

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7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-2-042-7 改1
提出年月日	2020年4月3日

V-2-10-2-4-2 貫通部止水処置の耐震性についての計算書

2020年4月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-10-2-4-2 貫通部止水処置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用基準	8
2.5 記号の説明	9
3. 評価部位	12
4. 構造強度評価	13
4.1 構造強度評価方法	13
4.2 荷重及び荷重の組合せ	13
4.2.1 荷重の設定	13
4.2.2 荷重の組合せ	16
4.3 許容限界	16
4.4 設計用地震力	19
4.5 計算方法	21
4.5.1 荷重計算	21
4.6 計算条件	24
5. 評価結果	26
5.1 モルタル	26
5.2 鉄板	26
5.3 フラップゲート	27

1. 概要

本計算書は、V-2-1-9 「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち、貫通部止水処置が設計用地震力に対して、主要な構造部材が津波ならびに溢水伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は貫通部止水処置の荷重評クラス価により行う。

貫通部止水処置は、設計基準対象施設においては浸水防止設備として S クラス及び C クラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

貫通部止水処置は、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に施工する。

2.2 構造計画

貫通部止水処置は、貫通部の位置や条件に応じて、シール材、モルタル、ブーツ、鉄板、フラップゲートを使用し、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。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、配管とスリーブを全周溶接する。また、フラップゲート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

設備名称	計画の概要		対策説明図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	<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 プルボックス ケーブル 壁、床 電線管</p> <p>シール材 壁、床 鉄板 配管</p> <p>金属ボックス ケーブル シール材 壁、床 ケーブルトレイ</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>シール材 壁、床 鉄板 配管</p>

K7 V-2-10-2-4-2 R0

設備名称	計画の概要		対策説明図
	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に伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面に溶接した取付用座と配管にて締付けバンドにて締結する。	
	鉄板にて閉止する構成する。	貫通部の開口部に鉄板を挿入し、配管とスリーブを全周溶接によって接合する。	
	閉止板を内包するフラップゲートにて構成する。	フラップゲートをアンカーボルトで固定する。	

2.3 評価方針

貫通部止水処置の耐震評価は、V-2-1-9 「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す貫通部止水処置の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、発生する荷重が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施し、確認結果を「5. 評価結果」に示す。貫通部止水処置（モルタル）の耐震評価フローを図 2-2 ，鉄板の耐震評価フローを図 2-3 ，フラップゲートの耐震評価フローを図 2-4 に示す。

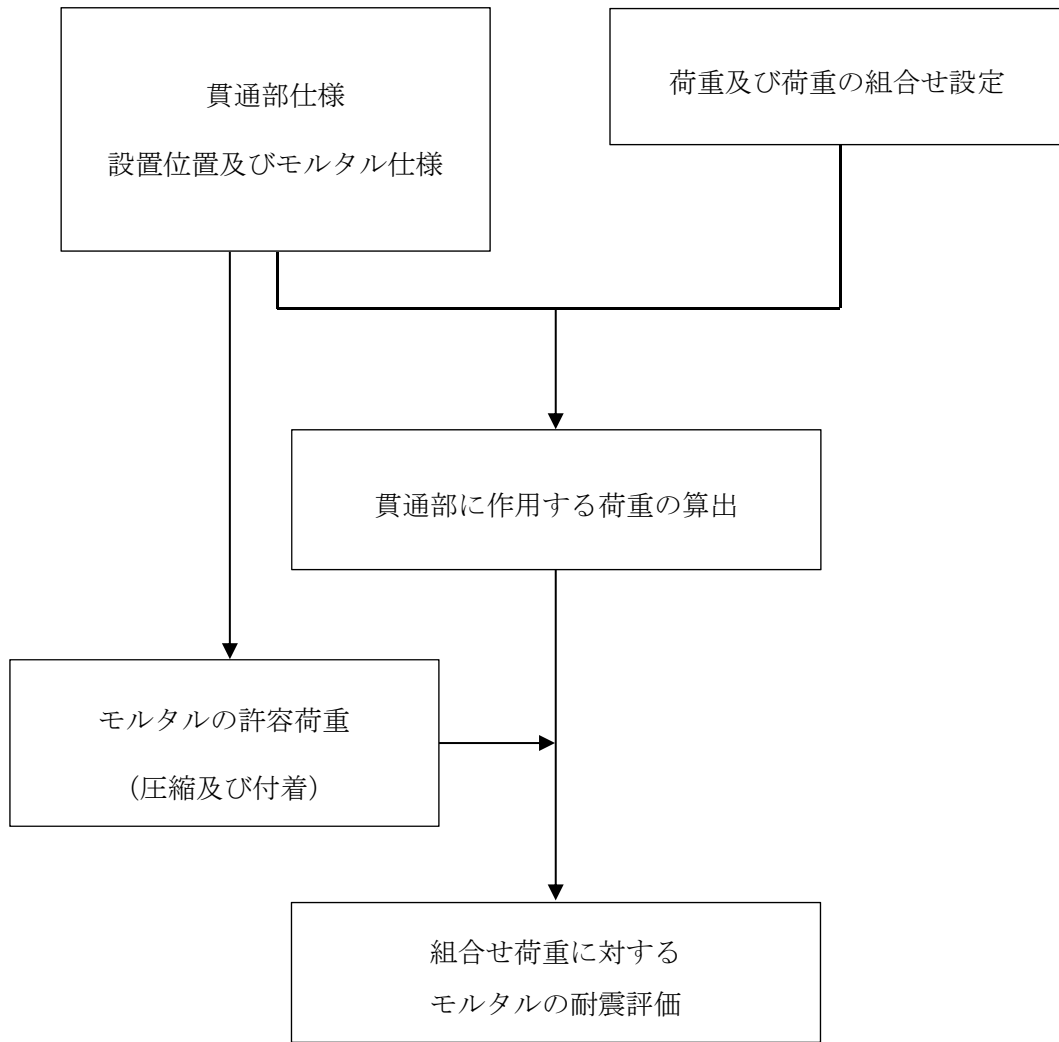


図 2-2 モルタルの耐震評価フロー

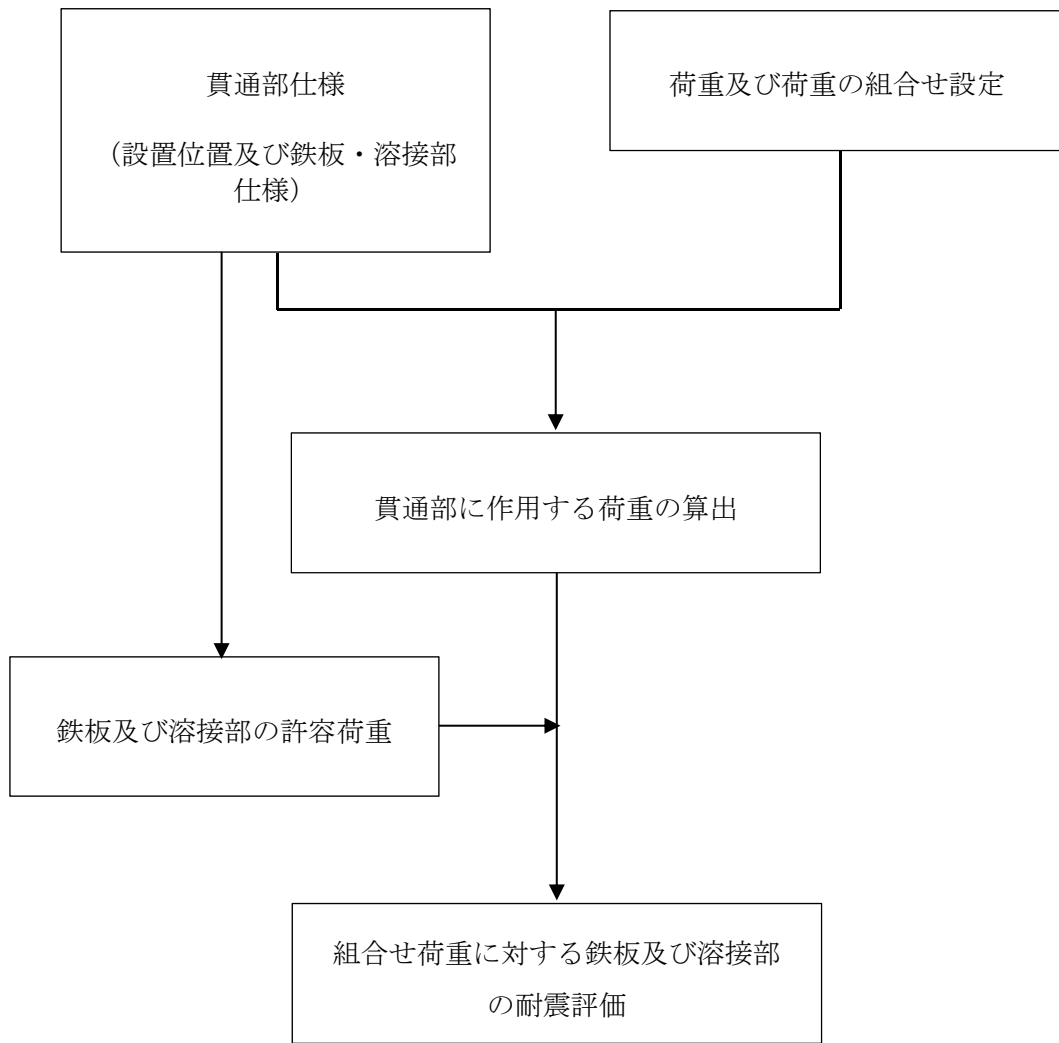


図 2-3 鉄板の耐震評価フロー

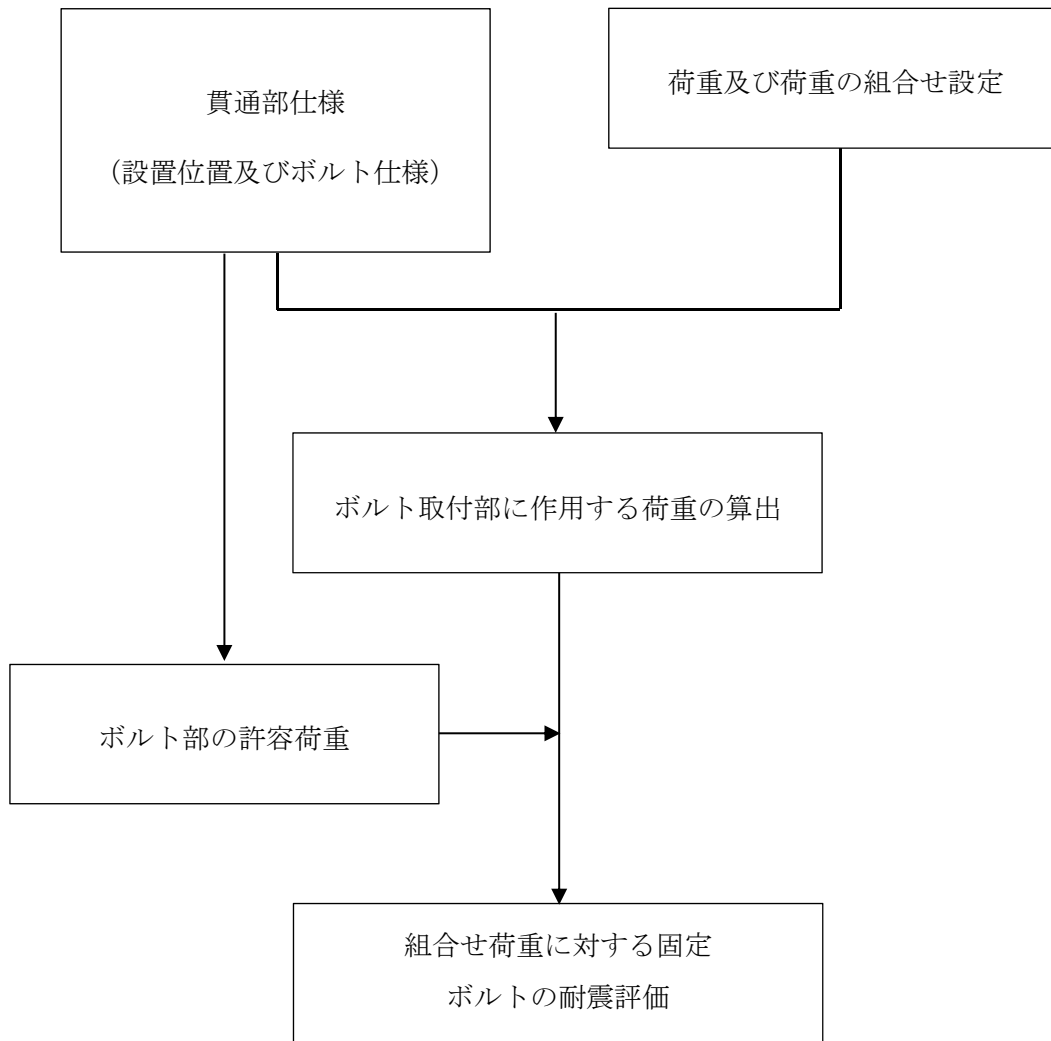


図 2-4 フラップゲートの耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 2002 年制定 ((社) 土木学会 平成 14 年 3 月)
- (2) 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)
- (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 ((社) 日本電気協会 昭和 59 年)
- (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 昭和 62 年)
- (5) 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 平成 3 年)
- (6) 機械工学便覧 基礎編 α 3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 改定)

2.5 記号の説明

モルタル、鉄板及びフラップゲートの耐震評価に用いる記号を表 2-2、表 2-3、表 2-4 に示す。

表 2-2 モルタルの耐震評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A_P	貫通物の投影面積	mm^2
C_H	基準地震動 S_s により生じる貫通物の水平方向設計震度	—
C_V	基準地震動 S_s により生じる貫通物の鉛直方向設計震度	—
f_C	モルタルの許容圧縮荷重	N
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}	モルタル圧縮強度	MPa
F_C	貫通物反力によりモルタルに生じる圧縮荷重	N
F_{Ctotal}	モルタル部に生じる合計圧縮荷重	N
F_{H1}	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸方向に作用する荷重	N
F_{H2}	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸直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付着荷重	N
F_{Stotal}	モルタル部に生じる合計せん断荷重	N
F_V	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸直方向に作用する荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
L	貫通物の支持間隔	mm
L_W	モルタルの充填深さ	mm
S	貫通物の周長	mm
W	貫通物の支持間隔間の質量	kg
w	貫通物の支持間隔の単位長さ当たりの質量	kg/mm
γ_C	材料定数	—

表 2-3 鉄板の耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_1	水圧を受ける鉄板の面積	mm^2
A_2	鉄板と貫通物との溶接部の付着面積	mm^2
A_3	鉄板とスリーブとの溶接部の付着面積	mm^2
d	鉄板貫通物の外径	mm
D	鉄板の外径	mm
f_b	鉄板および溶接部の許容曲げ応力	N
f_s	鉄板および溶接部の許容せん断応力	N
f_t	鉄板および溶接部の許容引張応力	N
f_{total}	鉄板および溶接部の許容組合せ応力	N
F	鉄板および溶接材の許容応力	MPa
F_1	評価部位に加わるせん断応力	MPa
F_{s1}	鉄板および溶接部に生じる軸方向引張力	N
F_{s2}, F_{s3}	鉄板および溶接部に生じる軸直方向せん断力	N
g	重力加速度	m/s^2
L_1, L_2	鉄板から直近の支持装置までの距離	mm
M_{s2}, M_{s3}	鉄板および溶接部に生じるモーメント	Nmm
t_1	鉄板の板厚	mm
t_2	鉄板と貫通物との溶接部の有効のど厚	mm
t_3	鉄板とスリーブとの溶接部の有効のど厚	mm
w	貫通物の支持間隔間の単位長さ当たりの質量	kg/m
Z_1	鉄板の断面係数	mm^3
Z_2	鉄板と貫通物との溶接部の断面係数	mm^3
Z_3	鉄板とスリーブとの溶接部の断面係数	mm^3
C_H	基準地震動 S_s により生じる貫通物の水平方向設計震度	-
C_V	基準地震動 S_s により生じる貫通物の鉛直方向設計震度	-
τ	評価部位に加わるせん断応力	MPa
σ_b	評価部位に加わる曲げ応力	MPa
σ_t	鉄板に加わる引張応力	MPa
σ_{total}	鉄板に加わる組合せ応力	MPa
ρ	海水の密度	kg/m^3

表 2-4 フラップゲートに用いる記号

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F_a	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	N
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当り）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及びフラップゲート取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（一本当たり）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及びフラップゲート取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（一本当たり）	N
g	重力加速度	m/s^2
h	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_2	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_3	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
m_1	フラップゲート質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fv}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向)	—
n_{fh}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向)	—
Q_a	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	N
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N

3. 評価部位

貫通部止水処置の評価部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造に従って、地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

モルタルと鉄板については、地震時に貫通物の反力が直接作用することが考えられる。

シール材（充てん，コーキング）については、貫通部直近に支持構造物を設置しており、地震時は建屋壁と配管系が一体で動く事から、相対変位が軽微な箇所に設置している。また、電線管・ケーブルトレイ内に適用するシール材は、柔軟性及び余長を有するケーブル隙間に充てんすることとしており、地震時にケーブルに発生する荷重は小さく軽微である。このため、地震によるシール材への影響は軽微であることから評価対象としない。

ブーツについては、伸縮性ゴムを使用しており、配管の地震変位に対しても十分な伸縮性を有している。このため、地震による影響は軽微であることから評価対象としない。

フラップゲートは地震による応力がフラップゲートを壁面に固定するボルトに作用するため、ボルトを評価部位とする。

以上より、貫通部止水処置のうち、モルタル又は鉄板を用いた貫通部及びフラップゲートを固定するボルトを評価部位とする。また、モルタルに作用する荷重が最も大きい貫通部と、鉄板に津波の突き上げ荷重が作用する貫通部を各々の代表として評価する。モルタル又は鉄板を用いた貫通部のうち、貫通物がないため埋め戻しを行っている貫通部は貫通物の追従により生じる荷重がないため、貫通物を通っている場合の評価に包絡される。

モルタル及び鉄板の評価部位を図3-1に、フラップゲートの評価部位を図3-2に示す。

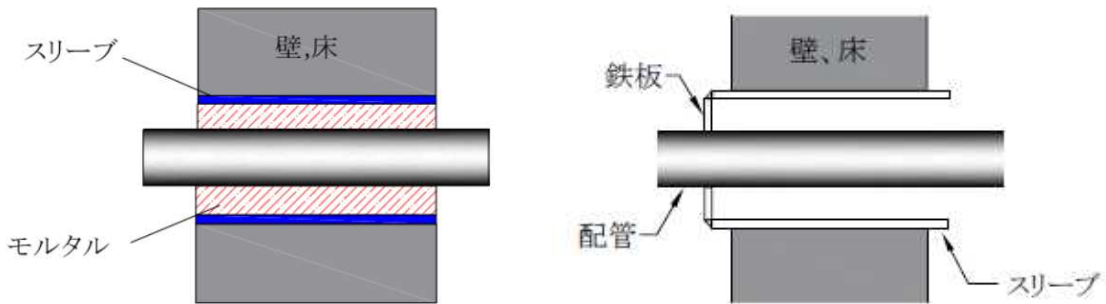


図3-1 モルタル及び鉄板の評価部位

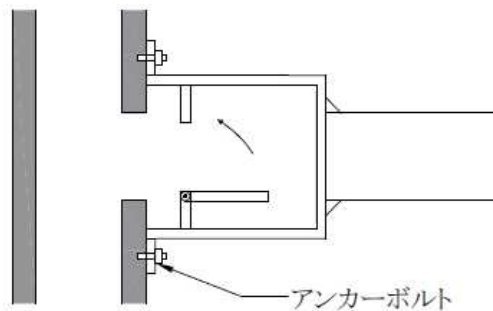


図3-2 フラップゲート評価部位

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 貫通部止水処置の評価部位の荷重評価を実施し、発生荷重を算出する。
- (2) 評価部位の発生荷重と許容荷重を比較し、発生荷重が許容荷重以下であることを確認する。

4.2 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に関して以下に示す。

4.2.1 荷重の設定

(1) モルタルに作用する地震荷重

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 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。）及びその内容物の質量を考慮する。

b. 地震荷重 (Ks)

地震荷重は、基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

モルタルに作用する荷重は、付着荷重及び圧縮荷重を考慮する。地震動により貫通物に地震荷重が発生し、その荷重がモルタルに作用するものとして算出する。

(a) 貫通物からモルタルに作用する地震荷重

モルタルに作用する荷重はモルタル端部とモルタルから最も近い支持構造物までの間の貫通物の固定荷重と地震荷重が作用する。評価においては、安全側の評価となるように貫通部の両側の支持構造物間の貫通物の固定荷重及び地震力がモルタルに作用し、モルタルに反力が発生するものとして荷重を算出する。貫通物からモルタルに作用する荷重作用図を図4-1に示す。

また、貫通物は柔構造となる場合もあることから、貫通物の設置場所における床応答スペクトル、当該スペクトルが無い場合は上層の床応答スペクトルの最大応答加速度を用いて算出する。

(b) 評価において考慮する貫通部

評価においては、それぞれの貫通部のうち、発生する荷重が最も大きいものを算出する。

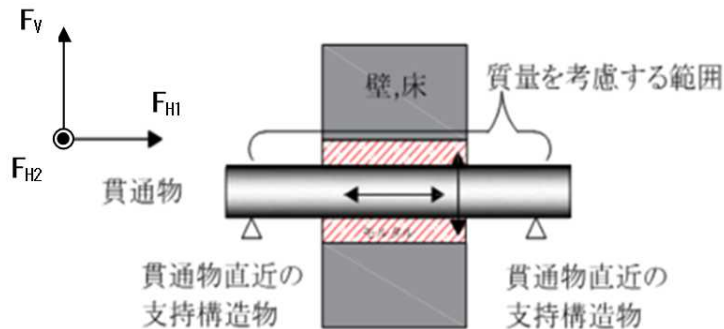


図4-1 モルタルへの荷重作用図

(2) 鉄板に作用する地震荷重

耐震評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、貫通軸上の貫通物及びその内容物の質量を考慮する。

b. 地震荷重 (Ks)

地震荷重は、基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

鉄板及び溶接部に作用する荷重は、引張荷重、せん断荷重及び曲げ荷重を考慮する。地震動により貫通物に地震荷重が発生し、その荷重が鉄板及び溶接部に作用するものとして算出する。

(a) 貫通物から鉄板及び溶接部に作用する地震荷重

鉄板及び溶接部に作用する荷重は鉄板端部と鉄板から最も近い支持構造物までの間の貫通物の固定荷重と地震荷重が作用する。評価においては、安全側の評価となるように貫通部両側の固定荷重及び地震力が鉄板及び溶接部に作用し、鉄板及び溶接部に反力が発生するものとして荷重を算出する。貫通物から鉄板及び溶接部に作用する荷重作用図を図 4-2 に示す。

また、貫通物は柔構造となる場合もあることから、貫通物の設置場所における床応答スペクトル、当該スペクトルが無い場合は上層の床応答スペクトルを用いて算出する。

(b) 評価において考慮する貫通部

評価においては、それぞれの貫通部のうち、津波の突き上げ荷重が作用する貫通部を算出する。

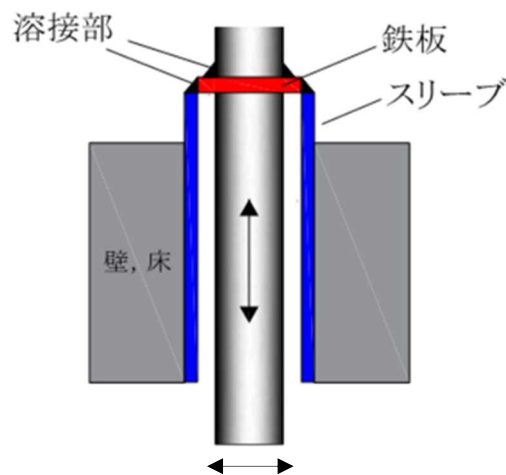


図 4-2 鉄板及び溶接部の荷重作用図

(3) フラップゲートに作用する地震荷重

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、フラップゲートの質量を考慮する。

b. 地震荷重 (Ks)

地震荷重は、基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

フラップゲートのボルトに作用する荷重はフラップゲートの固定荷重と地震荷重が作用する。

(a) ボルトに作用する地震荷重

フラップゲートはボルトによって固定されていることから、ボルトには固定荷重と地震荷重が作用し、フラップゲートが水平方向及び垂直方向へ転倒する力が働く。ボルトに作用する地震荷重作用図を図 4-3 に示す。

また、構造が同等なフラップゲートに対する振動試験の結果から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造のため、フラップゲートの設置場所における最大応答加速度を用いて算出する。

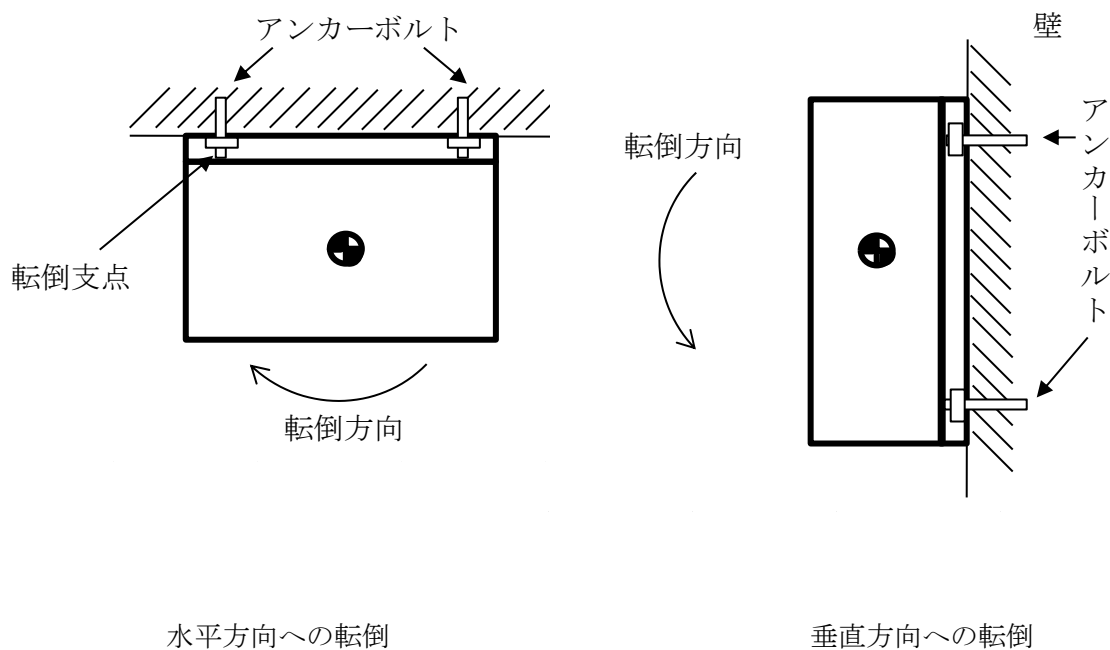


図 4-3 フラップゲートの荷重作用図

4.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 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	G + K _s

注記 * : Gは固定荷重, K_sは基準地震動 S_sによる地震荷重を示す。

4.3 許容限界

貫通部止水処置のうち, モルタルと鉄板及びフラップゲートの許容限界に関して以下に示す。

(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] 2002 年制定 ((社) 土木学会平成 14 年 3 月) 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 4-2 , 貫通部止水処置の許容限界評価条件を表 4-3 , 貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 4-4 に示す。

表 4-2 貫通部止水処置の設計にて考慮する許容限界 (許容荷重)

状態	許容限界*	
	付着荷重	圧縮荷重
短期	f _s	f _c

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] 2002 年制定 ((社) 土木学会平成 14 年 3 月) 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} 及びモルタルの許容圧縮荷重 f_cを算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck}は設計値を用いる。尚, 同一貫通部に異なる口径の貫通物が設置されている場合, 許容付着荷重の計算に使う周長 S は保守的に最も口径の大きい貫通物の周長を適用し, 許容圧縮荷重の計算に使う直径 d は保守的に最も口径の小さい貫通物の直径を適用する。本計算書では, 許容付着荷重の計算に適用する貫通物の口径 200A, 許容圧縮荷重の計算に適用する貫通物の口径 25A, モルタル充てん深さ L_w = 800 mm, とする。

$$\begin{aligned} \text{許容付着荷重} \quad f_s &= f'_{bok} \cdot S \cdot L_w / \gamma_c \\ f'_{bok} &= 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{許容圧縮荷重} \quad f_c &= f'_{ck} \cdot A_p / \gamma_c \\ A_p &= d \cdot L_w \end{aligned}$$

表 4-3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価部位	f'_{ck} [*] (N/mm ²)	γ_c [*]
モルタル	32.3	1.3

*注記： f'_{ck} ：モルタル圧縮強度， γ_c ：材料定数を示す。

表 4-4 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 f_s (kN)	圧縮荷重 f_c (kN)
短期	モルタル	475	675

(2) 鉄板

各評価部位の許容値は、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）に規定されている許容限界を用いる。鉄板の許容限界は、設計・建設規格により鉄板の許容引張応力 f_t 、鉄板の許容せん断応力 f_s 、鉄板の曲げ許容応力 f_b 及び鉄板の許容組合せ応力 f_{total} を算出する。

鉄板の許容限界を表 4-5，許容限界評価条件を表 4-6，許容限界算出結果を表 4-7 に示す。

表 4-5 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	組合せ応力 f_{total}
鉄板	Ⅲ _A S	$\frac{F}{1.5} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5} \times 1.5$
配管と鉄板との溶接部		$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$
鉄板とスリーブとの溶接部		$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$

表 4-6 鉄板の許容限界評価条件

評価部位	許容応力* (F) (MPa)
鉄板	205
配管と鉄板との溶接部	205
鉄板とスリーブとの溶接部	147

注記*：鉄板の許容応力は、設計・建設規格の支持構造物から引用。

表 4-7 鉄板の許容限界算出結果

評価部位	許容限界			
	引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (MPa)
鉄板	204	117	204	204
配管と鉄板 との溶接部	117	117	117	117
鉄板とスリーブ との溶接部	84	84	84	84

(3) フラップゲート

フラップゲート固定ボルトの許容限界算出結果を表 4-8 に示す。

評価部位の許容値は各種合成構造設計指針・同解説に規定される許容限界を用いる。

表 4-8 固定ボルトの許容限界

状態	評価部位	許容限界	
		引張許容荷重 (kN)	せん断許容荷重 (kN)
短期	ボルト	13293	13866

4.4 設計用地震力

(1) モルタル

モルタル止水処置については、耐震計算に用いる設計震度をV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。貫通部止水処置の耐震計算に用いる設計震度を表4-9に示す。

表4-9 設計用震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (mm)	地震による設計震度*1	
		基準地震動 S s	原子炉建屋 T. M. S. L. 12300 (T. M. S. L. 12300*2)
		鉛直方向C _V	8.64

注記 *1：設置場所の床応答曲線から最大加速度を設計震度とした。

*2：設置場所の基準床レベルを示す。

(2) 鉄板

鉄板止水処置については、耐震計算に用いる設計震度をV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。貫通部止水処置の耐震計算に用いる設計震度を表4-10に示す。

表4-10 設計用震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (mm)	地震による設計震度*1	
		基準地震動 S s	タービン建屋 T. M. S. L. 3500 (T. M. S. L. 4900*2)
		鉛直方向C _V	3.08

注記 *1：設置場所の床応答曲線から貫通物の固有周期に対応した加速度を設計震度とした。

*2：設置場所の基準床レベルを示す。

(3) フラップゲート

フラップゲートについては、耐震計算に用いる設計震度をV-2-1-7 「設計用床答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。フラップゲートの耐震計算に用いる設計震度を表4-11に示す。

表4-11 設計用震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (mm)	地震による設計震度*1	
		水平方向 C_H	
基準地震動 S_s	タービン建屋 T.M.S.L. -2525 (T.M.S.L. -1100*2)	水平方向 C_H	0.98
		鉛直方向 C_V	0.89

注記 *1：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。

4.5 計算方法

4.5.1 荷重計算

(1) モルタル

固定荷重及び基準地震動 S_s による貫通物の反力によりモルタルに生じる荷重を算出する。

付着荷重は、鉛直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。

$$F_{H1} = w(1 + C_V) \times L \times g$$

圧縮荷重は、貫通物の水平反力から次のとおり算出する。

$$F_{H2} = F_V = 5/8 \times w(1 + C_H) \times L \times g$$

$$F_C = \sqrt{F_{H2}^2 + F_V^2}$$

(2) 鉄板

固定荷重及び基準地震動 S_s による貫通物の反力により鉄板に生じる荷重は次のとおり算出する。

a. 鉄板を貫通する配管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鉄板に生じる荷重は次の通り算出する。

(a) 鉄板に掛かる荷重

$$\text{軸方向引張荷重} : F_{s1} = w(1 + C_V)(L_1 + L_2) \times g$$

$$\text{軸直方向せん断荷重} : F_{s2} = F_{s3} = 5/8 w(1 + C_H)L_1 \times g + w(1 + C_H)L_2 \times g$$

$$\text{モーメント} : M_{s2} = M_{s3} = 1/8 w(1 + C_H)L_1^2 \times g + 1/2w(1 + C_H)L_2^2 \times g$$

$$\text{イ. 引張応力} : \sigma_t = F_{s1}/A_1$$

$$A_1 = \pi d \times t_1$$

$$t_1 = \text{鉄板板厚}$$

$$\text{ロ. せん断応力} : \tau_{2,3} = 2 \times F_{s2,3}/A_1$$

$$\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$$

$$\begin{aligned} \text{ハ. 曲げ応力} &: \sigma_{b2,3} = M_{s2,3} / Z_1 \\ &\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + \sigma_{b3}^2} \end{aligned}$$

$$\text{ニ. 組合せ応力} : \sigma_{\text{total}} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$$

(b) 鉄板と配管との溶接部に生じる荷重

$$\begin{aligned} \text{イ. 引張応力} &: \sigma_t = F_{s1} / A_2 \\ A_2 &= \pi d \times t_2 \\ t_2 &= \text{有効のど厚} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ロ. せん断応力} &: \tau_{2,3} = 2 \cdot F_{s2,3} / A_2 \\ \tau &= \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ハ. 曲げ応力} &: \sigma_{b2,3} = M_{s2,3} / Z_2 \\ &\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + \sigma_{b3}^2} \end{aligned}$$

$$\text{ニ. 組合せ応力} : \sigma_{\text{total}} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2}$$

(c) 鉄板とスリーブとの溶接部に生じる荷重

$$\begin{aligned} \text{イ. 引張応力} &: \sigma_t = F_{s1} / A_3 \\ A_3 &= \pi d \times t_3 \\ t_3 &= \text{有効のど厚} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ロ. せん断応力} &: \tau_{2,3} = 2 \cdot F_{s2,3} / A_3 \\ \tau &= \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ハ. 曲げ応力} &: \sigma_{b2,3} = M_{s2,3} / Z_3 \\ &\sigma_b = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + \sigma_{b3}^2} \end{aligned}$$

$$\text{ニ. 組合せ応力} : \sigma_{\text{total}} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2}$$

(3) フラップゲート

固定荷重及び基準地震動 S_s による荷重は次のとおり算出する。

引張力の計算

フラップゲートが水平方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_3} + \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

フラップゲートが鉛直方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b2} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot \ell_1 \cdot g + m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

引張力

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

せん断力の計算

水平方向の力

$$Q_{b1} = C_h \cdot m_1 \cdot g$$

鉛直方向の力

$$Q_{b2} = (1 + C_v) \cdot m_1 \cdot g$$

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{Q_{b1}^2 + Q_{b2}^2}}{n}$$

引張力とせん断力による組み合わせの良否判定式

$$\left(\frac{F_b}{F_a}\right)^2 + \left(\frac{Q_b}{Q_a}\right)^2 \leq 1$$

4.6 計算条件

(1) モルタル

貫通部止水処置（モルタル）の耐震評価に関する荷重評価条件を表 4-12 に示す。

表 4-12 モルタルの耐震評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	モルタルの充てん深さ L_w (mm)	貫通部から直近支持 点までの距離 L (mm)	貫通部から支持点ま での単位長さ当たり の質量 w (kg/m)
原子炉建屋 1 階 床貫通部 (モルタル)	800	4233	□

(2) 鉄板

貫通部止水処置（鉄板）の耐震評価に関する荷重評価条件を表 4-13 に示す。

表 4-13 鉄板の耐震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 ρ (kg/m ³)	貫通物の支持間隔間の 単位長さ当たりの質量 w (kg/m)	鉄板から直近の支持 装置までの距離 L_1 (mm)
タービン建屋地下 1 階 床貫通部 (鉄板)	1030	□	1164


鉄板から直近の支持 装置までの距離 L_2 (mm)	鉄板の外径 D (mm)	鉄板貫通物の外径 d (mm)	鉄板の断面係数 Z_1 (mm ³)
240	160	48.6	9461

鉄板と貫通物との 溶接部の断面係数 Z_2 (mm ³)	鉄板とスリーブとの 溶接部の断面係数 Z_3 (mm ³)	鉄板の板厚 t_1 (mm)	溶接部の 有効のど厚 t_2 (mm)	溶接部の 有効のど厚 t_3 (mm)
7791	57316	4	3.8	2.8

(3) フラップゲート

フラップゲートの耐震評価に関する荷重評価条件を表 4-14 に示す。

表 4-14 フラップゲートの耐震評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所	質量 m_1 (kg)	重心距離 h (mm)	重心高さ l_1 (mm ²)
タービン建屋 地下 2 階 壁貫通部 (フラップゲート)		586.3	232.6

水平方向のボルト数 n_{fV} (本)	垂直方向のボルト数 n_{fH} (本)	ボルト間の鉛直方向 距離 l_2 (mm)	ボルト間の水平方向距離 l_3 (mm)
6	7	743.0	878.0

ボルト全数 n (本)	引張許容荷重 F_b (N)	せん断許容荷重 Q_b (N)	重力加速度 g m/s ²
26	13293	13866	9.80665

5. 評価結果

5.1 モルタル

貫通部止水処置（モルタル）の耐震評価結果を表 5-1 に示す。貫通部止水処置の評価部位における発生荷重は許容荷重以下であり，構造部材が設計用地震力に対して溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 モルタルの耐震評価結果

荷重	発生荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
付着荷重		475
圧縮荷重		675

5.2 鉄板

貫通部止水処置（鉄板）の耐震評価結果を表 5-2 に示す。貫通部止水処置の評価部位における発生荷重は許容荷重以下であり，設計用地震力に対して構造部材が津波の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを確認した。

表 5-2 鉄板の耐震評価結果

評価部位		引張応力 (MPa)		せん断応力 (MPa)		曲げ応力 (MPa)		組合せ応力 (MPa)	
		発生	許容	発生	許容	発生	許容	発生	許容
鉄板	鉄板		204		117		204		204
	配管と鉄板との 溶接部		117		117		117		117
	鉄板とスリーブ との溶接部		84		84		84		84

5.3 フラップゲート

フラップゲートの耐震評価結果を表5-3及び表5-4に示す。貫通部止水処置の評価部位における発生荷重は許容荷重以下であり、設計用地震力に対して構造部材が津波による溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを確認した。

表5-3 フラップゲートの耐震評価結果

荷重	発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
引張荷重		13293
せん断荷重		13866

表5-4 フラップゲートの組合せ評価結果

荷重	組合せ荷重	判定基準
組合せ荷重		1以下