

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添'-01)-改01
提出年月日	2023年3月2日

VI-3-別添 3-4-5 防水板の強度計算書

S2 補 VI-3-別添 3-4-5 R0

2023年3月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 検討対象防水板一覧	2
2.2 配置概要	3
2.3 構造計画	6
2.4 評価方針	7
2.5 適用規格・基準等	9
3. 強度評価方法	10
3.1 記号の説明	10
3.2 評価対象部位	11
3.3 荷重及び荷重の組合せ	12
3.3.1 溢水による静水圧荷重	12
3.3.2 荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	14
3.4.1 使用材料	14
3.4.2 許容限界	14
3.5 評価方法	16
3.6 評価条件	21
4. 評価結果	24

1. 概要

本資料は、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」に基づき、浸水防護施設である溢水用防水板及び管理区域防水板（以下「防水板」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説明するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象防水板一覧

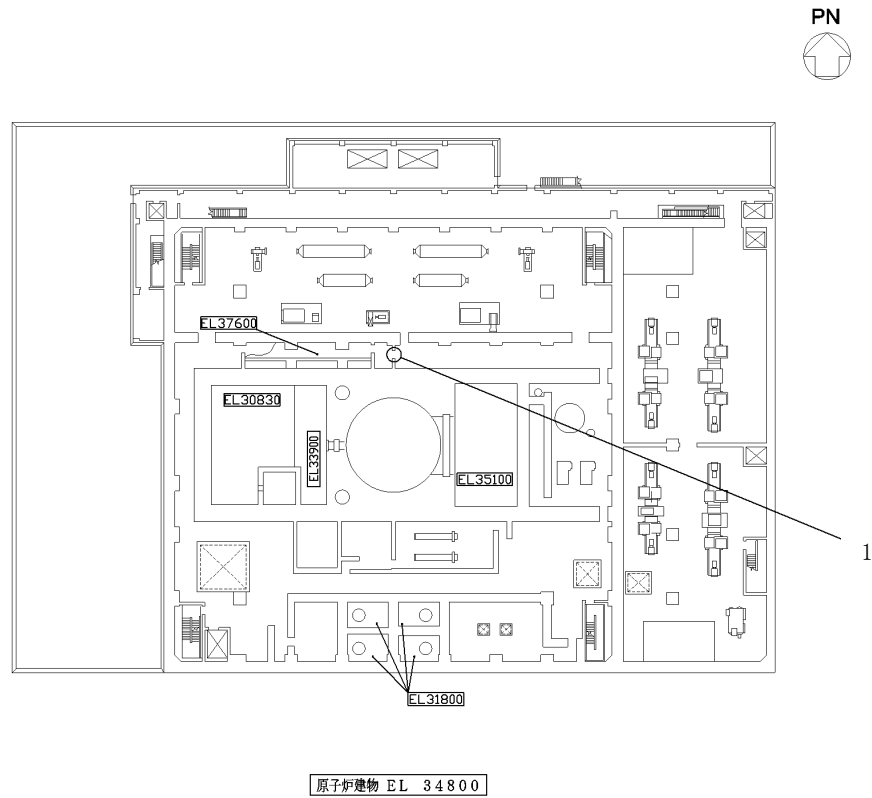
検討対象の防水板を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象防水板一覧

防水板 No.	防水板名称
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板
2	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）
3	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）
4	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）
5	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）
6	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）
7	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）

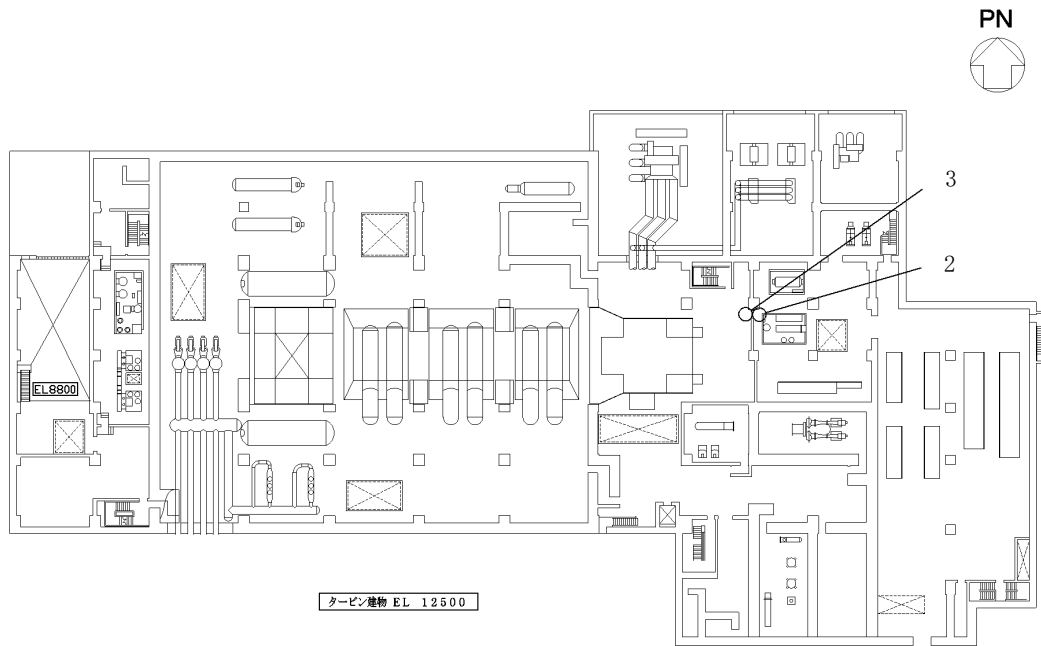
2.2 配置概要

防水板はVI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.3 溢水用防水板の設計方針」及び「4.1.5 管理区域水密扉、堰及び防水板の設計方針」に示すとおり、原子炉建物、タービン建物及び廃棄物処理建物に設置する。防水板の設置位置図を図2-1に示す。



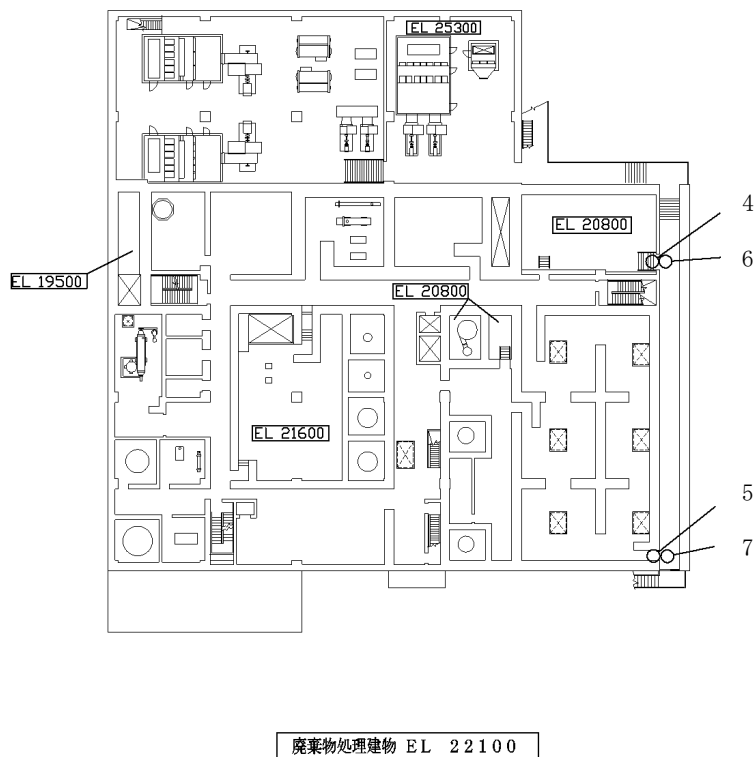
防水板 No.	防水板名称
1	原子炉建物 3階 新燃料検査台ピット室防水板

図2-1(1) 防水板の設置位置図（原子炉建物 地上3階）



防水板 No.	防水板名称
2	タービン建物 2階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）
3	タービン建物 2階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）

図 2-1(2) 防水板の設置位置図（タービン建物 地上2階）



防水板 No.	防水板名称
4	廃棄物処理建物 2階 廃棄物処理建物 C/C室防水板 (管理区域側)
5	廃棄物処理建物 2階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板 (管理区域側)
6	廃棄物処理建物 2階 廃棄物処理建物 C/C室防水板 (非管理区域側)
7	廃棄物処理建物 2階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板 (非管理区域側)

図 2-1(3) 防水板の設置位置図 (廃棄物処理建物 地上2階)

2.3 構造計画

防水板の構造は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「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。防水板は、芯材、鋼板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建物床及び壁に固定する構造とする。防水板の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 防水板の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
芯材で補強した鋼板を建物床及び壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板、芯材及びアンカーボルトにより構成する。	<p style="text-align: center;">正面図</p> <p style="text-align: right;">B-B断面図</p> <p style="text-align: center;">A-A断面図</p>

2.4 評価方針

防水板の強度評価は、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「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、防水板の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「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。

防水板の強度評価フローを図 2-2 に示す。

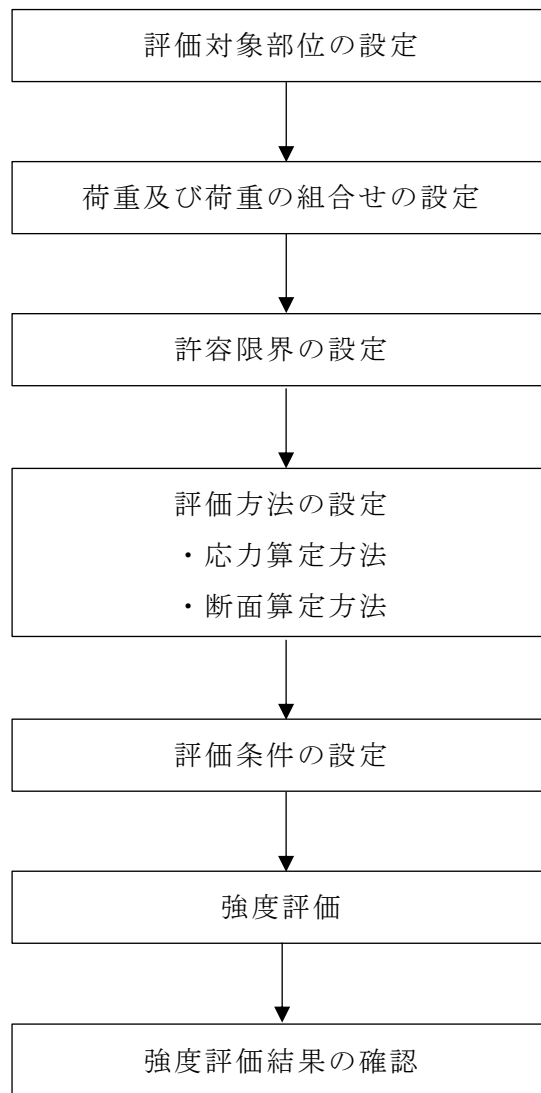


図 2-2 防水板の強度評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・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 改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）

3. 強度評価方法

防水板の強度評価は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」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

防水板の強度評価は、「3.2 評価対象部位」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

防水板の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 防水板の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
h	mm	当該防水板の水圧作用高さ
P _h	kN/m ²	防水板最下端の静水圧荷重
L ₁	mm	芯材間距離
Z	mm ³ /m	鋼板の断面係数
σ_ρ	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度
L ₁ '	mm	芯材 1 本当たりが負担する鋼板の幅
w _f	kN/m	芯材の平均水圧による分布荷重
L ₂	mm	芯材の長さ
Z _f	mm ³	芯材の断面係数
σ_f	N/mm ²	芯材に生じる曲げ応力度
A _f	mm ²	芯材のせん断断面積
τ_f	N/mm ²	芯材に生じるせん断応力度
σ_{ef}	N/mm ²	芯材の組合せ応力度
N	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数
L ₃	mm	防水板の高さ
L ₄	mm	防水板の幅
q	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力
Q _h	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
F _h	kN	防水板に生じる静水圧荷重
t	mm	鋼板の板厚

3.2 評価対象部位

防水板の評価対象部位は、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「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。

防水板の評価対象部位は、防水板に作用する静水圧荷重が、鋼板及び芯材からアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して開口部周囲の躯体に伝わることから、鋼板、芯材及びアンカーボルトとする。アンカーボルトについては、芯材から伝達された荷重をせん断力として負担する防水板の芯材を固定するアンカーボルトを、評価対象部位として選定する。

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、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水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は次式により算定する。

$$P_h = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

P_h : 防水板最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_w : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 当該防水板の水圧作用高さ (mm)

静水圧荷重の算定に用いる水圧作用高さ及び水の密度を表 3-2 に示す。

表 3-2 水圧作用高さ及び水の密度

防水板 No.	防水板名称	水圧作用 高さ (mm)	水の密度 (t/m ³)
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板	8000	1.03
2	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板 (非管理区域側)	3580	1.03
3	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板 (管理区域側)	3040	1.03
4	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板 (管理区域側)	6050	1.03
5	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク 水中ポンプ操作室防水板 (管理区域側)	3390	1.03
6	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板 (非管理区域側)	3180	1.03
7	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク 水中ポンプ操作室防水板 (非管理区域側)	3180	1.03

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、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「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
防水板	P h

3.4 許容限界

防水板の許容限界は、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「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位」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。

3.4.1 使用材料

防水板を構成する、鋼板、芯材及びアンカーボルトの使用材料を表 3-4 に示す。

表 3-4 鋼板、芯材及びアンカーボルトの使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-22 PL-16
芯材	SS400	[-200×90×8×13.5 [-250×90×9×13
アンカーボルト	SS400	M16

3.4.2 許容限界

(1) 鋼板及び芯材

「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）」（以下「S規準」という。）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 鋼板及び芯材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度(N/mm ²)			
	引張	圧縮*	曲げ*	せん断
SS400	235	235	235	135

注記*：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

(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 改定）」に基づき算定した短期許容荷重を表 3-6 に示す。

なお，せん断力に対する許容荷重は，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 3-6 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	せん断 (kN)
SS400 (M16)	25.8

3.5 評価方法

防水板の強度評価は、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。

(1) 応力算定

静水圧荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力、芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度並びにアンカーボルトに生じる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曲げ応力度、せん断応力度を算定する。

防水板に生じる力の概念図を図 3-1～図 3-4 に示す。

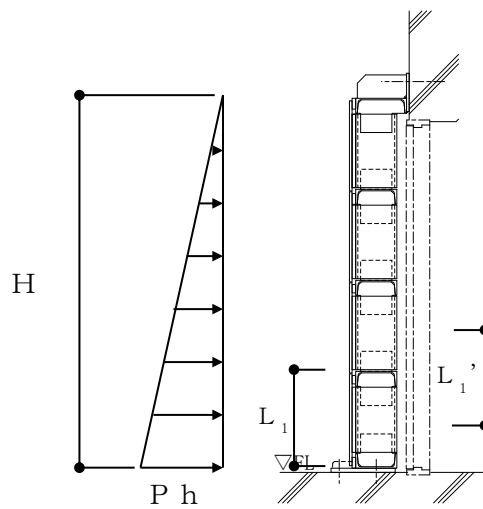


図 3-1 溢水時の防水板に生じる力の断面概念図

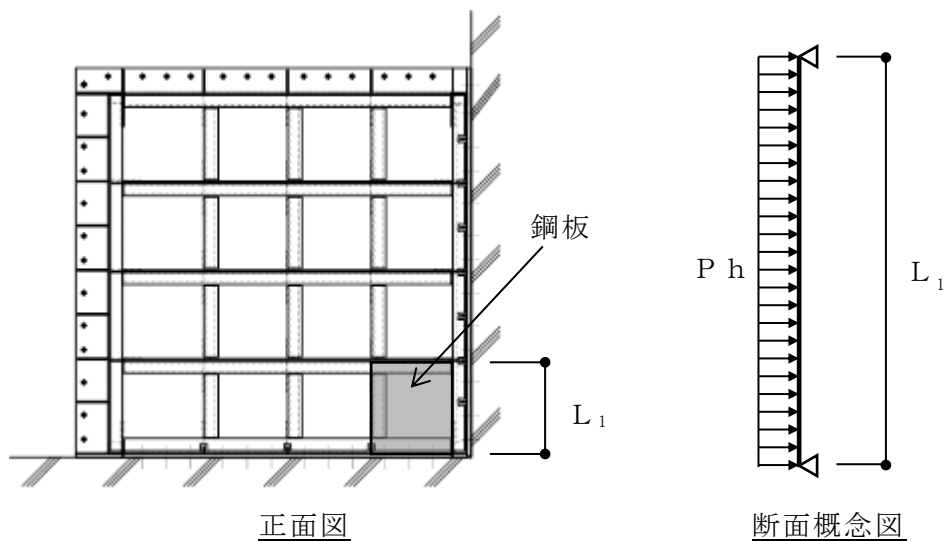


図 3-2 溢水時の鋼板に生じる力の断面概念図

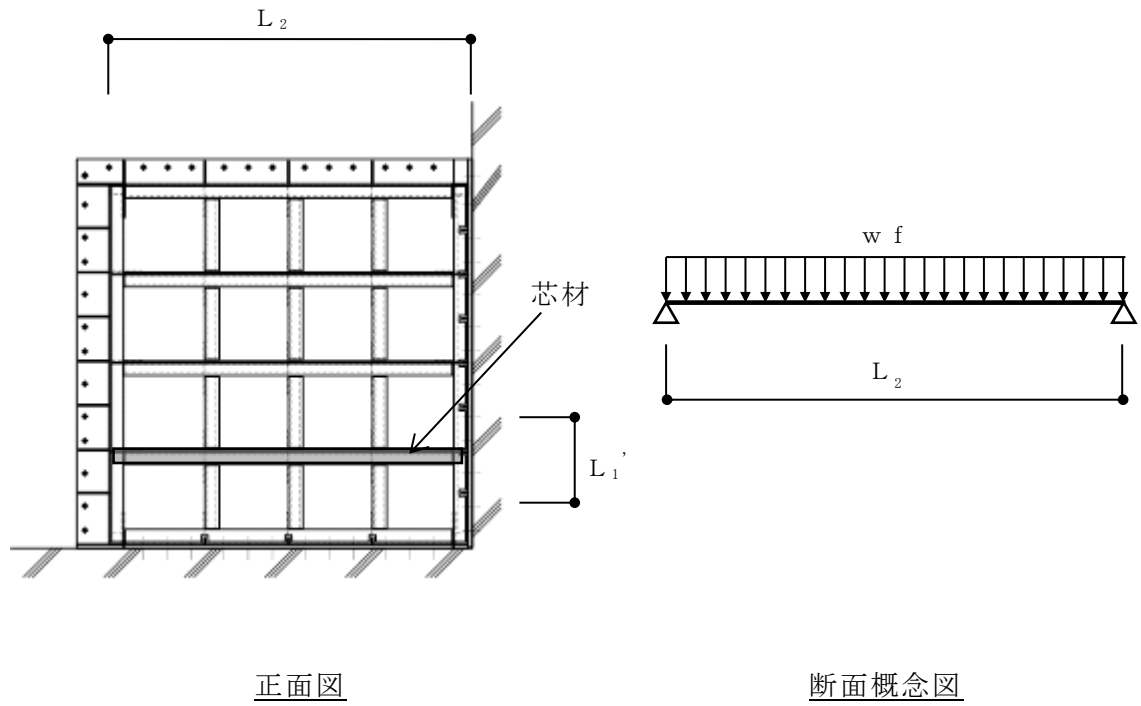


図 3-3 溢水時の芯材に生じる力の断面概念図

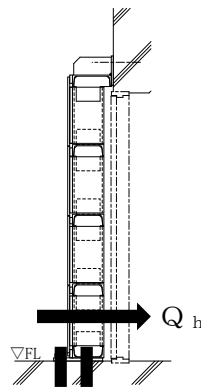


図 3-4 溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

P_h : 防水板最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 当該防水板の水圧作用高さ (mm)

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる曲げ応力度は、鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し、鋼板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。このとき、実際に作用する静水圧荷重は、台形分布若しくは、三角形分布であるが、防水板最下端の最大静水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。

$$\sigma_p = P_h \cdot L_1^2 / 8 / Z$$

σ_p : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

P_h : 防水板最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

L_1 : 芯材間距離 (mm)

Z : 鋼板の断面係数 (mm³/m)

b. 芯材

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

芯材に作用する単位長さ当たりの静水圧荷重は次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

P_h : 防水板最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 当該防水板の水圧作用高さ (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により算出する。

$$w_f = P_h \cdot L_1' \cdot 10^{-3}$$

w_f : 芯材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

P_h : 防水板最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

L_1' : 芯材1本当たりが負担する鋼板の幅 (mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

芯材に生じる曲げ応力度は芯材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し、芯材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = w_f \cdot L_2^2 / 8 / Z_f$$

σ_f : 芯材に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

w_f : 芯材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

L_2 : 芯材の長さ (mm)

Z_f : 芯材の断面係数 (mm³)

(d) せん断応力度に対する検定

芯材に生じるせん断応力度は芯材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し、芯材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = w_f \cdot L_2 / 2 / A_f$$

τ_f : 芯材に生じるせん断応力度 (N/mm²)

w_f : 芯材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

L_2 : 芯材の長さ (mm)

A_f : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

芯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「S 規準」に基づく次式により算出し、芯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} : 芯材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)

c. アンカーボルト

(a) せん断力に対する検定

アンカーボルト 1 本あたりに生じ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。

$$q = Q_h / N$$

$$Q_h = F_h / 2$$

$$F_h = P_h \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-6}$$

q : アンカーボルトに1本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_h : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

F_h : 防水板に生じる静水圧荷重 (kN)

N : せん断を受けるアンカーボルトの本数 (本)

P_h : 防水板下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

L_3 : 防水板の高さ (mm)

L_4 : 防水板の幅 (mm)

3.6 評価条件

強度評価に用いる入力値を表 3-7 に示す。

表 3-7(1) 強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.		
				1	2	3
共通	h	mm	当該防水板の水圧作用高さ	8000	3580	3040
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03	1.03	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	9.80665	9.80665
鋼板	L ₁	mm	芯材間距離	532	585	545
	t	mm	鋼板の板厚	22	16	16
	Z	mm ³ /m	鋼板の断面係数	80670	42670	42670
芯材	L ₁ '	mm	芯材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	526	565	545
	L ₂	mm	芯材の長さ	965	2230	2229
	Z _f	mm ³	芯材の断面係数	249000	334000	334000
	A _f	mm ²	芯材のせん断断面積	1384	2016	2016
アンカー ボルト	L ₃	mm	防水板の高さ	2092	2390	2296
	L ₄	mm	防水板の幅	965	2455	2345
	N	本	片側* (左右若しくは上下) のアンカーボルトの本数	8	24	16

注記* : 左右若しくは上下でせん断力を受けるアンカーボルトの本数が異なる場合は、検定比が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 3-7(2) 強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				4	5
共通	h	mm	当該防水板の水圧作用高さ	6050	3390
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	9.80665
鋼板	L ₁	mm	芯材間距離	581	570
	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	Z	mm ³ /m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L ₁ '	mm	芯材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	579	570
	L ₂	mm	芯材の長さ	1770	958
	Z _f	mm ³	芯材の断面係数	334000	249000
	A _f	mm ²	芯材のせん断断面積	2016	1384
アンカーボルト	L ₃	mm	防水板の高さ	3080	2374
	L ₄	mm	防水板の幅	1970	990
	N	本	片側* (左右若しくは上下) のアンカーボルトの本数	-	19

注記* : 左右若しくは上下でせん断力を受けるアンカーボルトの本数が異なる場合は、検定比が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 3-7(3) 強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				6	7
共通	h	mm	当該防水板の水圧作用高さ	3180	3180
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	9.80665
鋼板	L ₁	mm	芯材間距離	581	520
	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	Z	mm ³ /m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L ₁ '	mm	芯材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	579	520
	L ₂	mm	芯材の長さ	1770	958
	Z _f	mm ³	芯材の断面係数	249000	249000
	A _f	mm ²	芯材のせん断断面積	1384	1384
アンカーボルト	L ₃	mm	防水板の高さ	3102	2090
	L ₄	mm	防水板の幅	2170	990
	N	本	片側* (左右若しくは上下) のアンカーボルトの本数	-	14

注記* : 左右若しくは上下でせん断力を受けるアンカーボルトの本数が異なる場合は、検定比が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

4. 評価結果

防水板の強度評価結果を表 4-1 に示す。防水板の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、防水板が構造健全性を有することを確認した。

表 4-1(1) 防水板の強度評価結果

防水板 No.	評価対象部位		発生値		許容限界		検定値
			(応力度又は荷重)				
1	鋼板	曲げ	36	N/mm ²	235	N/mm ²	0.16 < 1.0
	芯材	曲げ	20	N/mm ²	233	N/mm ²	0.09 < 1.0
		せん断	15	N/mm ²	135	N/mm ²	0.12 < 1.0
		組合せ	33	N/mm ²	235	N/mm ²	0.15 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	10.2	kN	25.8	kN	0.40 < 1.0
2	鋼板	曲げ	37	N/mm ²	235	N/mm ²	0.16 < 1.0
	芯材	曲げ	39	N/mm ²	232	N/mm ²	0.17 < 1.0
		せん断	12	N/mm ²	135	N/mm ²	0.09 < 1.0
		組合せ	45	N/mm ²	235	N/mm ²	0.20 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	4.5	kN	25.8	kN	0.18 < 1.0
3	鋼板	曲げ	27	N/mm ²	235	N/mm ²	0.12 < 1.0
	芯材	曲げ	32	N/mm ²	232	N/mm ²	0.14 < 1.0
		せん断	10	N/mm ²	135	N/mm ²	0.08 < 1.0
		組合せ	37	N/mm ²	235	N/mm ²	0.16 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	5.2	kN	25.8	kN	0.21 < 1.0
4	鋼板	曲げ	61	N/mm ²	235	N/mm ²	0.26 < 1.0
	芯材	曲げ	42	N/mm ²	228	N/mm ²	0.19 < 1.0
		せん断	16	N/mm ²	135	N/mm ²	0.12 < 1.0
		組合せ	51	N/mm ²	235	N/mm ²	0.22 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	-	kN	-	kN	-

表 4-1(2) 防水板の強度評価結果

防水板 No.	評価対象部位		発生値		許容限界		検定値
			(応力度又は荷重)				
5	鋼板	曲げ	33	N/mm ²	235	N/mm ²	0.15 < 1.0
	芯材	曲げ	9	N/mm ²	233	N/mm ²	0.04 < 1.0
		せん断	7	N/mm ²	135	N/mm ²	0.06 < 1.0
		組合せ	16	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	2.2	kN	25.8	kN	0.09 < 1.0
6	鋼板	曲げ	32	N/mm ²	235	N/mm ²	0.14 < 1.0
	芯材	曲げ	30	N/mm ²	229	N/mm ²	0.14 < 1.0
		せん断	12	N/mm ²	135	N/mm ²	0.09 < 1.0
		組合せ	37	N/mm ²	235	N/mm ²	0.16 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	-	kN	-	kN	-
7	鋼板	曲げ	26	N/mm ²	235	N/mm ²	0.12 < 1.0
	芯材	曲げ	8	N/mm ²	233	N/mm ²	0.04 < 1.0
		せん断	6	N/mm ²	135	N/mm ²	0.05 < 1.0
		組合せ	14	N/mm ²	235	N/mm ²	0.06 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	2.4	kN	25.8	kN	0.10 < 1.0