

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-19-0182_改0
提出年月日	2021年6月17日

VI-2-10-2-12 堰の耐震性についての計算書

2021年6月

東北電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 検討対象堰一覧	2
2.2 配置概要	3
2.3 構造計画	12
2.4 評価方針	14
2.5 適用基準	14
2.6 記号の説明	15
3. 固有振動数及び設計用地震力	17
3.1 固有振動数の計算方法	17
3.2 固有振動数の計算条件	18
3.3 固有振動数の計算結果	18
3.4 設計用地震力	18
4. 構造強度評価	20
4.1 評価対象部位及び評価対象設備	20
4.2 荷重及び荷重の組合せ	22
4.3 許容限界	23
4.4 評価方法	24
4.5 評価条件	31
5. 評価結果	32

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」に示すとおり、浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰（以下「堰」という。）が、主要設備リストにおける耐震重要度分類にて要求される地震力に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

堰は設計基準対象施設においては耐震Bクラス施設、耐震Cクラス施設及び耐震C-2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 検討対象堰一覧

検討対象の堰の各建屋の対象堰数を表 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、添付書類「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、制御建屋及びタービン建屋に設置する。堰の設置位置及び堰の名称を図 2-1 に示す。

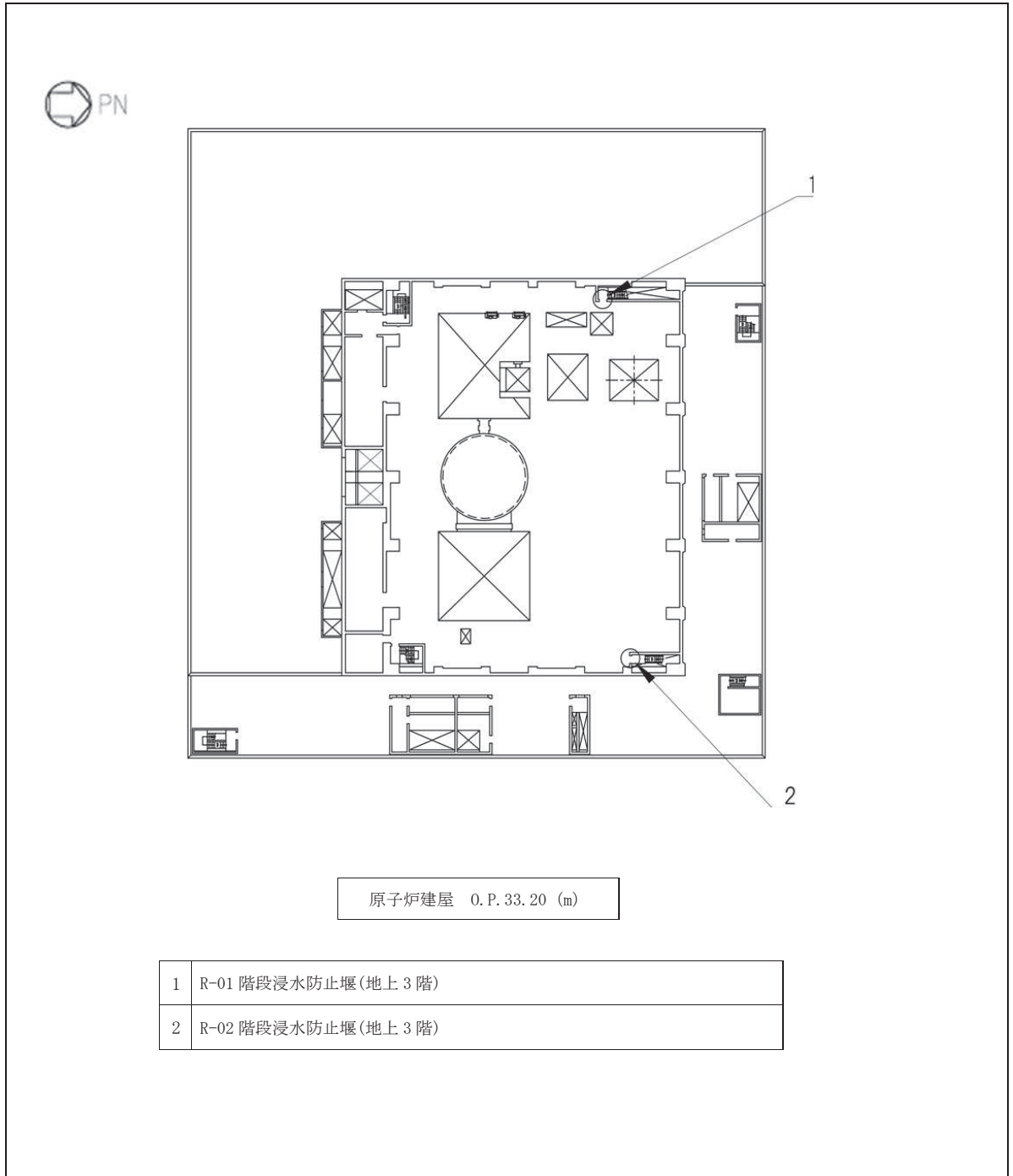


図 2-1 設置位置図 (1/9)

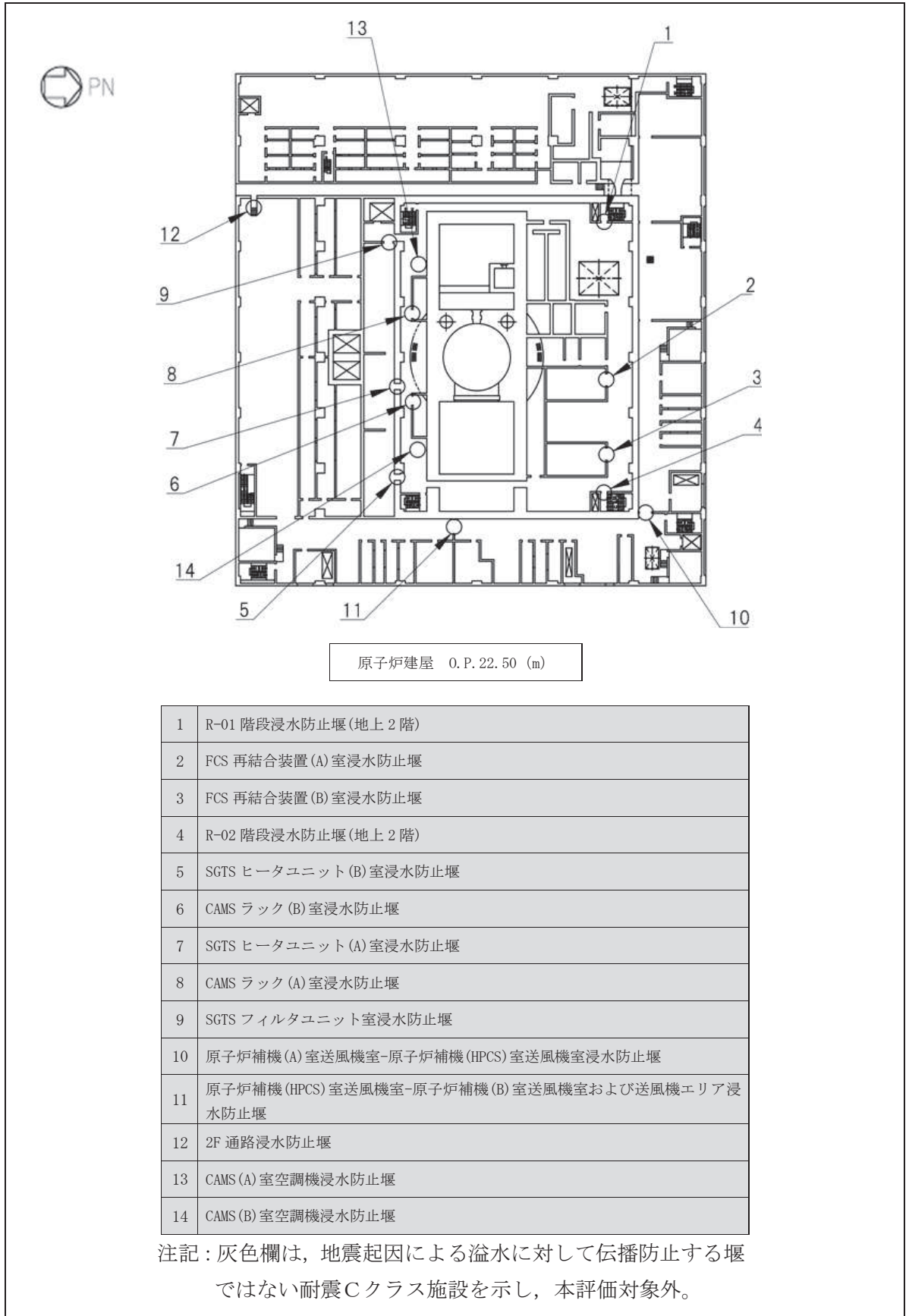
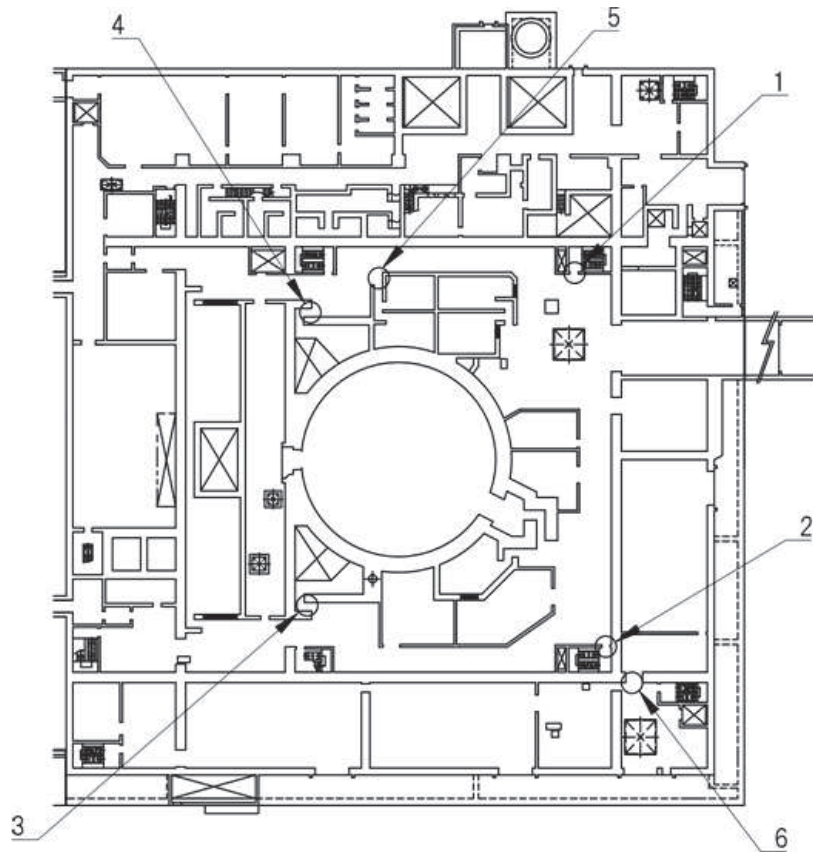


図 2-1 設置位置図 (2/9)

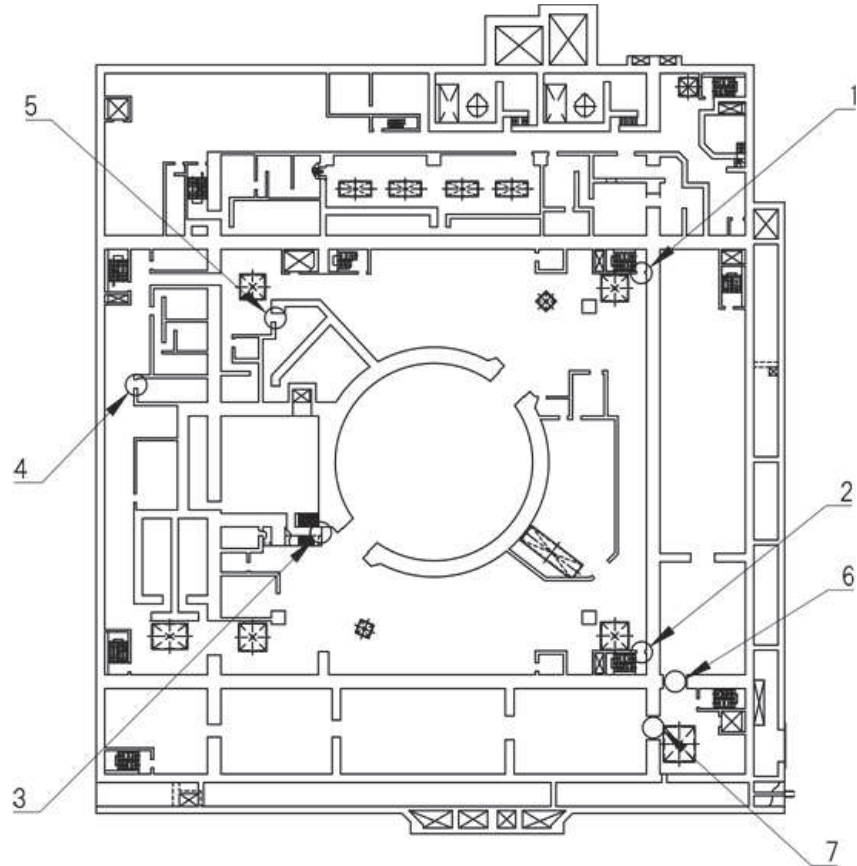


原子炉建屋 0.P. 15.00 (m)

1	R-01 階段浸水防止堰(地上1階)
2	R-02 階段浸水防止堰(地上1階)
3	バルブ(B)室浸水防止堰
4	バルブ(A)室浸水防止堰
5	FPC ポンプ室浸水防止堰
6	区分Ⅰ・Ⅲ非常用D/G制御盤室浸水防止堰

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図 2-1 設置位置図 (3/9)

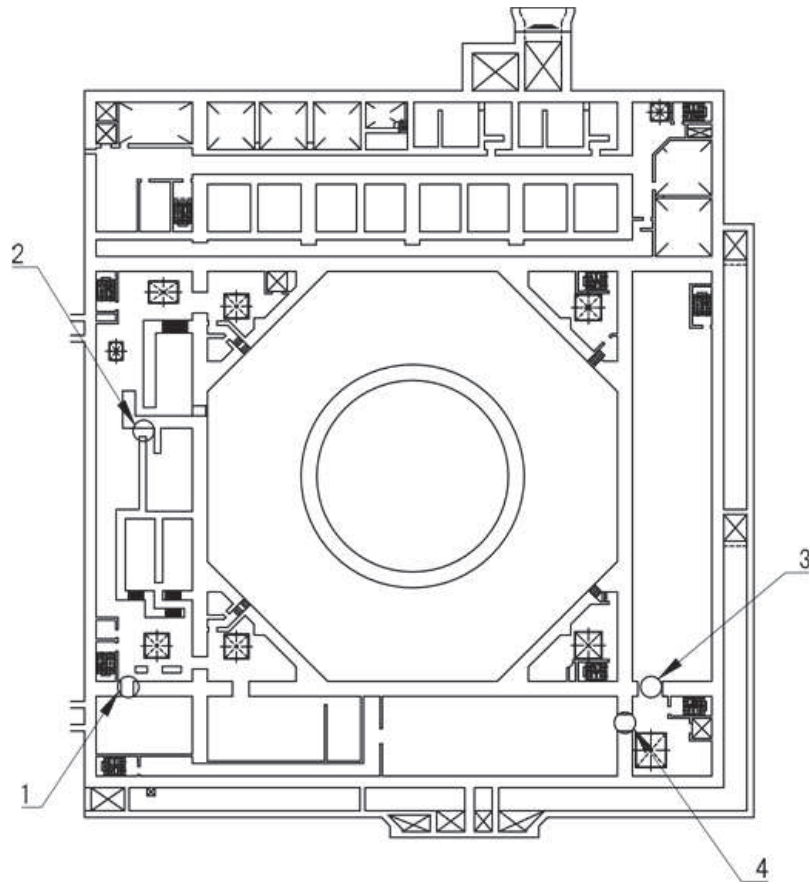


原子炉建屋 O.P. 6.00 (m)

1	R-01 階段浸水防止堰(地下 1 階)
2	R-02 階段浸水防止堰(地下 1 階)
3	MS トンネル室浸水防止堰
4	RCIC MCC 室浸水防止堰
5	TIP 駆動装置室浸水防止堰
6	D/G 補機(A)室浸水防止堰
7	区分ⅢHPCS 電気品室浸水防止堰

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図 2-1 設置位置図 (4/9)

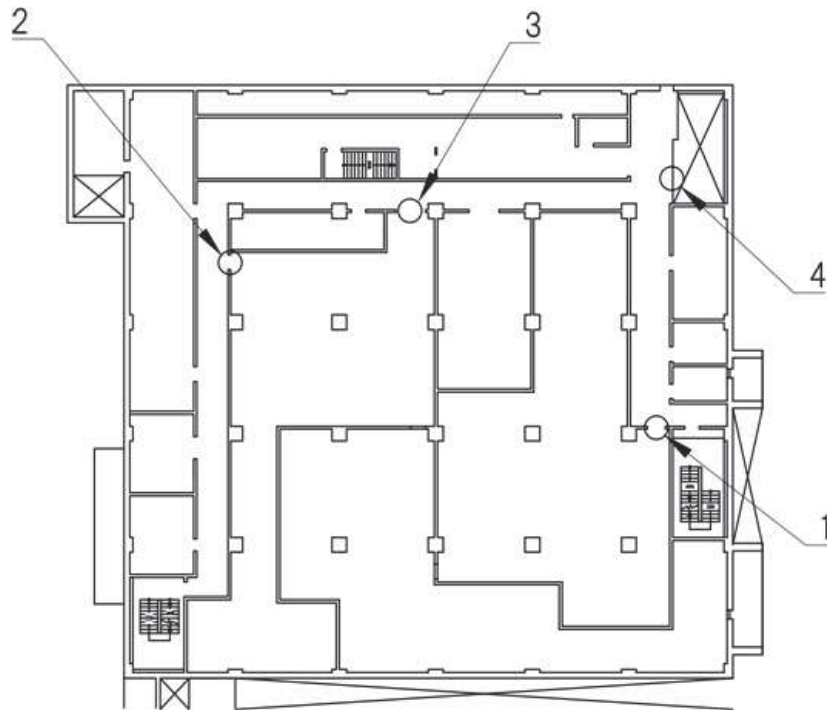


原子炉建屋 0.P. -0.80 (m)

1	復水補給水ポンプ室浸水防止堰
2	CUW 配管・バルブ室浸水防止堰
3	静止型 PLR ポンプ電源装置室浸水防止堰
4	IA・SA 室および通路浸水防止堰

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図 2-1 設置位置図 (5/9)

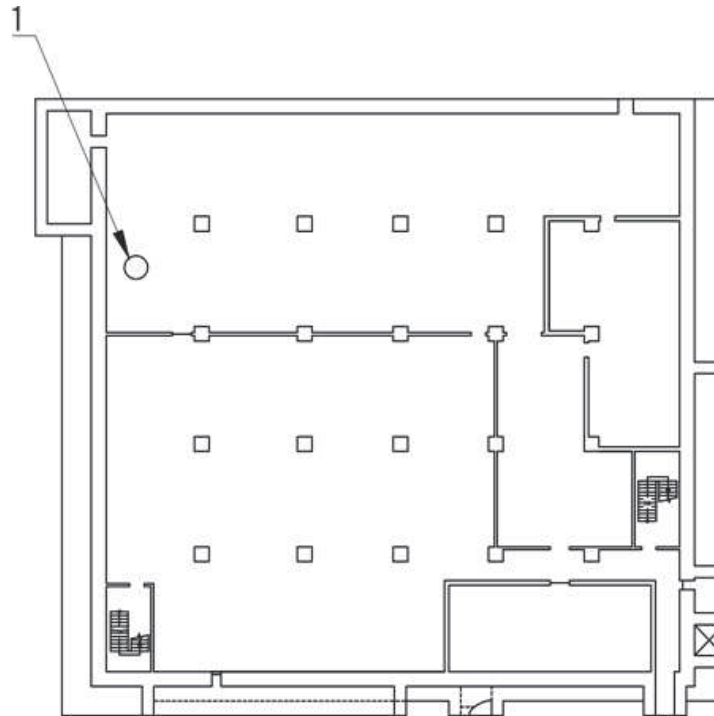


制御建屋 0.P.19.50 (m)

1	区分Ⅰケーブル処理室浸水防止堰
2	常用系ケーブル処理室浸水防止堰(No. 2)
3	常用系ケーブル処理室浸水防止堰(No. 1)
4	ハッチ上部スペース浸水防止堰

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図 2-1 設置位置図 (6/9)

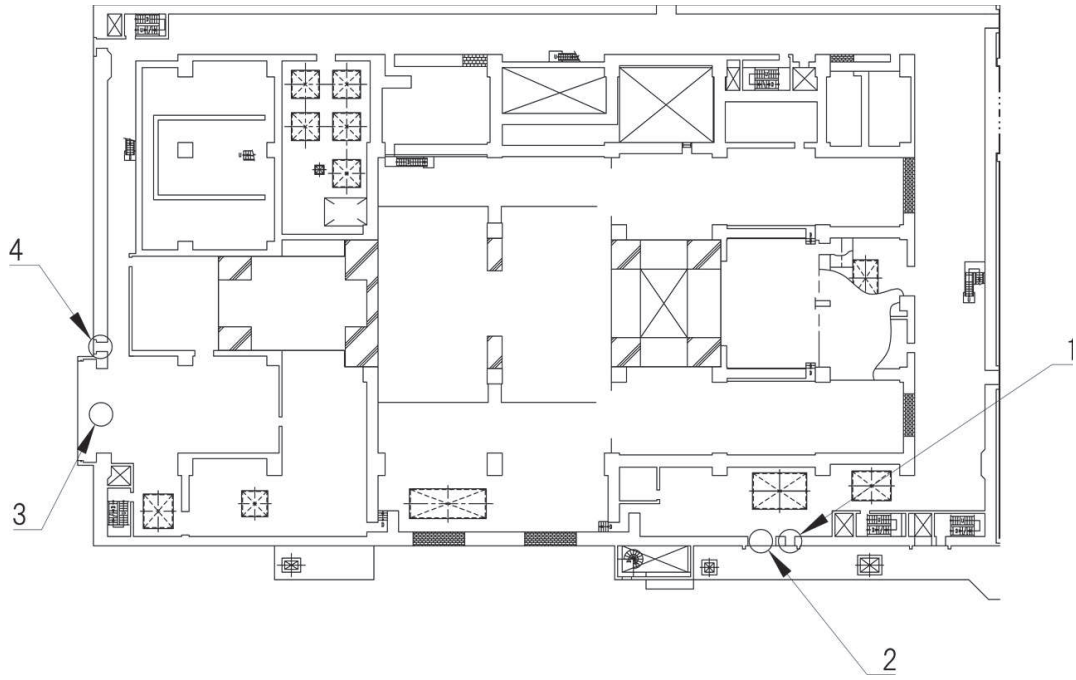


制御建屋 0.P.1.50 (m)

1 中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰

注記：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Cクラス施設を示し、本評価対象外。

図2-1 設置位置図 (7/9)

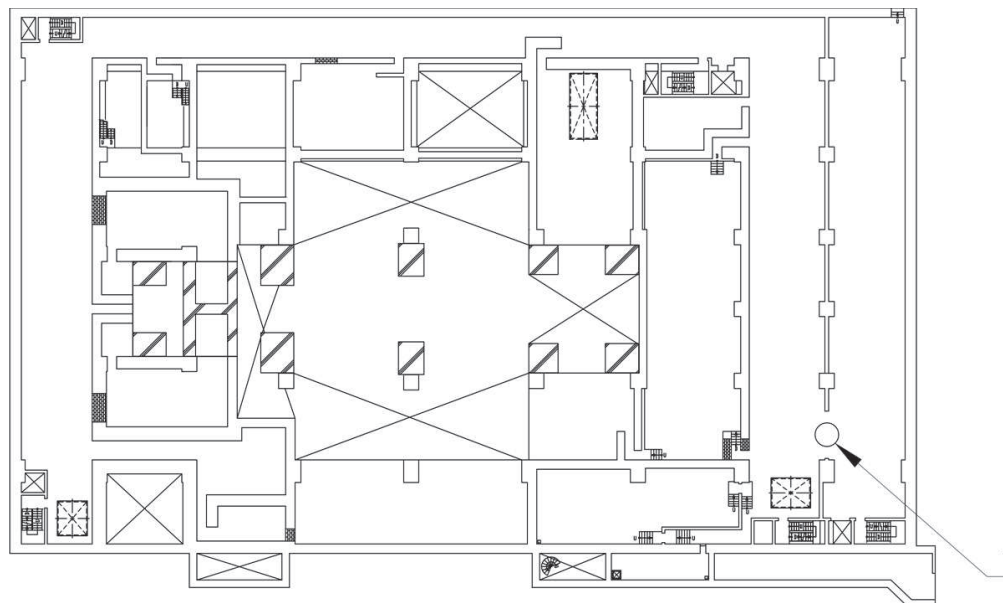


タービン建屋 0.P.15.00 (m)

1	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 3) *
2	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 4) *
3	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 2) *
4	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 1) *

注記* : 地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Bクラス施設を示す。

図 2-1 設置位置図 (8/9)



タービン建屋 0.P.7.60 (m)

1	HNCW 冷凍機・ポンプ室管理区域外伝播防止堰*
---	--------------------------

注記*：地震起因による溢水に対して伝播防止する堰ではない耐震Bクラス施設を示す。

図2-1 設置位置図 (9/9)

2.3 構造計画

堰の構造は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」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 2-2 に、概略構造図を図 2-2 に示す。

表 2-2 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 2-2

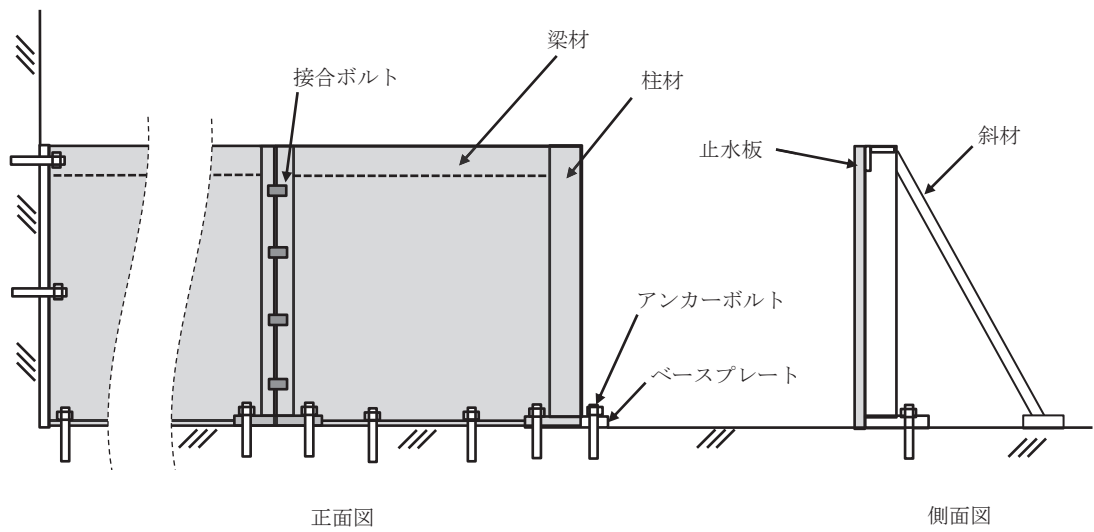


図 2-2 堰の概略構造図

2.4 評価方針

堰の耐震評価は、「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

堰の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

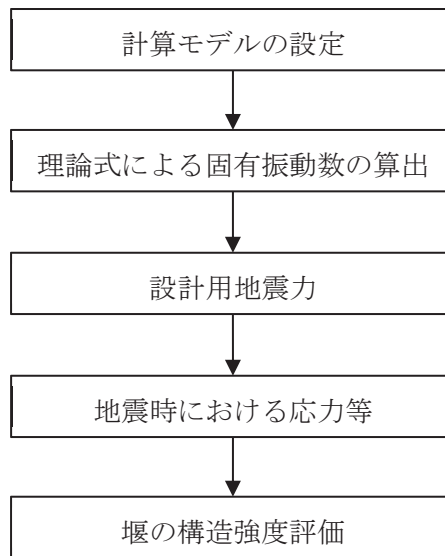


図 2-3 堰の耐震評価フロー

2.5 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 機械工学便覧 基礎編 α 3 材料力学（（社）日本機械学会，2005 年改訂）

2.6 記号の説明

堰の耐震評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
ρ_0	kg/m ³	止水板の密度
g	m/s ²	重力加速度
k_H	—	水平方向の設計震度
H	mm	堰の高さ
F_H	N	設計用水平地震力
P _w	N/mm ²	地震荷重による分布荷重
σ_ρ	N/mm ²	止水板の曲げ応力度
W_1	N	堰の重量
t	mm	止水板の板厚
a	mm	止水板の短辺方向の長さ
β	—	長方形板の応力係数
W_f'	N/mm	梁材の単位長さ当りの水平荷重
σ_f	N/mm ²	梁材の曲げ応力度
M_f	N・mm	M_{f1} と M_{f2} の大なる方
M_{f1}	N・mm	梁材の正側最大曲げモーメント
M_{f2}	N・mm	梁材の負側最大曲げモーメント
τ_f	N/mm ²	梁材のせん断応力度
Q_f	N	Q_{f1} と Q_{f2} の大なる方
Q_{f1}	N	梁材の正側最大せん断力
Q_{f2}	N	梁材の負側最大せん断力
σ_{ef}	N/mm ²	梁材の組合せ応力度
L_f'	mm	梁材の長さ
L'	mm	アンカーボルトの間隔
a'	mm	アンカーボルトから梁材端部までの長さ
Z_f	mm ³	梁材の断面係数
A_f	mm ²	梁材のせん断断面積
L_1'	mm	柱材 1 本当りが負担する止水板の幅
L_Y'	mm	柱材の長さ
W_Y'	N/mm	柱材の単位長さ当りの水平荷重
W_Y	N	柱材の重量
σ_Y	N/mm ²	柱材の曲げ応力度

表 2-3 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
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	柱材のせん断力
σ_{eY}	N/mm ²	柱材の組合せ応力度
L_1'	mm	柱材 1 本当たりが負担する止水板の幅
Z_Y	mm ³	柱材の断面係数
A_Y	mm ²	柱材のせん断断面積
M_h	N・mm	堰の脚部に作用する最大曲げモーメント
b	mm	鋼製板の折り曲げ部の幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
N	本	アンカーボルトの本数
T	N	アンカーボルトに生じる最大引張力
q	N	アンカーボルトに生じる最大せん断力
T _a	N	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重
Q _a	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

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有振動数の計算方法

堰の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を求める。

3.1.1 解析モデルの設定

各部部位の寸法や形状を踏まえ両端支持梁に単純化したモデルとする。堰の評価モデル図を図3-1に示す。

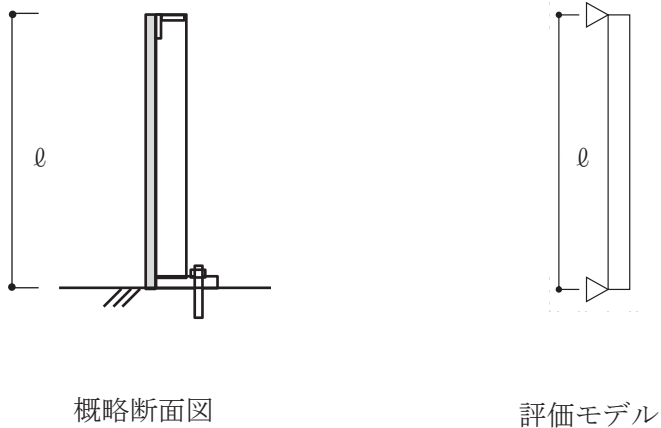


図3-1 堰の評価モデル図

3.1.2 記号の説明

堰の固有振動数算出に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 堰の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
l	m	堰高さ
E	N/m ²	ヤング率
I	m ⁴	断面2次モーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量 (質量分布)

3.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「機械工学便覧 基礎編 α3 材料力学（（社）日本機械学会，2005年改訂）」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

3.2 固有振動数の計算条件

堰の固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 堰の固有振動数の計算条件

堰高さ ℓ (m)	ヤング率 E (N/m ²)	断面 2 次 モーメント I (m ⁴)	質量分布 m (kg/m)
0.45*	2.05×10^{11}	8.91×10^{-9}	23.3

注記*：評価対象の堰の高さ

3.3 固有振動数の計算結果

堰の固有振動数の計算結果を表 3-3 に示す。計算結果より、剛であることを確認した。

表 3-3 堰の固有振動数の計算結果

固有振動数 (Hz)
68.66

3.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は，添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性についての計算書」に基づく解析結果により設定する。

地震応答解析に基づいて算定された堰設置床の最大応答加速度から各堰の設計震度を設定する。また，堰は建物・構築物として評価する。

耐震 B クラスの施設に要求される地震荷重は地震荷重 (S_B) であるが，保守的な評価となるように地震荷重 (S_s) とする。

各堰の設置床の最大応答加速度から算出した設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 堰の設計震度

建屋	階	床高さ (O. P.)	水平震度*	鉛直震度
原子炉建屋	地上 3 階	33.20m	2.21	1.47
原子炉建屋	地上 1 階	15.00m	1.65	1.15
原子炉建屋	地下 1 階	6.00m	1.31	0.91
原子炉建屋	地下 3 階	-0.80m	1.11	0.73
タービン建屋	地上 1 階	15.00m	1.77	0.95
タービン建屋	地下 1 階	7.60m	1.39	0.75

注記* : NS 方向及び EW 方向の最大値を用いる。

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は、自重及び地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮して設定する。また、評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表して評価する。

堰の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、止水板、梁材及び柱材からアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトから躯体へ伝わることから、止水板、梁材、柱材及びアンカーボルトとする。

評価対象とする堰の選定結果を表 4-1 に示す。対象となる堰は高さがすべて同じであるため、柱スパンが最大でかつ震度が最大となるものを選定した。

表 4-1 評価対象とする堰の選定結果

設置建屋	設置床高さ (O.P.)	設備名称	評価対象 設備 (代表)
原子炉建屋 地上 3 階	33.20 m	R-01 階段浸水防止堰(地上 3 階)	
原子炉建屋 地上 3 階	33.20 m	R-02 階段浸水防止堰(地上 3 階)	○*
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	R-01 階段浸水防止堰(地上 1 階)	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	R-02 階段浸水防止堰(地上 1 階)	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	バルブ(B)室浸水防止堰	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	バルブ(A)室浸水防止堰	
原子炉建屋 地上 1 階	15.00 m	FPC ポンプ室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	R-01 階段浸水防止堰(地下 1 階)	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	R-02 階段浸水防止堰(地下 1 階)	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	MS トンネル室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	RCIC MCC 室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 1 階	6.00 m	TIP 駆動装置室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 2 階	-0.80 m	復水補給水ポンプ室浸水防止堰	
原子炉建屋 地下 2 階	-0.80 m	CUW 配管・バルブ室浸水防止堰	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 3)	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 4)	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 2)	
タービン建屋 地上 1 階	15.00 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 1)	
タービン建屋 地下 1 階	7.60 m	HNCW 冷凍機・ポンプ室管理区域外伝播 防止堰	

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。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組み合わせ

堰の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として堰の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、 S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

4.3 許容限界

許容限界は、「4.1 評価対象部位及び評価対象設備」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、短期許容応力度又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，梁材，柱材

「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005年改定」に基づき算定した短期許容応力度を表4-2に示す。

表4-2 止水板，梁材，柱材の短期許容応力度

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

注記*：短期許容引張応力度の値を示す。

(2) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説（社）日本建築学会，2010年改定」に基づき算出した短期許容荷重を表4-3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及び定着した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。また、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に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4-3 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重 (N)	
	引張	せん断
SS400	19800	13900

4.4 評価方法

添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、堰の耐震評価は地震により生じる応力度及び荷重が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

(1) 応力算定

自重及び地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける止水板に生じる曲げ応力、梁材及び柱材に生じる曲げ応力及びせん断応力、アンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり、各荷重により生じる応力度及び応力を算定する。

堰に作用する力の概念図を図4-1～図4-4に示す。

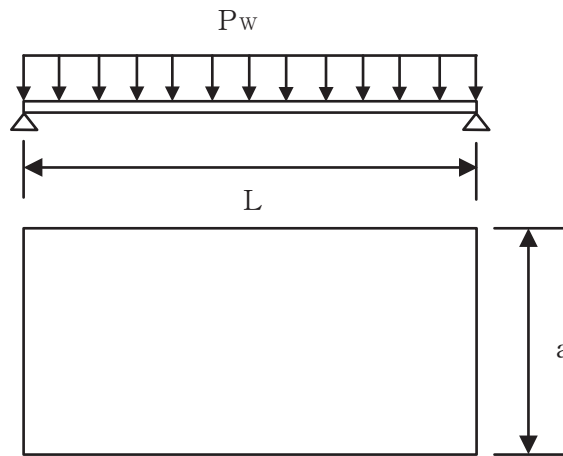


図4-1 止水板に作用する力の概念図

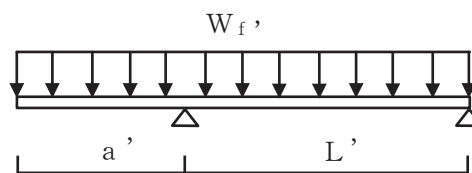


図4-2 梁材に作用する力の概念図

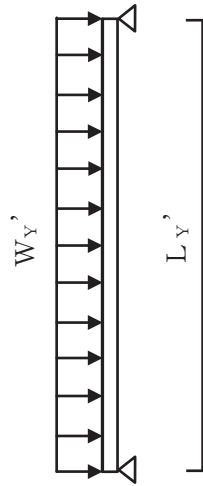


図 4-3 柱材に作用する力の概念図

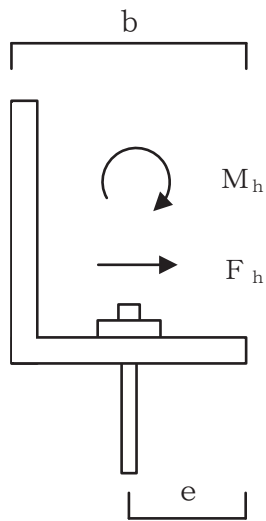


図 4-4 アンカーボルトに作用する力の概念図

(2) 断面検定

a. 止水板

(a) 地震荷重による分布荷重

単位面積当りの地震荷重による分布荷重は，次式より算出する。

$$P_w = \rho_0 \cdot g \cdot t \cdot k_H \cdot 10^{-9}$$

P_w : 地震荷重による分布荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 止水板の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

t : 止水板の板厚 (mm)

k_H : 水平方向の設計震度

(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 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」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。

$$\sigma_\rho = \beta \cdot P_w \cdot a^2 / t^2$$

σ_ρ : 止水板の曲げ応力度 (N/mm²)

β : 長方形板の応力係数 ($\beta = 0.4$)

P_w : 地震荷重による分布荷重 (N/mm²)

a : 止水板の短辺方向の長さ (mm)

t : 止水板の板厚 (mm)

b. 梁材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当りの地震時水平荷重は止水板と梁材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$W_f' = (\rho_0 \cdot t \cdot H \cdot g \cdot 10^{-9} + W_Y / L_f') \cdot k_H$$

W_f' : 梁材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)

ρ_0 : 止水板の密度 (kg/m³)

t : 止水板の板厚 (mm)

H : 堰の高さ (mm)

g : 重力加速度 (m/s²)

W_Y : 柱材の重量 (N)

L_f' : 梁材の長さ (mm)
 k_H : 水平方向の設計震度

(b) 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 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」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。

$$\begin{aligned}\sigma_f &= M_f / Z_f \\ M_{f1} &= W_f' \cdot (L'^2 - a'^2) / 8 / L'^2 \\ M_{f2} &= W_f' \cdot a'^2 / 2\end{aligned}$$

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)
 M_{f1} : 梁材の正側最大曲げモーメント (N·mm)
 M_{f2} : 梁材の負側最大曲げモーメント (N·mm)
 M_f : M_{f1} と M_{f2} の大なる方 (N·mm)
 Z_f : 梁材の断面係数 (mm³)
 W_f' : 梁材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)
 L' : アンカーボルトの間隔 (mm)
 a' : アンカーボルトから梁材端部までの長さ (mm)

(c) 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 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」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。

$$\begin{aligned}\tau_f &= Q_f / A_f \\ Q_{f1} &= W_f' \cdot (L'^2 - a'^2) / 2 / L' \\ Q_{f2} &= W_f' \cdot (L' + a')^2 / 2 / L'\end{aligned}$$

Q_f : Q_{f1} と Q_{f2} の大なる方 (N)
 τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)
 Q_{f1} : 梁材の正側最大せん断力 (N)
 Q_{f2} : 梁材の負側最大せん断力 (N)
 A_f : 梁材のせん断断面積 (mm²)
 W_f' : 梁材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)
 L' : アンカーボルトの間隔 (mm)
 a' : アンカーボルトから梁材端部までの長さ (mm)

(d) 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—（社）日本建築学会，2005年改定」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)

c. 柱材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当りの地震時水平荷重は止水板と柱材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$W_Y' = (W_Y / L_Y' + L_1' \cdot t \cdot \rho_0 \cdot g \cdot 10^{-9}) \cdot k_H$$

W_Y' : 柱材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)

W_Y : 柱材の重量 (N)

L_Y' : 柱材の長さ (mm)

L_1' : 柱材 1 本当りが負担する止水板の幅 (mm)

t : 止水板の板厚 (mm)

ρ_0 : 止水板の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 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 基礎編 α3 材料力学（社）日本機械学会，2005年改訂」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。

$$\sigma_Y = M_Y / Z_Y$$

$$M_Y = W_Y' \cdot L_Y'^2 / 2$$

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_Y' : 柱材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)
 L_Y' : 柱材の長さ (mm)

(c) 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 基礎編α3 材料力学 ((社) 日本機械学会, 2005 年改訂)」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。

$$\tau_Y = Q_Y / A_Y$$

$$Q_Y = W_Y' \cdot L_Y'$$

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)
 Q_Y : 柱材のせん断力 (N)
 A_Y : 柱材のせん断断面積 (mm²)
 W_Y' : 柱材の単位長さ当りの水平荷重 (N/mm)
 L_Y' : 柱材の長さ (mm)

(d) 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— ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)」に基づく次式により算定し, 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)

d. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルトに作用する引張力を算出し, 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。

$$T = M_h / ((b - e) \cdot N)$$

$$M_h = W_1 \cdot k_H \cdot H / 2$$

T : アンカーボルトに作用する最大引張力 (N)
 M_h : 堰の脚部に作用する最大曲げモーメント (N・mm)
 b : 鋼製板の折り曲げ部の幅 (mm)

e : アンカーボルトの穴縁端距離 (mm)
N : アンカーボルトの本数 (本)
W₁ : 堰の重量 (N)
k_H : 水平方向の設計震度
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。

$$q = F_H / N$$

$$F_H = W_1 \cdot k_H$$

q : アンカーボルトに作用する最大せん断力 (N)

F_H : 設計用水平地震力 (N)

N : アンカーボルトの本数 (本)

W₁ : 堰の重量 (N)

k_H : 水平方向の設計震度

(c) 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 ((社) 日本建築学会, 2010年改定)」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。

$$(T / T_a)^2 + (q / Q_a)^2 \leq 1$$

T : アンカーボルトに作用する最大引張力 (N)

T_a : アンカーボルトの引張りに対する短期許容荷重 (N)

q : アンカーボルトに作用する最大せん断力 (N)

Q_a : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (N)

4.5 評価条件

堰の耐震評価に用いる入力値を表 4-4 に示す。

表 4-4 堰の耐震評価に用いる入力値

堰名称		R-02 階段浸水防止堰(地上 3 階)	
記号	単位	定義	数値
ρ_0	kg/m ³	止水板の密度	7850
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
k_H	—	水平方向の設計震度	2.21
H	mm	堰の高さ	450
t	mm	止水板の板厚	6
a	mm	止水板の短辺方向の長さ	450
β	—	長方形板の応力係数	0.4
L_f'	mm	梁材の長さ	495
L'	mm	アンカーボルトの間隔	268
a'	mm	アンカーボルトから梁材端部までの長さ	95
Z_f	mm ³	梁材の断面係数	3550
A_f	mm ²	梁材のせん断断面積	295.6
L_1'	mm	柱材 1 本当りが負担する止水板の幅	495
L_Y'	mm	柱材の長さ	450
Z_Y	mm ³	柱材の断面係数	3550
A_Y	mm ²	柱材のせん断断面積	295.6
b	mm	鋼製板の折り曲げ部の幅	50
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	25
N	本	アンカーボルトの本数	4

5. 評価結果

堰の耐震評価結果を表5-1に示す。発生値は許容限界値を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを確認した。

表5-1 堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力度)		許容限界		検定値
止水板	曲げ	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
梁材	曲げ	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
柱材	曲げ	18	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	19	N/mm ²	235	N/mm ²	0.09 < 1.0
アンカーボルト	引張	1820	N	19800	N	0.10 < 1.0
	せん断	783	N	13900	N	0.02 < 1.0
	組合せ	0.01	-	1	-	0.01 < 1.0