

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 添-3-015-7 改0
提出年月日	2023年12月19日

### VI-3-別添 3-1-7 貫通部止水処置の強度計算書

2023年12月  
東京電力ホールディングス株式会社

VI-3-別添 3-1-7 貫通部止水処置の強度計算書

## 目 次

1. 概要 .....	1
2. 一般事項 .....	1
2.1 位置 .....	1
2.2 構造概要 .....	1
2.3 評価方針 .....	4
2.4 適用規格・基準等 .....	9
2.5 記号の説明 .....	10
3. 評価対象部位 .....	13
4. 固有周期 .....	14
4.1 固有周期の確認方法 .....	14
4.2 固有周期の確認条件 .....	16
4.3 固有周期の確認結果 .....	16
5. 構造強度評価 .....	16
5.1 構造強度評価方法 .....	16
5.2 荷重及び荷重の組合せ .....	17
5.2.1 荷重の設定 .....	17
5.2.2 荷重の組合せ .....	21
5.3 許容限界 .....	21
5.4 設計用地震力 .....	26
5.5 計算方法 .....	29
5.5.1 モルタルの強度評価（荷重計算） .....	29
5.5.2 シール材及びブーツの強度評価（発生圧力計算） .....	29
5.5.3 鉄板の強度評価 .....	29
5.5.4 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価 .....	31
5.6 計算条件 .....	32
6. 評価結果 .....	38

## 1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうちタービン建屋内貫通部止水処置が、地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重に対して、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. 一般事項

### 2.1 位置

貫通部止水処置は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示す、タービン建屋の貫通口と貫通物とのすき間又は貫通物の周囲に施工する。

### 2.2 構造概要

貫通部止水処置の構造は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は、貫通部の位置条件及び貫通物の強度条件に応じて、シール材、モルタル、ブーツ又は鉄板を使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁の貫通口と貫通物のすき間に施工し、壁と貫通物を接合する構造とする。なお、シール材をケーブルトレイ貫通部の止水に用いる場合は、シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填、もしくは塗布する。ブーツは、伸縮性ゴムを用い、壁面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。鉄板は、鉄板と開口縁金物を全周溶接する。貫通部止水処置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (1/2)

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて締結する。	
	鉄板にて閉止する構成とする。	開口部に鉄板を挿入し、溶接によって接合する。	

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置		<p>ケーブルトレイ貫通部については、シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填、もしくは塗布する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。</p>	<p>水圧方向 →</p> <p>壁、床</p> <p>アンカーボルト</p> <p>金属ボックス</p> <p>ケーブル</p> <p>シール材</p> <p>ケーブルトレイ</p> <p>← 水圧方向</p>
	<p>充填タイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	<p>シール材</p> <p>ケーブルボックス</p> <p>壁、床</p> <p>電線管</p> <p>水圧方向 →</p> <p>ケーブル</p>
	<p>コーキングタイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	<p>水圧方向 →</p> <p>壁、床</p> <p>シール材</p> <p>鉄板</p> <p>配管</p>

### 2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、貫通部止水処置の評価部位に作用する荷重等が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す評価条件を用いて評価し、「6. 評価結果」にて確認する。

貫通部止水処置のシール材及びブーツの強度評価フローを図 2-1 に、モルタルの強度評価フローを図 2-2 に、鉄板の強度評価フローを図 2-3 に、シール材施工に用いるケーブルトレイ金属ボックスの強度評価フローを図 2-4 に示す。

貫通部止水処置の強度評価においては、その構造を踏まえ、地震による動水圧荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重及び余震を考慮した荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時においては、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す弾性設計用地震動  $S_d$  を入力して得られた床応答スペクトル又は最大応答加速度から算出した値を設計震度として用いる。なお、強度評価に当たっては、弾性設計用地震動  $S_d$  による余震荷重を考慮した評価を実施する。

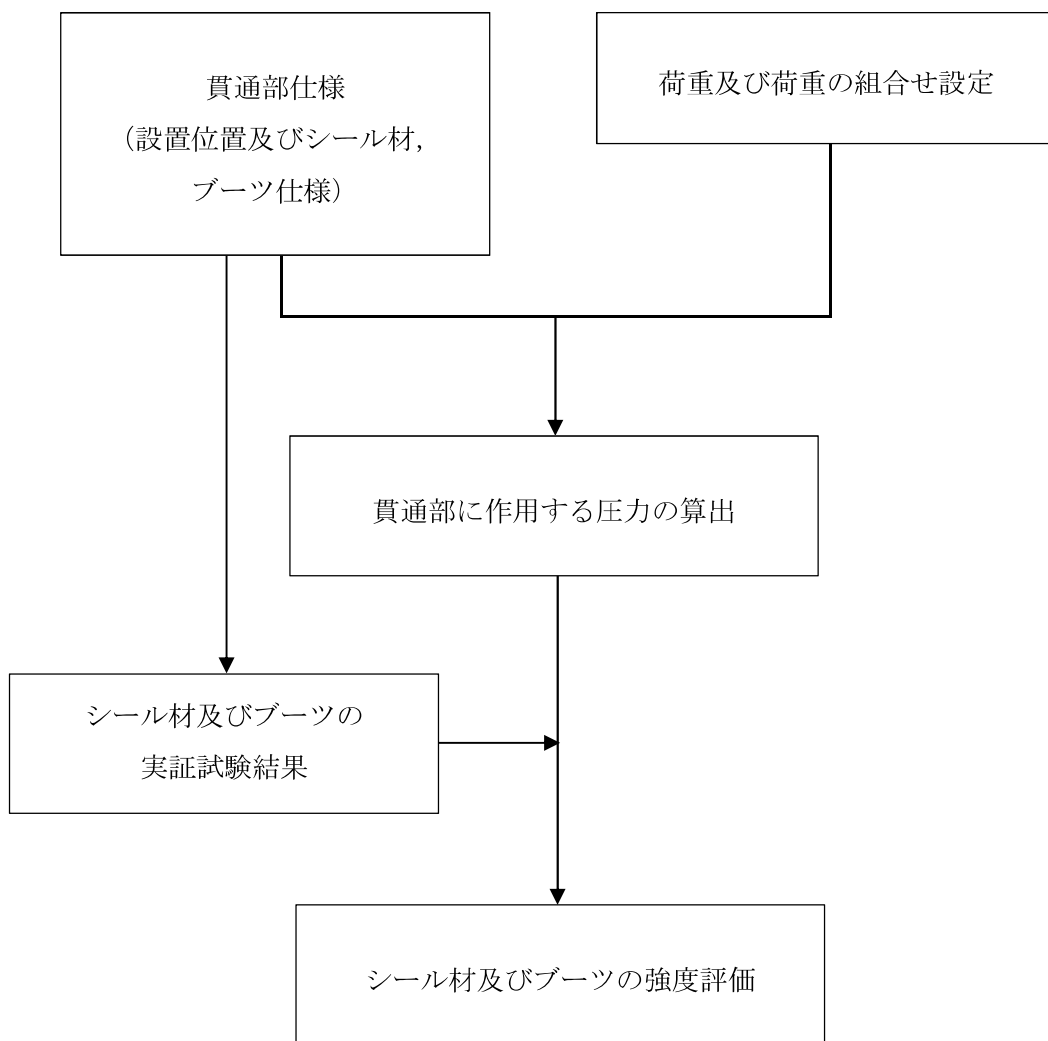


図 2-1 シール材及びブーツの強度評価フロー



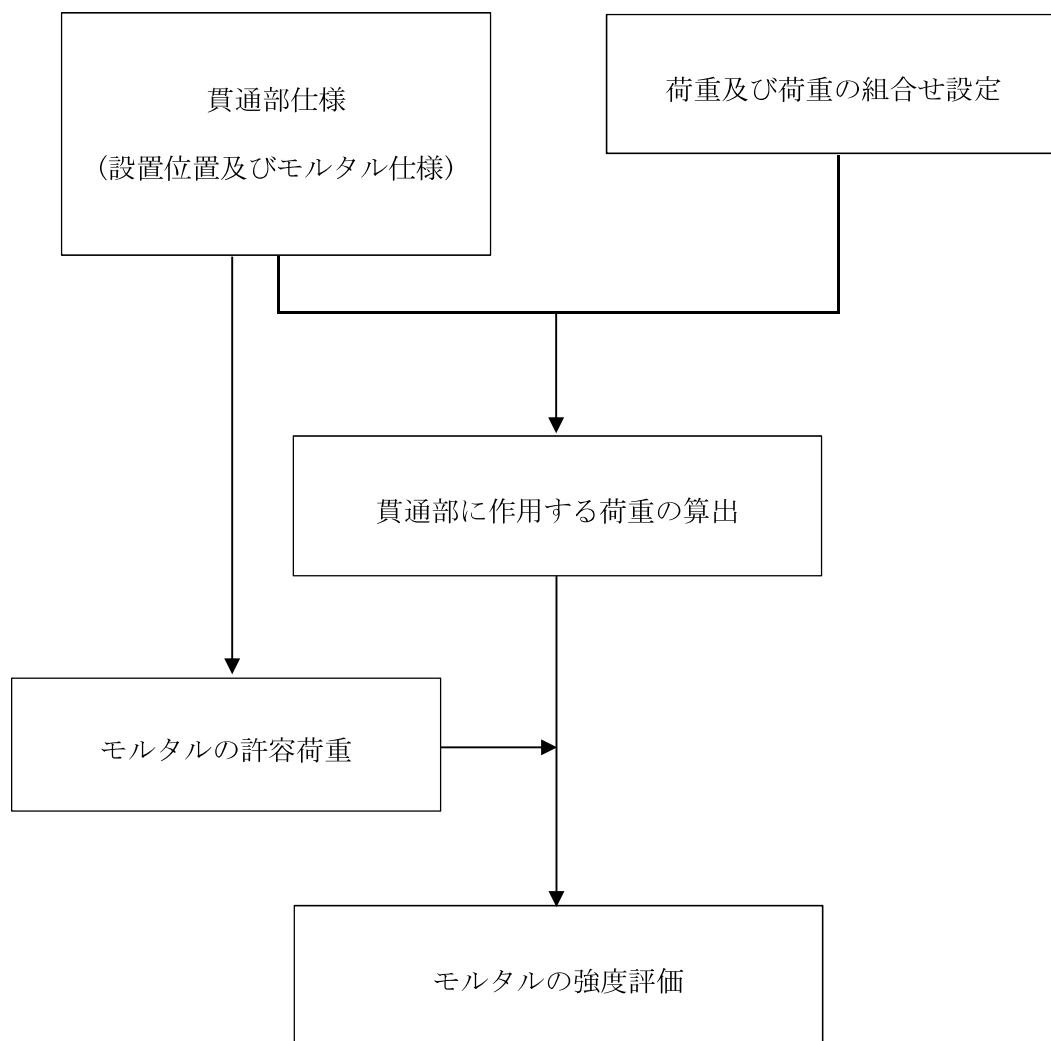


図 2-2 モルタルの強度評価フロー

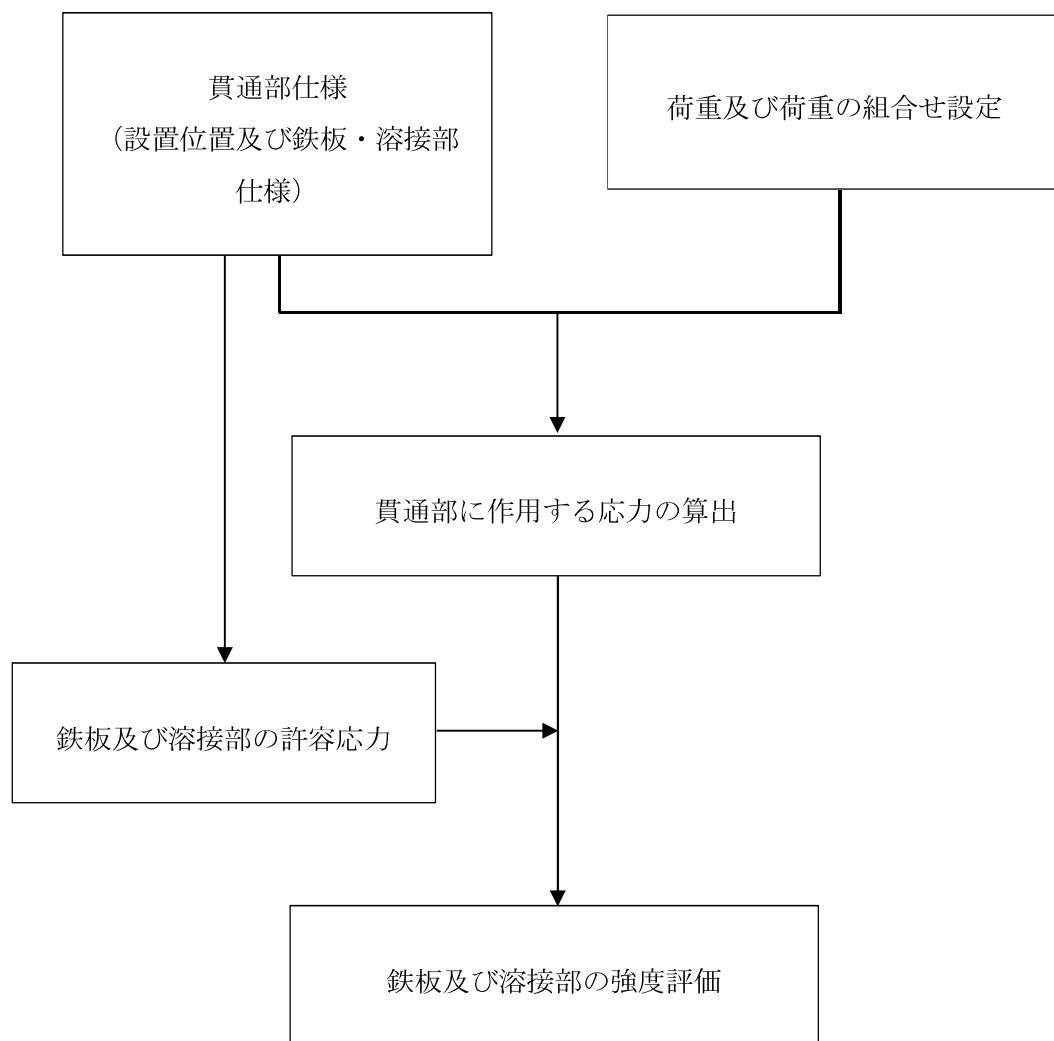


図 2-3 鉄板の強度評価フロー

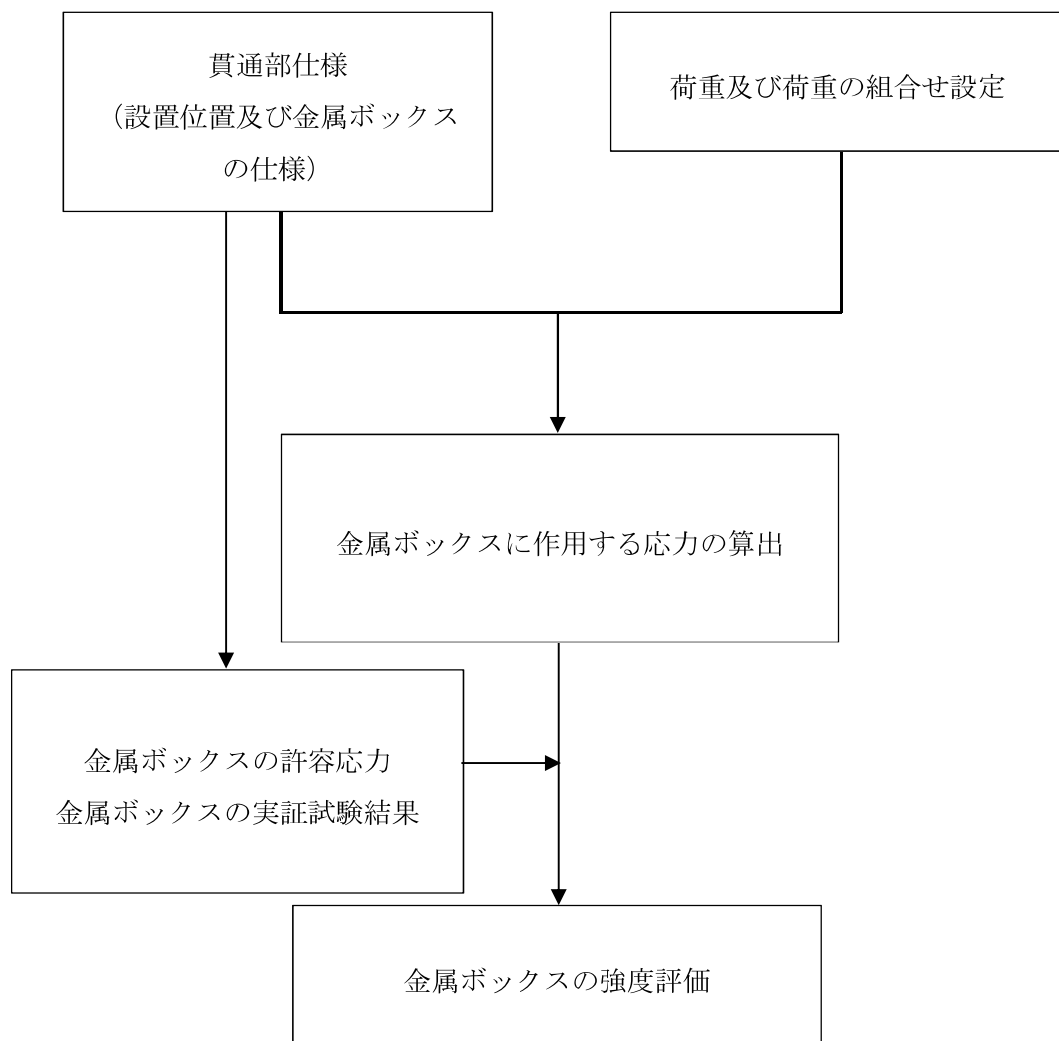


図 2-4 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会 2002 年制定)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。))  
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。)
- ・ 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)
- ・ 機械工学便覧 ( (社) 日本機械学会)
- ・ 水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 (公益社団法人 日本水道協会)

## 2.5 記号の説明

強度評価に用いる記号を表 2-2, 表 2-3, 表 2-4 に示す。

表 2-2 モルタルの強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
$A'$	モルタルが水圧を受ける面積 (受圧面積)	$\text{mm}^2$
$C_H$	余震による水平方向の設計震度	—
$C_{Hw}$	動水圧算出用の水平方向震度	—
$C_V$	余震による鉛直方向の設計震度	—
$f_s$	モルタルの許容付着荷重	N
$f'_{bok}$	モルタル付着強度	MPa
$f'_{ck}$	モルタルの圧縮強度	MPa
$F_H$	弾性設計用地震動 $S_d$ により生じる貫通物の軸方向に作用する荷重	N
$F_S$	貫通物の反力によりモルタルに生じるせん断荷重	N
$F_{Stotal}$	モルタル部に生じる合計せん断荷重	N
$g$	重力加速度	$\text{m/s}^2$
$h$	貫通部にかかる水頭	mm
$H$	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	mm
$K_{sd}$	弾性設計用地震動 $S_d$ に伴う余震荷重	N
$L$	モルタルの充填深さ	mm
$P_d$	動水圧	MPa
$P_h$	静水圧荷重	MPa
$P_{total}$	シール材およびブーツに生じる合計水圧	MPa
$S$	貫通物の周長	mm
$W$	貫通物の支持間隔の質量	kg
$\beta$	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
$\rho$	海水の密度	$\text{kg/m}^3$
$\gamma_c$	材料定数	—

表 2-3 鉄板の強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
$A_w$	鉄板と開口縁金物の溶接有効面積	$\text{mm}^2$
$a$	鉄板評価部の短辺方向長さ	$\text{mm}$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_{HW}$	動水圧算出用の水平方向震度	—
$f_b$	鉄板及び溶接部の許容曲げ応力	$\text{MPa}$
$f_s$	鉄板及び溶接部の許容せん断応力	$\text{MPa}$
$g$	重力加速度	$\text{m/s}^2$
$h$	貫通部位置における水圧作用高さ	$\text{mm}$
$H$	水頭から最下層までの高さ	$\text{mm}$
$L_w$	鉄板と開口縁金物との溶接部の有効溶接長	$\text{mm}$
$P_h$	静水圧荷重	$\text{MPa}$
$P_d$	Westergaard 式による動水圧荷重	$\text{MPa}$
$P_w$	鉄板の単位面積あたりにかかる地震分布荷重	$\text{MPa}$
$S$	鉄板の面積	$\text{mm}^2$
$t_1$	鉄板の板厚	$\text{mm}$
$t_2$	鉄板と開口縁金物との溶接部の有効のど厚	$\text{mm}$
$\beta$	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (B/H)	—
$\beta_1$	鉄板評価部の最大応力係数	—
$\rho$	海水の密度	$\text{kg/m}^3$
$\rho_{ss}$	鉄板の単位質量	$\text{kg/m}^3$
$\sigma_{\max}$	評価部位に加わる曲げ応力	$\text{MPa}$
$\sigma_t$	評価部位に加わるせん断応力	$\text{MPa}$

表 2-4 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
$A_b$	アンカーボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$A$	評価対象の逆圧を受ける部分の面積	$\text{mm}^2$
$n$	アンカーボルトの本数	本
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$g$	重力加速度	$\text{m/s}^2$
$h_1$	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
$h_2$	水頭から設置高さまでの水深	mm
$H$	水頭から最下層までの高さ	mm
$\ell_1$	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
$\ell_2$	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
$\ell_3$	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
$m$	金属ボックスの質量（充填もしくは塗布されているシール材質量を含む。）	kg
$nf_h$	評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの本数（水平方向）	本
$nf_v$	評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの本数（鉛直方向）	本
$P_h$	静水圧荷重（逆圧）	MPa
$P_d$	動水圧荷重（逆圧）	MPa
$\sigma_b$	アンカーボルト 1 本あたりに作用する引張応力	MPa
$F_b$	アンカーボルト 1 本あたりに作用する引張力	N
$\tau_b$	アンカーボルト 1 本あたりに作用するせん断応力	MPa
$Q_b$	アンカーボルトに作用するせん断力	N
$\rho$	海水の密度	$\text{kg/m}^3$

### 3. 評価対象部位

貫通部止水処置の評価部位は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水によって生じる静水圧及び余震を考慮した荷重は、止水処置全体へ伝達される。このことから、シール材、ブーツ、モルタル及び鉄板を用いた止水処置の全体を評価部位として設定する。

モルタルについては、管の反力が大きいプロセス配管のうち、作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。シール材及びブーツについては、作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。さらに、ケーブルトレイ貫通部については、金属ボックスに対して逆圧がかかる場合が、金属ボックスを壁・床面に固定するアンカーボルトに最も大きな引張力がかかることから、逆圧がかかり、かつ、最も水圧が大きい貫通部を代表として評価を行う。なお、ケーブルトレイ自体はサポートにより支持されており、金属ボックスとは金属同士で接しておらず、ケーブルトレイからの地震の影響は金属ボックスには及ばない構造となっていることから、評価対象部位として考慮しない。鉄板については、作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。



#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の確認方法

モルタルについては、壁・床に埋め込まれたり、表面に張り付いたりしている構造で躯体側と一体となって振動するため、モルタル自体の耐震計算は不要であり固有周期は算出しない。

一方、ケーブルトレイ金属ボックスは、壁に固定しているアンカーボルトの健全性を確認するため固有値解析の計算結果（VI-2-10-2-4-2「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」の「4.3 固有周期の確認結果」を参照）を用いる。

鉄板は、鉄板及び壁に固定する溶接部の健全性を確認するため固有周期を算出する。その方法を示す。

##### (1) 確認手法

##### a. 鉄板

鉄板の寸法や形状を踏まえ、図 4-1 に示す 4 辺支持の長方形板として考える。

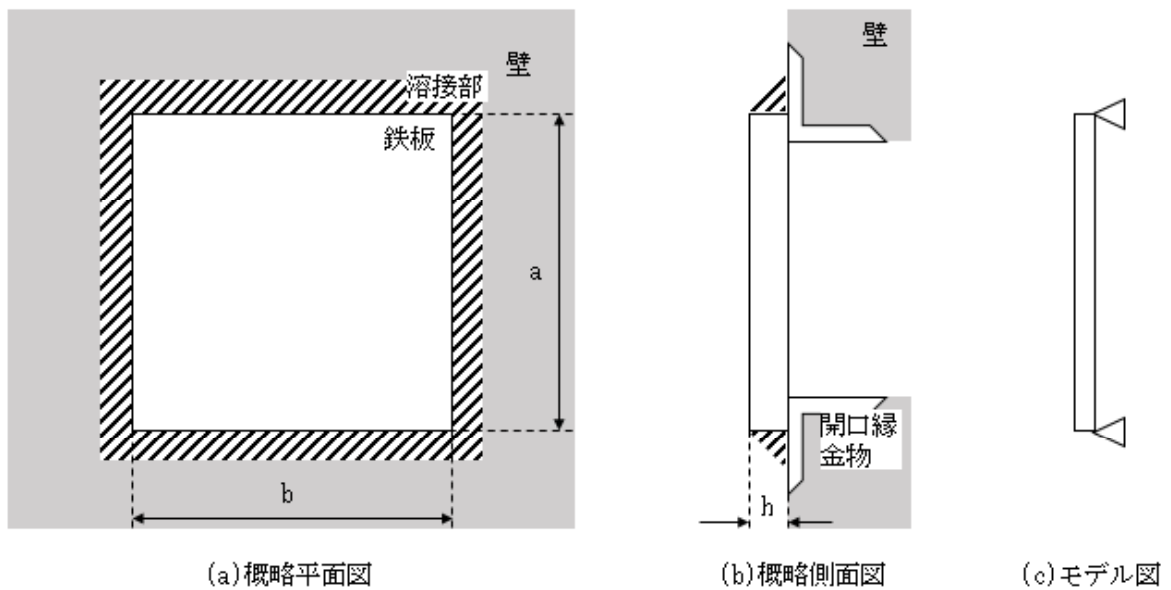


図 4-1 鉄板の評価構造

(2) 記号の説明

鉄板の固有周期算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
T	固有周期	秒
f	固有振動数	Hz
h	板厚/2	mm
m	振動の次数 (長辺) (m = 1)	—
n	振動の次数 (短編) (n = 1)	—
a	長方形板長辺サイズ	mm
b	長方形板短編サイズ	mm
E	ヤング率	N/mm <sup>2</sup>
ν	ポアソン比	—
ρ	長方形板材の密度	Kg/m <sup>3</sup>

(3) 固有周期の算出方法

固有周期 T を「機械学会 機械工学便覧」に基づき、以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi \cdot h}{2} \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}} \cdot 10^6$$

$$T = 1 / f$$

4.2 固有周期の確認条件

鉄板の固有周期の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 鉄板の固有周期の計算条件

板厚 h (mm)	長方形板長辺サイズ a (mm)	長方形板短編サイズ b (mm)	ヤング率 E (N/mm <sup>2</sup> )
4.5	400	400	201666

ポアソン比 ν (-)	長方形板材の密度 ρ (Kg/m <sup>3</sup> )
0.3	7850

4.3 固有周期の確認結果

鉄板の固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。

(1) 鉄板

固有周期は、0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-3 鉄板の固有周期

(単位：秒)

水平*	0.00369
-----	---------

注記\*：鉄板は単純な構造であり、支配的な方向（閉止面に対して垂直な方向）が明白であるため、水平方向に対する固有振動数のみを算出

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、VI-3-別添 3-1-1「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実施する。

貫通部止水処置の強度評価は、「3. 評価対象部位」に示す評価部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

## 5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

### 5.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

#### (1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）の質量及び内容物の質量を考慮する。

#### (2) 静水圧荷重 (P<sub>h</sub>)

静水圧荷重として、浸水によって生じる静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-9}$$

(3) 余震荷重 ( $K_{sd}$ )

余震荷重は、VI-3-別添 3-1-1「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、弾性設計用地震動  $S_d$  に伴う地震力（動水圧含む。）とする。

a. モルタル

(a) 余震による地震力

イ. 貫通物による余震荷重

貫通物からモルタルに作用する荷重として、支持構造物間の固定荷重及び地震力を考慮する。図 5-1 にモルタルへの付着方向の地震力（余震荷重）の作用図を示す。

また、貫通物は柔構造となる場合があることから、貫通物の設置場所における床応答スペクトルを用いて設計震度を算出する。

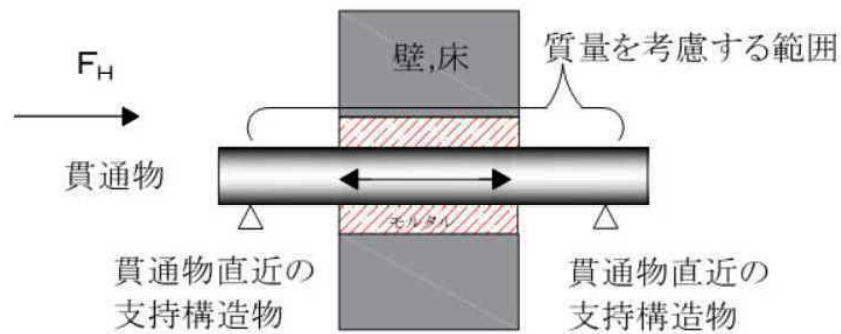


図 5-1 モルタルへの付着方向の余震荷重作用図

ロ. 評価において考慮する貫通部

評価においては、イ. に基づく余震荷重と最も荷重が大きくなる貫通物を考慮して算出する。

ハ. モルタルに作用する付着荷重

モルタルに作用する余震による付着荷重については、イ. に示す支持構造物間の貫通物に作用する余震荷重から算出する。

(b) 余震による動水圧

余震による動水圧がモルタルに作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{Hw} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h} \cdot 10^{-9}$$

b. 鉄板

(a) 余震による地震力

鉄板に作用する荷重として、鉄板の地震力を考慮する。図 5-2 に鉄板への曲げ方向の地震力（余震荷重）の作用図を示す。

また、固有値解析の計算結果（「4.3 固有周期の確認結果」を参照）から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造のため、鉄板の設置場所における最大応答加速度を用いて算出する。

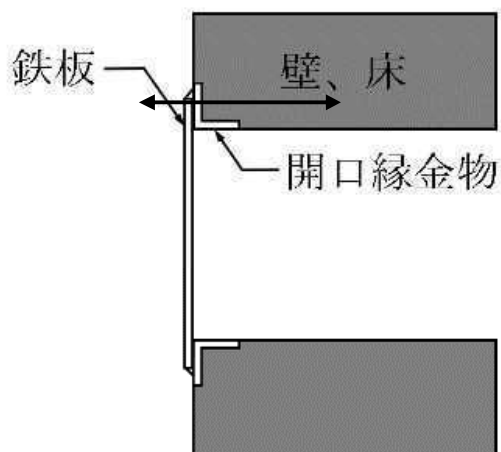


図 5-2 鉄板への曲げ方向の余震荷重作用図

(b) 余震による動水圧

余震による動水圧が鉄板に作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{Hw} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h} \cdot 10^{-9}$$

c. ケーブルトレイ金属ボックス

(a) 余震による地震力

ケーブルトレイ金属ボックスは、アンカーボルトによって固定されていることから、アンカーボルトには固定荷重と余震荷重が作用し、金属ボックスが水平方向及び鉛直方向へ転倒する力が働く。図 5-3 にアンカーボルトへの地震力（余震荷重）の作用図を示す。

また、固有値解析の計算結果（VI-2-10-2-4-2「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」の「4.3 固有周期の確認結果」を参照）から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造のため、金属ボックスの設置場所における最大応答加速度を用いて算出する。

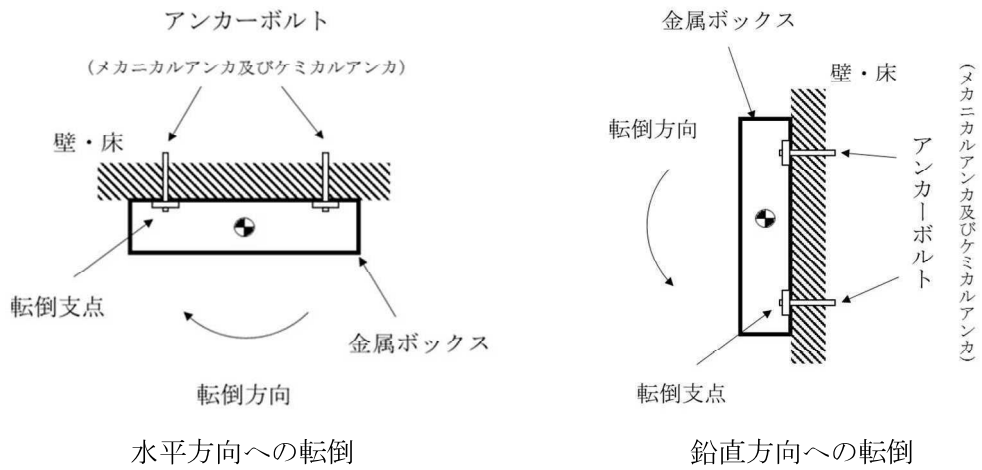


図 5-3 ケーブルトレイ金属ボックスの荷重作用図

(b) 余震による動水圧

余震による動水圧が金属ボックスに作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h_2} \cdot 10^{-9}$$

### 5.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 (浸水防止設備)	貫通部止水処置	$G + P_h + P_t + K_{sd}$

注記\* :  $G$ は固定荷重,  $P_h$ は静水圧荷重,  $P_t$ は突き上げ荷重,  $K_{sd}$ は弾性設計用地震動  $S_d$  による余震荷重 (慣性力  $P_{sd}$ ) を示す。

### 5.3 許容限界

#### (1) モルタル

各評価部位の許容値は, コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会 2002 年制定) に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 5-2, 許容限界評価条件を表 5-3, 貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 5-4 に示す。また, モルタルの施工例を図 5-4 に示す。



表 5-2 貫通部止水処置の許容限界 (許容荷重)

状態	許容限界*
	付着荷重
短期	$f_s$

注記\* : モルタルの許容限界は, コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会 2002 年制定) によりモルタルの許容付着荷重  $f_s$ , モルタル付着強度  $f'_{bok}$  を算出する。モルタル圧縮強度  $f'_{ck}$  は設計値を用いる。また, 評価において最も荷重が大きくなる貫通物の口径=850A, モルタル充填深さ  $L=1100\text{mm}$  とする。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

表 5-3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価部位	$f'_{ck}$ *	$\gamma_c$ *
モルタル	32.3	1.3

注記\* :  $f'_{ck}$  : モルタル圧縮強度,  $\gamma_c$  : 材料定数を示す。

表 5-4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価部位	許容限界
		付着荷重 (kN)
短期	モルタル	2607

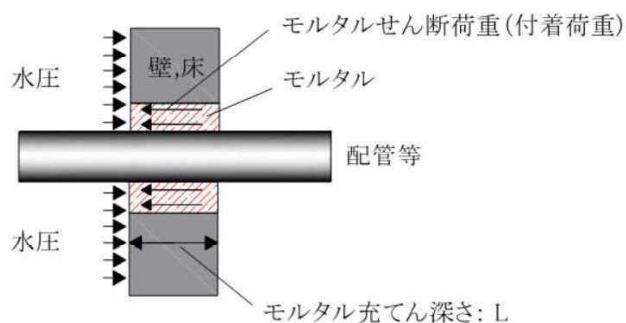


図 5-4 モルタルの施工例

(2) シール材

シール材の許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。シール材の水圧試験の概要を図5-5に示す。実機施工時には、試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し、かつ、想定する浸水高さから求まる静水圧が、許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。

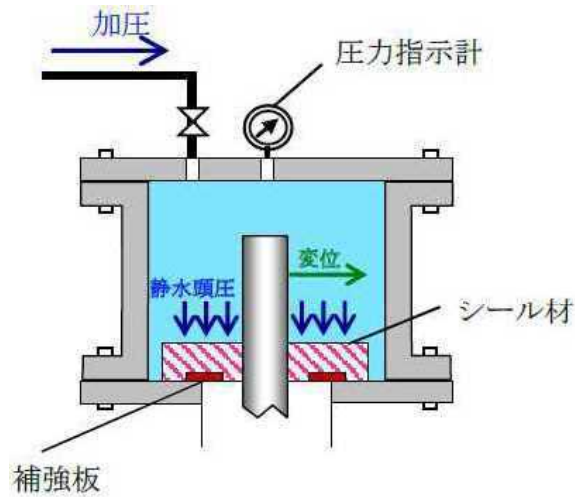


図5-5 シール材の水圧試験の概要

(3) ブーツ

ブーツの許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。また、実機の施工状況を考慮し、受圧面がブーツ内側又は外側のどちらの場合でも止水機能が確保できることを確認するため、内圧試験及び外圧試験の両ケースを実施する。ブーツの水圧試験の概要を図5-6に示す。

実機施工時には、試験検証済みの寸法以下で施工する。

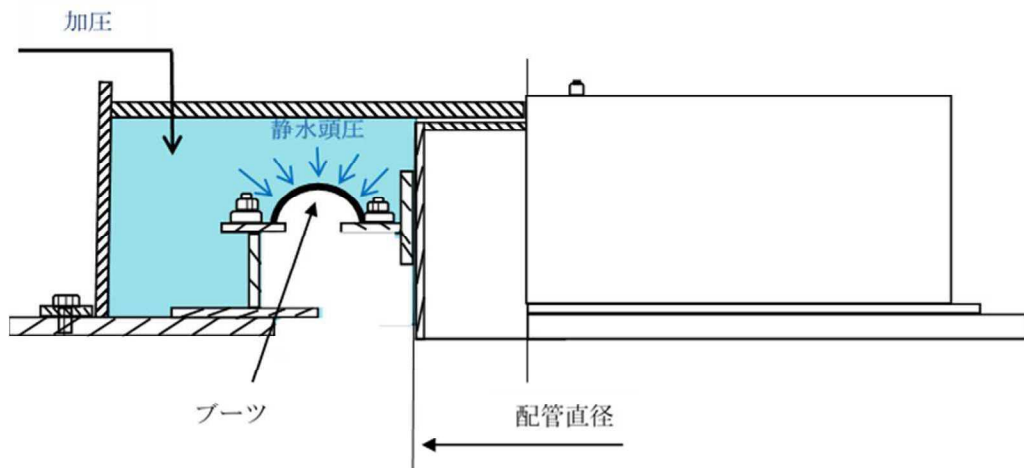


図5-6 ブーツの水圧試験の概要

(4) 鉄板

各評価部位の許容値は設計・建設規格に規定される許容値を用いる。鉄板の許容限界を表 5-5, 許容限界評価条件を表 5-6, 許容限界算出結果を表 5-7 に示す。

表 5-5 鉄板の許容限界

評価部位	許容応力 状態	許容限界		
		引張応力 $f_t$	せん断応力 $f_s$	曲げ応力 $f_b$
鉄板	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—	$\frac{F}{1.3} \cdot 1.5$
鉄板と開口縁金物 との溶接部		—	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	—

表 5-6 鉄板の許容限界評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C)		F (MPa)
		周囲環境温度		
鉄板	SS400	周囲環境温度	40	235
鉄板と開口縁金物 との溶接部	SS400	周囲環境温度	40	235

表 5-7 鉄板の許容限界算出結果

評価部位	許容限界		
	引張応力 $f_t$ (MPa)	せん断応力 $f_s$ (MPa)	曲げ応力 $f_b$ (MPa)
鉄板	—	—	271
鉄板と開口縁金物との溶接部	—	135	—

(5) ケーブルトレイ金属ボックス

アンカーボルトの許容値は設計・建設規格に規定される許容値を用い、アンカーボルトの許容限界を表 5-8、許容限界評価条件を表 5-9 に示す。金属ボックスの許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。金属ボックスの水圧試験の概要を図 5-7 に示す。実機施工時においては、試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し、かつ、想定する浸水高さから求まる静水圧が、許容限界値以内であることを確認し確実に耐圧性を確保する。また、ケーブルトレイ金属ボックスの施工例を図 5-8 に示す。

表5-8 アンカーボルトの許容限界

評価部位	許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup>	
		一次応力	
		引張応力 $f_{t o}$	せん断応力 $f_{s b}$
アンカーボルト	III <sub>A</sub> S	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

注記\*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

\*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-9 アンカーボルトの許容限界評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C)		F (MPa)
		周囲環境温度	40	
アンカーボルト	SS400 相当	周囲環境温度	40	215

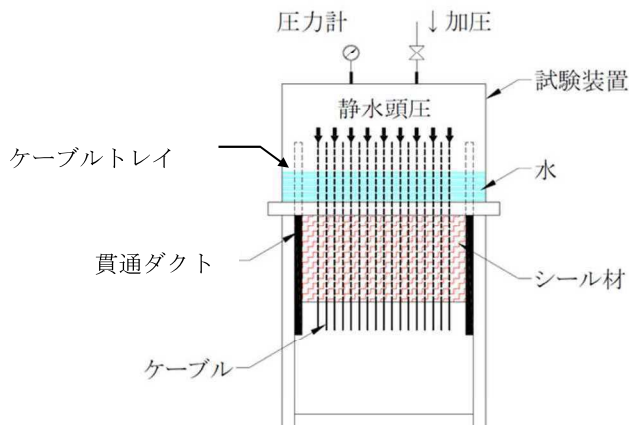


図 5-7 ケーブルトレイ金属ボックスの水圧試験の概要

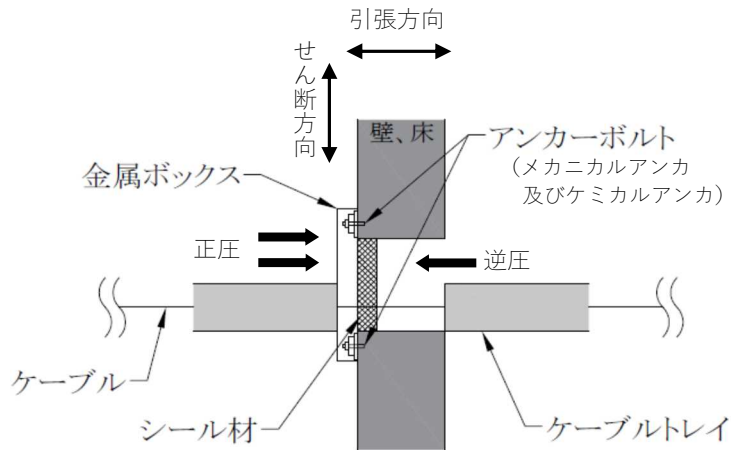


図 5-8 ケーブルトレイ金属ボックスの施工例

#### 5.4 設計用地震力

##### (1) モルタル

モルタルの強度評価に使用する弾性設計用地震動  $S_d$  に伴う地震力については、VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。貫通部止水処置の強度計算に用いる設計震度を表 5-11 に示す。

表 5-11 モルタルの設計震度

地震動	設置場所及び 床面高さ (mm)	余震による設計震度*1*3	
		水平方向 $C_H$	4.15
弾性設計用地震動 $S_d$	タービン地下 2 階 T. M. S. L. -4250 (T. M. S. L. -1100*2)	鉛直方向 $C_V$	3.49

注記\*1: モルタル止水処置は評価対象箇所が多いことから、設計震度の算出が全ての対象箇所を包絡するように全周期帯の最大加速度を用いた。また、保守的な評価となるように設置場所の床応答曲線は減衰定数 0.5% を適用した。

\*2: 設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

\*3: 設計用最大応答加速度  $I$  (弾性設計用地震動  $S_d$ )

##### (2) 鉄板

鉄板の強度評価に使用する弾性設計用地震動  $S_d$  に伴う地震力については、VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。貫通部止水処置の強度計算に用いる設計震度を表 5-12 に示す。

表 5-12 鉄板の設計震度

地震動	設置場所及び 床面高さ (mm)	余震による設計震度*1*3	
弾性設計用地震動 S d	タービン地下 2 階 T. M. S. L. -3400 (T. M. S. L. -1100*2)	水平方向 C <sub>H</sub>	0.50

注記\*1: 鉄板止水処置は固有周期が 0.05 秒以下であり剛構造のため、基準床の最大応答速度の 1.2 倍を設計震度とした。

\*2: 設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

\*3: 設計用最大応答加速度 I (弾性設計用地震動 S d)

(3) ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に使用する弾性設計用地震動 S d に伴う地震力については、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。ケーブルトレイ金属ボックスの強度計算に用いる設計震度を表 5-13 に示す。

表 5-13 ケーブルトレイ金属ボックスの設計震度

地震動	設置場所及び 床面高さ (mm)	余震による設計震度*1*3	
		弾性設計用地震動 S d	タービン地下 1 階 T. M. S. L. 9150 (T. M. S. L. 12300*2)
		鉛直方向 C <sub>V</sub>	0.49

注記\*1：ケーブルトレイ金属ボックスは固有周期が 0.05 秒以下であり剛構造のため、基準床の最大応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

\*2：設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

\*3：設計用最大応答加速度 I（弾性設計用地震動 S d）

## 5.5 計算方法

### 5.5.1 モルタルの強度評価（荷重計算）

#### (1) 貫通物の反力により生じる荷重

固定荷重及び地震時の貫通物の反力によりモルタルに生じる荷重は、次のとおり算出する。せん断荷重は、水平反力と貫通軸上の貫通物の質量から次のとおり算出する。

$$F_H = W \cdot g \cdot (1 + C_H)$$

$$F_S = F_H$$

#### (2) モルタルにかかる水圧により生じる荷重

##### (a) 静水圧荷重 ( $P_h$ )

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-9}$$

##### (b) 動水圧荷重 ( $P_d$ )

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h} \cdot 10^{-9}$$

#### (3) 合計荷重

モルタルに発生する合計せん断荷重  $F_{Stotal}$  は次のとおり算出する。

$$F_{Stotal} = F_S + (P_h + P_d) \cdot A'$$

### 5.5.2 シール材及びブーツの強度評価（発生圧力計算）

シール材及びブーツについては、浸水によって生じる静水圧荷重  $P_h$  と余震による動水圧  $P_d$  を考慮する。

$$P_{total} = P_h + P_d$$

### 5.5.3 鉄板の強度評価

#### (1) 鉄板にかかる荷重

津波による水圧により鉄板に生じる荷重は次の通り算出する。

##### a. 静水圧荷重 ( $P_h$ )

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-9}$$

##### b. 動水圧荷重 ( $P_d$ )

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h} \cdot 10^{-9}$$

##### c. 鉄板の単位面積当たりにかかる地震分布荷重

$$P_w = \rho_{SS} \cdot g \cdot t_1 \cdot C_H \cdot 10^{-9}$$



(2) 鉄板にかかる曲げ応力

$$\sigma_{max} = \beta_1 \cdot (P_h + P_d + P_w) \cdot \frac{a^2}{t_1^2}$$

(3) 鉄板と開口縁金物の溶接部に生じるせん断応力

$$\sigma_t = (P_h + P_d + P_w) \cdot S / A_w$$

$$A_w = t_2 \cdot L_w$$

## 5.5.4 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価

## (1) 余震によりボルトに生じる応力

固定荷重，弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 及び逆圧により，アンカーボルトに生じる応力は次の通り算出する。

## a. アンカーボルトに生じる応力

## (a) 引張応力の計算

固定荷重，弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> によりアンカーボルトに生じる引張応力は，最も厳しい条件として，図 5-3 で片側のボルト列を支点とする転倒を考え，これをもう片側のボルト列で受けるものとして計算する。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

金属ボックスが水平方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1}{nf_h \cdot l_3} + \frac{m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot h_1}{nf_v \cdot l_2}$$

金属ボックスが鉛直方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b2} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot l_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot h_1}{nf_v \cdot l_2}$$

逆圧による引張力

$$F_{b3} = \frac{(P_h + P_d) \cdot A}{n}$$

総じた引張力

$$F_b = \text{Max}((F_{b1} + F_{b3}), (F_{b2} + F_{b3}))$$

## (b) せん断応力の計算

アンカーボルトに対するせん断応力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

水平方向のせん断力

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H$$

鉛直方向のせん断力

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V)$$

総じたせん断力

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2}$$

5.6 計算条件

(1) モルタル

モルタルの強度評価に関する荷重評価条件を表5-14に示す。また、浸水時の位置関係を図5-9に示す。

表5-14 モルタルの強度評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 $\beta$	海水の密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (mm)
タービン建屋 地下2階 (モルタル)	1.0	1030	6100* <sup>1</sup>

貫通部ににかかる水頭 h (mm)	貫通物の支持間隔 の質量 W (kg)	モルタルが水圧を 受ける面積 A' (mm <sup>2</sup> )	動水圧算出用の 水平方向震度 C <sub>HW</sub>
5760* <sup>2</sup>		225000	0.42

注記\*1：貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さHは、タービン建屋の復水器エリアの床面（T.M.S.L. -5100mm）から水頭高さ（T.M.S.L. 1000mm）までの寸法。

\*2：貫通部ににかかる水頭hは、貫通口下端から水頭高さまでの寸法。

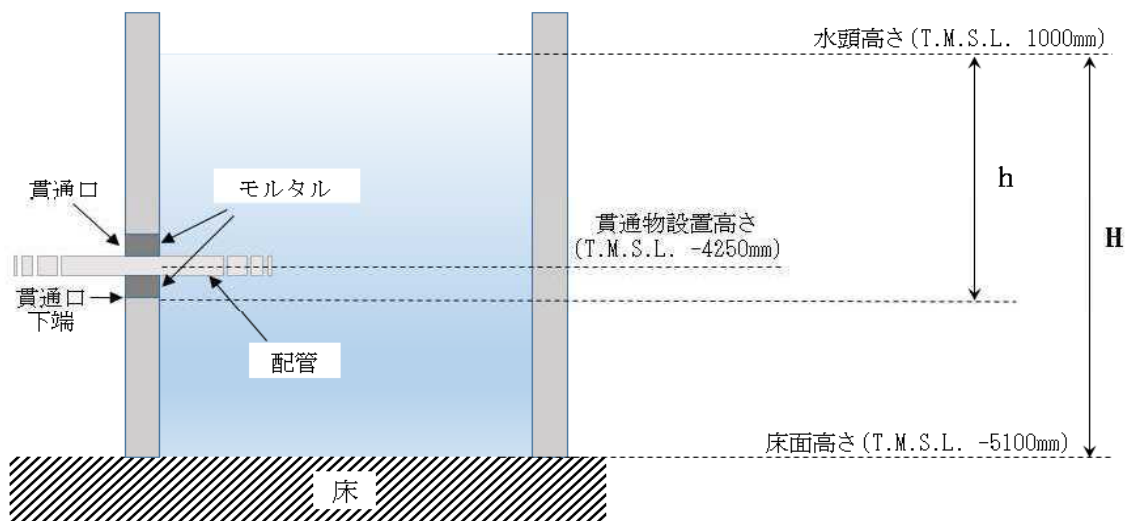


図5-9 浸水時の位置関係（モルタル）

(2) シール材

シール材の強度評価に関する荷重評価条件を表 5-15 に示す。また、浸水時の位置関係を図 5-10 に示す。

表 5-15 シール材の強度評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 $\beta$	海水の密度 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (mm)
タービン建屋 地下 2 階 (シール材)	1.0	1030	21800

貫通部ににかかる水頭 h (mm)	動水圧算出用の 水平方向震度 $C_{HW}$
20750	0.42

注記\*1: 貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さHは、タービン建屋の床面 (T. M. S. L. -9500mm) から水頭高さ (T. M. S. L. 12300mm) までの寸法。

\*2: 貫通部ににかかる水頭hは、貫通口下端から水頭高さまでの寸法。

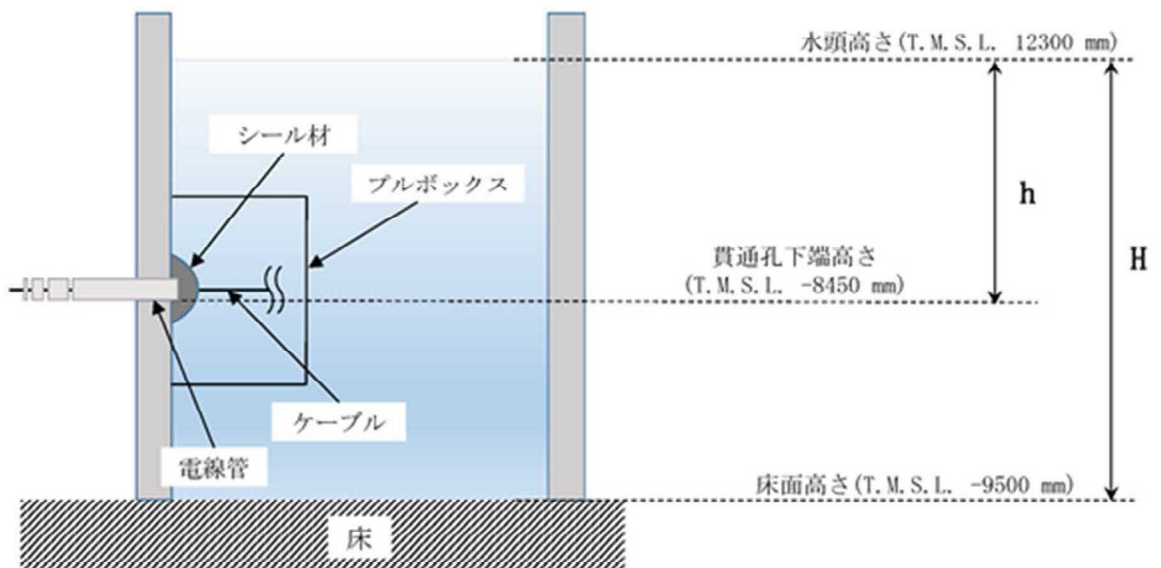


図 5-10 浸水時の位置関係 (シール材)

(3) ブーツ

ブーツの強度評価に関する荷重評価条件を表 5-16 に示す。また、浸水時の位置関係を図 5-11 に示す。

表 5-16 ブーツの強度評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 $\beta$	海水の密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (mm)
タービン建屋 地下 2 階 (ブーツ)	1.0	1030	6100* <sup>1</sup>

貫通部にかかる水頭 h (mm)	動水圧算出用の 水平方向震度 $C_{HW}$
5731* <sup>2</sup>	0.42

注記\*1：貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さHは、タービン建屋の復水器エリアの床面（T.M.S.L. -5100mm）から水頭高さ（T.M.S.L. 1000mm）までの寸法。

\*2：貫通部にかかる水頭hは、貫通口下端から水頭高さまでの寸法。

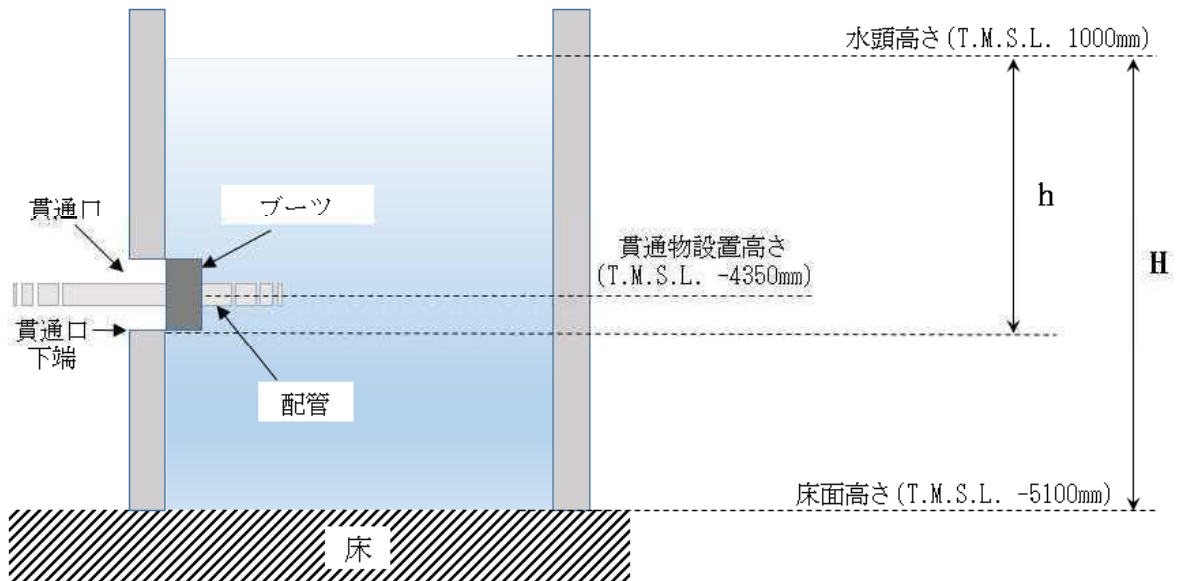


図 5-11 浸水時の位置関係（ブーツ）

(4) 鉄板

鉄板の強度評価に関する荷重評価条件を表 5-17 に示す。また、浸水時の位置関係を図 5-12 に示す。

表 5-17 鉄板の強度評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	海水の密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	重力加速度 $g$ m/s <sup>2</sup>	貫通部位置における 水圧作用高さ $h$ (mm)
タービン建屋 地下 2 階 (鉄板)	1030	9.80665	15700

浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (B/H) $\beta$	動水圧算出用の 水平方向震度 $C_{1w}$	水頭から最下層までの高さ $H$ (mm)	鉄板の単位質量 $\rho_{ss}$ (kg/m <sup>3</sup> )
1.0	0.42	21800	

鉄板の外形 (mm)	鉄板の板厚 $t_1$ (mm)	最大応力係数 $\beta_1$	鉄板評価部の 短辺方向長さ $a$ (mm)
400×400	9	0.4	400

鉄板と開口縁金物との溶接部の有効のど厚 $t_2$ (mm)	鉄板と開口縁金物との溶接部の有効溶接長 $L_w$ (mm)
4.2	720

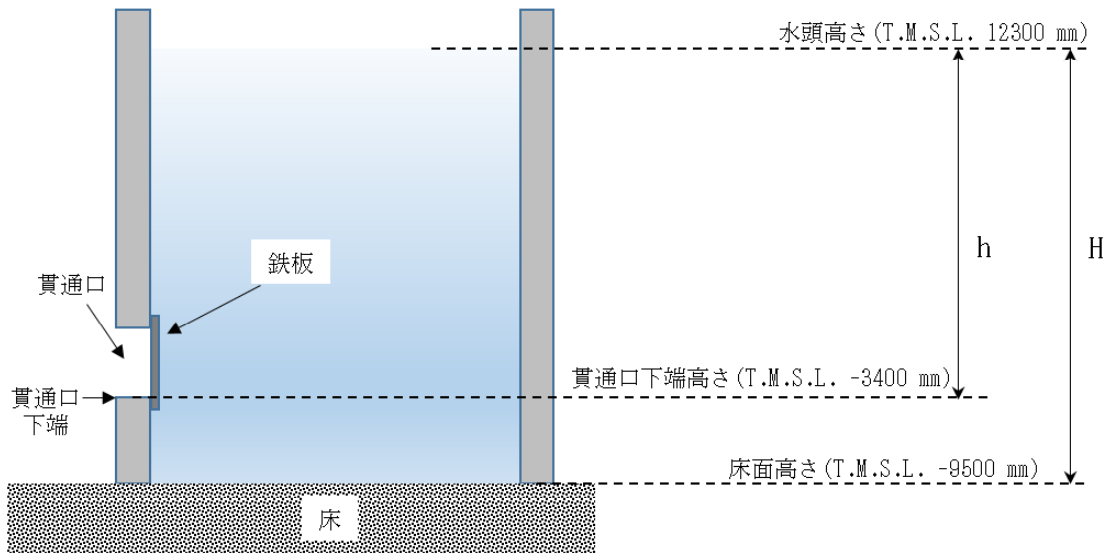


図 5-12 浸水時の位置関係 (鉄板)

(5) ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に関する荷重評価条件を表 5-18 に示す。また、浸水時の位置関係を図 5-13 に示す。

表 5-18 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に関する荷重評価条件 (1/2)

貫通部箇所 (貫通部仕様)	質量 m (kg)	重心距離 $h_1$ (mm)	重心高さ $l_1$ (mm)	評価上引張力を受ける として期待するアンカー ボルトの軸断面積 $A_b$ (mm <sup>2</sup> )	海水の密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
タービン建屋 地下 1 階 (ケーブルトレイ)		283*	95*	113.097	1030

注記\*：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

表 5-18 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価に関する荷重評価条件 (2/2)

評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの本数 (転倒方向：水平) $nf_h$ (本)	評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの本数 (転倒方向：鉛直) $nf_v$ (本)	上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離 $l_2$ (mm)	左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離 $l_3$ (mm)
2	1	170	910

評価上せん断力を受けるとして期待するアンカーボルトの総断面積 $A_b$ (mm <sup>2</sup> )	評価対象の逆圧を受ける部分の面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	重力加速度 $g$ m/s <sup>2</sup>	水頭から設置高さまでの水深 $h_2$ (mm)	水頭から最下層までの高さ $H$ (mm)
113.097	105000	9.80665	3150	21800

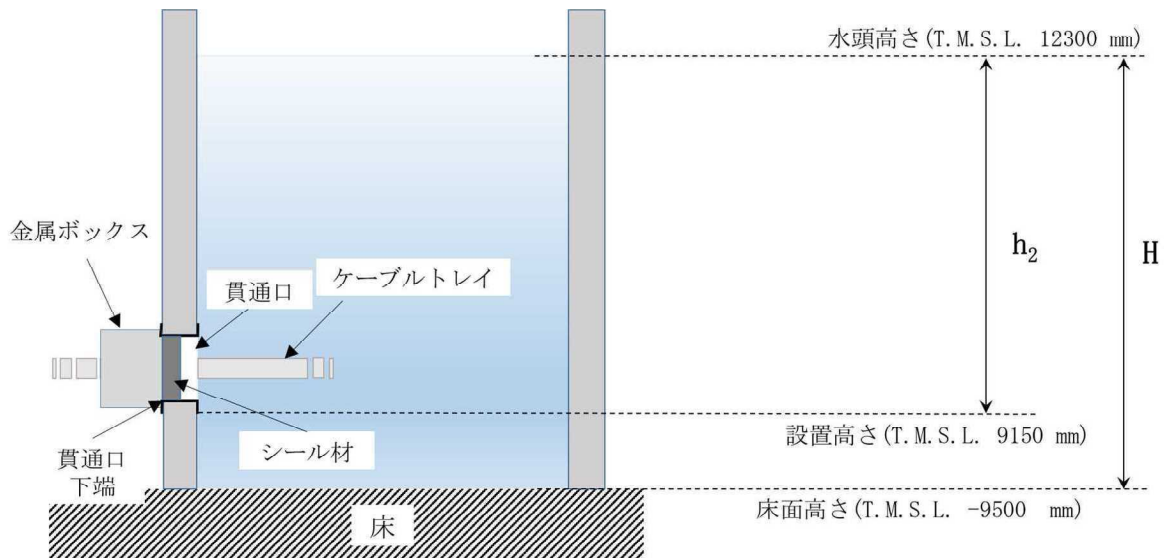


図 5-13 浸水時の位置関係 (ケーブルトレイ金属ボックス)



6. 評価結果

モルタル、シール材、ブーツ、鉄板及びケーブルトレイ金属ボックスの強度評価結果をそれぞれ表 6-1、表 6-2、表 6-3、表 6-4、表 6-5、表 6-6 に示す。モルタル、シール材、ブーツ、鉄板及びケーブルトレイ金属ボックスの発生荷重、発生圧力又は発生応力は、許容荷重、許容圧力又は許容応力以下であることを確認した。

表 6-1 モルタルの浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
	せん断荷重 (付着荷重)		
モルタル			2607

表 6-2 シール材の浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材	0.29	0.32

表 6-3 ブーツの浸水に対する強度評価結果

評価部位	場所	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
ブーツ	タービン建屋	0.08	0.2

注：溢水への配慮が必要な施設においては、タービン建屋の内部溢水による発生圧力が最も大きく 0.17MPa になる。

表 6-4 鉄板の経路からの津波による水圧に対する強度評価結果

評価部位	引張応力 (MPa)		せん断応力 (MPa)		曲げ応力 (MPa)	
	発生	許容	発生	許容	発生	許容
鉄板	—	—	—	—		271
鉄板と開口縁金物との溶接部	—	—		135	—	—

表 6-5 ケーブルトレイ金属ボックスのアンカーボルトの浸水に対する強度評価結果

応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力		$f_{ts} = 161^*$
せん断応力		$f_{sb} = 124$

注記\* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

表 6-6 ケーブルトレイ金属ボックスの浸水に対する強度評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
金属ボックス		0.1