

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-599 改2
提出年月日	平成30年8月2日

V-2-10-2-11 管理区域外伝播防止堰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	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	6
2.5 記号の説明	6
3. 固有振動数及び設計用地震力	7
3.1 固有振動数の計算方法	7
3.2 固有振動数の計算条件	8
3.3 固有振動数の計算結果	8
3.4 設計用地震力	9
4. 構造強度評価	10
4.1 評価対象部位	10
4.2 荷重及び荷重の組合せ	11
4.3 許容限界	12
4.4 計算方法	13
4.5 計算条件	17
5. 評価結果	18

1. 概要

本資料は、資料V-1-1-8-5「溢水防護施設の詳細設定」に示すとおり、管理区域外伝播防止堰（以下「堰」という。）が、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。

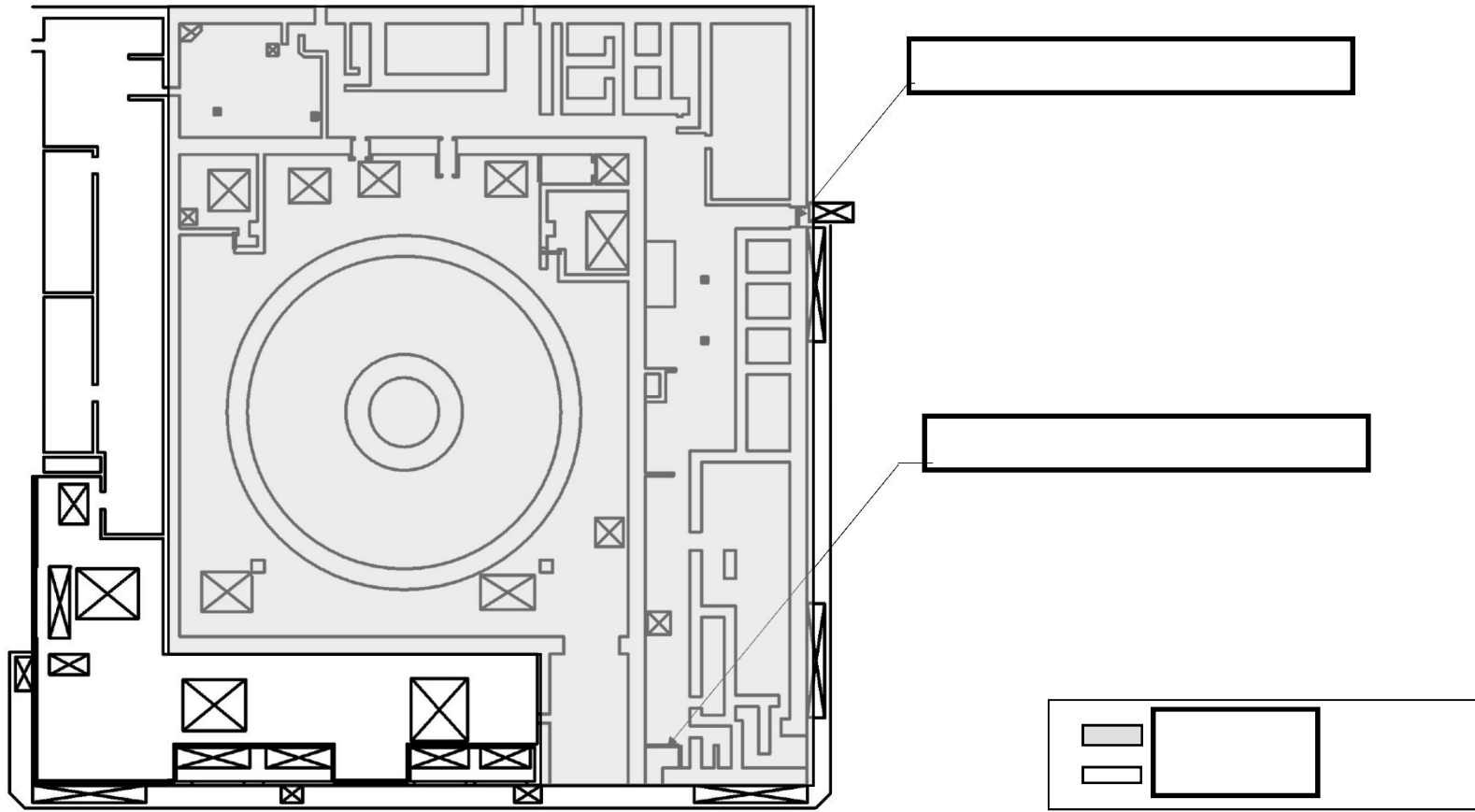
資料V-2-1-4「重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」より、堰の耐震設計上の重要度分類は、Cである。

2. 一般事項

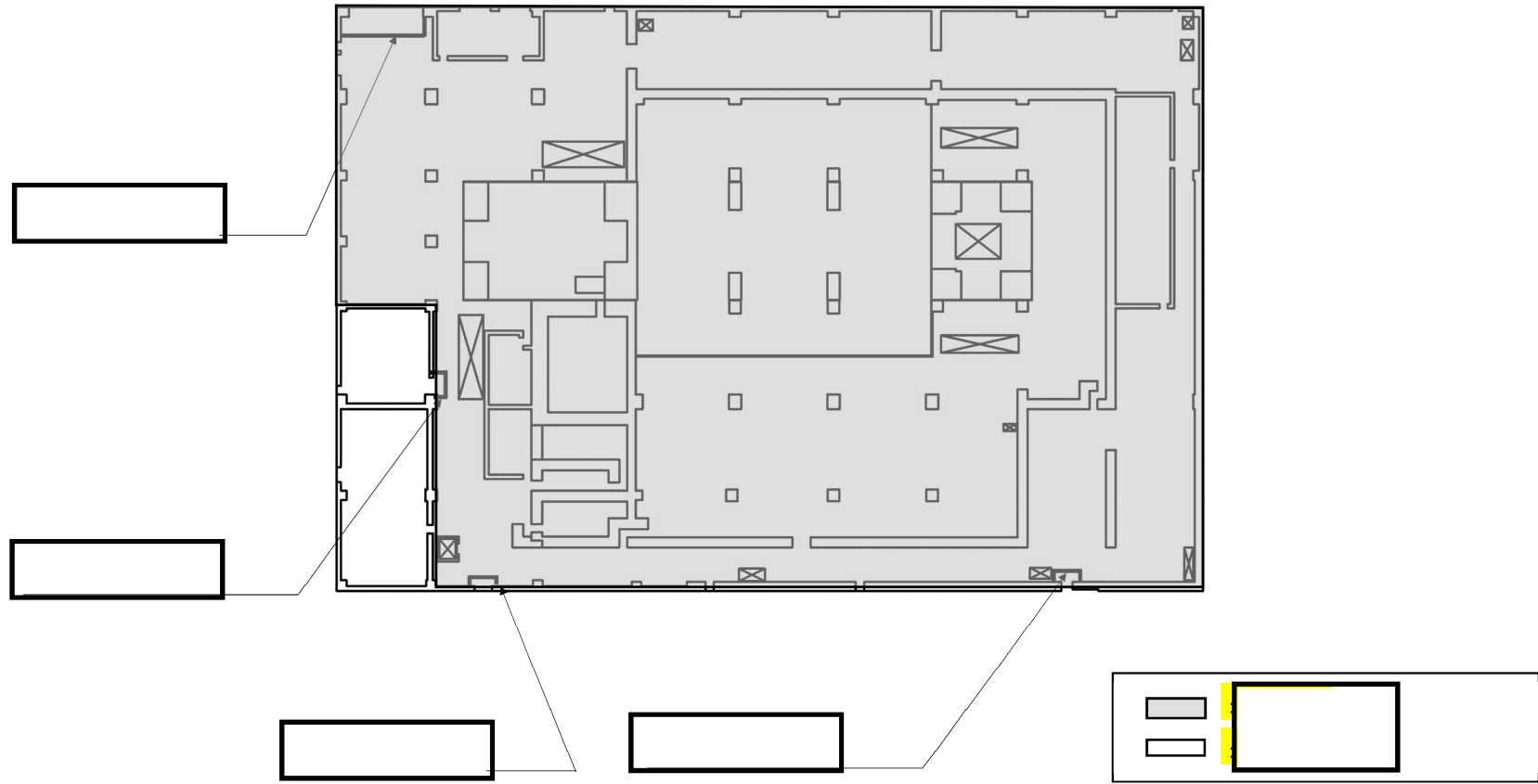
2.1 配置概要


堰は、資料V-1-1-8-5「溢水防護施設の詳細設計」の「4.1 溢水伝播を防止する設備」に示す配置のとおり、原子炉建屋廃棄物処理棟及びタービン建屋に設置する。

堰の設置位置図を第2-1図～第2-2図に示す。



第2-1図 管理区域外伝播防止堰の設置位置図 ([] EL. 8.20 m)



第2-2図 管理区域外伝播防止堰の設置位置図 ( EL. 8.20 m)

2.2 構造計画

堰の構造は、資料 V-1-1-8「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうち資料 V-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。堰の構造計画を第 2-1 表に、使用材料について第 2-2 表に示す。堰は、アンカー筋（鉄筋）により、既存の鉄筋コンクリート躯体と一体化させた鉄筋コンクリート構造物である。

第 2-1 表 堰の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
管理区域 外伝播防 止堰	コンクリート 及びアンカー 筋により構成 する。	躯体を既設 コンクリ ート床版にア ンカー筋で 固定する。	

*1：高さ 0.3 m 又は 0.45 m。

*2：幅 0.2 m。

*3：既存のコンクリート躯体と一体化。

*4：新設堰は接着系アンカーとし、既存躯体への定着長さは径の 10 倍以上とする。

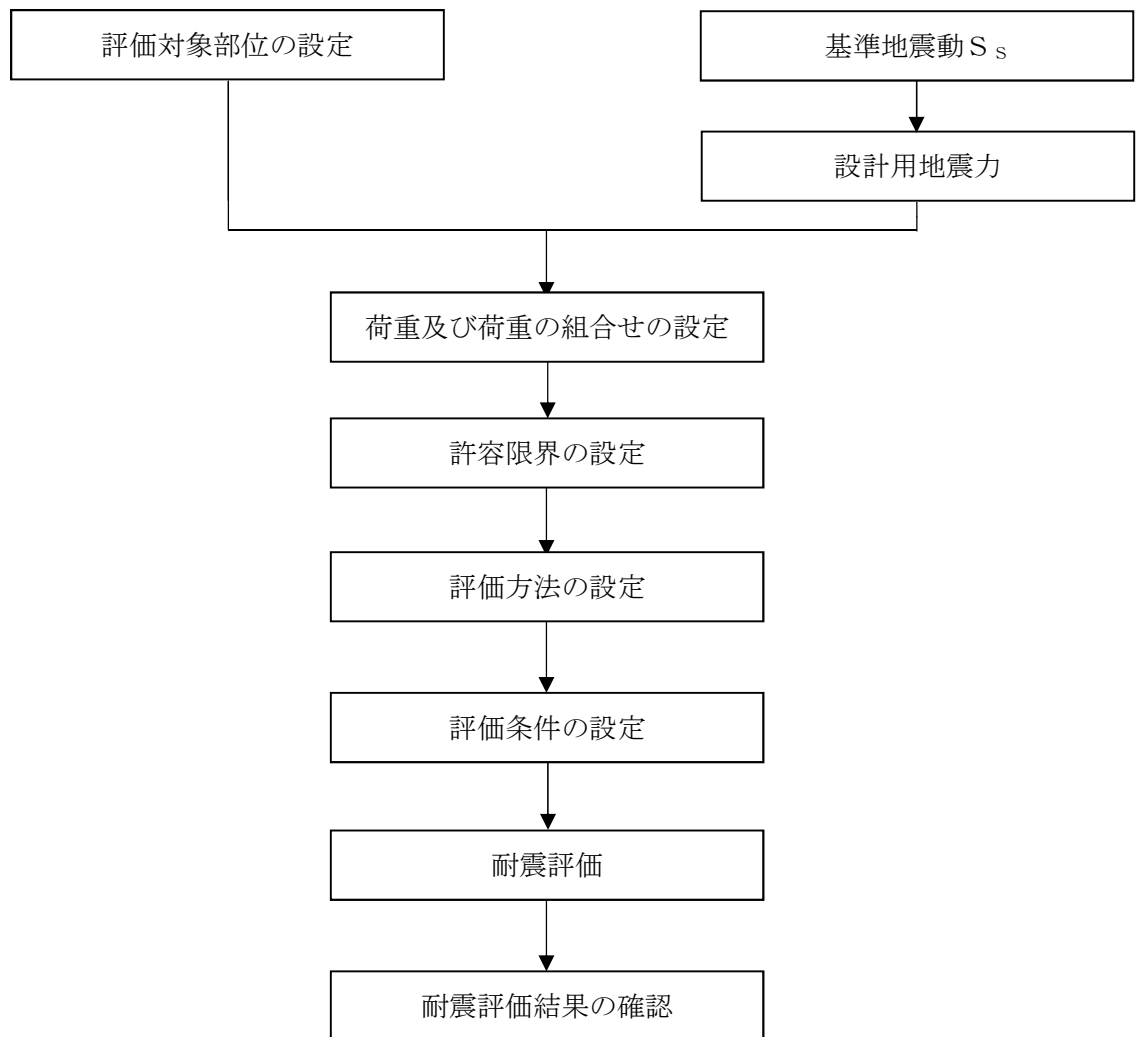
第 2-2 表 堰の使用材料

種類	仕様
コンクリート	普通コンクリート 設計規準強度 22.1 N/mm ²
鉄筋	SD295A

2.3 評価方針

堰は、十分に剛であるため、堰の耐震評価は、資料V-1-1-8-5「溢水防護施設の詳細設計」に準じて、堰の評価対象部位に作用する応力又は荷重が許容限界内にあることを、「4. 耐震評価方法」に示す方法により確認を行う。

堰の耐震評価フローを第2-3図に示す。



第2-3図 堰の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施工令
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（(社)日本建築学会，2010 改定）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 —許容応力度設計法—（(社)日本建築学会，1999 改定）
- ・ 鋼構造設計規準 —許容応力度設計法—（(社)日本建築学会，2005 改定）

2.5 記号の説明

堰の耐震評価に用いる記号を第 2-3 表に示す。

第 2-3 表 耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
K_s	地震荷重 K_{SH} (水平方向)	kN
	地震荷重 K_{SUD} (鉛直方向)	
G	堰の固定荷重	kN
k	設計震度(水平方向)	—
	設計震度(鉛直方向)	
M	曲げモーメント	kN・m
L	堰の接合部から荷重作用位置までの高さ	m
Q	せん断力	kN
T	鉄筋 1 本あたりに生じる引張力	kN/本
n	単位幅 (1m) 当たりの鉄筋本数	本
j	応力中心距離	mm
d	部材の有効せい	mm
Q_a	鉄筋 1 本あたりに生じるせん断力	kN/本
τ	せん断応力度	N/mm ²
A	堰の断面積	mm ²
σ_c	コンクリートの圧縮縁応力度	N/mm ²
T'	引張側鉄筋に生じる引張力	N
x_a	中立軸から圧縮縁までの距離	mm
b	単位幅	mm

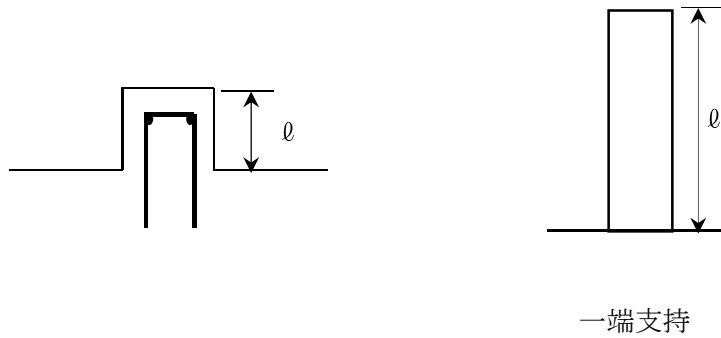
3. 固有振動数及び設計用地震力

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、片持ちはりに単純化したモデルとし、堰の評価モデル図を3-1図に示す。



第3-1図 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第3-1表に示す。

第3-1表 堰の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	堰の固有振動数
l	m	はり長さ
E	N/m ²	ヤング率
I	m ⁴	断面2次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.1.3 固有振動数の計算方法

固有振動数 f を「土木学会 鋼構造力学公式集」に基づき以下の式より計算する。

$$f = \frac{1.8751^2}{2\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

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第3-2表に示す。

第3-2表 堰の固有振動数の計算条件

堰名称	はり長さ 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)
管理区域外伝 播防止堰	0.45	2.20×10^{10}	6.67×10^{-4}	489.46
幅 200	0.30	2.20×10^{10}	6.67×10^{-4}	489.46

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第3-3表に示す。各堰の固有振動数は20Hz以上であることを確認した。

第3-3表 堰の固有振動数の計算結果

堰名称	はり長さ ℓ (m)	固有振動数 (Hz)
管理区域外伝 播防止堰	0.45	479
幅 200	0.30	1077

3.4 設計用地震力

設計用地震力は、資料V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて示す堰設置位置における地震応答解析結果を用いる。

地震応答解析に基づいて算定された、堰設置位置における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・建築物として評価する。

各堰の設置位置における最大応答加速度から算出した基準地震動 S_s による設計震度を第3-4表に示す。

第3-4表 地震荷重の算定に用いる設計震度

設置場所	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
原子炉建屋廃棄物処理棟 EL. 8.20 m	0.92	0.8
タービン建屋 EL. 8.20 m	0.7	0.55

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位

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、地震荷重により応力が発生する堰と既存躯体の取合い部分である鉄筋及びコンクリートとした。

各評価対象の鉄筋のサイズ、ピッチ及び材質は同じであることから、堰の自重、設計震度及び設計断面の諸条件を踏まえ評価を包含できる堰により代表して評価することとし、「タービン建屋管理区域外伝播防止堰 1-1」を抽出した。

評価の対象となる堰の選定結果を第4-1表に示す。

第4-1表 評価の対象となる堰の選定結果

設置建屋	設置床高さ	設備名称	設計断面			設計震度		評価対象(代表)
			幅	高さ	鉄筋量	水平方向*1	鉛直方向	
タービン建屋	EL. 8.20 m	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 1-1	0.2 m	0.45 m	D13@200	0.7	0.55	○*2
		タービン建屋管理区域外伝播防止堰 1-2	0.2 m	0.45 m	D13@200			
		タービン建屋管理区域外伝播防止堰 1-3	0.2 m	0.45 m	D13@200			
		タービン建屋管理区域外伝播防止堰 1-4	0.2 m	0.45 m	D13@200			
原子炉建屋廃棄物処理棟	EL. 8.20 m	原子炉建屋廃棄物処理棟管理区域外伝播防止堰 1-1	0.2 m	0.3 m	D13@200	0.92	0.8	
		原子炉建屋廃棄物処理棟管理区域外伝播防止堰 1-2	0.2 m	0.3 m	D13@200			

*1：NS方向及びEW方向の最大値を用いる。

*2：堰の自重、設計震度及び設計断面の諸条件を踏まえ、最も評価が厳しい堰を選定。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重 (G)

堰の自重を第4-2表に示す。

第4-2表 鉄筋コンクリート製堰の自重

名称	種類	単位容積重量 (kN/m ³)	単位幅あたりの重量* (kN)
タービン建屋管理 区域外伝播防止堰 1-1	鉄筋コンクリート Fc =22.1 N/mm ²	24	2.16

* : 1 mあたりの重量

(2) 地震荷重 (K_S)

地震荷重は、基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

「3. 地震応答解析」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$K_S = G \cdot K$$

ここで、K_S : 地震荷重 (kN)
G : 堰の固定荷重 (kN)
K : 設計震度

4.2.2 荷重の組合せ

堰の評価に用いる荷重の組合せを第4-3表に示す。

第4-3表 荷重の組合せ

地震荷重	荷重の組合せ
S_s	$G + K_{SH} + K_{SUD}$

G : 堰の固定荷重

K_{SH} : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重

K_{SUD} : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重

4.3 許容限界

許容限界は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する

(1) 鉄筋

「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定したアンカー筋として使用する鉄筋の短期許容荷重を第4-4表に示す。

第4-4表 鉄筋の短期許容荷重

堰名称	種類	短期許容荷重 (kN/本)	
		引張	せん断
タービン建屋管理 区域外伝播防止堰 1-1	SD295A D13@200	26.8	4.18

(2) コンクリート

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会、1999改定）」に基づき算定したコンクリートの短期許容応力度を第4-5表に示す。

第4-5表 コンクリートの許容応力度

設計基準強度 F_c (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	
	せん断	圧縮
22.1	1.08	14.73

4.4 計算方法

鉄筋コンクリート製堰の耐震評価は、地震により生じる応力度又は荷重が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界値を超えないことを確認する。

鉄筋コンクリート製堰に生じる応力は、地震荷重(水平方向及び鉛直方向)を受ける片持ちはりとして、既存躯体との接合部に生じる曲げモーメント及びせん断力を算定し、鉄筋に生じる引張力及びせん断力並びにコンクリートに生じるせん断力及び圧縮力に対する確認を行う。

また、鉄筋に生じる引張力に対する確認においては、鉄筋コンクリート製堰の自重による鉛直方向上向きの地震荷重を組み合わせるものとし、荷重の組み合わせは組合せ係数法による。鉛直方向下向きに生じる荷重は、既存躯体により支持されるため堰の設計に考慮しない。

(1) 応力算定

基準地震動 S_s により堰に生じる応力は、第 4-1 図及び第 4-2 図に示すとおり、地震荷重が鉄筋コンクリート製堰の重心位置に作用するものとし、単位幅当たりの算定とする。

a. 曲げモーメント

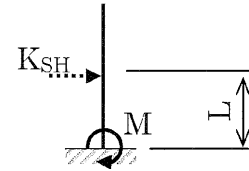
曲げモーメントは次式により算定する。

$$M = K_{SH} \cdot L$$

ここで、 M : 曲げモーメント (kN・m)

K_{SH} : 地震荷重 (kN)

L : 堰の接合部から荷重作業位置までの高さ (m)



第 4-1 図 堰に生じる荷重模式図
(曲げモーメント)

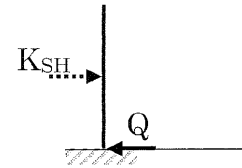
b. せん断力

せん断力は次式により算定する。

$$Q = K_{SH}$$

ここで、 Q : せん断力 (kN)

K_{SH} : 地震荷重 (kN)



第 4-2 図 堰に生じる荷重模式図
(せん断力)

(2) 断面検定

a. 鉄筋

(a) 引張力に対する検定

鉄筋コンクリート製堰に生じる曲げモーメント及び鉄筋コンクリート製堰の自重による鉛直方向上向きの地震荷重の組合せにより、鉄筋 1 本当たりに生じる引張力を次式により算定し、鉄筋 1 本当たりの許容限界値を超えないことを確認する。地震荷重は、組合せ係数法に基づいて水平 1.0+鉛直 0.4 又は水平 0.4+鉛直 1.0 のうち大なる値とする。鉄筋コンクリート製堰に生じる荷重の概念図を第 4-3 図に示す。

$$T = \frac{M}{n \cdot j} + \frac{K_{SUD}}{n}$$

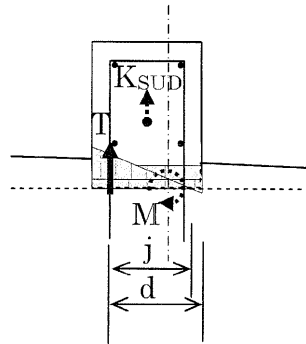
ここで、 T : 鉄筋 1 本当たりに生じる引張力 (kN/本)

M : 曲げモーメント (kN・m)

n : 単位幅 (1m) 当たりの鉄筋本数 (本)

j : 応力中心距離 ($j = \frac{7}{8} \cdot d$) (mm)

K_{SUD} : 地震荷重 (鉛直上向き) (kN)



第4-3図 堰に生じる荷重

(b) せん断力に対する検定

鉄筋コンクリート製堰に生じるせん断力より、鉄筋 1 本当たりに生じるせん断力を次式により算定し、鉄筋 1 本当たりの許容限界値を超えないことを確認する。

$$Q_a = \frac{Q}{n}$$

ここで、 Q_a : 鉄筋 1 本当たりに生じるせん断力 (kN/本)

Q : せん断力 (kN)

n : 単位幅 (1m) 当たりの鉄筋本数 (本)

b. コンクリート

(a) せん断力に対する検定

鉄筋コンクリート製堰に生じるせん断応力度を次式により算定し、コンクリートの許容限界値を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここで、 τ : せん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (kN)

A : 堰の断面積 (mm²)

(b) 圧縮力に対する検定

鉄筋コンクリート製堰に生じる曲げモーメントにより発生するコンクリートの圧縮縁応力度を次式により算定し、コンクリートの許容限界値を超えないことを確認する。圧縮縁応力の算定にあたり、圧縮側鉄筋は考慮しない。

鉄筋コンクリート製堰に生じる荷重の概念図を第 4-4 図に示す。

$$\sigma_c = \frac{T' \cdot 2}{x_n \cdot b}$$

ここで、 σ_c : コンクリートの圧縮縁応力度 (N/mm²)

T' : 引張側鉄筋に生じる引張力 (M/j) (N)

M : 曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

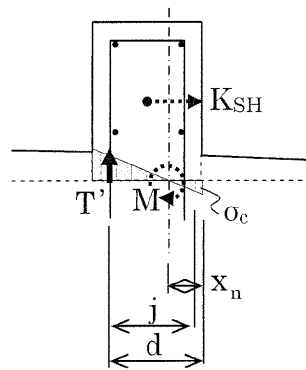
j : 応力中心距離 ($j = \frac{7}{8} \cdot d$) (mm)

d : 部材の有効せい (mm)

x_n : 中心軸から圧縮縁までの距離 (mm)

$$x_n = (d - j) \cdot 3$$

b : 単位幅 (1000) (mm)



第4-4図 堰に生じる荷重

4.5 計算条件

堰の耐震評価に用いる入力値を第4-6表に示す

第4-6表 耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
K _s	kN	地震荷重K _{SH} (水平方向)	1.52
		地震荷重K _{SUD} (鉛直方向)	1.19
G	kN	堰の固定荷重	2.16
k	—	設計震度(水平方向)	0.7
		設計震度(鉛直方向)	0.55
M	kN・m	曲げモーメント	0.342
L	m	堰の接合部から荷重作用位置までの高さ	0.225
Q	kN	せん断力	1.52
T	kN/本	鉄筋1本あたりに生じる引張力	0.61
n	本	単位幅(1m)当たりの鉄筋本数	5
j	mm	応力中心距離	133
d	mm	部材の有効せい	152.5
Q _a	kN/本	鉄筋1本あたりに生じるせん断力	0.304
τ	N/mm ²	せん断応力度	0.01
A	mm ²	堰の断面積	200000
σ _c	N/mm ²	コンクリートの圧縮縁応力度	0.09
T'	N	引張側鉄筋に生じる引張力	2572
x _a	mm	中立軸から圧縮縁までの距離	58.5
b	mm	単位幅	1000

5. 評価結果

鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果を第5-1表に示す。発生値は許容値を満足しており、地震荷重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。

第5-1表 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果

評価部位		発生値 (荷重又は発生応力 度)		許容限界		検定
鉄筋	引張	0.61	kN/本	26.8	kN/本	0.03 < 1.0
	せん断	0.304	kN/本	4.18	kN/本	0.08 < 1.0
コンクリート	せん断	0.01	N/mm ²	1.08	N/mm ²	0.01 < 1.0
	圧縮	0.09	N/mm ²	14.73	N/mm ²	0.01 < 1.0