

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0125_改0
提出年月日	2021年5月12日

## VI-3-別添 3-2-10 貫通部止水処置の強度計算書

2021年5月

東北電力株式会社

目 次

VI-3-別添 3-2-10 貫通部止水処置の強度計算書

VI-3-別添 3-2-10 貫通部止水処置の強度計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価対象部位	6
4. 構造強度評価	7
4.1 構造強度評価方法	7
4.2 荷重及び荷重の組合せ	7
4.2.1 荷重の設定	7
4.2.2 荷重の組合せ	8
4.3 許容限界	9
4.4 設計用地震力	10
4.5 計算方法	10
4.5.1 シール材の強度評価（発生圧力計算）	10
4.6 計算条件	11
5. 評価結果	13

## 1. 概要

本計算書は、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」に基づき、浸水防護施設のうち貫通部止水処置が、地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重、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。

なお、貫通部止水処置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する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

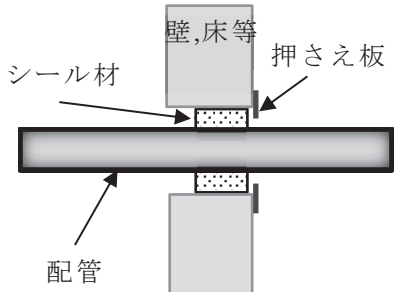
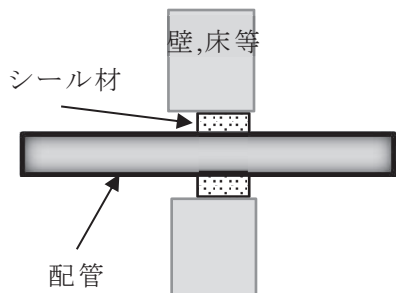
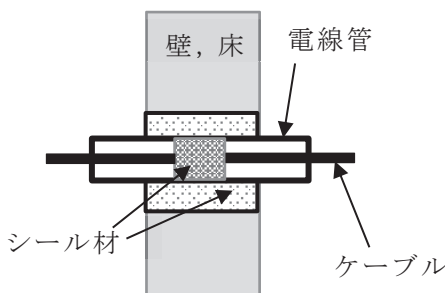
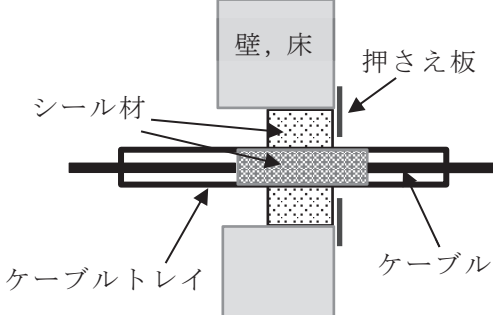
貫通部止水処置は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示すとおり、第2号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第2号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機海水ポンプ室防潮壁横断部、第3号機放水立坑防潮壁横断部、第3号機補機冷却海水系放水ピット浸水防止蓋貫通部、第2号機原子炉建屋、第2号機制御建屋及び第2号機軽油タンクエリアの貫通口と貫通物とのすき間又は貫通物の周囲に施工する。

### 2.2 構造概要

貫通部止水処置の構造は、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「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。シール材は壁又は床面等の貫通口と貫通物のすき間に施工し、壁又は床面等と貫通物を接合する構造とする。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

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
貫通部の開口部にシリコンシーリング材を充填する。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。	充填タイプのシリコンシーリング材にて構成する。	 <p>シリコンシーリング材の構造例（押さえ板有り）</p>  <p>シリコンシーリング材の構造例（押さえ板無し）</p>  <p>シリコンシーリング材の構造例（電線管）</p>  <p>シリコンシーリング材の構造例（ケーブルトレイ）</p>

### 2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、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」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対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

シーリング材の強度評価フローを図 2-1 に示す。

シーリング材については、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」の「4.2 許容限界」にて設定しているとおり、計算により求めた圧力が、水圧試験で確認した水圧以下であることを確認する。

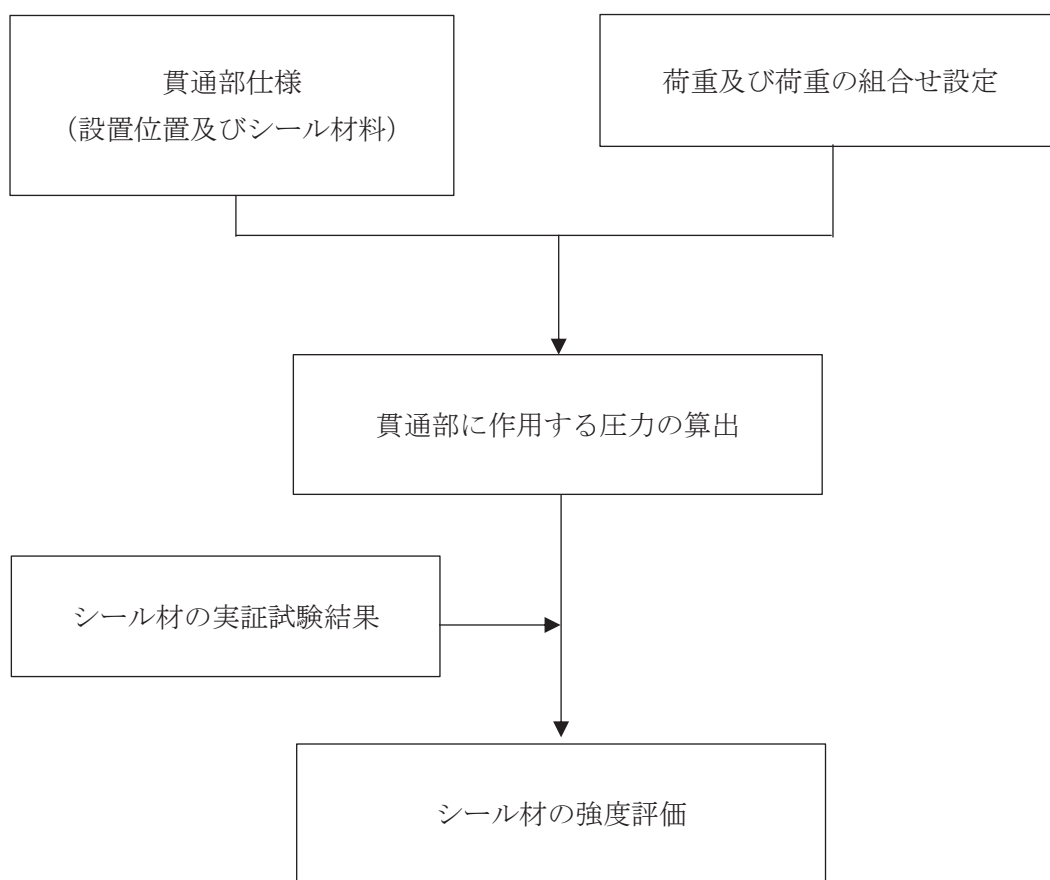


図 2-1 シーリング材の強度評価フロー



## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す

- (1) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
(以下，設計・建設規格という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 ( J E A G 4 6 0 1 -1987)
- (3) 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)
- (4) 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)  
(以下「 J E A G 4 6 0 1 」と記載しているものは上記3指針を指す。)
- (5) 日本水道協会 2009年 水道施設耐震工法指針・解説

## 2.5 記号の説明

貫通部止水処置の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 貫通部止水処置の強度評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
$C_H$	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による水平方向の設計震度	—
$C_v$	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による鉛直方向の設計震度	—
$g$	重力加速度	$m/s^2$
$h$	貫通部にかかる水頭	m
$H$	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
$\beta$	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	$kg/m^3$
$C_D$	抗力係数	—
$U$	貫通部に加わる流体の速度	m/s
$P_d$	余震による動水圧	MPa
$P_h$	浸水津波荷重	MPa
$P_t$	突き上げ津波荷重	MPa
$P_{s d}$	余震による慣性力	MPa
$P_{H total}$	貫通物の貫通軸が水平方向であるシール材に加わる荷重	MPa
$P_{v total}$	貫通物の貫通軸が鉛直方向であるシール材に加わる荷重	MPa

## 3. 評価対象部位

貫通部止水処置の評価部位は、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。

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重、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は、止水処置全体へ伝達される。このことから、シール材を用いた止水処置の全体を評価部位として設定する。

シール材については、作用する圧力による荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

## 4. 構造強度評価

### 4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、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」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」に示す評価対象部位に対し、「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 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、「4.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

### 4.2 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。

#### 4.2.1 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 (D)

固定荷重は、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による荷重である。

##### (2) 浸水津波荷重 (P<sub>h</sub>)

浸水津波荷重として、津波による水位を用いた静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

##### (3) 突き上げ津波荷重 (P<sub>t</sub>)

貫通部止水処置に加わる津波速度を考慮する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho \cdot U^2 + \rho \cdot g \cdot h$$

##### (4) 余震荷重

余震荷重は、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、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub>に伴う地震力（動水圧含む。）とする。

##### a. 余震による動水圧 (K S<sub>d</sub>)

余震による動水圧がシール材に作用することを考慮する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot \rho \cdot C_H \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

##### b. 余震による慣性力 (S<sub>d</sub>)

津波による静水頭が余震を受けた場合の慣性力を考慮する。

$$P_{s_d} = h \cdot \rho \cdot g \cdot C_v$$

#### 4.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 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 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁横断部, 第 2 号機放水立坑防潮壁横断部, 第 3 号機海水ポンプ室防潮壁横断部, 第 3 号機放水立坑防潮壁横断部, 第 2 号機原子炉建屋, 第 2 号機制御建屋及び第 2 号機軽油タンクエリアの貫通口)	$D + P_h + K S_d^{*1*3}$
	貫通部止水処置 (第 3 号機補機冷却海水系放水ピット 浸水防止蓋貫通部)	$D + P_t + S_d^{*2*3}$

注記 \* 1 : Dは固定荷重,  $P_h$ は浸水津波荷重,  $K S_d$ は弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  による余震荷重 (余震による動水圧  $P_d$ ) を示す。

\* 2 : Dは固定荷重,  $P_t$ は突き上げ津波荷重,  $S_d$ は弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  による余震荷重 (余震による慣性力  $P_{s,d}$ ) を示す。

\* 3 : 固定荷重 (D) について, シール材を施工する配管貫通部は, 耐震性を満足させるため, 貫通部近傍の配管に支持構造物を設置する設計としており, シール材に加わる固定荷重の影響は軽微であるため考慮しない。

### 4.3 許容限界

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4-1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、想定するシール材に加わる圧力が、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。

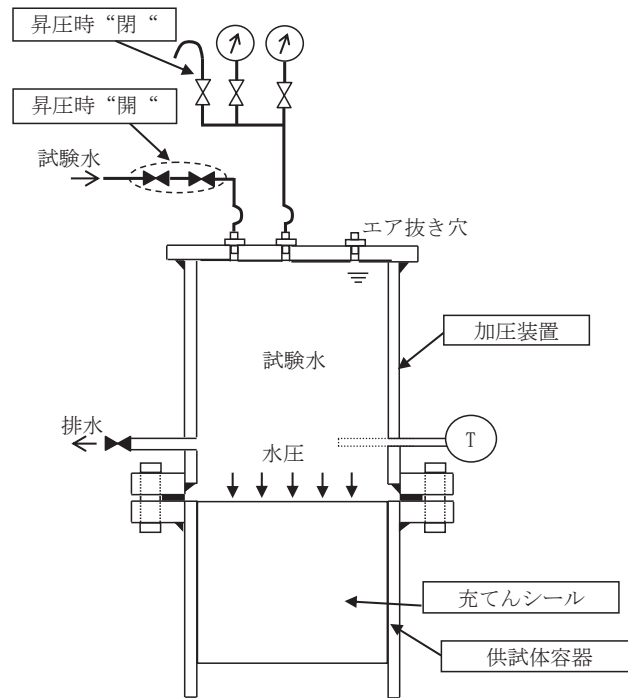


図4-1 シール材の水圧試験の概要

#### 4.4 設計用地震力

強度評価における弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う地震力については、添付書類「V-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評価に用いる設計用震度を表 4-2 に示す。

表 4-2 貫通部止水処置の強度計算に用いる設計用震度

地震動	床面高さ*1		貫通部止水処置の設置場所		余震による設計震度*2	
	O. P. (m)					
弾性設計用地震動 S d - D 2	13.8		第 3 号機放水立坑防潮壁横断部 (第 3 号機放水立坑)		水平方向 C <sub>H</sub>	0.40
	14.0		第 3 号機補機冷却海水系放水 ピット浸水防止蓋貫通部 (第 3 号機海水熱交換器建屋)		鉛直方向 C <sub>V</sub>	0.89

注記 \*1：貫通部止水処置の設置場所より高い基準床レベルを設定している。

\*2：最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

#### 4.5 計算方法

##### 4.5.1 シール材の強度評価（発生圧力計算）

貫通物の貫通軸が水平方向であるシール材は、浸水津波荷重  $P_h$  と余震による動水圧  $P_d$  を考慮する。

$$P_{H \text{ total}} = P_h + P_d$$

貫通物の貫通軸が鉛直方向であるシール材は、津波による突き上げ津波荷重  $P_t$  と余震による慣性力  $P_{s d}$  を考慮する。

$$P_{V \text{ total}} = P_t + P_{s d}$$

#### 4.6 計算条件

貫通部止水処置の強度評価に用いる計算条件を表 4-3 及び表 4-4 に示す。また、貫通部止水処置に加わる津波概要を図 4-3 及び図 4-4 に示す。

表 4-3 貫通部止水処置（貫通軸：水平）の強度評価に用いる計算条件

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 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	貫通部施設エリアの床 面からの浸水深さ* <sup>1</sup> H (m)
第 3 号機放水立坑防 潮壁横断部 (シール材)	□	1030	21.2

貫通部位置における浸水深さ* <sup>2</sup> h (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 による 水平方向の設計震度 $C_H$	重力加速度 g ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
9.164	0.40	9.80665

注記 \* 1 : 貫通部施設エリアの床面からの浸水深さ(H)は、貫通部施設エリアの床面(O. P. -3.2m)から入力津波水位に 0.5m の余裕を考慮した津波水位 (O. P. 18.0m) までの寸法。

\* 2 : 貫通部位置における浸水深さ h は開口下端高さ (O. P. 8.836m) から入力津波水位に 0.5m の余裕を考慮した津波水位 (O. P. 18.0m) までの寸法。

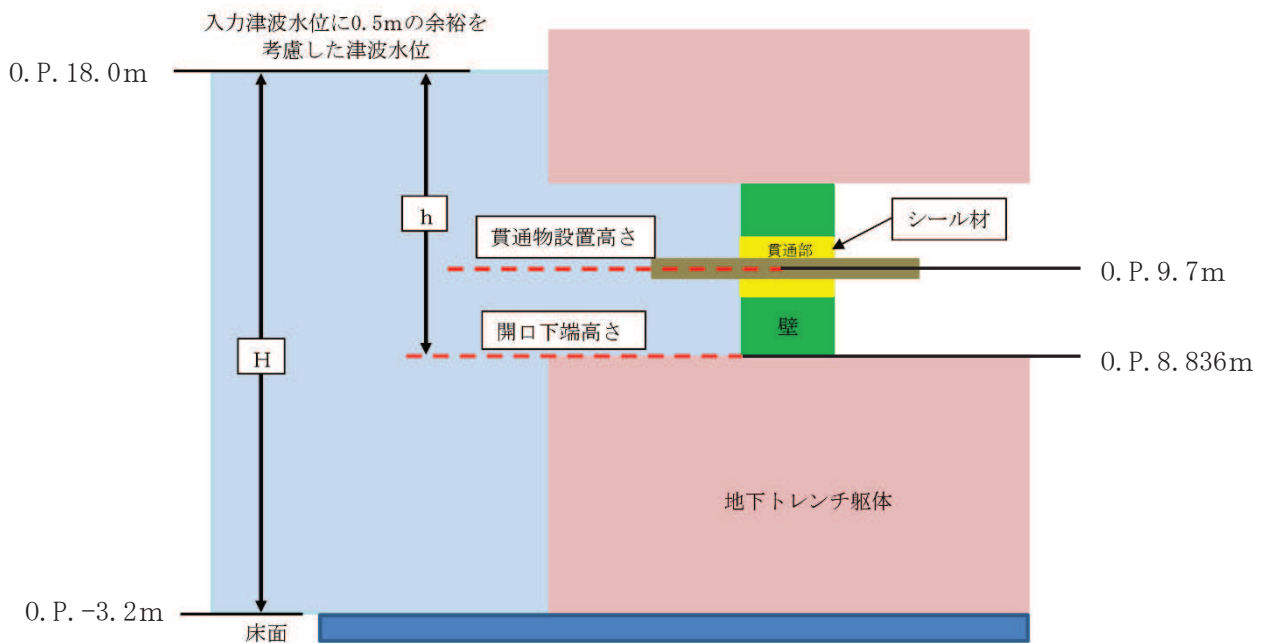


図 4-3 貫通部止水処置（貫通軸：水平）に加わる津波の概要

表 4-4 貫通部止水処置（貫通軸：鉛直）の強度評価に用いる計算条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	海水の密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	抗力係数 $C_D$ (-)	貫通部に加わる流体 の流速 $U$ (m/s)
第 3 号機補機冷却海 水系放水ピット浸水 防止蓋貫通部 (シール材)	1030	2.01	1.0

貫通部位置における浸水深さ $h$ (m)	重力加速度 $g$ (m/s <sup>2</sup> )
4	9.80665

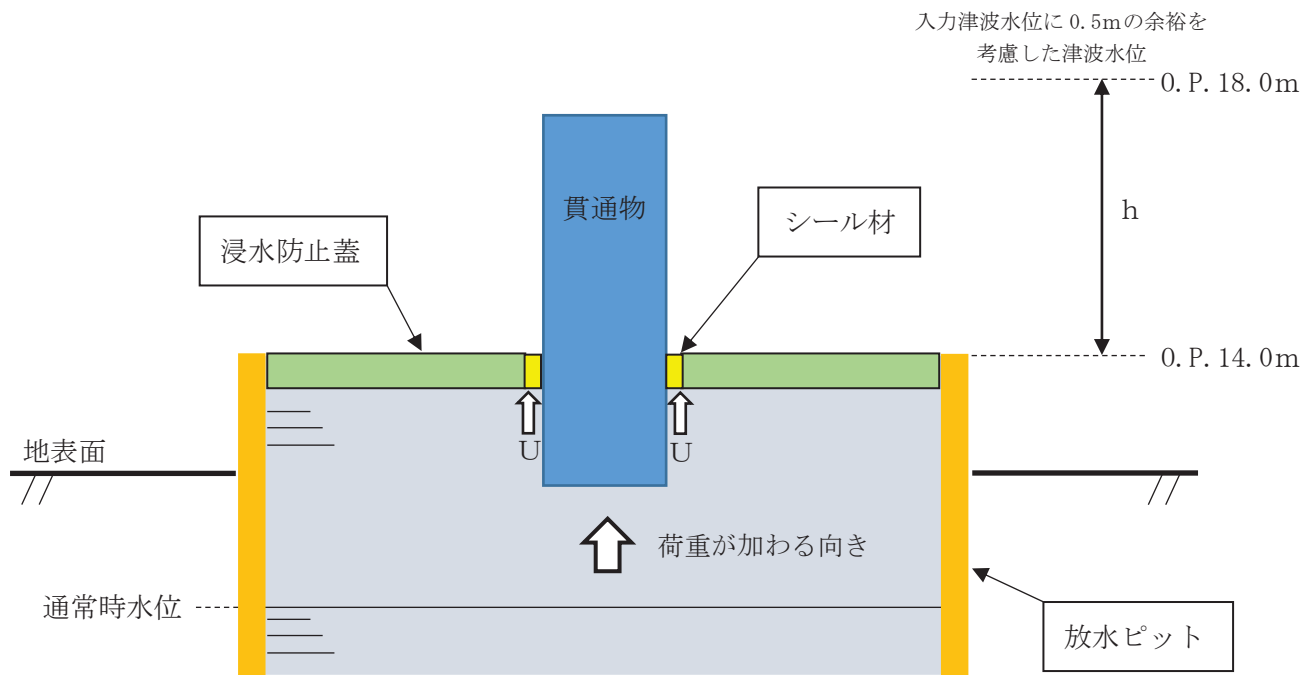


図 4-4 貫通部止水処置（貫通軸：鉛直）に加わる津波の概要



5. 評価結果

シール材の強度評価結果を表 5-1 に示す。シール材の発生圧力は許容圧力以下であることを確認した。

表 5-1 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 (貫通軸：水平)	0.15	0.40
シール材 (貫通軸：鉛直)	0.08	0.40