

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-20-0132_改0
提出年月日	2021年6月17日

VI-3-別添 3-4-2 堰の強度計算書

02 ③ VI-3-別添 3-4-2 R0

2021年6月

東北電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 検討対象堰一覧	1
2.2 配置概要	2
2.3 構造計画	3
2.4 評価方針	4
2.5 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の説明	6
3.2 評価対象部位及び評価対象設備	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	12
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	15
3.6 評価条件	28
4. 評価結果	29

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設である浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰（以下「堰」という。）が、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、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維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の建屋ごとの数を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象堰

設置建屋	対象堰数
原子炉建屋	33
制御建屋	5
タービン建屋	5
合計	43

2.2 配置概要

堰は、VI-1-1-8-5「溢水防護施設の詳細設計」の「4.1.3 浸水防止堰の設計方針」及び「4.1.4 管理区域外伝播防止水密扉及び管理区域外伝播防止堰の設計方針」に示すとおり、原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋に設置する。

2.3 構造計画

堰の構造は、添付書類「VI-3-別添 3-3 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。

堰は、止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いる構造とする。

堰の構造計画を表 2-1 に概略構造図を図 2-1 に示す。

表 2-1 堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いて構成する。	図 2-1

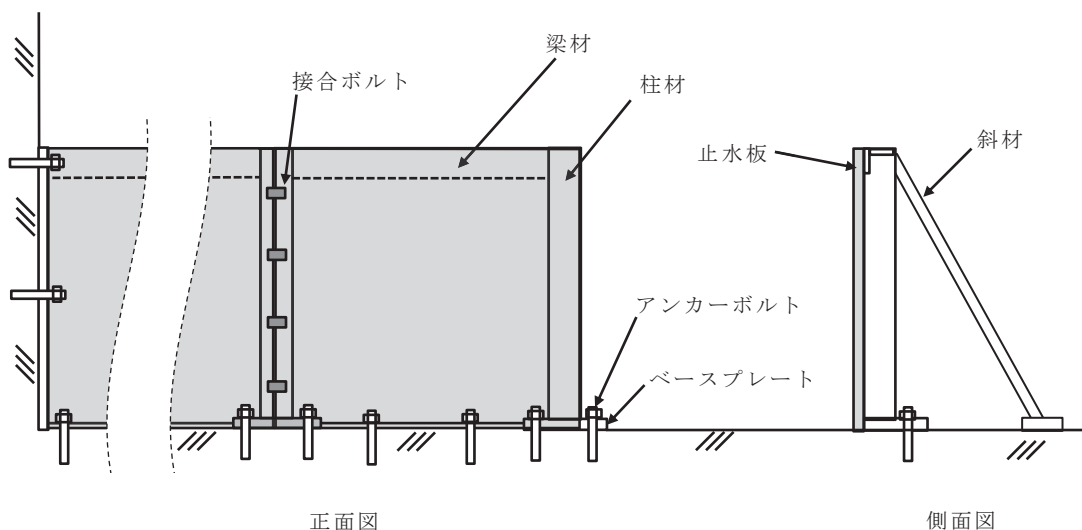


図 2-1 堰の概略構造図

2.4 評価方針

堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水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、堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内にあることを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「3.6. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「4. 評価結果」にて確認する。

堰の強度評価フローを図 2-2 に示す。

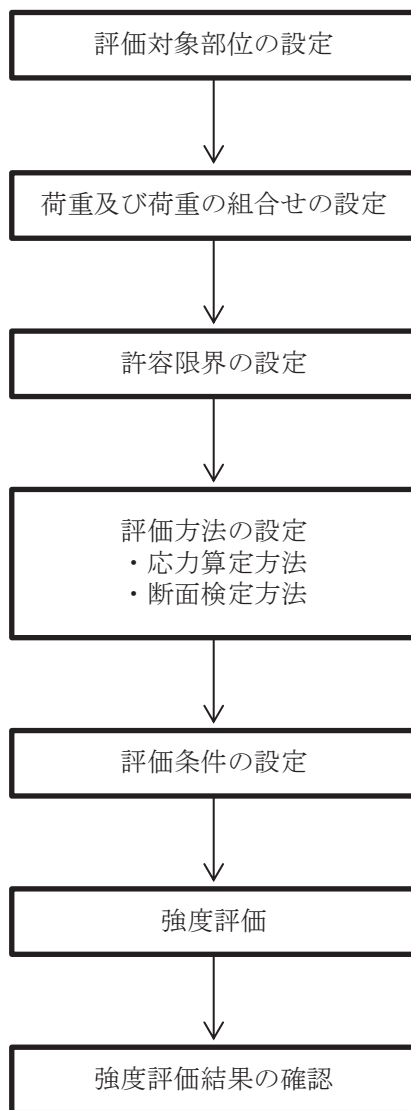


図2-2 堰の強度評価フロー

2.5 適用規格

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 JSME S NC 1 - 2005 ((社) 日本機械学会)
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会)
- ・構造計算便覧 (産業図書)
- ・日本産業規格 (J I S)

3. 強度評価方法

堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水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」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

堰の強度評価は、「3.2 評価対象部位及び評価対象設備」に示す評価対象部位に対し、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4 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、「3.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1 記号の説明

堰の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
ρ_0	kg/m ³	溢水の密度
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	堰の高さ
P_h	N/mm ²	静水圧荷重
σ_p	N/mm ²	止水板の曲げ応力度
t	mm	止水板の板厚
a	mm	止水板の長辺方向の幅
β	—	長方形板の応力係数
h_1	mm	評価する止水板の最下端の高さ
h_2	mm	評価する梁材の最下端の高さ
σ_f	N/mm ²	梁材の曲げ応力度
M_f	N・mm	梁材の曲げモーメント
τ_f	N/mm ²	梁材のせん断応力度
Q_f	N	梁材の発生せん断力
σ_{ef}	N/mm ²	梁材の組合せ応力度
a'	mm	梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅
L'	mm	評価する梁材の長さ
Z	mm ³	梁材の断面係数
A_s	mm ²	梁材のせん断断面積
P_0	N	アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重
V_0	N	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
T	N	床側アンカーボルト発生引張力
M_h	N・mm	転倒モーメント
S	N	床側アンカーボルト発生せん断力
R_s	N	堰下端の発生せん断力
q	N	壁側アンカーボルト発生せん断力
R_q	N	片側の壁の発生せん断力
n_1	本	引張を受ける床側アンカーボルト本数
n_2	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
n_3	本	ベースプレートのアンカーボルト本数
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離
W_f	N/mm	梁材の平均水圧による分布荷重
W_{f1}	N/mm	接合ボルトの平均水圧による分布荷重
W_{f2}	N/mm	柱材の平均水圧による分布荷重
W_{f3}	N/mm	堰下端の平均水圧による分布荷重
σ_Y	N/mm ²	柱材の曲げ応力度
M_Y	N・mm	柱材の曲げモーメント
τ_Y	N/mm ²	柱材のせん断応力度
Q_Y	N	柱材の発生せん断力
σ_{eY}	N/mm ²	柱材の組合せ応力度
L	mm	評価する堰の全幅
B	mm	評価する堰の側面全幅
L_1'	mm	柱材 1 本あたりが負担する柱材及び止水板の幅
L_2'	mm	斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅
L_3'	mm	接合ボルトが負担する堰の幅
Z_Y	mm ³	柱材の断面係数
A_Y	mm ²	柱材のせん断断面積
σ_{ps}	N/mm ²	ベースプレートの曲げ応力度
L_{ps}	mm	ベースプレートのレバー長さ
Z_{ps}	mm ³	ベースプレートの断面係数
σ_{pc}	N/mm ²	斜材の圧縮応力度
P_c	N	斜材の発生圧縮力
A	mm ²	斜材の断面積
θ	deg	止水板と斜材のなす角度 ($\sin \theta = C/L_2$)
L_2	mm	評価する斜材の長さ
C	mm	止水板と斜材付け根部までの距離
N	本	せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数
σ_B	N/mm ²	接合ボルトの曲げ応力度
F_B	N	接合ボルトに加わる引張力

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
M_B	N・mm	接合ボルトの曲げモーメント
e_B	mm	接合ボルト位置からの縁端距離
N_B	本	接合ボルト本数
A_B	mm ²	接合ボルトの断面積

3.2 評価対象部位及び評価対象設備

評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水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を踏まえて、「2.3 構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。また、結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表として評価する。

評価対象部位は堰に作用する静水圧荷重が、止水板、梁材、柱材及び斜材から接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介し、躯体に伝わることから、止水板、梁材、柱材、斜材、接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトとする。評価の対象となる堰の選定結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(1/3)

設置建屋	設置床高さ(m)	設備名称	溢水水位床上(m)	堰高さ床上(m)	評価対象設備(代表)
原子炉建屋	0. P. 33. 20	R-01階段浸水防止堰(地上3階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 32. 30	R-02階段浸水防止堰(地上3階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	R-01階段浸水防止堰(地上2階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	FCS再結合装置(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	FCS再結合装置(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	R-02階段浸水防止堰(地上2階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSヒータユニット(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMSラック(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSヒータユニット(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMSラック(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSフィルタユニット室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	R-01階段浸水防止堰(地上1階)	0. 3	0. 4以上	

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(2/3)

設置建屋	設置床 高さ(m)	設備名称	溢水水位 床上 (m)	堰高さ 床上 (m)	評価対象 設備 (代表)
原子炉 建屋	0. P. 15. 00	R-02階段浸水防止堰 (地上1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	バルブ(B)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	バルブ(A)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	FPCポンプ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	R-01階段浸水防止堰 (地下1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	R-02階段浸水防止堰 (地下1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	MSトンネル室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	RCIC MCC室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	TIP駆動装置室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	復水補給水ポンプ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	CUW配管・バルブ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	原子炉補機(A)室送風 機室-原子炉補機 (HPCS)室送風機室浸水 防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	原子炉補機(HPCS)室送 風機室-原子炉補機(B) 室送風機室および送風 機エリア浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	2F通路浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	区分Ⅰ・Ⅲ非所用D/G 制御盤室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	D/G補機(A)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	区分ⅢHPCS電気品室浸 水防止堰	0. 3	0. 4以上	

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(3/3)

設置建屋	設置床 高さ(m)	設備名称	溢水水位 床上 (m)	堰高さ 床上 (m)	評価対象 設備 (代表)
原子炉 建屋	0. P. -0. 80	静止型PLRポンプ電源 装置室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	IA・SA室および 通路浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMS (A) 室空調機 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMS (B) 室空調機 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
制御 建屋	0. P. 19. 50	区分 I ケーブル処理室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 19. 50	常用系ケーブル処理室 浸水防止堰 (No. 2)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 19. 50	常用系ケーブル処理室 浸水防止堰 (No. 1)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 1. 50	中央制御室再循環フイ ルタ装置浸水防止堰	0. 6	0. 7以上	○*
	0. P. 19. 50	ハッチ上部スペース 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
タービン 建屋	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 1)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 2)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 3)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 4)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 7. 60	HNCW冷凍機・ポンプ室 管理区域外伝播防止堰	0. 3	0. 4以上	

注記* : 最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

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 3-3 溢水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 溢水による静水圧荷重

溢水による静水圧荷重として、発生を想定する溢水による浸水高さを用いた静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は次式により算定する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H$$

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水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を踏まえて設定する。荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ
堰	P_h

3.4 許容限界

堰の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水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」にて示している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位及び評価対象施設」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短期許容応力度または、短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

(1) 止水板

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-4 に示す。

表 3-4 止水板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm ²)
SS400	235

(2) 梁材，柱材及び斜材

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-5 に示す。

表 3-5 梁材，柱材及び斜材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	圧縮又は曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
SS400	235	135	235

(3) 接合ボルト

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-6 に示す。

表 3-6 接合ボルトの短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	引張 (N/mm ²)
SS400	240

(4) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した短期許容荷重を表 3-7 に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては、アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3-7 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (N)	せん断 (N)
SS400	10000	23800

3.5 評価方法

堰の強度評価は、「VI-3-別添 3-3 溢水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。

3.5.1 堰の評価方法

静水圧荷重を受ける平板モデル、はりモデルに置き換え、止水板、梁材、柱材、斜材、接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力を算定し、各許容限界との比較により強度評価を行う。

(1) 応力算定

静水圧荷重を受ける止水板に生じる曲げ応力度、梁材及び柱材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度、斜材に生じる圧縮応力度、接合ボルトに生じる引張応力度、床アンカーボルトに生じる引張力及びせん断力、壁アンカーボルトに生じるせん断力及びベースプレートに生じる曲げ応力度に対する確認を行うに当たり、各荷重により生じる応力を算定する。堰に生じる力の概念図を図 3-1～図 3-8 に示す。

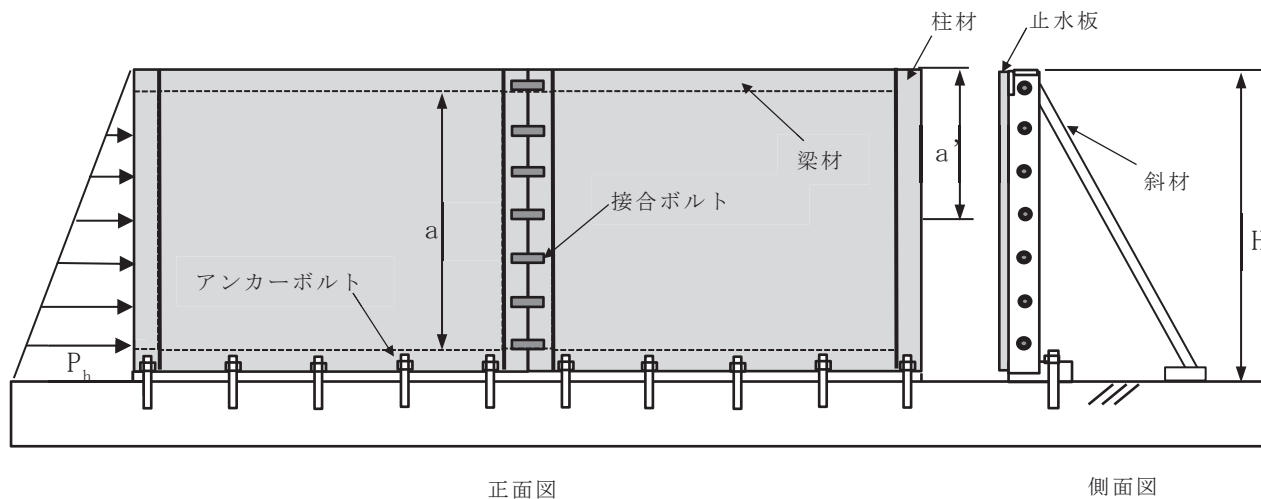


図 3-1 溢水時の堰に生じる力の断面概念図

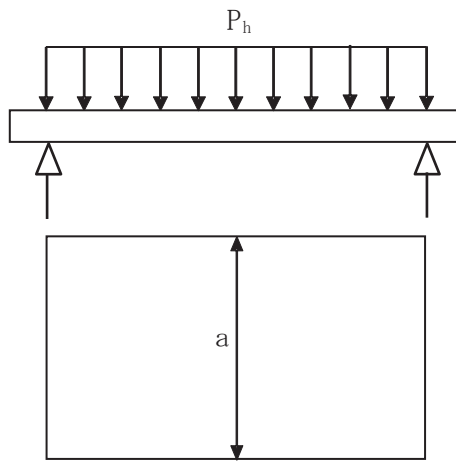


図 3-2 溢水時の止水板に生じる力の断面概念図（等分布荷重，4 辺支持）

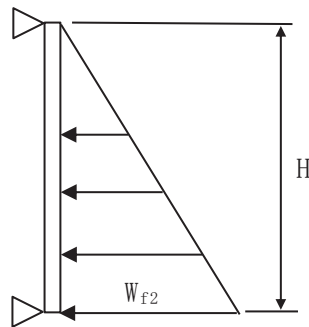


図 3-3 溢水時の柱材に生じる力の断面概念図（直線分布荷重，両端支持）

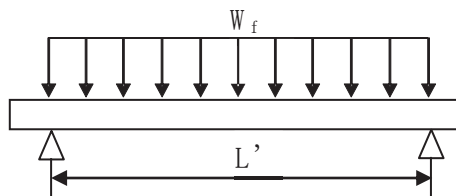


図 3-4 溢水時の梁材に生じる力の断面概念図（等分布荷重，両端支持）

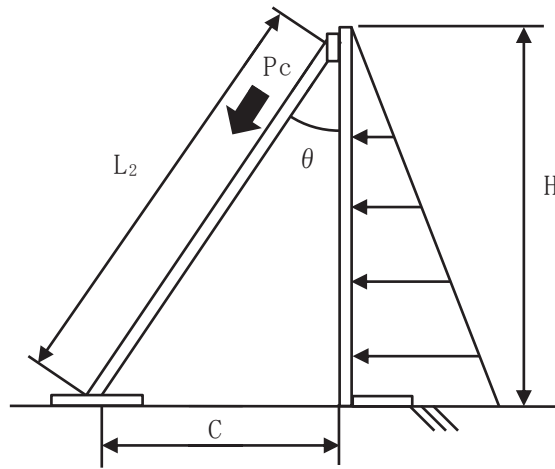


図 3-5 溢水時の斜材に生じる力の断面概念図

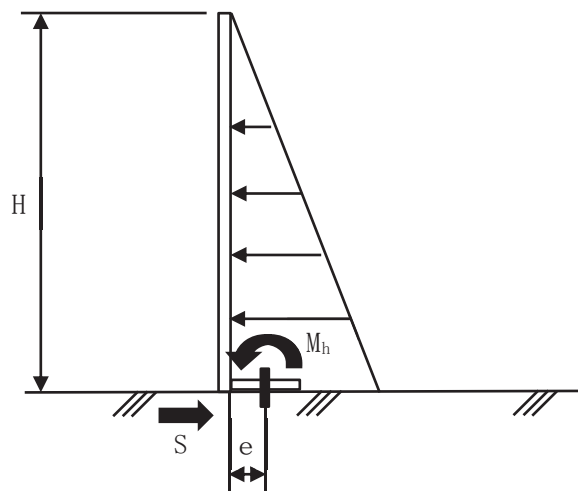


図 3-6 溢水時の床側アンカーボルトに生じる力の断面概念図

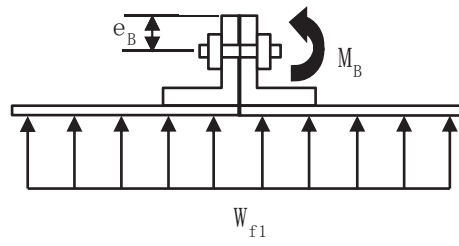


図 3-7 溢水時の接合ボルトに生じる力の断面概念図

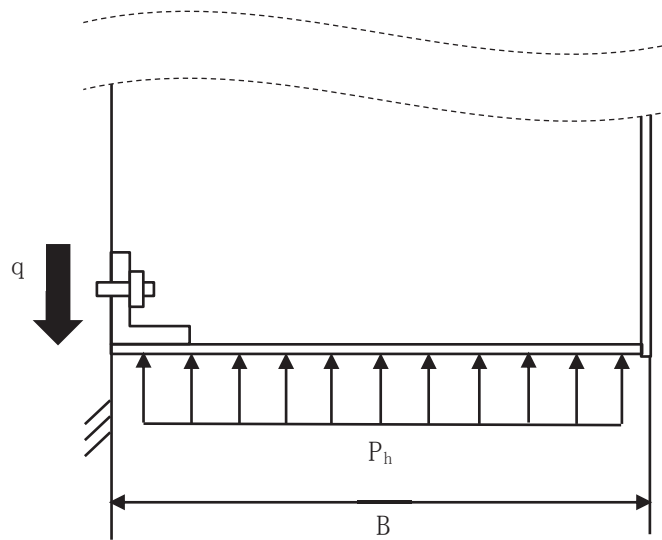


図 3-8 溢水時の壁側アンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 止水板

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

止水板に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_1) \cdot 10^{-9}$$

P_h : 止水板最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

h_1 : 評価する止水板の最下端の高さ (mm)

(b) 曲げ応力度に対する検定

止水板に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、止水板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_p = \beta \cdot P_h \cdot a^2 / t^2$$

σ_p : 止水板の曲げ応力度 (N/mm²)

β : 長方形板の最大応力の係数

P_h : 止水板最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

a : 止水板の長辺方向の幅 (mm)

t : 止水板の板厚 (mm)

b. 柱材

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

柱材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f2} = P_h \cdot L_1'$$

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

L_1' : 柱材 1 本あたりが負担する柱材及び止水板の幅 (mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = M_Y / Z_Y$$

$$M_Y = (W_{f2} \cdot H^2) / 6$$

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_Y : 柱材の曲げモーメント (N・mm)

Z_Y : 柱材の断面係数 (mm³)

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

H : 堰の高さ (mm)

(d) せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_Y = Q_Y / A_Y$$

$$Q_Y = (W_{f2} \cdot H) / 2$$

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_Y : 柱材の発生せん断力 (N)

A_Y : 柱材のせん断断面積 (mm²)

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

H : 堰の高さ (mm)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規
準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算出し、柱材の短期許容組合
せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

σ_{eY} : 柱材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

c. 梁材

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

梁材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_2) \cdot 10^{-9}$$

P_h : 梁材最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

h_2 : 評価する梁材の最下端の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_f = P_h \cdot a'$$

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

P_h : 梁材最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

a' : 梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅 (mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = M_f / Z$$

$$M_f = (W_f \cdot L'^2) / 8$$

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_f : 梁材の曲げモーメント (N・mm)

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

Z : 梁材の断面係数 (mm³)

(d) せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = Q_f / A_s$$

$$Q_f = (W_f \cdot L') / 2$$

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_f : 梁材の発生せん断力 (N)

A_s : 梁材のせん断断面積 (mm²)

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算定し、梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

σ_{ef} : 梁材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

d. 斜材

(a) 単位長さ当たりの水圧荷重

斜材に作用する単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 圧縮応力度に対する検定

斜材に加わる圧縮応力度は次式より算出し、斜材の短期許容圧縮応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{pc} = P_c / A$$

$$P_c = (P_h \cdot L_2' \cdot H / 6) / \sin \theta$$

$$\sin \theta = C / L_2$$

σ_{pc} : 斜材の圧縮応力度 (N/mm²)

P_c : 斜材の発生圧縮力 (N)

A : 斜材の断面積 (mm²)

P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

L_2' : 斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅 (mm)

H : 堰の高さ (mm)

C : 止水板と斜材付け根部までの距離 (mm)

L_2 : 評価する斜材の長さ (mm)

e. 接合ボルト

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

接合ボルトに作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f1} = (P_h \cdot H) / 2$$

- W_{f1} : 接合ボルトの平均水圧による分布荷重 (N/mm)
- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- H : 堰の高さ (mm)

(c) 引張応力度に対する検定

接合ボルトに生じる引張応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、接合ボルトの短期許容引張応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_B = F_B / A_B$$

$$F_B = M_B / (e_B \cdot N_B)$$

$$M_B = (W_{f1} \cdot L_3'^2) / 8$$

- σ_B : 接合ボルトの引張応力度 (N/mm²)
- F_B : 接合ボルトに加わる引張力 (N)
- M_B : 接合ボルトの曲げモーメント (N・mm)
- e_B : 接合ボルト位置からの縁端距離 (mm)
- W_{f1} : 接合ボルトの平均水圧による分布荷重 (N/mm)
- N_B : 接合ボルト本数 (本)
- A_B : 接合ボルトの断面積 (mm²)
- L_3' : 接合ボルトが負担する堰の幅 (mm)

f. 床側アンカーボルト

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

床側アンカーボルトに作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f3} = P_h \cdot L$$

- W_{f3} : 堰下端の平均水圧による分布荷重 (N/mm)
- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- L : 評価する堰の全幅 (mm)

(c) 引張力に対する検定

床側アンカーボルトに作用する曲げモーメントを「機械工学便覧」に基づき算出する。さらに、曲げモーメントより引張力を算出し、アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T = M_h / (n_1 \cdot e)$$

$$M_h = (W_{f3} \cdot H^2) / 6$$

- T : 床側アンカーボルト発生引張力 (N)
- M_h : 転倒モーメント (N・mm)
- n_1 : 引張を受ける床側アンカーボルト本数 (本)
- e : 床側アンカーボルト位置からの縁端距離 (mm)
- W_{f3} : 堰下端の平均水圧による水平分布荷重 (N/mm)
- H : 堰高さ (mm)

(d) せん断力に対する検定

床側アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$S = R_s / n_2$$

$$R_s = (W_{f3} \cdot H) / 2$$

- S : 床側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 R_s : 堰下端の発生せん断力 (N)
 n₂ : せん断を受ける床側アンカーボルト本数 (本)
 W_{f3} : 堰下端の平均水圧による水平分布荷重 (N/mm)
 H : 堰高さ (mm)

(e) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し、1以下であることを確認する。

$$(T / P_0)^2 + (S / V_0)^2 \leq 1$$

- T : アンカーボルトの発生引張力 (N)
 P₀ : アンカーボルトの引張りに対する短期許容荷重 (N)
 S : アンカーボルトの発生せん断力 (N)
 V₀ : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (N)

g. 壁側アンカーボルト

(a) 静水圧荷重

壁に平行方向に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
 ρ₀ : 溢水の密度 (kg/m³)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 H : 堰の高さ (mm)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = R_q / N$$

$$R_q = ((P_h \cdot H / 2) \cdot B) / 2$$

- q : 壁側アンカーボルト発生せん断力 (N)
- R_q : 片側の壁の発生せん断力 (N)
- N : せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数 (本)
- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- H : 堰の高さ (mm)
- B : 堰の側面全幅 (mm)

h. ベースプレート

(a) 曲げ応力度に対する検定

ベースプレートに作用する曲げ応力度は次式より算出し、ベースプレートの短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ps} = T \cdot n_3 \cdot L_{ps} / Z_{ps}$$

- σ_{ps} : ベースプレートの曲げ応力度 (N/mm²)
- T : アンカーボルトの発生引張力 (N)
- n₃ : ベースプレートのアンカーボルト本数 (本)
- L_{ps} : ベースプレートレバー長さ (mm)
- Z_{ps} : ベースプレートの断面係数 (mm³)

3.6 評価条件

評価対象設備である堰（中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰）の強度評価に用いる入力値を表 3-7 示す。

表 3-7 堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	kg/m ³	溢水の密度	1000
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	1100
β	—	長方形板の応力係数	0.5
a	mm	止水板の長辺方向の幅	800
t	mm	止水板の厚さ	4.5
a'	mm	梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅	550
Z	mm ³	梁材の断面係数	30100
A _s	mm ²	梁材のせん断断面積	1200
L'	mm	評価する梁材の長さ	2450
A	mm ²	斜材の断面積	2856
L ₂	mm	評価する斜材の長さ	1220
L ₂ '	mm	斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅	2450
C	mm	止水板と斜材付け根部までの距離	525
P ₀	N	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重	10000
V ₀	N	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重	23800
n ₁	本	引張を受ける床側アンカーボルト本数	4
n ₂	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数	5
N	本	せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数	2
L	mm	評価する堰の全幅	1730
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離	700
B	mm	評価する堰の側面全幅	635
h ₁	mm	評価する止水板の最下端高さ	0
h ₂	mm	評価する梁材の最下端高さ	0
e _B	mm	接合ボルト位置からの縁端距離	50
N _B	本	接合ボルト本数	7
A _B	mm ²	接合ボルトの断面積	84.3
L ₃ '	mm	接合ボルトが負担する堰の幅	2450

4. 評価結果

堰の強度評価結果を表 4-1 に示す。

堰の止水板，梁材，斜材，接合ボルト，床アンカーボルト及び壁アンカーボルトに発生する応力発生値は許容限界値以下であり，静水圧荷重に対して止水性を維持するために十分な構造強度を有することを確認した。

表 4-1 堰の強度評価結果

評価対象設備	評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力)		許容限界		検定値
中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰	止水板	曲げ	171	N/mm ²	235	N/mm ²	0.73 < 1.0
	梁材	曲げ	148	N/mm ²	235	N/mm ²	0.63 < 1.0
		せん断	7	N/mm ²	135	N/mm ²	0.06 < 1.0
		組合せ	149	N/mm ²	235	N/mm ²	0.64 < 1.0
	斜材	圧縮	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	接合ボルト	引張	151	N/mm ²	240	N/mm ²	0.63 < 1.0
	床アンカーボルト	引張	1369	N	10000	N	0.14 < 1.0
		せん断	2090	N	23800	N	0.09 < 1.0
		組合せ	—	—	—	—	0.03 < 1.0
	壁アンカーボルト	せん断	943	N	23800	N	0.04 < 1.0