

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-3-015-14 改0
提出年月日	2023年12月19日

VI-3-別添 3-2-6 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）

2023年12月
東京電力ホールディングス株式会社

VI-3-別添 3-2-6 貫通部止水処置の強度計算書 (溢水)

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	10
2.5 記号の説明	11
3. 評価対象部位	12
4. 構造強度評価	12
4.1 構造強度評価方法	12
4.2 荷重及び荷重の組合せ	12
4.2.1 荷重の設定	12
4.3 許容限界	13
4.4 計算方法	15
4.5 計算条件	16
5. 評価結果	17

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-2-1「溢水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に示すとおり、貫通部止水処置が、発生を想定する内部溢水による静水压荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 位置

貫通部止水処置は、VI-3-別添 3-2-1「溢水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、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋及び廃棄物処理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 3-2-1「溢水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、鉄板、止水ダンパ（ジャバツ shut）（以下「止水ダンパ」という。）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。また、止水ダンパはアンカーボルトで壁面に固定する構造とする。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 (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。	貫通部の開口部に鉄板を挿入し、溶接によって接合する。	
	閉止板を内包する止水ダンパにて構成する。	貫通部（壁面）に止水ダンパを設置し、止水ダンパは壁面にアンカーボルトで固定する。	

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>金属ボックス</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 3-2-1「溢水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「4.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「4.5 計算条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 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、止水ダンパの強度評価フローを図 2-4 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 2-5 に示す。

溢水への配慮が必要な施設の強度計算においては、静水圧荷重を用いて評価するが、津波への配慮が必要な施設の強度計算では、静水圧荷重に加えて余震を考慮した荷重を用いて評価する。よって、計算方法は、VI-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」に包絡されるため、本計算書では評価不要とする。

なお、ブーツについては、設置場所の関係上、内部溢水の影響のみの方が評価上厳しい計算結果となるため、VI-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」に内部溢水のみでの評価も併せて記載する。

また、止水ダンパについては津波への配慮が必要な施設はなく、溢水への配慮が必要な施設のみであるため、「3. 評価対象部位」にて示した箇所の評価を「4.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「4.5 計算条件」に示す評価条件を用いて行い、「5. 評価結果」にて確認する。

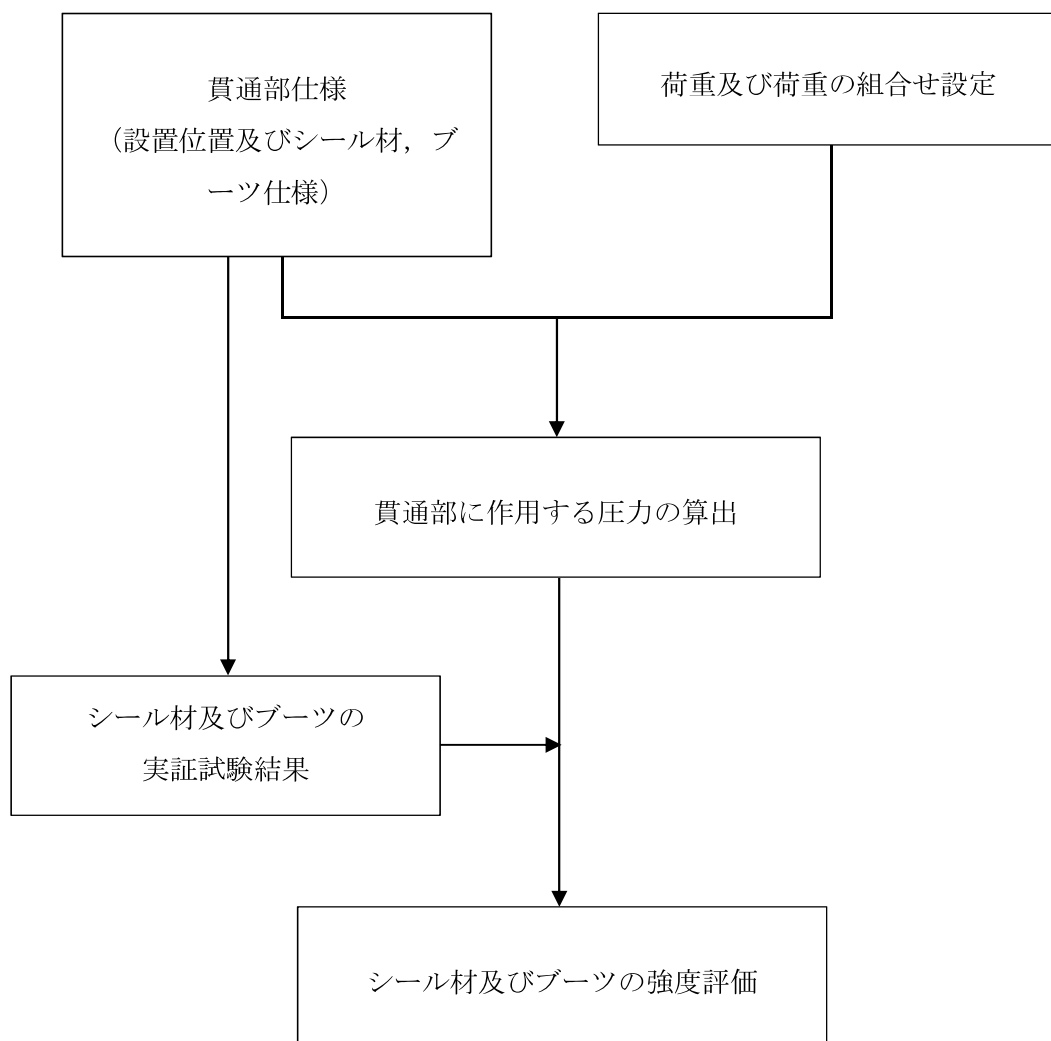


図 2-1 シール材及びブーツの強度評価フロー

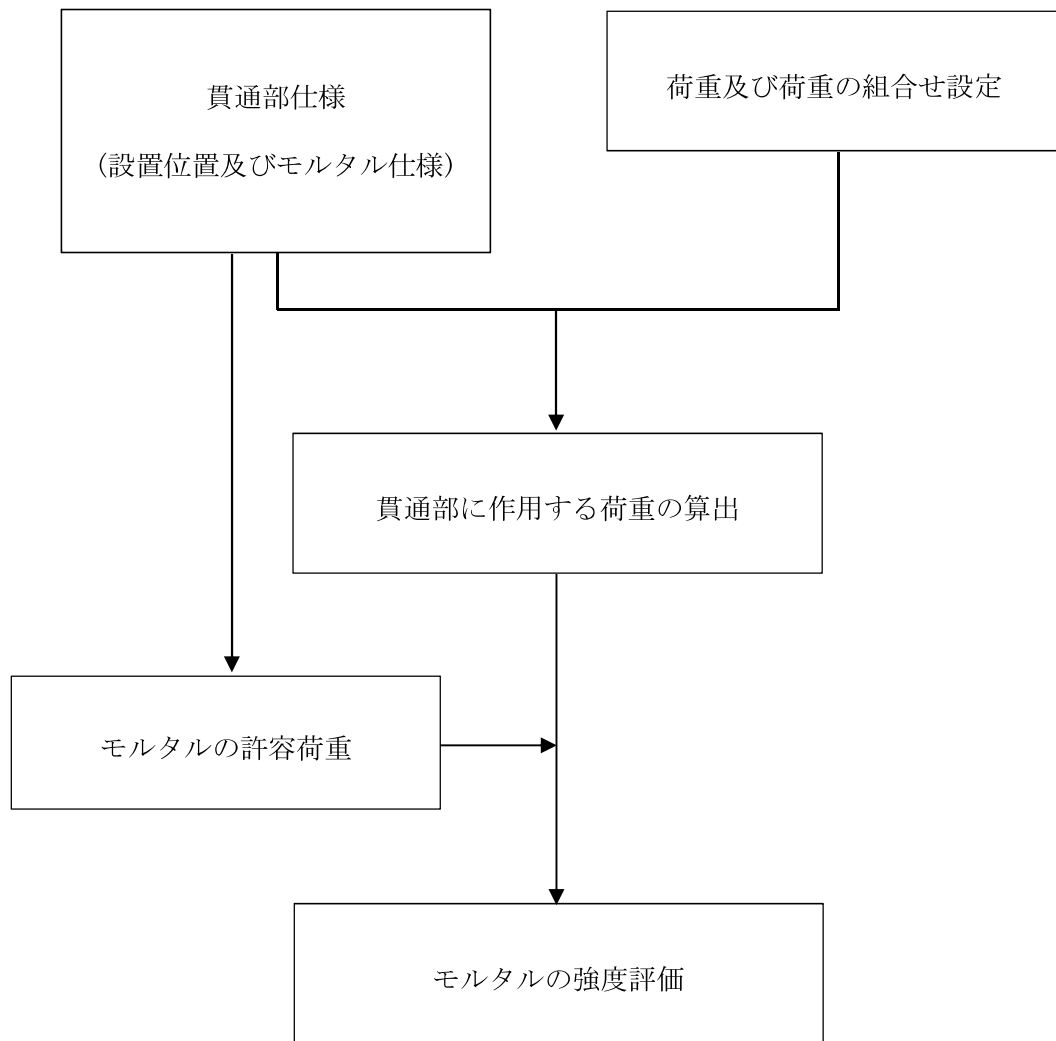


図 2-2 モルタルの強度評価フロー

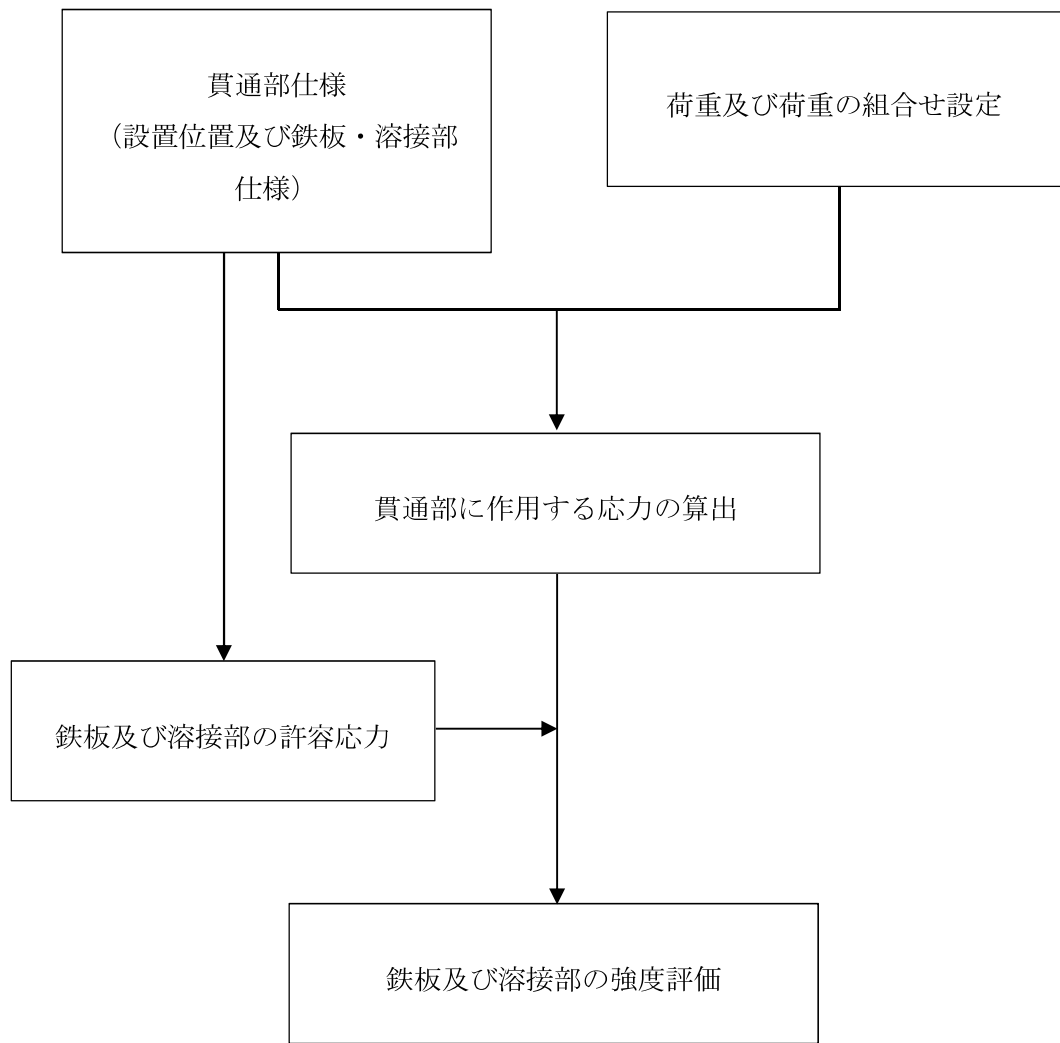


図 2-3 鉄板の強度評価フロー

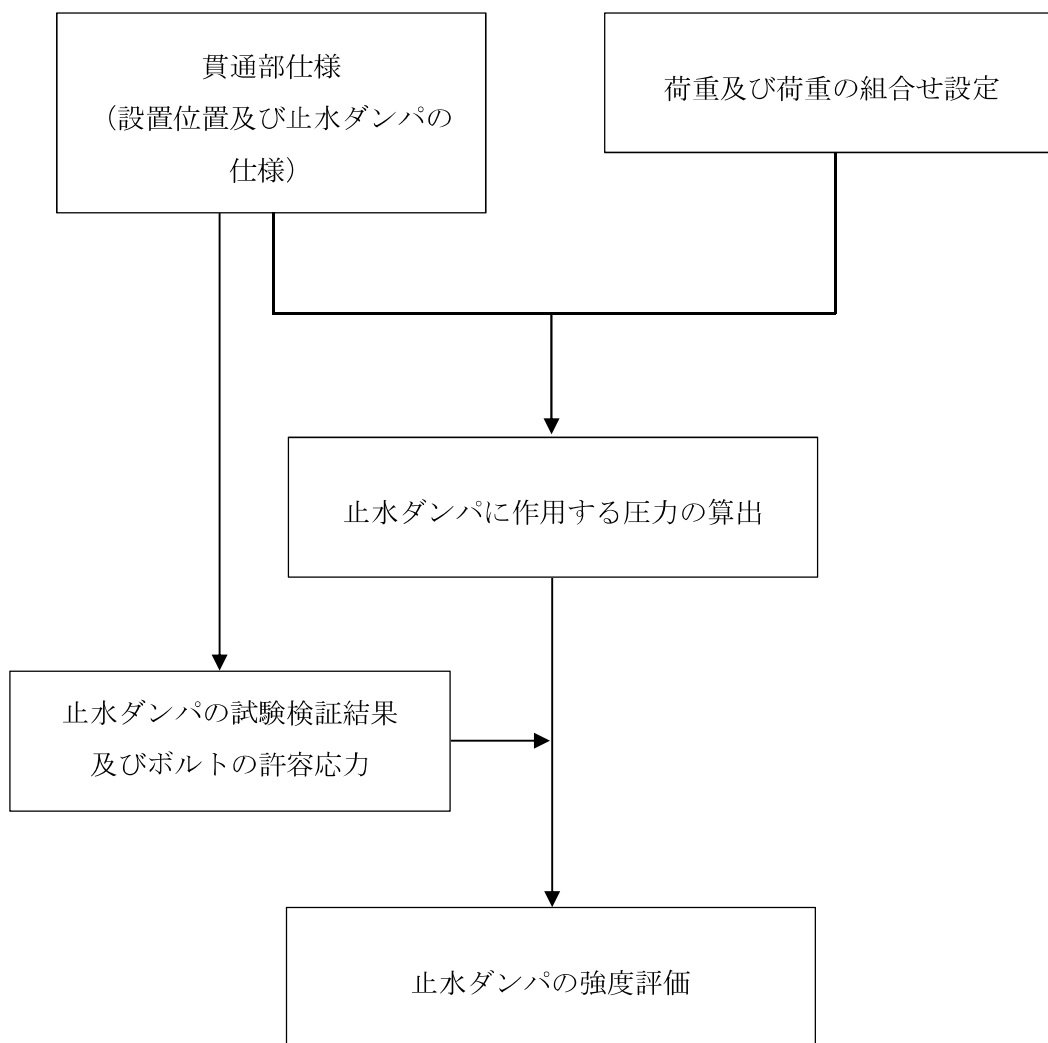


図 2-4 止水ダンパの強度評価フロー

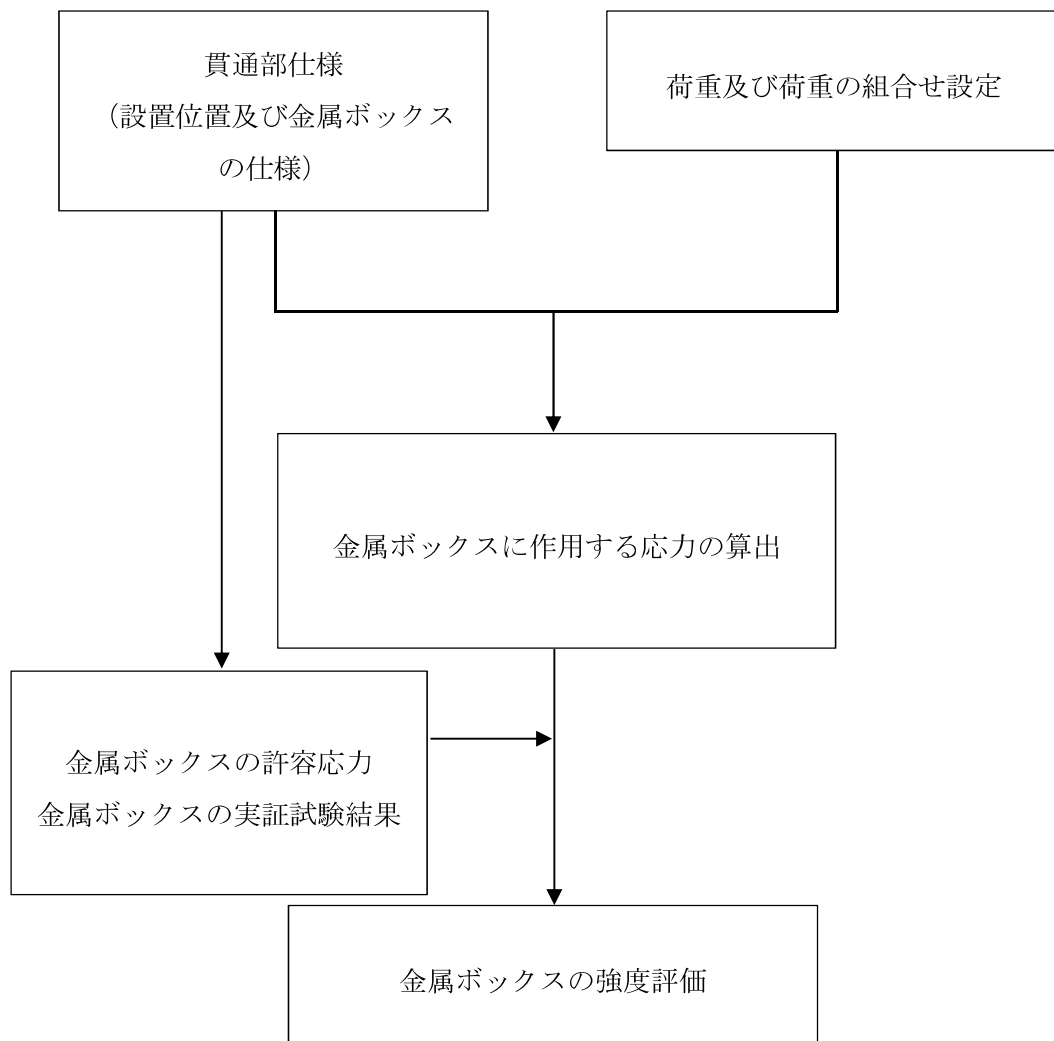


図 2-5 ケーブルトレイ金属ボックスの強度評価フロー

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。

- ・ 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 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7 （（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 - 1 9 8 4 （（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 - 1 9 8 7 （（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 - 1 9 9 1 追補版 （（社）日本電気協会）
- ・ 機械工学便覧 （（社）日本機械学会）

2.5 記号の説明

止水ダンパの強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 止水ダンパの評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A	水圧を受ける面積	mm ²
A _F	評価上水圧荷重及び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	mm ²
A _{Fv}	評価上引張力を受けるとして期待する水平方向のアンカーボルトの総断面積（転倒方向：鉛直）	mm ²
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
f _{sb}	せん断力のみを受けるアンカーボルトの許容せん断応力	MPa
f _{to}	引張力のみを受けるアンカーボルトの許容引張応力	MPa
f _{ts}	引張力と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	MPa
g	重力加速度	m/s ²
H	水頭から設備下端までの高さ	mm
h	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
L	鉛直方向のアンカーボルト間の距離	mm
m	止水ダンパ質量	kg
P _h	静水圧荷重	MPa
σ _b	アンカーボルトに作用する引張応力	MPa
τ _b	アンカーボルトに作用するせん断応力	MPa
ρ	溢水の密度	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 3-2-1「溢水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、止水ダンパを用いた止水処置の全体を評価部位として設定する。

止水ダンパについては、1か所のみであるため、その箇所の評価を行う。

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、VI-3-別添 3-2-1「溢水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、「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、「4.4 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

止水ダンパ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自重による固定荷重が作用し、止水ダンパが鉛直方向へ転倒する力が働く。また、静水圧荷重により、アンカーボルトに引抜荷重が作用する。止水ダンパに作用し強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

また、アンカーボルトに作用する荷重の作用図を図4-1に示す。

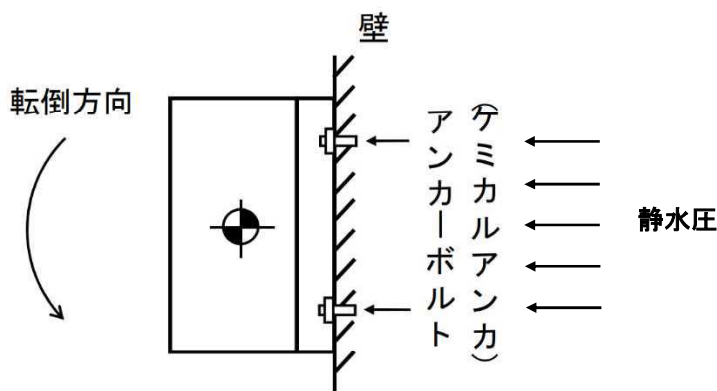
(1) 固定荷重 (G)

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_h)

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。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H$$



固定荷重による鉛直方向への転倒及び静水圧荷重による引抜

図 4-1 止水ダンパの荷重作用図

4.3 許容限界

(1) 止水ダンパのアンカーボルト

止水ダンパのアンカーボルトの許容限界は、設計・建設規格によりボルトの許容引張応力 f_{ts} 、ボルトの許容せん断応力 f_{sb} を算出する。

アンカーボルトの許容限界を表4-1，許容限界評価条件を表4-2 に示す。

表4-1 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* (ボルト等)	
		一次応力	
		引張応力 f_{to}	せん断応力 f_{sb}
アンカーボルト	Ⅲ _A S	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

注記*：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 4-2 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		
アンカーボルト	SS400	周囲環境温度	66	206

(2) 止水ダンパ

止水ダンパの許容限界値は、実機試験検証済みの許容限界圧力以下とする。止水ダンパの実証試験は閉止板を開いた水密性（耐圧・漏えい）試験と閉止板を閉じた止水性能試験を実施しており、試験の概要について水密性（耐圧・漏えい）試験を図 4-2 に、止水性能試験を図 4-3 示す。



図 4-2 止水ダンパの水密性（耐圧・漏えい）試験の概要



図 4-3 止水ダンパの止水性能試験の概要

4.4 計算方法

(1) 止水ダンパのアンカーボルトの強度評価（荷重計算）

(a) 引張応力の計算

アンカーボルトに対する引張応力は、図 4-1 で下側のボルト列を支点とする転倒を考え、これを上側のボルト列で受けるものとして計算する。

$$\sigma_b = \frac{m \cdot h \cdot g}{A_{FV} \cdot L} + \frac{P_h \cdot A}{A_f}$$

(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。

$$\tau_b = \frac{m \cdot g}{A_f}$$


(2) 止水ダンパ（発生圧力計算）

浸水によって生じる静水圧荷重 P_h を考慮する。

4.5 計算条件

止水ダンパの荷重評価条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 止水ダンパの荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	質量 m (kg)	重心距離 h (mm)	ボルト間距離 L (mm)
原子炉建屋 地下 3 階 壁貫通部 (止水ダンパ)		439.2	380.0

水圧を受ける面積 A (mm ²)	評価上引張力を受け るとして期待する水 平方向のアンカーボ ルトの総断面積 A _{FV} (mm ²)	評価上せん断力及び 浸水による引張力を 受けるとして期待す るアンカーボルトの 総断面積 A _F (mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)
2.848×10 ⁵	942.5	2199	9.80665

溢水の密度 ρ (kg/m ³)	水頭から設備下端ま での高さ H (mm)
1000	902

5. 評価結果

溢水への配慮が必要な施設の強度計算書である本書は、静水圧荷重を用いた評価であるが、シール材、ブーツ、モルタル、鉄板、及びケーブルトレイ金属ボックスについては、津波への配慮が必要な施設の強度計算書VI-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」において静水圧荷重に加えて余震を考慮した保守的な評価であるVI-3-別添 3-1-7「貫通部止水処置の強度計算書」の評価結果を、それぞれ表 5-1、表 5-2、表 5-3、表 5-4、表 5-5、表 5-6 に示す。止水ダンパの強度評価結果を表 5-7、表 5-8 に示す。なお、発生圧力、発生荷重、発生応力は全て許容値を満足している。

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	0.29	0.32

表 5-2 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

注記：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 5-3 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)
モルタル	せん断荷重 (付着荷重)	□	2607

表 5-4 鉄板の浸水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 5-5 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 5-6 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

表 5-7 止水ダンパ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	□	$f_{ts} = 154^*$
せん断応力	□	$f_{sb} = 118$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

表 5-8 止水ダンパ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) ※
止水ダンパ	□	0.20

※試験検証圧力は、許容圧力より高い□ (MPa) にて実施している