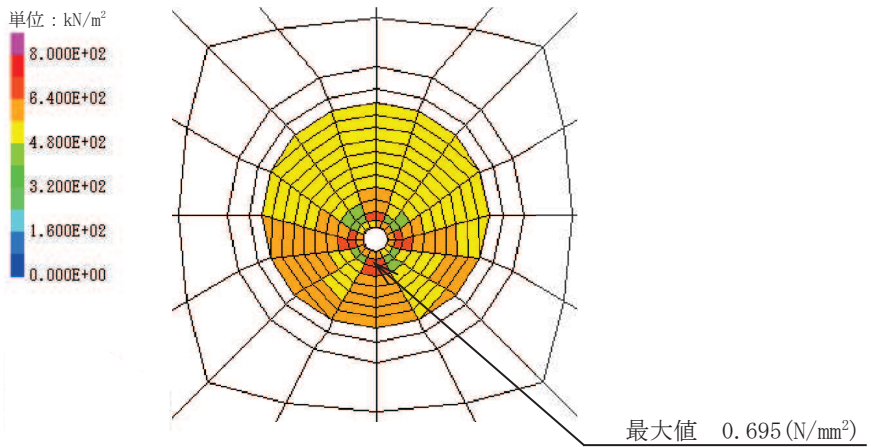


図 4.1-2(2) 充填部のせん断強度における照査値最大となる時刻の応力分布図
 (S s - F 3 (++) , t = 27.64s)
 (解析ケース① : 基本ケース)

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 4.2-1 に示す。また、最大接地圧の分布図を図 4.2-1 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 4.2-1 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 -F3 (-+)	③	0.409	13.7	0.03

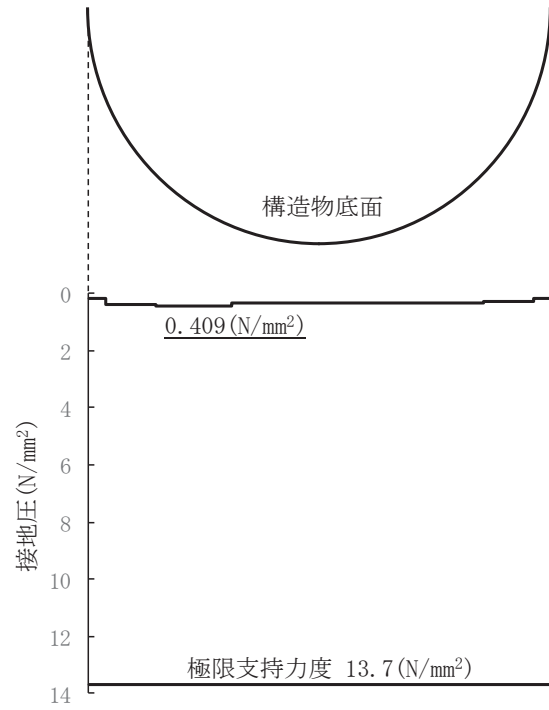


図 4.2-1 最大接地圧の分布図

(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)

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.2 取放水路流路縮小工の設計に関する補足説明
- 6.2.3 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の強度計算書に関する補足説明

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
2.5 記号の説明	7
3. 強度評価方法	10
3.1 評価対象断面及び部位	10
3.2 荷重及び荷重の組合せ	12
3.3 評価方法	16
4. 強度評価	26
4.1 荷重算出	26
4.2 強度評価	28
4.3 解析ケースごとの強度評価結果	31
5. 強度評価結果	34

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度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) が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重及び余震荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持することを確認するものである。

なお、取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の強度評価においては、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 2.1-1 に示す。

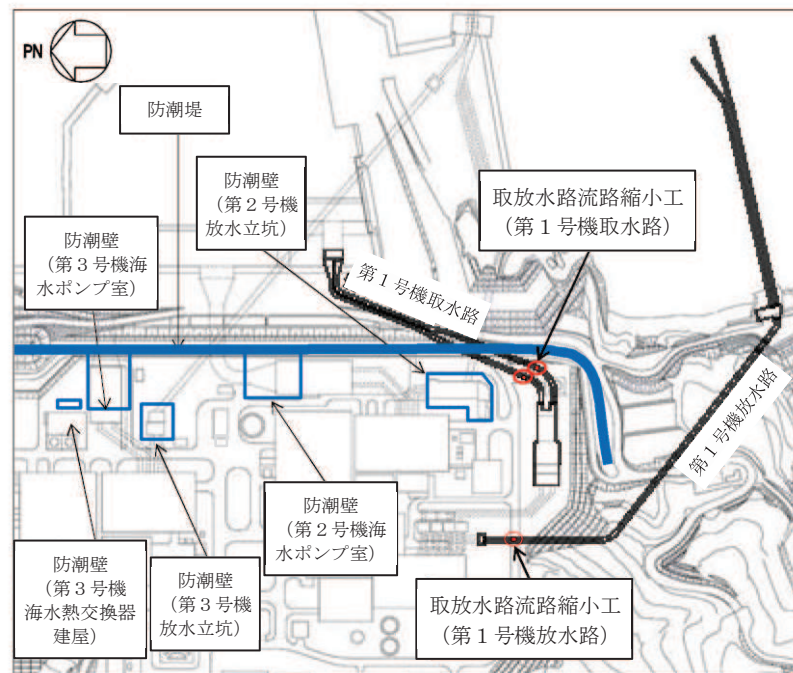



図 2.1-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の位置図（全体平面図）

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2.2-1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。

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。

なお、本強度計算書では、充填部のB-B (C-C) 断面の幅を流路縮小工の幅とする。

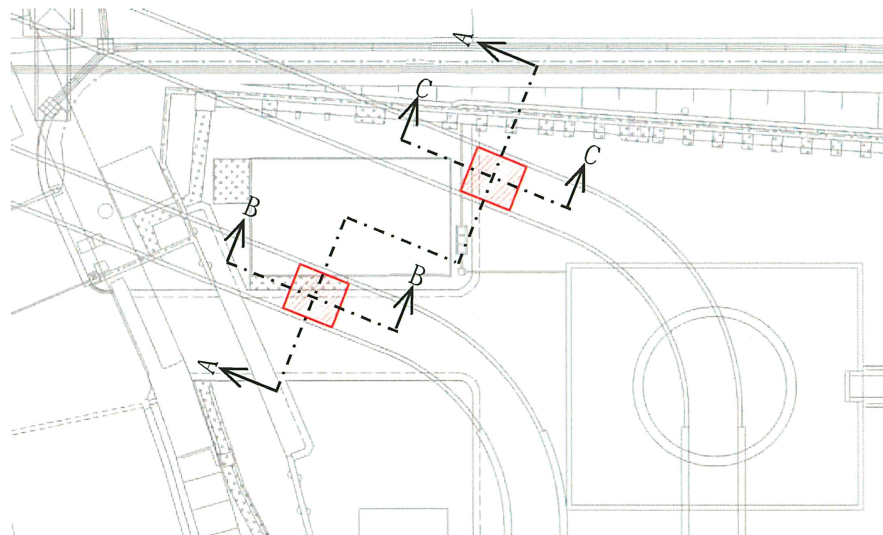


図2.2-1(1) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2) 平面図

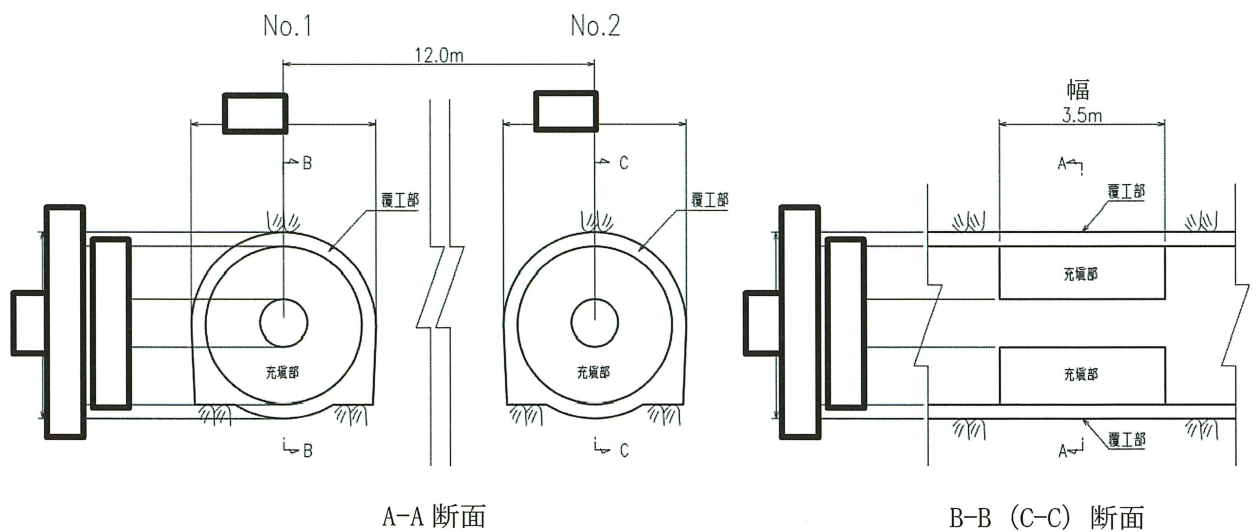


図2.2-1(2) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2) 断面図

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)の強度評価においては、添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて、強度計算を実施する。なお、強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）について行う。ただし、「重畳時」の津波荷重は「津波時」の津波荷重を用いていることから、「重畳時」が保守的な評価となることは明白であるため、「津波時」の検討は省略する。

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の強度評価は、縦断方向に作用する津波荷重及び余震荷重について、表2.3-1に示すとおり、せん断、滑動及び曲げに対する必要幅（必要閉塞長）が流路縮小工の幅以下であることを確認することにより、安定性を損なわないことを評価する。

取放水路流路縮小工(第1号機取水路)(No. 1), (No. 2)の強度評価フローを図2.3-1に示す。

表 2.3-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	流路縮小工の幅
安定性を損なわないこと	構造部材の安定性	流路縮小工	せん断, 滑動及び曲げに対する必要幅が流路縮小工幅以下であることを確認	3.5m

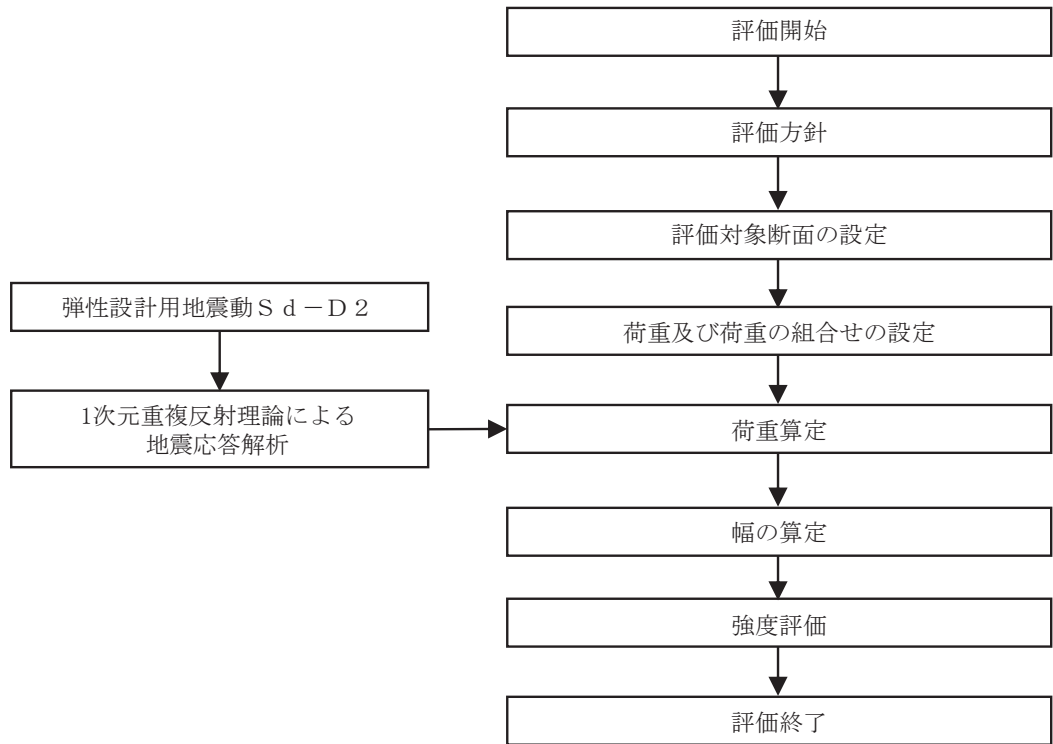


図 2.3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。また，各項目で適用する規格，基準類を表 2.4-1 に示す。

- ・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月）
- ・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）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）
- ・水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）（水門鉄管技術協会，平成 29 年版）
- ・水理公式集（土木学会，2018 年版）

表 2.4-1 各項目で適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002 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） 	—
評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月） 	・照査項目及び評価方法
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月） ・水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）（水門鉄管技術協会，平成 29 年版） ・水理公式集（土木学会，2018 年版） 	・照査項目及び評価方法
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月） 	・評価項目ごとに算定した幅が，流路縮小工の幅以下であることを確認。

2.5 記号の説明

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の強度評価に用いる記号を表 2.5-1 にそれぞれ示す。

表 2.5-1(1) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
G	固定荷重	N
P	積載荷重	kN/m ²
K _{s d}	余震荷重	N
P _h	浸水津波荷重	kN
P _{h s}	津波荷重（静水圧）	kN
P _{h f}	流水圧	kN
C _D	抗力係数	-
ρ_0	海水の密度	t/m ³
A	流れの方向の物体の投影面積・水路断面積	m ²
U	流路縮小工前面及び背面の最大流速を考慮した場合の流速	m/s
P _{h t}	推力	kN
f	流水の摩擦抵抗係数	-
D	貫通部内径	m
L	貫通部長さ	m
Q	流量	N
v	流路縮小工貫通部の最大流速を考慮した場合の流速	m/s
n	粗度係数（コンクリート）	N
L ₁	覆工部と充填部間でのせん断を想定した場合のせん断に対する安定性から算出する幅	m
L ₁ '	覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合のせん断に対する安定性から算出する幅	m
α	安全率	-
P	作用荷重	kN/m ²
τ_c	コンクリートのせん断強さ	kN/m ²
τ_r	岩盤のせん断強度	kN/m ²
L ₀	付着面の周長	m
L ₀ '	流路縮小工全体の周長	m

表 2.5-1(2) 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
L 2	覆工部と充填部間での滑動を想定した場合滑動に対する安定性から算出する幅	m
L 2'	覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合の滑動に対する安定性から算出する幅	N
N	せん断摩擦安全率	-
C _c	コンクリートの付着力（せん断強度）	kN/m ²
A'	付着面の単位長さ当たりの面積	m ² /m
f _c	コンクリートのせん断抵抗係数	-
N	コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重	kN/m
W	単位長さ当たりの充填部の重量	kN/m
C _r	岩盤の付着力（せん断強度）	kN/m ²
f _r	岩盤のせん断抵抗係数	-
N'	コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重	kN/m
W'	単位長さ当たりの充填部の重量	kN/m
D'	覆工部の直径	m
L 3	曲げに対する安定性から算出する幅	m
a	縮小工半径	mm
σ'	コンクリートの許容曲げ引張応力度	kN/m ²
f' _{ck}	設計基準強度	N/mm ²
P 1	静水圧	kN/m ²
P 2	流水圧	kN
P 3	慣性力	kN/m ³
P 4	動水圧	kN/m ²
P 5	推力	kN
h	充填部下端における水深=h ₁ -h ₂	m
h ₁	設計用津波水位 (O. P.)	m
h ₂	充填部下端位置 (O. P.)	m
D ₁	充填部直径	m
D ₂	流路縮小工全体の直径	m
D ₃	貫通部直径	m
A ₁	充填部の断面積	m ²
A ₂	流路縮小工全体の断面積	m ²
A ₃	充填部貫通部の断面積	m ²

表 2.5-1(3) 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
k_h	設計水平震度	-
γ	充填部の単位体積重量	kN/m^3
ϕ	充填部内部摩擦角	°
ϕ'	岩盤の内部摩擦角	°

3. 強度評価方法

取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2)の強度評価は、「2.3 評価方針」及び「3.2 荷重及び荷重の組合せ」において設定している荷重及び荷重の組合せ、並びに流路縮小工幅を踏まえて実施する。強度評価では、本章に示す方法により、「4. 強度評価」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」より、せん断、滑動及び曲げに対する必要幅が流路縮小工幅以下であることを確認する。

3.1 評価対象断面及び部位

3.1.1 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)は、2 系統 (No. 1, No. 2) が岩盤を介して隣接していること、縦断方向の地質に有意な差がないことから、No. 1 と No. 2 の中央位置 (A-A 断面) を評価対象断面として選定する。

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を図 3.1-1 に示す。評価対象断面の地質図を図 3.1-2 に示す。

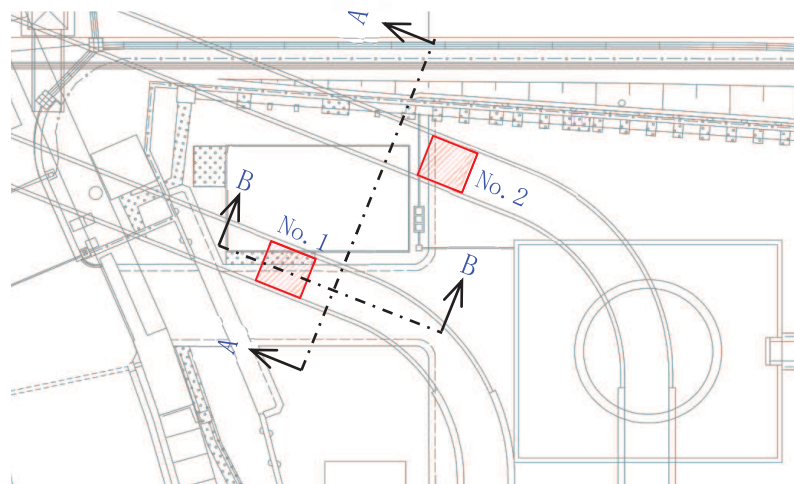


図 3.1-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2)の評価対象断面位置図

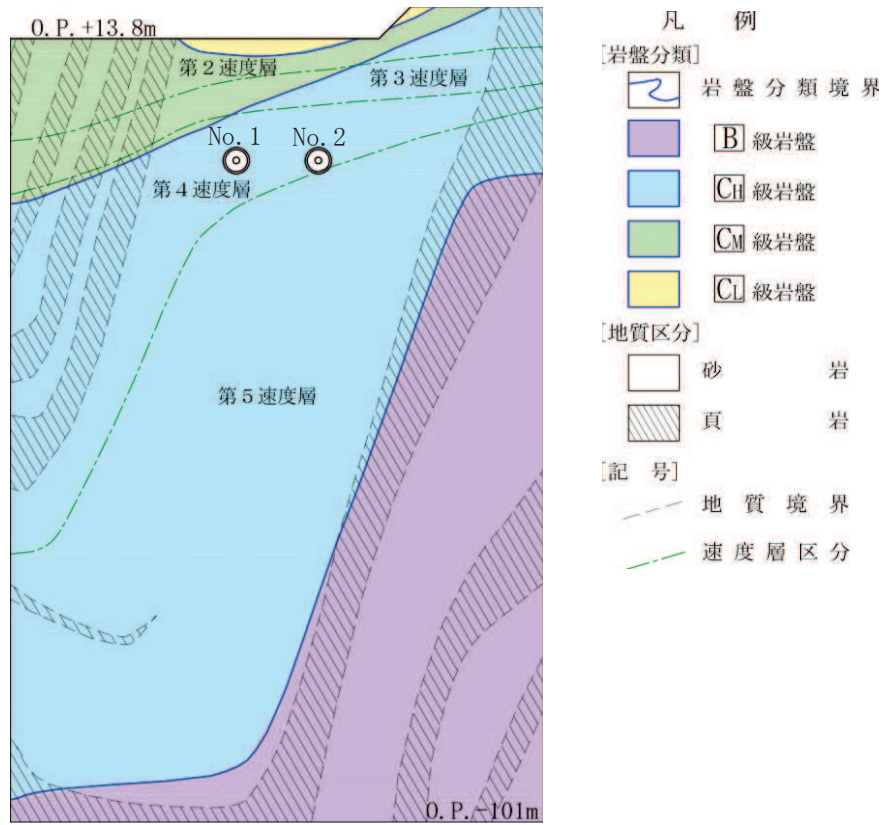


図 3.1-2(1) 取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2) の地質図 (A-A 断面)

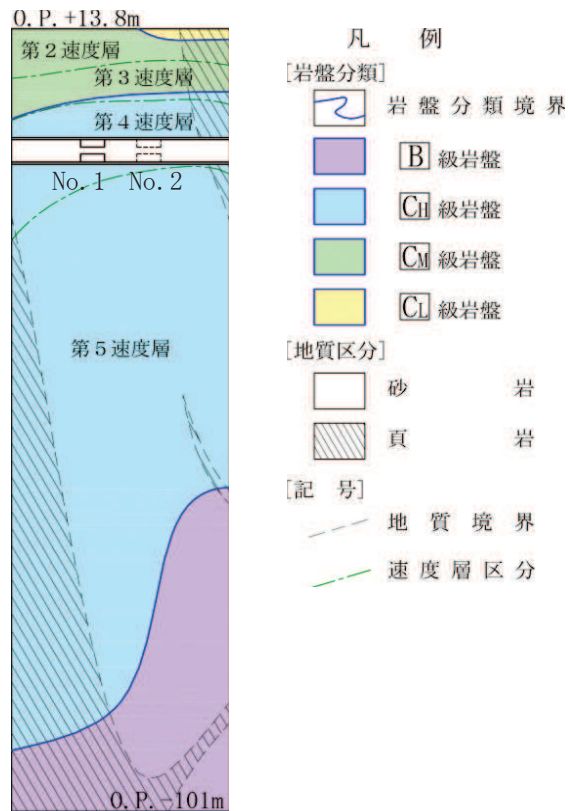


図 3.1-2(2) 取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2) の地質図 (B-B 断面)

3.1.2 評価対象部位

評価対象部位は、構造部材の安定性が要求される流路縮小工とする。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2.1 荷重

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の強度評価において、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(kN/m²)を考慮する。

(3) 余震荷重 (K s d)

余震荷重は、弾性設計用地震動 S d - D 2 による慣性力及び動水圧を考慮する。

動水圧については、Westergaard の式により設定する。

(4) 浸水津波荷重 (P h)

a. 津波荷重 (静水圧) (P h s)

津波荷重については、設計用津波水位（入力津波による浸水高さ (0.P. +24.4m) に +0.5m の余裕を考慮した水位）に基づく静水圧を考慮する。

b. 流水圧 (P h f)

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」に基づき以下の式により算定する。

$$P h f = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho_0 \times A \times U^2$$

ここに、P h f : 流水圧 (kN)

C_D : 抗力係数 = 2.01 (保守的に最大値とする)

ρ₀ : 水の密度 = 1.03 (t/m³)

A : 流れの方向の物体の投影面積 (m²)

U : 流速 (m/s) *流路縮小工前面及び背面の最大流速 (2.69m/s) に余裕を考慮し (10m/s) 設定した。詳細は

1.4 管路解析モデルについて (参考 2) に示す。

c. 推力 (P h t)

推力は「水門鉄管技術基準 (水圧鉄管・鉄鋼構造物編) (水門鉄管技術協会, 平成 29 年版)」に基づき以下の式により算定する。

$$P h t = \frac{2 f Q^2}{g \pi D^3} \times L$$

ここに, P h t : 流水の摩擦による推力 (kN)

f : 流水の摩擦抵抗係数 (tf/m³)

$$f = 8 g n^2 / \left(\frac{D}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$$

D : 貫通部内径 (m)

L : 貫通部長さ (m)

Q : 流量 = v × A (m³/s)

A : 貫通部内断面積 (m²)

v : 貫通部内流速 (m/s) *流路縮小工貫通部の最大流速 (13.03m/s) に余裕を考慮し (20m/s) 設定した。詳細は 1.4 管路解析モデルについて (参考 2) に示す。

n : 粗度係数 (コンクリート) 0.015 (m^{-1/3}s)

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.2-1 に、荷重の作用図を図 3.2-1 に示す。

表 3.2-1(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
重畳時	G + P + K _{s d} + P _h

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (4.9kN/m² を地表面に考慮)

K_{s d} : 余震荷重

P_h : 浸水津波荷重

表 3.2-1(2) 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法
永久荷重	固定荷重	躯体自重	○ ・ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	— ・ 対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	— ・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。
		積載荷重	○ ・ 地表面に 4.9(kN/m ²) を考慮する。
	静止土圧	— ・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。	
	外水圧	— ・ つり合っているため考慮しない	
	内水圧	— ・ つり合っているため考慮しない	
	積雪荷重	— ・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。	
	風荷重	— ・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。	
余震荷重	水平地震動	○ ・ 弾性設計用地震動 S _d - D ₂ による躯体の慣性力を考慮する。	
	鉛直地震動	— ・ 主たる荷重が水平方向荷重のため考慮しない。	
	動水圧	○ ・ 設計用津波水位での動水圧を考慮する。	
浸水津波荷重	津波荷重	○ ・ 設計用津波水位からの静水圧として考慮する。	
	流水圧	○ ・ 津波流速により充填部の前面に作用する荷重を考慮する。	
	推力	○ ・ 津波流速により充填部の内部に作用する荷重を考慮する。	

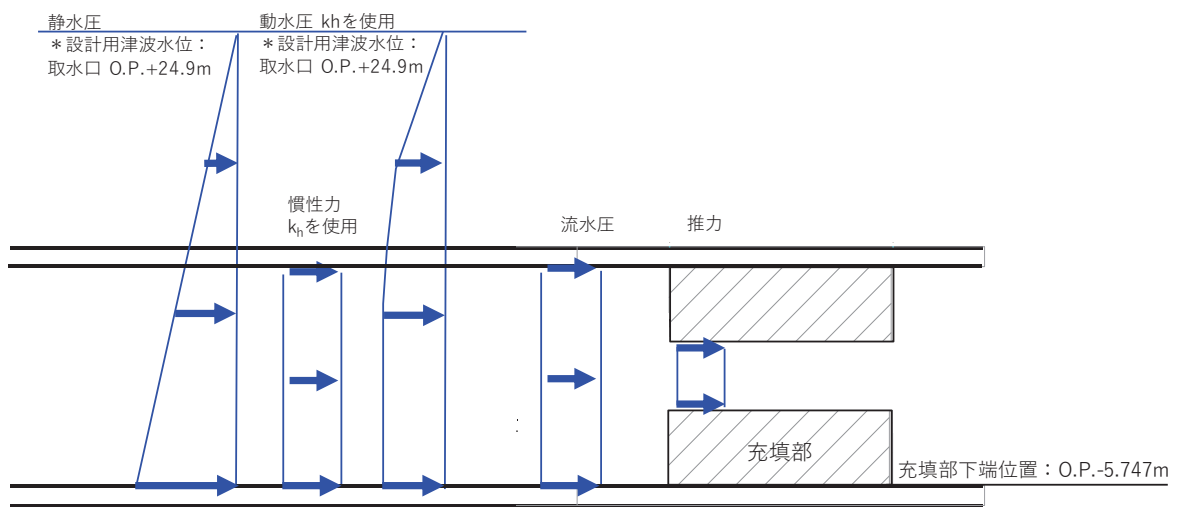


図 3.2-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の荷重作用図

3.3 評価方法

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき実施する。
 なお、強度評価は「2.3 評価方針」に示すとおり、「重畳時」について実施する。

3.3.1 解析方法

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の強度評価は、「土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成15年4月）」に基づき、評価を行う。

「3.2.2 荷重の組合せ」に基づく荷重を用いて、打設面のせん断強さからの必要閉塞長さ（L1）、滑動に対する必要閉塞長さ（L2）、周辺が固定の円板としての必要閉塞長さ（L3）をそれぞれ算定し、これらのすべて満足する必要幅を算定して評価する。

なお、余震荷重算定に用いる設計水平震度は、一次元地震応答解析により算定する。

一次元地震応答解析は、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。

3.3.2 設計水平震度の算定

(1) 地盤物性及び材料物性のばらつき

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。

また、地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表3.3-1に示す解析ケースを設定する。

表 3.3-1 強度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 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ

(2) 一次元地震応答解析

一次元地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1(2) 動的地震力」及び添付書類「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。

設計水平震度の設定に用いる地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を一次元重複反射理論により流路縮小工の中心位置で評価したものをを用いる。なお、設計水平震度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。

なお、取放水路流路縮小工（第1号機取水路）はNo.1及びNo.2の2系統であるため、それぞれの位置で一次元地震応答解析を実施する。

一次元地震応答解析の概念図を図 3.3-1 に、設計水平震度の設定に用いる弾性設計用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 3.3-2 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。

①引戻し解析

引戻し地盤モデル（解放基盤モデル）を用いて、水平方向地震動を引戻し地盤モデル底面位置まで引戻す。

②水平方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（水平方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで水平方向地震動を引上げる。

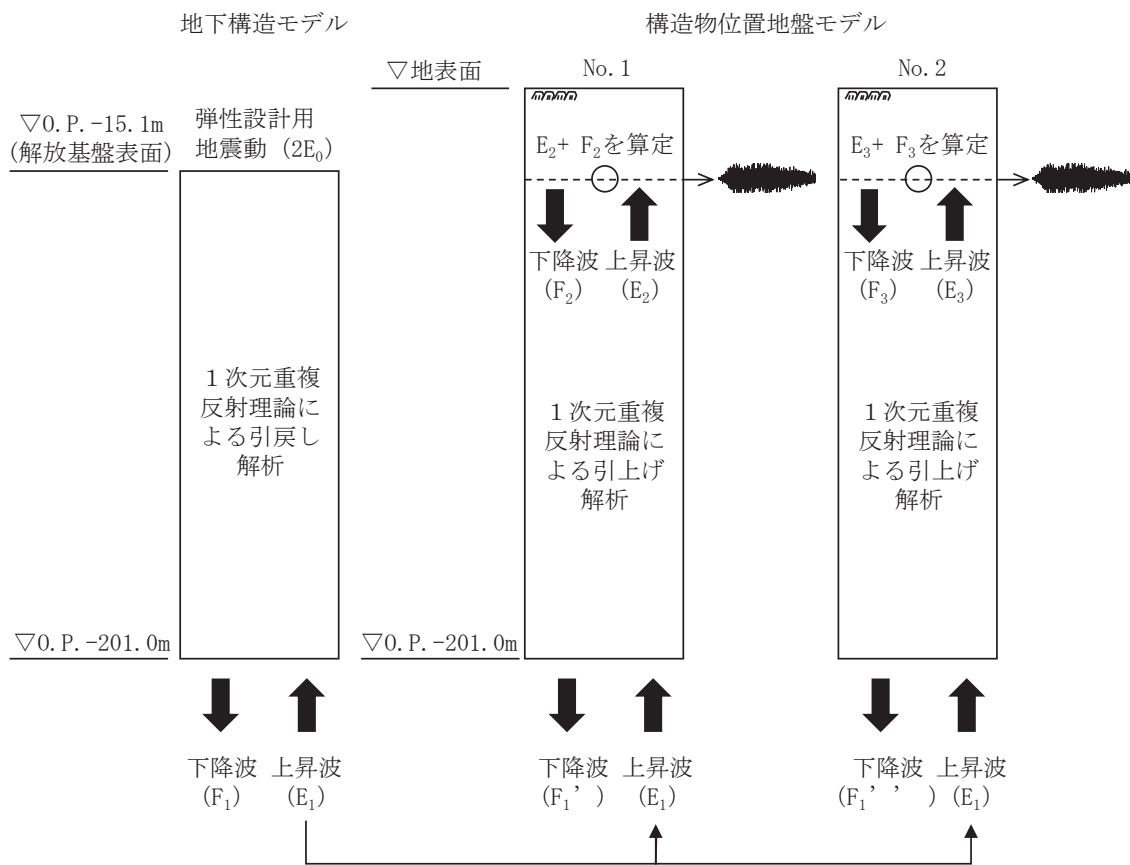
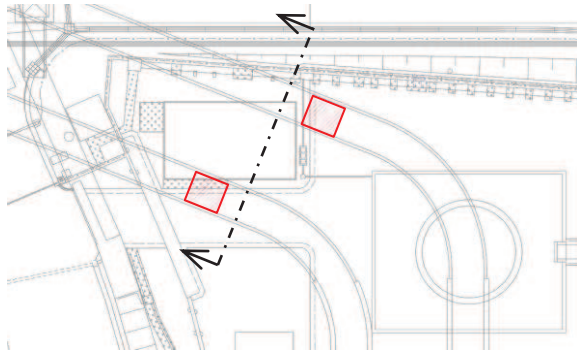
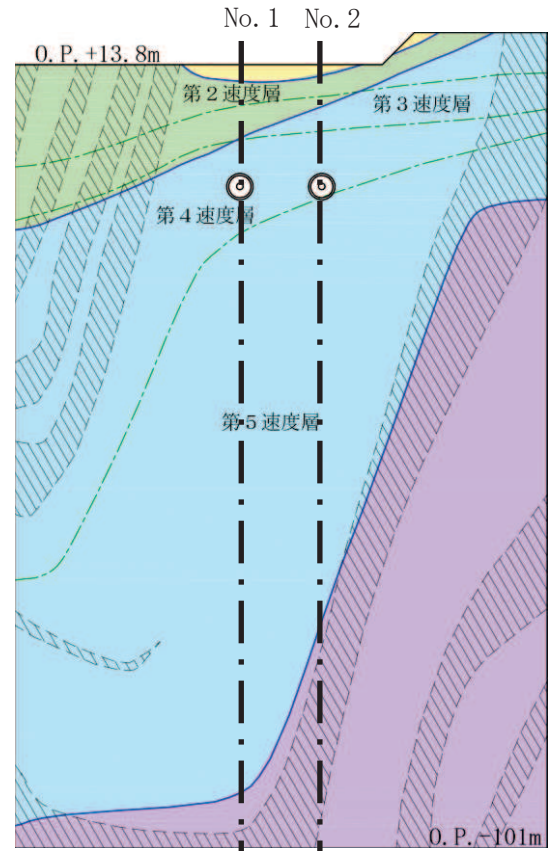


図 3. 3-1(1) 一次元地震応答解析の概念図

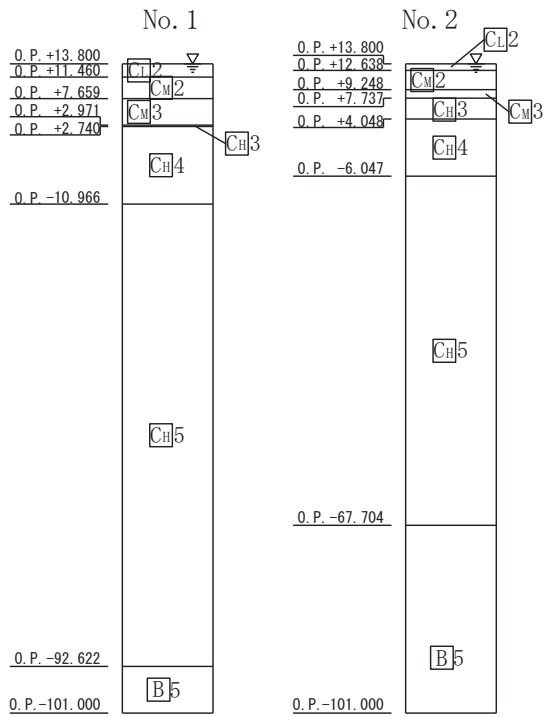
入力地震動算定位置



解析地盤モデル位置図

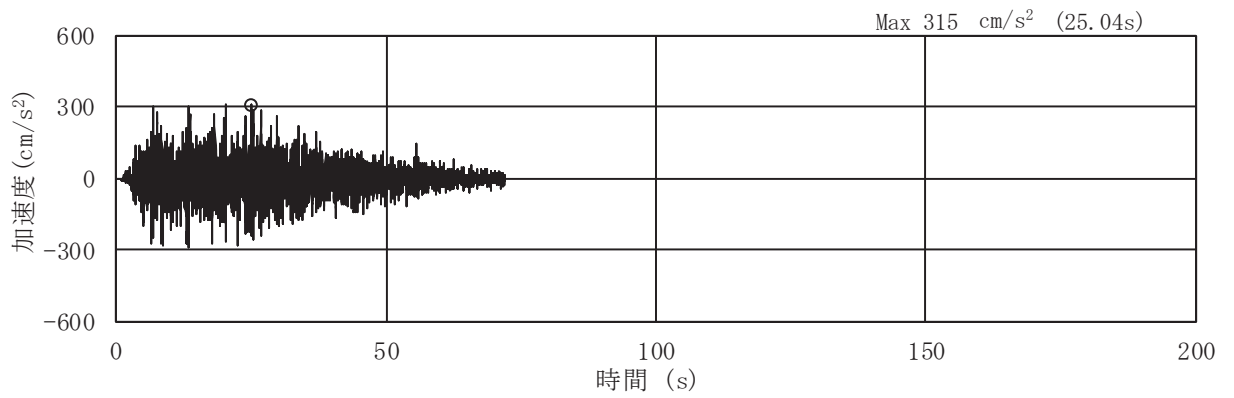


解析地盤モデル（地質図）

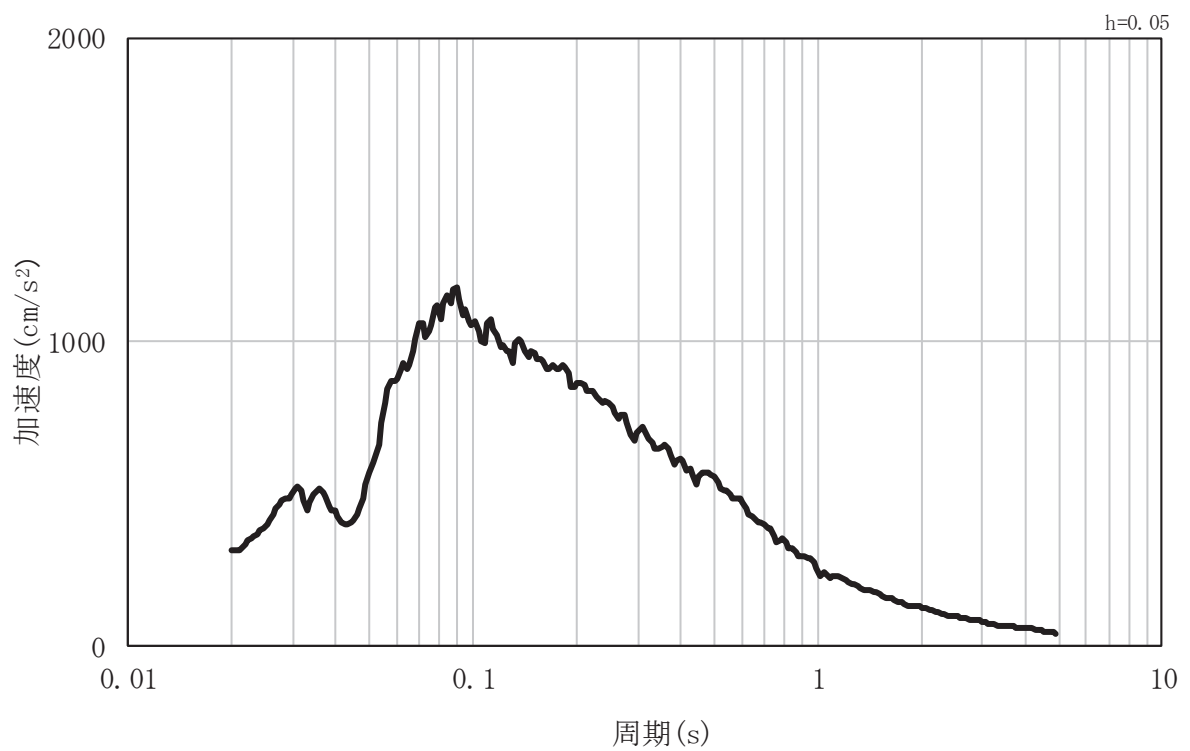


注) CH5 は CH 級岩盤の
第 5 速度層を示す。

図 3.3-1(2) 入力地震動算定の概念図（引上げ地盤モデル）

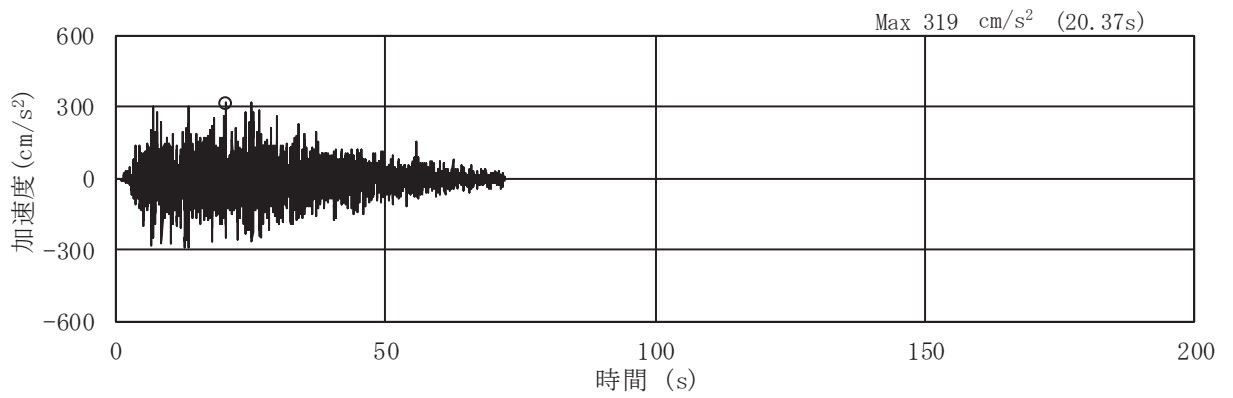


(a) 加速度時刻歴波形

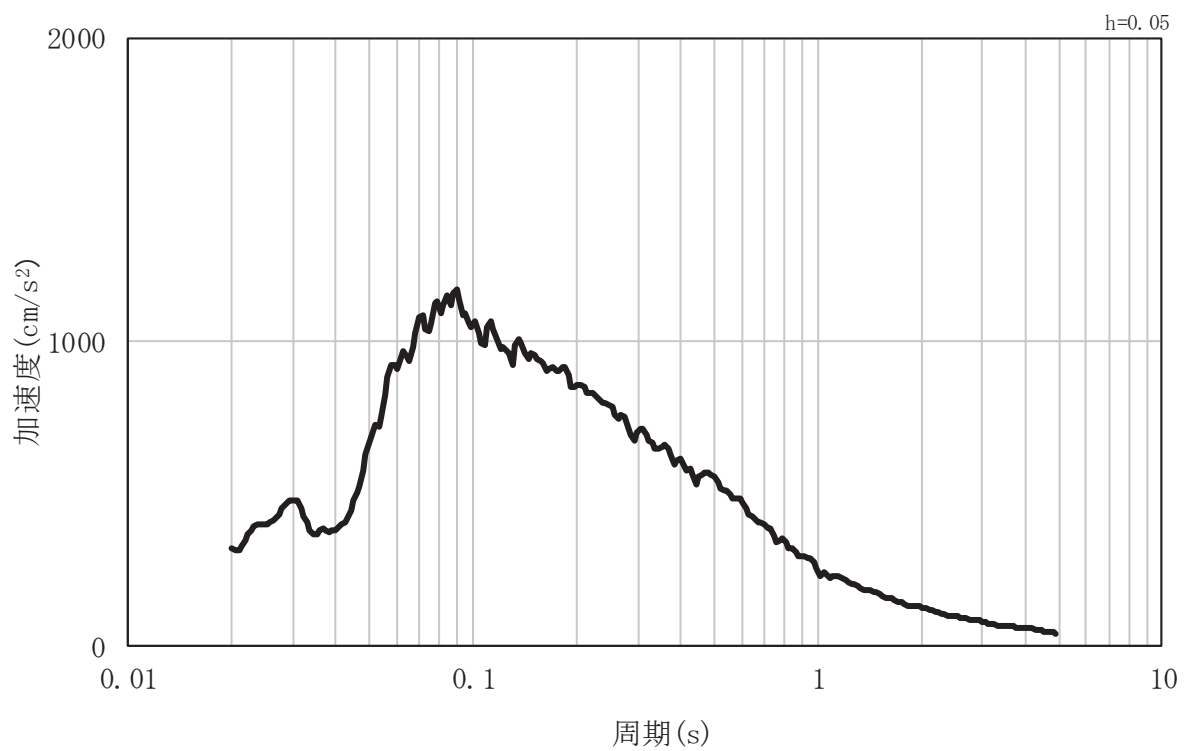


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2(1) 設計水平震度の設定に用いる地震動の
 加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル (No. 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2(2) 設計水平震度の設定に用いる地震動の
加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル (No. 2)

(4) 設計水平震度の算定

一次元地震応答解析結果から流路縮小工の中心位置での最大加速度を表 3.3-2 に示す。
取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 2) のケース②が最も加速度が大きいため、この加速度を重力加速度で除して設計水平震度とする。

$$\text{設計水平震度 (k h)} = 336(\text{cm/s}^2) / 980.665(\text{cm/s}^2) = 0.343$$

表 3.3-2 一次元地震応答解析結果

解析ケース		①	②	③
		基本ケース	地盤剛性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤剛性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
No. 1	最大加速度 (cm/s ²)	315	335	316
No. 2	最大加速度 (cm/s ²)	319	<u>336</u>	316

3.3.3 評価方法

強度評価は、「土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月）」に基づき，以下の 3 項目について算定した幅が「2.3 評価方針」で設定した流路縮小工幅以下であることを確認する。なお，せん断に対する安定性から算出する幅及び滑動に対する安定性から算出する幅の算定にあたっては，覆工部と充填部間でのせん断を想定した場合 L 1 (L 2) と，覆工部と周辺岩盤間のせん断を想定した場合 L 1' (L 2') の 2 ケースで算定する。

(1) せん断に対する安定性から算出する幅

a. 覆工部と充填部間でのせん断を想定した場合 (L 1) (図 3.3-3)

$$L 1 = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_c \cdot L_0}$$

ここに，L 1 : せん断に対する安定性から算出する幅 (m)

α : 安全率 = 4

P : 作用荷重 (kN/m²)

A : 水路断面積 (m²)

τ_c : コンクリートのせん断強さ (kN/m²)

L₀ : 付着面の周長 (m)

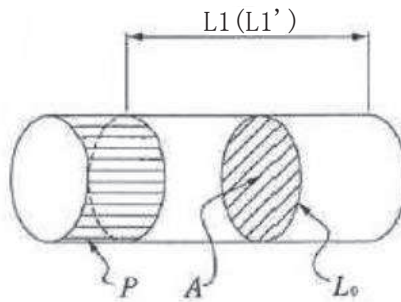


図 3.3-3 覆工部または充填部のせん断強さ

- b. 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L 1') (図 3.3-3)

$$L 1' = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_r \cdot L_0}$$

ここに, L 1' : せん断に対する安定性から算出する幅 (m)

α : 安全率 = 4

P : 作用荷重 (kN/m²)

A : 水路断面積 (m²)

τ_r : 岩盤のせん断強さ (kN/m²)

L₀ : 付着面の周長 (m)

- (2) 滑動に対する安定性から算出する幅

- a. 覆工部と充填部間での滑動を想定した場合 (L 2) (図 3.3-4)

$$L 2 = n \frac{P \cdot A}{C_c A + f_c N}$$

ここに, L 2 : 滑動に対する安定性から算出する幅 (m)

n : せん断摩擦安全率 = 4

P : 作用荷重 (kN/m²)

A : 水路断面積 (m²)

C_c : コンクリートの付着力 (kN/m²) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積 (m²/m)

f_c : コンクリートのせん断抵抗係数 (= tan φ)

N : コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重 (kN/m)

$$N = \pi W / (2D)$$

W : 単位長さ当たりの充填部の重量 (kN/m)

D : 充填部の直径 (m)

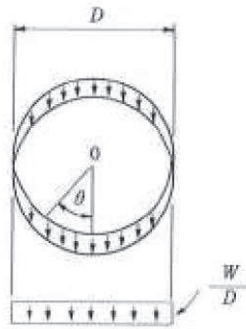


図 3.3-4 覆工部または充填部の周辺の全抵抗力

b. 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L 2') (図 3.3-4)

$$L 2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A + f_r N'}$$

ここに, L 2' : 滑動に対する安定性から算出する幅 (m)

n : せん断摩擦安全率 = 4

P : 作用荷重 (kN/m²)

A : 水路断面積 (m²)

C_r : 岩盤の付着力 (kN/m²) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積 (m²/m)

f_r : 岩盤のせん断抵抗係数 (= tan φ)

N' : コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重 (kN/m)

$$N' = \pi W' / (2D')$$

W' : 単位長さ当たりの充填部の重量 (kN/m)

D' : 覆工部の直径 (m)

(3) 曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3) (図 3.3-5)

$$L 3 = \alpha \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{\frac{3P}{\sigma'}}$$

ここに, L 3 : 曲げに対する安定性から算出する幅 (m)

α : 安全率 = 1.5

a : 縮小工半径 (m)

P : 作用荷重 (kN/m²)

σ' : コンクリートの許容曲げ引張応力度 (kN/m²)

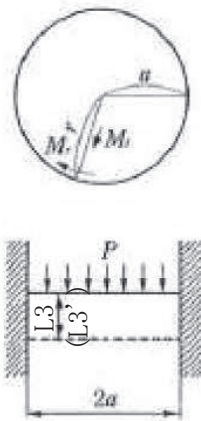


図 3.3-5 充填部を周辺固定円盤と仮定した場合の必要閉塞長

3.3.4 使用材料及び材料の物性値

強度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 3.3-3 に、材料の物性値を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-3 構造物の使用材料

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 3.3-4 材料の物性値

分類	せん断強度 (τ_0, C)	内部摩擦角 (ϕ)	許容曲げ引張応力度 (σ')
岩盤 (C _H 級)	1.72N/mm^2 *1	43° *1	—
覆工部	4.10N/mm^2 *2	0° *3	0.28N/mm^2 *4
充填部	10.0N/mm^2 *2	0° *3	0.43N/mm^2 *4

注記 *1：解析用物性値（狐崎部層の C_H級岩盤の値を採用）

*2：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）に基づき設定

*3：保守的に考慮しないこととする

*4：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

4. 強度評価

4.1 荷重算出

浸水津波荷重として静水圧、流水圧及び推力を、余震荷重として慣性力及び動水圧を算出する。

4.1.1 浸水津波荷重の算出

静水圧 P 1 の算出

$$P 1 = \rho_0 g h = 1.03 \times 9.80665 \times (24.9 - (-5.747)) = 309.6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに、 ρ_0 : 海水の密度 = 1.03 (t/m³)

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

h : 充填部下端における水深 = $h_1 - h_2$ (m)

h_1 : 設計用津波水位 (O.P.) = 24.9 (m)

h_2 : 充填部下端位置 (O.P.) = -5.747 (m)

流水圧 P 2 の算出

流水圧は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」に基づき算定する。

$$P 2 = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho_0 \times A_1 \times U^2 = \frac{1}{2} \times 2.01 \times 1.03 \times \square \times 10^2 = \square$$

ここに、 C_d : 抗力係数 = 2.01（保守的に最大値とする）

ρ_0 : 海水の密度 = 1.03 (t/m³)

$$A_1 : \text{充填部の断面積 (m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \square = \square$$

D_1 : 充填部直径 = \square

U : 流速 = 10 (m/s)

（流路縮小工前面及び背面の最大流速を考慮して設定）

推力 P 5 の算出

推力は、「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）（水門鉄管技術協会，平成 29 年版）」に基づき算定する。なお，推力算定に用いる流水の摩擦抵抗係数（ f ）は、「水理公式集（土木学会，2018 年版）」に基づき算定する。

$$P 5 = \frac{2 f Q^2}{g \pi D_3} \times L = \frac{2 \times 8 g n^2 / \left(\frac{D_3}{4} \right)^{\frac{1}{3}} \times (v \times A_3)^2}{g \pi D_3} \times L$$

$$= \frac{2 \times 8 \times 9.80665 \times 0.015^2 / \square \times (20 \times \square)^2}{9.80665 \times \pi \square} \times 3.50 = \square$$

ここに、 f : 流水の摩擦抵抗係数 (t f / m³)

$$f = 8 g n^2 / \left(\frac{D_3}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$$

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

n : 充填部の粗度係数 = 0.015 (m^{-1/3}s)

D_3 : 貫通部直径 = \square

Q : 流量 = $v \times A_3$ (m³/s)

v : 流速 = 20 (m/s)

(流路縮小工貫通部の最大流速を考慮して設定)

$$A_3 : \text{充填部貫通部の断面積 (m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_3^2}{4} = \square$$

4.1.2 余震荷重の算出

慣性力 P 3 の算出

$$P_3 = k_h W = k_h \times \gamma \times A_1 \times L = 0.343 \times 23.0 \times \square \times 3.5 = \square$$

ここに、 k_h : 設計水平震度

γ : 充填部の単位体積重量 = 23.0 (kN/m³)

$$A_1 : \text{充填部の断面積 (m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \square$$

L : 充填部幅 = 3.5 (m)

D_1 : 充填部直径 = \square

動水圧 P 4 の算出

$$P_4 = \frac{7}{8} \times k_h \times \rho_0 \times g \times \sqrt{h^2} = \frac{7}{8} \times 0.343 \times 1.03 \times 9.80665 \sqrt{\{24.9 - (-5.747)\}^2}$$

$$= 93.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに、 k_h : 設計水平震度

ρ_0 : 海水の密度 = 1.03 (t/m³)

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

h : 充填部下端における水深 = $h_1 - h_2$ (m)

h_1 : 設計用津波水位 (O. P.) = 24.9 (m)

h_2 : 充填部下端位置 (O. P.) = -5.757 (m)

4.2 強度評価

4.2.1 せん断に対する安定性から算出する幅

(1) 充填部と覆工部でのせん断を想定した場合 (L1)

$$L1 = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_c \cdot L_0} = \alpha \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{\tau_c \cdot L_0}$$

$$= 4 \times \frac{(309.6 \times \boxed{} + 93.0 \times \boxed{})}{4100 \times \boxed{}} = \boxed{}$$

ここに、 α : 安全率=4

$$A_1 : \text{充填部の断面積(m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{}$$

$$\tau_c : \text{充填部せん断強度} = 4100 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$L_0 : \text{充填部周長} = \pi \times D_1 = \pi \times \boxed{}$$

(2) 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L1')

$$L1' = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_r \cdot L_0'} = \alpha \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{\tau_r \cdot L_0'}$$

$$= 4 \times \frac{(309.6 \times \boxed{} + 93.0 \times \boxed{})}{1720 \times \boxed{}} = \boxed{}$$

ここに、 α : 安全率=4

$$A_1 : \text{充填部の断面積(m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{}$$

$$\tau_r : \text{岩盤のせん断強度} = 1720 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$L_0' : \text{流路縮小工全体の周長} = \pi \times D_2 = \pi \times \boxed{}$$

$$D_2 : \text{流路縮小工全体の直径} = \boxed{}$$

4.2.2 滑動に対する安定性から算出する幅

(1) 充填部と覆工部間での滑動を想定した場合 (L2)

$$L2 = n \frac{P \cdot A}{C_c A + f_c N} = n \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{C_c \times \pi \times D_1 + \tan \phi \times (\pi \times \frac{\gamma \times A_1}{D_1})}$$

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

$$=4 \times \frac{(309.6 \times \boxed{} + 93.0 \times \boxed{})}{4100 \times \pi \times \boxed{} + 0 \times (\pi \times \boxed{})} = \boxed{}$$

ここに、n：安全率=4

C_c ：充填部の付着力=4100(kN/m²)

D_1 ：充填部直径=

ϕ ：充填部内部摩擦角=0(°)

γ ：充填部の単位体積重量=23.0(kN/m³)

A_1 ：充填部の断面積(m²)= $\frac{\pi \times D_1^2}{4} =$

(2) 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L 2')

$$L 2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A + f_r N} = n \frac{(P 1 \times A_1 + P 2 + P 3 + P 4 \times A_1 + P 5)}{C_r \times \pi \times D_2 + \tan \phi \times (\pi \times \frac{\gamma \times A_2}{D_2})}$$

$$=4 \times \frac{(309.6 \times \boxed{} + 93.0 \times \boxed{})}{1720 \times \pi \times \boxed{} + 0.93 \times (\pi \times \boxed{})} = \boxed{}$$

ここに、n：安全率=4

C_r ：岩盤の付着力=1720(kN/m²)

D_2 ：流路縮小工全体直径=

ϕ' ：岩盤の内部摩擦角=43(°)

γ ：充填部の単位体積重量=23.0(kN/m³)

A_2 ：流路縮小工全体の断面積(m²)= $\frac{\pi \times D_2^2}{4} =$

4.2.3 曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)

$$L 3 = \alpha \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{\frac{3P}{\sigma}} = \alpha \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{\frac{3 \times \left(P 1 + \frac{P 2}{A_1} + \frac{P 3}{A_1} + P 4 + \frac{P 5}{A_3} \right)}{\sigma}}$$

$$=1.5 \times \left(\frac{\boxed{}}{2} \right) \times \sqrt{\frac{3 \times (309.6 + \boxed{} + 93.0 + \boxed{})}{430}} = \boxed{}$$

ここに、 α ：安全率=1.5 (保守的に 1.5 とする)

a ： $\frac{D_1}{2} = \frac{\boxed{}}{2} =$

D_1 : 充填部直径 =

σ_c : コンクリートの許容曲げ引張応力度 = 430 (kN/m²)

A_3 : 充填部貫通部の断面積 (m²) = $\frac{\pi \times D_3^2}{4}$ =

D_3 : 貫通部直径 =

4.3 解析ケースごとの強度評価結果

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）のNo.1の解析ケースごとの強度評価結果を表4.3-1に、No.2の解析ケースごとの強度評価結果を表4.3-2に示す。

表4.3-1(1) No.1 解析ケース① 照査結果

項目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定した 場合 (L 1)	0.43	3.50	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	0.87	3.50	0.25
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.43	3.50	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	0.86	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	2.42	3.50	0.70

表4.3-1(2) No.1 解析ケース② 照査結果

項目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定し た場合 (L 1)	0.44	3.50	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	0.88	3.50	0.26
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.44	3.50	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	0.87	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	2.44	3.50	0.70

表 4.3-1(3) No.1 解析ケース③ 照査結果

項 目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定した 場合 (L 1)	0.43	3.50	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	0.87	3.50	0.25
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.43	3.50	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	0.86	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	2.42	3.50	0.70

表 4.3-2(1) No.2 解析ケース① 照査結果

項 目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定し た場合 (L 1)	0.43	3.50	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	0.87	3.50	0.25
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.43	3.50	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	0.86	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	2.42	3.50	0.70

表 4.3-2(2) No.2 解析ケース② 照査結果

項 目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定した 場合 (L 1)	0.44	3.50	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	0.88	3.50	0.26
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.44	3.50	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	0.87	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	2.44	3.50	0.70

表 4.3-2(3) No.2 解析ケース③ 照査結果

項 目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定し た場合 (L 1)	0.43	3.50	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	0.87	3.50	0.25
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.43	3.50	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	0.86	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	2.42	3.50	0.70

5. 強度評価結果

算出した必要幅が、流路縮小工幅以下であることを確認した。

照査結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 照査結果

項 目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定した 場合 (L 1)	0.44	3.50	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	0.88	3.50	0.26
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.44	3.50	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	0.87	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	2.44	3.50	0.70

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.2 取放水路流路縮小工の設計に関する補足説明
- 6.2.4 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度計算書に関する補足説明

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
2.5 記号の説明	7
3. 強度評価方法	10
3.1 評価対象断面及び部位	10
3.2 荷重及び荷重の組合せ	11
3.3 評価方法	15
4. 強度評価	26
4.1 荷重算出	26
4.2 強度評価	28
4.2 解析ケースごとの強度評価結果	31
5. 強度評価結果	33

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度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）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重及び余震荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持することを確認するものである。

なお、取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の強度評価においては、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2.1-1に示す。

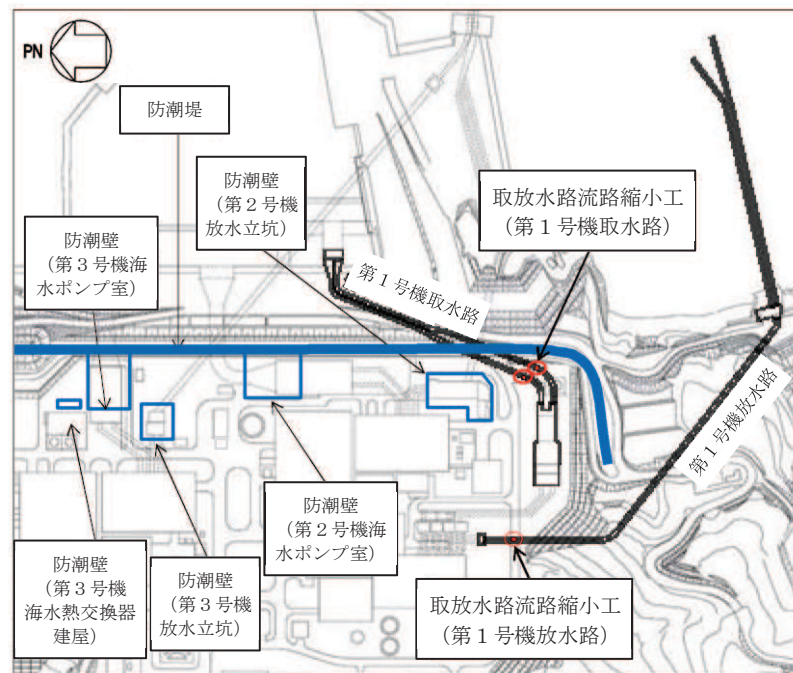



図 2.1-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の位置図（全体平面図）

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2.2-1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。

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。

なお、本強度計算書では、充填部のB-B断面の幅を流路縮小工の幅とする。

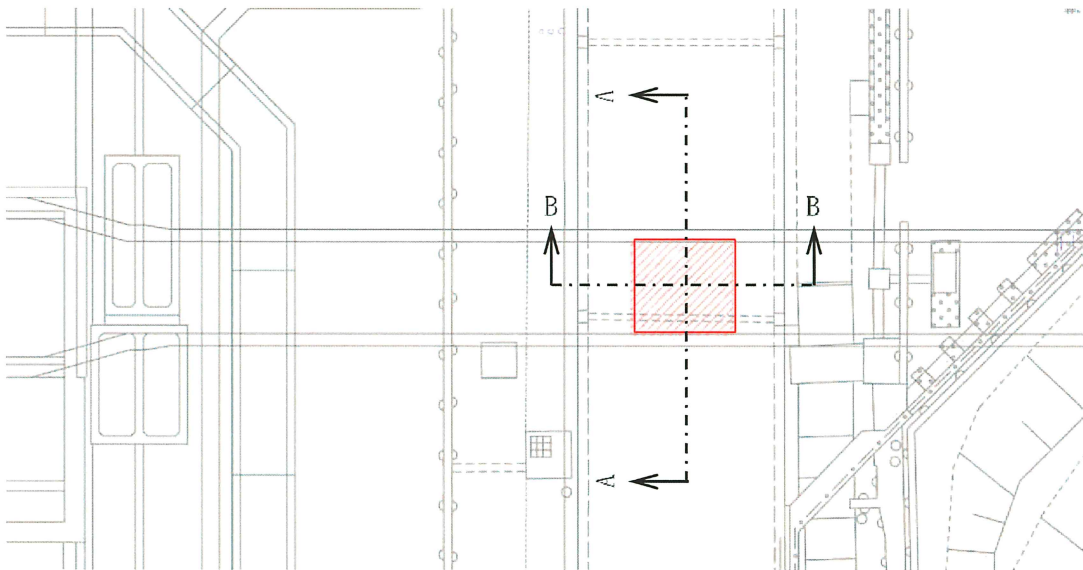


図 2.2-1(1) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 平面図

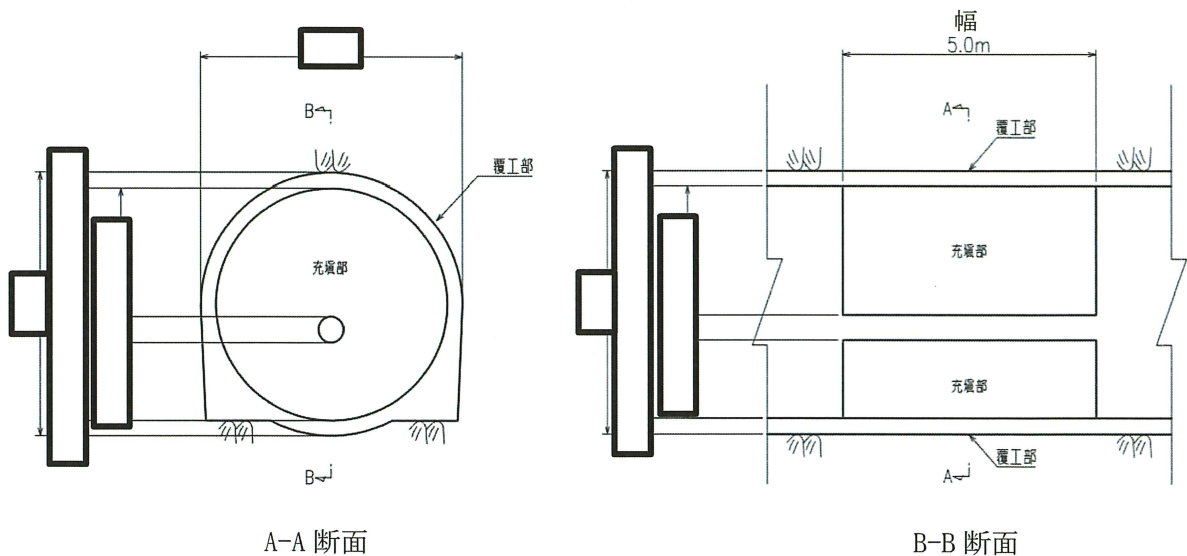


図 2.2-1(2) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 断面図

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）の強度評価においては、添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて、強度計算を実施する。なお、強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）について行う。ただし、「重畳時」の津波荷重は「津波時」の津波荷重を用いていることから、「重畳時」が保守的な評価となることは明白であるため、「津波時」の検討は省略する。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価は、縦断方向に作用する津波荷重及び余震荷重について、表2.3-1に示すとおり、せん断、滑動及び曲げに対する必要幅（必要閉塞長）が流路縮小工の幅以下であることを確認することにより、安定性を損なわないことを評価する。

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価フローを図2.3-1に示す。

表 2.3-1 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	流路縮小工の幅
安定性を損なわないこと	構造部材の安定性	流路縮小工	せん断、滑動及び曲げに対する必要幅が流路縮小工幅以下であることを確認	5.0m

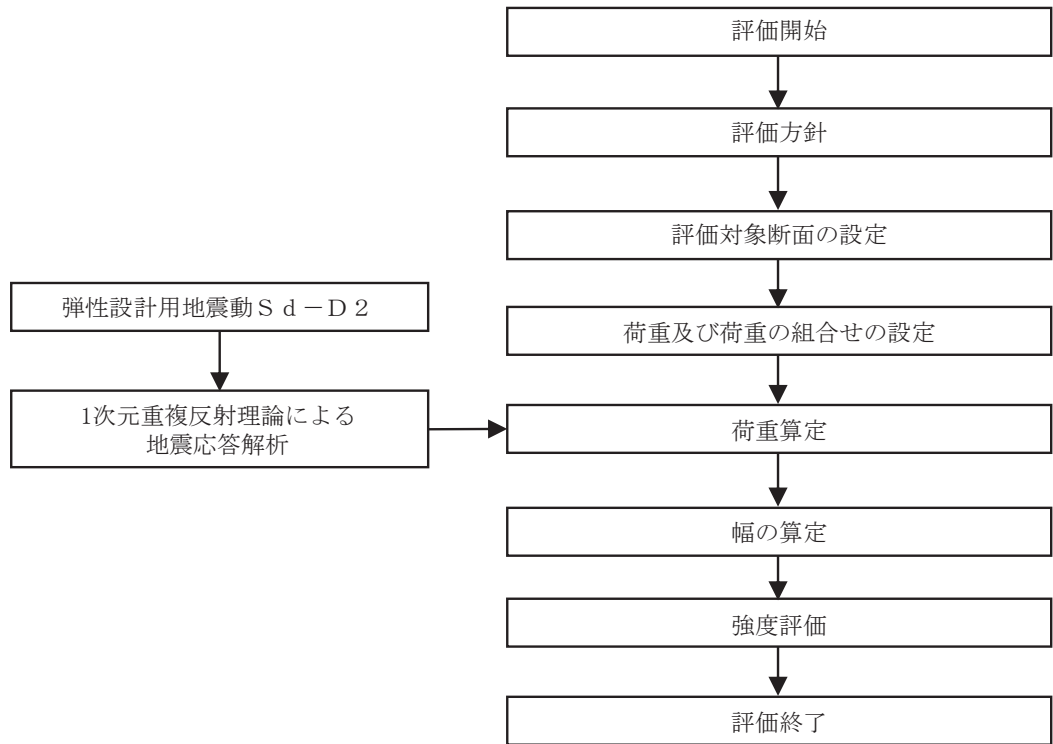


図 2.3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。また，各項目で適用する規格，基準類を表 2.4-1 に示す。

- ・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月）
- ・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）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）
- ・水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）（水門鉄管技術協会，平成 29 年版）
- ・水理公式集（土木学会，2018 年版）

表 2.4-1 各項目で適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（2002 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） 	—
評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月） 	・照査項目及び評価方法
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月） ・水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）（水門鉄管技術協会，平成 29 年版） ・水理公式集（土木学会，2018 年版） 	・照査項目及び評価方法
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月） 	・評価項目ごとに算定した幅が，流路縮小工の幅以下であることを確認。

2.5 記号の説明

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価に用いる記号を表2.5-1にそれぞれ示す。

表2.5-1(1) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
G	固定荷重	N
P	積載荷重	kN/m ²
K _{s d}	余震荷重	N
P _h	浸水津波荷重	kN
P _{h s}	津波荷重（静水圧）	kN
P _{h f}	流水圧	kN
C _D	抗力係数	-
ρ_0	海水の密度	t/m ³
A	流れの方向の物体の投影面積・水路断面積	m ²
U	流路縮小工前面及び背面の最大流速を考慮した場合の流速	m/s
P _{h t}	推力	kN
f	流水の摩擦抵抗係数	-
D	貫通部内径	m
L	貫通部長さ	m
Q	流量	N
V	流路縮小工貫通部の最大流速を考慮した場合の流速	m/s
n	粗度係数（コンクリート）	N
L ₁	覆工部と充填部間でのせん断を想定した場合のせん断に対する安定性から算出する幅	m
L ₁ '	覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合のせん断に対する安定性から算出する幅	m
α	安全率	-
P	作用荷重	kN/m ²
τ_c	コンクリートのせん断強さ	kN/m ²
τ_r	岩盤のせん断強度	kN/m ²
L ₀	付着面の周長	m
L ₀ '	流路縮小工全体の周長	

表 2.5-1(2) 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
L 2	覆工部と充填部間での滑動を想定した場合滑動に対する安定性から算出する幅	m
L 2'	覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合の滑動に対する安定性から算出する幅	N
n	せん断摩擦安全率	-
C _c	コンクリートの付着力（せん断強度）	kN/m ²
A'	付着面の単位長さ当たりの面積	m ² /m
f _c	コンクリートのせん断抵抗係数	-
N	コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重	kN/m
W	単位長さ当たりの充填部の重量	kN/m
C _r	岩盤の付着力（せん断強度）	kN/m ²
f _r	岩盤のせん断抵抗係数	-
N'	コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重	kN/m
W'	単位長さ当たりの充填部の重量	kN/m
D'	覆工部の直径	m
L 3	曲げに対する安定性から算出する幅	m
a	縮小工半径	mm
σ'	コンクリートの許容曲げ引張応力度	kN/m ²
f' c k	設計基準強度	N/mm ²
P 1	静水圧	kN/m ²
P 2	流水圧	kN
P 3	慣性力	kN/m ³
P 4	動水圧	kN/m ²
P 5	推力	kN
h	充填部下端における水深 = $h_1 - h_2$	m
h ₁	設計用津波水位 (O. P.)	m
h ₂	充填部下端位置 (O. P.)	m
D ₁	充填部直径	m
D ₂	流路縮小工全体の直径	m
D ₃	貫通部直径	m
A ₁	充填部の断面積	m ²
A ₂	流路縮小工全体の断面積	m ²
A ₃	充填部貫通部の断面積	m ²

表 2.5-1(3) 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
k_h	設計水平震度	-
γ	充填部の単位体積重量	kN/m ³
ϕ	充填部内部摩擦角	°
ϕ'	岩盤の内部摩擦角	°

3. 強度評価方法

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価は、「2.3 評価方針」及び「3.2 荷重及び荷重の組合せ」において設定している荷重及び荷重の組合せ，並びに流路縮小工幅を踏まえて実施する。強度評価では，本章に示す方法により，「4. 強度評価」に示す評価条件を用いて評価し，「5. 強度評価結果」より，せん断，滑動及び曲げに対する必要幅が流路縮小工幅以下であることを確認する。

3.1 評価対象断面及び部位

3.1.1 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図を図3.1-1に示す。評価対象断面の地質図を図3.1-2に示す。

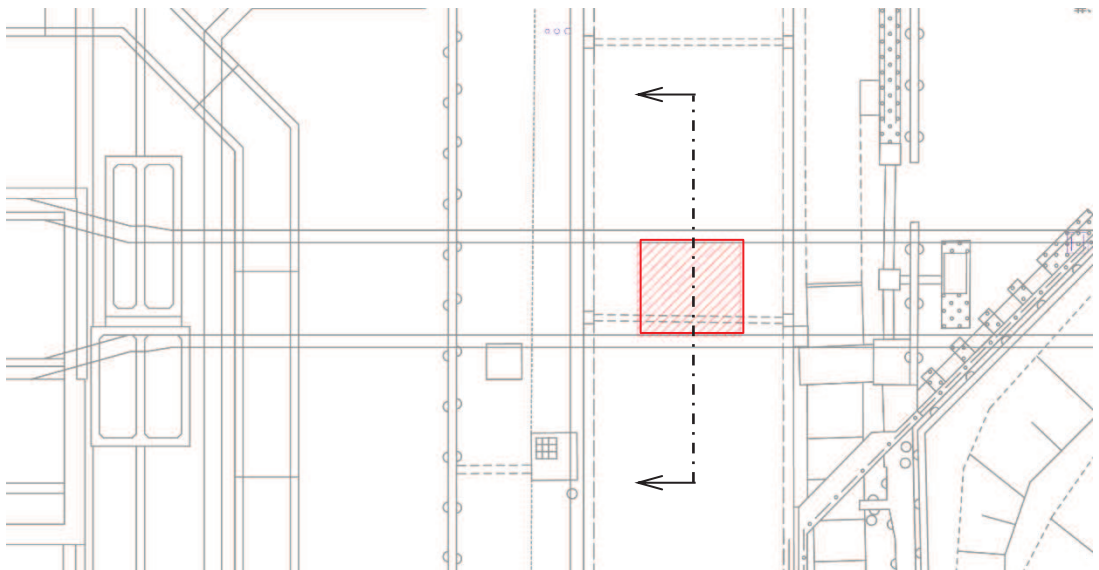


図3.1-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価対象断面位置図

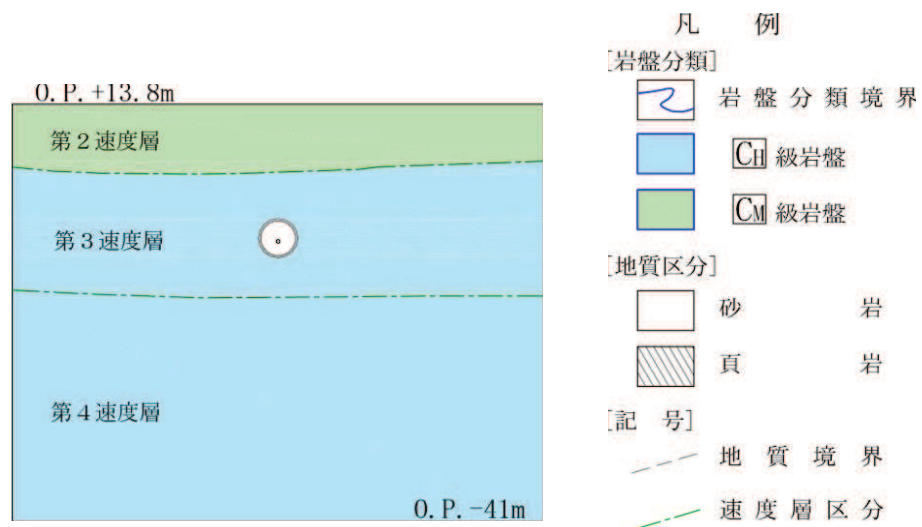


図 3.1-2 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の評価対象地質断面図

3.1.2 評価対象部位

評価対象部位は、構造部材の安定性が要求される流路縮小工とする。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2.1 荷重

取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の強度評価において、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 $4.9(\text{kN}/\text{m}^2)$ を考慮する。

(3) 余震荷重 (K s d)

余震荷重は、弾性設計用地震動 S d - D 2 による慣性力及び動水圧を考慮する。

動水圧については、Westergaard の式により設定する。

(4) 浸水津波荷重 (P h)

a. 津波荷重 (静水圧) (P h s)

津波荷重については、設計用津波水位(入力津波による浸水高さ(O.P. +24.4m)に+0.5mの余裕を考慮した水位)に基づく静水圧を考慮する。

b. 流水圧 (P h f)

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」に基づき以下の式により算定する。

$$P h f = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho_0 \times A \times U^2$$

ここに，P h f : 流水圧 (kN)

C_D : 抗力係数 = 2.01 (保守的に最大値とする)

ρ_0 : 水の密度 = 1.03 (t/m³)

A : 流れの方向の物体の投影面積 (m²)

U : 流速 (m/s) *流路縮小工前面及び背面の最大流速 (6.46m/s) に余裕を考慮し(10m/s)設定した。詳細は 1.4 管路解析モデルについて (参考 2) に示す。

c. 推力 (P h t)

推力は「水門鉄管技術基準 (水圧鉄管・鉄鋼構造物編) (水門鉄管技術協会，平成 29 年版)」に基づき以下の式により算定する。

$$P h t = \frac{2 f Q^2}{g \pi D^3} \times L$$

ここに，P h t : 流水の摩擦による推力 (kN)

f : 流水の摩擦抵抗係数 (tf/m³)

$$f = 8 g n^2 / \left(\frac{D}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$$

D : 貫通部内径 (m)

L : 貫通部長さ (m)

Q : 流量 = v × A (m³/s)

A : 貫通部内断面積 (m²)

v : 貫通部内流速 (m/s) *流路縮小工貫通部の最大流速 (11.49m/s) に余裕を考慮し(20m/s)設定した。詳細は 1.4 管路解析モデルについて (参考 2) に示す。

n : 粗度係数 (コンクリート) 0.015 (m^{-1/3}s)

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.2-1 に、荷重の作用図を図 3.2-1 に示す。

表 3.2-1(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
重畳時	G + P + K _{s d} + P _h

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (4.9kN/m² を地表面に考慮)

K_{s d} : 余震荷重

P_h : 浸水津波荷重

表 3.2-1(2) 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法
永久荷重	固定荷重	躯体自重	○ ・ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	— ・ 対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	— ・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。
		積載荷重	○ ・ 地表面に 4.9(kN/m ²) を考慮する。
	静止土圧	— ・ 安定した岩盤内に設置されるため考慮しない。	
	外水圧	— ・ つり合っているため考慮しない	
	内水圧	— ・ つり合っているため考慮しない	
	積雪荷重	— ・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。	
	風荷重	— ・ 岩盤内構造物であることから考慮しない。	
余震荷重	水平地震動	○ ・ 弾性設計用地震動 S _d - D ₂ による躯体の慣性力を考慮する。	
	鉛直地震動	— ・ 主たる荷重が水平方向荷重のため考慮しない。	
	動水圧	○ ・ 設計用津波水位での動水圧を考慮する。	
浸水津波荷重	津波荷重	○ ・ 設計用津波水位からの静水圧として考慮する。	
	流水圧	○ ・ 津波流速により充填部の前面に作用する荷重を考慮する。	
	推力	○ ・ 津波流速により充填部の内部に作用する荷重を考慮する。	

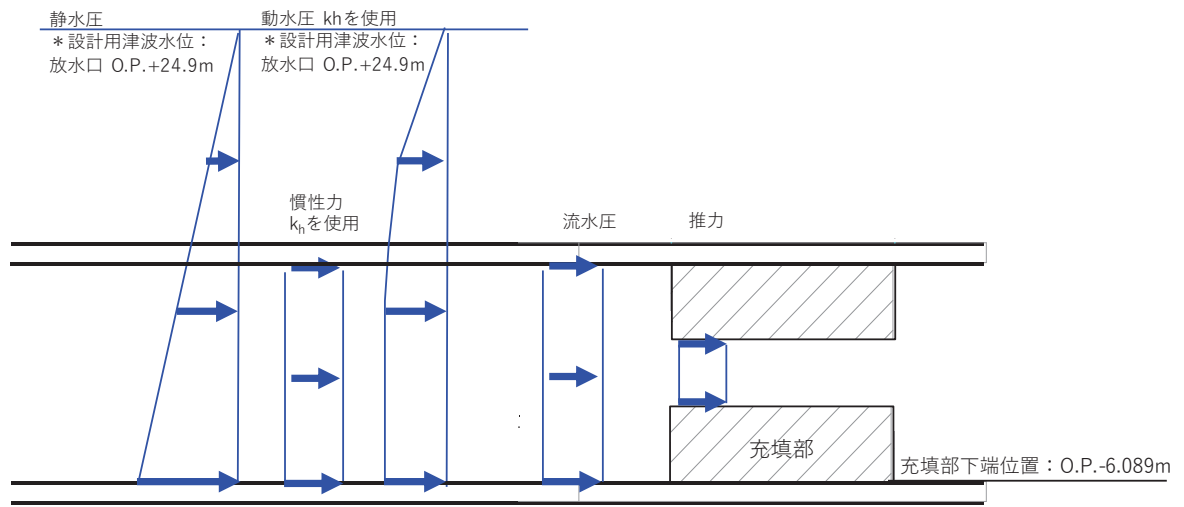


図 3.2-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の荷重作用図

3.3 評価方法

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき実施する。

なお、強度評価は「2.3 評価方針」に示すとおり、「重畳時」について実施する。

3.3.1 解析方法

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価は、「土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成15年4月）」に基づき、評価を行う。

「3.2.2 荷重の組合せ」に基づく荷重を用いて、打設面のせん断強さからの必要閉塞長さ（L1）、滑動に対する必要閉塞長さ（L2）、周辺が固定の円板としての必要閉塞長さ（L3）をそれぞれ算定し、これらのすべて満足する必要幅を算定して評価する。

なお、余震荷重算定に用いる設計水平震度は、一次元地震応答解析により算定する。

一次元地震応答解析は、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。

3.3.2 設計水平震度の算定

(1) 地盤物性及び材料物性のばらつき

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。

また、地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表3.3-1に示す解析ケースを設定する。

表 3.3-1 強度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 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ

(2) 一次元地震応答解析

添付書類「VI-2-1-1 耐震設計の基本方針」のうち「4.1(2) 動的地震力」及び添付書類「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。

設計水平震度の設定に用いる地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を一次元重複反射理論により流路縮小工の中心位置で評価したものをを用いる。なお、設計水平震度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。

図 3.3-1 に一次元地震応答解析の概念図を、設計水平震度の設定に用いる弾性設計用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 3.3-2 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。

① 引戻し解析

引戻し地盤モデル（解放基盤モデル）を用いて、水平方向地震動を引戻し地盤モデル底面位置まで引戻す。

② 水平方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（水平方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで水平方向地震動を引上げる。

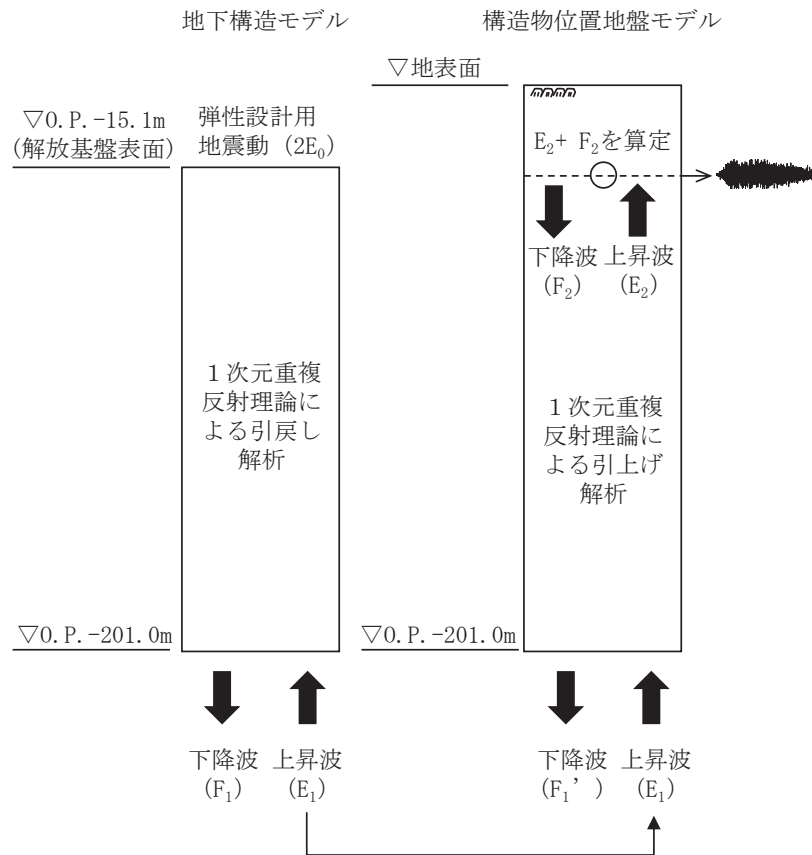
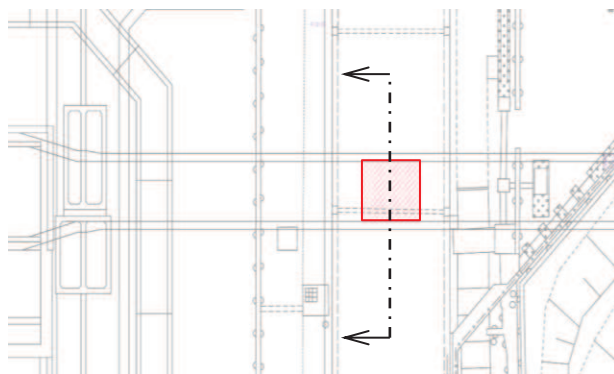
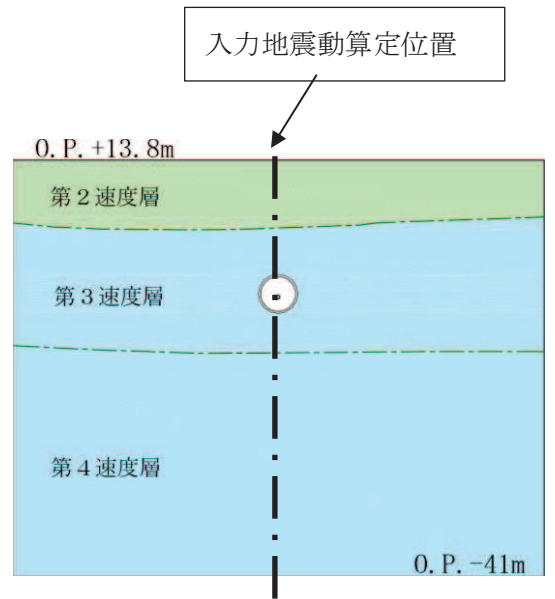


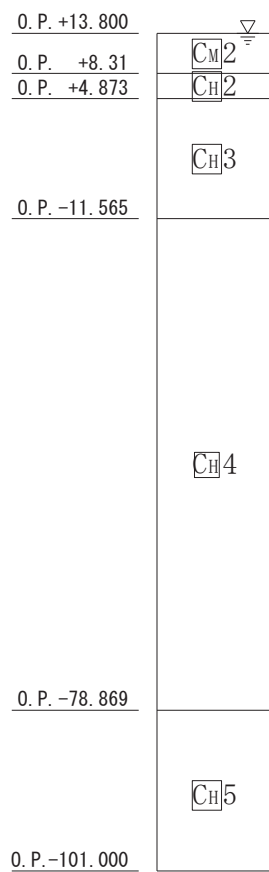
図 3.3-1(1) 一次元地震応答解析の概念図



解析地盤モデル位置図

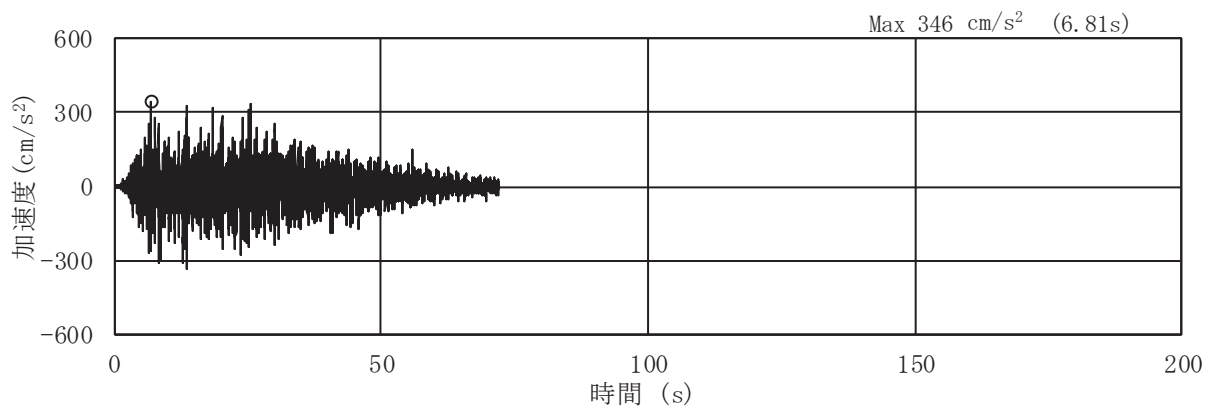


解析地盤モデル（地質図）

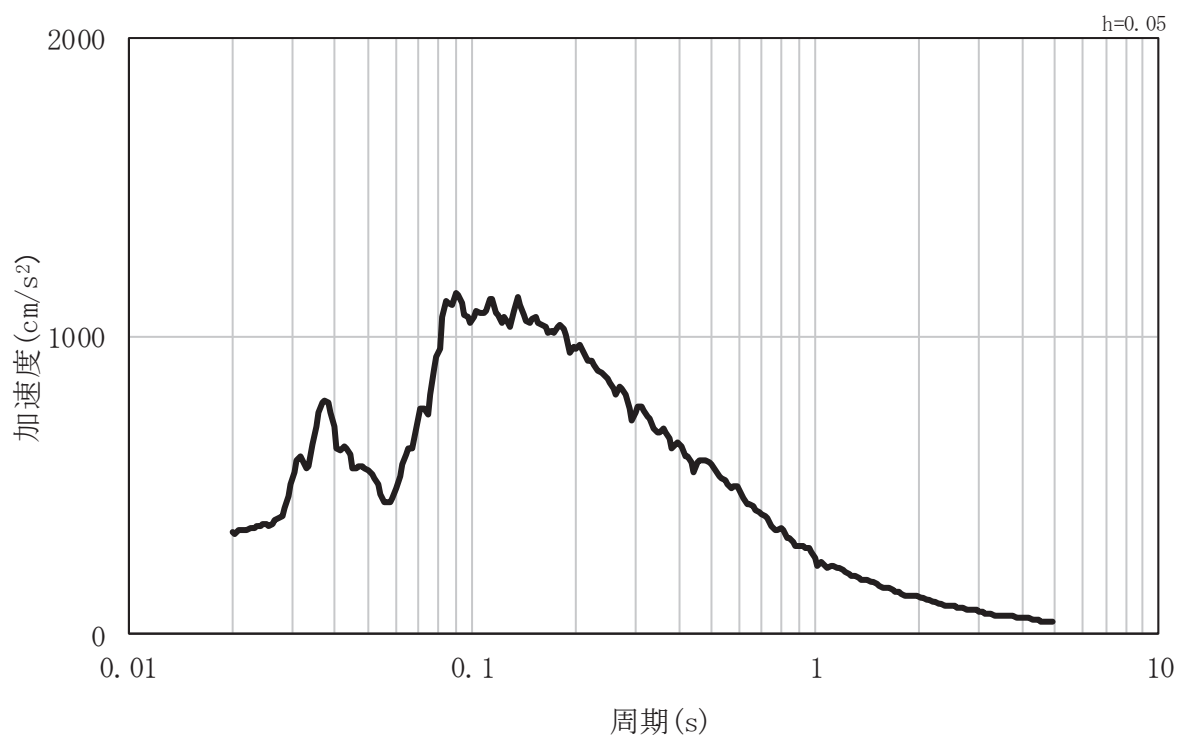


注記 CH5 は CH級岩盤の第5速度層を示す。

図 3.3-1(2) 入力地震動算定の概念図（引上げ地盤モデル）



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.3-2 設計水平震度の設定に用いる地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

(4) 設計水平震度の算定

一次元地震応答解析結果から流路縮小工の中心位置での最大加速度を表 3.3-2 に示す。
ケース①が最も加速度が大きいため、この加速度を重力加速度で除して設計水平震度とする。

$$\text{設計水平震度 } (k_h) = 346 (\text{cm/s}^2) / 980.665 (\text{cm/s}^2) = 0.353$$

表 3.3-2 一次元地震応答解析結果

	①	②	③
解析ケース	基本ケース	地盤剛性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤剛性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース
最大加速度 (cm/s ²)	346	339	339

3.3.3 評価方法

強度評価は、「土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」 技術書〔コンクリートダム編〕（農林水産省農村振興局，平成 15 年 4 月）」に基づき，以下の 3 項目について算定した幅が「2.3 評価方針」で設定した流路縮小工幅以下であることを確認する。なお，せん断に対する安定性から算出する幅及び滑動に対する安定性から算出する幅の算定にあたっては，覆工部と充填部間でのせん断を想定した場合 L 1 (L 2) と，覆工部と周辺岩盤間のせん断を想定した場合 L 1' (L 2') の 2 ケースで算定する。

(1) せん断に対する安定性から算出する幅

a. 覆工部と充填部間でのせん断を想定した場合 (L1) (図 3.3-3)

$$L1 = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_c \cdot L_0}$$

ここに, L1 : せん断に対する安定性から算出する幅(m)

α : 安全率 = 4

P : 作用荷重(kN/m²)

A : 水路断面積(m²)

τ_c : コンクリートのせん断強さ(kN/m²)

L₀ : 付着面の周長(m)

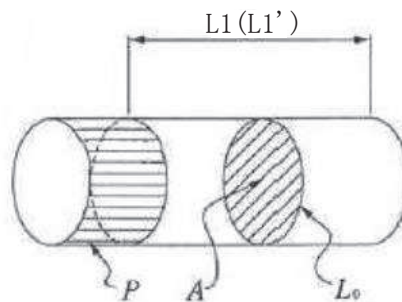


図 3.3-3 覆工部または充填部のせん断強さ

b. 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L1') (図 3.3-3)

$$L1' = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_r \cdot L_0}$$

ここに, L1' : せん断に対する安定性から算出する幅(m)

α : 安全率 = 4

P : 作用荷重(kN/m²)

A : 水路断面積(m²)

τ_r : 岩盤のせん断強さ(kN/m²)

L₀ : 付着面の周長(m)

(2) 滑動に対する安定性から算出する幅

a. 覆工部と充填部間での滑動を想定した場合 (L 2) (図 3.3-4)

$$L 2 = n \frac{P \cdot A}{C_c A + f_c N}$$

ここに, L 2 : 滑動に対する安定性から算出する幅 (m)

n : せん断摩擦安全率 = 4

P : 作用荷重 (kN/m²)

A : 水路断面積 (m²)

C_c : コンクリートの付着力 (kN/m²) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積 (m²/m)

f_c : コンクリートのせん断抵抗係数 (= tan φ)

N : コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重 (kN/m)

$$N = \pi W / (2D)$$

W : 単位長さ当たりの充填部の重量 (kN/m)

D : 充填部の直径 (m)

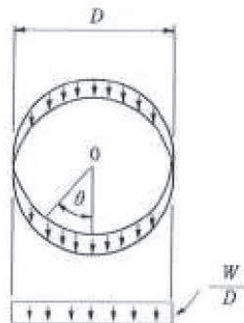


図 3.3-4 覆工部または充填部の周辺の全抵抗力

b. 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L 2') (図 3.3-4)

$$L 2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A + f_r N'}$$

ここに, L 2' : 滑動に対する安定性から算出する幅 (m)

n : せん断摩擦安全率 = 4

P : 作用荷重 (kN/m²)

A : 水路断面積 (m²)

C_r : 岩盤の付着力 (kN/m²) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積 (m^2/m)

f_r : 岩盤のせん断抵抗係数 ($=\tan \phi$)

N' : コンクリート自重による単位長さ当たりの垂直荷重 (kN/m)

$$N' = \pi W' / (2D')$$

W' : 単位長さ当たりの充填部の重量 (kN/m)

D' : 覆工部の直径 (m)

(3) 曲げに対する安定性から算出する幅 (L₃) (図 3.3-5)

$$L_3 = \alpha \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{\frac{3P}{\sigma'}}$$

ここに, L₃ : 曲げに対する安定性から算出する幅 (m)

α : 安全率 = 1.5

a : 縮小工半径 (m)

P : 作用荷重 (kN/m²)

σ' : コンクリートの許容曲げ引張応力度 (kN/m²)

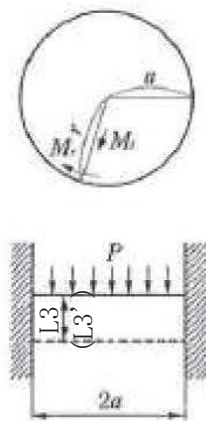


図 3.3-5 充填部を周辺固定円盤と仮定した場合の必要閉塞長

3.3.4 使用材料及び材料の物性値

強度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 3.3-3 に、材料の物性値を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-3 構造物の使用材料

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 3.3-4 材料の物性値

分類	せん断強度 (τ_0, C)	内部摩擦角 (ϕ)	許容曲げ引張応力度 (σ')
岩盤 (C _H 級)	1.72N/mm^2 *1	43° *1	—
覆工部	4.10N/mm^2 *2	0° *3	0.28N/mm^2 *4
充填部	10.0N/mm^2 *2	0° *3	0.43N/mm^2 *4

注記 *1：解析用物性値（狐崎部層の C_H級岩盤の値を採用）

*2：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）に基づき設定

*3：保守的に考慮しないこととする

*4：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

4. 強度評価

4.1 荷重算出

浸水津波荷重として静水圧、流水圧及び推力を、余震荷重として慣性力及び動水圧を算出する。

4.1.1 浸水津波荷重の算出

静水圧 P 1 の算出

$$P 1 = \rho_0 g h = 1.03 \times 9.80665 \times (24.9 - (-6.089)) = 313.1 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに、 ρ_0 : 海水の密度 = 1.03 (t/m³)

g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

h : 充填部下端における水深 = $h_1 - h_2$ (m)

h_1 : 設計用津波水位 (O.P.) = 24.9 (m)

h_2 : 充填部下端位置 (O.P.) = -6.089 (m)

流水圧 P 2 の算出

流水圧は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成 19 年 7 月）」に基づき算定する。

$$P 2 = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho_0 \times A_1 \times U^2 = \frac{1}{2} \times 2.01 \times 1.03 \times \boxed{} \times 10^2 = \boxed{}$$

ここに、 C_d : 抗力係数 = 2.01 (保守的に最大値とする)

ρ_0 : 海水の密度 = 1.03 (t/m³)

$$A_1 : \text{充填部の断面積 (m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{} = \boxed{}$$

D_1 : 充填部直径 = $\boxed{}$

U : 流速 = 10 (m/s)

(流路縮小工前面及び背面の最大流速を考慮して設定)

推力 P 5 の算出

推力は、「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）（水門鉄管技術協会，平成 29 年版）」に基づき算定する。なお，推力算定に用いる流水の摩擦抵抗係数 (f) は、「水理公式集（土木学会，2018 年版）」に基づき算定する。

$$P 5 = \frac{2 f Q^2}{g \pi D_3} \times L = \frac{2 \times 8 g n^2 / \left(\frac{D_3}{4} \right)^{\frac{1}{3}} \times (v \times A_3)^2}{g \pi D_3} \times L$$

$$= \frac{2 \times 8 \times 9.80665 \times 0.015^2 / \boxed{}}{9.80665 \times \pi \boxed{}} \times (20 \times \boxed{})^2 \times 5.0 = \boxed{}$$

ここに、 f : 流水の摩擦抵抗係数 (tf/m^3)

$$f = 8 g n^2 / \left(\frac{D_3}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$$

g : 重力加速度 = $9.80665 (\text{m}/\text{s}^2)$

n : 充填部の粗度係数 = $0.015 (\text{m}^{-1/3}\text{s})$

D_3 : 貫通部直径 = $\boxed{}$

Q : 流量 = $v \times A_3 (\text{m}^3/\text{s})$

v : 流速 = $20 (\text{m}/\text{s})$

(流路縮小工貫通部の最大流速を考慮して設定)

$$A_3 : \text{充填部貫通部の断面積} (\text{m}^2) = \frac{\pi \times D_3^2}{4} = \boxed{}$$

4.1.2 余震荷重の算出

慣性力 P_3 の算出

$$P_3 = k_h W = k_h \times \gamma \times A_1 \times L = 0.353 \times 23.0 \times \boxed{} \times 5.0 = \boxed{}$$

ここに、 k_h : 設計水平震度

γ : 充填部の単位体積重量 = $23.0 (\text{kN}/\text{m}^3)$

$$A_1 : \text{充填部の断面積} (\text{m}^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{}$$

L : 充填部幅 = $5.0 (\text{m})$

D_1 : 充填部直径 = $\boxed{}$

動水圧 P_4 の算出

$$P_4 = \frac{7}{8} \times k_h \times \rho_0 \times g \times \sqrt{h^2} = \frac{7}{8} \times 0.353 \times 1.03 \times 9.80665 \times \sqrt{\{24.9 - (-6.089)\}^2}$$

$$= 96.7 (\text{kN}/\text{m}^2)$$

ここに、 k_h : 設計水平震度

ρ_0 : 海水の密度 = $1.03 (\text{t}/\text{m}^3)$

g : 重力加速度 = $9.80665 (\text{m}/\text{s}^2)$

h : 充填部下端における水深 = $h_1 - h_2 (\text{m})$

h_1 : 設計用津波水位 (O.P.) = $24.9 (\text{m})$

h_2 : 充填部下端位置 (O.P.) = $-6.089 (\text{m})$

4.2 強度評価

4.2.1 せん断に対する安定性から算出する幅

(1) 充填部と覆工部でのせん断を想定した場合 (L1)

$$L1 = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_c \cdot L_0} = \alpha \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{\tau_c \cdot L_0}$$

$$= 4 \times \frac{(313.1 \times \boxed{} + 96.7 \times \boxed{})}{4100 \times \boxed{}} = \boxed{}$$

ここに、 α : 安全率=4

$$A_1 : \text{充填部の断面積(m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{}$$

$$\tau_c : \text{充填部せん断強度} = 4100 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$L_0 : \text{充填部周長} = \pi \times D_1 = \pi \times \boxed{}$$

(2) 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L1')

$$L1' = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau_r \cdot L_0'} = \alpha \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{\tau_r \cdot L_0'}$$

$$= 4 \times \frac{(313.1 \times \boxed{} + 96.7 \times \boxed{})}{1720 \times \boxed{}} = \boxed{}$$

ここに、 α : 安全率=4

$$A_1 : \text{充填部の断面積(m}^2\text{)} = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{}$$

$$\tau_r : \text{岩盤のせん断強度} = 1720 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$L_0' : \text{流路縮小工全体の周長} = \pi \times D_2 = \pi \times \boxed{}$$

$$D_2 : \text{流路縮小工全体の直径} = \boxed{}$$

4.2.2 滑動に対する安定性から算出する幅

(1) 充填部と覆工部間での滑動を想定した場合 (L2)

$$L2 = n \frac{P \cdot A}{C_c A + f_c N} = n \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{C_c \times \pi \times D_1 + \tan \phi \times (\pi \times \frac{\gamma \times A_1}{D_1})}$$

$$=4 \times \frac{(313.1 \times \boxed{} + 96.7 \times \boxed{})}{4100 \times \pi \times \boxed{} + 0 \times (\pi \times \boxed{})} = \boxed{}$$

ここに、n：安全率=4

C_c ：充填部の付着力=4100(kN/m²)

D_1 ：充填部直径= $\boxed{}$

ϕ ：充填部内部摩擦角=0(°)

γ ：充填部の単位体積重量=23.0(kN/m³)

$$A_1：充填部の断面積(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{}$$

(2) 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L 2')

$$L 2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A + f_r N} = n \frac{(P 1 \times A_1 + P 2 + P 3 + P 4 \times A_1 + P 5)}{C_r \times \pi \times D_2 + \tan \phi' \times (\pi \times \frac{\gamma \times A_2}{D_2})}$$

$$=4 \times \frac{(313.1 \times \boxed{} + 96.7 \times \boxed{})}{1720 \times \pi \times \boxed{} + 0.93 \times (\pi \times \boxed{})} = \boxed{}$$

ここに、n：安全率=4

C_r ：岩盤の付着力=1720(kN/m²)

D_2 ：流路縮小工全体直径= $\boxed{}$

ϕ' ：岩盤の内部摩擦角=43(°)

γ ：充填部の単位体積重量=23.0(kN/m³)

$$A_2：流路縮小工全体の断面積(m^2) = \frac{\pi \times D_2^2}{4} = \boxed{}$$

4.2.3 曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)

$$L 3 = \alpha \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{\frac{3P}{\sigma}} = \alpha \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{\frac{3 \times \left(P 1 + \frac{P 2}{A_1} + \frac{P 3}{A_1} + P 4 + \frac{P 5}{A_3} \right)}{\sigma}}$$

$$= 1.5 \times \left(\frac{\boxed{}}{2} \right) \times \sqrt{\frac{3 \times (313.1 + \boxed{} + 96.7 + \boxed{})}{430}} = \boxed{}$$

ここに、 α ：安全率=1.5 (保守的に 1.5 とする)

$$a：\frac{D_1}{2} = \frac{\boxed{}}{2} = \boxed{}$$

D_1 : 充填部直径 =

σ' : コンクリートの許容曲げ引張応力度 430 (kN/m²)

A_3 : 充填部貫通部の断面積 (m²) = $\frac{\pi \times D_3^2}{4}$ =

D_3 : 貫通部直径 =

4.2 解析ケースごとの強度評価結果

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度評価結果を表4.2-1に示す。

表4.2-1(1) 解析ケース① 照査結果

項目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a/b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定した 場合 (L1)	0.63	5.00	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L1')	1.32	5.00	0.27
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L2)	0.63	5.00	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L2')	1.30	5.00	0.26
曲げに対する安定性から算出する幅 (L3)	3.61	5.00	0.73

表4.2-1(2) 解析ケース② 照査結果

項目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a/b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定し た場合 (L1)	0.62	5.00	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L1')	1.31	5.00	0.27
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L2)	0.62	5.00	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L2')	1.30	5.00	0.26
曲げに対する安定性から算出する幅 (L3)	3.60	5.00	0.72

表 4.2-1(3) 解析ケース③ 照査結果

項 目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定した 場合 (L 1)	0.62	5.00	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	1.31	5.00	0.27
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.62	5.00	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	1.30	5.00	0.26
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	3.60	5.00	0.72

5. 強度評価結果

算出した必要幅が、流路縮小工幅以下であることを確認した。

照査結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 照査結果

項 目	必要幅 (m) (a)	流路縮小工幅 (m) (b)	照査値 (a / b)
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間でのせん断を想定した 場合 (L 1)	0.63	5.00	0.13
せん断に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定 した場合 (L 1')	1.32	5.00	0.27
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と充填部間での滑動を想定した 場合 (L 2)	0.63	5.00	0.13
滑動に対する安定性から算出する幅 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定し た場合 (L 2')	1.30	5.00	0.26
曲げに対する安定性から算出する幅 (L 3)	3.61	5.00	0.73

6.2.5 取放水路流路縮小工の設置による津波防護機能，第1号機取水機能及び放水機能への影響について

取放水路流路縮小工（第1号機取水路）及び取放水路流路縮小工（第1号機放水路）は，コンクリートに貫通部を設けた構造であり，第1号機取水路及び第1号機放水路からの津波の流入を抑制し，第1号機取水路及び第1号機放水路から敷地への津波の流入を防止する設計としている。

取放水路流路縮小工の設置を考慮した入力津波評価結果は，「1.5 入力津波の不確かさの考慮について」に記載している。第1号機海水ポンプ室及び第1号機放水立坑における入力津波高さは，それぞれ O.P. +10.38m，O.P. +11.79m と評価しており，いずれも天端高さ O.P. +14.0m を上回らないことから，外郭浸水防護設備として敷地への津波の流入を防止できることを確認している。なお，敷地周辺における復旧・改修工事に伴う地形改変の影響も考慮した入力津波評価を行い，地形改変の考慮前（設置変更許可時の評価）の方が，入力津波高さが高くなることを確認している。

また，取放水路流路縮小工を設置する影響について，第1号機の廃止措置中の維持対象設備の最大流量となる組み合わせにおいても，取水機能及び放水機能への影響がないことを，第12回実用発電用原子炉施設の廃止措置計画に係る審査会合（2019年11月14日）にて説明済みである（図6.2.5-1，図6.2.5-2）。

5 流路縮小工設置による取水機能への影響

6

補機冷却海水ポンプ(常用系・非常用系)運転時の取水性評価

- 取水路への流路縮小工設置により増加する損失水頭は約0.01~0.02mであり、海水ポンプ室水位は僅かに低下するものの、ポンプの取水可能最低水位から十分余裕がある。
- 廃止措置中の最大流量となる組み合わせである、原子炉補機冷却海水ポンプ1台(960m³/h)+非常用補機冷却海水ポンプ1台(450m³/h)≒0.40m³/sは、常用系運転時の流量(0.53m³/s)以下であり、取水機能への影響はない。

流路縮小工設置による取水機能(常用系)への影響

流路縮小工	流量 (m ³ /s)	水路断面積 (m ²)	流速 (m/s)	取水口水位(m)	海水ポンプ室 水位 ^{※5} (m)	ポンプ取水可能 最低水位(m)
設置前	0.53 ^{※1}	15.09 (φ3.1 ^{※2} ×2条)	0.04 ^{※3}	O.P.-0.14 ^{※4}	O.P.-0.15	O.P.-2.43
設置後		1.57 (φ1.0×2条)	0.34 ^{※3}		O.P.-0.16	

- ※1 原子炉補機冷却海水ポンプ運転時流量(960m³/h×2台)
- ※2 貝付着代10cm考慮
- ※3 取水路については、流路縮小工設置後は、設置前のプラント通常運転時と同様、流速は小さいことなどから、通水性に問題ない。
- ※4 期望平均干潮位
- ※5 取水路の流路縮小工における局所損失(急拡、急縮)及び摩擦損失を考慮

流路縮小工設置による取水機能(非常用系)への影響

流路縮小工	流量 (m ³ /s)	水路断面積 (m ²)	流速 (m/s)	取水口水位(m)	海水ポンプ室 水位 ^{※5} (m)	ポンプ取水可能 最低水位(m)
設置前	0.84 ^{※1}	15.09 (φ3.1 ^{※2} ×2条)	0.06 ^{※3}	O.P.-0.14 ^{※4}	O.P.-0.15	O.P.-7.2
設置後		1.57 (φ1.0×2条)	0.54 ^{※3}		O.P.-0.17	

- ※1 残留熱除去海水ポンプ運転時流量(545m³/h×4台)+非常用補機冷却海水ポンプ運転時の流量(390m³/h+450m³/h)
- ※2 貝付着代10cm考慮
- ※3 取水路については、流路縮小工設置後は、設置前のプラント通常運転時と同様、流速は小さいことなどから、通水性に問題ない。
- ※4 期望平均干潮位
- ※5 取水路の流路縮小工における局所損失(急拡、急縮)及び摩擦損失を考慮

図 6.2.5-1 第1号機の取水機能への影響確認結果

(2019年11月14日 第12回実用発電用原子炉施設の廃止措置計画に係る審査会合(資料1-2)再掲)

6 流路縮小工設置による放水機能への影響

7

補機冷却海水ポンプ(常用系・非常用系)運転時の放水性評価

- 放水路への流路縮小工設置による流路抵抗の増加により、常用海水系運転時の放水立坑水位がO.P.+2.08mまで上昇、事故時における非常用海水系運転時にはO.P.+2.97mまで上昇するものの、海水ポンプ放水高さのO.P.+4.6mより十分低いことから、補機冷却海水ポンプの放水性(ポンプ性能)に影響を与えない。
- 廃止措置中の最大流量となる組み合わせである、原子炉補機冷却海水ポンプ1台(960m³/h)+非常用補機冷却海水ポンプ1台(450m³/h)≒0.40m³/sは、常用系運転時の流量(0.53m³/s)以下であり、放水機能への影響はない。

流路縮小工設置による放水機能(常用系)への影響

流路縮小工	流量 (m ³ /s)	水路断面積 (m ²)	流速 (m/s)	放水口水位(m)	放水立坑 水位 ^{※5} (m)	海水ポンプ 放水高さ(m)
設置前	0.53 ^{※1}	15.2 (φ4.4 ^{※2} ×1条)	0.03 ^{※3}	O.P.+1.43 ^{※4}	O.P.+1.44	O.P.+4.6
設置後		0.20 (φ0.5×1条)	2.65 ^{※3}		O.P.+2.08	

- ※1 原子炉補機冷却海水ポンプ運転時流量(960m³/h×2台)
- ※2 貝付着代10cm考慮
- ※3 放水路については、「建設省河川砂防基準(案)同解説 設計編[1]」で定める一般的な設計流速(常時2~5m/s程度)であることから、通水性に問題はない。
- ※4 期望平均満潮位
- ※5 放水路の流路縮小工における局所損失(急拡、急縮)及び摩擦損失を考慮

流路縮小工設置による放水機能(非常用系)への影響

流路縮小工	流量 (m ³ /s)	水路断面積 (m ²)	流速 (m/s)	放水口水位(m)	放水立坑 水位 ^{※5} (m)	海水ポンプ 放水高さ(m)
設置前	0.84 ^{※1}	15.2 (φ4.4 ^{※2} ×1条)	0.06 ^{※3}	O.P.+1.43 ^{※4}	O.P.+1.44	O.P.+4.6
設置後		0.20 (φ0.5×1条)	4.20 ^{※3}		O.P.+2.97	

- ※1 残留熱除去海水ポンプ運転時流量(545m³/h×4台)+非常用補機冷却海水ポンプ運転時の流量(390m³/h+450m³/h)
- ※2 貝付着代10cm考慮
- ※3 放水路については、「建設省河川砂防基準(案)同解説 設計編[1]」で定める一般的な設計流速(常時2~5m/s程度)であることから、通水性に問題はない。
- ※4 期望平均満潮位
- ※5 放水路の流路縮小工における局所損失(急拡、急縮)及び摩擦損失を考慮

図 6.2.5-2 第1号機の放水機能への影響確認結果

(2019年11月14日 第12回実用発電用原子炉施設の廃止措置計画に係る審査会合(資料1-2)再掲)

(参考資料1) 取放水路流路縮小工貫通部におけるすり減りに対する影響評価について

1. 概要

取放水路流路縮小工は、常時及び津波時において、港湾から供給される砂礫等を含んだ流水により、コンクリート表面にすりへりが発生することによって、貫通部が広がり津波防護機能を喪失することが考えられる。

本資料は、取放水路流路縮小工のコンクリートについて、すりへり量の影響評価を行うものである。

2. 評価方針

コンクリートのすりへりは、流水や車輪等の摩耗作用や衝撃等の外力により、コンクリート表面が時間とともに徐々に欠損していく現象である。

すりへりの進行予測手法としては、コンクリートに作用する外力を累積衝突エネルギーで表し、すりへり速度係数等を考慮した、下記のすりへり量の予測式が提案¹⁾されている。

$$A d = K_1 \beta (E_R)^{K_2 \gamma}$$

ここに、 $A d$: 最大すりへり深さまたは平均すりへり深さ等

E_R : 累積衝突エネルギー (J)

β : すりへり速度係数 (mm/ \sqrt{J})

γ : すりへり現象定数

K_1, K_2 : 施設区分に応じた補正係数

この予測式は、すりへりの外力作用を運動エネルギーとして標準化できることに着目し、外力の形状を球形に単純化、作用する質量と速度を変化させた鋼球落下方式による衝撃摩耗試験をすりへり現象の基準として、実構造物に作用する外力の形状、質量、速度、対象構造物（コンクリート、モルタル、水路、護岸等）の品質の相違を考慮したものであり、取放水路流路縮小工のように流水に含まれる砂により、すりへり作用を受けるコンクリートにも適用可能な予測式である。

取放水路流路縮小工のコンクリートのすりへり評価は、上記予測式を用い、供用期間中のすりへり量が許容値以下となることを確認する。

また、累積衝突エネルギー E_R の算定には、すりへり量の実測値が必要であるが、取放水路流路縮小工は新設する構造物であり、すりへり量の実測データがないことから、上記予測式の検証に用いられている矢立川取水ダムの水たたき部の普通コンクリートの1年間のすりへり量を採用する。矢立川は砂床河川で、崩落しやすい河岸（強風化を受けた花崗岩）から頻繁に土砂が供給される²⁾。一方、女川地点では基準津波時における上限浮遊砂体積濃度は1%であり、矢立川の浮遊砂体積濃度よりも十分小さいことから安全側の検討となる。

3. すりへり影響評価

3.1 影響評価フロー

すりへりに対する影響評価フローを図 3.1-1 に示す。

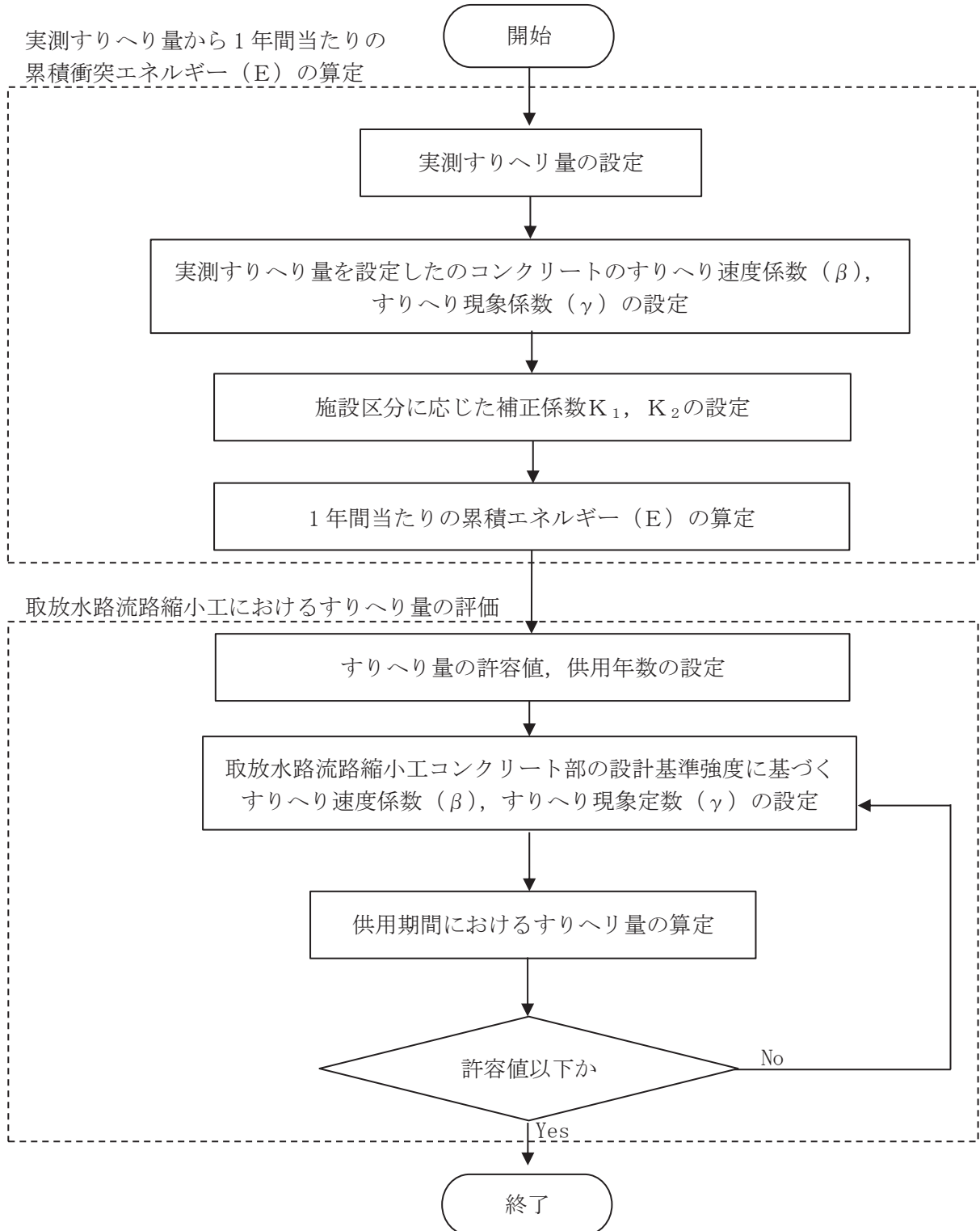


図 3.1-1 すりへり影響評価フロー

3.2 すりへり量の算定

上記、算定フローに基づきすりへり量を算定する。

(実測すりへり量から1年間当たりの累積エネルギー (E) の算定)

- ① 実測すりへり量として、上記予測式の検証に記載されている矢立川取水ダムの水たたき部の普通コンクリートの1年間のすりへり量の平均値 (A d) = 6.308mm*を採用する。

参考として、当該コンクリートの仕様を表 3.2-1 に示す。

注記* : 参考文献 1) より引用

表 3.2-1 矢立川取水ダムの水たたき部の普通コンクリートの仕様*

粗骨材		細骨材		スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位置 (kg/m ³)		28日圧縮 強度 (N/mm ²)
種類	最大寸法 (mm)	種類						セメント量 C	水量 W	
球磨川産 川砂利	40	球磨川産 川砂		8	4	56.0	39.9	257	144	21.7

注記* : 参考文献 1) より引用

- ② 実測すりへり量を設定した矢立川取水ダムの水たたき部の普通コンクリートの、すりへり速度係数 (β), すりへり現象係数 (γ) は、参考文献 1) より、β = 0.39, γ = 0.49 を用いる。
- ③ 施設区分に応じた補正係数 K₁, K₂ は、表-3.2-2 より水利施設 (砂による平均すりへり深さ) の値 (K₁, K₂ = 1.40) を用いる (取放水路流路縮小工のコンクリート強度検討でも同様)。

表 3.2-2 衝突エネルギー E, β と γ の補正係数 K₁, K₂ の目安*

コンクリートのすりへり深さの区分		衝突エネルギー E (J/10 ⁴ 回)	β と γ の 補正係数 K ₁ , K ₂
区分	コンクリートのすりへり現象の種類		
標準	球形の鋼球落下による最大すりへり深さ(すりへり試験装置)	—	1.00
水利施設	砂による平均すりへり深さ(掃流式摩耗試験機)	約0.11	約1.40
	シルベップによる平均すりへり深さ(ドラム式摩耗試験機)	約1.90	約1.80
積雪寒冷 地の道路 舗装	スパイクタイヤによる平均すりへり深さ(大型回転式試験機)	約6.21	約1.33
	タイヤチェーンによる平均すりへり深さ(大型回転式試験機)	約24.53	約1.85

注記* : 参考文献 1) より引用

平均すりへり量算定式より、累積衝突エネルギー E_R を逆算して求め、1年間当たりの累積エネルギー E (= E_R/N, N : 実測すりへり量の年数) を求める。

平均すりへり量 (A d) 算定式

$$A d = K_1 \beta (E_R)^{K_2 \gamma} = K_1 \beta (N \cdot E)^{K_2 \gamma}$$

$$\Rightarrow E = (A d / K_1 \beta)^{(1/K_2 \gamma)} / N$$

β = 0.39, γ = 0.49, K₁, K₂ = 1.40, N = 1 より、E = 35.41 J/年

(取放水路流路縮小工におけるすりへり量の評価)

④ すりへりに対する許容値，供用年数の設定

許容値は、「VI-1-1-4-8-3-1-1 設定根拠に関する説明書（取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No.1)，(No.2)）」及び「VI-1-1-4-8-3-1-2 設定根拠に関する説明書（取放水路流路縮小工（第1号機放水路））」より，貫通部径の公称値と上限値の差が小さい取放水路流路縮小工（第1号機放水路）から50mmとする。

供用年数は，第1号機の廃炉工程を考慮して30年とする。

⑤ 取水路流路縮小工コンクリートの圧縮強度 50N/mm²に基づき，当該コンクリートの区分における，すりへり速度係数（β），すりへり現象係数（γ）は，表3.2-3より，コンクリート（高品質D）の値（β=0.255，γ=0.501）とする。

表-3.2-3 衝突エネルギーと最大すりへり深さの関係式より得られた定数一覧

種類	区分 品質のランク		圧縮強度 f _c (N/mm ²)			水セメント比 W/C(%)		すりへり速度係数 β (mm/√J)		すりへり現象定数 γ			
			最小値	最大値	平均値	平均値	各個	全体	各個	全体			
岩石	最高品質 (100.0~150.0 N/mm ²)	A (140.0~150.0 N/mm ²)	140.5	140.5	140.5	—	—	0.017	0.02	0.03	0.760	0.76	0.71
		B (120.0~139.9 N/mm ²)	132.6	132.6	132.6	—	—	0.039	0.04		0.639	0.68	
		C (100.0~119.9 N/mm ²)	106.7	106.7	106.7	—	—	0.043			0.726		
コン ク リ ー ト	高品質 (50.0~99.9 N/mm ²)	A (80.0~99.9 N/mm ²)	82.9	85.5	83.8	30	32	0.108	0.16	0.31	0.537	0.53	0.51
		B (70.0~79.9 N/mm ²)	71.3	75.6	73.0	30		0.188			0.484		
		C (60.0~69.9 N/mm ²)	60.7	68.4	64.5	34		0.090			0.611		
		D (50.0~59.9 N/mm ²)	51.0	59.4	56.0	35		0.255			0.501		
	中品質 (24.0~49.9 N/mm ²)	A (40.0~49.9 N/mm ²)	40.0	47.5	43.9	44	50	0.432	0.33	0.429	0.49		
		B (30.0~39.9 N/mm ²)	30.7	39.9	35.0	46		0.264		0.523			
		C (24.0~29.9 N/mm ²)	24.0	29.6	26.8	61		0.281		0.522			
	低品質 (5.0~23.9 N/mm ²)	A (20.0~23.9 N/mm ²)	20.9	21.2	21.1	75	82	0.247	0.44	0.526	0.49		
		B (15.0~19.9 N/mm ²)	15.5	19.9	18.1	81		0.375		0.511			
		C (10.0~14.9 N/mm ²)	12.6	14.8	13.8	86		0.668		0.424			
		D (5.0~9.9 N/mm ²)	9.4	9.4	9.4	86		0.454		0.489			
	モル タル	中品質 (24.0~49.9 N/mm ²)	C (24.0~29.9 N/mm ²)	28.2	28.2	28.2	52	52	0.445	0.45	0.462	0.46	

※ 参考文献1)より引用

⑥ 平均すりへり量算定式より，30年後（N=30）の平均すりへり量を算定する。

$$A d = K_1 \beta (E_R)^{K_2 \gamma} = K_1 \beta (N \cdot E)^{K_2 \gamma}$$

β=0.255，γ=0.501，K₁，K₂=1.40，E=35.41 J/年より，

$$A d = \text{約 } 47\text{mm} < \text{許容値 } 50\text{mm}$$

3.3 評価結果

取放水路流路縮小工は，砂床河川で崩落しやすい河岸（強風化を受けた花崗岩）から頻繁に土砂が供給される矢立川取水ダムの水たたき部のようなすりへり環境ではないものの，矢立川取水ダムの水たたき部の実すりへり量等を用いて，保守的なすりへり量を算定した。

その結果，取放水路流路縮小工の供用期間30年と仮定した場合における平均すりへり量は約47mmであり，許容すりへり量50mm以下であることを確認した。

【参考文献】

- 1) 豊福他：コンクリートのすりへりの進行予測に関する研究，土木学会論文集E2，Vol.72，
No.4，380-399，2016
- 2) Source-to-Sink Sedimentary Cascades in Pacific Rim Geo-Systems，国土交通省北陸地方
整備局松本砂防工事事務所，2001.8.20

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.4 貯留堰に関する補足説明

目 次

- 6.4.1 貯留堰の耐震性についての計算書に関する補足説明
- 6.4.2 貯留堰の強度計算書に関する補足説明

6. 浸水防護施設に関する補足資料

6.4 貯留堰に関する補足説明

6.4.1 貯留堰の耐震性についての計算書に関する補足説明

貯留堰は取水口と一体構造であり，取水口は断面が延長方向で異なり，加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する構造物（箱形構造物）であることから，貯留堰を含めて三次元モデル化し，耐震評価を行う（貯留堰の位置図及び構造図については，「6.4.2 貯留堰の強度計算書に関する補足説明」に示す）。

貯留堰の耐震性については，補足610-20「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について 資料10 取水口の耐震安全性評価」で説明する。

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.4 貯留堰に関する補足説明
- 6.4.2 貯留堰の強度計算書に関する補足説明

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	7
3. 強度評価方法	8
3.1 記号の定義	8
3.2 評価対象	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1 荷重	11
3.3.2 荷重の組合せ	12
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	15
3.5.1 解析方法	15
3.5.2 設計水平震度の算定	16
3.5.3 評価方法	21
3.5.4 使用材料及び材料の物性値	21
4. 評価条件	23
4.1 津波時	23
4.2 重畳時1	25
4.3 重畳時2	27
4.4 解析ケースによる荷重モデル図	29
5. 強度評価結果	30
5.1 曲げ圧縮応力度に対する照査	30
5.2 引張応力度に対する照査	31
5.3 せん断応力度に対する照査	31

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、貯留堰 (No.1), (No.2), (No.3), (No.4), (No.5), (No.6) が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重, 余震荷重及び漂流物の衝突荷重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。

なお、貯留堰 (No.1), (No.2), (No.3), (No.4), (No.5), (No.6) の強度評価においては、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

貯留堰の位置図を図 2-1 に示す。

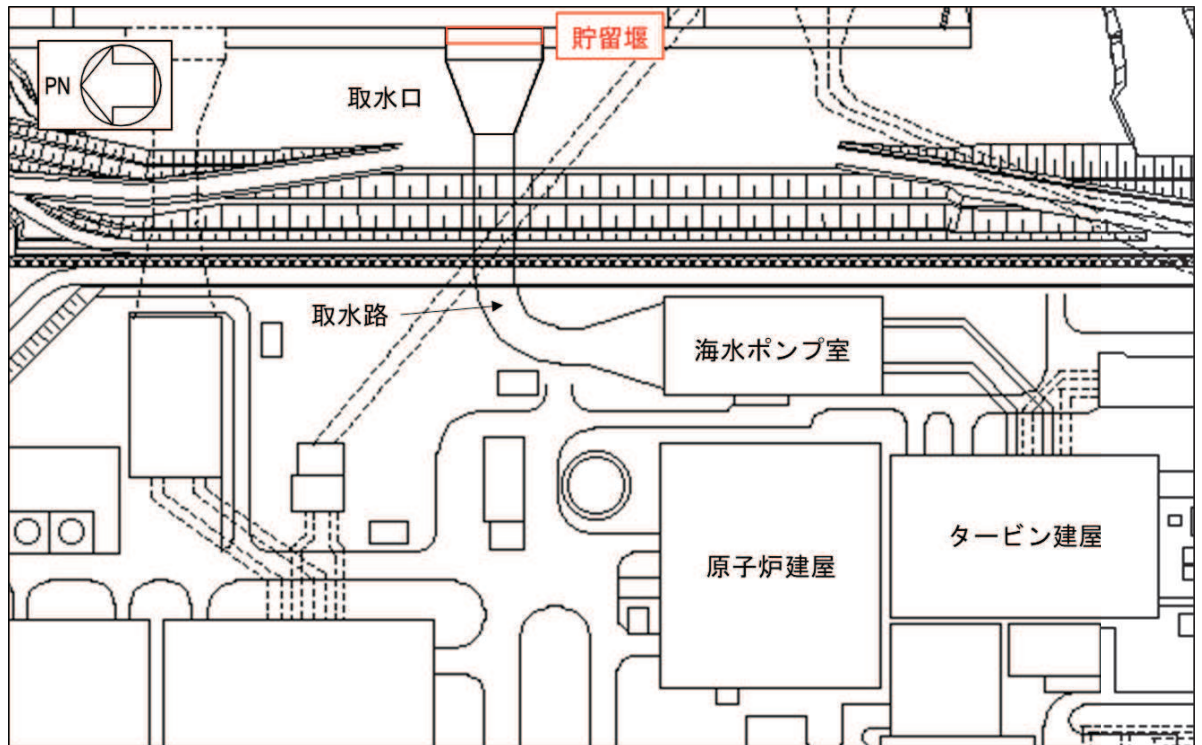


図 2-1 貯留堰位置図

2.2 構造概要

貯留堰の平面図，縦断図，正面図を図 2-2～図 2-4 に示す。

図 2-2～図 2-4 のとおり，貯留堰は岩盤上にマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して設置された取水口の底版に設置する鉄筋コンクリート製の構造物であり，取水口と一体構造の津波防護施設（非常用取水設備と兼用）である。貯留堰の寸法は，長さ（横幅）4.0m×天端幅（奥行き）2.5m×高さ 1.2m（天端高さ 0.P. -6.3m）であり，取水口上に 6 基設置する。貯留堰には通水機能及び貯水機能が要求される。

貯留堰は鉄筋コンクリート構造物であり、津波による水位低下に対して非常用海水ポンプの機能が保持でき、かつ、原子炉冷却に必要な海水を確保できるよう、取水口底版より 1.2m の高さを有している。貯留堰の配筋図を図 2-5 に示す。

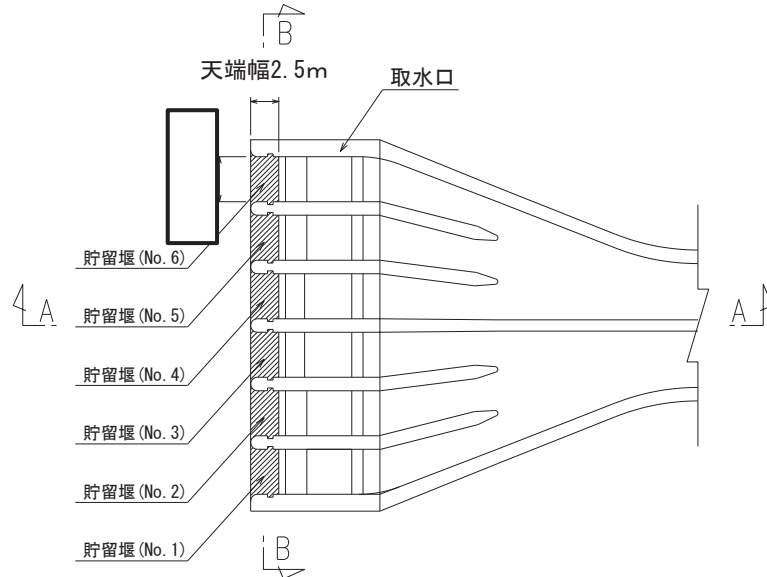


図 2-2 貯留堰平面図

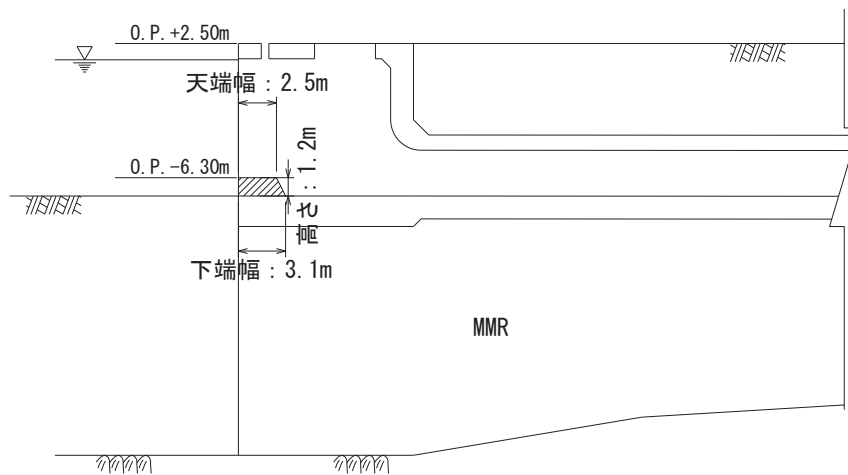


図 2-3 貯留堰縦断図 (A-A)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

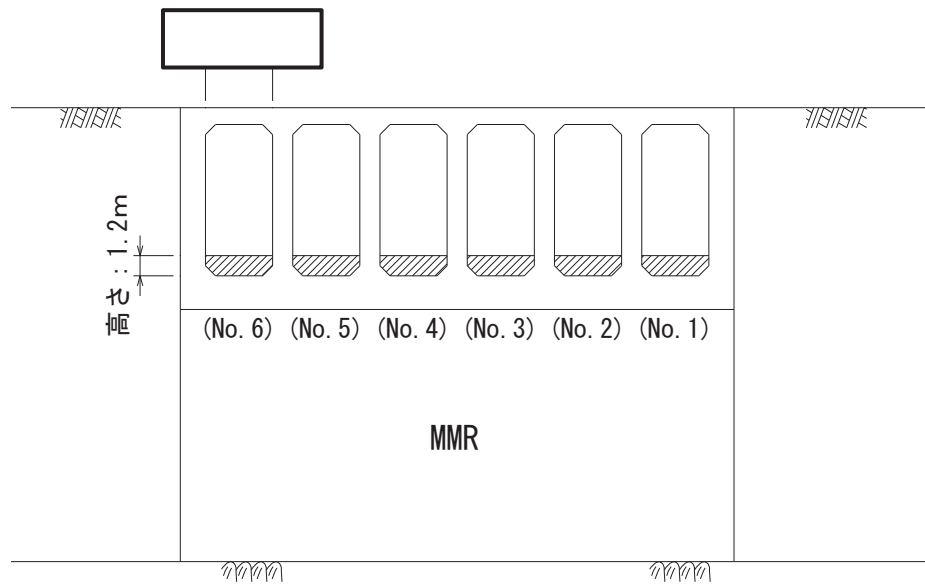


図 2-4 貯留堰正面図 (B-B)

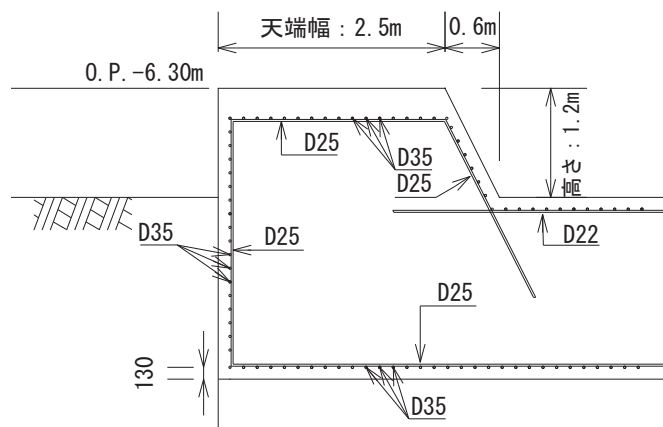


図 2-5 貯留堰配筋図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.3 評価方針

貯留堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえて実施する。強度評価においては、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」より、発生応力が許容限界を満足することを確認する。

貯留堰の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）、津波に伴う荷重及びS d - D 2による余震荷重作用時（以下「重畳時」という。）を対象とする。

貯留堰の評価項目及び評価フローを表 2-1、図 2-6 に示す。

表 2-1 貯留堰の評価項目

評価方針	評価項目	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の健全性	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（曲げ・軸力，せん断力）*
止水性を損なわないこと			

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

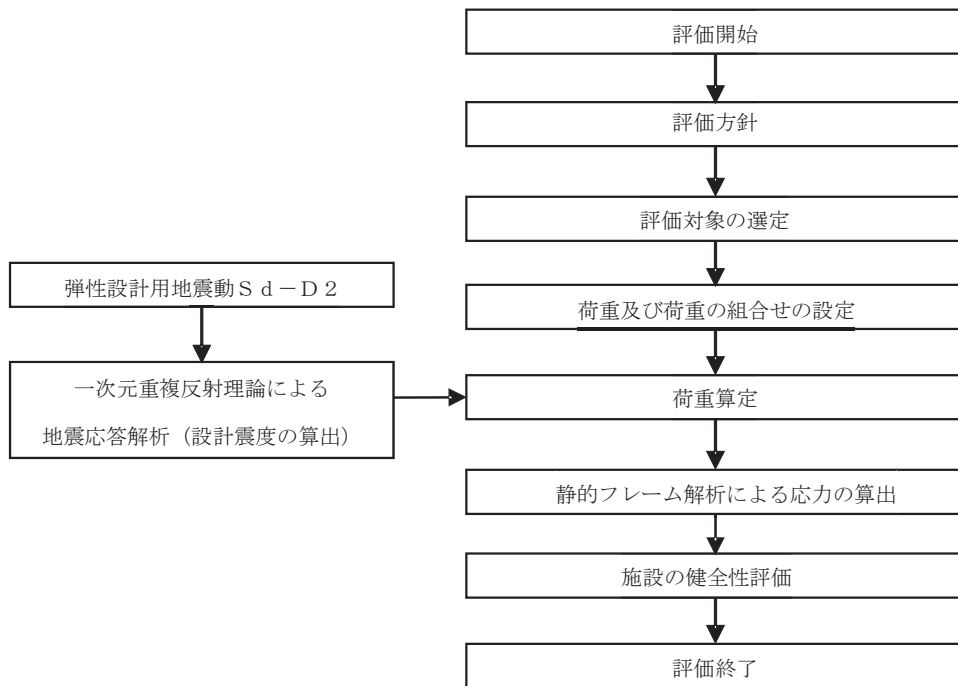


図 2-6 貯留堰の強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 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)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
g	m/s ²	重力加速度
kh	—	設計水平震度
w1	kN/m	躯体自重(貯留堰天端における軸方向荷重)
w2	kN/m	躯体自重(貯留堰下端における軸方向荷重)
h1	m	貯留堰の天端における水深
h2	m	貯留堰の下端における水深
p1	kN/m	貯留堰の天端における津波波圧
p2	kN/m	貯留堰の下端における津波波圧
Pc	kN	衝突荷重
pd1	kN/m	貯留堰の天端における動水圧
pdn	kN/m	貯留堰にかかる動水圧(分割してn番目の動水圧)
ps1	kN/m	貯留堰の天端における静水圧
ps2	kN/m	貯留堰の下端における静水圧
γ_w	kN/m ³	海水の単位体積重量
psd1	kN/m	貯留堰の天端における躯体慣性力
psd2	kN/m	貯留堰の下端における躯体慣性力
σ	N/mm	曲げモーメント及び軸力による応力
f'ck	N/mm ²	コンクリートの設計基準強度
σ'_{ca}	N/mm ²	短期許容曲げ圧縮応力度
σ_{sa}	N/mm ²	短期許容引張応力度
M	kN・m	曲げモーメント
N	kN	軸力
τ	N/mm ²	せん断応力度
τ_a	N/mm ²	短期許容せん断応力度
V	kN	せん断力

3.2 評価対象

貯留堰の強度計算においては、津波荷重及び漂流物衝突荷重が東西方向に作用することから、津波荷重作用方向（東西方向）を評価対象断面とする。また、取水口に6基設置される各貯留堰は近接しており、各貯留堰位置で地質構造には有意な差がない。したがって、6基の貯留堰の中央位置の地質断面を用いて、評価を実施する。

図2-2に示すA-A及びB-B断面の地質図を図3-1、評価対象位置での地質構成図を図3-2に示す。図3-1に示すとおり、貯留堰はC_MもしくはC_H岩盤上にMMRを介して構築された取水口底版に設置されている。

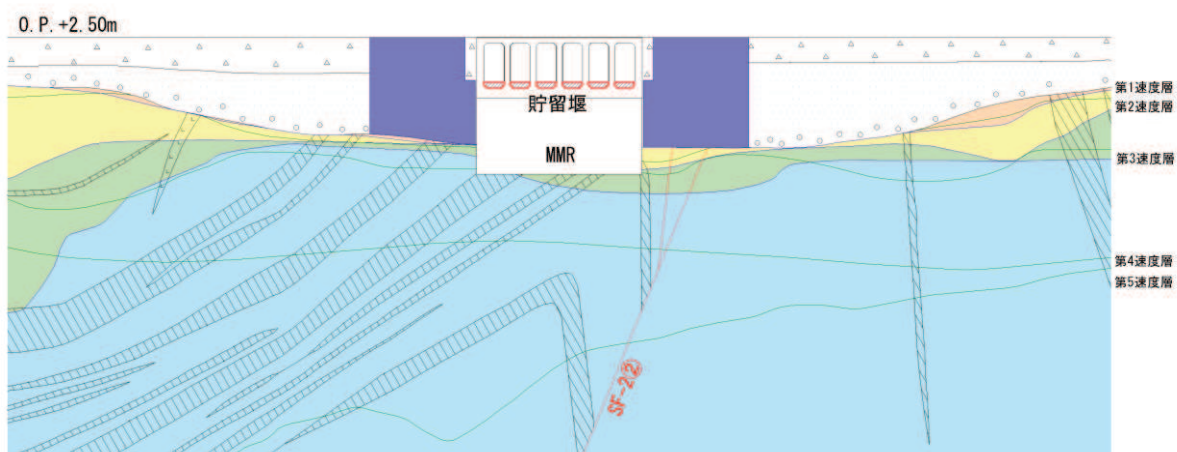


図3-1(1) 貯留堰地質断面図 (A-A)

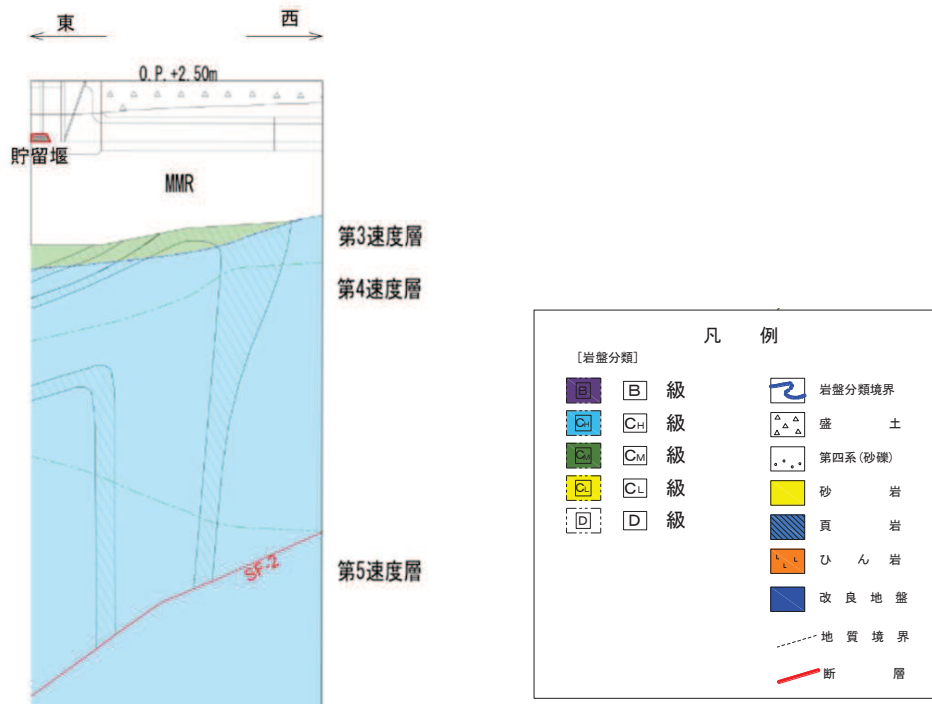


図3-1(2) 貯留堰地質断面図 (B-B)

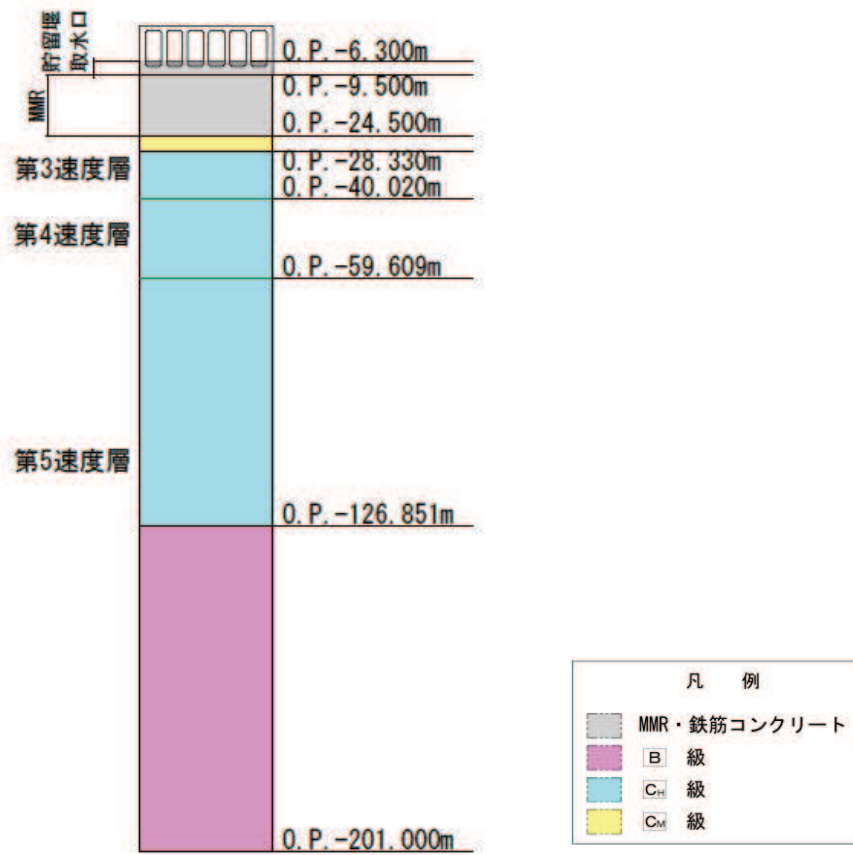


図 3-2 地質構成図

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重として、海底面高さ (O.P. -11.5m) と貯留堰の各高さにおける標高 (O.P. -6.3m) との差の 1/2 (2.6m) を設計用浸水深として、朝倉式により算定した波力を考慮する。

(3) 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d - D₂ による慣性力及び動水圧を考慮する。

(4) 津波荷重 (静水圧) (P_{h y})

基準津波による貯留堰内外の水位差が最大となる津波高さ (O.P. -5.3m) の時の静水圧を考慮する。

(5) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重については、2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) *1」による漂流物荷重に十分な余裕を考慮して設定する。衝突荷重を表 3-2 に示す。

注記*1 : FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 3-2 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13.0	2000

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、表 3-3 に示すとおり津波時及び重畳時 1、重畳時 2 の 3 ケースを考慮する。各ケースにおける荷重作用図を図 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
津波時	$G + P_t + P_c$
重畳時 1	$G + P_t + K S_d$
重畳時 2	$G + P_{hy} + K S_d + P_c$

G : 固定荷重

P_t : 遡上津波荷重

P_c : 衝突荷重

$K S_d$: 余震荷重

P_{hy} : 津波荷重 (静水圧)

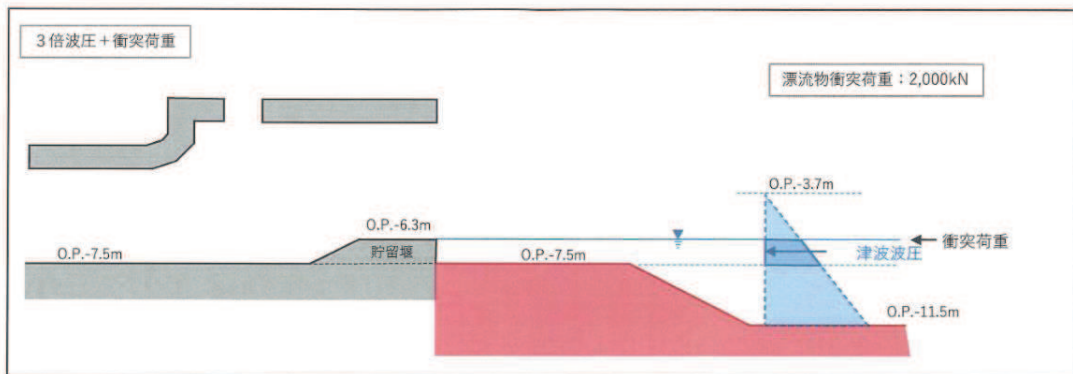


図 3-3(1) 荷重作用図 (津波時)

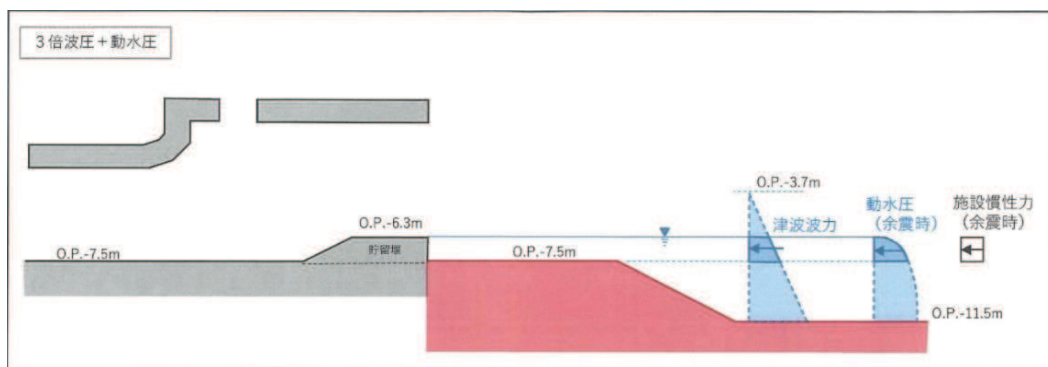


図 3-3(2) 荷重作用図 (重畳時 1)

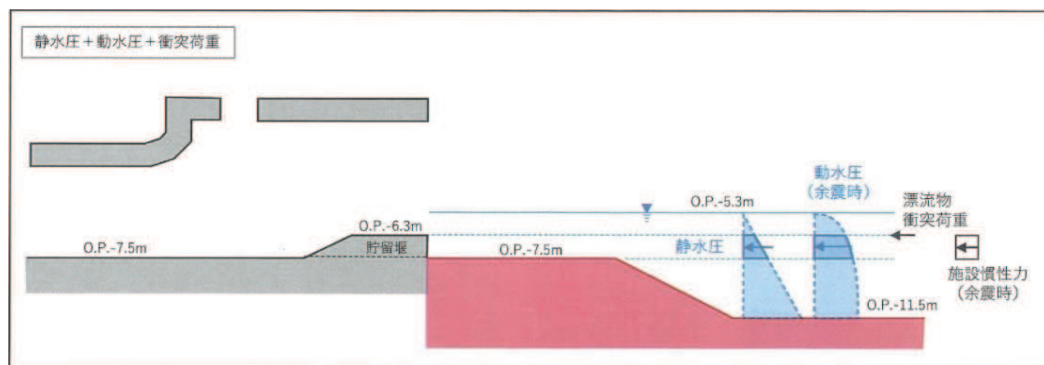


図 3-3(3) 荷重作用図 (重畳時 2)

3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象」にて設定した評価対象の応力や形状を考慮し、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

貯留堰の許容限界は、「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)」に基づく短期許容応力度とする。貯留堰の許容限界を表 3-4 に示す。

表3-4 貯留堰の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck} = 20.5 \text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	7.8	11.7
	許容せん断応力度 τ_a	0.42	0.63
鉄筋 (SD345)	許容引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記* : 短期許容応力度は, 許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

3.5 評価方法

貯留堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき実施する。

3.5.1 解析方法

(1) 拘束条件

図 2-2～図 2-4 に示すとおり、貯留堰は取水口の底版に設置されており、側面は取水口の側壁もしくは導流壁に拘束された 3 辺固定構造となっている。また、貯留堰高さ 1.2m に対して、津波荷重作用方向（東西方向）である天端幅は 2.5m あることから、面外荷重に対して堅固な構造となっている。なお、貯留堰が設置される取水口底版は、東西方向の延長 39.8m を有する平坦な構造となっており、貯留堰下端を堅固に固定している。

ここでは、面外方向からの津波荷重及び漂流物荷重に対して、貯留堰の健全性を保守的に評価する観点から、貯留堰側面の拘束効果（取水口の側壁及び導流壁による荷重分担効果）を考慮せず、取水口底版を固定端とした片持ち梁としてモデル化し、貯留堰の強度評価を実施する。

(2) 解析手法

取水口底版を固定端とした片持ち梁としてモデル化するにあたり、貯留堰を高さ方向に線形はり要素（はり長 1.2m、奥行き幅 4.0m）で模擬して、静的フレーム解析により評価を実施する。静的フレーム解析モデルの概念図を図 3-4 に示す。

静的フレーム解析には、解析プログラム「FRAME（面内） Ver. 5.0.4」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。

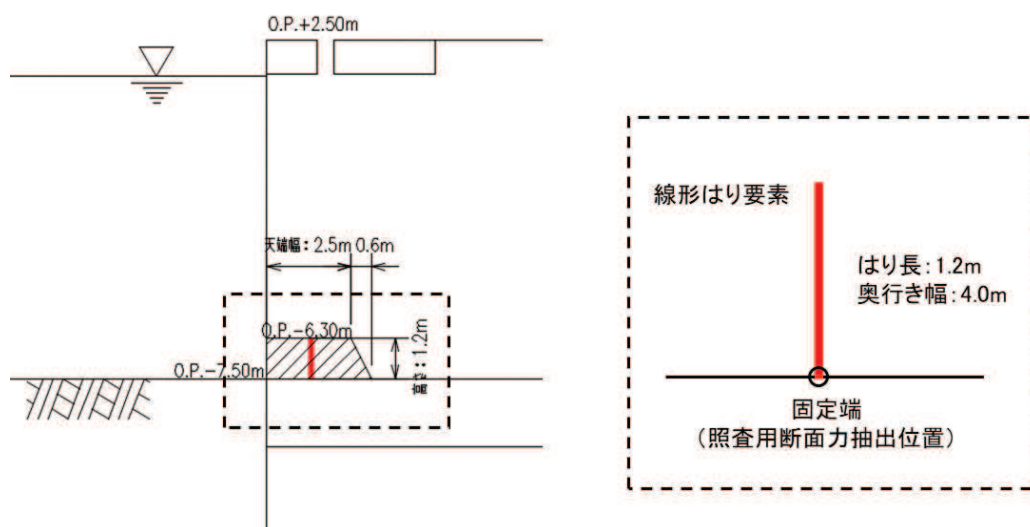


図 3-4 静的フレーム解析モデル概念図

3.5.2 設計水平震度の算定

(1) 地盤物性及び材料物性のばらつき

地震応答解析には、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を使用する。

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-5 に示す解析ケースを設定する。

表 3-5 強度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_o : 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 + 1 σ
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ

(2) 一次元地震応答解析

設計水平震度は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を一次元重複反射理論による引戻し・引上げ解析を行って求められる応答結果を用いて設定する。応答値の抽出位置は貯留堰の中心 (O.P. -6.9m) とし、引戻し解析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。

一次元地震応答解析の概念図を図 3-5 に、設計水平震度の設定に用いる貯留堰位置の弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ によるケース①～③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。

一次元地震応答解析には、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。

地下構造モデル

構造物位置地盤モデル

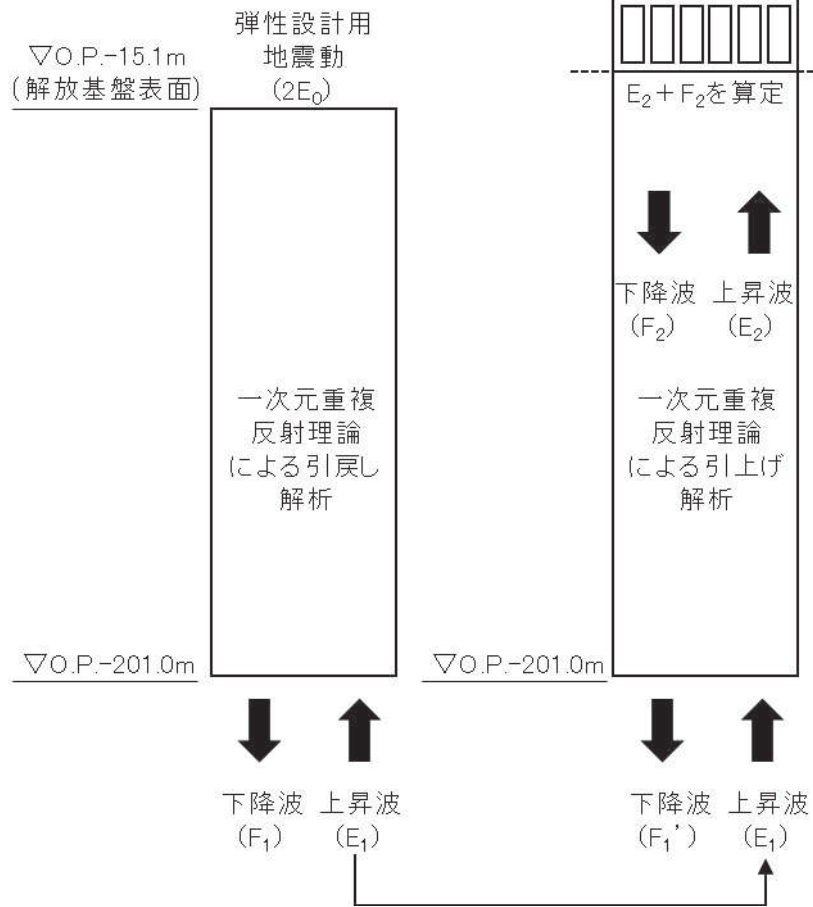
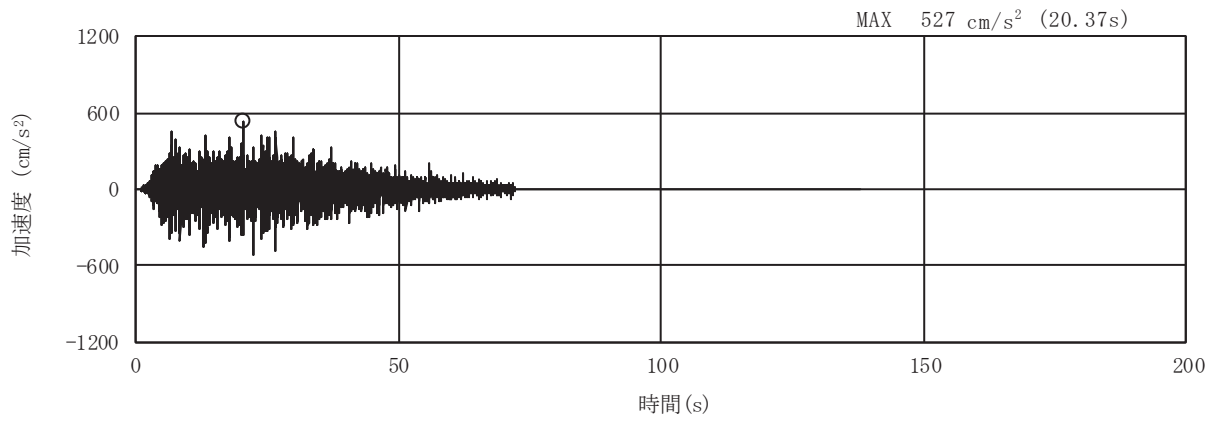
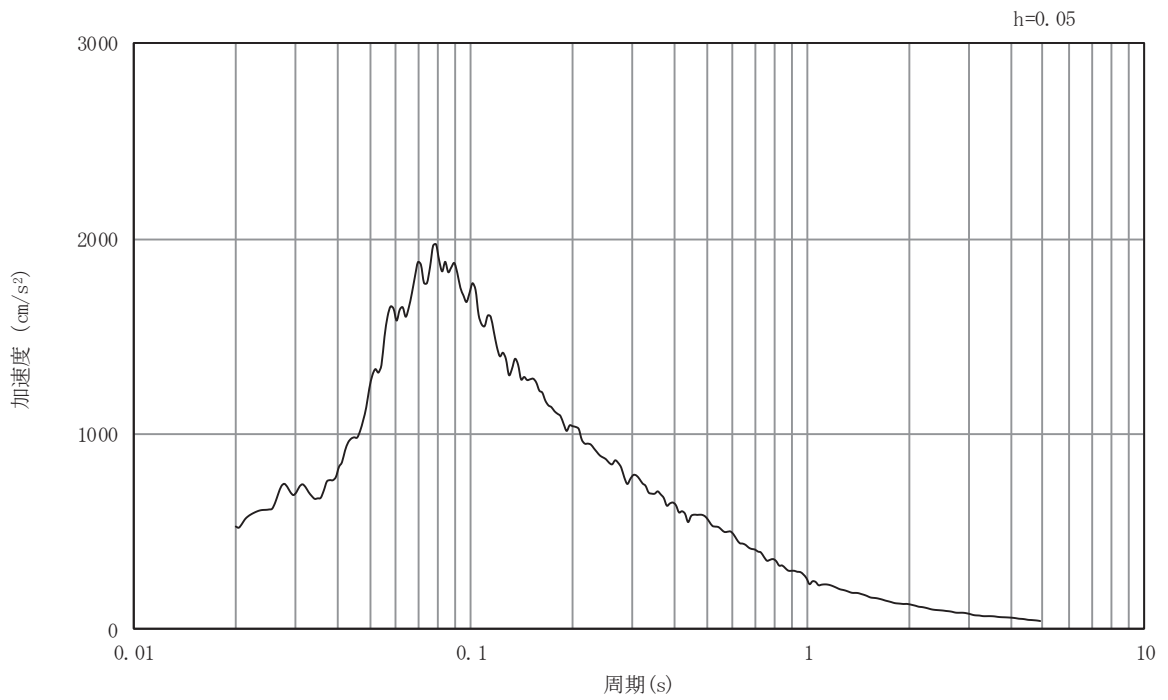


図 3-5 一次元地震応答解析の概念図

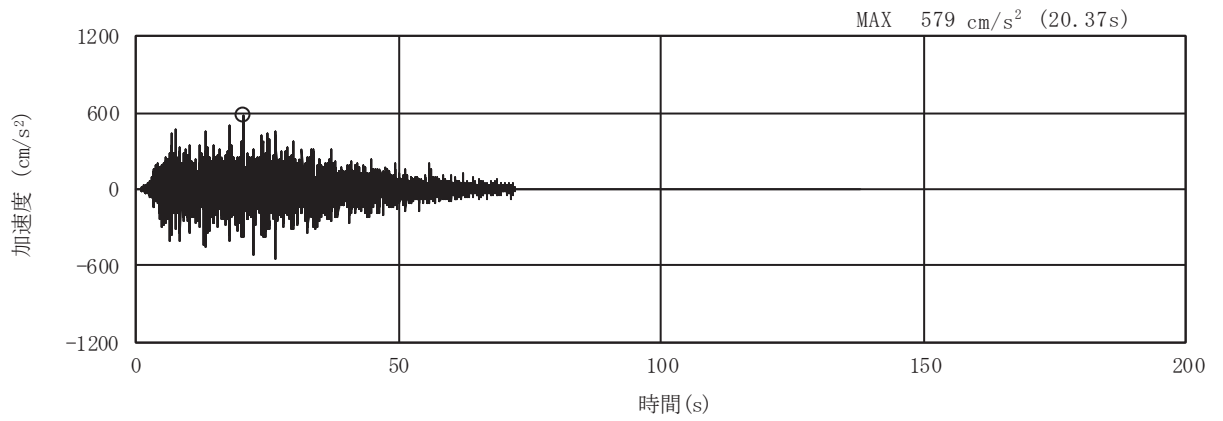


(a) 加速度時刻歴波形

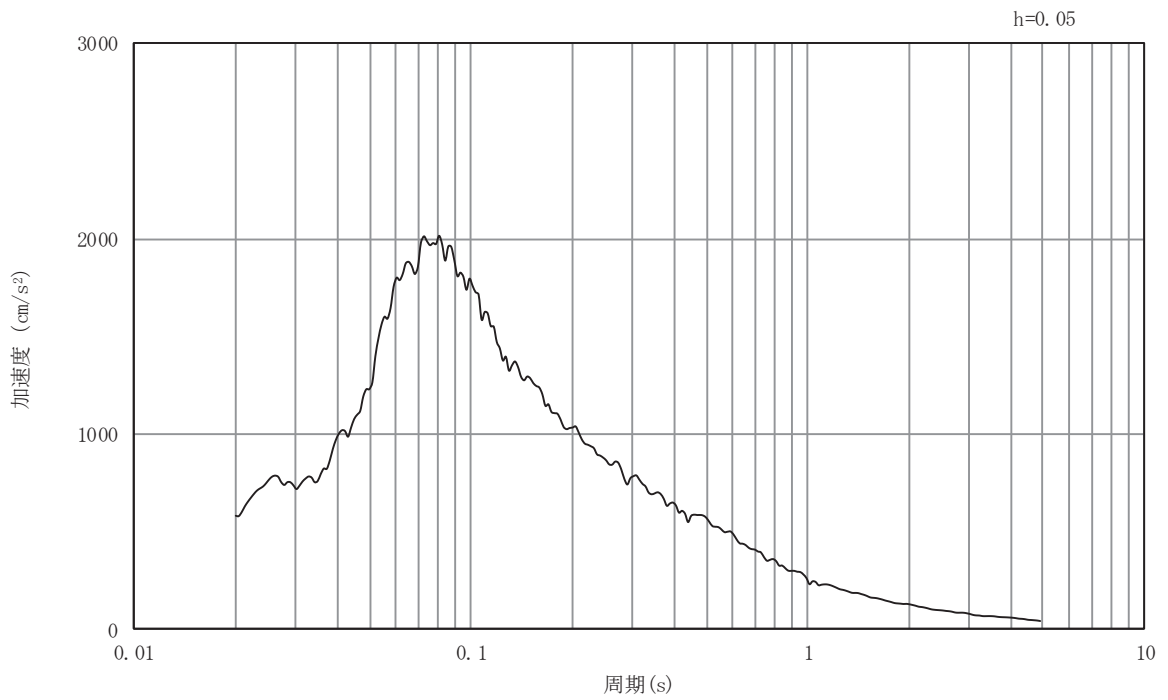


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(1) 貯留堰位置における弾性設計用地震動 S d - D 2 (ケース①, 水平方向) による
加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

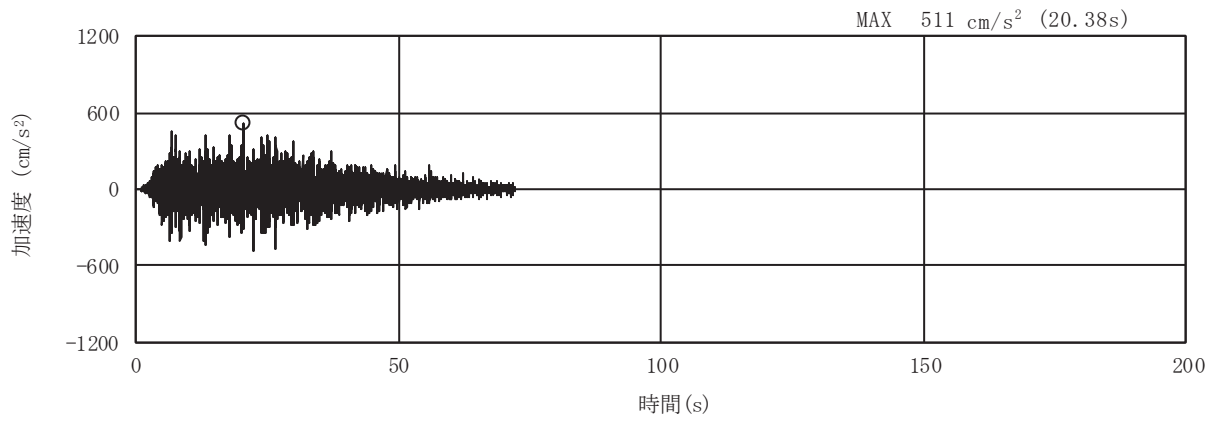


(a) 加速度時刻歴波形

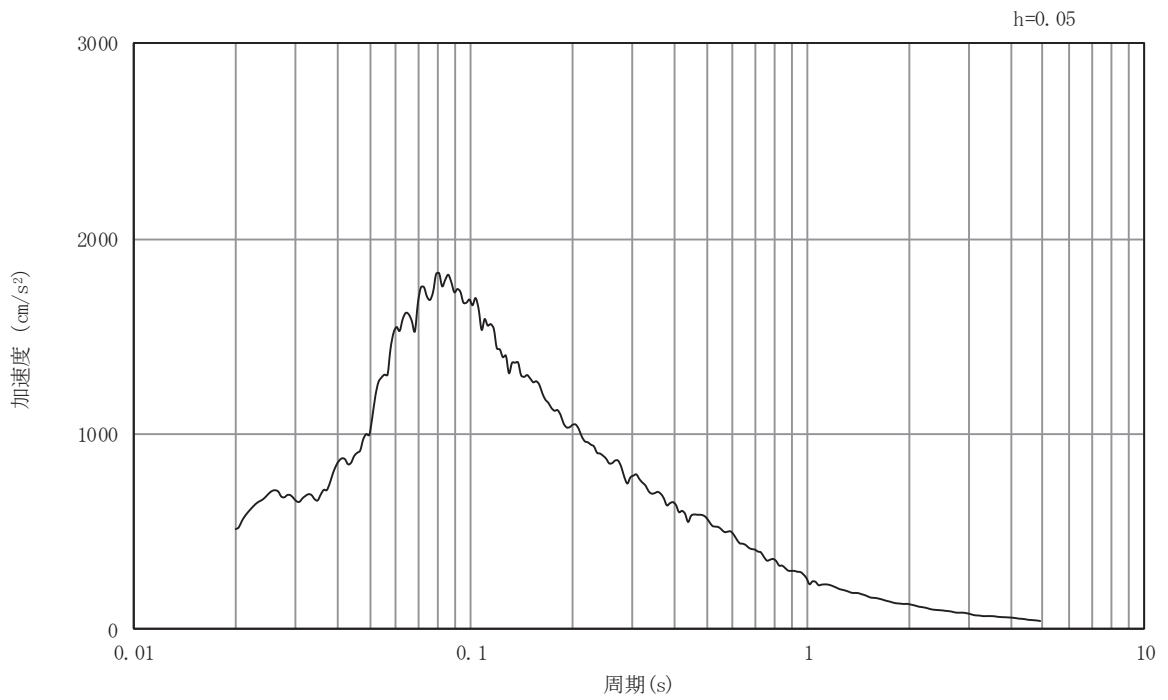


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(2) 貯留堰位置における弾性設計用地震動 S d-D 2 (ケース②, 水平方向) による
加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6(3) 貯留堰位置における弾性設計用地震動 S d - D 2 (ケース③, 水平方向) による
加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

(3) 設計水平震度の算定

貯留堰位置における最大加速度を表 3-6 に示す。

ケース②の加速度が最も大きいため、この加速度を重力加速度で除して、保守的に設計水平震度を 0.60 とする。

$$\text{設計水平震度 (k h)} = 579(\text{cm/s}^2) / 980.665(\text{cm/s}^2) \approx 0.60$$

表 3-6 一次元地震応答解析結果 (下線部：設計水平震度採用ケース)

解析ケース	①	②	③
	基本ケース		地盤剛性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース
最大加速度 (cm/s ²)	527	<u>579</u>	511

3.5.3 評価方法

貯留堰の強度評価においては、静的フレーム解析により得られた曲げモーメント及び軸力より算定した曲げ圧縮応力及び引張応力、せん断力より算定したせん断応力が「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。

(1) 曲げ圧縮と引張に対する照査

曲げ圧縮及び引張の断面照査においては、発生断面力が許容限界以下であることを確認する。解析プログラムは「RC 断面計算 Ver8.0.6」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。

(2) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断力が許容限界以下であることを証明する。

$$\tau = \frac{V}{b w \cdot j \cdot d} = \frac{V}{b w \cdot z}$$

ここで、

V : せん断力

b w : 部材断面の腹部の幅

z = j d : 全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面の図心までの距離

d : 有効高さ, j = 1/1.15

3.5.4 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 3-7 に示す。

表3-7 使用材料及び物性値

評価対象	材料	仕様	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (kN/mm ²)
貯留堰 (鉄筋コンクリート造)	コンクリート	$f'_{ck} = 20.5 \text{N/mm}^2$	24.0	23.3
	鉄筋	SD345		

4. 評価条件

貯留堰は海中構造物であるため、津波波力が作用するのは、引き波により貯留堰が海面から露出し、その後、押し波が貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定される。

「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局）」（平成27年12月一部改訂）によると、津波が構造物を越流する場合の津波荷重は、若干越流している状態の静水圧差と、それより水位の低い越流直前の状態の波力とを比較して、高い方を採用することとしている。

両者を比較した結果、越流直前の津波波力が越流時の静水圧差を上回ることから、各荷重組合せケースにおける水位（水深）及び各種荷重は以下のとおり設定する（比較の詳細については「5.4 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性について」の「5.4.3 貯留堰貯留堰に対する津波波圧算定式の適用に関する検討」に示す）。

4.1 津波時

津波時において、強度評価に用いる評価条件を表4-1に示す。設定の詳細は以下のとおり。

(1) 躯体自重

$$w_1 = 2.5\text{m} \times 4\text{m} \times 24.03\text{kN/m}^3 = 240.3\text{kN/m}$$

$$w_2 = 3.1\text{m} \times 4\text{m} \times 24.03\text{kN/m}^3 = 298.0\text{kN/m}$$

(2) 貯留堰の天端・下端における水深

越流直前の貯留堰天端に水面がある状態を想定し、以下のとおり設定する。

$$h_1 = 0.0\text{m}$$

$$h_2 = 1.2\text{m}$$

(3) 貯留堰の天端・下端に作用する津波波圧

津波波圧の算出には、朝倉式を適用する。海底面高さ（O.P. -11.5m）と入力津波水位（O.P. -6.3m）の1/2（2.6m）を設計用浸水深 η とすると、各水深における波圧は、

$$p = \gamma w \times (\alpha \times \eta - z) \times B$$

ここで、

p : 津波波圧 (kN/m)

γw : 海水の単位体積重量

α : 水深係数 (=3)

η : 設計用浸水深 (=2.6m)

z : 海底面高さ (O.P. -11.5m) を基準とした上向の正の座標

B : 荷重作用幅 (=4.0m)

となる。よって、

$$p_1 = 10.1\text{kN/m}^3 \times (3 \times 2.6\text{m} - (-6.3\text{m} - (-11.5\text{m}))) \times 4\text{m} = 105.0\text{kN/m}$$

$$p_2 = 10.1\text{kN/m}^3 \times (3 \times 2.6\text{m} - (-7.5\text{m} - (-11.5\text{m}))) \times 4\text{m} = 153.5\text{kN/m}$$

表4-1 強度評価に用いる条件（津波時）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
w 1	躯体自重（貯留堰天端における軸方向荷重）	240.3	kN/m
w 2	躯体自重（貯留堰下端における軸方向荷重）	298.0	kN/m
h 1	貯留堰の天端における水深	0.0	m
h 2	貯留堰の下端における水深	1.2	m
p 1	貯留堰の天端における津波波圧	105.0	kN/m
p 2	貯留堰の下端における津波波圧	153.5	kN/m
P c	衝突荷重	2000	kN
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
σ'_{ca}	短期許容曲げ圧縮応力度	11.7	N/mm ²
σ_{sa}	短期許容引張応力度	294	N/mm ²
τ_a	短期許容せん断応力度	0.63	N/mm ²

4.2 重畳時1

重畳時1において、強度評価に用いる評価条件を表4-2に示す。躯体自重、貯留堰の水深、貯留堰に作用する津波波圧の算出方法は「4.1 津波時」のとおりとし、動水圧の設定の詳細は以下のとおり。

(1) 動水圧

動水圧は、以下のとおりWestergaard式により算出する。

$$p_d = 7/8 \times \gamma_w \times kh \times \sqrt{(H \times h)} \times B$$

ここで、

γ_w : 水の単位体積重量 (=10.1kN/m³)

kh : 水平地震力 (=0.60)

H : 貯留堰天端における水深 (= -6.3m - (-11.5m) = 5.2m)

h : 対象個所の水深(m)

よって、

$$\begin{aligned} p_d &= 7/8 \times 10.1 \times 0.6 \times \sqrt{(5.2 \times z)} \times 4.0 \\ &= 21.21 \times \sqrt{(5.2 \times z)} \end{aligned}$$

貯留堰の下端（天端から1.2m）における動水圧を例にとると、

$$p_{d13} = 21.21 \times \sqrt{(5.2 \times z)} = 53.0 \text{ kN/m}$$

表4-2 強度評価に用いる条件（重畳時1）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
k h	設計水平震度	0.60	—
w 1	躯体自重（貯留堰天端における軸方向荷重）	240.3	kN/m
w 2	躯体自重（貯留堰下端における軸方向荷重）	298.0	kN/m
h 1	貯留堰の天端における水深	0.0	m
h 2	貯留堰の下端における水深	1.2	m
p 1	貯留堰の天端における津波波圧	105.0	kN/m
p 2	貯留堰の下端における津波波圧	153.5	kN/m
p d 1	貯留堰の天端における動水圧	0.0	kN/m
p d 2	貯留堰の天端から下に0.1mにおける動水圧	15.3	kN/m
p d 3	貯留堰の天端から下に0.2mにおける動水圧	21.6	kN/m
p d 4	貯留堰の天端から下に0.3mにおける動水圧	26.5	kN/m
p d 5	貯留堰の天端から下に0.4mにおける動水圧	30.6	kN/m
p d 6	貯留堰の天端から下に0.5mにおける動水圧	34.2	kN/m
p d 7	貯留堰の天端から下に0.6mにおける動水圧	37.5	kN/m
p d 8	貯留堰の天端から下に0.7mにおける動水圧	40.5	kN/m
p d 9	貯留堰の天端から下に0.8mにおける動水圧	43.3	kN/m
p d 10	貯留堰の天端から下に0.9mにおける動水圧	45.9	kN/m
p d 11	貯留堰の天端から下に1.0mにおける動水圧	48.4	kN/m
p d 12	貯留堰の天端から下に1.1mにおける動水圧	50.7	kN/m
p d 13	貯留堰の下端における動水圧	53.0	kN/m
p s d 1	貯留堰の天端における躯体慣性力	144.2	kN/m
p s d 2	貯留堰の下端における躯体慣性力	178.8	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
σ'_{ca}	許容曲げ圧縮応力度	11.7	N/mm ²
σ_{sa}	許容引張応力度	294	N/mm ²
τ_a	許容せん断応力度	0.63	N/mm ²

4.3 重畳時2

重畳時2において、強度評価に用いる評価条件を表4-3に示す。躯体自重の算出方法は「4.1 津波時」のとおりとし、水深、静水圧、動水圧の設定の詳細は以下のとおり。

(1) 貯留堰の天端・下端における水深

重畳時2の水位として、引き波後に襲来する津波が貯留堰を越流する際に最大水位差1.0mの高さの越流状態を想定する（詳細については「5.4 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性について」の「5.4.3 貯留堰貯留堰に対する津波波圧算定式の適用に関する検討」に示す）。よって、

$$h_1 = 1.0\text{m}$$

$$h_2 = 2.2\text{m}$$

(2) 貯留堰の天端・下端における静水圧

$$p_{s1} = 10.1\text{kN/m}^3 \times 1.0\text{m} \times 4.0\text{m} = 40.1\text{kN/m}$$

$$p_{s2} = 10.1\text{kN/m}^3 \times 2.2\text{m} \times 4.0\text{m} = 88.9\text{kN/m}$$

(3) 動水圧

重畳時2における動水圧の算出方法は「4.2 重畳時1」と同等であるが、想定している水位が0.P. -5.3mであることから、

$$H = -5.3\text{m} - (-11.5\text{m}) = 6.2\text{m}$$

となり、

$$p_d = 21.21 \times \sqrt{6.2 \times z}$$

となる。

貯留堰の下端（天端から1.2m）における動水圧を例にとると、

$$p_{d13} = 21.21 \times \sqrt{6.2 \times 2.2} = 78.3\text{kN/m}$$

表4-3 強度評価に用いる条件（重畳時2）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
k h	設計水平震度	0.60	—
w 1	躯体自重（貯留堰天端における軸方向荷重）	240.3	kN/m
w 2	躯体自重（貯留堰下端における軸方向荷重）	298.0	kN/m
h 1	貯留堰の天端における水深	1.0	m
h 2	貯留堰の下端における水深	2.2	m
p s 1	貯留堰の天端における静水圧	40.4	kN/m
p s 2	貯留堰の下端における静水圧	88.9	kN/m
P c	衝突荷重	2000	kN
p d 1	貯留堰の天端における動水圧	52.8	kN/m
p d 2	貯留堰の天端から下に0.1mにおける動水圧	55.4	kN/m
p d 3	貯留堰の天端から下に0.2mにおける動水圧	57.9	kN/m
p d 4	貯留堰の天端から下に0.3mにおける動水圧	60.2	kN/m
p d 5	貯留堰の天端から下に0.4mにおける動水圧	62.5	kN/m
p d 6	貯留堰の天端から下に0.5mにおける動水圧	64.7	kN/m
p d 7	貯留堰の天端から下に0.6mにおける動水圧	66.8	kN/m
p d 8	貯留堰の天端から下に0.7mにおける動水圧	68.9	kN/m
p d 9	貯留堰の天端から下に0.8mにおける動水圧	70.9	kN/m
p d 10	貯留堰の天端から下に0.9mにおける動水圧	72.8	kN/m
p d 11	貯留堰の天端から下に1.0mにおける動水圧	74.7	kN/m
p d 12	貯留堰の天端から下に1.1mにおける動水圧	76.5	kN/m
p d 13	貯留堰の下端における動水圧	78.3	kN/m
p s d 1	貯留堰の天端における躯体慣性力	144.2	kN/m
p s d 2	貯留堰の下端における躯体慣性力	178.8	kN/m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
σ'_{ca}	許容曲げ圧縮応力度	11.7	N/mm ²
σ_{sa}	許容引張応力度	294	N/mm ²
T a	許容せん断応力度	0.63	N/mm ²

4.4 解析ケースによる荷重モデル図

評価条件で使用される記号を用いた荷重モデル図を図4-1～図4-3に示す。

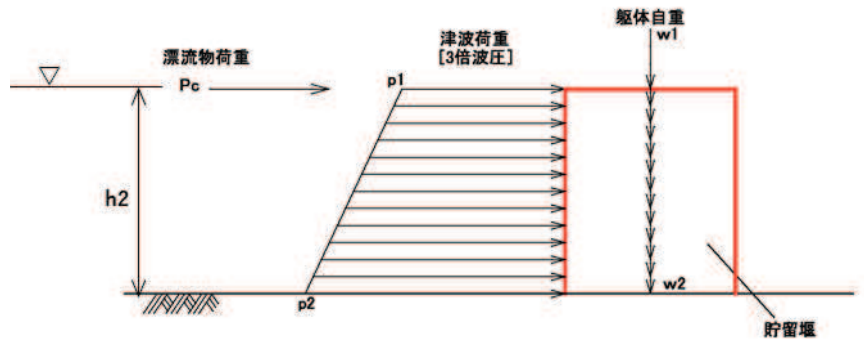


図4-1 荷重モデル図 (津波時)

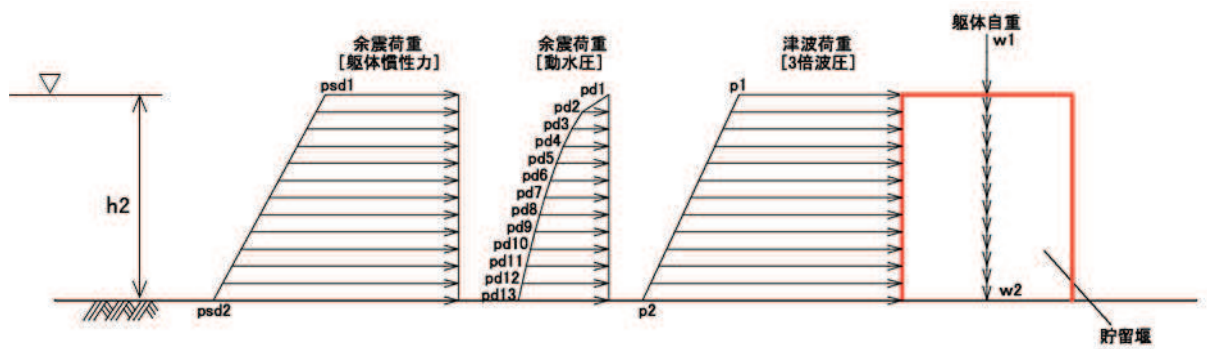


図4-2 荷重モデル図 (重疊時1)

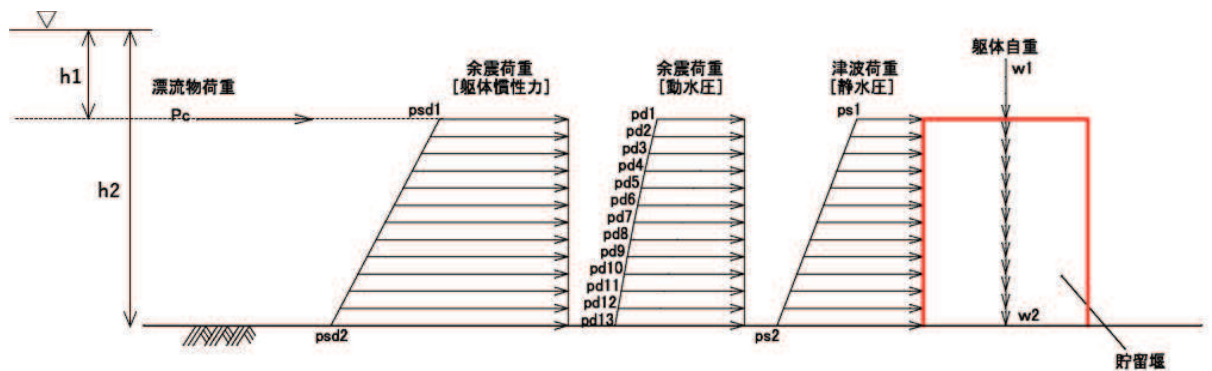


図4-3 荷重モデル図 (重疊時2)

5. 強度評価結果

5.1 曲げ圧縮応力度に対する照査

曲げ圧縮応力度の評価結果を表 5-1 に示す。曲げ圧縮応力度が短期許容圧縮応力度以下であることを確認した。照査値が最大となる重畳時 2 における断面力図を図 5-1 に示す。

表 5-1 曲げ圧縮応力度の評価

事象	曲げモーメント M	軸力 N	圧縮応力度 σ	短期許容 圧縮応力度 σ'_{ca}	照査値
	kN・m			N/mm ²	
津波時	2488	323	1.8	11.7	0.16
重畳時 1	220	323	0.1	11.7	0.01
重畳時 2	2598	323	1.8	11.7	0.16

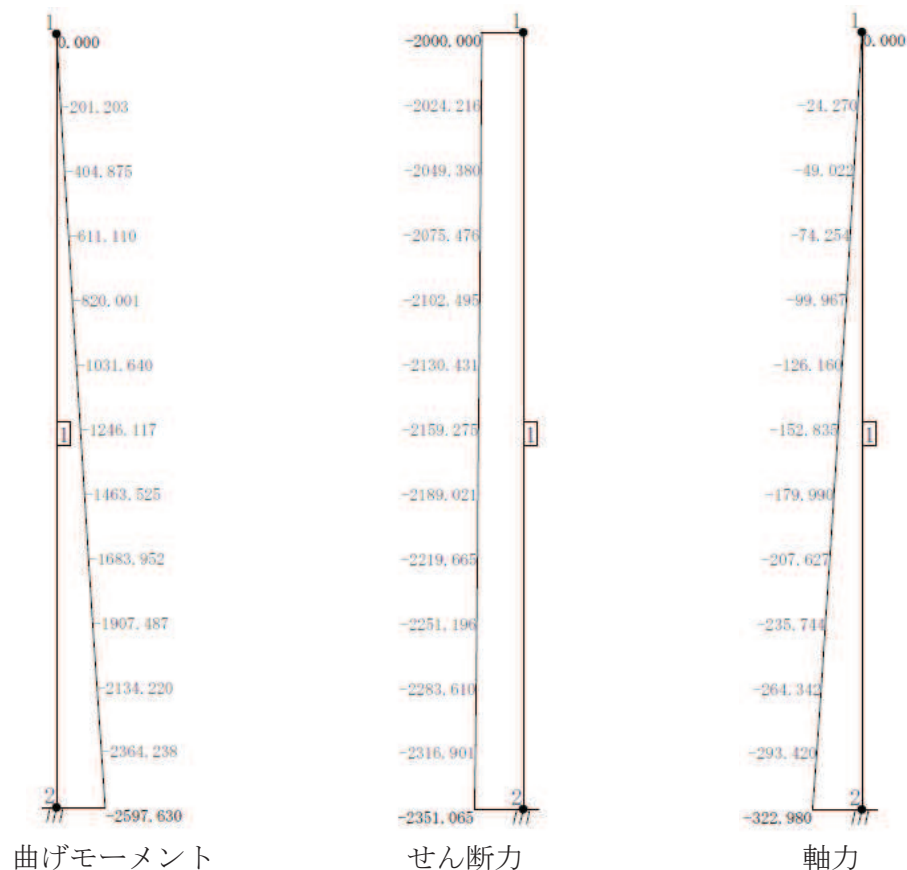


図 5-1 断面力図 (重畳時 2)

5.2 引張応力度に対する照査

引張応力度の評価結果を表 5-2 に示す。引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 5-2 引張応力度の評価

事象	曲げモーメント M	軸力 N	引張応力度 σ	短期許容 引張応力度 σ_{sa}	照査値
	kN・m	kN	N/mm ²	N/mm ²	
津波時	2488	323	140	294	0.48
重畳時 1	220	323	1	294	0.01
重畳時 2	2598	323	148	294	0.51

5.3 せん断応力度に対する照査

せん断応力度の評価結果を表 5-3 に示す。せん断応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 5-3 せん断応力度の評価

事象	せん断力 V	せん断応力度 τ	短期許容 せん断応力度 τ_a	照査値
	kN	N/mm ²	N/mm ²	
津波時	2156	0.27	0.63	0.43
重畳時 1	392	0.05	0.63	0.08
重畳時 2	2352	0.29	0.63	0.47

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.2 水密扉に関する補足説明
- 6.5.2.1 水密扉の設計に関する補足説明

目次

1. 概要.....	1
2. 一般事項.....	1
2.1 検討対象水密扉一覧.....	1
2.2 配置概要.....	2
2.3 構造計画.....	9
3. 耐震評価.....	10
3.1 入力値.....	10
3.2 耐震評価結果.....	38
4. 強度評価.....	52
4.1 入力値.....	52
4.2 強度評価結果.....	80

1. 概要

本資料は添付書類「VI-2-10-2-7-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-3-別添 3-2-6 水密扉の強度計算書」における検討対象水密扉について、評価に必要な入力値及び評価結果を説明するものである。

なお、水密扉の耐震評価及び強度評価においては、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する。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

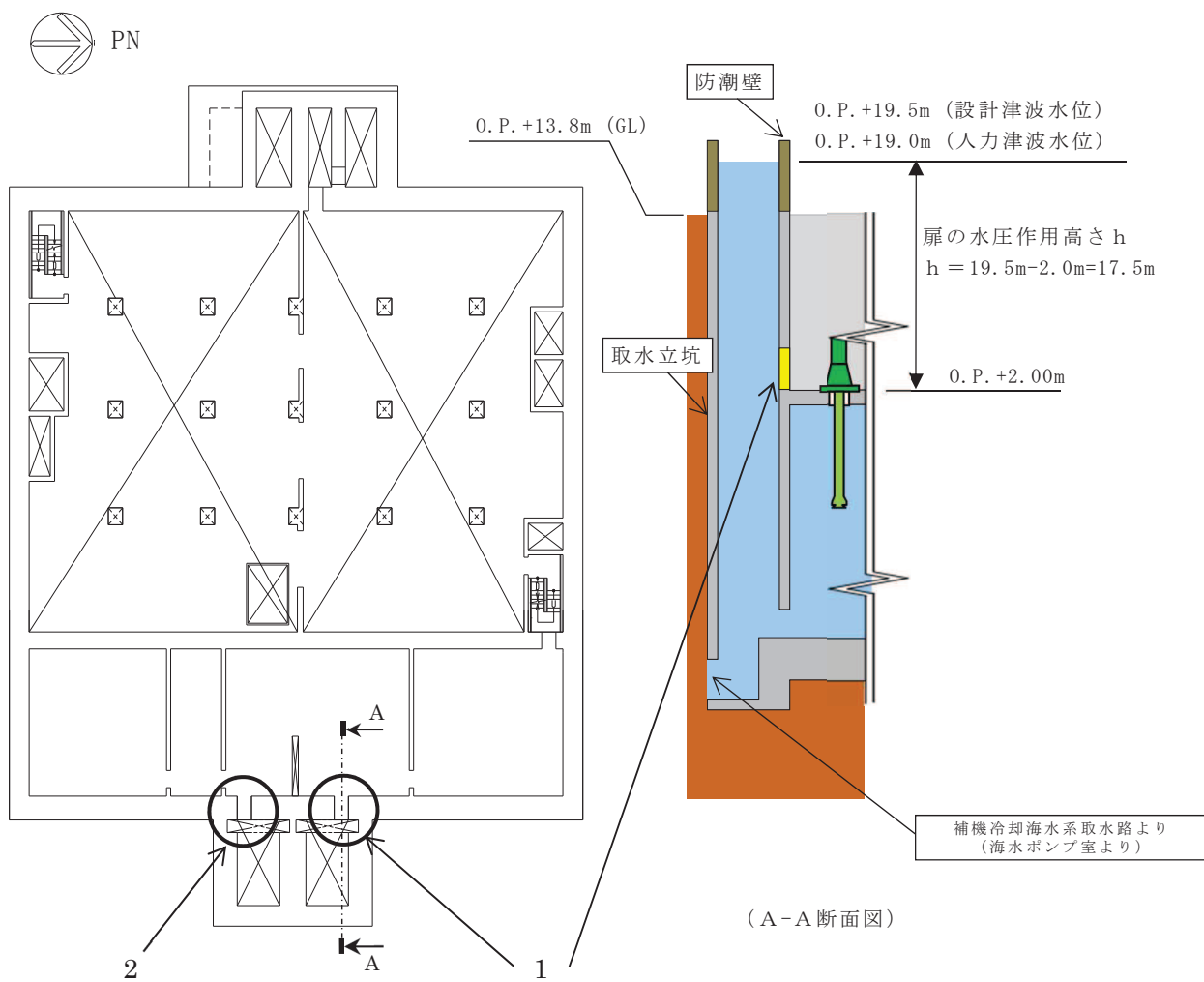
表 2-1 検討対象水密扉一覧

水密扉 No.	扉名称	設置高さ* O. P.
1	水密扉(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア)(No. 1)	2.00m
2	水密扉(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア)(No. 2)	2.00m
3	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 1)	14.00m
4	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 2)	14.00m
5	制御建屋空調機械(A)室浸水防止水密扉	0.50m
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉	0.50m
7	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No. 3)	7.00m
8	制御建屋浸水防止水密扉(No. 1)	18.50m
9	制御建屋浸水防止水密扉(No. 2)	14.00m
10	制御建屋浸水防止水密扉(No. 3)	14.00m
11	制御建屋浸水防止水密扉(No. 4)	14.00m
12	制御建屋浸水防止水密扉(No. 5)	14.00m
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	22.50m

注記*：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ていることを考慮した設計とし、地盤沈下量を考慮した高さを示す。

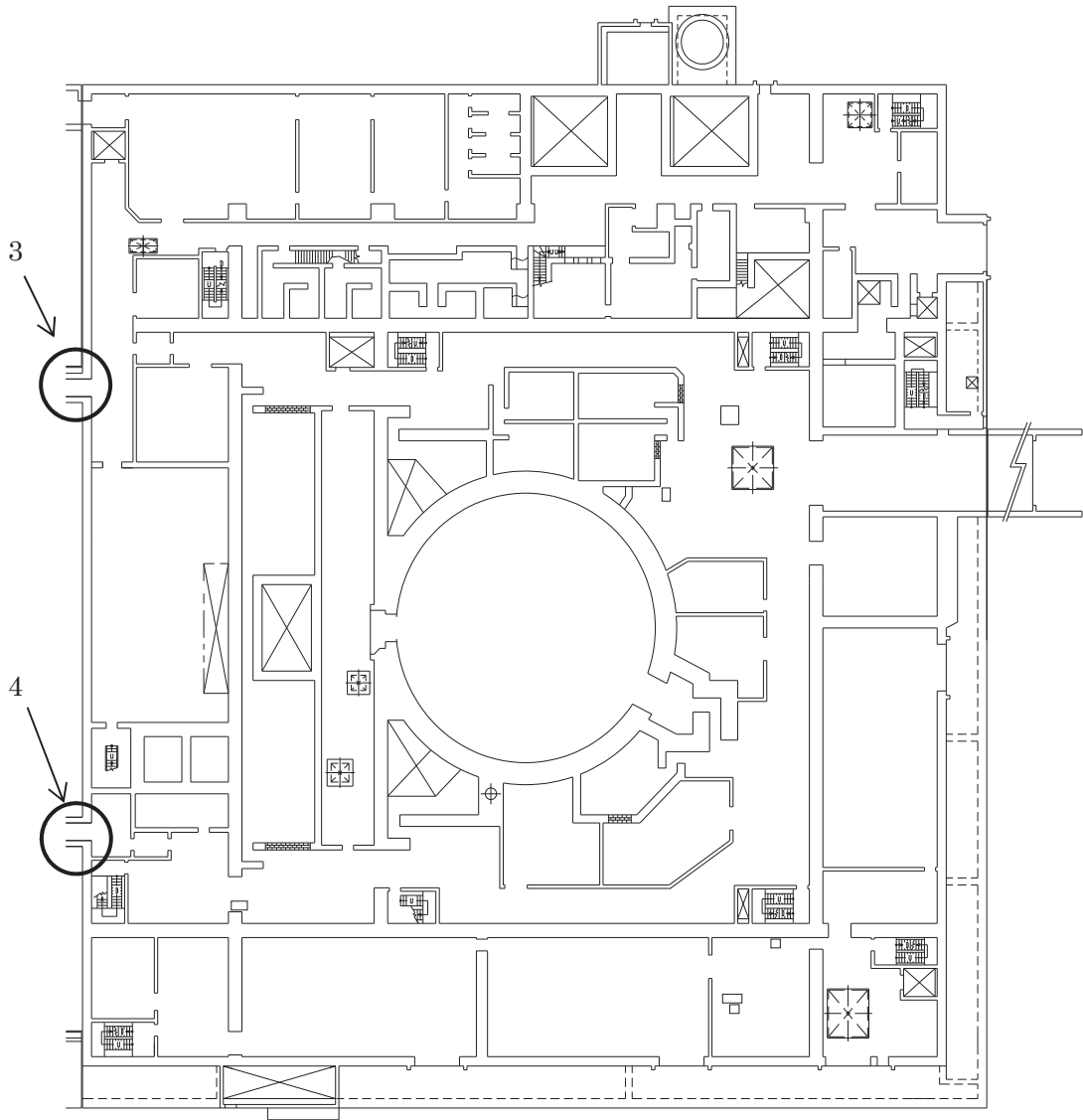
2.2 配置概要

第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図を図2-1に、原子炉建屋の水密扉の設置位置図を図2-2に、制御建屋の水密扉の設置位置図を図2-3に示す。



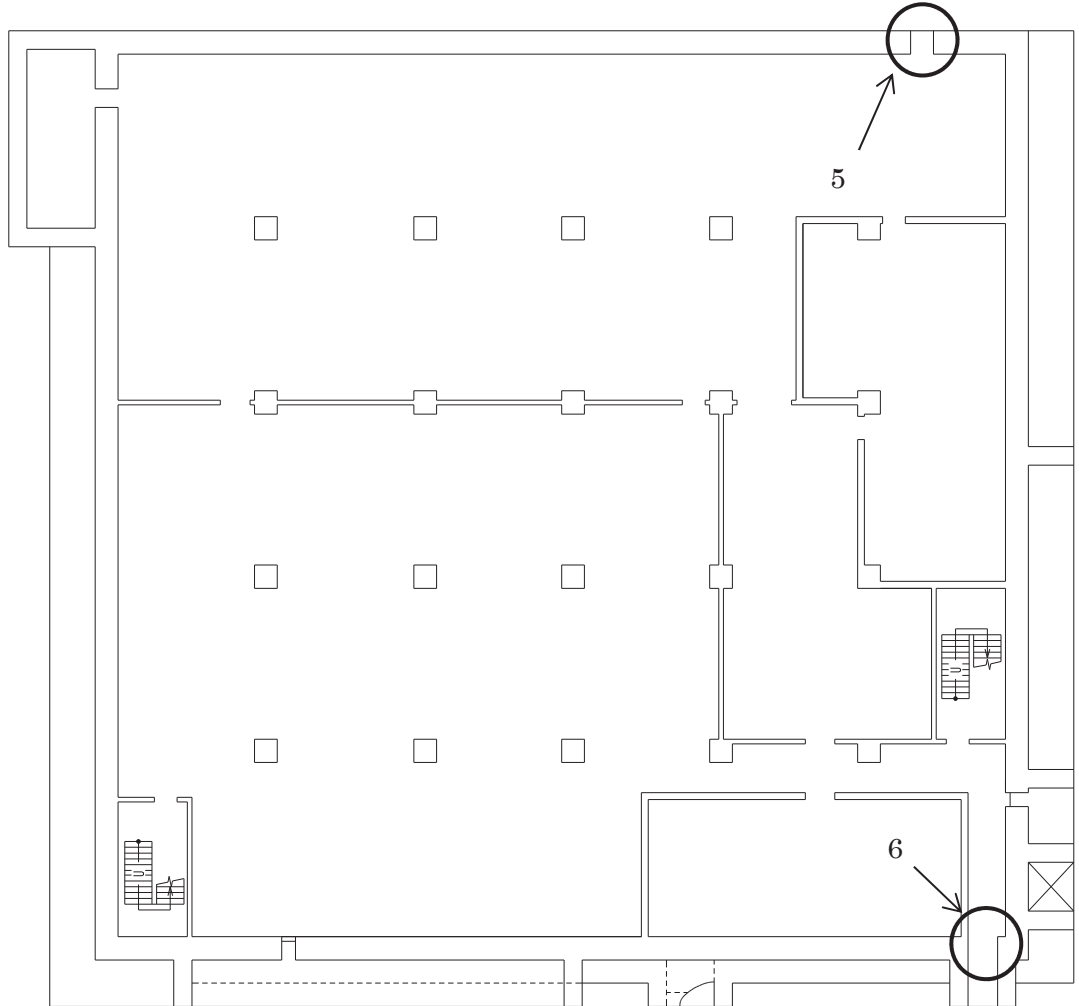
1	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)
2	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)

図2-1 第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図 0.P. 2.00m



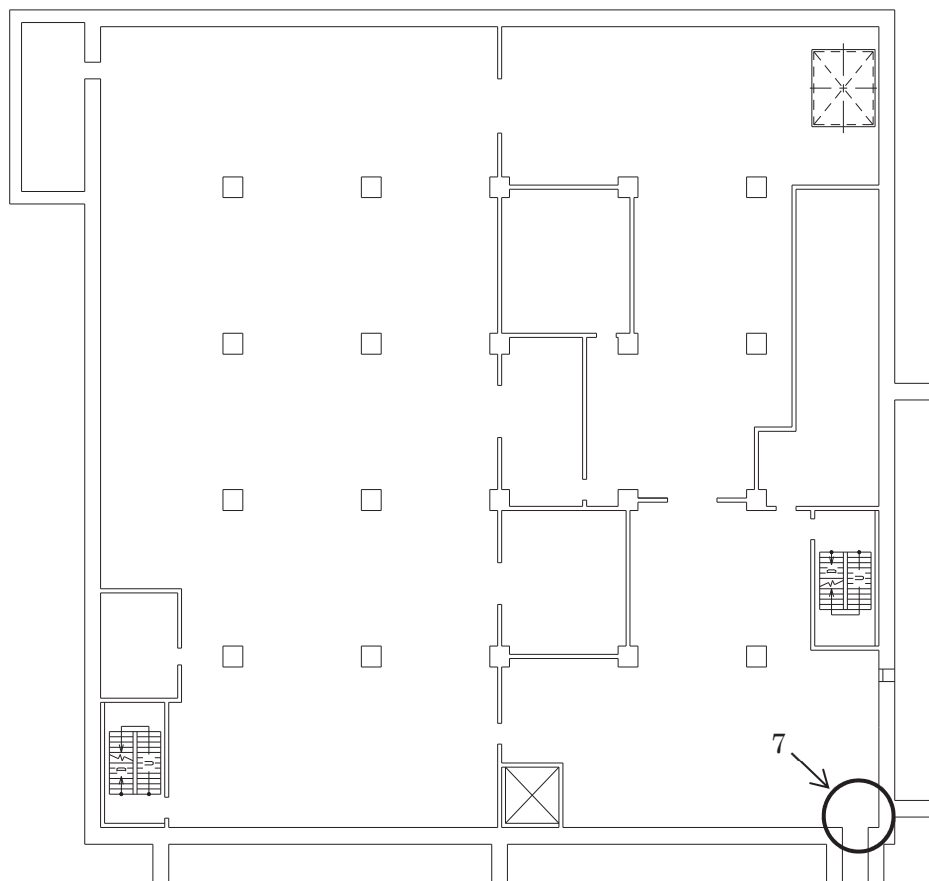
3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)

図 2-2 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 0.P. 14.00m



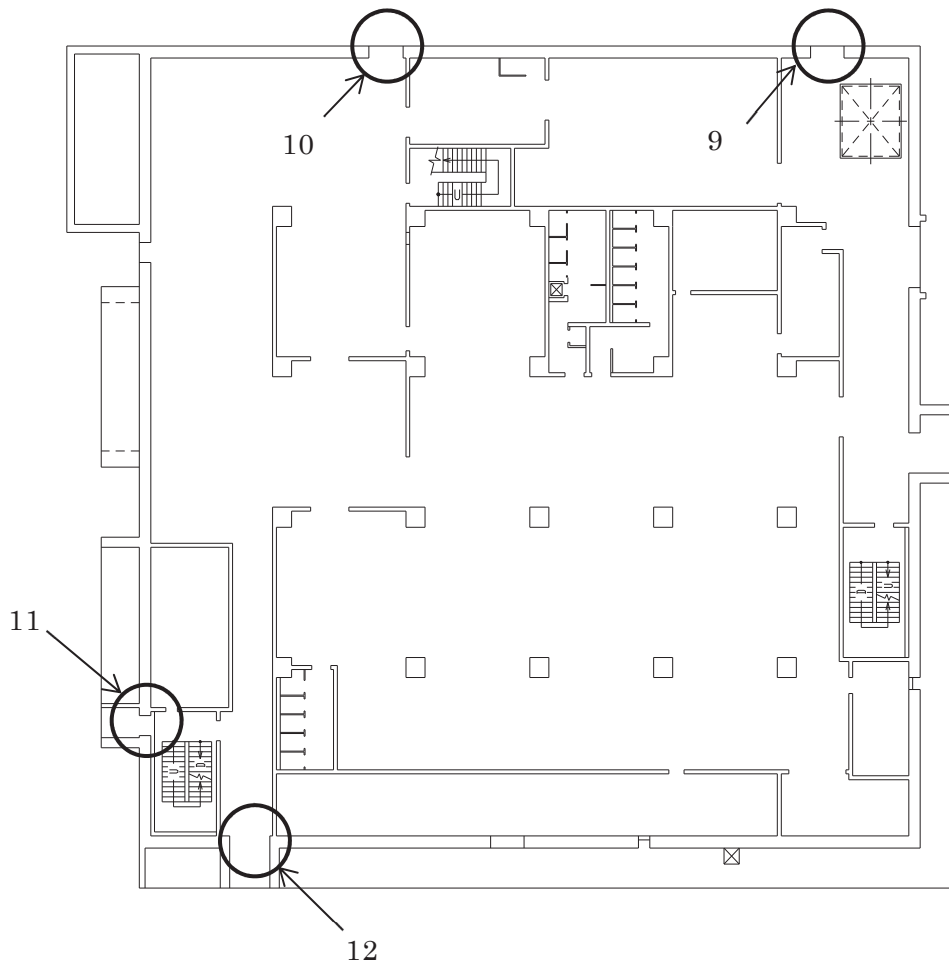
5	制御建屋空調機械(A)室浸水防止水密扉
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(1/5) 0.P.0.50m



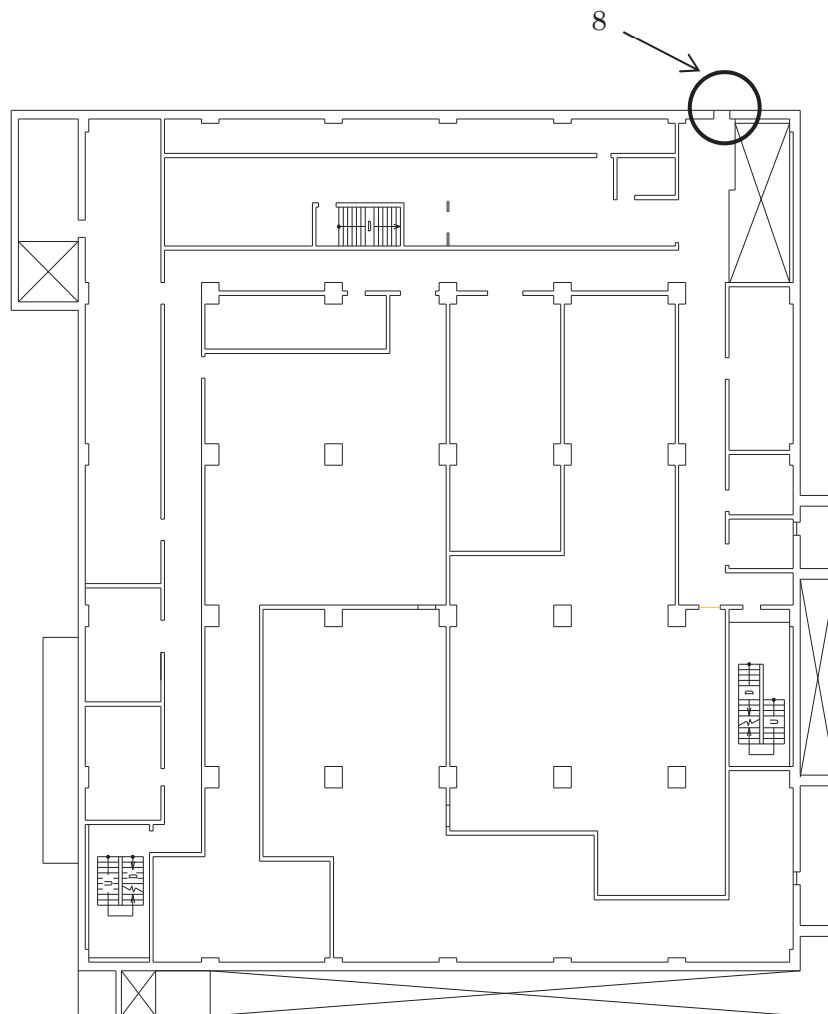
7	計測制御電源室(B) 浸水防止水密扉 (No. 3)
---	----------------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (2/5) 0. P. 7. 00m



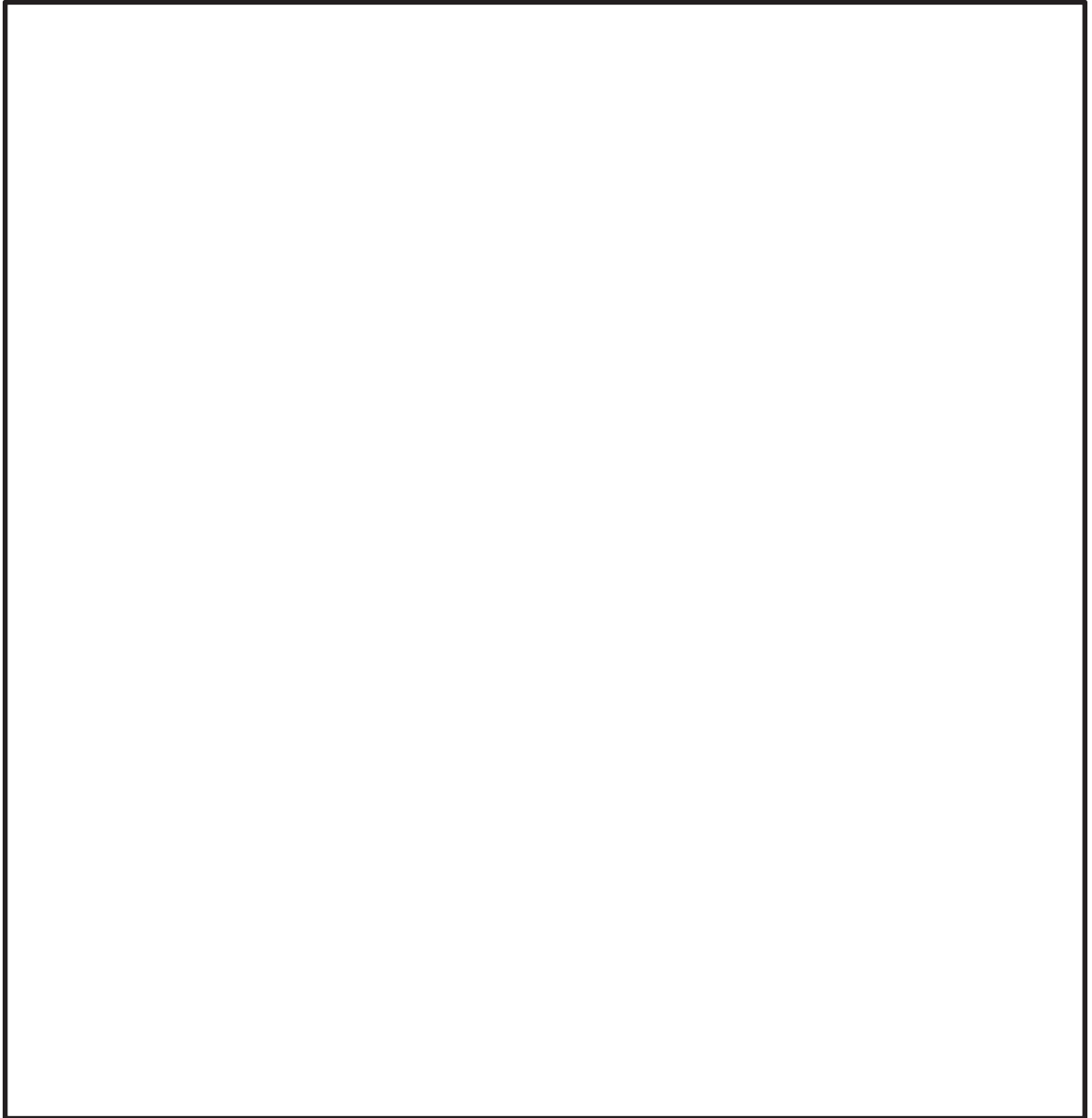
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (3/5) 0. P. 14. 00m



8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
---	---------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (4/5) 0. P. 18. 50m



13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉
----	--------------------

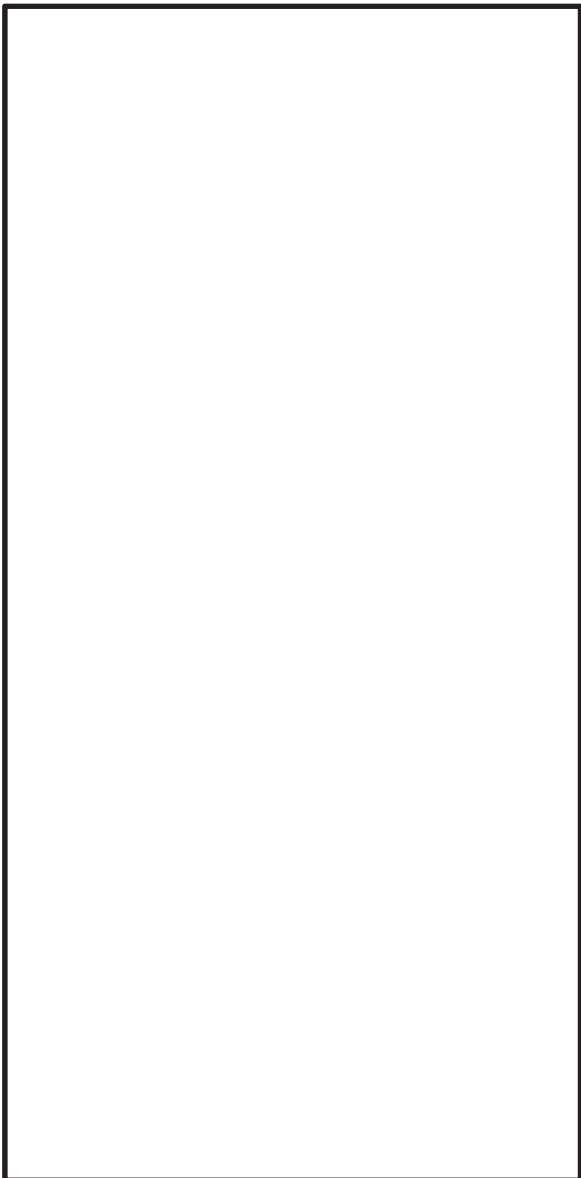
図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (5/5) 0. P. 22. 50m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.3 構造計画

水密扉は、片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉止状態において、カンヌキ及びカンヌキ受けにより固定され止水性を確保しており、アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。水密扉の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と建屋躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 耐震評価

3.1 入力値

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (1/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				1	
共通	G	kN	扉重量	7.85	
	k_H	—	水平震度	1.87	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.11	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	588.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1212.0	
	W_1	N	スラスト荷重	16560	
	F_1	N	転倒力	15380	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	328.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	66
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
		x	N/mm ²	組合せ応力度	67
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	58
		τ	N/mm ²	せん断応力度	10
		x	N/mm ²	組合せ応力度	61
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	36
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
		x	N/mm ²	組合せ応力度	7
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	4

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (2/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					1
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	6.37
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	11
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	3880
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	4419
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	43144
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	33592
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	90.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	1.97×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	2310
		γ_m	kg/cm	質量分布	1.90
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (3/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				2	
共通	G	kN	扉重量	7.85	
	k_H	—	水平震度	1.87	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.11	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	588.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1212.0	
	W_1	N	スラスト荷重	16560	
	F_1	N	転倒力	15380	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	328.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	66
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
		x	N/mm ²	組合せ応力度	67
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	58
		τ	N/mm ²	せん断応力度	10
		x	N/mm ²	組合せ応力度	61
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	36
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
		x	N/mm ²	組合せ応力度	7
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	4

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (4/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					2
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	6.57
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	11
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	3913
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	4458
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	36442
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	22305
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	90.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	1.97×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	2310
		γ_m	kg/cm	質量分布	1.90
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (5/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉No.
					3
共通		G	kN	扉重量	23.54
		k_H	—	水平震度	1.77
		k_{UD}	—	鉛直震度	1.30
		L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	765.0
		L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1371.0
		W_1	N	スラスト荷重	54140
		F_1	N	転倒力	51040
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	220.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	105
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
		x	N/mm ²	組合せ応力度	106
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	41.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	50
		τ	N/mm ²	せん断応力度	10
		x	N/mm ²	組合せ応力度	53
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	43
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	127.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	25
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
		x	N/mm ²	組合せ応力度	26
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	82.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	17
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	11

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (6/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					3
扉 固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	19.61
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	15
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	9119
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	10450
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張力	40463
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断力	40302
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	135.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	2533
		γ_m	kg/cm	質量分布	1.98
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (7/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				4	
共通	G	kN	扉重量	23.54	
	k_H	—	水平震度	1.77	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.30	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	765.0	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1371.0	
	W_1	N	スラスト荷重	54140	
	F_1	N	転倒力	51040	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	220.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	105
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
		x	N/mm ²	組合せ応力度	106
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	41.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	50
		τ	N/mm ²	せん断応力度	10
		x	N/mm ²	組合せ応力度	53
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	43
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	127.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	25
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
		x	N/mm ²	組合せ応力度	26
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	82.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	17
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	11

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (8/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					4
扉 固定部	扉付固定 ボルト	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定 ボルト	A	mm ²	断面積	—
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	19.61
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	15
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	9119
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	10450
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張力	40463
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断力	40302
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	135.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	2533
		γ_m	kg/cm	質量分布	1.98
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (9/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					5
共通		G	kN	扉重量	13.34
		k_H	—	水平震度	1.62
		k_{UD}	—	鉛直震度	0.79
		L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	804.0
		L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1233.0
		W_1	N	スラスト荷重	23880
		F_1	N	転倒力	26380
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	570
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	103
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
		x	N/mm ²	組合せ応力度	104
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	99
		τ	N/mm ²	せん断応力度	17
		x	N/mm ²	組合せ応力度	104
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	57
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	105.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
		x	N/mm ²	組合せ応力度	7
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	5
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	6

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (10/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					5
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	14.61
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	12
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	6368
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	7074
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	67315
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	58068
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	101.7
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	4.06
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (11/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				6	
共通	G	kN	扉重量	14.12	
	k_H	—	水平震度	1.62	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.79	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	837.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1226.0	
	W_1	N	スラスト荷重	25270	
	F_1	N	転倒力	28700	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	570.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	109
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
		x	N/mm ²	組合せ応力度	110
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	108
		τ	N/mm ²	せん断応力度	19
		x	N/mm ²	組合せ応力度	113
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	61
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	105.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
		x	N/mm ²	組合せ応力度	7
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	5
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	7

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (12/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					6
扉 固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	14.32
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	3
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	26870
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	29720
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張力	67315
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断力	58068
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	108.6
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	4.07
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (13/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				7	
共通	G	kN	扉重量	23.05	
	k_H	—	水平震度	1.87	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.09	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	955.0	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1369.0	
	W_1	N	スラスト荷重	48170	
	F_1	N	転倒力	55150	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	480.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	97
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5
		x	N/mm ²	組合せ応力度	98
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	36.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	124
		τ	N/mm ²	せん断応力度	24
		x	N/mm ²	組合せ応力度	131
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	117
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	96.1
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	10
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
		x	N/mm ²	組合せ応力度	11
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	10
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	12

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (14/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					7
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	16.87
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	8
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	17730
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	19540
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	67315
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	58068
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	145.9
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	6440
		γ_m	kg/cm	質量分布	5.16
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (15/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				8	
共通	G	kN	扉重量	13.93	
	k_H	—	水平震度	2.32	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.54	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	828.0	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1637.0	
	W_1	N	スラスト荷重	35380	
	F_1	N	転倒力	34050	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	390.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	96
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5
		x	N/mm ²	組合せ応力度	97
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	128
		τ	N/mm ²	せん断応力度	22
		x	N/mm ²	組合せ応力度	134
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	79
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	16
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
		x	N/mm ²	組合せ応力度	17
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	16
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	18

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (16/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					8
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	11.08
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	7
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	13400
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	15150
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	67315
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	58068
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	140.6
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	1380
		γ_m	kg/cm	質量分布	3.20
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (17/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				9	
共通	G	kN	扉重量	12.45	
	k_H	—	水平震度	1.90	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.34	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	828.0	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1738.0	
	W_1	N	スラスト荷重	29130	
	F_1	N	転倒力	25710	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	390.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	79
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5
		x	N/mm ²	組合せ応力度	80
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	97
		τ	N/mm ²	せん断応力度	17
		x	N/mm ²	組合せ応力度	102
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	62
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	18
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
		x	N/mm ²	組合せ応力度	19
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	17
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	19

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (18/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					9
扉 固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	10.40
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	8
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	8898
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	10920
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張力	67315
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断力	58068
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	140.2
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	1380
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.91
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (19/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				10	
共通	G	kN	扉重量	19.71	
	k_H	—	水平震度	1.90	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.34	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	1048.0	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1647.0	
	W_1	N	スラスト荷重	46120	
	F_1	N	転倒力	48070	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	460.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	107
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
		x	N/mm ²	組合せ応力度	108
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	132
		τ	N/mm ²	せん断応力度	25
		x	N/mm ²	組合せ応力度	139
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	107
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	96.1
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	13
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
		x	N/mm ²	組合せ応力度	14
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	13
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	15

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (20/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					10
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	13.83
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	7
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	17490
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	19620
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	67315
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	58068
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	170.2
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	3.58
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (21/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					11
共通		G	kN	扉重量	7.65
		k_H	—	水平震度	1.90
		k_{UD}	—	鉛直震度	1.34
		L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	592.5
		L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1677.0
		W_1	N	スラスト荷重	17900
		F_1	N	転倒力	13590
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	320.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	86
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5
		x	N/mm ²	組合せ応力度	87
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	51
		τ	N/mm ²	せん断応力度	9
		x	N/mm ²	組合せ応力度	54
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	36
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	2
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	37
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
		x	N/mm ²	組合せ応力度	38
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	50
		τ	N/mm ²	せん断応力度	6
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	24

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (22/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					11
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	6.18
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	8
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	4865
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	5791
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	34073
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	25826
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	94.5
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	1380
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.62
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (23/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
共通	G	kN	扉重量	17.85	
	k_H	—	水平震度	1.90	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.34	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	1197.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1226.0	
	W_1	N	スラスト荷重	41770	
	F_1	N	転倒力	57760	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	480.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	84
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
		x	N/mm ²	組合せ応力度	85
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	36.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	236
		τ	N/mm ²	せん断応力度	37
		x	N/mm ²	組合せ応力度	245
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	114
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	96.1
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
		x	N/mm ²	組合せ応力度	9
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	9

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (24/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					12
扉 固定部	扉付固定 ボルト	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定 ボルト	A	mm ²	断面積	—
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	15.69
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	7
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	20760
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	22470
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張力	67315
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断力	58068
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	196.2
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.85
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (25/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13(大) *	
共通	G	kN	扉重量	79.43	
	k_H	—	水平震度	2.42	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.75	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	1273.0	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1992.0	
	W_1	N	スラスト荷重	218400	
	F_1	N	転倒力	235700	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	600.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	97
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
		x	N/mm ²	組合せ応力度	98
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	61.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	111
		τ	N/mm ²	せん断応力度	25
		x	N/mm ²	組合せ応力度	120
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	72
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
		x	N/mm ²	組合せ応力度	—
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	—

注記* : No. 13 扉のうち、機器搬出入用扉を示す。

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (26/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					13(大) *
扉 固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	11
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	72
	枠付固定	A	mm ²	枠付固ボルトの断面積	245
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	72
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	24.03
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	29
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	18260
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	20210
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張力	57575
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断力	40302
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	203.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	32950
		γ_m	kg/cm	質量分布	31.15
	扉板	t	cm	扉板厚さ	11.5
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	203.0
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	260.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	0.013
		ν	—	ポアソン比	0.3

注記* : No. 13 扉のうち、機器搬出入用扉を示す。

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (27/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13(小) *	
共通	G	kN	扉重量	25.01	
	k_H	—	水平震度	2.42	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.75	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	618	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1885	
	W_1	N	スラスト荷重	68780	
	F_1	N	転倒力	52810	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	340.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	84
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
		x	N/mm ²	組合せ応力度	85
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離	37.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	122
		τ	N/mm ²	せん断応力度	23
		x	N/mm ²	組合せ応力度	129
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
		τ	N/mm ²	せん断応力度	89
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	49
		τ	N/mm ²	せん断応力度	6
		x	N/mm ²	組合せ応力度	51
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	44
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	31

注記* : No. 13 扉のうち、くぐり戸を示す。

表 3-1 耐震評価に必要な入力値 (28/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					13(小) *
扉 固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		w_a	kN	扉枠の重量	—
		n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	—
		T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	—
		Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	—
		T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張力	—
		Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断力	—
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	103.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	27880
		γ_m	kg/cm	質量分布	11.60
	扉板	t	cm	扉板厚さ	11.5
		a	cm	2 隣辺の長さ(扉の幅)	103.0
		b	cm	2 隣辺の長さ(扉の高さ)	220.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ	0.010
		ν	—	ポアソン比	0.3

注記* : No. 13 扉のうち、くぐり戸を示す。

3.2 耐震評価結果

表 3-2 耐震評価結果 (1/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
1	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	67	215	0.32	組合せ
		ヒンジピン*1	61	345	0.18	組合せ
		ヒンジボルト	36	420	0.09	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	7	651	0.02	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	6	345	0.02	曲げ
		カンヌキ受けボルト	4	728	0.01	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		4419	33592	0.14	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (2/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
2	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	67	215	0.32	組合せ
		ヒンジピン*1	61	345	0.18	組合せ
		ヒンジボルト	36	420	0.09	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	7	651	0.02	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	6	345	0.02	曲げ
		カンヌキ受けボルト	4	728	0.01	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		4458	22305	0.20	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (3/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
3	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	106	215	0.50	組合せ
		ヒンジピン*1	53	686	0.08	組合せ
		ヒンジボルト	43	420	0.11	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	26	686	0.04	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	17	651	0.03	曲げ
		カンヌキ受けボルト	11	728	0.02	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		10450	40302	0.26	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (4/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
4	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	106	215	0.50	組合せ
		ヒンジピン*1	53	686	0.08	組合せ
		ヒンジボルト	43	420	0.11	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	26	686	0.04	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	17	651	0.03	曲げ
		カンヌキ受けボルト	11	728	0.02	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		10450	40302	0.26	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (5/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
5	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	104	215	0.49	組合せ
		ヒンジピン*1	104	345	0.31	組合せ
		ヒンジボルト	57	420	0.14	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	7	345	0.03	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	5	345	0.02	曲げ
		カンヌキ受けボルト	6	728	0.01	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		7074	58068	0.13	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (6/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
6	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	110	215	0.52	組合せ
		ヒンジピン*1	113	345	0.33	組合せ
		ヒンジボルト	61	420	0.15	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	7	345	0.03	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	5	345	0.02	曲げ
		カンヌキ受けボルト	7	728	0.01	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		29720	58068	0.52	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (7/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
7	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	98	215	0.46	組合せ
		ヒンジピン*1	131	345	0.38	組合せ
		ヒンジボルト	117	420	0.28	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	11	345	0.04	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	10	345	0.03	曲げ
		カンヌキ受けボルト	12	728	0.02	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		19540	58068	0.34	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (8/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
8	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	97	215	0.46	組合せ
		ヒンジピン*1	134	345	0.39	組合せ
		ヒンジボルト	79	420	0.19	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	17	205	0.09	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	16	345	0.05	曲げ
		カンヌキ受けボルト	18	728	0.03	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		15150	58068	0.27	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (9/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
9	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	80	215	0.38	組合せ
		ヒンジピン*1	102	345	0.30	組合せ
		ヒンジボルト	62	420	0.15	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	19	651	0.03	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	17	651	0.03	曲げ
		カンヌキ受けボルト	19	728	0.03	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		10290	58068	0.18	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (10/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
10	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	108	215	0.51	組合せ
		ヒンジピン*1	139	345	0.41	組合せ
		ヒンジボルト	107	420	0.26	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	14	345	0.05	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	13	345	0.04	曲げ
		カンヌキ受けボルト	15	728	0.03	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		19620	58068	0.34	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (11/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
11	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	87	235	0.38	組合せ
		ヒンジピン*1	54	345	0.16	組合せ
		ヒンジボルト	36	420	0.09	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	38	205	0.19	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	50	345	0.15	曲げ
		カンヌキ受けボルト	24	728	0.04	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		5791	25826	0.23	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (12/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
12	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	85	215	0.40	組合せ
		ヒンジピン*1	245	345	0.72	組合せ
		ヒンジボルト	114	420	0.28	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	9	205	0.05	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	8	345	0.03	曲げ
		カンヌキ受けボルト	9	728	0.02	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		22470	58068	0.39	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 3-2 耐震評価結果 (13/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
13 (大) *4	ヒンジ部	ヒンジ板*1	98	215	0.46	組合せ
		ヒンジピン*1	120	345	0.35	組合せ
		ヒンジボルト	72	420	0.18	せん断
	カンヌキ部	カンヌキ*1	—	—	—	—
		カンヌキ受けピン*2	—	—	—	—
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	扉固定部	扉付固定ボルト	72	420	0.18	せん断
		枠付固定ボルト	72	728	0.10	引張
	アンカーボルト*3		20210	40302	0.51	せん断

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*4：No. 13 扉のうち, 機器搬出入用扉を示す。

表 3-2 耐震評価結果 (14/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
13 (小) *4	ヒンジ部	ヒンジ板*1	85	215	0.40	組合せ
		ヒンジピン*1	129	345	0.38	組合せ
		ヒンジボルト	89	420	0.22	せん断
	カンヌキ部	カンヌキ*1	51	345	0.15	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	44	345	0.13	曲げ
		カンヌキ受けボルト	31	728	0.05	引張
	扉固定部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
	アンカーボルト*3		—	—	—	—

注記*1：曲げ, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち, 評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし, 引張, せん断及び組合せのうち, 評価結果が最も厳しい値を記載する。

*4：No. 13 扉のうち, くぐり戸を示す。

4. 強度評価

4.1 入力値

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (1/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				1	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	17500	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.03	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.17	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.37	
	L_D	mm	扉の幅	900.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2055.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	505.0	
	t	mm	扉板の板厚	19.0	
	β_1	—	応力係数	0.6	
	W_D	kN	扉重量	7.85	
芯材	w	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	161.88	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	437.5	
	L	mm	芯材の支持間距離	900.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	231000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1800	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	277
		τ	N/mm ²	せん断応力度	31
		x	N/mm ²	組合せ応力度	283
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	246
		τ	N/mm ²	せん断応力度	35
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	175

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (2/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					1
扉固定部	扉付固定 ボルト	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定 ボルト	A	mm ²	断面積	—
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2000.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1000.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	28
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	19
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	22529
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	18433
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	29489
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	34766
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (3/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				2	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	17500	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.03	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.17	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.37	
	L_D	mm	扉の幅	900.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2055.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	505.0	
	t	mm	扉板の板厚	19.0	
	β_1	—	応力係数	0.6	
	W_D	kN	扉重量	7.85	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	161.88	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	437.5	
	L	mm	芯材の支持間距離	900.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	231000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1800	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	277
		τ	N/mm ²	せん断応力度	31
		x	N/mm ²	組合せ応力度	283
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	246
		τ	N/mm ²	せん断応力度	35
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	175

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (4/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					2
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2000.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1000.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	18
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	24
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	22529
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	13317
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	25950
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	34348
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (5/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				3	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	400	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.92	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.02	
	L_D	mm	扉の幅	1350.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2080.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	300.0	
	t	mm	扉板の板厚	12.0	
	β_1	—	応力係数	0.8	
	W_D	kN	扉重量	23.54	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	5.74	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	287.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	1350.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	253300	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	7600	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	127.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	34
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
		x	N/mm ²	組合せ応力度	35
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	82.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	23
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	15

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (6/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					3
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2140.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1500.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	30
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	40302
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	40463
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (7/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				4	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	400	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.92	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.02	
	L_D	mm	扉の幅	1350.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2080.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	300.0	
	t	mm	扉板の板厚	12.0	
	β_1	—	応力係数	0.8	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	5.74	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	287.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	1350.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	253300	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	7600	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	8
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	127.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	34
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
		x	N/mm ²	組合せ応力度	35
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	82.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	23
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	15

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (8/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					4
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2075.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1500.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	30
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	40302
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	40463
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (9/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				5	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	17500	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.72	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.29	
	L_D	mm	扉の幅	1017.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2086.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	687.0	
	t	mm	扉板の板厚	25.0	
	β_1	—	応力係数	0.5	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	183.57	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	633.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	866.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	334000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	2016	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	105.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	151
		τ	N/mm ²	せん断応力度	17
		x	N/mm ²	組合せ応力度	154
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	133
		τ	N/mm ²	せん断応力度	19
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	164

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (10/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					5
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2010.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1005.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	12
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	12
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	24804
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	58068
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	58629
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (11/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.	
				6	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	11300	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.72	
	w _D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.18	
	L _D	mm	扉の幅	1086.0	
	H _D	mm	扉の高さ	2101.0	
	L _{PL}	mm	扉板の短辺長さ	679.0	
	t	mm	扉板の板厚	25.0	
	β_1	—	応力係数	0.5	
	W _D	kN	扉重量	14.12	
芯材	w	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	116.10	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	645.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	935.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	334000	
	A _s	mm ²	芯材のせん断断面積	2016	
カンヌキ部	共通	n ₂	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L ₅	mm	カンヌキの突出長さ	105.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	101
		τ	N/mm ²	せん断応力度	11
		x	N/mm ²	組合せ応力度	103
	カンヌキ 受けピン	L _p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	89
		τ	N/mm ²	せん断応力度	13
	カンヌキ 受けボルト	n _b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	109

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (12/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					6
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2000.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1290.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	30
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	3
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	58068
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	58068
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (13/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				7	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	400	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.04	
	W_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.02	
	L_D	mm	扉の幅	1459.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2139.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	550.0	
	t	mm	扉板の板厚	25.0	
	β_1	—	応力係数	0.5	
	W_D	kN	扉重量	23.05	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	13.70	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	685.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	1350.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	429000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	2466	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	96.1
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	14
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
		x	N/mm ²	組合せ応力度	15
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	14
		τ	N/mm ²	せん断応力度	2
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	17

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (14/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					7
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2005.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1295.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	24
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	13
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	41465
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	58068
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	66229
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (15/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				8	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	4000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.34	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.10	
	L_D	mm	扉の幅	1406.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2037.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	650.0	
	t	mm	扉板の板厚	19.0	
	β_1	—	応力係数	0.7	
	W_D	kN	扉重量	13.93	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	64.50	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	645.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	1279.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	153000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1260	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	139
		τ	N/mm ²	せん断応力度	17
		x	N/mm ²	組合せ応力度	143
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	137
		τ	N/mm ²	せん断応力度	19
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	153

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (16/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					8
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2100.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1400.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	5
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	7
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	41465
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	58068
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力	66229
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力	67315
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (17/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				9	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	4000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.23	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.09	
	L_D	mm	扉の幅	1402.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2137.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	685.0	
	t	mm	扉板の板厚	19.0	
	β_1	—	応力係数	0.7	
	W_D	kN	扉重量	12.45	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	61.65	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	685.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	1275.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	153000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1113	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	196
		τ	N/mm ²	せん断応力度	24
		x	N/mm ²	組合せ応力度	201
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	194
		τ	N/mm ²	せん断応力度	27
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	215

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (18/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					9
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2095.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1395.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	6
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	9
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	47179
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	58068
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (19/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				10	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	4000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.23	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.09	
	L_D	mm	扉の幅	1702.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2077.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	659.0	
	t	mm	扉板の板厚	19.0	
	β_1	—	応力係数	0.7	
芯材	W_D	kN	扉重量	19.71	
	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	56.70	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	630.0	
	L	mm	芯材の支持間距離	1575.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	334000	
カンヌキ部	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	2016	
	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
		カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ
	σ		N/mm ²	曲げ応力度	107
	τ		N/mm ²	せん断応力度	13
	x		N/mm ²	組合せ応力度	110
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	104
		τ	N/mm ²	せん断応力度	15
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	127

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (20/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					10
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2000.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1800.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	10
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	7
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下のアンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	33592
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	58068
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力	62429
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力	67315
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (21/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				11	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	400	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.23	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.02	
	L_D	mm	扉の幅	945.0	
	H_D	mm	扉の高さ	1960.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	640.0	
	t	mm	扉板の板厚	16.0	
	β_1	—	応力係数	0.6	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	12.45	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	622.5	
	L	mm	芯材の支持間距離	945.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	153000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	1113	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
		x	N/mm ²	組合せ応力度	—
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (22/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					11
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	—
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	—
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (23/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.	
				12	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	400	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.23	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.02	
	L_D	mm	扉の幅	1962.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2012.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	665.0	
	t	mm	扉板の板厚	19.0	
	β_1	—	応力係数	0.8	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	12.35	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	617.5	
	L	mm	芯材の支持間距離	1835.0	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	334000	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	2016	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	96.1
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	18
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
		x	N/mm ²	組合せ応力度	19
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	18
		τ	N/mm ²	せん断応力度	3
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	21

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (24/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					12
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	1950.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	2105.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	20
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	7
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	41465
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	58068
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	65144
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	67315
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (25/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.	
				13(大) *	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	4000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.58	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.11	
	L_D	mm	扉の幅	2030.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2600.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	2030.0	
	t	mm	扉板の板厚	115.0	
	β_1	—	応力係数	0.5	
	W_D	kN	扉重量	79.43	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	—	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	—	
	L	mm	芯材の支持間距離	—	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	—	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	—	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
		x	N/mm ²	組合せ応力度	—
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	—

注記* : No. 13 扉のうち、機器搬出入用扉を示す。

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (26/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					13(大) *
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	11
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	216
	枠付固定	A	mm ²	断面積	245
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	216
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	2630.0
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	1900.0
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	25
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	40
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	6635
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	40302
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	57575
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

注記* : No. 13 扉のうち、機器搬出入用扉を示す。

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (27/28)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13(小) *	
共通	h	mm	扉の水圧作用高さ	4000	
	ρ_o	t/m ³	液体の密度	1.00	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
扉板	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0	
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.58	
	w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重及び余震荷重	0.11	
	L_D	mm	扉の幅	1030.0	
	H_D	mm	扉の高さ	2200.0	
	L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ	1030.0	
	t	mm	扉板の板厚	115.0	
	β_1	—	応力係数	0.7	
	W_D	kN	扉重量	25.01	
芯材	w'	N/mm	芯材に作用する等分布荷重	—	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	—	
	L	mm	芯材の支持間距離	—	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	—	
	A_s	mm ²	芯材のせん断断面積	—	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	4
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	68.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	202
		τ	N/mm ²	せん断応力度	23
		x	N/mm ²	組合せ応力度	206
	カンヌキ 受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72.0
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	179
		τ	N/mm ²	せん断応力度	25
	カンヌキ 受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	128

注記* : No. 13 扉のうち、くぐり戸を示す。

表 4-1 強度評価に用いる評価条件 (28/28)

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No.
					13(小) *
扉固定部	扉付固定	n_b	本	扉付固定ボルトの本数	—
	ボルト	τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	枠付固定	A	mm ²	断面積	—
	ボルト	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—
アンカーボルト		L_{c1}	mm	躯体開口部の高さ	—
		L_{c2}	mm	躯体開口部の幅	—
		n_{a1}	本	0° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		n_{a2}	本	90° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		n_{a3}	本	45° 方向左右もしくは上下の アンカーボルト本数	—
		Q_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—
		T_a	N/本	0° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
				90° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容引張力	—
				45° 方向アンカーボルト 1 本当たりの 短期許容せん断力	—

注記* : No. 13 扉のうち、くぐり戸を示す。

4.2 強度評価結果

表 4-2 強度評価結果 (1/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
1	扉板		157	205	0.77	曲げ
	芯材*1		41	118	0.35	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	283	651	0.44	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	246	345	0.72	曲げ
		カンヌキ受けボルト	175	728	0.25	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3		—	—	0.58	組合せ	

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (2/14)

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考	
2	扉板	157	205	0.77	曲げ	
	芯材*1	41	118	0.35	せん断	
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	283	651	0.44	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	246	345	0.72	曲げ
		カンヌキ受けボルト	175	728	0.25	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3	—	—	0.61	組合せ		

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (3/14)

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考	
3	扉板	10	235	0.05	曲げ	
	芯材*1	6	235	0.03	曲げ	
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	35	686	0.06	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	23	651	0.04	曲げ
		カンヌキ受けボルト	15	728	0.03	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3	2140	40302	0.06	せん断		

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (4/14)

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考	
4	扉板	10	235	0.05	曲げ	
	芯材*1	6	235	0.03	曲げ	
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	35	686	0.06	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	23	651	0.04	曲げ
		カンヌキ受けボルト	15	728	0.03	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3	2075	40302	0.06	せん断		

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (5/14)

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考	
5	扉板	110	235	0.47	曲げ	
	芯材*1	52	235	0.23	曲げ	
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	154	345	0.45	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	133	345	0.39	曲げ
		カンヌキ受けボルト	164	728	0.23	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3	—	—	0.53	組合せ		

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (6/14)

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考	
6	扉板	67	235	0.29	曲げ	
	芯材*1	38	235	0.17	曲げ	
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	103	345	0.30	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	89	345	0.26	曲げ
		カンヌキ受けボルト	109	728	0.15	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3	—	—	0.24	組合せ		

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (7/14)

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考	
7	扉板	5	235	0.03	曲げ	
	芯材*1	8	235	0.04	曲げ	
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	15	345	0.05	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	14	345	0.05	曲げ
		カンヌキ受けボルト	17	728	0.03	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3	—	—	0.03	組合せ		

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (8/14)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考
8	扉板		82	235	0.35	曲げ
	芯材*1		87	235	0.38	曲げ
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	143	205	0.70	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	137	345	0.40	曲げ
		カンヌキ受けボルト	153	728	0.22	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3		—	—	0.44	組合せ	

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 4-2 強度評価結果 (9/14)

水密扉 No.	評価対象部位	発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	備考	
9	扉板	82	235	0.35	曲げ	
	芯材*1	82	235	0.35	曲げ	
	カン ヌキ部	カンヌキ*2	201	651	0.31	組合せ
		カンヌキ受けピン*1	194	651	0.30	曲げ
		カンヌキ受けボルト	215	728	0.30	引張
	扉固定 部	扉付固定ボルト	—	—	—	—
		枠付固定ボルト	—	—	—	—
アンカーボルト*3	—	—	0.30	組合せ		

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：単位はNとし，引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。