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－140 改 7
提出年月日	平成 30 年 10 月 1 日

Ⅴ-2-10-2-10　溢水拡大防止堰及び止水板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 16
2.3 評価方針 19
2.4 適用基準 19
2.5 記号の説明 20
3. 固有周期及び設計用地震力 23
3.1 固有周期の計算方法 23
3.2 固有周期の計算条件 24
3.3 固有周期の計算結果 25
3.4 設計用地震力 25
4. 構造強度評価 26
4.1 評価部位 26
4.2 荷重及び荷重の組合せ 31
4.3 許容限界 33
4.4 計算方法 35
4.5 計算条件 45
5. 評価結果 48

1. 概要

本資料は，添付書類「Ⅴ-1-1-8-5　溢水防護施設の詳細設計」に示すとおり，溢水拡大防止堰及び止水板（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。

堰は，設計基準対象施設においては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

溢水拡大防止堰は，添付書類「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，原子炉建屋原子炉棟 EL. 46.50 m，EL. 38.80 m，EL. 29.00 m，EL. 20.30 m，EL. 14.00 m，EL. 8.20 m，EL. 2.00 m 及び原子炉建屋付属棟 EL. 23.00 m に設置し，止水板は，原子炉建屋原子炉棟 EL. 46.50 m，EL. 38.80 m，EL. 29.00 m，EL. 20.30 m，EL. 14.00 m，EL. 2.00 m 及び EL. -4.00 m に設置する。

溢水拡大防止堰の設置位置を図 2－1～図 2－7，止水板の設置位置を図 2－8～図 2－14 に示す。

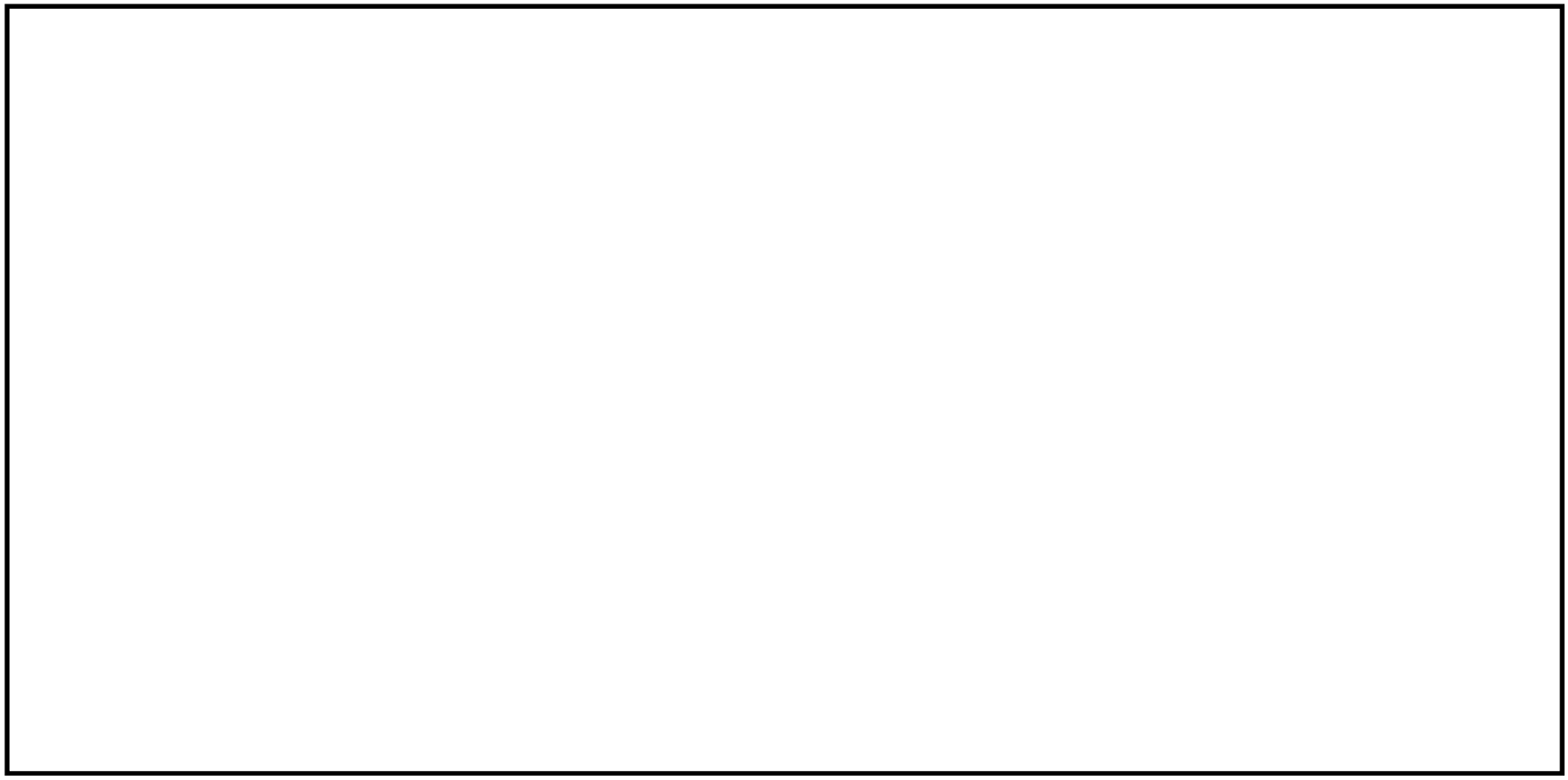


図２－１　溢水拡大防止堰の設置位置図（EL.2.00 m）

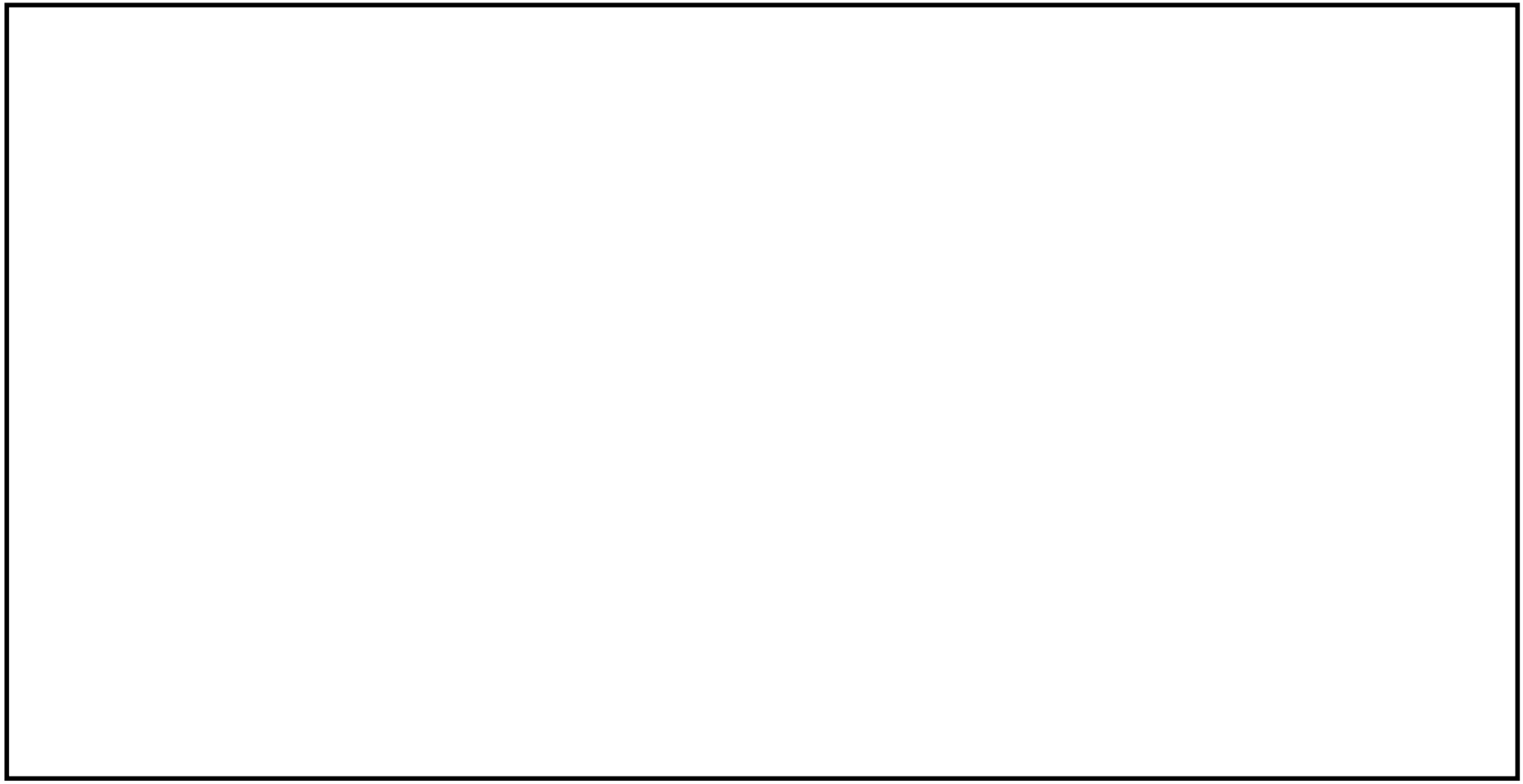


図２－２　溢水拡大防止堰の設置位置図（EL.8.20 m）

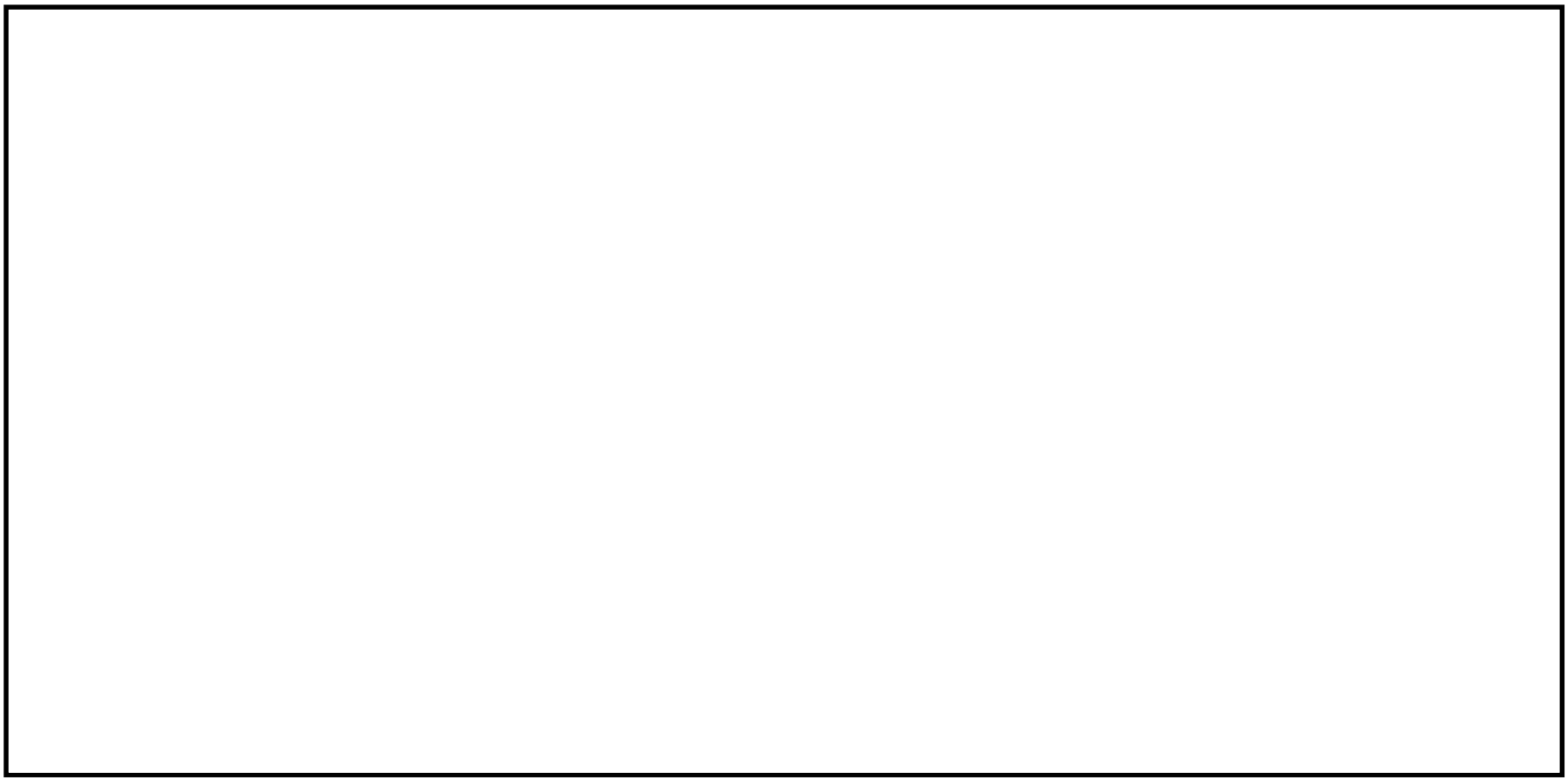


図 2－3　溢水拡大防止堰の設置位置図（EL.14.00 m）

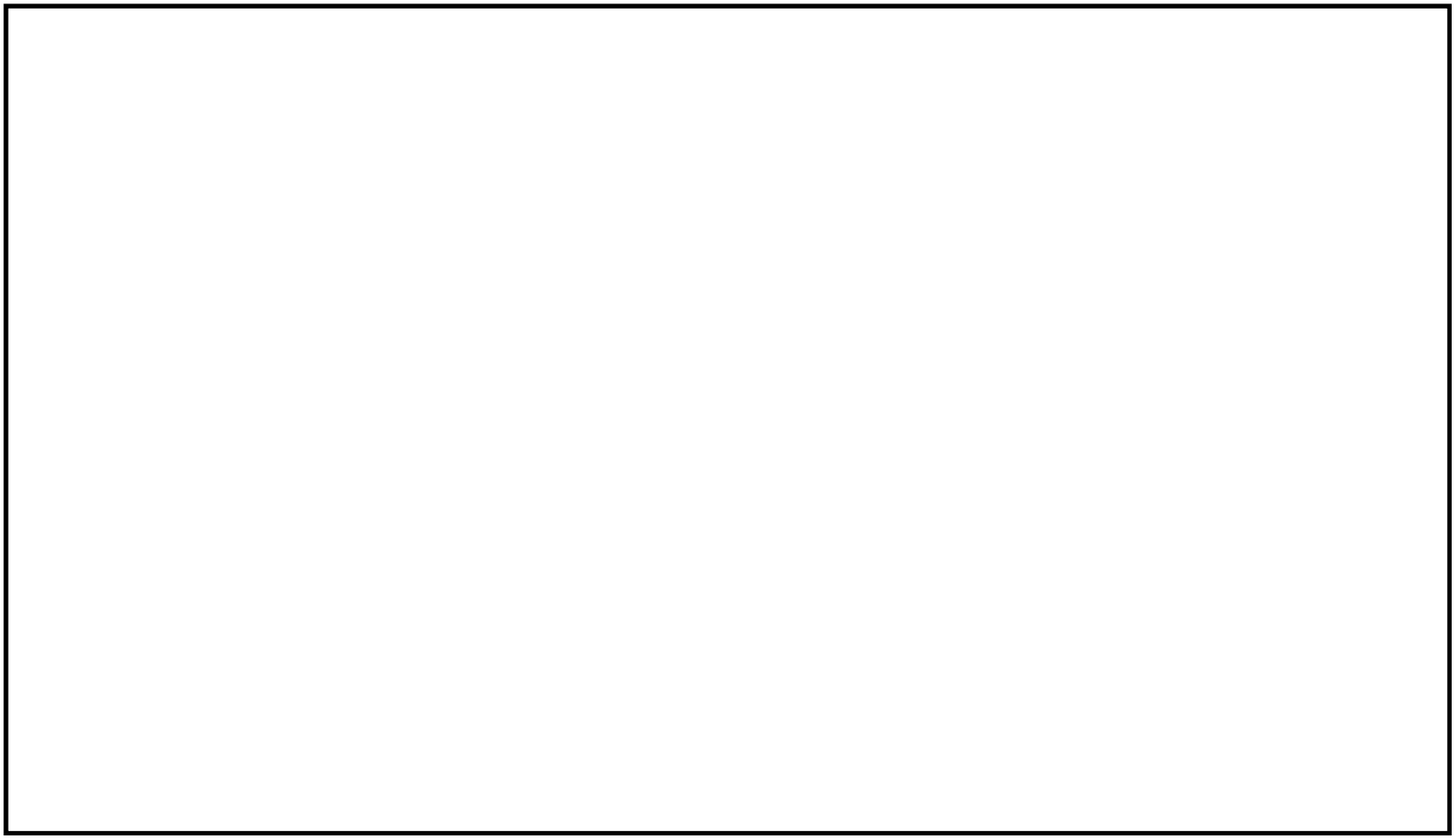


図 2－4　溢水拡大防止堰の設置位置図（EL.20.30 m）

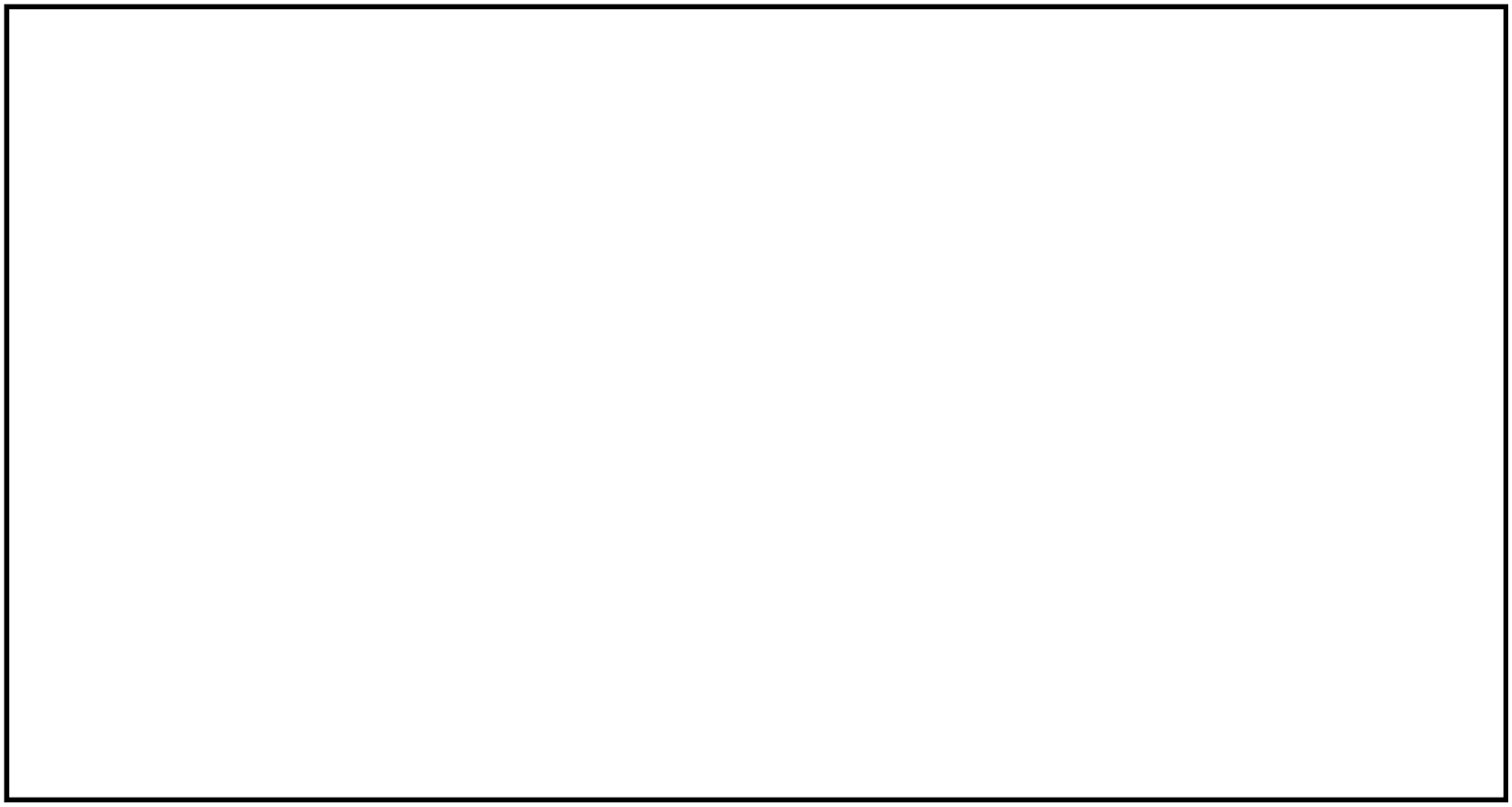


図 2－5　溢水拡大防止堰の設置位置図（EL.29.00 m）

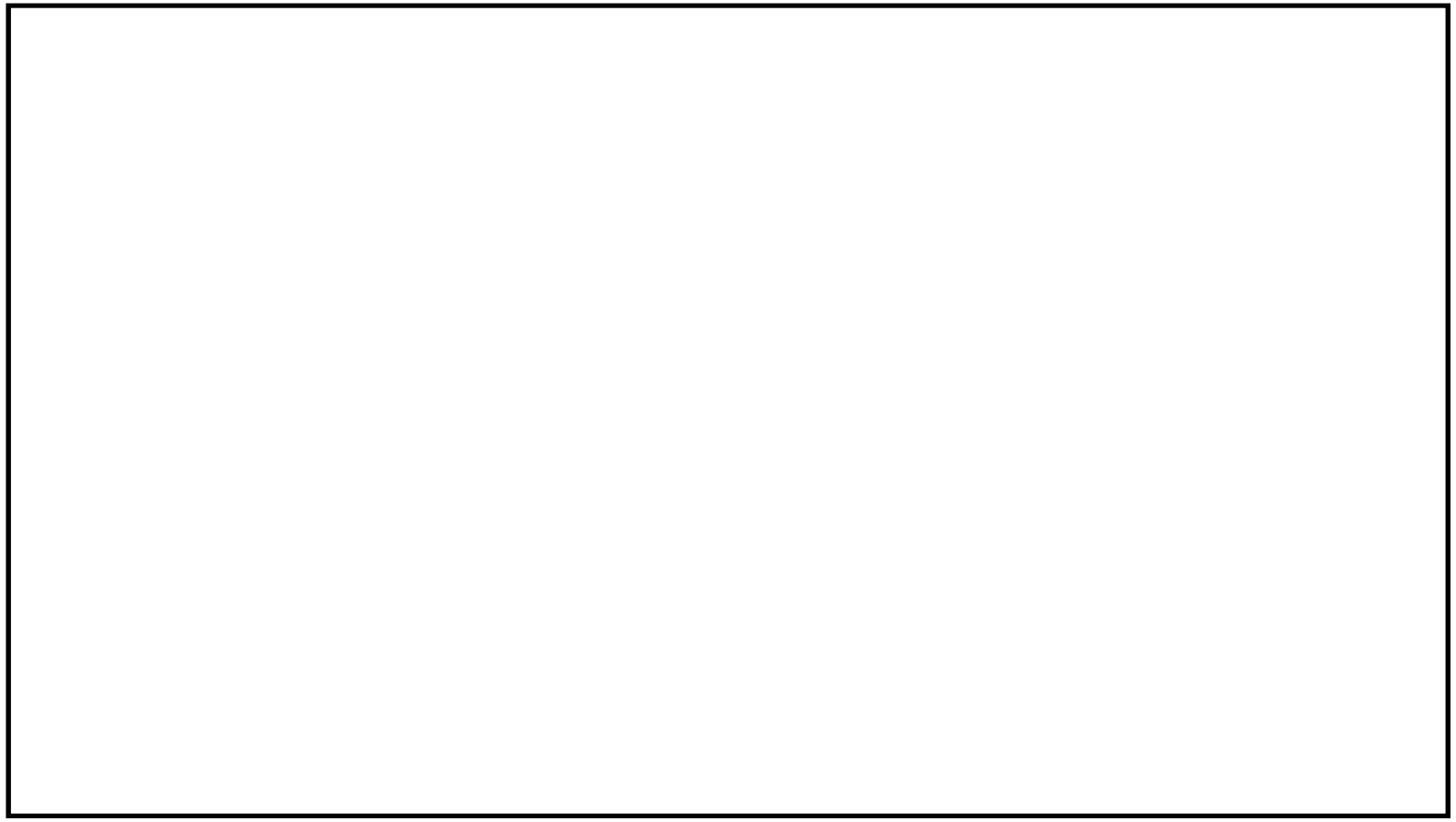


図 2－6　溢水拡大防止堰の設置位置図（EL.38.80 m）

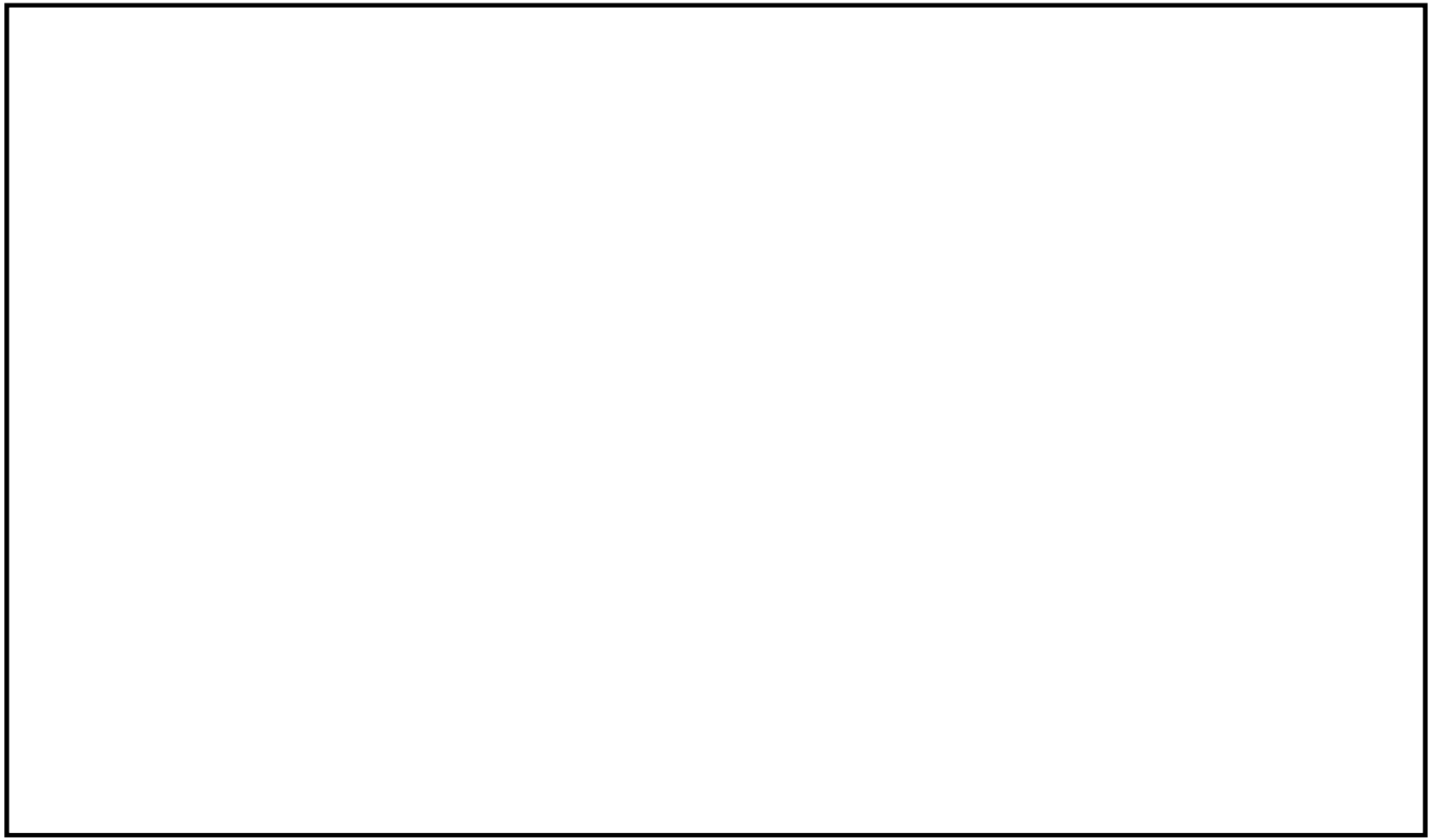


図 2－7　溢水拡大防止堰の設置位置図（EL.46.50 m）

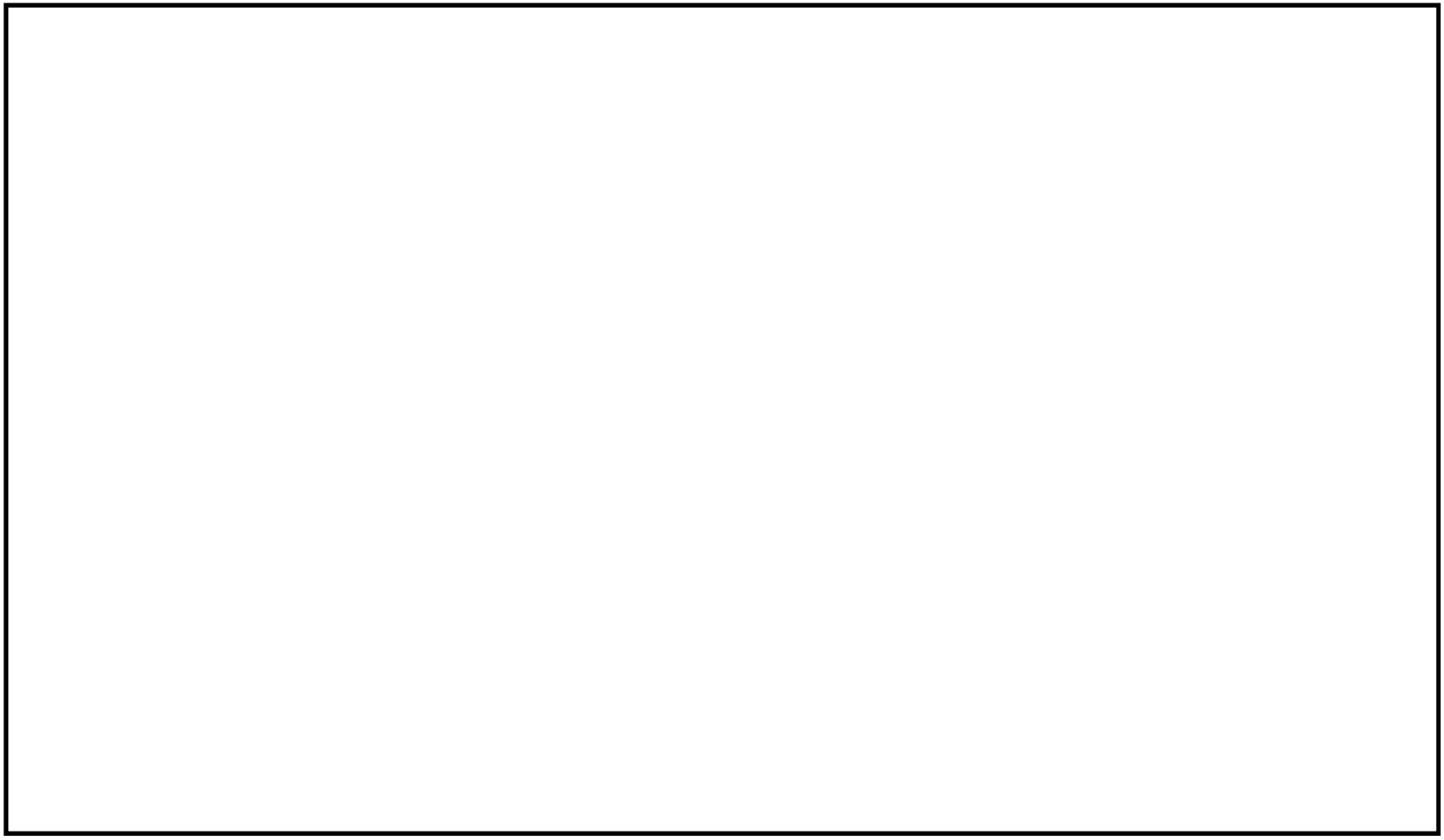


図 2－8　止水板の設置位置図（EL.-4.00 m）

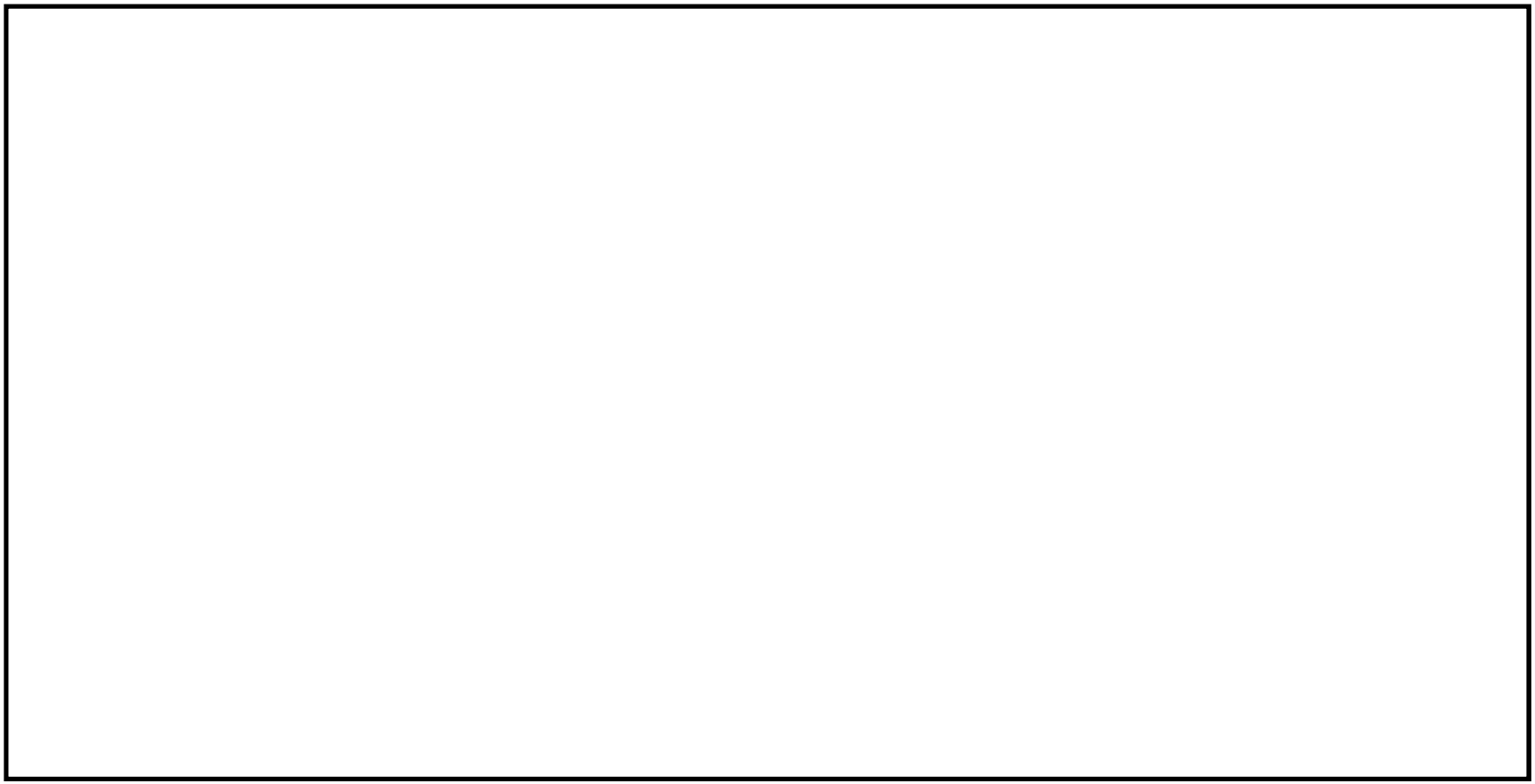


図2－9　止水板の設置位置図（EL.2.00 m）

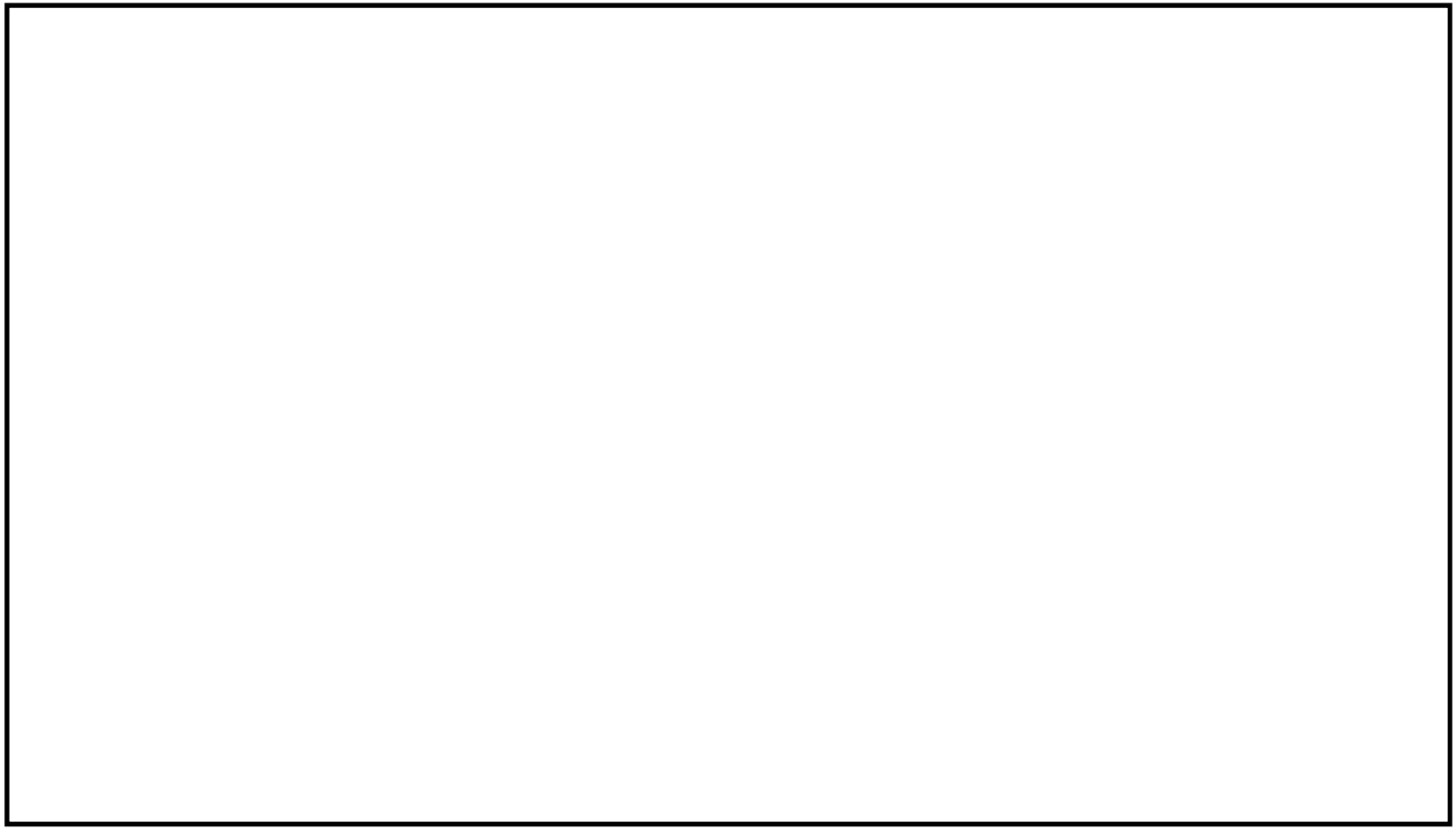


図2－10　止水板の設置位置図（EL.14.00 m）

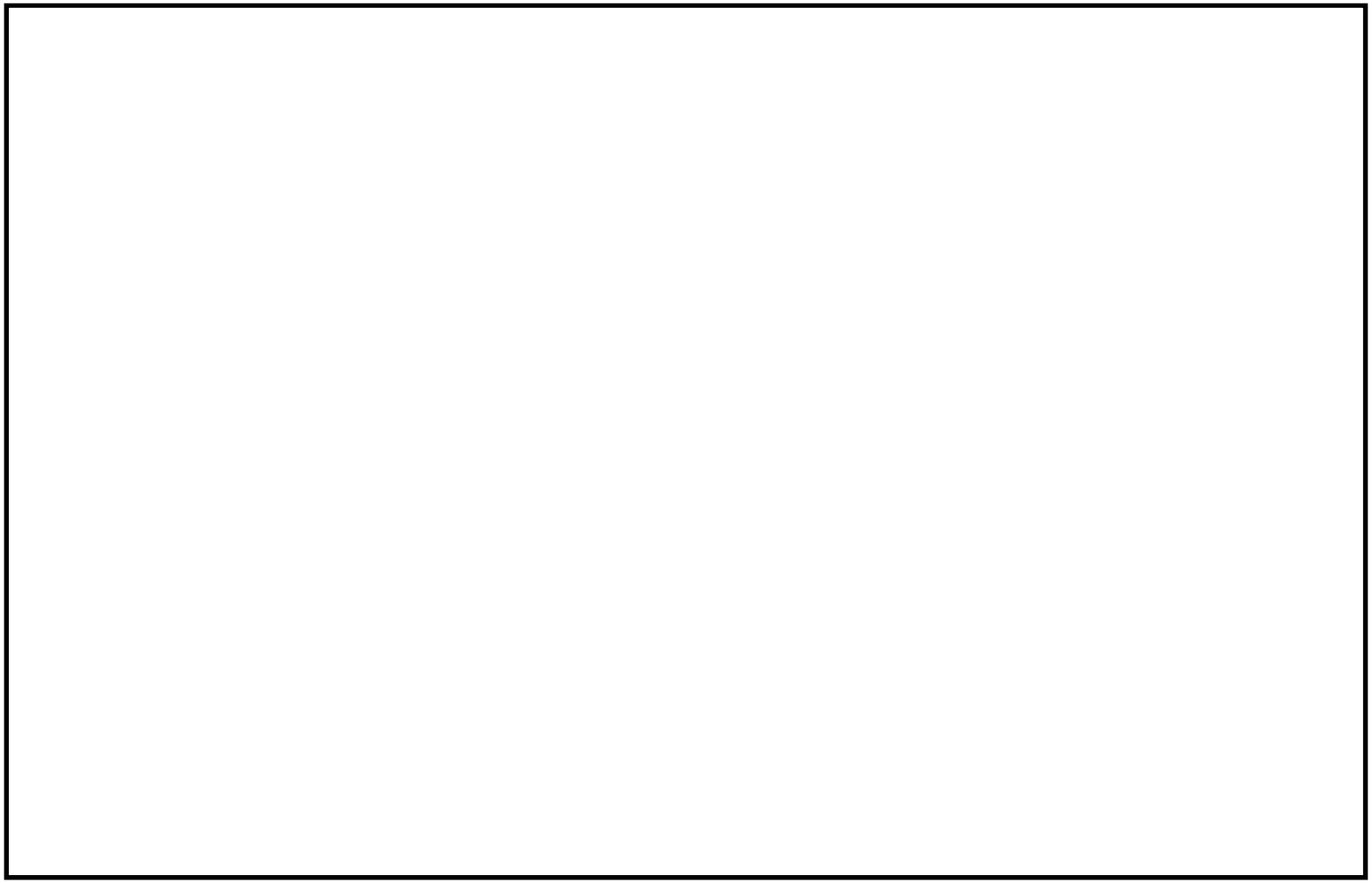


図2－11　止水板の設置位置図（EL.20.30 m）

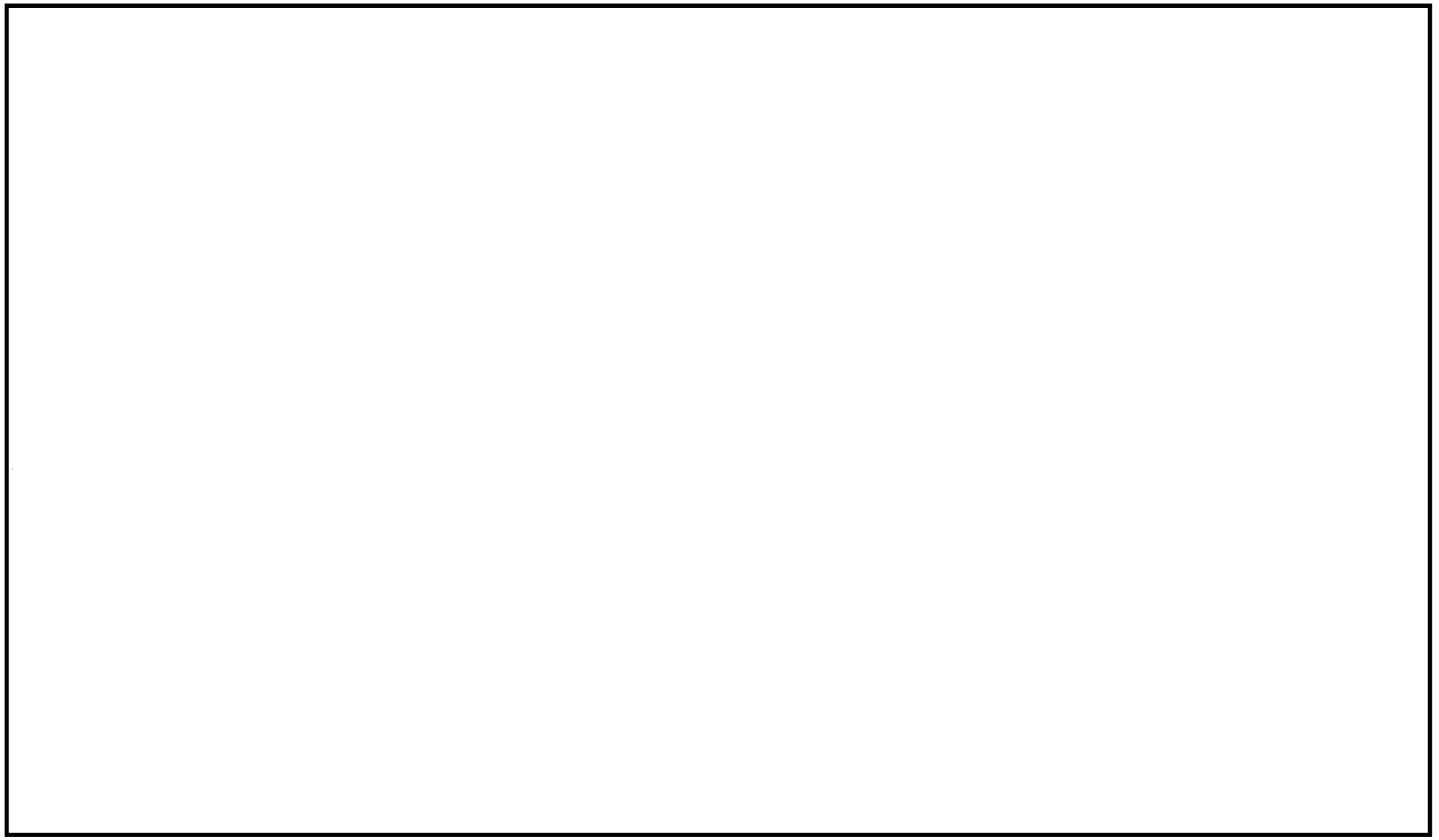


図2－12　止水板の設置位置図（EL.29.00 m）

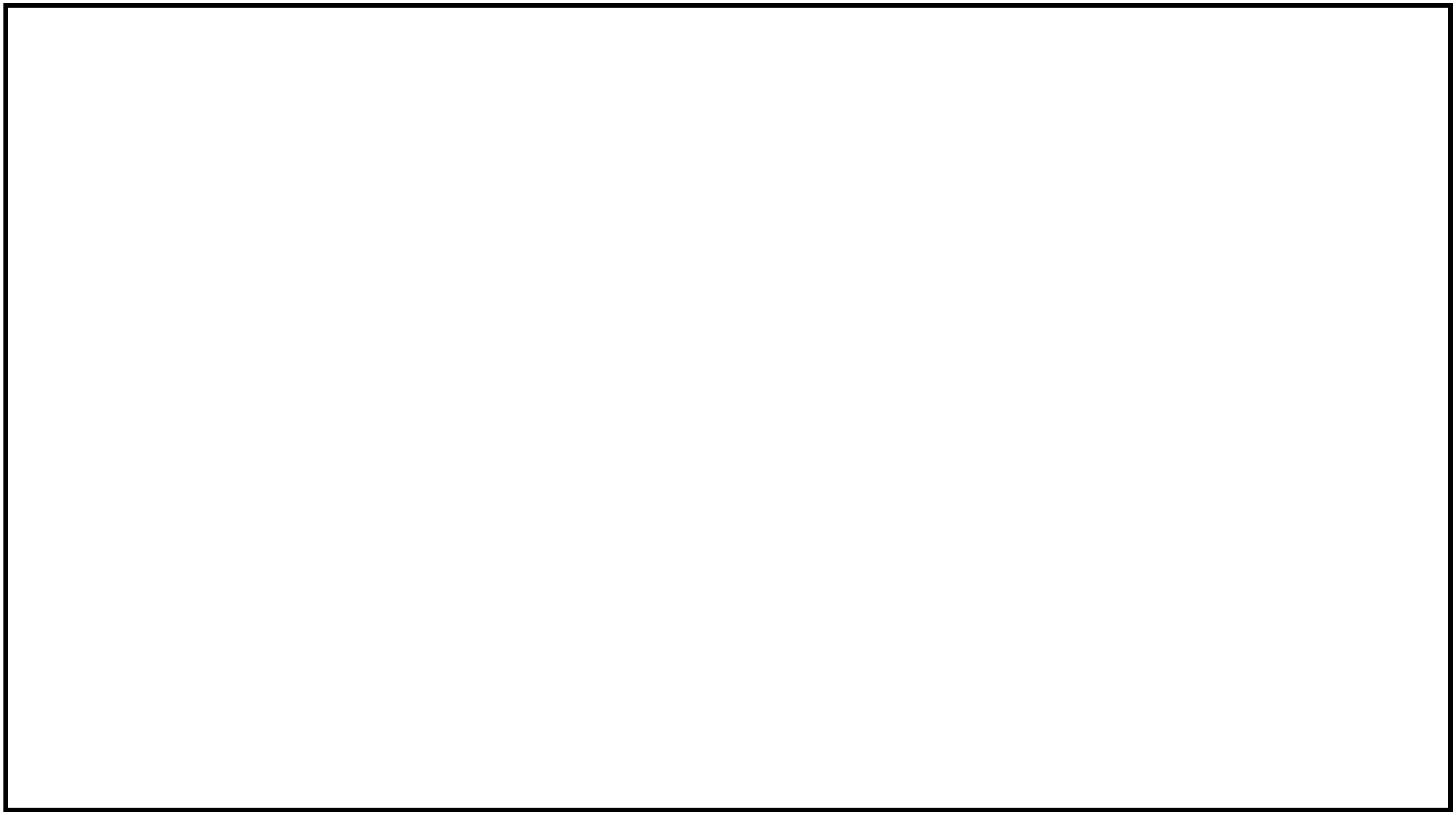


図2－13　止水板の設置位置図（EL.38.80 m）

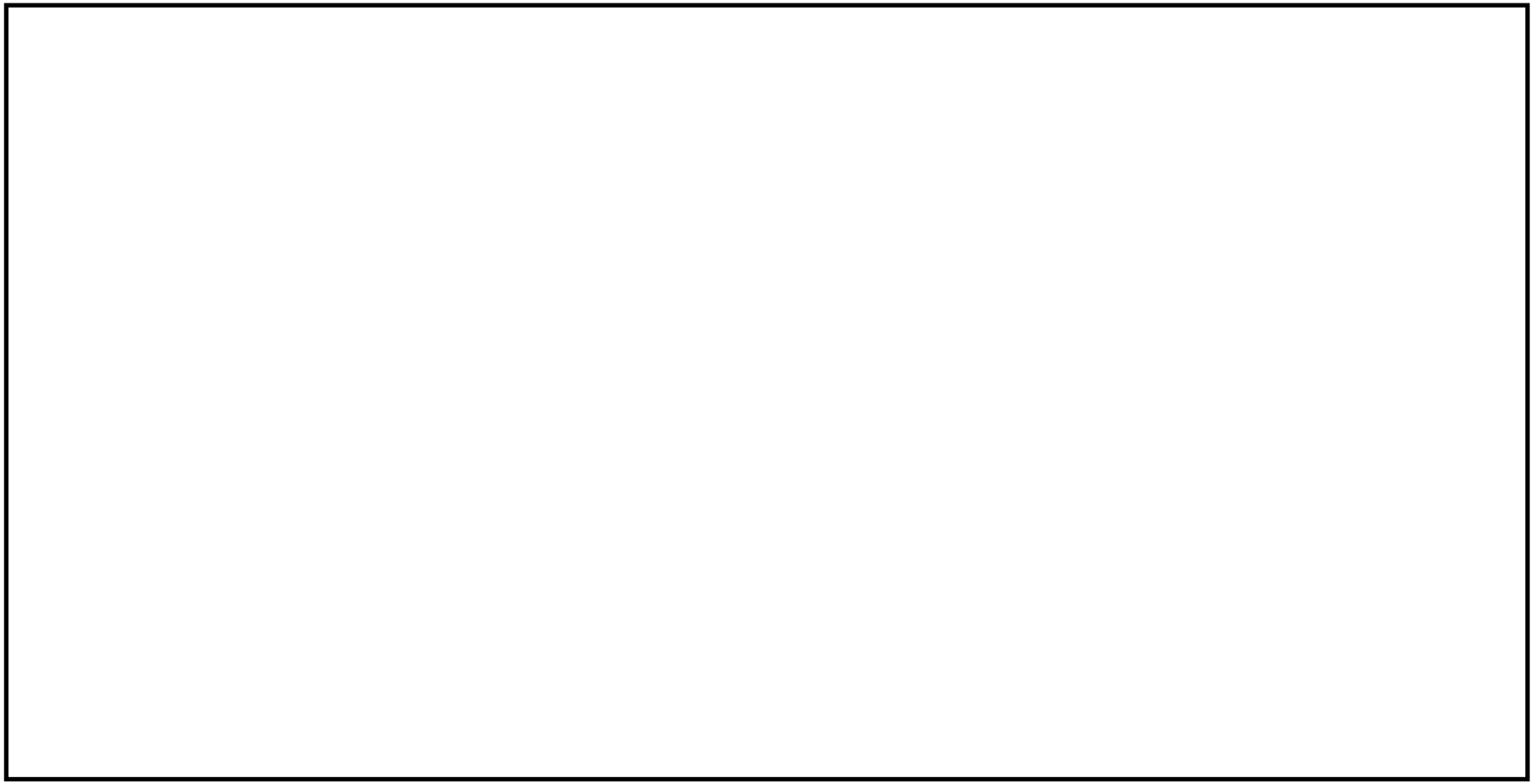


図 2－14　止水板の設置位置図（EL.46.50 m）

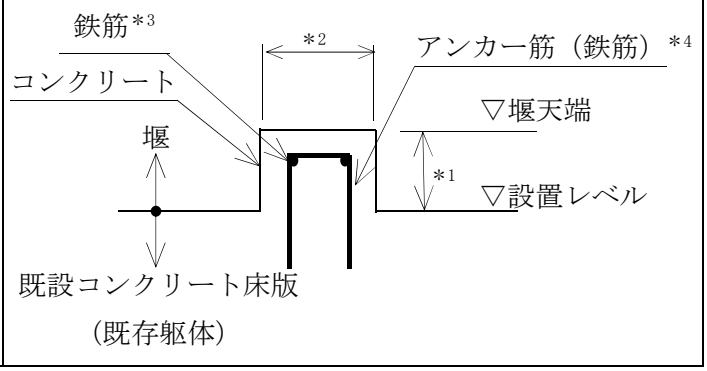
2.2　構造計画

堰の構造は，添付書類「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。堰は鉄筋コンクリート製堰と鋼製堰に分類できるため，それぞれの構造について表 2－1 及び表 2－3 に，使用材料について表 2－2 及び表 2－4 に示す。なお，溢水拡大防止堰 6-1～6-5 は，鉄筋コンクリート製堰及び鋼製堰にて構成されることから，鉄筋コンクリート製堰及び鋼製堰にて構成される堰の説明図を図 2－16 に示す。

2.2.1　鉄筋コンクリート製堰の構造

鉄筋コンクリート製堰は，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。

表 2－1　鉄筋コンクリート製堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
堰を既設コンクリート床版にアンカー筋で固定する。	コンクリート，鉄筋及びアンカー筋により構成する。	

注記　＊1：高さ 0.3 m 又は 0.4 m。
＊2：幅 0.2 m 又は 0.3 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。

表 2－2　鉄筋コンクリート製堰の使用材料

種類	仕様
コンクリート	普通コンクリート 設計基準強度 22.1 N/mm^2
鉄筋	SD295A

2.2.2　鋼製堰の構造

鋼製堰は，梁材，柱材，ベースプレート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と接合する構造とする。なお，パッキン及びコーキングにより止水性を維持する。鋼製堰の概略構造図を図 2－15 に示す。

表 2－3　鋼製堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
梁材を柱材に取付け，柱を溶接したベースプレートをコンクリート床版にアンカーボルトにて固定する。	梁材，柱材，ベースプレート及びアンカーボルトにて構成する。また，鉄筋コンクリート部と鋼板部はコーキング，鋼板と鋼板部はパッキンにて止水する。	図 2－15

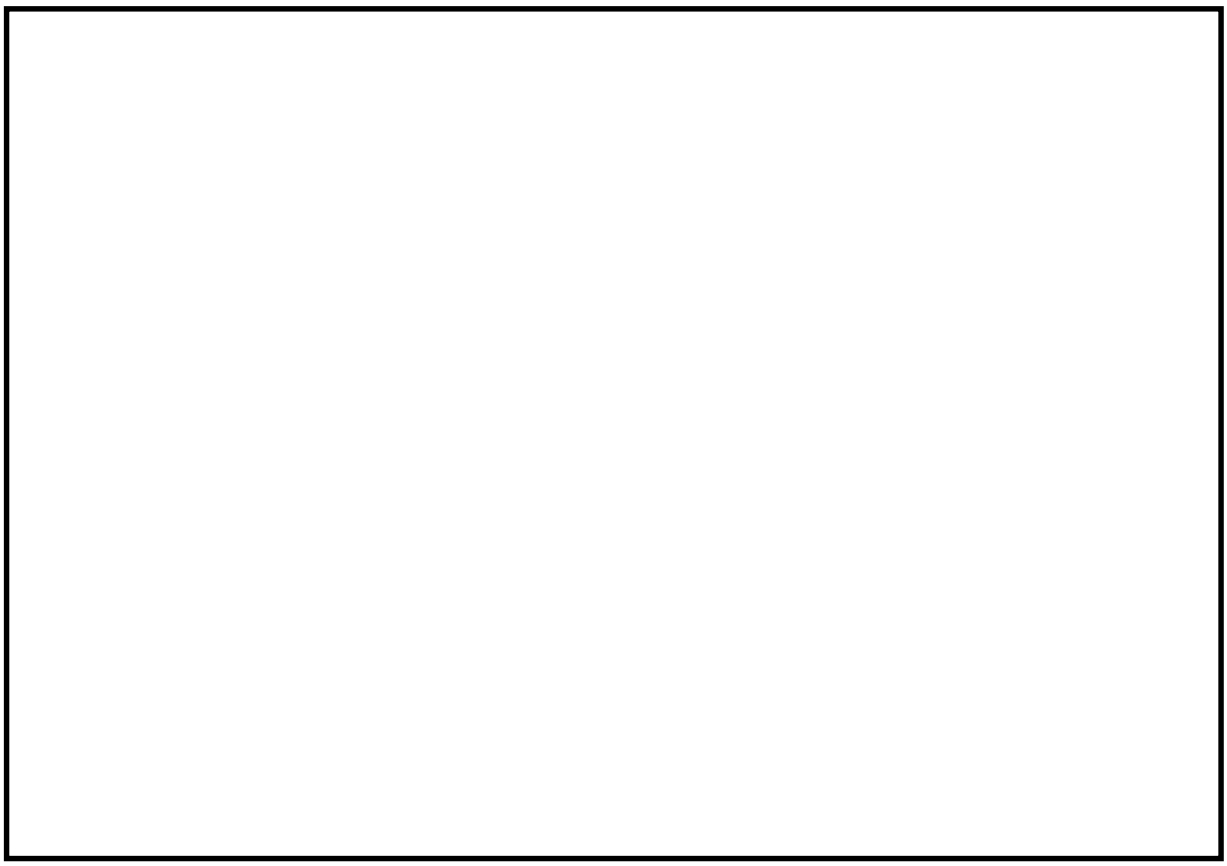


図 2－15　鋼製堰の概略構造図

表 2－4　鋼製堰の使用材料

種類	材料
梁材	SS400
柱材	SS400
ベースプレート	SS400
アンカーボルト	SS400

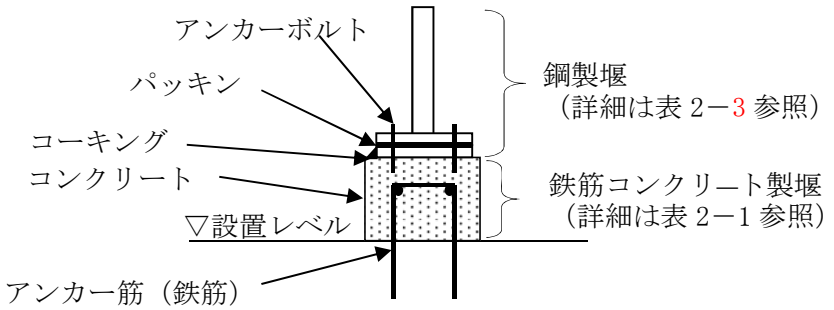


図 2－16　鉄筋コンクリート製堰及び鋼製堰にて構成される堰の説明図

2.3　評価方針

堰の耐震評価は，「3.　固有周期及び設計用地震力」にて算出した固有周期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 2－17 に示す。

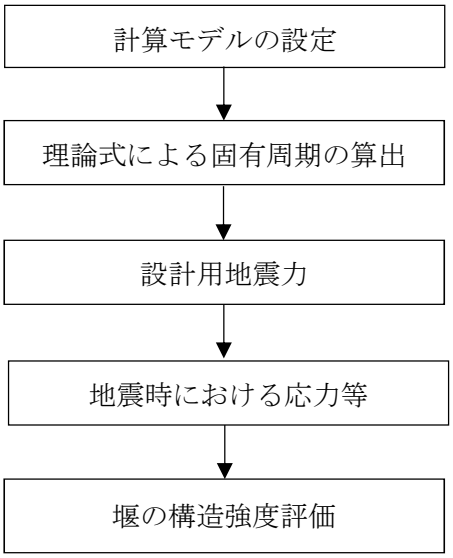


図 2－17　堰の耐震評価フロー

2.4　適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法・同施行令

(2)　各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）

(3)　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 年改定）

(4)　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）

2.5　記号の説明

堰の耐震評価に用いる記号を表 2－5 及び表 2－6 に示す。

表 2－5　耐震評価に用いる記号（溢水拡大防止堰）

記号	定義	単位
K_S	地震荷重K_{SH}（水平方向，鉄筋コンクリート製堰部）	kN
	地震荷重K_{SUD}（鉛直方向，鉄筋コンクリート製堰部）	
K'_S	地震荷重K'_{SH}（水平方向，鋼製堰部）	kN
	地震荷重K'_{SUD}（鉛直方向，鋼製堰部）	
G	堰の固定荷重（鉄筋コンクリート製堰部）	kN
G’	堰の固定荷重（鋼製堰部）	kN
k	設計震度（水平方向）	—
	設計震度（鉛直方向）	
k’	設計震度（水平方向，鋼製堰部）	—
	設計震度（鉛直方向，鋼製堰部）	
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（鉄筋コンクリート製堰部）	m
L’	堰の接合部から荷重作用位置までの高さ（鋼製堰部）	m
Q	せん断力	kN
T	鉄筋 1 本当たりに生じる引張力	kN/本
n	単位福（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 本当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
C	鉄筋のへりあき寸法	mm

表 2－6　耐震評価に用いる記号（止水板）（1／2）

記号	定義	単位
W_F	梁材に作用する単位長さ当たりの水平方向地震荷重	N/mm
W_1	梁材に作用する単位長さ当たりの重量	N/mm
K_H	水平方向設計震度	—
λ	梁材単位長さあたりの質量	kg/m
g	重力加速度	m/s^2
σ_F	梁材の曲げ応力度	N/mm^2
M_F	梁材の曲げモーメント	N・mm
Z_F	梁材の断面係数	mm^3
L	止水板全長	mm
τ_F	梁材のせん断応力度	N/mm^2
R_F	梁材の発生せん断力	N
A_F	梁材のせん断断面積	mm^2
σ_{epF}	梁材の組合せ応力度	N/mm^2
W_L	柱材に作用する単位高さ当たりの水平方向地震荷重	N/mm
W_2	柱材に作用する単位高さ当たりの重量	N/mm
λ_L	柱材単位高さあたりの質量	kg/m
σ_L	柱材の曲げ応力度	N/mm^2
M_L	柱材の曲げモーメント	N・mm
Z_L	柱材の断面係数	mm^3
W_L	単位高さ当たりの水平方向地震荷重	N/mm
h	止水板高さ	mm

表 2－6　耐震評価に用いる記号（止水板）（2／2）

記号	定義	単位
τ_L	柱材のせん断応力度	N/mm^2
R_L	柱材の発生せん断力	N
A_L	柱材のせん断断面積	mm^2
σ_{epL}	柱材の組合せ応力度	N/mm^2
T	アンカーボルトの発生引張力	N
b_1	アンカーボルトピッチ	mm
Q	アンカーボルトの発生せん断力	N
Q_W	アンカーボルトに作用するせん断力	N
n	アンカーボルト本数	本
P_a	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重	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
Q_1	ベースプレートに生じる曲げ応力度	N/mm^2
L_P	ベースプレートのレバー長さ	mm
Z_P	ベースプレートの断面係数	mm^3

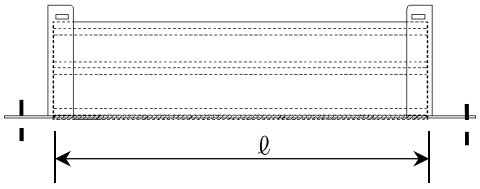
3.　固有周期及び設計用地震力

3.1　固有周期の計算方法

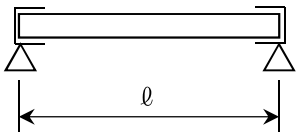
堰の構造に応じて解析モデルを設定し，固有周期を求める。

3.1.1　解析モデルの設定

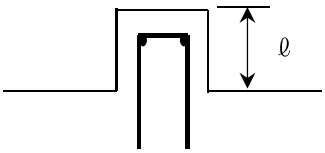
各部部位の寸法や形状を踏まえ鉄筋コンクリート製堰は片持ちはりに，鋼製堰は両端支持はりに，単純化したモデルとし，堰の評価モデル図を図 3－1 に示す。



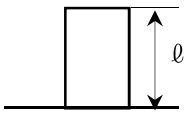
概略構造図（鋼製堰）



評価モデル



概略構造図（鉄筋コンクリート製堰）



評価モデル

図 3－1　鉄筋コンクリート製堰及び鋼製堰の評価モデル図

3.1.2　記号の説明

堰の固有周期算出に用いる記号を表3－1に示す。

表3－1　堰の固有周期算出に用いる記号

記号	単位	定義
T	s	堰の固有周期
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　固有周期の算出方法

固有周期Ｔを「土木学会　鋼構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

(1)　鋼製堰

$$T = \frac{1}{f}$$

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

(2)　鉄筋コンクリート製堰

$$T = \frac{1}{f}$$

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

3.2　固有周期の計算条件

堰の固有周期の計算条件を表3－2に示す。

表3－2　堰の固有周期の計算条件

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)
鋼製堰（H=300）	2.0	2.05×10^{11}	5.66×10^{-7}	35.49
鋼製堰（H=700）	2.0	2.05×10^{11}	1.38×10^{-6}	78.38
鋼製堰（H=900）	1.7	2.05×10^{11}	1.70×10^{-6}	98.35
鉄筋コンクリート製堰（幅 200）	0.3	2.2054×10^{10}	6.67×10^{-4}	489.46
鉄筋コンクリート製堰（幅 300）	0.4	2.2054×10^{10}	2.25×10^{-3}	734.20

3.3　固有周期の計算結果

堰の固有周期の計算結果を表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

堰名称	固有振動数（Hz）	固有周期（s）
鋼製堰（H=300）	22	0.045
鋼製堰（H=700）	23	0.043
鋼製堰（H=900）	32	0.031
鉄筋コンクリート製堰（幅 200）	1077	0.001
鉄筋コンクリート製堰（幅 300）	909	0.001

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「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

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・建築物として評価する。

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

設置場所		設計震度	
		水平方向	鉛直方向
	EL. 46.50 m	1.46	1.26
	EL. 38.80 m	1.40	1.20
	EL. 29.00 m	1.29	0.98
	EL. 23.00 m*	1.17	0.89
	EL. 20.30 m	1.11	0.84
	EL. 14.00 m	0.95	0.83
	EL. 8.20 m	0.92	0.80
	EL. 2.00 m	0.80	0.77
	EL. -4.00 m	0.72	0.75

注記　＊：線形補間にて算出

4.　構造強度評価

4.1　評価部位

堰の評価部位は，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。

4.1.1　鉄筋コンクリート製堰の評価部位

鉄筋コンクリート製堰の評価部位は，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とし，地震荷重の算定に用いる堰の自重，設計震度及び設計断面を踏まえ評価を包含できる鉄筋コンクリート製堰により代表して評価する。

なお，鉄筋コンクリート製堰及び鋼製堰にて構成される堰については，鋼製堰重量を鉛直方向の付加重量として取扱い，評価を実施する。

評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定結果を表 4－1 に示す。

表 4－1　評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定（1／2）

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	
	EL. 2.00 m		0.2 m	0.3 m	D13@200	0.80	0.77	
			0.2 m	0.3 m	D13@200			
			0.2 m	0.3 m	D13@200			
			0.2 m	0.3 m	D13@200			
	EL. 8.20 m		0.2 m	0.3 m	D13@200	0.92	0.80	
			0.2 m	0.3 m	D13@200			
			0.2 m	0.3 m	D13@200			
	EL. 14.00 m		0.2 m	0.3 m	D13@200	0.95	0.83	
			0.2 m	0.3 m	D13@200			
	EL. 20.30 m		0.2 m	0.3 m	D13@200	1.11	0.84	
			0.2 m	0.3 m	D13@200			
	EL. 29.00 m		0.2 m	0.3 m	D13@200	1.29	0.98	
	EL. 38.80 m		0.2 m	0.3 m	D13@200	1.40	1.20	
			0.2 m	0.3 m	D13@200			

表 4－1　評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定（2／2）

	設置床高さ		設計断面			設計用震度		評価対象（代表）
			幅	高さ	鉄筋量	水平方向*1	鉛直方向	
	EL. 46.50 m		0.3 m	0.4 m	D13@200	1.46	1.26	
			0.3 m	0.4 m	D13@200			
			0.3 m	0.4 m	D13@200			
			0.3 m	0.4 m	D13@200			○*2
			0.3 m	0.4 m	D13@200			
	EL. 23.00 m		0.3 m	0.4 m	D13@200	1.17	0.89	

注記　＊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。

4.1.2　鋼製堰の評価部位

鋼製堰の評価部位は，鋼製堰に作用する地震荷重により応力が発生する梁材，柱材，ベースプレート及びアンカーボルトを評価部位として設定する。なお，梁材及びパネルは一体構造であるが，梁材の評価でパネルを付加重量として扱い，パネルの断面剛性には期待せず梁材のみにて評価を行う。

地震荷重の算定に用いる鋼製堰の自重，設計震度及び設計断面を踏まえ評価を包含できる堰により代表して評価する。

評価対象とする鋼製堰の選定結果を表 4－2 に示す。

表 4－2　評価対象とする鋼製堰の選定結果（1／2）

設置建屋	設備名称	設置床高さ	水平方向設計震度	高さ（m）	評価対象（代表）
		EL. -4.00 m	0.72	0.9	
				0.9	
				0.9	
		EL. 2.00 m	0.80	0.3	
				0.3	
				0.3	
		EL. 14.00 m	0.95	0.3	
		EL. 20.30 m	1.11	0.3	
				0.3	

表 4－2　評価対象とする鋼製堰の選定結果（2／2）

設置建屋	設備名称	設置高さ	水平方向 設計震度	高さ (m)	評価対象 (代表)
		EL. 20.30 m	1.11	0.3	
				0.3	
				0.3	
				0.3	
				0.3	
		EL. 29.00 m	1.29	0.3	
				0.3	
				0.3	
				0.3	
				0.3	
		EL. 38.80 m	1.40	0.3	
		EL. 46.90 m	1.48*1	0.3	
				0.3	
				0.3	
				0.3	
				0.3	
		EL. 46.50 m	1.46	0.7	○*2
				0.7	

注記　＊1：EL. 57.0 m 及び EL. 46.5 m の最大床加速度を線形補完。

＊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）

鉄筋コンクリート製堰の自重を表 4－3 に，鋼製堰の自重を表 4－4 に示す。

表 4－3　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)
原子炉建屋原子炉棟溢水拡大防止堰 6-4	鉄筋コンクリート F_C =22.1 N/mm^2	24	2.88

注記　＊：1 m あたりの重量。

表 4－4　鋼製堰の自重

名称	種類	質量（kg/m）
原子炉建屋原子炉棟止水板 6-1	梁材*1，*2	
	柱材*3	
	合計*3	

注記　＊1：パネル質量を考慮。

＊2：単位長さ当りの質量。

＊3：単位高さ当りの質量。

(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.　固有周期及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて，次式により算定する。

$$K_S = G \cdot K$$

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表 4－5 に示す。

EL.46.50 m の堰は，積載荷重として鋼製堰重量を考慮する。

表 4－5　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，添付書類「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

4.3.1　鉄筋コンクリート製堰の許容限界

(1)　鉄筋

「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表 4－6 に示す。

表 4－6　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
原子炉建屋原子炉棟溢水拡大防止堰 6-4	SD295A D13@200	34.3	15.1

(2)　コンクリート

「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 年改定）」に基づこうき算定したコンクリートの短期許容応力度を表 4－7 に示す。

表 4－7　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

4.3.2　鋼製堰の許容限界

(1)　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 4－8 に示す。

表 4－8　梁材等の許容応力度

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

(2)　ベースプレート

「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 4－9 に示す。

表 4－9　ベースプレートの許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm^2)
SS400	271

(3)　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）」に基づき算定した，短期許容荷重を表 4－10 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耐力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耐力を比較して，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，アンカーボルトのせん断強度に決まる耐力，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耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4－10　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，M12	7664	2846

NT2 補② V-2-10-2-10 R7

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。

4.4.1　鉄筋コンクリート製堰の評価方法

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，図 4－1 及び図 4－2 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）

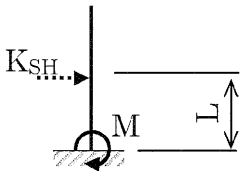


図 4－1　堰に生じる荷重模式図（曲げモーメント）

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）

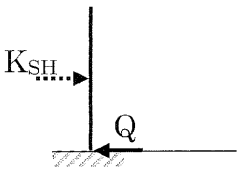


図 4－2　堰に生じる荷重模式図（せん断力）

(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図 4－3 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）

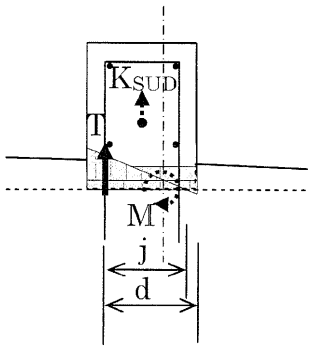


図 4－3　堰に生じる荷重

(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/mm^2）

Q　：せん断力（kN）

A　：堰の断面積（mm^2）

(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図 4－4 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/mm^2）

T’：引張側鉄筋に生じる引張力（M/ｊ）（N）

M　：曲げモーメント（kN・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）

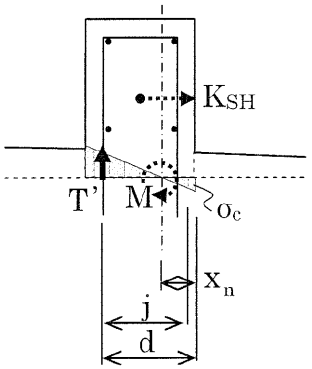


図 4－4　堰に生じる荷重

4.4.2　鋼製堰の評価方法

鋼製堰に生じる応力は，自重及び地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受けるモデルに置き換え，梁材，柱材，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，各評価限界との比較により耐震性を確認する。

(1)　応力算定

自重及び地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける梁材に生じる曲げ応力及びせん断応，柱材に生じる曲げ応力及びせん断力，アンカーボルトに生じる引張力及びせん断力並びにベースプレートに生じる曲げ応力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力及び水平反力を次式により算出する鋼製堰に生じる力の概念図を図 4－5，図 4－6，図 4－7 及び図 4－8 に示す。

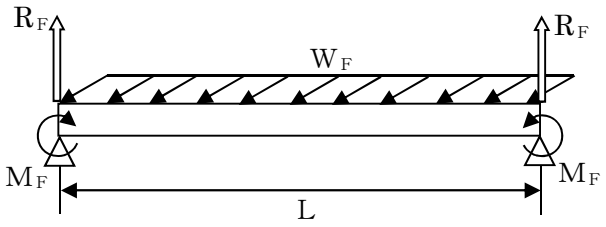


図 4－5　梁材に生じる力の模式図

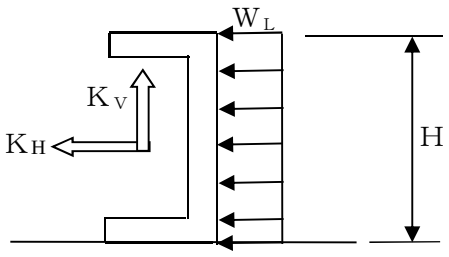


図 4－6　梁材に生じる力の模式図

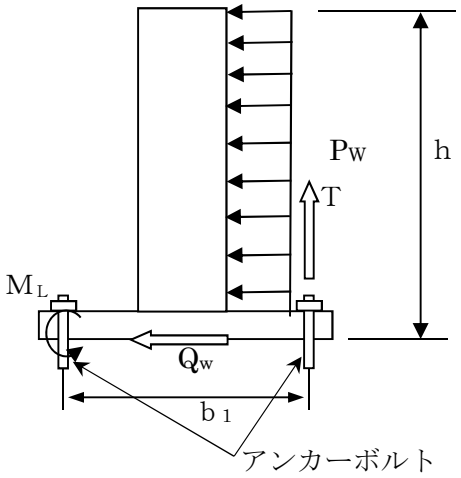


図 4－7　アンカーボルト，柱材に生じる力の模式図

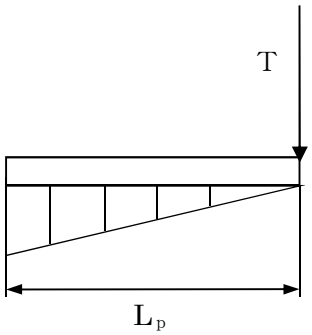


図 4－8　ベースプレートに生じる力の模式図

(2)　梁材の検定

a.　単位長さ当たりの水平方向地震荷重

単位長さ当たりの水平方向地震荷重は次式より算出する。

$W_F = K_H \cdot W_1$

$W_1 = \lambda \cdot \quad \cdot 10^{-3}$

g

W_F ：梁材に作用する単位長さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）

W_1 ：梁材に作用する単位長さ当たりの重量（N/mm）

K_H ：水平方向設計震度

λ　：梁材単位長さあたりの質量（kg/m）

g　：重力加速度（m/s^2）

b.　梁材に生じる曲げ応力度

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。

$$\sigma_F = \frac{M_F}{Z_F}$$

$$M_F = \frac{W_F \cdot L^2}{8}$$

σ_F：梁材の曲げ応力度（N/mm^2）
M_F：梁材の曲げモーメント（N・mm）
Z_F：梁材の断面係数（mm^3）
W_F：梁材に作用する単位長さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）
L　：止水板全長（mm）

c．　梁材に生じるせん断応力度

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。

$$\tau_F = \frac{R_F}{A_F}$$

$$R_F = \frac{W_F \cdot L}{2}$$

τ_F：梁材のせん断応力度（N/mm^2）
R_F：梁材の発生せん断力（N）
A_F：梁材のせん断断面積（mm^2）
W_F：梁に作用する単位長さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）
L　：止水板全長（mm）

d．　曲げとせん断の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げとせん断の組合せ応力度を「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出し，梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{epF} = \sqrt{\sigma_F^2 + 3 \cdot \tau_F^2}$$

σ_{epF}　：梁材の組合せ応力度（N/mm^2）
σ_F　　：梁材の曲げ応力度（N/mm^2）
τ_F　　：梁材のせん断応力度（N/mm^2）

(3) 柱材の検定

a. 単位高さ当たりの水平方向地震荷重

単位高さ当たりの水平方向地震荷重は次式より算出する。

$$W_L = K_H \cdot w_2$$

$$W_2 = \lambda_L \cdot g \cdot 10^{-3}$$

W_L：柱材に作用する単位長さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）

W_2：柱材に作用する単位長さ当たりの重量（N/mm）

K_H：水平方向設計震度

λ_L：柱材単位高さあたりの質量（kg/m）

g：重力加速度（m/s^2）

b. 柱材に生じる曲げ応力度

柱材に生じる曲げ応力度は構造力学公式集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。

$$\sigma_L = \frac{M_L}{Z_L}$$

$$M_L = \frac{W_L \cdot h^2}{2}$$

σ_L：柱材の曲げ応力度（N/mm^2）

M_L：柱材の曲げモーメント（N・mm）

Z_L：柱材の断面係数（mm^3）

W_L：単位高さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）

h：止水板高さ（mm）

c. 柱材に生じるせん断応力度

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。

$$\tau_L = \frac{R_L}{A_L}$$

$$R_L = W_L \cdot h$$

τ_L：柱材のせん断応力度（N/mm^2）

R_L：柱材の発生せん断力（N）

A_L：柱材のせん断断面積（mm^2）

W_L：単位高さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）

h：止水板高さ（mm）

d.　曲げとせん断の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げとせん断の組合せ応力度を「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。

$$\sigma_{epL}=\sqrt{\sigma_L^2+3\cdot\tau_L^2}$$

σ_{epL}：柱材の組合せ応力度（N/mm^2）

σ_L　：柱材の曲げ応力度（N/mm^2）

τ_L　：柱材のせん断応力度（N/mm^2）

(4)　アンカーボルトの検定

a.　柱材に作用する単位高さ当たりの水平方向地震荷重

柱材に作用する単位高さ当たりの水平方向地震荷重は次式より算出する。

$$W_L=K_H\cdot W_2$$

W_L：柱材に作用する単位高さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）

K_H：水平方向設計震度

W_2：柱材に作用する単位長さ当たりの重量（N/mm）

b．　アンカーボルトの発生引張力に対する検定

アンカーボルトの発生引張力を算出し，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。

$$T=\frac{M_L}{2b_1}$$

$$M_L=\frac{W_L\cdot h^2}{2}$$

T　：アンカーボルトの発生引張力（N）

M_L：枠材の曲げモーメント（N・mm）

b_1：アンカーボルトピッチ（mm）

W_L：柱材に作用する単位高さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）

h　：止水板高さ（mm）

c. アンカーボルトの発生せん断力に対する検定

アンカーボルトの発生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力を下回ることを確認する。

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

$$Q_W=W_L\cdot h$$

Q ：アンカーボルトの発生せん断力（N）

Q_W：アンカーボルトに作用するせん断力（N）

n ：アンカーボルト本数（本）

W_L：柱材に作用する単位長さ当たりの水平方向地震荷重（N/mm）

h ：止水板高さ（mm）

d. 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。

$$\left(\frac{T}{P_a}\right)^2+\left(\frac{Q}{q_a}\right)^2\leqq 1$$

T ：アンカーボルトの発生引張力（N）

P_a：アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重（N）

Q ：アンカーボルトの発生せん断力（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）

(5) ベースプレート

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度

ベースプレート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，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。

$$Q_1=T\cdot\frac{L_P}{Z_P}$$

Q_1：ベースプレートに生じる曲げ応力度（N/mm^2）

T ：アンカーボルトの発生引張力（N）

L_P：ベースプレートのレバー長さ（mm）

Z_P：ベースプレートの断面係数（mm^3）

4.5　計算条件

溢水拡大防止堰の耐震評価に用いる入力値を表 4－11 に，止水板の耐震評価に用いる入力値を表 4－12 に示す。

表 4－11　溢水拡大防止堰の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，鉄筋コンクリート製堰部）	
		地震荷重K_{SUD}（鉛直方向，鉄筋コンクリート製堰部）	
K'_S	kN	地震荷重K'_{SH}（水平方向，鋼製堰部）	
		地震荷重K'_{SUD}（鉛直方向，鋼製堰部）	
G	kN	堰の固定荷重（鉄筋コンクリート製堰部）	
G’	kN	堰の固定荷重（鋼製堰部）	
k	—	設計震度（水平方向）	
		設計震度（鉛直方向）	
k’	—	設計震度（水平方向，鋼製堰部）	
		設計震度（鉛直方向，鋼製堰部）	
M	kN･m	曲げモーメント*	
L	m	堰の接合部から荷重作用位置までの高さ（鉄筋コンクリート製堰部）	
L’	m	堰の接合部から荷重作用位置までの高さ（鋼製堰部）	
Q	kN	せん断力*	
T	kN/本	鉄筋 1 本当たりに生じる引張力	
n	本	単位福（1m）当たりの鉄筋本数	
j	mm	応力中心距離	
d	mm	部材の有効せい	
Q_a	kN/本	鉄筋 1 本当たりに生じるせん断力	
τ	N/mm^2	せん断応力度	
A	mm^2	堰の断面積	
σ_C	N/mm^2	コンクリートの圧縮縁応力度	
T’	N	引張側鉄筋に生じる引張力	
x_a	mm	中立軸から圧縮縁までの距離	
b	mm	単位幅	
C	mm	鉄筋のへりあき寸法	

注記　＊：鉄筋コンクリート製堰及び鋼製堰にて構成される堰のため，地震荷重により発生する曲げモーメント又はせん断力を，鉄筋コンクリート製堰及び鋼製堰それぞれについて算出し，これを足し合わせることにより算出する。

表 4－12　止水板の耐震評価に用いる入力値（1／2）

記号	単位	定義	数値
W_F	N/mm	梁材に作用する単位長さ当たりの水平方向地震荷重	
W_1	N/mm	梁材に作用する単位長さ当たりの重量	
K_H	－	水平方向設計震度	
λ	kg/m	梁材単位長さあたりの質量	
g	m/s^2	重力加速度	
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	
Z_F	mm^3	梁材の断面係数	
L	mm	止水板全長	
τ_F	N/mm^2	梁材のせん断応力度	
R_F	N	梁材の発生せん断力	
A_F	mm^2	梁材のせん断断面積	
σ_{epF}	N/mm^2	梁材の組合せ応力度	
W_L	N/mm	柱材に作用する単位高さ当たりの水平方向地震荷重	
W_2	N/mm	柱材に作用する単位高さ当たりの重量	
λ_L	kg/m	柱材単位高さあたりの質量	
σ_L	N/mm^2	柱材の曲げ応力度	
M_L	N・mm	柱材の曲げモーメント	
Z_L	mm^3	柱材の断面係数	
W_L	N/mm	単位高さ当たりの水平方向地震荷重	
h	mm	止水板高さ	

表 4－12　止水板の耐震評価に用いる入力値（2／2）

記号	単位	定義	数値
τ_L	N/mm^2	柱材のせん断応力度	
R_L	N	柱材の発生せん断力	
A_L	mm^2	柱材のせん断断面積	
σ_{epL}	N/mm^2	柱材の組合せ応力度	
T	N	アンカーボルトの発生引張力	
b_1	mm	アンカーボルトピッチ	
Q	N	アンカーボルトの発生せん断力	
Q_W	N	アンカーボルトに作用するせん断力	
n	本	アンカーボルト本数	
P_a	N	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重	
q_a	N	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重	
Q_1	N/mm^2	ベースプレートに生じる曲げ応力度	
L_P	mm	ベースプレートのレバー長さ	
Z_P	mm^3	ベースプレートの断面係数	

5. 評価結果

鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果を表5－1に，鋼製堰の耐震評価結果を表5－2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。

表 5－1　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	1.99	kN/本	34.3	kN/本	0.06 ＜ 1.0
	せん断	1.15	kN/本	15.1	kN/本	0.08 ＜ 1.0
コンクリート	せん断	0.02	N/mm^2	1.08	N/mm^2	0.02 ＜ 1.0
	圧縮	0.17	N/mm^2	14.73	N/mm^2	0.02 ＜ 1.0

表 5－2　鋼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
梁材	曲げ	14	N/mm^2	235	N/mm^2	0.06 ＜ 1.0
	せん断	1	N/mm^2	135	N/mm^2	0.01 ＜ 1.0
	組合せ	15	N/mm^2	235	N/mm^2	0.07 ＜ 1.0
柱材	曲げ	85	N/mm^2	235	N/mm^2	0.37 ＜ 1.0
	せん断	6	N/mm^2	135	N/mm^2	0.05 ＜ 1.0
	組合せ	86	N/mm^2	235	N/mm^2	0.37 ＜ 1.0
アンカーボルト	引張	2900	N	7664	N	0.38 ＜ 1.0
	せん断	666	N	2846	N	0.24 ＜ 1.0
	組合せ	0.198	－	1	－	0.20 ＜ 1.0
ベースプレート	曲げ	87	N/mm^2	271	N/mm^2	0.33 ＜ 1.0