

VI-2-13-1 地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	6
2.4	適用基準	9
3.	耐震評価	10
3.1	評価対象断面	10
3.2	荷重及び荷重の組合せ	14
3.2.1	耐震評価上考慮する状態	14
3.2.2	荷重	14
3.2.3	荷重の組合せ	15
3.3	解析方法	16
3.3.1	解析方法	16
3.3.2	設計用震度の算定	17
3.4	許容限界	49
3.4.1	構造部材の健全性に対する許容限界	49
3.4.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	50
3.5	応力解析による評価方法	50
3.5.1	構造部材の健全性に対する評価方法	50
3.5.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	52
4.	耐震評価結果	53
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	53
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	58



## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」で設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうちドレーンについて、地震時の構造強度を有していることを確認するものである。

ドレーンに要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

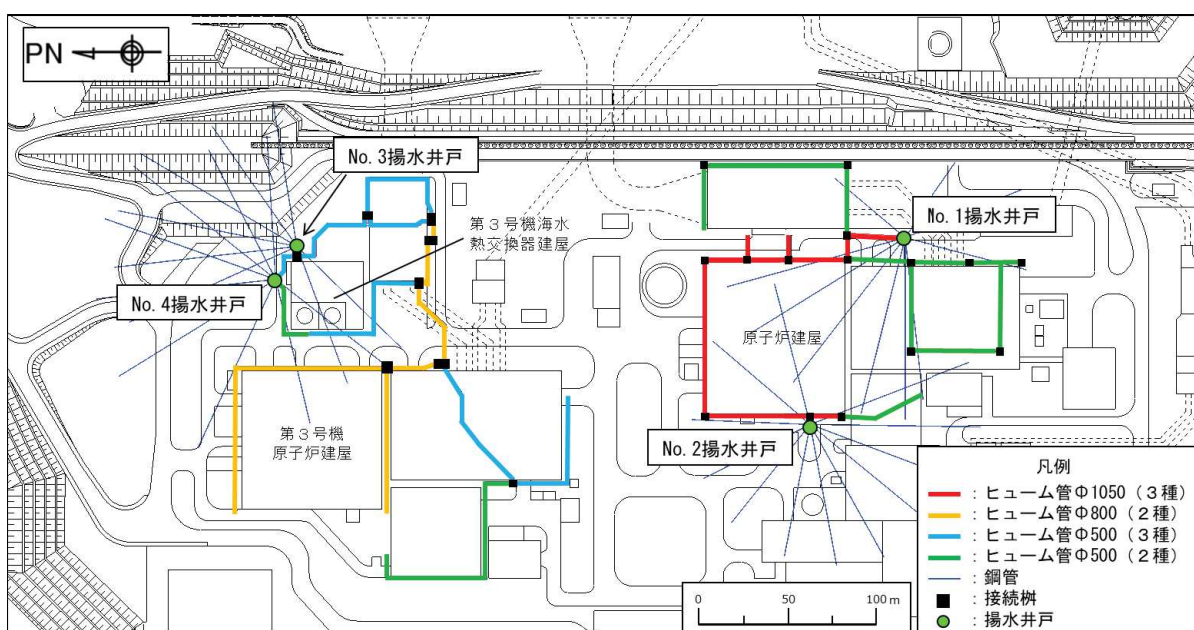
## 2. 基本方針

設計用地下水位の評価において、集水機能を期待するドレーン（接続桧含む）は耐震性を含む信頼性を満たす範囲の中から抽出し、管路あるいは透水層として設定している。

本図書では、管路あるいは透水層として設定するドレーンを対象に地震時における構造強度及び機能維持の確認を行うものである。

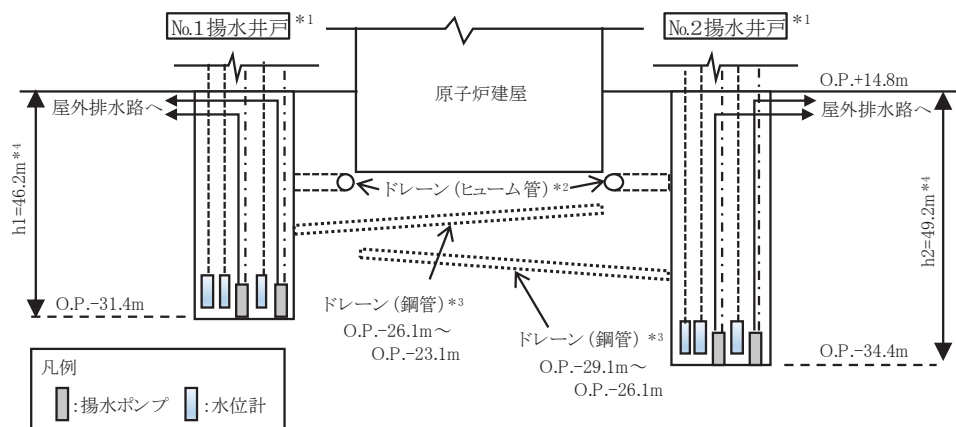
### 2.1 位置

地下水位低下設備のうちドレーンの設置位置を図 2-1 に示す。

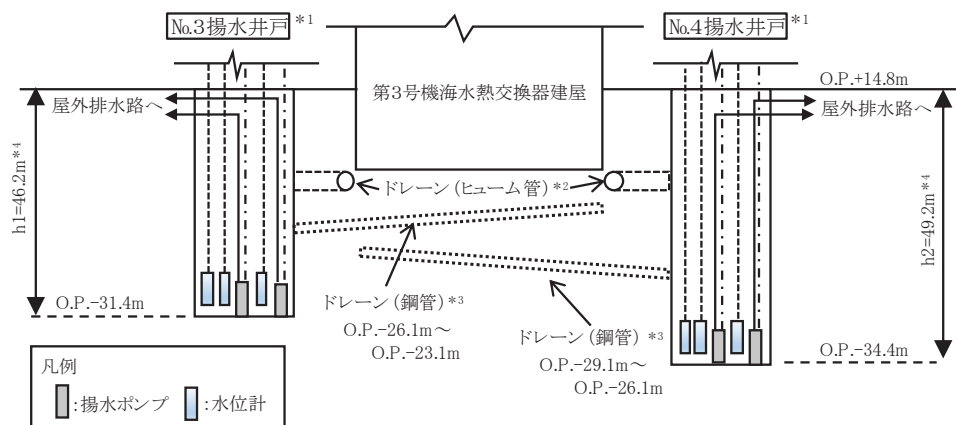


## 2.2 構造概要

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



(1) 原子炉建屋周辺



(2) 第 3 号機海水熱交換機建屋周辺

注記\* 1：揚水井戸及び揚水井戸に内包する揚水ポンプ，水位計は新設する。

\* 2：ヒューム管（接続柵を含む）は揚水井戸との接続部分は新設する。

\* 3：鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。

\* 4：h1 及び h2 は，GL より集水ピット底面までの高さを表す。

図 2-2 地下水水位低下設備の構成概要

### (1) ヒューム管

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

ヒューム管はφ500mm，800mm 及び 1050 mm があり，外圧への耐性（外圧強さ）により 2 種類（2 種あるいは 3 種）を使用している。

ヒューム管の構造概要を図 2-3 に示す。

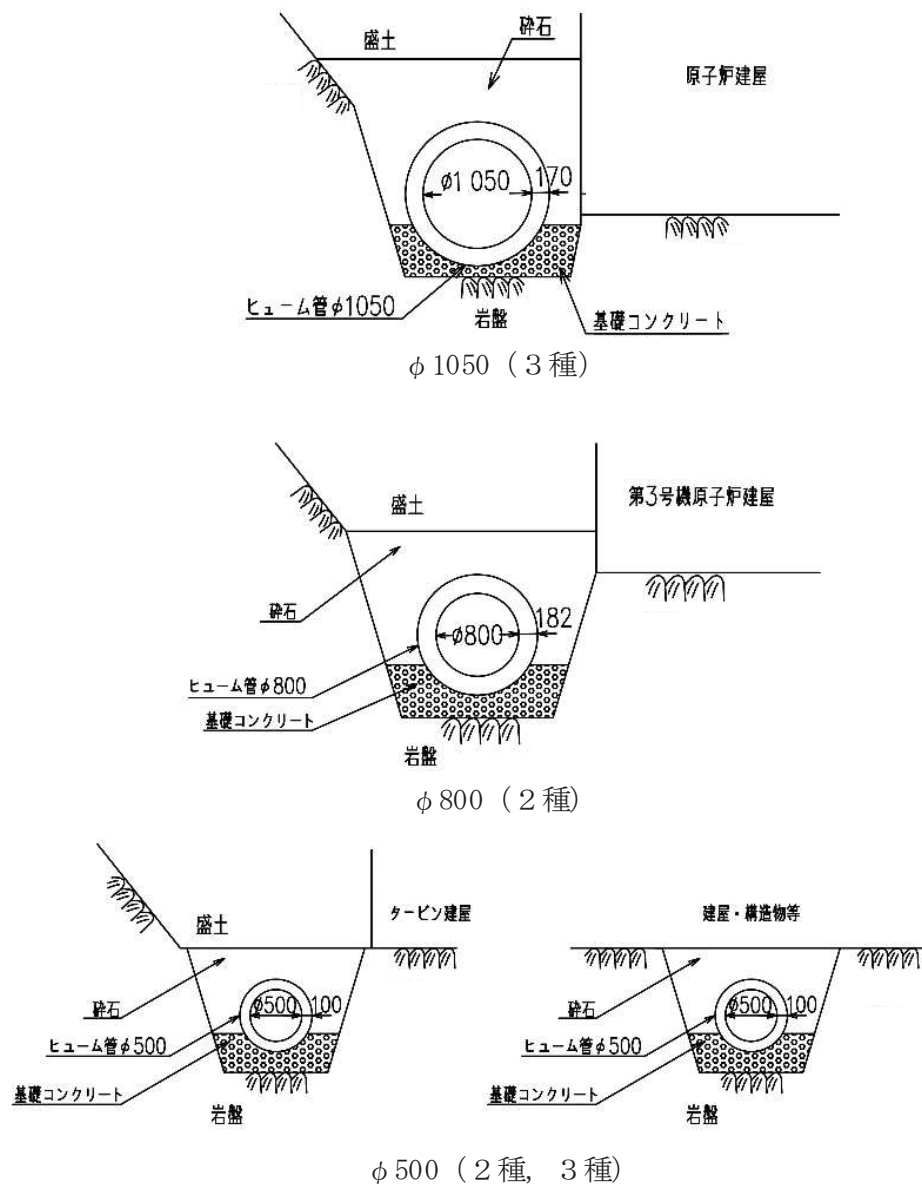


図 2-3 ヒューム管の構造概要 (単位: mm)

(2) 鋼管

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

鋼管の構造概要を図 2-4 に示す。

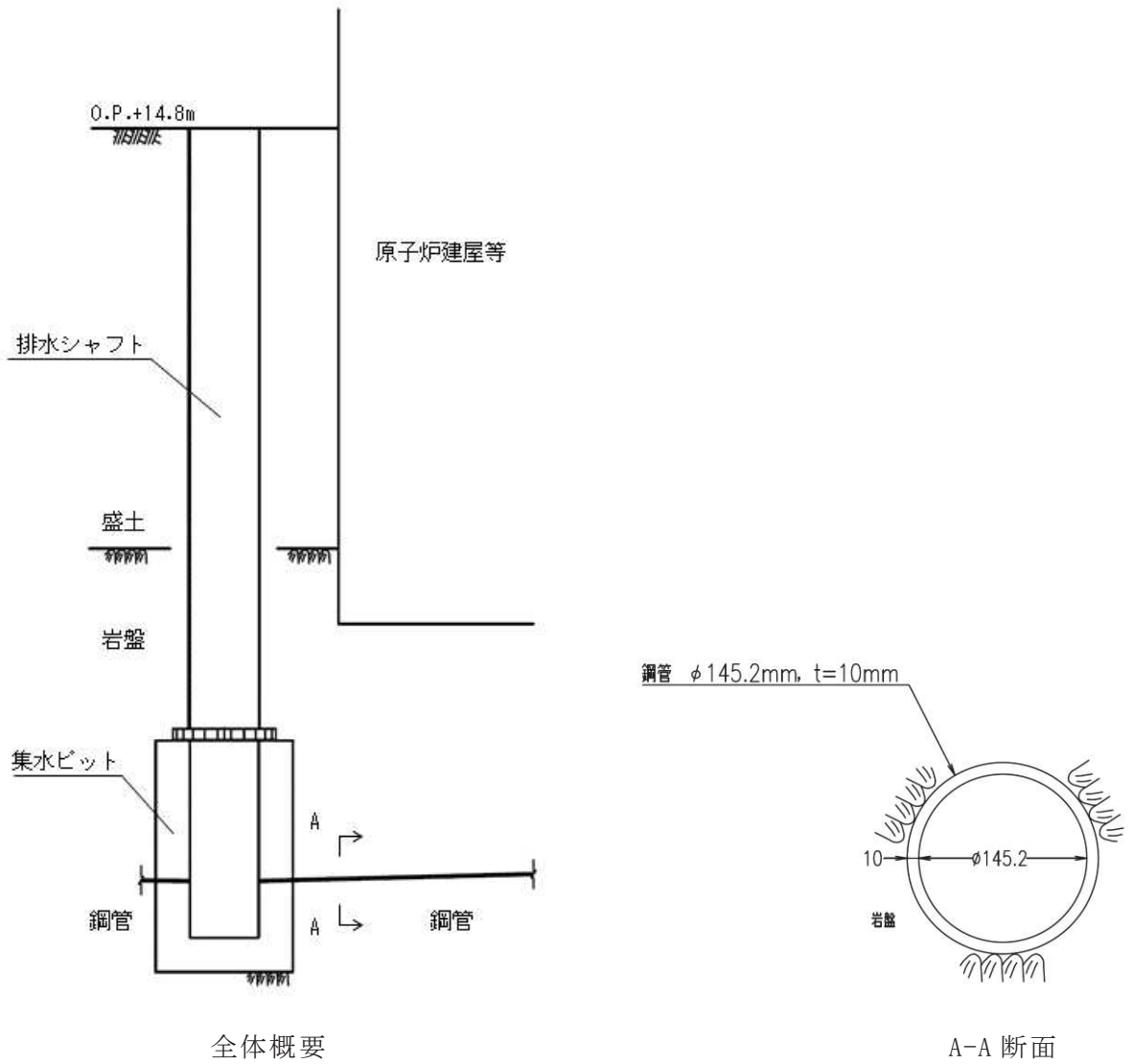


図 2-4 鋼管の構造概要

### 2.3 評価方針

地下水位低下設備の機能は、施設の設計の前提が確保されるよう、「地下水位を一定の範囲に保持する」ことであり、ドレーンは地下水の集水機能を維持する必要がある。ドレーンを含む地下水位低下設備はCクラスに分類されるが、その機能を維持するため、基準地震動 $S_s$ に対して耐震性を確保する設計としている。

ドレーンの耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

表 2-1 ドレーンの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	ヒューム管	発生する応力が許容限界以下であることを確認	ひび割れ保証モーメント
		鋼管		短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。

(1) ヒューム管

ヒューム管の評価フローを図 2-5 に示す。

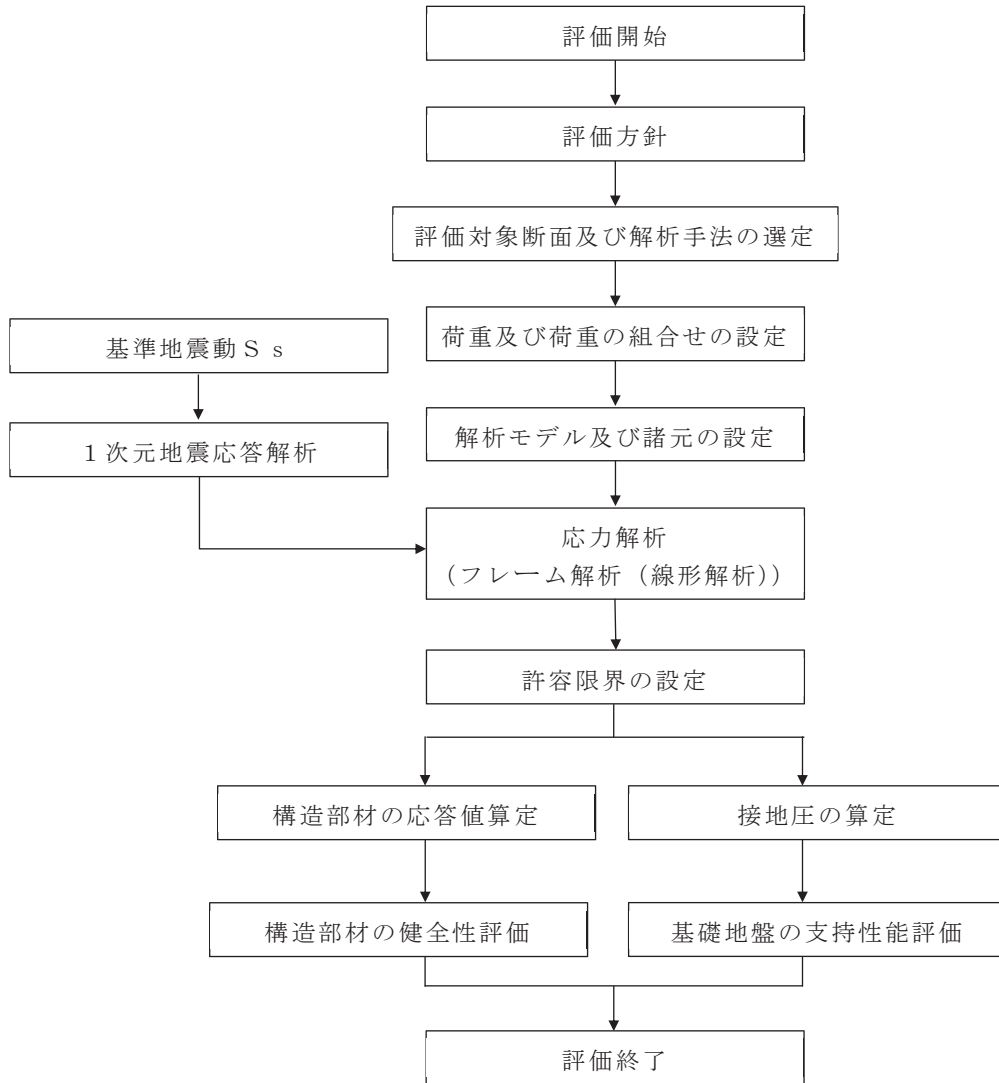


図 2-5 ヒューム管の耐震評価フロー

(2) 鋼管

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

鋼管の評価フローを図 2-6 に示す。

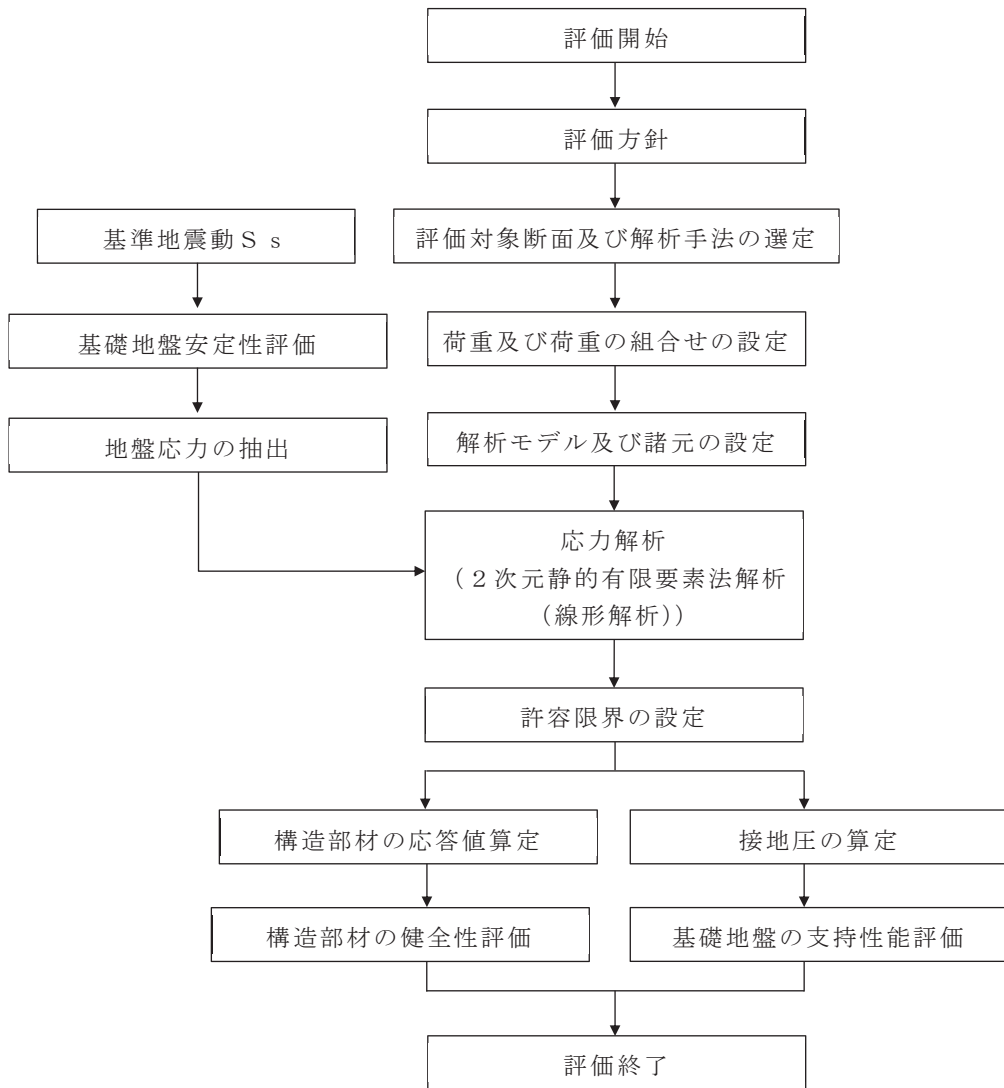


図 2-6 鋼管の耐震評価フロー



## 2.4 適用基準

ドレーンの評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 下水道施設の耐震対策指針と解説 -2014年版- (公益社団法人 日本下水道協会) (以下, 「下水道耐震指針」という)
- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 制定)
- ・ 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・ 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

##### (1) ヒューム管

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

なお、 $\phi 500$ （2種）については、原子炉建屋周辺と第3号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに設置されていることから、各エリアより抽出する。

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

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

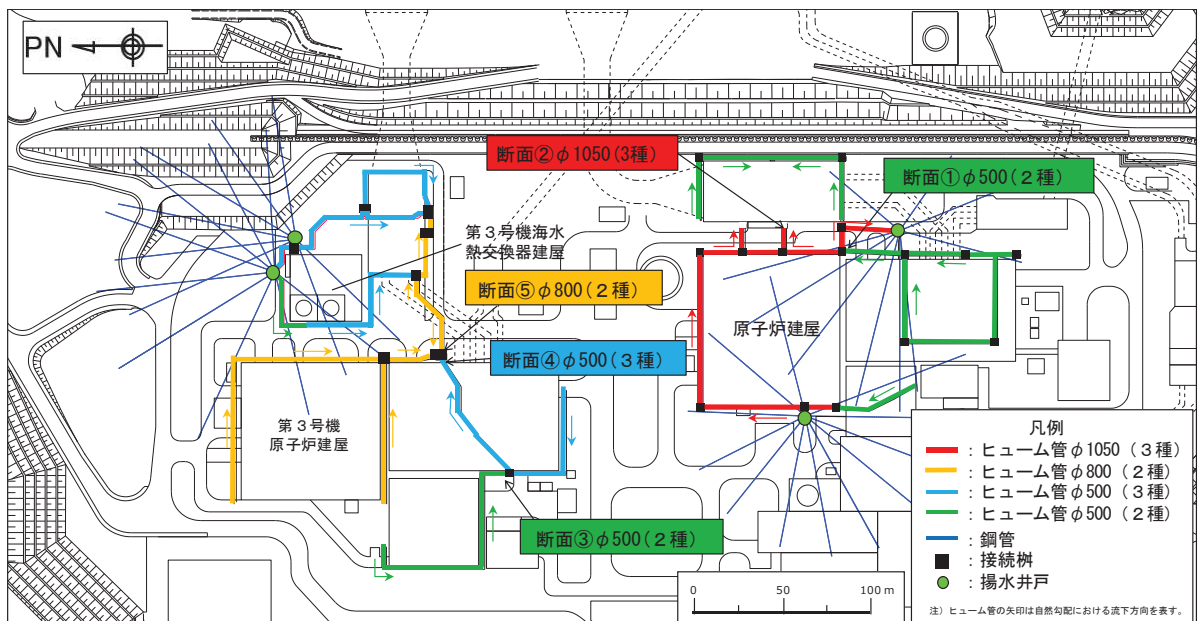


図 3-1 ヒューム管 評価対象断面位置

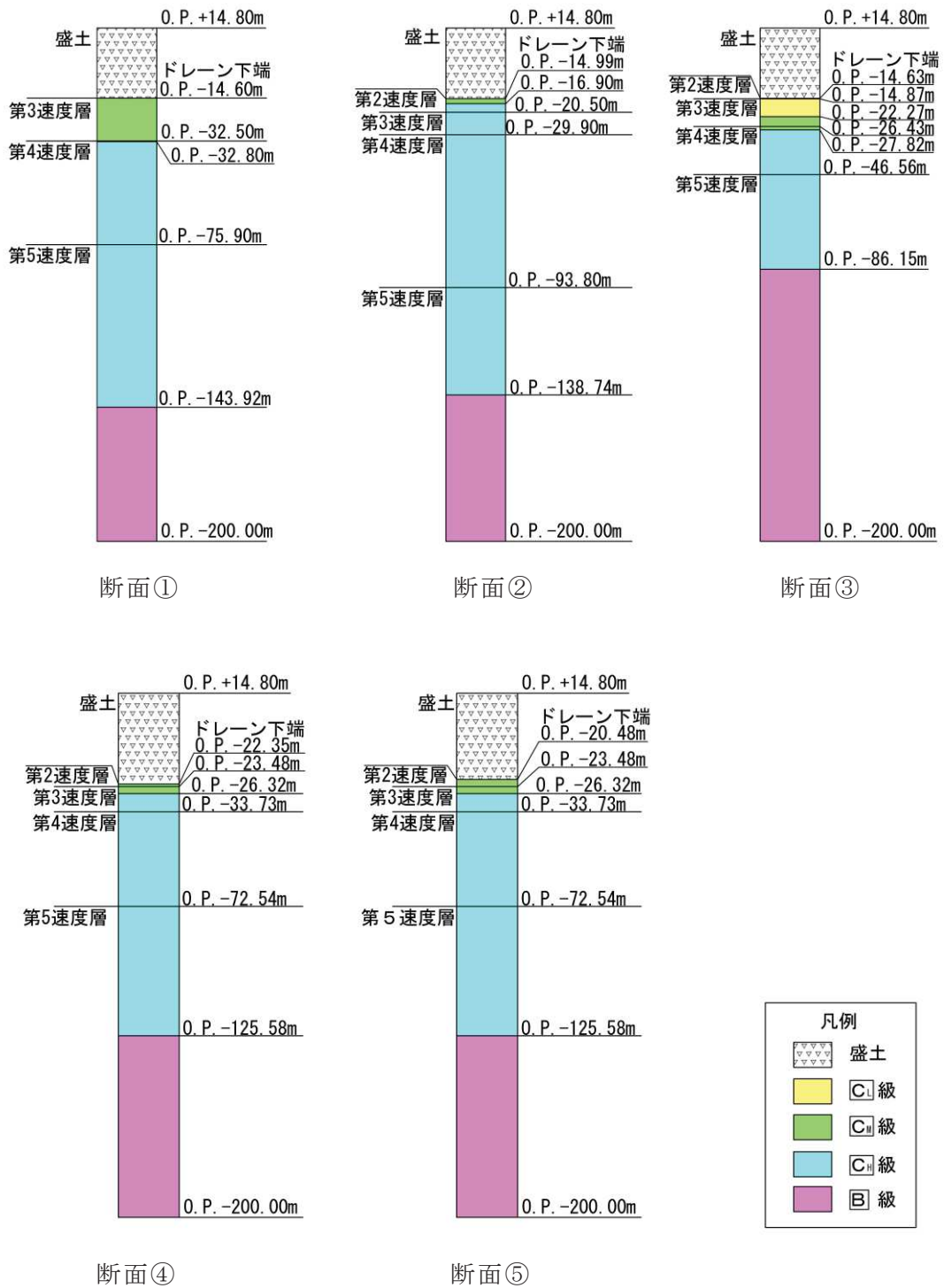


図 3-2 ヒューム管設置位置の地質状況

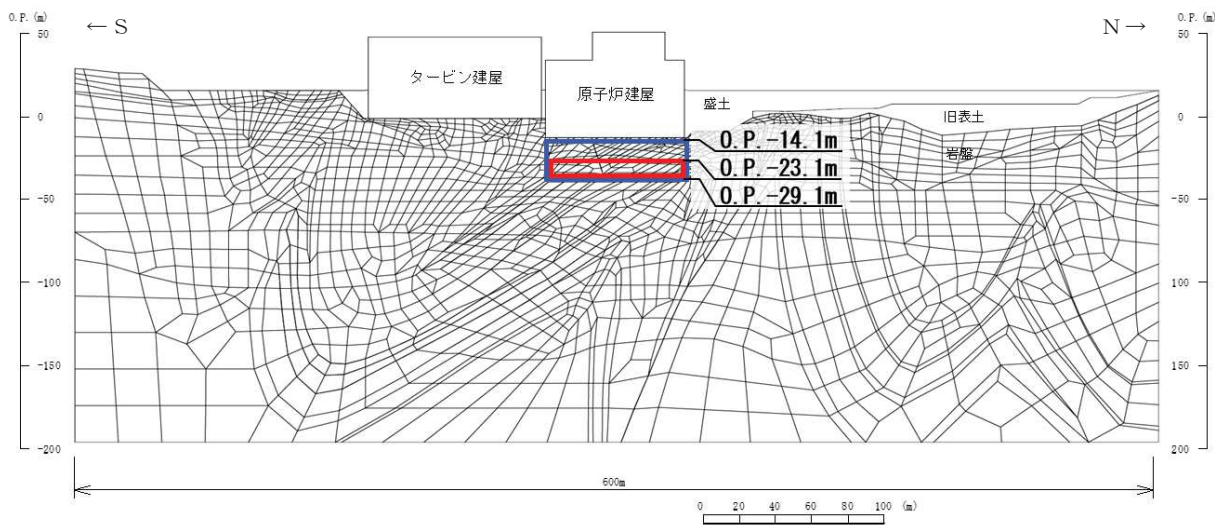
(2) 鋼管

鋼管は岩盤内に設置されるため、地震時において岩盤の変形に追従し、作用する荷重は岩盤の主応力（最大圧縮応力）が大きい箇所ほど大きくなると考えられる。

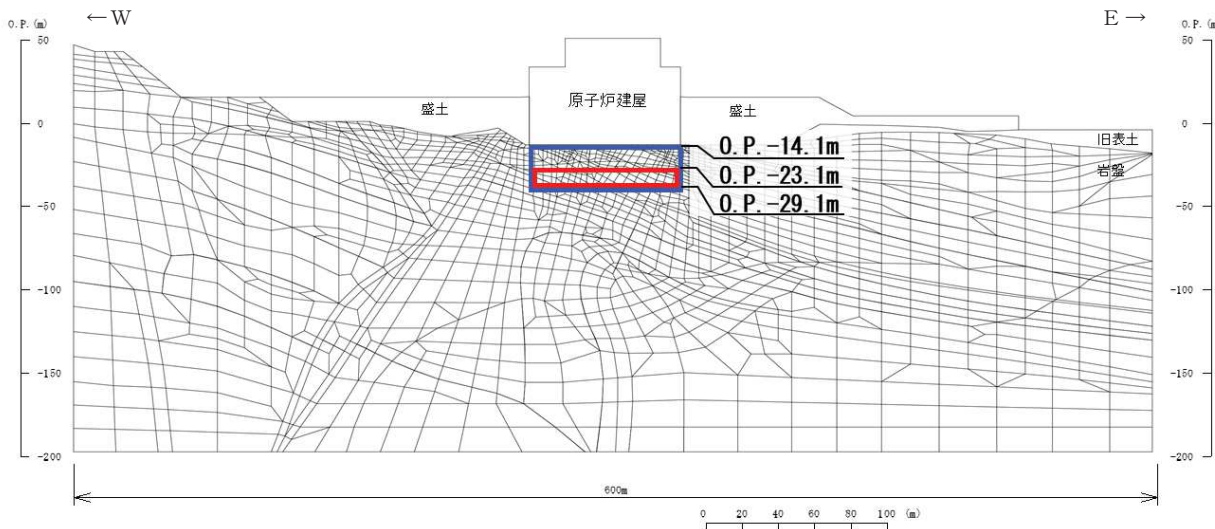
このことから、建屋荷重に着目し、原子炉建屋の基礎地盤安定性解析から主応力が最大となる地盤要素の応力を抽出する。

抽出範囲は、鋼管の設置レベル（O.P. -23.1m～O.P. -29.1m）を包絡する範囲として建屋の接地圧が直接作用する原子炉建屋底面（O.P. -14.1m）から鋼管の設置下端レベル（O.P. -29.1m）までとする。

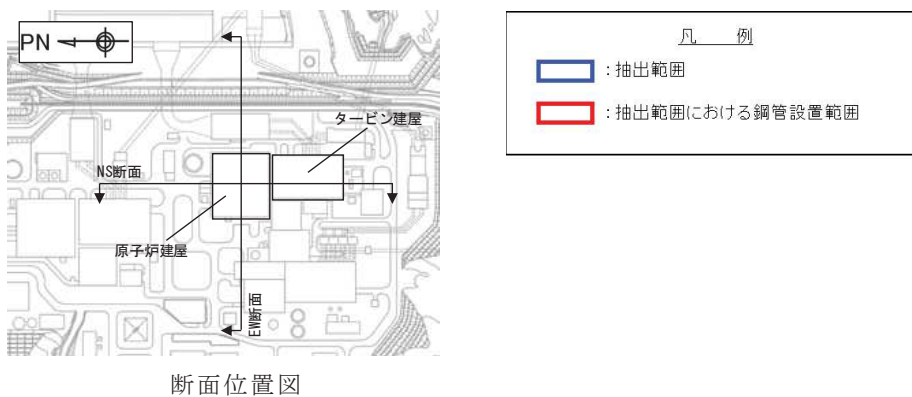
抽出対象範囲を図 3-3 に示す。



(1) NS 断面



(2) EW 断面



断面位置図

図 3-3 抽出範囲における鋼管設置範囲 (原子炉建屋)

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

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

#### 3.2.1 耐震評価上考慮する状態

耐震評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### a. 運転時の状態

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

##### b. 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### c. 設計用自然条件

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

##### d. 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.2.2 荷重

##### (1) ヒューム管

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

耐震評価において、考慮する荷重を以下に示す。

##### a. 固定荷重(G)

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

##### b. 積載荷重(P)

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

##### c. 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### d. 地震荷重(S<sub>s</sub>)

基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重を考慮する。鉛直方向の増分土圧は、地震応答解析により算出した設計用震度と固定荷重（鉛直土圧）を掛け合わせ求める。

水平方向の増分土圧は、ヒューム管設置位置における鉛直方向の増分土圧に  $k_0 = \nu_d / (1 - \nu_d)$  を乗じて算定する。ここで、管路周辺は砕石で埋め戻されているが、 $\nu_d$  は盛土の動ポアソン比 0.48 を用いる。

躯体慣性力については、ヒューム管設置位置における鉛直・水平加速度から設計用震度を算出し、固定荷重（躯体自重）に掛け合わせて求める。

(2) 鋼管

鋼管の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。

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

3.2.3 荷重の組合せ

ヒューム管及び鋼管の耐震評価における荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1(1) 荷重の組合せ（ヒューム管）

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

G : 固定荷重

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

S<sub>s</sub> : 地震荷重

表 3-1(2) 荷重の組合せ（鋼管）

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

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重



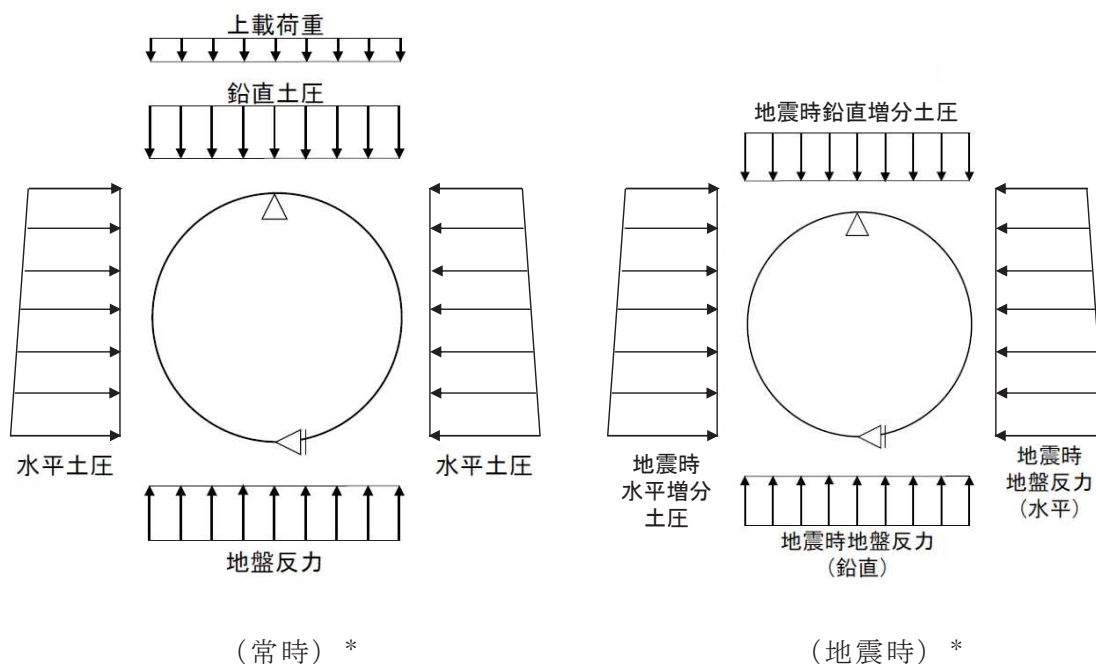
### 3.3 解析方法

ドレーンの耐震評価は、弱軸である横断方向断面（管軸直交方向）について照査を実施し、照査用応答値が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

#### 3.3.1 解析方法

##### (1) ヒューム管

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



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

図3-4 ヒューム管の解析モデル概念図

##### (2) 鋼管

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



周辺地盤は  $C_M$  級の岩盤としてモデル化する。

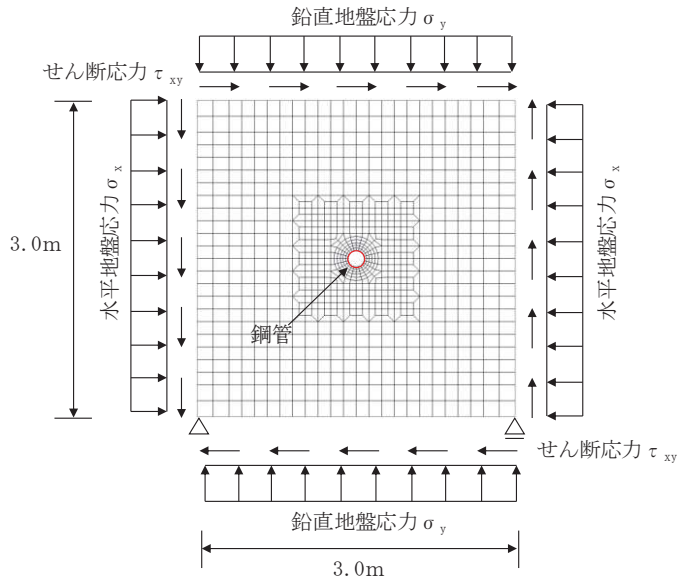


図 3-5 鋼管の解析モデル\*

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

### 3.3.2 設計用震度の算定

#### (1) ヒューム管

##### a. 地盤物性のばらつき

地盤については，添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

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

表 3-2 解析ケース（ヒューム管）

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

b. 地震応答解析の解析ケースの選定

地震応答解析においては全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①を実施し、解析ケース①において照査値が最も厳しい地震動を対象に、解析ケース②、③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 ヒューム管の耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$
地震動	$S_s - D 1$	○	基準地震動 $S_s$ (7波) を用いて実施するケース① (基本ケース) において、照査値が最も厳しい地震動を用いてケース②、③を実施する。	
	$S_s - D 2$	○		
	$S_s - D 3$	○		
	$S_s - F 1$	○		
	$S_s - F 2$	○		
	$S_s - F 3$	○		
	$S_s - N 1$	○		

c. 地下水位

地下水位を管の中心高さに設定する。

d. 地震応答解析

入力地震動は、基準地震動  $S_s$  を用いて添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を踏まえて算定する。設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力して評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念を図 3-6 に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-7 に示す。

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

解析コードには、入力地震動算定に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地震応答解析による設計用震度算定には「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解

析コード)の概要」に示す。

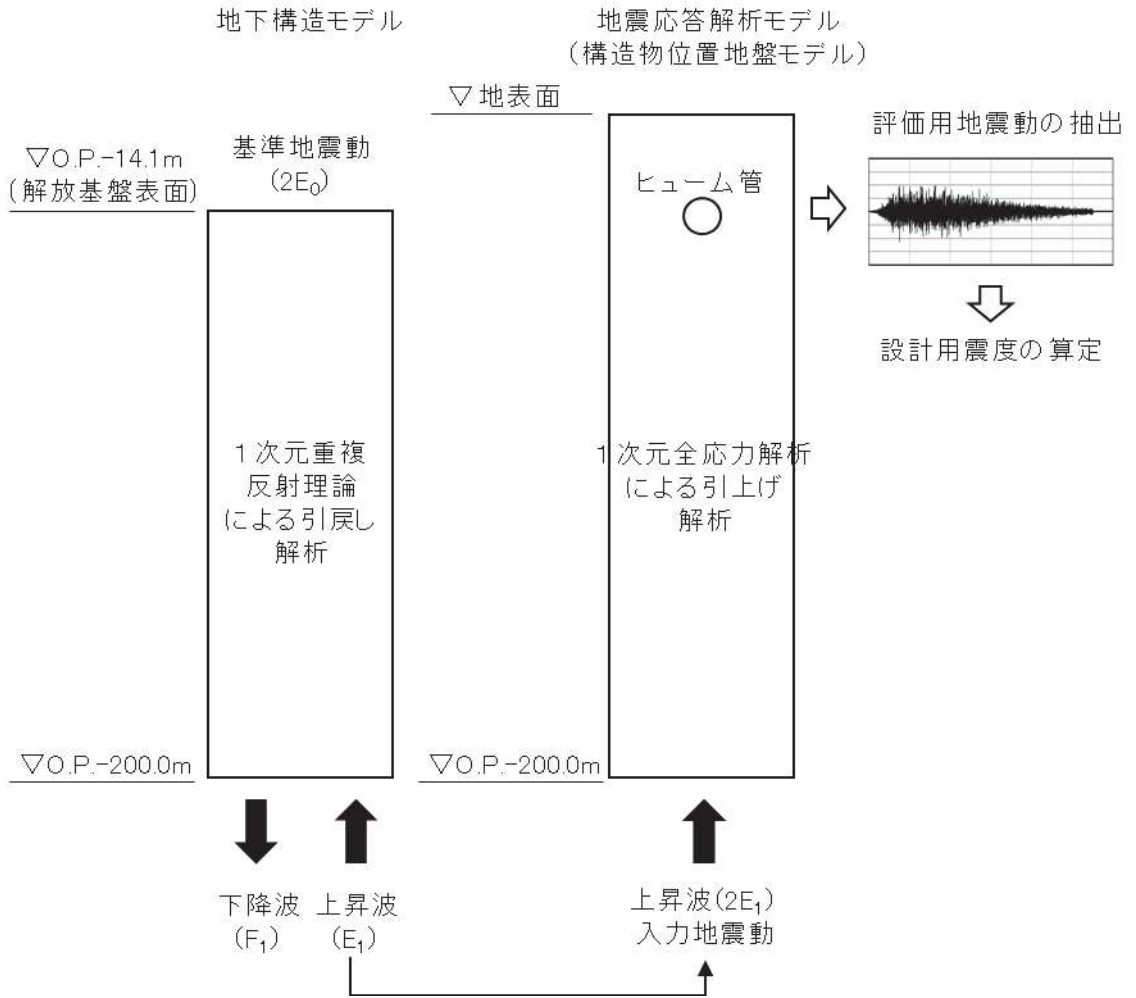
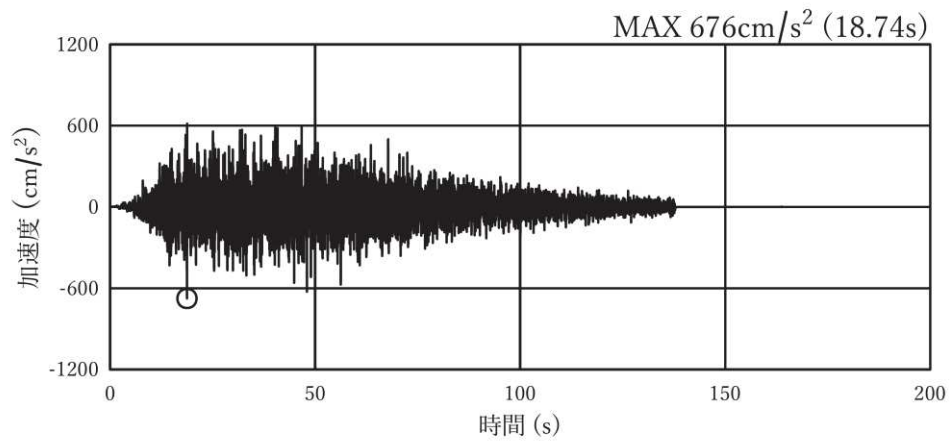
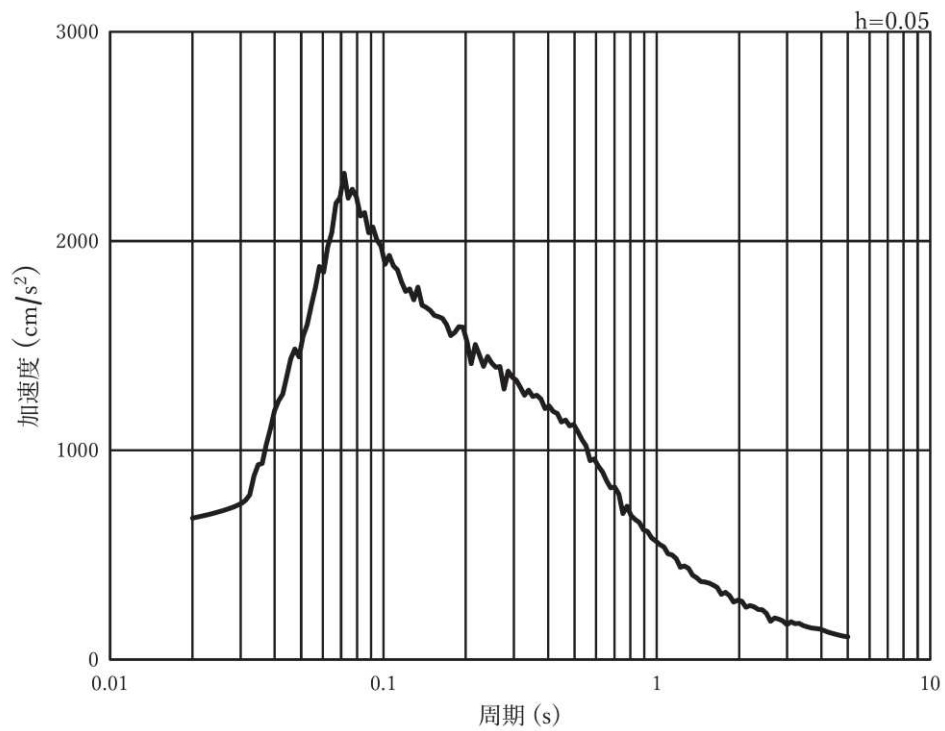


図 3-6 地震応答解析の概念

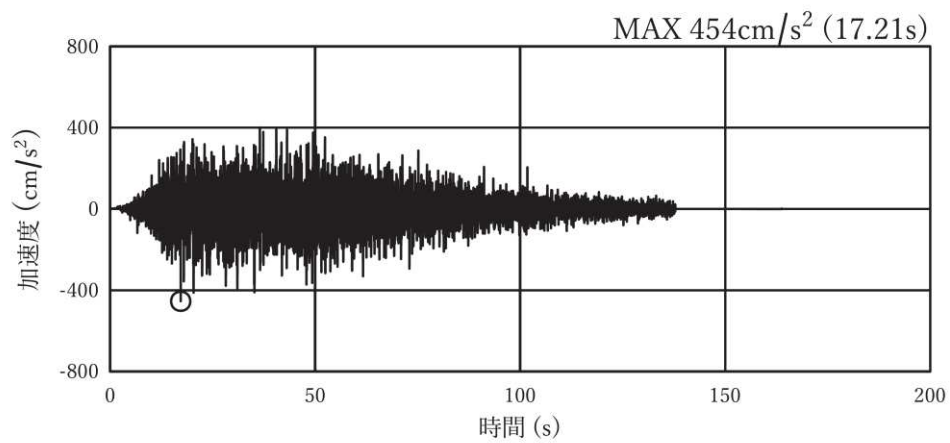


(a) 加速度時刻歴波形

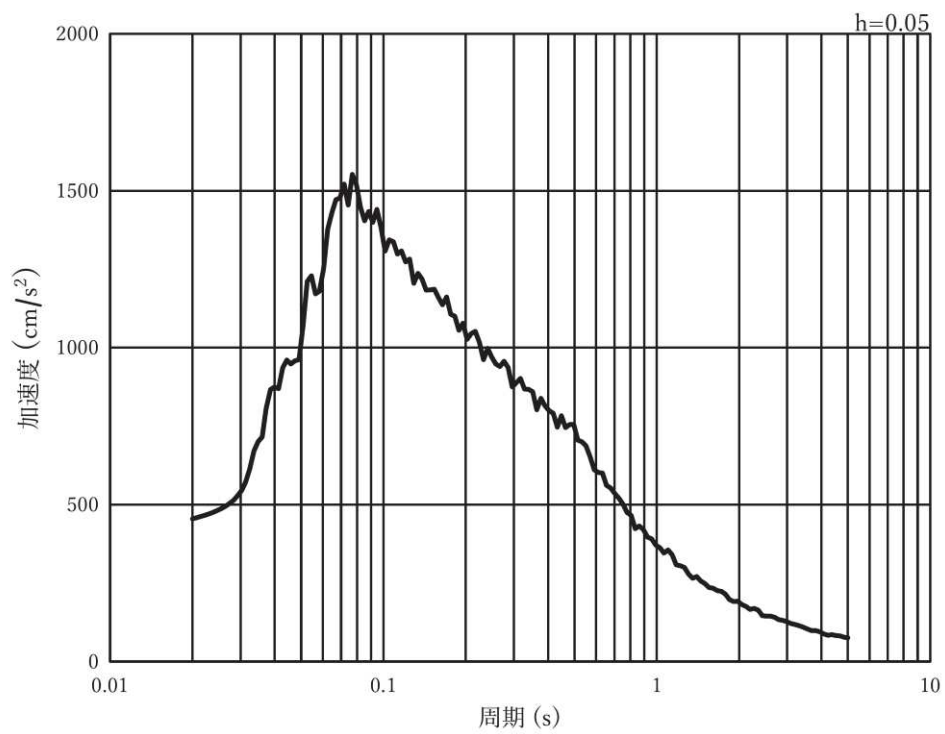


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 1), 断面①, ②

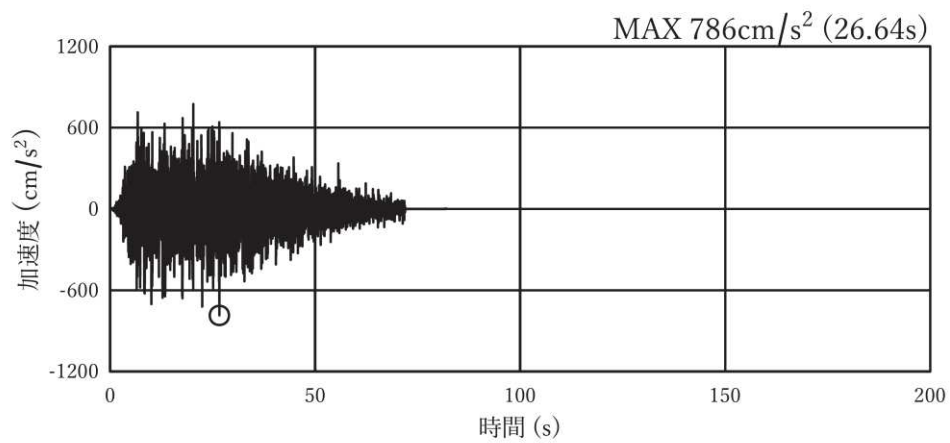


(a) 加速度時刻歴波形

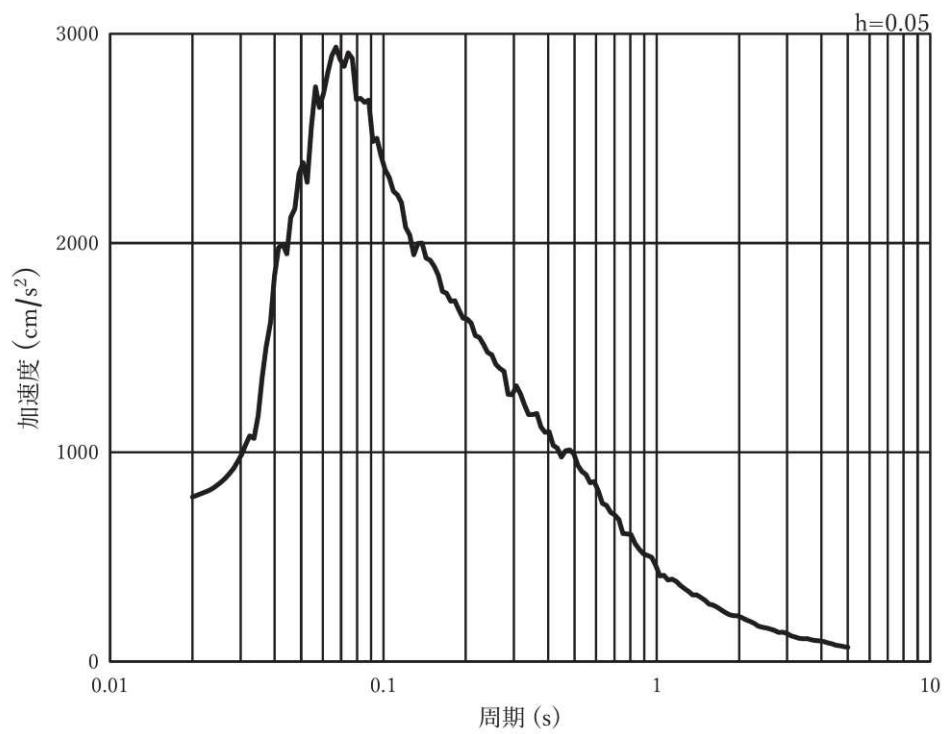


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 1)，断面①，②

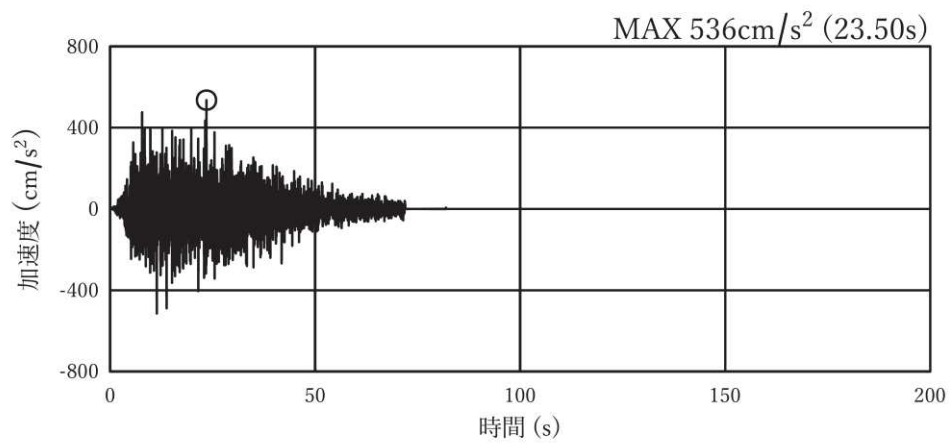


(a) 加速度時刻歴波形

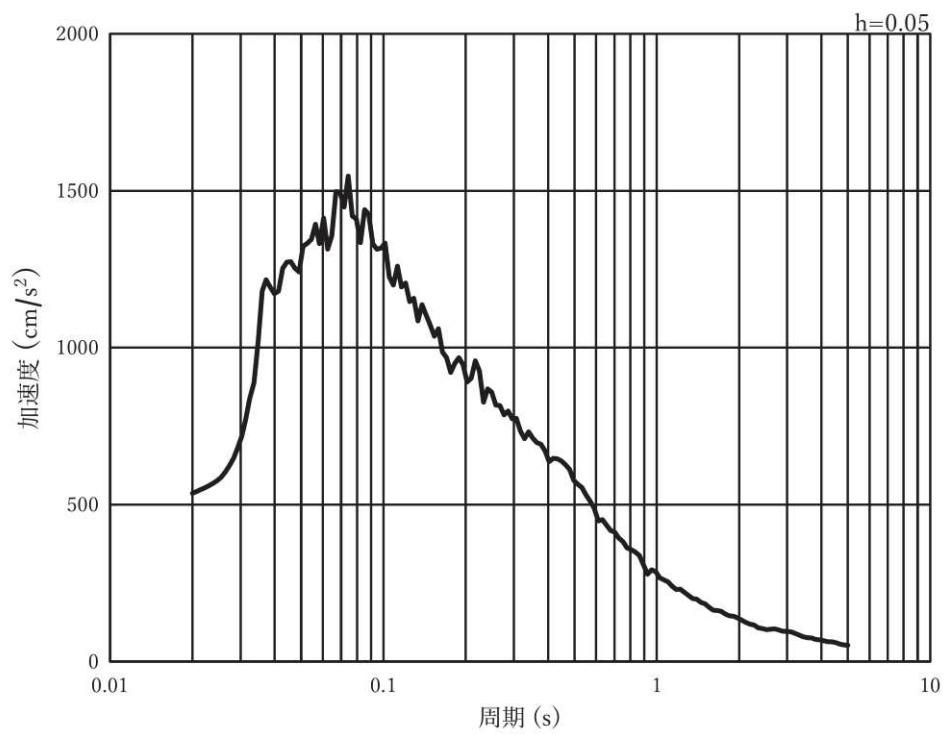


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 2), 断面①, ②

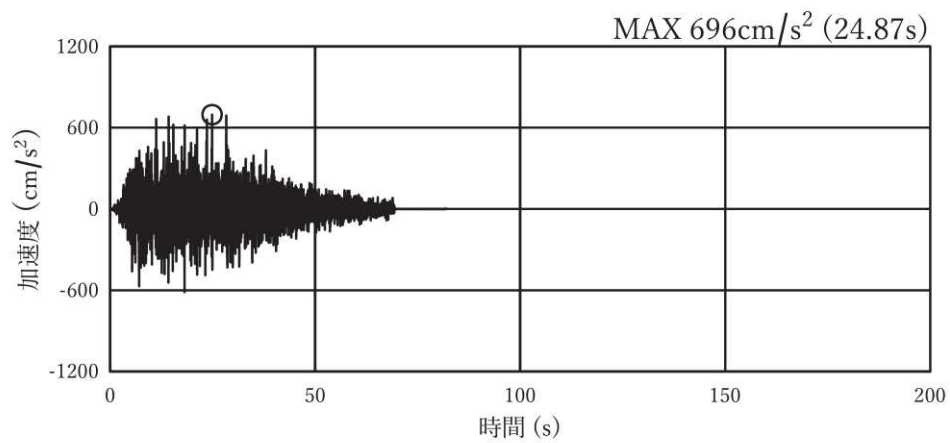


(a) 加速度時刻歴波形

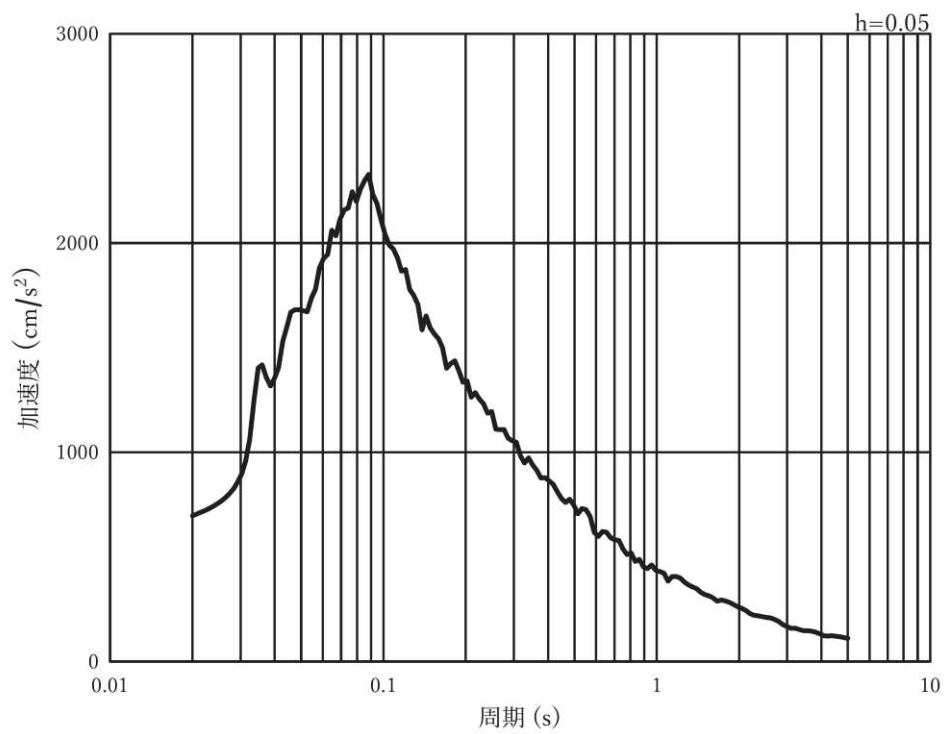


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 2)，断面①，②



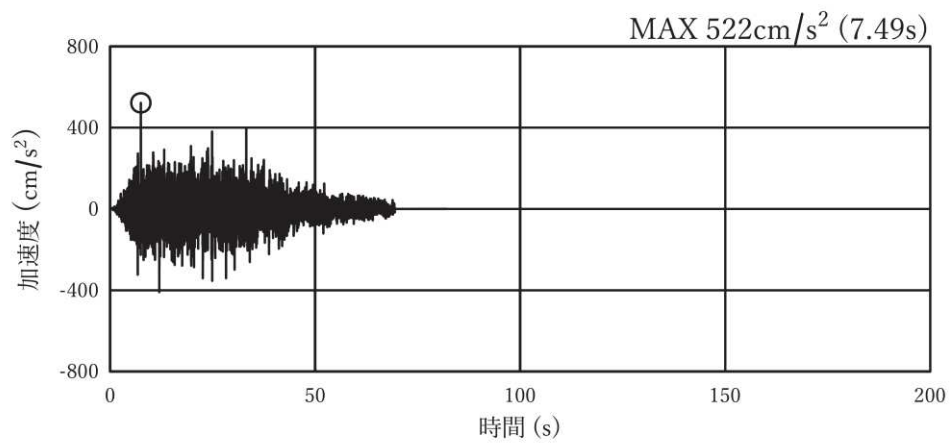
(a) 加速度時刻歴波形



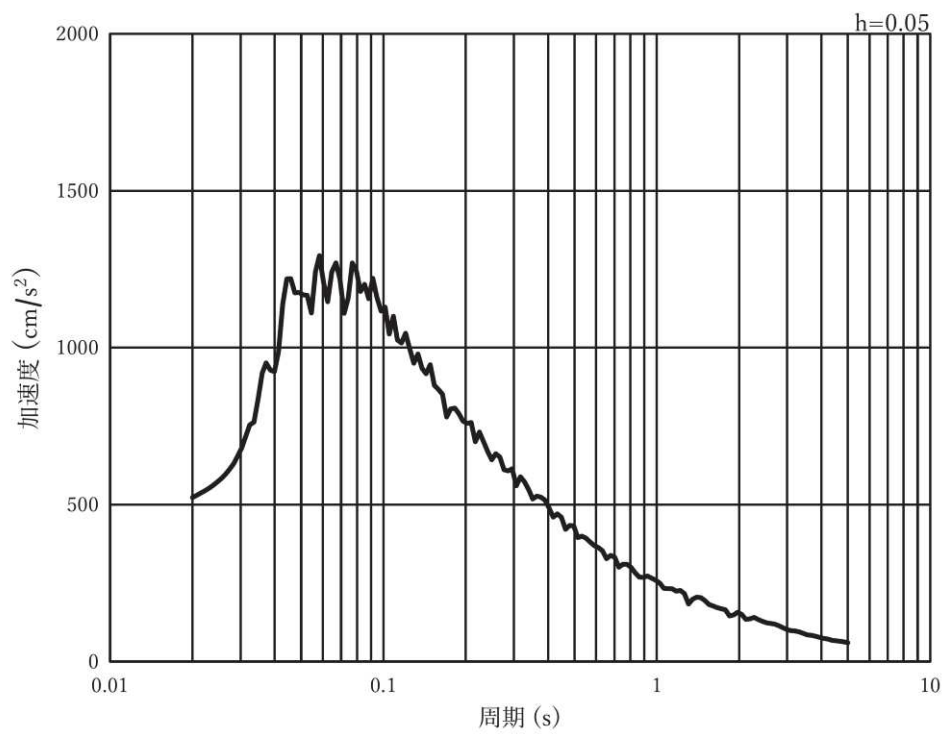
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 3), 断面①, ②



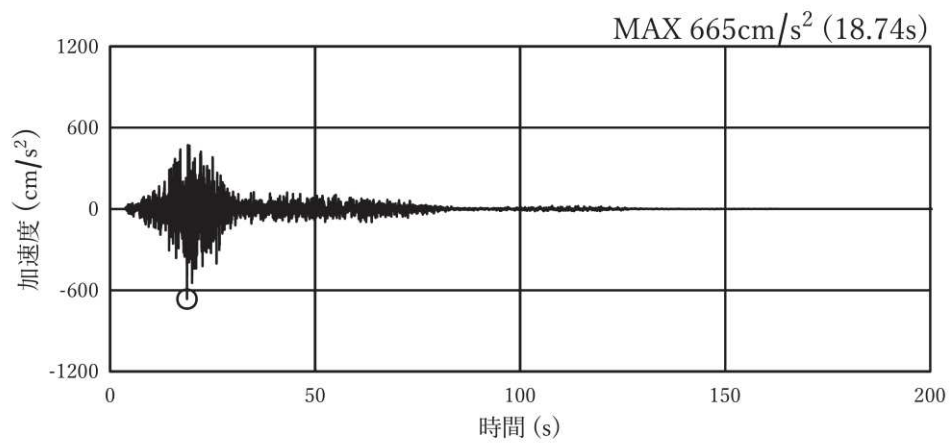


(a) 加速度時刻歴波形

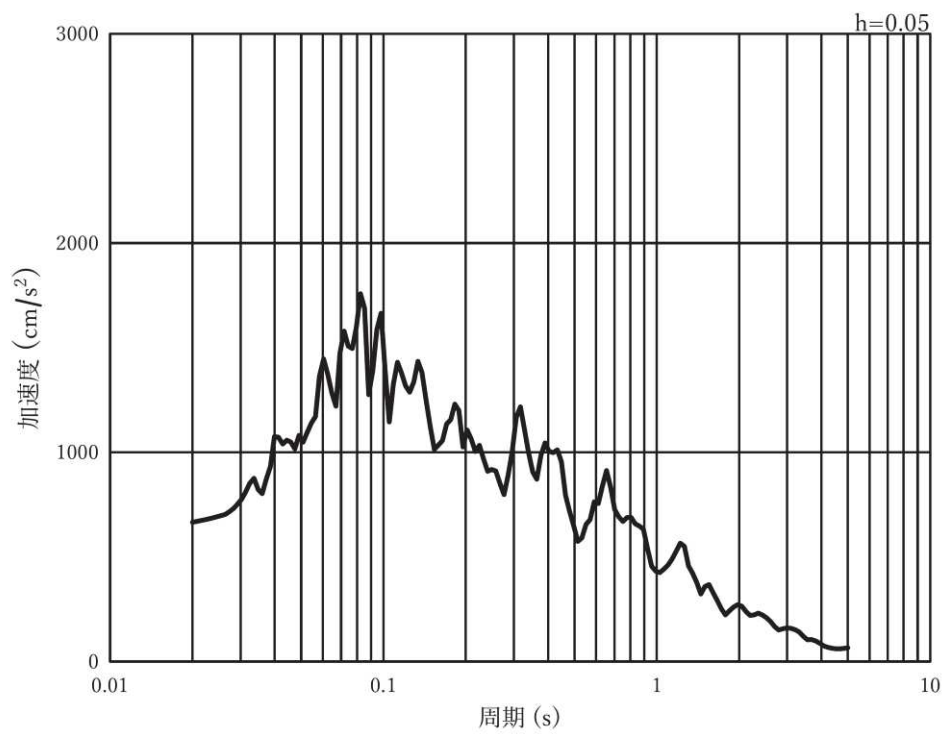


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 3)，断面①，②

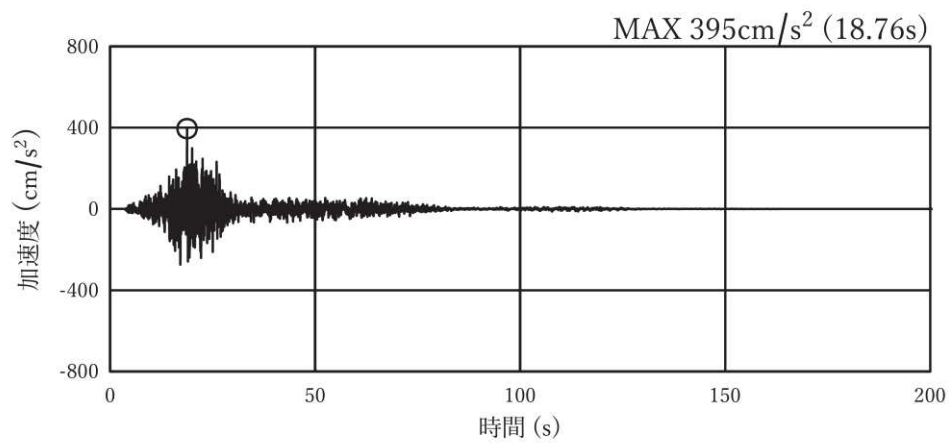


(a) 加速度時刻歴波形

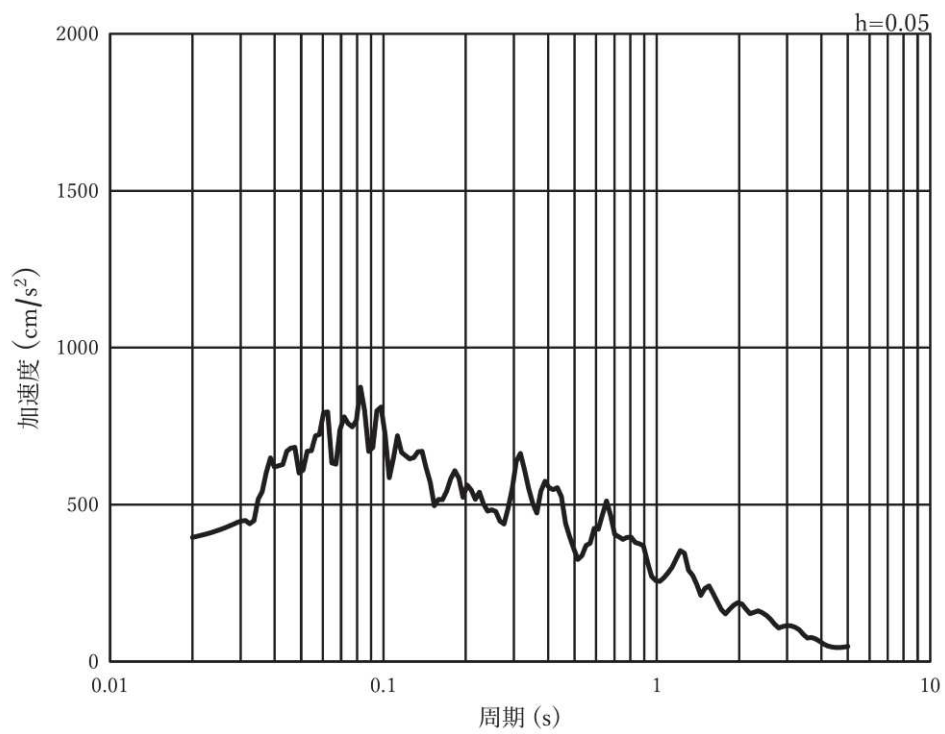


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 1), 断面①, ②

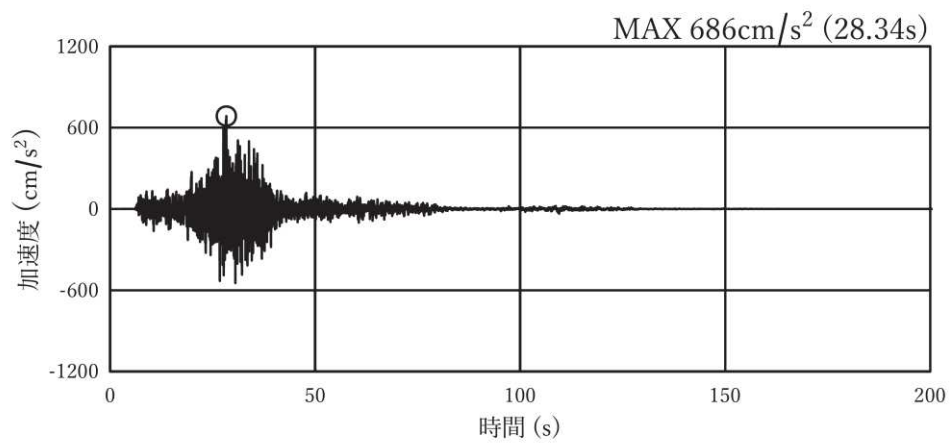


(a) 加速度時刻歴波形

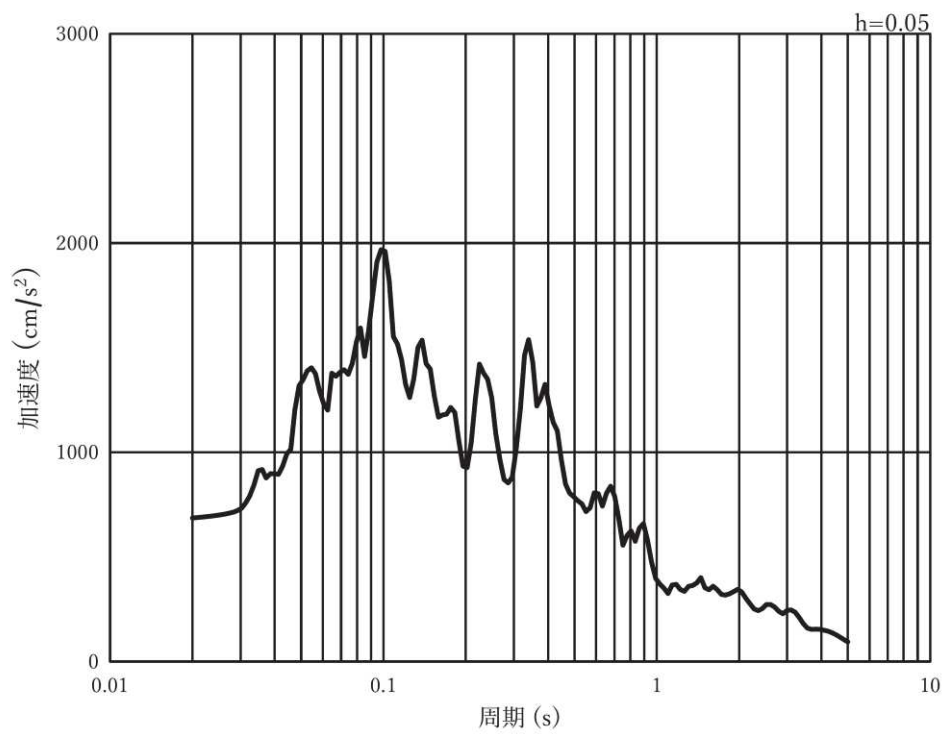


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 1)，断面①，②

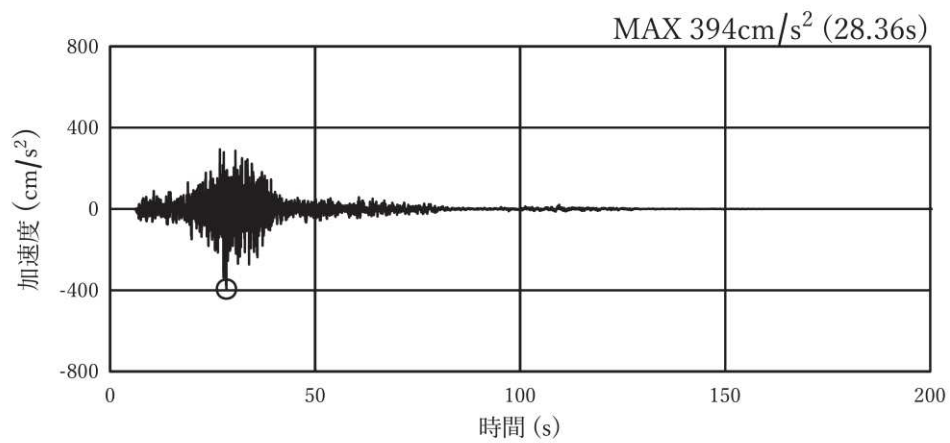


(a) 加速度時刻歴波形

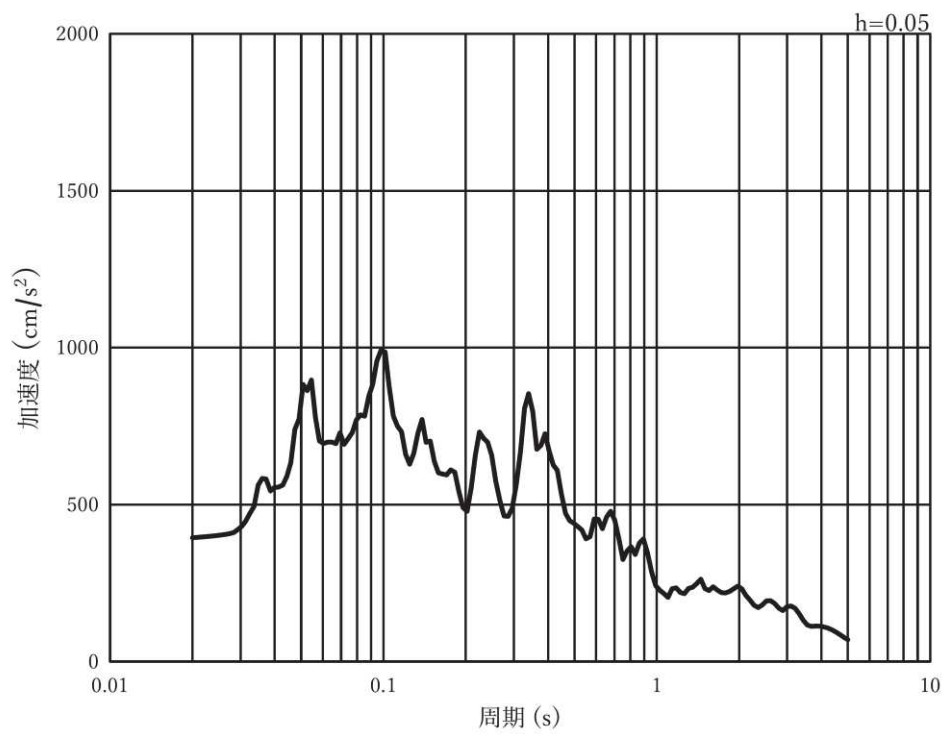


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 2), 断面①, ②

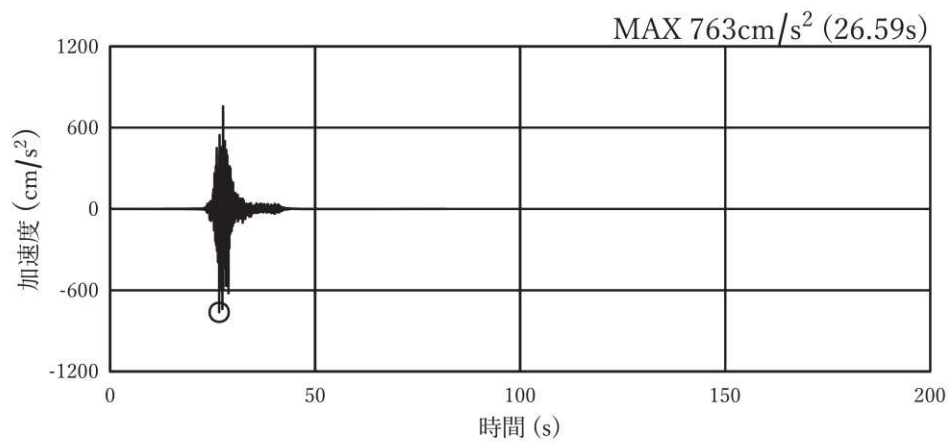


(a) 加速度時刻歴波形

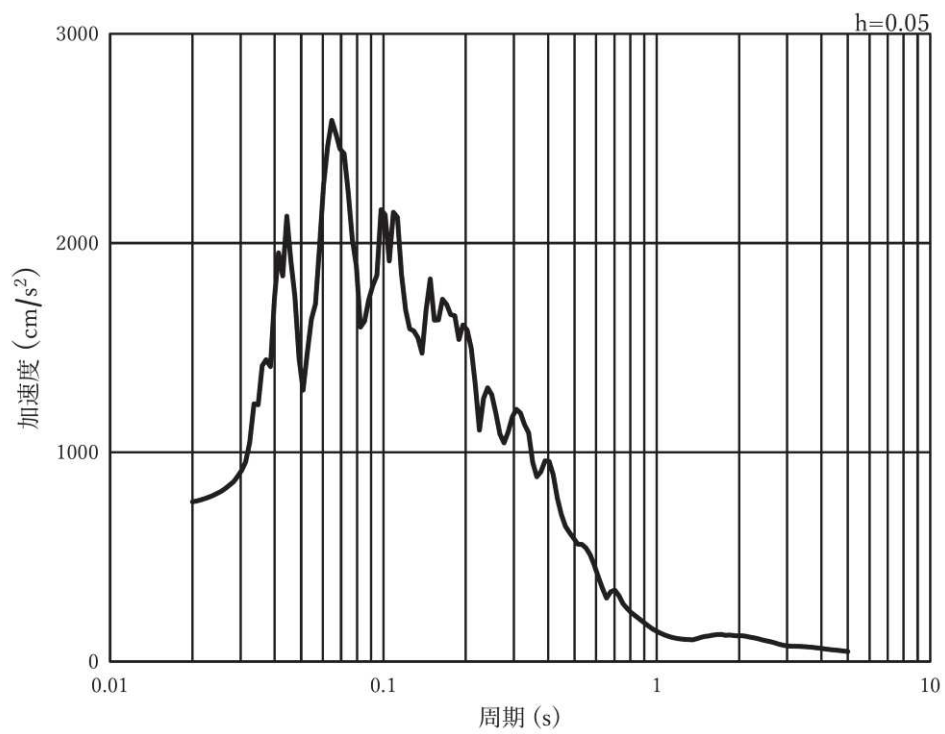


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 2)，断面①，②

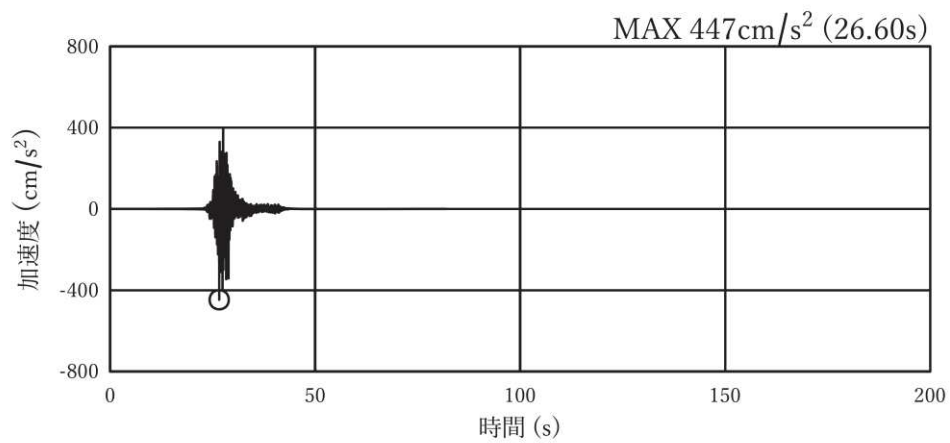


(a) 加速度時刻歴波形

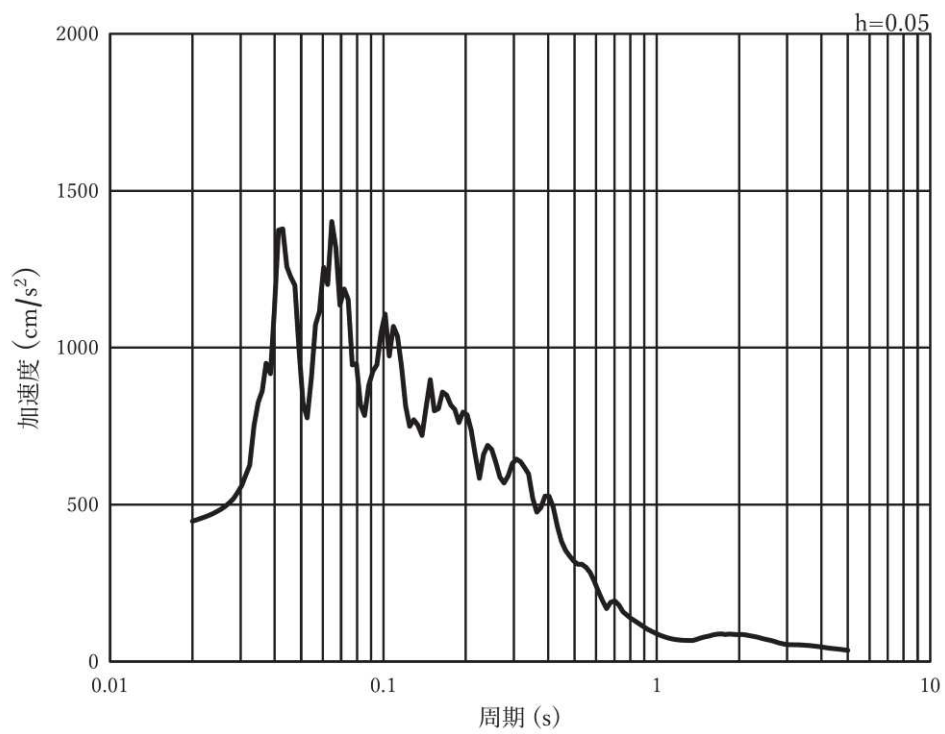


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 3), 断面①, ②

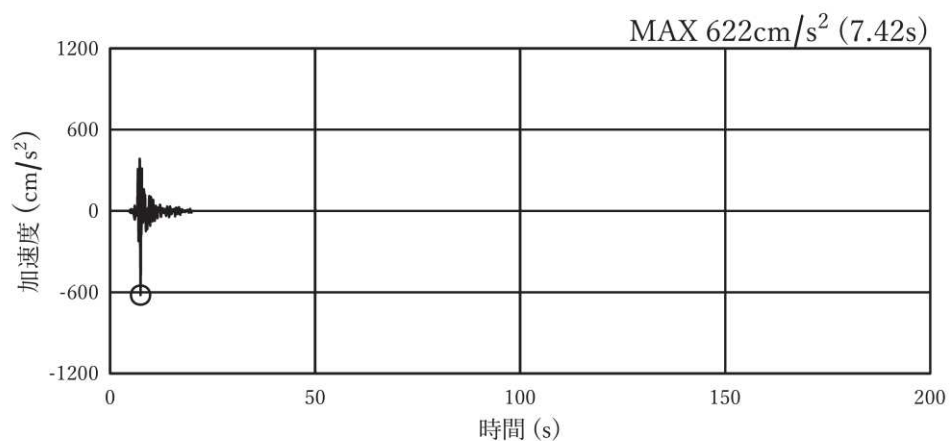


(a) 加速度時刻歴波形

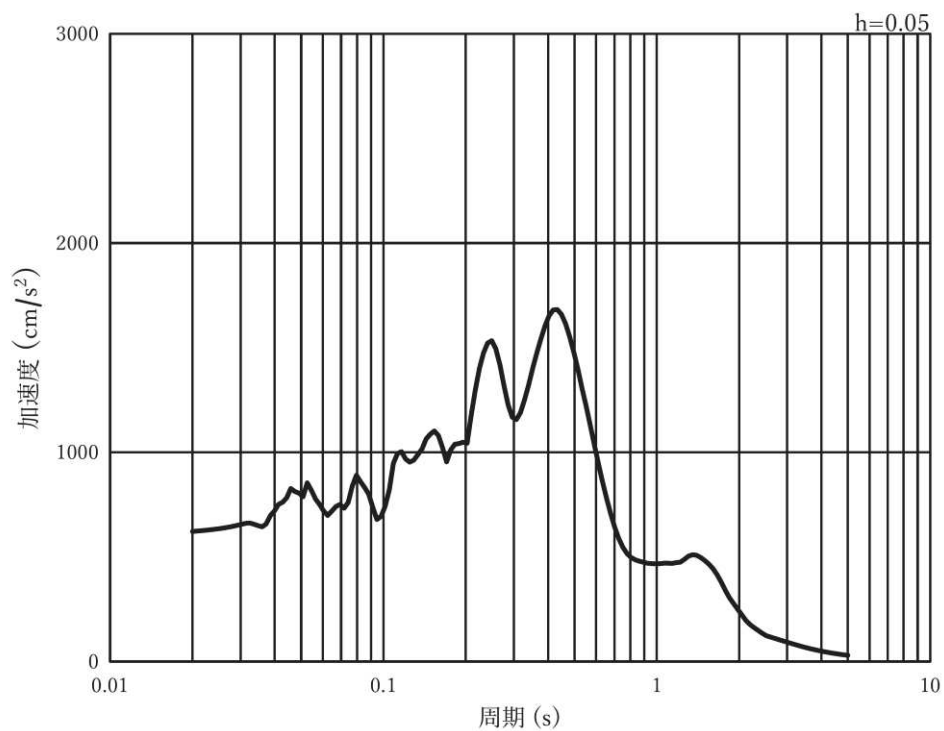


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 3)，断面①，②



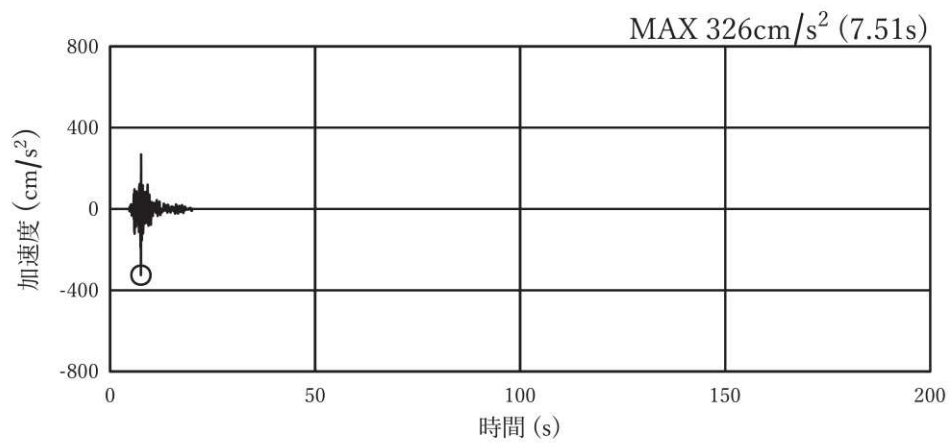
(a) 加速度時刻歴波形



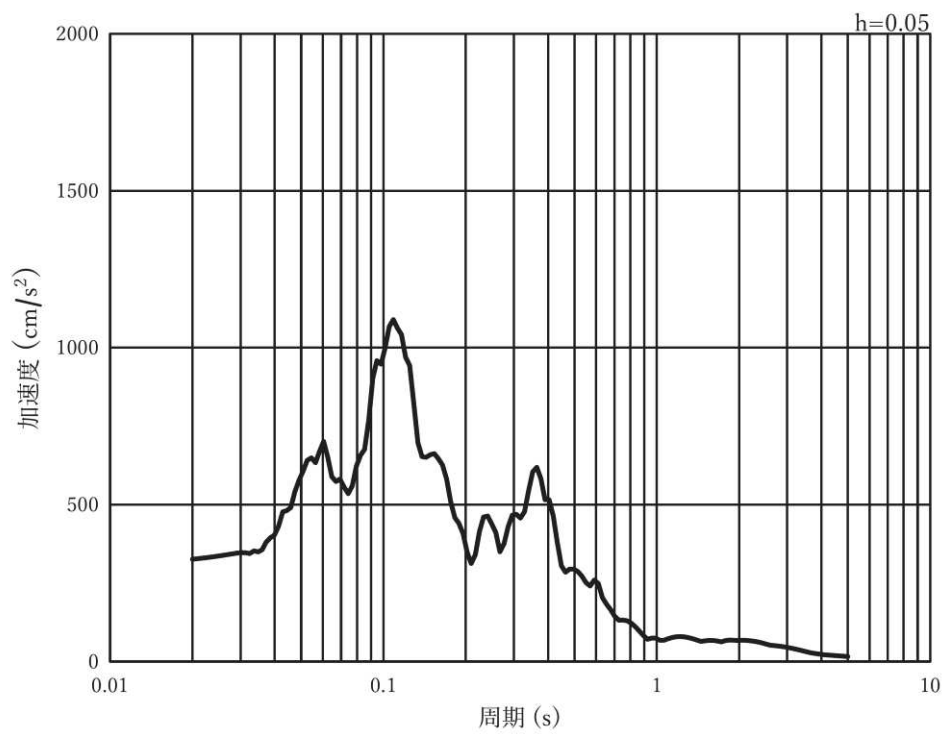
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - N 1), 断面①, ②



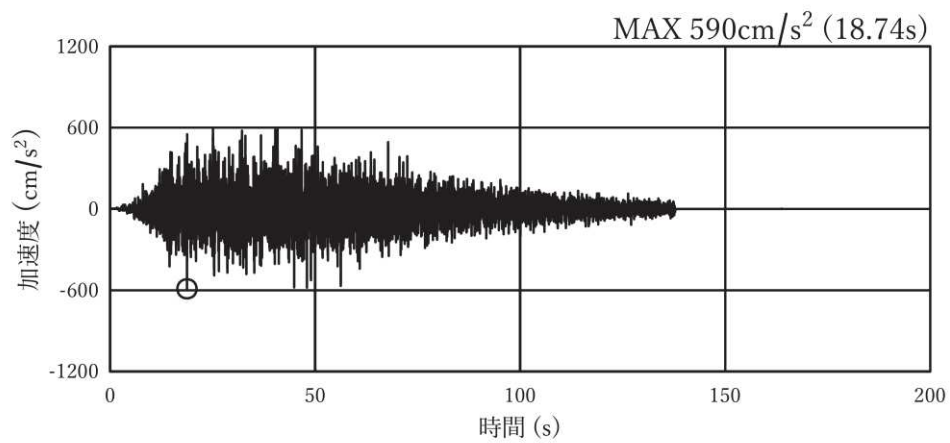


(a) 加速度時刻歴波形

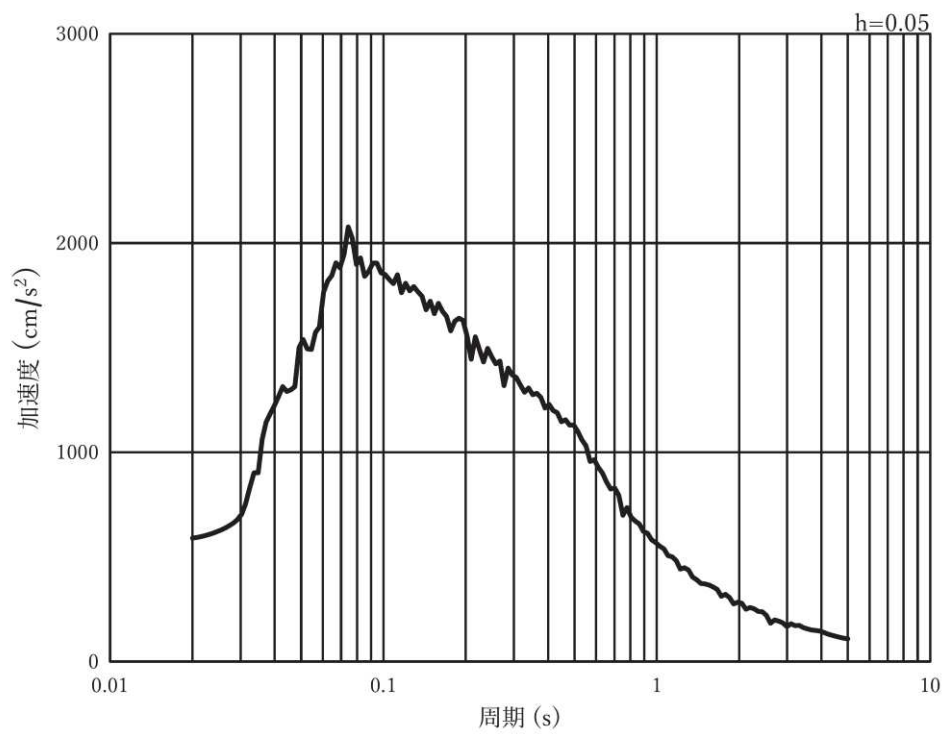


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : S s - N 1), 断面①, ②

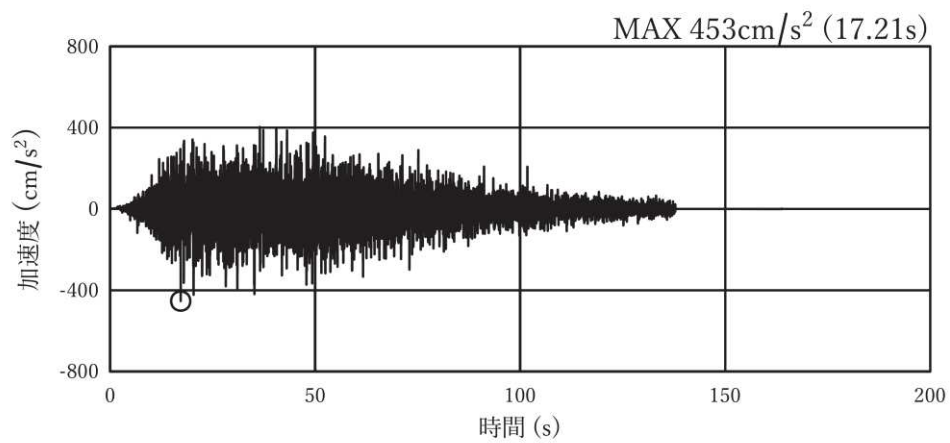


(a) 加速度時刻歴波形

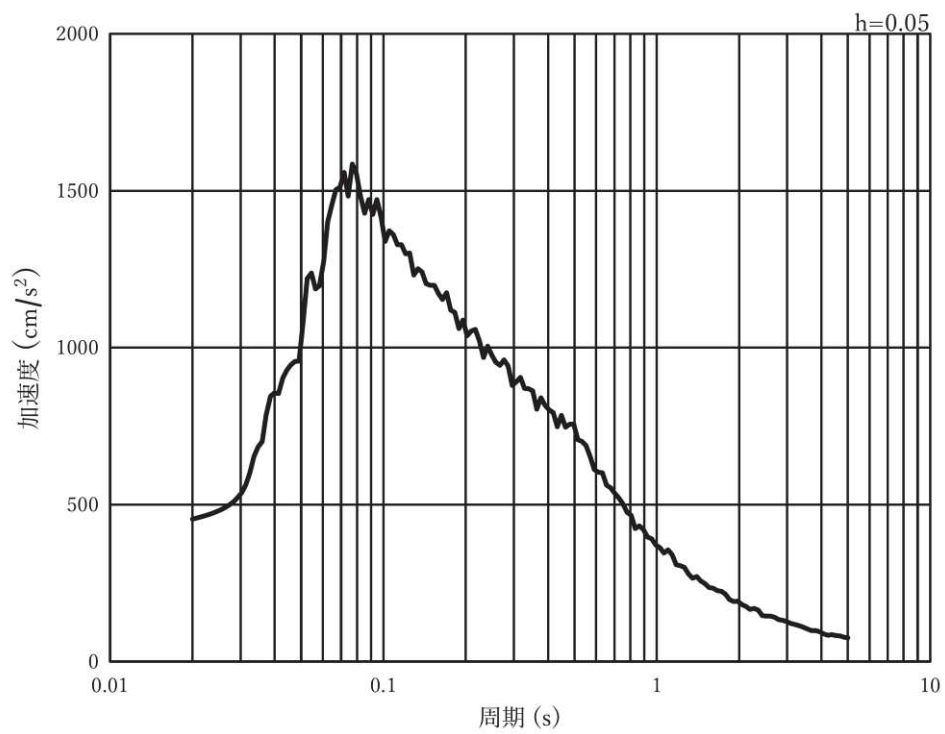


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 1), 断面③, ④, ⑤

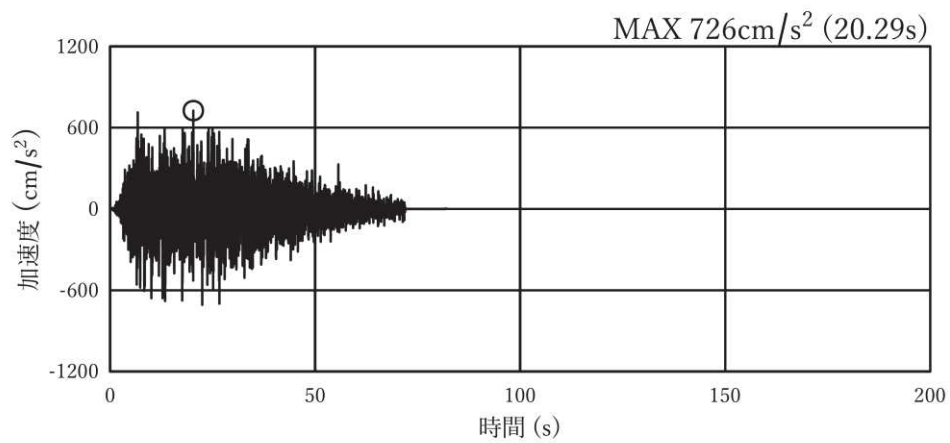


(a) 加速度時刻歴波形

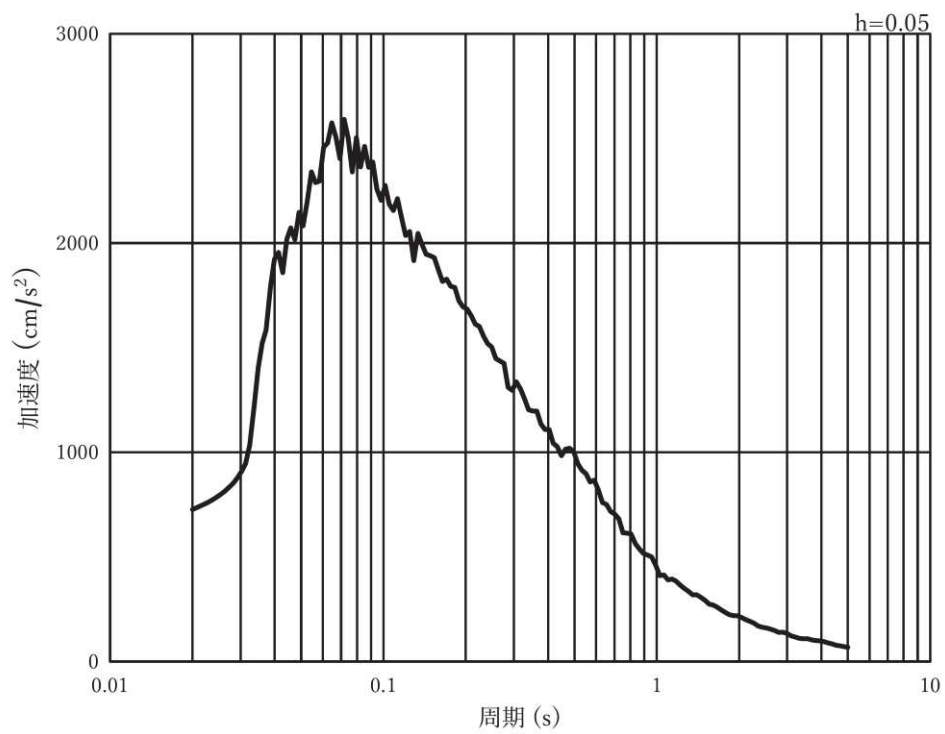


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 1)，断面③，④，⑤

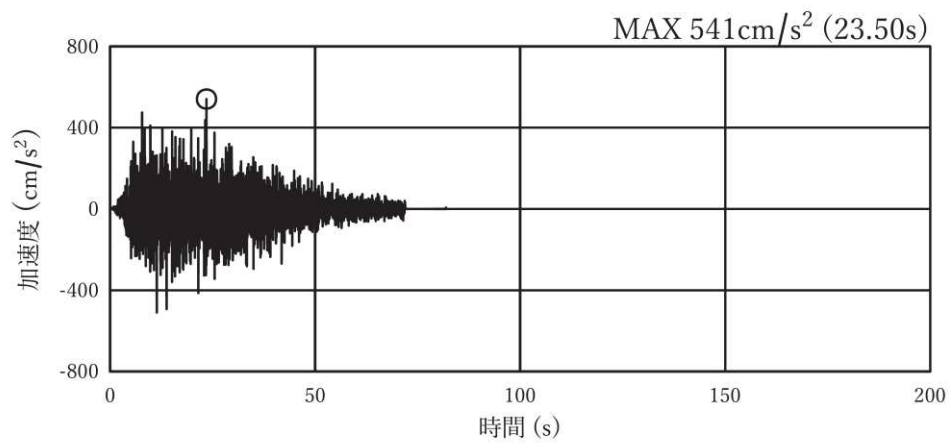


(a) 加速度時刻歴波形

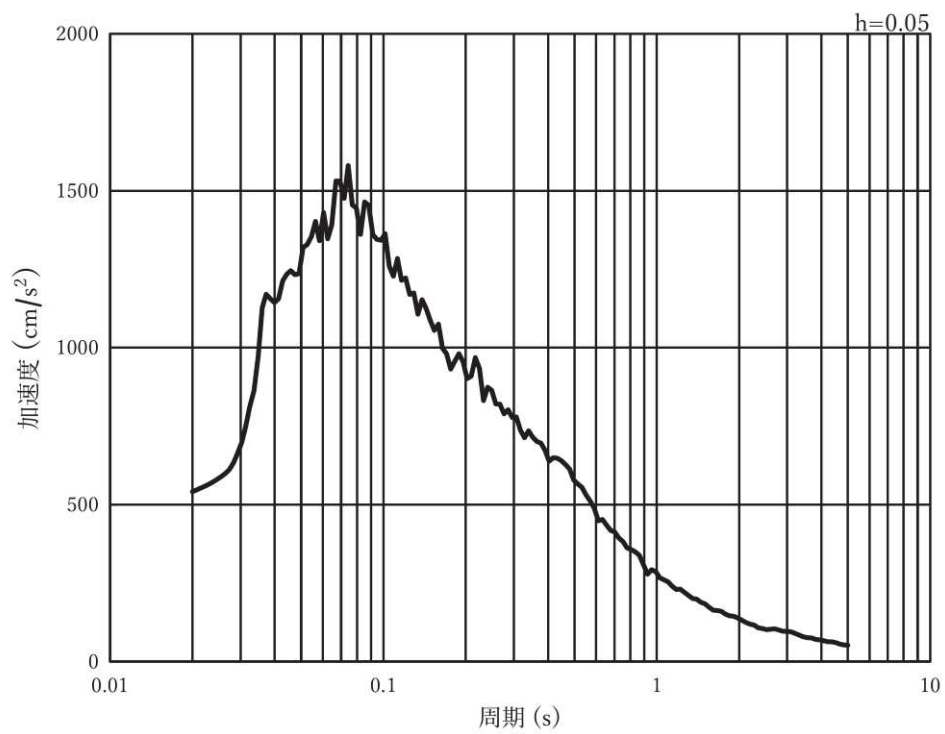


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 2), 断面③, ④, ⑤

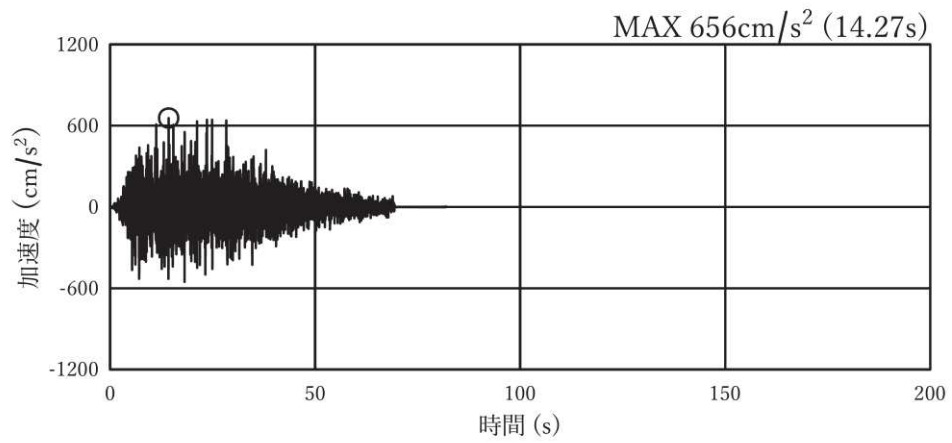


(a) 加速度時刻歴波形

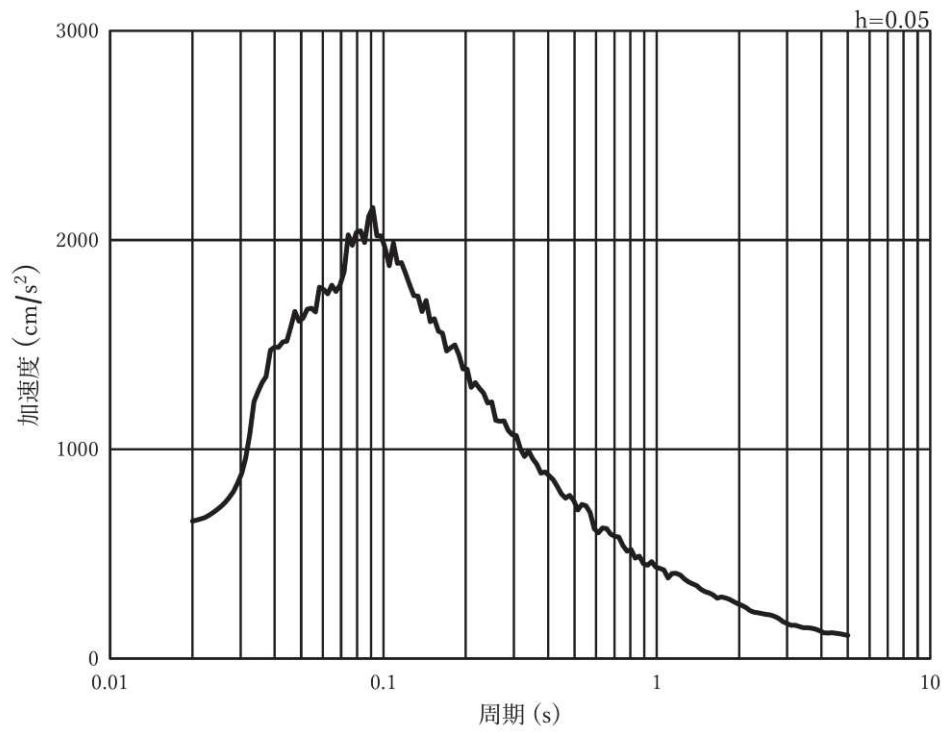


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 2)，断面③，④，⑤

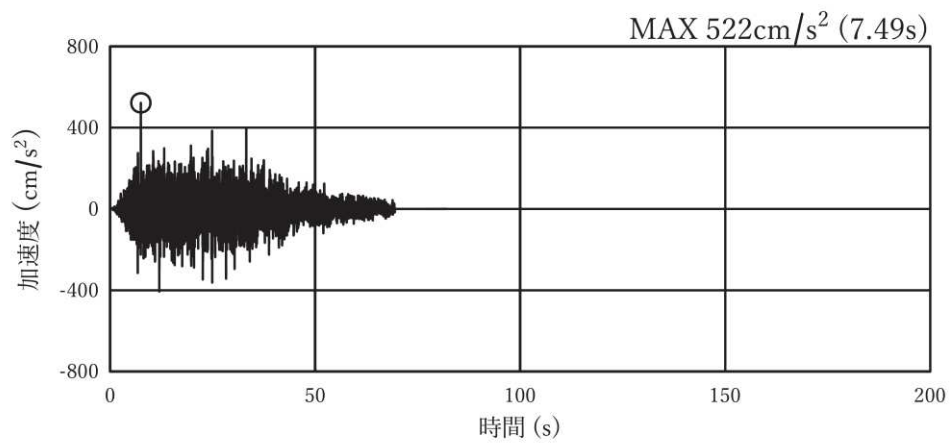


(a) 加速度時刻歴波形

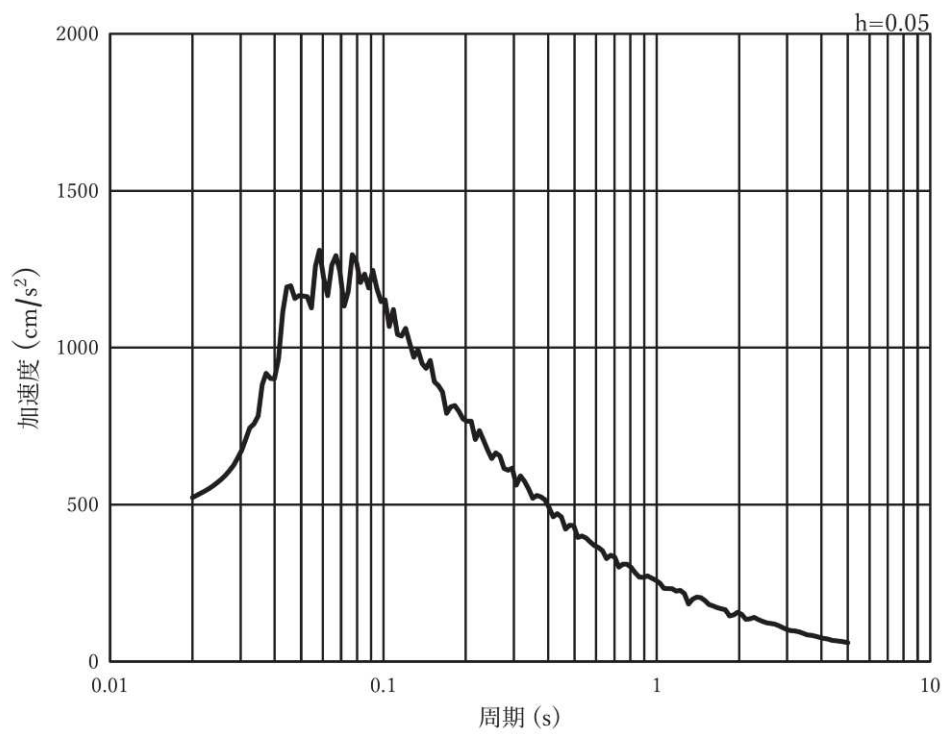


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(19) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 3), 断面③, ④, ⑤

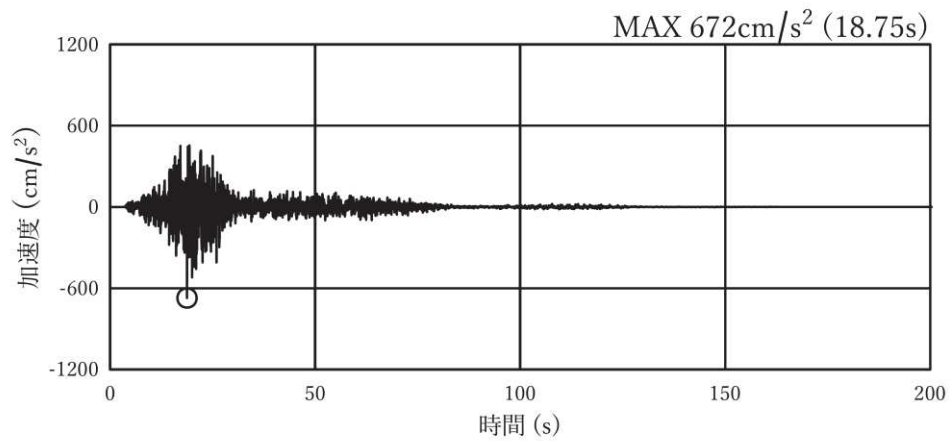


(a) 加速度時刻歴波形

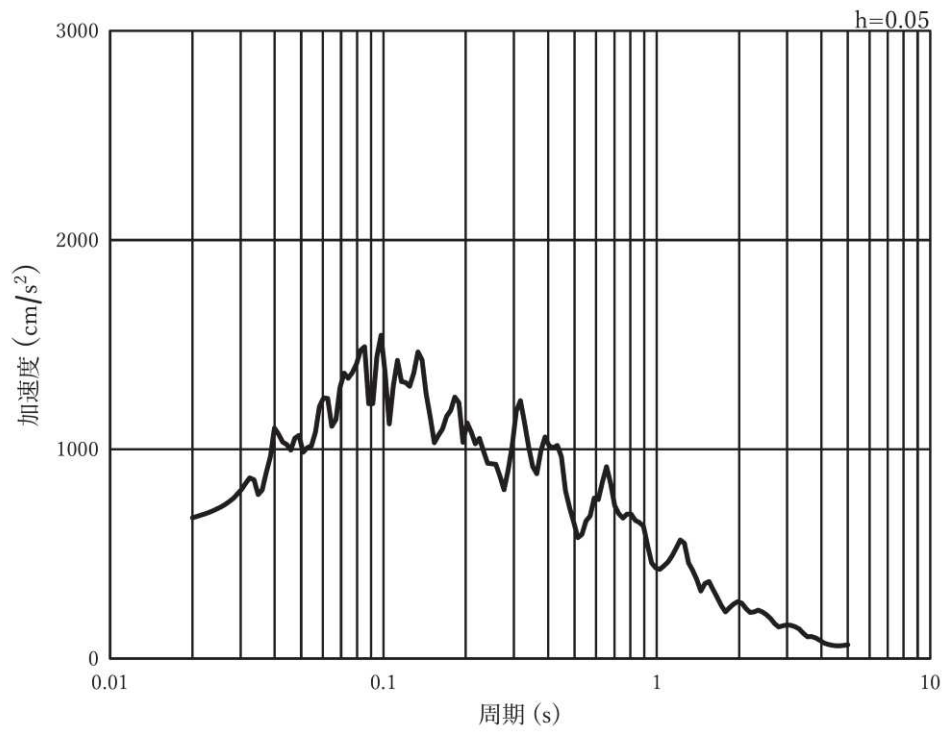


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(20) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 3)，断面③，④，⑤



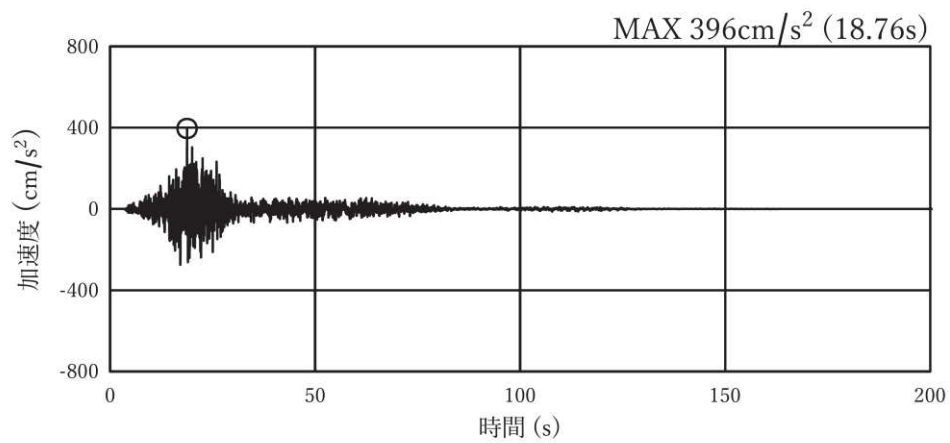
(a) 加速度時刻歴波形



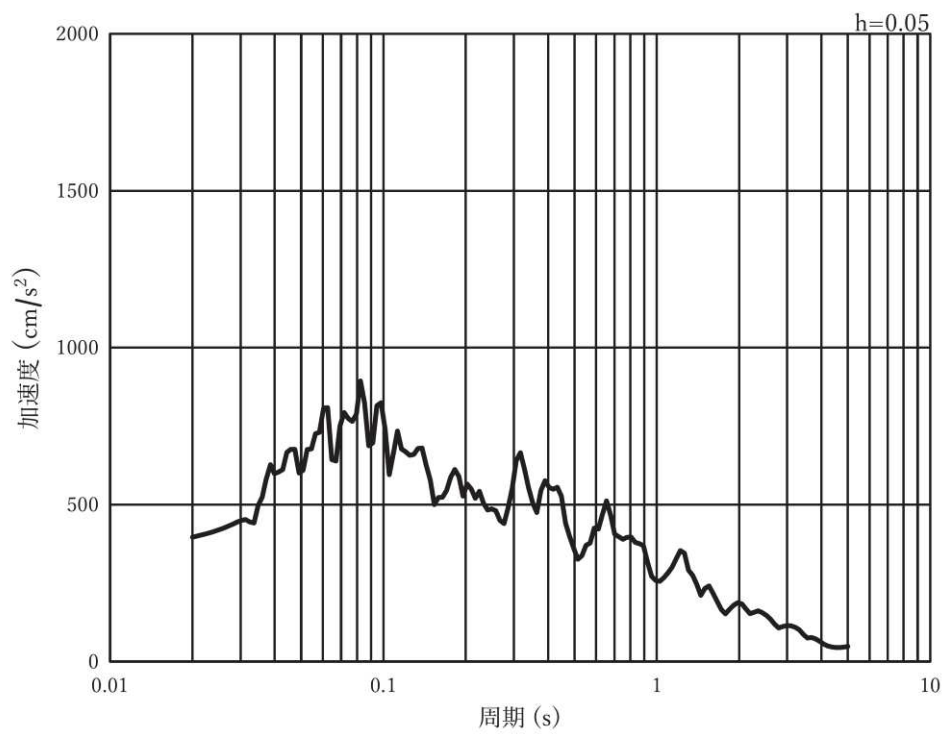
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 1), 断面③, ④, ⑤



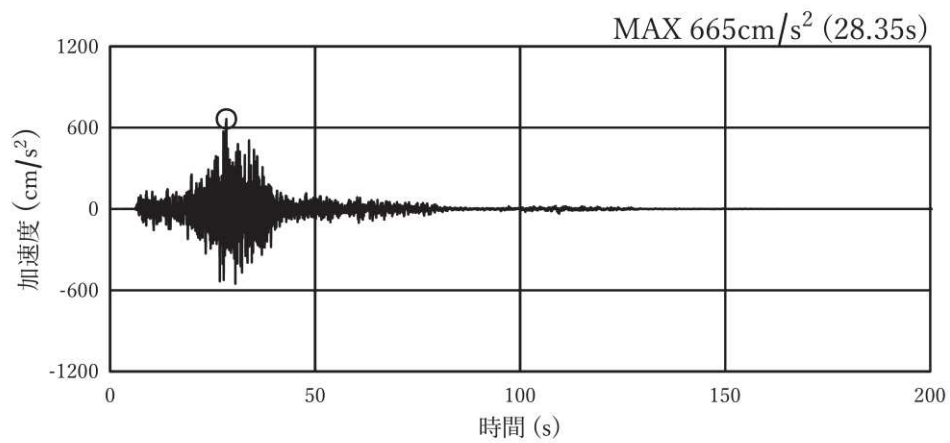


(a) 加速度時刻歴波形

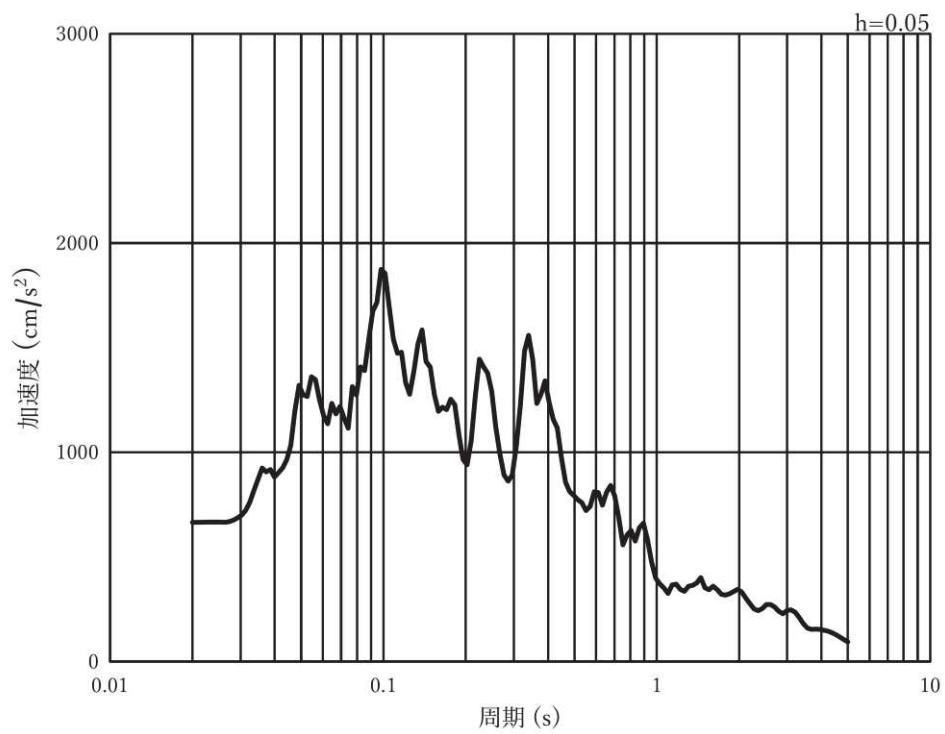


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 1)，断面③，④，⑤

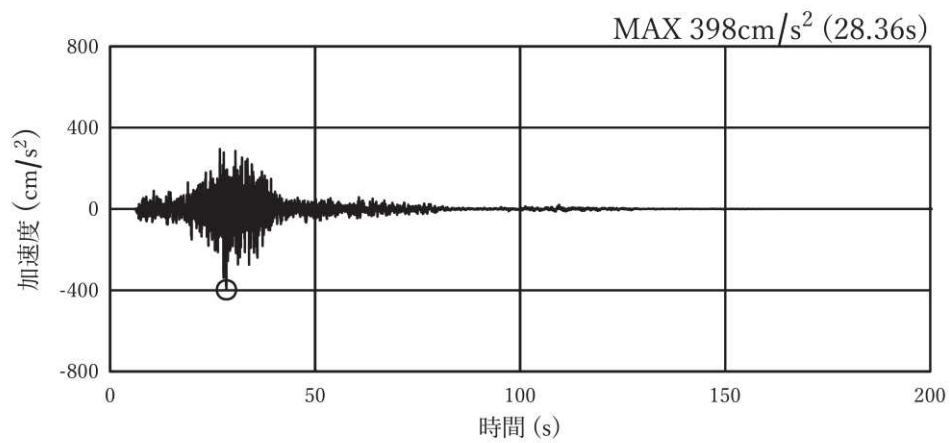


(a) 加速度時刻歴波形

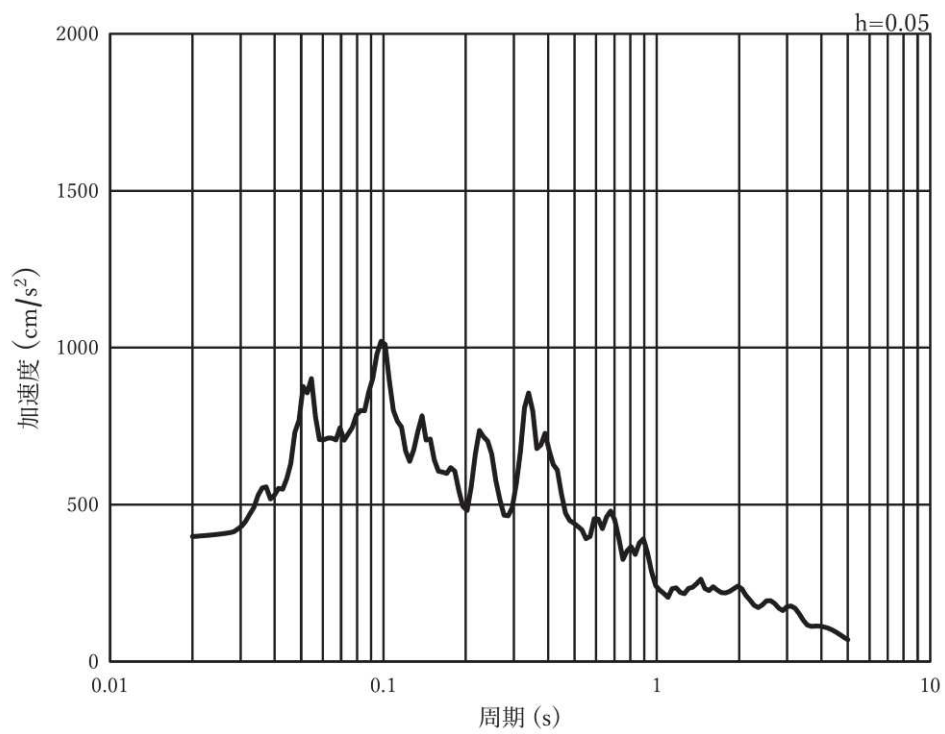


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(23) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 2), 断面③, ④, ⑤

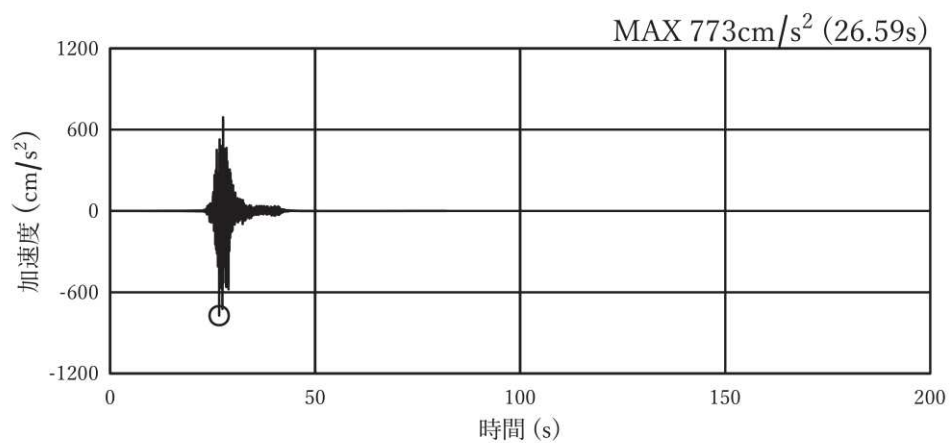


(a) 加速度時刻歴波形

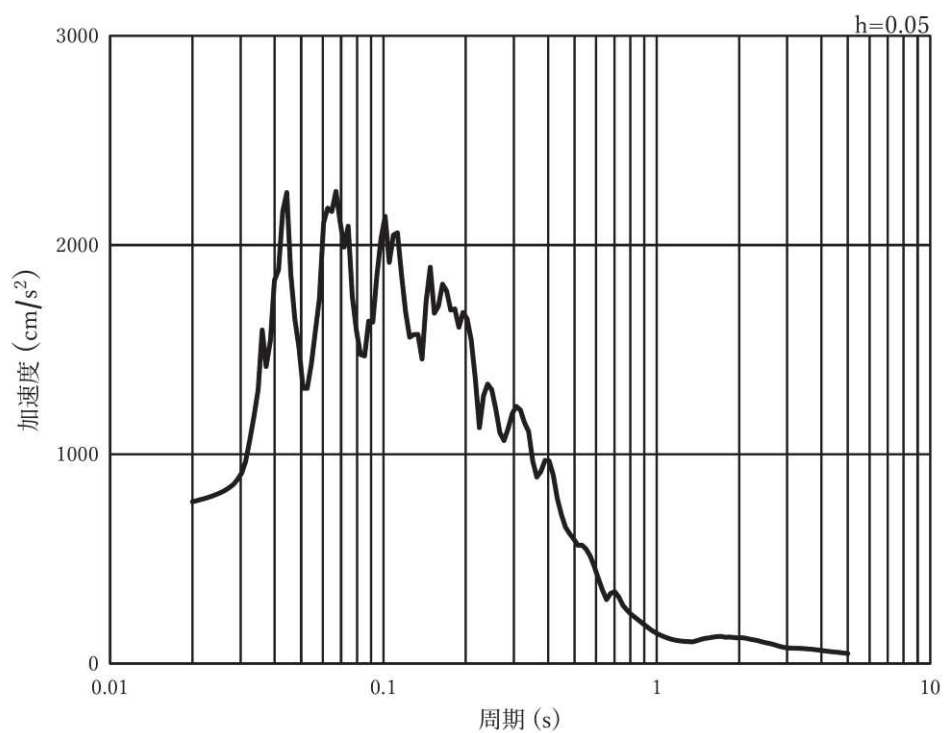


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(24) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 2)，断面③，④，⑤

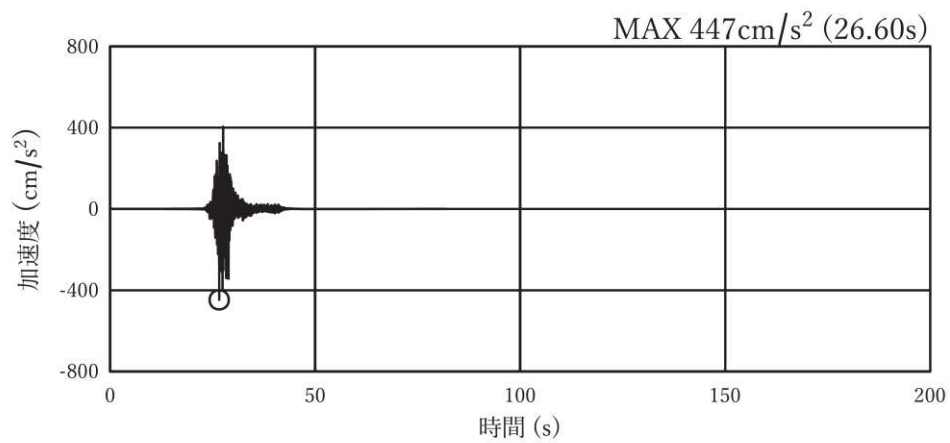


(a)加速度時刻歴波形

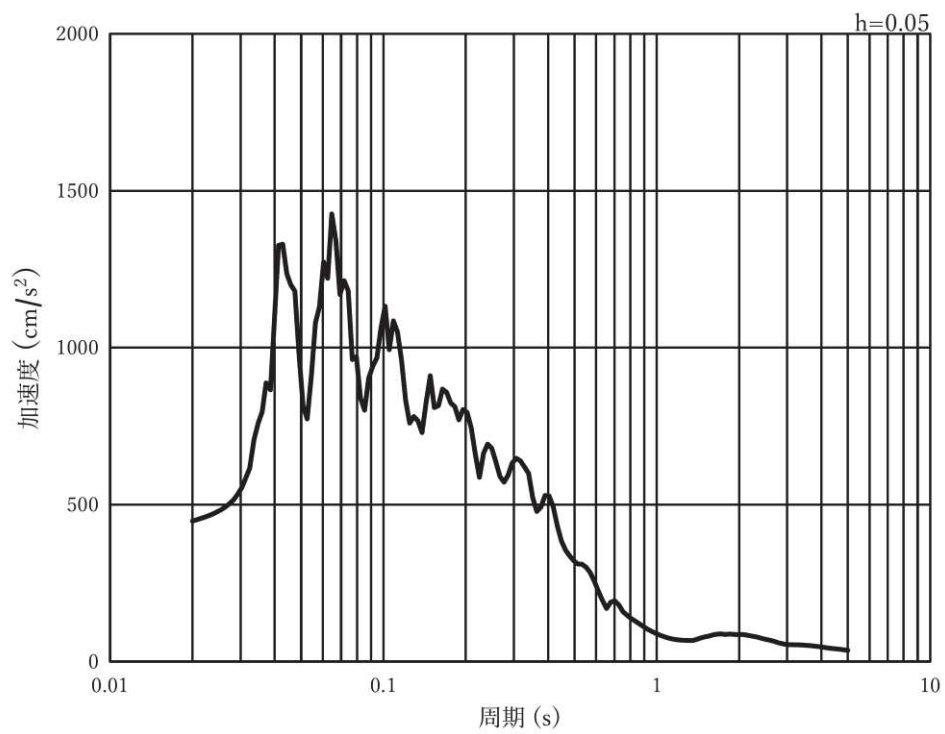


(b)加速度応答スペクトル

図 3-7(25) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 3), 断面③, ④, ⑤

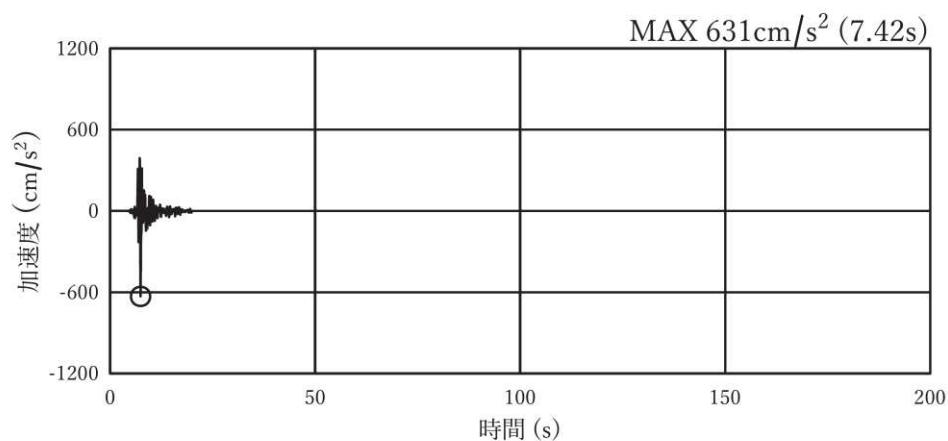


(a) 加速度時刻歴波形

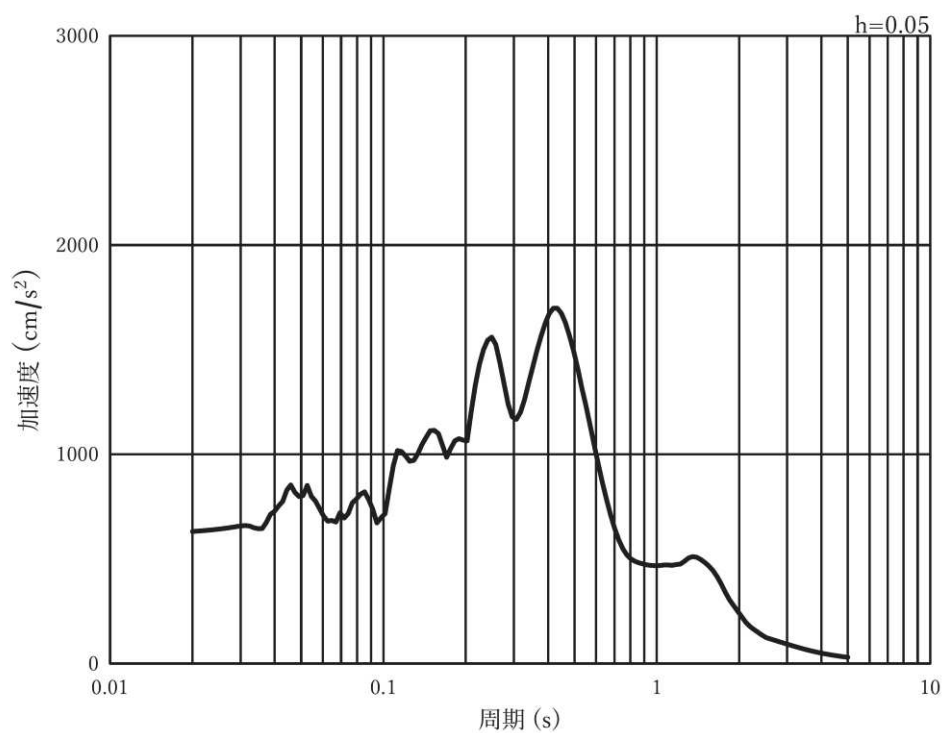


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(26) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : S s - F 3), 断面③, ④, ⑤

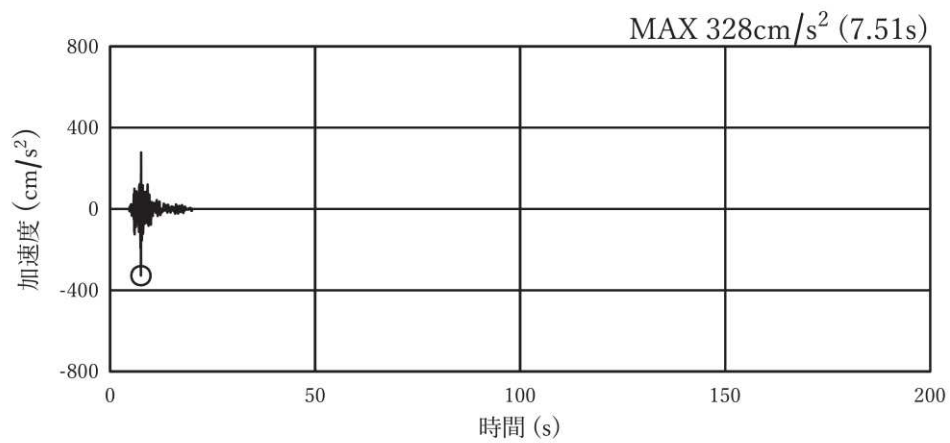


(a) 加速度時刻歴波形

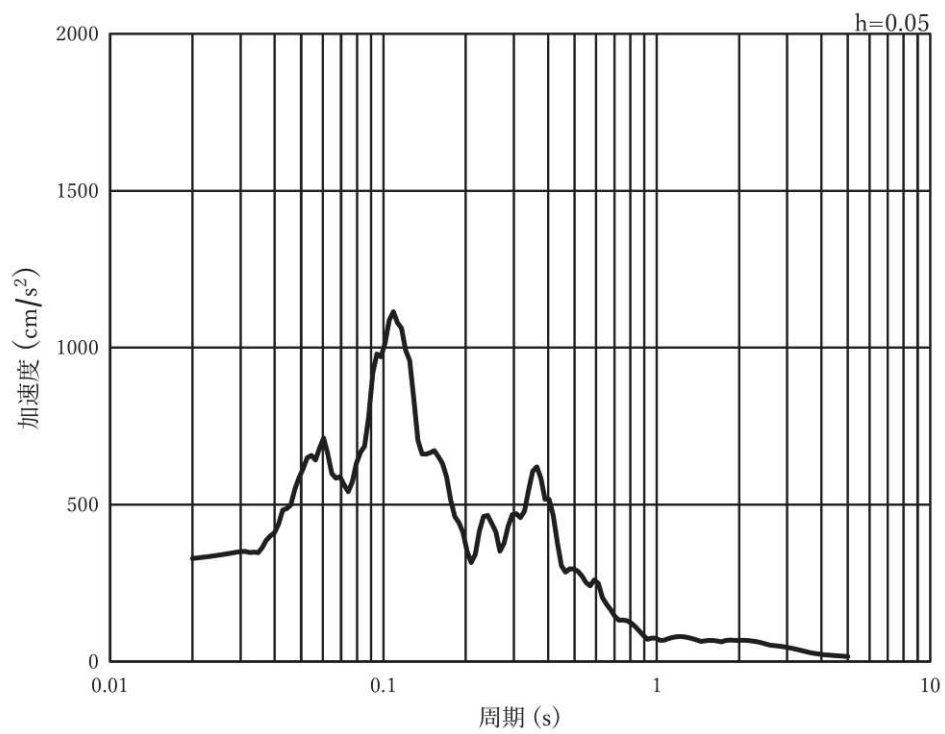


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(27) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - N 1), 断面③, ④, ⑤



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7(28) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : S s - N 1), 断面③, ④, ⑤

- e. ヒューム管の設計用震度の算定  
 各評価対象断面位置における最大鉛直震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 ヒューム管位置の最大鉛直震度

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

(2) 鋼管

- a. 鋼管の評価に用いる応力

基礎地盤安定性評価結果を参照し、図 3-3 に示す抽出対象範囲より主応力（最大圧縮応力）が最大となる地盤要素の応力（水平応力  $\sigma_x$ 、鉛直応力  $\sigma_y$  及びせん断応力  $\tau_{xy}$ ）を抽出する。抽出した応力を表 3-5 に示す。鋼管評価においては、せん断応力のばらつきを踏まえて保守的に表 3-5 に示す応力を 1.5 倍して載荷する。

表 3-5 基礎地盤安定性評価結果より抽出した応力

地震動	$\sigma_x^*$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$\sigma_y^*$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$\tau_{xy}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
S s - N 1	-1.63	-3.87	0.25

注記\* : 引張を正として示す



### 3.4 許容限界

#### 3.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

##### (1) ヒューム管

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

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

$M_c$  : ひび割れ保証モーメント (kN・m)

$P_c$  : ひび割れ荷重 (kN/m)

$W$  : 管きよの自重 (kN/m)

$r$  : 管きよの管厚中心半径 (m)

表 3-6 ヒューム管のひび割れ保証モーメント

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

注記\* : 管芯から管厚の中心までの半径を示す。

##### (2) 鋼管

応力解析による評価に用いる鋼管の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 鋼材の許容応力度及び短期許容応力度

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

注記\* 1 : 鋼管の使用材料はSM570相当以上とする

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

### 3.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	狐崎部層* <sup>1</sup>	13.7
	牧の浜部層* <sup>1</sup>	11.4
	C <sub>L</sub> 級	1.8* <sup>2</sup>

注記\* 1 : C<sub>M</sub>級岩盤以上の岩盤が対象

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

### 3.5 応力解析による評価方法

#### 3.5.1 構造部材の健全性に対する評価方法

##### (1) ヒューム管

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

解析コードには、「FRAME(面内) Ver5.0.7」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

表 3-9 ヒューム管の諸元及び物性値

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

注記\* : 管芯から管厚の中心までの半径を示す。

(2) 鋼管

「3.3.1 解析方法」に示す解析方法に基づき、評価を実施する。鋼管の諸元及び物性値を表 3-10 及び表 3-11 に示す。

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に地盤剛性のばらつきを考慮し設定する。

解析コードには、「SLAP Ver6.64」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

鋼管の横断方向断面の静的解析で算出した断面力は下式の曲げ軸力照査により発生応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} \dots \dots \dots (3-2)$$

ここで、

σ：鋼管の曲げモーメント及び軸力より算定される応力 (N/mm<sup>2</sup>)

M：曲げモーメント (N・mm)

Z：有効断面係数 (mm<sup>3</sup>)

N：軸力 (N)

A：有効断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

注記\*：鋼管は外面が土中に設置内面が湿潤状態となるため、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき、内側及び外側に 1 mm の腐食代を考慮する。

表 3-10 鋼管の諸元

部 材	使用材料	諸元
鋼管	SS-R890 (SM570 相当以上)	内径 145.2mm, 板厚 10mm (外径 165.2mm)

表 3-11 鋼管の物性値

項目	材料諸元
単位体積重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	77.0
ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	2.0 × 10 <sup>5</sup>
ポアソン比 ν	0.30

### 3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位はヒューム管及び鋼管を支持する基礎地盤とし、基礎地盤に生じる応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

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

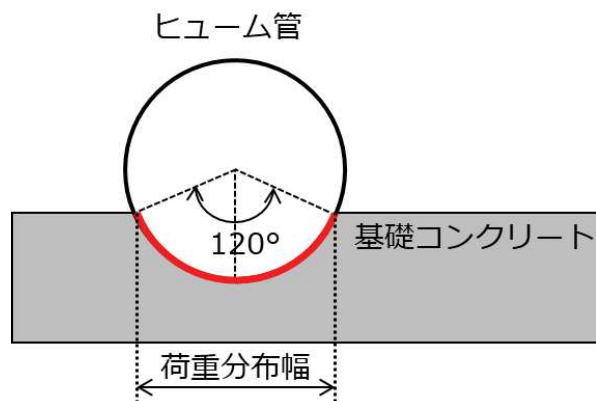


図 3-8 ヒューム管における基礎地盤の接地圧の考え方

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

###### (1) ヒューム管

ヒューム管の横断方向断面の静的解析で得られた各断面の曲げモーメント図を図4-1に、最大曲げモーメントに関する照査結果を表4-1に示す。

以上より、発生値が許容値を超えないことを確認した。

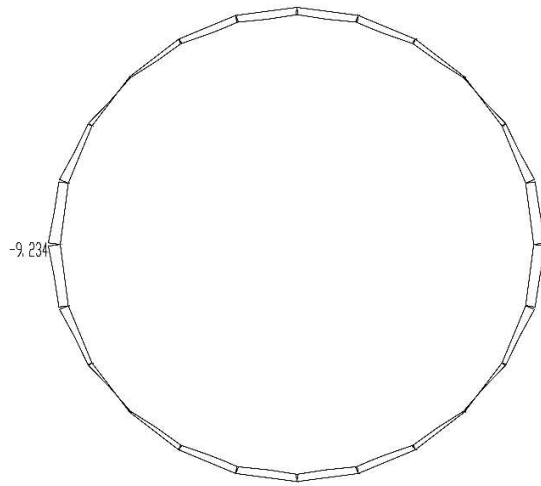


図4-1(1) 曲げモーメント図

(断面① (φ500mm, 2種), S<sub>s</sub>-D1, t=17.25秒)  
(解析ケース: ケース②)

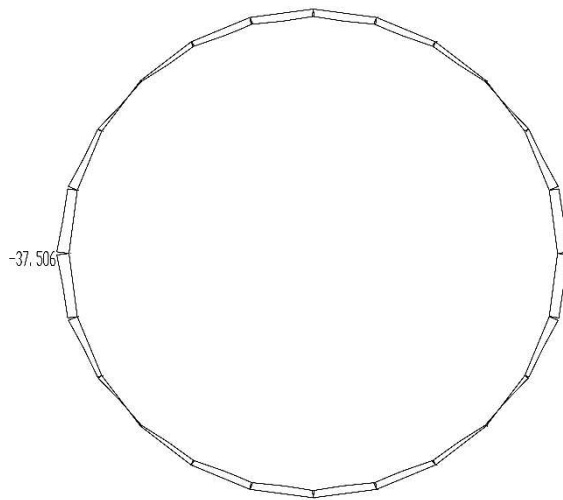


図4-1(2) 曲げモーメント図

(断面② (φ1050mm, 3種), S<sub>s</sub>-D1, t=17.25秒)  
(解析ケース: ケース②)

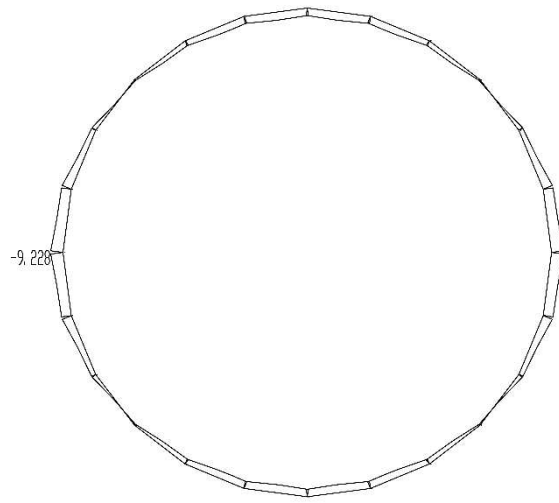


図 4-1(3) 曲げモーメント図  
(断面③ (φ 500mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)  
(解析ケース : ケース②)

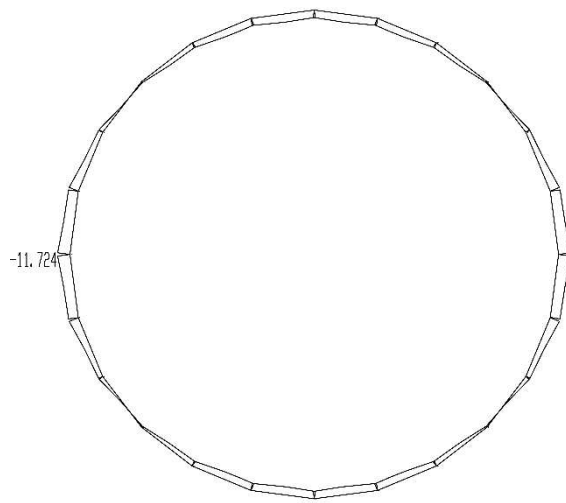


図 4-1(4) 曲げモーメント図  
(断面④ (φ 500mm, 3種), S s - D 1, t = 35.23 秒)  
(解析ケース : ケース③)

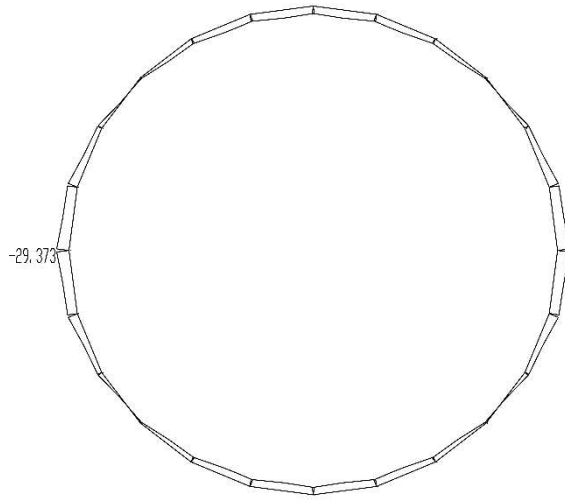


図 4-1(5) 曲げモーメント図  
(断面⑤ (φ 800mm, 2種), S s - D 1, t = 17.25 秒)  
(解析ケース : ケース③)

表 4-1 ヒューム管の評価結果

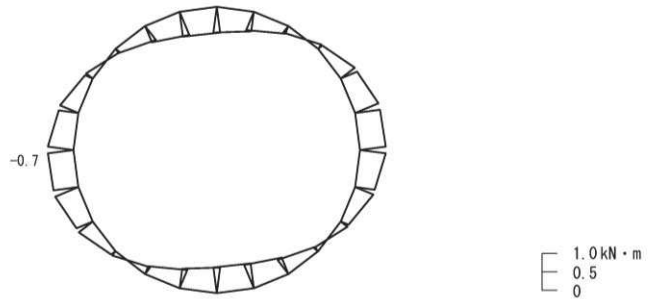
号機	断面		地震動	解析 ケース	最大曲げ モーメント M(kN・m)	ひび割れ保証 モーメント Mc(kN・m)	照査値 M/Mc
	管径	外圧強さ					
第 2 号 機	①	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース ②	9.3	19.6	0.48
		外圧強さ : 2種					
第 3 号 機	②	管径 : $\phi 1050\text{mm}$	S s - D 1	ケース ②	37.6	65.6	0.58
		外圧強さ : 3種					
第 3 号 機	③	管径 : $\phi 500\text{mm}$	S s - D 1	ケース ②	9.3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



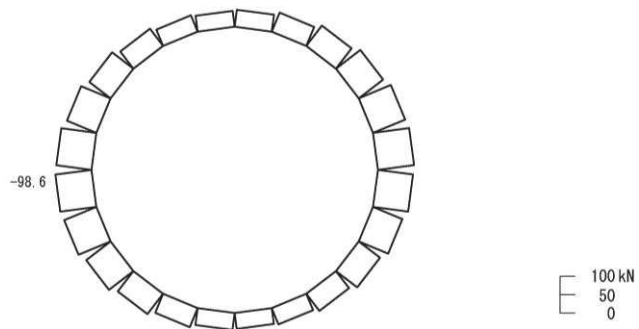
(2) 鋼管

鋼管の断面力図を図 4-2 に、照査結果を表 4-2 に示す。

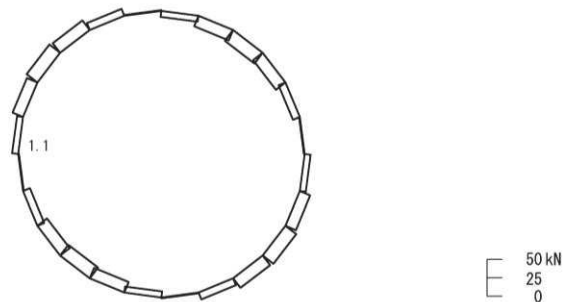
以上より、発生値が許容値を超えないことを確認した。



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



(c) せん断力

図 4-2 鋼管の断面力図

(S s - N 1, t = 7.62 秒)

(基礎地盤安定性解析における主応力 (最大圧縮応力) 最大時刻)

表 4-2 鋼管の評価結果

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

注記\*：発生曲げモーメントは内側引張を正、軸力は引張を正として示す。

#### 4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

##### (1) ヒューム管

ヒューム管の基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-3 に示す。

ヒューム管の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能評価結果（ヒューム管）

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

##### (2) 鋼管

鋼管の基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-4 に示す。

鋼管の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-4 基礎地盤の支持性能評価結果（鋼管）

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

VI-2-13-2 地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	3
2.3 評価方針.....	5
2.4 適用基準.....	7
3. 耐震評価.....	8
3.1 評価対象.....	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ.....	15
3.2.1 耐震評価上考慮する状態.....	15
3.2.2 荷重.....	15
3.2.3 荷重の組合せ.....	16
3.3 解析方法.....	17
3.3.1 解析方法.....	17
3.3.2 設計用震度の算定.....	17
3.4 許容限界.....	49
3.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界.....	49
3.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界.....	49
3.5 応力解析による評価方法.....	50
3.5.1 構造部材の健全性に対する評価方法.....	50
3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法.....	58
4. 耐震評価結果.....	59
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果.....	59
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果.....	63

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」で設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち接続柵について、地震時の構造強度を有していることを確認するものである。

接続柵に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

## 2. 基本方針

設計用地下水位の評価において、集水機能を期待するドレーン（接続柵含む）は耐震性を含む信頼性を満たす範囲の中から抽出し、管路あるいは透水層として設定している。

本図書では、管路あるいは透水層として設定するドレーンの範囲にある接続柵を対象に地震時における構造強度及び機能維持の確認を行うものである。

### 2.1 位置

地下水位低下設備のうち接続柵の設置位置を図 2-1 に示す。

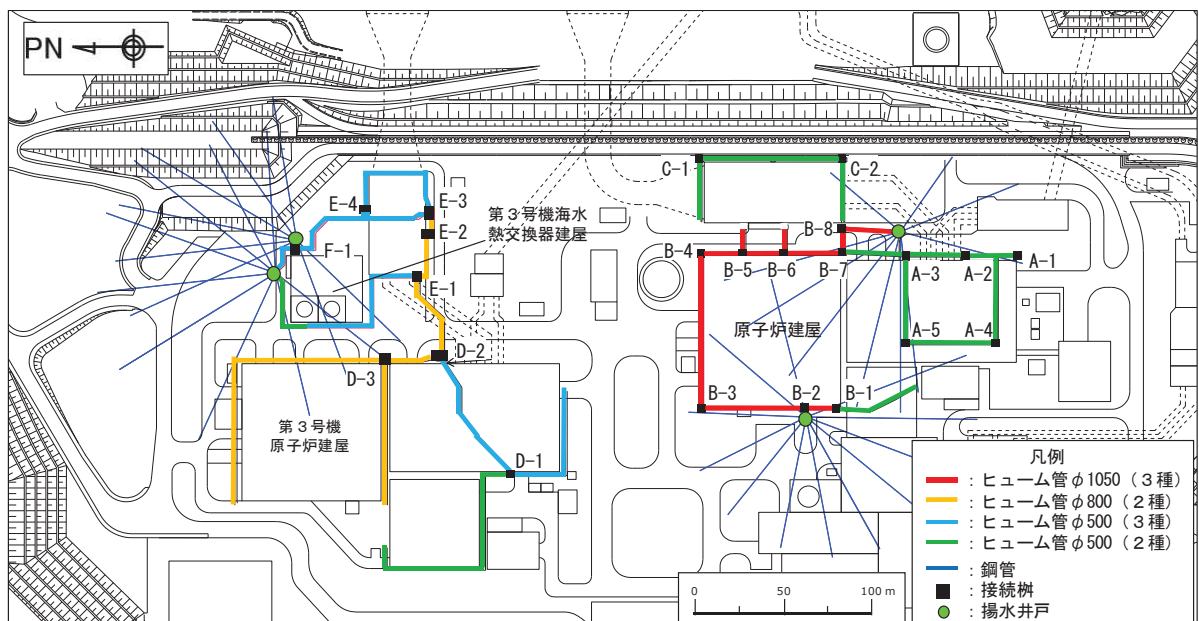


図 2-1 接続柵の設置位置

## 2.2 構造概要

接続柵は、建屋等構造物外縁部または建屋基礎直下の掘込まれた岩盤内に設置された鉄筋コンクリート造の箱型構造物であり、複数のヒューム管が接続されている。接続柵は既設を活用することとし、揚水井戸と既設ヒューム管との接続部等において、一部新設する。

接続柵の上部には盛土もしくは構造物基礎が存在している。接続柵の構造概要を図 2-2，各接続柵の諸元を表 2-1 に示す。

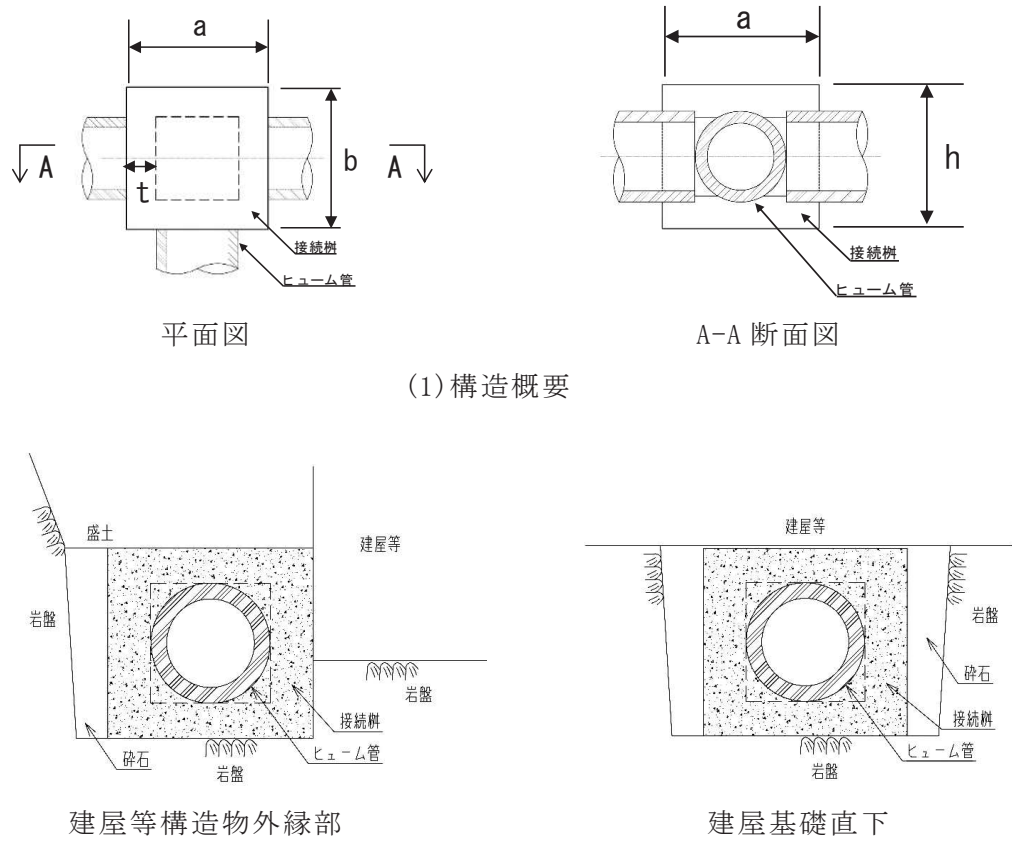


図 2-2 接続柵構造概要

表 2-1 接続柵諸元

No.	位置	外寸 (m) *1			部材厚 (m)	土被り厚 (m)	設置状況
		a	b	h	t	L	
A-1	タービン建屋周辺	1.30	1.30	1.30	0.30	16.42	建屋等 構造物外縁部
A-2		1.30	1.60	1.60	0.30	25.85	
A-3		1.30	1.85	1.30	0.30	27.36	
A-4		1.30	1.90	1.30	0.30	—	建屋基礎直下
A-5		1.55	1.90	1.52	0.30		
B-1	原子炉建屋周辺	2.40	2.40	3.30	0.50	26.70	建屋等 構造物外縁部
B-2*2		2.40	2.40	2.20	0.50	27.82	
B-3		2.40	2.40	2.20	0.50	27.88	
B-4		2.40	2.40	2.20	0.50	27.96	
B-5		2.40	2.40	2.20	0.50	27.98	
B-6		2.40	2.40	2.20	0.50	27.98	
B-7		2.40	2.40	2.20	0.50	27.95	
B-8*2		2.40	2.40	2.20	0.50	27.96	
C-1	海水ポンプ室周辺	1.50	1.50	1.50	0.40	28.20	建屋等 構造物外縁部
C-2		1.50	1.50	1.50	0.40	28.20	
D-1	第3号機タービン 建屋周辺	1.30	1.85	1.30	0.30	29.88	建屋等 構造物外縁部
D-2		3.80	6.20	5.90	1.00	32.55	
D-3		2.40	2.40	2.20	0.50	28.56	
E-1	第3号機海水 ポンプ室周辺	2.40	2.40	2.20	0.50	28.80	建屋等 構造物外縁部
E-2*2		3.50	4.60	5.80	1.00	26.10	
E-3*2		3.50	4.50	5.00	1.00	28.25	
E-4*2		3.60	4.50	5.10	1.00	27.92	
F-1*2	第3号機海水熱交 換器建屋周辺	1.50	1.50	1.50	0.40	30.63	建屋等 構造物外縁部

注記\*1：外寸の記載のうち、aは短辺、bは長辺を示す。

\*2：新設する接続柵。



### 2.3 評価方針

地下水位低下設備の機能は、施設の設計の前提が確保されるよう、「地下水位を一定の範囲に保持する」ことであり、ドレーンを接続する接続柵は地下水の集水機能を維持する必要がある。接続柵を含む地下水位低下設備はCクラスに分類されるが、その機能を維持するため、基準地震動 $S_s$ に対して耐震性を確保する設計としている。

ドレーンの耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表2-2に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

表2-2 接続柵の評価項目

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	接続柵 (頂版 側壁 底版)	発生する応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。

接続桧の評価フローを図2-3に示す。

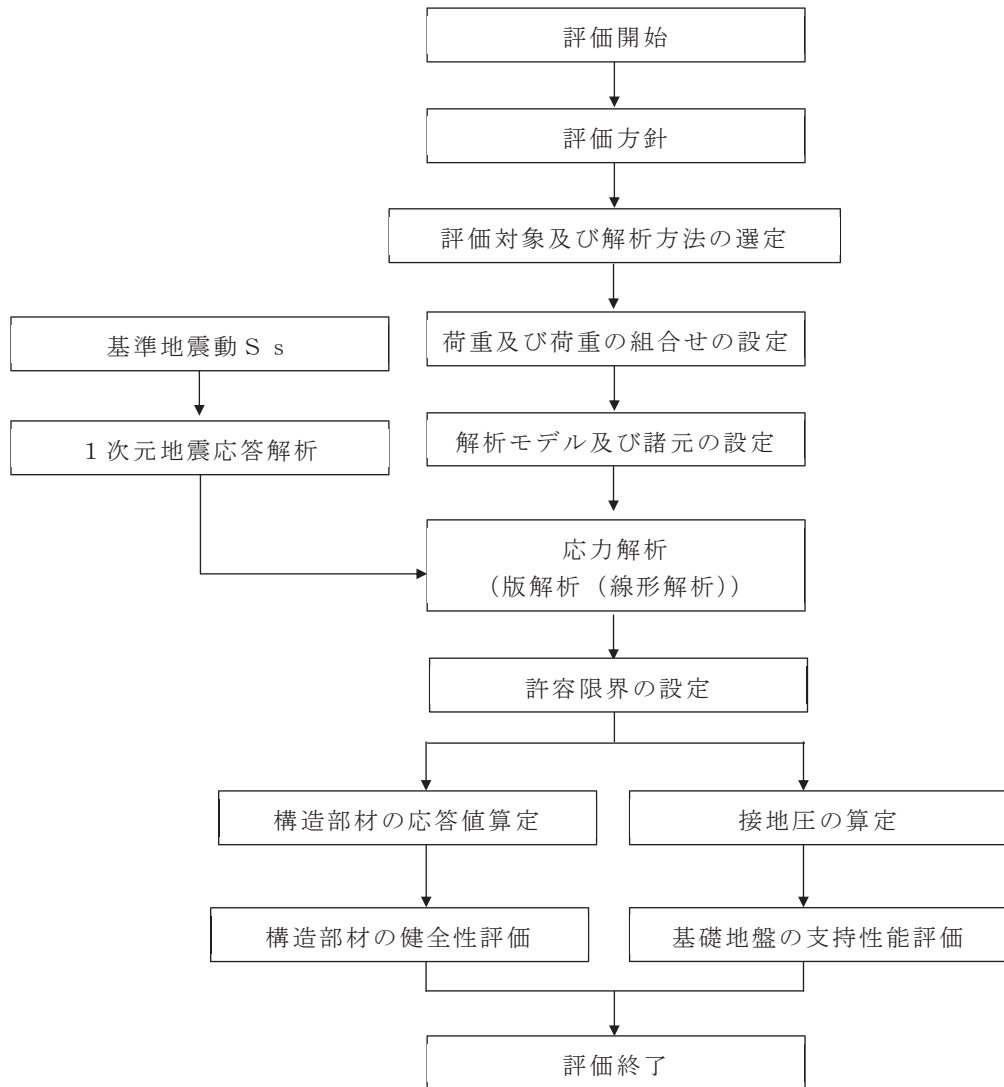


図 2-3 接続桧の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

接続桝の評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会 1991）
- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会 2002年制定）  
（以下、「コンクリート標準示方書」という。）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会 平成14年3月）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象

接続桝は躯体が掘込まれた岩盤内に設置され、地震時には鉛直土圧が主たる荷重として作用すると考えられる。また、場所により躯体寸法が異なることを踏まえ、躯体寸法が同一、または相似関係にあるものをまとめ、その中から各号機ごとに代表躯体寸法の中で土被り厚が最大となる接続桝を評価対象として抽出する。

なお、タービン建屋基礎直下の岩盤を掘込んで設置した接続桝が存在するが、各建屋構造物外縁部に設置した接続桝と比べ、作用する鉛直荷重が十分に小さいため、評価対象として選定しない。

以上を踏まえ、評価対象として接続桝①～⑨を選定した。

評価対象とする接続桝の位置を図 3-1 に、構造概要を表 3-1 及び図 3-2 に示す。また、接続桝設置位置の地質状況を図 3-3 に示す。

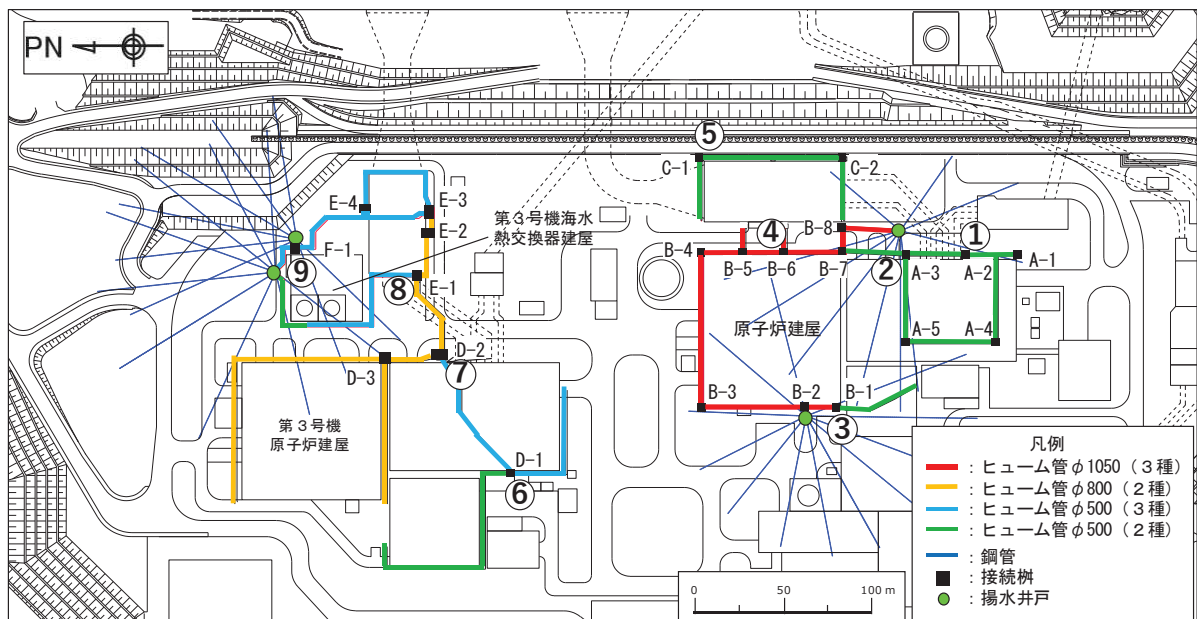
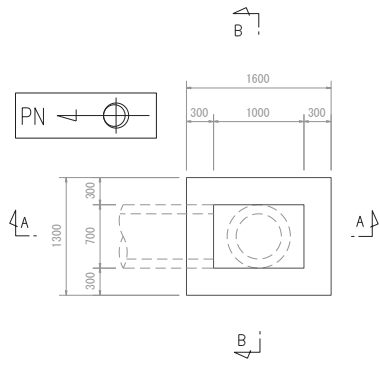


図 3-1 評価対象接続桝位置

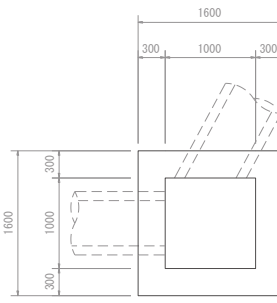
表 3-1 評価対象とする接続桧

号機	評価対象 接続桧	位置	No.	外寸 (m) *			部材厚 (m)	土被り厚 (m)
				a	b	h		
第 2 号機	①	タービン建屋周辺	A-2	1.30	1.60	1.60	0.30	25.85
	②	タービン建屋周辺	A-3	1.30	1.85	1.30	0.30	27.36
	③	原子炉建屋周辺	B-1	2.40	2.40	3.30	0.50	26.70
	④	原子炉建屋周辺	B-6	2.40	2.40	2.20	0.50	27.98
	⑤	海水ポンプ室周辺	C-1	1.50	1.50	1.50	0.40	28.20
第 3 号機	⑥	第 3 号機 タービン建屋周辺	D-1	1.30	1.85	1.30	0.30	29.88
	⑦	第 3 号機 タービン建屋周辺	D-2	3.80	6.20	5.90	1.00	32.55
	⑧	第 3 号機 海水ポンプ室周辺	E-1	2.40	2.40	2.20	0.50	28.80
	⑨	第 3 号機 海水熱交換器建屋周辺	F-1	1.50	1.50	1.50	0.40	30.63

注記\* : 外寸の記載のうち, a は短辺, b は長辺を示す。

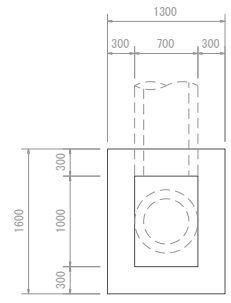


平面図

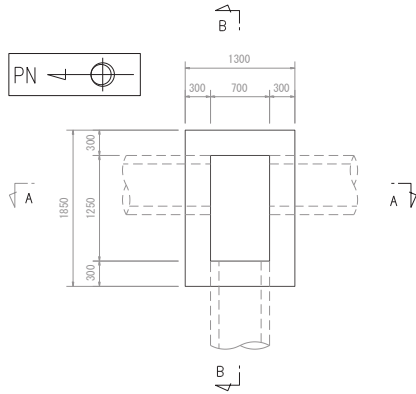


A - A 断面図

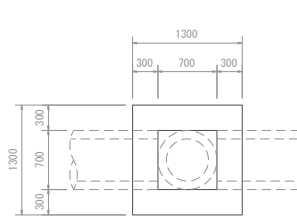
(接続柵① : A-2)



B - B 断面図

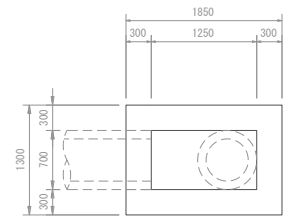


平面図

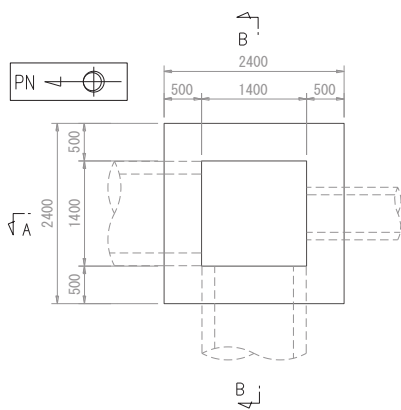


A - A 断面図

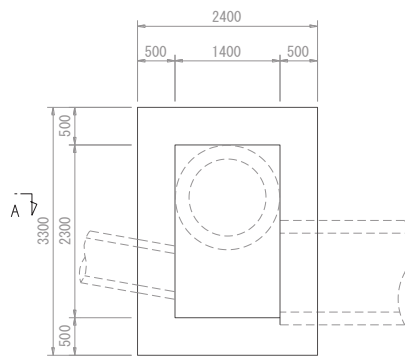
(接続柵② : A-3)



B - B 断面図

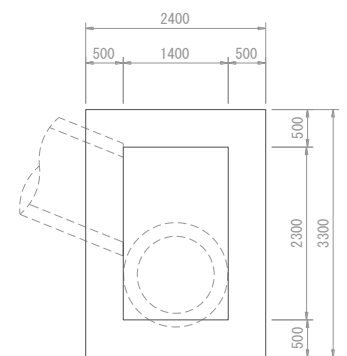


平面図



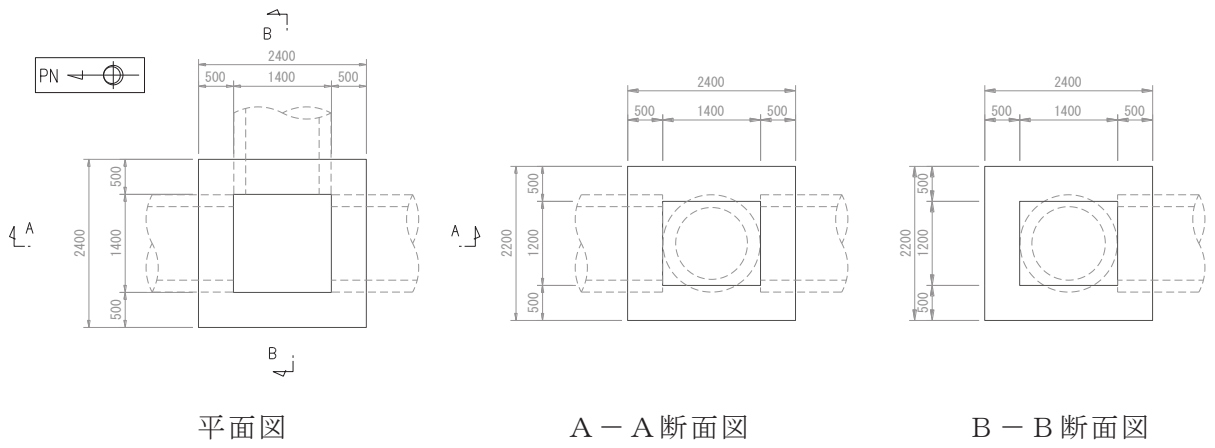
A - A 断面図

(接続柵③ : B-1)



B - B 断面図

図 3-2(1) 接続柵構造概要図 (単位 : mm)

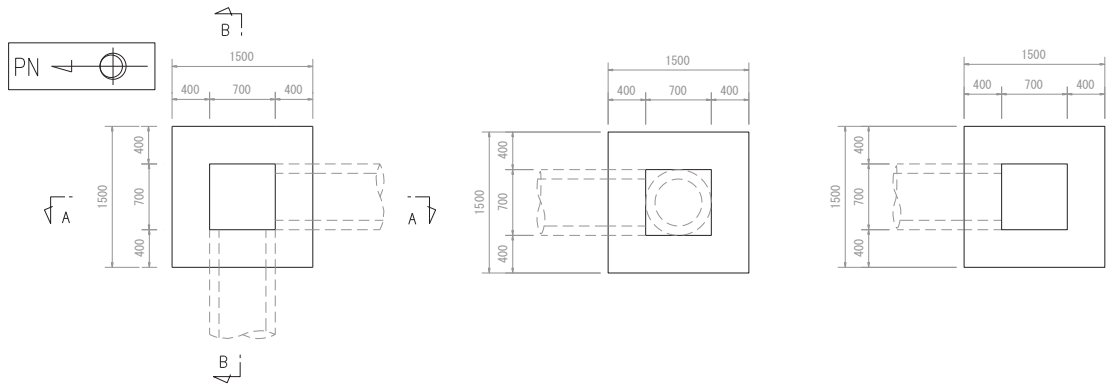


平面図

A - A 断面図

B - B 断面図

(接続柵④ : B-6)

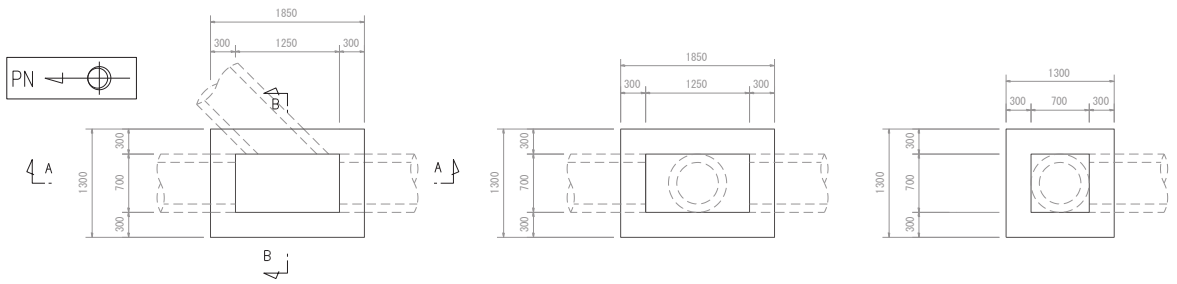


平面図

A - A 断面図

B - B 断面図

(接続柵⑤ : C-1)



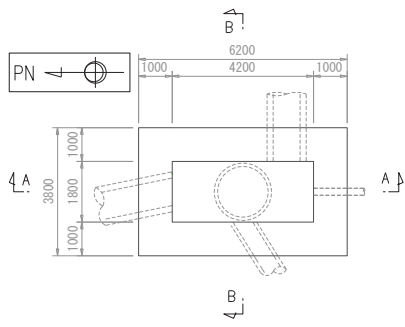
平面図

A - A 断面図

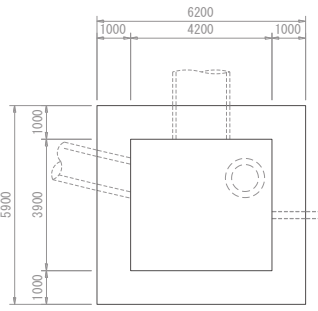
B - B 断面図

(接続柵⑥ : D-1)

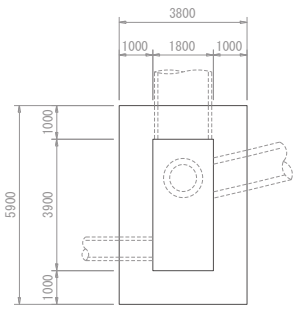
図 3-2(2) 接続柵構造概要図 (単位 : mm)



平面图

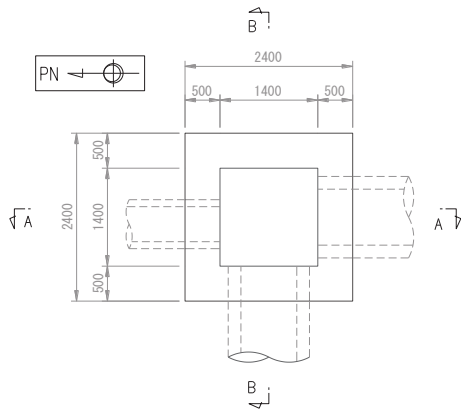


A - A 断面图

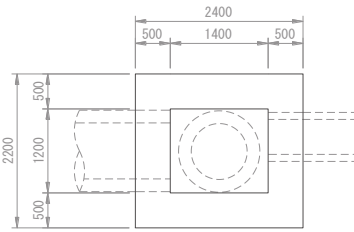


B - B 断面图

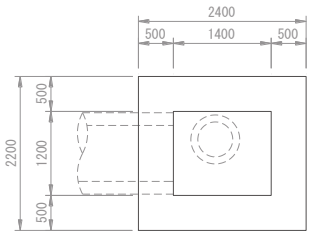
(接続柵⑦ : D-2)



平面图

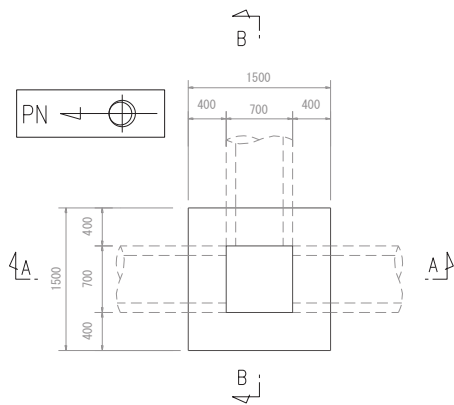


A - A 断面图

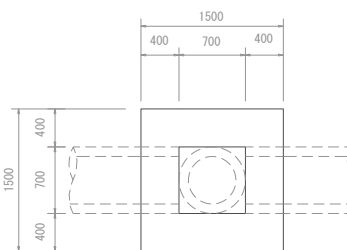


B - B 断面图

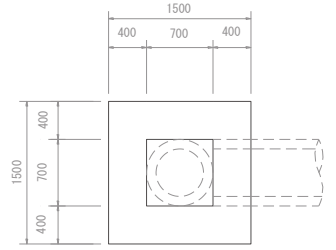
(接続柵⑧ : E-1)



平面图



A - A 断面图



B - B 断面图

(接続柵⑨ : F-1)

图 3-2(3) 接続柵構造概要図 (单位 : mm)



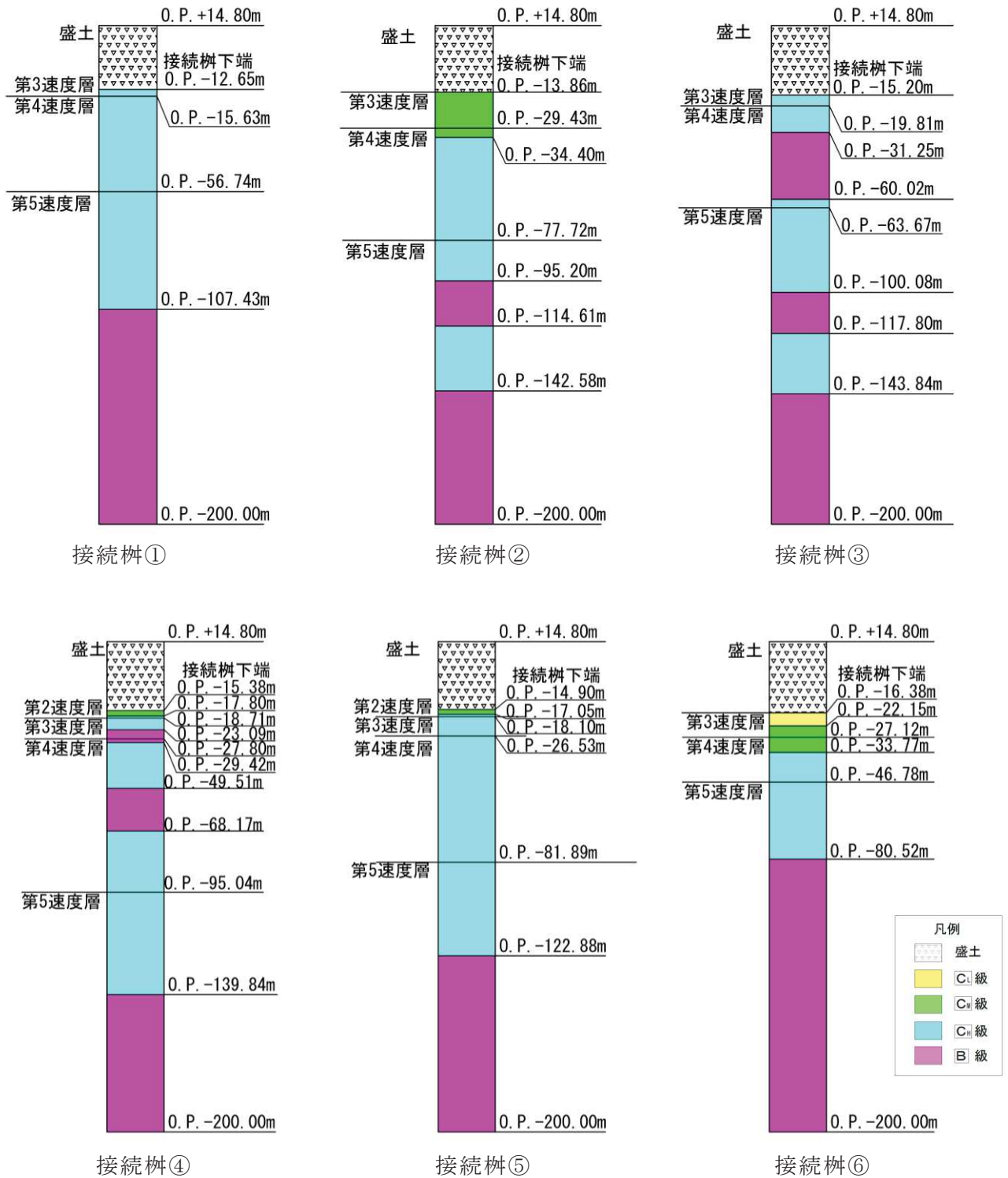


図 3-3(1) 接続樹周辺の地質状況 (接続樹①～⑥)

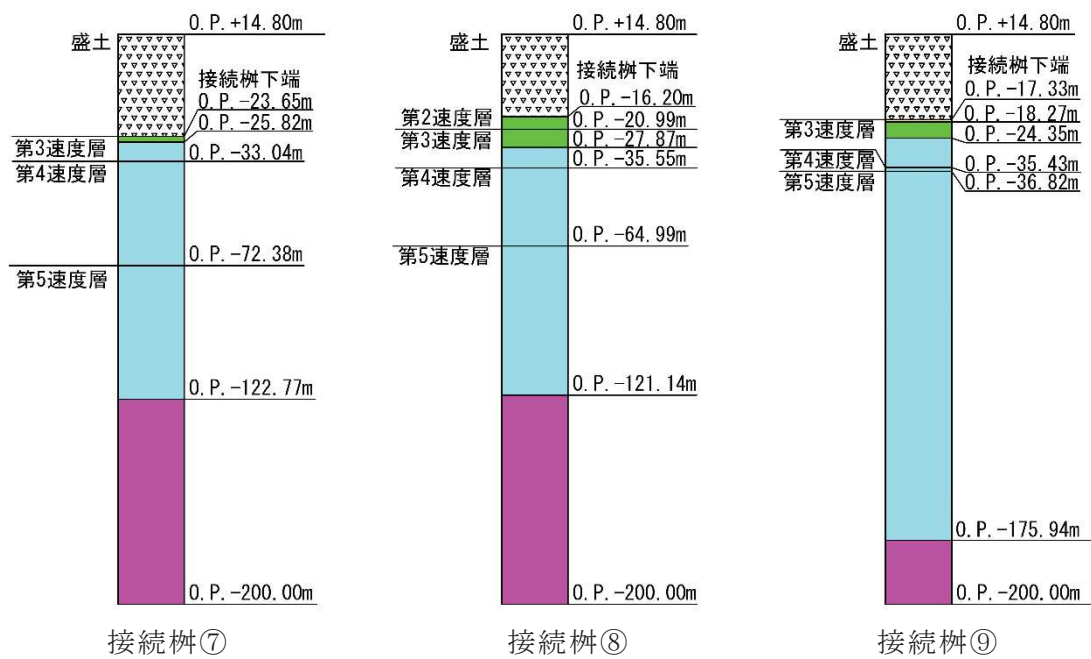


図 3-3(2) 接続樹周辺の地質状況 (接続樹⑦～⑨)

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

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

#### 3.2.1 耐震評価上考慮する状態

耐震評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

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

##### (2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。なお、埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

##### (4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.2.2 荷重

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

耐震評価において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重(G)

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

##### (2) 積載荷重(P)

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

##### (3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重(S<sub>s</sub>)

基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重を考慮する。

鉛直方向の増分土圧は、1次元地震応答解析により算出した設計用震度と固定荷重（鉛直土圧）を掛け合わせ求める。

なお、水平方向の増分土圧は、接続柵位置における鉛直方向の増分土圧に  $k_0 = \nu_d / (1 - \nu_d)$  を乗じて算定する。ここで、接続柵周辺は碎石で埋め戻されている

るが、 $\nu_d$ は保守的に盛土の動ポアソン比 0.48 を用いる。

躯体慣性力については、接続柵設置位置における鉛直・水平加速度から設計用震度を算出し、固定荷重（躯体自重）に掛け合わせて求める。

### 3.2.3 荷重の組合せ

耐震評価における荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

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

G : 固定荷重

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

$S_s$  : 地震荷重

### 3.3 解析方法

接続柵の耐震評価は、頂版、底版及び側壁の照査を実施し、照査用応答値が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

#### 3.3.1 解析方法

接続柵の耐震評価は1次元地震応答解析から求めた鉛直震度及び動ポアソン比を用い、地震時増分土圧等を算定した上で接続柵の頂版、底版及び側壁に作用させた版解析を実施する。

#### 3.3.2 設計用震度の算定

##### (1) 地盤物性のばらつき

地盤物性は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定する。

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

表 3-3 解析ケース

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

##### (2) 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①を実施し、解析ケース①において照査値が最も厳しい地震動を対象に、解析ケース②、③を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-4に示す。

表 3-4 接続桝の耐震安全性評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$
地震動	S <sub>s</sub> -D 1	○	基準地震動 S <sub>s</sub> (7波) を用いて実施するケース① (基本ケース) において、照査値が最も厳しい地震動を用いてケース②, ③を実施する。	
	S <sub>s</sub> -D 2	○		
	S <sub>s</sub> -D 3	○		
	S <sub>s</sub> -F 1	○		
	S <sub>s</sub> -F 2	○		
	S <sub>s</sub> -F 3	○		
	S <sub>s</sub> -N 1	○		

(3) 地下水位

地下水位を接続桝の中心高さに設定する。

(4) 地震応答解析

入力地震動は、基準地震動 S<sub>s</sub> を用いて、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6. 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を踏まえて算定する。設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力して得られる評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念図を図 3-4 に、第 2 号機側 (接続桝①～⑤)、3 号機側 (接続桝⑥～⑨) の地震応答解析時に用いる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 3-5 に示す。

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

解析コードには、入力地震動算定に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地震応答解析による設計震度算定には「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

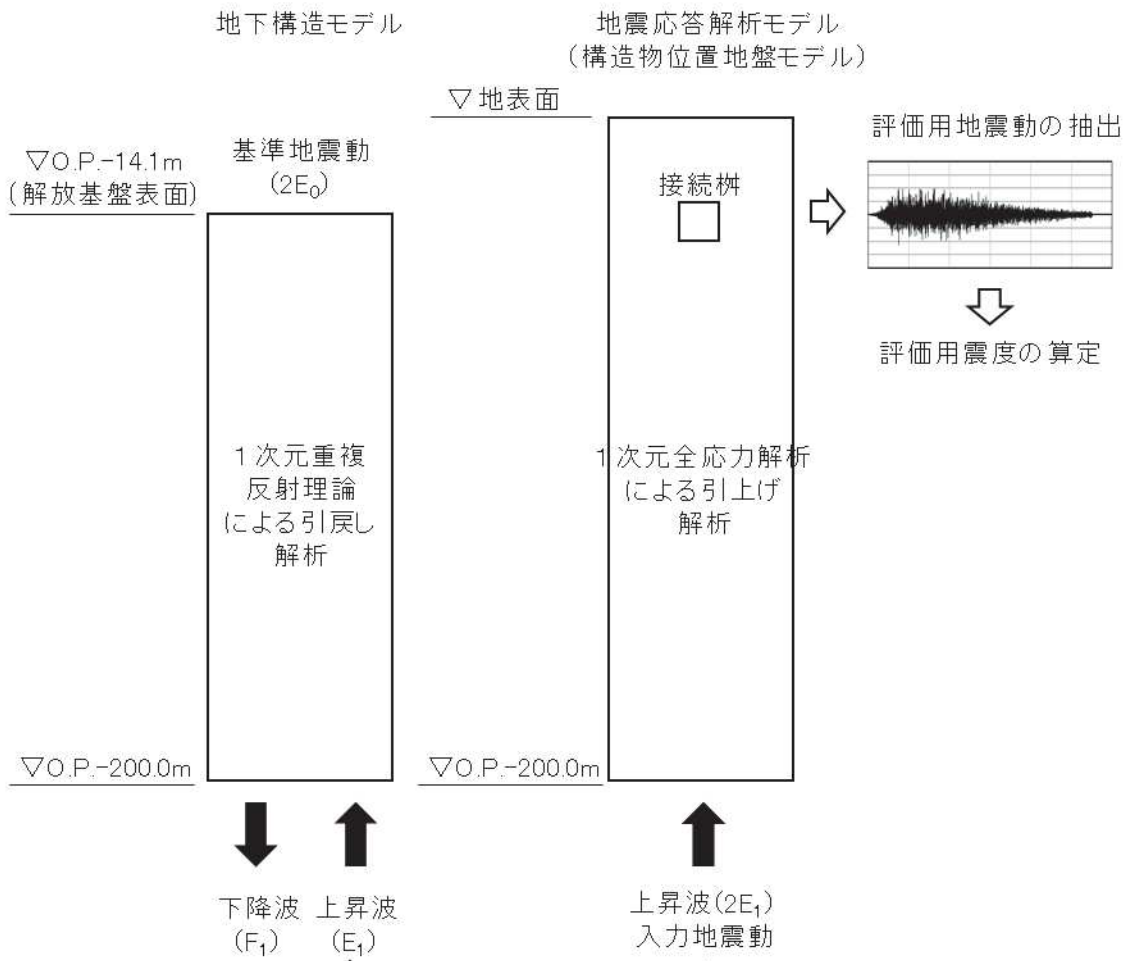
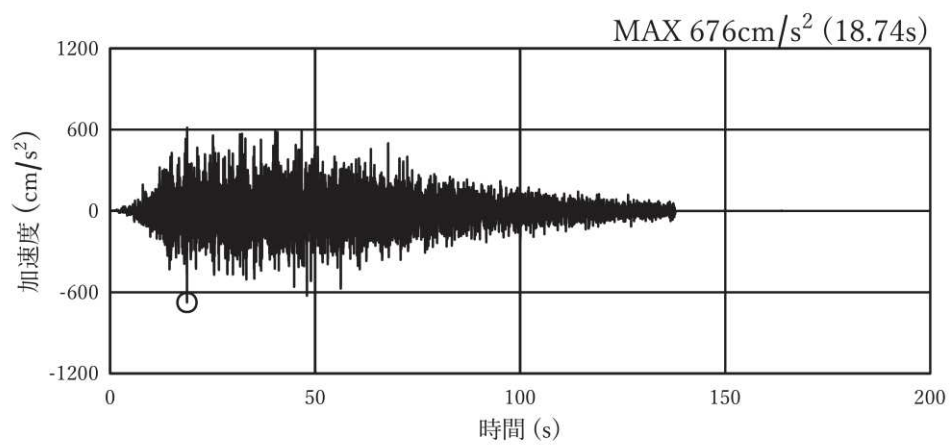
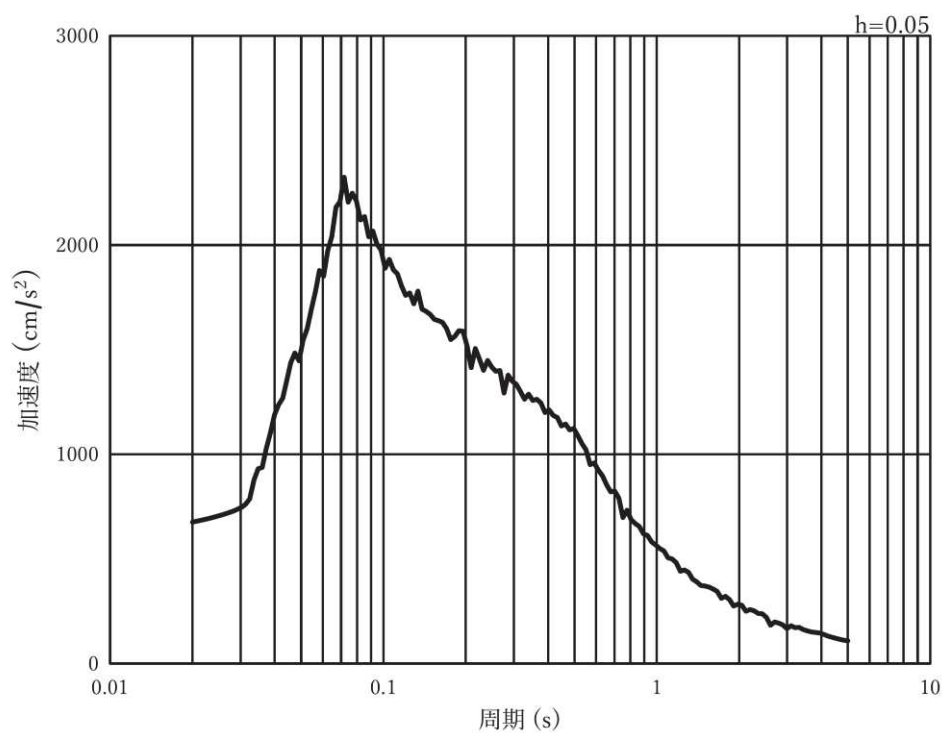


図 3-4 地震応答解析の概念図



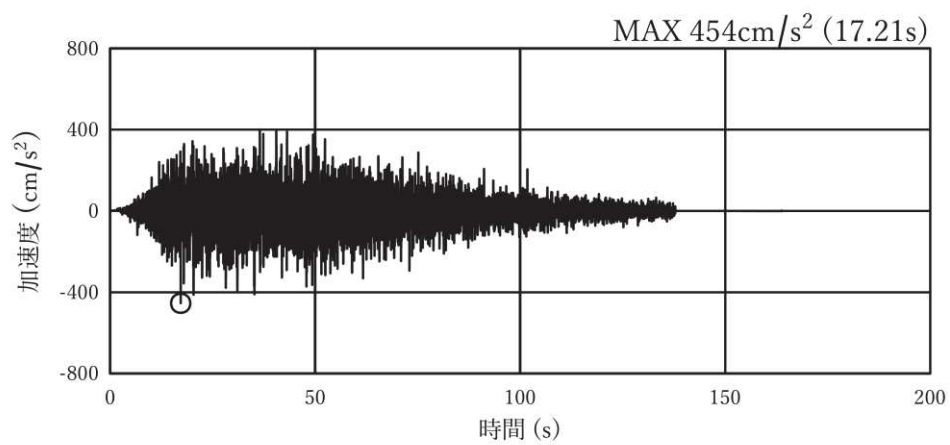
(a) 加速度時刻歴波形



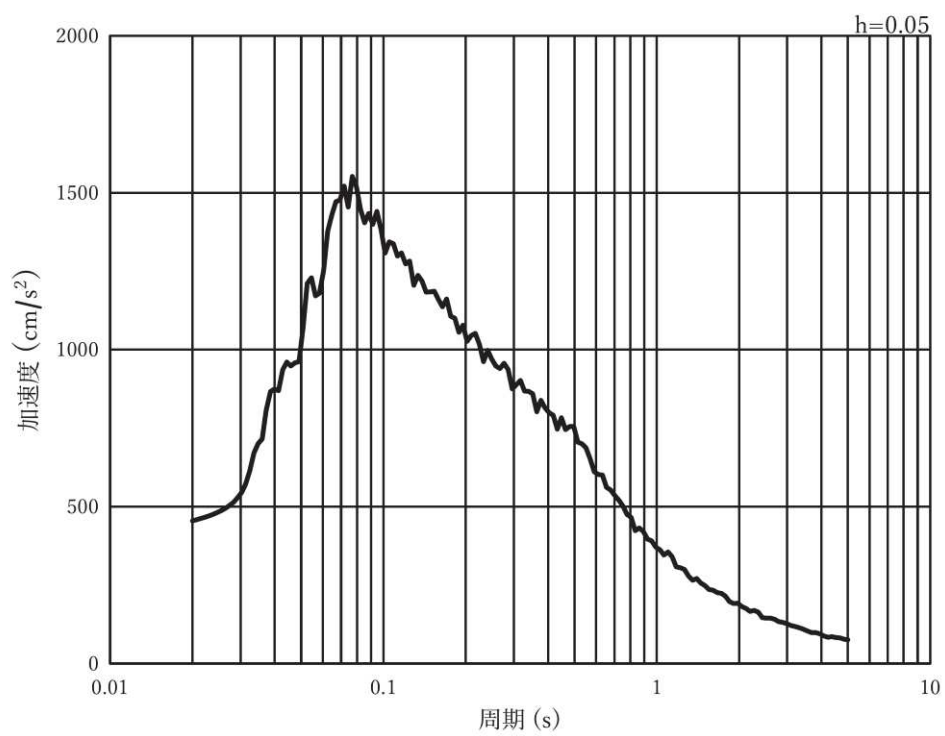
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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), 第 2 号機側



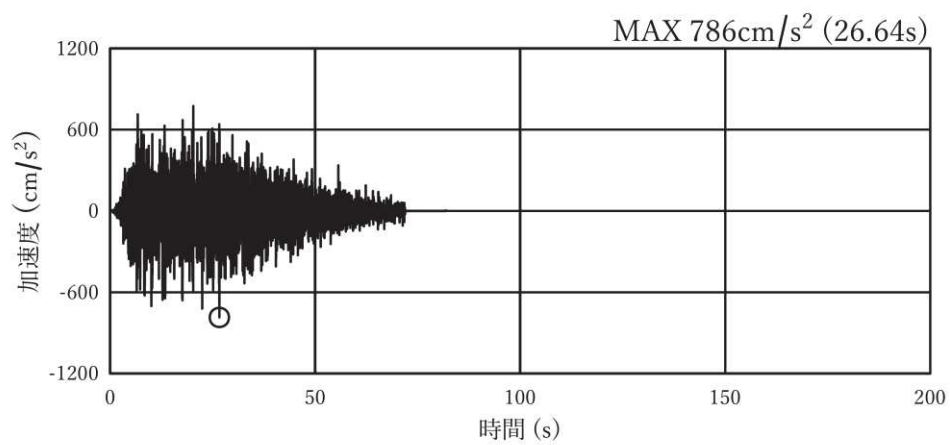


(a) 加速度時刻歴波形

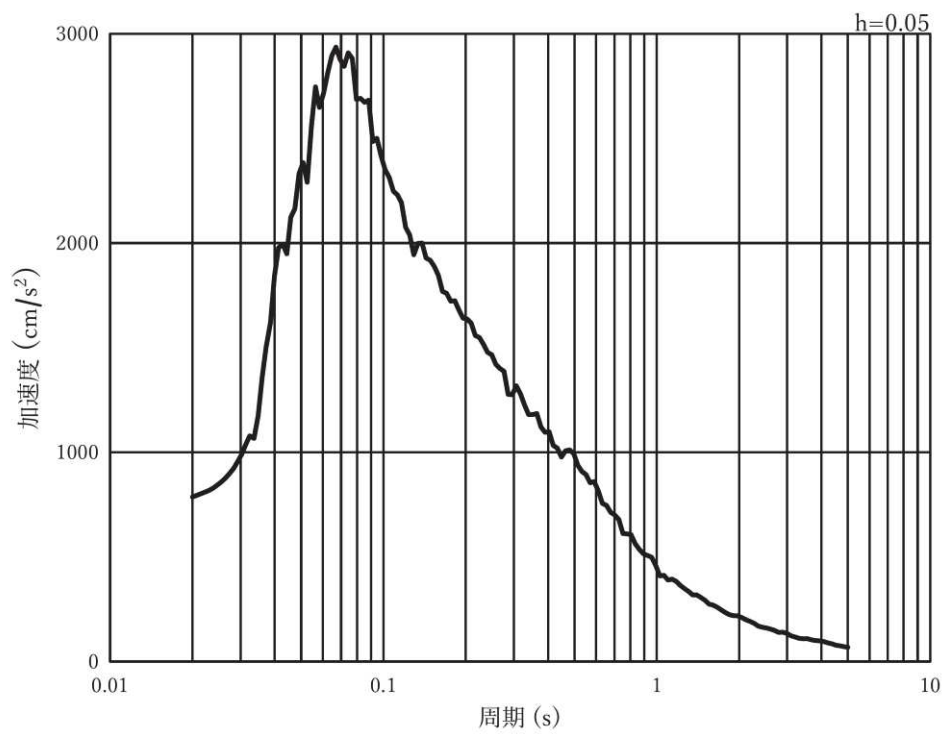


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側

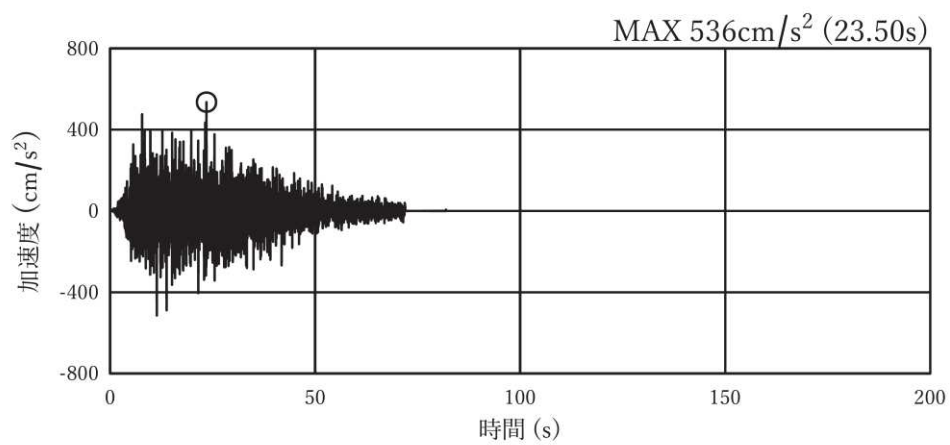


(a) 加速度時刻歴波形

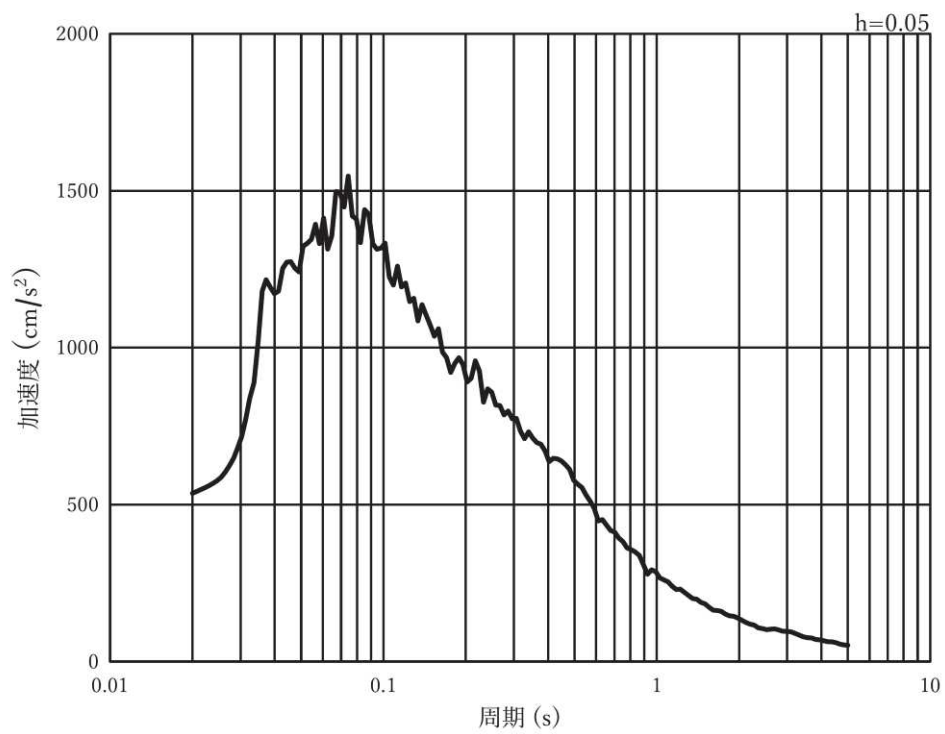


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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), 第 2 号機側

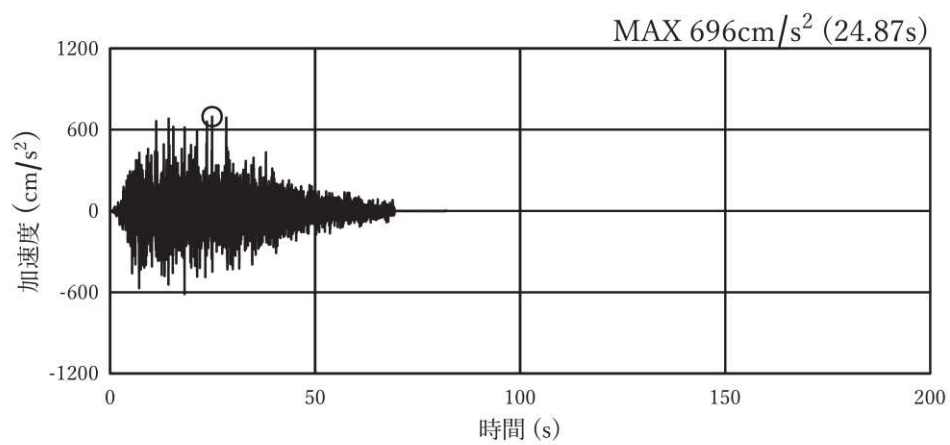


(a) 加速度時刻歴波形

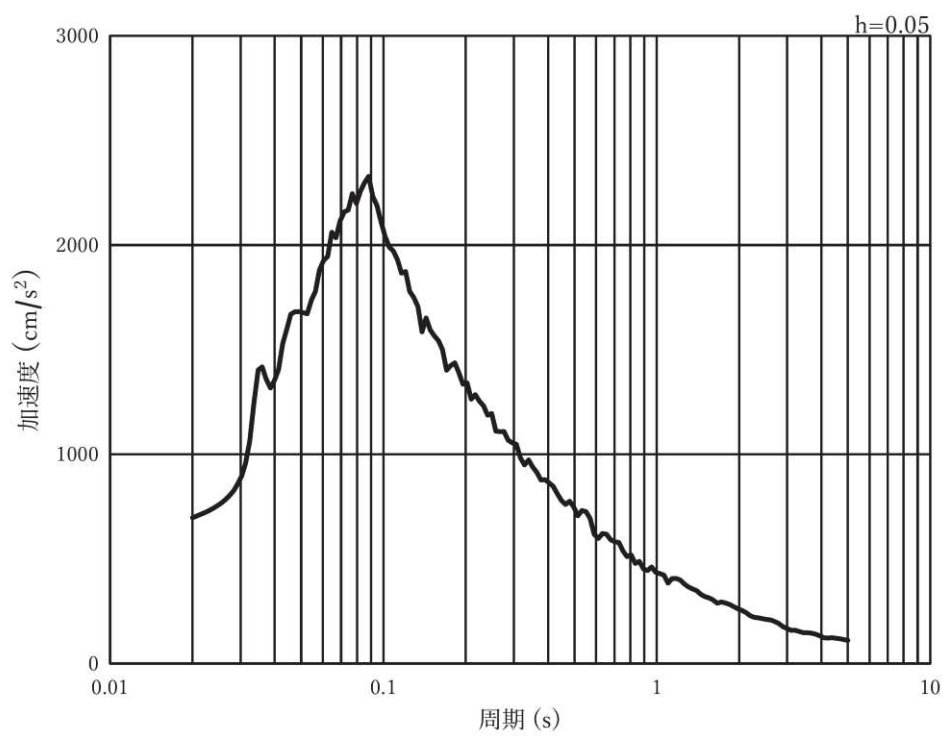


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側

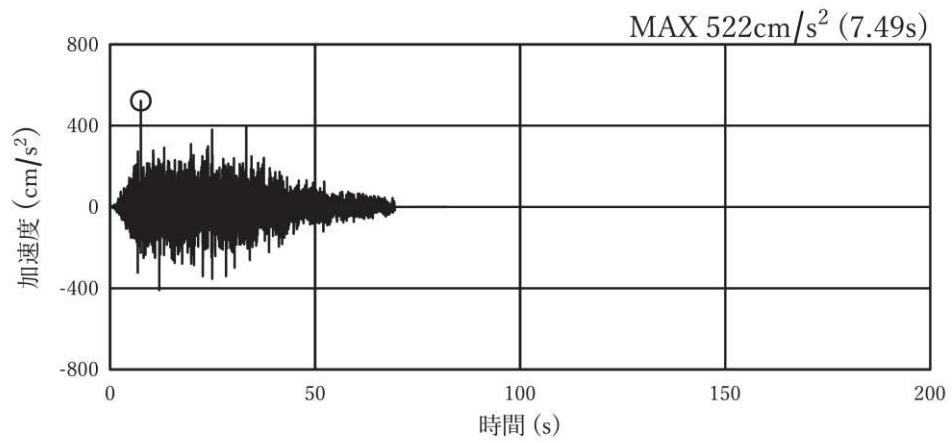


(a) 加速度時刻歴波形

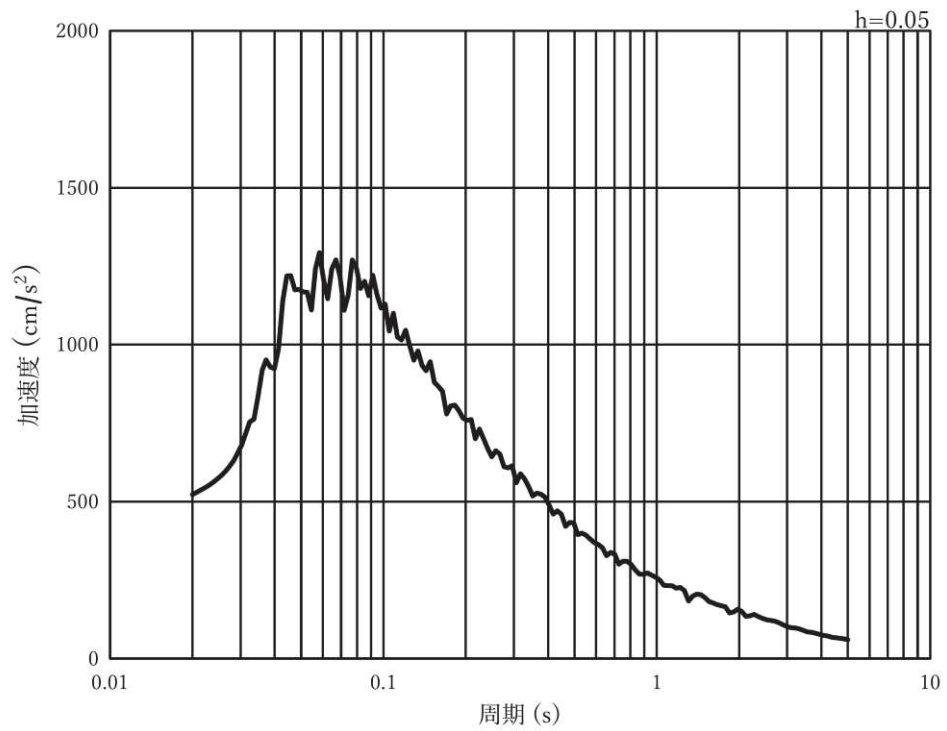


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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), 第 2 号機側

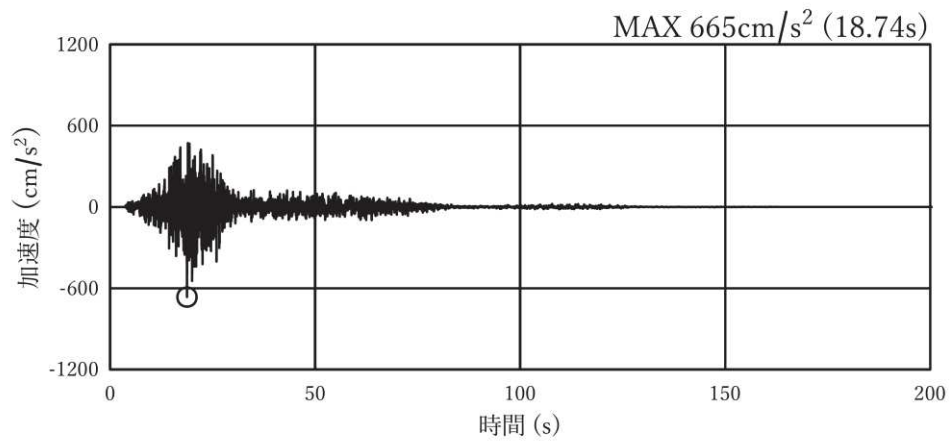


(a) 加速度時刻歴波形

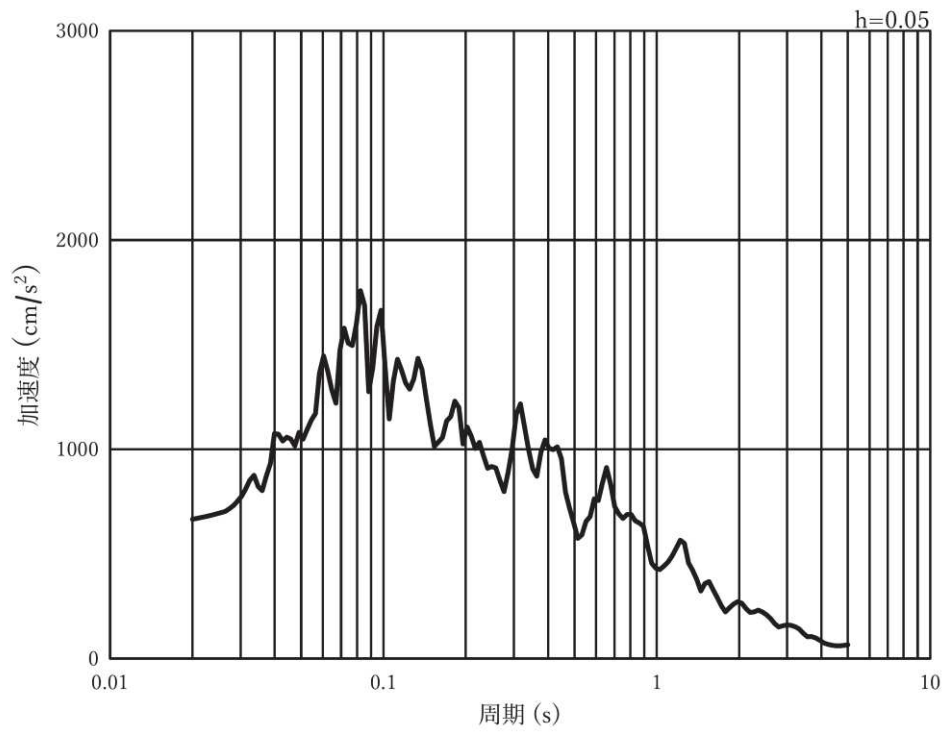


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側

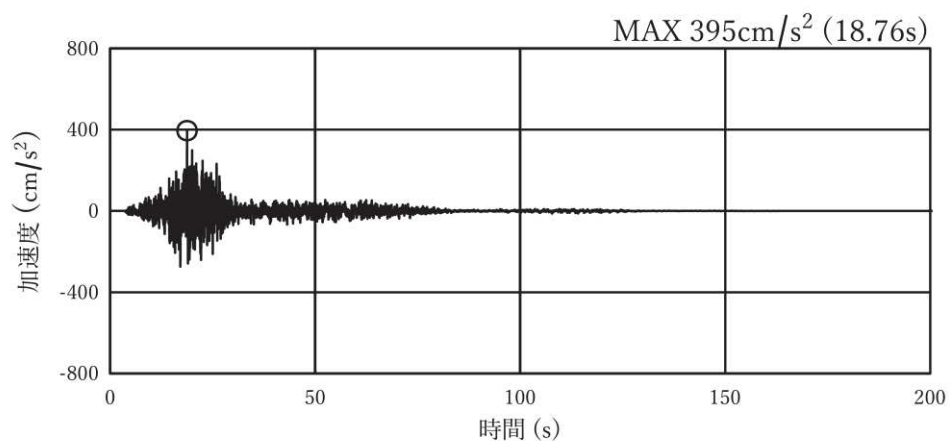


(a) 加速度時刻歴波形

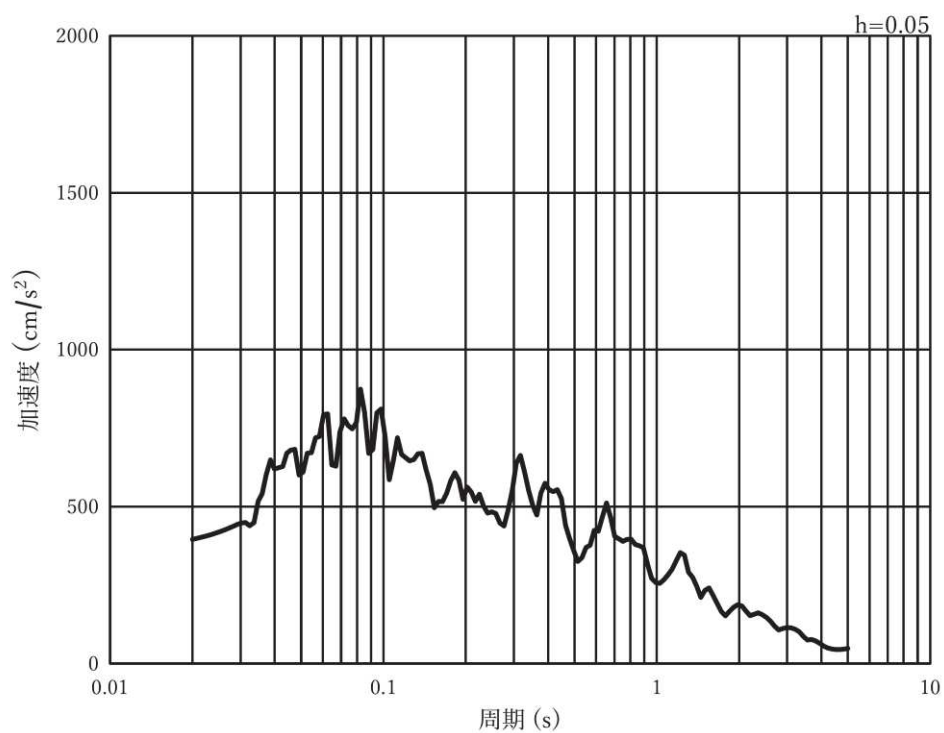


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側

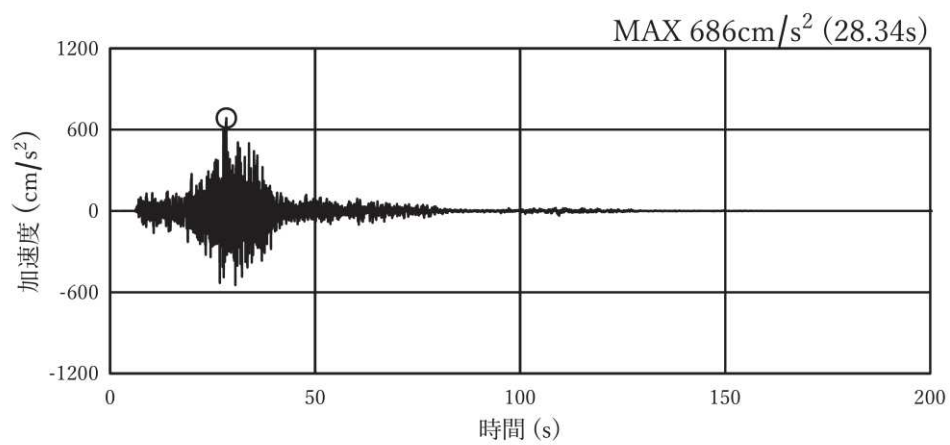


(a) 加速度時刻歴波形

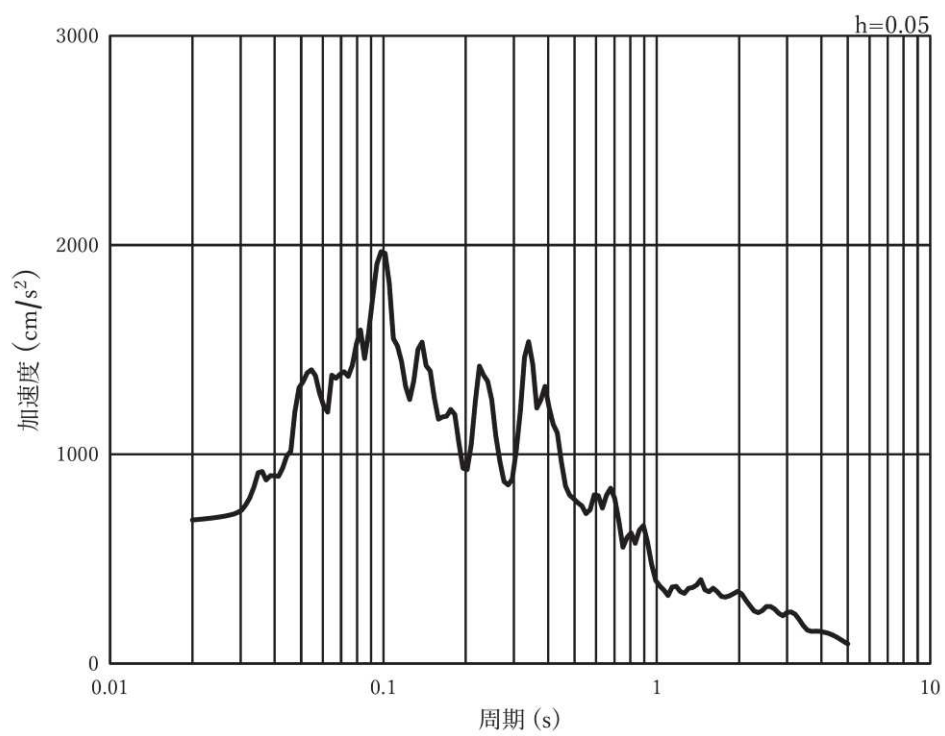


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側



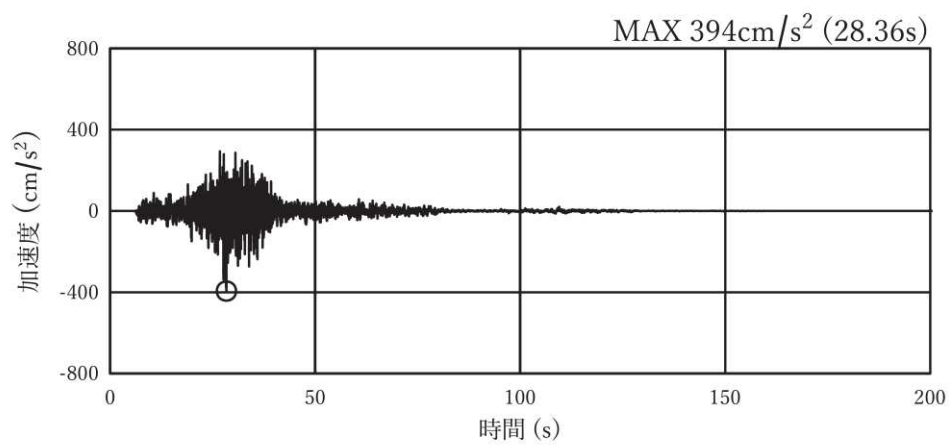
(a) 加速度時刻歴波形



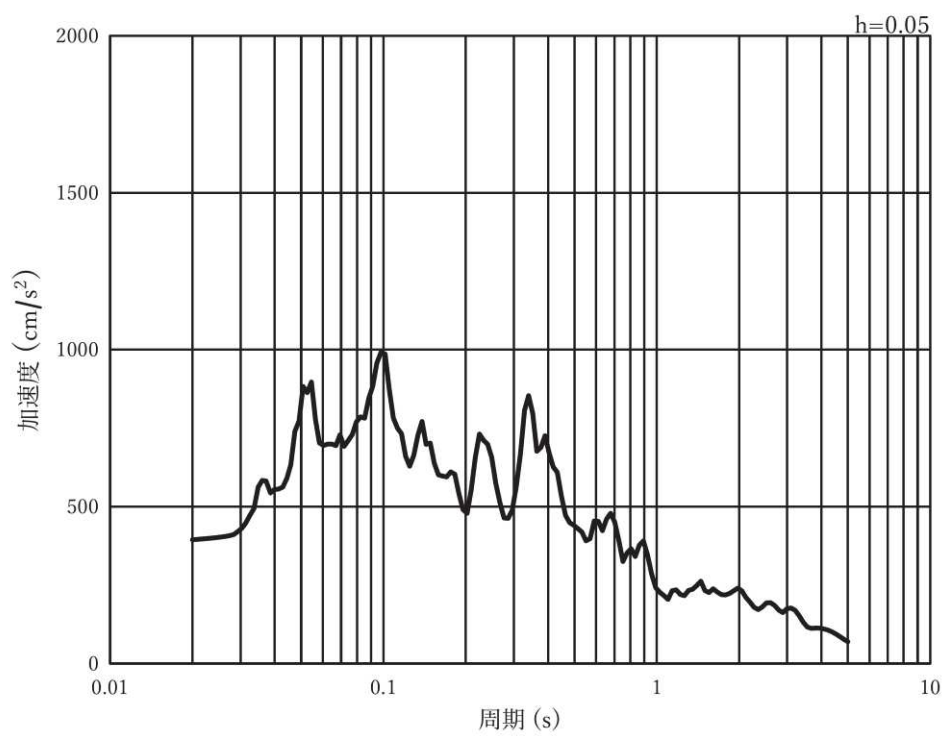
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側



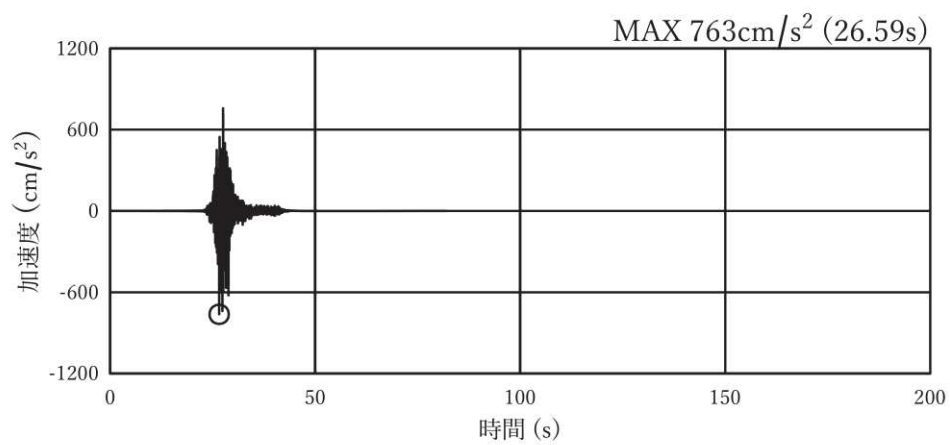


(a) 加速度時刻歴波形

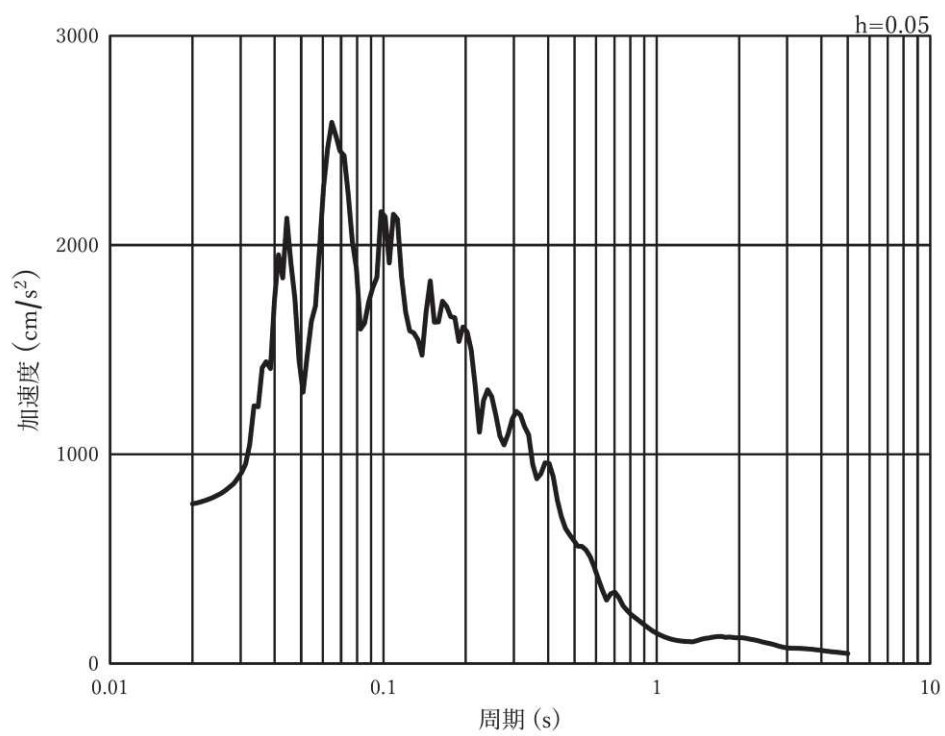


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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), 第 2 号機側

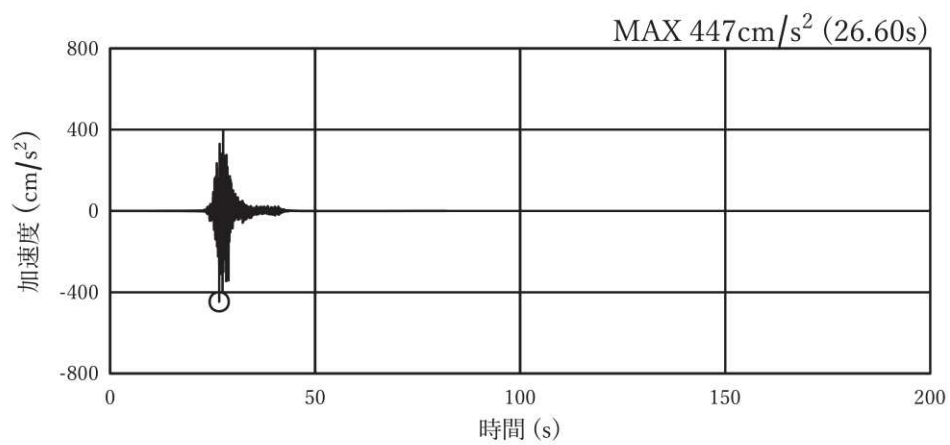


(a) 加速度時刻歴波形

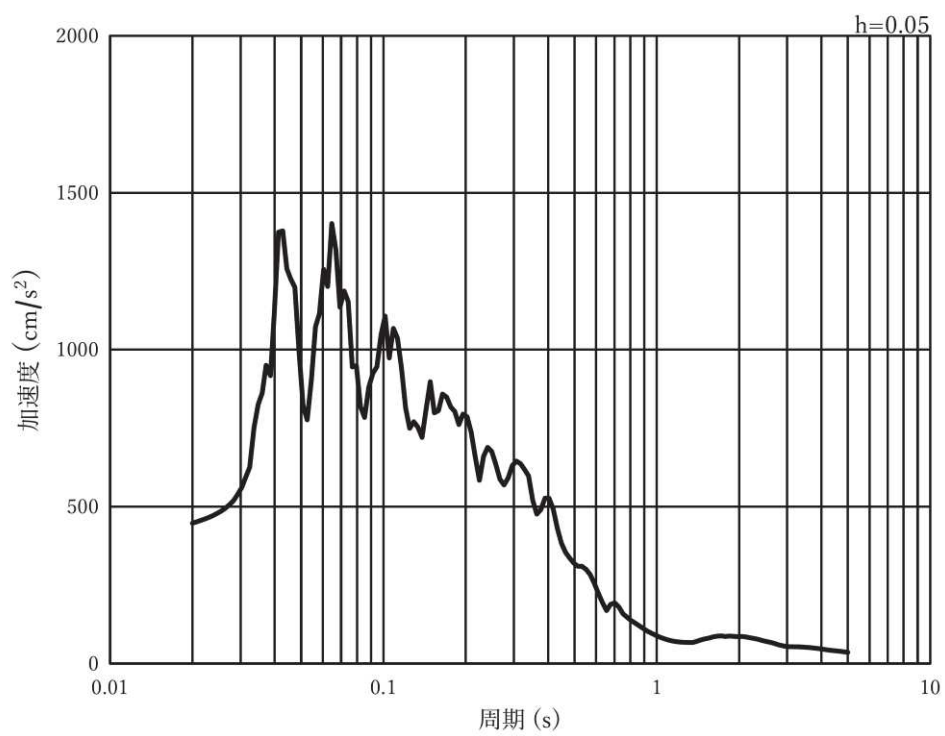


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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), 第 2 号機側

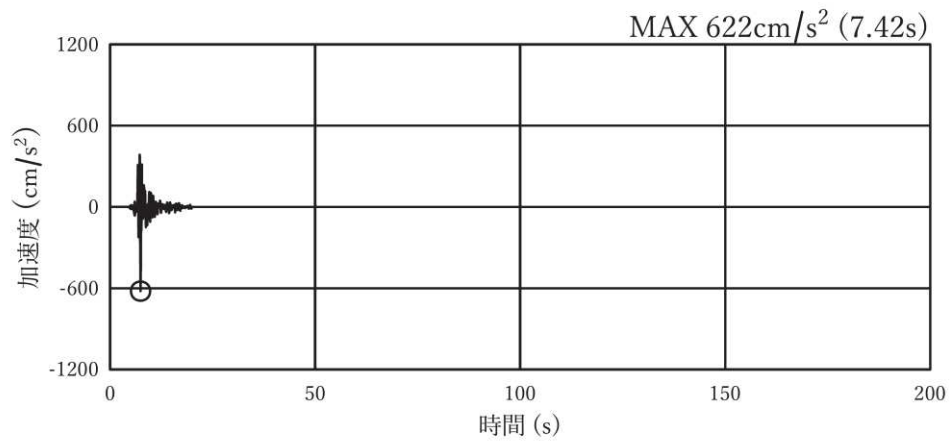


(a) 加速度時刻歴波形

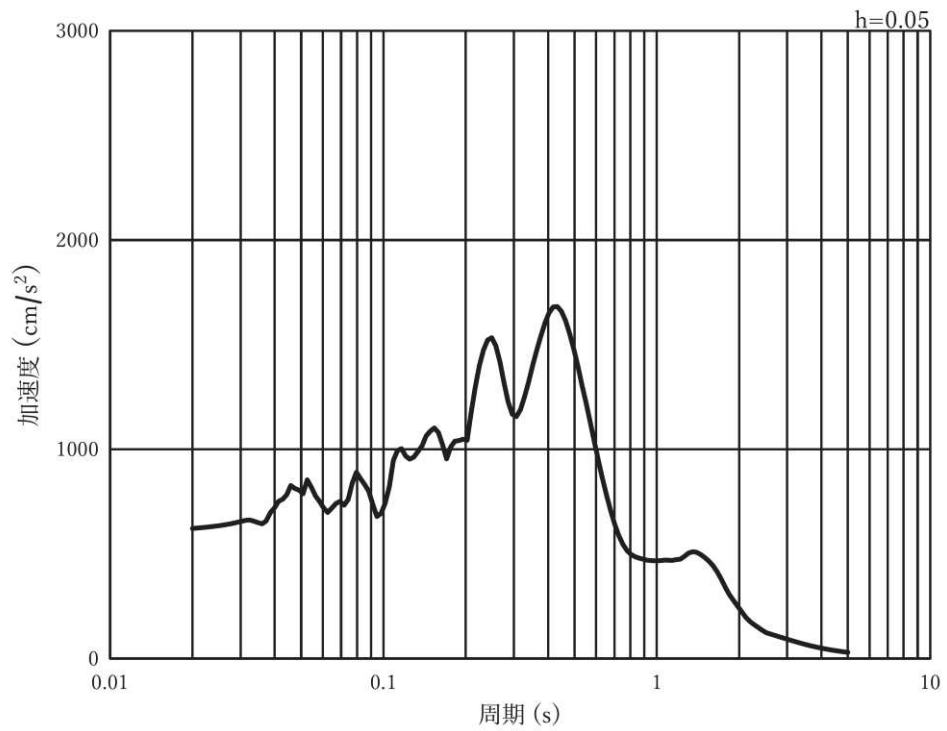


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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), 第 2 号機側

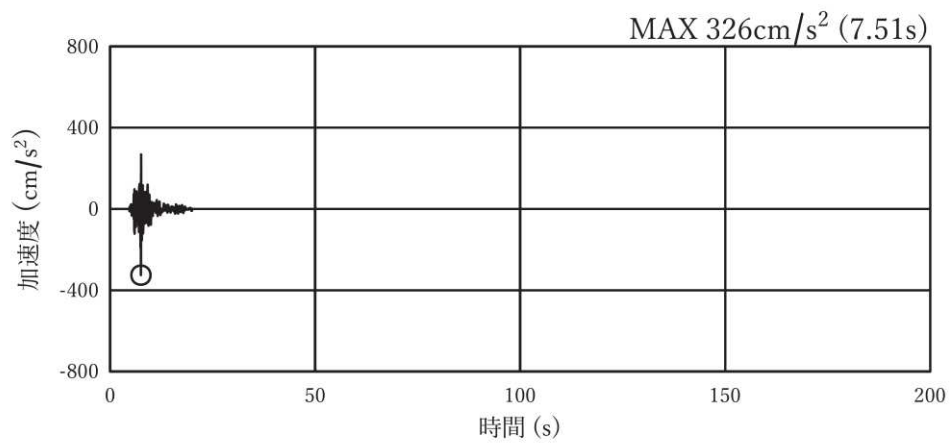


(a) 加速度時刻歴波形

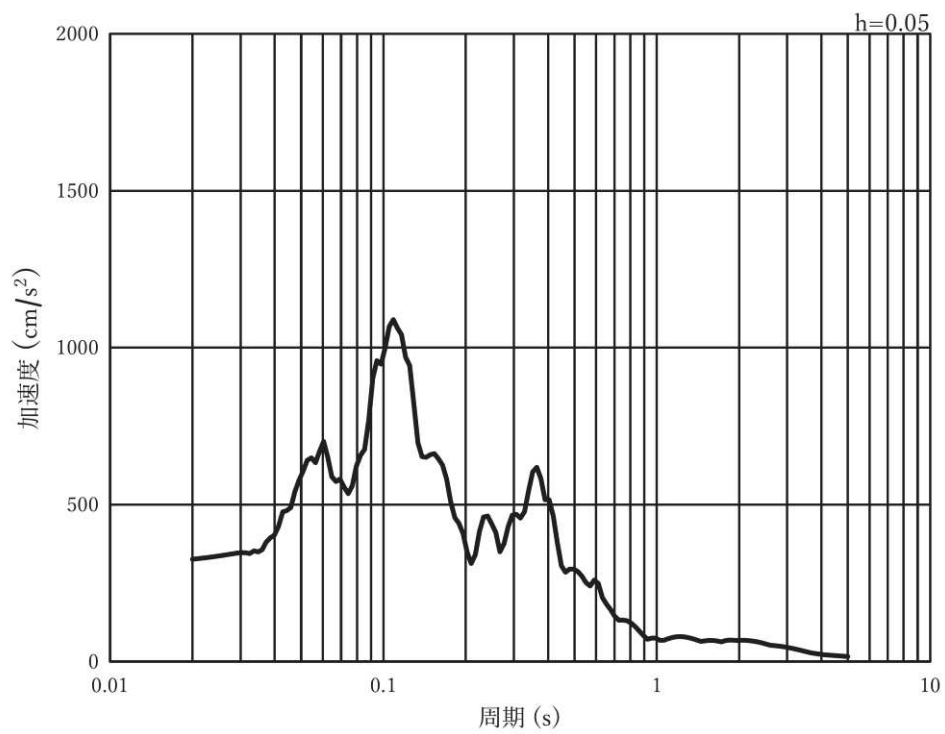


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側

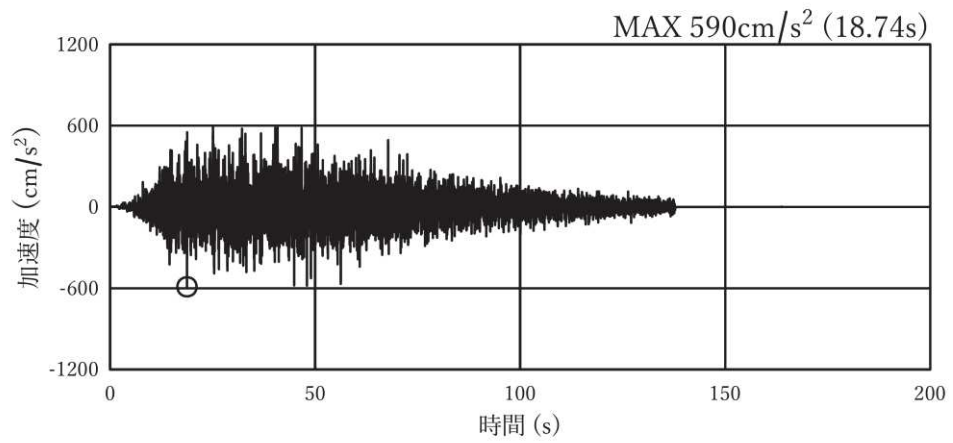


(a) 加速度時刻歴波形

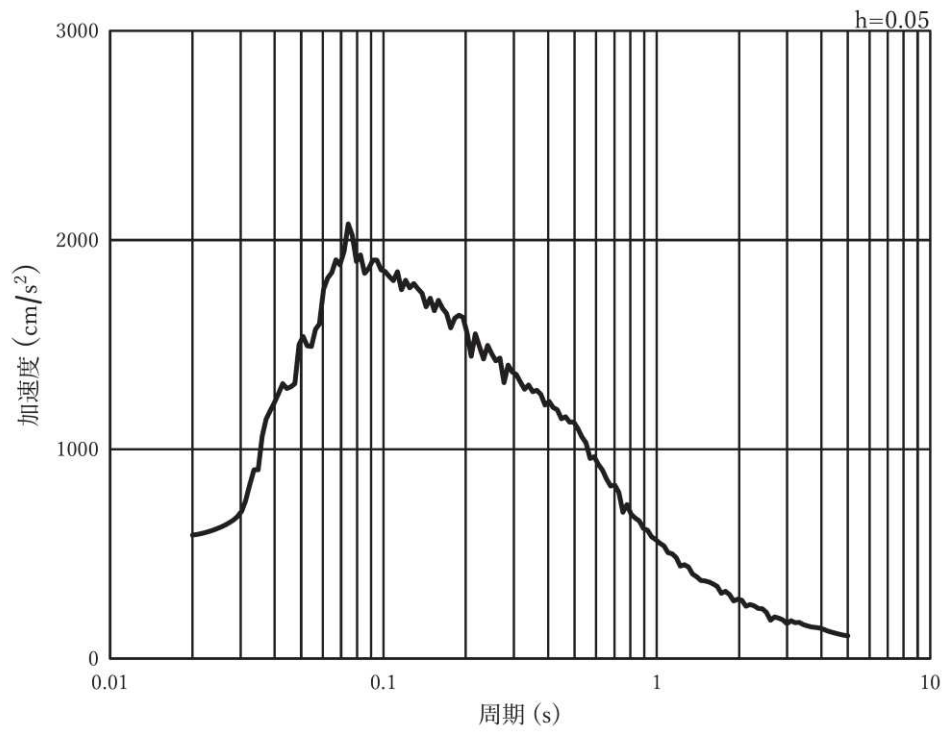


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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)，第 2 号機側

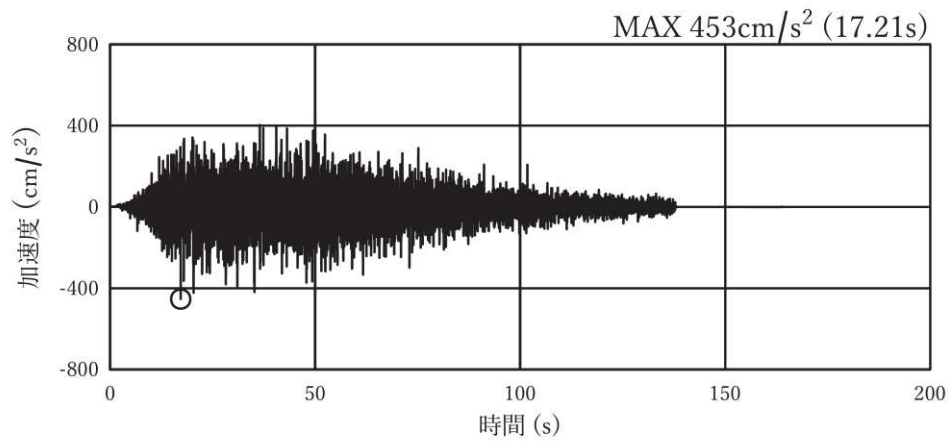


(a) 加速度時刻歴波形

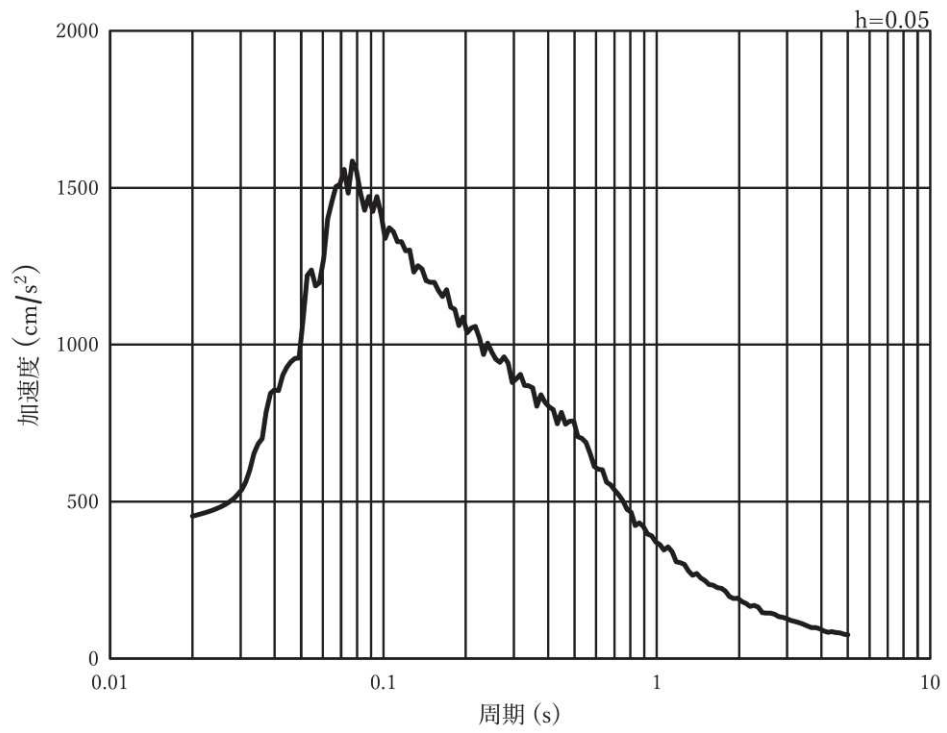


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 1), 第 3 号機側

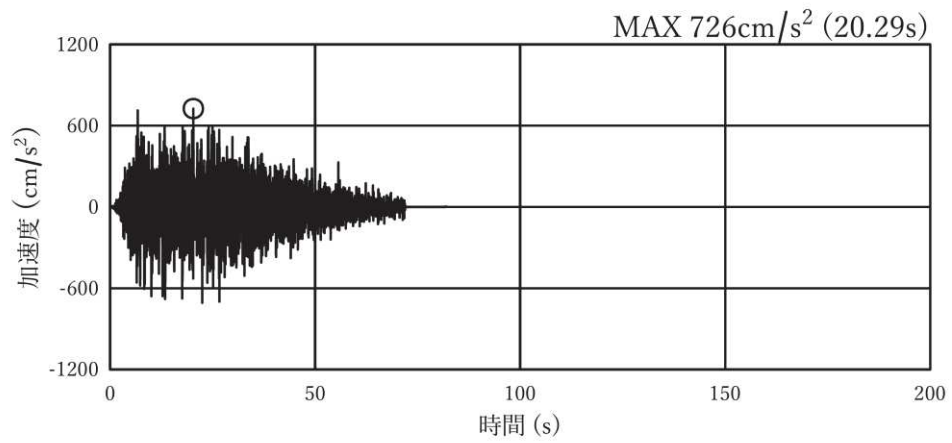


(a) 加速度時刻歴波形

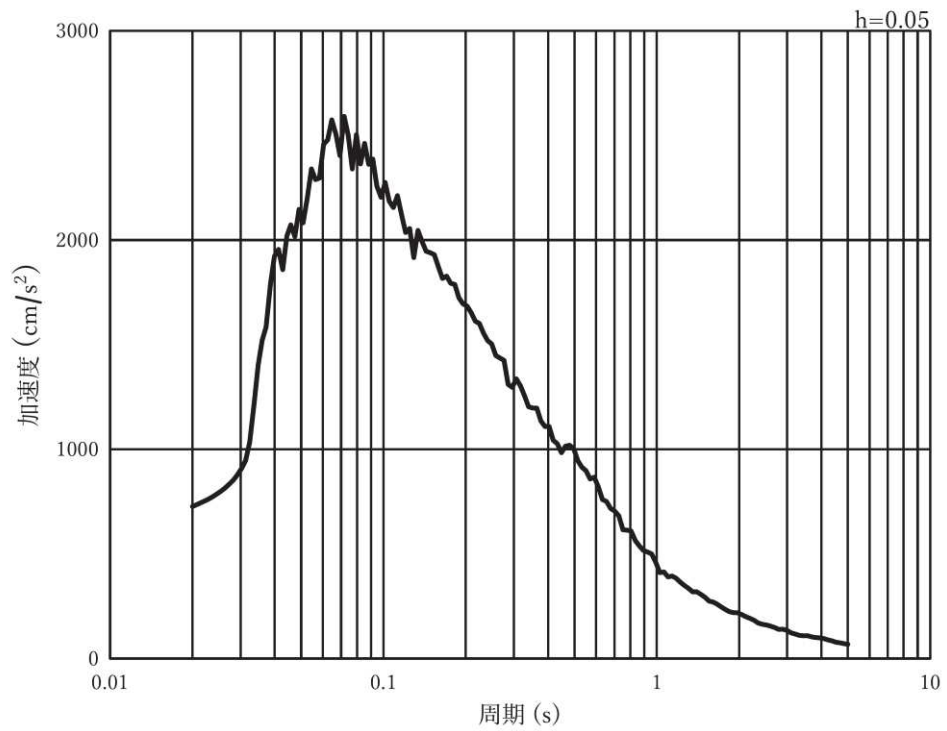


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 1)，第 3 号機側



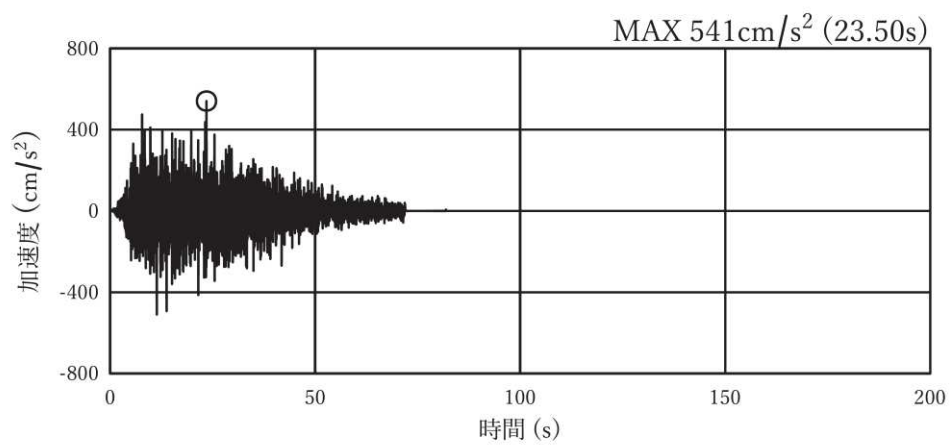
(a) 加速度時刻歴波形



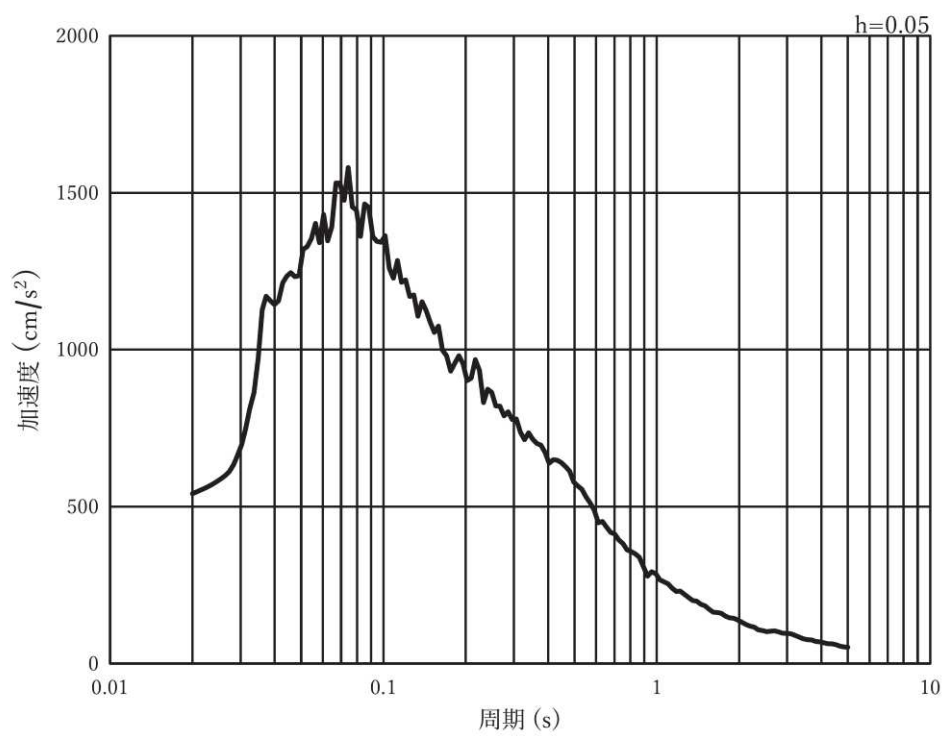
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(17) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 2), 第 3 号機側



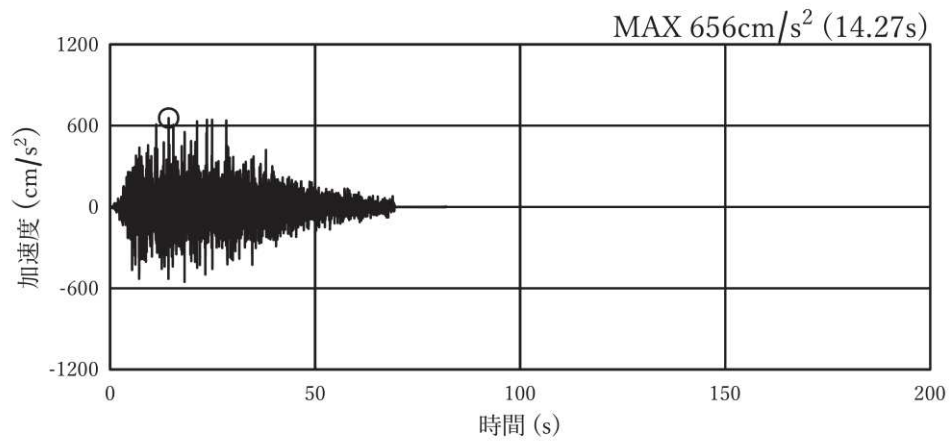


(a) 加速度時刻歴波形

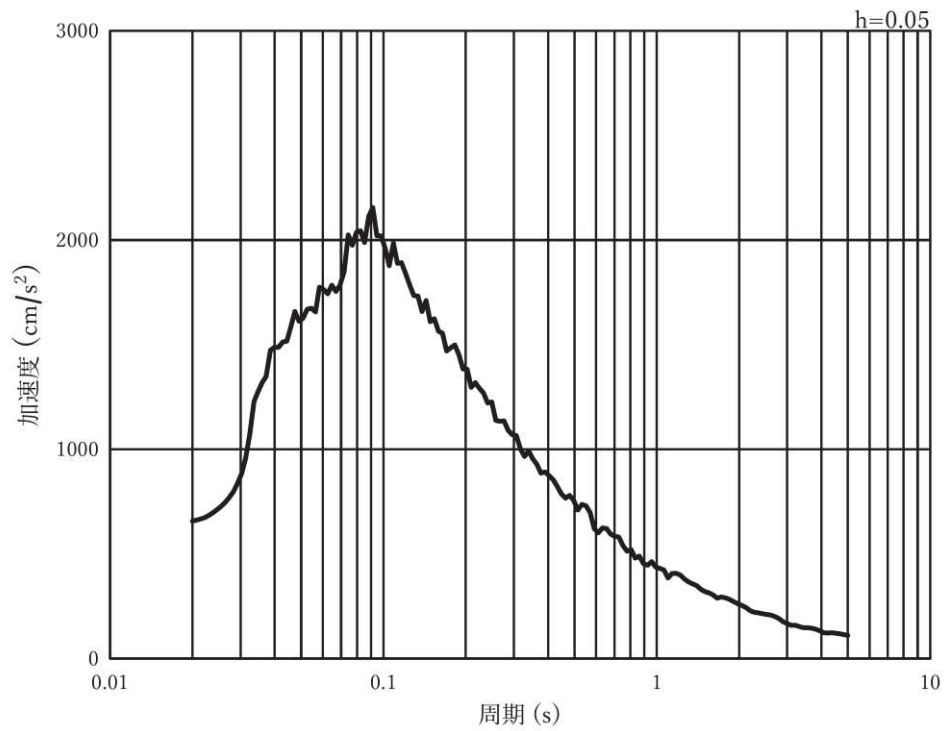


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(18) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 2), 第 3 号機側

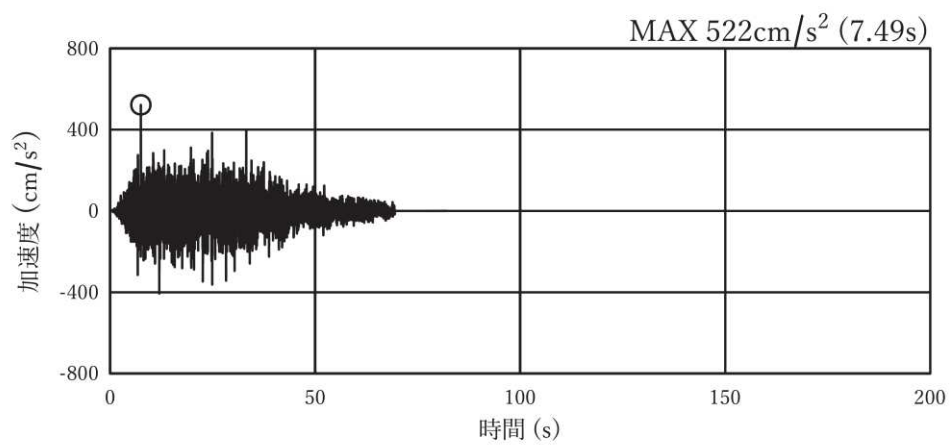


(a) 加速度時刻歴波形

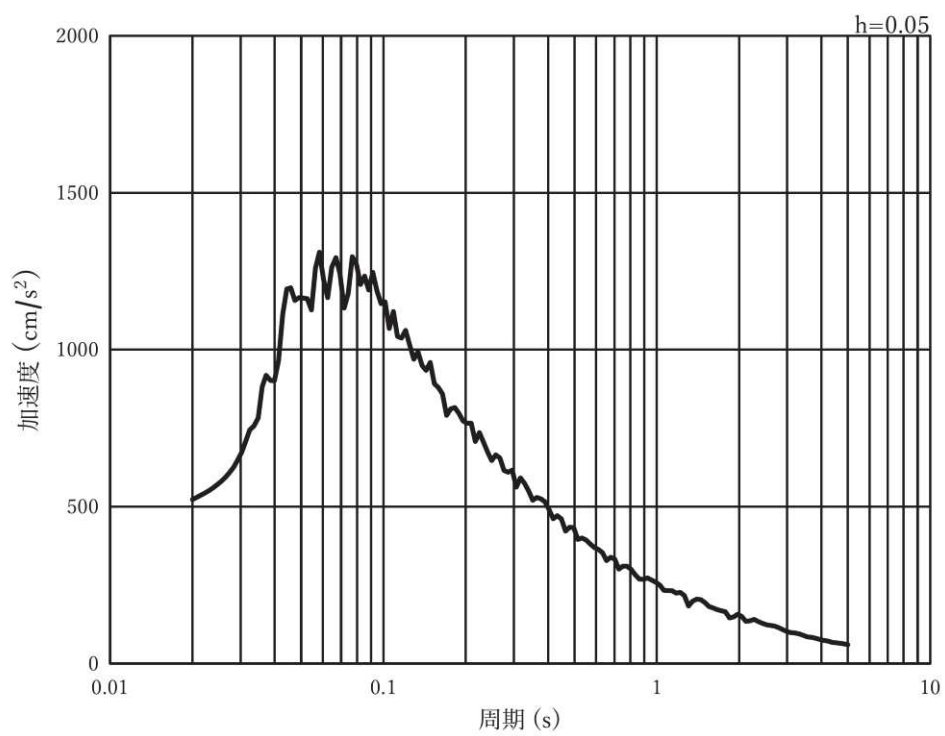


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(19) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向：S s - D 3)，第 3 号機側

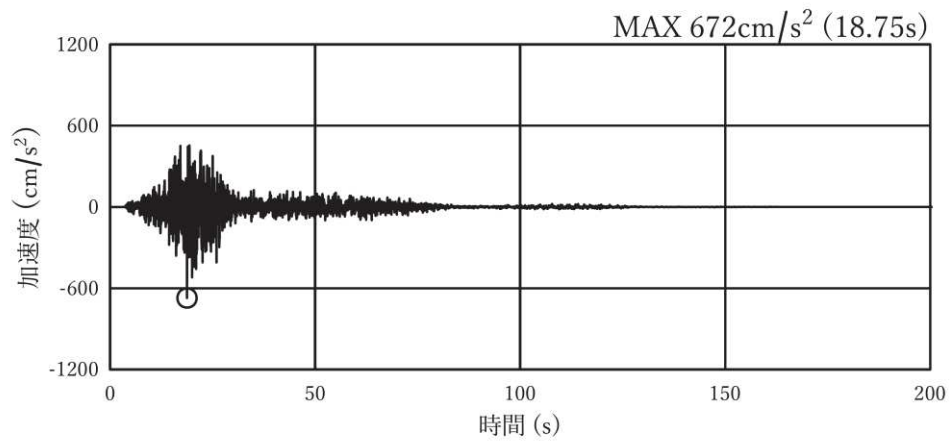


(a) 加速度時刻歴波形

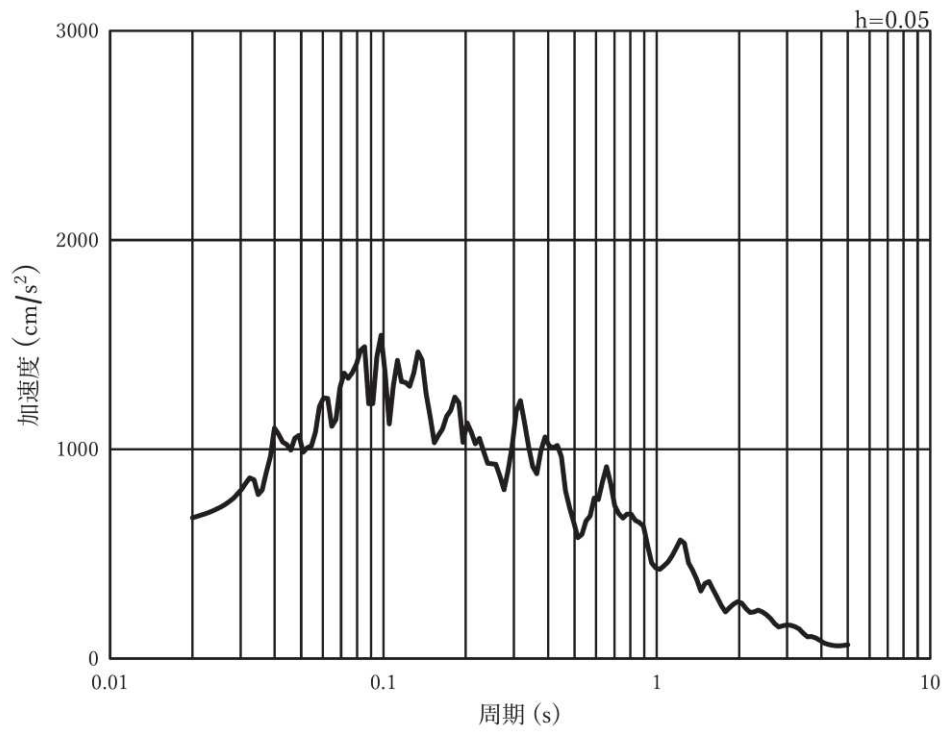


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(20) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 3)，第 3 号機側

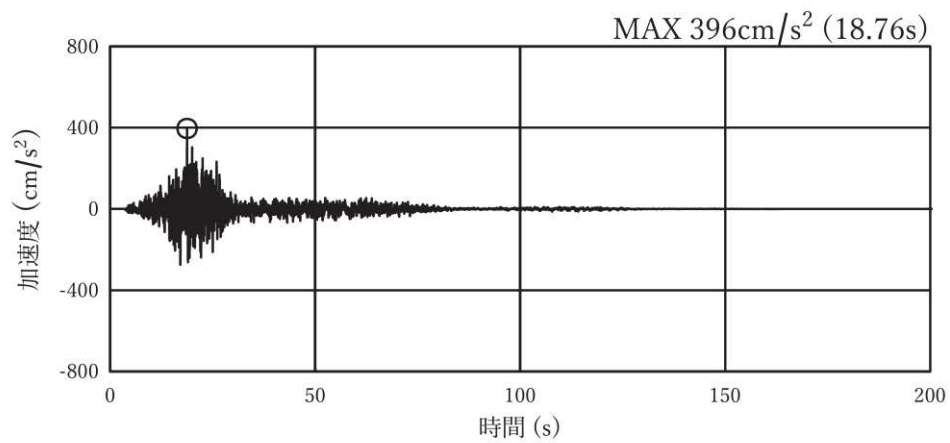


(a) 加速度時刻歴波形

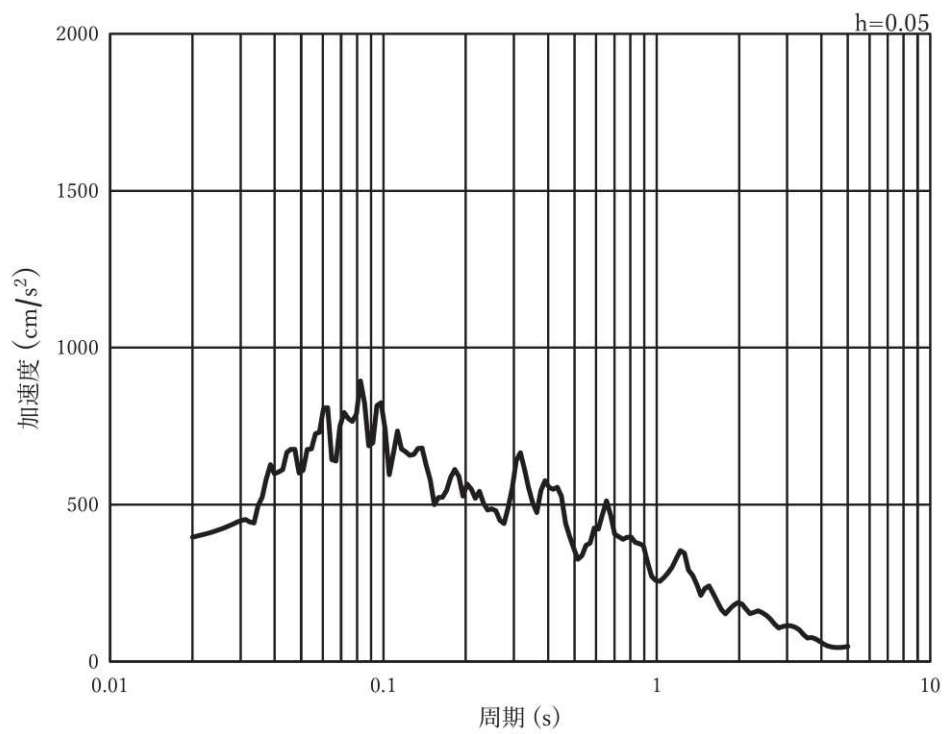


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向：S s - F 1)，第 3 号機側

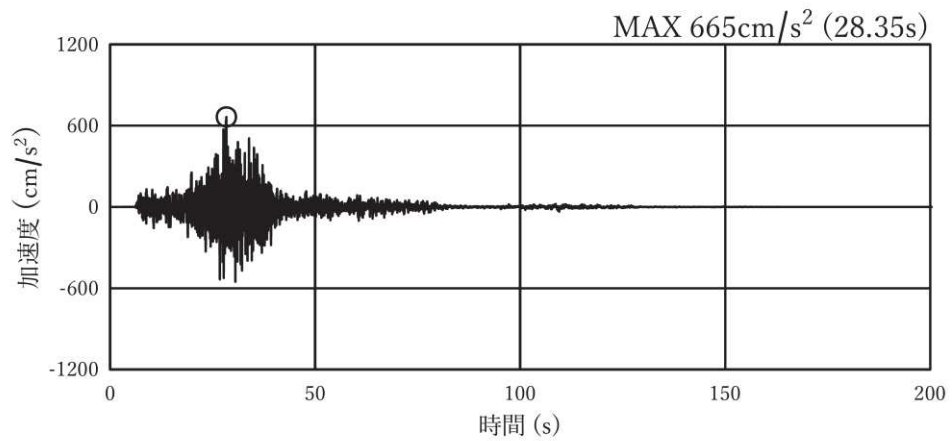


(a) 加速度時刻歴波形

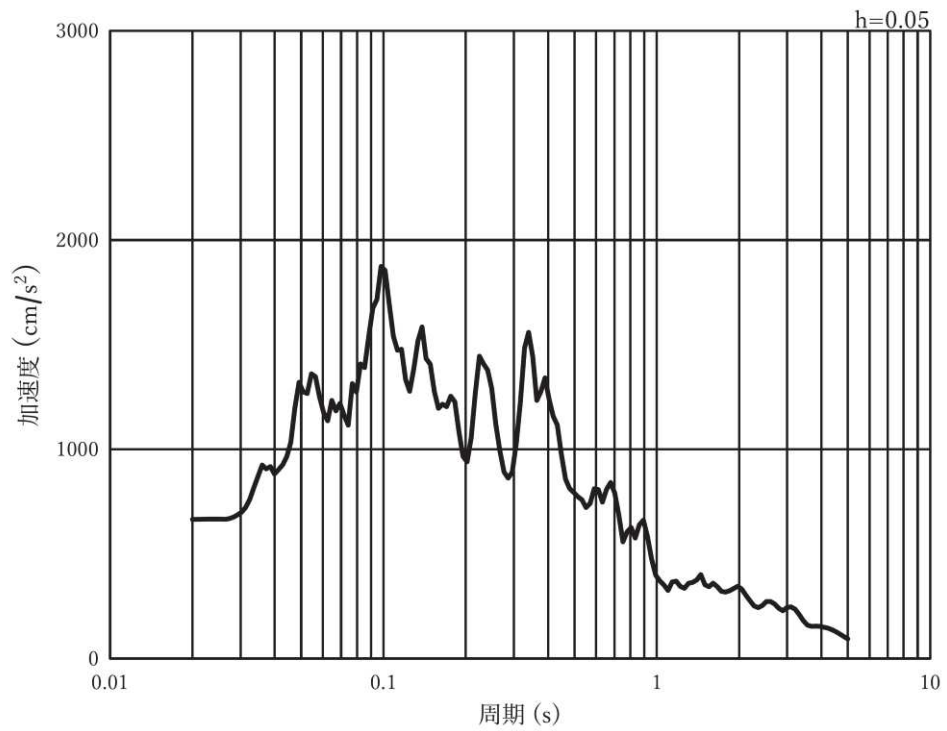


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 1)，第 3 号機側

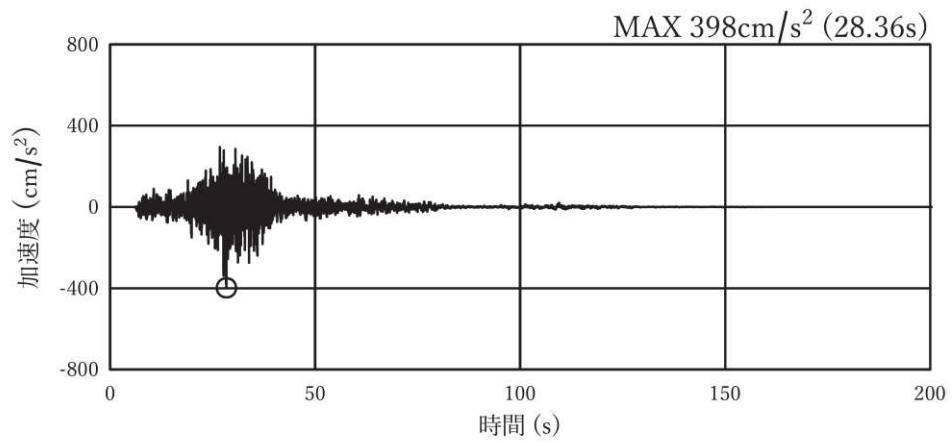


(a) 加速度時刻歴波形

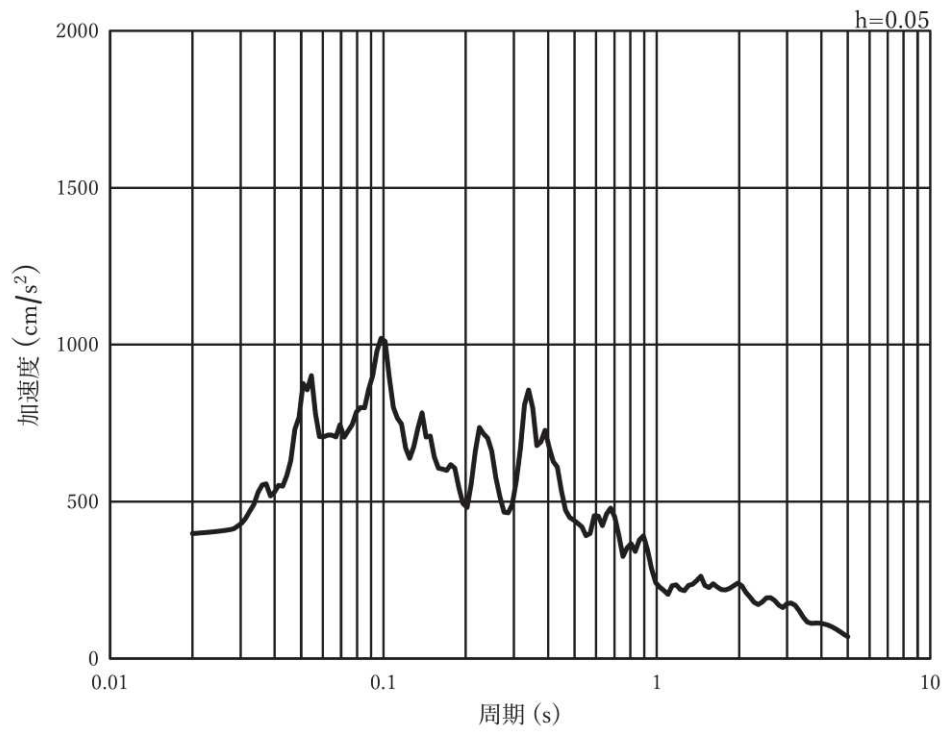


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(23) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向：S s - F 2), 第 3 号機側

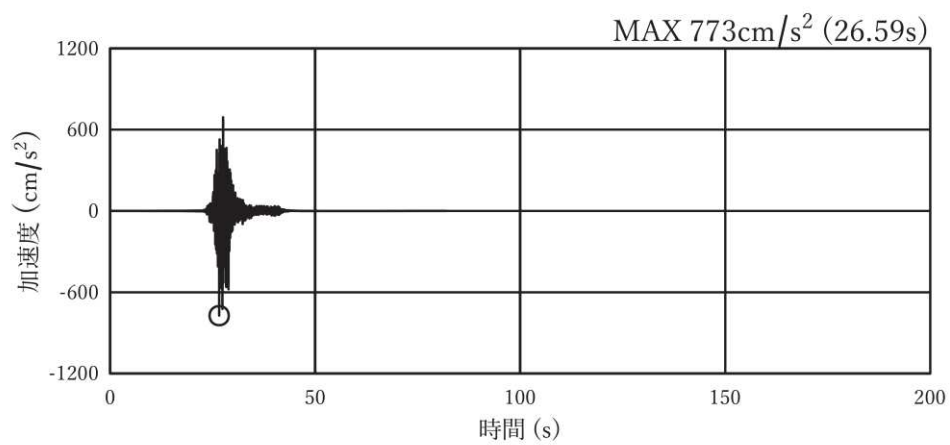


(a) 加速度時刻歴波形

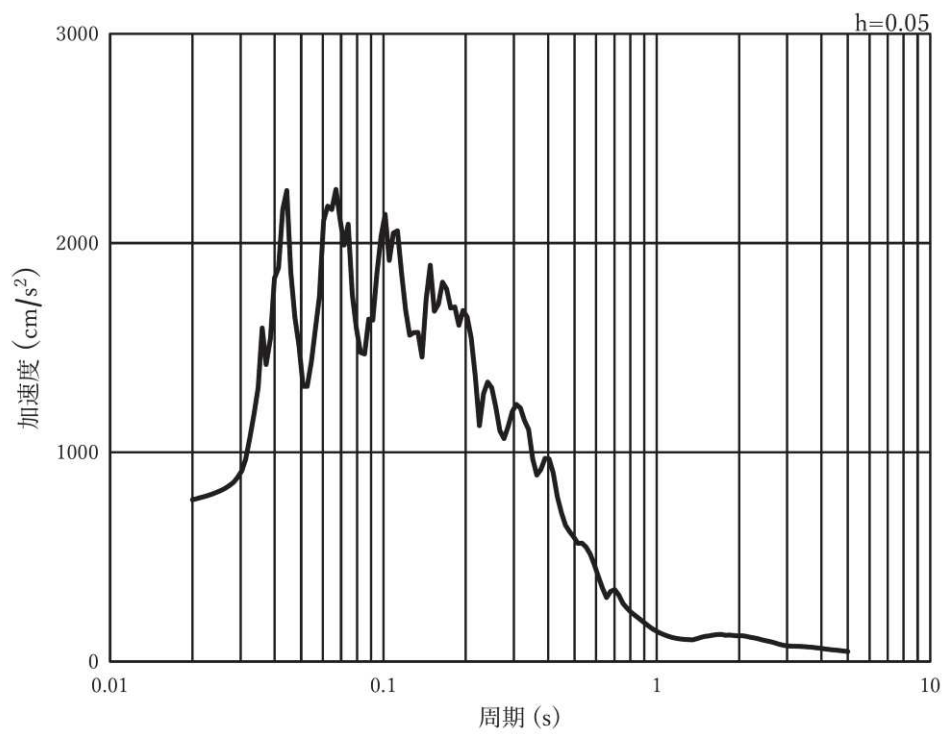


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(24) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 2)，第 3 号機側



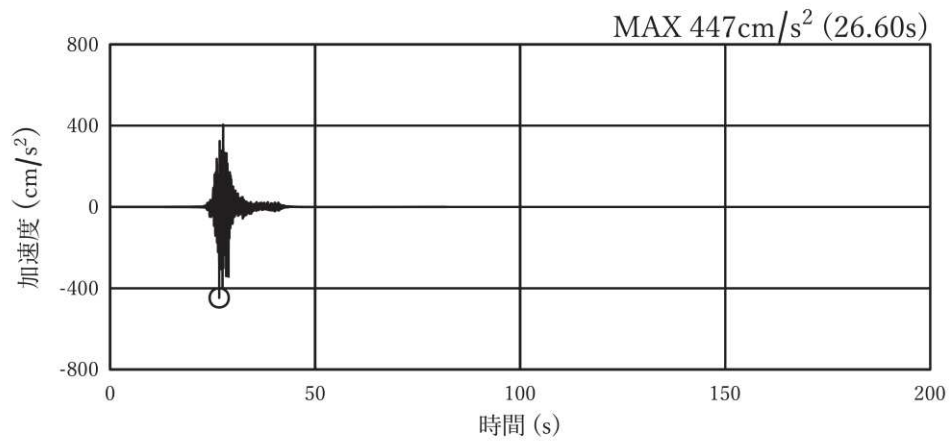
(a) 加速度時刻歴波形



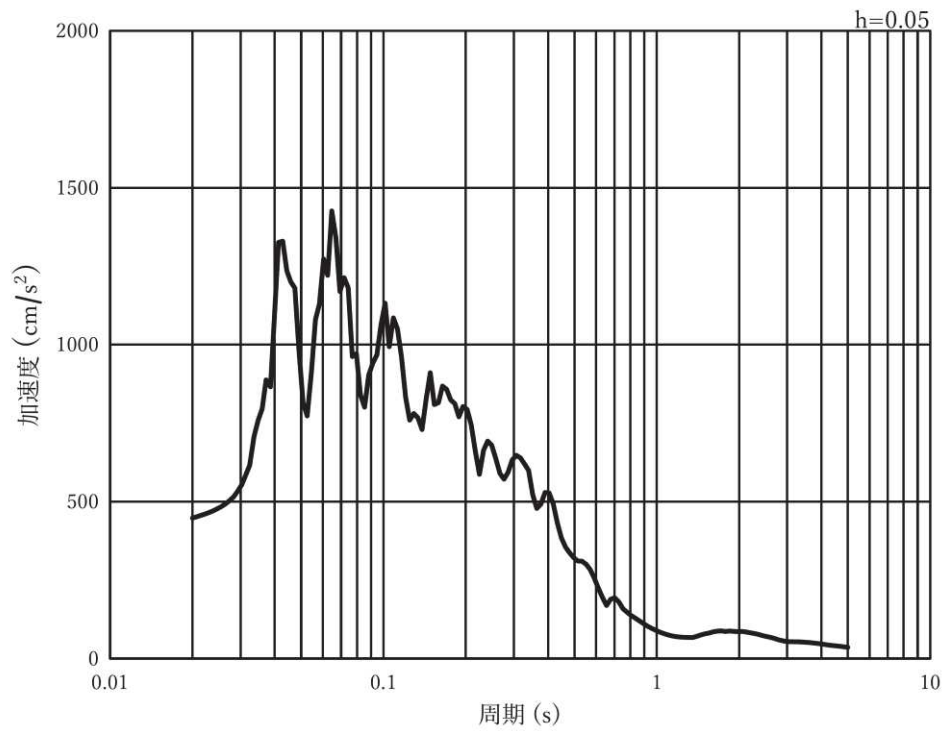
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(25) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向：S s - F 3), 第 3 号機側



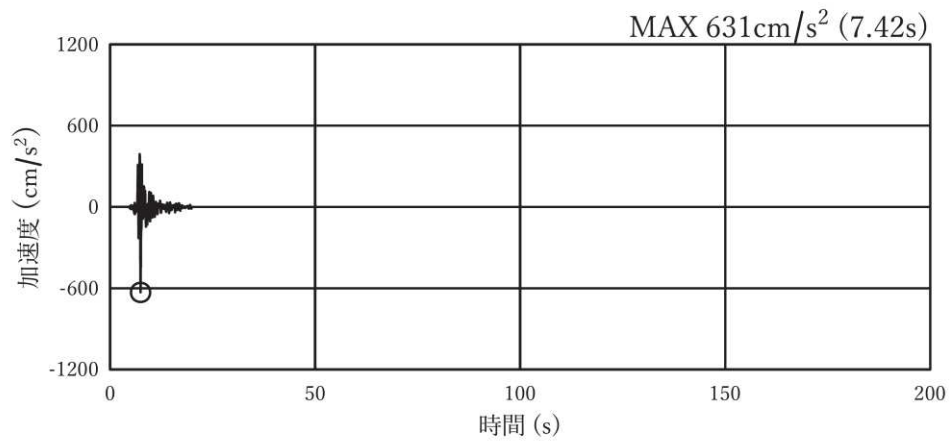


(a) 加速度時刻歴波形

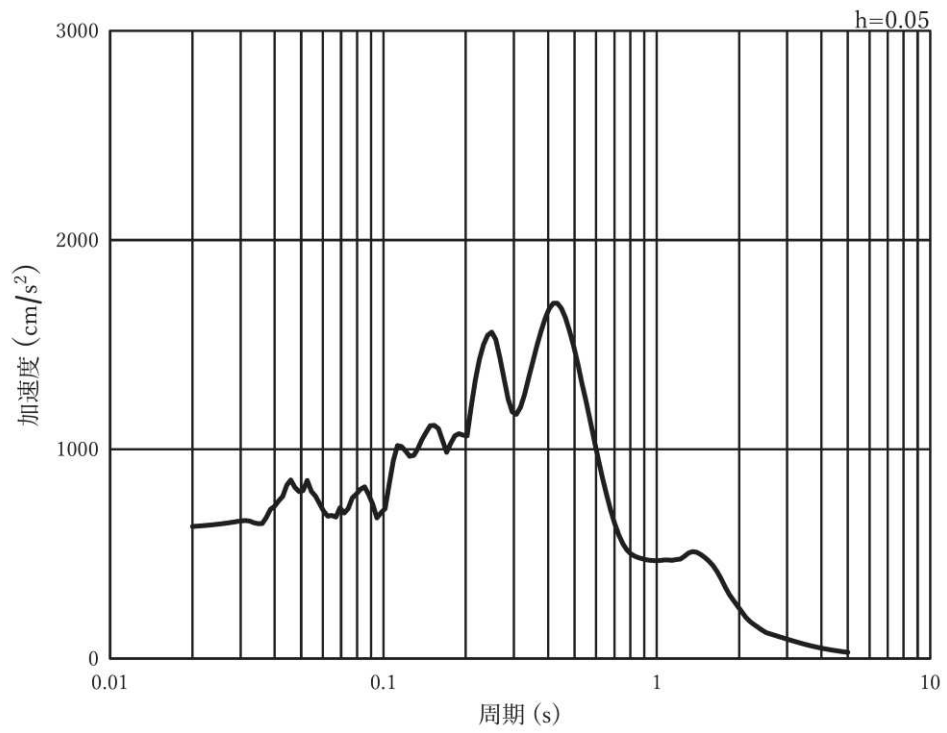


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(26) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 3), 第 3 号機側

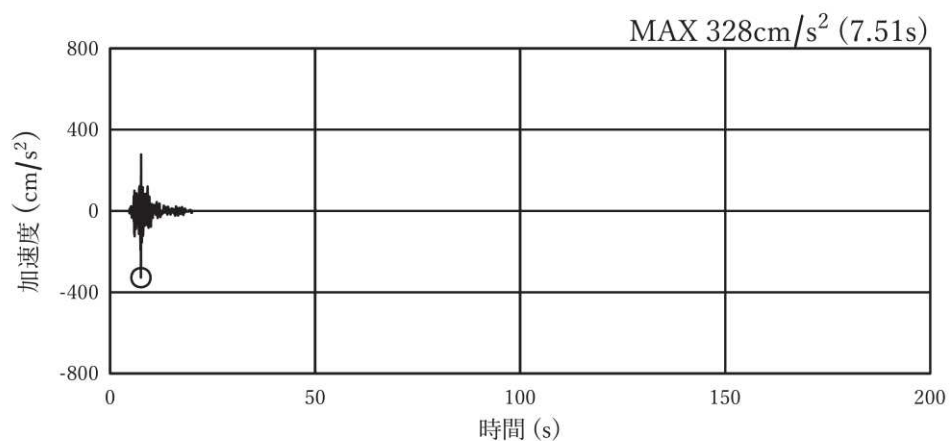


(a) 加速度時刻歴波形

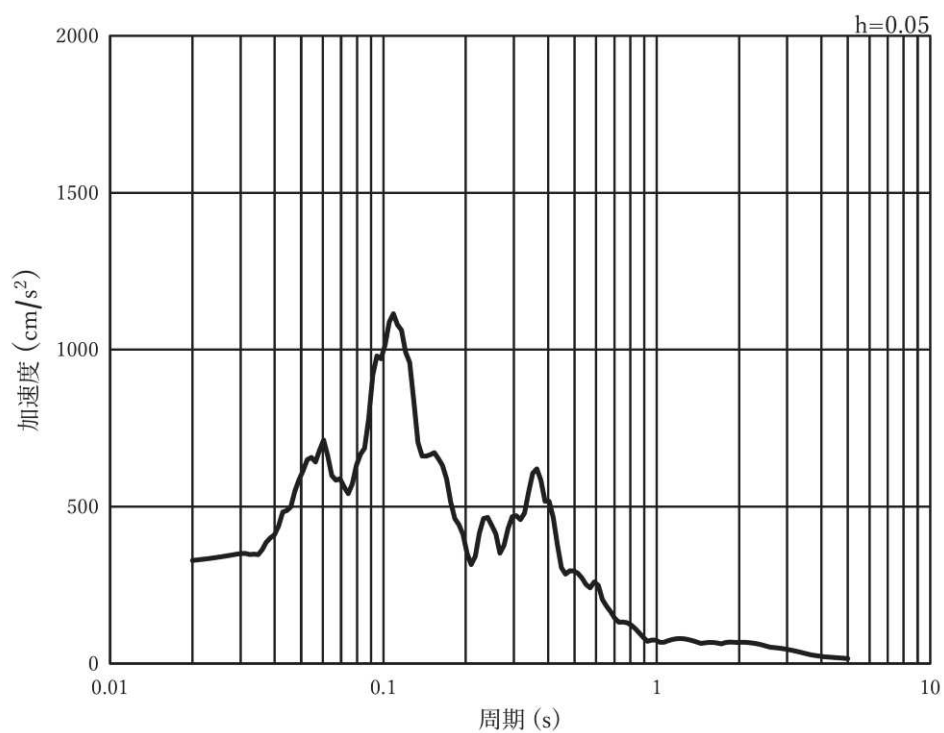


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(27) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向：S s - N 1)，第 3 号機側



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(28) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - N 1)，第 3 号機側

(5) 設計用震度の算定

各評価対象接続柵位置における最大鉛直震度を表 3-5 に示す。

表 3-5 接続柵位置の最大鉛直震度

号機	接続柵	地震動	解析ケース	鉛直震度 ( $k_v$ )
第 2 号機	①	S s - D 1	ケース②	0.42
	②	S s - D 1	ケース②	0.43
	③	S s - D 1	ケース②	0.42
	④	S s - D 1	ケース②	0.43
	⑤	S s - D 1	ケース②	0.43
第 3 号機	⑥	S s - D 1	ケース②	0.42
	⑦	S s - D 1	ケース③	0.44
	⑧	S s - D 1	ケース③	0.45
	⑨	S s - D 1	ケース②	0.42

### 3.4 許容限界

#### 3.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

応力解析による評価に用いるコンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 3-6, 3-7 に示す。

表 3-6 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* <sup>1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
	許容曲げ圧縮応力度	許容せん断応力度	
20.5* <sup>2</sup>	許容曲げ圧縮応力度	7.8	11.7
	許容せん断応力度	0.42	0.63
23.5* <sup>2</sup>	許容曲げ圧縮応力度	8.8	13.2
	許容せん断応力度	0.45	0.67
30	許容曲げ圧縮応力度	11.0	16.5
	許容せん断応力度	0.50	0.75

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

\* 2 : 設計基準強度=18N/mm<sup>2</sup>, 24N/mm<sup>2</sup> 及び 27N/mm<sup>2</sup> の許容応力度から線形補間により算出した。

表 3-7 鉄筋 (SD345) の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	許容引張応力度	許容せん断応力度	
SD345	許容引張応力度	196	294

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

#### 3.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	狐崎部層* <sup>1</sup>	13.7
	牧の浜部層* <sup>1</sup>	11.4
	C <sub>L</sub> 級	1.8* <sup>2</sup>

注記\* 1 : C<sub>M</sub>級岩盤以上の岩盤が対象

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

### 3.5 応力解析による評価方法

#### 3.5.1 構造部材の健全性に対する評価方法

「3.3.1 解析方法」に示す解析方法に基づき, 評価を実施する。

また, 接続柵側壁にはヒューム管が接続されていること, 並びに接続柵①・⑦には頂版に開口が存在することを踏まえ評価を実施する。

##### (1) 解析モデル

頂版, 底版及び側壁の検討においては, 各面を壁により支持された版とみなし, 開口部の存在しない面については 4 辺固定版として, 開口部の存在する面については開口規模に応じ 4 辺固定版または開口部と接する面を自由端とした 3 辺固定 1 辺自由版としてモデル化し, 図 3-6 に示す 4 辺固定版もしくは 3 辺固定 1 辺自由版の形状と応力を用いて曲げモーメント及びせん断力を算出する。接続柵を構成するコンクリート・鉄筋の物性値を表 3-9 に, 解析モデルを図 3-8 に示す

各版の応力度算定は, 解析コード「RC 断面計算 Ver8.0.7」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については, 添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

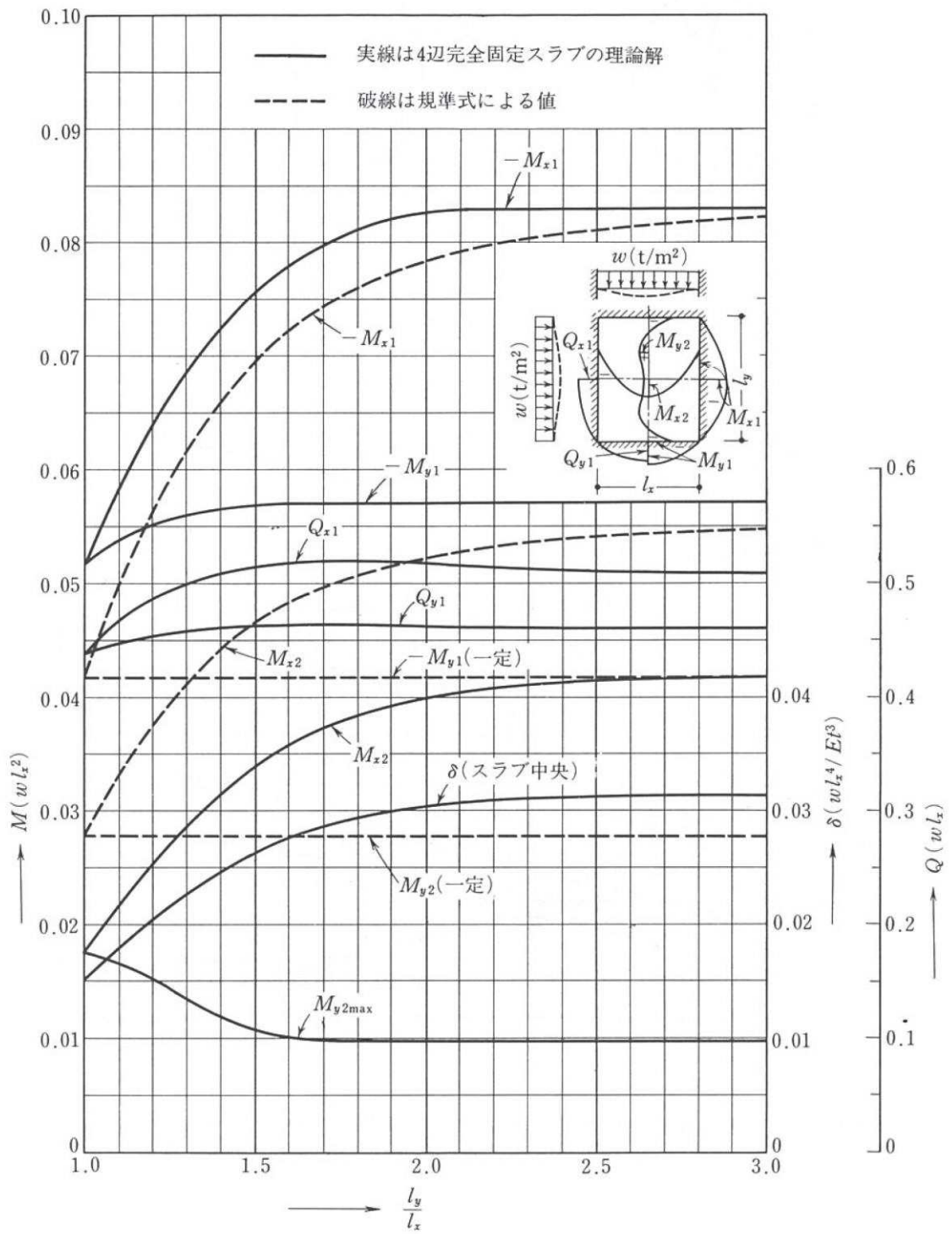


図 3-6(1) 等分布荷重時 4 辺固定スラブの応力図と中央点のたわみ  $\delta$  ( $\nu=0$ )

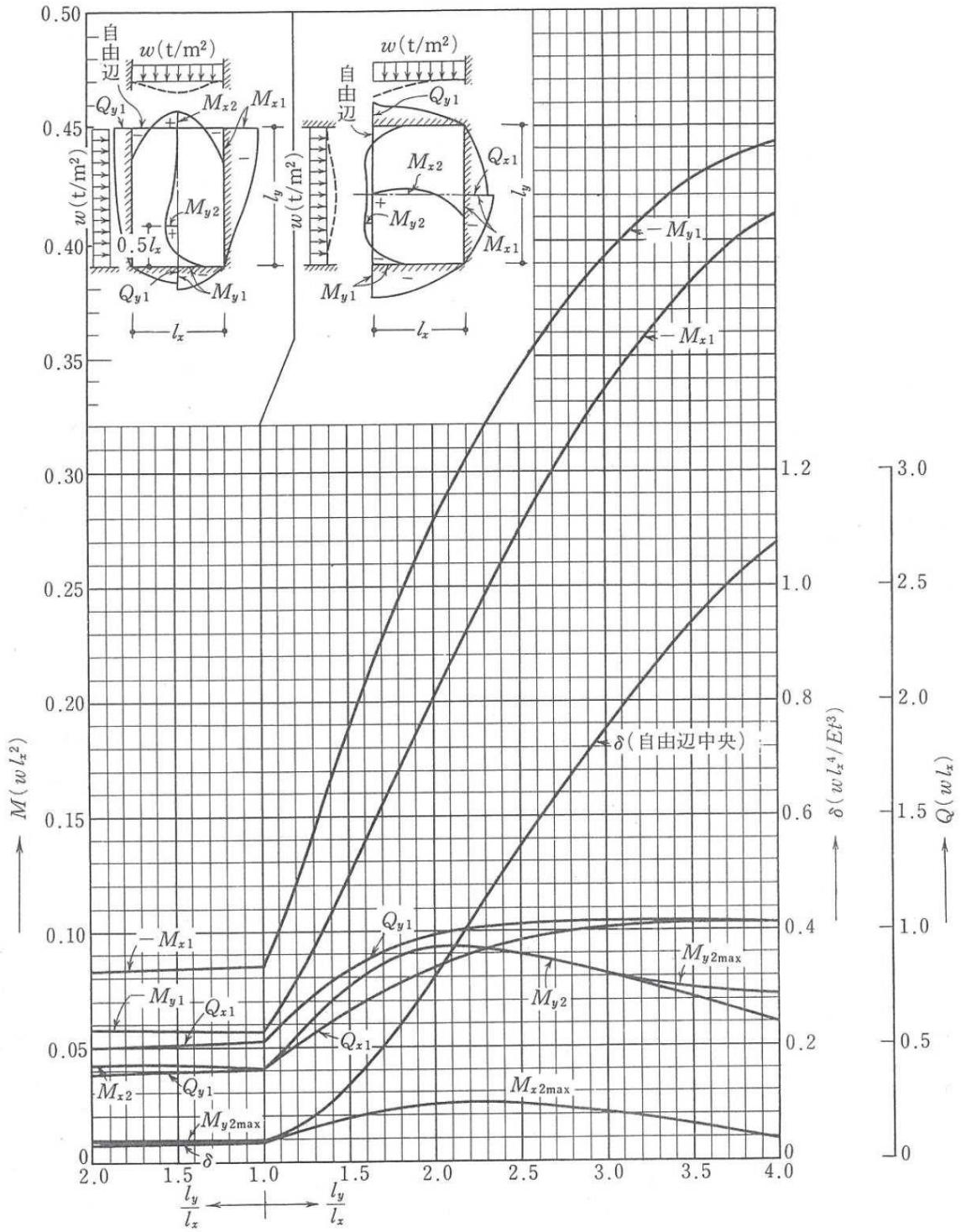


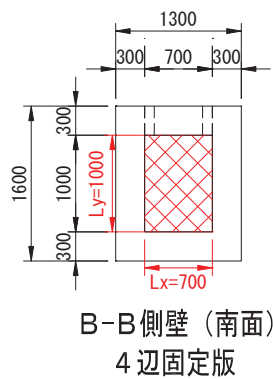
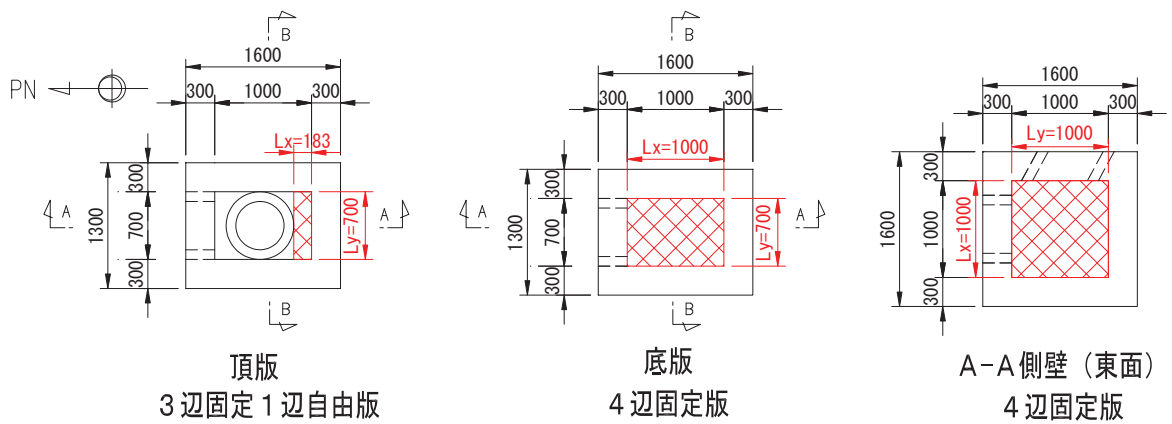
図 3-6(2) 等分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ  $\delta$  ( $\nu=0$ )



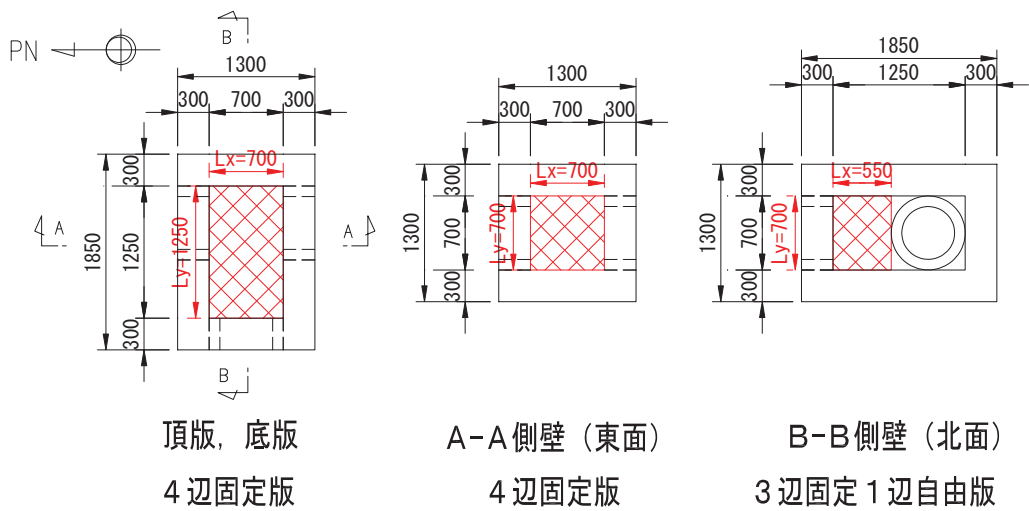
表 3-9 接続柵を構成するコンクリート・鉄筋の物性値

接続柵	コンクリート 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )
①	20.5	SD345	24.0
②	20.5	SD345	24.0
③	20.5	SD345	24.0
④	20.5	SD345	24.0
⑤	20.5	SD345	24.0
⑥	23.5	SD345	24.0
⑦	23.5	SD345	24.0
⑧	23.5	SD345	24.0
⑨	30.0*	SD345	24.0

注記\* : 新設する接続柵

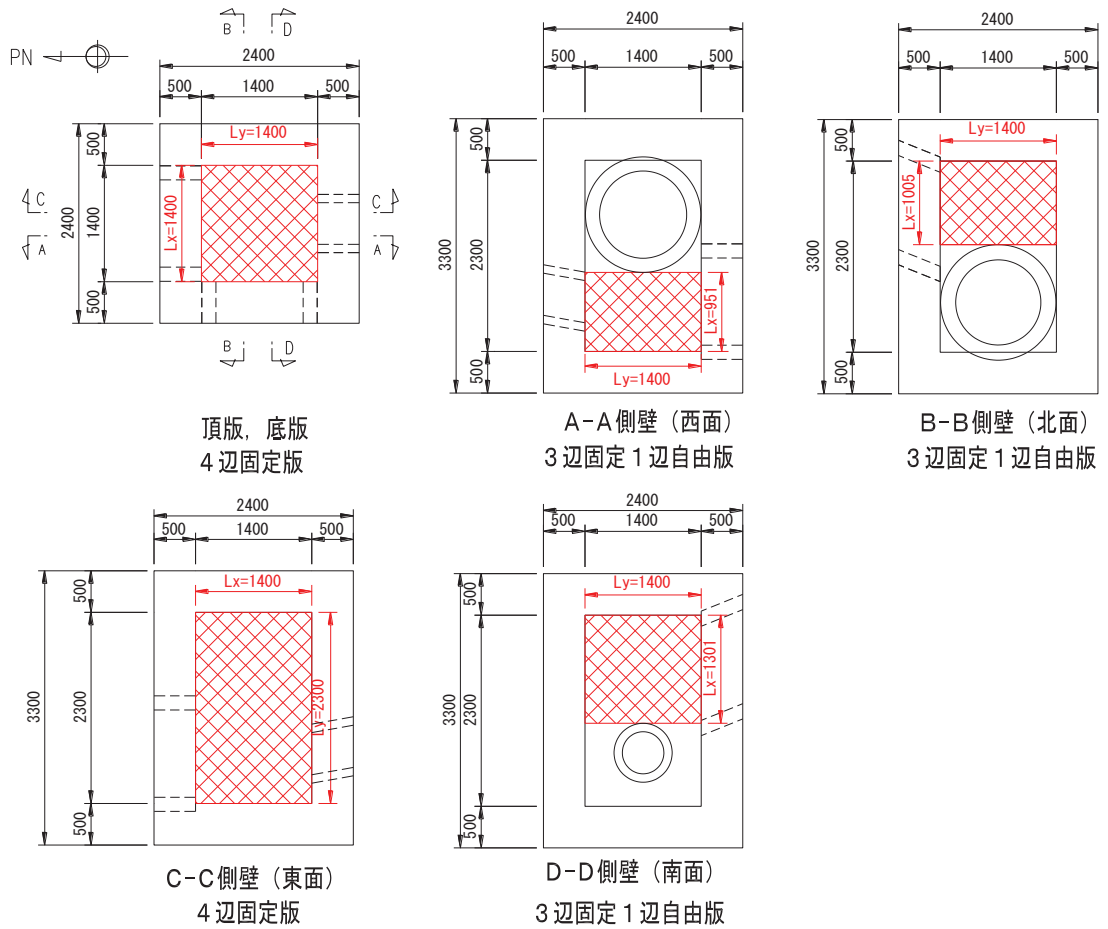


(接続樹①)

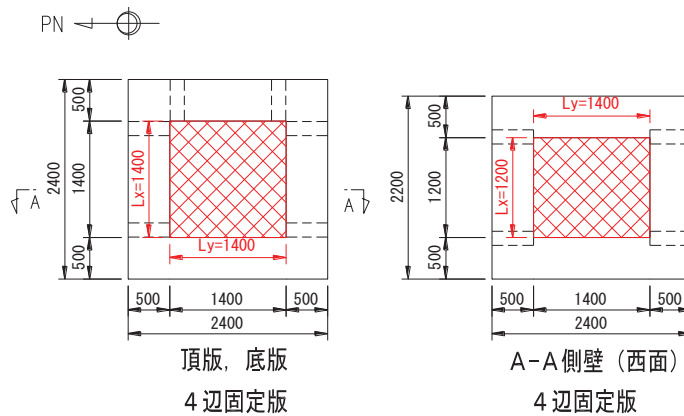


(接続樹②)

図 3-7(1) 接続樹の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)

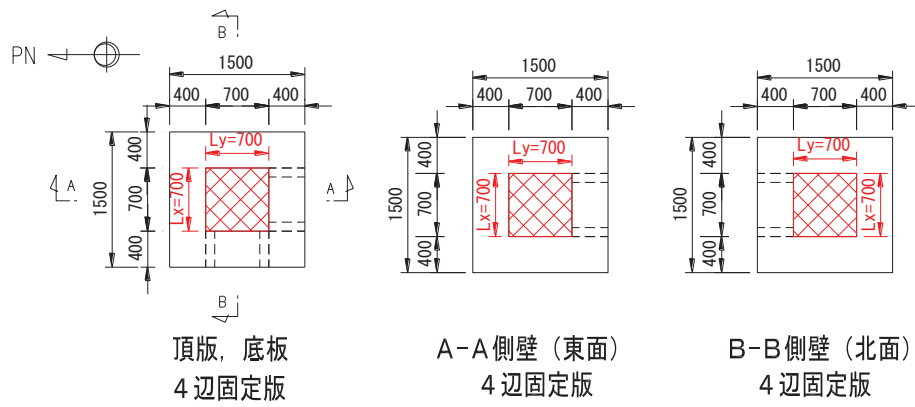


(接続柵③)

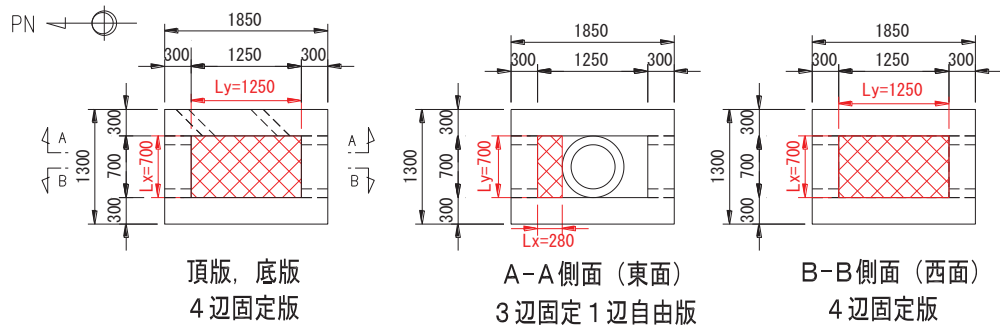


(接続柵④)

図 3-7(2) 接続柵の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)



(接続柵⑤)



(接続柵⑥)

図 3-7(3) 接続柵の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)

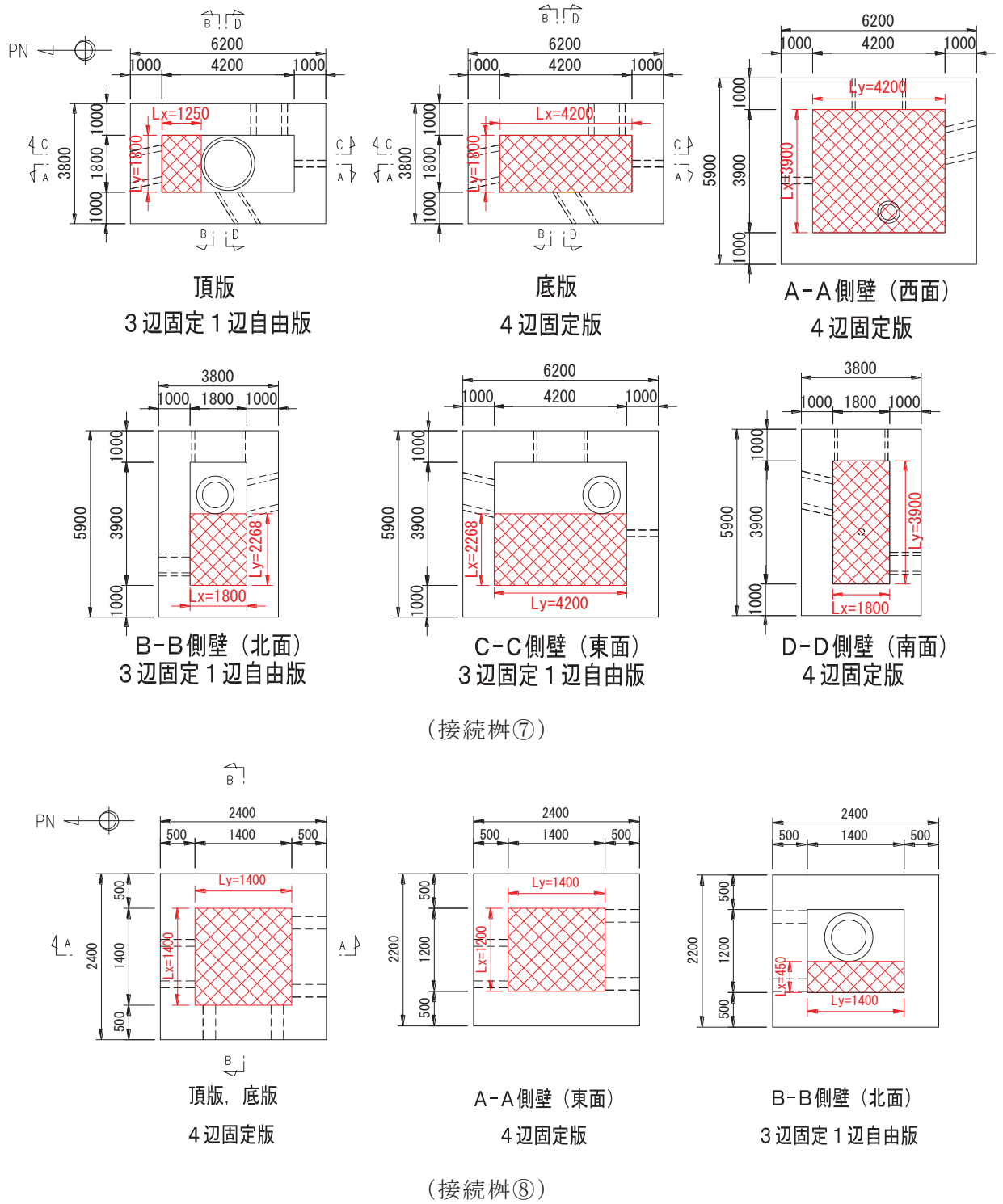
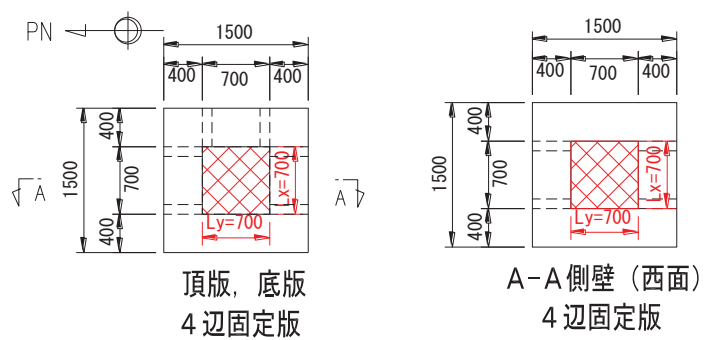


図 3-7(4) 接続樹の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)



(接続柵⑨)

図 3-7(5) 接続柵の解析モデル (Lx : 短辺, Ly : 長辺) (単位 : mm)

### 3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は接続柵を支持する基礎地盤とし、基礎地盤に生じる応力度（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

各接続桁の頂版，側壁，底版に生じる最大発生断面力を表 4-1 に示す。

また，曲げに対する照査結果を表 4-2，せん断に対する照査結果を表 4-3 に示す。

以上より，発生値が許容値を超えないことを確認した。

表 4-1 最大発生断面力

接続 樹	部位	地震動	解析 ケース	固定 条件	曲げモーメント (kN・m)		せん断力 (kN)	
					短辺 Lx	長辺 Ly	短辺 Lx	長辺 Ly
					①	頂版	S s - D 1	ケース②
①	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-23.00	-23.00	136.24	136.24
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-25.76	-20.11	146.87	162.28
	②	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-29.52	-20.77	154.68
②	側壁 (北面) *	S s - D 1	ケース②	3 辺	-12.68	-19.37	103.59	105.07
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-30.12	-21.20	157.85	185.72
	③	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-73.98	-73.98	287.43
③	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	3 辺	-51.74	-78.70	219.05	241.00
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-79.23	-79.23	307.83	307.83
	④	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-78.32	-78.32	304.31
④	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-43.78	-38.84	164.76	170.23
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-81.10	-81.10	315.08	315.08
	⑤	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-19.56	-19.56	101.31
⑤	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-12.36	-12.36	64.01	64.01
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-20.04	-20.04	103.79	103.79
	⑥	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-31.93	-22.47	167.31
⑥	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-20.13	-14.16	105.45	124.06
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-32.53	-22.89	170.47	200.56
	⑦	頂版	S s - D 1	ケース③	3 辺	-162.34	-247.78	430.62
⑦	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース③	3 辺	-569.41	-809.33	868.62	1020.91
	底版	S s - D 1	ケース③	4 辺	-269.67	-185.20	409.14	632.62
	⑧	頂版	S s - D 1	ケース③	4 辺	-81.12	-81.12	315.17
⑧	側壁 (東面) *	S s - D 1	ケース③	4 辺	-45.49	-40.36	171.20	176.88
	底版	S s - D 1	ケース③	4 辺	-83.91	-83.91	326.02	326.02
	⑨	頂版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-21.08	-21.08	109.18
⑨	側壁 (西面) *	S s - D 1	ケース②	4 辺	-13.27	-13.27	68.73	68.73
	底版	S s - D 1	ケース②	4 辺	-21.55	-21.55	111.63	111.63

注記\* : 最も照査値が厳しくなる面について記載。



表 4-2 評価結果（曲げモーメント照査）

接続 桧	部位	地震動	解析 ケース	配筋	コンクリート			鉄筋		
					照査用 応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許 容応力 度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査 値 $\sigma_c /$ $\sigma_{ca}$	照査用 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許 容応力 度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査 値 $\sigma_s /$ $\sigma_{sa}$
①	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150	1.0	11.75	0.09	35.0	294	0.12
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		2.3	11.75	0.20	78.7	294	0.27
	底版	S s - D 1	ケース②		2.6	11.75	0.23	88.1	294	0.30
②	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150	3.0	11.75	0.26	101.0	294	0.35
	側壁（北面）*	S s - D 1	ケース②		1.9	11.75	0.17	66.3	294	0.23
	底版	S s - D 1	ケース②		3.0	11.75	0.26	103.0	294	0.36
③	頂版	S s - D 1	ケース②	D25@150	2.0	11.75	0.18	58.3	294	0.20
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		2.1	11.75	0.18	62.0	294	0.22
	底版	S s - D 1	ケース②		2.1	11.75	0.18	62.4	294	0.22
④	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@150	2.8	11.75	0.24	106.6	294	0.37
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		1.6	11.75	0.14	59.6	294	0.21
	底版	S s - D 1	ケース②		2.9	11.75	0.25	110.4	294	0.38
⑤	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@300	1.8	11.75	0.16	73.5	294	0.25
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		1.2	11.75	0.11	46.4	294	0.16
	底版	S s - D 1	ケース②		1.9	11.75	0.17	75.3	294	0.26
⑥	頂版	S s - D 1	ケース②	外 D19@200×300 内 D22@200×300	3.2	13.25	0.25	113.2	294	0.39
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②	外 D16@200×300 内 D16@200×300	2.4	13.25	0.19	100.4	294	0.35
	底版	S s - D 1	ケース②	外 D19@200×300 内 D22@200×300	3.3	13.25	0.25	115.3	294	0.40
⑦	頂版	S s - D 1	ケース③	外 D32@200 内 D22@200	2.1	13.25	0.16	76.8	294	0.27
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③		6.8	13.25	0.52	251.0	294	0.86
	底版	S s - D 1	ケース③		2.3	13.25	0.18	83.6	294	0.29
⑧	頂版	S s - D 1	ケース③	D25@200	2.5	13.25	0.19	84.2	294	0.29
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③	D16@200	2.2	13.25	0.17	115.9	294	0.40
	底版	S s - D 1	ケース③	D25@200	2.6	13.25	0.20	87.1	294	0.30
⑨	頂版	S s - D 1	ケース②	D22@300	1.8	16.5	0.11	60.0	294	0.21
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②	D22@300	1.1	16.5	0.07	37.8	294	0.13
	底版	S s - D 1	ケース②	D22@300	1.8	16.5	0.11	61.3	294	0.21

注記\*：最も照査値が厳しくなる面について記載。

表 4-3 評価結果（せん断照査）

接続 桁	部位	地震動	解析 ケース	せん断補強筋	照査用せん断力 V (kN)	せん断 耐力 V <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
①	頂版	S s - D 1	ケース②	D13@150（千鳥）	75.12	248.4	0.31
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		136.24	248.4	0.55
	底版	S s - D 1	ケース②		162.28	248.4	0.66
②	頂版	S s - D 1	ケース②	D13@150（千鳥）	181.98	248.4	0.74
	側壁（北面）*	S s - D 1	ケース②		105.07	248.4	0.43
	底版	S s - D 1	ケース②		185.72	248.4	0.75
③	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150（千鳥）	287.43	602.9	0.48
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		241.00	602.9	0.40
	底版	S s - D 1	ケース②		307.83	602.9	0.52
④	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@150（千鳥）	304.31	602.9	0.51
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		170.23	602.9	0.29
	底版	S s - D 1	ケース②		315.08	602.9	0.53
⑤	頂版	S s - D 1	ケース②	D16@300	101.31	251.4	0.41
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース②		64.01	251.4	0.26
	底版	S s - D 1	ケース②		103.79	251.4	0.42
⑥	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@200×300	196.85	347.8	0.57
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②	D13@200×300(千鳥)	124.06	129.1	0.97
	底版	S s - D 1	ケース②	D19@200×300	200.56	347.8	0.58
⑦	頂版	S s - D 1	ケース③	D19@200×400	430.62	1086.2	0.40
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③		1020.91	1086.2	0.94
	底版	S s - D 1	ケース③		634.62	1086.2	0.59
⑧	頂版	S s - D 1	ケース③	D16@200	315.17	671.1	0.47
	側壁（東面）*	S s - D 1	ケース③	D16@200（千鳥）	176.88	398.2	0.45
	底版	S s - D 1	ケース③	D16@200	326.02	671.1	0.49
⑨	頂版	S s - D 1	ケース②	D19@300	109.18	351.8	0.32
	側壁（西面）*	S s - D 1	ケース②		68.73	351.8	0.20
	底版	S s - D 1	ケース②		111.63	351.8	0.32

注記\*：最も照査値が厳しくなる面について記載。

## 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評価結果を表 4-4 に示す。

接続桁の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-4 地盤の支持性能評価結果

接続桁	地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
①	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
②	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
③	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
④	S s - D 1	ケース②	0.9	13.7	0.07
⑤	S s - D 1	ケース②	0.8	13.7	0.06
⑥	S s - D 1	ケース②	0.9	1.8	0.50
⑦	S s - D 1	ケース③	1.1	11.4	0.10
⑧	S s - D 1	ケース③	0.9	11.4	0.08
⑨	S s - D 1	ケース②	0.9	11.4	0.08

VI-2-13-3 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	6
2.4	適用基準	8
3.	耐震評価	9
3.1	評価対象断面	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	11
3.2.3	減衰定数	11
3.2.4	解析ケースの選定	11
3.3	荷重及び荷重の組合せ	13
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	13
3.3.2	荷重	13
3.3.3	荷重の組合せ	14
3.4	入力地震動	15
3.5	解析モデル及び諸元	44
3.5.1	解析モデル	44
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	47
3.5.3	地盤の物性値	47
3.5.4	地下水位	47
3.6	許容限界	48
3.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	48
3.6.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	50
3.7	評価方法	51
3.7.1	構造部材の健全性に対する評価方法	51
3.7.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	64
4.	耐震評価結果	65
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	65
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	90

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」で設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち揚水井戸について、地震時に構造強度を有していることを確認するものである。

揚水井戸に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

地下水位低下設備のうち揚水井戸の設置位置を図 2-1 に示す。

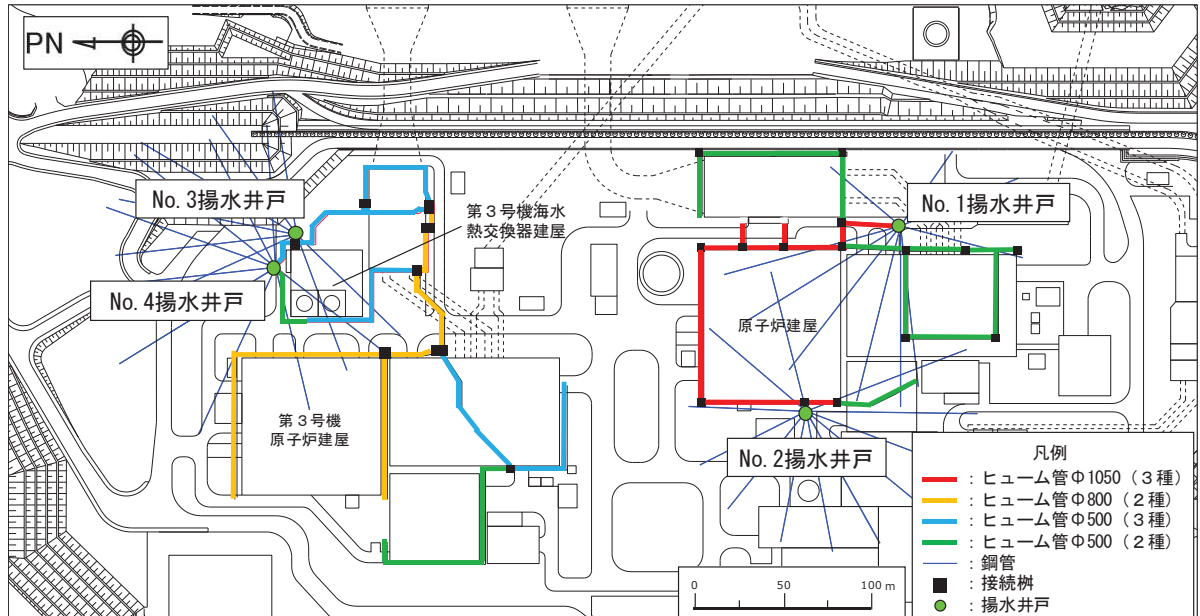


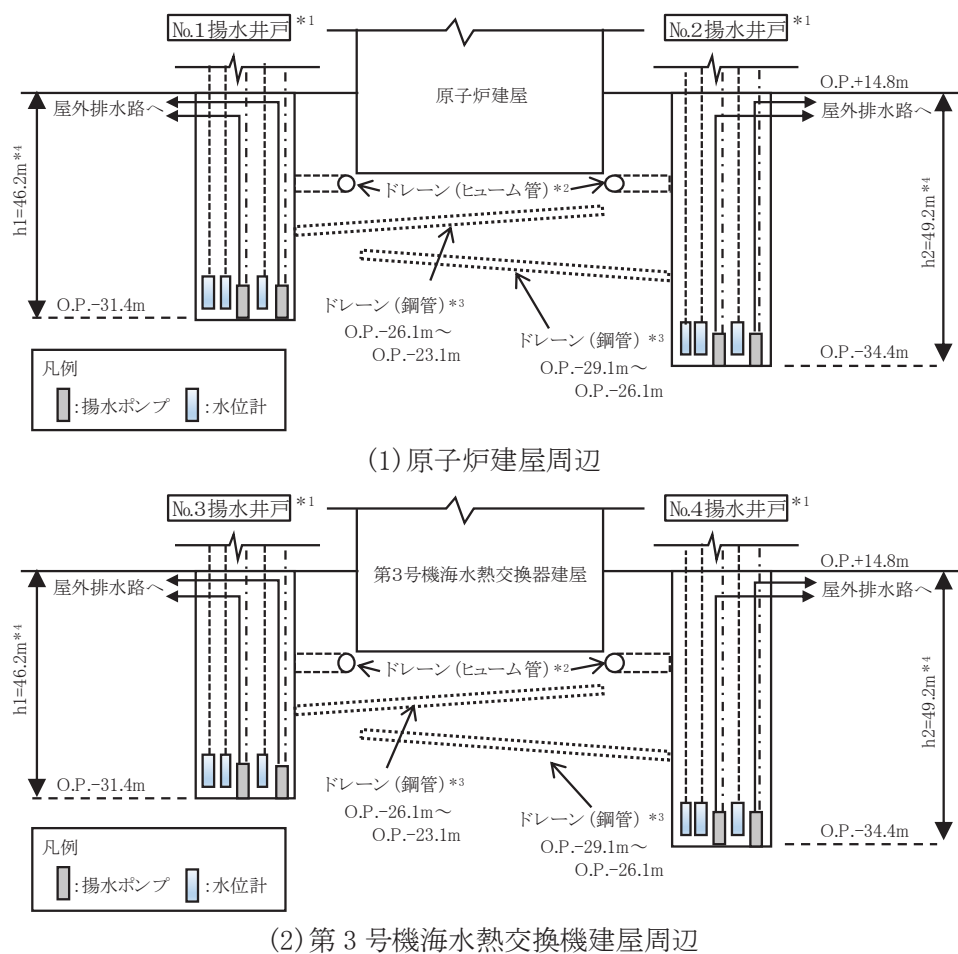
図 2-1 揚水井戸の設置位置

## 2.2 構造概要

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

集水ピット及び排水シャフトは、保守管理・運用管理に配慮し、内径 4mとしている。揚水井戸の高さは地下水を集水するため岩盤内に設置する鋼管の深度に応じて  $h1=46.2\text{m}$ 、 $h2=49.2\text{m}$  の 2 種類があり、原子炉建屋周辺と第 3 号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに設置する。

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



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

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

\* 3 : 鋼管は揚水井戸を起点として放射状に新設する。

\* 4 :  $h1$  及び  $h2$  は、GL より集水ピット底面までの高さを表す。

図 2-2 地下水位低下設備の構成概要



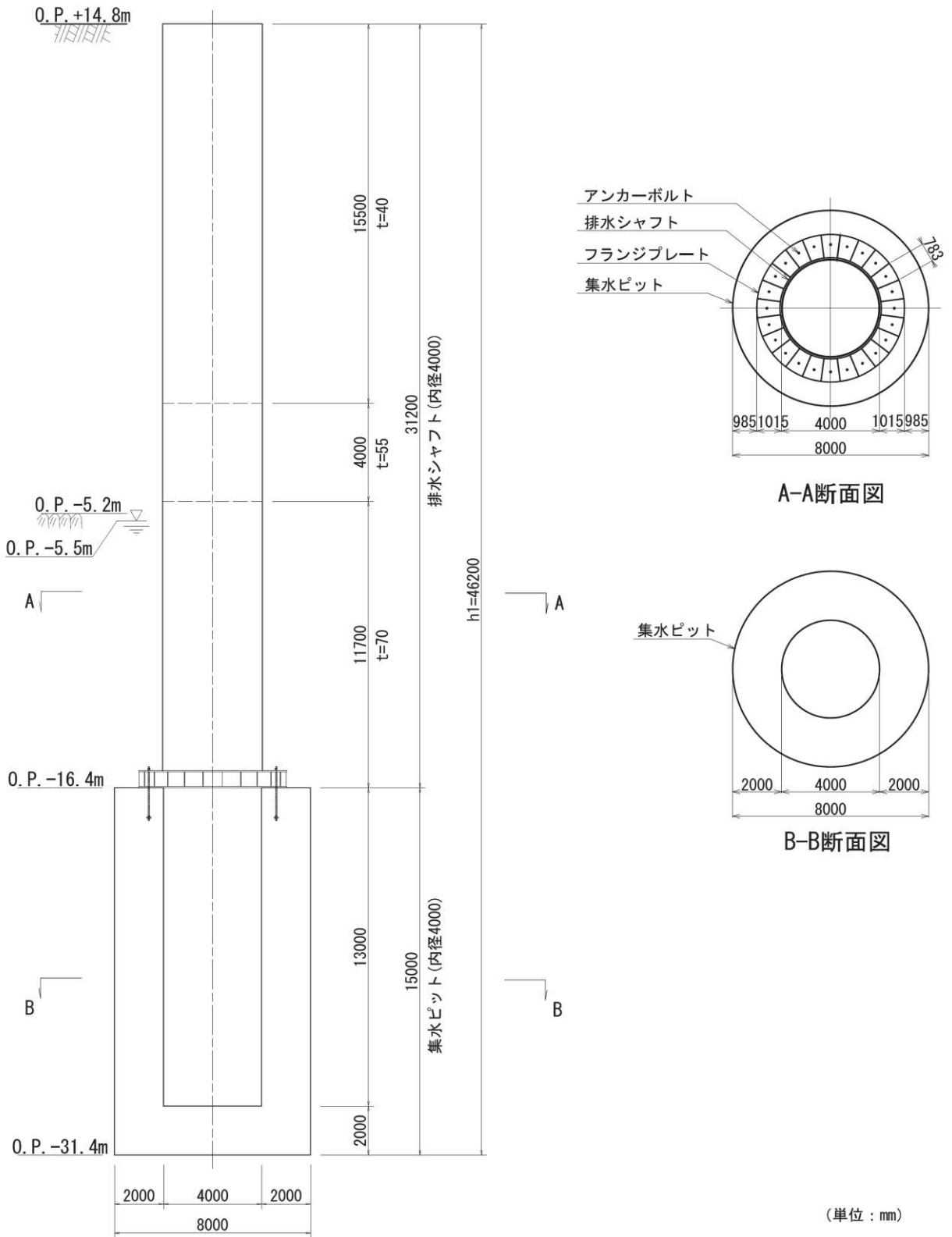


図 2-3(1) No.1 揚水井戸 構造図

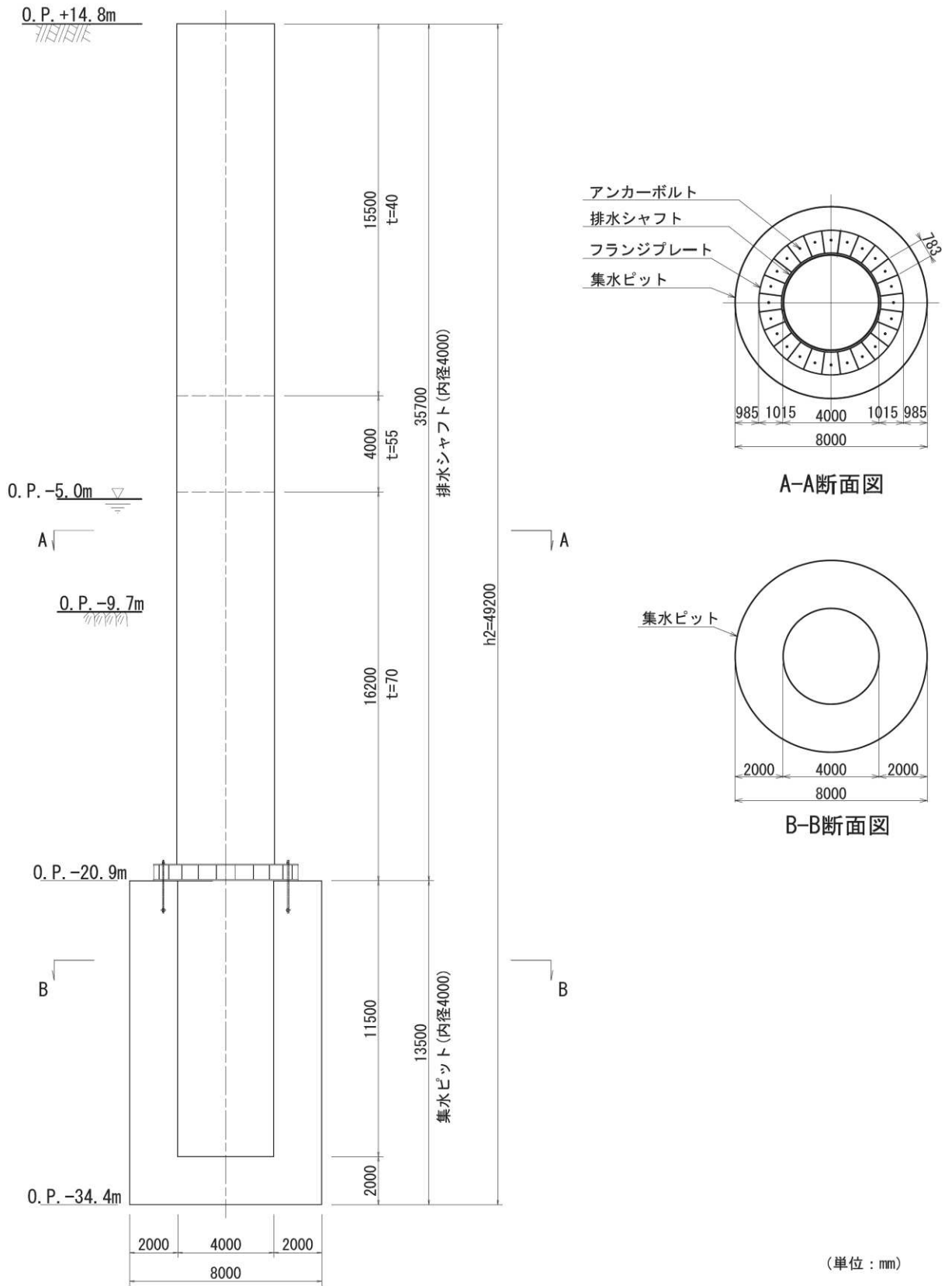


図 2-3 (2) No.2 揚水井戸 構造図

### 2.3 評価方針

地下水位低下設備の機能は、施設の設計の前提が確保されるよう、「地下水位を一定の範囲に保持する」ことであり、揚水井戸は支持・閉塞防止機能を維持する必要がある。揚水井戸を含む地下水位低下設備はCクラスに分類されるが、その機能を維持するため、基準地震動S<sub>s</sub>に対して耐震性を確保する設計としている。

揚水井戸の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

揚水井戸の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

表 2-1 揚水井戸の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	排水シャフト	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		集水ピット	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		接合部	発生する応力（引張力，曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。

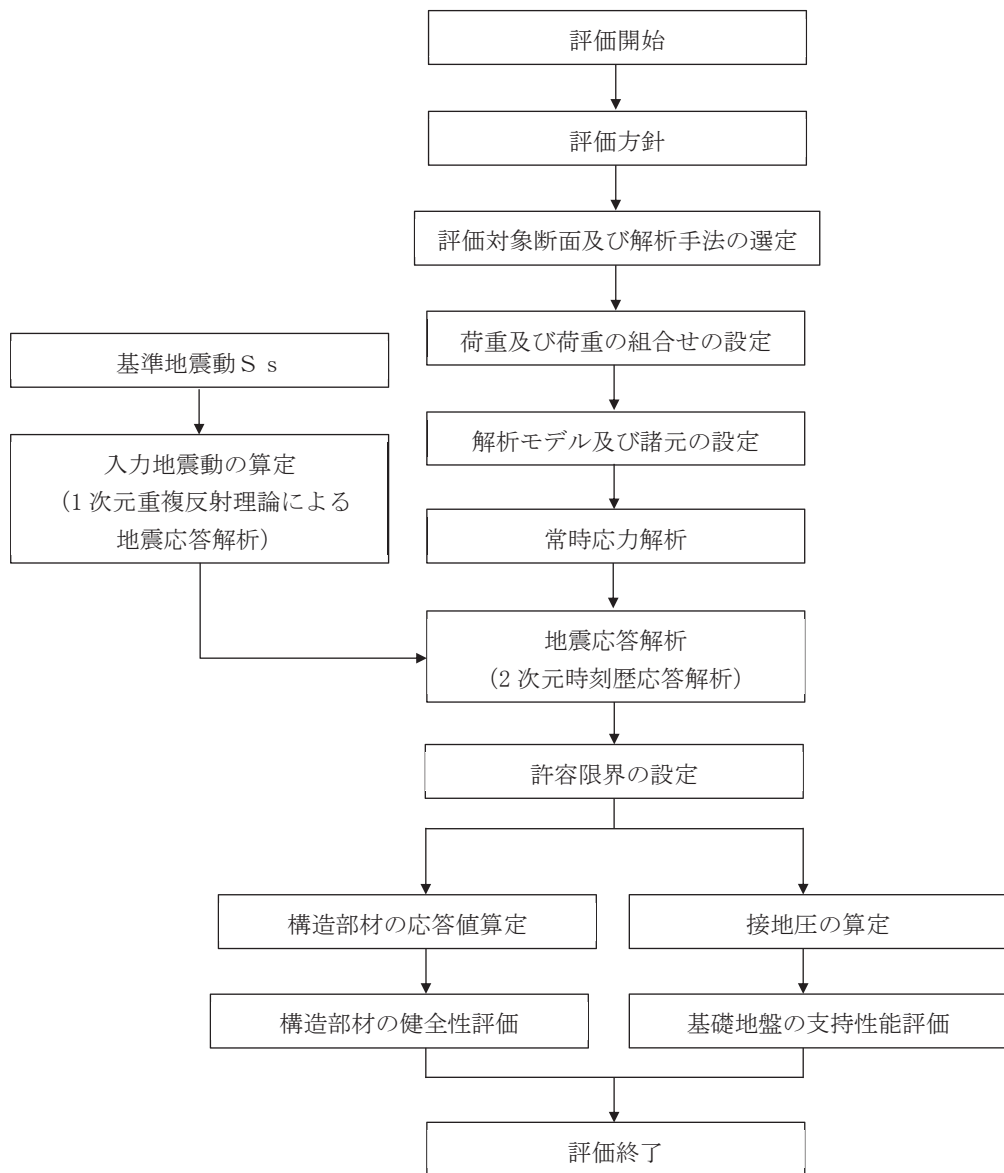


図 2-4 揚水井戸の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

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

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

揚水井戸は多重性を考慮し、原子炉建屋周辺と第3号機海水熱交換器建屋周辺それぞれに、岩盤内に設置する鋼管の深度に応じて、高さ  $h_1=46.2\text{m}$  と  $h_2=49.2\text{m}$  の揚水井戸を設置する。

各建屋に設置する揚水井戸の高さの組合せは同様であることから、高さ  $h_1$ ,  $h_2$  の揚水井戸をそれぞれ評価するため、ここでは原子炉建屋周辺のNo.1 及びNo.2 揚水井戸を評価対象に選定する。

評価対象断面は周囲の建屋配置状況を踏まえ、NS 方向の断面とする。

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

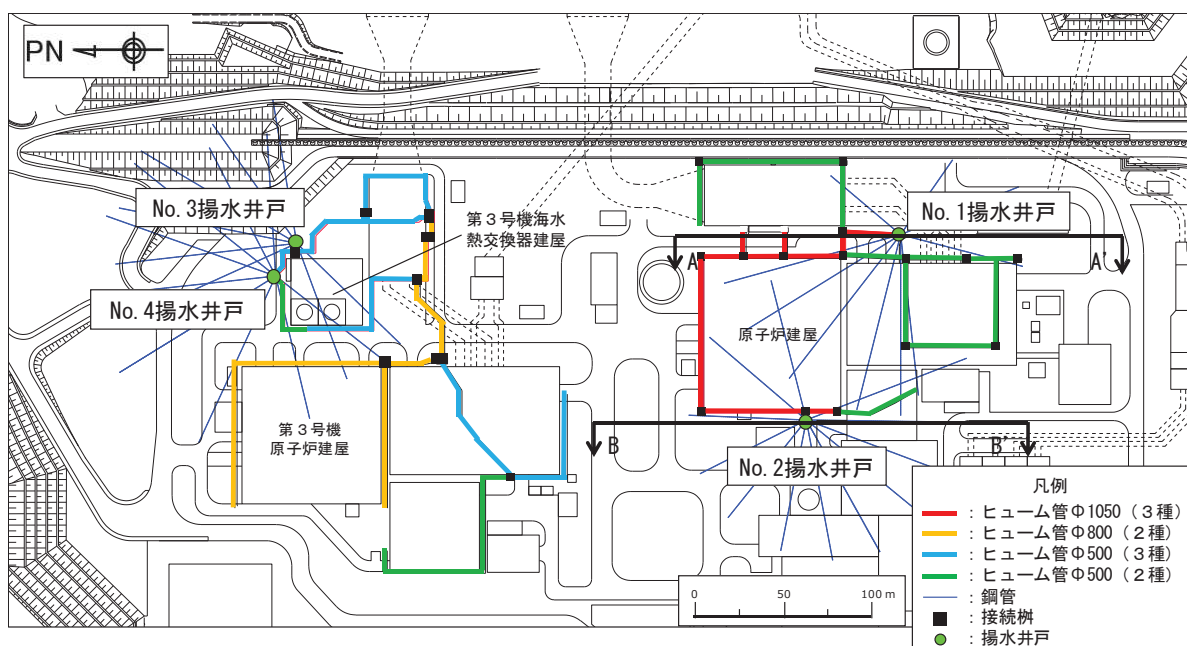


図 3-1 揚水井戸 評価対象揚水井戸 断面位置図

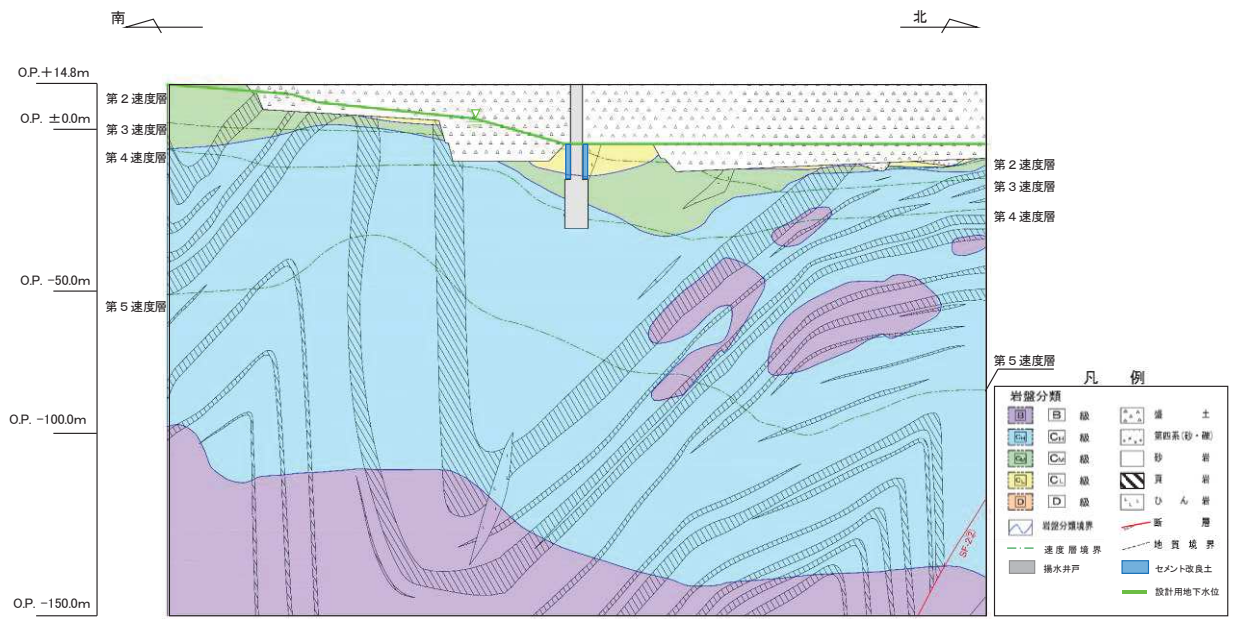


図 3-2(1) No.1 揚水井戸 評価対象断面図 (A' -A断面)

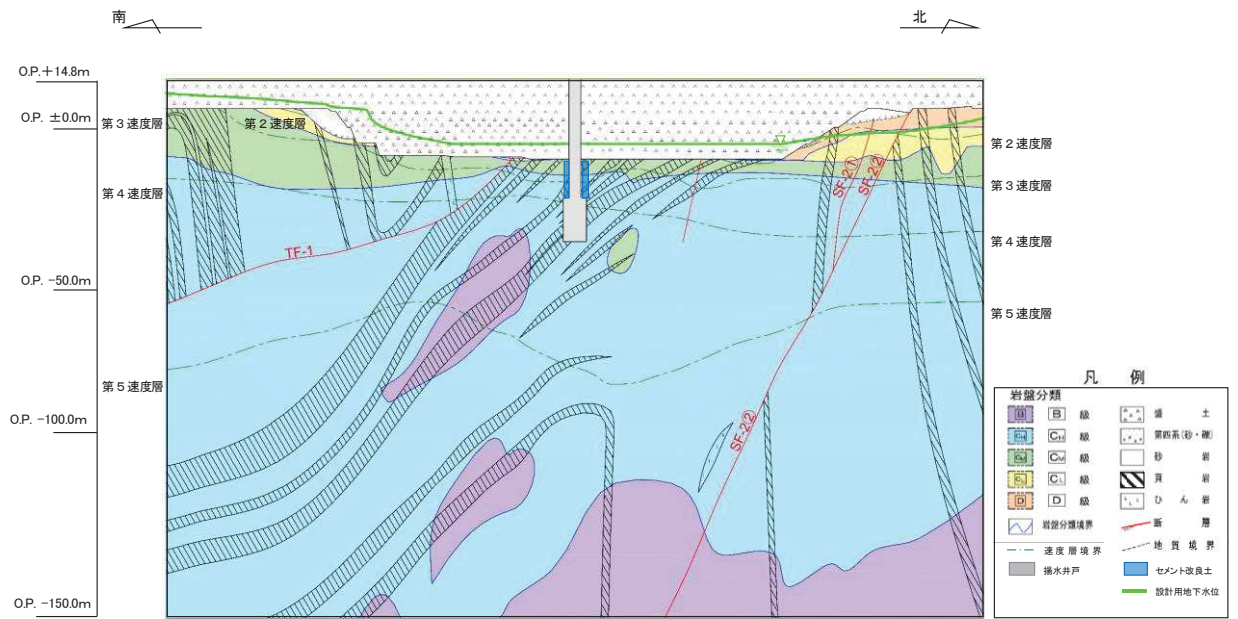


図 3-2(2) No.2 揚水井戸 評価対象断面図 (B' -B断面)



### 3.2 解析方法

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

地震応答解析は、盛土及び岩盤等の周辺地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法により、基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析を行う。

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

有効応力解析には、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0\_2」を使用し、全応力解析には解析コード「SLAP ver6.64」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 構造部材

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

#### 3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

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

表 3-1 解析ケース

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

#### 3.2.3 減衰定数

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

#### 3.2.4 解析ケースの選定

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



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

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動(位相)	S <sub>s</sub> -D1	++*	○	基準地震動S <sub>s</sub> (7波) 及び水 平動の位相反転を考慮した地震 動 (7波) を加えた全14波を用 いて実施するケース① (基本ケ ース) の結果から、排水シャフ ト、集水ピット、接合部及び基 礎地盤の支持力の照査において 照査値が 0.5 以上となる照査項 目のうち、部位ごとの照査値が 最も厳くなる地震動を用いてケ ース②、③を実施する。	
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -D2	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -D3	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F1	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F2	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -F3	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -N1	++*	○		
		-+*	○		

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

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

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

#### 3.3.1 耐震評価上考慮する状態

揚水井戸の地震応答解折において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

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

##### (2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

##### (4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.3.2 荷重

揚水井戸の地震応答解折において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

##### (2) 積載荷重(P)

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

##### (3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重(S<sub>s</sub>)

地震力は、基準地震動 S<sub>s</sub> による荷重を考慮する。

### 3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

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

G : 固定荷重

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

S<sub>s</sub> : 地震荷重

### 3.4 入力地震動

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

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

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

入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

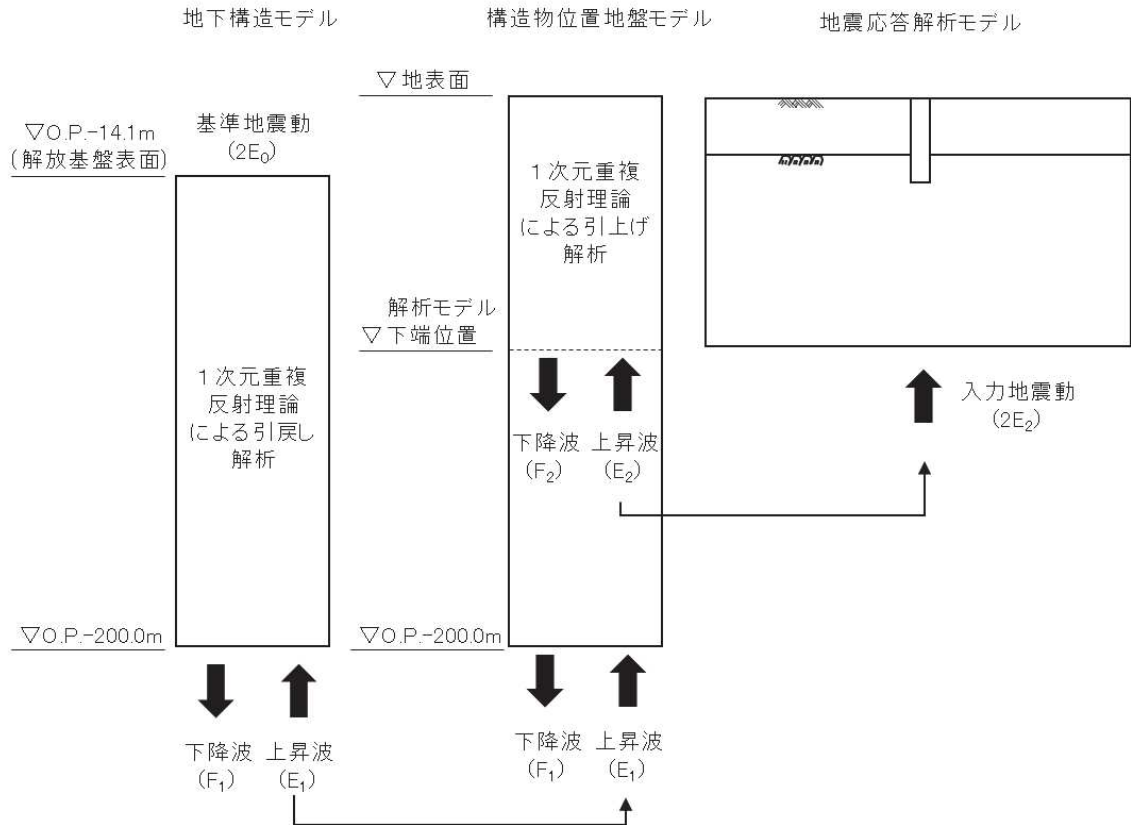
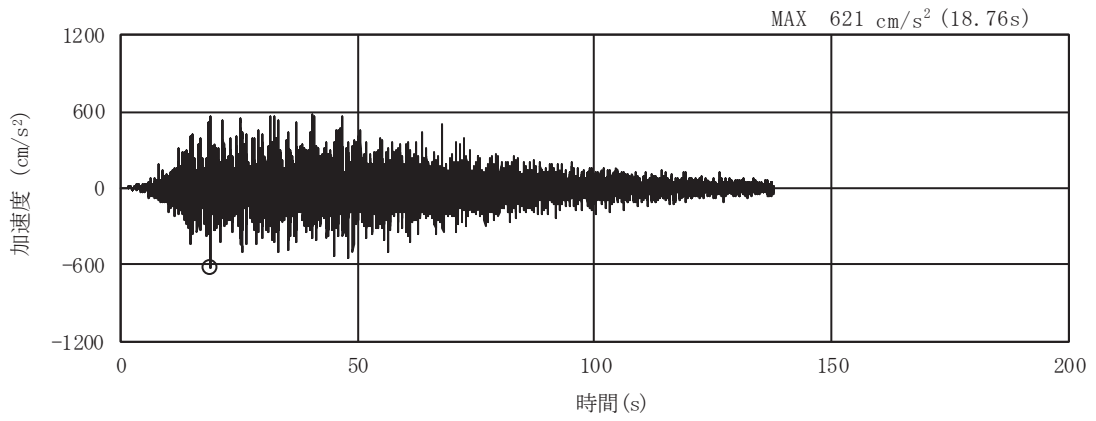
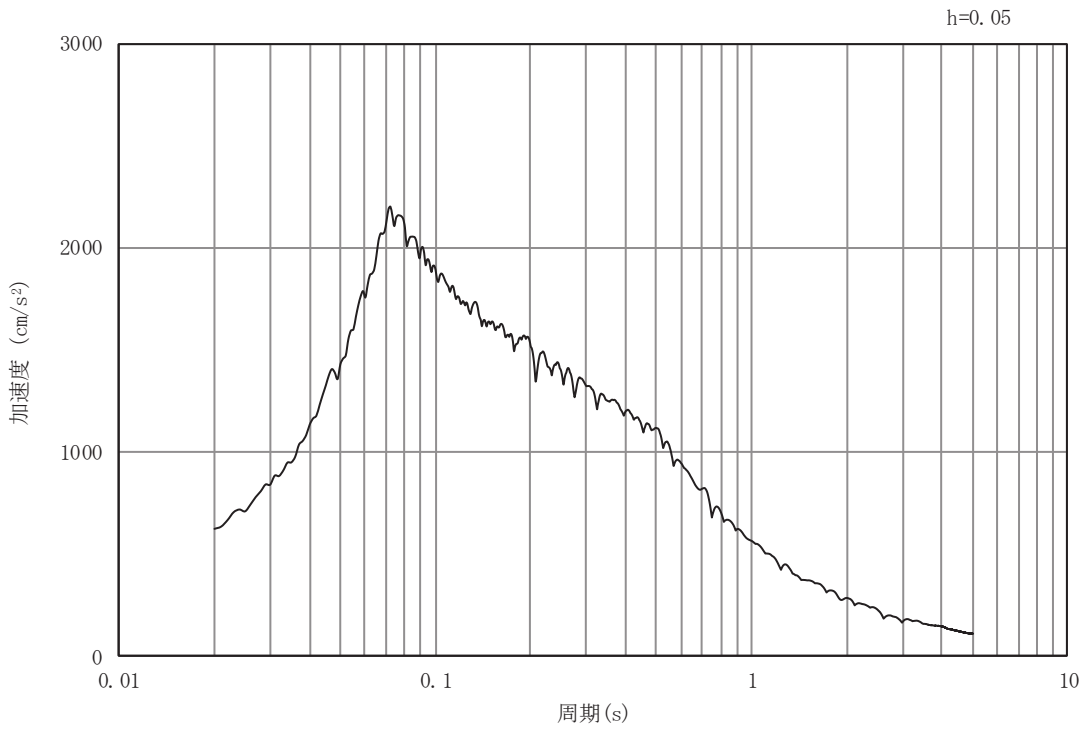


図 3-3 入力地震動算定の概念図

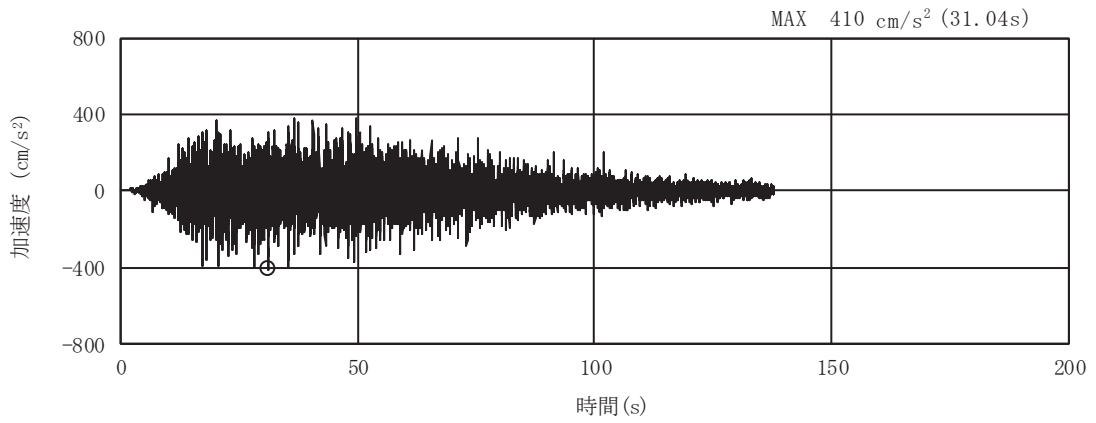


(a) 加速度時刻歴波形

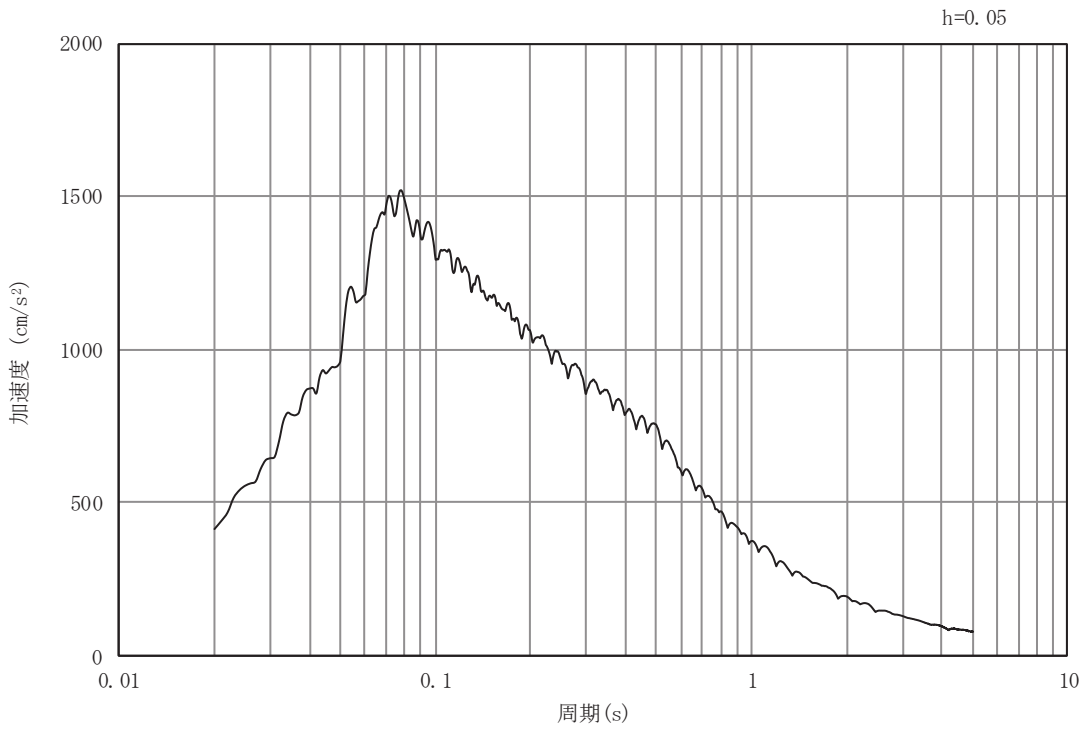


(b) 加速度応答スペクトル

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

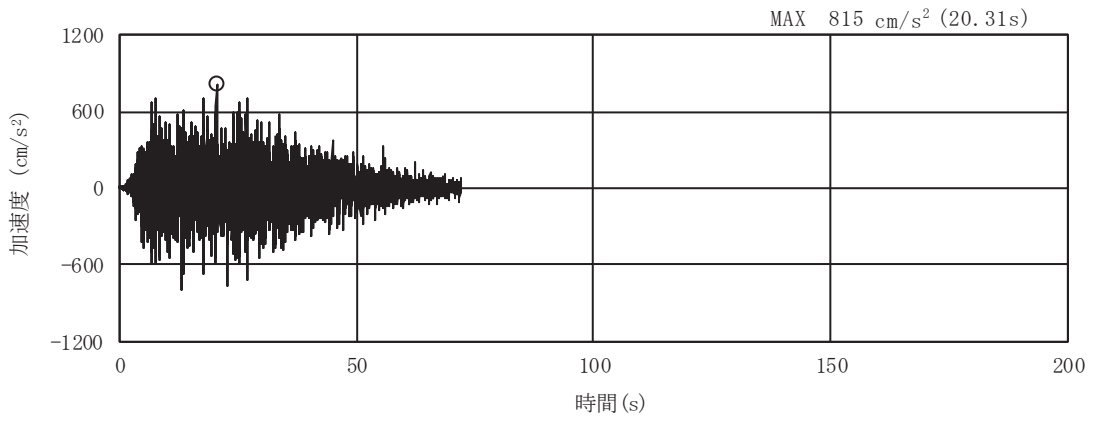


(a) 加速度時刻歴波形

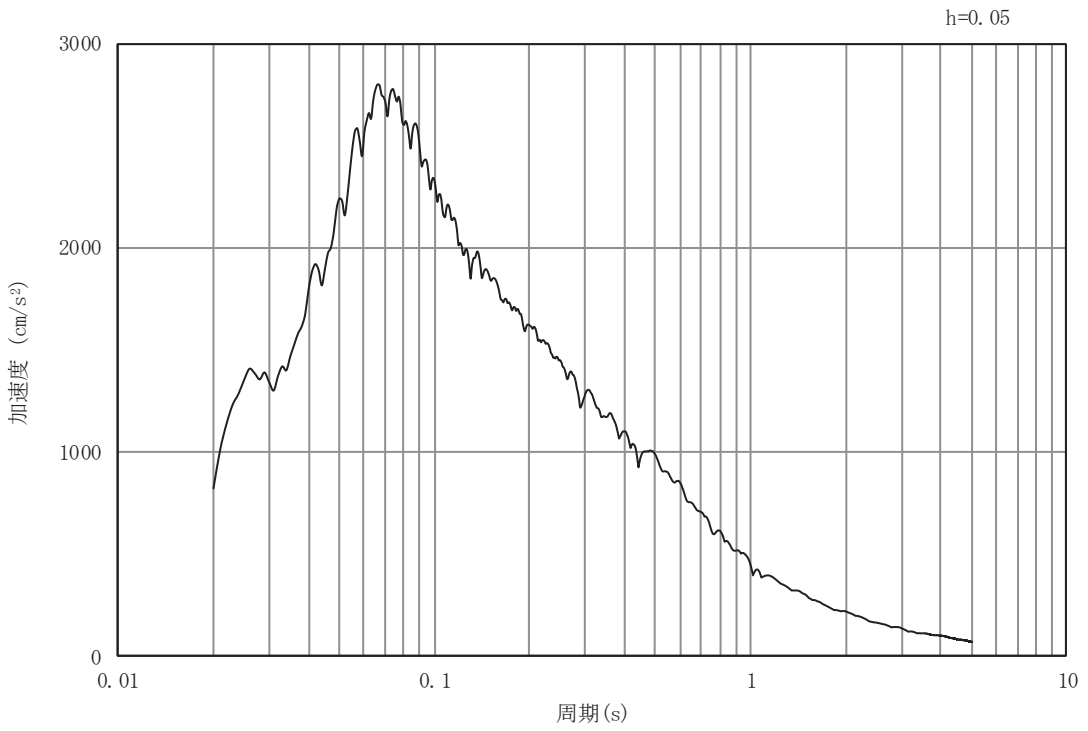


(b) 加速度応答スペクトル

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

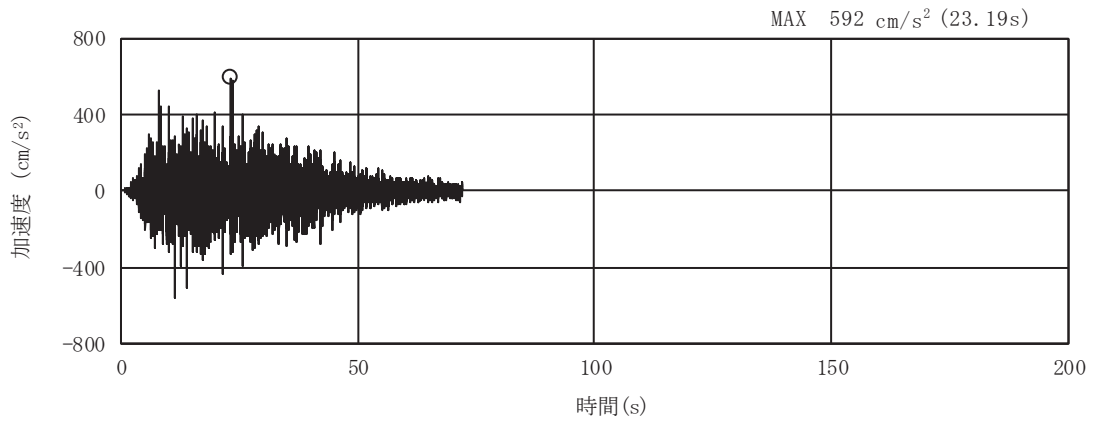


(a) 加速度時刻歴波形

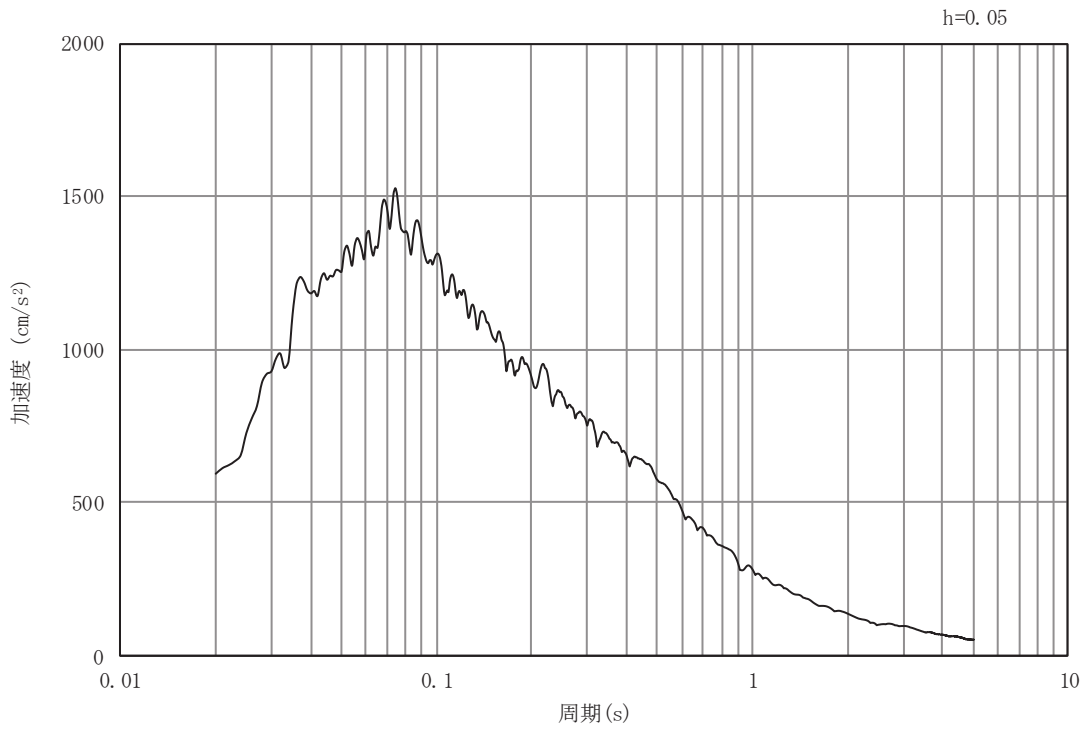


(b) 加速度応答スペクトル

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



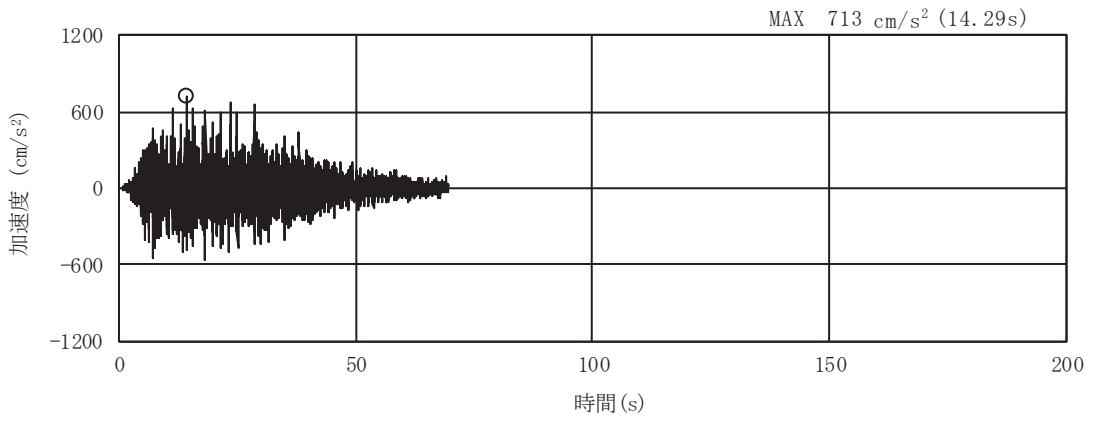
(a) 加速度時刻歴波形



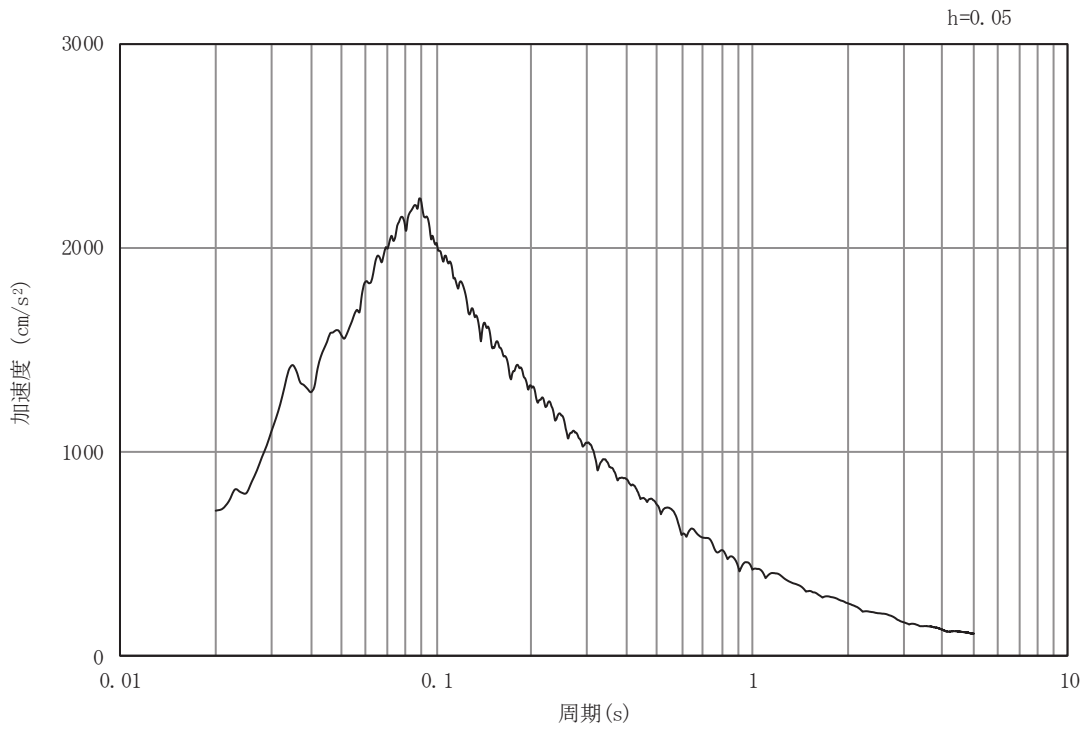
(b) 加速度応答スペクトル

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



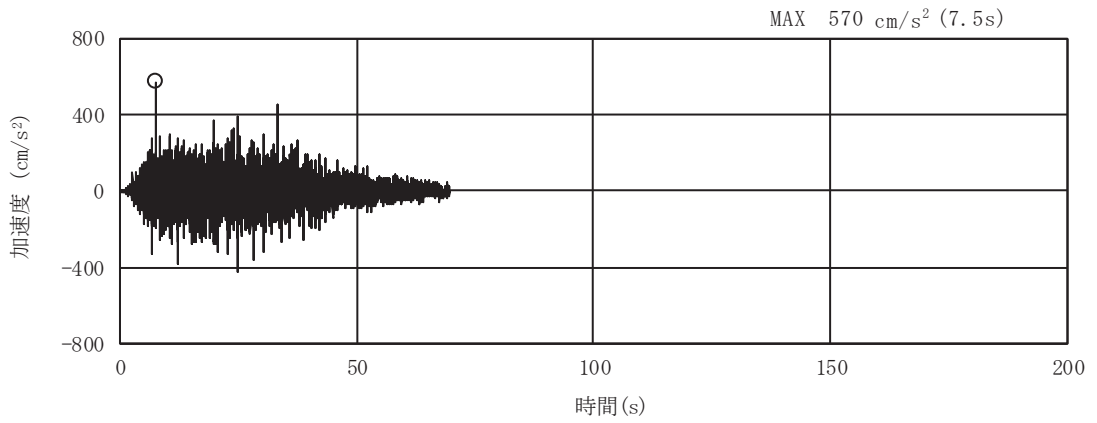


(a) 加速度時刻歴波形

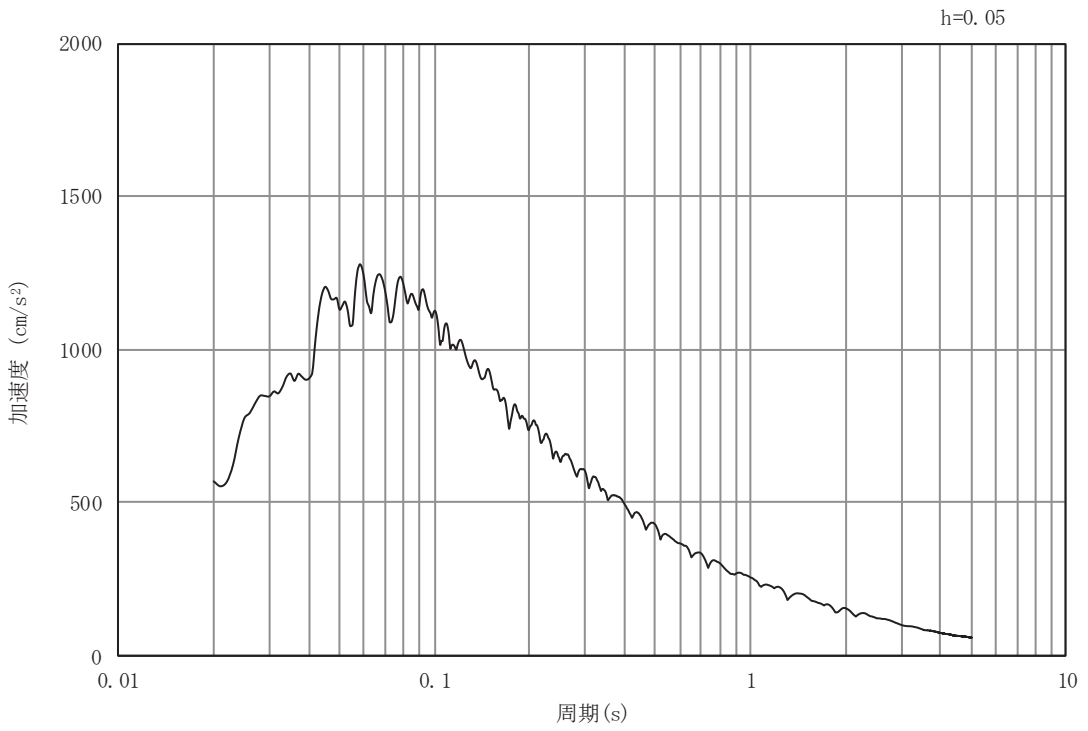


(b) 加速度応答スペクトル

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

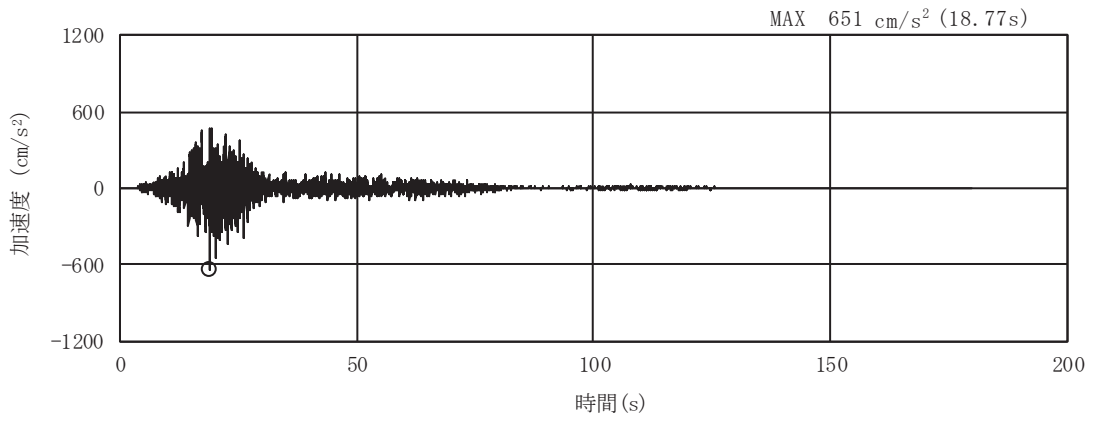


(a) 加速度時刻歴波形

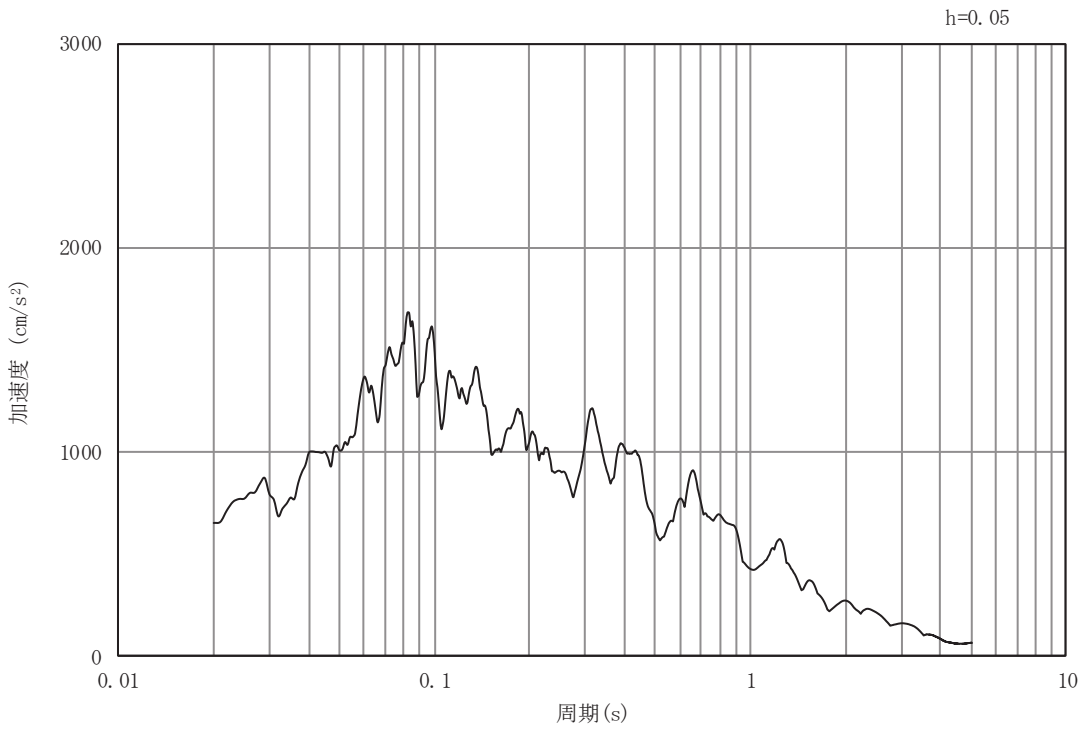


(b) 加速度応答スペクトル

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

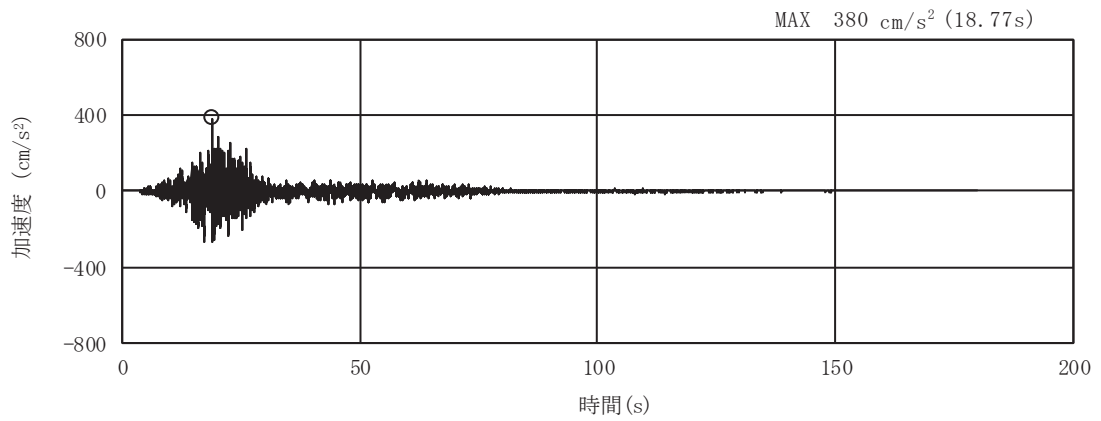


(a) 加速度時刻歴波形

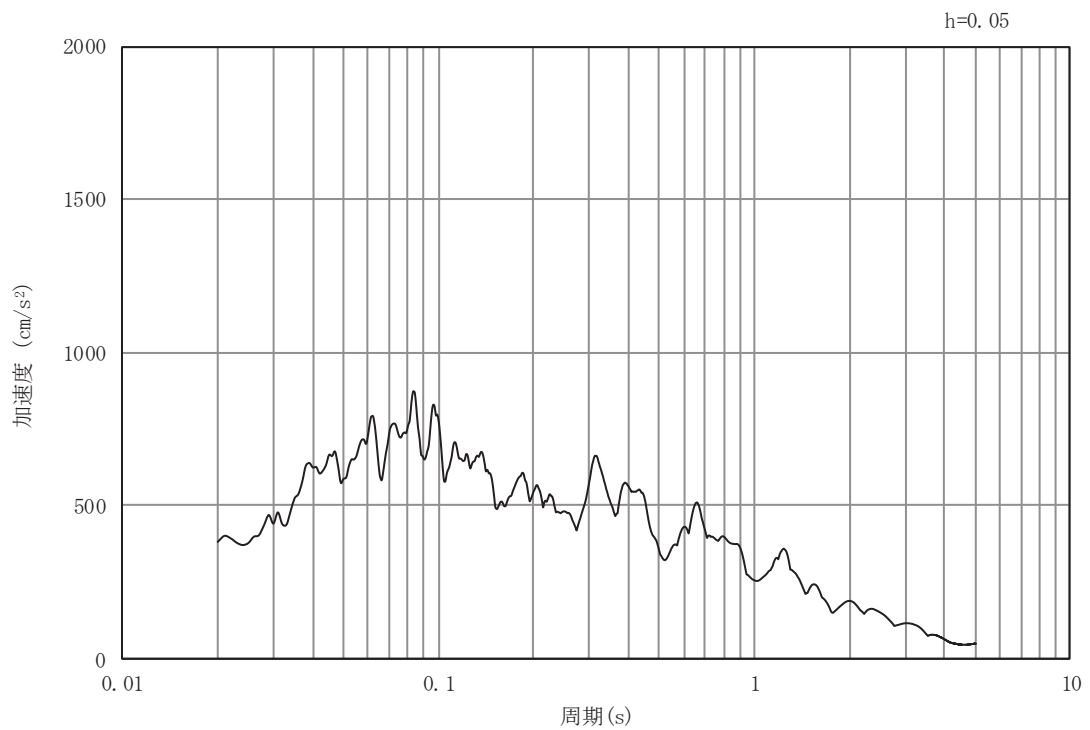


(b) 加速度応答スペクトル

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

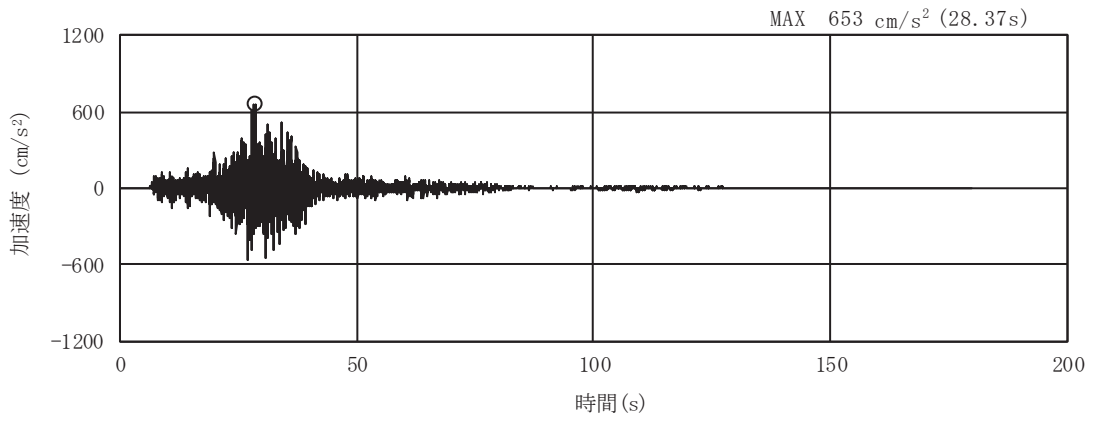


(a) 加速度時刻歴波形

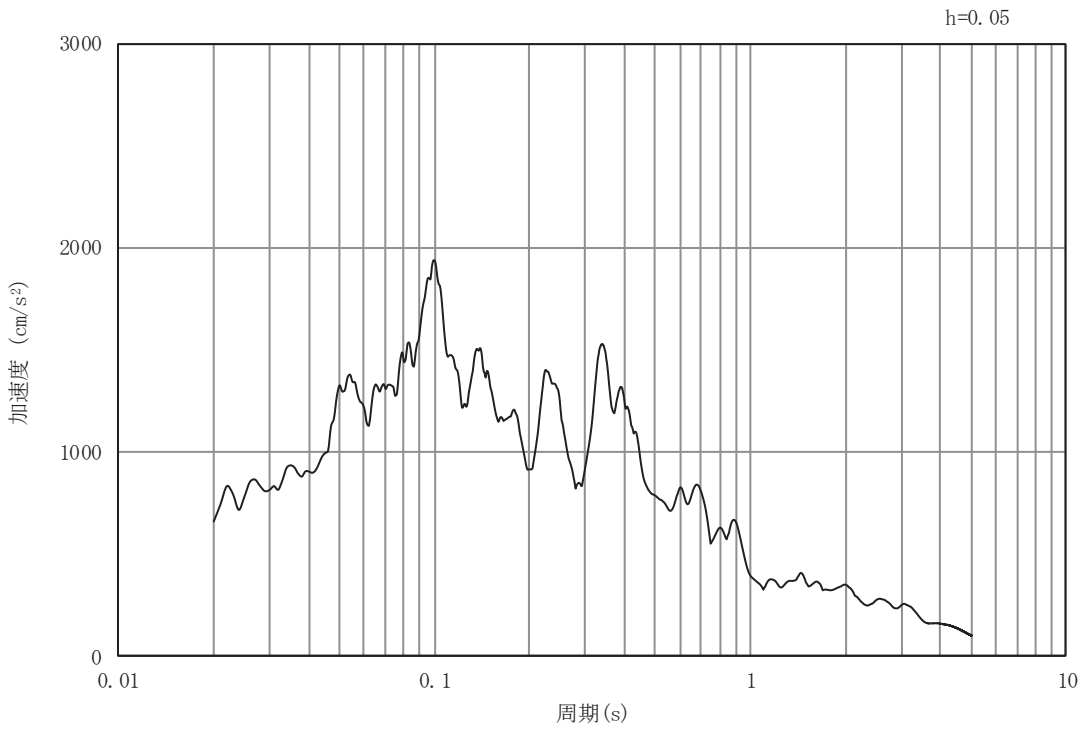


(b) 加速度応答スペクトル

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

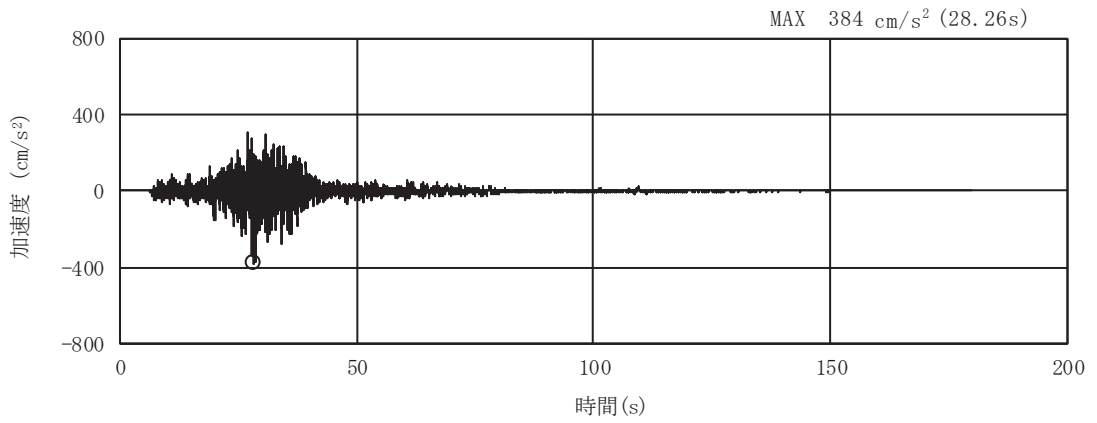


(a) 加速度時刻歴波形

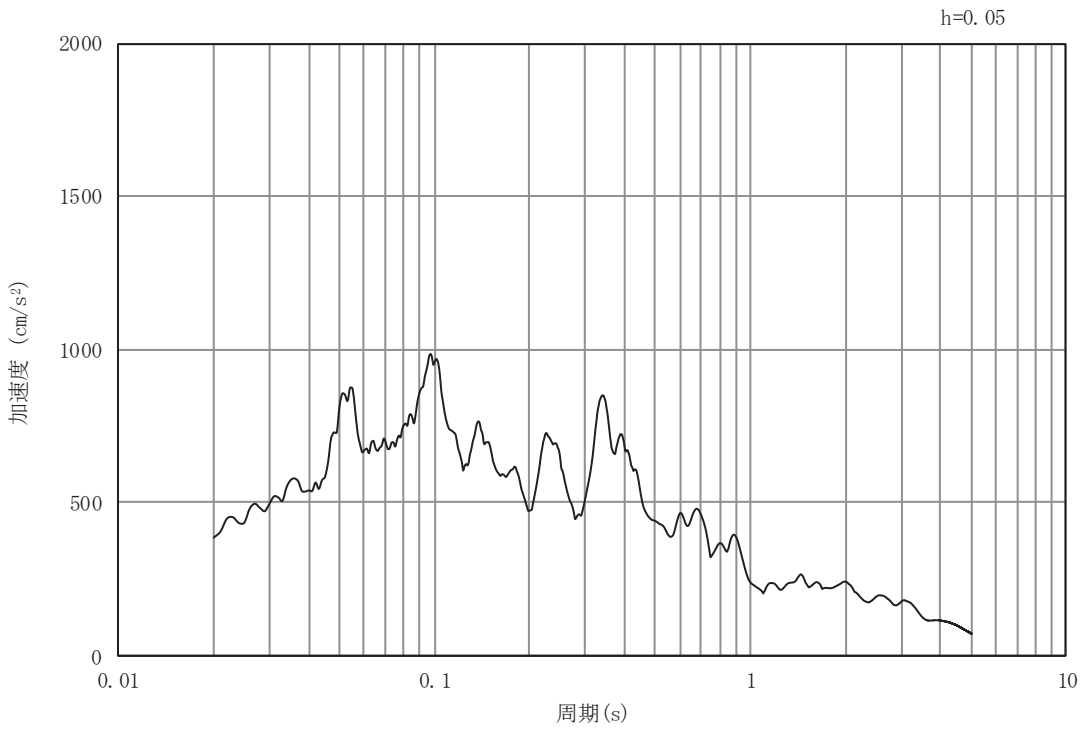


(b) 加速度応答スペクトル

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

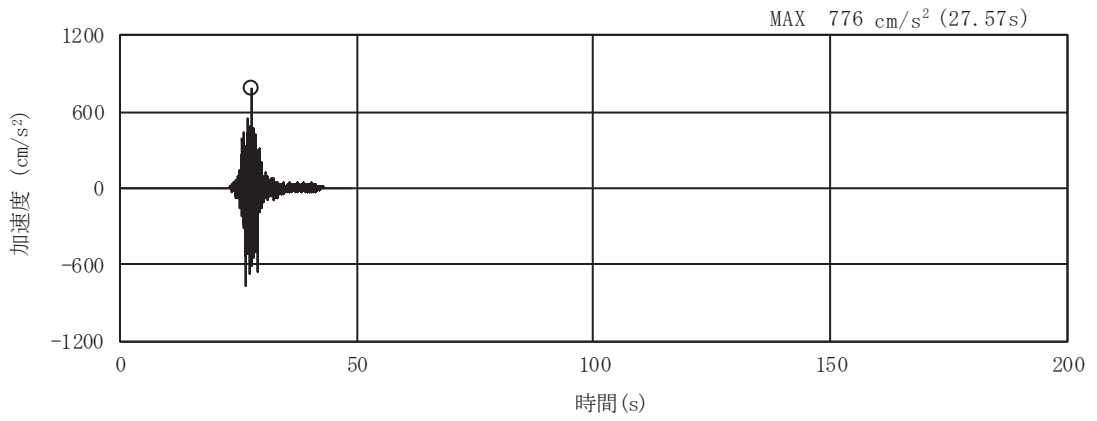


(a) 加速度時刻歴波形

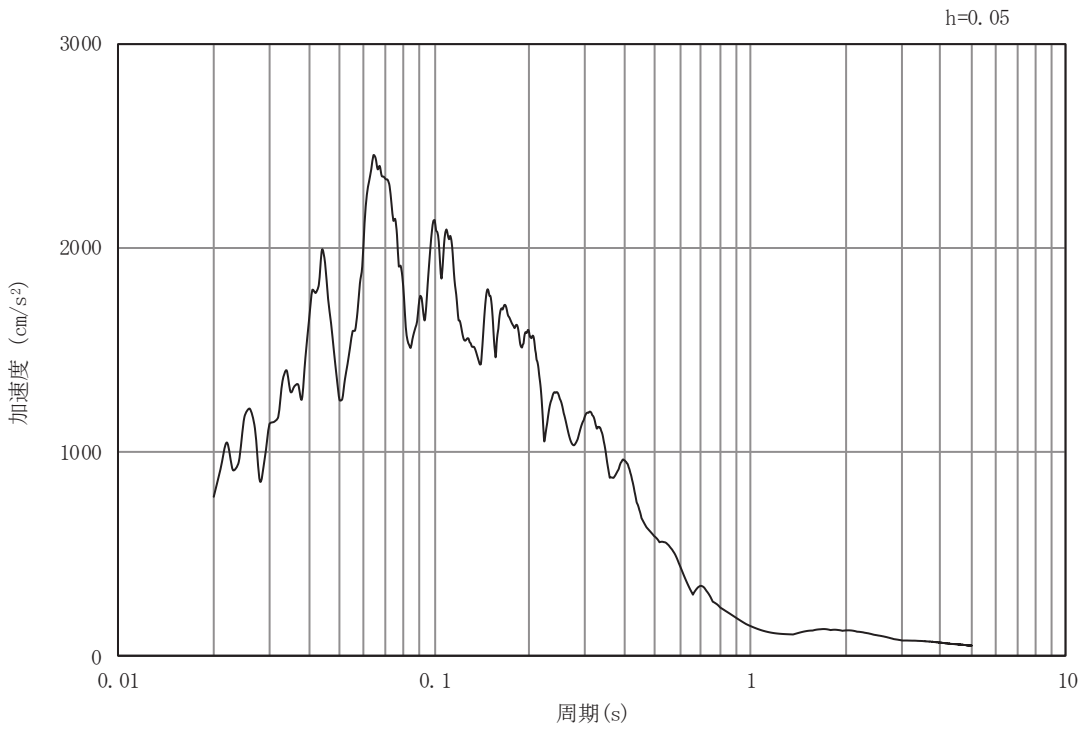


(b) 加速度応答スペクトル

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

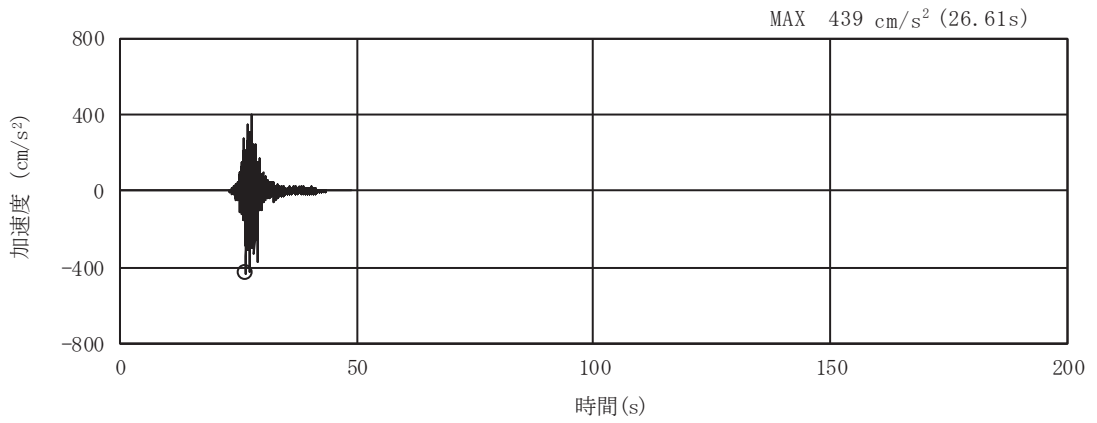


(a) 加速度時刻歴波形

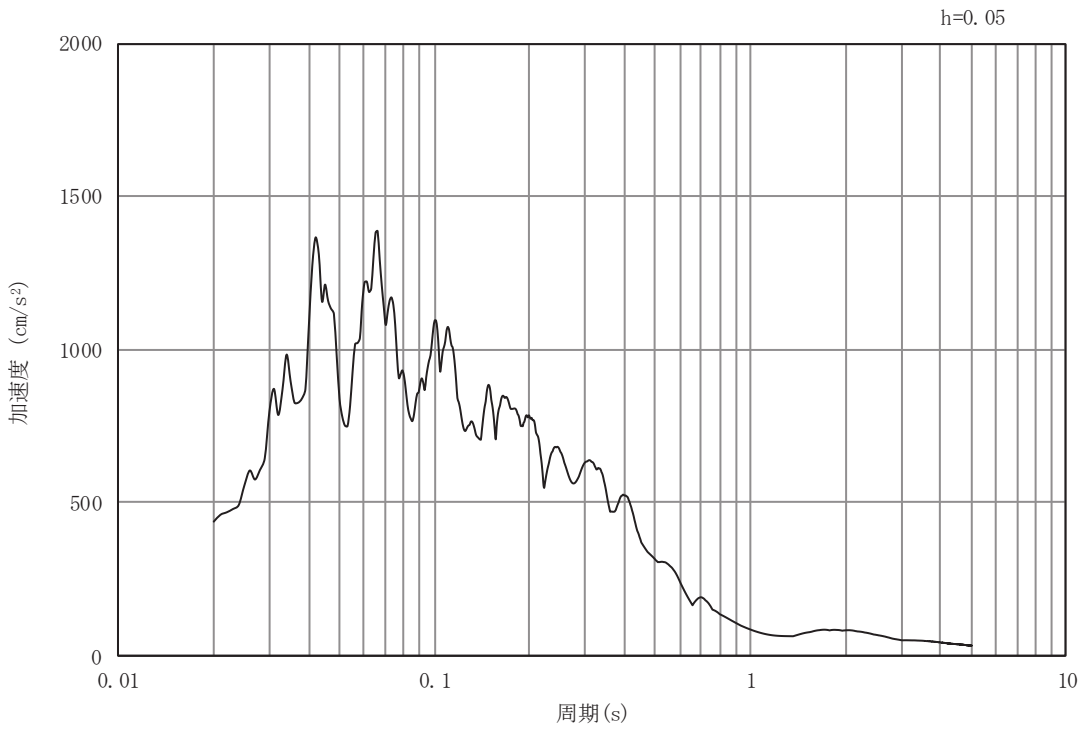


(b) 加速度応答スペクトル

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



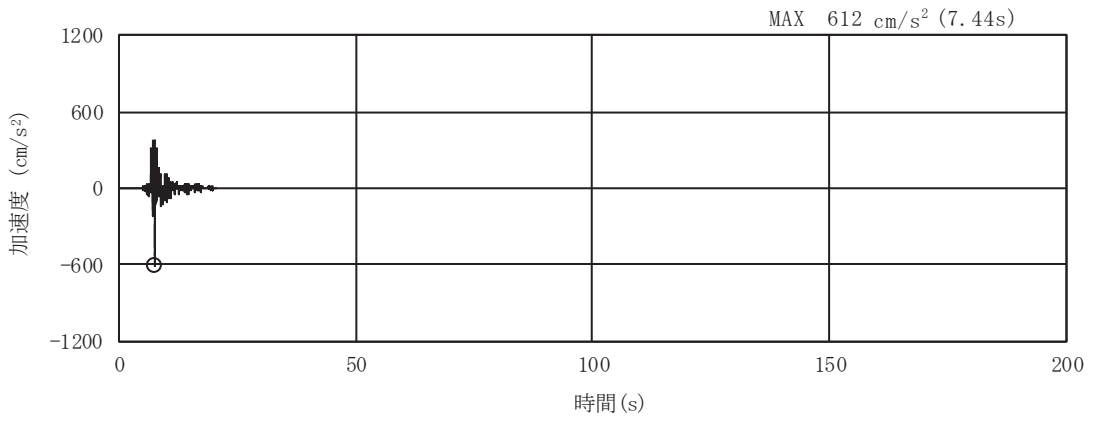
(a) 加速度時刻歴波形



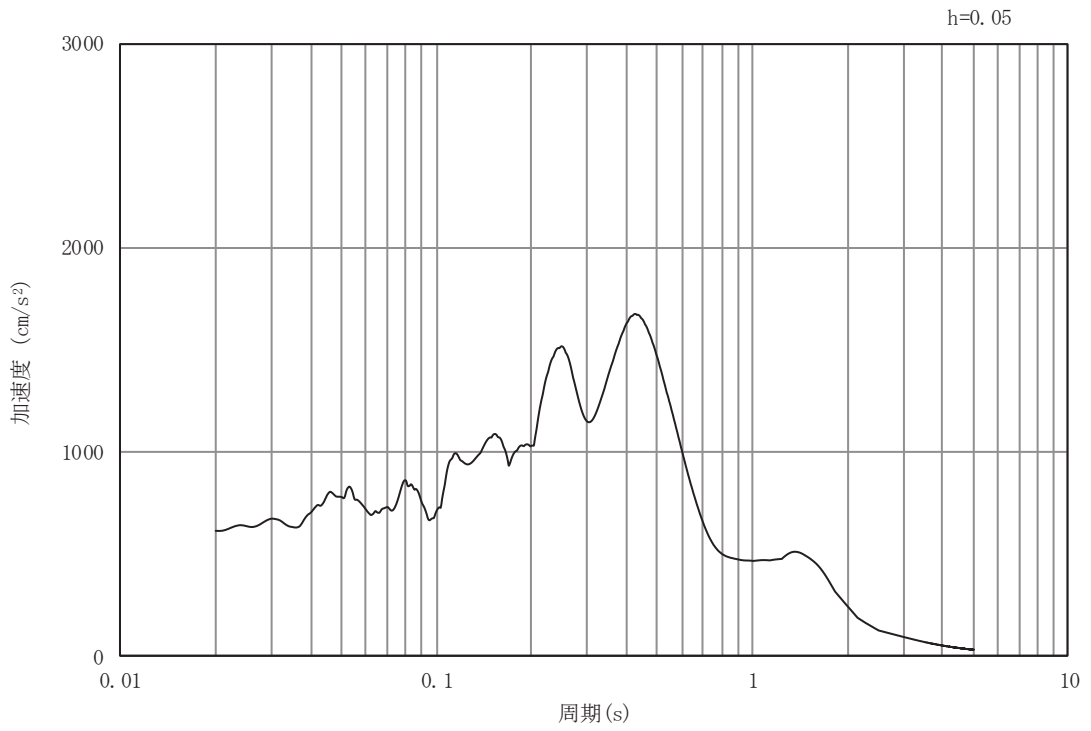
(b) 加速度応答スペクトル

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



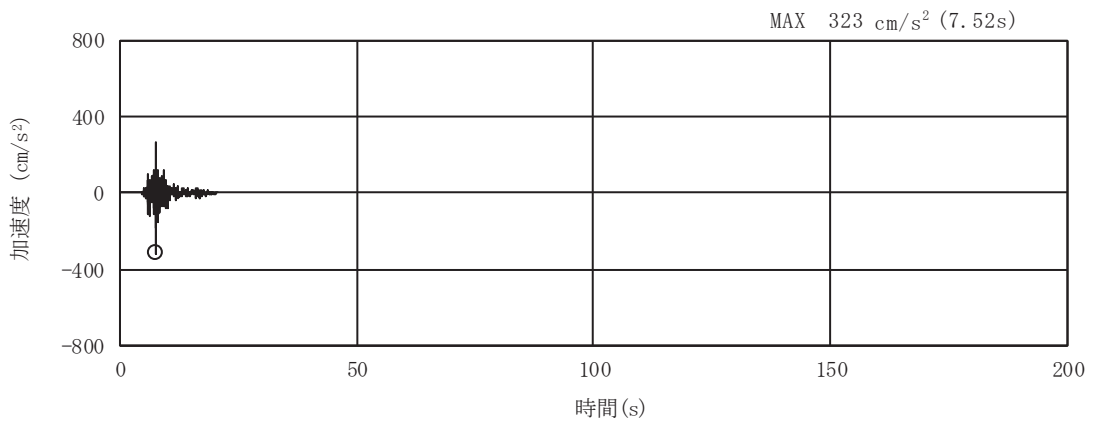


(a) 加速度時刻歴波形

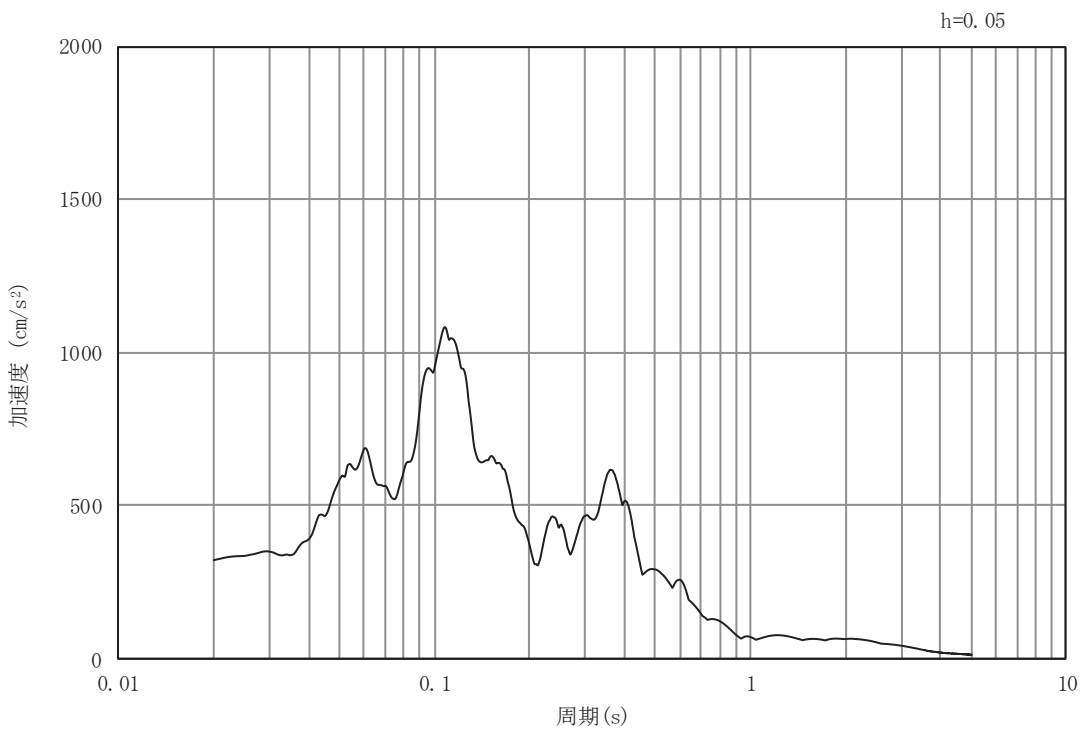


(b) 加速度応答スペクトル

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

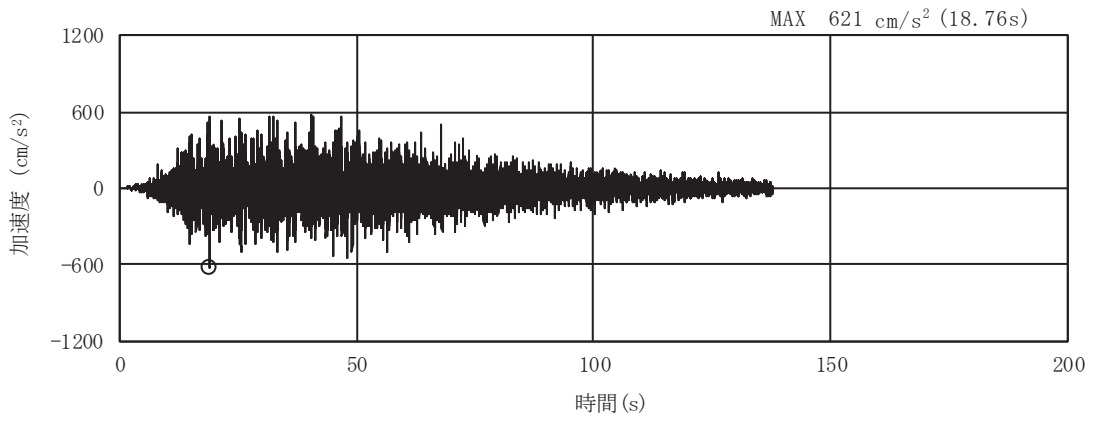


(a) 加速度時刻歴波形

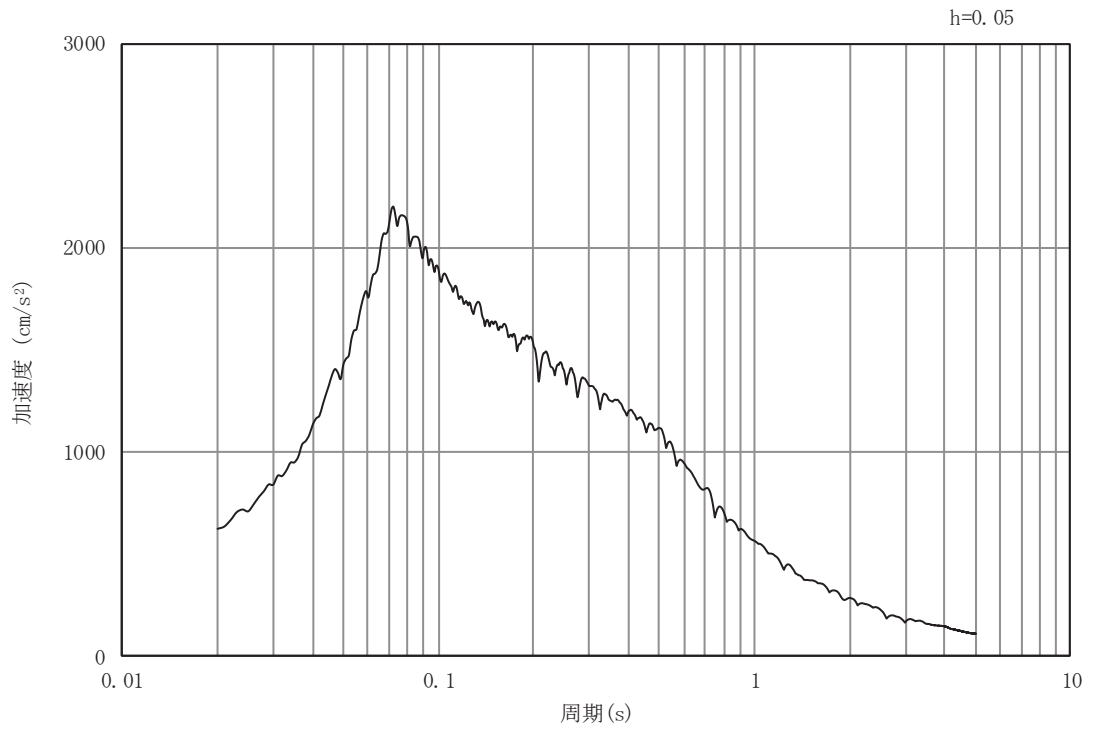


(b) 加速度応答スペクトル

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

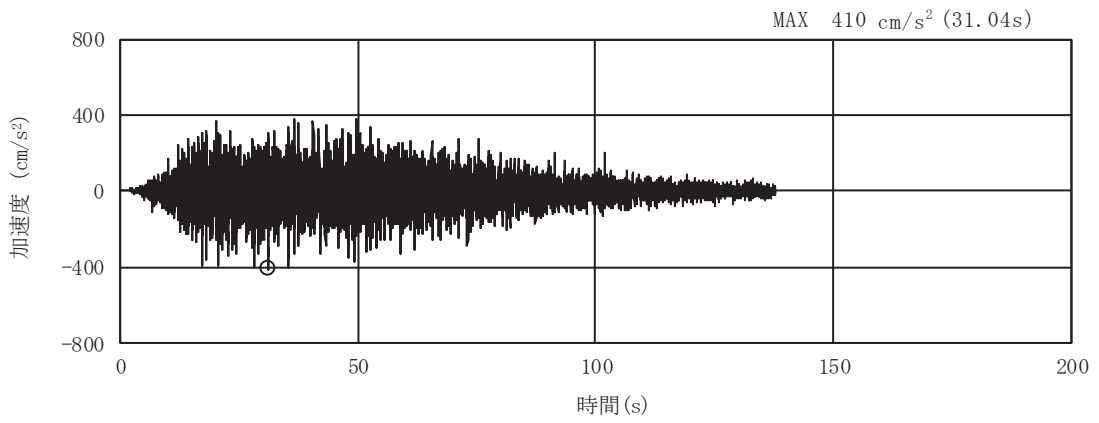


(a) 加速度時刻歴波形

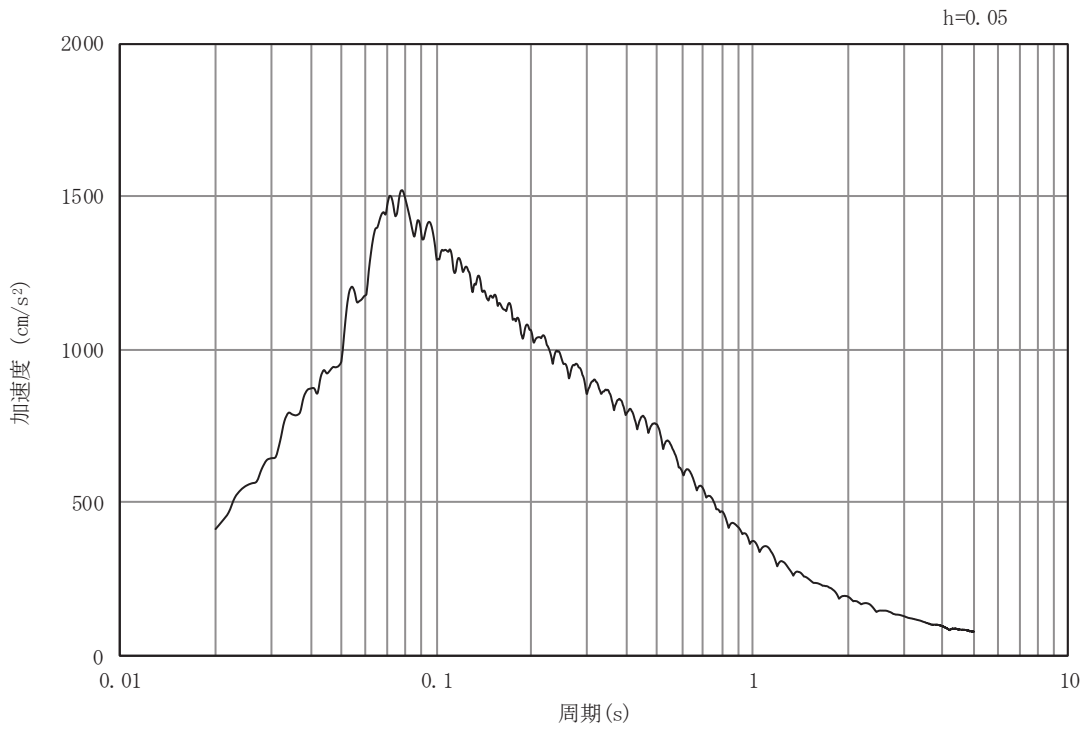


(b) 加速度応答スペクトル

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

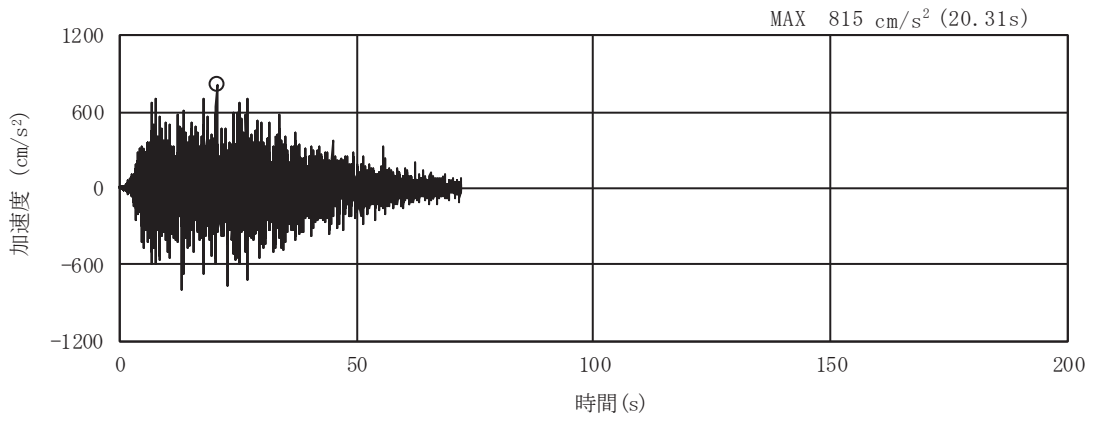


(a) 加速度時刻歴波形

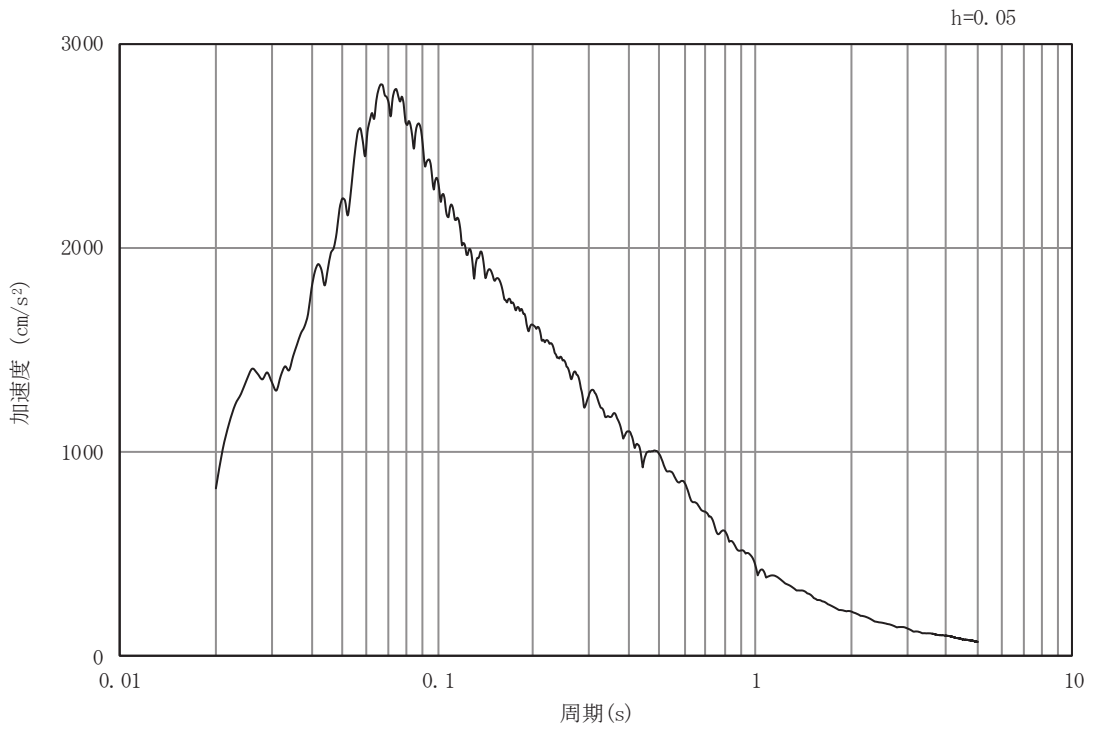


(b) 加速度応答スペクトル

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

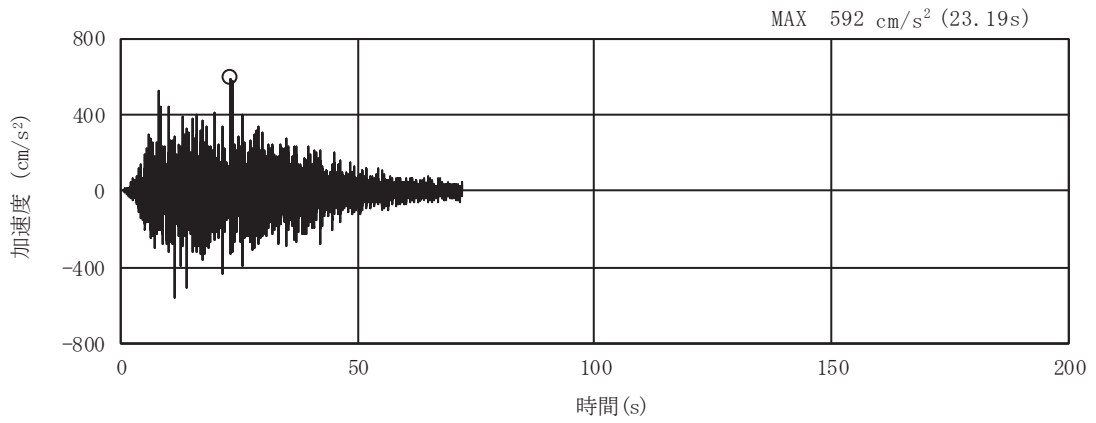


(a) 加速度時刻歴波形

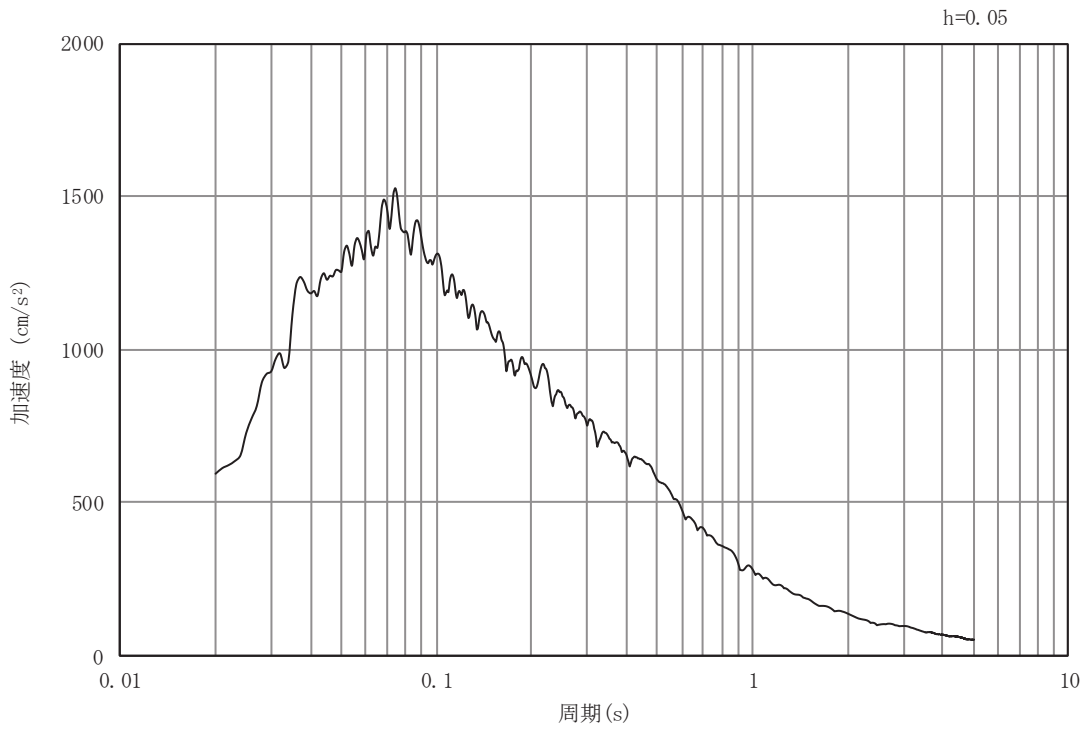


(b) 加速度応答スペクトル

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

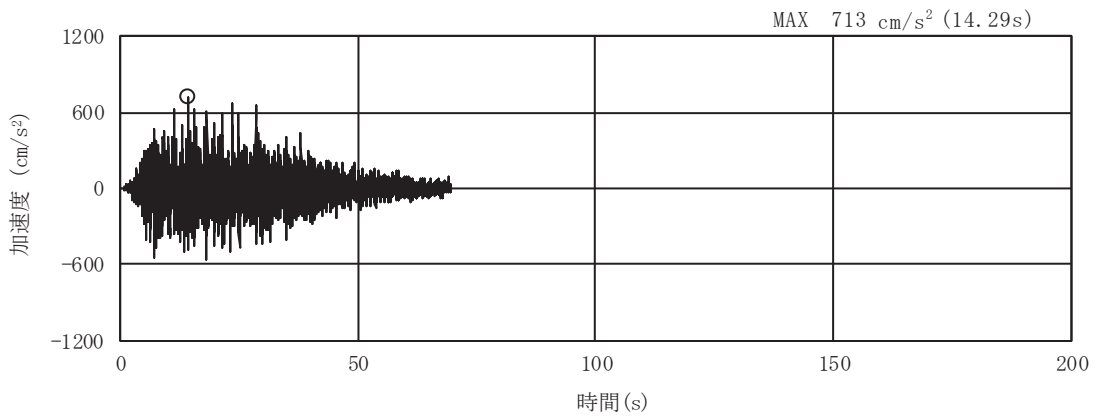


(a) 加速度時刻歴波形

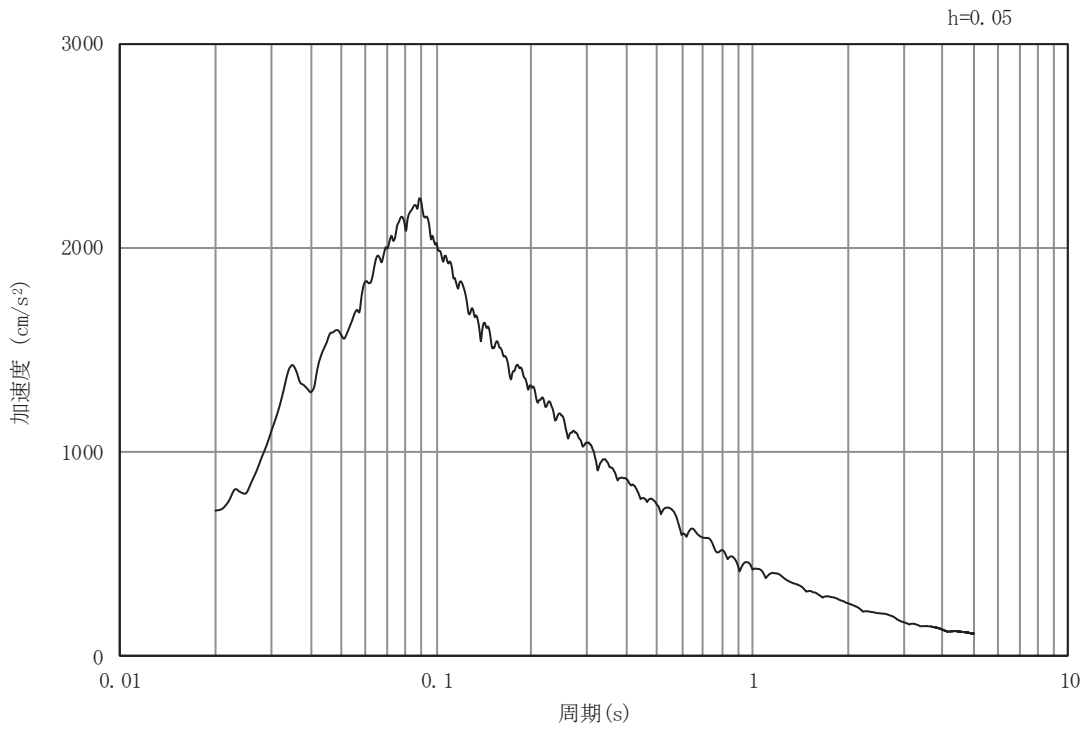


(b) 加速度応答スペクトル

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

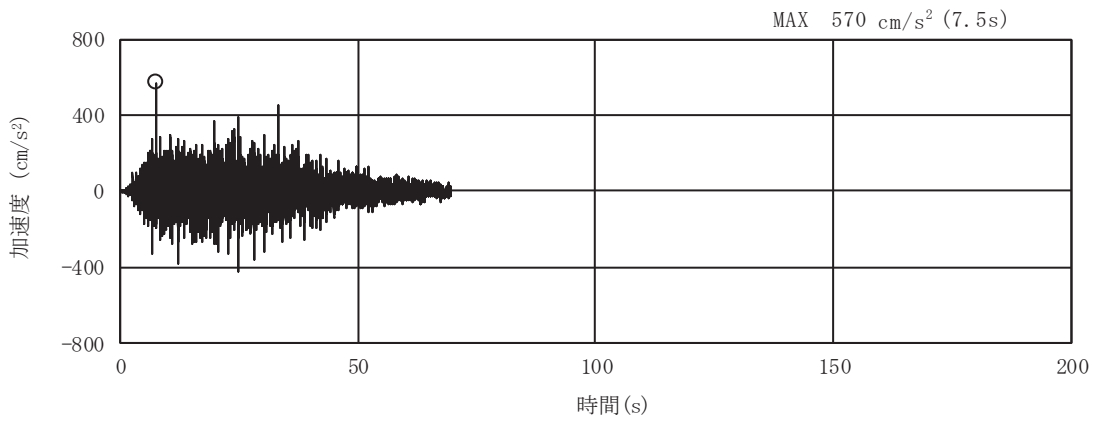


(a) 加速度時刻歴波形

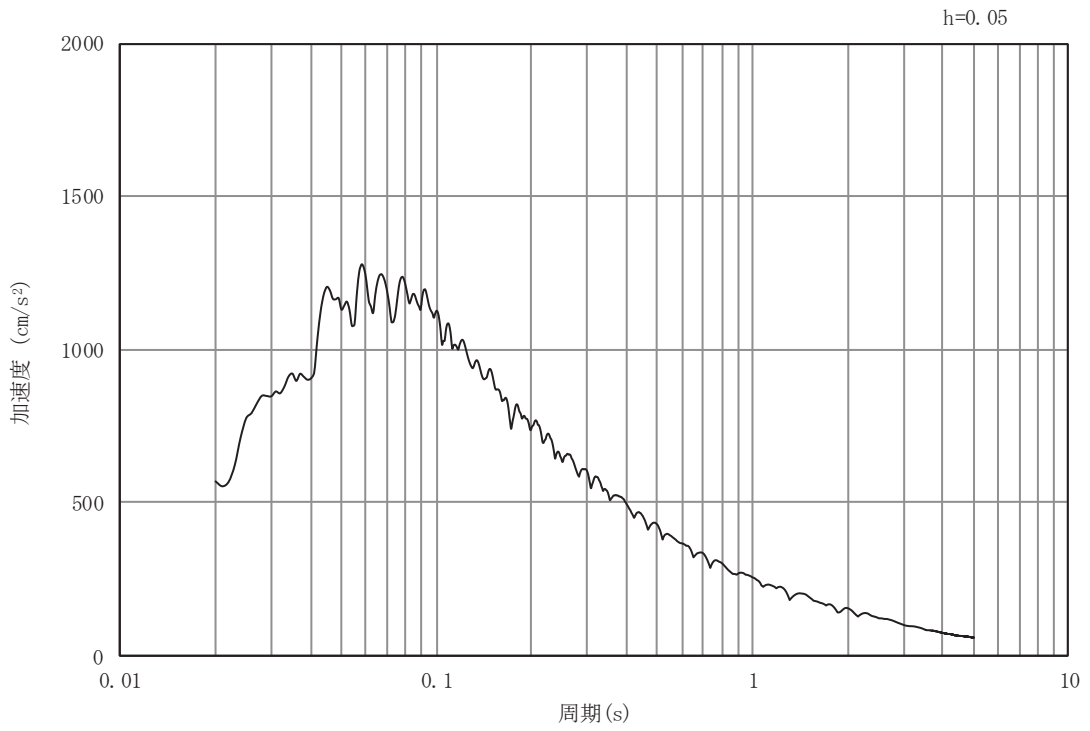


(b) 加速度応答スペクトル

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



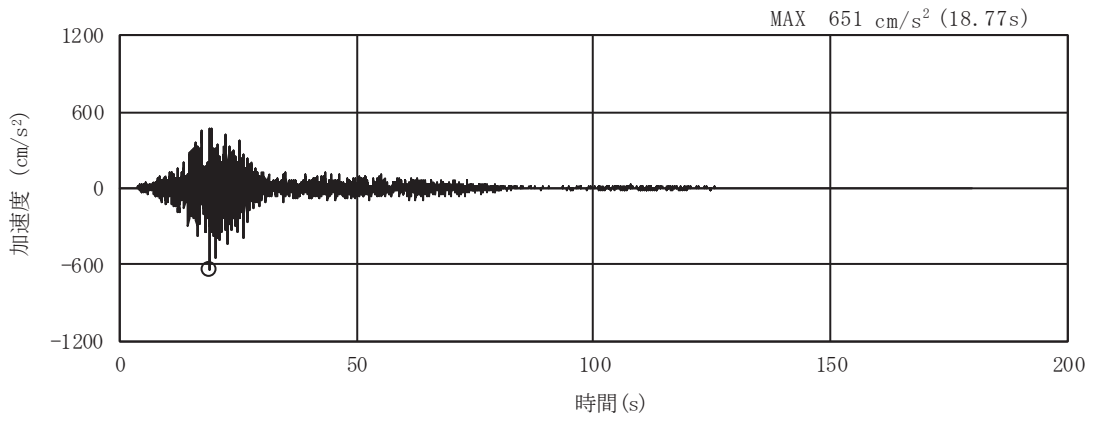
(a) 加速度時刻歴波形



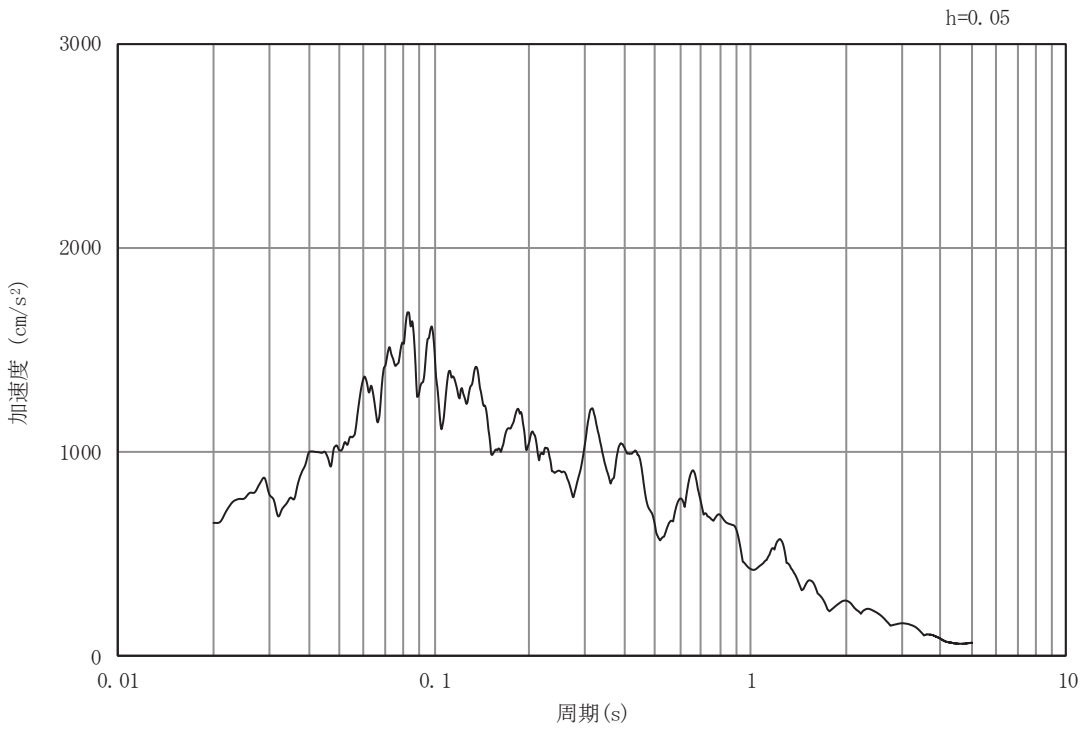
(b) 加速度応答スペクトル

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



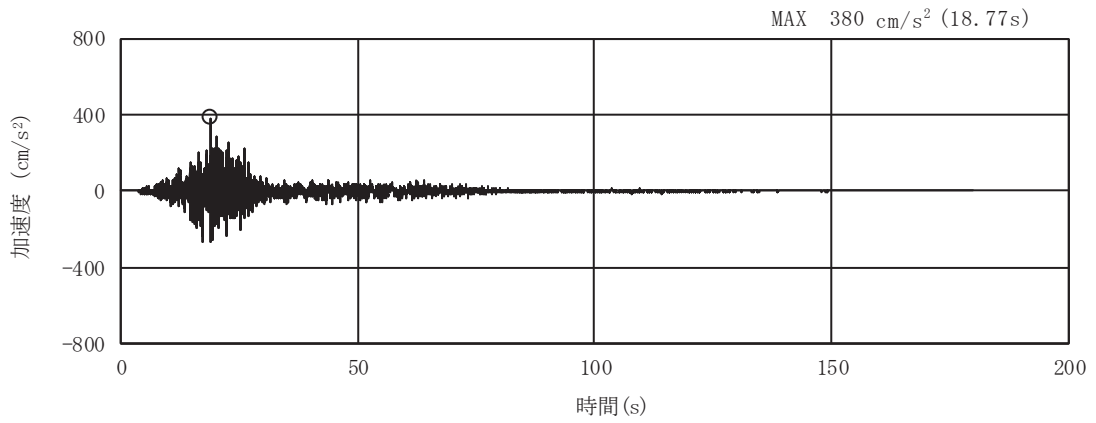


(a) 加速度時刻歴波形

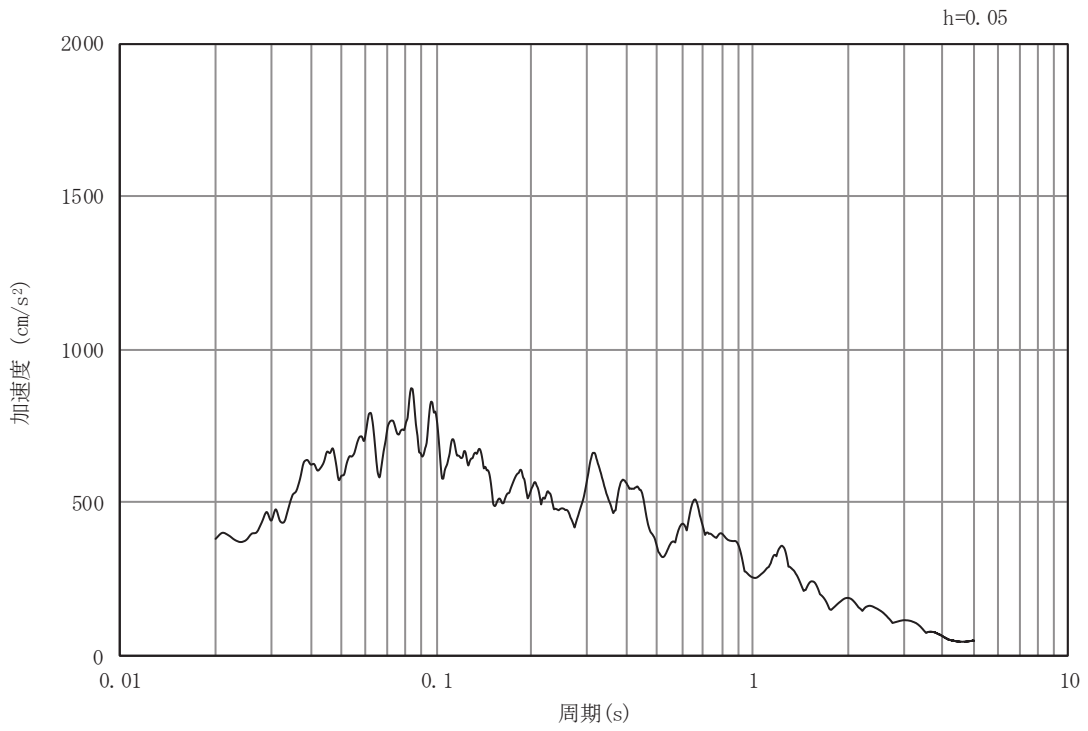


(b) 加速度応答スペクトル

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

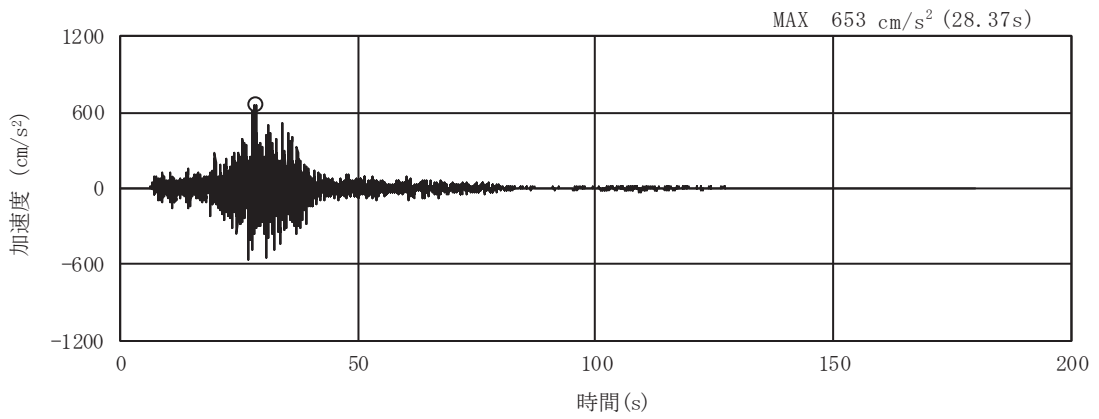


(a) 加速度時刻歴波形

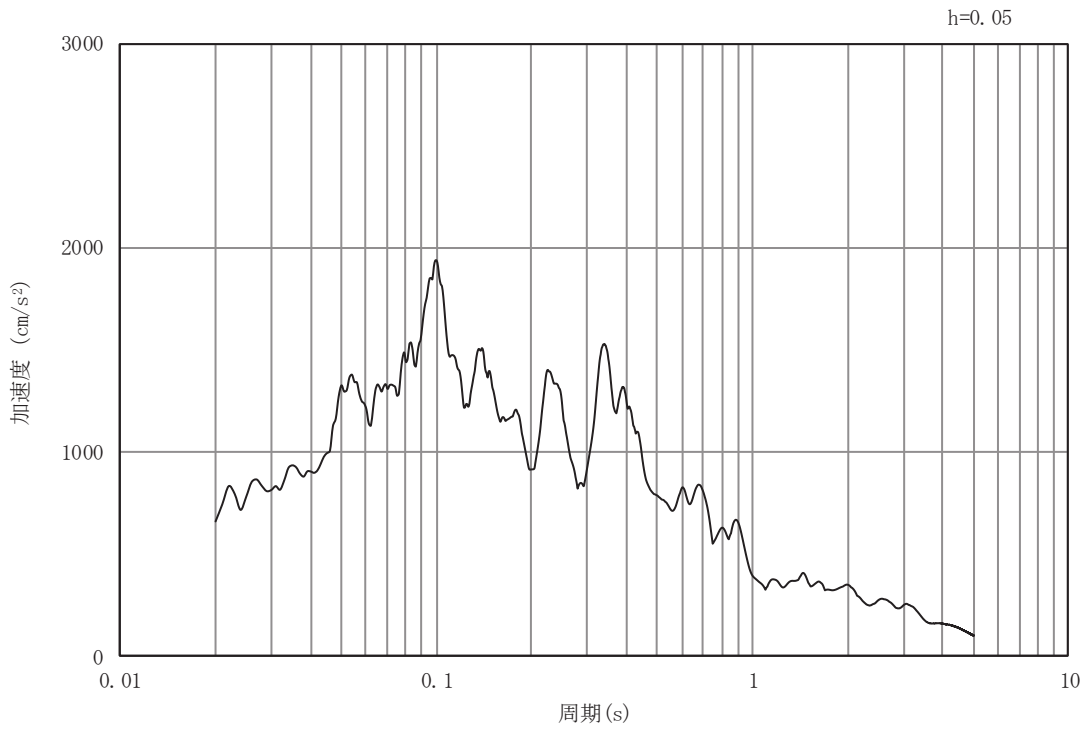


(b) 加速度応答スペクトル

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

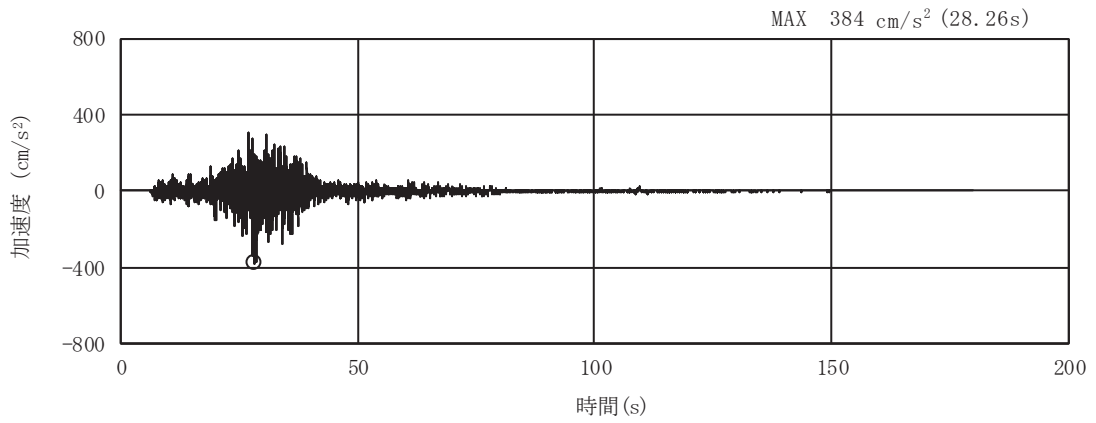


(a) 加速度時刻歴波形

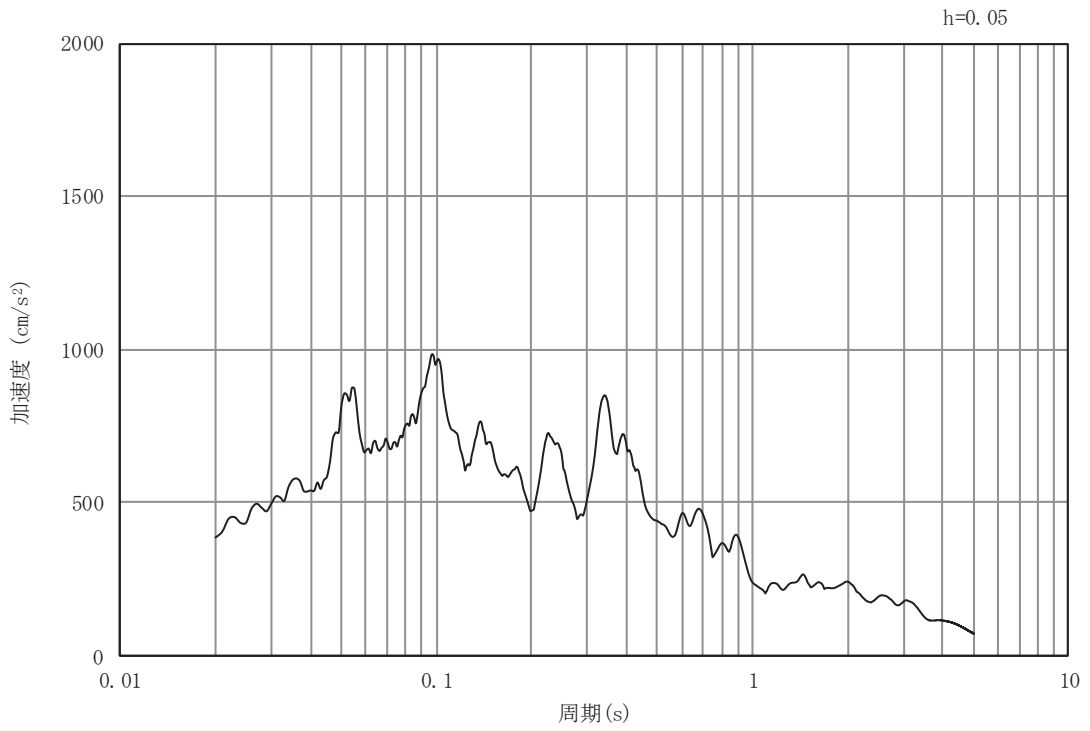


(b) 加速度応答スペクトル

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

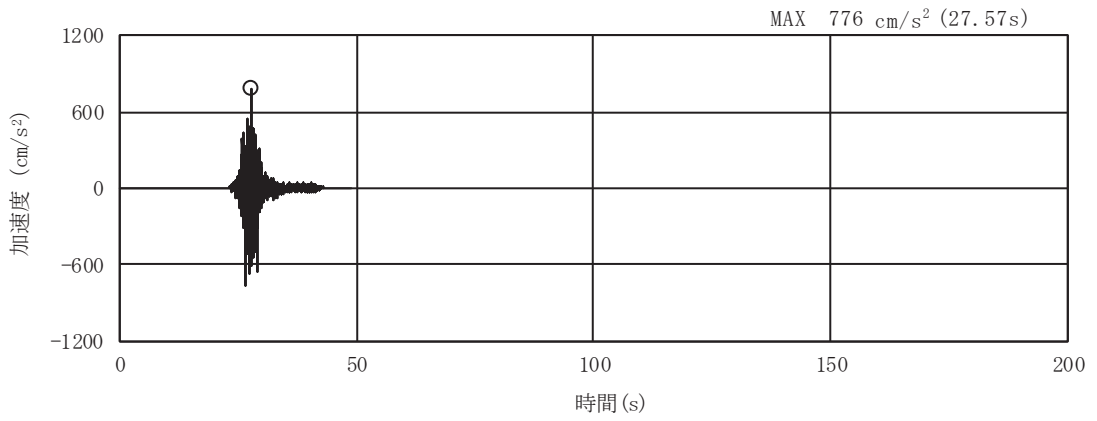


(a) 加速度時刻歴波形

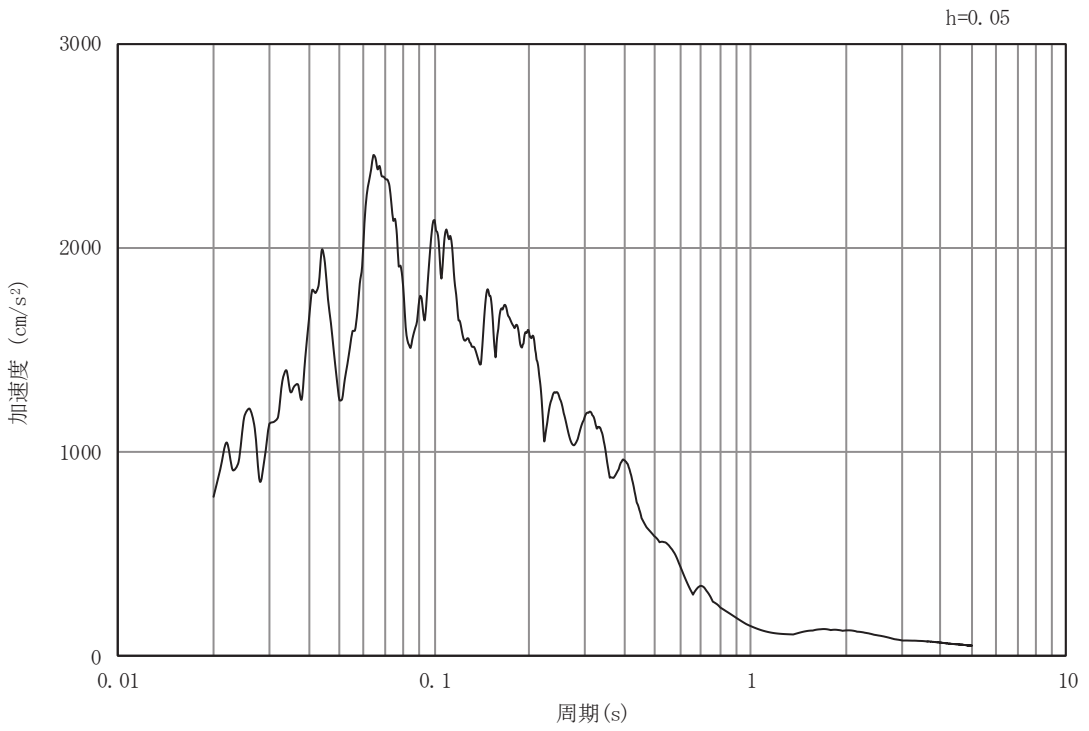


(b) 加速度応答スペクトル

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

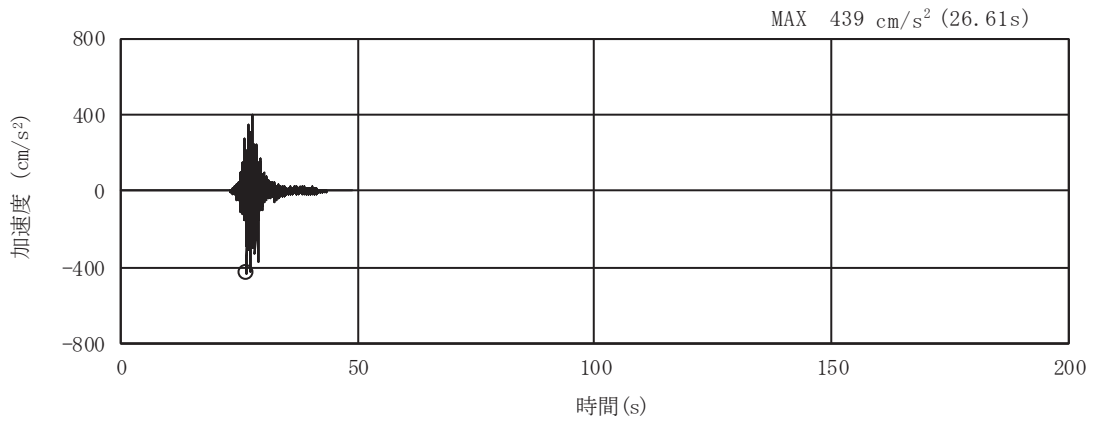


(a) 加速度時刻歴波形

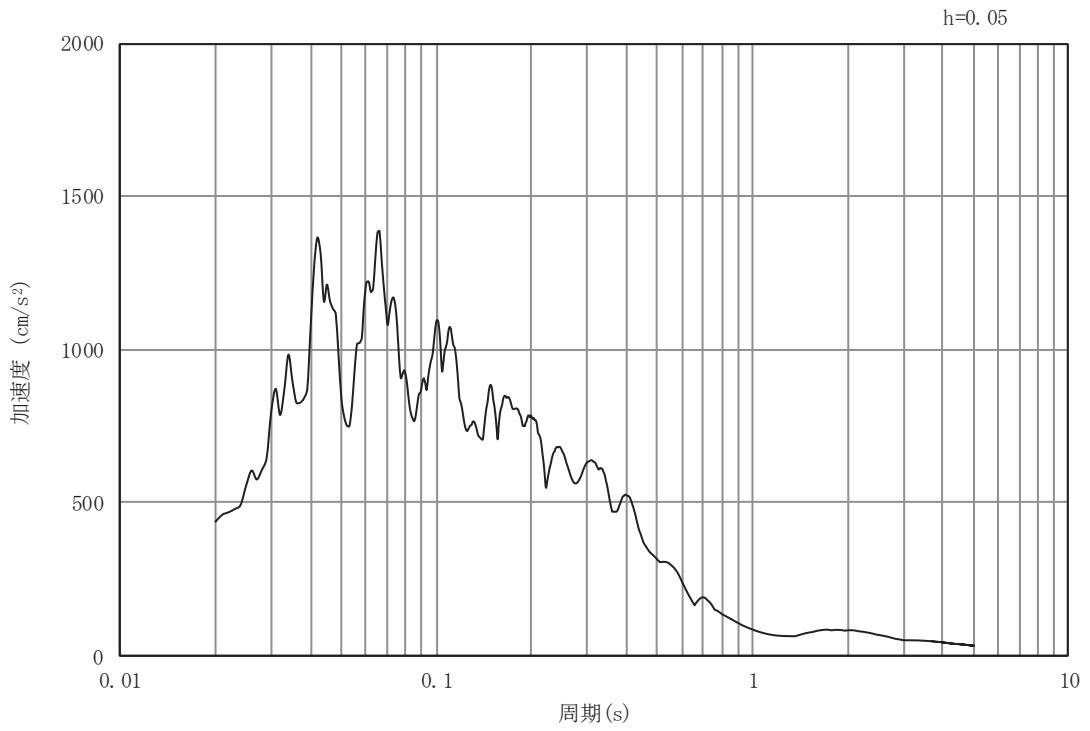


(b) 加速度応答スペクトル

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

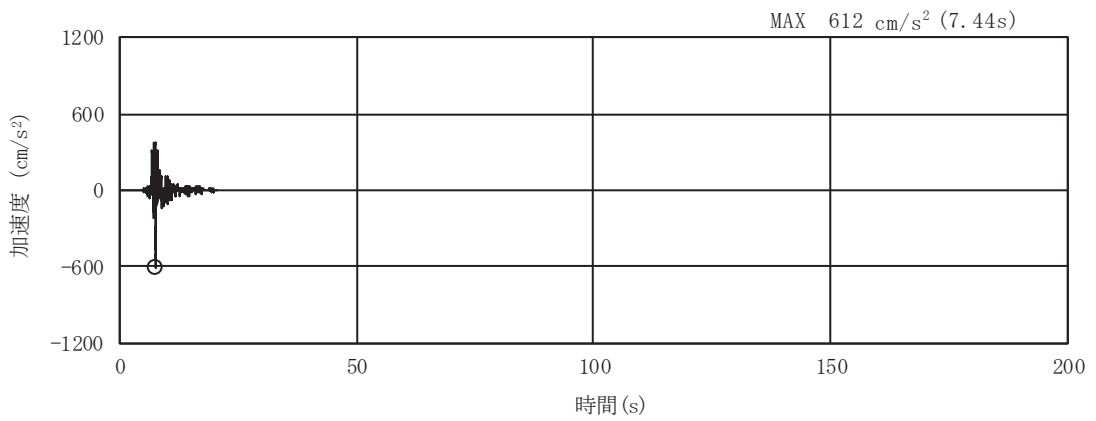


(a) 加速度時刻歴波形

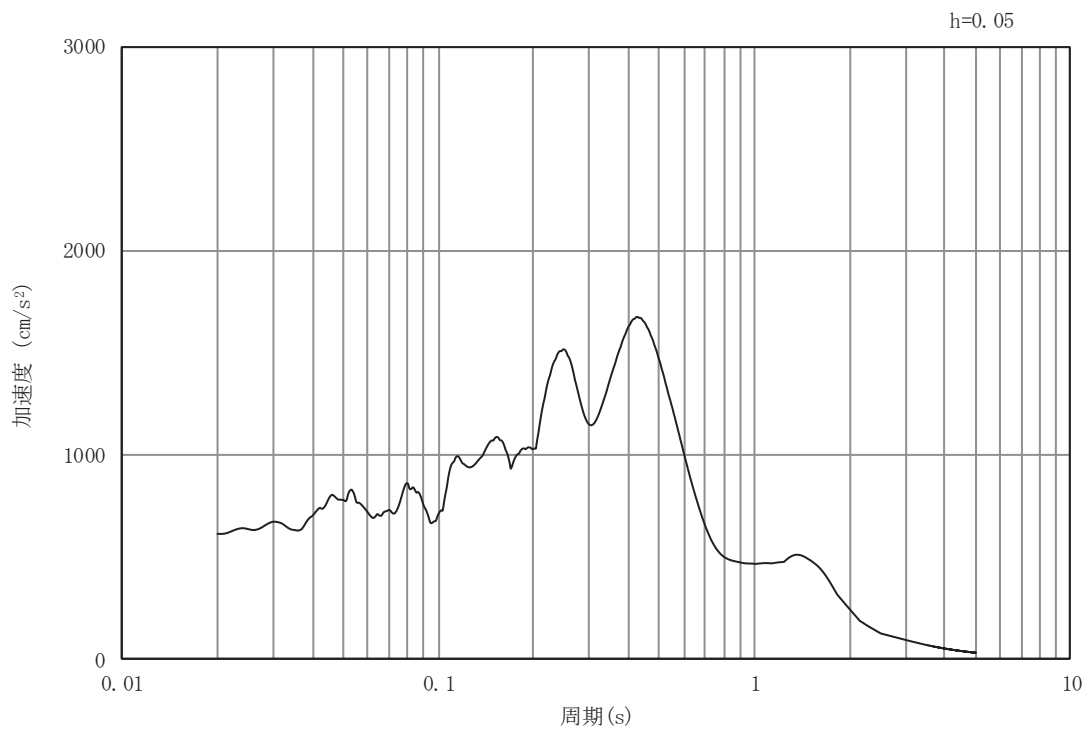


(b) 加速度応答スペクトル

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

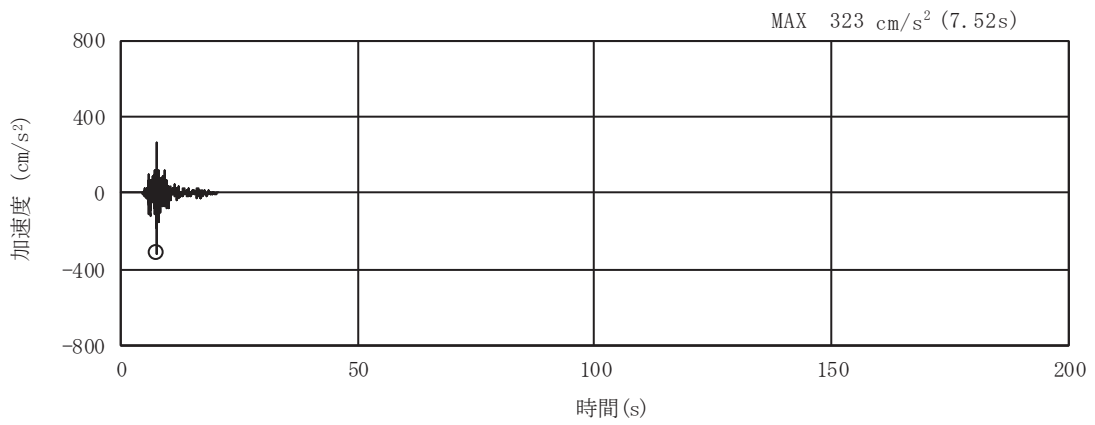


(a) 加速度時刻歴波形

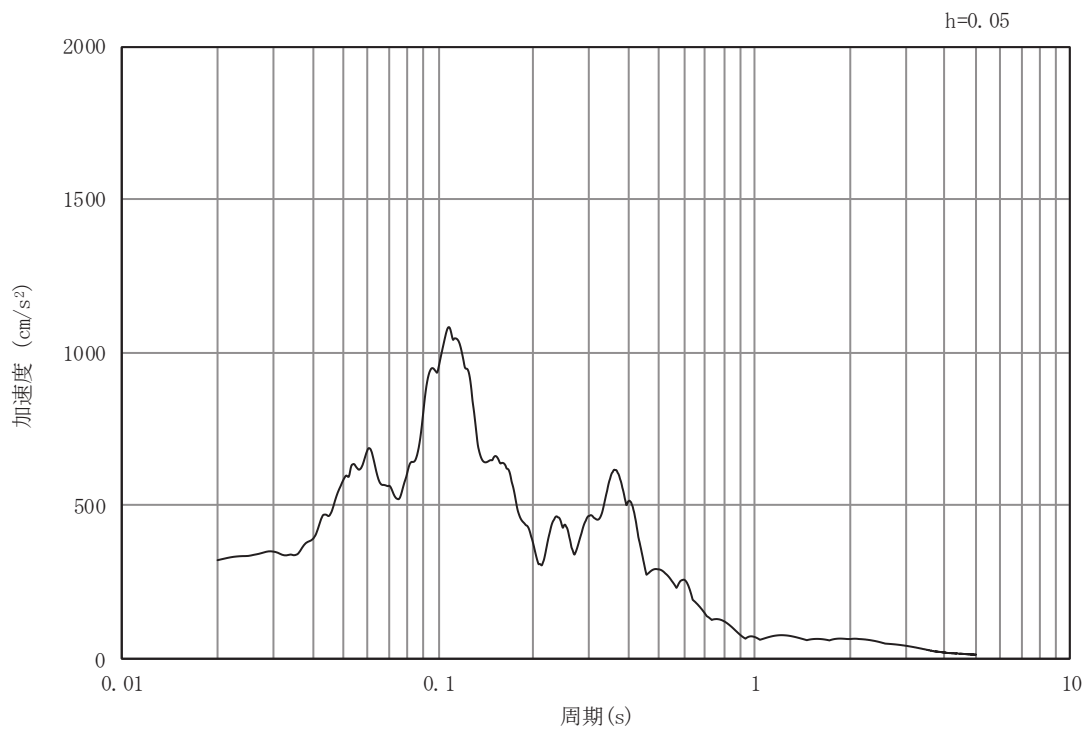


(b) 加速度応答スペクトル

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



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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



### 3.5 解析モデル及び諸元

揚水井戸の地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

#### 3.5.1 解析モデル

##### (1) 解析領域

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

##### (2) 境界条件

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

##### (3) 構造物のモデル化

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

##### (4) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。なお、D<sub>2</sub>級岩盤、セメント改良土及び盛土・旧表土は、地盤の非線形性を考慮するためマルチスプリング要素でモデル化する。また、有効応力解析においては地下水位以深の盛土・旧表土には、液状化パラメータを設定することで、地震時の有効応力の変化に応じた非線形性を考慮する。

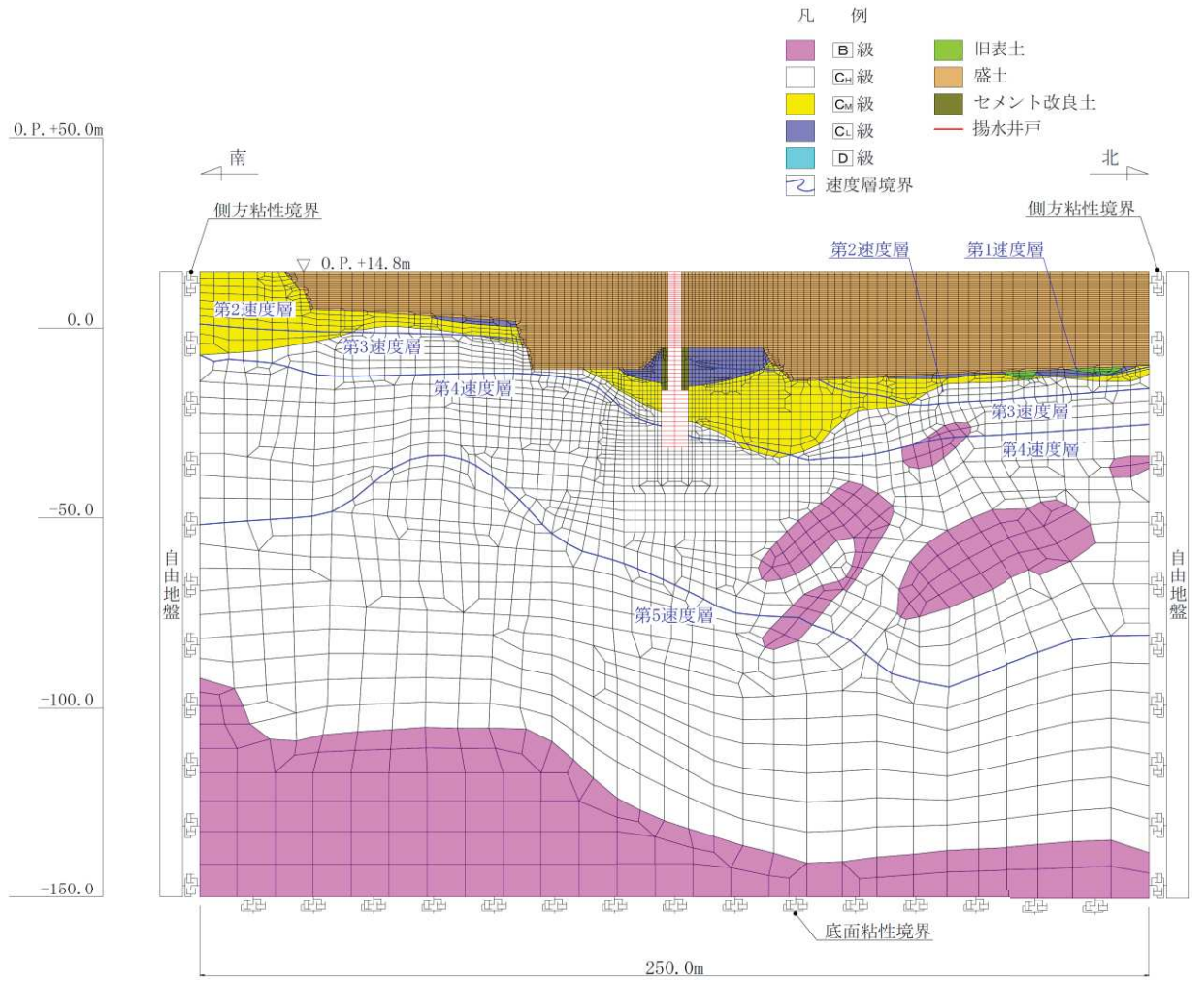


図 3-5(1) No.1 揚水井戸の解析モデル

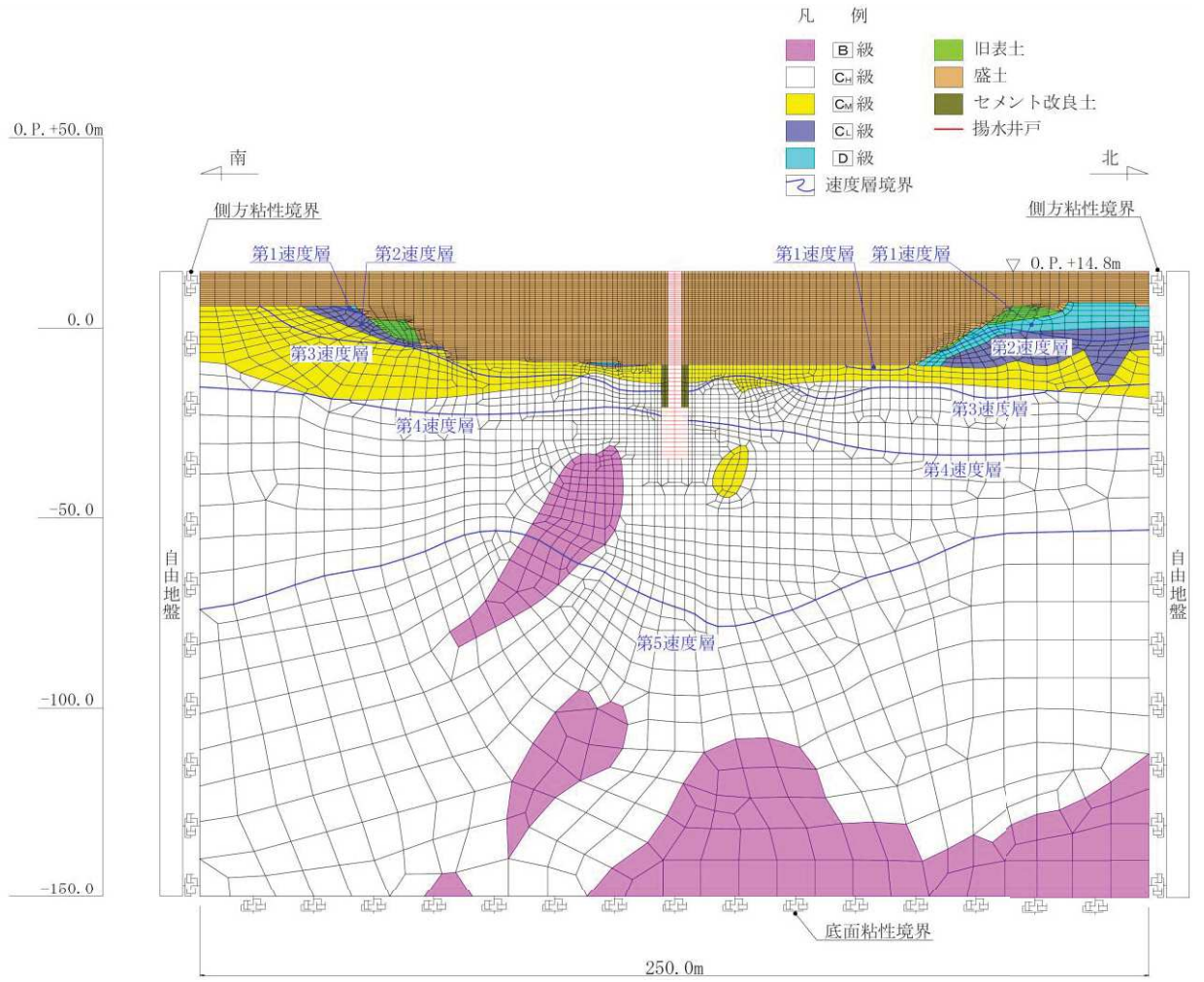


図 3-5(2) No.2 揚水井戸の解析モデル

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 構造物の使用材料

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

表 3-5 材料の物性値

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

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

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

### 3.5.4 地下水位

地下水位については、図 3-2 に示す設計用地下水位とする。

表 3-6 に設計用地下水位の一覧を示す。

表 3-6 設計用地下水位の一覧

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

### 3.6 許容限界

#### 3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界

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

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

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

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

表 3-7 鋼材（排水シャフト）の許容応力度及び短期許容応力度

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

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

表 3-8 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

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

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

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

表 3-9 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

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

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

表 3-10 鋼材（接合部）の許容応力度及び短期許容応力度

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

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

\* 2：日本産業規格（J I S）に基づく。

### 3.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 基礎地盤の許容限界

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

注記\* : C<sub>M</sub>級岩盤以上の岩盤が対象

### 3.7 評価方法

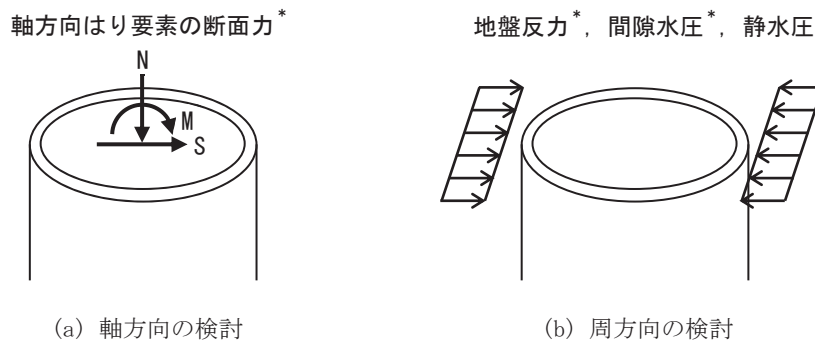
#### 3.7.1 構造部材の健全性に対する評価方法

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

##### (1) 排水シャフト

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

排水シャフトの部材評価の概念を図 3-6 に示す。



注記\*：地震応答解析の応答値より抽出する

図 3-6 排水シャフトの部材評価の概念

##### a. 軸方向の検討

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

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

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

ここで、

- σ：排水シャフトの曲げモーメント及び軸力より算定される応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- M：排水シャフトに発生する曲げモーメント (N・mm)
- Z：排水シャフトの断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*
- N：排水シャフトに発生する軸力 (N)
- A：排水シャフトの断面積 (mm<sup>2</sup>) \*



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

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

ここで、

$\tau$  : 排水シャフトのせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

S : 排水シャフトに発生するせん断力 (N)

A : 排水シャフトの断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

$\kappa$  : せん断応力の分布係数 (2.0)

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

b. 周方向の検討

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

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

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

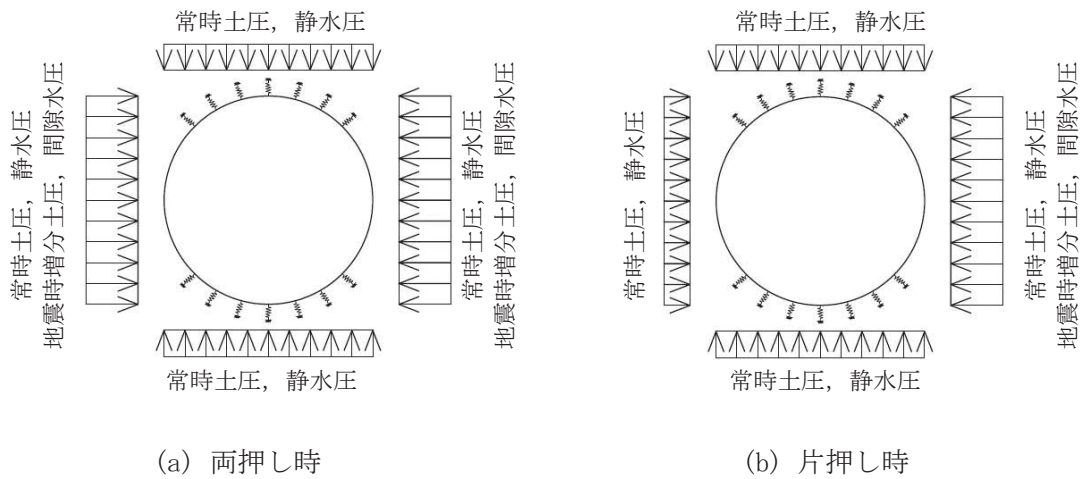
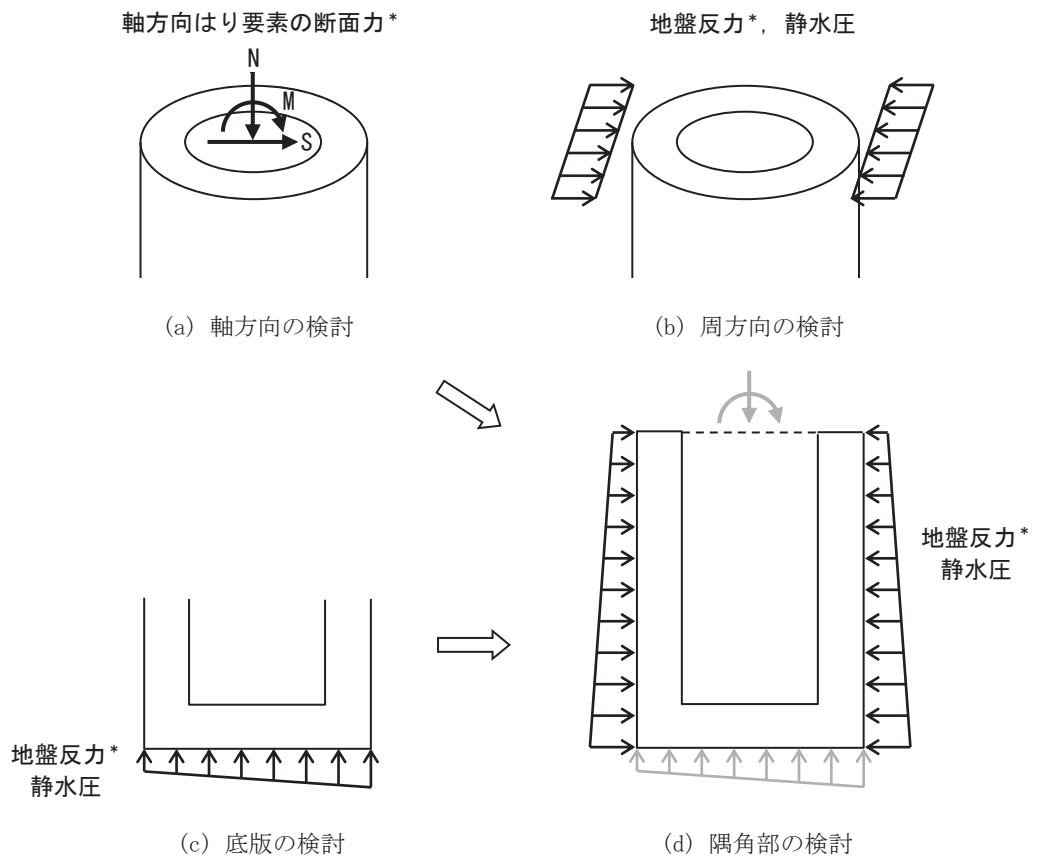


図3-7 2次元静的フレーム解析モデルの概念図（排水シャフト）

(2) 集水ピット

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

集水ピットの部材評価の概念を図 3-8 に示す。



注記\*：地震応答解析の応答値より抽出する

図 3-8 集水ピットの部材評価の概念

a. 軸方向の検討

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

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

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

b. 周方向の検討

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

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

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

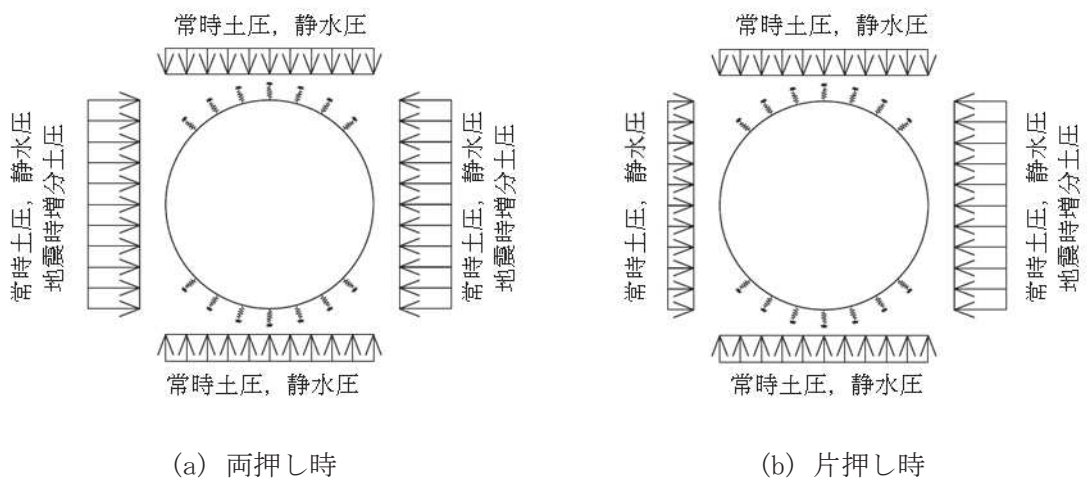


図 3-9 2次元静的フレーム解析モデルの概念図（集水ピット）

c. 底版の検討

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

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

d. 隅角部の検討

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

(3) 接合部

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

接合部の構造概要を図 3-10 に示す。

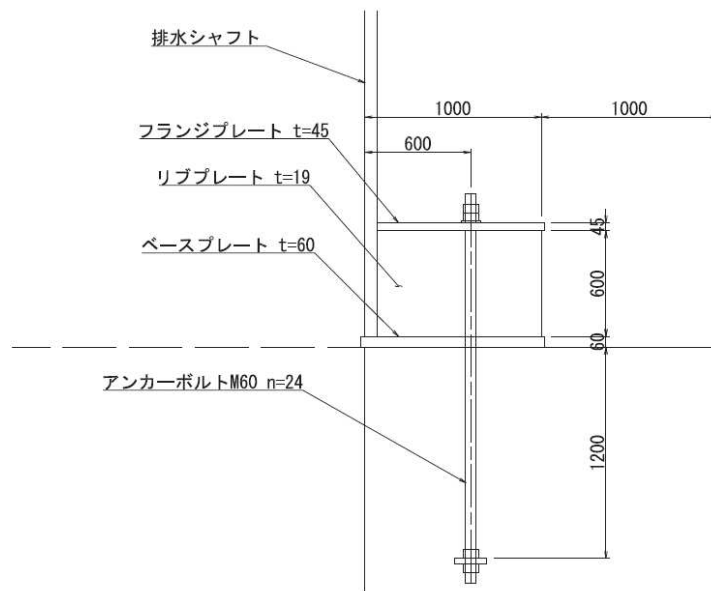


図 3-10(1) 接合部の構造概要 No.1 揚水井戸 (単位: mm)

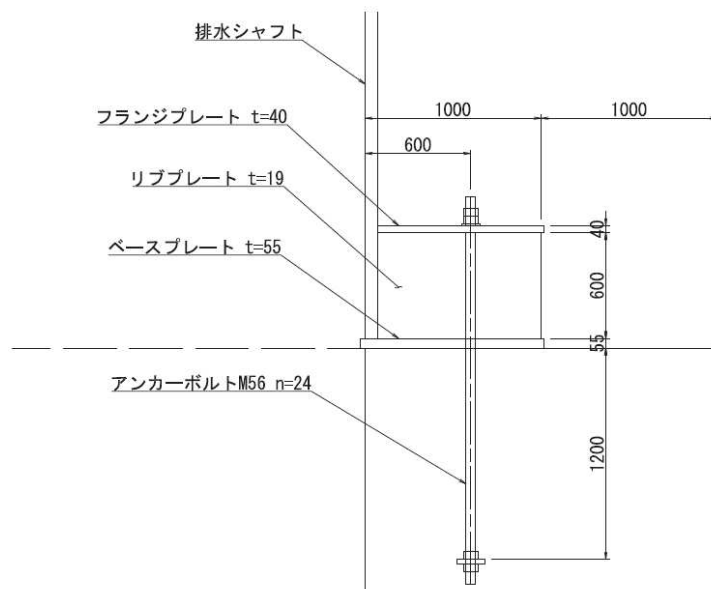


図 3-10(2) 接合部の構造概要 No.2 揚水井戸 (単位: mm)

a. アンカーボルト

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

(a) 引張応力度の照査

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

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

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

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

ここに、

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

T : アンカーボルトの引張力 (N)

Ae : アンカーボルトのねじ部 (有効) 断面積\* (mm<sup>2</sup>)

$f_{ts}$  : せん断力を同時に受けるアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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

$f_t$  : アンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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

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

(b) せん断応力度の照査

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

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

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

ここに、

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

S : 排水シャフト下端のせん断力 (N)

n : アンカーボルトの本数

$f_s$  : アンカーボルトの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

b. コンクリート

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

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

ここに、

T : アンカーボルトの引張力 (N)

T<sub>a</sub> : コーン状破壊により定まる短期許容引張力 (N)

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

f'\_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

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

c. ベースプレート

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

また、ベースプレートの検討概念図を図3-11に示す。

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

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

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

ここに、

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

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

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

M<sub>x1</sub> : 3辺固定版の係数 (l<sub>y</sub>/l<sub>x</sub>より図3-12を参照し設定)

l<sub>x</sub> : 3辺固定版短辺の長さ (mm)

l<sub>y</sub> : 3辺固定版長辺の長さ (mm)

w : フランジプレート上面に作用する分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

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

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



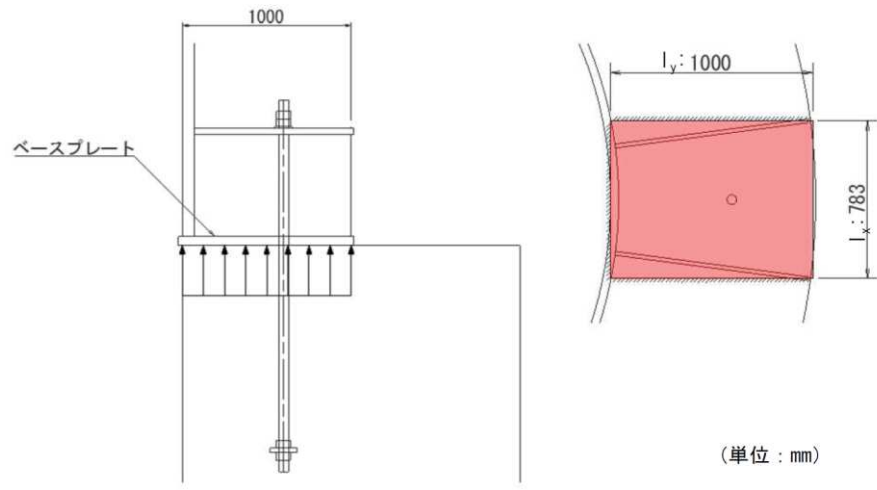


図 3-11 ベースプレート検討概念図

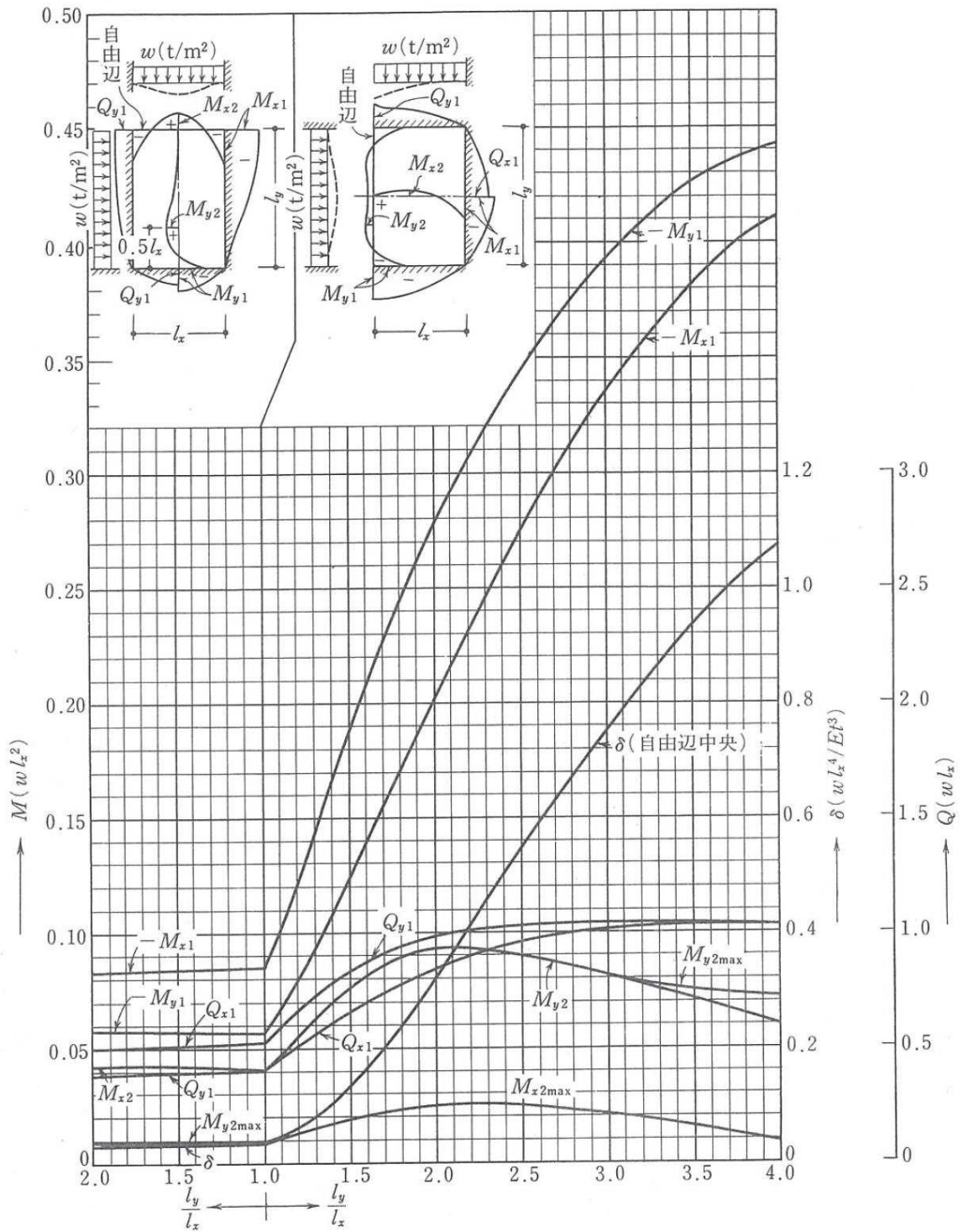


図3-12 等分布荷重時3辺固定1辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ  $\delta$

d. フランジプレート

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

(a) 上載土圧、静水圧による分布荷重

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

また、フランジプレートの検討概念図を図3-13に示す。

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

ここに、

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

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

$l_x$  : 3辺固定版短辺の長さ (mm)

$l_y$  : 3辺固定版長辺の長さ (mm)

$w$  : フランジプレート上面に作用する分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

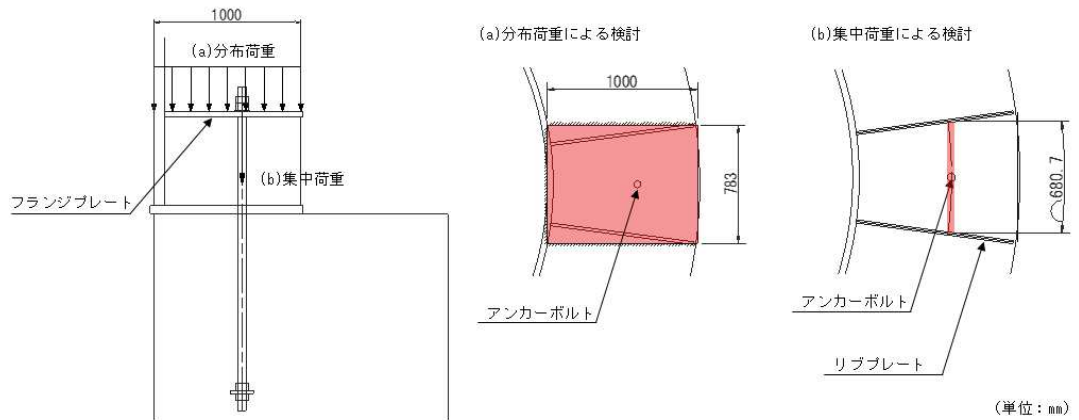


図3-13 フランジプレート検討概念図

(b) アンカーボルトの引張力による集中荷重

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

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

ここに、

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

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

(c) 応力度照査

(a) 及び(b)の曲げモーメントを考慮し、次式により照査を行う。

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

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

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

ここに、

- $M_f$  : 組合せ荷重に対するフランジプレート曲げモーメント (N・mm/mm)
- $\sigma_f$  : フランジプレートの曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $Z_f$  : フランジプレートの断面係数\* (mm<sup>3</sup>/mm)
- $f_f$  : フランジプレートの短期許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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

e. リブプレート

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

また、リブプレートの検討概念図を図 3-14 に示す。

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

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

ここに、

- $\tau_r$  : リブプレートのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $S_r$  : リブプレートのせん断力 (N)
- $A_r$  : 有効せん断断面積 (mm<sup>2</sup>) \*
- $f_{sr}$  : リブプレートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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

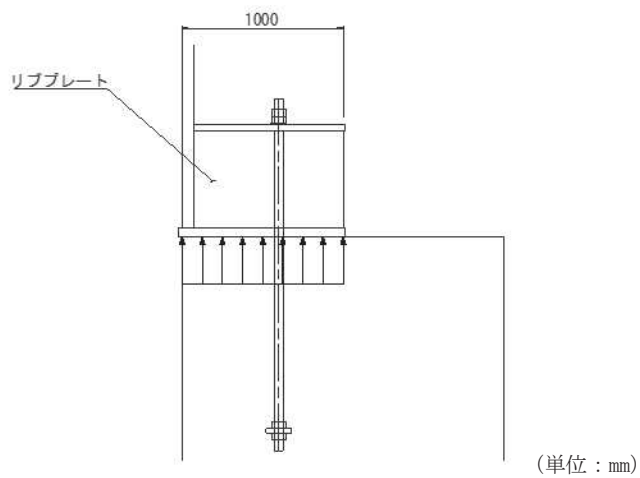


図 3-14 リブプレート検討概念図（ベースプレート側からの荷重作用時）

### 3.7.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は集水ピットを支持する基礎地盤とし、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

###### (1) 排水シャフト

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

この結果から、排水シャフトの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

a. 軸方向の照査結果

発生曲げモーメントは左側引張を正，軸力は引張を正として示す。

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

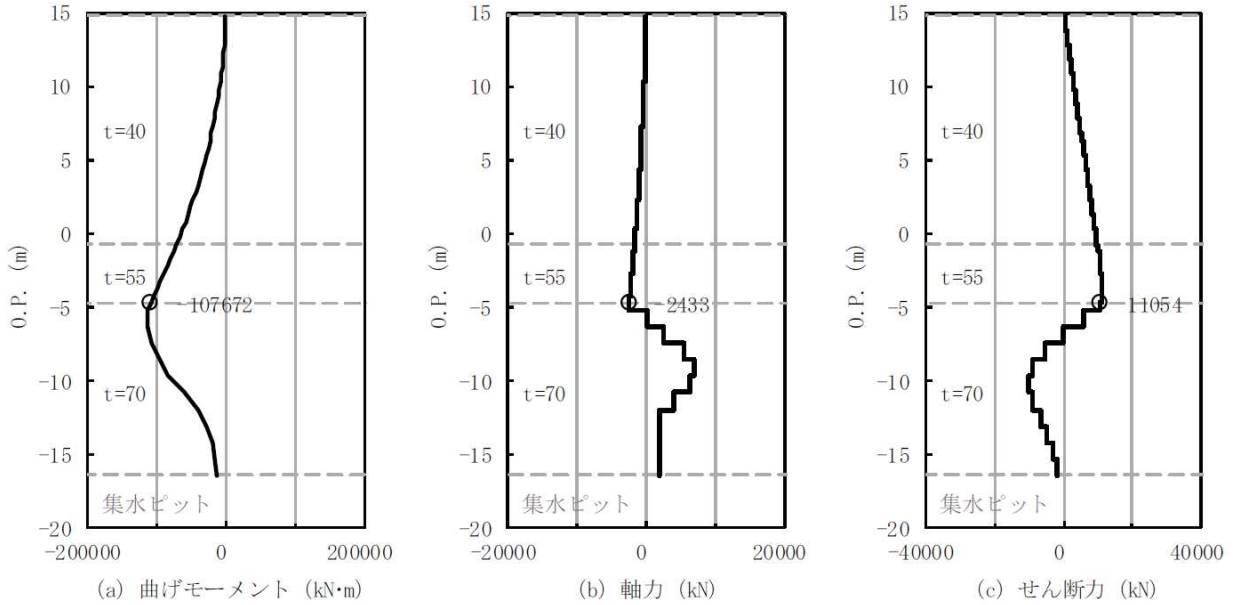


図 4-1 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力  
 (No.1 揚水井戸 軸方向照査, S s - N 1 (-+), 7.75s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

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

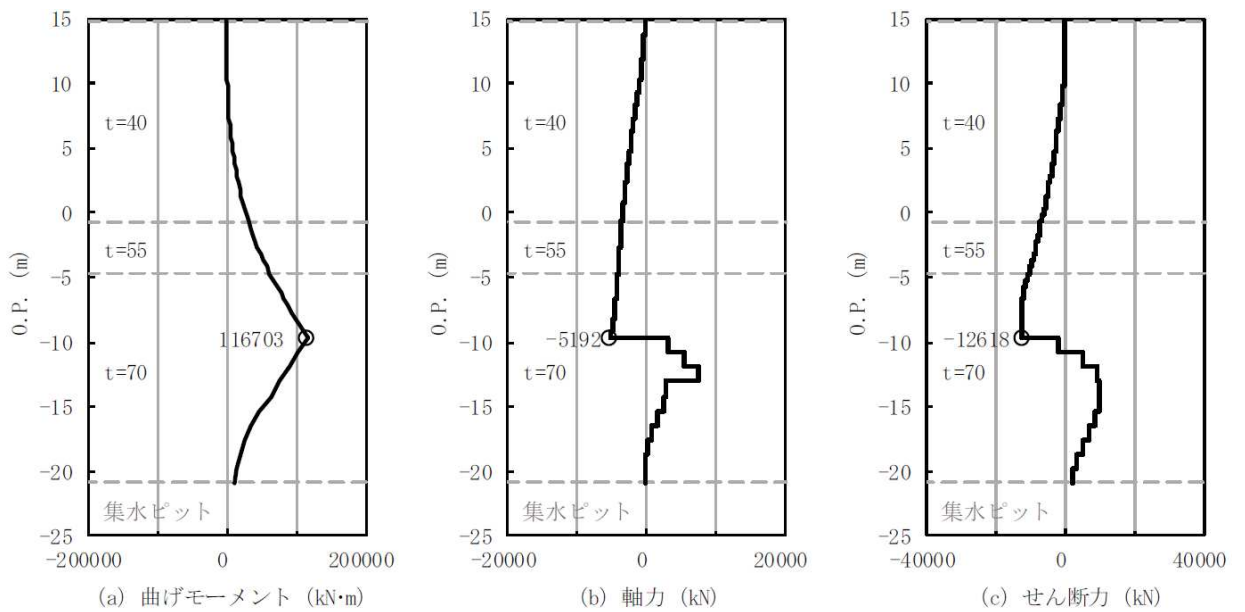


図 4-1 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力  
 (No.2 揚水井戸 軸方向照査, S s - F 1 (++) , 23.60s)

解析ケース①：標準物性

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

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

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

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



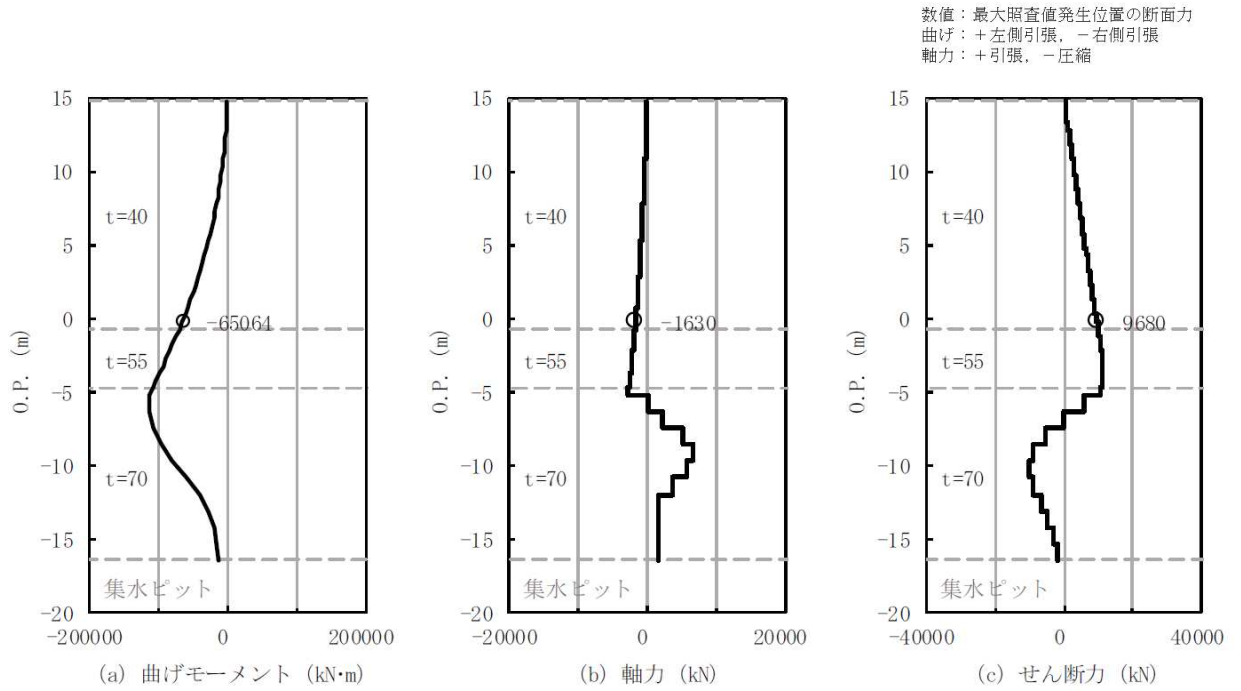


図 4-2(1) せん断系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力  
 (No.1 揚水井戸 軸方向照査, S s - N 1 (-+), 7.74s)  
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

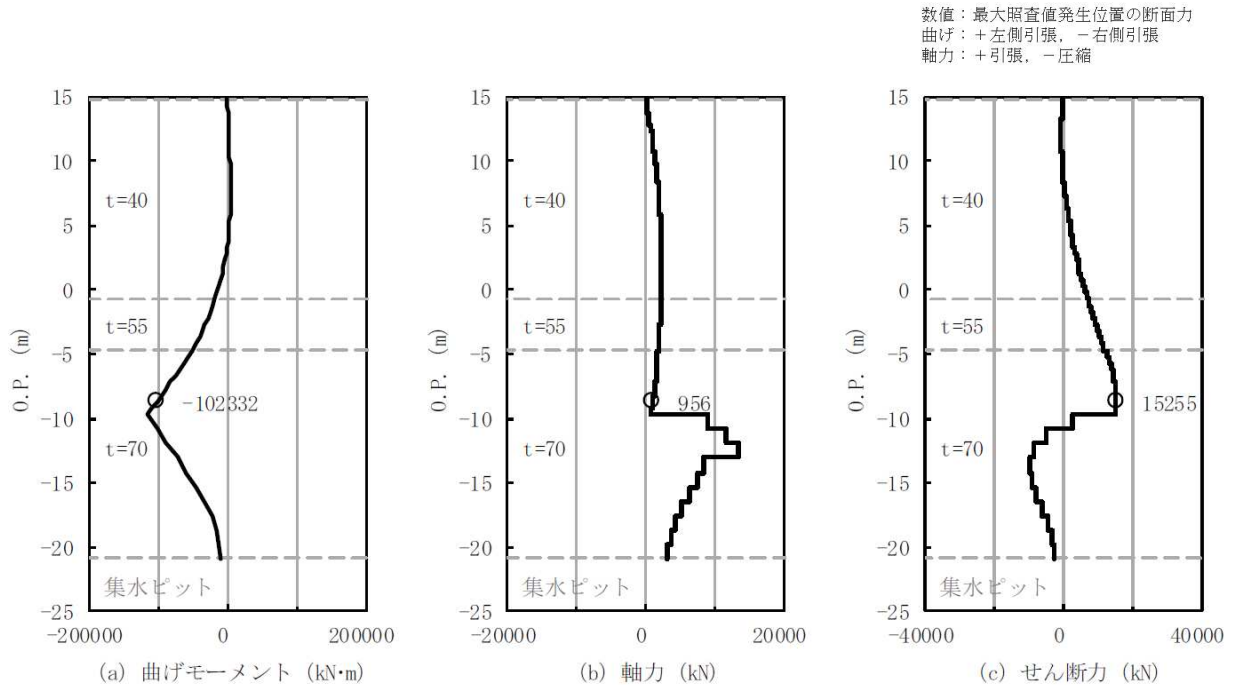


図 4-2(2) せん断系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力  
 (No.2 揚水井戸 軸方向照査, S s - F 1 (-+), 22.69s)  
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

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

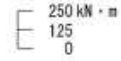
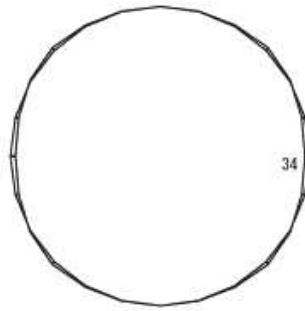
地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N1(-+)	②	9680	41	217.5	0.19

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

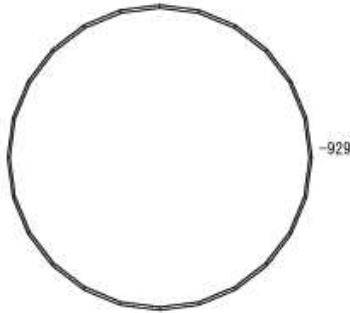
地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
S <sub>s</sub> -F1(-+)	②	15255	36	210	0.18

b. 周方向の照査結果

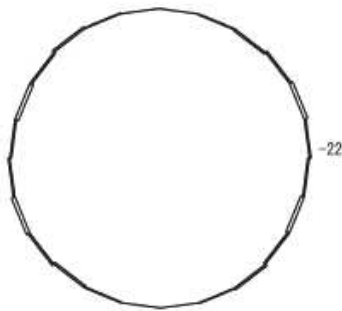
発生曲げモーメントは内側引張を正，軸力は引張を正として示す。



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



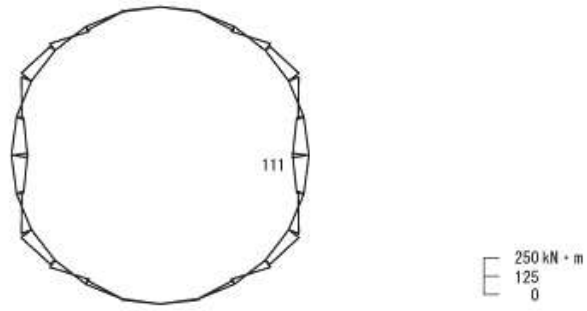
(c) せん断力

数値は照査値最大となる評価位置 (t=40mm) における断面力値を示す

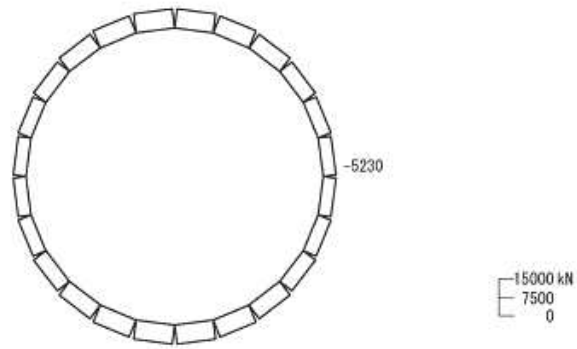
図 4-3(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力

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

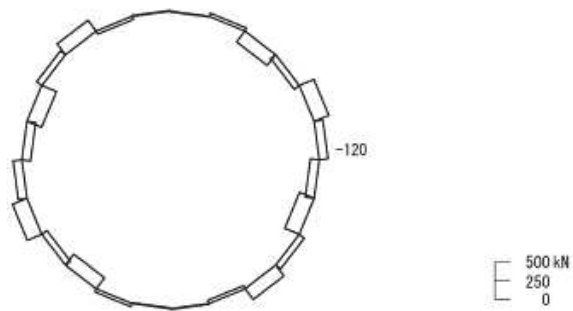
解析ケース①: 標準物性



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力 (+:引張)



(c) せん断力

数値は照査値最大となる評価位置 (t=70mm) における断面力値を示す

図 4-3(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力

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

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

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

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S <sub>s</sub> -D 2 (++)	①	34	-929	166	382.5	0.44

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

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

(2) 集水ピット

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

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

a. 軸方向の照査結果

発生曲げモーメントは左側引張を正、軸力は引張を正として示す。

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

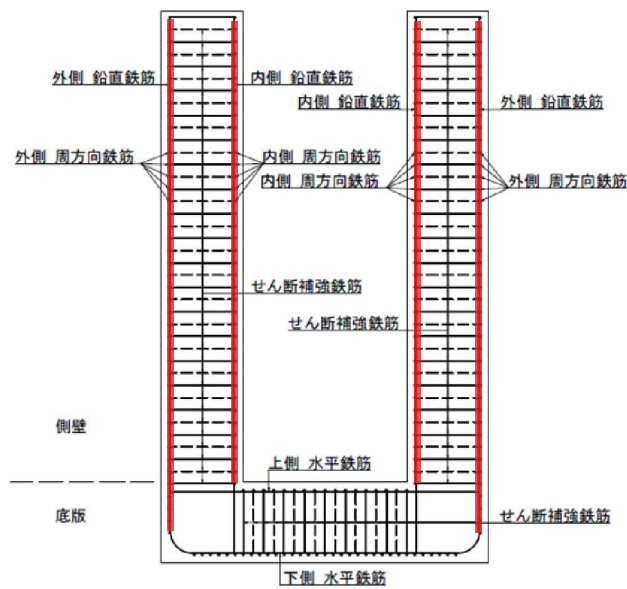
部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - N 1 (-+)	③	18657	-38672	1.3	16.5	0.08

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

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

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

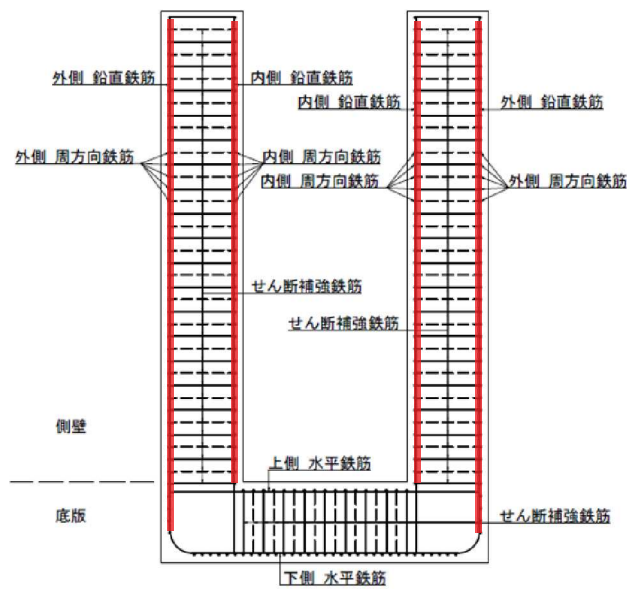
部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 鉛直鉄筋	S s - N 1 (-+)	③	-26211	-6763	16	324	0.05



O 2 ② VI-2-13-3 R 0

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

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 鉛直鉄筋	S s - F 1 (-+)	③	-22915	-8334	7.4	324	0.03



O 2 ② VI-2-13-3 R 0

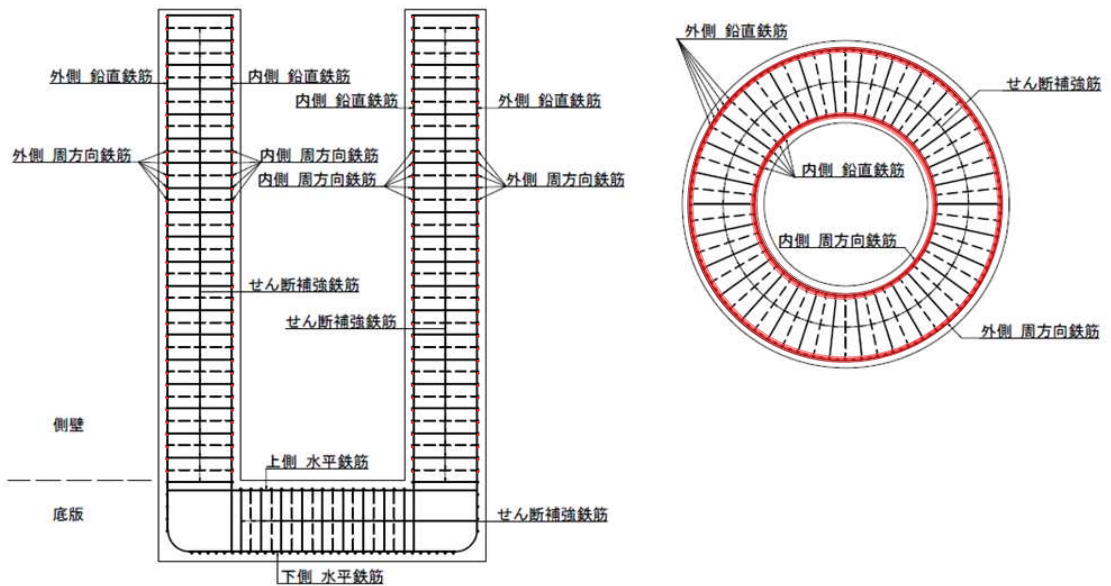


表 4-6(1) 集水ピット せん断破壊に対する照査値 (No.1 揚水井戸 軸方向照査)

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

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

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



b. 周方向の照査結果

発生曲げモーメントは内側引張を正、軸力は引張を正として示す。

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

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

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

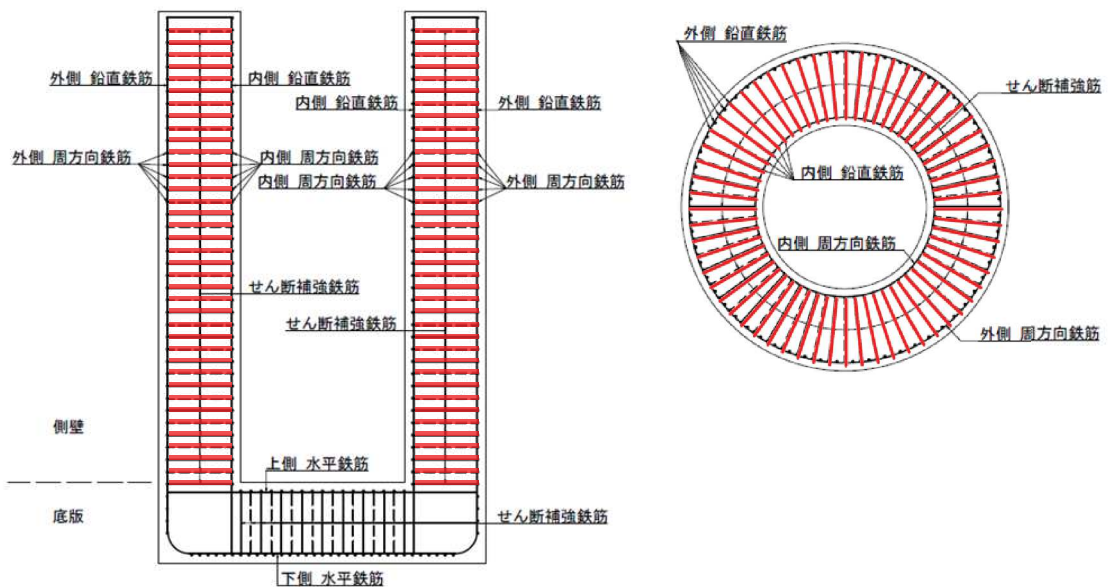
部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	S s - D 1 (++)	③	-321	-3194	2.0	16.5	0.13

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

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

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

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



O 2 ② VI-2-13-3 R 0

c. 底版の照査結果

発生曲げモーメントは下側引張を正、軸力は引張を正として示す。

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

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

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

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

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

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - D 2 (-+)	①	-2130	0	168	324	0.52
底版 (下筋)	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S s - D 2 (-+)	①	1331	0	85	324	0.27

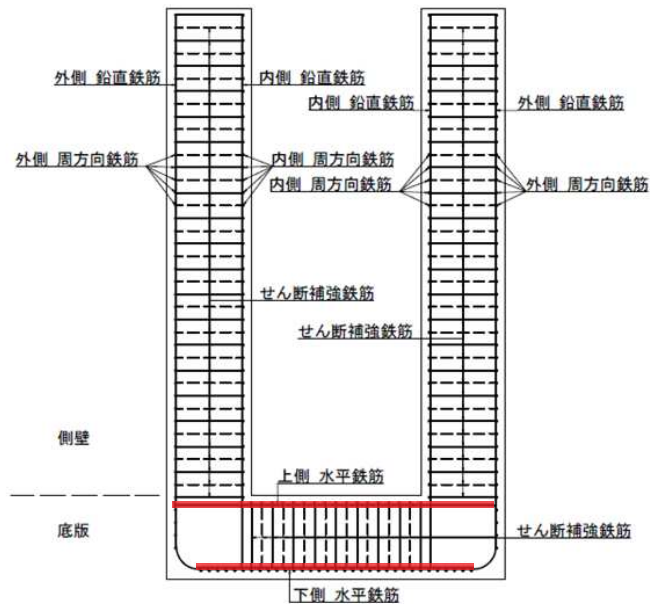


表 4-10(2) 集水ピット 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値  
(No.2 揚水井戸 底版照査)

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
底版 (上筋)	SD390 D51@250 上側水平鉄筋	S s - F 3 (-+)	①	-2020	0	159	324	0.50
底版 (下筋)	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S s - F 3 (-+)	①	1262	0	81	324	0.25

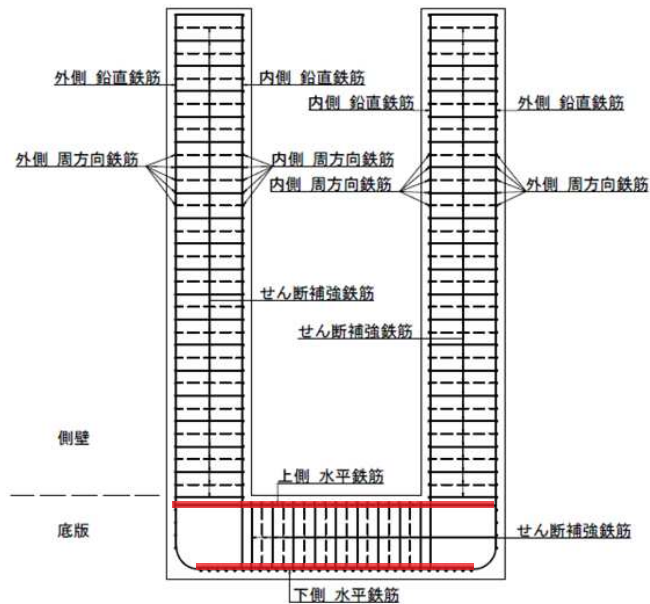
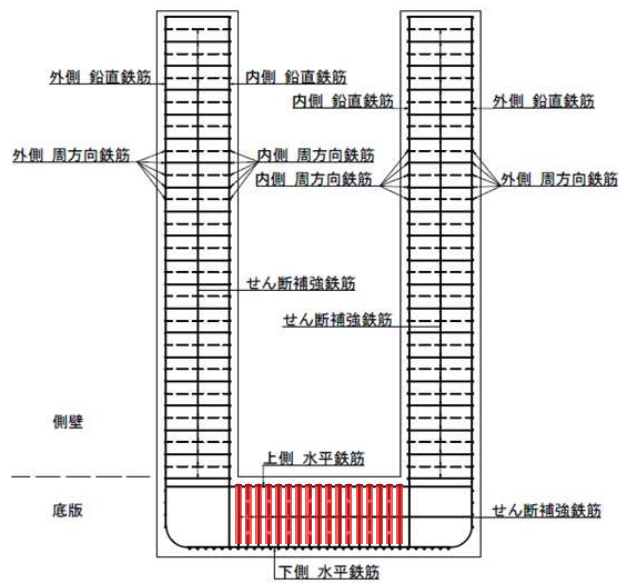


表 4-11(1) 集水ピット せん断破壊に対する照査値 (No.1 揚水井戸 底版照査)

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S <sub>s</sub> -D2 (-+)	①	1184	2384	0.50

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

対象	鉄筋仕様	地震動	解析 ケース	照査用 せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub> (kN)	照査値 V/V <sub>a</sub>
底版	SD345 D25@250×500 せん断補強鉄筋	S <sub>s</sub> -F3 (-+)	①	1123	2384	0.48



d. 隅角部の照査結果

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

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

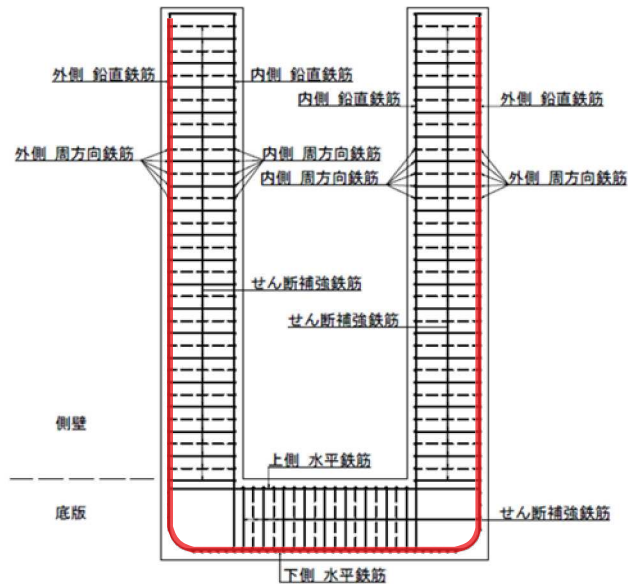
表 4-12(2) 集水ピット コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値  
(No.2 揚水井戸 隅角部の照査)

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



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

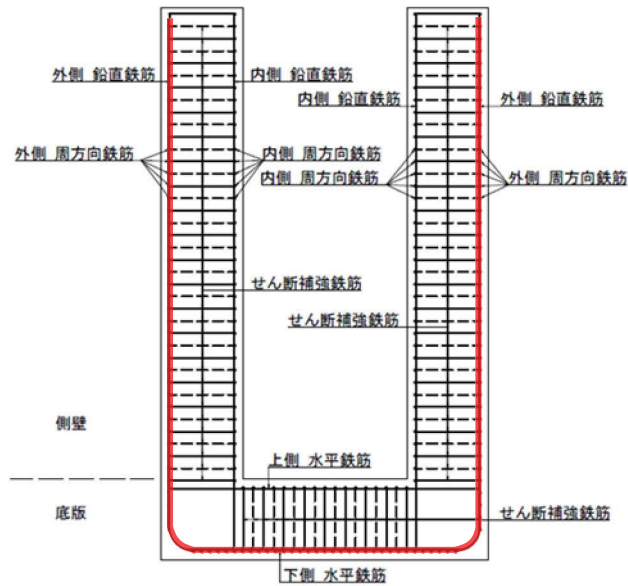
部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 外側鉛直鉄筋	S s - D 2 (-+)	②	2789	0	174	324	0.54
底版	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S s - D 2 (-+)	②	2789	0	177	324	0.55



O 2 ② VI-2-13-3 R 0

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

部材	鉄筋仕様	地震動	解析ケース	発生断面力		引張 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
側壁	SD390 D51@120 本/周 外側鉛直鉄筋	S <sub>s</sub> -D1 (++)	③	2946	0	184	324	0.57
底版	SD390 D51@200 下側水平鉄筋	S <sub>s</sub> -D1 (++)	③	2946	0	187	324	0.58



O 2 ② VI-2-13-3 R 0

e. 概略配筋図

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

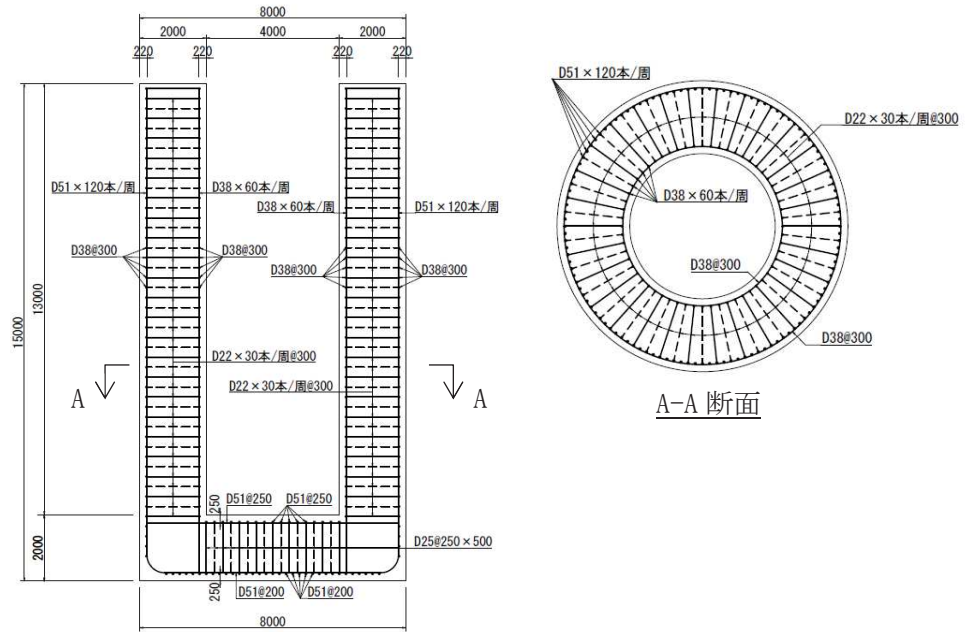


図 4-4(1) No.1 揚水井戸 概略配筋図

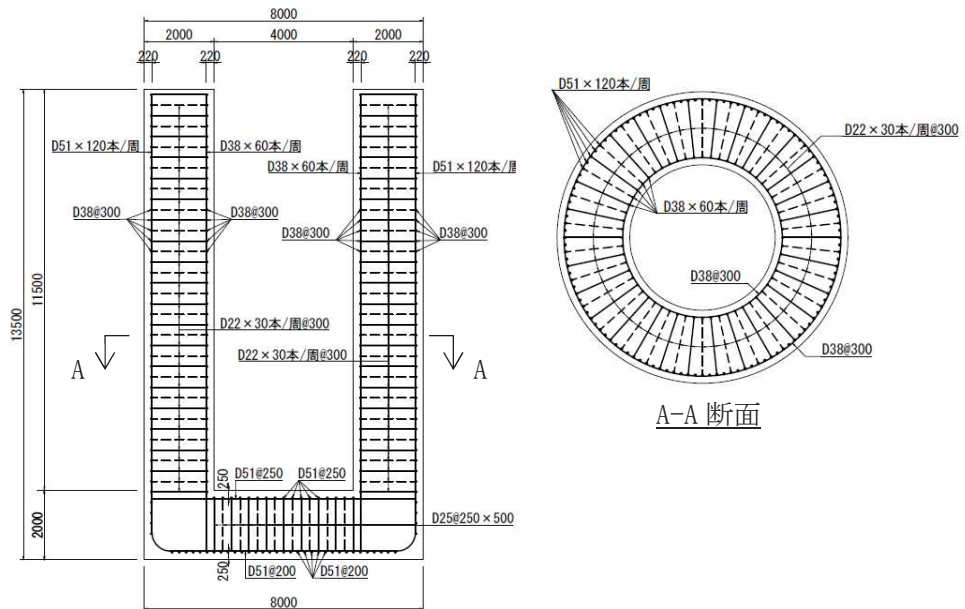


図 4-4(2) No.2 揚水井戸 概略配筋図

(3) 接合部

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

a. アンカーボルトの照査結果

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

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

注記\*：せん断力を同時に受ける場合の許容引張応力度

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

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

注記\*：せん断力を同時に受ける場合の許容引張応力度

b. コンクリートの照査結果

表 4-15(1) 接合部（コンクリート）の照査結果（No.1 揚水井戸）

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

表 4-15(2) 接合部（コンクリート）の照査結果（No.2 揚水井戸）

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

c. ベースプレートの照査結果

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

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

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

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

d. フランジプレートの照査結果

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

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

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

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

e. リブプレートの照査結果

表 4-18(1) 接合部（リブプレート）の照査結果（No.1 揚水井戸）

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

表 4-18(2) 接合部（リブプレート）の照査結果（No.2 揚水井戸）

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

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

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

この結果から、揚水井戸の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

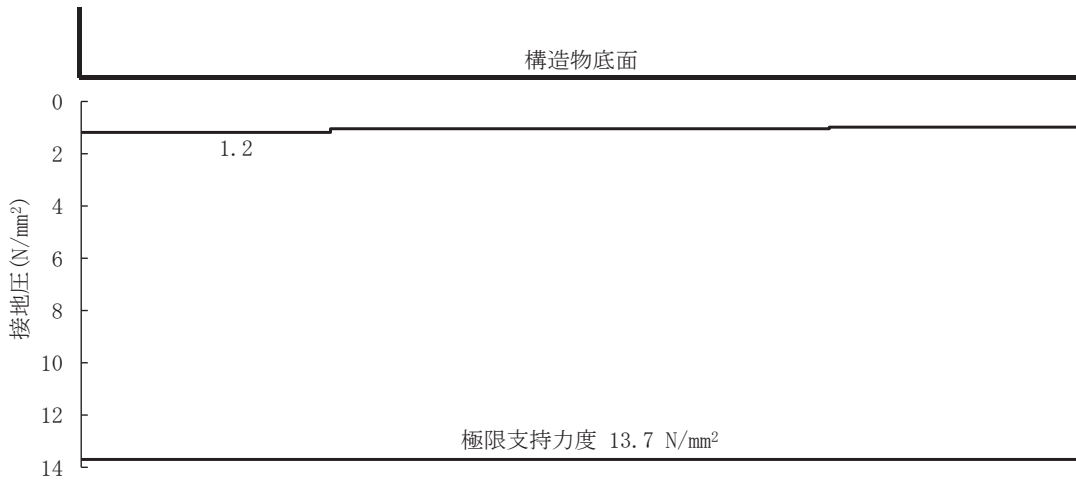


図 4-5(1) 最大接地圧分布図 (No.1 揚水井戸, S s - D 2 (-+))

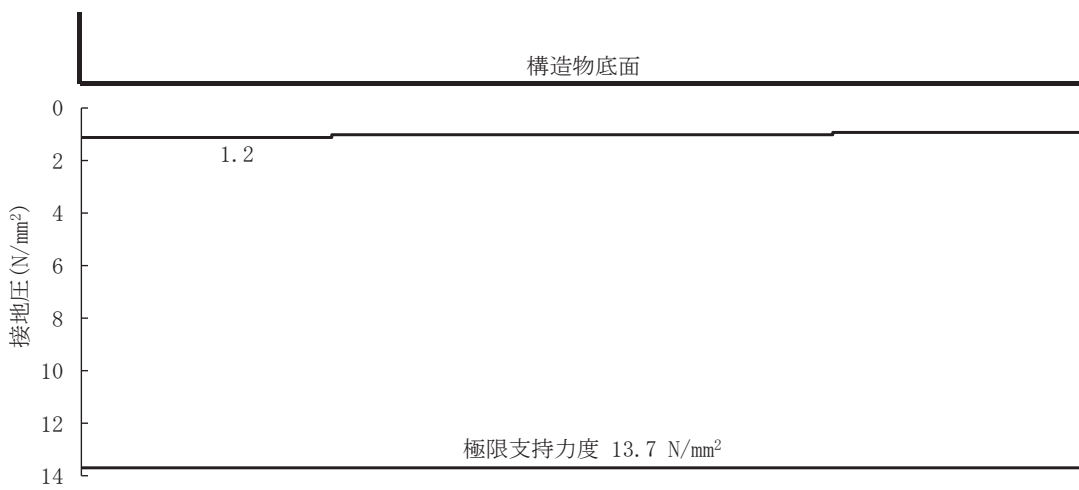


図 4-5(2) 最大接地圧分布図 (No.2 揚水井戸, S s - F 3 (-+))

表 4-19 基礎地盤の支持性能評価結果

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

VI-3-3 強度計算書



## 目 次

- VI-3-3-2 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-5 放射線管理施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-6 原子炉格納施設の強度に関する説明書
- VI-3-3-7 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書

### VI-3-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書

## 目 次

- VI-3-3-3-3 残留熱除去設備の強度計算書
- VI-3-3-3-4 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の強度計算書
- VI-3-3-3-5 原子炉冷却材補給設備の強度計算書
- VI-3-3-3-6 原子炉補機冷却設備の強度計算書

VI-3-3-3-3 残留熱除去設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-3-1 残留熱除去系の強度計算書

VI-3-3-3-3-1 残留熱除去系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-1-2 残留熱除去系ポンプの強度計算書

VI-3-3-3-3-1-2 残留熱除去系ポンプの強度計算書



まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-10 重大事故等クラス2 ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
残留熱除去系ポンプ(A), (B)	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	3.73	186	3.73	186	無	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	-	SA-2
残留熱除去系ポンプ(C)	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	3.73	100	3.73	100	無	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	-	SA-2

## 目次

1. 計算条件 .....	1
1.1 ポンプ形式 .....	1
1.2 計算部位 .....	1
1.3 設計条件 .....	2
2. 強度計算 .....	2
2.1 ケーシングの厚さ .....	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ .....	3
2.3 ケーシングカバーの厚さ .....	3
2.4 ボルトの平均引張応力 .....	4
2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ .....	5

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

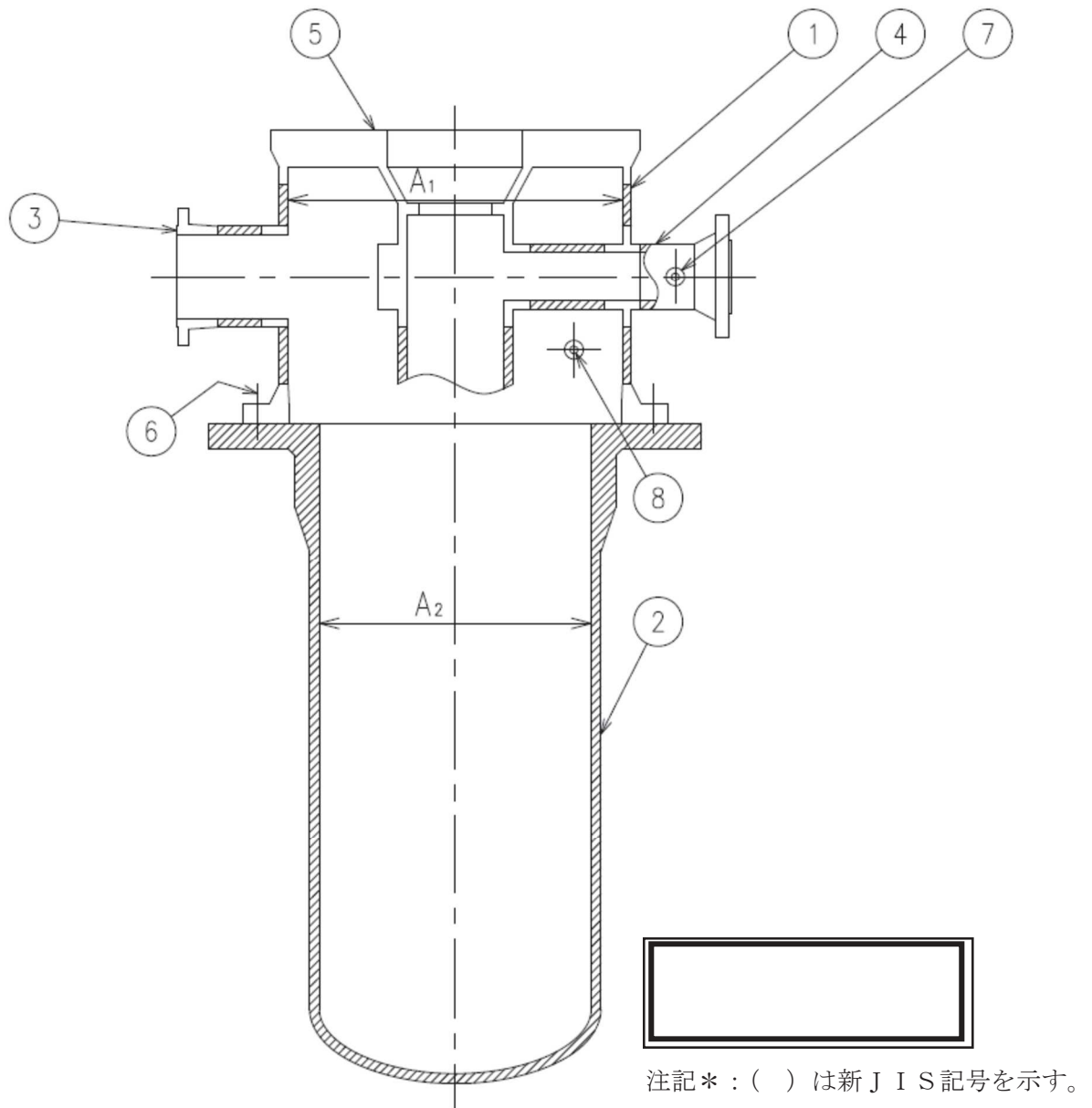


図1-1 概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 設計条件

設計条件	残留熱除去系ポンプ (A), (B)		残留熱除去系ポンプ (C)	
	吐出側	吸込側	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	3.73	1.37	3.73	1.37
最高使用温度 (°C)	186	186	100	100

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

機器名称	計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A <sub>1</sub> (mm)	A <sub>2</sub> (mm)
残留熱除去系 ポンプ (A), (B)	①		1.37			
	②		1.37			
残留熱除去系 ポンプ (C)	①		1.37			
	②		1.37			

注記\* : ( ) は新 J I S 記号を示す。

t (mm)	t <sub>s0</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
8.6		
8.0		
8.6		
8.0		

評価 :  $t_s \geq t$ , よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

機器名称	計算部位	$r_i$	$r_m$	$\ell$	$t$	$t_{\ell o}$	$t_{\ell}$
残留熱除去系 ポンプ (A), (B)	③	244.5	248.8	23.1	8.6		
	④	166.7	171.0	19.2	8.6		
残留熱除去系 ポンプ (C)	③	244.5	248.8	23.1	8.6		
	④	166.7	171.0	19.2	8.6		

評価：  $t_{\ell} \geq t$ ， よって十分である。

2.3 ケーシングカバーの厚さ

告示第501号第77条第5項第1号

機器名称	計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
					d (mm)	K
残留熱除去系 ポンプ (A), (B)	⑤		1.37			
残留熱除去系 ポンプ (C)	⑤		1.37			

$t$ (mm)	$t_{s o}$ (mm)	$t_s$ (mm)
119.0		
119.0		

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

O2 ② VI-3-3-3-3-1-2 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.4 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

機器名称	計算部位	材料	P (MPa)	S <sub>b</sub> (MPa)	d <sub>b</sub> (mm)	n	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
残留熱除去系 ポンプ (A), (B)	⑥		1.37				
残留熱除去系 ポンプ (C)	⑥		1.37				

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G <sub>s</sub> (mm)	G (mm)	D <sub>g</sub> (mm)
セルフシール ガスケット (ゴム)	—	—	—	—	
セルフシール ガスケット (ゴム)	—	—	—	—	

H (N)	H <sub>p</sub> (N)	W <sub>m1</sub> (N)	W <sub>m2</sub> (N)	W (N)	σ (MPa)
					30
					30

評価：σ ≤ S<sub>b</sub>，よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

機器名称	計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D <sub>o</sub> (mm)
残留熱除去系 ポンプ (A), (B)	⑦		3.73		
	⑧		1.37		
残留熱除去系 ポンプ (C)	⑦		3.73		
	⑧		1.37		

注記\* : ( ) は新 J I S 記号を示す。

継手の種類	放射線透過試験の有無	$\eta$
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
0.4		
0.2		
0.4		
0.2		

評価 :  $t_s \geq t$ , よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



VI-3-3-3-4 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の強度計算書

## 目 次

- VI-3-3-3-4-1 高圧炉心スプレイ系の強度計算書
- VI-3-3-3-4-2 低圧炉心スプレイ系の強度計算書
- VI-3-3-3-4-3 高圧代替注水系の強度計算書
- VI-3-3-3-4-5 低圧代替注水系の強度計算書

VI-3-3-3-4-1 高圧炉心スプレイ系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-4-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの強度計算書

VI-3-3-3-4-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-10 重大事故等クラス2 ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
高圧炉心スプレイ系ポンプ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	10.79	100	10.79	100	無	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	-	SA-2

## 目次

1. 計算条件 .....	1
1.1 ポンプ形式 .....	1
1.2 計算部位 .....	1
1.3 設計条件 .....	2
2. 強度計算 .....	2
2.1 ケーシングの厚さ .....	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ .....	2
2.3 ケーシングカバーの厚さ .....	3
2.4 ボルトの平均引張応力 .....	3
2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ .....	4



1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

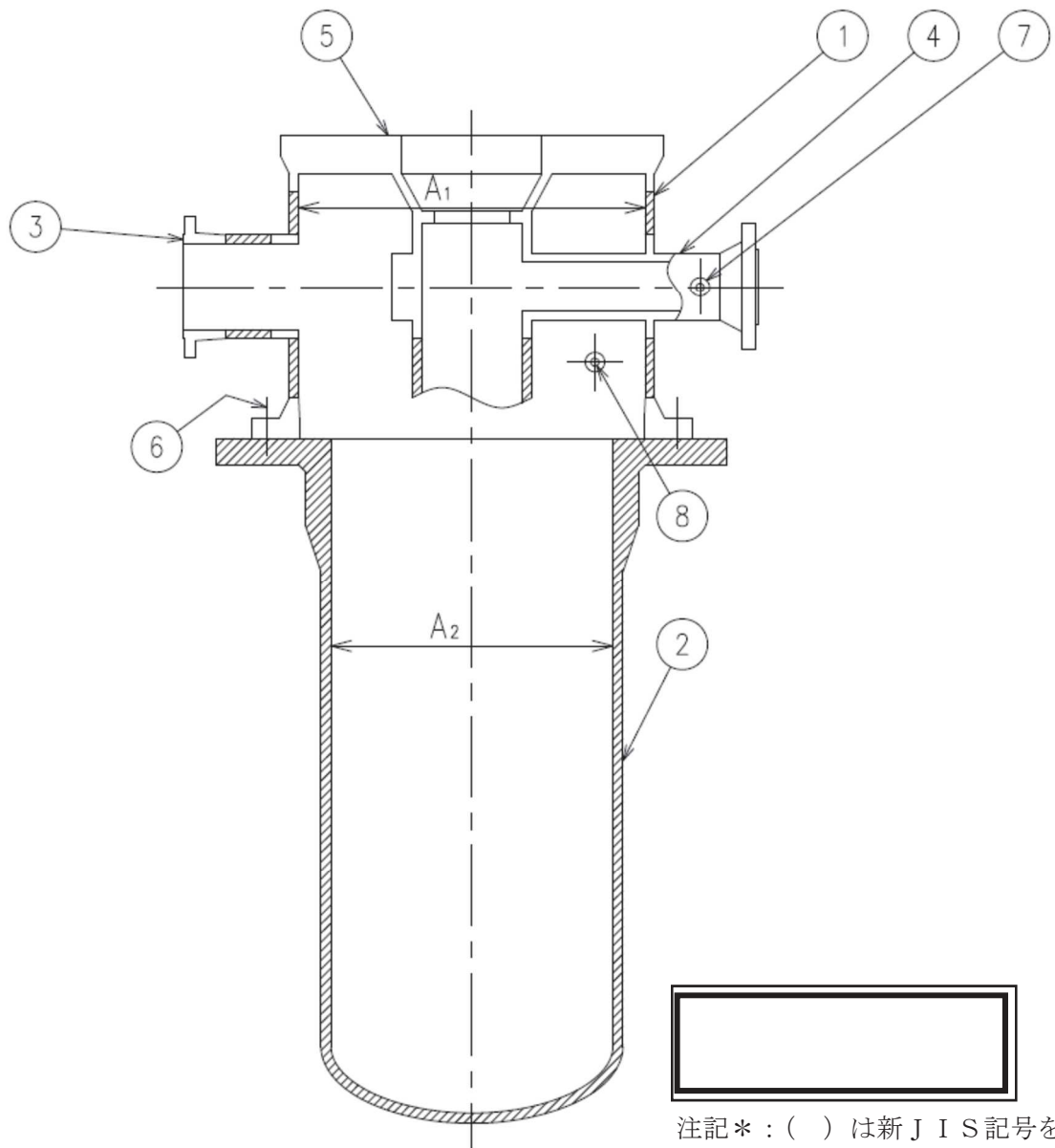


図1-1 概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	10.79	1.37
最高使用温度 (°C)	100	100

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A <sub>1</sub> (mm)	A <sub>2</sub> (mm)
①		1.37			
②		1.37			

注記\* : ( ) は新 J I S 記号を示す。

t (mm)	t <sub>s0</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
9.8		
9.0		

評価 :  $t_s \geq t$ , よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位 : mm)

計算部位	r <sub>i</sub>	r <sub>m</sub>	ℓ	t	t <sub>ℓ0</sub>	t <sub>ℓ</sub>
③	244.5	249.4	24.7	9.8		
④	133.9	140.0	20.6	12.1		

評価 :  $t_{\ell} \geq t$ , よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 ケーシングカバーの厚さ

告示第501号第77条第5項第1号

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑤		1.37			

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
136.1		

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

2.4 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	S <sub>b</sub> (MPa)	d <sub>b</sub> (mm)	n	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
⑥		1.37				

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G <sub>s</sub> (mm)	G (mm)	D <sub>g</sub> (mm)
セルフシール ガスケット (ゴム)	—	—	—	—	

H (N)	H <sub>p</sub> (N)	W <sub>m1</sub> (N)	W <sub>m2</sub> (N)	W (N)	σ (MPa)
					34

評価：  $\sigma \leq S_b$ ， よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D <sub>o</sub> (mm)
⑦		10.79		
⑧		1.37		

注記\* : ( ) は新 J I S 記号を示す。

継手の種類	放射線透過試験の有無	$\eta$
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
1.1		
0.2		

評価 :  $t_s \geq t$ , よって十分である。

VI-3-3-3-4-2 低圧炉心スプレイ系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-4-2-1 低圧炉心スプレイ系ポンプの強度計算書

VI-3-3-3-4-2-1 低圧炉心スプレイ系ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-10 重大事故等クラス2 ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。



・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
低圧炉心スプレイ系ポンプ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	4.41	100	4.41	100	無	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	-	SA-2

## 目次

1. 計算条件 .....	1
1.1 ポンプ形式 .....	1
1.2 計算部位 .....	1
1.3 設計条件 .....	2
2. 強度計算 .....	2
2.1 ケーシングの厚さ .....	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ .....	2
2.3 ケーシングカバーの厚さ .....	3
2.4 ボルトの平均引張応力 .....	3
2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ .....	4

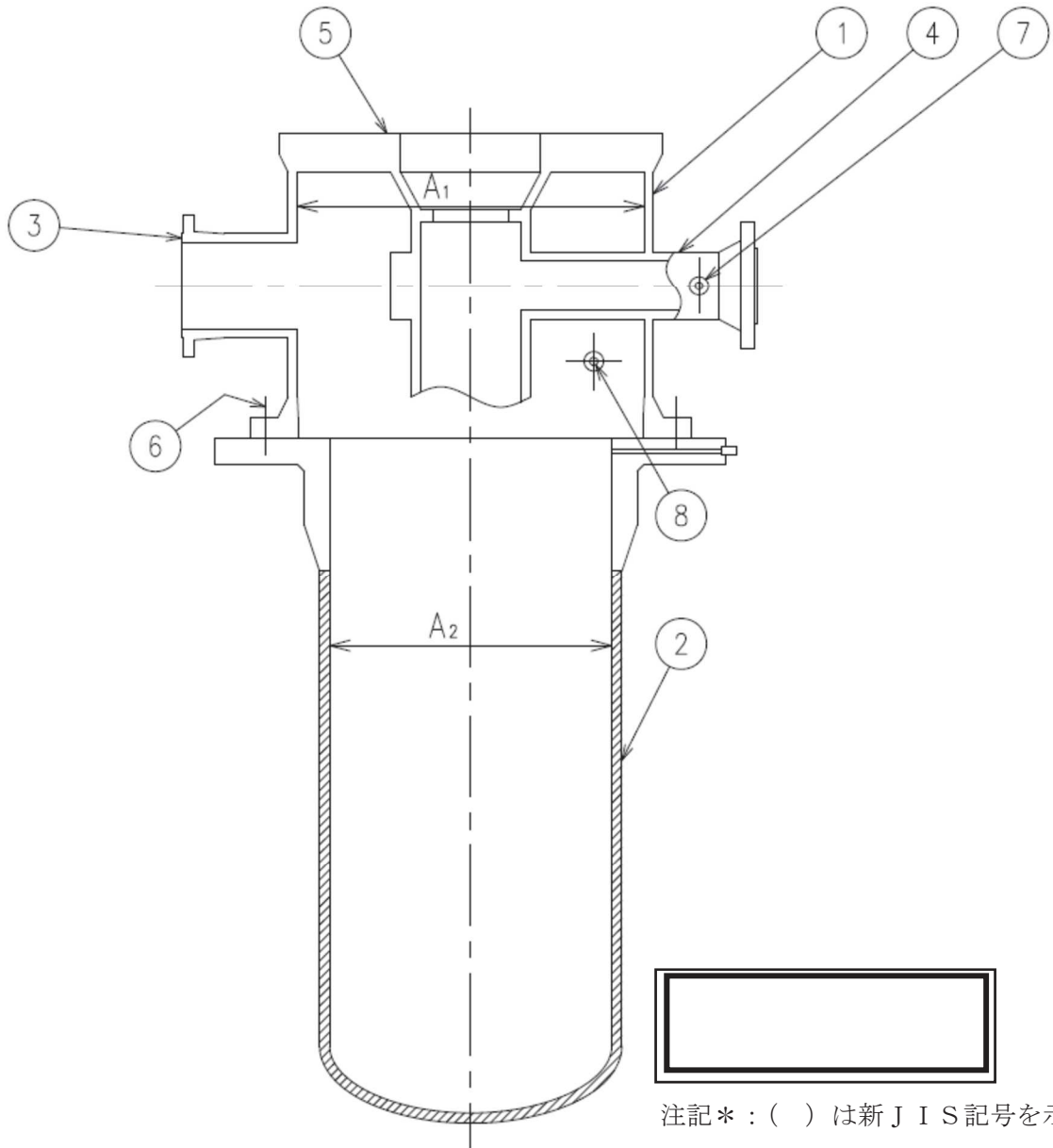
1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



注記\* : ( ) は新 J I S 記号を示す。

図1-1 概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	4.41	1.37
最高使用温度 (°C)	100	100

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A <sub>1</sub> (mm)	A <sub>2</sub> (mm)
①		1.37			
②		1.37			

注記\* : ( ) は新 J I S 記号を示す。

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
8.0		
8.0		

評価 :  $t_s \geq t$ , よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位 : mm)

計算部位	r <sub>i</sub>	r <sub>m</sub>	ℓ	t	t <sub>ℓo</sub>	t <sub>ℓ</sub>
③	244.5	248.5	22.3	8.0		
④	142.0	146.0	17.1	8.0		

評価 :  $t_{\ell} \geq t$ , よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 ケーシングカバーの厚さ

告示第501号第77条第5項第1号

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑤		1.37			

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
129.1		

評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。

2.4 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	S <sub>b</sub> (MPa)	d <sub>b</sub> (mm)	n	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
⑥		1.37				

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G <sub>s</sub> (mm)	G (mm)	D <sub>g</sub> (mm)
セルフシール ガスケット (ゴム)	—	—	—	—	

H (N)	H <sub>p</sub> (N)	W <sub>m1</sub> (N)	W <sub>m2</sub> (N)	W (N)	σ (MPa)
					38

評価： $\sigma \leq S_b$ ，よって十分である。

2.5 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D <sub>o</sub> (mm)
⑦		4.41		
⑧		1.37		

継手の種類	放射線透過試験の有無	$\eta$
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
0.8		
0.3		

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-3-3-4-3 高圧代替注水系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-4-3-1 高圧代替注水系タービンポンプの強度計算書



VI-3-3-3-4-3-1 高圧代替注水系タービンポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-10 重大事故等クラス2 ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
高压代替注水系タービンポンプ	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	14.0	66	—	—	設計・ 建設規格	—	SA-2

## 目次

1. 計算条件	1
1.1 ポンプ形式	1
1.2 計算部位	1
1.3 設計条件	2
2. 強度計算	2
2.1 ケーシングの厚さ	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	3
2.3 ケーシングのボルト穴	3
2.4 ケーシングカバーの厚さ	3
2.5 ボルトの平均引張応力	4
2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ	5
2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	6

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図 1-1 概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	14.0	1.37
最高使用温度 (°C)	66	66

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A <sub>1</sub> (mm)	A <sub>2</sub> (mm)
①	SCS6 相当	14.0	152*		
②	SCS6 相当	1.37	152*		

注記 \* : J I S B 8 2 6 5 で規定される値

t (mm)	t <sub>s0</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
	66.0	

評価 :  $t_s \geq t$ , よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

計算部位	$r_i$	$r_m$	$\varnothing$	$t$	$t_{\ell o}$	$t_{\ell}$
③			3.8			
④			19.4			

評価：  $t_{\ell} \geq t$ ， よって十分である。

2.3 ケーシングのボルト穴

設計・建設規格 PMC-3340

(単位：mm)

計算部位	$d_{bm}$	$a$	$a_{s o}$	$a_s$	$X$	$X_{s o}$	$X_s$
⑤		78.0	89.5		23.1	34.2	

評価：  $a_s \geq a$ ， よって十分である。

評価：  $X_s \geq X$ ， よって十分である。

2.4 ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格 PMC-3410

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑥	SCS6 相当	14.0	152*		
⑦	SUSF304L 相当	14.0	108		

注記 \*： J I S B 8 2 6 5 で規定される値

$t$ (mm)	$t_{s o}$ (mm)	$t_s$ (mm)

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	S <sub>b</sub> (MPa)	d <sub>b</sub> (mm)	n	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
⑧	SNB7 相当 [ ] (径 ≤ 63 mm)	14.0	173	[ ]		
⑨	SNB7 相当 [ ] (径 ≤ 63 mm)	14.0	173			

ガスケット材料	ガスケット 厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	G <sub>s</sub> (mm)	G (mm)	D <sub>g</sub> (mm)
セルフシール ガスケット (ゴム)	—	—	[ ]		
渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	2.5	1 a			

H (N)	H <sub>p</sub> (N)	W <sub>m1</sub> (N)	W <sub>m2</sub> (N)	W (N)	σ (MPa)
[ ]					107
					31

評価：σ ≤ S<sub>b</sub>， よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D <sub>o</sub> (mm)
⑩	SCS6 相当	1.37	152*	
⑪	SCS6 相当	1.37	152*	
⑫	SCS6 相当	14.0	152*	

注記 \* : J I S B 8 2 6 5 で規定される値

継手の種類	放射線透過試験の有無	$\eta$
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
[Redacted]		

評価 :  $t_s \geq t$ , よって十分である。

O 2 ② VI-3-3-3-4-3-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.7 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

ケーシング（使用材料規格：）の評価結果

（比較材料：J I S G 5 1 2 1 S C S 6）

ケーシング、ケーシングカバー及び管台に使用しているは、設計・建設規格クラス2ポンプに使用できる材料の規格でないため、クラス2ポンプで使用可能な材料と機械的強度及び化学的成分を比較し、同等であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 250px; height: 1.2em;"></span>		引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	750 MPa 以上	550 MPa 以上	

(2) 化学的成分

	化学成分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 800px; height: 40px;"></span>									
比較材料	0.06 以下	1.00 以下	1.00 以下	0.04 以下	0.03 以下	—	3.5 ～ 4.5	11.5 ～ 14.0	0.4 ～ 1.0	—
比較結果	化学成分は同等である。									

(3) 評価結果

a. 相当材の使用について

(1)(2)の評価により、機械的強度、化学的成分、いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため、本設備において、を重大事故等クラス2材料として使用することに問題ないと考える。

b. 許容応力値について

J I S G 5 1 2 1 S C S 6は、設計・建設規格において使用可能な材料であるが、最高使用温度における材料の許容引張応力について、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 に規定されていないことから、J I S B 8 2 6 5に規定される許容引張応力を使用する。本J I Sは压力容器の構造に関するものであるが、J I Sの許容引張応力の考え方は、設計・建設規格と同様に各温度の引張強さ、降伏点に対して一定の割合で除した値を許容引張応力として用いている。また、J I Sの許容引張応力は設計・建設規格の値に比べてより保守的な値が設定されていることから、本計算書においてJ I S B 8 2 6 5に規定される許容引張応力を使用することに問題ないと考える。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-3-3-4-5 低圧代替注水系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-4-5-1 直流駆動低圧注水系ポンプの強度計算書

VI-3-3-3-4-5-1 直流駆動低圧注水系ポンプの強度計算書

まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-10 重大事故等クラス2 ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
直流駆動低圧注水系ポンプ	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.70	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

## 目次

1. 計算条件	1
1.1 ポンプ形式	1
1.2 計算部位	1
1.3 設計条件	2
2. 強度計算	2
2.1 ケーシングの厚さ	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	2
2.3 ケーシングの各部形状	3
2.4 ケーシングカバーの厚さ	3
2.5 ボルトの平均引張応力	4



1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

片吸込み1重のうず巻ポンプであって、ケーシングが軸垂直割りであるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

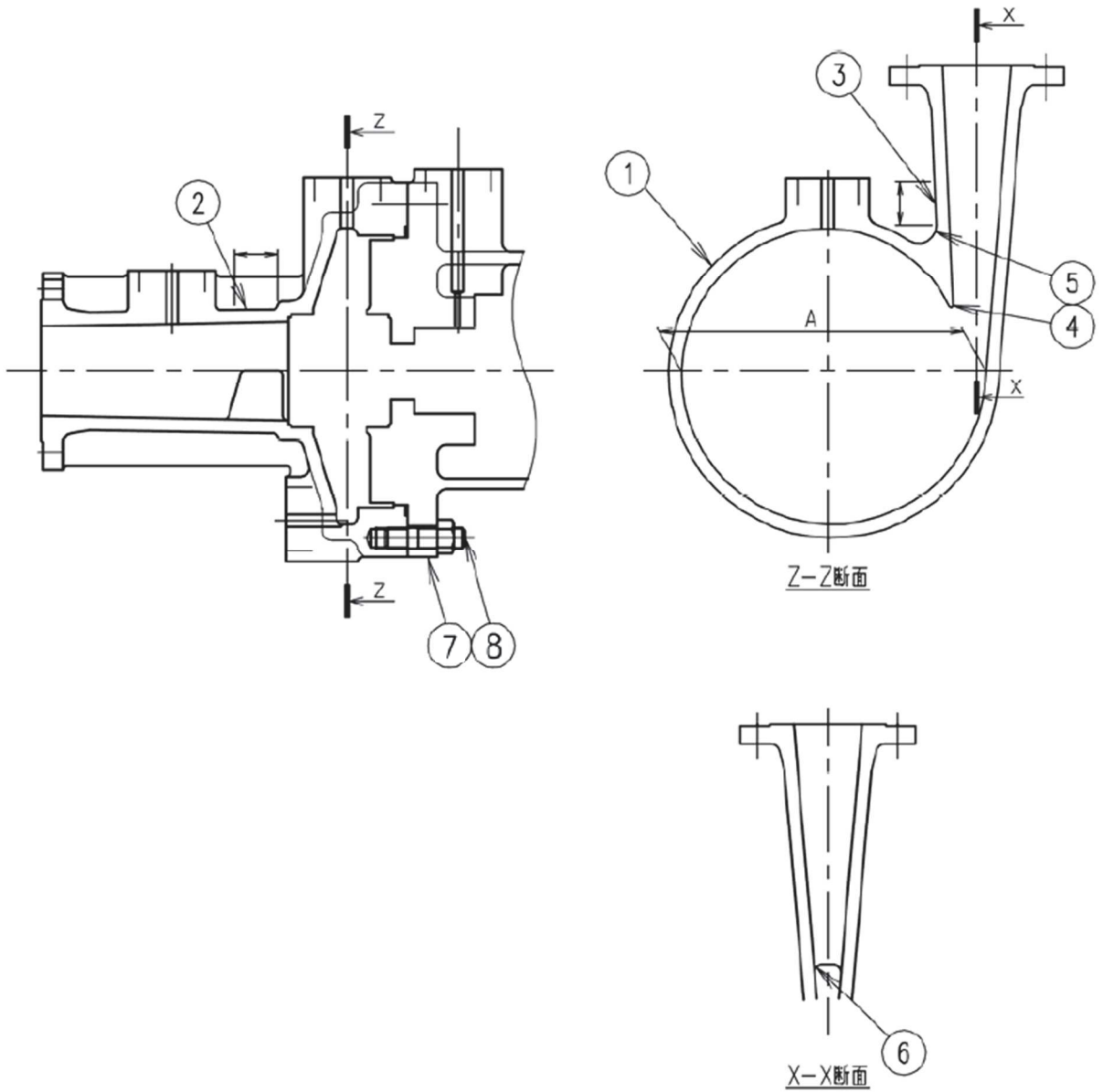


図 1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	1.70	1.37
最高使用温度 (°C)	66	66

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A (mm)
①		1.70		

t (mm)	t <sub>so</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
6.8		

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

計算部位	r <sub>i</sub>	r <sub>m</sub>	φ	t	t <sub>lo</sub>	t <sub>l</sub>
②	51.2	54.6	9.6	6.8		
③	39.1	42.5	8.5	6.8		

評価：  $t_l \geq t$ ， よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 ケーシングの各部形状

(1) ポリユート巻始めの丸みの半径

設計・建設規格 PMC-3340(4)

(単位：mm)

計算部位	$r_1$	$r_{1s0}$	$r_{1s}$
④	0.4		

評価： $r_{1s} \geq r_1$ ，よって十分である。

(2) クロッチの丸みの半径

設計・建設規格 PMC-3340(5)

(単位：mm)

計算部位	$r_2$	$r_{2s0}$	$r_{2s}$
⑤	2.1		

評価： $r_{2s} \geq r_2$ ，よって十分である。

(3) ポリユート巻始めとケーシング壁面の交わる部分のすみの丸みの半径

設計・建設規格 PMC-3340(6)

(単位：mm)

計算部位	$r_3$	$r_{3s0}$	$r_{3s}$
⑥	6.0		

評価： $r_{3s} \geq r_3$ ，よって十分である。

2.4 ケーシングカバーの厚さ

設計・建設規格 PMC-3410

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑦		1.70			

t (mm)	$t_{s0}$ (mm)	$t_s$ (mm)
30.0		

評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	$S_b$ (MPa)	$d_b$ (mm)	n	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
⑧		1.70				

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	$G_s$ (mm)	G (mm)	$D_g$ (mm)
渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	3.2	1a			—

H (N)	$H_p$ (N)	$W_{m1}$ (N)	$W_{m2}$ (N)	W (N)	$\sigma$ (MPa)
					93

評価：  $\sigma \leq S_b$ ， よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-3-3-5 原子炉冷却材補給設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-5-1 原子炉隔離時冷却系の強度計算書

VI-3-3-3-5-2 補給水系の強度計算書

VI-3-3-3-5-1 原子炉隔離時冷却系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-5-1-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの強度計算書



VI-3-3-3-5-1-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」、「VI-3-2-10 重大事故等クラス2 ポンプの強度計算方法」及び「VI-3-2-13 重大事故等クラス2 支持構造物（ポンプ）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
原子炉隔離時冷却系ポンプ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	11.77	66	11.77	66	無	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

## 目次

1. 計算条件	1
1.1 ポンプ形式	1
1.2 計算部位	1
1.3 設計条件	2
2. 強度計算	2
2.1 ケーシングの厚さ	2
2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ	2
2.3 ケーシングのボルト穴	3
2.4 ケーシングカバーの厚さ	3
2.5 ボルトの平均引張応力	4
2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ	5
3. 支持構造物の強度計算書	6

1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、ケーシングが軸垂直割りで軸対称であるものに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

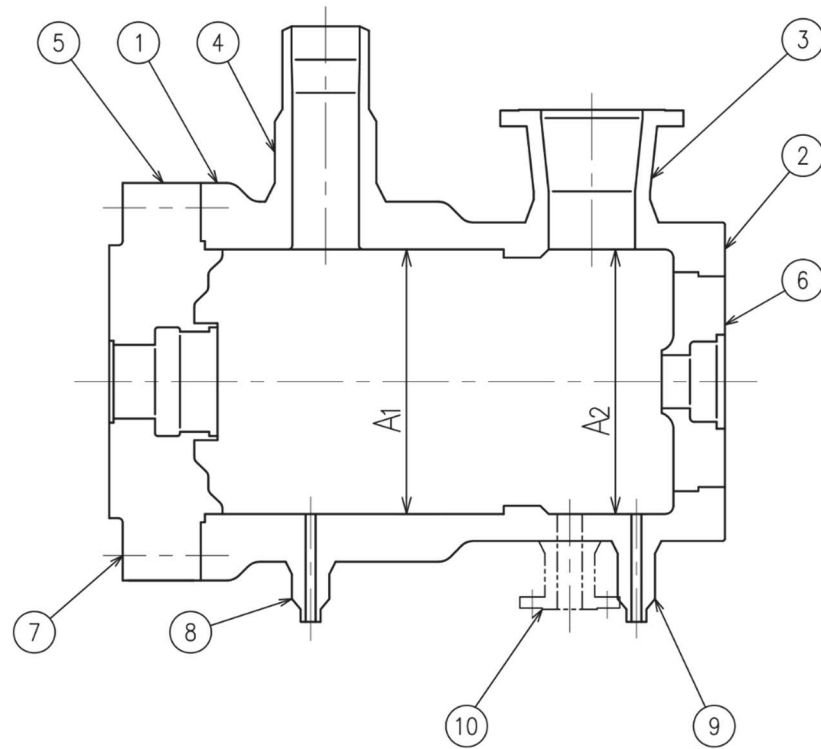


図 1-1 概要図

1.3 設計条件

設計条件	吐出側	吸込側
最高使用圧力 (MPa)	11.77	1.37
最高使用温度 (°C)	66	66

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMC-3320

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	A <sub>1</sub> (mm)	A <sub>2</sub> (mm)
①		11.77			
②		1.37			

t (mm)	t <sub>s0</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
25.6		
3.0		

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

2.2 ケーシングの吸込み及び吐出口部分の厚さ

設計・建設規格 PMC-3330

(単位：mm)

計算部位	r <sub>i</sub>	r <sub>m</sub>	ℓ	t	t <sub>ℓ0</sub>	t <sub>ℓ</sub>
③	60.0	61.5	6.8	3.0		
④	42.5	55.3	18.8	25.6		

評価：  $t_{ℓ} \geq t$ ， よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 ケーシングのボルト穴

設計・建設規格 PMC-3340

(単位：mm)

計算部位	$d_{bm}$	a	$a_{so}$	$a_s$	X	$X_{so}$	$X_s$
①	56.0	112.0			28.0		

評価： $a_s \geq a$ ，よって十分である。

評価： $X_s \geq X$ ，よって十分である。

2.4 ケーシングカバーの厚さ

告示第501号第77条第5項第1号

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	平板形	
				d (mm)	K
⑤		11.77			
⑥		1.37			

t (mm)	$t_{so}$ (mm)	$t_s$ (mm)
89.0		
42.6		

評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。

2.5 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	$S_b$ (MPa)	$d_b$ (mm)	n	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
⑦		11.77			12	

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	$G_s$ (mm)	G (mm)	$D_g$ (mm)
渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)	4.8	1a			—

H (N)	$H_p$ (N)	$W_{m1}$ (N)	$W_{m2}$ (N)	W (N)	$\sigma$ (MPa)
					132

評価： $\sigma \leq S_b$ ，よって十分である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



2.6 耐圧部分等のうち管台に係るものの厚さ

設計・建設規格 PMC-3610

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D <sub>o</sub> (mm)
⑧		11.77		
⑨		1.37		
⑩		1.37		

継手の種類	放射線透過試験の有無	$\eta$
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00
継手無し	—	1.00

t (mm)	t <sub>s o</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)
2.6		
0.3		
0.5		

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

3. 支持構造物の強度計算書

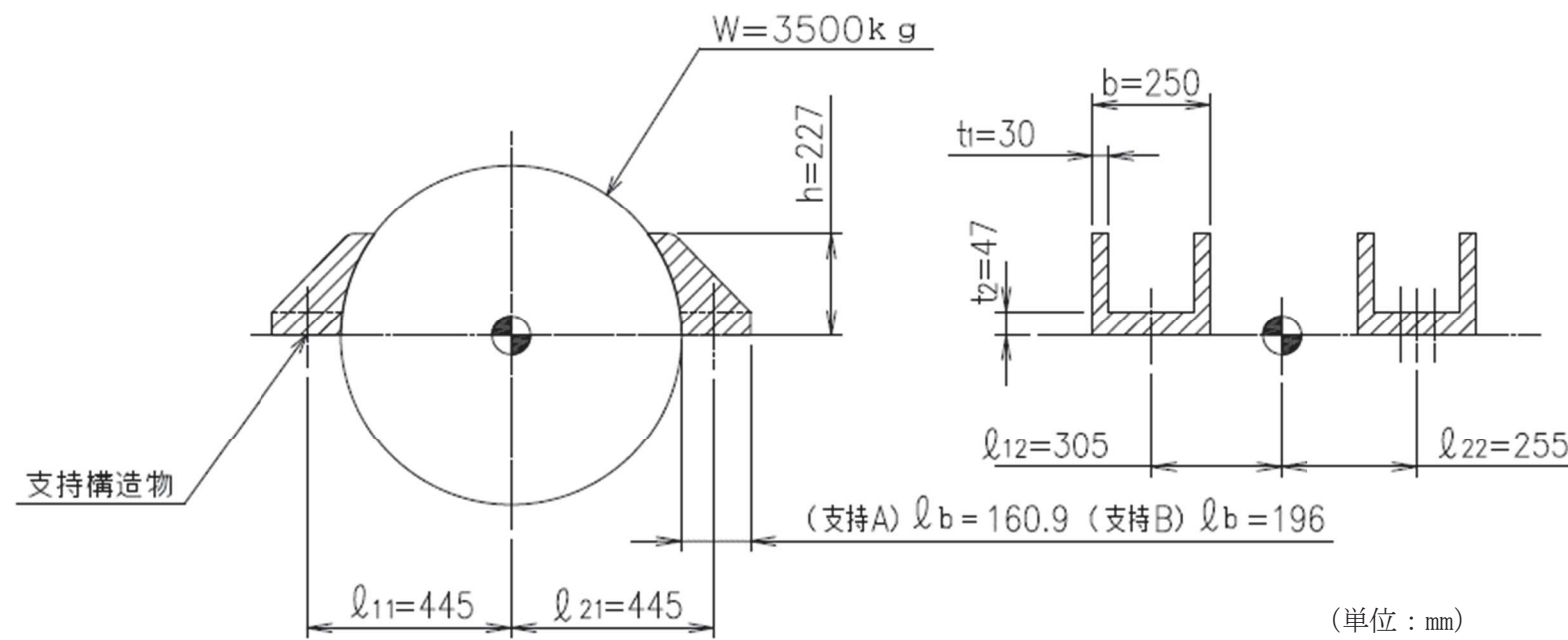
原子炉隔離時冷却系ポンプ 支持構造物 (凹型)

(1) 一次せん断応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F <sub>c</sub> (N)	断面積 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	一次せん断応力 σ <sub>s</sub> (MPa)	許容せん断応力 f <sub>S</sub> (MPa)	評価
取付ラグ	4		66				1		計算応力は、許容応力以下であるため、取付ラグの強度は問題ない。

(2) 一次曲げ応力評価

種類	脚本数	材料	最高 使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F <sub>c</sub> (N)	曲げモーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm <sup>3</sup> )	一次曲げ応力 σ <sub>b</sub> (MPa)	許容曲げ応力 f <sub>b</sub> (MPa)	評価
取付ラグ	4		66			1.832×10 <sup>6</sup>	6.961×10 <sup>5</sup>	3		計算応力は、許容応力以下であるため、取付ラグの強度は問題ない。



【原子炉隔離時冷却系ポンプ 支持構造物の強度計算説明図】

VI-3-3-3-5-2 補給水系の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-5-2-2 復水貯蔵タンクの強度計算書

VI-3-3-3-5-2-2 復水貯蔵タンクの強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」に基づいて評価を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
復水貯蔵 タンク	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	静水頭	66	静水頭	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2

## 1. 概要

本計算書については、重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、評価結果については、平成4年4月3日付け4資庁第1992号にて認可された工事計画書の添付書類「IV-2-1-2-1 復水貯蔵タンクの強度計算書」による。



VI-3-3-3-6 原子炉補機冷却設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-3-6-1 原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系の強度計算書

VI-3-3-3-6-1 原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系の  
強度計算書

目 次

VI-3-3-3-6-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書

VI-3-3-3-6-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-10 重大事故等クラス2 ポンプの強度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、適用規格の選定結果について以下に示す。適用規格の選定に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の技術基準 に対象とする施設 の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
原子炉補機冷却海水ポンプ	既設	有	有	Non	Non	SA-2	無	0.78	50	0.78	50	—	S55 告示	設計・建設規格 (同等性) 又は告示	a. (b)	SA-2

## 目次

1. 計算条件	1
1.1 ポンプ形式	1
1.2 計算部位	1
1.3 設計条件	2
2. 強度計算	2
2.1 ケーシングの厚さ	2
2.2 ボルトの平均引張応力	3



1. 計算条件

1.1 ポンプ形式

ターボポンプであって、軸垂直割りケーシングをもった1段の立形ポンプに相当する。

1.2 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

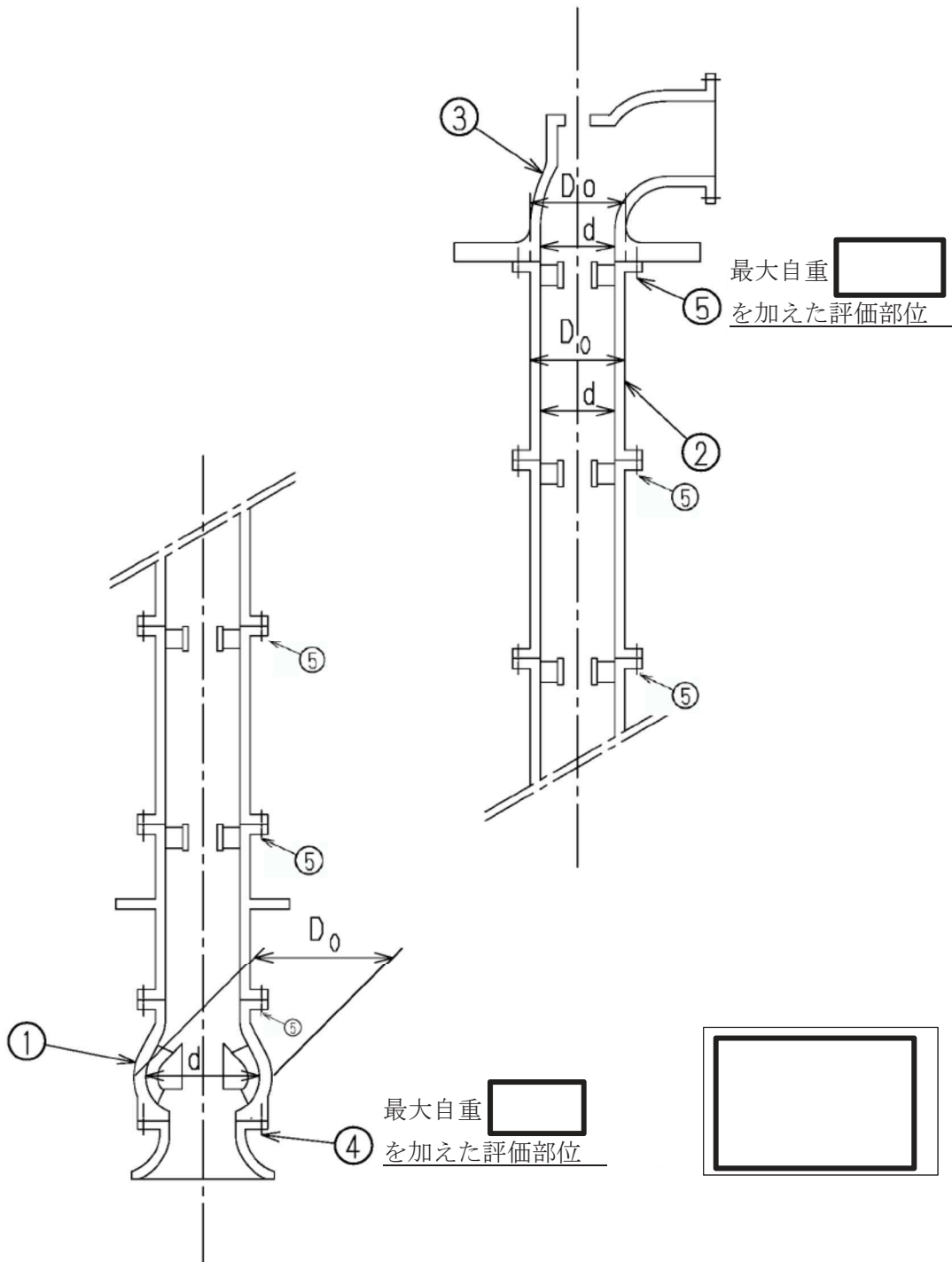


図 1-1 概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 設計条件

設計条件	
最高使用圧力 (MPa)	0.78
最高使用温度 (°C)	50

2. 強度計算

2.1 ケーシングの厚さ

設計・建設規格 PMD-3310

計算部位	材料	P (MPa)	S (MPa)	D o (mm)	継手の種類	放射線透過試験 の有無
①		0.78			継手無し	-
②		0.78			突合せ両側溶接	有
③		0.78			継手無し	-

$\eta$	y	d (mm)	t (mm)	$t_{s0}$ (mm)	$t_s$ (mm)
1.00	0.4		4.5		
1.00	0.4		2.0		
1.00	0.4		2.8		

評価：  $t_s \geq t$ ， よって十分である。

O2 ② VI-3-3-3-6-1-3 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 ボルトの平均引張応力

設計・建設規格 PMC-3510

計算部位	材料	P (MPa)	$S_b$ (MPa)	$d_b$ (mm)	n	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
④		0.78				
⑤		0.78				

ガスケット材料	ガスケット厚さ (mm)	ガスケット 座面形状	$G_s$ (mm)	G (mm)	$D_g$ (mm)
セルフシールガスケット (ゴム)	-	-	-	-	
セルフシールガスケット (ゴム)	-	-	-	-	

H (N)	$H_p$ (N)	$W_{m1}$ (N)	$W_{m2}$ (N)	W (N)	$\sigma$ (MPa)
					28
					14

評価： $\sigma \leq S_b$ ，よって十分である。

#### VI-3-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書

## 目 次

- VI-3-3-4-1 制御材駆動装置の強度計算書
- VI-3-3-4-2 ほう酸水注入設備の強度計算書
- VI-3-3-4-3 制御用空気設備の強度計算書

VI-3-3-4-1 制御材駆動装置の強度計算書

## 目 次

VI-3-3-4-1-1 制御棒駆動機構の強度計算書

VI-3-3-4-1-2 制御棒駆動水圧設備の強度計算書

VI-3-3-4-1-1 制御棒駆動機構の強度計算書



## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
1	既設	有	無	DB-1	DB-1	SA-2	有	8.62	302	10.34	315	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	8.62	302	10.34	315	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	有	8.62	302	10.34	315	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

・適用規格の選定

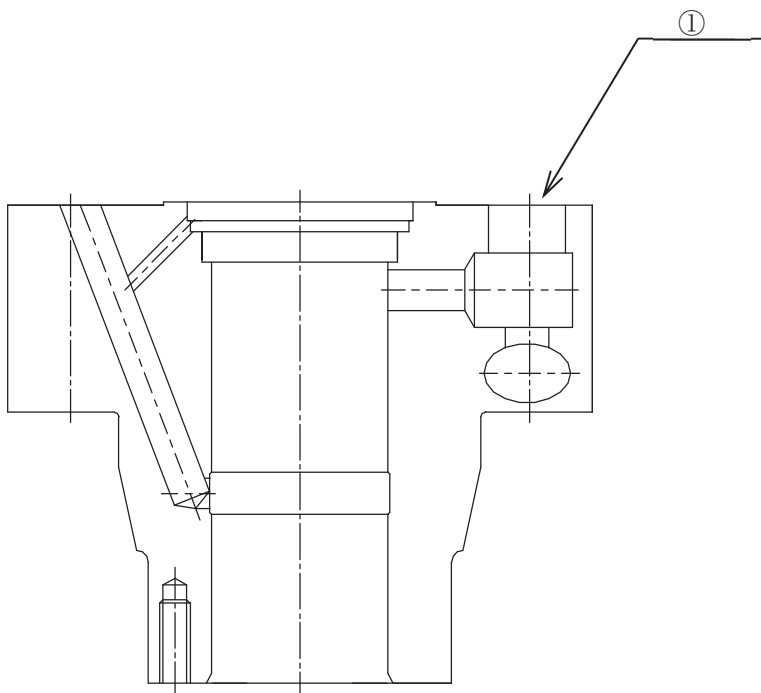
管 No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	フランジの強度計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
2	管の板厚計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
3	平板の強度計算	設計・建設規格 又は告示	許容値	S55 告示

## 目 次

1. 概略図 .....	1
2. フランジの強度計算 (重大事故等クラス 2 管) .....	2
3. 管の板厚計算 (重大事故等クラス 2 管) .....	10
4. 平板の強度計算 (重大事故等クラス 2 管) .....	11

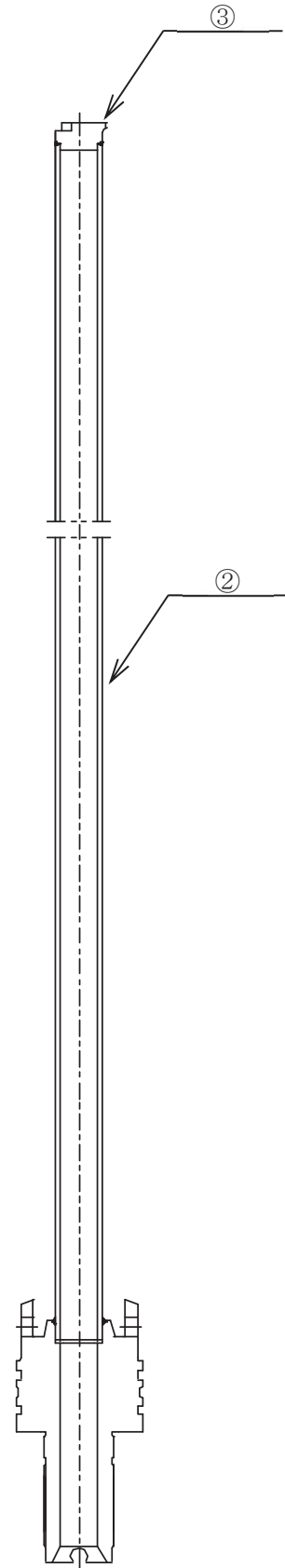
1. 概略図

02 ② VI-3-3-4-1-1 R0



フランジ概要図

図中の番号は次ページ  
以降の計算項目番号を  
示す。



インディケータチューブ概要図

## 2. フランジの強度計算（重大事故等クラス2管）

### 2.1 記号の説明

本評価部位の計算に使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法」にて定義したものに加え、以下に示す記号を使用する。

J I S の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	$A_n$	n番の断面積（ $n=0, 1, 2\cdots 5$ ）	$\text{Mm}^2$
	$I_G$	フランジリングの断面二次モーメント（流水口を含まない。）	$\text{Mm}^4$
	$I_n$	n番の断面に関する断面二次モーメント（ $n=0, 1, 2\cdots 5$ ）	$\text{Mm}^4$
	$I_T$	フランジリングの断面二次モーメント（流水口を含む。）	$\text{Mm}^4$
	$J$	単位長さ当りのガスケット設計締付荷重	$\text{N/mm}$
	$\bar{l}$	断面減少を考慮した場合の壁の厚さ	$\text{mm}$
	$l_n$	n番の断面におけるX方向長さ	$\text{mm}$
	$M_g'$	ガスケット締付時にフランジに作用する単位長さ当りのモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm/mm}$
	$M_o'$	使用状態でフランジに作用する単位長さ当りのモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm/mm}$
	$\bar{R}$	フランジリングの平均半径	$\text{mm}$
	$t_n$	n番の断面におけるY方向長さ	$\text{mm}$
	$\bar{y}$	フランジリングの図心のX軸からの距離（流水口を考慮した場合）	$\text{mm}$
	$y_n$	n番の図心のX軸からの距離	$\text{mm}$

## 2.2 計算手順及び算式（フランジの内圧計算）

本評価部位は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」に基づいて計算を行うが、ボルト荷重、フランジの応力については、保守性を考慮し、平成 4 年 1 月 13 日付け 3 資庁第 10518 号にて認可された工事計画書の添付書類「IV-3-3-1-1 制御棒駆動機構の強度計算書」と同様に、以下の計算手順及び算式を用いる。

なお、フランジ形状及び各部の記号は図 2-1～図 2-2 に示す。

### (1) 計算上必要なボルト荷重

本計算手順において考慮するガスケットの材料はセルフシールガスケットであるが、保守性を考慮し、平成 4 年 1 月 13 日付け 3 資庁第 10518 号にて認可された工事計画書の添付書類「IV-3-3-1-1 制御棒駆動機構の強度計算書」と同様に、単位長当たりのガスケット設計締付荷重  $J$  が加わるものとする。

#### a. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m_1} = H + H_p$$

ここで

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$H_p = J \cdot \pi \cdot G$$

#### b. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m_2} = J \cdot \pi \cdot G$$

### (2) 一体型フランジ及びルーズ型フランジ（差込み形フランジ）の応力

本計算手順において、図 2-2 に示す断面減少を考慮し、平成 4 年 1 月 13 日付け 3 資庁第 10518 号にて認可された工事計画書の添付書類「IV-3-3-1-1 制御棒駆動機構の強度計算書」と同様に以下の計算手順及び算式を用いる。

#### a. ハブの軸方向応力

##### (a) 使用状態

$$\sigma_{H_0} = \frac{f \cdot M_0}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_0}$$

(b) ガasket縮付時

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

b. フランジの半径方向応力

(a) 使用状態

$$\sigma_{Ro} = P \cdot \frac{1 - Z^2}{Y^2 - 1}$$

ここで

$$Y^2 = Z^2 = \left( \frac{\frac{B}{2} + \bar{I}}{\frac{B}{2}} \right)^2$$

(b) ガasket縮付時

$$\sigma_{Rg} = 0$$

c. フランジの周方向応力

(a) 使用状態

$$\sigma_{To} = \frac{M_o' \cdot \bar{R}^2 \cdot (t - \bar{y})}{\frac{B}{2} \cdot I_G} + P \cdot \frac{1 + Z^2}{Y^2 - 1}$$

(b) ガasket縮付時

$$\sigma_{Tg} = \frac{M_g' \cdot \bar{R}^2 \cdot (-\bar{y})}{\frac{B}{2} \cdot I_G}$$

ここで

$$M_o' = \frac{M_o}{2 \cdot \pi \cdot \bar{R}}$$

$$M_g' = \frac{M_g}{2 \cdot \pi \cdot \bar{R}}$$

$$I_G = \sum_{n=0}^5 I_n + \sum_{n=0}^5 (A_n \cdot y_n^2) - \bar{y} \cdot \sum_{n=0}^5 (A_n \cdot y_n)$$



$$\bar{R} = \frac{A + B}{4}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{n=0}^5 (A_n \cdot y_n)}{\sum_{n=0}^5 A_n}$$

$$\bar{I} = \frac{\sum_{n=0}^5 A_n}{t}$$

$$I_0 = I_T = \bar{R} \cdot \frac{t^3}{12} \cdot \ln\left(\frac{A}{B}\right)$$

$$I_n = -\frac{1}{12} \cdot l_n \cdot t_n^3 \quad : \quad n = 1 \sim 5$$

$$A_0 = l_0 \cdot t_0 = \frac{A - B}{2} \cdot t$$

$$A_n = -l_n \cdot t_n \quad : \quad n = 1 \sim 5$$

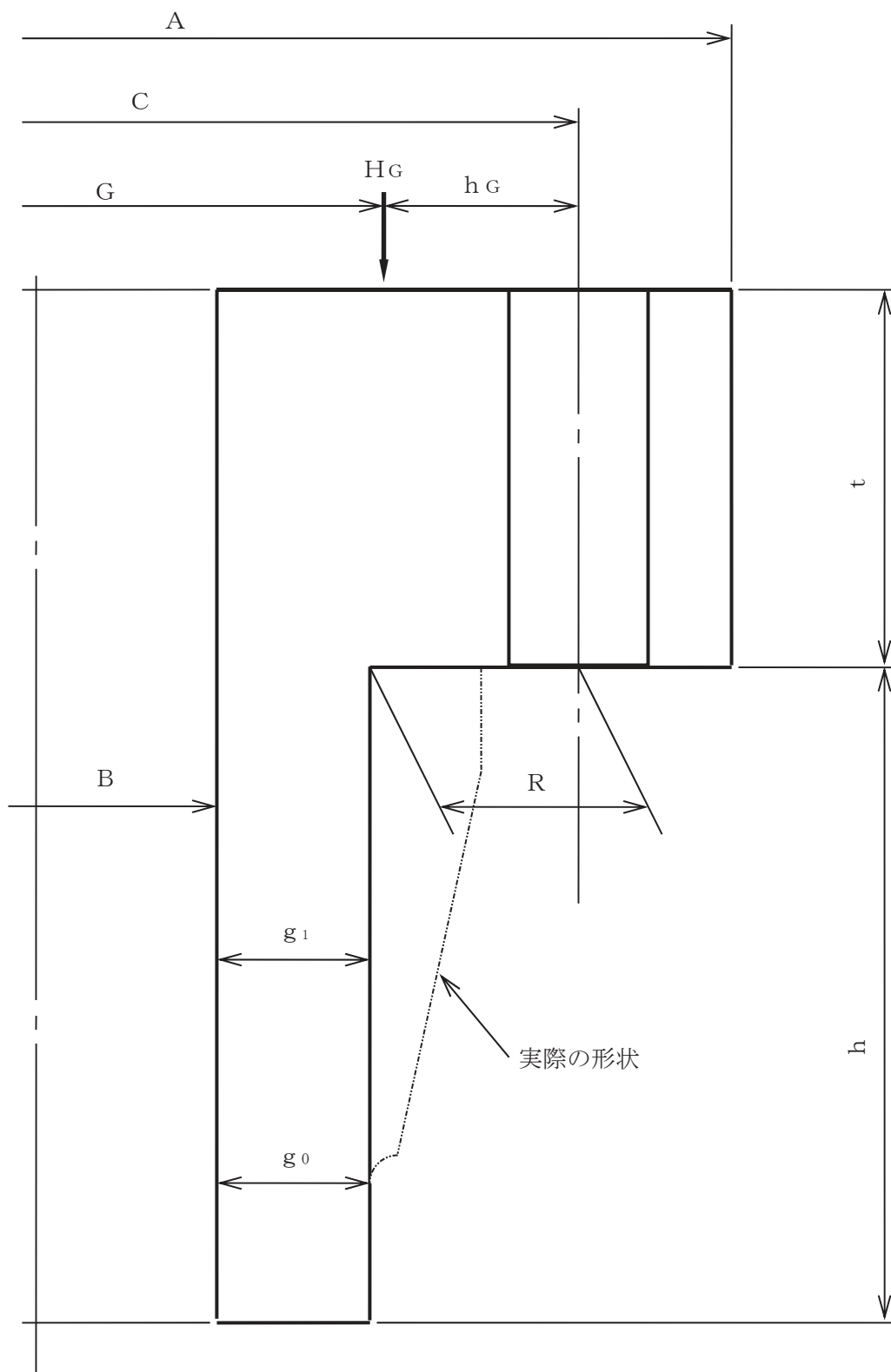
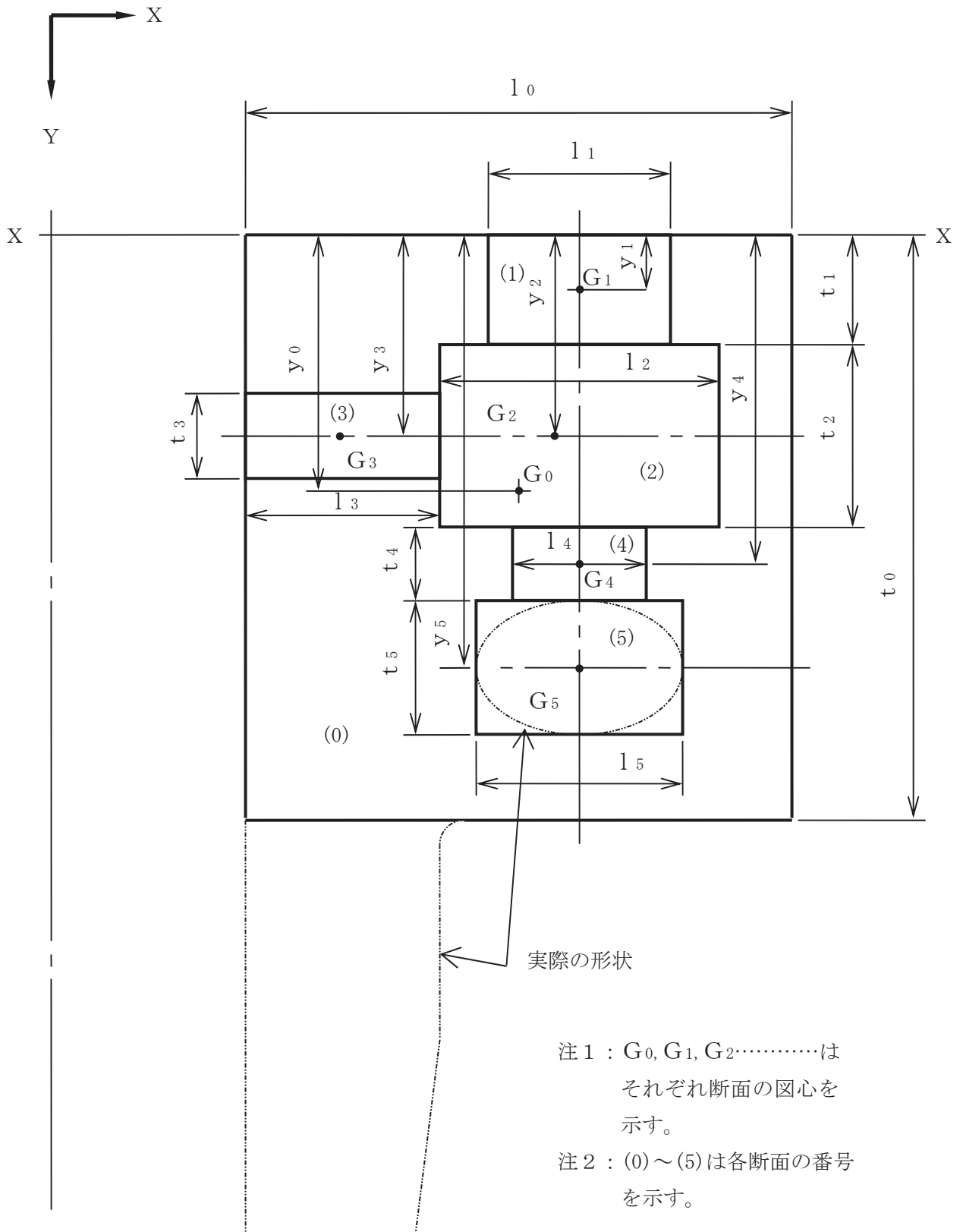


図 2-1 フランジ形状及び各部の記号 (その 1)



注1 :  $G_0, G_1, G_2$ ……………は  
それぞれ断面の図心を  
示す。

注2 : (0)~(5)は各断面の番号  
を示す。

図 2-2 フランジ形状及び各部の記号 (その 2)

2.3 計算結果

設計・建設規格 PPC-3414 準用 (J I S B 8 2 6 5 附属書3適用)

設計条件		モーメントの計算	
形 式	一体形	$H_D$	(N)
設 計 圧 力 $P$	(MPa)	$h_D$	(mm)
最高使用圧力 $P_o$	(MPa) 10.34	$M_D$	(N・mm)
最高使用温度	(°C) 315	$H_G$	(N)
フランジ		$h_G$	(mm)
		$M_G$	(N・mm)
		$H_T$	(N)
		$h_T$	(mm)
材 料		$M_T$	(N・mm)
$\sigma_{fa}$ 常温(ガスケット締付時) (20°C)	(MPa)	$M_o$	(N・mm)
$\sigma_{fb}$ 最高使用温度 (使用状態)	(MPa)	$M_g$	(N・mm)
A	(mm)	$M_o'$	(N・mm/mm)
B	(mm)	$M_g'$	(N・mm/mm)
C	(mm)	フランジの厚さと係数	
$g_o$	(mm)	$h_o$	(mm)
$g_1$	(mm)	f	
h	(mm)	F	
ボルト		V	
材 料		K	
$\sigma_a$ 常温(ガスケット締付時) (20°C)	(MPa)	T	
$\sigma_b$ 最高使用温度 (使用状態)	(MPa)	U	
$d_b$	(mm)	Y	
n		Z	
ガスケット		d	(mm <sup>3</sup> )
		e	(mm <sup>-1</sup> )
		t	(mm)
材 料		L	
G	(mm)	$I_G^*$	(mm <sup>4</sup> )
J	(N/mm)	$I_T$	(mm <sup>4</sup> )
ボルトの計算		$\bar{l}$	(mm)
		$\bar{R}$	(mm)
		$\bar{y}$	(mm)
		応力の計算	
H	(N)	$\sigma_{Ho}$	(MPa)
$H_P$	(N)	$\sigma_{Ro}$	(MPa)
$W_{m1}$	(N)	$\sigma_{To}$	(MPa)
$W_{m2}$	(N)	$\sigma_{Hg}$	(MPa)
$A_{m1}$	(mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{Rg}$	(MPa)
$A_{m2}$	(mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{Tg}$	(MPa)
$A_m$	(mm <sup>2</sup> )	応力の評価	
$A_b$	(mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}, \sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
$W_o$	(N)	$\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}, \sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
$W_g$	(N)	$\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}, \sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$	
評価: $A_m < A_b$ , よって十分である。		以上より十分である。	

注記 \* :  $I_G$ は、表 2-1 の断面二次モーメントの計算数値を用いて算出した。

表 2-1 断面二次モーメントの計算数値

断面 (n)	$l_n$ (mm)	$t_n$ (mm)	$A_n$ (mm <sup>2</sup> )	$y_n$ (mm)	$A_n \cdot y_n$ (mm <sup>3</sup> )	$A_n \cdot y_n^2$ (mm <sup>4</sup> )	$I_n$ (mm <sup>4</sup> )
全断面 (0)							
断面 (1)							
断面 (2)							
断面 (3)							
断面 (4)							
断面 (5)							
合計 $\Sigma$							

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 管の板厚計算（重大事故等クラス 2 管）

設計・建設規格 PPC-3411 準用

NO.	最高使用圧力		最高使用 温度 (°C)	外径 D <sub>o</sub> (mm)	公称 厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	η	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>op</sub> (mm)	算式	t <sub>r</sub> (mm)
	内圧 P (MPa)	外圧 P <sub>e</sub> (MPa)														
2	0.00	10.34	315										0			

評価：  $t_s \geq t_r$ ， よって十分である。

4. 平板の強度計算（重大事故等クラス 2 管）  
 告示第 5 0 1 号 58 条第 3 項 準用  
 系統：制御棒駆動水圧系

			告示 第 5 0 1 号
No.			3
設計条件			
平板の取付け方法			<input type="text"/>
平板の穴の有無			無し
最高使用圧力	P	(MPa)	10.34
最高使用温度		(°C)	315
平板の厚さ			
材 料			<input type="text"/>
許容引張応力	S	(MPa)	<input type="text"/>
取付け方法による係数	K		0.50
平 板 の 径	d	(mm)	<input type="text"/>
必 要 厚 さ	t	(mm)	<input type="text"/>
呼び厚さ	t <sub>po</sub>	(mm)	<input type="text"/>
最小厚さ	t <sub>p</sub>	(mm)	<input type="text"/>
評価： t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-3-4-1-2 制御棒駆動水圧設備の強度計算書



目 次

VI-3-3-4-1-2-1 制御棒駆動水圧系の強度計算書

VI-3-3-4-1-2-1 制御棒駆動水圧系の強度計算書

## 目 次

- VI-3-3-4-1-2-1-1 水圧制御ユニット（アキュムレータ）の強度計算書
- VI-3-3-4-1-2-1-2 水圧制御ユニット（窒素容器）の強度計算書
- VI-3-3-4-1-2-1-3 弁の強度計算書（制御棒駆動水圧系）
- VI-3-3-4-1-2-1-4 管の強度計算書（制御棒駆動水圧系）

VI-3-3-4-1-2-1-1 水圧制御ユニット(アキュムレータ)の強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」に基づいて評価を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
水圧制御ユニット (アキュムレータ)	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	15.20	66	15.20	66	有	S55 告示	既工認	-	SA-2

1. 概要

本計算書については、重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、評価結果については、平成4年1月13日付け3資庁第10518号にて認可された工事計画の添付書類「IV-3-3-1-2-1 水圧制御ユニットの強度計算書」による。

VI-3-3-4-1-2-1-2 水圧制御ユニット(窒素容器)の強度計算書



## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」に基づいて評価を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
水圧制御ユニット (窒素容器)	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	15.20	66	15.20	66	有	S55 告示	既工認	-	SA-2

1. 概要

本計算書については、重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、評価結果については、平成4年1月13日付け3資庁第10518号にて認可された工事計画の添付書類「IV-3-3-1-2-1 水圧制御ユニットの強度計算書」による。

VI-3-3-4-1-2-1-3 弁の強度計算書（制御棒駆動水圧系）

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-11 重大事故等クラス2 弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
C12-D001-126	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	15.20	66	15.20	66	無	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
C12-D001-127	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

目 次

1. 重大事故等クラス2 弁	1
1.1 設計仕様	2
1.2 強度計算書	3

## 1. 重大事故等クラス2 弁



1.1 設計仕様

系統：制御棒駆動水圧系

機器の区分		重大事故等クラス2弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト
C12-D001-126	止め弁	25(入口側)／ 25(出口側)	SUS316L	SUS316L	SNB7
C12-D001-127	止め弁	20(入口側)／ 20(出口側)	SUS316L	SUS316L	SNB7

1.2 強度計算書

系統：制御棒駆動水圧系

弁番号	C12-D001-126	シート	1
-----	--------------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	15.20		$d_n$ (mm)	—
最高使用温度 $T_m$ (°C)	66		$d_n / d_m$	—
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\varnothing$ (mm)	—
弁箱材料	SUS316L		$t_{m1}$ (mm)	—
弁ふた材料	SUS316L		$t_{m2}$ (mm)	—
$P_1$ (MPa)	—	12.84	$t_{ma1}$ (mm)	—
$P_2$ (MPa)	—	21.49	$t_{ma2}$ (mm)	—
$d_m$ (mm)	□		注：本弁は棒材削り出し構造のため、ネック部に相当する部分はないものとし、弁箱及び弁ふたの計算のみ行う。	
$t_1$ (mm)	—	□		
$t_2$ (mm)	—	□		
$t$ (mm)	—	□		
$t_{ab}$ (mm)	□			
$t_{af}$ (mm)	□			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$				
よって十分である。				

O2 ② VI-3-3-4-1-2-1-3 RO

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

系統：制御棒駆動水圧系

弁番号	C12-D001-127	シート	1
-----	--------------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	13.83		$d_n$ (mm)	—
最高使用温度 $T_m$ (°C)	66		$d_n / d_m$	—
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\varnothing$ (mm)	—
弁箱材料	SUS316L		$t_{m1}$ (mm)	—
弁ふた材料	SUS316L		$t_{m2}$ (mm)	—
$P_1$ (MPa)	—	12.84	$t_{ma1}$ (mm)	—
$P_2$ (MPa)	—	21.49	$t_{ma2}$ (mm)	—
$d_m$ (mm)	□		注：本弁は棒材削り出し構造のため、ネック部に相当する部分はないものとし、弁箱及び弁ふたの計算のみ行う。	
$t_1$ (mm)	—	□		
$t_2$ (mm)	—	□		
$t$ (mm)	—	□		
$t_{ab}$ (mm)	□			
$t_{af}$ (mm)	□			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 ② VI-3-3-4-1-2-1-3 ROE

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-3-4-1-2-1-4 管の強度計算書（制御棒駆動水圧系）

目 次

VI-3-3-4-1-2-1-4-1 管の基本板厚計算書（制御棒駆動水圧系）

VI-3-3-4-1-2-1-4-1 管の基本板厚計算書（制御棒駆動水圧系）

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価 区分	同等性 評価区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
1	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
2	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
3	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
4	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
5	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
その他	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	13.83	66	13.83	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2



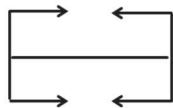
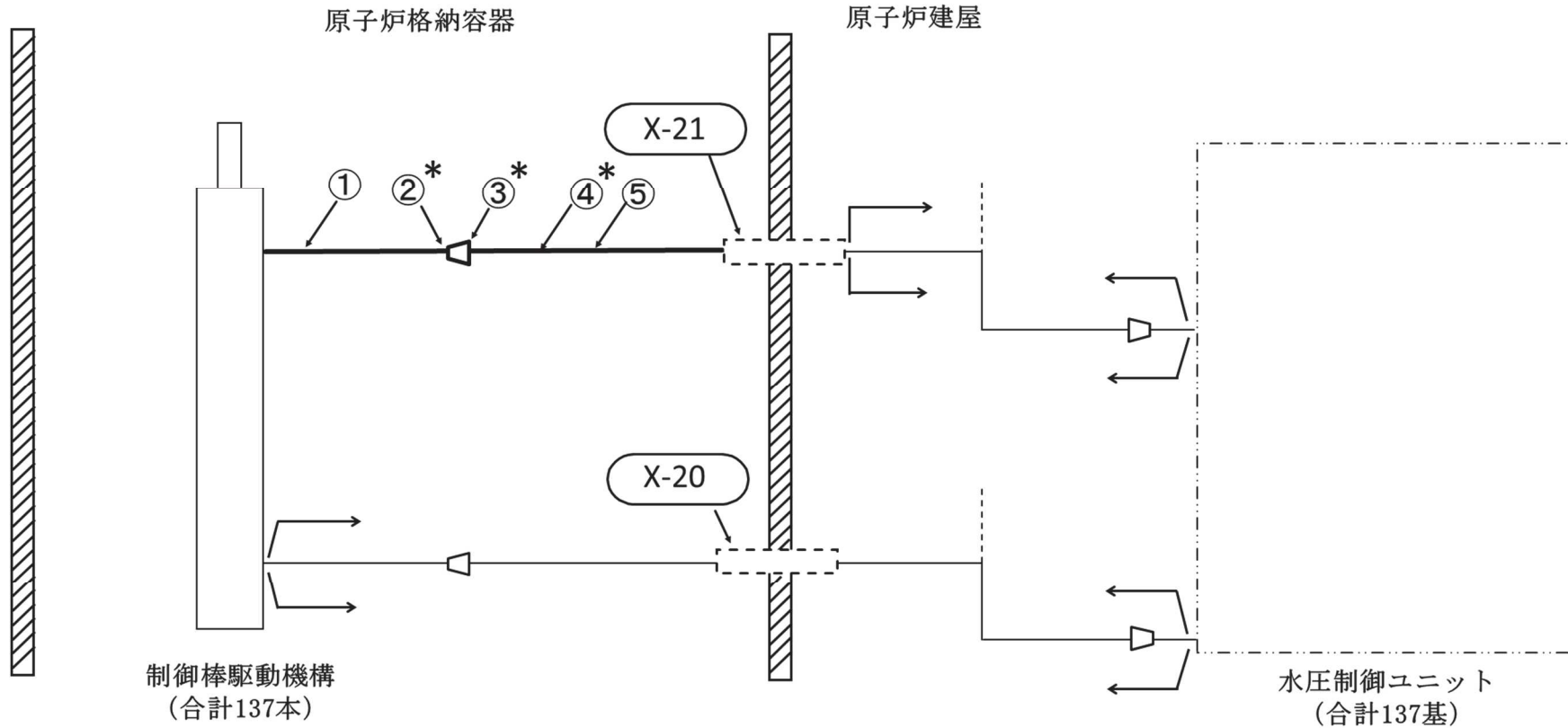
・適用規格の選定

管 No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	管の板厚計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
2	管の板厚計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
3	管の板厚計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
4	管の板厚計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格
5	管の板厚計算	設計・建設規格 又は告示	同等	設計・建設規格

## 目 次

1. 概略系統図 .....	1
2. 管の強度計算書 .....	2

1. 概略系統図



本範囲の強度計算書は、平成4年1月13日付け 3資庁第10518号にて認可された  
工事計画書の添付資料「IV-3-3-1-2-5-1 管の基本板厚計算書」による。

制御棒駆動水圧系概略系統図

注記 \* : 管継手

2. 管の強度計算書 (重大事故等クラス 2 管)

設計・建設規格 PPC-3411 準用

NO.	最高使用 圧力 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	外径 D o (mm)	公称 厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算式	t <sub>r</sub> (mm)
1	13.83	66	27.20	3.90	SUS316LTP	S	2	108	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3.40	1.65	A	1.65
2	13.83	66	27.70	4.30	SUS316L	S	2	108	<input type="text"/>	<input type="text"/>	4.30	1.68	A	1.68
3	13.83	66	34.50	5.00	SUS316L	S	2	108	<input type="text"/>	<input type="text"/>	5.00	2.09	A	2.09
4	13.83	66	34.50	5.00	SUS316L	S	2	108	<input type="text"/>	<input type="text"/>	5.00	2.09	A	2.09
5	13.83	66	34.00	4.50	SUS316LTP	S	2	108	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3.93	2.06	A	2.06

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

VI-3-3-4-2 ほう酸水注入設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-4-2-1 ほう酸水注入系の強度計算書

VI-3-3-4-2-1 ほう酸水注入系の強度計算書

目 次

VI-3-3-4-2-1-2 ほう酸水注入系貯蔵タンクの強度計算書



VI-3-3-4-2-1-2 ほう酸水注入系貯蔵タンクの強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」に基づいて評価を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
ほう酸水注入系貯蔵タンク	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	静水頭	66	静水頭	66	有	S55 告示	既工認	—	SA-2

1. 概要

本計算書については、重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、評価結果については、平成4年1月13日付け3資庁第10518号にて認可された工事計画の添付書類「IV-3-3-1-3-1 ほう酸水注入系貯蔵タンクの強度計算書」による。

VI-3-3-4-3 制御用空気設備の強度計算書

## 目 次

VI-3-3-4-3-1 高圧窒素ガス供給系の強度計算書

VI-3-3-4-3-2 代替高圧窒素ガス供給系の強度計算書

VI-3-3-4-3-1 高圧窒素ガス供給系の強度計算書

目 次

VI-3-3-4-3-1-2 管の強度計算書（高圧窒素ガス供給系）



VI-3-3-4-3-1-2 管の強度計算書（高圧窒素ガス供給系）

目 次

VI-3-3-4-3-1-2-3 管（可搬型）の強度評価書（高圧窒素ガス供給系）

VI-3-3-4-3-1-2-3 管（可搬型）の強度評価書（高圧窒素ガス供給系）

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）（連結管）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
配管	主蒸気逃がし安全弁（自動減圧機能付）のアクチュエータに窒素を供給する配管として使用することを目的とする。使用環境として，屋内で窒素を供給する。	SUS304TP	19.6*	66*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準	「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
配管	高圧ガス用の配管であり，高圧ガスを供給するために使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で高圧ガスを供給することを想定している。	常用の圧力又は常用の温度において発生する最大の応力に対し，当該設備の形状，寸法，常用の圧力，常用の温度における材料の許容応力，溶接継手の効率等に応じ，十分な強度を有するものであること。	十分な強度を有することが可能な圧力。	十分な強度を有することが可能な温度。	常用の圧力の一・五倍以上の圧力で水その他の安全な液体を使用して行う耐圧試験（液体を使用することが困難であると認められるときは，常用の圧力の一・二五倍以上の圧力で空気，窒素等の気体を使用して行う耐圧試験）及び常用の圧力以上の圧力で行う気密試験又は経済産業大臣がこれらと同等以上のものと認める試験。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
連結管	高圧ガス用の配管であり，高圧ガスを供給するために使用することを目的とする。使用環境として，屋内で高圧ガスを供給することを想定している。	SUS304TP	19.6	66	水による耐圧試験（試験圧力：29.4 MPa，試験保持時間：30 分間）及び気密試験（試験圧力：29.4 MPa，試験保持時間：30 分間）に合格している。

IV. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該配管は，重大事故等時に窒素供給用として屋内で使用される。一方，「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」は，高圧ガスを供給する配管の技術上の規定を定めた一般産業品に対する規格であり，常用の圧力又は常用の温度において発生する最大の応力に対し十分な強度を有するよう規定されている。重大事故等時における当該配管の使用目的及び使用環境は，本法令で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-1) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較，IとIIIの使用条件の比較）

当該配管には，「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」に従った適切な材料であるステンレス鋼が使用されていることを材料検査成績書等により確認できる。

当該配管の最高使用温度及び最高使用圧力は本設備の最高使用圧力及び最高使用温度に合わせて設計しており，「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」に従った試験に合格していることを試験検査記録等により確認できることから，当該配管は要求される強度を有している。

V. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品として「高圧ガス保安法」（「一般高圧ガス保安規則」含む）に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-4-3-2 代替高圧窒素ガス供給系の強度計算書

目 次

VI-3-3-4-3-2-1 管の強度計算書（代替高压窒素ガス供給系）

VI-3-3-4-3-2-1 管の強度計算書（代替高圧窒素ガス供給系）

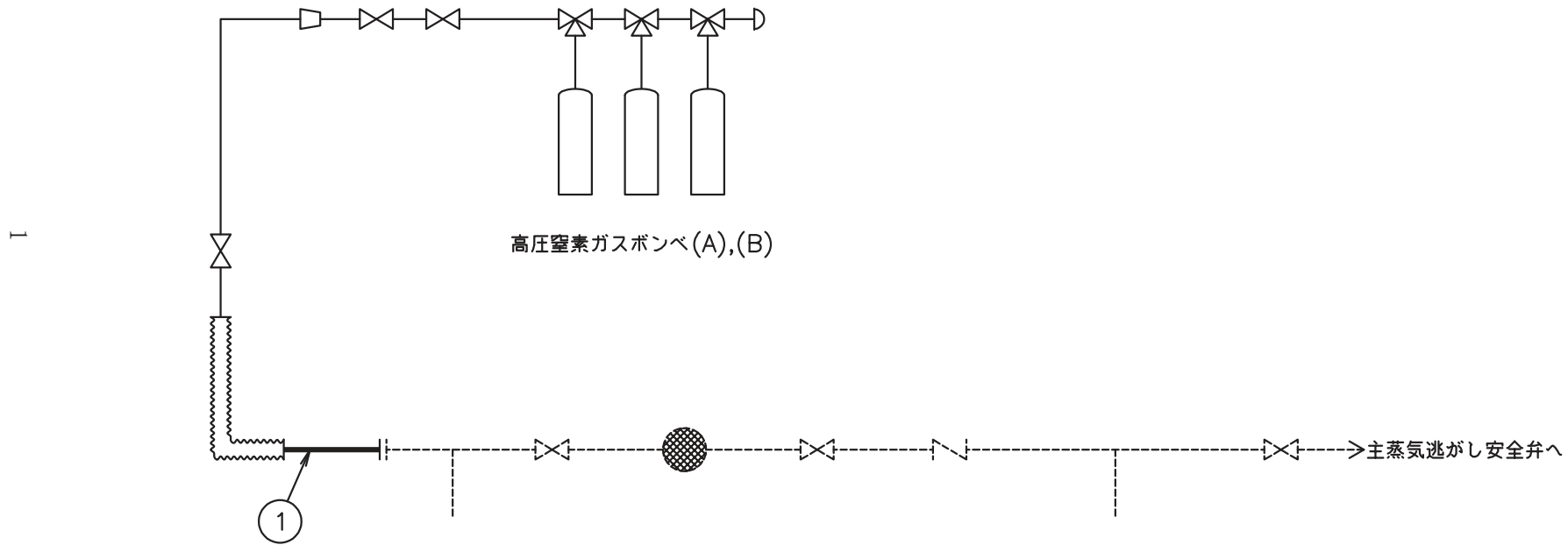
目 次

VI-3-3-4-3-2-1-3 管（可搬型）の強度評価書（代替高圧窒素ガス供給系）



VI-3-3-4-3-2-1-3 管（可搬型）の強度評価書（代替高圧窒素ガス供給系）

1. 設計・建設規格に定められたクラス3管の規定を準用した強度計算結果  
(1) 概略系統図



代替高圧窒素ガス供給系概略系統図

(2) 管の強度計算書 (重大事故等クラス 3 管)

設計・建設規格 PPD-3411 準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	2.06	66	34.0	3.4	SUS304TP	S	-	126	1.00	0.5mm	2.90	0.28	A	0.28

評価:  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。

2. 完成品として一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は法的な規格）（連結管，連結管～フレキシブルホース／恒設配管取合点）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
配管	主蒸気逃がし安全弁（代替高圧窒素ガス供給系付）のアクチュエータに直接窒素を供給する配管として使用することを目的とする。使用環境として，屋内で窒素を供給する。	SUS304TP, SUS316TP	20.0*, 2.06*	66*

注記\*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準	「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」				
種類	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
配管	高圧ガス用の配管であり，高圧ガスを供給するために使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で高圧ガスを供給することを想定している。	常用の圧力又は常用の温度において発生する最大の応力に対し，当該設備の形状，寸法，常用の圧力，常用の温度における材料の許容応力，溶接継手の効率等に応じ，十分な強度を有するものであること。	十分な強度を有することが可能な圧力。	十分な強度を有することが可能な温度。	常用の圧力の一・五倍以上の圧力で水その他の安全な液体を使用して行う耐圧試験（液体を使用することが困難であると認められるときは，常用の圧力の一・二五倍以上の圧力で空気，窒素等の気体を使用して行う耐圧試験）及び常用の圧力以上の圧力で行う気密試験又は経済産業大臣がこれらと同等以上のものと認める試験。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
連結管 引き込み配管	高圧ガス用の配管であり，高圧ガスを供給するために使用することを目的とする。使用環境として，屋内で高圧ガスを供給することを想定している。	SUS304TP, SUS316TP	20.0, 2.06	66	空気による耐圧試験（試験圧力：25 MPa 又は 2.58MPa，試験保持時間：10 分間）及び気密試験（試験圧力：20 MPa 又は 2.06MPa，試験保持時間：30 分間）に合格している。

IV. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該配管は，重大事故等時に窒素供給用として屋内で使用される。一方，「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」は，高圧ガスを供給する配管の技術上の規定を定めた一般産業品に対する規格であり，常用の圧力又は常用の温度において発生する最大の応力に対し十分な強度を有するよう規定されている。重大事故等時における当該配管の使用目的及び使用環境は，本法令で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-1)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較，IとIIIの使用条件の比較）

当該配管には，「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」及び「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」に従った適切な材料であるステンレス鋼が使用されていることを材料検査成績書等により確認できる。

当該配管の最高使用温度及び最高使用圧力は本設備の最高使用圧力及び最高使用温度に合わせて設計しており，「高圧ガス保安法」に基づく「一般高圧ガス保安規則」に従った試験に合格していることを試験検査記録等により確認できることから，当該配管は要求される強度を有している。

V. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品として「高圧ガス保安法」（「一般高圧ガス保安規則」含む）に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（代替高压窒素ガス供給用フレキシブルホース（φ32.9, 6m, 8m））

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
フレキシブル メタルホース	主蒸気逃がし安全弁（代替高压窒素ガス供給系付）のアクチュエータに直接窒素を供給するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内で窒素を供給する。	SUS304	2.06*	66*

注記 \*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
フレキシブル メタルホース	一般送水用及びエア一用のメタルホースであり，淡水又は圧縮空気等を送るために使用することを目的とする。使用環境として，屋内で窒素を供給することを想定している。	SUS304	2.06	66	耐圧試験（試験圧力：3.09MPa，試験保持時間：10分間以上）を実施

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋内で窒素を供給するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，淡水又は圧縮空気等を送るために使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外での淡水又は圧縮空気等の供給を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は，設計・建設規格クラス3配管に使用可能であると規定されているステンレス鋼材と同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり，設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.5倍，試験保持時間：10分間）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。なお，設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており，耐圧試験の規定では，耐圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍の106%を超えないこととしている。一方，設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は，最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を持っているとみなせるため，当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-6 原子炉格納施設の強度に関する説明書

目 次

VI-3-3-6-2 圧力低減設備その他の安全設備の強度計算書

VI-3-3-6-2 圧力低減設備その他の安全設備の強度計算書



目 次

VI-3-3-6-2-10 圧力逃がし装置の強度計算書

VI-3-3-6-2-10 圧力逃がし装置の強度計算書

目 次

VI-3-3-6-2-10-1 原子炉格納容器フィルタベント系の強度計算書

VI-3-3-6-2-10-1 原子炉格納容器フィルタベント系の強度計算書

## 目 次

VI-3-3-6-2-10-1-1 フィルタ装置の強度計算書

VI-3-3-6-2-10-1-3 管の強度計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）

VI-3-3-6-2-10-1-1 フィルタ装置の強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」、「VI-3-2-8 重大事故等クラス 2 容器の強度計算方法」及び「VI-3-2-12 重大事故等クラス 2 支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (kPa)	温度 (℃)	圧力 (kPa)						温度 (℃)
フィルタ装置	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854	200	—	—	設計・建設 規格	—	SA-2



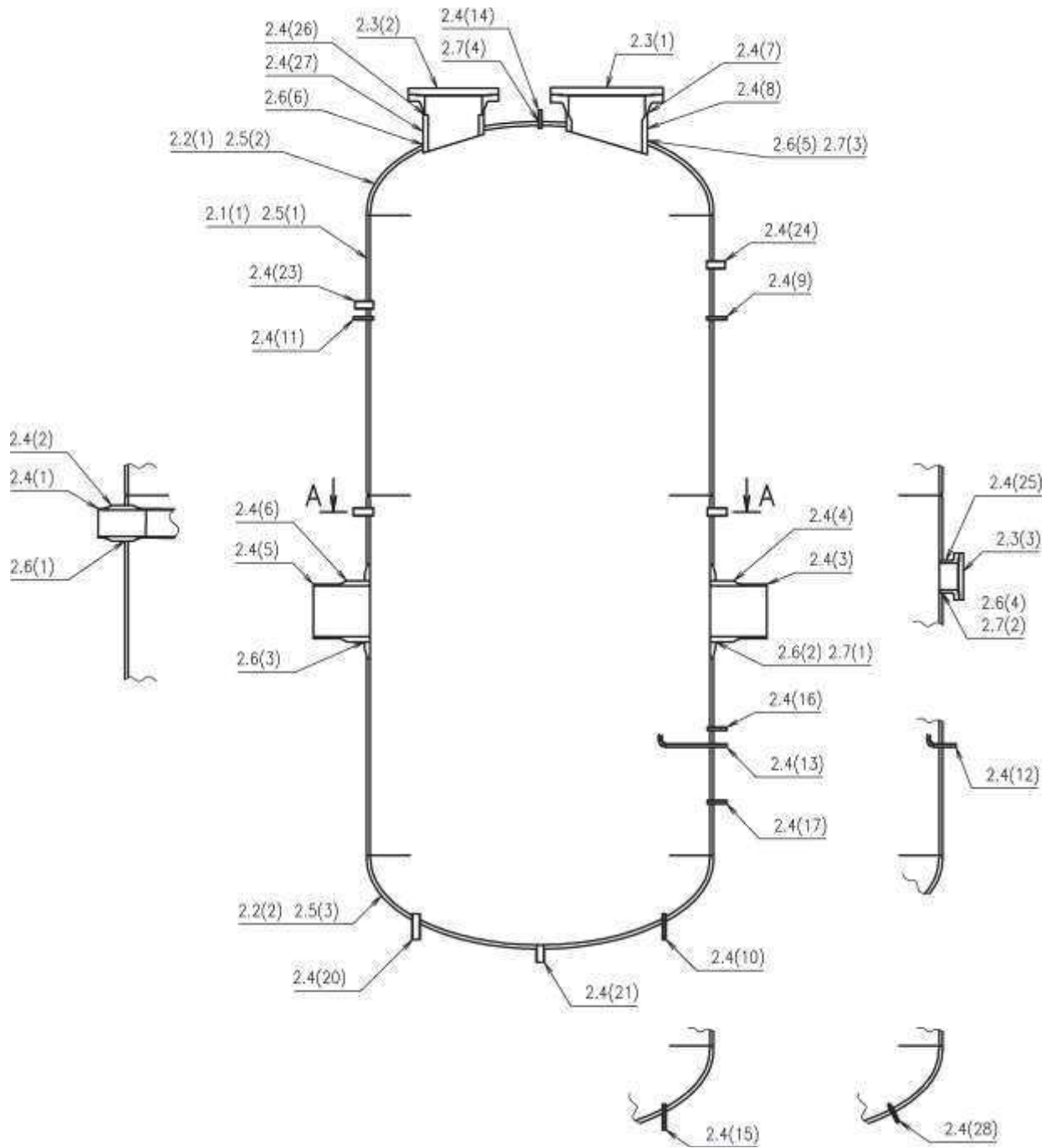
## 目次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	2
2. 強度計算	3
2.1 容器の胴の厚さの計算	3
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	4
2.3 容器の平板の厚さの計算	6
2.4 容器の管台の厚さの計算	12
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	26
2.6 容器の穴の補強計算	29
2.7 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算	41
3. 支持構造物の強度計算書	43

1. 計算条件

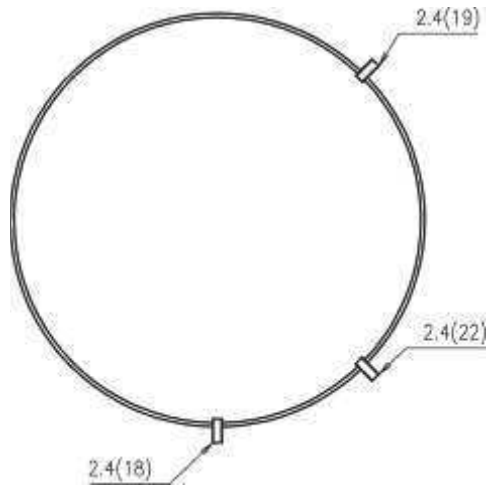
1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の  
計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図



A-A矢視図

図中の番号は次ページ以降の  
計算項目番号を示す。

図 1-2 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	0.854
最高使用温度 (°C)	200

2. 強度計算

2.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称	(1) 胴板		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.50
必要厚さ	$t_2$	(mm)	10.23
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	10.23
呼び厚さ	$t_{s.o}$	(mm)	25.00
最小厚さ	$t_s$	(mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。			

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

### (1) 設計・建設規格 PVC-3210

#### 鏡板の形状

鏡板名称		(1) 上部鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	2540.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	635.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

### (2) 設計・建設規格 PVC-3220

#### 鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 上部鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	$P$ (MPa)	0.854
最高使用温度	(°C)	200
胴の内径	$D_i$ (mm)	2550.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	107
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	10.23
必要厚さ	$t_2$ (mm)	10.15
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	10.23
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	30.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

容器の鏡板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(2) 下部鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	2540.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	635.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

(2) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(2) 下部鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	$P$ (MPa)	0.854
最高使用温度	(°C)	200
胴の内径	$D_i$ (mm)	2550.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	107
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	10.23
必要厚さ	$t_2$ (mm)	10.15
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	10.23
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	30.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 容器の平板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) マンホール (N4)
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

容器の平板の厚さの計算

(2) 設計・建設規格 PVC-3310

(JIS B 8265適用)

平板の厚さ

平板名称	(1) マンホール(N4)			
平板材料	SUS316L			
ボルト材料	SUS316			
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)			
ガスケット厚さ	6.4			
ガスケット座面の形状	1a			
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854	
最高使用温度		(°C)	200	
平板の許容引張応力	S	(MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S <sub>a</sub>	(MPa)	129
	最高使用温度(使用状態)	S <sub>b</sub>	(MPa)	92
ボルト中心円の直径	C	(mm)	770.00	
ボルト呼び	M36			
ボルト本数	n		24	
ボルト谷径	d <sub>b</sub>	(mm)	31.670	
実際のボルト総有効断面積	A <sub>b</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.891×10 <sup>4</sup>	
ガスケット接触面の外径	G <sub>s</sub>	(mm)	659.40	
ガスケット接触面の幅	N	(mm)	16.00	
ガスケット係数	m		3.00	
最小設計締付圧力	y	(MPa)	68.90	
ガスケット座の基本幅	b <sub>o</sub>	(mm)	8.00	
ガスケット座の有効幅	b	(mm)	7.13	
平板の径(ガスケットの有効径)	d = G	(mm)	645.14	
内圧による全荷重	W = H	(N)	2.792×10 <sup>5</sup>	
使用状態での最小ボルト荷重	W <sub>m1</sub>	(N)	3.532×10 <sup>5</sup>	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W <sub>m2</sub>	(N)	9.953×10 <sup>5</sup>	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	A <sub>m1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	3.839×10 <sup>3</sup>
	ガスケット締付時	A <sub>m2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	7.716×10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値	A <sub>m</sub>	(mm <sup>2</sup> )	7.716×10 <sup>3</sup>
ボルト荷重	使用状態	W <sub>o</sub>	(N)	3.532×10 <sup>5</sup>
	ガスケット締付時	W <sub>g</sub>	(N)	1.717×10 <sup>6</sup>
	いずれか大きい値	F	(N)	1.717×10 <sup>6</sup>
モーメントアーム	h <sub>g</sub>	(mm)	62.43	
取付け方法による係数	K		0.80	
必要厚さ	t	(mm)	51.40	
呼び厚さ	t <sub>p o</sub>	(mm)	57.50	
最小厚さ	t <sub>p</sub>	(mm)		
評価: t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の平板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 換気口 (N32)
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

容器の平板の厚さの計算

(2) 設計・建設規格 PVC-3310

(JIS B 8265適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 換気口 (N32)			
平板材料	SUS316L			
ボルト材料	SUS316			
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)			
ガスケット厚さ	6.4			
ガスケット座面の形状	1a			
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854	
最高使用温度		(°C)	200	
平板の許容引張応力	S	(MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	$S_a$	(MPa)	129
	最高使用温度(使用状態)	$S_b$	(MPa)	92
ボルト中心円の直径	C	(mm)	605.00	
ボルト呼び	M30			
ボルト本数	n		20	
ボルト谷径	$d_b$	(mm)	26.211	
実際のボルト総有効断面積	$A_b$	(mm <sup>2</sup> )	$1.079 \times 10^4$	
ガスケット接触面の外径	$G_s$	(mm)	513.80	
ガスケット接触面の幅	N	(mm)	12.00	
ガスケット係数	m		3.00	
最小設計締付圧力	y	(MPa)	68.90	
ガスケット座の基本幅	$b_o$	(mm)	6.00	
ガスケット座の有効幅	b	(mm)	6.00	
平板の径 (ガスケットの有効径)	$d = G$	(mm)	501.80	
内圧による全荷重	$W = H$	(N)	$1.689 \times 10^5$	
使用状態での最小ボルト荷重	$W_{m1}$	(N)	$2.174 \times 10^5$	
ガスケット締付最小ボルト荷重	$W_{m2}$	(N)	$6.517 \times 10^5$	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	$A_{m1}$	(mm <sup>2</sup> )	$2.363 \times 10^3$
	ガスケット締付時	$A_{m2}$	(mm <sup>2</sup> )	$5.052 \times 10^3$
	いずれか大きい値	$A_m$	(mm <sup>2</sup> )	$5.052 \times 10^3$
ボルト荷重	使用状態	$W_o$	(N)	$2.174 \times 10^5$
	ガスケット締付時	$W_g$	(N)	$1.022 \times 10^6$
	いずれか大きい値	F	(N)	$1.022 \times 10^6$
モーメントアーム	$h_g$	(mm)	51.60	
取付け方法による係数	K		0.82	
必要厚さ	t	(mm)	40.65	
呼び厚さ	$t_{p0}$	(mm)	51.50	
最小厚さ	$t_p$	(mm)		
評価: $t_p \geq t$ , よって十分である。				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の平板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(3) サンプルング(N29)
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

容器の平板の厚さの計算

(2) 設計・建設規格 PVC-3310

(JIS B 8265適用)

平板の厚さ

平板名称	(3) サンプルリング(N29)			
平板材料	SUS316L			
ボルト材料	SUS316			
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)			
ガスケット厚さ	4.5			
ガスケット座面の形状	1a			
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854	
最高使用温度		(°C)	200	
平板の許容引張応力	S	(MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S <sub>a</sub>	(MPa)	129
	最高使用温度(使用状態)	S <sub>b</sub>	(MPa)	92
ボルト中心円の直径	C	(mm)	305.00	
ボルト呼び	M22			
ボルト本数	n		12	
ボルト谷径	d <sub>b</sub>	(mm)	19.294	
実際のボルト総有効断面積	A <sub>b</sub>	(mm <sup>2</sup> )	3.508×10 <sup>3</sup>	
ガスケット接触面の外径	G <sub>s</sub>	(mm)	236.00	
ガスケット接触面の幅	N	(mm)	9.00	
ガスケット係数	m		3.00	
最小設計締付圧力	y	(MPa)	68.90	
ガスケット座の基本幅	b <sub>o</sub>	(mm)	4.50	
ガスケット座の有効幅	b	(mm)	4.50	
平板の径(ガスケットの有効径)	d = G	(mm)	227.00	
内圧による全荷重	W = H	(N)	3.456×10 <sup>4</sup>	
使用状態での最小ボルト荷重	W <sub>m1</sub>	(N)	5.101×10 <sup>4</sup>	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W <sub>m2</sub>	(N)	2.211×10 <sup>5</sup>	
ボルトの 所要総有 効断面積	使用状態	A <sub>m1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	554.4
	ガスケット締付時	A <sub>m2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.714×10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値	A <sub>m</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.714×10 <sup>3</sup>
ボルト荷 重	使用状態	W <sub>o</sub>	(N)	5.101×10 <sup>4</sup>
	ガスケット締付時	W <sub>g</sub>	(N)	3.368×10 <sup>5</sup>
	いずれか大きい値	F	(N)	3.368×10 <sup>5</sup>
モーメントアーム	h <sub>g</sub>	(mm)	39.00	
取付け方法による係数	K		1.87	
必要厚さ	t	(mm)	27.77	
呼び厚さ	t <sub>p o</sub>	(mm)	34.70	
最小厚さ	t <sub>p</sub>	(mm)		
評価: t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(1) ガス入口 (N1)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.86
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.86
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	8.20
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

管台名称	(2) ガス入口 (N1)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	267.40
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.07
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.07
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	33.75
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(3) ガス出口 (N2)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	406.40
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.62
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.62
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

管台名称	(4) ガス出口 (N2)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.82
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.82
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	38.10
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(5) ガス出口 (N3)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	406.40
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.62
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.62
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

管台名称	(6) ガス出口 (N3)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.82
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.82
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	38.10
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算  
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(7) マンホール(N4)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	609.60
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	2.43
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	2.43
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	17.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(8) マンホール(N4)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	609.60
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	2.43
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	2.43
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	40.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(9) レベル計(N5)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(10) レベル計(N6)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(11) 圧力計(N8)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(12) ドレン(N16)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(13) ドレン (N17)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: $t_n \geq t$ , よって十分である。			

管台名称	(14) ベント (N18)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: $t_n \geq t$ , よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(15) サンプリング(N19)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価:	t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

管台名称	(16) レベル計(N33)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価:	t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(17) レベル計(N34)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(18) 補給水ライン(N11)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(19) 薬液注入ライン(N13)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(20) 排水移送ライン(N14)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(21) ドレン(N15)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価	t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

管台名称	(22) 重大事故用給水ライン(N30)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価	t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(23) 連通管 (N28)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: $t_n \geq t$ , よって十分である。			

管台名称	(24) 連通管 (N31)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: $t_n \geq t$ , よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(25) サンプリング (N29)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	241.80
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.97
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.97
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	20.95
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(26) 換気口 (N32)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	1.82
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	1.82
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	14.30
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(27) 換気口 (N32)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	1.82
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	1.82
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	38.10
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(28) 温度計 (N10)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
外面に受ける最高の圧力	P <sub>e</sub>	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	25.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	—
B (付録材料図表 Part7 図 14 より)			8235
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	0.01
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値		(mm)	0.01
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	9.00
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算  
設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称			(1) 胴板
材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴の外径	D	(mm)	2600.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$		(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D \cdot t_s$		(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径		(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称	ガス入口(N1) (2.6(1)) ガス出口(N2) (2.6(2)) ガス出口(N3) (2.6(3)) サンプリング(N29) (2.6(4))		

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の補強を要しない穴の最大径の計算  
設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称	(2) 上部鏡板		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板のフランジ部の外径	D	(mm)	2600.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$		(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D \cdot t_c$		(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径		(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称	マンホール(N4) (2.6(5)) 換気口(N32) (2.6(6))		

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の補強を要しない穴の最大径の計算  
設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称	(3) 下部鏡板		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板のフランジ部の外径	D	(mm)	2600.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$		(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D \cdot t_c$		(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径		(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称	無し		

O 2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-9

部材名称	(1) ガス入口 (N1)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	277.40
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.86
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$2.176 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	11.50 *
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	267.40
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.50
溶接寸法	$L_3$	(mm)	11.50
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	264.5
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$5.031 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*： $Y_2$ は安全側に $L_3$ と同じ値とした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(1) ガス入口 (N1)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.544 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$1.196 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$1.196 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		
		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.378 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$2.378 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称	(2) ガス出口 (N2)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	467.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.59
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$4.039 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	457.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	121.0
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$6.011 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

O2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



部材名称	(2) ガス入口 (N2)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.019 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$1.699 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$1.699 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$3.888 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ , $W_{ebp2} \geq W$ , $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称	(3) ガス出口 (N3)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	467.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.59
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$4.039 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	457.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	121.0
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$6.011 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

O2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(3) ガス入口 (N3)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.019 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$1.699 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$1.699 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$3.888 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ , $W_{ebp2} \geq W$ , $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称	(4) サンプルング(N29)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	251.80
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.84
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$2.143 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	241.80
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	121.0
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$3.042 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

O2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(4) サンプルリング (N29)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.444 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$9.439 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$9.439 \times 10^4$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.056 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3240

参照附図 WELD-32

部材名称	(5) マンホール(N4)		
鏡板材料	SUS316L		
管台材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板の許容引張応力	$S_c$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	609.60
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
鏡板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
鏡板の内面における長径の $K_1$ 倍	R	(mm)	2286.00
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$	(mm)	2540.00
鏡板の内面における短径	$D_{iS}$	(mm)	1270.00
長径と短径の比	$D_{iL}/D_{iS}$		2.00
係数	$K_1$		0.90
鏡板の計算上必要な厚さ	$t_{cr}$	(mm)	9.13
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	2.19
穴の補強に必要な面積	$A_r$	( $mm^2$ )	$4.967 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	0*
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	609.60
溶接寸法	$L_1$	(mm)	16.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0*
鏡板の有効補強面積	$A_1$	( $mm^2$ )	
管台の有効補強面積	$A_2$	( $mm^2$ )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	( $mm^2$ )	256.0
補強に有効な総面積	$A_0$	( $mm^2$ )	$1.028 \times 10^4$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*： $Y_2$ ， $L_3$ は安全側に0とした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(5) マンホール(N4)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	846.66
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.796 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-1.245 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-1.245 \times 10^5$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3240

参照附図 WELD-32

部材名称	(6) 換気口 (N32)		
鏡板材料	SUS316L		
管台材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板の許容引張応力	$S_c$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	457.20
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
鏡板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
鏡板の内面における長径の $K_1$ 倍	R	(mm)	2286.00
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$	(mm)	2540.00
鏡板の内面における短径	$D_{iS}$	(mm)	1270.00
長径と短径の比	$D_{iL}/D_{iS}$		2.00
係数	$K_1$		0.90
鏡板の計算上必要な厚さ	$t_{cr}$	(mm)	9.13
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.59
穴の補強に必要な面積	$A_r$	( $\text{mm}^2$ )	$3.606 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	0*
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	457.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	16.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0*
鏡板の有効補強面積	$A_1$	( $\text{mm}^2$ )	
管台の有効補強面積	$A_2$	( $\text{mm}^2$ )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	( $\text{mm}^2$ )	256.0
補強に有効な総面積	$A_0$	( $\text{mm}^2$ )	$8.315 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*： $Y_2$ ， $L_3$ は安全側に0とした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



部材名称	(6) 換気口 (N32)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	846.66
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.669 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-7.618 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-7.618 \times 10^4$
評価： $W < 0$ , よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

2.7 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算

設計・建設規格 PVC-3162

管台名称		(1) ガス出口(N2)	(2) サンプルリング(N29)
穴の直径	$d_1$ (mm)		—
穴の直径	$d_2$ (mm)	—	
2つの穴の中心間に必要な距離	$d$ (mm)		
2つの穴の中心間の距離	$\varnothing$ (mm)	519.21	
穴の補強に必要な断面積	$A_{r1}$ (mm <sup>2</sup> )	$4.039 \times 10^3$	—
穴の補強に必要な断面積	$A_{r2}$ (mm <sup>2</sup> )	—	$2.143 \times 10^3$
2つの穴の補強に必要な断面積の和の1/2	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	$3.091 \times 10^3$	
2つの穴の間の強め材の断面積	$A_{rs}$ (mm <sup>2</sup> )	$3.729 \times 10^3$	
穴の内側溶け込み深さ	$L_{1i}$ (mm)	16.00	—
穴の外側溶け込み深さ	$L_{1o}$ (mm)	14.00	—
穴の内側溶け込み深さ	$L_{2i}$ (mm)	—	17.30
穴の外側溶け込み深さ	$L_{2o}$ (mm)	—	1.00
2つの穴の間及び強め材の断面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )		
2つの穴の間の胴板内に溶着された管壁の断面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )		
$A_1$ 及び $A_2$ の和	$A_d$ (mm <sup>2</sup> )	$4.333 \times 10^3$	
継目がない胴の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	10.23	
係数	F	1.00	
2つの穴の間に必要な胴の断面積	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$3.716 \times 10^3$	
評価： $\varnothing > d$ , $A_{rs} > A_r$ , $A_d > A_s$ よって十分である。			

O2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2つ以上の穴が接近しているときの補強計算  
設計・建設規格 PVC-3162

管台名称		(3) マンホール(N4)	(4) ベント(N18)
穴の直径	$d_1$ (mm)		—
穴の直径	$d_2$ (mm)	—	
2つの穴の中心間に必要な距離	$d$ (mm)		
2つの穴の中心間の距離	$\varnothing$ (mm)	500.00	
穴の補強に必要な断面積	$A_{r1}$ (mm <sup>2</sup> )	$4.967 \times 10^3$	—
穴の補強に必要な断面積	$A_{r2}$ (mm <sup>2</sup> )	—	199.0
2つの穴の補強に必要な断面積の和の1/2	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	$2.583 \times 10^3$	
2つの穴の間の強め材の断面積	$A_{rs}$ (mm <sup>2</sup> )	$4.160 \times 10^3$	
穴の内側溶け込み深さ	$L_{1i}$ (mm)	—	—
穴の外側溶け込み深さ	$L_{1o}$ (mm)	—	—
穴の内側溶け込み深さ	$L_{2i}$ (mm)	—	—
穴の外側溶け込み深さ	$L_{2o}$ (mm)	—	—
2つの穴の間及び強め材の断面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )		
2つの穴の間の鏡板内に溶着された管壁の断面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )		
$A_1$ 及び $A_2$ の和	$A_d$ (mm <sup>2</sup> )	$3.904 \times 10^3$	
継目がない鏡板の計算上必要な厚さ	$t_{cr}$ (mm)	9.13	
係数	F	1.00	
2つの穴の間に必要な鏡板の断面積	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$3.195 \times 10^3$	
評価： $\varnothing > d$ , $A_{rs} > A_r$ , $A_d > A_s$ よって十分である。			

O2 ② VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

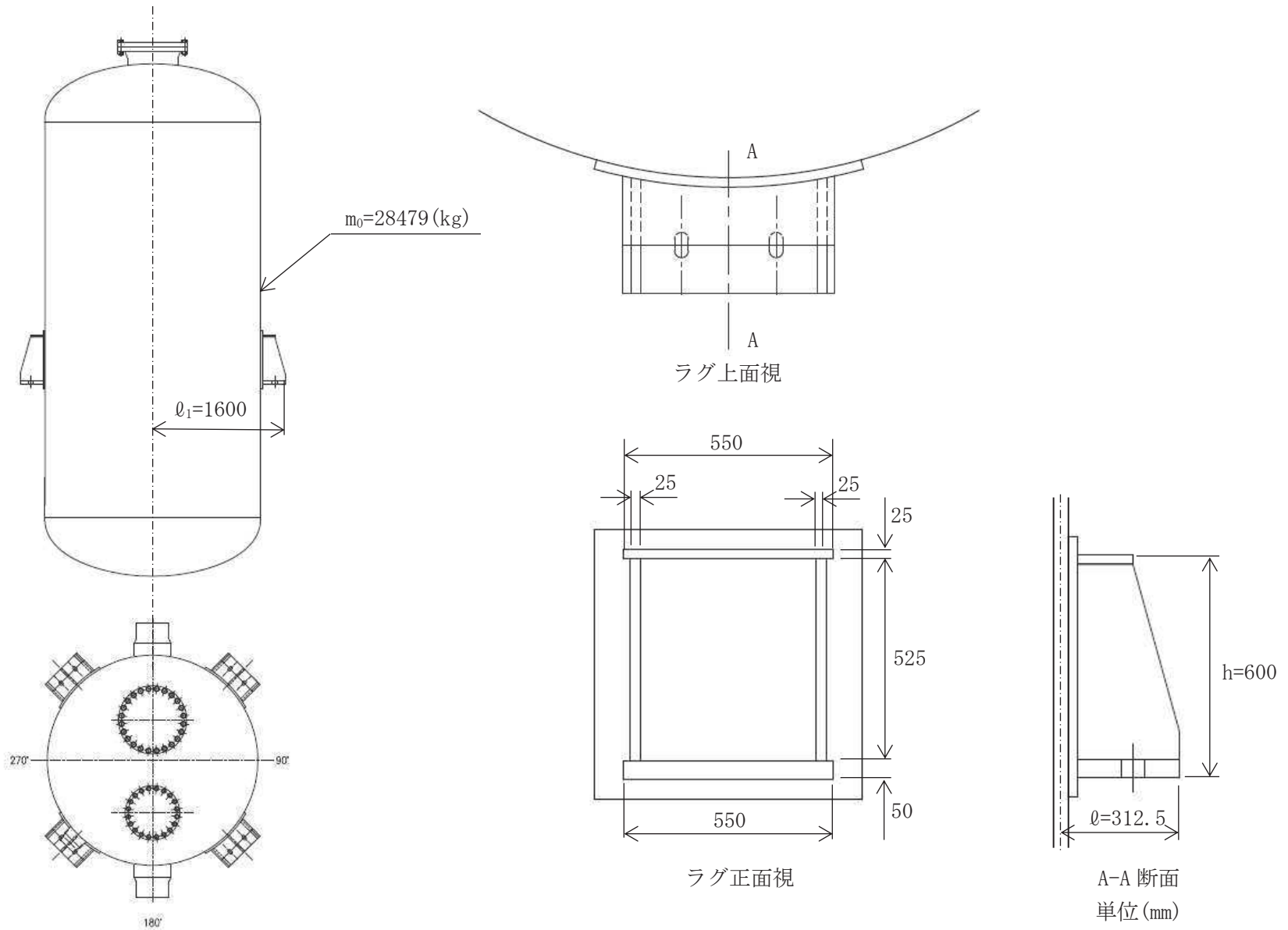
3. 支持構造物の強度計算書

(1) 一次せん断応力

種類	ラグ本数	材料	周囲環境温度 (°C)	F 値 (MPa)	せん断荷重 $F_s$ (N)	せん断断面積 $A_s$ (mm <sup>2</sup> )	一次せん断応力 $\tau$ (MPa)	許容せん断応力 $f_s$ (MPa)	評価
ラグ支持たて置 円筒形容器	4	SUS316L	66	175				67	算出値は、許容値以下であるので強度は十分である。

(2) 一次曲げ応力評価

種類	ラグ本数	材料	周囲環境温度 (°C)	F 値 (MPa)	曲げモーメント $M$ (N・mm)	断面係数 $Z$ (mm <sup>3</sup> )	一次曲げ応力 $\sigma_b$ (MPa)	許容曲げ応力 $f_b$ (MPa)	評価
ラグ支持たて置 円筒形容器	4	SUS316L	66	175				116	算出値は、許容値以下であるので強度は十分である。



フィルタ装置 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-6-2-10-1-3 管の強度計算書  
(原子炉格納容器フィルタベント系)

目 次

VI-3-3-6-2-10-1-3-3 管（可搬型）の強度評価書（原子炉格納容器フィルタベント系）

VI-3-3-6-2-10-1-3-3 管（可搬型）の強度評価書  
（原子炉格納容器フィルタベント系）



一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（送水用ホース（65A：20m））

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）
ホース	注水用ヘッドからフィルタ装置水補給接続口（屋外）又はフィルタ装置水補給接続口（屋内）に接続し，フィルタ装置へ送水するためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として屋内外で淡水を送水する。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6*	50*

注記 \*：重大事故等時の使用時の値。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験
SP-H-A	消防用のホースであり，火災等の災害時に被害を軽減するための送水ホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で淡水又は海水を送水することを想定している。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6	50	耐圧試験（試験圧力：まっすぐにした状態で3.2MPa，折り曲げた状態で2.2MPa，試験保持時間：5分間）を実施。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋内外で淡水を送水するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外での淡水又は海水の送水を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ホースの型式については，「消防法」に基づくものとして承認又は届出されており，「消防法」に従った適切な材料が使用されていることを型式承認の結果又は届出番号により確認できる。

当該ホースの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり，「消防法」に基づく「消防用ホースの技術上の規格を定める省令」で規定されている耐圧試験（試験圧力：まっすぐにした状態で3.2MPa，折り曲げた状態で2.2MPa，試験保持時間：5分間）と同等の試験に合格していることを検査成績書等で確認できることから，当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-1-1 非常用発電装置の強度計算書

## 目 次

- VI-3-3-7-1-1-1 非常用ディーゼル発電設備の強度計算書
- VI-3-3-7-1-1-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の強度計算書
- VI-3-3-7-1-1-3 可搬型代替交流電源設備の強度計算書
- VI-3-3-7-1-1-4 緊急時対策所ディーゼル発電設備の強度計算書

VI-3-3-7-1-1-1 非常用ディーゼル発電設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-7-1-1-1-1 空気だめの強度計算書

VI-3-3-7-1-1-1-1 空気だめの強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」、  
「VI-3-2-12 重大事故等クラス2 支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
空気だめ	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	3.24	90	3.24	90	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2



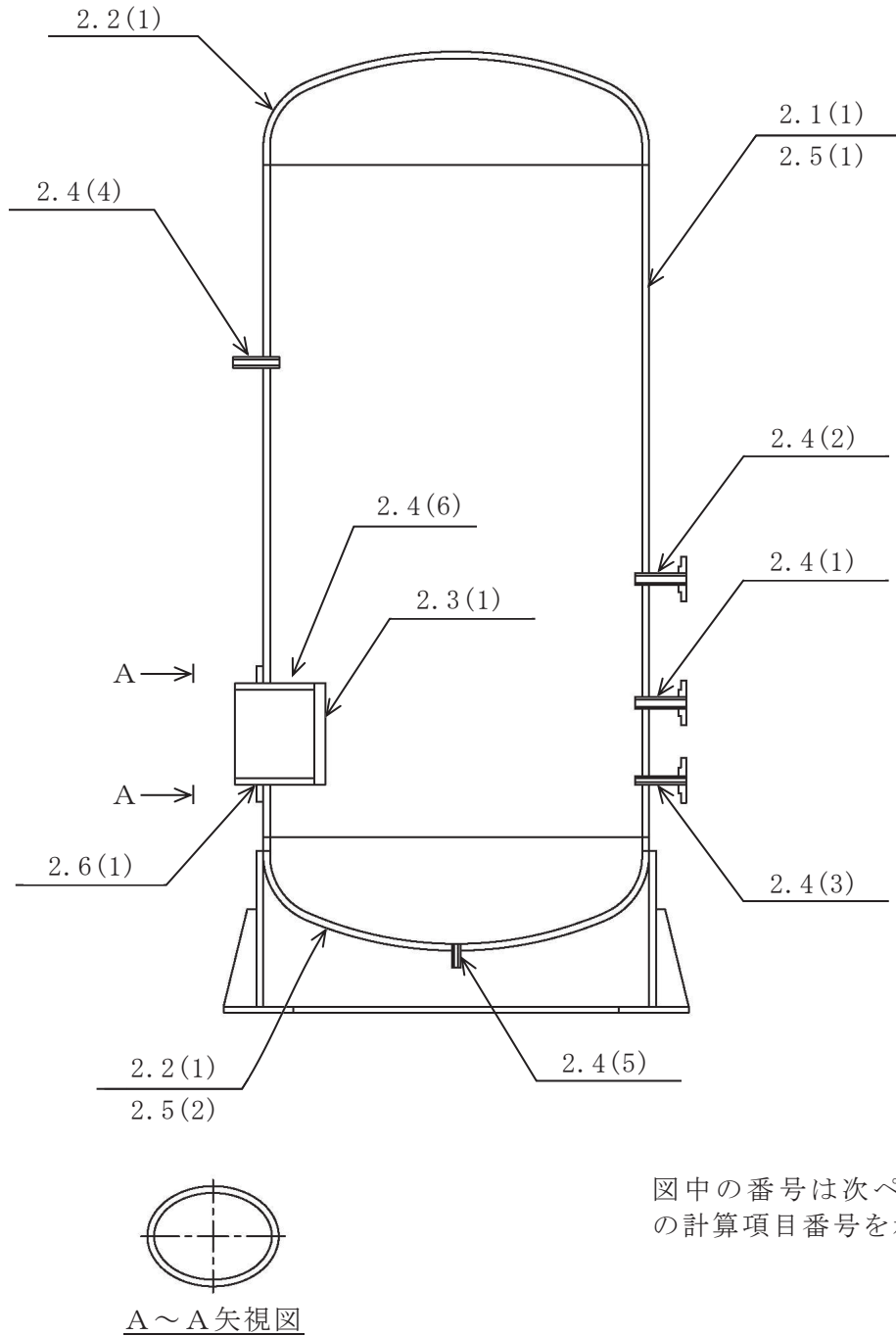
## 目次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	3
2.3 だ円形マンホール平板の計算	4
2.4 容器の管台の厚さの計算	5
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	11
2.6 容器の穴の補強計算	13
3. 支持構造物の強度計算書	15

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	3.24
最高使用温度 (°C)	90

## 2. 強度計算

### 2.1 容器の胴の厚さの計算

(1)設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称			(1) 胴板
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			90
胴の内径	$D_i$	(mm)	1200.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$	(mm)	16.47
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{so}$	(mm)	22.00
最小厚さ	$t_s$	(mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。			

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

### (1) 設計・建設規格 PVC-3210

#### 鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	1200.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	300.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

### (2) 設計・建設規格 PVC-3220

#### 鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	120
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	16.47
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.25
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

2.3 だ円形マンホール平板の計算

J I S B 8 2 0 1 6.6.8 項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

平板名称		(1) マンホール平板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
穴の長径	a (mm)	380.00
穴の短径	b (mm)	280.00
b / a		0.737
係数	c	7.45
許容引張応力	$\sigma_a$ (MPa)	120
必要厚さ	$t_1$ (mm)	30.88
必要厚さ	$t_2$ (mm)	14.00
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	30.88
呼び厚さ	$t_{po}$ (mm)	36.00
最小厚さ	$t_p$ (mm)	
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。		

## 2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) 空気入口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	$D_o$ (mm)	48.60
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.76
必要厚さ	$t_3$ (mm)	2.20
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$ (mm)	2.20
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.10
最小厚さ	$t_n$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(2) 空気出口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	$D_o$ (mm)	60.50
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.94
必要厚さ	$t_3$ (mm)	2.40
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$ (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(3) 圧力計
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	27.20
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R O

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(4) 安全弁
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	34.00
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.53
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	4.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(5) ドレン
材料			STPT410-S
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度		(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R O

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(6) マンホール	
材料	SGV480	
最高使用圧力	P (MPa)	—
外面に受ける最高の圧力	$P_e$ (MPa)	3.24
最高使用温度	内圧時 (°C)	—
	外圧時 (°C)	90
管台の外径	$D_o$ (mm)	424.00
許容引張応力	S (MPa)	120
継手効率	$\eta$	—
継手の種類		—
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.54
必要厚さ	$t_3$ (mm)	3.80
$t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	16.54
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称			(1) 胴板
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			90
胴の外径	D	(mm)	1244.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$			
61, $d_{r1}$ の小さい値			61.00
K			
$D \cdot t_s$			
200, $d_{r2}$ の小さい値			91.87
補強を要しない穴の最大径			91.87
評価：補強の計算を要する穴の名称	マンホール (2.6(1))		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	1244.00
許容引張応力	S (MPa)	120
鏡板の最小厚さ	$t_c$ (mm)	
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_c$	(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	49.18
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		無し

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-19'

部材名称	(1) マンホール	
胴板材料	SGV480	
管台材料	SGV480	
強め板材料	SGV480	
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	120
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	120
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	120
穴の径	d (mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$ (mm)	338.00
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	16.47
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	
補強の有効範囲	X (mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	
強め板の外径	$B_e$ (mm)	568.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	324.00
溶接寸法	$L_1$ (mm)	8.50
溶接寸法	$L_2$ (mm)	13.50
溶接寸法	$L_3$ (mm)	19.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	433.3
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	
補強に有効な総面積	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$8.370 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ , よって十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(1) マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$8.957 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	55
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	67
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	84
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	84
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.379 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$5.318 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$ (N)	$6.625 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$ (N)	$2.387 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$2.450 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp6}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ , $W_{ebp2} \geq W$ , $W_{ebp3} \geq W$ , $W_{ebp4} \geq W$ , $W_{ebp5} \geq W$ , $W_{ebp6} \geq W$ 以上より十分である。		

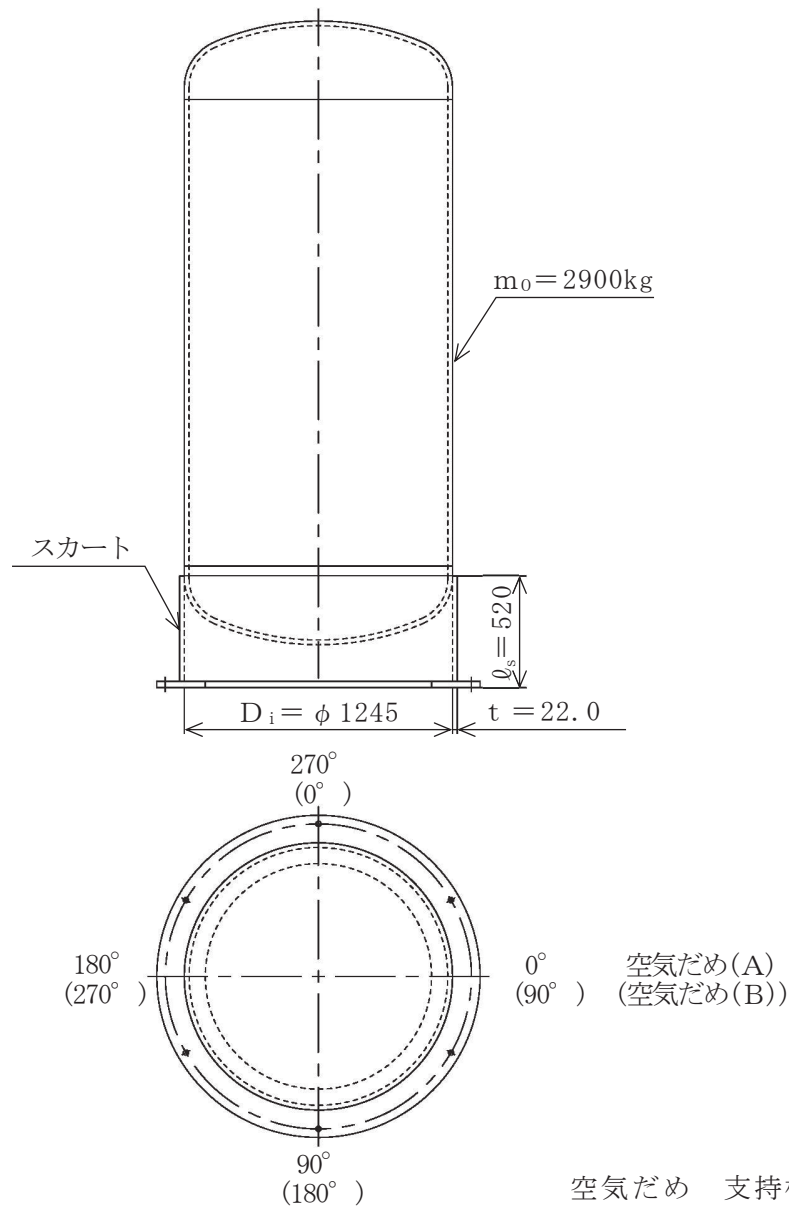
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 支持構造物の強度計算書

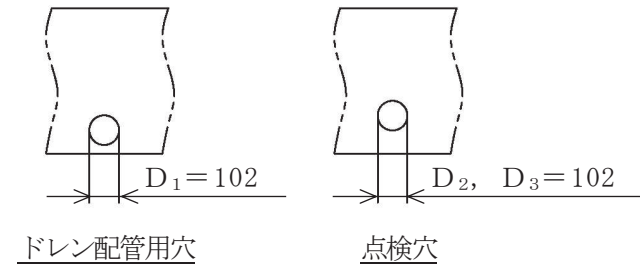
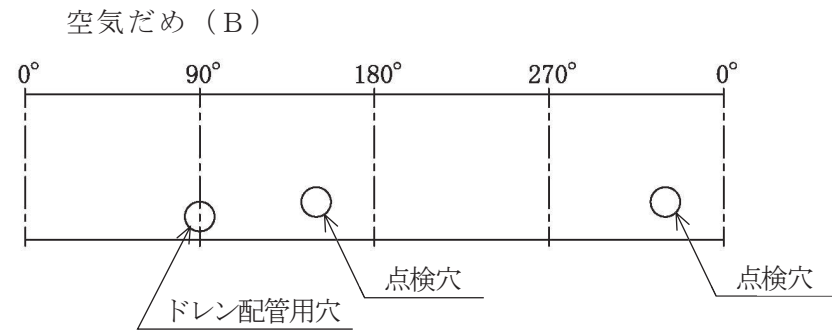
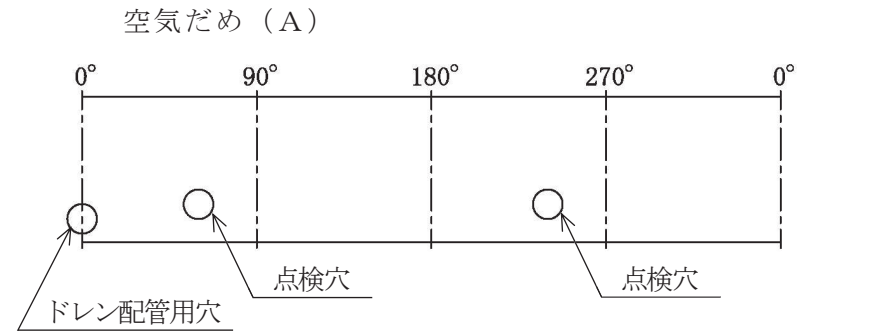
1. 一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 $F_c$ (N)	断面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	一次圧縮応力 $\sigma_c$ (MPa)	許容圧縮応力 $f_c$ (MPa)	評価
スカート支持 たて置円筒形容器	—	SGV480	90	241		$8.083 \times 10^4$	1	160	$\sigma_c$ は、 $f_c$ 以下であるので、強度は十分である。





スカートに穴に関する情報



(単位 : mm)

空気だめ 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-7-1-1-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-7-1-1-2-1 空気だめの強度計算書

VI-3-3-7-1-1-2-1 空気だめの強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」、  
「VI-3-2-12 重大事故等クラス2 支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
空気だめ	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	3.24	90	3.24	90	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

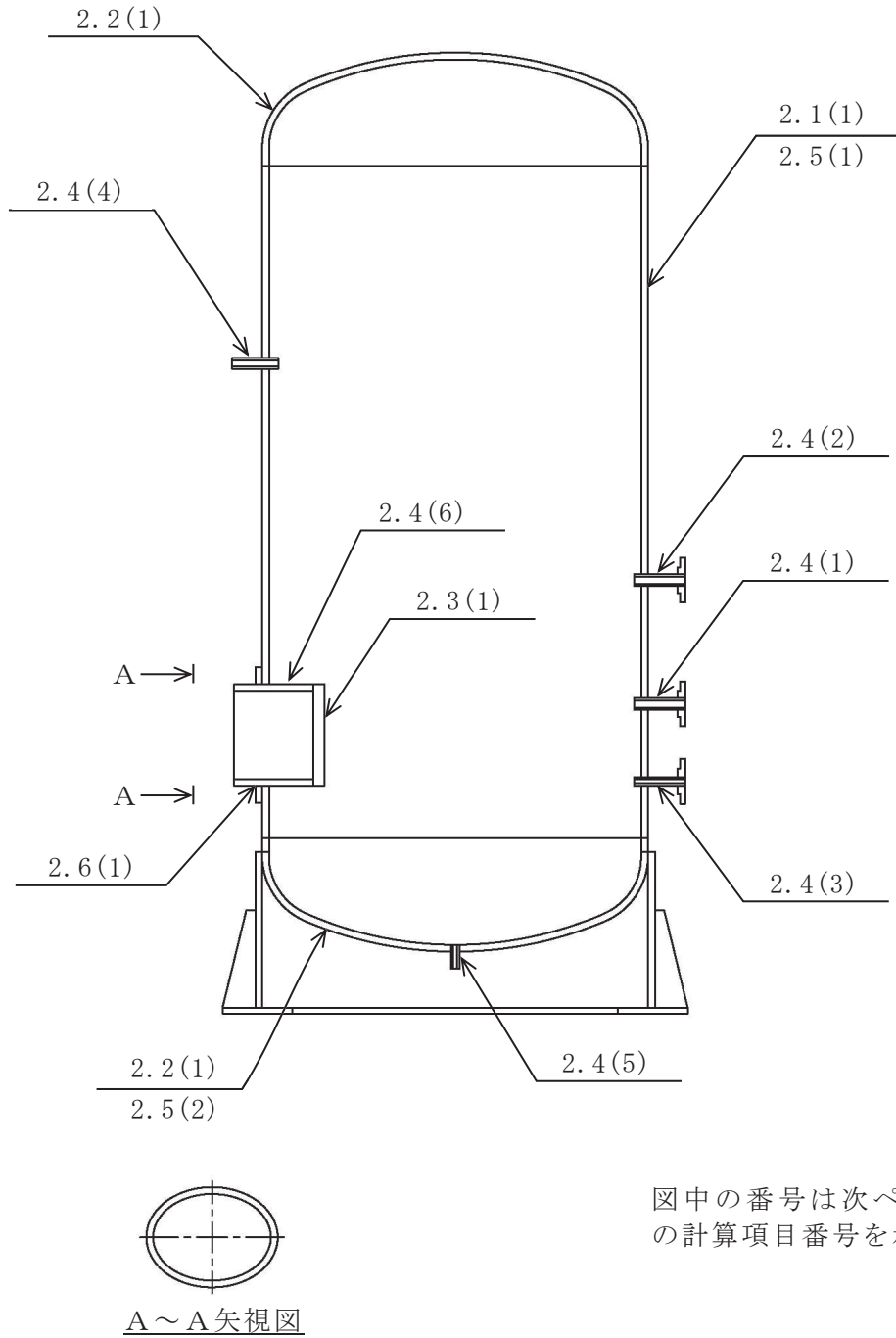
## 目次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	3
2.3 だ円形マンホール平板の計算	4
2.4 容器の管台の厚さの計算	5
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	11
2.6 容器の穴の補強計算	13
3. 支持構造物の強度計算書	15

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	3.24
最高使用温度 (°C)	90



## 2. 強度計算

### 2.1 容器の胴の厚さの計算

(1)設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称		(1) 胴板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
許容引張応力	S (MPa)	120
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.47
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{so}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

### (1) 設計・建設規格 PVC-3210

#### 鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	1200.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	300.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ ，よって半だ円形鏡板である。		

### (2) 設計・建設規格 PVC-3220

#### 鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	120
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	16.47
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.25
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	
評価： $t_c \geq t$ ，よって十分である。		

② O 2 VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 だ円形マンホール平板の計算

J I S B 8 2 0 1 6.6.8 項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

平板名称			(1) マンホール平板
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度		(°C)	90
穴の長径	a	(mm)	380.00
穴の短径	b	(mm)	280.00
b / a			0.737
係数	c		7.45
許容引張応力	$\sigma_a$	(MPa)	120
必要厚さ	$t_1$	(mm)	30.88
必要厚さ	$t_2$	(mm)	14.00
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	30.88
呼び厚さ	$t_{po}$	(mm)	36.00
最小厚さ	$t_p$	(mm)	
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) 空気入口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	48.60
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.76
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.20
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	5.10
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(2) 空気出口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	60.50
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.94
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	<input type="text"/>
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(3) 圧力計
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	27.20
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(4) 安全弁
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	34.00
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.53
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	4.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(5) ドレン
材料			STPT410-S
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度		(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(6) マンホール
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	—
外面に受ける最高の圧力	$P_e$	(MPa)	3.24
最高使用温度	内圧時	(°C)	—
	外圧時	(°C)	90
管台の外径	$D_o$	(mm)	424.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
継手効率	$\eta$		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_2$	(mm)	16.54
必要厚さ	$t_3$	(mm)	3.80
$t_2, t_3$ の大きい値	t	(mm)	16.54
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	22.00
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の外径	D (mm)	1244.00
許容引張応力	S (MPa)	120
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_s$	(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	91.87
補強を要しない穴の最大径	(mm)	91.87
評価：補強の計算を要する穴の名称		マンホール (2.6(1))

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	1244.00
許容引張応力	S (MPa)	120
鏡板の最小厚さ	$t_c$ (mm)	
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_c$	(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	49.18
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		無し

O 2 ② VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-19'

部材名称	(1) マンホール	
胴板材料	SGV480	
管台材料	SGV480	
強め板材料	SGV480	
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	120
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	120
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	120
穴の径	d (mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$ (mm)	338.00
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	16.47
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	
補強の有効範囲	X (mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	
強め板の外径	$B_e$ (mm)	568.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	324.00
溶接寸法	$L_1$ (mm)	8.50
溶接寸法	$L_2$ (mm)	13.50
溶接寸法	$L_3$ (mm)	19.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	433.3
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	
補強に有効な総面積	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$8.370 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ 、よって十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

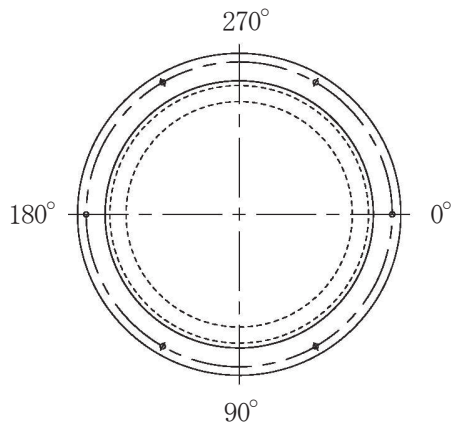
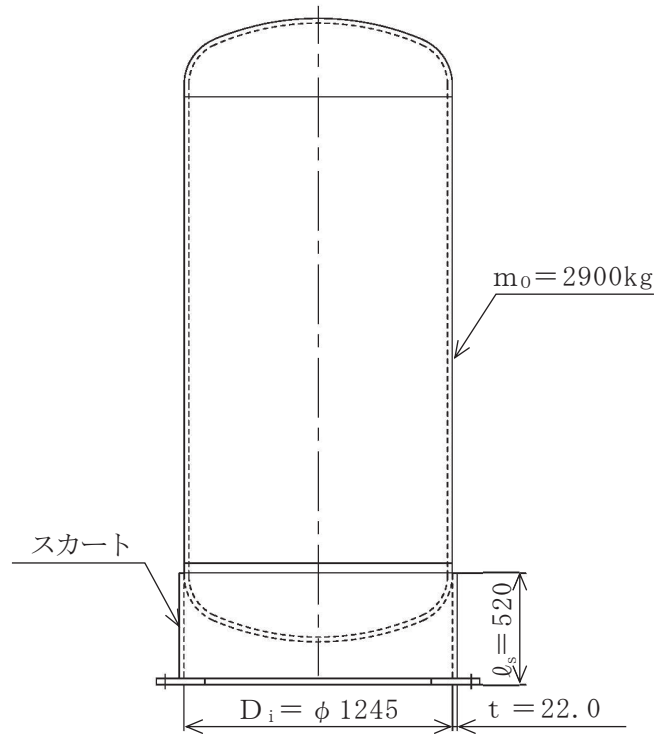
部材名称	(1) マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$8.957 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	55
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	67
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	84
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	84
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.379 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$5.318 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$ (N)	$6.625 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$ (N)	$2.387 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$2.450 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp6}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ ， $W_{ebp6} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

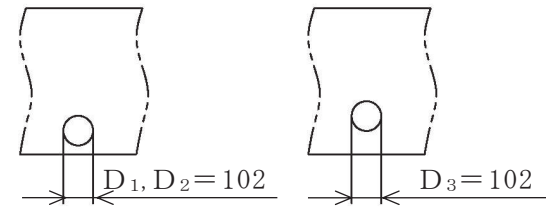
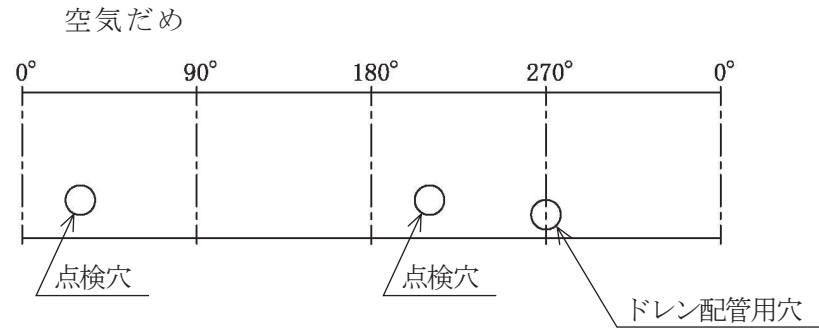
3. 支持構造物の強度計算書

1. 一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 $F_c$ (N)	断面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	一次圧縮応力 $\sigma_c$ (MPa)	許容圧縮応力 $f_c$ (MPa)	評価
スカート支持 たて置円筒形容器	—	SGV480	90	241		$8.083 \times 10^4$	1	160	$\sigma_c$ は、 $f_c$ 以下であるので、強度は十分である。



スカートの穴径に関する情報



点検穴

ドレン配管用穴

(単位 : mm)

VI-3-3-7-1-1-4 緊急時対策所ディーゼル発電設備の強度計算書



## 目 次

- VI-3-3-7-1-1-4-1 電源車(緊急時対策所用)(冷却水ポンプ)の強度評価書
- VI-3-3-7-1-1-4-2 電源車(緊急時対策所用)(燃料タンク)の強度評価書
- VI-3-3-7-1-1-4-3 管(可搬型)の強度評価書(緊急時対策所ディーゼル発電設備)

VI-3-3-7-1-1-4-3 管（可搬型）の強度評価書（緊急時対策所ディーゼル  
発電設備）

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（給油用ホース（20A:7m））

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	給油口から電源車（緊急時対策所用）へ、燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	1.0*	80*

注記 \*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
エースローリーホース	一般給油又は油圧配管用等のホースであり、灯油、軽油、重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋内外で燃料を移送することを目的とする。	補強層入り多層ゴム	1.0	80	耐圧試験（試験圧力：2.0MPa，試験保持時間：30～60秒間）を実施

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方、本メーカー規格及び基準は、一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定しているJIS K 6349「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、鉱物性油類の輸送に使用するゴムホースについて規定しているJIS K 6343「送油用ゴムホース」に規定されている耐圧試験（試験圧力；2種（最高使用圧力 1.0 MPa 以下）2.0 MPa）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は、耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（JIS K 6330「ゴム及びプラスチックホース試験方法」で規定される耐圧保持時間）により確認している。一方、設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており、この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を有しているとみなせるため、当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

## 目 次

- VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
- VI-3-別添 1-1-2 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書
- VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書

VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針

## 目 次

1.	概要	1
2.	強度評価の基本方針	1
2.1	評価対象施設	1
2.2	評価方針	2
2.2.1	評価の分類	2
3.	構造強度設計	6
3.1	構造強度の設計方針	6
3.2	機能維持の方針	10
4.	荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	70
4.1	荷重及び荷重の組合せ	70
4.2	許容限界	83
4.2.1	建屋・構造物	84
4.2.2	機器・配管系	85
5.	強度評価方法	104
5.1	建屋・構造物に関する評価式	104
5.1.1	鉄筋コンクリート造構造物	104
5.1.2	鋼製構造物	107
5.1.3	排気筒	112
5.2	機器・配管系に関する評価式	114
5.2.1	衝突評価が必要な機器	114
5.2.2	ポンプ	115
5.2.3	容器	126
5.2.4	配管及び弁	143
5.2.5	換気空調設備	147
5.2.6	海水ポンプ室門型クレーン	163
6.	適用規格	168

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書」の「VI-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-2-3-3」という。）に基づき、竜巻の影響を考慮する施設が、設計竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書」の「VI-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-2-3-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

なお、竜巻防護ネットや竜巻防護鋼板等の防護対策施設の設計方針については、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」に示し、屋外重大事故等対処設備に設置する固縛装置の設計方針については、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示す。具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書」及び添付書類「VI-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。その他の竜巻の影響を考慮する施設の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」から添付書類「VI-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書」に示す。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重を適切に組み合わせた荷重により生じる応力等が「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す計算方法を使用し、「6. 適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

### 2.1 評価対象施設

VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」にて構造強度設計上の性能目標を設定している竜巻の影響を考慮する施設を強度評価の対象とする。強度評価を行うにあたり、評価対象施設を以下のとおり分類することとし、表2-1に示す。

- (1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設



設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，屋外の外部事象防護対象施設のうち，屋内の竜巻より防護すべき施設を防護する外殻となる，竜巻より防護すべき施設を内包する施設とする。

(2) 屋外の外部事象防護対象施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，屋外の外部事象防護対象施設とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設とする。

(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設とする。

2.2 評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに，竜巻に対する強度評価を実施する。

強度評価の評価方針は，それぞれ「2.2.1(1) 衝突評価」の方針，「2.2.1(2) 構造強度評価」の方針及び「2.2.1(3) 動的機能維持評価」の方針に分類でき，評価対象施設はこれらの評価を実施する。

外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度評価は，防護措置として設置する防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度評価を踏まえたものであるため，防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設について示したうえで，外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設について示す。

2.2.1 評価の分類

(1) 衝突評価

衝突評価は，竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対する直接的な影響の評価として，評価対象施設が，貫通，貫入，ひずみの変形が生じた場合においても，当該施設の機能を維持可能な状態に留めることを確認する評価とする。

評価対象施設の構造及び当該施設の機能を考慮し，飛来物の衝突により想定される損傷モードを以下のとおり分類し，それぞれの評価方針を設定する。

a. 建屋・構造物

(a) 貫通

(b) ひずみ

b. 機器・配管系

- (a) 貫入
- (b) ひずみ

(2) 構造強度評価

構造強度評価は、竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重により生じる応力等に対し，評価対象施設及びその支持構造物が，当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する評価とする。構造強度評価は，構造強度により閉止性及び開閉機能を確保することの評価を含む。

構造強度評価は，評価対象施設の構造を考慮し，以下の分類ごとに評価方針を設定する。

a. 建屋・構造物

建屋・構造物の構造強度評価は，鉄筋コンクリート造構造物，鋼製構造物及び排気筒に分類し，その構造を踏まえた評価項目を抽出する。

(a) 鉄筋コンクリート造構造物

- イ. 裏面剥離
- ロ. 転倒及び脱落
- ハ. 変形

- (b) 鋼製構造物
- (c) 排気筒

b. 機器・配管系

- (a) 原子炉補機冷却海水ポンプ
- (b) 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ
- (c) 高圧炉心スプレー補機冷却海水系ストレーナ
- (d) 復水貯蔵タンク
- (e) 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）
- (f) 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）
- (g) ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）
- (h) 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））
- (i) ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）
- (j) 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）
- (k) 海水ポンプ室門型クレーン

- (1) 非常用ディーゼル発電設備排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器（以下「非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器」という。）
- (m) 非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管，非常用ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管，非常用ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び非常用ディーゼル発電設備潤滑油サンプルタンクミスト配管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油補給タンクミスト配管（以下「非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管」という。）
- (n) 軽油タンクベント配管

(3) 動的機能維持評価

動的機能維持評価は，設計竜巻による荷重及びその他の荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後において，評価対象施設のうちポンプ等の動的機器が，当該施設の動的機能を維持可能なことを確認する評価とする。

a. 機器・配管系

- (a) 原子炉補機冷却海水ポンプ
- (b) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

表 2-1 強度評価における施設分類

強度評価における分類	施設名称
(1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋*</li> <li>・タービン建屋</li> <li>・制御建屋</li> <li>・軽油タンク室</li> <li>・軽油タンク室 (H)</li> </ul>
(2) 屋外の外部事象防護対象施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却海水ポンプ</li> <li>・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ</li> <li>・高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ</li> <li>・復水貯蔵タンク</li> <li>・排気筒</li> <li>・配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り)</li> <li>・非常用ガス処理系 (屋外配管)</li> </ul>
(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系 (ファン, ダクト, ダンパ)</li> <li>・隔離弁 (中央制御室換気空調系隔離弁, 原子炉棟給排気隔離弁 (原子炉建屋原子炉棟換気空調系))</li> <li>・軽油タンク (燃料移送ポンプ等を含む。)</li> </ul>
<p>(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <p>a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <p>b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設</p>	<p>a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・補助ボイラー建屋</li> <li>・第1号機制御建屋</li> <li>・サイトバンカ建屋</li> <li>・海水ポンプ室門型クレーン</li> </ul> <p>b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 排気消音器</li> <li>・非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 付属ミスト配管</li> <li>・軽油タンクベント配管</li> </ul>

注記 \* : 原子炉建屋は屋外の外部事象防護対象施設であるが, 竜巻より防護すべき施設を内包する機能も有することから, 強度評価においては「竜巻より防護すべき施設を内包する施設」の分類で評価する。

### 3. 構造強度設計

VI-1-1-2-3-1 で設定している設計竜巻に対し、「2.1 評価対象施設」で設定している施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-2-3-3 の「4. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、各施設の構造強度を維持するように構造設計と評価方針を設定する。

#### 3.1 構造強度の設計方針

VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1 評価対象施設」で設定している評価対象施設分類ごとに示す。

##### (1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

原子炉建屋、タービン建屋、制御建屋、軽油タンク室及び軽油タンク室(H)は、VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」及び「3.4(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突することを防止するために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を設計飛来物が貫通せず、また、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落が生じない設計とする。また、原子炉建屋は上記に加え、放射性物質の閉じ込め機能を維持するために、設計飛来物が建屋の外殻を構成する部材を貫通せず、また裏面剥離が生じず、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「4.3 気密性の維持」を踏まえ、屋根スラブ及び耐震壁に生じる応力やひずみが、おおむね弾性状態にとどまる設計とする。

##### (2) 屋外の外部事象防護対象施設

###### a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定するとともに、ポンプの機能維持に必要な付属品を本体にボルト固定し、主要な構造部材が海水の送水機能を維持可能な構造強度を有すること及び海水を送水するための動的機能を維持する設計とする。

###### b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標

を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定するとともに、ポンプの機能維持に必要な付属品を本体にボルト固定し、主要な構造部材が海水の送水機能を維持可能な構造強度を有すること及び海水を送水するための動的機能を維持する設計とする。

c. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ストレーナに接続する配管を海水ポンプ室床面にてサポートで支持し、主要な構造部材が海水中の固形物を除去する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

d. 復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンクは、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、主要な構造部材が炉心冷却のための水源を保有する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。また、設計飛来物による衝撃荷重に対し、変形が生じた場合においても、炉心冷却のための水源を保有する機能を維持可能な状態に留まる設計とする。

e. 排気筒

排気筒は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、鉄塔で支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

f. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室床面に設けたコンクリート基礎、支持架構に固定又は壁面にサポートで支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

g. 非常用ガス処理系（屋外配管）

非常用ガス処理系（屋外配管）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉建屋壁面にサ



ポートで支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

- a. 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉建屋及び制御建屋の壁面等にサポートで支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

- b. ダンパ（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

ダンパ（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系のダクトに固定し、開閉可能な機能及び閉止性の維持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

- c. 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、中央制御室換気空調系及び原子炉建屋原子炉棟換気空調系のダクトに固定し、開閉可能な機能及び閉止性の維持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

- d. ファン（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

ファン（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉建屋及び制御建屋の床面等に基礎ボルトで固定し、主要な構造部材が中央制御室の冷却に必要な風量を送風する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

e. 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）

軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軽油タンク及び軽油タンク室（H）に設けた基礎に固定し、非常用高圧母線へ7日間の電源供給が継続できるよう燃料補給を行う機能を維持することを考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有する設計とする。

「(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設」の屋内の外部事象防護対象施設の設計フローを図3-1に示す。

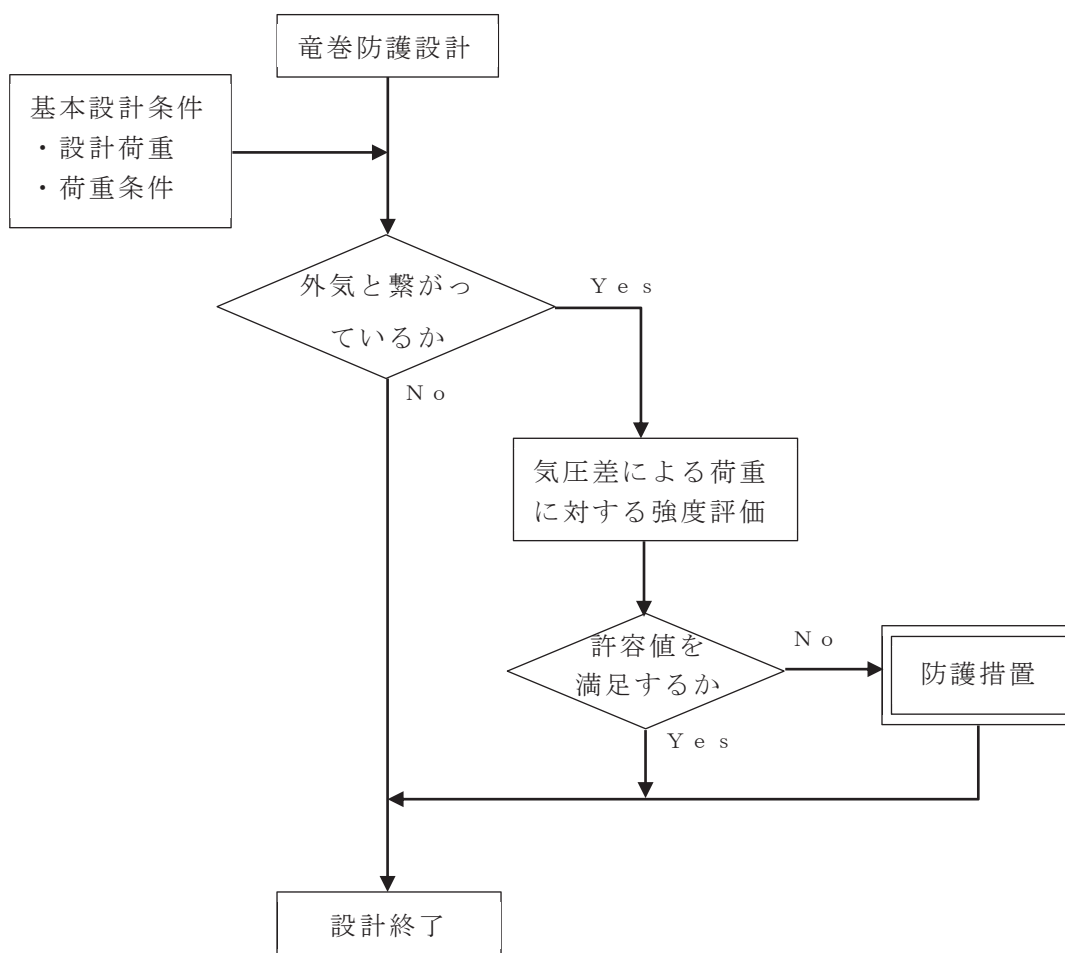


図 3-1 屋内の外部事象防護対象施設の設計フロー



(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a) 補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋に接触による影響を及ぼさない設計とする。

(b) 海水ポンプ室門型クレーン

海水ポンプ室門型クレーンは，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，外部事象防護対象施設に接触による影響を及ぼさない設計とする。

b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設

(a) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気機能を維持するために，原子炉建屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(b) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，通気機能を維持するために，サポートによる支持で建屋壁面や軽油タンク室等に固定し，主要な構造部材が通気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために，「3.1 構造強度の設計方針」に示す設計方針を踏まえ，VI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を適切に

考慮して、各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の機能維持の方針は、施設の設置状況に応じ、以下の方針とする。

a. 建屋（原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋）

(a) 構造設計

建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

建屋に作用する荷重は、外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁又は鉄骨架構を介し、直接岩盤等に支持する基礎版へ伝達する構造とする。

建屋の構造計画を表3-1に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

建屋の衝突評価については、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、設計飛来物による衝撃荷重に対し、当該部材が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

最小厚さ以上であることの確認ができない屋根スラブ及び壁面については、鉄筋又はデッキプレートが終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

建屋の構造強度評価については、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない確認として、設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部材自体の脱落を生じない設計とするために、外殻となる屋根スラブ及び壁面のうち、コンクリートの裏面剥離により内包する外部事象防護対象施設への影響が考えられる箇所については、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。最小厚さ以上であることの確認ができない場合は、屋根スラブ及び壁面のデッキプレートに終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

また、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外壳を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブのスタッド及び構造躯体に終局状態に至るようなひずみ又は応力が生じないことを計算及び解析により確認する。評価方法としては、「5.1.2(3) 強度評価方法」に示す強度評価式により算出した応力並びに建屋の地震応答解析モデルを用いて算出したせん断ひずみ又は層間変形角を基に評価を行う。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外壳となる扉については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、表面鋼板、芯材及びカンヌキの破断による転倒及び脱落を生じないことを計算又は解析により確認する。

表 3-1 建屋の構造計画(1/6)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋	【位置】			

表 3-1 建屋の構造計画(2/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(東西方向断面)</p> <p>(南北方向断面)</p>

表 3-1 建屋の構造計画(3/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋			

02 ② VI-3-別添1-1 R0

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 3-1 建屋の構造計画(4/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋			

02 ② VI-3-別添1-1 R0

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 3-1 建屋の構造計画 (5/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン建屋	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造)で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(東西方向断面)</p> <p>(南北方向断面)</p>

表 3-1 建屋の構造計画 (6/6)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
制御建屋	鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(東西方向断面)</p> <p>(南北方向断面)</p>



b. 構造物（軽油タンク室及び軽油タンク室（H））

(a) 構造設計

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部には頂版及び開口が露出し、露出する開口部には鋼製ハッチを設置する構造とする。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）に作用する荷重は、地上に露出した頂版及び鋼製ハッチに作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、直接岩盤等に支持する基礎版へ伝達する構造とする。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の構造計画を表 3-2 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の衝突評価については、設計飛来物による衝撃荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、地上に露出した頂版及び鋼製ハッチの上蓋が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」及び「5.1.2(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の構造強度評価については、設計竜巻による気圧差荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、頂版が、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

表 3-2 軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の構造計画(1/3)

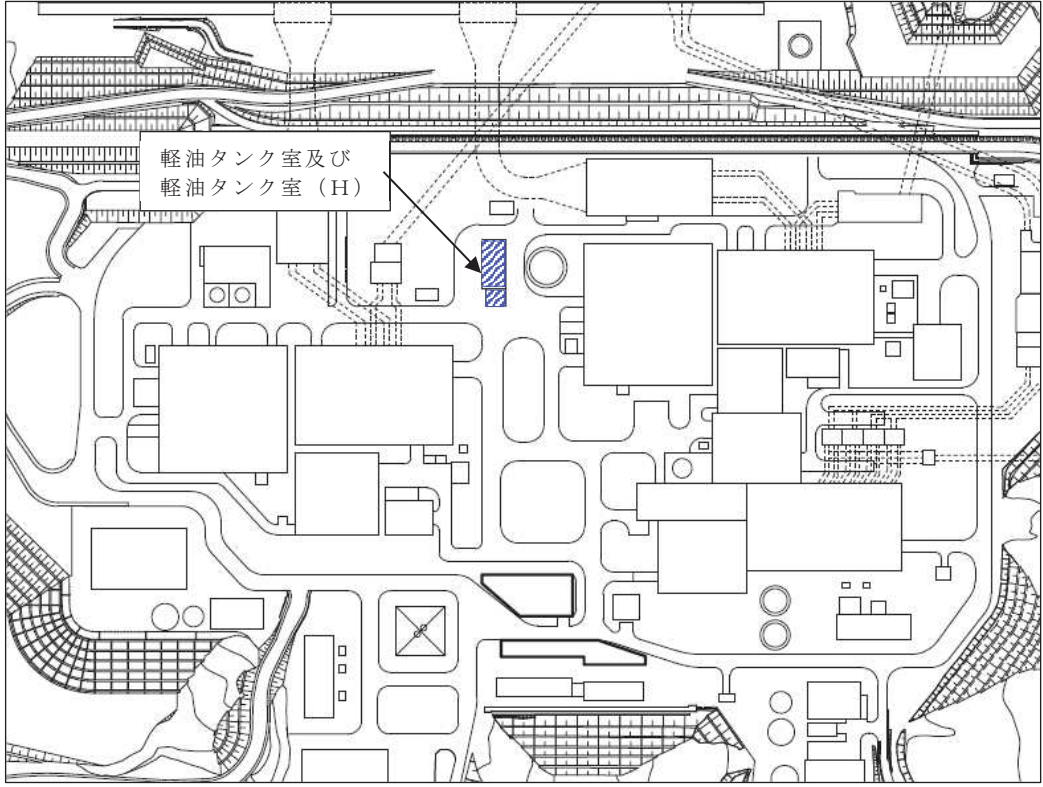
施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
構造物	<p>【位置】</p> 			

表 3-2 軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) の構造計画 (2/3)





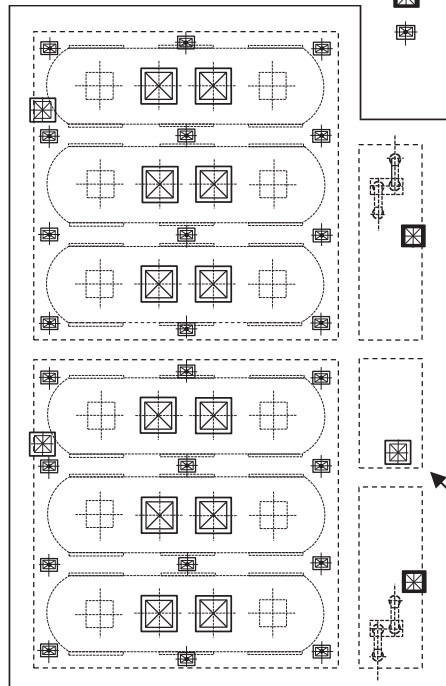
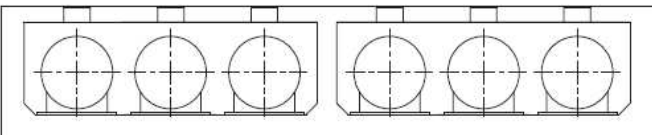
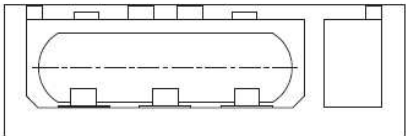




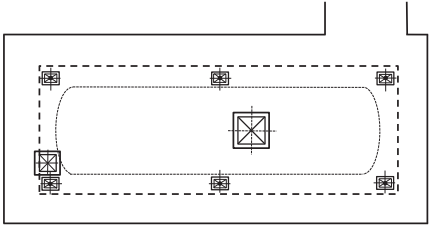
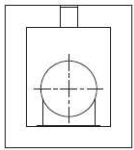
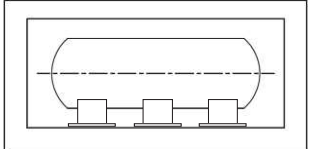
施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
軽油タンク室	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する頂版及び開口部は鋼製ハッチにより構成する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製ハッチに作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、基礎版へ伝達する設計とする。</p>	<div style="text-align: right;"> <p>鋼製ハッチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> : 1300×1300 開口部</li> <li> : 800×800 開口部①*</li> <li> : 800×800 開口部②*</li> <li> : 450×588 開口部</li> </ul> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: right;">軽油タンク室</p> <p>注記 * : 800×800 開口部には 2 種類の形状の上蓋の鋼製ハッチを適用</p> <p style="text-align: center;">(平面図)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">(東西方向断面図)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">(南北方向断面図)</p>

表 3-2 軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の構造計画（3/3）

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
軽油タンク室（H）	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する頂版及び開口部は鋼製ハッチにより構成する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製ハッチに作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、基礎版へ伝達する設計とする。</p>	<p>鋼製ハッチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> : 1300×1300 開口部</li> <li> : 800×800 開口部</li> <li> : 450×588 開口部</li> </ul> <p>PN </p>  <p>（平面図）</p>  <p>（東西方向断面図）</p>  <p>（南北方向断面図）</p>

(2) 屋外の外部事象防護対象施設

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

(a) 構造設計

原子炉補機冷却海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

原子炉補機冷却海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に電動機を取り付け、電動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

ポンプはコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、電動機はポンプの上の電動機台にボルトで結合する構造とする。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、電動機にボルトで結合する。また、作用する荷重については、各取付ボルトを介して接続する構造部材に伝達し、基礎ボルトに伝達する構造とする。

原子炉補機冷却海水ポンプの構造計画を表 3-3 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、原子炉補機冷却海水ポンプの最小肉厚部が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉補機冷却海水ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する基礎ボルト及び各取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する電動機フレームに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ハ. 動的機能維持評価

原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した荷重を基に評価を行う。

表 3-3 原子炉補機冷却海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>原子炉補機冷却海水ポンプは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
原子炉補機冷却海水ポンプ	鋼製の立形ポンプ	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	
原子炉補機冷却海水ポンプ電動機	鋼製の電動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（電動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

(a) 構造設計

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に電動機を取り付け、電動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

ポンプはコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、電動機はポンプの上の電動機台にボルトで結合する構造とする。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、電動機にボルトで結合する。また、作用する荷重については、各取付ボルトを介して接続する構造部材に伝達し、基礎ボルトに伝達する構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造計画を表 3-4 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの最小肉厚部が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する基礎ボルト及び各取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する電動機フレームに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ハ. 動的機能維持評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した荷重を基に評価を行う。

表 3-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	鋼製の立形ポンプ	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機	鋼製の電動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（電動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	



c. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

(a) 構造設計

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、鋼製のたて置き円筒形容器を主体構造とし、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管を海水ポンプ室床面にてサポートで支持する構造とする。

また、作用する荷重については、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナを介して接続する配管に作用するものとする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造計画を表 3-5 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの最小肉厚部から計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-5 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	鋼製のたて置き円筒形の容器で構成する。	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの接続配管の両端をサポートによって支持する。	

d. 復水貯蔵タンク

(a) 構造設計

復水貯蔵タンクは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

復水貯蔵タンクは、平底たて置円筒形容器を主体構造とし、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また、作用する荷重については、胴板を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

復水貯蔵タンクの構造計画を表 3-6 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

復水貯蔵タンクの衝突評価については、設計飛来物による衝撃荷重に対し、復水貯蔵タンクの外殻を構成する部材が、終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

復水貯蔵タンクの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、復水貯蔵タンクの機能維持に必要な胴板及び基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(2)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-6 復水貯蔵タンクの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>復水貯蔵タンクは、復水貯蔵タンクエリアに設置する設計としている。</p>			
復水貯蔵タンク	<p>平底たて置円筒形容器として鋼製の胴板、及び屋根板にて構成する。</p>	<p>コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。</p>	

## e. 排気筒

## (a) 構造設計

排気筒は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

排気筒の筒身は、鋼管を主体構造とし、筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する構造とする。また、作用する荷重については、筒身及び鉄塔を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

排気筒の構造計画を表 3-7 に示す。

## (b) 評価方針

## イ. 構造強度評価

排気筒の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物の衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、筒身及び鉄塔に生じる応力が許容限界以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.3(3) 強度評価方法」に示すとおり、FEMを用いた解析により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-7 排気筒の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>排気筒は、屋外に設置する設計としている。</p>			
排気筒	鋼管で構成する。	筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する。	

f. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）

(a) 構造設計

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、鋼製の配管本体及び弁を主体構造とし、支持構造物により床及び壁等に支持する構造とする。また、作用する荷重については、配管本体に作用する構造とする。

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の構造計画を表 3-8 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の最小肉厚部から計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力及び気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-8 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、海水ポンプ室補機ポンプエリアの床及び壁等で支持する設計としている。</p>			
<p>配管及び弁 （原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）</p>	<p>鋼製の配管本体及び弁で構成する。</p>	<p>配管本体及び弁は、支持構造物により床及び壁等から支持する。</p>	



g. 非常用ガス処理系（屋外配管）

(a) 構造設計

非常用ガス処理系（屋外配管）は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

非常用ガス処理系（屋外配管）は、鋼製の配管を主体構造とし、支持構造物により建屋壁等に支持する構造とする。また、作用する荷重については、配管に作用する構造とする。

非常用ガス処理系（屋外配管）の構造計画を表3-9に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

非常用ガス処理系（屋外配管）の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表3-9 非常用ガス処理系（屋外配管）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>非常用ガス処理系（屋外配管）は、原子炉建屋壁面等で支持する設計としている。</p>			
非常用ガス処理系（屋外配管）	鋼製の配管で構成する。	非常用ガス処理系（屋外配管）は、支持構造物により建屋壁等から支持する。	

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

- a. 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

(a) 構造設計

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，鋼製のダクトを主体構造とし，支持構造物により建屋壁，床及び梁等に支持する構造とする。また，作用する荷重については，ダクト鋼板に作用する構造とする。

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画を表 3-10 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）を構成するダクト鋼板に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，ダクト形状で評価方法を分類し「5.2.5(1)a.(c) 強度評価方法」及び「5.2.5(1)b.(c) 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-10 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，制御建屋）内に設置する設計としている。</p>			
<p>角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）</p>	<p>鋼製のダクトで構成する。</p>	<p>ダクトは，支持構造物により建屋壁，床及び梁等から支持する。</p>	<p><b>【角ダクト】</b></p> <p><b>【丸ダクト】</b></p>

- b. 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））

(a) 構造設計

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

隔離弁は，弁箱，弁体及び弁棒で構成し，接続ダクトで支持する構造とする。内部の弁体，弁棒が回転することにより弁の開閉動作を行う構造とし，閉止時には，上流と下流の圧力差が気密性を有する弁の耐圧部に作用する構造とする。

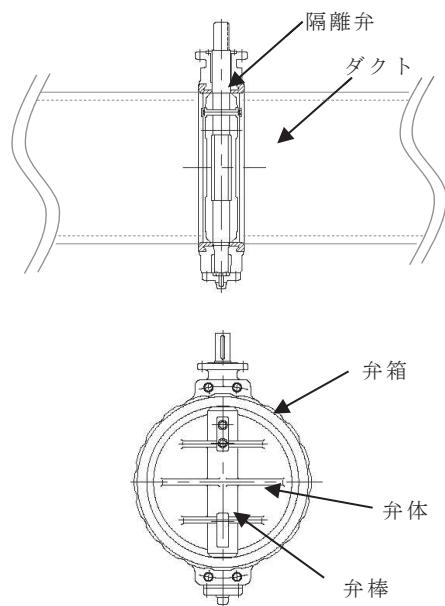
隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））の構造計画を表 3-11 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））の構造強度評価については，開閉可能な機能及び閉止性を考慮して，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(2)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-11 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，制御建屋）内に設置する設計としている。</p>			
<p>隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））</p>	<p>弁箱，弁体及び弁棒で構成する。</p>	<p>接続ダクトで支持する。</p>	

c. ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

(a) 構造設計

ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ファンは流路を形成するケーシング，冷却するための空気を送り込む羽根車及び電動機からの回転力を伝達する主軸で形成し，床に基礎ボルトで支持する構造とする。

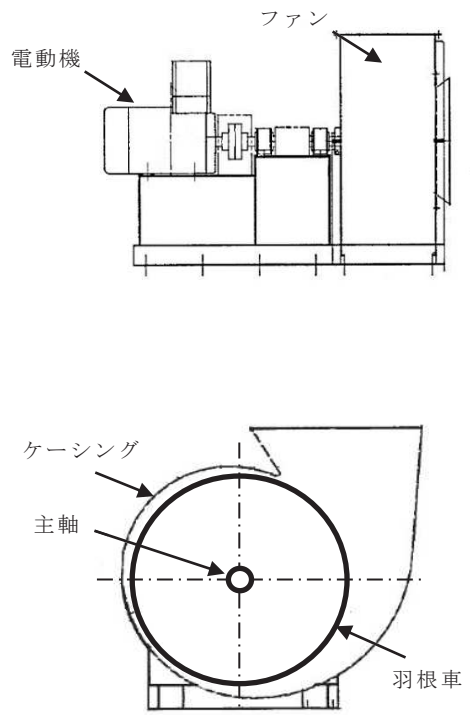
ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画を表 3-12 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(3)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-12 ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，十分な強度を有する建屋内（原子炉建屋，制御建屋）に設置する設計としている。</p>			
ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ケーシング及びケーシング内の主軸，羽根車で構成する。	床に基礎ボルトで支持する。	

d. ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

(a) 構造設計

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ダンパは，ケーシング，ベーン及びシャフトで構成し，接続ダクトで支持する構造とする。内部のベーン及びシャフトが回転することによりベーンの開閉動作を行う構造とする。

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画を表 3-13 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(4)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。



表 3-13 ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，制御建屋）内に設置する設計としている。</p>			
ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ケーシング，ベーン及びシャフトで構成する。	接続ダクトで支持する構造とする。	<p>The diagram consists of two parts. The top part is a side view of a rectangular duct with two vertical rectangular dampers inside. Labels 'ダンパ' (damper) and 'ダクト' (duct) point to the respective parts. The bottom part is a perspective view of a damper assembly. It shows a rectangular casing containing a shaft with a vane attached. Labels 'ケーシング' (casing), 'シャフト' (shaft), and 'ベーン' (vane) point to these components.</p>

e. 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）

(a) 構造設計

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

軽油タンクは、大気開放型の鋼製の横置円筒形容器を主体構造とし、地下に埋設された軽油タンク室内に設置し、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また、作用する荷重については、軽油タンクベント配管を通じて軽油タンク本体に作用する構造とする。

燃料移送ポンプ等は、鋼製の燃料移送ポンプ及び配管を主体構造とし、軽油タンク室内に設置し、コンクリート基礎にサポート又は基礎ボルト等で固定する構造とする。また、作用する荷重については、燃料移送ポンプ及び配管本体に作用する構造とする。

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造計画を表 3-14 に示す。

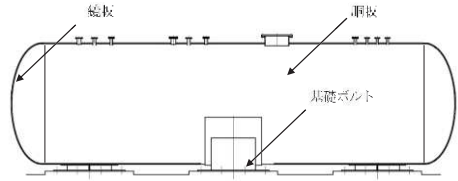
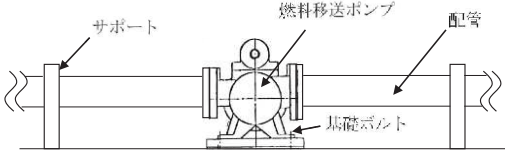
(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

軽油タンクの構造強度評価については、設計竜巻の気圧差による荷重に対し、軽油タンク本体に生じる応力が許容外圧以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(3)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した許容外圧を基に評価を行う。

燃料移送ポンプ等の構造強度評価については、設計竜巻の気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、燃料移送ポンプ及び配管に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(3)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-14 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>軽油タンク，燃料移送ポンプ及び配管は，地下に埋設された燃料移送ポンプ室内に設置する設計としている。</p>			
軽油タンク	鋼製の鏡板及び胴板で構成する横置円筒容器で構成する。	容器底部をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	
燃料移送ポンプ等	鋼製の燃料移送ポンプ及び配管で構成する。	ポンプ及び配管をコンクリート基礎に基礎ボルト又はサポートで固定する。	

(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a) 補助ボイラー建屋

イ. 構造設計

補助ボイラー建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

補助ボイラー建屋、タービン建屋及び制御建屋はそれぞれ構造的に独立した建物である。

補助ボイラー建屋は鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）とし、荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。

補助ボイラー建屋の構造計画を表 3-15 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

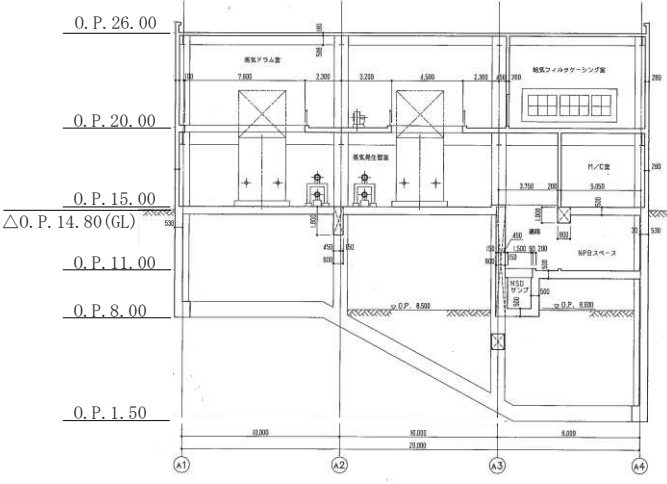
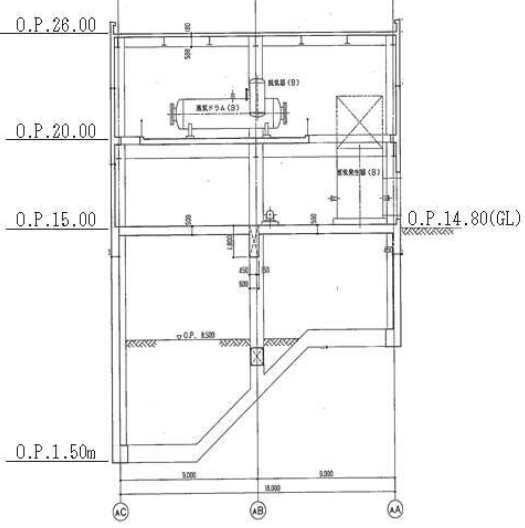
補助ボイラー建屋の構造強度評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、補助ボイラー建屋がタービン建屋及び制御建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては、各建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した層間変形角及び各建屋間の相対変位を基に評価を行う。

表 3-15 補助ボイラー建屋の構造計画(1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋				<p>PN</p> <p>タービン建屋</p> <p>制御建屋</p> <p>補助ボイラー建屋</p>

O 2 ② VI-3-別添 1-1 R 0

表 3-15 補助ボイラー建屋の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
補助ボイラー建屋	鉄筋コンクリート構造(一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造)で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。	 <p>(南北方向断面)</p>  <p>(東西方向断面)</p>

## (b) 第1号機制御建屋

## イ. 構造設計

第1号機制御建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

第1号機制御建屋及び制御建屋は、それぞれ構造的に独立した建物である。

第1号機制御建屋は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）とし、荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。

第1号機制御建屋の構造計画を表3-16に示す。

## ロ. 評価方針

## (イ) 構造強度評価

第1号機制御建屋の構造強度評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、第1号機制御建屋が制御建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては第1号機制御建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した層間変形角及び各建屋間の相対変位を基に評価を行う。

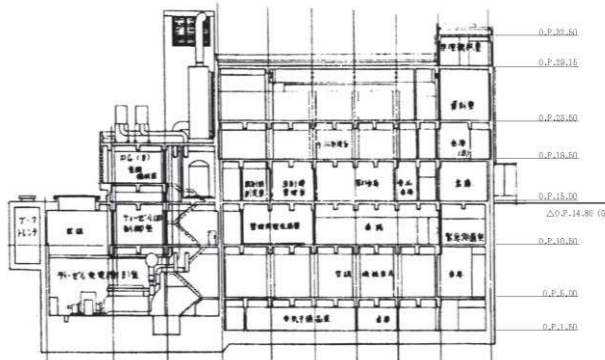
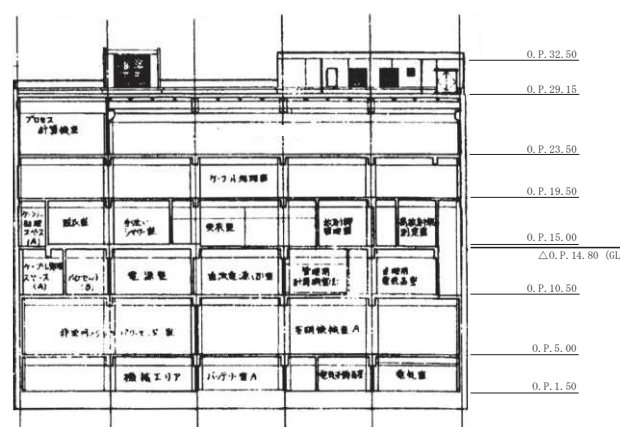
表 3-16 第 1 号機制御建屋の構造計画 (1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋				

O 2 ② VI-3-別添 1-1 R 0



表 3-16 第 1 号機制御建屋の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
第 1 号機 制御建屋	鉄筋コン クリート 造(一部鉄 骨造)で構 成する。	荷重は建屋 の外殻を構 成する屋根 及び外壁に 作用し、基 礎版へ伝達 する構造と する。	 <p>(南北方向断面)</p>  <p>(東西方向断面)</p>

(c) サイトバンカ建屋

イ. 構造設計

サイトバンカ建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

サイトバンカ建屋及びタービン建屋は、それぞれ構造的に独立した建物である。

サイトバンカ建屋は鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）とし、荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。

サイトバンカ建屋の構造計画を表 3-17 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

サイトバンカ建屋の構造強度評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、サイトバンカ建屋がタービン建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としてはサイトバンカ建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した層間変形角及び各建屋間の相対変位を基に評価を行う。

表 3-17 サイトバンカ建屋の構造計画(1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋				<p>The diagram is a detailed structural plan of a building complex. It features several interconnected structures. A prominent feature is a long, narrow building at the top, labeled 'サイトバンカ建屋' (Site Bank Building). Below it, a larger, more complex structure is labeled 'タービン建屋' (Turbine Building). A specific area within the turbine building is highlighted with blue diagonal hatching. The plan includes various rooms, corridors, and structural supports. A north arrow in the top right corner is labeled 'PN'.</p>

表 3-17 サイトバンカ建屋の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
サイトバンカ建屋	鉄筋コンクリート構造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(南北方向断面)</p> <p>(東西方向断面)</p>

(d) 海水ポンプ室門型クレーン

イ. 構造設計

海水ポンプ室門型クレーンは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

海水ポンプ室門型クレーンは、海水ポンプ室エリアに設置している門型クレーンであり、停留位置において海水ポンプ室門型クレーンに作用する荷重は、エンドストッパ及びエンドストッパを支持する基礎ボルトに伝達する構造とする。

海水ポンプ室門型クレーンの構造計画を表 3-18 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価については、設計竜巻の風荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室門型クレーン停留位置においてエンドストッパ及び基礎ボルトにより海水ポンプ室門型クレーンに転倒が生じないことを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.6(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-18 海水ポンプ室門型クレーンの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプ室門型クレーン	門型クレーン	屋外の海水ポンプ室エリアに設置している門型クレーンであり、停留位置においてエンドストップで固定する。	<p>(停留位置)</p> <p>トロリ</p> <p>ガーダ</p> <p>脚部</p> <p>エンドストップ</p> <p>基礎ボルト</p>

b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設

- (a) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器

イ. 構造設計

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は、鋼製の胴板を主体構造とし、原子炉建屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定する構造とする。また、作用する荷重については、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の中間台を介し、基礎ボルトに伝達する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造計画を表 3-19 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価については、設計竜巻の風荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(4)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-19 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
排気消音器の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。） 排気消音器	鋼製の胴板で構成する。	原子炉建屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定する。	



- (b) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管

イ. 構造設計

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、鋼製の配管を主体構造とし、サポートによる支持で建屋壁面や軽油タンク室等に固定する構造とする。また、作用する荷重については、配管本体に作用する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の構造計画を表 3-20 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力、気圧差及びその他考慮すべき荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-20 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
 付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管	鋼製の配管で構成する。	サポートによる支持で建屋壁面等に固定する。	
軽油タンクベント配管			

「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計と作用する荷重の伝達を基に、表 3-21 に示すとおり評価対象部位を設定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(1/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋	屋根スラブ(デッキプレートを含む。)スタッド壁面(デッキプレートを含む。)構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻による荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、屋根スラブを固定するスタッド及び構造躯体を評価対象部位として選定する。
		扉の表側鋼板, 芯材及びカンヌキ	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる竜巻の影響に対する防護を期待する扉の表面鋼板を評価対象部位として選定する。
		構造強度	転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、竜巻の影響に対する防護を期待する扉の表側鋼板, 芯材及びカンヌキを評価対象部位として選定する。	

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (2/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	タービン 建屋 制御建屋	屋根スラブ(デッキプレートを含む。) スタッド 壁面 構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計竜巻による荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、屋根スラブを固定するスタッド及び構造躯体を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (3/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	軽油タンク室 及び軽油タンク室 (H)	鋼製ハッチの上蓋	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、外部に露出している部位である鋼製ハッチの上蓋を評価対象部位として選定する。
		頂版	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、外部に露出している部位である頂版を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、外部に露出している部位である頂版を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(4/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	原子炉補機冷却海水ポンプ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	外殻に面する部分への設計飛来物の衝突を考慮し、ポンプ据付面より上部の全方向からの飛来物を考慮し、外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため、ポンプを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト 取付ボルト 電動機フレーム	構造強度	立形ポンプ	設計竜巻による荷重の影響を受けるポンプ据付面より上部の各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、基礎ボルト、本体各部取付ボルト及び主要構造部材である電動機フレームを評価対象部位として選定する。
		軸受部	機能維持	立形ポンプ	ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、動的機能維持に必要な軸受部を評価対象部位として選定する。
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	外殻に面する部分への設計飛来物の衝突を考慮し、ポンプ据付面より上部の全方向からの飛来物を考慮し、外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため、ポンプを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト 取付ボルト 電動機フレーム	構造強度	立形ポンプ	設計竜巻による荷重の影響を受けるポンプ据付面より上部の各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、基礎ボルト、本体各部取付ボルト及び主要構造部材である電動機フレームを評価対象部位として選定する。
		軸受部	機能維持	立形ポンプ	ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、動的機能維持に必要な軸受部を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (5/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し、外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		接続配管	構造強度	配管	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは接続する配管によって支持する構造であるため、配管を評価対象部位として選定する。
	復水貯蔵タンク	胴板 屋根板	衝突	ひずみ	復水貯蔵タンクの外殻を構成する部材への設計飛来物の衝突を考慮し、復水貯蔵タンクの胴板及び屋根板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認するため、胴板及び屋根板を評価対象部位として選定する。
		胴板 基礎ボルト	構造強度	平底たて置 円筒形容器	設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は、胴板を介して基礎ボルトに作用する。これらは、外荷重として作用する地震荷重と同様なものであるため、J E A G 4 6 0 1の平底たて置円筒形容器の計算方法を準用し、胴板及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(6/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	排気筒	筒身, 支持鉄塔	構造強度	排気筒	設計竜巻の風圧力による荷重は, 筒身及び鉄塔に作用するため, これらを実評価対象部位として選定する。
	配管及び弁(原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り)	外殻を構成する部材	衝突	貫入	配管の全方向からの飛来物を考慮し, 貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として配管の最小板厚部を選定する。
		配管本体	構造強度	配管及び弁	設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重は, 配管仕様と支持間隔による受圧面積に応じて配管本体に作用するため, 配管本体を実評価対象部位として選定する。
	非常用ガス処理系(屋外配管)	配管本体	構造強度	配管	設計竜巻の風圧力による荷重は, 非常用ガス処理系(屋外配管)の配管本体に作用するため, 配管本体を実評価対象部位として選定する。



表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(7/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋内の外気と繋がっている外部事象防護対象施設	角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ダクト鋼板	構造強度	ダクト	換気空調系のダクトは，建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，設計竜巻の気圧差による荷重が考えられるため，ダクト本体の鋼板部を評価対象部位として選定する。
	ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ケーシング ベーン シャフト	構造強度	ダンパ	換気空調系のダクトは，建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，閉止しているダンパには，設計竜巻の気圧差による荷重がケーシング，ベーン及びシャフトに作用することから，ケーシング，ベーン及びシャフトを評価対象部位として選定する。
	隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））	弁箱 弁体 弁棒	構造強度	隔離弁	換気空調系の隔離弁は，建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，設計竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから，耐圧部である弁箱，弁体及び弁棒を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(8/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋内の外気と繋がっている外部事象防護対象施設	ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ケーシング	構造強度	ファン	換気空調系のファンは，建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，設計竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから，耐圧部であるケーシングを評価対象部位として選定する。
	軽油タンク	胴板	構造強度	横置円筒形容器	軽油タンクは，設計竜巻の気圧差による荷重が軽油タンクベント配管を通じてタンク本体に作用することから，軽油タンクの胴板を評価対象部位として選定する。
	燃料移送ポンプ及び配管	配管本体	構造強度	配管	燃料移送ポンプ及び配管は，設計竜巻の気圧差による荷重が，燃料移送ポンプのケーシング及び接続する配管に作用するが，ポンプケーシングと比較して断面積が小さく，発生応力が大きくなる配管を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(9/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	補助ボイラー建屋	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し、補助ボイラー建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	第 1 号機制御建屋	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し、第 1 号機制御建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	サイトバンカ建屋	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し、サイトバンカ建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (10/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	海水ポンプ室門型クレーン	エンドストップ 基礎ボルト	構造強度	門型クレーン	海水ポンプ室への海水ポンプ室門型クレーンの転倒による波及的影響を考慮して、エンドストップ及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器	基礎ボルト	構造強度	消音器	設計竜巻による荷重の影響を受ける消音器据付面より上部の各部位のうち、排気消音器の転倒による閉塞により、非常用ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、発生する応力が厳しくなる基礎ボルトを評価対象部位として設定する。
	非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管	配管本体	構造強度	配管及び弁	設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、配管仕様と支持間隔による受圧面積に応じて配管本体に作用するため、配管本体を評価対象部位として選定する。

#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、VI-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

###### (1) 荷重の種類

###### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重、水頭圧及び上載荷重とする。

###### b. 竜巻による荷重 ( $W_T$ )

竜巻による荷重は、設計竜巻の以下の特性を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表 4-1 に示す。

###### ・ 竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P$ )

フジタモデルにおける竜巻の最大気圧低下量は、流れの連続式と運動量保存則から導出される以下の圧力ポアソン方程式を用いる。

$$\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) = - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left( U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} \right)$$

$\rho$  : 空気密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

$p$  : 圧力 ( $\text{N/mm}^2$ )

$x$  : 座標 (—)

$U$  : 風速ベクトル (—)

$\nu$  : 動粘性係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

###### ・ 竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

$V_D$  : 竜巻の最大風速 ( $\text{m/s}$ )

$V_T$  : 竜巻の移動速度 ( $\text{m/s}$ )

###### ・ 竜巻の移動速度 ( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

$V_D$  : 竜巻の最大風速 ( $\text{m/s}$ )

表 4-1 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	7600

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重である。竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻の影響を考慮する施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数 ( $G$ ) は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から、施設の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して、 $G=1.0$  とする。空気密度 ( $\rho$ ) は「REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1,」(米国原子力規制委員会)より  $\rho=1.226\text{kg/m}^3$  とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため、設計竜巻の設計用速度圧 ( $q$ ) は施設の形状によらず  $q=6130\text{N/m}^2$  と設定する。

(b) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻より防護すべき施設を内包する施設の建屋の壁、屋根等においては、竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設 (通気がない施設) については、この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設 (通気がある施設等) については、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量 ( $\Delta P$ ) は圧力ポアソン方程式から、 $\Delta P=7600\text{N/m}^2$  とする。

(c) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物である鋼製材の衝突による影響が大きくなる向きで外部事象防護対象施設等に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。衝突評価においても、飛来

物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の寸法，質量及び飛来速度を表 4-2 に示す。設計飛来物の飛来速度については，設置（変更）許可を受けたとおり設定する。なお，鉛直方向の飛来速度については，敷地内の高台から設計飛来物が到達する対象施設に対して，高台を考慮した鉛直速度を解析コード「TONBOS」を用いて算出して設定する。対象施設に適用する鉛直方向の飛来速度を表 4-3 に示す。

表 4-2 飛来物の諸元

項 目	飛来物の種類	
	鋼製材	砂利
寸法 (m)	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
質量 (kg)	135	0.2
水平方向の飛来速度 (m/s)	46.6	59.3
鉛直方向の飛来速度 (m/s)	16.7～34.7* <sup>1</sup>	22.6～37.9* <sup>1</sup>

\*1 敷地内の高台を考慮して設定

表 4-3 対象施設に適用する鉛直方向の飛来速度

強度評価の対象施設* <sup>1</sup>	鋼製材 [m/s]	砂利 [m/s]
原子炉建屋，制御建屋	16.7	36.3
タービン建屋，補助ボイラー建屋及びサイトバン カ建屋	32.9	36.3
第 1 号機制御建屋	31.1	36.3
軽油タンク室及び軽油タンク室（H），復水貯蔵 タンク，非常用ガス処理系（屋外配管），非常用 ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディー ゼル発電設備を含む。）排気消音器，非常用ディー ゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電設備を含む。）付属ミスト配管，軽油タンク ベント配管及び海水ポンプ室門型クレーン	16.7	22.6
原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海 水系ストレナ，配管及び弁（原子炉補機冷却海 水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 周り）	—* <sup>2</sup>	27.2
排気筒	31.1	34.6

\*<sup>1</sup> 対象施設は，強度評価の対象施設のうち，飛来物による衝撃荷重を考慮する施設について示す

\*<sup>2</sup> 竜巻防護ネット設置により鋼製材は到達しない

c. 運転時に作用する荷重（ $F_P$ ）

運転時の状態で作用する荷重として，配管等にかかる内圧やポンプのスラスト荷重等の運転時荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計に用いる竜巻の荷重は，気圧差による荷重( $W_P$ )を考慮した複合荷重 $W_{T1}$ 並びに設計竜巻の風圧力による荷重 ( $W_W$ )，気圧差による荷重 ( $W_P$ ) 及び飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重 $W_{T2}$ を以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

竜巻の影響を考慮する施設には $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては，施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を以下に示す。



a. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設（表 4-4(1/5)）

設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。軽油タンク室及び軽油タンク室（H）については、地下埋設されていることから、設計竜巻の風圧力は考慮しない。

b. 屋外の外部事象防護対象施設（表 4-4(2/5, 3/5)）

屋外の外部事象防護対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ、配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ、配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）には運転時にスラスト荷重や内圧等が作用するため、運転時の状態で作用する荷重も考慮する。

排気筒に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重は考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については、気圧差同様考慮しない。排気筒筒身に関しては、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することはないことから、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

非常用ガス処理系（屋外配管）に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ガス処理系（屋外配管）は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重は考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については、気圧差同様考慮しない。非常用ガス処理系（屋外配管）は設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することはないことから、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

復水貯蔵タンクに関しては、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。復水貯蔵タンクは大気開放型のタンクであることから気圧差による荷重は考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については、気圧差同様考慮しない。

c. 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設（表 4-4(4/5)）

外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設である中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系のダクト、ダンパ及びファン並びに中央制御室換気空調系及び原子炉建屋原子炉棟換気空調系の隔離弁は

建屋内に設置しているため、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は考慮しないが、外気と繋がっているため、施設に作用する気圧差による荷重及び常時作用する荷重を組み合わせることを基本とする。運転時の状態で作用する荷重に関しては、気圧差による荷重の抗力となるため組み合わせない。また、ファンの自重は内圧荷重に比べ十分小さいことから、自重を考慮しない。

軽油タンク(燃料移送ポンプ等を含む。)は、軽油タンク室及び軽油タンク室(H)内に設置しているため設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重は考慮しないが、外気と繋がっているために気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。軽油タンクについては、運転時の状態で作用する荷重については作用しないため考慮しない。

d. 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設(表 4-4(5/5))

機械的影響を及ぼす可能性がある施設のうち、補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については作用しないため考慮しない。

海水ポンプ室門型クレーンに関しては、設計竜巻による風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については、作用しないため考慮しない。海水ポンプ室門型クレーンは屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。

機能的影響を及ぼす可能性がある施設のうち、非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。)排気消音器に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。)排気消音器は、排気機能が健全であれば良く、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されるため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。また、非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。)排気消音器は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については評価対象部位に対し作用しないため考慮しない。

非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。)附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。)附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管には運転時に内圧が作用するため、運転時の状態で作用する荷重も考慮する。非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイ系デ

ィーゼル発電設備を含む。) 付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は通気機能が健全であれば良く，仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても，その貫通箇所又は本来の通気箇所から通気されるため，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

上記の施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を踏まえ，各評価対象施設における評価項目ごとの荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(1/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時の状態で作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋, タービン建屋及び制御建屋	衝突	○	—	○	○	○	○	—
		構造強度	○	—	○	○	○	○	—
	軽油タンク室及び軽油タンク室(H)	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	—	—	—	—	○	○	—

(○ : 考慮する荷重を示す。)

表 4-4 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (2/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>m</sub> )	運転時の状態で作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
屋外の外部事象防護対象施設	原子炉補機冷却海水ポンプ	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○
		機能維持	—	—	—	○	○	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○
		機能維持	—	—	—	○	○	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○

(○ : 考慮する荷重を示す。)

表 4-4 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (3/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時の状態で作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
屋外の外部事象防護対象施設	復水貯蔵タンク	衝突	○	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	○	—	○	—	○	—
	排気筒	構造強度	○	—	—	○	—	○	—
	配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り)	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○
	非常用ガス処理系 (屋外配管)	構造強度	○	—	—	○	—	—	—

(○ : 考慮する荷重を示す。)

表 4-4 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(4/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 ( $F_d$ )			風圧力による 荷重 ( $W_w$ )	気圧差による 荷重 ( $W_p$ )	飛来物による 衝撃荷重 ( $W_M$ )	運転時の状態で 作用する荷重 ( $F_P$ )
			自重	水頭圧	上 載 荷 重				
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	角ダクト及び丸ダクト (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系)	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	ダンパ (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系)	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	隔離弁 (中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁 (原子炉建屋原子炉棟換気空調系))	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	ファン (中央制御室換気空調系, 原子炉補機室換気空調系, 計測制御室換気空調系)	構造強度	—	—	—	—	○	—	—
	軽油タンク	構造強度	—	—	—	—	○	—	—
	燃料移送ポンプ及び配管	構造強度	○	—	—	—	○	—	○

(○ : 考慮する荷重を示す。)

表 4-4 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (5/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時の状態で作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	補助ボイラー建屋, 第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋	構造強度	○	—	○	○	○	○	—
	海水ポンプ室門型クレーン	構造強度	○	—	—	○	—	○	—
	非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 排気消音器	構造強度	○	—	—	○	—	—	—
	非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管	構造強度	○	—	—	○	○	—	○

(○ : 考慮する荷重を示す。)



(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	施設の受圧面積
C	—	風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。）
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	N	自重による荷重
m	kg	質量
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の風速
V <sub>Rm</sub>	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W <sub>M</sub>	N	飛来物による衝撃荷重
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
W <sub>W</sub>	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
ΔP	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量

b. 自重による荷重の算出

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重 (W<sub>W</sub>)

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令」及び「建築物荷重指針・同解析」（（社）日本建築学会）に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(b) 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

(c) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

飛来物による衝撃荷重は、飛来物が衝突する竜巻の影響を考慮する施設、評価対象部位及び評価方法に応じて適切に設定する必要があるため、個別計算書にその算出方法を含めて記載する。

評価条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 評価条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト影響 係数 $G$ (-)	設計用 速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
100	1.226	1.0	6130	85	7600

#### 4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価項目ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価項目ごとの許容限界を表 4-8 に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価項目ごとに許容限界を定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」((社)日本電気協会),「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下「J E A G 4 6 0 1」という。)を準用できる施設については、J E A G 4 6 0 1 に基づき「発電用原子力設備規格設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007 (以下「設計・建設規格」という。)の付録材料図表及び J I S の材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については、設計・建設規格や既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし、設計・建設規格の適用を受ける機器であって、供用状態に応じた許容値の規定が設計・建設規格にないものは機能維持の評価方針を考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づいた許容限界を設定する。

#### 4.2.1 建屋・構造物

##### (1) 許容限界の設定

###### a. 衝突評価

###### (a) 貫通 (表 4-8 (1/9), (2/9), (3/9))

建屋・構造物の衝突による貫通評価においては、設計飛来物による衝撃荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材の最小厚さを許容限界として設定する。

###### (b) ひずみ (表 4-8 (1/9))

建屋・構造物の衝突による貫通評価のうち、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない建屋の屋根スラブ及び外壁においては、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブ及び外壁の鉄筋又はデッキプレートが終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、鉄筋又はデッキプレートの破断ひずみを許容限界として設定する。鉄筋の破断ひずみは、J I S 規格値/TF (  ), デッキプレートの破断ひずみは、J I S 規格値/TF (  ) を許容限界とする。

###### b. 構造強度評価

###### (a) 裏面剥離 (表 4-8 (1/9), (3/9))

設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、施設の最小部材厚さを許容限界として設定する。また、許容限界を超えた場合は、裏面剥離に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、デッキプレートの破断ひずみを許容限界として設定する。デッキプレートの破断ひずみは、J I S 規格値/TF (  ) を許容限界とする。

###### (b) 転倒及び脱落 (表 4-8 (1/9), (2/9))

鉄筋コンクリート造構造物の転倒及び脱落の評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、構造躯体のうち耐震壁に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、コンクリートの終局せん断ひずみに基づく制限値を許容限界として設定する。制限値は J E A

G 4 6 0 1 に基づき  $2.0 \times 10^{-3}$  とする。また、構造躯体のうち鉄骨架構に終局状態に至るような変形が生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）」に基づく層間変形角の制限値を許容限界として設定する。

扉の転倒及び脱落の評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、表面鋼板、芯材に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算又は解析により確認する設計方針としていることを踏まえ、鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは、J I S 規格値 / TF ( ) を許容限界とする。

また、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、カンヌキの破断による転倒及び脱落を生じないことを計算又は解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準・同解説—許容応力度設計法—」に準じた短期許容応力度を許容限界として設定する。

(c) 構造躯体の変形（表 4-8 (8/9)）

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性のある施設については、設計竜巻による荷重及びその他の荷重に対し、補助ボイラー建屋がタービン建屋及び制御建屋に、第 1 号機制御建屋が制御建屋に、サイトバンカ建屋がタービン建屋に接触する変形を生じないことを計算及び解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、各建屋との離隔距離及び「技術基準解説書」に基づく層間変形角の制限値を許容限界として設定する。

(d) 排気筒（表 4-8 (6/9)）

排気筒の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、構造物全体が倒壊し、流路を確保する機能を維持するために筒身及び鉄塔が、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「容器構造設計指針」等に応じた材料強度を許容限界として設定する。

#### 4.2.2 機器・配管系

##### (1) 許容限界の設定

###### a. 衝突評価

##### (a) 貫入（表 4-8 (4/9) ～ (6/9)）

衝突による貫入評価においては、飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、部材厚さを許容限界として設定

する。ただし、耐圧部については部材厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界として設定する。

(b) ひずみ (表 4-8 (5/9))

衝突によるひずみ評価においては、設計飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、復水貯蔵タンク胴板及び屋根板の破断ひずみを許容限界として設定する。復水貯蔵タンク胴板及び屋根板の破断ひずみは、J I S規格値/TF (   ) を許容限界とする。

b. 構造強度評価

(a) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ (表 4-8 (4/9))

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する基礎ボルト、取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する電動機フレームが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(b) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ (表 4-8 (5/9))

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ストレーナに接続する配管が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針をしていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(c) 復水貯蔵タンク (表 4-8 (5/9))

復水貯蔵タンクの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、復水貯蔵タンクを構成する胴板及び基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(d) 配管及び弁 (表 4-8 (6/9), (9/9))

配管及び弁の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体が、おおむね弾性状

態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(e) 非常用ガス処理系（屋外配管）（表 4-8 (6/9)）

非常用ガス処理系（屋外配管）の構造強度評価においては，設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(f) 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）（表 4-8 (7/9)）

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ダクトを構成するダクト鋼板が，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S及び座屈に対する評価式を満足する許容応力又はクリッピング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(g) 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））（表 4-8 (7/9)）

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））の構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，隔離弁が，おおむね弾性状態に留まることにより，その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，弾性範囲内である部材の降伏応力を許容限界として設定する。

(h) ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）（表 4-8 (7/9)）

ファン（中央制御室換気空調系，原子炉補機室換気空調系，計測制御室換気空調系）の構造強度評価においては，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ファンのケーシングが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(i) ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）（表 4-8 (7/9)）

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機



室換気空調系)の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ダンパが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(j) 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）（表 4-8 (7/9)）

軽油タンクの構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重に対し、軽油タンクが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J I S B 8 2 6 5「圧力容器の構造—一般事項」の中で規定されている許容外圧の考え方を許容限界として設定する。

配管の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対して、配管が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(k) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器（表 4-8 (9/9)）

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、排気消音器を構成する基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

(1) 海水ポンプ室門型クレーン（表 4-8 (8/9)）

海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、エンドストップ及び基礎ボルトが、塑性域に達しても必要な機能が損なわれず、外部事象防護対象施設に接触による影響を及ぼさないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

c. 動的機能維持評価

(a) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（表 4-8 (4/9)）

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価においては、ポンプの軸受部は、設計竜巻の風圧力による

荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，軸受部における発生荷重が，動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界として設定する。

(2) 許容限界設定方法

a. 記号の定義

許容限界式に使用する記号を表 4-7 に示す。

表 4-7 許容限界式に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
B	MPa	J I S B 8 2 6 5 図 E.10 に規定される値
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
D <sub>o</sub>	mm	円筒胴外形
E	MPa	ヤング率
f <sub>b</sub>	MPa	曲げモーメントにより生じる座屈応力
f <sub>b</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力に対し，設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍」と読み替えて算出した値
f <sub>c</sub>	MPa	軸圧縮荷重により生じる座屈応力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
f <sub>t</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍」と読み替えて算出した値
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
k <sub>p</sub>	—	座屈係数
M	N・mm	ダクトに作用する曲げモーメント
M <sub>crip</sub>	N・mm	クリッピング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント
M <sub>p</sub>	N・mm	自重により作用する曲げモーメント



表 4-7 許容限界式に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
n	—	座屈モードの次数
$P_a$	MPa	許容外圧
r	mm	丸ダクトのダクト半径
t	mm	ダクト板厚又は円筒胴の計算厚さ
$\pi$	—	円周率
$\nu$	—	ポアソン比
$Z_c$	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
$\alpha_1$	—	安全率
$\beta$	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_{crip}$	MPa	クリッピング座屈が発生する際に生じる周方向応力
$\sigma_{crip1}$	MPa	外圧により生じる周方向応力
$\sigma_{p1}$	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
$\sigma_{p2}$	MPa	面内荷重（自重）による発生応力
$\sigma_t$	MPa	平均引張応力
$c\sigma_b$	MPa	圧縮側曲げ応力
$t\sigma_b$	MPa	引張側曲げ応力
$\sigma_w$	MPa	短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力と長期荷重（自重）による発生応力の和
$\sigma_{xb}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
$\sigma_{xc}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_y$	MPa	y 方向応力
$\tau$	MPa	せん断応力

b. 許容限界式

(a) 支持構造物の許容限界式

イ. ボルト

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力  $f_{ts}$  は以下のとおり。

$$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\} \quad (\text{許容応力状態 III}_{AS})$$

$$\text{Min} \{1.5 f_{t'}, (2.1 f_{t'} - 1.6 \tau)\} \quad (\text{許容応力状態 IV}_{AS})$$

(b) 復水貯蔵タンクの許容限界式

イ. 胴板

胴板について，以下の式により座屈評価を行う。

$$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xc}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xb}}{f_b} \leq 1$$

(c) 角ダクトの許容限界式

イ. 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により発生する曲げモーメントMと発生応力 $\sigma_{p2}$ の関係は以下の式で表される。



ここで

$$I = \frac{(a + 2 \cdot t) \cdot (b + 2 \cdot t)^3 - a \cdot b^3}{12}$$

短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力 $\sigma_{p1}$ と長期荷重（自重）による発生応力 $\sigma_{p2}$ の和 $\sigma_w$ が許容応力 $\sigma_y$ に達した時に座屈が生じることから，長期荷重により発生する曲げモーメント $M_p$ が，許容応力 $\sigma_y$ と短期荷重による発生応力 $\sigma_{p1}$ の差 $(\sigma_y - \sigma_{p1})$ から求まる長期荷重に対する許容曲げモーメント以下であることを確認する。



(d) 丸ダクトの許容限界式

イ. 外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は，クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） $\sigma_{crip}$ を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{crip}$ は，円筒殻の座屈応力の式より算出する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



ここで、座屈モードの次数  $n$  は、 $k_p$  が最小となる時の次数とする。

- ロ. 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により作用する曲げモーメント  $M_p$  と外圧  $\Delta P$ （設計竜巻の気圧低下量）の組合せが、下式を満足させるものとする。



ここで、自重による曲げによってクリッピング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント  $M_{c r i p}$  は、下式より算出する。



- (e) 軽油タンクの許容限界式

- イ. 外圧に対する許容限界

気圧差による荷重は、軽油タンクの内圧が低下した分を外圧が上昇したものと考え、軽油タンクの強度が担保される許容外圧を以下の式により算定する。

$$P_a = \frac{4 \cdot B \cdot t}{3 \cdot D_o}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(f) 海水ポンプ室門型クレーンの許容限界式

イ. エンドストップに対する許容限界

引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力について、以下の式により評価する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t'} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c \sigma_b - \sigma_b}{f_b'} \leq 1$$

表 4-8 施設ごとの許容限界(1/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位		評価項目	機能損傷モード		許容限界
						応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋, タービン建屋 及び制御建屋	$W_M$	屋根スラブ, 壁面		衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_M$ $F_d + W_T (W_w, W_M)$	屋根スラブ, 壁面			変形	貫通	鉄筋の発生ひずみが, J I S 規格値 / TF ( ), デッキプレートの発生ひずみが, J I S 規格値 / TF ( ) 以下とする。
		$W_M$	屋根スラブ, 壁面		構造強度	変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_M$ $F_d + W_T (W_w, W_M)$	屋根スラブ, 壁面 (デッキプレートを含む)			変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	デッキプレートの発生ひずみが, J I S 規格値 / TF ( ) 以下とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_P)$	スタッド			引張		発生荷重が, 「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力を許容限界として設定する
		$W_w + W_T (W_P, W_M)$	構造躯体	耐震壁		変形	部材の破断による転倒及び脱落	コンクリートのせん断ひずみが制限値 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 以下とする。
鉄骨架構	変形が「技術基準解説書」に基づく層間変形角以下とする。							

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (2/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋	$W_M$	扉（表側鋼板）	衝突	変形	貫通	対象部位の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_M)$	扉（表側鋼板, 芯材）	構造強度	変形	部材の破断による転倒及び脱落	対象部位の発生ひずみが, J I S規格値/TF ( ) 以下とする。
		$W_P$	扉（カンヌキ）		曲げ, せん断, 組合せ	部材の降伏	「鋼構造設計規準・同解説」の短期許容応力度以下とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (3/9)

施設分類	施設名称	荷重の 組合せ	評価対象部位	評価 項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より 内包する施設 を	軽油タンク室 軽油タンク室 (H)	$W_M$	鋼製ハッチの上蓋	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$W_M$	頂版	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$W_T (W_P, W_M)$		構造強度	変形	裏面剥離	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界(4/9)

施設分類	施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	評価 項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	原子炉補機冷却海水ポンプ	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	取付ボルト 基礎ボルト	構造強度	引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
			電動機フレーム	構造強度	曲げ	部材の降伏	
	$W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	軸受部	機能維持	接触	軸と軸受が接触する	軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下とする。	
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	取付ボルト 基礎ボルト	構造強度	引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
			電動機フレーム	構造強度	曲げ	部材の降伏	
	$W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	軸受部	機能維持	接触	軸と軸受が接触する	軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下とする。	



表 4-8 施設ごとの許容限界 (5/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未滿とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	接続配管	構造強度	曲げ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	復水貯蔵タンク	$F_d + W_M$	胴板 屋根板	衝突	変形	ひずみ	胴板及び屋根板の発生ひずみが J I S 規格値 / TF ( ) を考慮した値以下とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_M)$	胴板	構造強度	一次一般膜, 組合せ, 座屈	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	基礎ボルト		引張, せん断, 組合せ				

表 4-8 施設ごとの許容限界 (6/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	配管及び弁（原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未滿とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力以下とする。
	非常用ガス処理系（屋外配管）	$F_d + W_W$	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力以下とする。
	排気筒	$F_d + W_T (W_W, W_M)$	筒身 鉄塔	構造強度	組合せ	部材の降伏	「容器構造設計基準」等に準じて断面算定を行う。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (7/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋内の施設で外気と繋がっている施設	角ダクト及び丸ダクト (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系)	$F_d + W_P$	ダクト鋼板 (本体)	構造強度	曲げ, 座屈	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S 及び座屈に対する評価式を満足する許容応力以下又はクリッピング座屈に応じた許容応力以下とする。
	ダンパ (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系)	$F_d + W_P$	ケーシング	構造強度	曲げ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力以下とする。
			ベーン		曲げ		
			シャフト		せん断		
	隔離弁 (中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁 (原子炉建屋原子炉棟換気空調系))	$F_d + W_P$	弁箱	構造強度	周方向応力	部材の降伏	弾性範囲内である部材の降伏応力を許容限界とする。
			弁体		曲げ	部材の降伏	
			弁棒		せん断	部材の降伏	
ファン (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系)	$W_P$	ケーシング	構造強度	周方向応力	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力以下とする。	
軽油タンク	$W_P$	タンク	構造強度	外圧	部材の降伏	J I S B 8 2 6 5 の評価方法による許容外圧以下とする。	
燃料移送ポンプ及び配管	$F_d + W_P + F_P$	配管本体	構造強度	曲げ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力以下とする。	

表 4-8 施設ごとの許容限界 (8/9)

施設分類	施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	評価 項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の 状態	限界状態	
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	補助ボイラー建屋, 第 1 号機制御建屋及びサイトバンカ建屋	$F_d + W_T (W_w, W_p, W_m)$	構造躯体	構造強度	変形	接触	隣接する建屋との相対変位が, 各建屋との離隔距離以下とする。
	海水ポンプ室門型クレーン	$F_d + W_T (W_w, W_m)$	エンドストッパ	構造強度	引張, せん断, 曲げ, 組合せ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態 IV <sub>A</sub> S の許容応力以下とする。
		基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ				

表 4-8 施設ごとの許容限界 (9/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外部事象防護対象施設 及ぼす可能性がある施設 的的影響を	非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備を含む。)排気消音器	$F_d + W_w$	基礎ボルト	構造強度	引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備を含む。)付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管	$F_d + W_T (W_w, W_P) + F_P$	配管本体	構造強度	一次(膜+曲げ)	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。

表 4-9 クラス 1・クラス 2, 3・その他の支持構造物の許容応力

許容応力 状態	許容応力* <sup>1</sup> * <sup>2</sup> (ボルト以外)				許容応力* <sup>1</sup> (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 f_t'$	$1.5 f_s'$	$1.5 f_c'$	$1.5 f_b'$	$1.5 f_t'$	$1.5 f_s'$

注記 \*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2: 耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては, 耐圧部と同じ許容応力とする。

表 4-10 クラス 2, 3 容器の許容応力

許容応力 状態	許容応力		
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$	左欄の 1.5 倍の値	$2 S_y$

表 4-11 クラス 2, 3 配管の許容応力

許容応力 状態	許容応力	
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)
Ⅲ <sub>A</sub> S	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$ ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S$ としてもよい	$S_y$ ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 S$ としてもよい

## 5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ F E M等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して、設計竜巻による荷重は地震荷重と同様に施設に作用する場合は、地震荷重と同様に外力として評価をするため、J E A G 4 6 0 1 を適用可能とする。ただし、閉じた施設となる屋外配管等については、その施設の大きさ及び形状を考慮した上で、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として評価する。

風圧力による荷重の影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風圧力による荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの1/2に集中荷重として作用するものとする。

設計竜巻による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、強度評価方法として、ポンプ、容器及び建屋等の定式化された評価式を用いた解析法を以下に示す。

ただし、以下に示す強度評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については、個別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

### 5.1 建屋・構造物に関する評価式

#### 5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物

##### (1) 評価条件

- a. 貫通限界厚さは、NEI07-13に示されているDegen式を用いて算定する。  
Degen式における貫入深さは、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正NDRC式を用いて算定する。
- b. 裏面剥離限界厚さは、NEI07-13に示されているChang式を用い算定する。
- c. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算定する。

##### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表5-1 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
原子炉建屋 タービン建屋 制御建屋	屋根スラブ 壁面 構造躯体 スタッド	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
軽油タンク室 軽油タンク室 (H)	頂版	貫通 裏面剥離
補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 サイトバンカ建屋	構造躯体	変形

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

Degen式による貫入限界厚さの算定に用いる記号を表5-2に、Chang式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表5-3に、力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（屋根スラブ及びスタッド）を表5-4に示す。

表5-2 Degen式による貫入限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
D	kgf/cm <sup>3</sup>	飛来物直径密度 $D = W / d^3$	
d	cm	飛来物の（等価）直径	
e	cm	貫通限界厚さ（コンクリート）	
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
N	—	飛来物の形状係数	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
		屋根	飛来物の衝突速度（垂直）
W	kgf	飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
α <sub>e</sub>	—	低減係数	



表5-3 Chang式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
d	cm	飛来物の（等価）直径
$f_c'$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度
S	cm	裏面剥離限界厚さ
V	m/s	外壁 飛来物の衝突速度（水平）
		屋根 飛来物の衝突速度（垂直）
$V_0$	m/s	飛来物基準速度
W	kgf	飛来物重量
$\alpha_s$	—	低減係数

表5-4 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
（屋根スラブ及びスタッド）

記号	単位	定義
L	m	屋根スラブの支持スパン
M	kN・m	屋根スラブに生じる単位幅の曲げモーメント
p	mm	スタッドの間隔
Q	kN/m	屋根スラブに生じる単位幅のせん断力
T	kN	スタッドに生じる引張力
$\omega_d$	kN/m	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重
$\omega_T$	kN/m	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 ( $=\max\{\omega_{T1}, \omega_{T2}\}$ )
$\omega_{T1}$	kN/m	複合荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	kN/m	複合荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重 (設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は考慮しない)

b. 評価方法

(a) Degen式による貫通限界厚さの算定

Degen式を以下に示す。

$X/d \leq 1.52$ の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

$1.52 \leq X/d \leq 13.42$ の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{0.69 + 1.29(X/d)\} \cdot d$$

(b) Chang式による裏面剥離限界厚さの算定

Chang式を以下に示す。

$$S = 1.84 \cdot \alpha_s \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13} \cdot \frac{\left(\frac{W \cdot V^2}{0.0980}\right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

(c) 力学における標準式による荷重及び応力の算定

イ. 屋根スラブに生じる単位幅の曲げモーメント

$$M = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L^2}{8}$$

ロ. 屋根スラブに生じる単位幅のせん断力

$$Q = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L}{2}$$

ハ. スタッドに生じる引張力

$$T = Q \cdot \frac{p}{1000}$$

5.1.2 鋼製構造物

(1) 評価条件

- a. 飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算定する。
- b. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算定する。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-5に示す。

表5-5 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
原子炉建屋	扉（表側鋼板）	貫通，転倒及び脱落
	扉（芯材）	転倒及び脱落
	扉（カンヌキ）	転倒及び脱落
軽油タンク室及び軽油タンク室（H）	鋼製ハッチの上蓋	貫通

## (3) 強度評価方法

## a. 記号の定義

BRL式による貫入限界厚さの算定に用いる記号を表5-6に，力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（扉）を表5-7に示す。

表5-6 BRL式による貫入限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
A	mm <sup>2</sup>	設計飛来物の（等価）面積
d	cm	設計飛来物の（等価）直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	設計飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ
V	m/s	設計飛来物の衝突速度
$\pi$	—	円周率

表5-7 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（扉）

記号	単位	定義
$L_k$	m	軸支持間距離（カンヌキ）
$L_p$	m	軸支持間距離（カンヌキ受けピン）
$M_k$	kN	カンヌキに生じる曲げモーメント
$M_p$	kN	カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント
$n$	本	カンヌキ本数
$Q_k$	kN	カンヌキに生じるせん断力
$Q_p$	kN	カンヌキ受けピンに生じるせん断力
$R$	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重
$T$	kN	カンヌキ受けボルトに生じる引張力
$W_p$	N	気圧差による荷重
$\sigma$	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度
$\tau$	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度
$A_2$	mm <sup>2</sup>	カンヌキ 1 本あたりの断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	カンヌキ 1 本あたりの断面係数

b. 評価方法

(a) BRL式による貫通限界厚さの算定

BRL式を以下に示す。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.4396 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで等価直径  $d$  は下式のとおり。

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

(b) 力学における標準式による荷重及び応力の算定

標準式を以下に示す。

イ. カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重

$$R = \frac{W_p}{n}$$

ロ. カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma = \frac{R \cdot L_k}{Z}$$

ハ. カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{R}{A_2}$$

二. 片開き扉の扉支持部材に生じる荷重

片開き扉の扉支持部材のうち、カンヌキ部はカンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する竜巻の気圧差による荷重による反力から、各部材に発生する荷重を算定する。

片開き扉のカンヌキ部に生じる荷重の例を図 5-1 に示す。

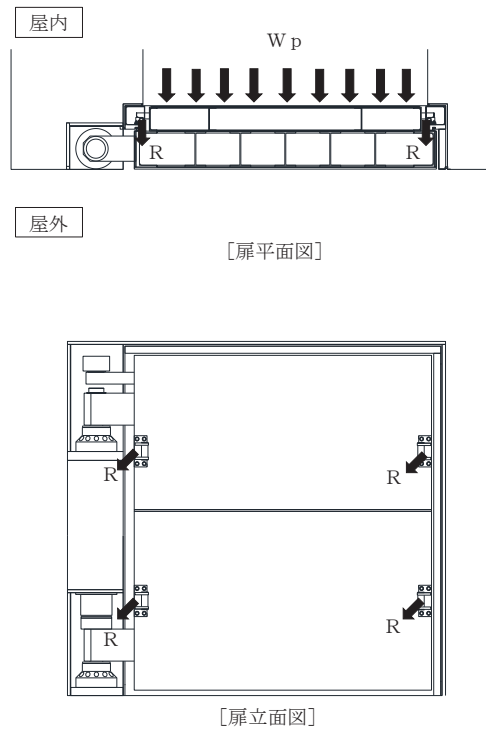


図 5-1 カンヌキ部に生じる荷重の例

(イ) カンヌキ

カンヌキ部の詳細図を図5-2に示す。カンヌキに生じる曲げモーメント  $M_k$  及びせん断力  $Q_k$  は次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

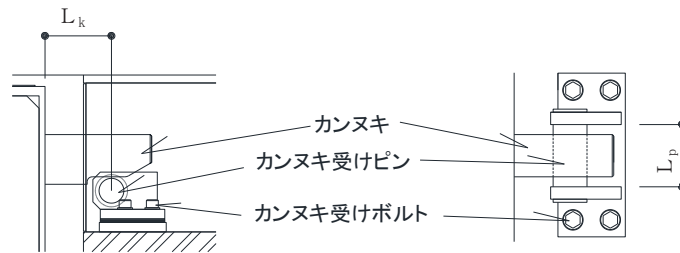


図5-2 カンヌキ部詳細図

(ロ) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント  $M_p$  とせん断力  $Q_p$  は次式により算定する。

$$M_p = \frac{R \cdot L_p}{4}$$

$$Q_p = R$$

(ハ) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力  $T$  は以下のとおりである。

$$T = R$$

### 5.1.3 排気筒

#### (1) 評価条件

排気筒の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 排気筒は筒身と鉄塔が一体となって構成されるため、施設全体で風圧力による一様な荷重を受けるモデルとして評価を行う。この際、設計竜巻による飛来物が衝突する部材については、飛来物による損傷及び変形を考慮できるモデルとする。

排気筒のモデル図を図5-3に示す。

- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-8に示す。

表5-8 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
筒身	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 組合せ（圧縮＋曲げ）</li> <li>・ せん断</li> </ul>
鉄塔	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 組合せ（圧縮＋曲げ）</li> </ul>

#### (3) 強度評価方法

- a. 記号の定義

排気筒の強度評価に用いる記号を表5-9に示す。

表5-9 排気筒の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$c f_{c r}$	$N/mm^2$	許容圧縮応力度（短期許容応力度）
$b f_{c r}$	$N/mm^2$	許容曲げ応力度（短期許容応力度）
$s f_{c r}$	$N/mm^2$	許容せん断応力度（短期許容応力度）
$f_c$	$N/mm^2$	許容圧縮応力度（材料強度）
$f_b$	$N/mm^2$	許容曲げ応力度（材料強度）
$\sigma_c$	$N/mm^2$	圧縮応力度
$\sigma_b$	$N/mm^2$	曲げ応力度
$\tau$	$N/mm^2$	せん断応力度

b. 計算モデル

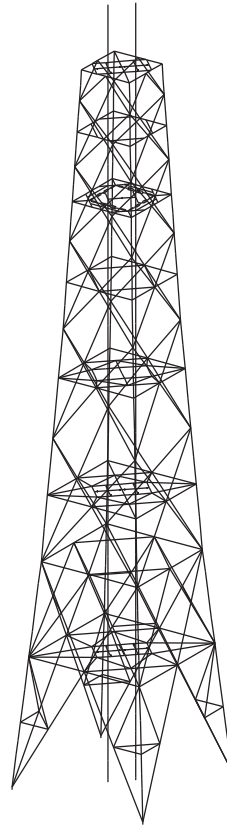


図 5-3 排気筒のモデル図

c. 評価方法

(a) 応力評価方法

排気筒について、3次元FEMを用いた弾性応力解析を実施する。

(b) 評価方法

排気筒の断面の評価に用いる応力及び変形については、3次元FEMモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（軸力、曲げモーメント、せん断力）を組み合わせることにより算定する。

イ. 筒身板に対する断面の評価方法

(イ) 応力検定

機能維持検討時の応力に対する断面算定は、「容器構造設計指針・同解説」に準拠して行う。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}} \leq 1$$



かつ

$$\frac{\tau}{f_{cr}} \leq 1$$

ロ. 鉄塔主要部材に対する断面の評価方法

(イ) 応力検定

機能維持検討時の応力に対する断面算定は、「建築基準法施行令第 90 条, 第 96 条」及び「平 13 国交告第 1024 号」に準拠して行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

(ロ) 機能維持検討時に対する材料強度

機能維持検討時は、「平 12 建告第 2464 号」に準拠し、材料強度 F 値を 1.1 倍した値を用いて算出した許容応力度に対して、部材に発生する応力が超えないことを確認する。

## 5.2 機器・配管系に関する評価式

### 5.2.1 衝突評価が必要な機器

(1) 評価条件

衝突評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 貫通計算においては、評価対象部位に飛来物が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-10に示す。

表 5-10 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
飛来物が衝突する可能性がある部位のうち、最小板厚部等、貫通によって当該施設が機能喪失する可能性がある箇所	衝突による貫通力

(3) 強度評価方法

- a. 記号の定義

衝突評価に用いる記号を表5-11に示す。

表5-11 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	m	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

b. 評価方法

(a) BRL式による貫通限界厚さの算出

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

5.2.2 ポンプ

(1) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

a. 評価条件

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 応力計算において、1質点系モデルとし、J E A G 4 6 0 1 の立形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。ポンプ部は全高の1/2の位置に、電動機部は風圧力による荷重の作用中心に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価対象部位を図5-4に示す。また、ポンプ部及び電動機部の応力計算モデル図を図5-5に示す。

- (b) たわみ量計算において、ポンプ据付面から電動機台上端までと、電動機台上端から電動機までの片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。たわみ量計算モデル図を図5-6に示す。

(c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-12に示す。

表5-12 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
基礎ボルト, 取付ボルト	・ 引張 ・ せん断 ・ 組合せ
電動機フレーム	・ 曲げ
軸受部	・ 曲げ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表5-13及び表5-14に示す。

表5-13 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度  
評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	ボルトの断面積
$C_p$	—	ポンプ振動による震度
$D$	mm	電動機フレーム外径
$D_i$	mm	ボルトのピッチ円の直径
$d$	mm	電動機フレーム内径
$F_{b_i}$	N	ボルトに作用する引張力
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度
$H$	N	自重による荷重
$H_P$	mm	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
$H_M$	mm	風の受圧面積算出時の電動機フレーム高さ
$h$	mm	重心と支点間の距離
$h_p$	$\mu\text{m}$	予想最大全振幅
$L_1$	mm	支点と評価ボルト間の距離
$L_H$	mm	基準面から重心位置までの距離
$M$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
$M_p$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	ポンプの回転により働くモーメント
$M_s$	kg	ポンプスラスト
$m_i$	kg	ボルトに加わる機器質量
$N$	rpm	回転数（同期）
$n_i$	—	ボルトの本数
$P$	kW	ポンプ出力
$Q_{b_i}$	N	ボルトに働くせん断力
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$\pi$	—	円周率
$Z$	$\text{mm}^3$	断面係数
$\sigma$	MPa	電動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{b_i}$	MPa	ボルトに発生する引張応力
$\tau$	MPa	せん断応力
$\tau_{b_i}$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

表5-14 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	部材間の長さ
E	MPa	縦弾性係数
h'	mm	基準点から作用点までの距離
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
i	rad	傾斜
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
W'	N	たわみ量及び発生荷重計算における設計竜巻による複合荷重
W''	N	発生荷重
x'	mm	評価対象部位から支点までの距離
y	mm	たわみ量
$\delta$	mm	評価対象部位から支点までの変位量

(b) 計算モデル

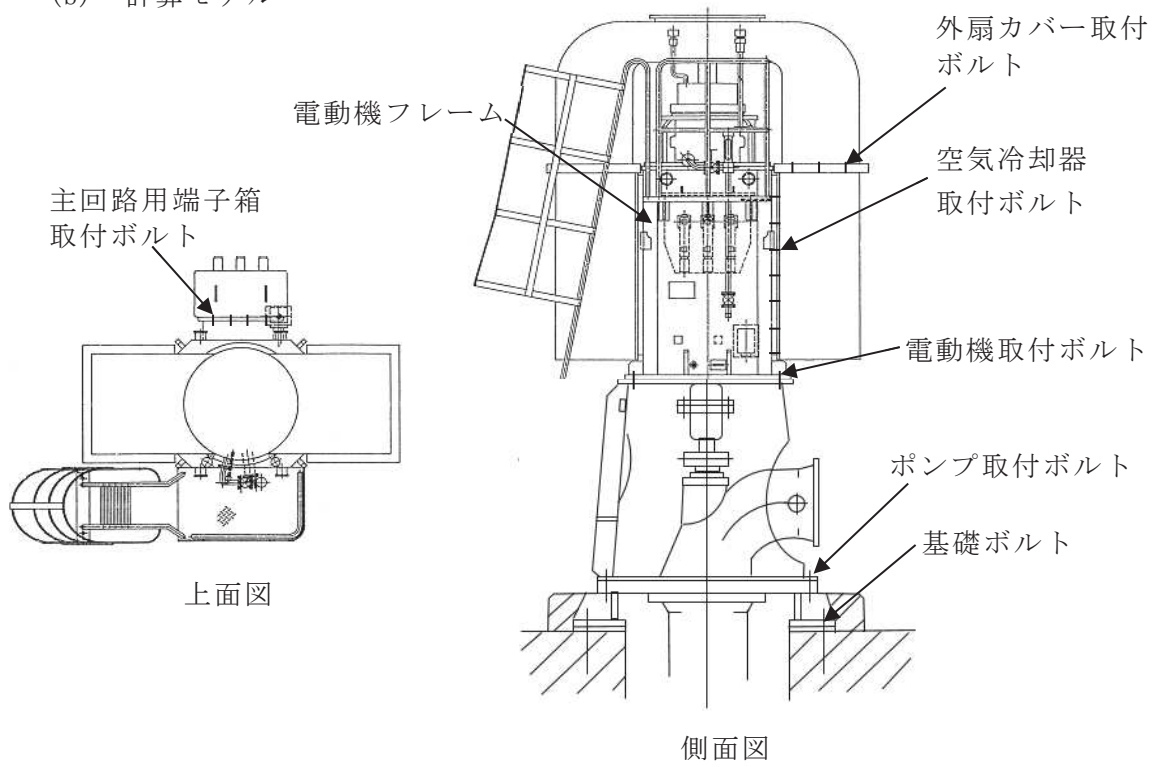


図 5-4(1/2) 原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価対象部位

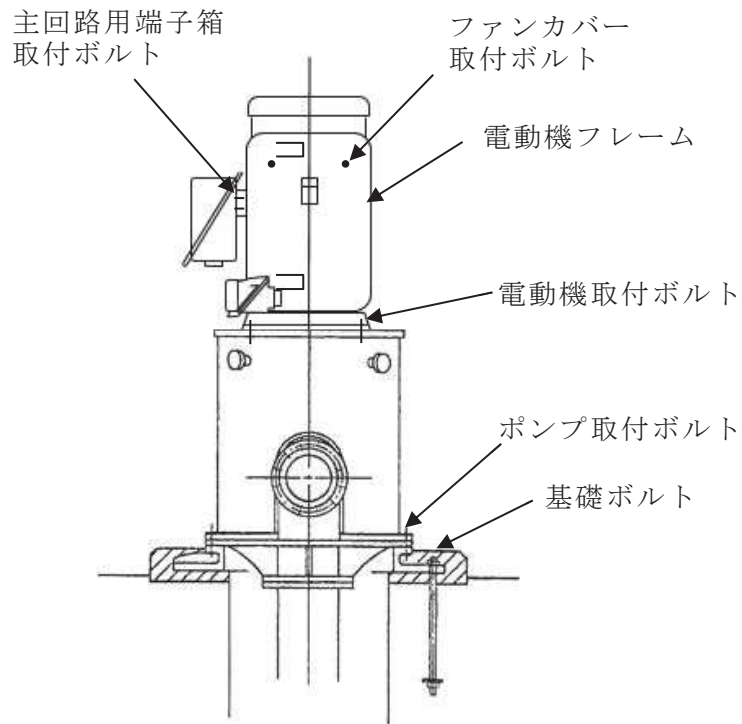


図 5-4(2/2) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価対象部位

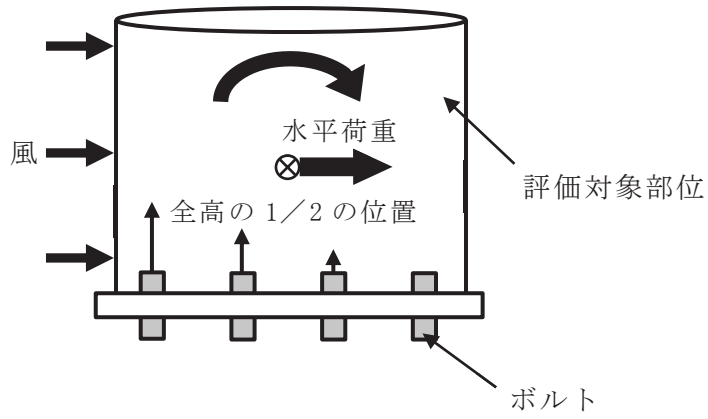


図 5-5(1/2) 応力計算モデル図 (ポンプ部)

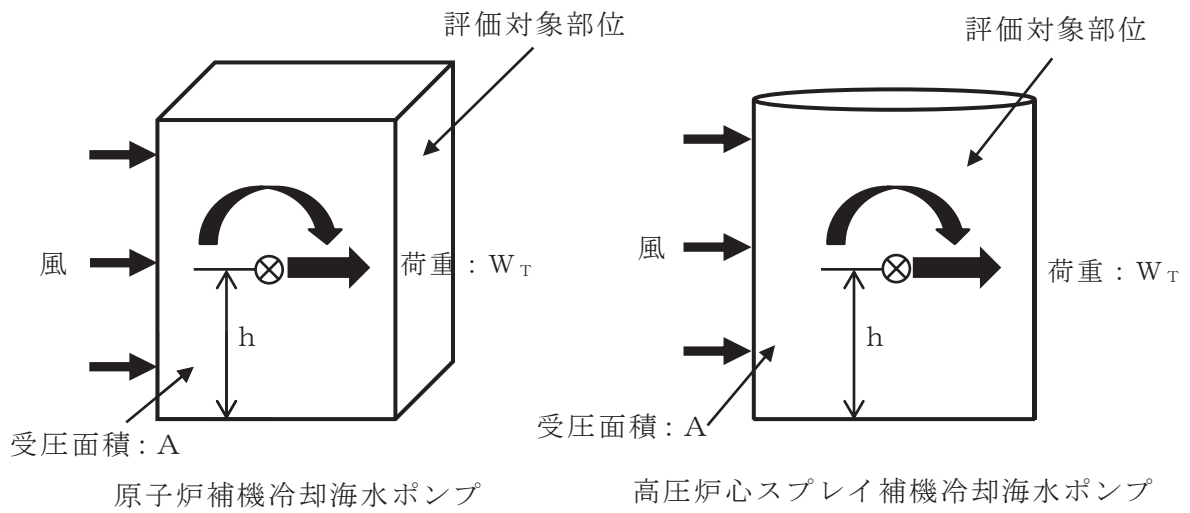


図 5-5(2/2) 応力計算モデル図 (電動機部)

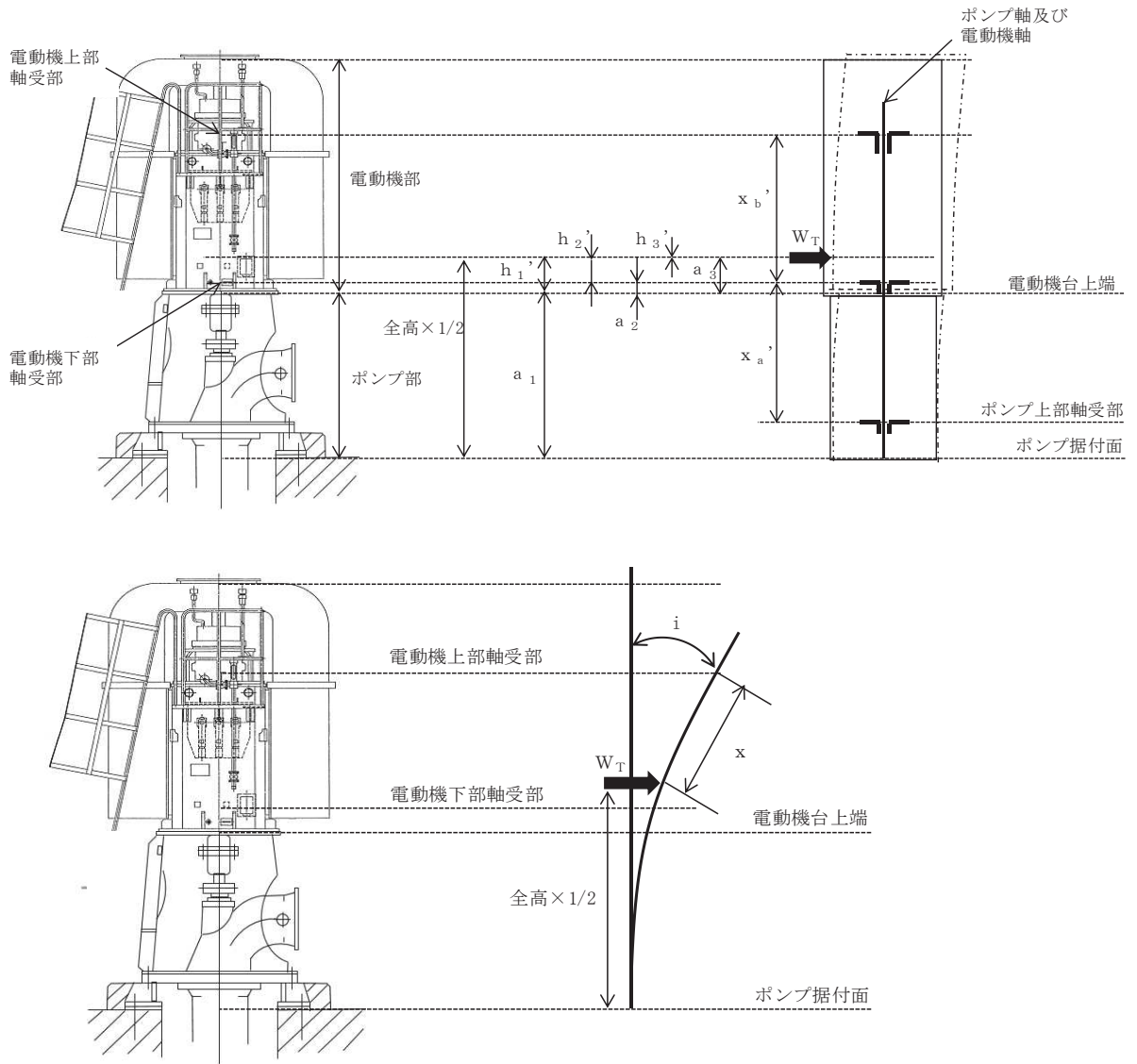


図 5-6(1/2) 原子炉補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図



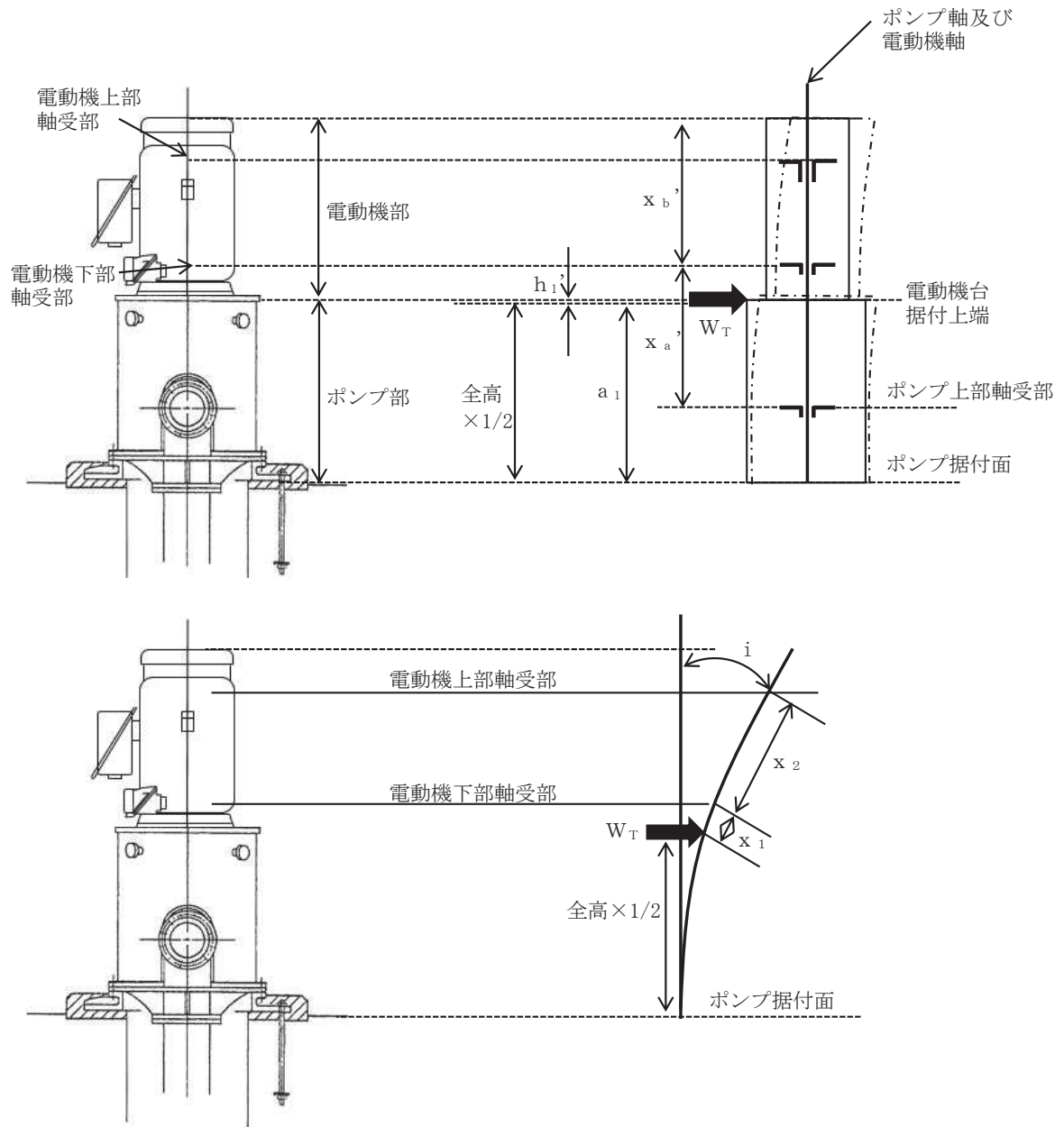


図 5-6(2/2) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 応力の算出

(イ) ポンプ部

【基礎ボルト，ポンプ取付ボルト及び電動機取付ボルト】

- ・風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2}$$

- ・引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{W_{T2} \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2} - (m_i + M_s)(1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ここで，ポンプ振動による震度  $C_p$  は，

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ただし， $F_{bi} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bi} > 0$  ならば引張力は作用しているので，以下の引張応力の計算を行う。

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

- ・せん断応力  $\tau_{bi}$

【電動機取付ボルト及びポンプ取付ボルト】

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + \frac{2 \cdot M_p}{D_i}}{n_i \cdot A_b}$$

ここで，ポンプの回転により働くモーメント  $M_p$  は

$$M_p = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P$$

【基礎ボルト】

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_b}$$

## (ロ) 電動機部

## 【電動機フレーム】

電動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

## ・ 曲げ応力

(i) 風による転倒モーメント  $M$

$$M = W_T \cdot h$$

(ii) 曲げ応力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで、原子炉補機冷却海水ポンプのとき

$$Z = \frac{1}{6} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプのとき

$$Z = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

【主回路用端子箱取付ボルト部、空気冷却器取付ボルト部（原子炉補機冷却海水ポンプ）及びファンカバー取付ボルト部（高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）】

## ・ 引張応力

(i) 風圧力及び自重に生じる曲げモーメント  $M$

$$M = (W_T + H) \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_b \cdot n_i}$$

ここで、

$$Q_{bi} = W_T + H$$

【外扇カバー取付ボルト部（原子炉補機冷却海水ポンプ）】

## ・ 引張応力

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{W_T}{A_b \cdot n_i}$$

ロ. たわみ量及び発生荷重の計算

(イ) たわみ量の算出

たわみ量の算出において、竜巻による風圧力を受ける面は風の影響を受ける面積が大きい部位を包絡するような面積を設定し水平荷重W'を算出する。

$$W' = W_{T2}$$

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量yと傾斜iを算出する。なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(ロ) 発生荷重の算出

軸受部において、フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し、発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重W''は次式より計算する。

$$\delta = \text{評価対象部位の変位量} - \text{支点の変位量}$$

また、発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

### 5.2.3 容器

#### (1) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

##### a. 評価条件

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 設計竜巻による荷重，内圧及び自重に対して，高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管はサポートによって支持されており，高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重及び受圧面積を考慮した風圧力による荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重については，配管に集中荷重として作用するものとする。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの計算モデル図を図5-7に示す。

- (b) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

##### b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-15に示す。

表5-15 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
配管	一次応力（膜＋曲げ）

##### c. 強度評価方法

##### (a) 記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価に用いる記号を表5-16に示す。

表 5-16 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2/m$	単位長さ当たりの配管の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	ストレーナの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	$m/s^2$	重力加速度
L	m	配管の支持間隔
M	$N \cdot m$	風荷重により作用する曲げモーメント
$m_1$	$kg/m$	単位長さ当たりの配管の質量
$m_2$	kg	ストレーナの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
t	mm	板厚
$W_{w1}$	$N/m$	単位長さ当たりの配管が受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$W_{w2}$	N	ストレーナが受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$w_1$	$N/m$	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
$w_2$	N	ストレーナの自重による荷重
Z	$mm^3$	断面係数
$\pi$	—	円周率
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_1, \sigma_2$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1}, \sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
$\sigma_{w1}$	MPa	配管に生じる風圧力による応力
$\sigma_{w2}$	MPa	ストレーナに生じる風圧力による応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

(b) 計算モデル

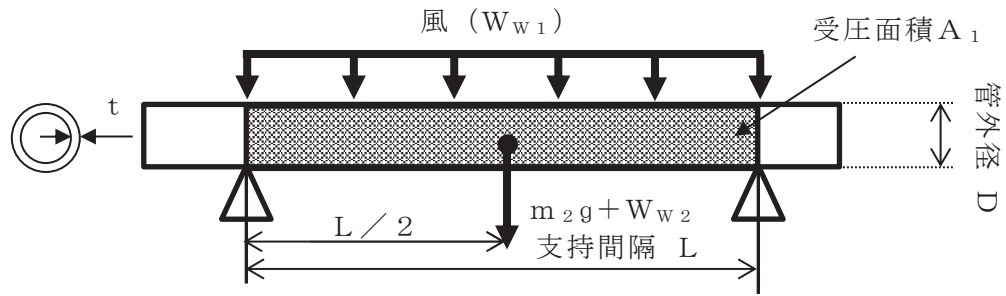


図5-7 高压炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 風圧力により生じる応力

(イ) 配管

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{W1} = \frac{M}{Z} = \frac{W_{W1} \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

$$W_{W1} = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$$

(ロ) ストレーナ

ストレーナが受ける風圧力による荷重が配管の中央に集中荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{W2} = \frac{W_{W2} \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで，

$$W_{W2} = q \cdot G \cdot C \cdot A_2$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{W1} + \sigma_{W2} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w_1 \cdot L^2}{8 \cdot Z} + \frac{w_2 \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで、

$$w_1 = m_1 \cdot g$$

$$w_2 = m_2 \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により $\sigma_1$ 及び $\sigma_2$ を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

(2) 復水貯蔵タンク

a. 評価条件

復水貯蔵タンクの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 設計竜巻による荷重，水頭圧及び自重に対する，胴板及び基礎ボルトの構造強度を1質点系モデルとし，J E A G 4 6 0 1の平底たて置円筒形容器の計算方法を準用し評価を行う。なお，1質点系モデルの強度計算において，評価上高さの1/2に集中荷重として作用するものとする。

復水貯蔵タンクの計算モデル図を図5-8に示す。

- (b) 自重については，設計荷重の抗力として作用する場合は質量が小さい方が安全側の評価となることから，基礎ボルトの構造強度評価においては，空質量による評価を実施する。
- (c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。



b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-17に示す。

表5-17 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
胴板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一次一般膜</li> <li>・ 組合せ</li> <li>・ 座屈</li> </ul>
基礎ボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 引張</li> <li>・ せん断</li> <li>・ 組合せ</li> </ul>

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

復水貯蔵タンクの構造強度評価に用いる記号を表5-18に示す。

表5-18 復水貯蔵タンクの構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	基礎ボルト呼び径断面積
$C_c$	—	基礎ボルト計算における係数
$C_t$	—	基礎ボルト計算における係数
$D_c$	mm	基礎ボルトピッチ円直径
$D_i$	mm	胴内径
$D_{bi}$	mm	ベースプレート内径
$D_{bo}$	mm	ベースプレート外径
$e$	—	基礎ボルト計算における係数
$F_c$	N	基礎に作用する圧縮力
$F_t$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度
$H_h$	mm	液面高さ
$k$	—	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数
$l_g$	mm	胴板高さの 1/2
$l_M$	mm	胴板最上部の高さ
$l_1, l_2$	mm	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離
$M_{T2}$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	設計竜巻による複合荷重により作用するモーメント
$m_e$	kg	空質量

表5-18 復水貯蔵タンクの構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$n$	—	基礎ボルト本数
$s$	—	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比
$t$	mm	胴板厚
$t_1$	mm	基礎ボルト面積相当板幅
$t_2$	mm	圧縮側基礎相当幅
$W_w$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$W_M$	N	竜巻飛来物による衝撃荷重
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_w + W_M$ )
$z$	—	基礎ボルト計算における係数
$\alpha_2$	rad	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度
$\pi$	—	円周率
$\rho_w$	—	保有水の比重
$\sigma_1$	MPa	胴に生じる組合せ一次応力
$\sigma_b$	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	基礎に生じる圧縮応力
$\sigma_x$	MPa	胴に生じる軸方向応力の和
$\sigma_{x2}$	MPa	自重 (空質量) により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{x4}$	MPa	設計竜巻により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{xb}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
$\sigma_{xc}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_\phi$	MPa	胴に生じる周方向応力の和
$\sigma_{\phi1}$	MPa	静水頭により胴に生じる周方向応力
$\tau$	MPa	設計竜巻により胴に生じるせん断応力
$\tau_b$	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

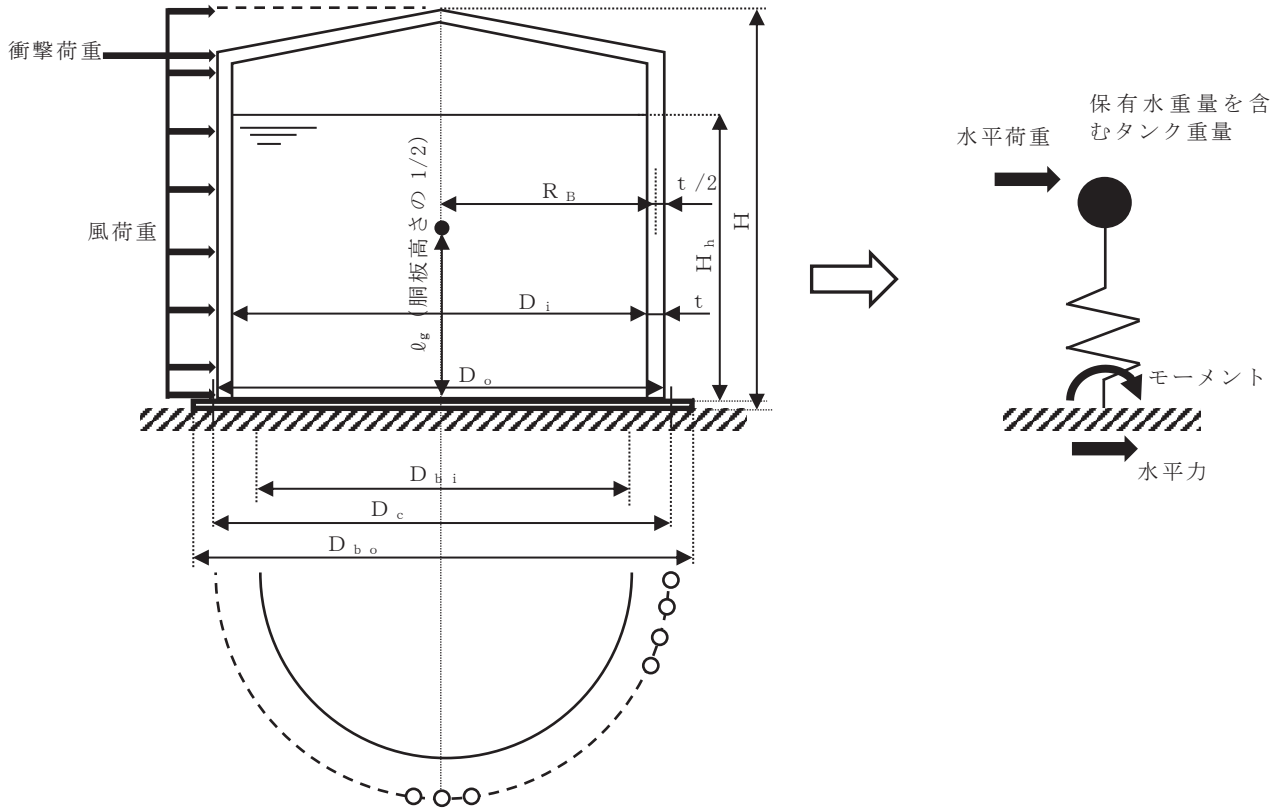


図 5-8 復水貯蔵タンクの計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 設計竜巻により発生するモーメント

設計竜巻により作用するモーメント  $M_{T2}$  は以下のようにして計算する。

$$M_{T2} = W_W \cdot l_g + W_M \cdot l_M$$

ロ. 胴に生じる応力

(イ) 静水頭により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \cdot \rho_W \cdot H_h \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

(ロ) 胴の自重（空質量）により生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

(ハ) 設計竜巻により胴に生じる応力

設計竜巻により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot M_{T2}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

設計竜巻により胴に生じるせん断応力

$$\tau = \frac{2 \cdot W_{T2}}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

(二) 組合せ応力

胴に生じる周方向応力の和

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和

$$\sigma_x = \sigma_{x2} + \sigma_{x4}$$

胴に生じる組合せ一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_x + \sigma_{\phi}) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_{\phi})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

(ホ) 軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{xc} = \sigma_{x2}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{xb} = \sigma_{x4}$$

ハ. 基礎ボルト評価

(イ) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{W_{T2}}{n \cdot A_b}$$

(ロ) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha_2$ が $\pi$ に等しくなったときであり、 $\alpha_2$ を $\pi$ に近づけた場合の値  $e=0.75$  及び  $z=0.25$  を  $F_t$  を求める式に代入し、得られる  $F_t$  の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$F_t \leq 0$  ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$  ならば引張力は作用しているので以下の計算を行う。

転倒モーメント  $M_{T2}$  が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重

と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。基礎の荷重説明図を図 5-9 に示す。

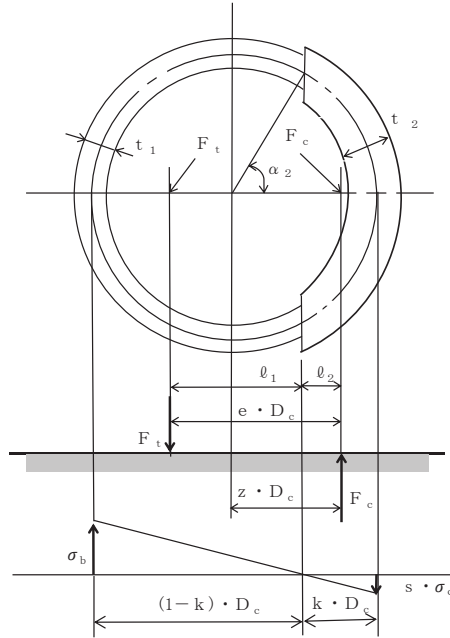


図 5-9 基礎の荷重説明図

$\sigma_b$ ,  $\sigma_c$  を仮定して係数  $k$  を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

$\alpha_2$  を求める。

$$\alpha_2 = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k)$$

各定数  $e$ ,  $z$ ,  $C_t$  及び  $C_c$  を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha_2) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2}{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right\}$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left( \cos \alpha_2 + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2 \}}{1 + \cos \alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2)}{1 - \cos \alpha_2}$$

各定数を用いて  $F_t$  及び  $F_c$  を求める。

$$F_t = \frac{M_{T2} - m_e \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_e \cdot g$$

$\sigma_b, \sigma_c$  を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1$$

(3) 軽油タンク及び燃料移送ポンプ等

a. 評価条件

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

(a) 軽油タンクは、軽油タンク室内に設置されていることを考慮し、設計竜巻の気圧差による荷重に対する胴板の構造強度について、J I S B 8 2 6 5「圧力容器の構造—一般事項」の評価方法により評価を行う。軽油タンクの計算モデル図を図5-10に示す。

(b) 燃料移送ポンプ等の配管は、設計竜巻の気圧差による荷重、内圧及び自重による荷重を受ける単純支持梁とし、機械工学便覧の計算方法を参考に評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。燃料移送ポンプ等の配管の計算モデル図を図5-11に示す。

(c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-19に示す。

表 5-19 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
胴板	許容外圧
配管	一次応力（膜＋曲げ）

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号を表5-20及び表5-21にそれぞれ示す。

表 5-20 軽油タンクの構造強度評価に用いる記号

起号	単位	定義
B	MPa	J I S B 8 2 6 5 図 E. 10 に規定される値
D <sub>o</sub>	mm	円筒胴外径
h	mm	鏡板の深さ
L	mm	外圧を保持する胴の設計長さ
P <sub>a</sub>	MPa	許容外圧
t	mm	円筒胴の計算厚さ

表5-21 燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
D	mm	管外径
L	m	配管の支持間隔
m	kg/m	単位長さ当たりの配管の質量
P	MPa	内圧
t	mm	板厚
w	N/m	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\pi$	—	円周率
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

(b) 計算モデル

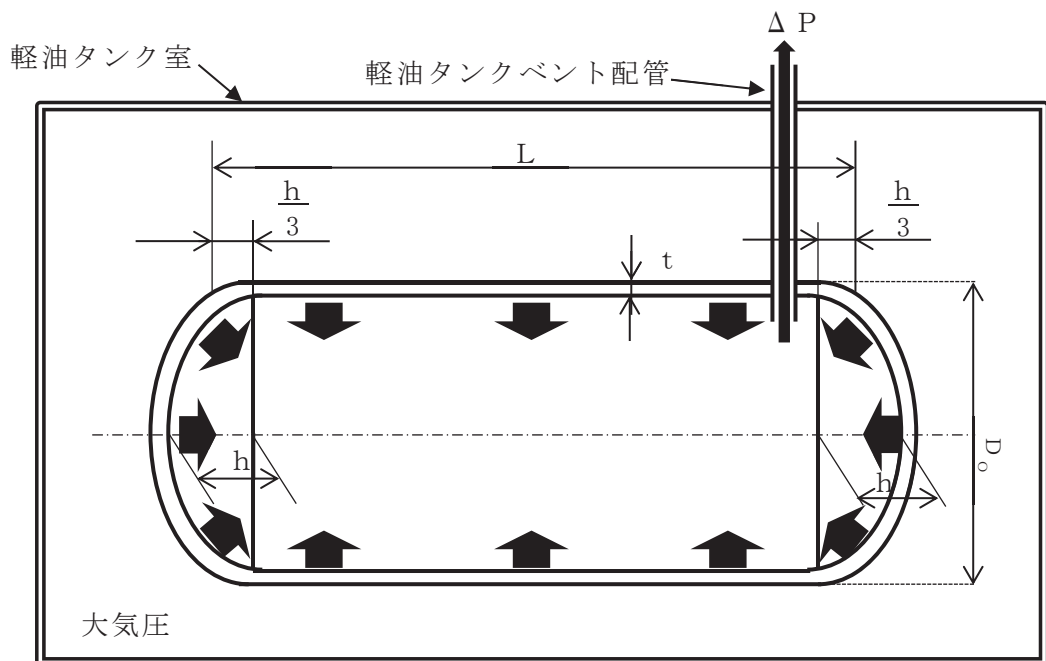


図 5-10 軽油タンクの計算モデル図



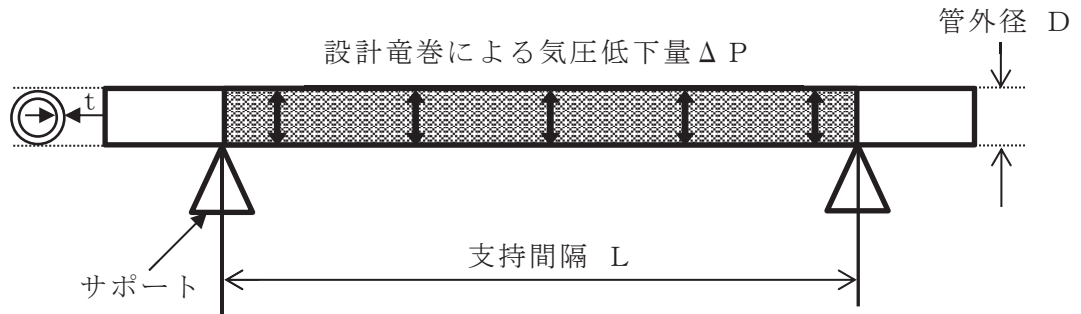


図 5-11 燃料移送ポンプ等の計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 軽油タンク

気圧差による荷重は，軽油タンクの内圧が低下した分を外圧が上昇したものと考え，軽油タンクの強度が担保される許容外圧を以下の式により算定する。

$$P_a = \frac{4 \cdot B \cdot t}{3 \cdot D_o}$$

ロ. 配管

(イ) 設計竜巻の気圧差により生じる応力計算

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる一次一般膜応力が增加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

(ロ) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は，以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

したがって、気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力と自重による荷重により生じる曲げ応力とを足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma$  を算出する。

$$\sigma = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WP}}$$

(4) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
排気消音器

a. 評価条件

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする

- (a) 設計竜巻の風圧力による荷重に自重を加えた荷重に対する、基礎ボルトの構造健全性を1質点系モデルとし、計算モデルが類似している J E A G 4 6 0 1 の横形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。なお、1質点系モデルの強度計算において、評価上高さの1/2に集中荷重として作用するものとする。
- (b) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の転倒による閉塞により、ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、更に支持断面積が小さいことから発生する応力が厳しくなる基礎ボルトを評価対象部位として設定する。排気消音器の計算モデル図を図5-12に示す。
- (c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-22に示す。

表5-22 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
基礎ボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 引張</li> <li>・ せん断</li> <li>・ 組合せ</li> </ul>

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価に用いる記号を表5-23に示す。

表5-23 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	ボルトの軸断面積
$d$	$\text{mm}$	ボルト呼び径
$F_{bA}$	$\text{N}$	ボルトに対する軸方向応力評価における引張力
$F_{bH}$	$\text{N}$	ボルトに対する軸直角方向応力評価における引張力
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度
$h$	$\text{mm}$	排気消音器重心高さ
$L_{gH}$	$\text{mm}$	重心からボルト間の軸直角方向水平距離
$L_H$	$\text{mm}$	支点からボルト間の軸直角方向水平距離
$L_{gA}$	$\text{mm}$	重心からボルト間の軸方向水平距離
$L_A$	$\text{mm}$	支点からボルト間の軸方向水平距離
$m$	$\text{kg}$	排気消音器の質量
$N$	-	ボルトの本数
$n_{fA}$	-	軸方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
$n_{fH}$	-	軸直角方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
$Q_b$	$\text{N}$	ボルトに対するせん断力
$W_T$	$\text{N}$	設計竜巻による複合荷重
$\pi$	-	円周率
$\sigma_{bA}$	$\text{MPa}$	軸方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
$\sigma_{bH}$	$\text{MPa}$	軸直角方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
$\tau$	$\text{MPa}$	ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

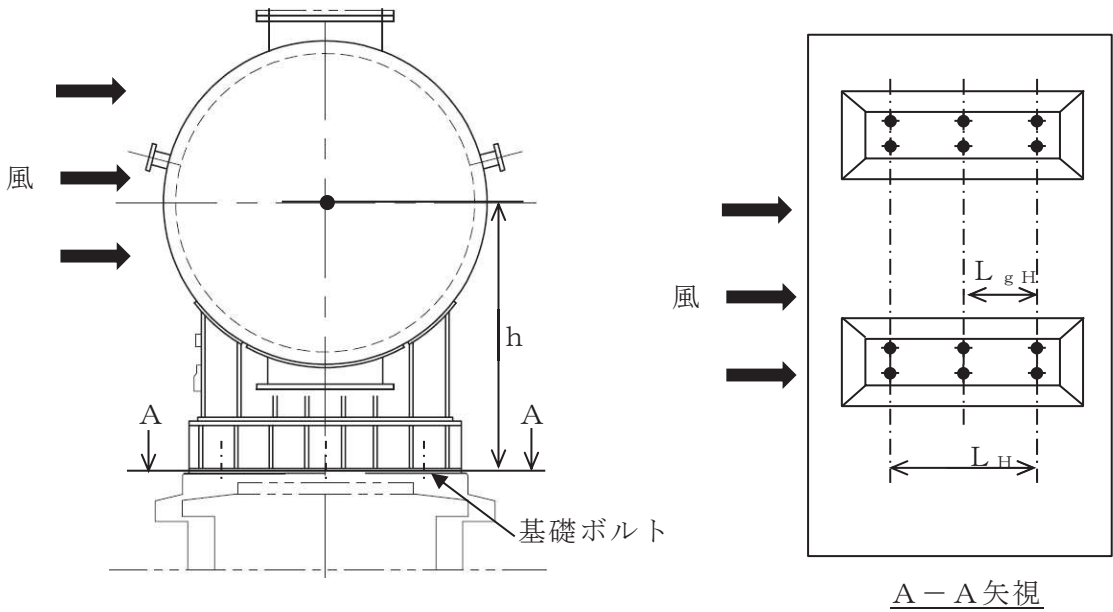


図5-12(1/2) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の計算モデル図（風荷重方向：軸直角方向）

O 2 ② VI-3-別添 1-1 R 0

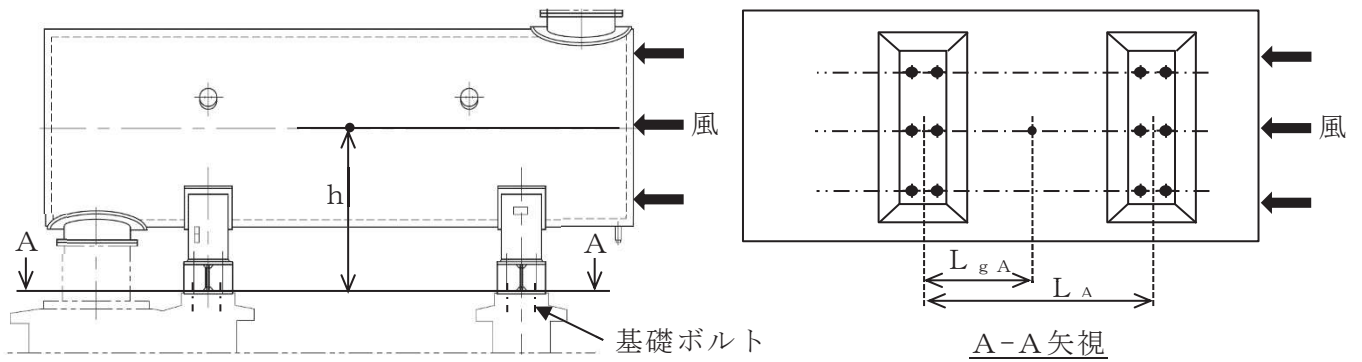


図5-12(2/2) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の計算モデル図（風荷重方向：軸方向）

(c) 評価方法

イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-12 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(イ) 軸直角方向

- ・ 引張力

$$F_{bH} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gH}}{n_{fH} \cdot L_H}$$

- ・ 引張応力

$$\sigma_{bH} = \frac{F_{bH}}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(ロ) 軸方向

- ・ 引張力

$$F_{bA} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gA}}{n_{fA} \cdot L_A}$$

- ・ 引張応力

$$\sigma_{bA} = \frac{F_{bA}}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(イ) せん断力

$$Q_b = W_T$$

(ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

5.2.4 配管及び弁

(1) 評価条件

配管及び弁の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁とし，機械工学便覧の計算方法を参考に評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。配管の計算モデル図を図5-13及び図5-14に示す。
- b. 弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく，配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。
- c. サポート（配管支持構造物）については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。
- d. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-24に示す。

表5-24 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
配管本体	一次応力（膜＋曲げ）

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

配管及び弁の構造強度評価に用いる記号を表 5-25 に示す。

表5-25 配管及び弁の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	mm <sup>2</sup>	単位長さ当たりの施設の受圧面積
D	mm	管外径
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
t	mm	板厚
W <sub>w</sub>	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
π	—	円周率
Δ P	MPa	設計竜巻の気圧低下量
σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub>	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>WT1</sub> , σ <sub>WT2</sub>	MPa	複合荷重により生じる応力
σ <sub>WW</sub>	MPa	風圧力により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

b. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

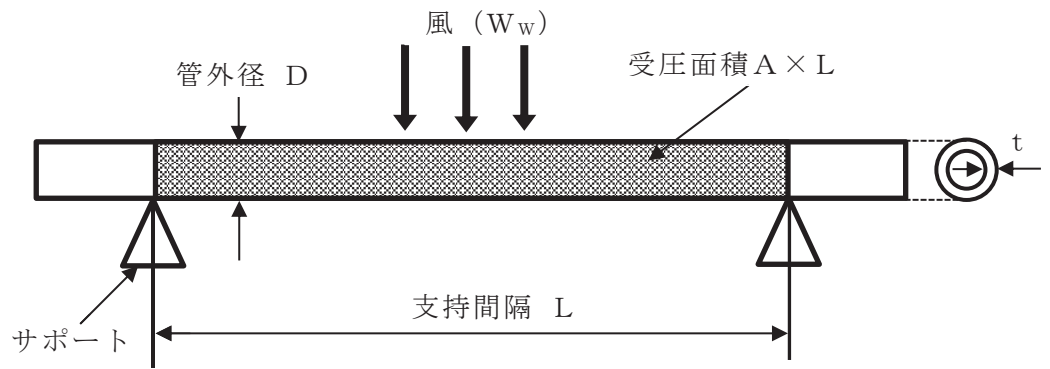


図 5-13 配管の計算モデル図（両端支持形状）

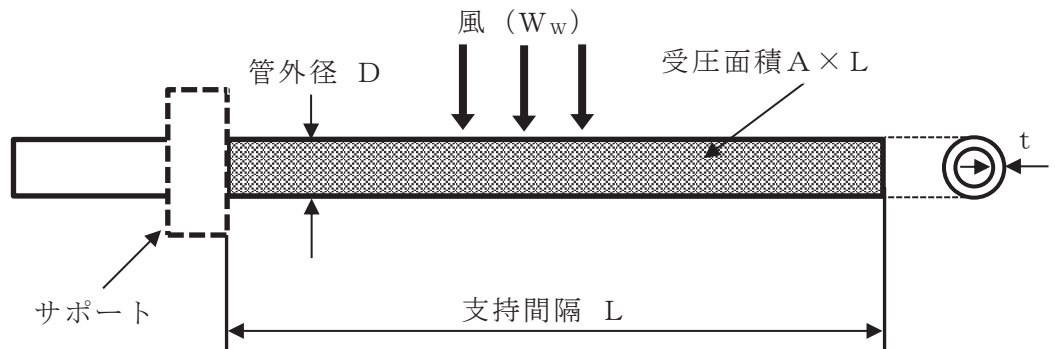


図 5-14 配管の計算モデル図（片持ち形状）

c. 評価方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

・ 両端支持形状

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

・ 片持ち形状

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力



気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，イ.，ロ. 項の複合荷重により生じる応力  $\sigma_{WT1}$  及び  $\sigma_{WT2}$  は以下の式により算出する。

$$\begin{aligned} \sigma_{WT1} &= \sigma_{WP} \\ \sigma_{WT2} &= \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP} \end{aligned}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は，以下の式により算定する。

・ 両端支持形状

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

・ 片持ち形状

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ，配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma_1$  及び  $\sigma_2$  を算出する。

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1} \\ \sigma_2 &= \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2} \end{aligned}$$

### 5.2.5 換気空調設備

#### (1) ダクト

##### a. 角ダクト

##### (a) 評価条件

角ダクトの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

イ. 角ダクトは、任意のダクト面に着目すると、ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で、軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持矩形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関しては、ウェブでの応力分布が線形で、中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。角ダクトの計算モデル図を図5-15に示す。

ロ. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

##### (b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-26に示す。

表 5-26 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
ダクト鋼板 (本体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 曲げ</li> <li>・ 座屈</li> </ul>

##### (c) 強度評価方法

##### イ. 記号の定義

角ダクトの構造強度評価に用いる記号を表5-27に示す。

表5-27 角ダクトの構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
$D_p$	kg/m <sup>2</sup>	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
$M_p$	N・mm	自重により作用する曲げモーメント

表5-27 角ダクトの構造強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$P$	MPa	ダクトにかかる外圧
$t$	mm	ダクト板厚
$\delta_{max}$	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\mu$	kg/m	ダクト単位重量
$\nu$	—	ポアソン比
$\sigma_{max}$	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
$\sigma_{p1}$	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
$\sigma_y$	MPa	許容応力

ロ. 計算モデル

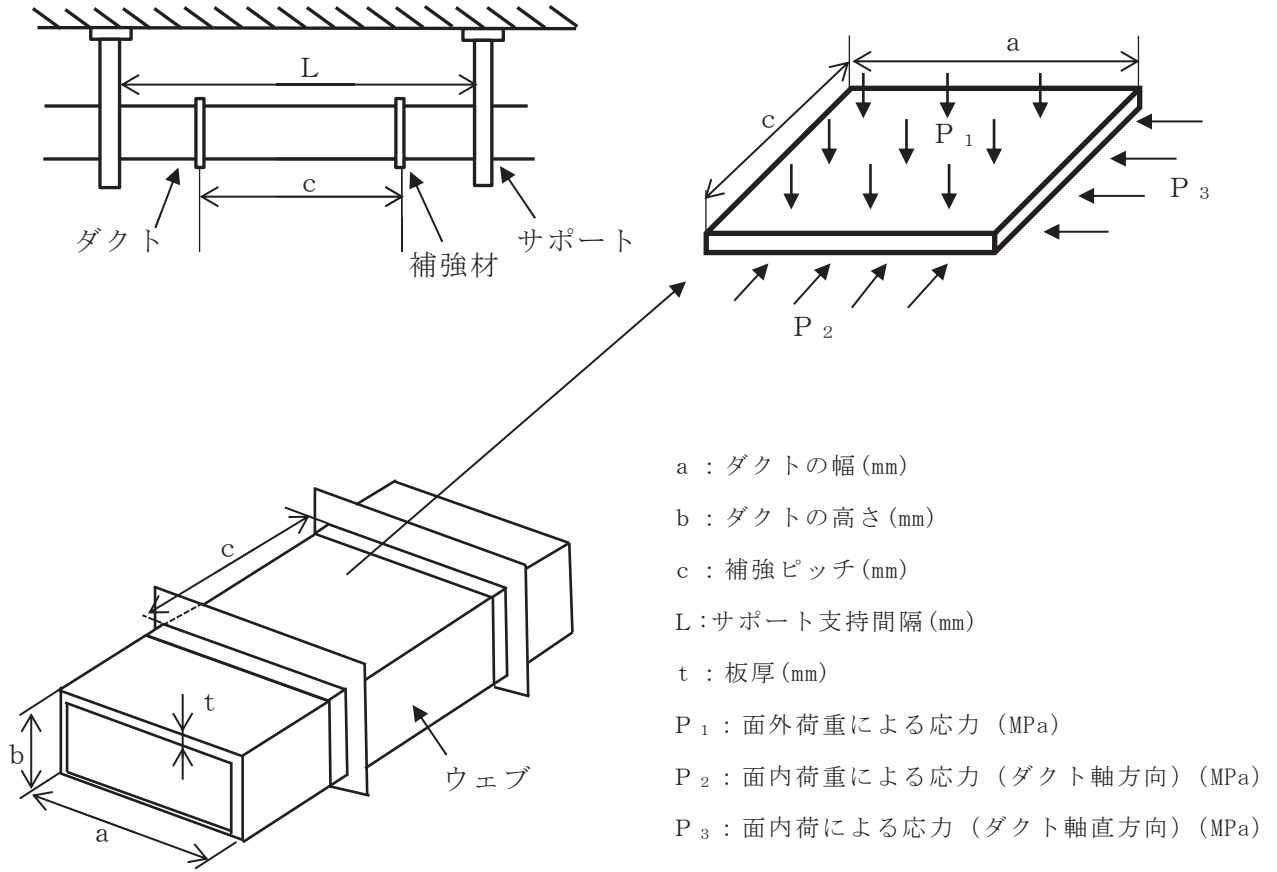


図5-15 角ダクトの計算モデル図

ハ. 評価方法

ダクトにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差が影響するので、

$$P = \Delta P$$

(イ) 面外荷重による発生応力

4辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力  $\sigma_{max}$  とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量  $\delta_{max}$  との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。



式 (2) より得られる  $\delta_{max}$  の値を式 (1) へ代入し,  $\sigma_{max}$  を算出する。

(ロ) 面内荷重による発生応力

機械工学便覧の「クリップリングの考え方」と日本機械学会ジャーナルの「薄肉長方形及び箱形はりの座屈と強度」に記載されている鶴戸口の式を準用する。

- ・ 外圧による発生応力

薄肉構造物のうち, 長方形板の弾性座屈の式より算出する。



- ・ 自重による曲げモーメント

自重によりダクト鋼板に作用する曲げモーメントは, 以下の式により算出する。

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

b. 丸ダクト

(a) 評価条件

丸ダクトの強度評価を行う場合, 以下の条件に従うものとする。

- イ. 丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし, 計算を行う。  
丸ダクトの計算モデル図を図 5-16 に示す。
- ロ. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-28に示す。

表5-28 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
ダクト鋼板 (本体)	・周方向応力 ・座屈

(c) 強度評価方法

イ. 記号の定義

丸ダクトの構造強度評価に用いる記号を表 5-29 に示す。

表5-29 丸ダクトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M <sub>p</sub>	N・mm	自重により作用する曲げモーメント
r	mm	丸ダクトのダクト半径
t	mm	ダクト板厚
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たりの質量
σ <sub>cripl</sub>	MPa	外圧により生じる周方向応力

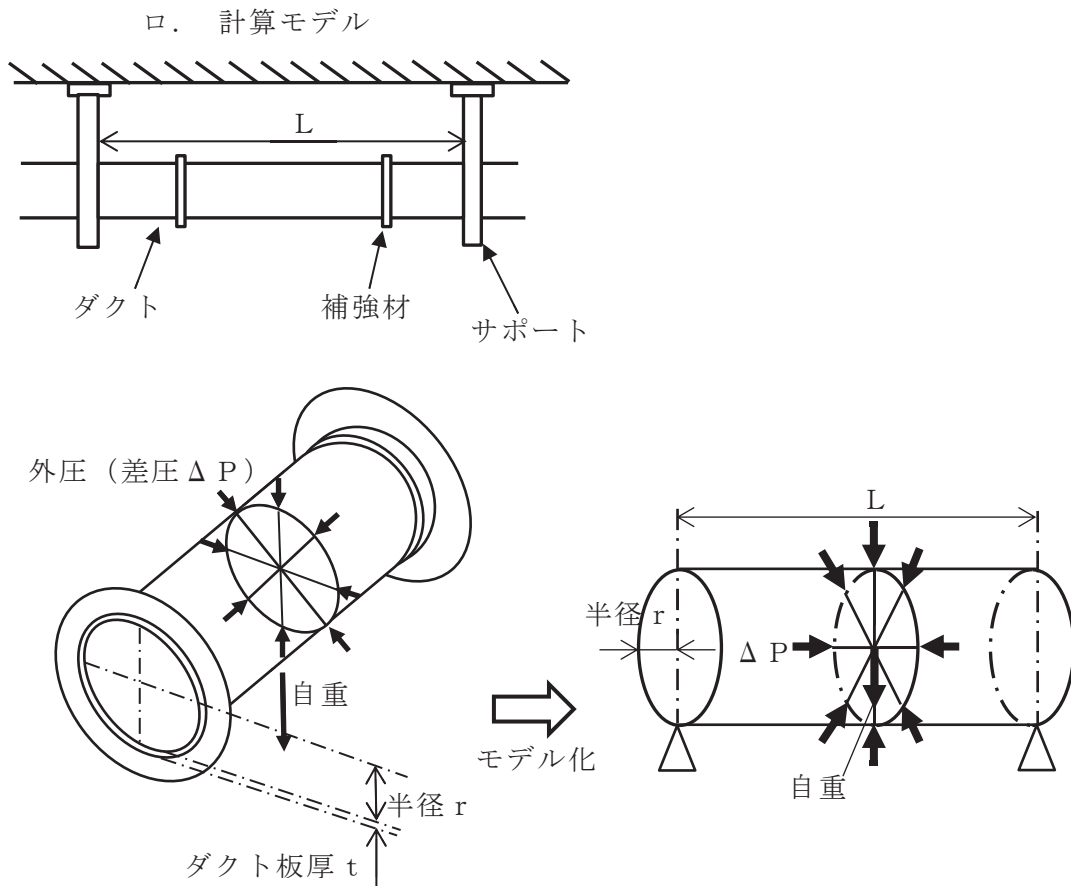


図5-16 丸ダクトの計算モデル図

ハ. 評価方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

(イ) 外圧により生じる周方向応力  $\sigma_{cripl}$

$$\sigma_{cripl} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(ロ) 自重により作用する曲げモーメント  $M_p$

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

(2) 隔離弁

a. 評価条件

隔離弁の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

(a) 弁箱は両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。弁箱の計算モデル図を図5-17に示す。

(b) 弁体は円板であるため、等分布荷重が作用する周辺支持円板とみなし、計

算を行う。弁体のモデル図を図5-18に示す。

- (c) 弁体に受ける等分布荷重を支持する弁棒断面について，計算を行う。弁棒の計算モデル図を図5-19に示す。
  - (d) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。
- b. 評価対象部位
- 評価対象部位及び評価内容を表5-30に示す。

表5-30 評価対象部位及び評価内容

機器形状	評価対象部位	評価内容
バタフライ弁	弁箱	周方向応力
	弁体	曲げ
	弁棒	せん断

- c. 強度評価方法

- (a) 記号の定義

隔離弁の構造強度評価に用いる記号を表5-31に示す。



表5-31 隔離弁の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_s$	$m^2$	弁棒の断面積
$A_v$	$m^2$	弁体の受圧面積
$a$	mm	弁体の半径
$d$	mm	弁棒の直径
$F_1$	N	設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重
$F_2$	N	弁体自重により弁棒に受ける荷重
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$h$	mm	弁体の板厚
$m_v$	kg	弁体自重
$m_s$	kg	弁棒自重
$P_1$	MPa	設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力
$P_2$	MPa	自重により弁体に受ける応力
$p_v$	MPa	弁体に受ける応力
$p_s$	N	弁棒に受ける荷重
$r$	mm	内半径
$t$	mm	板厚
$\pi$	—	円周率
$\tau$	MPa	弁棒に対するせん断応力
$\sigma_{max}$	MPa	弁体に対する曲げ応力
$\sigma_\theta$	MPa	周方向応力
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量

## (b) 評価方法

## イ. 弁箱

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

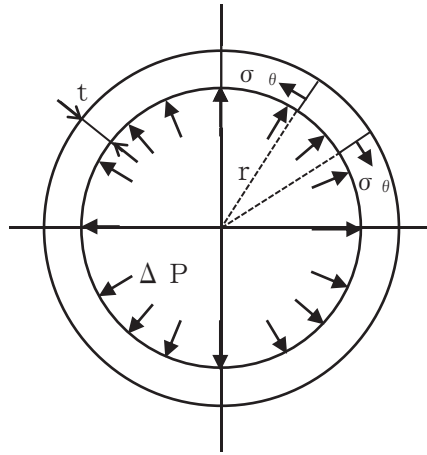


図 5-17 弁箱の計算モデル図

ロ. 弁体

弁体に作用する曲げ応力を，機械工学便覧の計算式を準用し計算する。  
計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力  $P_1$  及び自重により弁体に受ける応力  $P_2$  は次による。

$$P_1 = \Delta P$$

$$P_2 = \frac{m_v \cdot g}{A_v}$$

ここで

$$A_v = \frac{\pi}{4} \cdot (2a)^2$$

弁体に受ける応力  $p_v$  は次による。

$$p_v = P_1 + P_2$$

弁体に対する曲げ応力は次による。

$$\sigma_{max} = 1.24 \cdot \frac{p_v \cdot a^2}{h^2}$$

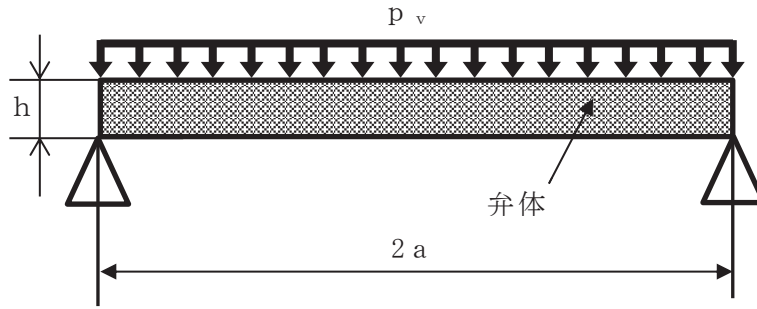


図 5-18 弁体の計算モデル図

ハ. 弁棒

弁棒に作用するせん断応力を, 機械工学便覧の計算式を準用し計算する。計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重  $F_1$  及び弁体及び弁棒自重により弁棒に受ける荷重  $F_2$  は次による。

$$F_1 = \Delta P \cdot \frac{\pi}{4} (2a)^2$$

$$F_2 = (m_v + m_s) \cdot g$$

弁棒に受ける荷重  $p_s$  は次による。

$$p_s = F_1 + F_2$$

弁棒に対するせん断応力は次による。

$$\tau = \frac{p_s}{A_s}$$

ここで

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2$$

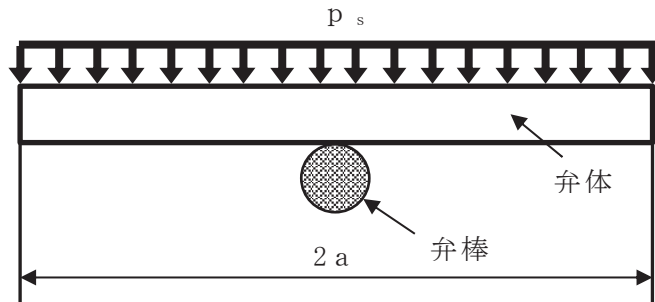


図 5-19 弁棒の計算モデル図

(3) ファン

a. 評価条件

ファンの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- (a) ファンの計算モデルは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし，計算を行う。ファンケーシングの計算モデル図を図5-20に示す。
- (b) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-32に示す。

表5-32 評価対象施設，部位及び評価内容

評価対象施設	評価対象部位	評価内容
ファン	ケーシング	周方向応力

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

ファンの構造強度評価に用いる記号を表5-33に示す。

表5-33 ファンの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
r	mm	ケーシング内半径
t	mm	ケーシング板厚
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_{\theta}$	MPa	周方向応力

(b) 評価方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_{\theta} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

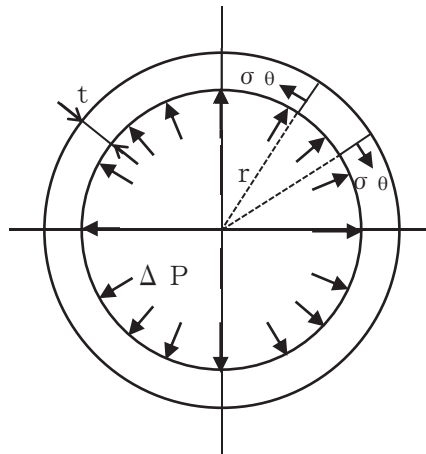


図 5-20 ファンケーシングの計算モデル図

(4) ダンパ

a. 評価条件

ダンパの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) ケーシングは、ケーシング板材を4辺に分割し、その1辺を同等の断面性能を持つ単純支持梁として計算を行う。ケーシングの計算モデル図を図5-21に示す。
- (b) ベーンは、1辺を4辺支持長方形板に等分布荷重がかかるものとし、曲げ応力による計算を行う。ベーンの計算モデル図を図5-22に示す。
- (c) シャフトは、内部圧力及び自重により発生する荷重がシャフトに均等に作用するものとし、シャフト断面についてせん断力による評価を行う。シャフトの計算モデル図を図5-23に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-34に示す。

表5-34 評価対象施設、部位及び評価内容

評価対象施設	評価対象部位	評価内容
ダンパ	ケーシング	曲げ
	ベーン	曲げ
	シャフト	せん断

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

ダンパの構造強度評価に用いる記号を表5-35に示す。

表5-35 ダンパの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_s$	$\text{mm}^2$	シャフト断面積
$E$	MPa	ヤング率
$e_c$	mm	ケーシングにおける断面の重心高さ
$F_{1b}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	ベーンの内部圧力による分布荷重
$F_{1c}$	$\text{N}/\text{mm}$	ケーシングの内部圧力による分布荷重
$F_{1s}$	N	内部圧力によりシャフトにかかるせん断荷重
$F_{2b}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	ベーンの自重による分布荷重
$F_{2c}$	$\text{N}/\text{mm}$	ケーシングの自重による分布荷重
$F_{2s}$	N	ベーンの自重によりシャフトにかかるせん断荷重
$g$	$\text{m}/\text{s}^2$	重力加速度
$H_b$	mm	ベーン幅
$I_c$	$\text{mm}^4$	ケーシングの断面二次モーメント
$L_c$	mm	面間寸法
$L_s$	mm	シャフト直径
$\ell_b$	mm	ベーン長さ
$\ell_c$	mm	ケーシング長さ
$M_c$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	ケーシングに作用する最大曲げモーメント
$m_b$	kg	ベーン質量
$m_c$	kg	ケーシング質量
$P$	MPa	内部圧力
$t_b$	mm	ベーン板厚
$Z_c$	$\text{mm}^3$	ケーシングの断面係数
$\delta_{bmax}$	mm	面外荷重によるベーンの最大変位量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\nu$	—	ポアソン比
$\pi$	—	円周率
$\sigma_{bmax}$	MPa	ベーンの中心に生じる面外荷重による最大応力
$\sigma_{cmax}$	MPa	ケーシングに生じる最大曲げ応力
$\sigma_{smax}$	MPa	シャフトに生じる最大せん断応力

(b) 計算モデル

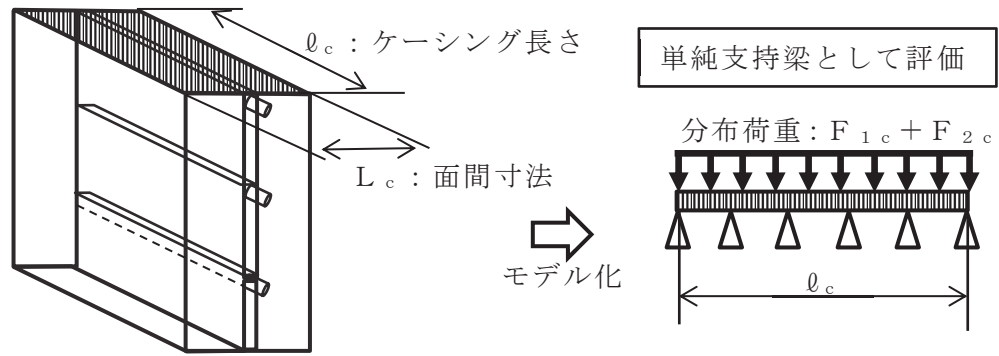


図 5-21 ケーシングの計算モデル図

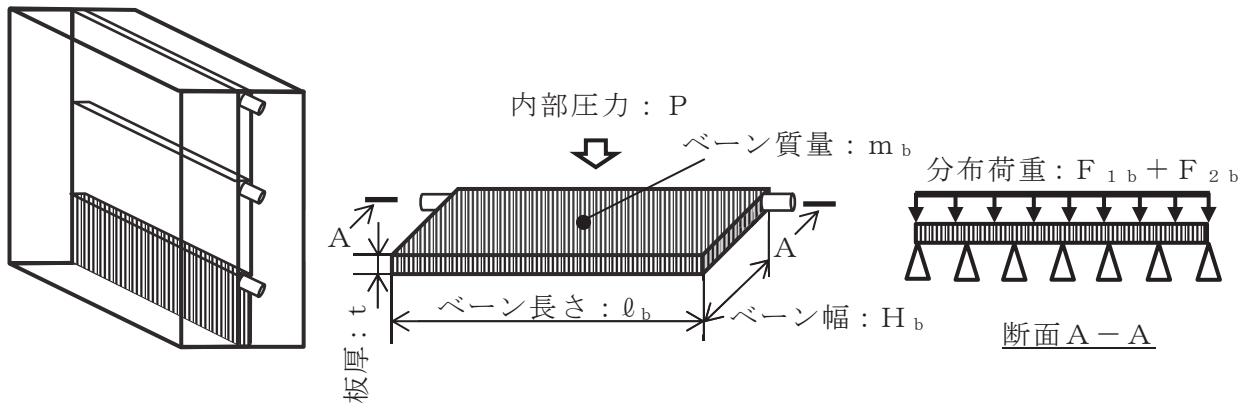


図 5-22 バーンの計算モデル図

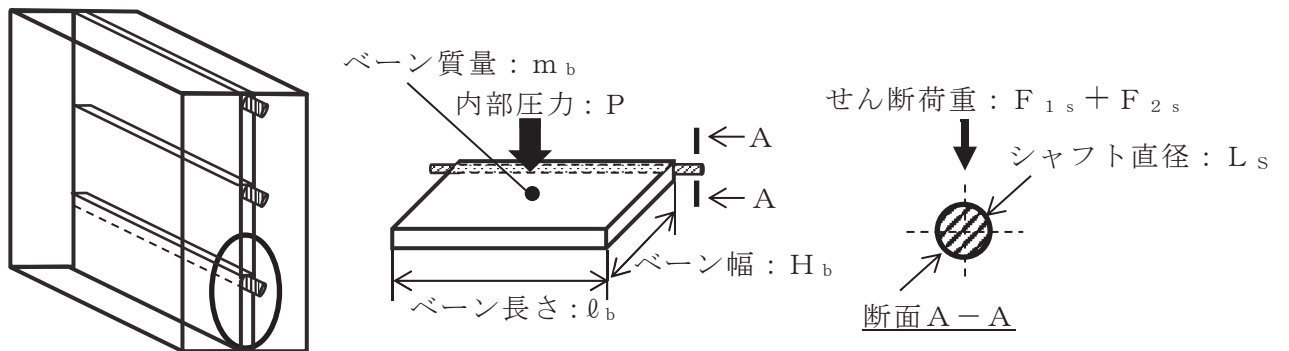


図 5-23 シャフトの計算モデル図

## (c) 評価方法

内部圧力は、設計竜巻により発生する気圧差によって発生するので、

$$P = \Delta P$$

## イ. ケーシング

ケーシングに作用する最大曲げモーメント

$$M_c = \frac{\ell_c^2 (F_{1c} + F_{2c})}{8}$$

ここで、

$$F_{1c} = P \cdot L_c$$

$$F_{2c} = \frac{m_c \cdot g}{\ell_c}$$

ケーシングに生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{cmax} = \frac{M_c}{Z_c}$$

$$Z_c = \frac{I_c}{e_c}$$

## ロ. ベーン

ベーンに生じる発生応力は、4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合において、中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力  $\sigma_{bmax}$  とその面外荷重によるベーン最大変位量  $\delta_{bmax}$  との関係は、以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。





ここで、

$$F_{1b} = P$$

$$F_{2b} = \frac{m_b \cdot g}{\ell_b \cdot H_b}$$

式(2)より得られる  $\delta_{bmax}$  の値を式(1)へ代入し、 $\sigma_{bmax}$  を算出する。

ハ. シャフト

シャフトに生じる最大せん断応力

$$\sigma_{smax} = \frac{F_{1s} + F_{2s}}{2A_s}$$

ここで、

$$F_{1s} = P \cdot H_b \cdot \ell_b$$

$$F_{2s} = m_b \cdot g$$

$$A_s = \left( \frac{L_s}{2} \right)^2 \cdot \pi$$

### 5.2.6 海水ポンプ室門型クレーン

#### (1) 評価条件

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 設計竜巻の風圧力による荷重及び自重により発生するモーメントに対する、海水ポンプ室門型クレーンのエンドストップの構造健全性を1質点系モデルとし、計算モデルが類似している J E A G 4 6 0 1 の支持構造物の計算方法を参考に評価を行う。なお、設計飛来物による衝撃荷重は、2基あるエンドストップのうち1基を損傷させたモデルとして考慮する。また、1質点系モデルの強度計算において、海水ポンプ室門型クレーンとエンドストップのピン支持点に集中荷重として作用するものとする。
- b. 海水ポンプ室門型クレーンの転倒により外部事象防護対象施設に接触することによる波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、海水ポンプ室門型クレーンを停留位置にとどめるために、海水ポンプ室門型クレーンの転倒モーメントを受けるエンドストップ及びエンドストップを支持する基礎ボルトを評価対象部位として設定する。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-36に示す。

表5-36 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
エンドストップ	引張, せん断, 曲げ, 組合せ
基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価に用いる記号を表 5-37 に示す。

表 5-37 海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	ボルト軸部断面積
$A_{bt}$	$\text{mm}^2$	ストッパ断面材の引張応力計算に用いる断面積
$A_{cs}$	$\text{mm}^2$	ピン穴部のせん断応力計算に用いる断面積
$A_{ct}$	$\text{mm}^2$	ピン穴部の引張応力計算に用いる断面積
$A_{ps}$	$\text{mm}^2$	ピンのせん断応力計算に用いる断面積
$B$	mm	ピン穴部せん断断面寸法
$C$	mm	ピン穴部引張断面寸法
$D$	mm	ピン穴径
$d_b$	mm	ボルトの呼び径
$d_p$	mm	ピン直径
$F_b$	N	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)
$F_v$	N	エンドストッパに作用する鉛直方向荷重
$F_h$	N	エンドストッパに作用する水平方向荷重
$h_p$	mm	据付面からピン中心までの距離
$L_d$	mm	エンドストッパ断面材とピン中心間の水平方向距離
$L_p$	mm	転倒支点とピン中心間の水平方向距離
$L_i$	mm	転倒支点とボルトの水平方向距離 * 1
$n$	—	ボルトの本数
$n_f$	—	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数
$Q_b$	N	ボルトに作用するせん断力
$T$	mm	ピン穴部部材板厚
$Z_b$	$\text{mm}^3$	エンドストッパ断面材の断面係数
$\pi$	—	円周率
$\sigma_b$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	ピン穴部に生じる引張応力
$\sigma_d$	MPa	ストッパ断面材に生じる引張応力
$\sigma_m$	MPa	ストッパ断面材に生じる曲げ応力
$\tau_b$	MPa	ボルトに生じるせん断応力
$\tau_c$	MPa	ピン穴部に生じるせん断応力
$\tau_p$	MPa	ピンに生じるせん断応力

注記\* 1  $L_i$  の添え字  $i$  の意味は、転倒支点となるボルトより最も遠いボルトから  $i = 1, 2, 3$  とする。

b. 計算モデル

海水ポンプ室門型クレーンは停留位置において従動輪側がエンドストップとピン支持により固定されているため、風圧力による荷重が海水ポンプ室門型クレーンに一樣に作用して生じる転倒モーメントによる荷重を受ける支持構造物として評価を行う。

海水ポンプ室門型クレーンの計算モデルを図 5-24 に示す。

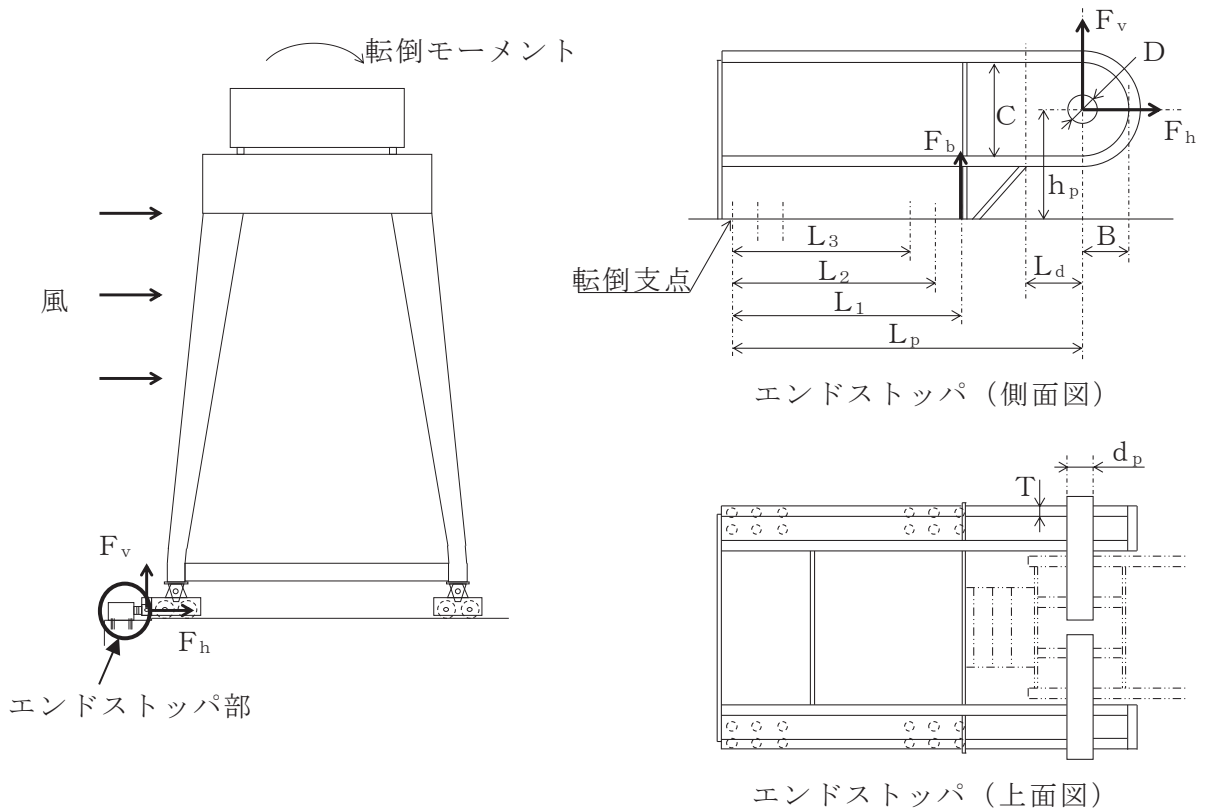


図 5-24 海水ポンプ室門型クレーンの計算モデル図

c. 評価方法

(a) エンドストッパ

イ. ピン穴部

(イ) 引張応力

ピン穴部に対する引張応力は以下の式により算定する。

$$\boxed{\phantom{\sigma = \frac{F}{A}}}$$

ここで、

$$\boxed{\phantom{A = \pi r^2}}$$

(ロ) せん断応力

ピン穴部に対するせん断応力は以下の式により算定する。

$$\boxed{\phantom{\tau = \frac{F}{A}}}$$

ここで、

$$\boxed{\phantom{A = \pi r^2}}$$

ロ. ピン

ピンに対するせん断応力は以下の式により算定する。

$$\boxed{\phantom{\tau = \frac{F}{A}}}$$

ここで、

$$\boxed{\phantom{A = \pi r^2}}$$

ハ. ストッパ断面部材

(イ) 引張応力

ストッパ断面部材に対する引張応力は以下の式により算定する。

$$\boxed{\phantom{\sigma = \frac{F}{A}}}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## (ロ) 曲げ応力

ストッパ断面部材に対する曲げ応力は以下の式により算定する。



## (b) 基礎ボルト

## イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最外列のボルトを支点とする転倒を考え、以下の式により算定する。

・引張力

$$F_b = \frac{L_1 \cdot (F_v \cdot h_p - F_h \cdot L_p)}{n_f \cdot (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)}$$

・引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで、

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2$$

## ロ. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして、以下の式により算定する。

・せん断力

$$Q_b = F_h$$

・せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

## 6. 適用規格

VI-1-1-2-3-1においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、竜巻の影響を考慮する施設のうち防護対策施設及び屋外重大事故等対処設備の固縛装置を除く施設の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 日本産業規格 (J I S)
- ・ クレーン構造規格
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 - 補 1984」 (社) 日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」 (社) 日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」 (社) 日本電気協会
- ・ 「発電用原子力設備規格設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」 (社) 日本機械学会
- ・ I S E S 7 6 0 7 -3 「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による 構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」 (高温構造安全技術研究組合)
- ・ 「タービンミサイル評価について」 (昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))
- ・ 「コンクリート標準示方書 設計編」 ((社) 土木学会, 2007 改定)
- ・ 「コンクリート標準示方書 2002 年 (構造性能照査編) 及び 2012 年 (設計編)」 土木学会
- ・ 「道路橋示方書・同解説」 II 鋼橋編, IV 下部構造編 ((社) 日本道路協会 平成 24 年 3 月)
- ・ 「建築物荷重指針・同解説」 ((社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」 ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・ 「各種合成構造設計指針・同解説」 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」 ((社) 日本建築学会, 1988)
- ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」 ((社) 日本建築学会, 1999)
- ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」 ((社) 日本建築学会, 2010)
- ・ 「容器構造設計指針・同解説」 ((社) 日本建築学会, 2010)
- ・ 「煙突構造設計施工指針」 ((一財) 日本建築センター, 1982)
- ・ 「塔状鋼構造設計指針・同解説」 ((社) 日本建築学会, 1980)
- ・ 「煙突構造設計指針」 ((社) 日本建築学会, 2007)

- 「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015)
- 「新版機械工学便覧」(1987年 日本機械学会編)
- U.S. Nuclear Regulatory Commission: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007



VI-3-別添 1-1-2 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	16
3.5 評価方法	18
4. 評価条件	32
5. 強度評価結果	35

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり原子炉補機冷却海水ポンプが竜巻時及び竜巻通過後においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

原子炉補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、原子炉補機冷却海水ポンプの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

原子炉補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図 2-1 に示す。

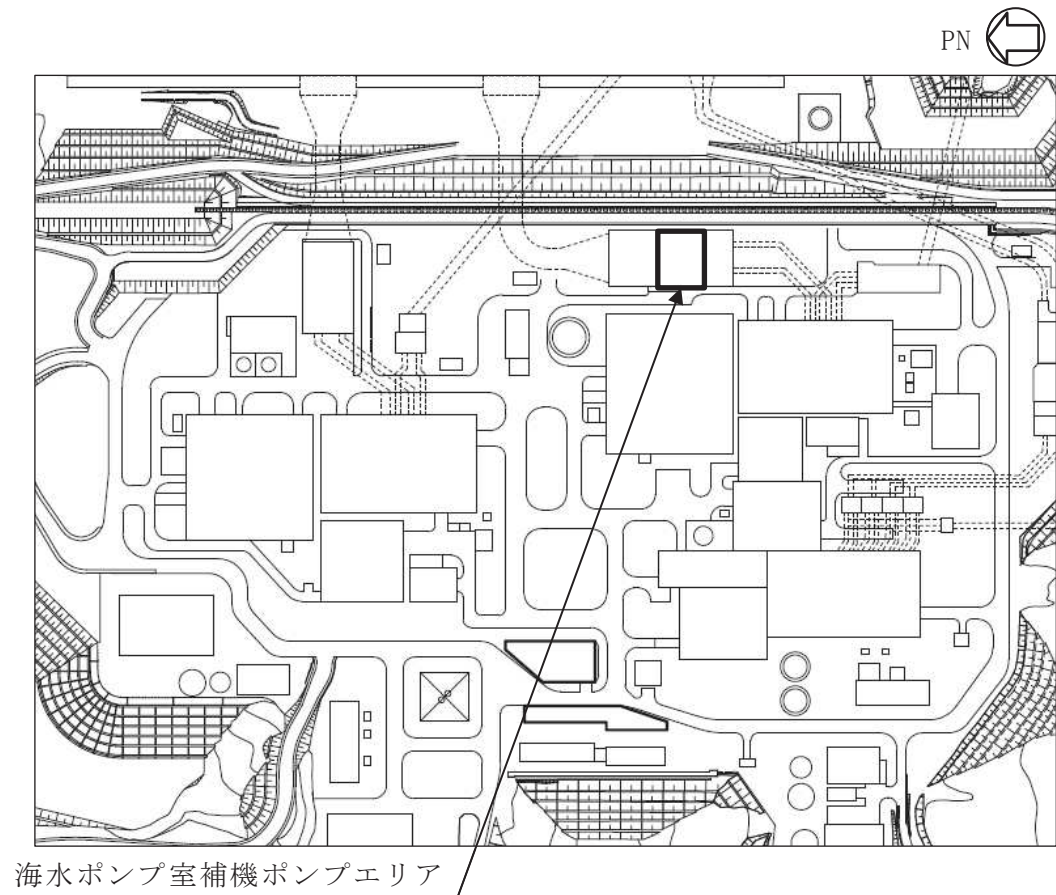


図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

原子炉補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

原子炉補機冷却海水ポンプは、ポンプ据付面から電動機台までのポンプ部と、電動機台より上部の電動機部からなる立型ポンプであり、同一設計の原子炉補機冷却海水ポンプを4台設置している。原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の形状は、四角形を基本としたフレームに、外扇カバー、主回路用端子箱及び空気冷却器が付加された形態である。原子炉補機冷却海水ポンプの概要図を図 2-2 に示す。

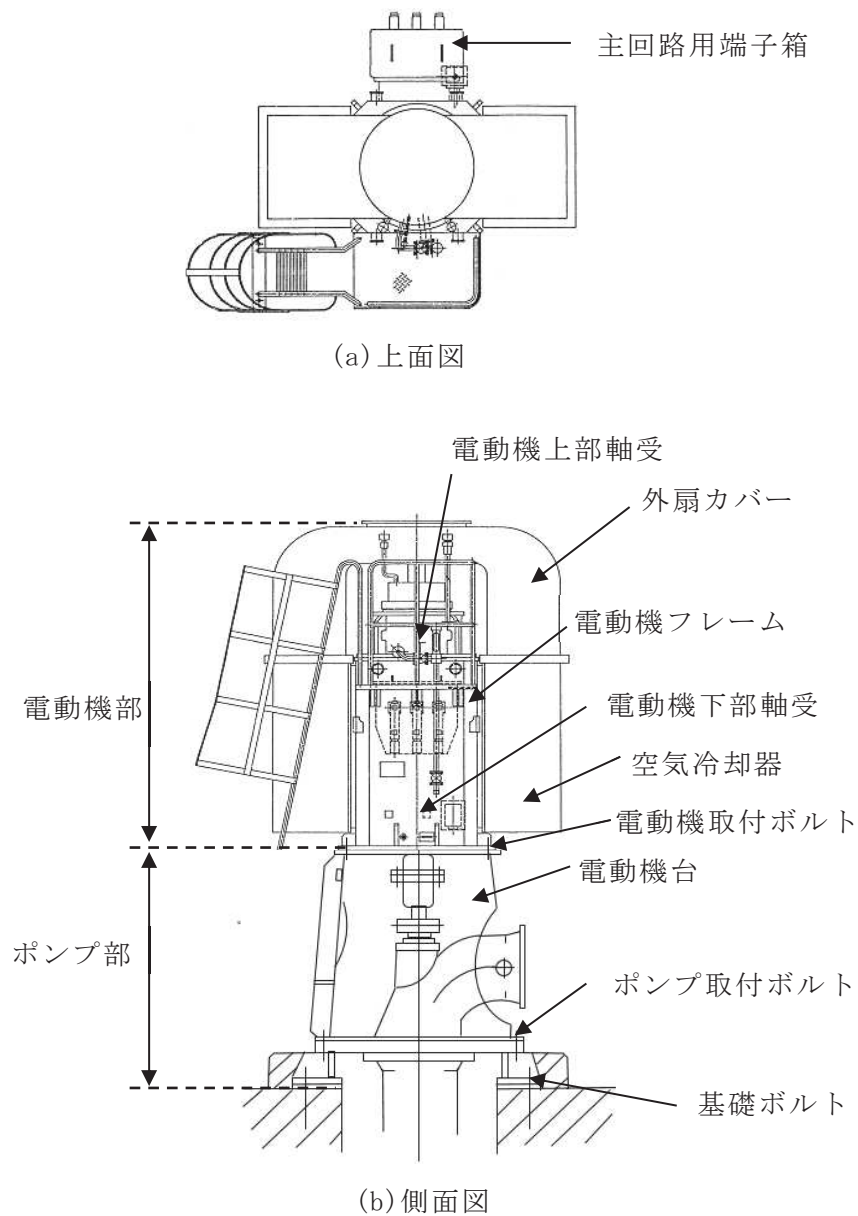


図 2-2 原子炉補機冷却海水ポンプの概要図

### 2.3 評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価フローを図 2-3 に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。

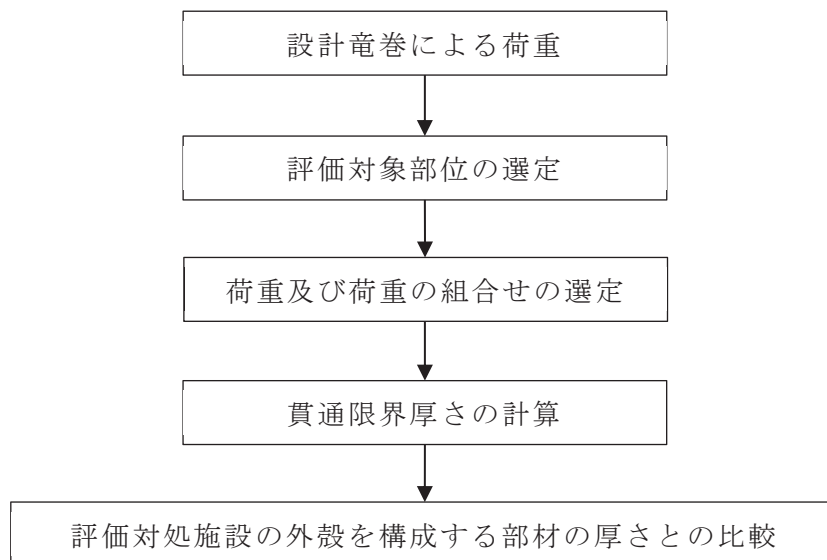


図 2-3 原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価フローを図 2-4 に示す。構造強度評価においては、原子炉補機冷却海水ポンプに対して、設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」((社) 日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」((社) 日本電気協会) 及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」((社) 日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1」という。) における 1 質点系モデルによる評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示す評価式を用いる。

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S とする。

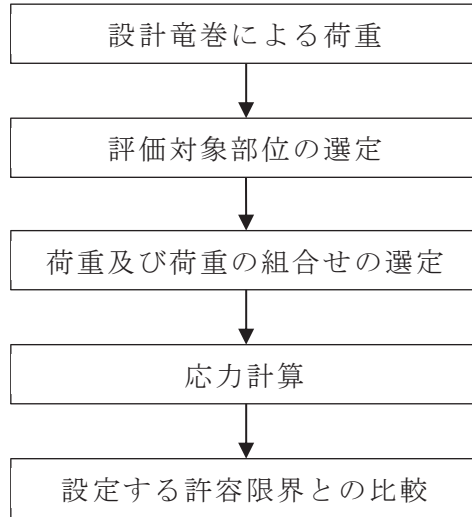


図 2-4 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価フロー

(3) 動的機能維持評価の評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フローを図 2-5 に示す。原子炉補機冷却海水ポンプは動的機器であるため、構造強度評価に加え、軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては、原子炉補機冷却海水ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し、設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容

荷重以下であることを確認する。動的機能維持評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示す評価式を用いる。原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

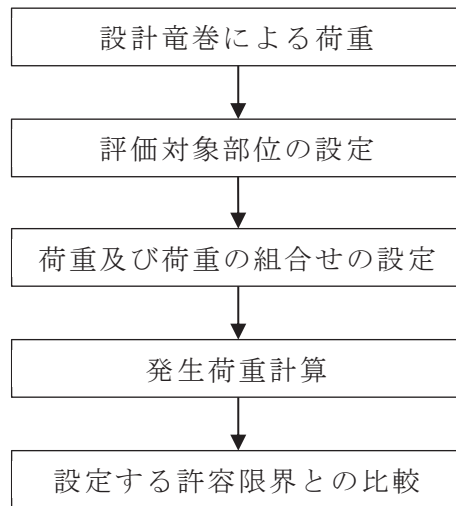


図 2-5 原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「タービンミサイル評価について」(昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会)
- ・「建築物荷重指針・同解説」 ((社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」 ((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」 ((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」 ((社) 日本電気協会)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007」 ((社) 日本機械学会 (以下「設計・建設規格」という。))
- ・「新版機械工学便覧」(1987 年 4 月 日本機械学会編)

## 3. 強度評価方法

### 3.1 記号の定義

#### (1) 衝突評価の記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

表 3-2 構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>11</sub>	m <sup>2</sup>	電動機台及び電動機フレームの受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>12</sub>	m <sup>2</sup>	電動機フレームの受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>13</sub>	m <sup>2</sup>	主回路用端子箱の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>14</sub>	m <sup>2</sup>	空気冷却器の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>15</sub>	m <sup>2</sup>	外扇カバーの受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>p</sub>	—	ポンプ振動による震度
D	mm	電動機フレーム外径
D <sub>i</sub>	mm	ボルトのピッチ円の直径
d	mm	電動機フレーム内径
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>bi</sub>	N	ボルトに作用する引張力
f <sub>b</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
f <sub>s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
G	—	ガスト影響係数



表 3-2 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$H$	$N$	自重による荷重
$H_P$	$mm$	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
$H_M$	$mm$	風の受圧面積算出時の電動機フレーム高さ
$h$	$mm$	重心と支点間の距離
$h_p$	$\mu m$	予想最大全振幅
$L_1$	$mm$	支点と評価ボルト間の距離
$L_H$	$mm$	基準面から重心位置までの距離
$M$	$N \cdot mm$	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
$M_p$	$N \cdot mm$	ポンプの回転により働くモーメント
$M_s$	$kg$	ポンプスラスト
$m$	$kg$	質量
$m_i$	$kg$	ボルトに加わる機器質量
$N$	$rpm$	回転数 (同期)
$n_i$	—	ボルトの本数
$P$	$kW$	ポンプ出力
$Q_{bi}$	$N$	ボルトに働くせん断力
$q$	$MPa$	設計用速度圧
$S_y$	$MPa$	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
$S_u$	$MPa$	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
$W_T$	$N$	設計竜巻による複合荷重
$W_{T1}$	$N$	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1} = W_P$ )
$W_{T2}$	$N$	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W_M$	$N$	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	$N$	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_W$	$N$	設計竜巻の風圧力による荷重
$Z$	$mm^3$	断面係数
$\Delta P$	$MPa$	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\sigma$	$MPa$	電動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{bi}$	$MPa$	ボルトに生じる引張応力
$\tau$	$MPa$	せん断応力
$\tau_{bi}$	$MPa$	ボルトに生じるせん断応力

表 3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	電動機台の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
a	mm	部材間の長さ
a <sub>1</sub>	mm	ポンプ据付面から電動機台上端までの長さ
a <sub>2</sub>	mm	電動機台上端から電動機下部軸受までの長さ
a <sub>3</sub>	mm	電動機台上端から荷重作用点までの長さ
b <sub>1</sub>	mm	回転子リブ幅 (短辺)
b <sub>2</sub>	mm	回転子リブ幅 (長辺)
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	回転子軸中心とリブ重心間の距離
d	mm	回転子コア径
D <sub>m</sub>	mm	電動機フレーム外径
d <sub>m</sub>	mm	電動機フレーム内径
D <sub>p</sub>	mm	電動機台外径
d <sub>p</sub>	mm	電動機台内径
E	MPa	縦弾性係数
E <sub>m</sub>	MPa	電動機フレームの縦弾性係数
E <sub>p</sub>	MPa	電動機台の縦弾性係数
E <sub>m</sub> '	MPa	回転子の縦弾性係数
G	—	ガスト影響係数
h'	mm	基準点から作用点までの距離
h <sub>1</sub> '	mm	電動機台上端から荷重作用点までの距離
h <sub>2</sub> '	mm	電動機下部軸受から荷重作用点までの距離
h <sub>3</sub> '	mm	荷重作用点から荷重作用点までの距離
h <sub>1</sub>	mm	回転子リブ高さ (長辺)
h <sub>2</sub>	mm	回転子リブ高さ (短辺)
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
I <sub>m</sub>	mm <sup>4</sup>	電動機フレームの断面二次モーメント
I <sub>m</sub> '	mm <sup>4</sup>	回転子の断面二次モーメント
I <sub>p</sub>	mm <sup>4</sup>	電動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i <sub>1</sub>	rad	ポンプ据付面から電動機台上端部の傾斜
i <sub>3</sub>	rad	電動機台上端部から荷重作用点の傾斜

表 3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$i_4$	rad	荷重作用点の傾斜
$M$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$M_a$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$M_b$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$M_c$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$q$	MPa	設計用速度圧
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W'$	N	たわみ量及び発生荷重計算における設計竜巻による複合荷重
$W''$	N	発生荷重
$W_a''$	N	電動機下部軸受部の発生荷重
$W_b''$	N	電動機上部軸受部の発生荷重
$W_M$	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	N	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_W$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$x$	mm	荷重作用点から評価対象部までの距離
$x'$	mm	評価対象部から支点までの距離
$x_a'$	mm	ポンプ上部軸受部から電動機下部軸受部までの距離
$x_b'$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までの距離
$y$	mm	たわみ量
$y_1$	mm	ポンプ据付面から電動機台上端部のたわみ量
$y_2$	mm	電動機台上端部から電動機下部軸受部のたわみ量
$y_3$	mm	電動機台上端部から荷重作用点のたわみ量
$y_4$	mm	荷重作用点のたわみ量
$y_5$	mm	荷重作用点から電動機上部軸受部のたわみ量
$y_a$	mm	電動機下部軸受部のたわみ量
$y_b$	mm	電動機上部軸受部のたわみ量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\delta$	mm	評価対象部位から支点までの変位量

### 3.2 評価対象部位

原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、原子炉補機冷却海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

原子炉補機冷却海水ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる主回路用端子箱を選定する。

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

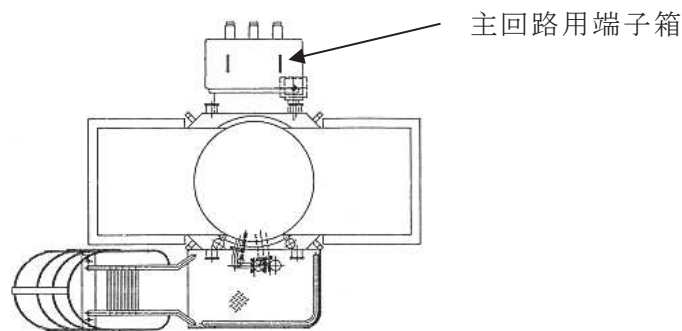


図 3-1 原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

#### (2) 構造強度評価の評価対象部位

##### a. ポンプ部

ポンプ部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して、基礎面及び電動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・電動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・基礎ボルト

##### b. 電動機部

電動機部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び付属品に作用し、電動機フレーム及び付属品を介して、付属品の取付部

を固定するボルトに作用する。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・ 電動機フレーム
- ・ 主回路用端子箱取付ボルト
- ・ 空気冷却器取付ボルト
- ・ 外扇カバー取付ボルト

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における評価対象部位を図 3-2、図 3-3 に示す。

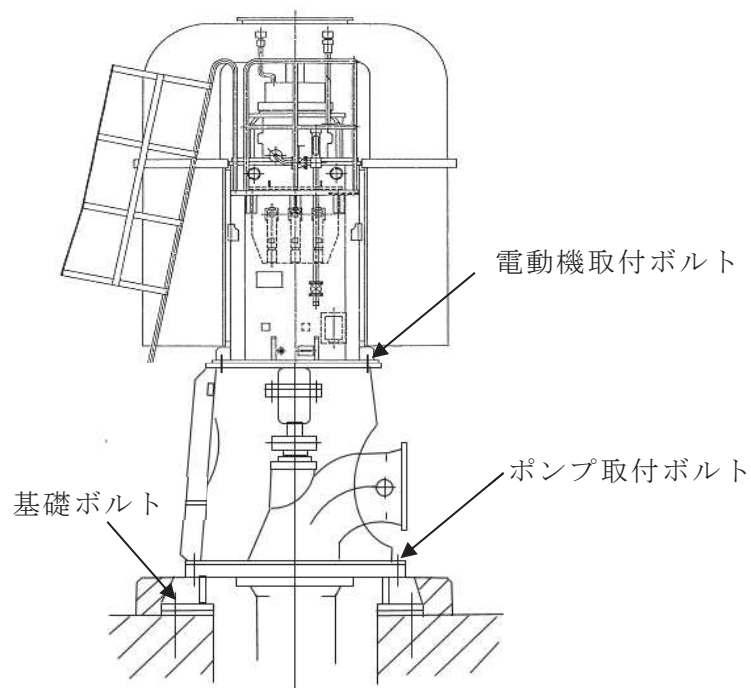


図 3-2 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価対象部位図（ポンプ部）

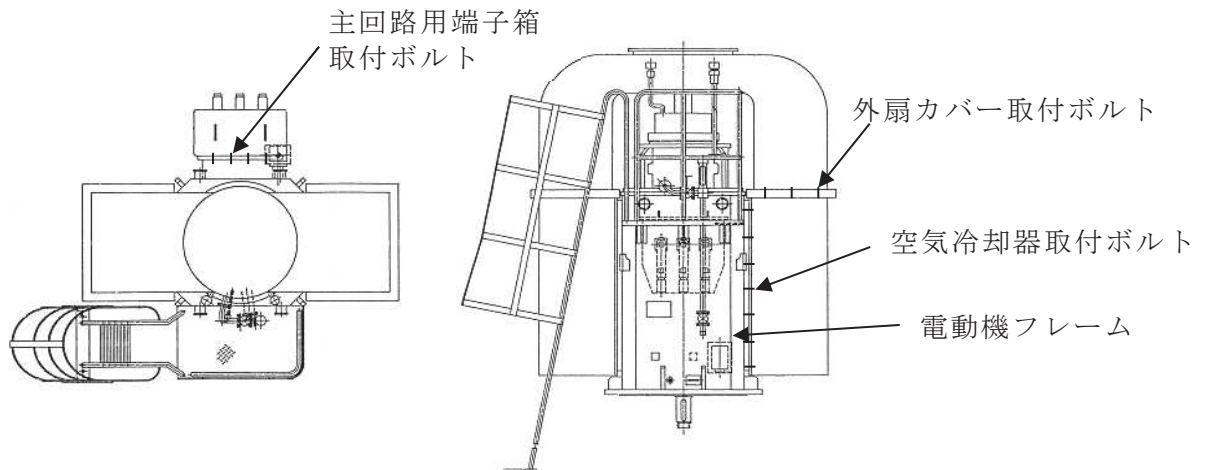


図 3-3 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価対象部位図（電動機部）

(3) 動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に設計竜巻により荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

- ・ 電動機下部軸受部
- ・ 電動機上部軸受部

原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-4 に示す。

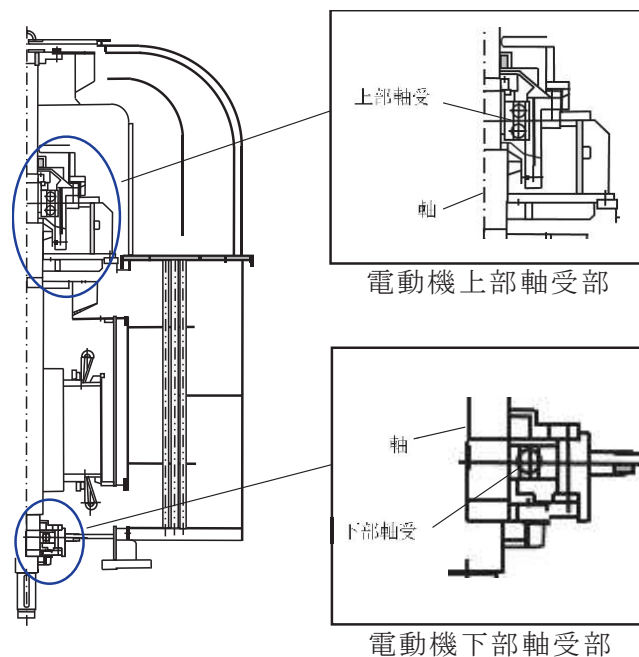


図 3-4 原子炉補機冷却海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40mm）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表 3-4、原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表 3-5 に示す。

表 3-4 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表 3-5 原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	原子炉補機冷却 海水ポンプ	主回路用端子箱	飛来物による衝撃 荷重

#### (2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### (a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

##### (b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重

に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重  $W_p$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重  $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、原子炉補機冷却海水ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため、複合荷重の選定において、 $W_{T2}$  としては気圧差を考慮するが、 $W_{T1}$  の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、鉛直下向きに作用するポンプスラスト荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ボルト材の構造強度評価において、水平方向に取り付けられている場合（主回路用端子箱取付ボルト及び空気冷却器取付ボルト）は、自重を考慮する。

原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。



表 3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重	
屋外の外部 事象防護対 象施設	原子炉補機 冷却海水ポ ンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	電動機取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				ポンプ取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
			電動機部	電動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				主回路用端子箱 取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
				空気冷却器取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
		外扇カバー取付 ボルト		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
		動的 機能 維持 評価	電動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
			電動機下部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	

### 3.4 許容限界

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さ、J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力及び軸受部の接触面圧の許容荷重を用いる。

#### (1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表 3-7 に示す。

表 3-7 原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
原子炉補機冷却海水ポンプ	

#### (2) 構造強度評価における許容限界

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の周囲環境温度及び許容最高温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界を表 3-8、許容応力を表 3-9 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-8 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$
電動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	$1.5 f_b$

表 3-9 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5 f <sub>t</sub> (MPa)	1.5 f <sub>s</sub> (MPa)	1.5 f <sub>b</sub> (MPa)
電動機取付 ボルト	SCM435	40* <sup>1</sup>	785	930	651	488	375	—
ポンプ取付 ボルト	SCM435	40* <sup>1</sup>	785	930	651	488	375	—
基礎ボルト	SCM435	40* <sup>1</sup>	785	930	651	488	375	—
電動機フレーム	SS400	155* <sup>2</sup>	205	373	205	—	—	237
主回路用端子箱 取付ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	—
空気冷却器取付 ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	—
外扇カバー取付 ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	—

注記 \*1: 周囲環境温度

\*2: 電動機の耐熱クラスF種における許容最高温度

(3) 動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は、設計荷重により電動機フレームが変形する場合においても原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続が可能であるように、軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受部の接触面圧の許容荷重を表 3-10 に示す。

表 3-10 軸受部の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
電動機上部軸受部	
電動機下部軸受部	

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

#### (2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

##### (a) 構造強度評価

計算モデルは1質点系モデルとし、ポンプ部は全高の1/2の位置に、電動機部は風圧力による荷重の作用中心に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び電動機部の応力の計算モデル図を図3-5及び図3-6に示す。

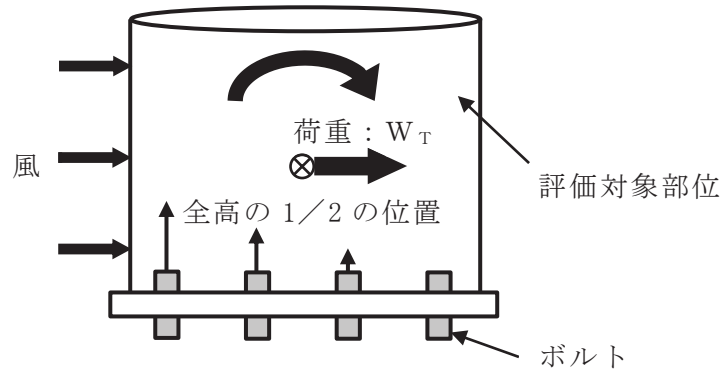


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

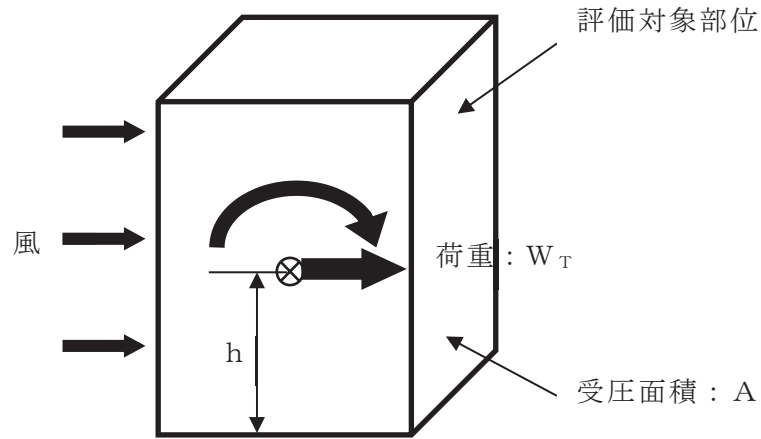


図 3-6 応力の計算モデル図 (電動機部)

(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の電動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から電動機台上端まで（ポンプ部）と、電動機台上端から電動機まで（電動機部）の片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は、電動機台の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価し、電動機部については電動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-7に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体（電動機フレーム等）は、水平方向の複合荷重により、ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方、回転体（ポンプ軸及び電動機軸）は、風荷重を受けないため、変形せず、電動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態を維持する。電動機フレーム等の変形により、軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

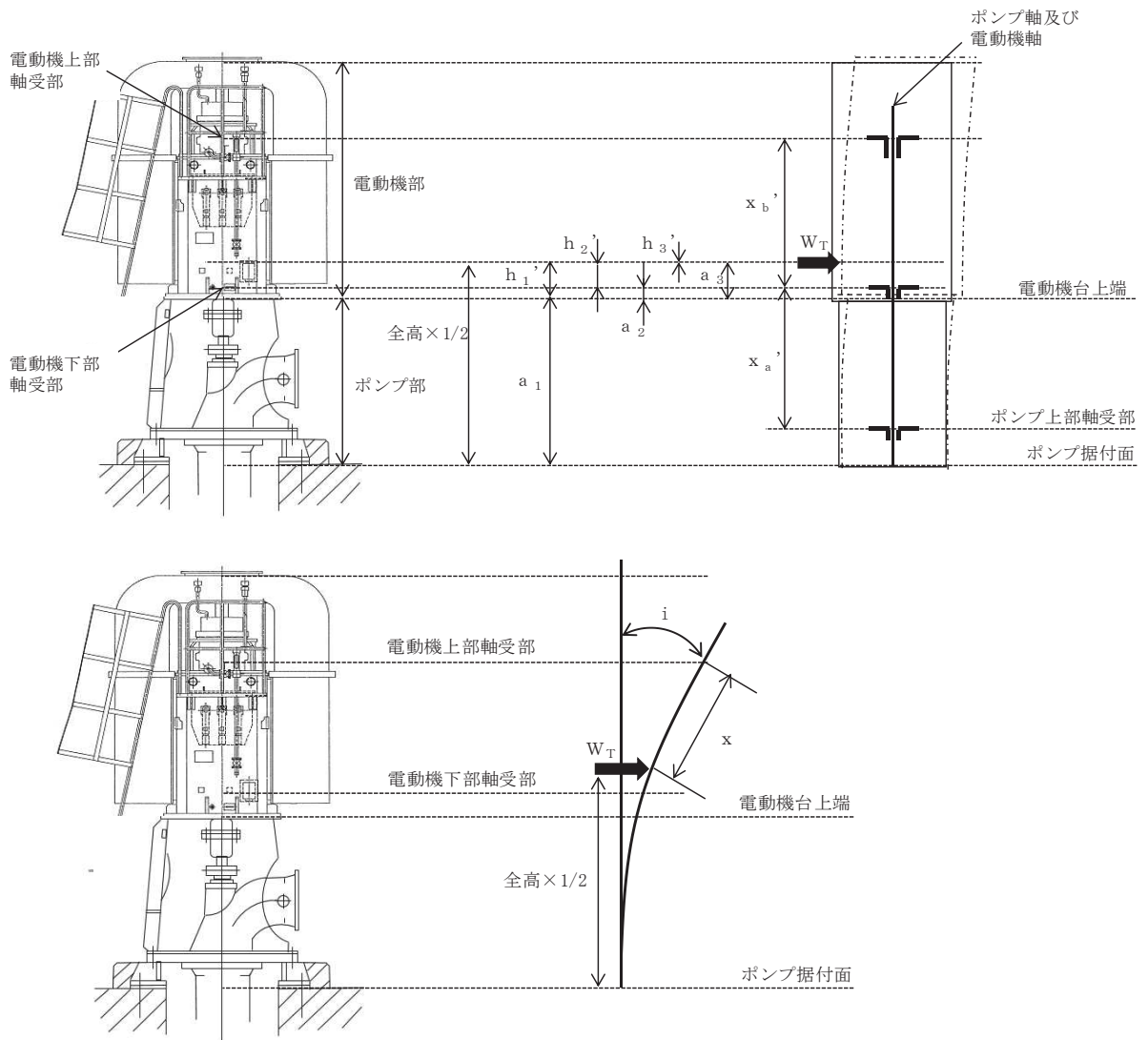


図 3-7 原子炉補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部 (ボルト部)

電動機取付ボルト, ポンプ取付ボルト及び基礎ボルトの配置図を図 3-8～図 3-10 に示す。

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2}$$

(ロ) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{W_{T2} \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2} - (m_i + M_s) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ここで、ポンプ振動による震度  $C_p$  は、

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ただし、 $F_{bi} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bi} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(ハ) せん断応力  $\tau_{bi}$

**【電動機取付ボルト及びポンプ取付ボルト】**

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + \frac{2 \cdot M_p}{D_i}}{n_i \cdot A_b}$$

ここで、ポンプの回転により働くモーメント  $M_p$  は

$$M_p = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P$$

**【基礎ボルト】**

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_b}$$

8×M30 電動機取付ボルト

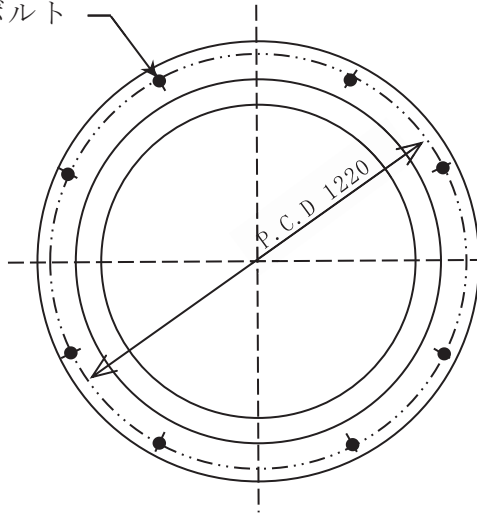


図 3-8 電動機取付ボルトの配置図

20×M42 ポンプ取付ボルト

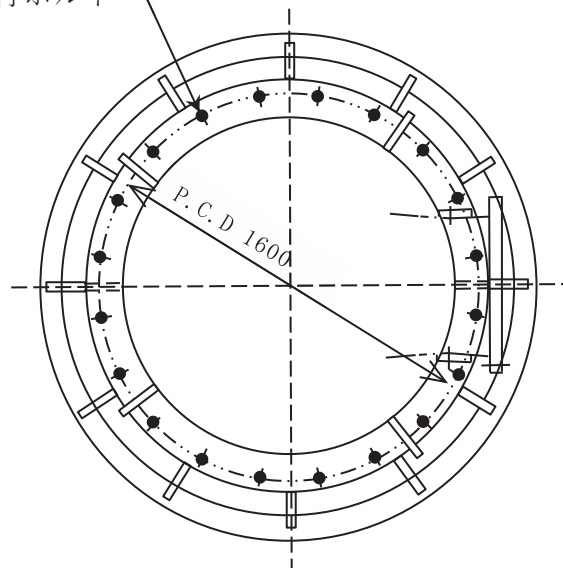


図 3-9 ポンプ取付ボルトの配置図



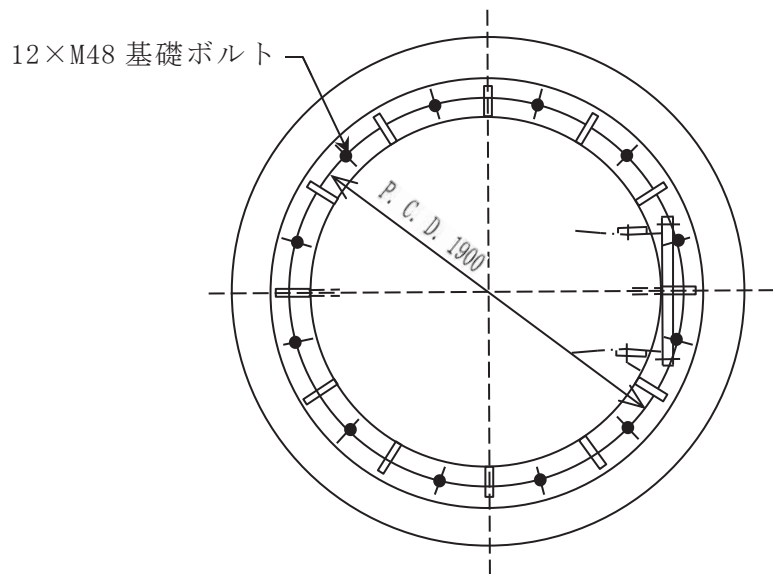


図 3-10 基礎ボルトの配置図

ロ. 電動機部

電動機フレーム，主回路用端子箱取付ボルト部，空気冷却器取付ボルト部  
及び外扇カバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-14に示す。

(イ) 電動機フレーム

電動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・ 曲げ応力

(i) 風による転倒モーメント  $M$

$$M = W_T \cdot h$$

(ii) 曲げ応力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{1}{6} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

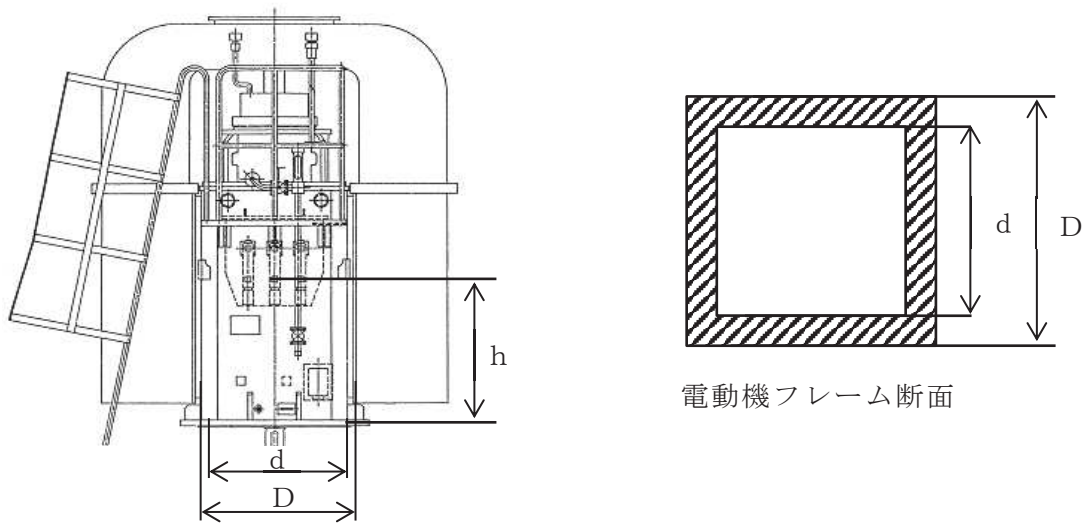


図 3-11 電動機フレーム詳細図

- (ロ) 主回路用端子箱取付ボルト部及び空気冷却器取付ボルト部  
 主回路用端子箱取付ボルト部及び空気冷却器取付ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

- (i) 風圧力及び自重に生じる曲げモーメント  $M$

$$M = (W_T + H) \cdot L_H$$

- (ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

- (iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_b \cdot n_i}$$

ここで,

$$Q_{bi} = W_T + H$$

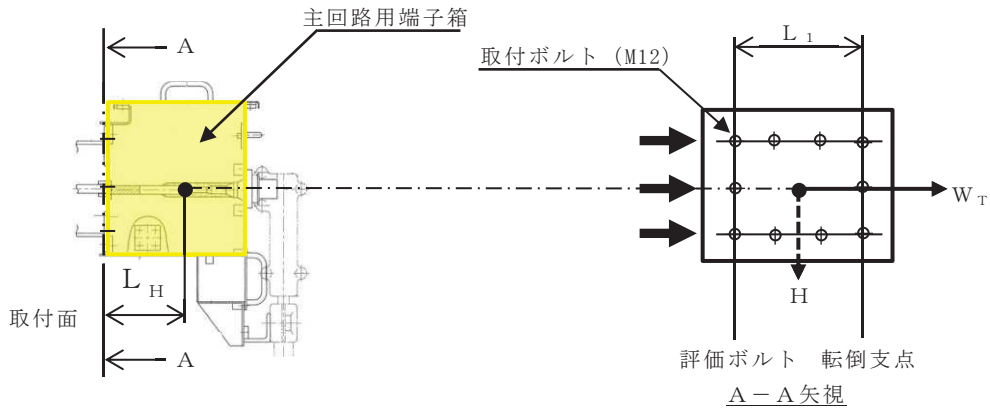


図 3-12 主回路用端子箱取付ボルト部詳細図

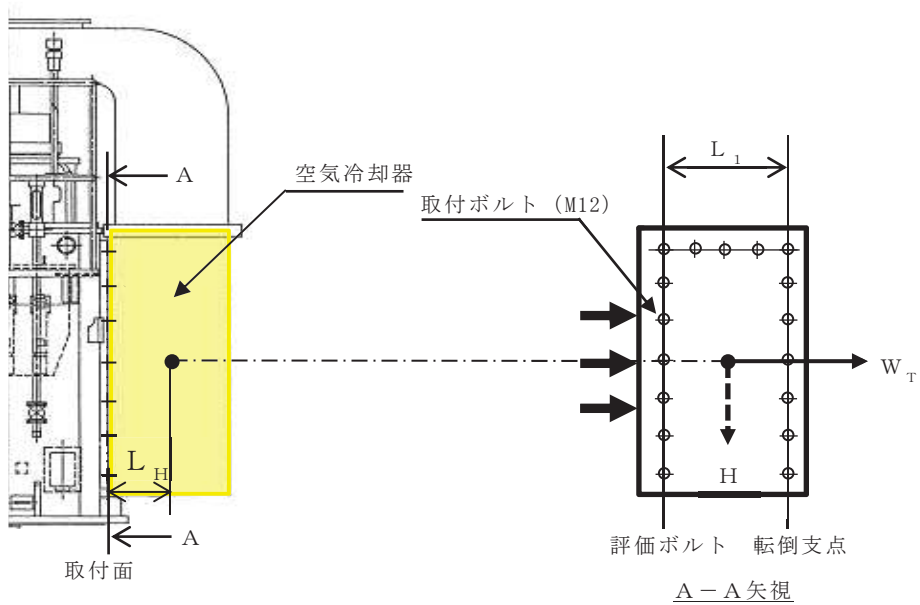


図 3-13 空気冷却器取付ボルト部詳細図

(ハ) 外扇カバー取付ボルト部

外扇カバー取付ボルトの応力算出方法を以下に示す。

(i) 風による転倒モーメント  $M$

$$M = W_T \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{W_T}{A_b \cdot n_i}$$

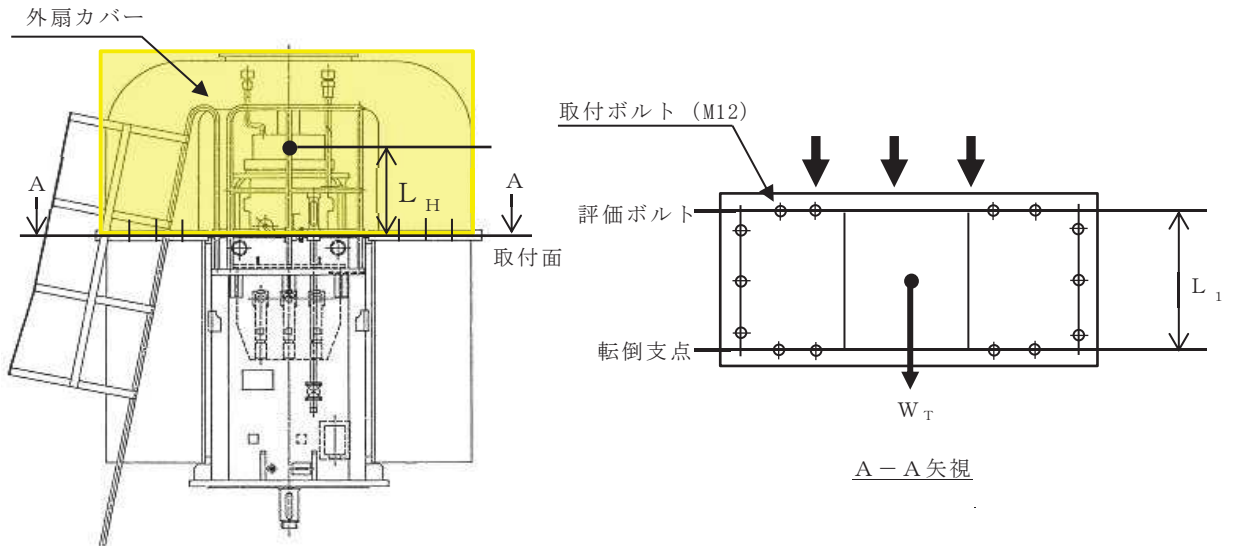


図 3-14 外扇カバー取付ボルト詳細図

(b) 発生荷重の計算

イ. たわみ量の計算

たわみ量の算出において、設計竜巻による風圧力を受ける面は風の影響を受ける面積が大きい外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台とし、水平荷重  $W'$  は外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台に発生する水平荷重を包絡するような面積を設定し算出する。

$$W' = W_{T2}$$

風による水平荷重の受圧面積を図3-15に示す。

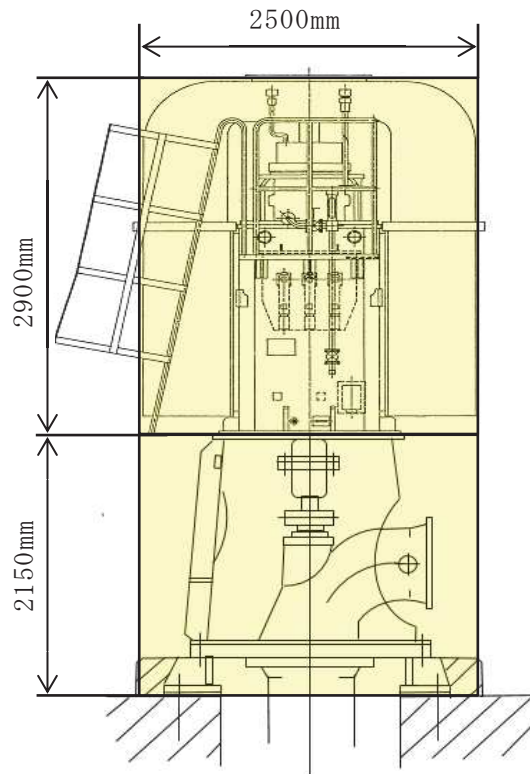


図 3-15 風による水平荷重の受圧面積

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量  $y$  と傾斜  $i$  を算出する。なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(イ) 電動機下部軸受部

・ポンプ据付面から電動機台上端部のたわみ量  $y_1$ ，傾斜  $i_1$

$$y_1 = \frac{M_a \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^3}{3 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$i_1 = \frac{M_a \cdot a_1}{E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$M_a = W' \cdot h_1'$$

ここで、電動機台の断面図を図3-16に示す。

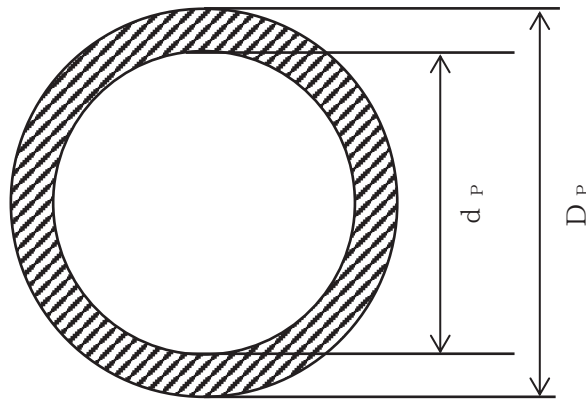


図 3-16 電動機台の断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi \cdot (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

- ・ 電動機台上端部から電動機下部軸受部のたわみ量  $y_2$

$$y_2 = \frac{M_b \cdot a_2^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_2^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_b = W' \cdot h_2'$$

ここで、電動機フレームの断面図を図 3-17 に示す。

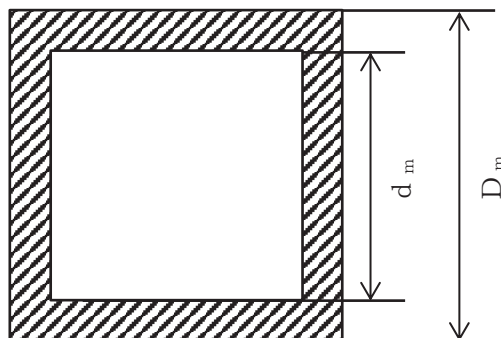


図 3-17 電動機フレームの断面図

四角形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m = \frac{D_m^4 - d_m^4}{12}$$

よって、電動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

ここで、電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図 3-18 に示す。

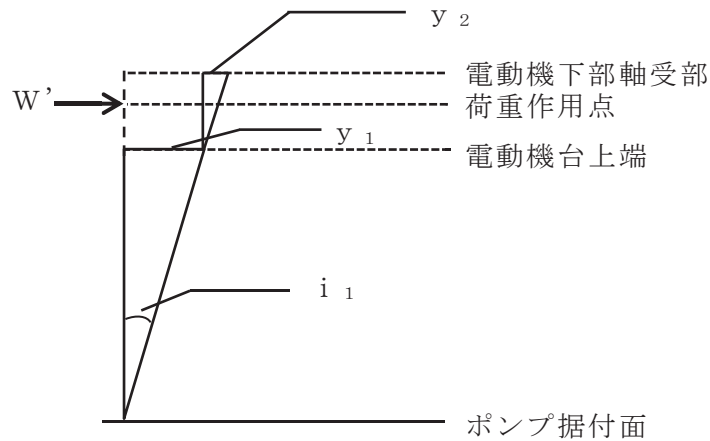


図 3-18 電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

(ロ) 電動機上部軸受部

- ・電動機台上端部から荷重作用点のたわみ量  $y_3$ ，傾斜  $i_3$

$$y_3 = \frac{M_c \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$i_3 = \frac{M_c \cdot a_3}{E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_c = W' \cdot h_3'$$

よって、荷重作用点のたわみ量  $y_4$ ，傾斜  $i_4$

$$y_4 = y_1 + y_3$$

$$i_4 = i_1 + i_3$$

荷重作用点から電動機上部軸受部のたわみ量  $y_5$

$$y_5 = x \cdot \sin(i_4)$$

以上より，電動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_4 + y_5$$

ここで，電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図 3-19 に示す。

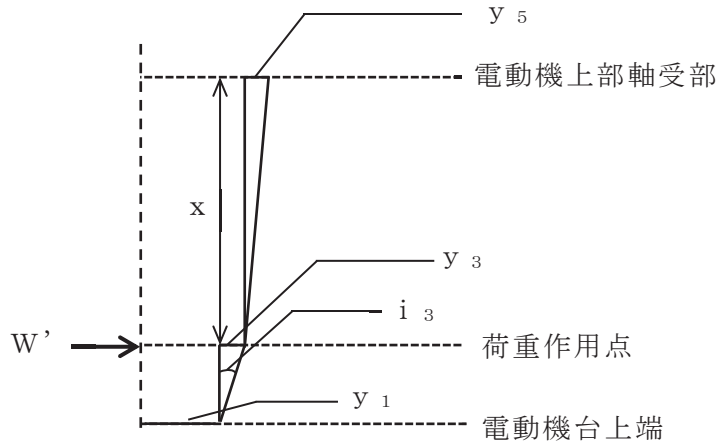


図 3-19 電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

ロ. 発生荷重の算出

軸受部において，フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し，発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重 $W''$  は次式より計算する。

$\delta$  = 評価対象部位の変位量 - 支点の変位量

また，発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

(イ) 電動機下部軸受部の発生荷重

$$W_a'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'^3}$$

ここで， $\delta_a = y_a$

回転子（電動機部）の断面図を図3-20に示す。



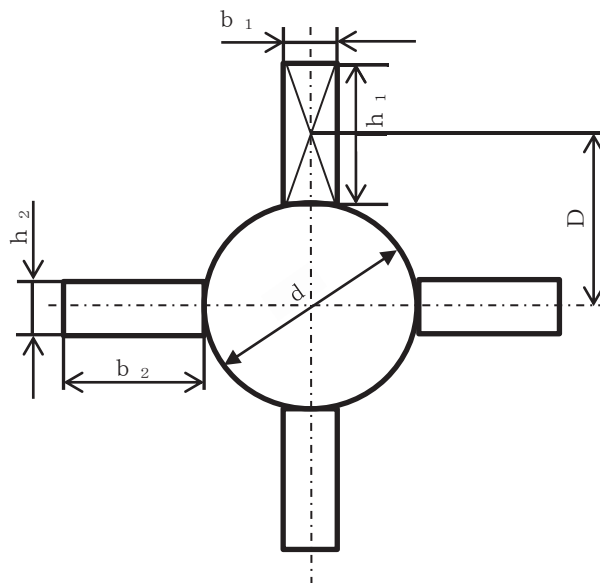


図 3-20 回転子（電動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_{m'} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} + 2 \cdot \left\{ D^2 \cdot b_1 \cdot h_1 + \left( \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} \right) \right\} + 2 \cdot \left( \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} \right)$$

(ロ) 電動機上部軸受部の発生荷重

$$W_b'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_{m'} \cdot \delta_b}{x_b'^3}$$

ここで、 $\delta_b = y_b - y_a$

4. 評価条件

(1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 評価条件

G (-)	q (MPa)	$\Delta P$ (MPa)	$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)	g ( $m/s^2$ )	$W_M$ (N)
1.0	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$	80	750	420	9.80665	0

表 4-2 評価条件 (電動機取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{12}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ
2.4	6900	4300	8	1220	7.25	M30

$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)	$A_b$ ( $mm^2$ )
80	750	420	706.9

表 4-3 評価条件 (ポンプ取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{11}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ
2.4	26300	4300	20	1600	12.63	M42

$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)	$A_b$ ( $mm^2$ )
80	750	420	1385

表 4-4 評価条件 (基礎ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$A_{11}$ ( $m^2$ )	$D_i$ (mm)	ボルト サイズ
2.4	28300	4300	12	12.63	1900	M48

N (rpm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
750	1810

表 4-5 評価条件（電動機フレーム）

C (-)	h (mm)	D (mm)	d (mm)	A <sub>12</sub> (m <sup>2</sup> )
2.4	825			7.25

表 4-6 評価条件（主回路用端子箱取付ボルト）

C (-)	A <sub>13</sub> (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	m (kg)	n <sub>i</sub> * (-)
2.4	0.1980	M12	113.1	100	10 (3)

L <sub>H</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
245	560

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-7 評価条件（空気冷却器取付ボルト）

C (-)	A <sub>14</sub> (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	m* <sup>1</sup> (kg)	n <sub>i</sub> * <sup>2</sup> (-)
2.4	2.403	M12	113.1	670	17 (7)

L <sub>H</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
322.5	800

注記 \*1 : 上載する外扇カバーの重量を含む

\*2 : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-8 評価条件（外扇カバー取付ボルト）

C (-)	A <sub>15</sub> (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub> * (-)	L <sub>H</sub> (mm)
2.4	2.813	M12	113.1	14 (4)	562.5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

L <sub>1</sub> (mm)
840

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

(2) 動的機能維持評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-9～表 4-15 に示す。

表 4-9 評価条件 (たわみ量の算出)

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	G (-)	q (MPa)	Δ P (MPa)
2.4	12.63	1	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$

表 4-10 評価条件 (電動機下部軸受部 (たわみ量の算出))

変位量計算モデル の材質	温度 (°C)	W <sub>M</sub> (N)	h <sub>1</sub> ' (mm)	h <sub>2</sub> ' (mm)	a <sub>1</sub> (mm)
SM400A	40	0	375	205	2150
SS400	155				

a <sub>2</sub> (mm)	E <sub>p</sub> (MPa)	I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )	E <sub>m</sub> (MPa)	I <sub>m</sub> (mm <sup>4</sup> )
170	202000	$1.598 \times 10^{10}$	195000	$5.840 \times 10^9$

表 4-11 評価条件 (電動機下部軸受部 (発生荷重の算出))

発生荷重計 算モデルの 材質	温度 (°C)	E <sub>m</sub> ' (MPa)	I <sub>m</sub> ' (mm <sup>4</sup> )	x <sub>a</sub> ' (mm)	δ <sub>a</sub> (mm)
S35C	155	193000	$3.562 \times 10^8$	1945	0.3040

表 4-12 評価条件 (電動機上部軸受部 (たわみ量の算出))

変位量計算モ デルの材質	温度 (°C)	W <sub>M</sub> (N)	h <sub>3</sub> ' (mm)	a <sub>3</sub> (mm)	E <sub>m</sub> (MPa)
SS400	155	0	0	375	195000

$I_m$ ( $\text{mm}^4$ )
$5.840 \times 10^9$

表 4-13 評価条件（電動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算 モデルの材質	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$E_m'$ (MPa)	$I_m'$ ( $\text{mm}^4$ )	$x_b'$ (mm)	$\delta_b$ (mm)
S35C	155	193000	$3.562 \times 10^8$	1840	0.3959

## 5. 強度評価結果

### (1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材 の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
原子炉補機冷却海水ポンプ		1.0	貫通しない

### (2) 構造強度評価結果

#### a. 電動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

電動機取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5-3 評価結果（電動機取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	50	488
せん断	26	375
組合せ	50	488

b. ポンプ取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ポンプ取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果（ポンプ取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	22	488
せん断	9	375
組合せ	22	488

c. 基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	19	488
せん断	11	375
組合せ	19	488

d. 電動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

電動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（電動機フレーム）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	10	237

e. 主回路用端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

主回路用端子箱取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（主回路用端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	6	153
せん断	5	118
組合せ	6	153

f. 空気冷却器取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

空気冷却器取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-8 評価結果（空気冷却器取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	26	153
せん断	27	118
組合せ	26	153

g. 外扇カバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

外扇カバー取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-9 評価結果（外扇カバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	77	153
せん断	33	118
組合せ	77	153

(3) 動的機能維持評価結果

a. 電動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

電動機下部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-10 評価結果（電動機下部軸受部）

発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
$8.512 \times 10^3$	

b. 電動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-11 に示す。

電動機上部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-11 評価結果（電動機上部軸受部）

発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
$1.309 \times 10^4$	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



VI-3-別添 1-1-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの  
強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	16
3.5 評価方法	18
4. 評価条件	31
5. 強度評価結果	34

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプが竜巻時及び竜巻通過後においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

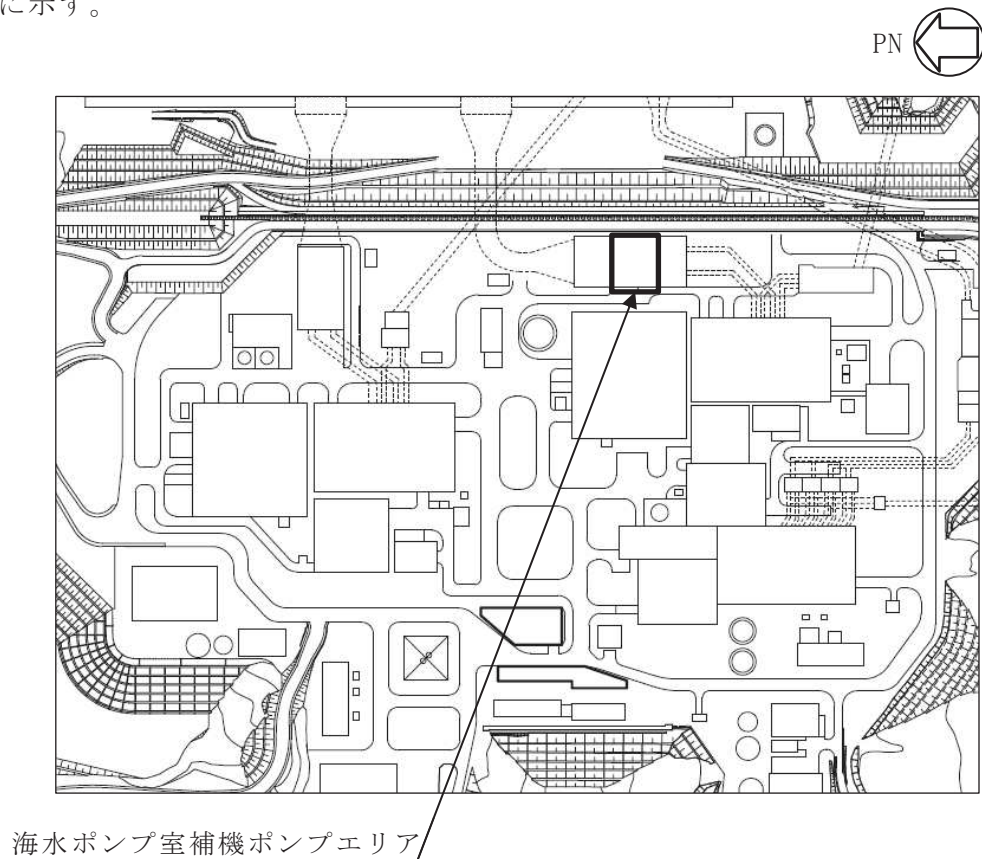


図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、ポンプ据付面から電動機台までのポンプ部と、電動機台より上部の電動機部からなる立型ポンプである。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの形状は、円筒形を基本としたフレームに、主回路用端子箱等が付加された形態である。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの概要図を図2-2に示す。

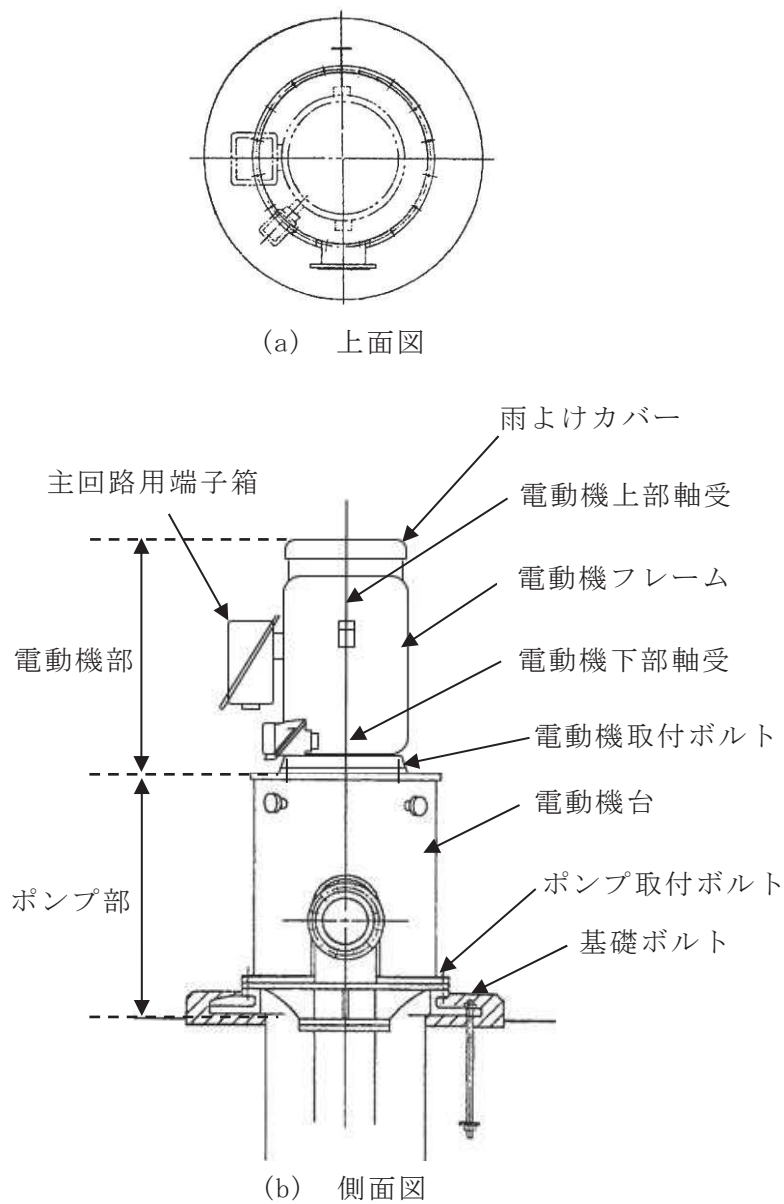


図 2-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの概要図

### 2.3 評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。

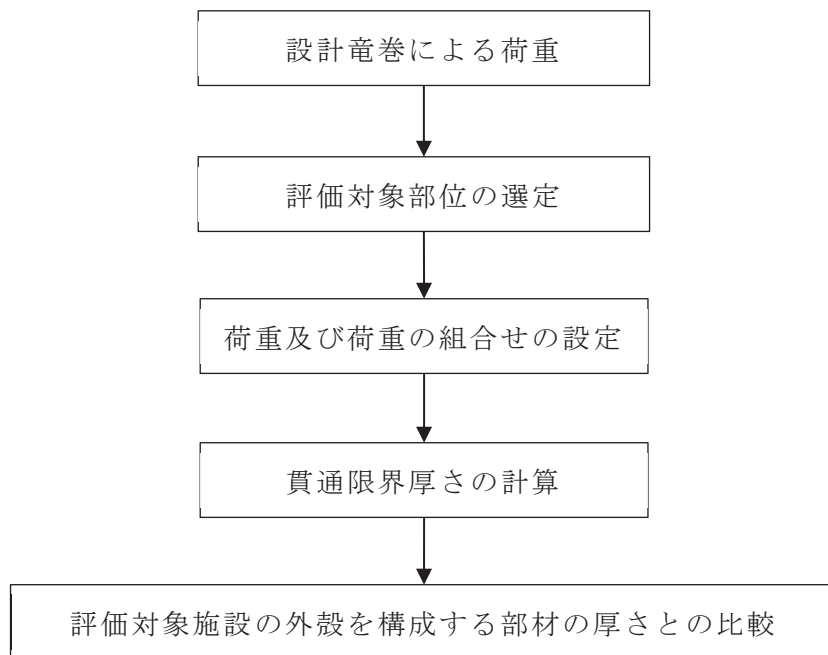


図 2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対して、設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す評価式を用いる。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

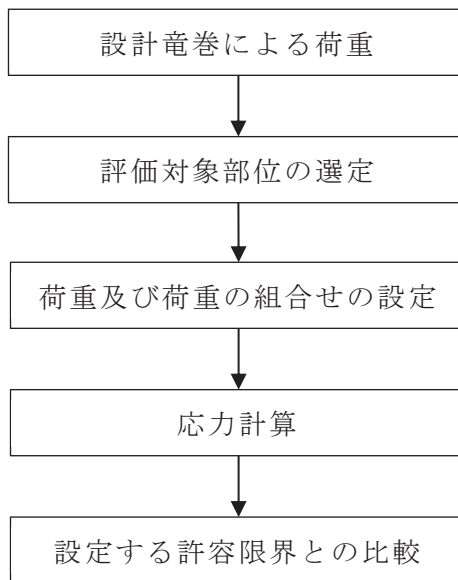


図2-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価フロー

(3) 動的機能維持評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フローを図 2-5 に示す。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは動的機器であるため、構造強度評価に加え、軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し、設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下であることを確認する。動的機能維持評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方法」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

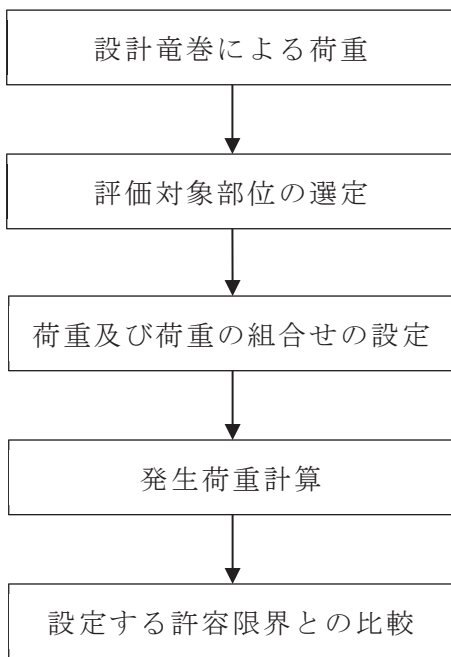


図2-5 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「タービンミサイル評価について」（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」（（社）日本電気協会）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」（（社）日本電気協会）

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」( (社) 日本電気協会)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」( (社) 日本機械学会 (以下「設計・建設規格」という。))
- ・「新版機械工学便覧」(1987年4月 日本機械学会編)
- ・日本産業規格 ( J I S )

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

##### (2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表3-2及び表3-3に示す。



表3-2 構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>11</sub>	m <sup>2</sup>	電動機台及び電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>12</sub>	m <sup>2</sup>	電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>13</sub>	m <sup>2</sup>	主回路用端子箱の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>14</sub>	m <sup>2</sup>	ファンカバーの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>p</sub>	—	ポンプ振動による震度
D	mm	電動機フレーム外径
D <sub>i</sub>	mm	ボルトのピッチ円の直径
d	mm	電動機フレーム内径
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>bi</sub>	N	ボルトに作用する引張力
f <sub>b</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力
f <sub>s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	N	自重による荷重
H <sub>P</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
H <sub>M</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機フレーム高さ
h	mm	重心と支点間の距離
h <sub>p</sub>	μm	予想最大全振幅
L <sub>1</sub>	mm	支点と評価ボルト間の距離
L <sub>H</sub>	mm	基準面から重心位置までの距離

表3-2 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
M	N・mm	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
$M_p$	N・mm	ポンプの回転により働くモーメント
$M_s$	kg	ポンプスラスト
m	kg	質量
$m_i$	kg	ボルトに加わる機器質量
N	rpm	回転数 (同期)
$n_i$	—	ボルトの本数
P	kW	ポンプ出力
$Q_{bi}$	N	ボルトに働くせん断力
q	MPa	設計用速度圧
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T1}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1} = W_P$ )
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W_M$	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	N	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_W$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\sigma$	MPa	電動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{bi}$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\tau$	MPa	せん断応力
$\tau_{bi}$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

表3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
a	mm	部材間の長さ
a <sub>1</sub>	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの長さ
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	回転子コア径
D <sub>p</sub>	mm	電動機台外径
d <sub>p</sub>	mm	電動機台内径
E	MPa	縦弾性係数
E <sub>p</sub>	MPa	電動機台の縦弾性係数
E <sub>m</sub> '	MPa	回転子の縦弾性係数
G	—	ガスト影響係数
h'	mm	基準点から荷重作用点までの距離
h <sub>1</sub> '	mm	電動機台上端から荷重作用点までの距離
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
I <sub>m</sub> '	mm <sup>4</sup>	回転子の断面二次モーメント
I <sub>p</sub>	mm <sup>4</sup>	電動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i <sub>1</sub>	rad	ポンプ据付面から荷重作用点の傾斜
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M <sub>a</sub>	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
q	MPa	設計用速度圧
W <sub>T</sub>	N	設計竜巻による複合荷重
W <sub>T2</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 (W <sub>T2</sub> = W <sub>w</sub> + 0.5・W <sub>p</sub> + W <sub>M</sub> )
W'	N	たわみ量及び発生荷重計算における設計竜巻による複合荷重
W''	N	発生荷重
W <sub>a</sub> ''	N	電動機下部軸受部の発生荷重
W <sub>b</sub> ''	N	電動機上部軸受部の発生荷重
W <sub>M</sub>	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W <sub>p</sub>	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W <sub>w</sub>	N	設計竜巻の風圧力による荷重
x'	mm	評価対象部位から支点までの距離
x <sub>1</sub>	mm	荷重作用点から電動機下部軸受部までの距離

表3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$x_2$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までの距離
$x_{a'}$	mm	ポンプ上部軸受部から電動機下部軸受部までの距離
$x_{b'}$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までの距離
$y$	mm	たわみ量
$y_1$	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までのたわみ量
$y_2$	mm	荷重作用点から電動機下部軸受部のたわみ量
$y_3$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までのたわみ量
$y_a$	mm	電動機下部軸受部のたわみ量
$y_b$	mm	電動機上部軸受部のたわみ量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\delta$	mm	評価対象部位から支点までの変位量

### 3.2 評価対象部位

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる主回路用端子箱及びファンカバーを選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

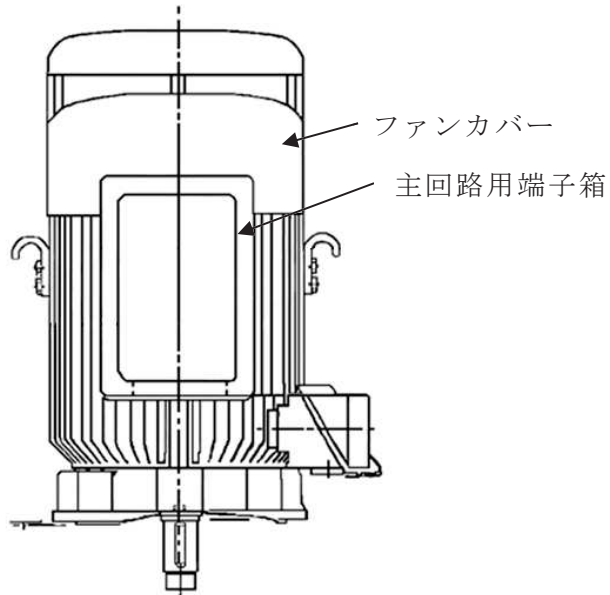


図3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(2) 構造強度評価の評価対象部位

a. ポンプ部

ポンプ部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して、基礎面及び電動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・電動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・基礎ボルト

b. 電動機部

電動機部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び付属品に作用し、電動機フレーム及び付属品を介して、付属品の取付部を固定するボルトに作用する。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・電動機フレーム
- ・主回路用端子箱取付ボルト
- ・ファンカバー取付ボルト

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における評価対象部位を図3-2、図3-3に示す。

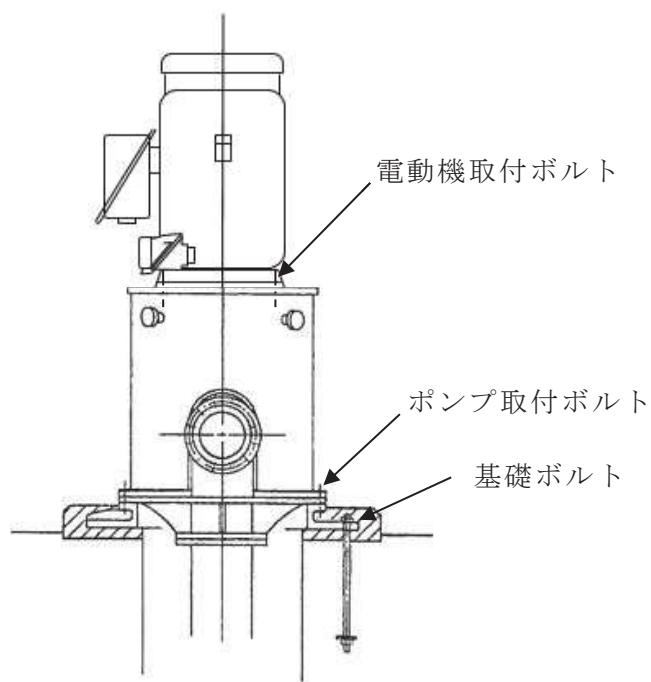


図 3-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価部位図（ポンプ部）

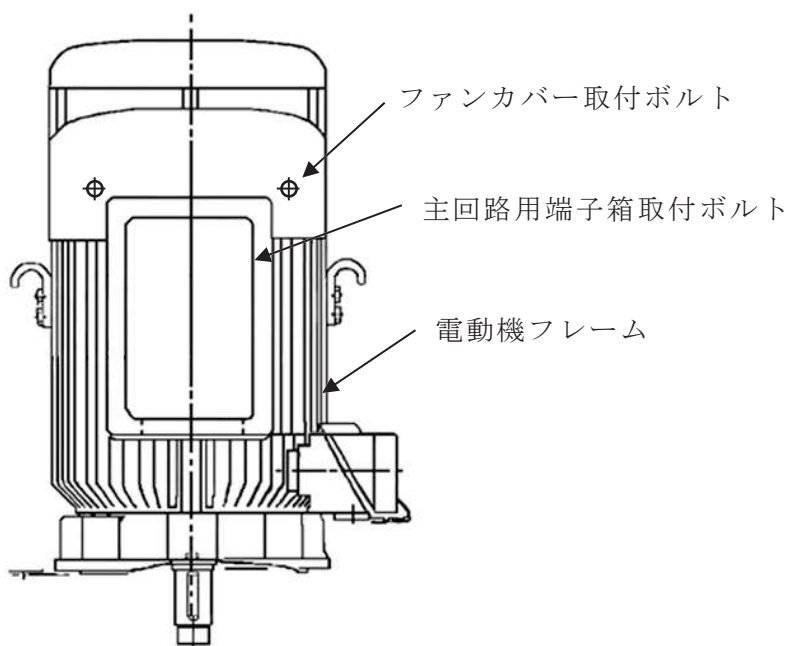


図 3-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価部位図（電動機部）

(3) 動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に設計竜巻による荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

- ・ 電動機下部軸受部
- ・ 電動機上部軸受部

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-4 に示す。

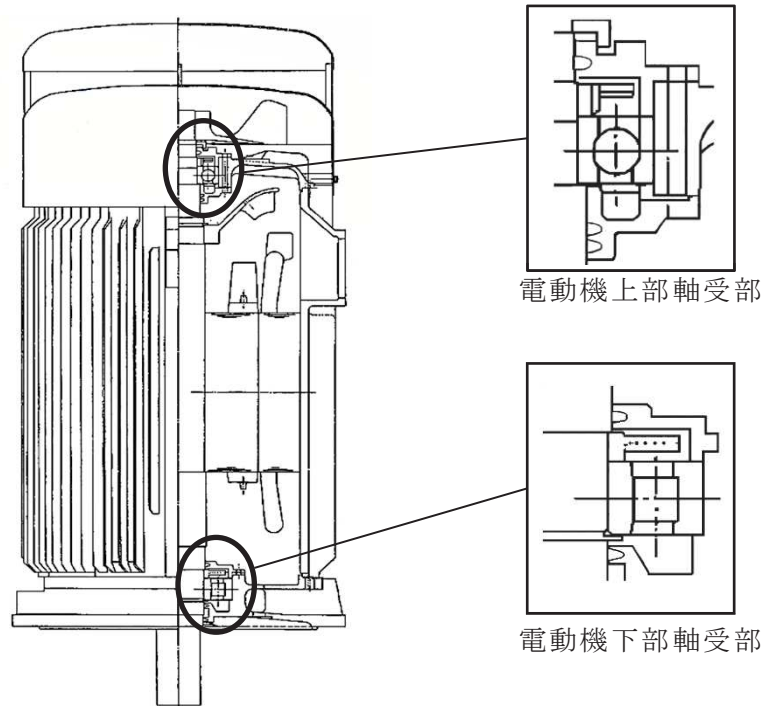


図 3-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法 40mm）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-4、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表3-5に示す。

表3-4 砂利の設計飛来物

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表3-5 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ	・主回路用端子箱 ・ファンカバー	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重を以下に示す。

(a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重  $W_p$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$



#### ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため、複合荷重の選定において、 $W_{T2}$  としては気圧差を考慮するが、 $W_{T1}$  の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

#### (c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、鉛直下向きに作用するポンプラスト荷重を考慮する。

#### b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重	
屋外の外部 事象防護対 象施設	高圧炉心ス プレイ補機 冷却海水ポ ンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	電動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				ポンプ取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
			電動機部	電動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				主回路用端子箱 取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
				ファンカバー取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
		動的 機能 維持 評価	電動機上部軸受部		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			電動機下部軸受部		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重

### 3.4 許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さ、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力及び軸受部の接触面圧の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表3-7に示す。

表3-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	

(2) 構造強度評価における許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態 III<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。なお、設計・建設規格 付録材料図表Part5の表に記載のない材料を用いている場合は、J I S G 5 5 0 1 (1995)「ねずみ鋳鉄品」(以下「J I S G 5 5 0 1」という。)の値を準用するものとする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界を表3-8、許容応力を表3-9に示す。

表3-8 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
ボルト	III <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min}(1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau))$
電動機フレーム	III <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	$1.5 f_b$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-9 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材質	温度条件 [°C]	S <sub>y</sub> [MPa]	S <sub>u</sub> [MPa]	F [MPa]	1.5 f <sub>t</sub> [MPa]	1.5 f <sub>s</sub> [MPa]	1.5 f <sub>b</sub> [MPa]
電動機取付ボルト	SNCM439	40* <sup>1</sup>	885	980	686	514	396	-
ポンプ取付ボルト	SNCM439	40* <sup>1</sup>	885	980	686	514	396	-
基礎ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	-
電動機フレーム	FC150* <sup>2</sup>	-	-	130	91	-	-	105
主回路用端子用箱 取付ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	-
ファンカバー取付 ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	-

注記 \*1: 周囲環境温度

\*2: J S M E 付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料であるため, J I S G 5 5 0 1 の値を準用するものとする。

(3) 動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は, 設計荷重により電動機フレームが変形する場合においても高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの運転継続が可能であるように, 軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受部の接触面圧の許容荷重を表3-10に示す。

表3-10 軸受部の接触面圧の許容荷重

評価部位	許容荷重(N)
電動機上部軸受部	
電動機下部軸受部	

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの衝突評価は, 添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを, 「タービンミサイル評価について(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)」で用いられているBRL式を用いて算出する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」にて設定している評価式を用いる。

a. 計算モデル

(a) 構造強度評価

計算モデルは1質点系モデルとし、ポンプ部は全高の1/2の位置に、電動機部は風圧力による荷重の作用中心に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び電動機部の応力の計算モデル図を図3-5及び図3-6に示す。

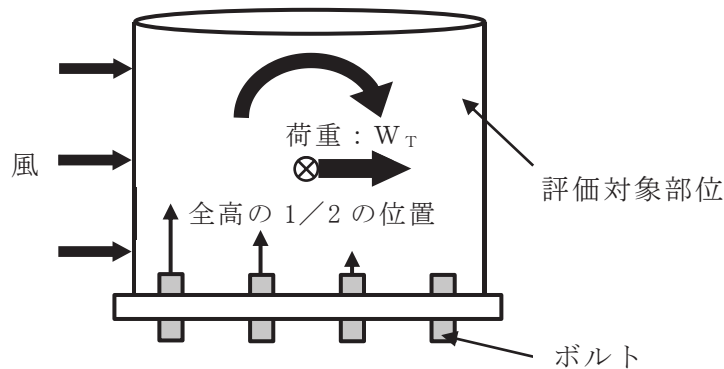


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

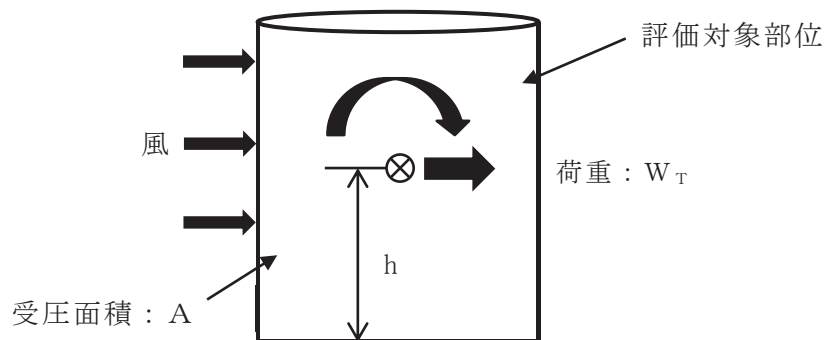


図 3-6 応力の計算モデル図 (電動機部)

(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の電動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から電動機台上端まで（ポンプ部）と、電動機台上端から電動機まで（電動機部）の片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は電動機台の断面性能を一樣に有する単純円筒形モデルとして評価し、電動機部については電動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-7に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体（電動機フレーム等）は、水平方向の複合荷重により、ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方、回転体（ポンプ軸及び電動機軸）は、風荷重を受けないため、変形せず、電動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態を維持する。電動機フレーム等の変形により、軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

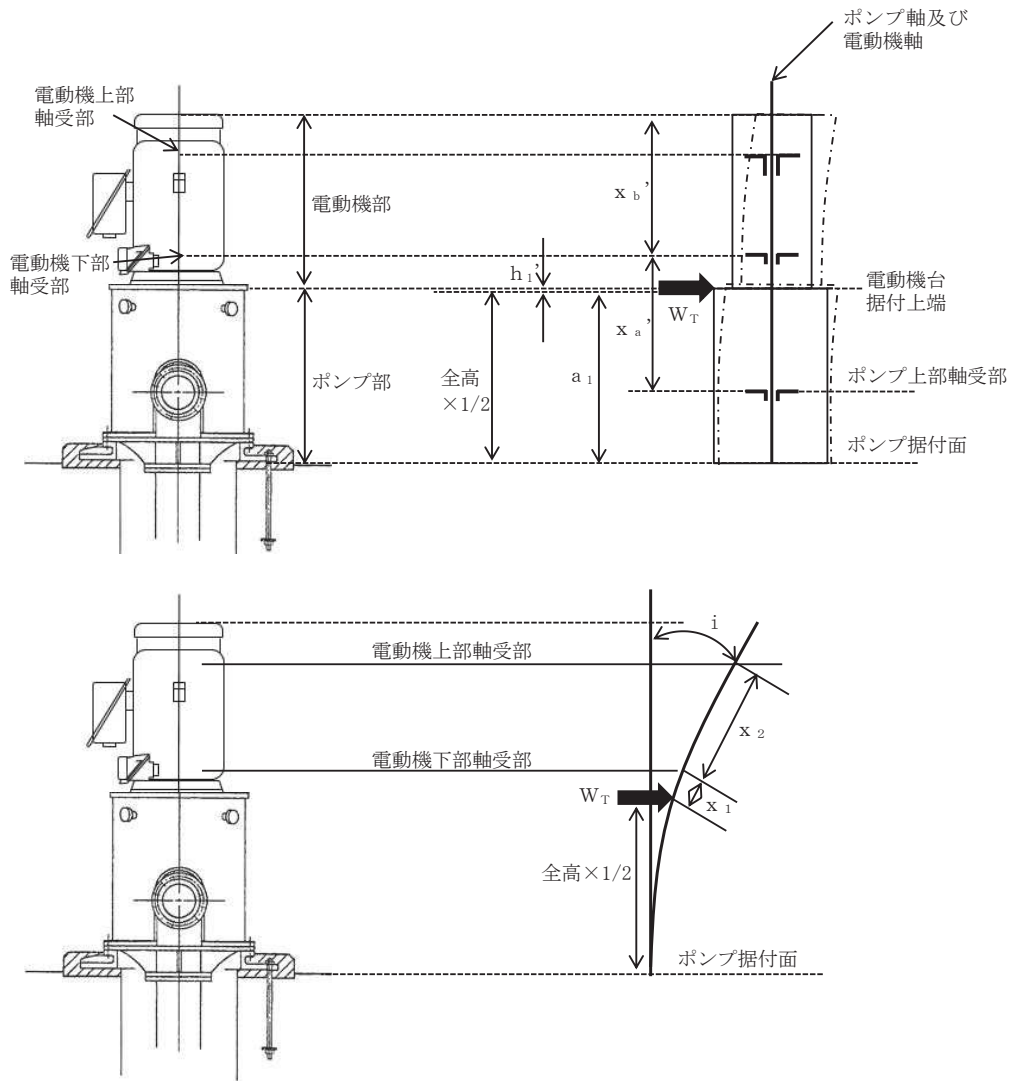


図 3-7 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部 (ボルト部)

電動機取付ボルト, ポンプ取付ボルト及び基礎ボルトの配置図を図 3-8 ~ 図 3-10 に示す。

(イ) 風による転倒モーメント  $M$

$$M = W_T \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2}$$

(ロ) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{W_{T2} \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2} - (m_i + M_s) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ここで、ポンプ振動による震度  $C_p$  は、

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ただし、 $F_{bi} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bi} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(ハ) せん断応力  $\tau_{bi}$

【電動機取付ボルト及びポンプ取付ボルト】

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + \frac{2 \cdot M_p}{D_i}}{n_i \cdot A_b}$$

ここで、ポンプの回転により働くモーメント  $M_p$  は

$$M_p = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P$$

【基礎ボルト】

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_b}$$



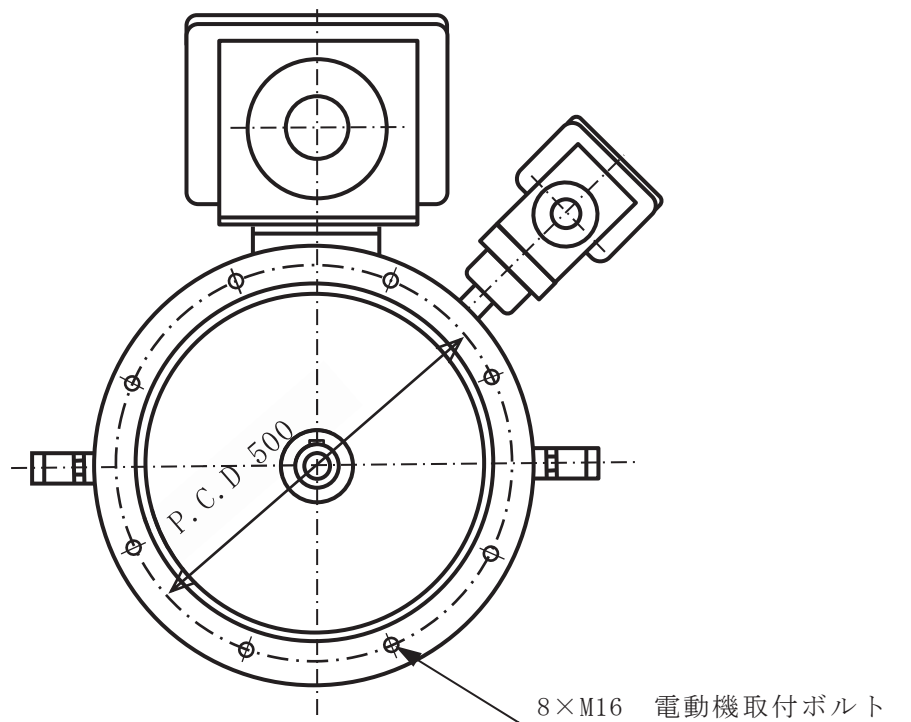


図 3-8 電動機取付ボルトの配置図

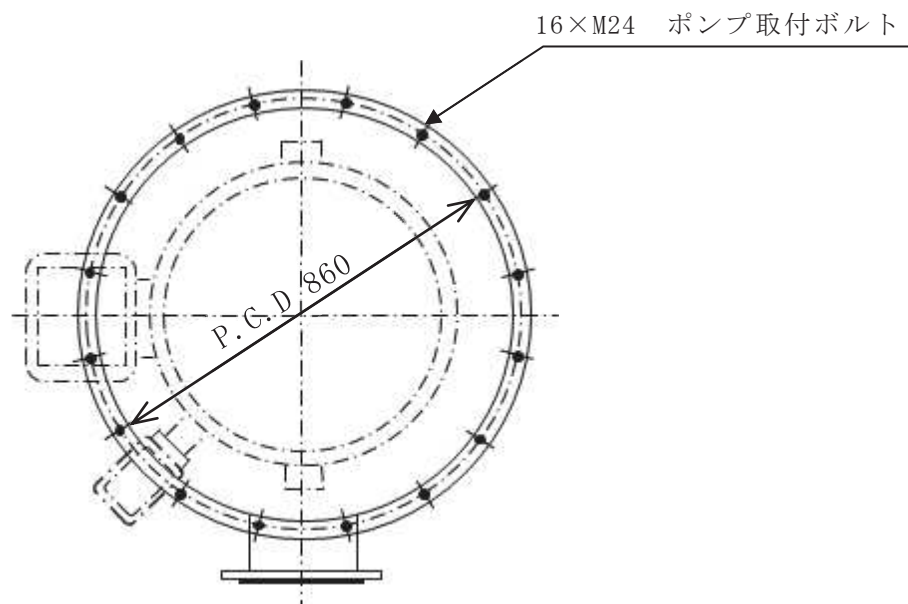


図 3-9 ポンプ取付ボルトの配置図

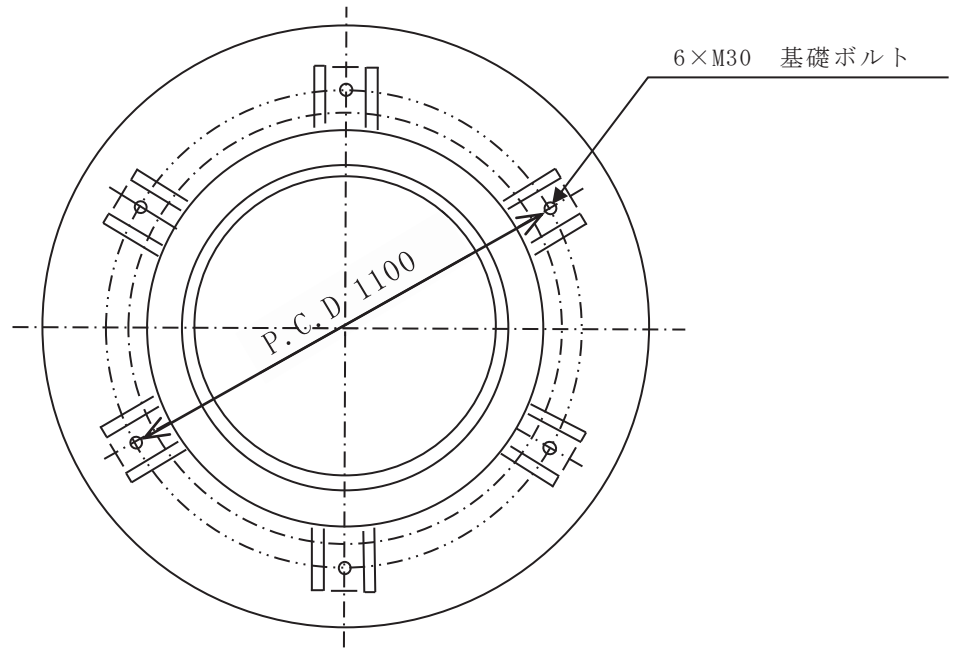


図 3-10 基礎ボルトの配置図

ロ. 電動機部

電動機フレーム，主回路用端子用箱取付ボルト部及びファンカバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-13に示す。

(イ) 電動機フレーム

電動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・ 曲げ応力

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h$$

(ii) 曲げ応力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

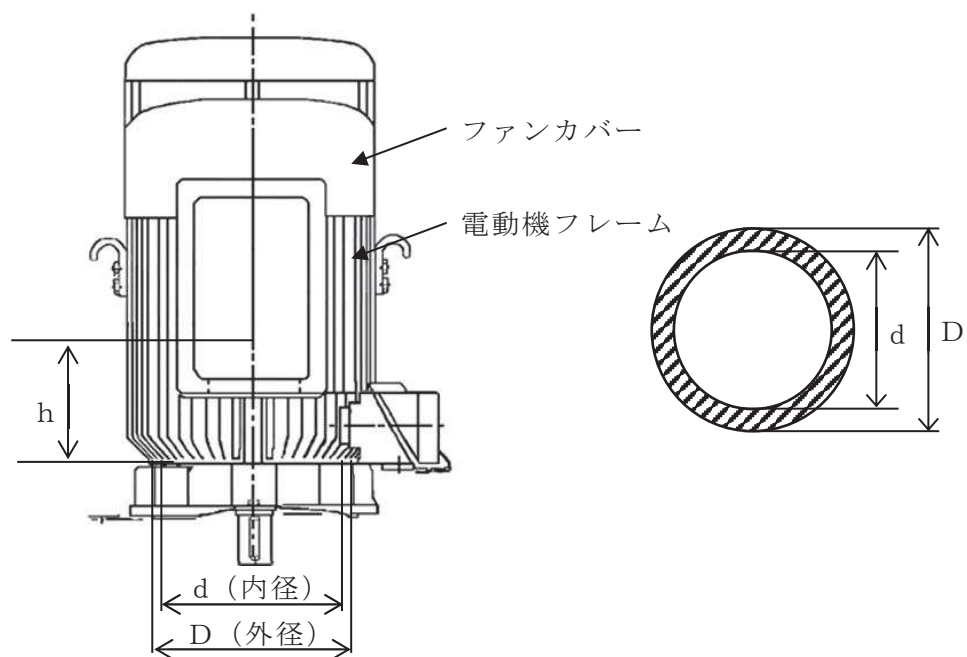


図 3-11 電動機フレーム詳細図

(ロ) 主回路用端子箱取付ボルト部，ファンカバー取付ボルト部  
 主回路用端子箱取付ボルト部及びファンカバー取付ボルトの応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

(i) 風圧力及び自重に生じる曲げモーメントM

$$M = (W_T + H) \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_b \cdot n_i}$$

ここで，

$$Q_{bi} = W_T + H$$

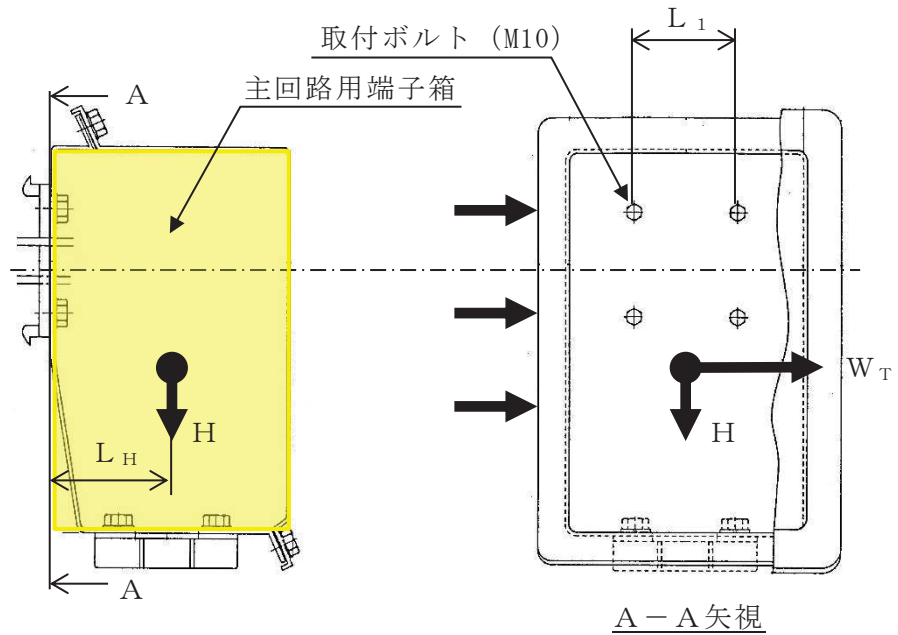


図 3-12 主回路用端子箱ボルト部詳細図

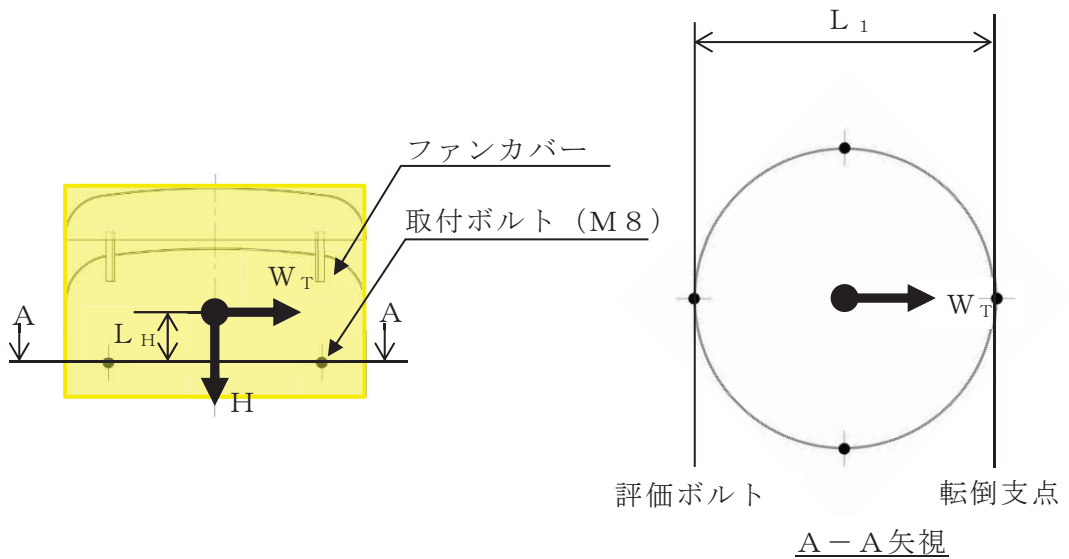


図 3-13 ファンカバー取付ボルト部詳細図

(b) 発生荷重の計算

イ. たわみ量の計算

たわみ量の算出において、設計竜巻による風圧力を受ける面は風の影響を受ける面積が大きい電動機台、電動機フレーム、主回路用端子箱及びファンカバーとし、水平荷重 $W'$ は電動機台、電動機フレーム、主回路用端子箱及びファンカバーに発生する水平荷重を包絡するような面積を設定し算出する。

$$W' = W_{T2}$$

風による水平荷重の受圧面積を図 3-14 に示す。

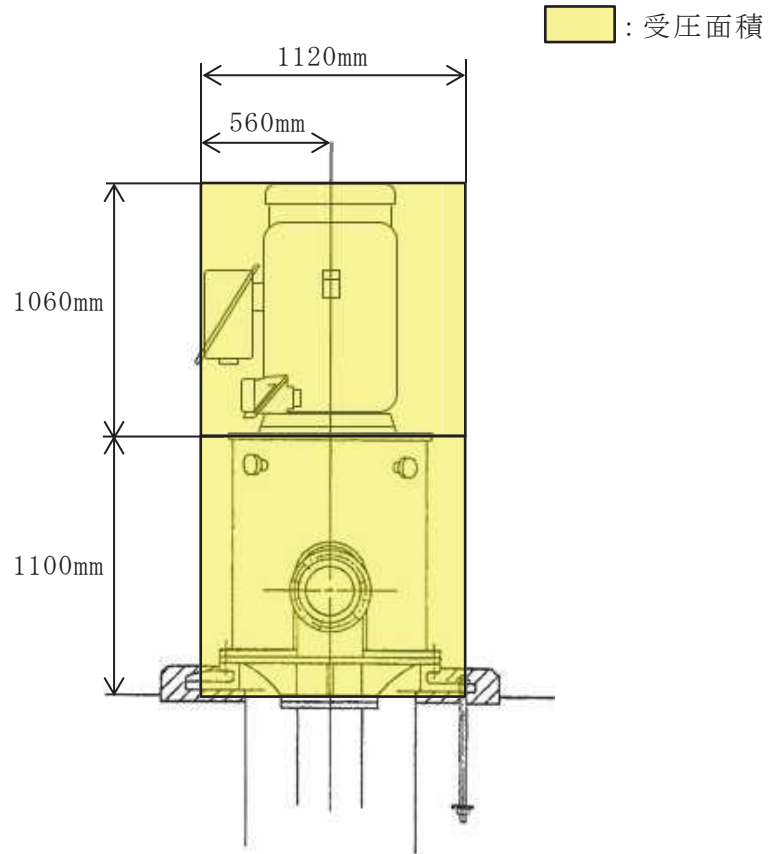


図 3-14 風による水平荷重の受圧面積

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量  $y$  と傾斜  $i$  を算出する。なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(イ) 電動機下部軸受部

・ポンプ据付面から荷重作用点のたわみ量  $y_1$ ，傾斜  $i_1$

$$y_1 = \frac{M_a \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^3}{3 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$i_1 = \frac{M_a \cdot a_1}{E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$M_a = W' \cdot h_1'$$

ここで、電動機台の断面図を図3-15に示す。

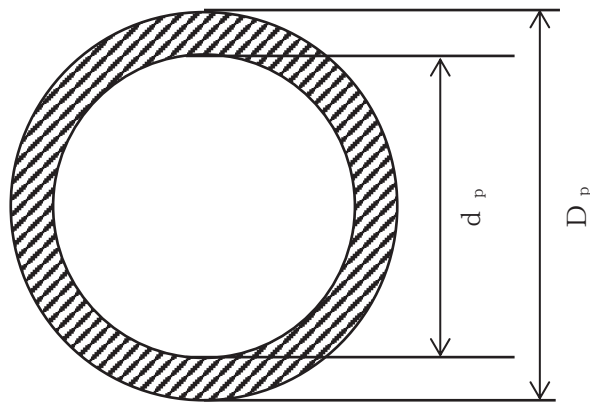


図 3-15 電動機台の断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi \cdot (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

・荷重作用点から電動機下部軸受部のたわみ量  $y_2$

$$y_2 = x_1 \cdot \sin(i_1)$$

以上より、電動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

ここで、電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図3-16に示す。

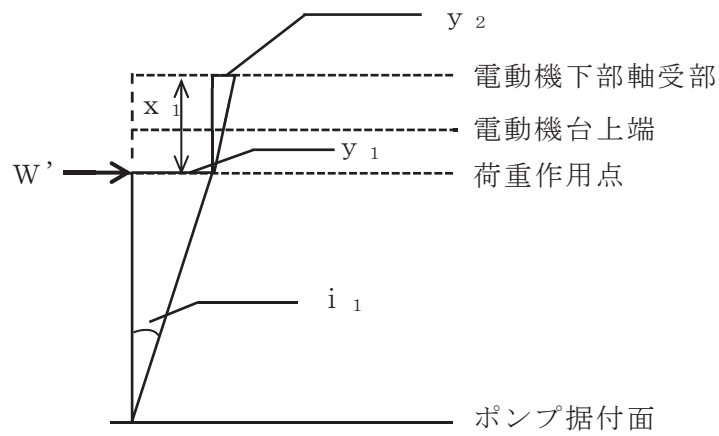


図3-16 電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

(ロ) 電動機上部軸受部

- ・ 電動機下部軸受部から電動機上部軸受部のたわみ量  $y_3$

$$y_3 = x_2 \cdot \sin(i_1)$$

以上より、電動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_a + y_3$$

ここで、電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図3-17に示す。

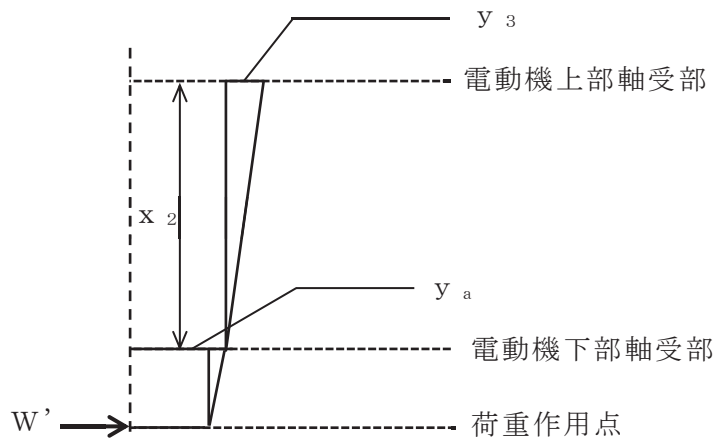


図3-17 電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

ロ. 発生荷重の算出

軸受部において、フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し、発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重  $W''$  は次式より計算する。

$\delta$  = 評価対象部位の変位量 - 支点の変位量

また、発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'{}^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'{}^3}$$

(イ) 電動機下部軸受部の発生荷重

$$W_a'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'{}^3}$$

ここで、 $\delta_a = y_a$

回転子（電動機部）の断面図を図3-18に示す。

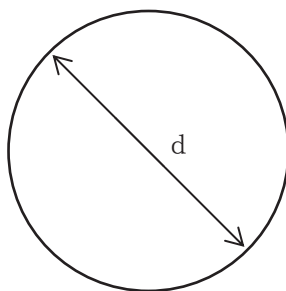


図3-18 回転子（電動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m' = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

(ロ) 電動機上部軸受部の発生荷重

$$W_b'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b'{}^3}$$

ここで、 $\delta_b = y_b - y_a$



#### 4. 評価条件

##### (1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-7 に示す。

表 4-1 評価条件

G (-)	q (MPa)	$\Delta P$ (MPa)	$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)
1.0	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$	60	1500	60

$W_M$ (N)	g ( $m/s^2$ )
0	9.80665

表 4-2 評価条件 (電動機取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{12}$ ( $m^2$ )
1.2	800	2100	8	500	1.187

$H_M$ (mm)	$A_b$ ( $mm^2$ )	ボルト サイズ
1060	201.1	M16

表 4-3 評価条件 (ポンプ取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{11}$ ( $m^2$ )
1.2	5385	2100	16	860	2.419

$H_M$ (mm)	$H_P$ (mm)	$A_b$ ( $mm^2$ )	ボルト サイズ
1060	1100	452.4	M24

表 4-4 評価条件（基礎ボルト）

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$A_{11}$ ( $m^2$ )	$D_i$ (mm)
1.2	5785	2100	6	2.419	1100

$H_M$ (mm)	$H_P$ (mm)	$A_b$ ( $mm^2$ )	ボルト サイズ
1060	1100	706.9	M30

表 4-5 評価条件（電動機フレーム）

C (-)	h (mm)	$A_{12}$ ( $m^2$ )	D (mm)	d (mm)
1.2	305.5	1.187		

表 4-6 評価条件（主回路用端子箱取付ボルト）

C (-)	$A_{13}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ	$A_b$ ( $mm^2$ )	m (kg)	$n_i^*$ (-)
2.4	0.1	M10	78.54	18	4 (2)

$L_H$ (mm)	$L_1$ (mm)
125	110

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-7 評価条件（ファンカバー取付ボルト）

C (-)	$A_{14}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ	$A_b$ ( $mm^2$ )	m (kg)	$n_i^*$ (-)
1.2	0.2063	M8	50.27	16	4 (1)

$L_H$ (mm)	$L_1$ (mm)
165.5	543

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 動的機能維持評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-8～表 4-12 に示す。

表 4-8 評価条件（たわみ量の算出）

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	G (-)	q (MPa)	Δ P (MPa)
1.2	2.419	1.0	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$

表 4-9 評価条件（電動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算 モデルの材質	温度 (°C)	q (MPa)	G (-)	Δ P (MPa)	W <sub>M</sub> (N)
SS400	40	$6.13 \times 10^{-3}$	1.0	$7.6 \times 10^{-3}$	0

h <sub>1</sub> ' (mm)	a <sub>1</sub> (mm)	E <sub>p</sub> (MPa)	I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )	x <sub>1</sub> (mm)	y <sub>a</sub> (mm)
20	1080	201000	$3.677 \times 10^9$	89.5	0.01776

表 4-10 評価条件（電動機下部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算 モデルの材質	温度 (°C)	E <sub>m</sub> ' (MPa)	I <sub>m</sub> ' (mm <sup>4</sup> )	x <sub>a</sub> ' (mm)
S40C	155	193000	$5.967 \times 10^6$	764.5

表 4-11 評価条件（電動機上部軸受部（たわみ量の算出））

q (MPa)	G (-)	Δ P (MPa)	W <sub>M</sub> (N)	x <sub>2</sub> (mm)	i <sub>1</sub> (rad)
$6.13 \times 10^{-3}$	1.0	$7.6 \times 10^{-3}$	0	680	$2.212 \times 10^{-5}$

表 4-12 評価条件（電動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モ デルの材質	温度 (°C)	E <sub>m</sub> ' (MPa)	I <sub>m</sub> ' (mm <sup>4</sup> )	x <sub>b</sub> ' (mm)
S40C	155	193000	$5.967 \times 10^6$	680

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ		1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 電動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

電動機取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 評価結果 (電動機取付ボルト)

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	2	514
せん断	10	396
組合せ	2	514

b. ポンプ取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ポンプ取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果（ポンプ取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	-*	514
せん断	4	396
組合せ	-	514

注記 \*： $F_{bi} \leq 0$  であるため引張応力は発生しない。

c. 基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	-*	153
せん断	7	118
組合せ	-	153

注記 \*： $F_{bi} \leq 0$  であるため引張応力は発生しない。

d. 電動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

電動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（電動機フレーム）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	2	105

e. 主回路用端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

主回路用端子箱取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（主回路用端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	15	153
せん断	7	118
組合せ	15	153

g. ファンカバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

ファンカバー取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-8 評価結果（ファンカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	15	153
せん断	13	118
組合せ	15	153

(3) 動的機能維持評価結果

a. 電動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-9 に示す。

電動機下部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-9 評価結果（電動機下部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
137.2	

b. 電動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

電動機上部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-10 評価結果（電動機上部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
165.1	

VI-3-別添 1-1-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系  
ストレーナの強度計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	12
4. 評価条件	15
5. 強度評価結果	16

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナが竜巻時及び竜巻通過後においても、海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。

海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

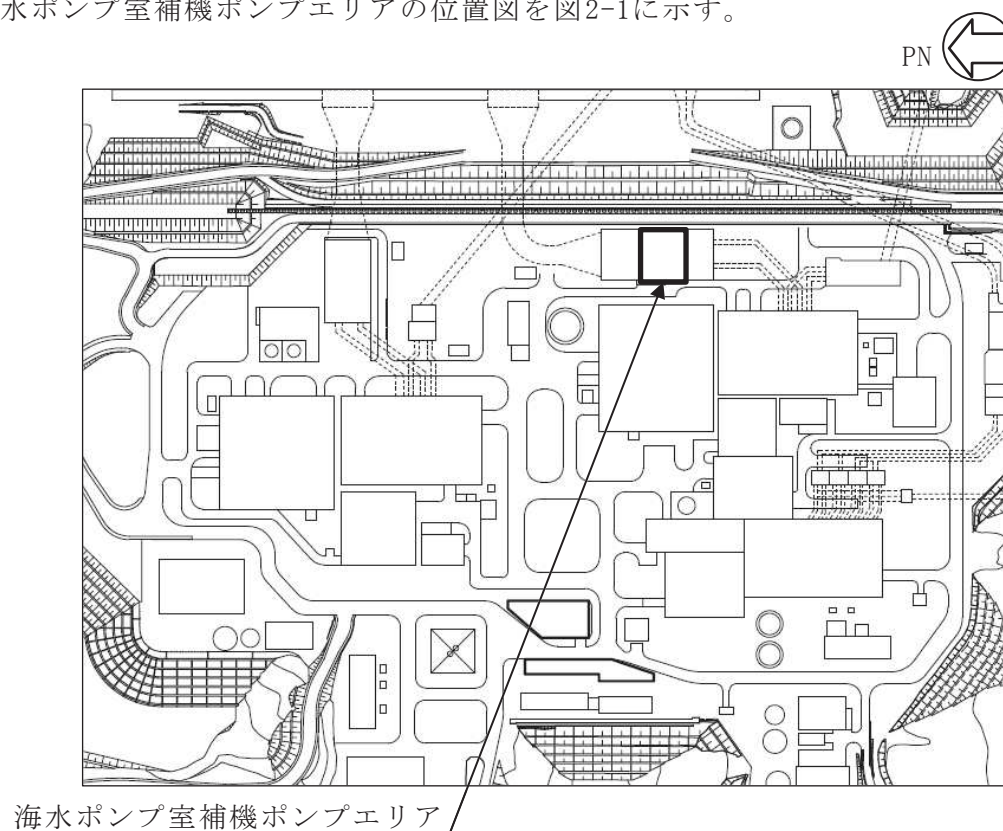


図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、鋼製の円筒形容器を主体構造とし、ストレーナの両端に接続する配管をサポートにより支持する構造であり、同一設計の高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナを2台設置している。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの概要図を図2-2に示す。

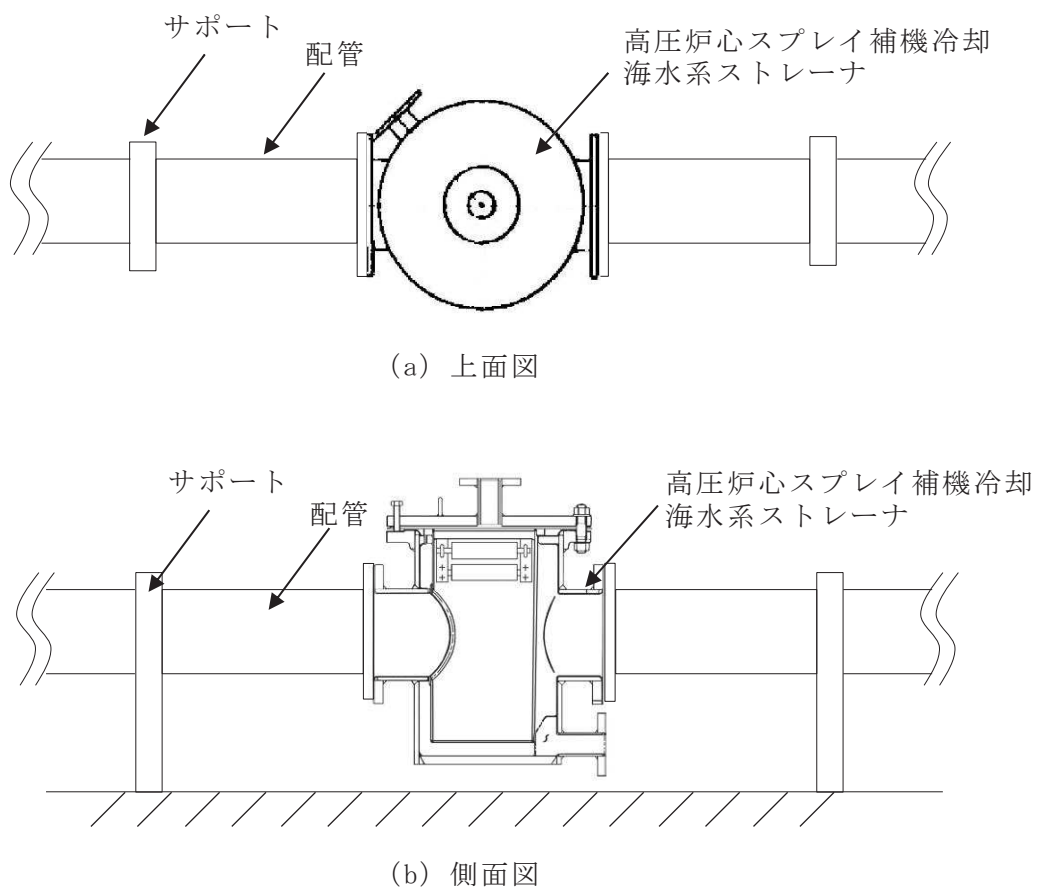


図 2-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの概要図

## 2.3 評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

(1) 衝突評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

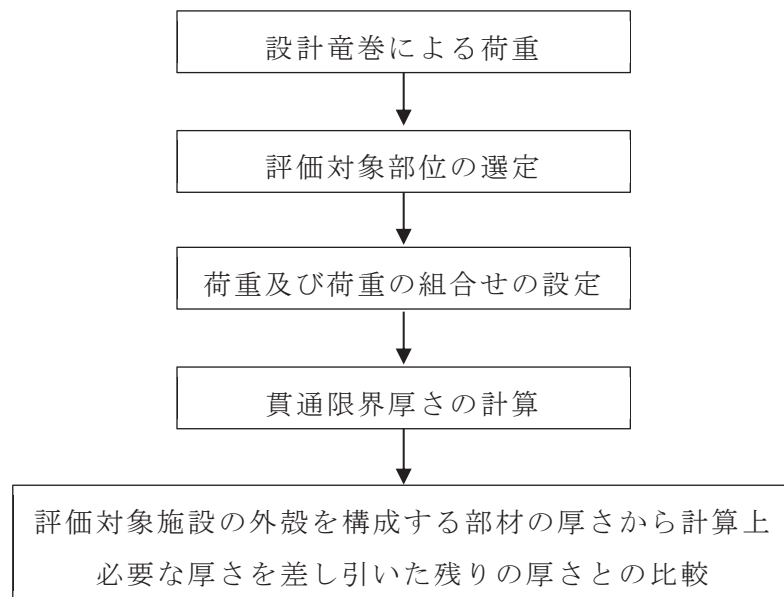


図2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに対して、設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す評価式を用いる。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」((社) 日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」((社) 日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」((社) 日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1」という。)の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

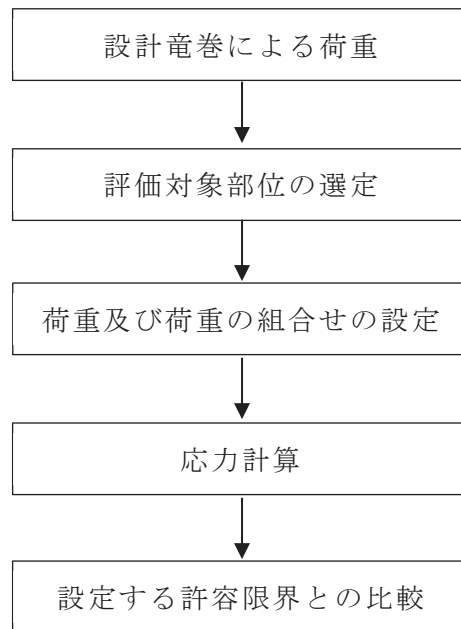


図2-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・「建築物荷重指針・同解説」((社) 日本建築学会, 2004改定)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」((社) 日本電気協会)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」

((社)日本機械学会(以下「設計・建設規格」という。))

- ・「新版機械工学便覧」(1987年4月 日本機械学会編)

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
$D_i$	mm	胴の内径
$d$	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
$K$	—	鋼板の材質に関する係数
$M$	kg	評価において考慮する飛来物の質量
$P$	MPa	最高使用圧力
$S$	MPa	許容引張応力
$T$	mm	鋼板の貫通限界厚さ
$t$	mm	胴の計算上必要な厚さ
$v$	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
$\eta$	—	継手効率

##### (2) 構造強度評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$A$	$m^2$	受圧面積(風向に垂直な面に投影した面積)
$A_1$	$m^2/m$	単位長さ当たりの配管の受圧面積(風向に垂直な面に投影した面積)
$A_2$	$m^2$	ストレーナの受圧面積(風向に垂直な面に投影した面積)
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$D$	mm	管外径
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度

表3-2 構造強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L	m	配管の支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg	質量
$m_1$	kg/m	単位長さ当たりの配管の質量
$m_2$	kg	ストレーナの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
S	MPa	許容引張応力
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
$W_M$	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	N	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_W$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T1}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1} = W_P$ )
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W_{W1}$	N/m	単位長さ当たりの配管が受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$W_{W2}$	N	ストレーナが受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$w_1$	N/m	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
$w_2$	N	ストレーナの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\pi$	—	円周率
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_1, \sigma_2$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1},$ $\sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
$\sigma_{W1}$	MPa	配管に生じる風圧力による応力
$\sigma_{W2}$	MPa	ストレーナに生じる風圧力による応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

### 3.2 評価対象部位

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として胴板を選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

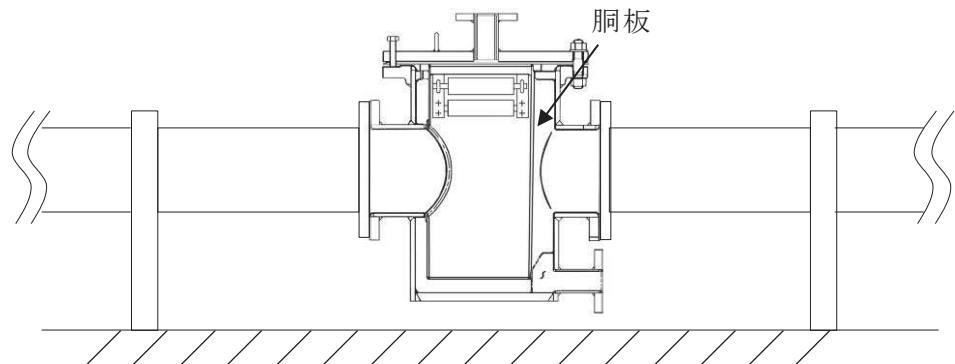


図 3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価の評価対象部位

#### (2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ本体及び接続する配管に作用する。設計竜巻による荷重により発生する応力は、胴板と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる配管を評価対象部位として選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。



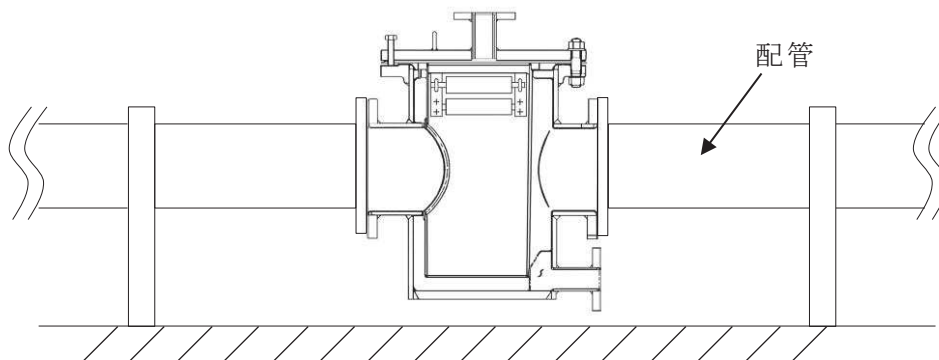


図 3-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法 40（mm））をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表3-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水系ストレーナ	胴板	飛来物による 衝撃荷重

#### (2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### (a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。  
 自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$\text{自重による荷重} = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。また、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 $W_w$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重 $W_p$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す評価方法に従って、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(2) 構造強度評価の評価方法」に示す。

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ )は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重として、内圧及び内包水の荷重を自重を含めて考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ設定する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水系ストレーナ	配管	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧

3.4 許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及び J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態 III<sub>A</sub>S の許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナにおける計算上必要な厚さは、設計・建設規格 PVC-3120（胴の厚さの規定）に基づき、以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	11.1	1.42	9.68

(2) 構造強度評価の許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、設計・建設規格付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における許容限界を表3-7、許容応力を表3-8に示す。

表3-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	許容限界
		一次応力 (膜+曲げ)
配管	Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>

表 3-8 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)
配管	STS410	50* <sup>1</sup>	239

注記 \*1: 最高使用温度

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

#### (2) 構造強度評価の評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管はサポートによって支持されており、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重及び受圧面積を考慮した風圧力による荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重については、配管に集中荷重として作用するものとする。評価モデル図を図3-3に示す。

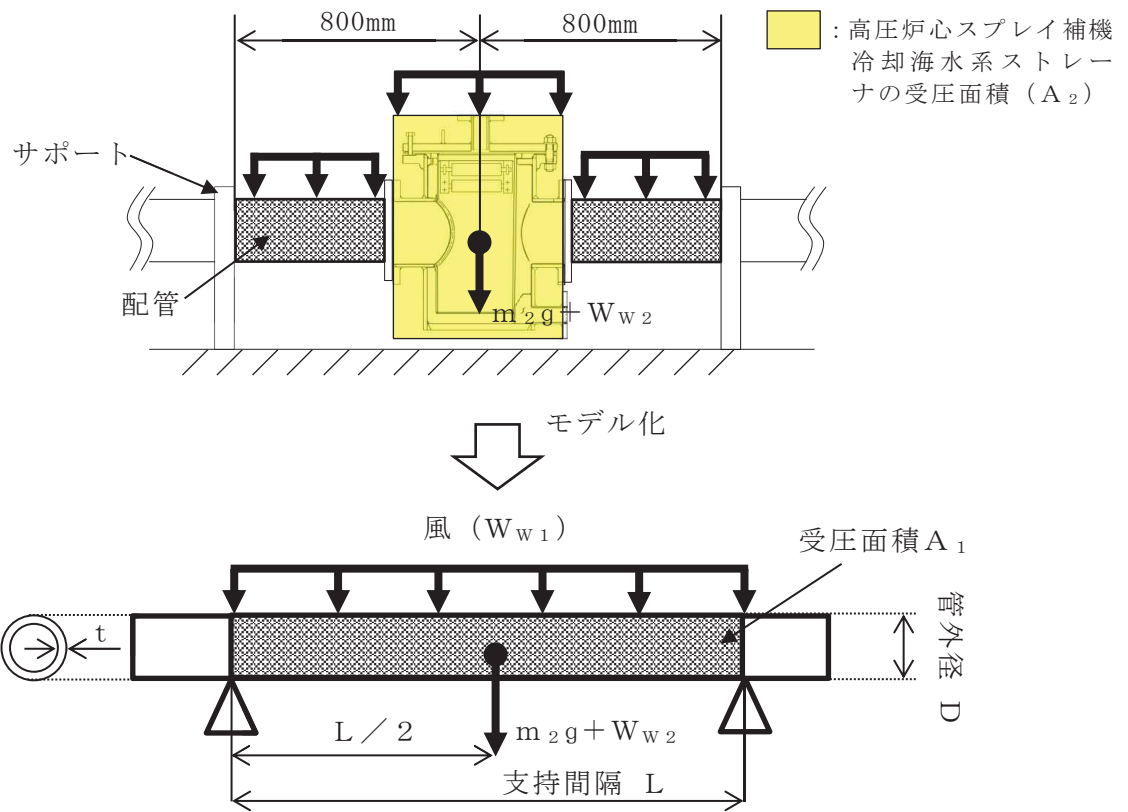


図 3-3 評価モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

(イ) 配管

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{w1} = \frac{M}{Z} = \frac{W_{w1} \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

$$W_{w1} = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$$

(ロ) ストレーナ

ストレーナが受ける風圧力による荷重が配管の中央に集中荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{w2} = \frac{W_{w2} \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで、

$$W_{w2} = q \cdot G \cdot C \cdot A_2$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{w1} + \sigma_{w2} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w_1 \cdot L^2}{8 \cdot Z} + \frac{w_2 \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで、

$$w_1 = m_1 \cdot g$$

$$w_2 = m_2 \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により $\sigma_1$ 及び $\sigma_2$ を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (MPa)	G (-)	$\Delta P$ (MPa)	$W_M$ (N)	g (m/s <sup>2</sup> )
$6.13 \times 10^{-3}$	1.0	$7.6 \times 10^{-3}$	0	9.80665

表 4-2 評価条件 (衝突評価)

材料	P (MPa)	$D_i$ (mm)	S (MPa)	$\eta$ (-)
STPG370	0.78	333.4	93	1.0

表 4-3 評価条件 (構造強度評価)

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	$m_1$ (kg/m)	$m_2$ (kg)
216.3	STS410	1.6	8.2	73.48	248

C (-)	$A_1$ (m <sup>2</sup> /m)	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	P (MPa)
1.2	0.2163	0.3982	0.78



5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	9.68	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ配管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 構造強度評価結果 (配管)

D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
216.3	STS410	10	17	239

VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	9
3.4 許容限界	11
3.5 評価方法	13
4. 評価条件	16
5. 強度評価結果	17

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外に設置している配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管及び弁の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

配管及び弁について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、配管及び弁の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

屋外に設置している配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、図 2-1 に示す位置に設置する。

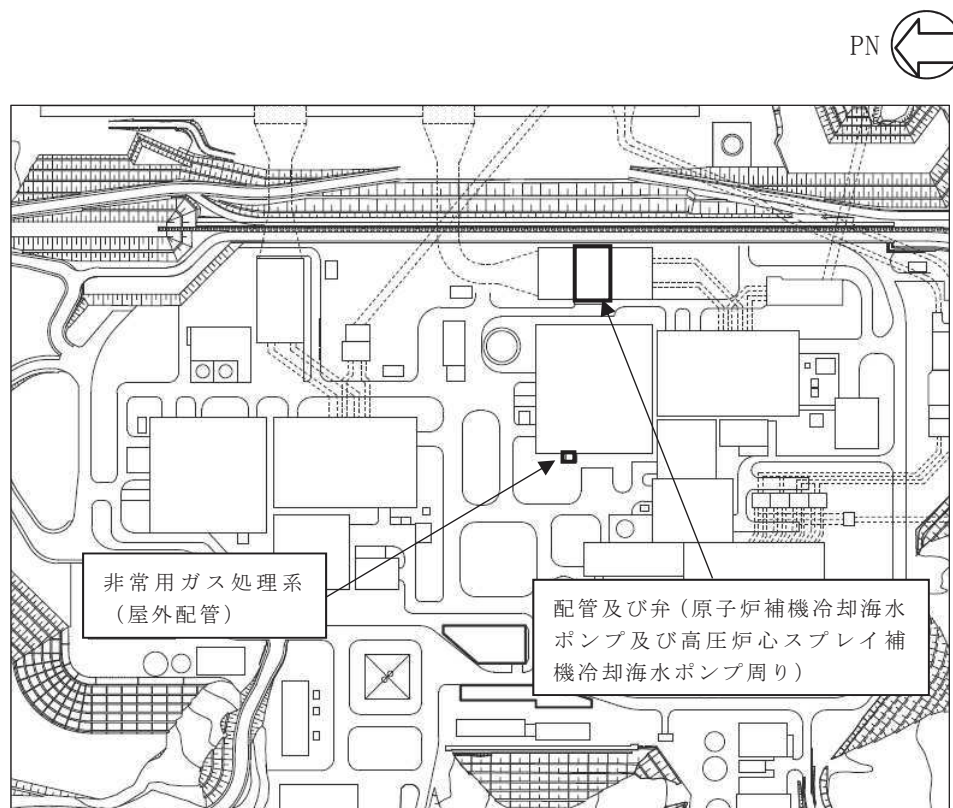


図 2-1 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）の位置図

## 2.2 構造概要

配管及び弁について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

配管及び弁は、配管本体及び弁で構成され、支持構造物により床、壁等から支持する構造としている。配管及び弁の概要図を図 2-2 に、各エリアの配管及び弁の配置図を図 2-3、図 2-4 に示す。

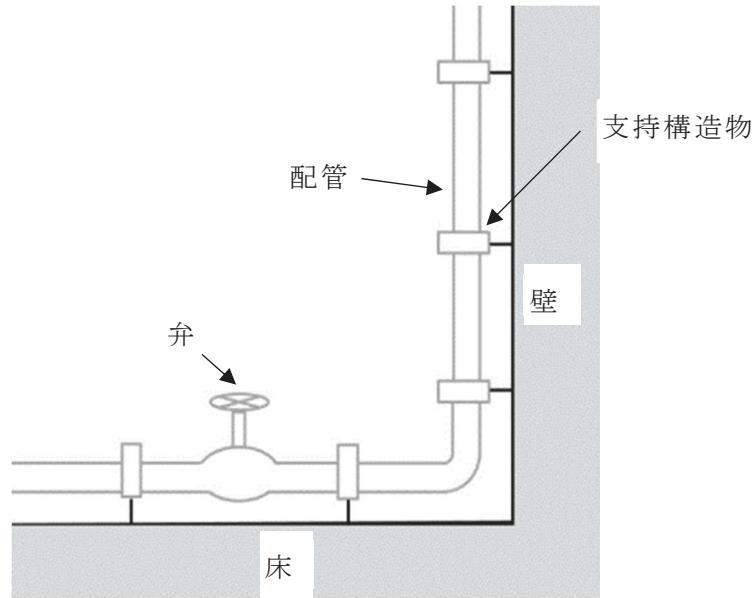


図 2-2 配管及び弁の概要図

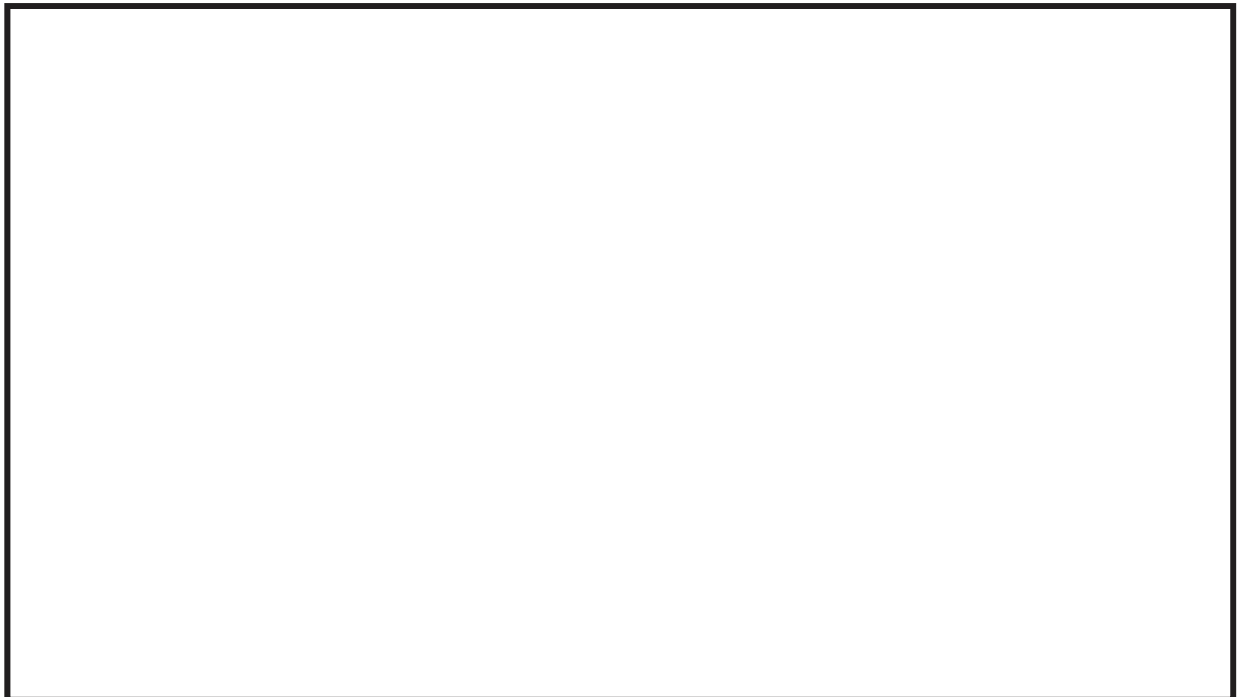


図 2-3 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却  
海水ポンプ周り配管配置図

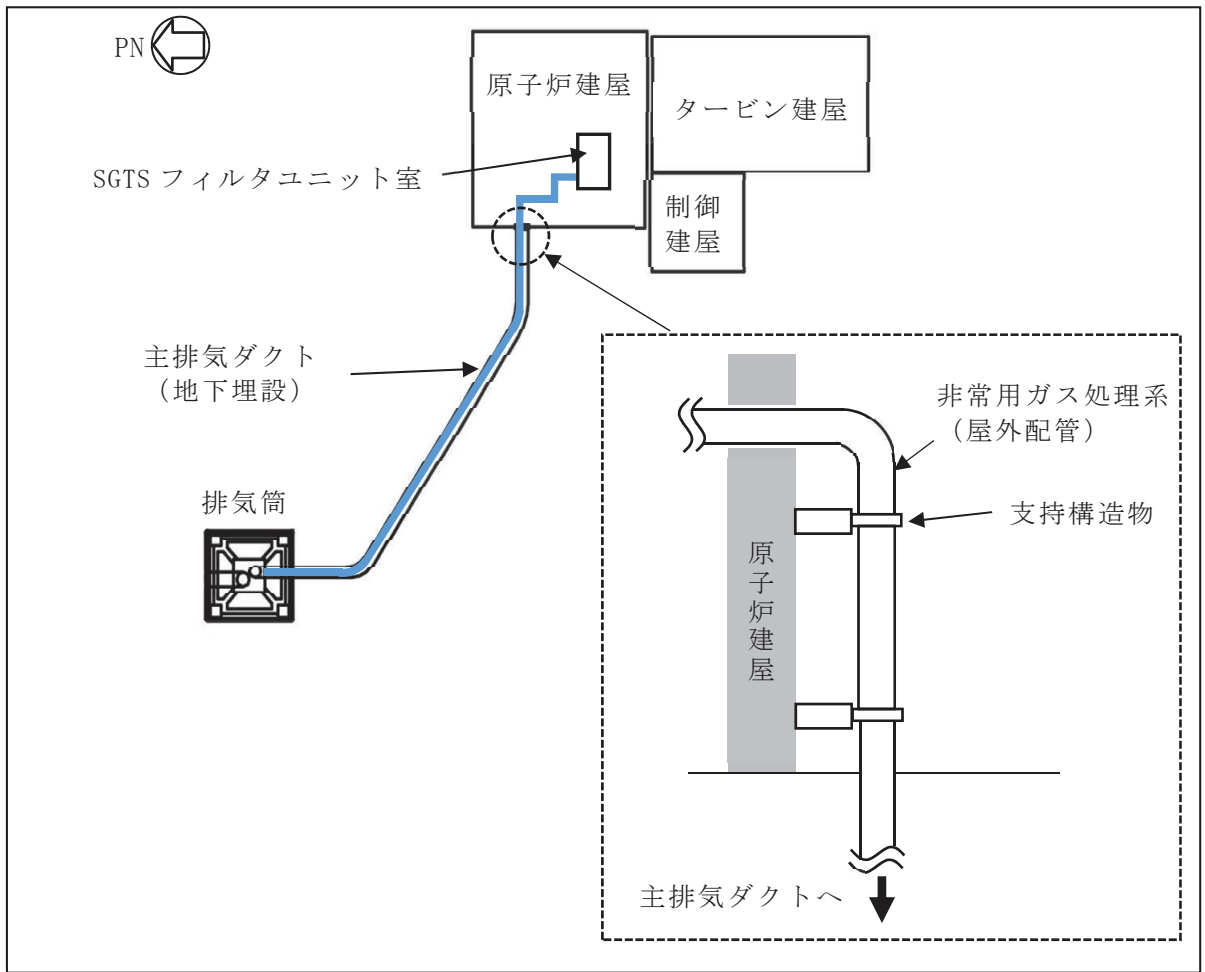


図 2-4 非常用ガス処理系（屋外配管）配管配置図

### 2.3 評価方針

配管及び弁の強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、配管及び弁の評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

屋外の配管及び弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

配管及び弁の衝突評価フローを図 2-5 に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する

部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。配管及び弁の衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

なお、非常用ガス処理系（屋外配管）が仮に飛来物による衝突によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され、閉塞することはないため、非常用ガス処理系（屋外配管）の衝突評価は行わない。

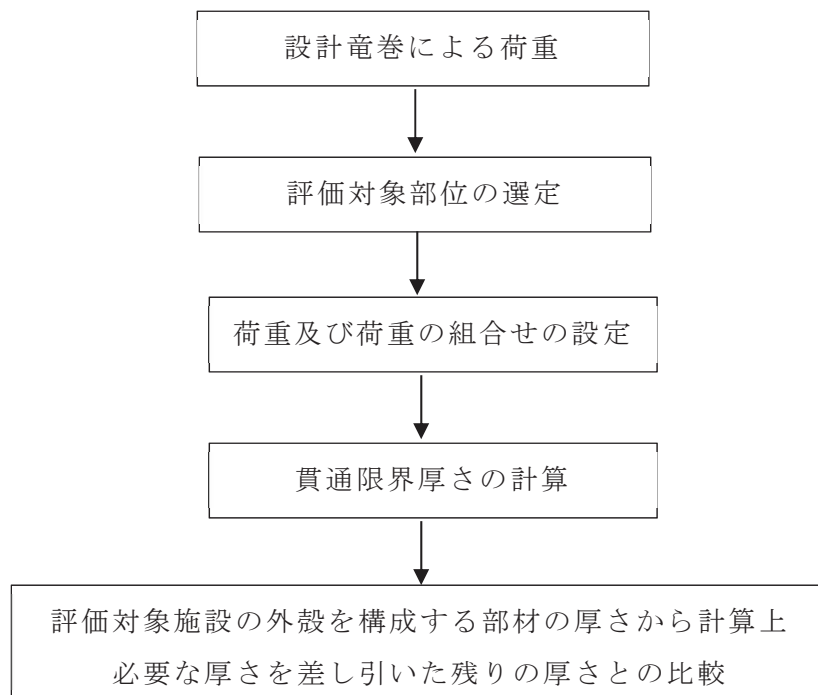


図2-5 配管及び弁の衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

配管及び弁の構造強度評価フローを図2-6に示す。構造強度評価において、配管及び弁に対し、設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す評価式を用いる。配管及び弁の許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の

「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」((社)日本電気協会),「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下「J E A G 4 6 0 1」という。)の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

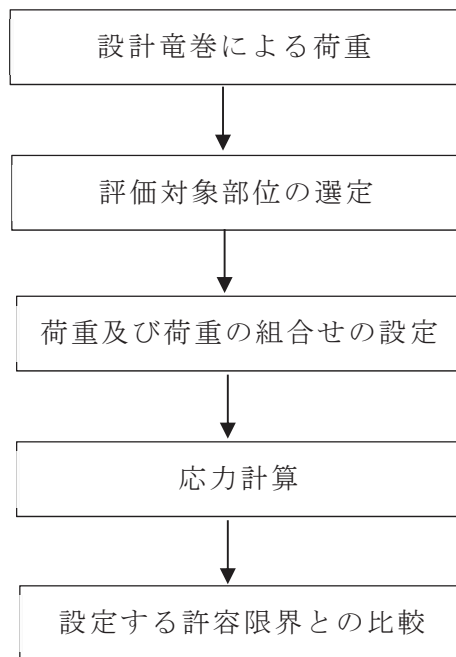


図2-6 配管及び弁の構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会)
- ・「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会, 2004改定)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 -補1984」((社)日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」((社)日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991追補版」((社)日本電気協会)
- ・「発電用原子力設備規格設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」((社)日本機械学会 (以下「設計・建設規格」という。))
- ・「新版機械工学便覧」(1987年4月 日本機械学会編)



### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

配管及び弁の衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
$D_o$	mm	管の外径
$d$	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
$K$	—	鋼板の材質に関する係数
$M$	kg	評価において考慮する飛来物の質量
$P$	MPa	最高使用圧力
$S$	MPa	許容引張応力
$T$	mm	鋼板の貫通限界厚さ
$t$	mm	胴の計算上必要な厚さ
$v$	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
$\eta$	—	継手効率

(2) 構造強度評価の記号の定義

配管及び弁の構造強度評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup> /m	単位長さ当たりの施設の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
W <sub>w</sub>	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
π	—	円周率
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub>	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>WT1</sub> , σ <sub>WT2</sub>	MPa	複合荷重により生じる応力
σ <sub>WW</sub>	MPa	風圧力により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

### 3.2 評価対象部位

配管及び弁の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、配管及び弁に衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。弁が設置されている箇所においては、弁の板厚は配管の板厚に比べ厚く、配管の評価に包絡されるため、配管の評価のみ実施する。

配管及び弁の衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

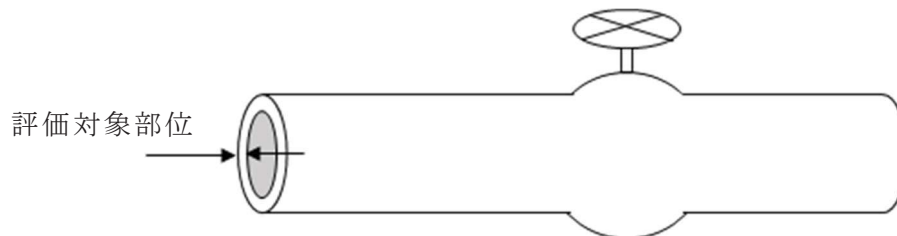


図3-1 配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

#### (2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は、配管本体に作用する。なお、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく、配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。サポート（配管支持構造物）については、建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。このことから、配管本体を評価対象部位として選定する。

配管及び弁の構造強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。

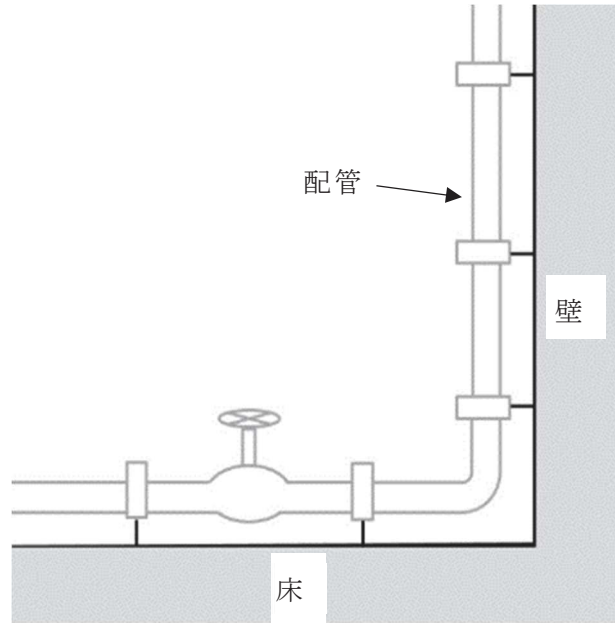


図 3-2 配管及び弁の構造強度評価の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40（mm））をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表 3-3、配管及び弁の衝突評価に用いる荷重を表 3-4 に示す。

表 3-3 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表 3-4 配管及び弁の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）	配管	飛来物による 衝撃荷重

(2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

単位長さ当たりの自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。なお、非常用ガス処理系（屋外配管）は大口径の配管が開放された施設であるため、気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。また、非常用ガス処理系（屋外配管）が仮に飛来物による衝突によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され、閉塞することはないため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。さらに、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重  $W_p$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す評価方法に従って、

気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(2) 構造強度評価の評価方法」に示す。

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。なお、非常用ガス処理系（屋外配管）の内圧については、気圧差同様考慮しない。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、配管及び弁の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-5に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）	配管	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧
	非常用ガス処理系（屋外配管）	配管	①風圧力による荷重 ②自重

3.4 許容限界

配管及び弁の許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及び J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であること

を許容限界とする。

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）における計算上必要な厚さは、設計・建設規格 PPD-3411に基づき、以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6 配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.5	0.23	5.27
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.5	0.23	5.27

(2) 構造強度評価の許容限界

配管の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

配管の構造強度評価における許容限界を表3-7、許容応力を表3-8に示す。

表 3-7 配管の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜＋曲げ）
Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>

表 3-8 配管の許容応力

評価対象配管	材料	温度条件* (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S (MPa)
原子炉補機冷却海水ポンプ周り配管	SM400C	50	211	110
	STS410	50	239	103
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り配管	STS410	50	239	103
非常用ガス処理系（屋外配管）	STS410	140	215	103

注記 \*：最高使用温度

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

配管及び弁の衝突評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

#### (2) 構造強度評価の評価方法

配管及び弁の構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置



している場合はサポート支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を図3-3に示す。

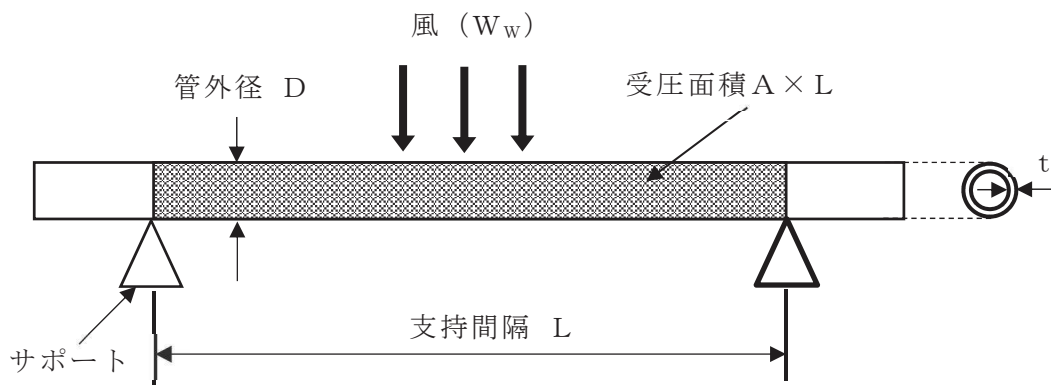


図 3-3 配管モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{wp} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{wp}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{\text{自重}} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{\text{内圧}} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma_1$  及び  $\sigma_2$  を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 共通評価条件

ガスト係数 G (-)	風力係数 C (-)	設計用速度圧 q (MPa)	気圧低下量 $\Delta P$ (MPa)	重力加速度 g (m/s <sup>2</sup> )
1	1.2	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$	9.80665

表 4-2 評価条件（原子炉補機冷却海水ポンプ周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当たりの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当たりの 受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
508.0	SM400C	14.7	9.5	330.4	0.6380	0.78
60.5	STS410	3.1	5.5	10.9	0.1105	0.78

表 4-3 評価条件（高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当たりの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当たりの 受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
216.3	STS410	7.0	8.2	86.1	0.3463	0.78
60.5	STS410	2.0	5.5	15.1	0.1905	0.78

表 4-4 評価条件（非常用ガス処理系（屋外配管））

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当たりの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当たりの 受圧 面積 A (m <sup>2</sup> /m)
318.5	STS410	15.4	10.3	78.3	0.3185

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。また、弁の板厚は配管に比べ厚いため、配管の評価に包絡される。

表 5-2 配管及び弁の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.27 (配管)	1.0	貫通しない
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.27 (配管)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁

構造強度評価結果を表5-3に示す。

原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の

評価に包絡される。

表 5-3 評価結果（原子炉補機冷却海水ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
508.0	SM400C	59	129	211
60.5	STS410	13	95	239

- b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁  
構造強度評価結果を表5-4に示す。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-4 評価結果（高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
216.3	STS410	25	83	239
60.5	STS410	9	67	239

- c. 非常用ガス処理系（屋外配管）

構造強度評価結果を表5-5に示す。

非常用ガス処理系（屋外配管）に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（非常用ガス処理系（屋外配管））

管外径 D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
318.5	STS410	31	124	215

VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	4
3.1 記号の定義	4
3.2 評価対象部位	5
3.3 荷重及び荷重の組合せ	6
3.4 許容限界	8
3.5 評価方法	9
4. 評価条件	11
5. 強度評価結果	12

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、軽油タンク及び燃料移送ポンプ等が、竜巻時及び竜巻通過後においても、非常用高圧母線へ7日間の電源供給が継続できるよう燃料補給を行う機能を維持することを考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等について、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の軽油タンク室及び軽油タンク室（H）に設置する。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置図を図 2-1 に示す。

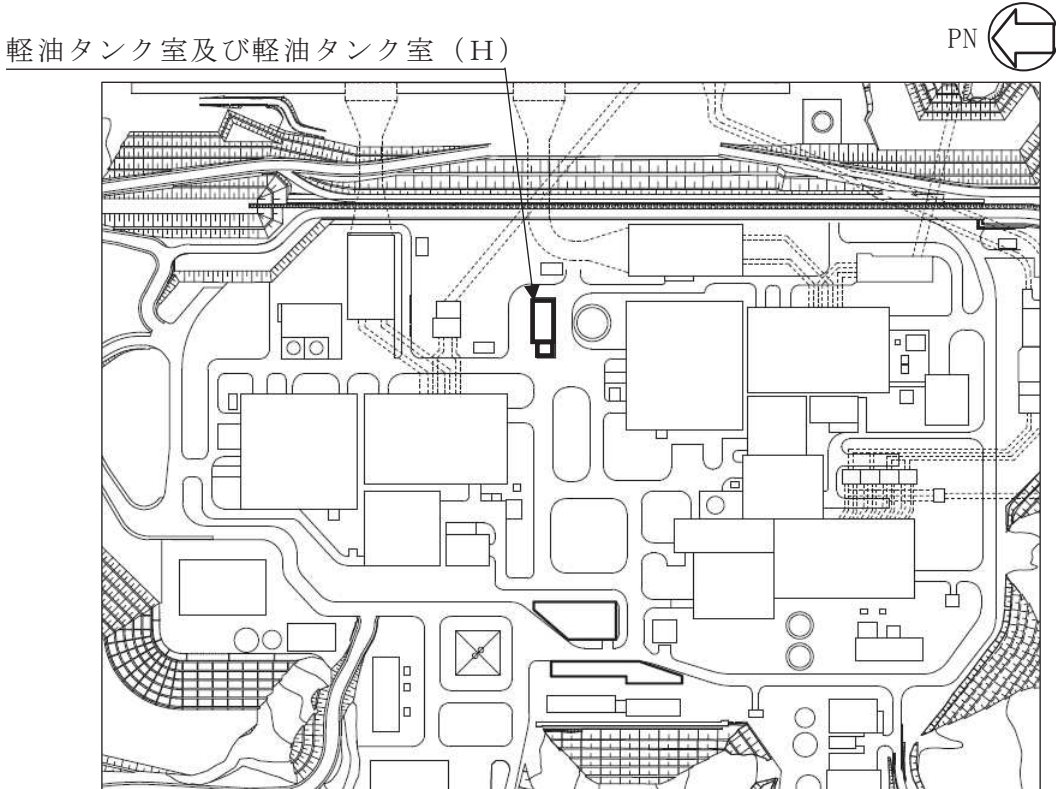


図 2-1 軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置図



## 2.2 構造概要

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等について、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

軽油タンクは、大気開放型の鋼製の横置円筒形容器を主体構造とし、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）内に設置し、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。

燃料移送ポンプ等は、鋼製の燃料移送ポンプ及び配管を主体構造とし、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）内に設置し、コンクリート基礎にサポート又は基礎ボルト等で固定する構造とする。

軽油タンク、燃料移送ポンプ等の概要図を図 2-2、図 2-3 に示す。

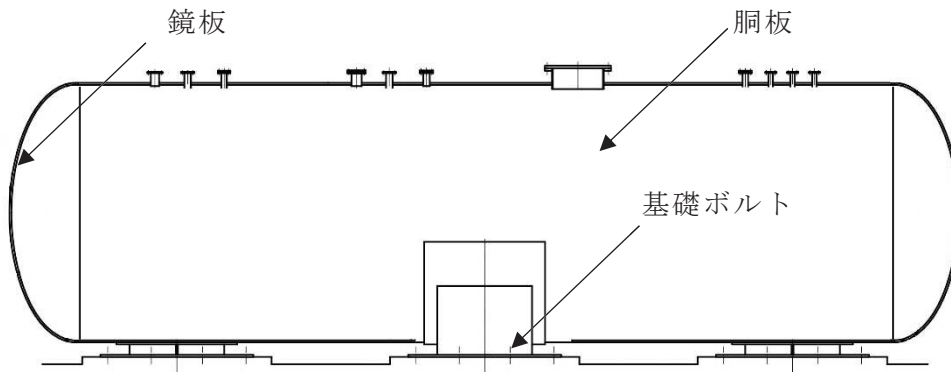


図 2-2 軽油タンクの概要図

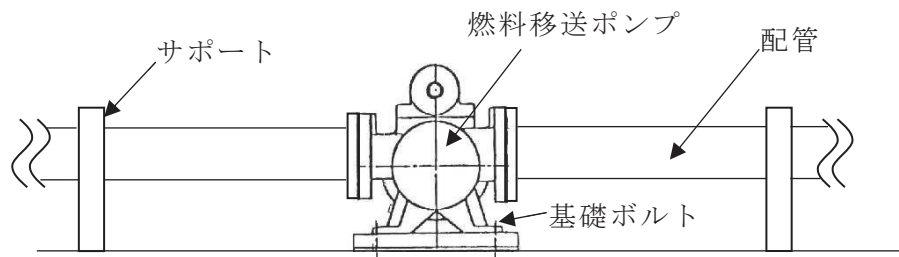


図 2-3 燃料移送ポンプ等の概要図

## 2.3 評価方針

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の強度評価においては、その構造を踏まえて、評価対象部位を選定する。

(1) 構造強度評価の評価方針

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価フローを図 2-4 に示す。構造強度評価においては、軽油タンクは大気開放型であり、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）に設置されていることを踏まえて、設計竜巻の気圧差荷重による応力が設計上の許容外力以下であることを確認する。燃料移送ポンプ等に対しては、設計竜巻の気圧差荷重に内圧及び自重を加えた応力が、許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示す評価式を用いる。軽油タンクの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J I S B 8 2 6 5 (2017)「圧力容器の構造—一般事項」（以下「J I S B 8 2 6 5」という。）より算出される値とする。燃料移送ポンプ等の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

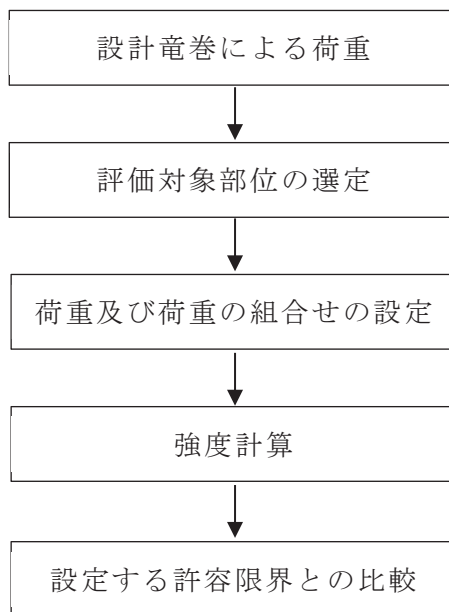


図2-4 軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」 ((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」 ((社) 日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」 ((社) 日本電気協会)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」 ((社) 日本機械学会 (以下「設計・建設規格」という。))
- ・「新版機械工学便覧」(1987年4月 日本機械学会編)
- ・日本産業規格 (J I S)

## 3. 強度評価方法

### 3.1 記号の定義

#### (1) 構造強度評価の記号の定義

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号を表 3-1, 表 3-2 にそれぞれ示す。

表 3-1 軽油タンクの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	—	J I S B 8 2 6 5 図 E.9 に規定される値
B	MPa	J I S B 8 2 6 5 図 E.10 に規定される値
D <sub>o</sub>	mm	円筒胴の外径
h	mm	鏡板の深さ
L	mm	圧を保持する胴の設計長さ
P <sub>a</sub>	MPa	許容外圧
Δ P	MPa	設計竜巻による気圧低下量
t	mm	円筒胴の計算厚さ

表3-2 燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
D	mm	管外径
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	m	配管の支持間隔
m	kg/m	単位長さ当たりの配管の質量
P	MPa	内圧
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
w	N/m	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
π	—	円周率
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
σ	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

### 3.2 評価対象部位

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき選定する。

#### (1) 構造強度評価の評価対象部位

##### a. 軽油タンク

設計竜巻による気圧差荷重は、軽油タンクベント配管を介して軽油タンク本体に作用する。タンクの許容外圧については、鏡板と比較して胴板が小さいことから、タンクを構成する胴板を評価対象部位として選定する。

##### b. 燃料移送ポンプ等

設計竜巻による気圧差荷重は、燃料移送ポンプのケーシング及び接続する配管に作用する。設計竜巻の気圧差荷重により発生する応力については、ポンプケーシングと比較して断面積が小さく発生応力が大きくなる配管を評価対象部位として選定する。

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の評価対象部位を図3-1、図3-2に示す。

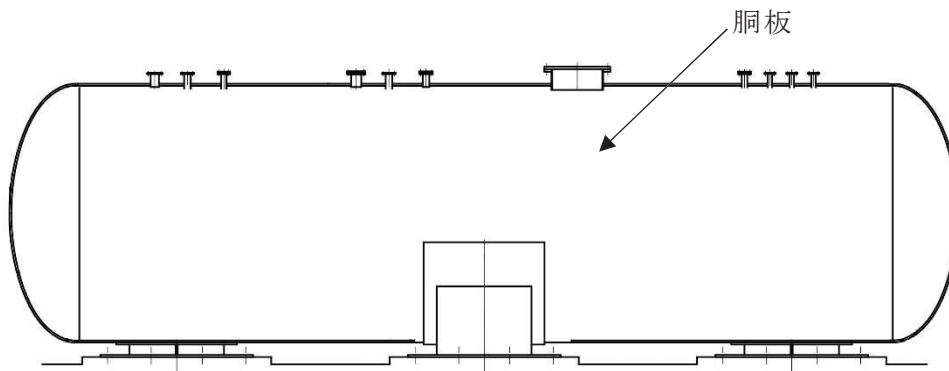


図 3-1 軽油タンクの評価対象部位

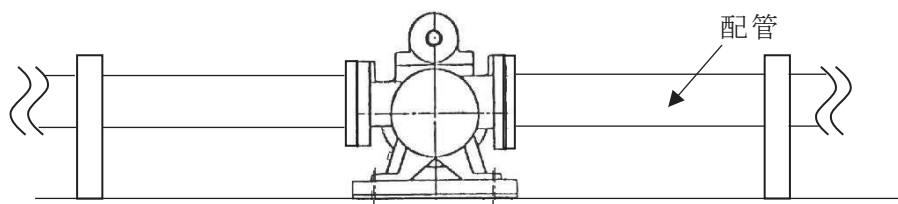


図 3-2 燃料移送ポンプ等の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 軽油タンク

##### (a) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### イ. 設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として、気圧差による荷重を考慮する。

なお、設計竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重については、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）により防護されることから考慮しない。

(イ) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重 $W_p$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す評価方法に従って評価する。

具体的な計算方法は、「3.5(1) 構造強度評価の評価方法」に示す。

(b) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえて、設定する。

軽油タンクの胴板には、気圧差による荷重が作用する。

構造強度評価に用いる荷重を表3-3に示す。

表 3-3 構造強度評価に用いる荷重 (軽油タンク)

施設分類	評価対象部位	荷重
外気とつながっている屋内の外部事象防護対象施設	胴板	気圧差による荷重

b. 燃料移送ポンプ等

(a) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

イ. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。  
単位長さ当たりの自重による荷重は、以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

ロ. 設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として、気圧差による荷重を考慮する。

なお、設計竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重については、軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) により防護されることから考慮しない。

(イ) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重 $W_p$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」に示す評価方法に従って評価する。

なお、配管については、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(1) 構造強度評価の評価方法」に示す。

ハ. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

(b) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻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」にて設定している荷重の組合せを踏まえて、設定する。

配管本体には、自重，気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-4に示す。

表 3-4 構造強度評価に用いる荷重の組合せ（燃料移送ポンプ等）

施設分類	評価対象部位	荷重
外気とつながっている屋内の外部事象防護対象施設	配管	①自重 ②気圧差による荷重 ③内圧

3.4 許容限界

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J I S B 8 2 6 5の許容外圧及びJ E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 構造強度評価の許容限界

軽油タンクの胴板の許容限界は、J I S B 8 2 6 5を適用し、「压力容器の胴及び鏡板」の規定うち、「円筒胴の計算厚さ」より許容外圧を算出する。

燃料移送ポンプ等の配管の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いる。

軽油タンクの胴板の構造強度評価における許容限界を表3-5に、配管の構造強度評価における許容限界を表3-6に、許容応力を表3-7にそれぞれ示す。

表 3-5 軽油タンクの胴板の構造強度評価における許容限界

考慮する荷重	許容限界
	許容外圧
気圧差による荷重	$P_a$

表3-6 配管の構造強度評価における許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜＋曲げ）
$III_A S$	$S_y$

表 3-7 配管の構造強度評価における許容応力

評価対象部位	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)
配管	66*1	199

注記\*1：最高使用温度

### 3.5 評価方法

#### (1) 構造強度評価の評価方法

軽油タンク及び配管の構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻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」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

軽油タンクは、軽油タンクベント配管を通じて、設計竜巻の気圧差荷重がタンク内部に生じるものとする。この時、軽油タンクが軽油タンク室及び軽油タンク室（H）内に設置されていることを踏まえて、軽油タンクの外面は、設計竜巻の気圧差による外圧が作用するものとして評価を行う。

配管は、一定距離ごとにサポートによって支持されており、配管の自重、気圧差による荷重及び内圧を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。

軽油タンク及び配管の計算モデル図を図3-3、図3-4に示す。



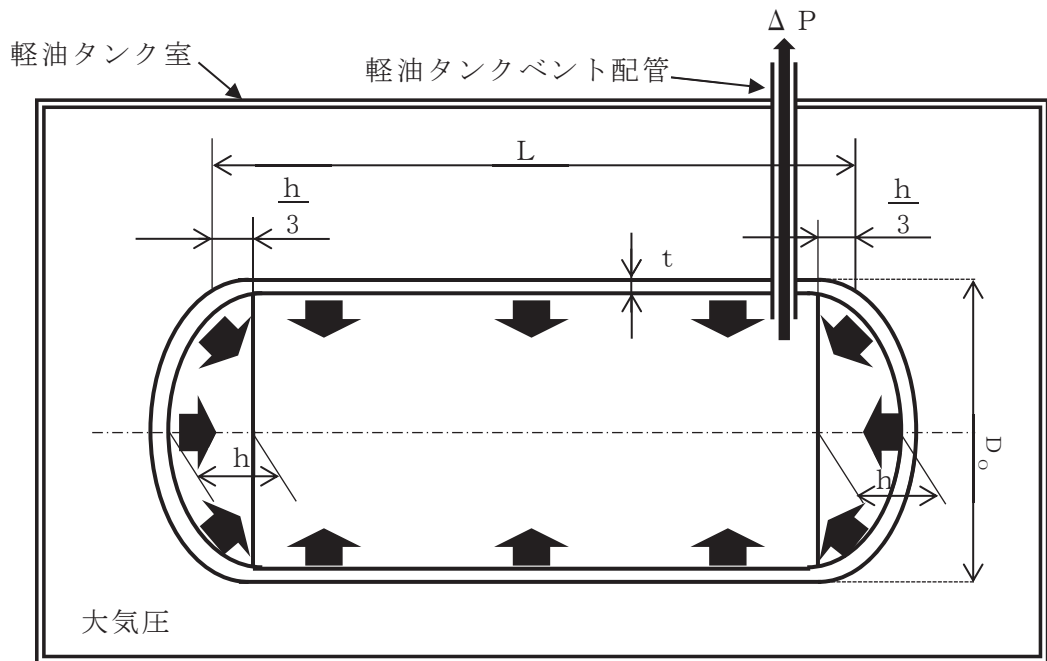


図 3-3 軽油タンクの計算モデル図

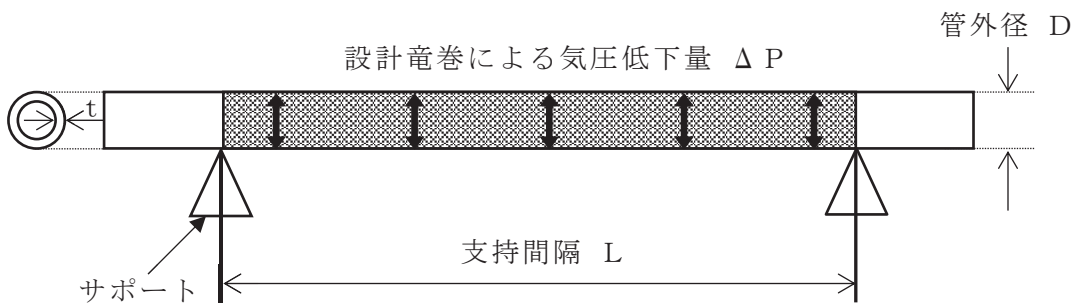


図 3-4 配管の計算モデル図

b. 計算方法

(a) 軽油タンク

気圧差による荷重は、軽油タンクの内圧が低下した分を外圧が上昇したものと考え、軽油タンクの強度が担保される許容外圧を、以下の式により算定する。

$$P_a = \frac{4 \cdot B \cdot t}{3 \cdot D_o}$$

(b) 配管

イ. 設計竜巻の気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

ロ. 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

したがって、自重により生じる曲げ応力、気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力とを足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma$  を算出する。

$$\sigma = \sigma_{自重} + \sigma_{WP} + \sigma_{内圧}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 共通評価条件

$\Delta P$ (MPa)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
$7.6 \times 10^{-3}$	9.80665

表 4-2 評価条件 (軽油タンク)

A (-)	B (MPa)	D <sub>o</sub> (mm)	L (mm)	t (mm)
$2.5 \times 10^{-4}$	25	3556	11834	28

表 4-3 評価条件 (配管)

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	P (MPa)
60.5	STPT370	3.2	5.5	9.115	0.98
76.3	STPT370	0.492	5.2	12.05	0.98

5. 強度評価結果

(1) 構造強度評価結果

a. 軽油タンク

構造強度評価結果を表5-1に示す。

軽油タンクにおいて考慮する設計竜巻の気圧低下量は、許容外圧以下である。

表 5-1 構造強度評価結果 (軽油タンク)

施設	評価部材	$\Delta P$ (MPa)	許容外圧 (MPa)
軽油タンク	胴板	$7.6 \times 10^{-3}$	0.26

b. 配管

構造強度評価結果を表5-2に示す。

配管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-2 構造強度評価結果 (配管)

D (mm)	材料	$\sigma$ (MPa)	許容応力 (MPa)
60.5	STPT370	13	199
76.3	STPT370	4	199

VI-3-別添2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

## 目 次

- VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針
- VI-3-別添 2-1-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書
- VI-3-別添 2-1-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度計算書
- VI-3-別添 2-1-3 復水貯蔵タンクの強度計算書
- VI-3-別添 2-1-4 鋼製ハッチの強度計算書

VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 強度評価の対象施設	1
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	5
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	23
4.1 荷重及び荷重の組合せ	23
4.2 許容限界	27
5. 強度評価方法	37
5.1 設備	37
5.1.1 原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	37
5.1.2 復水貯蔵タンク	48
5.1.3 軽油タンク室，軽油タンク室（H）	58
5.2 建屋	60
6. 適用規格	63

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-4-3 降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-2-4-3」という。）に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-4-1 火山への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-2-4-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設に対する具体的な計算の方法及び結果は、「5. 強度評価方法」、添付書類「VI-3-別添 2-1-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 2-1-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 2-1-3 復水貯蔵タンクの強度計算書」及び添付書類「VI-3-別添 2-1-4 鋼製ハッチの強度計算書」に示す。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 強度評価の対象施設」に示す評価対象施設について、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

### 2.1 強度評価の対象施設

VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、強度評価の対象施設（以下「評価対象施設」という。）となる設備及び建屋を表2-1に示す。なお、構造物への荷重を考慮する施設のうち、降下火砕物が堆積しにくい形状である高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ及び非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器及び排気管は、評価対象施設として選定しない。



表2-1 評価対象施設

施設分類	評価対象施設
設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却海水ポンプ</li> <li>・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ</li> <li>・復水貯蔵タンク</li> <li>・軽油タンク室</li> <li>・軽油タンク室 (H)</li> </ul>
建屋	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋</li> <li>・タービン建屋</li> <li>・制御建屋</li> </ul>

### 3. 構造強度設計

VI-1-1-2-4-1 で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-2-4-3 の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

#### 3.1 構造強度の設計方針

VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を示す。

##### (1) 設備

##### a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、原子炉補機冷却海水ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

##### b. 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプは、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

##### c. 復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンクは、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、復水貯蔵タンクの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30 日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

##### d. 軽油タンク室

軽油タンク室は、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は

軽油タンク室全体として構造健全性を維持する設計とする。軽油タンク室は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。地上部には頂版及び開口部が露出し、露出する開口部には鋼製のハッチを設置する。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

e. 軽油タンク室 (H)

軽油タンク室 (H) は、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は軽油タンク室(H)全体として構造健全性を維持する設計とする。軽油タンク室(H) は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。地上部には頂版及び開口部が露出し、露出する開口部には鋼製のハッチを設置する。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

(2) 建屋

a. 原子炉建屋

原子炉建屋は、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄筋コンクリート造の耐震壁、鉄骨造のトラス架構等で支持し、支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

b. タービン建屋

タービン建屋は、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄筋コンクリート造の耐震壁、鉄骨造のトラス架構等で支持し、支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

c. 制御建屋

制御建屋は、VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄筋コンクリート造の耐震壁、鉄骨造のトラス架構等で支持し、支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、30日以内に降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

### 3.2 機能維持の方針

VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえVI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

#### (1) 設備

##### a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

##### (a) 構造設計

原子炉補機冷却海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

原子炉補機冷却海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に、電動機を取り付け、電動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

原子炉補機冷却海水ポンプはポンプベースに固定する。電動機は電動機台と結合し電動機台はポンプベースに固定する。ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。主回路用端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、電動機にボルトで結合する。

電動機は、適切な強度を有する四角形の形状を基本とした鋼製のフレームに主回路用端子箱等が付加された形態とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する電動機上部の外扇カバー及び主回路用端子箱等に作用し、電動機フレーム及び円筒形の形状を基本とした電動機台を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。また、風荷重に対しては、外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。さらに、ポンプのスラスト荷重は全て電動機フレーム及び電動機台に作用する。

原子炉補機冷却海水ポンプの構造計画を表3-1に示す。

##### (b) 評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプは、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、原子炉補機冷却海水ポンプを構成する電動機フレーム、電動機台、基礎ボルト及び外扇カバーが、おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、添付書類「VI-3-別添 2-1-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書」に示す。

表 3-1 原子炉補機冷却海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>原子炉補機冷却海水ポンプは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
原子炉補機冷却海水ポンプ	電動機及び電動機に結合されたポンプで構成する。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	<p>(a) 上面図</p> <p>(b) 側面図</p>

b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

(a) 構造設計

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に、電動機を取り付け、電動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプはポンプベースに固定する。電動機は電動機台と結合し電動機台はポンプベースに固定する。ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。主回路用端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、電動機にボルトで結合する。

電動機は、適切な強度を有する円筒形の形状を基本とした鋼製のフレームに主回路用端子箱等が付加された形態とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する電動機上部の雨よけカバーに作用し、電動機フレーム及び円筒形の形状を基本とした電動機台を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。また、風荷重に対しては、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。さらに、ポンプのスラスト荷重は全て電動機フレーム及び電動機台に作用する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造計画を表 3-2 に示す。

(b) 評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。想定する降下火砕物、積雪及び風(台風)を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプを構成する電動機フレーム、電動機台、基礎ボルト及び雨よけカバーが、おおむね弾性状態に留まることを「5. 強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、添付書類「VI-3-別添2-1-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度計算書」に示す。

表 3-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	電動機及び電動機に結合されたポンプで構成する。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	<p>(a) 上面図</p> <p>(b) 側面図</p>



c. 復水貯蔵タンク

(a) 構造設計

復水貯蔵タンクは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

復水貯蔵タンクは、平底たて置円筒形容器とする。復水貯蔵タンクは、鋼製の屋根板及び胴板を主体構造とし、屋外の復水貯蔵タンクエリアに設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物が堆積する屋根板及び屋根板に接続する胴板に伝達する構造とする。また、風荷重に対しては、胴板を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

復水貯蔵タンクの構造計画を表 3-3 に示す。

(b) 評価方針

復水貯蔵タンクは、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、復水貯蔵タンクを構成する屋根板、胴板及び復水貯蔵タンクを支持する基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出した応力及び「5. 強度評価方法」に示す強度評価式により算出した応力を基に評価を行う。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、添付書類「VI-3-別添2-1-3 復水貯蔵タンクの強度計算書」に示す。



表3-3 復水貯蔵タンクの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      復水貯蔵タンクは、屋外の復水貯蔵タンクエリアに設置する設計としている。</p>			
復水貯蔵タンク	<p>平底たて置円筒形容器であり、鋼製の胴板及び屋根板より構成する。</p>	<p>コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。</p>	

d. 軽油タンク室

(a) 構造設計

軽油タンク室は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

軽油タンク室は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部には頂版及び開口部が露出し、露出する開口部には鋼製のハッチを設置する。鉄筋コンクリート造の躯体は適切な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、地上に露出した頂版及び鋼製ハッチに作用する構造とする。

軽油タンク室の構造計画を表 3-4 に示す。

(b) 評価方針

軽油タンク室は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。頂版については、想定する降下火砕物及び積雪を考慮した荷重に対し、この荷重が耐震評価で考慮する積載荷重に包絡されることを確認する。また、鋼製ハッチについては、想定する降下火砕物及び積雪を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、鋼製ハッチを構成する上蓋が、おおむね弾性状態に留まるこ

とを「5. 強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

鋼製ハッチにおける降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、添付書類「VI-3-別添2-1-4 鋼製ハッチの強度計算書」に示す。

表 3-4 軽油タンク室の構造計画

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b> 軽油タンク室は、屋外の軽油タンク室エリアに設置する設計としている。</p>			
軽油タンク室	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する頂版及び鋼製のハッチで構成する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製のハッチに作用する構造とする。</p>	<p>1300×1300 開口部 800×800 開口部①* 800×800 開口部②* 450×588 開口部</p> <p>PN ←</p> <p>軽油タンク室</p> <p>注記 * : 800×800開口部には2種類の形状の上蓋の鋼製ハッチを適用</p> <p>(東西方向断面図)</p> <p>(南北方向断面図)</p>

e. 軽油タンク室 (H)

(a) 構造設計

軽油タンク室 (H) は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び VI-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

軽油タンク室 (H) は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部には頂版及び開口部が露出し、露出する開口部には鋼製のハッチを設置する。鉄筋コンクリート造の躯体は適切な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、地上に露出した頂版及び鋼製ハッチに作用する構造とする。

軽油タンク室 (H) の構造計画を表 3-5 に示す。

(b) 評価方針

軽油タンク室 (H) は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。頂版については、想定する降下火砕物及び積雪を考慮した荷重に対し、この荷重が耐震評価で考慮する積載荷重に包絡されることを確認する。また、鋼製ハッチについては、想定する降下火砕物及び積雪を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、鋼製ハッチを構成する上蓋が、おおむね弾性状態に留まることを「5.強度評価方法」に示す計算式を用いて確認する。

鋼製ハッチにおける降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、添付書類「VI-3-別添2-1-4 鋼製ハッチの強度計算書」に示す。

表 3-5 軽油タンク室 (H) の構造計画

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>軽油タンク室 (H) は、屋外の軽油タンク室エリアに設置する設計としている。</p>			
軽油 タンク 室 (H)	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する頂版及び鋼製のハッチで構成する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製のハッチに作用する構造とする。</p>	<p>PN ←</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ : 1300×1300 開口部</li> <li>□ : 800×800 開口部</li> <li>■ : 450×588 開口部</li> </ul> <p>軽油タンク室 (H)</p> <p>(東西方向断面図)</p> <p>(南北方向断面図)</p>

(2) 建屋

a. 原子炉建屋

(a) 構造設計

原子炉建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

原子炉建屋は、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄筋コンクリート造の耐震壁又は鉄骨造のトラス等で支持し、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根スラブ、鉄筋コンクリート造の耐震壁及び鉄骨造のトラス架構は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根スラブに作用する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

原子炉建屋の構造計画を表 3-6 に示す。

(b) 評価方針

原子炉建屋は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。屋根スラブについては、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重が、屋根スラブの許容荷重に包絡されることを確認する。包絡されない場合は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、屋根スラブ、耐震壁及びトラス架構が、「4.2 許容限界」で示す許容限界に留まることを「5. 強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

なお、耐震壁の評価にあたっては、質点系解析モデルの復元力特性の設定において、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると、せん断力や曲げモーメントの第1折点の増大が見込まれるため、降下火砕物等堆積による鉛直荷重を考慮しない保守的な復元力特性により評価する。この場合、風（台風）荷重は地震荷重に対する評価に包絡されるため、添付書類「VI-2-2-2 原子炉建屋の耐震性についての計算書」により確認するものとする。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、「5. 強度評価方法」に示す。

表 3-6 原子炉建屋の構造計画(1/2)

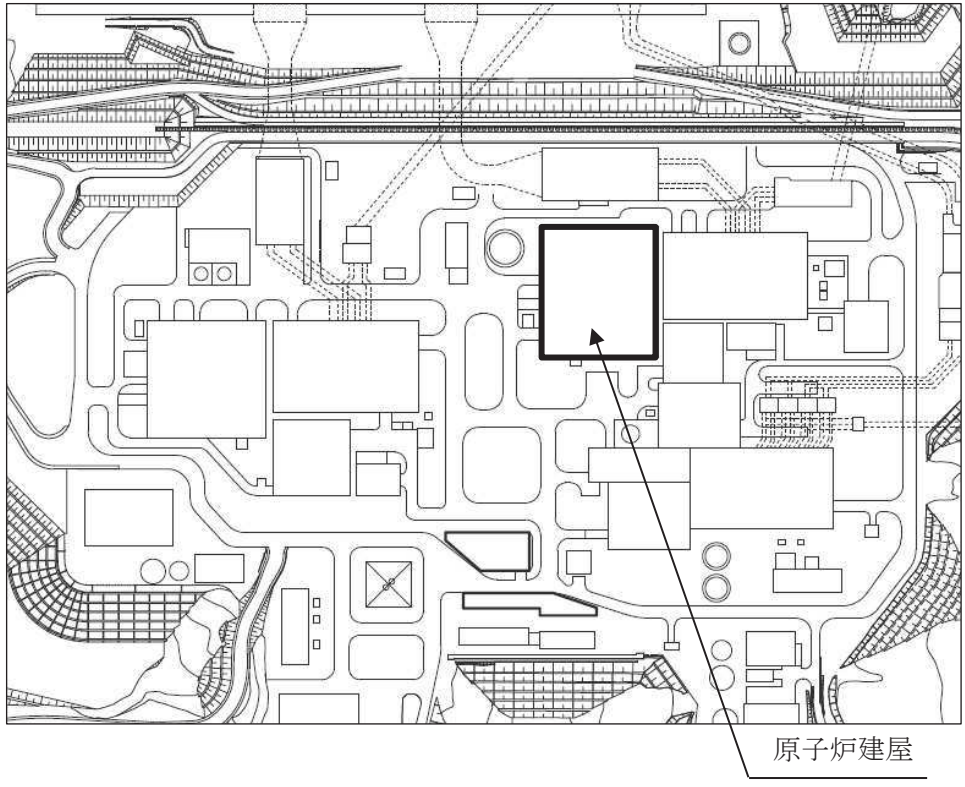
施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋			

表 3-6 原子炉建屋の構造計画(2/2)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(東西方向断面)</p> <p>(南北方向断面)</p>

b. タービン建屋

(a) 構造設計

タービン建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-4-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

タービン建屋は、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄筋コンクリート造の耐震壁又は鉄骨造のトラス等で支持し、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根スラブ、鉄筋コンクリート造の耐震壁及び鉄骨造のトラス架構は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根スラブに作用する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

タービン建屋の構造計画を表 3-7 に示す。

(b) 評価方針

タービン建屋は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。屋根スラブについては、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重が、屋根スラブの許容荷重に包絡されることを確認する。包絡されない場合は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、屋根スラブ、耐震壁及びトラス架構が、「4.2 許容限界」で示す許容限界に留まることを「5. 強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

なお、耐震壁の評価にあたっては、質点系解析モデルの復元力特性の設定において、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると、せん断力や曲げモーメントの第1折点の増大が見込まれるため、降下火砕物等堆積による鉛直荷重を考慮しない保守的な復元力特性により評価する。この場合、風（台風）荷重は地震荷重に対する評価に包絡されるため、添付書類「VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性についての計算書」により確認するものとする。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、「5. 強度評価方法」に示す。



表 3-7 タービン建屋の構造計画(1/2)

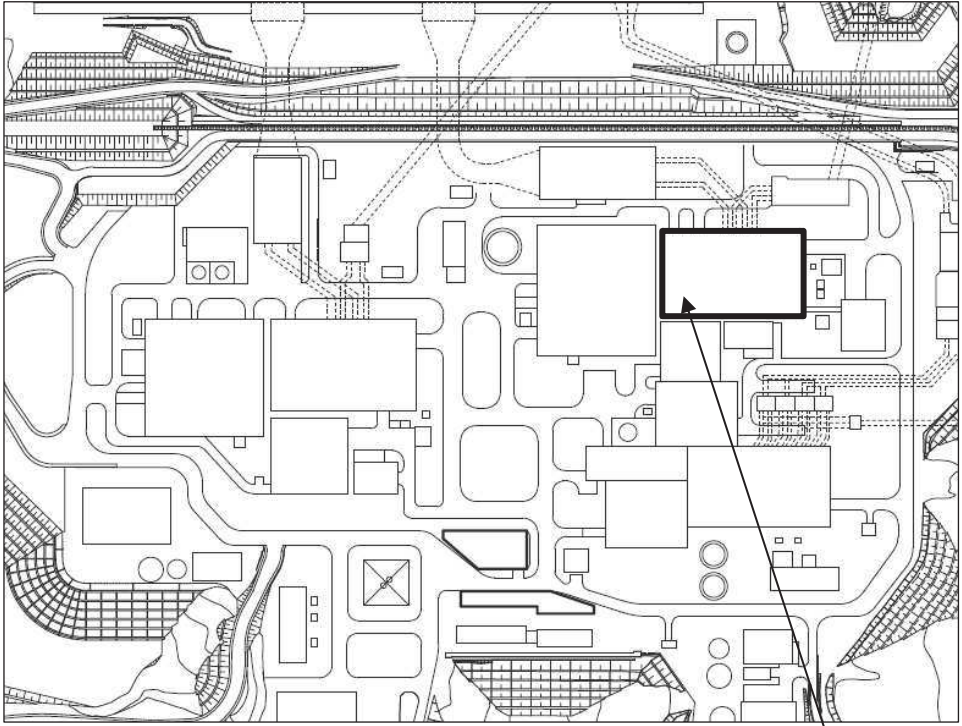
施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン建屋			 <p>タービン建屋</p>

表 3-7 タービン建屋の構造計画(2/2)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン建屋	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(東西方向断面)</p> <p>(南北方向断面)</p>

c. 制御建屋

(a) 構造設計

制御建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

制御建屋は、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄筋コンクリート造の耐震壁又は鉄骨造のトラス等で支持し、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根スラブ、鉄筋コンクリート造の耐震壁及び鉄骨造のトラス架構は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根スラブに作用する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

制御建屋の構造計画を表 3-8 に示す。

(b) 評価方針

制御建屋は、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。屋根スラブについては、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重が、屋根スラブの許容荷重に包絡されることを確認する。包絡されない場合は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、屋根スラブ、耐震壁及びトラス架構が、「4.2 許容限界」で示す許容限界に留まることを「5. 強度評価方法」に示す応力解析モデル等を用いて確認する。

なお、耐震壁の評価にあたっては、質点系解析モデルの復元力特性の設定において、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると、せん断力や曲げモーメントの第1折点の増大が見込まれるため、降下火砕物等堆積による鉛直荷重を考慮しない保守的な復元力特性により評価する。この場合、風（台風）荷重は地震荷重に対する評価に包絡されるため、添付書類「VI-2-2-4 制御建屋の耐震性についての計算書」により確認するものとする。

降下火砕物による荷重及びその他の荷重に対する強度評価を、「5. 強度評価方法」に示す。

表 3-8 制御建屋の構造計画(1/2)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
制御建屋			

表 3-8 制御建屋の構造計画(2/2)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
制御建屋	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>屋根スラブ</p> <p>（東西方向断面）</p> <p>屋根スラブ</p> <p>（南北方向断面）</p>

#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

評価対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重は、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-2-4-3にて設定しており、それらを「(1) 荷重の種類」に示す。また、評価対象施設の強度評価にて考慮する荷重の組合せの考え方は、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-2-4-3にて定めており、これらを踏まえて、強度評価において考慮すべき荷重の組合せを設定する。評価対象施設の荷重の組合せを「(2) 荷重の組合せ」に示す。

###### (1) 荷重の種類

###### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、VI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用している荷重に従って、持続的に生じる荷重である自重、積載荷重及び水頭圧とする。

###### b. 降下火砕物による荷重 ( $F_{vo}$ )

降下火砕物による荷重は、VI-1-1-2-4-1の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」の降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、湿潤密度 $1.5 \text{ g/cm}^3$ の降下火砕物が $15\text{cm}$ 堆積した場合の荷重とする。

###### c. 積雪荷重 ( $F_s$ )

積雪深は、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-2-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」(以下「VI-1-1-2-1-1」という。)の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である $43\text{cm}$ とする。積雪荷重については、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 $1\text{cm}$ ごとに $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

###### d. 風荷重 ( $W$ )

風速は、VI-1-1-2-1-1の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた石巻市及び女川町の基準風速である $30\text{m/s}$ とする。風荷重については、施設の形状により風力係数等が異なるため、施設ごとに設定する。

###### e. 運転時の状態で作用する荷重 ( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重としては、VI-1-1-2-4-1の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している運転時の状態で作用する荷重に従って、ポンプのスラスト荷重等の運転時荷重とする。

###### (2) 荷重の組合せ

###### a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重については，それらの組合せを考慮し，自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 評価対象施設の荷重の組合せ

評価対象施設の荷重の組合せについては，自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

ただし，評価対象施設のうち原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは，動的機器であるため，運転時の状態で作用する荷重を考慮する。

復水貯蔵タンクは水頭圧による荷重を考慮する。

なお，常時作用する荷重，積雪荷重，風荷重及び運転時の状態で作用する荷重については，組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には，評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ，対象施設の強度評価における荷重の組合せの設定については，施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。対象施設ごとの荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1 対象施設ごとの荷重の組合せ

施設分類	強度評価の対象施設	荷重*						
		常時作用する荷重 ( $F_d$ )			降下火砕物による荷重 ( $F_{vo}$ )	積雪荷重 ( $F_s$ )	風荷重 ( $W$ )	運転時の状態で作用する荷重等 ( $F_p$ )
		自重	積載荷重	水頭圧				
設備	・原子炉補機冷却海水ポンプ ・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	○	—	—	○	○	○	○
	・復水貯蔵タンク	○	—	○	○	○	○	—
	・軽油タンク室 ・軽油タンク室 (H)	○	—	—	○	○	—	—
建屋	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・制御建屋	○	○	—	○	○	○	—

注記 \*：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち，「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重，積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の



算出式を以下に示す。鉛直荷重については、「5. 強度評価方法」及び添付書類「VI-3-別添 2-1-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書」から添付書類「VI-3-別添 2-1-4 鋼製ハッチの強度計算書」の各計算書にて共通で使用するための算出式を用いた荷重の算出も行う。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$C$	—	風力係数
$d_1$	$m$	降下火砕物の層厚
$d_2$	$cm$	組合せ荷重として考慮する積雪深
$E'$	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
$F_d$	$N$	常時作用する荷重
$F_s$	$N/m^2$	積雪荷重
$F_v$	$N$	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_{v0}$	$N/m^2$	湿潤状態の降下火砕物による荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$H$	$m$	全高
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	$m/s$	基準風速
$W$	$N$	風荷重
$w_s$	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
$Z_b$	$m$	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$Z_G$	$m$	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\rho_1$	$kg/m^3$	降下火砕物の湿潤密度



b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_{v0} = \rho_1 \cdot d_1 \cdot g$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = w_s \cdot d_2$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

$\rho_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	$d_1$ (m)	$d_2$ (cm)	$w_s$ (N/(m <sup>2</sup> ・cm))	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
1500	0.15	43	20	9.80665

上記式より、湿潤状態の降下火砕物による荷重  $F_{v0} = 2207\text{N/m}^2$ 、積雪荷重  $F_s = 860\text{N/m}^2$  である。

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重（以下「降下火砕物等堆積による鉛直荷重」という。）は、次式のとおり算出する。

$$F_{v'} = F_{v0} + F_s$$

以上より、 $F_{v'} = 3067\text{ N/m}^2$  とする。

c. 水平荷重

水平荷重については、風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30 m/s に設定し、風荷重については施設の形状により異なるため施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき、以下のとおりである。

$$W = q_H \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q_H = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H \leq Z_b$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{H}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H > Z_b$$

## 4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表4-4に示す。

対象施設ごとの許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ、評価項目を選定し定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」((社)日本電気協会)及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」((社)日本電気協会)(以下「J E A G 4 6 0 1」という。)を準用できる施設については、J E A G 4 6 0 1に基づき「発電用原子力設備規格設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007」(以下「設計・建設規格」という。)の付録材料図表及び J I S の材料物性値により許容限界を算出している。

### (1) 設備

#### a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

##### (a) 電動機フレーム、電動機台、基礎ボルト及び外扇カバー

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、ポンプを構成する電動機フレーム、電動機台、基礎ボルト及び外扇カバーが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

#### b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

##### (a) 電動機フレーム、電動機台、基礎ボルト及び雨よけカバー

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、ポンプを構成する電動機フレーム、電動機台、基礎ボルト及び雨よけカバーが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

#### c. 復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンクの許容限界は、VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設

定している復水貯蔵タンクの構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根板、胴板及び基礎ボルト

復水貯蔵タンクの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，タンクを構成する屋根板，胴板及び基礎ボルトが，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を許容限界として設定する。

d. 軽油タンク室

軽油タンク室の許容限界は，VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している軽油タンク室の構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 頂版

軽油タンク室の頂版については、想定する降下火砕物及び積雪を考慮した荷重が、耐震評価で考慮する積載荷重に包絡されることを確認する。

(b) 鋼製ハッチ

軽油タンク室の鋼製ハッチの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対し，鋼製ハッチを構成する上蓋が，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を許容限界として設定する。

e. 軽油タンク室 (H)

軽油タンク室 (H) の許容限界は，VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している軽油タンク室 (H) の構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 頂版

軽油タンク室 (H) の頂版については、想定する降下火砕物及び積雪を考慮した荷重が、耐震評価で考慮する積載荷重に包絡されることを確認する。

(b) 鋼製ハッチ

軽油タンク室 (H) の鋼製ハッチの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対し，鋼製ハッチを構成する上蓋が，おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を許容限界として設定する。

(2) 建屋

a. 原子炉建屋

原子炉建屋の許容限界は，VI-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している原子炉建屋の構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

原子炉建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重

及びその他の荷重に対し、評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。屋根スラブは、原子炉建屋の要求機能である放射性物質の閉じ込め機能（以下「気密性」という。）及び放射線の遮蔽機能（以下「遮蔽性」という。）を担保するために、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。また、主トラス、サブトラス及び母屋は、構造健全性を維持することを性能目標としていることから、終局耐力に対して妥当な安全裕度を有する許容限界を設定する。

(b) 耐震壁

原子炉建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、構造健全性、気密性能及び遮蔽性能を維持することを性能目標としていることから、J E A G 4 6 0 1に基づき最大せん断ひずみ  $2.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

b. タービン建屋

タービン建屋の許容限界は、VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定しているタービン建屋の構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

タービン建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。タービン建屋の屋根は内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから、屋根スラブは終局耐力、主トラス及びサブトラスは崩壊機構が形成されないことを許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

タービン建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから、J E A G 4 6 0 1に基づき最大せん断ひずみ  $4.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

c. 制御建屋

制御建屋の許容限界は、VI-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している制御建屋の構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

制御建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。制御建屋の屋根は内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから、屋根スラブは終局耐力、主トラスは崩壊機構が形成されないことを許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

制御建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重

及びその他の荷重に対し、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから、J E A G 4 6 0 1に基づき最大せん断ひずみ  $4.0 \times 10^{-3}$  を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-4 施設ごとの許容限界 (1/6)

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
原子炉補機冷却 海水ポンプ	$F_d + F_v$	外扇カバー	曲げ	部材が弾性 域に留まら ず塑性域に 入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて 許容応力状態 Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応 力以下とする*
		電動機 フレーム	曲げ 圧縮		
	$F_d + F_v$ + W + F <sub>p</sub>	電動機台	曲げ 圧縮		
		基礎ボルト	引張 せん断 組合せ		
高圧炉心スプレ イ補機冷却海水 ポンプ	$F_d + F_v$	雨よけカバー	曲げ	部材が弾性 域に留まら ず塑性域に 入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて 許容応力状態 Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応 力以下とする*
		電動機 フレーム	曲げ 圧縮		
	$F_d + F_v$ + W + F <sub>p</sub>	電動機台	曲げ 圧縮		
		基礎ボルト	引張 せん断 組合せ		

$F_d$  : 常時作用する荷重

W : 風荷重

$F_v$  : 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$F_p$  : 運転時の状態で作用する荷重

注記 \* : 表 4-5 J E A G 4 6 0 1 「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を準用する。

表 4-4 施設ごとの許容限界 (2/6)

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
復水貯蔵タンク	$F_d + F_v$	屋根板	一次一般膜 一次膜+一次 曲げ	部材が弾性域 に留まらず塑 性域に入る状 態	J E A G 4 6 0 1 に準じて 許容応力状態 Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応 力以下とする *1,*2
		胴板 (上部)	一次一般膜 一次膜+一次 曲げ		
	$F_d + F_v +$ W	胴板 (下部)	一次一般膜 組合せ一次 座屈		
		基礎ボルト	引張 せん断 組合せ		

$F_d$  : 常時作用する荷重

W : 風荷重

$F_v$  : 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

注記 \*1 : 表 4-5 J E A G 4 6 0 1 「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を準用する。

\*2 : 表 4-6 J E A G 4 6 0 1 「クラス 2,3 容器」の許容限界を準用する。

表 4-4 施設ごとの許容限界 (3/6)

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
軽油タンク室及 び軽油タンク室 (H)	$F_d + F_v$	頂版	曲げ せん断	部材が弾性域 に留まらず塑 性域に入る状 態	降下火砕物及び 積雪を考慮した 荷重が，耐震評 価で考慮する積 載荷重に包絡さ れていること
	$F_d + F_v$	鋼製ハッチ	曲げ	部材が弾性域 に留まらず塑 性域に入る状 態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許 容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S の許容応力以 下とする*

$F_d$  : 常時作用する荷重

$F_v$  : 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

注記 \* : 表 4-5 J E A G 4 6 0 1 「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を準用する。



表 4-4 施設ごとの許容限界 (4/6)

施設名称	要求機能	機能設計上の性能目標	評価対象部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
			屋根			
原子炉建屋	-	構造健全性を維持すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	RC-N規準に基づく終局強度
				主トラス		S規準に基づく弾性限耐力*2
				サブトラス, 母屋		
			耐震壁*1	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$	
	気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること		屋根スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	RC-N規準に基づく短期許容応力度*3
				耐震壁*1 (原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設))	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$ *4
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽機能を損なわないこと		屋根スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	RC-N規準に基づく短期許容応力度*5	
			耐震壁*1 (二次遮蔽壁及び補助遮蔽)	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$	

注記 \*1: 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*2: 弾性限耐力として「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005)」(以下「S規準」という。)の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

\*3: 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

\*4: 事故時に換気性能とあいまって気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、添付書類「VI-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書 別紙-2 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の気密性についての計算書」に示す。

\*5: 許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したのものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。



表 4-4 施設ごとの許容限界 (5/6)

施設名称	要求機能	機能設計上の性能目標	評価対象部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
タービン建屋	-	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	RC-N規準に基づく弾性限耐力* <sup>2</sup>
				主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと* <sup>3</sup>
				サブトラス		
			耐震壁* <sup>1</sup>	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$	

注記 \*1: 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*2: 弾性限耐力として「RC-N規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

\*3: 部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力\*<sup>4</sup>が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式\*<sup>5\*6</sup>及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（(社)日本建築学会、2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。なお、適切な裕度を有していることを、荷重増分解析により確認する。

\*4: 弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

\*5: 鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究、日本建築学会構造工学論文集、Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

\*6: 原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究、日本建築学会構造系論文集 第76巻 第661号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 4-4 施設ごとの許容限界 (6/6)

施設名称	要求機能	機能設計上の性能目標	評価対象部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
制御建屋	-	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	RC-N規準に基づく弾性限耐力* <sup>2</sup>
				主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと* <sup>3</sup>
			耐震壁* <sup>1</sup>		最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ $4.0 \times 10^{-3}$

注記 \*1: 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*2: 弾性限耐力として「RC-N規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

\*3: 部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力\*<sup>4</sup>が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式\*<sup>5</sup>\*<sup>6</sup>及び鋼構造限界状態設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010)による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。なお、適切な裕度を有していることを、荷重増分解析により確認する。

\*4: 弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

\*5: 鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究, 日本建築学会構造工学論文集, Vol. 37B, pp. 303-316, 1991 (谷口元, 加藤勉ほか)

\*6: 原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第76巻 第661号, pp571-580, 2011 (鈴木琢也, 貫井泰ほか)

表 4-5 J E A G 4 6 0 1 「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界

許容応力 状態	許容限界* <sup>1</sup> (ボルト以外)				許容限界* <sup>1</sup> (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	圧縮	曲げ	引張	せん断	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

注記 \*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-6 J E A G 4 6 0 1 「クラス 2, 3 容器」の許容限界

許容応力 状態	許容限界* <sup>2</sup>	
	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	$S_y$ と $0.6 S_u$ の小さい方。 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び 高ニッケル合金については上記値と $1.2 S$ との 大きい方。	左欄の 1.5 倍の値

注記 \*2: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

## 5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ F E M等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

風荷重による影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの 1/2 に集中荷重として作用するものとしており、これは J E A G 4 6 0 1 耐震評価における 1 質点モデルと等価なものであり、地震荷重を風荷重と置き換え J E A G 4 6 0 1 に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、設備及び建屋の強度評価方法を以下に示す。

### 5.1 設備

#### 5.1.1 原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

##### (1) 評価条件

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 風荷重による影響が大きな電動機フレーム、電動機台及び基礎ボルトの強度計算モデルは、1 質点系モデルとし、J E A G 4 6 0 1 の立形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。なお、1 質点系モデルの強度計算において、評価上の高さの 1/2 に集中荷重として作用するものとする。計算モデルを図 5-1～図 5-3 に示す。
- b. 鉛直荷重によって一様な応力が発生する原子炉補機冷却海水ポンプの外扇カバー及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの雨よけカバーは、機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

##### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
原子炉補機冷却海水ポンプ	外扇カバー	曲げ
	電動機フレーム	曲げ, 圧縮
	電動機台	曲げ, 圧縮
	基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ
高圧炉心スプレイ補機冷却 海水ポンプ	雨よけカバー	曲げ
	電動機フレーム	曲げ, 圧縮
	電動機台	曲げ, 圧縮
	基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ  
の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
$A_{11}$	$m^2$	電動機台及び電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_{12}$	$m^2$	電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	降下火砕物等の堆積面積
$A_{bi}$	$mm^2$	ボルトの断面積
$a$	mm	外扇カバー評価時の短辺の長さ
$B$	mm	風の受圧面積算出時のポンプ幅
$b$	mm	外扇カバー評価時の長辺の長さ
$B_1$	mm	電動機台外径
$B_2$	mm	電動機台内径
$B_3$	mm	電動機フレーム外寸
$B_4$	mm	電動機フレーム内寸
$C$	-	風力係数
$C_p$	-	ポンプ振動による震度
$c$	mm	雨よけカバー評価時の天板の半径
$d$	mm	ボルト呼び径
$D_i$	mm	ボルトのピッチ円の直径
$E'$	-	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	-	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
$F$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$F_b$	N	電動機台の自重による軸方向荷重
$f_b$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
$F_{bi}$	N	ボルトに対する引張力
$F_c$	N	電動機の自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$f_c$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
$F_d$	N	電動機の自重による軸方向荷重
$F_p$	N	ポンプスラストによる軸方向荷重
$f_s$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
$f_t$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重

表 5-2 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ  
の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
G	-	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	m	全高
h	mm	降下火砕物等堆積を考慮した取付面からの電動機重心高さ
H <sub>M</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機高さ
H <sub>P</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
h <sub>p</sub>	μm	予想最大全振幅
M	N・mm	電動機台に作用する曲げモーメント
M'	N・mm	電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>1</sub>	N・mm	風荷重により電動機台に作用する曲げモーメント
M <sub>1</sub> '	N・mm	風荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>2</sub>	N・mm	鉛直荷重により電動機台に作用する曲げモーメント
M <sub>2</sub> '	N・mm	鉛直荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>b</sub>	kg	電動機台の質量
m <sub>i</sub>	kg	ボルトに加わる機器質量
M <sub>m</sub>	kg	電動機の質量
M <sub>s</sub>	kg	ポンプスラスト
M <sub>v</sub>	kg	機器に加わる降下火砕物等堆積物の質量
N	rpm	回転数
n <sub>i</sub>	-	ボルトの本数
p	MPa	外扇カバー及び雨よけカバー評価時の等分布荷重
Q <sub>b i</sub>	N	ボルトに対するせん断力
q <sub>H</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
S	mm <sup>2</sup>	電動機台の断面積
S'	mm <sup>2</sup>	電動機フレームの断面積
S <sub>u</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	外扇カバー及び雨よけカバー評価時の厚さ
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W <sub>1</sub>	N	電動機台及び電動機フレームに対する風（台風）による水平荷重
W <sub>2</sub>	N	電動機に対する風（台風）による水平荷重

表 5-2 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ  
の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$Z$	$\text{mm}^3$	電動機台の断面係数
$Z'$	$\text{mm}^3$	電動機フレームの断面係数
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\alpha$	-	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\beta_1$	-	長方形板の最大応力係数
$\pi$	-	円周率
$\sigma_b$	MPa	電動機台に生じる曲げ応力
$\sigma_b'$	MPa	電動機フレームに生じる曲げ応力
$\sigma_b''$	MPa	外扇カバー及び雨よけカバーに発生する最大曲げ応力
$\sigma_{bi}$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	電動機台に生じる圧縮応力
$\sigma_c'$	MPa	電動機フレームに生じる圧縮応力
$\tau_{bi}$	MPa	ボルトに生じるせん断応力



b. 計算モデル

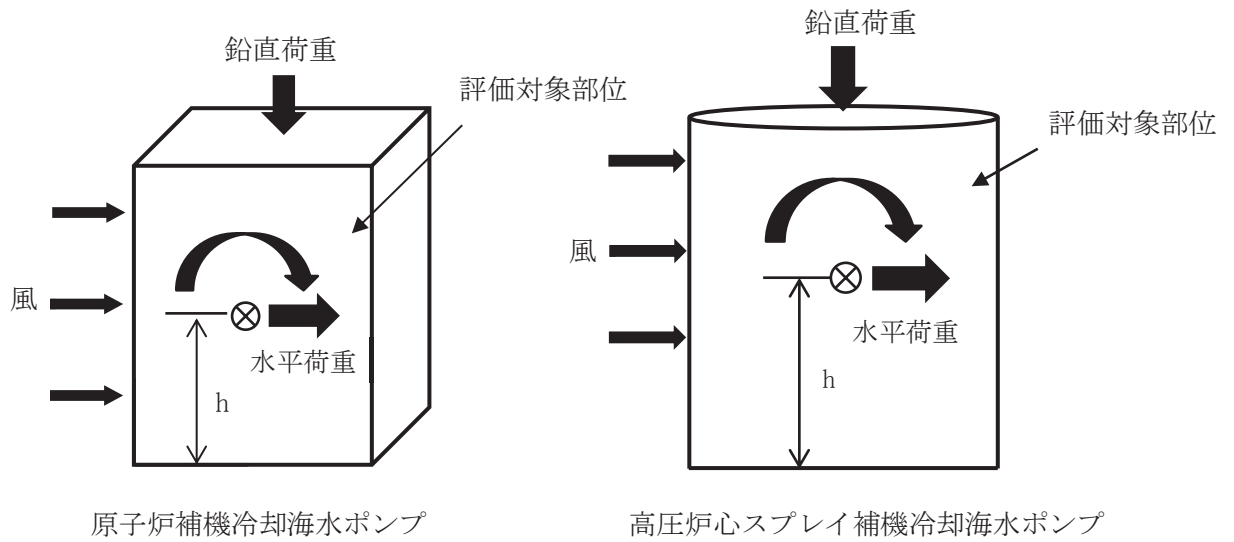


図 5-1 1 質点系モデル図 (電動機フレーム)

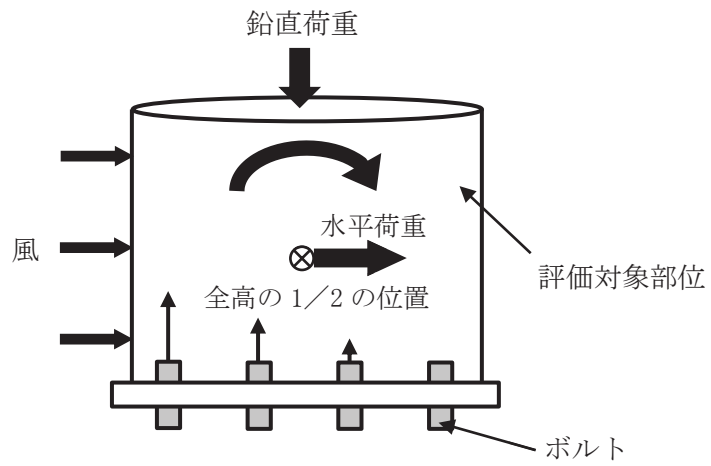


図 5-2 1 質点系モデル図 (電動機台及び基礎ボルト)

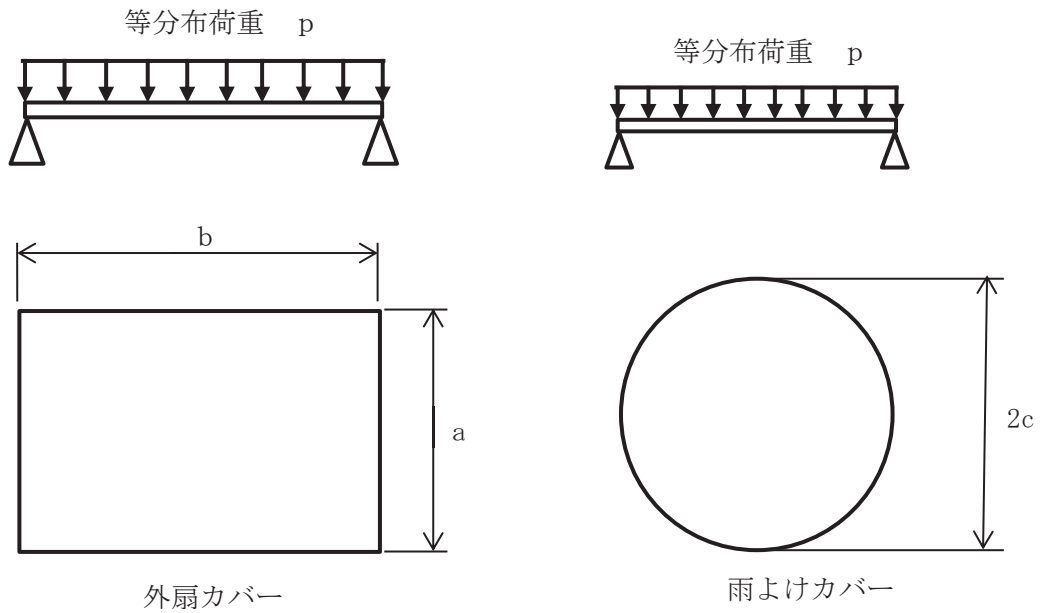


図 5-3 等分布荷重モデル図（外扇カバー及び雨よけカバー）

c. 応力計算

(a) 鉛直方向荷重

イ. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

ロ. 電動機台，電動機フレーム及び基礎ボルトに作用する軸方向荷重

(イ) 電動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$F_c = M_m \cdot g + M_s \cdot g$$

(ロ) 電動機台自重による軸方向荷重

$$F_b = M_b \cdot g$$

(b) 水平方向荷重

$$W_i = q_H \cdot C \cdot A_{1i}$$

ここで，

$i = 1$  : 電動機台及び電動機フレーム

$i = 2$  : 電動機フレーム

$$q_H = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H \leq Z_b$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{H}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H > Z_b$$

(c) 電動機台に生じる応力

イ. 曲げ応力

電動機台に生じる曲げ応力  $\sigma_b$  は次式より算出される。

(イ) 風による水平荷重によって電動機台に作用するモーメント  $M_1$

$$M_1 = W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2}$$

(ロ) 鉛直荷重により電動機台に作用するモーメント  $M_2$

$$M_2 = (F_v + F_c + F_b) \cdot \frac{B_1}{2}$$

(ハ) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{M_1 + M_2}{Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{B_1^4 - B_2^4}{B_1}$$

ロ. 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + F_c + F_b}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (B_1^2 - B_2^2)$$

電動機台の断面図を図 5-4 に示す。

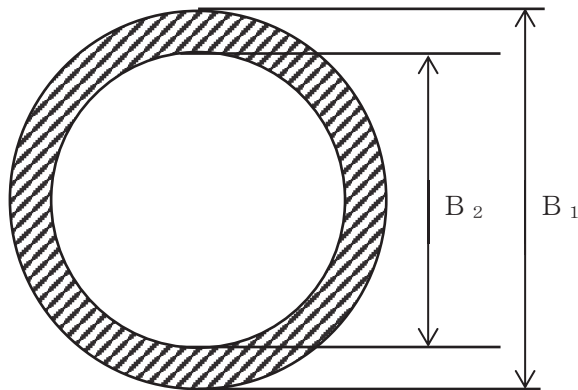


図 5-4 電動機台の断面図

(d) 電動機フレームに生じる応力

イ. 曲げ応力

電動機フレームに生じる曲げ応力  $\sigma_b'$  は次式より算出される。

(イ) 風（台風）による水平荷重により電動機フレームに作用するモーメント  $M_1'$

$$M_1' = W_2 \cdot h$$

(ロ) 鉛直荷重により電動機フレームに作用するモーメント  $M_2'$

$$M_2' = (F_v + F_c) \cdot \frac{B_3}{2}$$

(ハ) 電動機フレームに作用する曲げモーメント  $M'$

$$M' = M_1' + M_2'$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_b' = \frac{M'}{Z'}$$

ここで、

$$\text{原子炉補機冷却海水ポンプのとき } Z' = \frac{1}{6} \cdot \frac{B_3^4 - B_4^4}{B_3}$$

$$\text{高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプのとき } Z' = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{B_3^4 - B_4^4}{B_3}$$

ロ. 圧縮応力

電動機フレームに生じる圧縮応力  $\sigma_c'$  は次式より算出される。

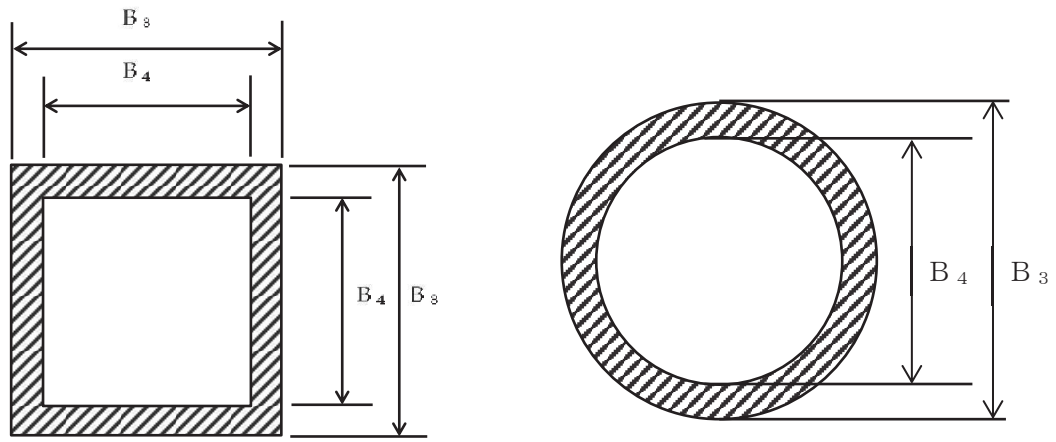
$$\sigma_c' = \frac{F_v + F_c}{S'}$$

ここで、

$$\text{原子炉補機冷却海水ポンプのとき } S' = B_3^2 - B_4^2$$

$$\text{高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプのとき } S' = \frac{\pi}{4} \cdot (B_3^2 - B_4^2)$$

電動機フレームの断面図を図 5-5 に示す。



原子炉補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

図 5-5 電動機フレームの断面図

(e) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より算出される。

(イ) ボルトに対する引張力

$$F_{bi} = \frac{W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2} - (m_i + M_s + M_v) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ただし、 $F_{bi} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bi} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

(ロ) 引張応力

$$\begin{aligned} \sigma_{bi} &= \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \\ &= \frac{W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2} - (m_i + M_s + M_v) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i} \cdot \frac{1}{A_{bi}} \end{aligned}$$

ここで、

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{bi}$  は次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

(イ) ボルトに対するせん断力

$$Q_{b i} = W_1$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} = \frac{W_1}{n_i \cdot A_{b i}}$$

(f) 外扇カバー

イ. 曲げ応力

外扇カバーの天板に生じる応力は次式により算出される。

$$\sigma_{b \prime \prime} = \beta_1 \cdot \frac{p \cdot a^2}{t^2}$$

(g) 雨よけカバー

イ. 曲げ応力

雨よけカバーに生じる曲げ応力は次式により算出される。

$$\sigma_{b \prime \prime} = 1.24 \cdot \frac{p \cdot c^2}{t^2}$$

### 5.1.2 復水貯蔵タンク

#### (1) 評価条件

復水貯蔵タンクの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 平底たて置円筒形容器の強度計算において、風荷重による影響が大きな胴板（下部）及び基礎ボルトは1質点系モデルとして強度評価式により評価し、降下火砕物等が堆積する屋根板及びその屋根板に接続する胴板（上部）はFEM解析により評価を行う。計算モデルを図5-6に示す。
- b. 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- c. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、建築基準法施行令第86条に基づき、屋根の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚により上載質量を算出し、屋根板表面積で除することにより入力荷重を算出し等分布荷重として保守的に設定する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
復水貯蔵タンク	屋根板	一次一般膜応力, 一次膜応力+一次曲げ応力
	胴板（上部）	一次一般膜応力, 一次膜応力+一次曲げ応力
	胴板（下部）	一次一般膜応力, 組合せ一次応力, 座屈
	基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ

#### (3) 強度評価方法（1質点系モデル）

##### a. 記号の定義

復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号を表 5-4 に示す。

表 5-4 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	風を受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
$A_b$	$mm^2$	基礎ボルトの呼び径断面積
$A_f$	$m^2$	屋根板表面積
$C$	—	風力係数
$C_c$	—	基礎ボルト計算における係数
$C_t$	—	基礎ボルト計算における係数
$D_c$	mm	基礎ボルトのピッチ円直径
$D_i$	mm	胴の内径
$D_{bi}$	mm	ベースプレートの内径
$D_{bo}$	mm	ベースプレートの外径
$E$	MPa	胴の縦弾性係数
$e$	—	基礎ボルト計算における係数
$E'$	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
$F$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$f_b$	MPa	曲げモーメントにより生じる座屈応力
$F_c$	N	基礎に作用する圧縮力
$f_c$	MPa	軸圧縮荷重により生じる座屈応力
$F_d$	N	常時作用する荷重
$f_s$	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容せん断応力
$F_t$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$f_t$	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容引張応力
$f_{ts}$	MPa	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重



表 5-4 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	m	全高
H <sub>h</sub>	mm	液面高さ
k	—	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数
ℓ <sub>1</sub> , ℓ <sub>2</sub>	mm	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離
ℓ <sub>g</sub>	mm	容器重心までの高さ
M	N・mm	風荷重による曲げモーメント
m <sub>0</sub>	kg	容器の有効運転質量
m <sub>e</sub>	kg	容器の空質量
m <sub>s</sub>	kg	屋根板に加わる降下火砕物等の堆積による質量
n	—	基礎ボルトの本数
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
R <sub>B</sub>	mm	胴平均半径
S	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される許容引張応力
s	—	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比
S <sub>0</sub>	MPa	屋根板又は胴板の一次一般膜応力の許容値
S <sub>1</sub>	MPa	屋根板又は胴板の一次膜応力＋一次曲げ応力の許容値
S <sub>u</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	胴板の厚さ
t <sub>1</sub>	mm	基礎ボルト面積相当板幅
t <sub>2</sub>	mm	圧縮側基礎相当幅
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W	N	風(台風)による水平荷重
z	—	基礎ボルト計算における係数
Z <sub>b</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
Z <sub>G</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
α <sub>1</sub>	—	座屈応力に対する安全率
α <sub>2</sub>	rad	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度

表 5-4 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$\eta$	—	$R_B / t$
$\eta_1$	—	$1200 \times g / F$
$\eta_2$	—	$8000 \times g / F$
$\eta_3$	—	$9600 \times g / F$
$\nu$	—	ポアソン比
$\pi$	—	円周率
$\rho_w$	kg/mm <sup>3</sup>	保有水の比重 (= 比重 $\times 10^{-6}$ )
$\sigma_0$	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力
$\sigma_{0c}$	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)
$\sigma_{0t}$	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (引張)
$\sigma_1$	MPa	胴に生じる組合せ一次応力
$\sigma_b$	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	基礎に生じる圧縮応力
$\sigma_{x1}$	MPa	静水頭により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{x2}$	MPa	自重 (空質量) 及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{x4}$	MPa	風荷重により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{xbs}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
$\sigma_{xc}$	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)
$\sigma_{xcs}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_{xt}$	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (引張)
$\sigma_\phi$	MPa	胴に生じる周方向応力の和
$\sigma_{\phi 1}$	MPa	静水頭により胴に生じる周方向応力
$\tau$	MPa	風荷重により胴に生じるせん断応力
$\tau_b$	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力
$\phi_b(x)$	—	座屈応力 $f_b$ を算出する際の関数
$\phi_c(x)$	—	座屈応力 $f_c$ を算出する際の関数

b. 計算モデル

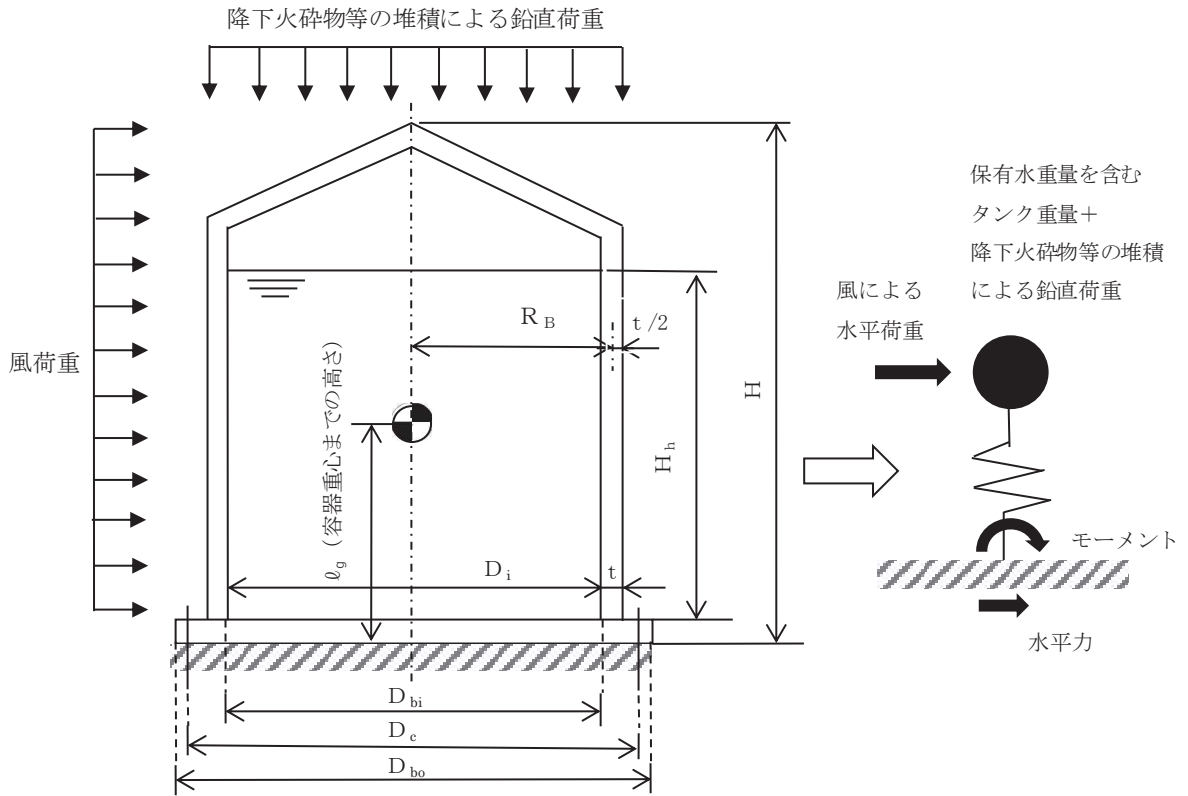


図 5-6 平底たて置円筒形容器モデル図

c. 応力計算

(a) 鉛直方向荷重

イ. 降下火砕物等堆積による屋根板に作用する鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_f$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i + 2 \cdot t)^2$$

ロ. 屋根板に加わる降下火砕物等の堆積による質量

1 質点モデル系では、タンク質量に上記鉛直荷重分の質量を加えることとする。よって、屋根板の堆積質量  $m_s$  は以下となる。

$$m_s = \frac{F_v}{g}$$

(b) 水平方向荷重

イ. 受圧面積

$$A_1 = H \cdot (D_i + 2 \cdot t)$$

ロ. 風荷重

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

タンク全高Hが5 m以上であるため、Hが $Z_b$ を超える場合の式を用いる。

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{H}{Z_G} \right)^\alpha$$

ハ. 風荷重による曲げモーメント

$$M = W \cdot \ell_g$$

このとき、タンク重心高さ $\ell_g$ はタンク全高Hの半分とする。

(c) 胴に生じる応力

イ. 静水頭により胴に生じる応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot \rho_w \cdot g \cdot H_h \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{x 1} = 0$$

ロ. 自重（空質量）と降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_e + m_s) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

ハ. 風荷重により生じる応力

風荷重の曲げモーメントにより胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

風荷重により胴に生じるせん断応力

$$\tau = \frac{2 \cdot W}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

ニ. 胴に生じる組合せ一次一般膜応力及び組合せ一次応力

(イ) 組合せ引張応力

胴に生じる周方向応力の和（引張）

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和（引張）

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4}$$

胴に生じる組合せ一次一般膜応力（引張）

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi} + \sigma_{xt}) + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

(ロ) 組合せ圧縮応力

胴に生じる周方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4}$$

$\sigma_{xc}$  が正の値 (圧縮側) のとき, 胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi} + \sigma_{xc}) + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

(ハ) 組合せ応力

胴に生じる組合せ一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{0t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{0c}) \right\}$$

組合せ一次応力は組合せ一次一般膜応力と同じ値になる。

ホ. 軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{xcs} = \sigma_{x2}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{xbs} = \sigma_{x4}$$

(d) 胴の座屈評価

イ. 軸圧縮荷重により生じる座屈応力  $f_c$

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \{F - \phi_c(\eta_2)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \phi_c(\eta) & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_c(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

ロ. 曲げモーメントにより生じる座屈応力  $f_b$

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \{F - \phi_b(\eta_3)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \phi_b(\eta) & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_b(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

ハ. 安全率  $\alpha_1$

安全率は、各荷重の組合せに対して

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600 \cdot g} \cdot (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで,

$$\eta = \frac{R_B}{t}, \quad \eta_1 = \frac{1200 \cdot g}{F}, \quad \eta_2 = \frac{8000 \cdot g}{F}, \quad \eta_3 = \frac{9600 \cdot g}{F}$$

ニ. 座屈評価

以下の式により評価を行う。

$$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$$

(e) 基礎ボルトの計算方法

イ. 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{W}{n \cdot A_b}$$

ロ. 基礎ボルトに生じる引張応力

風荷重により作用する転倒モーメント  $M$  が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

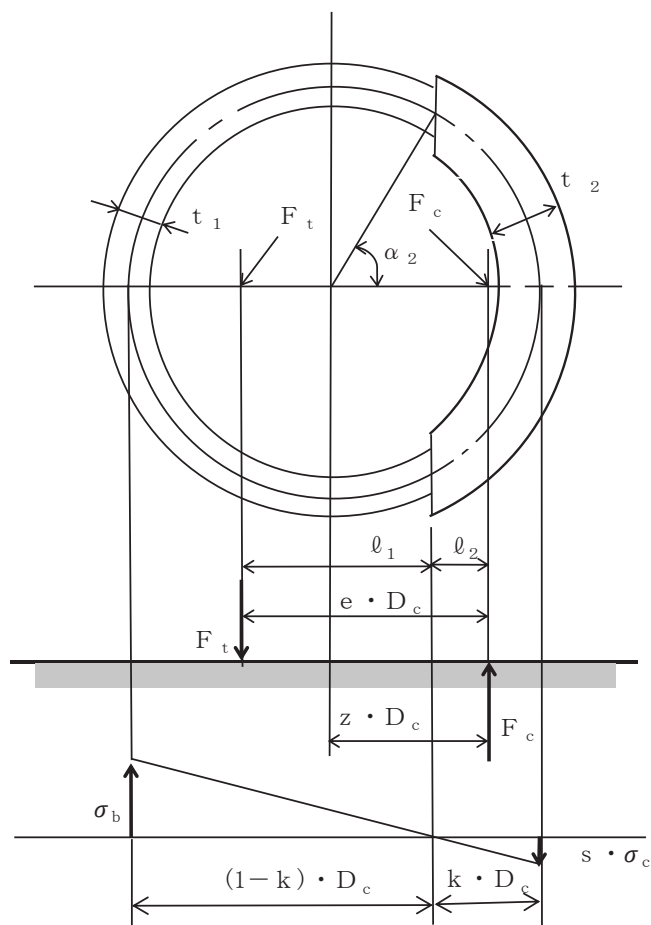


図 5-7 基礎の荷重説明図

- (イ)  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数  $k$  を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

- (ロ) 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度  $\alpha_2$  を求める。

$$\alpha_2 = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k)$$

- (ハ) 各定数  $e$ ,  $z$ ,  $C_t$  及び  $C_c$  を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{\left( (\pi - \alpha_2) \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha_2) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 \right)}{\left( (\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2 \right)} + \frac{\left( \frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2 \right)}{\left( \sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 \right)} \right\}$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left( \cos \alpha_2 + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2\}}{1 + \cos \alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2)}{1 - \cos \alpha_2}$$

(二) 各定数を用いて  $F_t$  及び  $F_c$  を求める。

$$F_t = \frac{M - (m_0 + m_s) \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + (m_0 + m_s) \cdot g$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha_2$  が  $\pi$  に等しくなったときであり、 $\alpha_2$  を  $\pi$  に近づけた場合の値  $e = 0.75$  及び  $z = 0.25$  を求める式に代入し、得られる  $F_t$  の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$  ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$  ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

(ホ)  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1$$

$\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  が (イ) にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。



### 5.1.3 軽油タンク室，軽油タンク室（H）

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の頂版については，耐震評価において，機器配管荷重に加え，4900（N/m<sup>2</sup>）の荷重を積載荷重として考慮している。そのため，表 5-5 に示すとおり，想定する降下火砕物及び積雪を考慮した荷重は，耐震評価で考慮する積載荷重に包絡されることから，構造健全性は維持される。

表 5-5 頂版に対する降下火砕物及び積雪荷重と積載荷重

（単位：N/m<sup>2</sup>）

降下火砕物及び積雪荷重	積載荷重（機器配管荷重以外）
3067	4900

#### (1) 評価条件

鋼製ハッチの強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 鉛直荷重によって一様な応力が発生する鋼製ハッチは，機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。計算モデル図を図 5-8 に示す。
- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。
- c. 降下火砕物等堆積による鉛直方向荷重については，鋼製ハッチの面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-6 に示す。

表 5-6 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
鋼製ハッチ	上蓋	曲げ

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

鋼製ハッチの強度評価に用いる記号を表 5-7 に示す。

表 5-7 鋼製ハッチの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	鋼製ハッチ上蓋の短辺の長さ
$A_2$	$m^2$	降下火砕物等の堆積面積
b	mm	鋼製ハッチ上蓋の長辺の長さ
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$f_b$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
$F_d$	N	鋼製ハッチ上蓋の自重による鉛直荷重
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
g	$m/s^2$	重力加速度
m	kg	鋼製ハッチ上蓋質量
p	MPa	鋼製ハッチ上蓋評価時の等分布荷重
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	鋼製ハッチ上蓋の厚さ
$\beta_1$	—	長方形板の最大応力係数
$\sigma_b$	MPa	鋼製ハッチ上蓋に発生する最大曲げ応力

b. 計算モデル

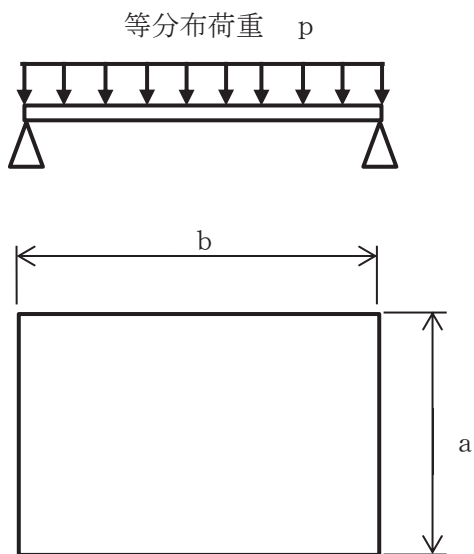


図 5-8 4 辺支持等分布荷重モデル図

c. 応力計算

(a) 鉛直方向荷重

イ. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

ここで,

$$A_2 = a \cdot b$$

ロ. 鋼製ハッチ上蓋質量による鉛直方向荷重

$$F_d = m \cdot g$$

(b) 応力評価

イ. 曲げ応力

$$\sigma_b = \beta_1 \cdot \frac{p \cdot a^2}{t}$$

ここで,

$$p = \frac{F_d + F_v}{A_2}$$

5.2 建屋

(1) 評価条件

建屋の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重として 3067 N/m<sup>2</sup>, 風荷重については基準風速 30 m/s を考慮する。
- c. 風荷重の算出は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し、受圧面積算定において、隣接する建屋の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- d. 水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、屋根面の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。
- e. 質点系解析モデルの復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮するとせん断力や曲げモーメントの第 1 折点の増大が見込まれるため、耐震壁の評価においては、保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-8 に示す。

表 5-8 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
屋根スラブ	曲げ, せん断
耐震壁	変形
屋根トラス	変形

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

建屋の強度評価に用いる記号を表 5-9 に示す。

表 5-9 建屋の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$F_{d0}$	$N/m^2$	固定荷重
$F_1$	$N/m^2$	積載荷重
$F_s$	$N/m^2$	積雪荷重
$F_{v0}$	$N/m^2$	降下火砕物堆積による鉛直荷重
$W$	$N$	風荷重
$F_{d'}$	$N/m^2$	常時作用する荷重

b. 屋根スラブの許容堆積荷重と降下火砕物堆積等による鉛直荷重の比較

「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえ、屋根スラブの許容堆積荷重と降下火砕物堆積等による鉛直荷重を比較し、降下火砕物堆積等による鉛直荷重が、各建屋の屋根スラブの許容堆積荷重に包絡されることを確認する。

比較においては、許容応力度の比（短期/長期=1.5 以上）から、短期では少なくとも長期の 1.5 倍の荷重が負担できるため、これを短期許容荷重とし、短期許容荷重と長期荷重の差分を許容堆積荷重とする。許容堆積荷重の算定フローを図 5-9 に示す。

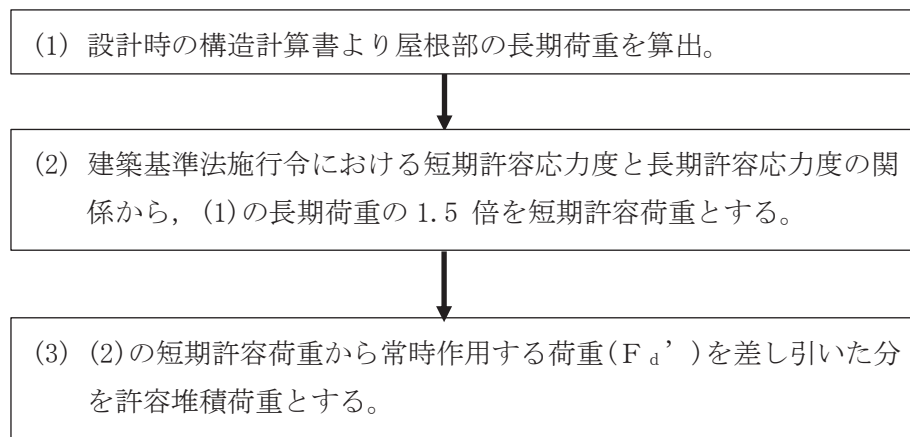


図 5-9 許容堆積荷重算定フロー

c. 屋根スラブの応力計算

応力解析モデル又は2スパンの連続ばりとした評価モデルを用いて、屋根に作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重、降下火砕物堆積による鉛直荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

d. 耐震壁の応答計算

質点系解析モデルを用いて、風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

e. 屋根トラスの応答・応力計算

3次元FEMモデルによる地震応答解析又は2次元フレームモデルによる弾性応力解析により屋根トラスに発生する応力を求める。

(4) 強度評価結果

「(3) 強度評価方法」の「b. 屋根スラブの許容堆積荷重と降下火砕物堆積等による鉛直荷重の比較」に基づいた比較結果を表5-10に示す。

降下火砕物堆積等による鉛直荷重が、各建屋の屋根スラブの許容堆積荷重に包絡されることを確認した。いずれも包絡されていることから構造健全性は維持される。

表5-10 屋根スラブの許容堆積荷重と降下火砕物堆積等による鉛直荷重の比較結果

	建屋 部位	設計時許容荷重(N/m <sup>2</sup> )		常時作用する 荷重F <sub>d</sub> ' (N/m <sup>2</sup> )	許容堆積 荷重 (N/m <sup>2</sup> )	降下火砕物等堆積 による鉛直荷重 F <sub>v0</sub> (N/m <sup>2</sup> )
		長期	短期			
原子炉 建屋	屋根スラブ O.P. 50.5m	6275	9412	5295	4117	3067
	屋根スラブ O.P. 41.2m	6864	10296	5884	4412	3067
	屋根スラブ O.P. 33.2m	17945	26917	16965	9952	3067
タービン 建屋	屋根スラブ O.P. 47.3m	6275	9412	5295	4117	3067
	屋根スラブ O.P. 32.8m	9119	13678	8139	5539	3067
制御 建屋	屋根スラブ O.P. 33.35m	7158	10737	6178	4559	3067
	屋根スラブ O.P. 29.15m	10001	15001	9021	5980	3067

## 6. 適用規格

VI-1-1-2-4-1 においては，降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，各対象施設の強度評価に用いる規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 宮城県 建築基準法施行細則（昭和 46 年 3 月 30 日 宮城県規則第 21 号）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- (4) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999）
- (5) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005）
- (6) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004）
- (7) 鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）
- (8) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- (9) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- (10) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (11) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007（（社）日本機械学会）
- (12) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015）
- (13) 新版機械工学便覧（1987 年 日本機械学会編）
- (14) 日本産業規格（J I S）

（参考文献）

- ・鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B，pp. 303-316. 1991（谷口元，加藤勉ほか）
- ・原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号，pp571-580，2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）
- ・建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成 27 年度）

VI-3-別添 2-1-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の定義	7
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	15
4. 評価条件	21
5. 強度評価結果	23



1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉補機冷却海水ポンプが降下火砕物等堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

原子炉補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、原子炉補機冷却海水ポンプの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

原子炉補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図 2-1 に示す。

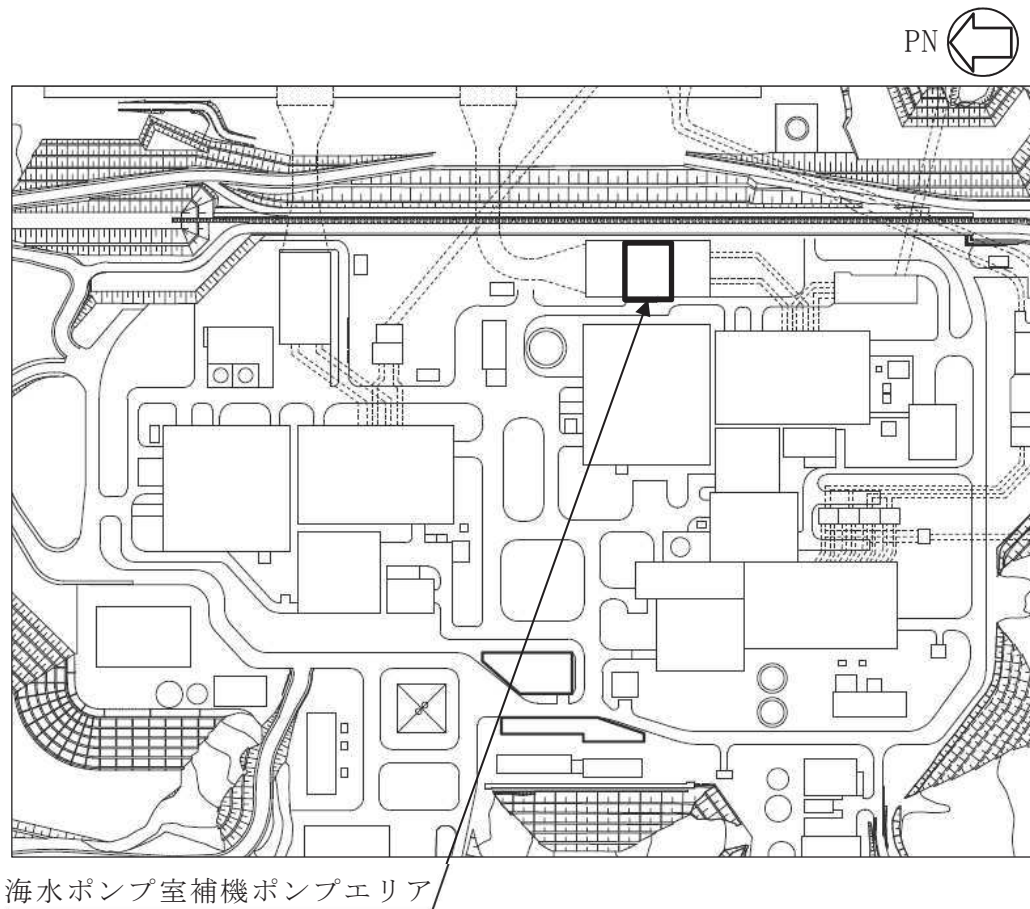


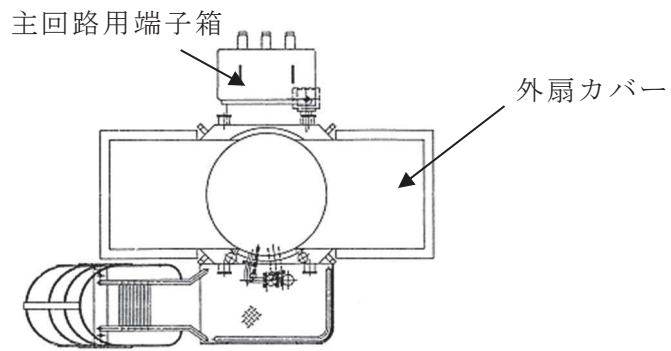
図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

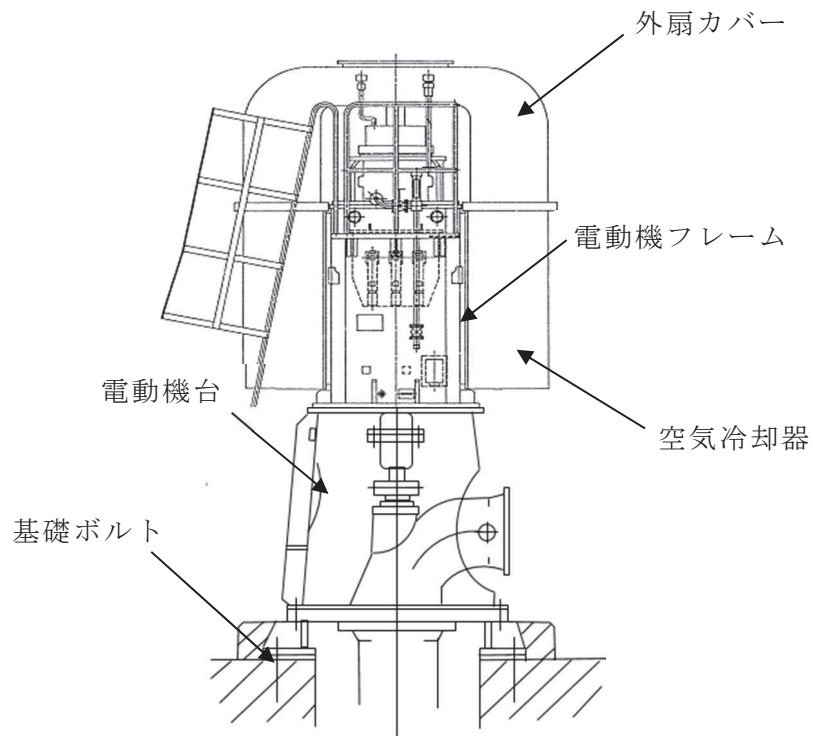
原子炉補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

原子炉補機冷却海水ポンプは、ポンプ据付面から電動機台までのポンプ部と、電動機台より上部の電動機部からなる立形ポンプであり、同一設計の原子炉補機冷却海水ポンプ4台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風（台風）による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の形状は四角形を基本としたフレームに、主回路用端子箱が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重は全て電動機フレーム及び電動機台に作用する構造とする。原子炉補機冷却海水ポンプが風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3、降下火砕物等が原子炉補機冷却海水ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4に示す。



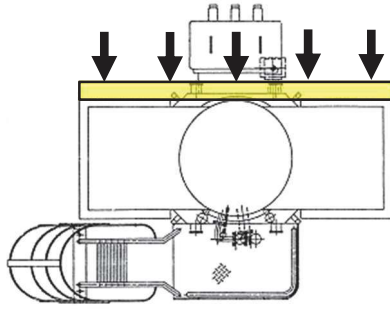
(a) 上面図



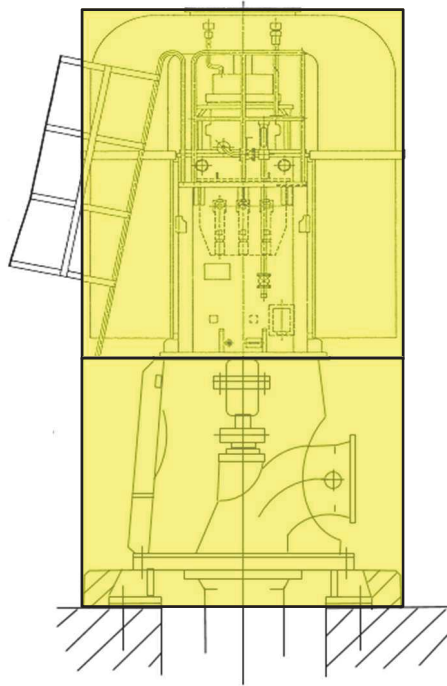
(b) 側面図

図 2-2 原子炉補機冷却海水ポンプの概要図

風（台風）による水平荷重の方向  
風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面



(a) 上面図



(b) 側面図

図 2-3 風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図

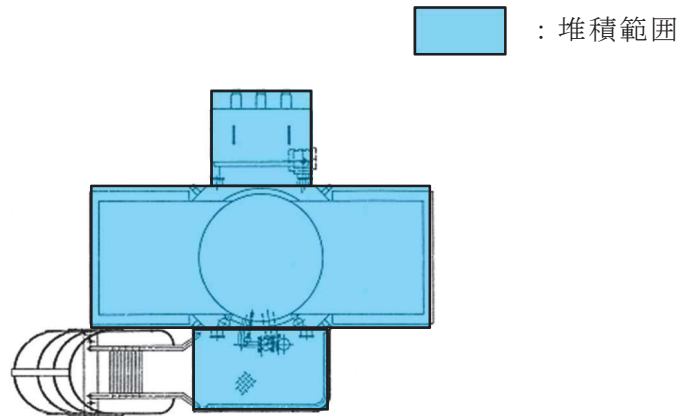


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

### 2.3 評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、ポンプ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添2-1 火山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」に示す評価式を用いる。原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

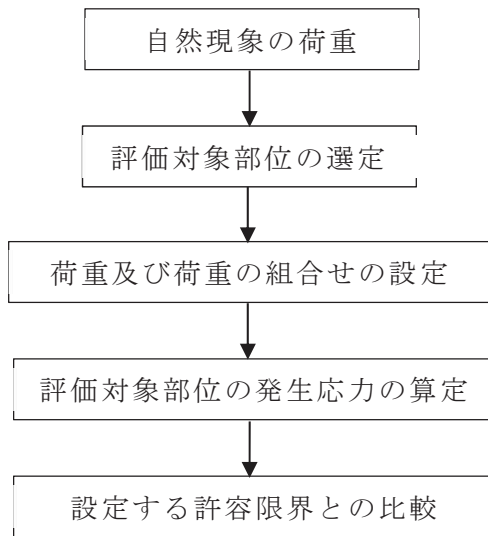


図2-5 原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 宮城県 建築基準法施行細則（昭和46年3月30日 宮城県規則第21号）
- (3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J A E G 4 6 0 1 ・  
補-1984（（社）日本電気協会）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J A E G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電  
気協会）
- (7) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007（（社）  
日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）
- (8) 新版機械工学便覧（1987年 日本機械学会編）
- (9) 日本産業規格（J I S）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
$A_{11}$	$m^2$	電動機台及び電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_{12}$	$m^2$	電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	降下火砕物等の堆積面積
$A_{bi}$	$mm^2$	ボルトの断面積
$a$	mm	外扇カバー評価時の短辺の長さ
$B$	mm	風の受圧面積算出時のポンプ幅
$b$	mm	外扇カバー評価時の長辺の長さ
$B_1$	mm	電動機台外径
$B_2$	mm	電動機台内径
$B_3$	mm	電動機フレーム外寸
$B_4$	mm	電動機フレーム内寸
$C$	—	風力係数
$C_p$	—	ポンプ振動による震度
$d$	mm	ボルト呼び径
$D_i$	mm	ボルトのピッチ円の直径
$E'$	—	建設基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
$F$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$F_b$	N	電動機台の自重による軸方向荷重
$f_b$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
$F_{bi}$	N	ボルトに対する引張力
$F_c$	N	電動機の自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$f_c$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
$F_d$	N	電動機の自重による軸方向荷重
$F_p$	N	ポンプスラストによる軸方向荷重
$f_s$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
$f_t$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重

表 3-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	m	全高
h	mm	降下火砕物等堆積を考慮した取付面からの電動機重心高さ
H <sub>M</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機高さ
H <sub>P</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
h <sub>p</sub>	μm	予想最大全振幅
M	N・mm	電動機台に作用する曲げモーメント
M'	N・mm	電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>1</sub>	N・mm	風荷重により電動機台に作用する曲げモーメント
M <sub>1</sub> '	N・mm	風荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>2</sub>	N・mm	鉛直荷重により電動機台に作用する曲げモーメント
M <sub>2</sub> '	N・mm	鉛直荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>b</sub>	kg	電動機台の質量
m <sub>i</sub>	kg	ボルトに加わる機器質量
M <sub>m</sub>	kg	電動機の質量
M <sub>s</sub>	kg	ポンプスラスト
M <sub>v</sub>	kg	機器に加わる降下火砕物等堆積物の質量
N	rpm	回転数
n <sub>i</sub>	—	ボルトの本数
p	N/m <sup>2</sup>	外扇カバー評価時の等分布荷重
Q <sub>b i</sub>	N	ボルトに対するせん断力
q <sub>H</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
S	mm <sup>2</sup>	電動機台の断面積
S'	mm <sup>2</sup>	電動機フレームの断面積
S <sub>u</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	外扇カバー評価時の天板の厚さ
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W <sub>1</sub>	N	電動機台及び電動機フレームに対する風（台風）による水平荷重
W <sub>2</sub>	N	電動機フレームに対する風（台風）による水平荷重



表 3-1 原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$Z$	$\text{mm}^3$	電動機台の断面係数
$Z'$	$\text{mm}^3$	電動機フレームの断面係数
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\beta_1$	—	長方形板の最大応力係数
$\pi$	—	円周率
$\sigma_b$	MPa	電動機台に生じる曲げ応力
$\sigma_b'$	MPa	電動機フレームに生じる曲げ応力
$\sigma_b''$	MPa	外扇カバーに発生する最大曲げ応力
$\sigma_{bi}$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	電動機台に生じる圧縮応力
$\sigma_c'$	MPa	電動機フレームに生じる圧縮応力
$\tau_{bi}$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

### 3.2 評価対象部位

原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、電動機台、電動機フレーム、外扇カバー及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積する電動機上部の外扇カバー及び主回路用端子箱等を介して支持している電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して基礎ボルトに伝達する。

また、風（台風）による水平荷重は、外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して基礎ボルトに伝達する。さらに、ポンプのラスト荷重は全て電動機フレーム及び電動機台に作用する。

このことから、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては、電動機フレーム、電動機台、外扇カバー及び基礎ボルトを評価対象部位とする。また、風（台風）による水平荷重に対しては、電動機フレーム、電動機台及び基礎ボルトを評価対象部位とする。

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

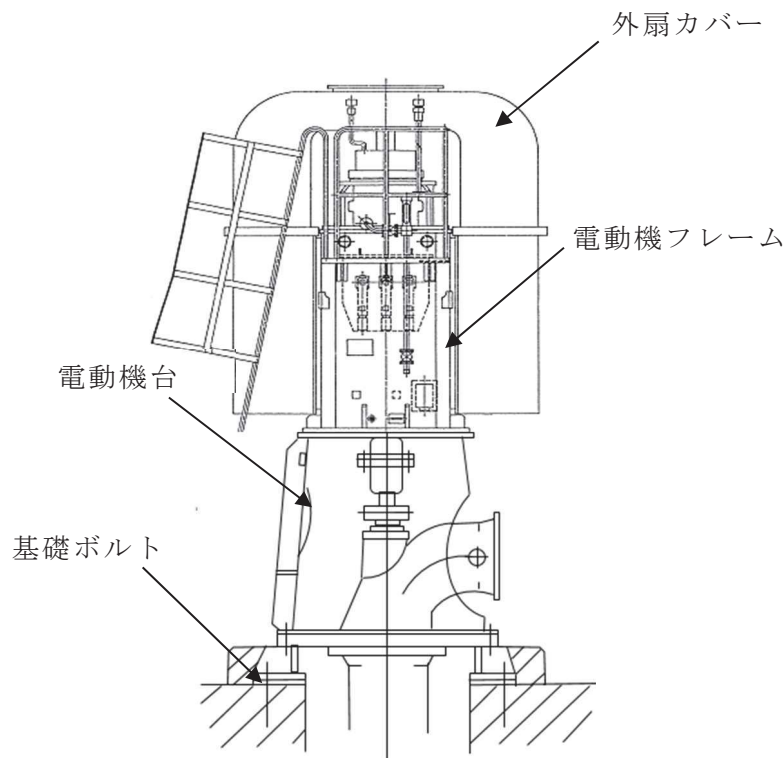


図 3-1 原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、電動機の自重を考慮する。

##### b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ( $F_v'$ )

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 $3067 \text{ N/m}^2$ とする。

##### c. 風（台風）による水平荷重 ( $W_i$ )

風（台風）による水平荷重は、基準風速  $30 \text{ m/s}$  に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。

風（台風）による水平荷重は、風（台風）の影響を受ける面積が大きい外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台に発生する水平荷重を考慮する。なお、水平荷重は外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台に発生する水平荷重を包絡するような面積を設定し算出する。

風（台風）による水平荷重による  $W_i$  は以下のようにして求める。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

$$W_i = q_H \cdot C \cdot A_{1i}$$

ここで、

$i = 1$  : 電動機台及び電動機フレーム

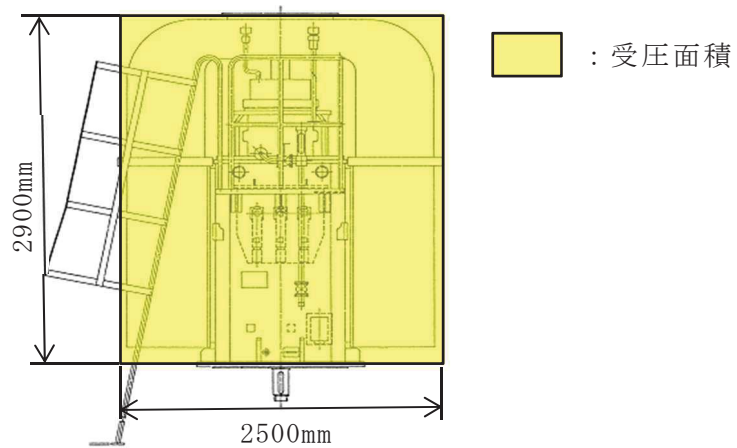
$i = 2$  : 電動機フレーム

$$q_H = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

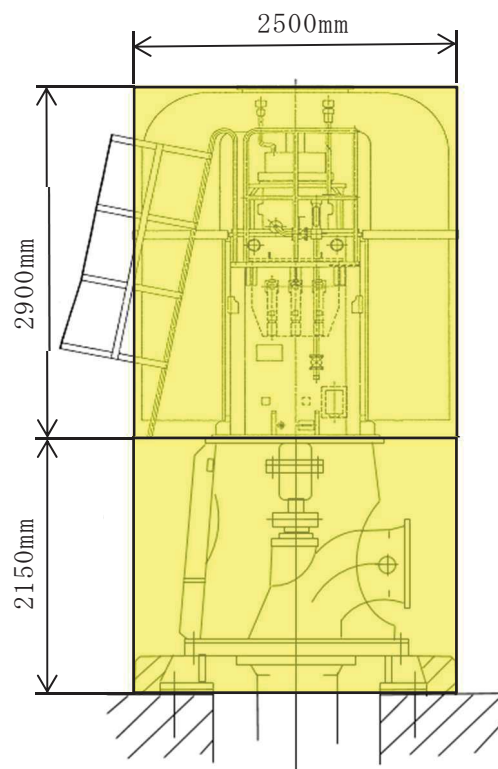
$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H \leq Z_b$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{H}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H > Z_b$$



(a) 電動機フレーム評価



(b) 電動機台及び基礎ボルト評価

図 3-2 風（台風）による水平荷重の受圧面積

d. 運転時の状態で作用する荷重 ( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重は、鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

原子炉補機冷却海水ポンプには、自重、降下火砕物堆積による鉛直荷重、風（台風）による水平荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

設備名称	評価対象部位	荷重
原子炉補機冷却海水ポンプ	電動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	電動機フレーム	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	外扇カバー	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重

3.4 許容限界

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を用いる。

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度又は許容最高温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図

表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界を表 3-3、許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3 原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
電動機台	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5f <sub>b</sub>
			圧縮	1.5f <sub>c</sub>
電動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5f <sub>b</sub>
			圧縮	1.5f <sub>c</sub>
基礎ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	1.5f <sub>t</sub>
			せん断	1.5f <sub>s</sub>
			組合せ	Min(1.5f <sub>t</sub> , (2.1f <sub>t</sub> -1.6τ <sub>bi</sub> ))
外扇カバー	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5f <sub>b</sub>

表 3-4 原子炉補機冷却海水ポンプの許容応力

評価対象部位	材質	温度 条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5f <sub>c</sub> (MPa)	1.5f <sub>b</sub> (MPa)	1.5f <sub>t</sub> (MPa)	1.5f <sub>s</sub> (MPa)
電動機台	SM400A	40* <sup>1</sup>	235	400	235	234	271	—	—
電動機 フレーム	SS400	155* <sup>2</sup>	205	373	205	205	237	—	—
基礎ボルト	SCM435	40* <sup>1</sup>	785	930	651	—	—	488	375
外扇カバー	SS400	40* <sup>1</sup>	245	400	245	—	282	—	—

注記 \*1: 周囲環境温度

\*2: 電動機の耐熱クラス F 種における許容最高温度

### 3.5 評価方法

原子炉補機冷却海水ポンプの応力評価は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」にて設定している評価式を用いる。

#### (1) 評価モデル

降下火砕物等堆積による鉛直荷重，ポンプスラスト荷重（鉛直荷重）及び自重（鉛直荷重）並びに風（台風）による水平荷重に対する，電動機フレーム，電動機台及び基礎ボルトの構造健全性を1質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの1/2とする。原子炉補機冷却海水ポンプの1質点系モデル図を図3-3及び図3-4に示す。

鉛直荷重によって一様な応力が発生する外扇カバーは，上面を四辺支持の平板として評価を行う。評価モデルを図3-5に示す。

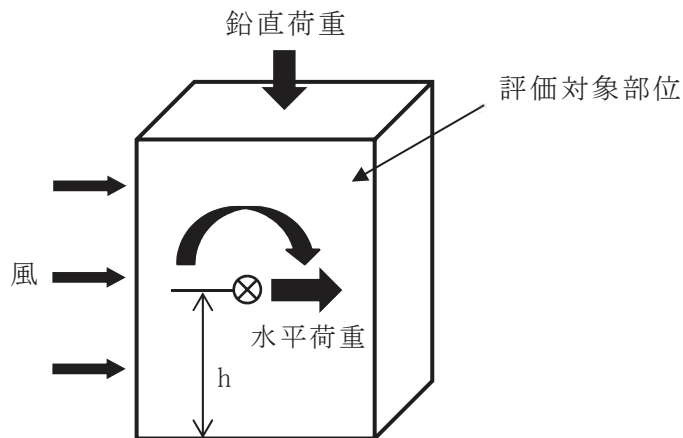


図 3-3 1 質点系モデル図（電動機フレーム）

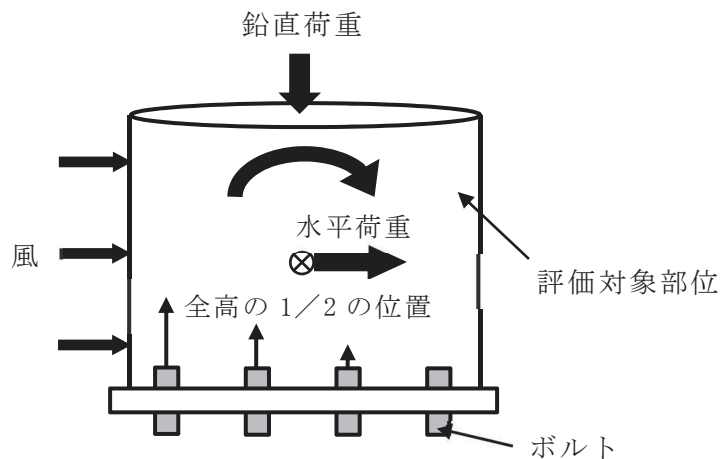


図 3-4 1 質点系モデル図（電動機台及び基礎ボルト）

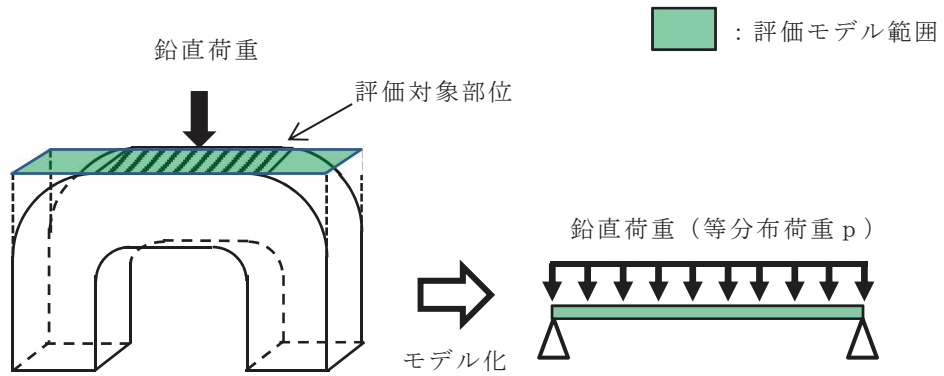


図 3-5 外扇カバーのモデル図

(2) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重を算出するにあたり，考慮する降下火砕物等堆積範囲を図 3-6 に示す。堆積範囲の面積は，降下火砕物等が堆積する形状である外扇カバー，主回路用端子箱及び作業架台の面積を包絡するものとする。

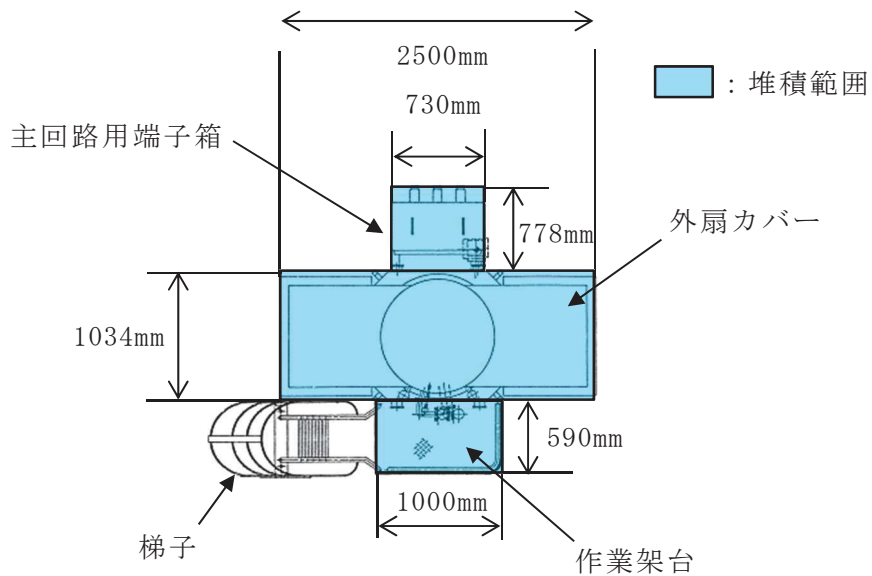


図 3-6 考慮する降下火砕物等堆積範囲



- (b) 電動機台、電動機フレーム及び基礎ボルトに作用する鉛直荷重  
 イ. 電動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$F_c = M_m \cdot g + M_s \cdot g$$

- ロ. 電動機台による鉛直荷重

$$F_b = M_b \cdot g$$

b. 応力評価

- (a) 電動機台に生じる応力

- イ. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{M_1 + M_2}{Z}$$

ここで、水平荷重及び鉛直荷重によるモーメント $M_1$ 、 $M_2$ は以下の式より求める。

$$M_1 = W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2}$$

$$M_2 = (F_v + F_c + F_b) \cdot \frac{B_1}{2}$$

また、電動機台の断面係数 $Z$ は

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{B_1^4 - B_2^4}{B_1}$$

- ロ. 圧縮応力

電動機台に生じる圧縮応力 $\sigma_c$ は次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + F_c + F_b}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (B_1^2 - B_2^2)$$

電動機台の断面図を図 3-7 に示す。

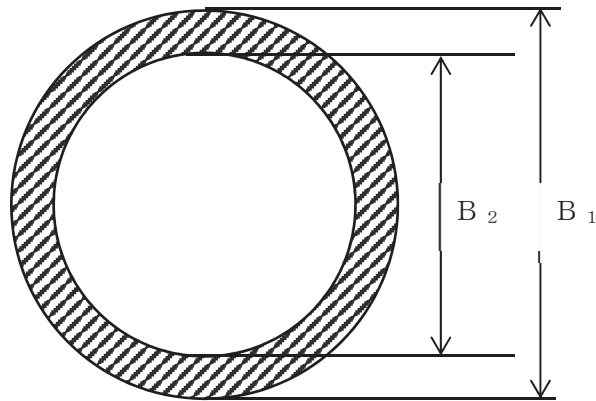


図 3-7 電動機台の断面図

(b) 電動機フレームに生じる応力

イ. 曲げ応力

電動機フレームに生じる曲げ応力  $\sigma_b'$  は次式より算出される。

(イ) 風(台風)による水平荷重により電動機フレームに作用するモーメント  $M_1'$

$$M_1' = W_2 \cdot h$$

(ロ) 鉛直荷重により電動機フレームに作用するモーメント  $M_2'$

$$M_2' = (F_v + F_c) \cdot \frac{B_3}{2}$$

(ハ) 電動機フレームに作用する曲げモーメント  $M'$

$$M' = M_1' + M_2'$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_b' = \frac{M'}{Z'}$$

ここで,

$$Z' = \frac{1}{6} \cdot \frac{B_3^4 - B_4^4}{B_3}$$

ロ. 圧縮応力

電動機フレームに生じる圧縮応力  $\sigma_c'$  は次式より算出される。

$$\sigma_c' = \frac{F_v + F_c}{S'}$$

ここで,

$$S' = B_3^2 - B_4^2$$

電動機フレームの断面図を図 3-8 に示す。

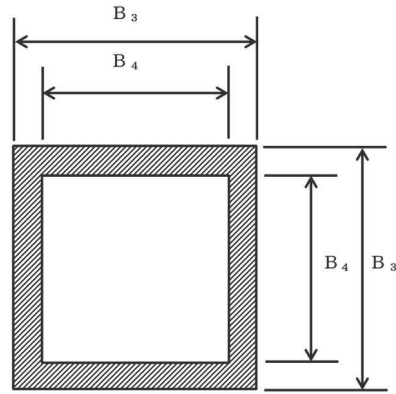


図 3-8 電動機フレームの断面図

(c) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{b i}$  は次式より算出される。

(イ) 引張力

$$F_{b i} = \frac{W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2} - (m_i + M_s + M_v) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ただし、 $F_{b i} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{b i} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

(ロ) 引張応力

$$\begin{aligned} \sigma_{b i} &= \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \\ &= \frac{W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2} - (m_i + M_s + M_v) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i} \cdot \frac{1}{A_{b i}} \end{aligned}$$

ここで、

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$C_P = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{b i}$  は次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

(イ) せん断力

$$Q_{b i} = W_1$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} = \frac{W_1}{n_i \cdot A_{b i}}$$

基礎ボルトの配置図を図 3-9 に示す。

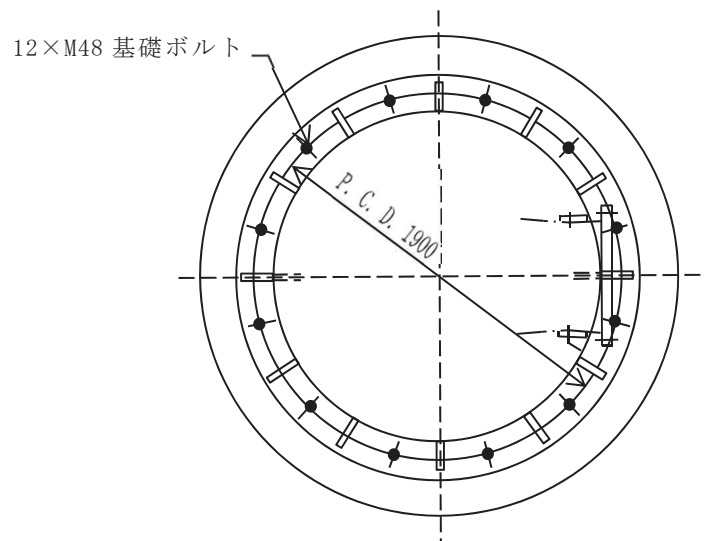


図 3-9 基礎ボルトの配置図

(e) 外扇カバー

イ. 曲げ応力

外扇カバーの天板に生じる応力は次式により算出される。

$$\sigma_{b'} = \beta_1 \cdot \frac{p \cdot a^2}{t^2}$$

外扇カバーの応力評価モデルを図 3-10 に示す。

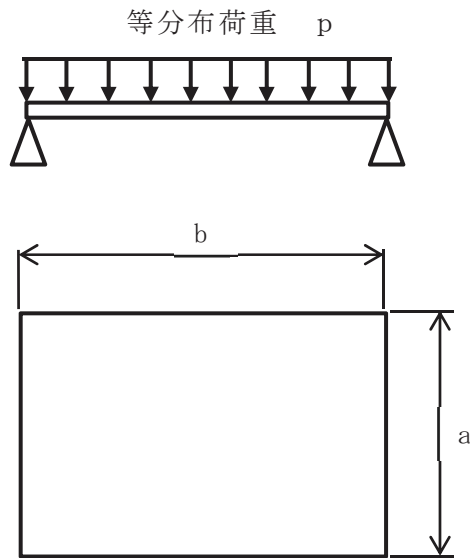


図 3-10 外扇カバーの曲げ応力評価モデル図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 評価条件

G (-)	C (-)	$V_D$ (m/s)	$q_H$ (N/m <sup>2</sup> )	$Z_b$ (m)	$Z_G$ (m)	$\alpha$ (-)
2.2	2.4	30	963 (960*)	5	350	0.15

$F_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
3067	9.80665

注記 \* : 電動機フレームの評価条件

表 4-2 評価条件 (電動機フレーム, 電動機台)

$A_{11}$ ( $m^2$ )	$A_{12}$ ( $m^2$ )	$A_2$ ( $m^2$ )	$B_1$ (mm)	$B_2$ (mm)	$B_3$ (mm)	$B_4$ (mm)
12.63	7.250	3.743	1308	1270		

B (mm)	$H_P$ (mm)	$H_M$ (mm)	$M_b$ (kg)	$M_m$ (kg)	$M_s$ (kg)	h (mm)
2500	2150	2900	2100	6900	4300	825

表 4-3 評価条件 (基礎ボルト)

$A_{bi}$ ( $mm^2$ )	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	ボルト サイズ	$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	$m_i$ (kg)
1810	12	1900	M48	80	750	28300

$M_s$ (kg)	$M_v$ (kg)
4300	1170

表 4-4 評価条件 (外扇カバー)

b (mm)	a (mm)	t (mm)	$\beta_1$ (-)	p ( $N/m^2$ )
2370	780		0.72	3313

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

電動機台，電動機フレーム，基礎ボルト及び外扇カバーに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1 原子炉補機冷却海水ポンプの評価結果

評価対象部位	材質	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
電動機台	SM400A	曲げ	7	271
		圧縮	2	234
電動機フレーム	SS400	曲げ	7	237
		圧縮	4	205
基礎ボルト	SCM435	引張	— *	488
		せん断	2	375
		組合せ	—	488
外扇カバー	SS400	曲げ	142	282

注記 \* :  $F_{bi} \leq 0$  であるため引張応力は発生しない。

VI-3-別添 2-1-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの  
強度計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の定義	7
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	15
4. 評価条件	21
5. 強度評価結果	22

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプが降下火砕物等堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図 2-1 に示す。

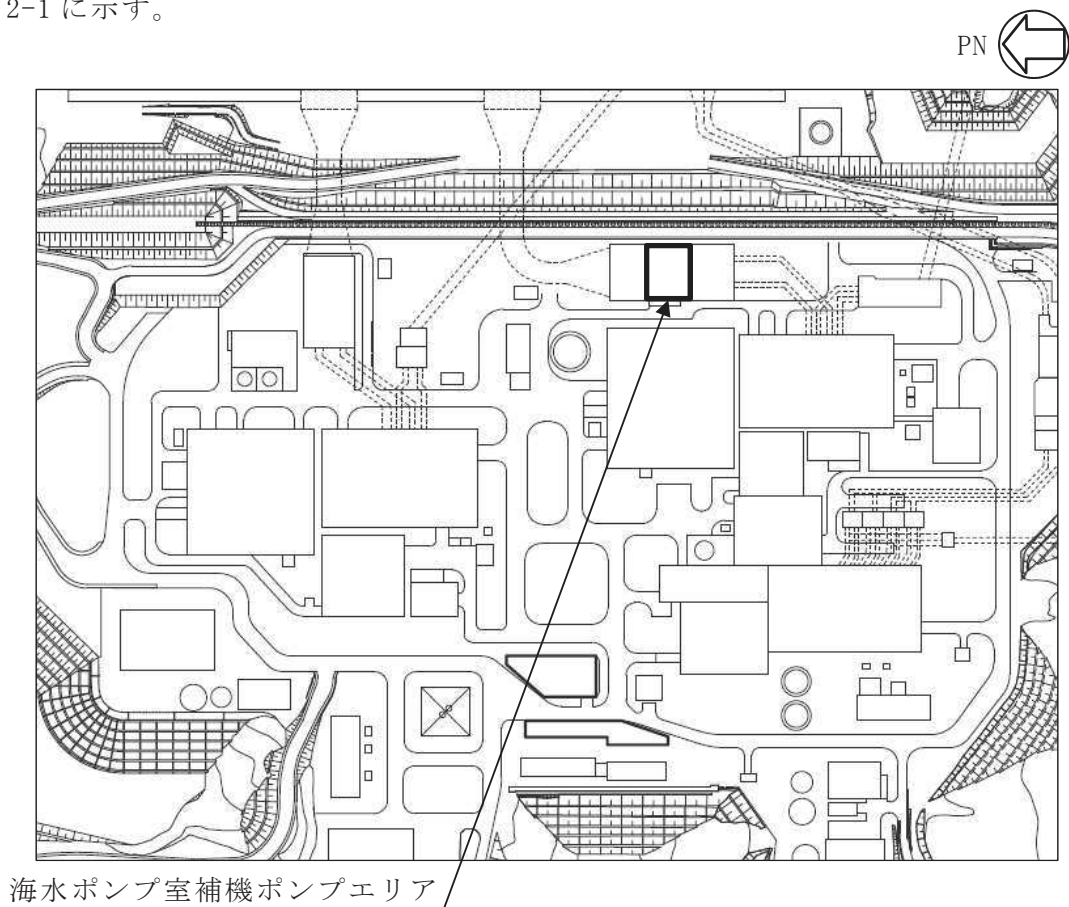


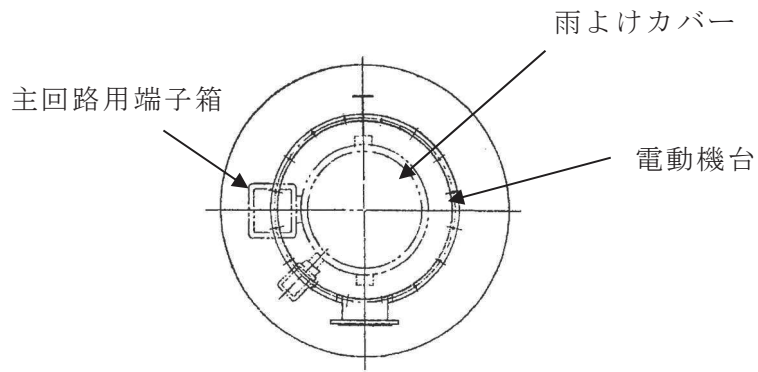
図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

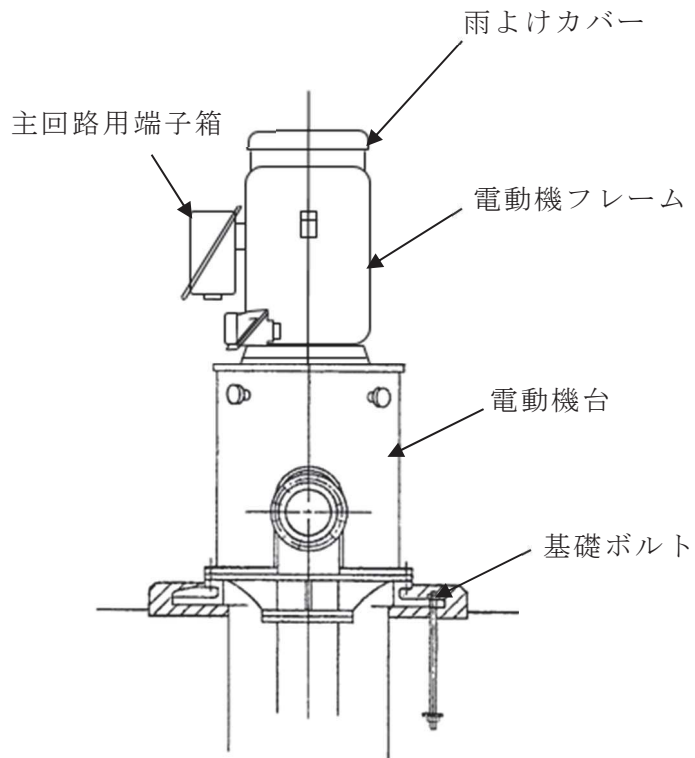
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、ポンプ据付面から電動機台までのポンプ部と、電動機台より上部の電動機部からなる立形ポンプであり、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ1台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風(台風)による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機の形状は円筒形を基本としたフレームに、主回路用端子箱等が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重は全て電動機フレーム及び電動機台に作用する構造とする。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプが風(台風)による水平荷重を受けることを想定する面の概要図を図2-3、降下火砕物等が高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-4に示す。




(a) 上面図

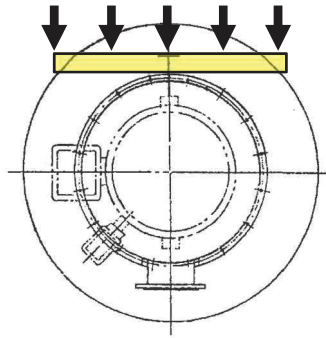


(b) 側面図

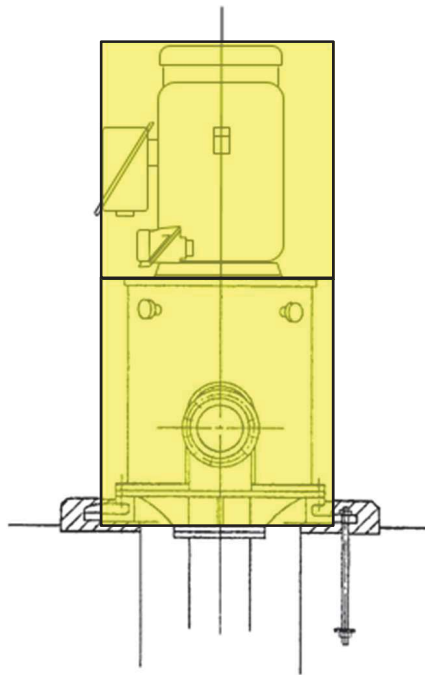
図 2-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの概要図

風（台風）による水平荷重の方向

 : 風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面



(a) 上面図



(b) 側面図

図 2-3 風（台風）による水平荷重を受けることを想定する面の概要図

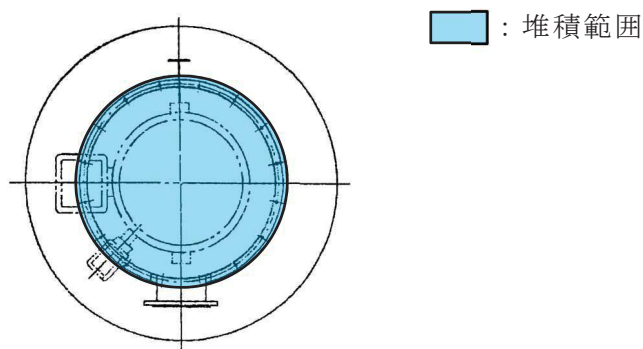


図 2-4 降下火砕物等の堆積状態図

### 2.3 評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価フローを図2-5に示す。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、ポンプ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。また、風（台風）による水平荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添2-1 火山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」に示す評価式を用いる。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

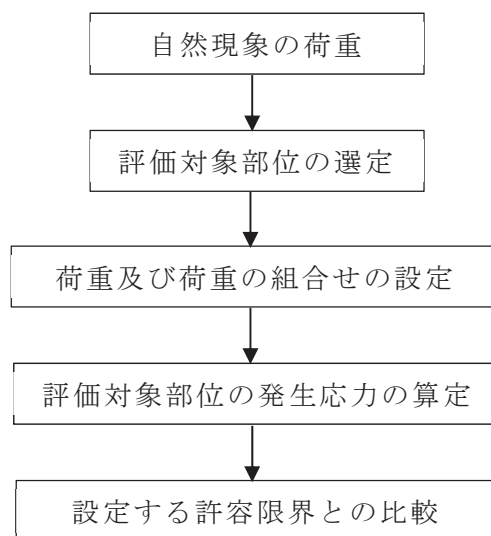


図2-5 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 宮城県 建築基準法施行細則（昭和46年3月30日 宮城県規則第21号）
- (3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J A E G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J A E G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (7) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）
- (8) 新版機械工学便覧（1987年 日本機械学会編）
- (9) 日本産業規格（J I S）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
$A_{11}$	$m^2$	電動機台及び電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_{12}$	$m^2$	電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	降下火砕物等の堆積面積
$A_{bi}$	$mm^2$	ボルトの断面積
$B$	$mm$	風の受圧面積算出時のポンプ幅
$B_1$	$mm$	電動機台外径
$B_2$	$mm$	電動機台内径
$B_3$	$mm$	電動機フレーム外寸
$B_4$	$mm$	電動機フレーム内寸
$C$	—	風力係数
$C_p$	—	ポンプ振動による震度
$c$	$mm$	雨よけカバー評価時の天板の半径
$d$	$mm$	ボルト呼び径
$D_i$	$mm$	ボルトのピッチ円の直径
$E'$	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
$F$	$MPa$	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$F_b$	$N$	電動機台の自重による軸方向荷重
$f_b$	$MPa$	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
$F_{bi}$	$N$	ボルトに対する引張力
$F_c$	$N$	電動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
$f_c$	$MPa$	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
$F_d$	$N$	電動機の自重による軸方向荷重
$F_p$	$N$	ポンプスラストによる軸方向荷重
$f_s$	$MPa$	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
$f_t$	$MPa$	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
$F_v$	$N$	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重



表 3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	m	全高
h	mm	降下火砕物等堆積を考慮した取付面からの電動機重心高さ
H <sub>M</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機高さ
H <sub>P</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
h <sub>p</sub>	μm	予想最大全振幅
M	N・mm	電動機台に作用する曲げモーメント
M'	N・mm	電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>1</sub>	N・mm	風荷重により電動機台に作用する曲げモーメント
M <sub>1</sub> '	N・mm	風荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>2</sub>	N・mm	鉛直荷重により電動機台に作用する曲げモーメント
M <sub>2</sub> '	N・mm	鉛直荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M <sub>b</sub>	kg	電動機台の質量
m <sub>i</sub>	kg	ボルトに加わる機器質量
M <sub>m</sub>	kg	電動機の質量
M <sub>s</sub>	kg	ポンプスラスト
M <sub>v</sub>	kg	機器に加わる降下火砕物等堆積物の質量
N	rpm	回転数
n <sub>i</sub>	—	ボルトの本数
p	N/m <sup>2</sup>	雨よけカバー評価時の等分布荷重
Q <sub>b i</sub>	N	ボルトに対するせん断力
q <sub>H</sub>	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
S	mm <sup>2</sup>	電動機台の断面積
S'	mm <sup>2</sup>	電動機フレームの断面積
S <sub>u</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	雨よけカバー評価時の天板の厚さ
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W <sub>1</sub>	N	電動機台及び電動機フレームに対する風(台風)による水平荷重
W <sub>2</sub>	N	電動機フレームに対する風(台風)による水平荷重

表 3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$Z$	$\text{mm}^3$	電動機台の断面係数
$Z'$	$\text{mm}^3$	電動機フレームの断面係数
$Z_b$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$Z_G$	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\alpha$	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
$\pi$	—	円周率
$\sigma_b$	MPa	電動機台に生じる曲げ応力
$\sigma_b'$	MPa	電動機フレームに生じる曲げ応力
$\sigma_b''$	MPa	雨よけカバー天板に発生する最大曲げ応力
$\sigma_{b_i}$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	電動機台に生じる圧縮応力
$\sigma_c'$	MPa	電動機フレームに生じる圧縮応力
$\tau_{b_i}$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

### 3.2 評価対象部位

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、電動機台、電動機フレーム、雨よけカバー及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積する電動機上部の雨よけカバーを介して支持している電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して基礎ボルトに伝達する。

また、風（台風）による水平荷重は、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して基礎ボルトに伝達する。さらに、ポンプのスラスト荷重は全て電動機フレーム及び電動機台に作用する。

このことから、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては、電動機フレーム、電動機台、雨よけカバー及び基礎ボルトを評価対象部位とする。また、風（台風）による水平荷重に対しては、電動機フレーム、電動機台及び基礎ボルトを評価対象部位とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

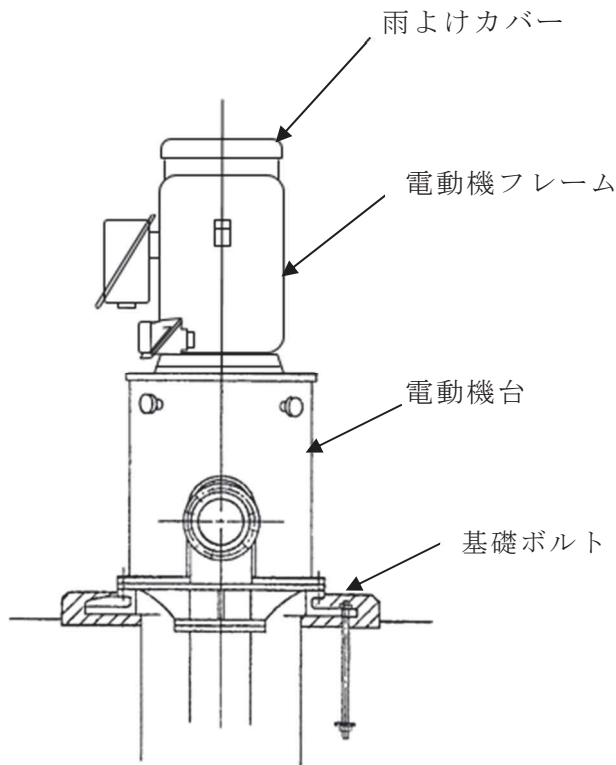


図 3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、電動機の自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ( $F_{v_v'}$ )

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 $3067\text{N/m}^2$ とする。

c. 風（台風）による水平荷重 ( $W_i$ )

風（台風）による水平荷重は、基準風速  $30\text{ m/s}$  に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。

風（台風）による水平荷重は、風（台風）の影響を受ける面積が大きい電動機フレーム、電動機台及び主回路用端子箱に発生する水平荷重を考慮する。なお、水平荷重は電動機フレーム、電動機台及び主回路用端子箱に発生する水平荷重を包絡するような面積を設定し算出する。

風（台風）による水平荷重による  $W_i$  は以下のようにして求める。風（台風）による水平荷重の受圧面積を図 3-2 に示す。

$$W_i = q_H \cdot C \cdot A_{1i}$$

ここで、

$i = 1$  : 電動機台及び電動機フレーム

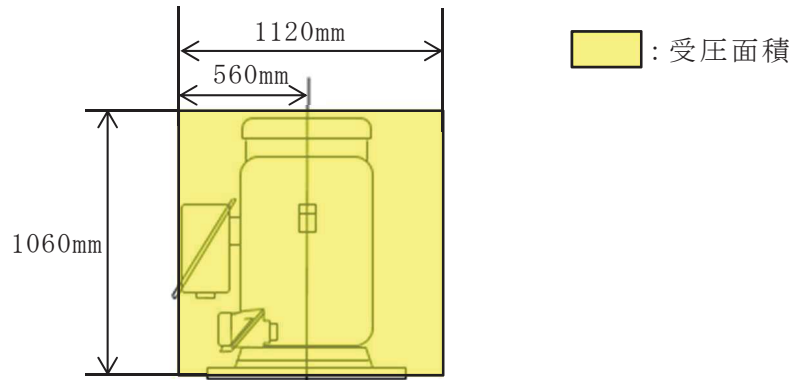
$i = 2$  : 電動機フレーム

$$q_H = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

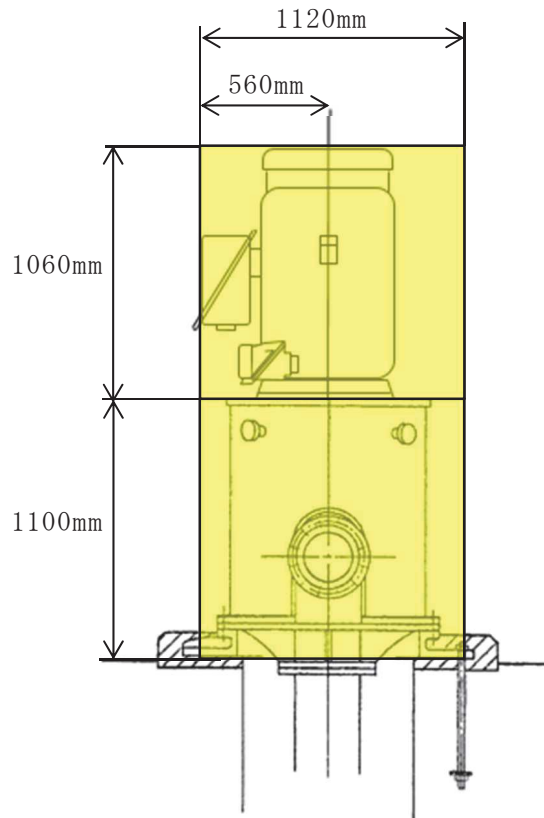
$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H \leq Z_b$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{H}{Z_G} \right)^\alpha, \quad H > Z_b$$



(a) 電動機フレーム評価



(b) 電動機台及び基礎ボルト評価

図 3-2 風（台風）による水平荷重の受圧面積

d. 運転時の状態で作用する荷重 ( $F_p$ )

運転時の状態で作用する荷重は、鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプには、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風（台風）による水平荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

設備名称	評価対象部位	荷重
高圧炉心スプレイ補機冷却 海水ポンプ	電動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	電動機フレーム	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風（台風）による水平荷重 ④ポンプスラスト荷重
	雨よけカバー	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重

3.4 許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環

境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。なお、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料を用いている場合は、J I S G 3 1 3 1 (2018)「熱間圧延軟鋼板及び鋼帯」(以下「J I S G 3 1 3 1」という。)及び J I S G 5 5 0 1 (1995)「ねずみ鋳鉄品」(以下「J I S G 5 5 0 1」という。)の値を準用するものとする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界を表 3-3、許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
電動機台	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5f <sub>b</sub>
			圧縮	1.5f <sub>c</sub>
電動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5f <sub>b</sub>
			圧縮	1.5f <sub>c</sub>
基礎ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	1.5f <sub>t</sub>
			せん断	1.5f <sub>s</sub>
			組合せ	Min(1.5f <sub>t</sub> , (2.1f <sub>t</sub> -1.6τ <sub>bi</sub> ))
雨よけカバー	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	1.5f <sub>b</sub>

表 3-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容応力

評価対象部位	材質	温度 条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5f <sub>c</sub> (MPa)	1.5f <sub>b</sub> (MPa)	1.5f <sub>t</sub> (MPa)	1.5f <sub>s</sub> (MPa)
電動機台	SS400	40* <sup>1</sup>	235	400	235	234	271	—	—
電動機 フレーム	FC150* <sup>2</sup>	—	—	130	91	90	105	—	—
基礎ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	—	—	153	118
雨よけカバー	SPHC* <sup>3</sup>	—	—	270	189	—	218	—	—

注記 \*1: 周囲環境温度

\*2: 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料であるため、J I S G 5 5 0 1 の値を準用するものとする。

\*3: 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料であるため、J I S G 3 1 3 1 の値を準用するものとする。

### 3.5 評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの応力評価は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」にて設定している評価式を用いる。

#### (1) 評価モデル

降下火砕物等堆積による鉛直荷重，ポンプスラスト荷重（鉛直荷重）及び自重（鉛直荷重）並びに風（台風）による水平荷重に対する，電動機フレーム，電動機台及び基礎ボルトの構造健全性を1質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの1/2とする。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの1質点系モデル図を図3-3及び図3-4に示す。

鉛直荷重によって一様な応力が発生する雨よけカバーは，上面を円形の平板として評価を行う。評価モデルを図3-5に示す。

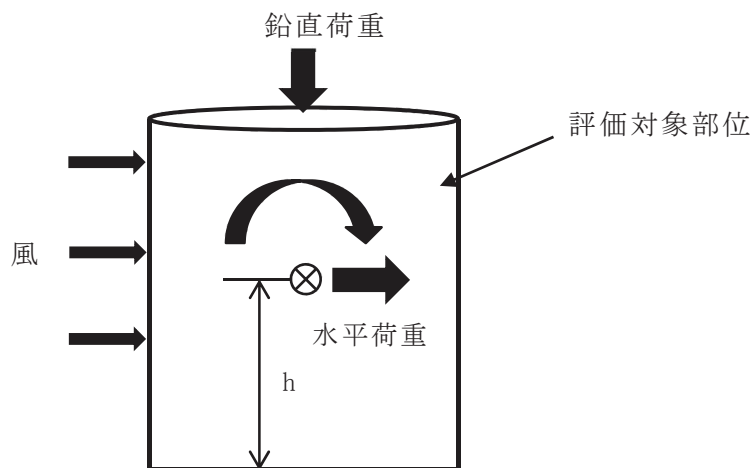


図 3-3 1 質点系モデル図（電動機フレーム）

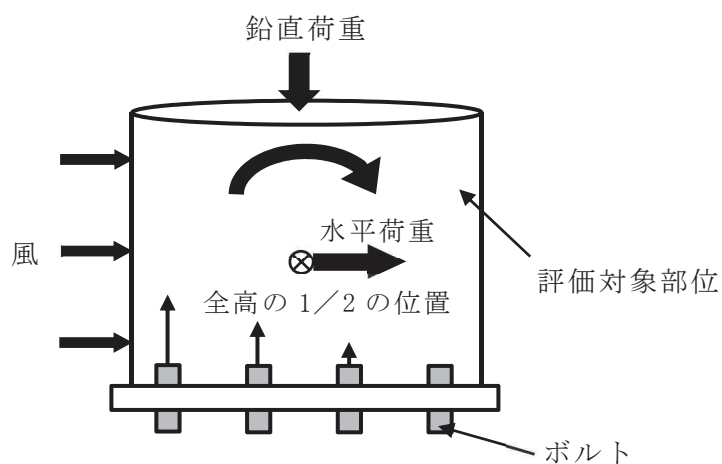


図 3-4 1 質点系モデル図（電動機台及び基礎ボルト）





図 3-5 雨よけカバーのモデル図

(2) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火砕物等堆積による鉛直荷重を算出するにあたり，考慮する降下火砕物等堆積範囲を図 3-6 に示す。堆積範囲の面積は，保守的に電動機台取付フランジ径の面積とする。

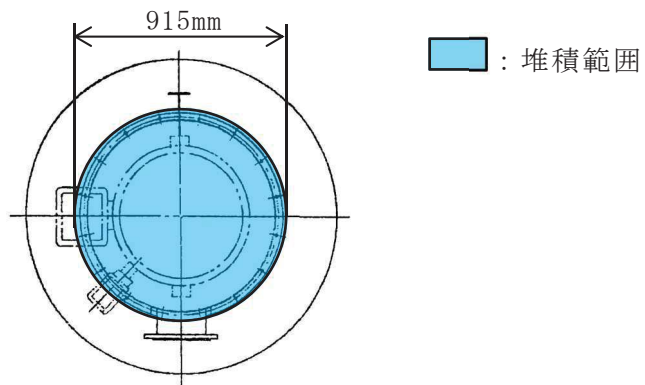


図 3-6 考慮する降下火砕物等堆積範囲

(b) 電動機台，電動機フレーム及び基礎ボルトに作用する鉛直荷重

イ. 電動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重

$$F_c = M_m \cdot g + M_s \cdot g$$

ロ. 電動機台による鉛直荷重

$$F_b = M_b \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 電動機台に生じる応力

イ. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{M_1 + M_2}{Z}$$

ここで、水平荷重及び鉛直荷重によるモーメント $M_1$ 、 $M_2$ は以下の式より求める。

$$M_1 = W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2}$$

$$M_2 = (F_v + F_c + F_b) \cdot \frac{B_1}{2}$$

また、電動機台の断面係数 $Z$ は

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{B_1^4 - B_2^4}{B_1}$$

ロ. 圧縮応力

電動機台に生じる圧縮応力 $\sigma_c$ は次式より算出される。

$$\sigma_c = \frac{F_v + F_c + F_b}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (B_1^2 - B_2^2)$$

電動機台の断面図を図 3-7 に示す。

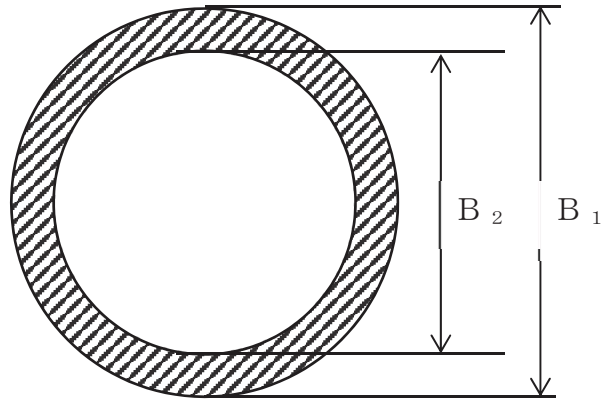


図 3-7 電動機台の断面図

(b) 電動機フレームに生じる応力

イ. 曲げ応力

電動機フレームに生じる曲げ応力  $\sigma_b'$  は次式より算出される。

(イ) 風（台風）による水平荷重により電動機フレームに作用するモーメント  $M_1'$

$$M_1' = W_2 \cdot h$$

(ロ) 鉛直荷重により電動機フレームに作用するモーメント  $M_2'$

$$M_2' = (F_v + F_c) \cdot \frac{B_3}{2}$$

(ハ) 電動機フレームに作用する曲げモーメント  $M'$

$$M' = M_1' + M_2'$$

(ニ) 曲げ応力

$$\sigma_b' = \frac{M'}{Z'}$$

ここで,

$$Z' = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{B_3^4 - B_4^4}{B_3}$$

ロ. 圧縮応力

電動機フレームに生じる圧縮応力  $\sigma_c'$  は次式より算出される。

$$\sigma_c' = \frac{F_v + F_c}{S'}$$

ここで,

$$S' = \frac{\pi}{4} \cdot (B_3^2 - B_4^2)$$

電動機フレームの断面図を図 3-8 に示す。

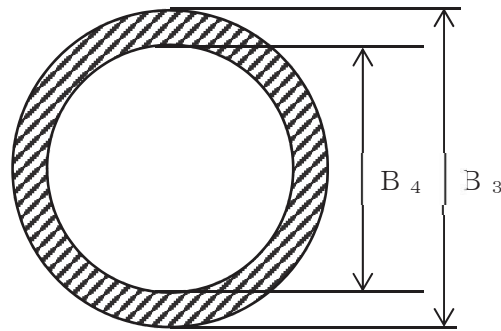


図 3-8 電動機フレームの断面図

(c) 基礎ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より算出される。

(イ) 引張力

$$F_{bi} = \frac{W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2} - (m_i + M_s + M_v) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ただし、 $F_{bi} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bi} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

(ロ) 引張応力

$$\begin{aligned} \sigma_{bi} &= \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \\ &= \frac{W_1 \cdot \frac{H_M + H_P}{2} - (m_i + M_s + M_v) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i} \cdot \frac{1}{A_{bi}} \end{aligned}$$

ここで、

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{bi}$  は次式より算出される。基礎ボルト全本数でせん断力を受けるものとして計算する。

(イ) せん断力

$$Q_{b i} = W_1$$

(ロ) せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} = \frac{W_1}{n_i \cdot A_{b i}}$$

基礎ボルトの配置図を図 3-9 に示す。

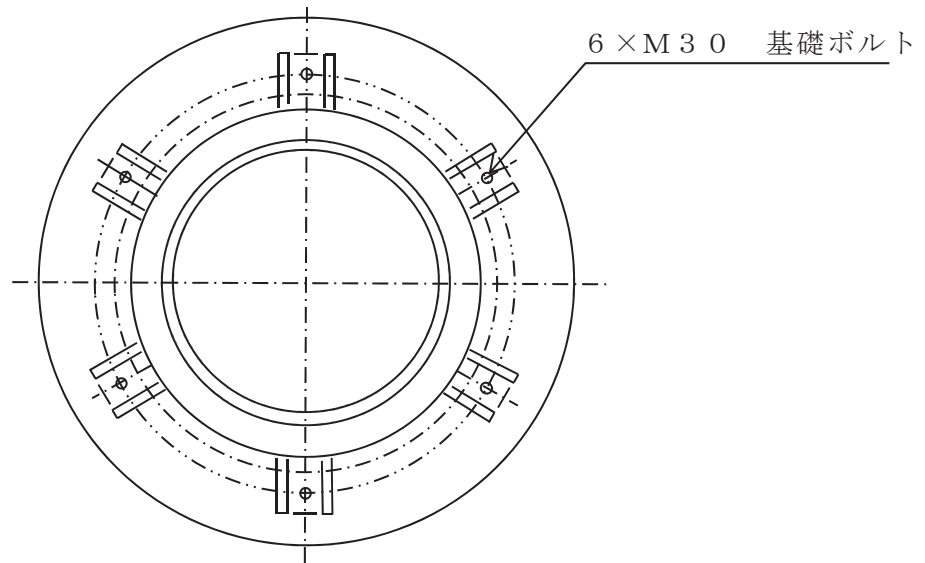


図 3-9 基礎ボルトの配置図

(d) 雨よけカバー

イ. 曲げ応力

雨よけカバーに生じる曲げ応力は次式により算出する。

$$\sigma_b = 1.24 \cdot \frac{p \cdot c^2}{t}$$

雨よけカバーの曲げ応力評価モデルを図 3-10 に示す。

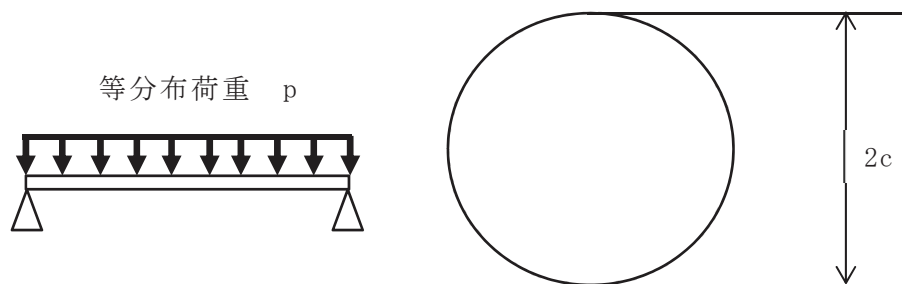


図 3-10 雨よけカバーの曲げ応力評価モデル図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 評価条件

G	C	$V_D$	$q_H$	$Z_b$	$Z_G$	$\alpha$
(-)	(-)	(m/s)	(N/m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(-)
2.2	1.2	30	960	5	350	0.15

$F_v'$	g
(N/m <sup>2</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )
3067	9.80665

表 4-2 (電動機フレーム, 電動機台)

$A_{11}$	$A_{12}$	$A_2$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2.419	1.187	0.6576	774	730		

B	$H_P$	$H_M$	$M_b$	$M_m$	$M_s$	h
(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(kg)	(kg)	(mm)
1120	1100	1060	630	800	2100	305.5

表 4-3 評価条件 (基礎ボルト)

$A_{bi}$	$n_i$	$D_i$	ボルト サイズ	$h_p$	N	$m_i$
(mm <sup>2</sup> )	(-)	(mm)		( $\mu$ m)	(rpm)	(kg)
706.9	6	1100	M30	60	1500	5785

$M_s$	$M_v$
(kg)	(kg)
2100	205.6

表 4-4 評価条件（雨よけカバー）

c (mm)	t (mm)	p (N/m <sup>2</sup> )
271.5		3244

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

電動機台，電動機フレーム，基礎ボルト及び雨よけカバーに発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価結果

評価対象部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
電動機台	SS400	曲げ	2	271
		圧縮	1	234
電動機フレーム	FC150	曲げ	4	105
		圧縮	2	90
基礎ボルト	SUS304	引張	— *	153
		せん断	1	118
		組合せ	—	153
雨よけカバー	SPHC	曲げ	56	218

注記 \* :  $F_{bi} \leq 0$  であるため引張応力は発生しない。

VI-3-別添 2-1-3 復水貯蔵タンクの強度計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	12
4. 評価条件	20
5. 強度評価結果	21
5.1 1質点系モデルによる計算結果	21
5.2 FEM解析による計算結果	21

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、復水貯蔵タンクが降下火砕物等堆積時においても、炉心冷却のための水源を保有する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

## 2. 基本方針

復水貯蔵タンクは、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、復水貯蔵タンクの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

復水貯蔵タンクは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の復水貯蔵タンクエリアに設置する。復水貯蔵タンクエリアの位置図を図 2-1 に示す。

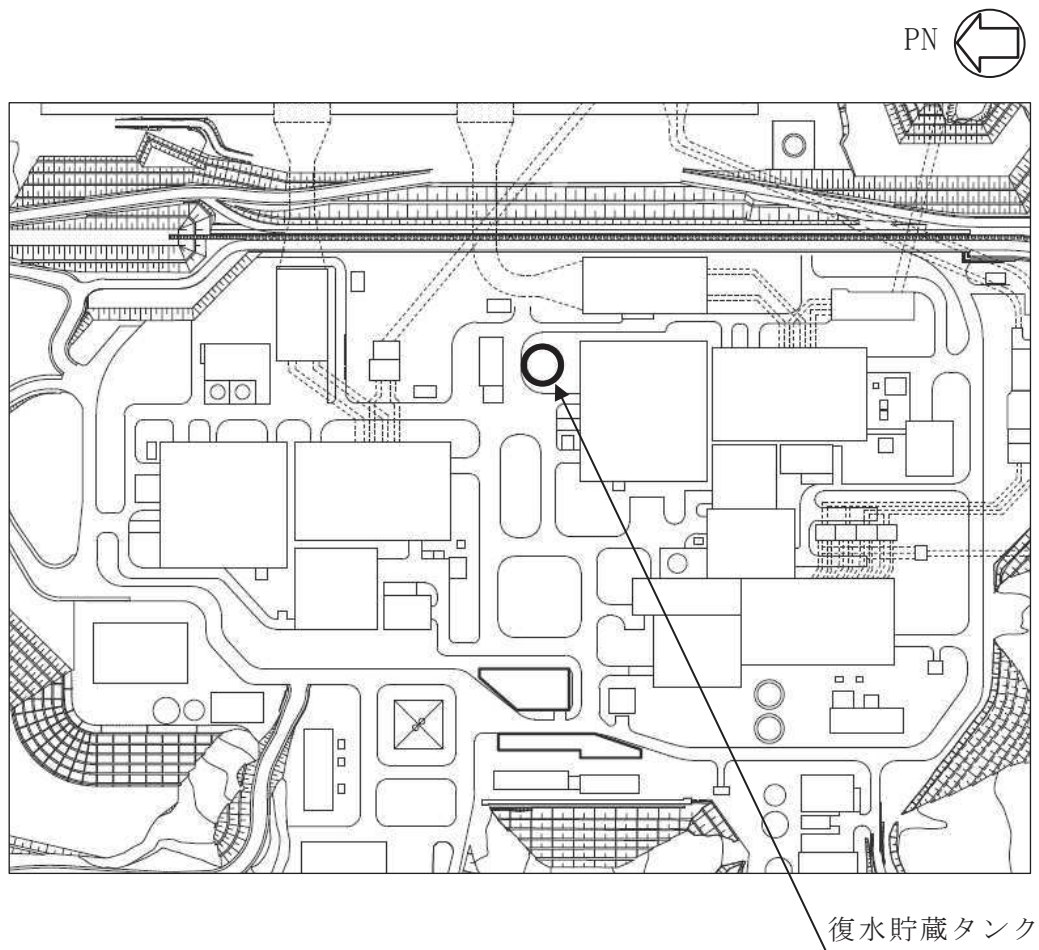


図 2-1 復水貯蔵タンクエリアの位置図

## 2.2 構造概要

復水貯蔵タンクは、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

復水貯蔵タンクは、円筒形の胴板と屋根板より構成され、基礎ボルトにより基礎コンクリートに固定された大気開放型の平底たて置円筒形容器である。復水貯蔵タンクの概要図を図2-2に示す。

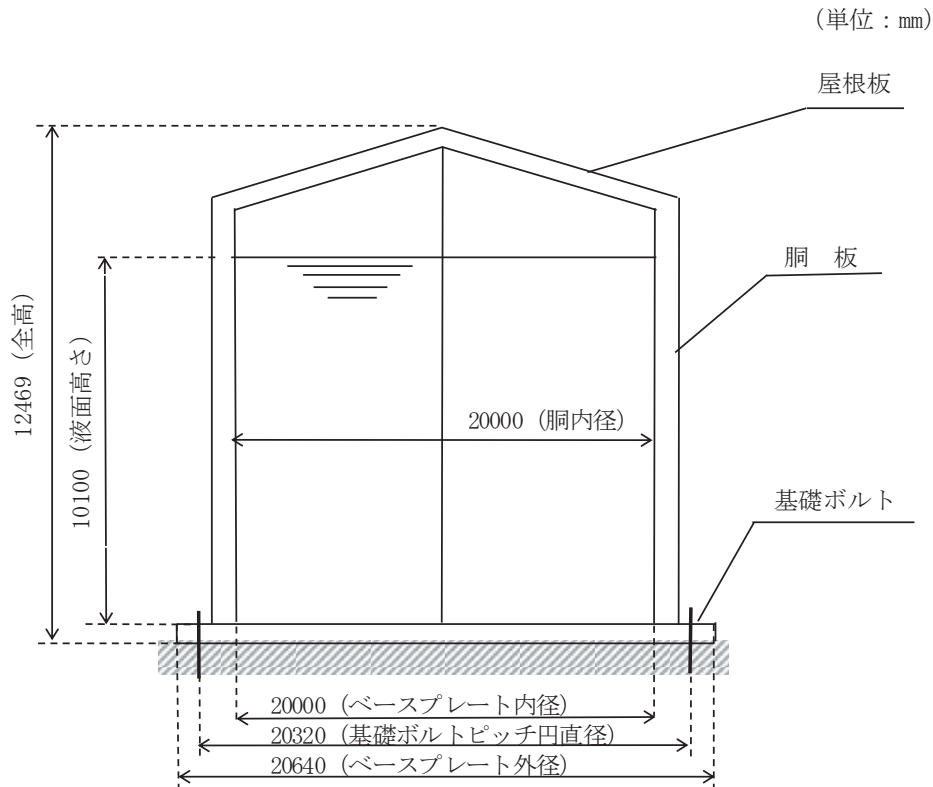


図2-2 復水貯蔵タンクの概要図

## 2.3 評価方針

復水貯蔵タンクの強度評価は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、復水貯蔵タンクの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

復水貯蔵タンクの強度評価フローを図2-3に示す。復水貯蔵タンクの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、建築基準法施行令第86条に基づき、屋根の水平投影面積に対し降下火砕物の層厚より上載質量を算出し、屋根板表面積で除することにより入力荷重を算出し等分布荷重として保守的に設定する。強度評価においては、屋根板及び屋根板に接続する胴板（上部）に対して、FEMによる応力解析を用いる。また、胴板（下部）及び基礎ボルトに対して、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」（日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」（日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991追補版」（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の平底たて置円筒形容器の評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添2-1 火山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」に示す平底たて置円筒形容器の評価式を用いる。復水貯蔵タンクの許容限界は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）付録材料図表Part5, 6の表にて許容応力を計算する際は、機器本体については最高使用温度、基礎ボルトについては周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

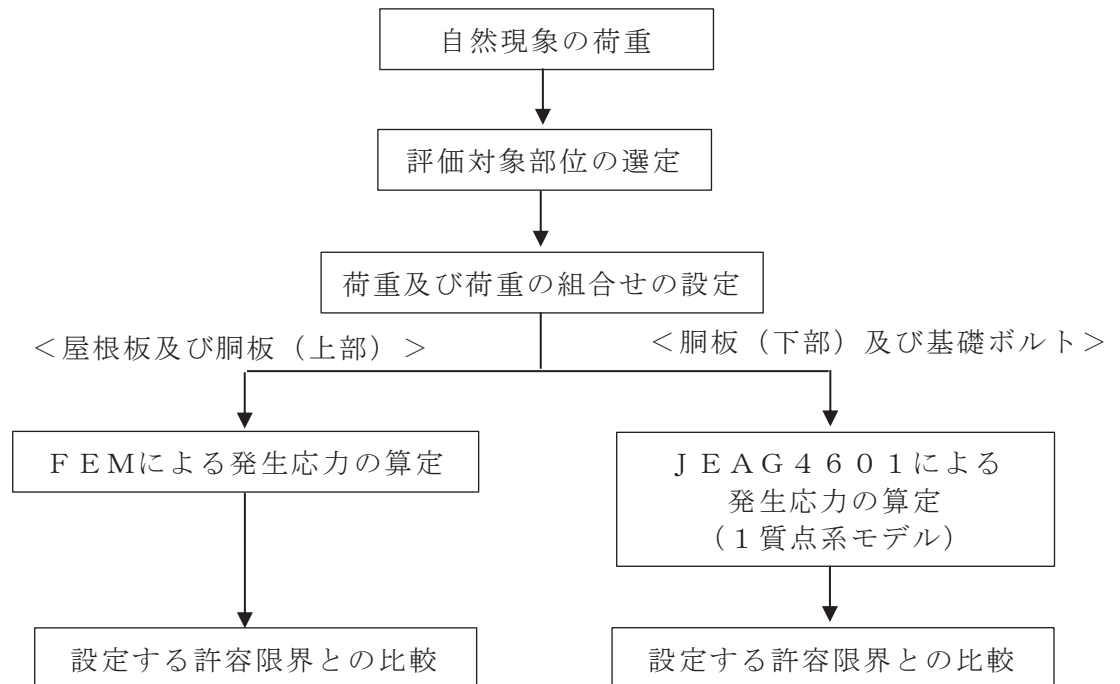


図2-3 強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 宮城県 建築基準法施行細則（昭和46年3月30日 宮城県規則第21号）
- (3) 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004）
- (4) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J A E G 4 6 0 1 ・  
補-1984（（社）日本電気協会）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- (7) 原子力発電所耐震設計技術指針 J A E G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電  
気協会）
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007（（社）  
日本機械学会）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表 3-1 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_b$	$mm^2$	基礎ボルトの呼び径断面積
$A_f$	$m^2$	屋根板表面積
$C$	—	風力係数
$C_c$	—	基礎ボルト計算における係数
$C_t$	—	基礎ボルト計算における係数
$D_c$	mm	基礎ボルトのピッチ円直径
$D_i$	mm	胴の内径
$D_{bi}$	mm	ベースプレートの内径
$D_{bo}$	mm	ベースプレートの外径
$E$	MPa	胴の縦弾性係数
$e$	—	基礎ボルト計算における係数
$E'$	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
$E_r$	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
$F$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$f_b$	MPa	曲げモーメントにより生じる座屈応力
$F_c$	N	基礎に作用する圧縮力
$f_c$	MPa	軸圧縮荷重により生じる座屈応力
$F_d$	N	常時作用する荷重
$f_s$	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容せん断応力
$F_t$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$f_t$	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容引張応力
$f_{ts}$	MPa	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重

表 3-1 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	m	全高
H <sub>h</sub>	mm	液面高さ
k	—	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数
ℓ <sub>1</sub> , ℓ <sub>2</sub>	mm	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離
ℓ <sub>g</sub>	mm	容器重心までの高さ
M	N・mm	風荷重による曲げモーメント
m <sub>0</sub>	kg	容器の有効運転質量
m <sub>e</sub>	kg	容器の空質量
m <sub>s</sub>	kg	屋根板に加わる降下火砕物等の堆積による質量
n	—	基礎ボルトの本数
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
R <sub>B</sub>	mm	胴平均半径
S	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される許容引張応力
s	—	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比
S <sub>0</sub>	MPa	屋根板又は胴板の一次一般膜応力の許容値
S <sub>1</sub>	MPa	屋根板又は胴板の一次膜応力＋一次曲げ応力の許容値
S <sub>u</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	胴板の厚さ
t <sub>1</sub>	mm	基礎ボルト面積相当板幅
t <sub>2</sub>	mm	圧縮側基礎相当幅
V <sub>D</sub>	m/s	基準風速
W	N	風(台風)による水平荷重
z	—	基礎ボルト計算における係数
Z <sub>b</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
Z <sub>G</sub>	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示 1454 号に掲げる数値
α <sub>1</sub>	—	座屈応力に対する安全率
α <sub>2</sub>	rad	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度

表 3-1 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$\eta$	—	$R_B / t$
$\eta_1$	—	$1200 \times g / F$
$\eta_2$	—	$8000 \times g / F$
$\eta_3$	—	$9600 \times g / F$
$\nu$	—	ポアソン比
$\pi$	—	円周率
$\rho_w$	—	保有水の比重
$\sigma_0$	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力
$\sigma_{0c}$	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)
$\sigma_{0t}$	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (引張)
$\sigma_1$	MPa	胴に生じる組合せ一次応力
$\sigma_b$	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	基礎に生じる圧縮応力
$\sigma_{x1}$	MPa	静水頭により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{x2}$	MPa	自重 (空質量) 及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{x4}$	MPa	風荷重により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{xbs}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
$\sigma_{xc}$	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)
$\sigma_{xcs}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_{xt}$	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (引張)
$\sigma_\phi$	MPa	胴に生じる周方向応力の和
$\sigma_{\phi 1}$	MPa	静水頭により胴に生じる周方向応力
$\tau$	MPa	風荷重により胴に生じるせん断応力
$\tau_b$	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力
$\phi_b$ ( $x$ )	—	座屈応力 $f_b$ を算出する際の関数
$\phi_c$ ( $x$ )	—	座屈応力 $f_c$ を算出する際の関数



### 3.2 評価対象部位

復水貯蔵タンクの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根板、胴板（上部）、胴板（下部）及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物等が堆積する屋根板及び屋根板に接続する胴板（上部）に作用する。また、風荷重は、胴板を介して胴板（下部）及び基礎ボルトに作用する。

このことから、屋根板、胴板（上部）、胴板（下部）及び基礎ボルトを評価対象部位として設定している。

復水貯蔵タンクの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

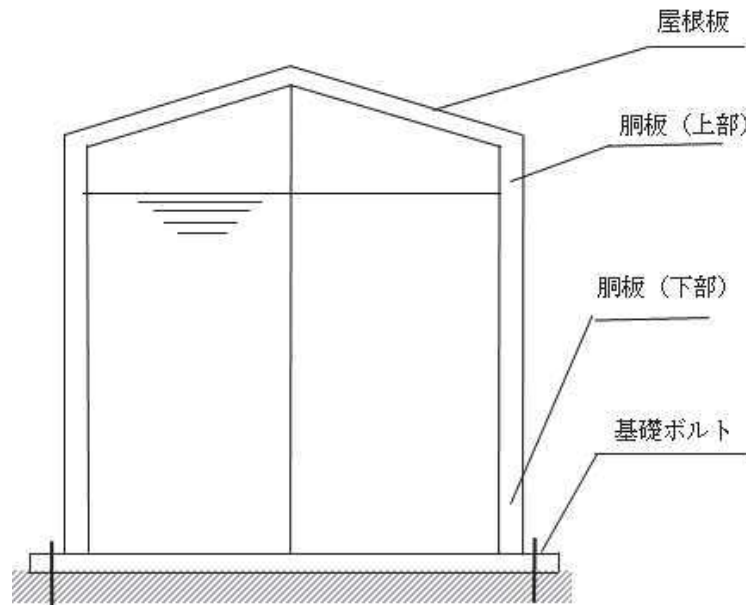


図 3-1 復水貯蔵タンクの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

復水貯蔵タンクの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、自重及び水頭圧を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ( $F_v'$ )

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は、 $3067\text{N/m}^2$ とする。建築基準法施行令第86条では、屋根部の勾配が60度以下の場合においては、その勾配に応じた屋根形状係数を乗じた数値とし、その勾配が60度を超える場合においては、零とすることができるとの記載があるが、保守的に屋根形状係数を1とする。

c. 風（台風）による水平荷重 ( $W$ )

風（台風）による水平荷重は、基準風速 $30\text{m/s}$ に基づき算定する。

風（台風）による水平荷重は添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す方法に従い、算出する。

風（台風）による水平荷重による $W$ は以下のようにして求める。全高 $H$ が $5\text{m}$ 以上であるため、 $H$ が $Z_b$ を超える場合の式を用いる。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{H}{Z_G} \right)^\alpha$$

$$A_1 = H \cdot (D_i + 2 \cdot t)$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、復水貯蔵タンクの評価対象部位ごとに設定する。

復水貯蔵タンクの屋根板及び胴板（上部）については、水頭圧は作用しないため考慮しない。また、水平方向の風荷重が作用すると、屋根板及び胴板（上部）に対し、鉛直上向きの荷重が働き、鉛直下向き荷重が低減されるため、保守的に風荷重は考慮しない。そのため、復水貯蔵タンクの屋根板及び胴板（上部）には、自重及び降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する。

復水貯蔵タンクの胴板（下部）及び基礎ボルトには、自重、水頭圧、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び風荷重が作用する。

復水貯蔵タンクの評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	応力等の状態
復水貯蔵タンク	屋根板	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
	胴板（上部）	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
	胴板（下部）	①自重，水頭圧 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③風荷重
	基礎ボルト	①自重，水頭圧 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③風荷重

### 3.4 許容限界

復水貯蔵タンクの許容限界値は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を用いる。

復水貯蔵タンクの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、屋根板及び胴板については「クラス 2, 3 容器」、基礎ボルトについては「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。また、座屈については評価式を満足することを確認する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の最高使用温度及び周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

復水貯蔵タンクの許容限界について、屋根板及び胴板（上部）の許容限界を表 3-3、胴板（下部）の許容限界を表 3-4、基礎ボルトの許容限界を表 3-5 に示す。

表 3-3 屋根板及び胴板（上部）の許容限界

許容応力 状態	温度条件 (°C)	許容限界	
		一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	66*	S <sub>y</sub> と0.6S <sub>u</sub> の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2Sとの大きい方。	左欄の1.5倍の値

注記 \*：最高使用温度

表 3-4 胴板（下部）の許容限界

許容応力 状態	温度条件 (°C)	許容限界		
		一次一般膜応力	組合せ一次 応力	座屈
Ⅲ <sub>A</sub> S	66*	S <sub>y</sub> と0.6S <sub>u</sub> の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2Sとの大きい方。	左欄に同じ	$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$

注記 \*：最高使用温度

表 3-5 基礎ボルトの許容限界

許容応力状態	温度条件 (°C)	許容限界	
		一次応力	
		引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	40*	1.5 f <sub>t</sub>	1.5 f <sub>s</sub>

注記 \*：周囲環境温度

引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 f<sub>ts</sub>は以下のとおり。

$$f_{ts} = \text{Min} \left\{ 1.5 f_t, 2.1 f_t - 1.6 \tau_b \right\}$$

### 3.5 評価方法

1 質点系モデルによる評価と F E M解析による評価を行う。

#### (1) 1 質点系モデルによる評価

1 質点系モデルによる強度評価は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」にて設定している平底たて置円筒形容器の評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重，自重及び水頭圧（鉛直荷重）並びに風荷重（水平荷重）により作用する水平力及びモーメントに対し，厳しい部位である胴板（下部）及び基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして評価を行う。復水貯蔵タンクの 1 質点系モデルによる計算に用いるモデル図を図 3-2 に示す。

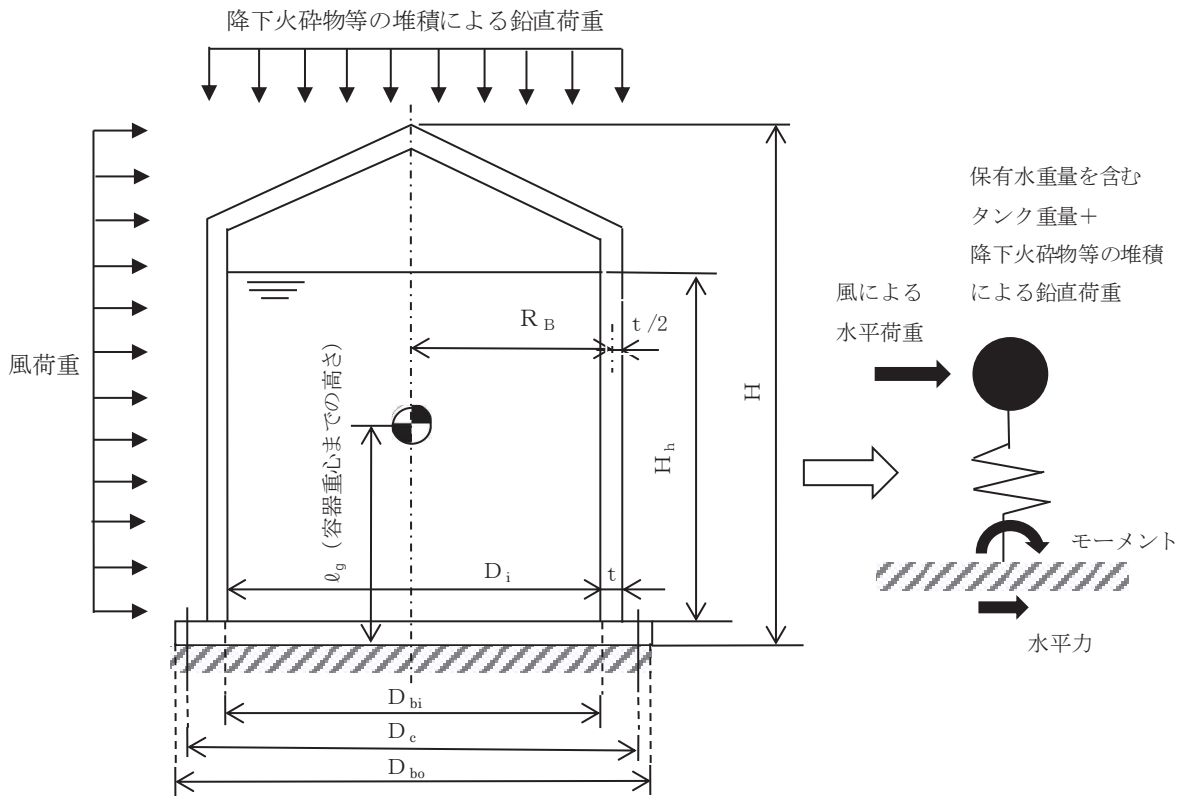


図 3-2 1 質点系モデルによる計算モデル図

##### b. 1 質点系モデルによる評価における計算方法

保有水量は胴板の応力が大きくなるように満水量に設定する。

###### (a) 鉛直方向荷重

イ. 降下火砕物等堆積による屋根板に作用する鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_f$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i + 2 \cdot t)^2$$

ロ. 屋根板に加わる降下火砕物等の堆積による質量

$$m_s = \frac{F_v}{g}$$

(b) 水平方向荷重

イ. 受圧面積

$$A_1 = H \cdot (D_i + 2 \cdot t)$$

ロ. 風荷重

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで,

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot \left( \frac{H}{Z_G} \right)^\alpha$$

ハ. 風荷重による曲げモーメント

$$M = W \cdot \ell_g$$

このとき, タンク重心高さ $\ell_g$ はタンク全高 $H$ の半分とする。

(c) 胴に生じる応力

イ. 静水頭により胴に生じる応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot \rho_w \cdot g \cdot H_h \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{x 1} = 0$$

ロ. 自重(空質量)及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_e + m_s) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

ハ. 風荷重により生じる応力

風荷重の曲げモーメントにより胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

風荷重により胴に生じるせん断応力

$$\tau = \frac{2 \cdot W}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

ニ. 胴に生じる組合せ一次一般膜応力及び組合せ一次応力

(イ) 組合せ引張応力

胴に生じる周方向応力の和 (引張)

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和 (引張)

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4}$$

胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (引張)

$$\sigma_{0 t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi} + \sigma_{x t}) + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{x t})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

(ロ) 組合せ圧縮応力

胴に生じる周方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{x c} = -\sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4}$$

$\sigma_{x c}$  が正の値 (圧縮側) のとき, 胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)

$$\sigma_{0 c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi} + \sigma_{x c}) + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{x c})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

(ハ) 組合せ応力

胴に生じる組合せ一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{M a x} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{0 t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{0 c}) \right\}$$

組合せ一次応力は組合せ一次一般膜応力と同じ値になる。

ホ. 軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{x c s} = \sigma_{x 2}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{x b s} = \sigma_{x 4}$$

(d) 胴の座屈評価

イ. 軸圧縮荷重により生じる座屈応力  $f_c$

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \{F - \phi_c(\eta_2)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \phi_c(\eta) & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_c(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

ロ. 曲げモーメントにより生じる座屈応力  $f_b$

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \{F - \phi_b(\eta_3)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \phi_b(\eta) & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_b(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

ハ. 安全率  $\alpha_1$

安全率は、各荷重の組合せに対して

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600 \cdot g} \cdot (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで,

$$\eta = \frac{R_B}{t}, \quad \eta_1 = \frac{1200 \cdot g}{F}, \quad \eta_2 = \frac{8000 \cdot g}{F}, \quad \eta_3 = \frac{9600 \cdot g}{F}$$

ニ. 座屈評価

以下の式により評価を行う。

$$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$$



(e) 基礎ボルトの計算方法

イ. 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{W}{n \cdot A_b}$$

ロ. 基礎ボルトに生じる引張応力

風荷重により作用する転倒モーメントMが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。

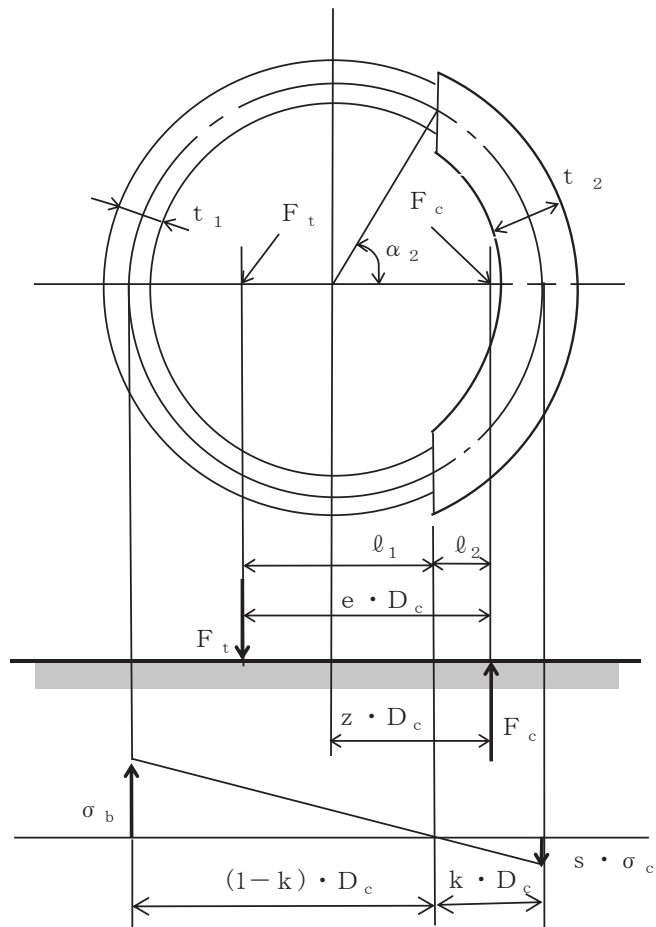


図 3-3 基礎の荷重説明図

(イ)  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数  $k$  を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

(ロ) 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度  $\alpha_2$  を求める。

$$\alpha_2 = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k)$$

(ハ) 各定数  $e$ ,  $z$ ,  $C_t$  及び  $C_c$  を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha_2) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2}{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right\}$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left( \cos \alpha_2 + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2\}}{1 + \cos \alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2)}{1 - \cos \alpha_2}$$

(ニ) 各定数を用いて  $F_t$  及び  $F_c$  を求める。

$$F_t = \frac{M - (m_0 + m_s) \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + (m_0 + m_s) \cdot g$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha_2$  が  $\pi$  に等しくなったときであり、 $\alpha_2$  を  $\pi$  に近づけた場合の値  $e = 0.75$  及び  $z = 0.25$  を求める式に代入し、得られる  $F_t$  の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$  ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$  ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

(ホ)  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を求め、(イ) にて仮定した値を十分に近似していることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1$$

(2) FEM解析による評価

屋根板及び胴板（上部）はFEM解析にて評価を行う。

FEM解析に使用する解析コードは「ABAQUS」である。

なお、評価に用いる解析コードABAQUSの検証及び妥当性確認等の概要については、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 荷重条件

復水貯蔵タンクの荷重条件を表3-6に示す。

表3-6 復水貯蔵タンクの荷重条件

荷重条件	入力荷重 (N/m <sup>2</sup> )
降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F <sub>v</sub> '	3067

b. 計算モデル及び諸元

屋根部に作用する鉛直荷重に対し厳しい部位である屋根板及び胴板（上部）について、屋根板及び胴板の板部材を板要素で、内部鉄骨及び支柱を梁要素でモデル化して評価を行う。復水貯蔵タンクのFEM解析に用いているモデル図を図3-4に、諸元を表3-7に示す。

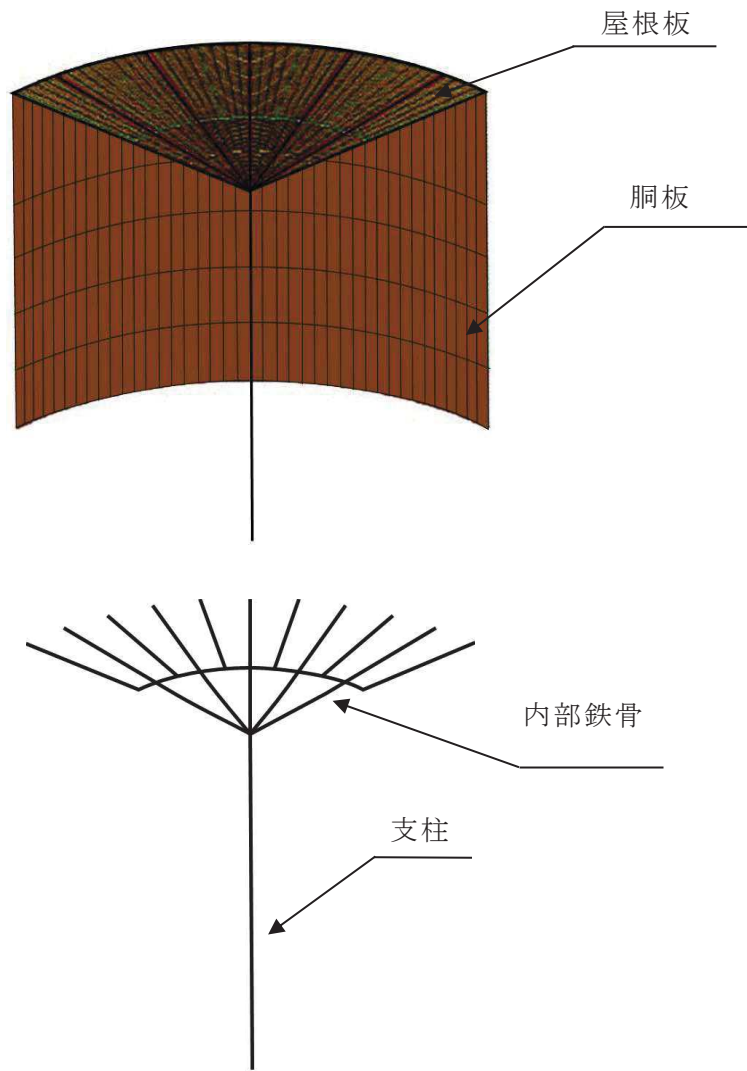


図 3-4 FEM解析に用いるモデル図

表 3-7 復水貯蔵タンクの諸元

部材	材料	最高使用温度 (°C)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 $\nu$ (-)
屋根板, 胴板, 内部鉄骨, 支柱	SUS304	66	192000	0.3

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

材料	温度 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
SUS304 (屋根板, 胴板)	66	188	479	188	—	—
SNB7 (基礎ボルト)	40	725	860	602	451	347

表 4-2 復水貯蔵タンクの入力条件

据付場所及び床面 高さ (m) *1	構造概要	最高使用圧力 (MPa)	温度*2 (°C)	$\rho_w$ (—)	g (m/s <sup>2</sup> )
屋外 O.P. 9.55	平底たて置 円筒形	静水頭	①66	1.0	9.80665
			②40		

H (mm)	$m_o$ (kg)	$m_e$ (kg)	$m_s$ (kg)	$D_i$ (mm)
12469	3447100	242500	98686	20000

t (mm)	$l_g$ (mm)	$H_h$ (mm)	$R_B$ (mm)	E (MPa)	s (—)
22	6234.5	10100	10011	192000	15

n (—)	$D_c$ (mm)	$D_{b_o}$ (mm)	$D_{b_i}$ (mm)	ボルト サイズ	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
90	20320	20640	20000	M60	2827.4

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

\*2: ①は屋根板及び胴板評価時, ②は基礎ボルト評価時の値

5. 強度評価結果

5.1 1 質点系モデルによる計算結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表5-1に示す。

胴板(下部)及び基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下であり、また、座屈の評価の条件式を満足している。

表 5-1 復水貯蔵タンクの 1 質点系モデルによる評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
胴板 (下部)	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 45$	$S_0 = 188$	
		組合せ一次	$\sigma_1 = 45$		
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$		
			0.05		
基礎ボルト	SNB7	引張	$\sigma_b = -^*$	$1.5 f_t = 451$	
		せん断	$\tau_b = 2$	$1.5 f_s = 347$	
		組合せ	$\sigma_b = -$	$f_{ts} = 451$	

注記 \* :  $F_t \leq 0$  であるため引張応力は発生しない

5.2 FEM解析による計算結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表5-2に示す。

屋根板及び胴板(上部)に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-2 復水貯蔵タンクの FEM解析による評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
屋根板	SUS304	一次一般膜	$\sigma = 25$	$S_0 = 188$
		一次膜+一次曲げ	$\sigma = 73$	$S_1 = 282$
胴板 (上部)	SUS304	一次一般膜	$\sigma = 22$	$S_0 = 188$
		一次膜+一次曲げ	$\sigma = 69$	$S_1 = 282$

VI-3-別添 2-1-4 鋼製ハッチの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	5
3.3 荷重及び荷重の組合せ	6
3.4 許容限界	7
3.5 評価方法	7
4. 評価条件	9
5. 強度評価結果	9



## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の鋼製ハッチが降下火砕物等堆積時においても、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

鋼製ハッチは、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、鋼製ハッチの「2.1 位置」、  
 「2.2 構造概要」、  
 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

鋼製ハッチは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の頂版に設置する。鋼製ハッチが設置される軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置図及び概要図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

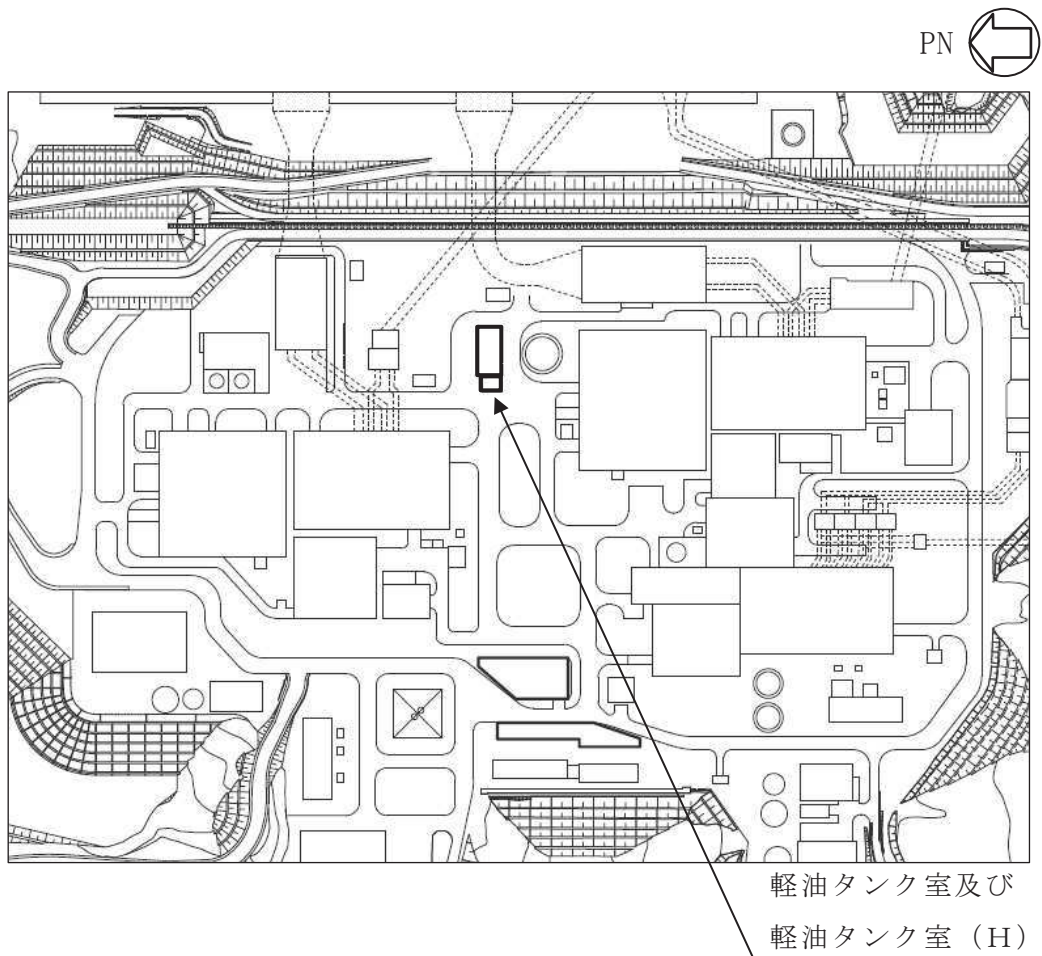
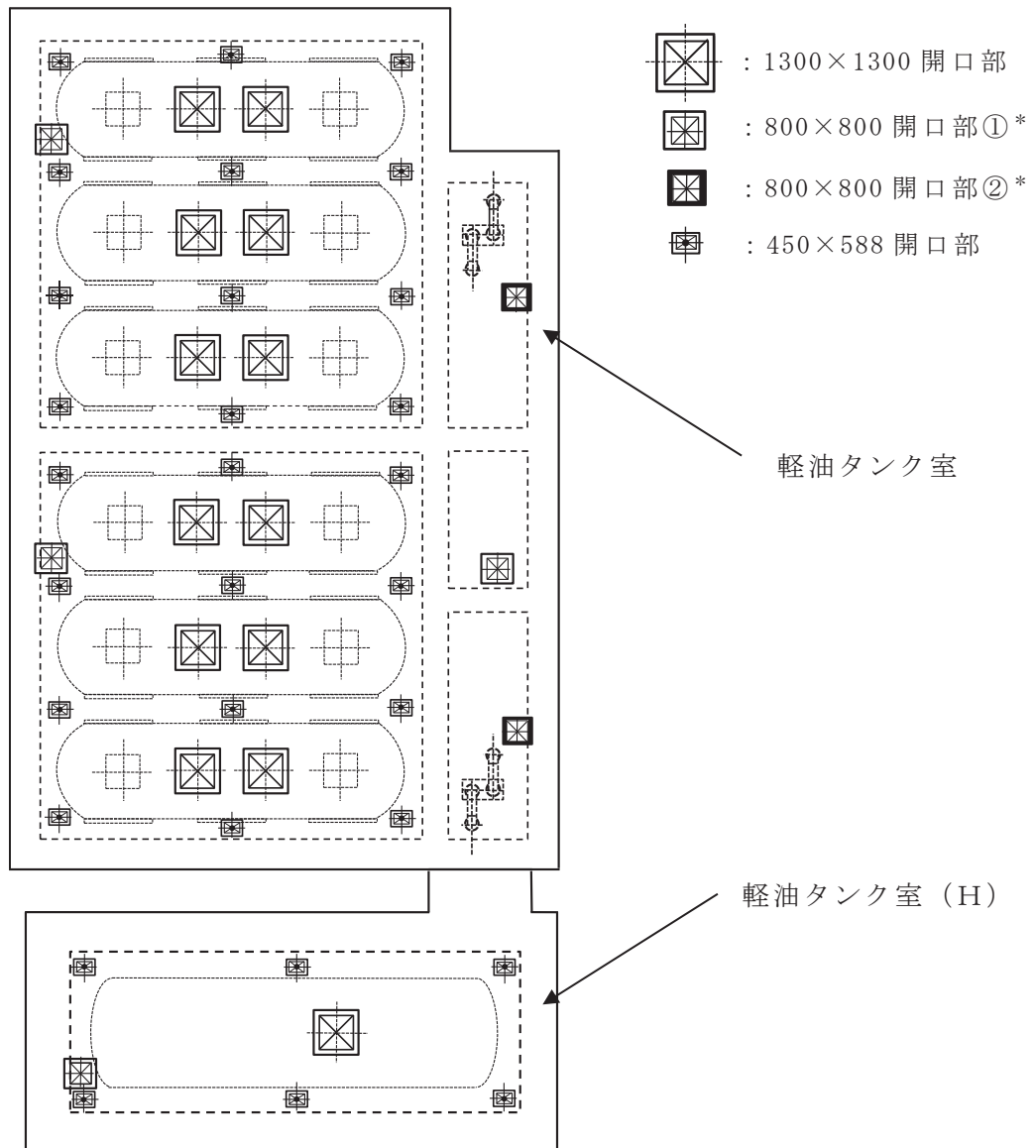


図 2-1 軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置図



注記 \* : 800×800開口部には2種類の形状の上蓋の鋼製ハッチを適用

図2-2 軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) の概要図

## 2.2 構造概要

鋼製ハッチは、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

鋼製ハッチは、地下に埋設された軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) のうち地上部に露出した頂版の開口部に設置されており、開口部の大きさに応じたハッチを適用する。鋼製ハッチは、降下火砕物等堆積による鉛直荷重の影響を直接受ける上蓋と、頂版に設置された上蓋を支持する取付枠で構成される。鋼製ハッチの概要図を図2-3に示す。また、開口部大きさ毎の上蓋の寸法及び重量について表2-1に示す。

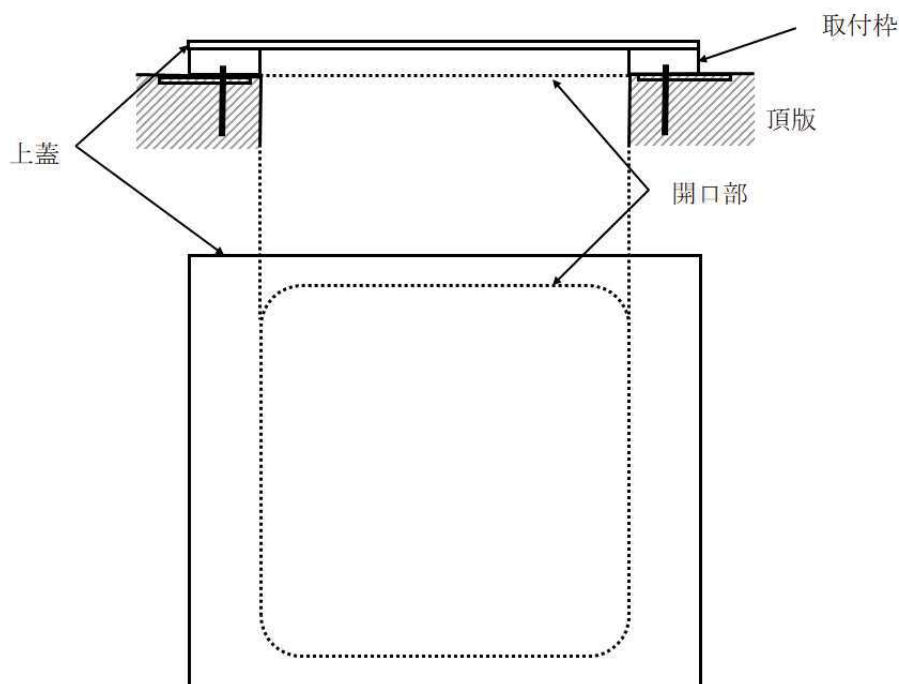


図2-3 鋼製ハッチの概要図

表2-1 開口部大きさ毎の上蓋の寸法及び重量

開口部大きさ	材質	長辺 (mm)	短辺 (mm)	厚さ (mm)	重量 (kg)
1300×1300	SUS304	1806	1530	16	500
800×800	① SUS304	1336	1030	16	260
	② SUS304	1336	1070	16	310
450×588	SUS304	768	630	12	50

### 2.3 評価方針

鋼製ハッチの強度評価は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「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計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

鋼製ハッチの強度評価フローを図2-4に示す。鋼製ハッチの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、鋼製ハッチの上蓋に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定する。鉛直荷重によって一様な応力が発生する上蓋に対して、機械工学便覧の計算方法に基づき、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な

施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。鋼製ハッチの許容限界は、添付書類「VI-3-別添2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

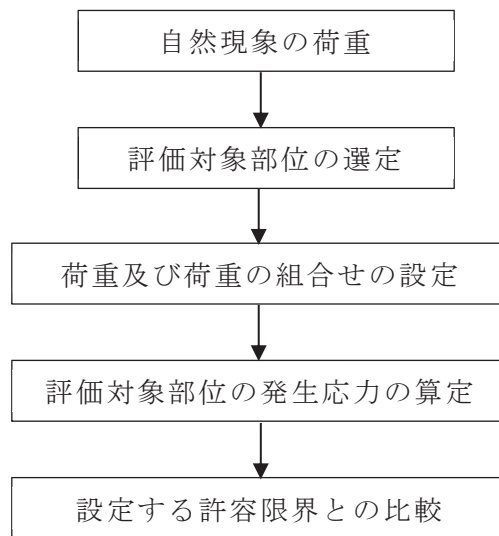


図2-4 鋼製ハッチの強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 宮城県 建築基準法施行細則（昭和46年3月30日 宮城県規則第21号）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- (5) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J A E G 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 J A E G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- (7) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）
- (8) 新版機械工学便覧（1987年 日本機械学会編）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

鋼製ハッチの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 鋼製ハッチの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	鋼製ハッチ上蓋の短辺の長さ
$A_2$	$m^2$	降下火砕物等の堆積面積
b	mm	鋼製ハッチ上蓋の長辺の長さ
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$f_b$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
$F_d$	N	鋼製ハッチ上蓋の自重による鉛直荷重
$F_v$	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
$F_v'$	$N/m^2$	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
g	$m/s^2$	重力加速度
m	kg	鋼製ハッチ上蓋質量
p	MPa	鋼製ハッチ上蓋評価時の等分布荷重
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	鋼製ハッチ上蓋の厚さ
$\beta_1$	—	長方形板の最大応力係数
$\sigma_b$	MPa	鋼製ハッチ上蓋に発生する最大曲げ応力

#### 3.2 評価対象部位

鋼製ハッチの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、降下火砕物等堆積による鉛直荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、地上に露出した鋼製ハッチの上蓋に作用し、鉄筋コンクリート造の頂版に伝達する構造とする。

このことから、降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対しては、鋼製ハッチの上蓋を評価対象部位として設定する。評価対象部位及び降下火砕物等が上蓋に最も多く堆積することが想定される状態について、図 3-1 に示す。

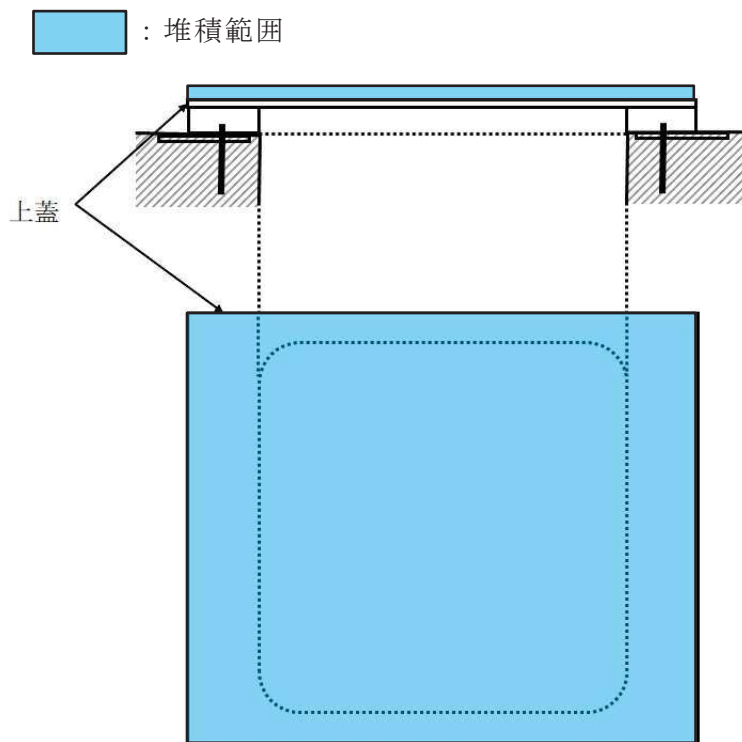


図 3-1 評価対象部位及び降下火砕物等の堆積状態図

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

鋼製ハッチの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、鋼製ハッチ上蓋の自重を考慮する。

##### b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ( $F_v'$ )

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は、 $3067\text{N/m}^2$  とする。

#### (2) 荷重の組合せ

鋼製ハッチには、自重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重が作用する。

鋼製ハッチの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

設備名称	評価対象部位	荷重
鋼製ハッチ	上蓋	①自重 ②降下火砕物による鉛直荷重

### 3.4 許容限界

鋼製ハッチの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位に対し、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

鋼製ハッチの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2,3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

鋼製ハッチの許容限界を表 3-3、許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3 鋼製ハッチの許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
		一次応力	曲げ	
上蓋	Ⅲ <sub>A</sub> S			1.5 f <sub>b</sub>

表 3-4 鋼製ハッチの許容応力

評価対象部位	材質	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5 f <sub>b</sub> (MPa)
上蓋	SUS304	40*	205	520	205	236

注記 \* : 周囲環境温度

### 3.5 評価方法

鋼製ハッチの応力評価は、添付書類「VI-3-別添 2-1 火山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」にて設定している評価式を用いる。

(1) 評価モデル

降下火砕物等堆積による鉛直荷重によって一様な応力が発生する鋼製ハッチ上蓋を四辺支持の平板として、機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。評価モデル図を図 3-2 に示す。

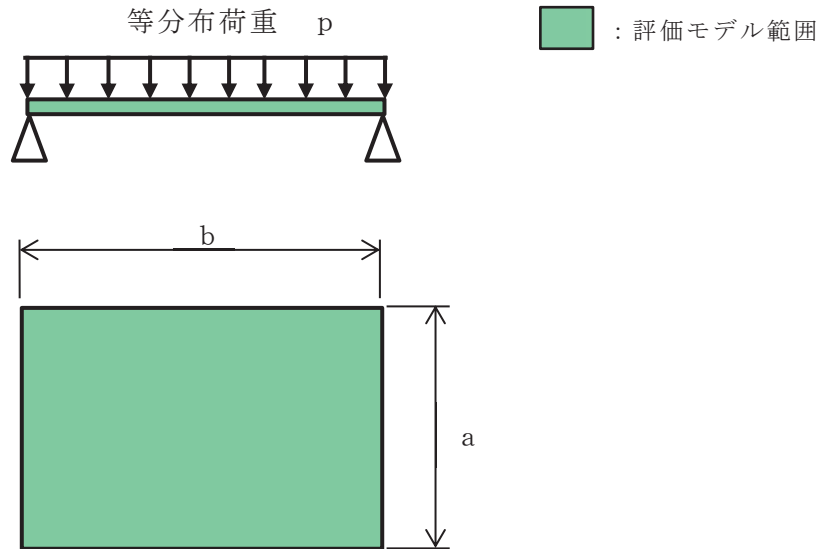


図 3-2 鋼製ハッチ上蓋の応力評価モデル図

(2) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

ここで、

$$A_2 = a \cdot b$$

(b) 鋼製ハッチ上蓋質量による鉛直方向荷重

$$F_d = m \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 曲げ応力

$$\sigma_b = \beta_1 \cdot \frac{p \cdot a^2}{t^2}$$

ここで、

$$p = \frac{F_d + F_v}{A_2}$$



4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価条件

開口部大きさ	$F_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	m (kg)	b (mm)	a (mm)	t (mm)	$\beta_1$ (-)	
1300×1300	3067	9.80665	500	1806	1530	16	0.38	
800×800			①	260	1336	1030	16	0.42
			②	310	1336	1070	16	0.40
450×588			50	768	630	12	0.39	

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

鋼製ハッチに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 鋼製ハッチの評価結果

評価対象部位	開口部大きさ	材質	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
上蓋	1300×1300	SUS304	曲げ	17	236	
	800×800	①	SUS304	曲げ	9	236
		②	SUS304	曲げ	10	236
	450×588	SUS304	曲げ	5	236	

VI-3-別添 3 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

## 目 次

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

VI-3-別添 3-2 津波への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-3-別添 3-2 津波への配慮が必要な施設の強度計算書

目 次

VI-3-別添 3-2-1 防潮堤の強度計算書

VI-3-別添 3-2-3 取放水路流路縮小工の強度計算書

VI-3-別添 3-2-1 防潮堤の強度計算書

## 目 次

VI-3-別添 3-2-1-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-1-2 防潮堤（盛土堤防）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-1-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書



## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	8
2.4	適用基準	12
3.	強度評価方法	13
3.1	記号の定義	13
3.2	評価対象断面及び部位	15
3.2.1	評価対象断面	15
3.2.2	評価対象部位	21
3.3	荷重及び荷重の組合せ	22
3.3.1	荷重	22
3.3.2	荷重の組合せ	23
3.4	許容限界	26
3.4.1	鋼管杭	26
3.4.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工	31
3.4.3	背面補強工	31
3.4.4	置換コンクリート	31
3.4.5	改良地盤	32
3.4.6	セメント改良土	32
3.4.7	止水ジョイント部材	32
3.4.8	基礎地盤	33
3.5	評価方法	34
3.5.1	津波時	34
3.5.2	重畳時	52
4.	評価条件	84
4.1	津波時	84
4.2	重畳時	90
5.	評価結果	99
5.1	津波時	99
5.1.1	鋼管杭の評価結果	99
5.1.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果	108
5.1.3	背面補強工の評価結果	109
5.1.4	置換コンクリートの評価結果	112
5.1.5	改良地盤の評価結果	114
5.1.6	セメント改良土の評価結果	116

5.1.7	止水ジョイント部材の相対変位量に対する評価結果	119
5.2	重畳時	123
5.2.1	鋼管杭の評価結果	123
5.2.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果	133
5.2.3	背面補強工の評価結果	135
5.2.4	置換コンクリートの評価結果	138
5.2.5	改良地盤の評価結果	140
5.2.6	セメント改良土の評価結果	143
5.2.7	止水ジョイント部材の相対変位量に対する評価結果	146
5.2.8	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	150

## 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、防潮堤（鋼管式鉛直壁）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、施設・地盤の構造健全性を保持すること、十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）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 1 m 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

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の範囲を図 2-1 に示す。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）は一般部と岩盤部に分類される。

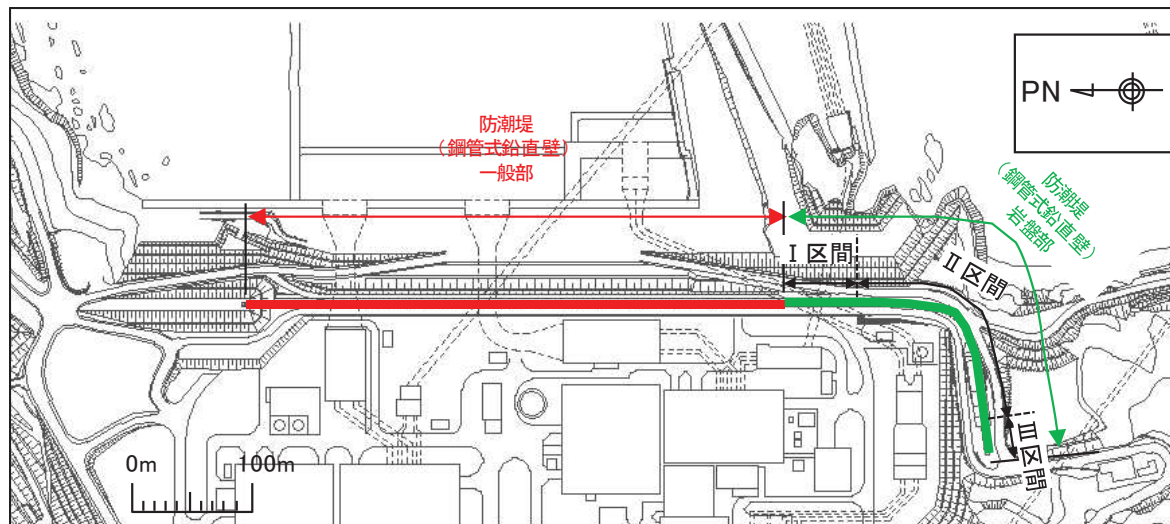


図 2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の範囲

## 2.2 構造概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、一般部と岩盤部（RC 壁部を含む）に分類される。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、入力津波による浸水高さ（防潮堤前面：O.P. +24.4m）に対して余裕を考慮した天端高さ（O.P. +29.0m）とする。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部は、鋼管杭、鋼製遮水壁、漂流物防護工及び背面補強工による上部構造と、鋼管杭及び置換コンクリートによる下部構造から構成され、背面補強工の下方に改良地盤を、置換コンクリートの上方にセメント改良土をそれぞれ設置する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部は、鋼管杭、鋼製遮水壁、RC 遮水壁、漂流物防護工及び背面補強工による上部構造と、鋼管杭による下部構造から構成される。

鋼管杭は、施工性を考慮し、上部工の鋼管杭と下部工の鋼管杭に分けて施工しており、接続部周辺をコンクリートで充填している。また、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部は基礎地盤のすべり安定性を確保する観点から、改良地盤の海側に置換コンクリートを設置する構造とした。

上部工の境界部及び地震時に異なる挙動を示す可能性がある構造体の境界部には止水ジョイントを設置する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の構造概要図及び構造図を図 2-2 及び図 2-3 に、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の構造図を図 2-4 に、止水ジョイント部材の概念図を図 2-5 に示す。

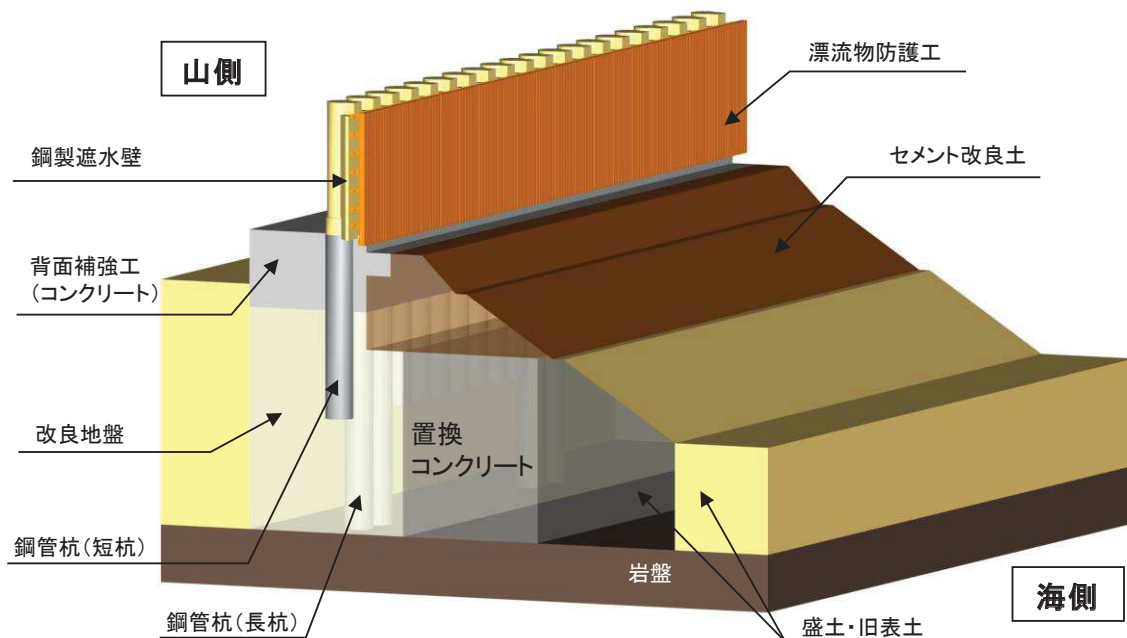


図 2-2 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の構造概要図

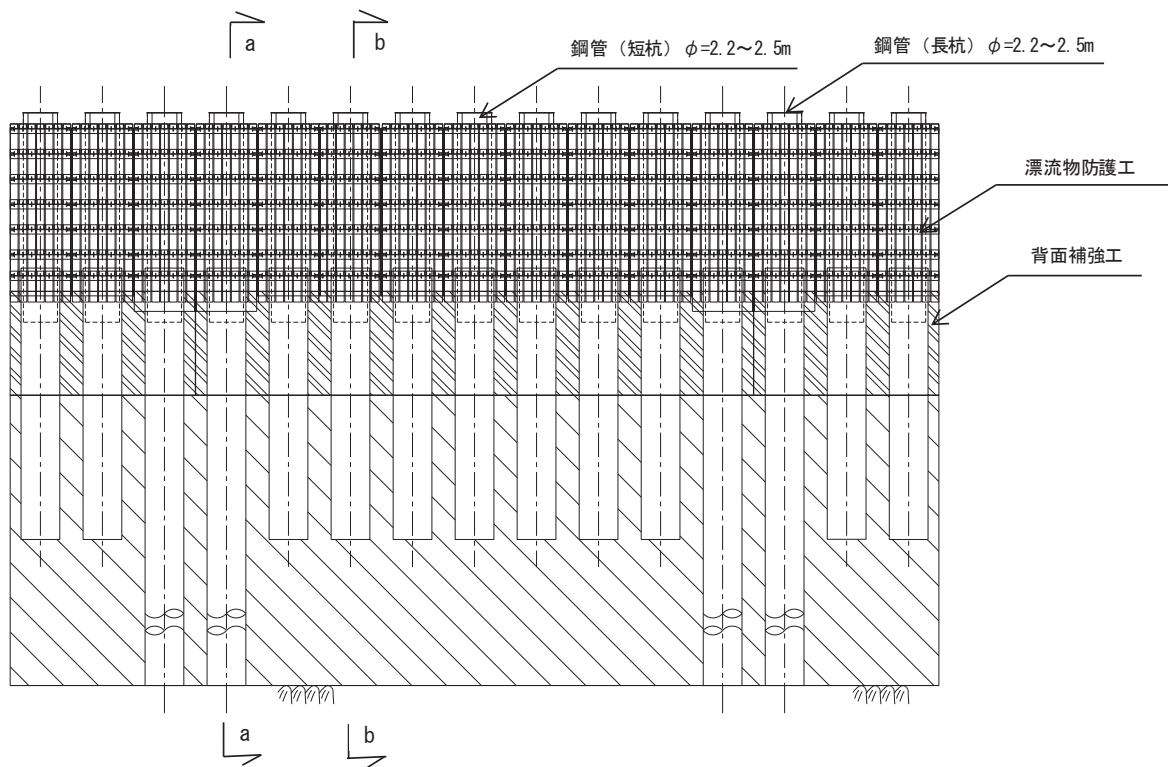


図 2-3(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の構造図（正面図，漂流物防護工）

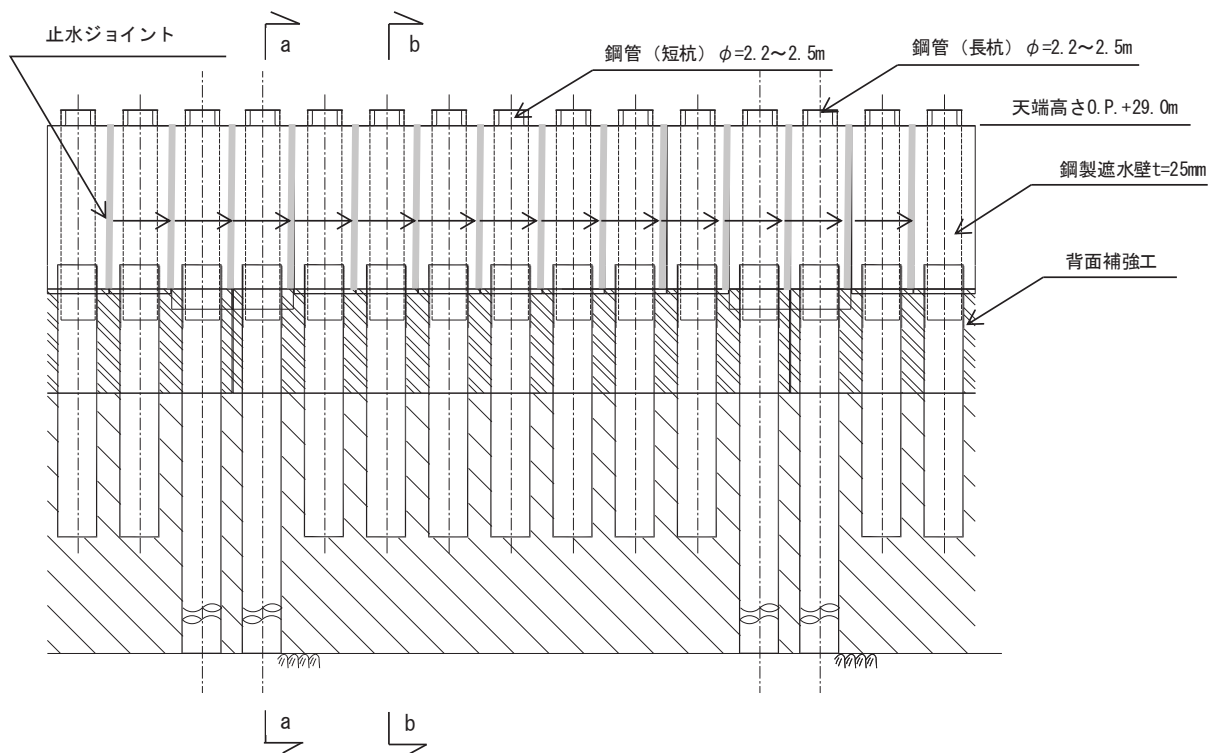


図 2-3(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の構造図（正面図，鋼製遮水壁）

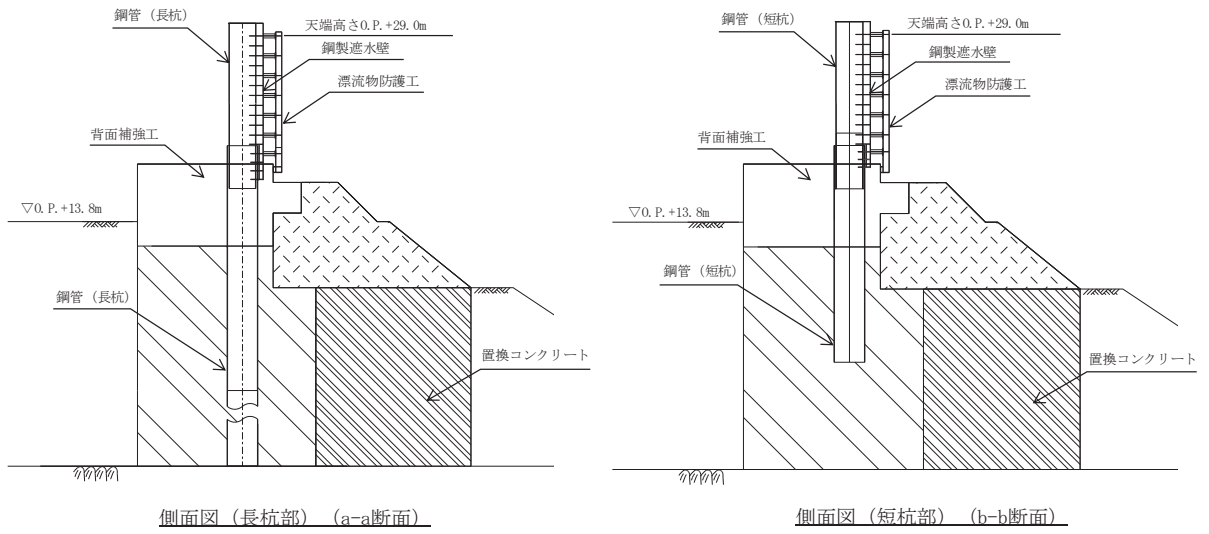
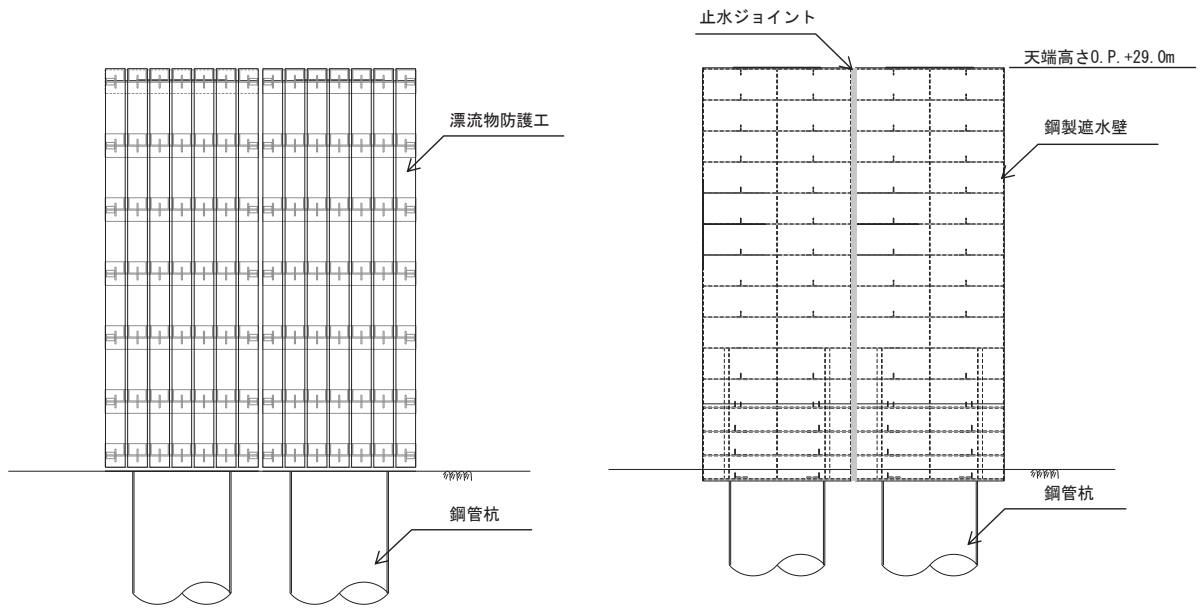


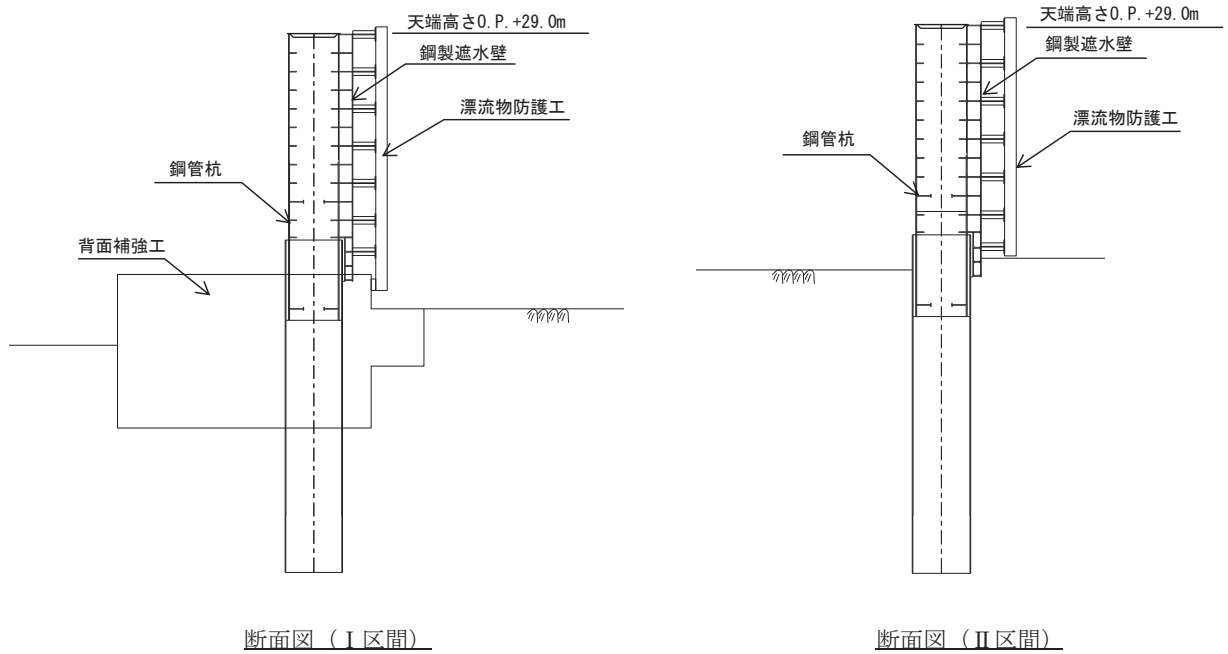
図 2-3 (3) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) のうち一般部の構造図 (断面図)



(漂流物防護工)

(鋼製遮水壁)

図 2-4(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の構造図（正面図，I・II区間）



断面図（I区間）

断面図（II区間）

図 2-4(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の構造図（断面図，I・II区間）



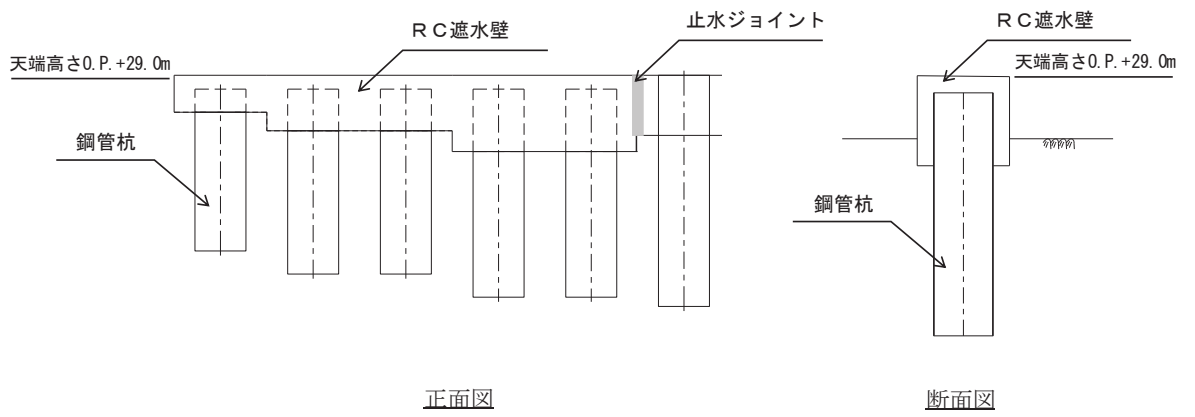


図 2-4(3) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の構造図（Ⅲ区間：RC 壁部）

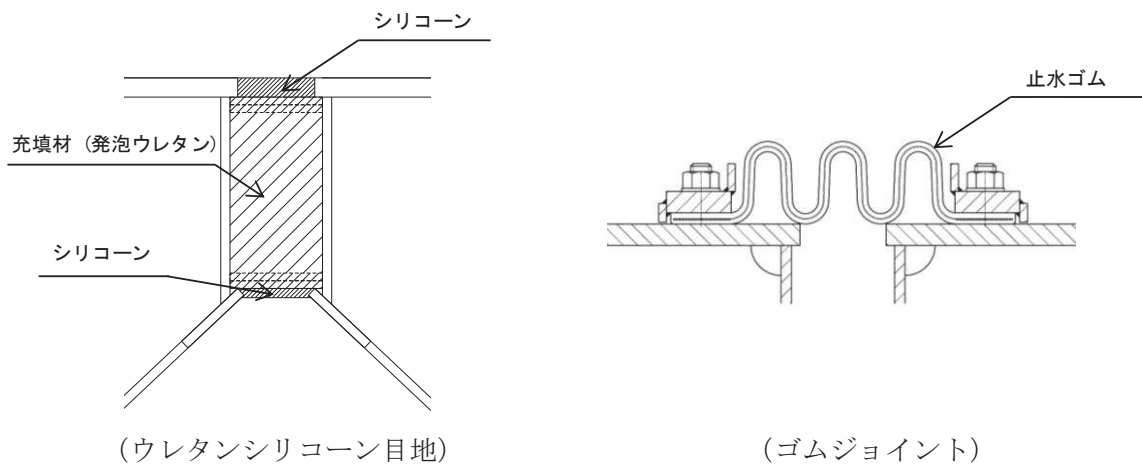


図 2-5 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の止水ジョイント部材の概念図

### 2.3 評価方針

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）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」において設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では、「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. 評価結果」より、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の評価対象部位の発生応力、すべり安全率及び発生変形量が許容限界を満足することを確認する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の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作用方向や伝達過程を考慮し、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。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度評価は、設計基準対象施設として表 2-1 の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の評価項目に示すとおり、施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。なお、「3.2.1 評価対象断面」に示すとおり、岩盤部（RC 壁部）は入力津波高さ O.P. +24.4m よりも高い O.P. +26.7m 以上の標高に設置されていることから、評価対象断面から除外している。

施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することにより、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度評価の検討フローを図 2-6 に示す。

なお、重畳時の評価における入力地震動は、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 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。

表 2-1(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の評価項目（一般部）

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	施設・地盤の健全性	鋼管杭	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
		鋼製遮水壁	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
		漂流物防護工	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
		背面補強工	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上	
	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*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	鋼管杭	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
		鋼製遮水壁	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
		漂流物防護工	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
		背面補強工	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
	セメント改良土	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上	
		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
	施設の变形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記 \*：妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-1(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の評価項目（岩盤部）

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	施設の健全性	鋼管杭	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
		鋼製遮水壁	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
		漂流物防護工	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
		背面補強工	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率1.2以上
	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*
止水性を損なわないこと	施設の健全性	鋼管杭	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
		鋼製遮水壁	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
		漂流物防護工	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
		背面補強工	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率1.2以上
	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*
	施設の变形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記 \*：妥当な安全余裕を考慮する。

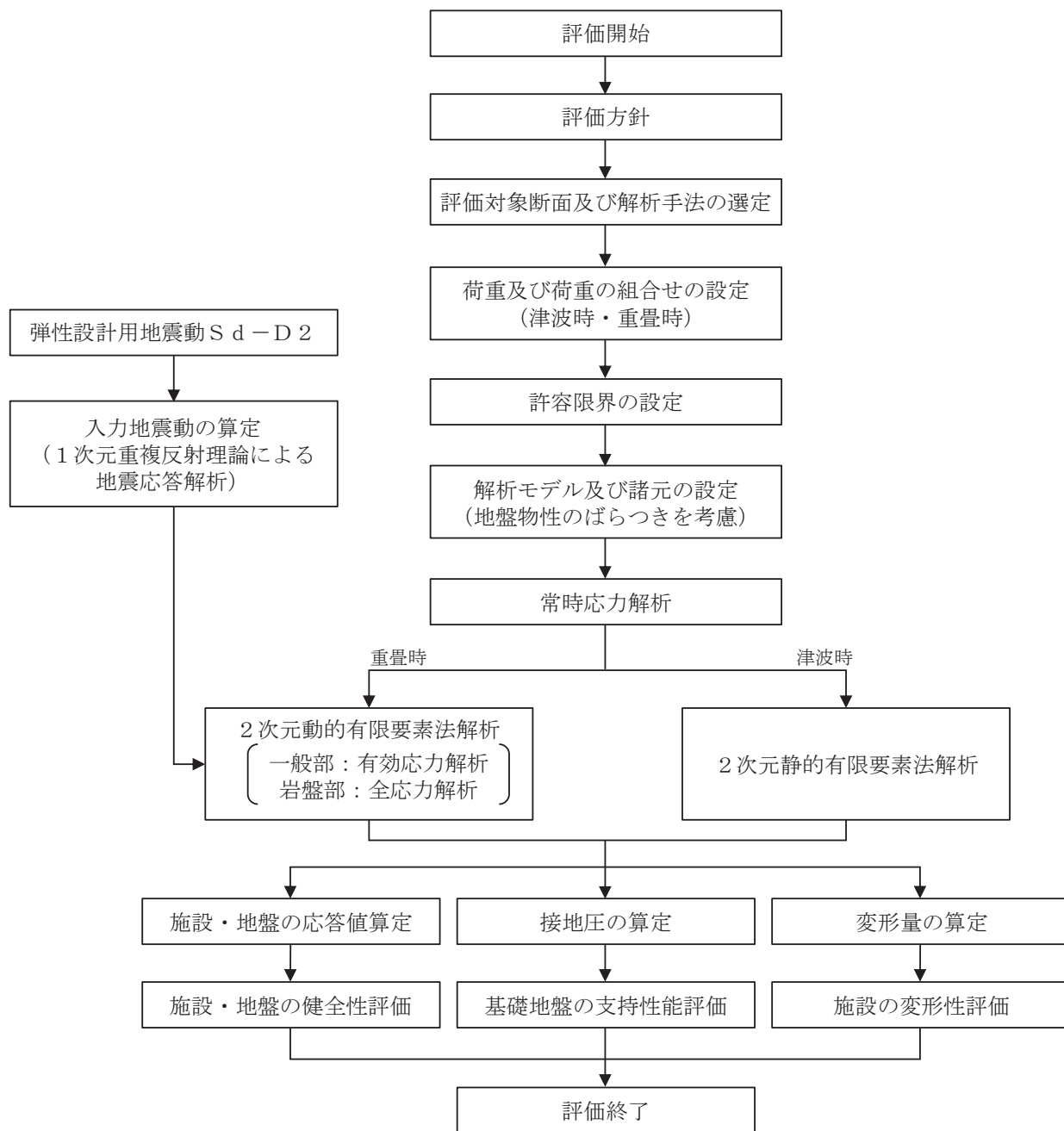


図 2-6 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度評価の検討フロー

## 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)
- 耐津波設計に係る工認審査ガイド (原子力規制委員会, 平成 25 年 6 月制定) (以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。)
- 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- 道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- 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)
- 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)
- 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)
- Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

### 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 (1) 強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN/m <sup>2</sup>	積載荷重
P <sub>s</sub>	kN/m <sup>2</sup>	積雪荷重
P <sub>k</sub>	kN/m <sup>2</sup>	風荷重
P <sub>t</sub>	kN/m <sup>2</sup>	遡上津波荷重
P <sub>c</sub>	kN	衝突荷重
K <sub>Sd</sub>	—	余震荷重
γ <sub>w</sub>	kN/m <sup>3</sup>	海水の単位体積重量
ρ	kg/m <sup>3</sup>	海水の密度
σ <sub>sa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の短期許容曲げ圧縮応力度
τ <sub>sa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の短期許容せん断応力度
σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の短期許容圧縮応力度
σ <sub>1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼管杭の曲げモーメント及び軸力により算定される応力度
M <sub>1</sub>	kN・m	鋼管杭に発生する曲げモーメント
Z <sub>1</sub>	mm <sup>3</sup>	鋼管杭の断面係数
N <sub>1</sub>	kN	鋼管杭に発生する軸力
τ <sub>1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼管杭のせん断力により算定されるせん断応力度
S <sub>1</sub>	kN	鋼管杭に発生するせん断力
A <sub>1</sub>	mm <sup>2</sup>	鋼管杭の断面積
κ <sub>1</sub>	—	せん断応力の分布係数 (2.0)
σ <sub>2</sub>	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによるスキンプレーットの発生応力度
M <sub>2</sub>	kN・m	スキンプレーットに発生する曲げモーメント
Z <sub>2</sub>	mm <sup>3</sup>	スキンプレーットの断面係数
P <sub>2</sub>	kN/m	スキンプレーットに作用する単位幅あたりの津波波圧
P <sub>2</sub> '	kN/m	スキンプレーットに作用する単位幅あたりの地震慣性力
P <sub>2</sub> ''	kN/m	スキンプレーットに作用する単位幅あたりの動水圧
L	mm	水平リブ間隔

表 3-1 (2) 強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$\sigma_3$	N/mm <sup>2</sup>	垂直リブに発生する圧縮応力度
$P_3$	kN/m <sup>2</sup>	垂直リブに作用する津波波圧
$P_3'$	kN/m <sup>2</sup>	垂直リブに作用する地震慣性力
$P_3''$	kN/m <sup>2</sup>	垂直リブに作用する動水圧
$P$	kN	受圧面積に発生する水平荷重
$t$	mm	垂直リブの板厚
$B$	m	鋼製遮水壁の総幅
$\sigma_4$	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによる水平リブの発生応力度
$\sigma_5$	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによる架台の発生応力度
$M_4$	kN・m	水平リブに発生する曲げモーメント
$M_5$	kN・m	架台に発生する曲げモーメント
$Z_4$	mm <sup>3</sup>	水平リブの断面係数
$Z_5$	mm <sup>3</sup>	架台の断面係数
$P_4$	kN/m <sup>2</sup>	水平リブ及び架台に作用する津波波圧
$P_4'$	kN/m <sup>2</sup>	水平リブ及び架台に作用する地震慣性力
$P_4''$	kN/m <sup>2</sup>	水平リブ及び架台に作用する動水圧
$\ell$	mm	架台間隔
$b$	m	モーメントアーム長
$b'$	m	衝突荷重のモーメントアーム長
$\tau_4$	N/mm <sup>2</sup>	せん断力による水平リブの発生応力度
$\tau_5$	N/mm <sup>2</sup>	せん断力による架台の発生応力度
$S_4$	kN	水平リブに発生するせん断力
$S_5$	kN	架台に発生するせん断力
$A_w$	mm <sup>2</sup>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積
$\sigma_6$	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによる防護工の発生応力度
$M_6$	kN・m	防護工に発生する曲げモーメント
$Z_6$	mm <sup>3</sup>	防護工の断面係数
$P_6$	kN/m <sup>2</sup>	防護工に作用する津波波圧
$P_6'$	kN/m <sup>2</sup>	防護工に作用する地震慣性力
$P_6''$	kN/m <sup>2</sup>	防護工に作用する動水圧
$b''$	m	防護工の幅
$\tau_6$	N/mm <sup>2</sup>	せん断力による防護工の発生応力度
$S_6$	kN	防護工に発生するせん断力
$A_{wc}$	mm <sup>2</sup>	防護工のせん断抵抗断面積



### 3.2 評価対象断面及び部位

#### 3.2.1 評価対象断面

##### (1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部

評価対象断面は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて、図 3-1 に示す断面位置とする。防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の縦断面図を図 3-2 に、評価対象断面図を図 3-3～図 3-6 に示す。

断面①：置換コンクリートが縦長になる断面で、 $C_{II}$ 級岩盤を含む岩盤上面が深く、盛土及び旧表土が厚く堆積する断面（設置変更許可段階において、基礎地盤の安定性評価で示した断面）。

断面②：比較的剛性の小さい  $D$  級 +  $C_L$  級岩盤が分布せず、旧表土が厚く堆積する断面（設置変更許可段階において、構造成立性評価で示した断面）。

断面③：比較的剛性の小さい  $D$  級 +  $C_L$  級岩盤が厚く堆積する断面。

断面④：防潮堤（盛土堤防）との境界部となる断面。

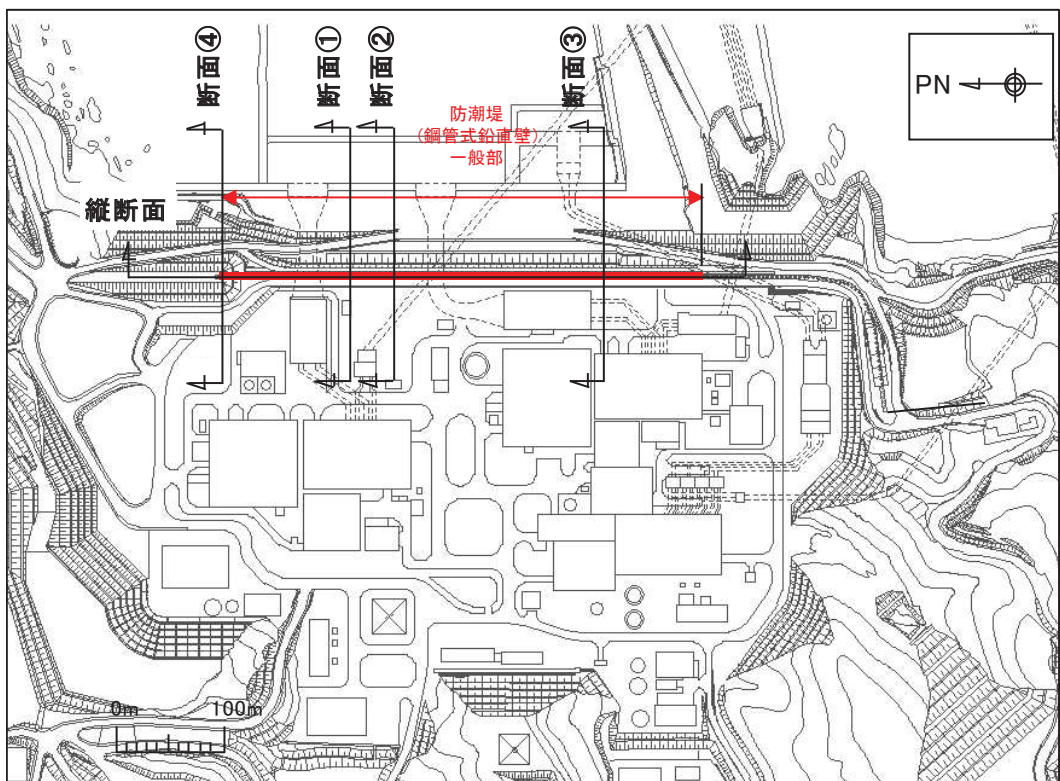


図 3-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の評価対象断面位置図

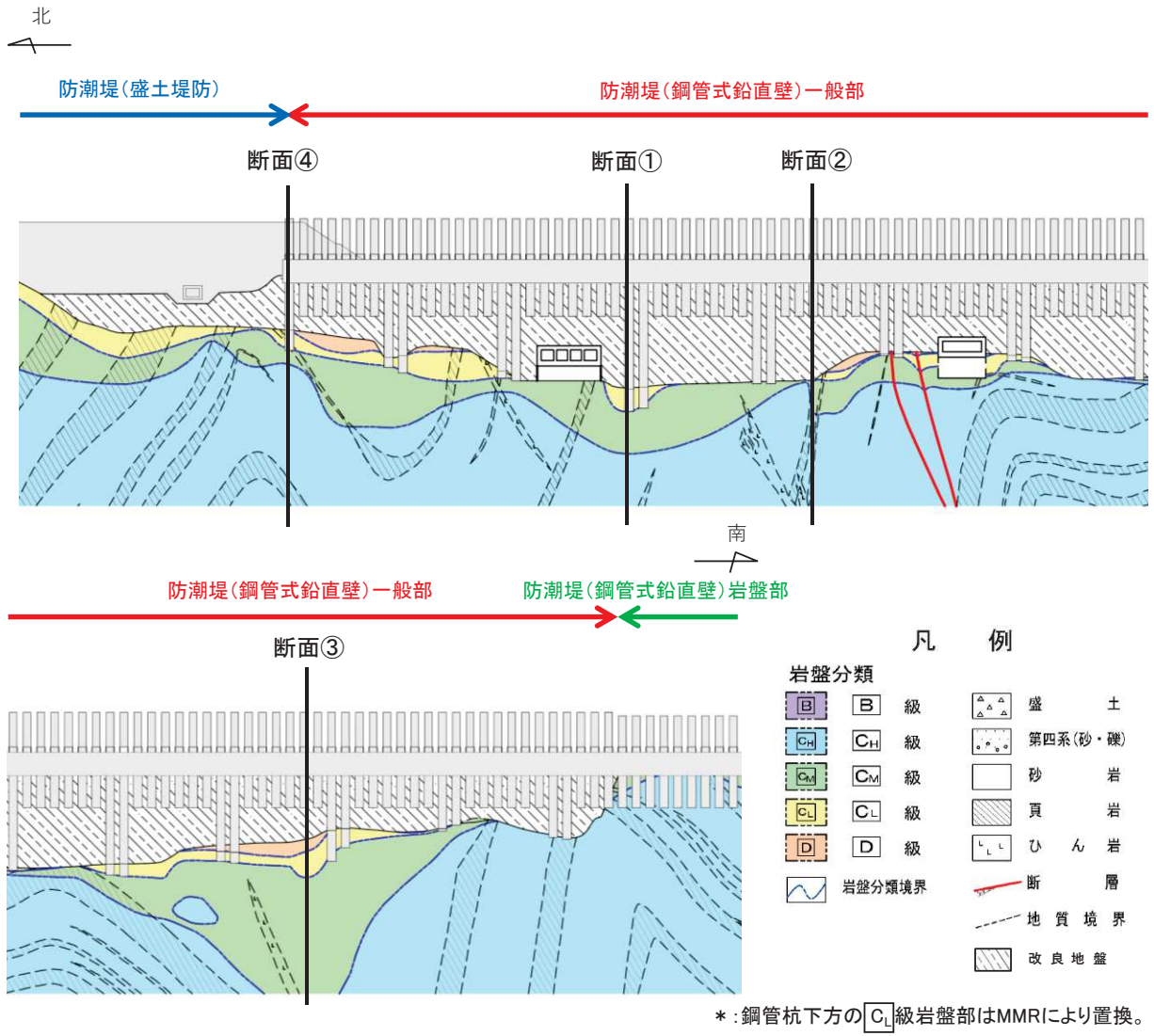


図 3-2 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の縦断面図

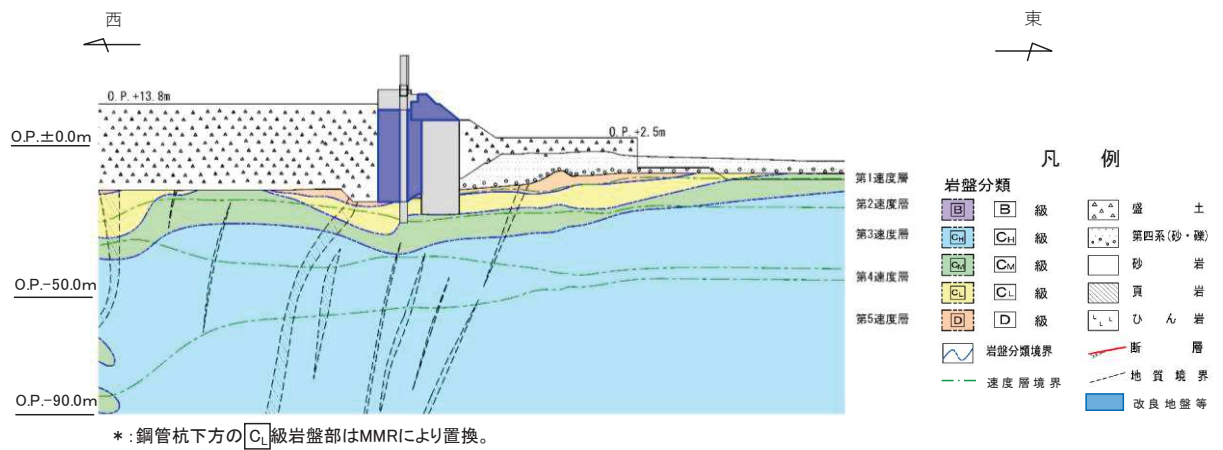


図 3-3 評価対象断面（断面①）

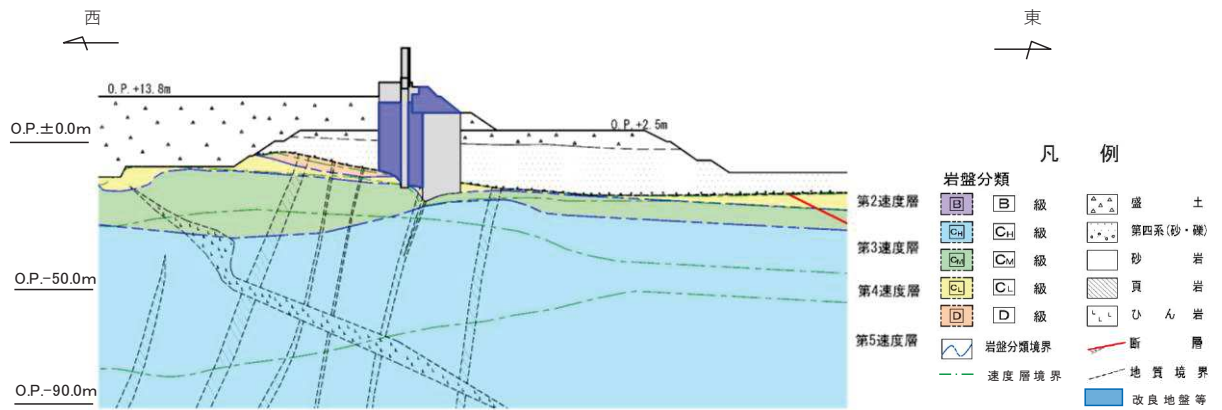


図 3-4 評価対象断面 (断面②)

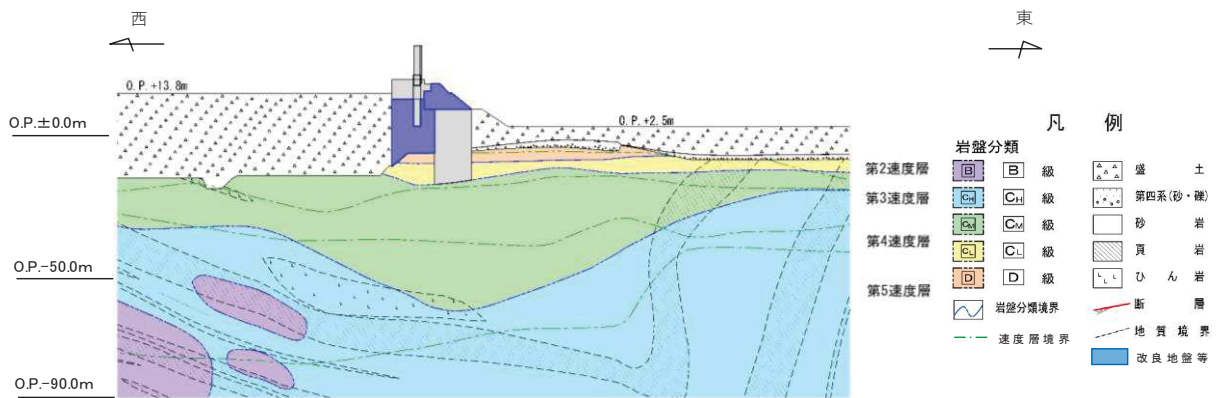


図 3-5 評価対象断面 (断面③)

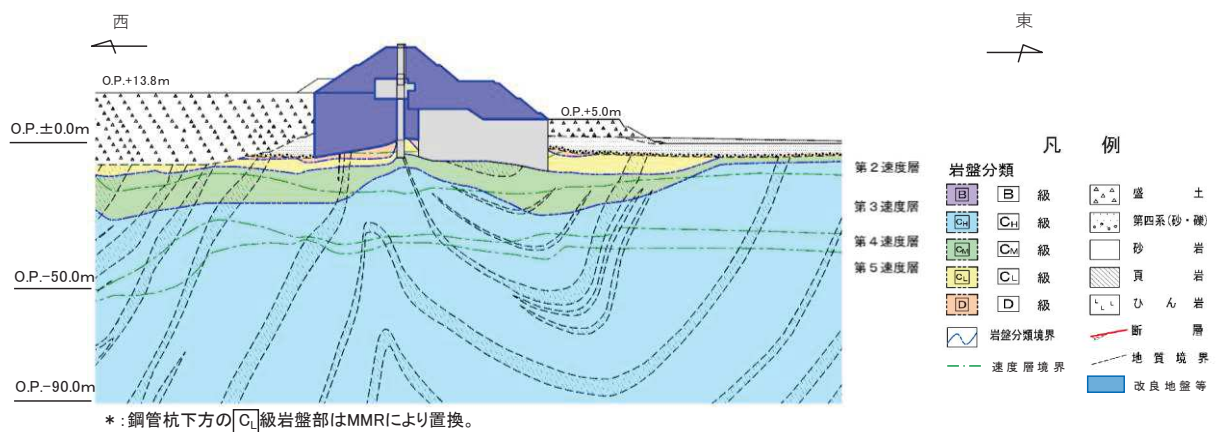


図 3-6 評価対象断面 (断面④)



(2) 岩盤部

評価対象断面は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて、図 3-7 に示す断面⑤及び断面⑥とする。防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の縦断面図を図 3-8 に、評価対象断面図を図 3-9～図 3-10 に示す。なお、図 3-11 に示す断面⑦（5本の鋼管杭と RC 遮水壁が一体構造となっている箇所）については、入力津波高さ O.P. +24.4m よりも高い O.P. +26.7m 以上に設置されており、津波が到達しないことから、評価対象断面には選定しない。

断面⑤：同一断面の構造，おおむね一定の地質状況の区間の中で，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）が設置される断面。

断面⑥：比較的剛性の小さい D 級 + C<sub>L</sub> 級岩盤が分布せず，鋼管杭の突出長が最も長くなる断面。

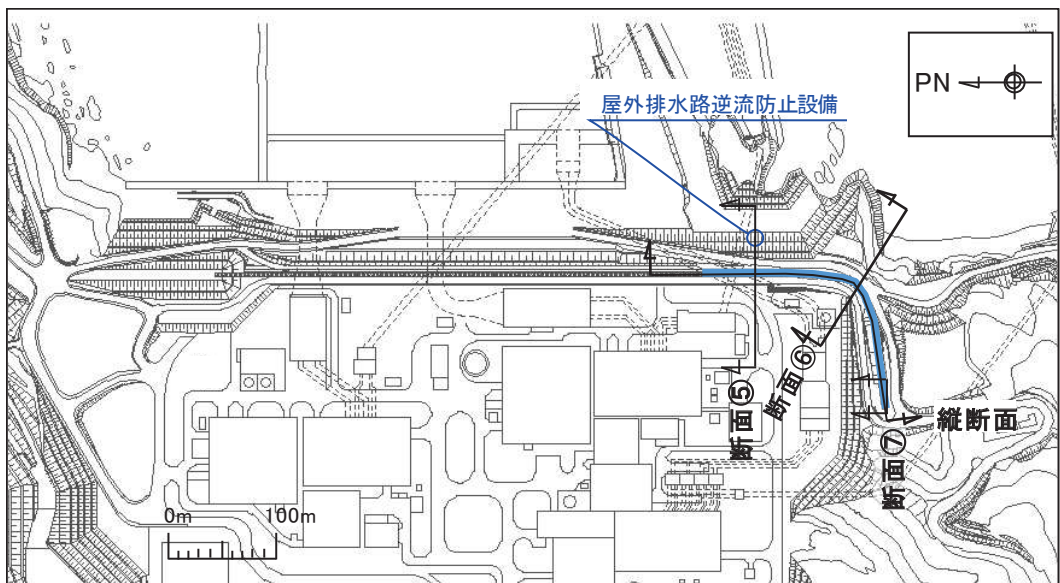


図 3-7 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の評価対象断面位置図

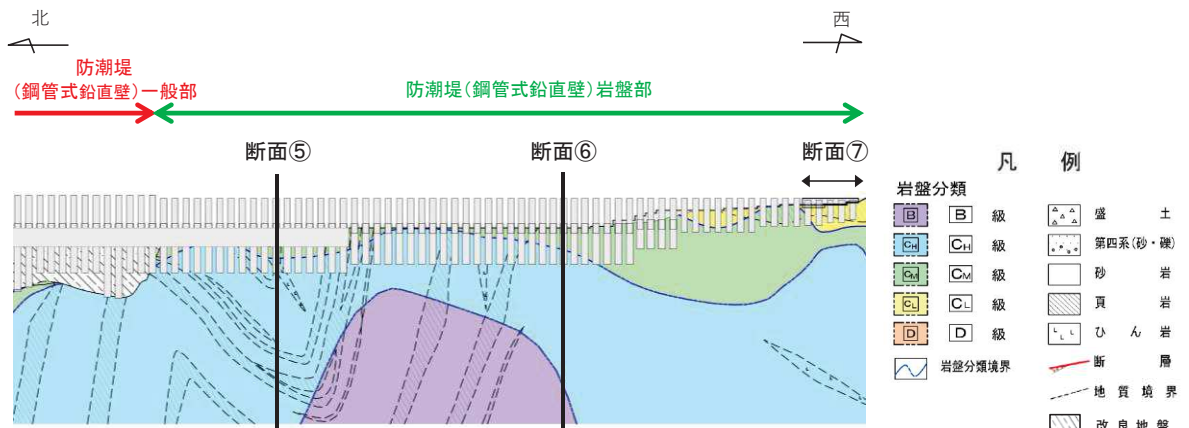


図 3-8 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の縦断面図

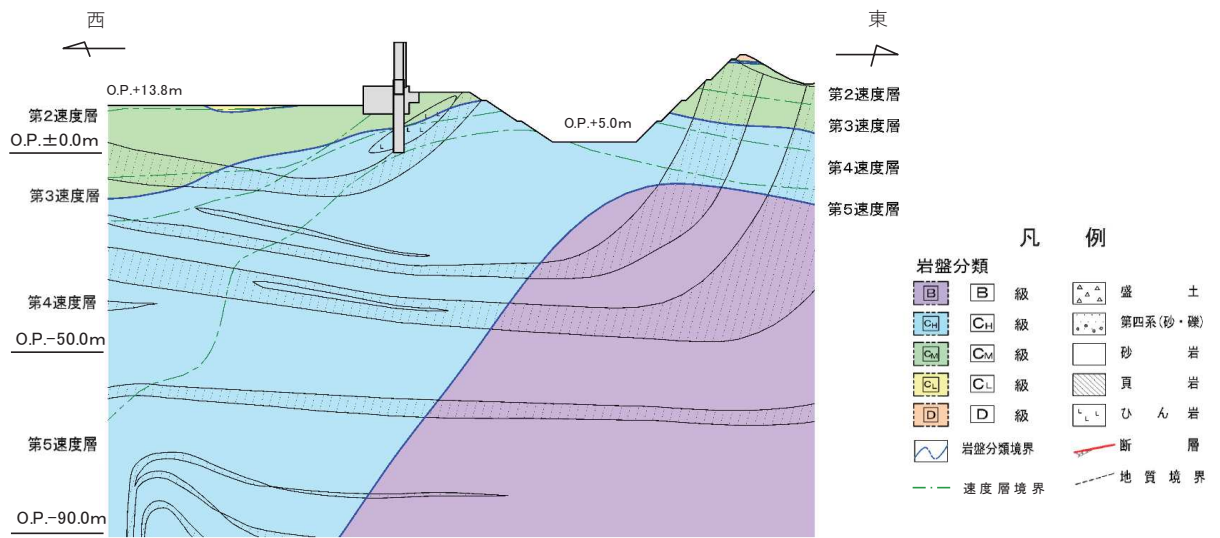


図 3-9 評価対象断面 (断面⑤)

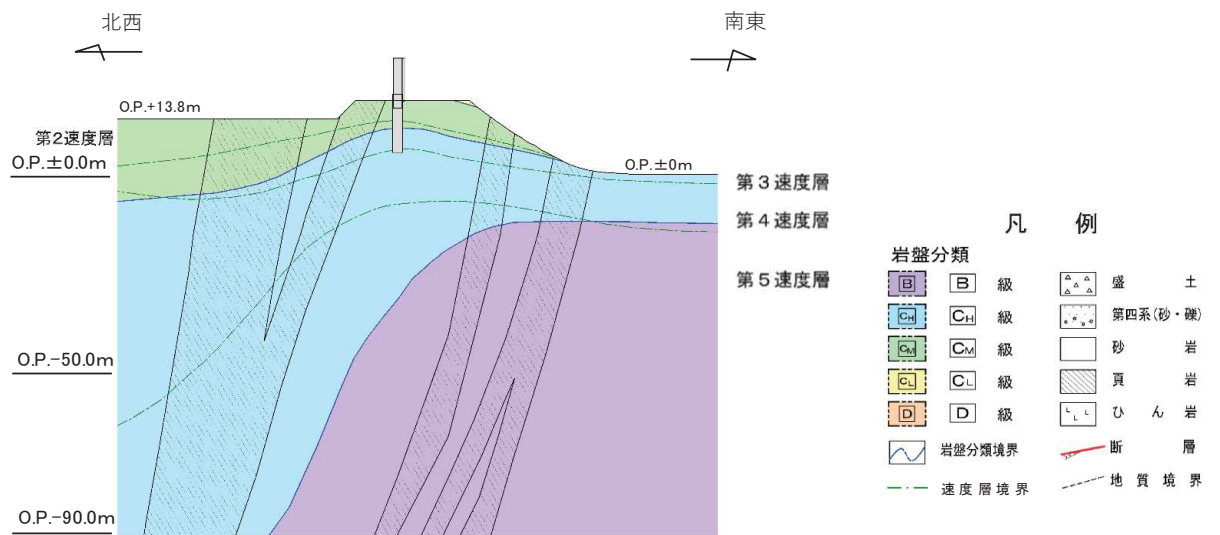


図 3-10 評価対象断面 (断面⑥)

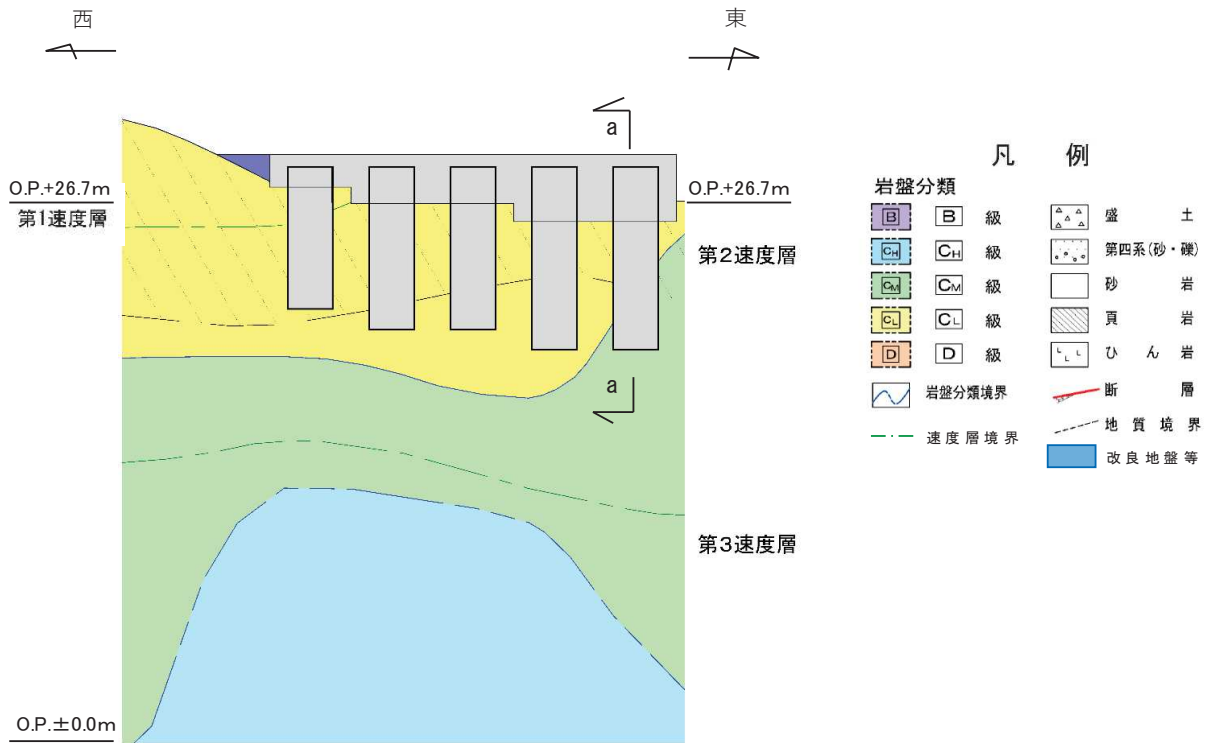


図 3-11(1) 評価対象断面 (断面⑦)

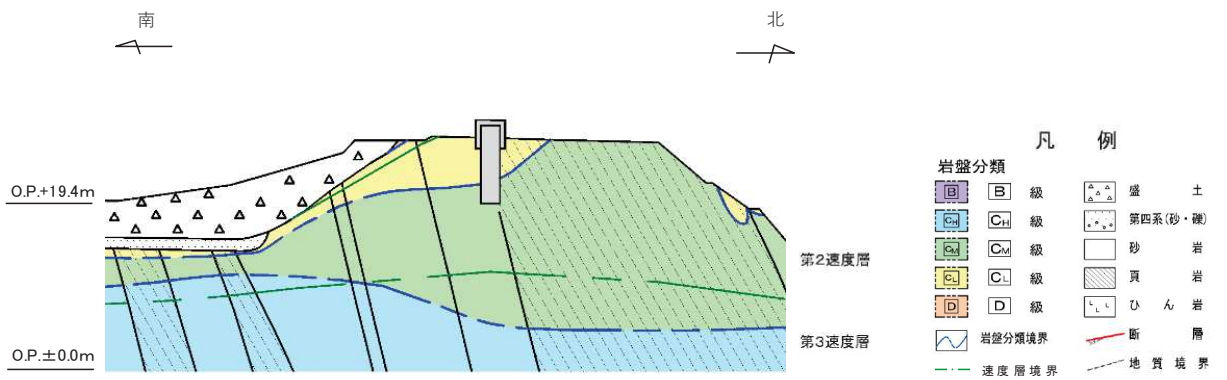


図 3-11(2) 評価対象断面 (断面⑦, a-a 断面)

### 3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

#### (1) 施設・地盤の健全性評価

##### a. 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は、鋼管杭，鋼製遮水壁，漂流物防護工，背面補強工，置換コンクリート，改良地盤及びセメント改良土とする。

##### b. 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は，鋼管杭，鋼製遮水壁，漂流物防護工及び背面補強工とする。

#### (2) 施設の変形性評価

施設の変形性評価に係る評価対象部位は，構造物間に設置する止水ジョイント部材のゴムジョイント及びウレタンシリコーン目地とする。

#### (3) 基礎地盤の支持性能評価

##### a. 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は，鋼管杭，背面補強工及び置換コンクリートを支持する基礎地盤とする。

##### b. 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は，鋼管杭及び背面補強工を支持する基礎地盤とする。

### 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) 積載荷重 (P)

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

(3) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である  $43\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重 ( $P_k$ )

海側は津波により水位が上昇しているため、海側から山側への風荷重は考慮しない。また、逆方向である山側から海側に風荷重が作用する場合を想定するが、この方向は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、風荷重は考慮しない。

(5) 遡上津波荷重 ( $P_t$ )

遡上津波荷重については、防潮堤前面における入力津波水位標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の  $1/2$  倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

(6) 衝突荷重 ( $P_c$ )

衝突荷重については、 $2.15\text{t}$  の車両を対象に「FEMA (2012) \*」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。

衝突荷重を表 3-2 に示す。

注記 \* : 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	2000

(7) 余震荷重 ( $K_{Sd}$ )

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

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の作用図を図 3-12 及び図 3-13 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t + P_c$
重畳時	$G + P + P_t + K_{Sd}$

$G$  : 固定荷重

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

$P_t$  : 遡上津波荷重

$P_c$  : 衝突荷重

$K_{Sd}$  : 余震荷重

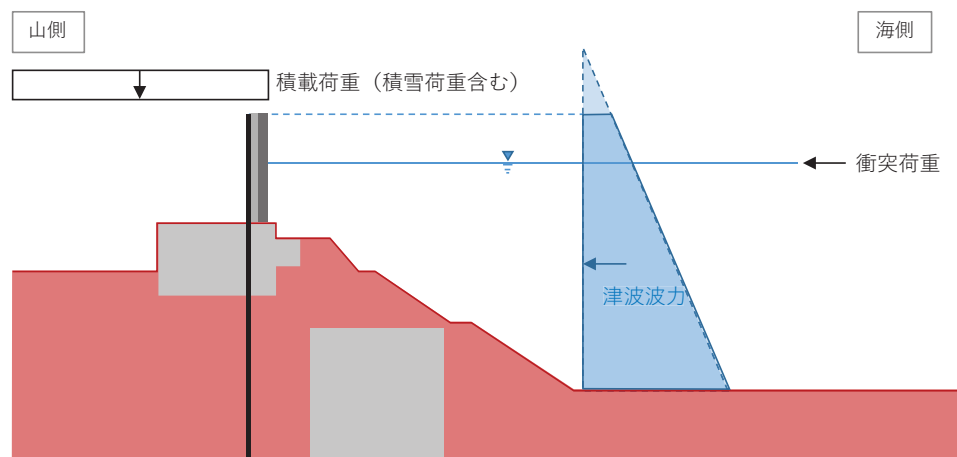


図 3-12(1) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) のうち一般部の荷重作用図 (津波時)

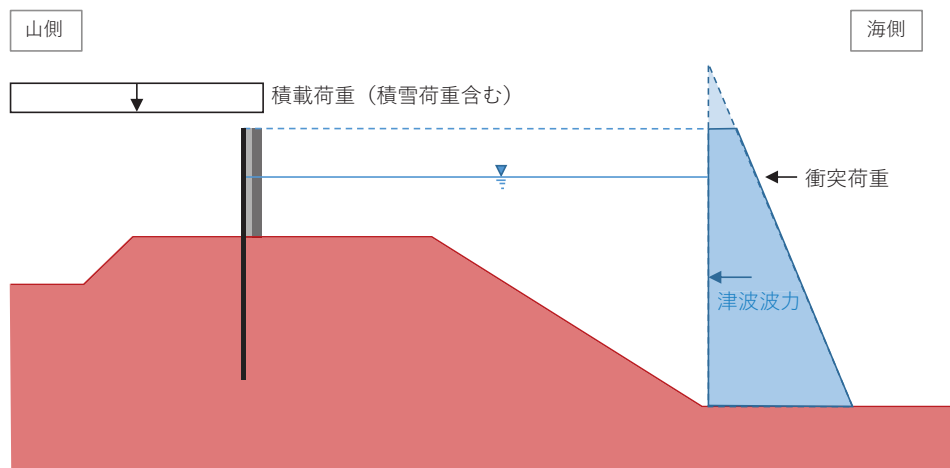


図 3-12(2) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) のうち岩盤部の荷重作用図 (津波時)

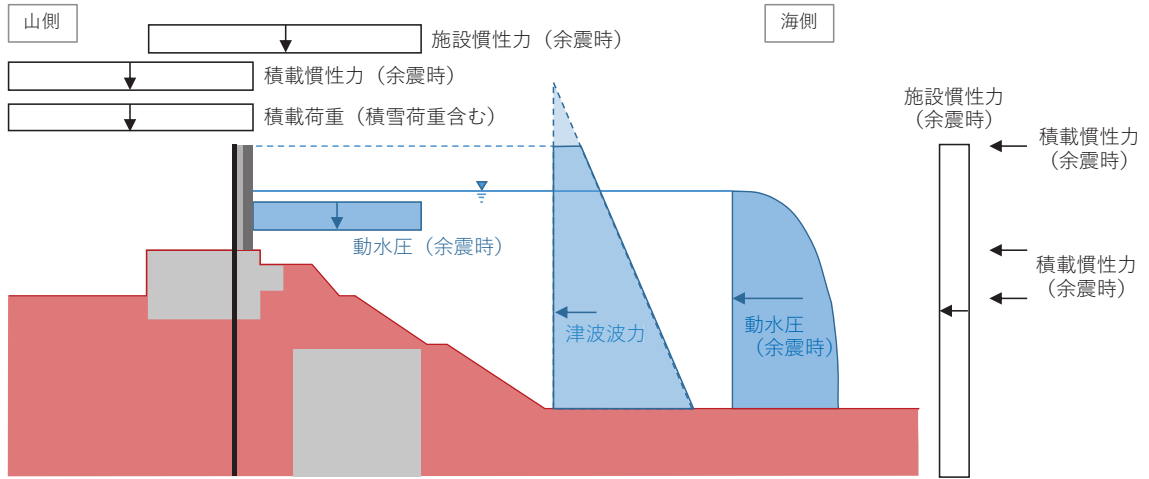


図 3-13(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の荷重作用図（重畳時）

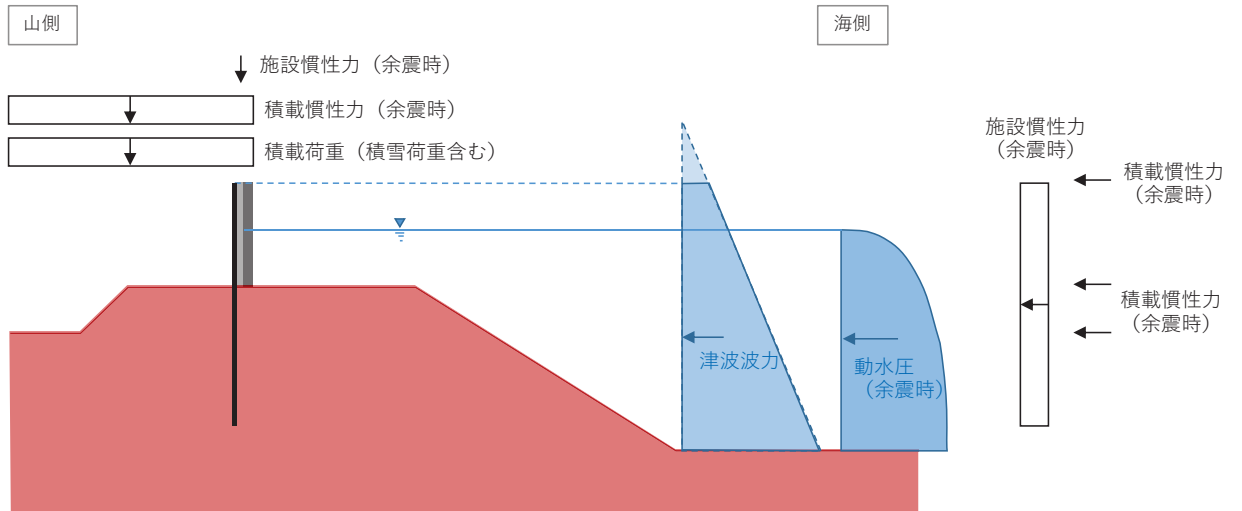


図 3-13(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の荷重作用図（重畳時）

### 3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、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。

#### 3.4.1 鋼管杭

鋼管杭の許容限界は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，短期許容応力度とする。

鋼管杭の許容応力度の考え方を図 3-14 に，許容限界を表 3-4 に示す。

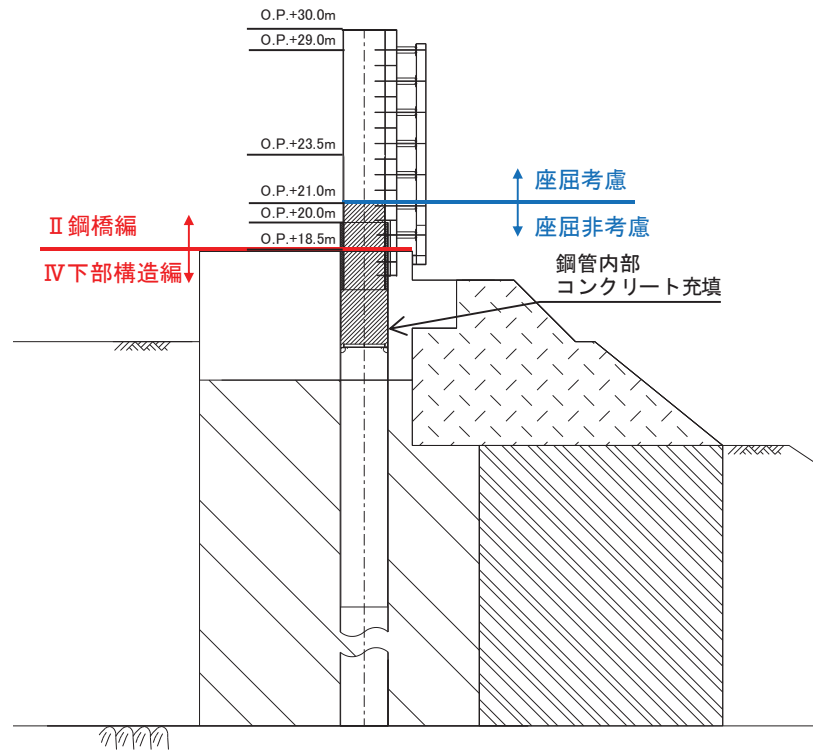


図 3-14(1) 鋼管杭の許容応力度の考え方 (防潮堤 (鋼管式鉛直壁) のうち一般部)

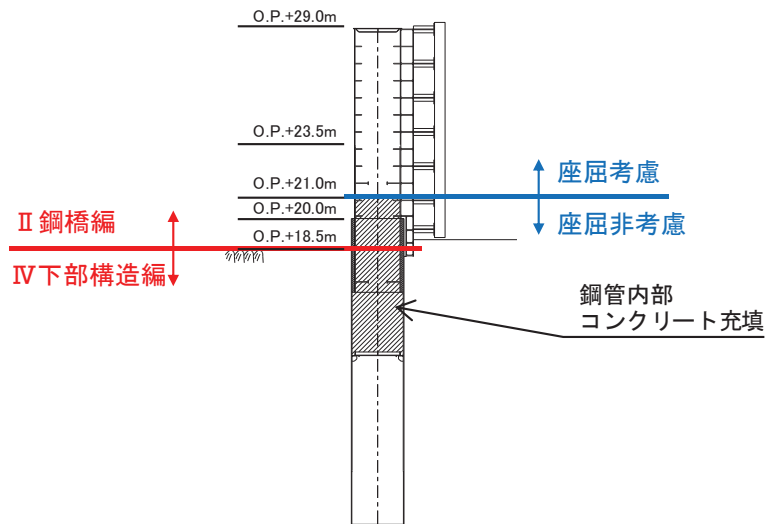


図 3-14(2) 鋼管杭の許容応力度の考え方 (防潮堤 (鋼管式鉛直壁) のうち岩盤部)

表 3-4(1) 鋼管杭の許容限界（一般部，断面①～断面③）

杭種		設置標高		座屈	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) * 2	
					許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度	許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度
鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	O. P. +30. 0m～ O. P. +23. 5m		座屈 考慮	161* 1	96* 1	241* 1	145* 1
	SM570 (t=40mm)	O. P. +23. 5m～ O. P. +21. 0m			224* 1	137* 1	336* 1	206* 1
		O. P. +21. 0m～ O. P. +20. 0m		255	145	382	217	
鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	長杭	O. P. +20. 0m～ O. P. ±0. 0m	座屈 非 考慮	255	145	382	217
		短杭	O. P. +20. 0m～ O. P. +5. 0m					
	SKK490 (t=25mm)	長杭	O. P. ±0. 0m～ 杭下端		185	105	277	157
		短杭	O. P. +5. 0m～ O. P. +2. 5m					

注記 \* 1 : 座屈を考慮する場合，鋼管杭の応力状態に応じた許容応力度を用いるが，ここでは許容応力度が最小となるように算定した値を示す。

\* 2 : 短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 3-4(2) 鋼管杭の許容限界（一般部，断面④）

杭種		設置標高		座屈	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) * 2	
					許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度	許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度
鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	O. P. +30. 0m～ O. P. +29. 0m		座屈 考慮	178* 1	96* 1	268* 1	145* 1
		O. P. +29. 0m～ O. P. +23. 5m			185	105	277	157
	SM570 (t=40mm)	O. P. +23. 5m～ O. P. +20. 0m			255	145	382	217
鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	長杭	O. P. +20. 0m～ O. P. +1. 024m	座屈 非考慮	255	145	382	217
		短杭	O. P. +20. 0m～ O. P. +5. 0m					
	SKK490 (t=25mm)	長杭	O. P. +1. 024m～杭 下端		185	105	277	157
		短杭	O. P. +5. 0m～ O. P. +2. 5m					

注記 \* 1 : 座屈を考慮する場合，鋼管杭の応力状態に応じた許容応力度を用いるが，ここでは許容応力度が最小となるように算定した値を示す。

\* 2 : 短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 3-4(3) 鋼管杭の許容限界（岩盤部，断面⑤～⑥）

杭種		設置標高		座 屈	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) * 2	
					許容曲げ 圧縮応力度	許容せん 断応力度	許容曲げ 圧縮応力度	許容せん断 応力度
鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	O. P. +29. 0m～ O. P. +23. 5m		座 屈 考 慮	164* <sup>1</sup>	96* <sup>1</sup>	246* <sup>1</sup>	145* <sup>1</sup>
	SM570 (t=40mm)	O. P. +23. 5m～ O. P. +21. 0m			229* <sup>1</sup>	137* <sup>1</sup>	344* <sup>1</sup>	206* <sup>1</sup>
		O. P. +21. 0m～ O. P. +20. 0m		255	145	382	217	
鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	⑤断面	O. P. +20. 0m ～O. P. +5. 0m	座 屈 非 考 慮	255	145	382	217
		⑥断面	O. P. +20. 0m ～O. P. +8. 0m					
	SKK490 (t=25mm)	⑤断面	O. P. +5. 0m～ O. P. +2. 5m		185	105	277	157
		⑥断面	O. P. +8. 0m～ O. P. +5. 5m					

注記 \* 1 : 座屈を考慮する場合，鋼管杭の応力状態に応じた許容応力度を用いるが，ここでは許容応力度が最小となるように算定した値を示す。

\* 2 : 短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。



### 3.4.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，表3-5に示す短期許容応力度とする。

表 3-5 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の許容限界

鋼材	座屈	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度*
				(N/mm <sup>2</sup> )
SM570	座屈非考慮	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	255	382
		許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	145	217
SM490Y		許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	210	315
		許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	120	180
	座屈考慮	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	127	190

注記 \*：短期許容応力度は，道路橋示方書により許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

### 3.4.3 背面補強工

背面補強工の許容限界は，「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し，表3-6に示すすべり安全率とする。

表 3-6 背面補強工の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

### 3.4.4 置換コンクリート

置換コンクリートの許容限界は，「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し，表3-7に示すすべり安全率とする。

表 3-7 置換コンクリートの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

### 3.4.5 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-8 に示すすべり安全率とする。

表 3-8 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

### 3.4.6 セメント改良土

セメント改良土の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-9 に示すすべり安全率とする。

表 3-9 セメント改良土の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

### 3.4.7 止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の変形量の許容限界は、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。表 3-10 に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

表 3-10 止水ジョイント部材の変形量の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)		
	変形量	ゴムジョイント	汀線直角方向
汀線方向			150
ウレタンシリコーン目地		汀線直角方向	30
		汀線方向	6

### 3.4.8 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 基礎地盤の支持力に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	狐崎部層*	13.7
	牧の浜部層*	11.4
	改良地盤	4.4

注記 \* : C<sub>M</sub>級岩盤以上の岩盤が対象

### 3.5 評価方法

防潮堤（鋼管式鉛直壁）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」に基づき設定する。

#### 3.5.1 津波時

##### (1) 解析方法

津波時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて 2次元静的有限要素法解析により算定する。なお、衝突荷重は入力津波水位 (O.P. +24.4m) に作用させる。

2次元静的有限要素法解析に用いる解析コードは、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部には「FLIP Ver7.3.0\_2」を使用し、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部には「TDAPIII Ver3.08」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。

##### a. 施設

鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

##### b. 材料物性及び地盤物性のばらつき

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の津波時の挙動は、周辺地盤の影響を受けることから、地盤物性のばらつきの影響を評価する。地盤物性のばらつきについては、防潮堤（鋼管式鉛直壁）周辺の地盤状況に応じて一般部と岩盤部の2種類に分類し、表 3-12 及び表 3-13 に示す解析ケースにて行う。

##### (a) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部

図 3-2～図 3-6 に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部の周辺には、主として旧表土、盛土、**D**級岩盤、セメント改良土及び改良地盤が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の挙動に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

##### (b) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部

図 3-8～図 3-10 に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部の周辺には、主として、**C<sub>L</sub>**級岩盤、**C<sub>M</sub>**級岩盤、**C<sub>H</sub>**級岩盤及び**B**級岩盤が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の挙動に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

表 3-12 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部）

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

表 3-13 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部）

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

c. 解析ケースの選定

津波時においては, 表 3-12 及び表 3-13 に示すケース①~③を実施する。

(2) 解析モデル及び諸元

a. 解析モデル

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデルを図 3-15 及び図 3-16 に示す。

(a) 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(b) 境界条件

一般部は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

岩盤部は、解析領域の側方を鉛直ローラー境界、底面を固定境界とする。

(c) 構造物のモデル化

鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(d) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。また、一般部に分布する D<sub>2</sub>級岩盤、改良地盤、セメント改良土及び盛土・旧表土は地盤の非線形性を考慮するため、マルチスプリング要素でモデル化する。

(e) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

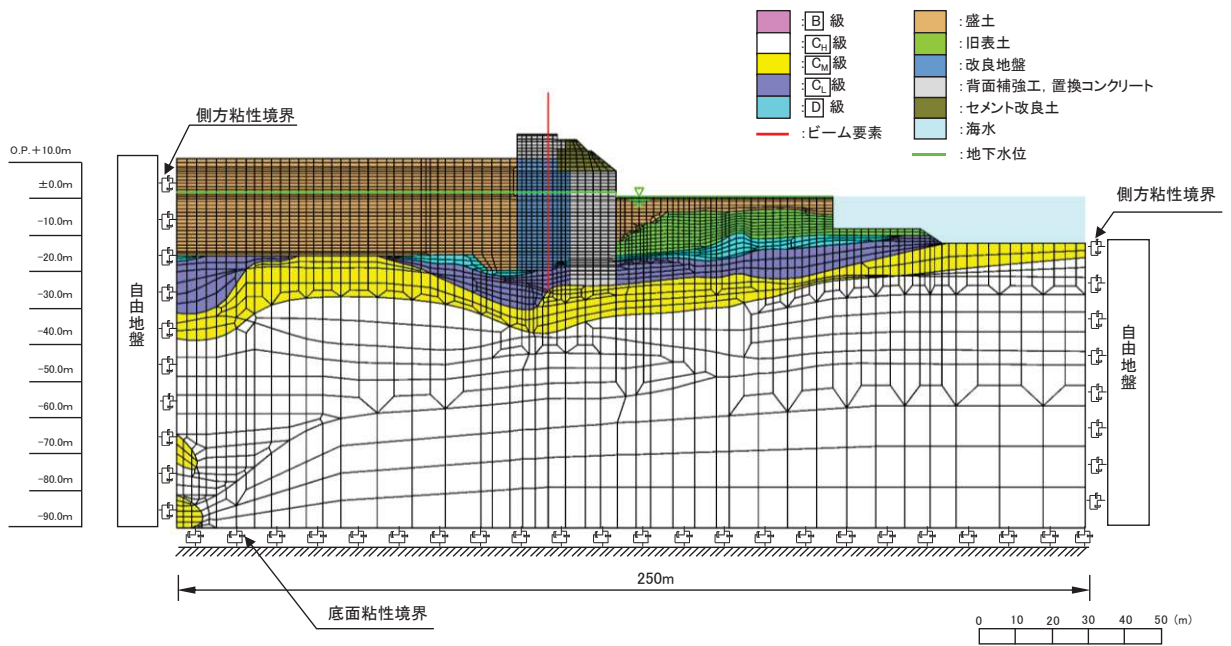


図 3-15(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面①）

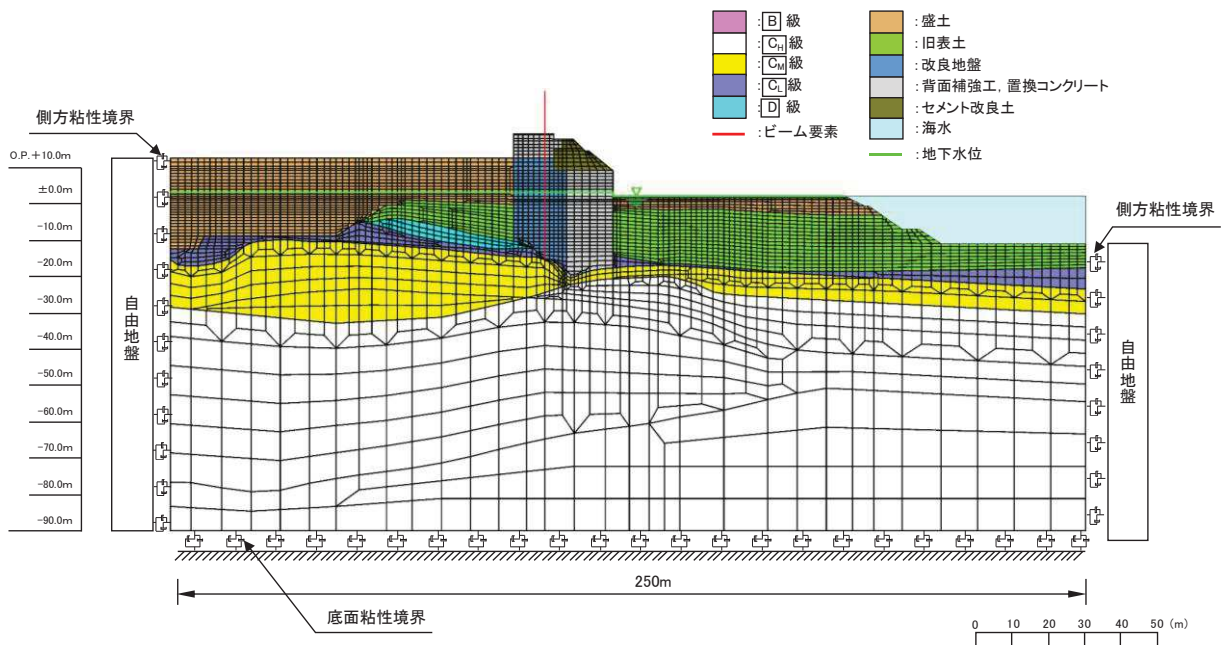


図 3-15(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面②）



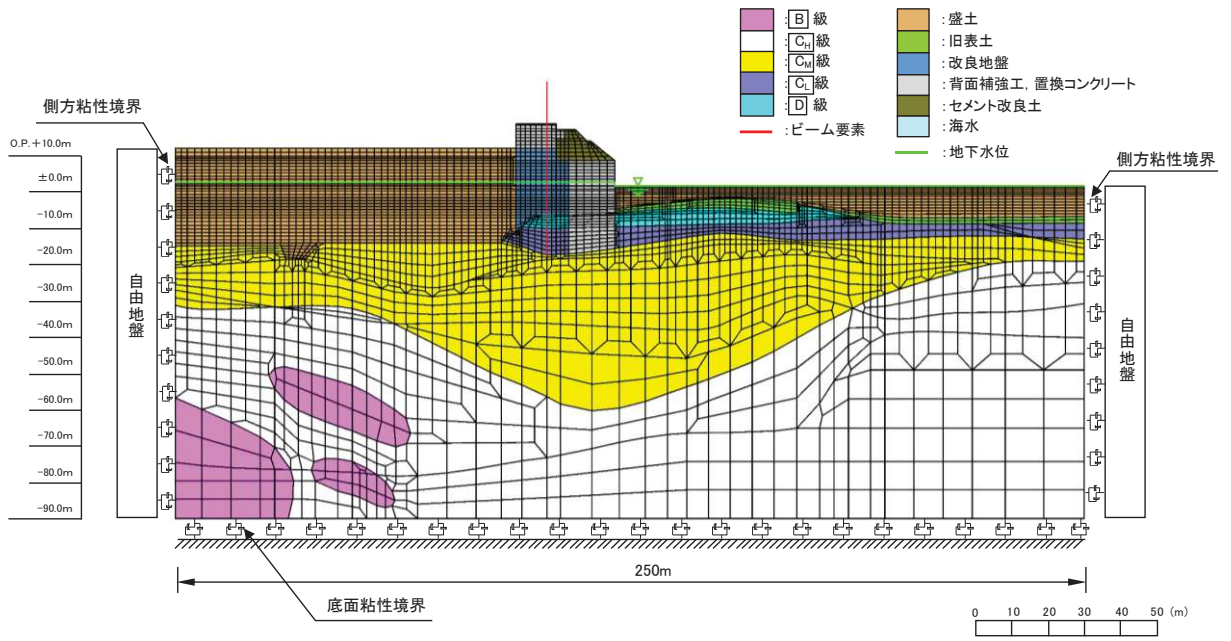


図 3-15(3) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面③）

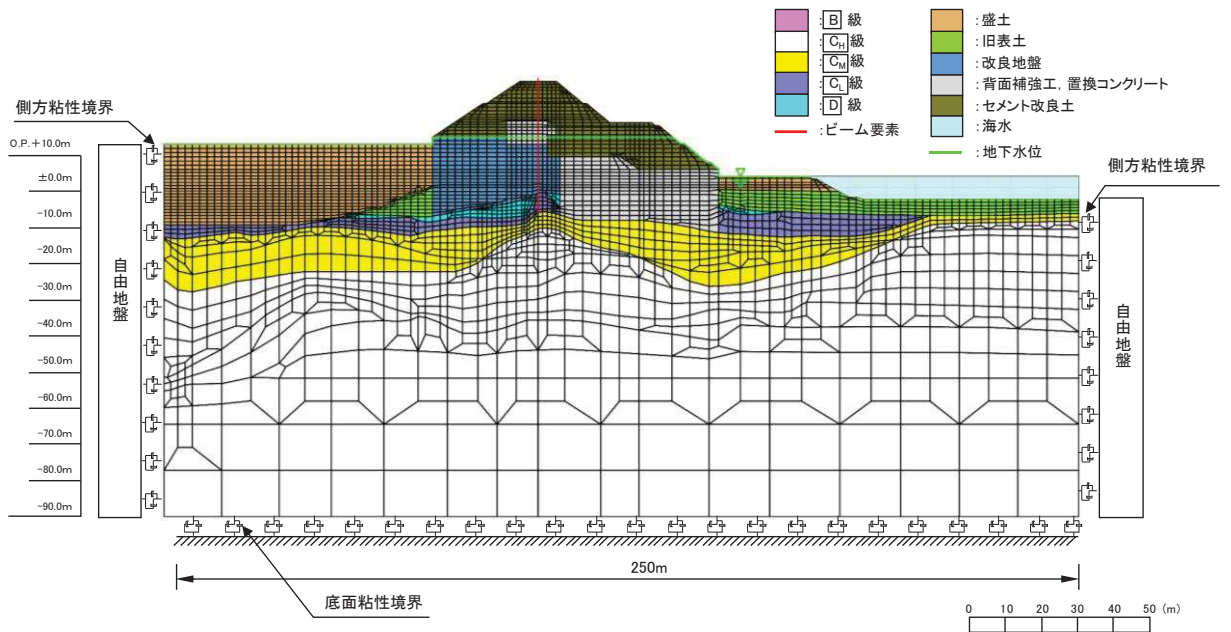


図 3-15(4) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面④）



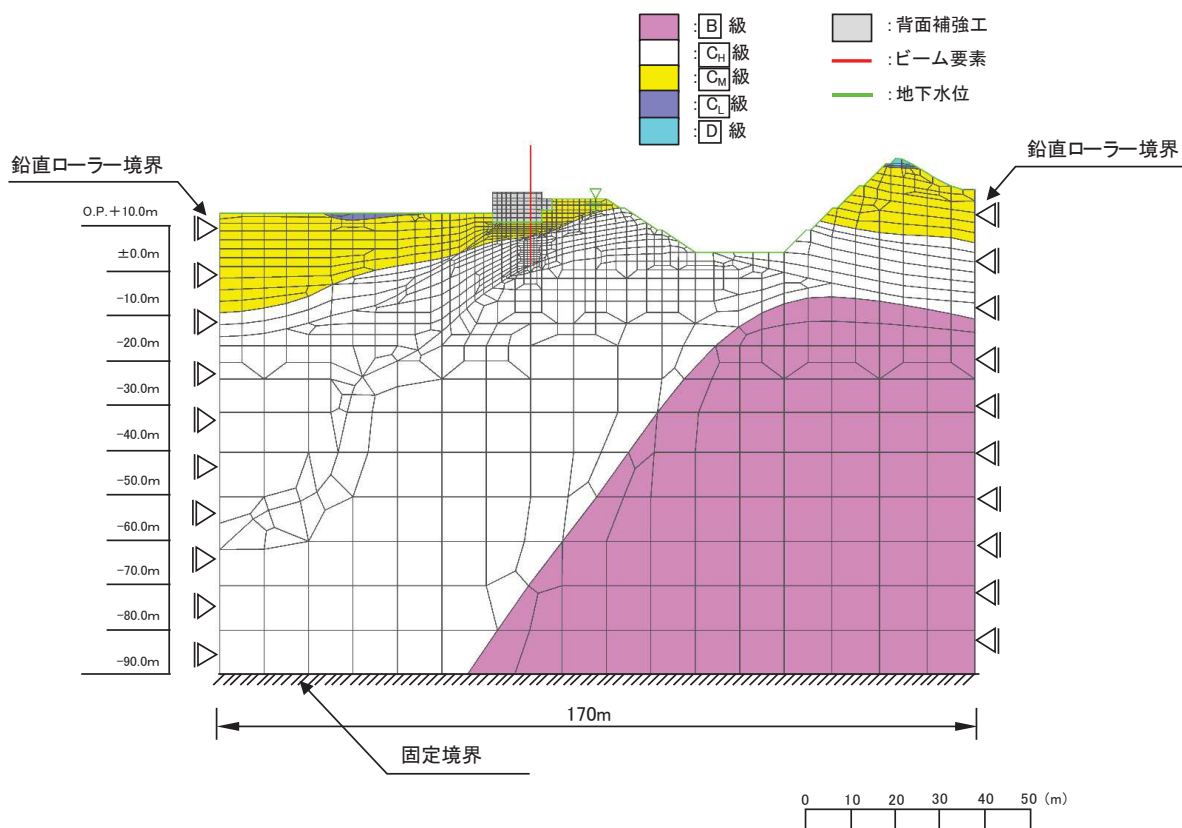


図 3-16(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の解析モデル（断面⑤）

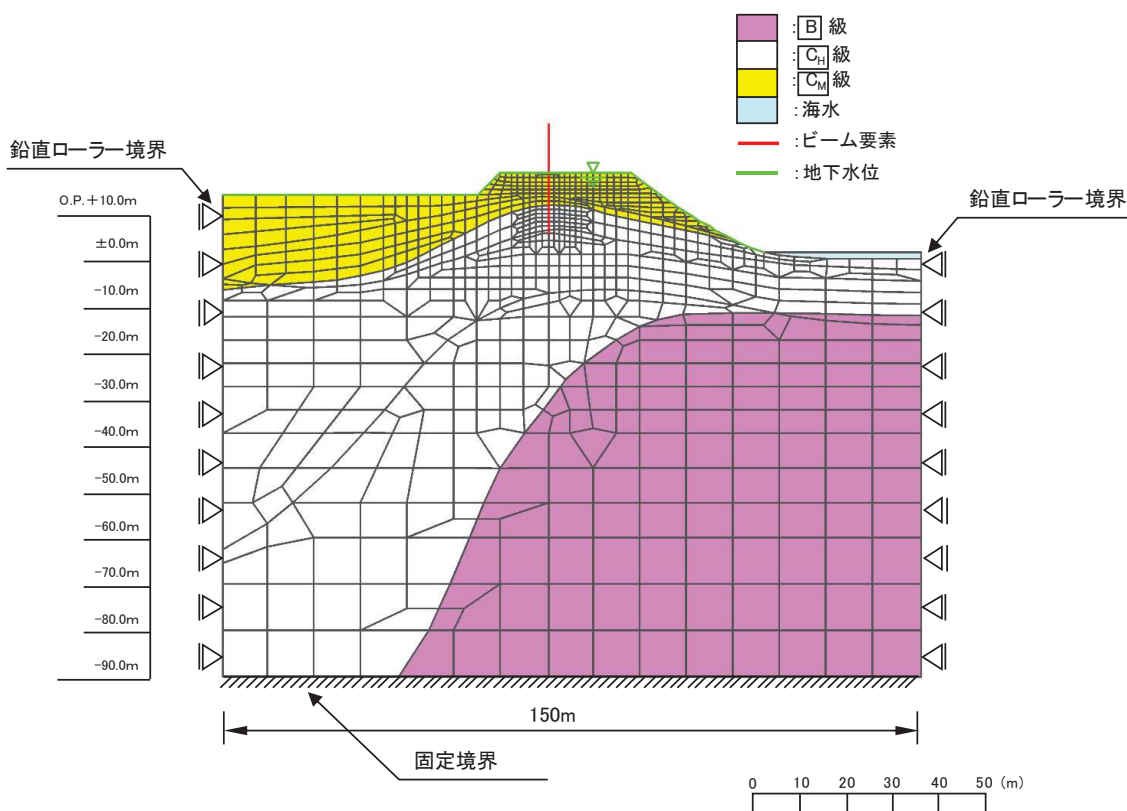


図 3-16(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の解析モデル（断面⑥）

b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3-14 に、材料の物性値を表 3-15 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

表 3-14 使用材料

材料		諸元	
コンクリート	背面補強工	設計基準強度 : 30 N/mm <sup>2</sup>	
	置換コンクリート	設計基準強度 : 30 N/mm <sup>2</sup>	
鋼材	鋼管杭*	φ 2200mm	t=25mm (SKK490), t=40mm (SM570)
		φ 2500mm	t=25mm (SKK490), t=35mm (SM570)
	鋼製遮水壁*		SM570, SM490Y
	漂流物防護工*		SM570, SM490Y

注記 \* : 道路橋示方書 ( I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月) に基づき腐食代 1 mm を考慮する。杭体, 鋼製遮水壁 (スキンプレート) 及び漂流物防護工の断面照査において, 腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

表 3-15(1) 材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
コンクリート	背面補強工	24.0	2.80 × 10 <sup>4</sup>	0.2
	置換コンクリート	22.5	2.80 × 10 <sup>4</sup>	0.2
鋼管杭	SM570, SKK490	77.0	2.00 × 10 <sup>5</sup>	0.3
鋼材	SM570, SM490Y	77.0	2.00 × 10 <sup>5</sup>	0.3

表 3-15(2) 材料の物性値 (コンクリートの強度特性)

材料		せん断 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	内部 摩擦角 (°)	引張 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	残留 強度 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	背面補強工	6.00	-*	2.22	-*
	置換コンクリート				

注記 \* : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

c. 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

d. 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 3-15 及び図 3-16 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 3-16 に示す。

表 3-16 設計用地下水位の一覧

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
防潮堤（鋼管式鉛直壁）	断面①	防潮堤より山側で O.P. +1.43m（朔望平均満潮位）、海側で地表面
	断面②	
	断面③	
	断面④	防潮堤より山側及び海側で地表面（盛土堤防との境界部であることも踏まえ、盛土堤防と同様の設定）
	断面⑤	岩盤表面
	断面⑥	

(3) 評価方法

防潮堤（鋼管式鉛直壁）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」に基づき設定する。

a. 鋼管杭

鋼管杭の評価は、杭体の曲げモーメント及び軸力より算定される応力及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げ軸力照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} \pm \frac{M_1}{Z_1} \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

$\sigma_1$  : 鋼管杭の曲げモーメント及び軸力より算定される応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_1$  : 鋼管杭に発生する曲げモーメント (kN・m)

$Z_1$  : 鋼管杭の断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*

$N_1$  : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

$A_1$  : 鋼管杭の断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

注記 \* : 鋼管杭の外側 1mm を腐食代として考慮する。

(b) せん断力照査

せん断力を用いて次式により算定されるせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_1 = \kappa_1 \frac{S_1}{A_1} \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで、

$\tau_1$  : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_1$  : 鋼管杭に発生するせん断力 (kN)

$A_1$  : 鋼管杭の断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

$\kappa_1$  : せん断応力の分布係数 (2.0)

注記 \* : 鋼管杭の外側 1mm を腐食代として考慮する。

b. 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁は、スキンプレート、垂直リブ及び水平リブで構成され、漂流物防護工は架台及び防護工で構成されている。防護工は架台に取り付けられており、架台はスキンプレートを挟んで水平リブと同じ高さに設置されている。鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図を図 3-17 に示す。

これらの各部材について、単純ばり又は片持ちばりでモデル化し、それぞれ許容限界以下であることを確認する。

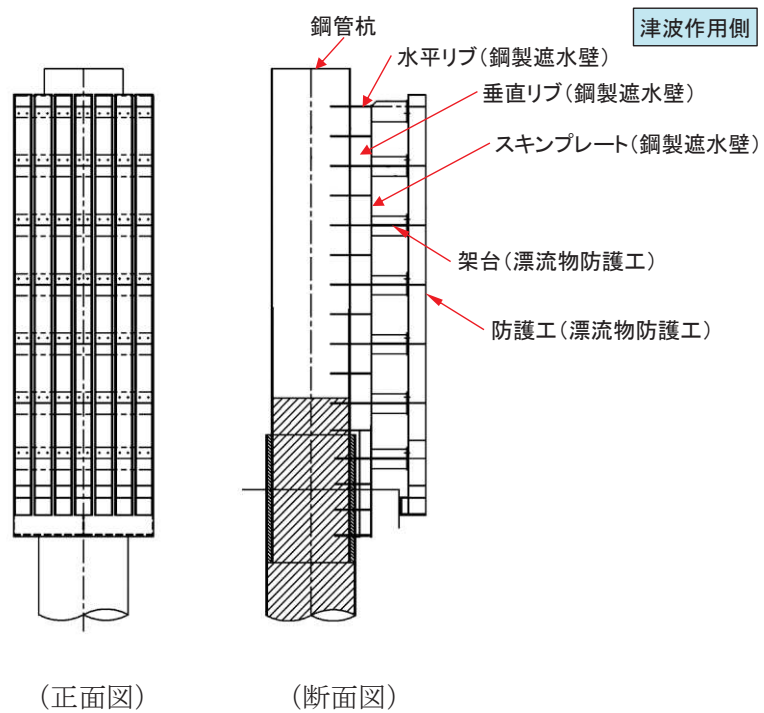


図 3-17(1) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (正面図, 断面図)

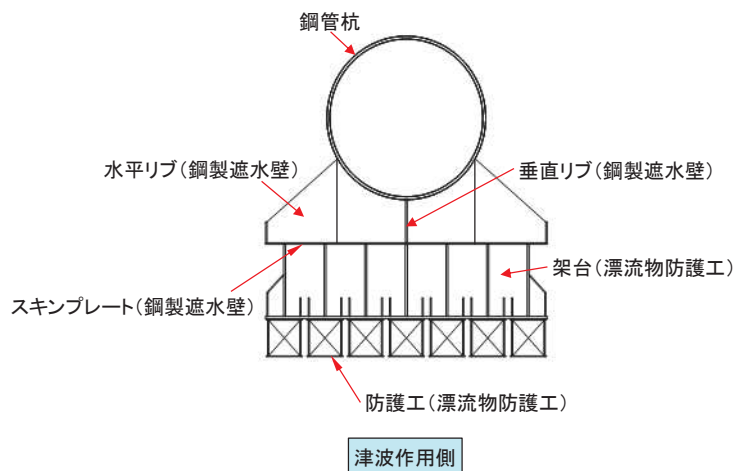


図 3-17(2) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (平面図)

(a) スキンプレート

スキンプレートの照査方法を図 3-18 に示す。水平リブを支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメントを用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{Z_2} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$M_2 = P_2 \frac{L^2}{8} \dots \dots \dots (3.4)$$

ここで、

$\sigma_2$  : 曲げモーメントによるスキンプレートの発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_2$  : スキンプレートに発生する曲げモーメント (kN・m)

$Z_2$  : スキンプレートの断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*

$P_2$  : スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 (kN/m)

L : 水平リブ間隔 (mm)

注記 \* : スキンプレートの外側 1mm を腐食代として考慮する。

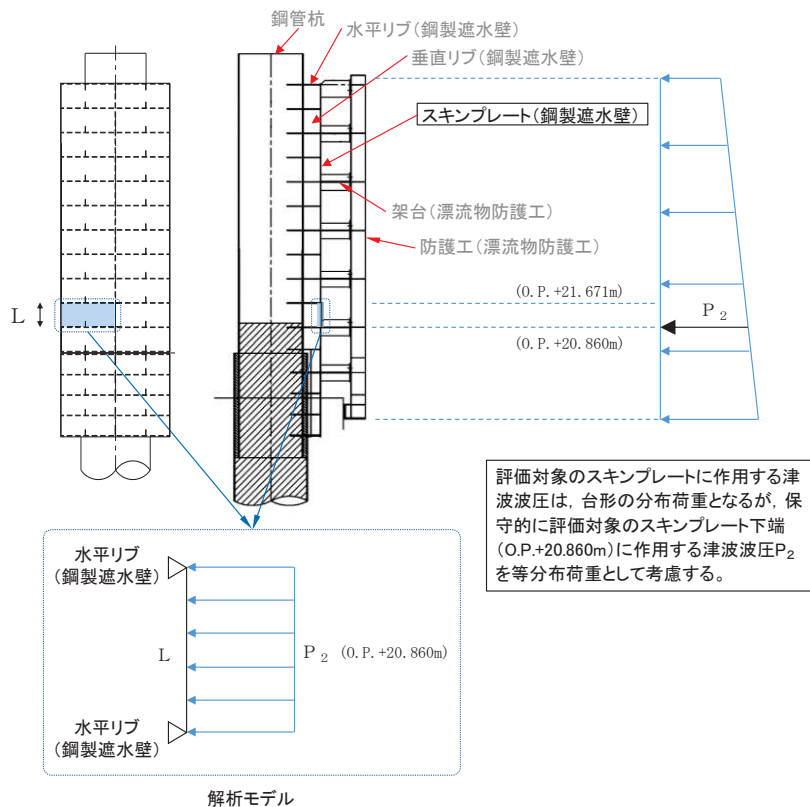


図 3-18 スキンプレートの照査概念図 (津波時)

(b) 垂直リブ

垂直リブの照査方法を図 3-19 に示す。垂直リブに作用する軸力から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_3 = \frac{P}{t \cdot L} \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$P = P_3 \cdot L \cdot B \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

ここで、

- $\sigma_3$  : 垂直リブに発生する圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- P : 受圧面積に発生する水平荷重 (kN)
- t : 垂直リブの板厚 (mm)
- L : 水平リブ間隔 (mm)
- $P_3$  : 垂直リブに作用する津波波圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- B : 鋼製遮水壁の総幅 (m)

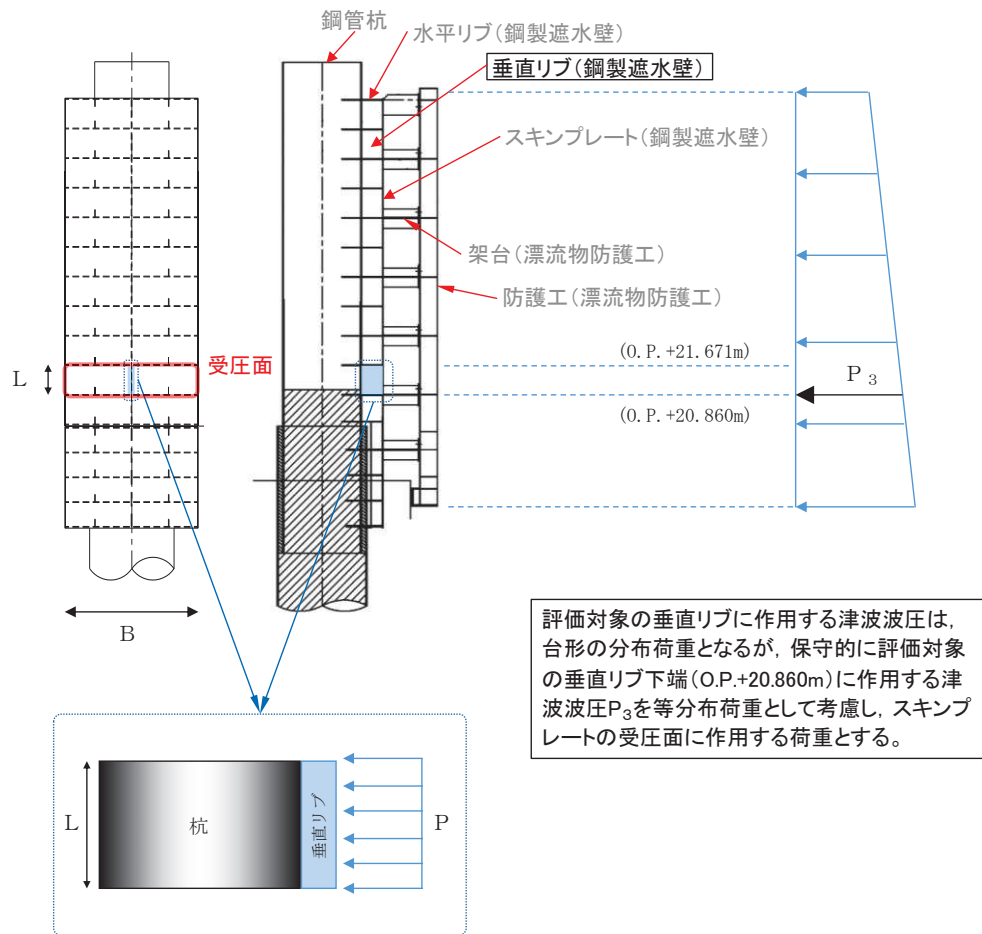


図 3-19 垂直リブの照査概念図 (津波時)

(c) 水平リブ及び架台

水平リブ，スキンプレート及び架台を一つの充腹形断面とみなして，鋼管杭中心線上を固定支点とする片持ちばりでモデル化し，曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また，合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお，衝突荷重の作用位置については，O.P.+24.4mを基本とするが，水平リブ及び架台で負担する割合が最大となるよう水平リブ及び架台の高さであるO.P.+24.104mに作用させる。

水平リブ及び架台の照査方法を図 3-20 に示す。

曲げ応力照査（水平リブ）

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{Z_4} \dots \dots \dots (3.7)$$

$$M_4 = \frac{1}{2} P_4 \cdot \ell \cdot b^2 + P_c \cdot b' \dots \dots \dots (3.8)$$

せん断力照査（水平リブ）

$$\tau_4 = \frac{S_4}{A_w} \dots \dots \dots (3.9)$$

$$S_4 = P_4 \cdot \ell \cdot b + P_c \dots \dots \dots (3.10)$$

合成応力照査（水平リブ）

$$\left( \frac{\sigma_4}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_4}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.11)$$

曲げ応力照査（架台）

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{Z_5} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$M_5 = \frac{1}{2} P_4 \cdot \ell \cdot b^2 + P_c \cdot b' \dots \dots \dots (3.13)$$



せん断力照査 (架台)

$$\tau_5 = \frac{S_5}{A_w} \dots \dots \dots (3.14)$$

$$S_5 = P_4 \cdot \ell \cdot b + P_c \dots \dots \dots (3.15)$$

合成応力照査 (架台)

$$\left( \frac{\sigma_5}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_5}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.16)$$

ここで,

- $\sigma_4$  : 曲げモーメントによる水平リブの発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $M_4$  : 水平リブに発生する曲げモーメント (kN・m)
  - $Z_4$  : 水平リブの断面係数 (mm<sup>3</sup>)
  - $P_4$  : 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 (kN/m<sup>2</sup>)
  - $\tau_4$  : せん断力による水平リブの発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $S_4$  : 水平リブに発生するせん断力 (kN)
  - $\sigma_5$  : 曲げモーメントによる架台の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $M_5$  : 架台に発生する曲げモーメント (kN・m)
  - $Z_5$  : 架台の断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*
  - $\tau_5$  : せん断力による架台の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $S_5$  : 架台に発生するせん断力 (kN)
  - $\ell$  : 架台間隔 (mm)
  - $P_c$  : 衝突荷重 (kN)
  - $b$  : モーメントアーム長 (m)
  - $b'$  : 衝突荷重のモーメントアーム長 (m)
  - $A_w$  : 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>) \*
  - $\sigma_{sa}$  : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
  - $\tau_{sa}$  : 短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- 注記 \* : 架台は腐食代 2mm を考慮する。

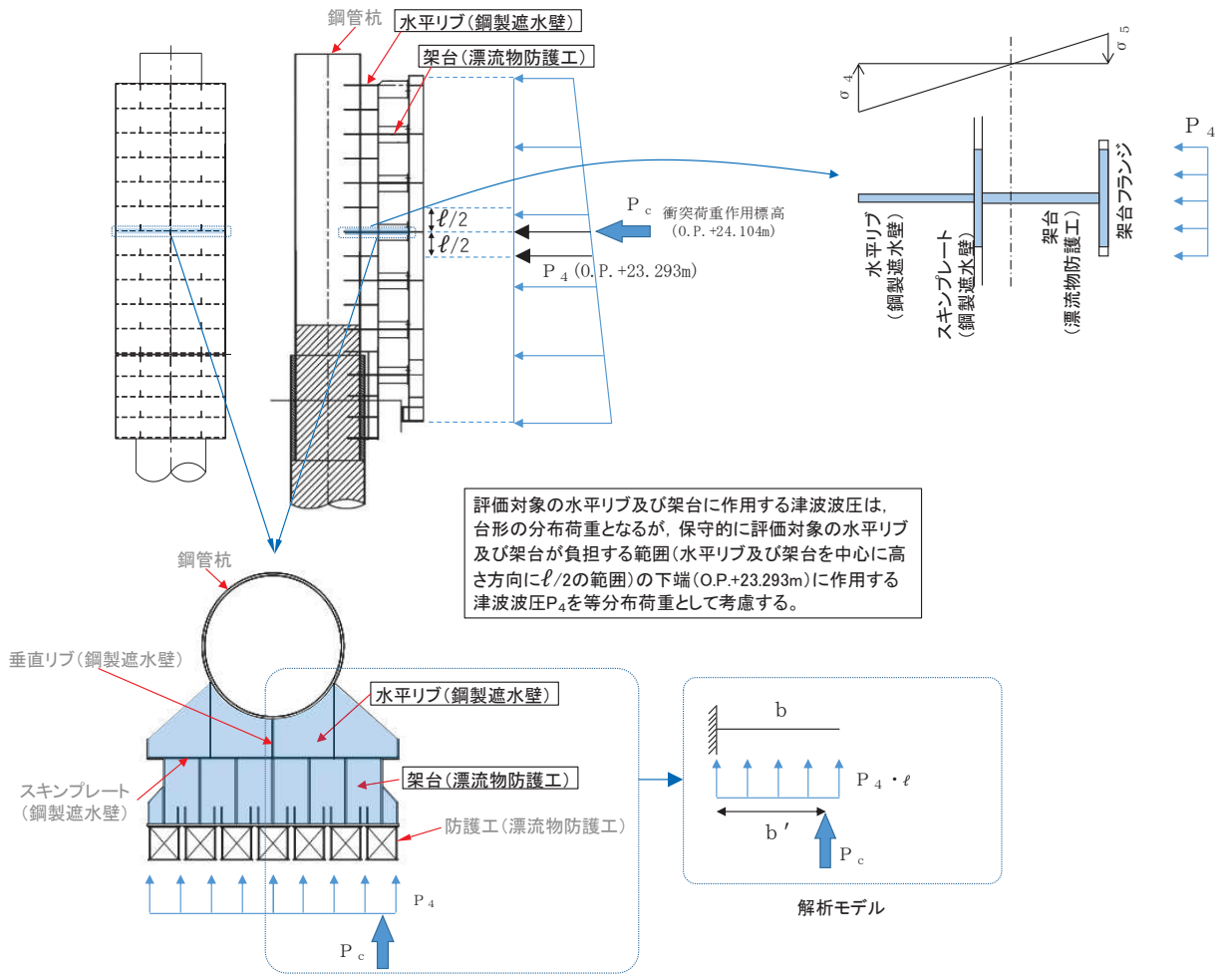


図 3-20 水平リブ及び架台の照査概念図 (津波時)

(d) 防護工

防護工の照査方法を図 3-21 に示す。防護工は架台を支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

曲げ応力照査（衝突荷重が防護工中心に作用する場合）

$$\sigma_6 = \frac{M_6}{Z_6} \dots \dots \dots (3.17)$$

$$M_6 = P_6 \cdot b'' \cdot \frac{\ell^2}{8} + P_c \cdot \frac{\ell}{4} \dots \dots \dots (3.18)$$

せん断力照査（衝突荷重が防護工端部に作用する場合）

$$\tau_6 = \frac{S_6}{A_{wc}} \dots \dots \dots (3.19)$$

$$S_6 = P_6 \cdot b'' \cdot \frac{\ell}{2} + \frac{P_c}{2} \dots \dots \dots (3.20)$$

合成応力照査

$$\left( \frac{\sigma_6}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_6}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.21)$$

ここで、

$\sigma_6$  : 曲げモーメントによる防護工の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_6$  : 防護工に発生する曲げモーメント (kN・m)

$Z_6$  : 防護工の断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*

$P_6$  : 防護工に作用する津波波圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau_6$  : せん断力による防護工の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_6$  : 防護工に発生するせん断力 (kN)

$b''$  : 防護工の幅 (m)

$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

$A_{wc}$  : 防護工のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

$\sigma_{sa}$  : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_{sa}$  : 短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

注記 \* : 防護工は外側 1mm を腐食代として考慮する。

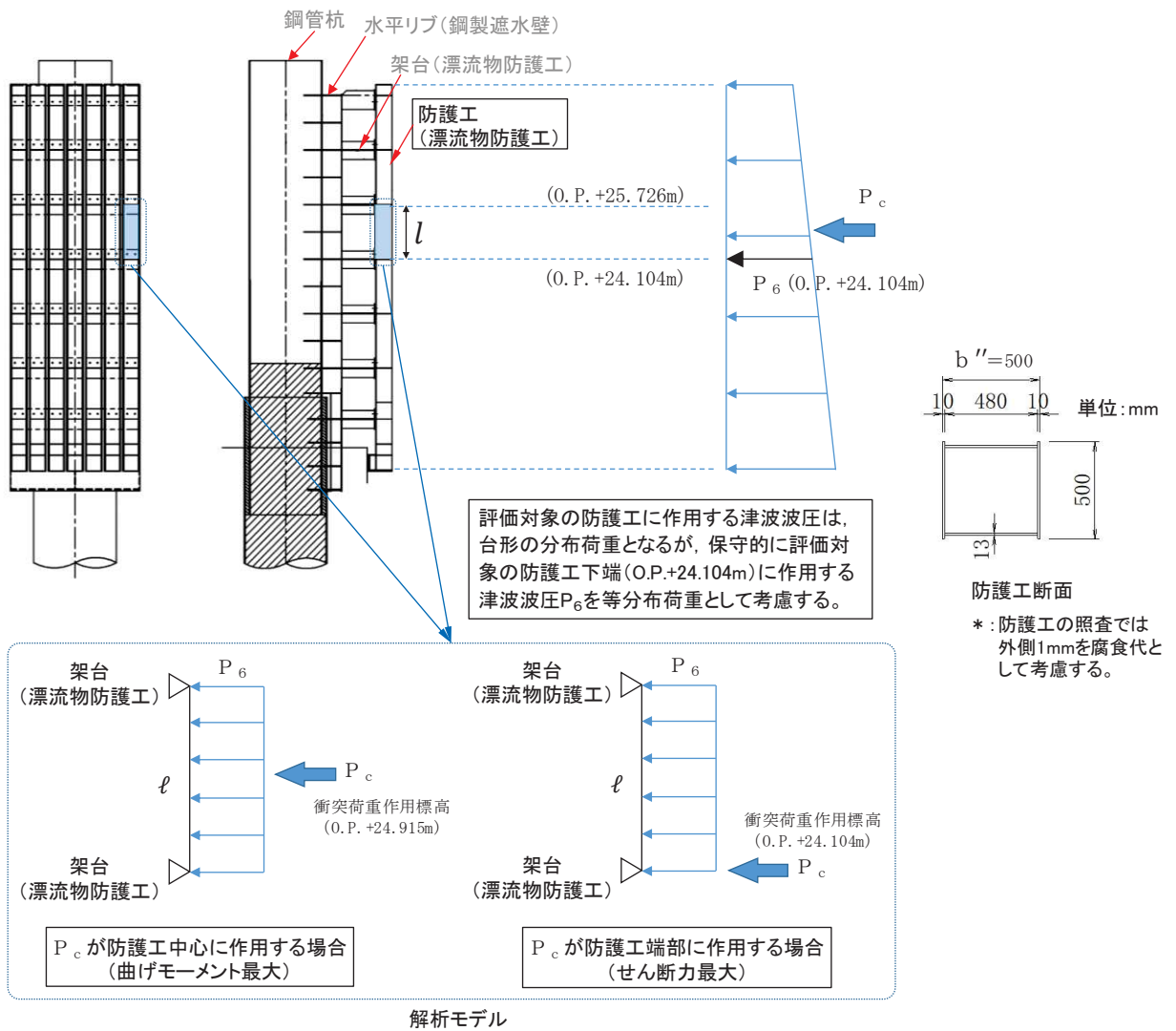


図 3-21 防護工の照査概念図 (津波時)

c. 背面補強工

背面補強工の評価は、背面補強工を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

d. 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリートを通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

e. 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

f. セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

g. 止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の津波時の評価について、汀線直角方向は、津波時に生じる相対変位に、地震時における最終変位（以下「残留変位」という。）を加えた相対変位量が許容限界以下であることを確認する。

なお、汀線方向については、主たる荷重が汀線直角方向に作用する遡上津波荷重及び衝突荷重であることから、汀線方向の相対変位は生じないため、残留変位が許容限界以下であることを確認する。

h. 基礎地盤

津波時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、基礎地盤に生じる接地圧が重畳時に包絡されると考えられることから実施しない。

### 3.5.2 重畳時

#### (1) 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元動的有限要素法解析により算定する。

一般部については、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。岩盤部については岩盤内に設置され、液状化検討対象外の施設であることから、全応力解析とする。

2次元動的有限要素法解析に用いる解析コードは、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部には「FLIP Ver7.3.0\_2」を使用し、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部には「TDAPⅢ Ver3.08」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。

#### a. 施設

鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

#### b. 材料物性及び地盤物性のばらつき

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の重畳時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を評価する。地盤物性のばらつきについては、防潮堤（鋼管式鉛直壁）周辺の地盤状況に応じて一般部と岩盤部の2種類に分類し、表3-17及び表3-18に示す解析ケースにて行う。

#### (a) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部

図3-2～図3-6に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部の周辺には、主として旧表土、盛土、**D**級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が重畳時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

#### (b) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部

図3-8～図3-10に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部の周辺には、主として、**C<sub>L</sub>**級岩盤、**C<sub>M</sub>**級岩盤、**C<sub>H</sub>**級岩盤及び**B**級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が重畳時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

表 3-17 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部）

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

表 3-18 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部）

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

c. 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、一般部（有効応力解析）では剛性比例型減衰、岩盤部（全応力解析）では質量比例型減衰と剛性比例型減衰の組み合わせによる減衰を設定する。

d. 解析ケース

重畳時においては、弾性設計用地震動 S d - D 2 に対して、ケース①（基本ケース）を実施する。ケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3-17 及び表 3-18 に示すケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 3-19 に示す。

表 3-19 重畳時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 d - D 2	++*	○	弾性設計用地震動 S d - D 2 (1 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (3 波) を加えた全 4 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊、すべり安全率及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、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。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	

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



(2) 入力地震動

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

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動  $S_d - D2$  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。

図 3-22 に入力地震動算定の概念図を、図 3-23～図 3-28 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver. 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

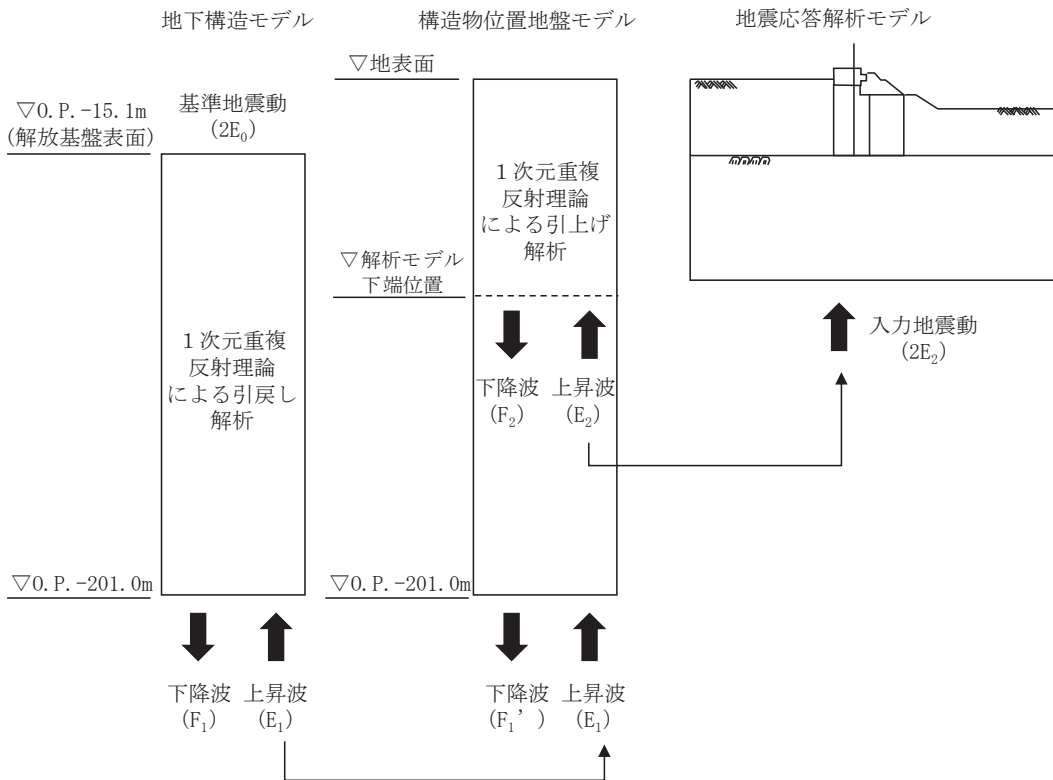
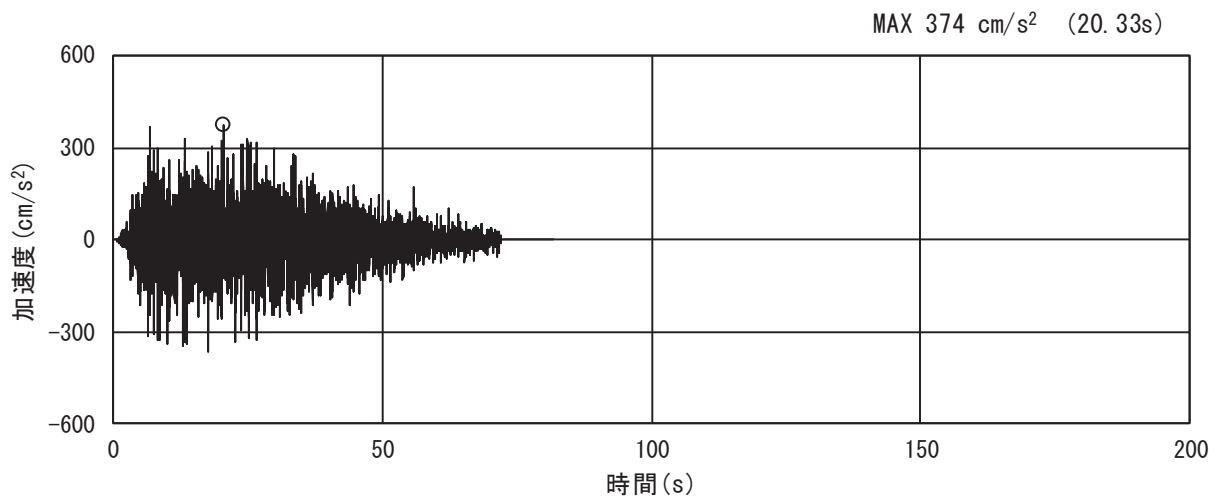


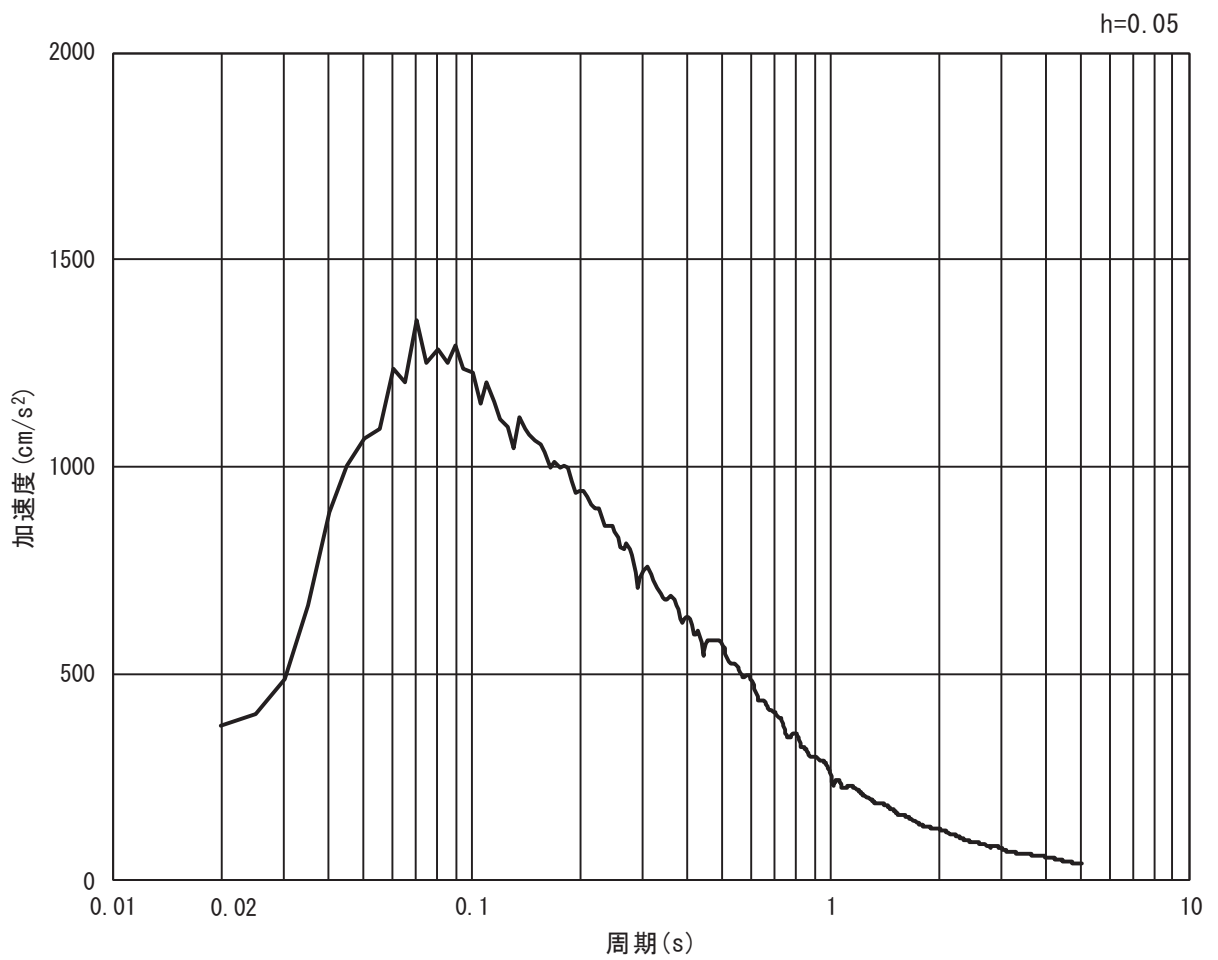
図 3-22 入力地震動算定の概念図

a. 一般部

(a) 断面①

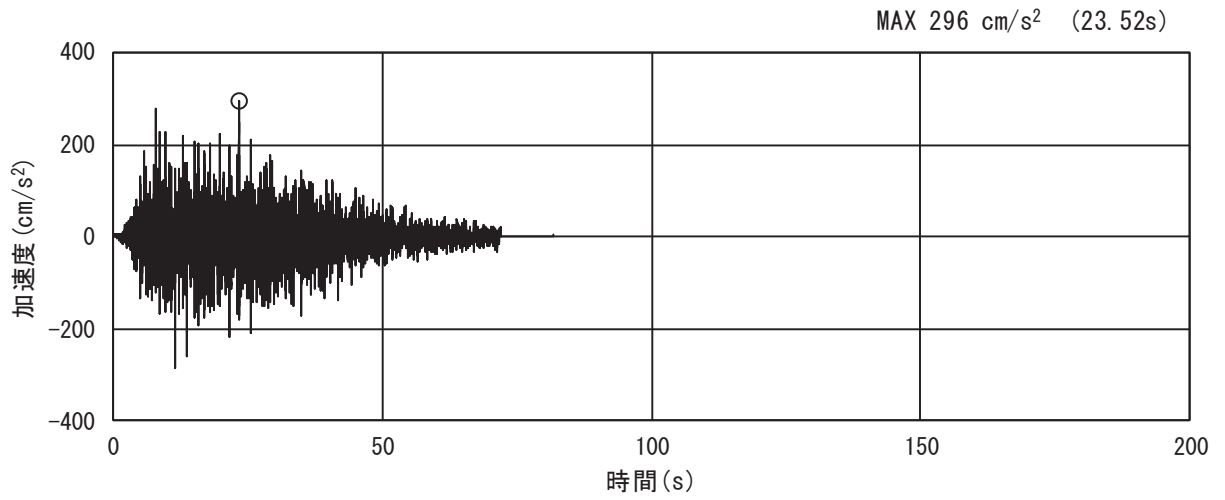


(a) 加速度時刻歴波形

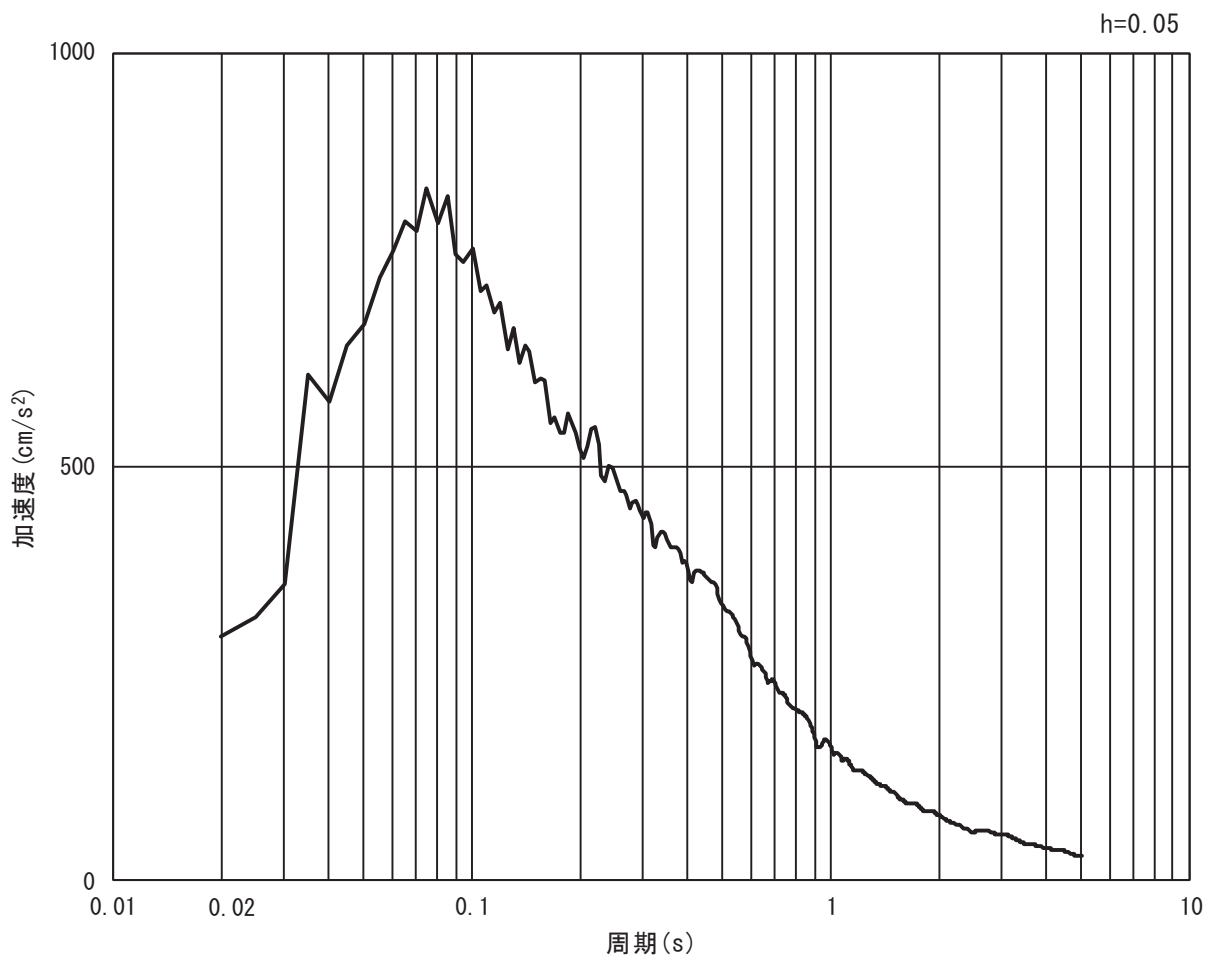


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-23(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 d - D 2)



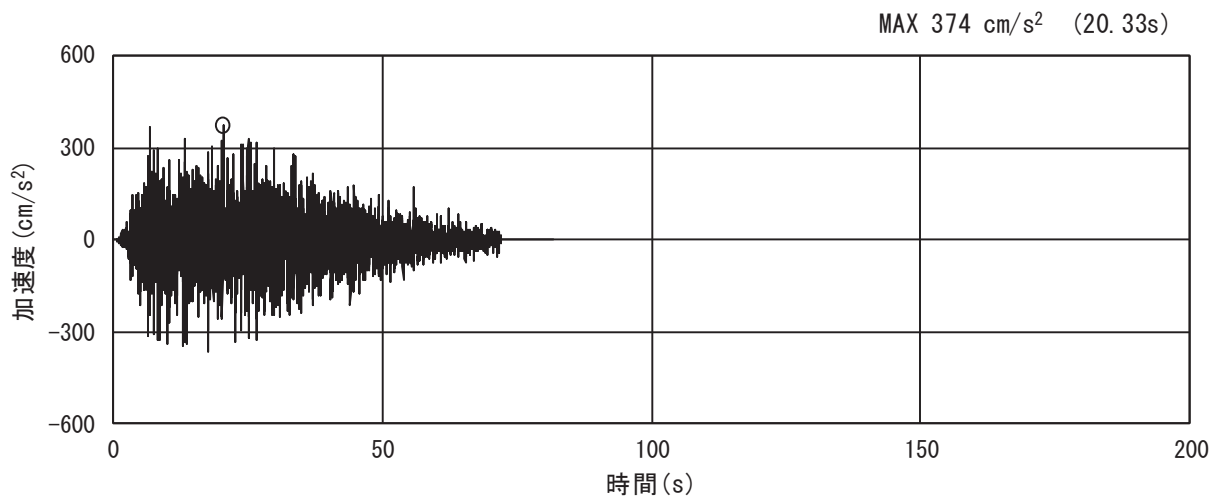
(a) 加速度時刻歴波形



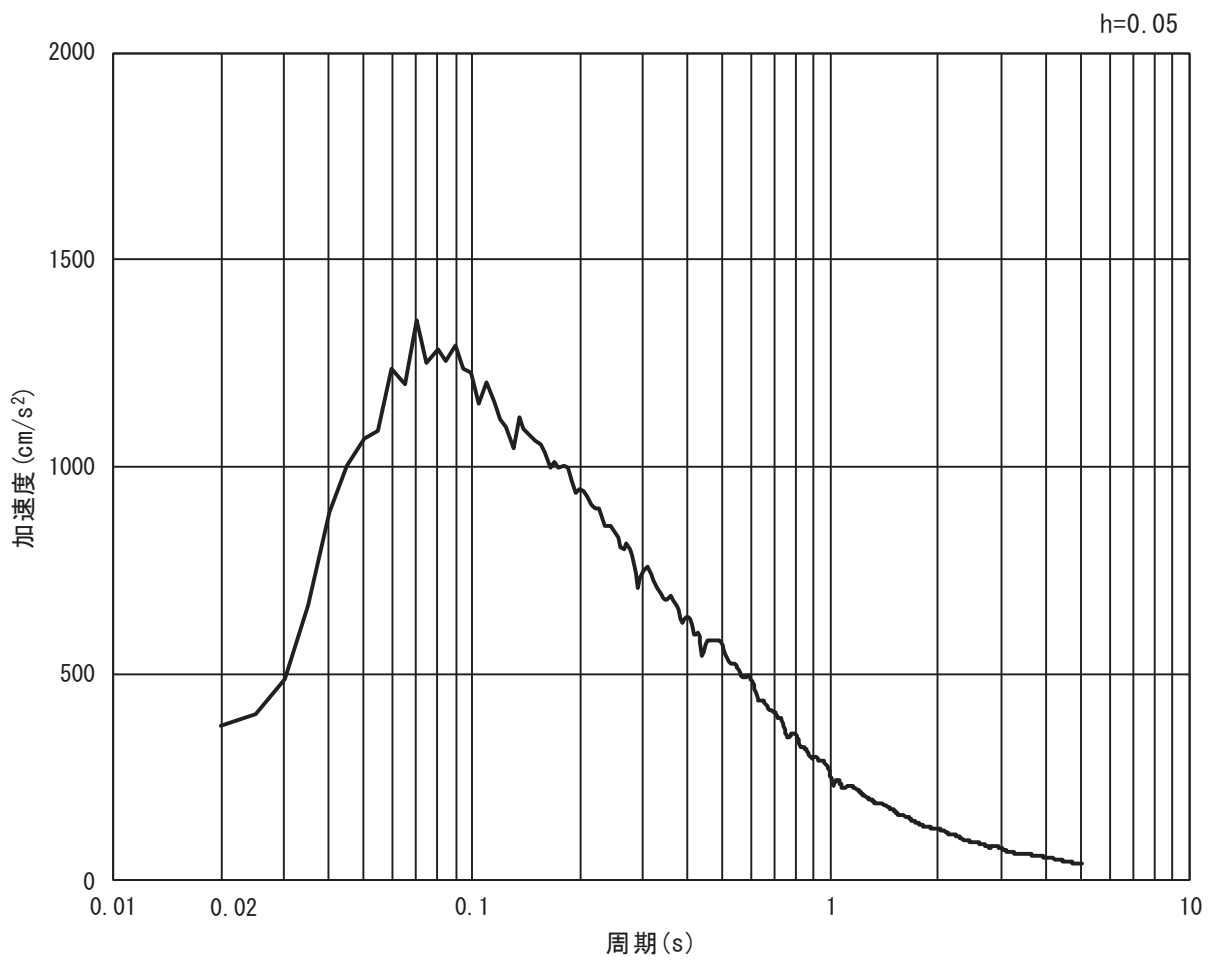
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-23(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 d - D 2)

(b) 断面②

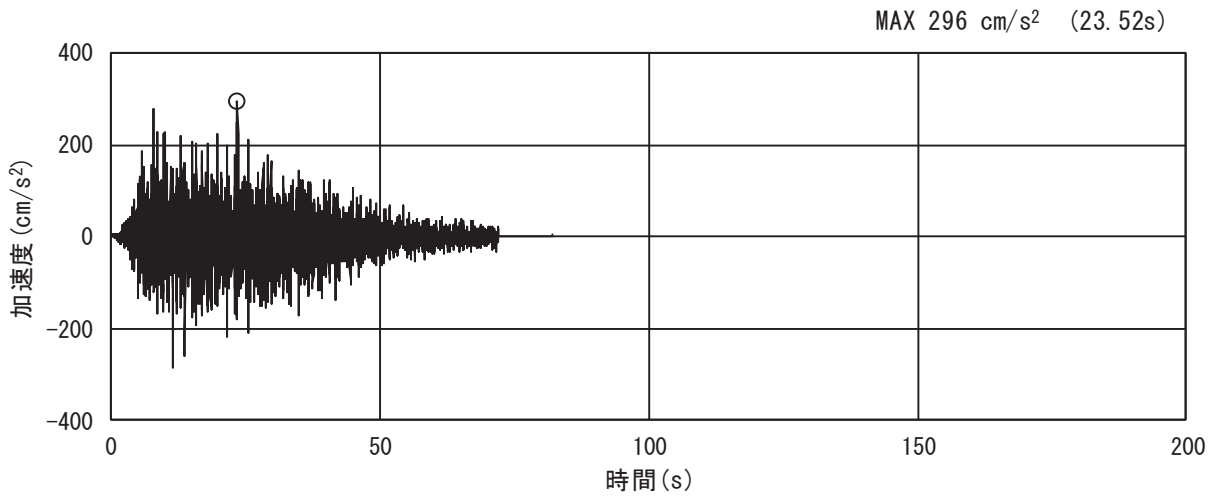


(a) 加速度時刻歴波形

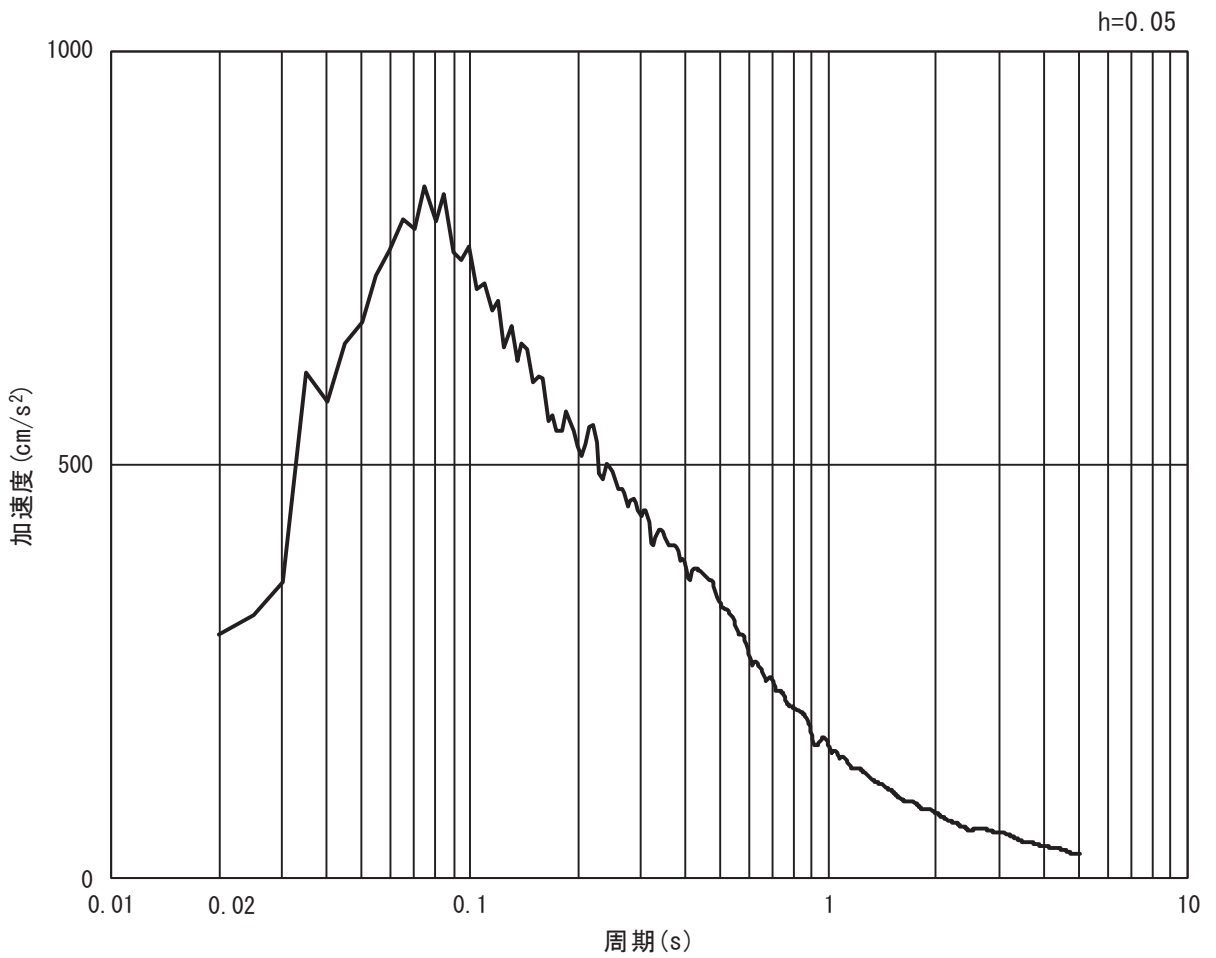


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-24 (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 d - D 2)



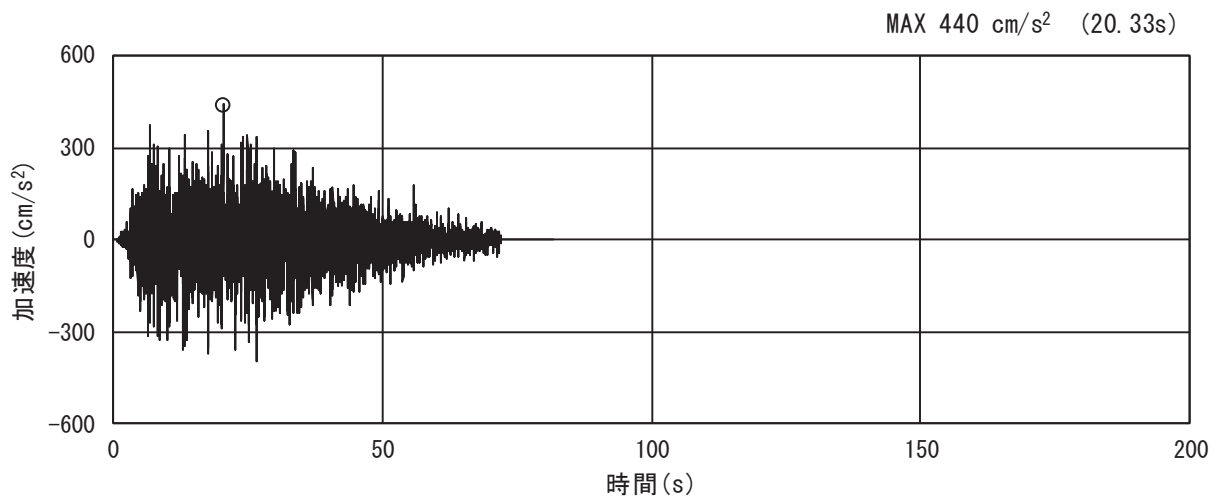
(a) 加速度時刻歴波形



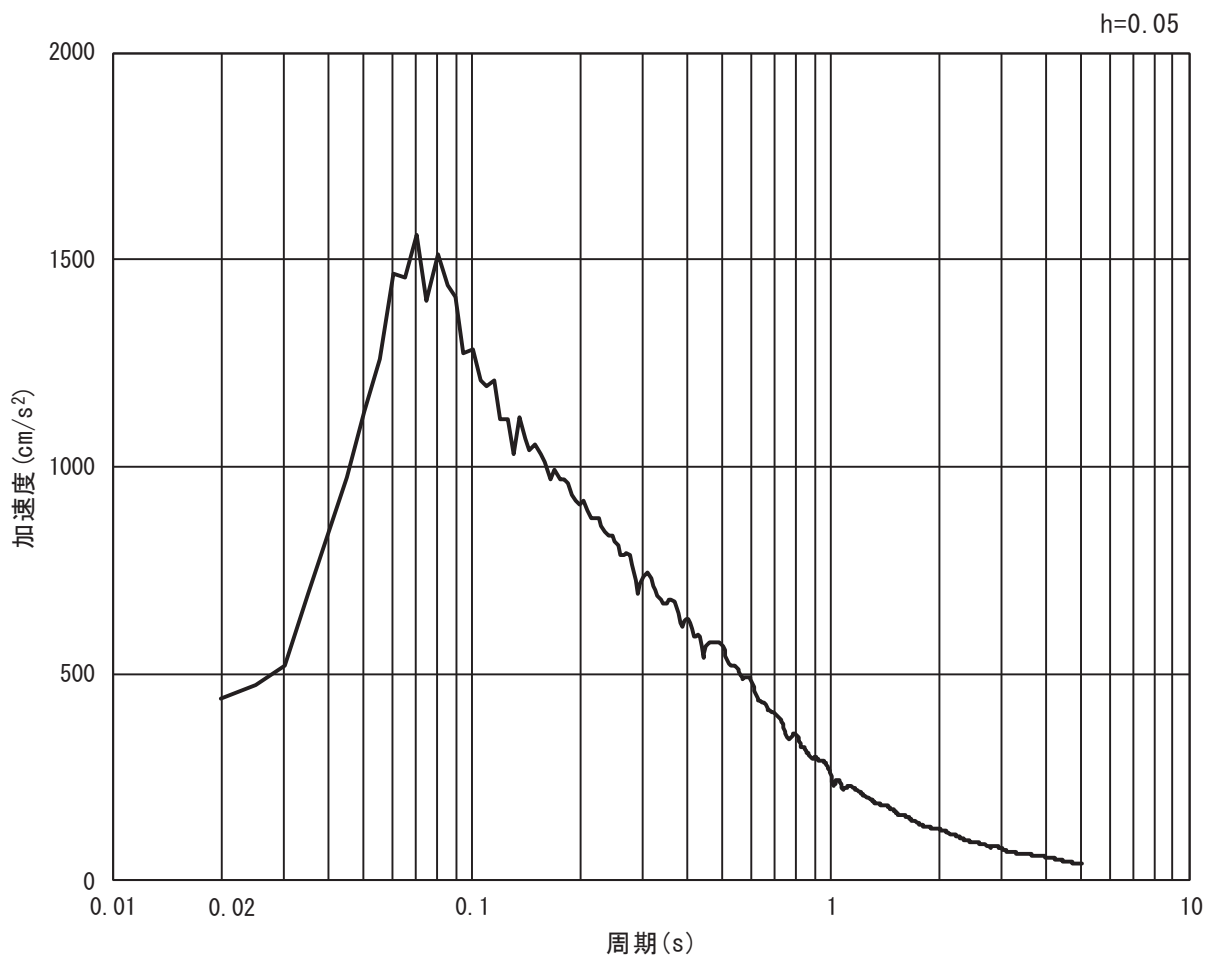
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-24 (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 d - D 2)

(c) 断面③

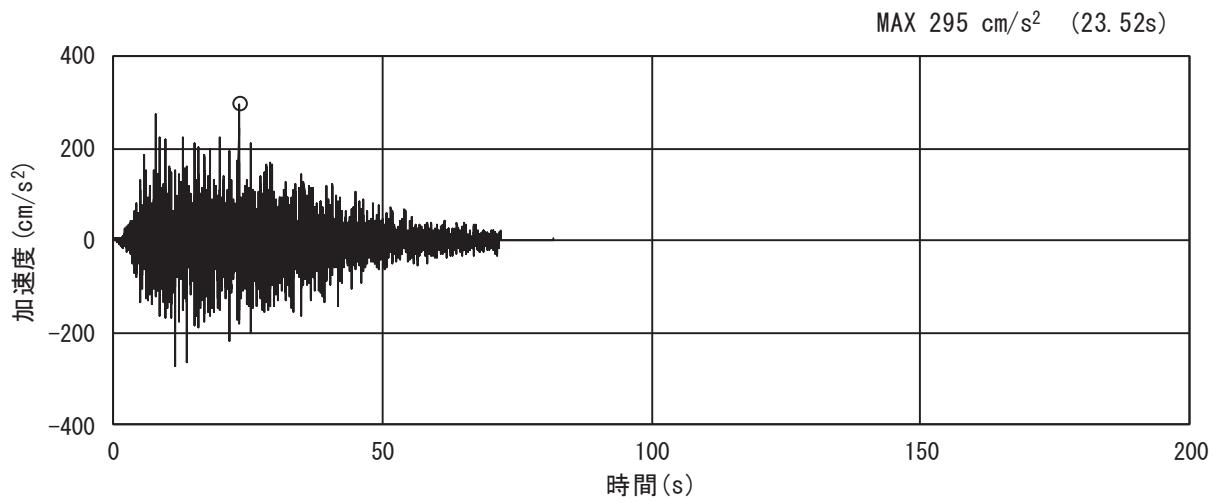


(a) 加速度時刻歴波形

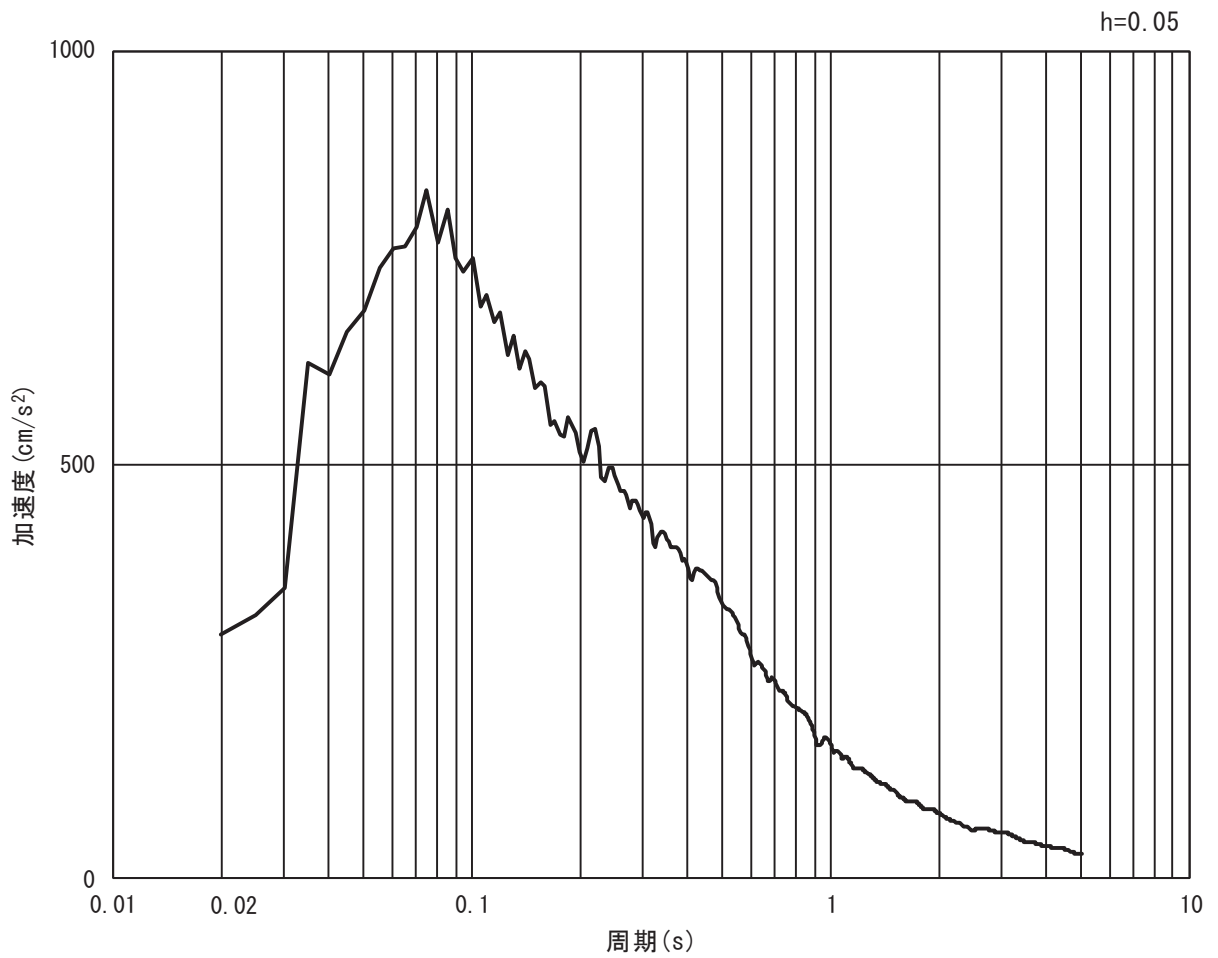


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-25 (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 d - D 2)



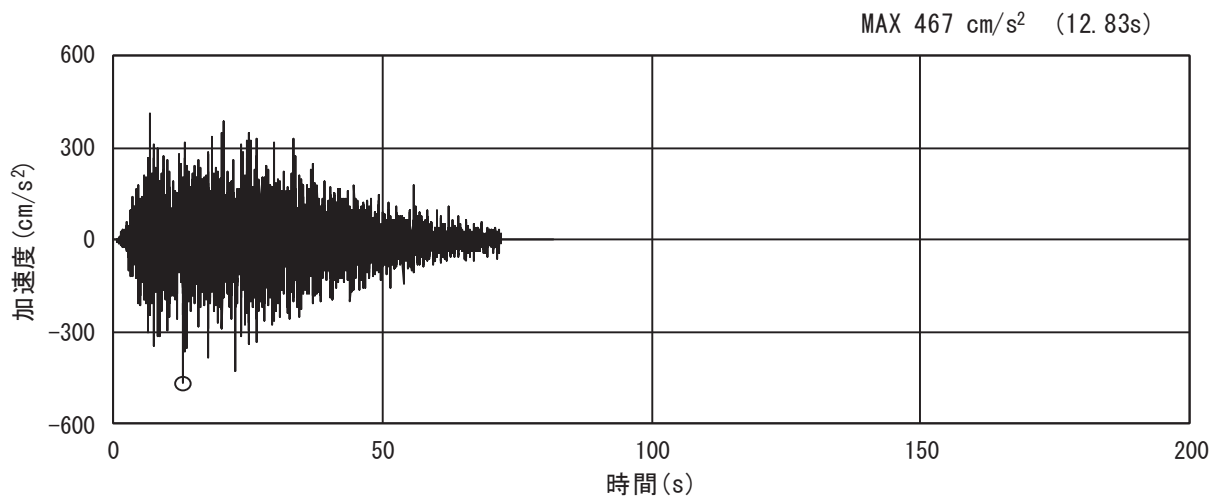
(a) 加速度時刻歴波形



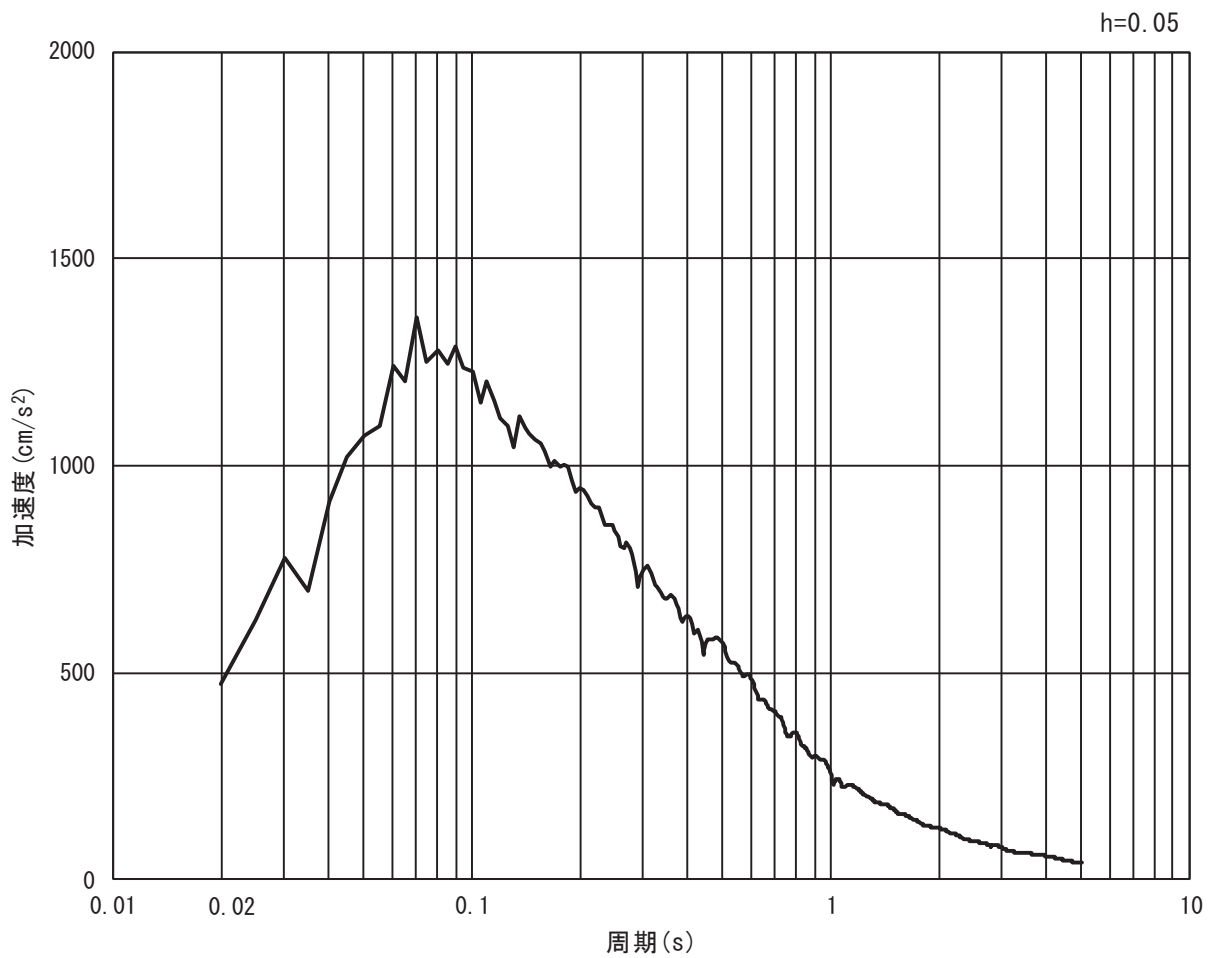
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-25 (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 d - D 2)

(d) 断面④



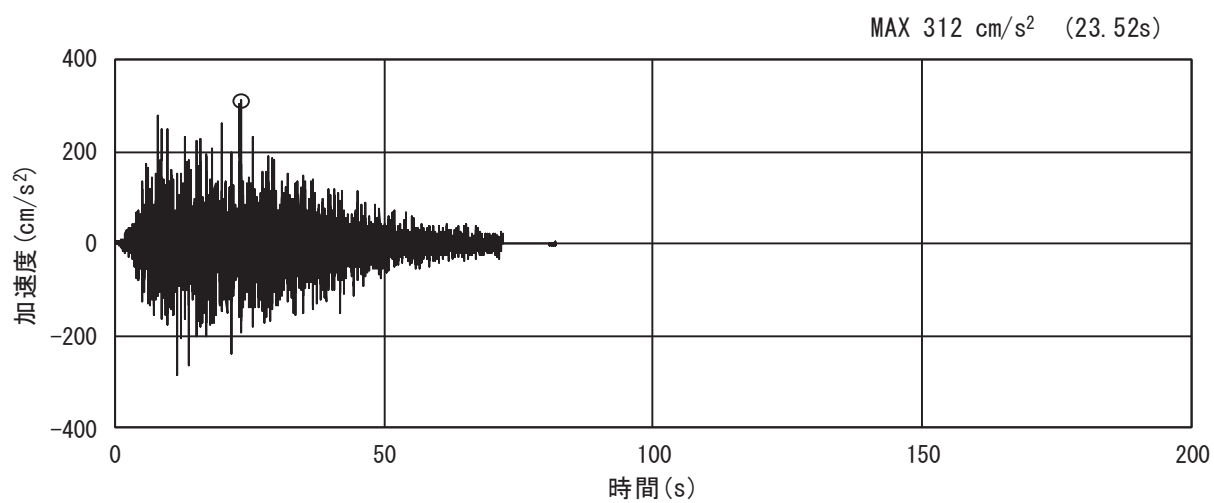
(a) 加速度時刻歴波形



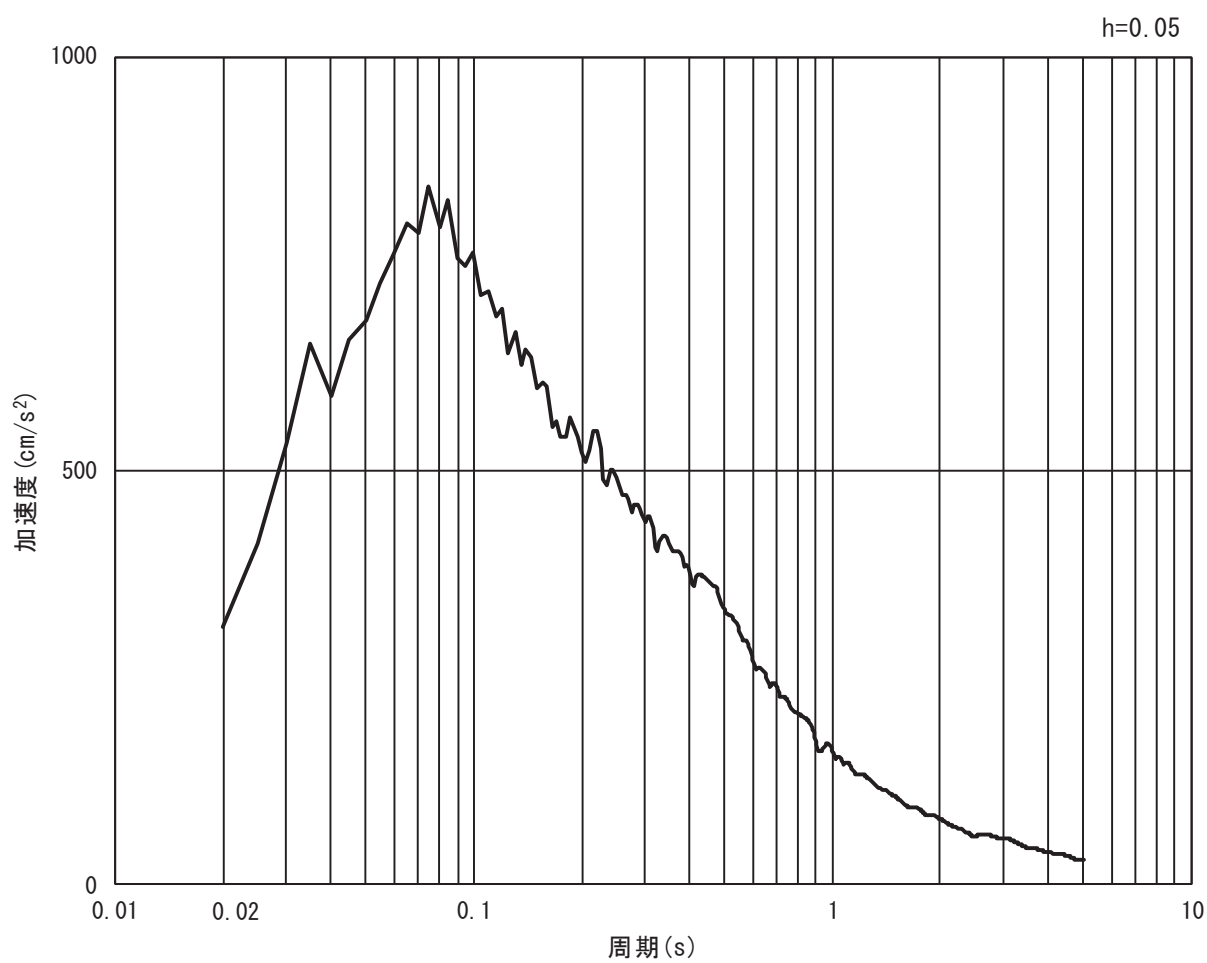
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-26 (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 d - D 2)





(a) 加速度時刻歴波形

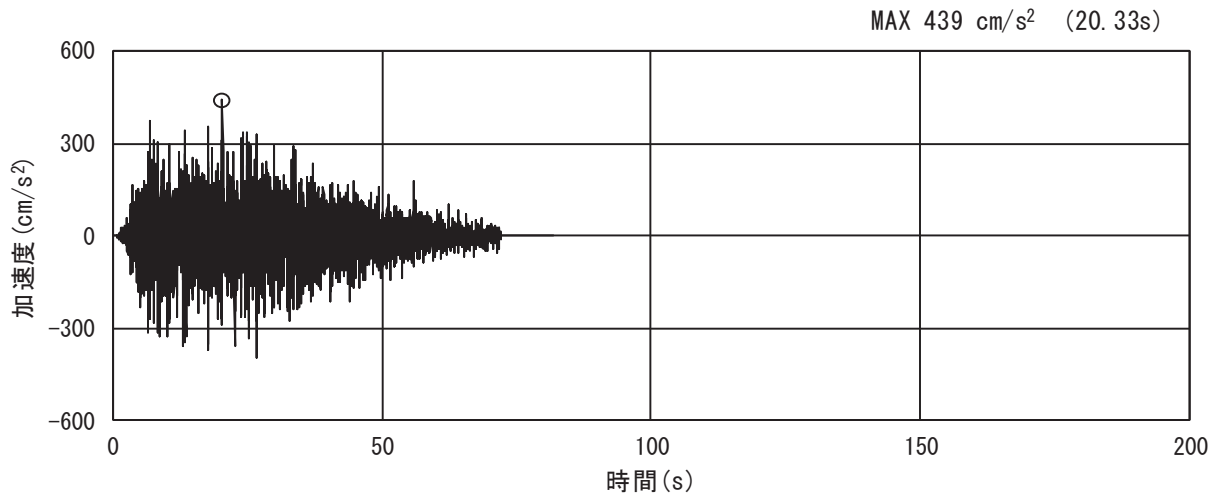


(b) 加速度応答スペクトル

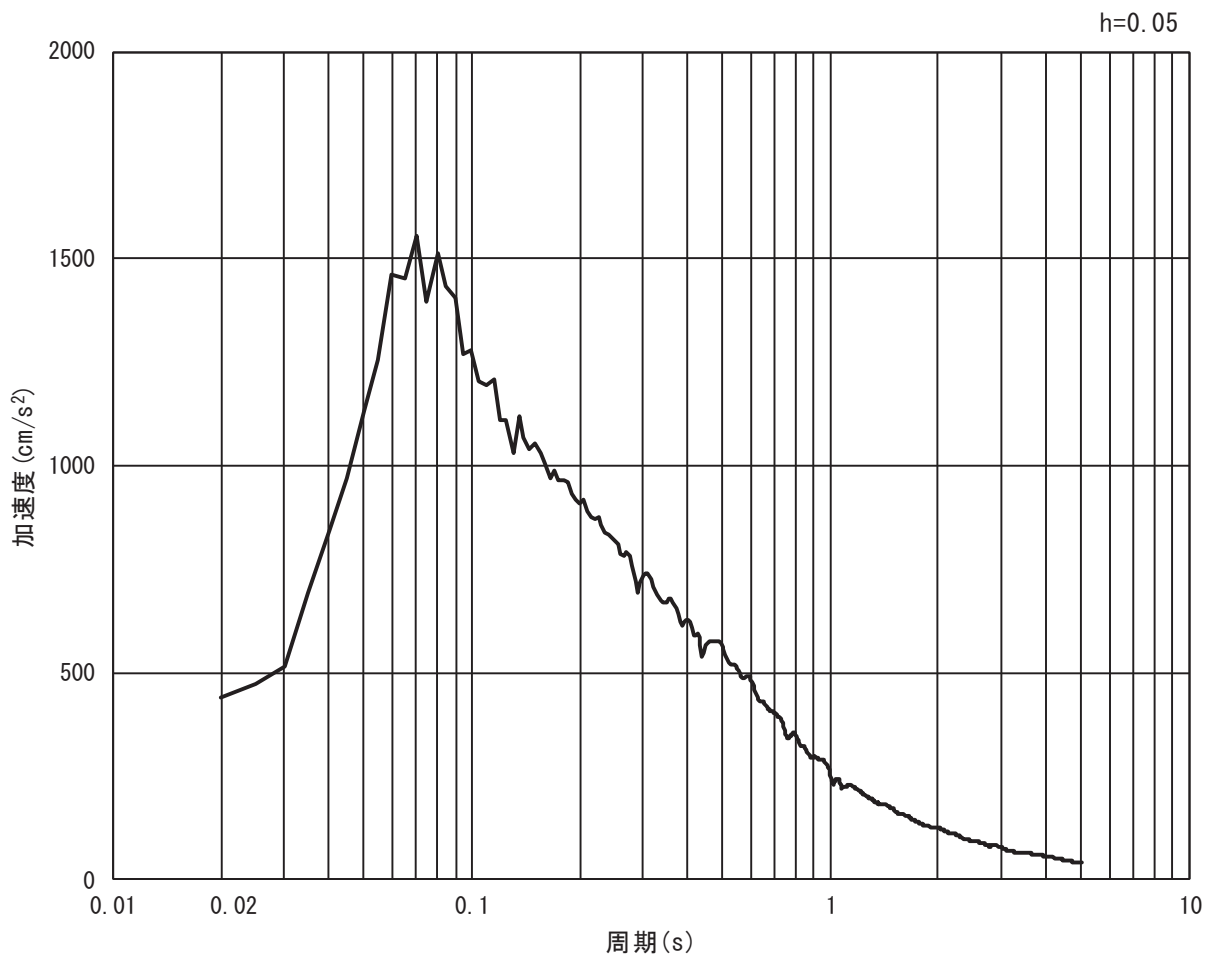
図 3-26 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向: S d - D 2)

b. 岩盤部

(a) 断面⑤

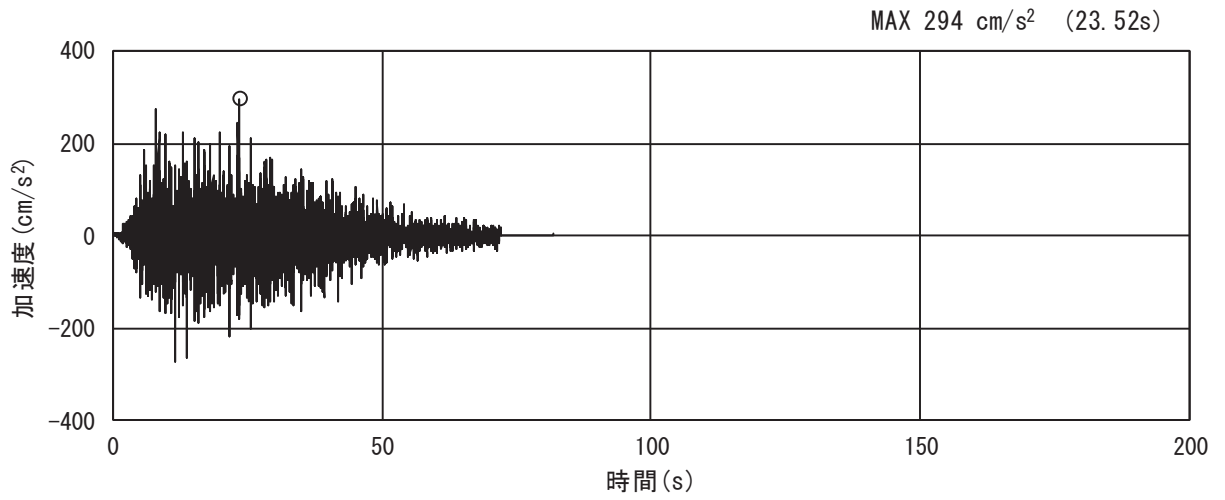


(a) 加速度時刻歴波形

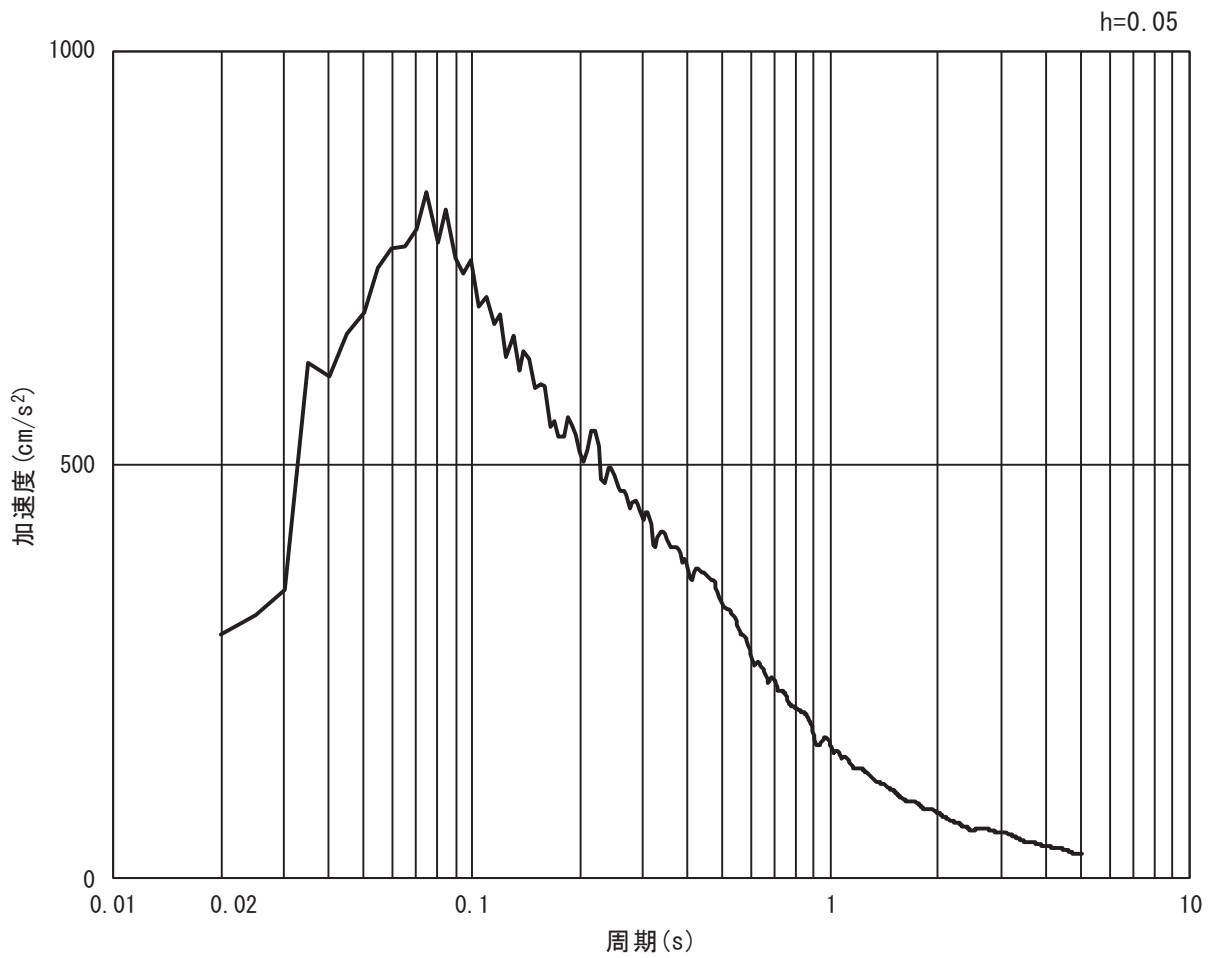


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-27 (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 d - D 2)



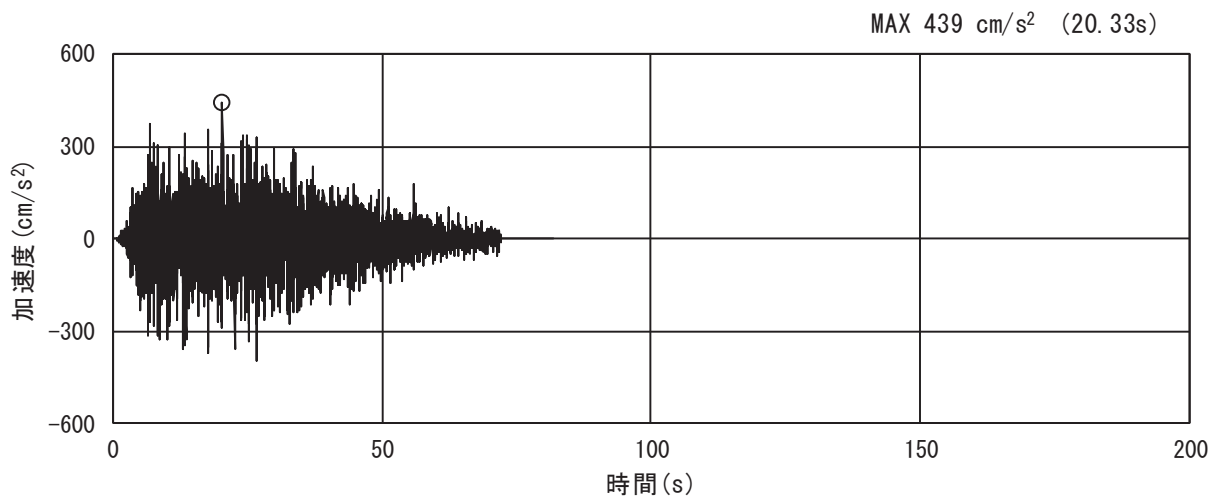
(a) 加速度時刻歴波形



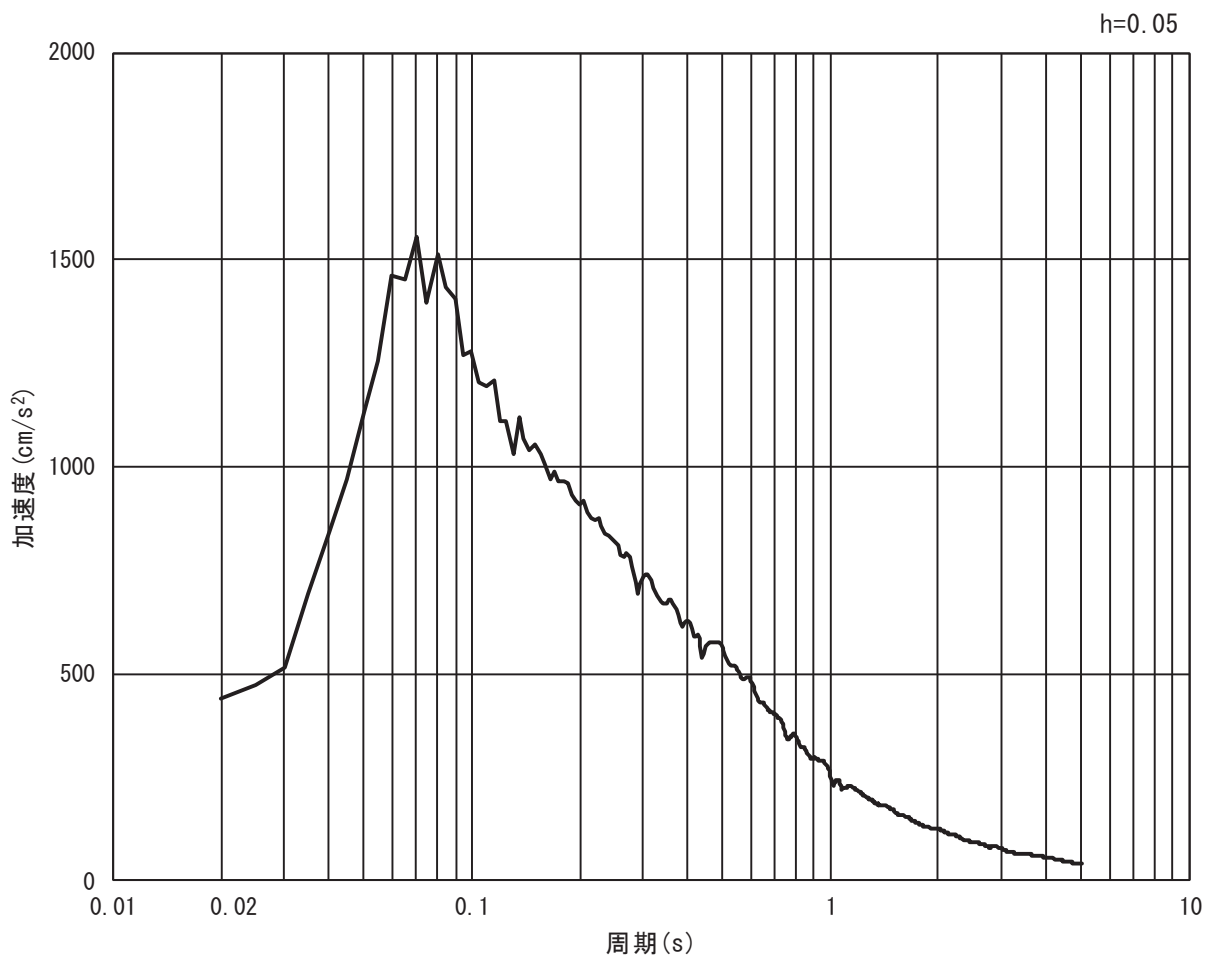
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-27 (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 d - D 2)

(b) 断面⑥

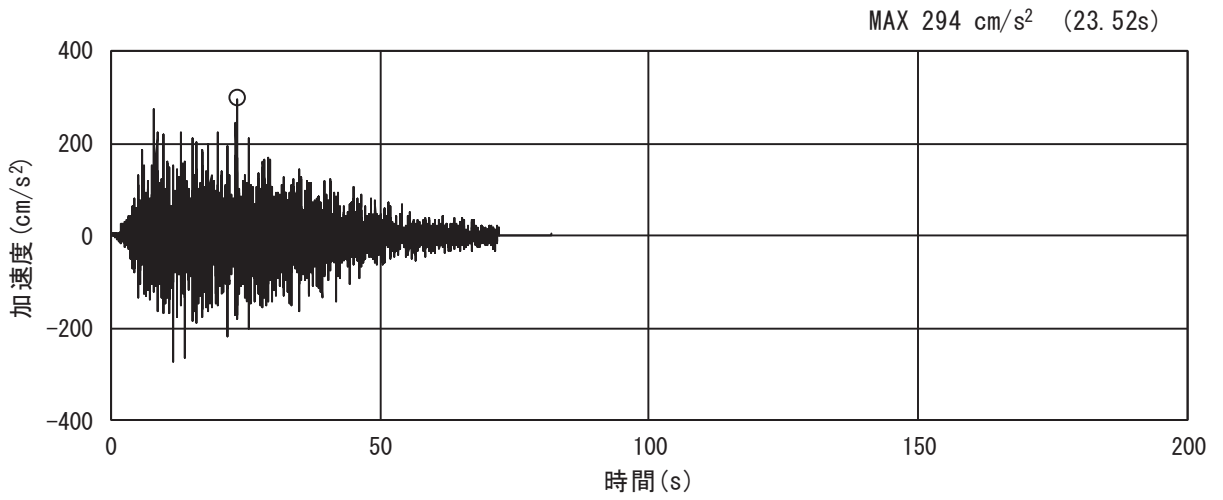


(a) 加速度時刻歴波形

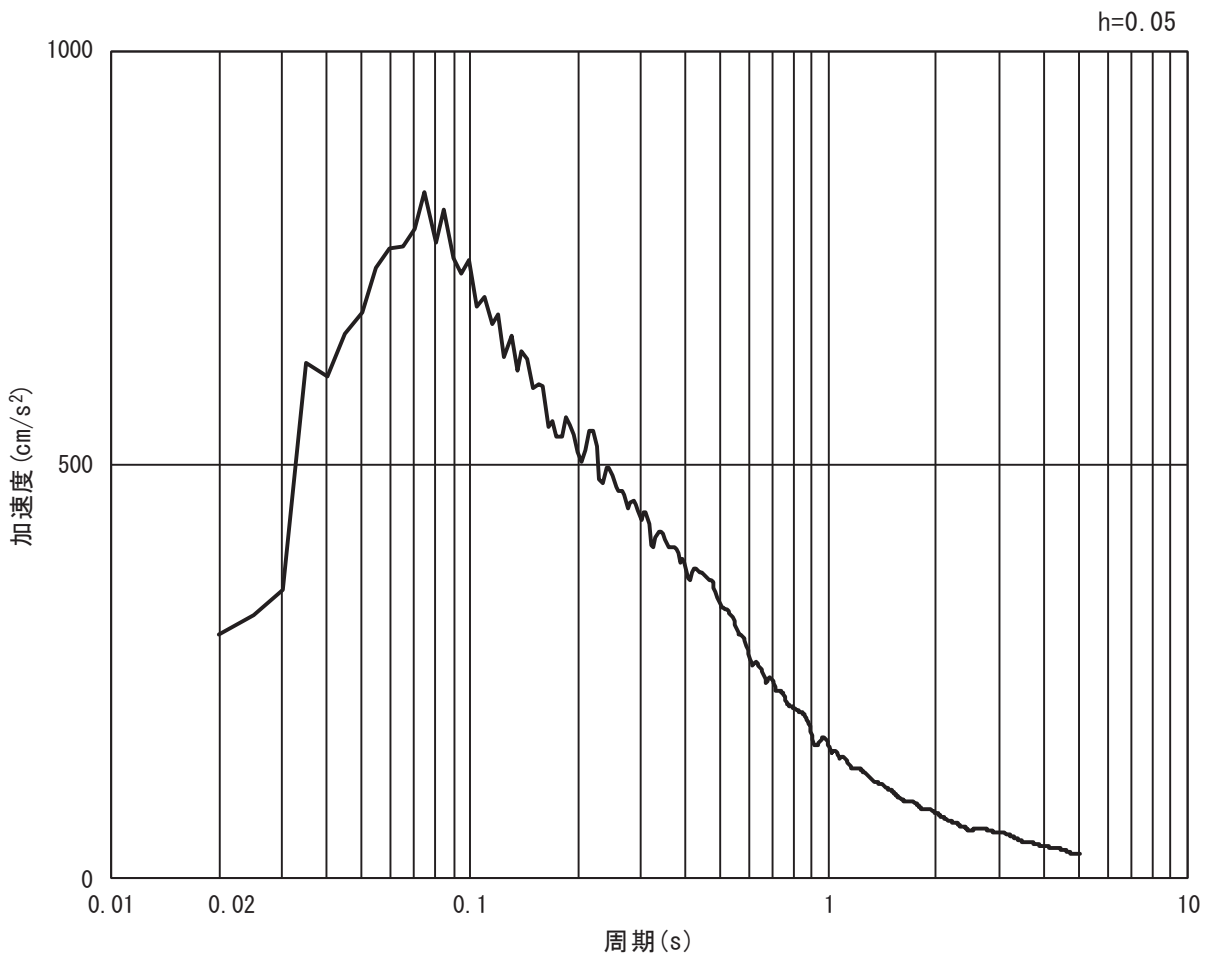


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 (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 d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 (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 d - D 2)

(3) 解析モデル及び諸元

a. 解析モデル

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデルを図 3-29 及び図 3-30 に示す。

(a) 解析領域

解析領域は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(b) 境界条件

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

(c) 構造物のモデル化

構造物のモデル化は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(d) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D級岩盤、改良地盤、セメント改良土及び盛土・旧表土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。また、地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(e) 海水のモデル化

海水のモデル化は、「3.5.1 津波時」と同様である。

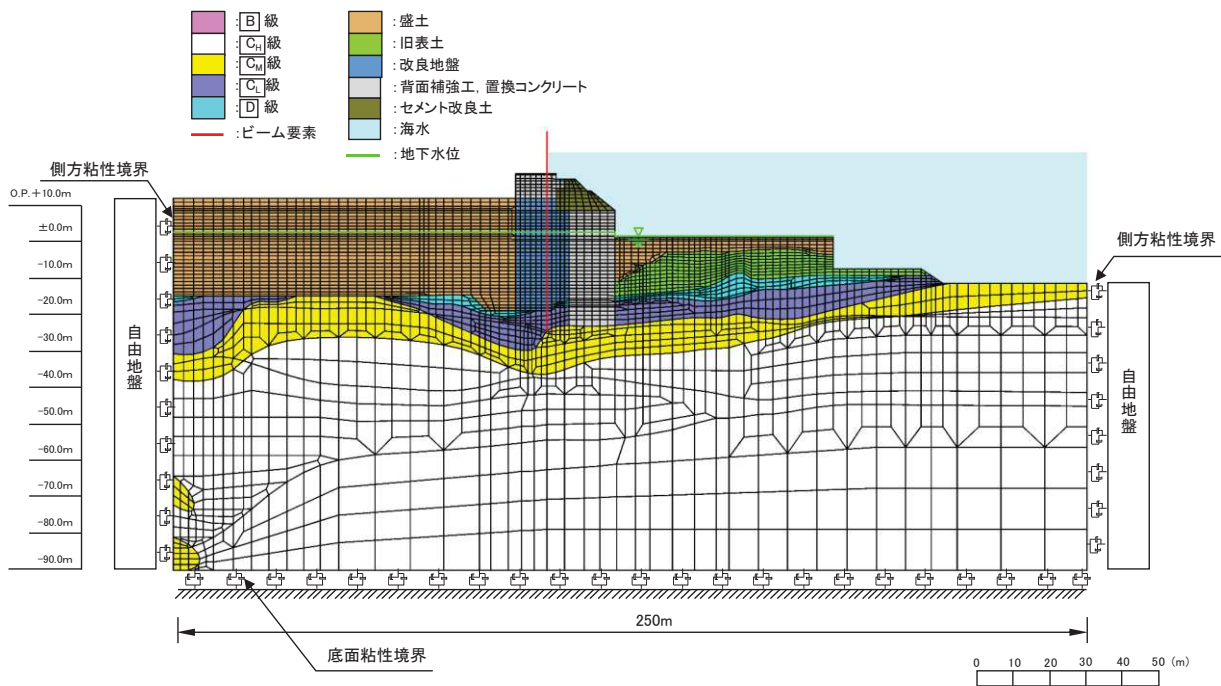


図 3-29(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面①）

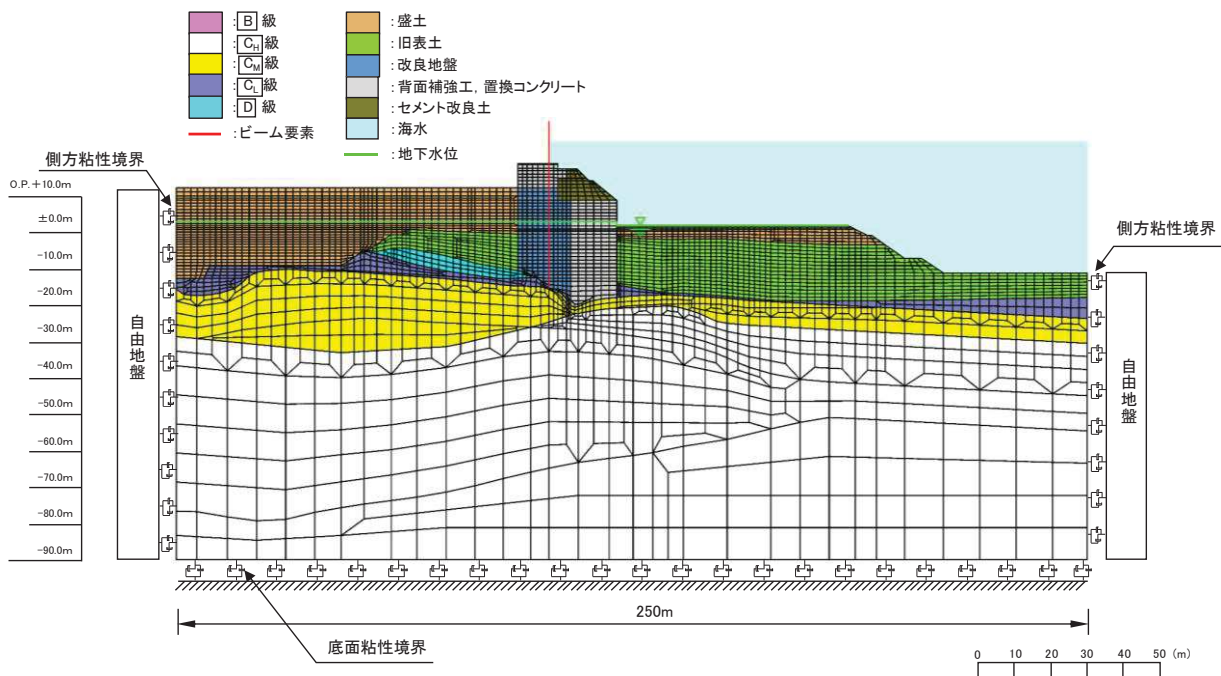


図 3-29(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面②）

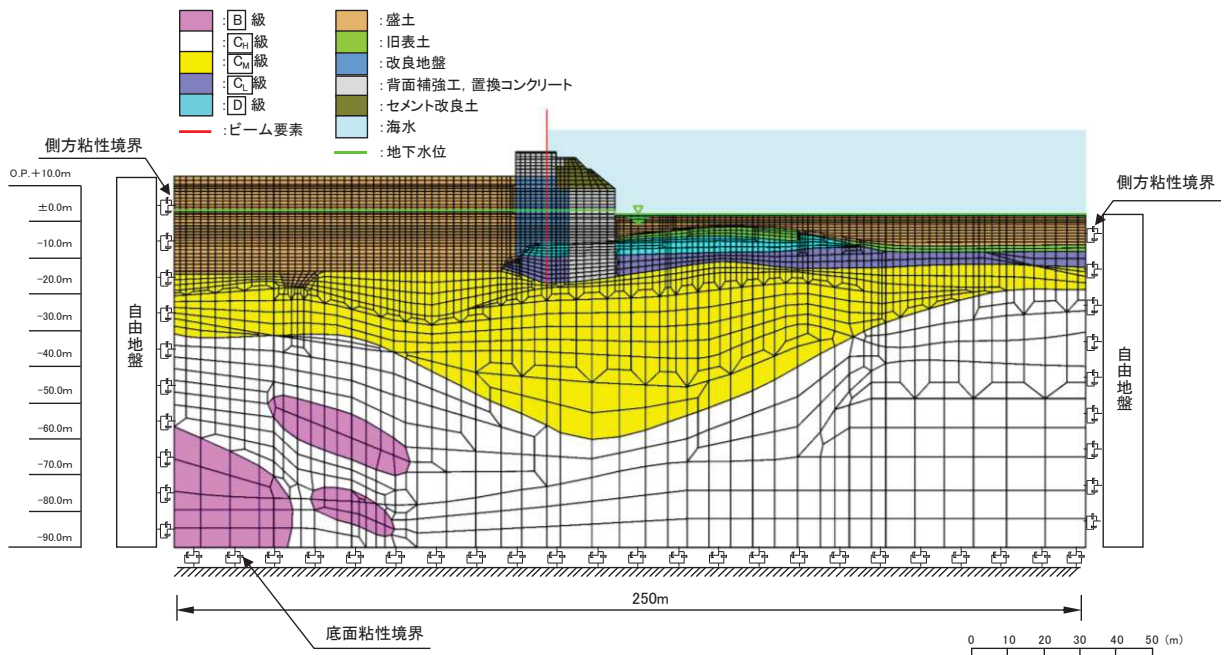


図 3-29(3) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面③）

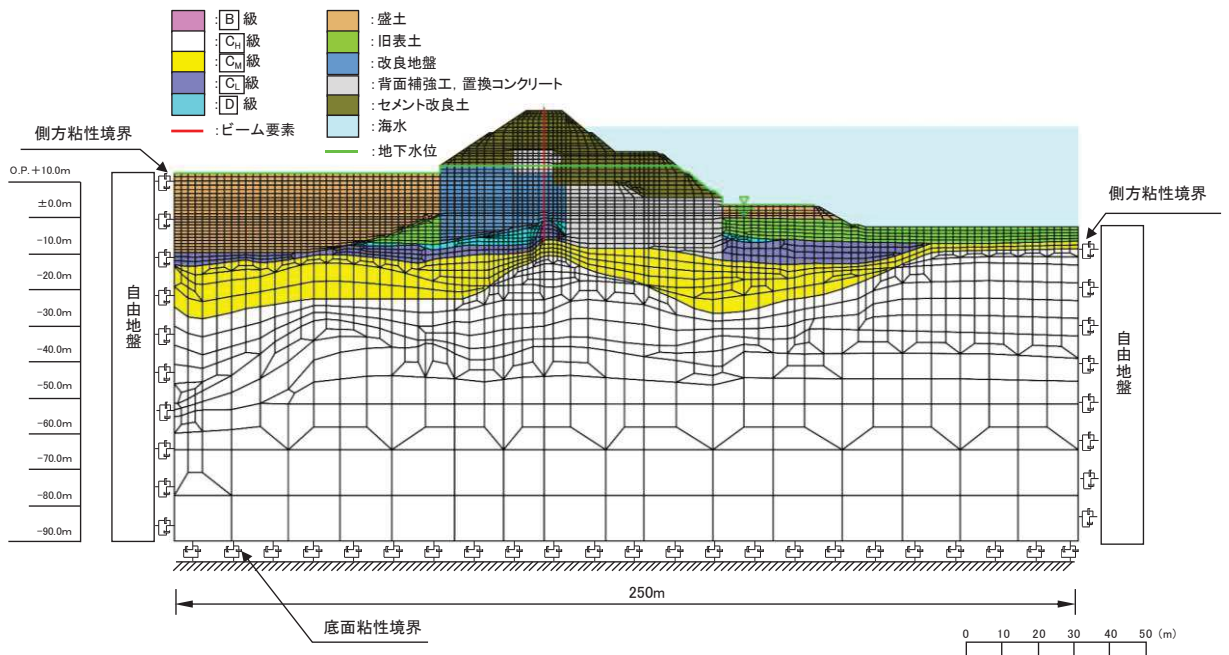


図 3-29(4) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部の解析モデル（断面④）



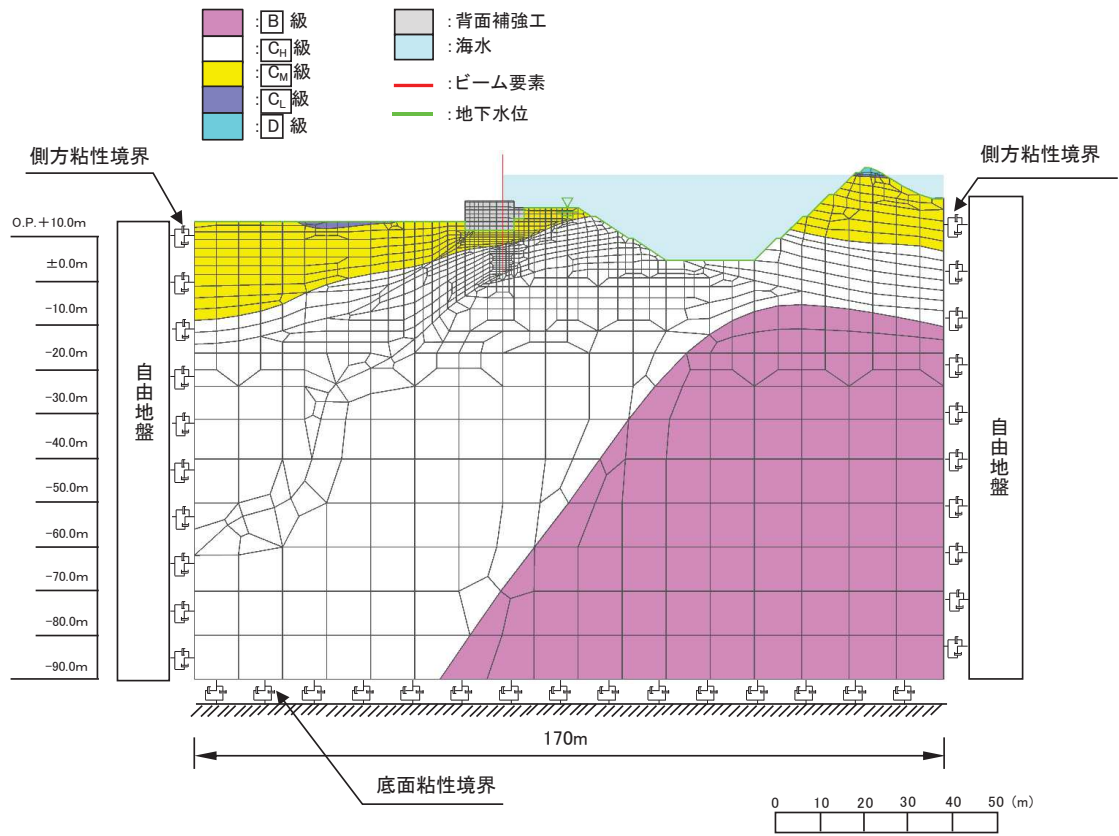


図 3-30(1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の解析モデル（断面⑤）

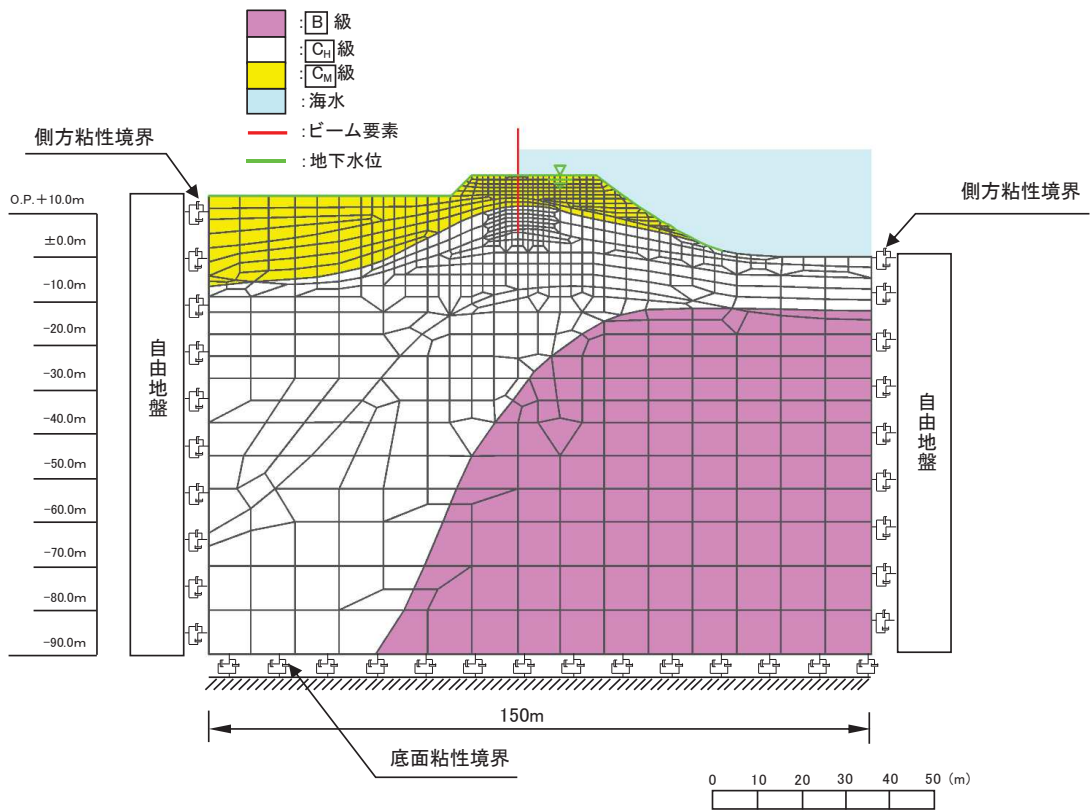


図 3-30(2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の解析モデル（断面⑥）

b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

c. 地盤の物性値

地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

d. 地下水位

地下水位は、「3.5.1 津波時」と同様であり、図 3-29 及び図 3-30 のとおりである。

(4) 評価方法

a. 鋼管杭

鋼管杭の評価は、杭体の曲げモーメント及び軸力より算定される応力及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げ軸力照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} \pm \frac{M_1}{Z_1} \dots \dots \dots (3.22)$$

ここで、

- $\sigma_1$  : 鋼管杭の曲げモーメント及び軸力より算定される応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_1$  : 鋼管杭に発生する曲げモーメント (kN・m)
- $Z_1$  : 鋼管杭の断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*
- $N_1$  : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)
- $A_1$  : 鋼管杭の断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

注記 \* : 鋼管杭の外側 1mm を腐食代として考慮する。

(b) せん断力照査

せん断力を用いて次式により算定されるせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_1 = \kappa_1 \frac{S_1}{A_1} \dots \dots \dots (3.23)$$

ここで、

- $\tau_1$  : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $S_1$  : 鋼管杭に発生するせん断力 (kN)
- $A_1$  : 鋼管杭の断面積 (mm<sup>2</sup>) \*
- $\kappa_1$  : せん断応力の分布係数 (2.0)

注記 \* : 鋼管杭の外側 1mm を腐食代として考慮する。

b. 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁は、スキンプレート、垂直リブ及び水平リブで構成され、漂流物防護工は架台及び防護工で構成されている。防護工は架台に取り付けられており、架台はスキンプレートを挟んで水平リブと同じ高さに設置されている。鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図を図 3-31 に示す。

これらの各部材について、単純ばり又は片持ちばりでモデル化し、それぞれ許容限界以下であることを確認する。

余震荷重については、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価部材ごとにその自重を算定して設計用水平震度との積として設定する。設計水平震度については、重畳時の地震応答解析の結果に基づき、鋼製遮水壁及び漂流物防護工が設置される断面①～③、⑤及び⑥の鋼管杭に発生する最大水平加速度から以下の式により各断面の最大水平震度  $k_h$  を算定した上で、保守的に設計水平震度を設定し、高さ方向に一律作用させることとする。

(水平震度算定式)

$$k_h = \frac{\alpha_{max}}{g} \dots \dots \dots (3.24)$$

$\alpha_{max}$  : 最大水平加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

また、動水圧については、重畳時の地震応答解析の結果に基づき、鋼製遮水壁及び漂流物防護工が設置される断面①～③、⑤及び⑥の鋼管杭に作用する動水圧から保守的に設定し、高さ方向に一律作用させることとする。

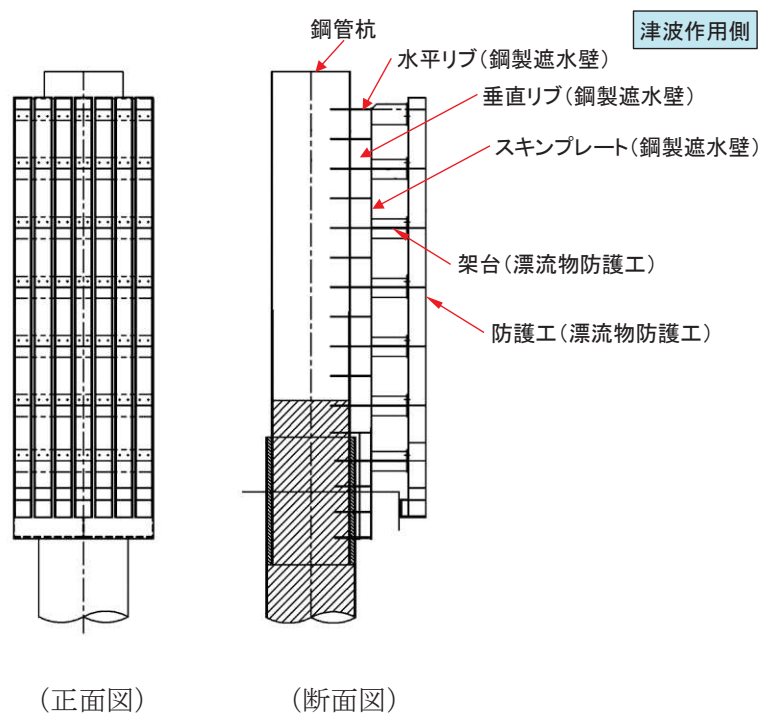


図 3-31(1) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (正面図, 断面図)

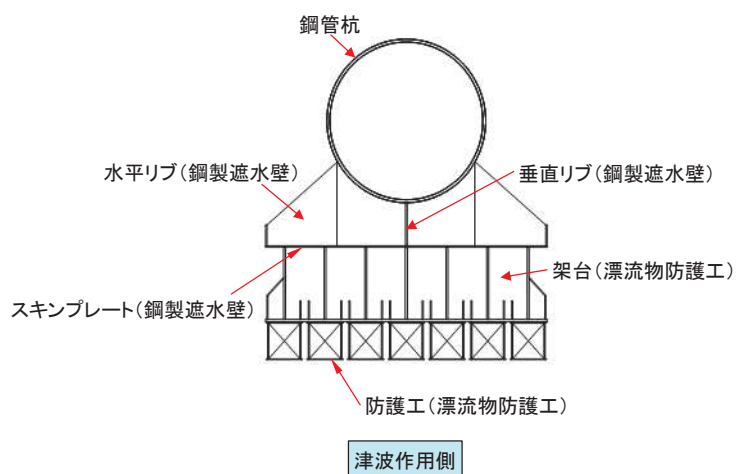


図 3-31(2) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (平面図)

(a) スキンプレート

スキンプレートの照査方法を図 3-32 に示す。水平リブを支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメントを用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{Z_2} \dots \dots \dots (3.25)$$

$$M_2 = (P_2 + P_2' + P_2'') \frac{L^2}{8} \dots \dots \dots (3.26)$$

ここで、

- $\sigma_2$  : 曲げモーメントによるスキンプレートの発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_2$  : スキンプレートに発生する曲げモーメント (kN・m)
- $Z_2$  : スキンプレートの断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*
- $P_2$  : スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 (kN/m)
- $P_2'$  : スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 (kN/m)
- $P_2''$  : スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧 (kN/m)
- $L$  : 水平リブ間隔 (mm)

注記 \* : スキンプレートの外側 1mm を腐食代として考慮する。

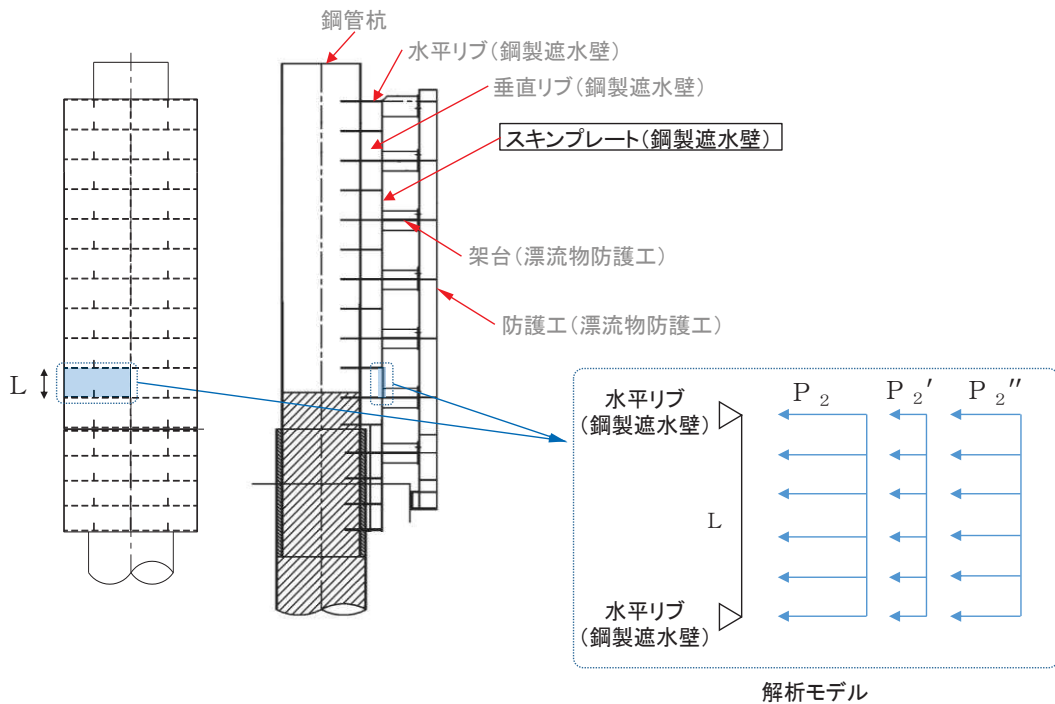


図 3-32 スキンプレートの照査概念図 (重畳時)

(b) 垂直リブ

垂直リブの照査方法を図 3-33 に示す。垂直リブに作用する軸力から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_3 = \frac{P}{t \cdot L} \dots \dots \dots (3.27)$$

$$P = (P_3 + P_3' + P_3'') \cdot L \cdot B \dots \dots \dots (3.28)$$

ここで、

- $\sigma_3$  : 垂直リブに発生する圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- P : 受圧面積に発生する水平荷重 (kN)
- t : 垂直リブの板厚 (mm)
- L : 水平リブ間隔 (mm)
- $P_3$  : 垂直リブに作用する津波波圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- $P_3'$  : 垂直リブに作用する地震慣性力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $P_3''$  : 垂直リブに作用する動水圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- B : 鋼製遮水壁の総幅 (m)

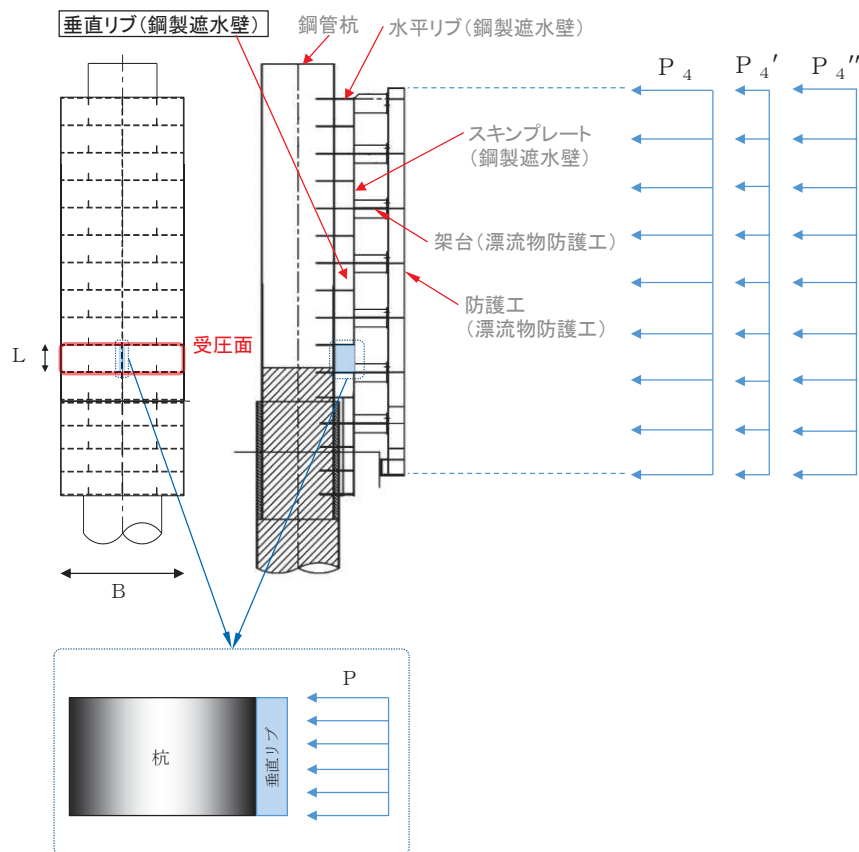


図 3-33 垂直リブの照査概念図 (重畳時)

(c) 水平リブ及び架台

水平リブ，スキンプレート及び架台を一つの充腹形断面とみなして，鋼管杭中心線上を固定支点とする片持ちばりでモデル化し，曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また，合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

水平リブ及び架台の照査方法を図 3-34 に示す。

曲げ応力照査（水平リブ）

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{Z_4} \dots \dots \dots (3.29)$$

$$M_4 = \frac{1}{2} (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b^2 \dots \dots \dots (3.30)$$

せん断力照査（水平リブ）

$$\tau_4 = \frac{S_4}{A_w} \dots \dots \dots (3.31)$$

$$S_4 = (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b \dots \dots \dots (3.32)$$

合成応力照査（水平リブ）

$$\left( \frac{\sigma_4}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_4}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.33)$$

曲げ応力照査（架台）

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{Z_5} \dots \dots \dots (3.34)$$

$$M_5 = \frac{1}{2} (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b^2 \dots \dots \dots (3.35)$$



せん断力照査 (架台)

$$\tau_5 = \frac{S_5}{A_w} \dots \dots \dots (3.36)$$

$$S_5 = (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b \dots \dots \dots (3.37)$$

合成応力照査 (架台)

$$\left( \frac{\sigma_5}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_5}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.38)$$

ここで,

- $\sigma_4$  : 曲げモーメントによる水平リブの発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_4$  : 水平リブに発生する曲げモーメント (kN・m)
- $Z_4$  : 水平リブの断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $P_4$  : 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- $P_4'$  : 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $P_4''$  : 水平リブ及び架台に作用する動水圧 (kN/m<sup>2</sup>)
- $\tau_4$  : せん断力による水平リブの発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $S_4$  : 水平リブに発生するせん断力 (kN)
- $\sigma_5$  : 曲げモーメントによる架台の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_5$  : 架台に発生する曲げモーメント (kN・m)
- $Z_5$  : 架台の断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*
- $\tau_5$  : せん断力による架台の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $S_5$  : 架台に発生するせん断力 (kN)
- $\ell$  : 架台間隔 (mm)
- $b$  : モーメントアーム長 (m)
- $A_w$  : 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>) \*
- $\sigma_{sa}$  : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{sa}$  : 短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

注記 \* : 架台は腐食代 2mm を考慮する。

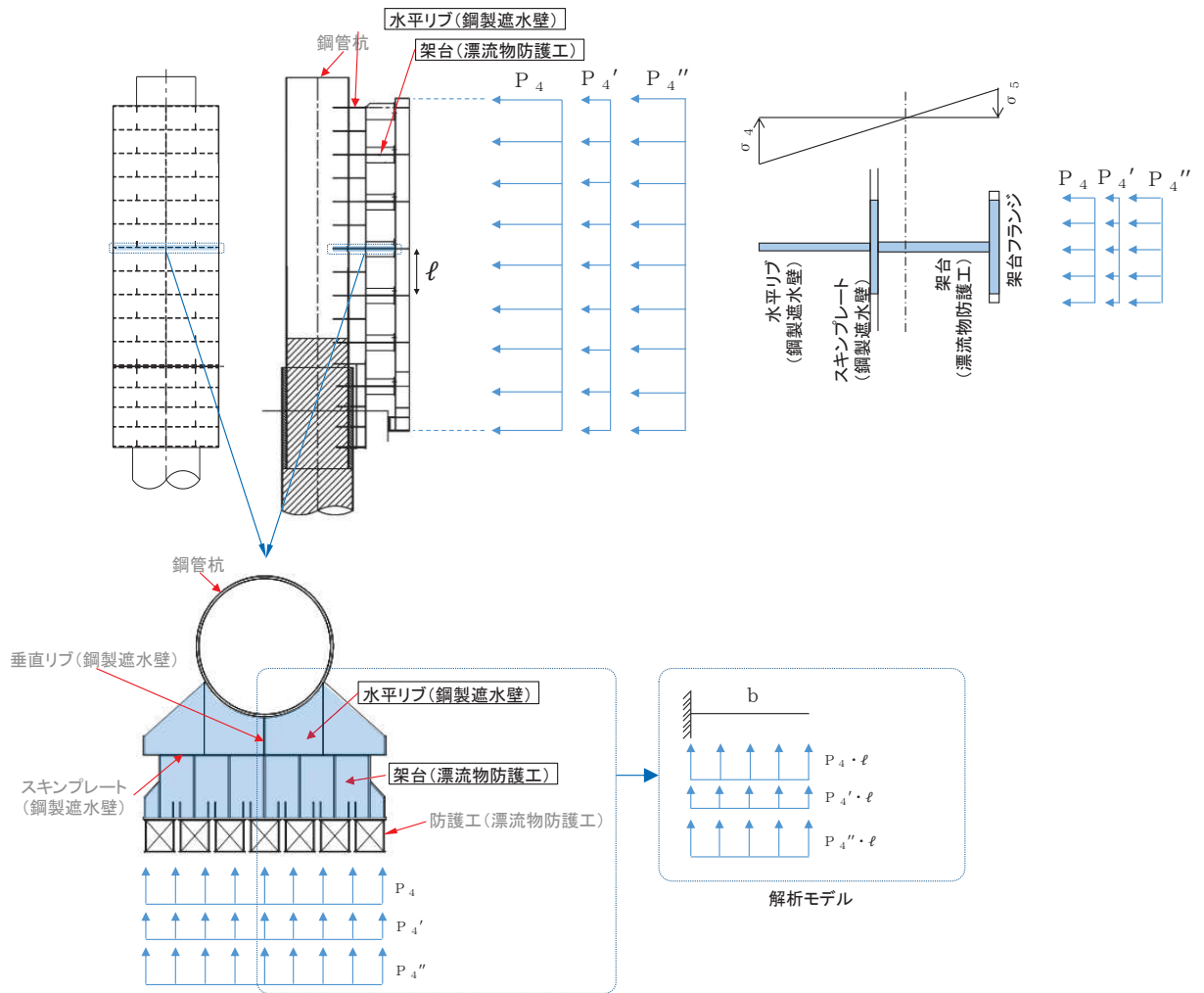


図 3-34 水平リブ及び架台の照査概念図 (重畳時)

(d) 防護工

防護工の照査方法を図 3-35 に示す。防護工は架台を支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

曲げ応力照査

$$\sigma_6 = \frac{M_6}{Z_6} \dots \dots \dots (3.39)$$

$$M_6 = (P_6 + P_6' + P_6'') \cdot b'' \cdot \frac{\ell^2}{8} \dots \dots \dots (3.40)$$

せん断力照査

$$\tau_6 = \frac{S_6}{A_{wc}} \dots \dots \dots (3.41)$$

$$S_6 = (P_6 + P_6' + P_6'') \cdot b'' \cdot \frac{\ell}{2} \dots \dots \dots (3.42)$$

合成応力照査

$$\left( \frac{\sigma_6}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_6}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.43)$$

ここで、

$\sigma_6$  : 曲げモーメントによる防護工の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_6$  : 防護工に発生する曲げモーメント (kN・m)

$Z_6$  : 防護工の断面係数 (mm<sup>3</sup>) \*

$P_6$  : 防護工に作用する津波波圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_6'$  : 防護工に作用する地震慣性力 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_6''$  : 防護工に作用する動水圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau_6$  : せん断力による防護工の発生応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$S_6$  : 防護工に発生するせん断力 (kN)

$b''$  : 防護工の幅 (m)

$A_{wc}$  : 防護工のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>) \*

注記 \* : 防護工は外側 1mm を腐食代として考慮する。

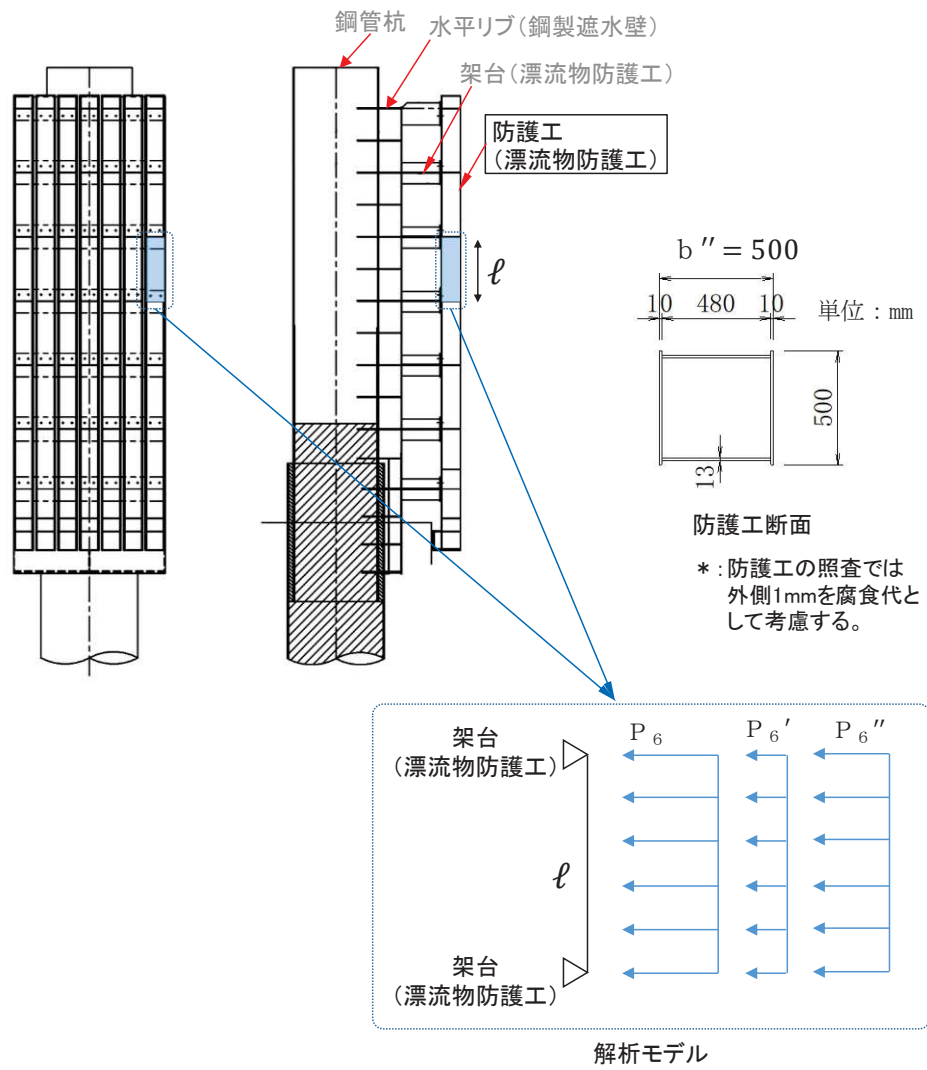


図 3-35 防護工の照査概念図 (重畳時)

- c. 背面補強工
 

背面補強工の評価は、背面補強工を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。
- d. 置換コンクリート
 

置換コンクリートの評価は、置換コンクリートを通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。
- e. 改良地盤
 

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。
- f. セメント改良土
 

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。
- g. 止水ジョイント部材
 

止水ジョイント部材の重畳時の評価について、汀線直角方向は、重畳時に生じる相対変位に、地震時における最終変位（以下「残留変位」という。）を加えた相対変位量が許容限界以下であることを確認する。

なお、汀線方向に生じる相対変位は、余震荷重のみによって生じるが、余震荷重は地震荷重に包絡されることから、保守的に地震時で算出される相対変位を考慮し、残留変位を加えた相対変位量が許容限界以下であることを確認する。
- h. 基礎地盤
 

重畳時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、弾性設計用地震動 S d - D 2 を入力地震動とした地震応答解析から求められる基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

#### 4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-12 に示す。

##### 4.1 津波時

表 4-1 強度評価に用いる条件（断面①）

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重（鋼管杭）	934	kN
	固定荷重（鋼製遮水壁）	319	kN
	固定荷重（漂流物防護工）	392	kN
	固定荷重（背面補強工）	1916	kN
	固定荷重（置換コンクリート）	8993	kN
	固定荷重（改良地盤）	8674	kN
	固定荷重（セメント改良土）	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数（2.0）	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	159.0	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	159.0	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-2 強度評価に用いる条件 (断面②)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	883	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	7890	kN
	固定荷重 (改良地盤)	7355	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	159.0	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	159.0	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-3 強度評価に用いる条件 (断面③)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	748	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	7108	kN
	固定荷重 (改良地盤)	5386	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	159.0	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	159.0	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>



表 4-4 強度評価に用いる条件 (断面④)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	665	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	15724	kN
	固定荷重 (改良地盤)	12344	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	16262	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>t</sub>	遡上津波荷重 (防潮堤前面の地盤高 : 0. P. +18. 5m)	180. 3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10. 1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2. 0)	2. 0	—

表 4-5 強度評価に用いる条件 (断面⑤)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	569	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	292	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	159.0	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	159.0	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-6 強度評価に用いる条件 (断面⑥)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	507	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	292	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	159.0	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	159.0	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	126.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

## 4.2 重畳時

表 4-7(1) 強度評価に用いる条件 (断面①)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	934	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	8993	kN
	固定荷重 (改良地盤)	8674	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
$Z_2$	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
$P_2$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	200	kN/m
$P_2'$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力	18	kN/m
$P_2''$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧	100	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
$P_3$	垂直リブに作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_3'$	垂直リブに作用する地震慣性力	18	kN/m <sup>2</sup>
$P_3''$	垂直リブに作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
$Z_4$	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
$Z_5$	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
$P_4$	水平リブ及び架台に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_4'$	水平リブ及び架台に作用する地震慣性力	96	kN/m <sup>2</sup>
$P_4''$	水平リブ及び架台に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
$A_w$	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
$Z_6$	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
$P_6$	防護工に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_6'$	防護工に作用する地震慣性力	30	kN/m <sup>2</sup>
$P_6''$	防護工に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>

表 4-7(2) 強度評価に用いる条件 (断面①)

記号	定義	数値	単位
$b''$	防護工の幅	0.5	m
$A_{wc}$	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-8(1) 強度評価に用いる条件 (断面②)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	883	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	7890	kN
	固定荷重 (改良地盤)	7355	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
$Z_2$	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
$P_2$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	200	kN/m
$P_2'$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力	18	kN/m
$P_2''$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧	100	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
$P_3$	垂直リブに作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_3'$	垂直リブに作用する地震慣性力	18	kN/m <sup>2</sup>
$P_3''$	垂直リブに作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
$Z_4$	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
$Z_5$	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
$P_4$	水平リブ及び架台に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_4'$	水平リブ及び架台に作用する地震慣性力	96	kN/m <sup>2</sup>
$P_4''$	水平リブ及び架台に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
$A_w$	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
$Z_6$	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
$P_6$	防護工に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_6'$	防護工に作用する地震慣性力	30	kN/m <sup>2</sup>
$P_6''$	防護工に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>

表 4-8(2) 強度評価に用いる条件 (断面②)

記号	定義	数値	単位
$b''$	防護工の幅	0.5	m
$A_{wc}$	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-9(1) 強度評価に用いる条件 (断面③)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	748	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	7108	kN
	固定荷重 (改良地盤)	5386	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
$Z_2$	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
$P_2$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	200	kN/m
$P_2'$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力	18	kN/m
$P_2''$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧	100	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
$P_3$	垂直リブに作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_3'$	垂直リブに作用する地震慣性力	18	kN/m <sup>2</sup>
$P_3''$	垂直リブに作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
$Z_4$	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
$Z_5$	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
$P_4$	水平リブ及び架台に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_4'$	水平リブ及び架台に作用する地震慣性力	96	kN/m <sup>2</sup>
$P_4''$	水平リブ及び架台に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
$A_w$	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
$Z_6$	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
$P_6$	防護工に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_6'$	防護工に作用する地震慣性力	30	kN/m <sup>2</sup>
$P_6''$	防護工に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>



表 4-9(2) 強度評価に用いる条件 (断面③)

記号	定義	数値	単位
$b''$	防護工の幅	0.5	m
$A_{wc}$	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-10 強度評価に用いる条件（断面④）

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重（鋼管杭）	665	kN
	固定荷重（鋼製遮水壁）	319	kN
	固定荷重（背面補強工）	1916	kN
	固定荷重（置換コンクリート）	15724	kN
	固定荷重（改良地盤）	12344	kN
	固定荷重（セメント改良土）	16262	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>t</sub>	遡上津波荷重（防潮堤前面の地盤高：0. P. +18. 5m）	180. 3	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10. 1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数（2. 0）	2. 0	—

表 4-11 強度評価に用いる条件（断面⑤）

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重（鋼管杭）	569	kN
	固定荷重（鋼製遮水壁）	292	kN
	固定荷重（漂流物防護工）	392	kN
	固定荷重（背面補強工）	1916	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数（2.0）	2.0	—
$Z_2$	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
$P_2$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	200	kN/m
$P_2'$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力	18	kN/m
$P_2''$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧	100	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
$P_3$	垂直リブに作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_3'$	垂直リブに作用する地震慣性力	18	kN/m <sup>2</sup>
$P_3''$	垂直リブに作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
$Z_4$	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
$Z_5$	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
$P_4$	水平リブ及び架台に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_4'$	水平リブ及び架台に作用する地震慣性力	96	kN/m <sup>2</sup>
$P_4''$	水平リブ及び架台に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
$A_w$	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
$Z_6$	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
$P_6$	防護工に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_6'$	防護工に作用する地震慣性力	30	kN/m <sup>2</sup>
$P_6''$	防護工に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
$b''$	防護工の幅	0.5	m
$A_{wc}$	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-12 強度評価に用いる条件 (断面⑥)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	507	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	292	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
$Z_2$	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
$P_2$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	200	kN/m
$P_2'$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力	18	kN/m
$P_2''$	スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧	100	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
$P_3$	垂直リブに作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_3'$	垂直リブに作用する地震慣性力	18	kN/m <sup>2</sup>
$P_3''$	垂直リブに作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
$Z_4$	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
$Z_5$	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
$P_4$	水平リブ及び架台に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_4'$	水平リブ及び架台に作用する地震慣性力	96	kN/m <sup>2</sup>
$P_4''$	水平リブ及び架台に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
$A_w$	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
$Z_6$	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
$P_6$	防護工に作用する津波波圧	200	kN/m <sup>2</sup>
$P_6'$	防護工に作用する地震慣性力	30	kN/m <sup>2</sup>
$P_6''$	防護工に作用する動水圧	100	kN/m <sup>2</sup>
$b''$	防護工の幅	0.5	m
$A_{wc}$	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

5. 評価結果

5.1 津波時

5.1.1 鋼管杭の評価結果

(1) 曲げ軸力照査

断面計算に用いた断面諸元を表 5-1 に、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力図を図 5-1～図 5-6 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-2～表 5-7 に示す。鋼管杭に対して許容応力度法による照査を行った結果、鋼管杭に発生する曲げ応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 鋼管杭断面諸元 (断面①～断面⑥)

杭種		設置標高		板厚 <sup>*2</sup> (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面係数 (mm <sup>3</sup> )	
A	鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm)	0. P. +30. 0m <sup>*1</sup> ～ 0. P. +23. 5m	24	1. 639×10 <sup>5</sup>	8. 813×10 <sup>7</sup>	
B		SM570 (t=40mm)	0. P. +23. 5m～ 0. P. +21. 0m	39	2. 645×10 <sup>5</sup>	1. 403×10 <sup>8</sup>	
	0. P. +21. 0m～ 0. P. +20. 0m						
C	鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm)	長杭	0. P. +20. 0m～ 0. P. ±0. 0m	34	2. 632×10 <sup>5</sup>	1. 599×10 <sup>8</sup>
			短杭	0. P. +20. 0m～ 0. P. +5. 0m			
			断面⑥	0. P. +20. 0m ～ +8. 0m			
D		SKK490 (t=25mm)	長杭	0. P. ±0. 0m～ 杭下端	24	1. 865×10 <sup>5</sup>	1. 143×10 <sup>8</sup>
			短杭	0. P. +5. 0m～ 0. P. +2. 5m			
			断面⑥	0. P. +8. 0m ～ +5. 5m			

注記 \*1: 岩盤部 (断面⑤及び断面⑥) は 0. P. +29. 0m。

\*2: 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月) に基づき腐食代 1 mm を考慮する。杭体の断面照査において, 腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

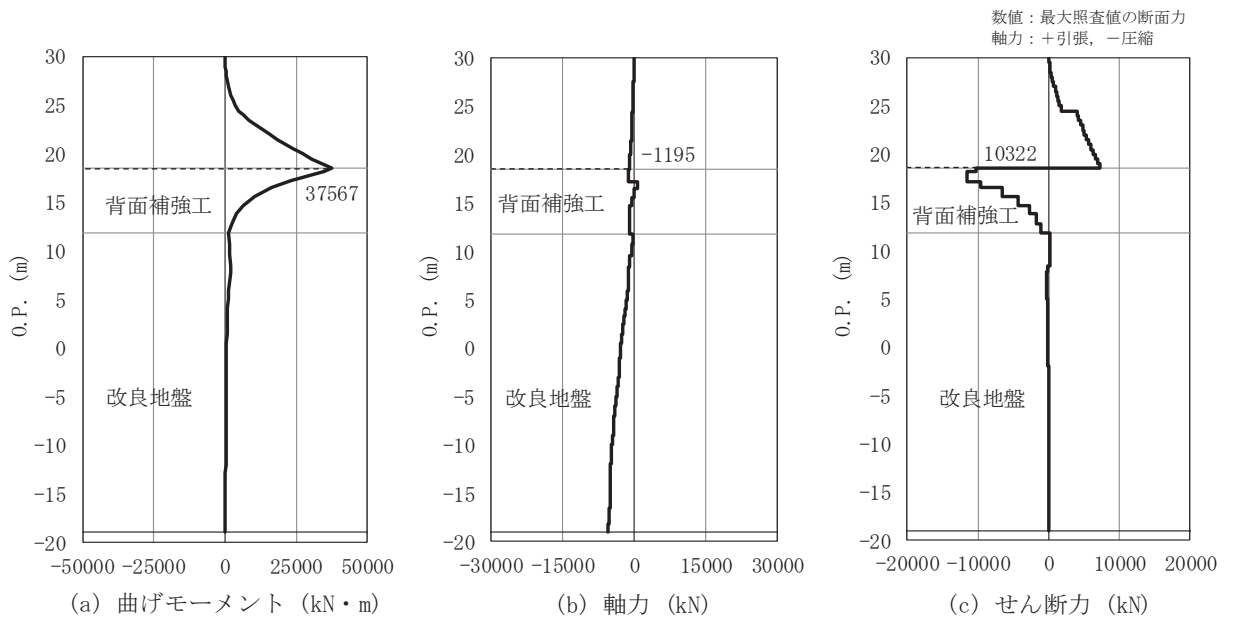


図 5-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力 (断面①)  
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1  $\sigma$ )

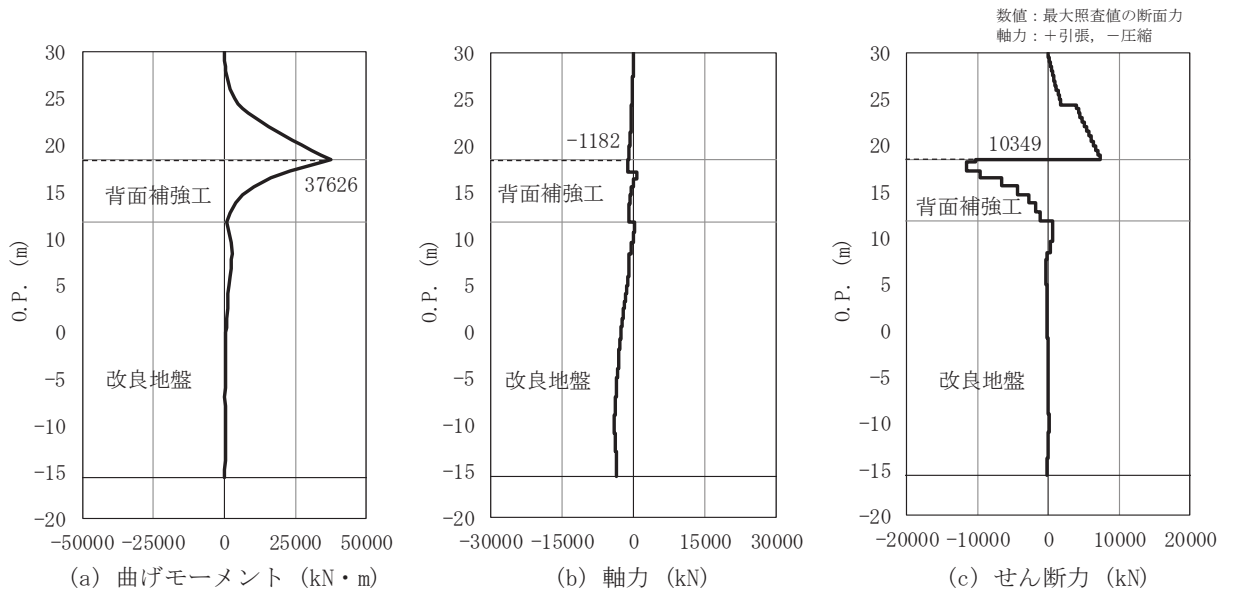


図 5-2 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力 (断面②)  
解析ケース①：基本ケース

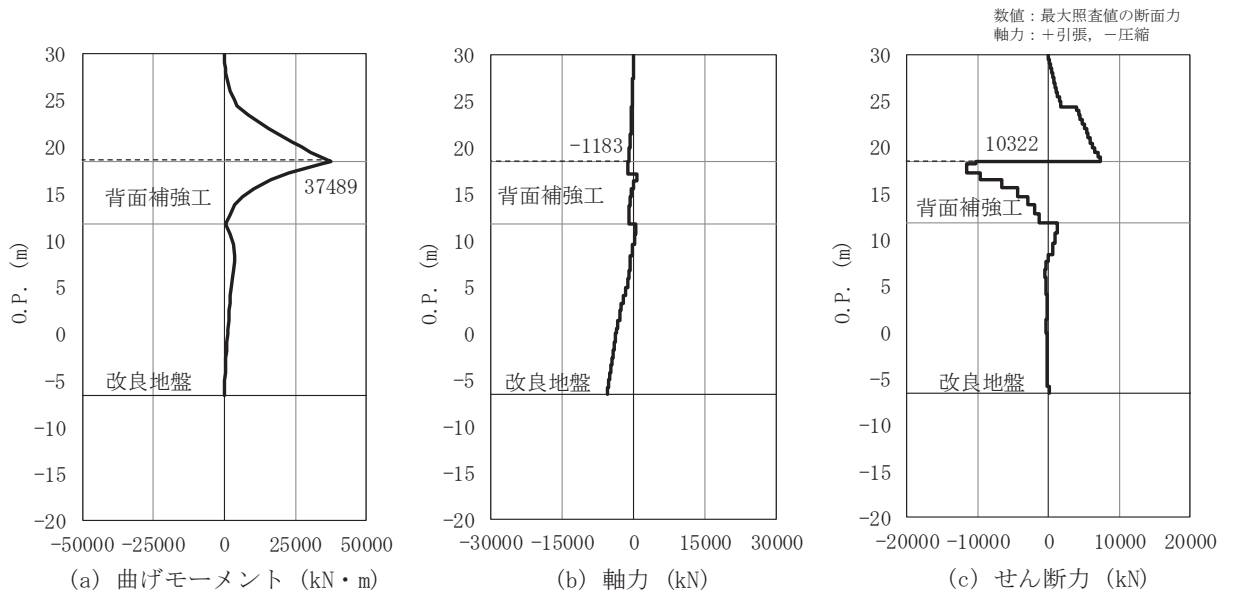


図 5-3 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力 (断面③)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

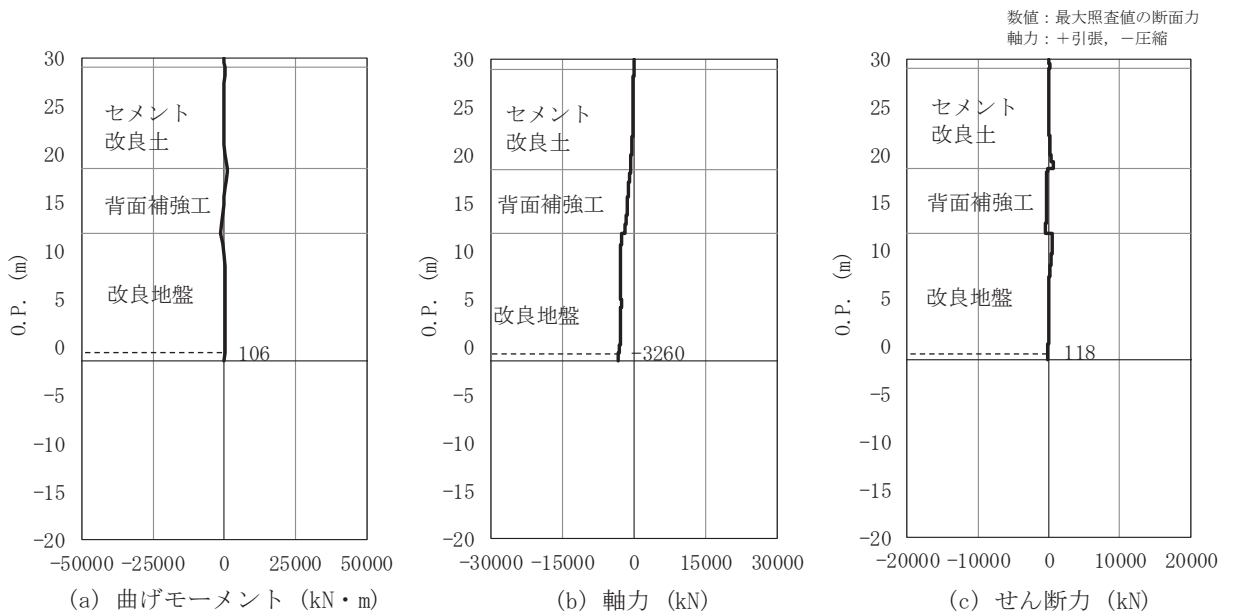


図 5-4 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力 (断面④)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

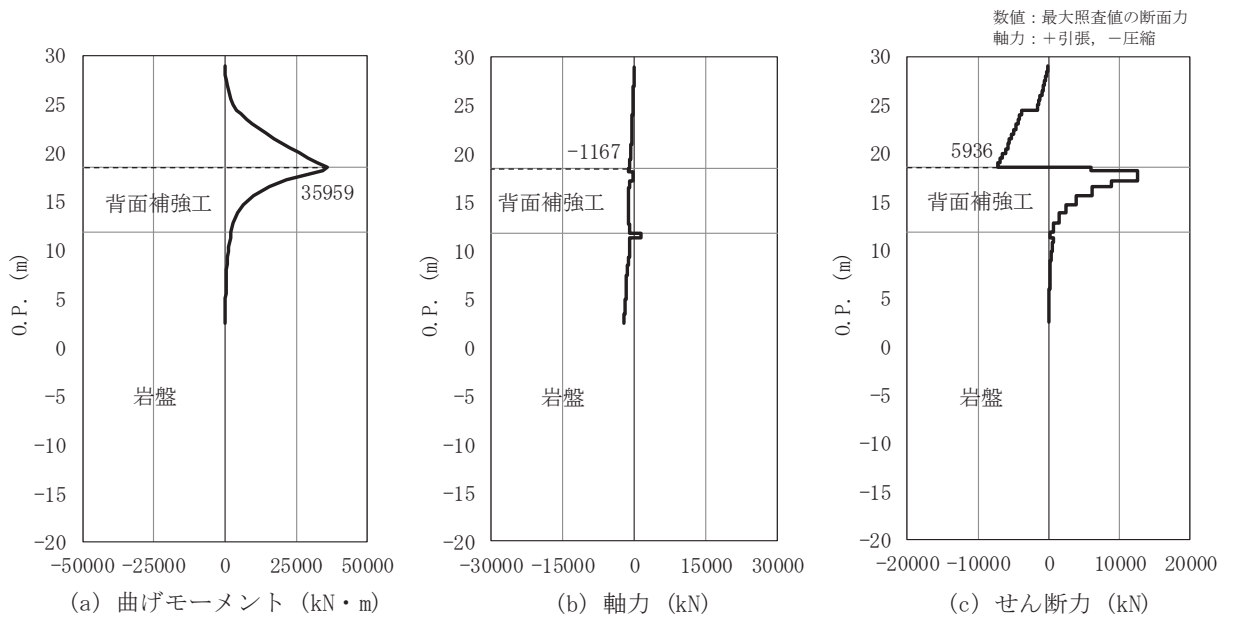


図 5-5 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力 (断面⑤)  
(解析ケース①～③において、発生断面力は同値である。)

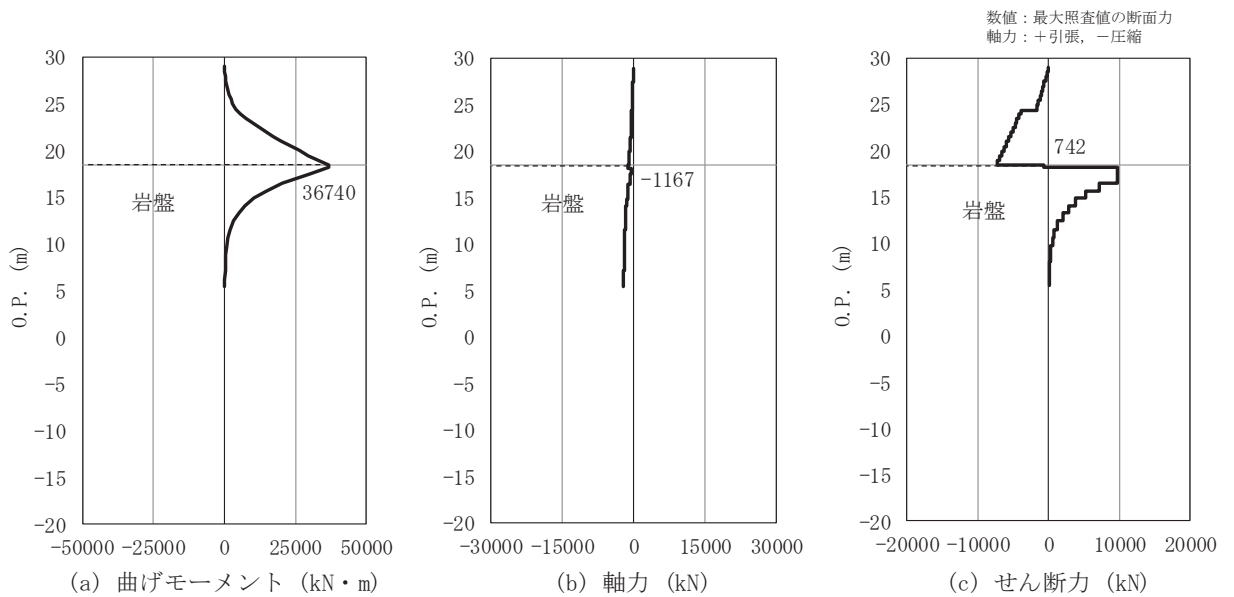


図 5-6 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力 (断面⑥)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)



表 5-2 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面①)

杭種	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	②	37567	1195	240	382	0.63

表 5-3 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面②)

杭種	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	①	37626	1182	240	382	0.63

表 5-4 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面③)

杭種	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	③	37489	1183	239	382	0.63

表 5-5 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面④)

杭種	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
D	③	106	3260	19	277	0.07

表 5-6 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑤)

杭種	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	①②③*	35959	1167	230	382	0.61

注記 \* : 解析ケース①～③において, 発生断面力は同値である。

表 5-7 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑥)

杭種	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	③	36740	1167	235	382	0.62

(2) せん断力照査

断面計算に用いた断面諸元は表 5-1 に、鋼管杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力図を図 5-7～図 5-12 に、せん断破壊に対する照査値を表 5-8～表 5-13 に示す。

鋼管杭に発生するせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

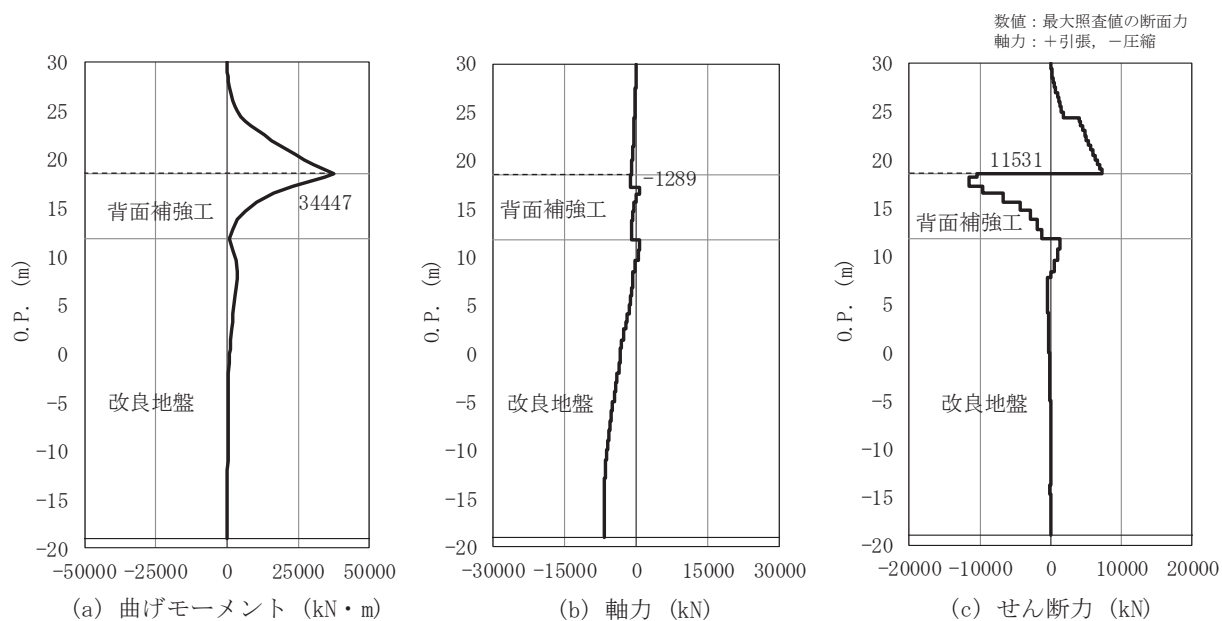


図 5-7 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面①)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

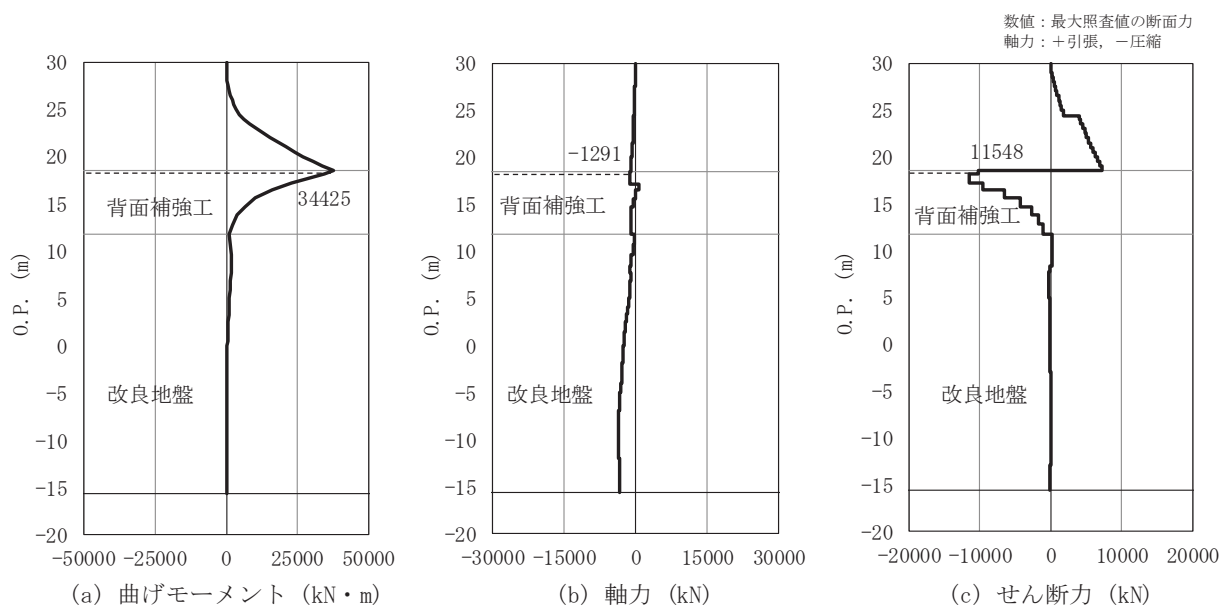


図 5-8 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面②)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

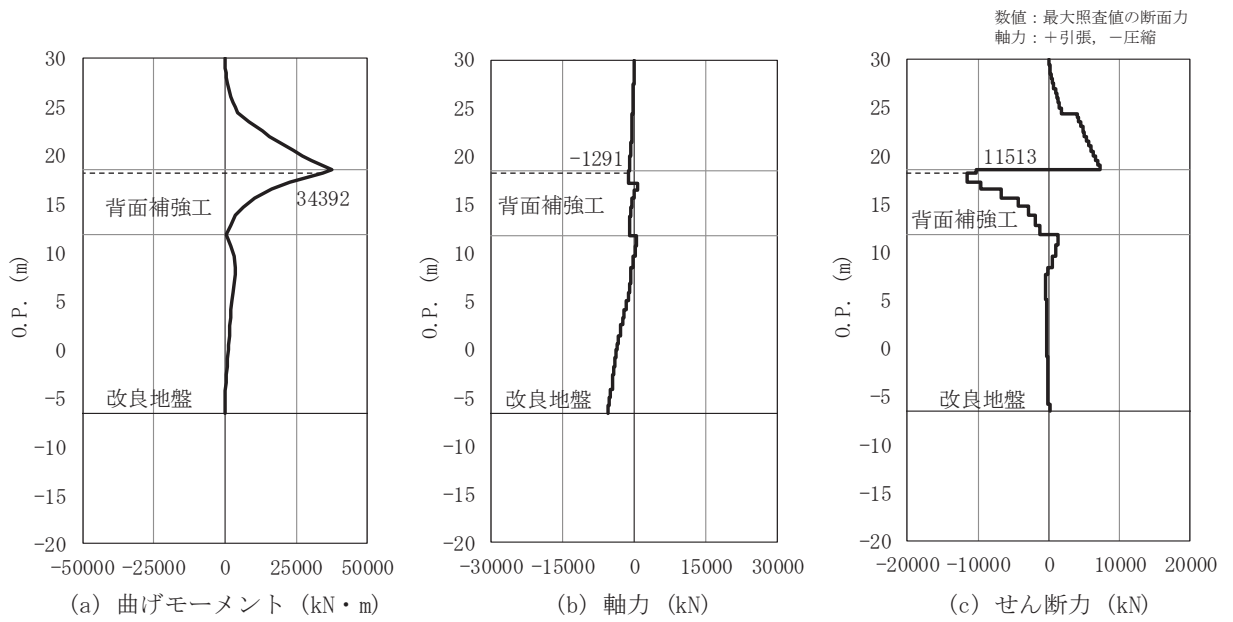


図 5-9 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面③)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

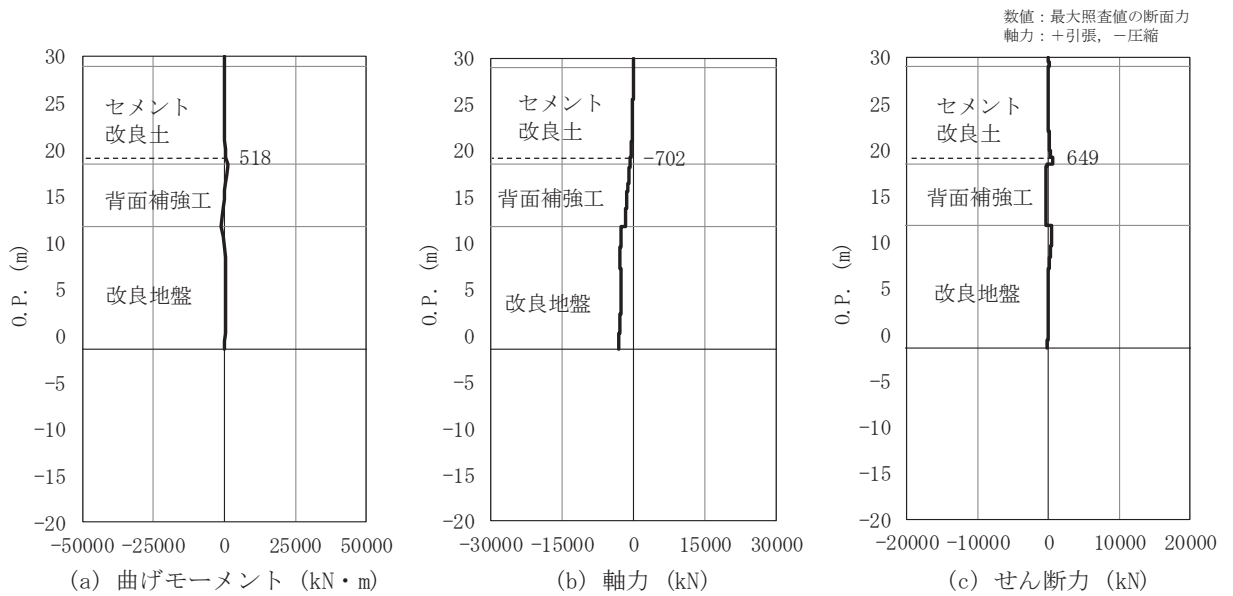


図 5-10 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面④)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

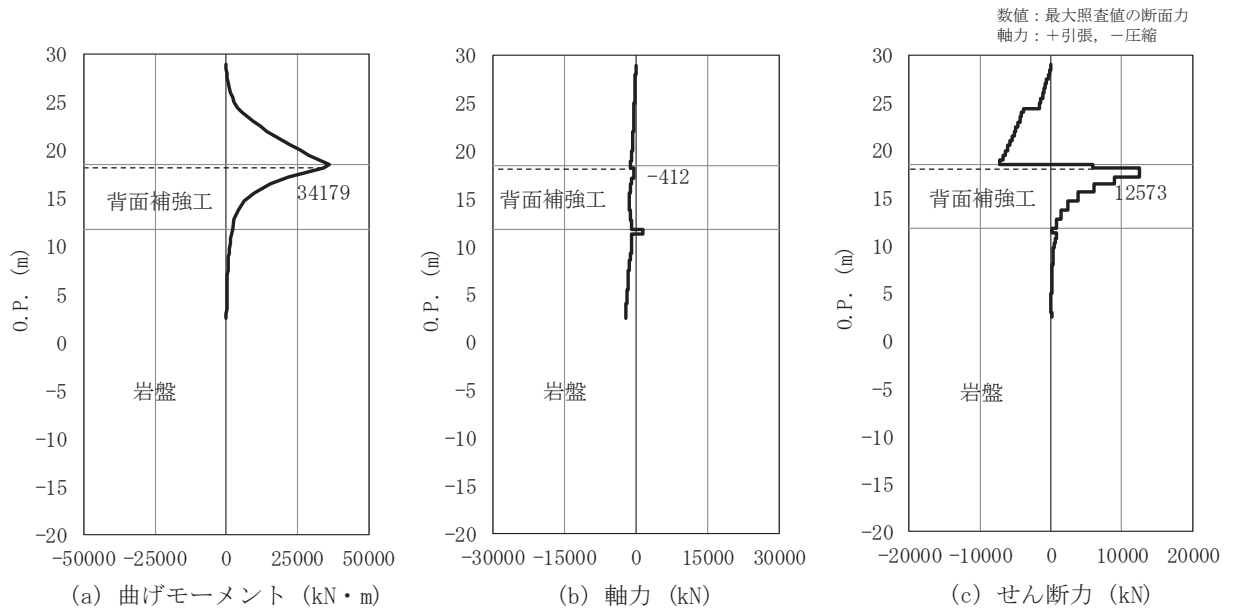


図 5-11 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面⑤)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

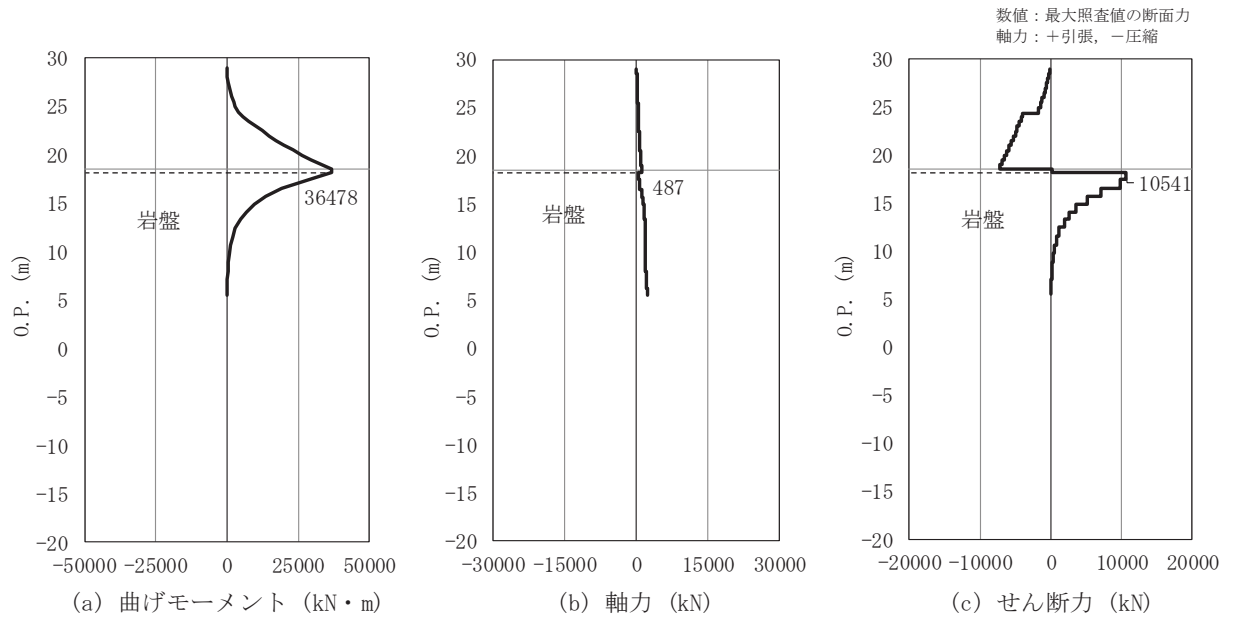


図 5-12 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面⑥)  
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1  $\sigma$ )

表 5-8 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面①）

杭種	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
C	③	11531	88	217	0.41

表 5-9 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面②）

杭種	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
C	②	11548	88	217	0.41

表 5-10 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面③）

杭種	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
C	③	11513	88	217	0.41

表 5-11 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面④）

杭種	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
C	③	649	5	217	0.03

表 5-12 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面⑤）

杭種	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
C	③	12573	96	217	0.45

表 5-13 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面⑥）

杭種	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
C	②	10541	81	217	0.38

5.1.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の照査結果を表 5-14 に示す。この結果から、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-14 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主要部材の照査結果

部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製遮水壁	スキンプレート	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	137	315	0.44
	垂直リブ	SM490Y	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	32	190	0.17
	水平リブ	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	221	315	0.71
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	68	180	0.38
			合成応力度*	0.63	1.20	0.53
漂流物防護工	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	169	315	0.54
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	68	180	0.38
			合成応力度*	0.43	1.20	0.36
	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	274	382	0.72
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	179	217	0.83
			合成応力度*	0.68	1.20	0.57

注記 \* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

### 5.1.3 背面補強工の評価結果

背面補強工のすべり安全率による評価結果を表 5-15～表 5-19 に、局所安全係数分布を図 5-13～図 5-17 に示す。これらの結果から、背面補強工のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-15 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
③	13.1

表 5-16 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面②）

解析ケース	最小すべり安全率
③	13.1

表 5-17 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面③）

解析ケース	最小すべり安全率
③	13.1

表 5-18 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面④）

解析ケース	最小すべり安全率
②	24.2

表 5-19 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面⑤）

解析ケース	最小すべり安全率
③	12.7



図 5-13 背面補強工の局所安全係数分布 (断面①)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

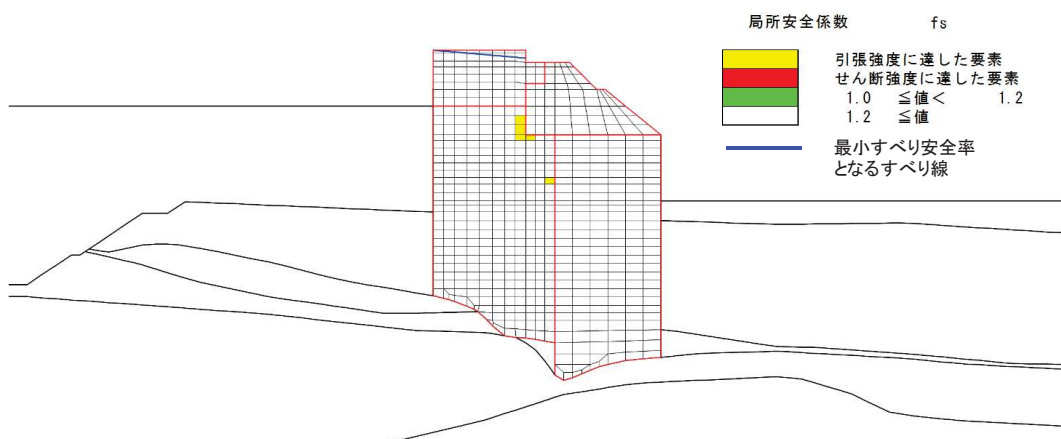


図 5-14 背面補強工の局所安全係数分布 (断面②)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

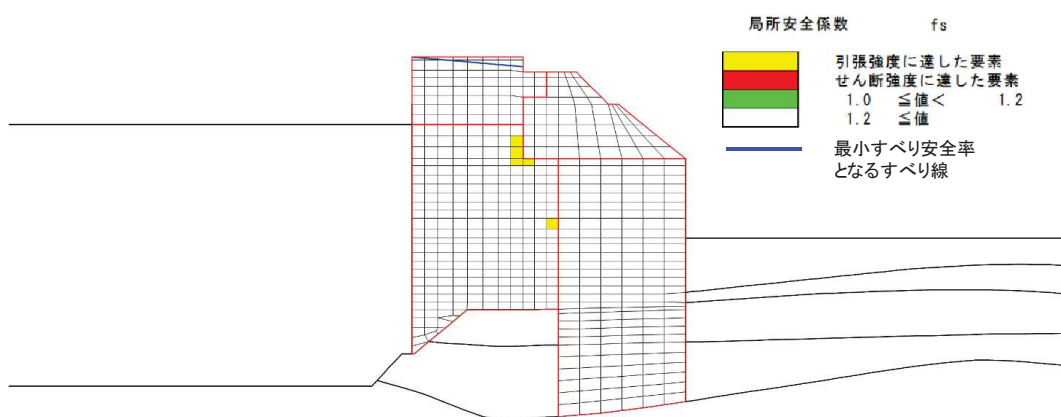


図 5-15 背面補強工の局所安全係数分布 (断面③)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)



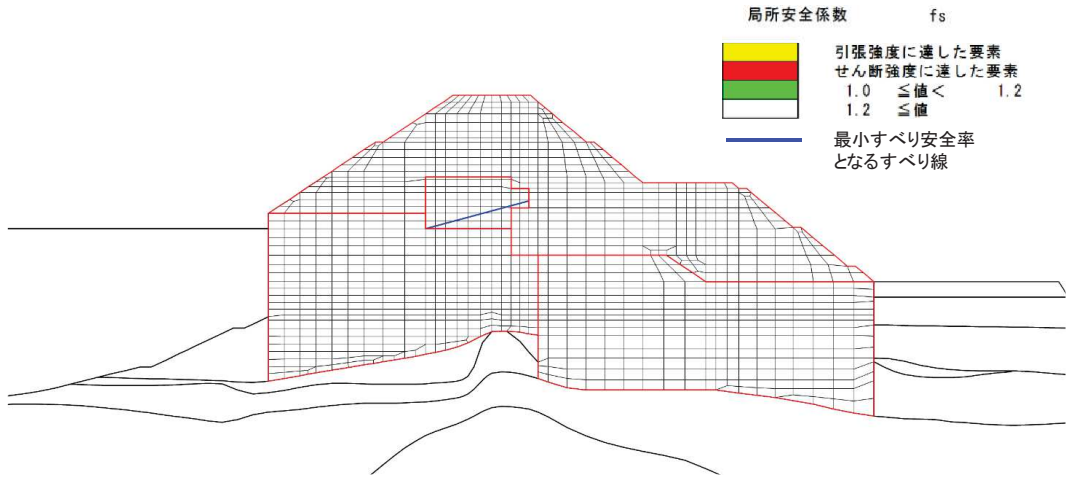


図 5-16 背面補強工の局所安全係数分布 (断面④)  
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1  $\sigma$ )

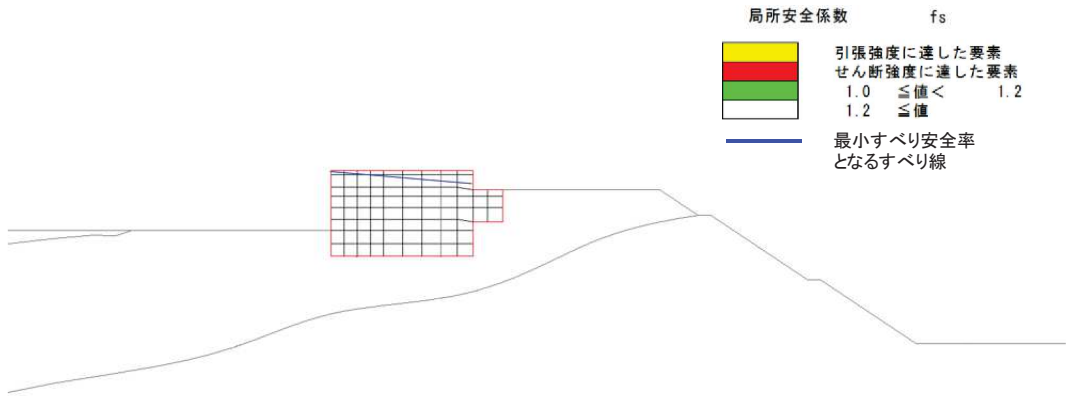


図 5-17 背面補強工の局所安全係数分布 (断面⑤)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

#### 5.1.4 置換コンクリートの評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 5-20～表 5-23 に、局所安全係数分布を図 5-18～図 5-21 に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-20 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
③	25.3

表 5-21 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面②）

解析ケース	最小すべり安全率
③	25.7

表 5-22 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面③）

解析ケース	最小すべり安全率
③	19.6

表 5-23 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面④）

解析ケース	最小すべり安全率
③	37.7



図 5-18 置換コンクリートの局所安全係数分布（断面①）

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 - 1σ）

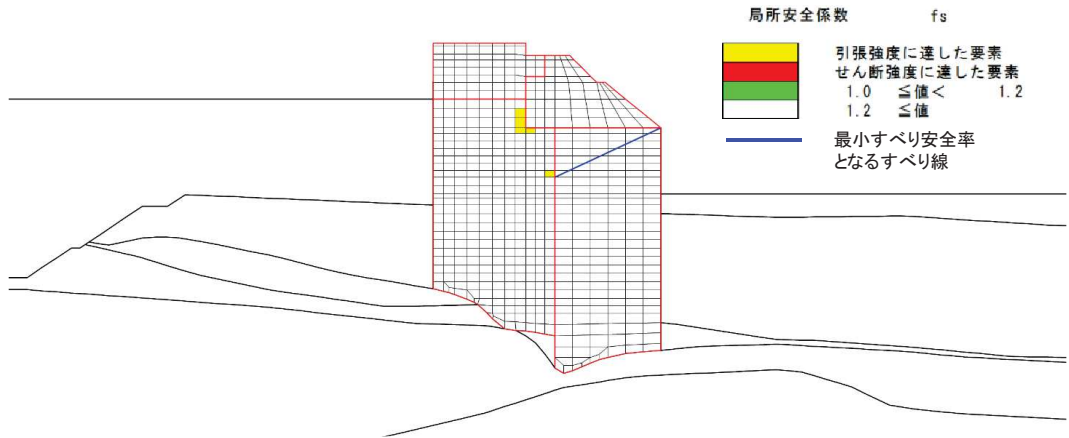


図 5-19 置換コンクリートの局所安全係数分布 (断面②)  
 解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

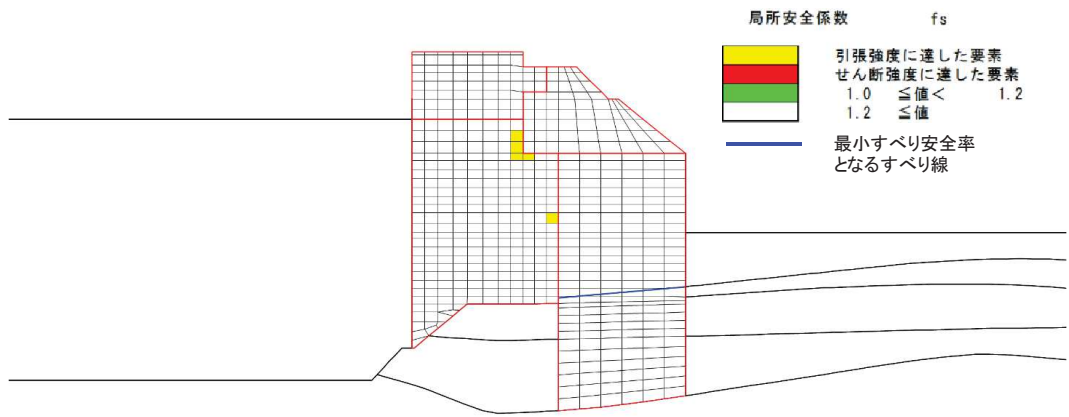


図 5-20 置換コンクリートの局所安全係数分布 (断面③)  
 解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

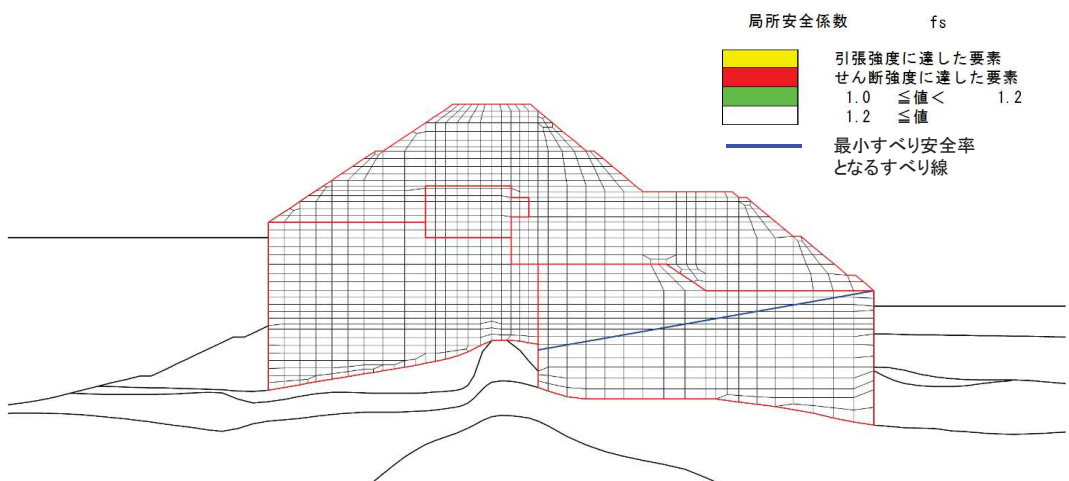


図 5-21 置換コンクリートの局所安全係数分布 (断面④)  
 解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

5.1.5 改良地盤の評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 5-24～表 5-27 に、平均強度における局所安全係数分布を図 5-22～図 5-25 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値－1σ強度のすべり安全率を表 5-24～表 5-27 に併せて示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-24 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	4.0
①（平均値－1σ強度）	4.3

表 5-25 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面②）

解析ケース	最小すべり安全率
②	5.0
①（平均値－1σ強度）	5.0

表 5-26 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面③）

解析ケース	最小すべり安全率
②	4.5
①（平均値－1σ強度）	4.9

表 5-27 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面④）

解析ケース	最小すべり安全率
②	7.8
①（平均値－1σ強度）	8.0

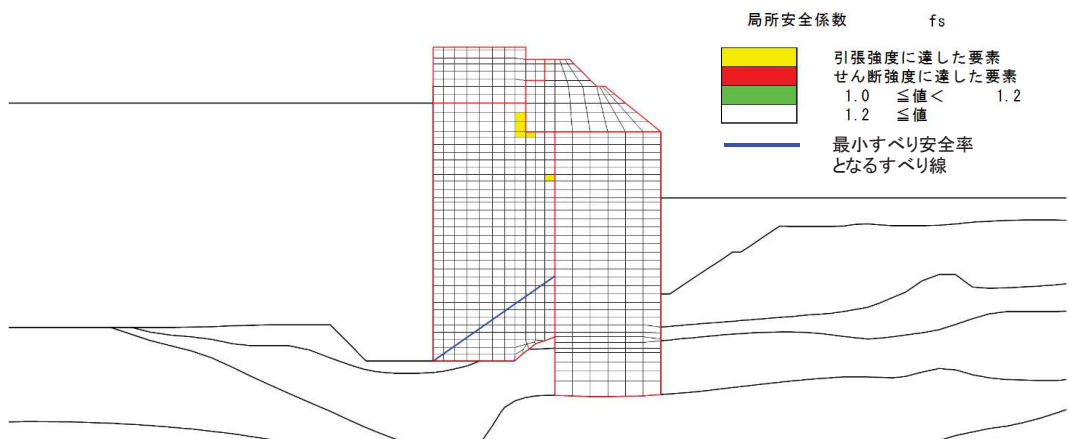


図 5-22 改良地盤の局所安全係数分布（断面①）

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値＋1σ）



図 5-23 改良地盤の局所安全係数分布 (断面②)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

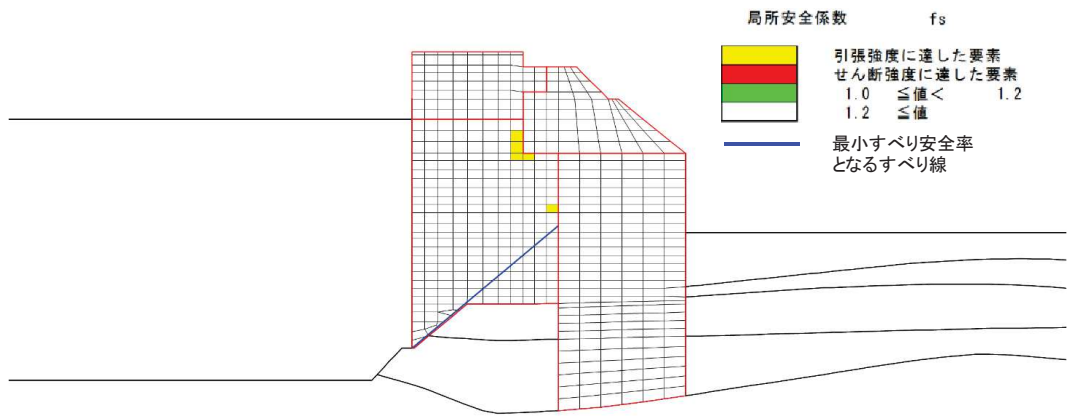


図 5-24 改良地盤の局所安全係数分布 (断面③)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

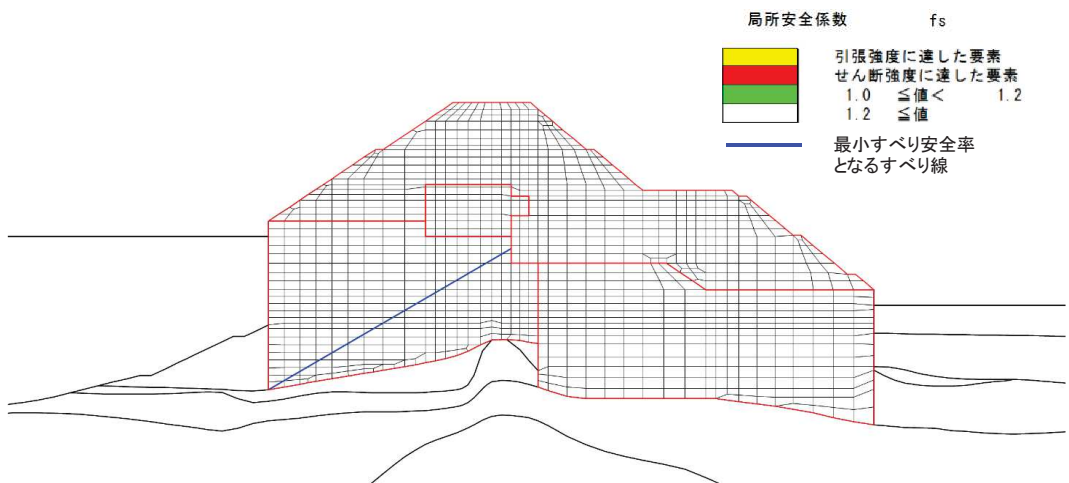


図 5-25 改良地盤の局所安全係数分布 (断面④)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

### 5.1.6 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 5-28～表 5-31 に、平均強度における局所安全係数分布を図 5-26～図 5-29 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値－1 $\sigma$ 強度のすべり安全率を表 5-28～表 5-31 に併せて示す。

これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-28 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	40.7
①（平均値－1 $\sigma$ 強度）	40.3

表 5-29 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面②）

解析ケース	最小すべり安全率
②	41.2
①（平均値－1 $\sigma$ 強度）	40.9

表 5-30 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面③）

解析ケース	最小すべり安全率
②	38.6
①（平均値－1 $\sigma$ 強度）	38.3

表 5-31 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面④）

解析ケース	最小すべり安全率
②	10.8
①（平均値－1 $\sigma$ 強度）	10.5

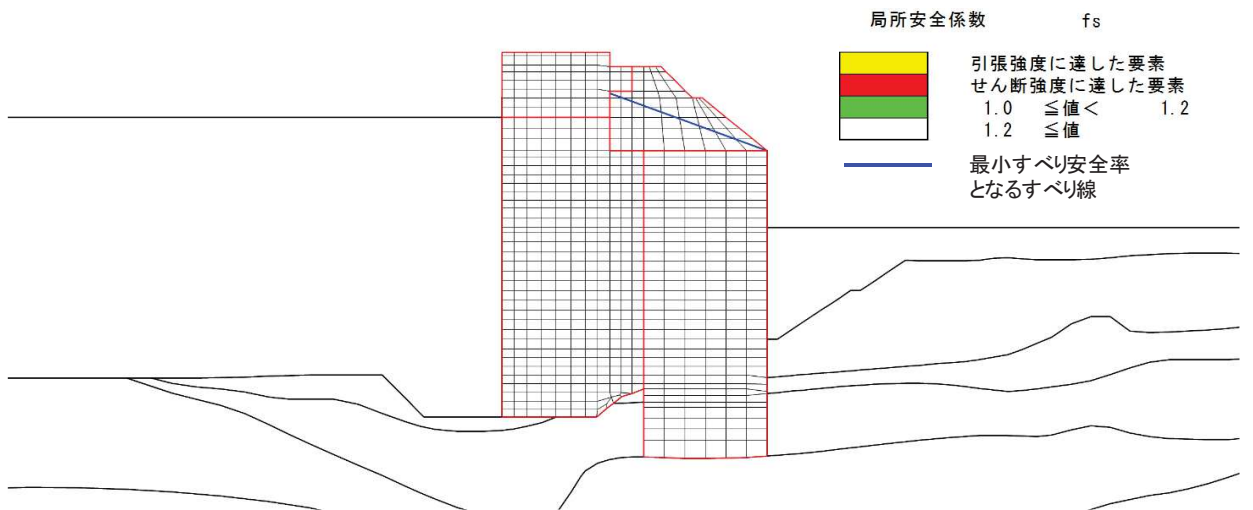


図 5-26 セメント改良土の局所安全係数分布 (断面①)

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

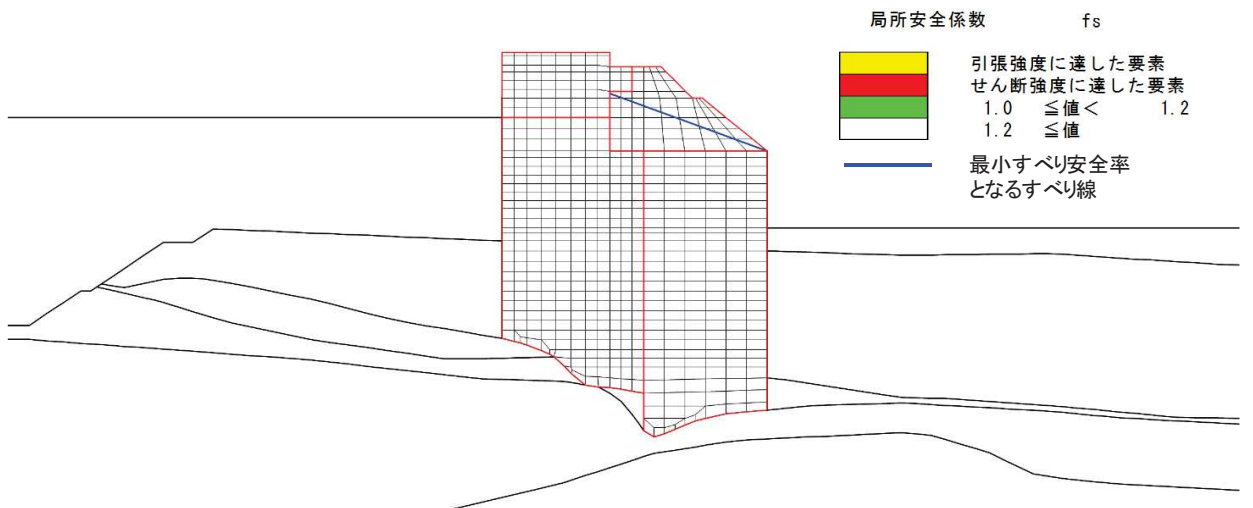


図 5-27 セメント改良土の局所安全係数分布 (断面②)

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

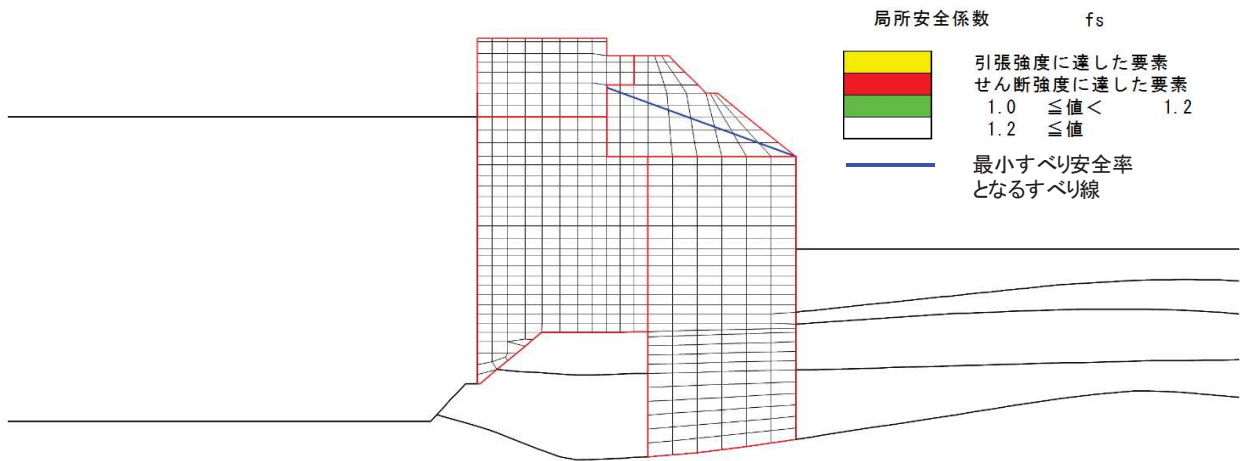


図 5-28 セメント改良土の局所安全係数分布 (断面③)

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

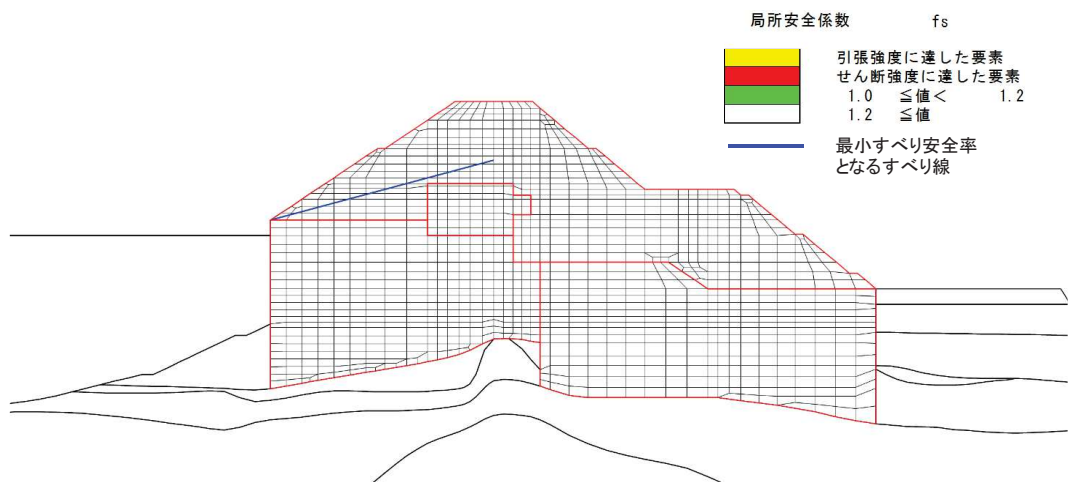


図 5-29 セメント改良土の局所安全係数分布 (断面④)

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



### 5.1.7 止水ジョイント部材の相対変位量に対する評価結果

津波時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査結果を表 5-32 及び表 5-33 に示す。また、止水ジョイント部材の相対変位量評価区間を図 5-30 に示す。

津波時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査を行った結果、相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-32 (1) ゴムジョイント設置箇所の津波時相対変位量

(A 区間：一般部のうち突出長変化部，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	5. 7	63. 6	69. 3	350
汀線方向	12. 3*	0	12. 3	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-32 (2) ゴムジョイント設置箇所の津波時相対変位量

(B 区間：一般部のうち背面補強工間，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	31. 5	85. 4	116. 9	350
汀線方向	22. 2*	0	22. 2	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-32 (3) ゴムジョイント設置箇所の津波時相対変位量

(C 区間：一般部と岩盤部の境界，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	31. 5	85. 4	116. 9	350
汀線方向	14. 1*	0	14. 1	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-32 (4) ゴムジョイント設置箇所の津波時相対変位量

(D 区間：岩盤部のうち背面補強工間，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	0. 3	53. 7	54. 0	350
汀線方向	2. 0*	0	2. 0	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-32 (5) ゴムジョイント設置箇所の津波時相対変位量  
(E 区間：岩盤部のうち背面補強工端部，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	0. 1	60. 4	60. 5	350
汀線方向	6. 7*	0	6. 7	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-32 (6) ゴムジョイント設置箇所の津波時相対変位量  
(F 区間：岩盤部のうち突出長変化部，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	0. 1	60. 4	60. 5	350
汀線方向	52. 6*	0	52. 6	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-33 (1) ウレタンシリコン目地設置箇所の津波時相対変位量  
(H 区間：一般部のうち背面補強工内，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	解析 ケース	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	③	0. 8	19. 7	20. 5	30
汀線方向	—*	1. 6*	0	1. 6	6

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-33 (2) ウレタンシリコン目地設置箇所の津波時相対変位量  
(I 区間：岩盤部のうち突出杭長同一部，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	解析 ケース	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	③	0. 0	19. 0	19. 0	30
汀線方向	—*	1. 2*	0	1. 2	6

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-33 (3) ウレタンシリコーン目地設置箇所の津波時相対変位量  
 (J 区間：岩盤部のうち背面補強工内，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	解析 ケース	地震時最終変位 (a) (mm)	津波時変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	③	0. 1	16. 7	16. 8	30
汀線方向	—*	1. 0*	0	1. 0	6

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

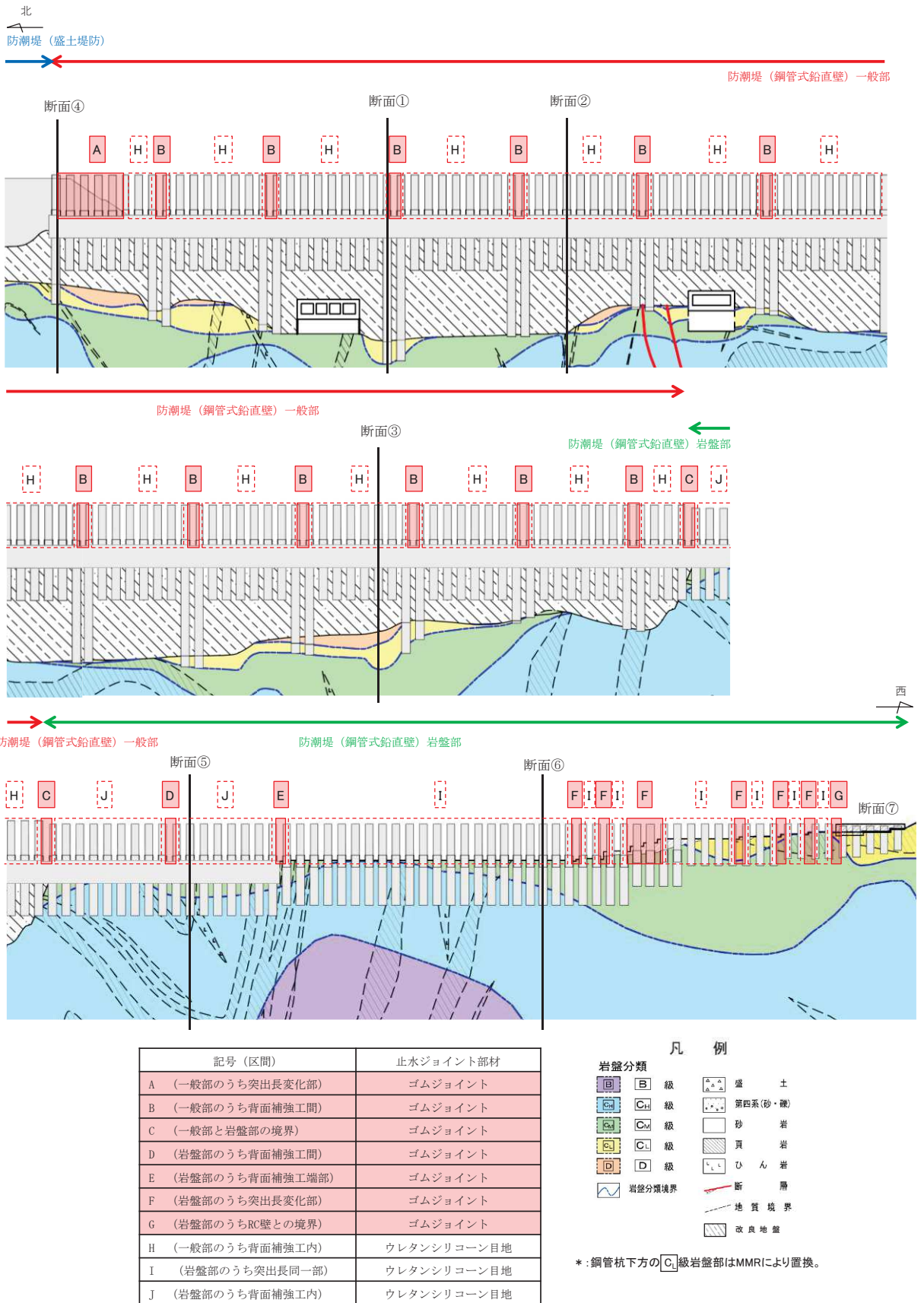


図 5-30 止水ジョイント部材の相対変位量評価区間

## 5.2 重疊時

### 5.2.1 鋼管杭の評価結果

#### (1) 曲げ軸力照査

断面計算に用いた断面諸元を表 5-34 に、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力図を図 5-31～図 5-36 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-35～表 5-40 に示す。鋼管杭に対して許容応力度法による照査を行った結果、鋼管杭に発生する曲げ応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-34 鋼管杭断面諸元

杭種		設置標高	板厚*2 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面係数 (mm <sup>3</sup> )
A	鋼管杭 (上杭) φ 2200	SKK490 (t=25mm) O. P. +30.0m*1～ O. P. +23.5m	24	1.639×10 <sup>5</sup>	8.813×10 <sup>7</sup>
B		SM570 (t=40mm) O. P. +23.5m～ O. P. +21.0m O. P. +21.0m～ O. P. +20.0m	39	2.645×10 <sup>5</sup>	1.403×10 <sup>8</sup>
C	鋼管杭 (下杭) φ 2500	SM570 (t=35mm) 長杭 O. P. +20.0m～ O. P. ±0.0m	34	2.632×10 <sup>5</sup>	1.599×10 <sup>8</sup>
D		短杭 断面⑤ O. P. +20.0m～ O. P. +5.0m			
		断面⑥ O. P. +20.0m ～ +8.0m			
D	SKK490 (t=25mm)	長杭 O. P. ±0.0m～ 杭下端	24	1.865×10 <sup>5</sup>	1.143×10 <sup>8</sup>
		短杭 断面⑤ O. P. +5.0m～ O. P. +2.5m			
		断面⑥ O. P. +8.0m ～ +5.5m			

注記 \*1: 岩盤部 (断面⑤及び断面⑥) は O. P. +29.0m。

\*2: 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月) に基づき腐食代 1 mm を考慮する。杭体の断面照査及び杭の曲げ剛性を算出する際は腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

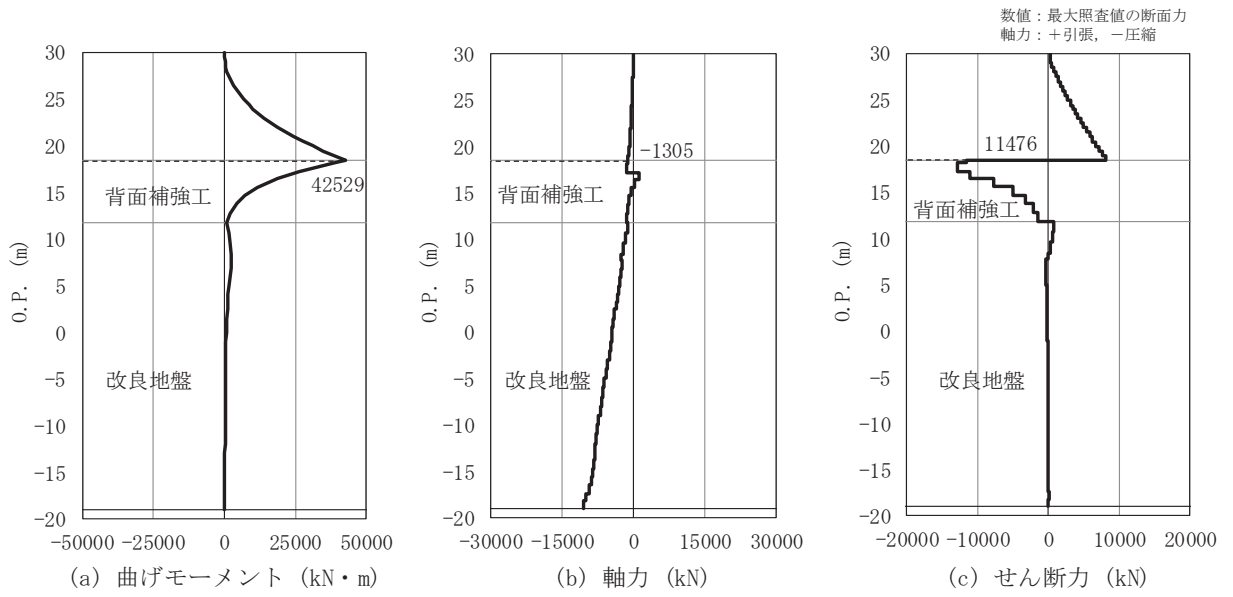


図 5-31 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力  
(断面①, S d - D 2 (-+), t=17.47s)  
解析ケース①：基本ケース

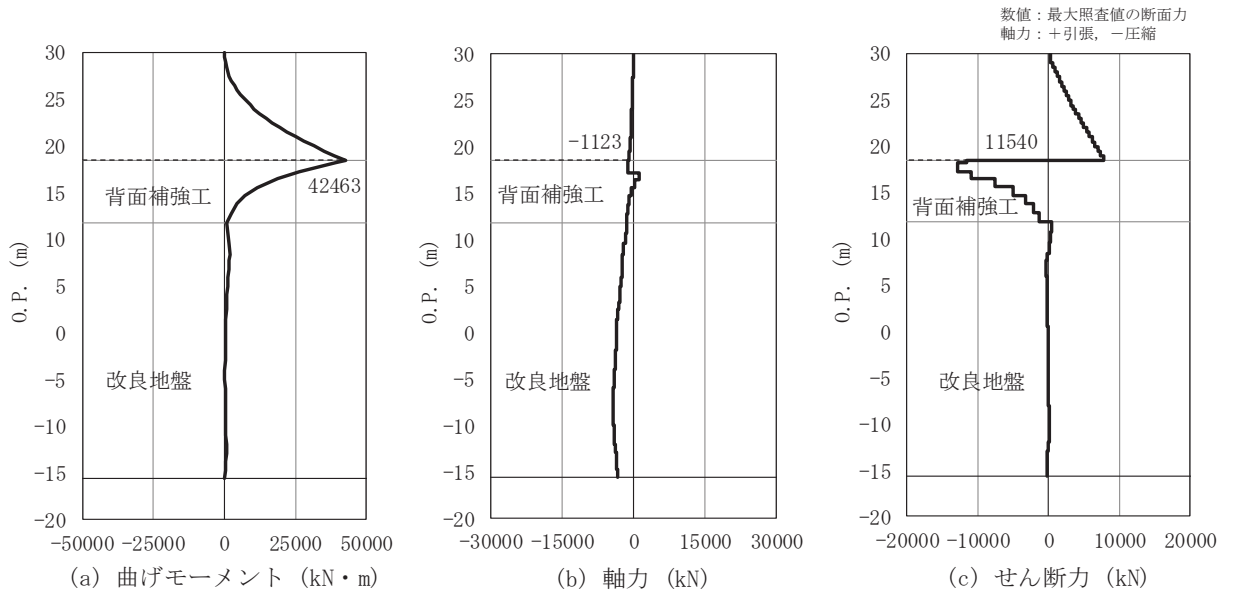


図 5-32 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力  
(断面②, S d - D 2 (++) , t=6.93s)  
解析ケース①：基本ケース

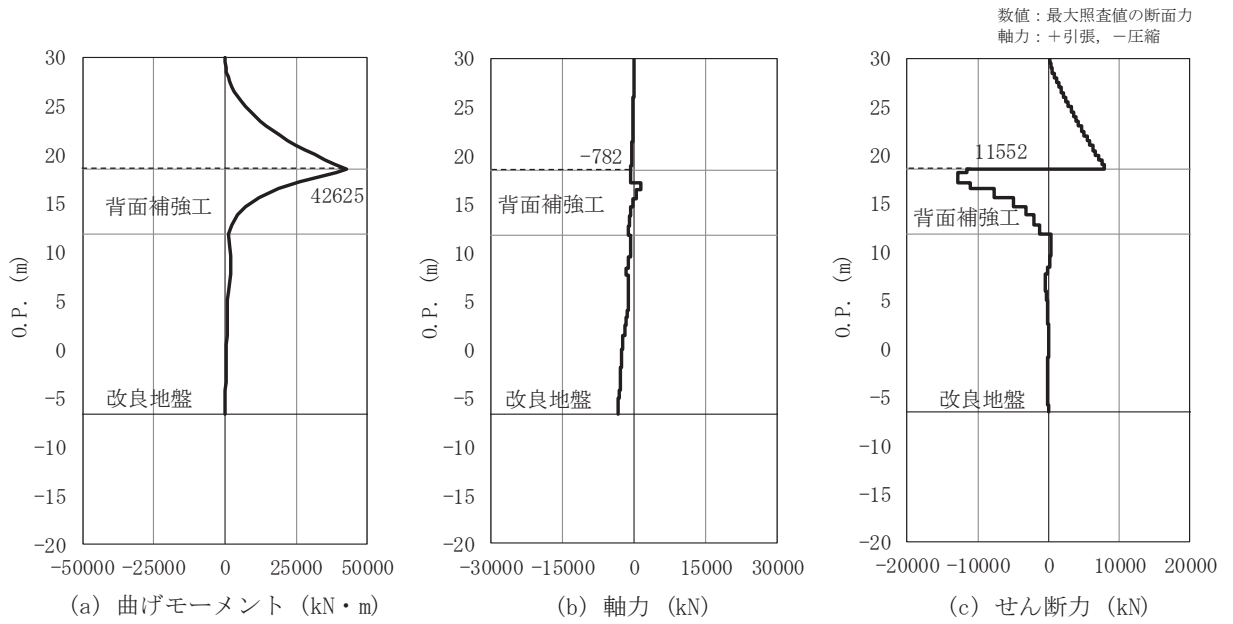


図 5-33 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力  
(断面③, S d - D 2 ( - + ), t=16.36s)

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

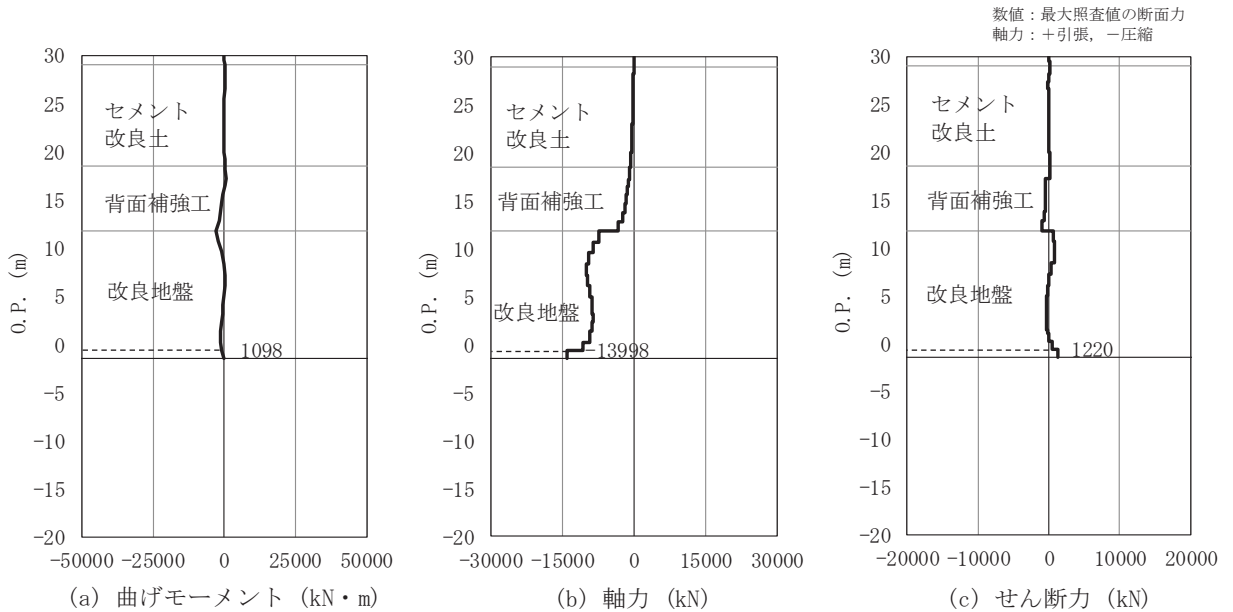


図 5-34 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力  
(断面④, S d - D 2 ( + + ), t=25.51s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

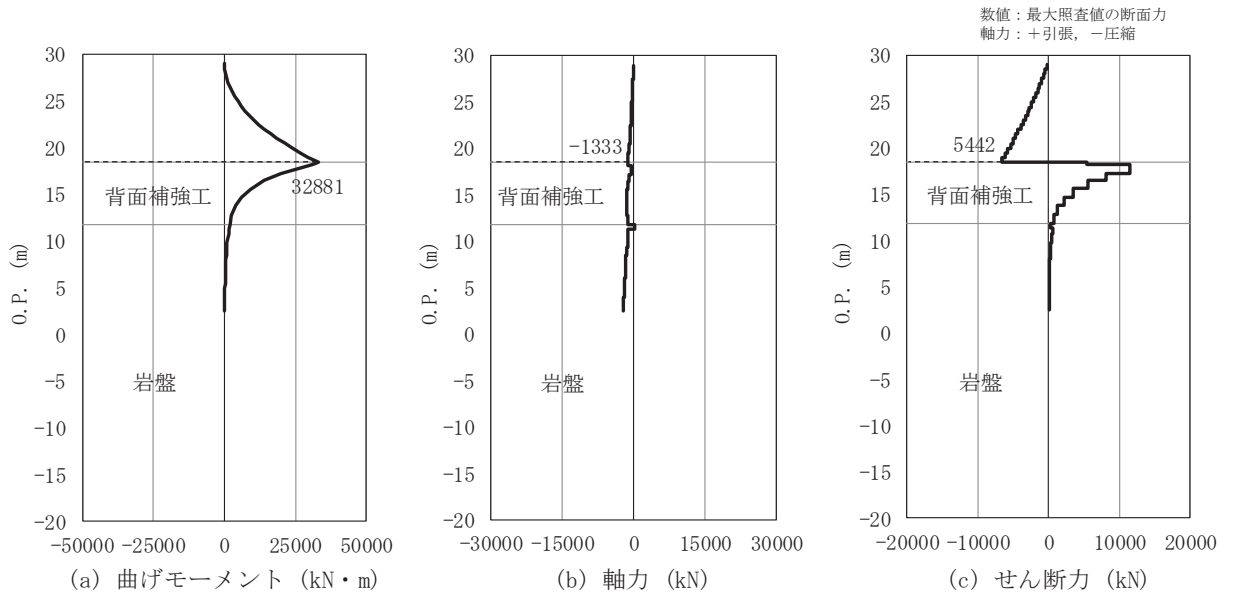


図 5-35 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力  
(断面⑤, S d - D 2 (++) , t=6.85s)  
解析ケース①：基本ケース

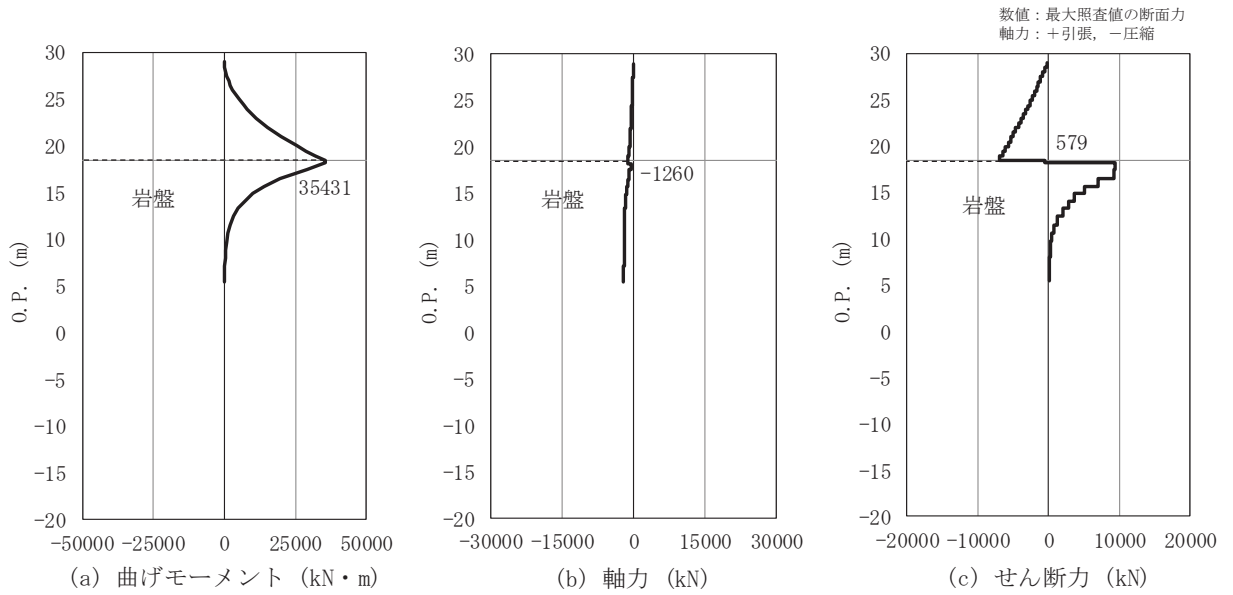


図 5-36 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力  
(断面⑥, S d - D 2 (++) , t=6.86s)  
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)



表 5-35 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値（断面①）

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	S d - D 2 (-+)	①	42529	1305	271	382	0.71

表 5-36 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値（断面②）

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	S d - D 2 (++)	①	42463	1123	270	382	0.71

表 5-37 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値（断面③）

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	S d - D 2 (-+)	②	42625	782	270	382	0.71

表 5-38 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値（断面④）

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
D	S d - D 2 (++)	③	1098	13998	85	277	0.31

表 5-39 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値（断面⑤）

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	S d - D 2 (++)	①	32881	1333	211	382	0.56

表 5-40 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値（断面⑥）

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
C	S d - D 2 (++)	③	35431	1260	227	382	0.60

(2) せん断力照査

断面計算に用いた断面諸元は表 5-34 に、鋼管杭のせん断破壊に対する照査における照査時刻での断面力図を図 5-37～図 5-42 に、せん断破壊に対する照査値を表 5-41～表 5-46 に示す。

鋼管杭に発生するせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

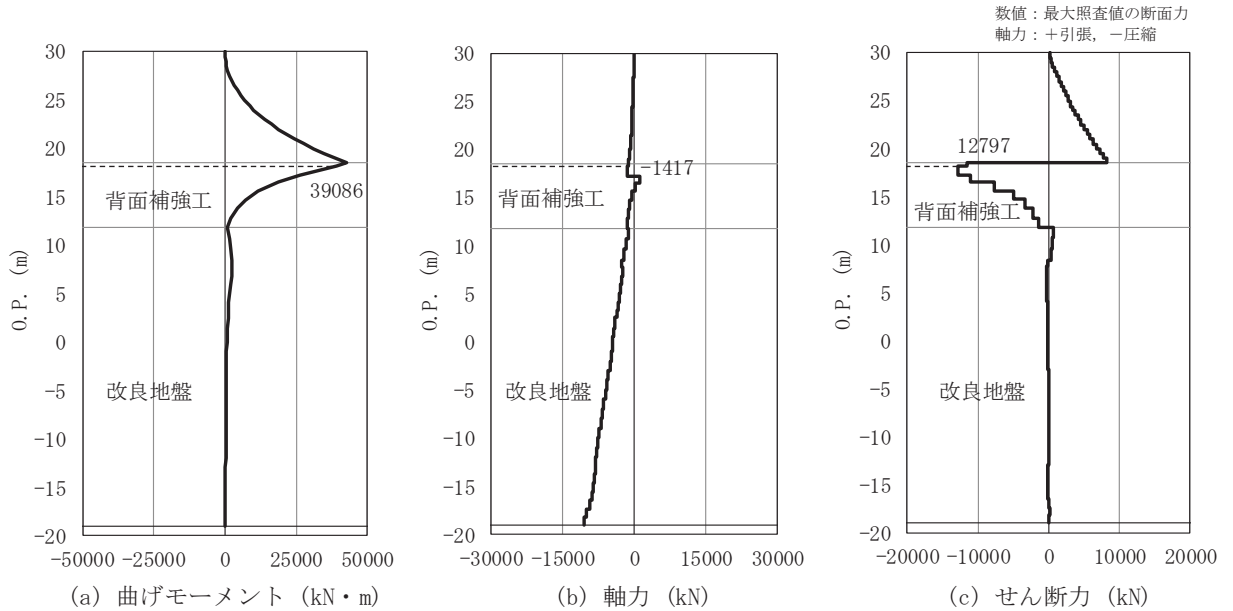


図 5-37 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力

(断面①, S d - D 2 (-+), t=17.47s)

解析ケース①：基本ケース

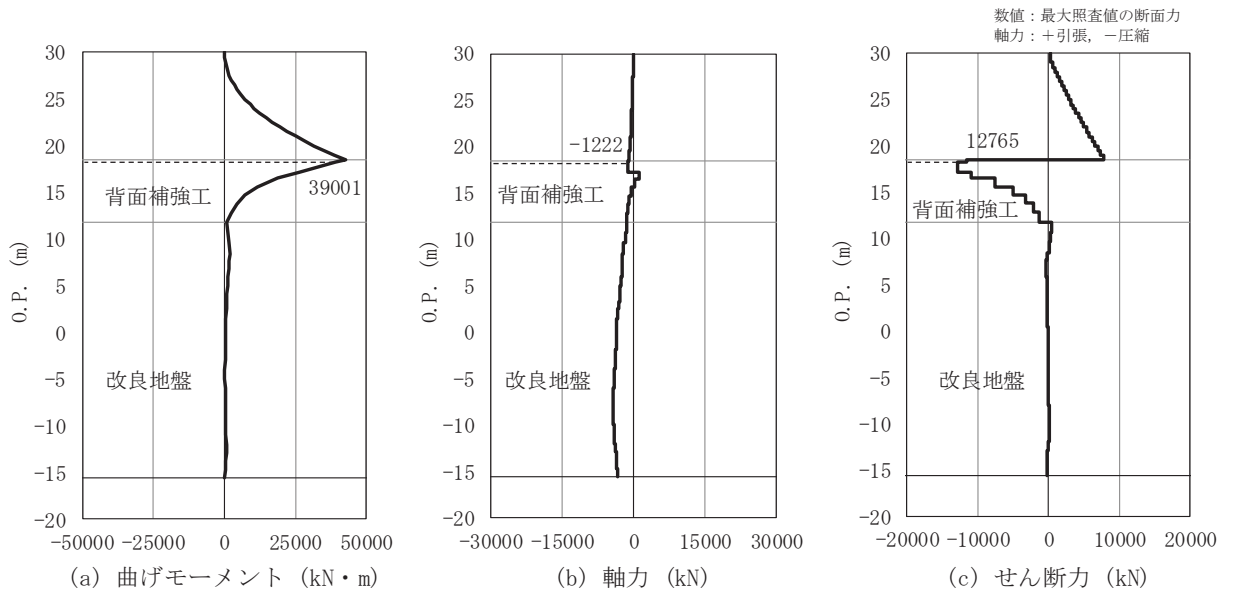


図 5-38 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力

(断面②, S d - D 2 (++) , t=6.93s)

解析ケース①：基本ケース

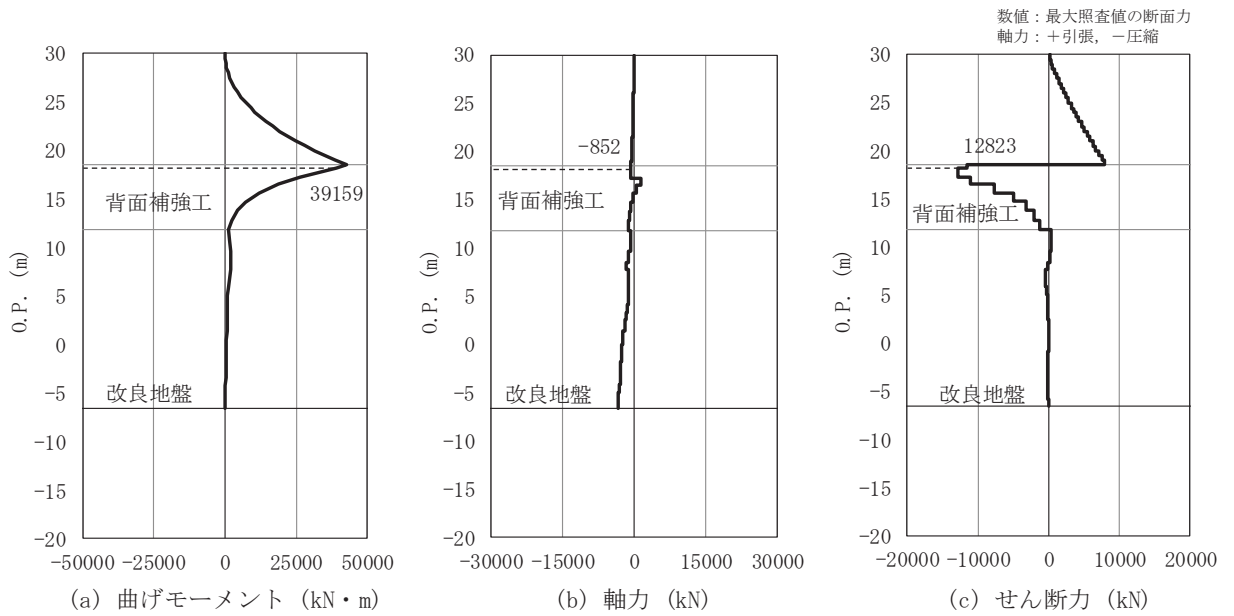


図 5-39 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力  
(断面③, S d - D 2 (-+), t=16.36s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

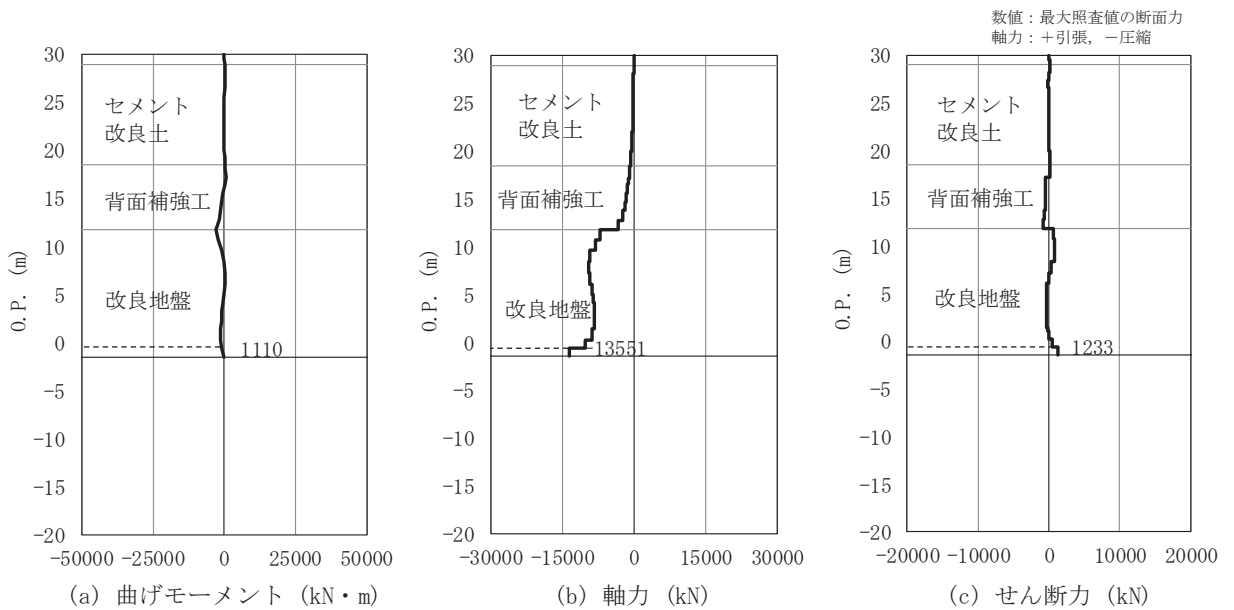


図 5-40 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力  
(断面④, S d - D 2 (++) , t=25.50s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

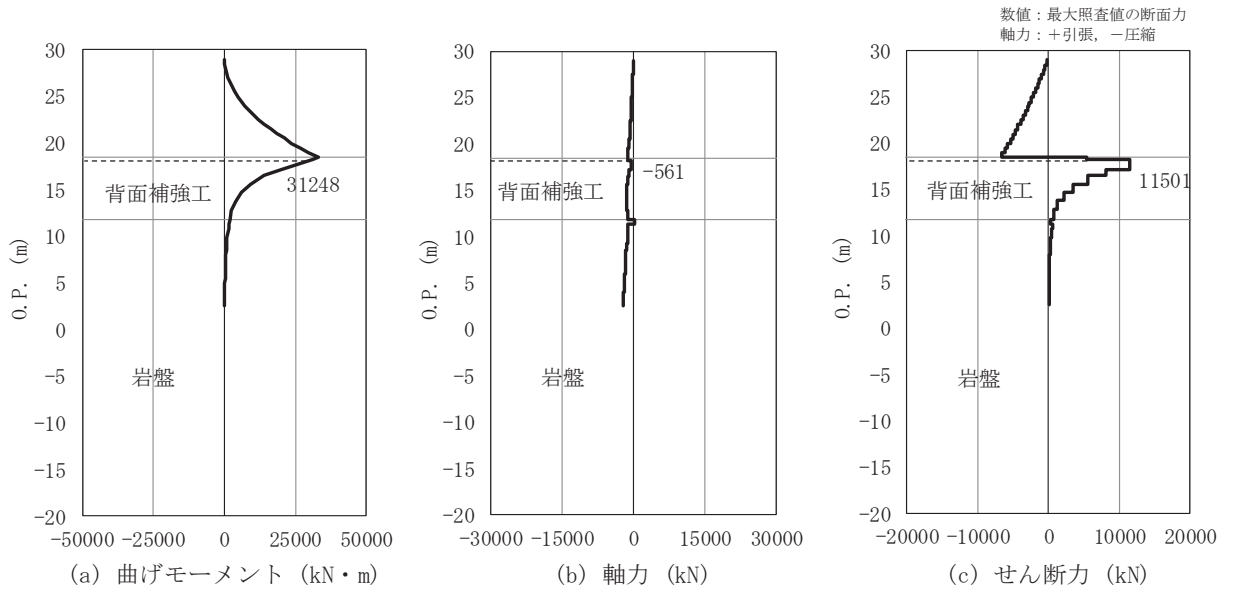


図 5-41 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力  
 (断面⑤, S d - D 2 (++) , t=6.85s)  
 解析ケース①：基本ケース

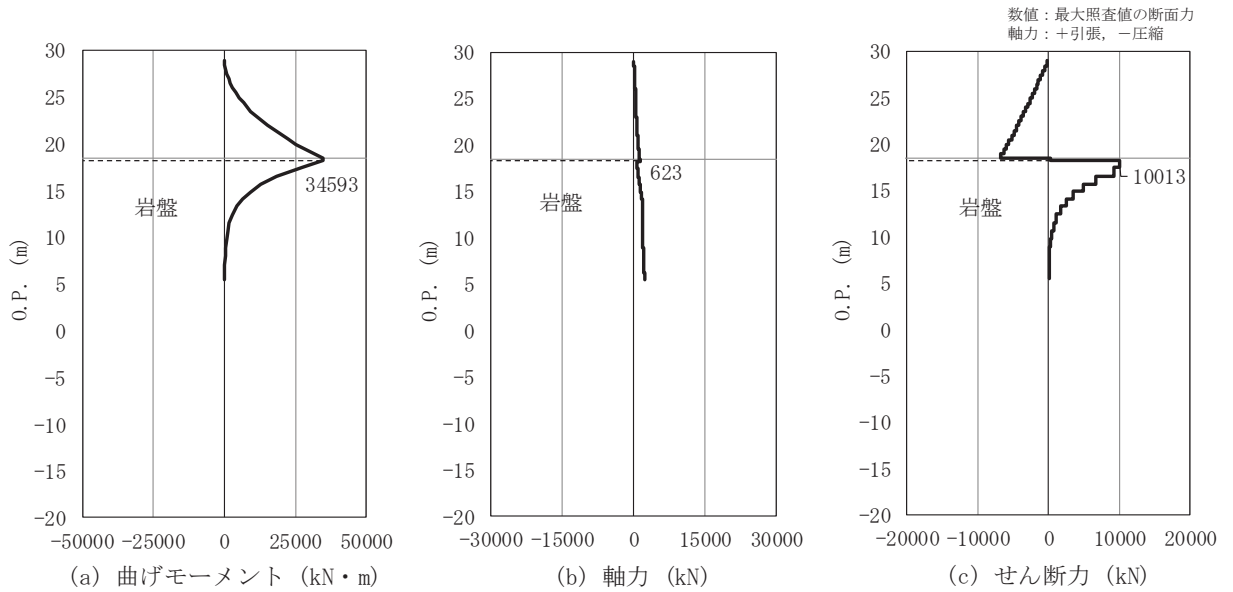


図 5-42 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力  
 (断面⑥, S d - D 2 (++) , t=6.85s)  
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

表 5-41 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面①)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
C	S d - D 2 (-+)	①	12797	98	217	0.46

表 5-42 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面②)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
C	S d - D 2 (++)	①	12765	97	217	0.45

表 5-43 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面③)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
C	S d - D 2 (-+)	②	12823	98	217	0.46

表 5-44 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面④)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
D	S d - D 2 (++)	③	1233	14	157	0.09

表 5-45 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑤)

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
C	S d - D 2 (++)	①	11501	88	217	0.41

表 5-46 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面⑥）

杭種	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
			せん断力 (kN)			
C	S d - D 2 (++)	②	10013	77	217	0.36

### 5.2.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果

鋼管杭に発生する最大水平加速度から算出される最大水平震度  $k_h$  は表 5-47 のとおりである。そのため、保守的に評価に用いる設計水平震度は 6 とし、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の高さ方向に一様に作用するものとして評価を行った。

また、各断面の鋼管杭に作用する最大動水圧については表 5-48 のとおりである。そのため、保守的に評価に用いる設計動水圧は 100 (kN/m<sup>2</sup>) とし、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の高さ方向に一様に作用するものとして評価を行った。

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の照査結果を表 5-49 に示す。この結果から、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-47 各評価断面における最大水平震度及び設計水平震度

断面	最大加速度となる標高	最大水平震度 $k_h$	設計水平震度
断面①	O. P. +29.0m	5.8	6
断面②	O. P. +29.0m	5.8	
断面③	O. P. +29.0m	5.2	
断面⑤	O. P. +29.0m	3.2	
断面⑥	O. P. +29.0m	3.8	

表 5-48 各評価断面における最大動水圧及び設計動水圧

断面	最大動水圧 (kN/m <sup>2</sup> )	設計動水圧 (kN/m <sup>2</sup> )
断面①	57.8	100
断面②	66.6	
断面③	82.2	
断面⑤	36.7	
断面⑥	54.4	

表 5-49 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主要部材の照査結果

部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製遮水壁	スキンプレート	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	273	315	0.87
	垂直リブ	SM490Y	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	64	190	0.34
	水平リブ	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	72	315	0.23
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	36	180	0.20
			合成応力度*	0.10	1.20	0.09
漂流物防護工	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	55	315	0.18
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	36	180	0.20
			合成応力度*	0.07	1.20	0.06
	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	18	382	0.05
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	12	217	0.06
			合成応力度*	0.01	1.20	0.01

注記 \* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。



### 5.2.3 背面補強工の評価結果

背面補強工のすべり安全率による評価結果を表 5-50～表 5-54 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 5-43～図 5-47 に示す。これらの結果から、背面補強工のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-50 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( - + )	①	17.47	11.6

表 5-51 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面②)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( - + )	①	16.36	11.8

表 5-52 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面③)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( - + )	③	13.58	11.6

表 5-53 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面④)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( - + )	①	13.54	13.9

表 5-54 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面⑤)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( + - )	①	29.97	13.8

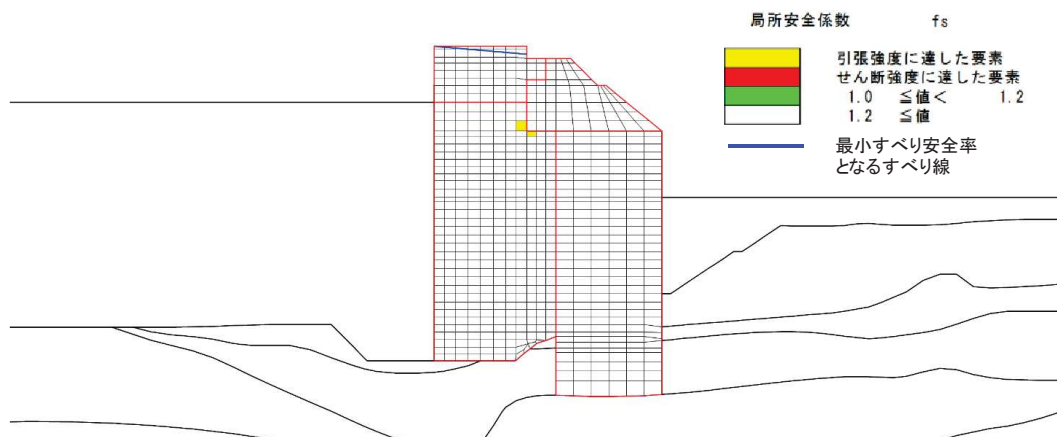


図 5-43 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布 (断面①, S d - D 2 ( - + ),  $t=17.47s$ )

解析ケース①: 基本ケース



図 5-44 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面②, S d - D 2 (-+), t=16.36s)

解析ケース①：基本ケース

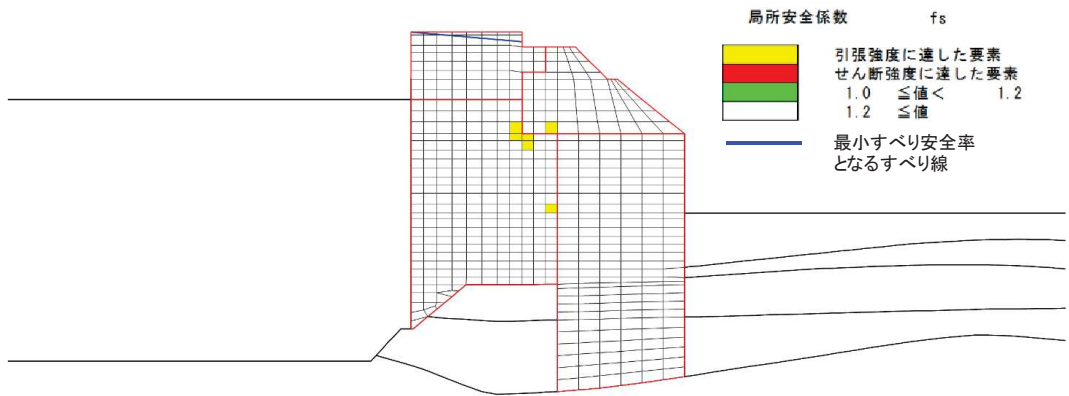


図 5-45 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面③, S d - D 2 (-+), t=13.58s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

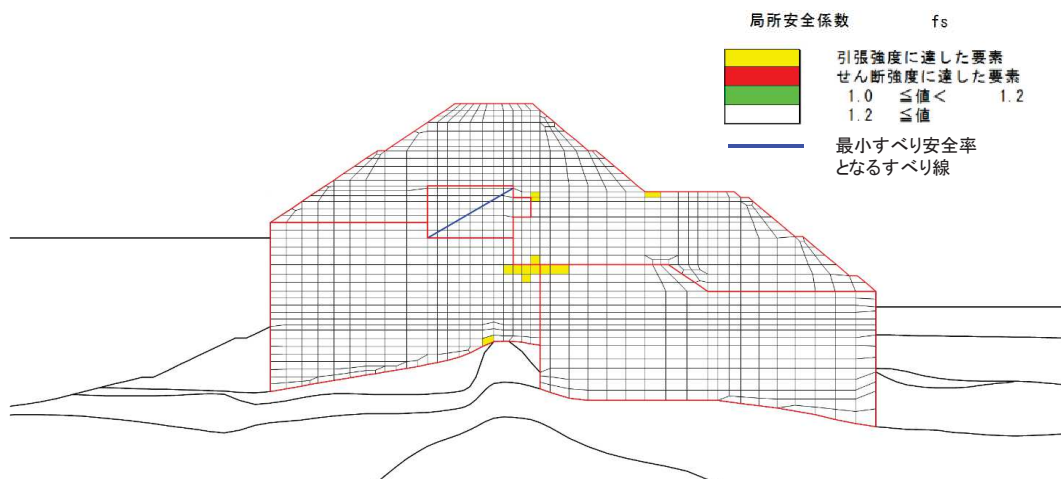


図 5-46 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
 (断面④, S d - D 2 (-+), t=13.54s)  
 解析ケース①: 基本ケース

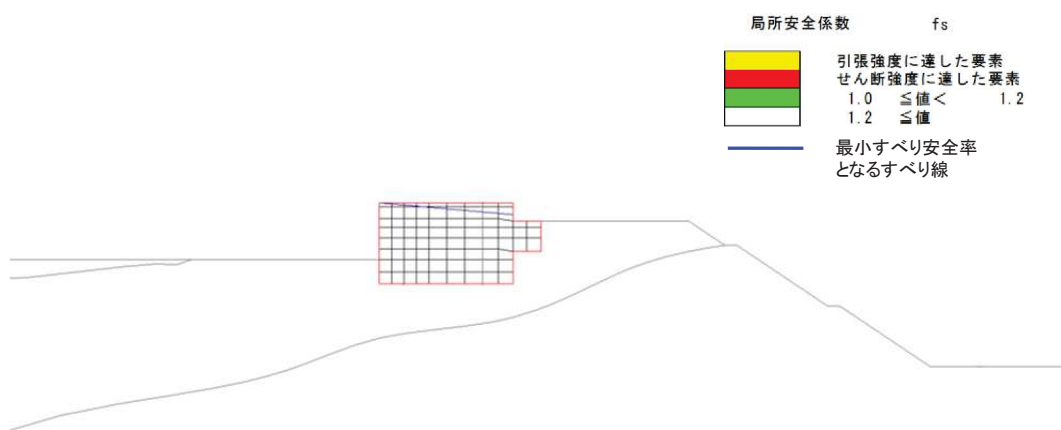


図 5-47 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
 (断面⑤, S d - D 2 (+-), t=29.97s)  
 解析ケース①: 基本ケース

#### 5.2.4 置換コンクリートの評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 5-55～表 5-58 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 5-48～図 5-51 に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-55 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (++)	①	12.92	12.7

表 5-56 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面②)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (+-)	①	25.30	12.2

表 5-57 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面③)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (-+)	②	13.55	12.5

表 5-58 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面④)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (+-)	①	25.46	12.7

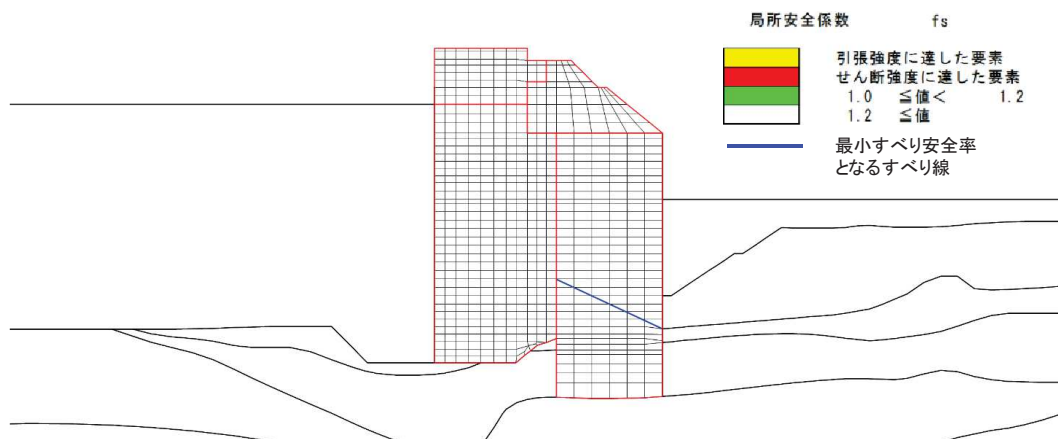


図 5-48 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面①, S d - D 2 (++) , t=12.92s)

解析ケース①：基本ケース

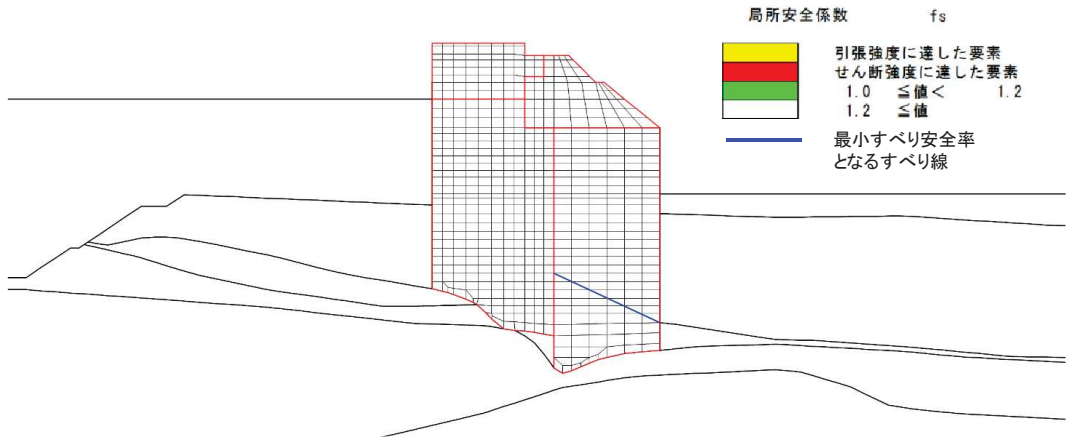


図 5-49 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面②, S d - D 2 ( + - ), t=25.30s)

解析ケース①：基本ケース

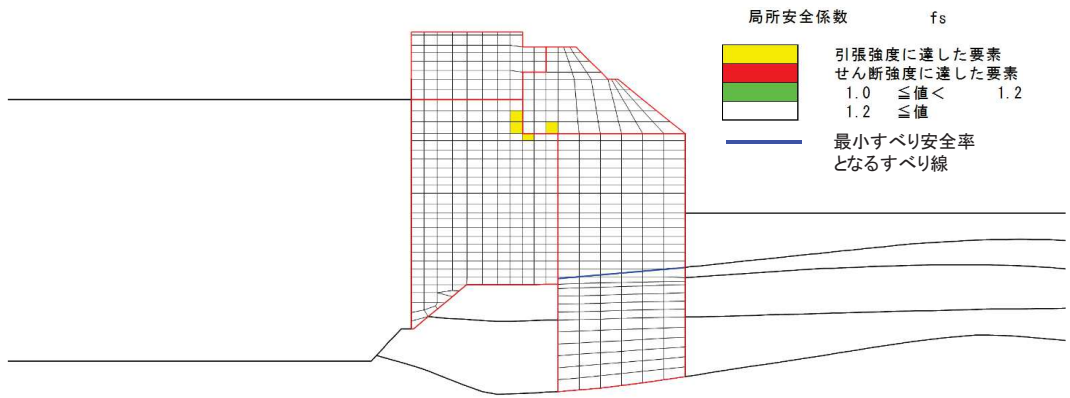


図 5-50 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面③, S d - D 2 ( - + ), t=13.55s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

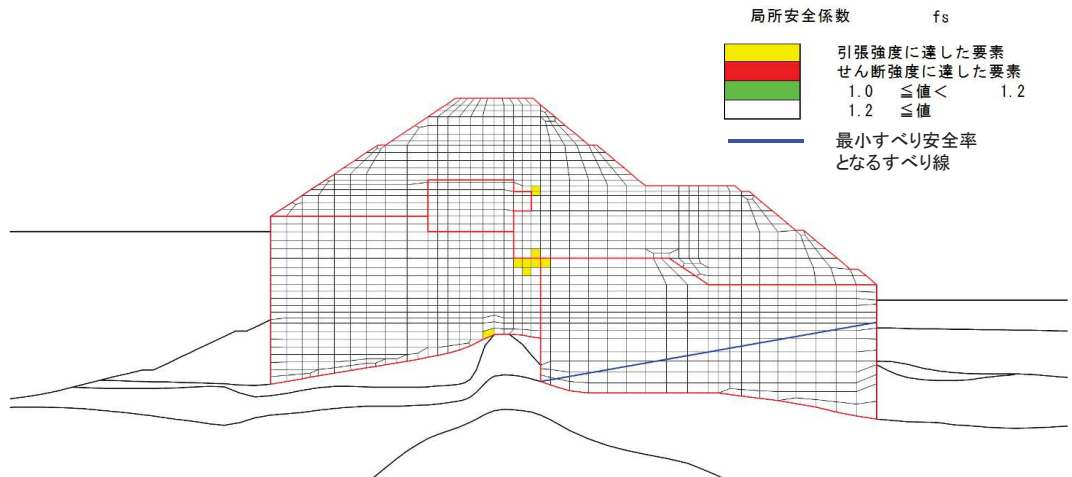


図 5-51 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布 (断面④)  
(解析ケース①, S d - D 2 (+ -), t=25.46s)  
解析ケース①: 基本ケース

### 5.2.5 改良地盤の評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 5-59～表 5-62 に、平均強度において最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 5-52～図 5-55 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース① (基本ケース) における平均値 - 1  $\sigma$  強度のすべり安全率を表 5-59～表 5-62 に併せて示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-59 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (+ -)	①	25.50	2.5
S d - D 2 (+ -)	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	25.50	2.5

表 5-60 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面②)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (+ -)	①	25.49	2.9
S d - D 2 (+ -)	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	25.49	2.9

表 5-61 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面③)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (- +)	②	12.92	2.7
S d - D 2 (+ -)	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	25.49	2.8

表 5-62 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面④)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (-+)	①	13.55	4.1
S d - D 2 (-+)	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	13.55	4.1

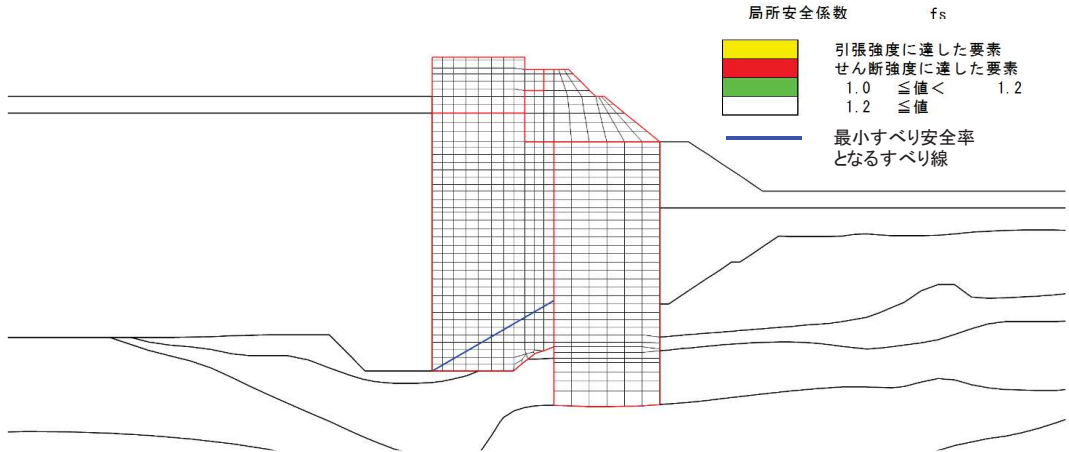


図 5-52 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面①, S d - D 2 (+-), t=25.50s)

解析ケース①: 基本ケース

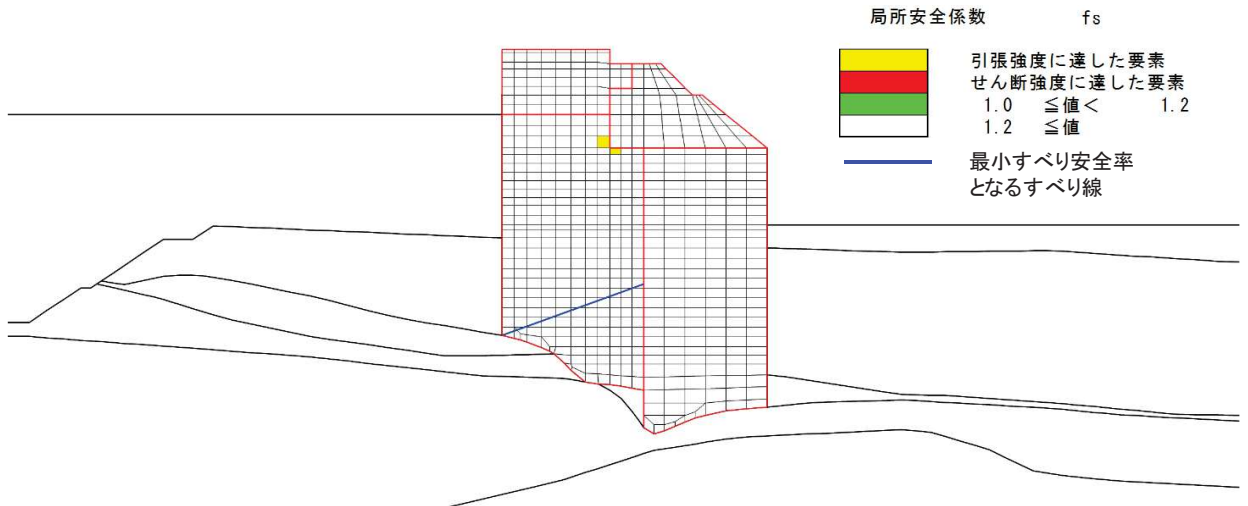


図 5-53 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面②, S d - D 2 (+-), t=25.49s)

解析ケース①: 基本ケース

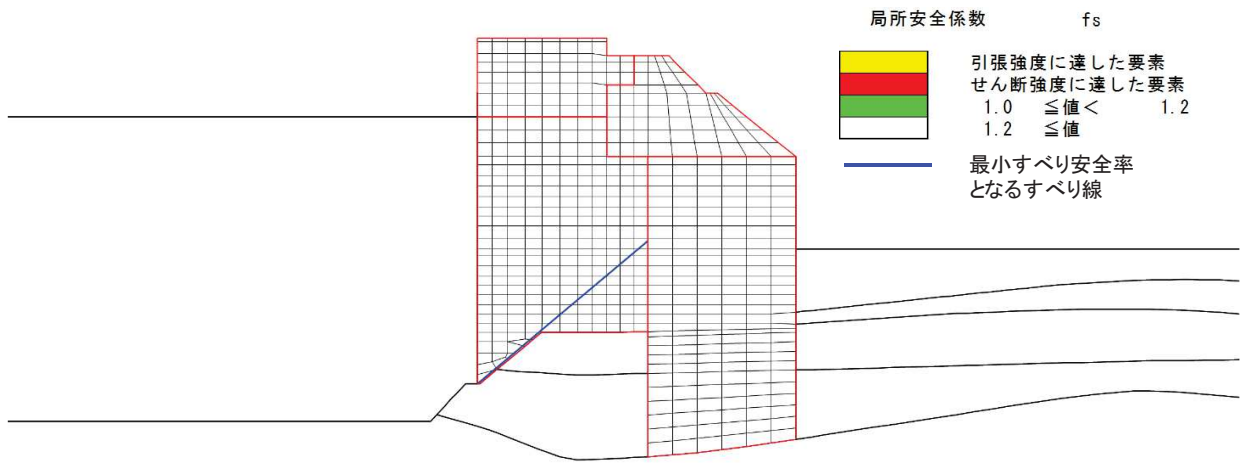


図 5-54 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面③, S d - D 2 ( - + ),  $t=12.92s$ )

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

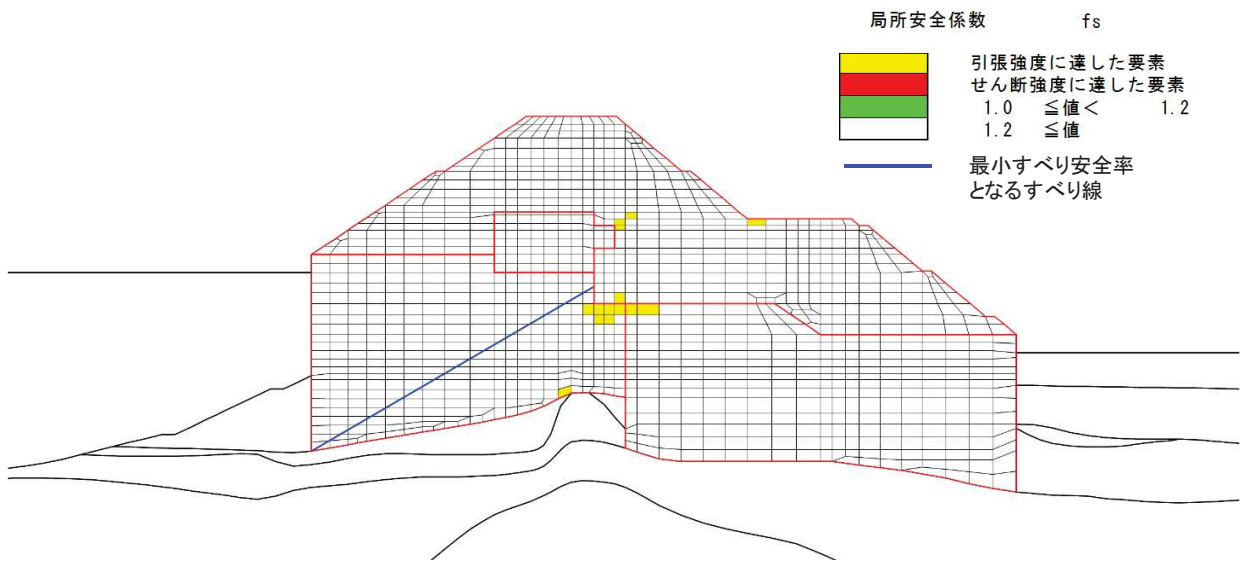


図 5-55 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面④, S d - D 2 ( - + ),  $t=13.55s$ )

解析ケース①: 基本ケース



### 5.2.6 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 5-63～表 5-66 に、平均強度において最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 5-56～図 5-59 に示す。なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値－1 $\sigma$ 強度のすべり安全率を表 5-63～表 5-66 に併せて示す。

これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-63 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( - + )	③	6.97	32.3
S d - D 2 ( + - )	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	17.13	36.5

表 5-64 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面②）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( + + )	③	25.26	14.8
S d - D 2 ( - - )	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	13.44	17.6

表 5-65 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面③）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( - + )	③	13.46	16.2
S d - D 2 ( - + )	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	25.52	21.4

表 5-66 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面④）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( - - )	①	25.49	6.9
S d - D 2 ( - - )	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	25.49	6.7

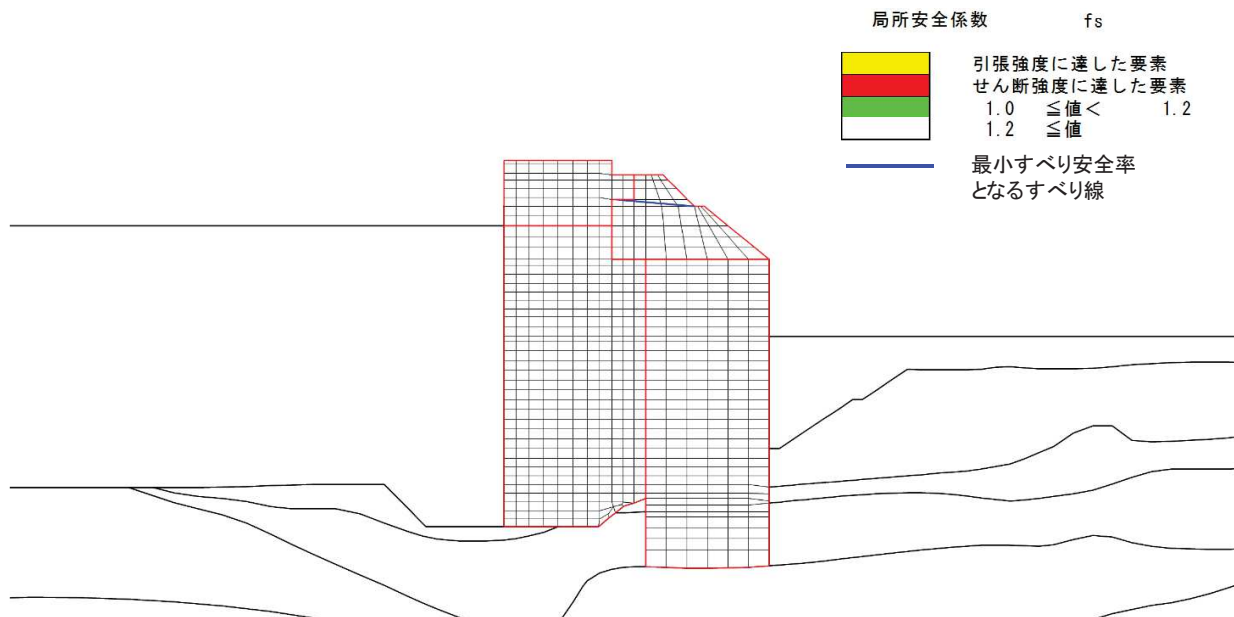


図 5-56 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
 (断面①, S d - D 2 (-+), t=6.97s)  
 解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

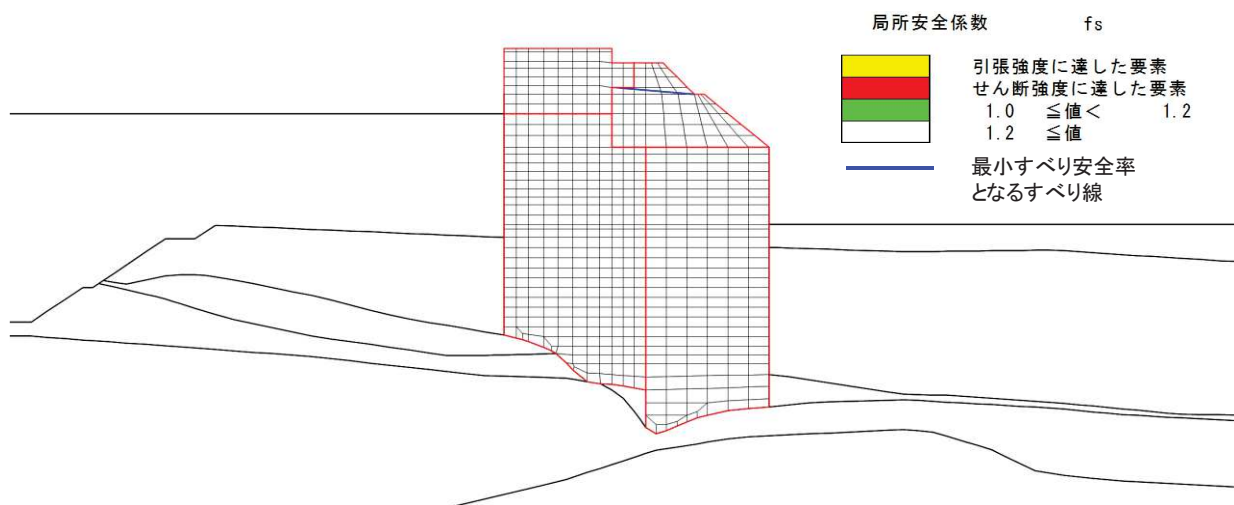


図 5-57 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
 (断面②, S d - D 2 (++) , t=25.26s)  
 解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

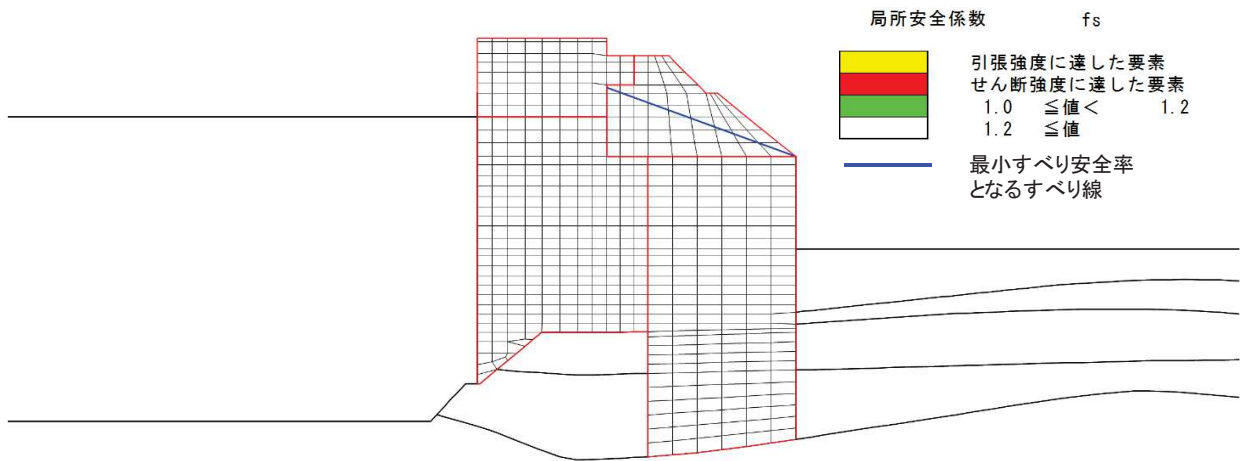


図 5-58 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面③, S d - D 2 ( - + ),  $t=13.46s$ )

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

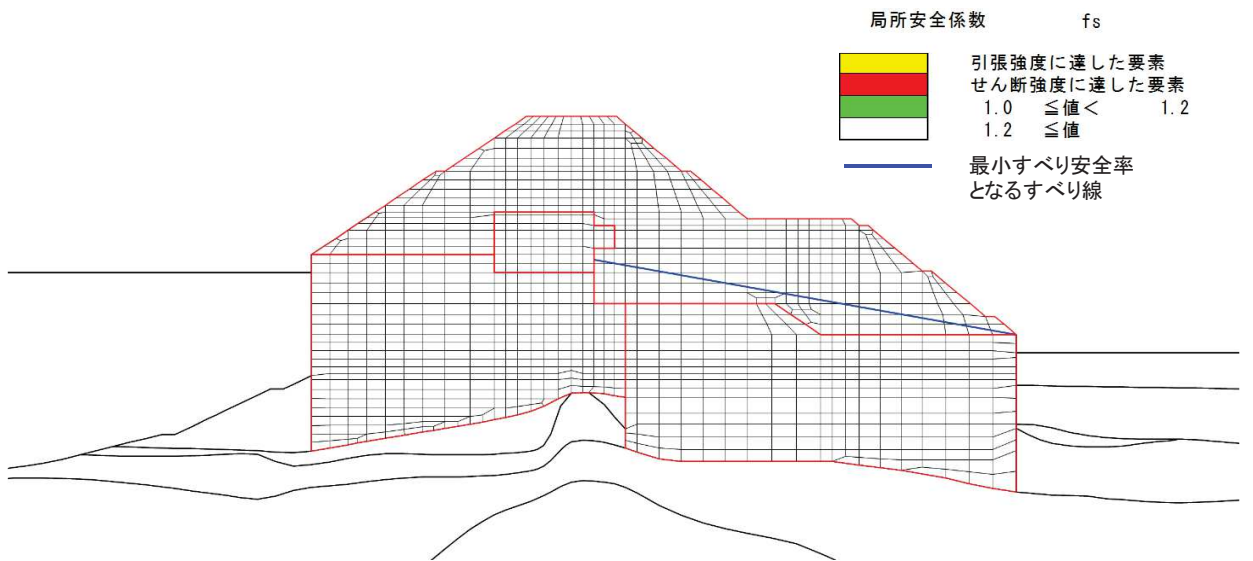


図 5-59 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面④, S d - D 2 ( - - ),  $t=25.49s$ )

解析ケース①：基本ケース

5.2.7 止水ジョイント部材の相対変位量に対する評価結果

重畳時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査結果を表 5-67 及び表 5-68 に示す。また、止水ジョイント部材の相対変位量評価区間を図 5-60 に示す。

重畳時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査を行った結果、相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-67 (1) ゴムジョイント設置箇所の重畳時相対変位量

(A 区間：一般部のうち突出長変化部，鋼製遮水壁天端部：O.P. +29.0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 ( -- )	③	5.7	78.0	83.7	350
汀線方向	— *	— *	12.3*	12.3*	24.6	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-67 (2) ゴムジョイント設置箇所の重畳時相対変位量

(B 区間：一般部のうち背面補強工間，鋼製遮水壁天端部：O.P. +29.0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 ( + - )	③	31.5	130.6	162.1	350
汀線方向	— *	— *	22.2*	22.2*	44.4	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-67 (3) ゴムジョイント設置箇所の重畳時相対変位量

(C 区間：一般部と岩盤部の境界，鋼製遮水壁天端部：O.P. +29.0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 ( + - )	③	31.5	130.6	162.1	350
汀線方向	— *	— *	14.1*	14.1*	28.2	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-67 (4) ゴムジョイント設置箇所の重畳時相対変位量

(D 区間：岩盤部のうち背面補強工間，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 (++)	③	0. 3	51. 0	51. 3	350
汀線方向	- *	- *	2. 0*	2. 0*	4. 0	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-67 (5) ゴムジョイント設置箇所の重畳時相対変位量

(E 区間：岩盤部のうち背面補強工端部，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 (++)	③	0. 1	60. 4	60. 5	350
汀線方向	- *	- *	6. 7*	6. 7*	13. 4	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-67 (6) ゴムジョイント設置箇所の重畳時相対変位量

(F 区間：岩盤部のうち突出長変化部，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 (++)	③	0. 1	60. 4	60. 5	350
汀線方向	- *	- *	52. 6*	52. 6*	105. 2	150

注記 \*：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-68 (1) ウレタンシリコーン目地設置箇所の重畳時相対変位量  
(H 区間：一般部のうち背面補強工内，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 (- +)	①×③*1	1. 2	16. 4	17. 6	30
汀線方向	- *2	- *2	1. 6*2	1. 6*2	3. 2	6

注記 \*1：解析ケース①と解析ケース③の時刻歴相対変位を示す。

\*2：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-68 (2) ウレタンシリコーン目地設置箇所の重畳時相対変位量  
(I 区間：岩盤部のうち突出杭長同一部，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 (+ +)	①×③*1	0. 1	4. 6	4. 7	30
汀線方向	- *2	- *2	1. 2*2	1. 2*2	2. 4	6

注記 \*1：解析ケース①と解析ケース③の時刻歴相対変位を示す。

\*2：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 5-68 (3) ウレタンシリコーン目地設置箇所の重畳時相対変位量  
(J 区間：岩盤部のうち背面補強工内，鋼製遮水壁天端部：O. P. +29. 0m)

方向	地震動	解析 ケース	地震時 最終変位 (a) (mm)	重畳時 変位増分 (b) (mm)	合計 (a+b) (mm)	許容限界 (mm)
汀線直角方向	S d - D 2 (+ +)	①×③*1	0. 1	2. 1	2. 2	30
汀線方向	- *2	- *2	1. 0*2	1. 0*2	2. 0	6

注記 \*1：解析ケース①と解析ケース③の時刻歴相対変位を示す。

\*2：汀線方向の地震時最終変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。



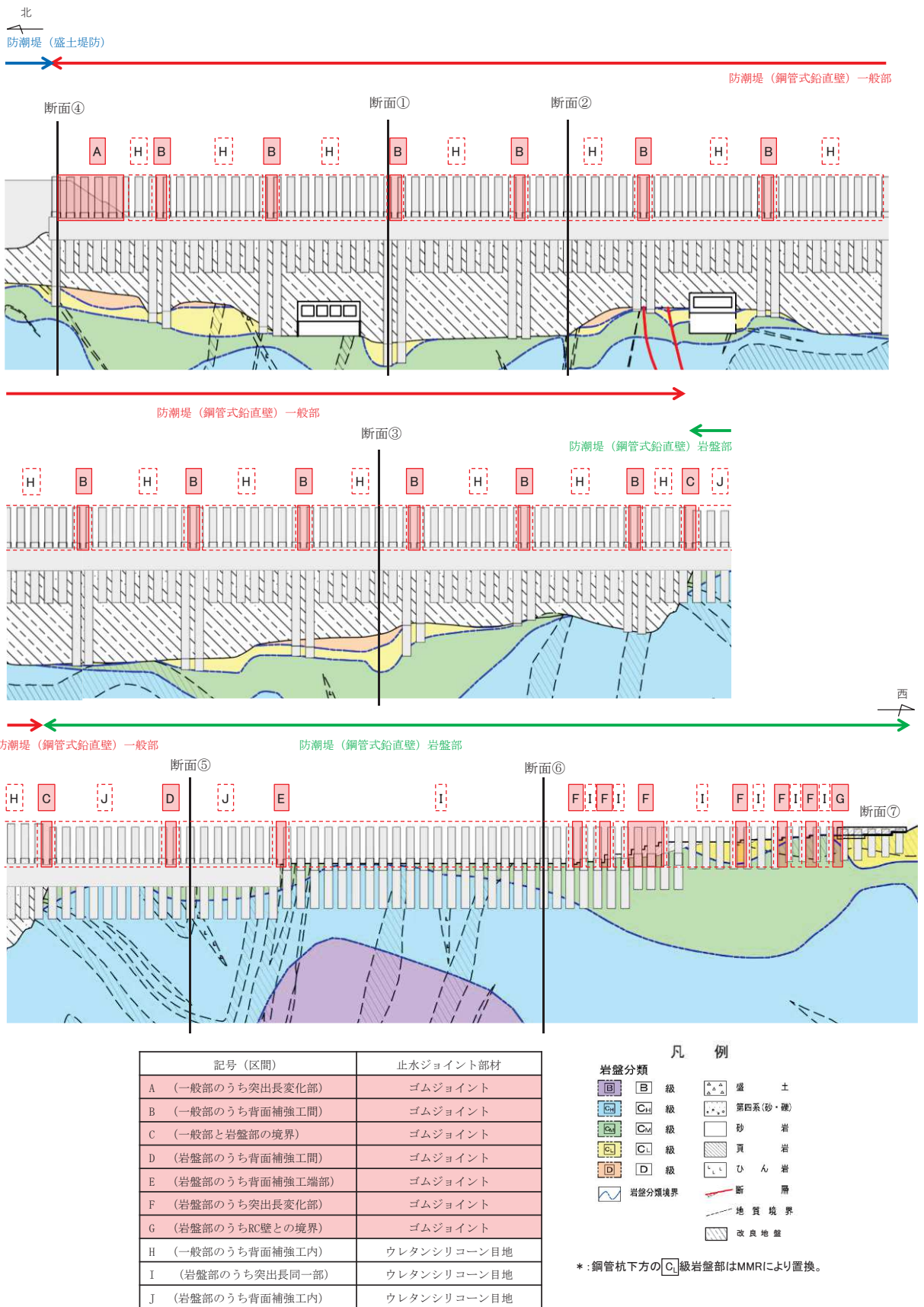


図 5-60 止水ジョイント部材の相対変位量評価区間

### 5.2.8 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照査結果を表 5-69～表 5-74 に示す。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

以上のことから、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の基礎地盤は、津波時及び重畳時の荷重に対して、支持性能を有する。

表 5-69(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面①，鋼管杭，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (-+)	③	2.9	11.4	0.26

表 5-69(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面①，背面補強工，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (-+)	①	1.1	4.4	0.25

表 5-69(3) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面①，置換コンクリート，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (--)	①	2.1	11.4	0.19

表 5-70(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面②，鋼管杭，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (++)	③	1.1	11.4	0.10

表 5-70(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面②，背面補強工，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (--)	①	1.1	4.4	0.25

表 5-70(3) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面②，置換コンクリート，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (++)	③	1.6	11.4	0.15



表 5-71(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面③，鋼管杭，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (- +)	③	2.3	13.7	0.17

表 5-71(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面③，背面補強工，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (- -)	①	1.1	4.4	0.25

表 5-71(3) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面③，置換コンクリート，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (+ -)	①	2.0	13.7	0.15

表 5-72(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面④，鋼管杭，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (+ +)	③	2.9	11.4	0.26

表 5-72(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面④，背面補強工，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (- -)	①	1.2	4.4	0.28

表 5-72(3) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面④，置換コンクリート，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (+ -)	①	2.2	11.4	0.20

表 5-73(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面⑤，鋼管杭，重畳時）

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

表 5-73(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（断面⑤，背面補強工，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 ( +- )	①	0.8	13.7	0.06

表 5-74 基礎地盤の支持性能照査結果（断面⑥，鋼管杭，重畳時）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 ( ++ )	③	0.5	13.7	0.04

VI-3-別添 3-2-1-2 防潮堤（盛土堤防）の強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	7
3.	強度評価方法	8
3.1	記号の定義	8
3.2	評価対象断面及び部位	9
3.2.1	評価対象断面	9
3.2.2	評価対象部位	11
3.3	荷重及び荷重の組合せ	12
3.3.1	荷重	12
3.3.2	荷重の組合せ	14
3.4	許容限界	15
3.4.1	セメント改良土	15
3.4.2	置換コンクリート	15
3.4.3	改良地盤	15
3.4.4	基礎地盤	16
3.5	評価方法	17
3.5.1	津波時	17
3.5.2	重畳時	22
4.	評価条件	29
4.1	津波時	29
4.2	重畳時	30
5.	評価結果	31
5.1	津波時	31
5.1.1	セメント改良土の評価結果	31
5.1.2	置換コンクリートの評価結果	32
5.1.3	改良地盤の評価結果	33
5.2	重畳時	34
5.2.1	セメント改良土の評価結果	34
5.2.2	置換コンクリートの評価結果	35
5.2.3	改良地盤の評価結果	36
5.2.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	37

## 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、防潮堤（盛土堤防）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、施設・地盤の構造健全性を保持すること、十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び有意な漏えいを生じさせないことを確認するものである。

なお、防潮堤（盛土堤防）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 1 m 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

防潮堤（盛土堤防）の範囲を図 2-1 に示す。

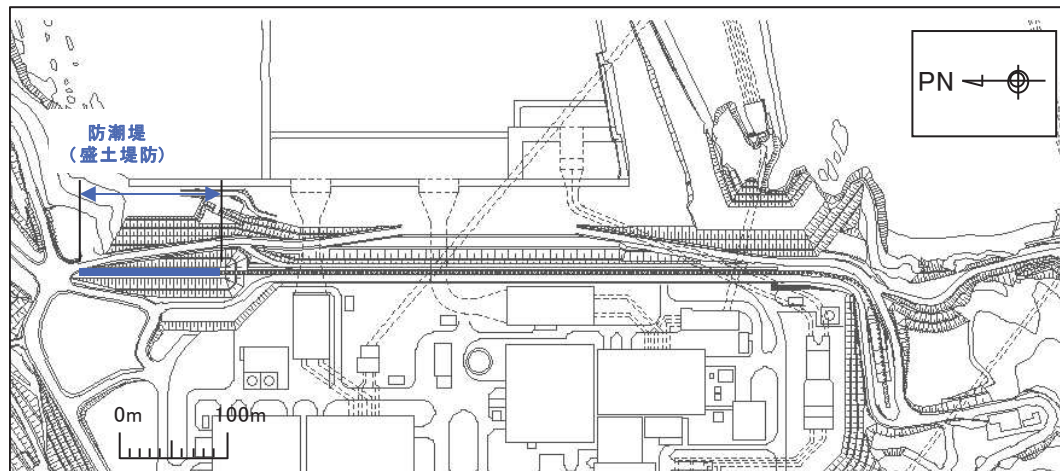


図 2-1 防潮堤（盛土堤防）の範囲

## 2.2 構造概要

防潮堤（盛土堤防）は，入力津波による浸水高さ（防潮堤前面：O.P.+24.4m）に対して余裕を考慮した天端高さ（O.P.+29.0m）とする。

防潮堤（盛土堤防）は，改良地盤に設置されたセメント改良土による堤体と，基礎地盤のすべり安定性を確保する観点から設置する置換コンクリートで構成される。

防潮堤（盛土堤防）の構造図を図 2-2 に示す。

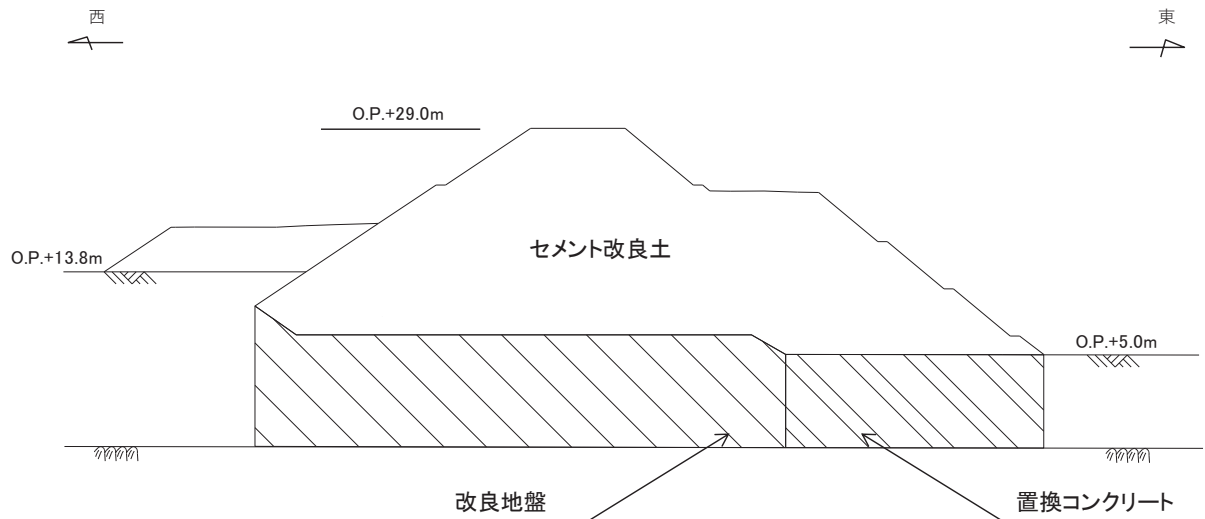


図 2-2 防潮堤（盛土堤防）の構造図

### 2.3 評価方針

防潮堤（盛土堤防）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防潮堤（盛土堤防）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」において設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では、「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. 評価結果」より、防潮堤（盛土堤防）の評価対象部位のすべり安全率が許容限界を満足することを確認する。

防潮堤（盛土堤防）の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作用方や伝達過程を考慮し、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。

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は、設計基準対象施設として表 2-1 の防潮堤（盛土堤防）の評価項目に示すとおり、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤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により、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

防潮堤（盛土堤防）の強度評価の検討フローを図 2-3 に示す。

なお、重畳時の評価における入力地震動は、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 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。



表 2-1 防潮堤（盛土堤防）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	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	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*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	セメント改良土	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		置換コンクリート	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記 \* : 妥当な安全余裕を考慮する。

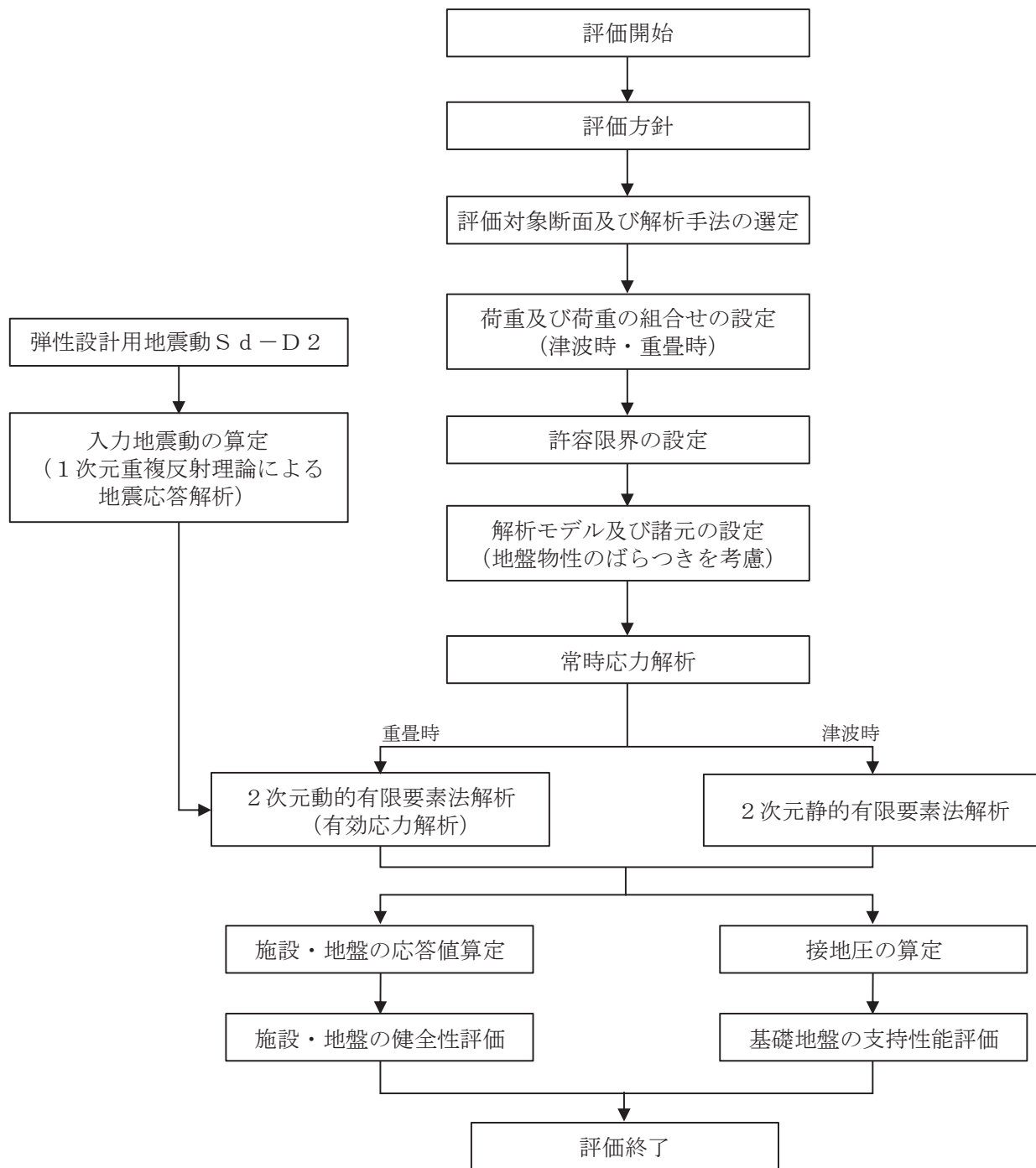


図 2-3 防潮堤（盛土堤防）の強度評価の検討フロー

## 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)
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド (原子力規制委員会, 平成 25 年 6 月制定) (以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。)
- ・ 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・ 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)
- ・ 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)
- ・ Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

### 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	kN	固定荷重
P	kN/m <sup>2</sup>	積載荷重
P <sub>s</sub>	kN/m <sup>2</sup>	積雪荷重
P <sub>k</sub>	kN/m <sup>2</sup>	風荷重
P <sub>t</sub>	kN/m <sup>2</sup>	遡上津波荷重
P <sub>c</sub>	kN	衝突荷重
K <sub>Sd</sub>	—	余震荷重
γ <sub>w</sub>	kN/m <sup>3</sup>	海水の単位体積重量
ρ	kg/m <sup>3</sup>	海水の密度

### 3.2 評価対象断面及び部位

#### 3.2.1 評価対象断面

評価対象断面は、防潮堤（盛土堤防）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて、図 3-1 に示す断面位置とする。防潮堤（盛土堤防）の縦断面図を図 3-2 に、評価対象断面図を図 3-3 に示す。

断面①：セメント改良土が最も厚くなる箇所で、C<sub>40</sub>級岩盤上面が最も深く、盛土及び旧表土が厚く堆積する箇所（設置変更許可段階において、基礎地盤の安定性評価及び構造成立性評価で示した断面）。

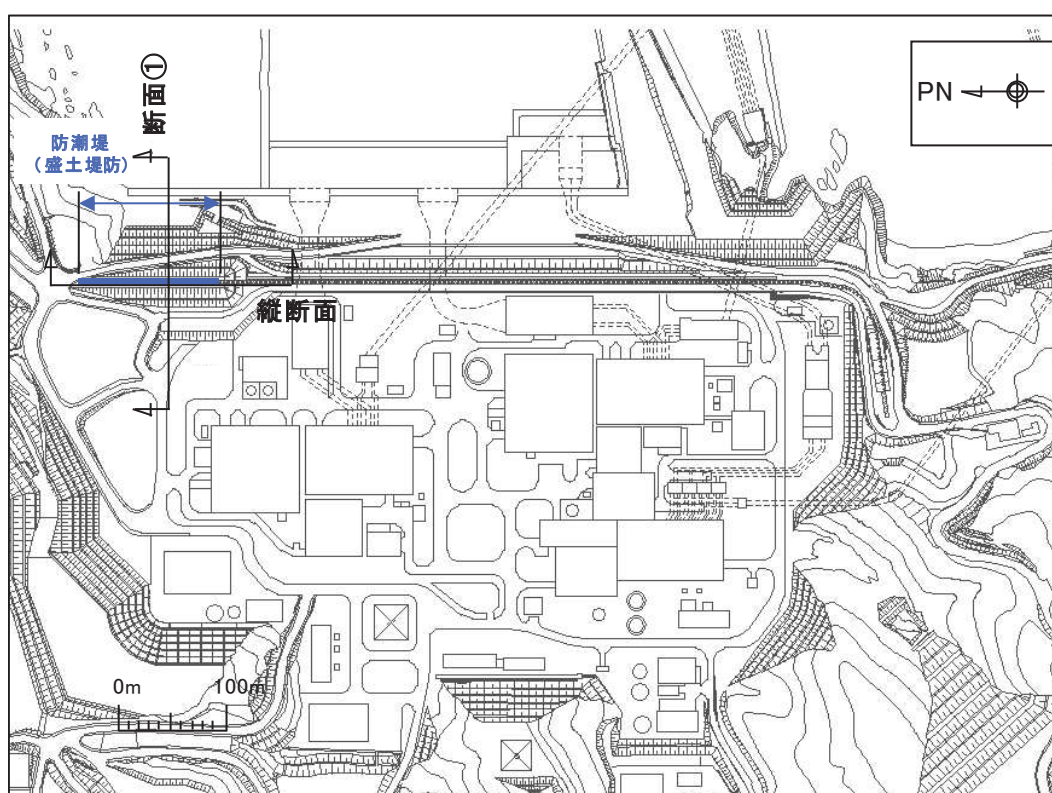


図 3-1 防潮堤（盛土堤防）の評価対象断面位置図

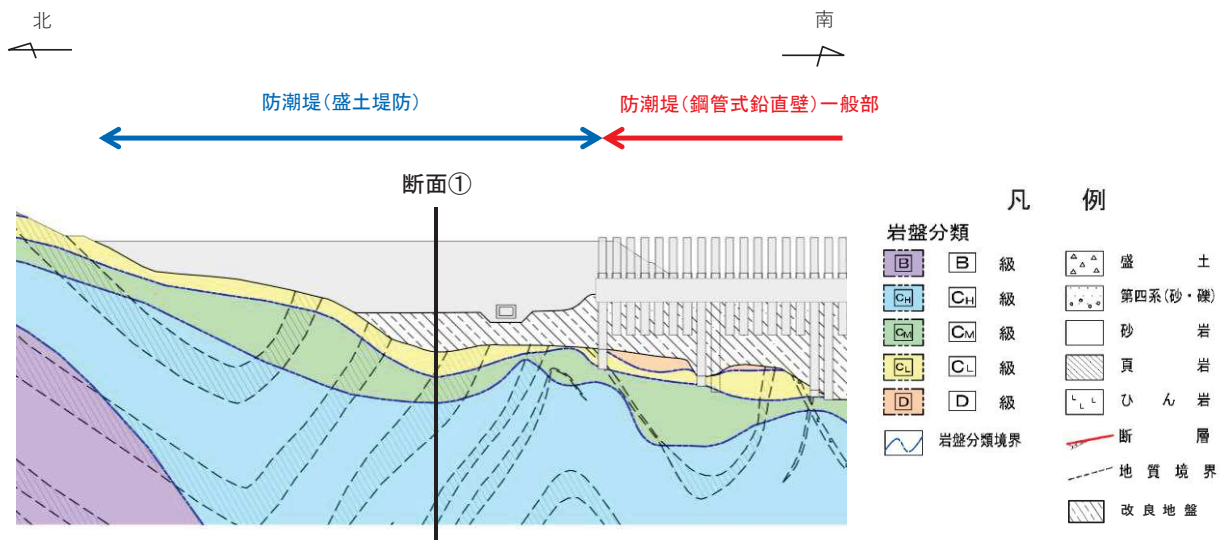


図 3-2 防潮堤（盛土堤防）の縦断面図

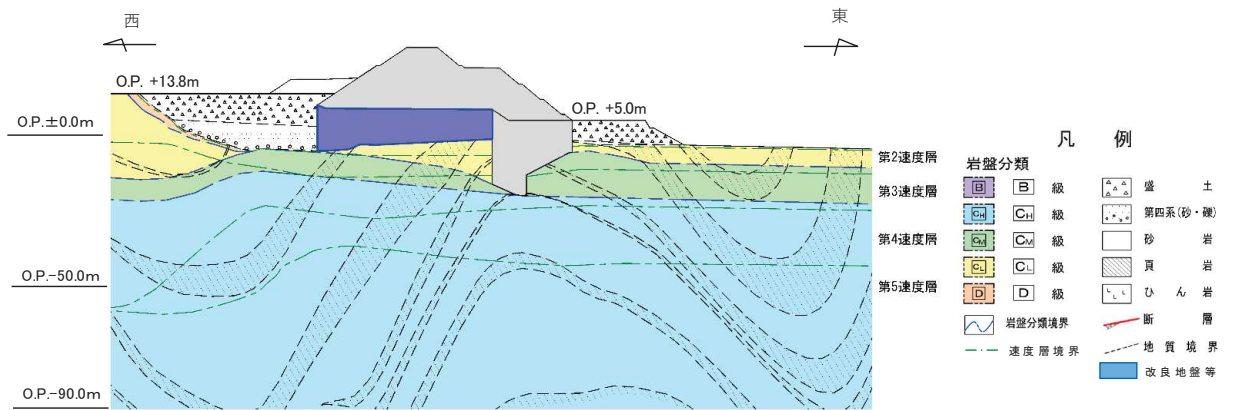


図 3-3 評価対象断面図（断面①）

### 3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は、防潮堤（盛土堤防）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえて設定する。

#### (1) 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性に係る評価対象部位は、セメント改良土、置換コンクリート及び改良地盤とする。

#### (2) 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、セメント改良土及び置換コンクリートを支持する基礎地盤とする。

### 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) 積載荷重 (P)

積載荷重については、積雪荷重を含めて地表面に  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

(3) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である  $43\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重 ( $P_k$ )

海側は津波により水位が上昇しているため、海側から山側への風荷重は考慮しない。また、逆方向である山側から海側に風荷重が作用する場合を想定するが、この方向は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、風荷重は考慮しない。

(5) 遡上津波荷重 ( $P_t$ )

遡上津波荷重については、防潮堤前面における入力津波水位標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の  $1/2$  倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

(6) 衝突荷重 ( $P_c$ )

衝突荷重については、 $2.15\text{t}$  の車両を対象に「FEMA (2012) \*」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。

衝突荷重を表 3-2 に示す。

注記 \* : 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	2000

(7) 余震荷重 ( $K_{sd}$ )

余震荷重として、弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  による地震力及び動水圧を考慮する。

### 3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の作用図を図 3-4～図 3-5 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t + P_c$
重畳時	$G + P + P_t + K_{Sd}$

G : 固定荷重

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

$P_t$  : 遡上津波荷重

$P_c$  : 衝突荷重

$K_{Sd}$  : 余震荷重

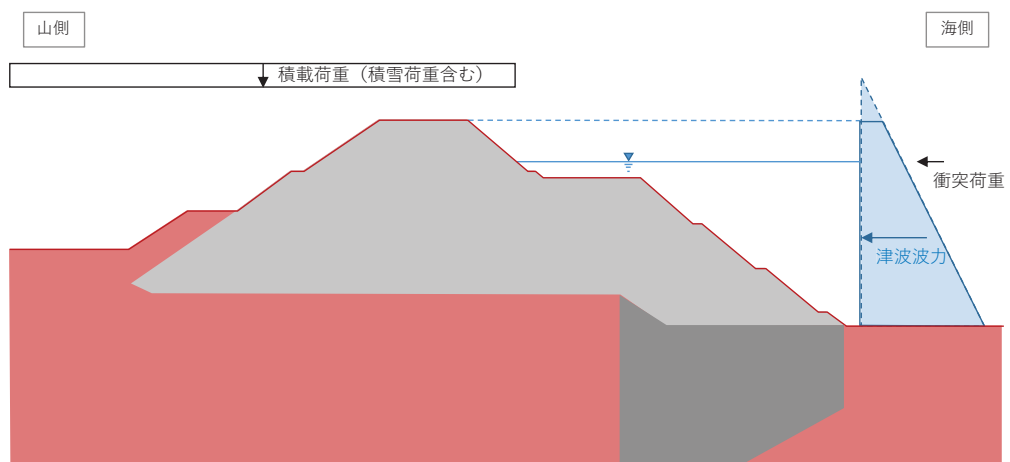


図 3-4 荷重作用図 (津波時)

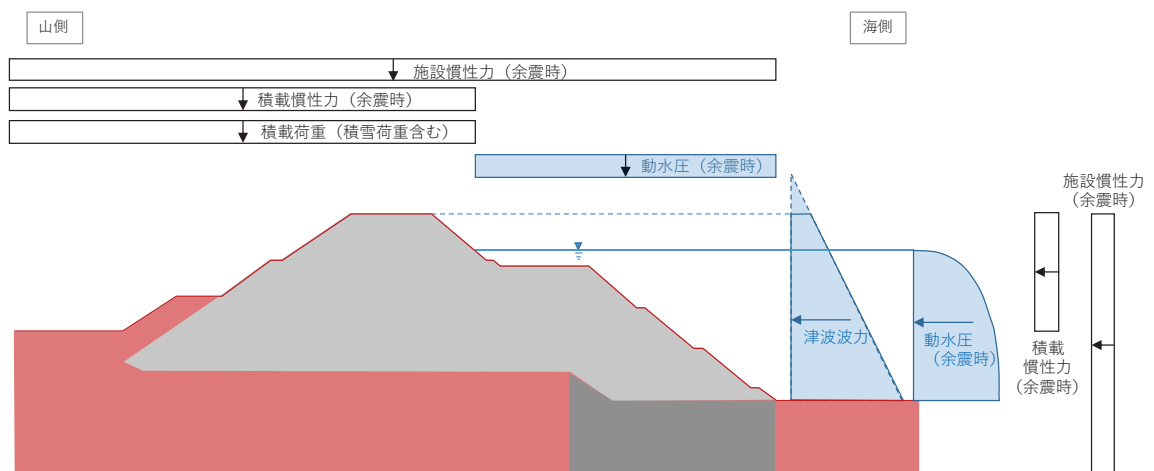


図 3-5 荷重作用図 (重畳時)

### 3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、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。

#### 3.4.1 セメント改良土

セメント改良土の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」に基づき、表 3-4 に示すすべり安全率とする。

表 3-4 セメント改良土の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

#### 3.4.2 置換コンクリート

置換コンクリートの許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-5 に示すすべり安全率とする。

表 3-5 置換コンクリートの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

#### 3.4.3 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-6 に示すすべり安全率とする。

表 3-6 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

#### 3.4.4 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する極限支持力は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の極限支持力を表 3-7 に示す。

表 3-7 基礎地盤の支持力に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	牧の浜部層*	11.4
	改良地盤	4.4

注記 \* : C<sub>M</sub>級岩盤以上の岩盤が対象

### 3.5 評価方法

防潮堤（盛土堤防）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」に基づき設定する。

#### 3.5.1 津波時

##### (1) 解析方法

津波時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元静的有限要素法解析により算定する。なお、衝突荷重は入力津波水位 (O. P. +24. 4m) に作用させる。

解析コードは、2次元静的有限要素法解析に「FLIP Ver7. 3. 0\_2」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。

##### a. 施設

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

##### b. 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 3-3 に示すとおり、防潮堤（盛土堤防）の周辺には、主として旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に防潮堤（盛土堤防）の挙動に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3-8 に示す。

表 3-8 解析ケース（防潮堤（盛土堤防））

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

##### c. 解析ケース

津波時には、表 3-8 に示すケース①～③を実施する。

(2) 解析モデル及び諸元

a. 解析モデル

防潮堤（盛土堤防）の解析モデルを図 3-6 に示す。

(a) 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(b) 境界条件

境界条件については、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(c) 構造物のモデル化

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(d) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。

(e) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

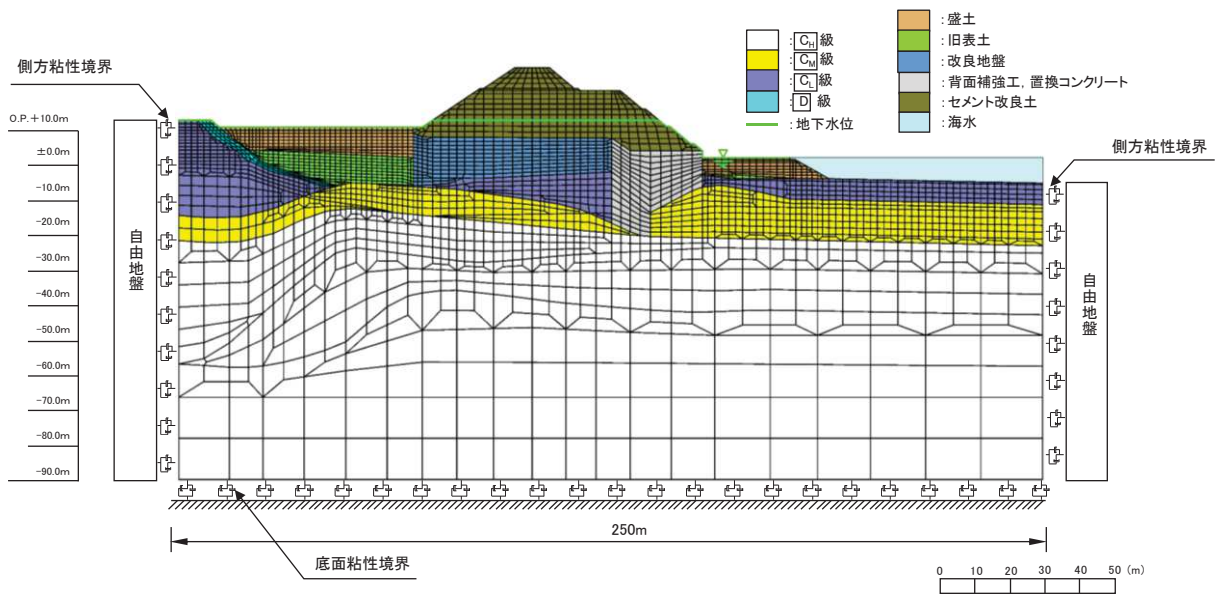


図 3-6 防潮堤（盛土堤防）の解析モデル（断面①）

b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 3-9 に、材料の物性値を表 3-10 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

表 3-9 使用材料

材料	諸元
コンクリート (置換コンクリート)	設計基準強度 : 30 N/mm <sup>2</sup>

表 3-10 材料の物性値

材料	単位 体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	せん断 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	内部 摩擦角 (°)	引張 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	残留 強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング 係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン 比
コンクリート (置換コンクリート)	22.5	6.00	-*	2.22	-*	2.80×10 <sup>4</sup>	0.2

注記 \* : 内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

c. 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

d. 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 3-6 及び表 3-11 に示す。

表 3-11 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
防潮堤（盛土堤防）	断面①	防潮堤（盛土堤防）より山側及び海側で地表面に設定する。



(3) 評価方法

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は、津波時に発生する応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

a. セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

b. 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリートを通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

c. 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

d. 基礎地盤

津波時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、基礎地盤に生じる接地圧が重畳時に包絡されると考えられることから実施しない。

### 3.5.2 重畳時

#### (1) 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元動的有限要素法解析により算定する。

2次元動的有限要素法解析については、地震時にける地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

解析コードは、2次元動的有限要素法解析に「FLIP Ver7.3.0\_2」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。

#### a. 施設

セメント改良土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

#### b. 解析ケース

図 3-3 に示すとおり、防潮堤（盛土堤防）の周辺には、主として旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が重畳時に防潮堤（盛土堤防）の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 3-12 に示す。

表 3-12 解析ケース（防潮堤（盛土堤防））

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

#### c. 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰とする。

#### d. 解析ケース

重畳時においては、弾性設計用地震動  $S_d - D2$  に対して、ケース①（基本ケース）を実施する。ケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3-12 に示す

ケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 3-13 に示す。

表 3-13 重畳時における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動 (位相)	S d - D 2	++	○	弾性設計用地震動 S d - D 2 (1 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (3 波) を加えた全 4 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、すべり安全率及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、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。	
		-+	○		
		+ -	○		
		--	○		

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

(2) 入力地震動

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

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動  $S_d - D2$  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。

図 3-7 に入力地震動算定の概念図を、図 3-8 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver. 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

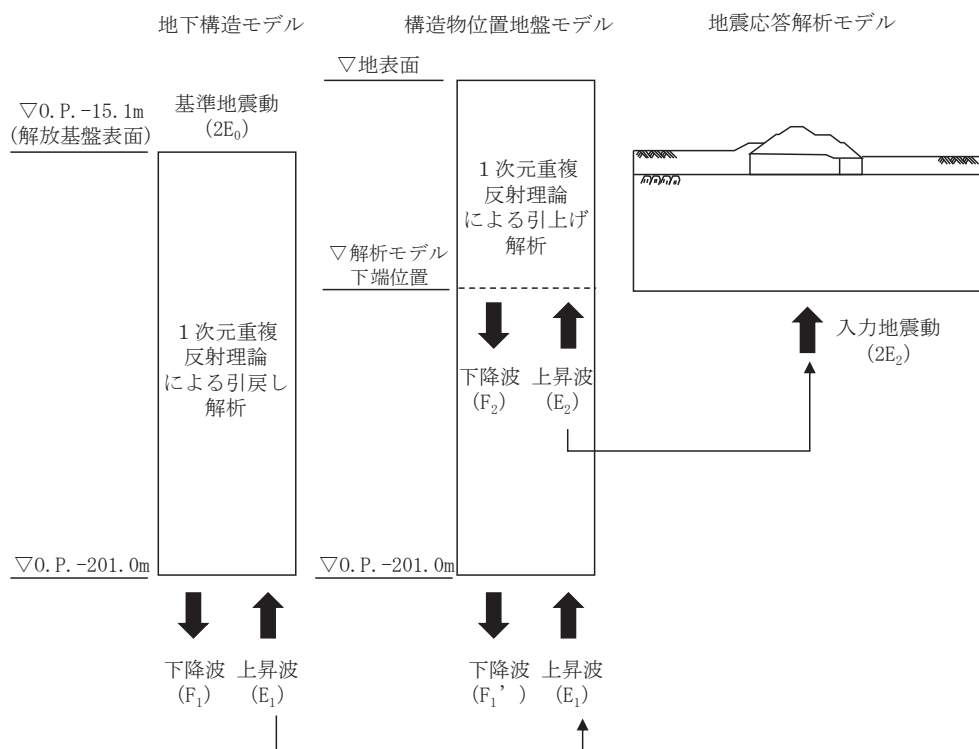
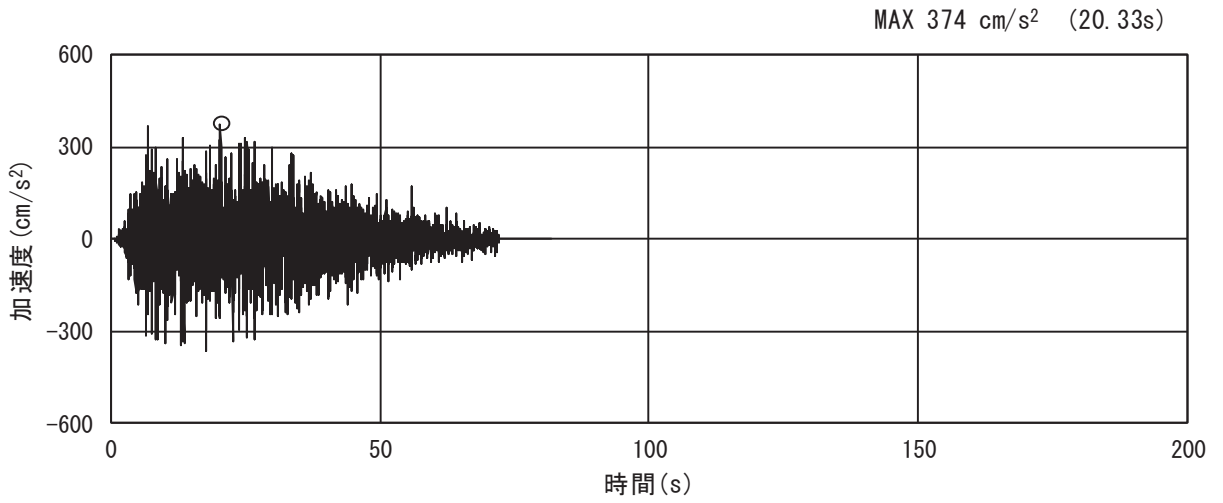
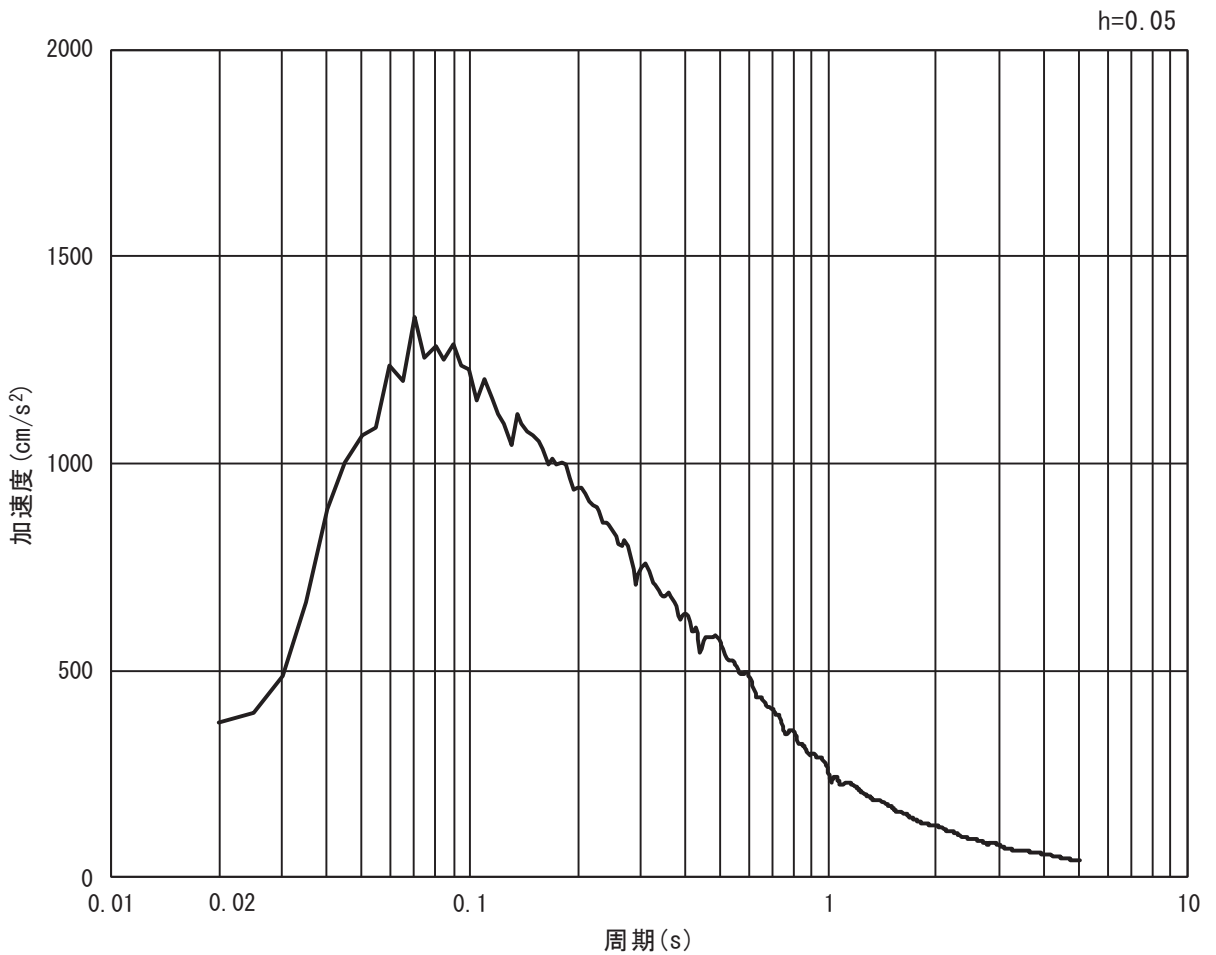


図 3-7 入力地震動算定の概念図

a. 断面①

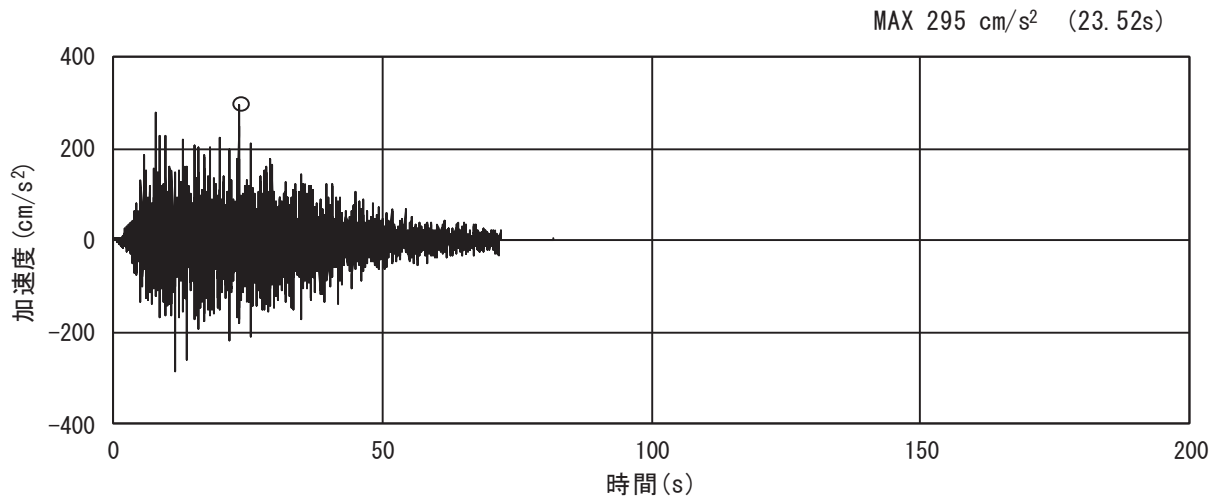


(a) 加速度時刻歴波形

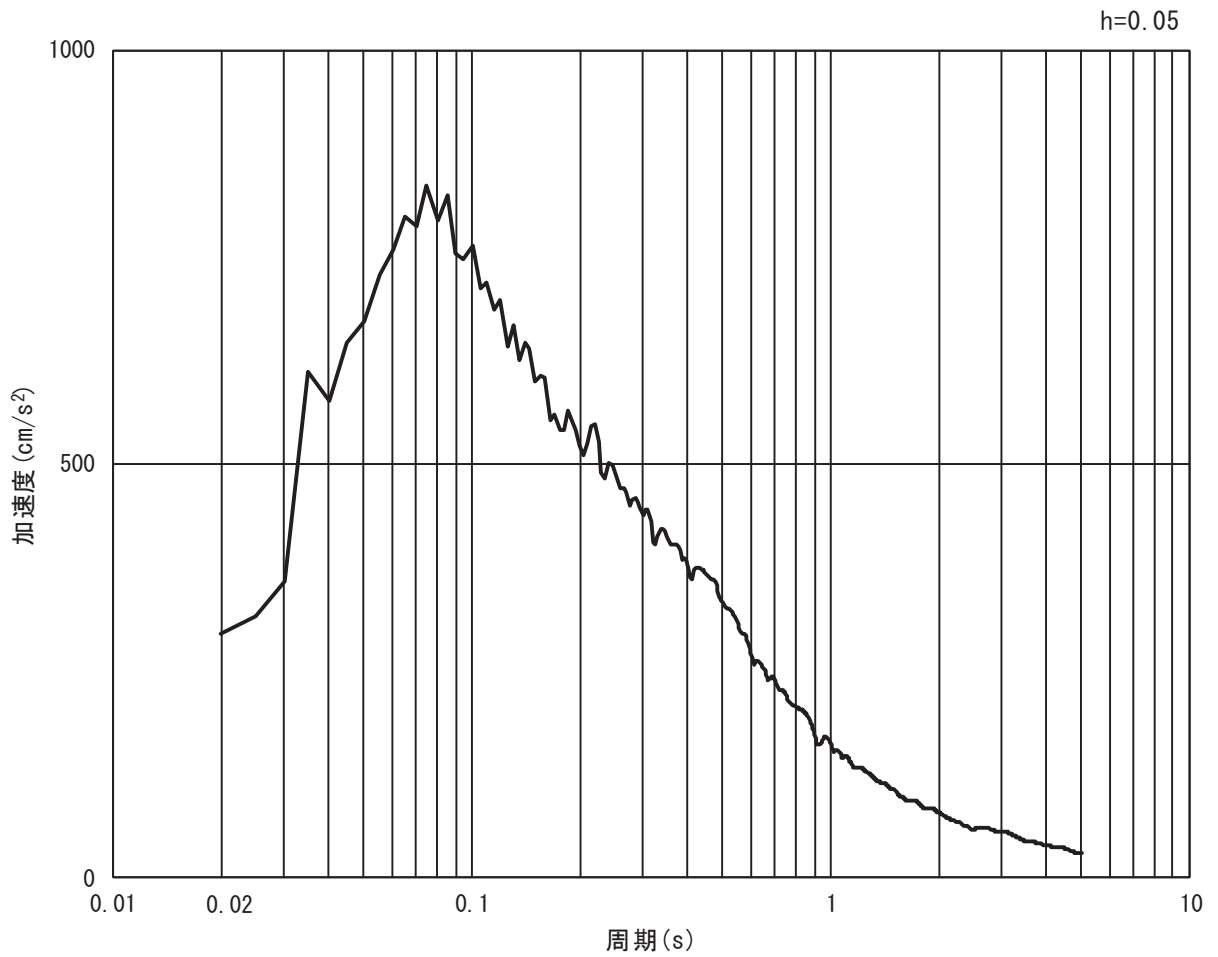


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8(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 d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8(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 d - D 2)

(3) 解析モデル及び諸元

a. 解析モデル

防潮堤（盛土堤防）の解析モデルを図 3-9 に示す。

(a) 解析領域

解析領域は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(b) 境界条件

境界条件は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(c) 構造物のモデル化

構造物のモデル化は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(d) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は非線形性をした平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。また、地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(e) 海水のモデル化

海水のモデル化は、「3.5.1 津波時」と同様である。

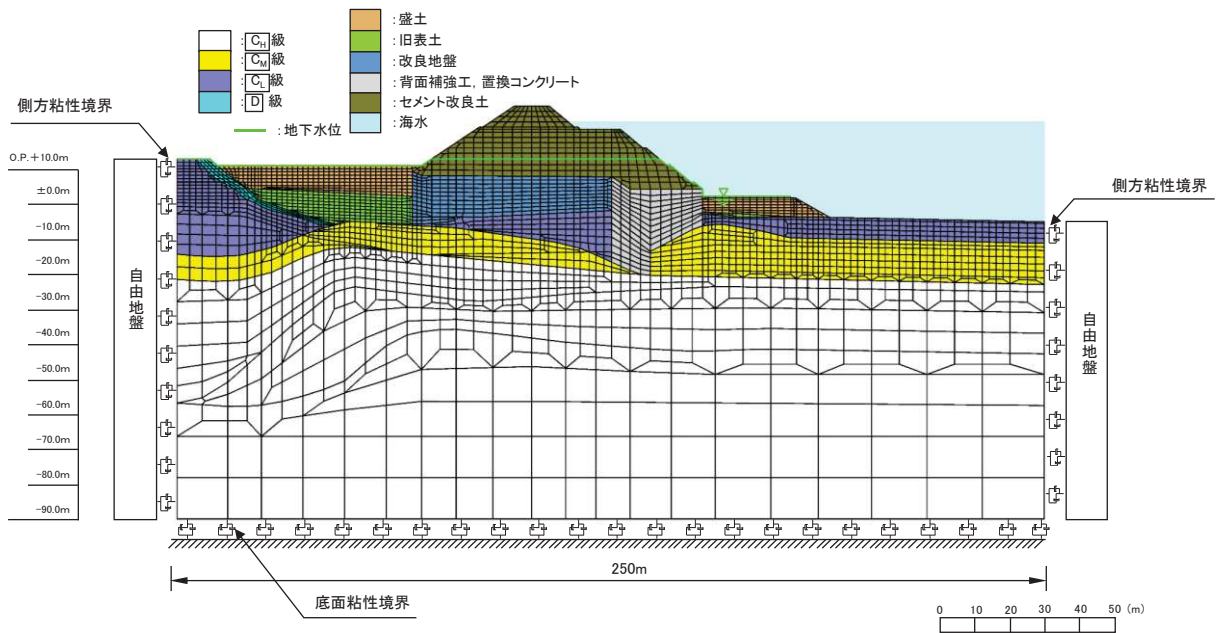


図 3-9 防潮堤（盛土堤防）の解析モデル（断面①）

b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

c. 地盤の物性値

地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

d. 地下水位

地下水位は、「3.5.1 津波時」と同様であり、図 3-9 のとおりである。

(4) 評価方法

防潮堤（盛土堤防）の強度評価は、重畳時に発生する応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

a. セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

b. 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリートを通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

c. 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 $\sigma$ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

d. 基礎地盤

重畳時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、弾性設計用地震動 S d - D 2 を入力地震動とした地震応答解析から求められる基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。



#### 4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-2 に示す。

##### 4.1 津波時

表 4-1 強度評価に用いる条件（断面①）

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重（セメント改良土）	22174	kN
	固定荷重（置換コンクリート）	10831	kN
	固定荷重（改良地盤）	13676	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>t</sub>	遡上津波荷重（防潮堤前面の地盤高：O.P. +3.0m）*	336.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
γ <sub>w</sub>	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
ρ	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>

注記 \*：防潮堤（盛土堤防）の設計用浸水深は 10.7（m）であるが，保守的に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用浸水深 11.95（m）（防潮堤前面の地盤高：O.P. +0.5m）を採用し，遡上津波荷重を設定。

#### 4.2 重疊時

表 4-2 強度評価に用いる条件 (断面①)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (セメント改良土)	22174	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	10831	kN
	固定荷重 (改良地盤)	13676	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>t</sub>	遡上津波荷重 (防潮堤前面の地盤高 : 0. P. +3. 0m) *	336.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	-	kN
γ <sub>w</sub>	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
ρ	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>

注記 \* : 防潮堤 (盛土堤防) の設計用浸水深は 10.7 (m) であるが, 保守的に防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の設計用浸水深 11.95 (m) (防潮堤前面の地盤高 : 0. P. +0. 5m) を採用し, 遡上津波荷重を設定。

5. 評価結果

5.1 津波時

5.1.1 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 5-1 に、平均強度における局所安全係数分布を図 5-1 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値 - 1  $\sigma$  強度のすべり安全率を表 5-1 に併せて示す。

これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-1 セメント改良土のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	6.3
①（平均値 - 1 $\sigma$ 強度）	6.1

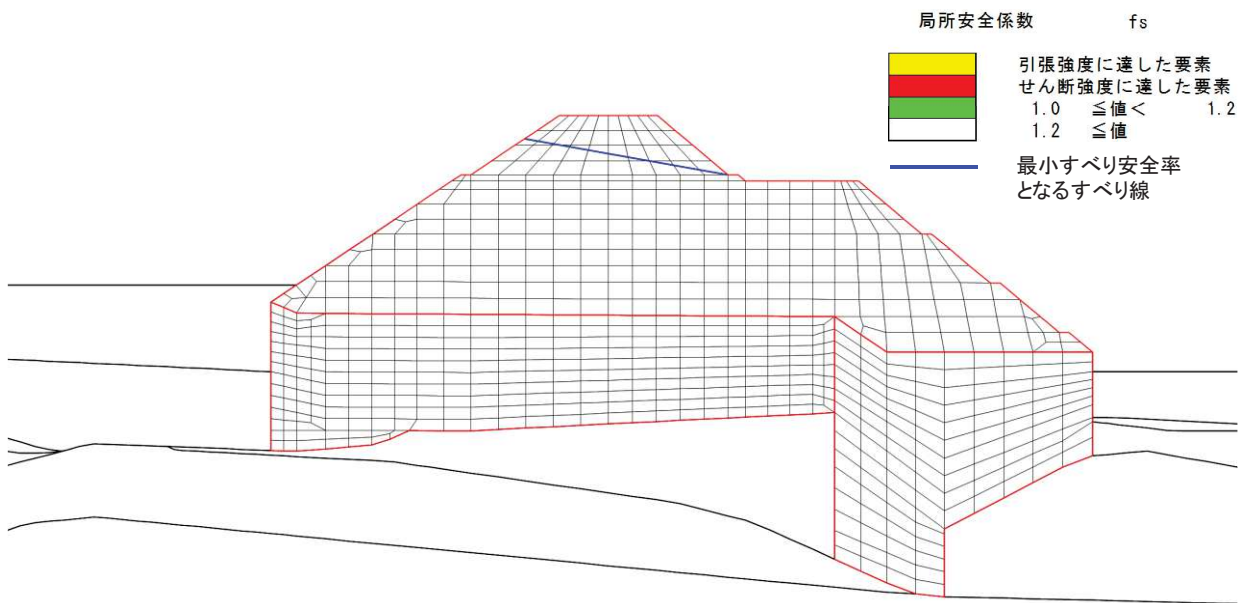


図 5-1 セメント改良土の局所安全係数分布（断面①）

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

### 5.1.2 置換コンクリートの評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 5-2 に、局所安全係数分布を図 5-2 に示す。この結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-2 置換コンクリートのすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	36.9

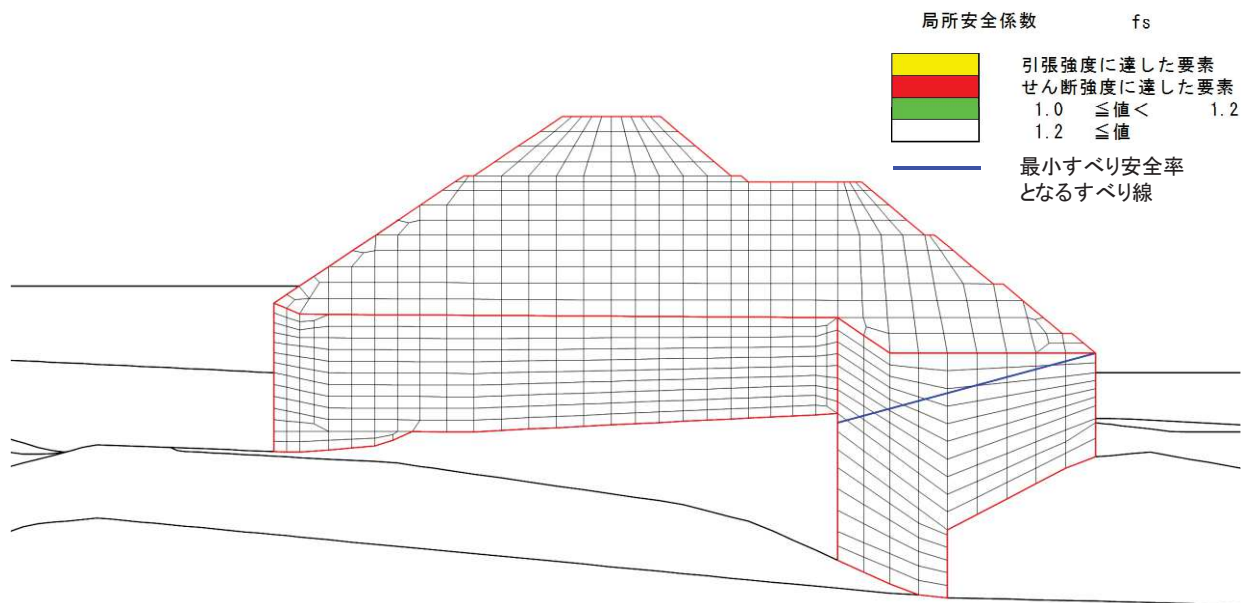


図 5-2 置換コンクリートの局所安全係数分布（断面①）

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

### 5.1.3 改良地盤の評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 5-3 に、平均強度における局所安全係数分布を図 5-3 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値 - 1  $\sigma$  強度のすべり安全率を表 5-3 に併せて示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-3 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面①）

解析ケース	最小すべり安全率
②	13.3
①（平均値 - 1 $\sigma$ 強度）	13.5

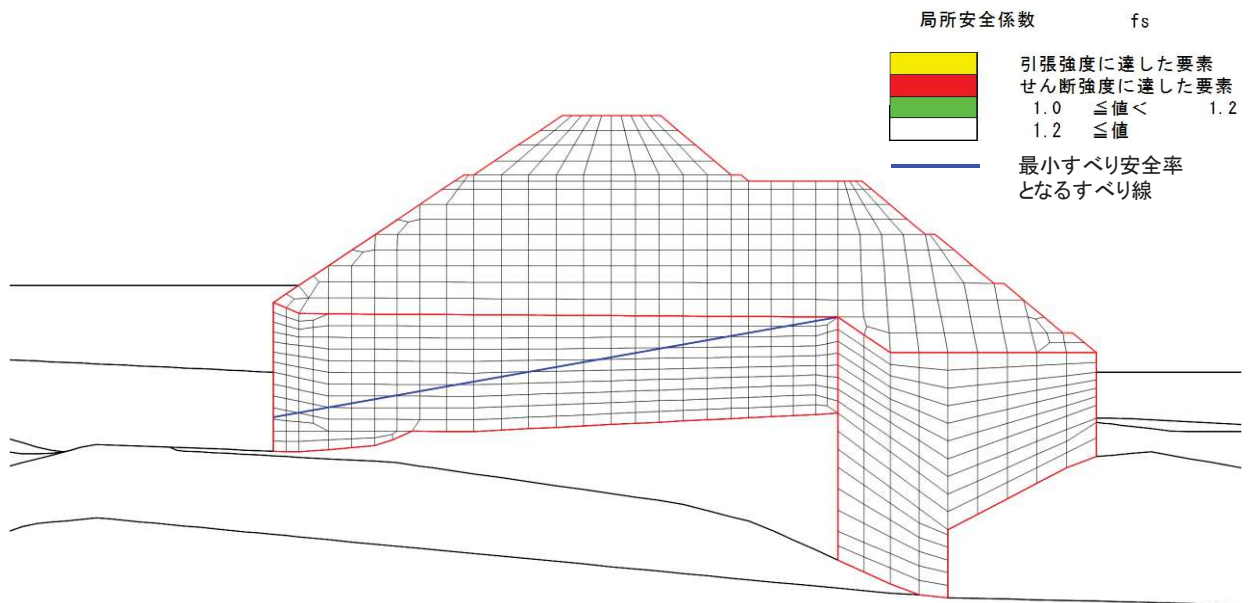


図 5-3 改良地盤の局所安全係数分布（断面①）

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

## 5.2 重畳時

### 5.2.1 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 5-4 に、平均強度における最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 5-4 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値 - 1  $\sigma$  強度のすべり安全率を表 5-4 に併せて示す。

これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-4 セメント改良土のすべり安全率評価結果

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 ( -- )	③	13.53	5.6
S d - D 2 ( -- )	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	13.53	5.5

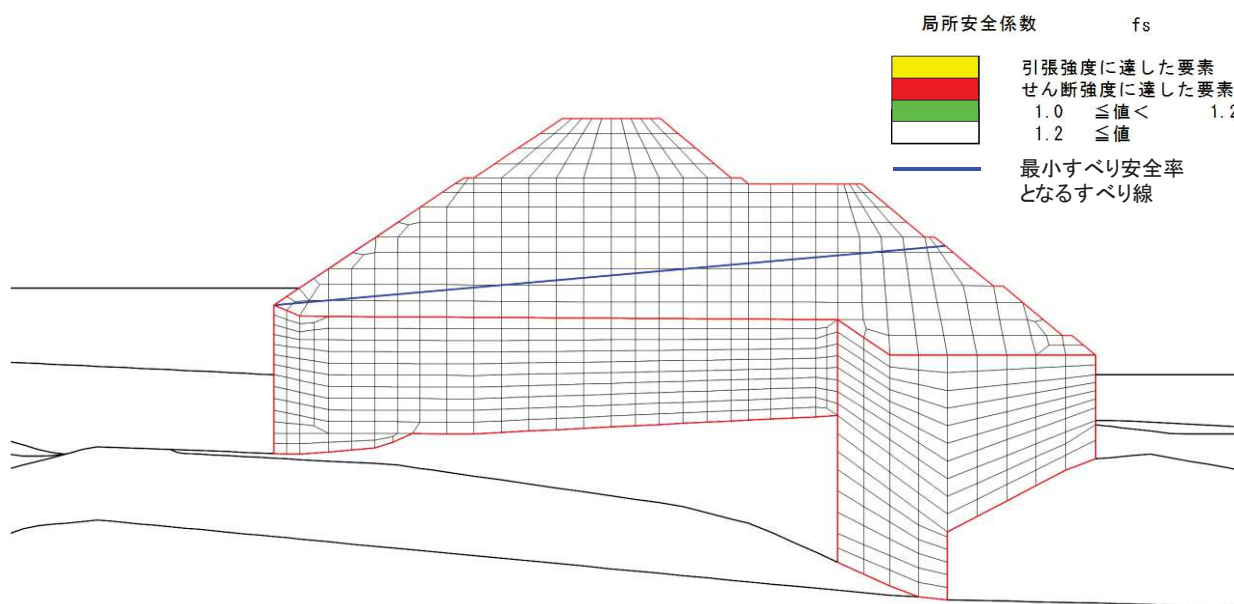


図 5-4 セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面①, S d - D 2 ( -- ), t=13.53s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1  $\sigma$ )

### 5.2.2 置換コンクリートの評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 5-5 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 5-5 に示す。この結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-5 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面①)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (++)	①	25.23	12.7

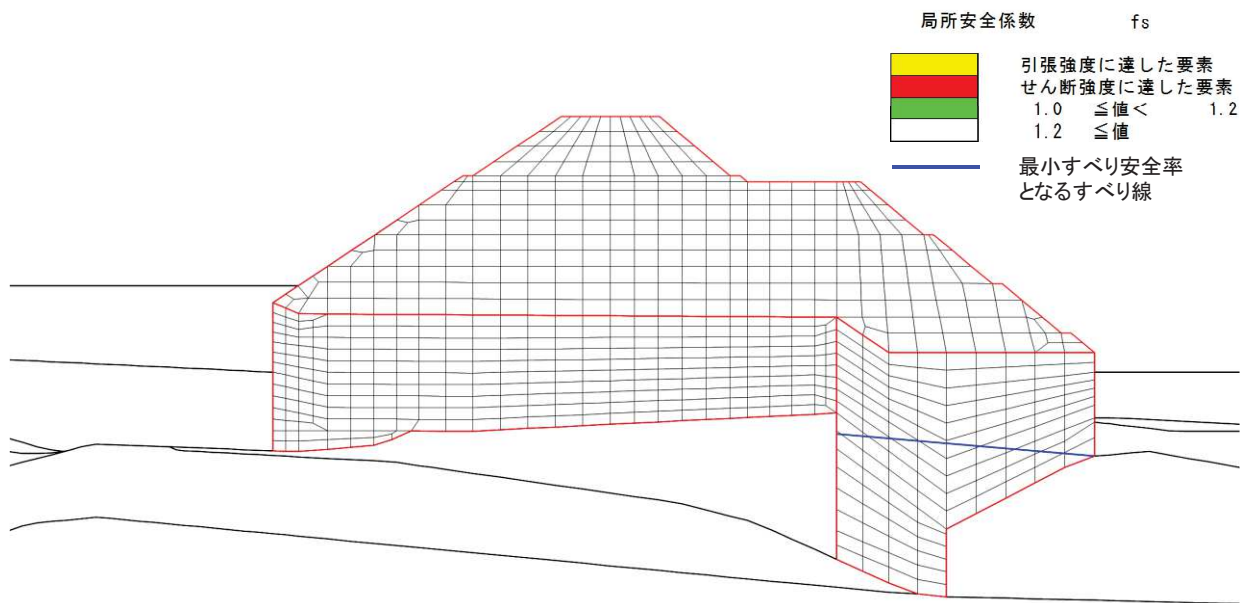


図 5-5 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
(断面①, S d - D 2 (++) ,  $t=25.23s$ )

解析ケース①：基本ケース

### 5.2.3 改良地盤の評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 5-6 に、平均強度における最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布を図 5-6 に示す。

なお、強度特性のばらつきを考慮した評価としてケース①（基本ケース）における平均値 - 1 $\sigma$  強度のすべり安全率を表 5-6 に併せて示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-6 改良地盤のすべり安全率評価結果（断面①）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S d - D 2 (-+)	①	13.52	5.3
S d - D 2 (-+)	① (平均値 - 1 $\sigma$ 強度)	13.52	5.3

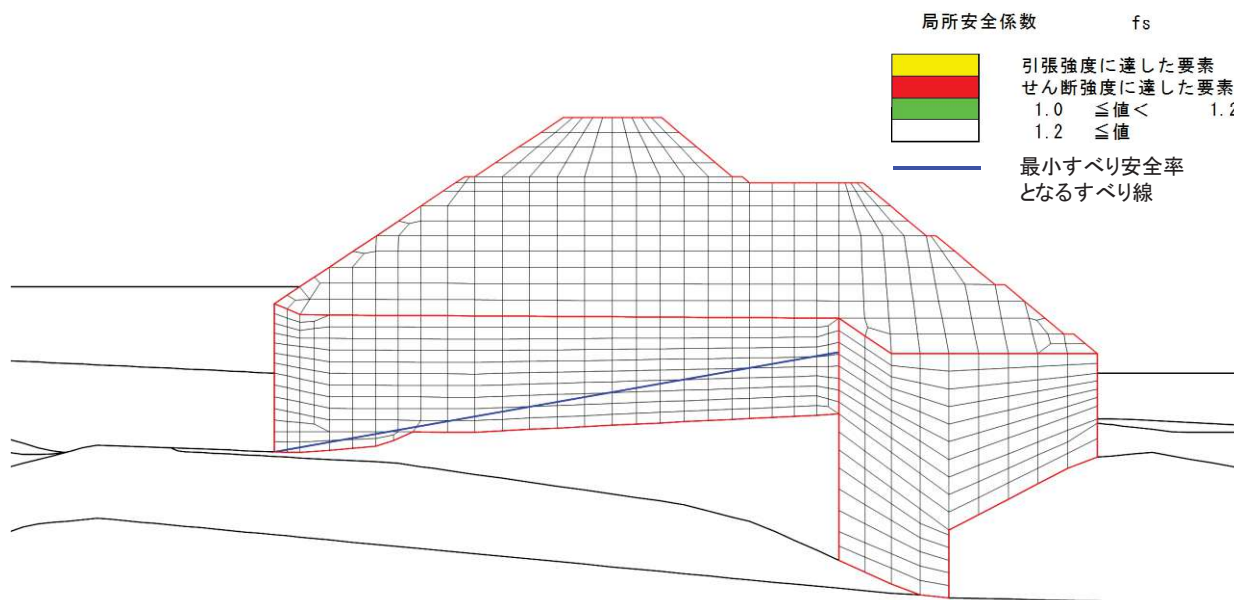


図 5-6 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布

(断面①, S d - D 2 (-+), t=13.52s)

解析ケース①: 基本ケース



5.2.4 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評価結果を表 5-7 に示す。

防潮堤（盛土堤防）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

以上のことから、防潮堤（盛土堤防）の基礎地盤は、津波時及び重畳時の荷重に対して、支持性能を有する。

表 5-7(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，断面①，セメント改良土）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (-+)	①	0.8	4.4	0.19

表 5-7(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，断面①，置換コンクリート）

地震動	解析 ケース	最大接地圧 $R_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_a/R_{ua}$
S d - D 2 (-+)	①	2.1	11.4	0.19

VI-3-別添 3-2-3 取放水路流路縮小工の強度計算書

## 目 次

VI-3-別添 3-2-3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-3-2 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）の  
強度計算書

## 目次

1. 概要 .....	1
2. 基本方針 .....	2
2.1 位置 .....	2
2.2 構造概要 .....	3
2.3 評価方針 .....	4
2.4 適用基準 .....	6
3. 強度評価方法 .....	7
3.1 評価対象断面及び部位 .....	7
3.1.1 評価対象断面 .....	7
3.1.2 評価対象部位 .....	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ .....	8
3.2.1 荷重 .....	8
3.2.2 荷重の組合せ .....	10
3.3 評価方法 .....	11
3.3.1 解析方法 .....	11
3.3.2 設計水平震度の算定 .....	11
3.3.3 評価方法 .....	15
3.3.4 使用材料及び材料の物性値 .....	18
4. 強度評価 .....	19
4.1 荷重算出 .....	19
4.1.1 浸水津波荷重の算出 .....	19
4.1.2 余震荷重の算出 .....	20
4.2 強度評価 .....	21
4.2.1 せん断に対する安定性から算出する幅 .....	21
4.2.2 滑動に対する安定性から算出する幅 .....	21
4.2.3 曲げに対する安定性から算出する幅 (L3) .....	22
5. 強度評価結果 .....	23

## 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に示す。

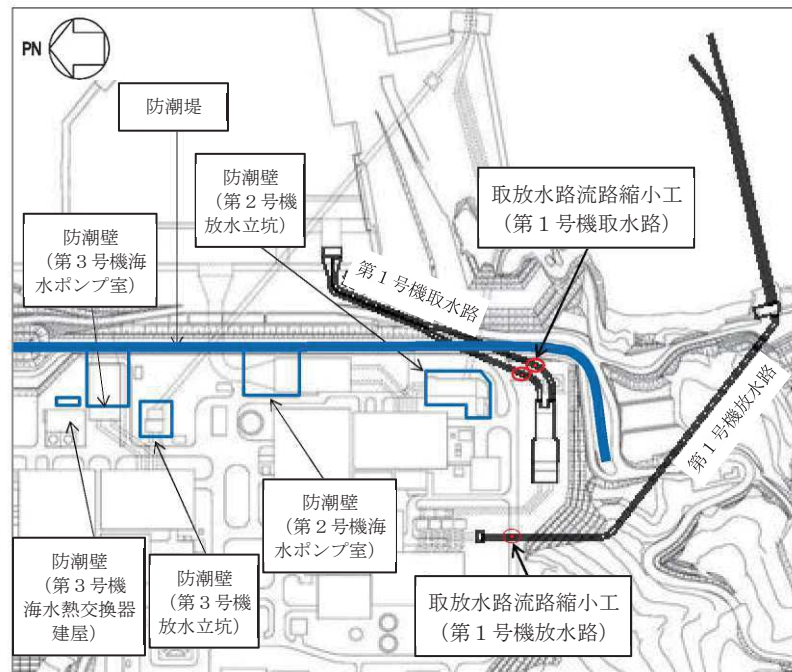



図2-1 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2)の位置図（全体平面図）

## 2.2 構造概要

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

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

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。

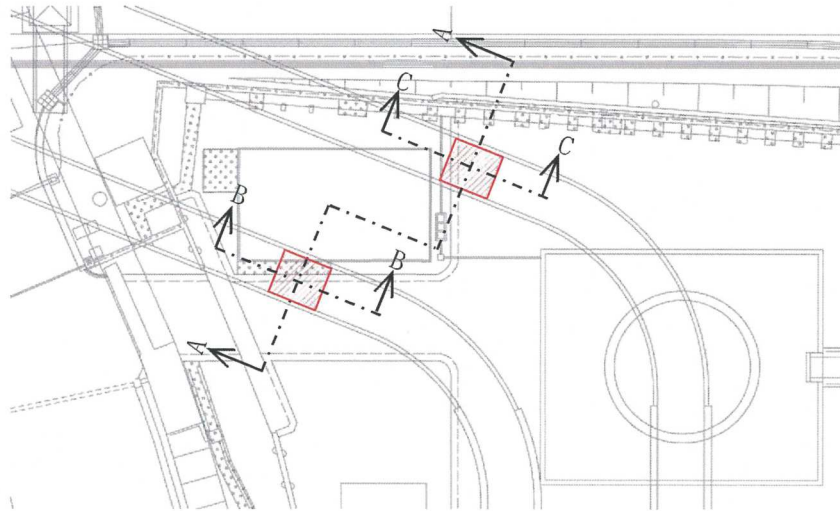


図2-2(1) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2) 平面図

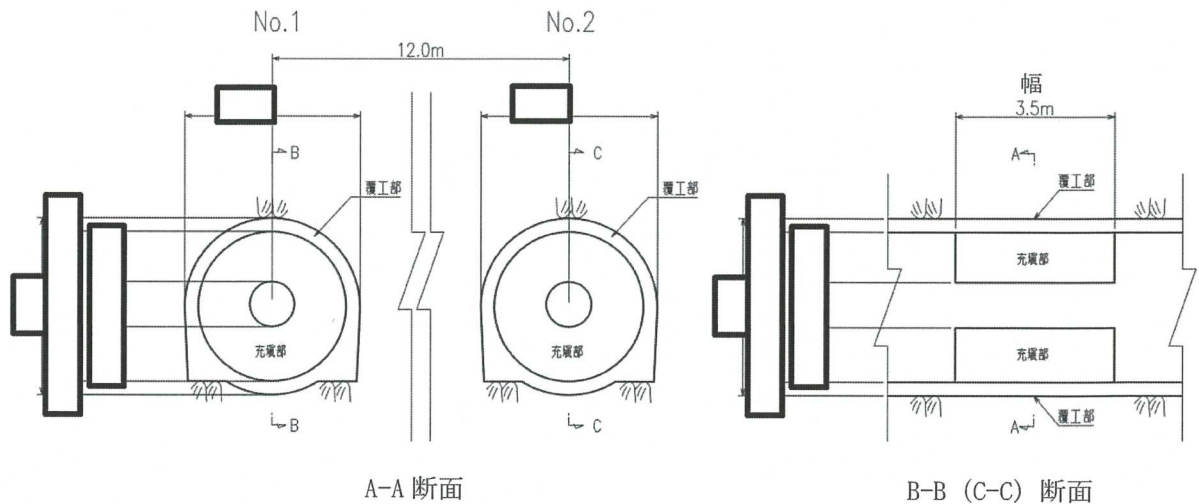


図2-2(2) 取放水路流路縮小工（第1号機取水路）(No. 1), (No. 2) 断面図



### 2.3 評価方針

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

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

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

評価方針	評価項目	部位	評価方法	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

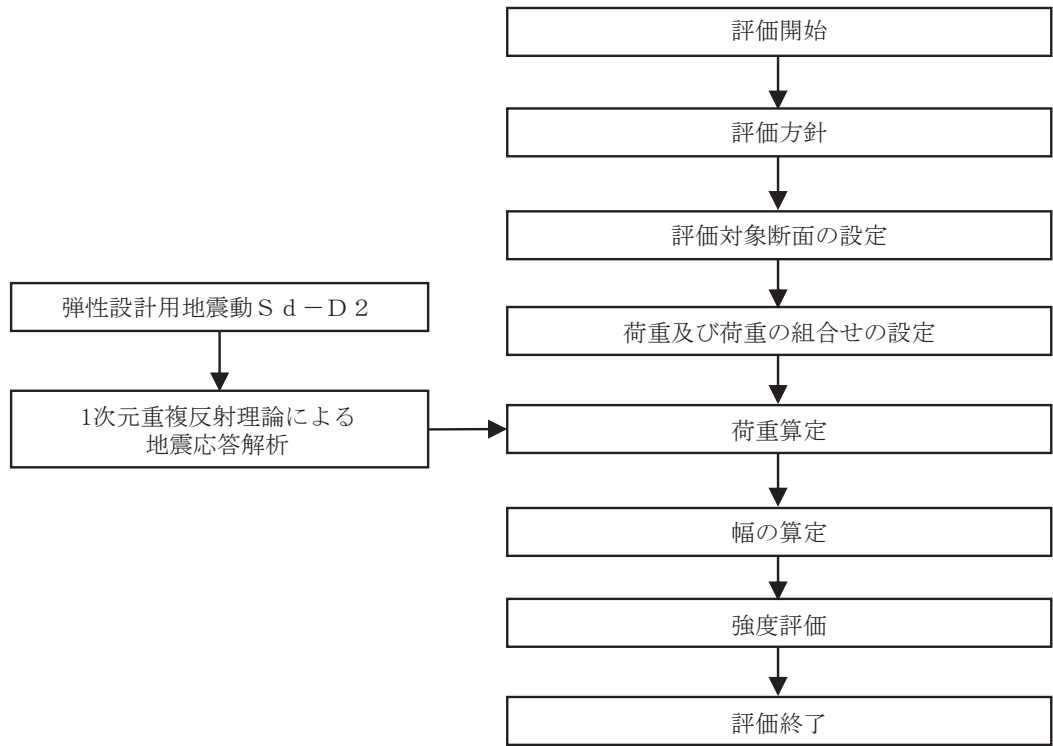


図 2-3 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・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）

### 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) の評価対象断面位置図を図 3-1 に示す。評価対象断面の地質図を図 3-2 に示す。

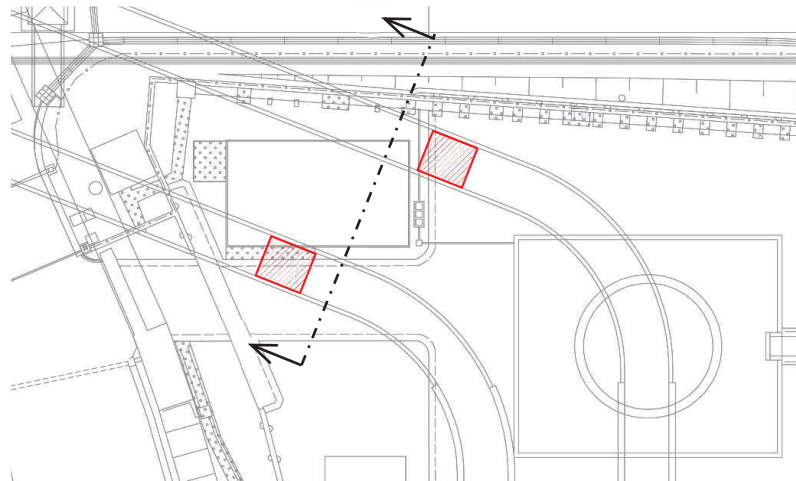


図 3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の評価対象断面位置図

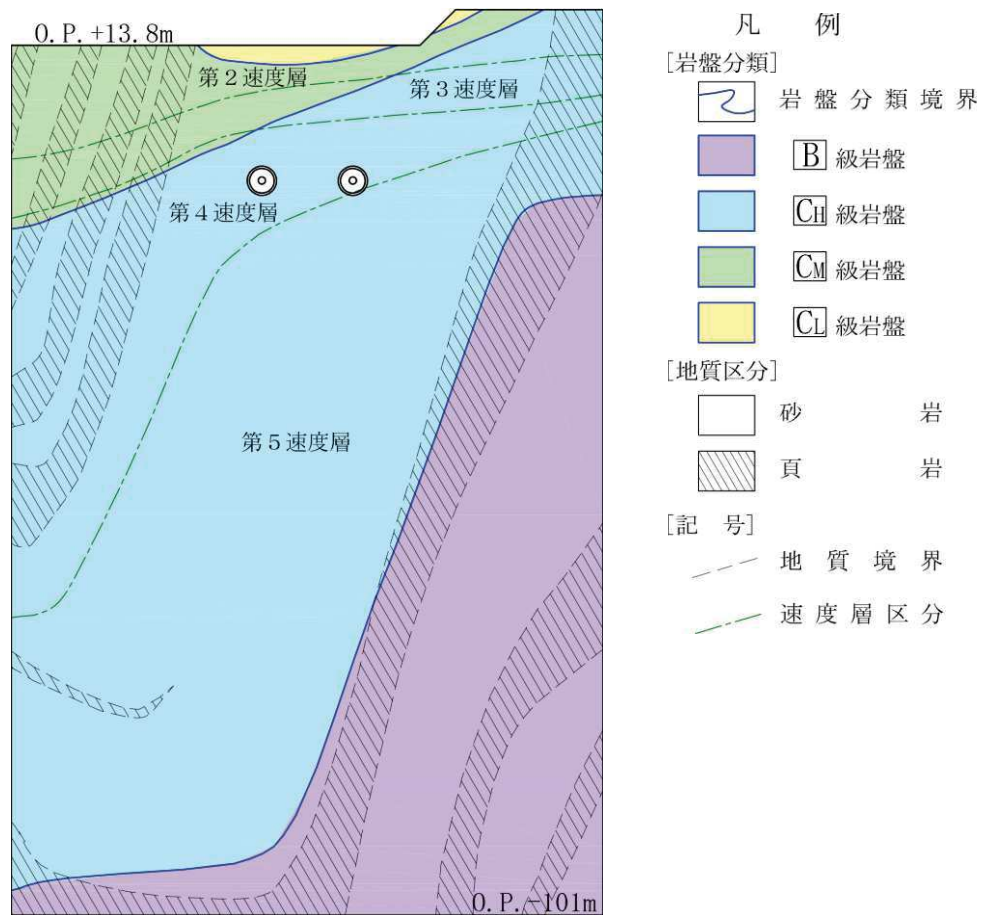


図 3-2 取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）(No. 1), (No. 2) の評価対象地質断面図

### 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  $4.9(\text{kN/m}^2)$  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 (静水圧) として，津波により浸水している状態での浸水深さに応じた静水圧を算定する。

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。

$$Phf = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho_0 \times A \times U^2$$

ここに，Phf : 流水圧 (kN)

$C_D$  : 抗力係数 = 2.01 (保守的に最大値とする)

$\rho_0$  : 水の密度 = 1.03 (t/m<sup>3</sup>)

A : 流れの方向の物体の投影面積 (m<sup>2</sup>)

U : 流速 (m/s) \*流路縮小工前面及び背面の最大流速を考慮して(10m/s)と設定

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。

$$Ph t = \frac{2fQ^2}{g\pi D^3} \times L$$

ここに，Ph t : 流水の摩擦による推力 (kN)

f : 流水の摩擦抵抗係数 (tf/m<sup>3</sup>)

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

D : 貫通部内径 (m)

L : 貫通部長さ (m)

Q : 流量 = v × A (m<sup>3</sup>/s)

A : 貫通部内断面積 (m<sup>2</sup>)

v : 貫通部内流速 (m/s) \*流路縮小工貫通部の最大流速を考慮して(20m/s)と設定

n : 粗度係数 (コンクリート) 0.015 (m<sup>-1/3</sup>s)

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に、荷重の作用図を図 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
重畳時	$G + P + K_{sd} + P_h$

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重 (4.9kN/m<sup>2</sup>を地表面に考慮)
- $K_{sd}$  : 余震荷重
- $P_h$  : 浸水津波荷重

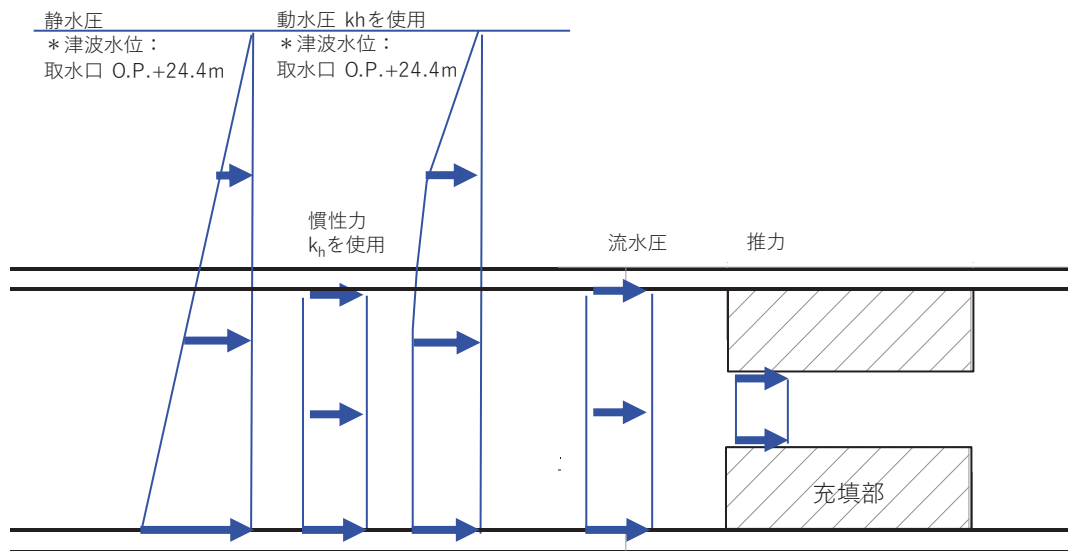


図 3-3 取放水路流路縮小工 (第 1 号機取水路) (No. 1), (No. 2) の荷重作用図

### 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、これらのすべてで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、1次元地震応答解析により算定する。

1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 3-2 に示す解析ケースを設定する。

表 3-2 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 + $1\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - $1\sigma$



(2) 1次元地震応答解析

1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  $S_d - D2$  を1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1次元地震応答解析を実施する。

1次元地震応答解析の概念図を図3-4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3-5に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「ArkQuake Ver. 3.10.01」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

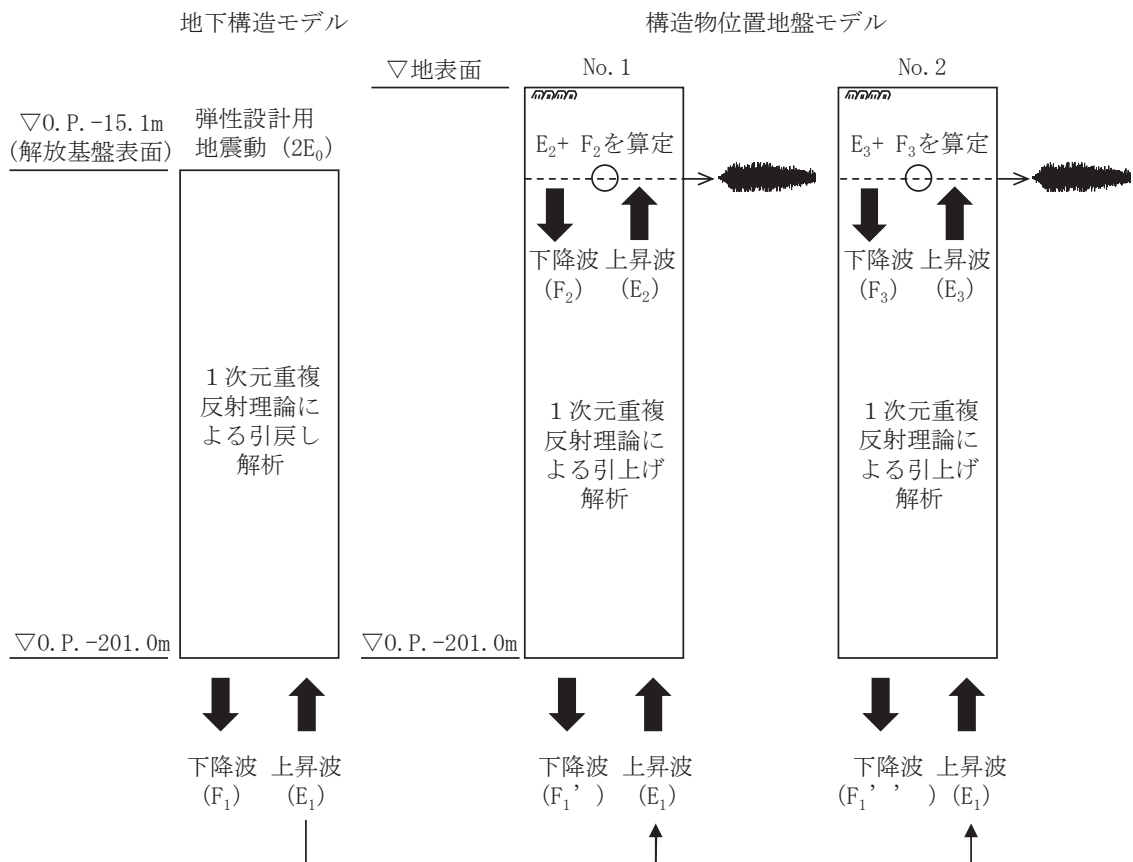
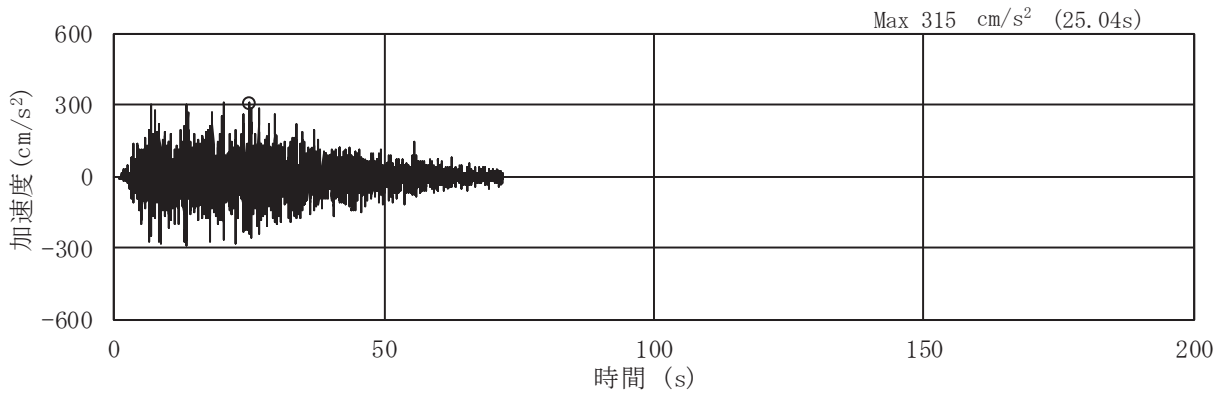
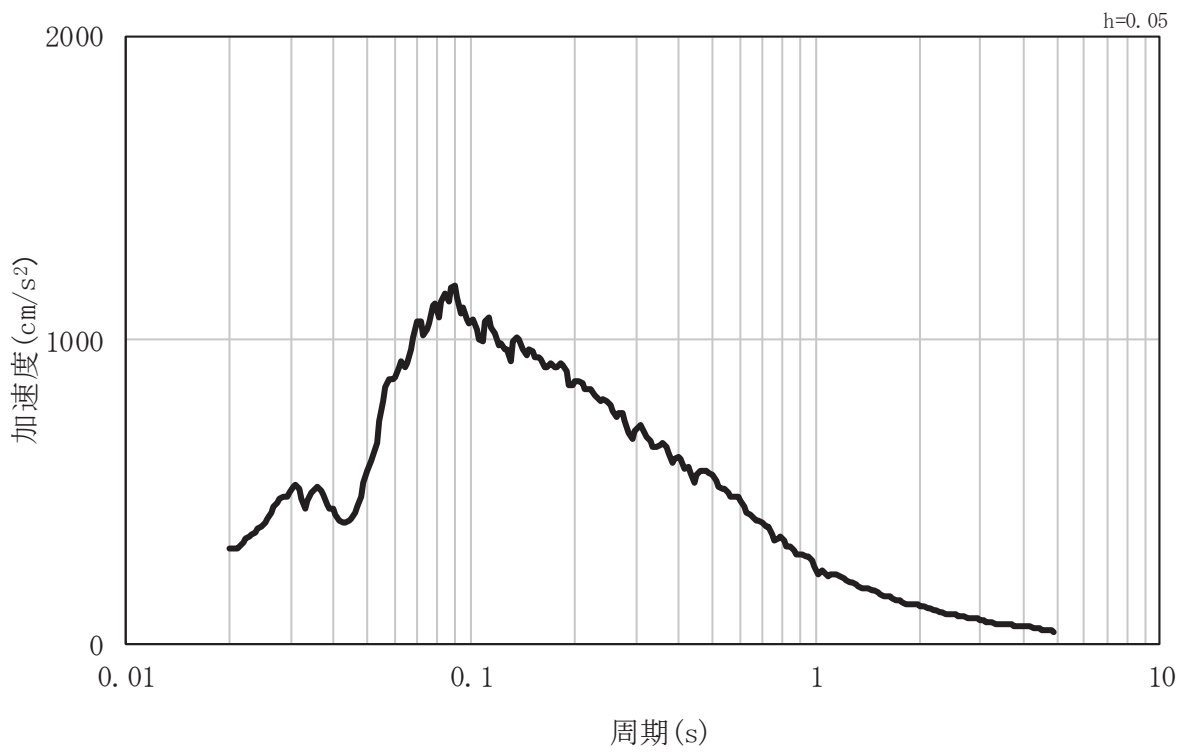


図 3-4 1次元地震応答解析の概念図

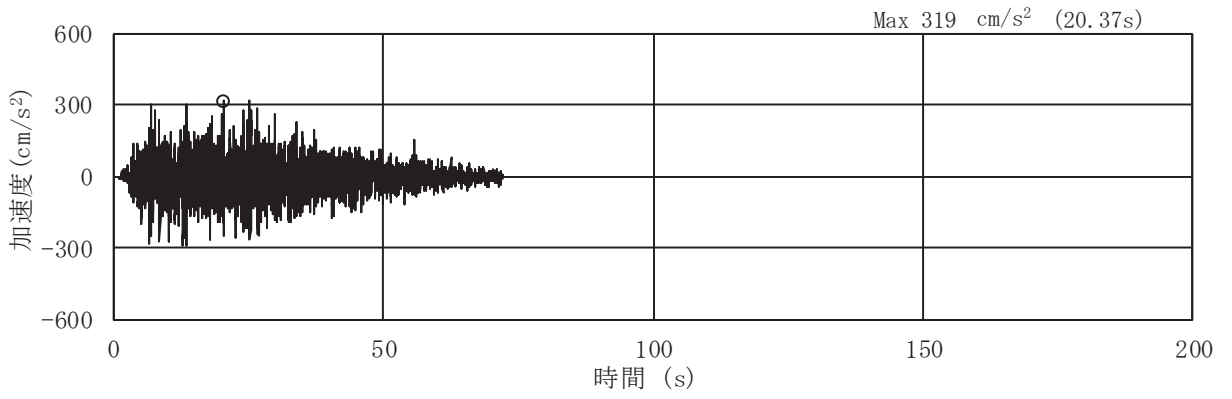


(a) 加速度時刻歴波形

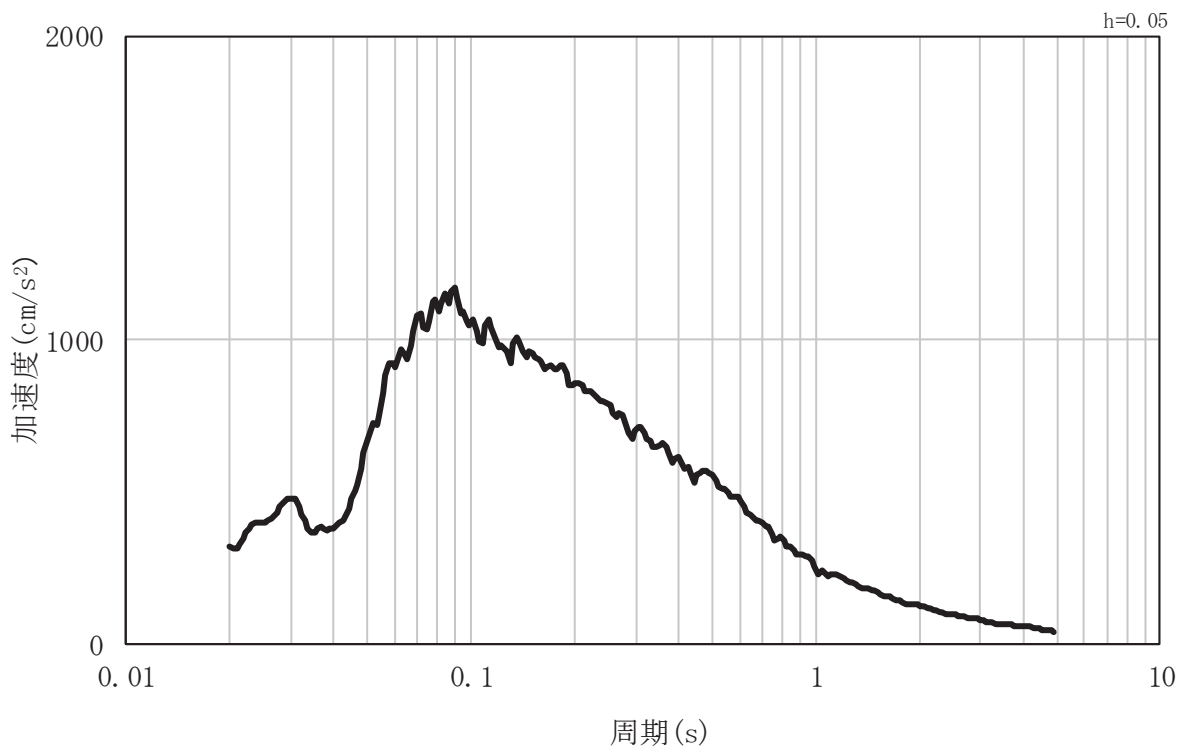


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5(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 3-5(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

1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 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。

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

表 3-3 1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 <sup>2</sup> )	315	335	316
No. 2	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	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 L1(L2) と，覆工部と周辺岩盤間のせん断を想定した場合 L1'(L2') 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)

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

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/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積 (m<sup>2</sup>)

τ<sub>c</sub> : コンクリートのせん断強さ (kN/m<sup>2</sup>)

L<sub>0</sub> : 付着面の周長 (m)

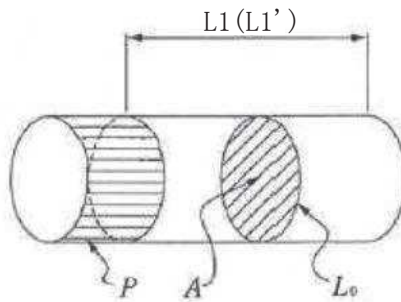


図 3-6 覆工部または充填部のせん断強さ

b. 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L1')

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

ここに, L1' : せん断に対する安定性から算出する幅 (m)

$\alpha$  : 安全率 = 4

P : 作用荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積 (m<sup>2</sup>)

$\tau_r$  : 岩盤のせん断強さ (kN/m<sup>2</sup>)

L<sub>0</sub> : 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 (L2)

$$L2 = n \frac{P \cdot A}{C_c A' + f_c N}$$

ここに, L2 : 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/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積 (m<sup>2</sup>)

C<sub>c</sub> : コンクリートの付着力 (kN/m<sup>2</sup>) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積 (m<sup>2</sup>/m)

f<sub>c</sub> : 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)

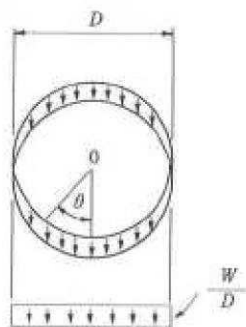


図 3-7 覆工部または充填部の周辺の全抵抗力

b. 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L2')

$$L2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A' + f_r N'}$$

ここに, L2' : 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/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積(m<sup>2</sup>)

C<sub>r</sub> : 岩盤の付着力(kN/m<sup>2</sup>) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積(m<sup>2</sup>/m)

f<sub>r</sub> : 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 (L3)

$$L3 = \alpha \left( \frac{a}{2} \right) \sqrt{\frac{3P}{\sigma'}}$$

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/m<sup>2</sup>)

σ' : コンクリートの許容曲げ引張応力度(kN/m<sup>2</sup>)

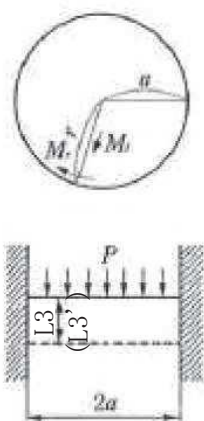


図 3-8 充填部を周辺固定円盤と仮定した場合の必要閉塞長

### 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 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 構造物の使用材料

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

表 3-5 材料の物性値

分類	せん断強度 ( $\tau_0, C$ )	内部摩擦角 ( $\phi$ )	許容曲げ引張応力度 ( $\sigma'$ )
岩盤 (C <sub>H</sub> 級)	$1.72\text{N/mm}^2$ *1	$43^\circ$ *1	—
覆工部	$4.10\text{N/mm}^2$ *2	$0^\circ$ *3	$0.28\text{N/mm}^2$ *4
充填部	$10.0\text{N/mm}^2$ *2	$0^\circ$ *3	$0.43\text{N/mm}^2$ *4

注記 \*1：解析用物性値（狐崎部層の C<sub>H</sub>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），コンクリート標準示方書 [設計編]（土木学会，2017 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 P1 の算出

$$P1 = \rho_0 gh = 1.03 \times 9.80665 \times (24.4 - (-5.747)) = 304.6(kN/m^2)$$

ここに、 $\rho_0$  : 海水の密度 = 1.03(t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 = 9.80665(m/s<sup>2</sup>)

$h$  : 充填部下端における水深 =  $h_1 - h_2$ (m)

$h_1$  : 津波水位(O.P.) = 24.4(m)

$h_2$  : 充填部下端位置(O.P.) = -5.757(m)

流水圧 P2 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。

$$P2 = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho_0 \times A_1 \times U^2 = \frac{1}{2} \times 2.01 \times 1.03 \times \boxed{\phantom{000}} \times 10^2 = \boxed{\phantom{000}}$$

ここに、 $C_d$  : 抗力係数 = 2.01（保守的に最大値とする）

$\rho_0$  : 海水の密度 = 1.03(t/m<sup>3</sup>)

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{000}} = \boxed{\phantom{000}}$$

$D_1$  : 充填部直径 =  $\boxed{\phantom{000}}$

$U$  : 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 P5 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。

$$P5 = \frac{2fQ^2}{g\pi D_3^3} \times L = \frac{2 \times 8gn^2 / \left(\frac{D_3}{4}\right)^{\frac{1}{3}} \times (v \times A_3)^2}{g\pi D_3^3} \times L$$

$$= \frac{2 \times 8 \times 9.80665 \times 0.015^2 / \boxed{\phantom{000}}}{9.80665 \times \pi \boxed{\phantom{000}}} \times (20 \times \boxed{\phantom{000}})^2 \times 3.50 = \boxed{\phantom{000}}$$



ここに、 $f$  : 流水の摩擦抵抗係数( $tf/m^3$ )

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

$g$  : 重力加速度 =  $9.80665(m/s^2)$

$n$  : 充填部の粗度係数 =  $0.015(m^{-1/3}s)$

$D_3$  : 貫通部直径 =

$Q$  : 流量 =  $v \times A_3(m^3/s)$

$v$  : 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)

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

#### 4.1.2 余震荷重の算出

##### 慣性力 P3 の算出

$$P3 = k_h W = k_h \times \gamma \times A_1 \times L = 0.343 \times 23.0 \times  \times 3.5 =$$

ここに、 $k_h$  : 設計水平震度

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

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

$L$  : 充填部幅 =  $3.5(m)$

$D_1$  : 充填部直径 =

##### 動水圧 P4 の算出

$$P4 = \frac{7}{8} \times k_h \times \rho_0 \times g \times \sqrt{h^2} = \frac{7}{8} \times 0.343 \times 1.03 \times 9.80665 \times \sqrt{\{24.4 - (-5.747)\}^2} \\ = 91.4(kN/m^2)$$

ここに、 $k_h$  : 設計水平震度

$\rho_0$  : 海水の密度 =  $1.03(t/m^3)$

$g$  : 重力加速度 =  $9.80665(m/s^2)$

$h$  : 充填部下端における水深 =  $h_1 - h_2(m)$

$h_1$  : 津波水位(O.P.) =  $24.4(m)$

$h_2$  : 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)

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

$$= 4 \times \frac{(304.6 \times \boxed{\phantom{0000}} + 91.4 \times \boxed{\phantom{0000}})}{4100 \times \boxed{\phantom{0000}}} = \boxed{\phantom{0000}}$$

ここに、 $\alpha$  : 安全率 = 4

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{0000}}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{\phantom{0000}}$$

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

$$L_0 : \text{充填部周長} = \pi \times D_1 = \pi \times \boxed{\phantom{0000}}$$

(2) 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L1')

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

$$= 4 \times \frac{(304.6 \times \boxed{\phantom{0000}} + 91.4 \times \boxed{\phantom{0000}})}{1720 \times \boxed{\phantom{0000}}} = \boxed{\phantom{0000}}$$

ここに、 $\alpha$  : 安全率 = 4

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{0000}}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{\phantom{0000}}$$

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

$$L_0' : \text{流路縮小工全体の周長} = \pi \times D_2 = \pi \times \boxed{\phantom{0000}}$$

$$D_2 : \text{流路縮小工全体の直径} = \boxed{\phantom{0000}}$$

### 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)

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

$$= 4 \times \frac{(304.6 \times \boxed{\phantom{0000}} + 91.4 \times \boxed{\phantom{0000}})}{4100 \times \pi \times \boxed{\phantom{0000}} + 0 \times (\pi \times \boxed{\phantom{0000}})} = \boxed{\phantom{0000}}$$

ここに、 $n$  : 安全率 = 4

$$C_c : \text{充填部の付着力} = 4100(kN/m^2)$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{\phantom{0000}}$$



$\varphi$  : 充填部内部摩擦角 =  $0(^{\circ})$

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

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{0000}}$$

(2) 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L2')

$$L2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A' + f_r N} = n \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{C_r \times \pi \times D_2 + \tan \varphi \times (\pi \times \frac{\gamma \times A_2}{D_2})}$$

$$= 4 \times \frac{(304.6 \times \boxed{\phantom{0000}} + 91.4 \times \boxed{\phantom{0000}})}{1720 \times \pi \times \boxed{\phantom{0000}} + 0.93 \times (\pi \times \boxed{\phantom{0000}})} = \boxed{\phantom{0000}}$$

ここに,  $n$  : 安全率 = 4

$C_r$  : 岩盤の付着力 =  $1720(kN/m^2)$

$D_2$  : 流路縮小工全体直径 =  $\boxed{\phantom{0000}}$

$\varphi'$  : 岩盤の内部摩擦角 =  $43(^{\circ})$

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

$$A_2 : \text{流路縮小工全体の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_2^2}{4} = \boxed{\phantom{0000}}$$

4.2.3 曲げに対する安定性から算出する幅 (L3)

$$L3 = \alpha \left(\frac{a}{2}\right) \sqrt{\frac{3P}{\sigma'}} = \alpha \left(\frac{a}{2}\right) \sqrt{\frac{3 \times (P1 + \frac{P2}{A_1} + \frac{P3}{A_1} + P4 + \frac{P5}{A_3})}{\sigma'}}$$

$$= 1.5 \times \left(\frac{\boxed{\phantom{0000}}}{2}\right) \times \sqrt{\frac{3 \times (304.6 \times \boxed{\phantom{0000}} + 91.4 \times \boxed{\phantom{0000}})}{430}} = \boxed{\phantom{0000}}$$

ここに,  $\alpha$  : 安全率 = 1.5 (保守的に 1.5 とする)

$$a : \frac{D_1}{2} = \frac{\boxed{\phantom{0000}}}{2} = \boxed{\phantom{0000}}$$

$D_1$  : 充填部直径 =  $\boxed{\phantom{0000}}$

$\sigma'$  : コンクリートの許容曲げ引張応力度  $430(kN/m^2)$

$$A_3 : \text{充填部貫通部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_3^2}{4} = \boxed{\phantom{0000}}$$

$D_3$  : 貫通部直径 =  $\boxed{\phantom{0000}}$

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

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 (L1)	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 (L1')	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 (L2)	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 (L2')	0.86	3.50	0.25
曲げに対する安定性から算出する幅 (L3)	2.42	3.50	0.70

VI-3-別添 3-2-3-2 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の  
強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	6
3.	強度評価方法	7
3.1	評価対象断面及び部位	7
3.1.1	評価対象断面	7
3.1.2	評価対象部位	8
3.2	荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1	荷重	8
3.2.2	荷重の組合せ	10
3.3	評価方法	11
3.3.1	解析方法	11
3.3.2	設計水平震度の算定	11
3.3.3	評価方法	14
3.3.4	使用材料及び材料の物性値	17
4.	強度評価	18
4.1	荷重算出	18
4.1.1	浸水津波荷重の算出	18
4.1.2	余震荷重の算出	19
4.2	強度評価	20
4.2.1	せん断に対する安定性から算出する幅	20
4.2.2	滑動に対する安定性から算出する幅	20
4.2.3	曲げに対する安定性から算出する幅 (L3)	21
5.	強度評価結果	22

## 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に示す。

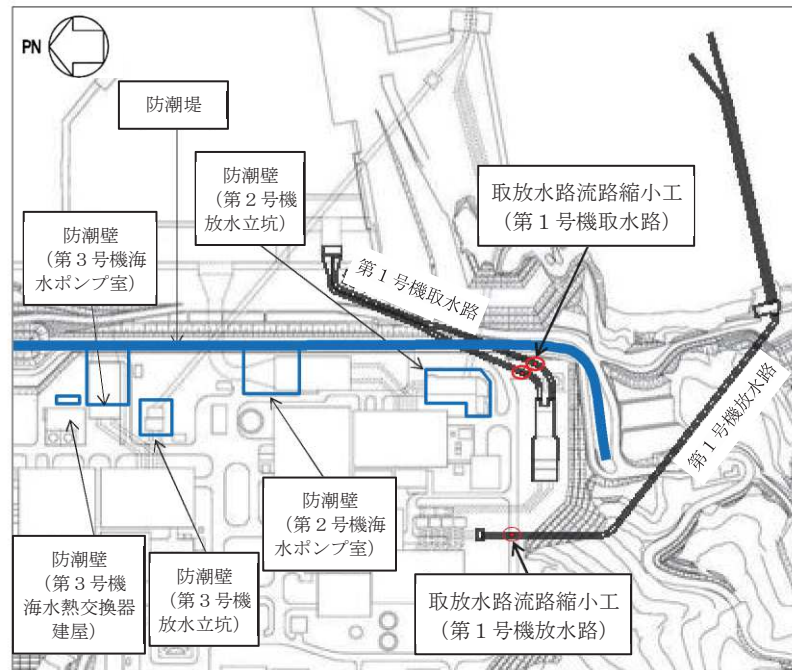



図 2-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の位置図（全体平面図）



## 2.2 構造概要

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の平面図及び断面図を図2-2に示す。

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

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。

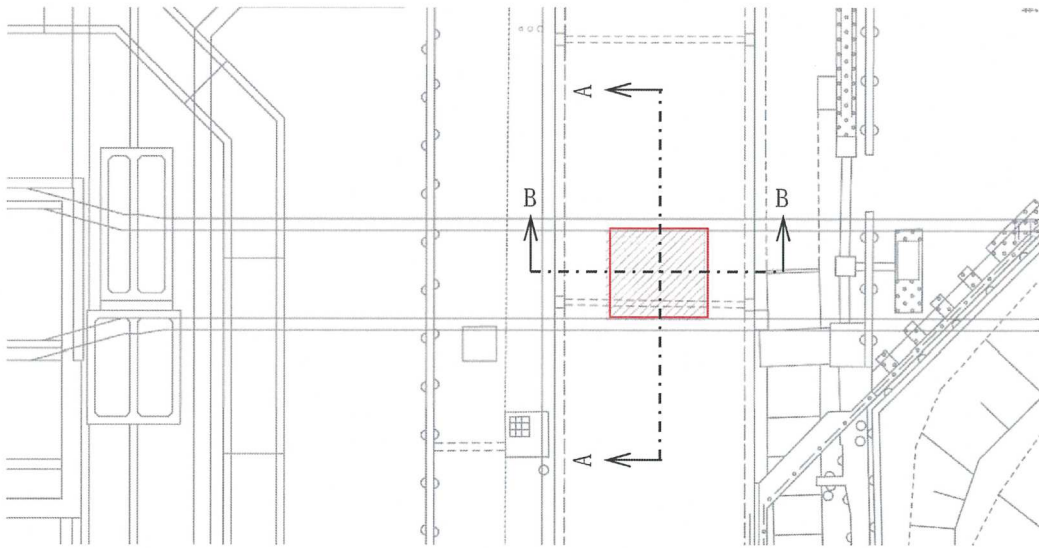


図2-2(1) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 平面図

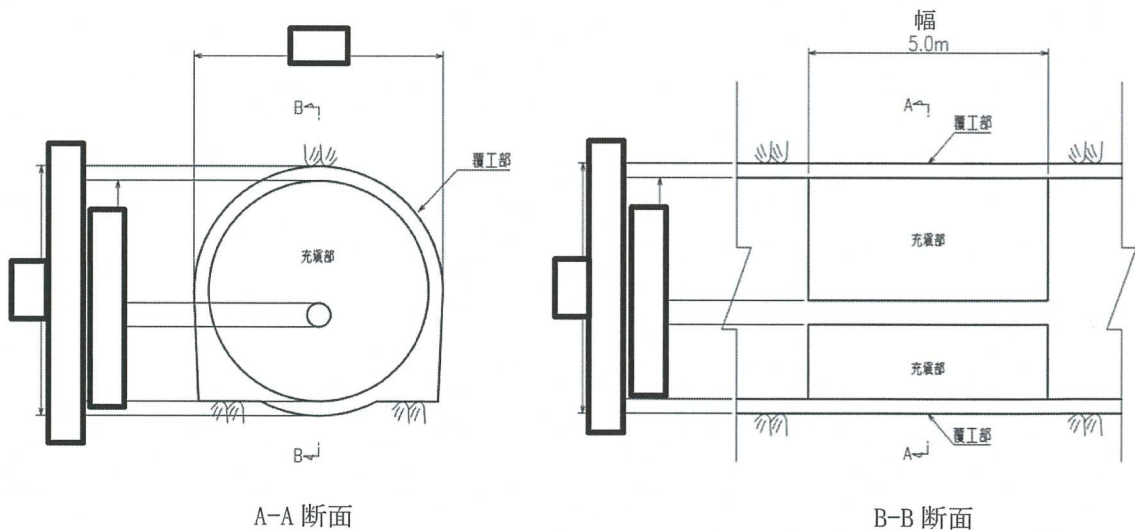


図2-2(2) 取放水路流路縮小工（第1号機放水路） 断面図

### 2.3 評価方針

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

取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の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 2-1 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 に示す。

表 2-1 取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	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

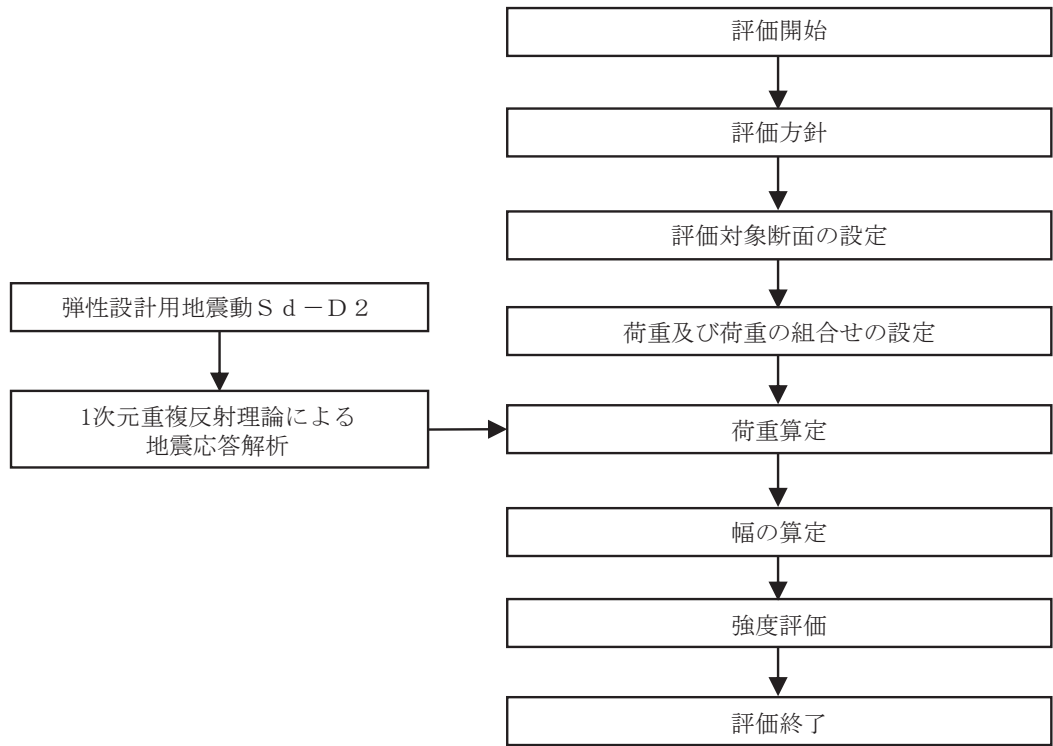


図 2-3 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・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）

### 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 に示す。評価対象断面の地質図を図 3-2 に示す。

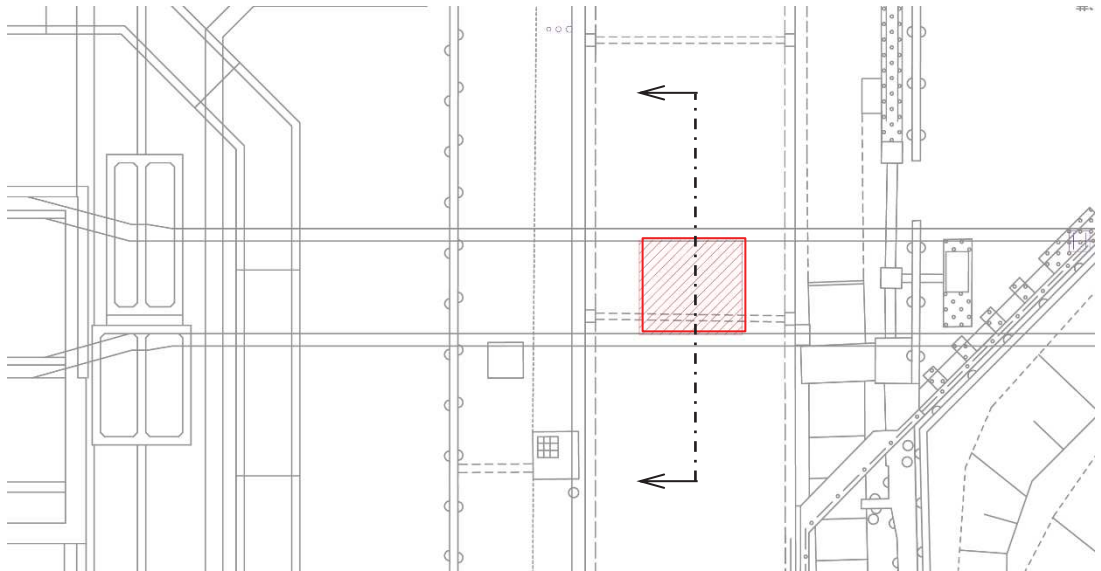


図 3-1 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の評価対象断面位置図

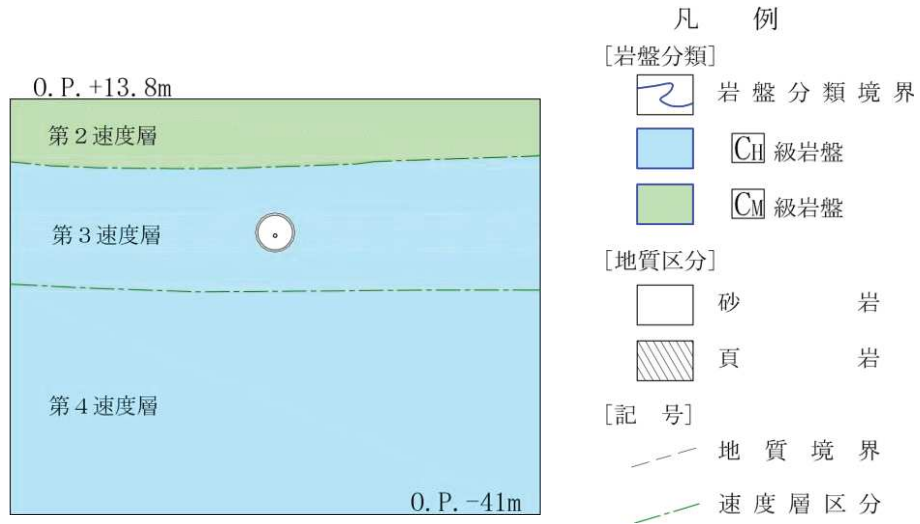


図 3-2 取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の評価対象地質断面図

### 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  $4.9 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  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 (静水圧) として、津波により浸水している状態での浸水深さに応じた静水圧を算定する。

b. 流水圧 (Phf)

「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。

$$Phf = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho_0 \times A \times U^2$$

- ここに，Phf : 流水圧 (kN)  
 $C_D$  : 抗力係数 =2.01 (保守的に最大値とする)  
 $\rho_0$  : 水の密度 =1.03(t/m<sup>3</sup>)  
 $A$  : 流れの方向の物体の投影面積 (m<sup>2</sup>)  
 $U$  : 流速 (m/s) \*流路縮小工前面及び背面の最大流速を考慮して(10m/s)と設定

c. 推力 (Ph<sub>t</sub>)

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。

$$Ph_t = \frac{2fQ^2}{g\pi D^3} \times L$$

- ここに，Ph<sub>t</sub> : 流水の摩擦による推力 (kN)  
 $f$  : 流水の摩擦抵抗係数 (tf/m<sup>3</sup>)
- $$f = 8gn^2 / \left(\frac{D_3}{4}\right)^{\frac{1}{3}}$$
- $D$  : 貫通部内径 (m)  
 $L$  : 貫通部長さ (m)  
 $Q$  : 流量= $v \times A$  (m<sup>3</sup>/s)  
 $A$  : 貫通部内断面積 (m<sup>2</sup>)  
 $v$  : 貫通部内流速 (m/s) \*流路縮小工貫通部の最大流速を考慮して(20m/s)と設定  
 $n$  : 粗度係数 (コンクリート) 0.015(m<sup>-1/3</sup>s)

### 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に、荷重の作用図を図 3-3 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
重畳時	$G + P + K_{sd} + P_h$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (4.9kN/m<sup>2</sup> を地表面に考慮)

$K_{sd}$  : 余震荷重

$P_h$  : 浸水津波荷重

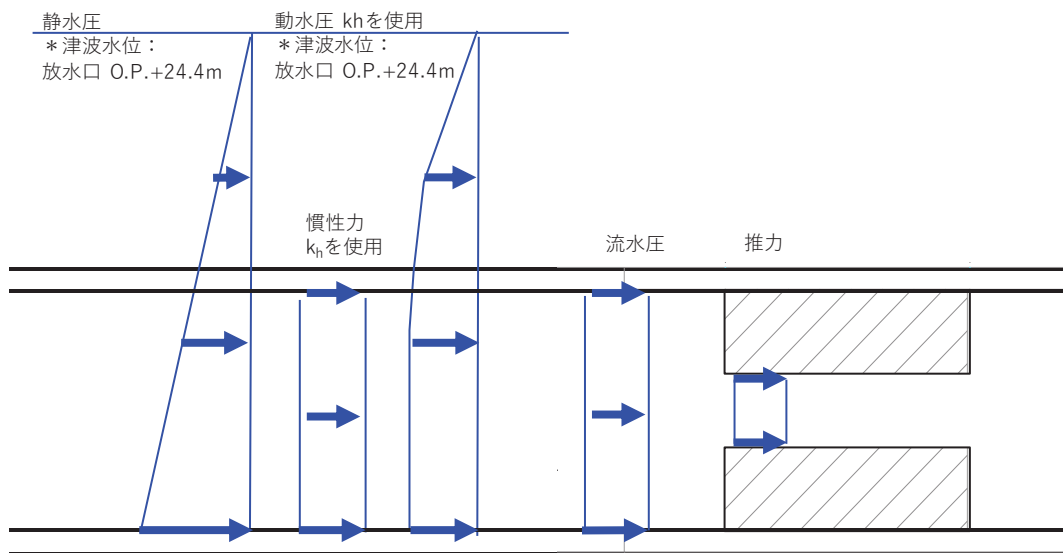


図 3-3 取放水路流路縮小工 (第 1 号機放水路) の荷重作用図



### 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、これらのすべてで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、1次元地震応答解析により算定する。

1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3-2に示す解析ケースを設定する。

表3-2 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 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$

(2) 1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1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 3-4 に1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 3-5 に示す。

入力地震動の算定には、解析コード「ArkQuake Ver. 3.10.01」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

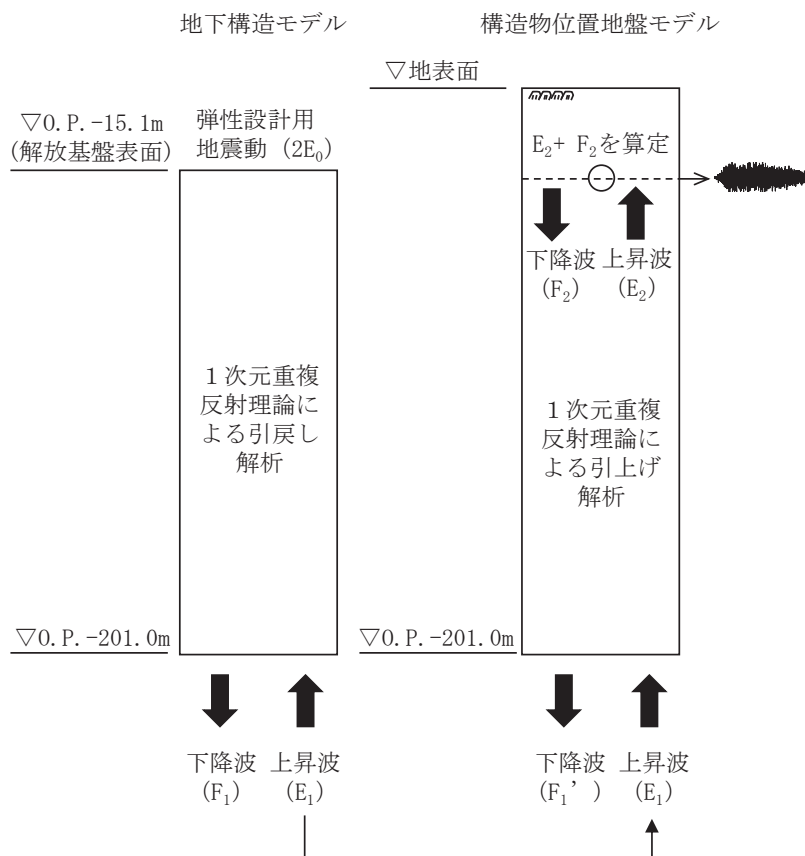
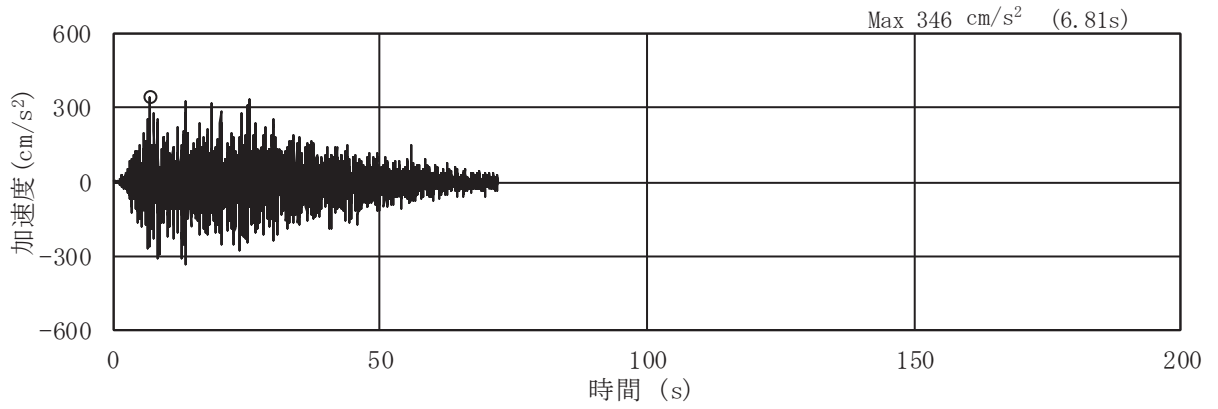
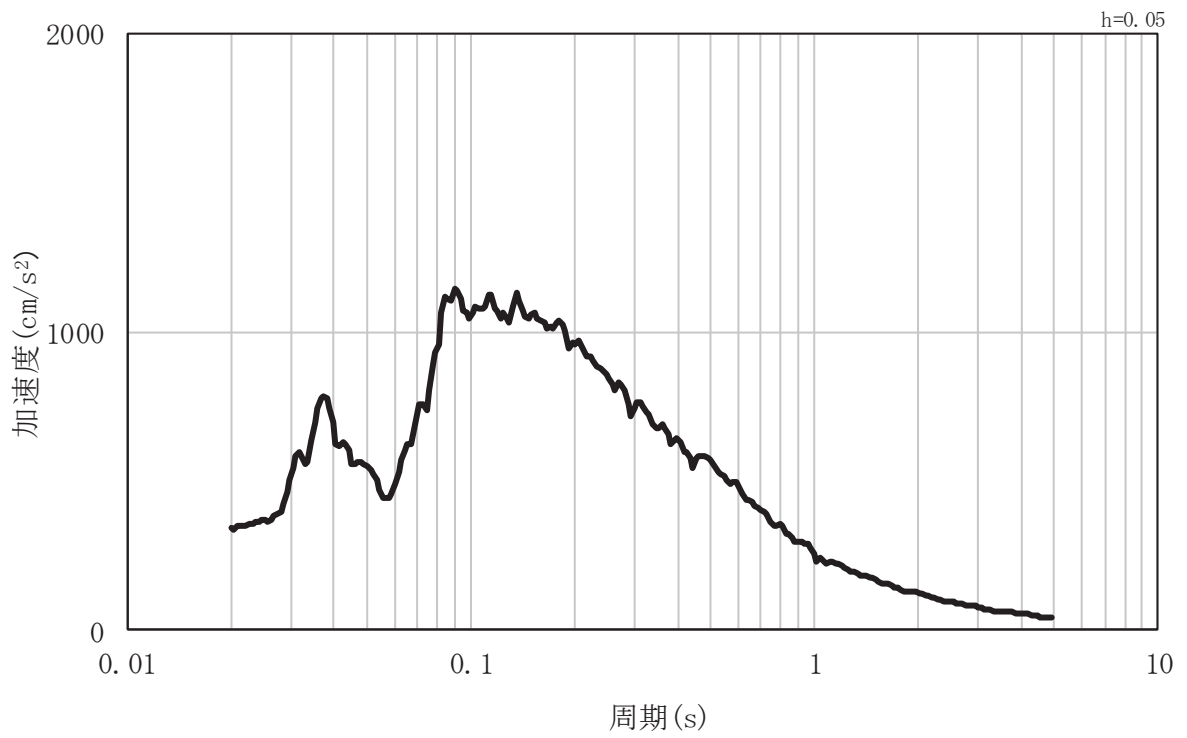


図 3-4 1次元地震応答解析の概念図



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 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

(3) 設計水平震度の算定

1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。

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

表 3-3 1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
最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	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 L1(L2) と，覆工部と周辺岩盤間のせん断を想定した場合 L1'(L2') 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)

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

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/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積 (m<sup>2</sup>)

τ<sub>c</sub> : コンクリートのせん断強さ (kN/m<sup>2</sup>)

L<sub>0</sub> : 付着面の周長 (m)

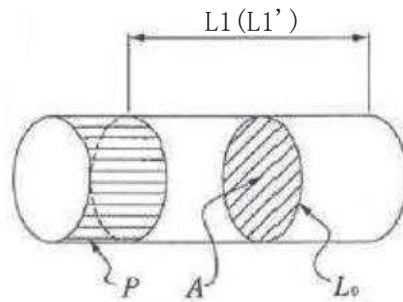


図 3-6 覆工部または充填部のせん断強さ

b. 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L1')

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

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/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積 (m<sup>2</sup>)

τ<sub>r</sub> : 岩盤のせん断強さ (kN/m<sup>2</sup>)

L<sub>0</sub> : 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 (L2)

$$L2 = n \frac{P \cdot A}{C_c A' + f_c N}$$

ここに, L2 : 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/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積 (m<sup>2</sup>)

C<sub>c</sub> : コンクリートの付着力 (kN/m<sup>2</sup>) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積 (m<sup>2</sup>/m)

f<sub>c</sub> : 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)

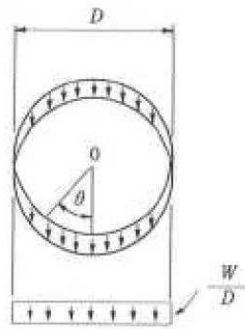


図 3-7 覆工部または充填部の周辺の全抵抗力

b. 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L2')

$$L2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A' + f_r N'}$$

ここに, L2' : 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/m<sup>2</sup>)

A : 水路断面積(m<sup>2</sup>)

C<sub>r</sub> : 岩盤の付着力(kN/m<sup>2</sup>) (せん断強度)

A' : 付着面の単位長さ当たりの面積(m<sup>2</sup>/m)

f<sub>r</sub> : 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 (L3)

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

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/m<sup>2</sup>)

σ' : コンクリートの許容曲げ引張応力度(kN/m<sup>2</sup>)

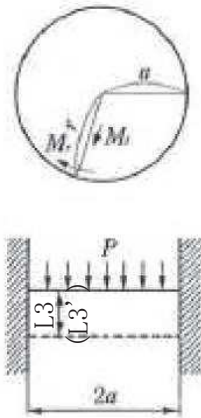


図 3-8 充填部を周辺固定円盤と仮定した場合の必要閉塞長

### 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 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 構造物の使用材料

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

表 3-5 材料の物性値

分類	せん断強度 ( $\tau_0, C$ )	内部摩擦角 ( $\phi$ )	許容曲げ引張応力度 ( $\sigma'$ )
岩盤 (C <sub>H</sub> 級)	$1.72\text{N/mm}^2$ *1	$43^\circ$ *1	—
覆工部	$4.10\text{N/mm}^2$ *2	$0^\circ$ *3	$0.28\text{N/mm}^2$ *4
充填部	$10.0\text{N/mm}^2$ *2	$0^\circ$ *3	$0.43\text{N/mm}^2$ *4

注記 \*1：解析用物性値（狐崎部層の C<sub>H</sub>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），コンクリート標準示方書 [設計編]（土木学会，2017 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 P1 の算出

$$P1 = \rho_0 g h = 1.03 \times 9.80665 \times (24.4 - (-6.089)) = 308.0(kN/m^2)$$

ここに、 $\rho_0$  : 海水の密度 =  $1.03(t/m^3)$

$g$  : 重力加速度 =  $9.80665(m/s^2)$

$h$  : 充填部下端における水深 =  $h_1 - h_2(m)$

$h_1$  : 津波水位(O.P.) =  $24.4(m)$

$h_2$  : 充填部下端位置(O.P.) =  $-6.089(m)$

###### 流水圧 P2 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。

$$P2 = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho_0 \times A_1 \times U^2 = \frac{1}{2} \times 2.01 \times 1.03 \times \boxed{\phantom{00}} \times 10^2 = \boxed{\phantom{00}}$$

ここに、 $C_d$  : 抗力係数 = 2.01（保守的に最大値とする）

$\rho_0$  : 海水の密度 =  $1.03(t/m^3)$

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{00}} = \boxed{\phantom{00}}$$

$D_1$  : 充填部直径 =  $\boxed{\phantom{00}}$

$U$  : 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 P5 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。

$$P5 = \frac{2fQ^2}{g\pi D_3^3} \times L = \frac{2 \times 8gn^2 / \left(\frac{D_3}{4}\right)^{\frac{1}{3}} \times (v \times A_3)^2}{g\pi D_3^3} \times L$$

$$= \frac{2 \times 8 \times 9.80665 \times 0.015^2 / \boxed{\phantom{00}}}{9.80665 \times \pi \boxed{\phantom{00}}} \times (20 \times \boxed{\phantom{00}})^2 \times 5.0 = \boxed{\phantom{00}}$$



ここに、 $f$ ：流水の摩擦抵抗係数( $tf/m^3$ )

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

$g$ ：重力加速度 =  $9.80665(m/s^2)$

$n$ ：充填部の粗度係数 =  $0.015(m^{-1/3}s)$

$D_3$ ：貫通部直径 =

$Q$ ：流量 =  $v \times A_3(m^3/s)$

$v$ ：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)

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

#### 4.1.2 余震荷重の算出

##### 慣性力 P3 の算出

$$P3 = k_h W = k_h \times \gamma \times A_1 \times L = 0.353 \times 23.0 \times \text{} \times 5.0 = \text{}$$

ここに、 $k_h$ ：設計水平震度

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

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

$L$ ：充填部幅 =  $5.0(m)$

$D_1$ ：充填部直径 =

##### 動水圧 P4 の算出

$$P4 = \frac{7}{8} \times k_h \times \rho_0 \times g \times \sqrt{h^2} = \frac{7}{8} \times 0.353 \times 1.03 \times 9.80665 \times \sqrt{\{24.4 - (-6.089)\}^2} \\ = 95.2(kN/m^2)$$

ここに、 $k_h$ ：設計水平震度

$\rho_0$ ：海水の密度 =  $1.03(t/m^3)$

$g$ ：重力加速度 =  $9.80665(m/s^2)$

$h$ ：充填部下端における水深 =  $h_1 - h_2(m)$

$h_1$ ：津波水位(O.P.) =  $24.4(m)$

$h_2$ ：充填部下端位置(O.P.) =  $-6.089(m)$

## 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)

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

$$= 4 \times \frac{(308.0 \times \boxed{\phantom{00000}} + 95.2 \times \boxed{\phantom{00000}}}{4100 \times \boxed{\phantom{00000}}} = \boxed{\phantom{00000}}$$

ここに、 $\alpha$  : 安全率 = 4

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{00000}}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{\phantom{00000}}$$

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

$$L_0 : \text{充填部周長} = \pi \times D_1 = \pi \times \boxed{\phantom{00000}}$$

(2) 覆工部と周辺岩盤間でのせん断を想定した場合 (L1')

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

$$= 4 \times \frac{(308.0 \times \boxed{\phantom{00000}} + 95.2 \times \boxed{\phantom{00000}}}{1720 \times \boxed{\phantom{00000}}} = \boxed{\phantom{00000}}$$

ここに、 $\alpha$  : 安全率 = 4

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{00000}}$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{\phantom{00000}}$$

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

$$L_0' : \text{流路縮小工全体の周長} = \pi \times D_2 = \pi \times \boxed{\phantom{00000}}$$

$$D_2 : \text{流路縮小工全体の直径} = \boxed{\phantom{00000}}$$

### 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)

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

$$= 4 \times \frac{(308.0 \times \boxed{\phantom{00000}} + 95.2 \times \boxed{\phantom{00000}}}{4100 \times \pi \times \boxed{\phantom{00000}} + 0 \times (\pi \times \boxed{\phantom{00000}})} = \boxed{\phantom{00000}}$$

ここに、 $n$  : 安全率 = 4

$$C_c : \text{充填部の付着力} = 4100(kN/m^2)$$

$$D_1 : \text{充填部直径} = \boxed{\phantom{00000}}$$

$\varphi$  : 充填部内部摩擦角 =  $0(^{\circ})$

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

$$A_1 : \text{充填部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_1^2}{4} = \boxed{\phantom{000000}}$$

(2) 覆工部と周辺岩盤間での滑動を想定した場合 (L2')

$$L2' = n \frac{P \cdot A}{C_r A' + f_r N} = n \frac{(P1 \times A_1 + P2 + P3 + P4 \times A_1 + P5)}{C_r \times \pi \times D_2 + \tan \varphi' \times (\pi \times \frac{\gamma \times A_2}{D_2})}$$

$$= 4 \times \frac{(308.0 \times \boxed{\phantom{000000}} + 95.2 \times \boxed{\phantom{000000}})}{1720 \times \pi \times \boxed{\phantom{000000}} + 0.93 \times (\pi \times \boxed{\phantom{000000}})} = \boxed{\phantom{000000}}$$

ここに,  $n$  : 安全率 = 4

$C_r$  : 岩盤の付着力 =  $1720(kN/m^2)$

$D_2$  : 流路縮小工全体直径 =  $\boxed{\phantom{000000}}$

$\varphi'$  : 岩盤の内部摩擦角 =  $43(^{\circ})$

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

$$A_2 : \text{流路縮小工全体の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_2^2}{4} = \boxed{\phantom{000000}}$$

4.2.3 曲げに対する安定性から算出する幅 (L3)

$$L3 = \alpha \left(\frac{a}{2}\right) \sqrt{\frac{3P}{\sigma'}} = \alpha \left(\frac{a}{2}\right) \sqrt{\frac{3 \times (P1 + \frac{P2}{A_1} + \frac{P3}{A_1} + P4 + \frac{P5}{A_3})}{\sigma'}}$$

$$= 1.5 \times \left(\frac{\boxed{\phantom{000000}}}{2}\right) \times \sqrt{\frac{3 \times (308.0 + \boxed{\phantom{000000}} + 95.2 + \boxed{\phantom{000000}})}{430}}$$

$$= \boxed{\phantom{000000}}$$

ここに,  $\alpha$  : 安全率 = 1.5 (保守的に 1.5 とする)

$$a : \frac{D_1}{2} = \frac{\boxed{\phantom{000000}}}{2} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$D_1$  : 充填部直径 =  $\boxed{\phantom{000000}}$

$\sigma'$  : コンクリートの許容曲げ引張応力度  $430(kN/m^2)$

$$A_3 : \text{充填部貫通部の断面積}(m^2) = \frac{\pi \times D_3^2}{4} = \boxed{\phantom{000000}}$$

$D_3$  : 貫通部直径 =  $\boxed{\phantom{000000}}$

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

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 (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')	1.30	5.00	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 (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')	1.29	5.00	0.26
曲げに対する安定性から算出する幅 (L3)	3.59	5.00	0.72

## IV-3-別添 5 非常用発電装置(可搬型)の強度に関する説明書

## 目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象設備	2
2.2 評価方法の選定	2
3. 強度評価方法	3
3.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価	3
4. 強度評価結果	3
4.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価結果	3

## 1. 概要

本資料は、添付書類「IV-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」にて、「発電用火力設備の技術基準を定める省令」を引用している「可搬形発電設備技術基準（NEGA C 331：2005）」（以下「可搬形発電設備技術基準」という。）の準用を確認した可搬型の非常用発電装置の内燃機関が、十分な強度を有することを確認するための強度評価方針、強度評価方法について説明するものである。

## 2. 強度評価の基本方針

非常用発電装置(可搬型)の内燃機関の強度評価は、常設の非常用発電装置の内燃機関と同様に耐圧部の強度評価を行う。ただし、可搬形発電設備技術基準には耐圧部の強度に関連する事項がないため、完成品として一般産業品の規格及び基準により、耐圧部が要求される強度を有していることを確認する。

### 2.1 評価対象設備

強度評価を行う非常用発電装置(可搬型)の内燃機関を表 2-1 に示す。

表 2-1 強度評価の対象設備

施設 分類	強度評価の対象設備
その他 発電用 原子炉 の 附属 施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電源車(内燃機関)</li> <li>・ 電源車(緊急時対策所用)(内燃機関)</li> <li>・ 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(内燃機関)</li> </ul>

### 2.2 評価方法の選定

強度評価については、内燃機関等を含めた一体構造品の完成品として製作されている非常用発電装置(可搬型)が重大事故等時に給電で要求される強度を有することを確認するため、「日本電機工業会規格 JEM-1398」(以下「JEM-1398」という。)又はJEM-1435に規定される温度試験により、非常用発電装置(可搬型)が内燃機関等を含めた一体構造品として、定格負荷状態において安定した運転が維持されることの確認による評価を実施する。



### 3. 強度評価方法

非常用発電装置(可搬型)は、JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験により、強度の要求を満たしていることを以下のとおり確認する。

また、温度試験による強度評価は、対象となる非常用発電装置(可搬型)又はその発電装置と同一型式の発電装置の試験結果にて実績を確認する。

#### 3.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価

##### (1) 使用条件に対する強度の確認

JEM-1398又はJEM-1435に基づいた温度試験により、対象となる非常用発電装置(可搬型)の定格負荷状態における最高温度が、メーカー許容値の範囲内であることを確認し、当該非常用発電装置(可搬型)が十分な強度を有することを確認する。

### 4. 強度評価結果

#### 4.1 JEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験による評価結果

非常用発電装置(可搬型)は、内燃機関等を含めた一体構造品としてJEM-1398又はJEM-1435に規定される温度試験により強度評価を実施しているため、強度評価結果を重大事故等クラス3機器である非常用発電装置(可搬型)の冷却水ポンプが記載されている添付書類「IV-3-3-7-1-1-3-1 電源車(冷却水ポンプ)の強度評価書」、添付書類「VI-3-3-7-1-1-4-1 電源車(緊急時対策所用)(冷却水ポンプ)の強度評価書」及び添付書類「VI-3-3-7-1-1-5-1 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(冷却水ポンプ)の強度評価書」並びに燃料タンクが記載されている添付書類「IV-3-3-7-1-1-3-2 電源車(燃料タンク)の強度評価書」、添付書類「VI-3-3-7-1-1-4-2 電源車(緊急時対策所用)(燃料タンク)の強度評価書」及び添付書類「VI-3-3-7-1-1-5-2 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(燃料タンク)の強度評価書」に示す。

強度評価結果より、表2-1の非常用発電装置(可搬型)の内燃機関は、重大事故等時における非常用発電装置(可搬型)の所要負荷に対する給電で要求される強度を有している。