

VI-3-別添 3-2-4 屋外排水路逆止弁の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	14
2.3	評価方針	23
2.4	適用規格・基準等	25
2.5	記号の説明	26
3.	評価対象部位	28
4.	構造強度評価	30
4.1	構造強度評価方法	30
4.2	荷重及び荷重の組合せ	30
4.2.1	荷重の設定	30
4.2.2	荷重の組合せ	30
4.3	許容限界	32
4.4	計算方法	34
4.4.1	屋外排水路逆止弁①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑨, ⑬	34
4.4.2	屋外排水路逆止弁⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫	40
4.5	計算条件	43
5.	評価結果	48
6.	集水樹の強度評価	52
6.1	集水樹の構造概要	52
6.2	評価方針	65
6.2.1	集水樹（防波壁部）	65
6.2.2	集水樹（改良地盤部）	68
6.3	適用規格・基準等	70
7.	集水樹の強度評価方法	71
7.1	評価対象部位	71
7.1.1	集水樹（防波壁部）	71
7.1.2	集水樹（改良地盤部）	71
7.2	荷重及び荷重の組合せ	71
7.2.1	荷重	71
7.2.2	荷重の組合せ	71
7.3	許容限界	73
7.3.1	集水樹	73

7.3.2	アンカー筋	73
7.3.3	接合鉄筋	74
7.3.4	基礎地盤の支持性能	74
7.3.5	集水桝蓋	75
7.3.6	アンカーボルト（集水桝蓋）	75
7.4	評価方法	76
7.4.1	集水桝（防波壁部）	76
7.4.2	集水桝（改良地盤部）	78
7.4.3	集水桝蓋の評価	79
7.4.4	アンカーボルト（集水桝蓋）の評価	80
7.5	使用材料及び材料の物性値	81
8.	集水桝の強度評価結果	82
8.1	集水桝の曲げ軸力評価結果	82
8.2	集水桝のせん断力評価結果	95
8.3	アンカー筋の支持性能評価結果	97
8.4	接合鉄筋の支持性能評価結果	99
8.5	基礎地盤の支持性能評価結果	99
8.6	集水桝蓋の応力評価結果	100
8.7	アンカーボルト（集水桝蓋）の引張力評価結果	101

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示すとおり、屋外排水路逆止弁が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持することを確認するものである。また、屋外排水路逆止弁が設置される集水柵は耐震重要度分類Sクラスの間接支持構造物としての機能が要求されることから、津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、構成する部材がおおむね弾性範囲にとどまることを確認するため、構造部材の健全性評価及び支持性能評価を行う。

2. 一般事項

2.1 配置概要

屋外排水路逆止弁の設置位置図を図 2-1 に、設置状況一覧を表 2-1 に、構造概要図を図 2-2～図 2-11 に示す。

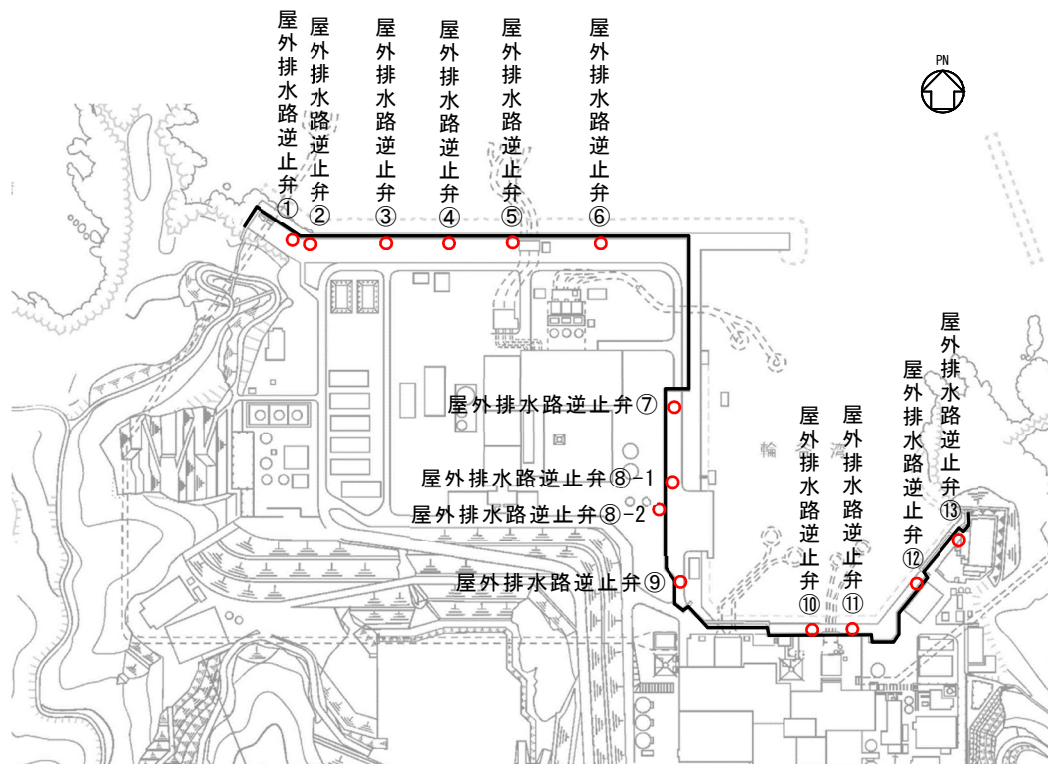


図 2-1 屋外排水路逆止弁の設置位置

表 2-1 屋外排水路逆止弁の設置状況一覧

設備名称	構造	逆止弁の設置状況	集水柵の支持機構	
屋外排水路逆止弁①	鋼製	防波壁の敷地側の集水柵（地中）内に設置	防波壁が支持	
屋外排水路逆止弁②				
屋外排水路逆止弁③				
屋外排水路逆止弁④				
屋外排水路逆止弁⑤				
屋外排水路逆止弁⑥				
屋外排水路逆止弁⑦				
屋外排水路逆止弁⑧-1		防波壁の海側の集水柵（地中）内に設置	改良地盤が支持	
屋外排水路逆止弁⑧-2		防波壁の敷地側の集水柵（地中）内に設置		
屋外排水路逆止弁⑨			防波壁の海側の集水柵（地中）内に設置	防波壁が支持
屋外排水路逆止弁⑩				
屋外排水路逆止弁⑪				
屋外排水路逆止弁⑫				
屋外排水路逆止弁⑬	防波壁の敷地側の集水柵（地中）内に設置			

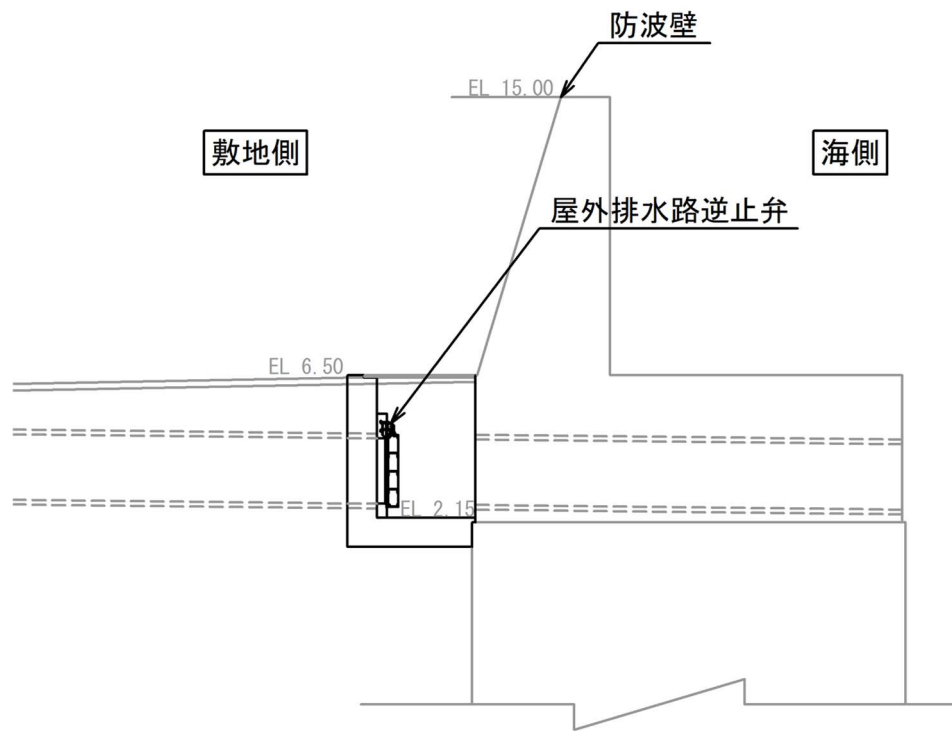


図 2-2 (1) 屋外排水路逆止弁①断面図

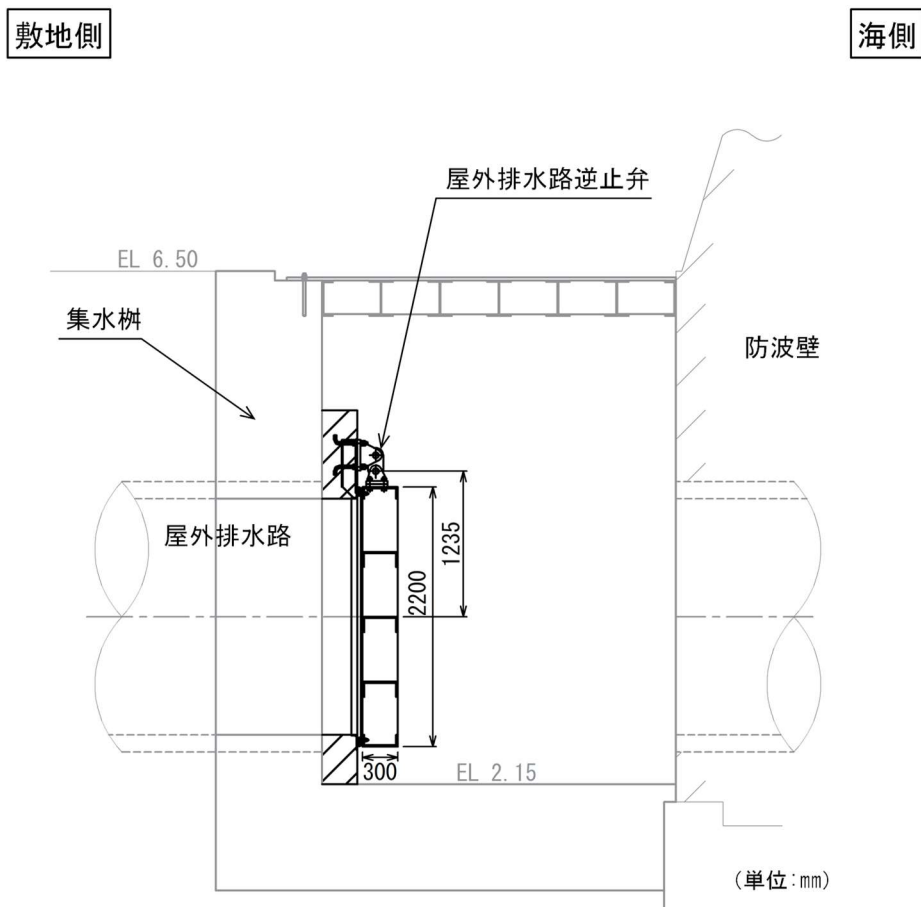


図 2-2 (2) 屋外排水路逆止弁①の構造概要図

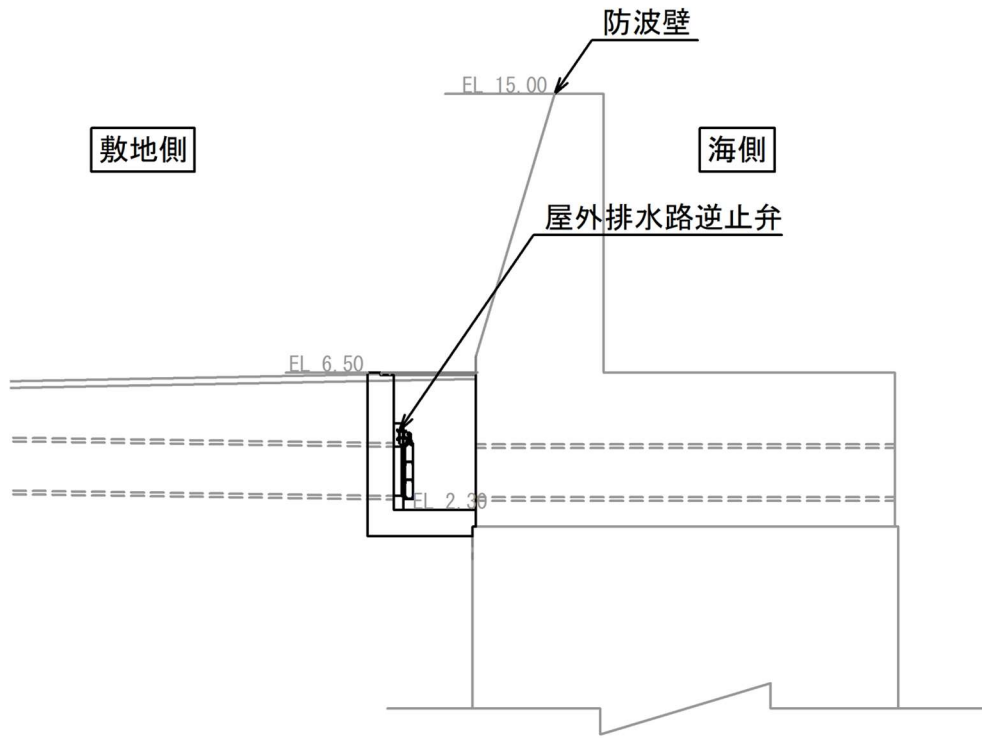


図 2-3 (1) 屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥断面図

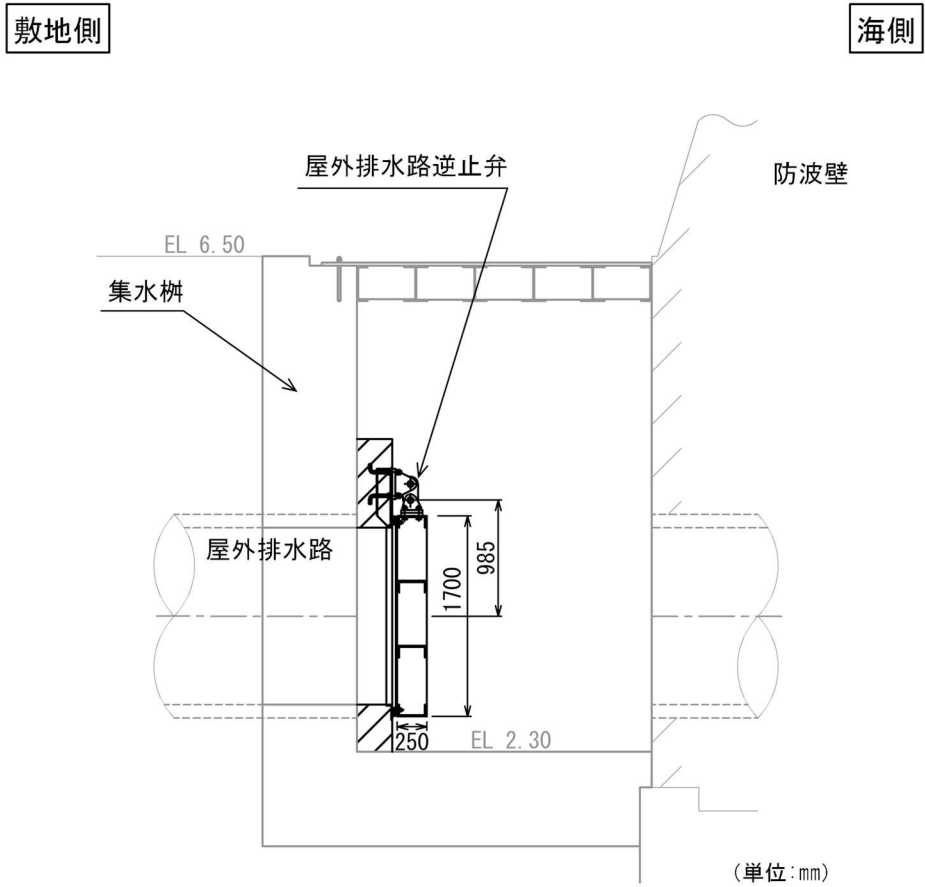


図 2-3 (2) 屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥の構造概要図

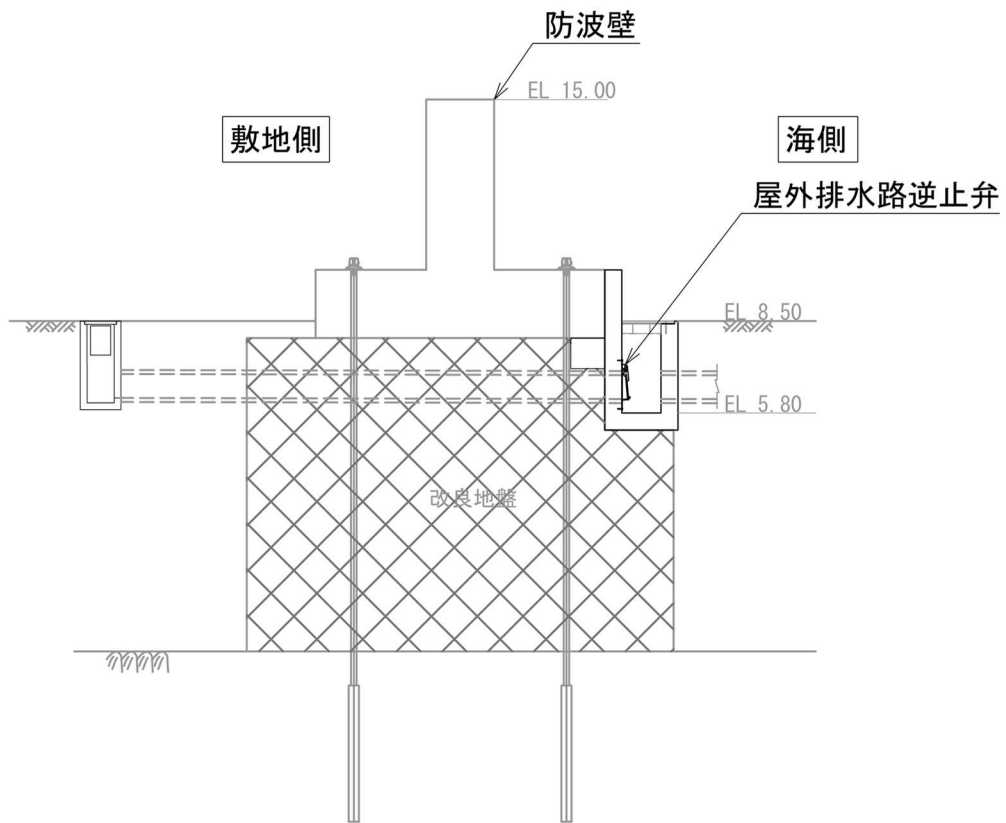
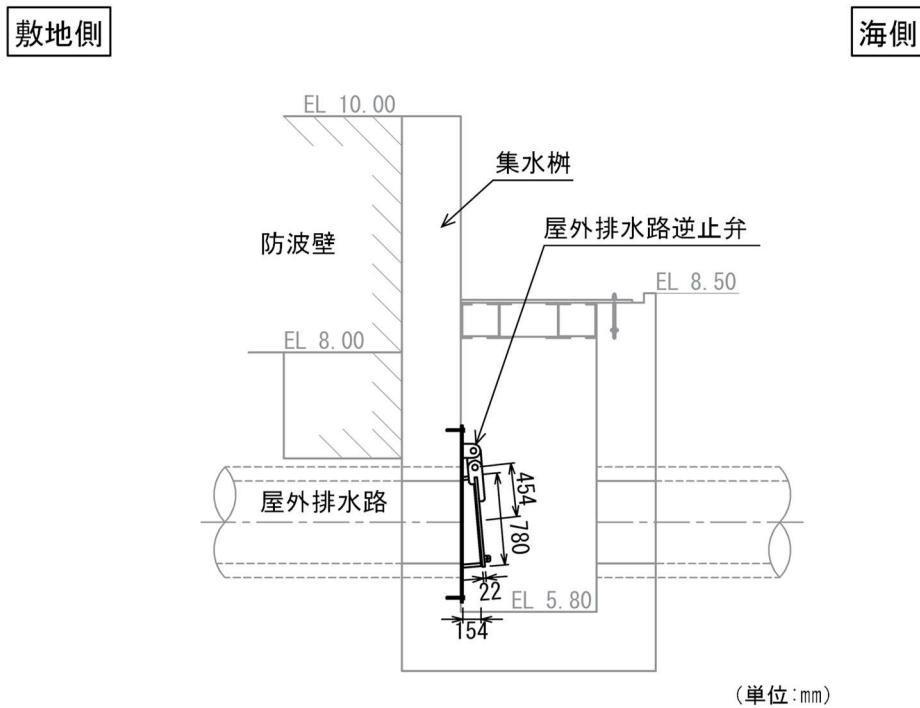


図 2-4(1) 屋外排水路逆止弁⑦断面図



(単位:mm)

注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.00 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 2-4(2) 屋外排水路逆止弁⑦の構造概要図

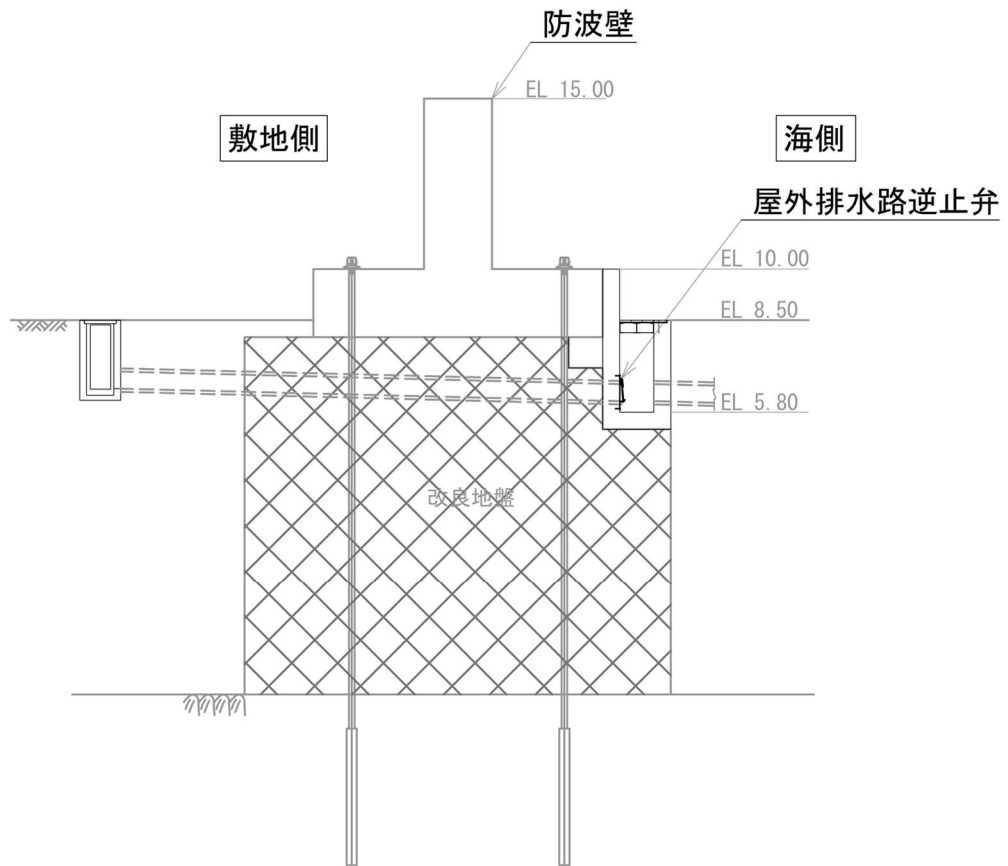
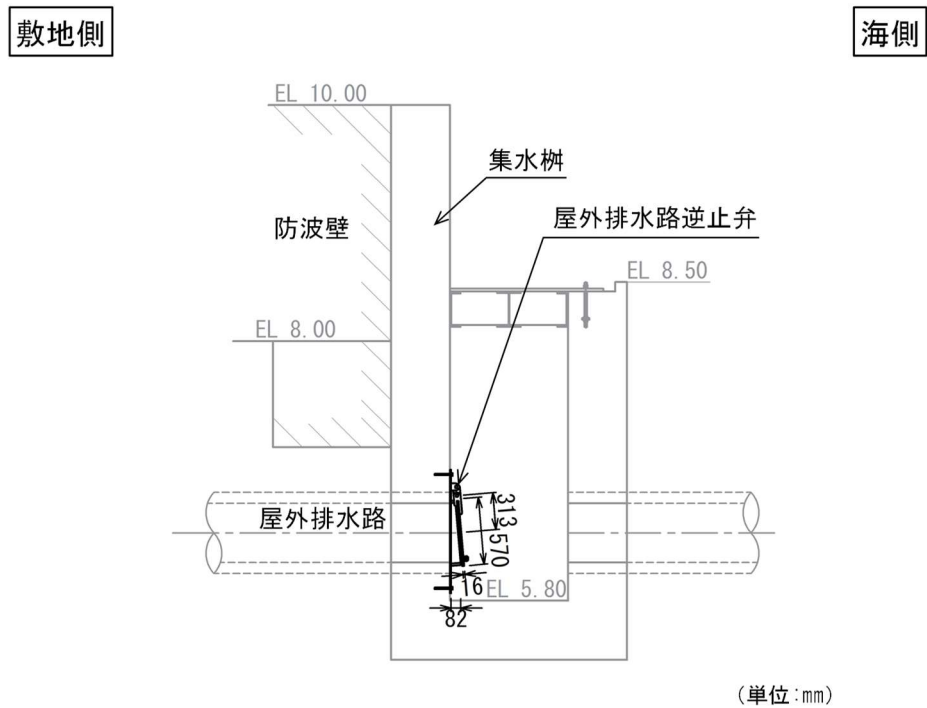


図 2-5 (1) 屋外排水路逆止弁⑧-1 断面図



注：集水桝のアンカー筋固定のため EL 8.00 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 2-5 (2) 屋外排水路逆止弁⑧-1 の構造概要図

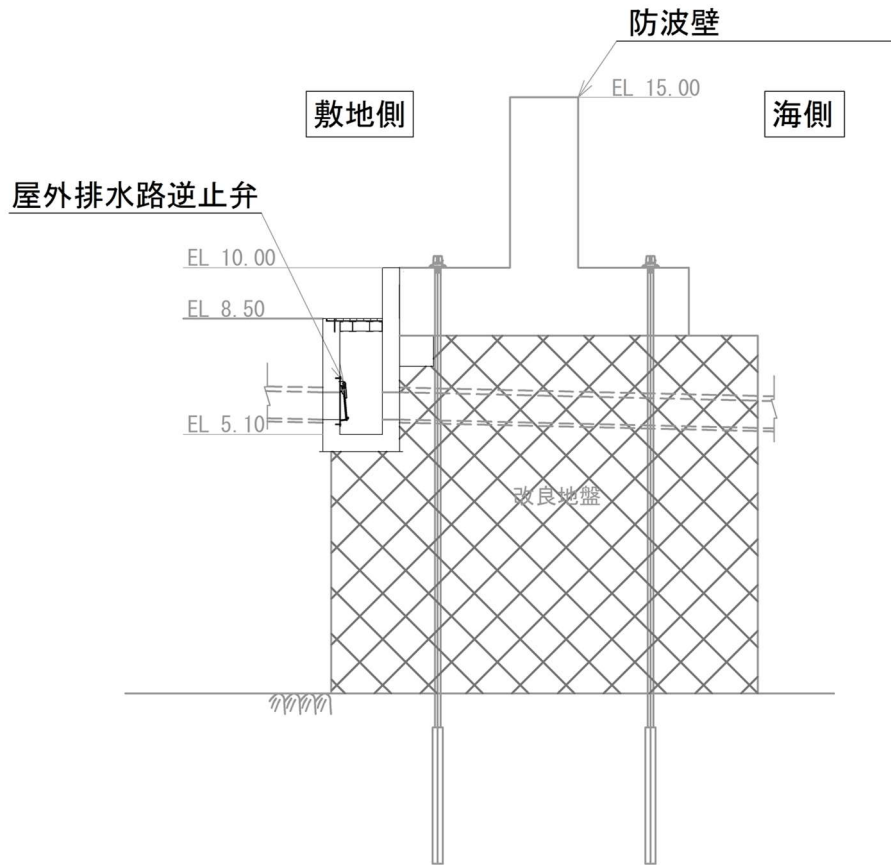
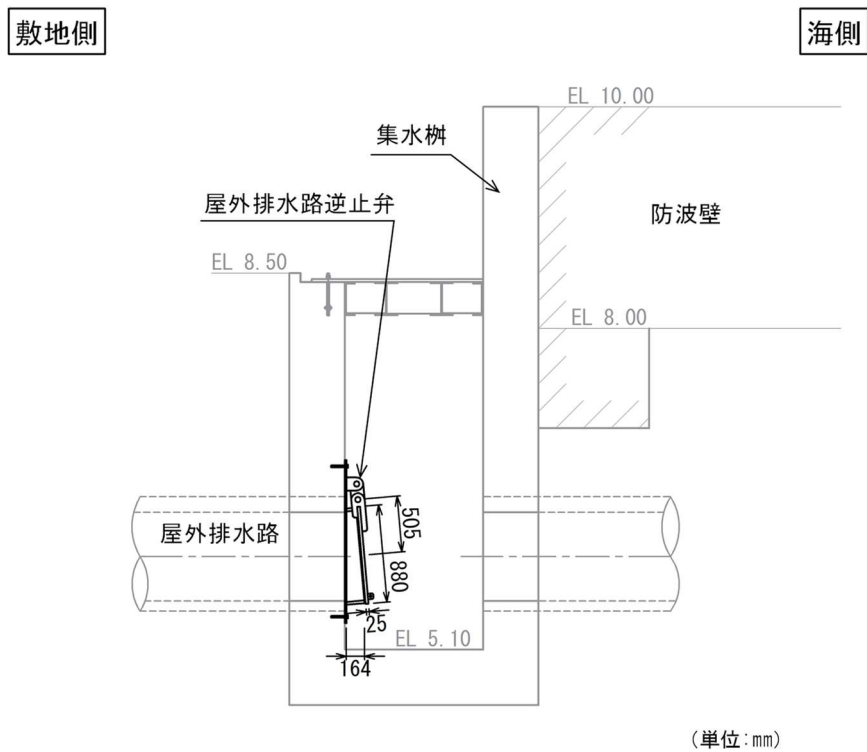


図 2-6 (1) 屋外排水路逆止弁⑧-2 断面図



注：集水桝のアンカー筋固定のため EL 8.00 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 2-6 (2) 屋外排水路逆止弁⑧-2 の構造概要図

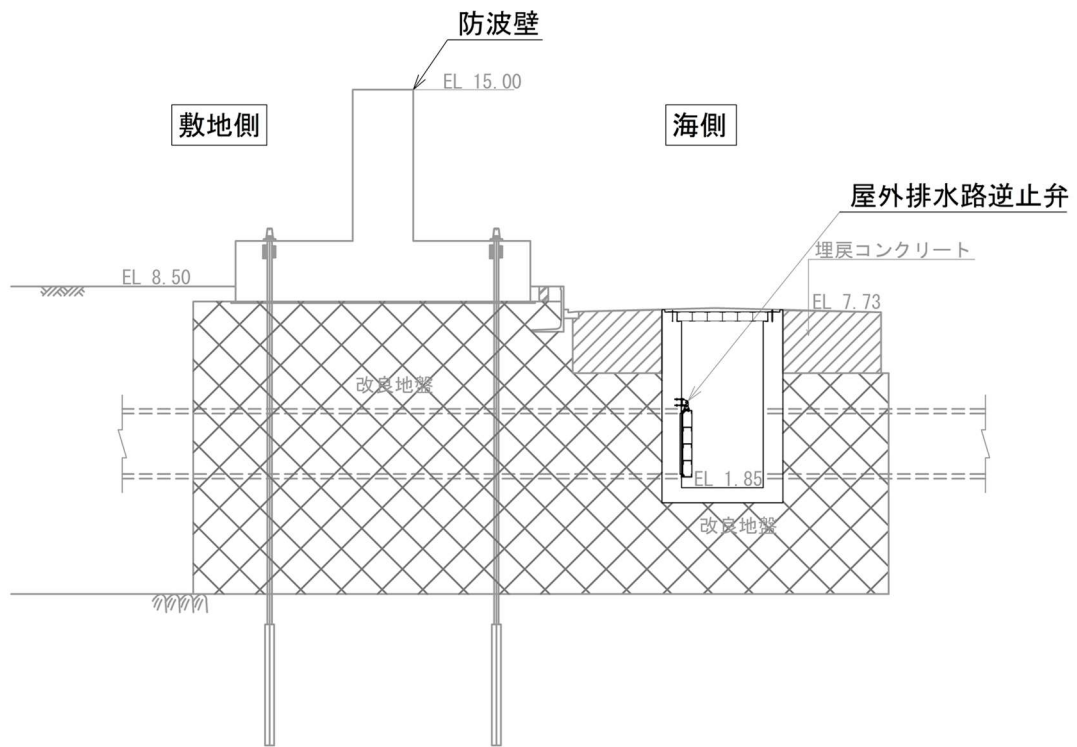


図 2-7 (1) 屋外排水路逆止弁⑨断面図

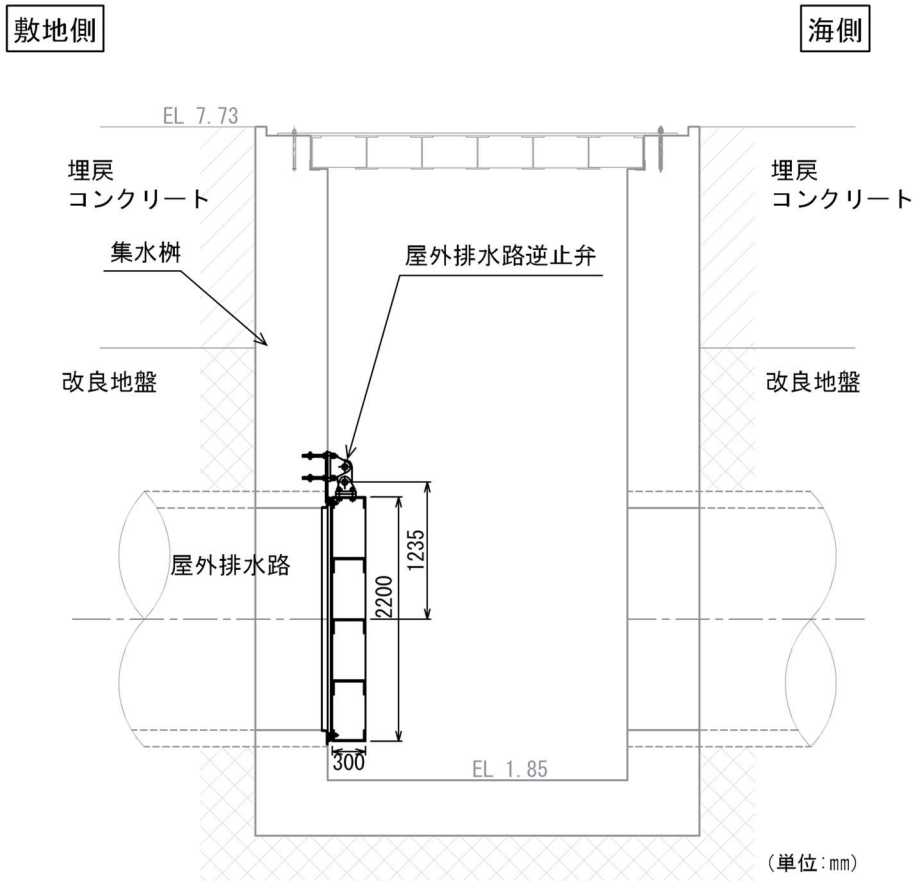


図 2-7 (2) 屋外排水路逆止弁⑨の構造概要図

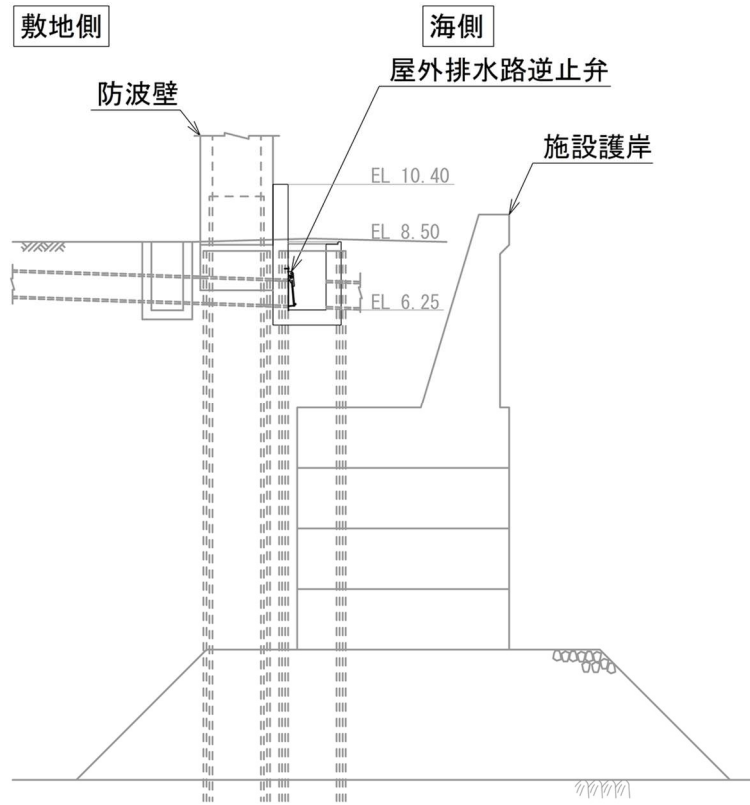
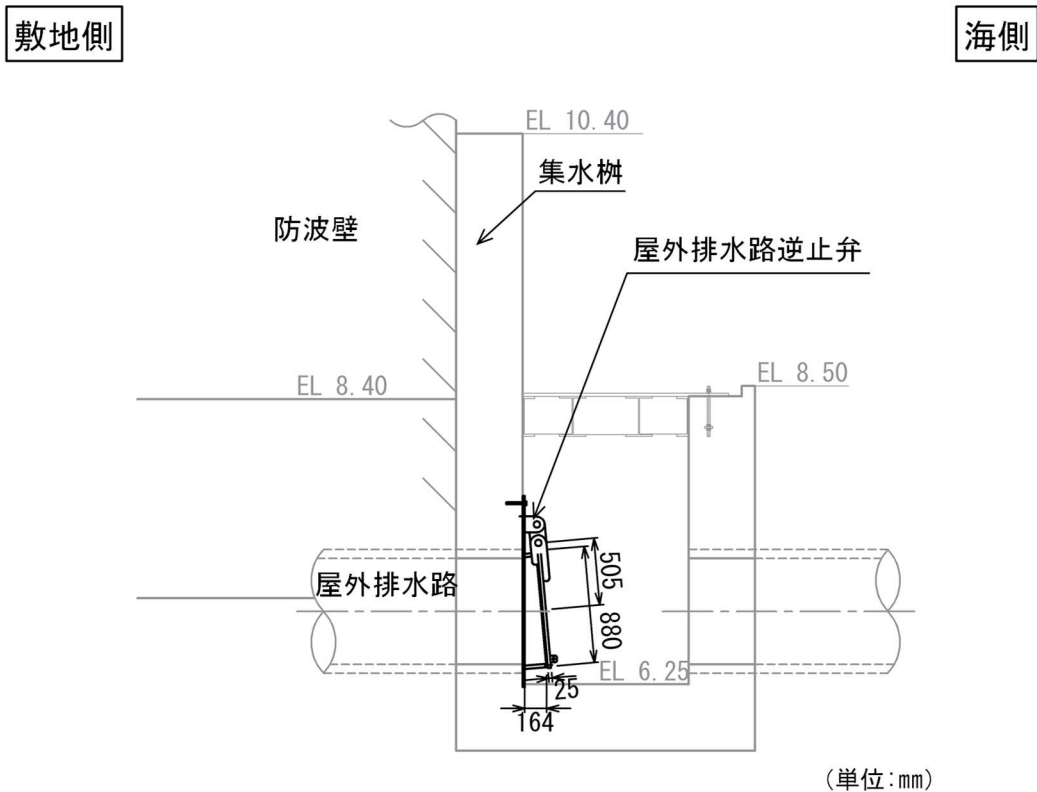


図 2-8 (1) 屋外排水路逆止弁⑩断面図



注：集水枳のアンカー筋固定のため EL 8.40 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 2-8 (2) 屋外排水路逆止弁⑩の構造概要図

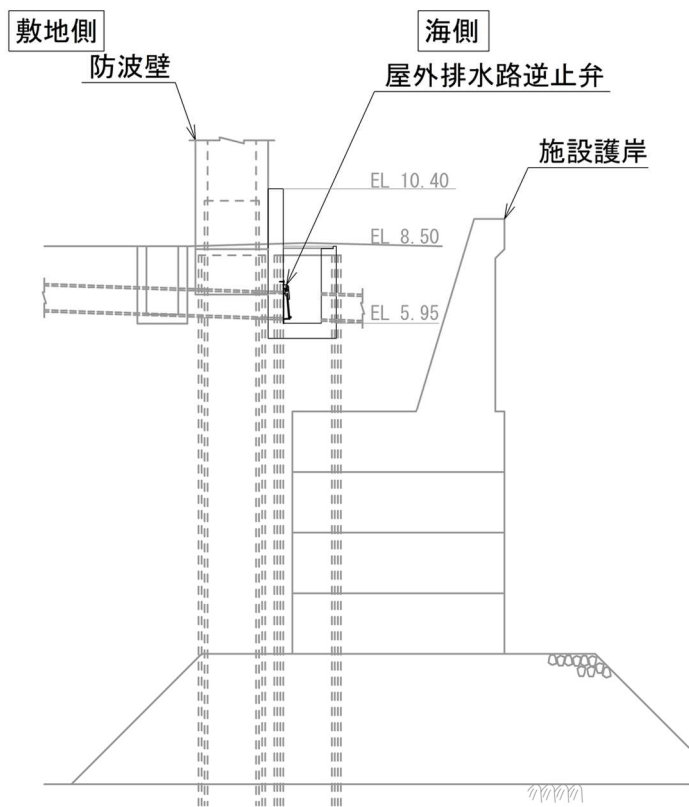
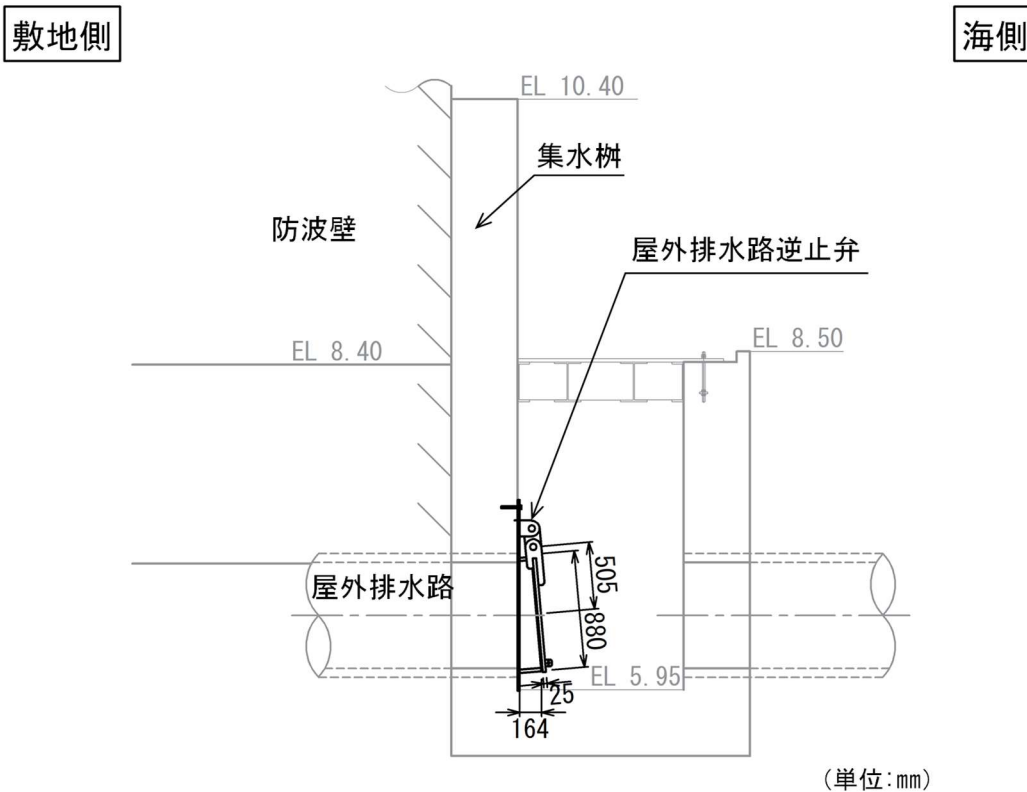


図 2-9 (1) 屋外排水路逆止弁①断面図



(単位:mm)

注：集水桝のアンカー筋固定のため EL 8.40 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 2-9 (2) 屋外排水路逆止弁①の構造概要図

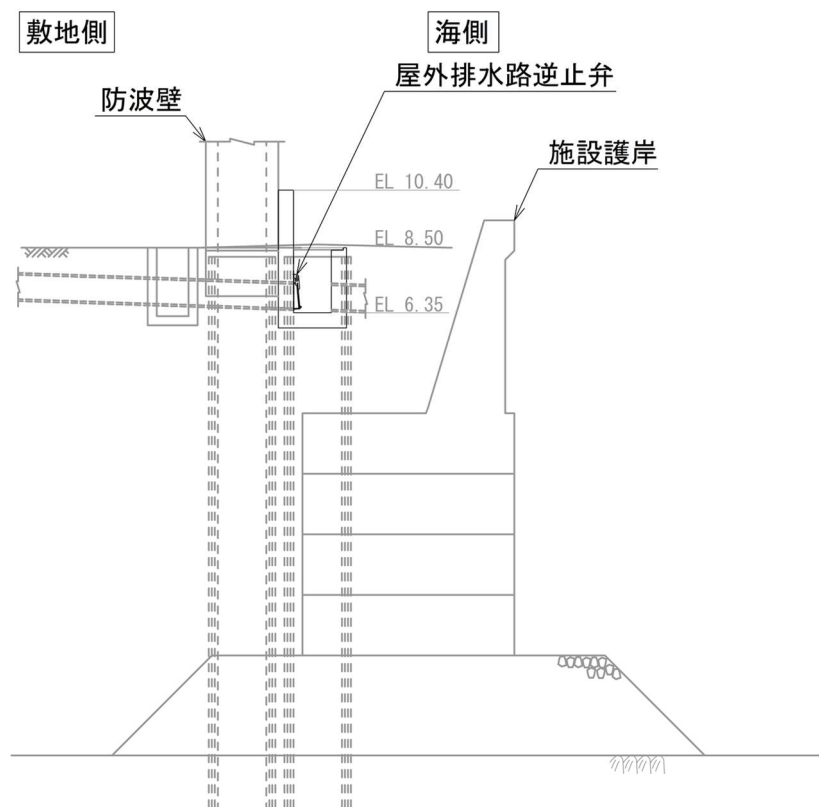
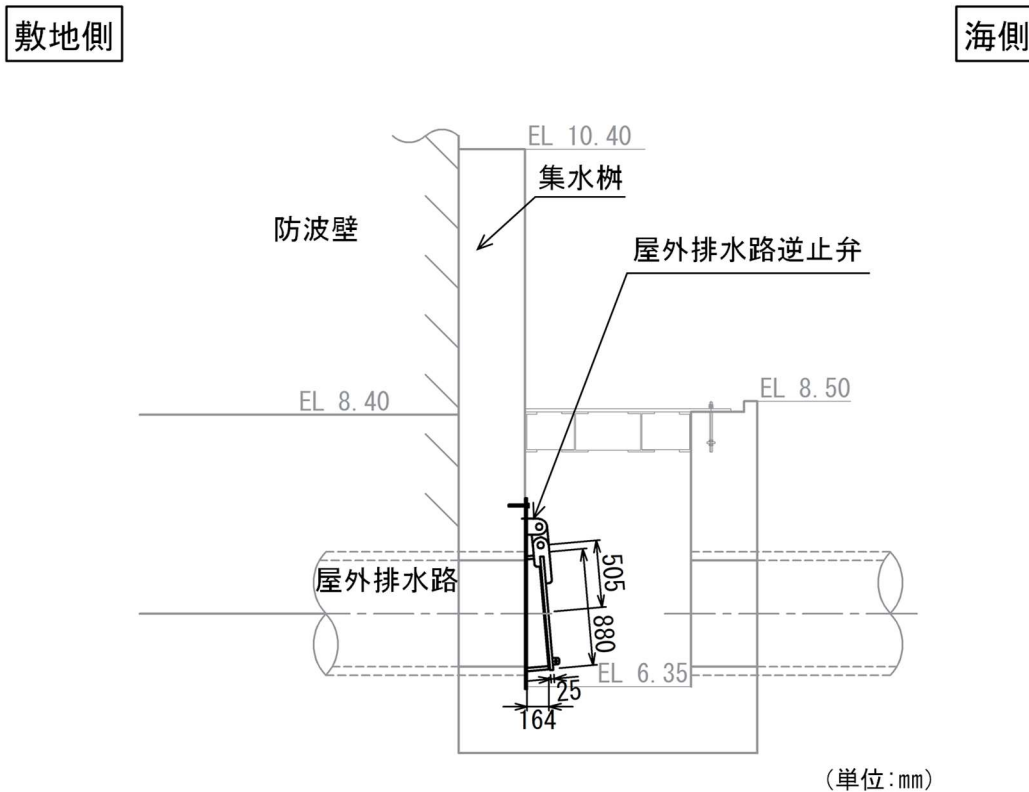


図 2-10 (1) 屋外排水路逆止弁⑫断面図



(単位: mm)

注: 集水枳のアンカー筋固定のため EL 8.40 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 2-10 (2) 屋外排水路逆止弁⑫の構造概要図

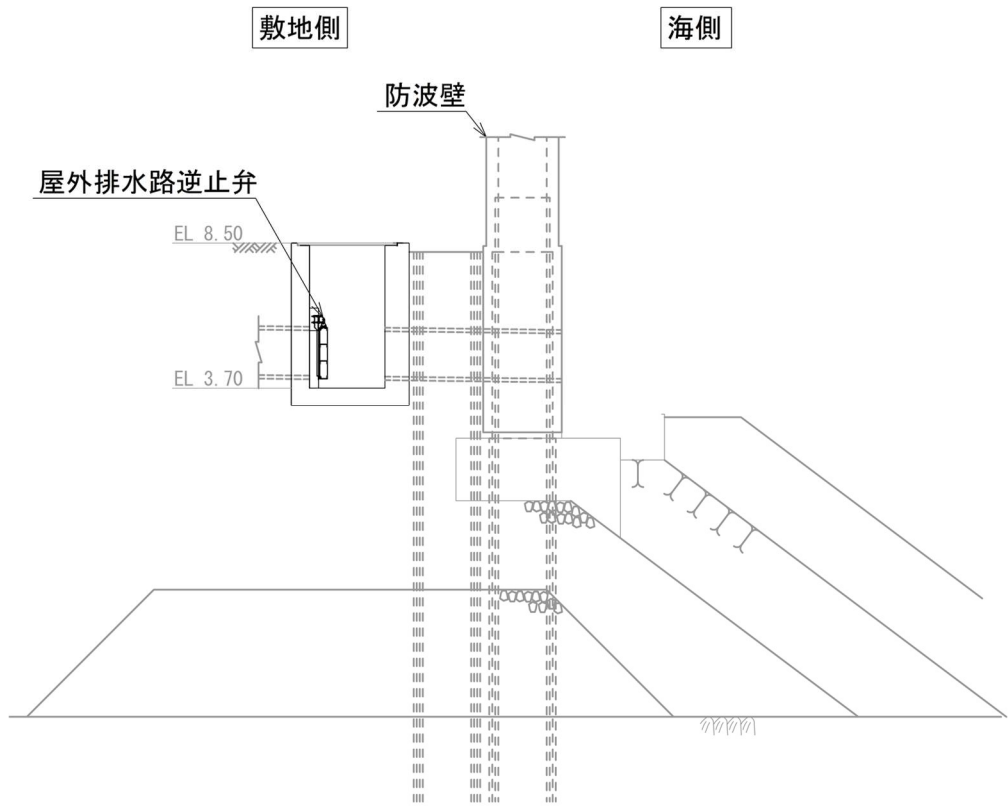
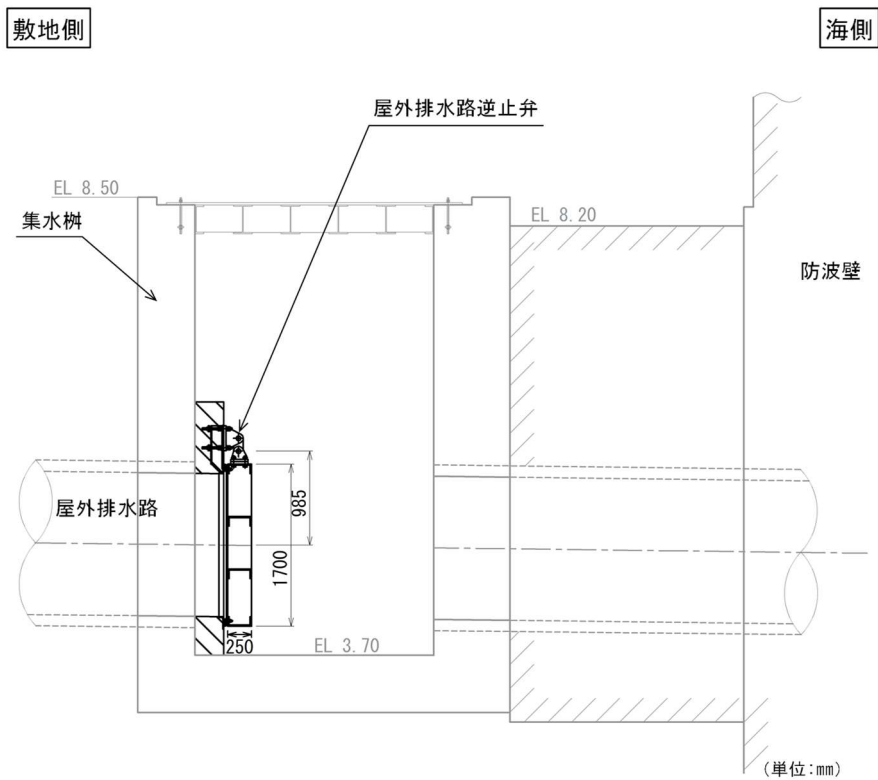


図 2-11 (1) 屋外排水路逆止弁⑬断面図



注：集水柵のアンカー筋固定のため側方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 2-11 (2) 屋外排水路逆止弁⑬の構造概要図

2.2 構造計画

屋外排水路逆止弁の構造は、鋼製の扉体（スキンプレート、吊り金具及び吊りピン）、固定部（吊り金具、吊りピン、戸当り、集水柵（戸当り部コンクリート）及びアンカーボルト）、及びそれらを接続する吊り手で構成される。屋外排水路逆止弁は、アンカーボルトで鉄筋コンクリート造の集水柵に固定し、屋外排水路を経路とした津波の流入を防止する。

なお、屋外排水路逆止弁①、②、③、④、⑤、⑥、⑨及び⑬については、スキンプレートを主桁及び補助縦桁で補強する構造とする。

屋外排水路逆止弁の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) 構造計画 (屋外排水路逆止弁①)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレートを吊り手, 吊りピン, 吊り金具及びアンカーボルトを介して集水枥に固定する。なお, スキンプレートは, 主桁及び補助縦桁で補強する。	スキンプレートにより構成する。	

表 2-2(2) 構造計画 (屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレートを吊り手, 吊りピン, 吊り金具及びアンカーボルトを介して集水桝に固定する。なお, スキンプレートは, 主桁及び補助縦桁で補強する。	スキンプレートにより構成する。	

表 2-2(3) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑦)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレート を吊り手, 吊り ピン, 吊り金具 及びアンカーボ ルトを介して集 水枘に固定す る。	スキンプレート により構成す る。	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位:mm)</p>

表 2-2(4) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑧-1)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレート を吊り手, 吊り ピン, 吊り金具 及びアンカーボ ルトを介して集 水柵に固定す る。	スキンプレート により構成す る。	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位:mm)</p>

表 2-2(5) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑧-2)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレー を吊り手, 吊り ピン, 吊り金具 及びアンカーボ ルトを介して集 水桝に固定す る。	スキンプレー により構成す る。	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位:mm)</p>

表 2-2(6) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑨)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレートを吊り手、吊りピン、吊り金具及びアンカーボルトを介して集水枥に固定する。なお、スキンプレートは、主桁及び補助縦桁で補強する。	スキンプレートにより構成する。	

表 2-2(7) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレーートを吊り手, 吊りピン, 吊り金具及びアンカーボルトを介して集水枥に固定する。	スキンプレーートにより構成する。	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位:mm)</p>

表 2-2(8) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑬)

構造の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
スキンプレート を吊り手, 吊り ピン, 吊り金具 及びアンカーボ ルトを介して集 水桝に固定す る。なお, スキ ンプレートは, 主桁及び補助縦 桁で補強する。	スキンプレート により構成す る。	<p>正面図</p> <p>側面図 (単位:mm)</p>

2.3 評価方針

屋外排水路逆止弁の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」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、屋外排水路逆止弁の評価部位に作用する応力が許容限界以下であることを「4. 構造強度評価」に示す方法により、「4.5 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、「5. 評価結果」にて確認する。

屋外排水路逆止弁の強度評価フローを図 2-12 に示す。屋外排水路逆止弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時を考慮し、最大荷重を設定する。

島根原子力発電所の耐津波設計においては、日本海東縁部を波源とする基準津波については、波源が敷地から遠く、余震の影響が明らかに小さいことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する必要はないこととしており、海域活断層を波源とする津波については、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する。

強度評価に用いる津波荷重としては、日本海東縁部による設計津波水位（EL 12.6m）の津波荷重が、海域活断層による設計津波水位（EL 4.9m）の津波荷重と余震との重畳を考慮した荷重を包含することから、最大荷重となる日本海東縁部の入力津波高さによる津波荷重を考慮した評価を実施する。

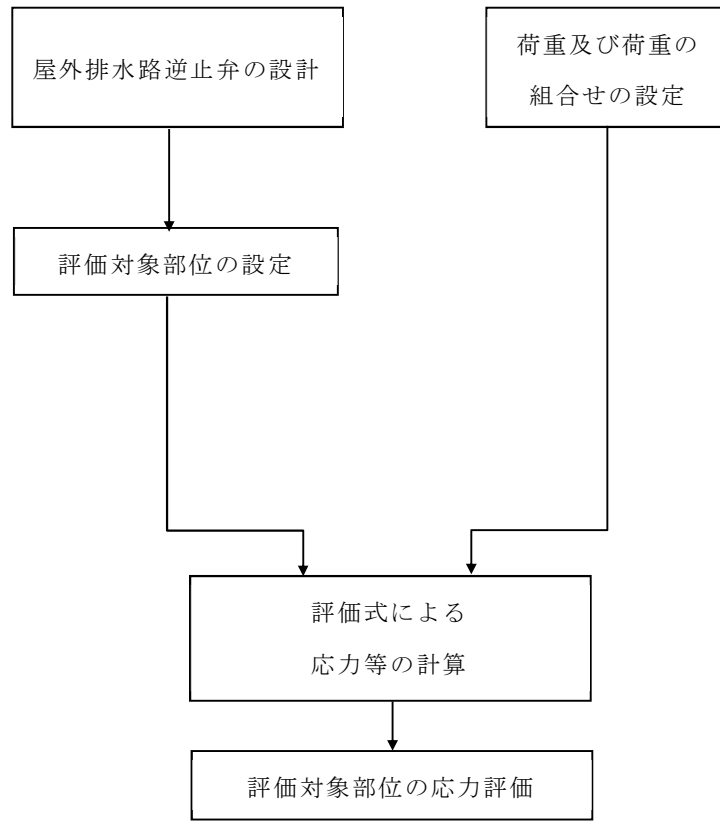


図 2-12 屋外排水路逆止弁の強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本工業規格 J I S G 4 0 5 3 -2008 機械構造用合金鋼鋼材
- (2) ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）
- (3) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）
- (4) 機械工学便覧（（社）日本機械学会）
- (5) 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）

2.5 記号の説明

屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
σ_{\max}	N/mm ²	スキンプレートの最大応力度
P	N/mm ²	作用単位荷重
D	mm	スキンプレートの受水径
t	mm	スキンプレートの板厚
σ	N/mm ²	戸当りの支圧応力度
P_1	N	戸当りへ作用する荷重
b_w	mm	戸当りの幅
σ_c	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度
b_f	mm	コンクリート支圧幅
τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度
L_1	mm	屋外排水路内径より戸当りアンカー板端面までの距離
σ_s	N/mm ²	スキンプレートの応力度
a	mm	スキンプレートの区画の短辺
b	mm	スキンプレートの区画の長辺
k	—	b/a による形状係数
p	N/mm ²	作用水圧荷重
t_s	mm	スキンプレートの板厚
α	—	応力の補正係数
M_G	N・mm	主桁に作用する曲げモーメント
S_G	N	主桁に作用するせん断力
W	kN/m	主桁の分担荷重
L	mm	主桁の支点間隔
B	mm	扉体の受圧幅
σ_G	N/mm ²	主桁の曲げ応力度
Z_g	mm ³	主桁の断面係数
τ_G	N/mm ²	主桁のせん断応力度
A_g	mm ²	主桁のウェブ断面積
σ_g	N/mm ²	主桁の合成応力度

表 2-3 屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
M_I	$N \cdot mm$	補助縦桁に作用する曲げモーメント
L_i	mm	主桁間隔
b_i	mm	補助縦桁間隔
S_I	N	補助縦桁に作用するせん断力
σ_{Ix}	N/mm^2	補助縦桁の曲げ応力度 (引張)
Z_{Ix}	mm^3	補助縦桁の断面係数 (引張)
σ_{Iy}	N/mm^2	補助縦桁の曲げ応力度 (圧縮)
Z_{Iy}	mm^3	補助縦桁の断面係数 (圧縮)
τ_I	N/mm^2	補助縦桁のせん断応力度
A_i	mm^2	補助縦桁のウェブ断面積
σ_i	N/mm^2	補助縦桁の合成応力度
σ_I	N/mm^2	補助縦桁の曲げ応力度 (引張と圧縮) の最大値
p_1	N/mm^2	扉体最下部作用荷重
b_k	mm	底面フランジの幅
$L_{\theta 1}$	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ
$L_{\theta 2}$	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ

3. 評価対象部位

屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥，⑨，⑬は，鋼製の扉体（スキンプレート，主桁，補助縦桁，吊り手，吊りピン及び吊り金具），固定部（吊り手，吊りピン，吊り金具，戸当り及びアンカーボルト）で，屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2，⑩，⑪，⑫は，鋼製の扉体（スキンプレート，吊り金具及び吊りピン），固定部（吊り金具，吊りピン，戸当り，集水枳（戸当り部コンクリート）及びアンカーボルト），及びそれらを接続する吊り手で構成される。

津波による荷重の作用時には屋外排水路逆止弁は外水圧により閉じる構造となっており，吊り金具，吊り手，吊りピン，及びアンカーボルトには津波荷重による引張荷重は作用しない。

上記を踏まえ，屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥，⑨，⑬の強度評価においては，スキンプレート，集水枳（戸当り部コンクリート），主桁及び補助縦桁を評価対象部位に選定する。屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2，⑩，⑪，⑫の強度評価においては，スキンプレート，戸当り，集水枳（戸当り部コンクリート）を評価対象部位に選定する。

屋外排水路逆止弁の評価対象部位を図 3-1 に示す。

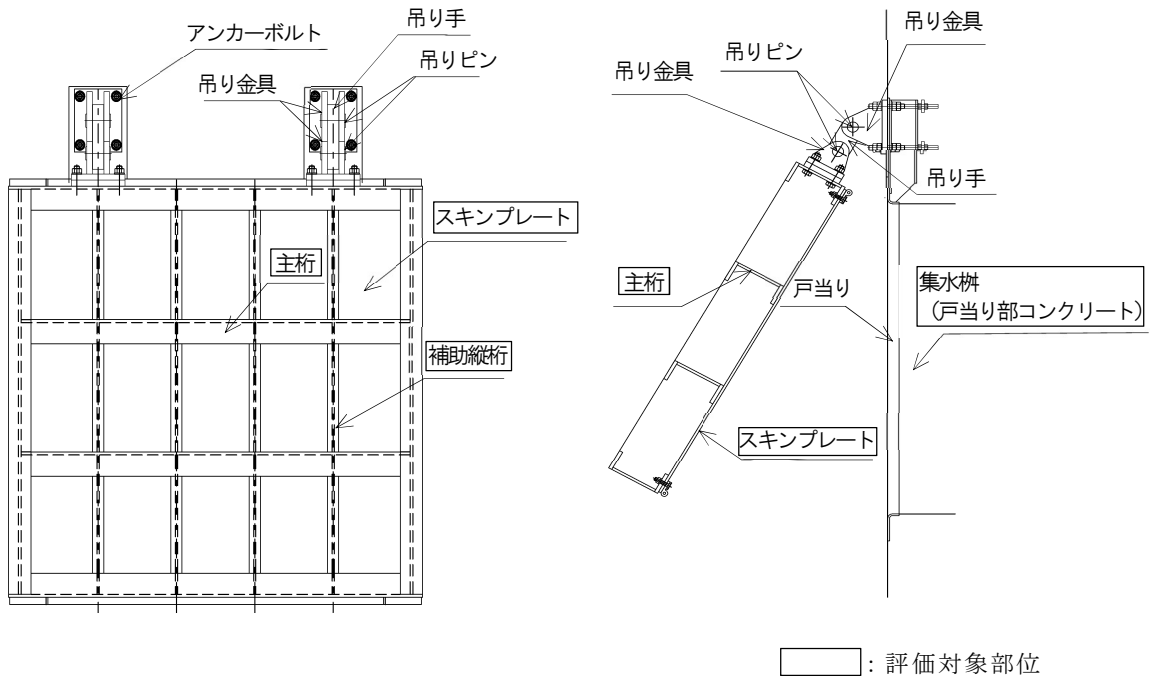


図 3-1(1) 屋外排水路逆止弁の評価対象部位（①，②，③，④，⑤，⑥，⑨，⑬）

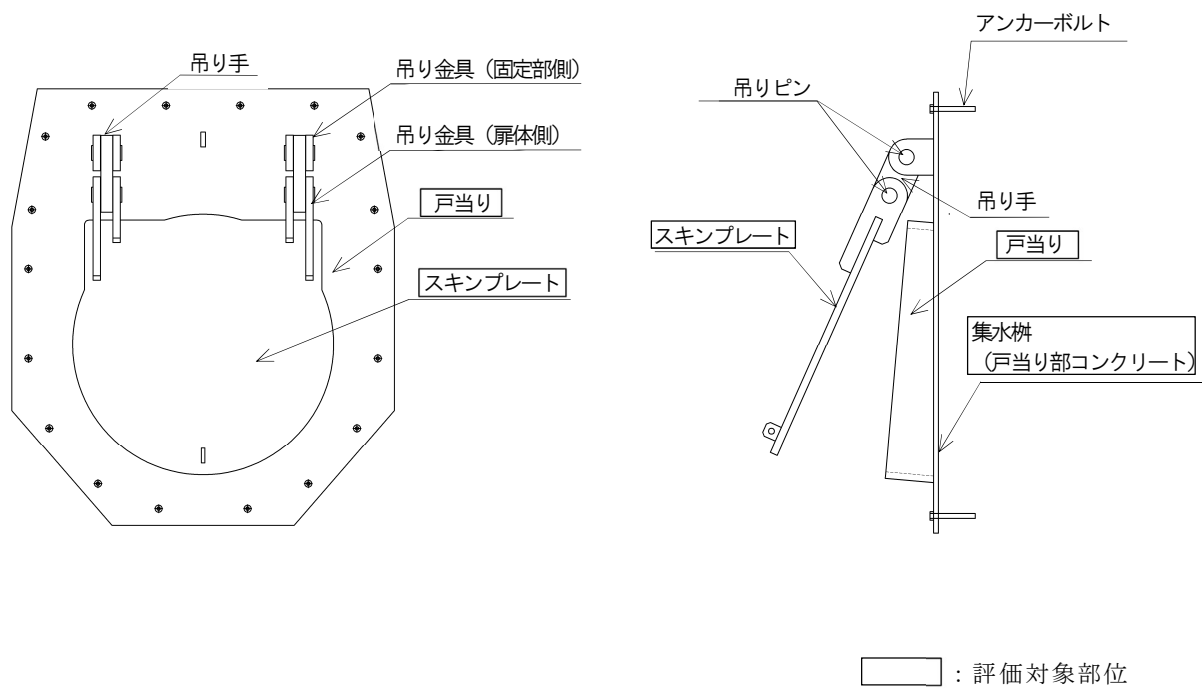


図 3-1(2) 屋外排水路逆止弁の評価対象部位 (⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫)

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆止弁の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」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「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」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。

4.2.1 荷重の設定

屋外排水路逆止弁の強度評価において考慮する荷重を以下に示す。その構造及び設置位置から風荷重及び積雪荷重の影響は考慮しない。

また、屋外排水路から流下する排水による水圧作用方向は扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しないこととする。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

(2) 津波荷重 (P_h)

津波荷重として、屋外排水路逆止弁の設置位置における設置高さ及び浸水深さを考慮して静水圧荷重を算定する。

4.2.2 荷重の組合せ

屋外排水路逆止弁の設計に考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1(1) 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P_h$

G : 固定荷重

P_h : 津波荷重

表 4-1(2) 荷重の組合せ (詳細)

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	常時考 慮荷重	逆止弁自重	○	設計図書に基づいて、逆止弁の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	—	積載荷重は考慮しない。
	静止土圧		—	静止土圧は考慮しない。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		—	積雪荷重は考慮しない。
	風荷重		—	風荷重は考慮しない。
偶発 荷重	静水圧		○	津波時の浸水深さによる静水圧を考慮する。
	衝突荷重		—	漂流物の衝突は考慮しない。

4.3 許容限界

屋外排水路逆止弁の各評価対象部位の許容限界は、評価対象部位毎に「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成28年3月）」に規定される短期許容応力度を用いる。

屋外排水路逆止弁の許容限界を表4-2に示す。

なお、津波後の再使用性を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、評価対象部位が弾性域内に収まることを基本とする。

表4-2(1) 屋外排水路逆止弁の許容限界
(屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥，⑨，⑬)

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)				
		曲げ σ_{ab}^{*1}	引張 σ_{at}^{*1}	せん断 τ_a^{*1}	圧縮 σ_{as}^{*1}	合成
スキンプレート	SUS316L	135	-	-	-	-
主桁	SUS316L	135	-	75	-	148.5
補助縦桁*2 [屋外排水路逆止弁 (①，⑨)]	SUS316L	135	135	75	117.5	148.5
補助縦桁*2 [屋外排水路逆止弁 (②，③，④，⑤， ⑥，⑬)]					116.1	
集水桁（戸当り部 コンクリート）	コンクリート	-	-	0.6	8.8	-

注記*1： σ_{ab} ：短期許容曲げ応力度， σ_{at} ：短期許容引張応力度， τ_a ：短期許容せん断応力度， σ_{as} ：短期許容支圧応力度を示す。

*2：主桁及び補助縦桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成28年3月）」に基づき，許容曲げ応力度横倒れ座屈に対する配慮として許容応力の低減を考慮する。

表 4-2(2) 屋外排水路逆止弁の許容限界
 (屋外排水路逆止弁⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫)

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)			
		曲げ σ_{ab}^*	引張 σ_{at}^*	せん断 τ_a^*	支圧 σ_{as}^*
スキンプレート	SUS316L	135	-	-	-
戸当り	SUS316L	-	-	-	202.5
集水枒 (戸当り部 コンクリート)	コンクリート	-	-	0.6	8.8

注記* : σ_{ab} : 短期許容曲げ応力度, σ_{at} : 短期許容引張応力度, τ_a : 短期許容せん断応力度,
 σ_{as} : 短期許容支圧応力度を示す。

4.4 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

4.4.1 屋外排水路逆止弁①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑨, ⑬

(1) スキンプレート

スキンプレートに発生する曲げモーメントは、4辺を固定支持された平板としてモデル化し、曲げ応力を算定する。

スキンプレートのモデル図を図4-1に示す。

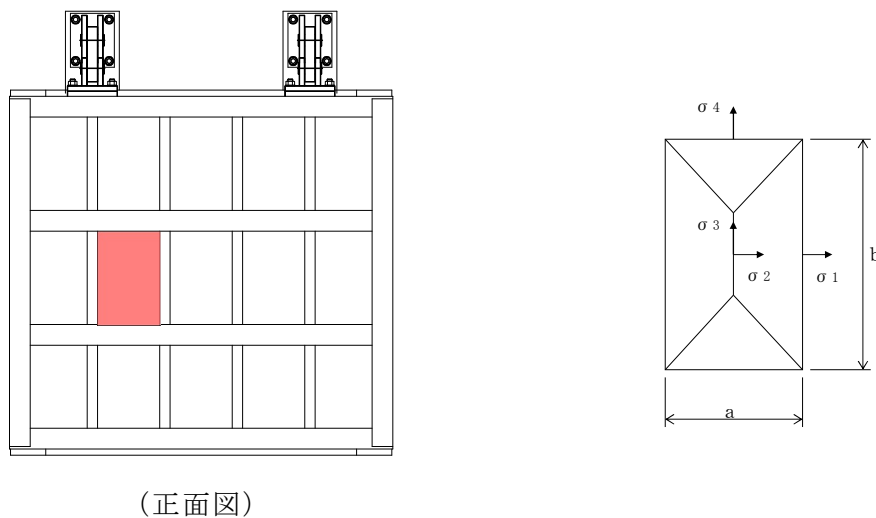


図4-1 スキンプレートのモデル図

スキンプレートの最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma_s = \frac{1}{100} \cdot k \cdot a^2 \cdot \frac{p}{t_s^2} \cdot \alpha$$

- σ_s : スキンプレートの応力度 (N/mm²)
- k : b/a による形状係数
- a : スキンプレートの区画の短辺 (mm)
- b : スキンプレートの区間の長辺 (mm)
- p : 作用水圧荷重 (N/mm²)
- t_s : スキンプレートの板厚 (mm)
- α : 応力の補正係数

(2) 主桁

主桁は、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、支圧板の設置位置を支点とする両端をピン支点の単純梁によりモデル化する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

主桁のモデル図を図 4-2 に示す。

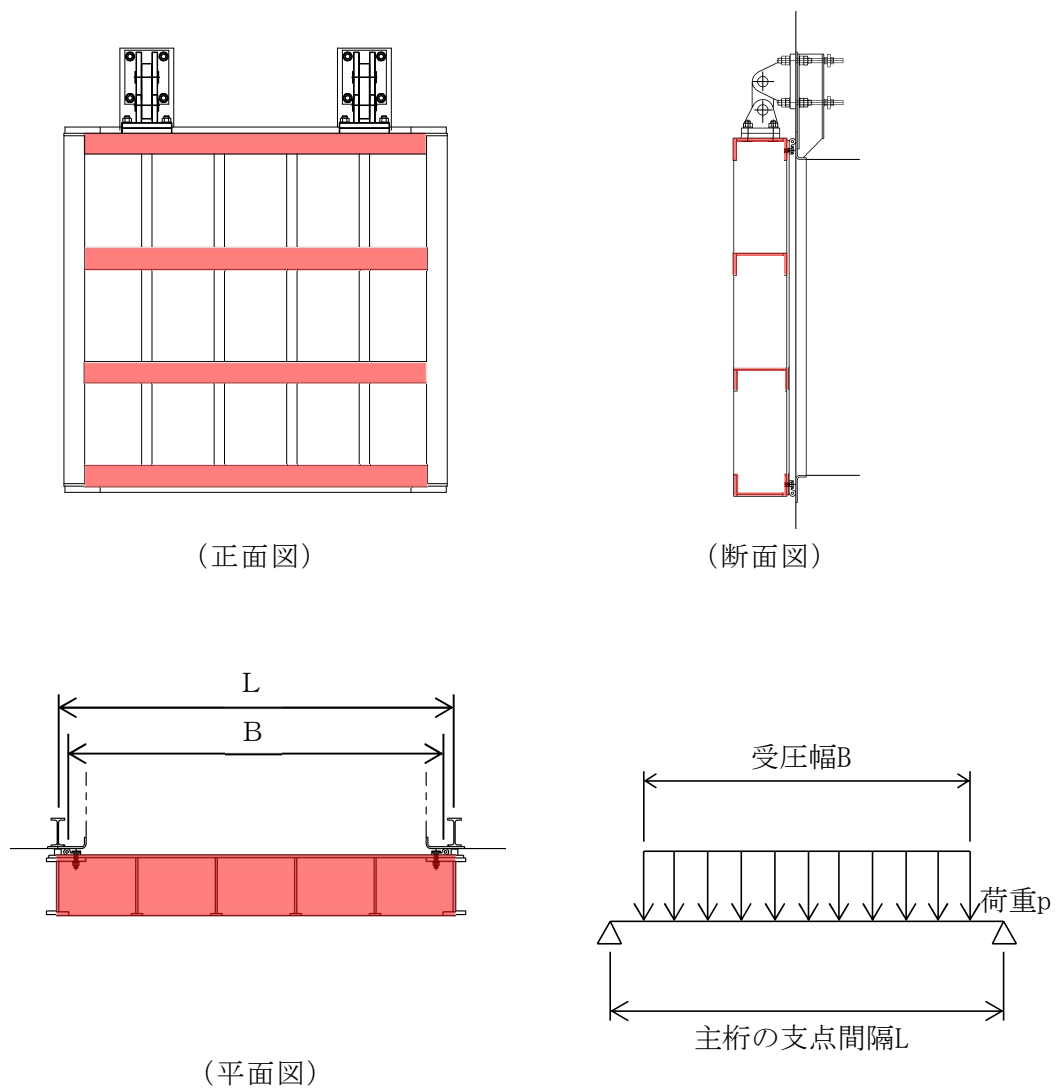


図 4-2 主桁のモデル図

主桁の最大応力度算定式を以下に示す。

$$M_G = \frac{W \cdot B \cdot (2 \cdot L - B)}{8}$$

$$S_G = \frac{W \cdot B}{2}$$

$$\sigma_G = \frac{M_G}{Z_g}$$

$$\tau_G = \frac{S_G}{A_g}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_G^2 + 3 \tau_G^2}$$

M_G : 主桁に作用する曲げモーメント (N・mm)

S_G : 主桁に作用するせん断力 (N)

W : 主桁の分担荷重 (kN/m)

L : 主桁の支点間隔 (mm)

B : 扉体の受圧幅 (mm)

σ_G : 主桁の曲げ応力度 (N/mm²)

Z_g : 主桁の断面係数 (mm³)

τ_G : 主桁のせん断応力度 (N/mm²)

A_g : 主桁のウェブ断面積 (mm²)

σ_g : 主桁の合成応力度 (N/mm²)

(3) 補助縦桁

補助縦桁については、主桁によって支持された単純支持梁とし、荷重は平均水圧が菱形に作用したものとして、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月）」に基づき、曲げ応力及びせん断応力を算定する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁のモデル図を図 4-3 に示す。

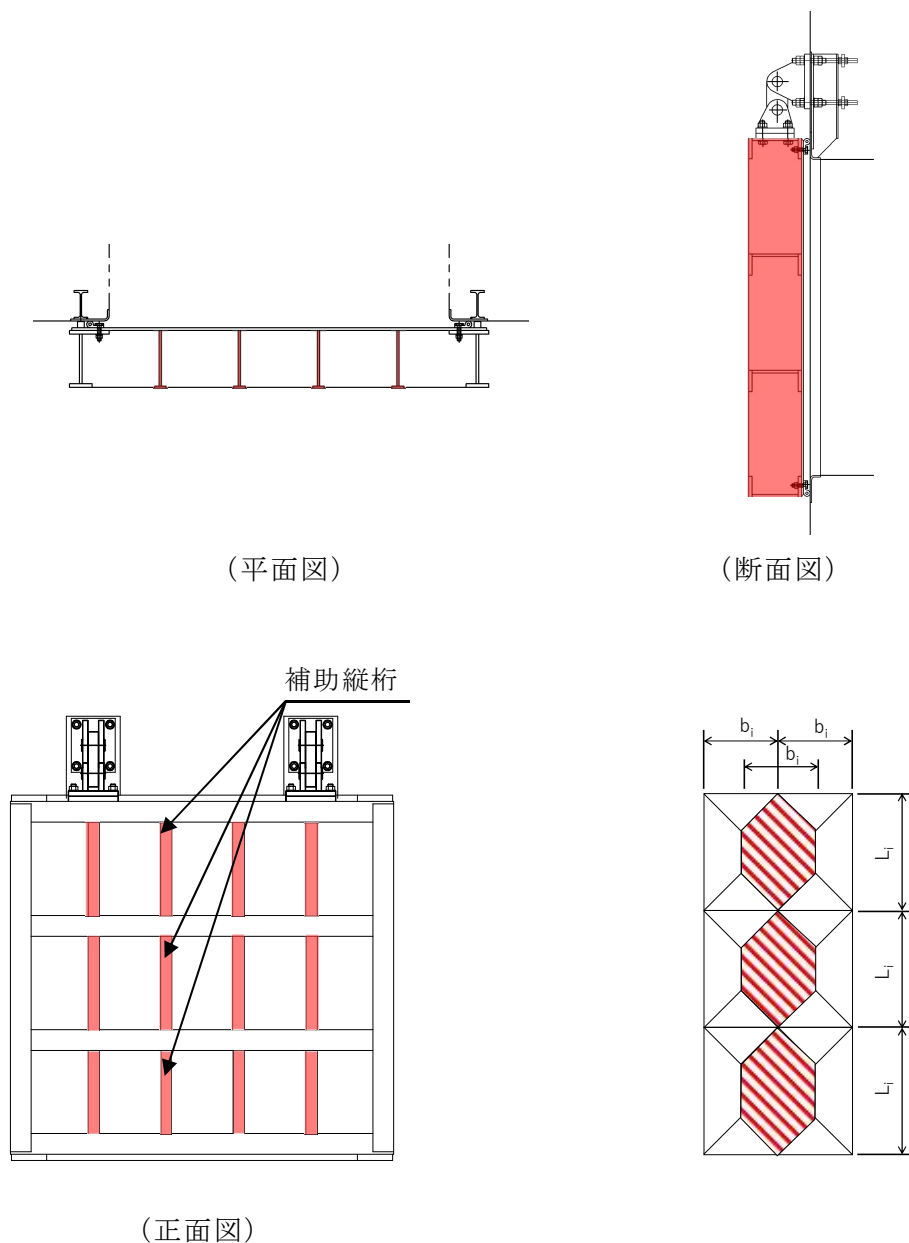


図 4-3 補助縦桁のモデル図

補助縦桁の最大応力度算定式を以下に示す。

$L_i > b_i$ の場合

$$M_I = \frac{p \cdot b_i}{24} (3 \cdot L_i^2 - b_i^2)$$

$$S_I = \frac{p \cdot b_i}{2} \left(L_i - \frac{b_i}{2} \right)$$

$L_i \leq b_i$ の場合

$$M_I = \frac{p \cdot L_i^3}{12}$$

$$S_I = \frac{p \cdot L_i^2}{4}$$

$$\sigma_{ix} = \frac{M_I}{Z_{ix}}$$

$$\sigma_{iy} = \frac{M_I}{Z_{iy}}$$

$$\tau_I = \frac{S_I}{A_i}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_I^2 + 3\tau_I^2}$$

M_I : 補助縦桁に作用する曲げモーメント (N・mm)

p : 作用水圧荷重 (N/mm²)

L_i : 主桁間隔 (mm)

b_i : 補助縦桁間隔 (mm)

S_I : 補助縦桁に作用するせん断力 (N)

σ_{ix} : 補助縦桁の曲げ応力度 (引張) (N/mm²)

Z_{ix} : 補助縦桁の断面係数 (引張) (mm³)

σ_{iy} : 補助縦桁の曲げ応力度 (圧縮) (N/mm²)

Z_{iy} : 補助縦桁の断面係数 (圧縮) (mm³)

τ_I : 補助縦桁のせん断応力度 (N/mm²)

A_i : 補助縦桁のウェブ断面積 (N/mm²)

σ_i : 補助縦桁の合成応力度 (N/mm²)

σ_I : 補助縦桁の曲げ応力度 (引張と圧縮) の最大値 (N/mm²)

(4) 集水桝(戸当り部コンクリート)

集水桝(戸当り部コンクリート)は, コンクリートに加わる支圧を戸当りで支持するものとして, コンクリートに発生する支圧応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

集水桝(戸当り部コンクリート)のモデル図を図4-4に示す。

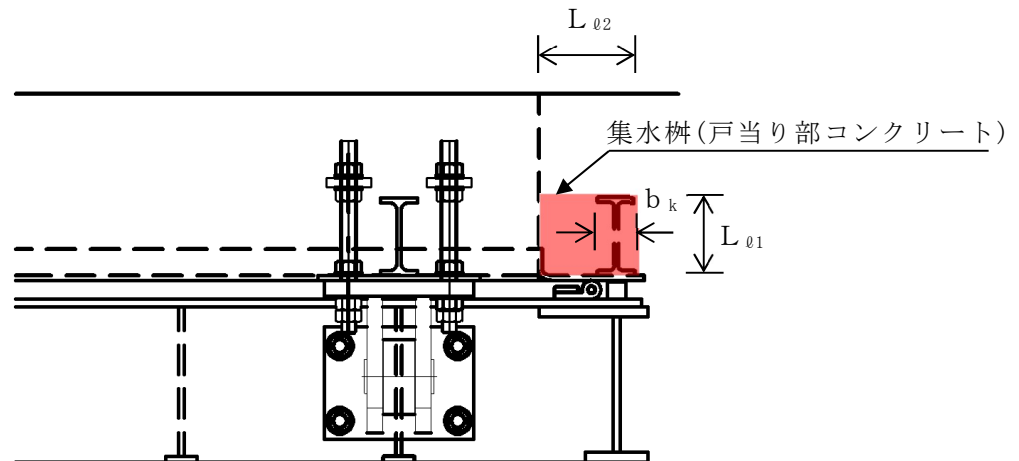


図4-4 集水桝(戸当り部コンクリート)のモデル図

集水桝(戸当り部コンクリート)の最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma_c = \frac{p_1 \cdot B}{2b_k}$$

$$\tau_L = \frac{p_1 \cdot B}{2(L_{\ell 1} + 2L_{\ell 2})}$$

σ_c : コンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

p_1 : 扉体最下部作用荷重 (N/mm²)

B : 扉体の受圧幅 (mm)

b_k : 底面フランジ幅 (mm)

τ_L : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

$L_{\ell 1}$: コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ (mm)

$L_{\ell 2}$: 堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ (mm)

4.4.2 屋外排水路逆止弁⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫

(1) スキンプレート

スキンプレートの曲げ応力は円盤周辺単純支持等分布荷重による最大曲げ応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートのモデル図を図 4-5 に示す。

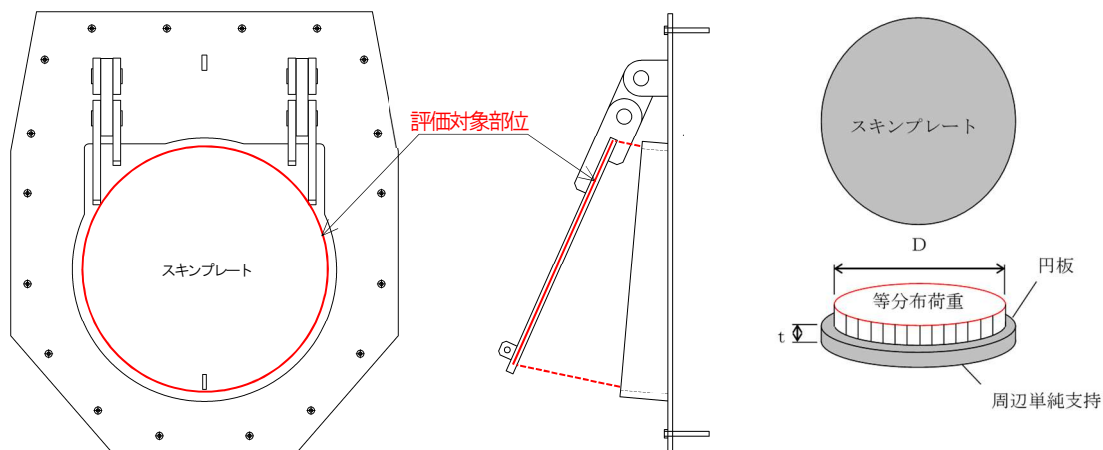


図 4-5 スキンプレートのモデル図

スキンプレートの最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma_{\max} = 1.24 \cdot \frac{P \cdot (D/2)^2}{t^2}$$

σ_{\max} : スキンプレートの最大応力度 (N/mm²)

P : 作用単位荷重 (N/mm²)

D : スキンプレートの受水径 (mm)

t : スキンプレートの板厚 (mm)

(2) 戸当り

戸当りは、等分布荷重を受ける支圧材として、発生する支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りのモデル図を図 4-6 に示す。

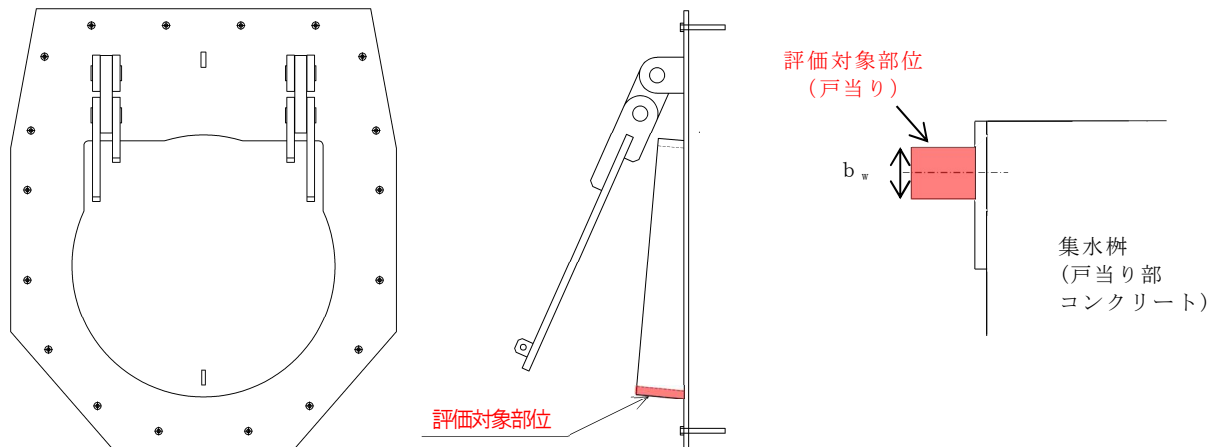


図 4-6 戸当りのモデル図

戸当りの最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma = \frac{P_1}{b_w \cdot D \cdot \pi}$$

σ : 戸当りの支圧応力度 (N/mm²)

P_1 : 戸当りへ作用する荷重 (N)

b_w : 戸当りの幅 (mm)

D : スキンプレートの受水径 (mm)

(3) 集水枳(戸当り部コンクリート)

集水枳(戸当り部コンクリート)は、コンクリートに加わる支圧を戸当り全周で支持するものとして、コンクリートに発生する支圧応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

集水枳(戸当り部コンクリート)のモデル図を図4-7に示す。

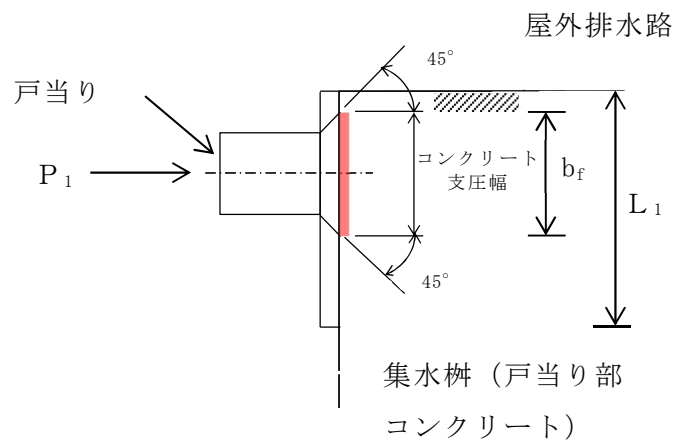


図4-7 集水枳(戸当り部コンクリート)のモデル図

集水枳(戸当り部コンクリート)の最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma_c = \frac{P_1}{b_f \cdot D \cdot \pi}$$

$$\tau_c = \frac{P_1}{2 \cdot L_1 \cdot D \cdot \pi}$$

σ_c : コンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_1 : 戸当りへ作用する荷重 (N)

b_f : コンクリート支圧幅 (mm)

D : スキンプレートの受水径 (mm)

τ_c : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

L_1 : 屋外排水路内径より戸当りアンカー板端面までの距離 (mm)

4.5 計算条件

屋外排水路逆止弁の応力計算に用いる計算条件を表4-3に示す。

なお、屋外排水路逆止弁⑩、⑪及び⑫については、同一の構造であり、設置深さが最も深い⑩を代表として計算を行う。

表4-3(1) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑩）

対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	k	—	b/aによる形状係数	45.0
	a	mm	スキンプレートの区画の短辺	375
	b	mm	スキンプレートの区画の長辺	550
	p	N/mm ²	作用水圧荷重	0.1028
	t _s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	—	応力の補正係数	0.8
主桁	W	kN/m	主桁の分担荷重	54.955
	L	mm	主桁の支点間隔	2250
	B	mm	扉体の受圧幅	2200
	Z _g	mm ³	主桁の断面係数	688100
	A _g	mm ²	主桁のウェブ断面積	3216
補助縦桁	L _i	mm	主桁間隔	550
	b _i	mm	補助縦桁間隔	375
	Z _{ix}	mm ³	補助縦桁の断面係数（引張）	161976
	Z _{iy}	mm ³	補助縦桁の断面係数（圧縮）	204734
	A _i	mm ²	補助縦桁のウェブ断面積	2619
集水枓 (戸当り部コンクリート)	p ₁	N/mm ²	扉体最下部作用荷重	0.106
	b _k	mm	底面フランジの幅	60
	L _{ℓ1}	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	L _{ℓ2}	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155

表 4-3(2) 応力評価に用いる計算条件 (屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)

対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	k	—	b/a による形状係数	48.0
	a	mm	スキンプレートの区画の短辺	350
	b	mm	スキンプレートの区画の長辺	600
	p	N/mm ²	作用水圧荷重	0.1010
	t _s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	—	応力の補正係数	0.8
主桁	W	kN/m	主桁の分担荷重	56.430
	L	mm	主桁の支点間隔	1750
	B	mm	扉体の受圧幅	1700
	Z _g	mm ³	主桁の断面係数	433900
	A _g	mm ²	主桁のウェブ断面積	2616
補助縦桁	L _i	mm	主桁間隔	600
	b _i	mm	補助縦桁間隔	350
	Z _{ix}	mm ³	補助縦桁の断面係数 (引張)	114964
	Z _{iy}	mm ³	補助縦桁の断面係数 (圧縮)	151107
	A _i	mm ²	補助縦桁のウェブ断面積	2169
集水枘 (戸当り部コンクリート)	p ₁	N/mm ²	扉体最下部作用荷重	0.104
	b _k	mm	底面フランジの幅	60
	L _{ℓ1}	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	L _{ℓ2}	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155

表 4-3(3) 応力評価に用いる計算条件 (屋外排水路逆止弁⑦)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	D	mm	スキンプレートの受水径	740
	t	mm	スキンプレートの板厚	22
スキンプレート	P	N/mm ²	作用単位荷重	0.065
戸当り	P ₁	N	戸当りへ作用する荷重	27883.2
	b _w	mm	戸当りの幅	25
集水枘 (戸当り部コンクリート)	b _f	mm	コンクリート支圧幅	57
	L ₁	mm	有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離	120

表 4-3(4) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑧-1）

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	D	mm	スキンプレートの受水径	530
	t	mm	スキンプレートの板厚	16
スキンプレート	P	N/mm ²	作用単位荷重	0.066
戸当り	P ₁	N	戸当りへ作用する荷重	14501.4
	b _w	mm	戸当りの幅	19
集水枳 (戸当り部コンクリート)	b _f	mm	コンクリート支圧幅	37
	L ₁	mm	有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離	110

表 4-3(5) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑧-2）

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	D	mm	スキンプレートの受水径	840
	t	mm	スキンプレートの板厚	25
スキンプレート	P	N/mm ²	作用単位荷重	0.072
戸当り	P ₁	N	戸当りへ作用する荷重	39684.1
	b _w	mm	戸当りの幅	25
集水枳 (戸当り部コンクリート)	b _f	mm	コンクリート支圧幅	57
	L ₁	mm	有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離	120

表 4-3(6) 応力評価に用いる計算条件 (屋外排水路逆止弁⑨)

対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	k	—	b/a による形状係数	45.0
	a	mm	スキンプレートの区画の短辺	375
	b	mm	スキンプレートの区画の長辺	550
	p	N/mm ²	作用水圧荷重	0.1058
	t _s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	—	応力の補正係数	0.8
主桁	W	kN/m	主桁の分担荷重	56.661
	L	mm	主桁の支点間隔	2250
	B	mm	扉体の受圧幅	2200
	Z _g	mm ³	主桁の断面係数	688100
	A _g	mm ²	主桁のウェブ断面積	3216
補助縦桁	L _i	mm	主桁間隔	550
	b _i	mm	補助縦桁間隔	375
	Z _{ix}	mm ³	補助縦桁の断面係数 (引張)	161976
	Z _{iy}	mm ³	補助縦桁の断面係数 (圧縮)	204734
	A _i	mm ²	補助縦桁のウェブ断面積	2619
集水桁 (戸当り部コンクリート)	p ₁	N/mm ²	扉体最下部作用荷重	0.109
	b _k	mm	底面フランジの幅	60
	L _{ℓ1}	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	L _{ℓ2}	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155

表 4-3(7) 応力評価に用いる計算条件 (屋外排水路逆止弁 代表⑪ (⑩, ⑫を含む))

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	D	mm	スキンプレートの受水径	840
	t	mm	スキンプレートの板厚	25
スキンプレート	P	N/mm ²	作用単位荷重	0.066
戸当り	P ₁	N	戸当りへ作用する荷重	36493.7
	b _w	mm	戸当りの幅	25
集水桁 (戸当り部コンクリート)	b _f	mm	コンクリート支圧幅	57
	L ₁	mm	有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離	120

表 4-3(8) 応力評価に用いる計算条件 (屋外排水路逆止弁⑬)

対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	k	—	b/a による形状係数	48.0
	a	mm	スキンプレートの区画の短辺	350
	b	mm	スキンプレートの区画の長辺	600
	p	N/mm ²	作用水圧荷重	0.0869
	t _s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	—	応力の補正係数	0.8
主桁	W	kN/m	主桁の分担荷重	48.299
	L	mm	主桁の支点間隔	1750
	B	mm	扉体の受圧幅	1700
	Z _g	mm ³	主桁の断面係数	433900
	A _g	mm ²	主桁のウェブ断面積	2616
補助縦桁	L _i	mm	主桁間隔	600
	b _i	mm	補助縦桁間隔	350
	Z _{ix}	mm ³	補助縦桁の断面係数 (引張)	114964
	Z _{iy}	mm ³	補助縦桁の断面係数 (圧縮)	151107
	A _i	mm ²	補助縦桁のウェブ断面積	2169
集水枳 (戸当り 部コンク リート)	p ₁	N/mm ²	扉体最下部作用荷重	0.090
	b _k	mm	底面フランジの幅	60
	L _{ℓ1}	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	L _{ℓ2}	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155

5. 評価結果

屋外排水路逆止弁の津波時における評価対象部位の強度評価結果を表 5-1 に示す。

発生応力度が許容限界以下であることから、構造部材が十分な構造健全性を有することを確認した。

表 5-1(1) 強度評価結果（屋外排水路逆止弁①）

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度 (N/mm ²)	36.1	135.0	0.27
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	50.6	135.0	0.38
	せん断応力度 (N/mm ²)	18.8	75.0	0.26
	合成応力度 (N/mm ²)	60.2	148.5	0.41
補助縦桁	曲げ応力度（引張） (N/mm ²)	7.6	135.0	0.06
	曲げ応力度（圧縮） (N/mm ²)	6.0	117.5	0.06
	せん断応力度 (N/mm ²)	2.7	75.0	0.04
	合成応力度 (N/mm ²)	10.75	148.5	0.08
集水桁（戸当り部コンクリート）	支圧応力度 (N/mm ²)	1.94	8.8	0.23
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.26	0.6	0.44

表 5-1(2) 強度評価結果（屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥）

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度(N/mm ²)	33.0	135.0	0.25
主桁	曲げ応力度(N/mm ²)	49.7	135.0	0.37
	せん断応力度(N/mm ²)	18.3	75.0	0.25
	合成応力度(N/mm ²)	58.9	148.5	0.40
補助縦桁	曲げ応力度(引張) (N/mm ²)	12.3	135.0	0.10
	曲げ応力度(圧縮) (N/mm ²)	9.3	116.1	0.09
	せん断応力度 (N/mm ²)	3.5	75.0	0.05
	合成応力度(N/mm ²)	16.57	148.5	0.12
集水桁(戸当り部コンクリート)	支圧応力度(N/mm ²)	1.47	8.8	0.17
	せん断応力度(N/mm ²)	0.20	0.6	0.34

表 5-1(3) 強度評価結果（屋外排水路逆止弁⑦）

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度(N/mm ²)	22.80	135.0	0.17
戸当り	支圧応力度(N/mm ²)	0.48	202.5	0.01
集水桁(戸当り部コンクリート)	支圧応力度(N/mm ²)	0.21	8.8	0.03
	せん断応力度(N/mm ²)	0.05	0.6	0.09

表 5-1(4) 強度評価結果（屋外排水路逆止弁⑧-1）

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度(N/mm ²)	22.45	135.0	0.17
戸当り	支圧応力度(N/mm ²)	0.46	202.5	0.01
集水桁(戸当り部コンクリート)	支圧応力度(N/mm ²)	0.24	8.8	0.03
	せん断応力度(N/mm ²)	0.04	0.6	0.07

表 5-1(5) 強度評価結果 (屋外排水路逆止弁⑧-2)

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度 (N/mm ²)	25.20	135.0	0.19
戸当り	支圧応力度 (N/mm ²)	0.60	202.5	0.01
集水柵 (戸当り部コンクリート)	支圧応力度 (N/mm ²)	0.26	8.8	0.03
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.06	0.6	0.10

表 5-1(6) 強度評価結果 (屋外排水路逆止弁⑨)

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度 (N/mm ²)	37.2	135.0	0.28
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	52.1	135.0	0.39
	せん断応力度 (N/mm ²)	19.4	75.0	0.26
	合成応力度 (N/mm ²)	62.0	148.5	0.42
補助縦桁	曲げ応力度 (引張) (N/mm ²)	7.8	135.0	0.06
	曲げ応力度 (圧縮) (N/mm ²)	6.2	117.5	0.06
	せん断応力度 (N/mm ²)	2.7	75.0	0.04
	合成応力度 (N/mm ²)	11.01	148.5	0.08
集水柵 (戸当り部コンクリート)	支圧応力度 (N/mm ²)	2.00	8.8	0.23
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.27	0.6	0.45

表 5-1(7) 強度評価結果（屋外排水路逆止弁 代表⑩（⑩, ⑫を含む））

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度(N/mm ²)	23.10	135.0	0.18
戸当り	支圧応力度(N/mm ²)	0.55	202.5	0.01
集水柵（戸当り部コンクリート）	支圧応力度(N/mm ²)	0.24	8.8	0.03
	せん断応力度(N/mm ²)	0.06	0.6	0.10

表 5-1(8) 強度評価結果（屋外排水路逆止弁⑬）

評価部位	評価応力	発生 応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
スキンプレート	曲げ応力度(N/mm ²)	28.4	135.0	0.22
主桁	曲げ応力度(N/mm ²)	42.6	135.0	0.32
	せん断応力度(N/mm ²)	15.7	75.0	0.21
	合成応力度(N/mm ²)	50.5	148.5	0.35
補助縦桁	曲げ応力度（引張） (N/mm ²)	10.6	135.0	0.08
	曲げ応力度（圧縮） (N/mm ²)	8.0	116.1	0.07
	せん断応力度 (N/mm ²)	3.0	75.0	0.04
	合成応力度(N/mm ²)	14.26	148.5	0.10
集水柵（戸当り部コンクリート）	支圧応力度(N/mm ²)	1.28	8.8	0.15
	せん断応力度(N/mm ²)	0.17	0.6	0.29

6. 集水樹の強度評価

6.1 集水樹の構造概要

集水樹は、底版と3面又は4面の壁からなる鉄筋コンクリート構造物であり、支持形式の違いにより、防波壁（波返重力式擁壁）、防波壁（逆T擁壁）及び防波壁（多重鋼管杭式擁壁）にアンカー筋により固定するもの（以下「集水樹（防波壁部）」という。）と十分な支持性能を有する改良地盤に設置するもの（以下「集水樹（改良地盤部）」という。）に区分される。

集水樹に要求される機能維持の確認として、構造部材の健全性評価、支持性能評価（集水樹（防波壁部）が対象）及び基礎地盤の支持性能評価（集水樹（改良地盤部）が対象）を行う。

集水樹の位置図を図6-1に、構造図を図6-2に、蓋の材料一覧を表6-1に示す。

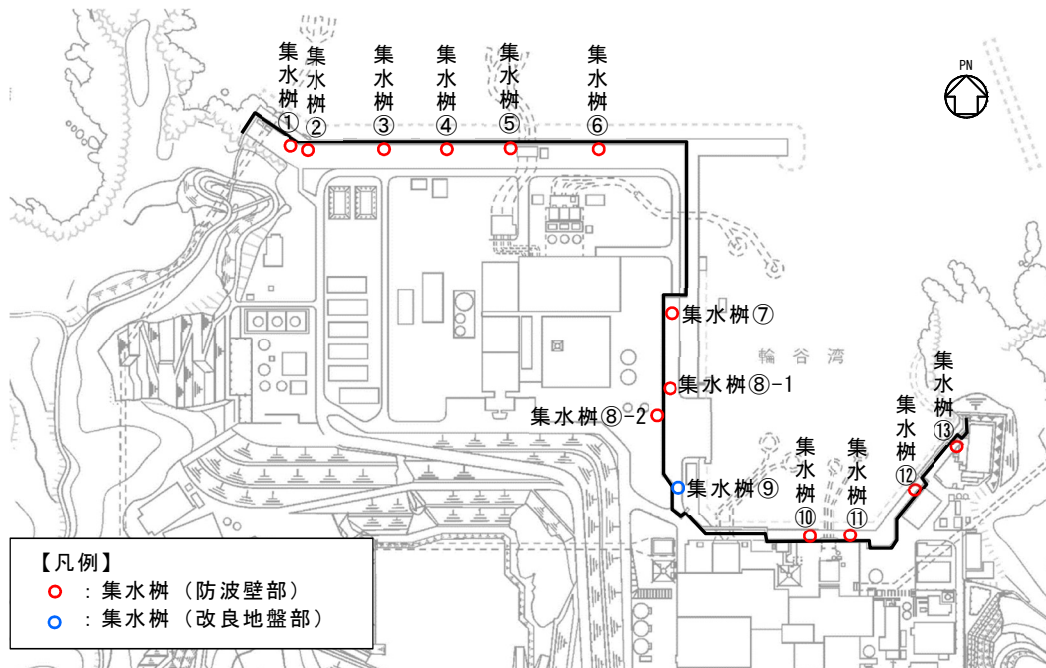
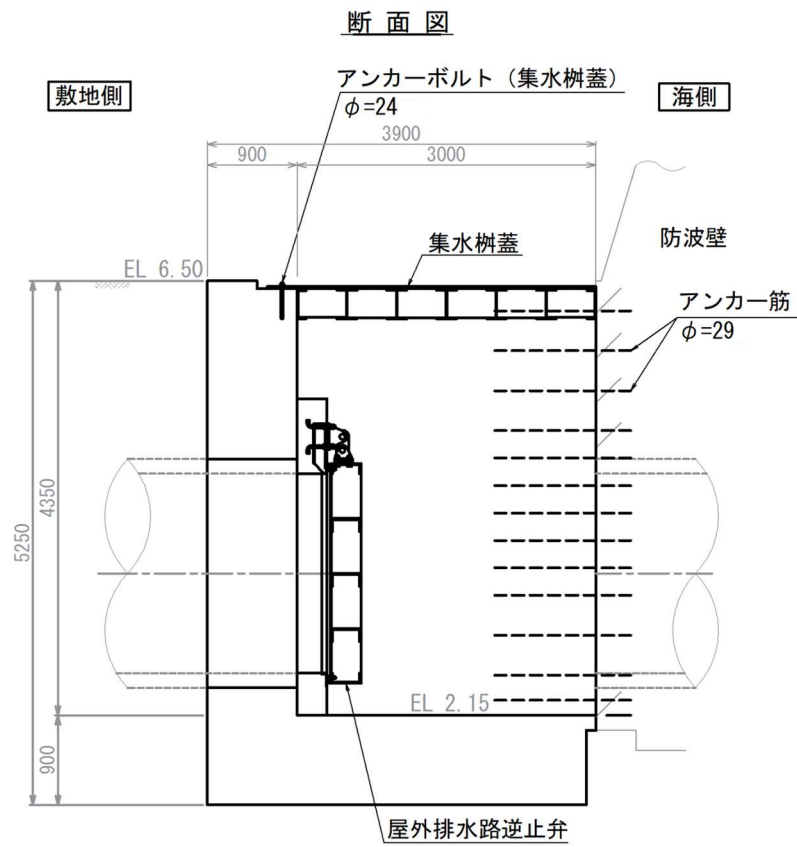
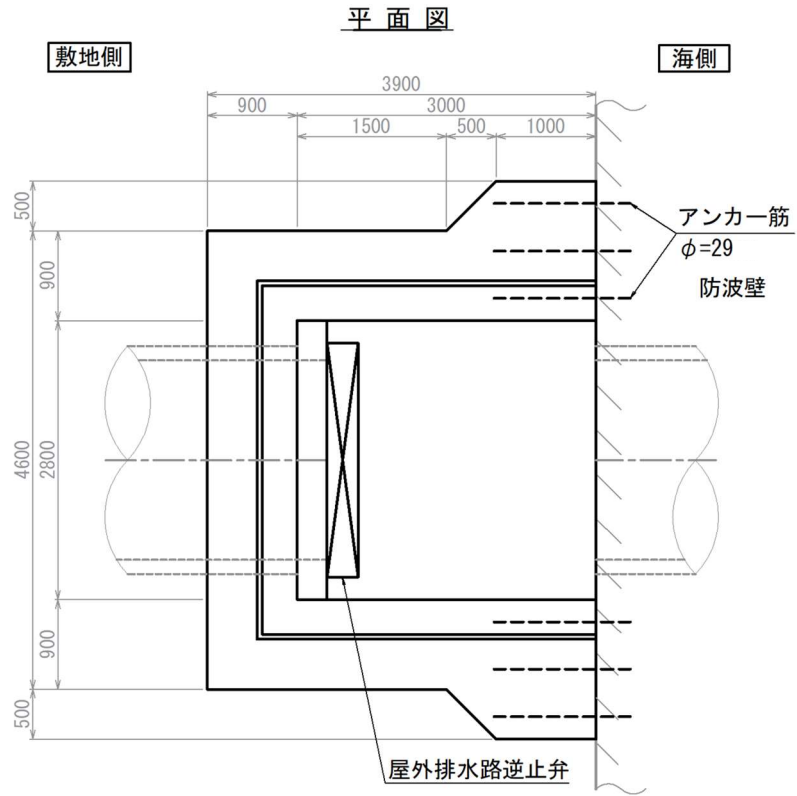


図6-1 集水樹位置図



(単位: mm)

図 6-2(1) 集水柵 (防波壁部, 屋外排水路逆止弁①) 構造図

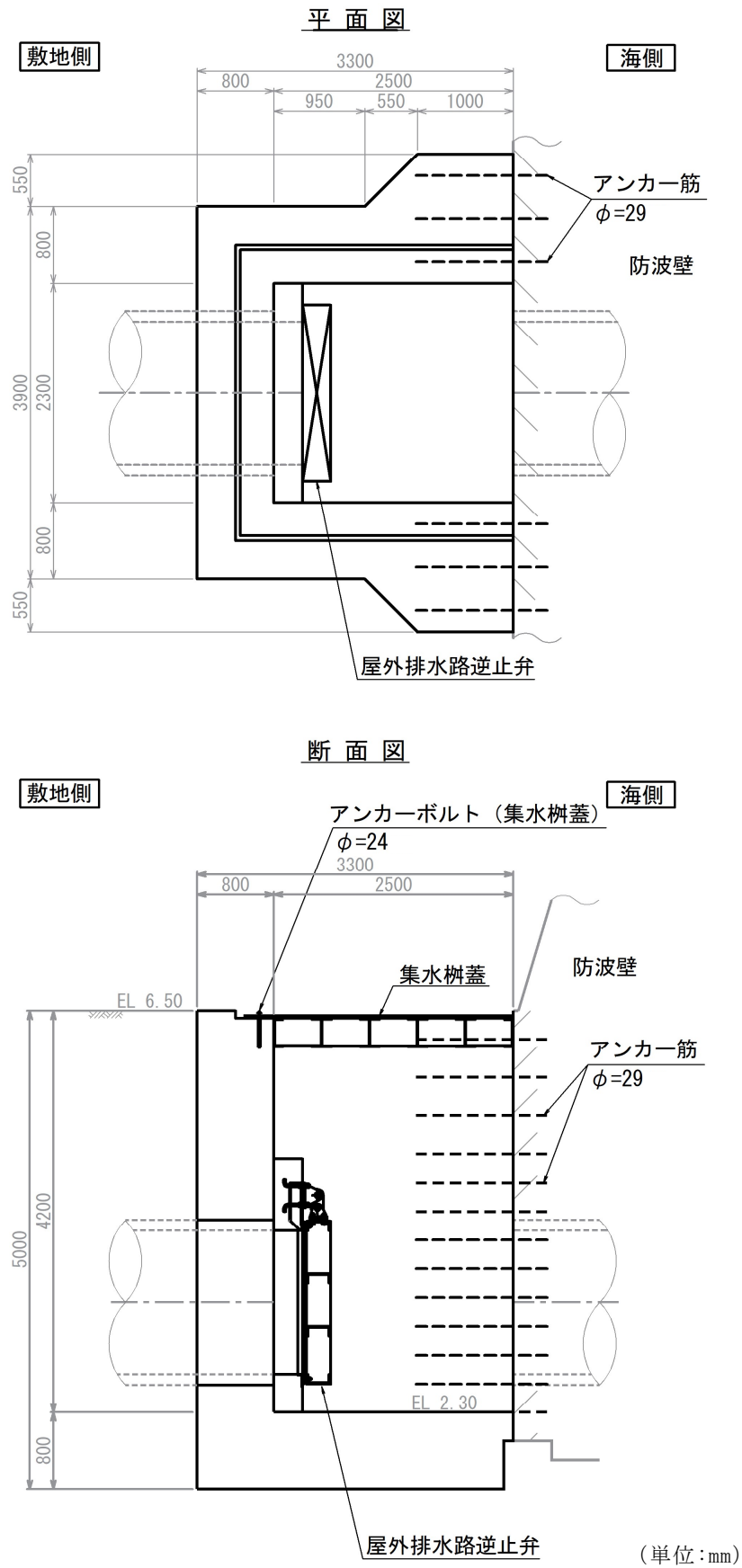
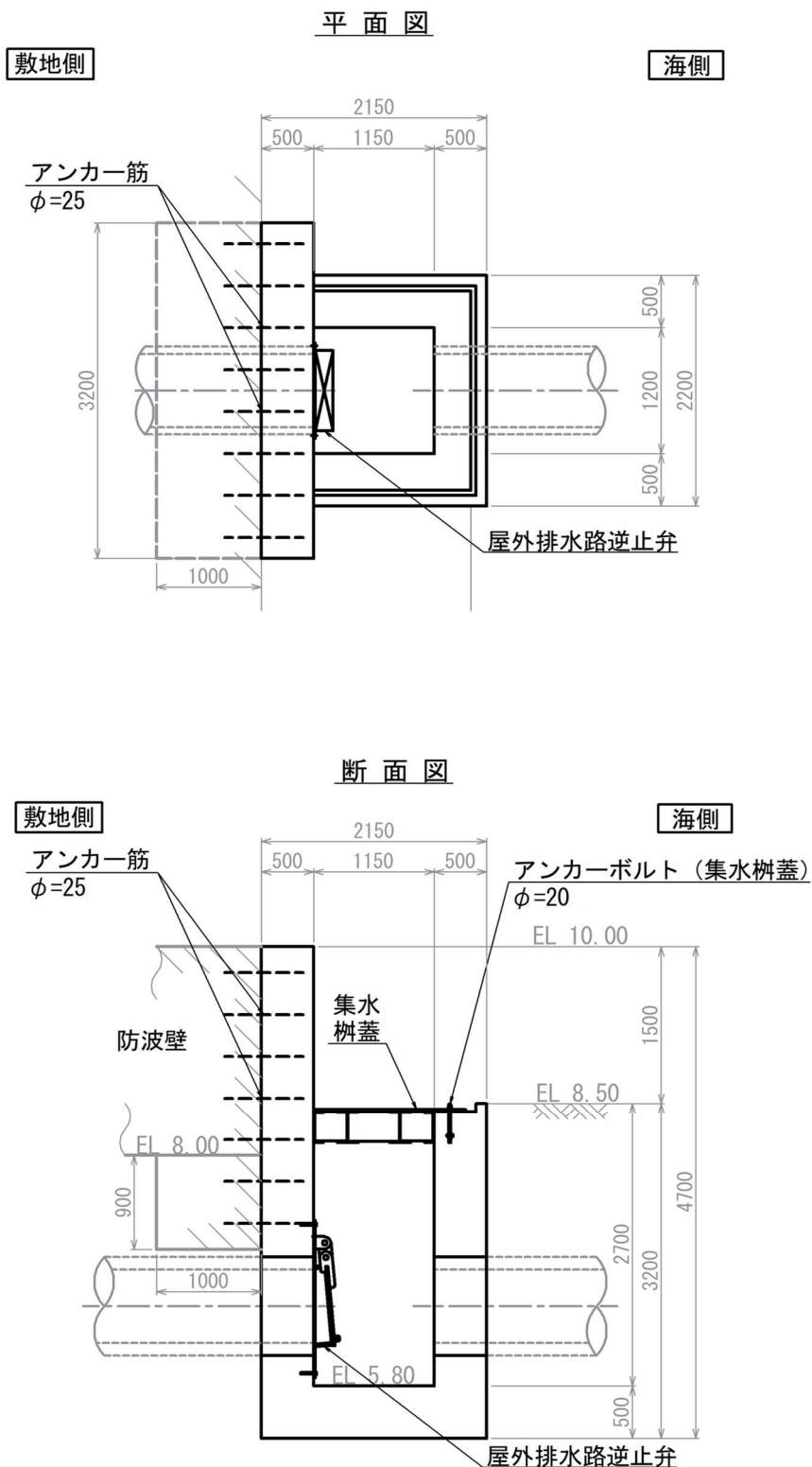


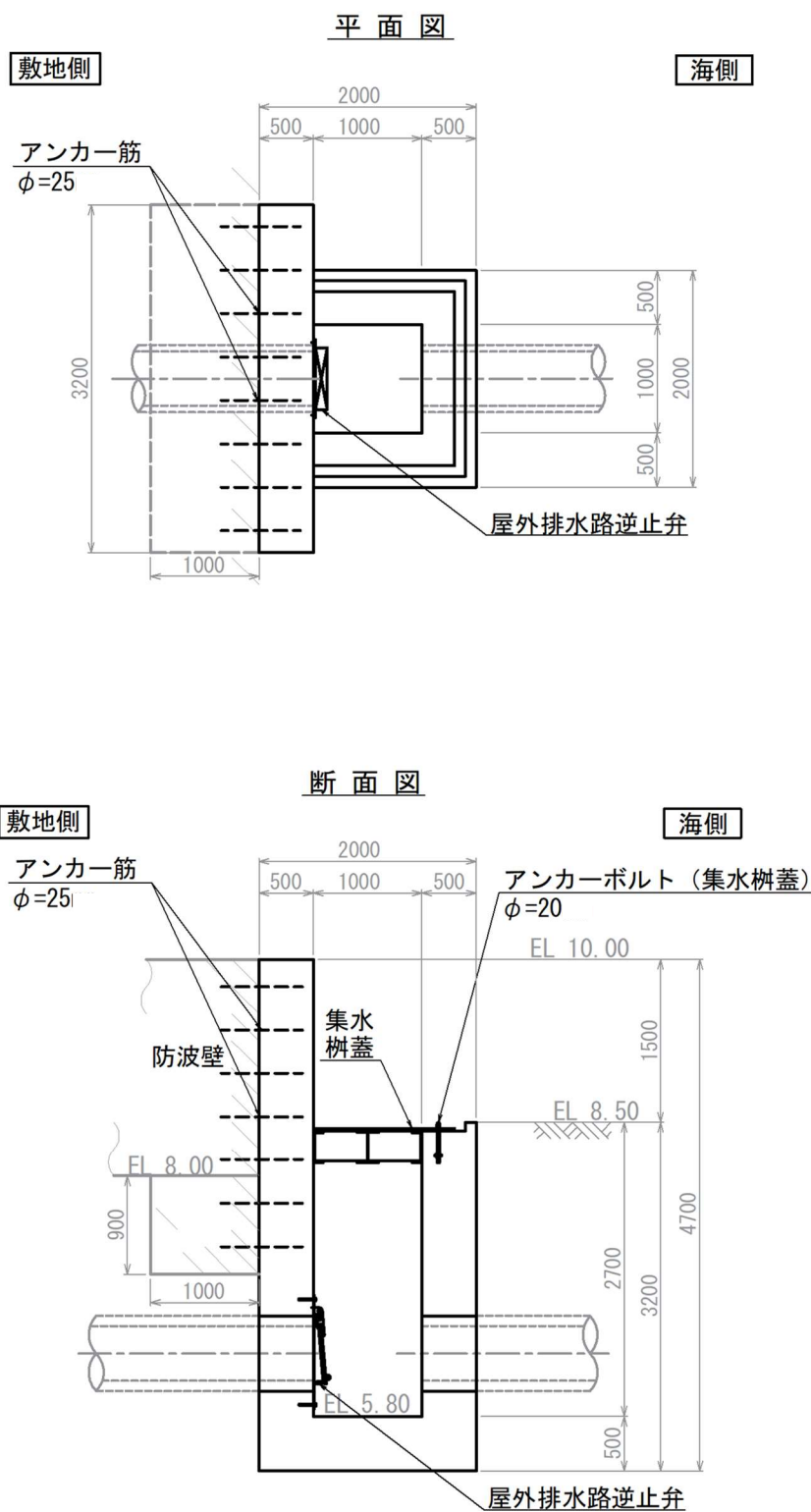
図 6-2(2) 集水柵 (防波壁部, 屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥) 構造図



(単位:mm)

注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.00 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

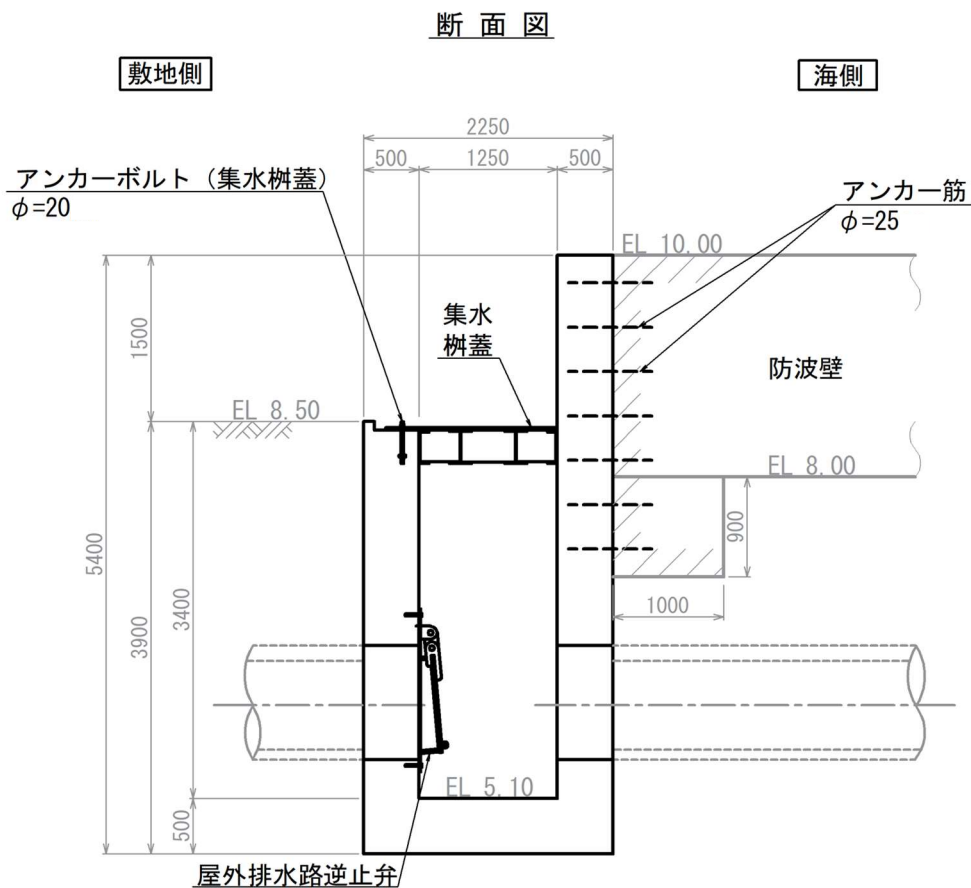
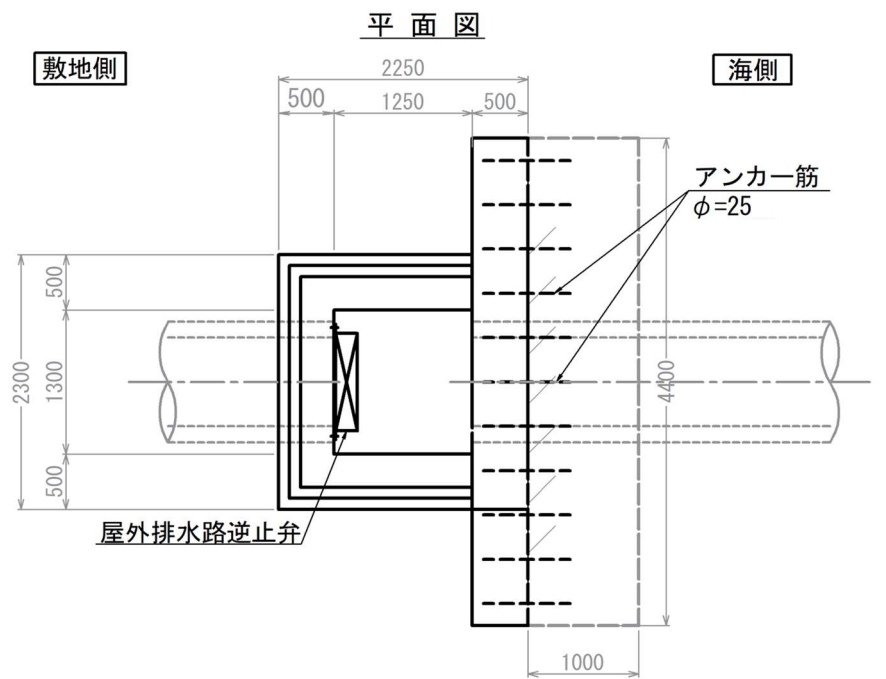
図 6-2(3) 集水柵 (防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑦) 構造図



(単位:mm)

注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.00 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

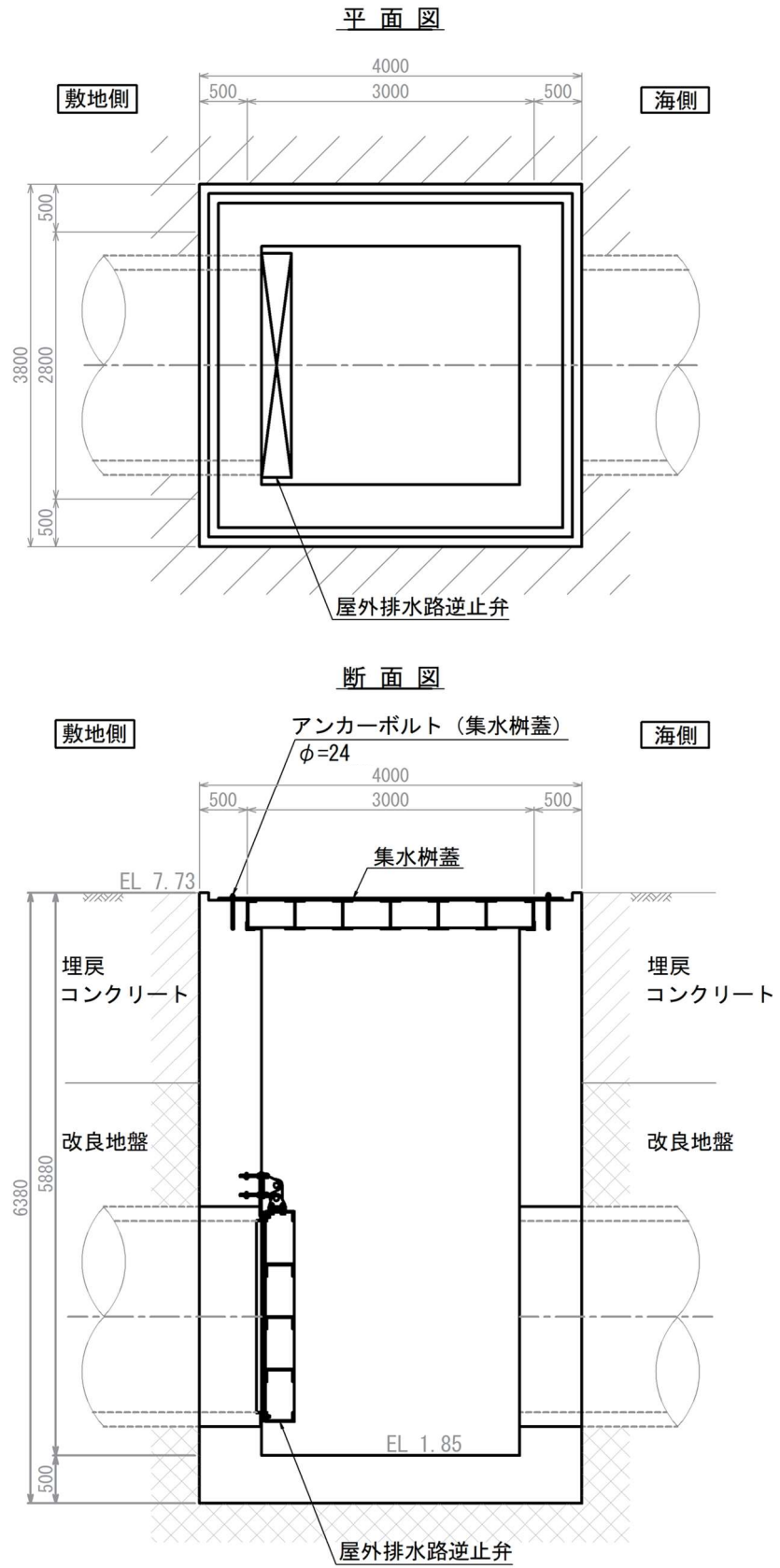
図 6-2(4) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑧-1)構造図



(単位:mm)

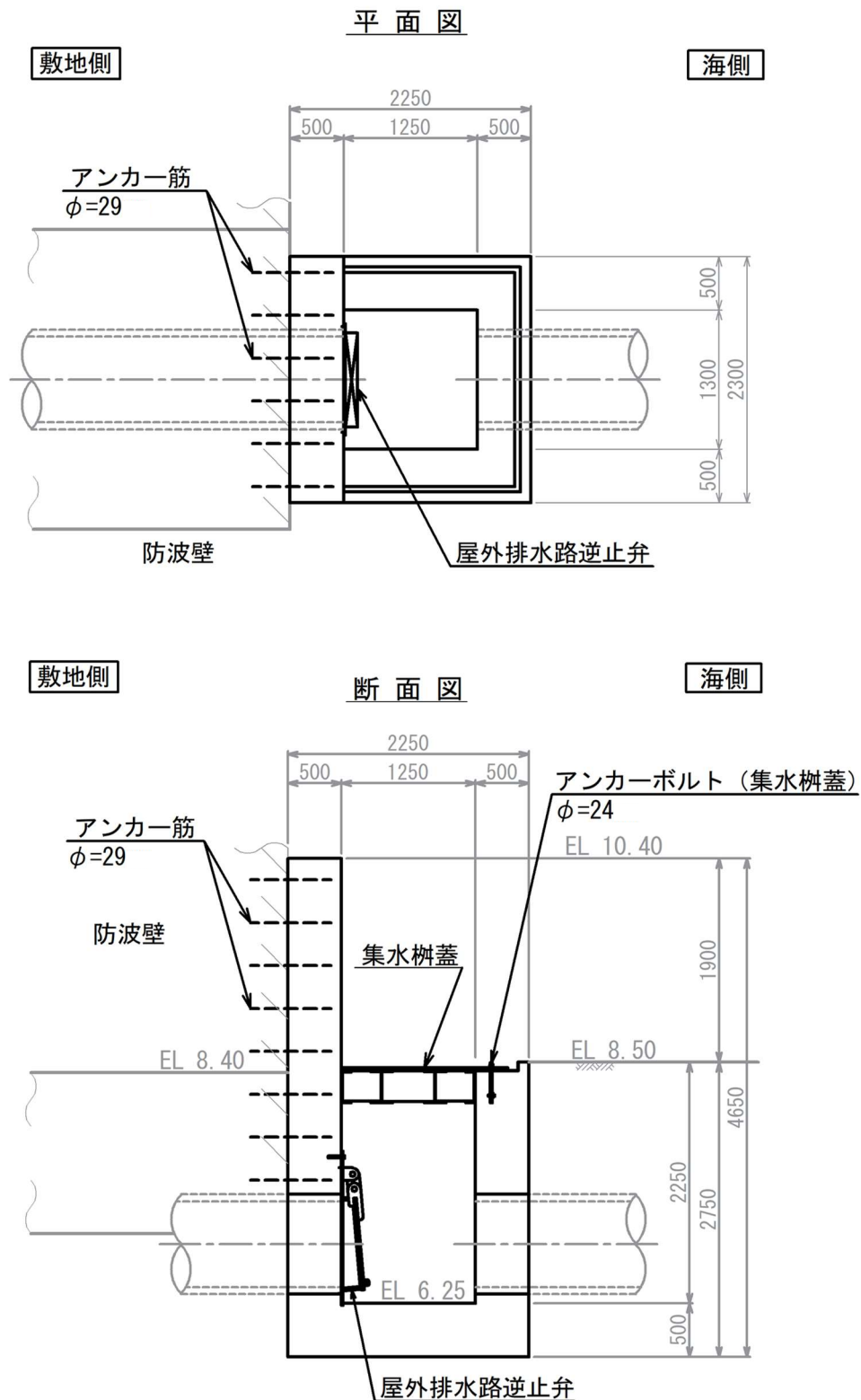
注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.00 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 6-2(5) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑧-2)構造図



(単位:mm)

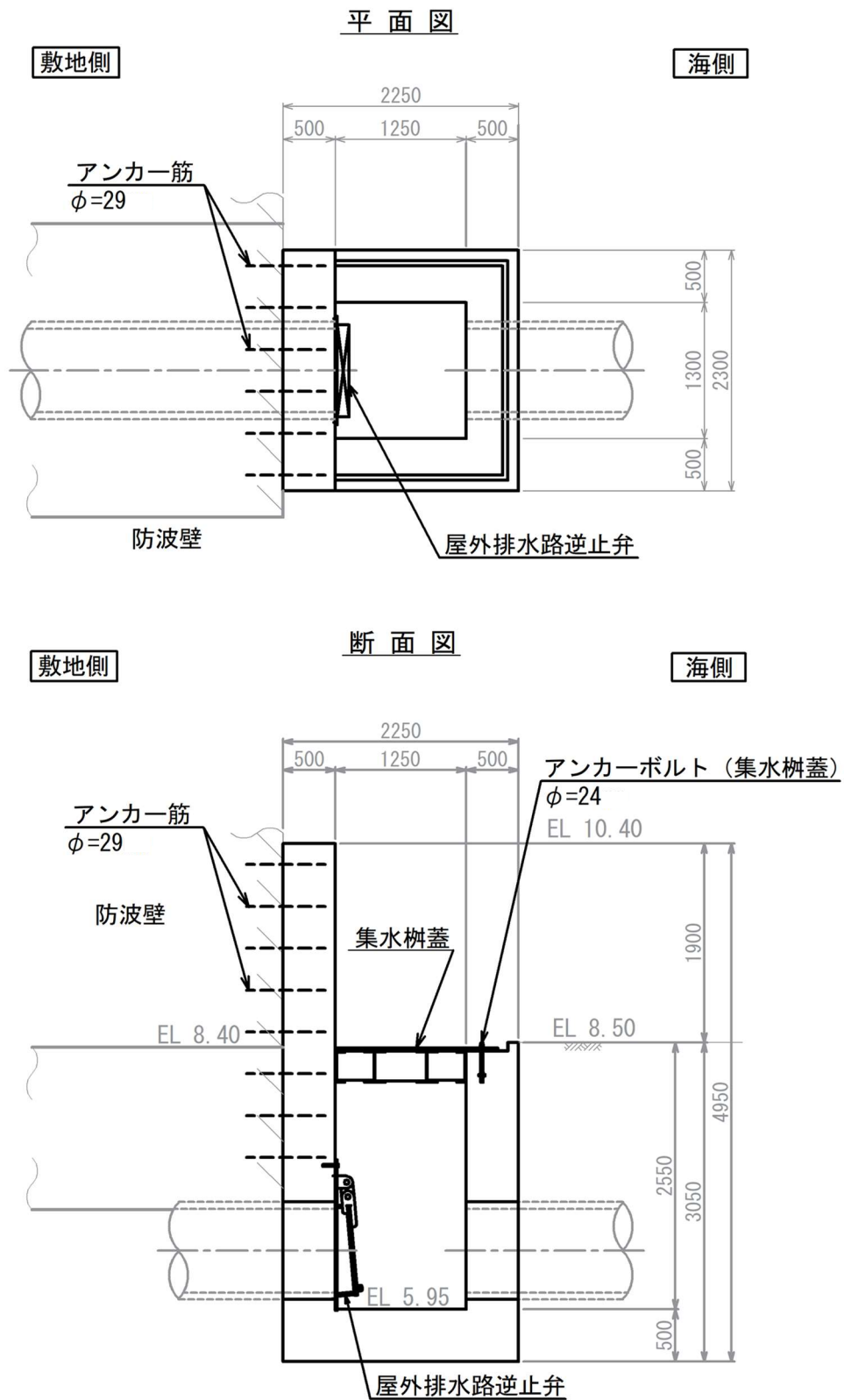
図 6-2 (6) 集水桝(改良地盤部, 屋外排水路逆止弁⑨)構造図



(単位:mm)

注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.40 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

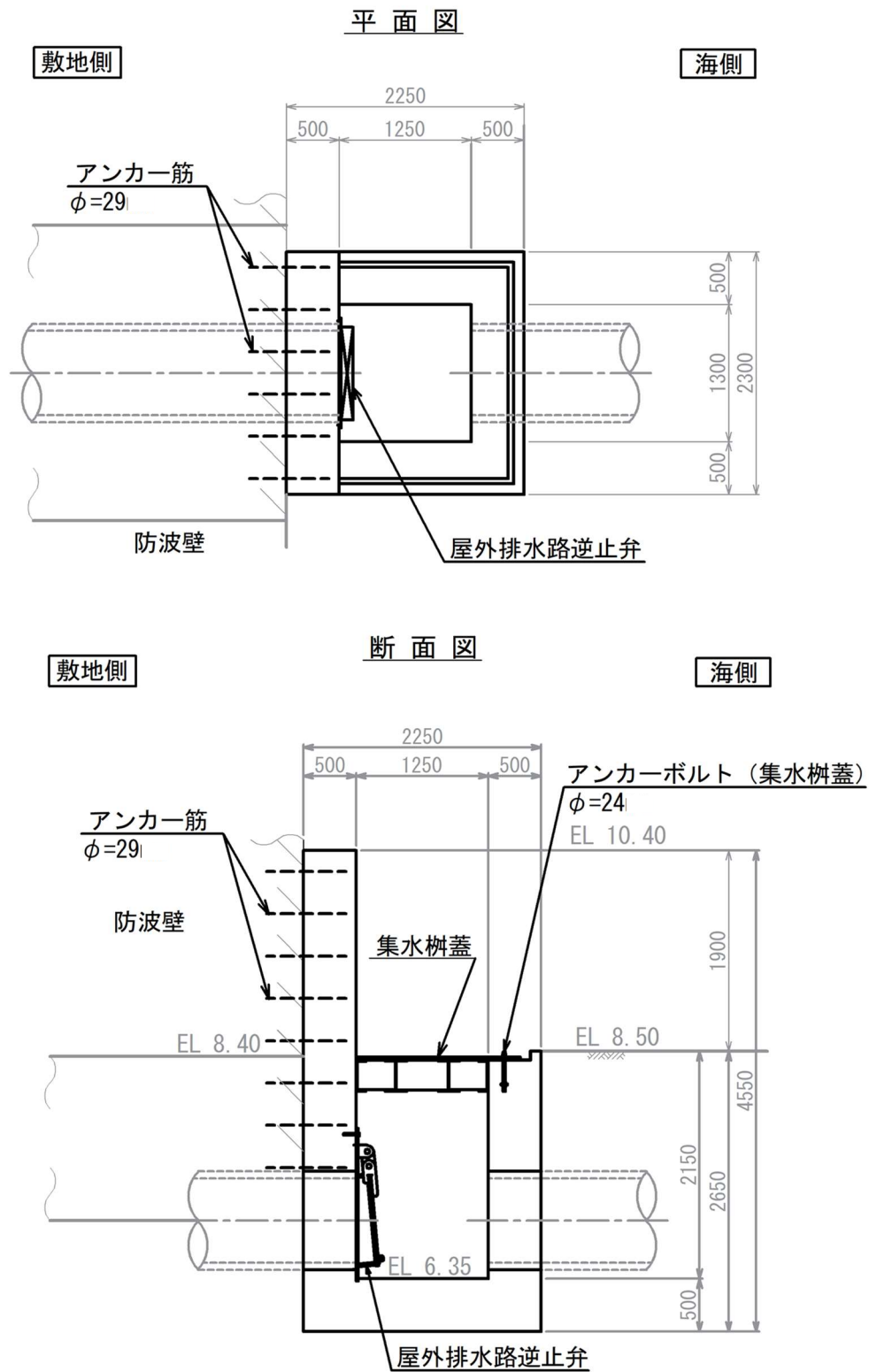
図 6-2(7) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑩)構造図



(単位:mm)

注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.40 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

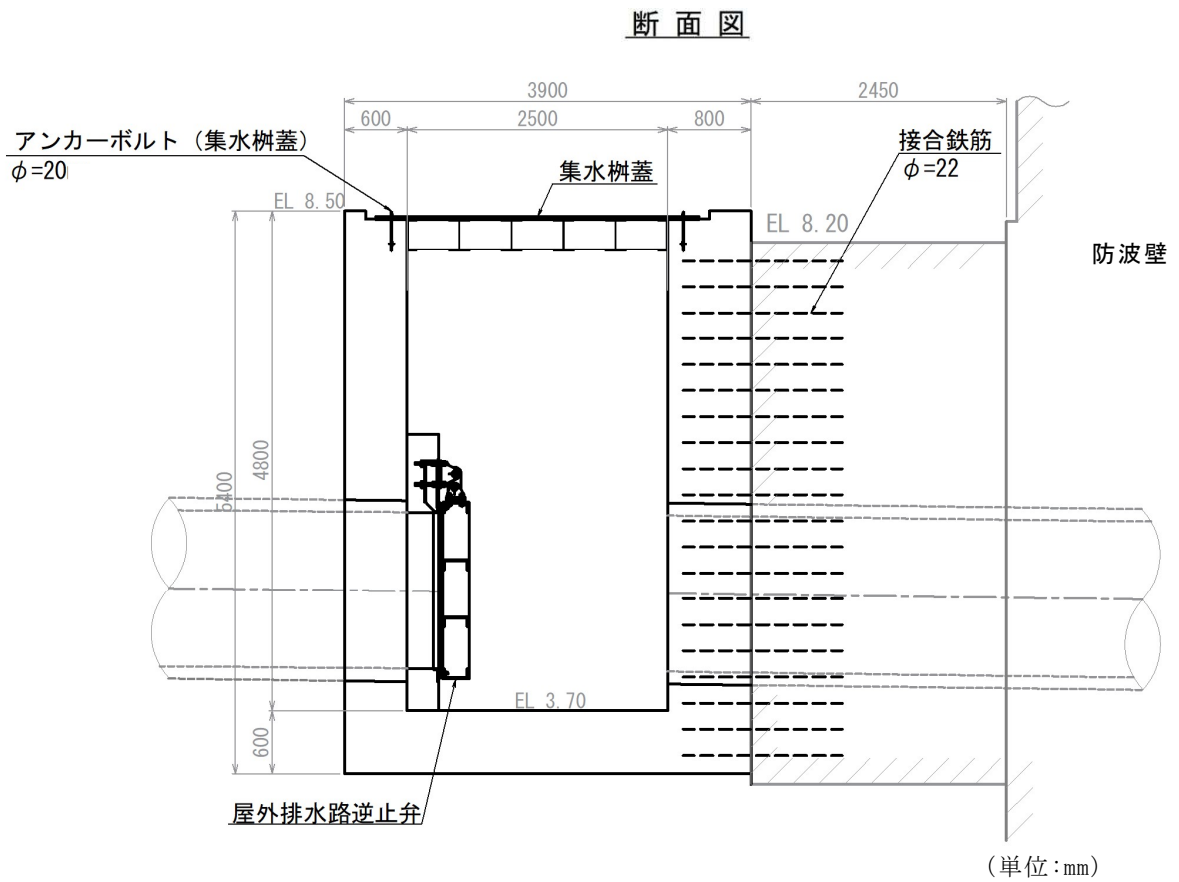
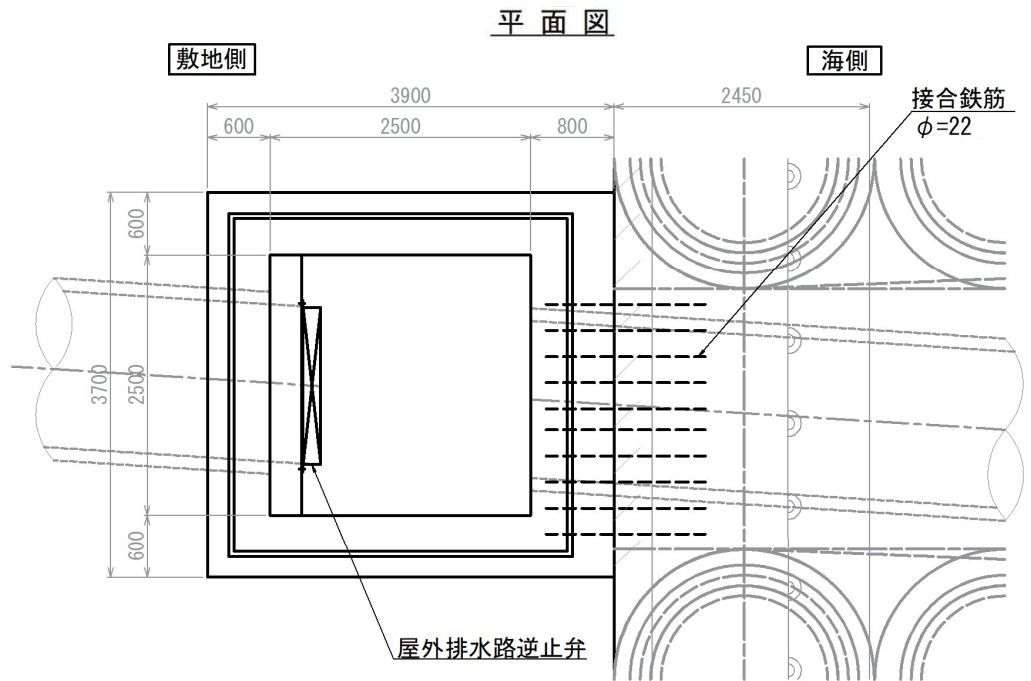
図 6-2(8) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁①)構造図



(単位:mm)

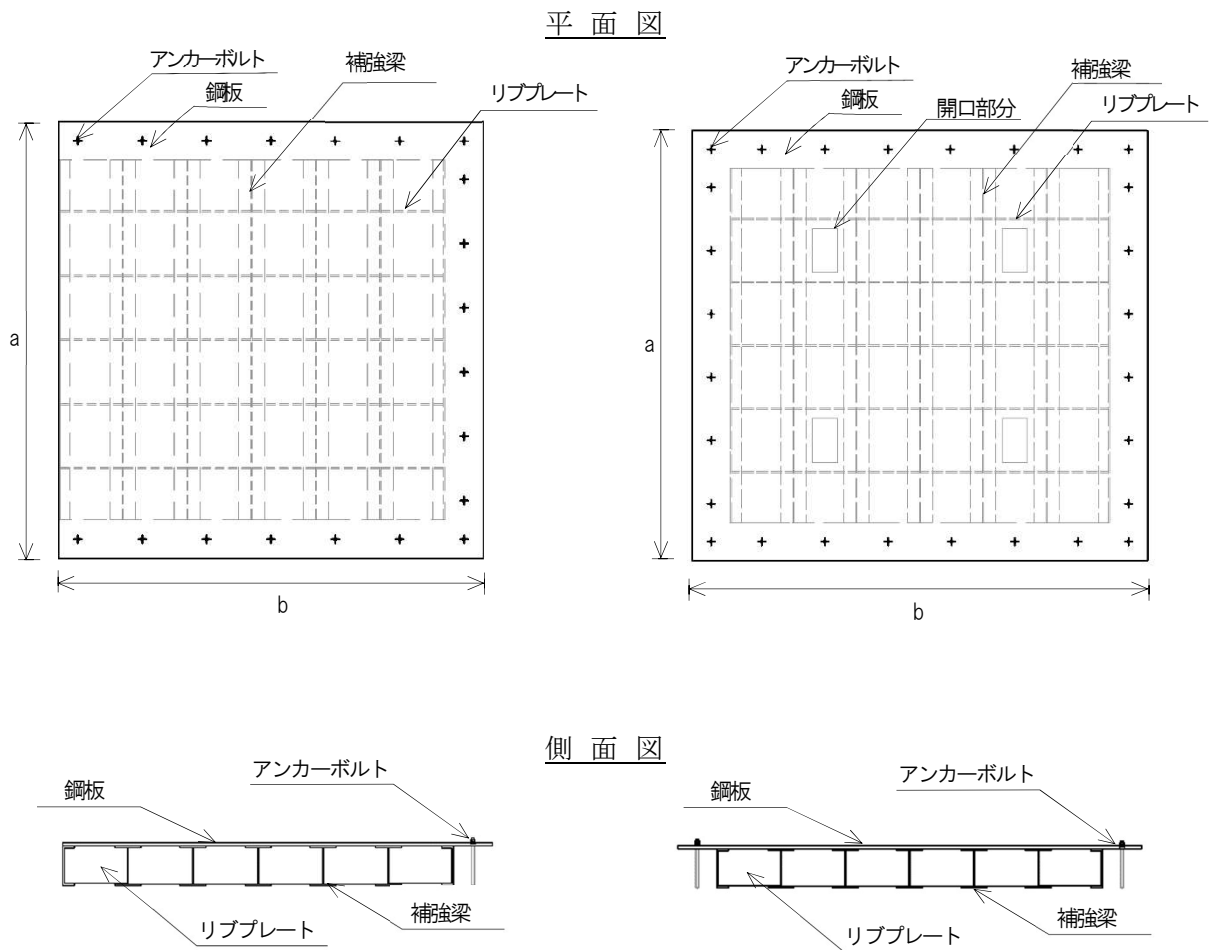
注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.40 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 6-2(9) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁②)構造図



注：集水柵のアンカー筋固定のため側方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 6-2(10) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑬)構造図



【a (mm) × b (mm) , 補強梁本数】

- 3400×3300, 7本 : ①
- 3100×3100, 6本 : ⑬
- 2900×2800, 6本 : ②, ③, ④, ⑤, ⑥
- 1900×1550, 4本 : ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫
- 1800×1450, 4本 : ⑦
- 1600×1300, 3本 : ⑧-1

【a (mm) × b (mm) , 補強梁本数】

- 3400×3600, 7本 : ⑨

図 6-2(11) 集水桝蓋 構造図

表 6-1 集水桝蓋材料

設置名称	材料	a (mm)	b (mm)	補強梁 (本)	リブプレート (本)
集水桝（屋外排水 路逆止弁①）	SS400	3400	3300	7	5
集水桝（屋外排水 路逆止弁②，③， ④，⑤，⑥）	SS400	2900	2800	6	4
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑦）	SS400	1800	1450	4	2
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-1）	SS400	1600	1300	3	1
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-2）	SS400	1900	1550	4	2
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑨）	SS400	3400	3600	7	5
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑩，⑪，⑫）	SS400	1900	1550	4	2
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑬）	SS400	3100	3100	6	4

6.2 評価方針

集水樹の強度評価は、「7. 集水樹の強度評価方法」に示す方法により、「8. 集水樹の強度評価結果」から、集水樹の評価対象部位の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

集水樹の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「津波時」を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

6.2.1 集水樹（防波壁部）

集水樹の強度評価は、表 6-2 の集水樹の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び集水樹の支持性能評価を実施することで、集水樹が構造強度を有すること及び屋外排水路逆止弁を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材のうち集水樹（底版、側壁）及び集水樹蓋の健全性評価については、発生する応力が許容限界以下であることを確認する。また、アンカーボルト（集水樹蓋）については、発生する引張力が許容限界以下であることを確認する。なお、集水樹蓋については、津波の流入経路となる敷地側に設置している箇所を対象に評価する。

集水樹の支持性能評価については、集水樹が防波壁とアンカー筋により固定することから、防波壁と接合するアンカー筋又は接合鉄筋に発生する引張力及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

集水樹（防波壁部）の強度評価フローを図 6-3 に示す。

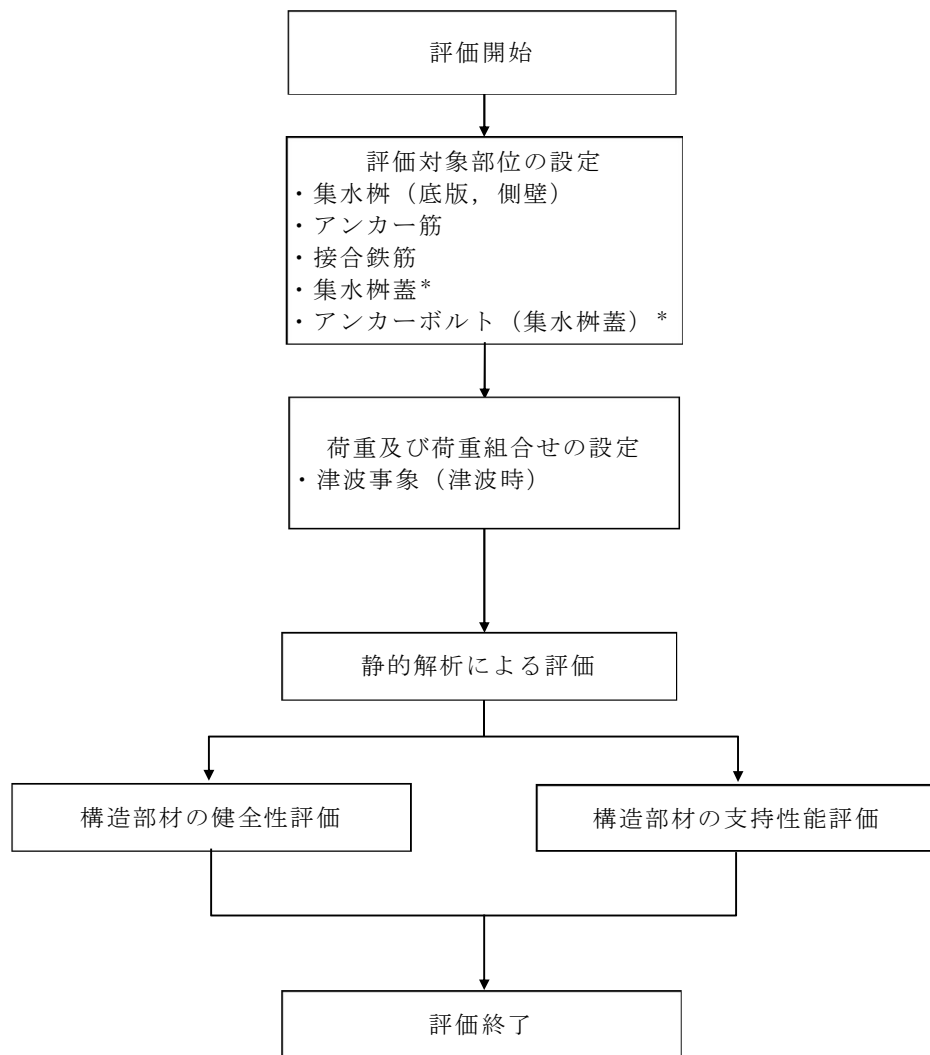
表 6-2(1) 集水桝（防波壁部）の評価項目
 (集水桝①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫)

評価方針	評価項目	評価対象部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	集水桝 (底版, 側壁)	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度
		集水桝蓋 *		
		アンカーボルト (集水桝蓋) *	発生する引張力が許容限界を下回ることを確認	許容引張力
止水性を損なわないこと	構造部材の支持性能	アンカー筋	発生する引張力及びせん断力が許容限界を下回ることを確認	許容引張力及び許容せん断力

注記* : 屋外排水路逆止弁①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥及び⑧-2 が対象

表 6-2(2) 集水桝（防波壁部）の評価項目（集水桝⑬）

評価方針	評価項目	評価対象部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	集水桝 (底版, 側壁)	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度
		集水桝蓋		
		アンカーボルト (集水桝蓋)	発生する引張力が許容限界を下回ることを確認	許容引張力
止水性を損なわないこと	構造部材の支持性能	接合鉄筋	発生する引張応力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度



注記* : 屋外排水路逆止弁①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑧-2 及び⑬が対象

図 6-3 集水樹 (防波壁部) の強度評価フロー

6.2.2 集水桝（改良地盤部）

集水桝の強度評価は、表 6-3 の集水桝の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び集水桝の支持性能評価を実施することで、集水桝が構造強度を有すること及び屋外排水路逆止弁を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材のうち集水桝（底版、側壁）の健全性評価については、発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

集水桝（改良地盤部）の強度評価フローを図 6-4 に示す。

表 6-3 集水桝（改良地盤部）の評価項目
（集水桝⑨）

評価方針	評価項目	評価対象部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	集水桝 （底版、側壁）	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

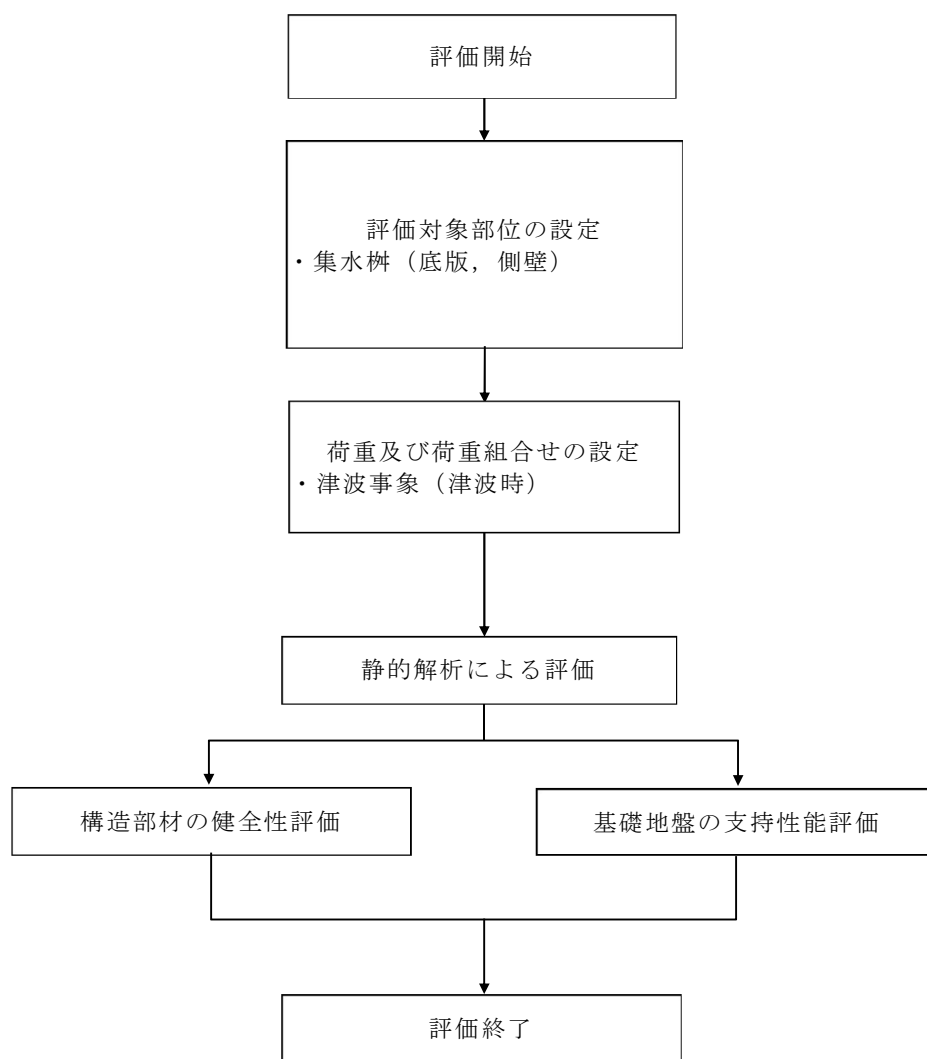


図 6-4 集水柵 (改良地盤部) の強度評価フロー
(集水柵⑨)

6.3 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）
- (2) 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年6月制定）
- (3) 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- (4) 道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編（（社）日本道路協会，平成24年3月）
- (5) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会原子力土木委員会，2005年6月）
- (6) 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年11月）

7. 集水桝の強度評価方法

7.1 評価対象部位

7.1.1 集水桝（防波壁部）

構造部材の健全性評価対象部位は、集水桝の底版と側壁、集水桝蓋及び集水桝と集水桝蓋を接合するアンカーボルトとする。集水桝の支持性能の評価対象部位は、集水桝を防波壁に固定するアンカー筋及び接合鉄筋とする。

7.1.2 集水桝（改良地盤部）

構造部材の健全性評価対象部位は、集水桝の底版と側壁、集水桝蓋及び集水桝と集水桝蓋を接合するアンカーボルトとする。基礎地盤の評価対象地盤は、集水桝（改良地盤部）を支持する改良地盤とする。

7.2 荷重及び荷重の組合せ

7.2.1 荷重

集水桝の強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、屋外排水路逆止弁及び集水桝蓋の荷重を考慮する。

(3) 津波荷重（ P_h ）

津波荷重として、集水桝の設置位置における設置高さ及び浸水深さを考慮して静水圧荷重を算定する。

7.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 7-1 に示す。

表 7-1(1) 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_h$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_h : 津波荷重

表 7-1(2) 荷重の組合せ (詳細)

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	常時考 慮荷重	躯体自重	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	○	屋外排水路逆止弁及び集水柵蓋の荷重を考慮する。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	—	積載荷重は考慮しない。
	静止土圧		—	津波による静水圧と反対方向の荷重のため考慮しない。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		—	集水柵蓋に作用する水圧と反対方向の荷重のため考慮しない。
風荷重		—	風荷重は考慮しない。	
偶発 荷重	静水圧		○	津波時の浸水深さによる静水圧を考慮する。
	衝突荷重		—	漂流物の衝突は考慮しない。

7.3 許容限界

7.3.1 集水桝

集水桝（底版，側壁）の許容限界は，「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表7-2に示す短期許容応力度とする。

表7-2 鉄筋コンクリートの許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck}=24$ N/mm ²)	短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	13.5*
	短期許容せん断応力度 τ_{a1}	0.675*
鉄筋 (SD345)	短期許容曲げ引張応力度 σ_{sa2}	294*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）

7.3.2 アンカー筋

集水桝のアンカー筋の許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年11月）」及びアンカーメーカーにて実施した試験を踏まえた耐力評価式に基づき，表7-3に示す許容引張力及び許容せん断力とする。

表7-3 アンカー筋の許容限界

設備名称	アンカー径	許容引張力 (kN/本)	許容せん断力 (kN/本)	評価式
集水桝（屋外排水路逆止弁①）	D29	88.80	155.10	アンカーメーカー式
集水桝（屋外排水路逆止弁②，③，④，⑤，⑥）		91.80		
集水桝（屋外排水路逆止弁⑦）	D25	105.40	98.10	各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年11月）
集水桝（屋外排水路逆止弁⑧-1）				
集水桝（屋外排水路逆止弁⑧-2）				
集水桝（屋外排水路逆止弁⑩）	D29	108.80	95.50	アンカーメーカー式
集水桝（屋外排水路逆止弁⑪）				
集水桝（屋外排水路逆止弁⑫）				

7.3.3 接合鉄筋

集水桝の接合鉄筋の許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表7-4に示す短期許容応力度とする。

表7-4 接合鉄筋の許容限界

設備名称	鉄筋径	短期許容 応力度 (N/mm ²)	適用規格
集水桝（屋外排水路逆止弁⑬）	D22	294.0	コンクリート 標準示方書 [構造性能照 査編]（（社） 土木学会， 2002年制定）

7.3.4 基礎地盤の支持性能

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，改良地盤の極限支持力度とする。

改良地盤の許容限界を表7-5に示す。

表7-5 基礎地盤の許容限界

設備名称	評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
集水桝 (屋外排水路逆止弁⑨)	極限支持力度	改良地盤⑤	2.5

7.3.5 集水柵蓋

集水柵に設置する集水柵蓋の許容限界は、「道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，表 7-6 に示す曲げ応力度及びせん断応力度とする。

表 7-6 集水柵蓋（鋼板）の許容限界

設備名称	曲げ応力度 (N/mm ²)	せん断応力度 (N/mm ²)
集水柵（屋外排水路逆止弁①）	210	120
集水柵（屋外排水路逆止弁②）		
集水柵（屋外排水路逆止弁③）		
集水柵（屋外排水路逆止弁④）		
集水柵（屋外排水路逆止弁⑤）		
集水柵（屋外排水路逆止弁⑥）		
集水柵（屋外排水路逆止弁⑧-2）		
集水柵（屋外排水路逆止弁⑬）		

7.3.6 アンカーボルト（集水柵蓋）

集水柵と集水柵蓋を接合するアンカーボルト（集水柵蓋）の許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき，表 7-7 に示す許容引張力とする。

表 7-7 アンカーボルト（集水柵蓋）の許容限界

設備名称	許容引張力 (kN/本)
集水柵（屋外排水路逆止弁①）	82.95
集水柵（屋外排水路逆止弁②）	
集水柵（屋外排水路逆止弁③）	
集水柵（屋外排水路逆止弁④）	
集水柵（屋外排水路逆止弁⑤）	
集水柵（屋外排水路逆止弁⑥）	
集水柵（屋外排水路逆止弁⑧-2）	57.57
集水柵（屋外排水路逆止弁⑬）	

7.4 評価方法

7.4.1 集水桝（防波壁部）

(1) 底版の評価

集水桝の底版については、法線方向及び法線直交方向の側壁との結合部を固定端とする四辺固定スラブとして鉄筋コンクリート部材の構造健全性を確認する。底版に生じる曲げモーメント及びせん断力によって底版のみを有効断面として応力度を算出し許容限界以下であることを確認する。四辺固定版モデル概要図を図 7-1 に示す。

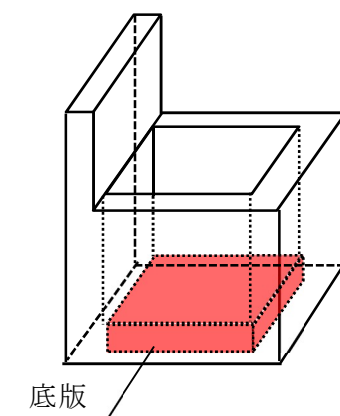


図 7-1 四辺固定版モデル概要図

(2) 側壁の評価

集水桝の側壁については、底版及び法線直交方向の側壁との結合部を固定端、開口面となる上面を自由端とする三辺固定一边自由スラブとして曲げモーメント及びせん断力を算出し、鉄筋コンクリートの構造健全性を確認する。側壁に生じる曲げモーメント及びせん断力によって側壁のみを有効断面として応力度を算出し許容限界以下であることを確認する。三辺固定版モデルの概要図を図 7-2 に示す。

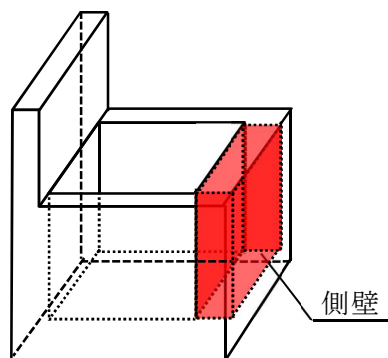


図 7-2 三辺固定版モデル概要図

(3) アンカー筋の評価

アンカー筋の支持性能評価においては、集水桝に働く作用力及びその方向と支点との関係によりアンカー筋に作用する引張力及びせん断力を算出し、許容限界以下であることを確認する。

(4) 接合鉄筋の評価

接合鉄筋の支持性能評価においては、接合鉄筋に働く引張応力を算出し、鉄筋の健全性を確認する。接合部に働く曲げモーメントによる接合鉄筋の引張応力を算出し許容限界以下であることを確認する。

7.4.2 集水桝（改良地盤部）

(1) 底版の評価

集水桝の底版については、法線方向及び法線直交方向の側壁との結合部を固定端とする四辺固定スラブとして鉄筋コンクリート部材の構造健全性を確認する。底版に生じる曲げモーメント及びせん断力によって底版のみを有効断面として応力度を算出し許容限界以下であることを確認する。四辺固定版モデル概要図を図 7-3 に示す。

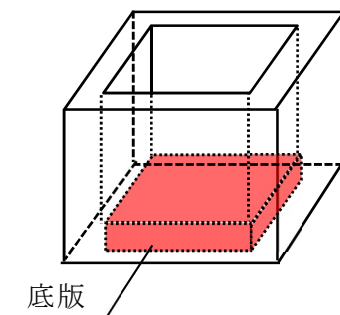


図 7-3 四辺固定版モデル概要図

(2) 側壁の評価

集水桝の側壁については、底版及び法線直交方向の側壁との結合部を固定端、開口面となる上面を自由端とする三辺固定一辺自由スラブとして曲げモーメント及びせん断力を算出し、鉄筋コンクリートの構造健全性を確認する。側壁に生じる曲げモーメント及びせん断力によって側壁のみを有効断面として応力度を算出し許容限界以下であることを確認する。三辺固定版モデルの概要図を図 7-4 に示す。

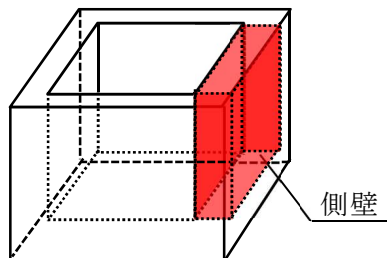


図 7-4 三辺固定版モデル概要図

(3) 基礎地盤の支持性能の評価

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

7.4.3 集水桝蓋の評価

集水桝蓋の構造健全性評価においては、保守的に補強梁及びリブプレートを考慮せず、集水桝蓋（鋼板）の長辺方向を単純支持梁モデルにより、作用する曲げ応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認する。集水桝蓋（鋼板）のモデル概要図を図 7-5 に示す。

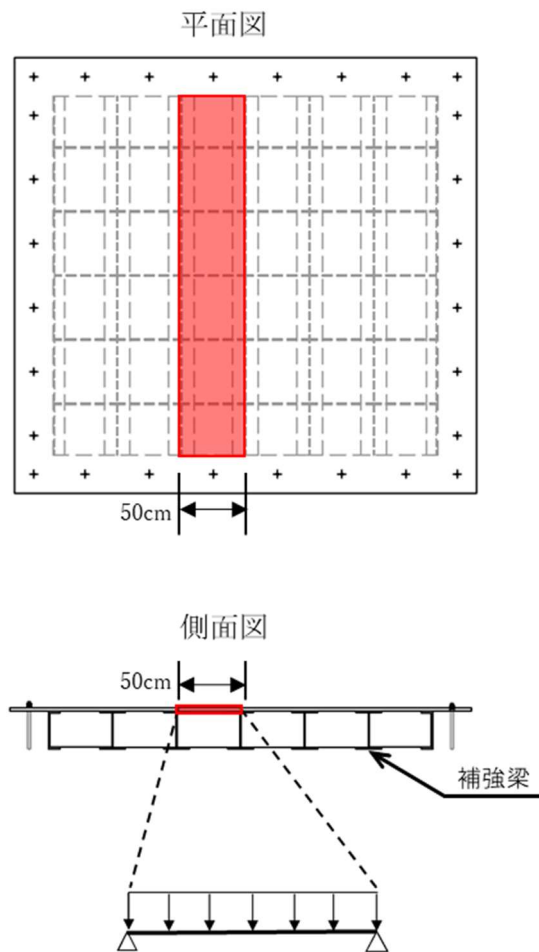


図 7-5 集水桝蓋（鋼板）のモデル概要図

7.4.4 アンカーボルト（集水桝蓋）の評価

アンカーボルト（集水桝蓋）の構造健全性評価においては，集水桝内からの浮き上がりに対し，蓋を固定するアンカーボルトに作用する引張力を算定し，許容限界以下であることを確認する。アンカーボルトのモデル概要図を図 7-6 に示す。

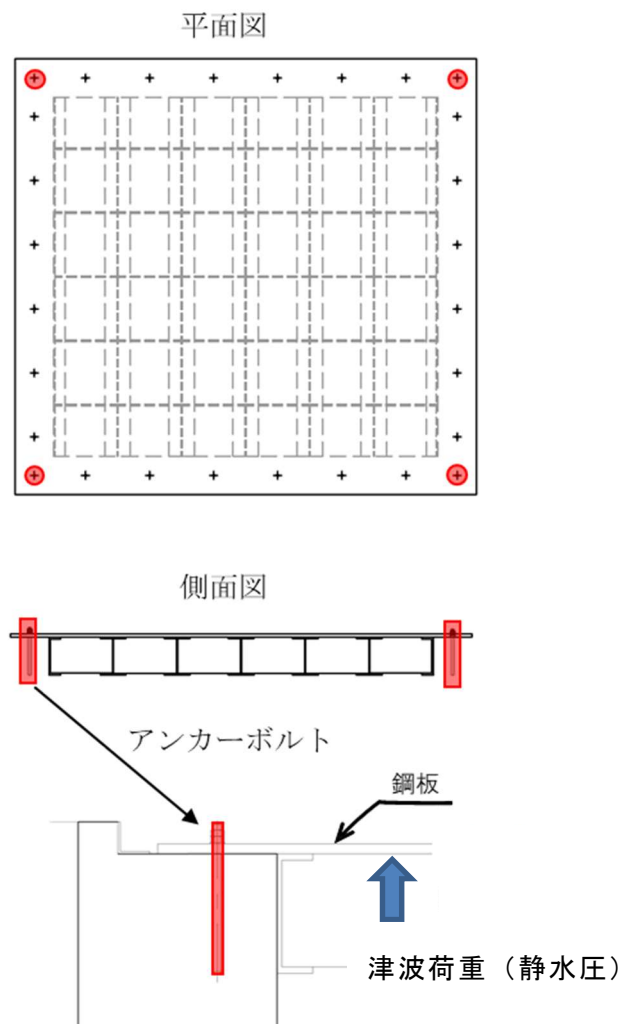


図 7-6 アンカーボルトのモデル概要図

7.5 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 7-8 に，材料の物性値を表 7-9 に示す。

表 7-8 使用材料

諸元		
集水柵	鉄筋	SD345 (D13)
		SD345 (D16)
		SD345 (D19)
		SD345 (D22)
		SD345 (D25)
		SD345 (D29)
		SD345 (D32)
		SD345 (D35)
	コンクリート	設計基準強度 24 N/mm ²
	アンカー筋	SD345 (D25)
SD345 (D29)		
接合鉄筋	SD345 (D22)	
集水柵蓋	鋼板	SS400 (PL25)
	アンカーボルト (集水柵蓋)	ABR400 (M20)
		SS400 (M24)

表 7-9 材料の物性値

材料	設計基準強度 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24	24.5	2.50×10^4	0.2

8. 集水桝の強度評価結果

8.1 集水桝の曲げ軸力評価結果

集水桝の概略配筋図を図 8-1 に、曲げ軸力に対する照査結果を表 8-1 に示す。

集水桝（底版，側壁）のコンクリートに発生する曲げ圧縮応力及び鉄筋に発生する曲げ引張応力が許容限界以下であることを確認した。なお，発生応力は各部材において最大となる値を示している。

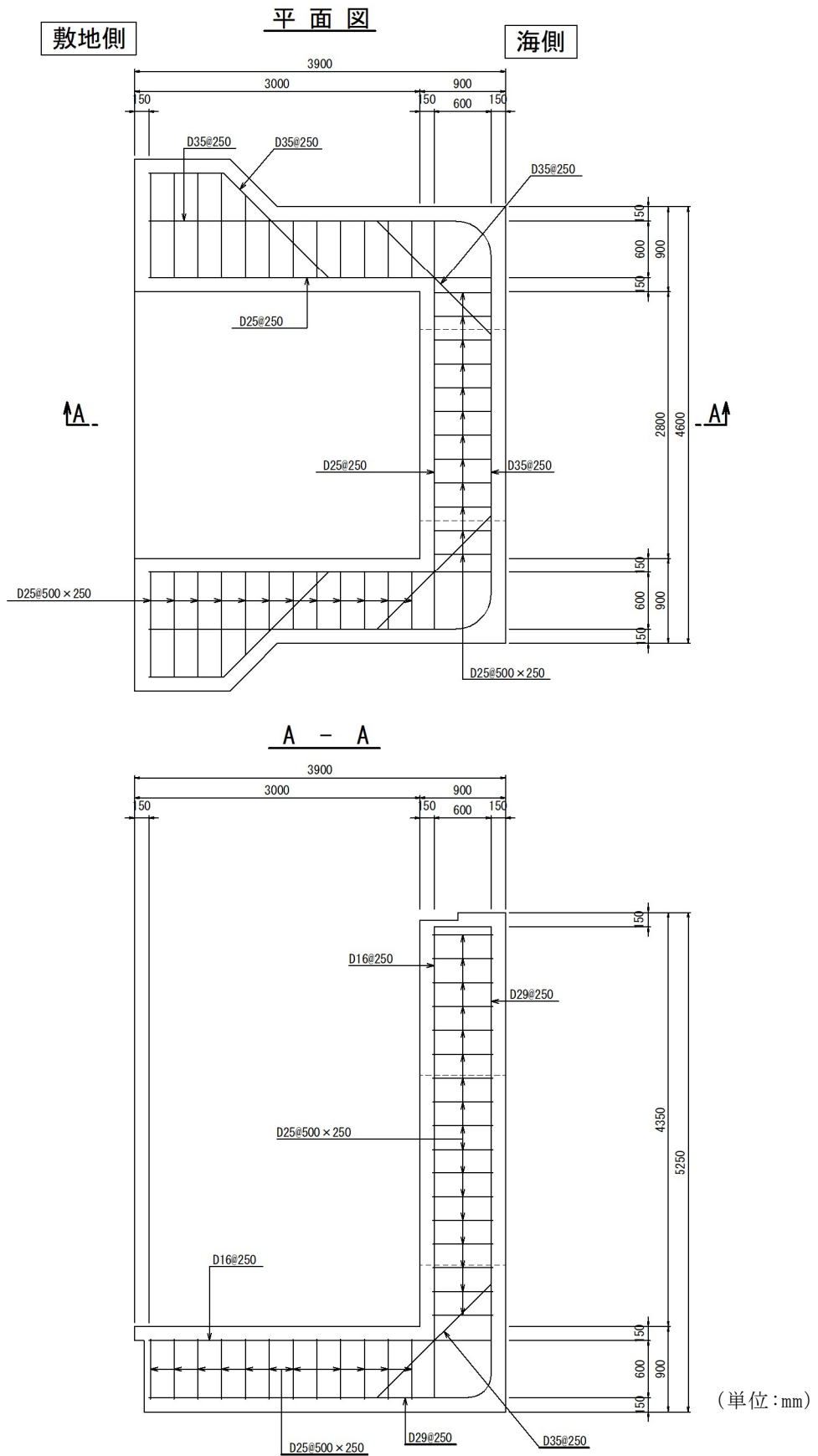


図 8-1(1) 概略配筋図 (集水樹 (屋外排水路逆止弁①))

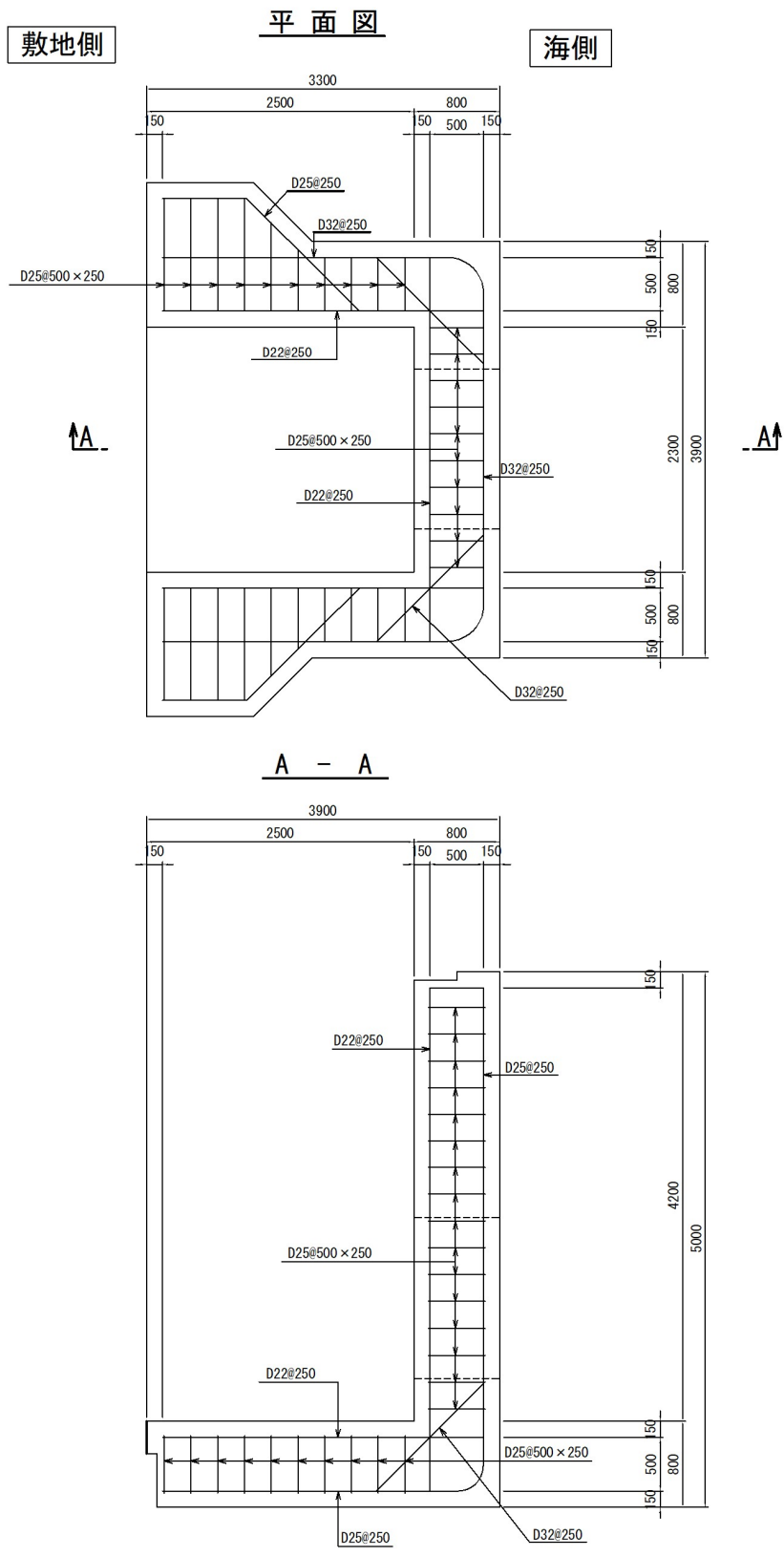
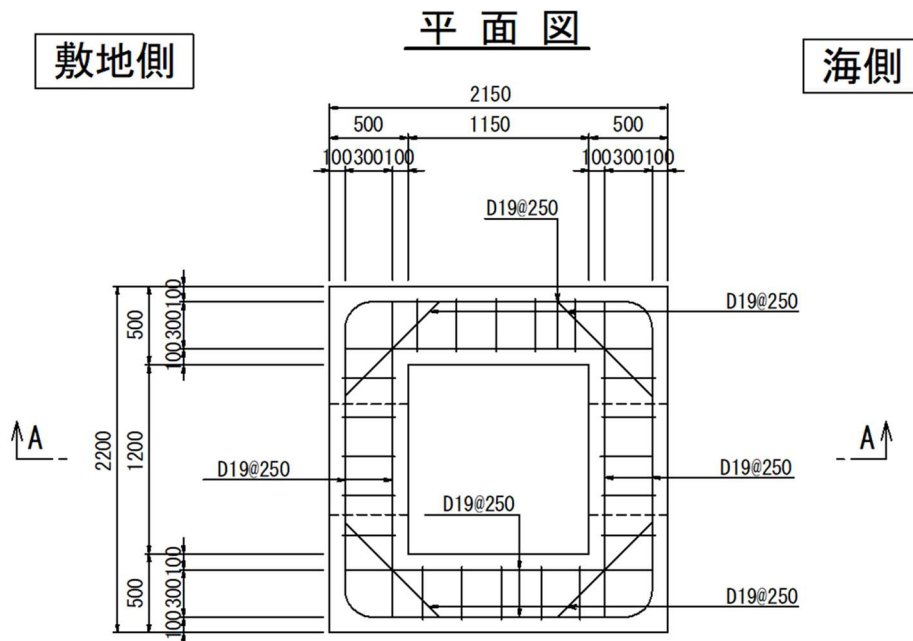
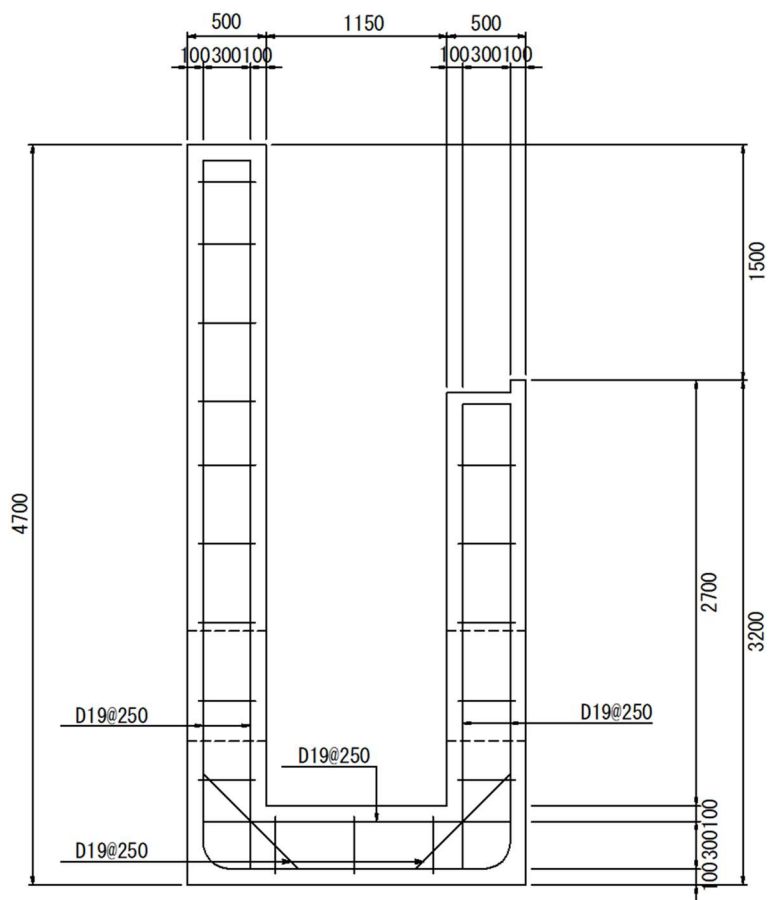


図 8-1(2) 概略配筋図 (集水桝 (屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥))

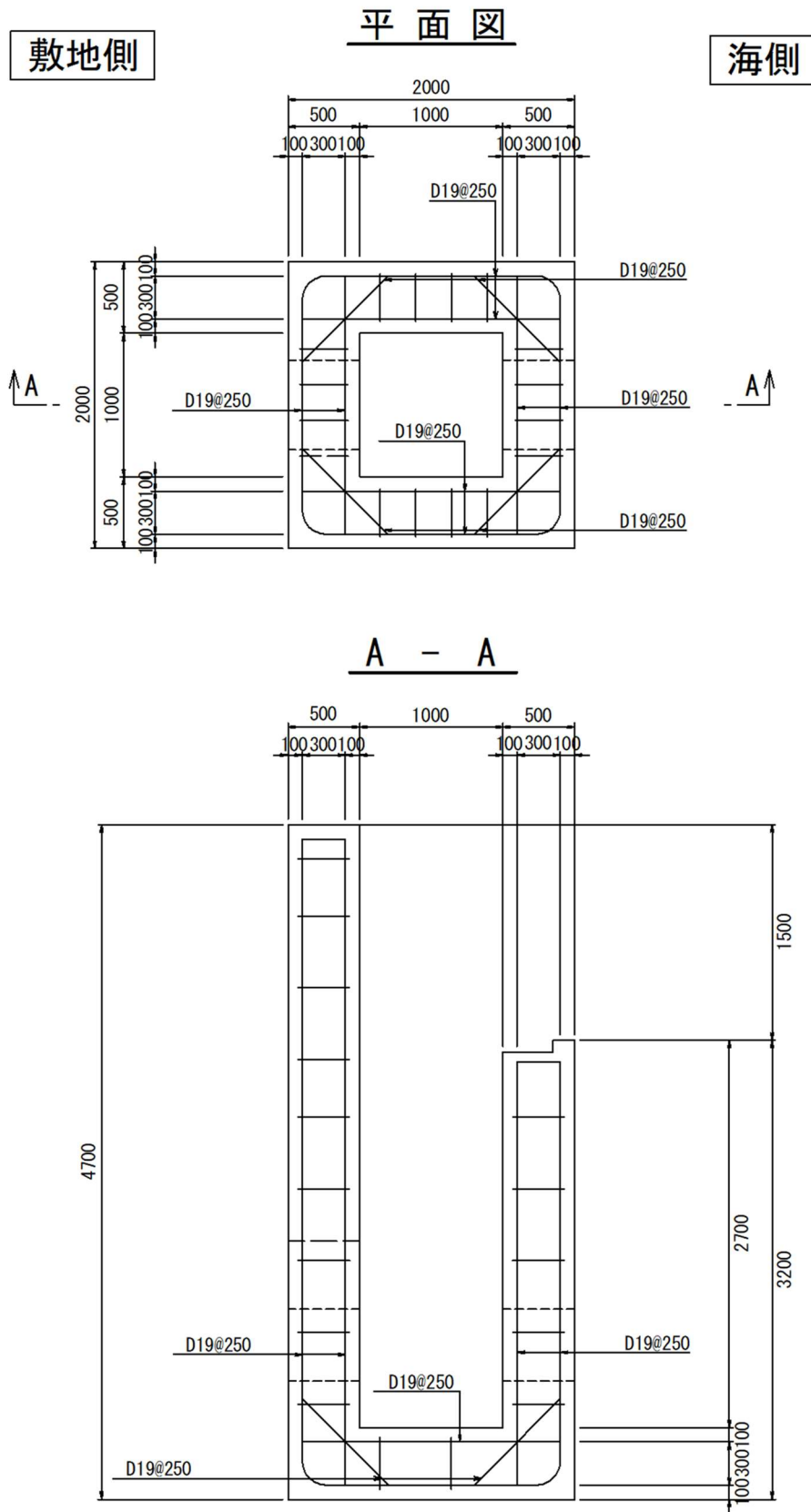


A - A



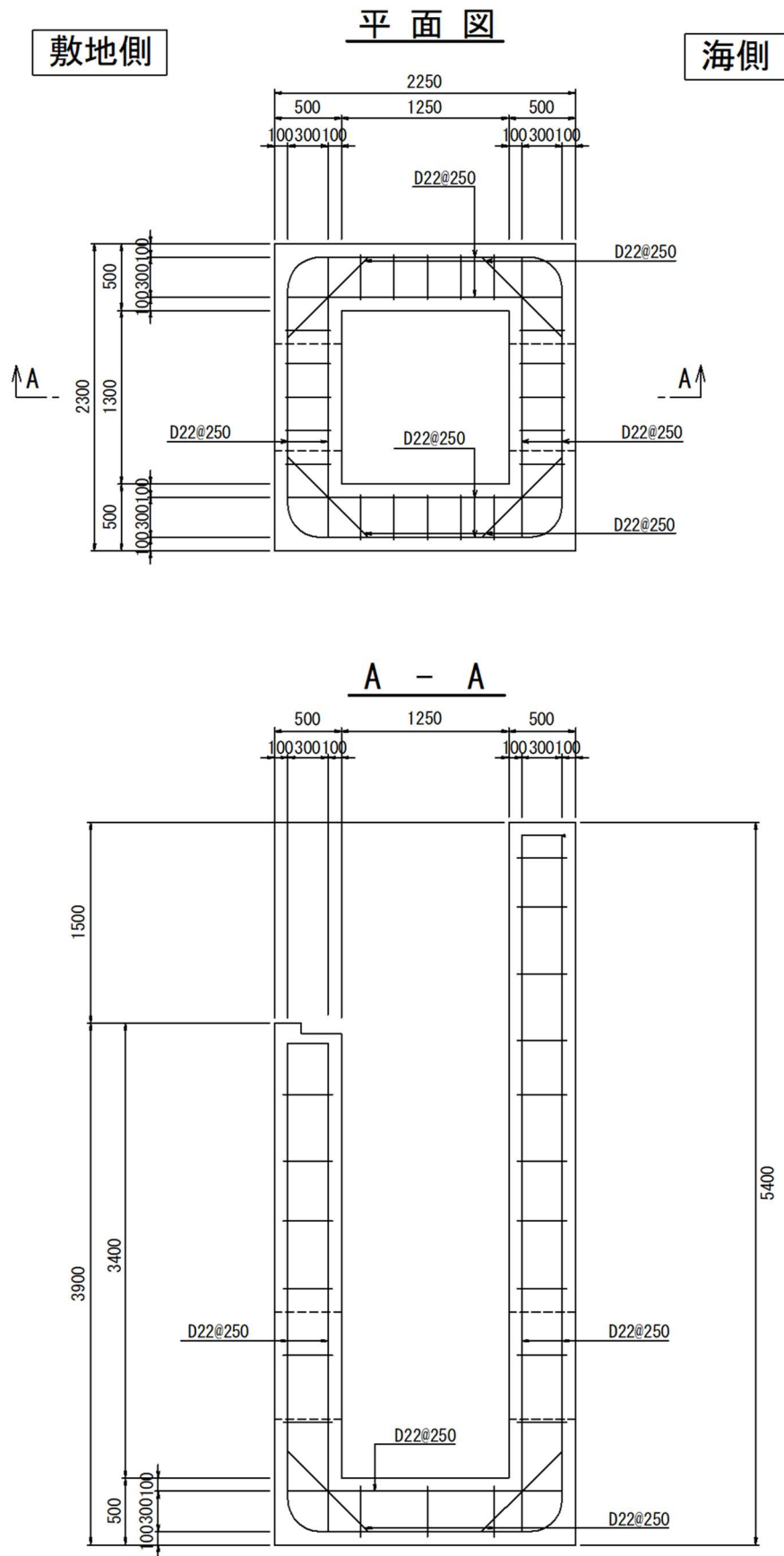
(単位: mm)

図 8-1(3) 概略配筋図 (集水枡 (屋外排水路逆止弁⑦))



(单位: mm)

图 8-1(4) 概略配筋图 (集水柵 (屋外排水路逆止弁⑧-1))



(単位:mm)

図 8-1(5) 概略配筋図 (集水柵 (屋外排水路逆止弁⑧-2))

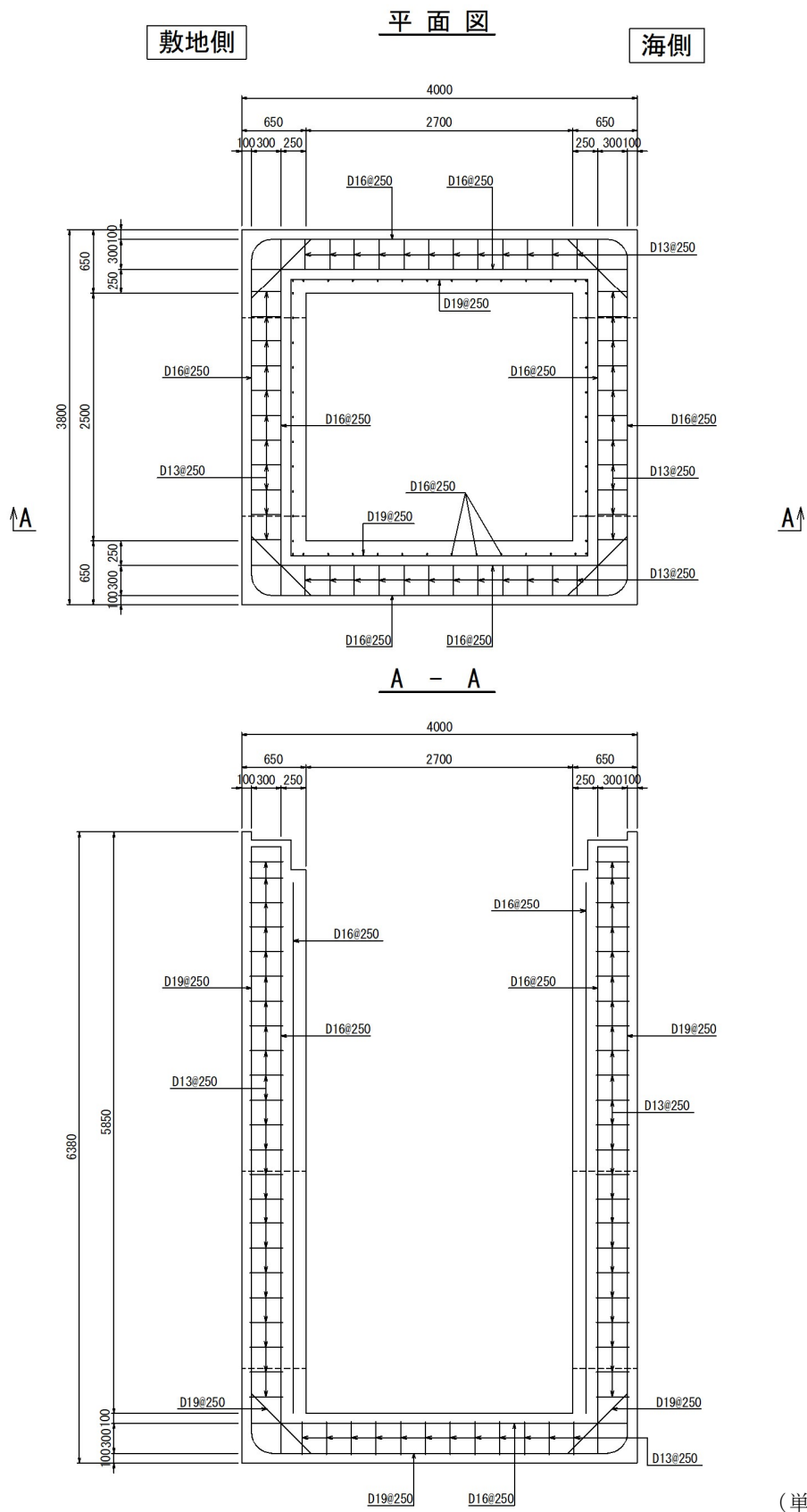
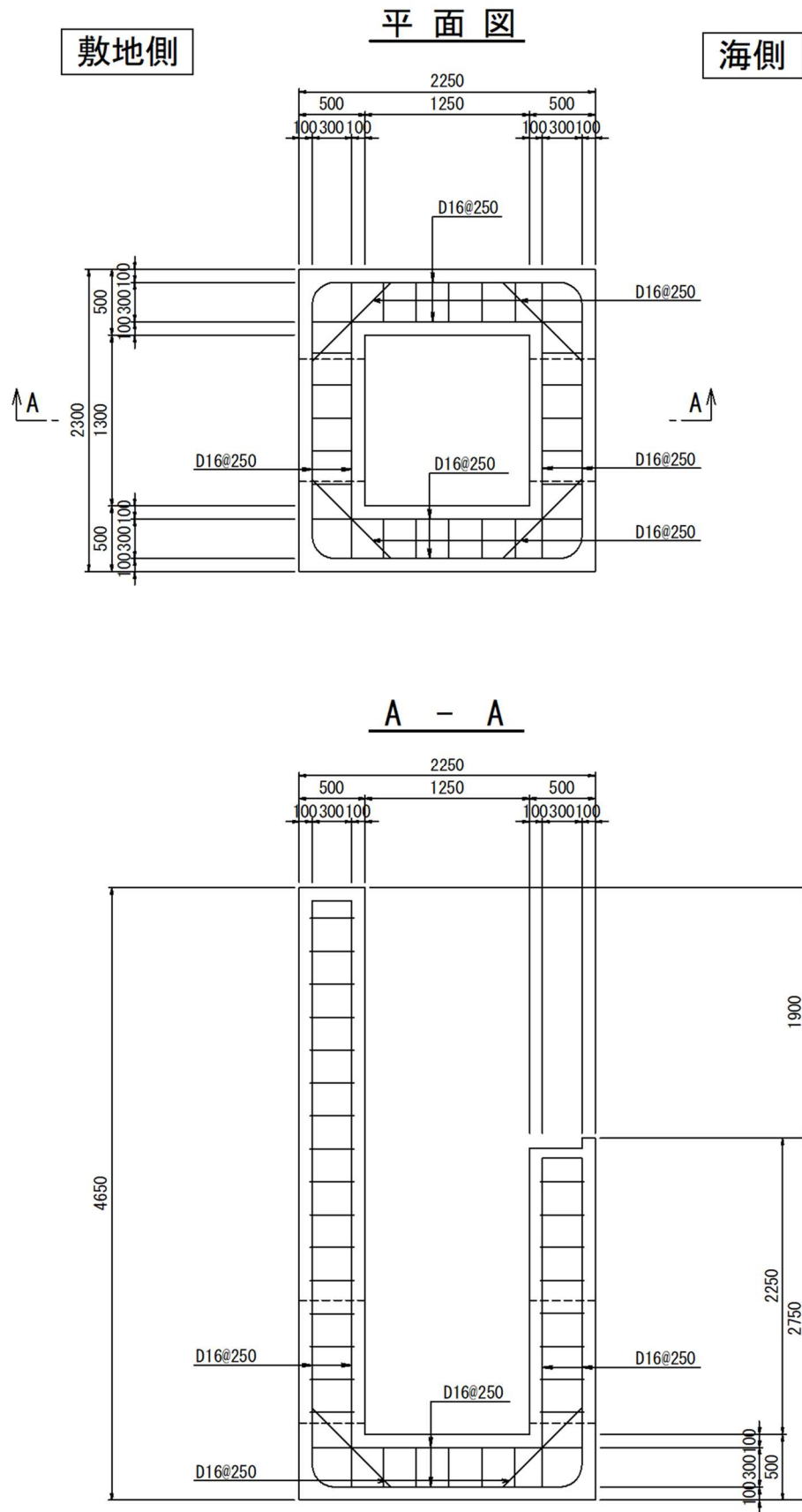


図 8-1(6) 概略配筋図 (集水榭 (屋外排水路逆止弁⑨))



(単位: mm)

図 8-1(7) 概略配筋図 (集水桝 (屋外排水路逆止弁⑩))

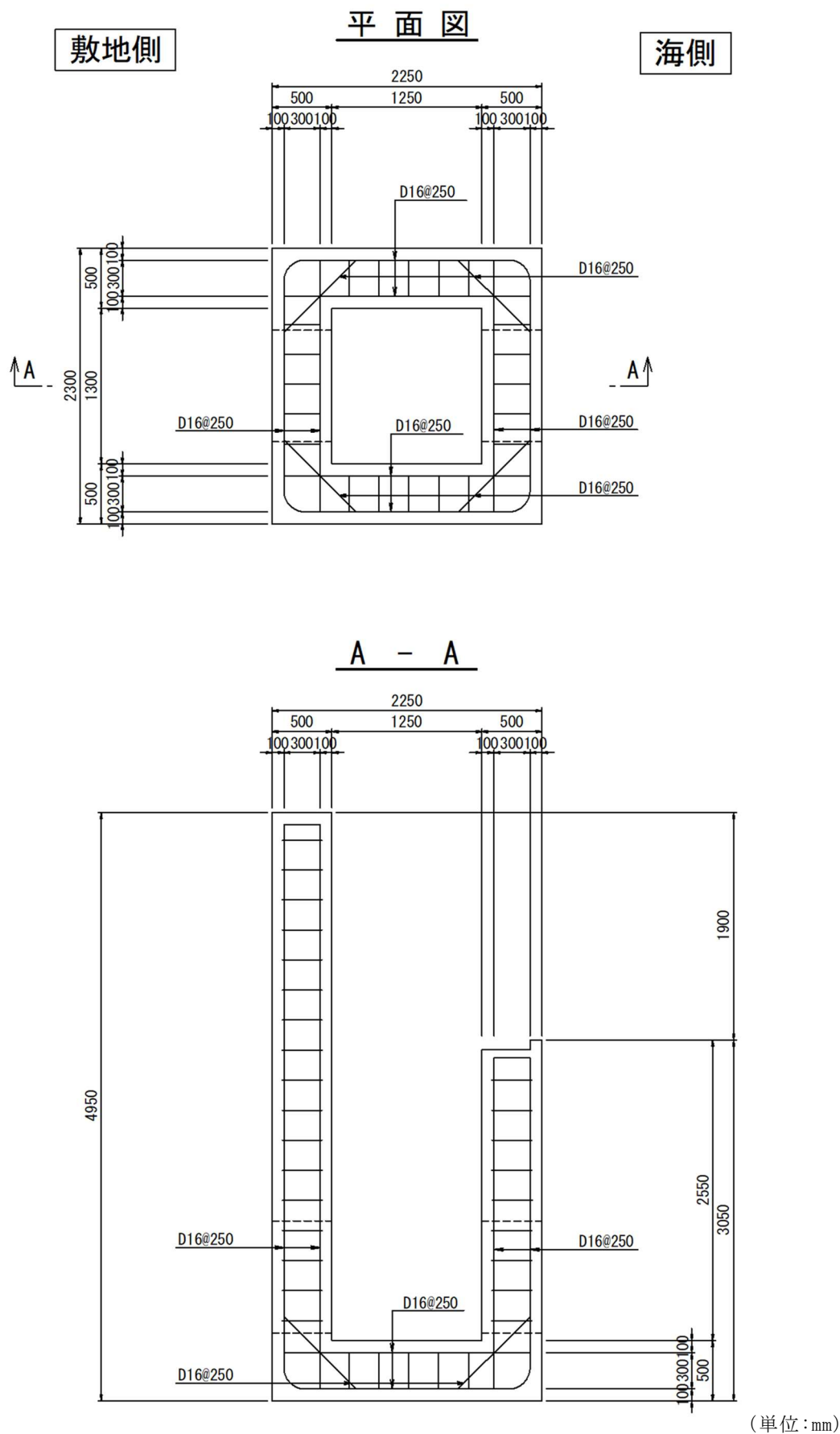


図 8-1(8) 概略配筋図 (集水枳 (屋外排水路逆止弁①))

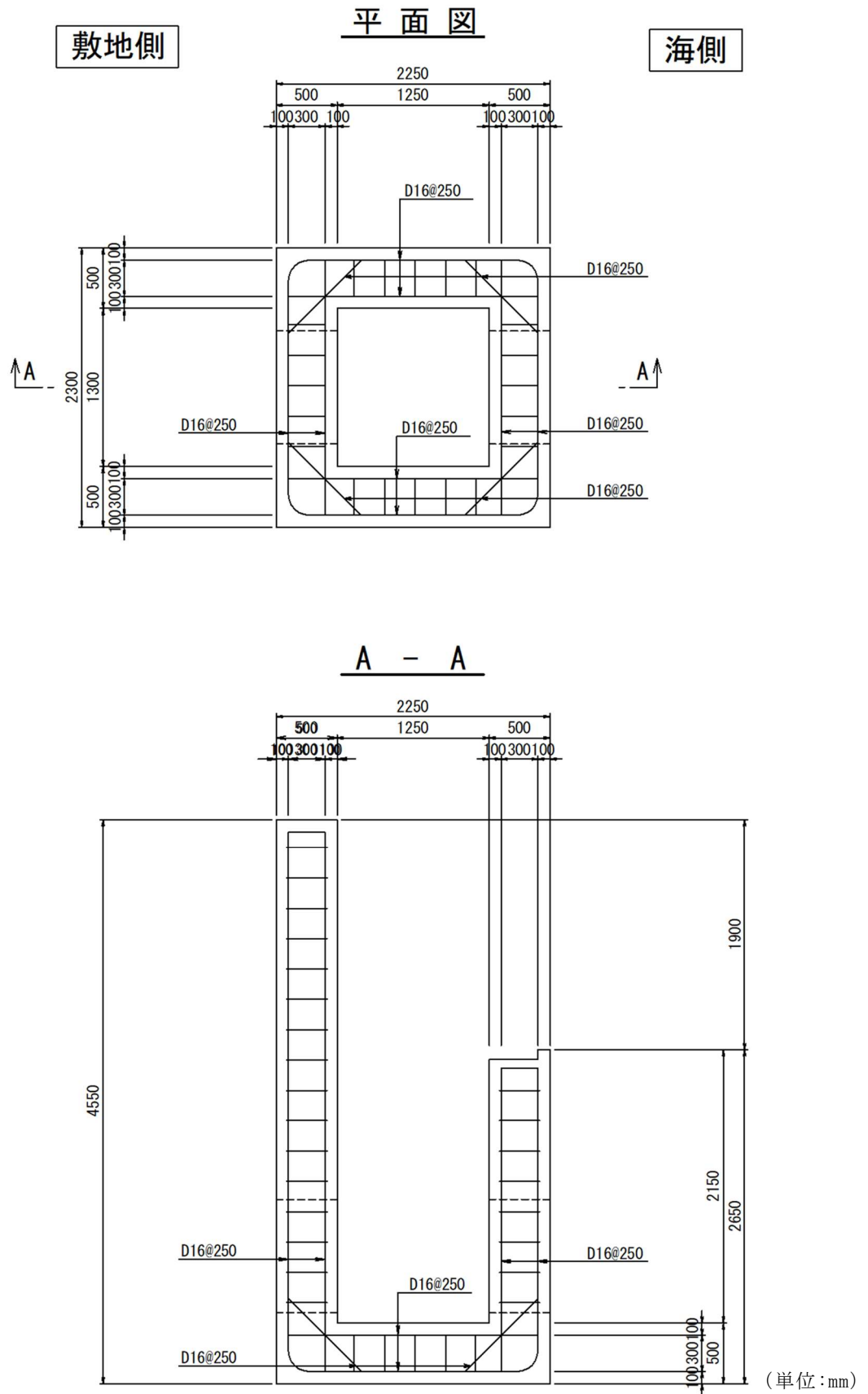
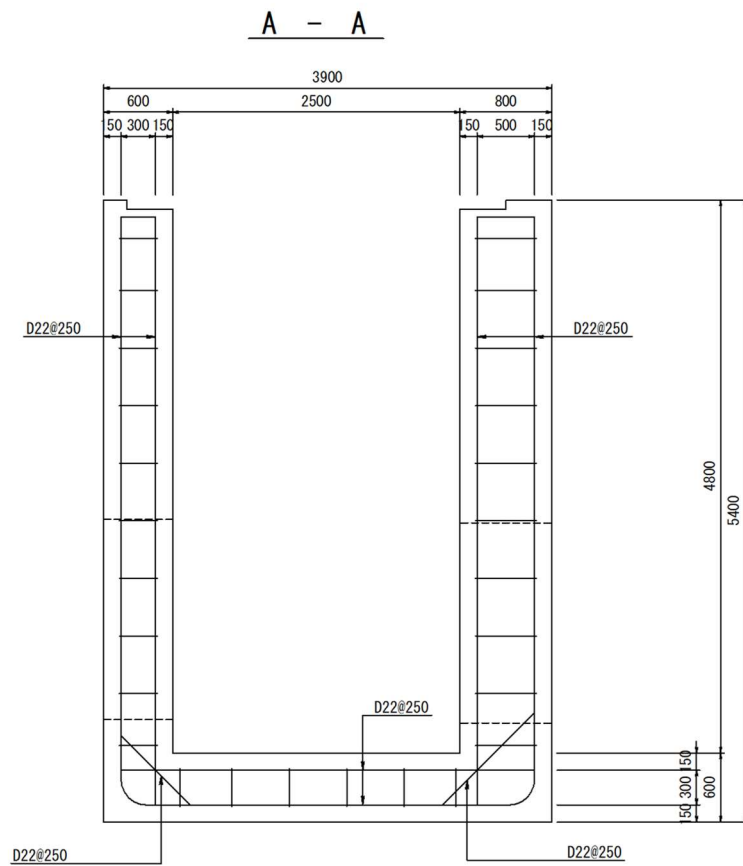
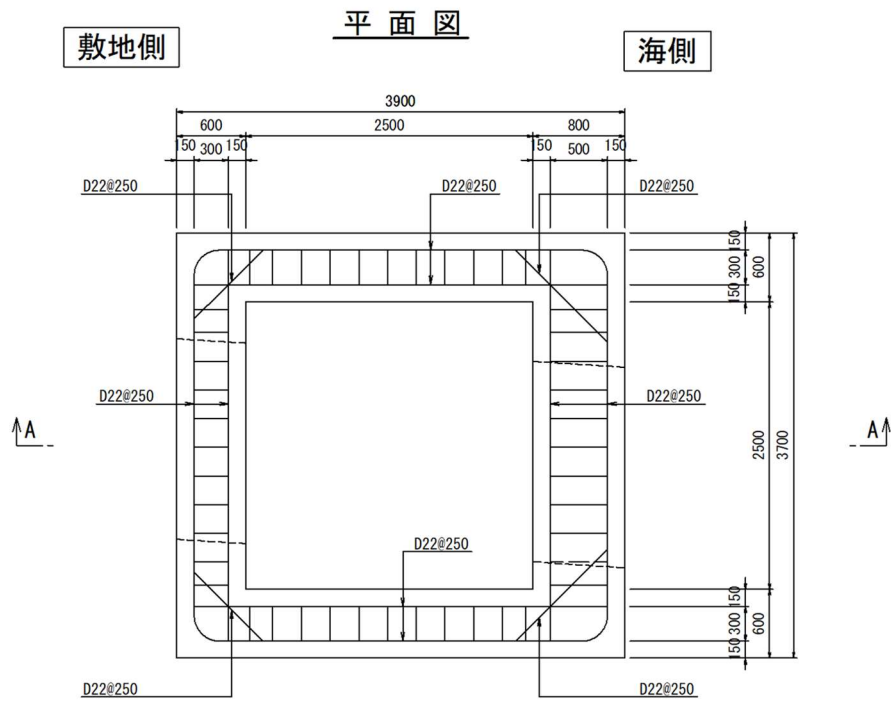


図 8-1(9) 概略配筋図 (集水枳 (屋外排水路逆止弁⑫))



(単位: mm)

図 8-1(10) 概略配筋図 (集水桝 (屋外排水路逆止弁⑬))

表 8-1(1) 曲げ軸力に対する照査結果（津波時：底版）

設備名称	底版寸法 (mm)	曲げ モーメント* (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)		曲げ 圧縮応力 照査値	曲げ 引張応力 照査値
					曲げ 圧縮	曲げ 引張		
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	4600×3900	234.23 110.37	3.35	195.90	13.5	294	0.25	0.67
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	3900×3300	167.39	3.67	180.38	13.5	294	0.28	0.62
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦）	2200×2150	18.51	1.00	44.11	13.5	294	0.08	0.16
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-1）	2000×2000	16.38	0.88	39.04	13.5	294	0.07	0.14
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	2300×2250	25.08	1.21	44.79	13.5	294	0.09	0.16
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑨）	3800×4000	116.20	6.26	276.88	13.5	294	0.47	0.95
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑩）	2300×2250	18.35	1.14	62.25	13.5	294	0.09	0.22
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑪）	2300×2250	19.99	1.24	67.78	13.5	294	0.10	0.24
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑫）	2300×2250	17.82	1.11	60.44	13.5	294	0.09	0.21
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑬）	3700×3900	70.95	2.82	112.06	13.5	294	0.21	0.39

注記*：集水桝（屋外排水路逆止弁①）については、上段は曲げ圧縮応力算定時の曲げモーメント、下段は曲げ引張応力算定時の曲げモーメントを示す。なお、その他の集水桝については、曲げ圧縮応力及び曲げ引張応力算定時の曲げモーメントは同値となる。

表 8-1(2) 曲げ軸力に対する照査結果（津波時：側壁）

設備名称	側壁寸法 (mm)	曲げ モーメント* (kN・m)	曲げ 圧縮応力 (N/mm ²)	曲げ 引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)		曲げ 圧縮応力 照査値	曲げ 引張応力 照査値
					曲げ 圧縮	曲げ 引張		
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	5250×4600	85.19 34.91	1.22	61.97	13.5	294	0.10	0.22
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	5000×3900	66.77	1.32	55.55	13.5	294	0.10	0.19
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦）	3200×2200	13.57	0.73	32.34	13.5	294	0.06	0.11
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-1）	3200×2000	10.72	0.58	25.55	13.5	294	0.05	0.09
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	3900×2300	16.61	0.80	29.65	13.5	294	0.06	0.11
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑨）	6350×3800	83.49	3.14	203.82	13.5	294	0.24	0.70
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑩）	2750×2300	14.26	0.89	48.36	13.5	294	0.07	0.17
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑪）	3050×2300	14.84	0.92	50.32	13.5	294	0.07	0.18
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑫）	2650×2300	11.77	0.73	39.92	13.5	294	0.06	0.14
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑬）	5400×3700	53.85	2.14	85.05	13.5	294	0.16	0.29

注記*：集水桝（屋外排水路逆止弁①）については、上段は曲げ圧縮応力算定時の曲げモーメント、下段は曲げ引張応力算定時の曲げモーメントを示す。なお、その他の集水桝については、曲げ圧縮応力及び曲げ引張応力算定時の曲げモーメントは同値となる。

8.2 集水桝のせん断力評価結果

集水桝のせん断力に対する照査結果を表 8-2 に示す。

集水桝（底版，側壁）に発生するせん断応力が許容限界以下であることを確認した。なお，発生応力は各照査断面において最大となる値を示している。

表 8-2(1) せん断力に対する照査結果（津波時：底版）

設備名称	設計基準強度 (N/mm ²)	せん断補強筋	発生せん断 応力度* (N/mm ²)	許容限界* (N/mm ²)	照査値
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	24	SD345	0.54	0.675	0.80
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	24	SD345	0.53	0.675	0.79
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦）	24	SD345	0.24	0.675	0.36
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-1）	24	SD345	0.23	0.675	0.35
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	24	SD345	0.30	0.675	0.45
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑨）	24	SD345	241.25	294	0.83
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑩）	24	SD345	0.22	0.675	0.33
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑪）	24	SD345	0.24	0.675	0.36
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑫）	24	SD345	0.21	0.675	0.32
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑬）	24	SD345	0.43	0.675	0.64

注記*：集水桝（屋外排水路逆止弁⑨）については，せん断補強筋で負担する発生せん断応力度及びそれに対する許容限界を示す。なお，その他の集水桝については，コンクリートで評価する。

表 8-2(2) せん断力に対する照査結果 (津波時：側壁)

設備名称	設計基準強度 (N/mm ²)	発生せん断力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
集水桝 (屋外排水路 逆止弁①)	24	0.20	0.675	0.30
集水桝 (屋外排水路 逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)	24	0.21	0.675	0.32
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑦)	24	0.13	0.675	0.20
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑧-1)	24	0.11	0.675	0.17
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑧-2)	24	0.15	0.675	0.23
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑨)	24	0.27	0.675	0.40
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑩)	24	0.13	0.675	0.20
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑪)	24	0.13	0.675	0.20
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑫)	24	0.11	0.675	0.17
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑬)	24	0.25	0.675	0.38

8.3 アンカー筋の支持性能評価結果

集水樹のアンカー筋に作用する引張力及びせん断力について、アンカー筋の許容引張力及び許容せん断力に対する照査結果を表 8-3 に示す。照査を行った結果、作用力が許容限界以下であることを確認した。

表 8-3(1) アンカー筋の引張力に対する照査結果

設備名称	作用引張力 (kN/本)	許容限界 (kN/本)	照査値
集水樹 (屋外排水路 逆止弁①)	45.39	88.80	0.52
集水樹 (屋外排水路 逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)	31.95	91.80	0.35
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑦)	9.31	105.40	0.09
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑧-1)	8.59	105.40	0.09
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑧-2)	20.91	105.40	0.20
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑩)	10.30	108.80	0.10
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑪)	11.02	108.80	0.11
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑫)	10.08	108.80	0.10

表 8-3(2) アンカー筋のせん断力に対する照査結果

設備名称	作用 せん断力 (kN/本)	許容限界 (kN/本)	照査値
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	46.57	155.10	0.31
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	34.00	155.10	0.22
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦）	10.76	98.10	0.11
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-1）	10.14	98.10	0.11
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	10.33	98.10	0.11
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑩）	12.13	95.50	0.13
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑪）	13.21	95.50	0.14
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑫）	11.77	95.50	0.13

8.4 接合鉄筋の支持性能評価結果

集水桝の接合鉄筋の引張応力について、接合鉄筋の短期許容応力度に対する照査結果を表 8-4 に示す。照査を行った結果、引張応力が許容限界以下であることを確認した。

表 8-4 接合鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果

設備名称	評価部位	引張応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	引張応力 照査値
			引張	
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑬)	接合鉄筋 (D22)	118.23	294	0.41

8.5 基礎地盤の支持性能評価結果

基礎地盤の支持性能に対する評価結果を表 8-5 に示す。

基礎地盤の支持力に対する照査を行った結果、最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 8-5 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

解析ケース	最大接地圧 (N/mm ²)	極限支持力度 (N/mm ²)	支持力照査値
津波時 (設計津波水位： EL 12.6m) (屋外排水路 逆止弁⑩)	0.19	2.5	0.08

8.6 集水桝蓋の応力評価結果

集水桝蓋（鋼板）の曲げ応力度及びせん断応力度に対する照査結果を表 8-6 に示す。照査を行った結果，許容限界以下であることを確認した。

表 8-6(1) 集水桝蓋の曲げ応力に対する照査結果

設備名称	評価部位	曲げ応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	集水桝蓋 (t=25mm)	20.13	210	0.10
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	集水桝蓋 (t=25mm)	20.13	210	0.10
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	集水桝蓋 (t=25mm)	13.46	210	0.07
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑬）	集水桝蓋 (t=25mm)	13.46	210	0.07

表 8-6(2) 集水桝蓋のせん断応力に対する照査結果

設備名称	評価部位	せん断応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	集水桝蓋 (t=25mm)	0.65	120	0.01
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	集水桝蓋 (t=25mm)	0.65	120	0.01
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	集水桝蓋 (t=25mm)	0.44	120	0.01
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑬）	集水桝蓋 (t=25mm)	0.44	120	0.01

8.7 アンカーボルト（集水桝蓋）の引張力評価結果

集水桝蓋のアンカーボルトの許容引張力に対する照査結果を表 8-7 に示す。照査を行った結果、作用力が許容限界以下であることを確認した。

表 8-7 アンカーボルト（集水桝蓋）の引張力に対する照査結果

設備名称	評価部位	発生引張力 (kN/本)	許容限界 (kN/本)	照査値
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	アンカーボルト （集水桝蓋）	58.59	82.95	0.71
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	アンカーボルト （集水桝蓋）	39.91	82.95	0.49
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	アンカーボルト （集水桝蓋）	13.69	57.57	0.24
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑬）	アンカーボルト （集水桝蓋）	21.82	57.57	0.38

VI-3-別添3-2-5 防水壁の強度計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	4
2.2.1	タービン建物復水器エリア防水壁	4
2.2.2	取水槽除じん機エリア防水壁	8
2.3	評価方針	9
2.4	適用規格・基準等	11
3.	タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁	12
3.1	強度評価方法	12
3.1.1	記号の説明	12
3.1.2	評価対象部位	14
3.1.3	荷重及び荷重の組合せ	15
3.1.4	許容限界	17
3.1.5	評価方法	19
3.1.6	評価条件	25
4.	タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁	26
4.1	強度評価方法	26
4.1.1	記号の説明	26
4.1.2	評価対象部位	29
4.1.3	荷重及び荷重の組合せ	31
4.1.4	許容限界	35
4.1.5	評価方法	37
4.1.6	評価条件	47
5.	タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁	49
5.1	強度評価方法	49
5.1.1	記号の説明	49
5.1.2	評価対象部位	52
5.1.3	荷重及び荷重の組合せ	54
5.1.4	許容限界	57
5.1.5	評価方法	59
5.1.6	評価条件	71
6.	タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁	73
6.1	強度評価方法	73

6.1.1	記号の説明	73
6.1.2	評価対象部位	78
6.1.3	荷重及び荷重の組合せ	80
6.1.4	許容限界	83
6.1.5	評価方法	85
6.1.6	評価条件	100
7.	取水槽除じん機エリア防水壁	102
7.1	強度評価方法	102
7.1.1	記号の説明	102
7.1.2	評価対象部位	104
7.1.3	荷重及び荷重の組合せ	105
7.1.4	許容限界	107
7.1.5	評価方法	109
7.1.6	評価条件	115
8.	評価結果	117

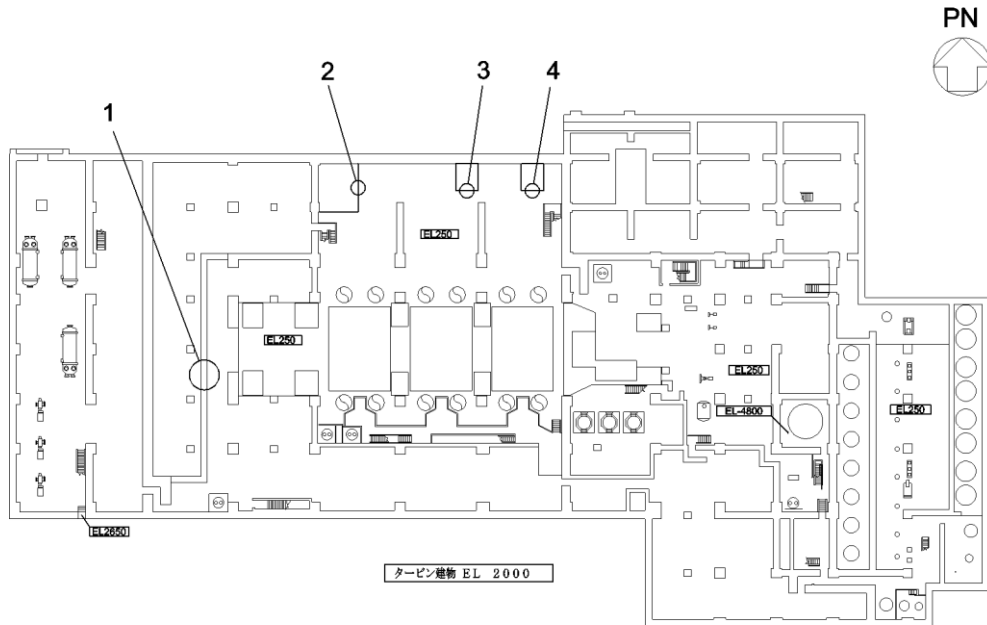
1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防止設備であるタービン建物復水器エリア防水壁及び取水槽除じん機エリア防水壁（以下「防水壁」という。）が、地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重及び余震による荷重又は地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重及び風による荷重に対して、十分な構造健全性及び止水性を有していることを説明するものである。

2. 一般事項

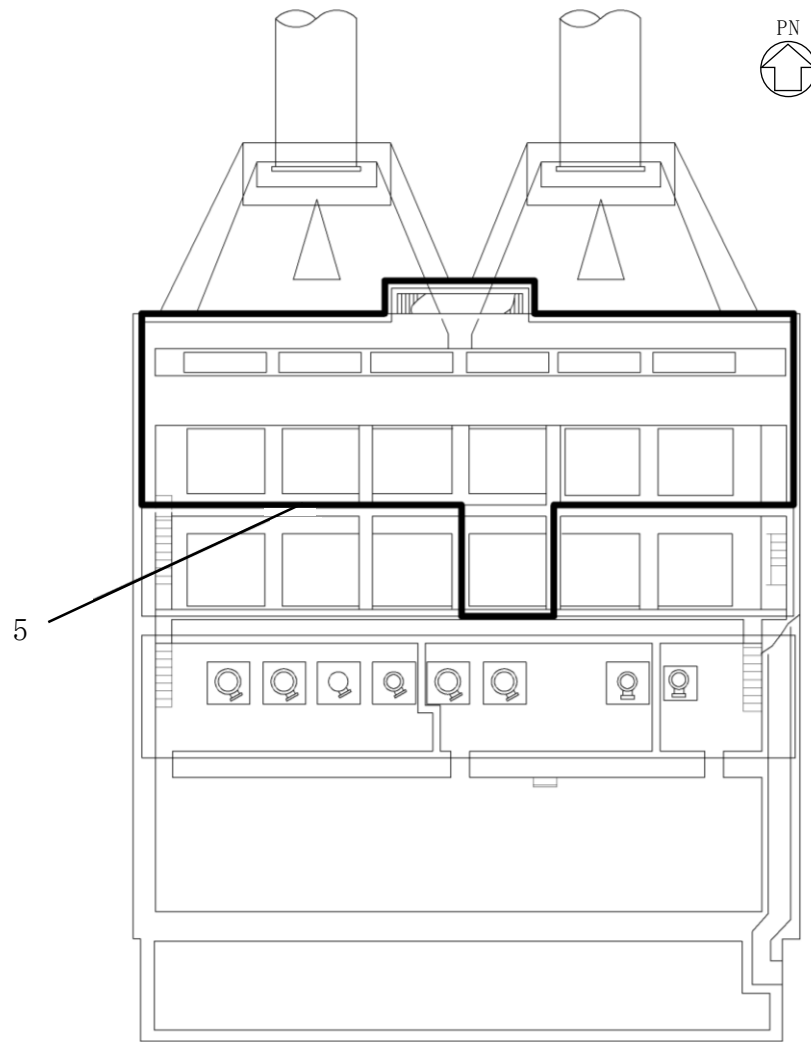
2.1 配置概要

防水壁の一覧及び設置位置図を図 2-1 に示す。



1	タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁
2	タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁
3	タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁
4	タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁

図 2-1(1) 防水壁の設置位置図 (タービン建物復水器エリア)



取水槽除じん機エリア EL 8800

5	取水槽除じん機エリア防水壁
---	---------------

図 2-1(2) 防水壁の設置位置図 (取水槽除じん機エリア)

2.2 構造計画

2.2.1 タービン建物復水器エリア防水壁

タービン建物復水器エリア防水壁は鋼板、柱、はり、胴縁、根太、斜材、ブレース及びアンカーボルトにより構成され、アンカーボルトにより建物躯体と接合する構造とする。タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1(1) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
(タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
柱及び胴縁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、胴縁、柱及びアンカーボルトにより構成する。	<p>平面図</p> <p>A-A 正面図</p> <p>B-B 断面図</p>

表 2-1(2) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
 (タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
柱、はり及び胴縁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、柱、はり、胴縁及びアンカーボルトにより構成する。	<p>はり アンカーボルト 鋼板 A/A</p> <p>平面図 (はり伏図)</p> <p>柱 胴縁 A/A</p> <p>平面図 (一般部)</p> <p>胴縁 はり 柱 鋼板 アンカーボルト A-A 正面図</p>

S2 補 VI-3-別添 3-2-5 R1

表 2-1(3) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
 (タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
柱, はり, 水平ブレース及び胴縁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, 柱, はり, 水平ブレース, 胴縁及びアンカーボルトにより構成する。	<p>アンカーボルト</p> <p>はり(上段)</p> <p>鋼板</p> <p>水平ブレース</p> <p>胴縁</p> <p>柱</p> <p>はり(中段)</p> <p>はり(上段)</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>鋼板</p> <p>はり(中段)</p> <p>アンカーボルト</p> <p>A-A 正面図</p> <p>平面図(はり(上段))</p> <p>平面図(一般部)</p> <p>平面図(はり(中段))</p>

表 2-1(4) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
 (タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
柱, はり, 胴縁, 根太及び斜材で補強した鋼板を建物壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板, 柱, はり, 胴縁, 根太, 斜材及びアンカーボルトにより構成する。	<p>アンカーボルト</p> <p>はり</p> <p>平面図 (壁頂部)</p> <p>アンカーボルト</p> <p>鋼板</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>平面図 (一般部)</p> <p>アンカーボルト</p> <p>根太</p> <p>鋼板</p> <p>はり</p> <p>A/A</p> <p>平面図 (床はり)</p> <p>斜材</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>はり</p> <p>鋼板</p> <p>斜材</p> <p>アンカーボルト</p> <p>A-A 正面図</p>

2.2.2 取水槽除じん機エリア防水壁

取水槽除じん機エリア防水壁は、鋼板，はり，柱及びアンカーボルトにより構成され，アンカーボルトにより取水槽躯体と接合する構造とする。

取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画を表 2-2 に示す。

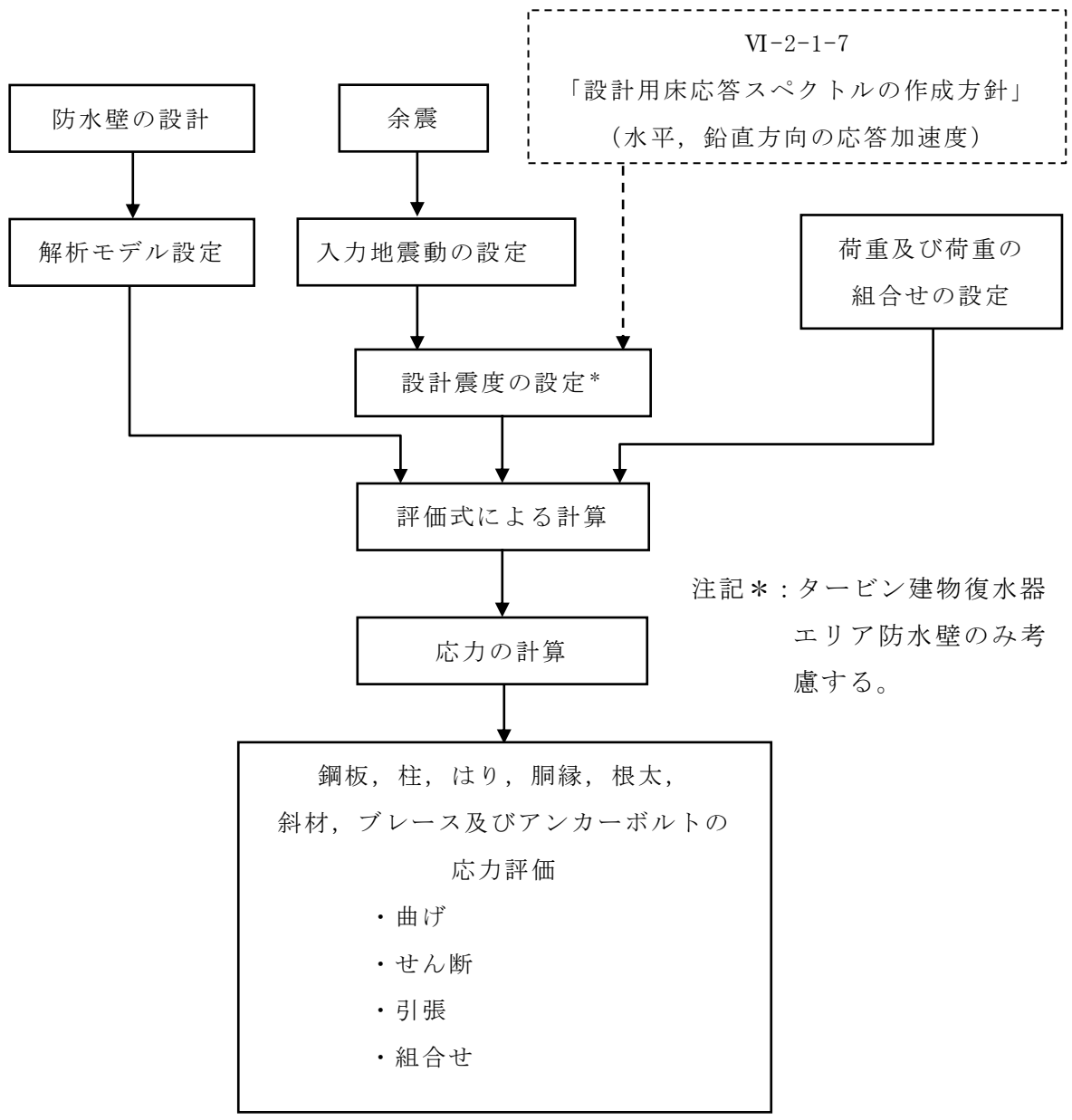
表 2-2 取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
はり，柱で補強した鋼板を取水槽にアンカーボルトにて固定する。	鋼板，柱，はり，アンカーボルトにより構成する。	<p>正面図</p> <p>断面図</p>
		<p>注記*：入力津波高さを踏まえ，EL 10.80m～EL 11.30mにおいて嵩上げする。</p>

2.3 評価方針

防水壁の強度評価は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、防水壁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、各設備の「3.1 強度評価方法」「4.1 強度評価方法」「5.1 強度評価方法」「6.1 強度評価方法」「7.1 強度評価方法」に示す方法により、「3.1.6 評価条件」「4.1.6 評価条件」「5.1.6 評価条件」「6.1.6 評価条件」「7.1.6 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、応力評価の確認事項を「8. 評価結果」にて確認する。

防水壁の強度評価フローを図 2-2 に示す。防水壁の強度評価においては、その構造を踏まえ、静水圧荷重、余震に伴う荷重及び風荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。



注記* : タービン建物復水器
エリア防水壁のみ考
慮する。

図 2-2 防水壁の強度評価フロー

2.4 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）
- ・ 水道施設耐震工法指針・解説 2009年版（（社）日本水道協会）

3. タービン建物地下1階復水系配管室防水壁

3.1 強度評価方法

3.1.1 記号の説明

タービン建物地下1階復水系配管室防水壁の評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 タービン建物地下1階復水系配管室防水壁の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
P_h	kN/m ²	静水圧荷重
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	浸水深さ
h	mm	水圧作用高さ
P	kN/m ²	動水圧荷重
β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数(1.0)
α_H	—	水平方向の余震震度
S_d	kN/m	余震による地震荷重
t	mm	鋼板の厚さ
ρ_s	t/m ³	鋼板の密度
σ_1	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度
M_1	kN・m	鋼板の曲げモーメント
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
L_1	mm	鋼板の短辺長さ
w_2	kN/m	胴縁に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
b_2	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅
m_2	kg/m	胴縁の質量分布
σ_2	N/mm ²	胴縁に生じる曲げ応力度
M_2	kN・m	胴縁の曲げモーメント
Z_2	mm ³	胴縁の断面係数
L_2	mm	胴縁の支持スパン
τ_2	N/mm ²	胴縁に生じるせん断応力度
Q_2	kN	胴縁のせん断力
A_{S2}	mm ²	胴縁のせん断断面積

表 3-1 タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$s f_{t2}$	N/mm^2	胴縁の短期許容引張応力度
w_3	kN/m	柱に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
b_3	mm	柱に作用する荷重の負担幅
m_3	kg/m	柱の質量分布
σ_3	N/mm^2	柱に生じる曲げ応力度
M_3	$kN \cdot m$	柱の曲げモーメント
Z_3	mm^3	柱の断面係数
L_3	mm	柱全長
τ_3	N/mm^2	柱に生じるせん断応力度
Q_3	kN	柱のせん断力
A_{s3}	mm^2	柱のせん断断面積
$s f_{t3}$	N/mm^2	柱の短期許容引張応力度
Q_d	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_4	kN	柱に生じるせん断力
n	本	柱に取り付くアンカーボルトの本数

3.1.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

当該防水壁に生じる静水圧及び余震に伴う荷重は鋼板、胴縁及び柱に伝わり、柱を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、柱及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図3-1に示す。

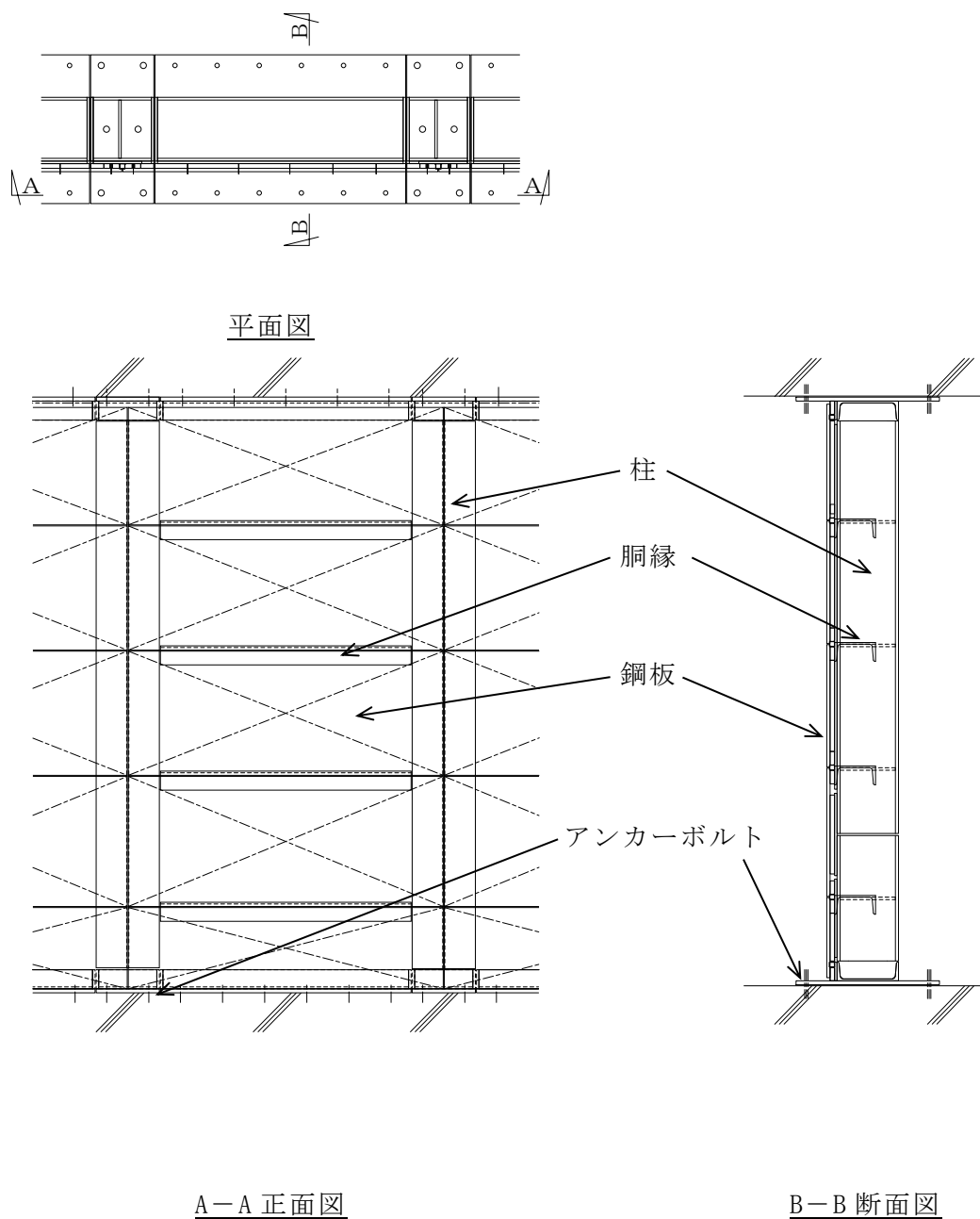


図3-1 評価対象部位

3.1.3 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 3-1「津波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。

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + K S d$$

P_h : 静水圧荷重

$K S d$: 余震荷重

(2) 荷重の設定

a. 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、当該防水壁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。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。

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

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

b. 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S d による地震力及び動水圧を考慮する。評価に用いる余震震度は VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、余震震度は防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度は NS 方向と EW 方向の大きい方を用いる。当該防水壁の余震震度を表 3-3 に示す。

動水圧荷重は「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版（（社）日本水道協会）」（以下「水道施設耐震工法指針・解説」という。）に基づき、各部位に作用する動水圧を次式により算出する。この時、当該防水壁下端の最大動水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。動水圧荷重の算定に用いる浸水深さ及び水圧作用高さを表 3-2 に、動水圧荷重の算出結果は表 3-4 に示す。

$$P = \beta \cdot 7 / 8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h \cdot 10^{-6}}$$

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (1.0)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 浸水深さ (mm)

h : 水圧作用高さ (mm)

表 3-2 浸水深さ、水圧作用高さ及び水の密度

浸水深さ H (mm)	水圧作用高さ h (mm)	水の密度 ρ_o (t/m ³)
3300	3300	1.03

表 3-3 余震震度

建物	設置場所	弾性設計用地震動 S d の 余震震度*
		水平 α_H
タービン建物	EL 2.0m	0.60

注記* : 設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

表 3-4 動水圧荷重の算出結果

部位	動水圧荷重 P (kN/m ²)
防水壁	17.50

3.1.4 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、柱及びアンカーボルトの使用材料を表 3-5 に示す。

表 3-5 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-16
胴縁	SS400	[-200×90×8×13.5
柱	SS400	H-300×300×10×15
アンカーボルト	SS400	M24

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「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）」（以下「S規準」という。）を踏まえて表 3-6 の値とする。

表 3-6 鋼材の許容限界

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。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）を踏まえて表3-7の値とする。

なお，アンカーボルトが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より決まる耐力，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3-7 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)
	せん断
SS400 (M24)	58

3.1.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，柱及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 3-2 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_1 = (P_h + P) \cdot b_1 + S d$$

w_1 : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅 : 1.0m)

$S d$: 余震による地震荷重 (kN/m)

$$(t \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g)$$

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_1 : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

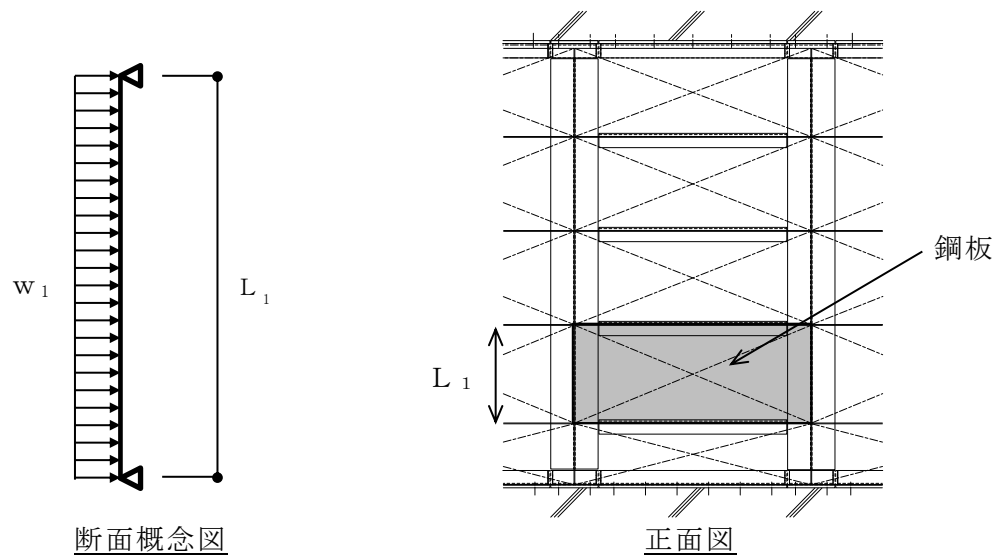


図 3-2 鋼板に作用する荷重の例

(2) 洞縁

洞縁に生じる応力は、洞縁を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、洞縁の短期許容曲げ応力度以下であることを確認する。洞縁に作用する荷重の例を図 3-3 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_2 = (P_h + P) \cdot b_2 \cdot 10^{-3} + S_d$$

w_2 : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_2 : 洞縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

S_d : 余震による地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 洞縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_2 : 胴縁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 胴縁の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 胴縁の断面係数 (mm³)

L_2 : 胴縁の支持スパン (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_{s2}$$

$$Q_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 胴縁のせん断力 (kN)

A_{s2} : 胴縁のせん断断面積 (mm²)

L_2 : 胴縁の支持スパン (mm)

d. 胴縁に生じる組合せ応力度

胴縁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

σ_2 : 胴縁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$s f_{t2}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

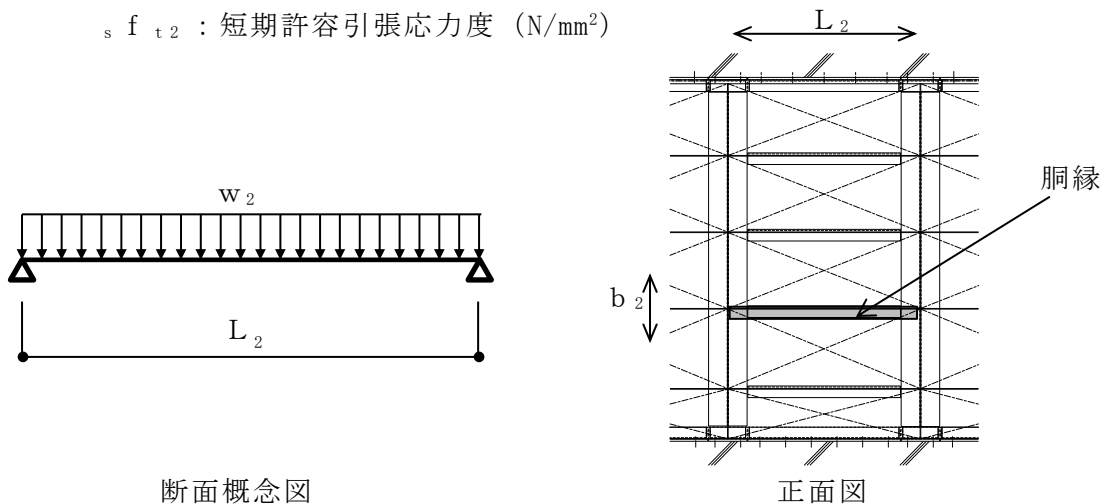


図 3-3 胴縁に作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。柱に作用する荷重の例を図 3-4 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_3 = (P_h + P) \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + S_d$$

w_3 : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

S_d : 余震による地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot L_2 / b_2 \cdot 10^{-3} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

L_2 : 胴縁の支持スパン (mm)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_3 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_3 = (M_3 \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_3 = w_3 \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_3 : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : 柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : 柱の断面係数 (mm³)

L_3 : 柱全長 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_{s3}$$

$$Q_3 = w_3 \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : 柱のせん断力 (kN)

A_{s3} : 柱のせん断断面積 (mm²)

L_3 : 柱全長 (mm)

d. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq_s f_{t3}$$

σ_3 : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_{t3} : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

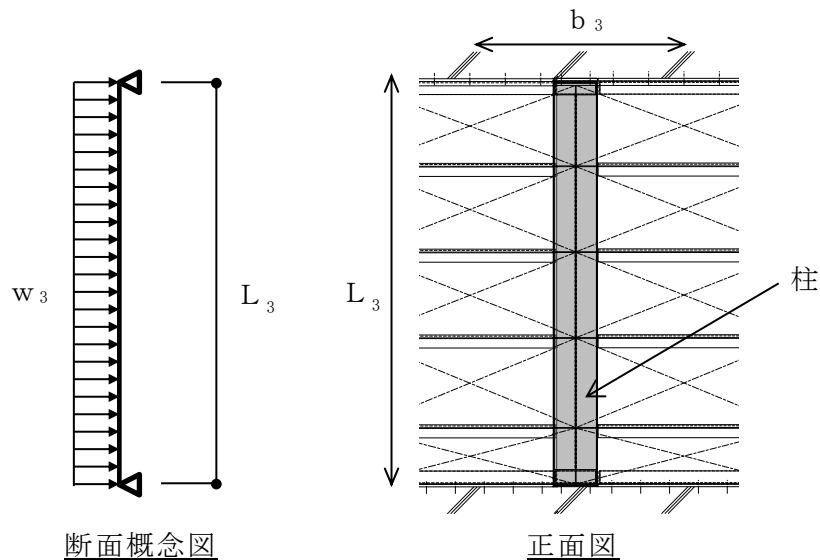


図 3-4 柱に作用する荷重の例

(4) アンカーボルト

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荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3-5 に示す。

$$Q_d = Q_4 / n$$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_4 : 柱に生じるせん断力 (kN)

n : 柱に取り付くアンカーボルトの本数 (本)

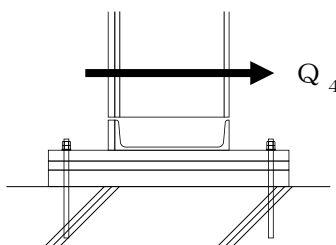


図 3-5 アンカーボルトに生じる荷重の例

3.1.6 評価条件

「3.1.5 評価方法」に用いる入力値を表3-8に示す。

表3-8 強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	h	mm	水圧作用高さ	3300
	H	mm	浸水深さ	3300
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の余震震度	0.60
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
鋼板	ρ_s	t/m ³	鋼板の密度	7.85
	t	mm	鋼板の厚さ	16
	Z ₁	mm ³	鋼板の断面係数	42.67×10 ³
	L ₁	mm	鋼板の短辺長さ	620
胴縁	b ₂	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅	606
	m ₂	kg/m	胴縁の質量分布	51.0
	Z ₂	mm ³	胴縁の断面係数	249×10 ³
	L ₂	mm	胴縁の全長	1500
	A _{S2}	mm ²	胴縁のせん断断面積	1384
柱	b ₃	mm	柱に作用する荷重の負担幅	1500
	m ₃	kg/m	柱の質量分布	153.0
	Z ₃	mm ³	柱の断面係数	1350×10 ³
	L ₃	mm	柱全長	2816
	A _{S3}	mm ²	柱のせん断断面積	2700
アンカーボルト	n	本	柱に取り付くアンカーボルトの本数	6

4. タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁

4.1 強度評価方法

4.1.1 記号の説明

タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁の評価に用いる記号を表4-1に示す。

表4-1 タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁の強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
P_h	kN/m ²	静水圧荷重
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	浸水深さ
h	mm	水圧作用高さ
P	kN/m ²	動水圧荷重
β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (1.0)
α_H	—	水平方向の余震震度
α_V	—	鉛直方向の余震震度
S_d	kN/m	余震による水平地震荷重
S_{dV}	kN/m	余震による鉛直地震荷重
t	mm	鋼板の厚さ
ρ_s	t/m ³	鋼板の密度
σ_{b1}	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度
M_1	kN・m	鋼板の曲げモーメント
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
L_1	mm	鋼板の短辺長さ
w_{x2}	kN/m	胴縁に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y2}	kN/m	胴縁に作用する余震を考慮した荷重
b_2	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅
m_2	kg/m	胴縁の質量分布
σ_{bx2}	N/mm ²	胴縁に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by2}	N/mm ²	胴縁に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x2}	kN・m	胴縁に生じる強軸回りの曲げモーメント
M_{y2}	kN・m	胴縁に生じる弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x2}	mm ³	胴縁の強軸回りの断面係数

表 4-1 タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
Z_{y2}	mm^3	胴縁の弱軸回りの断面係数
L_2	mm	胴縁の全長
τ_{x2}	N/mm^2	胴縁に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y2}	N/mm^2	胴縁に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x2}	kN	胴縁の強軸方向のせん断力
Q_{y2}	kN	胴縁の弱軸方向のせん断力
A_{Sx2}	mm^2	胴縁の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy2}	mm^2	胴縁の弱軸方向のせん断断面積
$s f_{t2}$	N/mm^2	胴縁の短期許容引張応力度
w_{x3}	kN/m	柱の強軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y3}	kN/m	柱の弱軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
b_3	mm	柱に作用する荷重の負担幅
m_3	kg/m	柱の質量分布
σ_{bx3}	N/mm^2	柱に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by3}	N/mm^2	柱に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x3}	kN・m	柱の強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	kN・m	柱の弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x3}	mm^3	柱の強軸回りの断面係数
Z_{y3}	mm^3	柱の弱軸回りの断面係数
L_3	mm	柱全長
τ_{x3}	N/mm^2	柱に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y3}	N/mm^2	柱に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x3}	kN	柱の強軸方向のせん断力
Q_{y3}	kN	柱の弱軸方向のせん断力
A_{Sx3}	mm^2	柱の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy3}	mm^2	柱の弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)3}$	N/mm^2	柱に生じる軸応力度
$N_{c(t)3}$	kN	柱の圧縮又は引張軸力
A_{g3}	mm^2	柱の断面積
N_3	kN	柱の軸力
$s f_{bx3}$	N/mm^2	柱の強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{by3}$	N/mm^2	柱の弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)3}$	N/mm^2	柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度

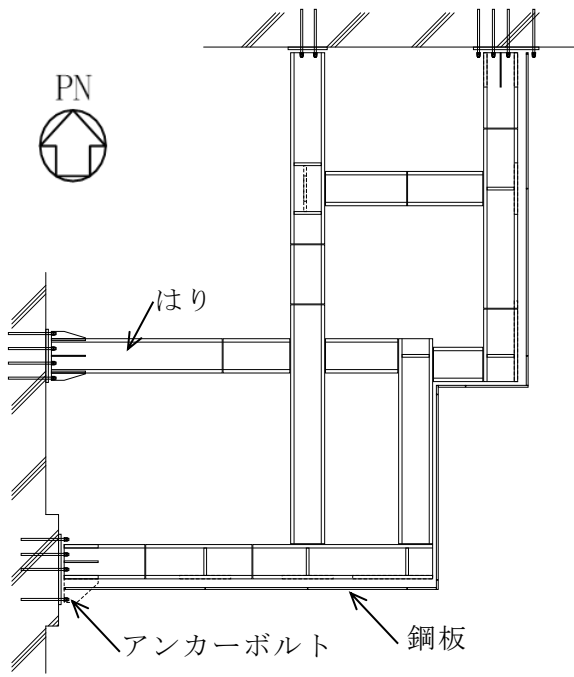
表 4-1 タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$s f_{t3}$	N/mm ²	柱の短期許容引張応力度
w_{x4}	kN/m	はりに作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y4}	kN/m	はりに作用する余震を考慮した荷重
b_4	mm	はりに作用する荷重の負担幅
σ_{bx4}	N/mm ²	はりに生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by4}	N/mm ²	はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x4}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント
M_{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数
Z_{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数
L_4	mm	はり全長
τ_{x4}	N/mm ²	はりに生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y4}	N/mm ²	はりに生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力
Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力
A_{Sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積
A_{Sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)4}$	N/mm ²	はりに生じる軸応力度
$N_{c(t)4}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力
A_{g4}	mm ²	はりの断面積
$s f_{bx4}$	N/mm ²	はりの強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{by4}$	N/mm ²	はりの弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)4}$	N/mm ²	はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t4}$	N/mm ²	はりの短期許容引張応力度
T_5	kN	柱又ははりに生じる引張力
n_5	本	柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数
T_{d5}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_5	kN	柱又ははりに生じるせん断力
Q_{d5}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

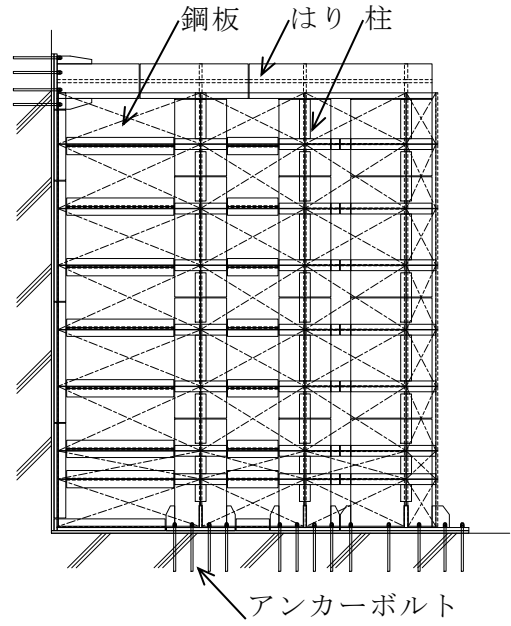
4.1.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

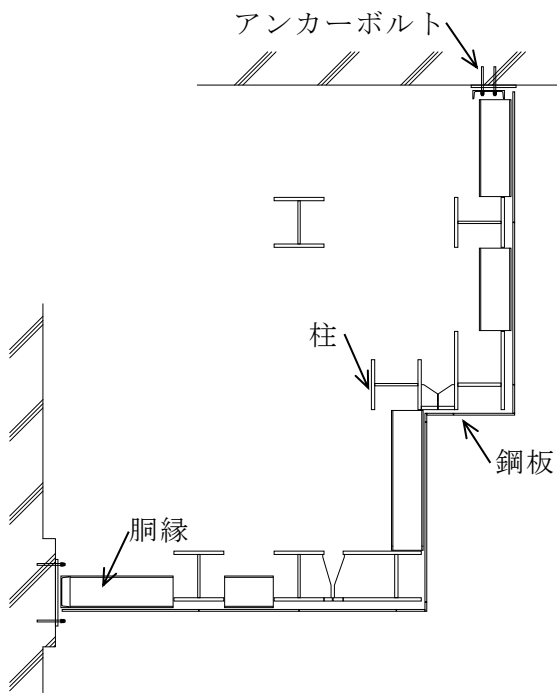
当該防水壁に生じる静水圧及び余震に伴う荷重は鋼板、胴縁、柱及びはりに伝わり、柱及びはりを固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、柱、はり及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図4-1に示す。



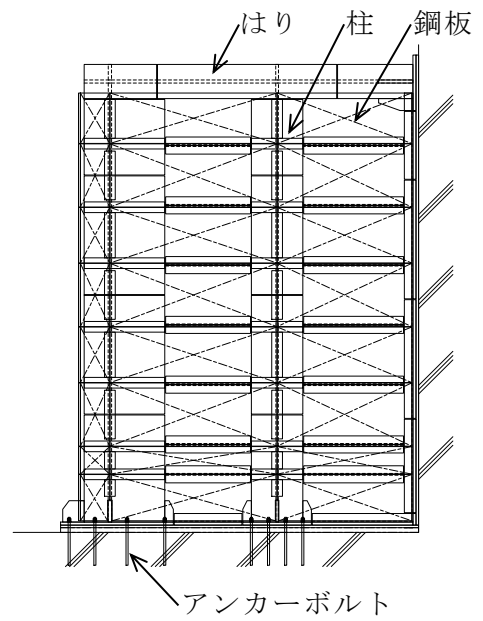
平面図 (はり伏図)



正面図 (南面)



平面図



正面図 (東面)

図 4-1 評価対象部位

4.1.3 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 3-1「津波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。

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + K S d$$

P_h : 静水圧荷重

$K S d$: 余震荷重

(2) 荷重の設定

a. 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、鋼板、胴縁及び柱においては当該防水壁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。また、はりにおいては荷重負担幅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。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 4-2 に、防水壁の水圧作用高さの概念図を図 4-2 に示す。

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

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

b. 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S d による地震力及び動水圧を考慮する。評価に用いる余震震度は VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定し、設計用床応答スペクトルに基づき設定する場合に適用する減衰定数は 2% とする。また、余震震度は防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度は N S 方向と E W 方向の大きい方を用いる。当該防水壁の余震震度を表 4-3 に示す。

動水圧荷重は「水道施設耐震工法指針・解説」に基づき、各部位に作用する動水圧を次式により算出する。この時、鋼板、胴縁及び柱においては当該防水壁下端の最大動水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。また、はりにおいてははりの荷重負担幅下端の最大動水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。防水壁の水圧作用高さの概念図を図 4-2 に、動水圧荷重の算定に用いる浸水深さ及び水圧作用高さを表 4-2 に、動水圧荷重の算出結果を表 4-4 に示す。

$$P = \beta \cdot 7 / 8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h \cdot 10^{-6}}$$

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (1.0)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 浸水深さ (mm)

h : 防水壁の水圧作用高さ (mm)

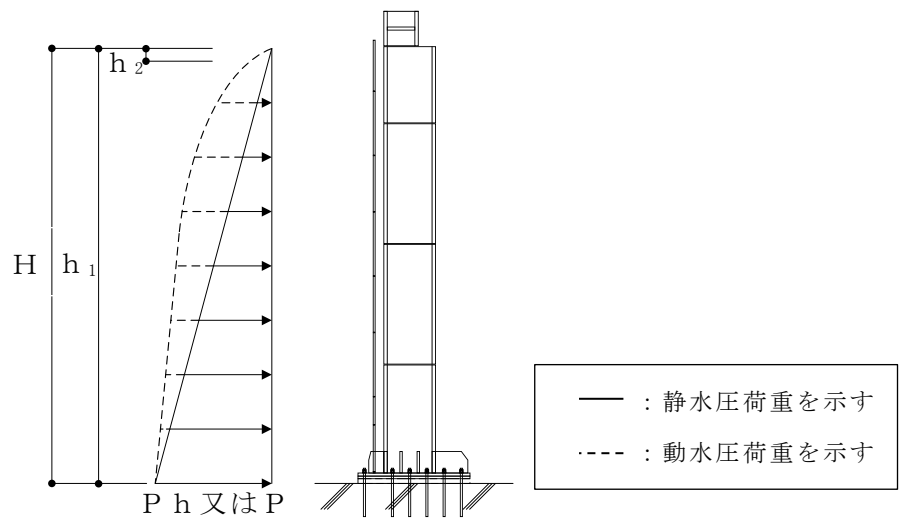


図 4-2 防水壁の水圧作用高さの断面概念図

表 4-2 浸水深さ，水圧作用高さ及び水の密度

浸水深さ H (mm)	水圧作用高さ		水の密度 ρ_0 (t/m ³)
	h_1 (mm)	h_2 (mm)	
	鋼板，胴縁， 柱	はり	
5050	5050	145	1.03

表 4-3 余震震度

設置場所	タービン建物 EL 0.25m			
固有周期 (s)	N S 方向：0.0506 E W 方向：0.0329 鉛直：0.0181			
減衰定数 (%)	N S 方向：2.0 E W 方向：－ 鉛直：－			
地震力	弾性設計用地震動 S d			
モード	固有周期 (s)	水平震度		鉛直震度
		N S 方向	E W 方向	
1 次	0.0506	1.72* ¹	－	－
動的地震力* ²		－	0.60	0.32

注記*1：設計用床応答スペクトル I (S d) に基づき設定した震度

*2：設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

表 4-4 動水圧荷重の算出結果

部位	動水圧荷重 P (kN/m ²)
鋼板, 胴縁, 柱	76.77
はり	13.01

4.1.4 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、柱、はり及びアンカーボルトの使用材料を表 4-5 に示す。

表 4-5 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-22
柱	SN490B	BH-600×600×28×40 BH-600×940×40×40
はり	SN490B	BH-400×400×36×40 BH-400×500×28×40
胴縁	SS400	2-[-380×100×10.5×16
アンカーボルト	SS400	M24

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S 規準」を踏まえて表 4-6 の値とする。

表 4-6 鋼材の許容限界

材質	部材厚さ (mm)	短期許容応力度 (N/mm ²)			
		引張	圧縮* ²	曲げ* ²	せん断
SS400	$t \leq 40^{*1}$	235	235	235	135
	$40 < t \leq 100^{*1}$	215	215	215	124
SN490B	$t \leq 40^{*1}$	325	325	325	187
	$40 < t \leq 100^{*1}$	295	295	295	171

注記*1：t は板厚を示す。

*2：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 4-7 の値とする。

なお、アンカーボルトが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付着力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトが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より決まる耐力、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 4-7 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SS400 (M24)	76	58

4.1.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，柱，はり及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 4-3 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_1 = (P_h + P) \cdot b_1 + S d$$

w_1 : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅 : 1.0m)

$S d$: 余震による地震荷重 ($t \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

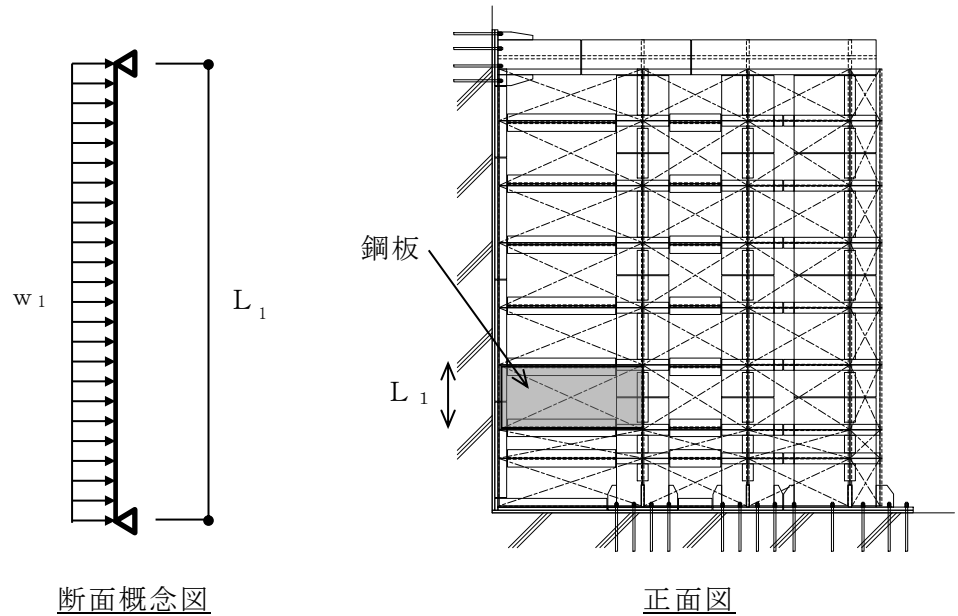


図 4-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 胴縁

胴縁に生じる応力は、胴縁を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、胴縁の短期許容応力度以下であることを確認する。胴縁に作用する荷重の例を図 4-4 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x2} = (P_h + P) \cdot b_2 \cdot 10^{-3} + S d$$

$$w_{y2} = S d_v$$

w_{x2} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y2} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 胴縁に生じる余震による水平地震荷重 (kN/m)

$$((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g)$$

$S d_v$: 胴縁に生じる余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

$$((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_v) \cdot g)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度

α_v : 鉛直方向の余震震度
 g : 重力加速度 (m/s²)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx2} = (M_{x2} \cdot 10^6) / Z_{x2}$$

$$\sigma_{by2} = (M_{y2} \cdot 10^6) / Z_{y2}$$

$$M_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_{x2}, M_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)
 Z_{x2}, Z_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)
 L_2 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_{x2} = (Q_{x2} \cdot 10^3) / A_{sx2}$$

$$\tau_{y2} = (Q_{y2} \cdot 10^3) / A_{sy2}$$

$$Q_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x2}, τ_{y2} : 胴縁に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)
 Q_{x2}, Q_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)
 A_{sx2}, A_{sy2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)
 L_2 : 胴縁全長 (mm)

d. 胴縁に生じる組合せ応力度

胴縁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づき次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx2} + \sigma_{by2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x2}, \tau_{y2})$ (N/mm²)
 $s f_{t2}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

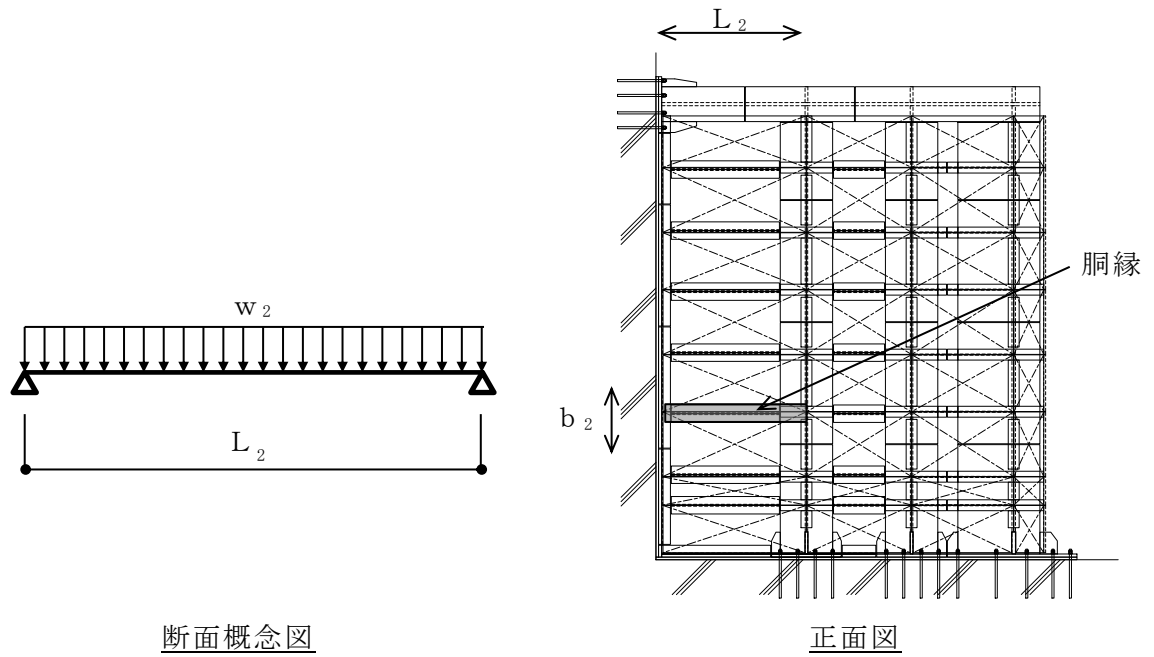


図 4-4 胴縁に作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。柱に作用する荷重の例を図 4-5 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x3} = (P_h + P) \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + S d$$

$$w_{y3} = (P_h + P) \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + S d$$

w_{x3} : 強軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y3} : 弱軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 余震による地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot L_2 / b_2 \cdot 10^{-3} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_3 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度

g : 重力加速度 (m/s^2)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 3} = (M_{x 3} \cdot 10^6) / Z_{x 3}$$

$$\sigma_{b y 3} = (M_{y 3} \cdot 10^6) / Z_{y 3}$$

$$M_{x 3} = w_{x 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y 3} = w_{y 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{b x 3}, \sigma_{b y 3}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm^2)

$M_{x 3}, M_{y 3}$: 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント ($kN \cdot m$)

$Z_{x 3}, Z_{y 3}$: 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm^3)

L_3 : 柱全長 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x 3} = (Q_{x 3} \cdot 10^3) / A_{S x 3}$$

$$\tau_{y 3} = (Q_{y 3} \cdot 10^3) / A_{S y 3}$$

$$Q_{x 3} = w_{x 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y 3} = w_{y 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$\tau_{x 3}, \tau_{y 3}$: 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm^2)

$Q_{x 3}, Q_{y 3}$: 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S x 3}, A_{S y 3}$: 柱の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm^2)

d. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c (t) 3} = (N_{c (t) 3} \cdot 10^3) / A_{g 3}$$

$$N_{c (t) 3} = N_3 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

$\sigma_{c (t) 3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm^2)

$N_{c (t) 3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

$A_{g 3}$: 柱の断面積 (mm^2)

N_3 : 柱の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の余震震度

e. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b_{x3}}/s f_{b_{x3}} + \sigma_{b_{y3}}/s f_{b_{y3}} + \sigma_{c(t)3}/s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

$\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{b_{x3}}, s f_{b_{y3}}$: 柱の強軸及び回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)3}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b_{x3}} + \sigma_{b_{y3}} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

$\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$ (N/mm²)

$s f_{t3}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

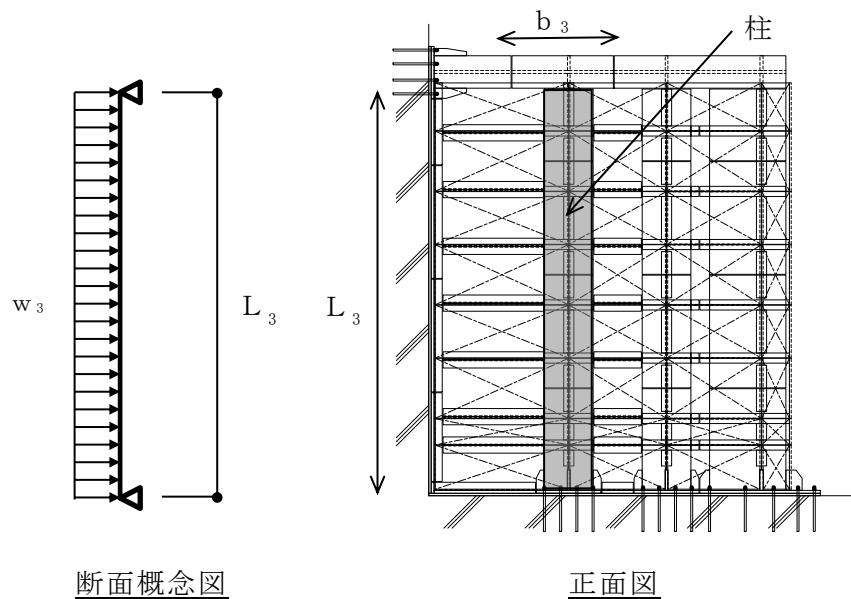


図 4-5 柱に作用する荷重の例

(4) はり

はりに生じる応力は、はりを両端ピンの単純はりとして次式により算出し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図4-6に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x4} = (P_h + P) \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + S_d$$

$$w_{y4} = S_{dv}$$

w_{x4} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y4} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_4 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

S_d : 余震による地震荷重 (kN/m)

S_{dv} : 余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

b. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx4} = (M_{x4} \cdot 10^6) / Z_{x4}$$

$$\sigma_{by4} = (M_{y4} \cdot 10^6) / Z_{y4}$$

$$M_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y4} = w_{y4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x4}, M_{y4} : はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x4}, Z_{y4} : はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_4 : はり全長 (mm)

c. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x4} = (Q_{x4} \cdot 10^3) / A_{Sx4}$$

$$\tau_{y4} = (Q_{y4} \cdot 10^3) / A_{Sy4}$$

$$Q_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y4} = w_{y4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x4}, τ_{y4} : はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4}, Q_{y4} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{Sx4}, A_{Sy4} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

d. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = (N_{c(t)4} \cdot 10^3) / A_{g4}$$

$\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g4} : はりの断面積 (mm²)

e. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx4}/s f_{bx4} + \sigma_{by4}/s f_{by4} + \sigma_{c(t)4}/s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx4}, s f_{by4}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)4}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は，次式により算出し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

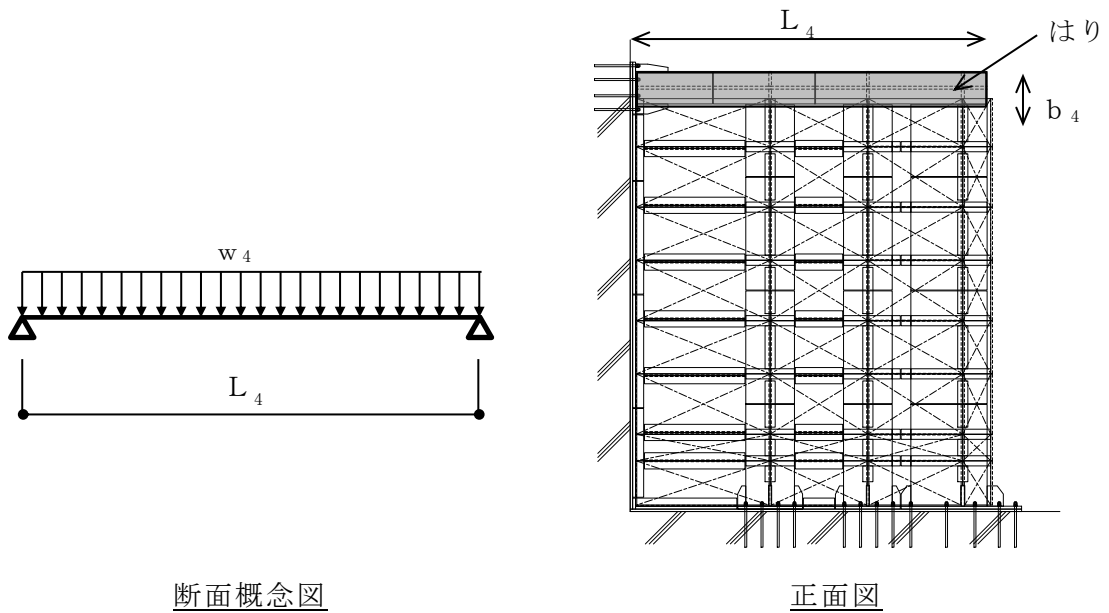
$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq_s f_{t4}$$

σ_{bx4} ， σ_{by4} : はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : はりに生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$ (N/mm²)

$s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

正面図

図 4-6 はりに作用する荷重の例

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 4-7 に示す。

$$(T_{d5}/T_a)^2 + (Q_{d5}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{d5} = T_5 / n_5$$

$$T_{d5}/T_a \leq 1.0$$

T_5 : 柱又ははりに生じる引張力 (kN)

n_5 : 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 (本)

T_{d5} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d5} = Q_5 / n_5$$

$$Q_{d5}/Q_a \leq 1.0$$

Q_5 : 柱又ははりに生じるせん断力 (kN)

Q_{d5} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

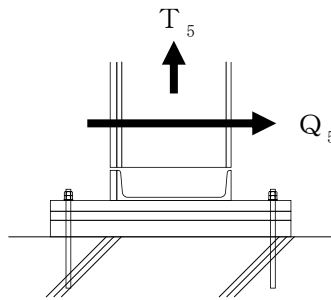


図 4-7 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.1.6 評価条件

「4.1.5 評価方法」に用いる評価条件に用いる入力値を表4-8に示す。

表4-8 強度評価に用いる入力値(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	H	mm	浸水深さ	5050
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の余震震度	1.72
	α_V	—	鉛直方向の余震震度	0.32
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
鋼板	h	mm	水圧作用高さ	5050
	ρ_s	t/m ³	鋼板の密度	7.85
	t	mm	鋼板の厚さ	22
	Z ₁	mm ³	鋼板の断面係数	80.67×10 ³
	L ₁	mm	鋼板の短辺長さ	750
胴縁	h	mm	水圧作用高さ	5050
	b ₂	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅	725
	m ₂	kg/m	胴縁の質量分布	214.1
	Z _{x2}	mm ³	胴縁の強軸回りの断面係数	1526×10 ³
	Z _{y2}	mm ³	胴縁の弱軸回りの断面係数	141×10 ³
	L ₂	mm	胴縁全長	2300
	A _{Sx2}	mm ²	胴縁の強軸方向のせん断断面積	7308
	A _{Sy2}	mm ²	胴縁の弱軸方向のせん断断面積	6400
柱	h	mm	水圧作用高さ	5050
	b ₃	mm	柱に作用する荷重の負担幅	1800
	m ₃	kg/m	柱の質量分布	601.6
	Z _{x3}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数	13659×10 ³
	Z _{y3}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数	4803×10 ³
	L ₃	mm	柱全長	5280
	A _{Sx3}	mm ²	柱の強軸方向のせん断断面積	14560
	A _{Sy3}	mm ²	柱の弱軸方向のせん断断面積	48000
	A _{g3}	mm ²	柱の断面積	62560

表 4-8 強度評価に用いる入力値(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
はり	h	mm	水圧作用高さ	145
	Z_{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	5697×10^3
	Z_{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	2140×10^3
	b ₄	mm	はりに作用する荷重の負担幅	575
	L ₄	mm	はり全長	3600
	A_{sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積	11520
	A_{sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積	32000
	A_{g4}	mm ²	はりの断面積	43520
アンカーボルト	n ₅	本	柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数	16

5. タービン建物地下1階復水器室北側防水壁

5.1 強度評価方法

5.1.1 記号の説明

タービン建物地下1階復水器室北側防水壁の評価に用いる記号を表5-1に示す。

表5-1 タービン建物地下1階復水器室北側防水壁の強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
P_h	kN/m ²	静水圧荷重
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	浸水深さ
h	mm	水圧作用高さ
P	kN/m ²	動水圧荷重
β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数(1.0)
α_H	—	水平方向の余震震度
α_V	—	鉛直方向の余震震度
S_d	kN/m	余震による水平地震荷重
S_{dV}	kN/m	余震による鉛直地震荷重
t	mm	鋼板の厚さ
ρ_s	t/m ³	鋼板の密度
σ_{b1}	N/mm ²	鋼板に作用する曲げ応力度
M_1	kN・m	鋼板の曲げモーメント
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
L_1	mm	鋼板の短辺長さ
w_{x2}	kN/m	胴縁に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y2}	kN/m	胴縁に作用する余震を考慮した荷重
b_2	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅
m_2	kg/m	胴縁の質量分布
σ_{bx2}	N/mm ²	胴縁に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by2}	N/mm ²	胴縁に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x2}	kN・m	胴縁に生じる強軸回りの曲げモーメント
M_{y2}	kN・m	胴縁に生じる弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x2}	mm ³	胴縁の強軸回りの断面係数

表 5-1 タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
Z_{y2}	mm^3	胴縁の弱軸回りの断面係数
L_2	mm	胴縁全長
τ_{x2}	N/mm^2	胴縁に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y2}	N/mm^2	胴縁に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x2}	kN	胴縁の強軸方向のせん断力
Q_{y2}	kN	胴縁の弱軸方向のせん断力
A_{Sx2}	mm^2	胴縁の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy2}	mm^2	胴縁の弱軸方向のせん断断面積
$s f_{t2}$	N/mm^2	胴縁の短期許容引張応力度
w_{x3}	kN/m	柱の強軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y3}	kN/m	柱の弱軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
b_3	mm	柱に作用する荷重の負担幅
m_3	kg/m	柱の質量分布
σ_{bx3}	N/mm^2	柱に作用する強軸回りの曲げ応力度
σ_{by3}	N/mm^2	柱に作用する弱軸回りの曲げ応力度
M_{x3}	kN・m	柱の強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	kN・m	柱の弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x3}	mm^3	柱の強軸回りの断面係数
Z_{y3}	mm^3	柱の弱軸回りの断面係数
L_3	mm	柱全長
τ_{x3}	N/mm^2	柱に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y3}	N/mm^2	柱に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x3}	kN	柱の強軸方向のせん断力
Q_{y3}	kN	柱の弱軸方向のせん断力
A_{Sx3}	mm^2	柱の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy3}	mm^2	柱の弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)3}$	N/mm^2	柱に生じる軸応力度
$N_{c(t)3}$	kN	柱の圧縮又は引張軸力
A_{g3}	mm^2	柱の断面積
N_3	kN	柱の軸力
$s f_{bx3}$	N/mm^2	柱の強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{by3}$	N/mm^2	柱の弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)3}$	N/mm^2	柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度

表 5-1 タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$s f_{t3}$	N/mm ²	柱の短期許容引張応力度
w_{x4}	kN/m	はりに作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y4}	kN/m	はりに作用する余震を考慮した荷重
b_4	mm	はりに作用する荷重の負担幅
σ_{bx4}	N/mm ²	はりに生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by4}	N/mm ²	はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x4}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント
M_{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数
Z_{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数
τ_{x4}	N/mm ²	はりに生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y4}	N/mm ²	はりに生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力
Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力
A_{Sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積
A_{Sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)4}$	N/mm ²	はりに生じる軸応力度
$N_{c(t)4}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力
A_{g4}	mm ²	はりの断面積
$s f_{xb4}$	N/mm ²	はりの強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{yb4}$	N/mm ²	はりの弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)4}$	N/mm ²	はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t4}$	N/mm ²	はりの短期許容引張応力度
$\sigma_{c(t)5}$	N/mm ²	水平ブレースに生じる軸応力度
$N_{c(t)5}$	kN	水平ブレースの圧縮又は引張軸力
A_{g5}	mm ²	水平ブレースの断面積
T_6	kN	柱又ははりに生じる引張力
n_6	本	柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数
T_{d6}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_6	kN	柱又ははりに生じるせん断力
Q_{d6}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

5.1.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

当該防水壁に生じる静水圧及び余震に伴う荷重は鋼板、胴縁、柱、はり及び水平ブレースに伝わり、柱及びはりを固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、柱、はり、水平ブレース及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図 5-1 に示す。

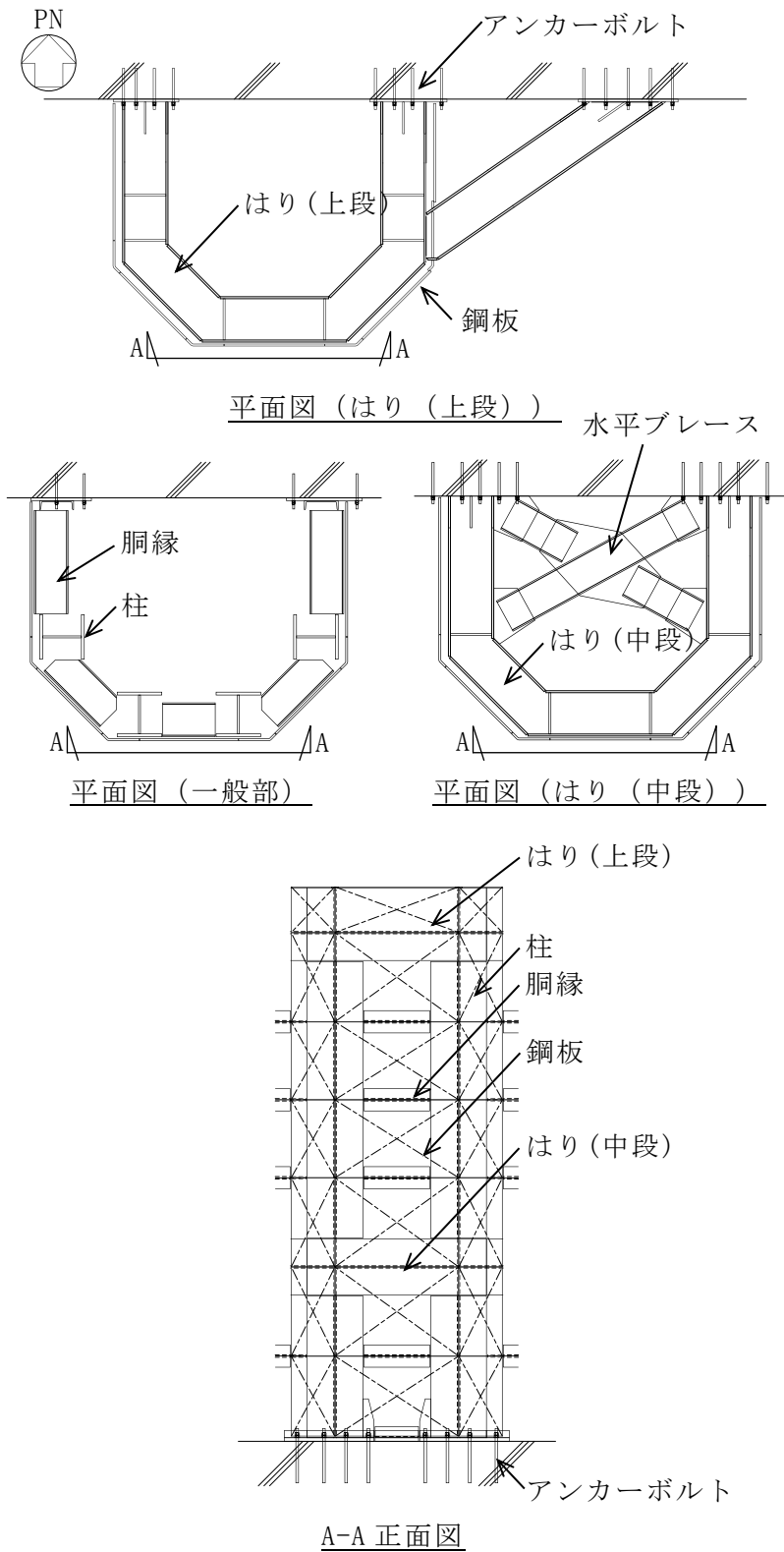


図 5-1 評価対象部位

5.1.3 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 3-1「津波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。

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + K S d$$

P_h : 静水圧荷重

$K S d$: 余震荷重

(2) 荷重の設定

a. 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、鋼板、胴縁、柱、はり及び水平ブレースにおいては当該防水壁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。なお、はり（上段）においてははりの荷重負担幅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。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 5-2 に、防水壁の水圧作用高さの概念図を図 5-2 に示す。

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

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

b. 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S d による地震力及び動水圧を考慮する。評価に用いる余震震度は VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定し、設計用床応答スペクトルに基づき設定する場合に適用する減衰定数は 2 % とする。また、余震震度は防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度は N S 方向と E W 方向の大きい方を用いる。当該防水壁の余震震度を表 5-3 に示す。

動水圧荷重は「水道施設耐震工法指針・解説」に基づき、各部位に作用する動水圧を次式により算出する。この時、鋼板、胴縁、柱、はり及び水平ブレースにおいては当該防水壁下端の最大動水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。なお、はり（上段）においてははりの荷重負担幅下端の最大動水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。防水壁の水圧作用高さの概念図を図 5-2 に、動水圧荷重の算定に用いる浸水深さ及び水圧作用高さを表 5-2 に、動水圧荷重の算出結果を表 5-4 に示す。

$$P = \beta \cdot 7 / 8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h \cdot 10^{-6}}$$

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (1.0)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 浸水高さ (mm)

h : 水圧作用高さ (mm)

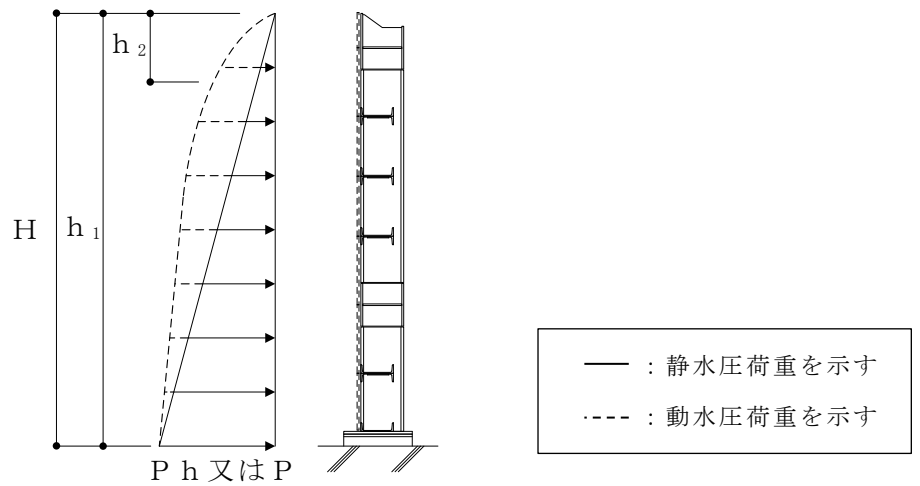


図 5-2 防水壁の水圧作用高さの断面概念図

表 5-2 浸水深さ、水圧作用高さ及び水の密度

浸水深さ H (mm)	水圧作用高さ		水の密度 $\rho_o(t/m^3)$
	h_1 (mm)	h_2 (mm)	
	鋼板、胴縁、 柱、水平ブレース、 はり（中段）	はり（上段）	
5050	5050	810	1.03

表 5-3 余震震度

設置場所	タービン建物 EL 0.25m			
固有周期 (s)	N S 方向 : 0.0154 E W 方向 : 0.0207 鉛直 : 0.0593			
減衰定数 (%)	N S 方向 : - E W 方向 : - 鉛直 : 2.0			
地震力	弾性設計用地震動 S d			
モード	固有周期 (s)	水平震度		鉛直震度
		N S 方向	E W 方向	
1 次	0.0593	-	-	1.44 ^{*1}
動的地震力 ^{*2}		0.56	0.60	-

注記*1：設計用床応答スペクトル I (S d) に基づき設定した震度

*2：設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

表 5-4 動水圧荷重の算出結果

部位	動水圧荷重 P (kN/m ²)
鋼板, 胴縁, 柱, はり (中段)	26.78
はり (上段)	10.73

5.1.4 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

防水壁を構成する鋼板, 胴縁, 柱, はり, 水平ブレース及びアンカーボルトの使用材料を表 5-5 に示す。

表 5-5 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-22
柱	SN490B	BH-500×500×22×32
はり	SN490B	BH-500×500×19×22
水平ブレース	SS400	2-[-380×100×10.5×16
胴縁	SS400	2-[-380×100×10.5×16
アンカーボルト	SS400	M24

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表5-6の値とする。

表5-6 鋼材の許容限界

材質	部材厚さ (mm)	短期許容応力度 (N/mm ²)			
		引張	圧縮* ²	曲げ* ²	せん断
SS400	$t \leq 40^{*1}$	235	235	235	135
	$40 < t \leq 100^{*1}$	215	215	215	124
SN490B	$t \leq 40^{*1}$	325	325	325	187
	$40 < t \leq 100^{*1}$	295	295	295	171

注記*1：tは板厚を示す。

*2：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表5-7の値とする。

なお，アンカーボルトが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付着力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，アンカーボルトが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より決まる耐力，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5-7 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SS400 (M24)	83	58

5.1.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，柱，はり，水平ブレース及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 5-3 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_1 = (P_h + P) \cdot b_1 + S d$$

w_1 : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅 : 1.0m)

$S d$: 余震による地震荷重 ($t \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

α_H : 水平方向の余震震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

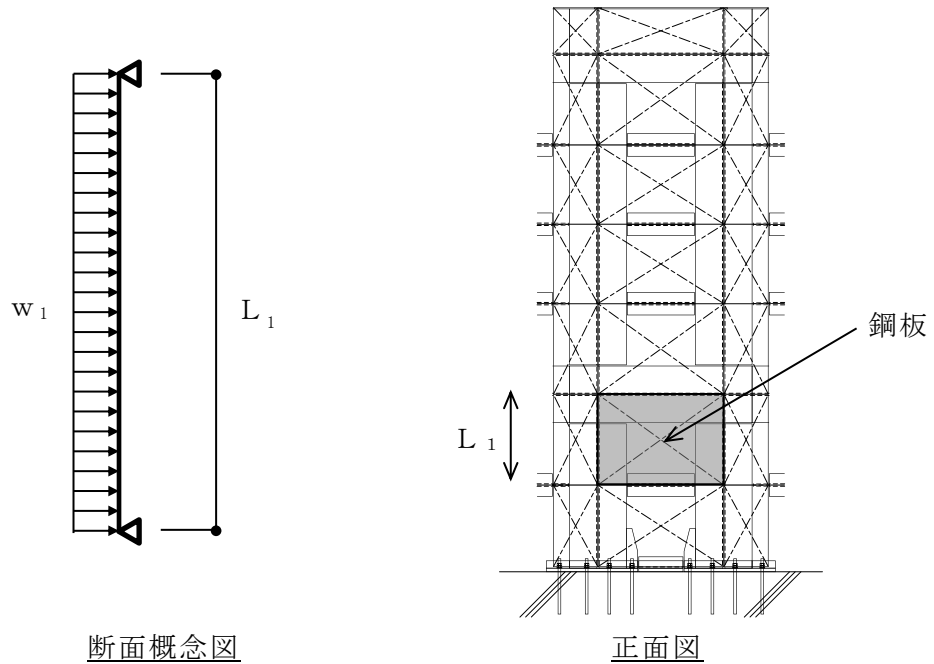


図 5-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 洞縁

洞縁に生じる応力は、洞縁を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、洞縁の短期許容応力度以下であることを確認する。洞縁に作用する荷重の例を図 5-4 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x2} = (P_h + P) \cdot b_2 \cdot 10^{-3} + S d$$

$$w_{y2} = S d_v$$

w_{x2} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y2} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_2 : 洞縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 洞縁に生じる余震による水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

$S d_v$: 洞縁に生じる余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g \right)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 洞縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度
 α_V : 鉛直方向の余震震度
 g : 重力加速度 (m/s^2)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx2} = (M_{x2} \cdot 10^6) / Z_{x2}$$

$$\sigma_{by2} = (M_{y2} \cdot 10^6) / Z_{y2}$$

$$M_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm^2)

M_{x2}, M_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント ($kN \cdot m$)

Z_{x2}, Z_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm^3)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_{x2} = (Q_{x2} \cdot 10^3) / A_{sx2}$$

$$\tau_{y2} = (Q_{y2} \cdot 10^3) / A_{sy2}$$

$$Q_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x2}, τ_{y2} : 胴縁に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm^2)

Q_{x2}, Q_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx2}, A_{sy2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm^2)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

d. 胴縁に生じる組合せ応力度

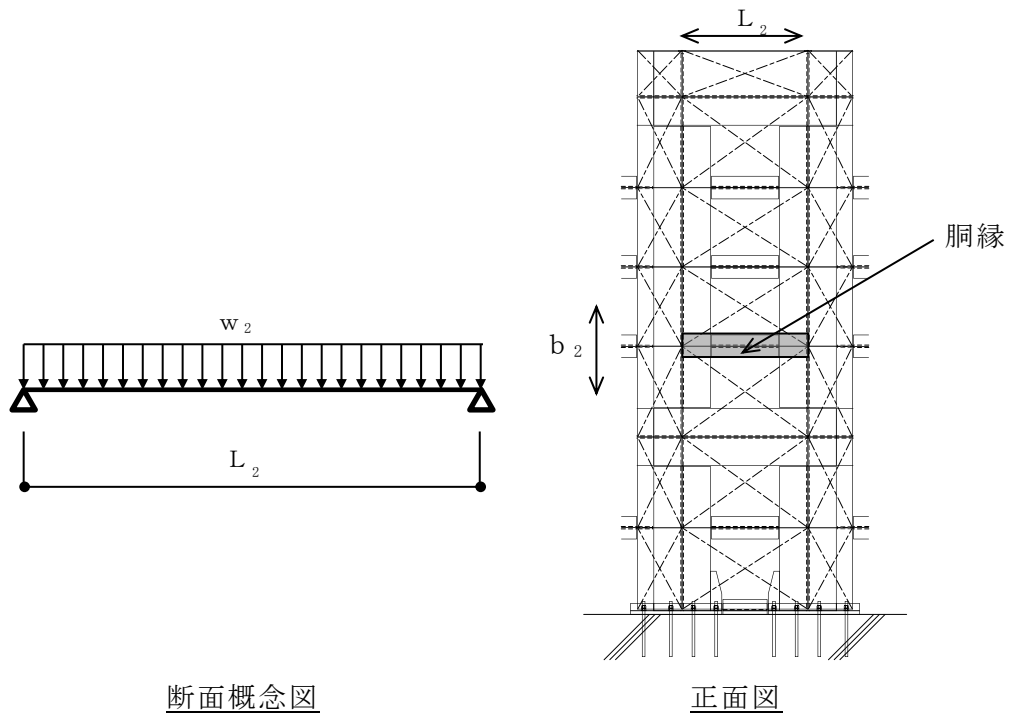
胴縁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx2} + \sigma_{by2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x2}, \tau_{y2})$ (N/mm²)

$s f_{t2}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

正面図

図 5-4 胴縁に作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。柱に作用する荷重の例を図 5-5 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x3} = (P_h + P) \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + S d$$

$$w_{y3} = (P_h + P) \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + S d$$

w_{x3} : 強軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y3} : 弱軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 余震による地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot L_2 / b_2 \cdot 10^{-3} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_3 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx3} = (M_{x3} \cdot 10^6) / Z_{x3}$$

$$\sigma_{by3} = (M_{y3} \cdot 10^6) / Z_{y3}$$

$$M_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x3}, M_{y3} : 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x3}, Z_{y3} : 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_3 : 柱全長 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x3} = (Q_{x3} \cdot 10^3) / A_{Sx3}$$

$$\tau_{y3} = (Q_{y3} \cdot 10^3) / A_{Sy3}$$

$$Q_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x3}, τ_{y3} : 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3}, Q_{y3} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{Sx3}, A_{Sy3} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_3 : 柱全長 (mm)

d. 柱に作用する軸応力度

$$\sigma_{c(t)3} = (N_{c(t)3} \cdot 10^3) / A_{g3}$$

$$N_{c(t)3} = N_3 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

$\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g3} : 柱の断面積 (mm²)

N_3 : 柱の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の余震震度

e. 柱に作用する組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b_{x3}}/s f_{b_{x3}} + \sigma_{b_{y3}}/s f_{b_{y3}} + \sigma_{c(t)3}/s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

$\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{b_{x3}}, s f_{b_{y3}}$: 柱の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)3}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は，次式により算出し，短期引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b_{x3}} + \sigma_{b_{y3}} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

$\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 柱の強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$ (N/mm²)

$s f_{t3}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

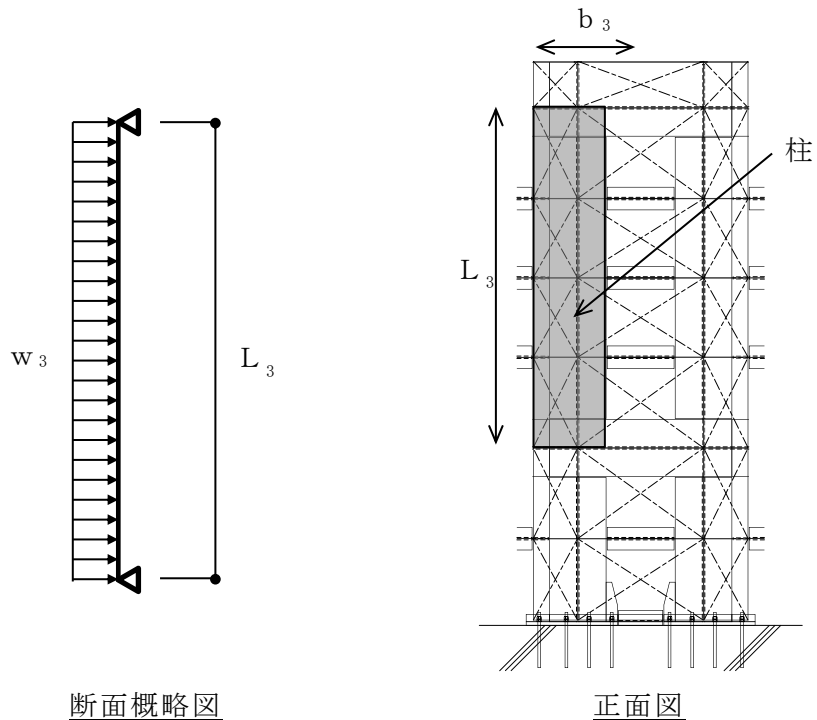


図 5-5 柱に作用する荷重の例

(4) はり及び水平ブレース

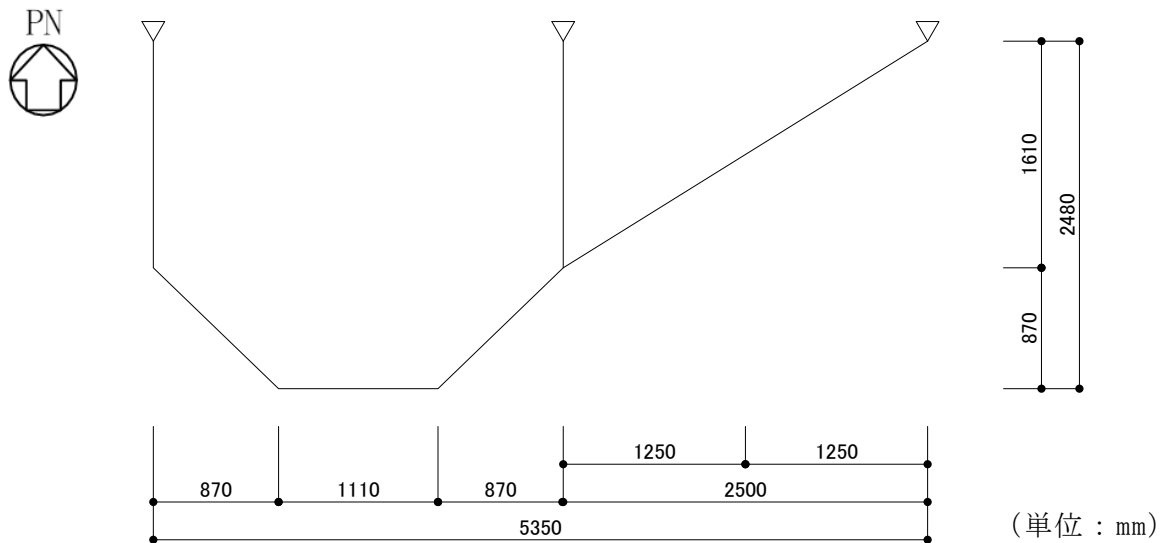
はり及び水平ブレースは、2次元フレームモデルにモデル化し、はり及び水平ブレースに生じる応力がはり及び水平ブレースの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 解析モデル

はり及び水平ブレースは、はり要素にモデル化し、2次元フレーム解析により応力を算定する。検討スパンは、接合部の現況を考慮した有効長さとして評価する。解析に使用するコードは、「SD」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。解析モデル図を図5-6に、はりに作用する荷重の例を図5-7に示す。解析に用いる物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 2.05 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

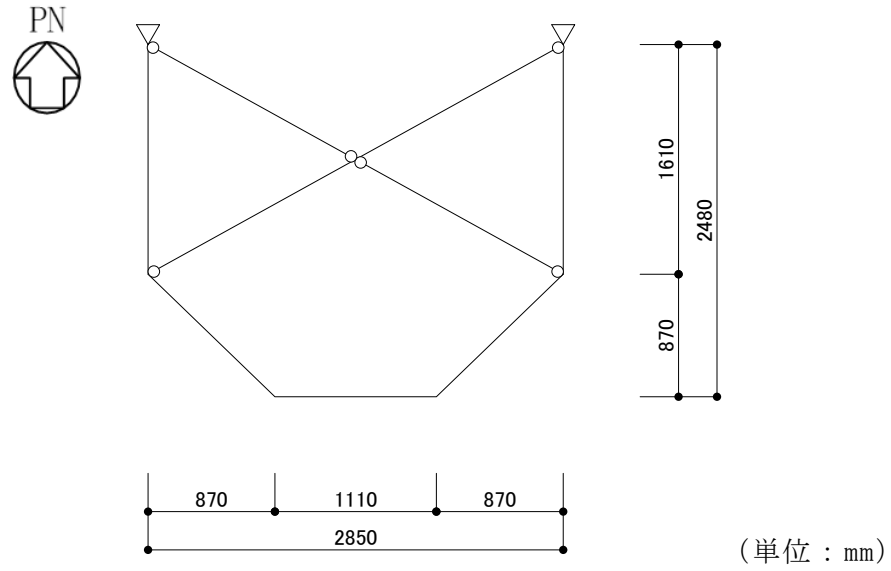
せん断弾性係数 : $G = 0.79 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

はり（上段）

図5-6(1) はり解析モデル図



条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

はり (中段)

図 5-6(2) はり及び水平ブレース解析モデル図

b. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x4} = (P_h + P) \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + S d$$

$$w_{y4} = S d_v$$

w_{x4} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y4} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_4 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 余震による地震荷重 (kN/m)

$S d_v$: 余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

c. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 4} = (M_{x 4} \cdot 10^6) / Z_{x 4}$$

$$\sigma_{b y 4} = (M_{y 4} \cdot 10^6) / Z_{y 4}$$

$\sigma_{b x 4}$, $\sigma_{b y 4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{x 4}$, $M_{y 4}$: はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$Z_{x 4}$, $Z_{y 4}$: はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

d. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x 4} = (Q_{x 4} \cdot 10^3) / A_{S x 4}$$

$$\tau_{y 4} = (Q_{y 4} \cdot 10^3) / A_{S y 4}$$

$\tau_{x 4}$, $\tau_{y 4}$: はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{x 4}$, $Q_{y 4}$: はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S x 4}$, $A_{S y 4}$: はりの強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

e. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t) 4} = (N_{c(t) 4} \cdot 10^3) / A_{g 4}$$

$\sigma_{c(t) 4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t) 4}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

$A_{g 4}$: はりの断面積 (mm²)

f. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b x 4} / s f_{b x 4} + \sigma_{b y 4} / s f_{b y 4} + \sigma_{c(t) 4} / s f_{c(t) 4} \leq 1.0$$

$\sigma_{b x 4}$, $\sigma_{b y 4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{b x 4}$, $s f_{b y 4}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t) 4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t) 4}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は，次式により算出し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq_s f_{t4}$$

- $\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)
- τ_4 : はりに生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$ (N/mm²)
- $s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

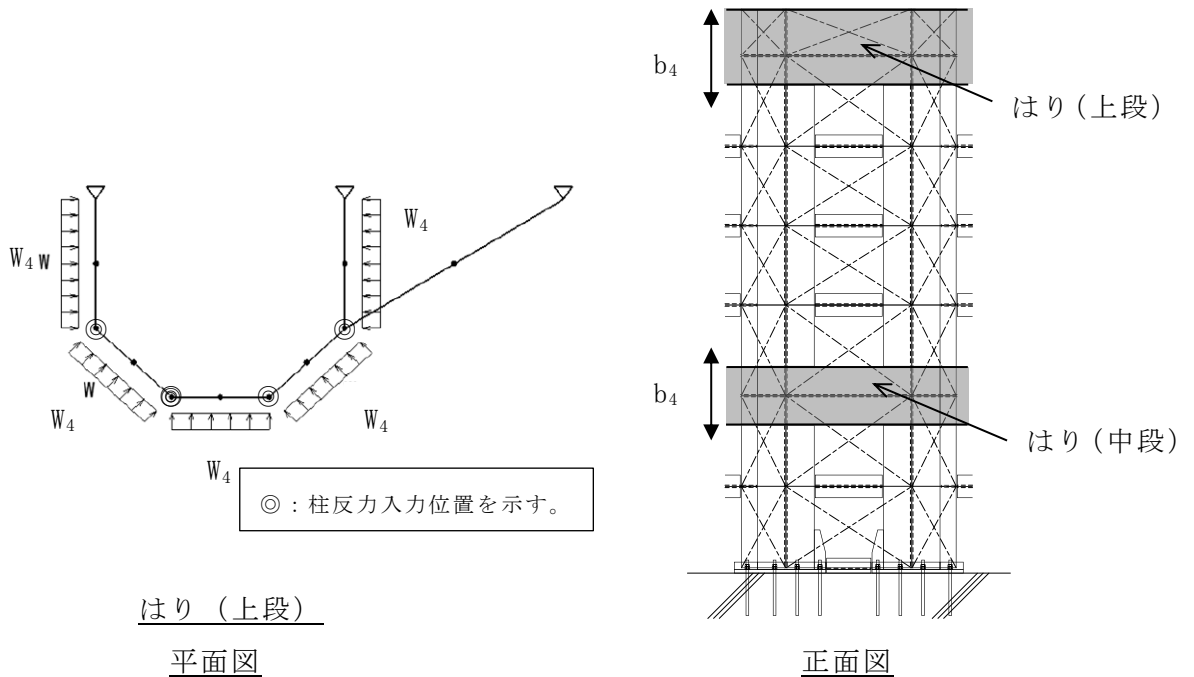


図 5-7 はりに作用する荷重の例

g. 水平ブレースに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)5} = (N_{c(t)5} \cdot 10^3) / A_{g5}$$

- $\sigma_{c(t)5}$: 水平ブレースに生じる軸応力度 (N/mm²)
- $N_{c(t)5}$: 水平ブレースの圧縮又は引張軸力 (kN)
- A_{g5} : 水平ブレースの断面積 (mm²)

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 5-8 に示す。

$$(T_{d6}/T_a)^2 + (Q_{d6}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{d6} = T_6 / n_6$$

$$T_{d6}/T_a \leq 1.0$$

T_6 : 柱又ははりに生じる引張力 (kN)

n_6 : 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 (本)

T_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d6} = Q_6 / n_6$$

$$Q_{d6}/Q_a \leq 1.0$$

Q_6 : 柱又ははりに生じるせん断力 (kN)

Q_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

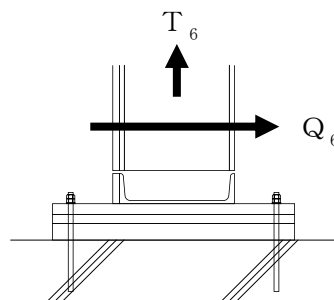


図 5-8 アンカーボルトに生じる荷重の例

5.1.6 評価条件

「5.1.5 評価方法」に用いる評価条件を表5-8に示す。

表5-8 強度評価に用いる入力値(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	H	mm	浸水深さ	5050
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の余震震度	0.60
	α_V	—	鉛直方向の余震震度	1.44
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
鋼板	h	mm	水圧作用高さ	5050
	ρ_s	t/m ³	鋼板の密度	7.85
	t	mm	鋼板の厚さ	22
	Z ₁	mm ³	鋼板の断面係数	80.67×10 ³
	L ₁	mm	鋼板の短辺長さ	850
胴縁	h	mm	水圧作用高さ	5050
	b ₂	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅	700
	m ₂	kg/m	胴縁の質量分布	265.1
	Z _{x2}	mm ³	胴縁の強軸回りの断面係数	1526×10 ³
	Z _{y2}	mm ³	胴縁の弱軸回りの断面係数	141×10 ³
	L ₂	mm	胴縁の全長	1610
	A _{sx2}	mm ²	胴縁の強軸方向のせん断断面積	7308
	A _{sy2}	mm ²	胴縁の弱軸方向のせん断断面積	6400
柱	h	mm	水圧作用高さ	5050
	b ₃	mm	柱に作用する荷重の負担幅	2040
	m ₃	kg/m	柱の質量分布	428.3
	Z _{x3}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数	7627×10 ³
	Z _{y3}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数	2668×10 ³
	L ₃	mm	柱全長	2850
	A _{sx3}	mm ²	柱の強軸方向のせん断断面積	9592
	A _{sy3}	mm ²	柱の弱軸方向のせん断断面積	32000
	A _{g3}	mm ²	柱の断面積	41592

表 5-8 強度評価に用いる入力値(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
はり	b_4	mm	はりに作用する荷重の負担幅	810
	h	mm	水圧作用高さ	5050 (810*)
	M_{x4}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント	89.7
	M_{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント	3.18
	Z_{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	5631×10^3
	Z_{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	1834×10^3
	Q_{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力	87.7
	Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力	9.86
	A_{Sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積	8664
	A_{Sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積	22000
	$N_{c(t)4}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力	318.64
水平ブレース	A_{g4}	mm ²	はりの断面積	30664
	$N_{c(t)5}$	kN	水平ブレースの圧縮又は引張軸力	298.33
アンカーボルト	A_{g5}	mm ²	水平ブレースの断面積	13880
	n_6	本	柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数	16

注記*：はり（上段）の水圧作用高さを示す。

6. タービン建物地下1階復水器室北東側防水壁

6.1 強度評価方法

6.1.1 記号の説明

タービン建物地下1階復水器室北東側防水壁の評価に用いる記号を表6-1に示す。

表6-1 タービン建物地下1階復水器室北東側防水壁の強度評価に用いる記号(1/5)

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
P_h	kN/m ²	静水圧荷重
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	浸水深さ
h	mm	水圧作用高さ
P	kN/m ²	動水圧荷重
β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数(1.0)
α_H	—	水平方向の余震震度
S_d	kN/m	余震による水平地震荷重
t	mm	鋼板の厚さ
ρ_s	t/m ³	鋼板の密度
σ_{b1}	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度
M_1	kN・m	鋼板の曲げモーメント
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
L_1	mm	鋼板の短辺長さ
w_{x2}	kN/m	胴縁に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y2}	kN/m	胴縁に作用する余震を考慮した荷重
S_{dv}	kN/m	余震による鉛直地震荷重
b_2	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅
m_2	kg/m	胴縁の質量分布
α_v	—	鉛直方向の余震震度
σ_{bx2}	N/mm ²	胴縁に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by2}	N/mm ²	胴縁に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x2}	kN・m	胴縁に生じる強軸回りの曲げモーメント
M_{y2}	kN・m	胴縁に生じる弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x2}	mm ³	胴縁の強軸回りの断面係数

表 6-1 タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の強度評価に用いる記号 (2/5)

記号	単位	定義
Z_{y2}	mm^3	洞縁の弱軸回りの断面係数
L_2	mm	洞縁全長
τ_{x2}	N/mm^2	洞縁に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y2}	N/mm^2	洞縁に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x2}	kN	洞縁の強軸方向のせん断力
Q_{y2}	kN	洞縁の弱軸方向のせん断力
A_{Sx2}	mm^2	洞縁の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy2}	mm^2	洞縁の弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)2}$	N/mm^2	洞縁に生じる軸応力度
$N_{c(t)2}$	kN	洞縁の圧縮又は引張軸力
A_{g2}	mm^2	洞縁の断面積
N_2	kN	洞縁の軸力
${}_s f_{bx2}$	N/mm^2	洞縁の強軸方向の短期許容曲げ応力度
${}_s f_{by2}$	N/mm^2	洞縁の弱軸方向の短期許容曲げ応力度
${}_s f_{c(t)2}$	N/mm^2	洞縁の短期許容圧縮又は許容引張応力度
${}_s f_{t2}$	N/mm^2	洞縁の短期許容引張応力度
w_{x3}	kN/m	根太に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y3}	kN/m	根太に作用する余震を考慮した荷重
b_3	mm	根太に作用する荷重の負担幅
m_3	kg/m	根太の質量分布
σ_{bx3}	N/mm^2	根太に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by3}	N/mm^2	根太に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x3}	kN・m	根太に生じる強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	kN・m	根太に生じる弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x3}	mm^3	根太の強軸回りの断面係数
Z_{y3}	mm^3	根太の弱軸回りの断面係数
L_3	mm	根太全長
τ_{x3}	N/mm^2	根太に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y3}	N/mm^2	根太に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x3}	kN	根太の強軸方向のせん断力
Q_{y3}	kN	根太の弱軸方向のせん断力
A_{Sx3}	mm^2	根太の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy3}	mm^2	根太の弱軸方向のせん断断面積

表 6-1 タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の強度評価に用いる記号 (3/5)

記号	単位	定義
$s f_{t3}$	N/mm ²	根太の短期許容引張応力度
w_{x4}	kN/m	柱の強軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y4}	kN/m	柱の弱軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
b_4	mm	柱に作用する荷重の負担幅
σ_{bx4}	N/mm ²	柱に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by4}	N/mm ²	柱に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x4}	kN・m	柱の強軸回りの曲げモーメント
M_{y4}	kN・m	柱の弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x4}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数
Z_{y4}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数
L_4	mm	柱全長
τ_{x4}	N/mm ²	柱に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y4}	N/mm ²	柱に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x4}	kN	柱の強軸方向のせん断力
Q_{y4}	kN	柱の弱軸方向のせん断力
A_{Sx4}	mm ²	柱の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy4}	mm ²	柱の弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)4}$	N/mm ²	柱に生じる軸応力度
$N_{c(t)4}$	kN	柱の圧縮又は引張軸力
A_{g4}	mm ²	柱の断面積
N_4	kN	柱の軸力
$s f_{bx4}$	N/mm ²	柱の強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{by4}$	N/mm ²	柱の弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)4}$	N/mm ²	柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t4}$	N/mm ²	柱の短期許容引張応力度
w_{x5}	kN/m	はりに作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y5}	kN/m	はりに作用する余震を考慮した荷重
b_5	mm	はりに作用する荷重の負担幅
σ_{bx5}	N/mm ²	はりに生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by5}	N/mm ²	はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x5}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント
M_{y5}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x5}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数

表 6-1 タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の強度評価に用いる記号 (4/5)

記号	単位	定義
Z_{y5}	mm^3	はりの弱軸回りの断面係数
L_5	mm	はり全長
τ_{x5}	N/mm^2	はりに生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y5}	N/mm^2	はりに生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x5}	kN	はりの強軸方向のせん断力
Q_{y5}	kN	はりの弱軸方向のせん断力
A_{Sx5}	mm^2	はりの強軸方向のせん断断面積
A_{Sy5}	mm^2	はりの弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)5}$	N/mm^2	はりに生じる軸応力度
$N_{c(t)5}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力
A_{g5}	mm^2	はりの断面積
$s f_{bx5}$	N/mm^2	はりの強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{by5}$	N/mm^2	はりの弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)5}$	N/mm^2	はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t5}$	N/mm^2	はりの短期許容引張応力度
w_{x6}	kN/m	斜材に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重
w_{y6}	kN/m	余震を考慮した荷重
b_6	mm	斜材に作用する荷重の負担幅
σ_{bx6}	N/mm^2	斜材に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by6}	N/mm^2	斜材に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x6}	kN・m	斜材の強軸回りの曲げモーメント
M_{y6}	kN・m	斜材の弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x6}	mm^3	斜材の強軸回りの断面係数
Z_{y6}	mm^3	斜材の弱軸回りの断面係数
L_6	mm	斜材全長
τ_{x6}	N/mm^2	斜材に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y6}	N/mm^2	斜材に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x6}	kN	斜材の強軸方向のせん断力
Q_{y6}	kN	斜材の弱軸方向のせん断力
A_{Sx6}	mm^2	斜材の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy6}	mm^2	斜材の弱軸方向のせん断断面積

表 6-1 タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の強度評価に用いる記号 (5/5)

記号	単位	定義
$\sigma_{c(t)6}$	N/mm ²	斜材に生じる軸応力度
$N_{c(t)6}$	kN	斜材の圧縮又は引張軸力
A_{g6}	mm ²	斜材の断面積
$s f_{bx6}$	N/mm ²	はりの強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{by6}$	N/mm ²	はりの弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)6}$	N/mm ²	斜材の短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t6}$	N/mm ²	斜材の短期許容引張応力度
T_7	kN	斜材に発生する引張力
n_7	本	斜材に取り付くアンカーボルトの本数
T_{d7}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_7	kN	斜材に生じるせん断力
Q_{d7}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

6.1.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す防水壁の構造上の特性を踏まえ選定する。

当該防水壁に生じる静水圧及び余震に伴う荷重は鋼板、胴縁、根太、柱、はり及び斜材に伝わり、はり及び斜材を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、根太、柱、はり、斜材及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図6-1に示す。

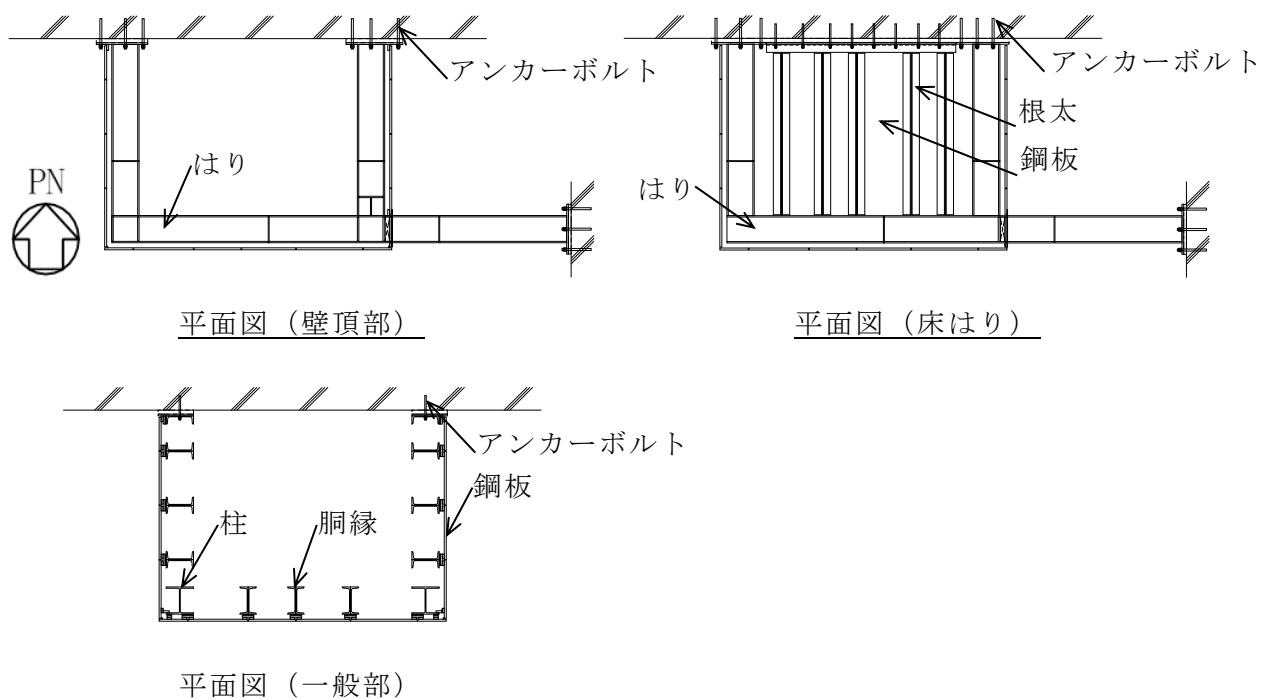
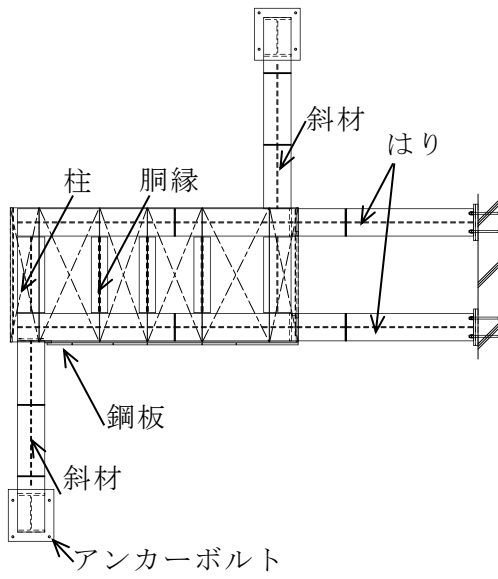
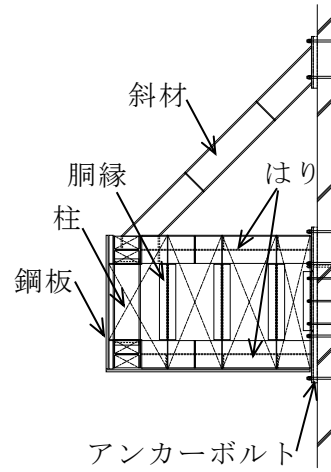


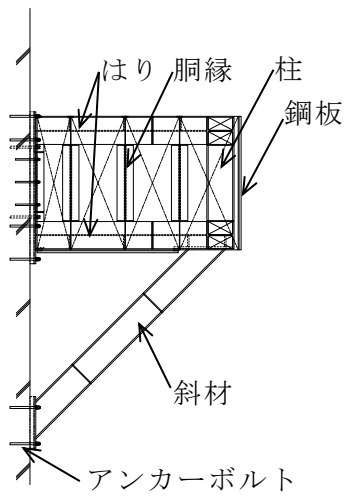
図6-1 評価対象部位(1/2)



正面図



東側正面図



西側正面図

図 6-1 評価対象部位 (2/2)

6.1.3 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 3-1「津波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。

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + K S d$$

P_h : 静水圧荷重

$K S d$: 余震荷重

(2) 荷重の設定

a. 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、鋼板、はり、胴縁、根太及び柱においては当該防水壁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。また、斜材においては斜材のフランジ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。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 6-2 に、防水壁の水圧作用高さの概念図を図 6-2 に示す。

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

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

b. 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S d による地震力及び動水圧を考慮する。評価に用いる余震震度は VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、余震震度は防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度は N S 方向と E W 方向の大きい方を用いる。当該防水壁の余震震度を表 6-3 に示す。

動水圧荷重は「水道施設耐震工法指針・解説」に基づき、各部位に作用する動水圧は次式により算出する。この時、鋼板、はり、胴縁、根太及び柱においては当該防水壁下端の最大動水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。また、斜材においては、斜材のフランジ下端の最大動水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。防水壁の水圧作用高さの概念図を図 6-2 に、動水圧荷重の算定に用いる浸水深さ及び水圧作用高さを表 6-2 に、動水圧荷重の算出結果は表 6-4 に示す。

$$P = \beta \cdot 7 / 8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h \cdot 10^{-6}}$$

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (1.0)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 浸水深さ (mm)

h : 水圧作用高さ (mm)

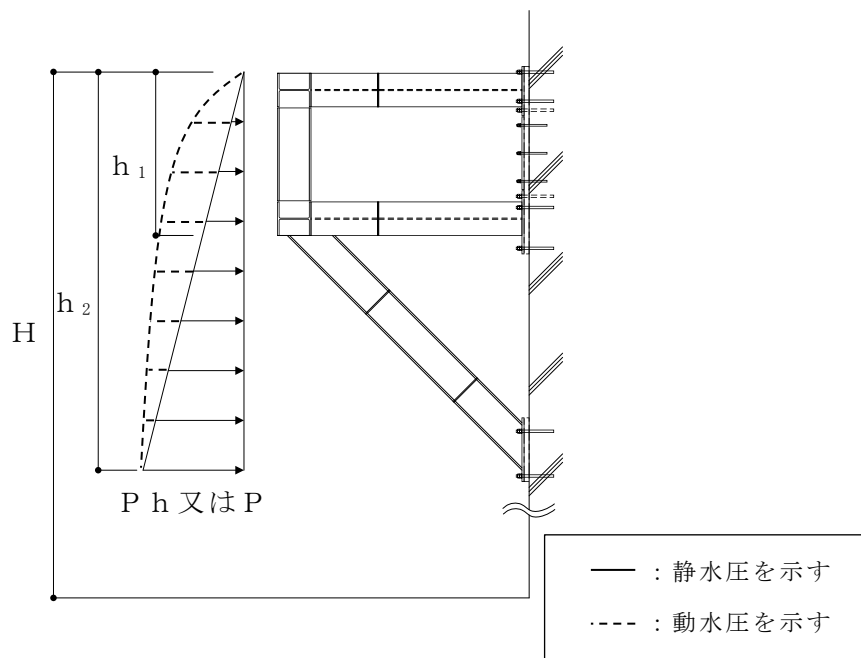


図 6-2 防水壁の水圧作用高さの断面概念図

表 6-2 浸水深さ、水圧作用高さ及び水の密度

浸水深さ H (mm)	水圧作用高さ		水の密度 ρ_0 (t/m ³)
	h_1 (mm)	h_2 (mm)	
	鋼板, 胴縁, 根太, 柱, はり	斜材	
5050	1494	3550	1.03

表 6-3 余震震度

建物	設置場所	弾性設計用地震動 S d の 余震震度*	
		水平 α_H	鉛直 α_V
タービン建物	EL 0.250m	0.60	0.32

注記* : 設計用震度 I (1.0ZPA)を示す。

表 6-4 動水圧荷重の算出結果

部位	動水圧荷重 P (kN/m ²)
鋼板, 胴縁, 根太, 柱, はり	14.57
斜材	22.45

6.1.4 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、根太、柱、はり、斜材及びアンカーボルトの使用材料を表 6-5 に示す。

表 6-5 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-22
胴縁, 根太	SS400	[-300×90×10×15.5
柱, はり, 斜材	SS400	H-300×300×10×15
アンカーボルト	SS400	M22

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S 規準」を踏まえて表 6-6 の値とする。

表 6-6 鋼材の許容限界

材質	部材厚さ (mm)	短期許容応力度 (N/mm ²)			
		引張	圧縮* ²	曲げ* ²	せん断
SS400	$t \leq 40^{*1}$	235	235	235	135
	$40 < t \leq 100^{*1}$	215	215	215	124

注釈*1: t は板厚を示す。

*2: 上限値であり, 座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 6-7 の値とする。

なお、アンカーボルトが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付着力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトが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より決まる耐力、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 6-7 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SS400	71	49

6.1.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，根太，柱，はり，斜材及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 6-3 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_1 = (P_h + P) \cdot b_1 + S_d$$

w_1 : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅 : 1.0m)

S_d : 鋼板に生じる余震による地震荷重 ($t \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

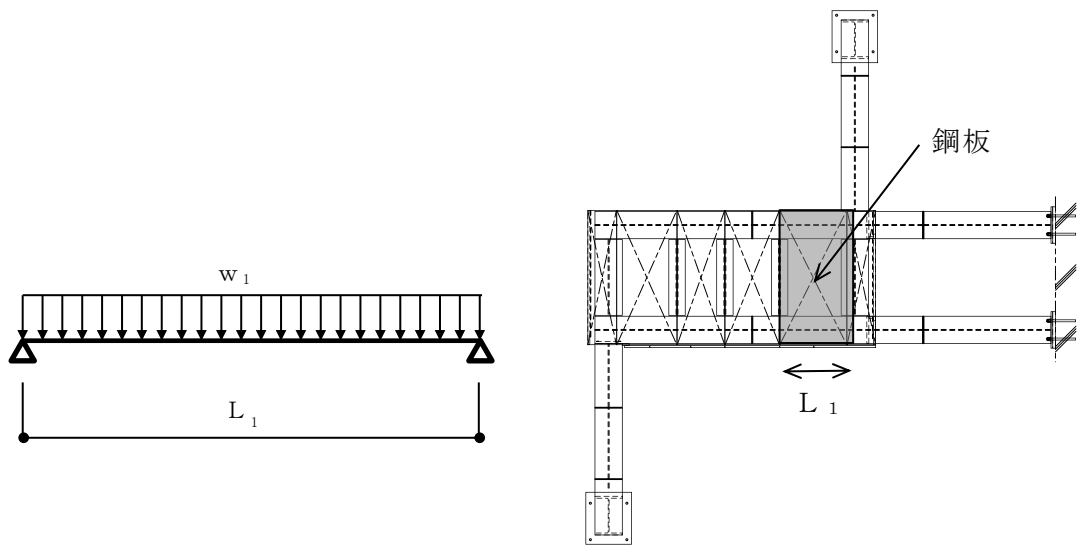
$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)



断面概念図

正面図

図 6-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 胴縁

胴縁に生じる応力は、胴縁を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、胴縁の短期許容応力度以下であることを確認する。胴縁に作用する荷重の例を図 6-4 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x2} = (P_h + P) \cdot b_2 \cdot 10^{-3} + S d$$

$$w_{y2} = S d_v$$

w_{x2} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y2} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 胴縁に生じる余震による水平地震荷重 (kN/m)

$$((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g)$$

$S d_v$: 胴縁に生じる余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

$$((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度
 α_V : 鉛直方向の余震震度
 g : 重力加速度 (m/s^2)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx2} = (M_{x2} \cdot 10^6) / Z_{x2}$$

$$\sigma_{by2} = (M_{y2} \cdot 10^6) / Z_{y2}$$

$$M_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm^2)

M_{x2}, M_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント ($kN \cdot m$)

Z_{x2}, Z_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm^3)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_{x2} = (Q_{x2} \cdot 10^3) / A_{sx2}$$

$$\tau_{y2} = (Q_{y2} \cdot 10^3) / A_{sy2}$$

$$Q_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x2}, τ_{y2} : 胴縁に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm^2)

Q_{x2}, Q_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx2}, A_{sy2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm^2)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

d. 胴縁に作用する軸応力度

$$\sigma_{c(t)2} = (N_{c(t)2} \cdot 10^3) / A_{g2}$$

$$N_{c(t)2} = N_2 \cdot (1 \pm \alpha_V)$$

$\sigma_{c(t)2}$: 胴縁に生じる軸応力度 (N/mm^2)

$N_{c(t)2}$: 胴縁の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g2} : 胴縁の断面積 (mm^2)

N_2 : 胴縁の軸力 (kN)

α_V : 鉛直方向の余震震度

e. 胴縁に生じる組合せ応力度

胴縁に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b_{x2}}/s f_{b_{x2}} + \sigma_{b_{y2}}/s f_{b_{y2}} + \sigma_{c(t)2}/s f_{c(t)2} \leq 1.0$$

- $\sigma_{b_{x2}}, \sigma_{b_{y2}}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $s f_{b_{x2}}, s f_{b_{y2}}$: 胴縁の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)2}$: 胴縁に生じる軸応力度 (N/mm²)
- $s f_{c(t)2}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

胴縁に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b_{x2}} + \sigma_{b_{y2}} + \sigma_{c(t)2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq s f_{t2}$$

- $\sigma_{b_{x2}}, \sigma_{b_{y2}}$: 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)2}$: 胴縁に生じる軸応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x2}, \tau_{y2})$ (N/mm²)
- $s f_{t2}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

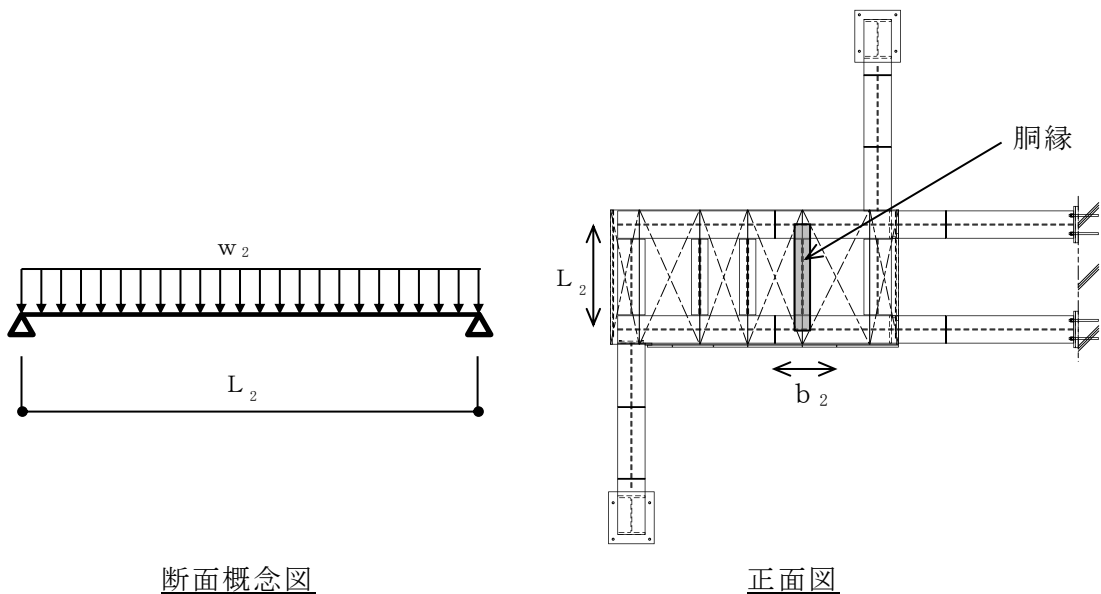


図 6-4 胴縁に作用する荷重の例

(3) 根太

根太に生じる応力は、根太を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、根太の短期許容応力度以下であることを確認する。根太に作用する荷重の例を図 6-5 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x3} = (P_h + P) \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + S d_v$$

$$w_{y3} = S d$$

w_{x3} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y3} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_3 : 根太に作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 根太に生じる余震による水平地震荷重 (kN/m)

$$((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g)$$

$S d_v$: 根太に生じる余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

$$((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_v) \cdot g)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_3 : 根太の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の余震震度

α_v : 鉛直方向の余震震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 根太に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx3} = (M_{x3} \cdot 10^6) / Z_{x2}$$

$$\sigma_{by3} = (M_{y3} \cdot 10^6) / Z_{y2}$$

$$M_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: 根太に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x3}, M_{y3} : 根太の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x3}, Z_{y3} : 根太の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_3 : 根太全長 (mm)

c. 根太に生じるせん断応力度

$$\tau_{x3} = (Q_{x3} \cdot 10^3) / A_{Sx2}$$

$$\tau_{y3} = (Q_{y3} \cdot 10^3) / A_{Sy2}$$

$$Q_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x3}, τ_{y3} : 根太に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3}, Q_{y3} : 根太の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{Sx3}, A_{Sy3} : 根太の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_3 : 根太全長 (mm)

d. 根太に生じる組合せ応力度

根太に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3})^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq_s f_{t3}$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: 根太に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_3 : 根太に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$ (N/mm²)

$s f_{t3}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

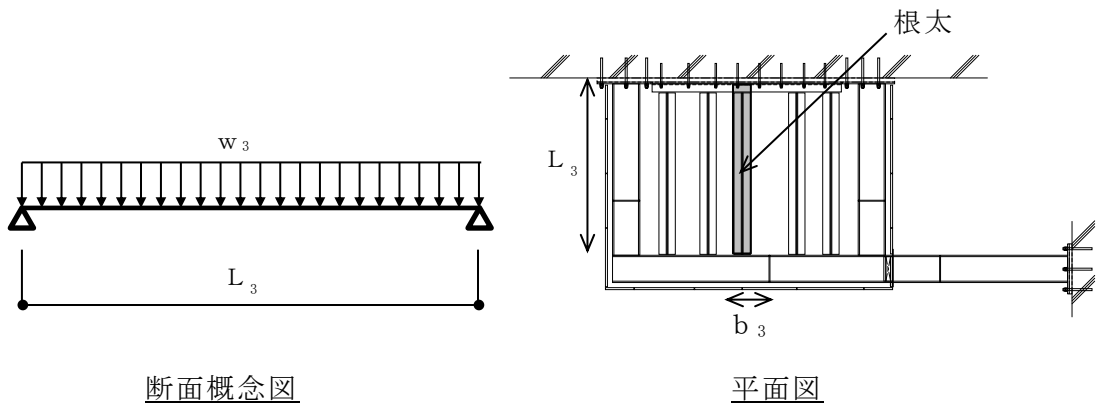


図 6-5 根太に作用する荷重の例

(4) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。柱に作用する荷重の例を図 6-6 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x4} = (P_h + P) \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + S_d$$

$$w_{y4} = (P_h + P) \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + S_d$$

w_{x4} : 強軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y4} : 弱軸方向に作用する静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_4 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

S_d : 余震による地震荷重 (kN/m)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx4} = (M_{x4} \cdot 10^6) / Z_{x4}$$

$$\sigma_{by4} = (M_{y4} \cdot 10^6) / Z_{y4}$$

$$M_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y4} = w_{y4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x4}, M_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x4}, Z_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_4 : 柱全長 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x4} = (Q_{x4} \cdot 10^3) / A_{sx4}$$

$$\tau_{y4} = (Q_{y4} \cdot 10^3) / A_{sy4}$$

$$Q_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y4} = w_{y4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x4}, τ_{y4} : 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4}, Q_{y4} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx4}, A_{sy4} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_4 : 柱全長 (mm)

d. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = (N_{c(t)4} \cdot 10^3) / A_{g4}$$

$$N_{c(t)4} = N_4 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g4} : 柱の断面積 (mm²)

N_4 : 柱の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の余震震度

e. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx4}/s f_{bx4} + \sigma_{by4}/s f_{by4} + \sigma_{c(t)4}/s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx4}, s f_{by4}$: 柱の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)4}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ断応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

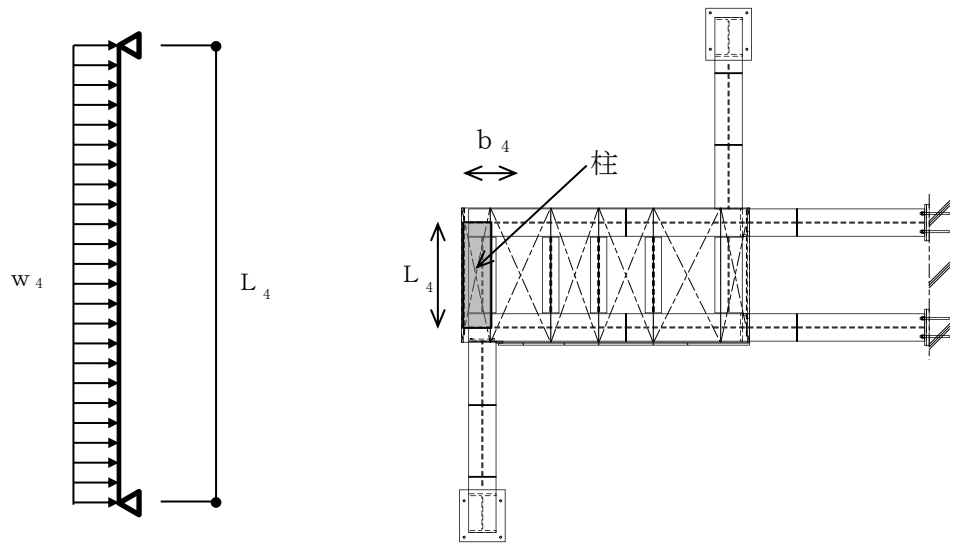
$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : 柱に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$ (N/mm²)

$s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

正面図

図 6-6 柱に作用する荷重の例

(5) はり

はりに生じる応力は、はりを両端ピンの単純はりとして次式により算出し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 6-7 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x5} = (P_h + P) \cdot b_5 \cdot 10^{-3} + S d$$

$$w_{y5} = S d_v$$

w_{x5} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y5} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_5 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

$S d$: 余震による地震荷重 (kN/m)

$S d_v$: 余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

b. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx5} = (M_{x5} \cdot 10^6) / Z_{x5}$$

$$\sigma_{by5} = (M_{y5} \cdot 10^6) / Z_{y5}$$

$$M_{x5} = w_{x5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y5} = w_{y5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx5}, \sigma_{by5}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x5}, M_{y5} : はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x5}, Z_{y5} : はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_5 : はり全長 (mm)

c. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x5} = (Q_{x5} \cdot 10^3) / A_{sx5}$$

$$\tau_{y5} = (Q_{y5} \cdot 10^3) / A_{sy5}$$

$$Q_{x5} = w_{x5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y5} = w_{y5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x5}, τ_{y5} : はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x5}, Q_{y5} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx5}, A_{sy5} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_5 : はり全長 (mm)

d. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)5} = (N_{c(t)5} \cdot 10^3) / A_{g5}$$

$\sigma_{c(t)5}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)5}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g5} : はりの断面積 (mm²)

e. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx5} / s f_{bx5} + \sigma_{by5} / s f_{by5} + \sigma_{c(t)5} / s f_{c(t)5} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx5}, \sigma_{by5}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx5}, s f_{by5}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

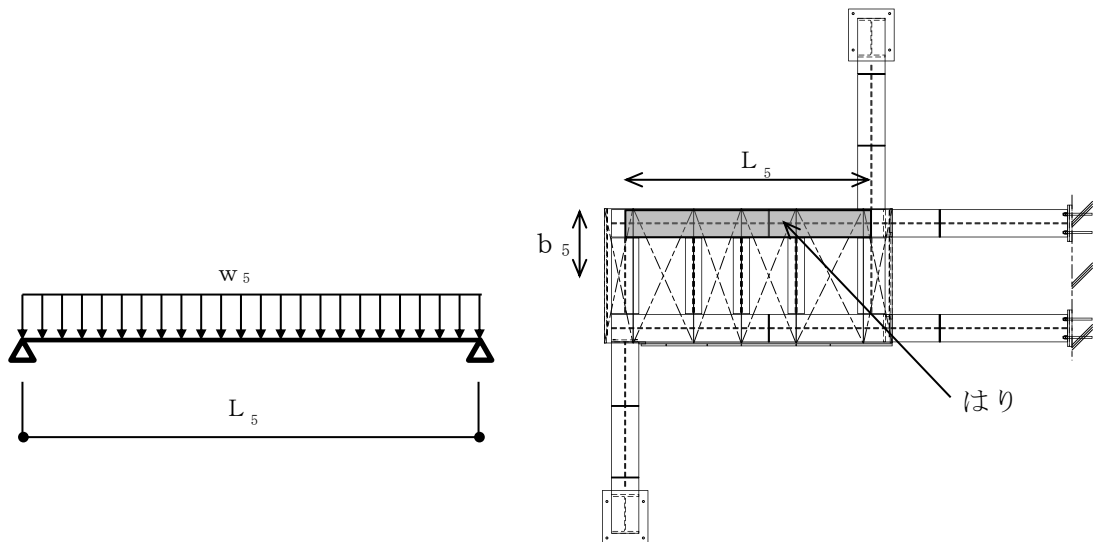
$\sigma_{c(t)5}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)5}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ断応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は，次式により算出し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx5} + \sigma_{by5} + \sigma_{c(t)5})^2 + 3 \cdot \tau_5^2} \leq_s f_{t5}$$

- $\sigma_{bx5}, \sigma_{by5}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)5}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)
- τ_5 : はりに生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x5}, \tau_{y5})$ (N/mm²)
- f_{t5} : 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

正面図

図 6-7 はりに作用する荷重の例

(6) 斜材

斜材に生じる応力は、斜材を一端ピン他端固定の単純ばりとして次式により算出し、斜材の短期許容応力度以下であることを確認する。斜材に作用する荷重の例を図 6-8 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{x6} = (P_{h6} + P_6) \cdot b_6 \cdot 10^{-3} + S_d$$

$$w_{y6} = S_{dv}$$

w_{x6} : 静水圧荷重及び余震を考慮した荷重 (kN/m)

w_{y6} : 余震を考慮した荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

P : 動水圧荷重 (kN/m²)

b_6 : 斜材に作用する荷重の負担幅 (mm)

S_d : 余震による地震荷重 (kN/m)

S_{dv} : 余震による鉛直地震荷重 (kN/m)

b. 斜材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx6} = (M_{x6} \cdot 10^6) / Z_{x6}$$

$$\sigma_{by6} = (M_{y6} \cdot 10^6) / Z_{y6}$$

$$M_{x6} = w_{x6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y6} = w_{y6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 斜材に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x6}, M_{y6} : 斜材の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x6}, Z_{y6} : 斜材の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_6 : 斜材全長 (mm)

c. 斜材に生じるせん断応力度

$$\tau_{x6} = (Q_{x6} \cdot 10^3) / A_{sx6}$$

$$\tau_{y6} = (Q_{y6} \cdot 10^3) / A_{sy6}$$

$$Q_{x6} = w_{x6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3}) \cdot 5 / 8$$

$$Q_{y6} = w_{y6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3}) \cdot 5 / 8$$

τ_{x6}, τ_{y6} : 斜材に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x6}, Q_{y6} : 斜材の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)
 A_{Sx6}, A_{Sy6} : 斜材の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)
 L_6 : 斜材全長 (mm)

d. 斜材に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)6} = (N_{c(t)6} \cdot 10^3) / A_{g6}$$

$\sigma_{c(t)6}$: 斜材に生じる軸応力度 (N/mm²)
 $N_{c(t)6}$: 斜材の圧縮又は引張軸力 (kN)
 A_{g6} : 斜材の断面積 (mm²)

e. 斜材に生じる組合せ応力度

斜材に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx6}/s f_{bx6} + \sigma_{by6}/s f_{by6} + \sigma_{c(t)6}/s f_{c(t)6} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 斜材に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $s f_{bx6}, s f_{by6}$: 斜材の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)6}$: 斜材に生じる軸応力度 (N/mm²)
 $s f_{c(t)6}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

斜材に生じる曲げ断応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx6} + \sigma_{by6} + \sigma_{c(t)6})^2 + 3 \cdot \tau_6^2} \leq s f_{t6}$$

$\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 斜材に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_6 : 斜材に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x6}, \tau_{y6})$ (N/mm²)
 $s f_{t6}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)6}$: 斜材に生じる軸応力度 (N/mm²)

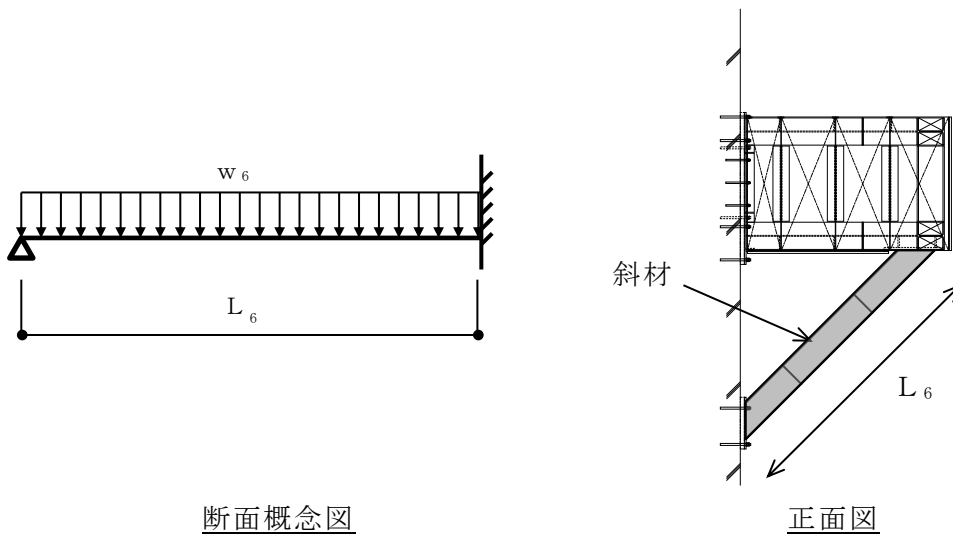


図 6-8 斜材に作用する荷重の例

(7) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 6-9 に示す。

$$(T_{d7}/T_a)^2 + (Q_{d7}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{d7} = T_7 / n_7$$

$$T_{d7}/T_a \leq 1.0$$

T_7 : 斜材に発生する引張力 (kN)

n_7 : 斜材に取り付くアンカーボルトの本数 (本)

T_{d7} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d7} = Q_7 / n_7$$

$$Q_{d7}/Q_a \leq 1.0$$

Q_7 : 斜材に発生するせん断力 (kN)

Q_{d7} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

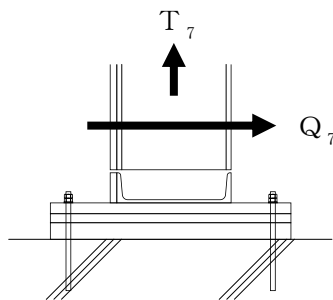


図 6-9 アンカーボルトに生じる荷重の例

6.1.6 評価条件

「6.1.5 評価方法」に用いる評価条件を表6-8に示す。

表6-8 強度評価に用いる条件(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	H	mm	浸水深さ	5050
	α_H	—	水平方向の余震震度	0.60
	α_V	—	鉛直方向の余震震度	0.32
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
鋼板	h	mm	水圧作用高さ	1494
	ρ_s	t/m ³	鋼板の密度	7.85
	t	mm	鋼板の厚さ	22
	Z ₁	mm ³	鋼板の断面係数	80.67×10 ³
	L ₁	mm	鋼板の短辺長さ	825
胴縁	h	mm	水圧作用高さ	1494
	b ₂	mm	胴縁に作用する荷重の負担幅	713
	m ₂	kg/m	胴縁の質量分布	122.4
	Z _{x2}	mm ³	胴縁の強軸回りの断面係数	988×10 ³
	Z _{y2}	mm ³	胴縁の弱軸回りの断面係数	108.2×10 ³
	L ₂	mm	胴縁の全長	1150
	A _{Sx2}	mm ²	胴縁の強軸方向のせん断断面積	5380
	A _{Sy2}	mm ²	胴縁の弱軸方向のせん断断面積	5580
根太	h	mm	水圧作用高さ	1494
	b ₃	mm	根太に作用する荷重の負担幅	488
	m ₃	kg/m	根太の質量分布	122.4
	Z _{x3}	mm ³	根太の強軸回りの断面係数	988×10 ³
	Z _{y3}	mm ³	根太の弱軸回りの断面係数	108.2×10 ³
	L ₃	mm	根太の全長	2100
	A _{Sx3}	mm ²	根太の強軸方向のせん断断面積	5380
	A _{Sy3}	mm ²	根太の弱軸方向のせん断断面積	5580

表 6-8 強度評価に用いる入力値(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
柱	h	mm	水圧作用高さ	1494
	b ₄	mm	柱に作用する荷重の負担幅	1094
	Z _{x4}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数	1350×10 ³
	Z _{y4}	mm	柱の弱軸回りの断面係数	450×10 ³
	L ₄	mm	柱全長	1150
	A _{Sx4}	mm ²	柱の強軸方向のせん断断面積	2700
	A _{Sy4}	mm ²	柱の弱軸方向のせん断断面積	9000
	A _{g4}	mm ²	柱の断面積	11800
はり	h	mm	水圧作用高さ	1494
	Z _{x5}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	1350×10 ³
	Z _{y5}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	450×10 ³
	b ₅	mm	はりに作用する荷重の負担幅	735
	L ₅	mm	はり全長	2700
	A _{Sx5}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積	2700
	A _{Sy5}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積	9000
	A _{g5}	mm ²	はりの断面積	11800
斜材	h	mm	水圧作用高さ	3550
	Z _{x6}	mm ³	斜材の強軸回りの断面係数	1350×10 ³
	Z _{y6}	mm ³	斜材の弱軸回りの断面係数	450×10 ³
	b ₆	mm	斜材に作用する荷重の負担幅	300
	L ₆	mm	斜材全長	3000
	A _{Sx6}	mm ²	斜材の強軸方向のせん断断面積	2700
	A _{Sy6}	mm ²	斜材の弱軸方向のせん断断面積	9000
	A _{g6}	mm ²	斜材の断面積	11800
アンカーボルト	n ₆	本	柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数	4

7. 取水槽除じん機エリア防水壁

7.1 強度評価方法

7.1.1 記号の説明

取水槽除じん機エリア防水壁の評価に用いる記号を表 7-1 に示す。

表 7-1 取水槽除じん機エリア防水壁の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
h_p	mm	水圧作用高さ
w	kN/m ²	風圧力
h_k	mm	風荷重作用高さ
w_1	kN/m	鋼板に作用する静水圧荷重及び風荷重を考慮した荷重
P_{h1}	kN/m ²	鋼板に作用する静水圧荷重
b_1	mm	鋼板に作用する荷重の負担幅
P_k	kN/m	風荷重
σ_1	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度
M_1	kN・m	鋼板の曲げモーメント
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
L_1	mm	鋼板の短辺長さ
w_2	kN/m	はりに作用する静水圧荷重及び風荷重を考慮した荷重
P_{h2}	kN/m ²	はりに作用する静水圧荷重
b_2	mm	はりに作用する荷重の負担幅
σ_2	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度
M_2	kN・m	はりの曲げモーメント
Z_2	mm ³	はりの断面係数
L_2	mm	はりの支持スパン
τ_2	N/mm ²	はりに生じるせん断応力度
Q_2	kN	はりのせん断力
A_{s2}	mm ²	はりのせん断断面積
P_3	kN/m	柱に作用する静水圧荷重
P_h	kN/m ²	静水圧荷重
b_3	mm	柱に作用する荷重の負担幅
P_{k3}	kN/m	柱に作用する風荷重
σ_3	N/mm ²	柱に生じる曲げ応力度

表 7-1 取水槽除じん機エリア防水壁の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
M_{P3}	kN・m	柱の静水圧荷重による曲げモーメント
M_{k3}	kN・m	柱の風荷重による曲げモーメント
Z_3	mm ³	柱の断面係数
L_3	mm	柱全長
L_{k1}	mm	風荷重作用高さ
L_{k2}	mm	風荷重を集中荷重にした時の作用位置
τ_3	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度
Q_{P3}	kN	柱の静水圧荷重によるせん断力
Q_{k3}	kN	柱の風荷重によるせん断力
A_{S3}	mm ²	柱のせん断断面積
f_t	N/mm ²	短期許容曲げ応力度
P	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力
V	kN	最大鉛直荷重
N	本	アンカーボルト全本数
M	kN・m	最大曲げモーメント
X_i	m	偏心距離
$\Sigma n \cdot X_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値
Q	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力
Q_4	kN	柱に生じる最大せん断力
P_a	kN	アンカーボルトの許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルトの許容せん断力

7.1.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

当該防水壁に生じる静水圧荷重及び風荷重は鋼板、はり及び柱に伝わり、柱を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、はり、柱及びアンカーボルトとする。

評価対象部位を図 7-1 に示す。

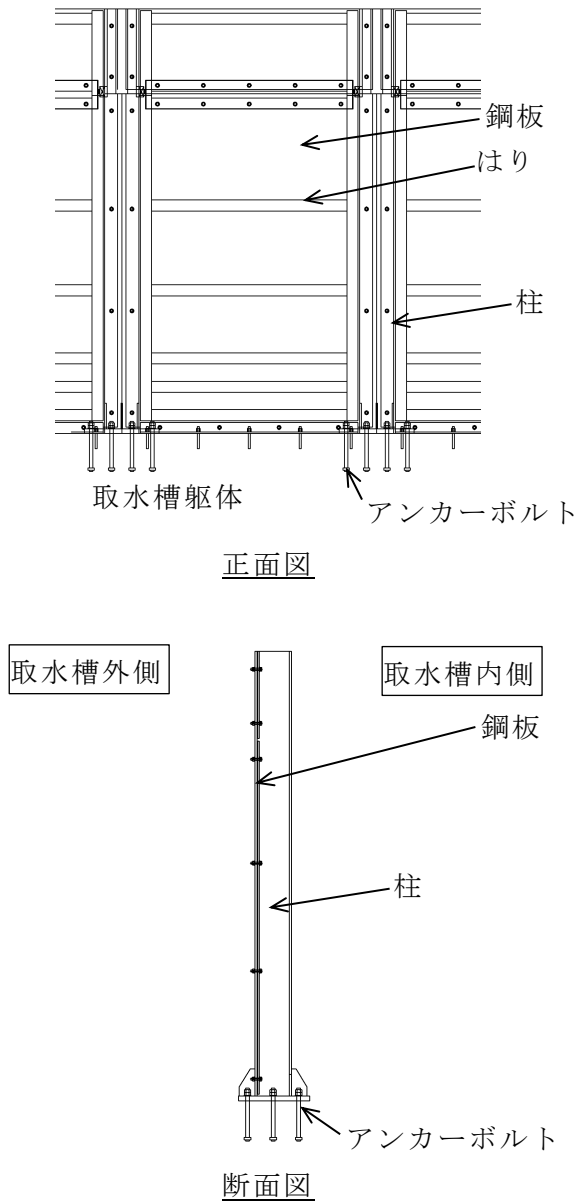


図 7-1 評価対象部位

7.1.3 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 3-1「津波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。

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + P_k$$

P_h : 静水圧荷重

P_k : 風荷重

(2) 荷重の設定

a. 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、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、柱においては、三角形分布に、鋼板及びはりにおいては、防水壁下端の支配幅中心の静水圧が等分布に作用するものとして評価する。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 7-2 に示す。

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

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h_p : 水圧作用高さ (mm)

表 7-2 水圧作用高さ及び水の密度

水圧作用高さ* h_p (mm)	水の密度 ρ_o (t/m ³)
2500	1.03

注記* : 柱に作用する最大静水圧の作用高さ

b. 風荷重 (P_k)

風速 30m/s 時の風荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に当該部分の風荷重作用高さを乗じた次式により算出する。当該防水壁は壁天端まで浸水を考慮するため、風荷重を考慮しない。風荷重の算定に用いる風荷重作用高さ及び風圧力を表 7-3 に示す。

$$P_k = w \cdot h_k \cdot 10^{-3}$$

P_k : 風荷重 (kN/m)

w : 風圧力 (kN/m²)

h_k : 風荷重作用高さ (mm)

表 7-3 風荷重作用高さ及び風圧力

風荷重作用高さ h_k (mm)	風圧力 w (kN/m ²)
0	1.71

7.1.4 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、はり、柱及びアンカーボルトの使用材料を表 7-4 に示す。

表 7-4 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-9
はり	SS400	L-65×65×8
柱	SS400	H-200×200×8×12
アンカーボルト	SUS304	M20

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S 規準」を踏まえて表 7-5 の値とする。

表 7-5 鋼材の許容限界

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。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 7-6 の値とする。

なお、アンカーボルトが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付着力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、評価部位のアンカーボルトが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より決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力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 7-6 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SUS304 (M20)	51	35

7.1.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，はり，柱及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 7-2 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_1 = P_{h1} \cdot b_1 \cdot 10^{-3} + P_k$$

w_1 : 鋼板に作用する静水圧荷重及び風荷重を考慮した荷重 (kN/m)

P_{h1} : 鋼板に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

b_1 : 鋼板に作用する荷重の負担幅 (mm)

P_k : 風荷重 (kN/m)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_1 : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

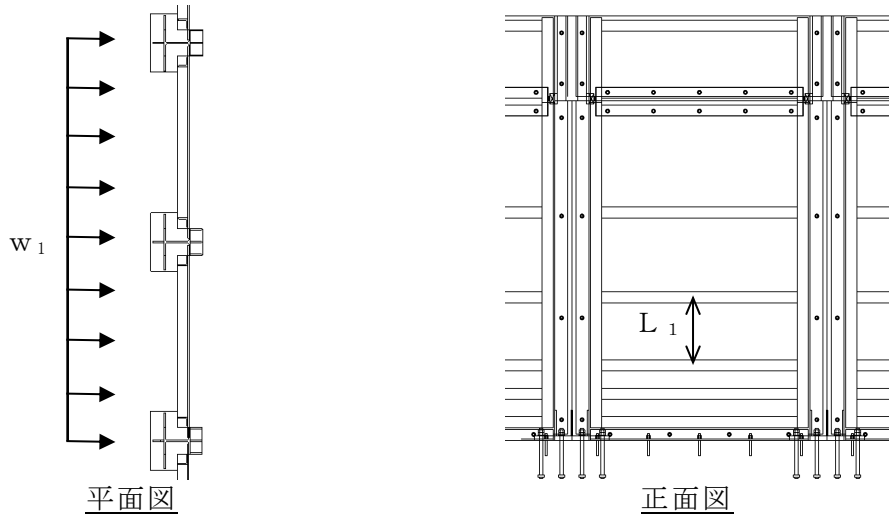


図 7-2 鋼板に作用する荷重の例

(2) はり

はりに生じる応力は、はりを単純支持のはりとして次式により算出し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 7-3 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_2 = P_{h2} \cdot b_2 \cdot 10^{-3} + P_k$$

w_2 : はりに作用する静水圧荷重及び風荷重を考慮した荷重 (kN/m)

P_{h2} : はりに作用する静水圧荷重 (kN/m²)

b_2 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

P_k : 風荷重 (kN/m)

b. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_2 : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : はりの曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : はりの断面係数 (mm³)

L_2 : はりの支持スパン (mm)

c. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_{S2}$$

$$Q_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_2 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : はりのせん断力 (kN)

A_{S2} : はりのせん断断面積 (mm²)

L_2 : はりの支持スパン (mm)

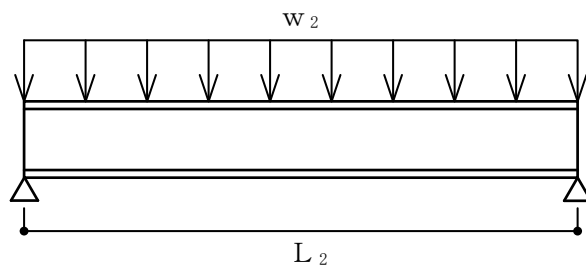


図 7-3 はりに作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちばりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。なお静水圧荷重は、柱の支配幅 (= 間隔) を乗じた荷重が三角形分布に作用するものとし、風荷重は、柱の支配幅 (= 間隔) を乗じた荷重が等分布に作用するものとして安全側に評価する。柱に作用する荷重の例を図 7-4 に示す。

a. 柱に作用する荷重 (静水圧荷重, 風荷重)

$$P_3 = P_h \cdot b_3 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{k3} = w \cdot b_3 \cdot 10^{-3}$$

P_3 : 柱に作用する静水圧荷重 (kN/m)

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

P_{k3} : 柱に作用する風荷重 (kN/m)

w : 風圧力 (kN/m²)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_3 = (M_{P3} + M_{k3}) \cdot 10^6 / Z_3$$

$$M_{P3} = P_3 \cdot L_3^2 \cdot 10^{-3} / 6$$

$$M_{k3} = P_{k3} \cdot L_{k1} \cdot L_{k2} \cdot 10^{-3}$$

σ_3 : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_{P3} : 柱の静水圧荷重による曲げモーメント (kN・m)

M_{k3} : 柱の風荷重による曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : 柱の断面係数 (mm³)

P_3 : 柱に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

L_3 : 柱全長 (mm)

P_{k3} : 柱に作用する風荷重 (kN/m)

L_{k1} : 風荷重作用高さ (mm)

L_{k2} : 風荷重を集中荷重にした時の作用位置 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_3 = (Q_{P3} + Q_{k3} \cdot 10^3) / A_{S3}$$

$$Q_{P3} = P_3 \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{k3} = P_{k3} \cdot L_{k1} \cdot 10^{-3}$$

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_{P3} : 柱の静水圧荷重によるせん断力 (kN)

Q_{k3} : 柱の風荷重によるせん断力 (kN)

P_3 : 柱に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

A_{S3} : 柱のせん断断面積 (mm²)

L_3 : 柱全長 (mm)

P_{k3} : 柱に作用する風荷重 (kN/m)

L_{k1} : 風荷重作用高さ (mm)

d. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq f_t$$

σ_3 : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

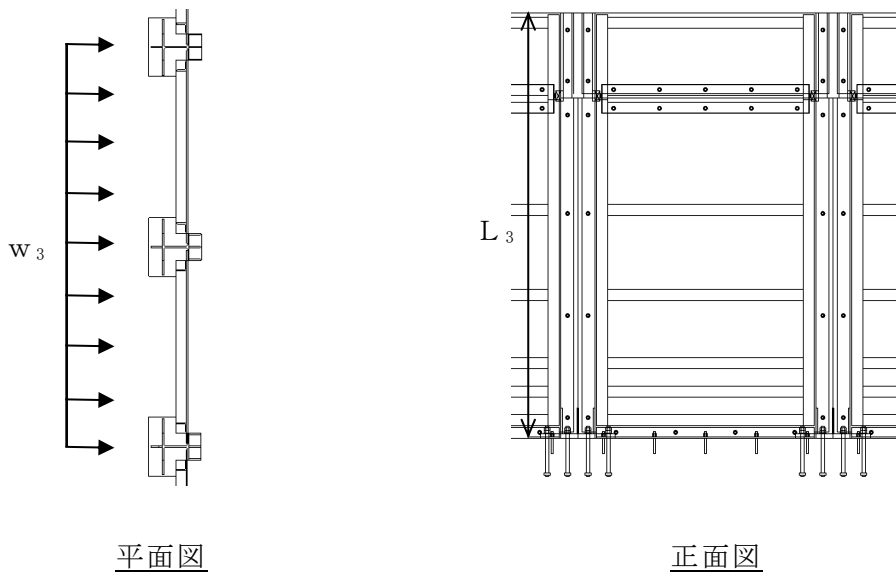


図 7-4 柱に作用する荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 7-5 に示す。

$$P = V/N - M \cdot X_i / \sum n \cdot X_i^2$$

P : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

V : 最大鉛直荷重 (kN)

N : アンカーボルト全本数 (本)

M : 最大曲げモーメント (kN・m)

X_i : 偏心距離 (m)

$\sum n \cdot X_i^2$: 2 次モーメントの合計値 (m²)

$$Q = Q_4 / N$$

Q : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_4 : 柱に生じる最大せん断力 (kN)

N : アンカーボルト全本数 (本)

さらに、照査においては以下を確認する。

$$(P/P_a)^2 + (Q/Q_a)^2 \leq 1$$

P : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

Q : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

P_a : アンカーボルトの許容引張力 (kN)

Q_a : アンカーボルトの許容せん断力 (kN)

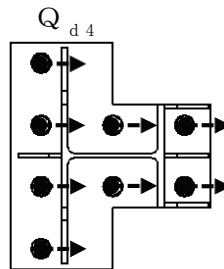


図 7-5 アンカーボルトに生じる荷重の例

7.1.6 評価条件

「7.1.5 評価方法」に用いる入力値を表7-7に示す。

表7-7 強度評価に用いる入力値(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	h _p	mm	水圧作用高さ	2500
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	h _k	mm	風荷重作用高さ	0
鋼板	P _{h1}	kN/m ²	鋼板に作用する静水圧荷重	18.43
	b ₁	mm	鋼板に作用する荷重の負担幅	1000
	M ₁	kN・m	鋼板の曲げモーメント	0.37
	Z ₁	mm ³	鋼板の断面係数	1.35×10 ⁴
	L ₁	mm	鋼板の短辺長さ	400
はり	P _{h2}	kN/m ²	はりに作用する静水圧荷重	19.95
	b ₂	mm	はりに作用する荷重の負担幅	300
	M ₂	kN・m	はりの曲げモーメント	1.26
	Z ₂	mm ³	はりの断面係数	7.96×10 ³
	L ₂	mm	はりの支持スパン	1300
	Q ₂	kN	はりのせん断力	3.89
	A _{S2}	mm ²	はりのせん断断面積	2700
柱	P _h	kN/m ²	静水圧荷重	25.25
	b ₃	mm	柱に作用する荷重の負担幅	1500
	P _{k3}	kN/m	柱に作用する風荷重	2.57
	M _{P3}	kN・m	柱の静水圧荷重による曲げモーメント	39.46
	M _{k3}	kN・m	柱の風荷重による曲げモーメント	0
	Z ₃	mm ³	柱の断面係数	4.72×10 ⁵
	L ₃	mm	柱全長	2500
	L _{k1}	mm	風荷重作用高さ	0
	L _{k2}	mm	風荷重を集中荷重にした時の作用位置	2500
	Q _{P3}	kN	柱の静水圧荷重によるせん断力	47.35
	Q _{k3}	kN	柱の風荷重によるせん断力	0
	A _{S3}	mm ²	柱のせん断断面積	1408
	f _t	N/mm ²	短期許容曲げ応力度	235

表 7-7 強度評価に用いる入力値(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
アンカー ボルト	P	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	38.72
	V	kN	最大鉛直荷重	0
	N	本	アンカーボルト全本数	8
	M	kN・m	最大曲げモーメント	39.46
	X_i	m	偏心距離	0.105
	$\sum n \cdot X_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値	0.107
	Q	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力	5.92
	Q_4	kN	柱に生じる最大せん断力	47.35
	P_a	kN	アンカーボルトの許容引張力	51
	Q_a	kN	アンカーボルトの許容せん断力	35

8. 評価結果

防水壁の強度評価結果を表 8-1～表 8-5 に示す。防水壁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、防水壁が構造健全性を有することを確認した。

表 8-1 強度評価結果（タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
鋼板	曲げ	59	N/mm ²	235	N/mm ²	0.26
胴縁	曲げ	36	N/mm ²	229	N/mm ²	0.16
	せん断	18	N/mm ²	135	N/mm ²	0.14
	組合せ	48	N/mm ²	235	N/mm ²	0.21
柱	曲げ	59	N/mm ²	223	N/mm ²	0.27
	せん断	42	N/mm ²	135	N/mm ²	0.32
	組合せ	94	N/mm ²	235	N/mm ²	0.40
アンカー ボルト	せん断	19	kN	58	kN	0.33

表 8-2 強度評価結果 (タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
鋼板	曲げ	115	N/mm ²	235	N/mm ²	0.49
胴縁	曲げ (強軸)	43	N/mm ²	178	N/mm ²	0.25
	曲げ (弱軸)	18	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
	せん断	16	N/mm ²	135	N/mm ²	0.12
	組合せ	67	N/mm ²	235	N/mm ²	0.29
柱	曲げ (強軸)	66	N/mm ²	304	N/mm ²	0.22
	曲げ (弱軸)	8	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03
	せん断	47	N/mm ²	187	N/mm ²	0.26
	圧縮	2	N/mm ²	217	N/mm ²	0.01
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.26
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	112	N/mm ²	325	N/mm ²	0.35
はり	曲げ (強軸)	109	N/mm ²	310	N/mm ²	0.36
	曲げ (弱軸)	2	N/mm ²	325	N/mm ²	0.01
	せん断	34	N/mm ²	187	N/mm ²	0.19
	圧縮	6	N/mm ²	210	N/mm ²	0.03
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.40
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	131	N/mm ²	325	N/mm ²	0.41
アンカー ボルト	引張	31	kN	76	kN	0.41
	せん断	24	kN	58	kN	0.42
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.34

表 8-3 強度評価結果 (タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
鋼板	曲げ	89	N/mm ²	235	N/mm ²	0.38
胴縁	曲げ (強軸)	12	N/mm ²	202	N/mm ²	0.06
	曲げ (弱軸)	22	N/mm ²	235	N/mm ²	0.10
	せん断	6	N/mm ²	135	N/mm ²	0.05
	組合せ	36	N/mm ²	235	N/mm ²	0.16
柱	曲げ (強軸)	15	N/mm ²	318	N/mm ²	0.05
	曲げ (弱軸)	23	N/mm ²	325	N/mm ²	0.08
	せん断	16	N/mm ²	187	N/mm ²	0.09
	圧縮	2	N/mm ²	268	N/mm ²	0.01
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.14
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	49	N/mm ²	325	N/mm ²	0.16
はり	曲げ (強軸)	16	N/mm ²	322	N/mm ²	0.05
	曲げ (弱軸)	2	N/mm ²	325	N/mm ²	0.01
	せん断	11	N/mm ²	187	N/mm ²	0.06
	圧縮	11	N/mm ²	306	N/mm ²	0.04
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.10
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	35	N/mm ²	325	N/mm ²	0.11
水平ブレース	圧縮	22	N/mm ²	100	N/mm ²	0.22
アンカー ボルト	引張	11	kN	83	kN	0.14
	せん断	16	kN	58	kN	0.28
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.10

表 8-4 強度評価結果（タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁）（1/2）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
鋼板	曲げ	33	N/mm ²	235	N/mm ²	0.15
胴縁	曲げ（強軸）	4	N/mm ²	217	N/mm ²	0.02
	曲げ（弱軸）	1	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
	せん断	3	N/mm ²	135	N/mm ²	0.03
	圧縮	1	N/mm ²	143	N/mm ²	0.01
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.04
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	8	N/mm ²	235	N/mm ²	0.04
根太	曲げ（強軸）	7	N/mm ²	181	N/mm ²	0.04
	曲げ（弱軸）	10	N/mm ²	235	N/mm ²	0.05
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
	組合せ	18	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
柱	曲げ（強軸）	3	N/mm ²	232	N/mm ²	0.02
	曲げ（弱軸）	6	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03
	せん断	5	N/mm ²	135	N/mm ²	0.04
	圧縮	4	N/mm ²	222	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.07
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	16	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07
はり	曲げ（強軸）	17	N/mm ²	225	N/mm ²	0.08
	曲げ（弱軸）	59	N/mm ²	235	N/mm ²	0.26
	せん断	13	N/mm ²	135	N/mm ²	0.10
	圧縮	4	N/mm ²	172	N/mm ²	0.03
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.37
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	84	N/mm ²	235	N/mm ²	0.36

表 8-4 強度評価結果（タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁）（2/2）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
斜材	曲げ（強軸）	12	N/mm ²	220	N/mm ²	0.06
	曲げ（弱軸）	36	N/mm ²	235	N/mm ²	0.16
	せん断	10	N/mm ²	135	N/mm ²	0.08
	圧縮	6	N/mm ²	160	N/mm ²	0.04
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.26
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	57	N/mm ²	235	N/mm ²	0.25
アンカー ボルト	引張	20	kN	71	kN	0.29
	せん断	7	kN	49	kN	0.15
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.10

表 8-5 強度評価結果（取水槽除じん機エリア防水壁）

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値/ 許容限界値
鋼板	曲げ	28	N/mm ²	235	N/mm ²	0.12
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
はり	曲げ	159	N/mm ²	235	N/mm ²	0.68
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
柱	曲げ	84	N/mm ²	235	N/mm ²	0.36
	せん断	34	N/mm ²	135	N/mm ²	0.26
	組合せ (曲げ+せん断)	102	N/mm ²	235	N/mm ²	0.44
アンカーボルト	引張	39	kN	51	kN	0.77
	せん断	6	kN	35	kN	0.18
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.61

VI-3-別添 3-2-6 水密扉の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 検討対象水密扉一覧	2
2.2 配置概要	3
2.3 構造計画	5
2.4 評価方針	9
2.5 適用規格・基準等	13
2.6 記号の説明	14
3. 強度評価方法	24
3.1 タービン建物地下1階水密扉（水密扉 No.1, No.2, No.3, No.4）	24
3.1.1 評価対象部位	24
3.1.2 荷重及び荷重の組合せ	28
3.1.3 許容限界	32
3.1.4 評価方法	36
3.1.5 評価条件	53
3.2 取水槽除じん機エリア水密扉（東）,（西）（水密扉 No.5, No.6）	58
3.2.1 評価対象部位	58
3.2.2 荷重及び荷重の組合せ	60
3.2.3 許容限界	62
3.2.4 評価方法	64
3.2.5 評価条件	79
3.3 取水槽除じん機エリア水密扉（北）（水密扉 No.7）	85
3.3.1 評価対象部位	85
3.3.2 荷重及び荷重の組合せ	87
3.3.3 許容限界	89
3.3.4 評価方法	91
3.3.5 評価条件	97
4. 評価結果	99

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防止設備であるタービン建物復水器エリア水密扉及び取水槽除じん機エリア水密扉（以下「水密扉」という。）が、地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水に伴う津波荷重及び余震による荷重又は地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重及び風を考慮した荷重に対して、十分な構造健全性及び止水性を有していることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

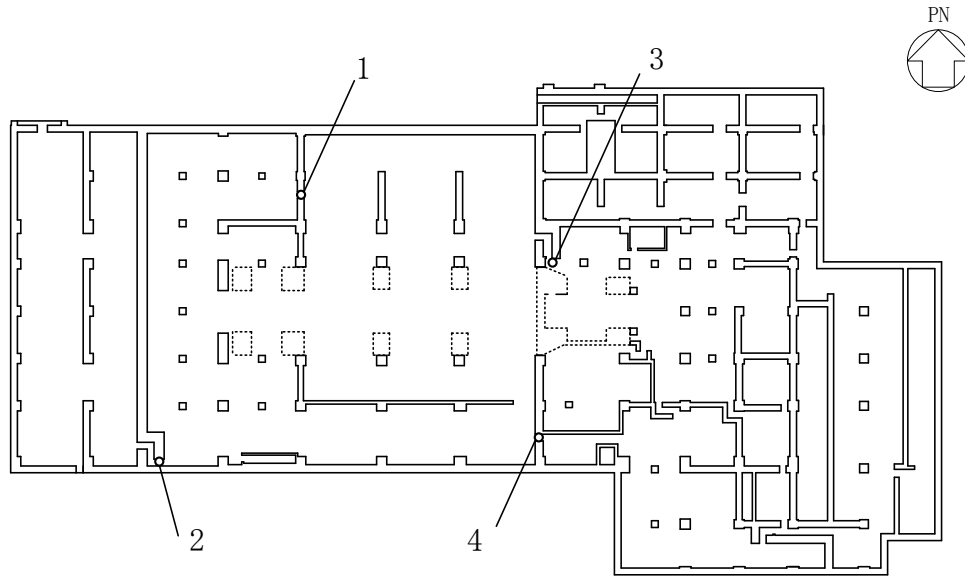
検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象水密扉一覧

水密扉 No.	扉名称	設置高さ
		EL (m)
1	タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉	2.0
2	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉	2.0
3	タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉	0.25
4	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南東側水密扉	2.0
5	取水槽除じん機エリア水密扉 (東)	8.8
6	取水槽除じん機エリア水密扉 (西)	8.8
7	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	8.8

2.2 配置概要

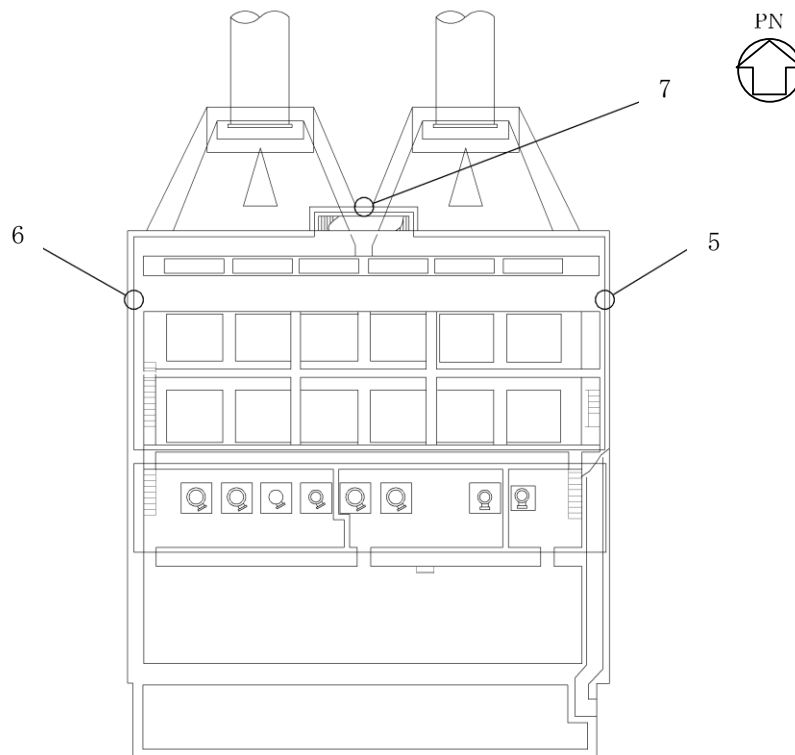
水密扉の設置位置図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。



タービン建物 EL 2000

1	タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉
2	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉
3	タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉
4	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南東側水密扉

図 2-1 水密扉の設置位置図 (タービン建物地下 1 階)



取水槽除じん機エリア EL 8800

5	取水槽除じん機エリア水密扉（東）
6	取水槽除じん機エリア水密扉（西）
7	取水槽除じん機エリア水密扉（北）

図 2-2 水密扉の設置位置図（取水槽除じん機エリア）

2.3 構造計画

水密扉の構造計画を表 2-2～表 2-5 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画（水密扉 No.1, No.2, No.4）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

表 2-3 水密扉の構造計画（水密扉 No. 3）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はパネル部へ接合される構造とする。また、パネル部はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>扉部と躯体との間にパネル部を有する構造とし、扉部とパネル部により構成する。扉部は片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉とパネル部の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

S2 補 VI-3-別添 3-2-6 R1

表 2-4 水密扉の構造計画（水密扉 No. 5, No. 6）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時及び扉閉止時ともに、水密扉戸当り用支柱、外部縦柱及び上下レールにより扉板と防水壁とを一体化させる構造とする。</p> <p>上下レールは水密扉戸当り用支柱及び外部縦柱に支えられており、水密扉戸当り用支柱及び外部縦柱はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>スライド式の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、外部縦柱に設置された締付ボルトにより扉と一体化させる構造とする。</p> <p>なお、扉には車輪を装備し、レール上を移動する構造とする。</p>	

表 2-5 水密扉の構造計画（水密扉 No. 7）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠は水密扉戸当り用支柱を介してアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、扉板に厚みを持たせた一枚板の構造とする。</p> <p>扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

S2 補 VI-3-別添 3-2-6 R1

2.4 評価方針

水密扉の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、水密扉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、各設備の「3. 強度評価方法」に示す方法により、各設備の「3.1.5 評価条件」、「3.2.5 評価条件」及び「3.3.5 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、応力評価の確認結果を「4. 評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図 2-3～図 2-5 に示す。水密扉の強度評価においては、その構造を踏まえ、静水圧荷重、風荷重及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

(1) 水密扉 No. 1, No. 2, No. 4

水密扉 No. 1, No. 2, No. 4 の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材、カンヌキの発生応力及びアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

(2) 水密扉 No. 3

水密扉 No. 3 の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉部（扉板、芯材、カンヌキ）及びパネル部（パネル板、パネル芯材、柱、はり）の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

(3) 水密扉 No. 5, No. 6

水密扉 No. 5, No. 6 の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材、水密扉戸当り用支柱、外部縦柱、外部縦柱固定ボルト、締付ボルト、固定プレート及びアンカーボルトの発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

(4) 水密扉 No. 7

水密扉 No. 7 の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、水密扉戸当り用支柱及びアンカーボルトの発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

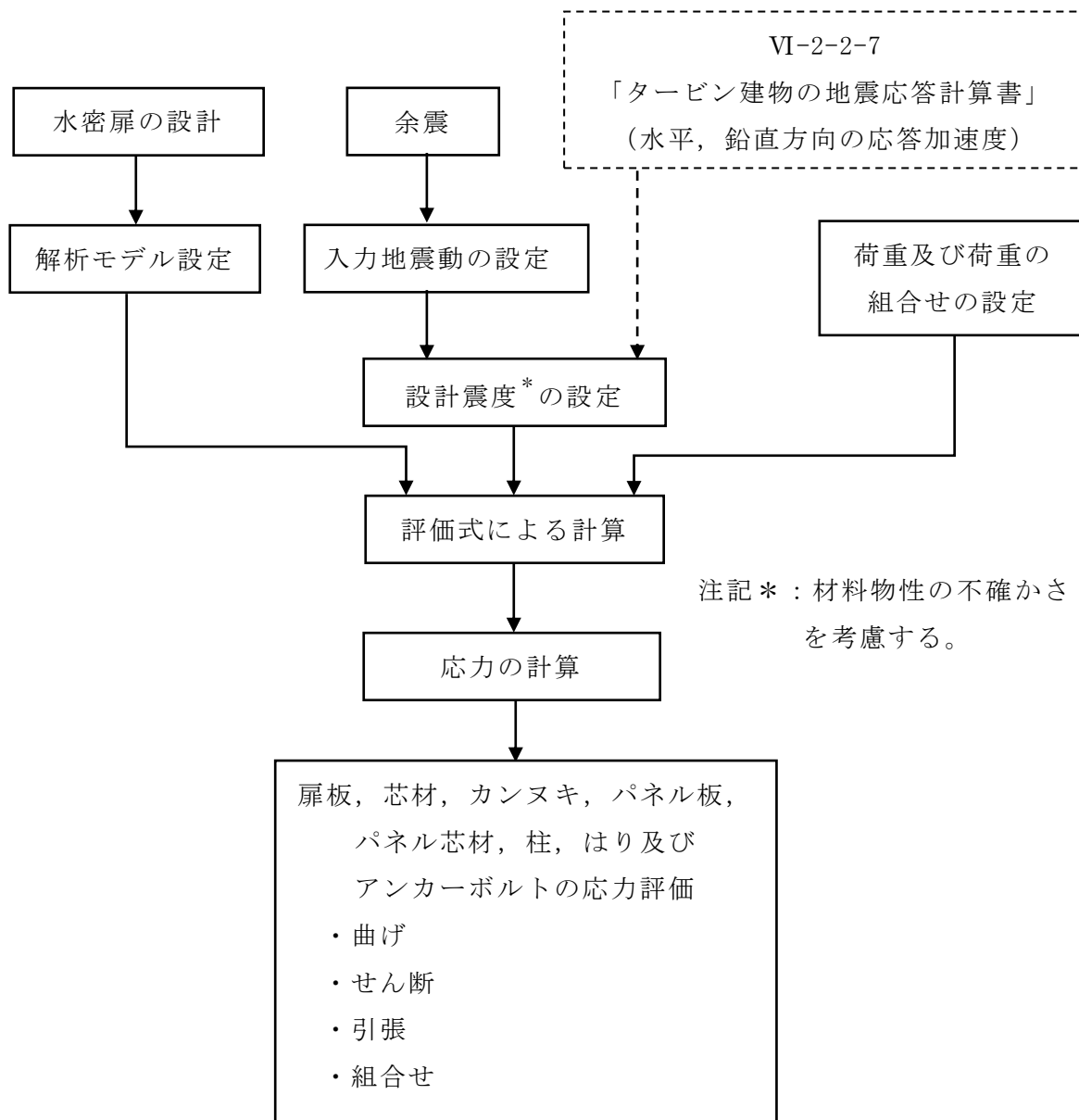


図 2-3 水密扉 (No. 1, No. 2, No. 3, No. 4) の強度評価フロー

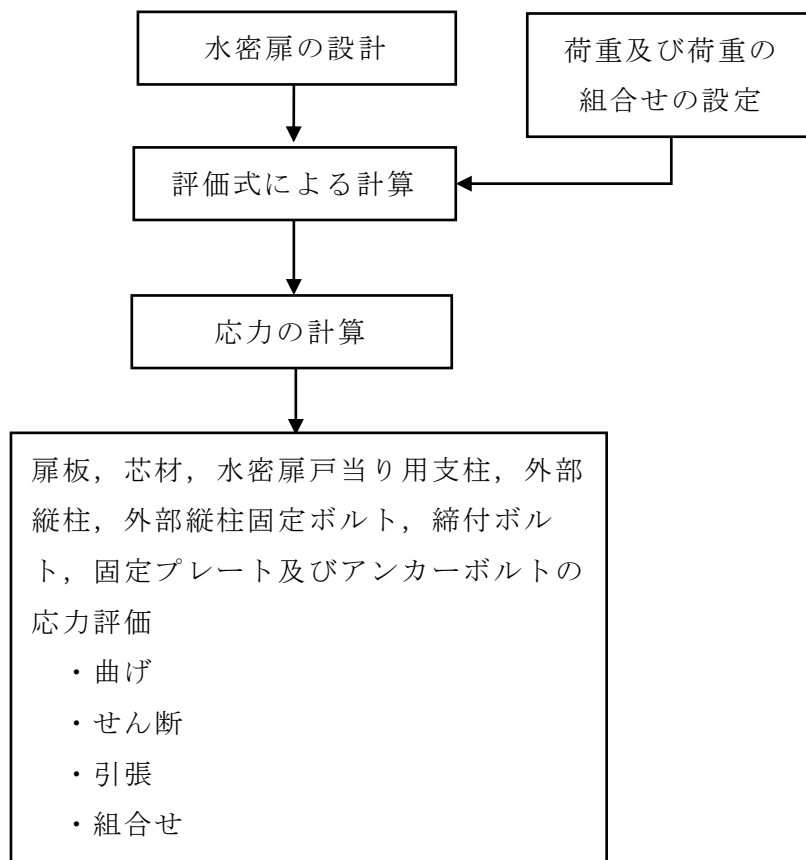


図 2-4 水密扉 (No. 5, No. 6) の強度評価フロー

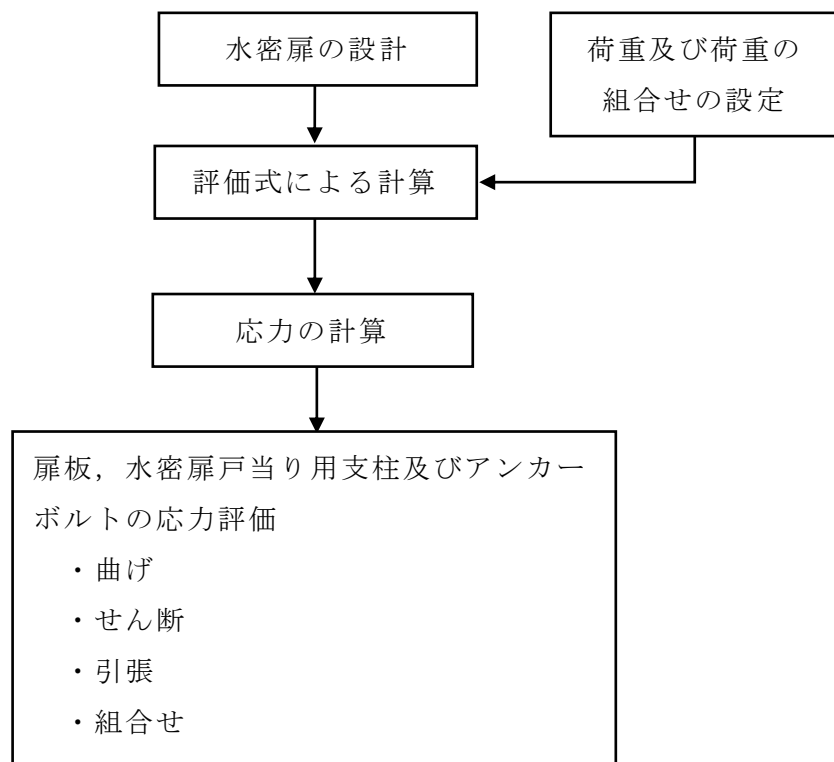


図 2-5 水密扉 (No. 7) の強度評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (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) 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）
- (4) J I S G 4 3 0 3－2012 ステンレス鋼棒
- (5) J I S G 4 0 5 1－2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- (6) J I S G 4 0 5 3－2016 機械構造用合金鋼鋼材
- (7) J I S B 1 0 5 4－1－2013 耐食ステンレス鋼製締結用部品の機械的性質
- (8) 水道施設耐震工法指針・解説 2009年版（公益社団法人 日本水道協会）

2.6 記号の説明

水密扉の強度評価に用いる記号を表 2-6～表 2-9 に示す。

表 2-6 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 1, No. 2, No. 3, No. 4）（1/2）

記号	単位	定義
H	mm	浸水深さ
h	mm	水圧作用高さ
ρ_o	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数
α_H	—	水平方向の設計震度
α_V	—	鉛直方向の設計震度
M ₁	kN・m/m	扉板の曲げモーメント
w ₁	kN/m ²	扉板に作用する等分布荷重
L ₁₁	mm	扉板の長辺長さ
L ₁₂	mm	扉板の短辺長さ
P _h	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重
P _d	kN/m ²	扉下端に作用する動水圧荷重
S _{d1}	kN/m ²	扉板に生じる余震による地震荷重
t	mm	扉板の厚さ
ρ_s	t/m ³	扉板の密度
σ_1	N/mm ²	扉板の曲げ応力度
Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数
M ₂	kN・m	芯材の曲げモーメント
Q ₂	kN	芯材のせん断力
L ₂	mm	芯材の支持スパン
w ₂	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
b ₂	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
S _{d2}	kN/m	芯材に生じる余震による地震荷重
m ₂	kg/m	芯材の質量分布
σ_2	N/mm ²	芯材の曲げ応力度
Z ₂	mm ³	芯材の断面係数
τ_2	N/mm ²	芯材のせん断応力度
A ₂	mm ²	芯材のせん断断面積
R ₃	kN/本	カンヌキに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力
L _L	mm	躯体開口部の高さ
L _S	mm	躯体開口部の幅
n ₃	本	カンヌキの本数
M ₃	kN・m	カンヌキの曲げモーメント
L ₃	mm	カンヌキの突出長さ
Q ₃	kN	カンヌキのせん断力
$s f_{t3}$	N/mm ²	カンヌキの短期許容引張応力度
σ_{b3}	N/mm ²	カンヌキの曲げ応力度
Z ₃	mm ³	カンヌキの断面係数

表 2-6 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 1, No. 2, No. 3, No. 4）（2/2）

記号	単位	定義
τ_3	N/mm ²	カンヌキのせん断応力度
A_3	mm ²	カンヌキのせん断断面積
Q_4	kN	上下又は左右の2辺のうち、1辺のアンカーボルトが負担するせん断力
Q_{4A}	kN	アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力
Q_{4B}	kN	アンカーボルト1本あたりの短期許容せん断力
T_4	kN	上下又は左右の2辺のうち、1辺のアンカーボルトが負担する引張力
T_{4A}	kN	アンカーボルト1本あたりに生じる引張力
T_{4B}	kN	アンカーボルト1本あたりの短期許容引張力
R_4	kN	アンカーボルトに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力
W_D	kN	扉重量
W_{DW}	kN	扉枠重量
n_{41}	本	せん断力を負担する1辺のアンカーボルトの本数
n_{42}	本	引張力を負担する1辺のアンカーボルトの本数

表 2-7 パネル部の強度評価に用いる記号（水密扉 No. 3）（1/2）

記号	単位	定義
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$	パネル板の曲げモーメント
G_1	kN/m^2	パネル板の自重
α_H	—	水平方向の設計震度
P_h	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
P_d	kN/m^2	扉下端に作用する動水圧荷重
L_1	mm	パネル板の短辺長さ
σ_{b1}	N/mm^2	パネル板の曲げ応力度
Z_1	mm^3/m	パネル板の断面係数
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	パネル芯材の曲げモーメント
Q_2	kN	パネル芯材のせん断力
G_2	kN/m	パネル芯材の自重
L_2	mm	パネル芯材の長さ
b_2	mm	パネル芯材の支配幅
σ_{b2}	N/mm^2	パネル芯材の曲げ応力度
Z_2	mm^3	パネル芯材の断面係数
τ_2	N/mm^2	パネル芯材のせん断応力度
A_2	mm^2	パネル芯材のせん断断面積
σ_{bx3}	N/mm^2	柱の強軸回りの曲げ応力度
σ_{by3}	N/mm^2	柱の弱軸回りの曲げ応力度
M_{x3}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	柱の強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	柱の弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x3}	mm^3	柱の強軸回りの断面係数
Z_{y3}	mm^3	柱の弱軸回りの断面係数
τ_{x3}	N/mm^2	柱の強軸方向のせん断応力度
τ_{y3}	N/mm^2	柱の弱軸方向のせん断応力度
Q_{x3}	kN	柱の強軸方向のせん断力
Q_{y3}	kN	柱の弱軸方向のせん断力
A_{sx3}	mm^2	柱の強軸方向のせん断断面積
A_{sy3}	mm^2	柱の弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)3}$	N/mm^2	柱の軸応力度
$N_{c(t)3}$	kN	柱の圧縮又は引張軸力
A_{g3}	mm^2	柱の断面積
$s f_{bx3}$	N/mm^2	柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{by3}$	N/mm^2	柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)3}$	N/mm^2	柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t3}$	N/mm^2	柱の短期許容引張応力度
σ_{bx4}	N/mm^2	はりの強軸回りの曲げ応力度
σ_{by4}	N/mm^2	はりの弱軸回りの曲げ応力度
M_{x4}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	はりの強軸回りの曲げモーメント
M_{y4}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	はりの弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x4}	mm^3	はりの強軸回りの断面係数

表 2-7 パネル部の強度評価に用いる記号（水密扉 No. 3）（2/2）

記号	単位	定義
Z_{y4}	mm^3	はりの弱軸回りの断面係数
τ_{x4}	N/mm^2	はりの強軸方向のせん断応力度
τ_{y4}	N/mm^2	はりの弱軸方向のせん断応力度
Q_{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力
Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力
A_{Sx4}	mm^2	はりの強軸方向のせん断断面積
A_{Sy4}	mm^2	はりの弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)4}$	N/mm^2	はりの軸応力度
$N_{c(t)4}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力
A_{g4}	mm^2	はりの断面積
$s f_{bx4}$	N/mm^2	はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{by4}$	N/mm^2	はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)4}$	N/mm^2	はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t4}$	N/mm^2	はりの短期許容引張応力度
Q_{5A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{5B}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力
T_{5A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_{5B}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力

表 2-8 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 5, No. 6）（1/4）

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	静水圧荷重
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
w	kN/m^2	風圧力
h_h	mm	水圧作用高さ
P_k	kN/m	風荷重
h_k	mm	風荷重作用高さ
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m}$	扉板の曲げモーメント
S_1	kN	扉板のせん断力
P_1	kN/m	静水圧荷重及び風荷重を考慮した荷重
P_{h1}	kN/m	扉板に作用する静水圧荷重
P_{k1}	kN/m	扉板に作用する風荷重
L_1	mm	扉板の長さ
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱の風荷重による曲げモーメント
S_2	kN	水密扉戸当り用支柱の風荷重によるせん断力
P_{k2}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する風荷重
L_2	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重作用高さ
L_3	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置
M_3	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重による曲げモーメント
S_3	kN	水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重によるせん断力
P_{h3}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する静水圧荷重
h_{h3}	mm	水密扉戸当り用支柱の静水圧作用高さ
L_4	mm	水密扉戸当り用支柱の部材長
M_4	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント
S_4	kN	水密扉戸当り用支柱のせん断力
M_5	$\text{kN} \cdot \text{m}$	芯材の曲げモーメント
S_5	kN	芯材のせん断力
P_{h5}	kN/m	芯材に作用する静水圧荷重
L_5	mm	対象芯材の長さ

表 2-8 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 5, No. 6）（2/4）

記号	単位	定義
M_6	$\text{kN} \cdot \text{m}$	外部縦柱の風荷重による曲げモーメント
S_6	kN	外部縦柱の風荷重によるせん断力
P_{k6}	kN/m	外部縦柱に作用する風荷重
L_6	mm	外部縦柱の風荷重作用長
L_7	mm	外部縦柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置
M_7	$\text{kN} \cdot \text{m}$	外部縦柱の静水圧荷重による曲げモーメント
S_7	kN	外部縦柱の静水圧荷重によるせん断力
P_{h7}	kN/m	外部縦柱に作用する静水圧荷重
h_{h7}	mm	外部縦柱の静水圧作用高さ
M_8	$\text{kN} \cdot \text{m}$	外部縦柱の曲げモーメント
S_8	kN	外部縦柱のせん断力
F_{n1}	kN/本	締付ボルト 1 本あたりの作用荷重
F_A	kN	風荷重及び静水圧荷重による全体作用荷重
n_1	本	締付ボルト全本数
F_1	kN	風荷重
F_2	kN	静水圧荷重
L_8	m	風荷重作用長
L_9	m	外部縦柱スパン長
W_5	kN/m^2	静水圧
L_{10}	m	扉高さ
M_9	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定プレートの曲げモーメント
F_{n2}	kN/枚	固定プレート 1 枚あたりに作用する荷重
L_p	mm	固定プレート固定端から締付ボルトまでの距離
Q_9	kN	固定プレートのせん断力
T_{A1}	kN/本	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
Q_{A1}	kN/本	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
V_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の鉛直荷重
N_{A1}	本	アンカーボルト全本数
M_{A1}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱下端の水平力による曲げモーメント
x_{iA1}	mm	偏心距離
$\sum n \cdot x_{iA1}^2$	mm^2	2 次モーメントの合計値
S_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の水平力によるせん断力

表 2-8 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 5, No. 6）（3/4）

記号	単位	定義
σ_1	N/mm ²	扉板の曲げ応力度
Z_1	mm ³	扉板の断面係数
τ_1	N/mm ²	扉板のせん断応力度
h_1	mm	単位幅あたり高さ
t_1	mm	扉板の厚さ
σ_4	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度
Z_4	mm ³	水密扉戸当り用支柱の断面係数
τ_4	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱のせん断応力度
h_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ高
t_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ厚
f_t	N/mm ²	短期許容引張応力度
σ_5	N/mm ²	芯材の曲げ応力度
Z_5	mm ³	芯材の断面係数
τ_5	N/mm ²	芯材のせん断応力度
h_5	mm	荷重負担幅
t_5	mm	せん断抵抗部材の厚さ
σ_8	N/mm ²	外部縦柱の曲げ応力度
Z_8	mm ³	外部縦柱の断面係数
τ_8	N/mm ²	外部縦柱のせん断応力度
h_8	mm	外部縦柱のウェブ高
t_8	mm	外部縦柱のウェブ厚
σ_9	N/mm ²	固定プレートの曲げ応力度
Z_9	mm ³	固定プレートの断面係数
τ_9	N/mm ²	固定プレートのせん断応力度
h_9	mm	固定プレートの長さ
t_9	mm	固定プレートの厚さ

表 2-8 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 5, No. 6）（4/4）

記号	単位	定義
σ_{10}	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトの引張応力度
P_1	N	外部縦柱固定ボルト 1 本あたりに作用する引張力
A_1	mm ²	外部縦柱固定ボルトの断面積
M_{10}	kN・m	外部縦柱固定部の曲げモーメント
L_{11}	m	固定端から内側のボルトまでの距離
L_{12}	m	固定端から外側のボルトまでの距離
τ_{10}	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトのせん断応力度
Q_{10}	N	外部縦柱固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力
N_{10}	kN	外部縦柱固定部のせん断力
n_{10}	本	外部縦柱固定ボルトの本数
T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

表 2-9 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 7）（1/2）

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	静水圧荷重
h_h	mm	水圧作用高さ
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
P_k	kN/m	風荷重
w	kN/m^2	風圧力
h_k	mm	風荷重作用高さ
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m}$	扉板の曲げモーメント
M_{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
P_{h1}	kN/m	扉板に作用する静水圧荷重
L_1	mm	短辺方向の長さ
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱の風荷重による曲げモーメント
S_2	kN	水密扉戸当り用支柱の風荷重によるせん断力
P_{k2}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する風荷重
L_2	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重作用高さ
L_3	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置
M_3	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重による曲げモーメント
S_3	kN	水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重によるせん断力
P_{h3}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する静水圧荷重
L_4	mm	水密扉戸当り用支柱の静水圧作用高さ
M_4	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント
S_4	kN	水密扉戸当り用支柱のせん断力
T_{A1}	kN/本	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
Q_{A1}	kN/本	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
V_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の鉛直荷重
N_{A1}	本	アンカーボルト全本数
M_{A1}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	水密扉戸当り用支柱下端の水平力による曲げモーメント
x_{iA1}	mm	偏心距離
$\sum n \cdot x_{iA1}^2$	mm^2	2 次モーメントの合計値
S_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の水平力によるせん断力

表 2-9 強度評価に用いる記号（水密扉 No. 7）（2/2）

記号	単位	定義
σ_1	N/mm ²	扉板の曲げ応力度
Z_1	mm ³	扉板の断面係数
σ_4	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度
Z_4	mm ³	水密扉戸当り用支柱の断面係数
τ_4	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱のせん断応力度
h_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ高
t_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ厚
f_t	N/mm ²	短期許容引張応力度
T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

3. 強度評価方法

3.1 タービン建物地下1階水密扉（水密扉 No.1, No.2, No.3, No.4）

3.1.1 評価対象部位

水密扉及びパネル部の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に示す構造上の特徴を踏まえ選定する。

(1) 水密扉 No.1, No.2, No.4

水密扉を開く方向に外部から生じる静水圧荷重及び余震に伴う荷重（以下「負圧」という。）は、扉板から芯材に伝わり、カンヌキに伝達され、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材、カンヌキ及びアンカーボルトとする。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重及び余震に伴う荷重（以下「正圧」という。）は、扉板から芯材を介し扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、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、荷重を伝達する芯材の取付け方向又は扉板の辺長比を踏まえ、水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを、鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

(2) 水密扉 No.3

水密扉の評価対象部位は、「(1) 水密扉 No.1, No.2, No.4」と同様である。

パネル部に生じる静水圧荷重及び余震に伴う荷重は、パネル板、パネル芯材、柱及びはりに伝わり、柱及びはりを固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位は、パネル板、パネル芯材、柱、はり及びアンカーボルトとする。

なお、ヒンジについては、余震（弾性設計用地震動 S_d による地震力）に伴う荷重の伝達経路となるが、VI-2-10-2-9「水密扉の耐震性についての計算書」の検討に包絡されるため、本図書では評価対象外とする。

水密扉に作用する荷重の作用図を図3-1～図3-3に示す。

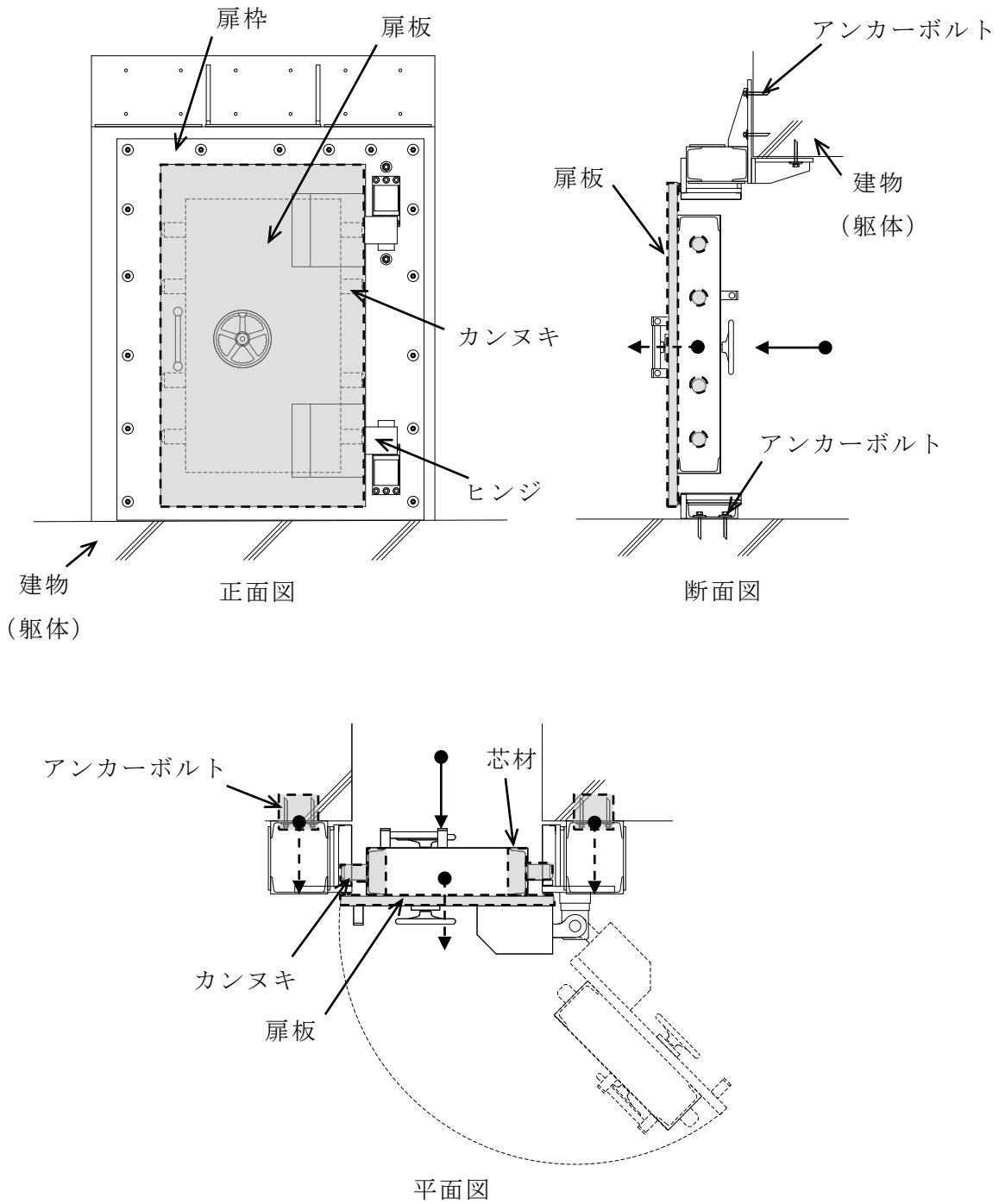
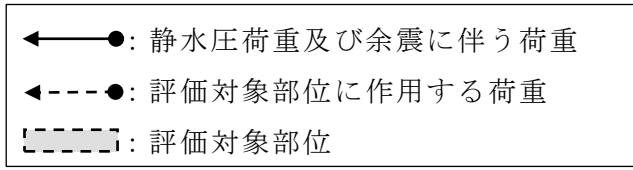


図 3-1 No. 1, No. 4 水密扉が開く方向に作用する荷重の作用図 (負圧)

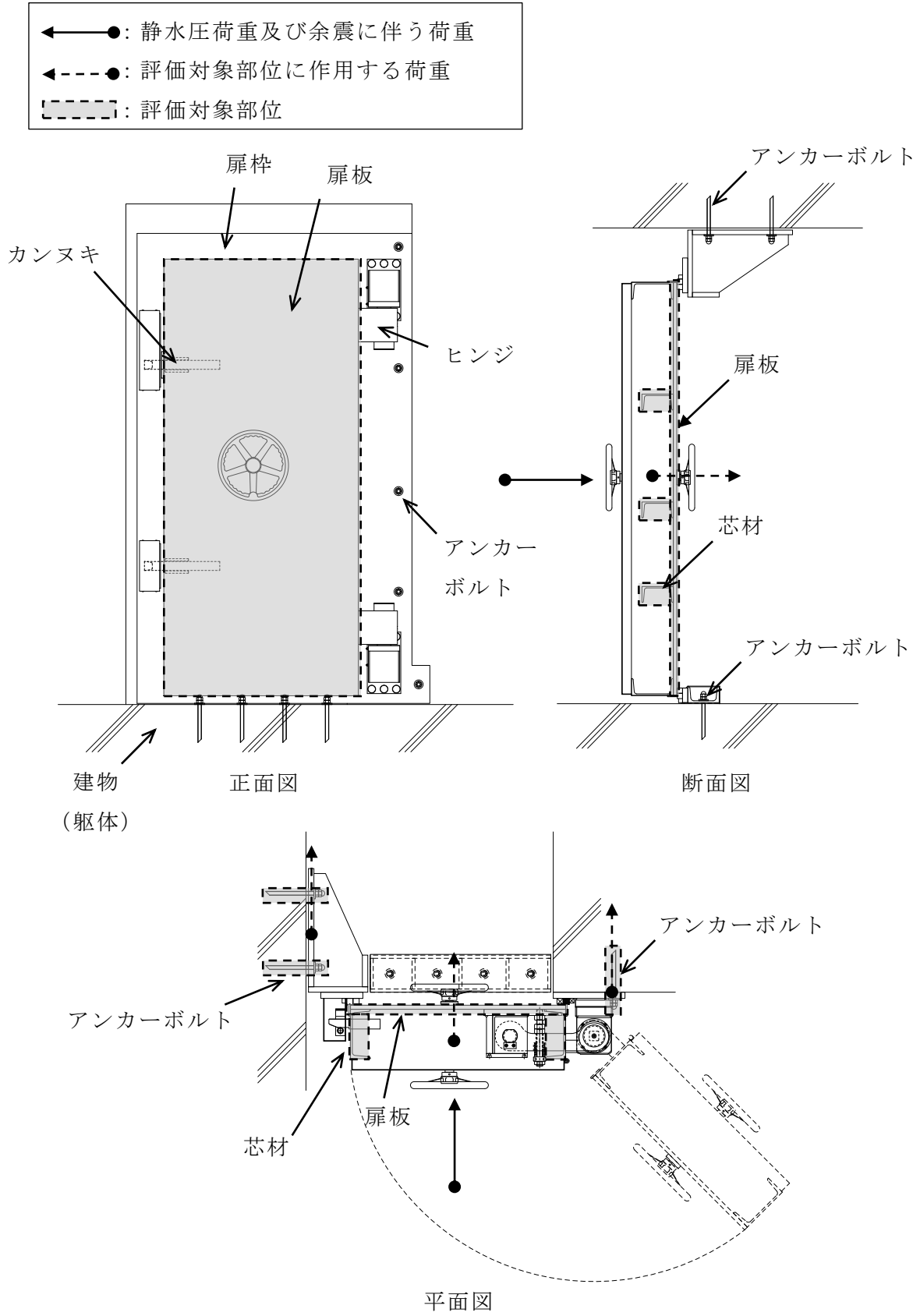


図 3-2 No. 2 水密扉が開まる方向に作用する荷重の作用図 (正圧)

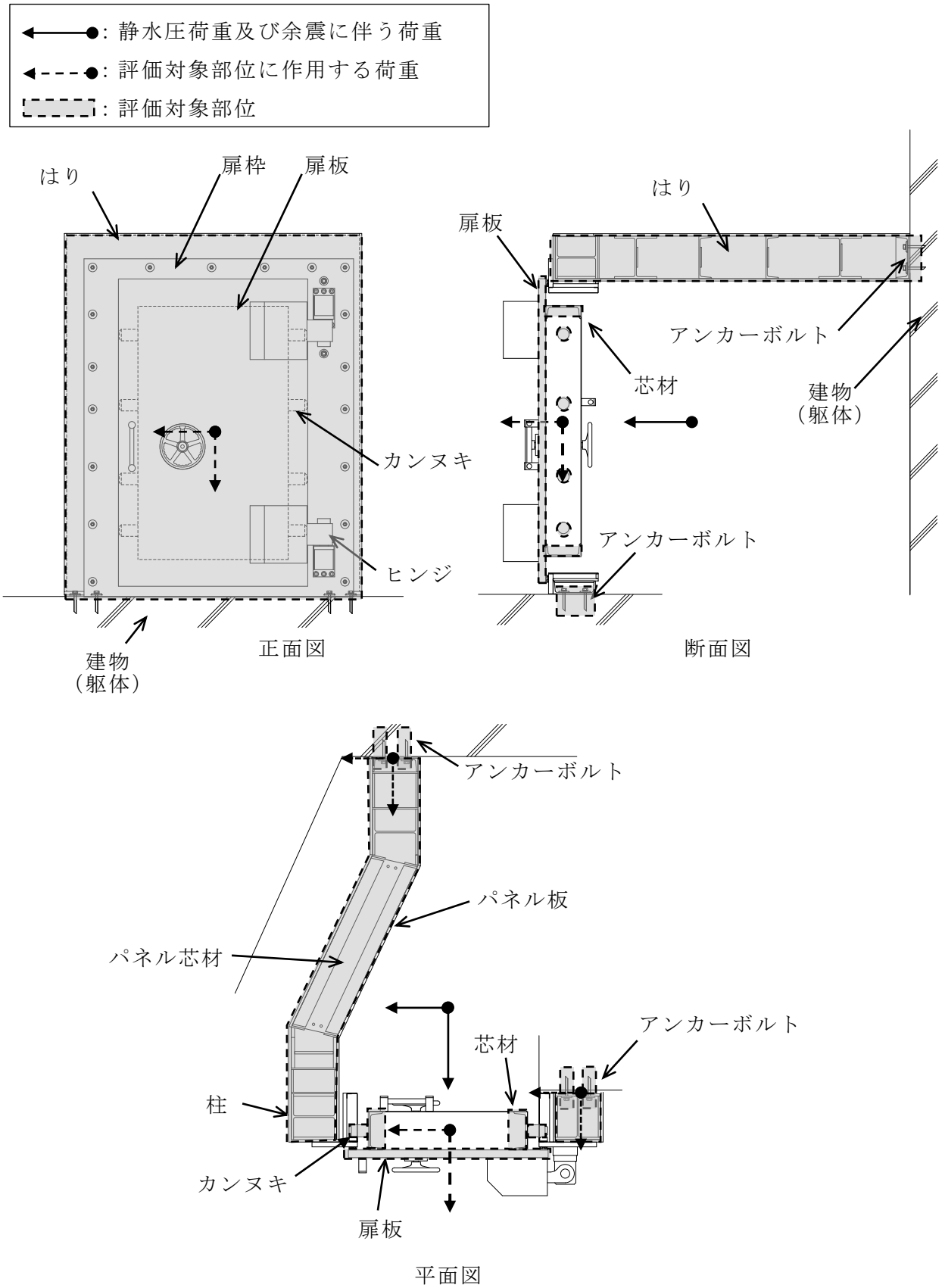


図 3-3 No. 3 水密扉が開く方向に作用する荷重の作用図 (負圧)

3.1.2 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 3-1「津波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。

3.1.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、扉下端に作用する静水圧荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。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 3-1 及び表 3-2 に示す。

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

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

表 3-1 水圧作用高さ及び水の密度 (水密扉)

水密扉 No.	扉名称	水圧作用 高さ	水の 密度
		h (mm)	(t/m ³)
1	タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉	3300	1.03
2	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉	3300	1.03
3	タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉	5050	1.03
4	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南東側水密扉	3300	1.03

表 3-2 水圧作用高さ及び水の密度 (パネル部)

水密扉 No.	扉名称	部位	水圧作用 高さ	水の 密度
			h (mm)	(t/m ³)
3	タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ 室北側水密扉	鉛直部材	5050	1.03
		天井部材	2840	1.03

(2) 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S d による地震力及び動水圧を考慮する。余震荷重は、水密扉の設置位置における水平方向の最大応答加速度から設定する震度を用いて評価する。最大応答加速度を保守的に評価するために、最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置階と上階の最大値とする。

強度評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして IV-2-2-7 「タービン建物の地震応答計算書」によることとし、水密扉の余震震度を表 3-3 に示す。

動水圧荷重は「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 (公益社団法人日本水道協会)」(以下「水道施設耐震工法指針・解説」という。)に基づき、次式により算出する。この時、扉下端に作用する動水圧荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。動水圧荷重の算出結果は表 3-4 及び表 3-5 に示す。

$$P_d = \beta \cdot 7 / 8 \cdot \alpha_H \cdot \rho_o \cdot g \cdot \sqrt{H \times h \times 10^{-6}}$$

P_d : 扉下端に作用する動水圧荷重 (kN/m²)

β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (1.0)

α_H : 水平方向の余震震度

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 浸水深さ (mm)

h : 水圧作用高さ (mm)

表 3-3 余震震度

建物	設置場所	弾性設計用地震動 Sd の 余震震度	
		水平 α_H	鉛直 α_V
タービン建物	EL 0.25m	0.60	0.32
	EL 2.0m		

表 3-4 動水圧荷重の算出結果（水密扉）

水密 扉 No.	扉名称	浸水深さ	水圧作用 高さ	動水圧荷重
		H (mm)	h (mm)	(kN/m ²)
1	タービン建物地下 1 階 復水系配管室 北側水密扉	3300	3300	17.50
2	タービン建物地下 1 階 復水系配管室 南側水密扉	3300	3300	17.50
3	タービン建物地下 1 階 封水回収ポン プ室北側水密扉	5050	5050	26.78
4	タービン建物地下 1 階 復水系配管室 南東側水密扉	3300	3300	17.50

表 3-5 動水圧荷重の算出結果（パネル部）

水密 扉 No.	扉名称	部位	浸水深さ	水圧作用 高さ	動水圧荷重
			H (mm)	h (mm)	(kN/m ²)
3	タービン建物地下 1 階 封水 回収ポンプ室北側水密扉	鉛直 部材	5050	5050	26.78
		天井 部材	5050	2840	20.08

3.1.2.2 荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + K S d$$

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

$K S d$: 余震荷重 (kN/m²)

3.1.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.1.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

3.1.3.1 使用材料

水密扉を構成する，扉板，芯材，カンヌキ及びアンカーボルトの使用材料を表 3-6 に示す。

また，パネル部を構成するパネル板，柱，はり，パネル芯材及びアンカーボルトの使用材料を表 3-7 に示す。

表 3-6 扉板，芯材，カンヌキ及びアンカーボルトの使用材料

評価対象部位	材質	仕様
扉板	SS400	PL-16, PL-50
芯材	SS400	[-150×75×6.5×10 [-250×90×11×14.5
カンヌキ	SUS304	80 φ
アンカーボルト	SS400	M16, M20

表 3-7 パネル板，柱，はり，パネル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
パネル板	SS400	PL-16
柱	SS400	BH-300×200×16×22 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13
はり	SS400	H-300×300×10×15 [-300×90×9×13
パネル芯材	SS400	[-300×90×9×13
アンカーボルト	SS400	M16, M24

3.1.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「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）」（以下「S規準」という。）を踏まえて表3-8の値とする。

表3-8 (1/2) 鋼材の許容限界（水密扉）

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) *	215	124
SUS304	205	118

注記*：tは板厚を示す。

表3-8 (2/2) 鋼材の許容限界（パネル部）

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)			
	引張	圧縮* ²	曲げ* ²	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ¹	235	235	235	135

注記*¹：tは板厚を示す。

*²：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

アンカーボルトの許容限界は、「3.1.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した，表3-9の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが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および付着力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，評価対象部位のアンカーボルトが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より決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力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 3-9 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
1	タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉	29	25
2	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉	31	36
3	タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉	29	25
4	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南東側水密扉	26	19

3.1.4 評価方法

水密扉及びパネル部の強度評価は，VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.1.4.1 応力算定

(1) 水密扉

a. 扉板

扉板に生じる応力は，等分布荷重を受ける四辺固定の矩形版として算定する。この時，扉下端に作用する静水压荷重及び動水压荷重が等分布に作用するものとして，安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3-4 に示す。

$$M_1 = w_1 \cdot L_{11} \cdot 10^{-3} \cdot (L_{12} \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

$$w_1 = P_h + P_d + S_{d1}$$

w_1 : 扉板に作用する等分布荷重 (kN/m²)

L_{11} : 扉板の長辺長さ (mm)

L_{12} : 扉板の短辺長さ (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水压荷重 (kN/m²)

P_d : 扉下端に作用する動水压荷重 (kN/m²)

$$S_{d1} = t \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$$

S_{d1} : 扉板に生じる余震による地震荷重 (kN/m²)

α_H : 水平方向の設計震度

t : 扉板の厚さ (mm)

ρ_s : 扉板の密度 (t/m³)

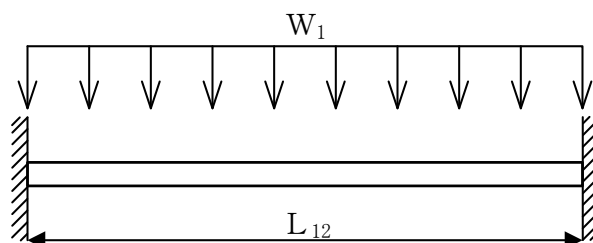


図 3-4 扉板に作用する荷重の例

b. 芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして次式により算定する。なお，芯材の取付け方向は，水平・鉛直の2方向であり，両者とも扉下端に作用する動水圧荷重と静水圧荷重を加えた水圧に，芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重及び余震による地震荷重が芯材に等分布に作用するものとして安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図3-5に示す。

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

$$Q_2 = w_2 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

$$w_2 = (P_h + P_d) \cdot b_2 \cdot 10^{-3} + S_{d2}$$

$$S_{d2} = (\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g$$

w_2 : 芯材に作用する等分布荷重 (kN/m)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

P_d : 扉下端に作用する動水圧荷重 (kN/m²)

b_2 : 芯材に作用する荷重の負担幅 (mm)

S_{d2} : 芯材に生じる余震による地震荷重 (kN/m)

ρ_s : 扉板の密度 (t/m³)

t : 扉板の厚さ (mm)

m_2 : 芯材の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

L_2 : 芯材の支持スパン (mm)

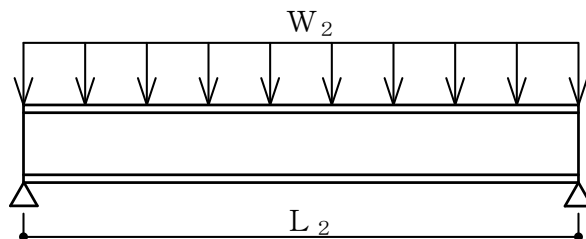


図3-5 芯材に作用する荷重の例

c. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は次式により算定する。カンヌキは、静水圧荷重、動水圧荷重及び扉重量による余震荷重を均等に負担するとして算定する。カンヌキに作用する荷重の例を図 3-6 に示す。

$$R_3 = ((P_h + P_d) \cdot L_L \cdot L_S \cdot 10^{-6} + W_D \cdot \alpha_H) / n_3$$

R_3 : カンヌキに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力 (kN/本)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

P_d : 扉下端に作用する動水圧荷重 (kN/m²)

L_L : 躯体開口部の高さ (mm)

L_S : 躯体開口部の幅 (mm)

W_D : 扉重量 (kN)

α_H : 水平方向の設計震度

n_3 : カンヌキの本数 (本)

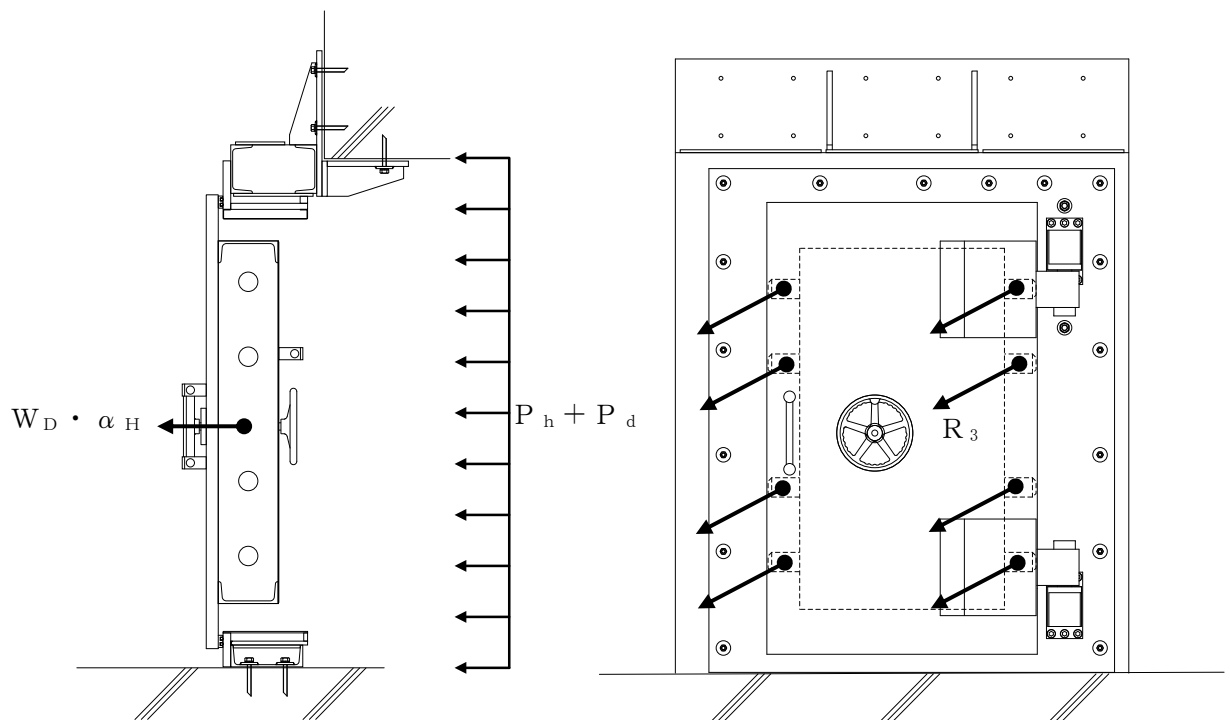


図 3-6 カンヌキに作用する荷重の例

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は，片持ちばりとして次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図 3-7 に示す。

$$M_3 = R_3 \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$$

M_3 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

R_3 : カンヌキに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力
(kN/本)

L_3 : カンヌキの突出長さ (mm)

$$Q_3 = R_3$$

Q_3 : カンヌキのせん断力 (kN)

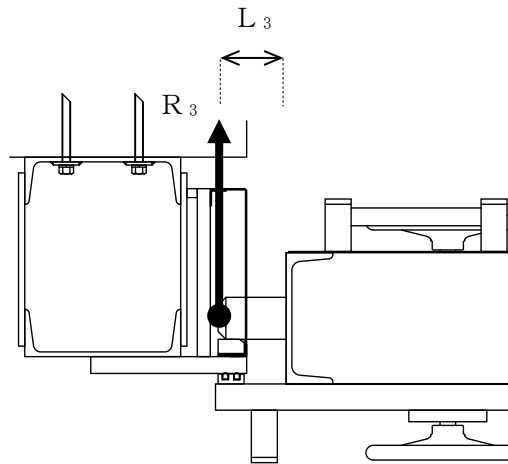


図 3-7 カンヌキに生じる荷重の例

d. アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、静水圧荷重に余震荷重を加えた荷重を左右もしくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3-8 に示す。

$$Q_4 = T_4 = R_4 / 2$$

$$Q_{4A} = Q_4 / n_{41}$$

$$T_{4A} = T_4 / n_{42}$$

Q_4 : 上下又は左右の 2 辺のうち、1 辺のアンカーボルトが負担するせん断力 (kN)

Q_{4A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

T_4 : 上下又は左右の 2 辺のうち、1 辺のアンカーボルトが負担する引張力 (kN)

T_{4A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

$$R_4 = (P_h + P_d) \cdot L_L \cdot L_S \cdot 10^{-6} + (W_D + W_{DW}) \cdot \alpha_H$$

R_4 : アンカーボルトに生じる静水圧荷重及び余震荷重に対する反力 (kN)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m^2)

P_d : 扉下端に作用する動水圧荷重 (kN/m^2)

L_L : 躯体開口部の高さ (mm)

L_S : 躯体開口部の幅 (mm)

W_D : 扉重量 (kN)

W_{DW} : 扉枠重量 (kN)

α_H : 水平方向の設計震度

n_{41} : せん断力を負担する 1 辺のアンカーボルトの本数 (本)

n_{42} : 引張力を負担する 1 辺のアンカーボルトの本数 (本)

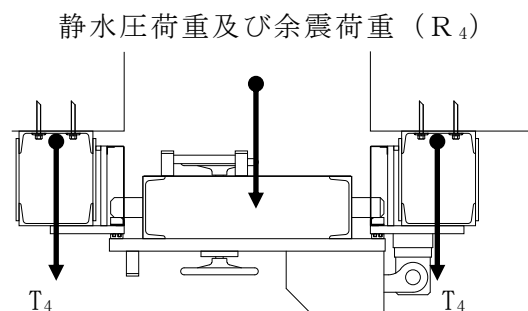


図 3-8 アンカーボルトに生じる荷重の例

(2) パネル部

a. パネル板

パネル板に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして次式により算定する。パネル板に作用する荷重の例を図 3-9 示す。

$$M_1 = (G_1 \cdot \alpha_H + P_h + P_d) \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

M_1 : パネル板の曲げモーメント (kN・m/m)

G_1 : パネル板の自重 (kN/m²)

α_H : 水平方向の設計震度

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

P_d : 扉下端に作用する動水圧荷重 (kN/m²)

L_1 : パネル板の短辺長さ (mm)

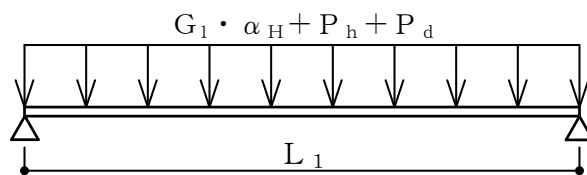


図 3-9 パネル板に作用する荷重の例

b. パネル芯材

パネル芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持のほりとして算定する。パネル芯材に作用する荷重の例を図 3-10 に示す。

$$M_2 = \{G_2 \cdot \alpha_H + (P_h + P_d) \cdot b_2 \cdot 10^{-3}\} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q_2 = \{G_2 \cdot \alpha_H + (P_h + P_d) \cdot b_2 \cdot 10^{-3}\} \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

M_2 : パネル芯材の曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : パネル芯材のせん断力 (kN)

G_2 : パネル芯材の自重 (kN/m)

α_H : 水平方向の設計震度

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

P_d : 扉下端に作用する動水圧荷重 (kN/m²)

L_2 : パネル芯材の長さ (mm)

b_2 : パネル芯材の支配幅 (mm)

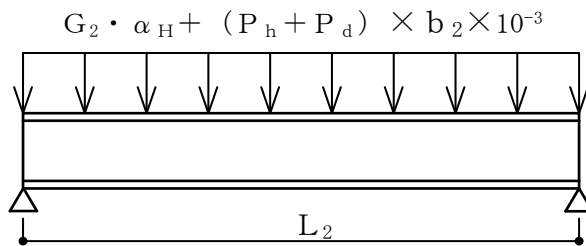


図 3-10 パネル芯材に作用する荷重の例

c. 柱、はり及びアンカーボルト

柱、はり及びアンカーボルトは、静水圧荷重及び余震に伴う荷重を受けるはり要素でモデル化し、実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルに置き換え、柱、はり及びアンカーボルトに発生する応力を応力解析により算定し、各許容限界との比較により強度評価を行う。解析に使用するコードは、「KANSAS 2」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。パネル部の評価モデルを図 3-11 に示す。

解析に用いる部材の物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 205000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断弾性係数 : $G = 79000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

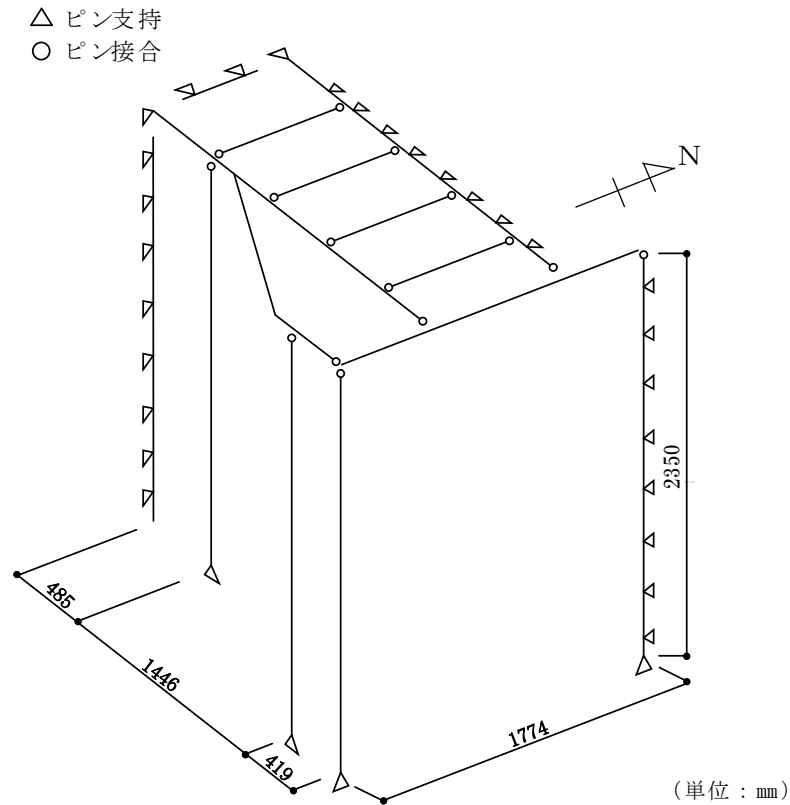


図 3-11 パネル部の評価モデル

3.1.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が，許容限界値以下であることを確認する。

(1) 水密扉

a. 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し，扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_1 : 扉板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³/m)

b. 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) 芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

σ_2 : 芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 芯材の断面係数 (mm³)

(b) 芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

τ_2 : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

A_2 : 芯材のせん断断面積 (mm²)

c. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) カンヌキに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b3} = (M_3 \cdot 10^6) / Z_3$$

σ_{b3} : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : カンヌキの断面係数 (mm³)

(b) カンヌキに生じるせん断応力度

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_3$$

τ_3 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : カンヌキのせん断力 (kN)

A_3 : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

(c) カンヌキに生じる組合せ応力度

カンヌキに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_{b3}^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq {}_s f_{t3}$$

σ_{b3} : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_3 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

${}_s f_{t3}$: カンヌキの短期許容引張応力度 (N/mm²)

d. アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$Q_{4A} / Q_{4B} \leq 1.0$$

Q_{4A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{4B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

$$T_{4A} / T_{4B} \leq 1.0$$

T_{4A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{4B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

(2) パネル部

a. パネル板

パネル板に生じる曲げ応力度を算定し、パネル板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_{b1} : パネル板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : パネル板の曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : パネル板の断面係数 (mm³/m)

b. パネル芯材

パネル芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、パネル芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) パネル芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b2} = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

σ_{b2} : パネル芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : パネル芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : パネル芯材の断面係数 (mm³)

(b) パネル芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

τ_2 : パネル芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : パネル芯材のせん断力 (kN)

A_2 : パネル芯材のせん断断面積 (mm²)

c. 柱

柱に生じる曲げ応力度，せん断応力度及び軸応力度を算定し，柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 3} = (M_{x 3} \cdot 10^6) / Z_{x 3}$$

$$\sigma_{b y 3} = (M_{y 3} \cdot 10^6) / Z_{y 3}$$

$\sigma_{b x 3}$: 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{b y 3}$: 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{x 3}$: 柱の強軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$M_{y 3}$: 柱の弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$Z_{x 3}$: 柱の強軸回りの断面係数 (mm³)

$Z_{y 3}$: 柱の弱軸回りの断面係数 (mm³)

(b) 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x 3} = (Q_{x 3} \cdot 10^3) / A_{S x 3}$$

$$\tau_{y 3} = (Q_{y 3} \cdot 10^3) / A_{S y 3}$$

$\tau_{x 3}$: 柱の強軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$\tau_{y 3}$: 柱の弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{x 3}$: 柱の強軸方向のせん断力 (kN)

$Q_{y 3}$: 柱の弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S x 3}$: 柱の強軸方向のせん断断面積 (mm²)

$A_{S y 3}$: 柱の弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

(c) 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)3} = (N_{c(t)3} \cdot 10^3) / A_{g3}$$

$\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g3} : 柱の断面積 (mm²)

(d) 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx3}/s f_{bx3} + \sigma_{by3}/s f_{by3} + \sigma_{c(t)3}/s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

σ_{bx3} : 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx3}$: 柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by3} : 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{by3}$: 柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)3}$: 柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3\tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

σ_{bx3} : 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by3} : 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)

τ_3 : 柱のせん断応力度 ($\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$) (N/mm²)

$s f_{t3}$: 柱の短期許容引張応力度 (N/mm²)

d. はり

はりに生じる曲げ応力度，せん断応力度及び軸応力度を算定し，はりの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 4} = (M_{x 4} \cdot 10^6) / Z_{x 4}$$

$$\sigma_{b y 4} = (M_{y 4} \cdot 10^6) / Z_{y 4}$$

$\sigma_{b x 4}$: はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{b y 4}$: はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{x 4}$: はりの強軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$M_{y 4}$: はりの弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$Z_{x 4}$: はりの強軸回りの断面係数 (mm³)

$Z_{y 4}$: はりの弱軸回りの断面係数 (mm³)

(b) はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x 4} = (Q_{x 4} \cdot 10^3) / A_{S x 4}$$

$$\tau_{y 4} = (Q_{y 4} \cdot 10^3) / A_{S y 4}$$

$\tau_{x 4}$: はりの強軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$\tau_{y 4}$: はりの弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{x 4}$: はりの強軸方向のせん断力 (kN)

$Q_{y 4}$: はりの弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S x 4}$: はりの強軸方向のせん断断面積 (mm²)

$A_{S y 4}$: はりの弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

(c) はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = (N_{c(t)4} \cdot 10^3) / A_{g4}$$

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g4} : はりの断面積 (mm²)

(d) はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx4}/s f_{bx4} + \sigma_{by4}/s f_{by4} + \sigma_{c(t)4}/s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

σ_{bx4} : はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx4}$: はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by4} : はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{by4}$: はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)4}$: はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3\tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

σ_{bx4} : はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by4} : はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : はりのせん断応力度 ($\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$) (N/mm²)

$s f_{t4}$: はりの短期許容引張応力度 (N/mm²)

e. アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力は，応力解析により求めた支点反力を用いて算定し，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(Q_{5A}/Q_{5B})^2 + (T_{5A}/T_{5B})^2 \leq 1$$

$$Q_{5A}/Q_{5B} \leq 1.0$$

Q_{5A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{5B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

$$T_{5A}/T_{5B} \leq 1.0$$

T_{5A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{5B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

3.1.5 評価条件

「3.1.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-10及び表3-11に示す。

表3-10 強度評価に用いる条件（水密扉）（1/4）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				1
共通	h	mm	水圧作用高さ	3300
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.60
	P_h	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重	33.33
	P_d	kN/m ²	扉下端に作用する動水圧荷重	17.50
扉板	L_{11}	mm	扉板の長辺長さ	1871
	L_{12}	mm	扉板の短辺長さ	1120
	S_{d1}	kN/m ²	扉板に生じる余震による地震荷重	2.309
	t	mm	扉の厚さ	50
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
	ρ_s	t/m ³	扉板の密度	7.85
	Z_1	mm ³ /m	扉板の断面係数	779600
芯材	S_{d2}	kN/m	芯材に生じる余震による地震荷重	1.530
	b_2	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	560
	m_2	kg/m	芯材の質量分布	40.2
	L_2	mm	芯材の支持スパン	1871
	Z_2	mm ³	芯材の断面係数	374000
	A_2	mm ²	芯材のせん断断面積	2431
カンヌキ	L_L	mm	躯体開口部の高さ	2100
	L_S	mm	躯体開口部の幅	1000
	W_D	kN	扉重量	15.69
	n_3	本	カンヌキの本数	8
	L_3	mm	カンヌキの突出長さ	131
	Z_3	mm ³	カンヌキの断面係数	50270
	A_3	mm ²	カンヌキのせん断断面積	5027
アンカー ボルト	W_{DW}	kN	扉枠重量	6.938
	n_{41}	本	せん断力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	—
	n_{42}	本	引張力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	12

表 3-10 強度評価に用いる条件（水密扉）（2/4）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				2
共通	h	mm	水圧作用高さ	3300
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.60
	P _h	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重	33.33
	P _d	kN/m ²	扉下端に作用する動水圧荷重	17.50
扉板	L ₁₁	mm	扉板の長辺長さ	870
	L ₁₂	mm	扉板の短辺長さ	604
	S _{d1}	kN/m ²	扉板に生じる余震による地震荷重	0.7390
	t	mm	扉の厚さ	16
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
	ρ_s	t/m ³	扉板の密度	7.85
	Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数	37120
芯材	S _{d2}	kN/m	芯材に生じる余震による地震荷重	0.4934
	b ₂	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	519.5
	m ₂	kg/m	芯材の質量分布	18.6
	L ₂	mm	芯材の支持スパン	870
	Z ₂	mm ³	芯材の断面係数	115000
	A ₂	mm ²	芯材のせん断断面積	845
カンヌキ	n ₃	本	カンヌキの本数	—
	L ₃	mm	カンヌキの突出長さ	—
	Z ₃	mm ³	カンヌキの断面係数	—
	A ₃	mm ²	カンヌキのせん断断面積	—
アンカー ボルト	L _L	mm	躯体開口部の高さ	2250
	L _S	mm	躯体開口部の幅	1000
	W _D	kN	扉重量	7.355
	W _{DW}	kN	扉枠重量	5.495
	n ₄₁	本	せん断力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	16
	n ₄₂	本	引張力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	—

表 3-10 強度評価に用いる条件（水密扉）（3/4）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				3
共通	h	mm	水圧作用高さ	5050
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.60
	P_h	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重	51.01
	P_d	kN/m ²	扉下端に作用する動水圧荷重	26.78
扉板	L_{11}	mm	扉板の長辺長さ	2136
	L_{12}	mm	扉板の短辺長さ	1320
	S_{d1}	kN/m ²	扉板に生じる余震による地震荷重	2.309
	t	mm	扉の厚さ	50
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
	ρ_s	t/m ³	扉板の密度	7.85
	Z_1	mm ³ /m	扉板の断面係数	890000
芯材	S_{d2}	kN/m	芯材に生じる余震による地震荷重	1.761
	b_2	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	660
	m_2	kg/m	芯材の質量分布	40.2
	L_2	mm	芯材の支持スパン	2136
	Z_2	mm ³	芯材の断面係数	374000
	A_2	mm ²	芯材のせん断断面積	2431
カンヌキ	L_L	mm	躯体開口部の高さ	2136
	L_S	mm	躯体開口部の幅	1320
	W_D	kN	扉重量	17.65
	n_3	本	カンヌキの本数	8
	L_3	mm	カンヌキの突出長さ	131
	Z_3	mm ³	カンヌキの断面係数	50270
	A_3	mm ²	カンヌキのせん断断面積	5027
アンカー ボルト	W_{DW}	kN	扉枠重量	—
	n_{41}	本	せん断力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	—
	n_{42}	本	引張力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	—

表 3-10 強度評価に用いる条件（水密扉）（4/4）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				4
共通	h	mm	水圧作用高さ	3300
	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.60
	P _h	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重	33.33
	P _d	kN/m ²	扉下端に作用する動水圧荷重	17.50
扉板	L ₁₁	mm	扉板の長辺長さ	2121
	L ₁₂	mm	扉板の短辺長さ	1020
	S _{d1}	kN/m ²	扉板に生じる余震による地震荷重	2.309
	t	mm	扉の厚さ	50
	β	—	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	1.0
	ρ_s	t/m ³	扉板の密度	7.85
芯材	Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数	883800
	S _{d2}	kN/m	芯材に生じる余震による地震荷重	1.414
	b ₂	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	510
	m ₂	kg/m	芯材の質量分布	40.2
	L ₂	mm	芯材の支持スパン	2121
	Z ₂	mm ³	芯材の断面係数	374000
カンヌキ	A ₂	mm ²	芯材のせん断断面積	2431
	n ₃	本	カンヌキの本数	8
	L ₃	mm	カンヌキの突出長さ	131
	Z ₃	mm ³	カンヌキの断面係数	50270
アンカー ボルト	A ₃	mm ²	カンヌキのせん断断面積	5027
	L _L	mm	躯体開口部の高さ	2121
	L _S	mm	躯体開口部の幅	1020
	W _D	kN	扉重量	15.69
	W _{DW}	kN	扉枠重量	7.378
	n ₄₁	本	せん断力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	20
n ₄₂	本	引張力を負担する1辺のアンカーボルトの本数	20	

表 3-11 強度評価に用いる条件 (パネル部)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				3
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	0.6
パネル板	G_1	kN/m ²	パネル板の自重	1.232
	L_1	mm	パネル板の短辺長さ	649
	Z_1	mm ³ /m	パネル板の断面係数	42670
パネル 芯材	G_2	kN/m	パネル芯材の自重	0.944
	L_2	mm	パネル芯材の長さ	1253
	b_2	mm	パネル芯材の支配幅	463
	Z_2	mm ³	パネル芯材の断面係数	429000
	A_2	mm ²	パネル芯材のせん断断面積	2466
柱	M_{x3}	kN・m	柱の強軸回りの曲げモーメント	33.39
	M_{y3}	kN・m	柱の弱軸回りの曲げモーメント	27.73
	Z_{x3}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数	1350000
	Z_{y3}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数	450000
	Q_{x3}	kN	柱の強軸方向のせん断力	33.26
	Q_{y3}	kN	柱の弱軸方向のせん断力	27.62
	A_{Sx3}	mm ²	柱の強軸方向のせん断断面積	2700
	A_{Sy3}	mm ²	柱の弱軸方向のせん断断面積	9000
	$N_{c(t)3}$	kN	柱の圧縮又は引張軸力	3.6
	A_{g3}	mm ²	柱の断面積	11800
はり	M_{x4}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント	15.82
	M_{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント	6.67
	Z_{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	1350000
	Z_{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	450000
	Q_{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力	95.59
	Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力	36.90
	A_{Sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積	2700
	A_{Sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積	9000
	$N_{c(t)4}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力	0.2
A_{g4}	mm ²	はりの断面積	11800	
アンカー ボルト	Q_{5A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	10
	T_{5A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	20

3.2 取水槽除じん機エリア水密扉（東），（西）（水密扉 No. 5, No. 6）

3.2.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

取水槽内側から生じる静水圧荷重に伴う荷重は、扉板から水密扉戸当り用支柱、芯材及び外部縦柱に伝わり、水密扉戸当り用支柱を固定するアンカーボルトを介し、取水槽躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、水密扉戸当り用支柱、芯材、外部縦柱、外部縦柱固定ボルト、締付ボルト、固定プレート及びアンカーボルトとする。

取水槽除じん機エリア水密扉(東)は取水槽除じん機エリア水密扉(西)と同様の構造であるが、扉の横幅が広いことを踏まえ、取水槽除じん機エリア水密扉（東）を代表として評価する。

水密扉閉止時に水密扉に作用する荷重の例を図 3-12 に示す。

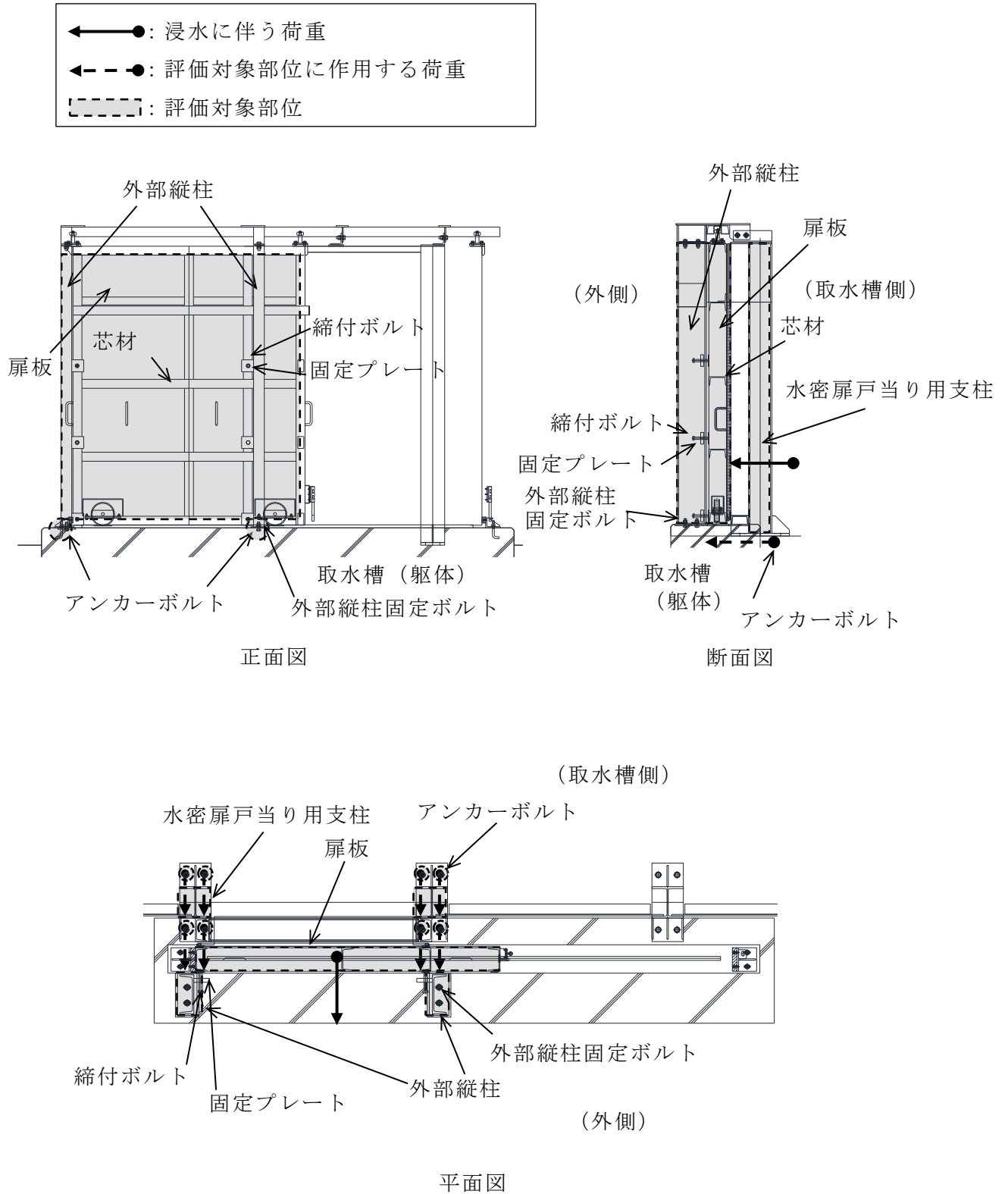


図 3-12 水密扉に作用する荷重の作用図

3.2.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波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の組合せを踏まえて設定する。

3.2.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に扉下端の浸水深さを考慮した水圧作用高さを乗じた次式により算出する。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 3-12 に示す。

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

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h_h : 水圧作用高さ (mm)

表 3-12 水圧作用高さ及び水の密度

水圧作用高さ h_h (mm)	水の密度 ρ_o (t/m ³)
2500	1.03

(2) 風荷重 (P_k)

風速 30m/s 時の風圧力の荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に当該部分の風荷重作用高さを乗じた次式により算出する。該当水密扉は扉天端まで浸水を考慮するため、扉板及び水密扉戸当り用支柱は風荷重を考慮しない。なお、外部縦柱天端は浸水しないため、風荷重を考慮する。

風荷重の算定に用いる風荷重作用高さ及び風圧力を表 3-13 に示す。

$$P_k = w \cdot h_k \cdot 10^{-3}$$

P_k : 風荷重 (kN/m)

w : 風圧力 (kN/m²)
 h_k : 風荷重作用高さ (mm)

表 3-13 風荷重作用高さ及び風圧力

設備名称	部位	風荷重作用高さ h _k (mm)	風圧力 w (kN/m ²)
取水槽除じん機エリア 水密扉 (東)	扉板 水密扉戸当り用支柱	0	1.71
	外部縦柱	172	

3.2.2.2 荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + P_k$$

P_h : 静水圧荷重

P_k : 風荷重

3.2.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.2.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

3.2.3.1 使用材料

水密扉を構成する扉板，水密扉戸当り用支柱，芯材，外部縦柱，外部縦柱固定ボルト，締付ボルト，固定プレート及びアンカーボルトの使用材料を表 3-14 に示す。

表 3-14 水密扉の使用材料

評価対象部位	材質	仕様
扉板	SS400	PL-9
水密扉戸当り用支柱	SS400	H-200×200×8×12
芯材	SS400	[-150×75×6.5×10
外部縦柱	SS400	[-250×90×9×13
外部縦柱固定ボルト	SS400	M20
締付ボルト	SS400	M20
固定プレート	SS400	PL-25
アンカーボルト	SUS304	M24

3.2.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表3-15の値とする。

表3-15 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	引張	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *	235	235	135

注記* : t は板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.2.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出した表3-16の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが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付着力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、評価対象部位のアンカーボルトが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より決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力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3-16 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
5	取水槽除じん機エリア水密扉 (東)	90	51

3.2.4 評価方法

水密扉の強度評価式は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.2.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、芯材を支点とした単純支持はりとして算定する。この時、実際に作用する静水圧荷重は台形分布であるが、扉板の支配幅中心の静水圧が等分布に作用するものとして評価する。扉板の支配幅中心の静水圧が等分布に作用する荷重の例を図 3-13 に示す。

$$M_1 = 1/8 \cdot P_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2$$

$$S_1 = 1/2 \cdot P_1 \cdot L_1 \cdot 10^{-3}$$

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m)

S_1 : 扉板のせん断力 (kN)

$$P_1 = P_{h1} + P_{k1}$$

P_1 : 静水圧荷重及び風荷重を考慮した荷重 (kN/m)

P_{h1} : 扉板に作用する静水圧荷重 (kN/m)

P_{k1} : 扉板に作用する風荷重 (kN/m)

L_1 : 扉板の長さ (mm)

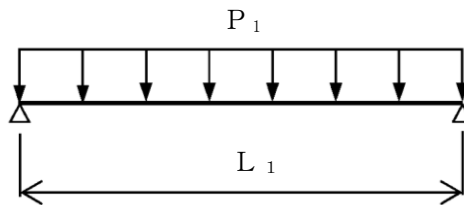
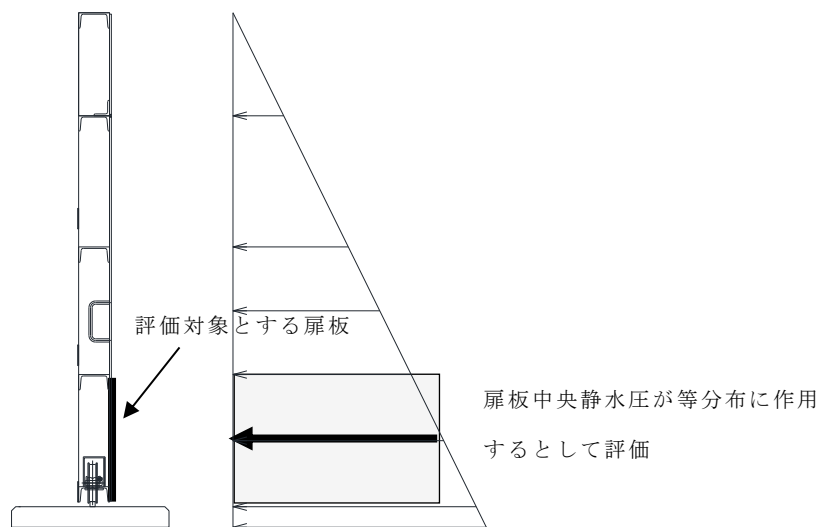


図 3-13 扉板に生じる荷重の例

(2) 水密扉戸当り用支柱

水密扉戸当り用支柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちばりとして計算する。なお静水圧荷重は三角形分布に作用するものとし、風荷重は等分布に作用するものとして評価する。水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例を図 3-14 に示す。

$$M_2 = P_{k2} \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot 10^{-6}$$

$$S_2 = P_{k2} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$$

M_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重による曲げモーメント
($\text{kN} \cdot \text{m}$)

S_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重によるせん断力 (kN)

P_{k2} : 水密扉戸当り用支柱に作用する風荷重 (kN/m)

L_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重作用高さ (mm)

L_3 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置
(mm)

$$M_3 = 1/6 \cdot P_{h3} \cdot h_{h3}^2 \cdot 10^{-6}$$

$$S_3 = 1/2 \cdot P_{h3} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

M_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重による曲げモーメント
(kN・m)

S_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重によるせん断力 (kN)

P_{h3} : 水密扉戸当り用支柱に作用する静水圧荷重 (kN/m)

h_{h3} : 水密扉戸当り用支柱の静水圧作用高さ (mm)

L_4 : 水密扉戸当り用支柱の部材長 (mm)

$$M_4 = M_2 + M_3$$

$$S_4 = S_2 + S_3$$

M_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント (kN・m)

S_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断力 (kN)

M_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重による曲げモーメント (kN・m)

M_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重による曲げモーメント
(kN・m)

S_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重によるせん断力 (kN)

S_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重によるせん断力 (kN)

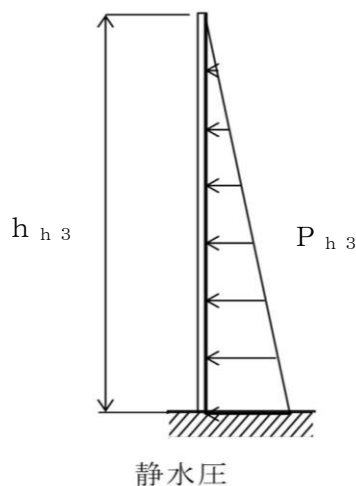


図 3-14 水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例

(3) 芯材

芯材の引張側は、縦枠端部を支点とする単純ばりとして計算する。この時、実際に作用する静水圧荷重は台形分布であるが、対象芯材位置の静水圧が等分布に作用するとして評価する。水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例を図3-15に示す。

$$M_5 = 1/8 \cdot P_{h5} \cdot L_5^2 \cdot 10^{-6}$$

$$S_5 = 1/2 \cdot P_{h5} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

M_5 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

S_5 : 芯材のせん断力 (kN)

P_{h5} : 芯材に作用する静水圧荷重 (kN/m)

L_5 : 対象芯材の長さ (mm)

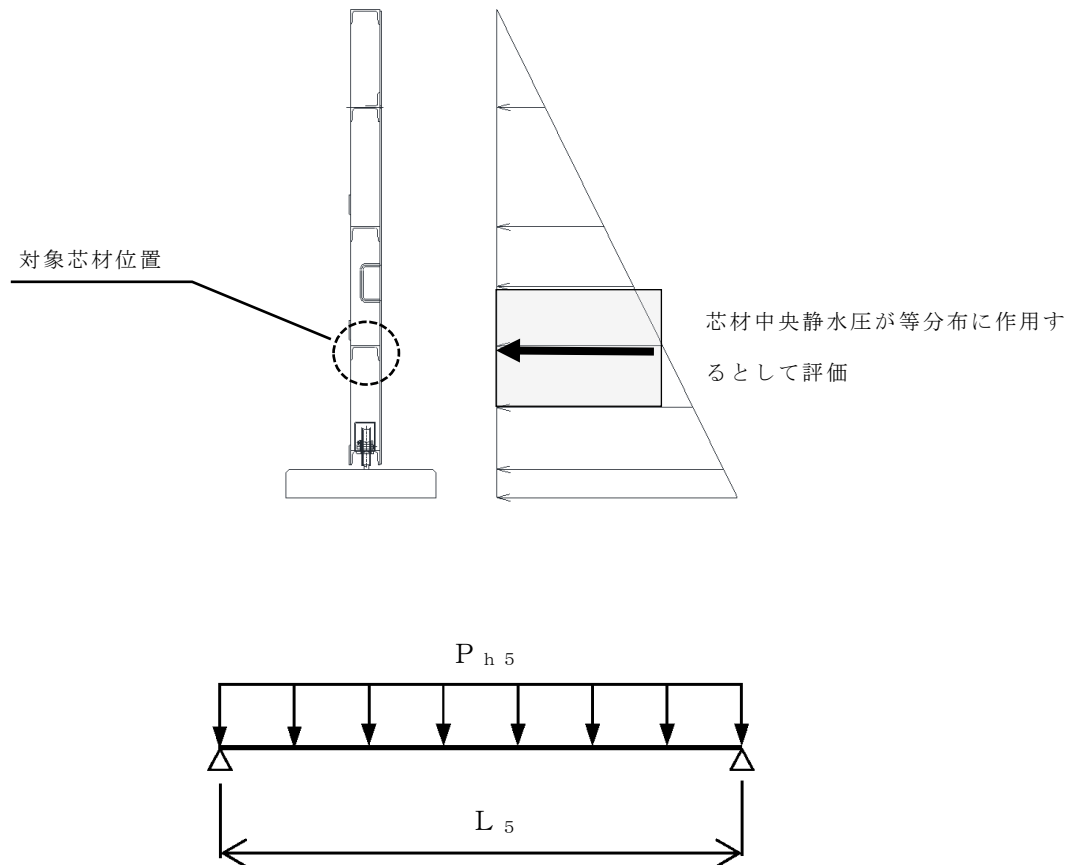


図3-15 水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例

(4) 外部縦柱

外部縦柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちばりとして計算する。なお、静水圧荷重は三角形分布に作用するものとし、風荷重は等分布に作用するものとして評価する。外部縦柱に作用する荷重の例を図 3-16 に示す。

$$M_6 = P_{k6} \cdot L_6 \cdot L_7 \cdot 10^{-6}$$

$$S_6 = P_{k6} \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

M_6 : 外部縦柱の風荷重による曲げモーメント (kN・m)

S_6 : 外部縦柱の風荷重によるせん断力 (kN)

P_{k6} : 外部縦柱に作用する風荷重 (kN/m)

L_6 : 外部縦柱の風荷重作用長 (mm)

L_7 : 外部縦柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置 (mm)

$$M_7 = 1/6 \cdot P_{h7} \cdot h_{h7}^2 \cdot 10^{-6}$$

$$S_7 = 1/2 \cdot P_{h7} \cdot h_{h7} \cdot 10^{-3}$$

M_7 : 外部縦柱の静水圧荷重による曲げモーメント (kN・m)

S_7 : 外部縦柱の静水圧荷重によるせん断力 (kN)

P_{h7} : 外部縦柱に作用する静水圧荷重 (kN/m)

h_{h7} : 外部縦柱の静水圧作用高さ (mm)

$$M_8 = M_6 + M_7$$

$$S_8 = S_6 + S_7$$

M_8 : 外部縦柱の曲げモーメント (kN・m)

S_8 : 外部縦柱のせん断力 (kN)

M_6 : 外部縦柱の風荷重による曲げモーメント (kN・m)

M_7 : 外部縦柱の静水圧荷重による曲げモーメント (kN・m)

S_6 : 外部縦柱の風荷重によるせん断力 (kN)

S_7 : 外部縦柱の静水圧荷重によるせん断力 (kN)

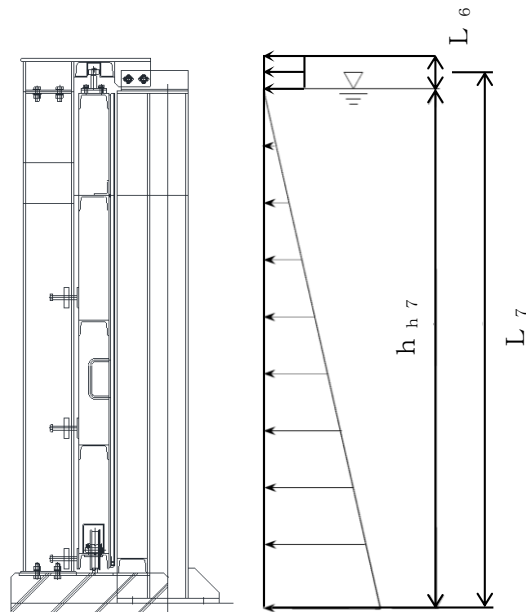


図 3-16 外部縦柱に作用する荷重の例

(5) 締付ボルト

締付ボルトに生じる応力は、次式により算定する。締付ボルトに生じる荷重の例を図 3-17 に示す。

$$F_{n1} = F_A / n_1$$

$$F_A = F_1 + F_2$$

$$F_1 = w \cdot L_8 \cdot L_9$$

$$F_2 = W_5 \cdot L_{10} \cdot L_9 / 2$$

$$W_5 = \rho_o \cdot g \cdot h_h \cdot 10^{-3}$$

F_{n1} : 締付ボルト 1 本あたりの作用荷重 (kN/本)

F_A : 風荷重及び静水圧荷重による全体作用荷重 (kN)

n_1 : 締付ボルト全本数 (本)

F_1 : 風荷重 (kN)

F_2 : 静水圧荷重 (kN)

w : 風圧力 (kN/m²)

L_8 : 風荷重作用長 (m)

L_9 : 外部縦柱スパン長 (m)

W_5 : 静水圧 (kN/m²)

L_{10} : 扉高さ (m)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

- g : 重力加速度 (m/s^2)
 h_h : 水圧作用高さ (mm)

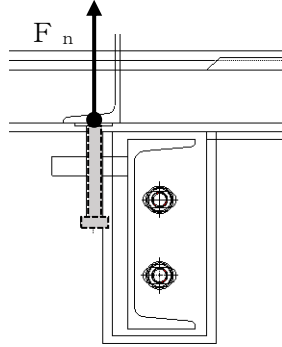


図 3-17 締付ボルトに生じる荷重の例

(6) 固定プレート

固定プレートに生じる応力は、次式により算定する。固定プレートに生じる荷重の例を図 3-18 に示す。

$$M_g = F_{n2} \cdot L_p$$

$$F_{n2} = F_{n1}$$

M_g : 固定プレートの曲げモーメント (kN・mm)

F_{n2} : 固定プレート 1 枚あたりに作用する荷重 (kN/枚)

L_p : 固定プレート固定端から締付ボルトまでの距離 (mm)

F_{n1} : 締付ボルト 1 本あたりの作用荷重 (kN/本)

$$Q_g = F_{n2}$$

Q_g : 固定プレートのせん断力 (kN)

F_{n2} : 固定プレート 1 枚あたりに作用する荷重 (kN/枚)

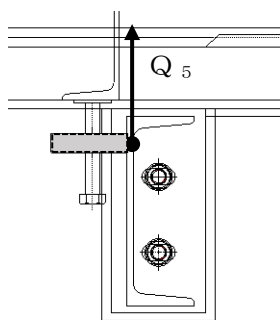


図 3-18 固定プレートに生じる荷重の例

(7) 外部縦柱固定ボルト

外部縦柱固定ボルトに生じる応力は、解析モデルを用いたフレーム解析及び評価式により算定する。応力解析は以下の方針に基づき行う。外部縦柱の部材に生じる力の断面概念図を図 3-19 に、解析モデル概要図を図 3-20 に示す。解析モデルは、外部縦柱、水密扉戸当り用支柱及び扉をはり要素でモデル化し、各柱下端は固定支点、扉下端のレール部はヒンジ支点とする。

- a. モデルに作用する荷重及び荷重の組合せは、「3.2.2 荷重及び荷重の組合せ」による。
- b. 応力解析に使用する解析コードは「F R E M I N G」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

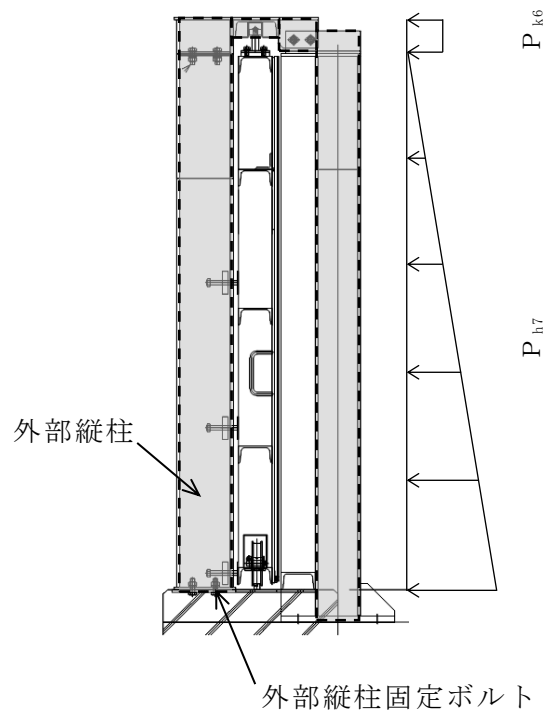


図 3-19 外部縦柱に生じる力の断面概念図

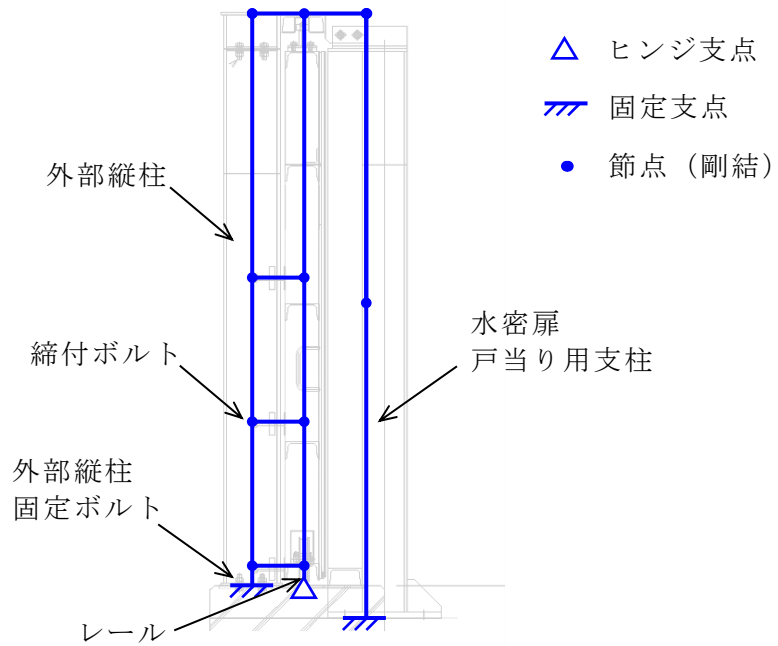


図 3-20 解析モデル概要図

(8) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる力は、水密扉戸当り用支柱下端の断面力を基に算出する。

$$T_{A1} = V_{A1} / N_{A1} + M_{A1} \cdot x_{iA1} / \sum n \cdot x_{iA1}^2$$

$$Q_{A1} = S_{A1} / N_{A1}$$

T_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN/本)

Q_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN/本)

V_{A1} : 水密扉戸当り用支柱下端の鉛直荷重 (kN)

N_{A1} : アンカーボルト全本数 (本)

M_{A1} : 水密扉戸当り用支柱下端の水平力による曲げモーメント (kN・m)

x_{iA1} : 偏心距離 (m)

$\sum n \cdot x_{iA1}^2$: 2 次モーメントの合計値 (m²)

S_{A1} : 水密扉戸当り用支柱下端の水平力によるせん断力 (kN)



図 3-21 アンカーボルトに生じる荷重の例

3.2.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 扉板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_1 : 扉板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³)

b. 扉板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (S_1 \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

τ_1 : 扉板のせん断応力度 (N/mm²)

S_1 : 扉板のせん断力 (kN)

h_1 : 単位幅あたり高さ (mm)

t_1 : 扉板の厚さ (mm)

(2) 水密扉戸当り用支柱

水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、水密扉戸当り用支柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 (N/mm²)

M_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : 水密扉戸当り用支柱の断面係数 (mm³)

b. 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度

$$\tau_4 = (S_4 \cdot 10^3) / (h_4 \cdot t_4)$$

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 (N/mm²)

S_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断力 (kN)

h_4 : 水密扉戸当り用支柱のウェブ高 (mm)

t_4 : 水密扉戸当り用支柱のウェブ厚 (mm)

c. 水密扉戸当り用支柱に生じる組合せ応力度

水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq f_t$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(3) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_5 = (M_5 \cdot 10^6) / Z_5$$

σ_5 : 芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_5 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_5 : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_5 = (S_5 \cdot 10^3) / (h_5 \cdot t_5)$$

τ_5 : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)

S_5 : 芯材のせん断力 (kN)

h_5 : 荷重負担幅 (mm)

t_5 : せん断抵抗部材の厚さ (mm)

(4) 外部縦柱

外部縦柱に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、各短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 外部縦柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_8 = (M_8 \cdot 10^6) / Z_8$$

σ_8 : 外部縦柱の曲げ応力度 (N/mm²)

M_8 : 外部縦柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_8 : 外部縦柱の断面係数 (mm³)

b. 外部縦柱に生じるせん断応力度

$$\tau_8 = (S_8 \cdot 10^3) / (h_8 \cdot t_8)$$

τ_8 : 外部縦柱のせん断応力度 (N/mm²)

S_8 : 外部縦柱のせん断力 (kN)

h_8 : 外部縦柱のウェブ高 (mm)

t_8 : 外部縦柱のウェブ厚 (mm)

c. 外部縦柱に生じる組合せ応力度

外部縦柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_8^2 + 3 \cdot \tau_8^2} \leq f_t$$

σ_8 : 外部縦柱の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_8 : 外部縦柱のせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(5) 締付ボルト

締付ボルト 1 本あたりの作用荷重を算定し，許容荷重以下であることを確認する。

$$F_{n1} = F_A / n_1$$

F_{n1} : 締付ボルト 1 本あたりの作用荷重 (kN/本)

F_A : 風荷重及び静水圧荷重による全体作用荷重 (kN)

n_1 : 締付ボルト全本数 (本)

(6) 固定プレート

固定プレートに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，固定プレートの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 固定プレートに生じる曲げ応力度

$$\sigma_9 = (M_9 \cdot 10^3) / Z_9$$

σ_9 : 固定プレートの曲げ応力度 (N/mm²)

M_9 : 固定プレートの曲げモーメント (kN・mm)

Z_9 : 固定プレートの断面係数 (mm³)

b. 固定プレートに生じるせん断応力度

$$\tau_9 = (Q_9 \cdot 10^3) / (h_9 \cdot t_9)$$

τ_9 : 固定プレートのせん断応力度 (N/mm²)

Q_9 : 固定プレートのせん断力 (kN)

h_9 : 固定プレートの長さ (mm)

t_9 : 固定プレートの厚さ (mm)

(7) 外部縦柱固定ボルト

外部縦柱固定ボルトに生じる引張応力度及びせん断応力度は応力解析により算定し、外部縦柱固定ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 外部縦柱固定ボルトに生じる引張応力度

$$\sigma_{10} = P_1 / A_1$$

$$P_1 = (M_{10} \cdot 10^3) \cdot \{ L_{11} / (L_{11}^2 + L_{12}^2) \}$$

σ_{10} : 外部縦柱固定ボルトの引張応力度 (N/mm²)

P_1 : 外部縦柱固定ボルト 1 本あたりに作用する引張力 (N)

A_1 : 外部縦柱固定ボルトの断面積 (mm²)

M_{10} : 外部縦柱固定部の曲げモーメント (kN・m)

L_{11} : 固定端から内側のボルトまでの距離 (m)

L_{12} : 固定端から外側のボルトまでの距離 (m)

b. 外部縦柱固定ボルトに生じるせん断応力度

$$\tau_{10} = Q_{10} / A_1$$

$$Q_{10} = N_{10} \cdot 10^3 / n_{10}$$

τ_{10} : 外部縦柱固定ボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_{10} : 外部縦柱固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (N)

A_1 : 外部縦柱固定ボルトの断面積 (mm²)

N_{10} : 外部縦柱固定部のせん断力 (kN)

n_{10} : 外部縦柱固定ボルトの本数 (本)

(8) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$(T_{A1}/T_a)^2 + (Q_{A1}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{A1}/T_a \leq 1.0$$

$$Q_{A1}/Q_a \leq 1.0$$

T_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

Q_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

3.2.5 評価条件

「3.2.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-17及び表3-18に示す。

表3-17 強度評価に用いる条件(1/3)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				5
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	h_h	mm	水圧作用高さ	2500
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	h_k	mm	風荷重作用高さ	0.00
扉板	P_{h1}	kN/m	扉板に作用する静水圧荷重	20.48
	P_{k1}	kN/m	扉板に作用する風荷重	0.00
	L_1	mm	扉板の長さ	610
	Z_1	mm ³	扉板の断面係数	1.35×10^4
	h_1	mm	単位幅あたり高さ	1000
	t_1	mm	扉板の厚さ	9
水密扉戸当り用支柱	P_{k2}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する風荷重	2.57
	L_2	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重作用高さ	0.00
	L_3	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置	2500
	P_{h3}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する静水圧荷重	37.98
	h_{h3}	mm	水密扉戸当り用支柱の静水圧作用高さ	2500
	L_4	mm	水密扉戸当り用支柱の部材長	2500
	Z_4	mm ³	水密扉戸当り用支柱の断面係数	4.72×10^5
	h_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ高	176
	t_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ厚	8

表 3-17 強度評価に用いる条件(2/3)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				5
芯材	P_{h5}	kN/m	芯材に作用する静水圧荷重	10.61
	L_5	mm	対象の芯材の長さ	1520
	Z_5	mm ³	芯材の断面係数	1.15×10^5
	h_5	mm	荷重負担幅	610
	t_5	mm	せん断抵抗部材の厚さ	9
外部縦柱	P_{k6}	kN/m	外部縦柱に作用する風荷重	1.30
	L_6	mm	外部縦柱の風荷重作用長	172
	L_7	mm	外部縦柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置	2586
	P_{h7}	kN/m	外部縦柱に作用する静水圧荷重	19.19
	h_{h7}	mm	外部縦柱の静水圧作用高さ	2500
	Z_8	mm ³	外部縦柱の断面係数	3.34×10^5
	h_8	mm	外部縦柱のウェブ高	224
	t_8	mm	外部縦柱のウェブ厚	9
締付ボルト	F_{n1}	kN/本	締付ボルト 1 本あたりの作用荷重	8.07
	F_A	kN	風荷重及び静水圧荷重による全体作用荷重	48.43
	n_1	本	締付ボルト全本数	6
	F_1	kN	風荷重	0.45
	F_2	kN	静水圧荷重	47.98
	L_8	m	風荷重作用長	0.172
	L_9	m	外部縦柱スパン長	1.520
	W_5	kN/m ²	静水圧	25.25
L_{10}	m	扉高さ	2.500	

表 3-17 強度評価に用いる条件(3/3)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				5
固定プレート	M_9	kN・mm	固定プレートの曲げモーメント	403.50
	F_{n2}	kN/枚	固定プレート1枚あたりに作用する荷重	8.07
	L_p	mm	固定プレート固定端から締付ボルトまでの距離	50
	Q_9	kN	固定プレートのせん断力	8.07
	σ_9	N/mm ²	固定プレートの曲げ応力度	38.73
	Z_9	mm ³	固定プレートの断面係数	10417
	τ_9	N/mm ²	固定プレートのせん断応力度	3.23
	h_9	mm	固定プレートの長さ	100
	t_9	mm	固定プレートの厚さ	25
外部縦柱固定ボルト	σ_{10}	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトの引張応力度	153.56
	P_1	N	外部縦柱固定ボルト1本あたりに作用する引張力	37621
	A_1	mm ²	外部縦柱固定ボルトの断面積	245
	M_{10}	kN・m	外部縦柱固定部の曲げモーメント	7.48
	L_{11}	m	固定端から内側のボルトまでの距離	0.170
	L_{12}	m	固定端から外側のボルトまでの距離	0.070
	τ_{10}	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトのせん断応力度	30.37
	Q_{10}	N	外部縦柱固定ボルト1本あたりに作用するせん断力	7440
	N_{10}	kN	外部縦柱固定部のせん断力	14.88
アンカーボルト	n_{10}	本	外部縦柱固定ボルトの本数	2
	V_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の鉛直荷重	0.00
	N_{A1}	本	アンカーボルト全本数	4
	M_{A1}	kN・m	水密扉戸当り用支柱下端の水平力による曲げモーメント	39.56
	x_{iA1}	m	偏心距離	0.175
	$\sum n \cdot x_{iA1}^2$	m ²	2次モーメントの合計値	0.122
S_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の水平力によるせん断力	47.48	

表 3-18 強度評価に用いる条件(1/3)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				6
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	h_h	mm	水圧作用高さ	2500
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	h_k	mm	風荷重作用高さ	0.00
扉板	P_{h1}	kN/m	扉板に作用する静水圧荷重	20.89
	P_{k1}	kN/m	扉板に作用する風荷重	0.00
	L_1	mm	扉板の長さ	620
	Z_1	mm ³	扉板の断面係数	1.35×10^4
	h_1	mm	単位幅あたり高さ	1000
	t_1	mm	扉板の厚さ	9
水密扉戸当り用支柱	P_{k2}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する風荷重	2.54
	L_2	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重作用高さ	0.00
	L_3	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置	2500
	P_{h3}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する静水圧荷重	37.50
	h_{h3}	mm	水密扉戸当り用支柱の静水圧作用高さ	2500
	L_4	mm	水密扉戸当り用支柱の部材長	2500
	Z_4	mm ³	水密扉戸当り用支柱の断面係数	4.72×10^5
	h_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ高	176
	t_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ厚	8

表 3-18 強度評価に用いる条件(2/3)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				6
芯材	P_{h5}	kN/m	芯材に作用する静水圧荷重	11.01
	L_5	mm	対象の芯材の長さ	1480
	Z_5	mm ³	芯材の断面係数	1.15×10^5
	h_5	mm	荷重負担幅	620
	t_5	mm	せん断抵抗部材の厚さ	9
外部縦柱	P_{k6}	kN/m	外部縦柱に作用する風荷重	1.27
	L_6	mm	外部縦柱の風荷重作用長	172
	L_7	mm	外部縦柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置	2586
	P_{h7}	kN/m	外部縦柱に作用する静水圧荷重	18.69
	h_{h7}	mm	外部縦柱の静水圧作用高さ	2500
	Z_8	mm ³	外部縦柱の断面係数	3.34×10^5
	h_8	mm	外部縦柱のウェブ高	224
	t_8	mm	外部縦柱のウェブ厚	9
締付ボルト	F_{n1}	kN/本	締付ボルト 1 本あたりの作用荷重	7.86
	F_A	kN	風荷重及び静水圧荷重による全体作用荷重	47.15
	n_1	本	締付ボルト全本数	6
	F_1	kN	風荷重	0.44
	F_2	kN	静水圧荷重	46.71
	L_8	m	風荷重作用長	0.172
	L_9	m	外部縦柱スパン長	1.480
	W_5	kN/m ²	静水圧	25.25
L_{10}	m	扉高さ	2.500	

表 3-18 強度評価に用いる条件(3/3)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				6
固定プレート	M_9	kN・mm	固定プレートの曲げモーメント	393.00
	F_{n2}	kN/枚	固定プレート1枚あたりに作用する荷重	7.86
	L_p	mm	固定プレート固定端から締付ボルトまでの距離	50
	Q_9	kN	固定プレートのせん断力	7.86
	σ_9	N/mm ²	固定プレートの曲げ応力度	37.73
	Z_9	mm ³	固定プレートの断面係数	10417
	τ_9	N/mm ²	固定プレートのせん断応力度	3.14
	h_9	mm	固定プレートの長さ	100
	t_9	mm	固定プレートの厚さ	25
外部縦柱固定ボルト	σ_{10}	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトの引張応力度	156.43
	P_1	N	外部縦柱固定ボルト1本あたりに作用する引張力	38325
	A_1	mm ²	外部縦柱固定ボルトの断面積	245
	M_{10}	kN・m	外部縦柱固定部の曲げモーメント	7.62
	L_{11}	m	固定端から内側のボルトまでの距離	0.170
	L_{12}	m	固定端から外側のボルトまでの距離	0.070
	τ_{10}	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトのせん断応力度	30.71
	Q_{10}	N	外部縦柱固定ボルト1本あたりに作用するせん断力	7525
	N_{10}	kN	外部縦柱固定部のせん断力	15.05
アンカーボルト	n_{10}	本	外部縦柱固定ボルトの本数	2
	V_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の鉛直荷重	0.00
	N_{A1}	本	アンカーボルト全本数	4
	M_{A1}	kN・m	水密扉戸当り用支柱下端の水平力による曲げモーメント	39.06
	x_{iA1}	m	偏心距離	0.175
	$\sum n \cdot x_{iA1}^2$	m ²	2次モーメントの合計値	0.122
S_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の水平力によるせん断力	46.88	

3.3 取水槽除じん機エリア水密扉（北）（水密扉 No.7）

3.3.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重に伴う荷重は、扉板から扉枠に伝わり、扉枠を固定する防水壁（水密扉戸当り用支柱）を介し、躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、水密扉戸当り用支柱及びアンカーボルトとする。

水密扉閉止時に水密扉に作用する荷重の作用図を図 3-22 に示す。

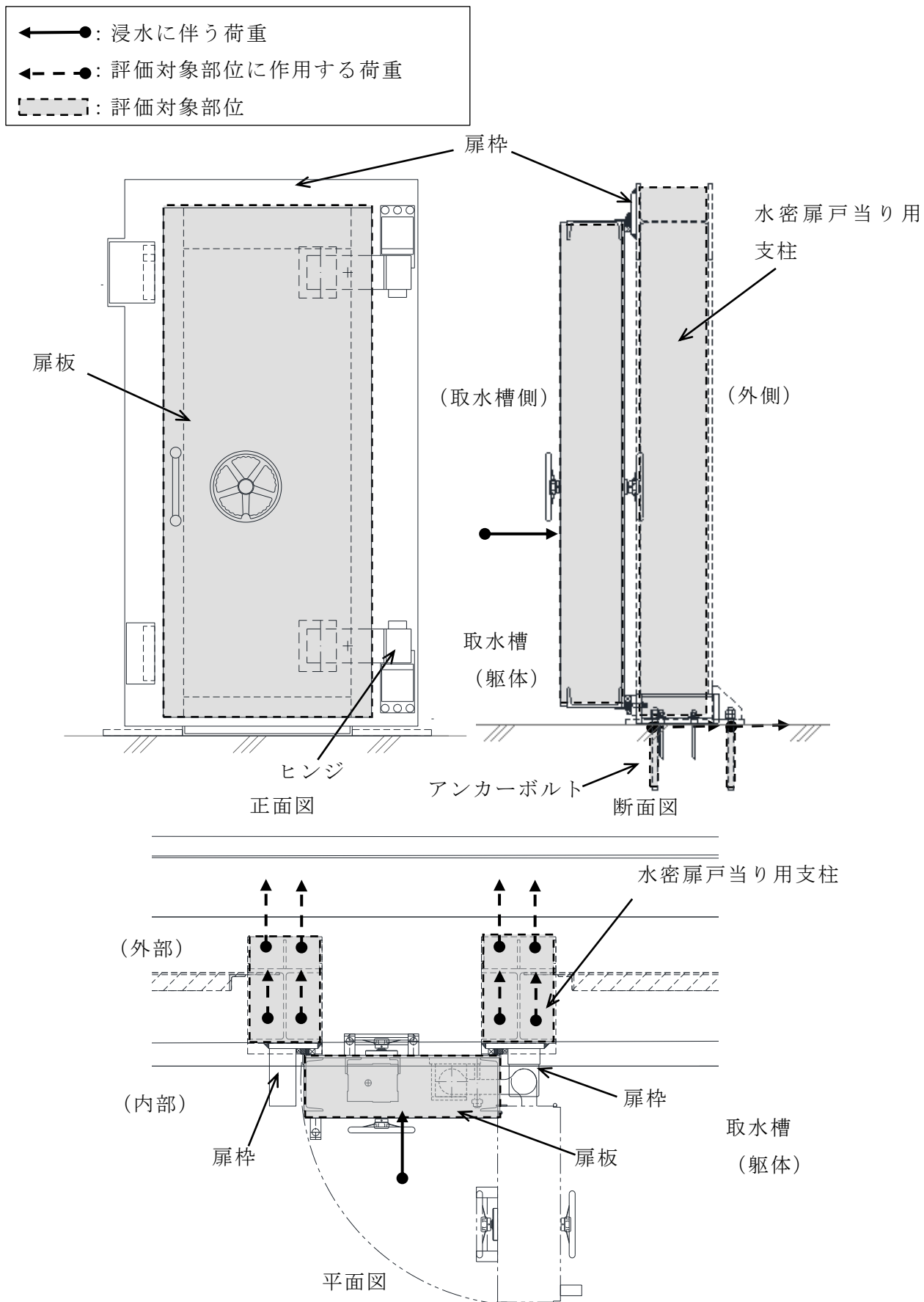


図 3-22 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉閉止時)

3.3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波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の組合せを踏まえて設定する。

3.3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

浸水に伴う奥行き 1.0m あたりの静水圧荷重を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の密度に当該部分の浸水深さを考慮した静水圧作用高さを乗じた次式により算出する。

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

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h_h : 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 3-19 に示す。

表 3-19 水圧作用高さ及び水の密度

水圧作用高さ h_h (mm)	水の密度 ρ_o (t/m ³)
2500	1.03

(2) 風荷重 (P_k)

風速 30m/s 時の風圧力の荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に当該部分の風荷重作用高さを乗じた次式により算出する。当該水密扉は扉天端まで浸水を考慮するため、風荷重を考慮しない。

風荷重の算定に用いる風荷重作用高さ及び風圧力を表 3-20 に示す。

$$P_k = w \cdot h_k \cdot 10^{-3}$$

P_k : 風荷重 (kN/m)

w : 風圧力 (kN/m²)
 h_k : 風荷重作用高さ (mm)

表 3-20 風荷重作用高さ及び風圧力

設備名称	風荷重作用高さ h _k (mm)	風圧力 w (kN/m ²)
取水槽除じん機エリア 水密扉 (北)	0	1.71

3.3.2.2 荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記のとおりを設定する。

$$P_h + P_k$$

P_h : 静水圧荷重
 P_k : 風荷重

3.3.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

3.3.3.1 使用材料

水密扉を構成する扉板，水密扉戸当り用支柱及びアンカーボルトの使用材料を表 3-21 に示す。

表 3-21 扉板，水密扉戸当り用支柱，アンカーボルトの使用材料

評価対象部位	材質	仕様
扉板	SS400	PL-12
水密扉戸当り用 支柱	SS400	H-350×350×12×19
アンカーボルト	SUS304	M24

3.3.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S 規準」を踏まえて表 3-22 の値とする。

表 3-22 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	引張	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *	235	235	135

注記* : t は板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.3.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した、表3-23の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが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付着力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、評価対象部位のアンカーボルトが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より決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力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3-23 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
7	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	72	27

3.3.4 評価方法

水密扉の強度評価式は，VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.3.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は，等分布荷重を受ける四辺固定の矩形板として算定する。この時，実際に作用する静水圧荷重は三角形分布であるが，最下端部の扉板中央の静水圧が等分布に作用するとして評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3-23 に示す。

$$M_1 = M_{x1} \cdot P_{h1} \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2$$

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m)

M_{x1} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

P_{h1} : 扉板に作用する静水圧荷重 (kN/m)

L_1 : 短辺方向の長さ (mm)

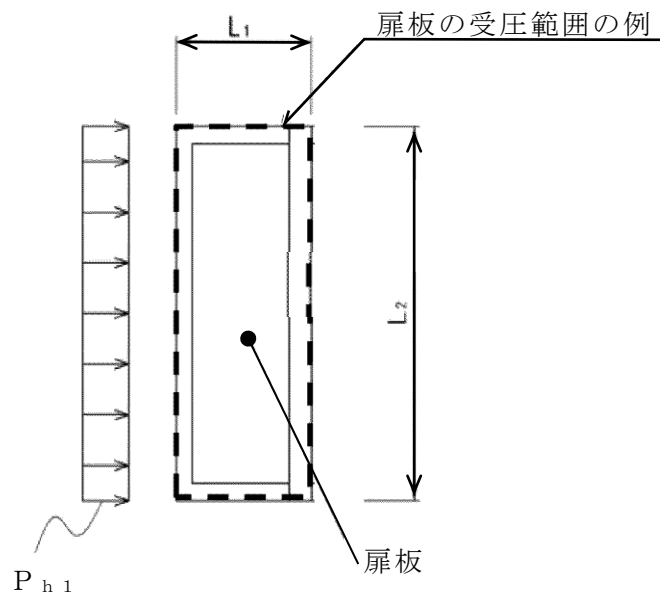


図 3-23 扉板に生じる荷重の例

(2) 水密扉戸当り用支柱

水密扉戸当り用支柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちばりとして計算する。なお静水圧荷重は三角形分布に作用するものとし、風荷重は等分布に作用するものとして、安全側に評価する。水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例を図 3-24 に示す。

$$M_2 = P_{k2} \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot 10^{-6}$$

$$S_2 = P_{k2} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$$

M_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重による曲げモーメント (kN・m)

S_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重によるせん断力 (kN)

P_{k2} : 水密扉戸当り用支柱に作用する風荷重 (kN/m)

L_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重作用高さ (mm)

L_3 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置 (mm)

$$M_3 = 1/6 \cdot P_{h3} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-6}$$

$$S_3 = 1/2 \cdot P_{h3} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

M_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重による曲げモーメント (kN・m)

S_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重によるせん断力 (kN)

P_{h3} : 水密扉戸当り用支柱に作用する静水圧荷重 (kN/m)

L_4 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧作用高さ (mm)

$$M_4 = M_2 + M_3$$

$$S_4 = S_2 + S_3$$

M_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント (kN・m)

S_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断力 (kN)

M_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重による曲げモーメント (kN・m)

M_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重による曲げモーメント (kN・m)

S_2 : 水密扉戸当り用支柱の風荷重によるせん断力 (kN)

S_3 : 水密扉戸当り用支柱の静水圧荷重によるせん断力 (kN)

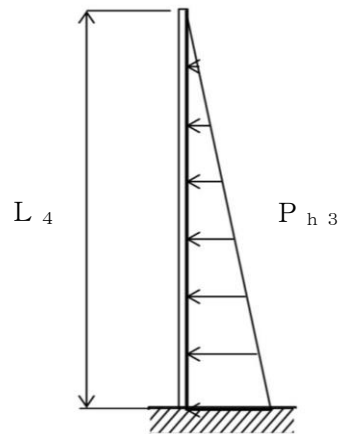


図 3-24 水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる力は、水密扉戸当り用支柱下端の断面力を基に算出する。

$$T_{A1} = V_{A1} / N_{A1} + M_{A1} \cdot x_{iA1} / \sum n \cdot x_{iA1}^2$$

$$Q_{A1} = S_{A1} / N_{A1}$$

T_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN/本)

Q_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN/本)

V_{A1} : 水密扉戸当り用支柱下端の鉛直荷重 (kN)

N_{A1} : アンカーボルト全本数 (本)

M_{A1} : 水密扉戸当り用支柱下端の水平力による曲げモーメント
(kN・m)

x_{iA1} : 偏心距離 (m)

$\sum n \cdot x_{iA1}^2$: 2 次モーメントの合計値 (m²)

S_{A1} : 水密扉戸当り用支柱下端の水平力によるせん断力 (kN)

3.3.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が，許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し，扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 扉板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_1 : 扉板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³)

(2) 水密扉戸当り用支柱

水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、水密扉戸当り用支柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 (N/mm²)

M_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : 水密扉戸当り用支柱の断面係数 (mm³)

b. 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度

$$\tau_4 = (S_4 \cdot 10^3) / (h_4 \cdot t_4)$$

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 (N/mm²)

S_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断力 (kN)

h_4 : 水密扉戸当り用支柱のウェブ高 (mm)

t_4 : 水密扉戸当り用支柱のウェブ厚 (mm)

c. 水密扉戸当り用支柱に生じる組合せ応力度

水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq f_t$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$(T_{A1}/T_a)^2 + (Q_{A1}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{A1}/T_a \leq 1.0$$

$$Q_{A1}/Q_a \leq 1.0$$

T_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

Q_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

3.3.5 評価条件

「3.3.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-24に示す。

表3-24 強度評価に用いる条件(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				7
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	h_h	mm	水圧作用高さ	2500
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	h_k	mm	風荷重作用高さ	0
扉板	M_{x1}	-	等分布荷重による曲げ応力算定の係数	0.083
	P_{h1}	kN/m	扉板に作用する静水圧荷重	25.25
	L_1	mm	短辺方向の長さ	920
	Z_1	mm ³	扉板の断面係数	24000
水密扉戸当り用支柱	P_{k2}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する風荷重	2.14
	L_2	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重作用高さ	0
	L_3	mm	水密扉戸当り用支柱の風荷重を集中荷重にした時の作用位置	2500
	P_{h3}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する静水圧荷重	31.56
	L_4	mm	水密扉戸当り用支柱の静水圧作用高さ	2500
	Z_4	mm ³	水密扉戸当り用支柱の断面係数	2.28×10^6
	h_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ高	312
	t_4	mm	水密扉戸当り用支柱のウェブ厚	12

表 3-24 強度評価に用いる条件(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				7
アンカー ボルト	V_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の鉛直荷重	0.00
	N_{A1}	本	アンカーボルト全本数	4
	M_{A1}	kN・m	水密扉戸当り用支柱下端の水平力による曲げモーメント	32.88
	x_{iA1}	m	偏心距離	0.175
	$\sum n \cdot x_{iA1}^2$	m ²	2次モーメントの合計値	0.122
	S_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱下端の水平力によるせん断力	39.45

4. 評価結果

強度評価結果を表 4-1～表 4-2 に示す。水密扉及びパネル部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、水密扉が構造健全性を有することを確認した。

図 4-1 にパネル部の各部材毎に検定比が最大となる代表部材を示す。

表 4-1 水密扉の強度評価結果 (1/3)

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値
1	扉板	曲げ	14	215	0.07
	芯材	曲げ	36	235	0.16
		せん断	12	135	0.09
	カンヌキ	曲げ	38	205	0.19
		せん断	3	118	0.03
		組合せ	39	205	0.20
アンカー ボルト*	引張	6	29	0.21	
2	扉板	曲げ	37	235	0.16
	芯材	曲げ	23	235	0.10
		せん断	14	135	0.11
	アンカー ボルト*	せん断	4	36	0.12
3	扉板	曲げ	28	215	0.14
	芯材	曲げ	81	235	0.35
		せん断	24	135	0.18
	カンヌキ	曲げ	75	205	0.37
		せん断	6	118	0.06
		組合せ	76	205	0.38

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 4-1 水密扉の強度評価結果 (2/3)

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値
4	扉板	曲げ	12	215	0.06
	芯材	曲げ	42	235	0.18
		せん断	12	135	0.09
	カンヌキ	曲げ	39	205	0.20
		せん断	3	118	0.03
		組合せ	40	205	0.20
	アンカー ボルト*	引張	4	26	0.16
せん断		4	19	0.22	
5	扉板	曲げ	71	235	0.31
		せん断	1	135	0.01
	水密扉戸当り用 支柱	曲げ	84	235	0.36
		せん断	34	135	0.26
		組合せ	103	235	0.44
	芯材	曲げ	27	235	0.12
		せん断	2	135	0.02
	外部縦柱	曲げ	62	235	0.27
		せん断	13	135	0.10
		組合せ	66	235	0.29
	締付ボルト	圧縮	9	58	0.16
	固定プレート	曲げ	39	235	0.17
		せん断	4	135	0.03
		組合せ	40	235	0.18
	外部縦柱固定 ボルト	引張	154	235	0.66
		せん断	31	135	0.23
	アンカー ボルト*	引張	57	90	0.64
せん断		12	51	0.24	
組合せ		—	—	0.45	

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 4-1 水密扉の強度評価結果 (3/3)

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値
6	扉板	曲げ	75	235	0.32
		せん断	1	135	0.01
	水密扉戸当り用 支柱	曲げ	83	235	0.36
		せん断	34	135	0.26
		組合せ	101	235	0.43
	芯材	曲げ	27	235	0.12
		せん断	2	135	0.02
	外部縦柱	曲げ	60	235	0.26
		せん断	12	135	0.09
		組合せ	64	235	0.28
	締付ボルト	圧縮	8	58	0.14
	固定プレート	曲げ	38	235	0.17
		せん断	4	135	0.03
		組合せ	39	235	0.17
	外部縦柱固定 ボルト	引張	157	235	0.67
せん断		31	135	0.23	
アンカー ボルト*	引張	57	90	0.64	
	せん断	12	51	0.24	
	組合せ	—	—	0.44	
7	扉板	曲げ	74	235	0.32
	水密扉戸当り用 支柱	曲げ	15	235	0.07
		せん断	11	135	0.09
		組合せ	24	235	0.11
	アンカー ボルト*	引張	48	72	0.67
		せん断	10	27	0.38
組合せ		—	—	0.56	

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 4-2 パネル部の強度評価結果

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容 限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	
3	パネル部	パネル板	曲げ	97	235	0.42
		パネル 芯材	曲げ	17	235	0.08
			せん断	10	135	0.08
		柱	曲げ (強軸)	25	229	0.11
			曲げ (弱軸)	62	229	0.28
			せん断	13	135	0.10
			軸力	1	235	0.01
			組合せ (曲げ+軸力)	—	—	0.40
			組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	91	235	0.39
			はり	曲げ (強軸)	12	234
		曲げ (弱軸)		15	234	0.07
		せん断		36	135	0.27
		軸力		1	235	0.01
		組合せ (曲げ+軸力)		—	—	0.14
		組合せ (曲げ+せん断 +軸力)		69	235	0.30
		アンカー ボルト*	せん断	10	25	0.40
			引張	20	29	0.69
			組合せ (せん断+引張)	—	—	0.64

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

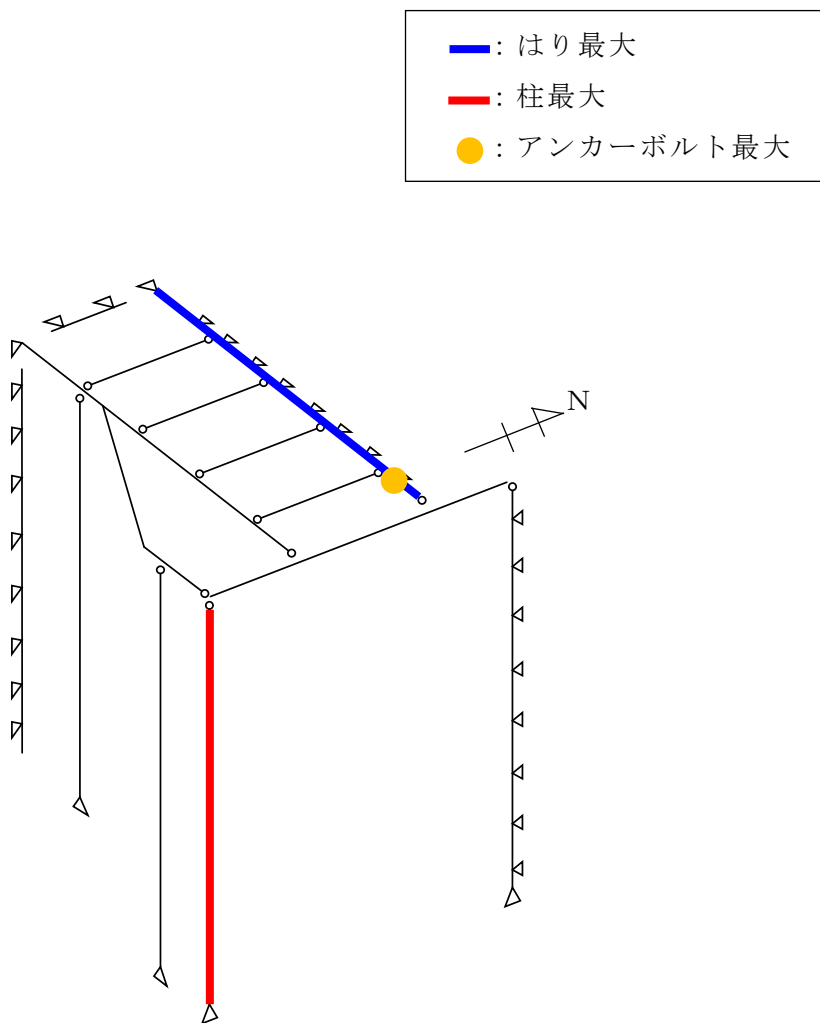


図 4-1 検定比最大箇所 (パネル部)

VI-3-別添 3-2-7 床ドレン逆止弁の強度計算書

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	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	10
4.1 固有周期の計算方法	10
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重及び荷重の組合せ	14
5.3 許容応力	15
5.4 設計用地震力	18
5.5 計算方法	19
5.6 計算条件	26
6. 評価結果	32
6.1 構造強度評価結果	32
6.2 機能維持評価結果	33

1. 概要

本資料は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち床ドレン逆止弁が津波によって生じる突き上げ津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

強度評価の対象施設となる床ドレン逆止弁の配置計画は、VI-3-別添3-1「津波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」にて示す。

2.2 構造計画

床ドレン逆止弁は、VI-3-別添3-1「津波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」にて示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を決定する。床ドレン逆止弁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	基礎・支持構造	
80A 型 (ボルト取付式)	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	弁本体を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	
300A 型 (ボルト取付式)			
80A 型 (ねじ込み取付式)		配管の取付部に直接ねじ込み固定とする。	

2.3 評価方針

床ドレン逆止弁の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、構造強度評価及び機能維持評価により実施する。構造強度評価では、床ドレン逆止弁の評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。また、機能維持評価を実施する評価部位については、評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。構造強度評価及び機能維持評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

床ドレン逆止弁の強度評価フローを図 2-1 に示す。床ドレン逆止弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、突き上げ津波荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、突き上げ津波荷重と余震荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。余震荷重の設定にあたっては、弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた設置床の最大応答加速度を考慮して設計震度を設定する。

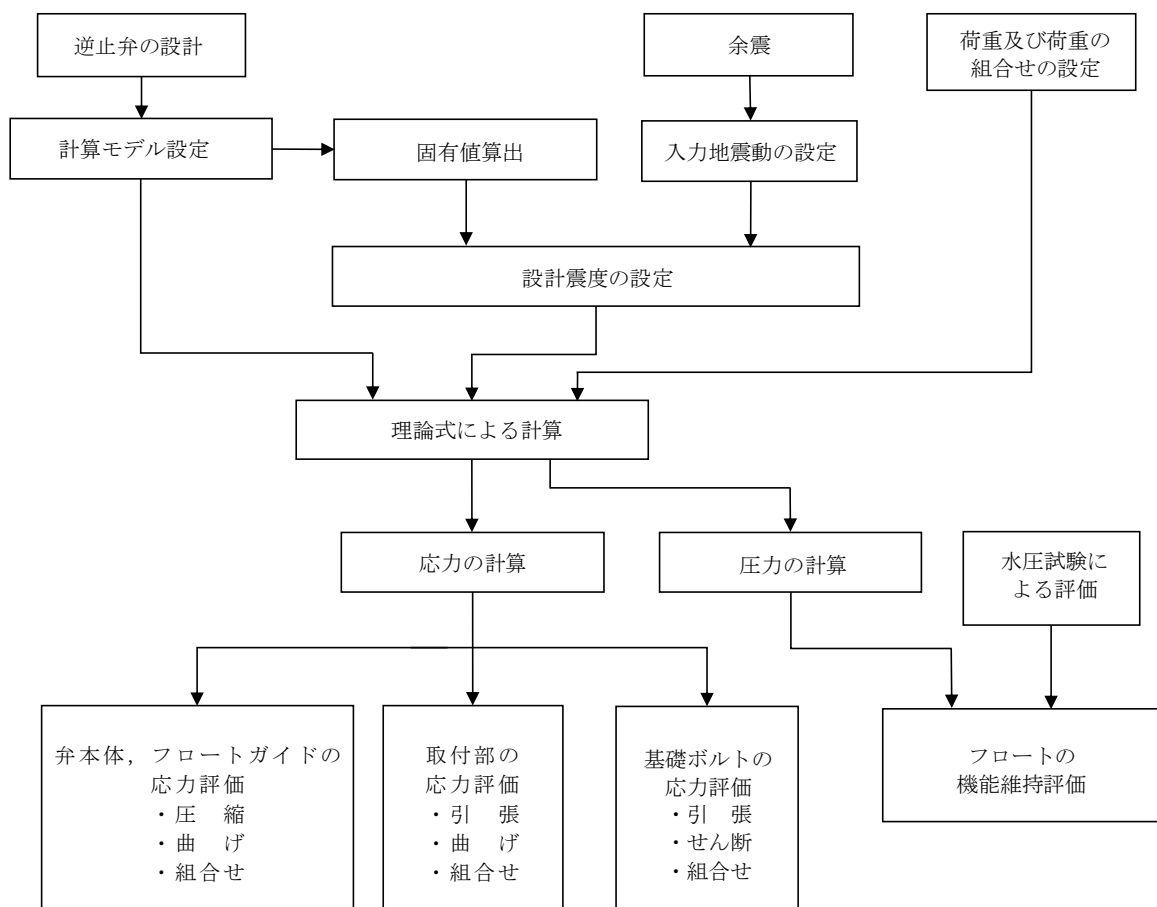


図 2-1 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)

2.5 記号の説明

床ドレン逆止弁の固有周期の計算に用いる記号及び構造強度評価に用いる記号を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2 床ドレン逆止弁の固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A	モデル化に用いるフロートガイドの有効断面積	mm ²
d _m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D _{f m}	モデル化に用いるフロートガイドの直径	mm
D _m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数	MPa
f	床ドレン逆止弁の固有振動数	Hz
T	床ドレン逆止弁の固有周期	s
I _a	モデル化に用いるフロートガイド 1 本の断面二次モーメント	mm ⁴
I _m	モデルの等価断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m 1}	モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m 2}	モデル化に用いるフロートガイドの等価断面二次モーメント	mm ⁴
k	モデルのばね定数	N/m
ℓ ₁	モデル化に用いる弁本体の長さ	mm
ℓ ₂	モデル化に用いるフロートガイドの長さ	mm
m	モデル化に用いる弁の全質量	kg
n _f	フロートガイドの本数	本
y _g	フロートガイドの図心 G と X 軸の距離	mm

表 2-3 床ドレン逆止弁の構造強度評価に用いる記号（その 1）

記号	記号の説明	単位
C_{Hsd}	余震による水平方向の設計震度	—
C_{Vsd}	余震による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_3	フロートガイドの最小断面積	mm^2
A_4	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_5	基礎ボルトの断面積	mm^2
A_6	重畳時に基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_7	配管の最小断面積	mm^2
A_8	重畳時に取付部に作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
C_d	抗力係数	—
D_1	弁本体の外径	mm
D_2	重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
D_3	フロートガイドの最小直径	mm
D_4	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
D_5	重畳時に基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
D_6	配管の外径	mm
D_7	重畳時に取付部に作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
d_1	弁本体の内径	mm
d_2	配管の内径（取付部の最小内径）	mm
D_p	基礎ボルトの水平間距離	mm
f_t	設計・建設規格 SSB-3131(1)に定める値	MPa
f_s	設計・建設規格 SSB-3131.1(2)に定める値	MPa
F_{H1}	弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{H2}	フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{V1}	弁本体に加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{V2}	フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
h	突き上げ津波荷重の算出に用いる水頭	m
I_1	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
I_2	フロートガイドの断面二次モーメント	mm^4
I_3	配管の断面二次モーメント	mm^4

表 2-3 床ドレン逆止弁の構造強度評価に用いる記号（その 2）

記号	記号の説明	単位
L_1	弁全体の長さ	mm
L_2	フロートガイドの長さ	mm
L_3	取付部境界から弁下端までの長さ	mm
m_1	弁の全質量	kg
m_2	フロートガイド 1 本当たりの質量	kg
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	N・mm
M_2	フロートガイドに発生する曲げモーメント	N・mm
M_3	取付部境界の配管に発生する曲げモーメント	N・mm
n	基礎ボルトの本数	本
n_f	フロートガイドの本数	本
D	固定荷重	N
P_t	突き上げ津波荷重	MPa
P_w	フロートに発生する圧力	MPa
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
U	津波の最大流速（鉛直方向）	m/s
W_{d1}	弁本体自重	N
W_{d2}	フロートガイド自重	N
ρ_o	海水の密度	kg/m ³
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力	MPa
σ_{H3}	取付部境界の配管に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる圧縮応力（重畳時）	MPa
σ_{V2}	フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力（重畳時）	MPa
σ_{V3}	基礎ボルト 1 本当たりに加わる引張応力（重畳時）	MPa
σ_{V4}	モーメントにより基礎ボルト 1 本当たりに加わる引張応力（重畳時）	MPa
σ_{V5}	配管の最小断面積に加わる引張応力（重畳時）	MPa
τ_3	基礎ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力	MPa
f_{t_o}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力（ f_t を 1.5 倍した値）	MPa
f_{t_s}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
τ	ボルトに作用するせん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-4 に示すとおりである。

表 2-4 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

床ドレン逆止弁の評価部位は、VI-3-別添 3-1「津波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部位を踏まえて、突き上げ津波荷重の作用方向及び伝達過程を考慮して設定する。

重畳時に床ドレン逆止弁下流からの突き上げ津波荷重及び鉛直方向の余震荷重が負荷される場合は、弁本体及びフロートガイドに圧縮力が作用する。基礎ボルト取付式の場合、基礎ボルトには引張力が作用し、ねじ込み取付式の場合、取付部には引張力が作用する。また、床ドレン逆止弁下流からの突き上げ津波荷重によりフロートが弁座に密着し閉弁状態となる際にフロートに圧縮力が作用する。一方、水平方向の余震荷重が負荷される場合は、弁本体及びフロートガイドには曲げモーメントが作用する。基礎ボルト取付式の場合、基礎ボルトにはせん断力及びモーメントによる引張力が作用し、ねじ込み取付式の場合、取付部には曲げモーメントが作用する。

このことから、強度評価においては、構造強度評価による評価部位として、弁本体、フロートガイド、基礎ボルト及び取付部を選定し、機能維持評価による評価部位としてフロートを選定する。床ドレン逆止弁の評価部位について、表 2-1 の構造概略図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

床ドレン逆止弁の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 一方の端を固定端，他方の端を自由端とした図 4-1 に示す 1 質点系振動モデルとする。
- b. 質量の不均一性を考慮して，自由端に弁の全質量が集中したモデルとする。
- c. モデル化は，円筒状の弁本体及び円柱状のフロートガイドの異なる 2 つの断面をもつ梁の組合せとして設定する。

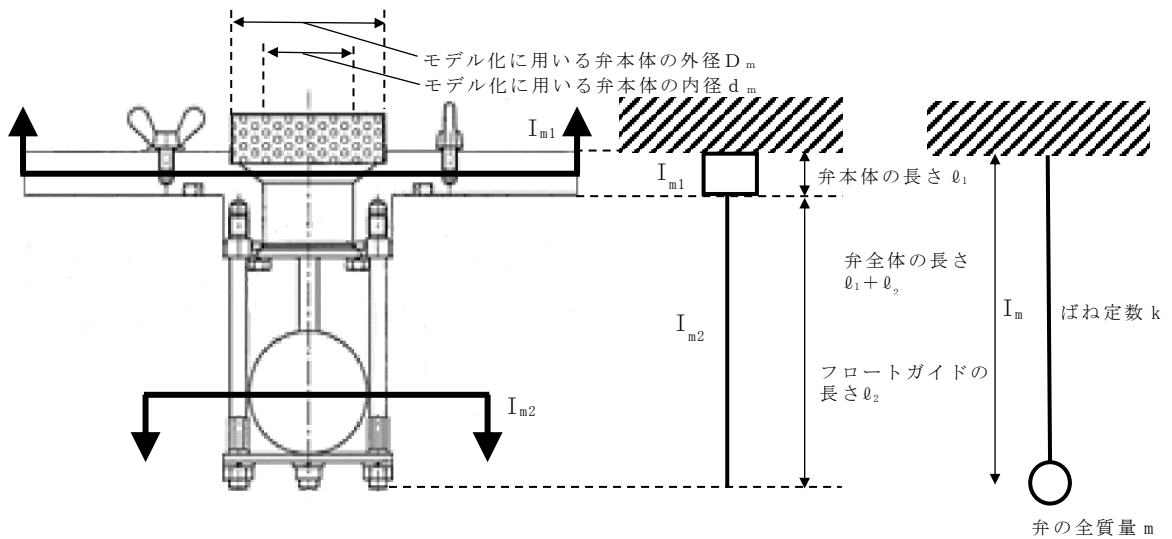


図 4-1 床ドレン逆止弁のモデル化の概略

(2) 固有周期の計算

水平方向の固有周期 T を以下の式より算出する。なお，鉛直方向の固有周期については，床ドレン逆止弁の構造上，水平方向よりも鉛直方向の方が剛性が高いため，水平方向の固有周期のみを確認する。

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

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(\ell_1 + \ell_2)^3} \times 10^3$$

モデルの等価断面二次モーメント I_m の算出過程を以下に示す。

- a. モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント

モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント I_{m1} は、以下の式より算出する。

$$I_{m1} = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

- b. モデル化に用いるフロートガイドの等価断面二次モーメント

平行軸の定理から、フロートガイドの図心 G と X 軸の距離 y_g を用いて、モデル化に用いるフロートガイドの等価断面二次モーメント I_{m2} は、以下の式より算出する。フロートガイドの断面を図 4-2 に示す。

$$I_a = D_{fm}^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_{m2} = 2 \cdot I_a + (n_f - 2) \cdot (I_a + (y_g)^2 \cdot A)$$

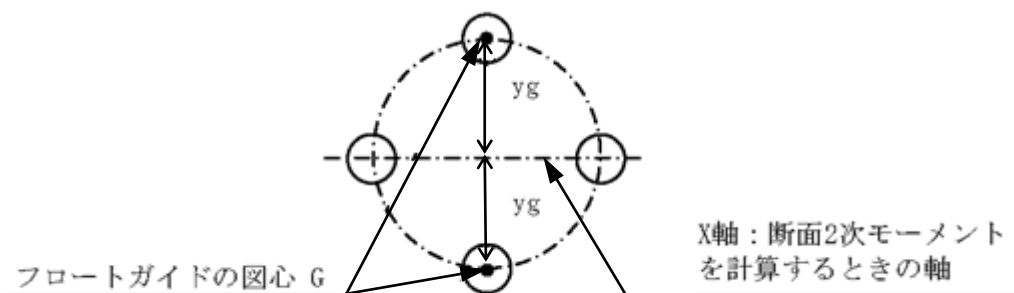


図 4-2 フロートガイドの断面 (4本の例)

- c. モデルの等価断面二次モーメント

モデルの等価断面二次モーメント I_m は、以下の式より算出する。

$$I_m = \frac{(\ell_1 + \ell_2)^3 \cdot I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} \cdot \ell_2^3 + I_{m2} \cdot (\ell_1^3 + 3\ell_1 \cdot \ell_2^2 + 3\ell_1^2 \cdot \ell_2)}$$

4.2 固有周期の計算条件

床ドレン逆止弁の 80A 型（ボルト取付式）、300A 型（ボルト取付式）及び 80A 型（ねじ込み取付式）における固有周期の計算条件を表 4-1、表 4-2 及び表 4-3 に示す。

表 4-1 80A 型（ボルト取付式）の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d _m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D _{f m} (mm)
SUS316L	5	72	38	7

フロートガイドと 図心 G と X 軸の 距離 y _g (mm)	モデル化に用いる 弁本体の長さ ℓ ₁ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 長さ ℓ ₂ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 縦弾性係数* E (MPa)	フロートガイド の本数 n _f (本)
30	37	102	1.94×10 ⁵	4

注記*：「5.3 許容応力」における温度条件での縦弾性係数 E を用いる。

表 4-2 300A 型（ボルト取付式）の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d _m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D _{f m} (mm)
SUS316L	35	182	90	10

フロートガイドと 図心 G と X 軸の距 離 y _g (mm)	モデル化に用いる 弁本体の長さ ℓ ₁ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 長さ ℓ ₂ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 縦弾性係数* E (MPa)	フロートガイド の本数 n _f (本)
70.1	27	215	1.94×10 ⁵	6

注記*：「5.3 許容応力」における温度条件での縦弾性係数 E を用いる。

表 4-3 80A 型（ねじ込み取付式）の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる 弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる 弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる 弁本体の内径 d _m (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 直径 D _{f m} (mm)
SUS304	2.19	72	38	7

フロートガイドと 図心GとX軸の 距離 y _g (mm)	モデル化に用いる 弁本体の長さ ℓ ₁ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 長さ ℓ ₂ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 縦弾性係数* E (MPa)	フロートガイド の本数 n _f (本)
30	20	110	1.94×10 ⁵	4

注記*：「5.3 許容応力」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-4 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05s 以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-4 固有周期の計算結果

型式	固有周期 (s)
80A 型（ボルト取付式）	0.002
300A 型（ボルト取付式）	0.006
80A 型（ねじ込み取付式）	0.002

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

床ドレン逆止弁の構造強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波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。

床ドレン逆止弁の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.3 許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限

界を踏まえ、「5.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波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用いる。

5.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁本体の自重 W_{d1} 及びフロートガイドの自重 W_{d2} を以下の式より算出する。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g$$

(2) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、基準津波による水位及び流速を考慮する。
突き上げ津波荷重は以下の式より算出する。

$$P_t = \rho_o \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho_o \cdot U^2$$

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力とする。

余震による地震荷重 F_{H1} 、 F_{H2} 、 F_{V1} 、 F_{V2} を以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_{HSd} \cdot g$$

$$F_{H2} = m_2 \cdot C_{HSd} \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_{VSd} \cdot g$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_{VSd} \cdot g$$

5.2.2 荷重の組合せ

床ドレン逆止弁の強度計算にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 床ドレン逆止弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ
浸水防護施設 (浸水防止設備)	床ドレン逆止弁	$D + P_t + S_d$ *1, *2

注記*1: Dは固定荷重, P_t は突き上げ津波荷重, S_d は余震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び余震荷重 (S_d) の組合せ荷重が, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 (P_t) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組み合わせない。

5.3 許容応力

床ドレン逆止弁の許容限界は, VI-3-別添 3-1「津波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, 「3. 評価部位」にて設定している評価部位ごとに, 機能損傷モードを考慮し, 弁本体, フロートガイド, 基礎ボルト及び取付部については, 設計・建設規格に準じた供用状態 C の許容応力を用いる。

フロートについては, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では, 床ドレン逆止弁の閉状態に対して, 静水圧 0.30MPa をフロートに負荷し, 有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

床ドレン逆止弁の弁本体, フロートガイド, 基礎ボルト及び取付部の許容限界を表 5-2 に, 許容応力評価条件を表 5-3 に, 許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。また, フロートの許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-2 弁本体, フロートガイド, 基礎ボルト及び取付部の許容限界

供用状態 (許容応力状態)	許容限界*1 (ボルト以外)			許容限界*2 (ボルト)		
	一次応力			一次応力		
	圧縮/引張	曲 げ	組合せ*3	引 張	せん断	組合せ*4
C (Ⅲ _A S) *5	$1.2 \cdot S$	$1.2 \cdot S$	$1.2 \cdot S$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	f_{ts}

注記*1: 圧縮/引張及び曲げは, J E A G 4 6 0 1・補-1984 を準用し, 「管」の許容限界のうちクラス 2, 3 配管に対する許容限界に準じて設定する。

*2: 引張及びせん断は, J E A G 4 6 0 1・補-1984 を準用し, 「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。組合せは, 設計・建設規格による。

*3：圧縮／引張応力と曲げ応力の組合せである。

*4：せん断応力と引張応力の組合せ応力

せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 f_{ts} は、次のいずれか小さい方の値

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_{ts} = f_{to}$$

*5：地震後の再使用性や津波による溢水の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の許容応力評価条件

型式	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
80A 型 (ボルト取 付式)	弁本体	SUS316L	40	111	—	—	—
	フロート ガイド	SUS316L	40	111	—	—	—
	基礎ボルト	SUS316L	40	—	175	480	175
300A 型 (ボルト取 付式)	弁本体	SUS316L	40	111	—	—	—
	フロート ガイド	SUS316L	40	111	—	—	—
	基礎ボルト	SUS316L	40	—	175	480	175
80A 型 (ねじ込み 取付式)	弁本体	SUS303*	40	129	—	—	—
	フロート ガイド	SUS304	40	129	—	—	—
	取付部	SUS304TP	40	129	—	—	—

注記*：SUS304 相当

表 5-4 弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の許容応力算出結果

供用状態 (許容応力 状態)	型式	評価部位	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)		
			一次応力			一次応力		
			圧縮／ 引張 $1.2 \cdot S$ (MPa)	曲 げ $1.2 \cdot S$ (MPa)	組合せ $1.2 \cdot S$ (MPa)	引 張 $1.5 \cdot f_t$ (MPa)	せん断 $1.5 \cdot f_s$ (MPa)	組合せ f_{ts} (MPa)
C (Ⅲ _A S)	80A 型 (ボルト 取付 式)	弁本体	133	133	133	—	—	—
		フロート ガイド	133	133	133	—	—	—
		基礎ボルト	—	—	—	105	80	105
	300A 型 (ボルト 取付 式)	弁本体	133	133	133	—	—	—
		フロート ガイド	133	133	133	—	—	—
		基礎ボルト	—	—	—	105	80	105
	80A 型 (ねじ 込み取 付式)	弁本体	154	154	154	—	—	—
		フロート ガイド	154	154	154	—	—	—
		取付部	154	154	154	—	—	—

表 5-5 フロートの許容限界

評価部位	水圧試験の圧力 (MPa)
フロート	0.3

5.4 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

弾性設計用地震動 S d による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力

地震動	据付場所及び 床面高さ*1 (m)	余震による設計震度*2	
		水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
弾性設計用地震動 S d	取水槽 EL 1.1	1.31*3	0.99*3
	タービン建物 EL 2.0		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：耐震計算に用いる設計震度は、床ドレン逆止弁が設置されている各基準床レベルのうち、最大となる設計震度を設定した。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

5.5 計算方法

(1) 弁本体

a. 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により，弁本体に加わる圧縮応力 σ_{V1} を以下の式より算出する。また，突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積 A_2 は，弁本体のうち波圧を受ける面積が最も広い箇所を適用し，突き上げ津波荷重が弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 から求める。弁本体の断面積 A_1 は，図 5-1 に示すとおり，弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし，弁本体自重 W_{d1} と弁本体に加わる鉛直下向きの地震荷重 F_{V1} は，圧縮応力 σ_{V1} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{V1} = \frac{W_{d1} + F_{V1} + P_t \cdot A_2}{A_1}$$

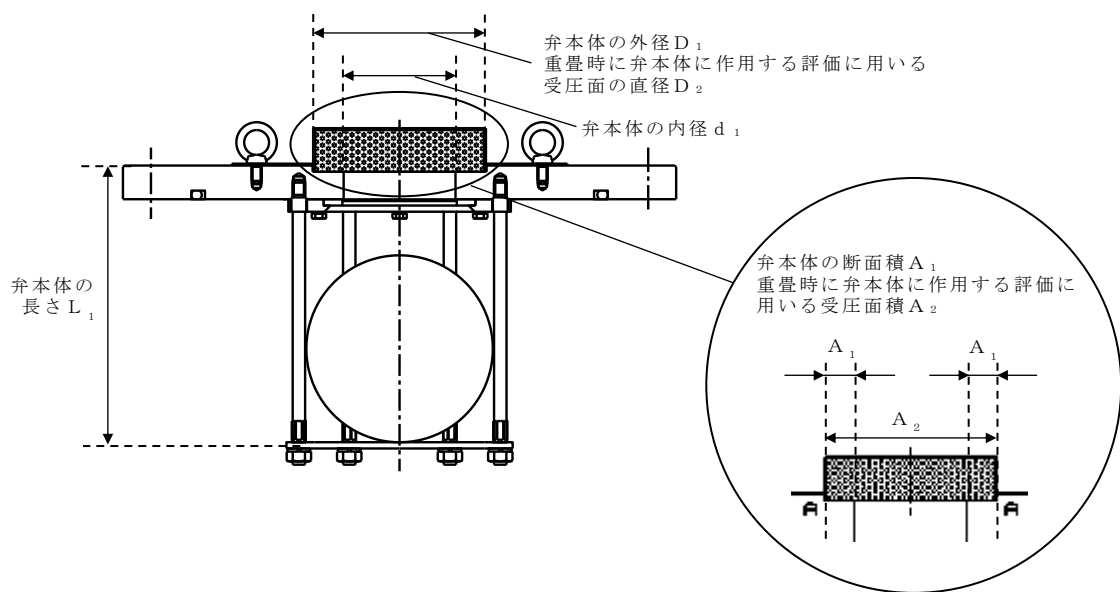


図 5-1 床ドレン逆止弁本体の構造図（300A 型（ボルト取付式）の例）

b. 曲げ

弁全体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、弁本体に加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。弁全体の長さ L_1 、弁本体の外径 D_1 及び内径 d_1 について図 5-1 に示す。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$I_1 = \left(D_1^4 - d_1^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2} \right)}{I_1}$$

(2) フロートガイド

a. 圧縮

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により、フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。また、突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積 A_4 は、突き上げ津波荷重がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 から求める。フロートガイドの最小断面積 A_3 は、図 5-2 に示すとおり、フロートガイドのうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし、フロートガイド自重 W_{d2} とフロートガイドに加わる鉛直下向きの地震荷重 F_{V2} は、圧縮応力 σ_{V2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2} + P_t \cdot A_4}{A_3}$$

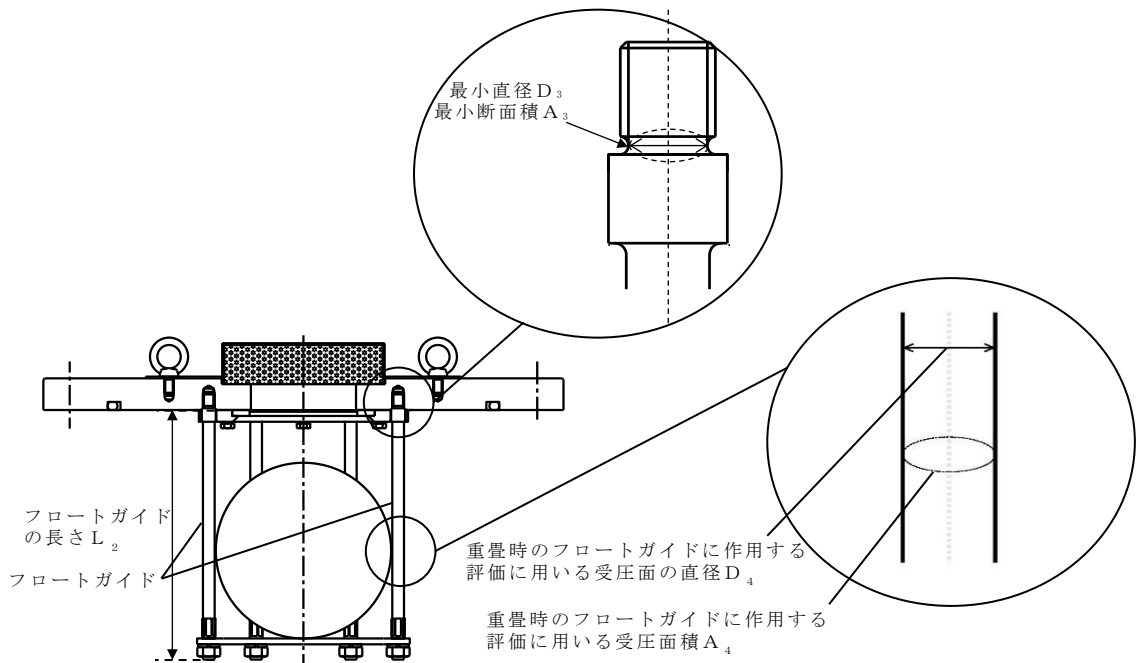


図 5-2 フロートガイドの構造強度評価に用いる断面積
(300A 型 (ボルト取付式) の例)

b. 曲げ

フロートガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、フロートガイドに加わる曲げ応力 σ_{H2} を以下の式より算出する。フロートガイドの長さ L_2 、フロートガイドの最小直径 D_3 について図 5-2 に示す。

$$M_2 = F_{H2} \cdot L_2$$

$$I_2 = D_3^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_3}{2} \right)}{I_2}$$

(3) 基礎ボルト

a. 引張

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により，基礎ボルト 1 本当たりに加わる引張応力 σ_{V3} を以下の式より算出する。また，突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面積 A_6 は，図 5-3 に示すとおり，突き上げ津波荷重が基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_5 から求める。ただし，弁本体自重 W_{d1} と弁本体に加わる鉛直下向きの地震荷重 F_{V1} は，圧縮応力 σ_{V3} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{V3} = \frac{F_{V1} + P_t \cdot A_6 + W_{d1}}{A_5 \cdot n}$$

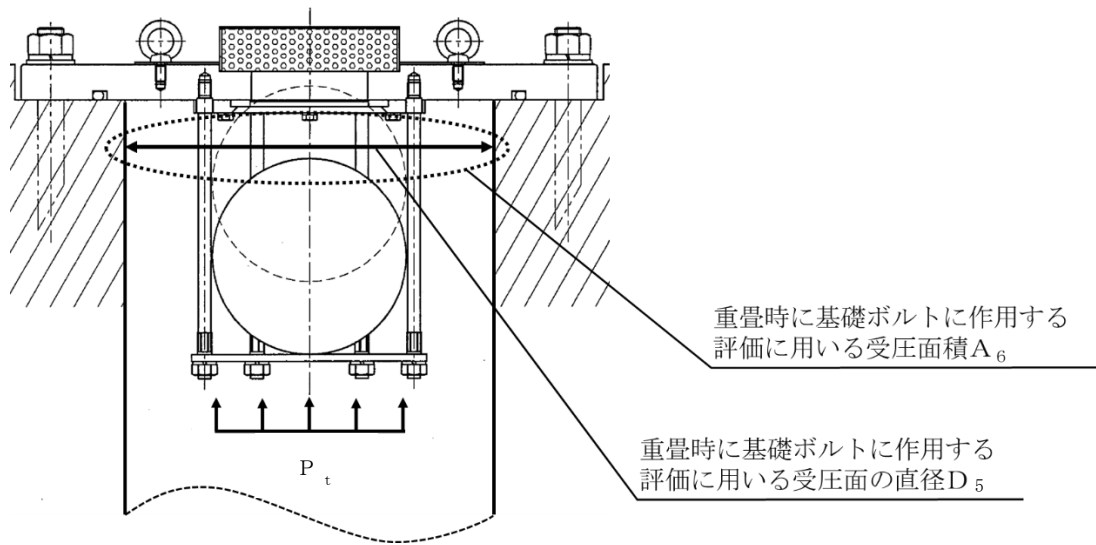


図 5-3 基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面積（300A 型（ボルト取付式）の例）

b. モーメントによる引張応力

水平応答加速度により対角線上の基礎ボルトを2本支持したと仮定し、弁全体の最下端に集中荷重が作用した場合において、水平方向地震荷重によるモーメントにより基礎ボルト1本あたりに加わる引張応力 σ_{V4} を以下の式より算出する。図5-4にモーメントによる引張応力の作用イメージを示す。

$$\sigma_{V4} = \frac{F_{H1} \cdot L_1}{D_P \cdot A_5}$$

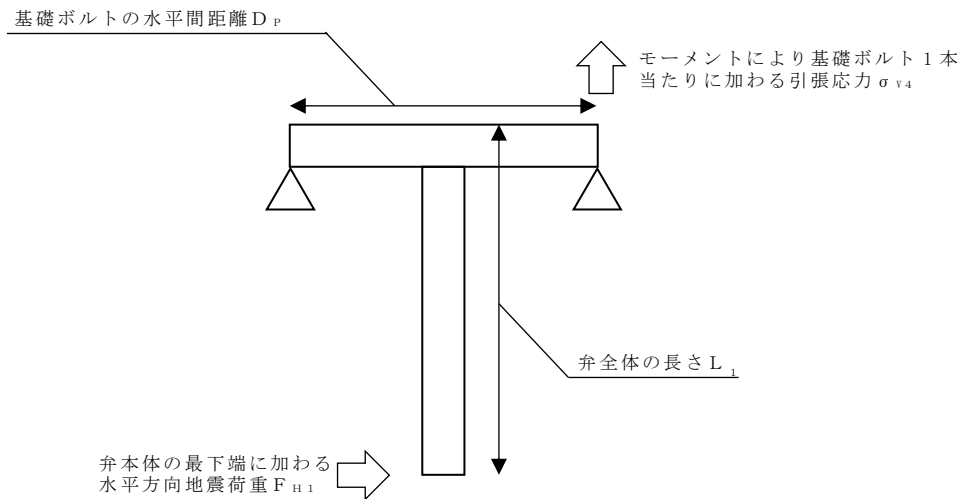


図5-4 モーメントによる引張応力の作用イメージ

c. せん断

水平応答加速度により基礎ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 τ_3 を以下の式より算出する。

$$\tau_3 = \frac{F_{H1}}{A_5 \cdot n}$$

(4) フロート

波圧によりフロートに発生する圧力 P_w は以下の式より算出する。

$$P_w = P_t$$

(5) 取付部

a. 引張

鉛直応答加速度による余震荷重及び突き上げ津波荷重により、配管の最小断面積に加わる引張応力 σ_{v5} を以下の式より算出する。また、突き上げ津波荷重が取付部に作用する評価に用いる受圧面積 A_8 は、配管内径 d_2 から求める。配管の最小断面積 A_7 は、ねじ山がかみ合うことにより荷重は分散されるが、図 5-5 に示すとおり、保守的に最小断面積となる配管谷径 d_2 、配管外径 D_6 を計算に用いる。

ただし、弁本体自重 W_{d1} と弁本体に加わる鉛直下向きの地震荷重 F_{v1} は、圧縮応力 σ_{v5} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{v5} = \frac{W_{d1} + F_{v1} + P_t \cdot A_8}{A_7}$$

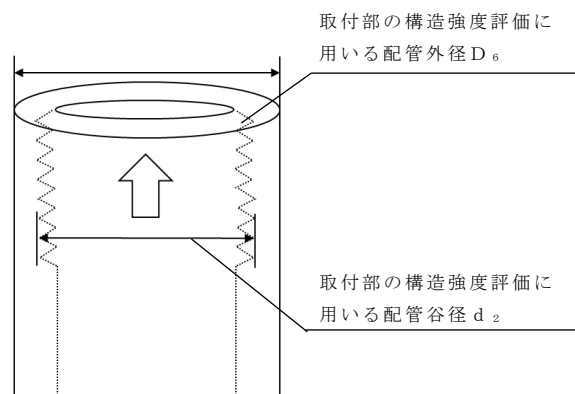


図 5-5 取付部の構造強度評価に用いる断面積

b. 曲げ

弁全体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、取付部境界の配管に加わる曲げ応力 σ_{H3} を以下の式より算出する。取付部境界から弁下端までの長さ L_3 について図 5-6 に示す。

$$M_3 = F_{H1} \cdot L_3$$

$$I_3 = \left(D_6^4 - d_2^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H3} = \frac{M_3 \cdot \left(\frac{D_6}{2} \right)}{I_3}$$

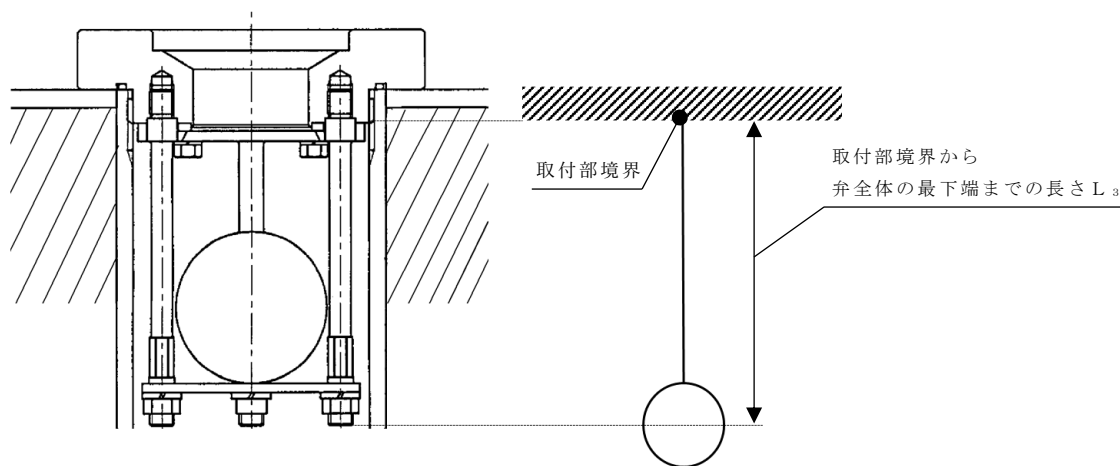


図 5-6 取付部境界から弁全体の最下端までの長さ

5.6 計算条件

床ドレン逆止弁の構造強度評価に用いる計算条件を表 5-7, 表 5-8 及び表 5-9 に示す。

表 5-7 80A 型 (ボルト取付式) の構造強度評価に用いる計算条件 (その 1)

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	5	139	72

弁本体の内径 d_1 (mm)
38

フロートガイドの材質	フロートガイドの 1 本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの長さ L_2 (mm)	フロートガイドの最小直径 D_3 (mm)
SUS316L	0.05	102	6.6

フロートガイドの本数 n_f (本)
4

基礎ボルトの材質	基礎ボルトの断面積 A_5 (mm ²)	基礎ボルトの本数 n (本)	基礎ボルトの水平間距離 D_P (mm)
SUS316L	113.1	2	260

表 5-7 80A 型 (ボルト取付式) の構造強度評価に用いる計算条件 (その 2)

重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 (mm)	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 (mm)	重畳時に基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_5 (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
72	7	77	9.80665

海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	突き上げ津波荷重の算出に用いる水頭 h (m)	抗力係数 C_d (-)	津波の最大流速* U (m/s)
1030	10.2	2.01	1.0

注記* : 取水槽における鉛直方向の津波の最大流速を示す。

表 5-8 300A 型（ボルト取付式）の構造強度評価に用いる計算条件（その 1）

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS316L	35	242	182

弁本体の内径 d_1 (mm)
90

フロートガイドの材質	フロートガイドの 1 本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの長さ L_2 (mm)	フロートガイドの最小直径 D_3 (mm)
SUS316L	0.15	215	8.4

フロートガイドの本数 n_f (本)
6

基礎ボルトの材質	基礎ボルトの断面積 A_5 (mm ²)	基礎ボルトの本数 n (本)	基礎ボルトの水平間距離 D_P (mm)
SUS316L	314.2	8	400

表 5-8 300A 型（ボルト取付式）の構造強度評価に用いる計算条件（その 2）

重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 (mm)	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 (mm)	重畳時に基礎ボルトに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_5 (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
182	10	285	9.80665

海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	突き上げ津波荷重の算出に用いる水頭 h (m)	抗力係数 C_d (-)	津波の最大流速* U (m/s)
1030	10.2	2.01	1.0

注記*：取水槽における鉛直方向の津波の最大流速を示す。

表 5-9 80A 型（ねじ込み取付式）の構造強度評価に用いる計算条件（その 1）

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)	弁本体の外径 D_1 (mm)
SUS303	2.19	130	72

弁本体の内径 d_1 (mm)
38

フロートガイドの材質	フロートガイドの 1 本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの長さ L_2 (mm)	フロートガイドの最小直径 D_3 (mm)
SUS304	0.05	110	6.6

フロートガイドの本数 n_f (本)
4

配管の材質	配管の最小断面積 A_7 (mm ²)	取付部境界から弁下端までの長さ L_3 (mm)	配管の外径 D_6 (mm)
SUS304TP	1.014×10^3	99	89.1

配管の内径（取付部の最小内径） d_2 (mm)
81.5

表 5-9 80A 型（ねじ込み取付式）の構造強度評価に用いる計算条件（その 2）

重畳時に弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 (mm)	重畳時にフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 (mm)	重畳時に取付部に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_7 (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
72	7	78.1	9.80665

海水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	突き上げ津波荷重の算出に用いる水頭 h (m)	抗力係数 C_d (-)	津波の最大流速* U (m/s)
1030	10.2	2.01	1.0

注記*：取水槽における鉛直方向の津波の最大流速を示す。

6. 評価結果

6.1 構造強度評価結果

弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の構造強度評価結果を表 6-1 に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の
構造強度評価結果（その 1）

（単位：MPa）

型式	評価部位	評価応力	発生応力	許容応力
80A 型 (ボルト取付式)	弁本体	圧縮	1	133
		曲げ	1	133
		組合せ*1	1	133
	フロートガイド	圧縮	1	133
		曲げ	3	133
		組合せ*1	3	133
	基礎ボルト	引張*2	4	105
		せん断	1	80
	300A 型 (ボルト取付式)	弁本体	圧縮	1
曲げ			1	133
組合せ*1			1	133
フロートガイド		圧縮	1	133
		曲げ	8	133
		組合せ*1	8	133
基礎ボルト		引張*2	4	105
		せん断	1	80

注記*1：圧縮／引張（ σ_v ）＋曲げ（ σ_H ）は， $\sigma_v + \sigma_H \leq 1.2S$ で評価

*2：基礎ボルトの引張応力は， $\sigma_{v3} + \sigma_{v4}$ の和

表 6-1 弁本体，フロートガイド，基礎ボルト及び取付部の
構造強度評価結果（その 2）

（単位：MPa）

型式	評価部位	評価応力	発生応力	許容応力
80A 型 (ねじ込み取付 式)	弁本体	圧縮	1	154
		曲げ	1	154
		組合せ*	1	154
	フロートガイド	圧縮	1	154
		曲げ	3	154
		組合せ*	3	154
	取付部	引張	1	154
		曲げ	1	154
		組合せ*	1	154

注記*：圧縮／引張（ σ_v ）＋曲げ（ σ_H ）は， $\sigma_v + \sigma_H \leq 1.2S$ で評価

6.2 機能維持評価結果

フロートの機能維持評価結果を表 6-2 に示す。発生応力が，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから，評価部位であるフロートの機能維持を確認した。

表 6-2 フロートの機能維持評価結果

評価部位	発生圧力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
	フロート	圧縮	

VI-3-別添 3-2-8 隔離弁，機器・配管の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. タービン補機海水ポンプ	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 配置概要	2
2.2.2 構造計画	3
2.2.3 評価方針	5
2.2.4 適用規格・基準等	6
2.2.5 記号の説明	7
2.2.6 計算精度と数値の丸め方	9
2.3 評価部位	10
2.4 固有周期	10
2.4.1 固有値解析方法	10
2.4.2 解析モデル及び諸元	10
2.4.3 固有値解析結果	10
2.5 構造強度評価	12
2.5.1 構造強度評価方法	12
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
2.5.3 設計用地震力	16
2.5.4 計算方法	17
2.5.5 計算条件	20
2.5.6 応力の評価	20
2.6 評価結果	21
2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21

3.	循環水ポンプ	34
3.1	概要	34
3.2	一般事項	34
3.2.1	配置概要	34
3.2.2	構造計画	35
3.2.3	評価方針	37
3.2.4	適用規格・基準等	38
3.2.5	記号の説明	39
3.2.6	計算精度と数値の丸め方	41
3.3	評価部位	42
3.4	固有周期	42
3.4.1	固有値解析方法	42
3.4.2	解析モデル及び諸元	42
3.4.3	固有値解析結果	42
3.5	構造強度評価	47
3.5.1	構造強度評価方法	47
3.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	47
3.5.3	設計用地震力	51
3.5.4	計算方法	53
3.5.5	計算条件	56
3.5.6	応力の評価	56
3.6	評価結果	57
3.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	57
4.	配管及び隔離弁	84
4.1	概要	84
4.2	配置概要, 概略系統図及び鳥瞰図	85
4.2.1	配置概要	85
4.2.2	概略系統図	86
4.2.3	鳥瞰図	91
4.3	計算条件	93
4.3.1	計算方法	93
4.3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	94
4.3.3	設計条件	95
4.3.4	材料及び許容応力	101
4.3.5	設計用地震力	102
4.4	解析結果及び評価	103
4.4.1	固有周期及び設計震度	103
4.4.2	評価結果	109

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防止設備のうち津波の流入防止に係る津波バウンダリとなるポンプ、配管及び弁（以下「隔離弁、機器・配管」という。）が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、十分な構造健全性を有していることを説明するものである。

隔離弁、機器・配管の構成を表 1-1 に示す。また、概要図を図 1-1 に示す。

表 1-1 隔離弁、機器・配管の構成

機器名称		据付場所
隔離弁	タービン補機海水ポンプ出口弁	取水槽
	タービン補機海水ポンプ第二出口弁	取水槽
	タービン補機海水系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
	液体廃棄物処理系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
機器	循環水ポンプ	取水槽
	タービン補機海水ポンプ	取水槽
配管	原子炉補機海水系配管	原子炉補機冷却系熱交換器～放水槽
	高圧炉心スプレー補機海水系配管	高圧炉心スプレー補機冷却系熱交換器～ 原子炉補機海水系配管合流部
	循環水系配管	循環水ポンプ～取水槽
	タービン補機海水系配管	タービン補機海水ポンプ～タービン補機 海水ポンプ第二出口弁 タービン補機海水系逆止弁～放水槽
	液体廃棄物処理系配管	液体廃棄物処理系逆止弁～放水槽

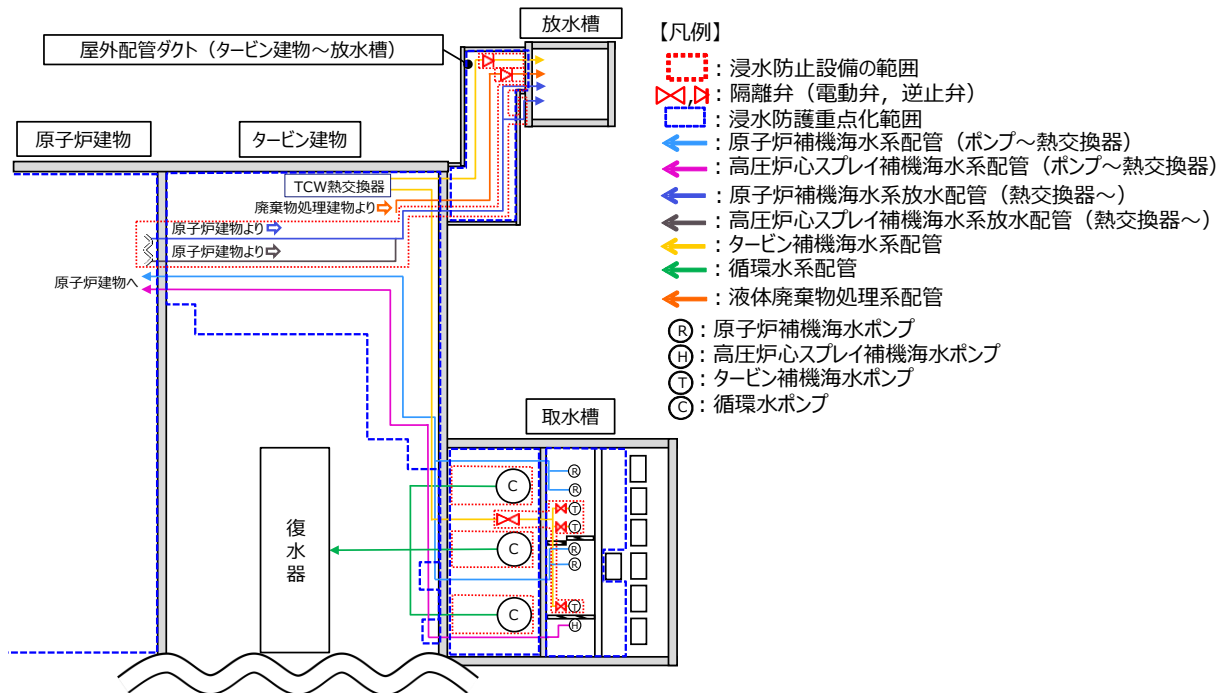


図 1-1 隔離弁、機器・配管の概要図

2. タービン補機海水ポンプ

2.1 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している強度評価に示すとおり、タービン補機海水ポンプが津波の流入に伴う津波荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 配置概要

タービン補機海水ポンプの配置図を図2.2-1に示す。

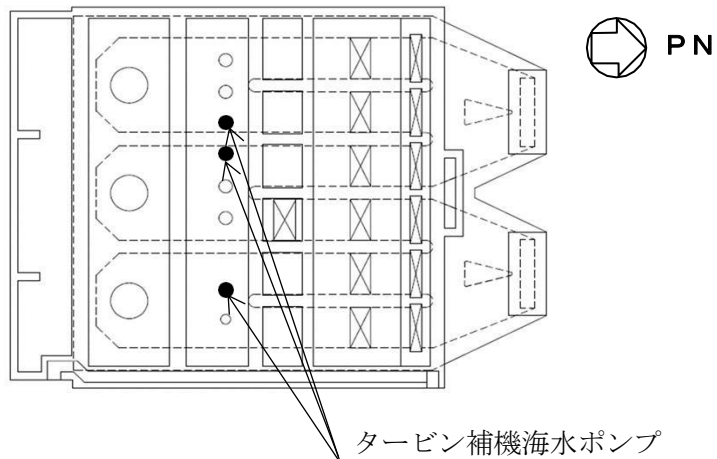
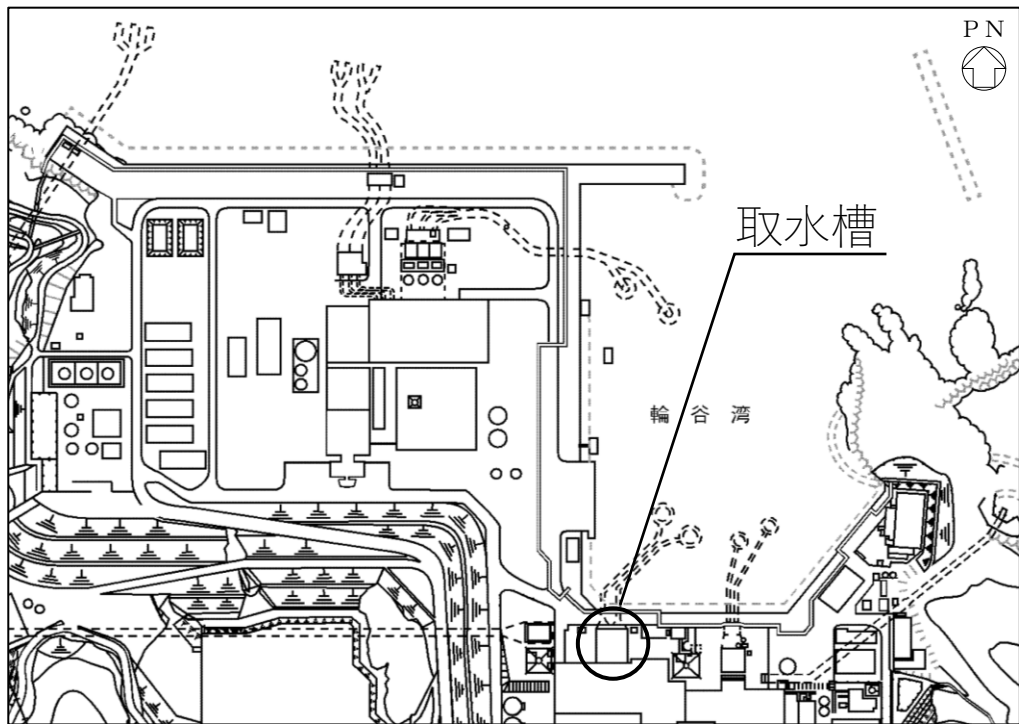


図 2.2-1 タービン補機海水ポンプ配置図

2.2.2 構造計画

タービン補機海水ポンプは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」で設定している荷重を踏まえ鋼製とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける構造としている。

タービン補機海水ポンプの構造計画を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2.3 評価方針

タービン補機海水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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に基づき、応力評価を実施する。応力評価では、タービン補機海水ポンプの評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「2.5 構造強度評価」にて示す方法により、「2.5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて確認する。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

タービン補機海水ポンプの強度評価フローを図 2.2-2 に示す。

タービン補機海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。

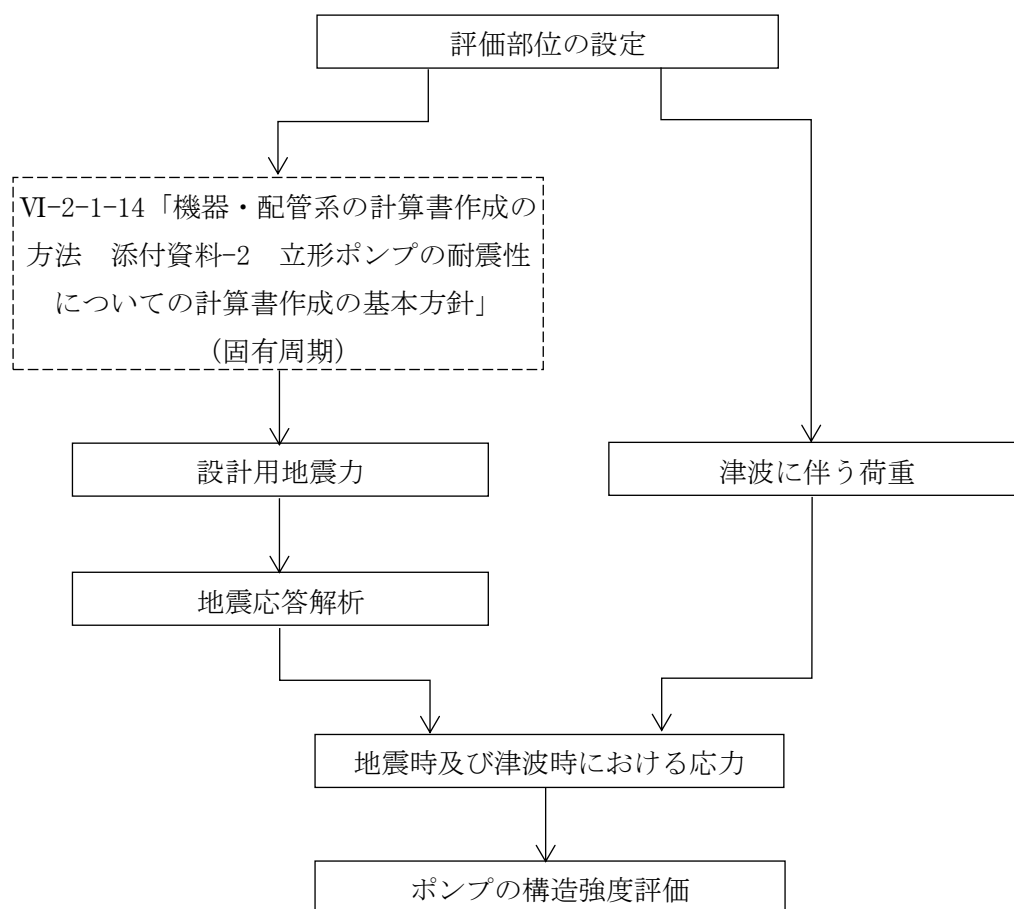


図 2.2-2 タービン補機海水ポンプの強度評価フロー

2.2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ((社) 日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b a s	津波荷重を受ける面積	m ²
A b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C D	抗力係数	—
C H	水平方向設計震度	—
C p	ポンプ振動による震度（鉛直方向）	—
C v	鉛直方向設計震度	—
D	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D c m o	コラムパイプ外径	mm
D d	ディスチャージケーシングの内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値	MPa
F a	ポンプ据付部の反力	N
F b	地震による基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F b t	津波による基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F D	水平津波荷重による単位長さ当たりの流体抗力	N/mm
F u	津波による静水圧荷重	N
f s b	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f t o	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f t s	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 （許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H p	予想最大両振幅	μm
h	津波最大到達レベル	m
L	ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	mm
M a	ポンプ据付部の曲げモーメント	N・mm
M c p	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向のポンプ振動による転倒モーメント	N・mm
M d	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M d C p	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
M f b	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平津波荷重による転倒モーメント	N・mm
M p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{pm}	ディスチャージケーシングに作用する水平津波荷重によるモーメント	$N \cdot mm$
M_0	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向地震による転倒モーメント	$N \cdot mm$
m	据付面の運転時質量	kg
m_d	ポンプ床下部質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
P_d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q_b	水平方向地震及び水平方向のポンプ振動により基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_{bt}	水平津波荷重による基礎ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_{da}	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
V	津波流速	m/s
Z_d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm^3
z	評価対象部位のレベル	m
π	円周率	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{dCH1}	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ_{dCH2}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dCV1}	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa
σ_{dCV2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{pm}	水平津波荷重によりディスチャージケーシングに生じる曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2.2-2 に示すとおりである。

表 2.2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目* ³	四捨五入	有効数字 4 桁* ² , * ³
力	N	有効数字 5 桁目* ³	四捨五入	有効数字 4 桁* ² , * ³
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ⁴	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字 4 桁未満となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

2.3 評価部位

タービン補機海水ポンプは、浸水防止設備であるため、耐震評価上及び津波に伴う荷重評価上で厳しくなる基礎ボルト及びディスチャージケーシングについて構造強度の評価を行う。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

タービン補機海水ポンプの固有値解析方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」による。

2.4.2 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

2.4.3 固有値解析結果

取水槽が満水状態の固有値解析の結果を表 2.4-1、振動モード図を図 2.4-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 2.4-1 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.229	2.036	2.036	—

注記*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

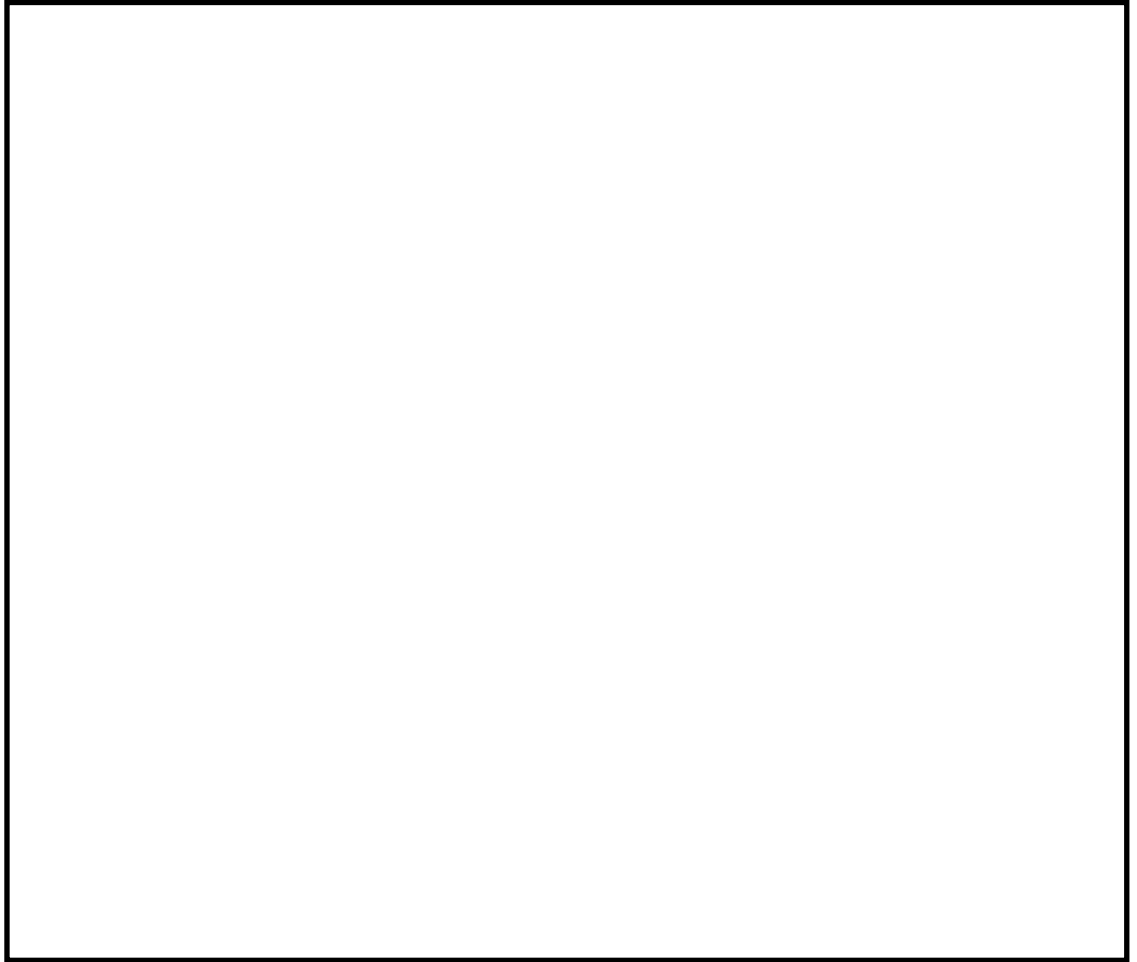


図 2.4-1 振動モード図 (1 次モード 水平方向 0.229s)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力に対する構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき行う。
- (2) 津波荷重は、ポンプ据付部より下のディスチャージケーシング，コラムパイプ等に作用するものとする。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ

タービン補機海水ポンプの強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波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」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。タービン補機海水ポンプの荷重の組合せを表 2.5-1 に示す。

2.5.2.2 許容応力

タービン補機海水ポンプの許容応力は、VI-3-別添 3-1「津波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応力に基づき表 2.5-2 及び表 2.5-3 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2.5-4 に示す。

表 2.5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	タービン補機海水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_t + P_h + S_d$	Ⅲ _A S

注記* : その他のポンプの支持構造物を含む。

表 2.5-2 許容応力（浸水防止設備（ポンプ））

許容応力状態	許容限界			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の1.5倍の値	* 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解 析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡
易弾塑性解析を用いる。

14

表 2.5-3 許容応力（浸水防止設備（支持構造物））

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2.5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
タービン補機 海水ポンプ	基礎ボルト		周囲環境温度		—	198	504	205
	ディスチャージケーシング		最高使用温度	30	—	245	400	—

注記* :

2.5.3 設計用地震力

タービン補機海水ポンプの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2.5-5 に示す。

弾性設計用地震動 S d は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 2.5-5 タービン補機海水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1*1		
固有周期(s)		水平：0.229*2 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動 S d		
モード*3	固有周期(s)	応答水平震度*4		応答鉛直震度*4
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.229	2.84	3.34	—
動的震度*5, *6		0.80	0.95	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 津波荷重の計算方法

(1) 津波による静水圧荷重

ポンプに作用する静水圧荷重の計算式は下式になる。

$$F_u = \rho \cdot g \cdot (h - z) \cdot A_{bas} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1)$$

(2) 津波による水平津波荷重

水平津波荷重によるポンプが受ける単位長さ当たりの流体抗力（等分布荷重）は下式になる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D_{cmo}}{1000} \right) / 1000 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2)$$

この流体抗力によりポンプ据付部を固定端とする片持ちはりに等分布荷重が作用するので反力と曲げモーメントは下式となる。

反力と曲げモーメント計算式

$$F_a = F_D \cdot L \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.3)$$

$$M_a = \frac{1}{2} F_D \cdot L^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.4)$$

2.5.4.2 基礎ボルトの応力計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れた基礎ボルトについて計算する。

地震による引張力

$$F_b = \frac{\sqrt{M_0^2 + \left(C_v \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2} \right)^2} + M_{cp} + (C_p - 1) \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.1)$$

ここで、 M_0 及び M_{cp} は解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.2)$$

津波による引張力

$$F_{bt} = \frac{M_{fb} + \frac{3}{8} F_u \cdot D}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b + F_{bt}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.5)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。なお、基礎ボルトについては、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力は地震応答解析により求める Q_b 、ポンプ回転により作用するモーメント M_p 及び水平津波荷重による反力を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + 2 \cdot M_p / D + Q_{bt}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.6)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots\dots\dots (2.5.4.2.7)$$

$$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$$

2.5.4.3 ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた結果により、ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

(1) ポンプ振動による震度により生じる水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCp}}{Z_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.1)$$

(2) 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.2)$$

(3) 自重及びポンプ振動による震度により生じる鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1 + C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.3)$$

(4) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.3.4)$$

(5) 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.6)$$

(6) 水平津波荷重による応力

$$\sigma_{pm} = \frac{M_{pm}}{Z_d} \dots\dots\dots (2.5.4.3.7)$$

以上の(1)～(6)の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max} \left(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} \right. \\ \left. + \sigma_{pm} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P} \right) \dots\dots\dots (2.5.4.3.8)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.5.6.2 ディスチャージケーシングの応力評価

2.5.4.3項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、 S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S_{da}
	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

2.6 評価結果

2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機海水ポンプの設計基準対象施設としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機海水ポンプの強度についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
タービン補機海水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.229	0.05 以下	C _H =0.95*2 又は*3	C _V =0.63*2	C _P =0.04	30		0.54

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト					8	8	—	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージケーシング	—	245* (厚さ ≤ 16mm)	400* (厚さ ≤ 16mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M ₀ (N・mm)	M _{C_D} (N・mm)	M _{f_b} (N・mm)	F _b (N)	F _{b_t} (N)	Q _b (N)	Q _{b_t} (N)
	弾性設計用地震動 S _d		津波に伴う荷重 によるモーメント	弾性設計用地震動 S _d	津波に伴う荷重	弾性設計用地震動 S _d	津波に伴う荷重
基礎ボルト							

(2) ディスチャージケーシングに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M _d	M _{d_{C_D}}	M _{p_m}
	弾性設計用地震動 S _d		津波に伴う荷重 によるモーメント
ディスチャージ ケーシング			

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.229
鉛直方向	0.05 以下

1.4.2 基礎ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 14$	$f_{sb} = 118$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

24

1.4.3 ディスチャージケーシングの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	弾性設計用地震動 S d	
			算出応力	許容応力
ディスチャージ ケーシング		弾性設計用地震動 S d	$\sigma_d = 116$	$S_{da} = 240$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

1.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C_D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m^3	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.37
コラムパイプ外径	$D_{c m o}$	mm	558.8
ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	L	mm	5770
津波荷重を受ける面積	$A_{b a s}$	m^2	1.131

1.5.2 耐震モデル関連
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
46			
47			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		4.909×10 ⁶
2	2-3	1		4.909×10 ⁶
3	3-4	1		4.528×10 ⁶
4	4-5	1		4.528×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	46-8	1		7.187×10 ⁶
8	8-9	1		7.187×10 ⁶
9	9-10	1		1.018×10 ⁷
10	10-11	1		1.018×10 ⁷
11	11-12	1		4.528×10 ⁶
12	12-13	1		4.528×10 ⁶
13	13-14	1		4.909×10 ⁶
14	14-15	1		4.909×10 ⁶
15	15-16	4		5.750×10 ⁷
16	16-17	6		3.221×10 ⁶
17	17-18	6		1.886×10 ⁷
18	18-19	6		1.886×10 ⁷
19	19-20	6		1.018×10 ⁷
20	21-22	1		2.195×10 ⁹
21	22-23	1		3.578×10 ⁹
22	23-24	1		3.578×10 ⁹
23	24-25	3		8.896×10 ⁸
24	25-26	3		8.896×10 ⁸
25	26-27	3		8.896×10 ⁸
26	27-28	3		8.896×10 ⁸
27	47-29	3		8.896×10 ⁸
28	29-30	3		8.896×10 ⁸
29	30-31	3		8.896×10 ⁸
30	31-32	3		8.896×10 ⁸
31	32-33	2		8.127×10 ⁸
32	33-34	2		8.127×10 ⁸
33	34-35	2		8.127×10 ⁸
34	44-36	4		5.075×10 ¹¹
35	36-37	2		9.799×10 ⁹
36	37-38	2		9.799×10 ⁹
37	38-39	2		9.799×10 ⁹
38	39-40	5		2.246×10 ⁹
39	40-41	5		2.246×10 ⁹
40	41-42	5		2.246×10 ⁹
41	42-43	5		9.684×10 ⁸
42	7-46	1		7.187×10 ⁶
43	28-47	3		8.896×10 ⁸

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	23		
6	27		
10	31		
17	40		
19	42		
19	42		
33	36		
33	36		

(4) 節点の質量

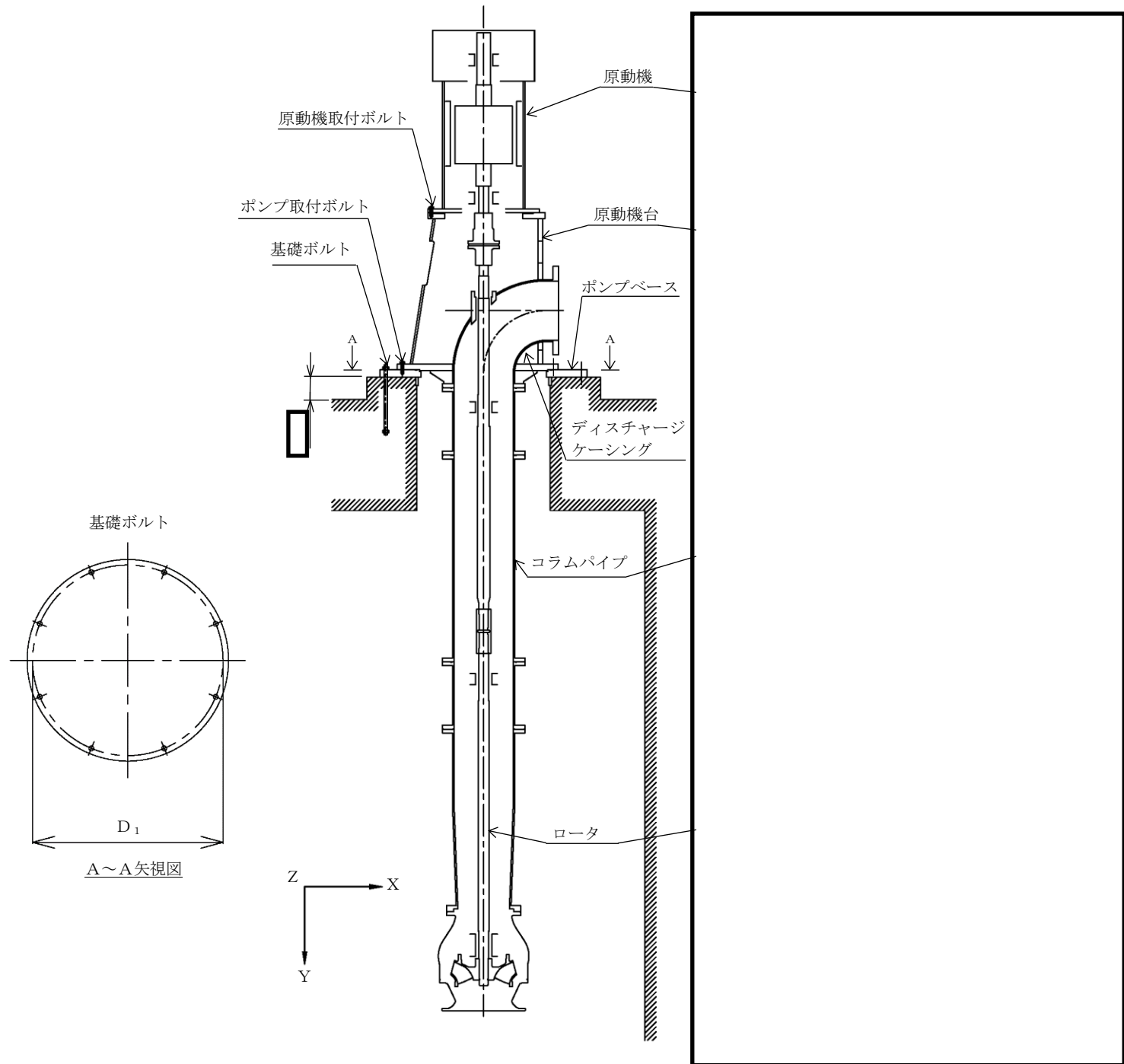
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
46	
47	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.02×10^5		0.3	
4	<input type="checkbox"/>	2.01×10^5		0.3	
5	—	2.00×10^5		0.3	
6	—	1.98×10^5		0.3	



3. 循環水ポンプ

3.1 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している強度評価に示すとおり、循環水ポンプが津波の流入に伴う津波荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

3.2 一般事項

3.2.1 配置概要

循環水ポンプの配置図を図3.2-1に示す。

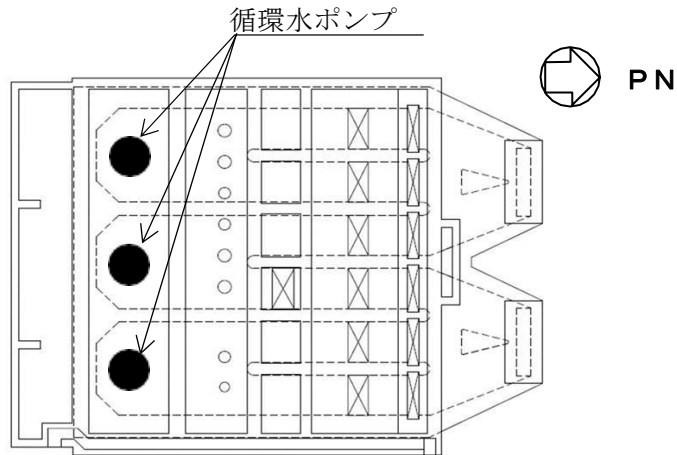
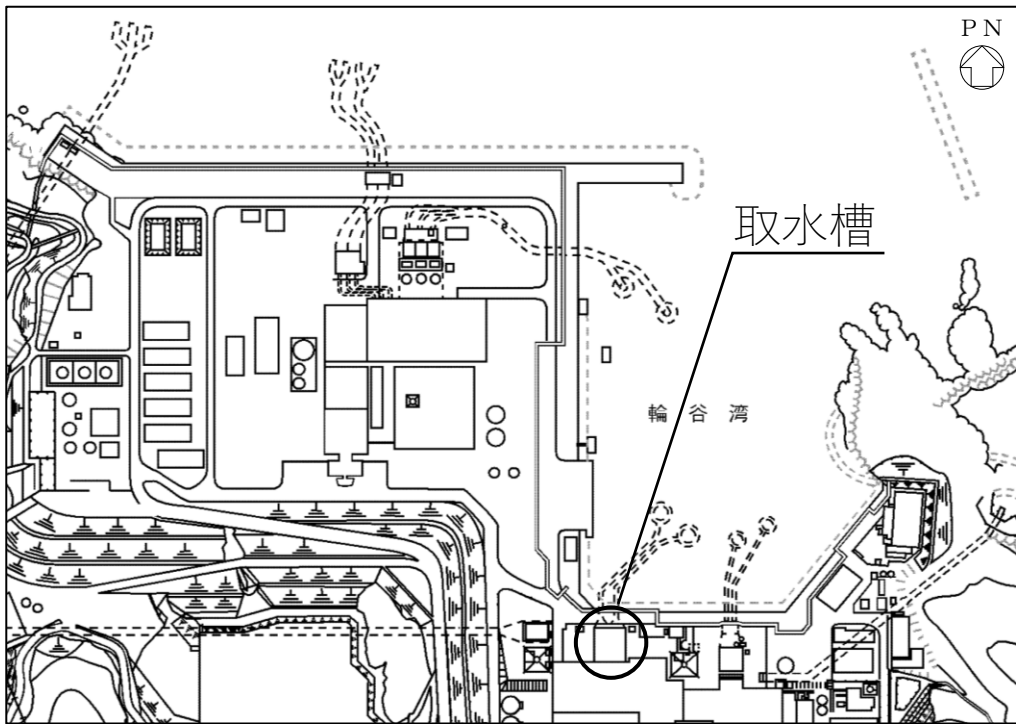


図 3.2-1 循環水ポンプ配置図

3.2.2 構造計画

循環水ポンプは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」で設定している荷重を踏まえ鋼製とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける構造としている。

循環水ポンプの構造計画を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定される。ポンプベースは円筒形のリブを介して水平方向の荷重を基礎に伝達する構造とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> <p>ディスチャージケーシングは短管に接続され、短管は壁に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>ポンプベース部拡大図</p> <p>(単位：mm)</p>

3.2.3 評価方針

循環水ポンプの強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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に基づき、応力評価を実施する。応力評価では、循環水ポンプの評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「3.5 構造強度評価」にて示す方法により、「3.5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて確認する。確認結果を「3.6 評価結果」に示す。

循環水ポンプの強度評価フローを図 3.2-2 に示す。

循環水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波時及び重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。

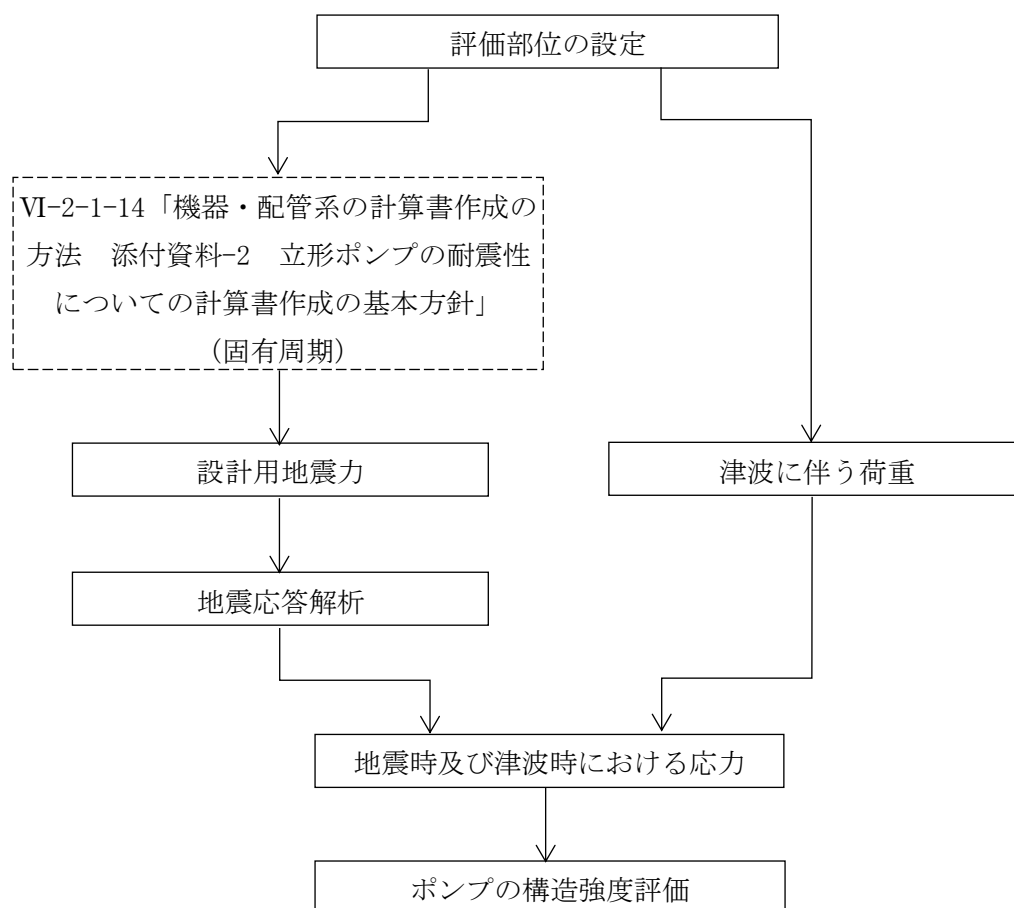


図 3.2-2 循環水ポンプの強度評価フロー

3.2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ((社) 日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)

3.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b a s	津波荷重を受ける面積	m ²
A b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C D	抗力係数	—
C H	水平方向設計震度	—
C p	ポンプ振動による震度（鉛直方向）	—
C v	鉛直方向設計震度	—
D	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D c m o	コラムパイプ外径	mm
D d	ディスチャージケーシングの内径	mm
D R	リブ外径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d R	リブ内径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値	MPa
F a	ポンプ据付部の反力	N
F b	地震による基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F b t	津波による基礎ボルトに作用する引張力（1本あたり）	N
F D	水平津波荷重による単位長さ当たりの流体抗力	N/mm
F u	津波による静水圧荷重	N
f s b	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f t o	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f t s	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 （許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H p	予想最大両振幅	μm
h	津波最大到達レベル	m
L	ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	mm
L R	溶接部のど厚	mm
M a	ポンプ据付部の曲げモーメント	N・mm
M c p	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向のポンプ振動による転倒モーメント	N・mm
M d	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
$M_{d C p}$	多質点解析より求められるディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	$N \cdot mm$
$M_{f b}$	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平津波荷重による転倒モーメント	$N \cdot mm$
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	$N \cdot mm$
$M_{p m}$	ディスチャージケーシングに作用する水平津波荷重によるモーメント	$N \cdot mm$
M_0	基礎ボルトの1箇所を支点とする水平方向地震による転倒モーメント	$N \cdot mm$
m	据付面の運転時質量	kg
m_d	ポンプ床下部質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
P_d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q_b	水平方向地震及び水平方向のポンプ振動により基礎ボルトに作用するせん断力	N
$Q_{b t}$	水平津波荷重による基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q_R	溶接部に作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_{d a}$	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
V	津波流速	m/s
Z_d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm^3
z	評価対象部位のレベル	m
π	円周率	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{d C H 1}$	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
$\sigma_{d C H 2}$	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
$\sigma_{d C V 1}$	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{dCV2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{pm}	水平津波荷重によりディスチャージケーシングに生じる曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_R	溶接部に作用するせん断応力	MPa

3.2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表3.2-2に示すとおりである。

表3.2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
力	N	有効数字5桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2, *3}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字4桁未満となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3.3 評価部位

循環水ポンプは、浸水防止設備であるため、耐震評価上及び津波に伴う荷重評価上で厳しくなる基礎ボルト及びディスチャージケーシングについて構造強度の評価を行う。

3.4 固有周期

3.4.1 固有値解析方法

循環水ポンプの固有値解析方法は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」の「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」による。

3.4.2 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【循環水ポンプの強度についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

3.4.3 固有値解析結果

取水槽が満水状態の固有値解析のうちNS方向モデルの結果を表3.4-1に、EW方向モデルの結果を表3.4-2に示す。振動モード図のうちNS方向モデルの図を図3.4-1、図3.4-2及び図3.4-3に、EW方向モデルの図を図3.4-4、図3.4-5及び図3.4-6に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は7次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表 3.4-1 固有値解析結果 (NS 方向モデル)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.138	9.135	—	—
2 次	水平	0.129	3.090	—	—
3 次	水平	0.073	1.952	—	—
4 次	水平	0.059	0.567	—	—
5 次	水平	0.051	-0.109	—	—
6 次	水平	0.038	—	—	—

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

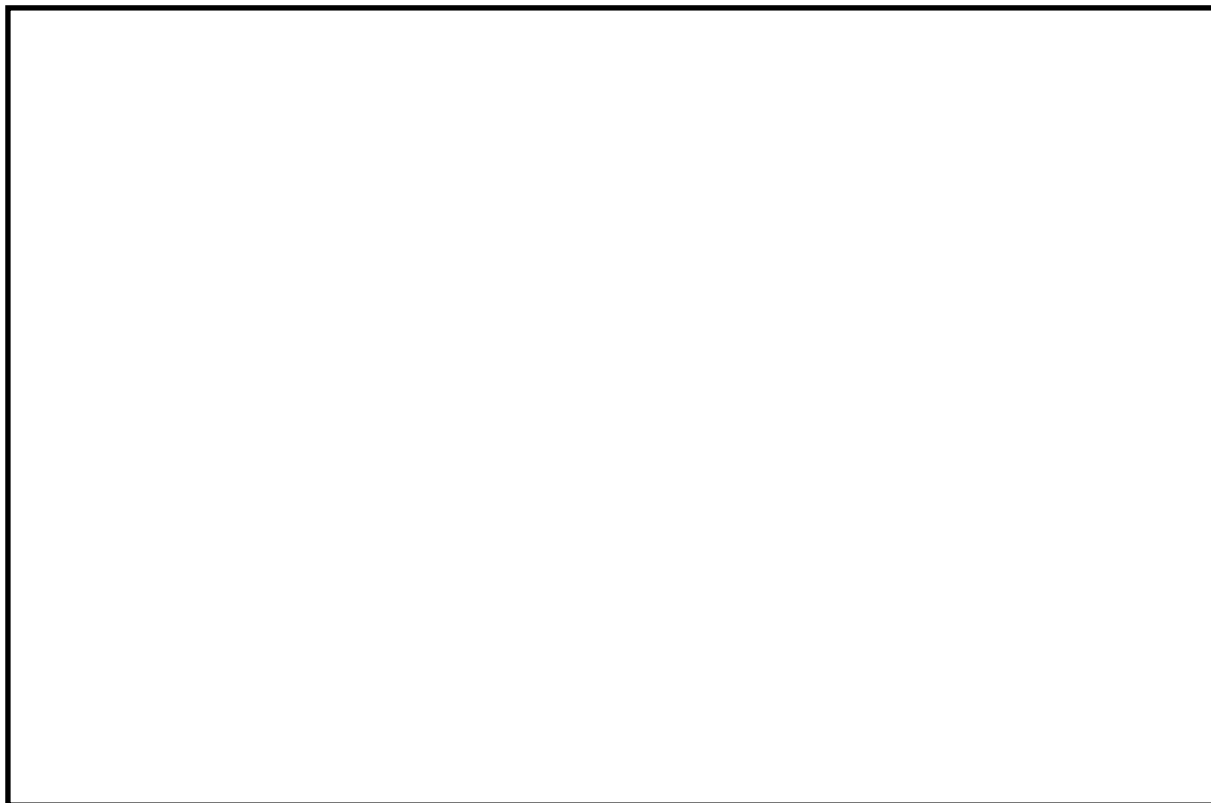


図 3.4-1 振動モード図 (NS 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)



図 3.4-2 振動モード図 (NS 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

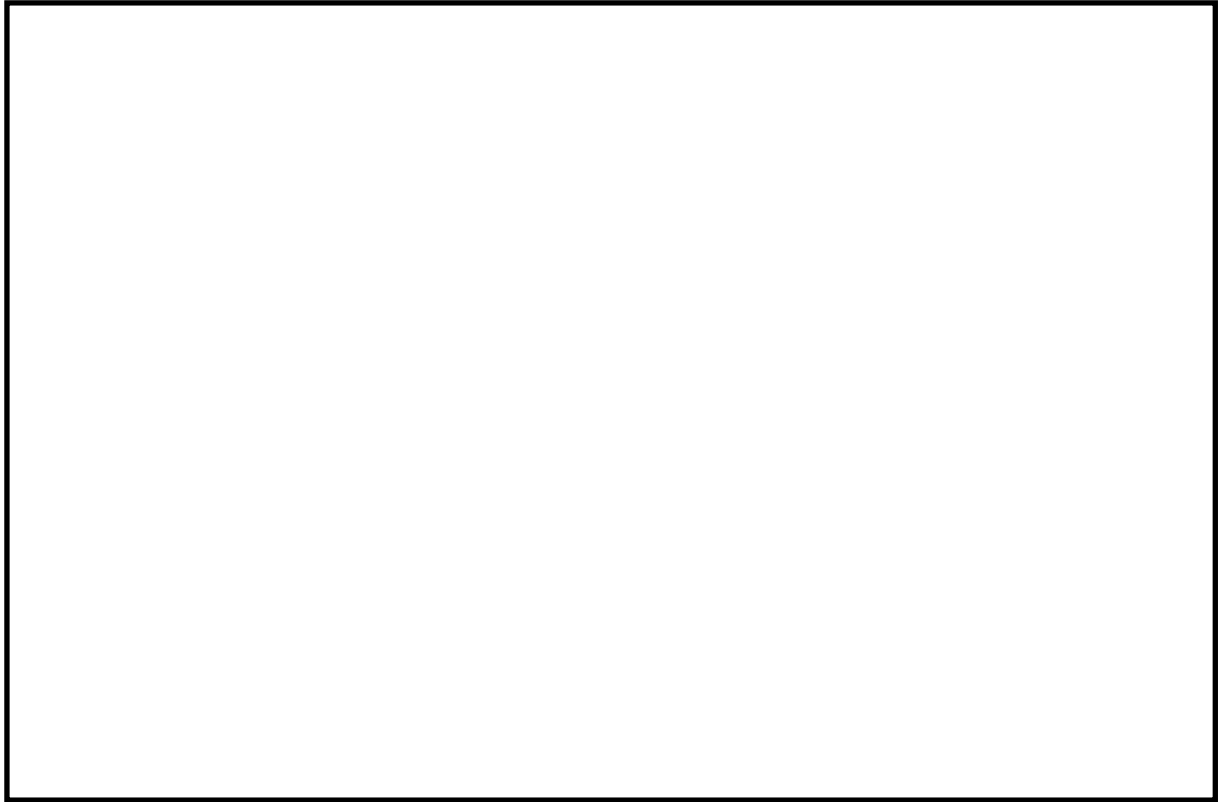


図 3.4-3 振動モード図 (NS 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

表 3.4-2 固有値解析結果 (EW 方向モデル)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.138	—	9.147	—
2 次	水平	0.129	—	3.013	—
3 次	水平	0.073	—	1.943	—
4 次	水平	0.059	—	0.550	—
5 次	水平	0.051	—	-0.109	—
6 次	水平	0.038	—	—	—

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

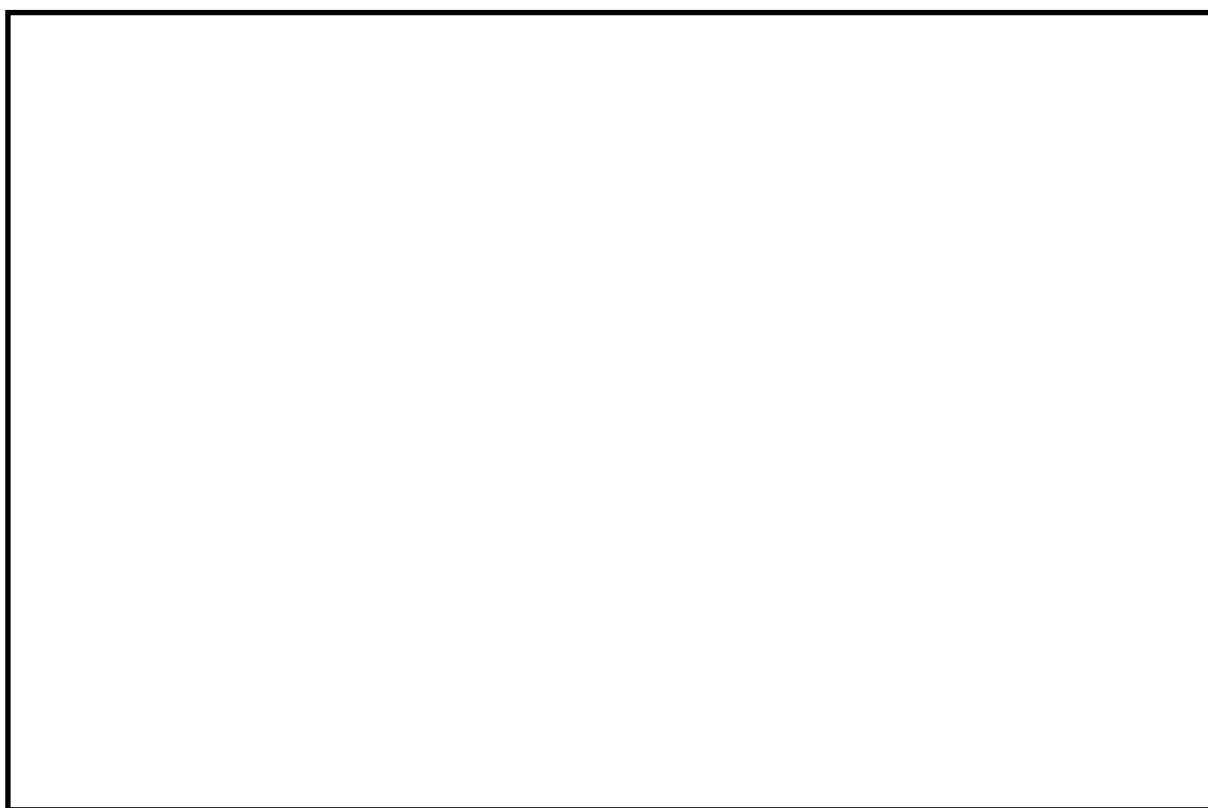


図 3.4-4 振動モード図 (EW 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)

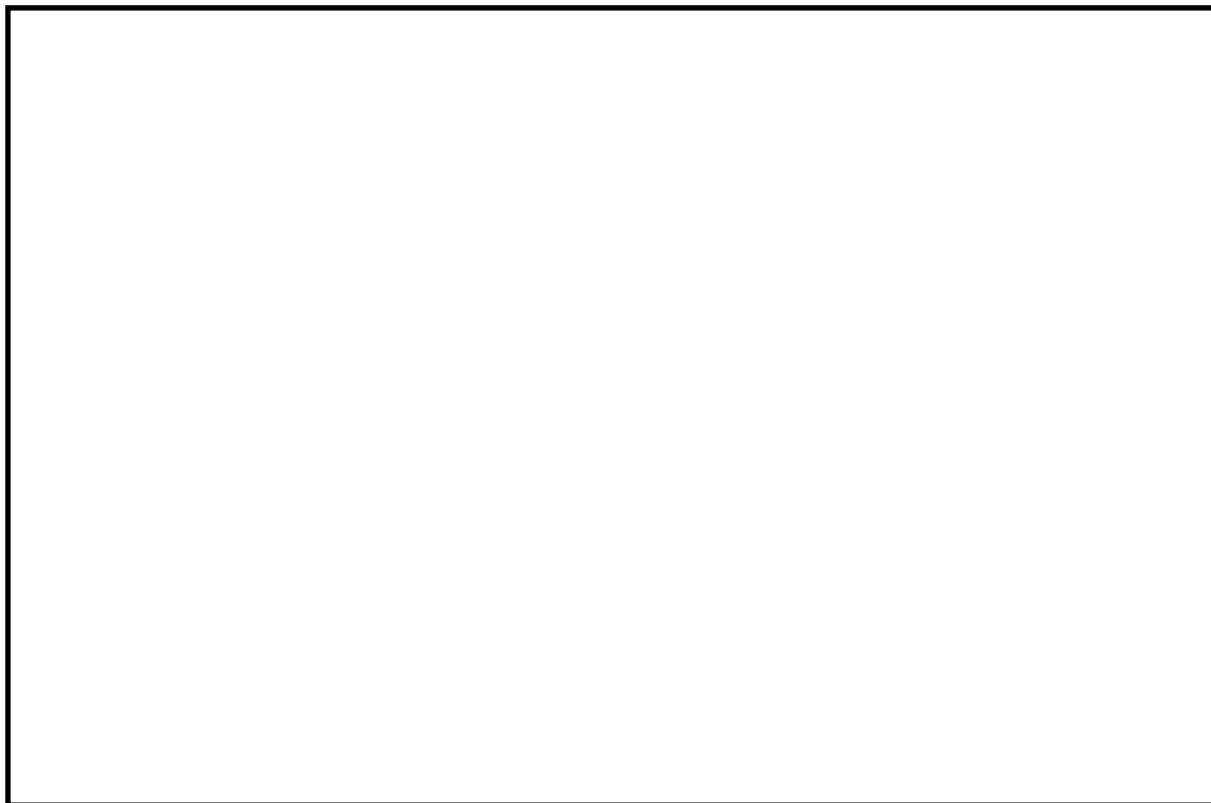


図 3.4-5 振動モード図 (EW 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)



図 3.4-6 振動モード図 (EW 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力に対する構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき行う。
- (2) 津波荷重は、ポンプ据付部より下のディスチャージケーシング、コラムパイプ等に作用するものとする。
- (3) 基礎ボルトの構造強度評価において、水平方向の地震荷重、ポンプ振動によりポンプベースに作用する荷重及び津波による荷重は、ポンプベースのリブを介して基礎に伝達されるため基礎ボルトに作用しない。ただし、循環水ポンプは電動機とポンプが独立した基礎を有する構造であることから、ポンプ回転により作用するモーメントを考慮して基礎ボルトの評価を行う。また、リブはポンプベースに溶接で固定されることから、リブ溶接部に対して評価を行う。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ

循環水ポンプの強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波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」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。循環水ポンプの荷重の組合せを表 3.5-1 に示す。

3.5.2.2 許容応力

循環水ポンプの許容応力は、VI-3-別添 3-1「津波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応力に基づき表 3.5-2 及び表 3.5-3 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

循環水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3.5-4 に示す。

表 3.5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	循環水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_t + P_h + S_d$	Ⅲ _A S

注記* : その他のポンプの支持構造物を含む。

表 3.5-2 許容応力（浸水防止設備（ポンプ））

許容応力状態	許容限界			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の1.5倍の値	* 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解 析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡
易弾塑性解析を用いる。

49

表 3.5-3 許容応力（浸水防止設備（支持構造物））

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3.5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
循環水ポンプ	基礎ボルト		周囲環境温度		—	198	504	205
	ディスチャージケーシング		最高使用温度	30	—	235	400	—

注記* :

3.5.3 設計用地震力

循環水ポンプの設計用地震力のうち設計基準対象施設の NS 方向の評価に用いるものを表 3.5-5 に、EW 方向の評価に用いるものを表 3.5-6 に示す。

弾性設計用地震動 S d による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3.5-5 循環水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）（NS 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1* ¹		
固有周期(s)		水平：0.138* ² 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動 S d		
モード* ³	固有周期(s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.138	4.04	—	—
2 次	0.129	4.04	—	—
3 次	0.073	2.43	—	—
4 次	0.059	1.48	—	—
5 次	0.051	1.13	—	—
動的震度* ⁵ , * ⁶		0.80	—	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 3.5-6 循環水ポンプ 設計用地震力（設計基準対象施設）（EW 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}		
固有周期(s)		水平：0.138 ^{*2} 鉛直：0.05 以下		
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—		
地震力		弾性設計用地震動 S d		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.138	—	4.72	—
2 次	0.129	—	4.70	—
3 次	0.073	—	2.38	—
4 次	0.059	—	1.60	—
5 次	0.051	—	1.28	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	0.95	0.63

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 津波荷重の計算方法

(1) 津波による静水圧荷重

ポンプに作用する静水圧荷重の計算式は下式になる。

$$F_u = \rho \cdot g \cdot (h - z) \cdot A_{bas} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1)$$

(2) 津波による水平津波荷重

水平津波荷重によるポンプが受ける単位長さ当たりの流体抗力（等分布荷重）は下式になる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \left(\frac{D_{cmo}}{1000} \right) / 1000 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.2)$$

この流体抗力によりポンプ据付部を固定端とする片持ちはりに等分布荷重が作用するので反力と曲げモーメントは下式となる。

反力と曲げモーメント計算式

$$F_a = F_D \cdot L \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.3)$$

$$M_a = \frac{1}{2} F_D \cdot L^2 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.4)$$

3.5.4.2 基礎ボルトの応力計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れた基礎ボルトについて計算する。

地震による引張力

$$F_b = \frac{\sqrt{M_0^2 + \left(C_v \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2} \right)^2} + M_{cp} + (C_p - 1) \cdot m \cdot g \cdot \frac{D}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.1)$$

ここで、 M_0 及び M_{cp} は解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.2)$$

津波による引張力

$$F_{bt} = \frac{M_{fb} + \frac{3}{8} F_u \cdot D}{\frac{3}{8} \cdot n_f \cdot D} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b + F_{bt}}{A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.2.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (3.5.4.2.5)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力は地震応答解析により求める Q_b 、ポンプ回転により作用するモーメント M_p 及び水平津波荷重による反力を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + 2 \cdot M_p / D + Q_{bt}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.2.6)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (3.5.4.2.7)$$

$$(1kW=10^6N \cdot mm/s)$$

3.5.4.3 ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた結果により、ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

(1) ポンプ振動による震度により生じる水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.1)$$

(2) 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.2)$$

(3) 自重及びポンプ振動による震度により生じる鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1 + C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.3)$$

(4) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.4)$$

(5) 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.6)$$

(6) 水平津波荷重による応力

$$\sigma_{pm} = \frac{M_{pm}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.5.4.3.7)$$

以上の(1)～(6)の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max} \left(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} \right. \\ \left. + \sigma_{pm} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P} \right) \dots\dots\dots (3.5.4.3.8)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

3.5.4.4 リブ溶接部の応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた結果により、リブ溶接部に生じる応力を次式で求める。なお、評価にあたり、リブ板厚より溶接部のど厚の方が値が小さいため保守的にど厚にて応力を算出する。

$$\tau_R = \frac{Q_R}{\left(\pi \cdot \frac{D_R + d_R}{2} \right) \cdot L_R} \dots\dots\dots (3.5.4.4.1)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】， の設計条件及び機器要目に示す。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

3.5.4.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.5.6.2 ディスチャージケーシングの応力評価

3.5.4.3項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、 S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S_{da}
	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.5.6.3 リブ溶接部の応力評価

3.5.4.4 項で求めた応力が周囲環境温度における許容応力以下であること。ただし、許容応力は下表による。

応力の種類	許容応力
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合
せん断応力	$1.5 \cdot f_s$

3.6 評価結果

3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環水ポンプの設計基準対象施設としての強度評価結果を以下に示す。循環水ポンプはNS方向及びEW方向で解析モデルが異なるため、各方向に対する強度評価結果を記載する。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設 (NS 方向)

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d		ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
循環水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.138	0.05 以下	C _H =0.80*2 又は*3	C _V =0.63*2	C _p =0.01	30		0.31

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) 又は設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト					12	12	1.337×10 ⁸	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

(2) ディスチャージケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージケーシング	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

(3) リブ溶接部

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D (mm)	d (mm)	L _R (mm)
リブ	—	231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)			

注記*: 周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M_0 (N・mm)	M_{Cp} (N・mm)	M_{fb} (N・mm)	F_b (N)	F_{bt} (N)	Q_b (N)	Q_{bt} (N)
	弾性設計用地震動 Sd		津波に伴う荷重 によるモーメント	弾性設計用地震動 Sd	津波に伴う荷重	弾性設計用地震動 Sd	津波に伴う荷重
基礎ボルト							

(2) ディスチャージケーシングに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M_d	M_{dcp}	M_{pm}
	弾性設計用地震動 Sd		津波に伴う荷重 によるモーメント
ディスチャージ ケーシング			

(3) リブ溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	Q
	弾性設計用地震動 Sd
リブ	

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.138
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 基礎ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 100$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 118$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

1.4.3 ディスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

60

部材	材料	一次一般膜応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
ディスチャージケーシング		弾性設計用地震動 S _d	$\sigma_d = 71$	S _{da} = 235

すべて許容応力以下である。

1.4.4 リブ溶接部の応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
リブ		せん断	5	133

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

1.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.45
コラムパイプ外径	D c m o	mm	2644
ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	L	mm	9850
津波荷重を受ける面積	A b a s	m ²	8.553

1.5.2 耐震モデル関連
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	3		6.182×10 ⁸
2	2-3	3		6.182×10 ⁸
3	3-4	3		6.182×10 ⁸
4	4-5	3		6.182×10 ⁸
5	5-6	3		6.182×10 ⁸
6	6-7	3		6.182×10 ⁸
7	7-8	3		6.182×10 ⁸
8	8-9	3		6.182×10 ⁸
9	9-10	3		6.182×10 ⁸
10	10-11	3		6.182×10 ⁸
11	11-12	3		6.182×10 ⁸
12	12-13	3		3.321×10 ⁹
13	13-50	3		6.182×10 ⁸
14	14-15	3		4.833×10 ⁸
15	15-16	4		2.013×10 ⁹
16	16-17	4		3.017×10 ⁸
17	17-18	6		5.510×10 ⁸
18	19-20	1		3.595×10 ¹⁰
19	20-21	2		7.821×10 ⁹
20	21-22	2		7.821×10 ⁹
21	22-23	2		1.343×10 ⁹
22	23-24	2		1.343×10 ⁹
23	24-25	2		1.343×10 ⁹
24	25-26	2		7.550×10 ⁹
25	26-27	2		1.486×10 ⁹
26	27-28	2		1.486×10 ⁹
27	28-29	2		1.486×10 ⁹
28	29-51	2		1.486×10 ⁹
29	31-32	1		6.765×10 ¹⁰
30	32-33	1		9.954×10 ¹⁰
31	33-34	1		2.053×10 ¹¹
32	34-35	1		2.053×10 ¹¹
33	35-36	2		1.557×10 ¹¹
34	36-37	2		1.557×10 ¹¹
35	37-38	2		1.557×10 ¹¹
36	38-39	2		1.557×10 ¹¹
37	39-40	2		1.557×10 ¹¹
38	40-41	2		1.778×10 ¹¹
39	41-42	2		1.778×10 ¹¹
40	42-43	2		1.557×10 ¹¹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		



(4) 節点の質量

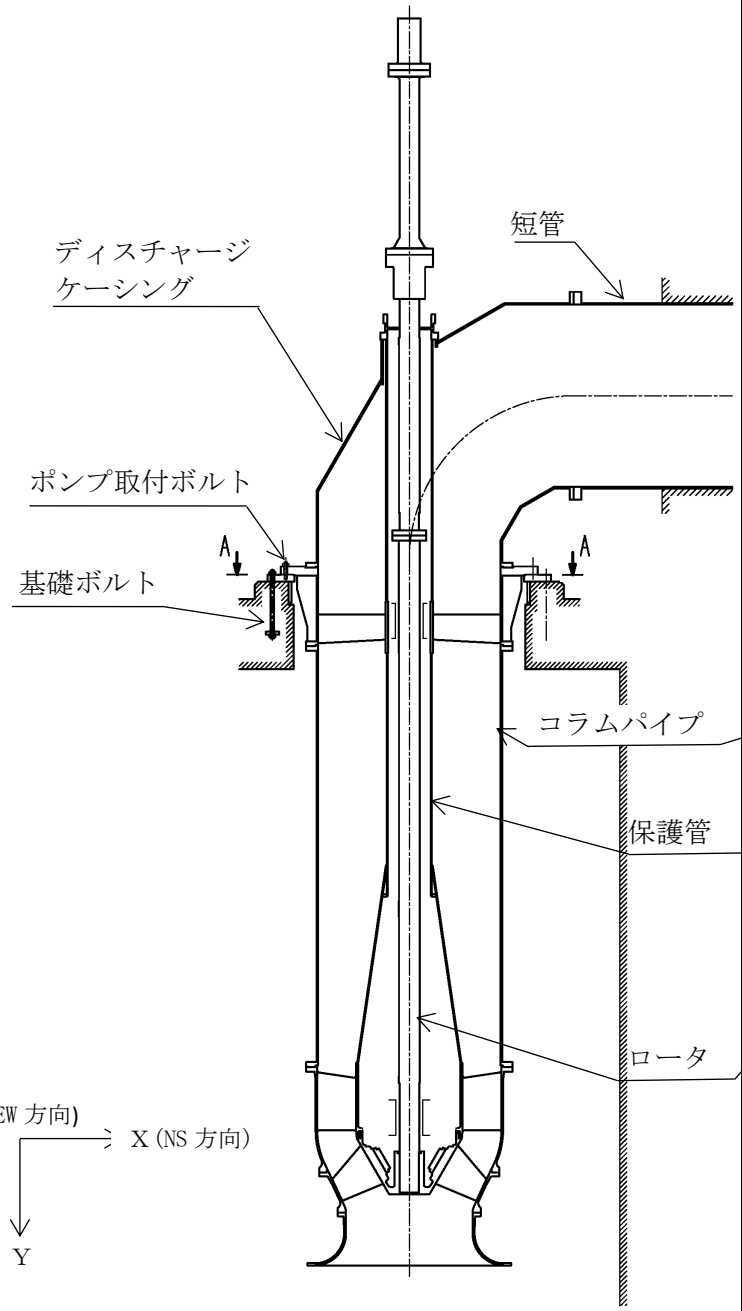
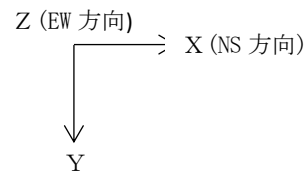
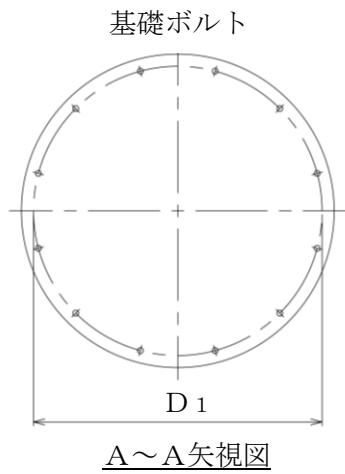
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4		2.00×10^5		0.3	
5		2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	



【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設 (EW 方向)

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d		ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
循環水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.138	0.05 以下	$C_H=0.95^{*2}$ 又は*3	$C_V=0.63^{*2}$	$C_p=0.01$	30	□	0.31

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

(1) 基礎ボルト

部材	m (kg)	D (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	M _p (N・mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
基礎ボルト					12	12	1.337×10^8	198*	504*	205	205

注記*: 周囲環境温度で算出

71

(2) ディスチャージケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージケーシング	—	235* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	400* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

(3) リブ溶接部

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D (mm)	d (mm)	L _R (mm)
リブ	—	231* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	394* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)			

注記*: 周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) 基礎ボルトに作用する力

部材	M_0 (N・mm)	M_{Cp} (N・mm)	M_{fb} (N・mm)	F_b (N)	F_{bt} (N)	Q_b (N)	Q_{bt} (N)
	弾性設計用地震動 S _d		津波に伴う荷重 によるモーメント	弾性設計用地震動 S _d	津波に伴う荷重	弾性設計用地震動 S _d	津波に伴う荷重
基礎ボルト							

(2) ディスチャージケーシングに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M_d	M_{dcp}	M_{pm}
	弾性設計用地震動 S _d		津波に伴う荷重 によるモーメント
ディスチャージ ケーシング			

(3) リブ溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	Q
	弾性設計用地震動 S _d
リブ	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.138
鉛直方向	0.050 以下

2.4.2 基礎ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	$\sigma_b = 124$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 118$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.3 ディスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
ディスチャージケーシング		弾性設計用地震動 S _d	$\sigma_d = 80$	S _{da} = 235

すべて許容応力以下である。

2.4.4 リブ溶接部の応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d	
			算出応力	許容応力
リブ		せん断	5	133

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

2.5.1 津波関連

項目	記号	単位	入力値
抗力係数	C D	—	1.2
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波流速	V	m/s	2
津波最大到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル	z	m	1.45
コラムパイプ外径	D c m o	mm	2644
ポンプ据付部からベルマウス先端までの長さ	L	mm	9850
津波荷重を受ける面積	A b a s	m ²	8.553

2.5.2 耐震モデル関連
 (1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	3		6.182×10 ⁸
2	2-3	3		6.182×10 ⁸
3	3-4	3		6.182×10 ⁸
4	4-5	3		6.182×10 ⁸
5	5-6	3		6.182×10 ⁸
6	6-7	3		6.182×10 ⁸
7	7-8	3		6.182×10 ⁸
8	8-9	3		6.182×10 ⁸
9	9-10	3		6.182×10 ⁸
10	10-11	3		6.182×10 ⁸
11	11-12	3		6.182×10 ⁸
12	12-13	3		3.321×10 ⁹
13	13-50	3		6.182×10 ⁸
14	14-15	3		4.833×10 ⁸
15	15-16	4		2.013×10 ⁹
16	16-17	4		3.017×10 ⁸
17	17-18	6		5.510×10 ⁸
18	19-20	1		3.595×10 ¹⁰
19	20-21	2		7.821×10 ⁹
20	21-22	2		7.821×10 ⁹
21	22-23	2		1.343×10 ⁹
22	23-24	2		1.343×10 ⁹
23	24-25	2		1.343×10 ⁹
24	25-26	2		7.550×10 ⁹
25	26-27	2		1.486×10 ⁹
26	27-28	2		1.486×10 ⁹
27	28-29	2		1.486×10 ⁹
28	29-51	2		1.486×10 ⁹
29	31-32	1		6.765×10 ¹⁰
30	32-33	1		9.954×10 ¹⁰
31	33-34	1		2.053×10 ¹¹
32	34-35	1		2.053×10 ¹¹
33	35-36	2		1.557×10 ¹¹
34	36-37	2		1.557×10 ¹¹
35	37-38	2		1.557×10 ¹¹
36	38-39	2		1.557×10 ¹¹
37	39-40	2		1.557×10 ¹¹
38	40-41	2		1.778×10 ¹¹
39	41-42	2		1.778×10 ¹¹
40	42-43	2		1.557×10 ¹¹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

(4) 節点の質量

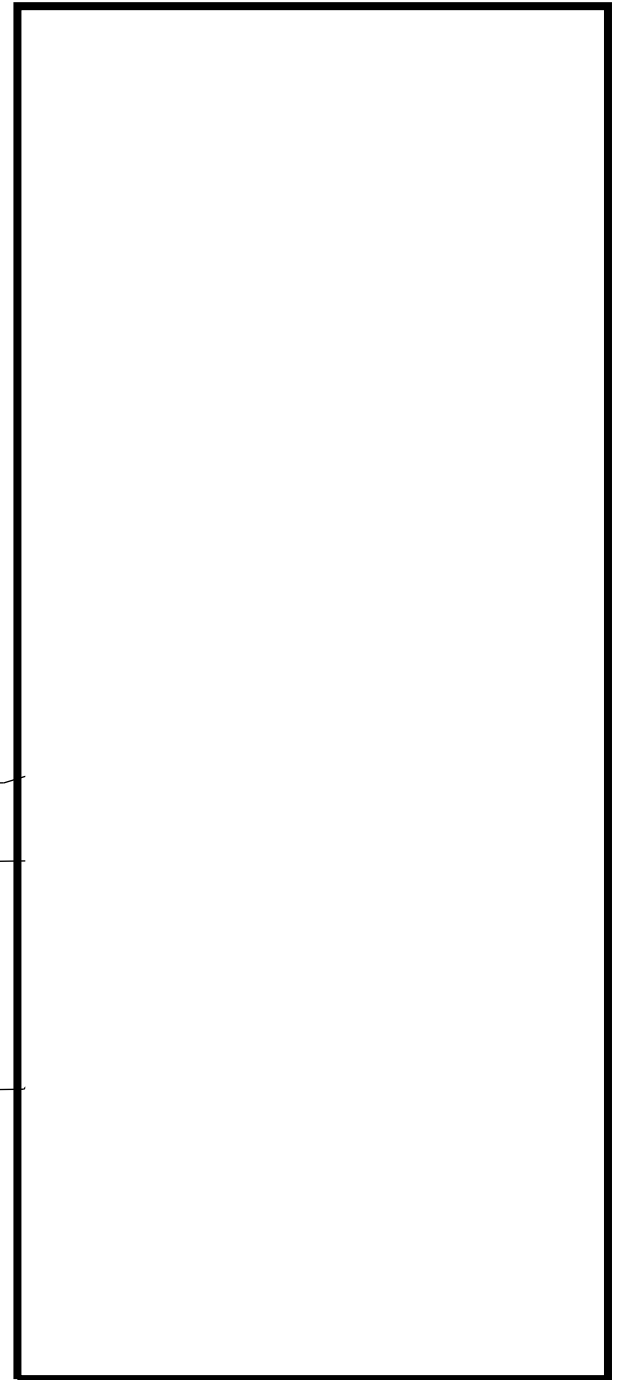
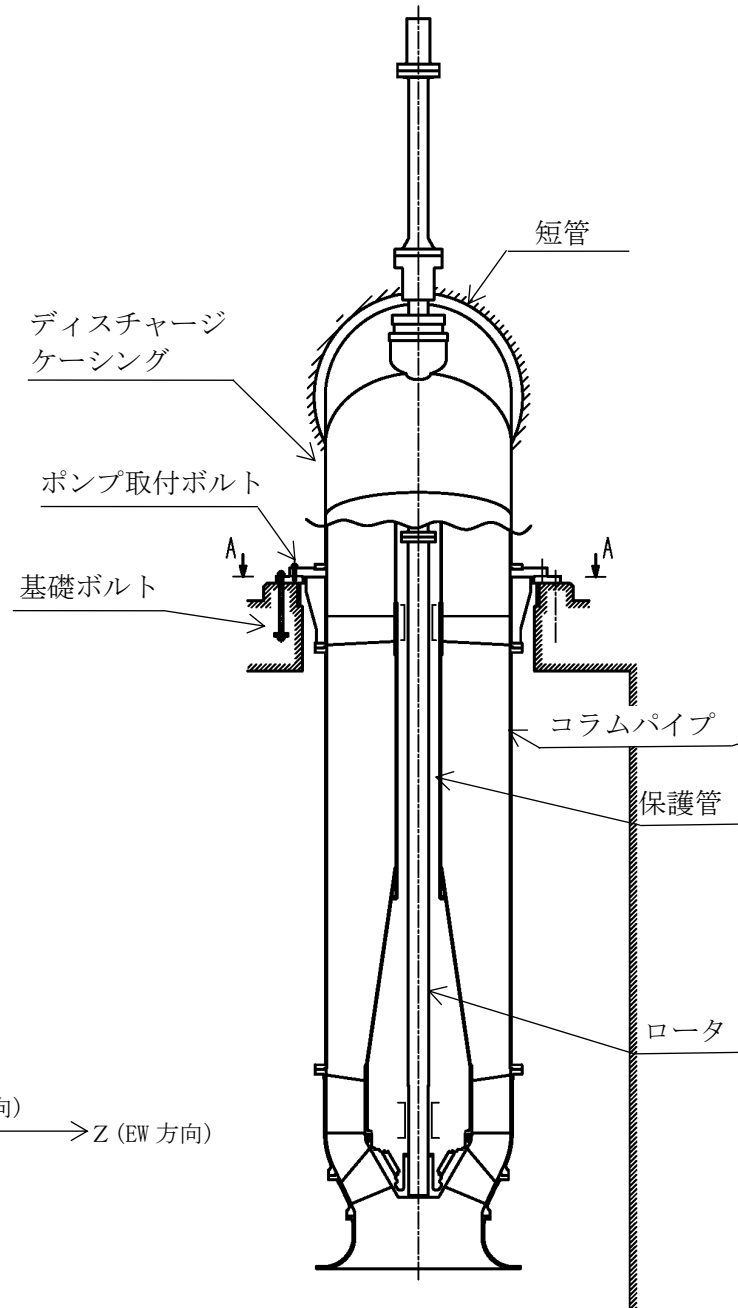
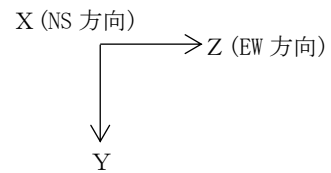
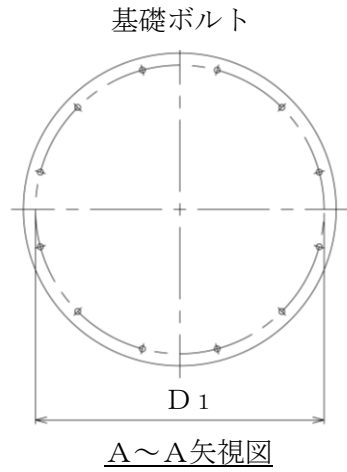
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4	□	2.00×10^5		0.3	
5	□	2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	



4. 配管及び隔離弁

4.1 概要

本計算書は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、浸水防護施設のうち配管及び隔離弁が津波によって生じる静水圧及び余震を考慮した荷重に対して十分な構造強度を有し、浸水防止機能を保持することを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

浸水防護施設の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全24モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.4.2(3)に記載する。

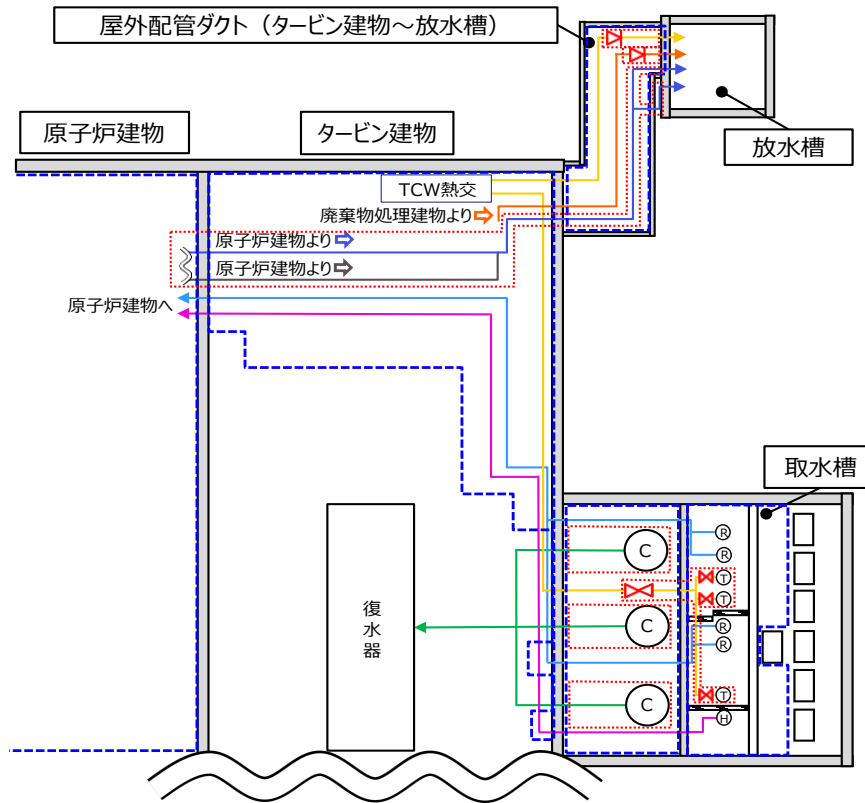
(2) 隔離弁

水圧試験により確認した圧力の弁本体に想定される算出圧力に対する裕度が最小となる弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

4.2 配置概要，概略系統図及び鳥瞰図

4.2.1 配置概要

図4.2-1に示すとおり，浸水防護重点化範囲への津波の流入を防止するため，隔離弁を設置するとともに，バウンダリ機能を保持する配管を設置する。



【凡例】

- : Sクラスとする範囲
- X : 隔離弁（電動弁，逆止弁）
- : 浸水防護重点化範囲
- ← : 原子炉補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 原子炉補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : タービン補機海水系配管（Cクラス）
- ← : 循環水系配管（Cクラス）（点線部は埋設配管を示す）
- ← : 液体廃棄物処理系配管（Cクラス）


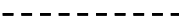
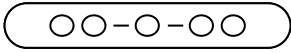


- R : 原子炉補機海水ポンプ（Sクラス）
- H : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（Sクラス）
- T : タービン補機海水ポンプ（Cクラス）
- C : 循環水ポンプ（Cクラス）

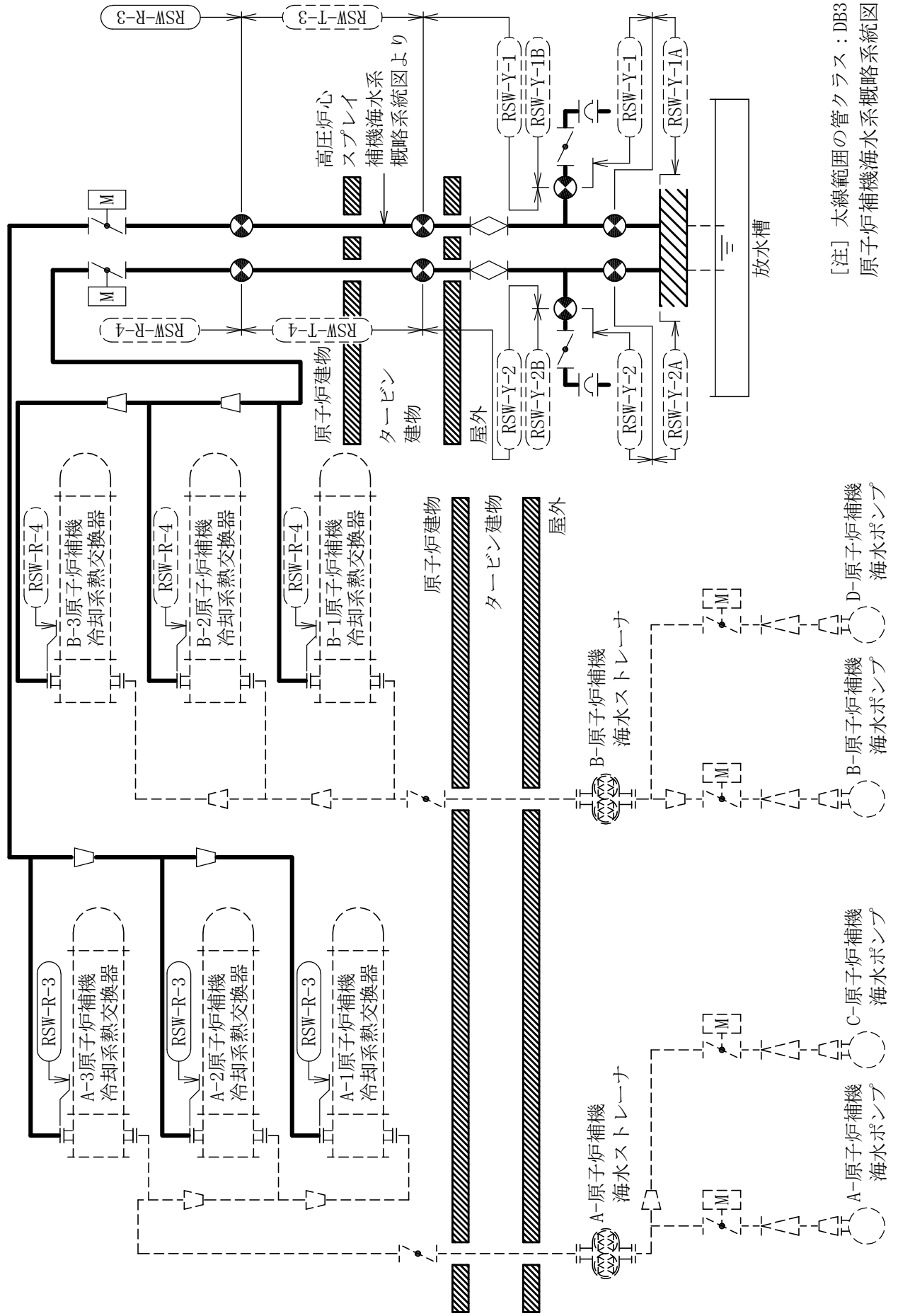
注) 浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図4.2-1 配置概要

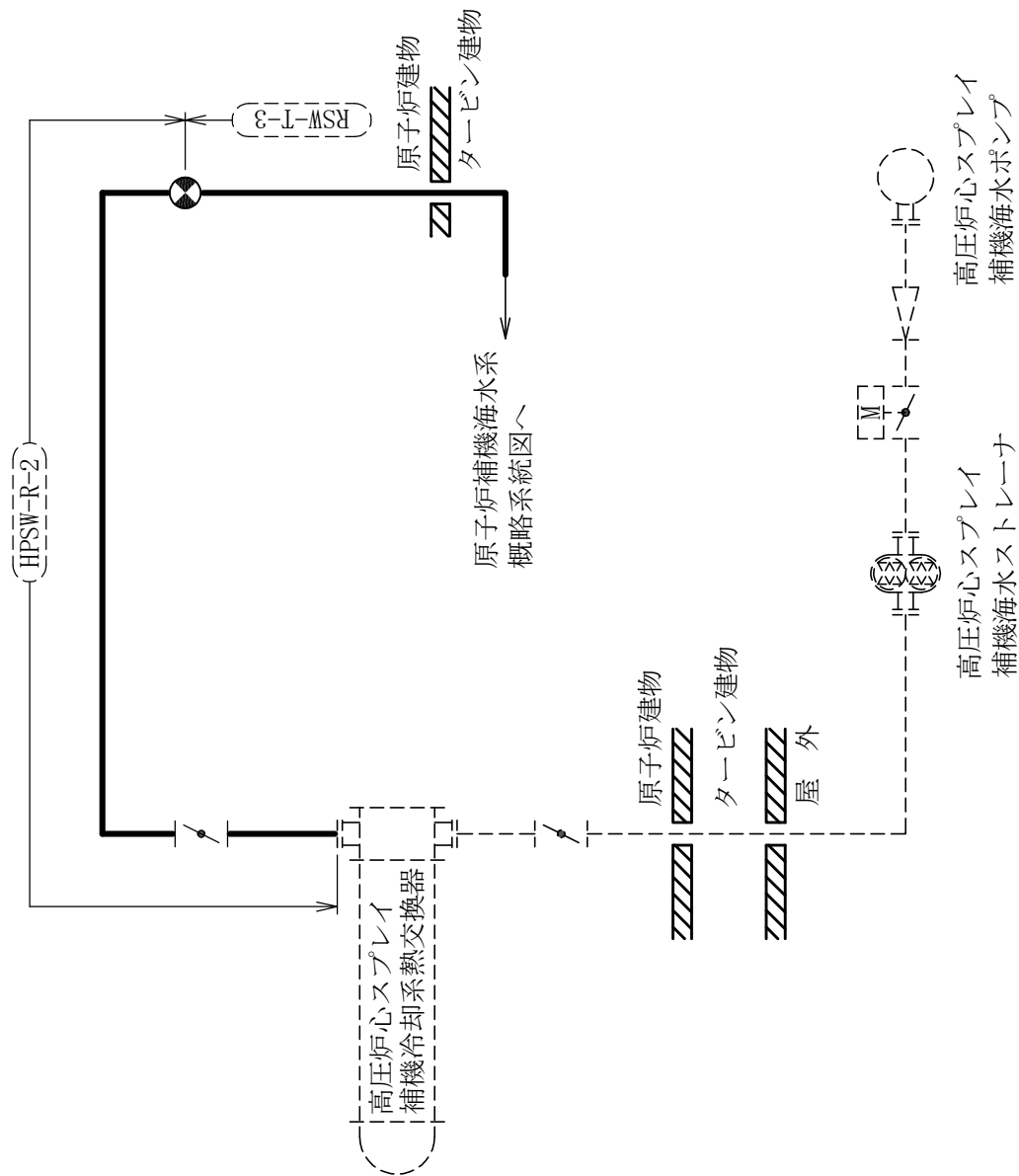
4.2.2 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
<p>[管クラス]</p> DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス1管 クラス2管 クラス3管 クラス4管 重大事故等クラス2管 重大事故等クラス3管 重大事故等クラス2管であってクラス1管 重大事故等クラス2管であってクラス2管 重大事故等クラス2管であってクラス3管 重大事故等クラス2管であってクラス4管

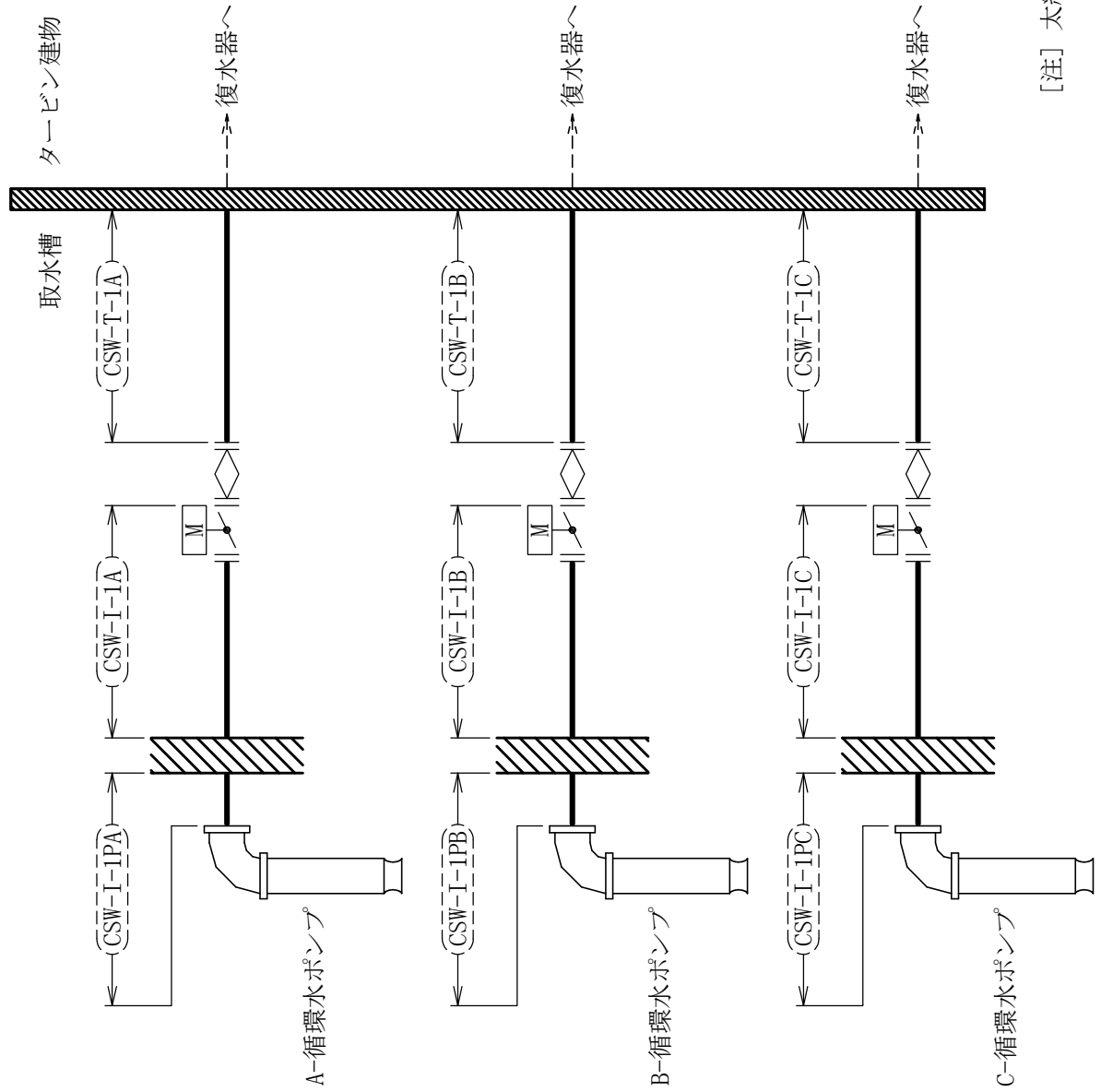


[注] 太線範囲の管クラス：DB3
原子炉補機海水系概略系統図

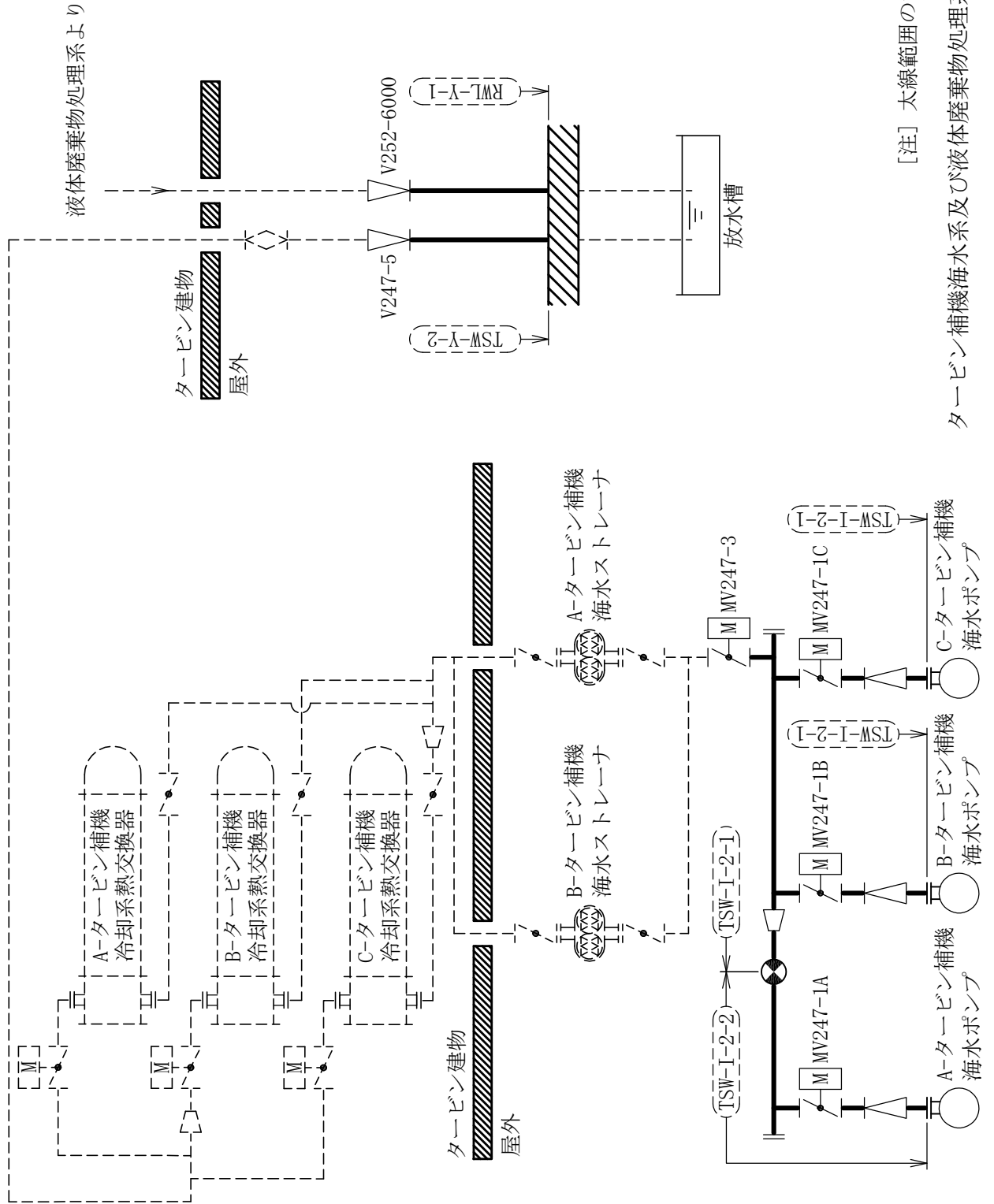


[注] 太線範囲の管クラス：DB3

高圧炉心スプレー補機海水系概略系統図



[注] 太線範囲の管クラス：DB3
 循環水系概略系統図
 (取水槽廻り)


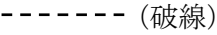


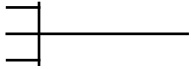
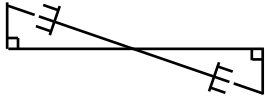
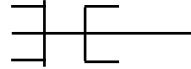
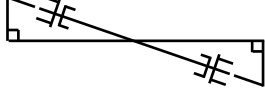

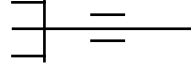
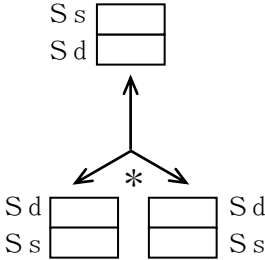


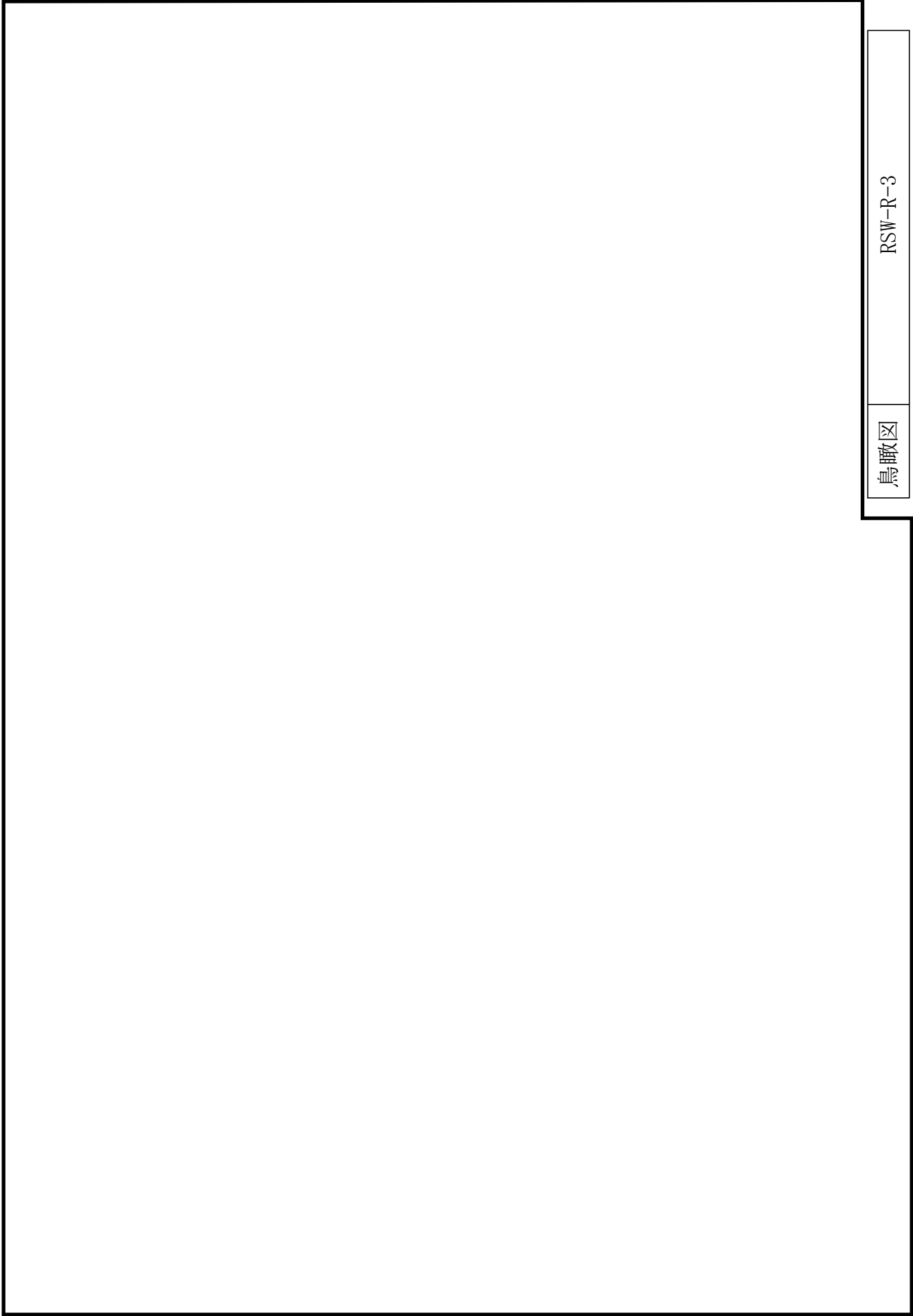
[注] 太線範囲の管クラス：DB3

タービン補機海水系及び液体廃棄物処理系概略系統図

4.2.3 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	<p>拘束点の地震による相対変位量 (mm)</p> <p>(*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)</p> <p>注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。</p>



鳥瞰図

RSW-R-3

4.3 計算条件

4.3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「HISAP」又は「MSAP」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

また、隔離弁は、弁体に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認する。

なお、津波によって生じる静水圧 P_h は、基準津波による水位を考慮する。津波によって生じる静水圧 P_h は以下の式により算出する。ここで、 ρ は海水密度、 g は重力加速度、 h は津波評価高さを示す。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*1	許容応力状態*2
浸水防護施設 (浸水防止設備)	—	原子炉補機海水系	クラス3管	S	D+Ph+Sd	ⅢAS
		高压炉心スプレイ補機海水系				
		循環水系				
		タービン補機海水系				
		液体廃棄物処理系				

注記*1：Dは自重荷重，Phは津波による静水圧荷重，Sdは余震荷重（動水圧含まない。）を示す。自重荷重（D）及び余震荷重（Sd）の組合せが，静水圧による荷重を緩和する方向に作用する場合は，保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

*2：管の許容限界は，VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，許容応力状態ⅢASを用いる。なお，隔離弁の許容限界は，水圧試験により確認した圧力とする。水圧試験では，隔離弁の開状態に対して，静水圧を負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

4.3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-R-3

管 番 号	対応する評価点	最高 使用 圧力* (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~12, 15~73N 22~79N	0.98	40	457.2	9.5	SM41A
2	13~19	0.98	40	558.8	9.5	SM41A
3	20~52F, 60F~67A	0.98	40	711.2	9.5	SM41A
4	55F~60F	0.98	40	711.2	9.5	SM400A

注記*：最高使用圧力が運転圧力と津波による静水圧が同時に作用する場合の圧力を包絡しているため，最高使用圧力を適用する。

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
□	1N～12, 15～73N, 22～79N
□	13～19
□	20～52F, 55F～67A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
	1N, 73N, 79N
	5F, 8F, 10F, 69F, 75F
	14F, 17F
	21F, 24F, 27F, 30F, 34F, 37F, 40F, 43F, 46F, 49F, 63F, 66F
	52F
	55F
	60F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	53	<input type="text"/>	540
<input type="text"/>	5401	<input type="text"/>	54

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
52F~53				53~540			
540~5401				5401~54			
53~55F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
401						
** 6001 **						
11						
18						
2201						
29						
33						
42						
50						
58						
64						
67A						
73N						
79N						

S2 補 VI-3-別添3-2-8 R1

4.3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41A	40	—	245	—	—
SM400A	40	—	245	—	—

隔離弁の許容限界を下表に示す。

弁番号	型式	評価部位	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.81
MV247-3	電動弁	弁本体	2.10
V247-5	逆止弁	弁本体	0.81
V252-6000	逆止弁	弁本体	1.47

4.3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RSW-R-3	原子炉建物	EL			

4.4 解析結果及び評価

4.4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d *2			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：余震条件として弾性設計用地震動 S d を考慮する。

*3：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

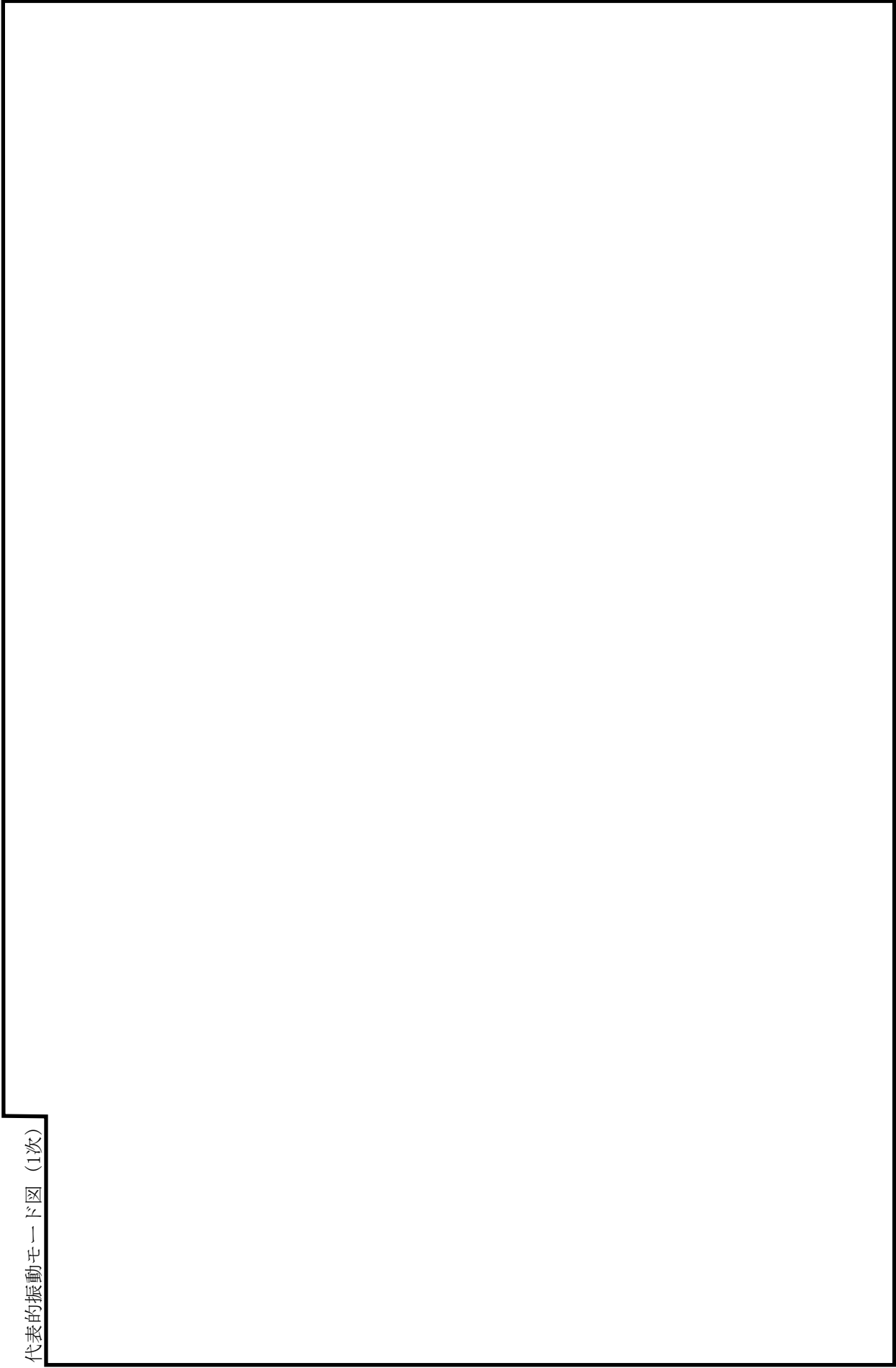
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

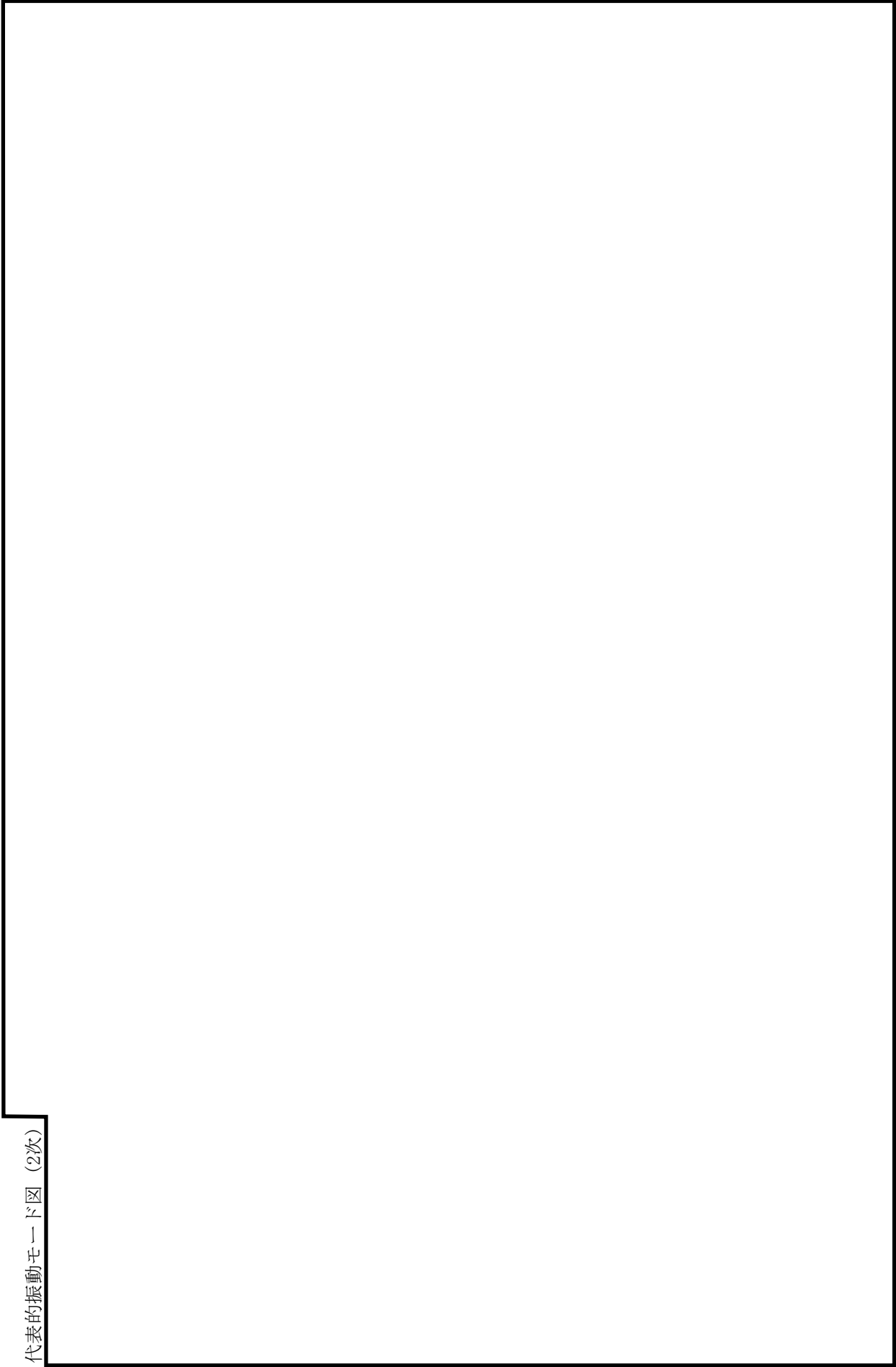
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

RSW-R-3

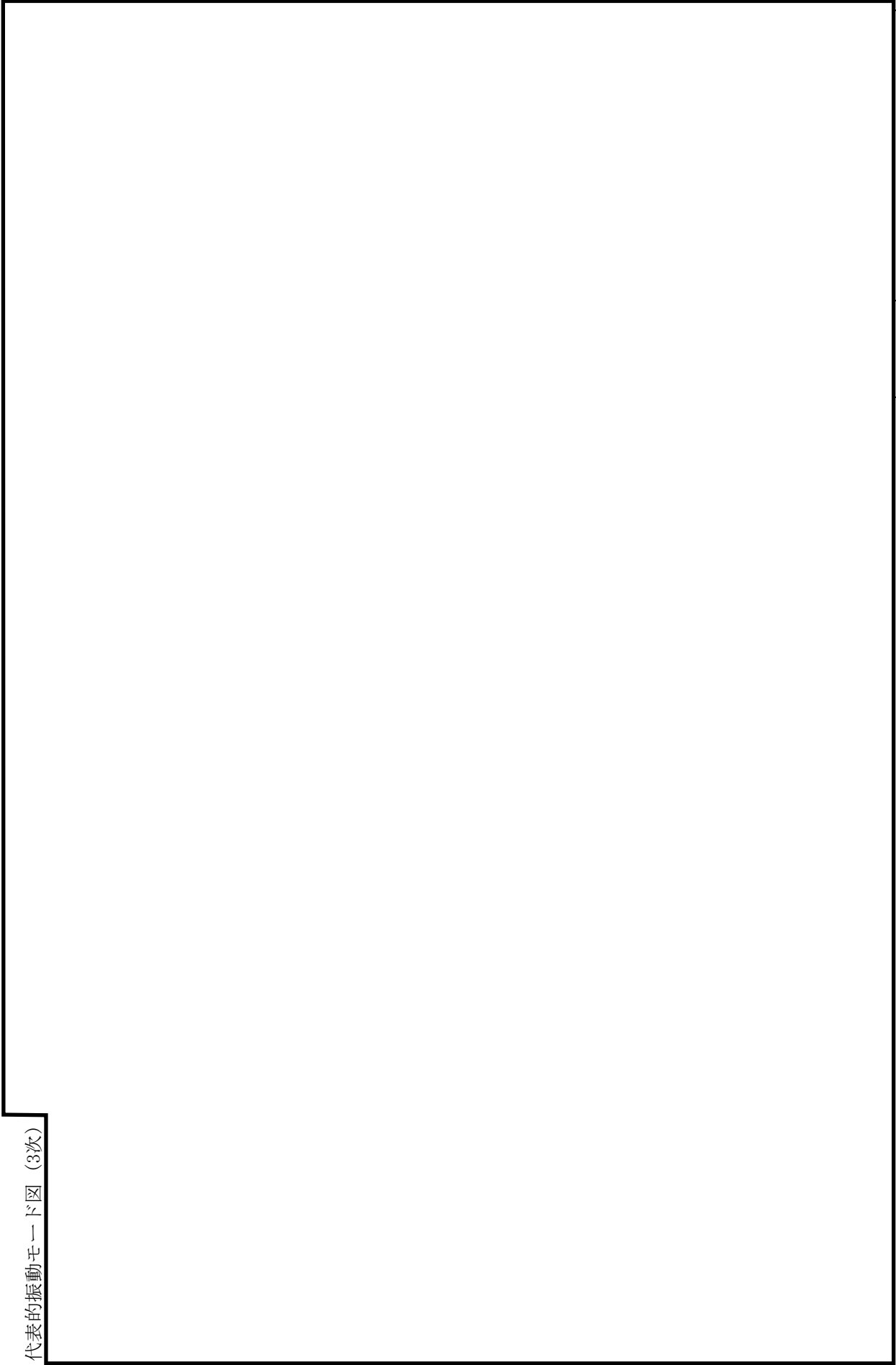
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

RSW-R-3

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

RSW-R-3

4.4.2 評価結果

(1) 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力は許容値以下である。

クラス3管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価	
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
III _A S	一次応力 $S_{p r m}(S y^*)$	RSW-R-3	22	148	245

注記*：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $S y$ と1.2・ S のうち大きい方とする。

(2) 弁の健全性評価結果

下表に示すとおり発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることを確認した。

弁番号	型式	評価部位	発生圧力 (MPa)	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.17	0.81
V247-5	逆止弁	弁本体	0.31	0.81

(3) 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S				
		一次応力評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1	RSW-R-3	22	148	245	1.65	○
2	RSW-R-4	16	113	245	2.16	—
3	RSW-T-3	66	92	215	2.33	—
4	RSW-T-4	10	56	245	4.37	—
5	RSW-Y-1	411	50	245	4.90	—
6	RSW-Y-1A	813	35	245	7.00	—
7	RSW-Y-1B	816	47	245	5.21	—
8	RSW-Y-2	511	48	245	5.10	—
9	RSW-Y-2A	814	34	245	7.20	—
10	RSW-Y-2B	2	35	245	7.00	—
11	HPSW-R-2	36	71	215	3.02	—
12	CSW-T-1A	8A	32	235	7.34	—
13	CSW-T-1B	8A	32	235	7.34	—
14	CSW-T-1C	8A	32	235	7.34	—
15	CSW-I-1A	1A	16	235	14.68	—
16	CSW-I-1B	1A	16	235	14.68	—
17	CSW-I-1C	1A	16	235	14.68	—
18	CSW-I-1PA	4A	33	235	7.12	—
19	CSW-I-1PB	4A	33	235	7.12	—
20	CSW-I-1PC	4A	33	235	7.12	—
21	TSW-I-2-1	441	62	245	3.95	—
22	TSW-I-2-2	401	57	245	4.29	—
23	TSW-Y-2	7	63	245	3.88	—
24	RWL-Y-1	852	44	231	5.25	—

VI-3-別添 3-2-9 貫通部止水処置の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	8
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 構造強度評価	12
4.1 構造強度評価方法	12
4.2 荷重及び荷重の組合せ	12
4.2.1 荷重の設定	12
4.2.2 荷重の組合せ	13
4.3 許容限界	14
4.4 設計用地震力	18
4.5 計算方法	19
4.5.1 シール材及びブーツの強度評価（発生圧力計算）	19
4.5.2 モルタルの強度評価（荷重計算）	19
4.5.3 電路貫通部金属ボックスの強度評価（応力計算）	19
4.6 計算条件	21
5. 評価結果	25

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち貫通部止水処置が、地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、津波の流入及び内部溢水の浸水によって生じる静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

貫通部止水処置は、VI-3-別添 3-1「津波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」の構造計画に示すとおり、各建物及び区画の貫通口と貫通物との隙間又は貫通部の周囲に施工する。

2.2 構造計画

貫通部止水処置の構造は、VI-3-別添 3-1「津波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」の構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は、貫通部の位置条件及び貫通部の強度条件に応じて、シーラ材、モルタル又はブーツを使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シーラ材及びモルタルは壁面又は床面の貫通口と貫通物の隙間に施工し、壁面又は床面と貫通物を接合する構造とする。なお、ケーブルトレイ、電線管（以下「電路」という。）の貫通部の止水においては、シーラ材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁面又は床面に固定し、金属ボックスにシーラ材を充填する場合がある。ブーツは、伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画

設備 名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプの シール材にて 構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		電路貫通部については、シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁面又は床に固定し、金属ボックスにシール材を充填する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	<p>ダム材：液状のシール材が反応硬化するまでの間に必要な堰止め材</p>

S2 補 VI-3-別添 3-2-9 R1

2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、貫通部止水処置の評価部位に作用する荷重等が許容限界以下であることを確認する。

貫通部止水処置のシール材及びブーツ、モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価フローをそれぞれ、図 2-1、図 2-2 並びに図 2-3 に示す。

貫通部止水処置の強度評価においては、その構造を踏まえ、地震による動水圧荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、津波の流入及び内部溢水の浸水によって生じる静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時においては、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた床応答スペクトル又は最大床応答加速度から算出した値を設計震度として用いる。なお、強度評価に当たっては、弾性設計用地震動 S_d による余震荷重を考慮した評価を実施する。

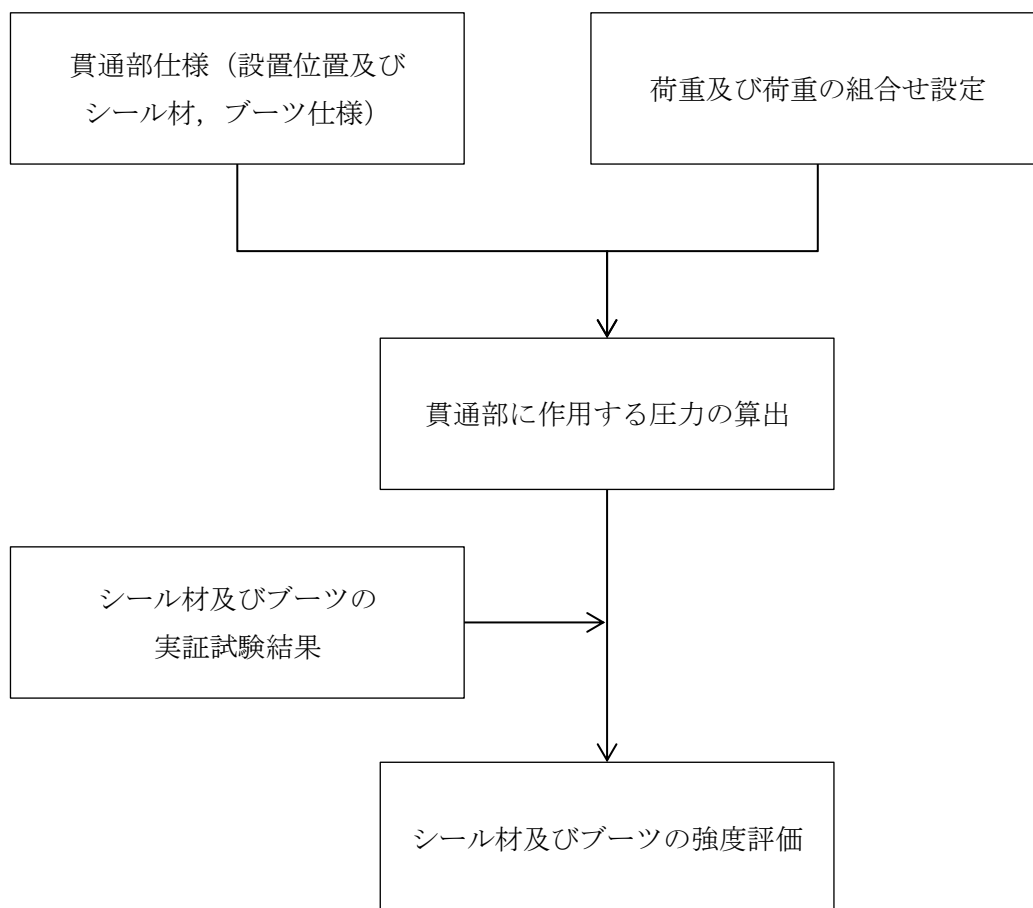


図 2-1 シール材及びブーツの強度評価フロー

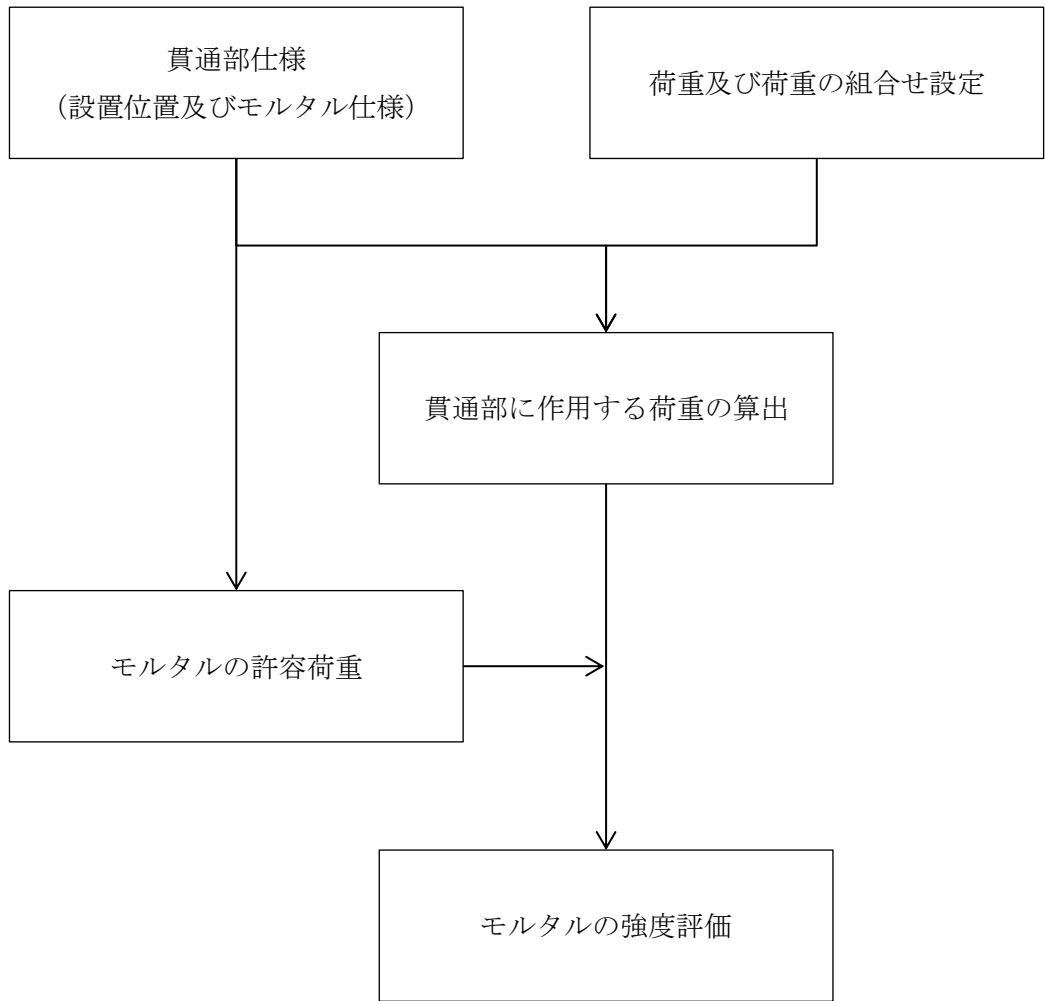


図 2-2 モルタルの強度評価フロー

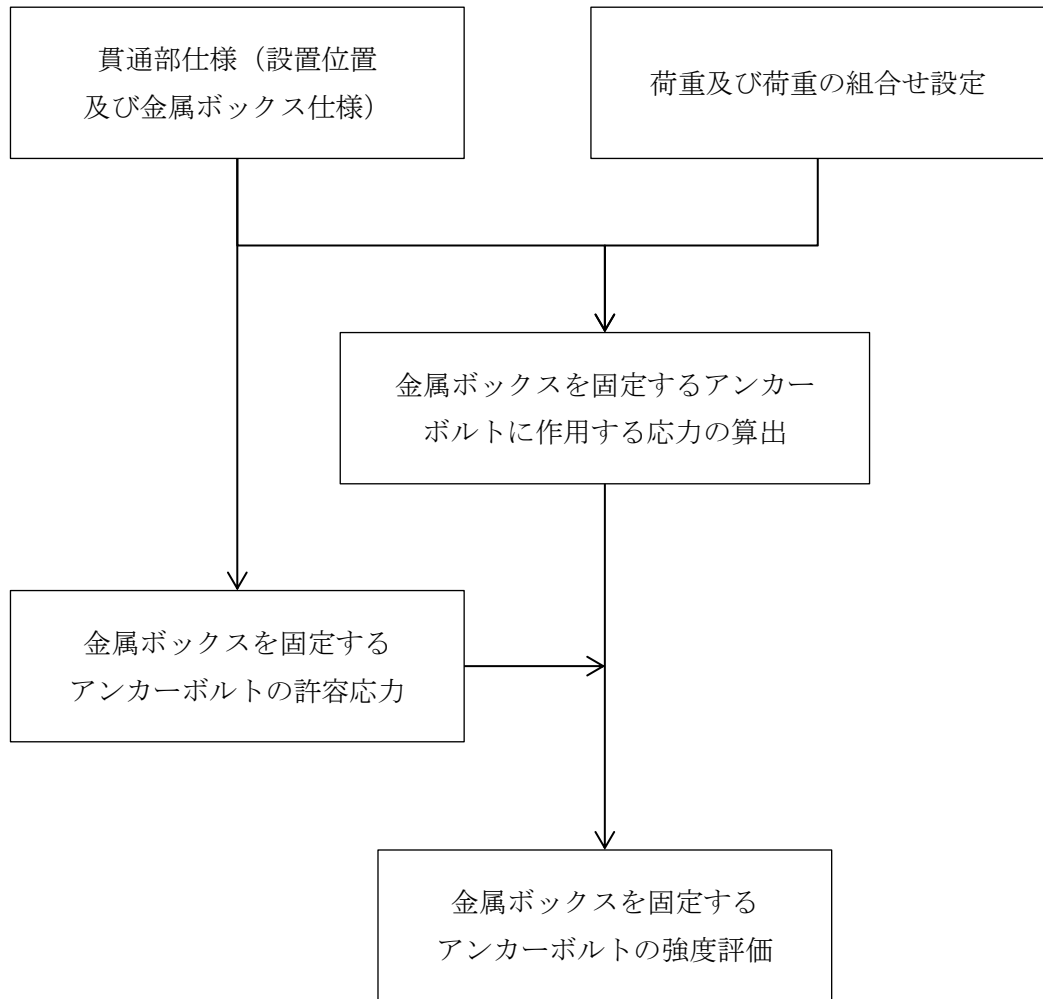


図 2-3 電路貫通部金属ボックスの強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定) (以下「コンクリート標準示方書」という。)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) (J S M E S N C 1 -2005/2007) ((社) 日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・機械工学便覧 基礎編 $\alpha 2$ 機械力学 ((社) 日本機械学会, 2004 改訂)

2.5 記号の説明

シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価に用いる記号を表2-2，表2-3並びに表2-4に示す。

表2-2 シール材及びブーツの強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
C_{HW}	動水圧算出用の水平方向震度	—
g	重力加速度	m/s^2
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
h	貫通部位置における浸水深さ	m
P_d	動水圧	MPa
P_h	静水圧	MPa
P_{total}	シール材及びブーツに生じる合計圧力	MPa
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3

表2-3 モルタルの強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
A'	モルタルが水圧を受ける面積	mm^2
C_1	余震による貫通物の軸方向設計震度	—
C_{HW}	動水圧算出用の水平方向震度	—
d	貫通物の直径	mm
f_s	モルタルの許容付着荷重	N
f'_{bok}	モルタルの付着強度	MPa
f'_{ck}	モルタルの圧縮強度	MPa
F_P	静水圧及び動水圧により生じる付着荷重	N
F_S	貫通物の反力によりモルタルに生じる付着荷重	N
F_{Stotal}	モルタル部に生じる合計付着荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
h	貫通部位置における浸水深さ	m
L	貫通物の支持間隔	mm
L_w	モルタルの充填深さ	mm
P_d	動水圧	MPa
P_h	静水圧	MPa
w	貫通物の単位長さ当たりの質量	kg/m
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
γ_c	材料定数	—

表 2-4 電路貫通部金属ボックスの強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_b	アンカーボルトの軸断面積	mm^2
A_{S1}	金属ボックスの受圧面積（側面）	mm^2
A_{S2}	金属ボックスの受圧面積（上面）	mm^2
C_H	余震による水平方向設計震度	—
C_{HW}	動水圧算出用の余震による水平方向震度	—
C_V	余震による鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_b	アンカーボルトに作用する引張力	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し左右方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張力	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し前後方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度	m/s^2
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
h	貫通部位置における浸水深さ	m
h_1	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
h_2	金属ボックス上面における浸水深さ	mm
L_1	金属ボックスの幅	mm
L_2	金属ボックスの高さ	mm
L_3	金属ボックスの奥行	mm
l_1	重心と下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
l_2	上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
l_3	左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離	mm
m	金属ボックスの質量（充填されているシール材質量を含む）	kg
n	アンカーボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けることを期待するアンカーボルトの本数（正面方向）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けることを期待するアンカーボルトの本数（側面方向）	—
P_d	動水圧	MPa
Q_b	アンカーボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
σ	アンカーボルトに作用する引張応力	MPa
τ	アンカーボルトに作用するせん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-5 に示すとおりである。

表 2-5 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	桁処理	処理方法	表示桁
モルタル圧縮強度	MPa	—	—	小数点以下第 1 位
材料定数	—	—	—	小数点以下第 1 位
水深の比による補正係数	—	—	—	整数位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
単位長さ質量	kg/m	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
密度	kg/m ³	—	—	整数位
長さ	mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
床面高さ	m	—	—	整数位 ^{*1}
水深	m	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
発生荷重	kN	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁
許容荷重	kN	有効数字 4 桁目	切捨て	有効数字 3 桁
発生応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
発生圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
許容圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。また、設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

貫通部止水処置の評価部位は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価部位を踏まえて、「2.2 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、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重、津波の流入及び内部溢水の浸水によって生じる静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重は、貫通部止水処置全体へ伝達される。このことから、シーラ材、ブーツ及びモルタルを用いた貫通部止水処置全体を評価部位として設定する。

シーラ材及びブーツについては、作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。モルタルについては、作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。さらに、電路貫通部金属ボックスについては、アンカーボルトで壁面又は床面に固定する構造であることから、アンカーボルトを評価部位とする。アンカーボルトに作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 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、「4.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (D)

固定荷重として、貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）及びその内容物の質量を考慮する。

(2) 静水圧による荷重 (P_h)

静水圧による荷重として、津波による水位を用いた静水圧を考慮する。

(3) 動水圧による荷重 (P_d)

動水圧による荷重として、弾性設計用地震動 S_d に伴う動水圧を考慮する。

(4) 余震荷重 (S_d)

モルタル及び電路貫通部金属ボックスアンカーボルトについて、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力を考慮する。余震荷重の算出方法を以下に示す。

a. モルタル

貫通物からモルタルに作用する荷重として、支持構造物間の固定荷重及び地震力（余震荷重）を考慮する。モルタルの余震荷重作用図を図 4-1 に示す。

また、貫通物の軸方向（モルタルへの付着方向）については、十分な剛性を有しているため、剛構造であると判断し、貫通物の設置場所又は上層における最大床応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて発生荷重を算出する。

b. 電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスは、アンカーボルトによって固定されていることから、アンカーボルトには固定荷重と余震荷重が作用し、金属ボックスが水平方向及び鉛直方向へ転倒する力が働く。電路貫通部金属ボックスの余震荷重作用図を図 4-2 に示す。

また、固有周期の計算結果（VI-2-10-2-15「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」の「4. 固有周期」「4.3 固有周期の計算結果」を参照）から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造であるため、金属ボックスの設置場所における最大床応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて算出する。

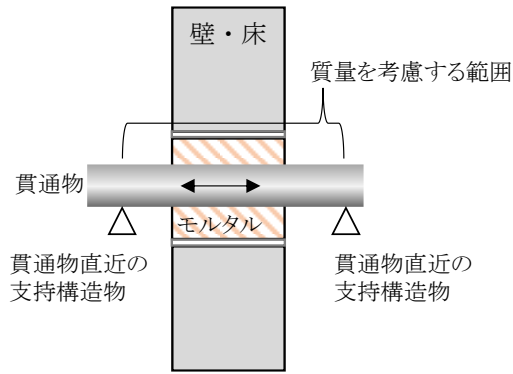


図 4-1 モルタルの余震荷重作用図

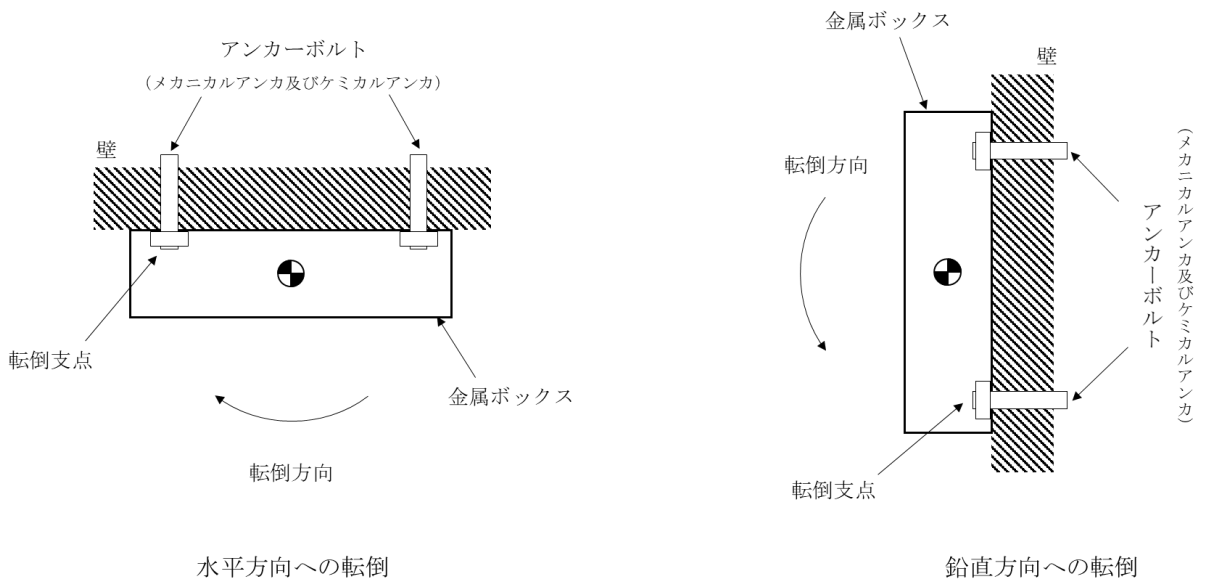


図 4-2 電路貫通部金属ボックスの余震荷重作用図

4.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 (浸水防止設備)	貫通部止水処置	$D + P_h + P_d + S_d$

注記* : D は固定荷重, P_h は静水圧による荷重, P_d は動水圧による荷重, S_d は余震荷重 (動水圧を含まない。)を示す。

4.3 許容限界

(1) シール材

シール材の許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。配管貫通部及び電路貫通部のシール材の水圧試験の概要をそれぞれ、図4-3及び図4-4に示す。実機施工時においては、試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し、かつ、想定する浸水高さから求まる静水圧が、許容限界値以内であることを確認し耐圧性を確保する。

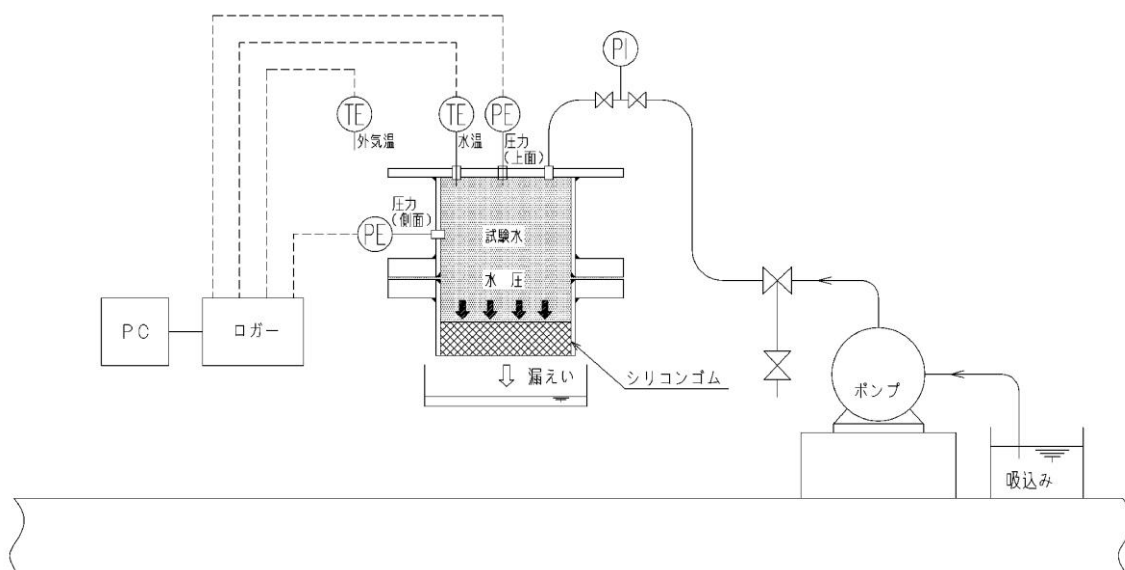


図4-3 シール材の水圧試験の概要（配管貫通部）

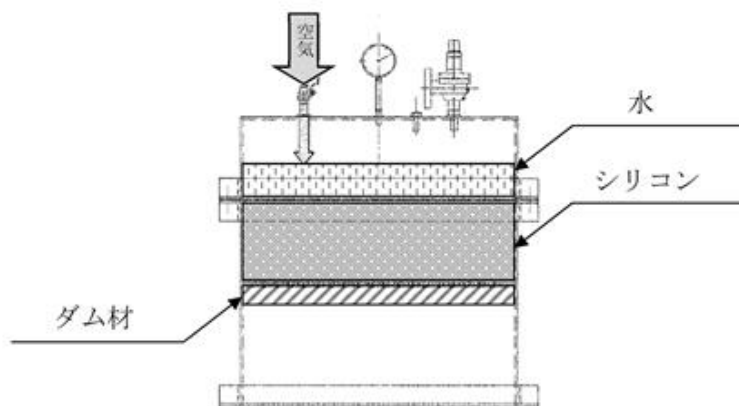


図4-4 シール材の水圧試験の概要（電路貫通部）

(2) ブーツ

ブーツの許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。また、実機の施工状況を考慮し、受圧面がブーツ内側又は外側のどちらの場合でも止水機能が確保できることを確認するため、内圧試験及び外圧試験の両ケースを実施する。ブーツの水圧試験の概要を図4-5に示す。

実機施工時においては、試験検証済みの寸法以下で施工する。

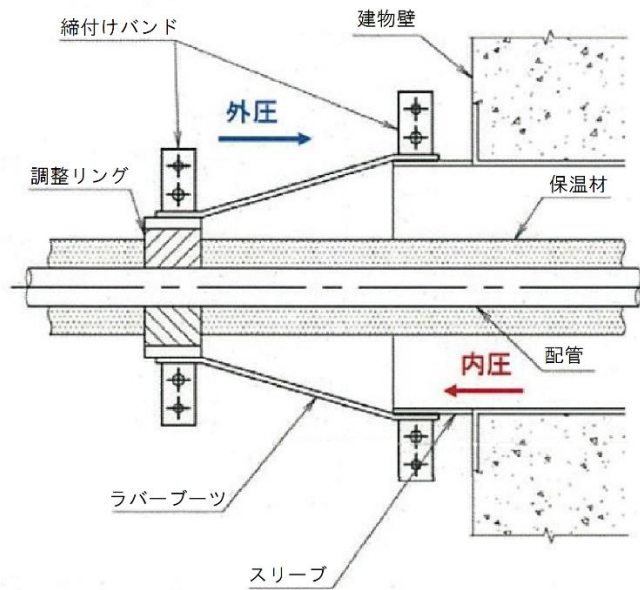


図 4-5 ブーツの水圧試験の概要

(3) モルタル

各評価部位の許容値は、コンクリート標準示方書に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界，許容限界評価条件，許容限界算出結果をそれぞれ，表 4-2，表 4-3 及び表 4-4 に示す。また，モルタルの施工例を図 4-6 に示す。

表 4-2 貫通部止水処置の許容限界

状態	評価部位	許容限界*
		付着荷重
短期	モルタル	f_s

注記*：モルタルの許容限界は，コンクリート標準示方書により，モルタルの許容付着荷重 f_s 及びモルタル付着強度 f'_{bok} を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。

$$f_s = f'_{bok} \cdot \pi \cdot d \cdot L_w / \gamma_c$$

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

表 4-3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

モルタル圧縮強度 f'_{ck} (MPa)	貫通物の直径 d (mm)	モルタル充填深さ L_w (mm)	材料定数 γ_c
□	□	□	□

表 4-4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価部位	許容限界
		付着荷重 (kN)
短期	モルタル	8.21×10^3

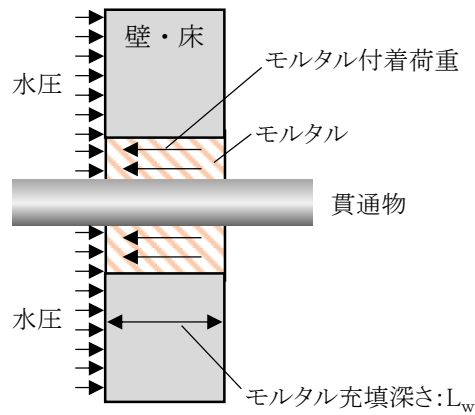


図 4-6 モルタルの施工例

(4) 電路貫通部金属ボックス

各評価部位の許容値は設計・建設規格に規定される許容値を用いる。アンカーボルトの許容限界，許容限界荷重評価条件，許容限界算出結果をそれぞれ，表 4-5，表 4-6 及び表 4-7 に示す。また，電路貫通部金属ボックスの施工例を図 4-7 に示す。

表 4-5 アンカーボルトの許容限界

許容応力 状態	評価部位	許容限界	
		引張応力 $f_{t o}^*$	せん断応力 $f_{s b}$
Ⅲ _A S	アンカーボルト	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

注記*：せん断応力を同時に受ける場合の許容組合せ応力 $f_{t s}$ は，以下のとおりとする。

$$f_{t s} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau, f_{t o})$$

表 4-6 アンカーボルトの許容限界評価条件

評価部位	材料	F (MPa)
アンカーボルト	SS400 相当	215

表 4-7 電路貫通部金属ボックスの許容限界算出結果

許容引張応力 f_{t0} (MPa)	許容せん断応力 f_s (MPa)
129	99

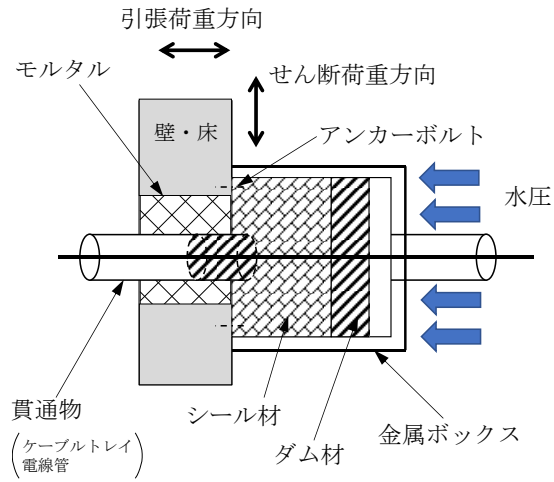


図 4-7 電路貫通部金属ボックスの施工例

4.4 設計用地震力

モルタル及び電路貫通部金属ボックスの評価に用いる設計用震度を表 4-8 に示す。弾性設計用地震動 S d に伴う地震力については、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。

表 4-8 モルタル及び電路貫通部金属ボックスの評価に用いる設計用震度

地震動	設置場所及び 床面高さ(m)	余震による設計震度*1		備考
弾性設計用 地震動 S d	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5*2)	貫通物軸方向 C _I *3	0.67	モルタルの評価に使用
弾性設計用 地震動 S d	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5*2)	水平方向 C _H *4	0.72	電路貫通部金属ボックス (アンカーボルト) の評 価に使用
		鉛直方向 C _V *4	0.38	

注記*1：設計震度は、設計用震度 I に基づき設定する。

*2：基準床レベルを示す。

*3：貫通物の軸方向は十分な剛性を有しているため、剛構造であると判断し、基準床の最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とする。

*4：電路貫通部金属ボックスは固有周期が 0.05 秒以下であり、剛構造であるため、基準床の最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とする。

4.5 計算方法

4.5.1 シール材及びブーツの強度評価（発生圧力計算）

津波による溢水の静水圧及び余震による動水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_d = \beta \cdot (7/8) \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

$$P_{total} = P_h + P_d$$

4.5.2 モルタルの強度評価（荷重計算）

(1) 静水圧及び動水圧により生じる荷重

静水圧及び動水圧によりモルタルに生じる付着荷重は、次のとおり算出する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_d = \beta \cdot (7/8) \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

$$F_P = (P_h + P_d) \cdot A'$$

(2) 貫通物の反力により生じる荷重

固定荷重及び地震時の貫通物の反力によりモルタルに生じる付着荷重は、次のとおり算出する。

$$F_S = w \cdot L \cdot g \cdot (1 + C_1)$$

(3) 合計荷重

モルタルに生じる合計付着荷重は、次のとおり算出する。

$$F_{Stotal} = F_P + F_S$$

4.5.3 電路貫通部金属ボックスの強度評価（応力計算）

(1) 動水圧の算出

動水圧は、次のとおり算出する。

$$P_d = \beta \cdot (7/8) \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

(2) 余震により生じる応力

固定荷重及び弾性設計用地震動 S_d により、アンカーボルトに生じる応力は次のとおり算出する。

a. 引張応力の計算

金属ボックスが水平方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + P_d \cdot A_{S1} \cdot h_1}{n_{fH} \cdot \ell_3}$$

$$+ \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g + \rho \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot A_{S2} \cdot h_2 \cdot 10^{-9} \cdot h_1}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

金属ボックスが鉛直方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_1 \cdot g + P_d \cdot A_{S1} \cdot \ell_1}{n_{fv} \cdot \ell_2} + \frac{m \cdot (1 + C_v) \cdot h_1 \cdot g + \rho \cdot g \cdot (1 + C_v) \cdot A_{S2} \cdot h_2 \cdot 10^{-9} \cdot h_1}{n_{fv} \cdot \ell_2}$$

引張力

$$F_b = \text{Max}(F_{b1}, F_{b2})$$

引張応力

$$\sigma = F_b / A_b$$

b. せん断応力の計算

アンカーボルトに対するせん断応力は、アンカーボルト全本数で受けるものとして計算する。

水平方向の力

$$Q_{b1} = C_H \cdot m \cdot g + P_d \cdot A_{S1}$$

鉛直方向の力

$$Q_{b2} = (1 + C_v) \cdot m \cdot g + \rho \cdot g \cdot (1 + C_v) \cdot A_{S2} \cdot h_2 \cdot 10^{-9}$$

せん断力

$$Q_b = \sqrt{Q_{b1}^2 + Q_{b2}^2}$$

せん断応力

$$\tau = Q_b / (n \cdot A_b)$$

4.6 計算条件

シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価に関する計算条件をそれぞれ，表4-9，表4-10並びに表4-11に示す。

表4-9 シール材及びブーツの強度評価に関する計算条件

貫通箇所 (貫通部仕様)	動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (m)	貫通部位置における 浸水深さ h (m)
タービン建物 地下1階 (シール材 (配管))	0.72	5.05	4.79
タービン建物 地下1階 (シール材 (電路))	0.72	5.05	1.94
タービン建物 地下1階 (ブーツ)	0.72	3.30	2.96

浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m ³)
1	1030
1	1030
1	1030


表 4-10 モルタルの強度評価に関する計算条件




貫通箇所 (貫通部仕様)	モルタルが水圧を 受ける面積 A' (mm ²)	動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (m)
タービン建物 地下1階 (モルタル)	□	0.67	5.05





貫通部位置における 浸水深さ h (m)	貫通物の支持間隔 L (mm)	貫通物の単位長さ 当たりの質量 w (kg/m)	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 β
2.90	□	□	1

海水の密度 ρ (kg/m ³)
1030

表 4-11 電路貫通部金属ボックスの強度評価に関する計算条件 (1/2)

貫通箇所 (貫通部仕様)	アンカーボルトの 軸断面積 A_b (mm ²)	動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H (m)
タービン建物 地下1階 (金属ボックス)		0.72	5.05

貫通部位置における 浸水深さ h (m)	据付面又は取付面か ら重心までの距離 h_1 (mm)	金属ボックス上面に おける浸水深さ h_2 (m)	金属ボックスの幅 L_1 (mm)
1.94			

金属ボックスの高さ L_2 (mm)	金属ボックスの奥行 L_3 (mm)	重心と下側アンカー ボルト間の鉛直方向 距離 l_1 (mm)	上側アンカーボルト と下側アンカーボル ト間の鉛直方向距離 l_2 (mm)
			








左側アンカーボルト と右側アンカーボル ト間の水平方向距離 l_3 (mm)	金属ボックスの質量 (充填されているシ ール材質量を含む) m (kg)	アンカーボルトの 本数 n	評価上引張力を受け ることを期待する アンカーボルトの 本数 (正面方向) n_{fH}
			

表 4-11 電路貫通部金属ボックスの強度評価に関する計算条件 (2/2)

評価上引張力を受けることを期待するアンカーボルトの本数 (側面方向) n_{fv}	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m ³)	金属ボックスの受圧面積 (側面) A_{s1} (mm ²)
	1	1030	

金属ボックスの受圧面積 (上面) A_{s2} (mm ²)


注記* : 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

5. 評価結果

シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価結果をそれぞれ，表 5-1，表 5-2 並びに表 5-3 に示す。シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの発生圧力，発生荷重又は発生応力は，許容圧力，許容荷重又は許容応力以下であることから，貫通部止水処置が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 シール材及びブーツの強度評価結果

評価部位	場所	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材 (配管)	タービン建物	0.09	□
シール材 (電路)	タービン建物	0.04	□
ブーツ	タービン建物	0.05	□

表 5-2 モルタルの強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	付着荷重	6.86×10^3	8.21×10^3

表 5-3 電路貫通部金属ボックスの強度評価結果

評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
電路貫通部 金属ボックス (アンカーボルト)	引張応力	82	129*
	せん断応力	25	99

注記*：次式にて計算した値を示す。

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to})$$

VI-3-別添 3-2-10 取水槽水位計の強度計算書

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	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
2.6 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	9
4.1 固有値解析方法	9
4.2 解析モデル及び諸元	9
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、津波監視設備のうち取水槽水位計が、津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、十分な構造健全性を有することについて説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

取水槽水位計の配置図を図 2-1 に示す。

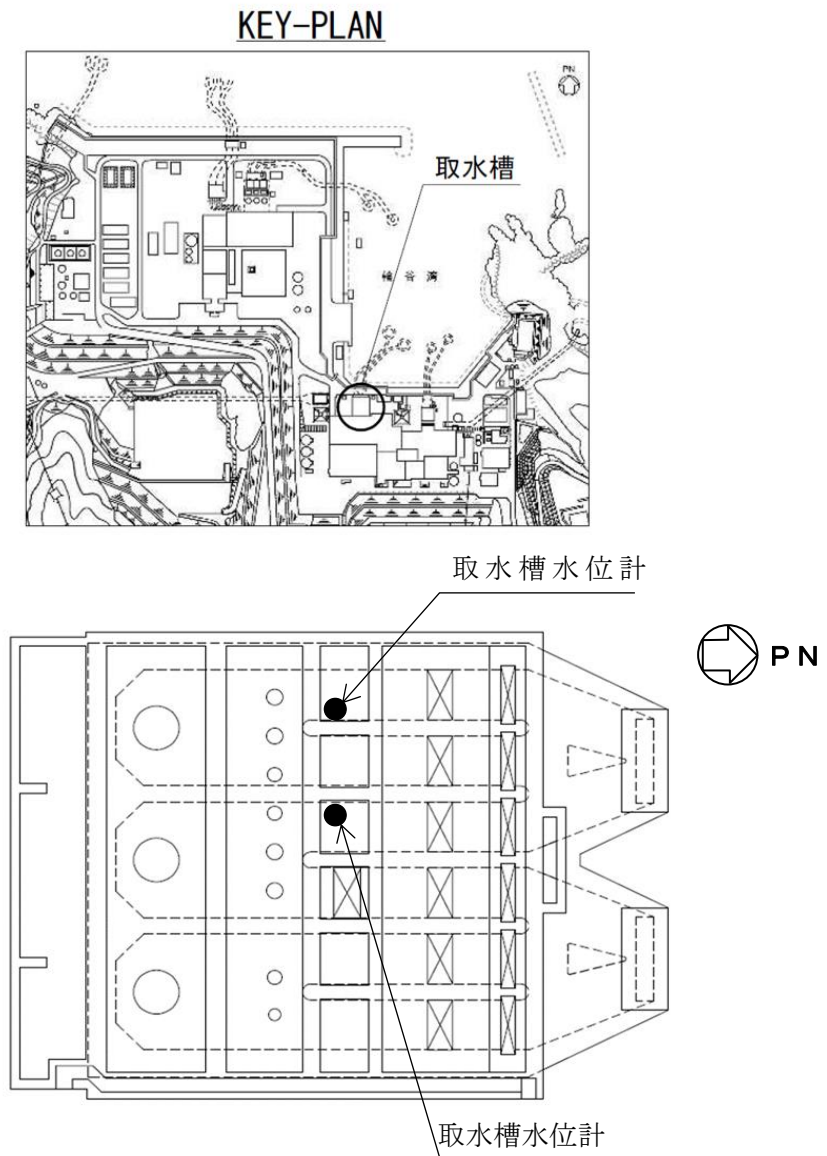


図 2-1 取水槽水位計配置図

2.2 構造計画

取水槽水位計の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、案内管内に設置する。 案内管はUボルトによりサポート鋼材に固定され、サポート鋼材は基礎ボルトにより床及び壁面に設置する。</p>	<p>検出器、案内管、サポート鋼材及び基礎ボルトから構成する。</p>	<p>(正面図) (LE215-3A) (側面図) (単位: mm)</p>

表 2-2 構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、案内管内に設置する。 案内管はUボルトによりサポート鋼材に固定され、サポート鋼材は基礎ボルトにより床及び壁面に設置する。</p>	<p>検出器、案内管、サポート鋼材及び基礎ボルトから構成する。</p>	<p>(側面図) (LE215-3B) (正面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.3 評価方針

取水槽水位計の強度評価は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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に基づき、応力評価を実施する。応力評価では、取水槽水位計の評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5. 構造強度評価」にて示す方法により、「5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて確認する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

取水槽水位計の強度評価フローを図2-2に示す。

取水槽水位計の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた設置床の最大応答加速度を用いる。

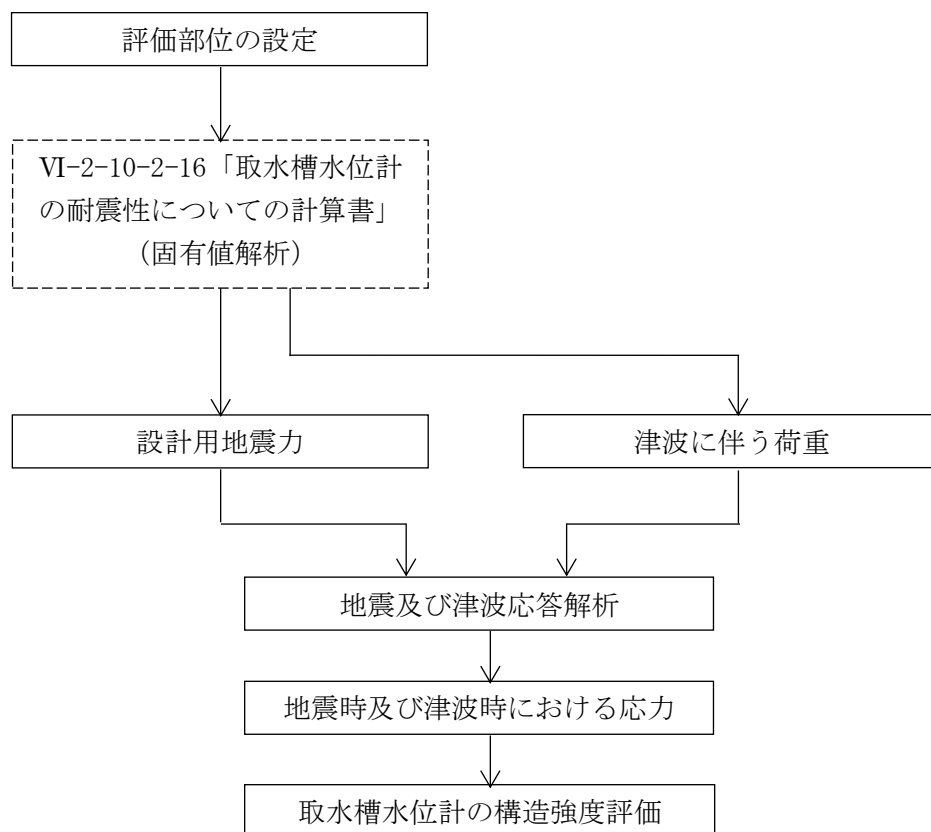


図2-2 取水槽水位計の強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	津波荷重を受ける面積	mm ²
A'	サポート鋼材の断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _D	抗力係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F _b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F _x	サポート基礎部に作用する力 (X方向)	N
F _y	サポート基礎部に作用する力 (Y方向)	N
F _z	サポート基礎部に作用する力 (Z方向)	N
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	津波最大到達レベル	m
l ₁	ボルト間距離 (M _x に対する)	mm
l ₂	ボルト間距離 (M _z に対する)	mm
l ₃	ボルト間距離 (M _y に対する)	mm
M _x	サポート基礎部に作用するモーメント (X軸周り)	N・mm
M _y	サポート基礎部に作用するモーメント (Y軸周り)	N・mm
M _z	サポート基礎部に作用するモーメント (Z軸周り)	N・mm
n	基礎ボルトの本数	—
n ₁	M _x に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n ₂	M _z に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n ₃	M _y に耐えうる基礎ボルトの本数	—
P ₁	津波による静水圧荷重	N
P ₂	津波による波力	N
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa

記号	記号の説明	単位
T_h	入力津波高さ	m
V	津波流速	m/s
W_1	検出器の荷重	N
W_2	ケーブルの荷重	N
Z_1	サポート鋼材の弱軸回りの断面係数	mm ³
Z_2	サポート鋼材の強軸回りの断面係数	mm ³
Z_p	サポート鋼材のねじり断面係数	mm ³
z_i	評価対象部位のレベル*	N
π	円周率	—
ρ	海水の密度	kg/m ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : z_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付床面

$i = 2$: 案内管最下端

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2, *3}
力	N	有効数字 5 桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2, *3}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字 4 桁未満となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

取水槽水位計の構造強度評価は、「2.2 構造計画」に記載の構造を踏まえて、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

津波時は、取水槽からの津波荷重が案内管及びサポート部に作用する。重畳時は、余震による慣性力及び津波荷重が案内管及びサポート部に作用する。

構造強度評価においては、耐震評価上厳しくなる壁面サポート及び床面サポートの基礎ボルトについて実施する。取水槽水位計の強度評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

取水槽水位計の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 取水槽水位計は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとする。

4.2 解析モデル及び諸元

取水槽水位計の解析モデルの概要を以下に示す。

また、機器の諸元を本計算書の【検出器 (LE215-3A) の強度についての計算結果】、【検出器 (LE215-3B) の強度についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 取水槽水位計の解析モデルは、VI-2-10-2-16「取水槽水位計の耐震性についての計算書」の「2.4.2 解析モデル及び諸元」の解析モデルとする。

4.3 固有値解析結果

VI-2-10-2-16「取水槽水位計の耐震性についての計算書」の「2.4.3 固有値解析結果」にて、固有周期は 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 地震力は、取水槽水位計に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (2) 取水槽水位計の案内管及びサポート部に津波荷重を付与する。
- (3) 津波荷重は、案内管及びサポート部の投影面に集中して作用するものとする。
- (4) 強度計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ

取水槽水位計の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波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」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。取水槽水位計の荷重の組合せを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

取水槽水位計の許容応力は、VI-3-別添 3-1「津波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応力に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

取水槽水位計の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ
津波監視設備	取水槽水位計	S	—*	$D + P_t + P_h + S_d$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢA S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (床面サポート)	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—
基礎ボルト (壁面サポート)	SUS316L	周囲環境温度	50	169	472	175

5.3 設計用地震力

取水槽水位計の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に示す。
 弾性設計用地震動 S d は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽水位計 (LE215-3A)	取水槽 EL 4.0 (EL 8.8* ¹)		0.05 以下	$C_H=3.01^{*2}$	$C_V=0.95^{*2}$
取水槽水位計 (LE215-3B)	取水槽 EL 4.0 (EL 8.8* ¹)		0.05 以下	$C_H=3.01^{*2}$	$C_V=0.95^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 津波荷重の計算方法

(1) 津波による静水圧荷重

取水槽水位計に作用する静水圧荷重は以下にて求める。

$$P_1 = \rho \cdot g \cdot A \cdot T_h \cdots \cdots \cdots (5.4.1.1)$$

ここで、入力津波高さ T_h は次式にて求める。

$$T_h = h - z_i \cdots \cdots \cdots (5.4.1.2)$$

(2) 津波による波力

取水槽水位計に作用する波力は以下にて求める。

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \cdots \cdots \cdots (5.4.1.3)$$

ここで、津波による静水圧荷重は鉛直方向、津波による波力は水平方向及び鉛直方向*に対して考慮し、津波荷重を受ける面積 A は、津波の圧力を受ける部分に対して、それぞれの方向に対する投影面積を設定する。

津波荷重を受ける面積 A の設定条件は、本計算書の【検出器 (LE215-3A) の強度についての計算結果】、【検出器 (LE215-3B) の強度についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

注記*：突き上げ方向の津波荷重を考慮する。

5.4.2 応力の計算方法

5.4.2.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、図 5-1 及び図 5-2 に示す三次元はりモデルによる個別解析からサポート評価点の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて基礎ボルトを評価する。個別解析によって得られたサポート評価点の最大反力とモーメントを表 5-5 及び表 5-6 に示す。

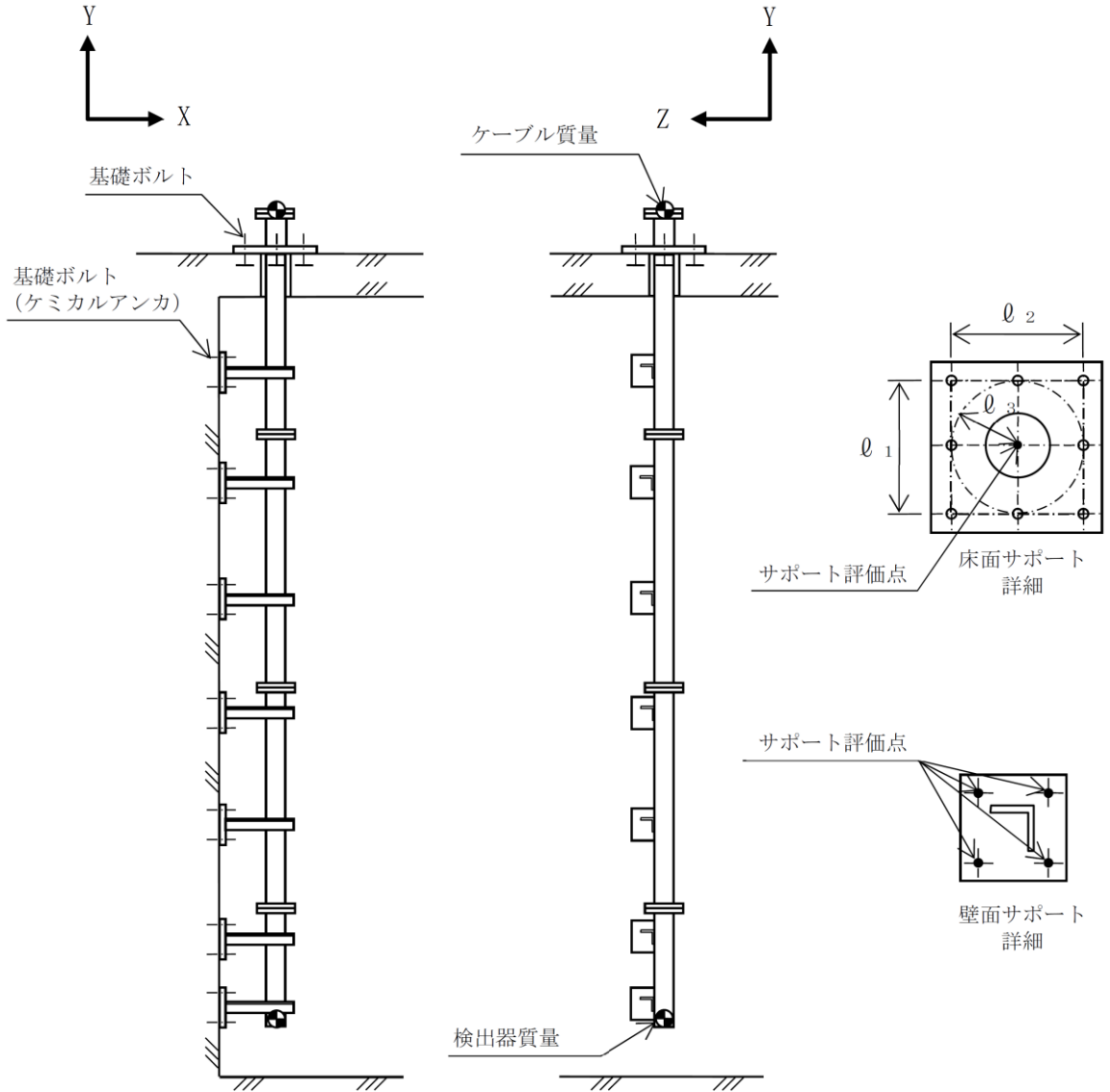


図 5-1 計算モデル（基礎ボルト部）（LE215-3A）

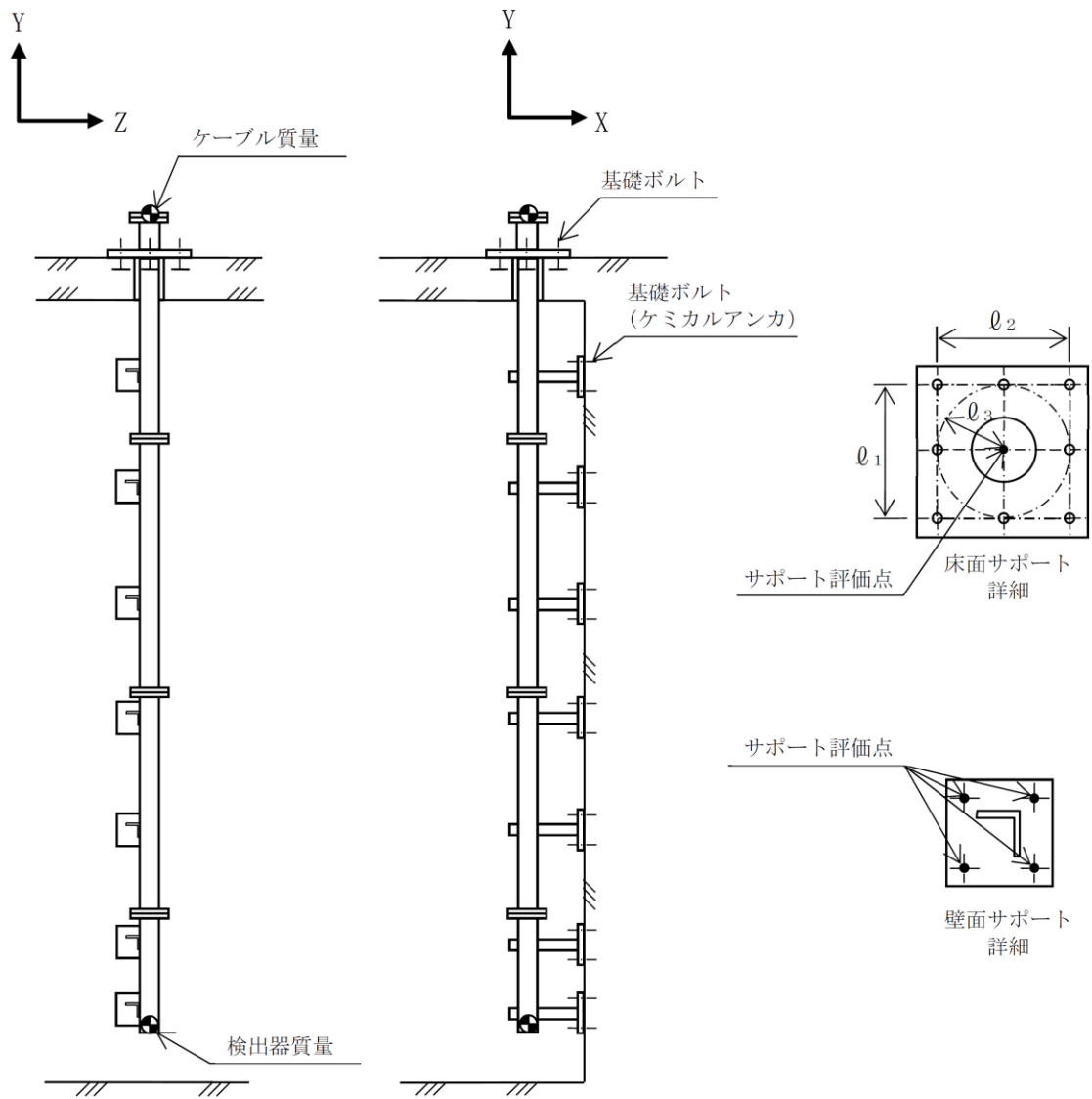


図 5-2 計算モデル (基礎ボルト部) (LE215-3B)

表5-5 サポート基礎部 発生反力, モーメント (床面サポート)

対象機器	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
検出器 (LE215-3A)						
検出器 (LE215-3B)						

表 5-6 基礎ボルト部 発生反力 (壁面サポート)

対象機器	反力(N)	
	F _b	Q _b
検出器 (LE215-3A)		
検出器 (LE215-3B)		

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力（床面サポートのみ）

$$F_b = \frac{F_y}{n} + \frac{M_x}{l_1 \cdot n_1} + \frac{M_z}{l_2 \cdot n_2} \dots\dots\dots (5.4.2.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.2.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.2.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本当たり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力（床面サポートのみ）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_y}{l_3 \cdot n_3} \dots\dots\dots (5.4.2.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.2.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【検出器 (LE215-3A) の強度についての計算結果】、【検出器 (LE215-3B) の強度についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4.2.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

取水槽水位計の設計基準対象施設としての強度評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，取水槽水位計が十分な構造健全性を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【検出器 (LE215-3A) の強度についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
取水槽水位計 (LE215-3A)	S	取水槽 EL 4.0 (EL 8.8*1)		0.05 以下	$C_H=3.01^{*2}$	$C_V=0.95^{*2}$	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	n	n ₁	n ₂	n ₃	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト (床面サポート)												241 (径≤16mm)	394 (径≤16mm)	—	241	—
基礎ボルト (壁面サポート)					—	—	—		—	—	—	169	472	175	175	—

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力 (単位: N)

部材	F_x	F_y	F_z
	弾性設計用地震動 S d 及び津波に伴う荷重		
基礎ボルト (床面サポート)			

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント (単位: N・mm)

部材	M_x	M_y	M_z
	弾性設計用地震動 S d 及び津波に伴う荷重によるモーメント		
基礎ボルト (床面サポート)			

1.3.3 基礎ボルトに作用する力 (単位: N)

部材	F_b	Q_b
	弾性設計用地震動 S d 及び津波に伴う荷重	
基礎ボルト (床面サポート)		
基礎ボルト (壁面サポート)		

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト (床面サポート)	SS400	引張	$\sigma_b = 11$	$f_{ts} = 180^*$
		せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 139$
基礎ボルト (壁面サポート)	SUS316L	引張	$\sigma_b = 20$	$f_{ts} = 105^*$
		せん断	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 80$

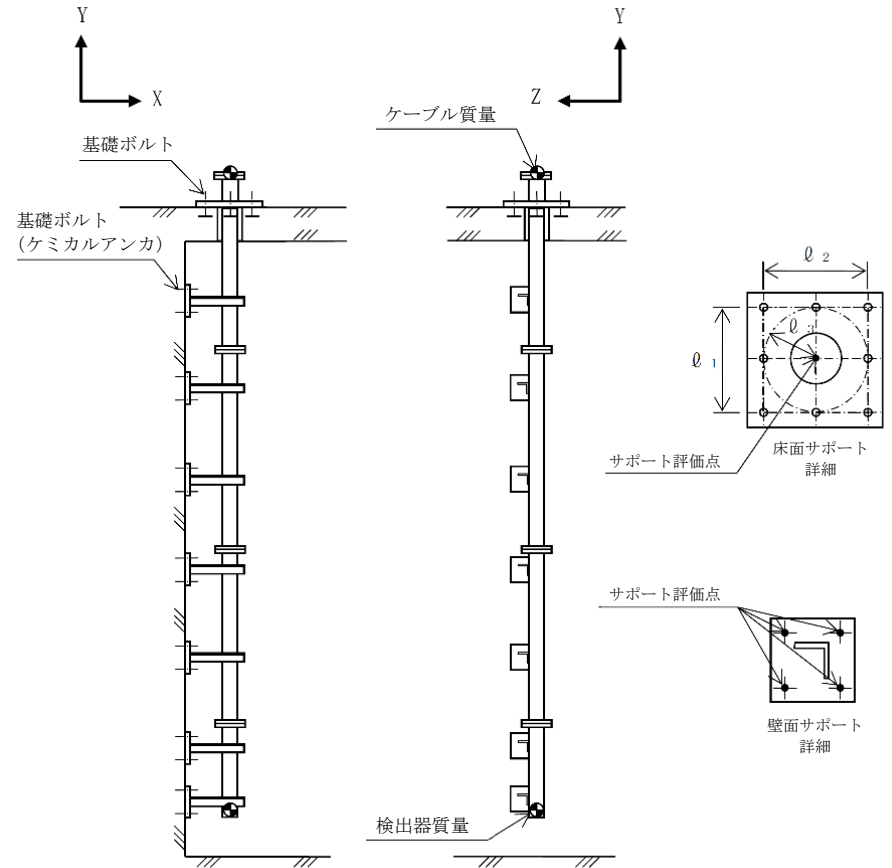
注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

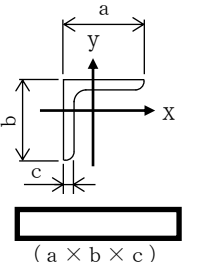
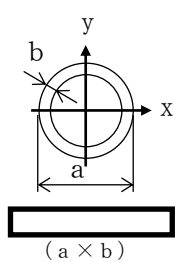
(1) 機器諸元

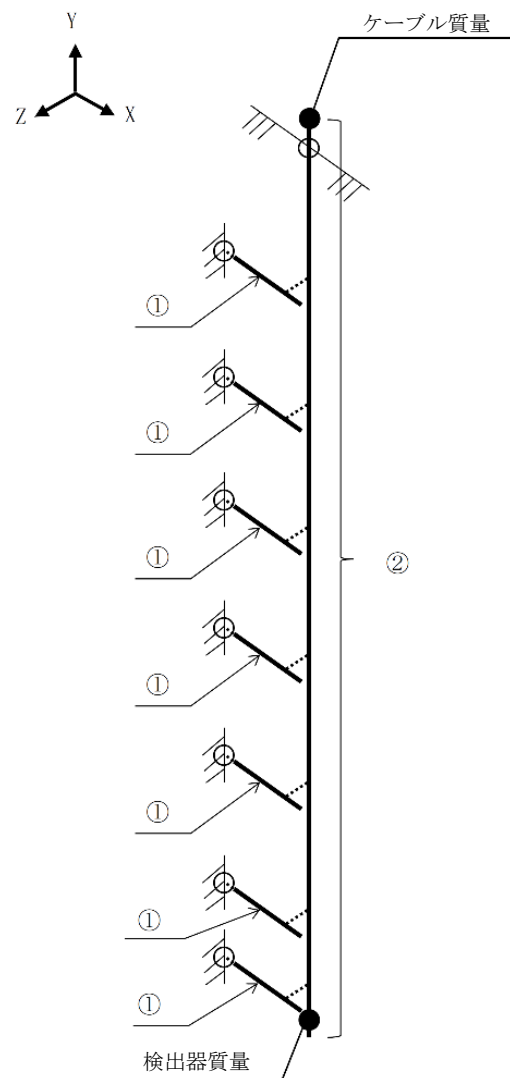
項目	記号	単位	入力値 (LE215-3A)
材質	—	—	SUS316/SUS316TP
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル (据付面)	z ₁	m	4.0
評価対象部位のレベル (案内管最下端)	z ₂	m	-9.35
抗力係数	C _D	—	2.0
津波流速	V	m/s	2.0



項目	記号	単位	設定部位	対応する津波の方向	入力値 (LE215-3A)
津波荷重を 受ける面積	A	mm ²	案内管 (1m 当たり)	水平 (NS 方向, EW 方向)	
			サポート鋼材 (1 点 当 たり)	水平 (NS 方向)	
				水平 (EW 方向)	
			フランジ (1 箇 所 当 たり)	鉛直	
				水平 (NS 方向, EW 方向)	
			床面サポート (スリーブ及び案内管内部)	鉛直	
				案内管最下端	

(2) 部材の機器要目

材料	サポート鋼材	案内管
対象部材	①	②
A' (mm ²)		
Z ₁ (mm ³)		
Z ₂ (mm ³)		
Z _p (mm ³)		
断面形状 (mm)	 (a × b × c)	 (a × b)



S2 補 VI-3-別添 3-2-10 R1

【検出器 (LE215-3B) の強度についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
取水槽水位計 (LE215-3B)	S	取水槽 EL 4.0 (EL 8.8*1)		0.05 以下	$C_H=3.01^{*2}$	$C_V=0.95^{*2}$	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	n	n ₁	n ₂	n ₃	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト (床面サポート)												241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)	—	241	—
基礎ボルト (壁面サポート)					—	—	—		—	—	—	169	472	175	175	—

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力 (単位：N)

部材	F_x	F_y	F_z
	弾性設計用地震動 S d 及び津波に伴う荷重		
基礎ボルト (床面サポート)			

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント (単位：N・mm)

部材	M_x	M_y	M_z
	弾性設計用地震動 S d 及び津波に伴う荷重によるモーメント		
基礎ボルト (床面サポート)			

1.3.3 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b	Q_b
	弾性設計用地震動 S d 及び津波に伴う荷重	
基礎ボルト (床面サポート)		
基礎ボルト (壁面サポート)		

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位: MPa)

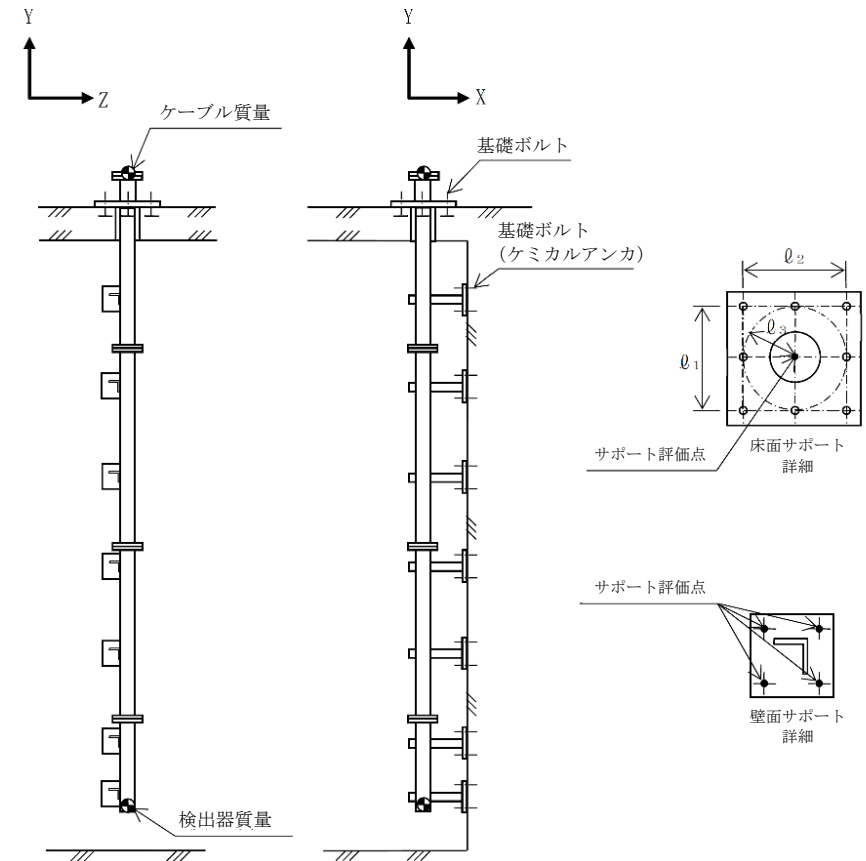
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト (床面サポート)	SS400	引張	$\sigma_b = 11$	$f_{ts} = 180^*$
		せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 139$
基礎ボルト (壁面サポート)	SUS316L	引張	$\sigma_b = 20$	$f_{ts} = 105^*$
		せん断	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 80$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

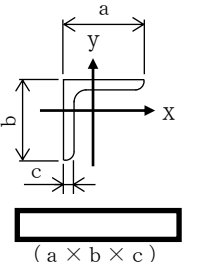
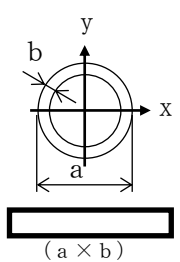
(1) 機器諸元

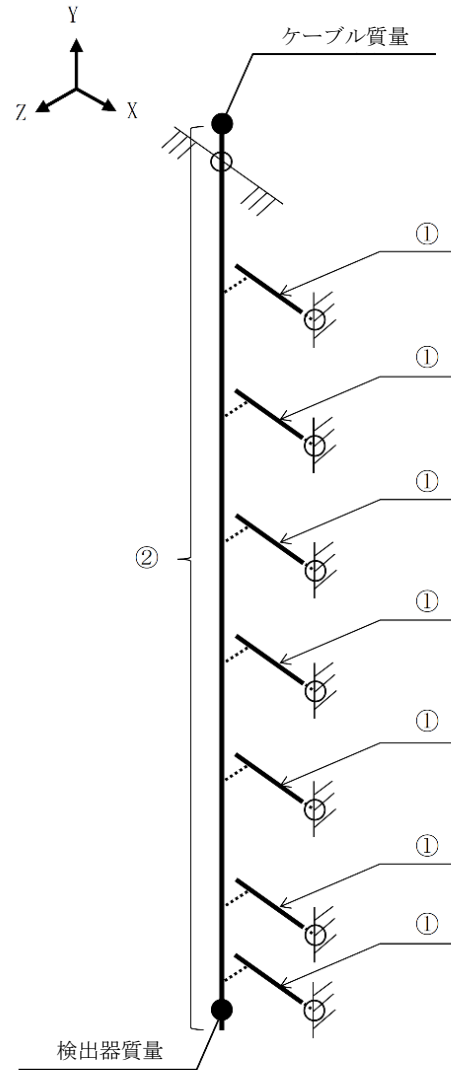
項目	記号	単位	入力値 (LE215-3B)
材質	—	—	SUS316/SUS316TP
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	
海水の密度	ρ	kg/m ³	1030
津波到達レベル	h	m	11.3
評価対象部位のレベル (据付面)	z ₁	m	4.0
評価対象部位のレベル (案内管最下端)	z ₂	m	-9.35
抗力係数	C _D	—	2.0
津波流速	V	m/s	2.0



項目	記号	単位	設定部位	対応する津波の方向	入力値 (LE215-3B)
津波荷重を 受ける面積	A	mm ²	案内管 (1m 当たり)	水平 (NS 方向, EW 方向)	
			サポート鋼材 (1 点 当 たり)	水平 (NS 方向)	
				水平 (EW 方向)	
			フランジ (1 箇 所 当 たり)	鉛直	
			床面サポート (スリーブ及び案内管内部)	水平 (NS 方向, EW 方向)	
				鉛直	
			案内管最下端	鉛直	

(2) 部材の機器要目

材料	サポート鋼材	案内管
対象部材	①	②
A' (mm ²)		
Z ₁ (mm ³)		
Z ₂ (mm ³)		
Z _p (mm ³)		
断面形状 (mm)	 (a × b × c)	 (a × b)



VI-3-別添 3-2-11 漂流防止装置の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	9
2.5 記号の説明	10
3. 強度評価	12
3.1 評価対象部位	12
3.2 荷重及び荷重の組合せ	13
3.2.1 荷重	13
3.2.2 荷重の組合せ	14
3.3 許容限界	15
3.3.1 使用材料	15
3.3.2 許容限界	15
3.4 評価方法	17
3.4.1 係船柱	17
3.4.2 アンカーボルト	20
3.4.3 アンカー板	22
4. 評価条件	25
5. 評価結果	26

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、漂流防止装置（係船柱）が燃料輸送船及びL L W輸送船（以下「燃料等輸送船」という。）の流圧力に対する係留索の耐力（以下「係留力」という。）に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

燃料等輸送船は、来襲までに時間的余裕がある津波の場合は緊急退避するが、来襲までに時間的余裕がない津波の場合は漂流防止装置（係船柱）に係留することとなる。したがって、海域活断層に想定される地震による津波（基準津波4）の流圧力により作用する燃料等輸送船の係留力に対して、漂流防止装置（係船柱）が十分な構造強度を有していることを確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

漂流防止装置（係船柱）の位置図を図 2-1 に示す。

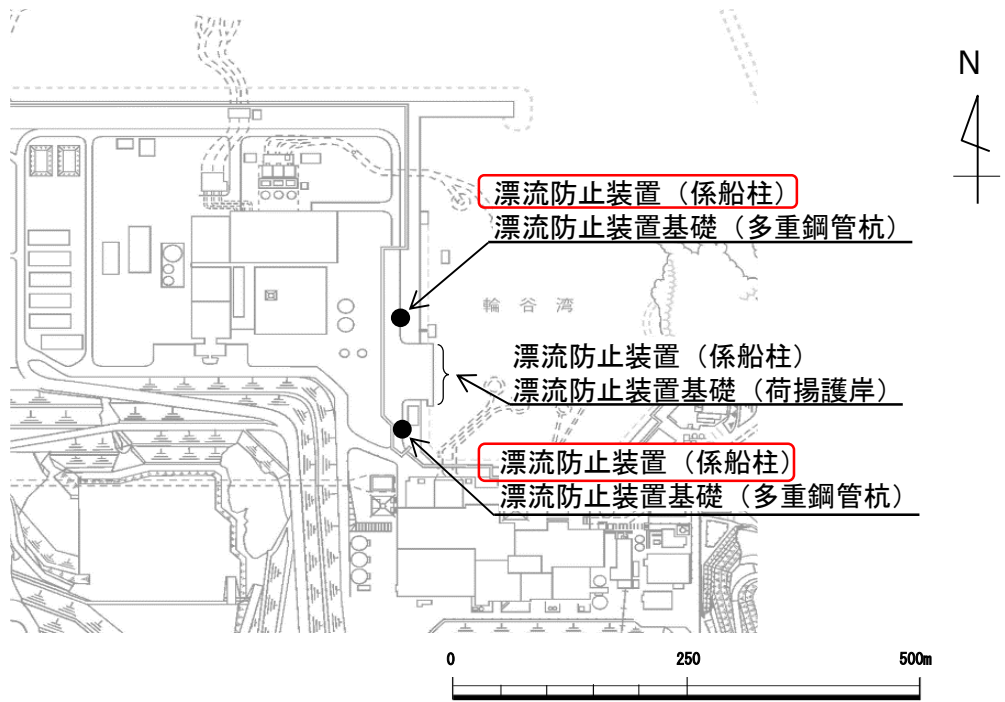


図 2-1 漂流防止装置（係船柱）の位置図

2.2 構造概要

漂流防止装置（係船柱）は、漂流防止装置基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）に、係船柱をアンカーボルト及びアンカー板により固定する構造である。

よって、漂流防止装置（係船柱）は係船柱，アンカーボルト及びアンカー板から構成され、係船柱は燃料等輸送船の係留索と接続する。

漂流防止装置（係船柱）の概要図を図 2-2 に、構造図を図 2-3 に示す。

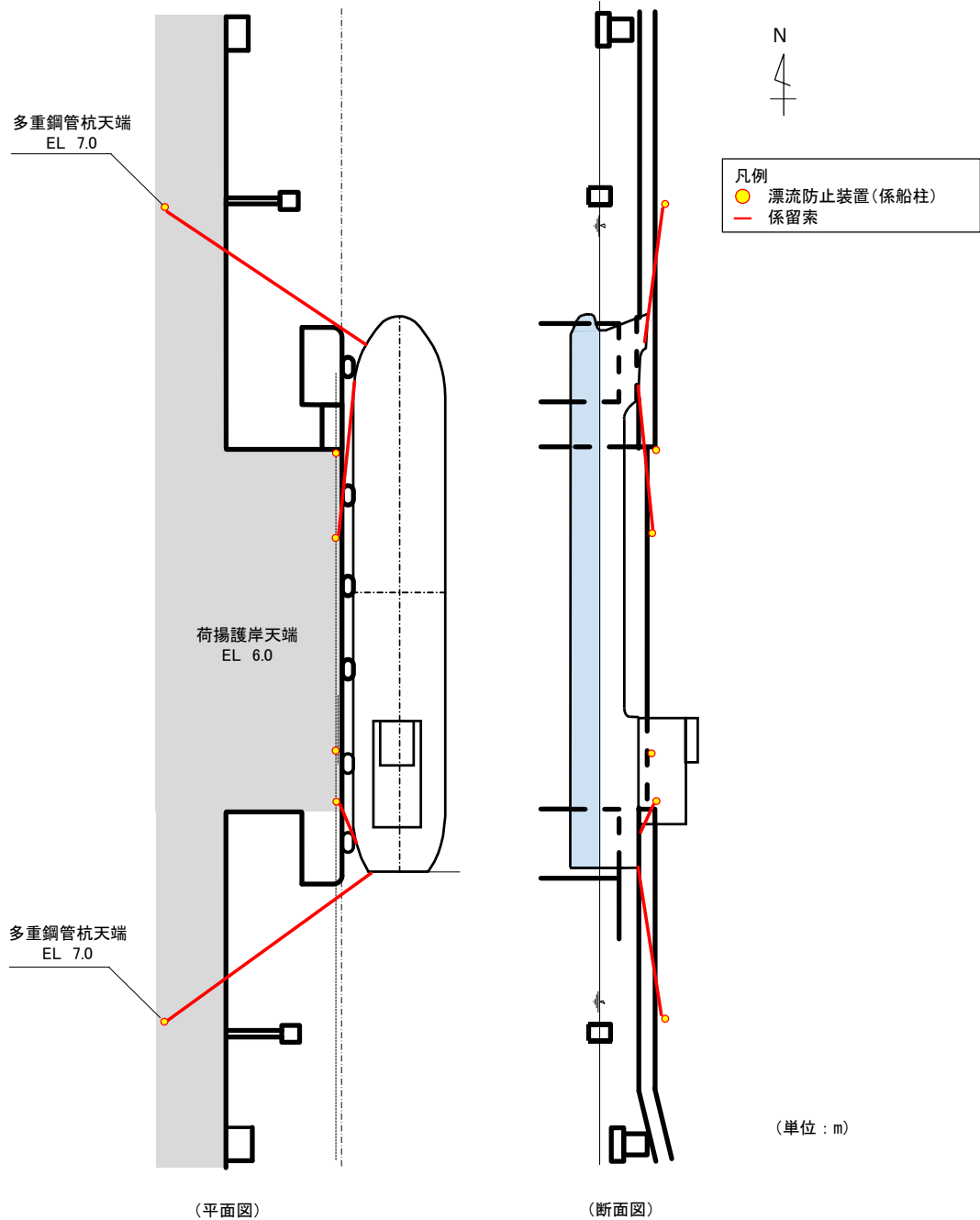
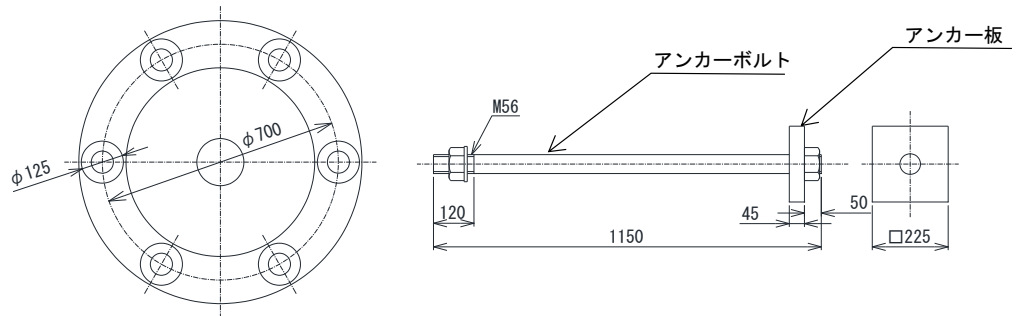
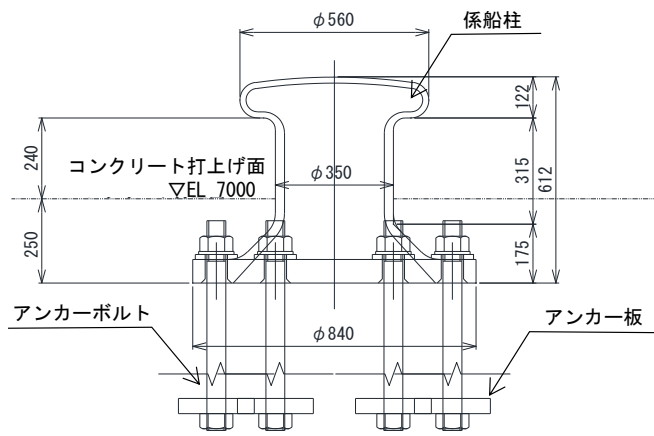


図 2-2 漂流防止装置（係船柱）の概要図



(平面図)

(アンカー図)



(正面図)

(単位 : mm)

図 2-3 漂流防止装置 (係船柱) の構造図

2.3 評価方針

漂流防止装置（係船柱）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

漂流防止装置（係船柱）の強度評価は、海域活断層に想定される津波（基準津波 4）の流圧力により作用する燃料等輸送船の係留力に対し、表 2-3 の漂流防止装置（係船柱）の評価項目に示すとおり、施設の健全性評価を行い、構造強度を有することを確認する。

漂流防止装置（係船柱）の強度評価フローを図 2-4 に示す。

表 2-1 漂流防止装置（係船柱）の各部位の役割

部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
係船柱	—	・燃料等輸送船を係留する。
アンカーボルト	・係船柱を支持する。	・係船柱を支持する。
アンカー板	・係船柱を支持する。	・係船柱を支持する。

表 2-2 漂流防止装置（係船柱）の各部位の性能目標

部位の名称	性能目標	
	耐震性	耐津波性
係船柱	構造部材の健全性を保持するために、係船柱がおおむね弾性状態にとどまること。	燃料等輸送船を係留するために、係船柱がおおむね弾性状態にとどまること。
アンカーボルト	構造部材の健全性を保持するために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。
アンカー板	構造部材の健全性を保持するために、アンカー板がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、アンカー板がおおむね弾性状態にとどまること。

表 2-3 漂流防止装置（係船柱）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の健全性	係船柱	発生する応力（曲げ応力及びコンクリートの支圧応力）が許容限界以下であることを確認	長期許容応力度
		アンカーボルト	発生する応力（引張応力，せん断応力）が許容限界以下であることを確認	長期許容応力度
		アンカー板	発生する応力（曲げ応力，コンクリートの支圧応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	長期許容応力度

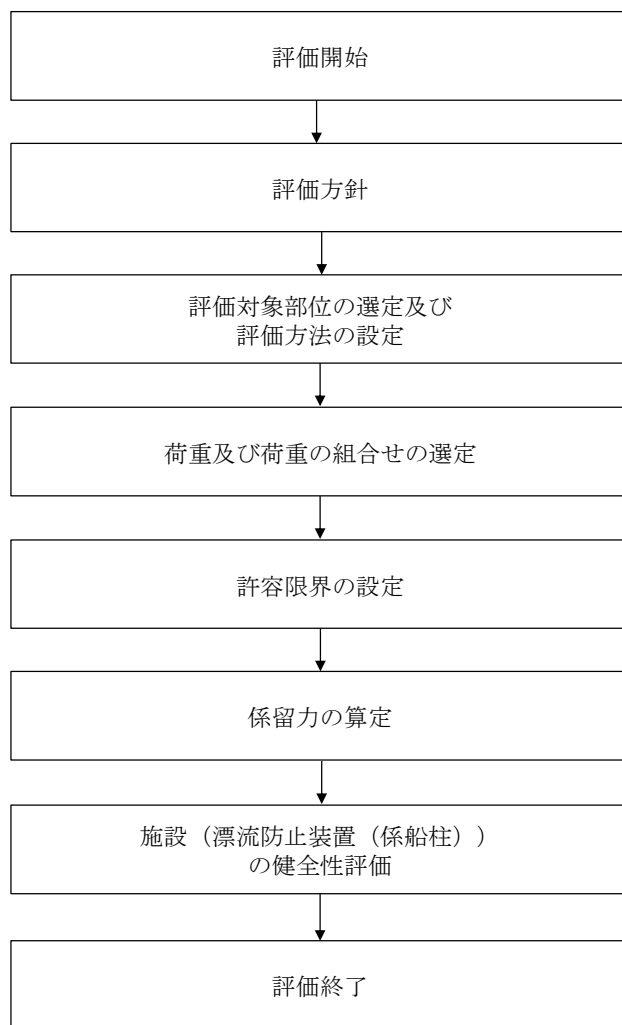


図 2-4 漂流防止装置（係船柱）の強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）
- ・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）
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）
- ・日本産業規格（J I S）
- ・機械工学便覧 改訂第6版（（社）日本機械学会編，1977年）

2.5 記号の説明

漂流防止装置（係船柱）の強度評価に用いる記号を表 2-4 に示す。

表 2-4 漂流防止装置（係船柱）の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
P_p	N	係留力
σ_s	N/mm ²	係船柱の直胴部縁応力度
$M_{s a}$	N・mm	係船柱の直胴部転倒モーメント
P_H	N	係留力の水平成分
D	mm	係船柱の直胴部径
$Z_{s a}$	mm ³	係船柱の断面係数
P_v	N	係留力の鉛直成分
$A_{s a}$	mm ²	係船柱の断面積
σ_{c1}	N/mm ²	コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度
R_1	mm	中心軸から係船柱底板端までの距離
y	mm	中心軸と中立軸の距離
n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比
G_s	mm ³	アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
G_c	mm ³	コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
σ_{c2}	N/mm ²	コンクリート（係船柱前面）の支圧応力度
μ	—	係船柱とコンクリートの摩擦係数
P_{vc}	N	コンクリートの支圧力（ $\cong 0.7 \times P_H$ ）
H_1	mm	係船柱底板厚さ
σ_{s2}	N/mm ²	アンカーボルトに生じる引張応力度
R_1'	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離
τ_s	N/mm ²	アンカーボルトに生じるせん断応力度
N	本	アンカーボルトの本数
ϕ_b	mm	アンカーボルトの谷径
p	N/mm ²	等分布荷重
ϕ_a	mm	アンカーボルトの呼び径

表 2-4 漂流防止装置（係船柱）の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
σ_{st}	N/mm^2	アンカー板に生じる曲げ応力度
β	—	最大応力係数
b	mm	ナット二面幅
a	mm	アンカー板幅
t	mm	アンカー板厚
σ_c	N/mm^2	コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度
τ_c	N/mm^2	コンクリート（アンカーボルト側面）のせん断応力度
L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ

3. 強度評価

3.1 評価対象部位

漂流防止装置（係船柱）の評価対象部位は「2.2 構造概要」に示す構造上の特徴を踏まえ選定する。

漂流防止装置（係船柱）に作用する係留力による荷重は、係船柱、アンカーボルト及びアンカー板を介して周囲のコンクリートに伝達されることから、評価対象部位を係船柱、アンカーボルト及びアンカー板とする。評価対象部位を図 3-1 に示す。

また、漂流防止装置（係船柱）の周囲のコンクリートに対する評価も実施する。

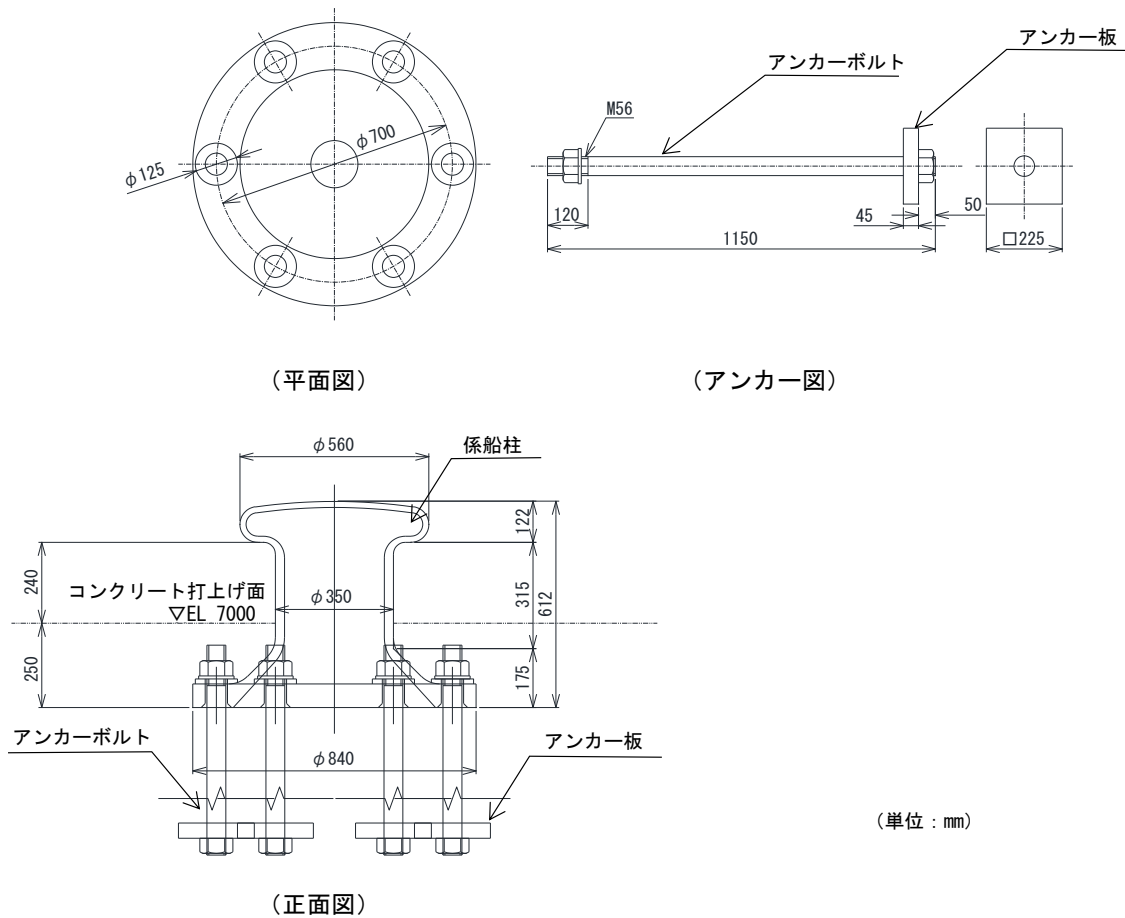


図 3-1 評価対象部位

3.2 荷重及び荷重の組合せ

3.2.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流防止装置 (係船柱) の自重を考慮する。

(2) 係留力 (P_p)

係留力は、海域活断層に想定される地震による津波 (基準津波 4) により燃料等輸送船に作用する流圧力に対する係留索の耐力として算定する。

漂流防止装置 (係船柱) に対して、 θ の角度で作用する場合の係留力は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計 (案) (運輸省港湾技術研究所, 1970 年)」に基づき算定する。

係留力の作用イメージを図 3-2 に示す。

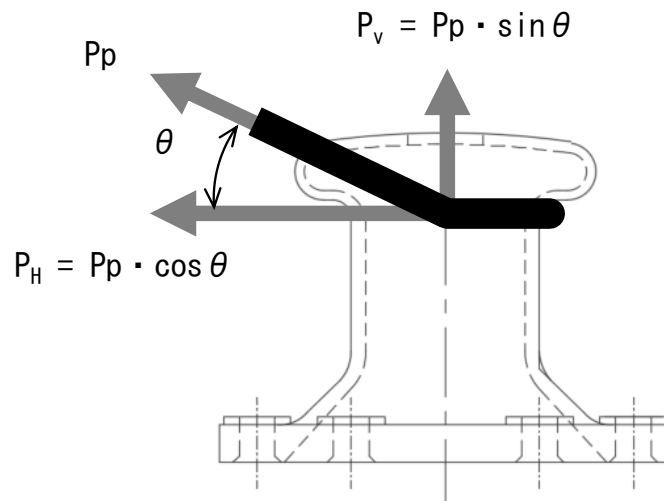


図 3-2 係留力の作用イメージ

(3) 余震荷重 (S_d)

弾性設計用地震動 S_d-D による荷重を考慮する。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に示す。

なお、係留力と比較して固定荷重及び余震荷重の影響が十分に小さくなることから、固定荷重及び余震荷重は考慮しない。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
重畳時	$G + P_p + S_d$

G : 固定荷重

P_p : 係留力

S_d : 余震荷重 (弾性設計用地震動 $S_d - D$)

3.3 許容限界

漂流防止装置（係船柱）の許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.3.1 使用材料

漂流防止措置（係船柱）を構成する各部材の使用材料を表 3-2 に示す。

表 3-2 使用材料

材料	諸元
係船柱	SC450, ϕ 350
アンカーボルト	SS400, M56×1150
アンカー板	SS400, 225×t45
コンクリート	設計基準強度 24N/mm ²

3.3.2 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき設定する。

(1) 係船柱

係船柱の許容限界は、「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）」及び「J I S G 5 1 0 1 炭素鋼鋳鋼品」を踏まえて表 3-3 のとおり設定する。

表 3-3 係船柱の許容限界

材質	長期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SC450	137	—

(2) アンカーボルト及びアンカー板

アンカーボルト及びアンカー板の許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」及び「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，表3-4のとおり設定する。

表3-4 アンカーボルト及びアンカー板の許容限界

材質		長期許容応力度 (N/mm ²)	
		曲げ	せん断
SS400	40 < t ≤ 100	143	82

(3) コンクリート

コンクリートの許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表3-5に示すとおり設定する。

表3-5 コンクリートの許容限界

材質		長期許容応力度 (N/mm ²)	
		支圧	せん断
コンクリート (設計基準強度 24N/mm ²)		11.7	0.45

3.4 評価方法

漂流防止装置（係船柱）を構成する各部材に生じる応力度が、許容限界以下であることを確認する。

3.4.1 係船柱

(1) 係船柱の曲げ応力度

係船柱に生じる曲げ応力度は、係船柱を片持ち梁として次式により算出し、係船柱の許容限界以下であることを確認する。なお、慣性力の作用点は係船柱の直胴部の上端とする。

係船柱のモデル図を図 3-3 に示す。

$$\sigma_s = M_{s a} / Z_{s a} + P_v / A_{s a}$$

ここで、

σ_s : 係船柱の直胴部縁応力度 (N/mm²)

$M_{s a}$: 係船柱の直胴部転倒モーメント (N・mm)

$$(M_{s a} = P_H \cdot 0.9D)$$

P_H : 係留力の水平成分 (N)

D : 係船柱の直胴部径 (mm)

$Z_{s a}$: 係船柱の断面係数 (mm³)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

$A_{s a}$: 係船柱の断面積 (mm²)

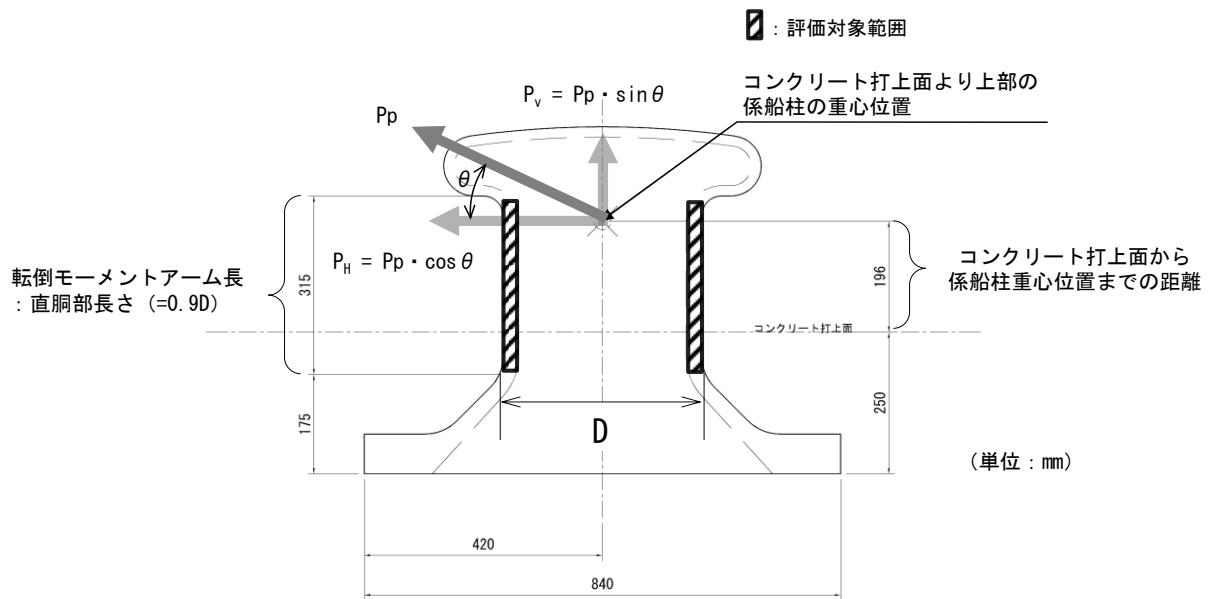


図 3-3 係船柱のモデル図

(2) コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度

コンクリート（係船柱底板）に生じる支圧応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」に基づき，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（係船柱底板）のモデル図を図 3-4 に示す。

$$\sigma_{c1} = P_v \cdot (R_1 - y) / (n \cdot G_s - G_c)$$

ここで，

σ_{c1} : コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

R_1 : 中心軸から係船柱底板端までの距離 (mm)

y : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

n : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

G_s : アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

G_c : コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

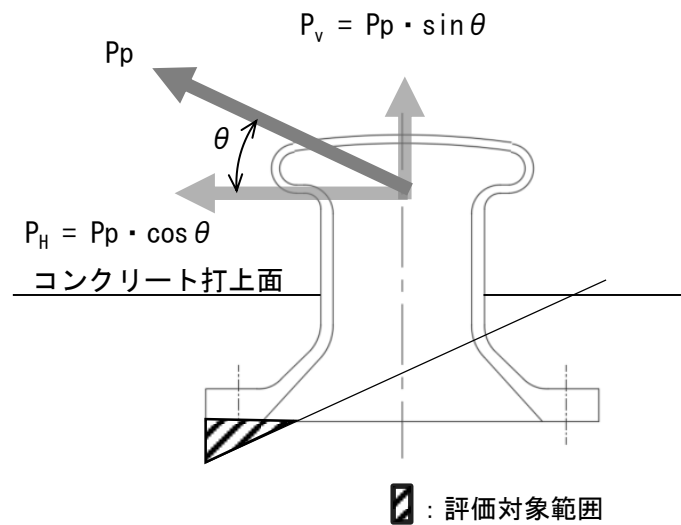


図 3-4 コンクリート（係船柱底板）のモデル図

(3) コンクリート（係船柱前面）の支圧応力度

コンクリート（係船柱前面）に生じる支圧応力度は、次式より算出し、コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（係船柱前面）のモデル図を図 3-5 に示す。

$$\sigma_{c2} = (P_H - \mu \cdot P_{vc}) / (H_1 \cdot 2 R_1)$$

ここで、

σ_{c2} : コンクリート（係船柱前面）の支圧応力度 (N/mm²)

P_H : 係留力の水平成分 (N)

μ : 係船柱とコンクリートの摩擦係数

P_{vc} : コンクリートの支圧力 ($\approx 0.7 \times P_H$) (N)

H_1 : 係船柱底板厚さ (mm)

R_1 : 中心軸から係船柱底板端までの距離 (mm)

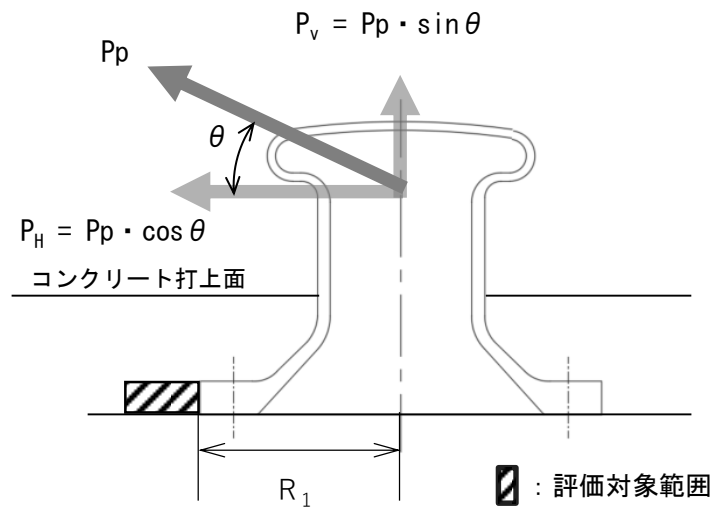


図 3-5 コンクリート（係船柱前面）のモデル図

3.4.2 アンカーボルト

(1) アンカーボルトの引張応力度

アンカーボルトに生じる引張応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」に基づき，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

アンカーボルトのモデル図を図 3-6 に示す。

$$\sigma_{s2} = P_v \cdot (R_1' + y) / (G_s - G_c / n)$$

ここで，

σ_{s2} : アンカーボルトに生じる引張応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

R_1' : 中心軸からアンカーボルト位置までの距離 (mm)

y : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

G_s : アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

G_c : コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

n : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

(2) アンカーボルトのせん断応力度

アンカーボルトに生じるせん断応力度は，次式より算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_s = (P_H / N) / (\pi / 4 \cdot \phi_b^2)$$

ここで，

τ_s : アンカーボルトに生じるせん断応力度 (N/mm²)

P_H : 係留力の水平成分 (N)

N : アンカーボルトの本数 (本)

ϕ_b : アンカーボルトの谷径 (mm)

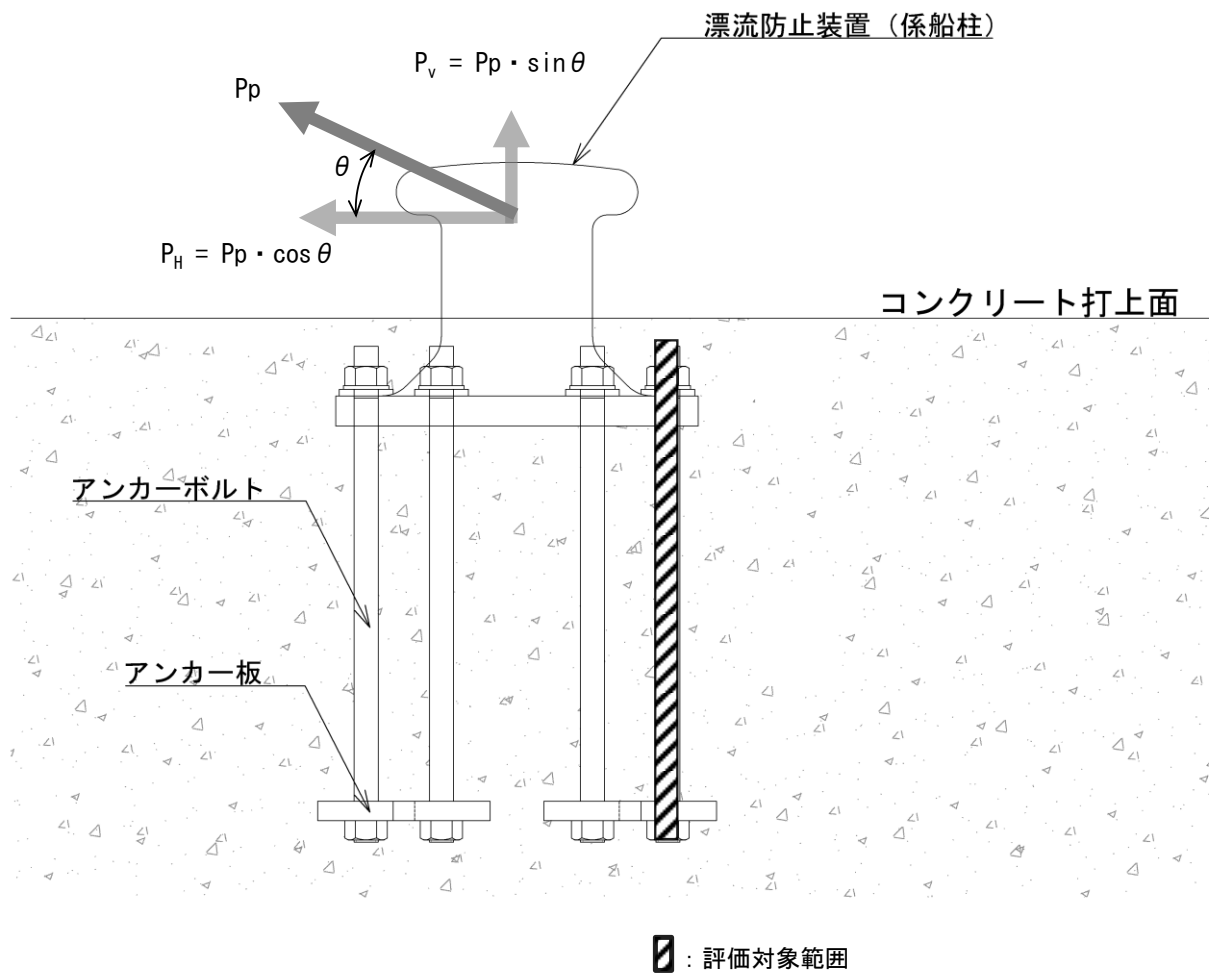


図 3-6 アンカーボルトのモデル図

3.4.3 アンカー板

(1) アンカー板の曲げ応力度

アンカー板に生じる曲げ応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970 年）」及び「機械工学便覧 改訂第 6 版（（社）日本機械学会編，1977 年）」に基づき，アンカー板に等分布荷重が作用するとして次式により算出し，アンカー板の許容限界以下であることを確認する。

アンカー板のモデル図を図 3-7 に示す。

$$p = P_v / \{ \pi / 4 \cdot (4 \cdot \phi_a)^2 - (\pi / 4 \times \phi_a) \}$$

$$\sigma_{s t} = \beta \cdot p \cdot (a / 2)^2 / t^2$$

ここで，

p : 等分布荷重 (N/mm^2)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

ϕ_a : アンカーボルトの呼び径 (mm)

$\sigma_{s t}$: アンカー板に生じる曲げ応力度 (N/mm^2)

β : 最大応力係数 ($= b / a$)

b : ナット二面幅 (mm)

a : アンカー板幅 (mm)

t : アンカー板厚 (mm)

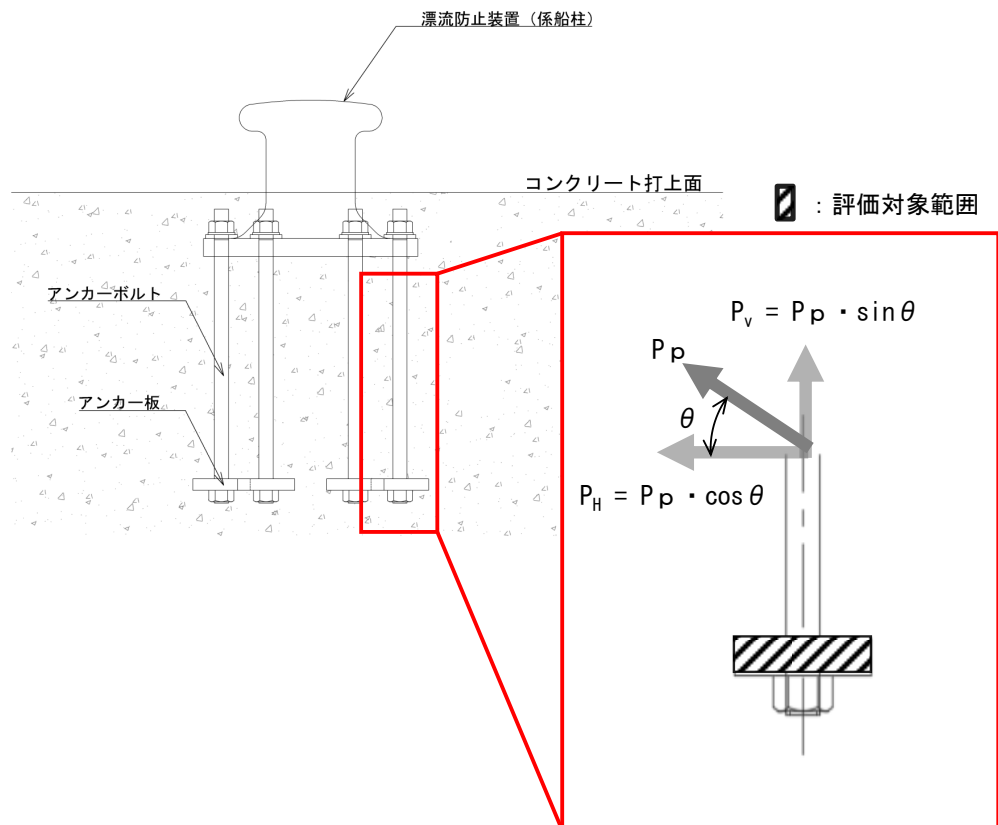


図 3-7 アンカー板のモデル図

(2) コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度

コンクリート（アンカー板上面）に生じる支圧応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」に基づき次式により算出し、コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（アンカー板上面）のモデル図を図 3-8 に示す。

$$\sigma_c = P_v \cdot (\pi/4) \cdot a^2$$

ここで、

σ_c : コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

a : アンカー板幅 (mm)

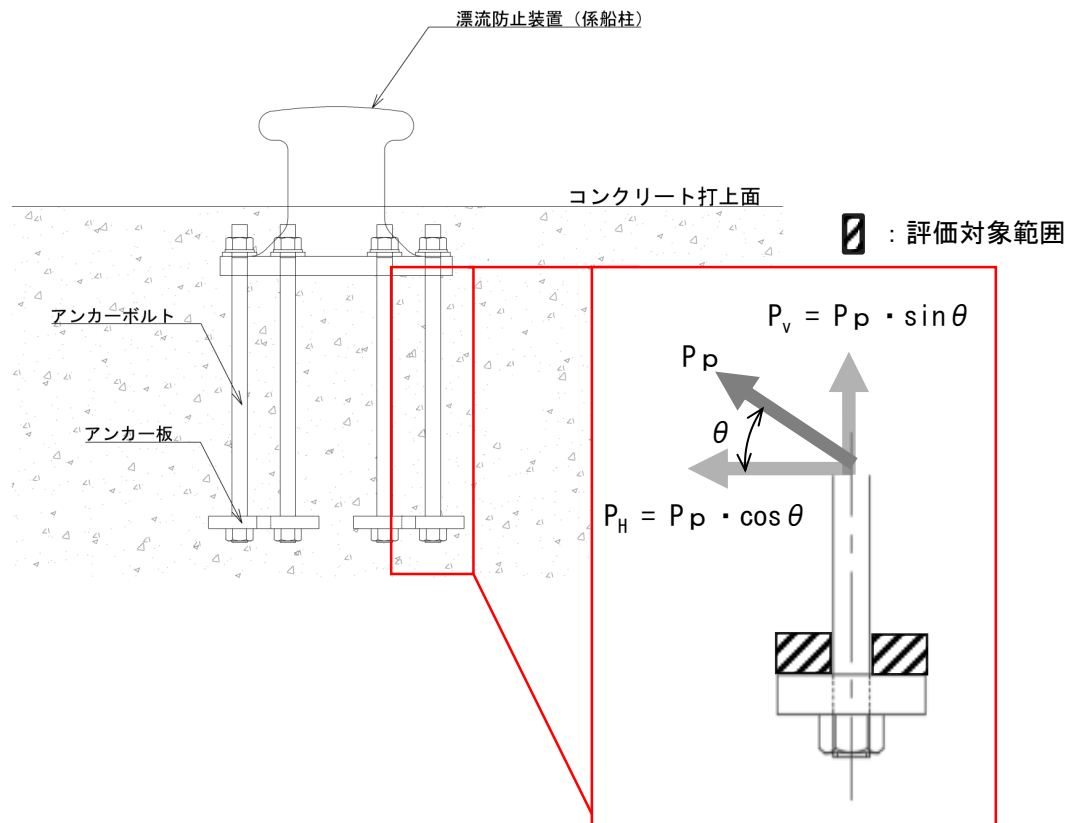


図 3-8 コンクリート（アンカー板上面）のモデル図

- (3) コンクリート（アンカーボルト側面）のせん断応力度
 コンクリート（アンカーボルト側面）のせん断応力度は次式により算出し，コンクリートの許容限界以下であることを確認する。
 コンクリート（アンカーボルト側面）のモデル図を図 3-9 に示す。

$$\tau_c = P_v / (L \cdot \pi \cdot a)$$

ここで，

τ_c : コンクリート（アンカーボルト側面）のせん断応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

L : アンカーボルトの埋込み長さ (mm)

a : アンカー板幅 (mm)

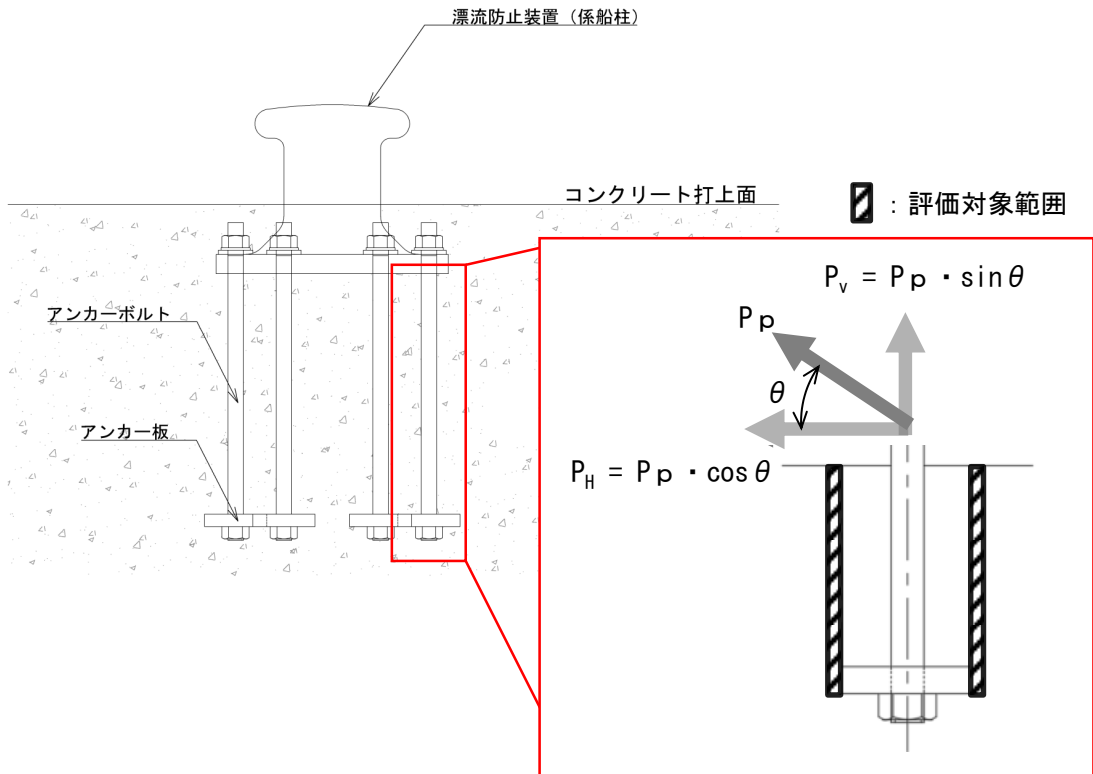


図 3-9 コンクリート（アンカーボルト側面）のモデル図

4. 評価条件

「3. 強度評価」に用いる入力値を表 4-1 に示す。

表 4-1 強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	入力値
係船柱	$M_{s a}$	$N \cdot mm$	係船柱の直胴部転倒モーメント	78750000
	P_v	N	係留力の鉛直成分	125000
	D	mm	係船柱の直胴部径	350
	$Z_{s a}$	mm^3	係船柱の断面係数	2055972.3
	$A_{s a}$	mm^2	係船柱の断面積	27397.8
	y	mm	中心軸と中立軸の距離	115.9
	R_1	mm	中心軸から係船柱底板端までの距離	420.0
	n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比	15
	G_c	mm^3	コンクリートの中立軸のまわりの断面1次モーメント	17289182
	G_s	mm^3	アンカーボルトの中立軸のまわりの断面1次モーメント	2108688
	P_H	N	係留力の水平成分	250000
	μ	—	係船柱とコンクリートの摩擦係数	0.3
H_1	mm	係船柱底板厚さ	70	
アンカーボルト	R_1'	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離	350.0
	N	本	アンカーボルトの本数	6
	ϕ_b	mm	アンカーボルトの谷径	50.0
アンカー板	ϕ_a	mm	アンカーボルトの呼び径	56.0
	β	—	最大応力係数	3
	b	mm	ナット二面幅	85.0
	t	mm	アンカー板厚	45.0
	p	N/mm^2	等分布荷重	3.36
	a	mm	アンカー板幅	225.0
L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ	850	

5. 評価結果

漂流防止装置（係船柱）の強度評価結果を表 5-1 に示す。漂流防止装置（係船柱）の各部材の発生応力度は許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 漂流防止装置（係船柱）の強度評価結果

評価対象部位		発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
係船柱	曲げ応力度	42.87	137	0.32
	コンクリート（係船柱底板） 支圧応力度	2.65	11.7	0.23
	コンクリート（係船柱前面） 支圧応力度	3.36	11.7	0.29
アンカー ボルト	引張応力度	60.91	143	0.43
	せん断応力度	21.22	82	0.26
アンカー 板	曲げ応力度	63.44	143	0.45
	コンクリート（アンカー板上面） 支圧応力度	3.14	11.7	0.27
	コンクリート（アンカーボルト側面） せん断応力度	0.21	0.45	0.47

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

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
2.2 評価方針	1
3. 構造強度設計	2
3.1 構造強度の設計方針	2
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	77
4.1 荷重及び荷重の組合せ	77
4.2 許容限界	78
4.2.1 施設ごとの評価部位における許容限界	78
4.2.2 許容限界設定方法	85
5. 強度評価方法	86
5.1 溢水用水密扉及び管理区域水密扉	86
5.2 溢水用堰及び管理区域堰	87
5.3 溢水用防水板及び管理区域防水板	88
5.4 溢水用防水壁	89
5.5 床ドレン逆止弁	89
5.6 貫通部止水処置	90
6. 適用規格・基準等	91

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第12条及び第54条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき設計する溢水防護に関する施設が、溢水に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は、VI-1-1-9-1「溢水等による損傷防止の基本方針」に示す適用規格・基準等を用いて実施する。各施設の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 3-4-2「水密扉の強度計算書（溢水）」、VI-3-別添 3-4-4「堰の強度計算書」、VI-3-別添 3-4-5「防水板の強度計算書」、VI-3-別添 3-4-1「防水壁の強度計算書（溢水）」、VI-3-別添 3-4-3「床ドレン逆止弁の強度計算書（溢水）」及びVI-3-別添 3-4-6「貫通部止水処置の強度計算書（溢水）」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す施設を対象として、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す溢水による荷重と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重又は応力が許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す評価方法により、「6. 適用規格・基準等」に示す適用規格・基準等を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している溢水防護に関する施設を強度評価の対象施設とし、表 2-1 に示す。

表 2-1 強度評価の対象施設

強度評価の対象施設
溢水用水密扉及び管理区域水密扉
溢水用堰及び管理区域堰
溢水用防水板及び管理区域防水板
溢水用防水壁
床ドレン逆止弁
貫通部止水処置

2.2 評価方針

溢水防護に関する施設は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため、「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに強度評価を実施する。

3. 構造強度設計

「2.1 評価対象施設」で設定されている施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するよう、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を維持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1 評価対象施設」ごとに示す。

(1) 溢水用水密扉及び管理区域水密扉

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、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設計とする。

(2) 溢水用堰及び管理区域堰

溢水用堰及び管理区域堰は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、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設計とする。

(3) 溢水用防水板及び管理区域防水板

溢水用防水板及び管理区域防水板は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、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設計とする。

(4) 溢水用防水壁

溢水用防水壁は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、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設計とする。

(5) 床ドレン逆止弁

床ドレン逆止弁は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、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設計とする。

(6) 貫通部止水処置

貫通部止水処置は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、モルタル及び金属製伸縮継手による施工は、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設計とする。

また、シール材及びブーツによる施工は、止水性の維持を考慮して、有意な漏えいが生じない設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標が達成されるよう、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重条件を適切に考慮して、各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方法を設定する。

(1) 溢水用水密扉及び管理区域水密扉

a. 構造設計

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は、鋼製の板材を主体構造とし、周囲の開口部との間に設置した鋼製の扉枠を建物の床及び壁にアンカーボルトで固定し、支持する構造とする。

また、作用する荷重については、面内及び面外方向から作用し、扉板、芯材、カンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）及び扉枠に伝わり、アンカーボルトを介して周囲の建物の床及び壁に伝達する構造とする。

溢水用水密扉及び管理区域水密扉の設置位置を表3-1に示す。また、溢水用水密扉及び管理区域水密扉の構造計画を表3-2に示す。

b. 評価方針

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、溢水用水密扉及び管理区域水密扉の評価部位が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（1/14）

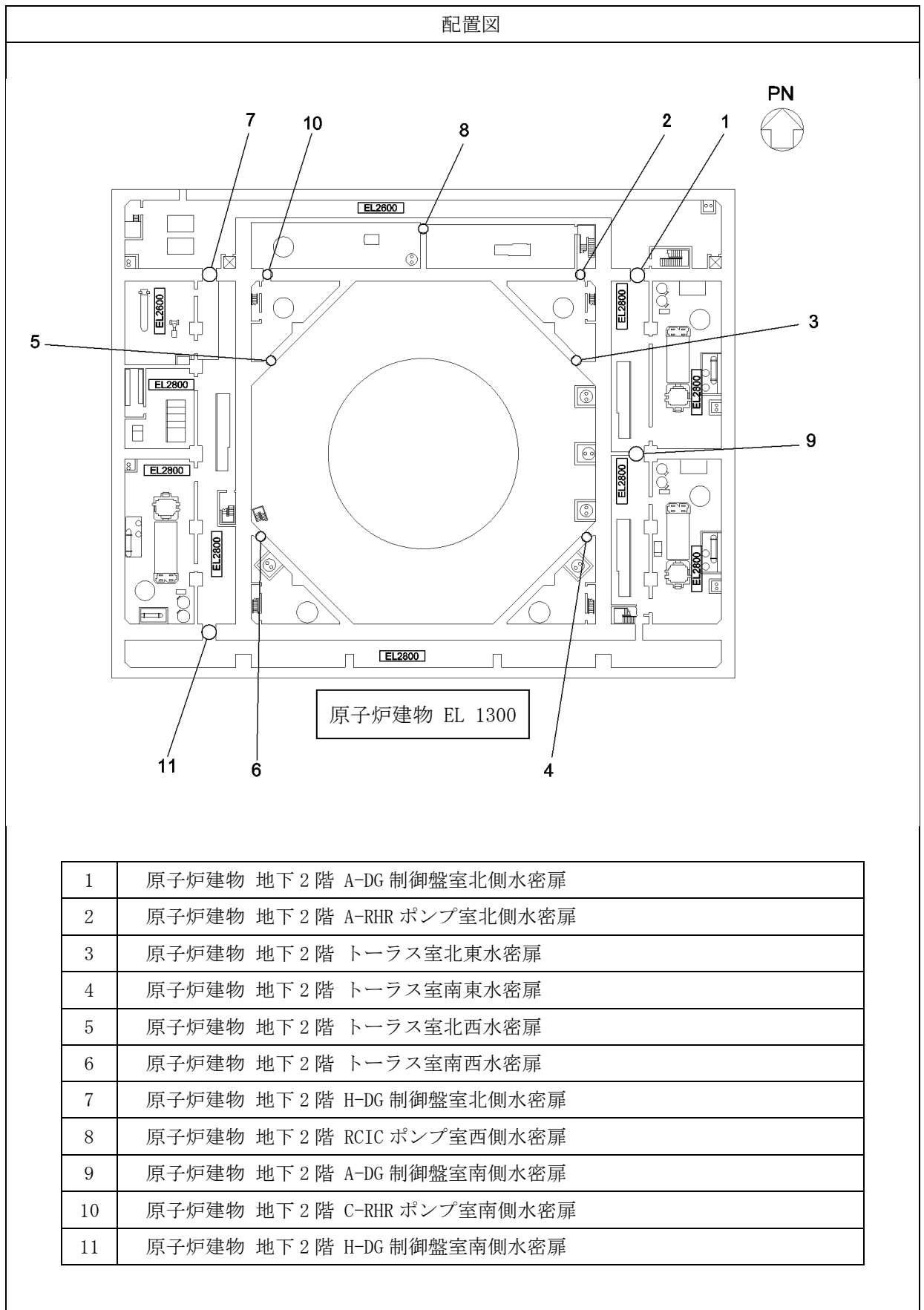


表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（2/14）

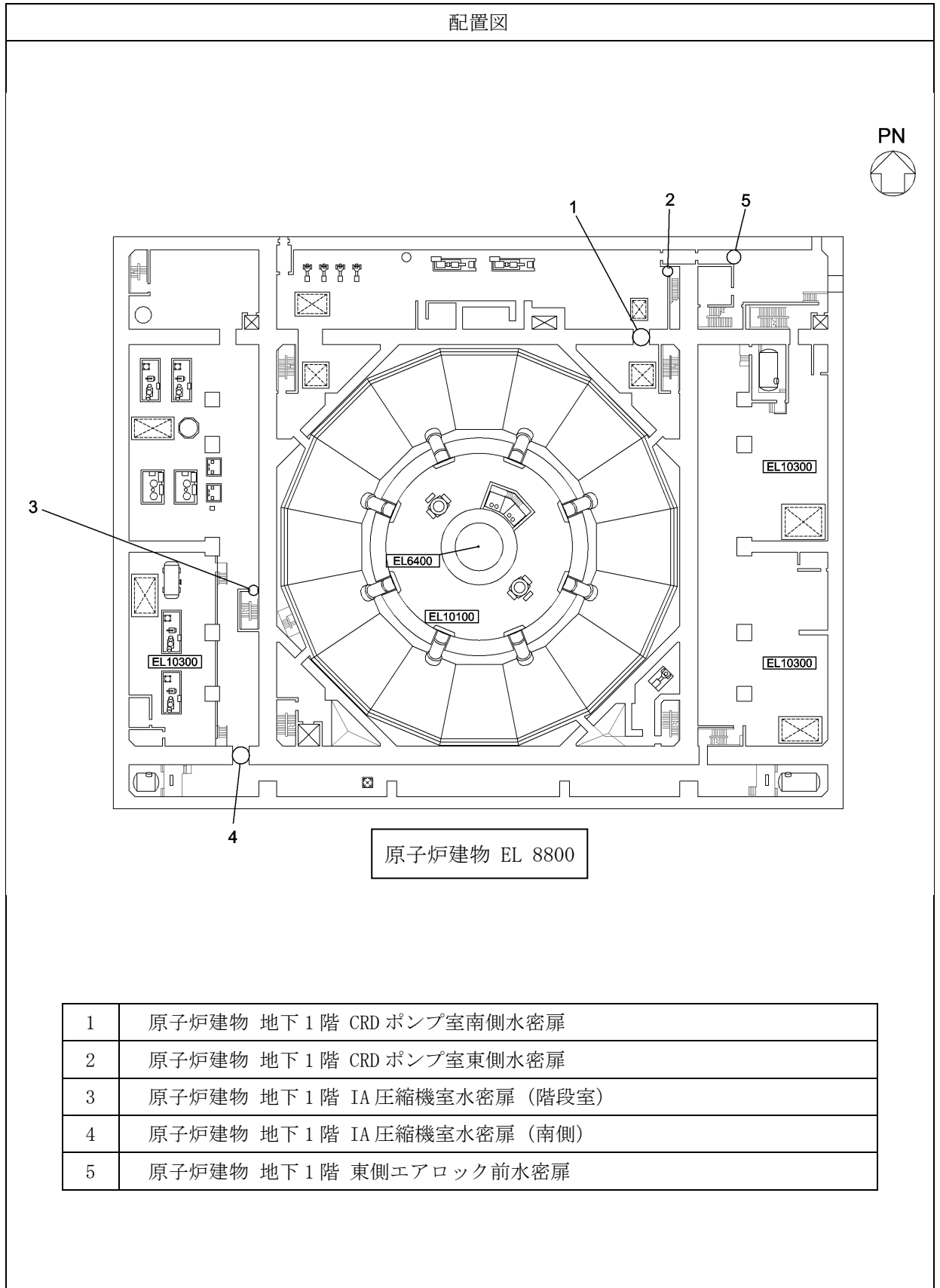


表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（3/14）

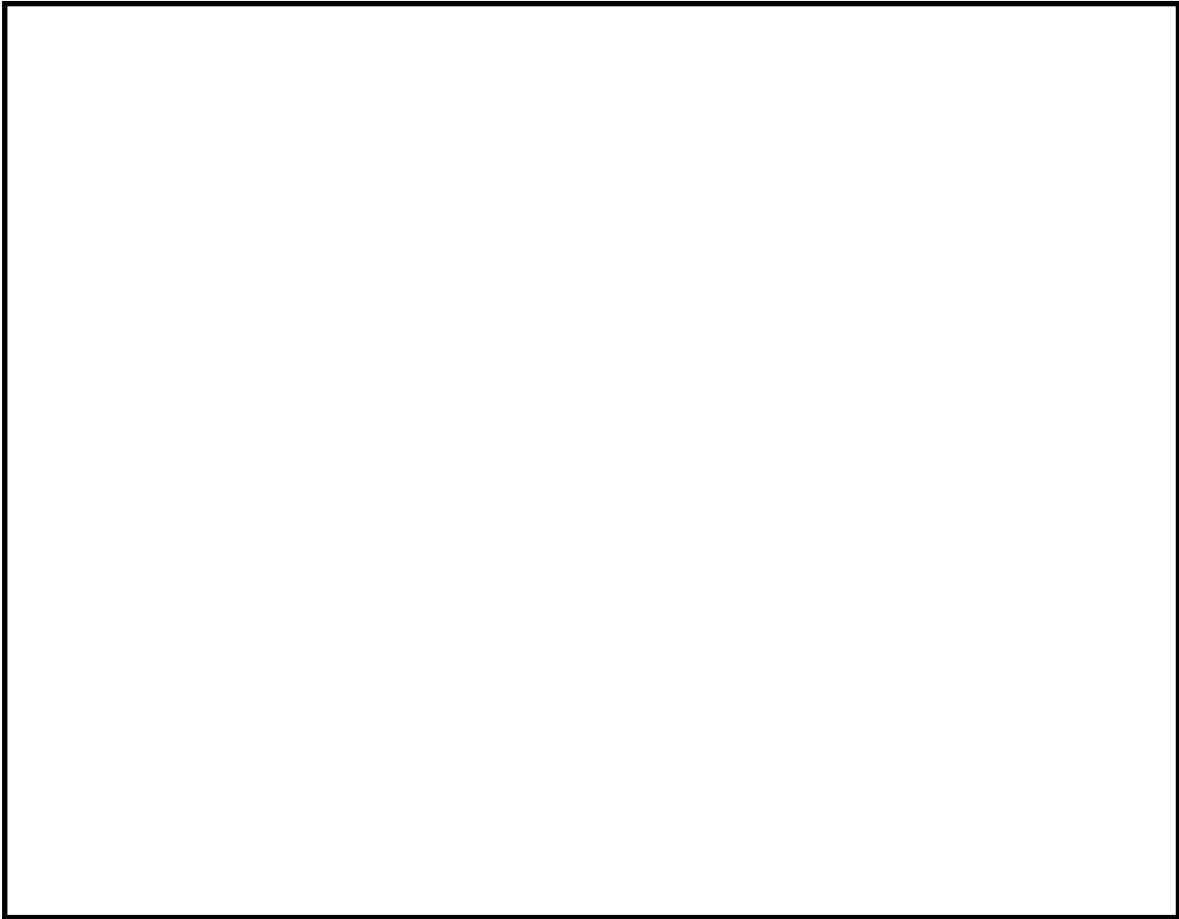
配置図	
	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">原子炉建物 EL 15300</div>	
1	原子炉建物 1階 RCW 熱交換器室南側水密扉
2	原子炉建物 1階 大物搬入口水密扉

表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（4/14）

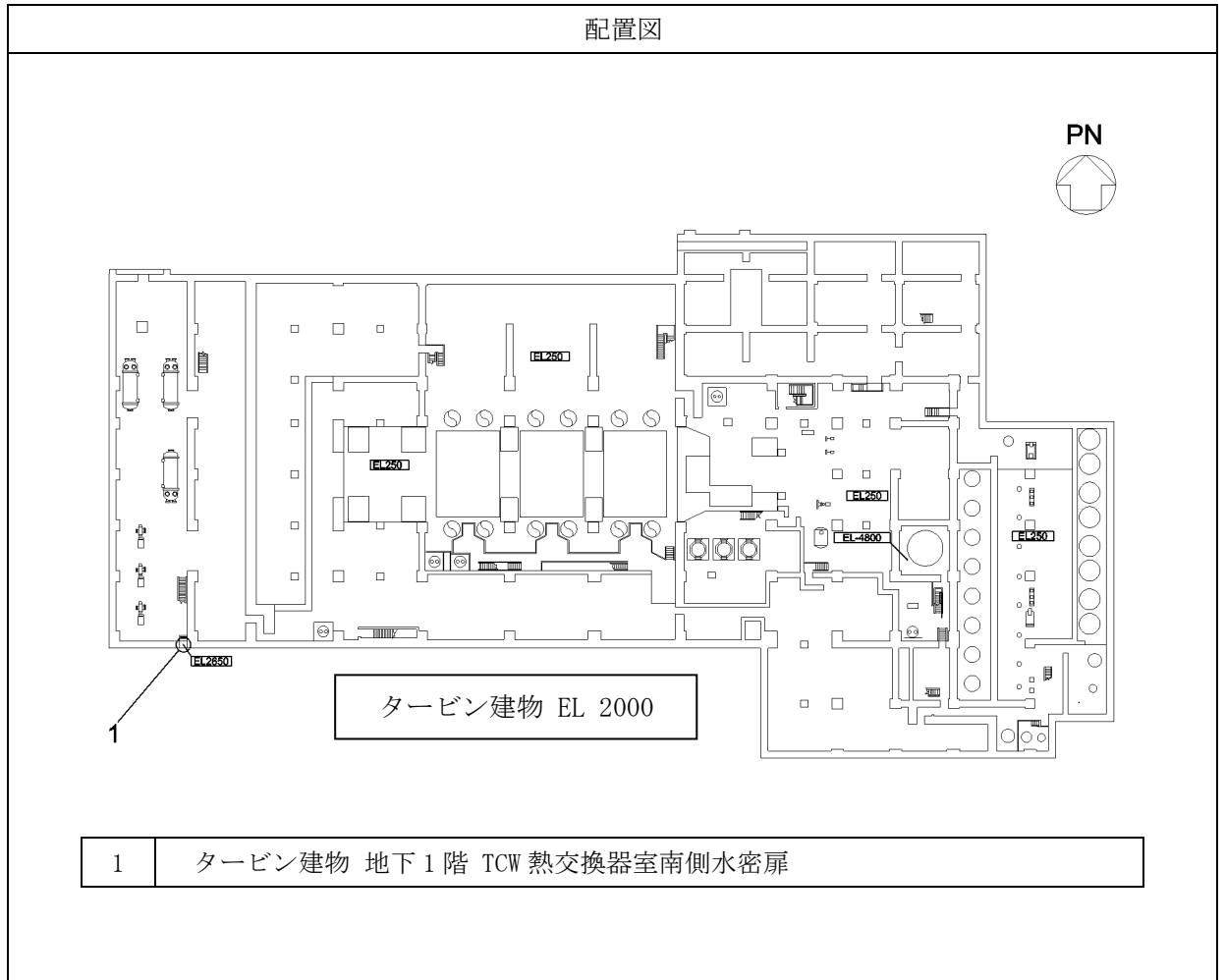


表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（5/14）

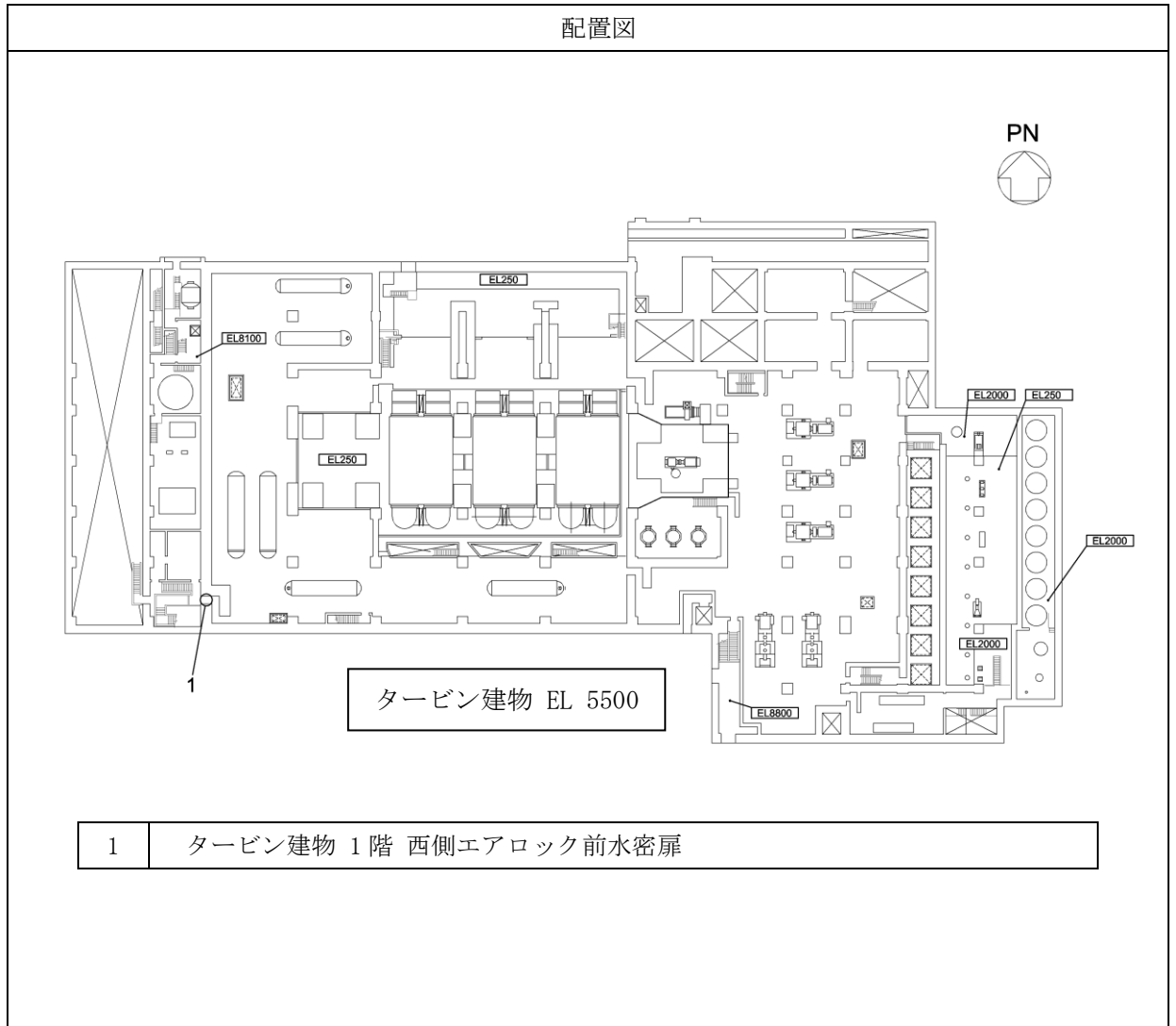


表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（6/14）

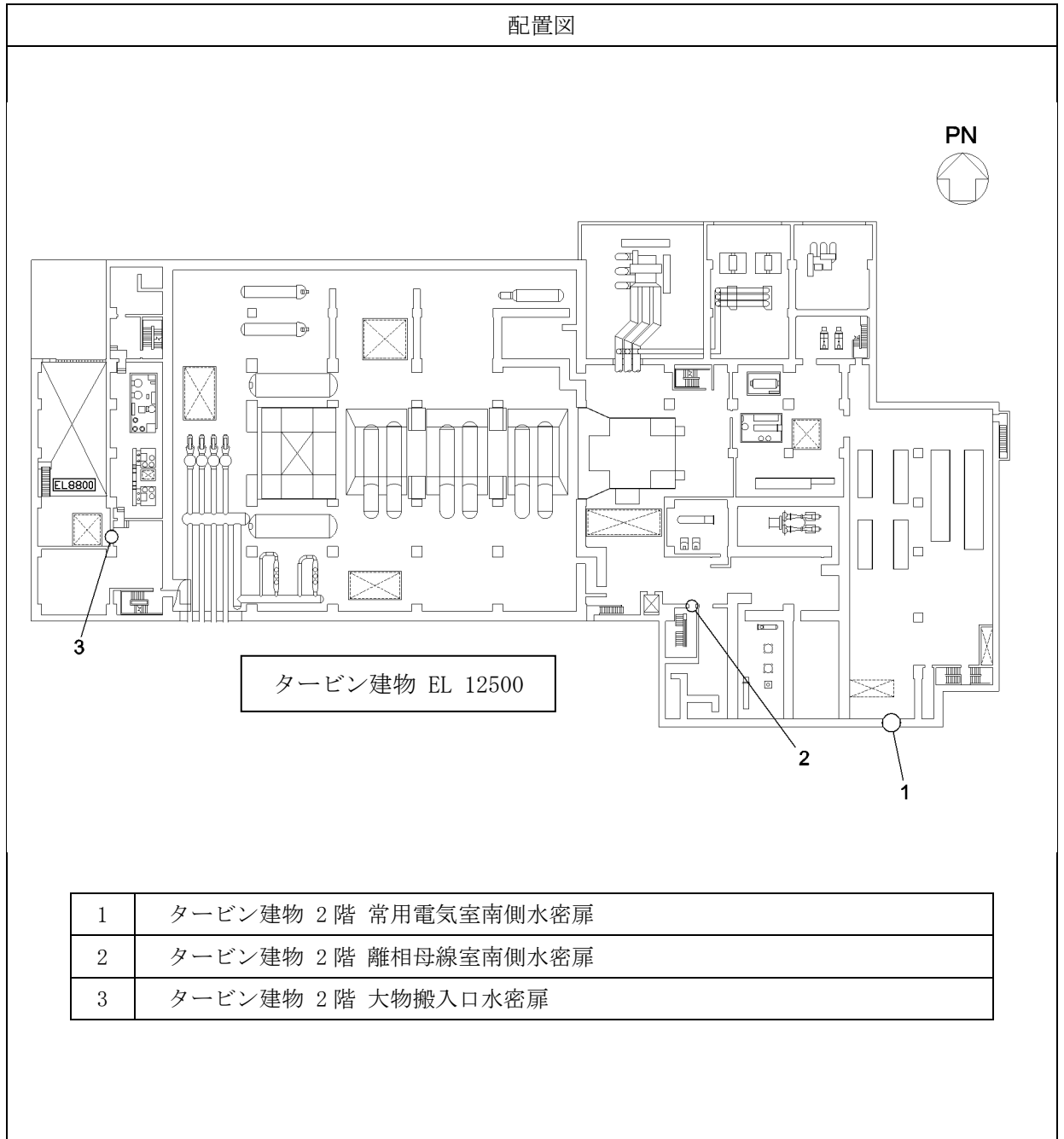


表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（7/14）

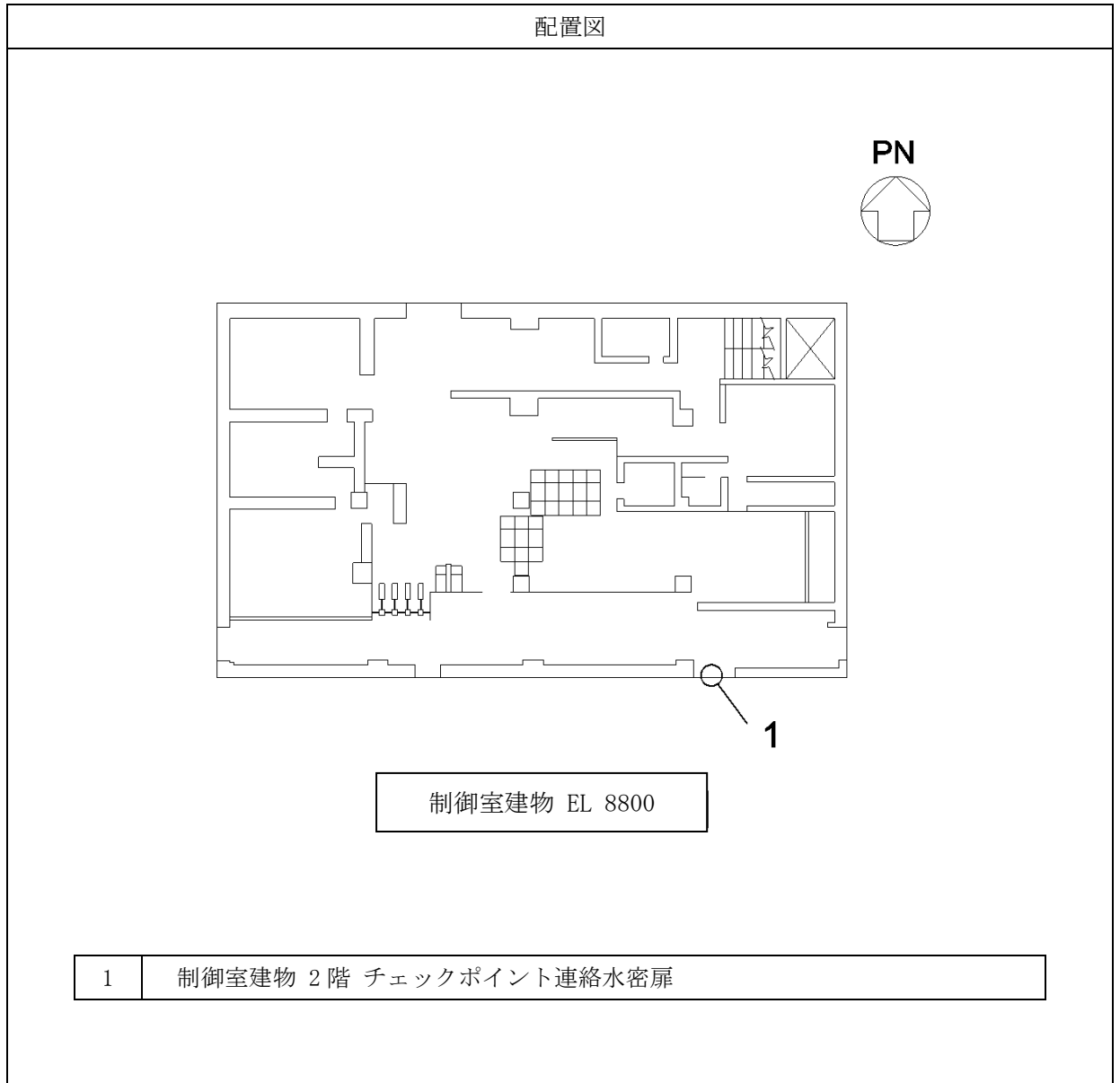
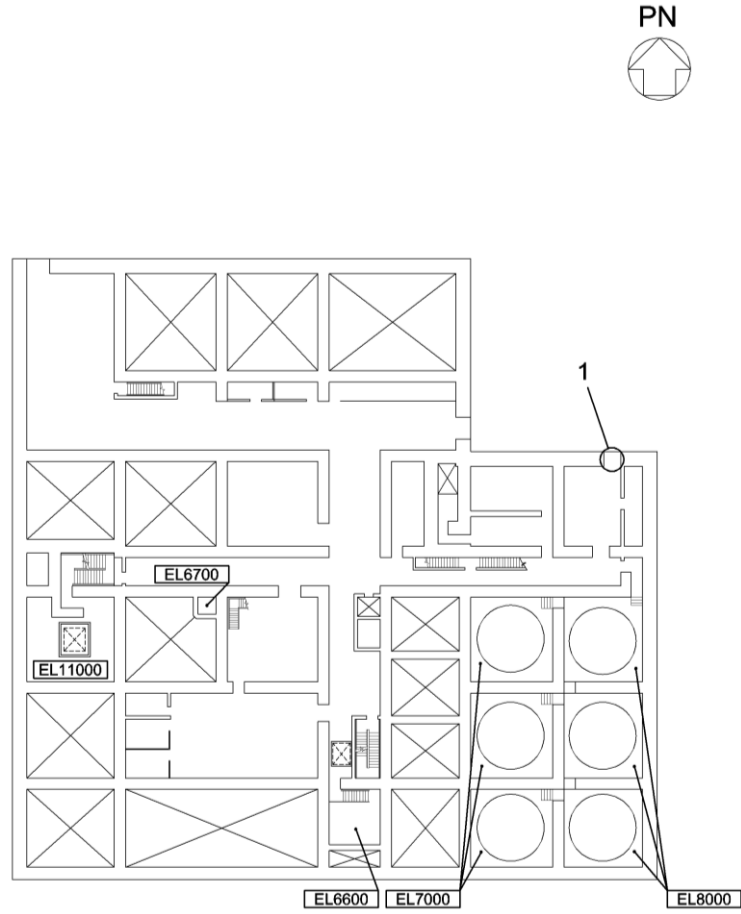


表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（8/14）

配置図



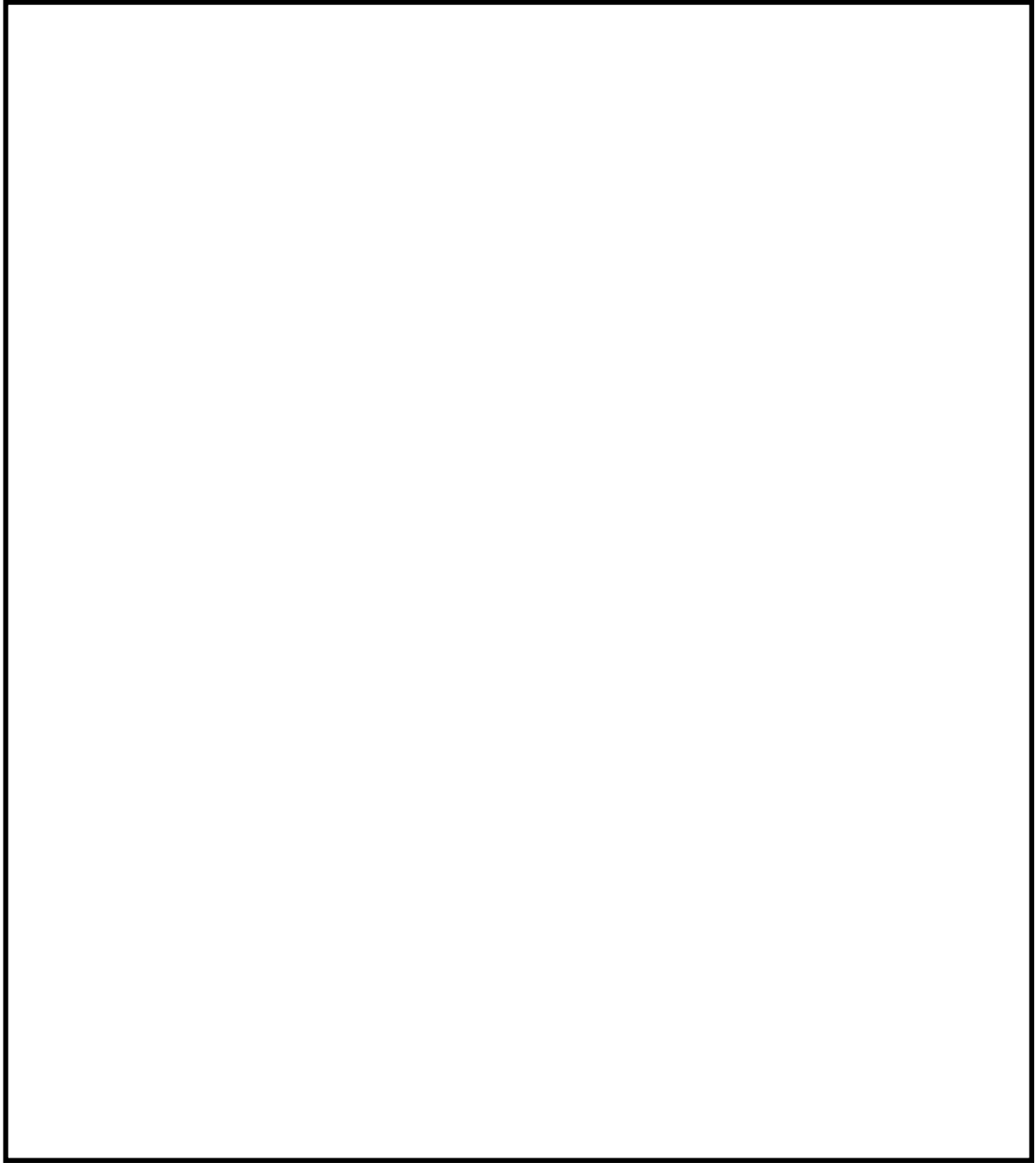
廃棄物処理建物 EL 8800

1

廃棄物処理建物 地下1階 被服置場北側水密扉

表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（9/14）

配置図

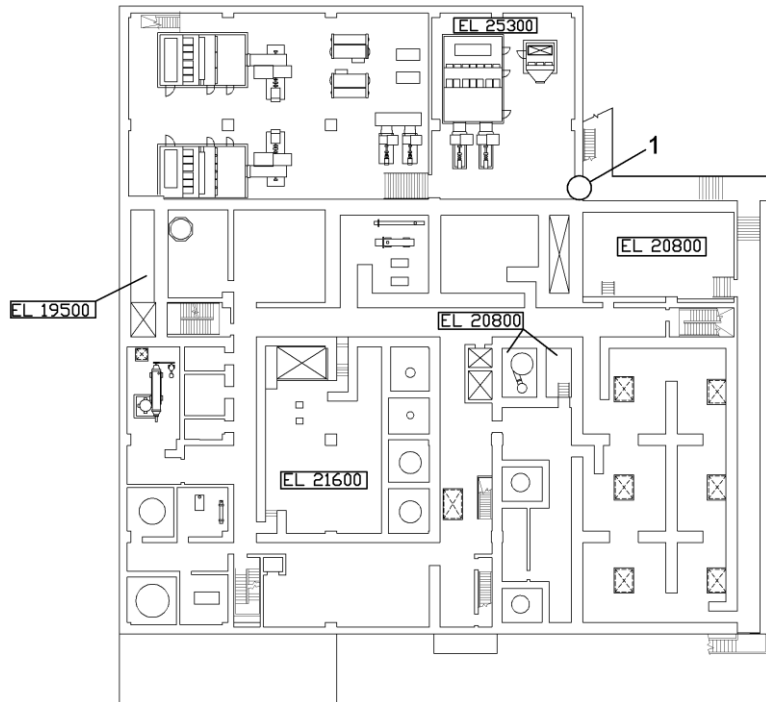


廃棄物処理建物 EL 15300

1	廃棄物処理建物 1階 大物搬入口水密扉
2	廃棄物処理建物 1階 ドラム缶搬入口水密扉

表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（10/14）

配置図



廃棄物処理建物 EL 22100

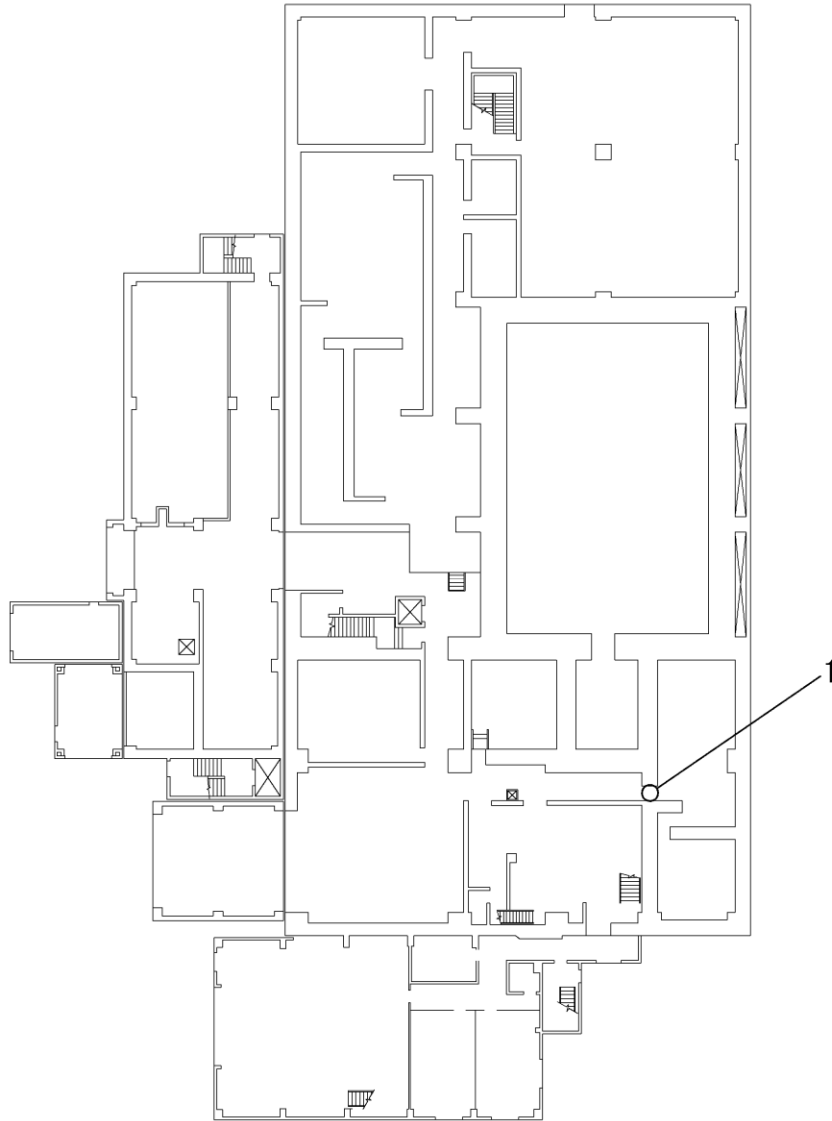
1

廃棄物処理建物 2階 非常用再循環送風機室東側水密扉

表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（11/14）

配置図

PN

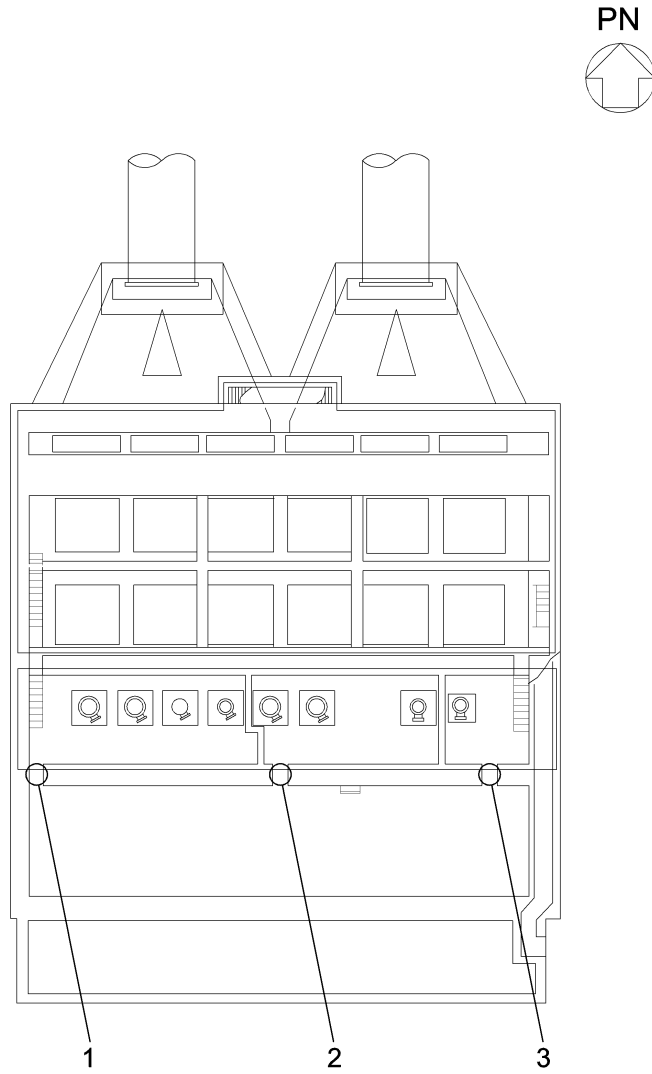


サイトバンカ建物 EL 8800

- | | |
|---|------------------------|
| 1 | サイトバンカ建物 1階 南東側ポンプ室水密扉 |
|---|------------------------|

表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（12/14）

配置図



取水槽 EL 1100

1	取水槽海水ポンプエリア水密扉（西）
2	取水槽海水ポンプエリア水密扉（中）
3	取水槽海水ポンプエリア水密扉（東）

表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（13/14）

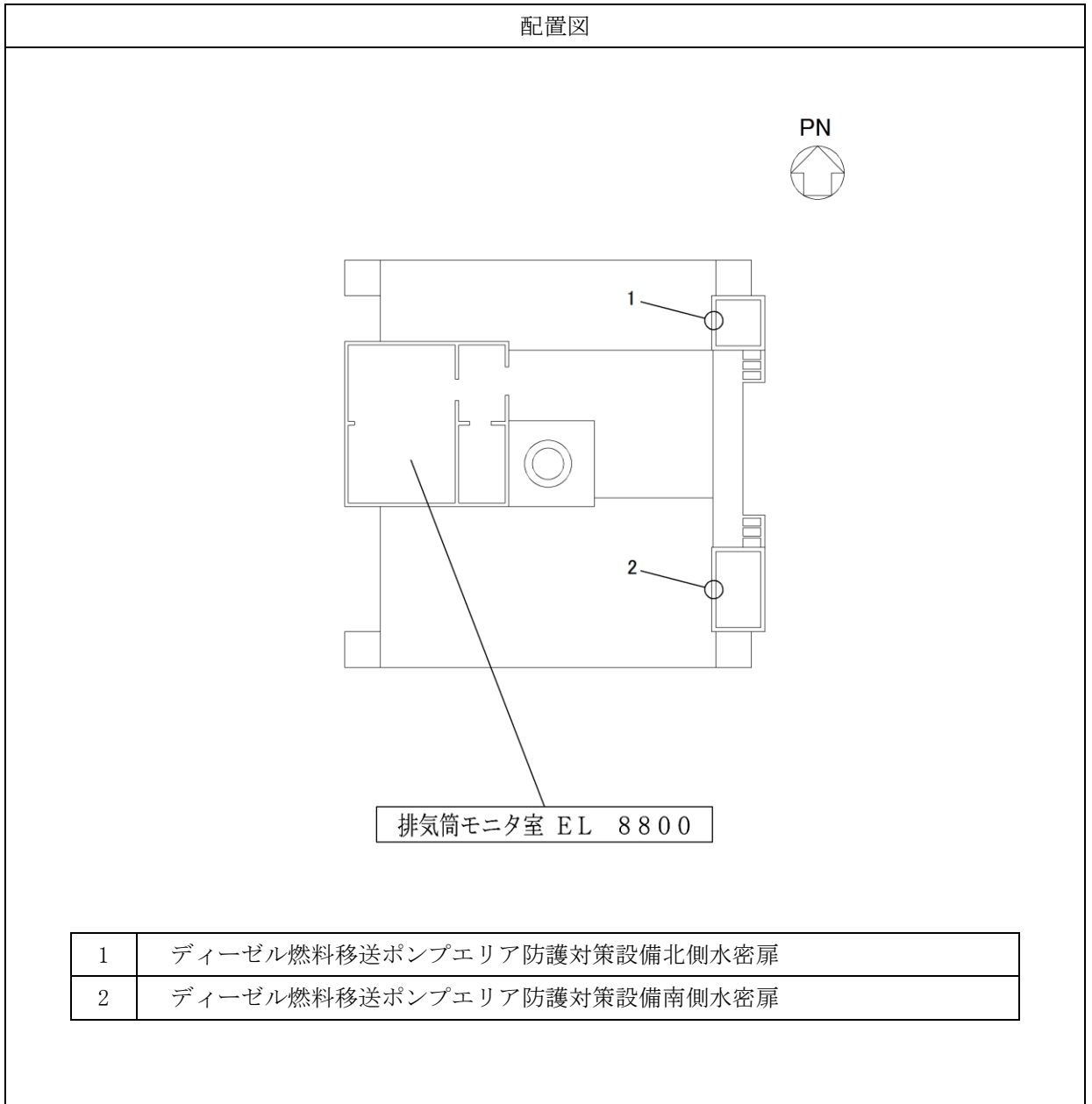
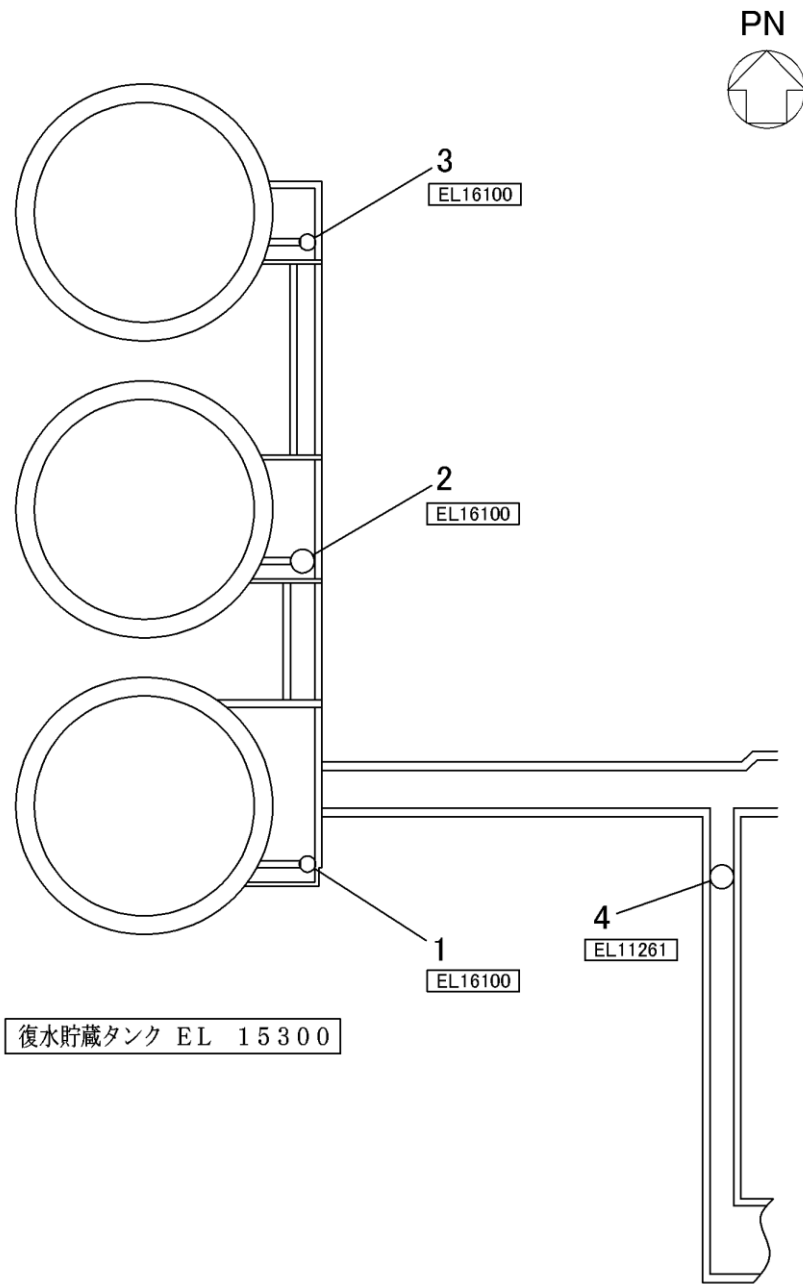


表 3-1 設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（14/14）

配置図



1	復水貯蔵タンク水密扉
2	補助復水貯蔵タンク水密扉
3	トーラス水受入タンク水密扉
4	屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)水密扉

表 3-2 溢水用水密扉及び管理区域水密扉の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>正面図</p> <p>断面図</p>

(2) 溢水用堰及び管理区域堰

a. 構造設計

溢水用堰及び管理区域堰は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

溢水用堰及び管理区域堰は、鋼製堰及び鉄筋コンクリート製堰に分類できる。

鋼製堰は、鋼板、はり材、柱材及びアンカーボルトを主体構造とし、建物の床及び壁にアンカーボルトで固定し、支持する構造とする。また、作用する荷重については、鋼製堰に作用し、アンカーボルトを介し、建物の床及び壁に伝達する構造とする。

鉄筋コンクリート製堰は、コンクリート、主筋及びアンカー筋を主体構造とし、アンカー筋により既設コンクリートと一体化する構造とする。また、作用する荷重については、鉄筋コンクリート製の堰に作用し、アンカー筋を介し、既設コンクリートに伝達する構造とする。

溢水用堰及び管理区域堰の設置位置を表 3-3 に示す。また、溢水用堰及び管理区域堰の構造計画を表 3-4 に示す。

b. 評価方針

溢水用堰及び管理区域堰は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

溢水用堰及び管理区域堰は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、溢水用堰及び管理区域堰の評価部位が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (1/19)

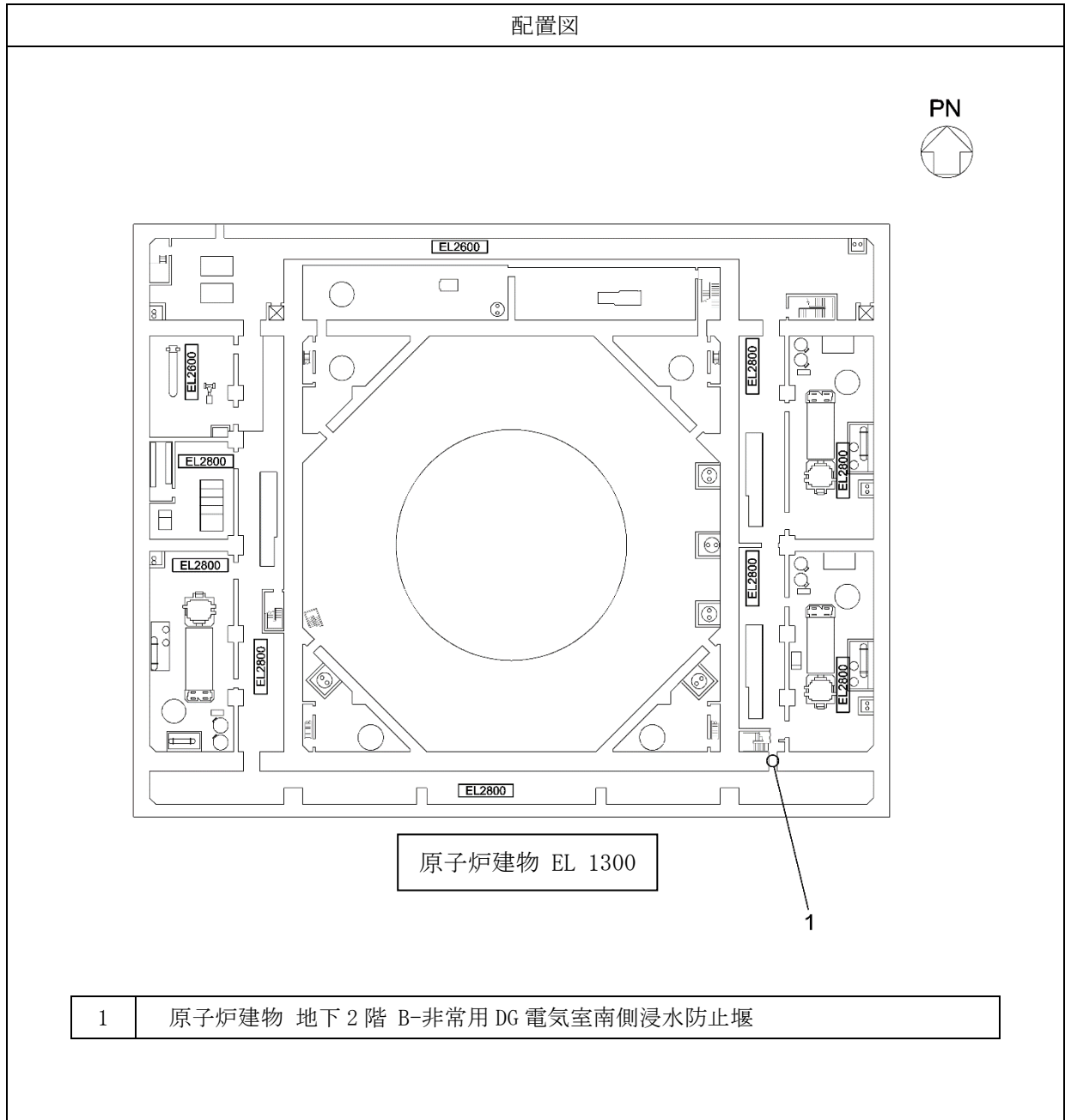


表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（2/19）

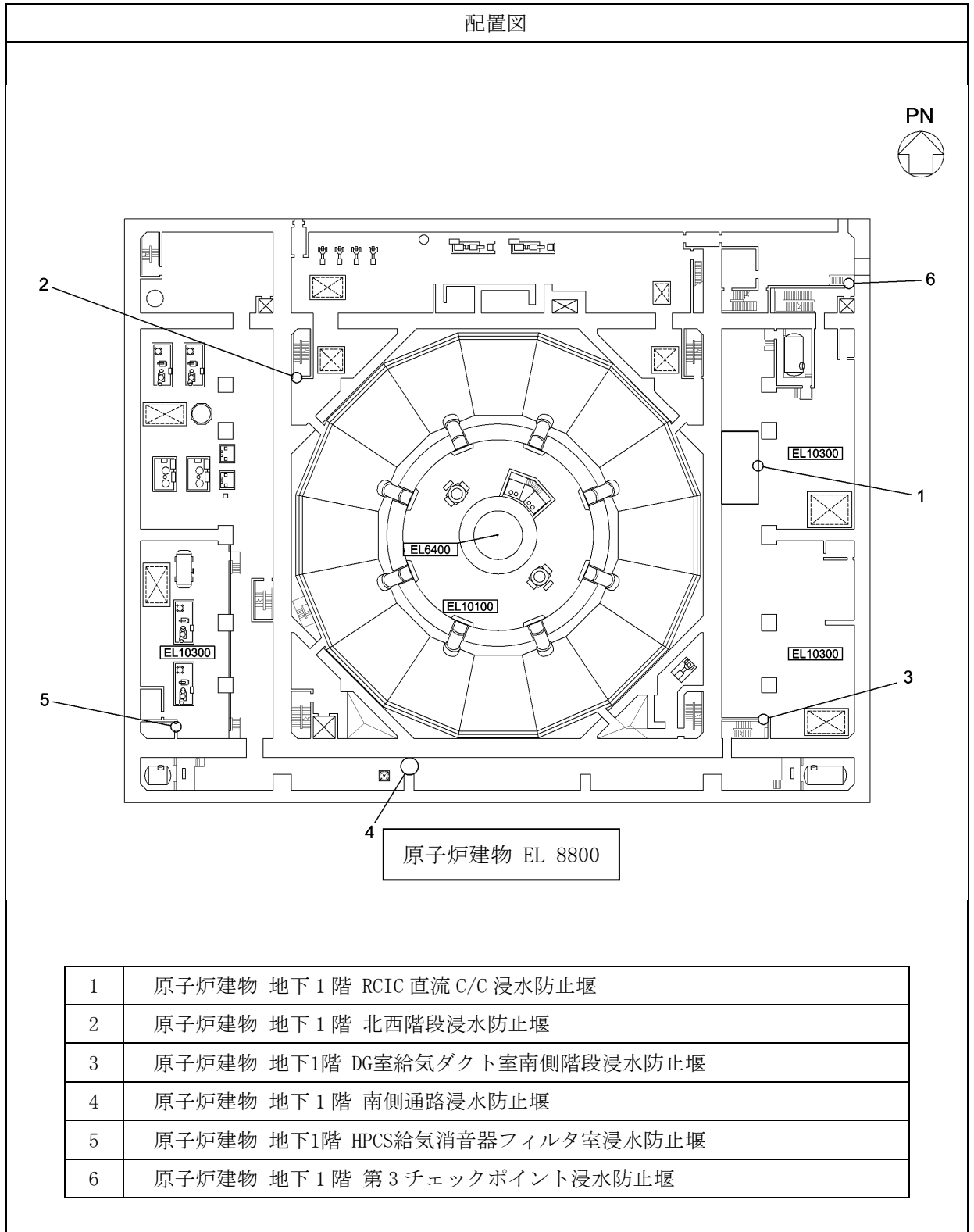
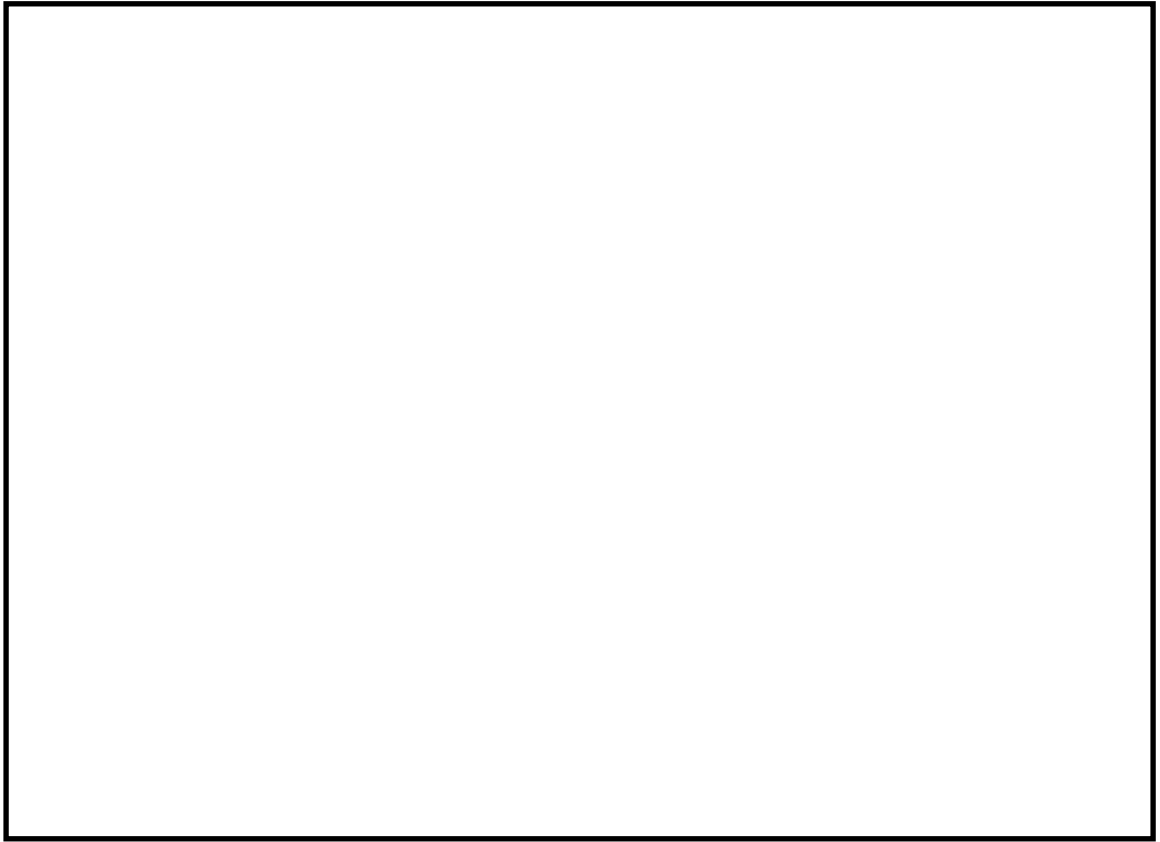


表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（3/19）

配置図



原子炉建物 EL 15300

1	原子炉建物 1階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 1階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 1階 南東階段浸水防止堰
4	原子炉建物 1階 南西階段浸水防止堰
5	原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰
6	原子炉建物 1階 エアロック前浸水防止堰
7	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（非管理区域側）
8	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（管理区域側）

表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（4/19）

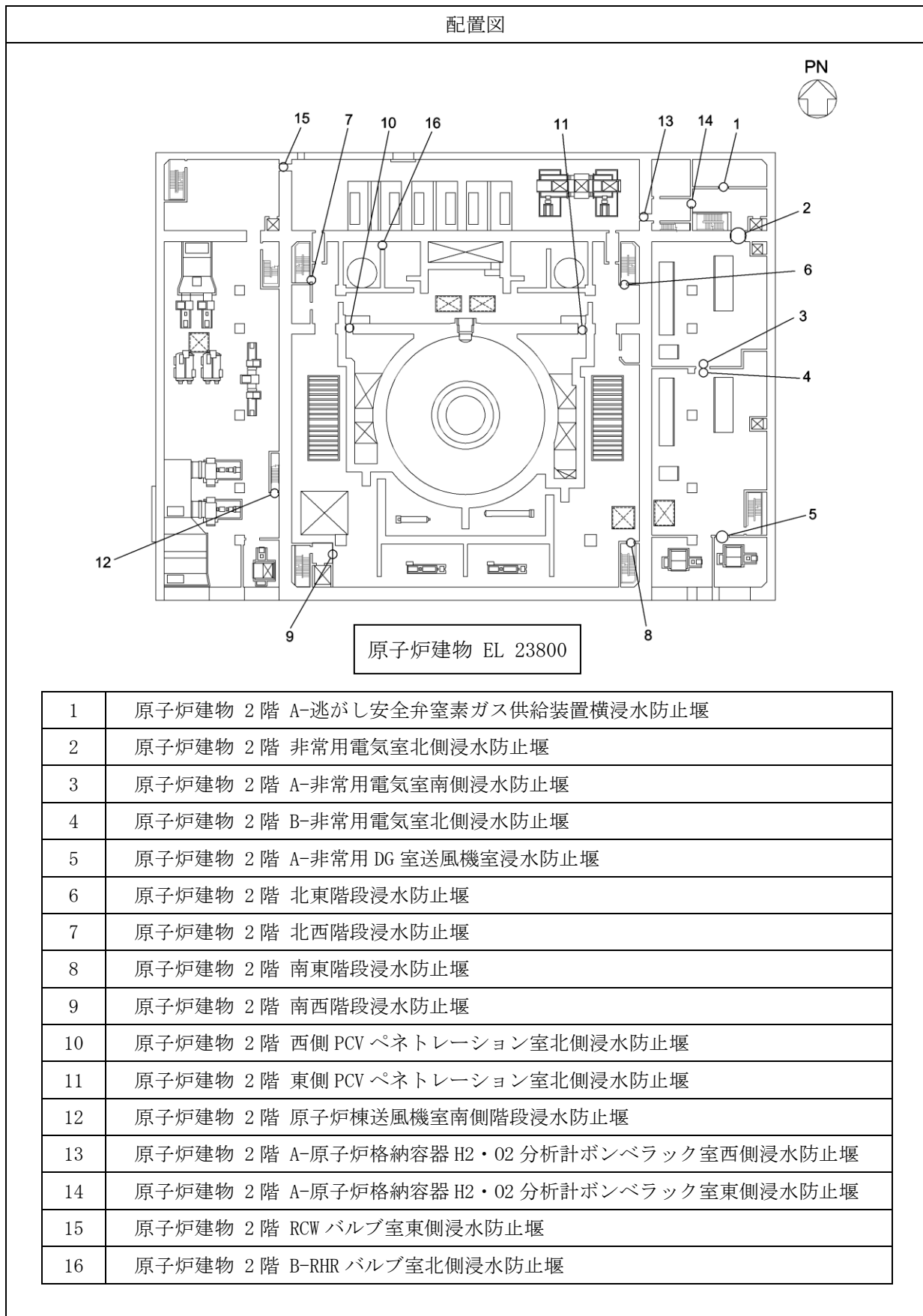
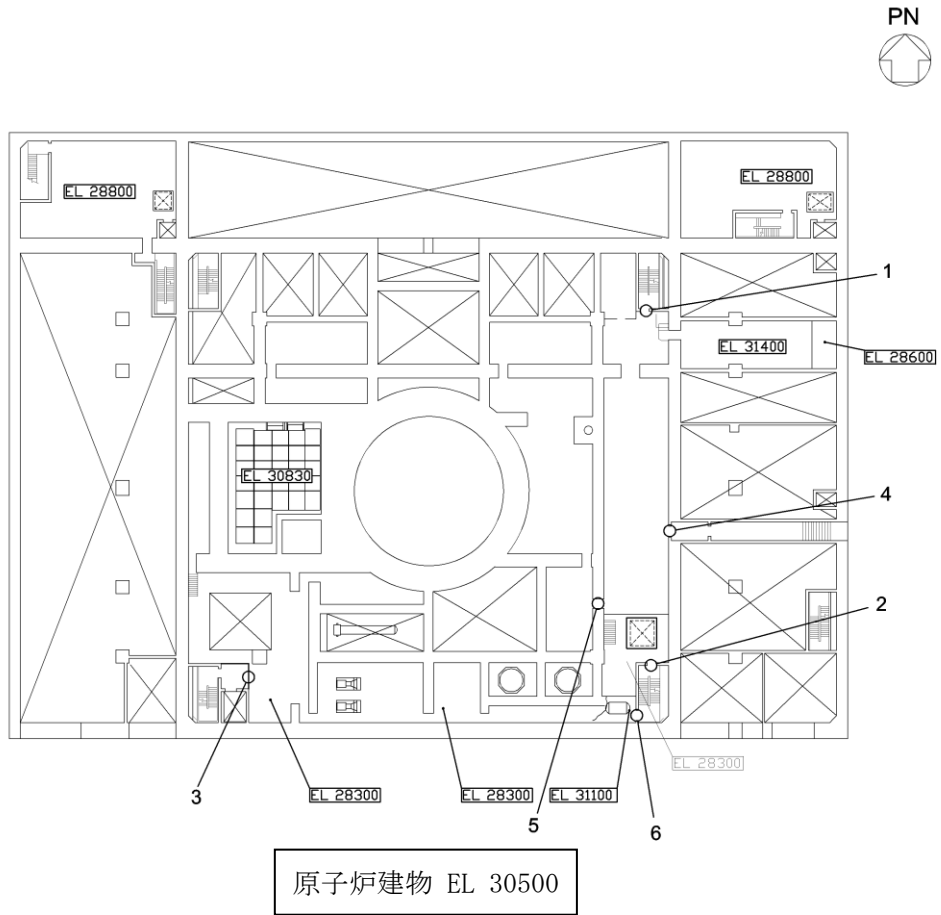


表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（5/19）

配置図



1	原子炉建物 中2階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 中2階 南東階段浸水防止堰
3	原子炉建物 中2階 南西階段浸水防止堰
4	原子炉建物 中2階 エアロック前浸水防止堰
5	原子炉建物 中2階 CUWバルブ室東側浸水防止堰
6	原子炉建物 中2階 CUWサージタンク室浸水防止堰

表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（6/19）

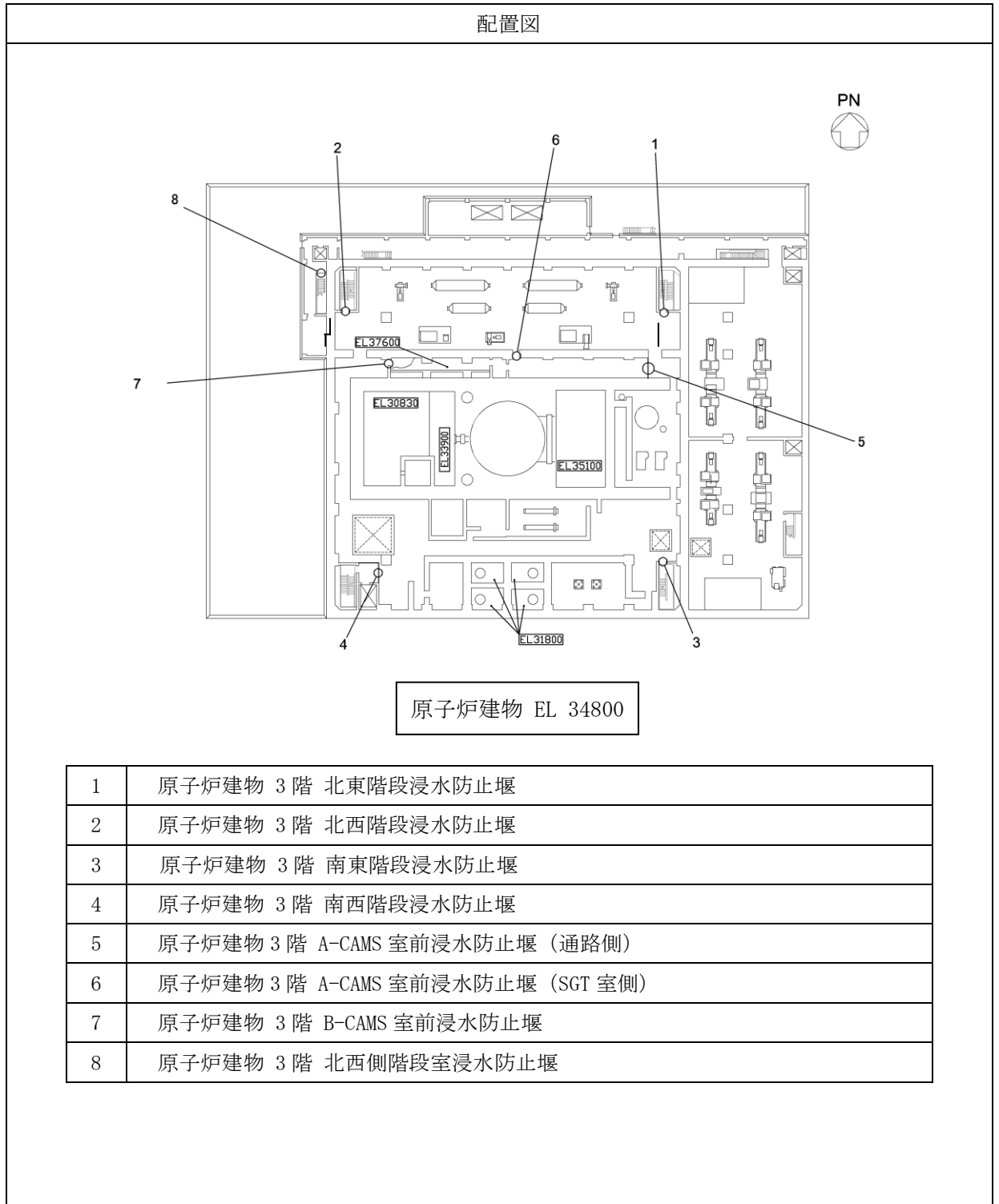


表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（7/19）

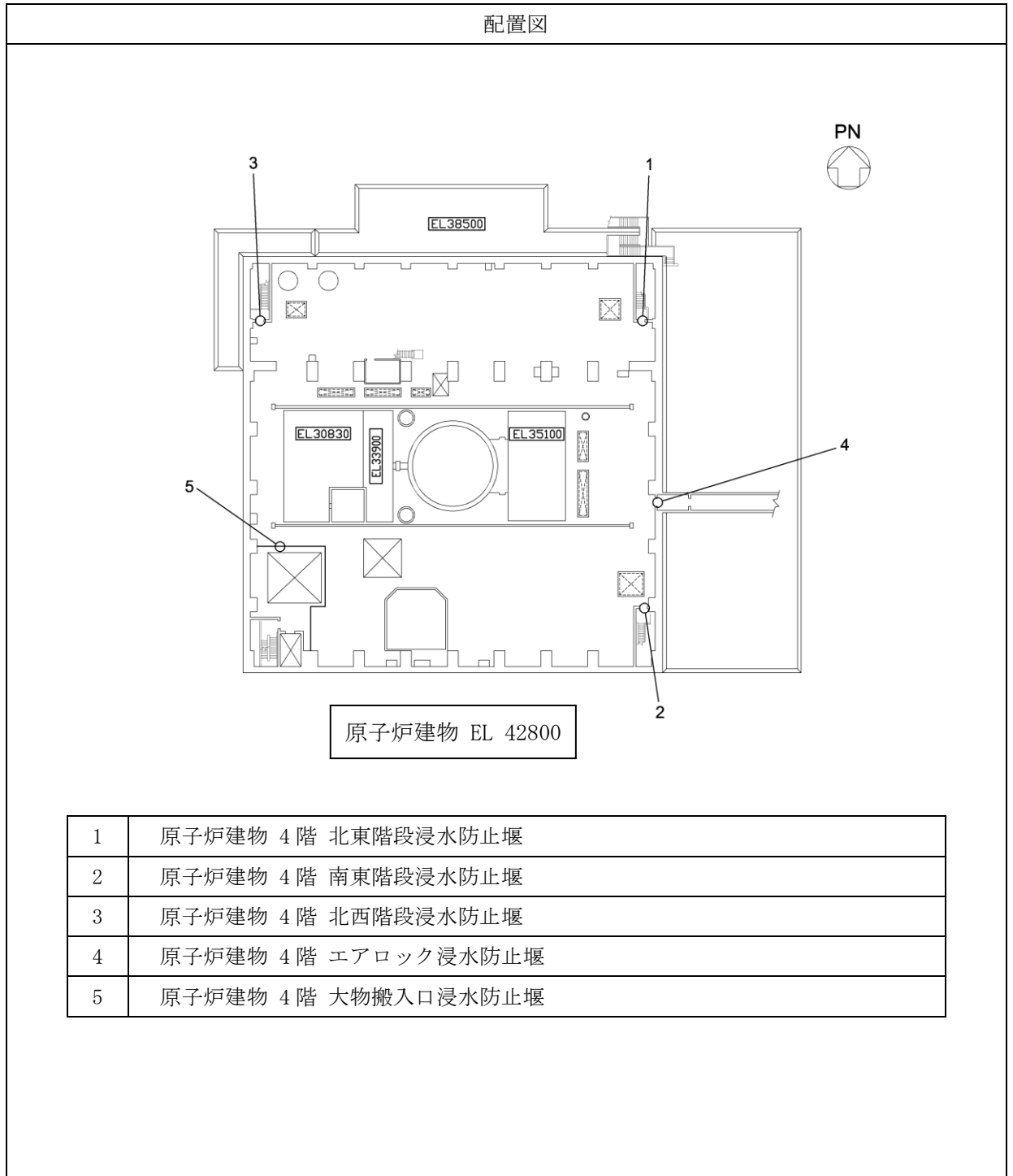


表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（8/19）

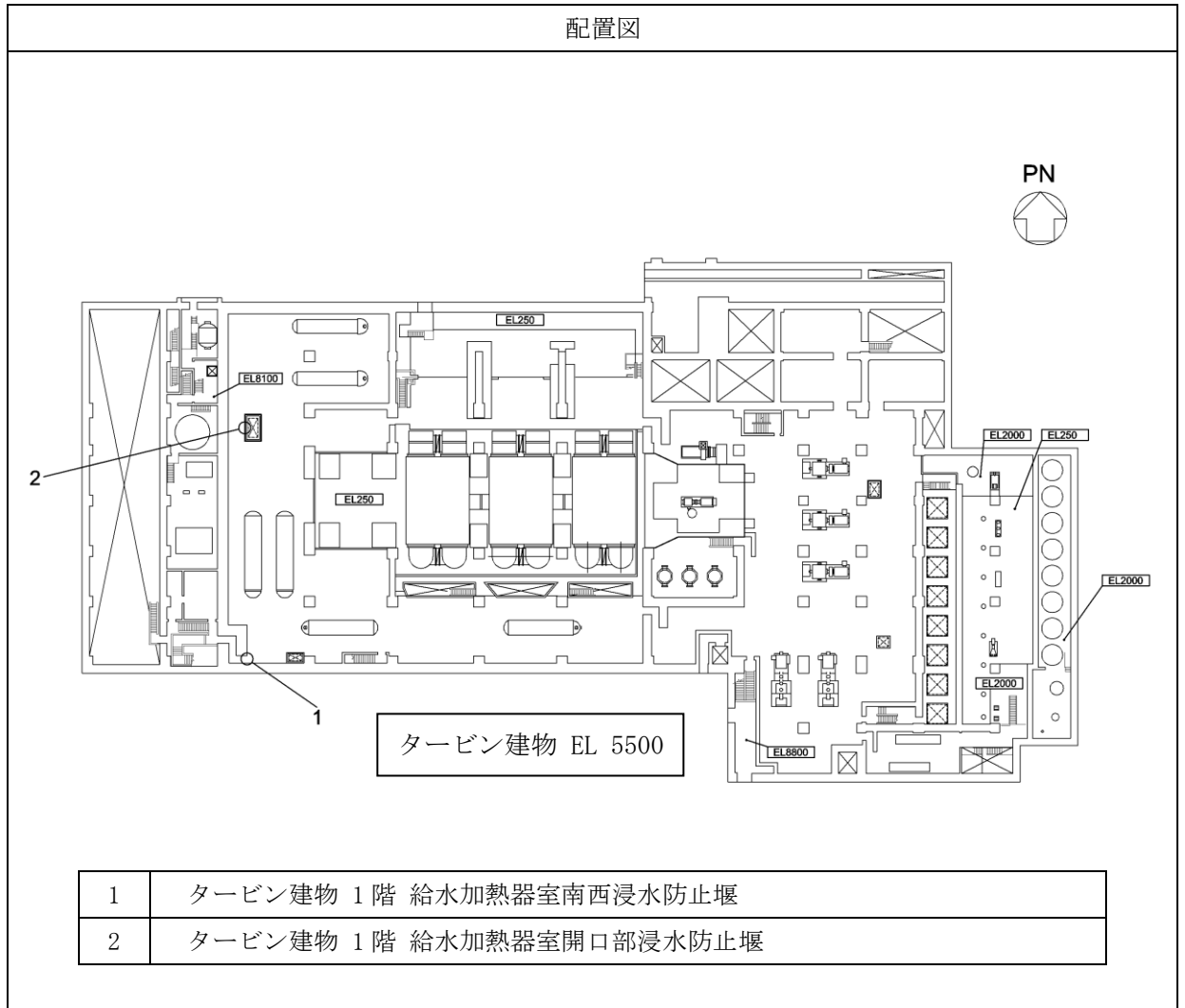


表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（9/19）

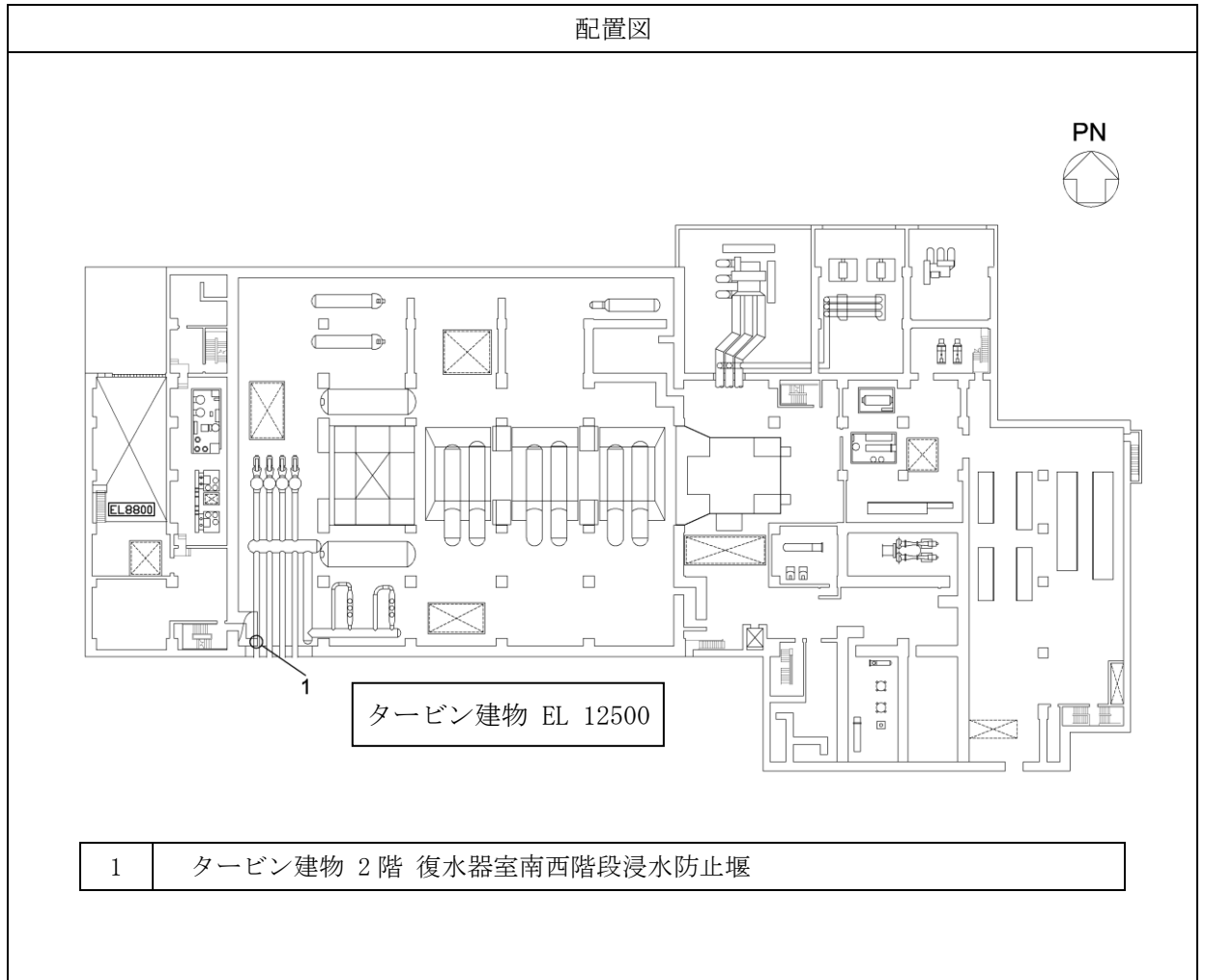


表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (10/19)

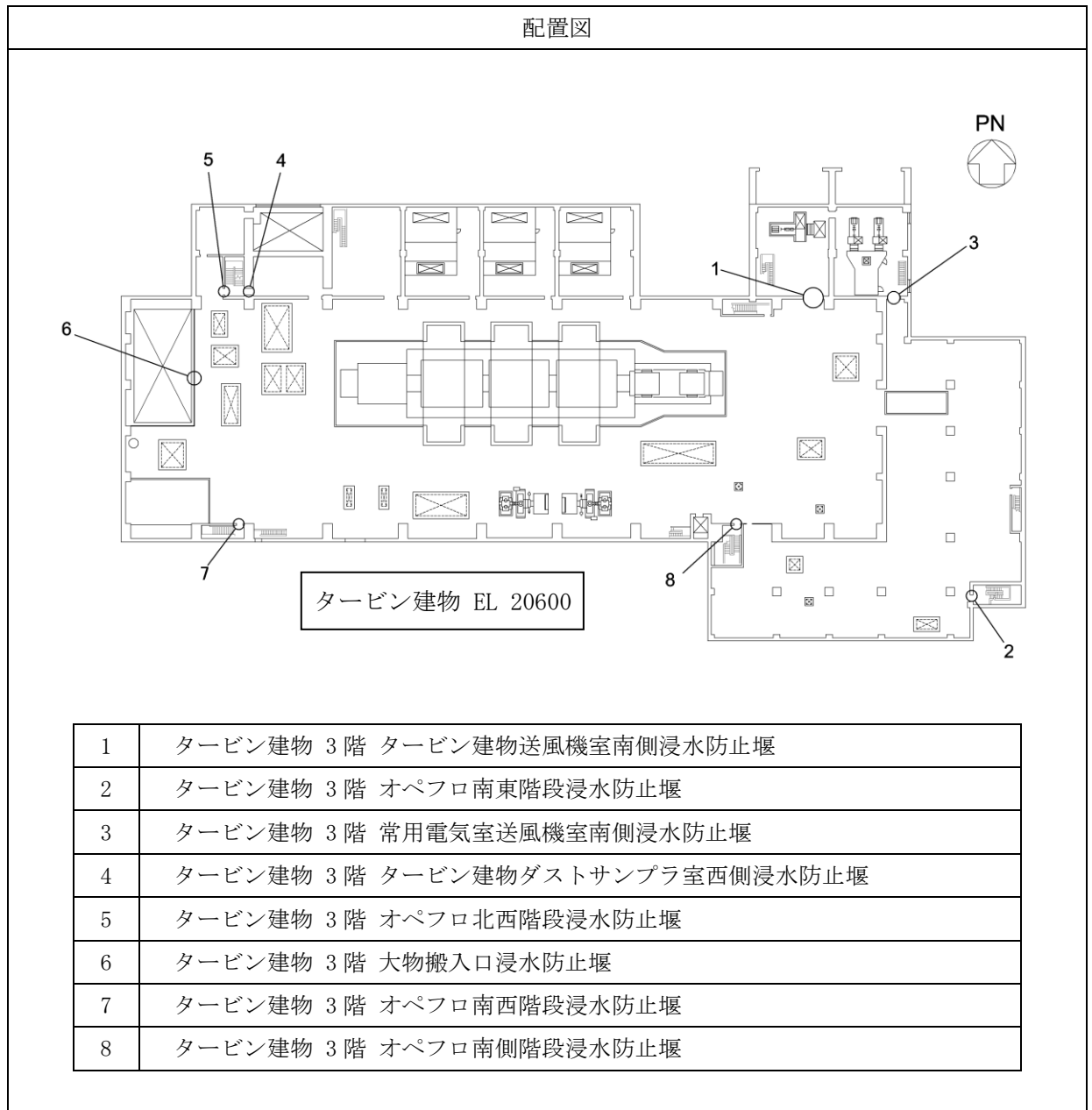


表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (11/19)

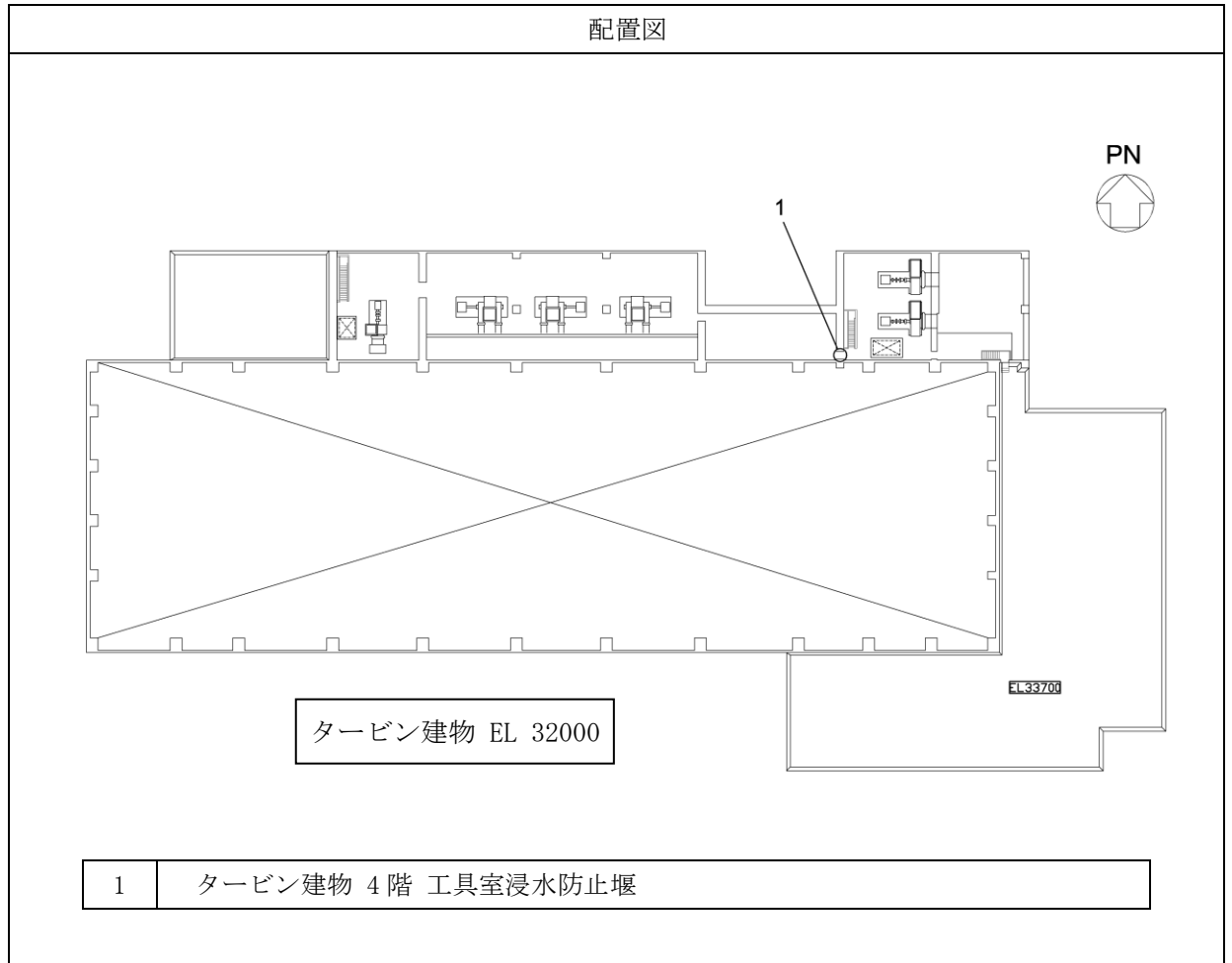


表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (12/19)

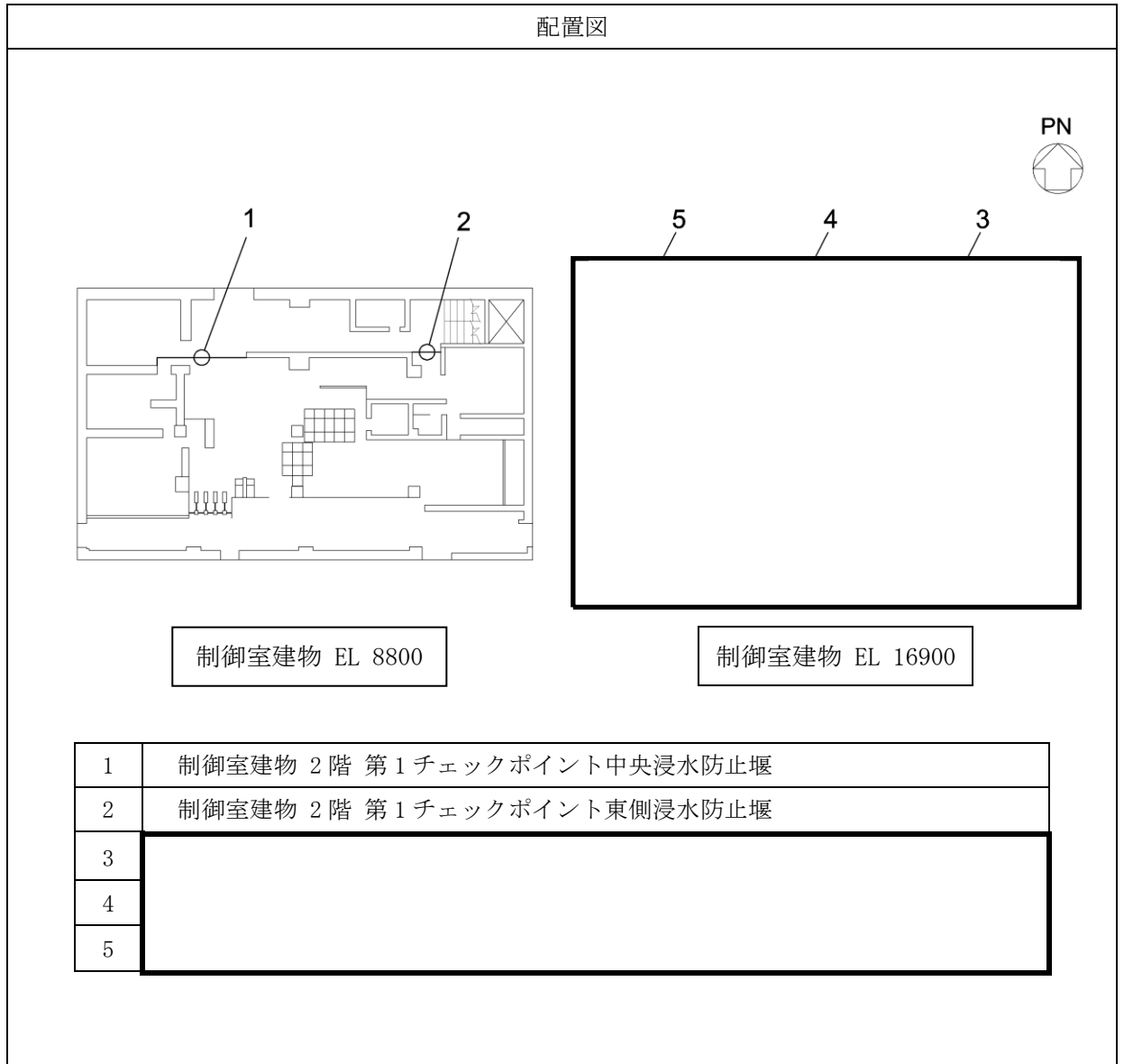
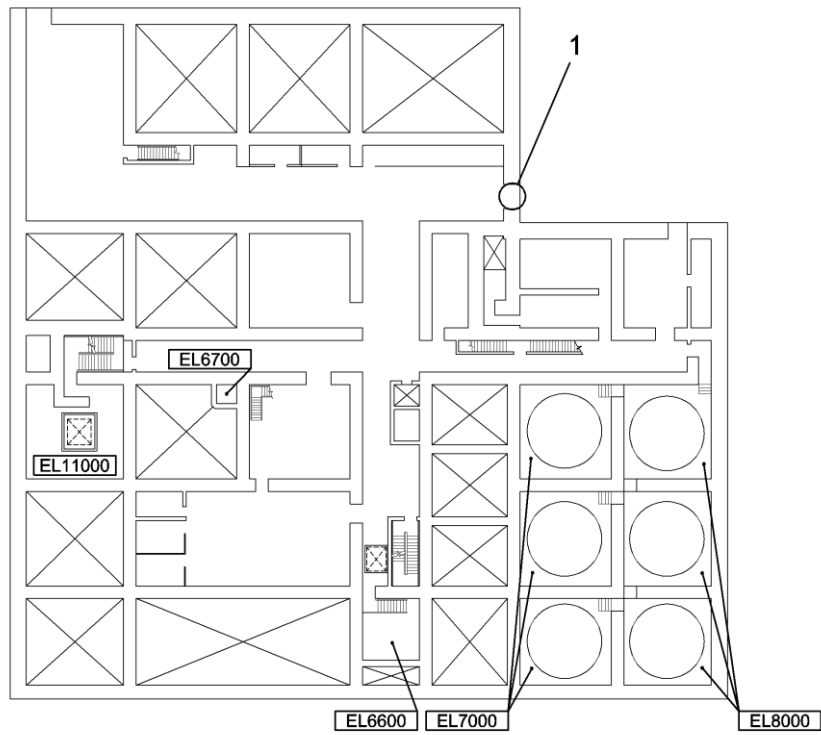


表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (13/19)

配置図



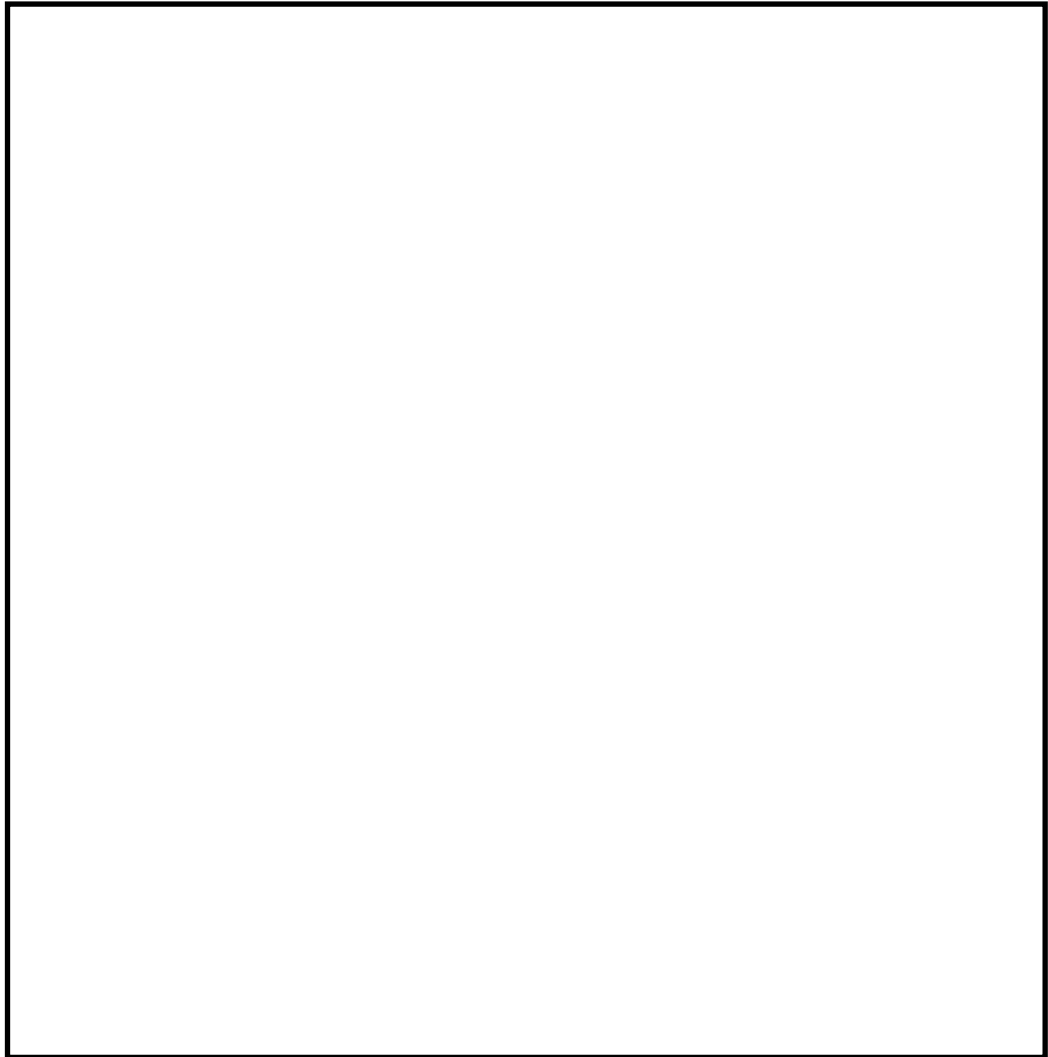
廃棄物処理建物 EL 8800

1

廃棄物処理建物 地下 1 階 通路東側浸水防止堰

表 3-3 設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（14/19）

配置図

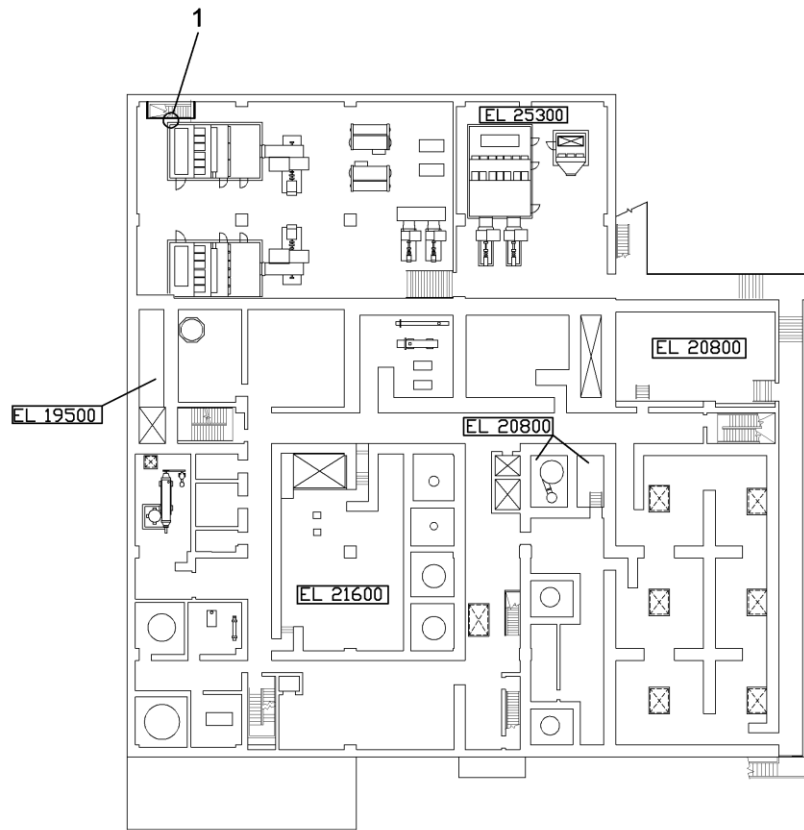


廃棄物処理建物 EL 15300

1	廃棄物処理建物 2階 計算機室連絡扉前浸水防止堰
2	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（北）浸水防止堰
3	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（中）浸水防止堰
4	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（南）浸水防止堰
5	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰
6	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（運転員控室側）
7	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（予備室側）
8	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（補助盤室側）
9	廃棄物処理建物 1階 補助盤室前浸水防止堰

表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (15/19)

配置図



廃棄物処理建物 EL 22100

1	廃棄物処理建物 2階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰
---	-----------------------------

表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (16/19)

S2 補 VI-3-3-別添 3-3 R1

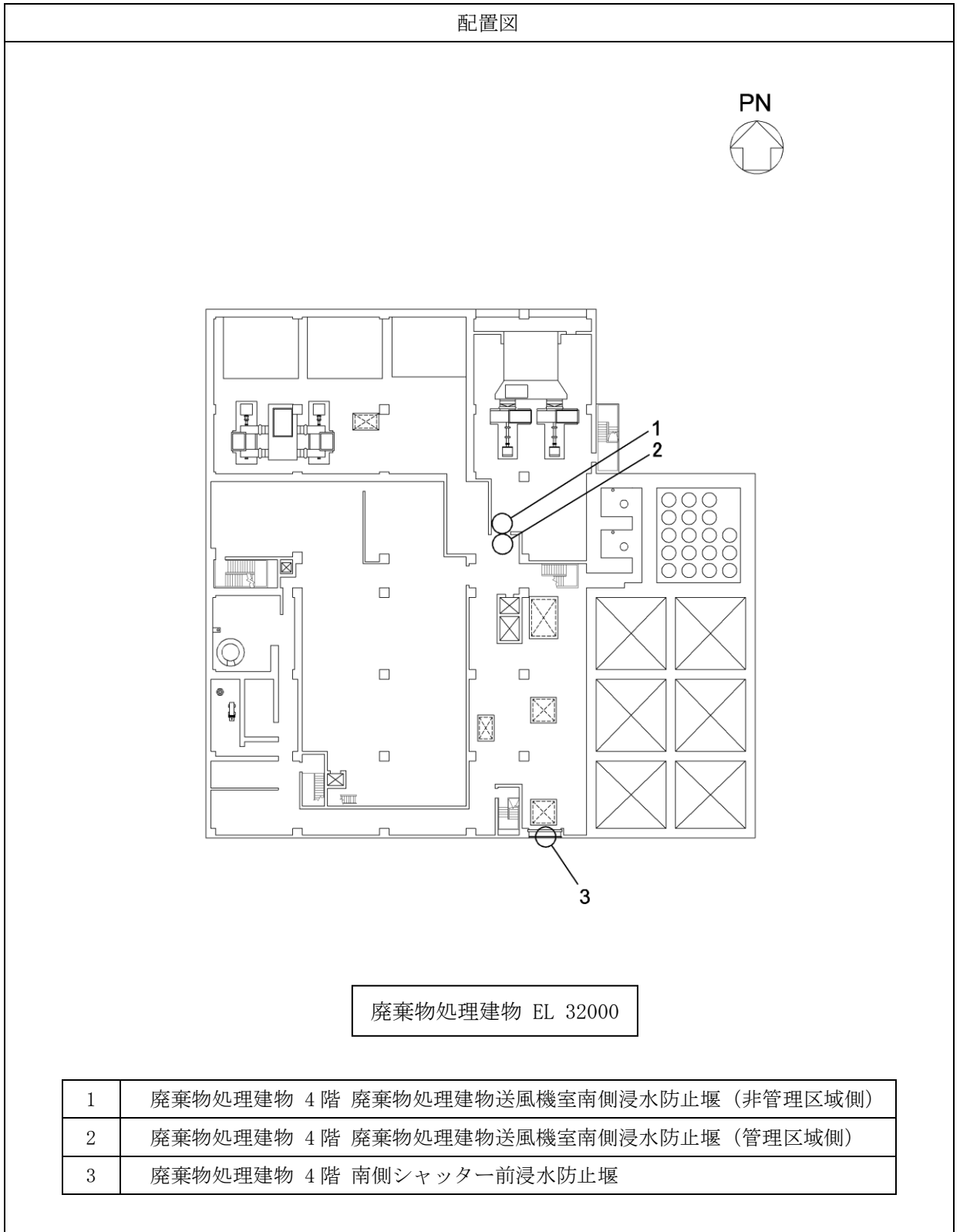
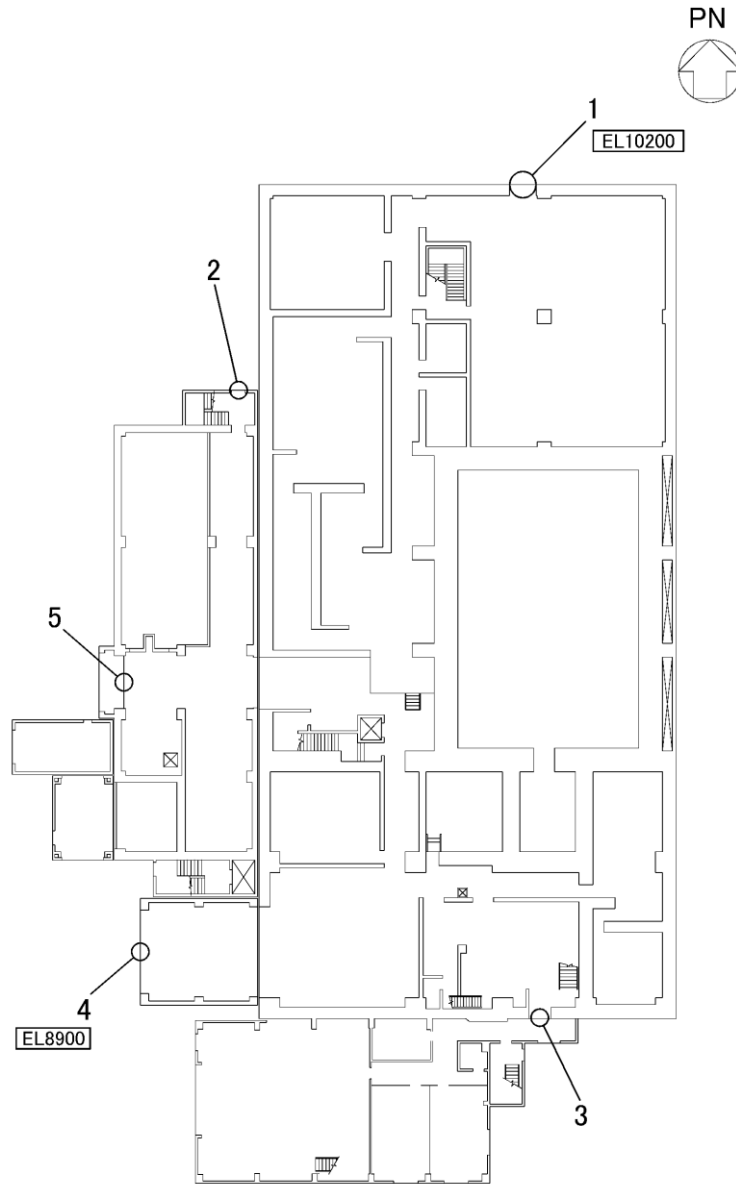


表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (17/19)

配置図

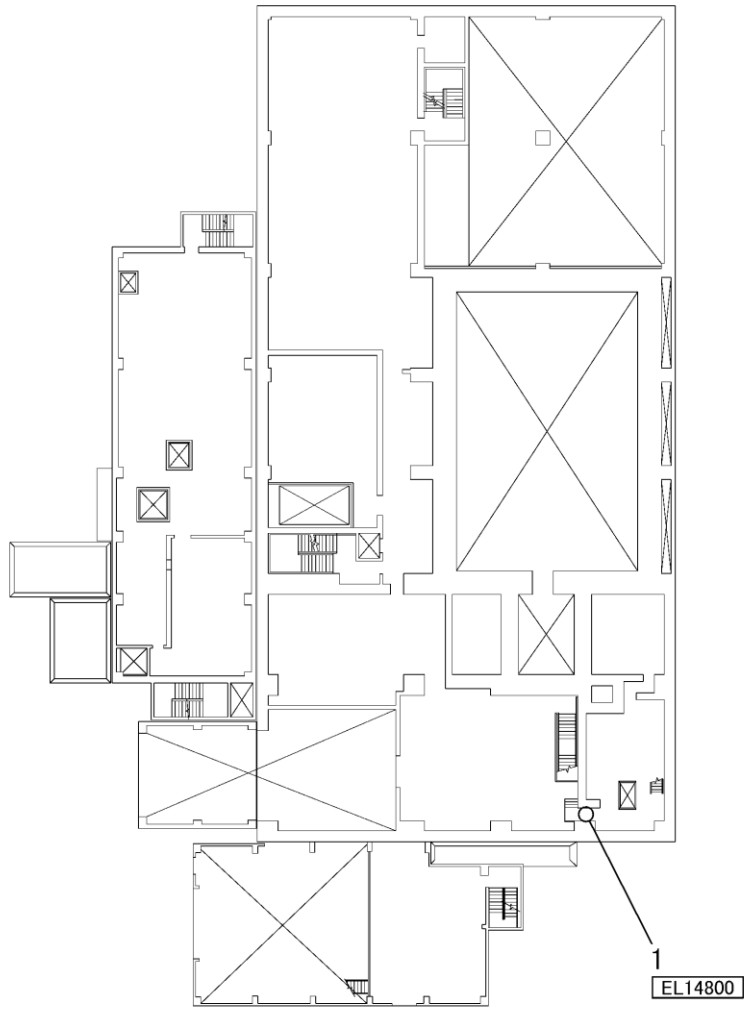


サイトバンカ建物 EL 8800

1	サイトバンカ建物 1階 排風機室北側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 1階 北西側階段室浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰

表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (18/19)

配置図

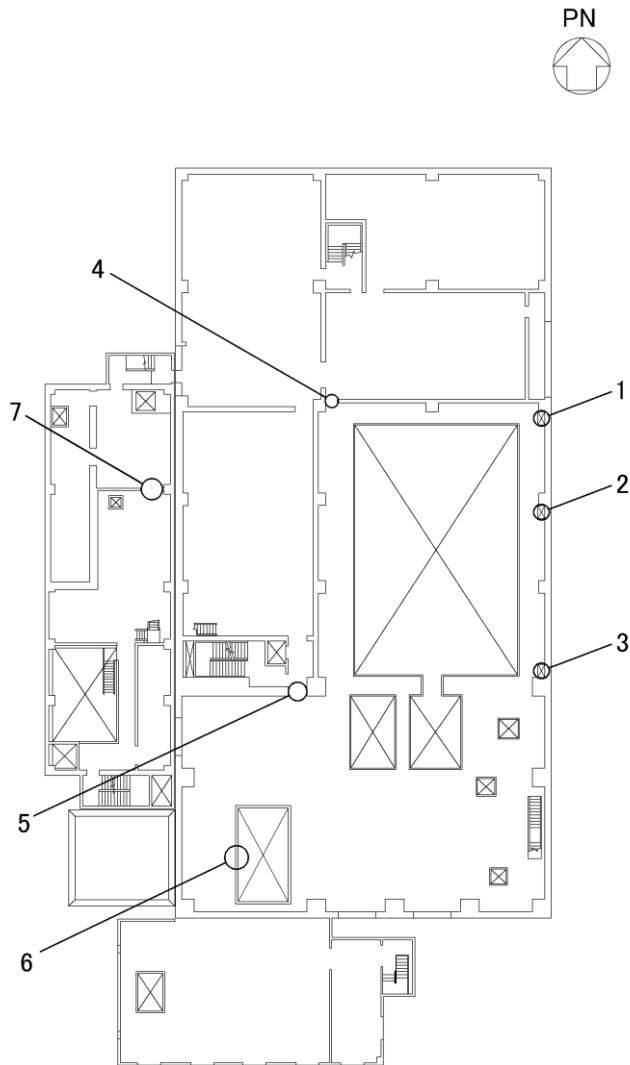


サイトバンカ建物 EL 14100

1	サイトバンカ建物 2階 プリコート室浸水防止堰
---	-------------------------

表 3-3 設置位置 (溢水用堰及び管理区域堰) (19/19)

配置図



サイトバンカ建物 EL 19800

1	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰
6	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰
7	サイトバンカ建物 3階 熔融物搬入機室浸水防止堰

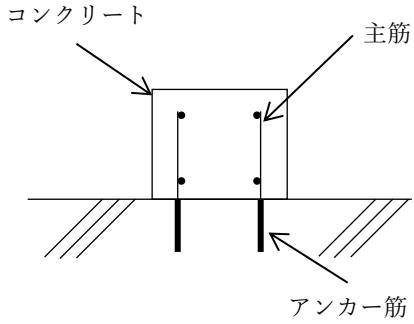
表 3-4 溢水用堰及び管理区域堰の構造計画 (1/3)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>鋼製堰 (柱支持型堰)</p>	<p>鋼板, はり材, 柱材及びアンカ ーボルトにて構 成する。</p>	<p>柱材を床面及び必 要に応じ壁面にア ンカーボルトにて 固定する。</p>
		<p>正面図</p> <p>断面図</p>

表 3-4 溢水用堰及び管理区域堰の構造計画 (2/3)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鋼製堰 (鋼板折曲げ型堰)	<p>鋼板及びアンカーボルトにて構成する。</p> <p>鋼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。</p>	<p style="text-align: center;">正面図</p> <p style="text-align: center;">断面図</p>

表 3-4 溢水用堰及び管理区域堰の構造計画 (3/3)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鉄筋コンクリート製堰	<p>コンクリート、主筋及びアンカー筋により構成する。</p>	<p>堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。</p>
		 <p>断面図</p>

(3) 溢水用防水板及び管理区域防水板

a. 構造設計

溢水用防水板及び管理区域防水板は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

溢水用防水板及び管理区域防水板は、鋼板、芯材及びアンカーボルトを主体構造とし、建物の床及び壁にアンカーボルトで固定し支持する構造とする。また、作用する荷重については、防水板に作用し、アンカーボルトを介し、建物の床及び壁に伝達する構造とする。

溢水用防水板及び管理区域防水板の設置位置を表 3-5 に示す。また、溢水用防水板及び管理区域防水板の構造計画を表 3-6 に示す。

b. 評価方針

溢水用防水板及び管理区域防水板は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

溢水用防水板及び管理区域防水板は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、溢水用防水板及び管理区域防水板に作用する応力が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-5 設置位置（溢水用防水板及び管理区域防水板）（1/3）

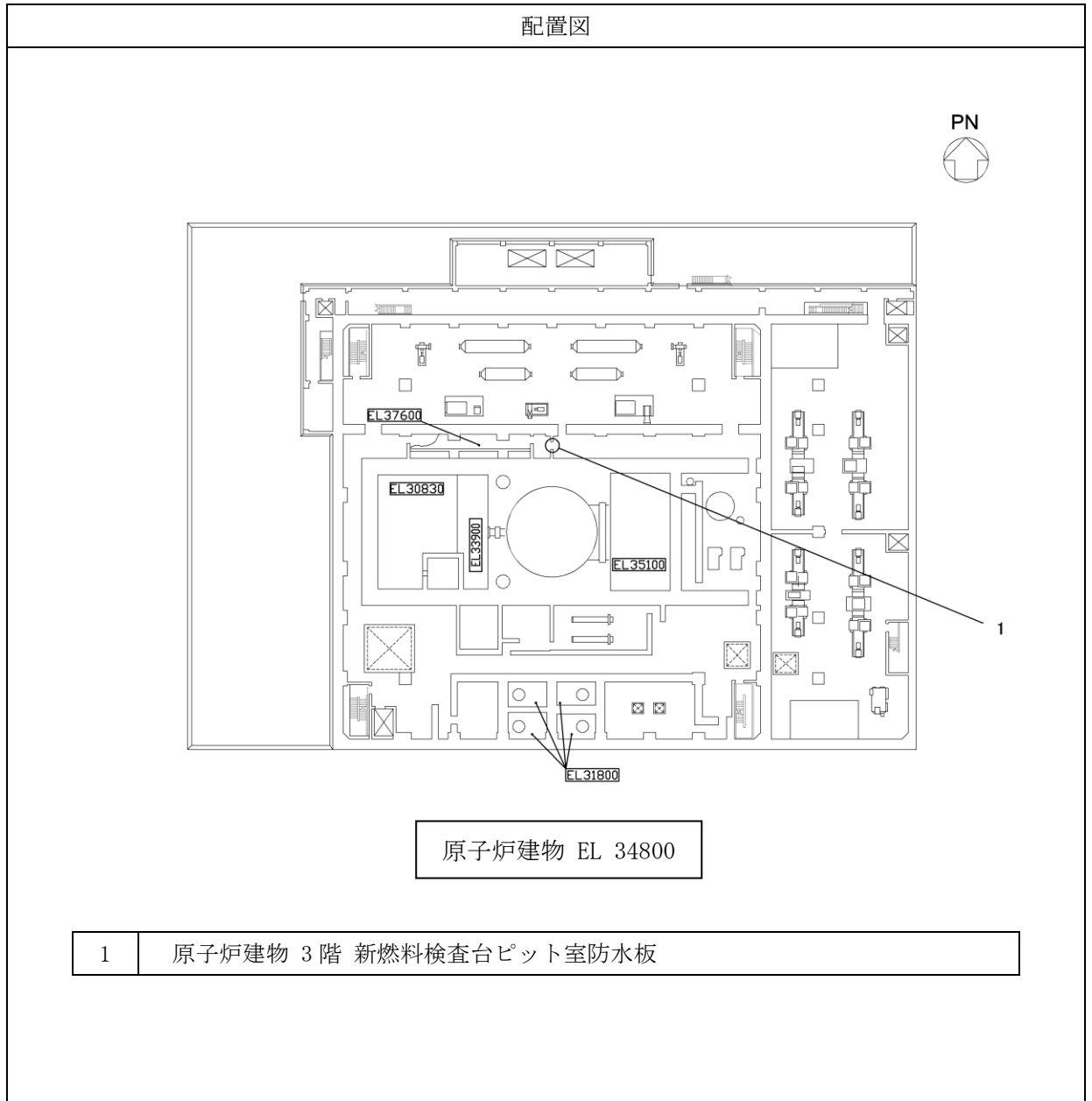


表 3-5 設置位置（溢水用防水板及び管理区域防水板）（2/3）

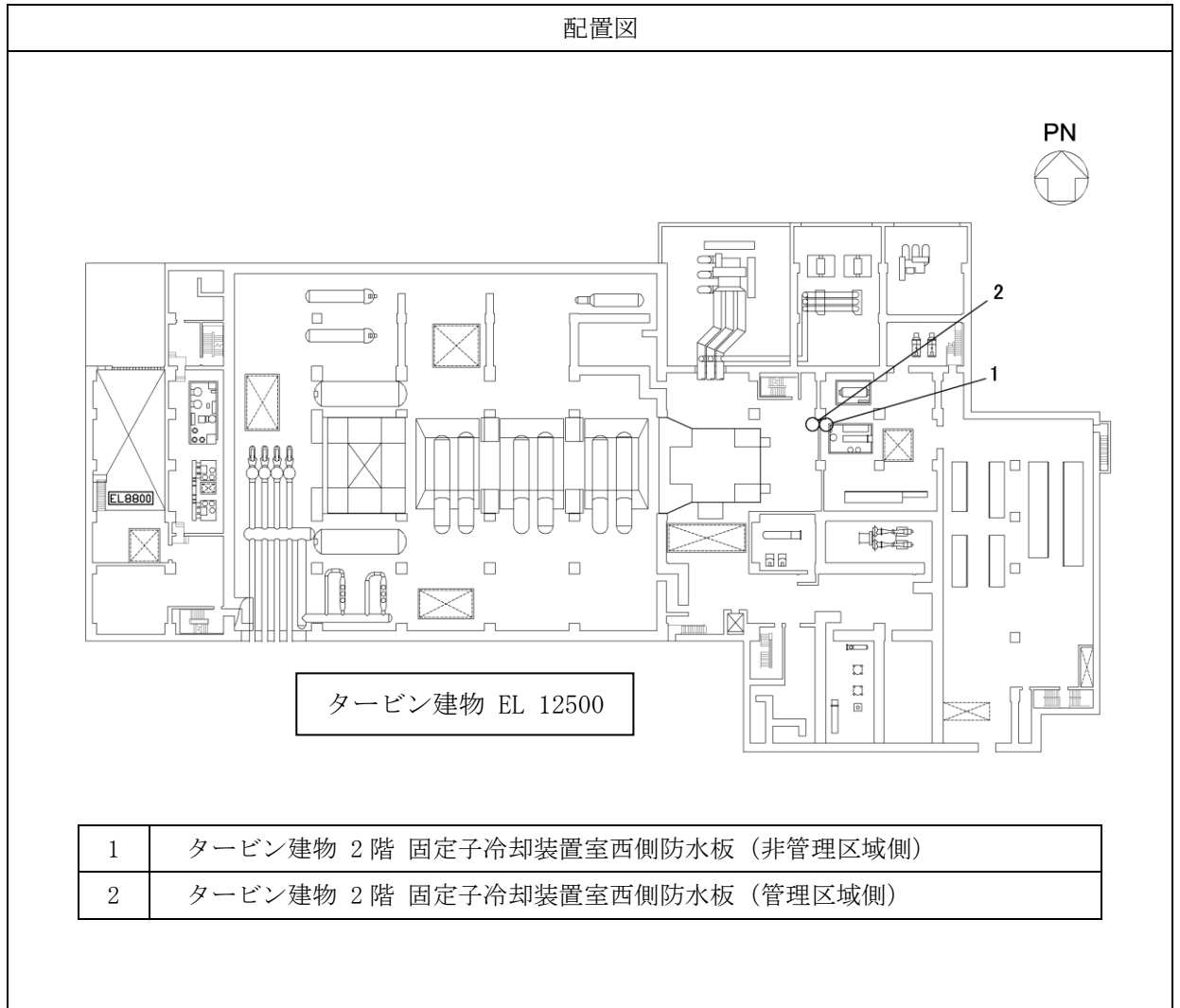


表 3-5 設置位置（溢水用防水板及び管理区域防水板）（3/3）

S2 補 VI-3-3-別添 3-3 R1

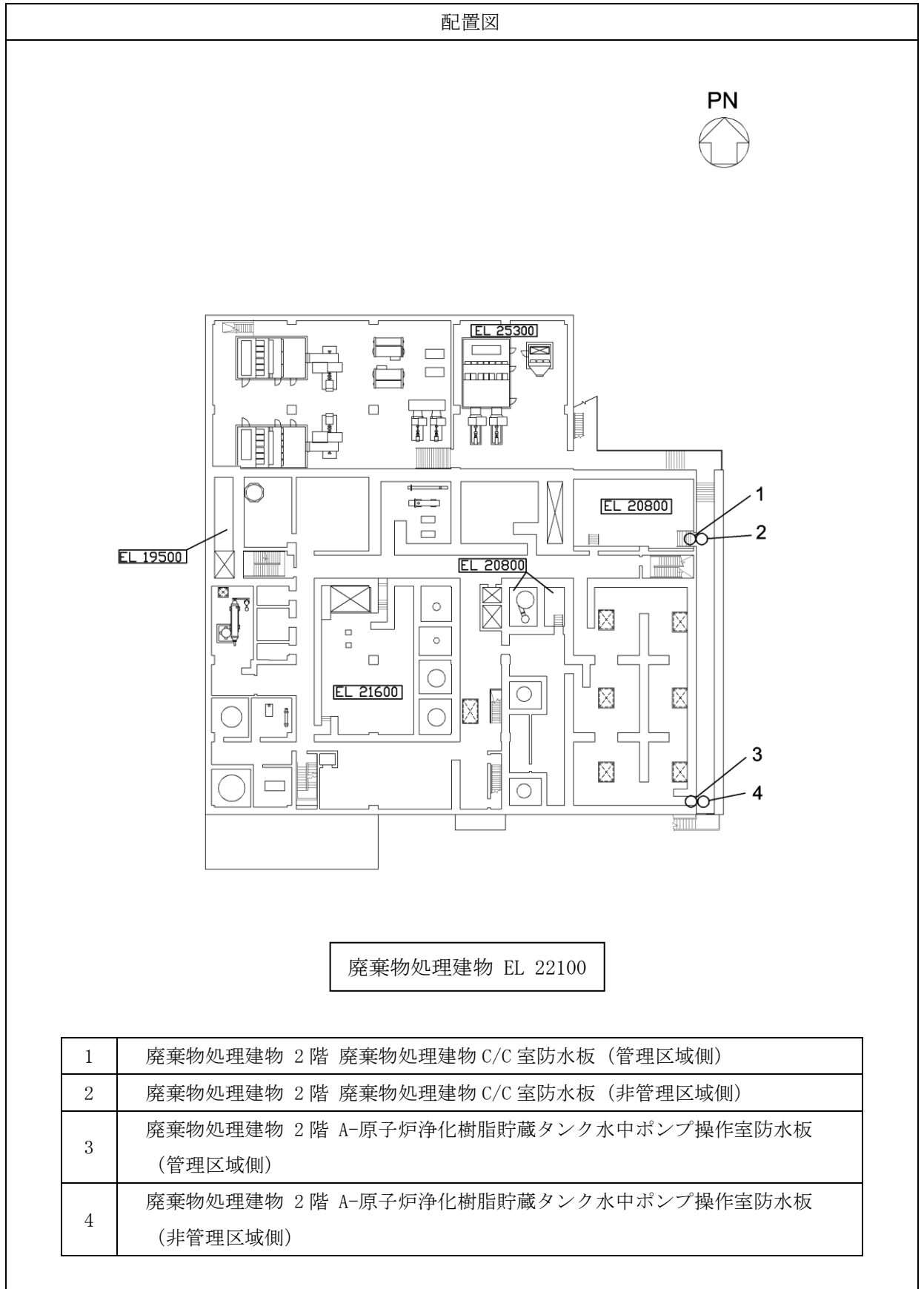


表 3-6 溢水用防水板及び管理区域防水板の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鋼板、芯材及びアンカーボルトにより構成する。	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。	<p>正面図</p> <p>断面図</p>

(4) 溢水用防水壁

a. 構造設計

溢水用防水壁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

溢水用防水壁はディーゼル燃料移送ポンプエリア及び取水槽海水ポンプエリアに設置する。

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁は、鋼板、柱、はり、ブレース及びアンカーボルトを主体構造とし、既設コンクリートを基礎として、アンカーボルトで固定し支持する構造とする。また、作用する荷重については、防水壁に作用し、アンカーボルトを介し、既設コンクリートに伝達する構造とする。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁は、鋼板、柱、はり、ベースプレート及びアンカーボルトを主体構造とし、既設コンクリートを基礎として、アンカーボルトで固定し支持する構造とする。また、作用する荷重については、防水壁に作用し、アンカーボルトを介し、既設コンクリートに伝達する構造とする。

溢水用防水壁の設置位置を表 3-7 に示す。また、溢水用防水壁の構造計画を表 3-8 に示す。

b. 評価方針

溢水用防水壁は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

溢水用防水壁は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、評価部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-7 設置位置 (溢水用防水壁) (1/2)

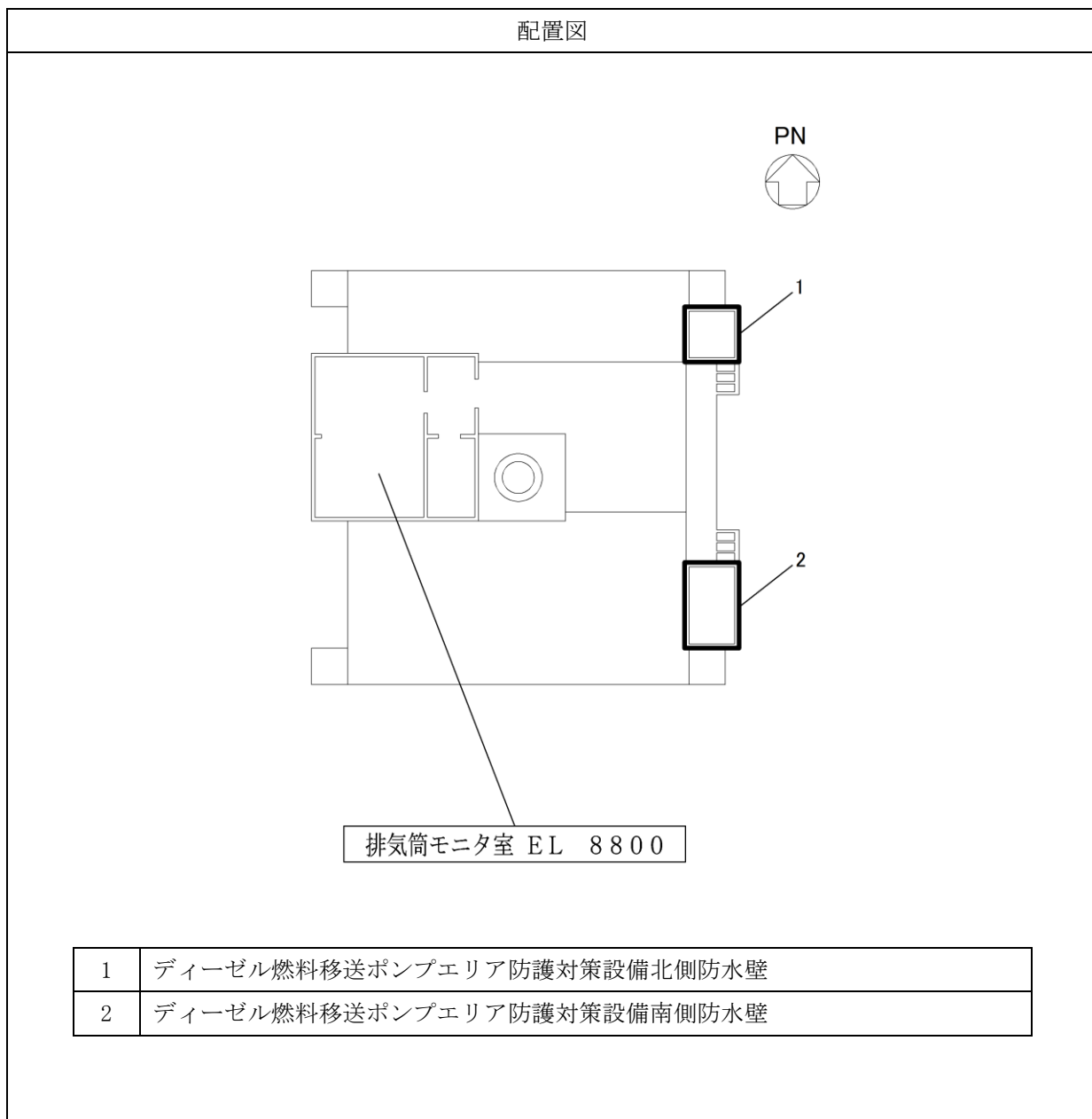


表 3-7 設置位置 (溢水用防水壁) (2/2)

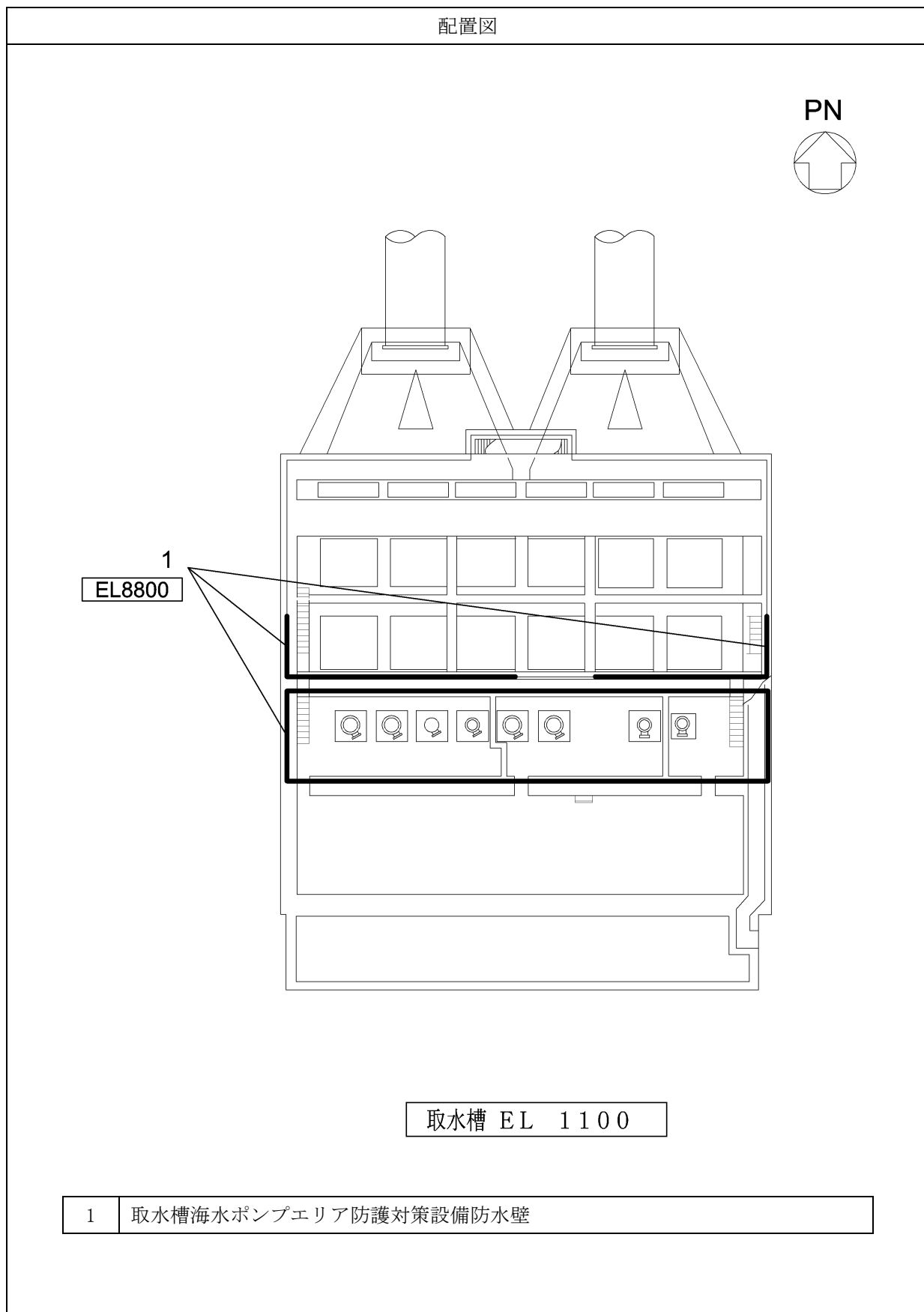


表 3-8 溢水用防水壁の構造計画 (1/2)

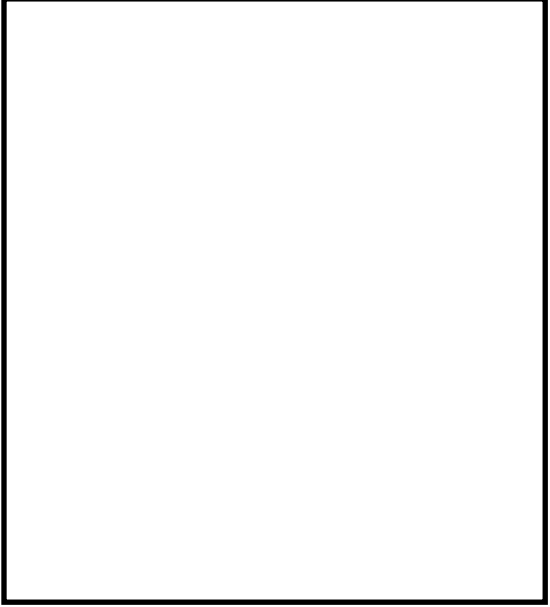

計画の概要		概略構造図	
主体構造	支持構造		
デイゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁	鋼板, はり, 柱, ブレース及びアンカーボルトにより構成する。	はり, 柱及びブレースで補強した鋼板を基礎にアンカーボルトにて固定する。	 <p style="text-align: center;">平面図</p>
			 <p style="text-align: center;">軸組図</p>

表 3-8 溢水用防水壁の構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>鋼板, 柱, はり, ベースプレート, アンカーボルトにより構成する。</p>	<p>はり, 柱で補強した鋼板をベースプレートを通じて取水槽にアンカーボルトにて固定する。</p>	<p>正面図</p> <p>断面図</p> <p>ベースプレート平面図</p>

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁

(5) 床ドレン逆止弁

a. 構造設計

床ドレン逆止弁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

床ドレン逆止弁は、弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成し、床面設置の床ドレン配管の取付部に直接ねじ込み固定する構造とする。また、作用する荷重は、床ドレン逆止弁に作用し、ねじ込みで固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

床ドレン逆止弁の設置位置を表 3-9 に示す。また、構造計画を表 3-10 に示す。

b. 評価方針

床ドレン逆止弁は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

床ドレン逆止弁は発生を想定する溢水による静水圧に対して、床ドレン逆止弁の評価部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3-9 設置位置 (床ドレン逆止弁)

建物名称	設置階	
原子炉建物	地下 2 階	EL 1300mm
		EL 2800mm

表 3-10 床ドレン逆止弁の構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
80A 型 (ねじ込み取付式)	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管の取付部に直接ねじ込み固定とする。	

(6) 貫通部止水処置

a. 構造設計

貫通部止水処置は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

貫通部止水処置は、建物及び区画内の壁面又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材、ブーツ、モルタル及び金属製伸縮継手により止水する構造とする。

なお、ケーブルトレイ、電線管（以下「電路」という。）の貫通部の止水においては、シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁面又は床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填する場合がある。

また、作用する荷重については、受圧面へ全面的に作用した場合に、止水処置部全体へ伝達する構造とする。

貫通部止水処置の設置位置を表 3-11 に示す。また、構造計画を表 3-12 に示す。

なお、貫通部止水処置の選定については、図 3-1 に示す貫通部止水処置の選定フローによる。

b. 評価方針

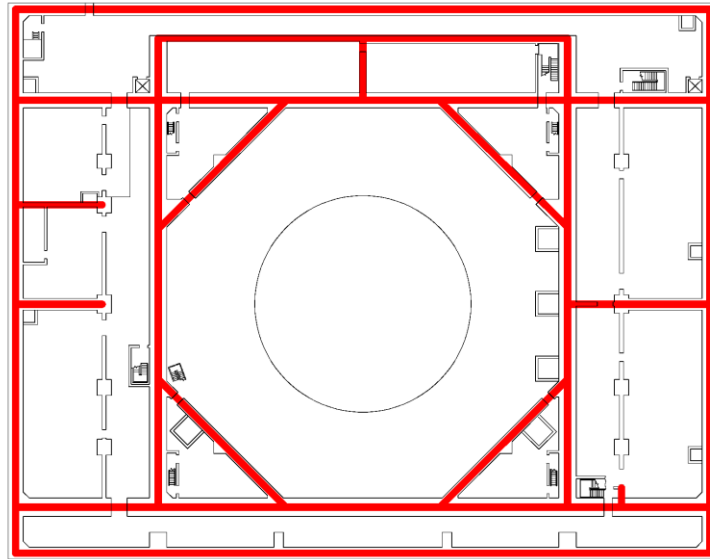
貫通部止水処置は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

シール材及びブーツによる止水処置については、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、有意な漏えいが生じないことを確認する。

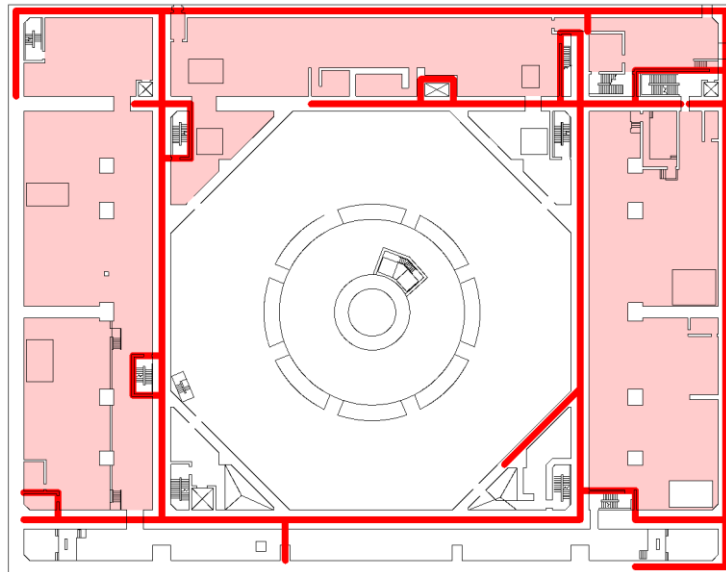
モルタル及び金属製伸縮継手による止水処置については、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（1/20）

配置図



原子炉建物 EL 1300



原子炉建物 EL 8800



原子炉建物 EL 12500

【凡例】

— : 施工対象の壁面

■ : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（2/20）

配置図

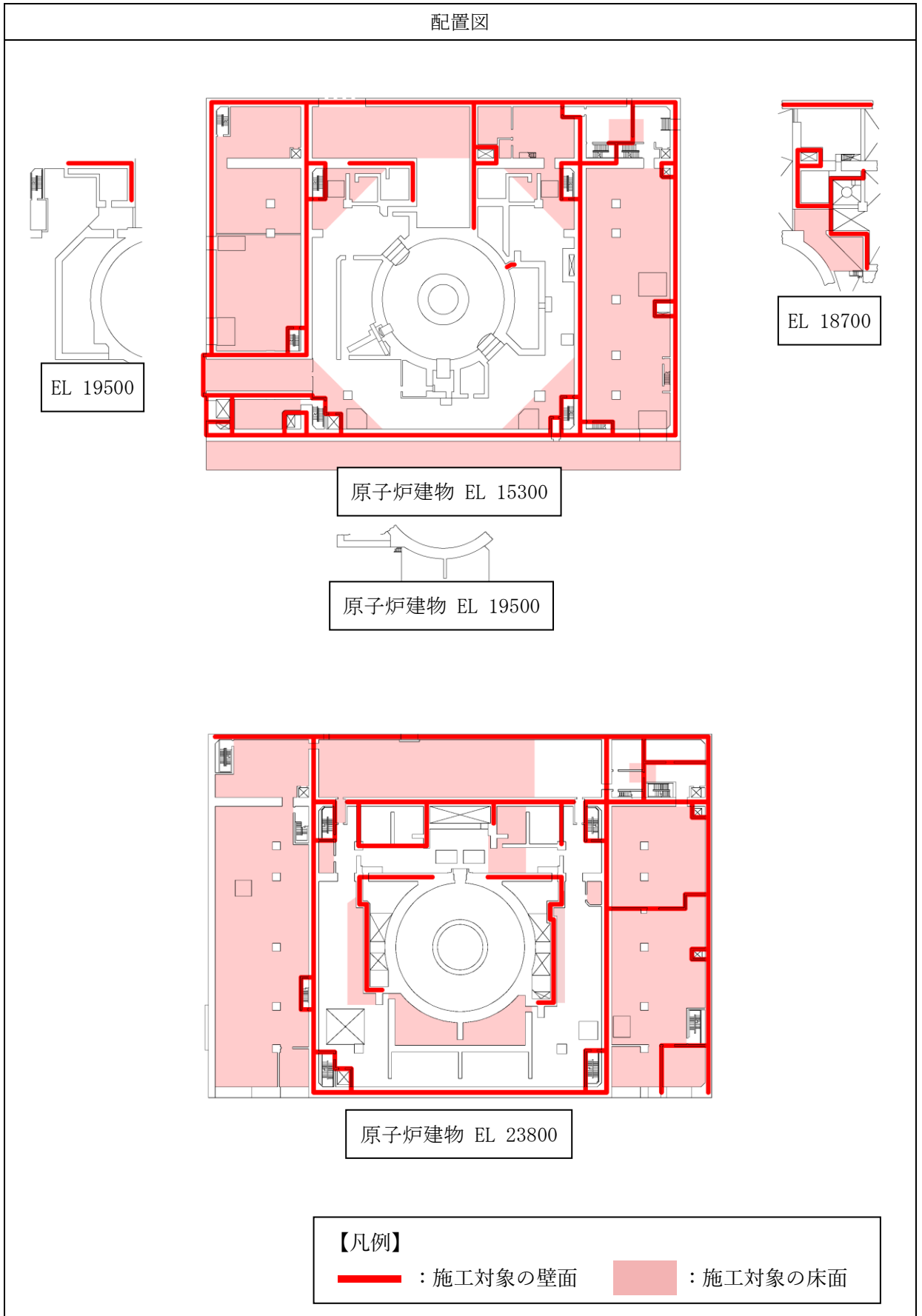
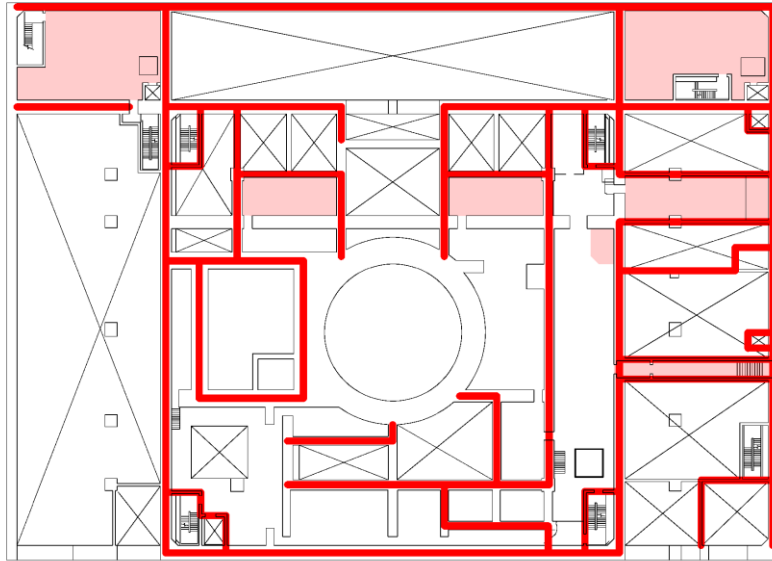
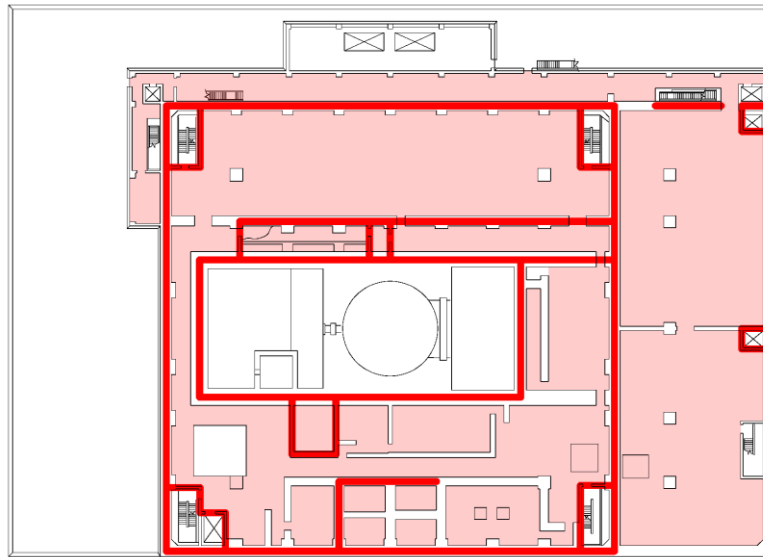


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（3/20）

配置図



原子炉建物 EL 30500



原子炉建物 EL 34800



EL 37600

【凡例】

— : 施工対象の壁面

■ : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（4/20）

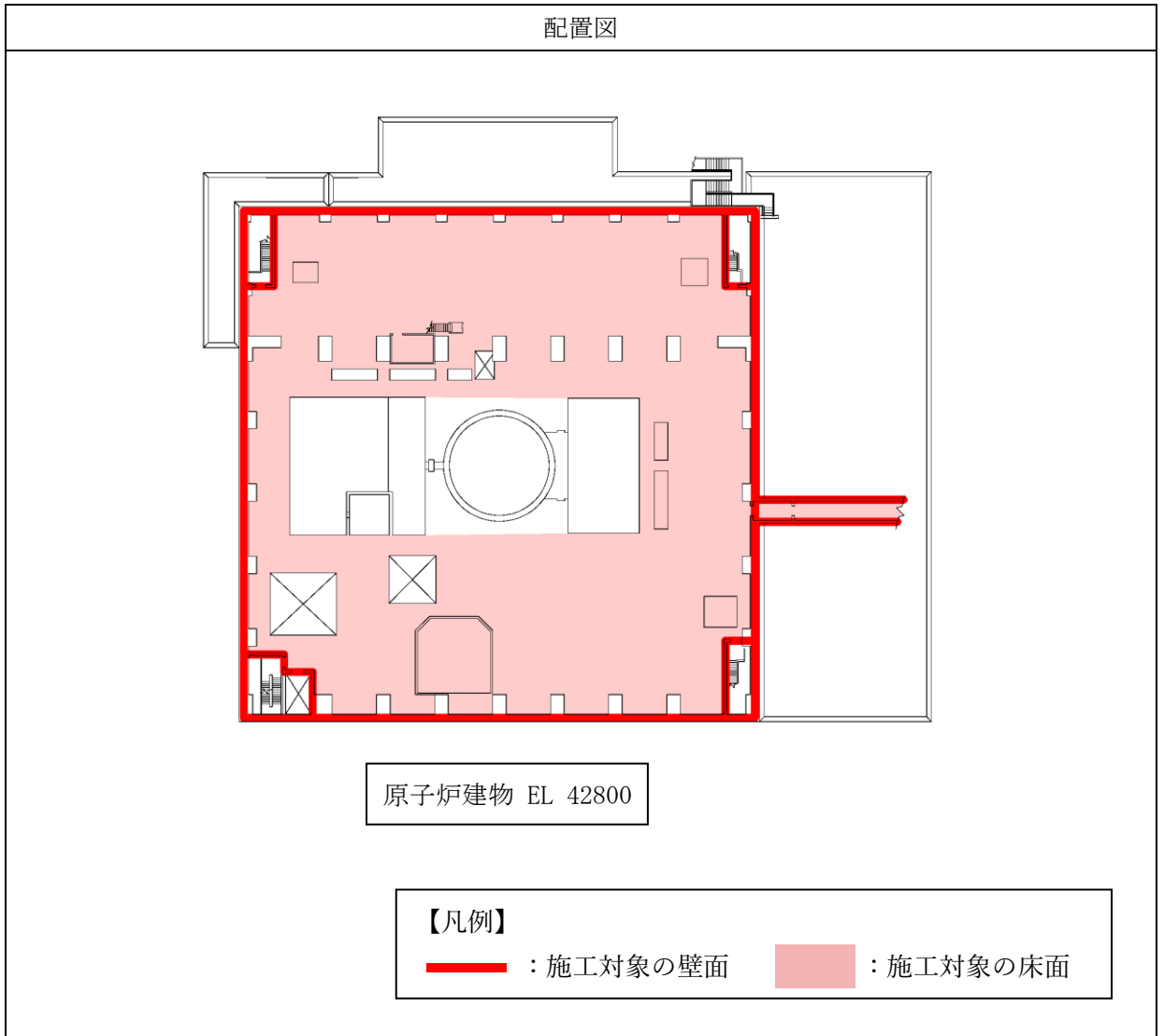


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（5/20）

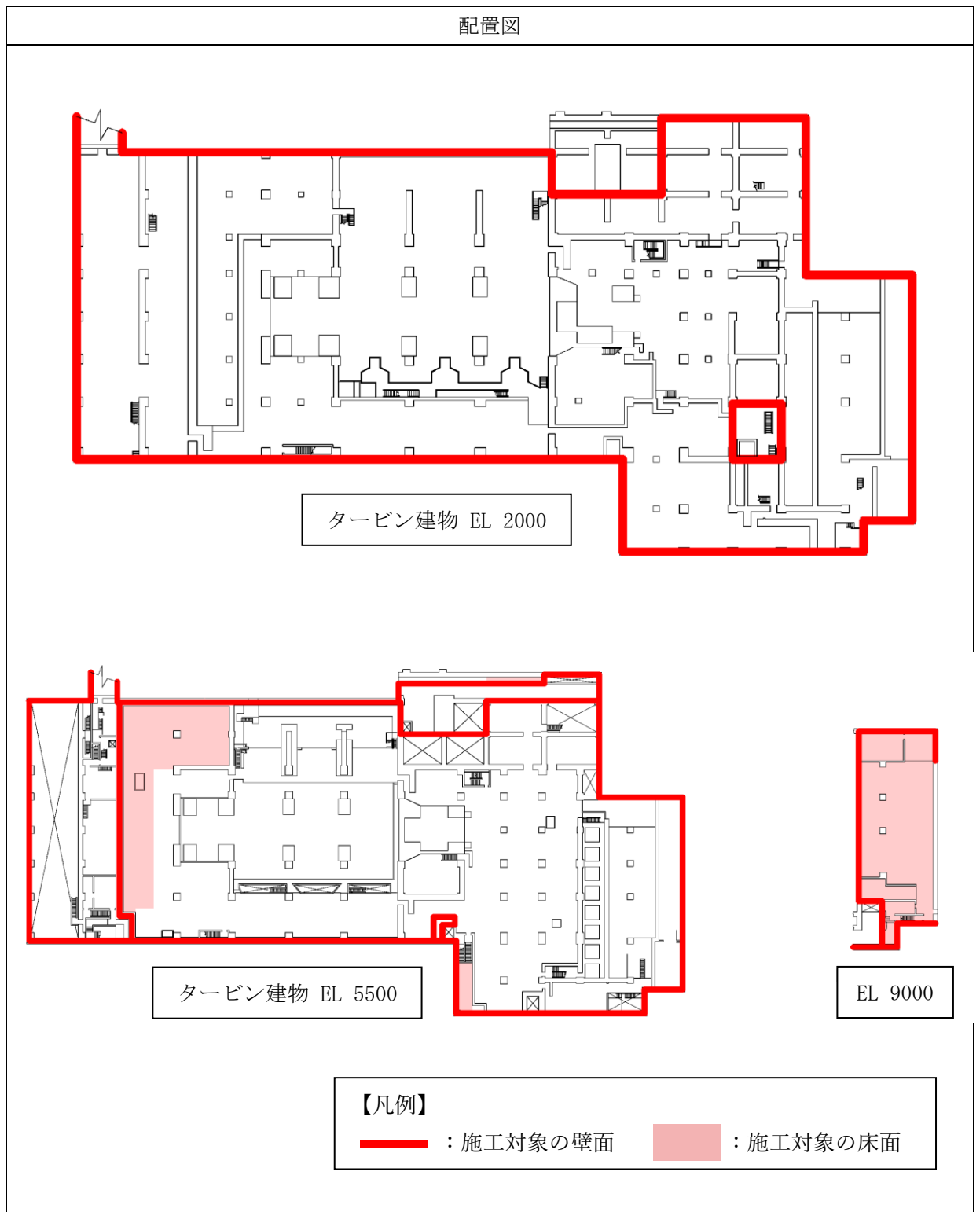


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（6/20）

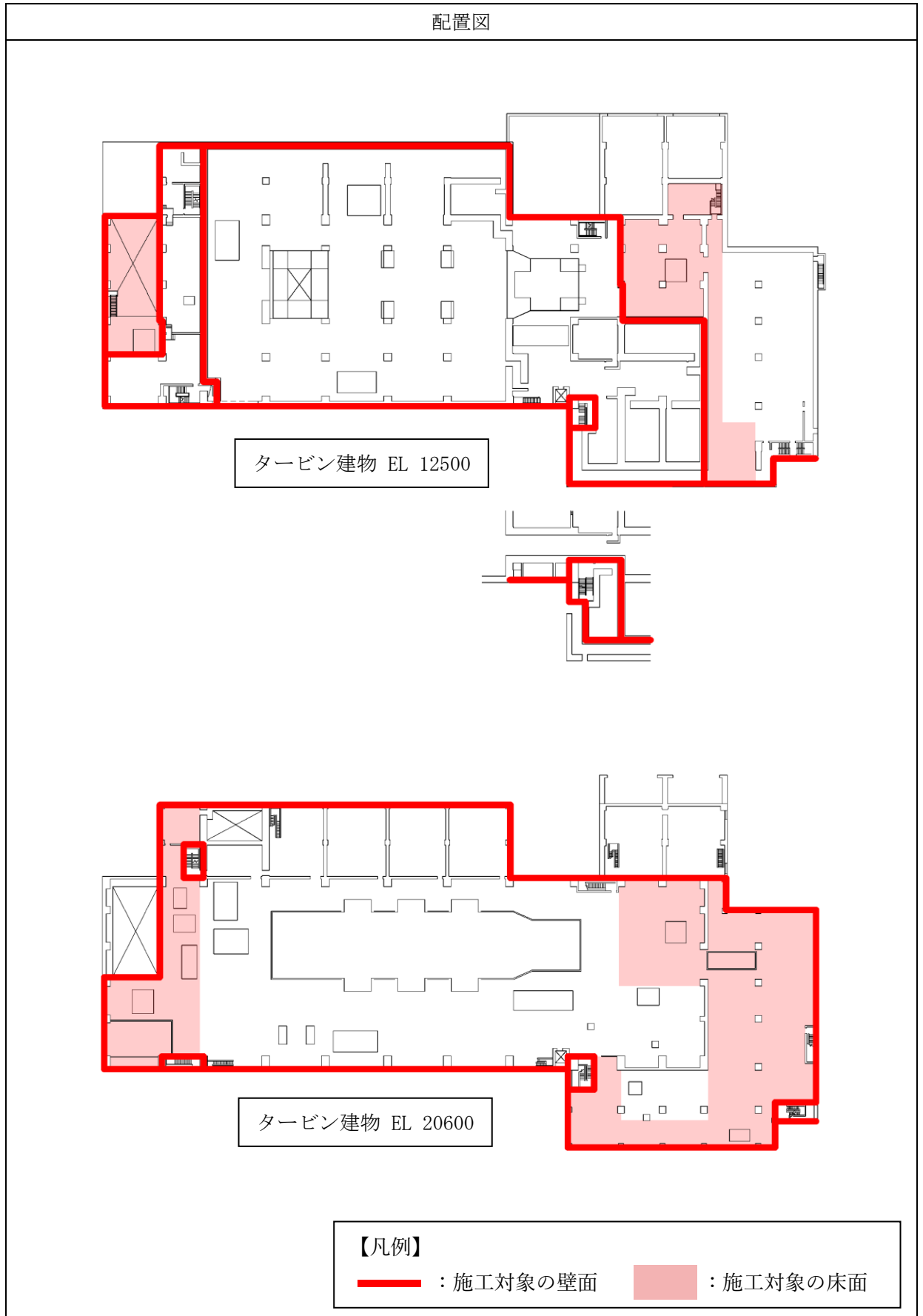


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（7/20）

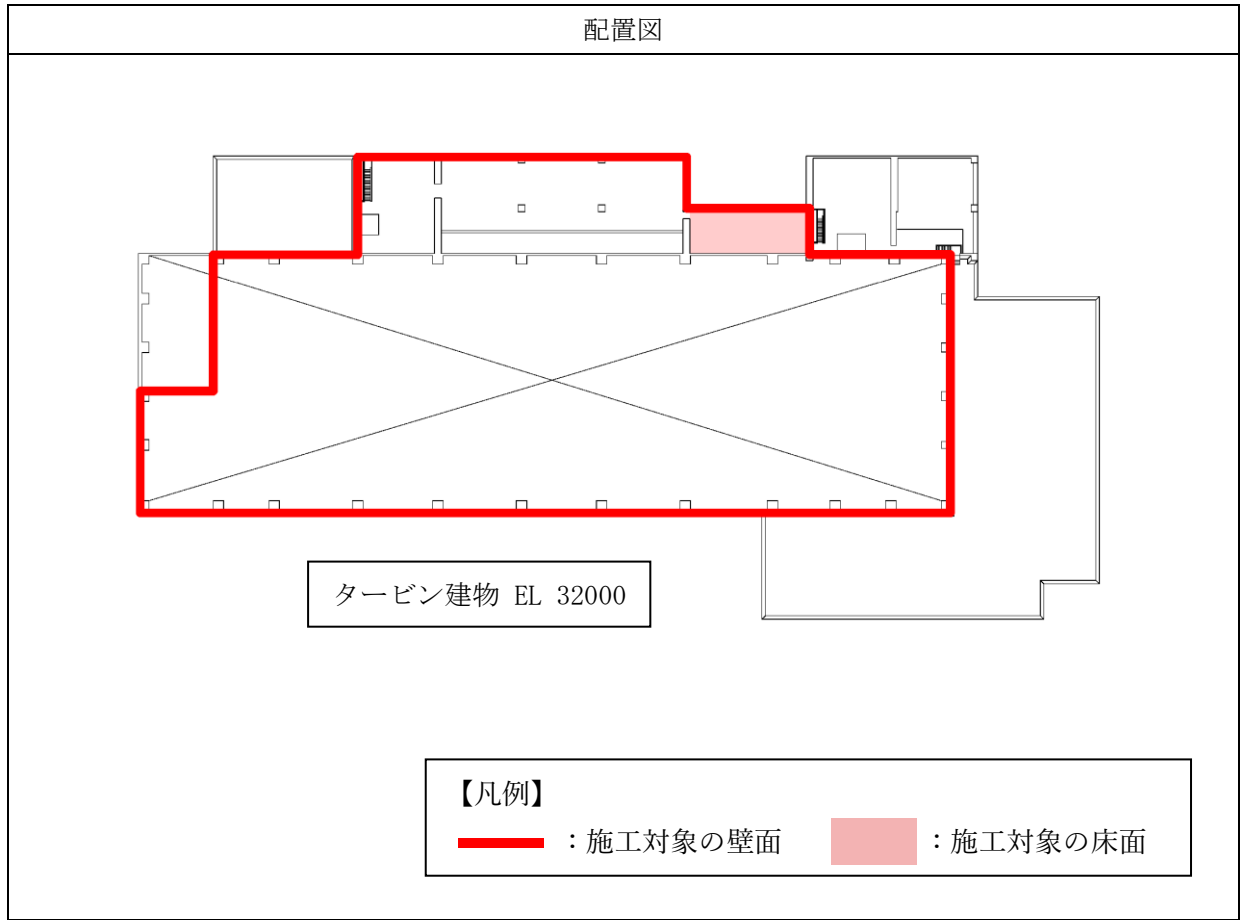


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（8/20）

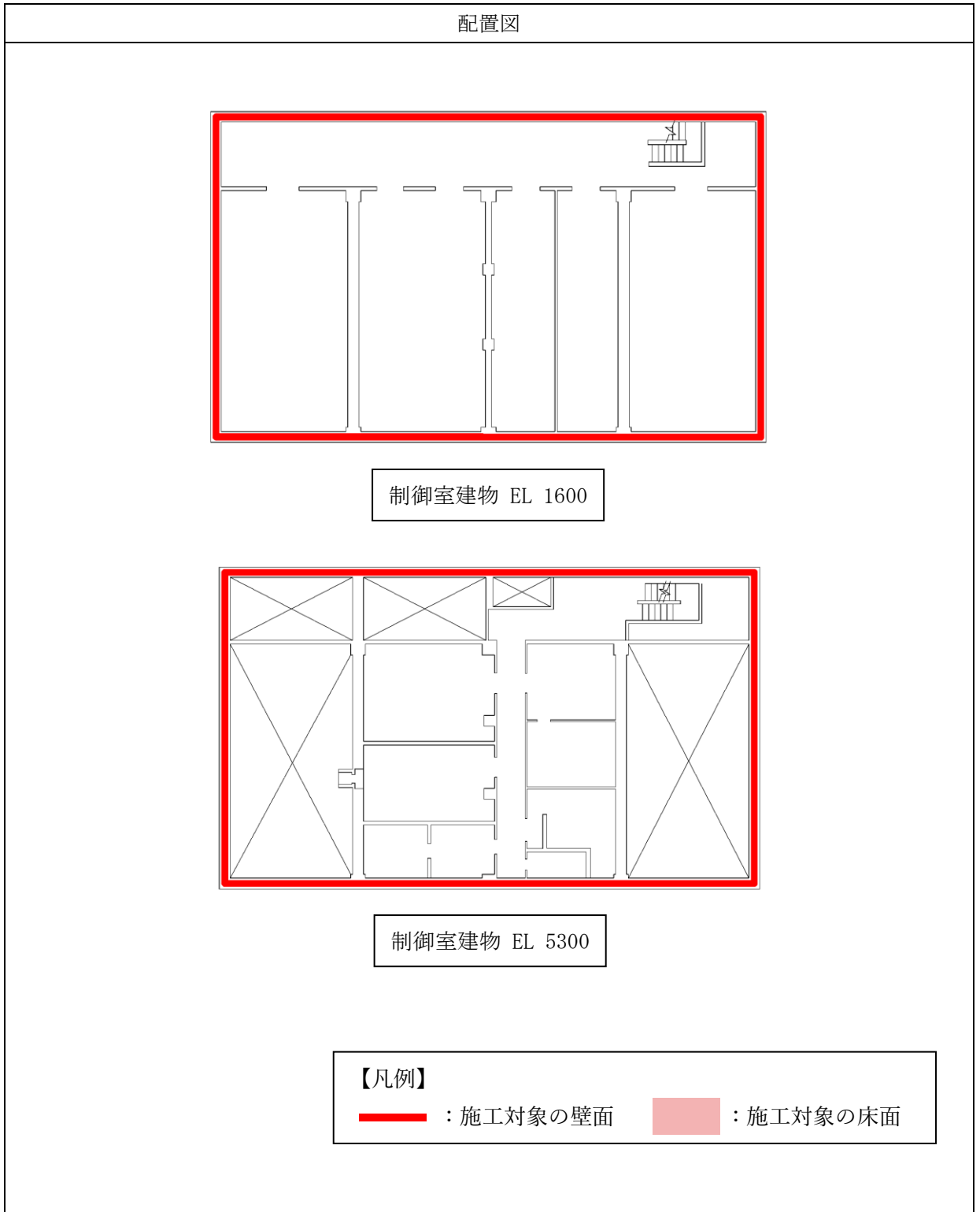
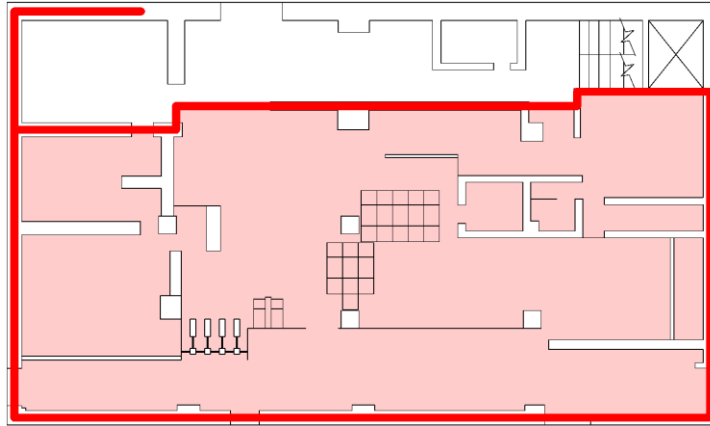
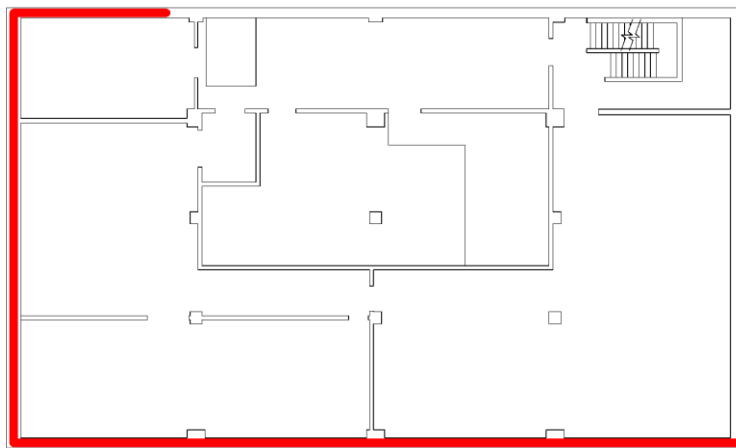


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（9/20）

配置図



制御室建物 EL 8800



制御室建物 EL 12800

【凡例】

— : 施工対象の壁面

■ : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（10/20）

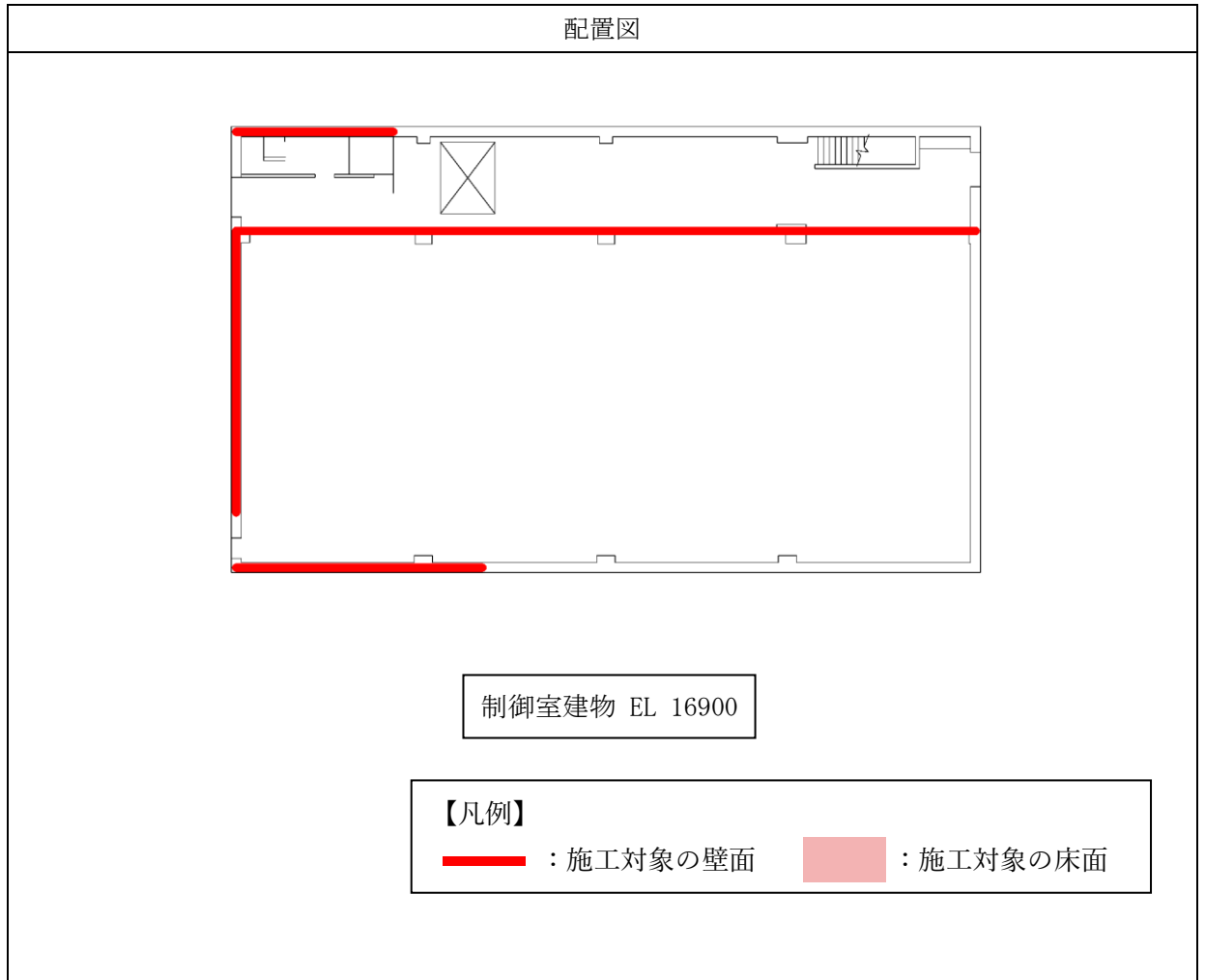
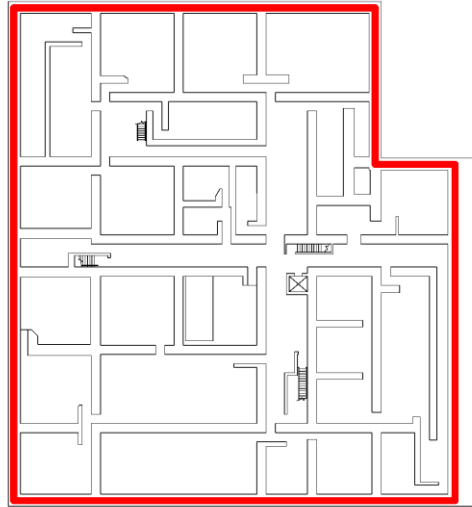
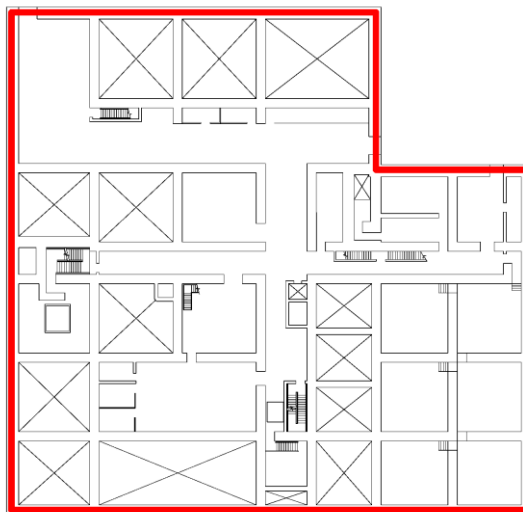


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（11/20）

配置図



廃棄物処理建物 EL 3000



廃棄物処理建物 EL 8800

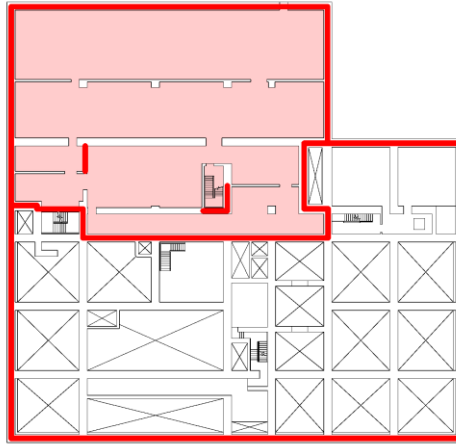
【凡例】

— : 施工対象の壁面

■ : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（12/20）

配置図



廃棄物処理建物 EL 12300



廃棄物処理建物 EL 15300

【凡例】

: 施工対象の壁面

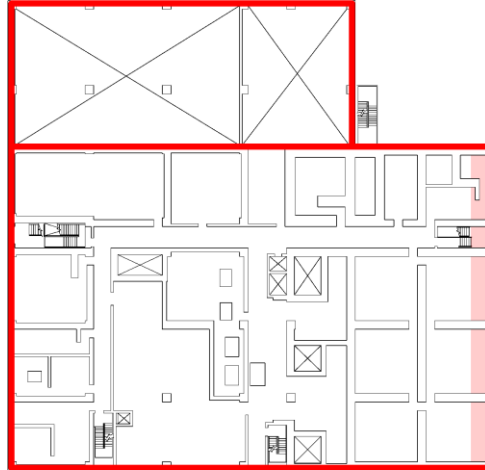
 : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（13/20）

配置図



廃棄物処理建物 EL 22100



廃棄物処理建物 EL 26700

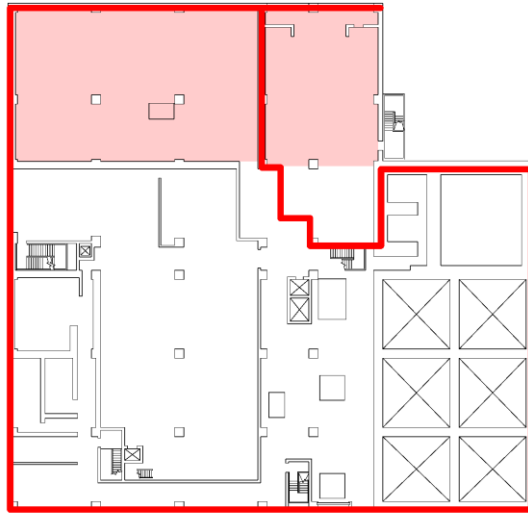
【凡例】

— : 施工対象の壁面

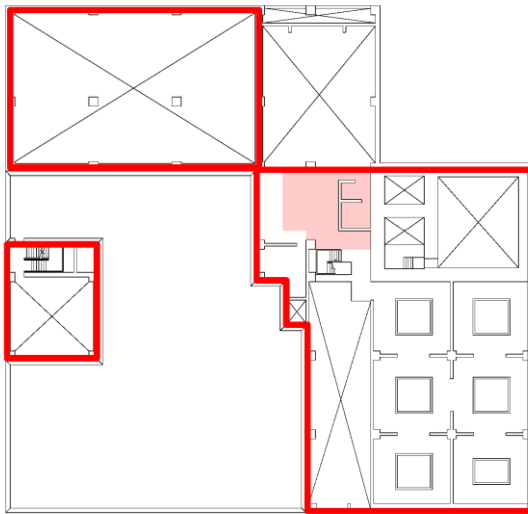
■ : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（14/20）

配置図



廃棄物処理建物 EL 32000



廃棄物処理建物 EL 37500

【凡例】

— : 施工対象の壁面

■ : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（15/20）

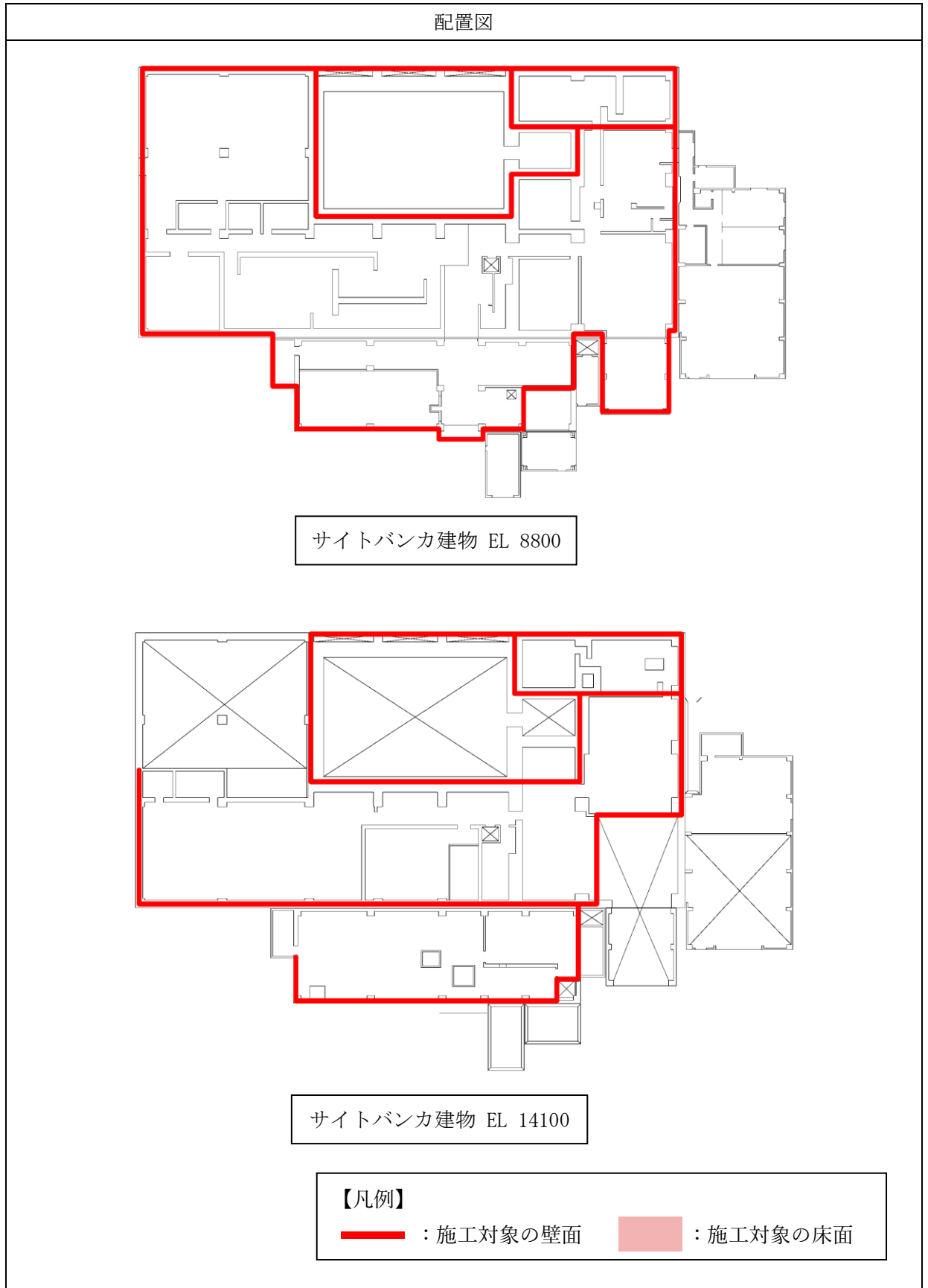


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（16/20）

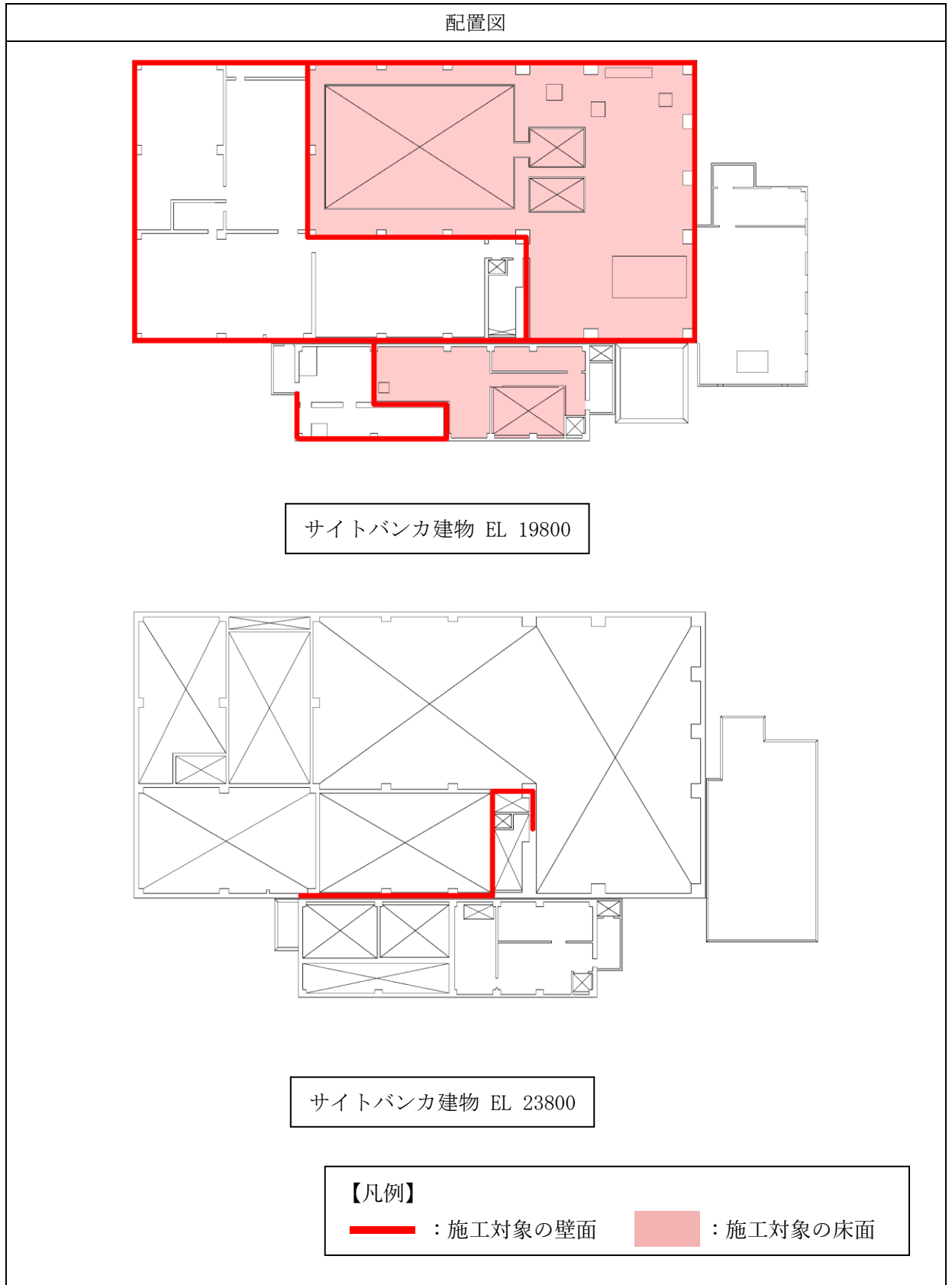


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（17/20）

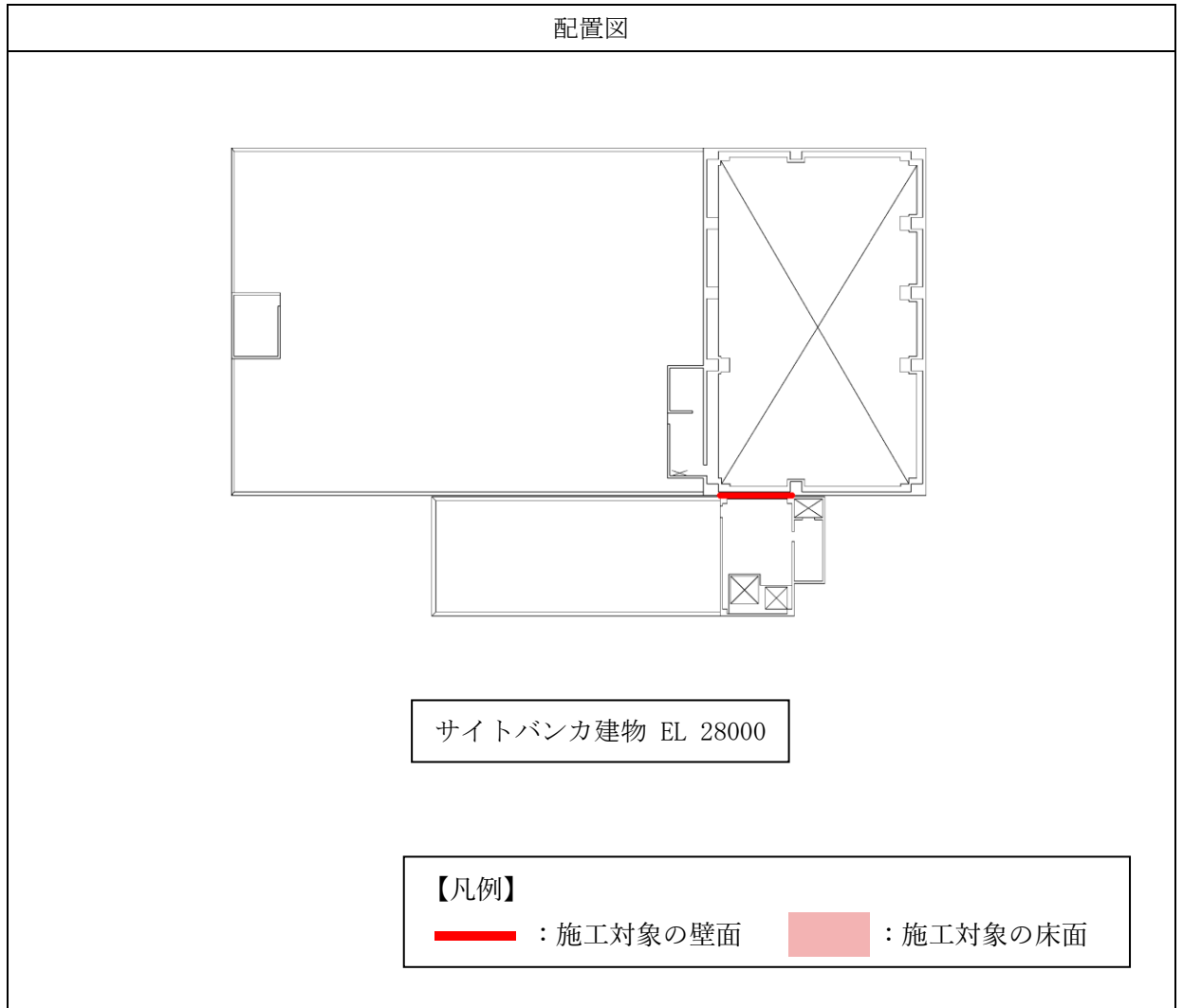
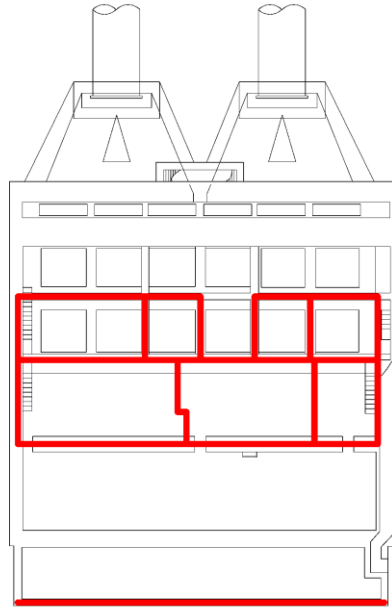
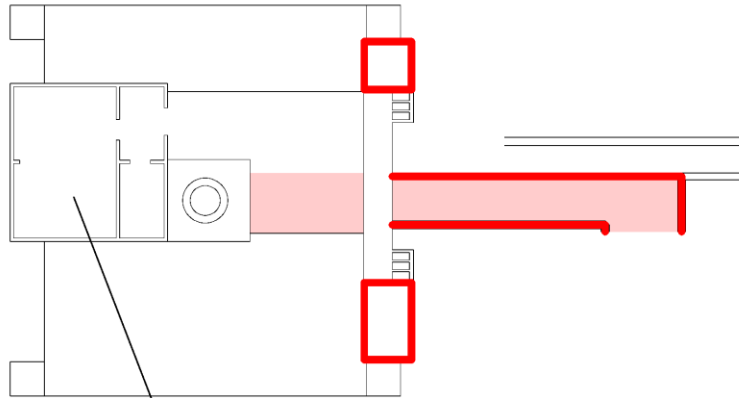


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（18/20）

配置図



取水槽 EL 1100



排気筒モニタ室 EL 8800

【凡例】

— : 施工対象の壁面

■ : 施工対象の床面

表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（19/20）

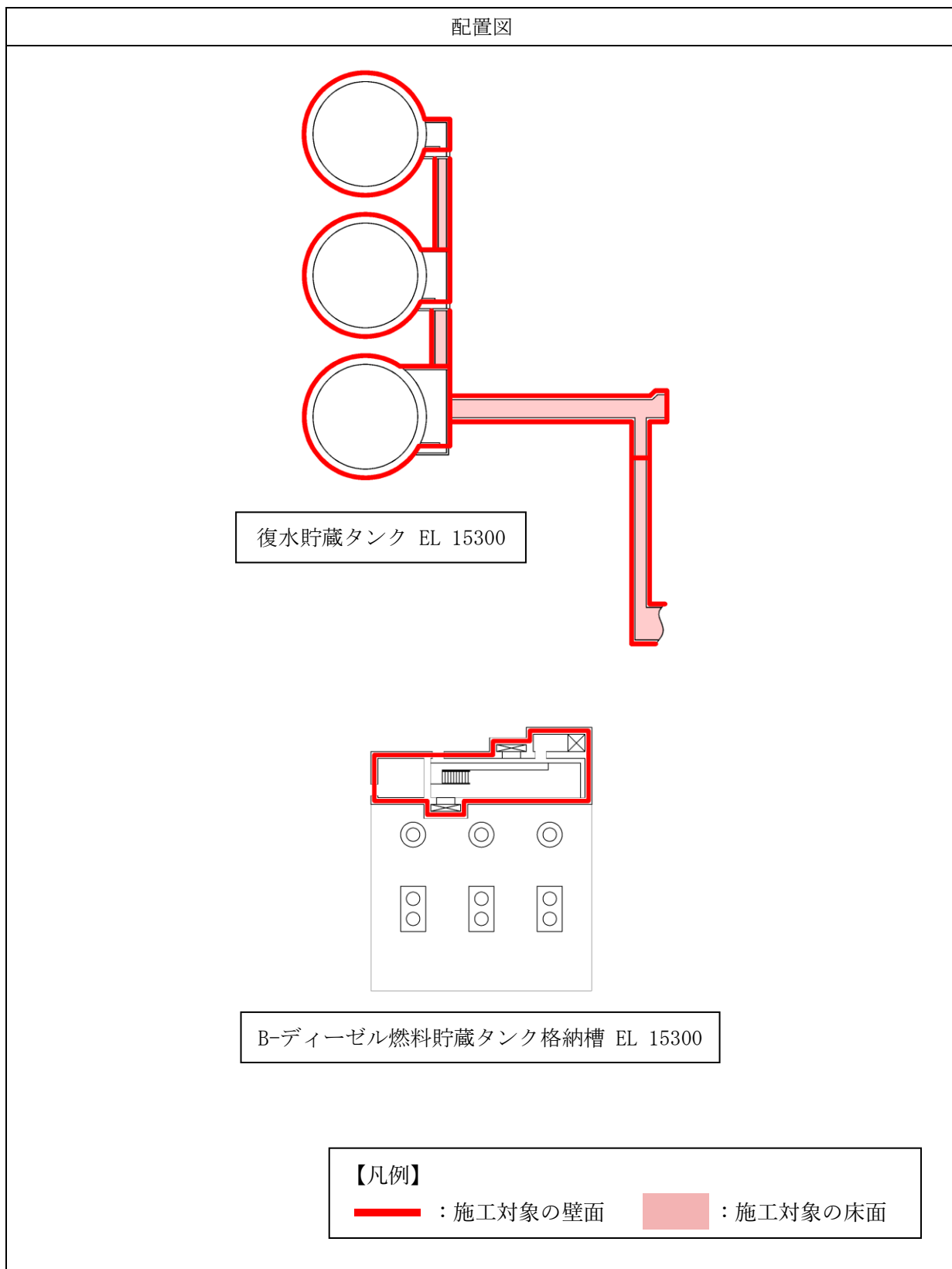
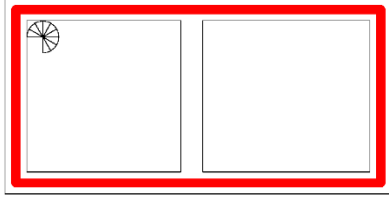
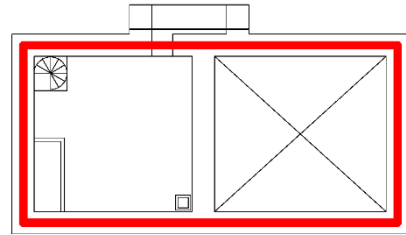


表 3-11 設置位置（貫通部止水処置）（20/20）

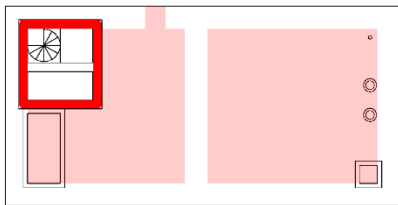
配置図



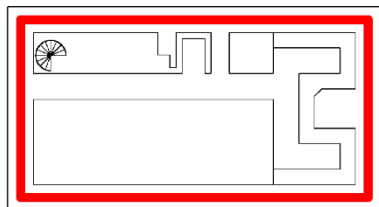
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 EL 700



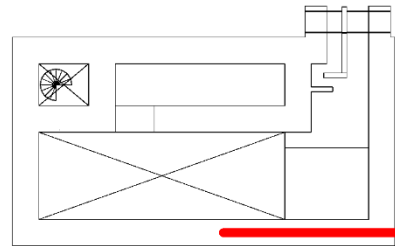
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 EL 8200



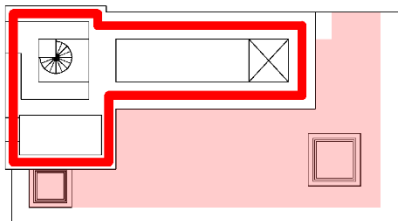
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 EL 14700



第1ベントフィルタ格納槽 EL 2700



第1ベントフィルタ格納槽 EL 8800



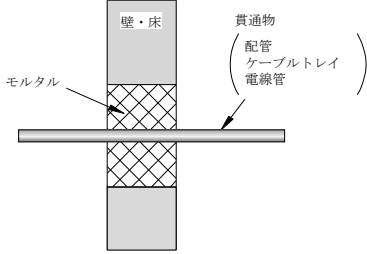
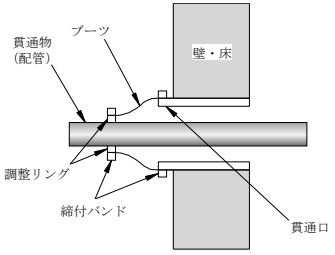
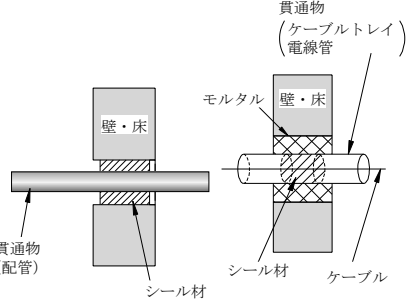
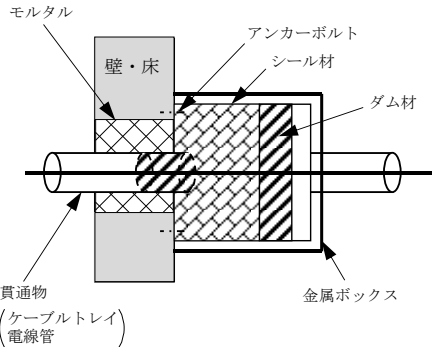
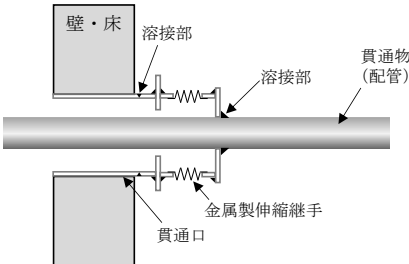
第1ベントフィルタ格納槽 EL 14700

【凡例】

— : 施工対象の壁面

■ : 施工対象の床面

表 3-12 貫通部止水処置の構造計画

設備 名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		電路貫通部については、シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁面又は床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	 <p>ダム材：液状のシール材が反応硬化するまでの間に必要な堰止め材</p>
	金属製伸縮継手にて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように金属製伸縮継手を用い、壁面又は床面設置の貫通口と配管を溶接によって接合する。	

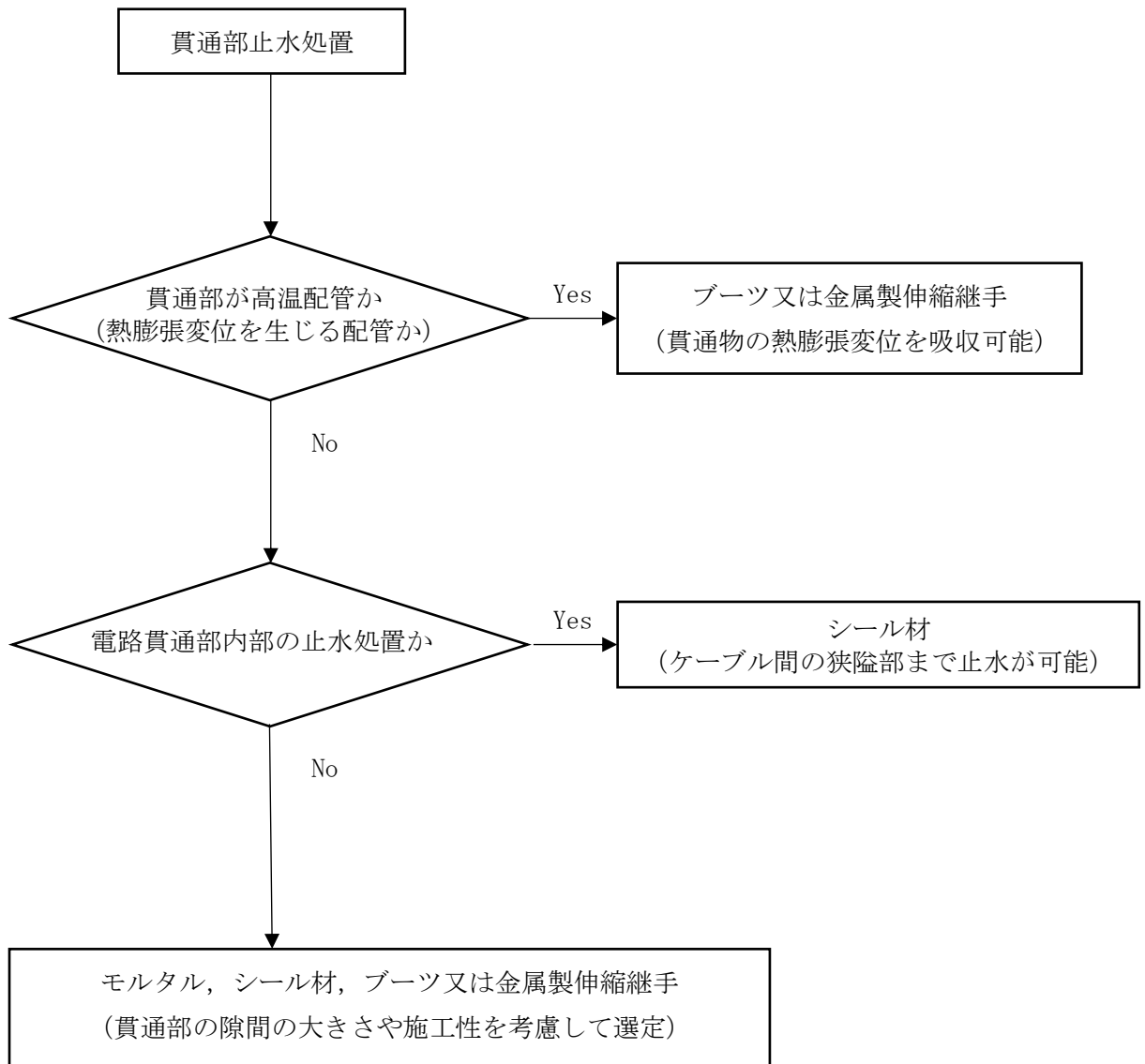


図 3-1 貫通部止水処置の選定フロー

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

溢水防護に関する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の種類

a. 自重 (D)

常時作用する荷重は、自重とする。

b. 溢水による静水圧荷重 (P_h)

発生を想定する溢水による静水圧荷重は、各施設の設置位置における溢水水位を用いて設計用の静水圧荷重(動水圧は考慮しない)として算出する。

(2) 荷重の組合せ

溢水防護に関する施設の強度評価では、発生を想定する溢水による静水圧荷重 (P_h) を考慮する。

溢水防護に関する施設の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 溢水防護に関する施設の荷重の組合せ

評価対象施設	自重 (D)	静水圧荷重 (P _h)
溢水用水密扉及び管理区域水密扉	—	○
溢水用堰及び管理区域堰	—	○
溢水用防水板及び管理区域防水板	—	○
溢水用防水壁	—	○
床ドレン逆止弁	○	○
貫通部止水処置	○	○

a. 溢水による静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重 (P_h) は、次式を用いて算出する。なお、荷重の算出に用いる密度 (ρ) は、想定される溢水源から純水又は海水とする。

溢水による静水圧荷重の説明図を図 4-1 に、強度評価に用いる溢水の密度を表 4-2 に示す。

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

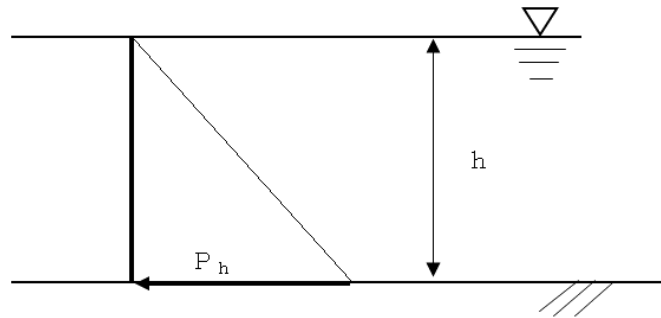


図 4-1 溢水による静水圧荷重の説明図

表 4-2 強度評価に用いる溢水の密度

溢水の性状	溢水の密度 (kg/m ³)
純水	1000
海水	1030

4.2 許容限界

許容限界は，溢水による静水圧荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて，評価部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた，施設ごとの評価部位における許容限界を表 4-3 に示す。

各施設の許容限界の詳細は，各計算書で評価部位の機能損傷モードを踏まえ評価項目を選定し，評価部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1 施設ごとの評価部位における許容限界

(1) 溢水用水密扉及び管理区域水密扉

溢水用水密扉及び管理区域水密扉の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 扉板，芯材及びカンヌキ部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，扉板，芯材及びカンヌキ部が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「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)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「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，許容限界として設定する。

(2) 溢水用堰及び管理区域堰

溢水用堰及び管理区域堰の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板、はり材及び柱材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、鋼板、はり材及び柱材がおおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「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)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. コンクリート、アンカー筋及び主筋

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、コンクリート、アンカー筋及び主筋が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、コンクリートについては「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)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界とし、アンカー筋及び主筋については「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、許容限界として設定する。

c. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「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、許容限界として設定する。

(3) 溢水用防水板及び管理区域防水板

溢水用防水板及び管理区域防水板の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板及び芯材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、鋼板及び芯材が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「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)」を踏まえた、短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「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、許容限界として設定する。

(4) 溢水用防水壁

溢水用防水壁の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板，柱，はり，ブレース及びベースプレート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼板，柱，はり，ブレース及びベースプレートが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「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)」を踏まえた，短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることから，「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，許容限界として設定する。

(5) 床ドレン逆止弁

床ドレン逆止弁の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 弁本体，フロートガイド及び取付部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするために弁本体，フロートガイド及び取付部が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S ME S N C 1-2005/2007 ((社)日本機械学会)」(以下「設計・建設規格」という。)に準じた供用状態Cの許容応力状態ⅢA Sを許容限界として設定する。

b. フロート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするためにフロートがおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(6) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. シール材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材から有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としているため，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツから有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としているため，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモル

タルが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから、許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社)土木学会，2002年制定）」に基づき算定し、許容付着荷重として設定する。

d. 金属製伸縮継手

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、貫通口と貫通物の隙間に施工する伸縮継手が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから、許容限界は、「設計・建設規格」に基づき算定した圧力を許容圧力として設定する。

表 4-3 施設ごとの評価部位の許容限界(1/3)

施設名	荷重の 組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界	
			応力等 の状態	限界状態		
溢水用水 密扉及び 管理区域 水密扉	P _h	扉板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「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)」を踏まえ短期許容応力 度以下とする。	
		芯材	曲げ せん断			
		カンヌキ部	曲げ せん断		「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, 許容耐 力以下とする。	
		アンカーボルト	引張 せん断			
溢水用堰 及び管理 区域堰	P _h	鋼板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「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)」を踏まえ短期許容応力 度以下とする。	
		はり材, 柱材	曲げ せん断			
		アンカーボルト	引張 せん断		「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, 許容耐 力以下とする。	
		コンクリート	圧縮 せん断			「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)」 に基づき算定した, 許容耐力以下 とする。
		アンカー筋, 主 筋	引張 せん断			

表 4-3 施設ごとの評価部位の許容限界(2/3)

施設名	荷重の 組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
溢水用防水 板及び管理 区域防水板	P _h	鋼板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「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)」を踏ま え短期許容応力度以下とす る。 「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, 許容耐力以下とす る。
		芯材	曲げ せん断		
		アンカーボルト	せん断		
溢水用防水 壁	P _h	鋼板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「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)」を踏ま え短期許容応力度以下とす る。 「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, 許容耐力以下とす る。
		はり	曲げ せん断		
		柱	曲げ せん断		
		ブレース	引張		
		ベースプレート	曲げ せん断		
		アンカーボルト	引張 せん断		

表 4-3 施設ごとの評価部位の許容限界(3/3)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
床ドレン逆止弁	D + P _h	弁本体, フロートガイド	圧縮 曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力状態ⅢAS以下とする。
		取付部	引張 曲げ		
		フロート	圧縮	有意な漏えいが生じる状態	
貫通部止水処置	D + P _h	シール材	せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		ブーツ	引張		水圧試験で確認した水圧以下とする。
		モルタル	圧縮 せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社)土木学会, 2002年制定)」に基づき算定した許容付着荷重以下とする。
		金属製伸縮継手	引張	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「設計・建設規格」PVE-3810に基づき算定した許容圧力以下とする。

4.2.2 許容限界設定方法

(1) モルタルの許容限界式

a. 記号の定義

モルタルの許容限界式に用いる記号を，表 4-4 に示す。

表 4-4 モルタルの許容限界式に用いる記号

記号	単位	定義
$f'_{b o k}$	MPa	モルタルの付着強度
$f'_{c k}$	MPa	モルタルの圧縮強度
f_s	N	モルタルの許容付着荷重
L_w	mm	モルタルの充填深さ
d	mm	貫通物の直径
γ_c	—	材料定数

b. 許容限界式

「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（(社) 土木学会，2002 年制定）より，貫通物がせん断荷重を受ける場合のモルタルの許容付着荷重を求める式を以下に示す。

$$f_s = f'_{b o k} \cdot \pi \cdot d \cdot L_w / \gamma_c$$

ここで，

$$f'_{b o k} = 0.28 \cdot f'_{c k}^{2/3} \cdot 0.4$$

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

5.1 溢水用水密扉及び管理区域水密扉

(1) 評価方針

溢水用水密扉及び管理区域水密扉の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。
- 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉板	曲げ
芯材	曲げ, せん断
カンヌキ部	曲げ, せん断
アンカーボルト	引張, せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-4-2 「水密扉の強度計算書（溢水）」に示す。

5.2 溢水用堰及び管理区域堰

(1) 評価方針

溢水用堰及び管理区域堰の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴, 発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは, 発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2 に示す。

表 5-2 評価部位及び評価内容

種別	評価部位	評価内容
鋼製堰	鋼板	曲げ
	はり材, 柱材	曲げ, せん断
	アンカーボルト	引張, せん断
鉄筋コンクリート製堰	コンクリート	圧縮, せん断
	アンカー筋, 主筋	引張, せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については, VI-3-別添 3-4-4 「堰の強度計算書」に示す。

5.3 溢水用防水板及び管理区域防水板

(1) 評価方針

溢水用防水板及び管理区域防水板の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴, 発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは, 発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼板	曲げ
芯材	曲げ, せん断
アンカーボルト	せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については, VI-3-別添 3-4-5 「防水板の強度計算書」に示す。

5.4 溢水用防水壁

(1) 評価方針

溢水用防水壁の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴, 発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは, 発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-4 に示す。

表 5-4 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼板	曲げ
はり	曲げ, せん断
柱	曲げ, せん断
ブレース	引張
ベースプレート	曲げ, せん断
アンカーボルト	引張, せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については, VI-3-別添 3-4-1 「防水壁の強度計算書 (溢水)」に示す。

5.5 床ドレン逆止弁

(1) 評価方針

床ドレン逆止弁の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴, 発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは, 発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-5 に示す。

表 5-5 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体, フロートガイド	圧縮, 曲げ
フロート	圧縮
取付部	引張, 曲げ

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については, VI-3-別添 3-4-3「床ドレン逆止弁の強度計算書(溢水)」に示す。

5.6 貫通部止水処置

(1) 評価方針

貫通部止水処置の評価を行う場合, 以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴, 発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは, 発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-6 に示す。

表 5-6 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
シール材	せん断
ブーツ	引張
モルタル	圧縮, せん断
金属製伸縮継手	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については, VI-3-別添 3-4-6「貫通部止水処置の強度計算書(溢水)」に示す。

6. 適用規格・基準等

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 (2005年版 (2007年追補版含む。))
(J S M E S N C 1-2005/2007) ((社) 日本機械学会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002年制定)
- ・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年改定)
- ・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)
- ・建築基準法・同施行令
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)
- ・日本産業規格 (J I S)

VI-3-別添 3-4 溢水への配慮が必要な施設の強度計算書

VI-3-別添 3-4-1 防水壁の強度計算書 (溢水)

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	4
2.3	評価方針	9
2.4	適用規格・基準等	10
3.	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁	11
3.1	強度評価方法	11
3.1.1	記号の説明	11
3.1.2	評価対象部位	14
3.1.3	荷重及び荷重の組合せ	14
3.2	許容限界	18
3.2.1	使用材料	18
3.2.2	許容限界	18
3.3	評価方法	19
3.3.1	解析モデル	20
3.3.2	応力算定	22
3.3.3	断面検定	24
3.3.4	評価条件	30
4.	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁	34
4.1	強度評価方法	34
4.1.1	記号の説明	34
4.1.2	評価対象部位	36
4.1.3	荷重及び荷重の組合せ	37
4.2	許容限界	40
4.2.1	使用材料	40
4.2.2	許容限界	41
4.3	評価方法	43
4.3.1	解析モデル	44
4.3.2	応力算定	47
4.3.3	断面検定	52
4.3.4	評価条件	56
5.	評価結果	62

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壁（以下「防水壁」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 配置概要

防水壁は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.4 溢水用防水壁の設計方針」に示すとおり建物外に設置する。防水壁の位置図を図 2-1 に、配置図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

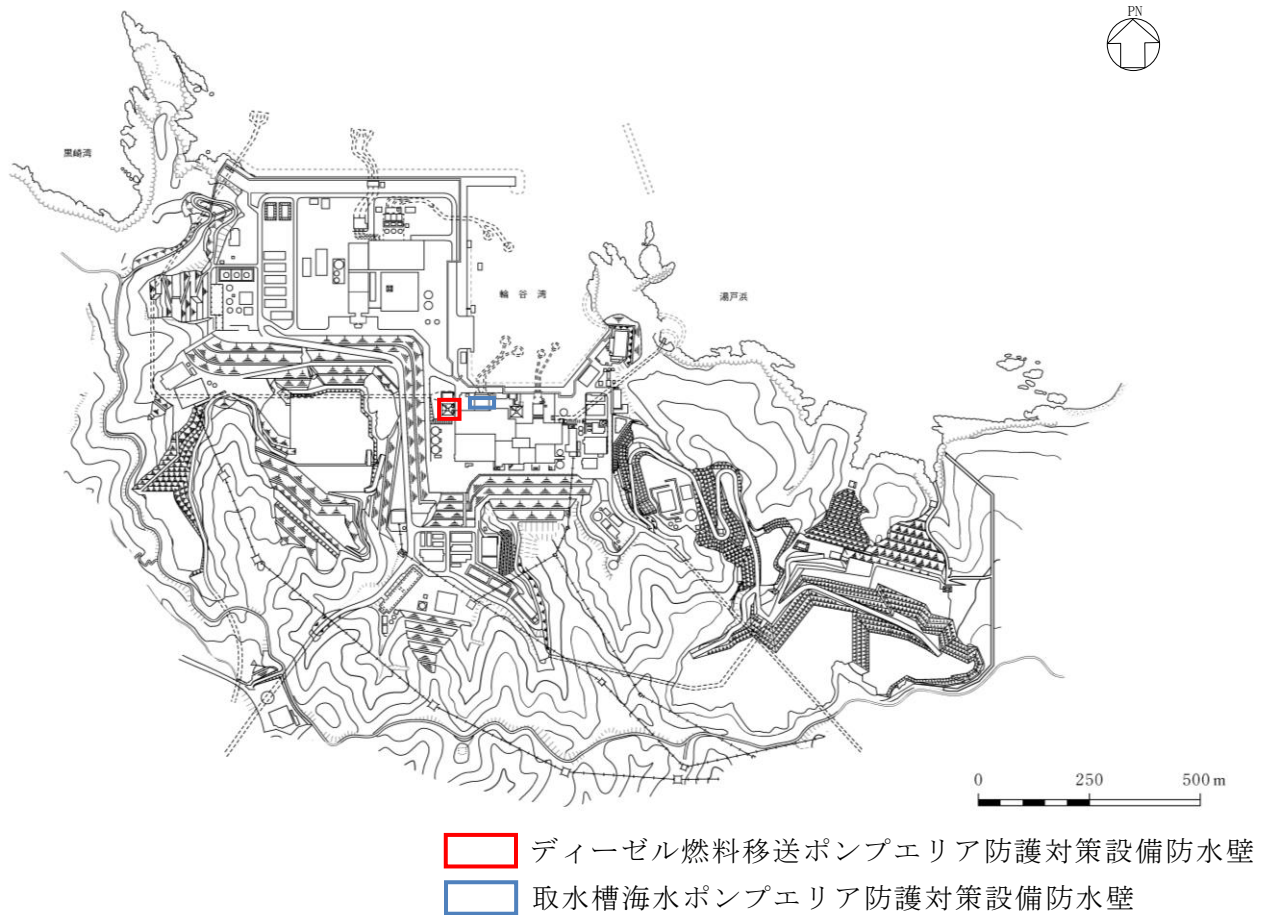


図 2-1 防水壁の位置図

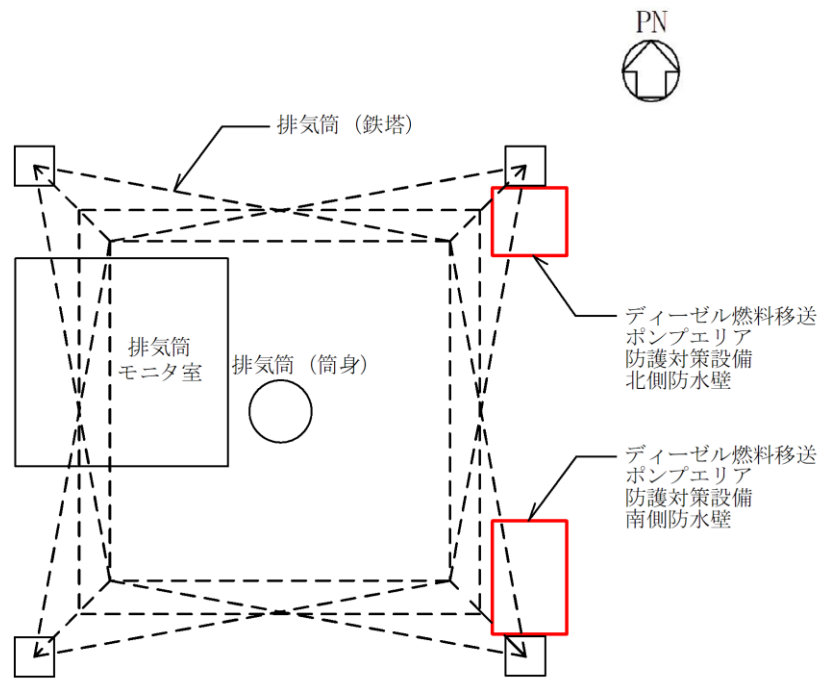


図 2-2 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の配置図

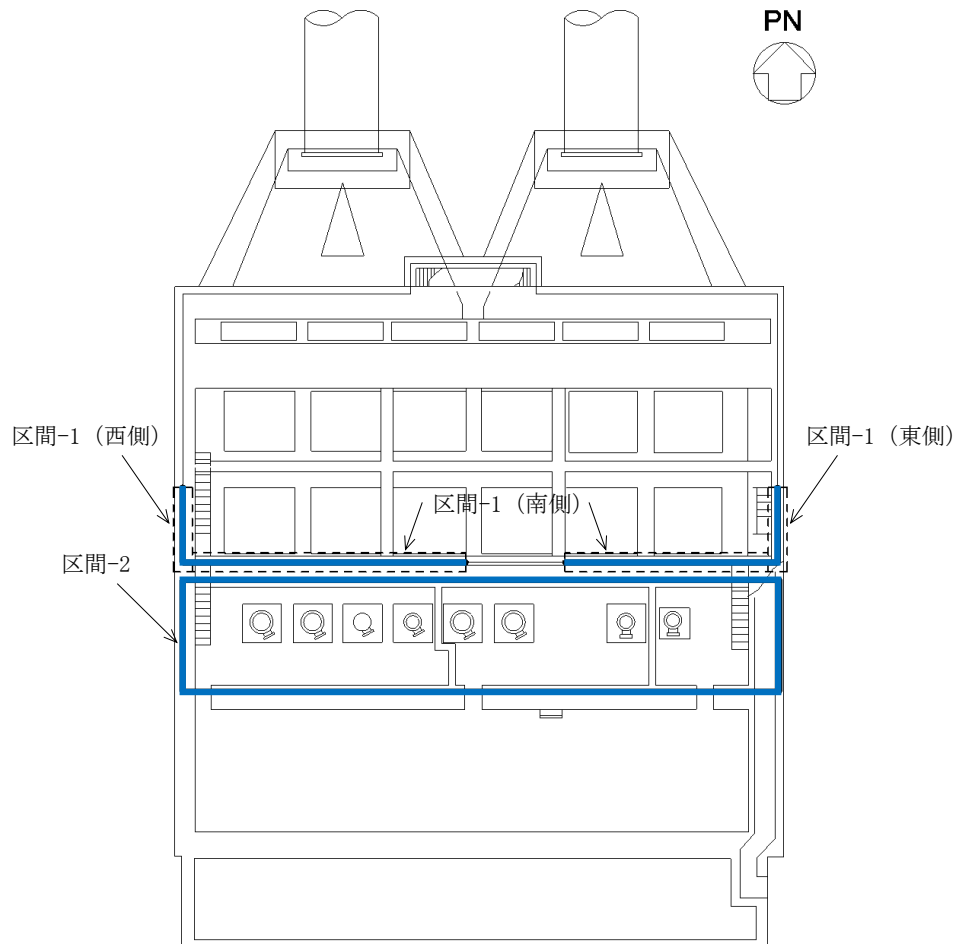


図 2-3 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の配置図

2.2 構造計画

防水壁の構造は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。

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁は、鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトから構成され、コンクリート躯体を基礎として、アンカーボルトで固定する構造とする。ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画を表 2-1 に示す。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁は、鋼板、柱、はり、ベースプレート及びアンカーボルトから構成され、取水槽にアンカーボルトで固定する構造とする。取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-1(1) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁	鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトにより構成する。	胴縁、はり、柱及びブレースで補強した鋼板を基礎にアンカーボルトにて固定する。
		<p style="text-align: center;">平面図</p> <p style="text-align: center;">軸組図</p>

表 2-1(2) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁</p>	<p>鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトにより構成する。</p>	<p>胴縁、はり、柱及びブレースで補強した鋼板を基礎にアンカーボルトにて固定する。</p>
		<p>平面図</p> <p>軸組図</p>

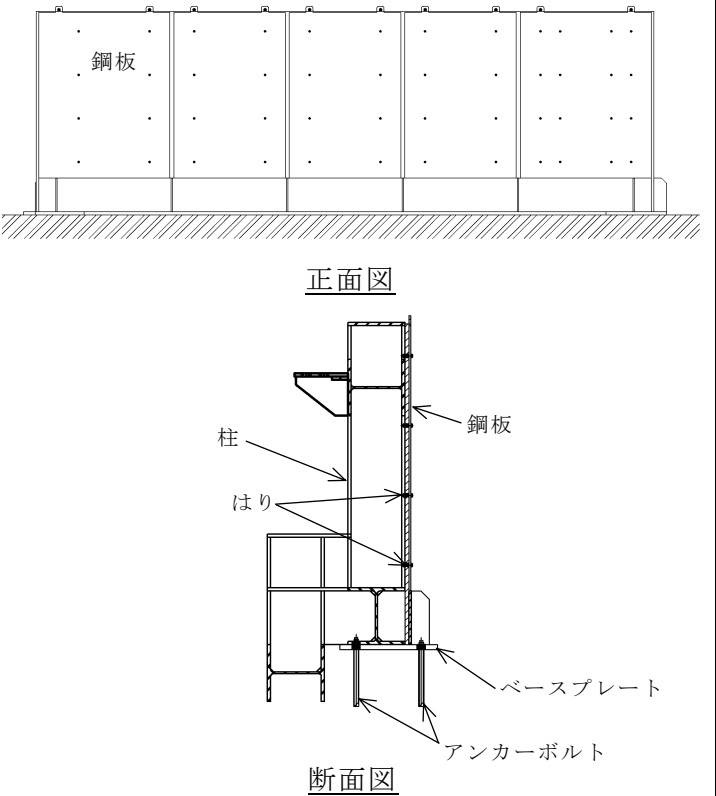
表 2-2(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画
(区間-1 (東, 西側))

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁</p> <p>鋼板, 柱, はり, ベースプレート, アンカーボルトにより構成する。</p>	<p>はり, 柱で補強した鋼板をベースプレートを介して取水槽にアンカーボルトにて固定する。</p>	<p>正面図</p> <p>断面図</p> <p>ベースプレート平面図</p>

表 2-2(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画（区間-1（南側））

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁	鋼板, 柱, はり, ベースプレート, アンカーボルトにより構成する。	はり, 柱で補強した鋼板をベースプレートを介して取水槽にアンカーボルトにて固定する。

表 2-2(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画 (区間-2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁	鋼板、柱、はり、ベースプレート、アンカーボルトにより構成する。	<p>はり、柱で補強した鋼板をベースプレートを介して取水槽にアンカーボルトにて固定する。</p>  <p style="text-align: center;">正面図</p> <p style="text-align: center;">断面図</p>

2.3 評価方針

防水壁の強度評価は、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、防水壁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、「3.1 強度評価方法」及び「4.1 強度評価方法」に示す方法により計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

防水壁の強度評価フローを図 2-4 に示す。

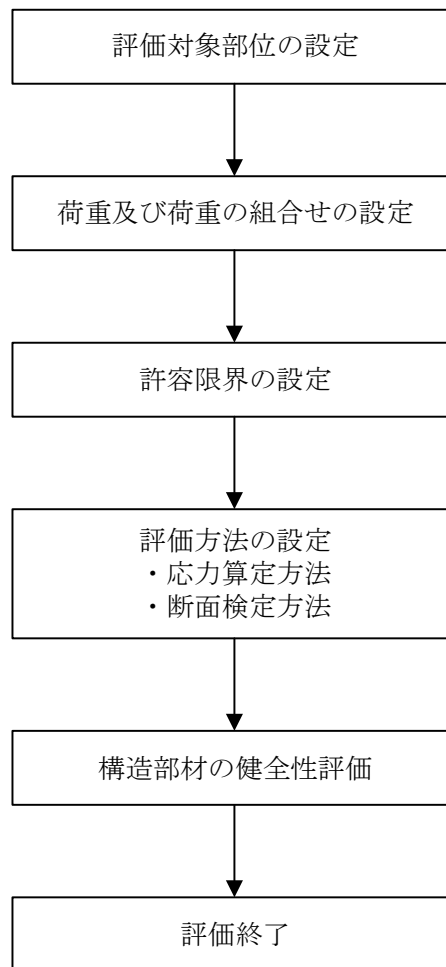


図 2-4 防水壁の強度評価フロー

2.4 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）
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）

3. ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁

3.1 強度評価方法

当該防水壁の強度評価は、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。

当該防水壁の強度評価は、「3.1.2 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「3.1.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.2.2 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、「3.3 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1.1 記号の説明

当該防水壁の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
F_s	kN/m^2	積雪荷重
W	kN	風荷重
q	N/m^2	速度圧
C	—	風力係数
A_1	m^2	風の受圧面積
E'	—	速度圧の高さ方向の分布を示す係数
V_D	m/s	基準風速
E_r	—	平均風速の高さ方向の分布を表す係数
G	—	ガスト影響係数
Z_G	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
Z_b	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
H	m	建物の高さ
P_h	kN/m^2	防水壁最下端の静水圧荷重
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	水圧作用高さ
σ_{b1}	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度

表 3-1 強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
W_1	kN/m^2	鋼板に作用する風荷重
L_1	mm	鋼板の短辺長さ
Z_1	mm^3/m	鋼板の断面係数
σ_{b2}	N/mm^2	胴縁に生じる曲げ応力度
w_f	kN/m	胴縁に作用する等分布荷重
W_2	kN/m^2	胴縁に作用する風荷重
L_1'	m	胴縁の支配幅
L_2	mm	胴縁の長さ
Z_2	mm^3	胴縁の断面係数
τ_2	N/mm^2	胴縁に生じるせん断応力度
A_2	mm^2	胴縁のせん断断面積
σ_{bx3}	N/mm^2	はりに生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by3}	N/mm^2	はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x3}	$\text{N} \cdot \text{mm}$	はりの強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	$\text{N} \cdot \text{mm}$	はりの弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x3}	mm^3	はりの強軸回りの断面係数
Z_{y3}	mm^3	はりの弱軸回りの断面係数
$\sigma_{c(t)3}$	N/mm^2	はりに生じる軸応力度
$N_{c(t)3}$	N	はりの圧縮又は引張軸力
A_{g3}	mm^2	はりの断面積
τ_{x3}	N/mm^2	はりに生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y3}	N/mm^2	はりに生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x3}	N	はりの強軸方向のせん断力
Q_{y3}	N	はりの弱軸方向のせん断力
A_{w3}	mm^2	はりのウェブ断面積
A_{f3}	mm^2	はりのフランジ断面積
$s f_{bx3}$	N/mm^2	はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{by3}$	N/mm^2	はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)3}$	N/mm^2	はりの短期許容圧縮又は引張応力度
τ_3	N/mm^2	はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力のうち最大値

表 3-1 強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$s f_{t3}$	N/mm ²	はりの短期許容引張応力度
σ_{bx4}	N/mm ²	柱に生じる強軸回りの曲げ応力度
σ_{by4}	N/mm ²	柱に生じる弱軸回りの曲げ応力度
M_{x4}	N・mm	柱の強軸回りの曲げモーメント
M_{y4}	N・mm	柱の弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x4}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数
Z_{y4}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数
$\sigma_{c(t)4}$	N/mm ²	柱に生じる軸応力度
$N_{c(t)4}$	N	柱の圧縮又は引張軸力
A_{g4}	mm ²	柱の断面積
τ_{x4}	N/mm ²	柱に生じる強軸方向のせん断応力度
τ_{y4}	N/mm ²	柱に生じる弱軸方向のせん断応力度
Q_{x4}	N	柱の強軸方向のせん断力
Q_{y4}	N	柱の弱軸方向のせん断力
A_{w4}	mm ²	柱のウェブ断面積
A_{f4}	mm ²	柱のフランジ断面積
$s f_{bx4}$	N/mm ²	柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{by4}$	N/mm ²	柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)4}$	N/mm ²	柱の短期許容圧縮又は引張応力度
τ_4	N/mm ²	柱に生じる強軸及び弱軸回りのせん断応力のうち最大値
$s f_{t4}$	N/mm ²	柱の短期許容引張応力度
σ_{t5}	N/mm ²	ブレースに生じる軸応力度
N_{t5}	N	ブレースの引張軸力
A_{g5}	mm ²	ブレースの断面積
Q_{DS}	kN/本	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q	kN	水平方向の支点反力
n	本	アンカーボルトの本数

3.1.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は、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、「2.2 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。

当該防水壁の評価対象部位は、防水壁に作用する静水圧荷重が、鋼板、胴縁、はり、柱及びブレースからアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトとする。

3.1.3 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。

(1) 積雪荷重 (F_s)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って考慮することとし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）により、積雪深1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 風荷重 (W)

風速は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成 12 年建設省告示第 1 4 5 4 号に定められた松江市の基準風速である 30m/s とする。風荷重 (W) の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数 C 及び風の受圧面積 A_1 に基づき実施する。

$$W = q \cdot C \cdot A_1 \cdot 10^{-3}$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

W : 風荷重 (kN)

q : 設計用速度圧 (N/m²)

V_D : 基準風速 (m/s)

G : ガスト影響係数

H : 建物の高さ (m)

Z_G , Z_b , α : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値

C : 風力係数

A_1 : 風の受圧面積 (m²)

風荷重算定に使用する入力条件を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

表 3-2 入力条件

施設名称	基準 風速 V_D (m/s)	建物 高さ H (m)	Z_G (m)	α	ガスト 影響係 数 G	設計用 速度圧 q (N/m ²)
ディーゼル 燃料移送ポ ンプエリア 防護対策設 備防水壁	30	2.1	350	0.15	2.2	960.1

表 3-3(1) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁の
風力係数及び受圧面積

(a) 南から北方向

高さ(EL) (m)	風力係数C		受圧面積A ₁ (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
9.3~8.7	0.8	0.4	2.235	2.235
10.8~9.3	0.8	0.5	5.5875	7.6431

(b) 北から南方向

高さ(EL) (m)	風力係数C		受圧面積A ₁ (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
9.3~8.7	0.8	0.4	2.235	2.235
10.8~9.3	0.472	0.4	7.6431	5.5875

(c) 東西方向

高さ(EL) (m)	風力係数C		受圧面積A ₁ (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
10.8~8.7	0.8	0.4	6.09	6.09

表 3-3(2) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁の
風力係数及び受圧面積

(a) 南から北方向

高さ(EL) (m)	風力係数C		受圧面積A ₁ (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
9.3~8.7	0.8	0.4	2.235	2.235
10.8~9.3	0.472	0.4	7.6431	5.5875

(b) 北から南方向

高さ(EL) (m)	風力係数C		受圧面積A ₁ (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
9.3~8.7	0.8	0.4	2.235	2.235
10.8~9.3	0.8	0.5	5.5875	7.6431

(c) 東西方向

高さ(EL) (m)	風力係数C		受圧面積A ₁ (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
10.8~8.7	0.8	0.4	11.13	11.13

(3) 溢水による静水圧荷重 (P_h)

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、次式により算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

P_h : 防水壁最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_0 : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 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 3-4 に示す。

表 3-4 水圧作用高さ及び水の密度

設備名称	水圧作用高さ h (mm)	水の密度 ρ_0 (t/m ³)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設 備北側防水壁	550	1.03
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設 備南側防水壁	550	1.03

(4) 荷重の組合せ

当該防水壁の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。

$$F_s + W + P_h$$

F_s : 積雪荷重

W : 風荷重

P_h : 静水圧荷重

3.2 許容限界

当該防水壁の許容限界は、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、「3.1.2 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。

3.2.1 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトの使用材料を表 3-5 に示す。

表 3-5 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	
胴縁	SS400	
はり	SS400	
柱	SS400	
ブレース	SS400	
アンカーボルト	SUS304	

3.2.2 許容限界

(1) 鋼板、胴縁、はり、柱及びブレース

「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）」（以下「S規準」という。）に基づき算定した鋼材の許容限界を表 3-6 に示す。

表 3-6 鋼材の許容限界

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年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定したアンカーボルトの許容限界を表3-7に示す。

なお，せん断力に対する耐力は，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる耐力，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3-7 アンカーボルトの許容限界

設備名称	材料	許容耐力(kN)
		せん断
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁	SUS304 	14
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁	SUS304 	50

3.3 評価方法

はり，柱及びブレースについての強度評価は，「3.3.1 解析モデル」に示す評価部位全体を対象とした解析モデルを用いた3次元静的線形応力解析に基づき行う。また，鋼板及び胴縁についての強度評価は，評価式に基づき行う。本応力解析及び評価式により得られた個々の部材に生じる応力が許容値以下であることを確認する。応力解析は以下の方針に基づく。

- (1) モデルに作用する荷重及び荷重の組合せは，「3.1.3 荷重及び荷重の組合せ」による。
- (2) 静水圧荷重は，ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の4方向から水圧が作用するものとして考慮する。
- (3) 応力解析に使用する解析コードは「MSC NASTRAN」である。なお，解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

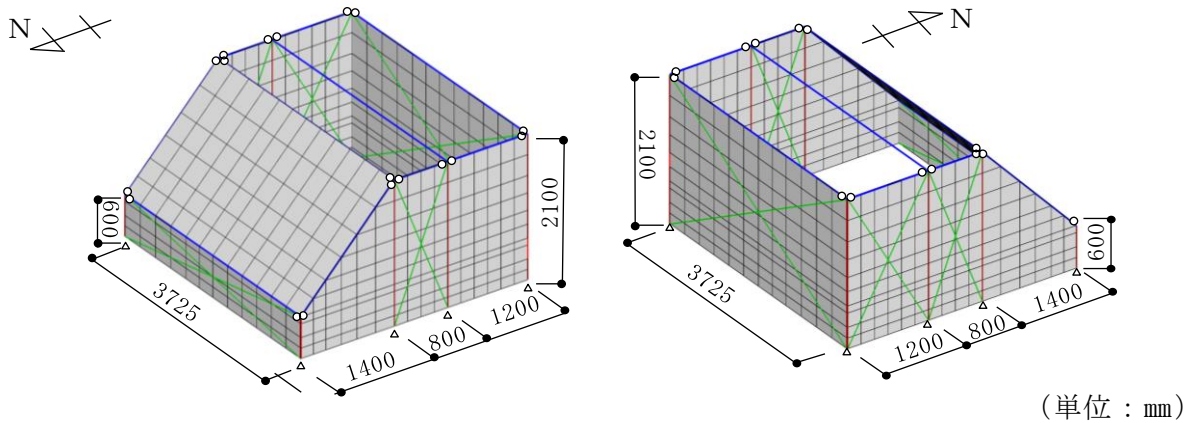
3.3.1 解析モデル

3次元静的線形応力解析に用いる解析モデルを図3-1及び図3-2に示す。解析モデルは、鋼板をシェル要素、はり、柱及びブレースをはり要素でモデル化し、はりと柱の接合部は実状に合わせて接合条件を定める。柱脚は、ピン支点としてモデル化する。

解析に用いる部材の物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 205000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断弾性係数 : $G = 79000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

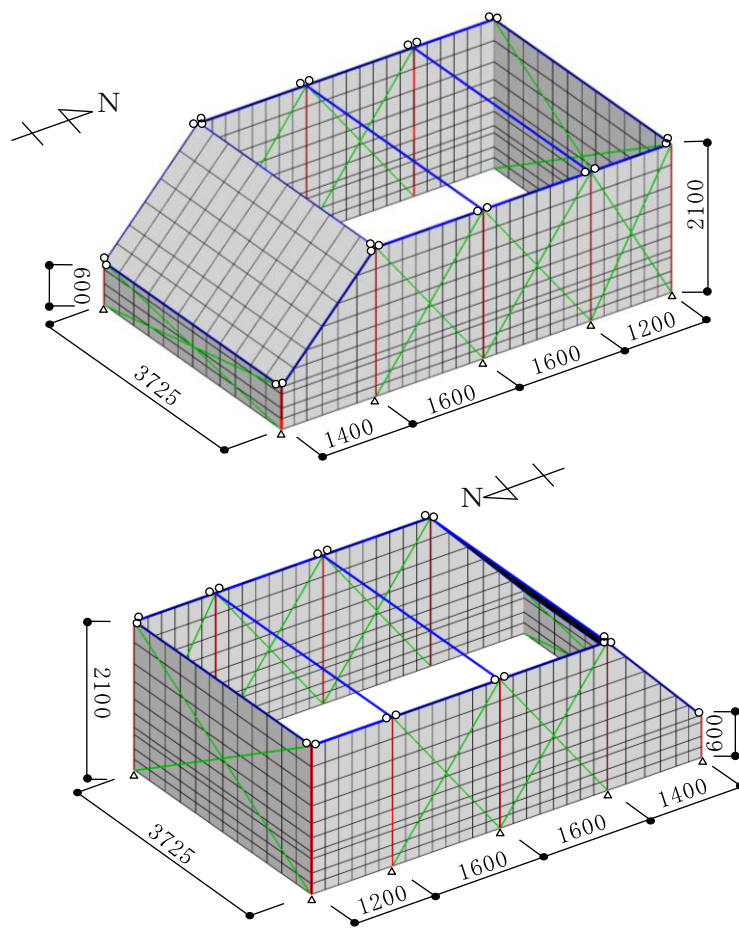


部位	凡例
鋼板	
はり	
柱	
ブレース	

条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

注：ブレースの両端部はピン接合とする。

図3-1 解析モデル（ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁）



(単位：mm)

部位	凡例
鋼板	■
はり	—
柱	—
ブレース	—

条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

注：ブレースの両端部はピン接合とする。

図 3-2 解析モデル (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁)

3.3.2 応力算定

荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力度，胴縁に生じる曲げ応力度及びせん断応力度，はり及び柱に生じる曲げ応力度，せん断応力度及び軸応力度，ブレースに生じる軸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あたり，各荷重により生じる応力を応力解析及び評価式により算定する。

防水壁に生じる力の概念図を図 3-3～図 3-5 に示す。

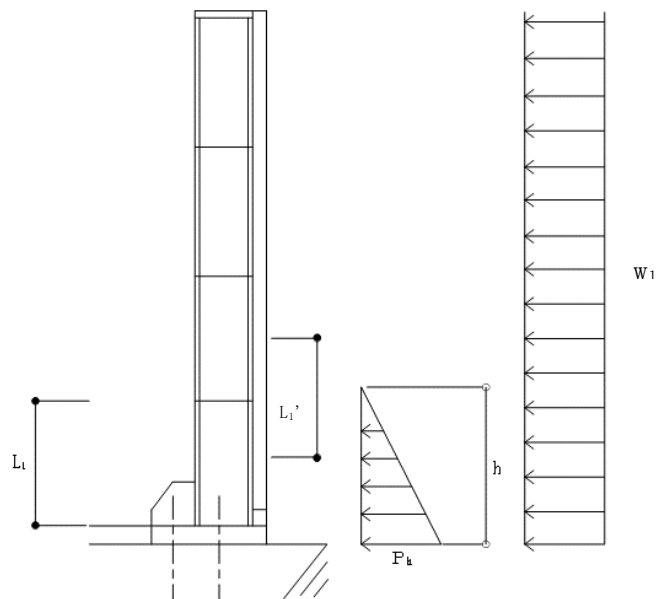


図 3-3 溢水時の防水壁に生じる力の断面概念図

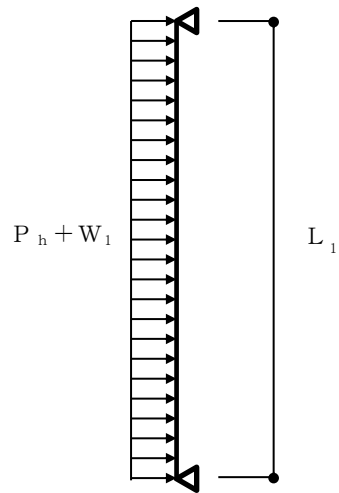


図 3-4 溢水時の鋼板に生じる力の断面概念図

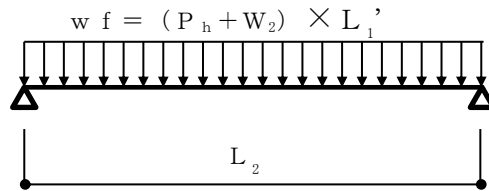


図 3-5 溢水時の胴縁に生じる力の断面概念図

3.3.3 断面検定

(1) 鋼板

a. 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる応力は、鋼板を両端ピンの単純ばりとして算出する。なお、鋼板は板厚が薄く、せん断変形に対して曲げ変形が卓越することから、鋼板に生じる曲げ応力度が短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。この時作用する静水圧荷重は当該防水壁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。

$$\sigma_{b1} = (P_h + W_1) \cdot 10^{-3} \cdot L_1^2 / 8 / Z_1$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

P_h : 防水壁最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

W_1 : 鋼板に作用する風荷重 (kN/m²)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³/m)

(2) 胴縁

a. 曲げ応力度に対する検定

胴縁に生じる曲げ応力度は、胴縁を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、胴縁の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。この時作用する静水圧荷重は防水壁最下端の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。

$$\sigma_{b2} = w_f \cdot L_2^2 / 8 / Z_2$$

σ_{b2} : 胴縁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

w_f : 胴縁に作用する等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 胴縁の長さ (mm)

Z_2 : 胴縁の断面係数 (mm³)

b. せん断応力度に対する検定

胴縁に生じるせん断応力度は、評価式により求めたはりのせん断力を用いて次式により算出し、はりの短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_2 = w f \cdot L_2 / 2 / A_2$$

τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$w f$: 胴縁に作用する等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 胴縁の長さ (mm)

A_2 : 胴縁のせん断断面積 (mm²)

(3) はり

a. 曲げ応力度に対する検定

はりに生じる曲げ応力度は、応力解析により求めたはりの最大曲げモーメントを用いて次式により算出し、はりの短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{b x 3} = M_{x 3} / Z_{x 3}$$

$$\sigma_{b y 3} = M_{y 3} / Z_{y 3}$$

$\sigma_{b x 3}, \sigma_{b y 3}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{x 3}, M_{y 3}$: はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (N・mm)

$Z_{x 3}, Z_{y 3}$: はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

b. 軸応力度に対する検定

はりに生じる軸応力度は、応力解析により求めたはりの軸力を用いて次式により算出し、はりの短期許容軸応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{c (t) 3} = N_{c (t) 3} / A_{g 3}$$

$\sigma_{c (t) 3}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c (t) 3}$: はりの圧縮又は引張軸力 (N)

$A_{g 3}$: はりの断面積 (mm²)

c. せん断応力度に対する検定

はりに生じるせん断応力度は、応力解析により求めたはりのせん断力を用いて次式により算出し、はりの短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_{x3} = Q_{x3} / A_{w3}$$

$$\tau_{y3} = Q_{y3} / A_{f3}$$

τ_{x3}, τ_{y3} : はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3}, Q_{y3} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (N)

A_{w3} : はりのウェブ断面積 (mm²)

A_{f3} : はりのフランジ断面積 (mm²)

d. 曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定

はりに生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 を下回ることを確認する。

$$\sigma_{bx3} / s f_{bx3} + \sigma_{by3} / s f_{by3} + \sigma_{c(t)3} / s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx3}, s f_{by3}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)3}$: はりの短期許容圧縮又は引張応力度 (N/mm²)

e. 曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する検定

はりに生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度を下回ることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_3 : はりに生じる強軸及び弱軸回りのせん断応力度のうち
最大値 (N/mm²)

$s f_{t3}$: はりの短期許容引張応力度 (N/mm²)

(4) 柱

a. 曲げ応力度に対する検定

柱に生じる曲げ応力度は、応力解析により求めた柱の最大曲げモーメントを用いて次式により算出し、柱の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{bx4} = M_{x4} / Z_{x4}$$

$$\sigma_{by4} = M_{y4} / Z_{y4}$$

σ_{bx4} , σ_{by4} : 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x4} , M_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (N・mm)

Z_{x4} , Z_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

b. 軸応力度に対する検定

柱に生じる軸応力度は、応力解析により求めた柱の軸力を用いて次式により算出し、柱の短期許容軸応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{c(t)4} = N_{c(t)4} / A_{g4}$$

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (N)

A_{g4} : 柱の断面積 (mm²)

c. せん断応力度に対する検定

柱に生じるせん断応力度は、応力解析により求めた柱のせん断力を用いて次式により算出し、柱の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_{x4} = Q_{x4} / A_{w4}$$

$$\tau_{y4} = Q_{y4} / A_{f4}$$

τ_{x4} , τ_{y4} : 柱に生じる強軸及び弱軸のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4} , Q_{y4} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (N)

A_{w4} : 柱のウェブ断面積 (mm²)

A_{f4} : 柱のフランジ断面積 (mm²)

d. 曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定

柱に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 を下回ることを確認する。

$$\sigma_{b x 4} / s f_{b x 4} + \sigma_{b y 4} / s f_{b y 4} + \sigma_{c (t) 4} / s f_{c (t) 4} \leq 1.0$$

$\sigma_{b x 4}, \sigma_{b y 4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{b x 4}, s f_{b y 4}$: 柱の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c (t) 4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c (t) 4}$: 柱の短期許容圧縮又は引張応力度 (N/mm²)

e. 曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する検定

柱に生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期引張応力度を下回ることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b x 4} + \sigma_{b y 4} + \sigma_{c (t) 4})^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq s f_{t 4}$$

$\sigma_{b x 4}, \sigma_{b y 4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c (t) 4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : 柱に生じる強軸及び弱軸回りのせん断応力度のうち最大値 (N/mm²)

$s f_{t 4}$: 柱の短期許容引張応力度 (N/mm²)

(5) ブレース

a. 軸応力度に対する検定

ブレースに生じる軸応力度は、応力解析により求めたブレースの軸力を用いて次式により算出し、ブレースの短期許容軸応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{t 5} = N_{t 5} / A_{g 5}$$

$\sigma_{t 5}$: ブレースに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{t 5}$: ブレースの引張軸力 (N)

$A_{g 5}$: ブレースの断面積 (mm²)

(6) アンカーボルト

a. せん断応力度に対する検定

アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力は応力解析にて求めた支点反力を用いて次式により算出し、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。

$$Q_{Ds} = Q / n$$

Q_{Ds} : アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力 (kN/本)

Q : 水平方向の支点反力 (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

3.3.4 評価条件

各部材毎に検定比が最大となる代表部材について、ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁の強度評価に用いる入力値を表3-8に、ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁の強度評価に用いる入力値を表3-9に示す。

表 3-8 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁の
強度評価に用いる入力値(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	F_s	kN/m ²	積雪荷重	0.7
	C	—	風力係数	0.4~0.8
	A_1	m ²	風の受圧面積	2.235~ 7.6431
	V_D	m/s	基準風速	30
	E_r	—	平均風速の高さ方向の分布を表す係数	0.899
	G	—	ガスト影響係数	2.2
	Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値	350
	Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値	5
	α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値	0.15
	H	m	建物の高さ	2.1
	ρ_0	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	h	mm	水圧作用高さ	550
鋼板	W_1	kN/m ²	鋼板に作用する風荷重	0.4532
	L_1	mm	鋼板の短辺長さ	837.6
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	6000
胴縁	W_2	kN/m ²	胴縁に作用する風荷重	0.4532
	L_1'	m	胴縁の支配幅	0.7288
	L_2	mm	胴縁の長さ	2265
	Z_2	mm ³	胴縁の断面係数	115000
	A_2	mm ²	胴縁のせん断面積	845

表 3-8 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁の
強度評価に用いる入力値(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
はり	M_{x3}	N・mm	はりの強軸回りの曲げモーメント	9660000
	M_{y3}	N・mm	はりの弱軸回りの曲げモーメント	3670000
	Z_{x3}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	472000
	Z_{y3}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	160000
	$N_{c(t)3}$	N	はりの圧縮又は引張軸力	1720
	A_{g3}	mm ²	はりの断面積	6353
	Q_{x3}	N	はりの強軸方向のせん断力	8470
	Q_{y3}	N	はりの弱軸方向のせん断力	3240
	A_{w3}	mm ²	はりのウェブ断面積	1408
	A_{f3}	mm ²	はりのフランジ断面積	4800
柱	M_{x4}	N・mm	柱の強軸回りの曲げモーメント	120000
	M_{y4}	N・mm	柱の弱軸回りの曲げモーメント	1740000
	Z_{x4}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数	472000
	Z_{y4}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数	160000
	$N_{c(t)4}$	N	柱の圧縮又は引張軸力	13800
	A_{g4}	mm ²	柱の断面積	6353
	Q_{x4}	N	柱の強軸方向のせん断力	840
	Q_{y4}	N	柱の弱軸方向のせん断力	5190
	A_{w4}	mm ²	柱のウェブ断面積	1408
	A_{f4}	mm ²	柱のフランジ断面積	4800
ブレース	N_{t5}	N	ブレースの引張軸力	1660
	A_{g5}	mm ²	ブレースの断面積	1656
アンカー ボルト	Q	kN	水平方向の支点反力	0.9118
	n	本	アンカーボルトの本数	1

表 3-9 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁の
強度評価に用いる入力値(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	F_s	kN/m^2	積雪荷重	0.7
	C	—	風力係数	0.4~0.8
	A_1	m^2	風の受圧面積	2.235~ 11.13
	V_D	m/s	基準風速	30
	G	—	ガスト影響係数	2.2
	Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値	350
	Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値	5
	α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値	0.15
	H	m	建物の高さ	2.1
	ρ_0	t/m^3	水の密度	1.03
	g	m/s^2	重力加速度	9.80665
h	mm	水圧作用高さ	550	
鋼板	W_1	kN/m^2	鋼板に作用する風荷重	0.4532
	L_1	mm	鋼板の短辺長さ	837.6
	Z_1	mm^3	鋼板の断面係数	6000
胴縁	W_2	kN/m^2	胴縁に作用する風荷重	0.4532
	L_1'	m	胴縁の支配幅	0.7288
	L_2	mm	胴縁の長さ	2265
	Z_2	mm^3	胴縁の断面係数	115000
	A_2	mm^2	胴縁のせん断断面積	845

表 3-9 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁の
強度評価に用いる入力値(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
はり	M_{x3}	N・mm	はりの強軸回りの曲げモーメント	9490000
	M_{y3}	N・mm	はりの弱軸回りの曲げモーメント	3610000
	Z_{x3}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	472000
	Z_{y3}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	160000
	$N_{c(t)3}$	N	はりの圧縮又は引張軸力	1610
	A_{g3}	mm ²	はりの断面積	6353
	Q_{x3}	N	はりの強軸方向のせん断力	8370
	Q_{y3}	N	はりの弱軸方向のせん断力	3230
	A_{w3}	mm ²	はりのウェブ断面積	1408
	A_{f3}	mm ²	はりのフランジ断面積	4800
柱	M_{x4}	N・mm	柱の強軸回りの曲げモーメント	110000
	M_{y4}	N・mm	柱の弱軸回りの曲げモーメント	1740000
	Z_{x4}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数	472000
	Z_{y4}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数	160000
	$N_{c(t)4}$	N	柱の圧縮又は引張軸力	13010
	A_{g4}	mm ²	柱の断面積	6353
	Q_{x4}	N	柱の強軸方向のせん断力	750
	Q_{y4}	N	柱の弱軸方向のせん断力	5200
	A_{w4}	mm ²	柱のウェブ断面積	1408
	A_{f4}	mm ²	柱のフランジ断面積	4800
ブレース	N_{t5}	N	ブレースの引張軸力	1870
	A_{g5}	mm ²	ブレースの断面積	1656
アンカー ボルト	Q	kN	水平方向の支点反力	6.829
	n	本	アンカーボルトの本数	2

4. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁

4.1 強度評価方法

当該防水壁の強度評価は、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。

当該防水壁の強度評価は、「4.1.2 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「4.1.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2.2 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、「4.3 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.1.1 記号の説明

当該防水壁の強度評価に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	静水圧荷重
ρ	t/m^3	水の単位体積重量
h_1	mm	水圧作用高さ
W_1	kN/m	風荷重
w	kN/m^2	風圧力
h_2	mm	風荷重作用高さ
F_s	N/m^2	積雪荷重
$M_{\max 1}$	$\text{N} \cdot \text{mm}$	鋼板に生じる最大曲げモーメント
W	N/mm^2	設計水平分布荷重（鋼板・柱・はりの応力算定）
B	mm	荷重の載荷幅
L	mm	評価対象部材の長さ（ベースプレートの場合、柱からアンカーボルト間の長さ）
$M_{\max 2}$	$\text{N} \cdot \text{mm}$	柱に生じる最大曲げモーメント
$S_{\max 2}$	N	柱に生じる最大せん断力
$M_{\max 3}$	$\text{N} \cdot \text{mm}$	はりに生じる最大曲げモーメント
$S_{\max 3}$	N	はりに生じる最大せん断力
$M_{\max 4}$	$\text{N} \cdot \text{mm}$	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント
$S_{\max 4}$	N	ベースプレート引張側の最大せん断力
P	N	アンカーボルト 1 本あたりの引張力

表 4-1 強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
$M_{\max 5}$	N・mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント
$S_{\max 5}$	N	ベースプレート押込側の最大せん断力
M_{x1}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
Q_{y1}	—	等分布荷重によるせん断応力算定用の係数
W_c	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度 (ベースプレートの応力算定)
L_x	mm	ベースプレートの版の短辺長
A	mm ²	押込み側ベースプレートの断面積
Q	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力
V	kN	最大鉛直荷重
N	本	アンカーボルト全本数
M	kN・m	最大曲げモーメント
X_i	m	偏心距離
$\sum n \cdot X_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値
$S_{\max 6}$	kN	アンカーボルトに生じる最大せん断力
P_a	kN	アンカーボルトの許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルトの許容せん断力
σ_{b1}	N/mm ²	鋼板の曲げ応力度
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
σ_{b2}	N/mm ²	柱の曲げ応力度
Z_2	mm ³	柱の断面係数
τ_2	N/mm ²	柱のせん断応力度
h_{w2}	mm	柱のウェブ高さ
t_2	mm	柱のウェブ厚さ
σ_c	N/mm ²	柱の圧縮応力度
N_{\max}	N	柱の圧縮力
A_2	mm ²	柱の断面積
f_t	N/mm ²	短期許容引張応力度
f_b	N/mm ²	短期許容曲げ応力度
f_c	N/mm ²	短期許容圧縮応力度

表 4-1 強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
σ_{b3}	N/mm ²	はりの曲げ応力度
Z_3	mm ³	はりの断面係数
τ_3	N/mm ²	はりのせん断応力度
h_3	mm	はりのせん断負担幅
t_3	mm	プレート厚
σ_{b4}	N/mm ²	ベースプレートの曲げ応力度
Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数
t_4	mm	ベースプレートの厚さ
τ_4	N/mm ²	ベースプレートのせん断応力度
S_{max}	N	ベースプレートに生じる最大せん断力
B_1	mm	部材断面有効幅
A_4	mm ² / mm	部材の断面積

4.1.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は、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、「2.2 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。

当該防水壁の評価対象部位は、防水壁に作用する静水圧荷重が、鋼板、柱及びはりから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て取水槽に伝わることから、鋼板、柱、はり、ベースプレート及びアンカーボルトとする。

4.1.3 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。

(1) 溢水による静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧としての静水圧荷重 P_h を考慮する。静水圧荷重は、評価対象部位周辺の水の単位体積重量 ρ に当該部分の溢水深さを保守的に防水壁天端高さまで考慮した水圧作用高さ h_1 を乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot 10^{-3}$$

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h_1 : 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 4-2 に示す。

表 4-2 水圧作用高さ及び水の密度

設備名称	水圧作用高さ h_1 (mm)	水の密度 ρ (t/m ³)
取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 防水壁	2000	1.03

(2) 風荷重 (W_1)

風速 30m/s 時の風圧力の荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に当該部分の風荷重作用高さを乗じた次式により算出する。当該防水壁は壁天端まで浸水を考慮するため、風荷重を考慮しない。風荷重の算定に用いる風荷重作用高さ及び風圧力を表 4-3 に示す。

$$W_1 = w \cdot h_2 \cdot 10^{-3}$$

W_1 : 風荷重 (kN/m)

w : 風圧力 (kN/m²)

h_2 : 風荷重作用高さ (mm)

表 4-3 風荷重作用高さ及び風圧力

設備名称	風荷重作用高さ h_2 (mm)	風圧力 w (kN/m ²)
取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 防水壁	0	1.71

(3) 積雪荷重 (F_s)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って考慮することとし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）により、積雪深1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 荷重の組合せ

当該防水壁の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。

$$P_h + W_1 + F_s$$

P_h : 静水圧荷重

W_1 : 風荷重

F_s : 積雪荷重*

注記* : (1) 区間-1 (東, 西側) 及び区間-1 (南側) では考慮しない。

(2) 区間-2 については, 柱上部のブラケット部をモデル化し, 竜巻防護ネット上の積雪荷重を考慮する。

4.2 許容限界

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の許容限界は、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、「4.1.2 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許容耐力とする。

4.2.1 使用材料

当該防水壁を構成する、鋼板、柱、はり、ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-4(1) 使用材料（区間-1（東，西側））

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-9
柱	SS400	H-200×200×8×12
はり	SS400	L-65×65×8
ベースプレート	SS400	PL-25
アンカーボルト	SUS304	M20

表 4-4(2) 使用材料（区間-1（南側））

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-9
柱	SS400	H-200×200×8×12
はり	SS400	L-65×65×8
ベースプレート	SS400	PL-28
アンカーボルト	SUS304	M20

表 4-4(3) 使用材料 (区間-2)

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-24
柱	SS400	H-350×350×12×19
はり	SS400	L-65×65×6
ベースプレート	SS400	PL-32
アンカーボルト	SD295	D25

4.2.2 許容限界

(1) 鋼板, 柱, はり及びベースプレート

「S 規準」に基づき算定した鋼材の許容限界を表 4-5 に示す。

表 4-5 鋼材の許容限界

評価部材 材質: (SS400)	短期許容応力度 (N/mm ²)			
	曲げ	圧縮	引張	せん断
鋼板 柱 はり ベースプレート	235	235	235	135

(2) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの許容限界を表4-6に示す。

なお、せん断力に対する耐力は、アンカーボルト母材のせん断強度より決まる耐力、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 4-6 アンカーボルトの許容限界

評価部材		材料	許容耐力 (kN)	
			引張	せん断
アンカーボルト	区間-1 (東, 西側)	SUS304 (M20)	41	34
	区間-1 (南側)		63	8
	区間-2	SD295 (D25)	82	29

4.3 評価方法

区間-1（東，西側）及び区間-1（南側）についての強度評価は，評価式に基づき行う。区間-2 についての強度評価は，「4.3.1 解析モデル」に示す評価部位全体を対象とした解析モデルを用いたフレーム解析及び評価式に基づき行う。本評価式及び応力解析により得られた個々の部材に生じる応力が許容値以下であることを確認する。応力解析は以下の方針に基づく。

- (1) モデルに作用する荷重及び荷重の組合せは，「4.1.3 荷重及び荷重の組合せ」による。
- (2) 応力解析に使用する解析コードは「F R E M I N G」である。なお，解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3.1 解析モデル

区間-1（東，西側），区間-1（南側）及び区間-2 の断面概念図をそれぞれ図 4-1 及び図 4-2 に示す。なお，実際に作用する荷重分布を点線により示し，応力解析上考慮する荷重分布を実線により示す。

(1) 区間-1（東，西側）及び区間-1（南側）

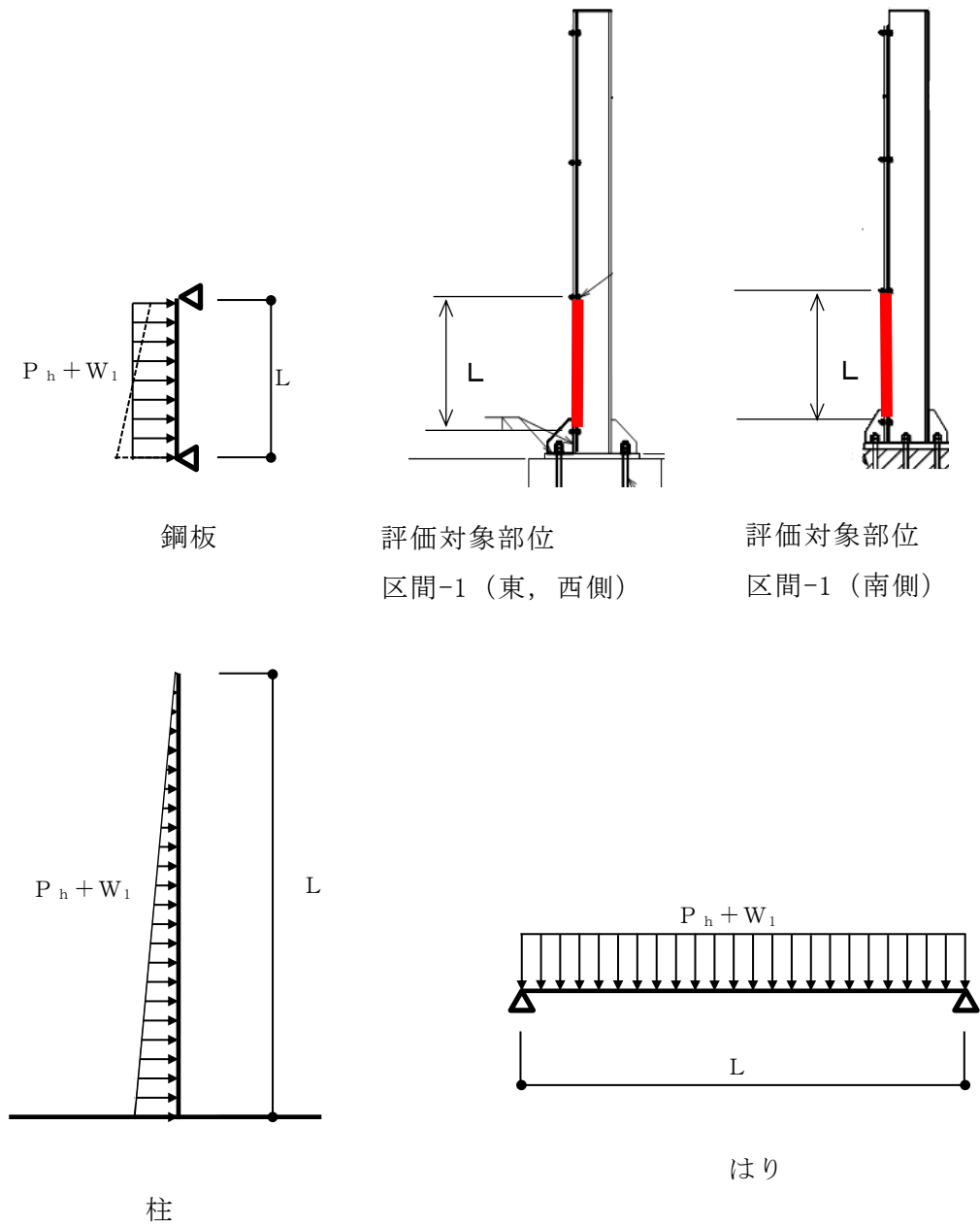


図 4-1(1) 溢水時の各部材に生じる力の断面概念図

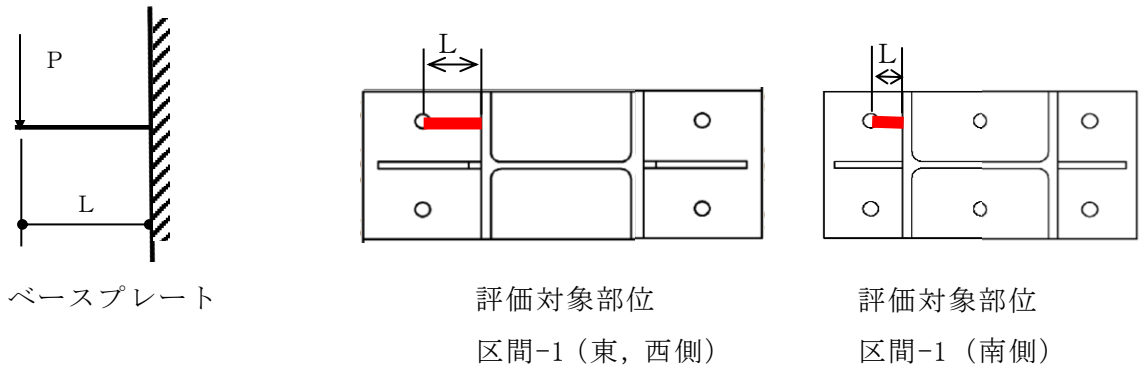


図 4-1(2) 溢水時の各部材に生じる力の断面概念図

(2) 区間-2

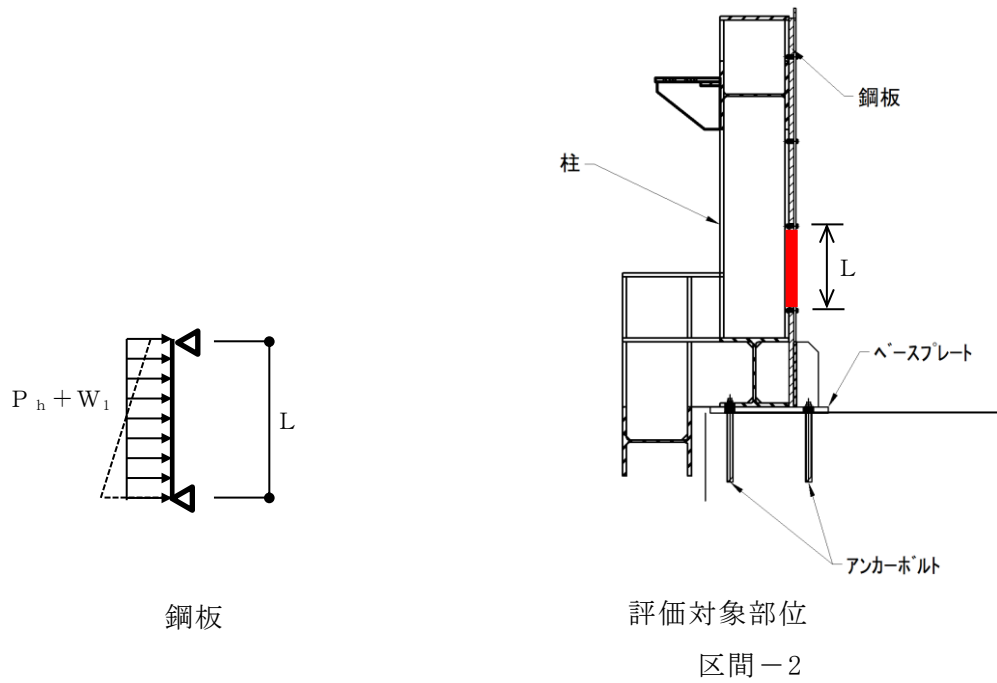


図 4-2(1) 溢水時の各部材に生じる力の断面概念図

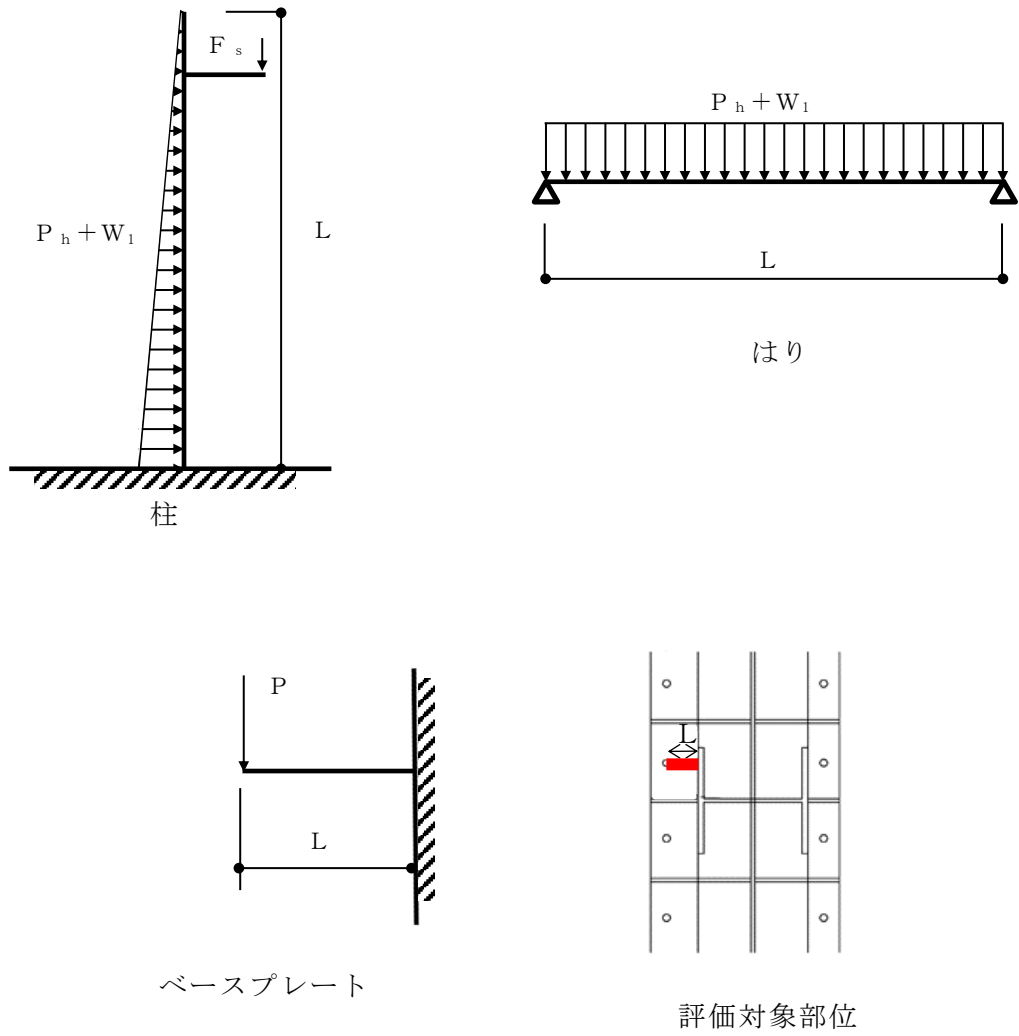


図 4-2(2) 溢水時の各部材に生じる力の断面概念図

4.3.2 応力算定

静水圧荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力，柱に生じる曲げ応力及びせん断応力，ベースプレートに生じる曲げ応力及びせん断応力，はりに生じる曲げ応力及びせん断応力並びにアンカーボルトに生じる引張力，せん断力に対する確認を行うにあたり，区間-1（東，西側）及び区間-1（南側）については，以下の評価式のとおりとなる。区間-2については，鋼板，ベースプレート，はり及びアンカーボルトは，以下の評価式のとおりとなり，柱については，フレーム解析による応力解析により算定する。

- (1) 鋼板（区間-1（東，西側）及び区間-1（南側），区間-2）

$$M_{\max 1} = 1/8 \cdot W \cdot B \cdot L^2$$

$M_{\max 1}$ ：鋼板に生じる最大曲げモーメント（N・mm）

W ：設計水平分布荷重（ $P_h + W_1 + F_s$ ）（N/mm²）

B ：荷重の載荷幅（mm）

L ：鋼板の長さ（mm）

(2) 柱（区間-1（東，西側）及び区間-1（南側）のみ*）

$$M_{\max 2}=1/6 \cdot W \cdot L^2$$

$M_{\max 2}$ ：柱に生じる最大曲げモーメント（N・mm）

W：設計水平分布荷重（ $P_h + W_1$ ）（N/mm²）

L：柱の長さ（mm）

$$S_{\max 2}=1/2 \cdot W \cdot L$$

$S_{\max 2}$ ：柱に生じる最大せん断力（N）

W：設計水平分布荷重（ $P_h + W_1$ ）（N/mm²）

L：柱の長さ（mm）

注記*：区間-2の柱の応力はフレーム解析（FREMING）により算定する。

(3) はり（区間-1（東，西側）及び区間-1（南側），区間-2）

$$M_{\max 3}=1/8 \cdot W \cdot B \cdot L^2$$

$M_{\max 3}$ ：はりに生じる最大曲げモーメント（N・mm）

W：設計水平荷重（ $P_h + W_1 + F_s$ ）（N/mm²）

B：荷重の載荷幅（mm）

L：はりの長さ（mm）

$$S_{\max 3}=1/2 \cdot W \cdot B \cdot L$$

$S_{\max 3}$ ：はりに生じる最大せん断力（N）

W：設計水平分布荷重（ $P_h + W_1 + F_s$ ）（N/mm²）

B：荷重の載荷幅（mm）

L：はりの長さ（mm）

(4) ベースプレート（区間-1（東，西側）及び区間-1（南側））

（引張側）

$$M_{\max 4}=P \cdot L$$

$M_{\max 4}$ ：ベースプレート引張側の最大曲げモーメント（N・mm）

P：アンカーボルト1本あたりの引張力（N）

L：柱からアンカーボルト間の長さ（mm）

$$S_{\max 4}=P$$

$S_{\max 4}$ ：ベースプレート引張側の最大せん断力（N）

P：アンカーボルト1本あたりの引張力（N）

（押込側）

$$M_{\max 5}=M_{x 1} \cdot W_c \cdot L_x \cdot L_x$$

$M_{\max 5}$ ：ベースプレート押込側の最大曲げモーメント（N・mm）

$M_{x 1}$ ：等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_c ：コンクリートの曲げ圧縮応力度（N/mm²）

L_x ：ベースプレートの版の短辺長（mm）

$$S_{\max 5}=W_c \cdot A$$

$S_{\max 5}$ ：ベースプレート押込側の最大せん断力（N）

W_c ：コンクリートの曲げ圧縮応力度（N/mm²）

A：押込み側ベースプレートの断面積（mm²）

(5) ベースプレート (区間-2)

(引張側)

$$M_{\max 4} = P \cdot L$$

$M_{\max 4}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (N・mm)

P : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (N)

L : 柱からアンカーボルト間の長さ (mm)

$$S_{\max 4} = P$$

$S_{\max 4}$: ベースプレート引張側の最大せん断力 (N)

P : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (N)

(押込側)

$$M_{\max 5} = M_{x1} \cdot W_c \cdot L_x \cdot L_x$$

$M_{\max 5}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm)

M_{x1} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_c : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_x : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

$$S_{\max 5} = Q_{y1} \cdot W_c \cdot L_x$$

$S_{\max 5}$: ベースプレート押込み側の最大せん断力 (N)

Q_{y1} : 等分布荷重によるせん断応力算定用の係数

W_c : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_x : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

(6) アンカーボルト（区間-1（東，西側）及び区間-1（南側），区間-2）

$$P = V / N - M \cdot X_i / \sum n \cdot X_i^2$$

P：アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

V：最大鉛直荷重 (kN)

N：アンカーボルト全本数 (本)

M：最大曲げモーメント (kN・m)

X_i ：偏心距離 (m)

$\sum n \cdot X_i^2$ ：2 次モーメントの合計値 (m²)

$$Q = S_{\max 6} / N$$

Q：アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

$S_{\max 6}$ ：アンカーボルトに生じる最大せん断力 (kN)

N：アンカーボルト全本数 (本)

さらに，照査においては以下を確認する。

$$(P / P_a)^2 + (Q / Q_a)^2 \leq 1$$

P：アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

Q：アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

P_a ：アンカーボルトの許容引張力 (kN)

Q_a ：アンカーボルトの許容せん断力 (kN)

4.3.3 断面検定

(1) 鋼板

a. 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる曲げ応力度は、応力解析により求めた鋼板の最大曲げモーメントを用い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。

$$\sigma_{b1} = M_{\max1} / Z_1$$

σ_{b1} : 鋼板の曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max1}$: 鋼板に生じる曲げモーメント (N・mm)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

(2) 柱

a. 曲げ応力度に対する検定

柱に生じる曲げ応力度は、応力解析により求めた柱の最大曲げモーメントを用いて次式により算出し、柱の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{b2} = M_{\max2} / Z_2$$

σ_{b2} : 柱の曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max2}$: 柱に生じる曲げモーメント (N・mm)

Z_2 : 柱の断面係数 (mm³)

b. せん断応力度に対する検定

柱に生じるせん断応力度は、応力解析により求めた柱のせん断力を用いて次式により算出し、柱の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_2 = S_{\max2} / (h_{w2} \cdot t_2)$$

τ_2 : 柱のせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max2}$: 柱に生じるせん断力 (N)

h_{w2} : 柱のウェブ高さ (mm)

t_2 : 柱のウェブ厚さ (mm)

c. 圧縮応力度に対する検定

圧縮応力度については、区間-2のみ検定を行う。圧縮力についてはフレーム解析 (F R E M I N G) により算定する。

$$\sigma_c = N_{\max} / A_2$$

σ_c : 柱の圧縮応力度 (N/mm²)

N_{\max} : 柱の圧縮力 (N)

A_2 : 柱の断面積 (mm²)

d. 曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する検定

柱に生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容引張応力度を下回ることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_c)^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq f_t$$

σ_{b2} : 柱の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_c : 柱の圧縮応力度 (N/mm²)

τ_2 : 柱のせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

e. 曲げ応力度と圧縮応力度の組合せに対する検定

柱に生じる曲げ応力度と圧縮応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、1を下回ることを確認する。

$$(\sigma_{b2}/f_b) + (\sigma_c/f_c) \leq 1$$

σ_{b2} : 柱の曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_c : 柱の圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

(3) はり

a. 軸応力度に対する検定

はりに生じる軸応力度は、応力解析により求めたはりの軸力を用いて次式により算出し、はりの短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{b3} = M_{\max3} / Z$$

σ_{b3} : はりの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりに生じる曲げモーメント (N・mm)

Z_3 : はりの断面係数 (mm³)

b. せん断応力度に対する検定

$$\tau_3 = S_{\max3} / (h_3 \cdot t_3)$$

τ_3 : はりのせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max3}$: はりのせん断力 (N)

h_3 : はりのせん断負担幅 (mm)

t_3 : プレート厚 (mm)

(4) ベースプレート

a. 曲げ応力度に対する検定

ベースプレートに生じる曲げ応力度は、応力解析により求めたベースプレートの最大曲げモーメントを用いて次式により算出し、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。

$$\sigma_{b4} = M_{\max4} / Z_4 \text{ (引張側)}$$

$$\sigma_{b4} = 6 \times M_{\max5} / t_4^2 \text{ (押込側)}$$

σ_{b4} : ベースプレートの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (N・mm)

Z_4 : ベースプレートの断面係数 (mm³)

$M_{\max5}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

b. せん断応力度に対する検定

ベースプレートに生じるせん断応力度は、応力解析により求めたベースプレートのせん断力を用いて次式により算出し、ベースプレートの短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

(区間-1 (東, 西側) 及び区間-1 (南側))

$$\tau_4 = S_{\max} / (t_4 \cdot B_1) \text{ (引張側, 押込側)}$$

(区間-2)

$$\tau_4 = S_{\max} / (t_4 \cdot B_1) \text{ (引張側)}$$

$$\tau_4 = S_{\max} / A_4 \text{ (押込側)}$$

τ_4 : ベースプレートのせん断応力度 (N/mm²)

S_{\max} : ベースプレートに生じるせん断力 (N)

($S_{\max 4}$ または $S_{\max 5}$)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_1 : 部材断面有効幅 (mm)

A_4 : 部材の断面積 (mm²/mm)

c. 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

ベースプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq f_t$$

σ_4 : ベースプレートの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : ベースプレートのせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

4.3.4 評価条件

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の強度評価に用いる入力値を表 4-7～表 4-9 に示す。

表 4-7 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の強度評価に用いる入力値
(区間-1 (東, 西側)) (1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	ρ	t/m ³	水の単位体積重量	1.03
	h_1	mm	水圧作用高さ	2000
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	h_2	mm	風荷重作用高さ	0
鋼板	M_{max1}	N・mm	鋼板に生じる曲げモーメント	240000
	W	N/mm ²	設計水平分布荷重	0.0171
	B	mm	荷重の載荷幅	1000
	L	mm	鋼板の長さ	335
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	1.35×10 ⁴
柱	M_{max2}	N・mm	柱に生じる曲げモーメント	20.20×10 ⁶
	W	N/mm	設計水平等分布荷重	2.57
	L	mm	部材長	2000
	S_{max2}	N	柱に生じるせん断力	30300
	Z_2	mm ³	柱の断面係数	4.72×10 ⁵
	h_{w2}	mm	柱のウェブ高さ	176
	t_2	mm	柱のウェブ厚さ	8
はり	M_{max3}	N・mm	はりに生じる曲げモーメント	1.21×10 ⁶
	W	N/mm ²	設計水平分布荷重	0.01865
	B	mm	荷重の載荷幅	308
	L	mm	はりの長さ	1300
	S_{max3}	N	はりに生じるせん断力	3730
	Z_3	mm ³	はりの断面係数	7960
	h_3	mm	せん断負担幅	273
	t_3	mm	プレート厚	9

表 4-7 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の強度評価に用いる入力値
(区間-1 (東, 西側)) (2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
ベースプレート	$M_{\max 4}$	N・mm	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント	1.62×10^6
	P	N	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	28980
	L	m	部材長	0.056
	$S_{\max 4}$	N	ベースプレート引張側の最大せん断力	28980
	$M_{\max 5}$	N・mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント	17025
	$M_{x 1}$	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.399
	W_c	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度	4.63
	L_x	mm	ベースプレートの版の短辺長	96
	$S_{\max 5}$	N	ベースプレート押込側の最大せん断力	66672
	A	mm ²	押込み側ベースプレート面積	14400
	Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数	1.36×10^4
	t_4	mm	プレート厚	25
	B_1	mm	部材断面有効幅	131
アンカーボルト	P	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	28.98
	V	kN	最大鉛直荷重	0
	N	本	アンカーボルト全本数	4
	M	kN・m	最大曲げモーメント	20.20
	X_i	m	偏心距離	0.175
	$\sum n \cdot X_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値	0.122
	Q	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力	7.58
	$S_{\max 6}$	kN	柱に生じる最大せん断力	30.30
	P_a	kN	アンカーボルトの許容引張力	41
	Q_a	kN	アンカーボルトの許容せん断力	34

表 4-8 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の強度評価に用いる入力値
(区間-1 (南側)) (1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	ρ	t/m ³	水の単位体積重量	1.03
	h_1	mm	水圧作用高さ	2000
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	h_2	mm	風荷重作用高さ	0
鋼板	$M_{\max 1}$	N・mm	鋼板に生じる曲げモーメント	240000
	W	N/mm ²	設計水平分布荷重	0.0171
	B	mm	荷重の載荷幅	1000
	L	mm	鋼板の長さ	335
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	1.35×10 ⁴
柱	$M_{\max 2}$	N・mm	柱に生じる曲げモーメント	20.20×10 ⁶
	W	N/mm	設計水平等分布荷重	2.57
	L	mm	部材長	2000
	$S_{\max 2}$	N	柱に生じるせん断力	30300
	Z_2	mm ³	柱の断面係数	4.72×10 ⁵
	h_{w2}	mm	柱のウェブ高さ	176
	t_2	mm	柱のウェブ厚さ	8
はり	$M_{\max 3}$	N・mm	はりに生じる曲げモーメント	1.21×10 ⁶
	W	N/mm ²	設計水平分布荷重	0.01865
	B	mm	荷重の載荷幅	308
	L	mm	はりの長さ	1300
	$S_{\max 3}$	N	はりに生じるせん断力	3730
	Z_3	mm ³	はりの断面係数	7960
	h_3	mm	せん断負担幅	273
	t_3	mm	プレート厚	9

表 4-8 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の強度評価に用いる入力値
(区間-1 (南側)) (2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
ベースプレート	M_{max4}	N・mm	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント	1.45×10^6
	P	N	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	36260
	L	m	部材長	0.040
	S_{max4}	N	ベースプレート引張側の最大せん断力	36260
	M_{max5}	N・mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント	18469
	M_{x1}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.300
	W_c	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度	6.68
	L_x	mm	ベースプレートの版の短辺長	96
	S_{max5}	N	ベースプレート押込側の最大せん断力	64128
	A	mm ²	押込み側ベースプレート面積	9600
	Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数	1.18×10^4
	t_4	mm	プレート厚	28
B_1	mm	部材断面有効幅	90	
アンカーボルト	P	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	36.26
	V	kN	最大鉛直荷重	0
	N	本	アンカーボルト全本数	6
	M	kN・m	最大曲げモーメント	20.20
	X_i	m	偏心距離	0.140
	$\sum n \cdot X_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値	0.078
	Q	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力	5.05
	S_{max6}	kN	柱に生じる最大せん断力	30.30
	P_a	kN	アンカーボルトの許容引張力	63
	Q_a	kN	アンカーボルトの許容せん断力	8

表 4-9 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の強度評価に用いる入力値
(区間-2) (1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	ρ	t/m ³	水の単位体積重量	1.03
	h_1	mm	水圧作用高さ	2000
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	h_2	mm	風荷重作用高さ	0
鋼板	$M_{\max 1}$	N・mm	鋼板に生じる曲げモーメント	980000
	W	N/mm ²	設計水平分布荷重	0.0123
	B	mm	荷重の載荷幅	1000
	L	mm	鋼板の長さ	800
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	9.60×10^4
柱	$M_{\max 2}$	N・mm	柱に生じる曲げモーメント	16.19×10^6
	$S_{\max 2}$	N	柱に生じるせん断力	21210
	Z_2	mm ³	柱の断面係数	2.28×10^6
	h_{w2}	mm	柱のウェブ高さ	312
	t_2	mm	柱のウェブ厚さ	12
	N_{\max}	N	柱の圧縮力	14280
	A	mm ²	柱の断面積	17190
はり	$M_{\max 3}$	N・mm	はりに生じる曲げモーメント	7.5×10^5
	W	N/mm ²	設計水平分布荷重	0.01625
	B	mm	荷重の載荷幅	750
	L	mm	はりの長さ	700
	$S_{\max 3}$	N	はりに生じるせん断力	4270
	Z_3	mm ³	はりの断面係数	6.26×10^3
	h_3	mm	せん断負担幅	750
	t_3	mm	プレート厚	24

表 4-9 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の強度評価に用いる入力値
(区間-2) (2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
ベースプレート	M_{max4}	N・mm	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント	790000
	P	N	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	7880
	L	m	部材長	0.100
	S_{max4}	N	ベースプレート引張側の最大せん断力	7880
	M_{max5}	N・mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント	2778
	M_{x1}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.343
	Q_{y1}	—	等分布荷重によるせん断応力算定用の係数	1.02
	W_c	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度	0.81
	L_x	mm	ベースプレートの版の短辺長	100
	S_{max5}	N	ベースプレート押込側の最大せん断力	83
	A	mm ²	押込み側ベースプレート面積	32
	Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数	3.84×10^4
	t_4	mm	プレート厚	32
B_1	mm	部材断面有効幅	225	
アンカーボルト	P	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	-7.88
	V	kN	最大鉛直荷重	14.28
	N	本	アンカーボルト全本数	5
	M	kN・m	最大曲げモーメント	16.19
	X_i	m	偏心距離	0.199
	$\sum n \cdot X_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値	0.300
	Q	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力	4.24
	S_{max6}	kN	柱に生じる最大せん断力	21.21
	P_a	kN	アンカーボルトの許容引張力	82
	Q_a	kN	アンカーボルトの許容せん断力	29

5. 評価結果

図 5-1 に示す防水壁の各部材毎に検定比が最大となる代表部材について、健全性評価結果を表 5-1 に示す。

発生応力度は許容限界以下であり、発生を想定する溢水による静水压荷重に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-1(1) 構造部材の健全性評価結果
(ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁)

評価対象部位		発生値 (応力度又は 荷重)		許容限界値		発生値 ／許容 限界値
鋼板	曲げ	88	N/mm ²	235	N/mm ²	0.38
はり	曲げ (強軸)	21	N/mm ²	187	N/mm ²	0.12
	曲げ (弱軸)	23	N/mm ²	235	N/mm ²	0.10
	せん断	7	N/mm ²	135	N/mm ²	0.06
	圧縮	1	N/mm ²	93	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.24
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	47	N/mm ²	235	N/mm ²	0.20
胴縁	曲げ	25	N/mm ²	235	N/mm ²	0.11
	せん断	6	N/mm ²	135	N/mm ²	0.05
柱	曲げ (強軸)	1	N/mm ²	219	N/mm ²	0.01
	曲げ (弱軸)	11	N/mm ²	235	N/mm ²	0.05
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
	圧縮	3	N/mm ²	177	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.08
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	16	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07
ブレース	引張	1	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
アンカーボルト	せん断	1	kN	14	kN	0.08

表 5-1(2) 構造部材の健全性評価結果
 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁)

評価対象部位		発生値 (応力度又は 荷重)		許容限界値		発生値 /許容 限界値
鋼板	曲げ	88	N/mm ²	235	N/mm ²	0.38
はり	曲げ (強軸)	21	N/mm ²	187	N/mm ²	0.12
	曲げ (弱軸)	23	N/mm ²	235	N/mm ²	0.10
	せん断	6	N/mm ²	135	N/mm ²	0.05
	圧縮	1	N/mm ²	93	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.24
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	47	N/mm ²	235	N/mm ²	0.20
胴縁	曲げ	25	N/mm ²	235	N/mm ²	0.11
	せん断	6	N/mm ²	135	N/mm ²	0.05
柱	曲げ (強軸)	1	N/mm ²	219	N/mm ²	0.01
	曲げ (弱軸)	11	N/mm ²	235	N/mm ²	0.05
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
	圧縮	3	N/mm ²	177	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.08
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	16	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07
ブレース	引張	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
アンカーボルト	せん断	4	kN	50	kN	0.08

表 5-1(3) 構造部材の健全性評価結果
 (取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁 (区間-1 (東, 西側)))

評価対象部位			発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値 /許容 限界値
鋼板	SS400	曲げ	18	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
柱	SS400	曲げ	43	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19
		せん断	22	N/mm ²	135	N/mm ²	0.17
		組合せ (曲げ+せん断)	57	N/mm ²	235	N/mm ²	0.25
はり	SS400	曲げ	153	N/mm ²	235	N/mm ²	0.66
		せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
ベース プレート	SS400	曲げ (引張側)	120	N/mm ²	235	N/mm ²	0.52
		せん断 (引張側)	9	N/mm ²	135	N/mm ²	0.07
		組合せ (曲げ+せん断) (引張側)	121	N/mm ²	235	N/mm ²	0.52
		曲げ (押込側)	164	N/mm ²	235	N/mm ²	0.70
		せん断 (押込側)	21	N/mm ²	135	N/mm ²	0.16
		組合せ (曲げ+せん断) (押込側)	168	N/mm ²	235	N/mm ²	0.72
アンカー ボルト	SUS304	せん断	8	kN	34	kN	0.24
		引張	29	kN	41	kN	0.71
		組合せ (せん断+引張)	—	—	—	—	0.55

表 5-1(4) 構造部材の健全性評価結果
 (取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁 (区間-1 (南側)))

評価対象部位			発生値 (応力度又は荷重)		許容限界値		発生値 ／許容 限界値
鋼板	SS400	曲げ	18	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
柱	SS400	曲げ	43	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19
		せん断	22	N/mm ²	135	N/mm ²	0.17
		組合せ (曲げ+せん断)	57	N/mm ²	235	N/mm ²	0.25
はり	SS400	曲げ	153	N/mm ²	235	N/mm ²	0.66
		せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
ベース プレート	SS400	曲げ (引張側)	123	N/mm ²	235	N/mm ²	0.53
		せん断 (引張側)	15	N/mm ²	135	N/mm ²	0.12
		組合せ (曲げ+せん断) (引張側)	126	N/mm ²	235	N/mm ²	0.54
		曲げ (押込側)	142	N/mm ²	235	N/mm ²	0.61
		せん断 (押込側)	26	N/mm ²	135	N/mm ²	0.20
		組合せ (曲げ+せん断) (押込側)	149	N/mm ²	235	N/mm ²	0.64
アンカー ボルト	SUS304	せん断	6	kN	8	kN	0.75
		引張	37	kN	63	kN	0.59
		組合せ (せん断+引張)	—	—	—	—	0.73

表 5-1(5) 構造部材の健全性評価結果
 (取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁 (区間-2))

評価対象部位			発生値 (応力度又は 荷重)		許容限界値		発生値 /許容 限界値
鋼板	SS400	曲げ	11	N/mm ²	235	N/mm ²	0.05
柱	SS400	曲げ	8	N/mm ²	235	N/mm ²	0.04
		圧縮	1	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
		せん断	6	N/mm ²	135	N/mm ²	0.05
		組合せ (曲げ+せん断+軸力)	13	N/mm ²	235	N/mm ²	0.06
		組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.03
		はり	SS400	曲げ	120	N/mm ²	235
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
ベース プレート	SS400	曲げ (引張側)	21	N/mm ²	235	N/mm ²	0.09
		せん断 (引張側)	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
		組合せ (曲げ+せん断) (引張側)	21	N/mm ²	235	N/mm ²	0.09
		曲げ (押込側)	17	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
		せん断 (押込側)	3	N/mm ²	135	N/mm ²	0.03
		組合せ (曲げ+せん断) (押込側)	17	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
		アンカー ボルト	SD295	せん断	5	kN	29
引張	8	kN		82	kN	0.10	
組合せ (せん断+引張)	—	—		—	—	0.03	

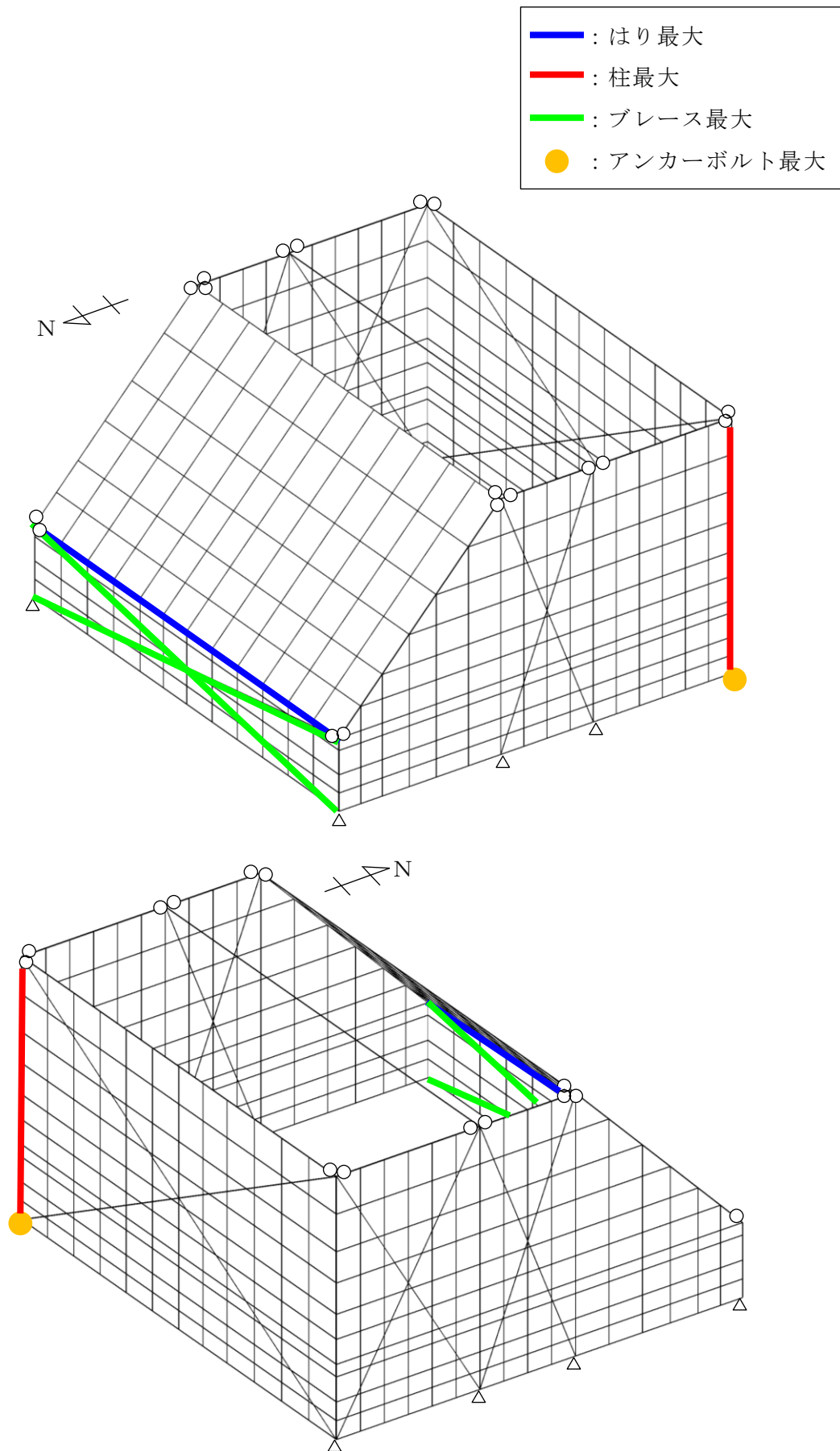


図 5-1(1) 最大検定比箇所 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁)

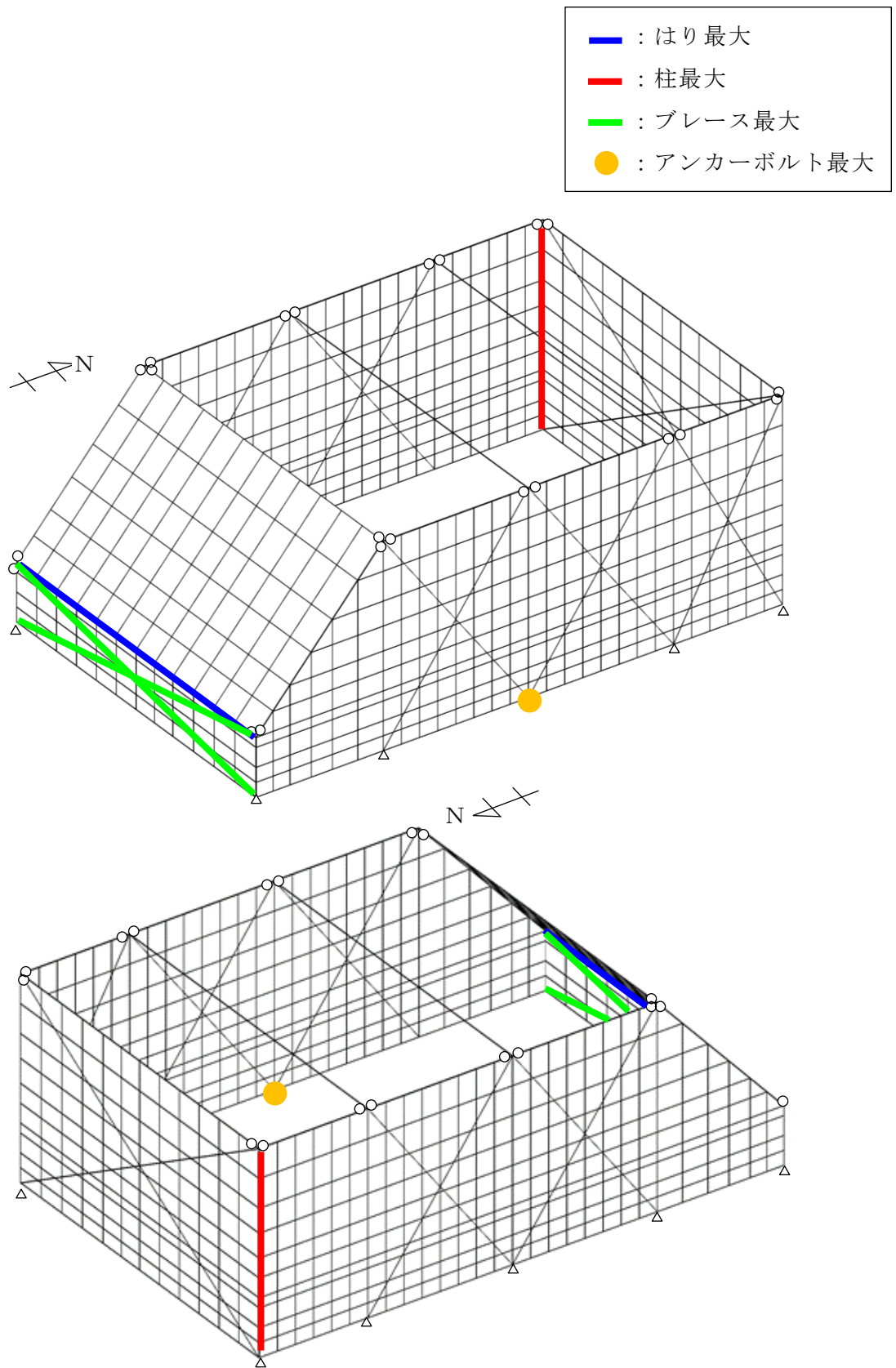


図 5-1(2) 最大検定比箇所 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁)

VI-3-別添 3-4-2 水密扉の強度計算書（溢水）

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	検討対象水密扉一覧	2
2.2	配置概要	4
2.3	構造計画	17
2.4	評価方針	23
2.5	適用規格・基準等	25
2.6	記号の説明	26
3.	強度評価	32
3.1	タイプⅠ	32
3.1.1	評価対象部位	32
3.1.2	荷重及び荷重の組合せ	36
3.1.3	許容限界	38
3.1.4	評価方法	40
3.1.5	評価条件	48
3.2	タイプⅡ	49
3.2.1	評価対象部位	49
3.2.2	荷重及び荷重の組合せ	52
3.2.3	許容限界	55
3.2.4	評価方法	57
3.2.5	評価条件	62
3.3	タイプⅢ	63
3.3.1	評価対象部位	63
3.3.2	荷重及び荷重の組合せ	65
3.3.3	許容限界	66
3.3.4	評価方法	68
3.3.5	評価条件	71
3.4	タイプⅣ	72
3.4.1	評価対象部位	72
3.4.2	荷重及び荷重の組合せ	74
3.4.3	許容限界	76
3.4.4	評価方法	78
3.4.5	評価条件	88
4.	評価結果	89

1. 概要

本計算書は、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、溢水防護設備である原子炉建物水密扉、タービン建物水密扉、廃棄物処理建物水密扉、ディーゼル燃料移送ポンプエリア水密扉、制御室建物水密扉、サイトバンカ建物水密扉、取水槽海水ポンプエリア水密扉、復水貯蔵タンク水密扉、補助復水貯蔵タンク水密扉、トーラス水受入タンク水密扉及び屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）水密扉（以下「水密扉」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 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象水密扉一覧 (1/2)

水密扉 No.	扉名称	設置高さ
		EL (m)
1	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉	2.6
2	原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉	1.3
3	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北東水密扉	1.3
4	原子炉建物地下 2 階 トーラス室南東水密扉	1.3
5	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北西水密扉	1.3
6	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉	2.8
7	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉	2.6
8	原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉	1.3
9	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉	2.8
10	原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉	1.3
11	原子炉建物地下 2 階 トーラス室南西水密扉	1.3
12	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (南側)	8.8
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	8.8
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	8.8
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室)	8.8
16	原子炉建物地下 1 階 東側エアロック前水密扉	8.8
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	15.3
18	原子炉建物 1 階 大物搬入口水密扉*	15.3
19	タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉	2.65
20	タービン建物 1 階 西側エアロック前水密扉	8.8
21	タービン建物 2 階 常用電気室南側水密扉	12.5
22	タービン建物 2 階 大物搬入口水密扉	12.5
23	タービン建物 2 階 離相母線室南側水密扉	12.5
24	廃棄物処理建物地下 1 階 被服置場北側水密扉	8.8
25	廃棄物処理建物 1 階 大物搬入口水密扉	15.3
26	廃棄物処理建物 1 階 ドラム缶搬入口水密扉	15.3
27	廃棄物処理建物 2 階 非常用再循環送風機室東側水密扉	25.3
28	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉	8.7

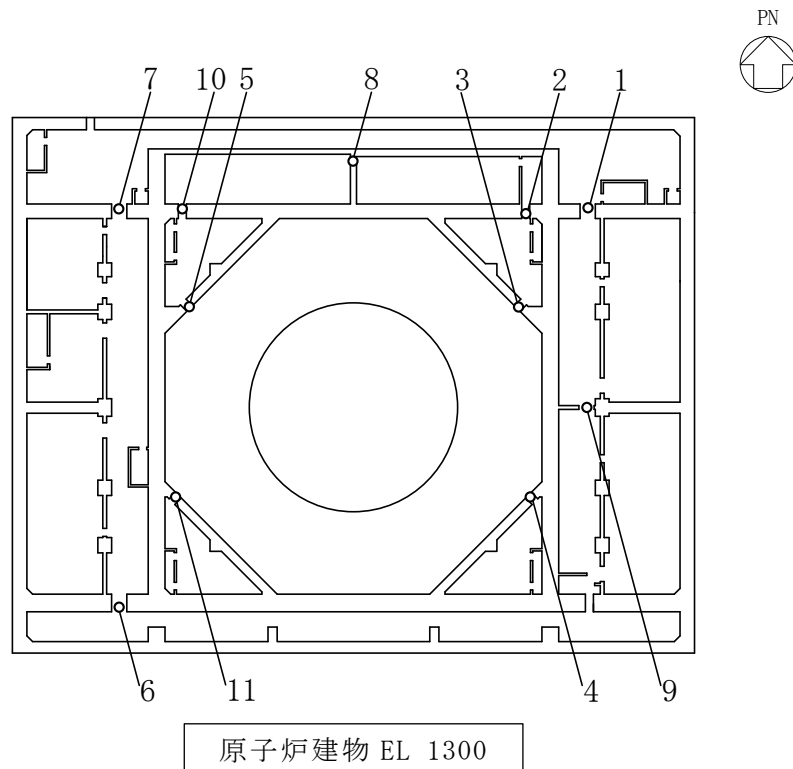
表 2-1 検討対象水密扉一覧 (2/2)

水密扉 No.	扉名称	設置高さ
		EL (m)
29	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側水密扉	8.7
30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	8.8
31	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	8.8
32	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	1.1
33	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	1.1
34	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	1.1
35	復水貯蔵タンク水密扉	16.1
36	補助復水貯蔵タンク水密扉	16.1
37	トーラス水受入タンク水密扉	16.1
38	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 水密扉	11.261

注記* : 原子炉建物 1 階大物搬入口水密扉の耐震性評価は, VI-2-9-3-2 「原子炉建物機器搬出入口の耐震性についての計算書」で示しているため, 強度計算書 (溢水) のみに記載している。

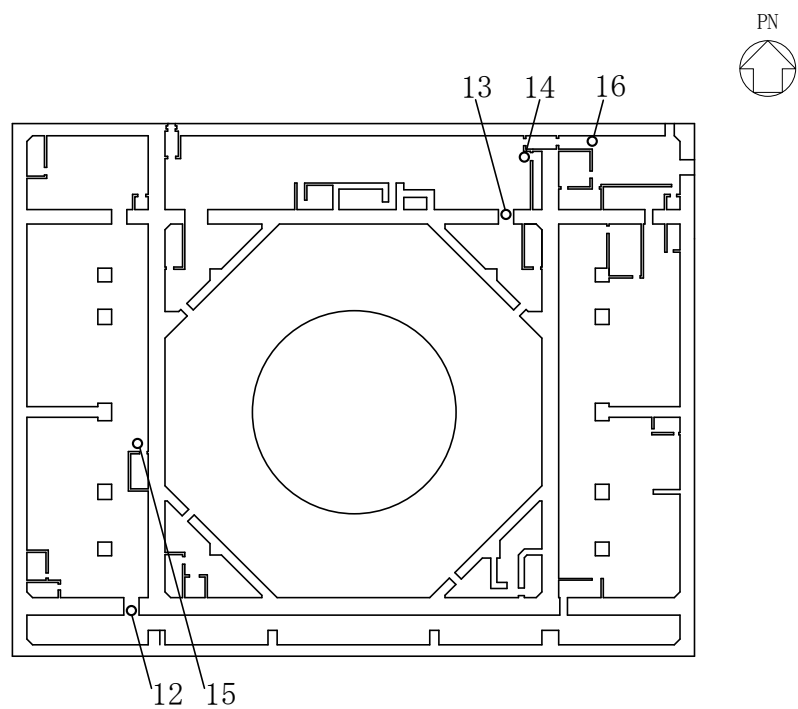
2.2 配置概要

原子炉建物水密扉の設置位置図を図 2-1 に，タービン建物水密扉の設置位置図を図 2-2 に，廃棄物処理建物水密扉の設置位置図を図 2-3 に，ディーゼル燃料移送ポンプエリア水密扉の設置位置図を図 2-4 に，制御室建物水密扉の設置位置図を図 2-5 に，サイトバンカ建物水密扉の設置位置図を図 2-6 に，取水槽海水ポンプエリア水密扉を図 2-7 に，復水貯蔵タンク水密扉，補助復水貯蔵タンク水密扉，トールス水受入タンク水密扉及び屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）水密扉の設置位置図を図 2-8 に示す。



1	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉
2	原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉
3	原子炉建物地下 2 階 トールス室北東水密扉
4	原子炉建物地下 2 階 トールス室南東水密扉
5	原子炉建物地下 2 階 トールス室北西水密扉
6	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉
7	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉
8	原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉
9	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉
10	原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉
11	原子炉建物地下 2 階 トールス室南西水密扉

図 2-1(1) 水密扉の設置位置図（原子炉建物 地下 2 階）



原子炉建物 EL 8800

12	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（南側）
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（階段室）
16	原子炉建物地下 1 階東側エアロック前水密扉

図 2-1(2) 水密扉の設置位置図（原子炉建物 地下 1 階）

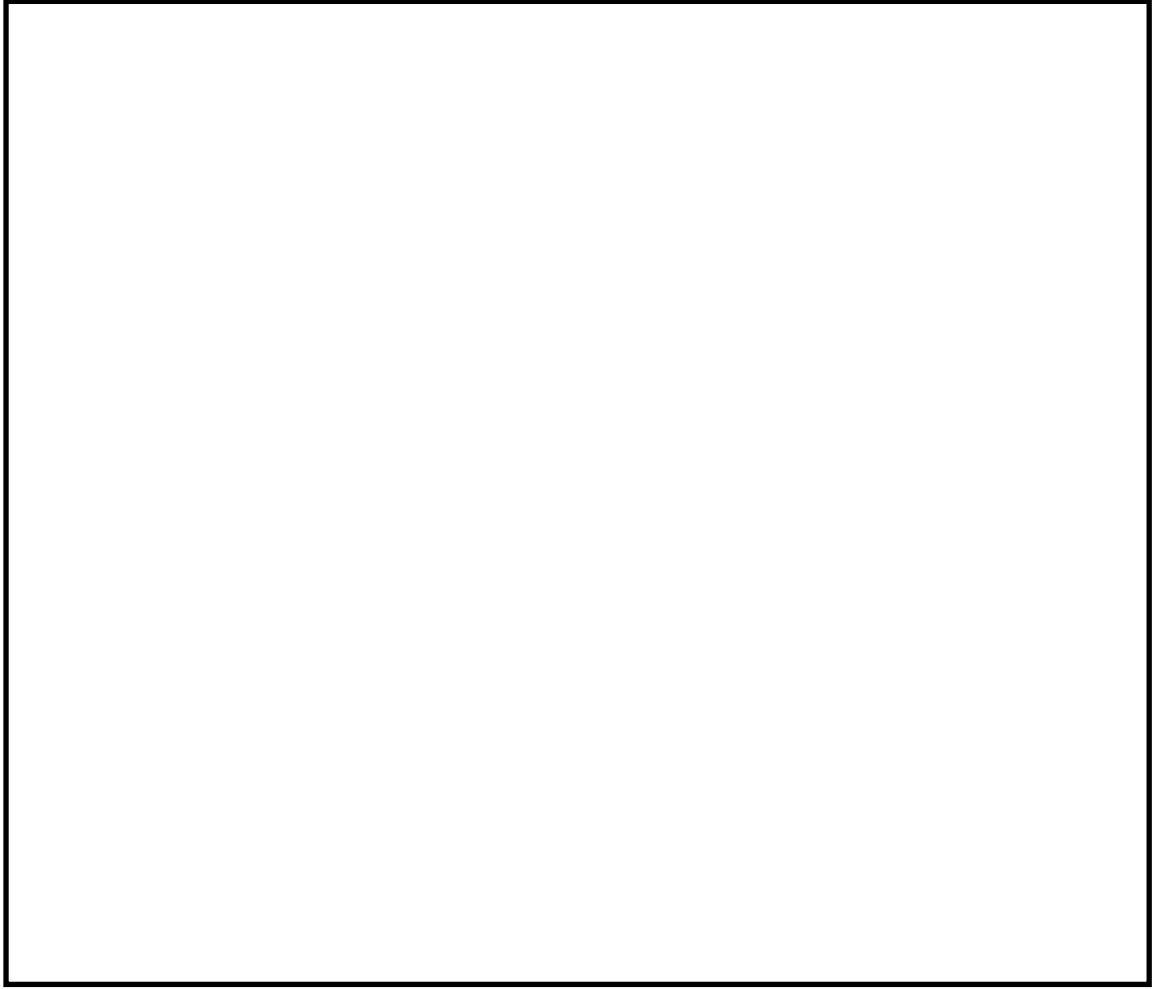
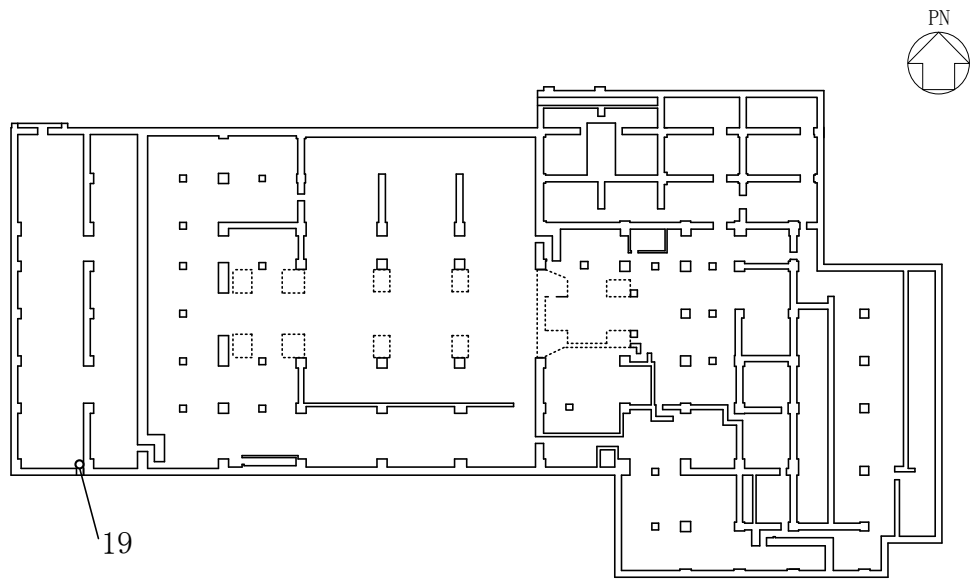


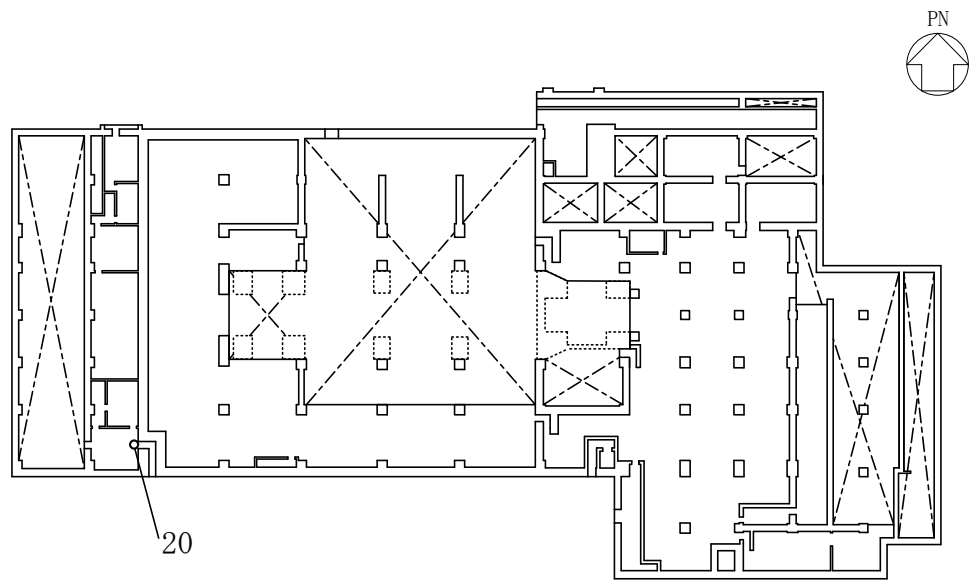
図 2-1(3) 水密扉の設置位置図 (原子炉建物 1階)



タービン建物 EL 2000

19	タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉
----	-----------------------------

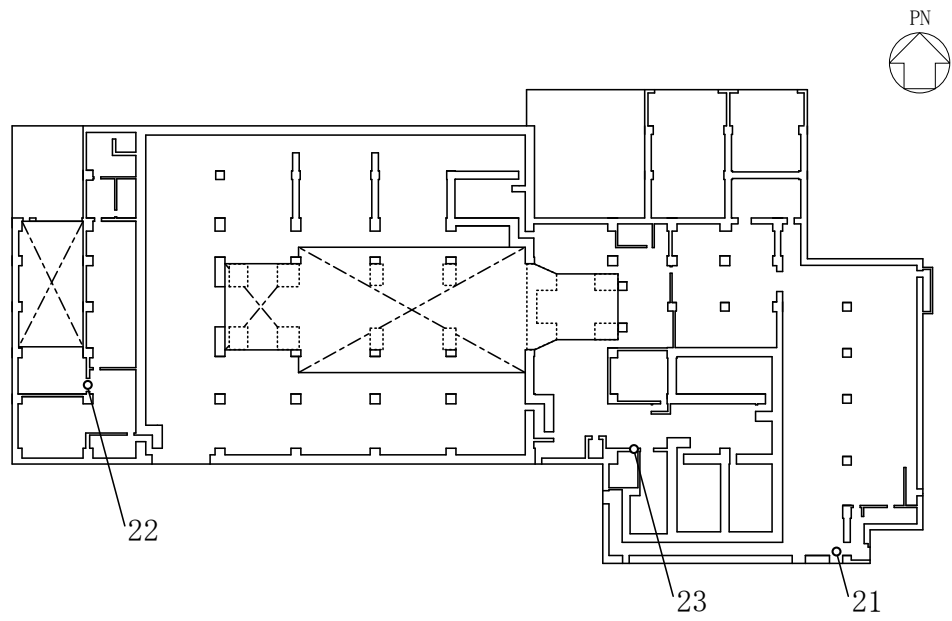
図 2-2(1) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 地下 1 階)



タービン建物 EL 5500

20	タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉
----	-----------------------

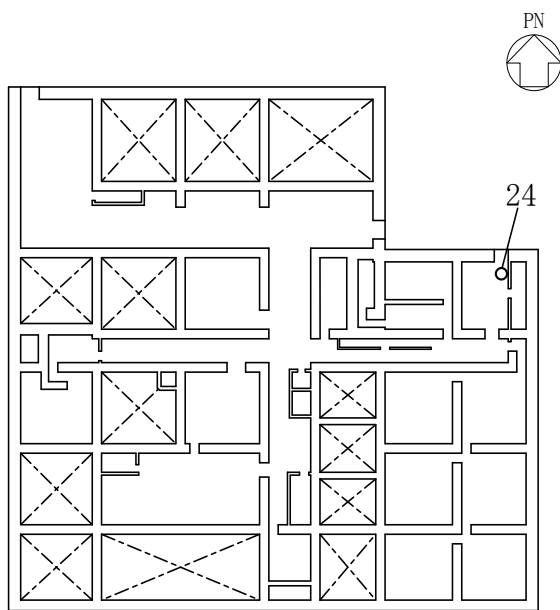
図 2-2(2) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 1 階)



タービン建物 EL 12500

21	タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉
22	タービン建物 2 階大物搬入口水密扉
23	タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉

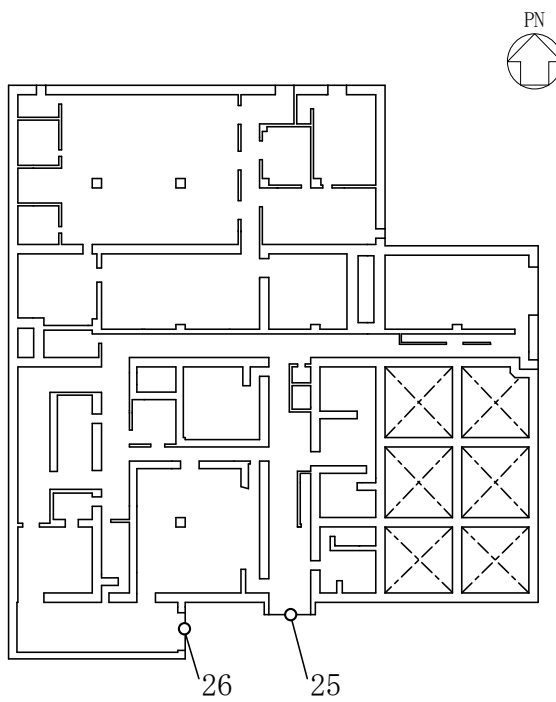
図 2-2(3) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 2 階)



廃棄物処理建物 EL 8800

24	廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉
----	------------------------

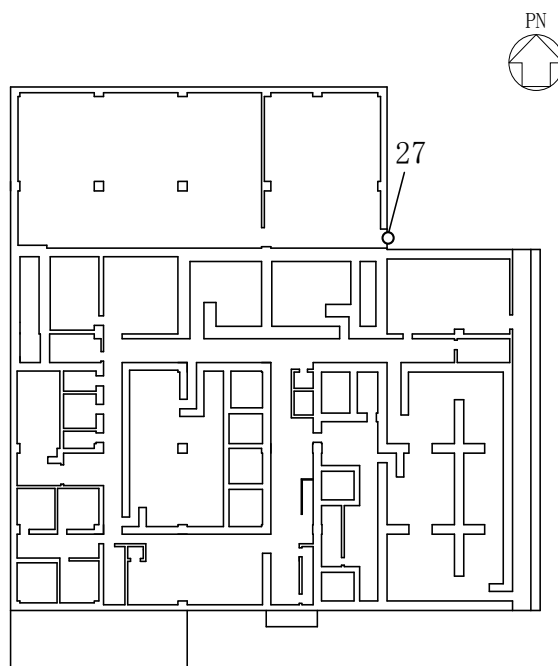
図 2-3(1) 水密扉の設置位置図 (廃棄物処理建物 地下 1 階)



廃棄物処理建物 EL 15300

25	廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉
26	廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉

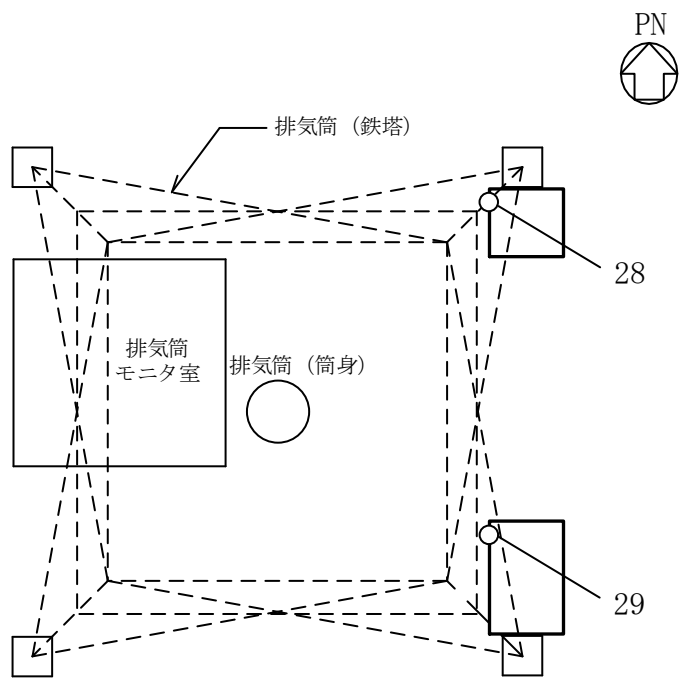
図 2-3(2) 水密扉の設置位置図 (廃棄物処理建物 1 階)



廃棄物処理建物 EL 22100

27	廃棄物処理建物 2 階非常用再循環送風機室東側水密扉
----	----------------------------

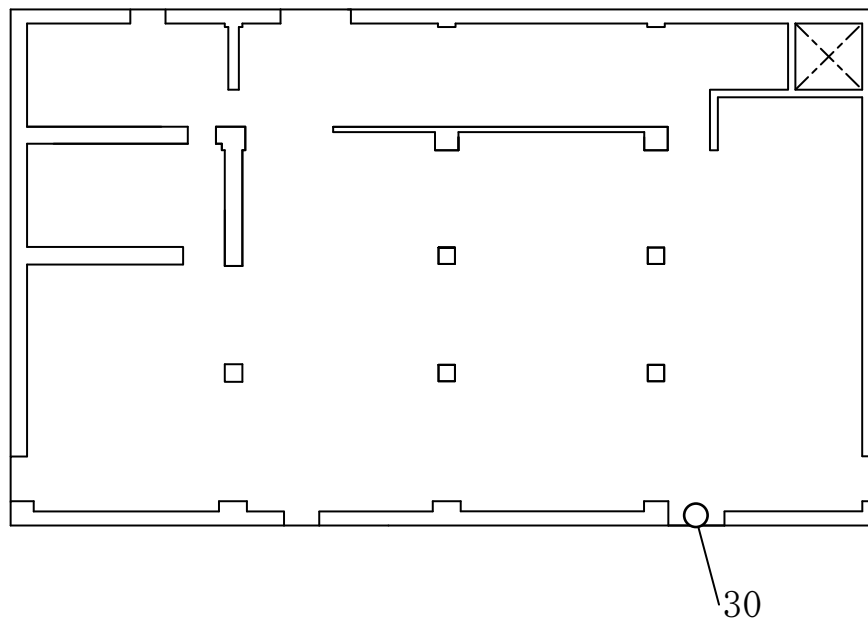
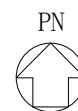
図 2-3(3) 水密扉の設置位置図 (廃棄物処理建物 2 階)



ディーゼル燃料移送ポンプエリア EL 8700

28	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉
29	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側水密扉

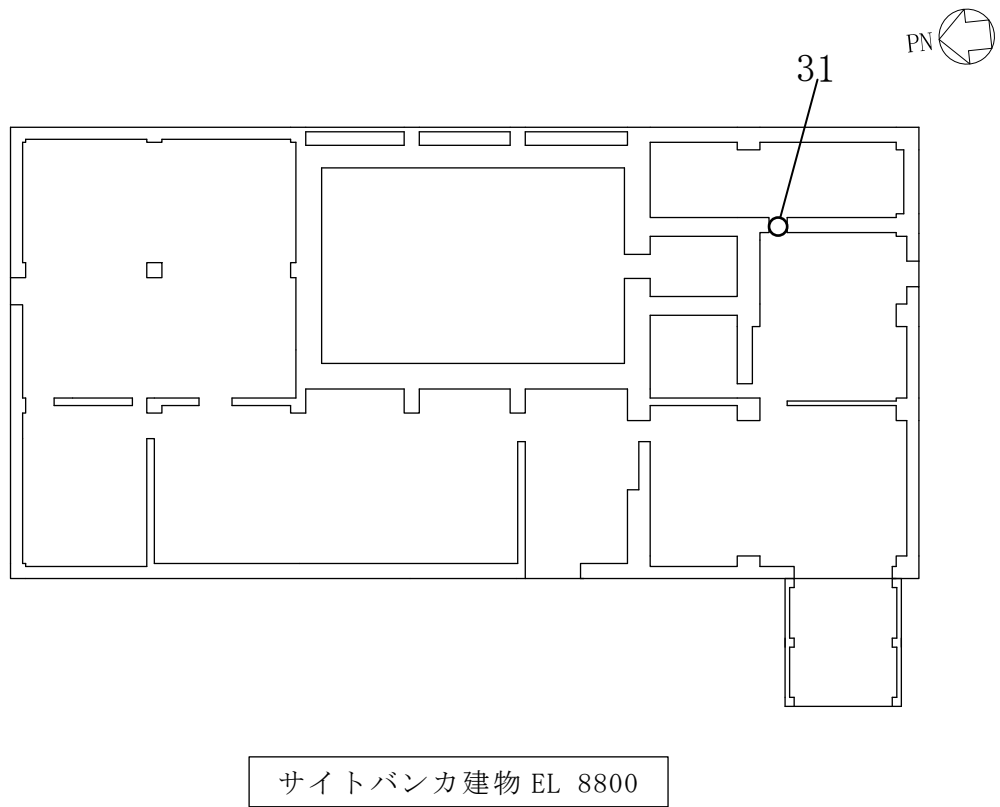
図 2-4 水密扉の設置位置図 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア)



制御室建物 EL 8800

30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉
----	------------------------

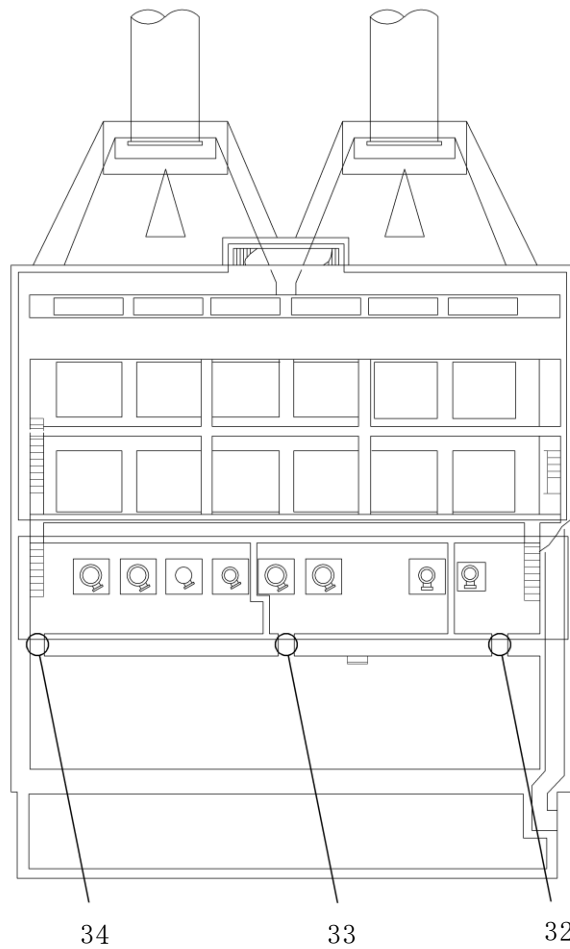
図 2-5 水密扉の設置位置図 (制御室建物 2 階)



31	サイトバンカ建物 1階南東側ポンプ室水密扉
----	-----------------------

図 2-6 水密扉の設置位置図 (サイトバンカ建物 1階)

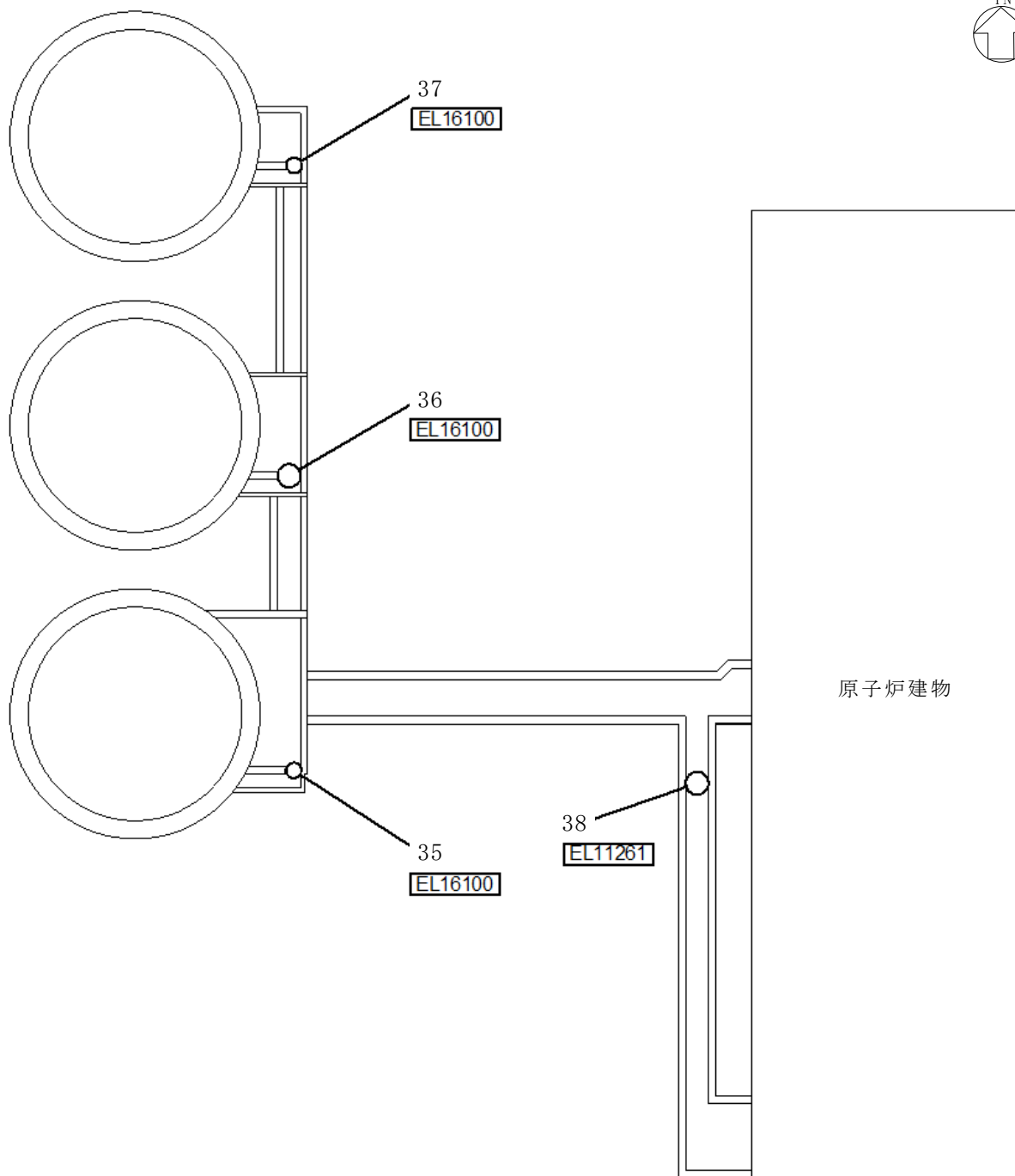
PN



取水槽 EL 1100

32	取水槽海水ポンプエリア水密扉（東）
33	取水槽海水ポンプエリア水密扉（中）
34	取水槽海水ポンプエリア水密扉（西）

図 2-7 水密扉の設置位置図（取水槽海水ポンプエリア）



35	復水貯蔵タンク水密扉
36	補助復水貯蔵タンク水密扉
37	トーラス水受入タンク水密扉
38	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 水密扉

図 2-8 水密扉の設置位置図 (復水貯蔵タンクエリア及び
屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) エリア)

2.3 構造計画

水密扉の構造は、タイプⅠ～タイプⅣに区分しており、各水密扉の構造タイプを表2-2、構造計画を表2-3～表2-6に示す。

表2-2 水密扉の構造タイプ一覧(1/2)

水密扉 No.	扉名称	構造タイプ
1	原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室北側水密扉	タイプⅡ
2	原子炉建物地下2階 A-RHR ポンプ室北側水密扉	タイプⅡ
3	原子炉建物地下2階 トーラス室北東水密扉	タイプⅡ
4	原子炉建物地下2階 トーラス室南東水密扉	タイプⅡ
5	原子炉建物地下2階 トーラス室北西水密扉	タイプⅡ
6	原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室南側水密扉	タイプⅡ
7	原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室北側水密扉	タイプⅡ
8	原子炉建物地下2階 RCIC ポンプ室西側水密扉	タイプⅠ
9	原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室南側水密扉	タイプⅠ
10	原子炉建物地下2階 C-RHR ポンプ室南側水密扉	タイプⅠ
11	原子炉建物地下2階 トーラス室南西水密扉	タイプⅡ
12	原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（南側）	タイプⅡ
13	原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室南側水密扉	タイプⅠ,Ⅳ
14	原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室東側水密扉	タイプⅠ,Ⅳ
15	原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（階段室）	タイプⅠ,Ⅳ
16	原子炉建物地下1階東側エアロック前水密扉	タイプⅡ
17	原子炉建物1階 RCW 熱交換器室南側水密扉	タイプⅠ,Ⅳ
18	原子炉建物1階大物搬入口水密扉	タイプⅠ
19	タービン建物地下1階 TCW 熱交換器室南側水密扉	タイプⅠ
20	タービン建物1階西側エアロック前水密扉	タイプⅠ
21	タービン建物2階常用電気室南側水密扉	タイプⅠ
22	タービン建物2階大物搬入口水密扉	タイプⅠ
23	タービン建物2階離相母線室南側水密扉	タイプⅠ
24	廃棄物処理建物地下1階被服置場北側水密扉	タイプⅡ,Ⅳ
25	廃棄物処理建物1階大物搬入口水密扉	タイプⅡ
26	廃棄物処理建物1階ドラム缶搬入口水密扉	タイプⅡ
27	廃棄物処理建物2階非常用再循環送風機室東側水密扉	タイプⅡ
28	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉	タイプⅢ

表 2-2 水密扉の構造タイプ一覧(2/2)

水密扉 No.	扉名称	構造タイプ
29	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側水密扉	タイプⅢ
30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	タイプⅠ,Ⅳ
31	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	タイプⅠ
32	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	タイプⅡ
33	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	タイプⅡ
34	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	タイプⅡ
35	復水貯蔵タンク水密扉	タイプⅡ
36	補助復水貯蔵タンク水密扉	タイプⅡ
37	トーラス水受入タンク水密扉	タイプⅡ
38	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 水密扉	タイプⅡ

表 2-3 水密扉の構造計画 (タイプ I)

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

S2 補 VI-3-別添 3-4-2 R1

表 2-4 水密扉の構造計画 (タイプ II)

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（回転形）により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（回転形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

表 2-5 水密扉の構造計画 (タイプⅢ)

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が鉄骨躯体に固定され、扉閉止時には、カンヌキ（レバー形）により扉と鉄骨躯体が一体化する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（レバー形）を鉄骨躯体に差込み、扉と鉄骨躯体を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

表 2-6 水密扉の構造計画 (タイプⅣ)

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉開放時には、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、カンヌキにより扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はパネル部へ接合される構造とする。また、パネル部はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>扉部と躯体との間にパネル部を有する構造とし、扉部とパネル部により構成する。扉部は片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉枠はパネル部と接合し、一体化させる構造とする。</p>	

S2 補 VI-3-別添 3-4-2 R1

2.4 評価方針

水密扉の強度評価は、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」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、水密扉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、各設備の「3. 強度評価」に示す方法により、水密扉のタイプごとに「3.1.5 評価条件」、「3.2.5 評価条件」、「3.3.5 評価条件」、「3.4.5 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、応力評価の確認結果を「4. 評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図 2-9 に示す。水密扉の強度評価においては、その構造を踏まえ、静水圧荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

(1) タイプ I

水密扉のタイプ I の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材、カンヌキの発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

(2) タイプ II

水密扉のタイプ II の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

(3) タイプ III

水密扉のタイプ III の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材の発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

(4) タイプ IV

水密扉のタイプ IV の強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、パネル部を構成するパネル板、柱、はり、パネル芯材の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

なお、扉部については、タイプ I 及びタイプ II に含めて評価する。

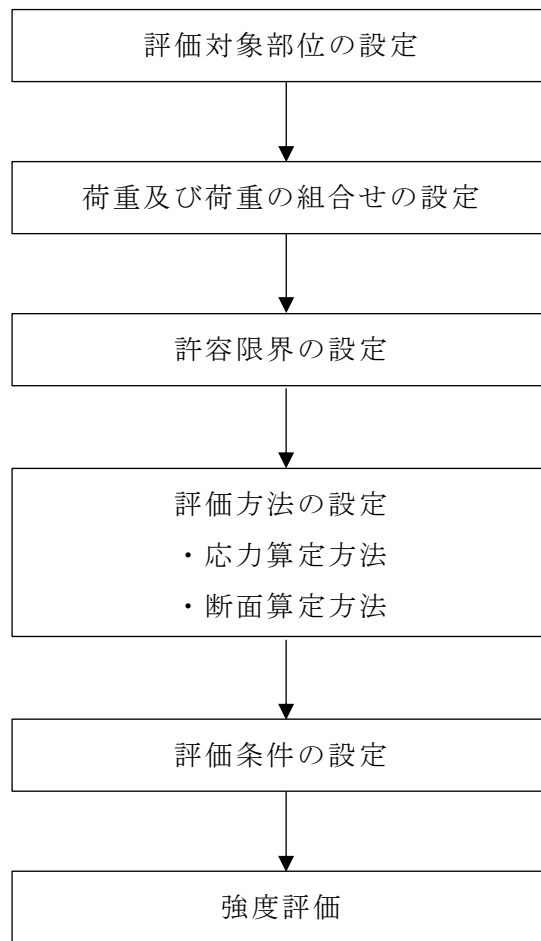


図 2-9 水密扉の強度評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (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) 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）
- (4) J I S G 4 3 0 3－2012 ステンレス鋼棒
- (5) J I S G 4 0 5 1－2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- (6) J I S G 4 0 5 3－2016 機械構造用合金鋼鋼材
- (7) J I S B 1 0 5 4－1－2013 耐食ステンレス鋼製締結用部品の機械的性質

2.6 記号の説明

水密扉の強度評価に用いる記号を表 2-7～表 2-10 に示す。

表 2-7 強度評価に用いる記号（タイプ I）（1/2）

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	水圧作用高さ
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	扉板の曲げモーメント
L_{11}	mm	扉板の長辺長さ
L_{12}	mm	扉板の短辺長さ
Z_1	mm^3/m	扉板の断面係数
σ_1	N/mm^2	扉板の曲げ応力度
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	芯材の曲げモーメント
Q_2	kN	芯材のせん断力
w_2	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
L_2	mm	芯材の支持スパン
b_2	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
Z_2	mm^3	芯材の断面係数
A_2	mm^2	芯材のせん断断面積
σ_2	N/mm^2	芯材の曲げ応力度
τ_2	N/mm^2	芯材のせん断応力度
R_3	kN	カンヌキに作用する荷重
P_3	kN	設計水圧荷重
n_3	本	カンヌキの本数
L_{31}	mm	躯体開口部の高さ
L_{32}	mm	躯体開口部の幅
M_4	$\text{kN} \cdot \text{m}$	カンヌキの曲げモーメント
Q_4	kN	カンヌキのせん断力
L_4	mm	カンヌキの突出長さ
Z_4	mm^3	カンヌキの断面係数
A_4	mm^2	カンヌキのせん断断面積
σ_4	N/mm^2	カンヌキの曲げ応力度
τ_4	N/mm^2	カンヌキのせん断応力度
$s f_{t4}$	N/mm^2	カンヌキの短期許容引張応力度
R_5	kN	上下又は左右の 2 辺のうち、1 辺のアンカーボルトが負担する荷重

表 2-7 強度評価に用いる記号 (タイプ I) (2/2)

記号	単位	定義
T_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_{5a}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
n_{51}	本	引張力を負担するアンカーボルト本数
Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{5a}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力
n_{52}	本	せん断力を負担するアンカーボルト本数

表 2-8 強度評価に用いる記号 (タイプ II)

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	水圧作用高さ
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	扉板の曲げモーメント
L_{11}	mm	扉板の長辺長さ
L_{12}	mm	扉板の短辺長さ
M_1'	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	扉板の曲げモーメント
M_{x1}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
Z_1	mm^3/m	扉板の断面係数
σ_1	N/mm^2	扉板の曲げ応力度
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	芯材の曲げモーメント
Q_2	kN	芯材のせん断力
w_2	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
L_2	mm	芯材の支持スパン
b_2	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
Z_2	mm^3	芯材の断面係数
A_2	mm^2	芯材のせん断断面積
σ_2	N/mm^2	芯材の曲げ応力度
τ_2	N/mm^2	芯材のせん断応力度
R_3	kN	上下又は左右の 2 辺のうち, 1 辺のアンカーボルトが負担する荷重
Q_3	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{3a}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力
n_3	本	せん断力を負担するアンカーボルト本数

表 2-9 強度評価に用いる記号（タイプⅢ）

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	水圧作用高さ
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	扉板の曲げモーメント
L_{11}	mm	扉板の長辺長さ
L_{12}	mm	扉板の短辺長さ
Z_1	mm^3/m	扉板の断面係数
σ_1	N/mm^2	扉板の曲げ応力度
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	芯材の曲げモーメント
Q_2	kN	芯材のせん断力
w_2	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
L_2	mm	芯材の支持スパン
b_2	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
Z_2	mm^3	芯材の断面係数
A_2	mm^2	芯材のせん断断面積
σ_2	N/mm^2	芯材の曲げ応力度
τ_2	N/mm^2	芯材のせん断応力度

表 2-10 強度評価に用いる記号 (タイプⅣ) (1/2)

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	扉下端に作用する静水圧荷重
ρ_o	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	水圧作用高さ
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	パネル板の曲げモーメント
L_1	mm	パネル板の短辺長さ
σ_{b1}	N/mm^2	パネル板の曲げ応力度
Z_1	mm^3/m	パネル板の断面係数
w_2	kN/m	パネル芯材に作用する等分布荷重
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	パネル芯材の曲げモーメント
Q_2	kN	パネル芯材のせん断力
L_2	mm	パネル芯材の支持スパン
b_2	mm	パネル芯材に作用する荷重の負担幅
σ_{b2}	N/mm^2	パネル芯材の曲げ応力度
Z_2	mm^3	パネル芯材の断面係数
τ_2	N/mm^2	パネル芯材のせん断応力度
A_2	mm^2	パネル芯材のせん断断面積
σ_{bx3}	N/mm^2	柱の強軸回りの曲げ応力度
σ_{by3}	N/mm^2	柱の弱軸回りの曲げ応力度
M_{x3}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	柱の強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	柱の弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x3}	mm^3	柱の強軸回りの断面係数
Z_{y3}	mm^3	柱の弱軸回りの断面係数
τ_{x3}	N/mm^2	柱の強軸方向のせん断応力度
τ_{y3}	N/mm^2	柱の弱軸方向のせん断応力度
Q_{x3}	kN	柱の強軸方向のせん断力
Q_{y3}	kN	柱の弱軸方向のせん断力
A_{Sx3}	mm^2	柱の強軸方向のせん断断面積
A_{Sy3}	mm^2	柱の弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)3}$	N/mm^2	柱の軸応力度
$N_{c(t)3}$	kN	柱の圧縮又は引張軸力
A_{g3}	mm^2	柱の断面積
$s f_{bx3}$	N/mm^2	柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{by3}$	N/mm^2	柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)3}$	N/mm^2	柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t3}$	N/mm^2	柱の短期許容引張応力度

表 2-10 強度評価に用いる記号 (タイプIV) (2/2)

記号	単位	定義
σ_{bx4}	N/mm ²	はりの強軸回りの曲げ応力度
σ_{by4}	N/mm ²	はりの弱軸回りの曲げ応力度
M_{x4}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント
M_{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント
Z_{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数
Z_{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数
τ_{x4}	N/mm ²	はりの強軸方向のせん断応力度
τ_{y4}	N/mm ²	はりの弱軸方向のせん断応力度
Q_{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力
Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力
A_{sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積
A_{sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積
$\sigma_{c(t)4}$	N/mm ²	はりの軸応力度
$N_{c(t)4}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力
A_{g4}	mm ²	はりの断面積
$_s f_{bx4}$	N/mm ²	はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度
$_s f_{by4}$	N/mm ²	はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度
$_s f_{c(t)4}$	N/mm ²	はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度
$_s f_{t4}$	N/mm ²	はりの短期許容引張応力度
T_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_{5a}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{5a}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

3. 強度評価

3.1 タイプ I

3.1.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に生じる静水圧荷重（以下「正圧」という。）は、扉板から芯材を介し扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の建物躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材及びアンカーボルトとする。

水密扉を開く方向に生じる静水圧荷重（以下「負圧」という。）は、扉板から芯材に伝わり、カンヌキに伝達され、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材、カンヌキ及びアンカーボルトとする。

アンカーボルトについては、荷重を伝達する芯材の取付け方向又は扉板の辺長比を踏まえ、水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを、鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

なお、ヒンジは静水圧荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

タイプ I 水密扉リストを表 3.1-1 に示す。

また、代表として評価結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉 No.9 の強度評価結果を示す。

水密扉に作用する荷重の例を図 3.1-1 及び図 3.1-2 に示す。

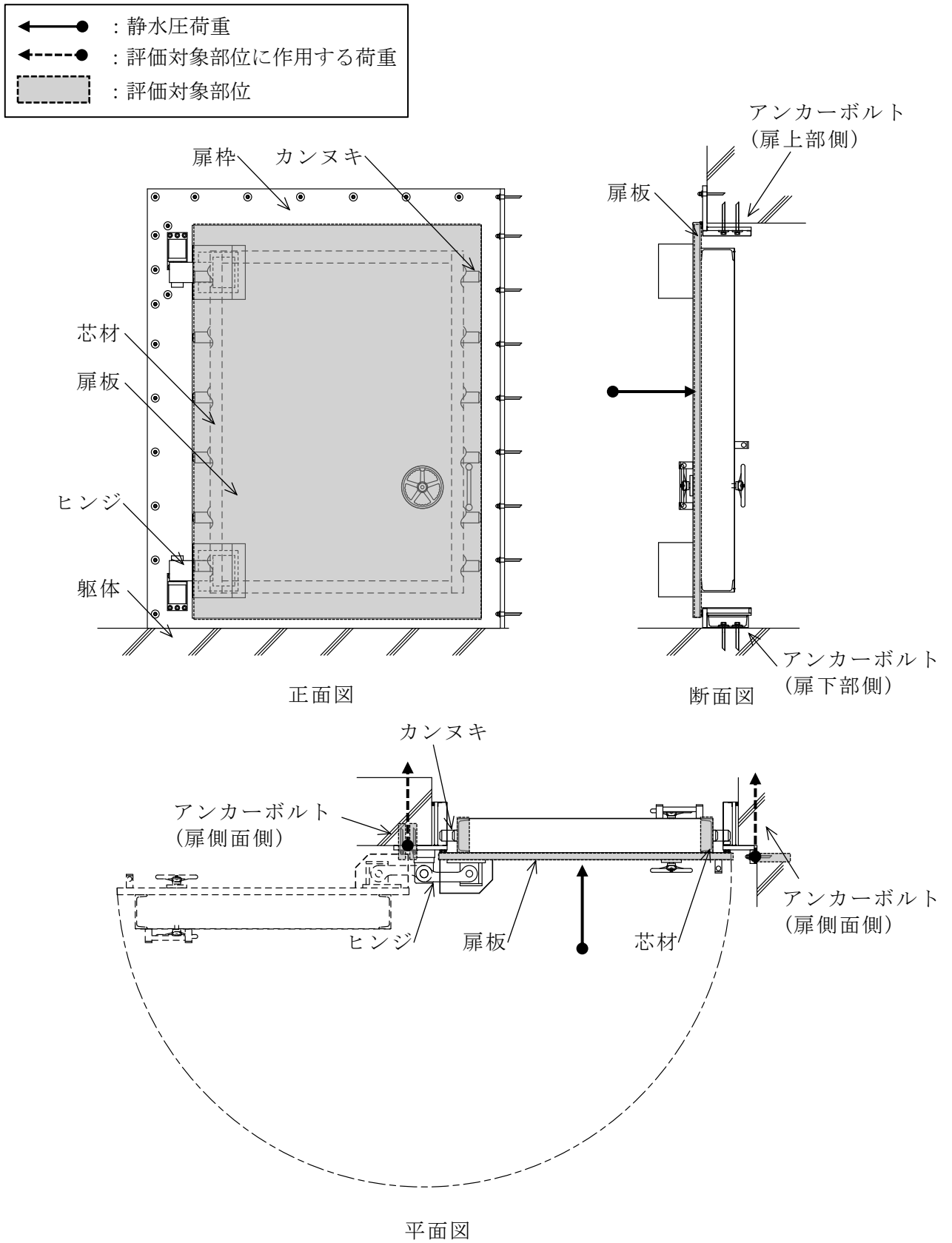


図 3.1-1 水密扉に作用する荷重の例 (正圧)

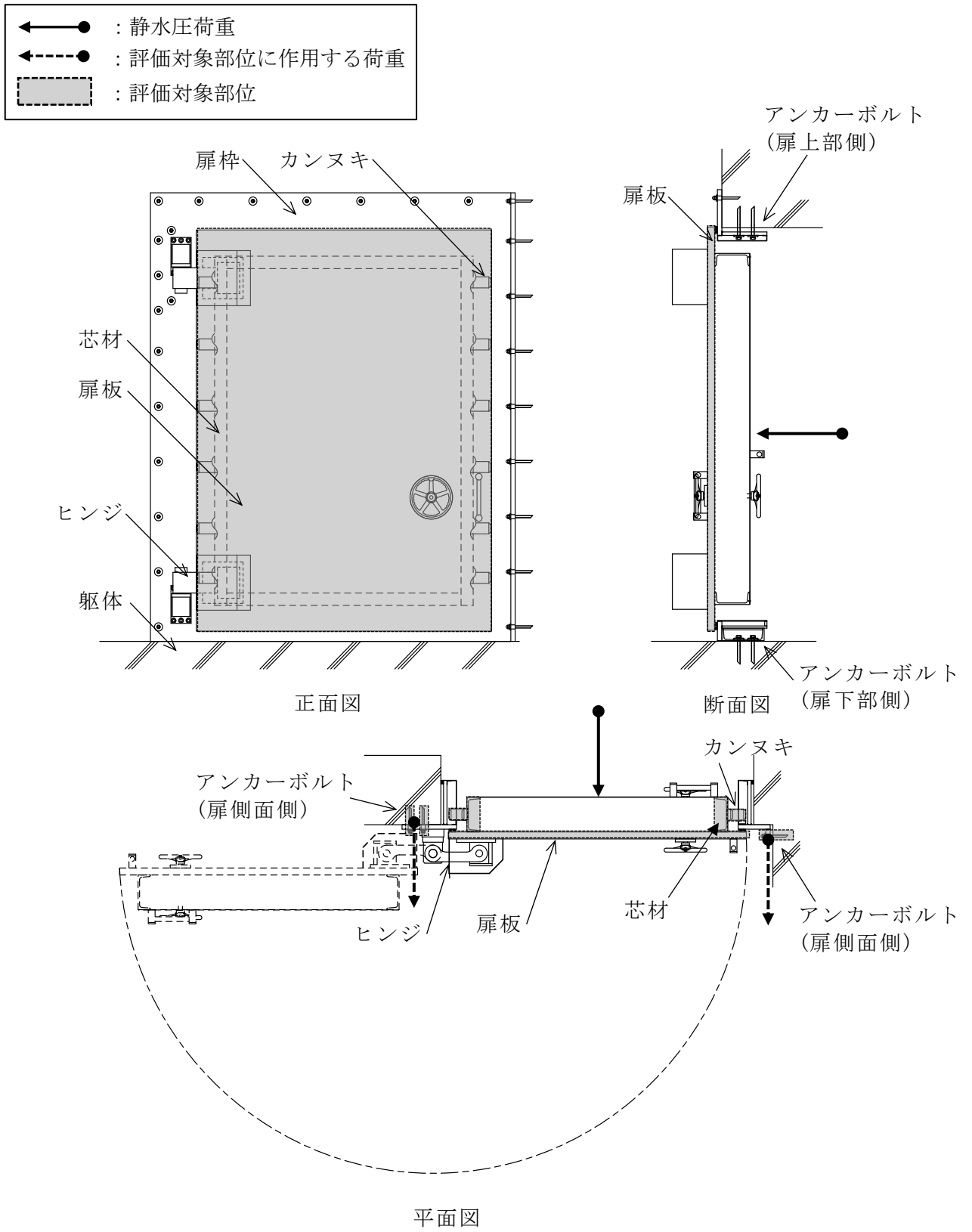


図 3.1-2 水密扉に作用する荷重の例 (負圧)

表 3.1-1 タイプ I 水密扉リスト

水密扉 No.	扉名称	評価対象 設備 (代表)
8	原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉	
9	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉	○
10	原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉	
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室)	
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	
18	原子炉建物 1 階大物搬入口水密扉	
19	タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉	
20	タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉	
21	タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉	
22	タービン建物 2 階大物搬入口水密扉	
23	タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉	
30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	
31	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	

3.1.2 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。

3.1.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

溢水に伴う静水圧荷重を考慮する。溢水に伴う荷重は、対象とする水の密度に当該部分の水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、扉下端に作用する静水圧荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。水圧作用高さ及び水の密度を表 3.1-2 に示す。

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

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

表 3.1-2 水圧作用高さ及び水の密度

水密扉 No.	扉名称	水圧作用高さ (mm)		水の 密度 (t/m ³)
		正圧	負圧	
8	原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉	3700	—	1.03
9	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉	4100	3700	1.03
10	原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉	7000	—	1.03
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	1600	6500	1.03
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	880	—	1.03
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室)	1520	—	1.03
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	2150	—	1.03
18	原子炉建物 1 階大物搬入口水密扉	—	600	1.03
19	タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉	6500	—	1.03
20	タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉	6200	—	1.03
21	タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉	2500	—	1.03
22	タービン建物 2 階大物搬入口水密扉	—	2500	1.03
23	タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉	3040	—	1.03
30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	6500	—	1.03
31	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	4440	—	1.03

3.1.2.2 荷重の組合せ

水密扉の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」を踏まえて下記のとおり設定する。

$$P_h$$

$$P_h : \text{扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m}^2\text{)}$$

3.1.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.1.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、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」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.1.3.1 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材、カンヌキ及びアンカーボルトの使用材料を表 3.1-3 に示す。

表 3.1-3 扉板、芯材、カンヌキ及びアンカーボルトの使用材料

評価対象部位	材質	仕様
扉板	SS400	PL-50
芯材	SS400	[- 250×90×11×14.5
カンヌキ	SUS304	80 φ
アンカーボルト	SS400	M16

3.1.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「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）」（以下「S規準」という。）を踏まえて表3.1-4の値とする。

表 3.1-4 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) *	215	124
SUS304	205	118

注記*： t は板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.1.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した，表3.1-5の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが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付着力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，評価対象部位のアンカーボルトが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より決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力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 3.1-5 アンカーボルトの許容限界

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
9	原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室南側水密扉	17	25

3.1.4 評価方法

水密扉の強度評価は、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」にて設定している評価式を用いる。

3.1.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、等分布荷重を受ける四辺固定の矩形版として算定する。この時、実際に作用する静水圧荷重は、三角形分布であるが、扉下端に作用する静水圧荷重が扉板全面に等分布で作用するものとして、安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3.1-3 に示す。

$$M_1 = P_h \cdot L_{11} \cdot 10^{-3} \cdot (L_{12} \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで、

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

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

L_{11} : 扉板の長辺長さ (mm)

L_{12} : 扉板の短辺長さ (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

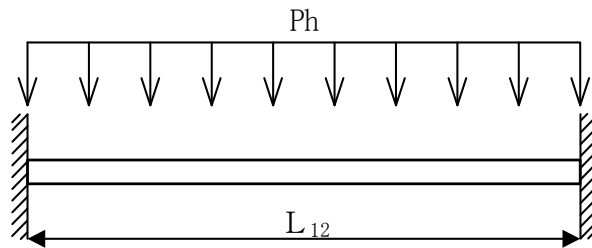


図 3.1-3 扉板に作用する荷重の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。なお，芯材の取付け方向は，水平・鉛直の2方向であり，両者とも扉下端に作用する静水圧荷重に，芯材の支配幅を乗じた荷重が等分布に作用するものとして，安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図 3.1-4 に示す。

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q_2 = w_2 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで，

$$w_2 = P_h \cdot b_2 \cdot 10^{-3}$$

w_2 : 芯材に作用する等分布荷重 (kN/m)

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

L_2 : 芯材の支持スパン (mm)

b_2 : 芯材に作用する荷重の負担幅 (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

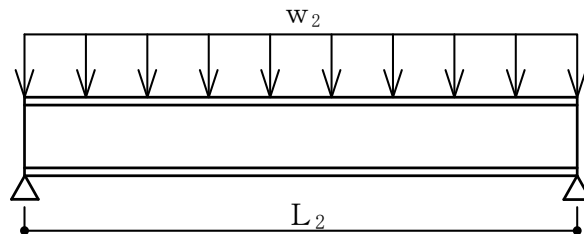


図 3.1-4 芯材に作用する荷重の例

(3) カンヌキ

カンヌキに生じる荷重は、次式により算定する扉に作用する全静水圧荷重を集中荷重に置換した設計水圧荷重により算定する。カンヌキに生じる応力の例を図 3.1-5 に示す。

$$R_3 = P_3 / n_3$$

$$P_3 = P_h \cdot L_{31} \cdot L_{32} \cdot 10^{-6}$$

R_3 : カンヌキに作用する荷重 (kN)

P_3 : 設計水圧荷重 (kN)

n_3 : カンヌキの本数 (本)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m^2)

L_{31} : 躯体開口部の高さ (mm)

L_{32} : 躯体開口部の幅 (mm)

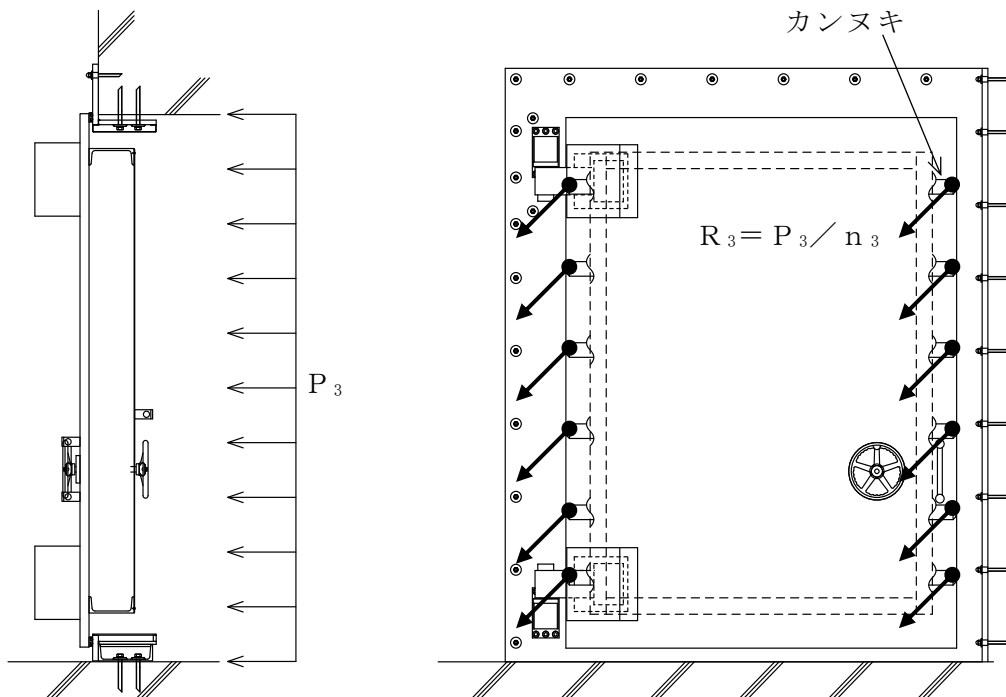


図 3.1-5 カンヌキに作用する応力の例

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、片持ちばりとして次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図 3.1-6 に示す。

$$M_4 = R_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_4 = R_3$$

M_4 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

R_3 : カンヌキに作用する荷重 (kN)

L_4 : カンヌキの突出長さ (mm)

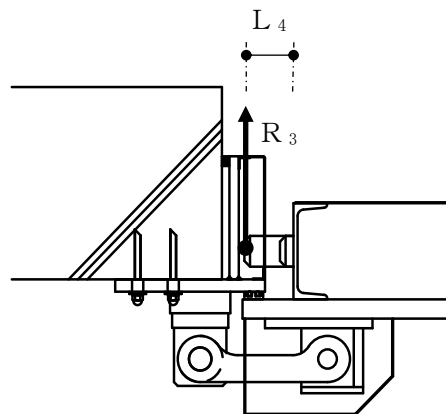


図 3.1-6 カンヌキに生じる荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、溢水による静水圧荷重を左右若しくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 3.1-7 に示す。

$$R_5 = L_{11} \cdot L_{12} \cdot P_h \cdot 10^{-6} / 2$$

R_5 : 上下又は左右の 2 辺のうち、1 辺のアンカーボルトが負担する荷重 (kN)

L_{11} : 扉板の長辺長さ (mm)

L_{12} : 扉板の短辺長さ (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

$$T_5 = R_5 / n_{51}$$

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

n_{51} : 引張力を負担するアンカーボルト本数 (本)

$$Q_5 = R_5 / n_{52}$$

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

n_{52} : せん断力を負担するアンカーボルト本数 (本)

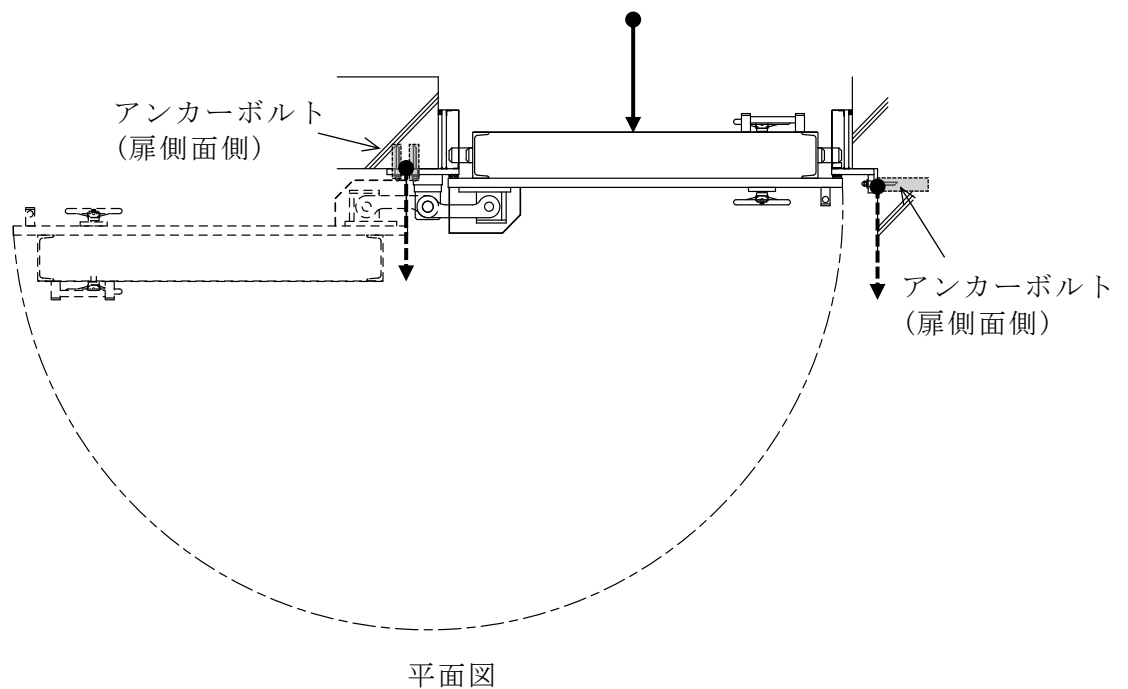


図 3.1-7 アンカーボルトに作用する荷重の例

3.1.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_1 : 扉板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³/m)

(2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

σ_2 : 芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

τ_2 : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

A_2 : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. カンヌキに生じる曲げ応力度

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

σ_4 : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

M_4 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : カンヌキの断面係数 (mm³)

b. カンヌキに生じるせん断応力度

$$\tau_4 = (Q_4 \cdot 10^3) / A_4$$

τ_4 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

A_4 : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

c. カンヌキに生じる組合せ応力度

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq {}_s f_{t4}$$

${}_s f_{t4}$: カンヌキの短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_4 : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$T_5 / T_{5a} \leq 1.0$$

$$Q_5 / Q_{5a} \leq 1.0$$

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{5a} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{5a} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

3.1.5 評価条件

「3.1.4 評価方法」に用いる評価条件を表 3.1-6 に示す。

表 3.1-6 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				9
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	h	mm	水圧作用高さ	4100
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	L ₁₁	mm	扉板の長辺長さ	2910
	L ₁₂	mm	扉板の短辺長さ	2190
	Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数	1213000
	L ₂	mm	芯材の支持スパン	2910
	b ₂	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	1095
	Z ₂	mm ³	芯材の断面係数	374000
	A ₂	mm ²	芯材のせん断断面積	2431
カンヌキ	n ₃	本	カンヌキの本数	12
	L ₃₁	mm	躯体開口部の高さ	2960
	L ₃₂	mm	躯体開口部の幅	2310
	L ₄	mm	カンヌキの突出長さ	131
	Z ₄	mm ³	カンヌキの断面係数	50270
	A ₄	mm ²	カンヌキのせん断断面積	5027
アンカー ボルト	n ₅₁	本	引張力を負担するアンカーボルト本数	12
	n ₅₂	本	せん断力を負担するアンカーボルト本数	9

3.2 タイプⅡ

3.2.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重は、扉板から芯材を介し扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の建物躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、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、荷重を伝達する芯材の取付け方向又は扉板の辺長比を踏まえ、水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを、鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

なお、ヒンジは静水圧荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

タイプⅡ水密扉リストを表 3.2-1 に示す。

また、代表として評価結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉 No.1 及び No.32 の強度評価結果を示す。

水密扉に作用する荷重の例を図 3.2-1 に示す。

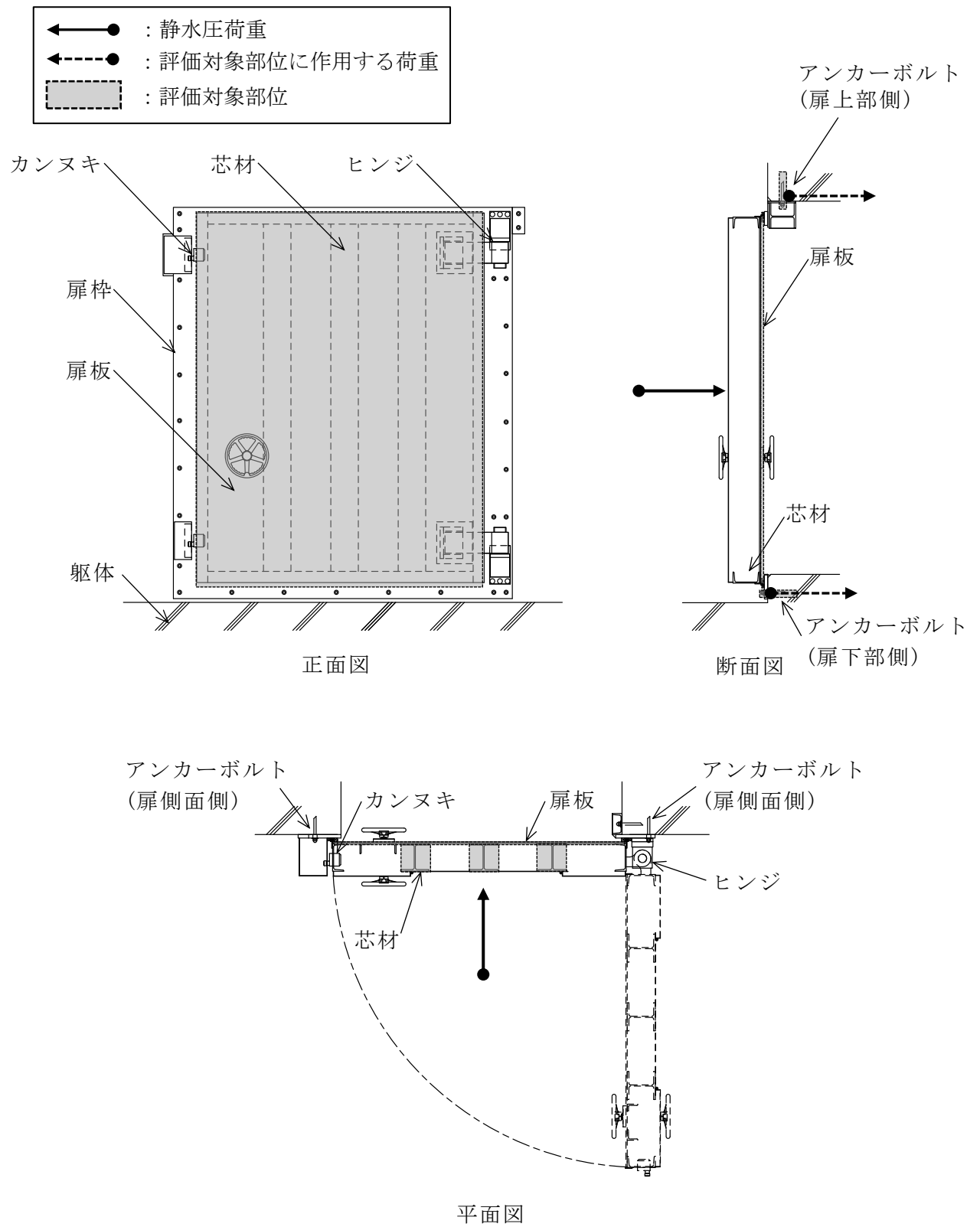


図 3.2-1 水密扉に作用する荷重の例

表 3.2-1 タイプⅡ水密扉リスト

水密扉 No.	扉名称	評価対象 設備 (代表)
1	原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室北側水密扉	○
2	原子炉建物地下2階 A-RHR ポンプ室北側水密扉	
3	原子炉建物地下2階 トーラス室北東水密扉	
4	原子炉建物地下2階 トーラス室南東水密扉	
5	原子炉建物地下2階 トーラス室北西水密扉	
6	原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室南側水密扉	
7	原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室北側水密扉	
11	原子炉建物地下2階 トーラス室南西水密扉	
12	原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉 (南側)	
16	原子炉建物地下1階 東側エアロック前水密扉	
24	廃棄物処理建物地下1階 被服置場北側水密扉	
25	廃棄物処理建物1階 大物搬入口水密扉	
26	廃棄物処理建物1階 ドラム缶搬入口水密扉	
27	廃棄物処理建物2階 非常用再循環送風機室東側水密扉	
32	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	○
33	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	
34	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	
35	復水貯蔵タンク水密扉	
36	補助復水貯蔵タンク水密扉	
37	トーラス水受入タンク水密扉	
38	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 水密扉	

3.2.2 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。

3.2.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

溢水に伴う静水圧荷重を考慮する。溢水に伴う荷重は、対象とする水の密度に当該部分の水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、扉下端に作用する静水圧荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。水圧作用高さ及び水の密度を表 3.2-2 に示す。

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

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

表 3.2-2 水圧作用高さ及び水の密度

水密 扉 No.	扉名称	水圧作用高さ (mm)		水の 密度 (t/m ³)
		正圧	負圧	
1	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉	3500	—	1.03
2	原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉	4600	—	1.03
3	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北東水密扉	2200	—	1.03
4	原子炉建物地下 2 階 トーラス室南東水密扉	2200	—	1.03
5	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北西水密扉	2200	—	1.03
6	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉	1080	—	1.03
7	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉	3500	—	1.03
11	原子炉建物地下 2 階 トーラス室南西水密扉	2200	—	1.03
12	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (南側)	1520	—	1.03
16	原子炉建物地下 1 階 東側エアロック前水密扉	6200	—	1.03
24	廃棄物処理建物地下 1 階 被服置場北側水密扉	3500	—	1.03
25	廃棄物処理建物 1 階 大物搬入口水密扉	1900	—	1.03
26	廃棄物処理建物 1 階 ドラム缶搬入口水密扉	2650	—	1.03
27	廃棄物処理建物 2 階 非常用再循環送風機室東側 水密扉	3810	—	1.03
32	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	9700	—	1.03
33	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	9700	—	1.03
34	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	9700	—	1.03
35	復水貯蔵タンク水密扉	8000	—	1.03
36	補助復水貯蔵タンク水密扉	8000	—	1.03
37	トーラス水受入タンク水密扉	8000	—	1.03
38	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原 子炉建物) 水密扉	12900	—	1.03

3.2.2.2 荷重の組合せ

水密扉の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」を踏まえて下記のとおり設定する。

P_h

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

3.2.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.2.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、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」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.2.3.1 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材及びアンカーボルトの使用材料を表 3.2-3 に示す。

表 3.2-3 扉板、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
扉板	SS400	PL-9
芯材	SS400	H-200×200×8×12
アンカーボルト	SS400	M16

3.2.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表 3.2-4 の値とする。

表 3.2-4 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *	235	135

注記* : t は板厚を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.2.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した、表 3.2-5 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが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付着力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、評価対象部位のアンカーボルトが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より決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力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 3.2-5 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
1	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉	25	19

3.2.4 評価方法

水密扉の強度評価は、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」にて設定している評価式を用いる。

3.2.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、等分布荷重を受ける四辺固定の矩形版として算定する。この時、実際に作用する静水圧荷重は、三角形分布であるが、扉下端に作用する静水圧荷重が扉板全面に等分布で作用するものとして、安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3.2-2 に示す。

a. 一般部

$$M_1 = P_h \cdot L_{11} \cdot 10^{-3} \cdot (L_{12} \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで、

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

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

L_{11} : 扉板の長辺長さ (mm)

L_{12} : 扉板の短辺長さ (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

b. 水密扉 No. 32～38 (取水槽海水ポンプエリア, 復水貯蔵タンクエリア及び屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) エリア)

$$M_1' = M_{x1} \cdot P_h \cdot (L_{12} \cdot 10^{-3})^2$$

M_1' : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

M_{x1} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

L_{12} : 扉板の短辺長さ (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

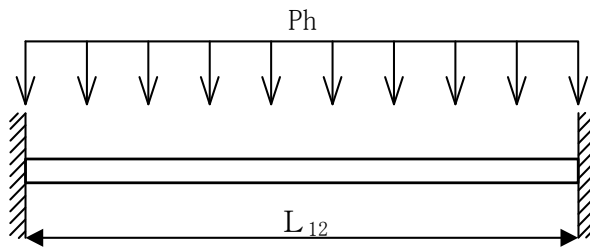


図 3.2-2 扉板に作用する荷重の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。なお、芯材の取付け方向は、水平・鉛直の2方向があるが、両者とも扉下端に作用する静水圧荷重に、芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図 3.2-3 に示す。

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q_2 = w_2 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで、

$$w_2 = P_h \cdot b_2 \cdot 10^{-3}$$

w_2 : 芯材に作用する等分布荷重 (kN/m)

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

L_2 : 芯材の支持スパン (mm)

b_2 : 芯材に作用する荷重の負担幅 (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

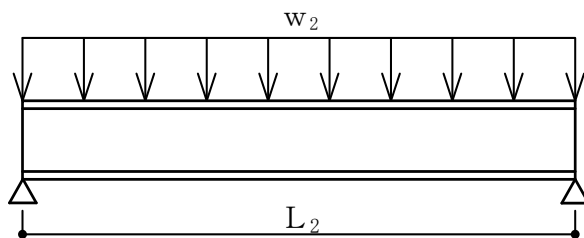


図 3.2-3 芯材に作用する荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、溢水による静水圧荷重を左右若しくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 3.2-4 に示す。

$$R_3 = L_{11} \cdot L_{12} \cdot P_h \cdot 10^{-6} / 2$$

R_3 : 上下又は左右の 2 辺のうち、1 辺のアンカーボルトが負担する荷重 (kN)

L_{11} : 扉板の長辺長さ (mm)

L_{12} : 扉板の短辺長さ (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

$$Q_3 = R_3 / n_3$$

Q_3 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

n_3 : せん断力を負担するアンカーボルト本数 (本)

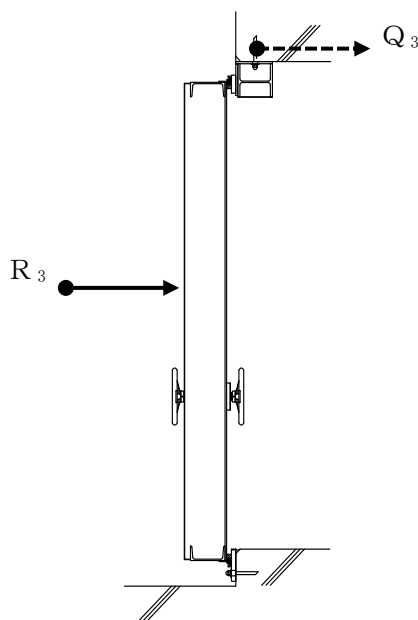


図 3.2-4 アンカーボルトに作用する荷重の例

3.2.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_1 : 扉板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³/m)

(2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

σ_2 : 芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

τ_2 : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

A_2 : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$Q_3 / Q_{3a} \leq 1.0$$

Q_3 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{3a} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

3.2.5 評価条件

「3.2.4 評価方法」に用いる評価条件を表 3.2-6 及び表 3.2-7 に示す。

表 3.2-6 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				1
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	h	mm	水圧作用高さ	3500
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
扉板	L ₁₁	mm	扉板の長辺長さ	2648
	L ₁₂	mm	扉板の短辺長さ	690
	Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数	35750
芯材	L ₂	mm	芯材の支持スパン	2648
	b ₂	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	537.5
	Z ₂	mm ³	芯材の断面係数	472000
	A ₂	mm ²	芯材のせん断断面積	1408
アンカー ボルト	n ₃	本	せん断力を負担するアンカー ボルト本数	9

表 3.2-7 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				32
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	h	mm	水圧作用高さ	9700
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
扉板	L ₁₁	mm	扉板の長辺長さ	1920
	L ₁₂	mm	扉板の短辺長さ	635
	M _{x1}	—	等分布荷重による曲げ応力算 定用の係数	0.083
	Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数	42667
芯材	L ₂	mm	芯材の支持スパン	1920
	b ₂	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	635
	Z ₂	mm ³	芯材の断面係数	585000
	A ₂	mm ²	芯材のせん断断面積	7070

3.3 タイプⅢ

3.3.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重は、扉板から芯材を介し開口部周囲の鉄骨躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板及び芯材とする。

なお、ヒンジは静水圧荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

また、タイプⅢ水密扉は No. 28, No. 29 であり、同様の構造であることを踏まえ、代表として水密扉 No. 28 にて評価を行う。

水密扉に作用する荷重の例を図 3.3-1 に示す。

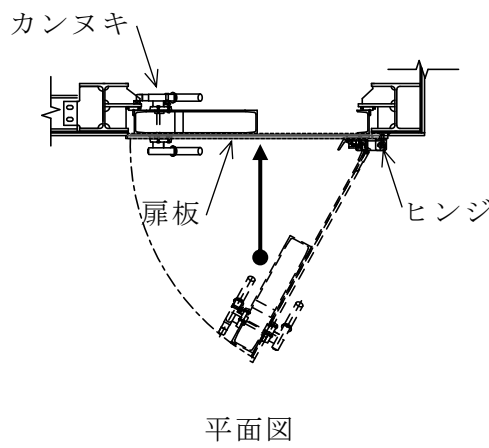
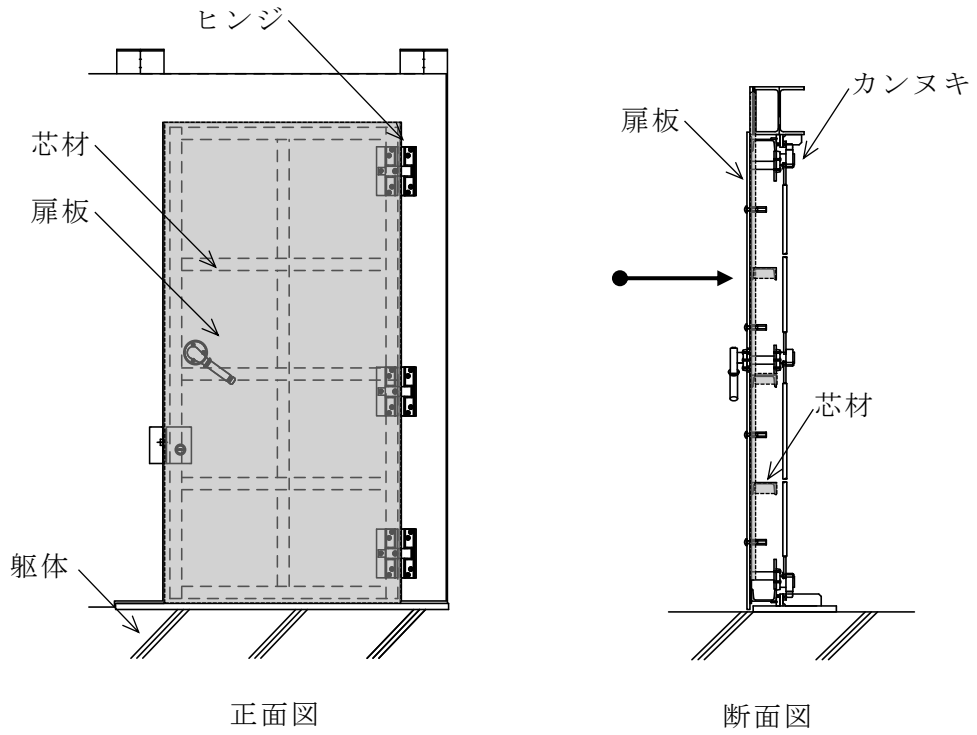
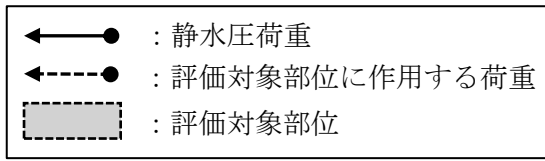


図 3.3-1 水密扉に作用する荷重の例

3.3.2 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。

3.3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

溢水に伴う静水圧荷重を考慮する。溢水に伴う荷重は、対象とする水の密度に当該部分の水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、扉下端に作用する静水圧荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。水圧作用高さ及び水の密度を表 3.3-1 に示す。

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

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

表 3.3-1 水圧作用高さ及び水の密度

水密扉 No.	扉名称	水圧作用高さ (mm)		水の 密度 (t/m ³)
		正圧	負圧	
28	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側 水密扉	550	—	1.03
29	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側 水密扉	550	—	1.03

3.3.2.2 荷重の組合せ

水密扉の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」を踏まえて下記のとおり設定する。

$$P_h$$

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

3.3.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、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」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.3.3.1 使用材料

水密扉を構成する、扉板及び芯材の使用材料を表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2 扉板及び芯材の使用材料

評価対象部位	材質	仕様
扉板	SS400	
芯材	SS400	

3.3.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表 3.3-3 の値とする。

表 3.3-3 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *	235	135

注記* : t は板厚を示す。

3.3.4 評価方法

水密扉の強度評価は、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」にて設定している評価式を用いる。

3.3.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、等分布荷重を受ける四辺固定の矩形版として算定する。この時、実際に作用する静水圧荷重は、三角形分布であるが、扉下端に作用する静水圧荷重が扉板全面に等分布で作用するものとして、安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3.3-2 に示す。

$$M_1 = P_h \cdot L_{11} \cdot 10^{-3} \cdot (L_{12} \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで、

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

- M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)
- L_{11} : 扉板の長辺長さ (mm)
- L_{12} : 扉板の短辺長さ (mm)
- P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)
- ρ_o : 水の密度 (t/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- h : 水圧作用高さ (mm)

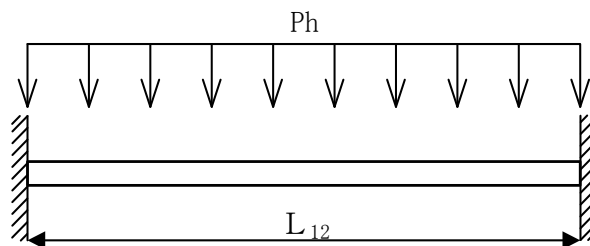


図 3.3-2 扉板に作用する荷重の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。なお，芯材の取付け方向は，水平・鉛直の2方向があるが，両者とも扉下端に作用する静水圧荷重に，芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとして，安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図3.3-3に示す。

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q_2 = w_2 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで，

$$w_2 = P_h \cdot b_2 \cdot 10^{-3}$$

w_2 : 芯材に作用する等分布荷重 (kN/m)

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

L_2 : 芯材の支持スパン (mm)

b_2 : 芯材に作用する荷重の負担幅 (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

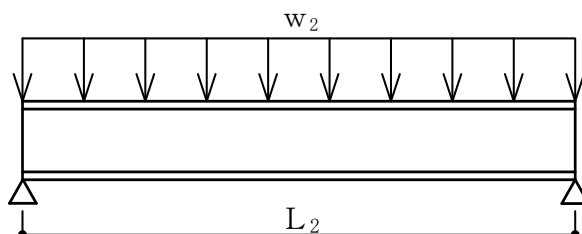


図 3.3-3 芯材に作用する荷重の例

3.3.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_1 : 扉板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³/m)

(2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

σ_2 : 芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

τ_2 : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

A_2 : 芯材のせん断断面積 (mm²)

3.3.5 評価条件

「3.3.4 評価方法」に用いる評価条件を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-4 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				28
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03
	h	mm	水圧作用高さ	550
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
扉板	L ₁₁	mm	扉板の長辺長さ	980
	L ₁₂	mm	扉板の短辺長さ	588
	Z ₁	mm ³ /m	扉板の断面係数	5880
芯材	L ₂	mm	芯材の支持スパン	980
	b ₂	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	494
	Z ₂	mm ³	芯材の断面係数	37600
	A ₂	mm ²	芯材のせん断断面積	425

3.4 タイプⅣ

3.4.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

タイプⅣのうち、扉部については、「3.1 タイプⅠ」及び「3.2 タイプⅡ」で評価しているため、「3.4 タイプⅣ」ではパネル部（パネル板、柱、はり、パネル芯材、アンカーボルト）を評価対象部位とする。

タイプⅣ水密扉リストを表 3.4-1 に示す。

また、代表として評価結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉 No. 30 の強度評価結果を示す。

水密扉に作用する荷重の例を図 3.4-1 に示す。

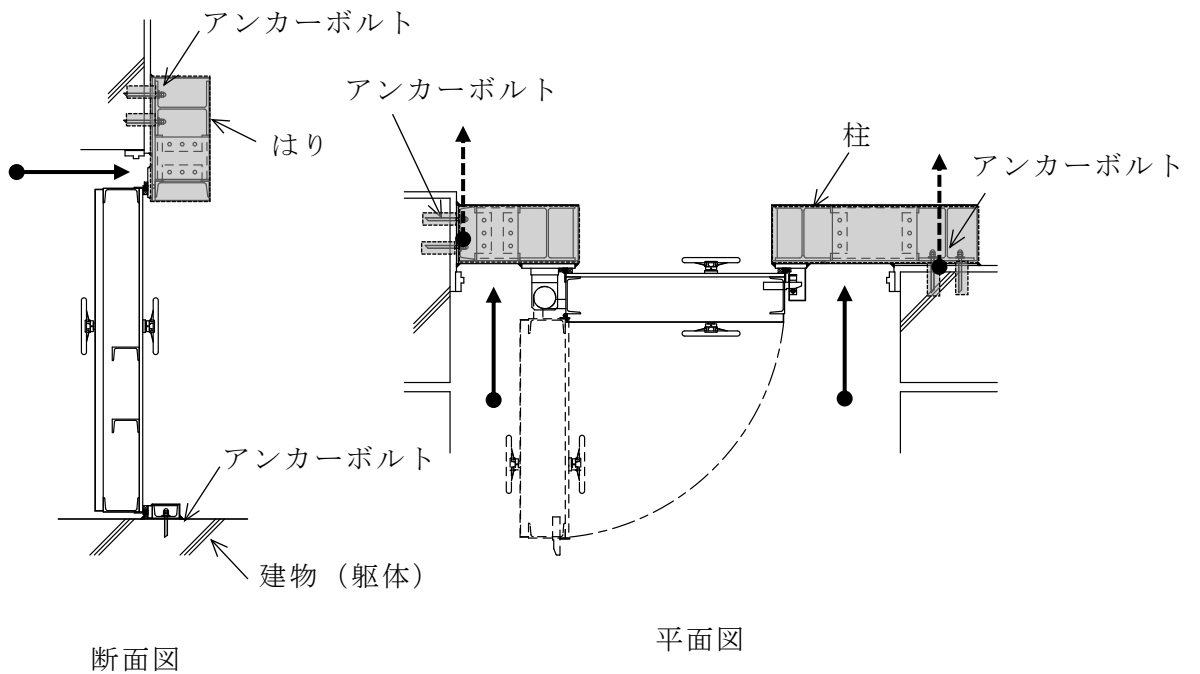
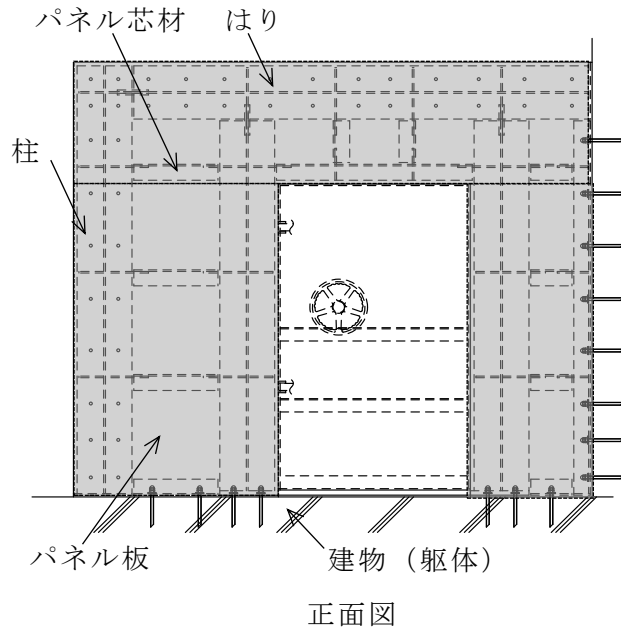
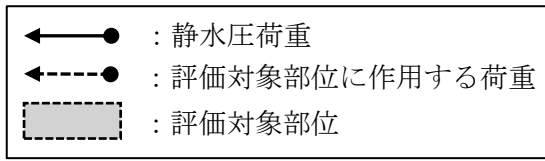


図 3.4-1 水密扉に作用する荷重の例

表 3.4-1 タイプIV水密扉リスト

水密扉 No.	扉名称	評価対象 設備 (代表)
13	原子炉建物地下1階CRDポンプ室南側水密扉	
14	原子炉建物地下1階CRDポンプ室東側水密扉	
15	原子炉建物地下1階IA圧縮機室水密扉(階段室)	
17	原子炉建物1階RCW熱交換器室南側水密扉	
24	廃棄物処理建物地下1階被服置場北側水密扉	
30	制御室建物2階チェックポイント連絡水密扉	○

3.4.2 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。

3.4.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重 (P_h)

溢水に伴う静水圧荷重を考慮する。溢水に伴う荷重は、対象とする水の密度に当該部分の水圧作用高さを乗じた次式により算出する。この時、扉下端に作用する静水圧荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。水圧作用高さ及び水の密度を表3.4-2に示す。

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

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_o : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

表 3.4-2 水圧作用高さ及び水の密度

水密扉 No.	扉名称	水圧作用高さ (mm)		水の 密度 (t/m ³)
		正圧	負圧	
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	1600	6500	1.03
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	880	—	1.03
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室)	1520	—	1.03
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	2150	—	1.03
24	廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉	3500	—	1.03
30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	6500	—	1.03

3.4.2.2 荷重の組合せ

水密扉の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」を踏まえて下記のとおり設定する。

P_h

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

3.4.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.4.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、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」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.4.3.1 使用材料

パネル部（パネル板，柱，はり，パネル芯材，アンカーボルト）の使用材料を表 3.4-3 に示す。

表 3.4-3 パネル部の使用材料

	評価対象部位	材質	仕様
パ ネ ル 部	パネル板	SS400	PL-16
	柱	SS400	H-300×300×10×15 [-300×90×9×13]
	はり	SS400	H-300×300×10×15 [-300×90×9×13]
	パネル芯材	SS400	[-300×90×9×13]
	アンカーボルト	SS400	M16, M20

3.4.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表 3.4-4 の値とする。

表 3.4-4 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)			
	引張	圧縮	曲げ* ²	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ¹	235	235	235	135

注記*1： t は板厚を示す。

*2： 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

アンカーボルトの許容限界は、「3.4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した，表 3.4-5 の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが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付着力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，評価対象部位のアンカーボルトが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より決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力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 3.4-5 アンカーボルトの許容限界

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	28	25

3.4.4 評価方法

水密扉の強度評価は、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」にて設定している評価式を用いる。

3.4.4.1 応力算定

(1) パネル板

パネル板に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。この時、実際に作用する静水圧荷重は、三角形分布であるが、扉下端に作用する静水圧荷重が扉板全面に等分布で作用するものとして、安全側に評価する。パネル板に作用する荷重の例を図 3.4-2 に示す。

$$M_1 = P_h \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

ここで、

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

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

M_1 : パネル板の曲げモーメント (kN・m/m)

L_1 : パネル板の短辺長さ (mm)

ρ_o : 水の密度 (t/mm³)

g : 重力加速度 (m/s²)

h : 水圧作用高さ (mm)

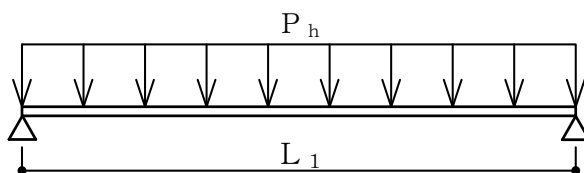


図 3.4-2 パネル板に作用する荷重の例

(2) パネル芯材

パネル芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。扉下端に作用する静水圧荷重にパネル芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用するものとして、安全側に評価する。パネル芯材に作用する荷重の例を図 3.4-3 に示す。

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q_2 = w_2 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで、

$$w_2 = P_h \cdot b_2 \cdot 10^{-3}$$

w_2 : パネル芯材に作用する等分布荷重 (kN/m)

M_2 : パネル芯材の曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : パネル芯材のせん断力 (kN)

L_2 : パネル芯材の支持スパン (mm)

b_2 : パネル芯材に作用する荷重の負担幅 (mm)

P_h : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m²)

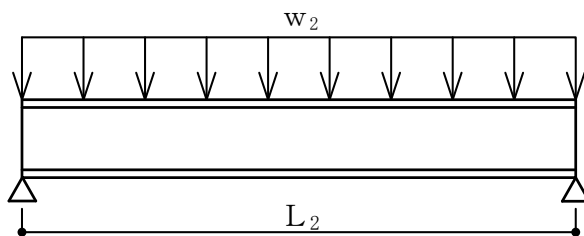


図 3.4-3 パネル芯材に作用する荷重の例

(3) 柱，はり及びアンカーボルト

静水圧荷重を受けるはり要素でモデル化し，実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルに置き換え，柱，はり及びアンカーボルトに発生する応力を応力解析により算定し，各許容限界との比較により強度評価を行う。

評価モデル図及び評価モデルに作用する荷重の例を図 3.4-4 及び図 3.4-5 に示す。解析に使用するプログラムは，「KANSAS2」である。なお，解析プログラムの検証及び妥当性の確認の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析に用いる部材の物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 205000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断弾性係数 : $G = 79000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

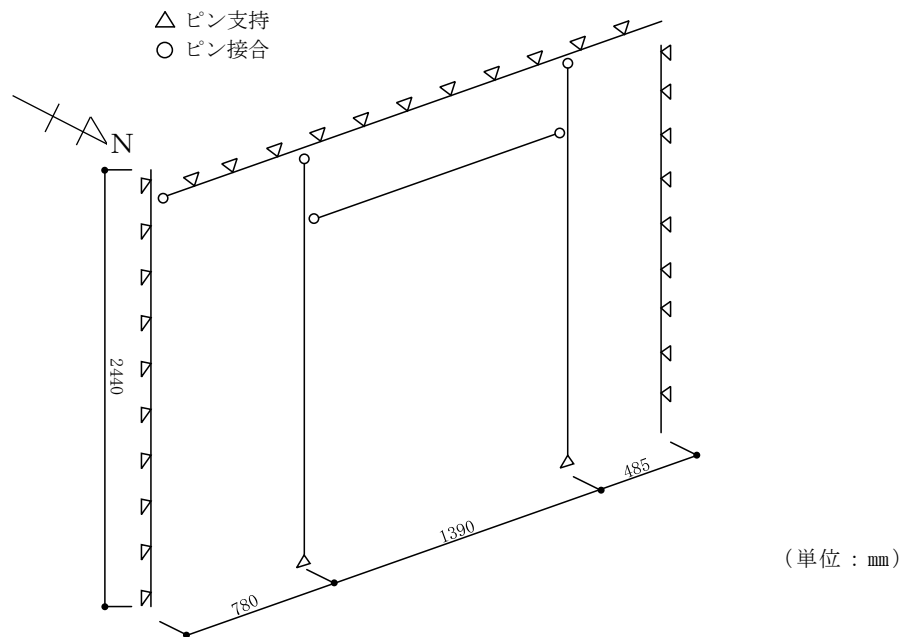


図 3.4-4 評価モデル図

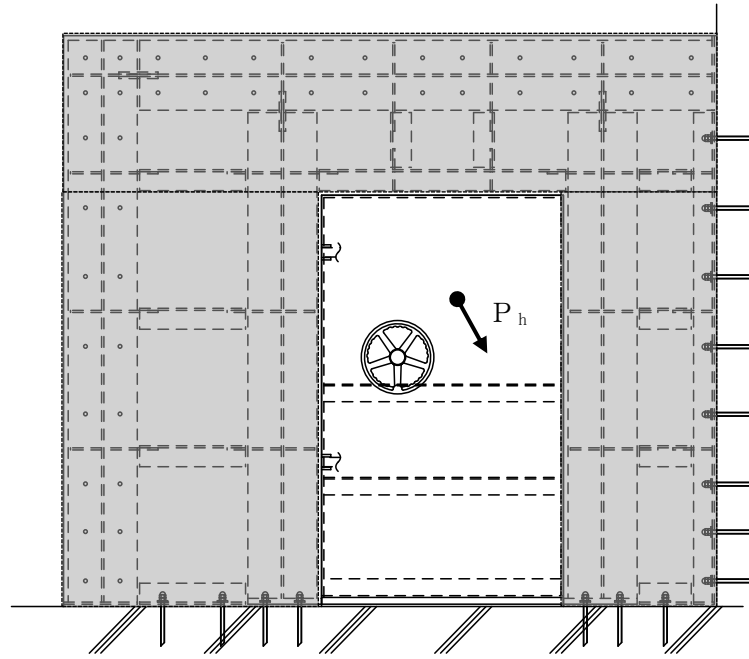


図 3.4-5 評価モデルに作用する荷重の例

3.3.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) パネル板

パネル板に生じる曲げ応力度を算定し、パネル板の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. パネル板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_{b1} : パネル板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : パネル板の曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : パネル板の断面係数 (mm³/m)

(2) パネル芯材

パネル芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、パネル芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. パネル芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b2} = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

σ_{b2} : パネル芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : パネル芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : パネル芯材の断面係数 (mm³)

b. パネル芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

τ_2 : パネル芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : パネル芯材のせん断力 (kN)

A_2 : パネル芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) 柱

柱に生じる曲げ応力度，せん断応力度及び軸応力度を算定し，柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b\ x3} = (M_{x3} \cdot 10^6) / Z_{x3}$$

$$\sigma_{b\ y3} = (M_{y3} \cdot 10^6) / Z_{y3}$$

$\sigma_{b\ x3}$: 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{b\ y3}$: 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x3} : 柱の強軸回りの曲げモーメント (kN・m)

M_{y3} : 柱の弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x3} : 柱の強軸回りの断面係数 (mm³)

Z_{y3} : 柱の弱軸回りの断面係数 (mm³)

b. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x3} = (Q_{x3} \cdot 10^3) / A_{S\ x3}$$

$$\tau_{y3} = (Q_{y3} \cdot 10^3) / A_{S\ y3}$$

τ_{x3} : 柱の強軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

τ_{y3} : 柱の弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3} : 柱の強軸方向のせん断力 (kN)

Q_{y3} : 柱の弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S\ x3}$: 柱の強軸方向のせん断断面積 (mm²)

$A_{S\ y3}$: 柱の弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

c. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)3} = (N_{c(t)3} \cdot 10^3) / A_{g3}$$

$\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g3} : 柱の断面積 (mm²)

d. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx3}/s f_{bx3} + \sigma_{by3}/s f_{by3} + \sigma_{c(t)3}/s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

σ_{bx3} : 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx3}$: 柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by3} : 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{by3}$: 柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)3}$: 柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は，次式により算出し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3\tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

σ_{bx3} : 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by3} : 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)

τ_3 : 柱のせん断応力度 ($\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$) (N/mm²)

$s f_{t3}$: 柱の短期許容引張応力度 (N/mm²)

(4) はり

はりに生じる曲げ応力度，せん断応力度及び軸応力度を算定し，はりの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 4} = (M_{x 4} \cdot 10^6) / Z_{x 4}$$

$$\sigma_{b y 4} = (M_{y 4} \cdot 10^6) / Z_{y 4}$$

$\sigma_{b x 4}$: はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{b y 4}$: はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{x 4}$: はりの強軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$M_{y 4}$: はりの弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$Z_{x 4}$: はりの強軸回りの断面係数 (mm³)

$Z_{y 4}$: はりの弱軸回りの断面係数 (mm³)

b. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x 4} = (Q_{x 4} \cdot 10^3) / A_{S x 4}$$

$$\tau_{y 4} = (Q_{y 4} \cdot 10^3) / A_{S y 4}$$

$\tau_{x 4}$: はりの強軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$\tau_{y 4}$: はりの弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{x 4}$: はりの強軸方向のせん断力 (kN)

$Q_{y 4}$: はりの弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S x 4}$: はりの強軸方向のせん断断面積 (mm²)

$A_{S y 4}$: はりの弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

c. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = (N_{c(t)4} \cdot 10^3) / A_{g4}$$

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g4} : はりの断面積 (mm²)

d. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度と軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx4}/s f_{bx4} + \sigma_{by4}/s f_{by4} + \sigma_{c(t)4}/s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

σ_{bx4} : はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx4}$: はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by4} : はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{by4}$: はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)4}$: はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3\tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

σ_{bx4} : はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by4} : はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : はりのせん断応力度 ($\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$) (N/mm²)

$s f_{t4}$: はりの短期許容引張応力度 (N/mm²)

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力は，応力解析により求めた支点反力を用いて算定し，アンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(Q_5 / Q_{5a})^2 + (T_5 / T_{5a})^2 \leq 1.0$$

$$Q_5 / Q_{5a} \leq 1.0$$

$$T_5 / T_{5a} \leq 1.0$$

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{5a} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{5a} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

3.4.5 評価条件

「3.3.4 評価方法」に用いる評価条件を表 3.4-6 に示す。

表 3.4-6 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				30	
共通	ρ_o	t/m ³	水の密度	1.03	
	h	mm	水圧作用高さ	6500	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	
パネル部	パネル板	L ₁	mm	パネル板の短辺長さ	595
		Z ₁	mm ³	パネル板の断面係数	42670
	パネル 芯材	L ₂	mm	パネル芯材の支持スパン	480
		b ₂	mm	パネル芯材に作用する荷重の負担幅	593
		Z ₂	mm ³	パネル芯材の断面係数	429000
		A ₂	mm ²	パネル芯材のせん断断面積	2466
	柱	M _{x3}	kN・m	柱の強軸回りの曲げモーメント	37.95
		M _{y3}	kN・m	柱の弱軸回りの曲げモーメント	—
		Z _{x3}	mm ³	柱の強軸回りの断面係数	1350000
		Z _{y3}	mm ³	柱の弱軸回りの断面係数	450000
		Q _{x3}	kN	柱の強軸方向のせん断力	80.50
		Q _{y3}	kN	柱の弱軸方向のせん断力	—
		A _{Sx3}	mm ²	柱の強軸方向のせん断断面積	2700
		A _{Sy3}	mm ²	柱の弱軸方向のせん断断面積	9000
		N _{c(t)3}	kN	柱の圧縮又は引張軸力	6.87
		A _{g3}	mm ²	柱の断面積	11800
	はり	M _{x4}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント	2.826
		M _{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント	0.226
		Z _{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	1350000
		Z _{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	450000
		Q _{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力	36.68
		Q _{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力	2.888
		A _{Sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積	2700
		A _{Sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積	9000
		N _{c(t)4}	kN	はりの圧縮又は引張軸力	—
		A _{g4}	mm ²	はりの断面積	11800
	アンカー ボルト	Q ₅	kN	アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力	25
T ₅		kN	アンカーボルト1本あたりに生じる引張力	2	

4. 評価結果

水密扉の強度評価結果を表 4-1～表 4-4 に示す。水密扉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、水密扉が構造健全性を有することを確認した。

図 4-1 に水密扉パネル部の各部材毎に検定比が最大となる代表部材を示す。

表 4-1 水密扉の強度評価結果（タイプ I）

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値
9	扉板	曲げ	40	215	0.19
	芯材	曲げ	129	235	0.55
		せん断	28	135	0.21
	カンヌキ	曲げ	62	205	0.31
		せん断	5	118	0.05
		組合せ	63	205	0.31
	アンカーボルト*	引張	12	17	0.71

注記*：引張及びせん断のうち、評価結果が厳しい方の値を記載する。

なお、アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 4-2 水密扉の強度評価結果（タイプ II）（1/2）

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値
1	扉板	曲げ	104	235	0.45
	芯材	曲げ	36	235	0.16
		せん断	18	135	0.14
	アンカーボルト*	せん断	11	19	0.58

注記*：アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 4-2 水密扉の強度評価結果 (タイプ II) (2/2)

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値
32	扉板	曲げ	77	235	0.33
	芯材	曲げ	50	235	0.22
		せん断	9	135	0.07

表 4-3 水密扉の強度評価結果 (タイプ III)

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値
28	扉板	曲げ	27	235	0.12
	芯材	曲げ	9	235	0.04
		せん断	4	135	0.03

表 4-4 水密扉の強度評価結果 (タイプⅣ)

水密扉 No.	対象評価部材	分類	発生値 (応力度又は荷重) (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生値/ 許容限界値	
30	パネル部	パネル板	曲げ	69	235	0.30
		パネル 芯材	曲げ	3	235	0.02
			せん断	4	135	0.03
		柱	曲げ (強軸)	29	230	0.13
			曲げ (弱軸)	—	—	—
			せん断	30	135	0.23
			軸力	1	224	0.01
			組合せ (曲げ+軸力)	—	—	0.14
			組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	60	235	0.26
			はり	曲げ (強軸)	3	234
		曲げ (弱軸)		1	234	0.01
		せん断		14	135	0.11
		軸力		—	—	—
		組合せ (曲げ+軸力)		—	—	0.03
		組合せ (曲げ+せん断 +軸力)		25	235	0.11
		アンカー ボルト*	せん断	2	25	0.08
			引張	25	28	0.90
			組合せ (せん断+引張)	—	—	0.81

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

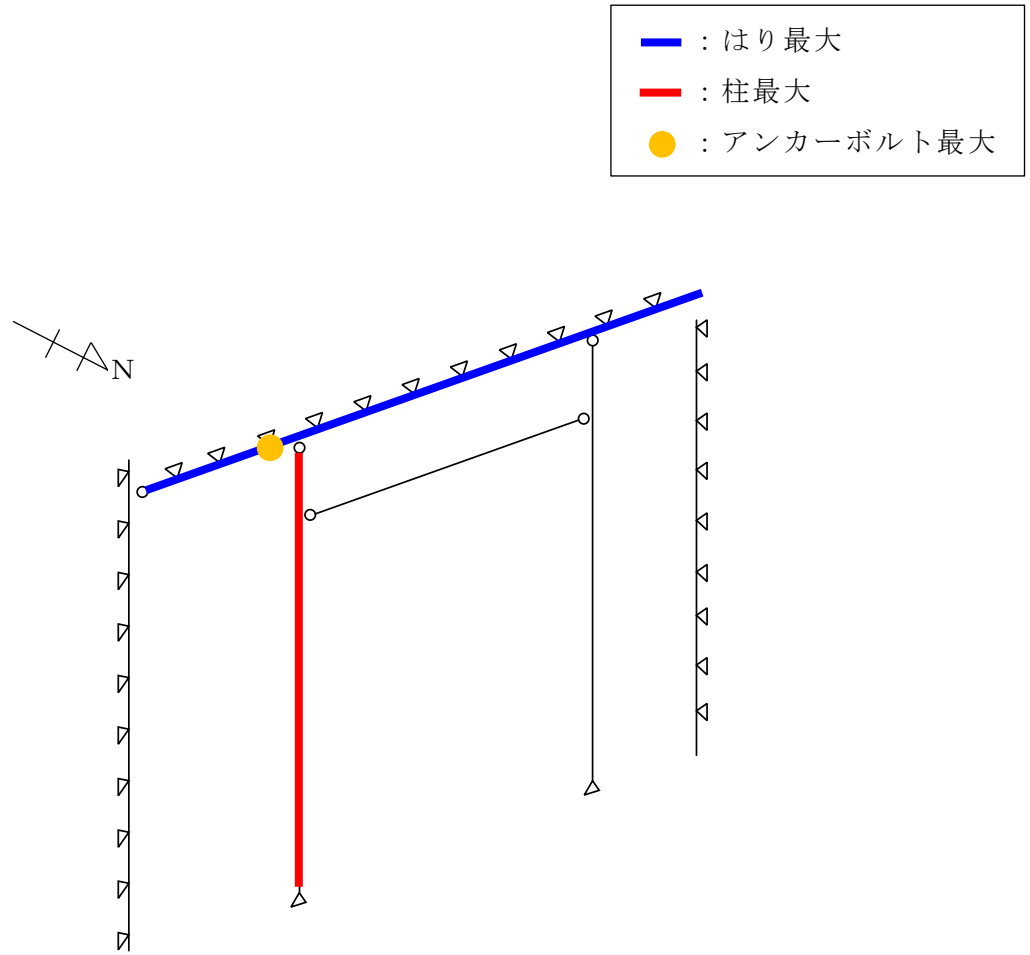


図 4-1 検定比最大箇所 (パネル部)

VI-3-別添 3-4-3 床 dren 逆止弁の強度計算書 (溢水)

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 配置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4

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、浸水防護施設のうち建物内に設置されている床ドレン逆止弁が内部溢水の浸水によって生じる静水圧荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 配置

強度評価の対象施設となる床ドレン逆止弁の配置計画は、VI-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「3. 構造強度設計」にて示す。

2.2 構造概要

床ドレン逆止弁の構造計画は、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」にて示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を決定する。床ドレン逆止弁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
80A 型 (ねじ込み取付式)	弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管の取付部に直接ねじ込み固定とする。	

2.3 評価方針

床ドレン逆止弁の耐震評価は、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」にて設定している荷重並びに許容限界を踏まえて、応力評価及び構造健全性評価により実施する。床ドレン逆止弁の強度評価フローを図 2-1 に示す。

溢水への配慮が必要な施設の強度計算においては、静水圧荷重を用いて評価するが、津波への配慮が必要な施設の強度計算では、突き上げ津波荷重と余震を考慮した荷重を用いて評価する。よって、評価上最も厳しい計算条件は、VI-3-別添 3-2-7「床ドレン逆止弁の強度計算書」に包絡されるため、本計算書では評価不要とする。

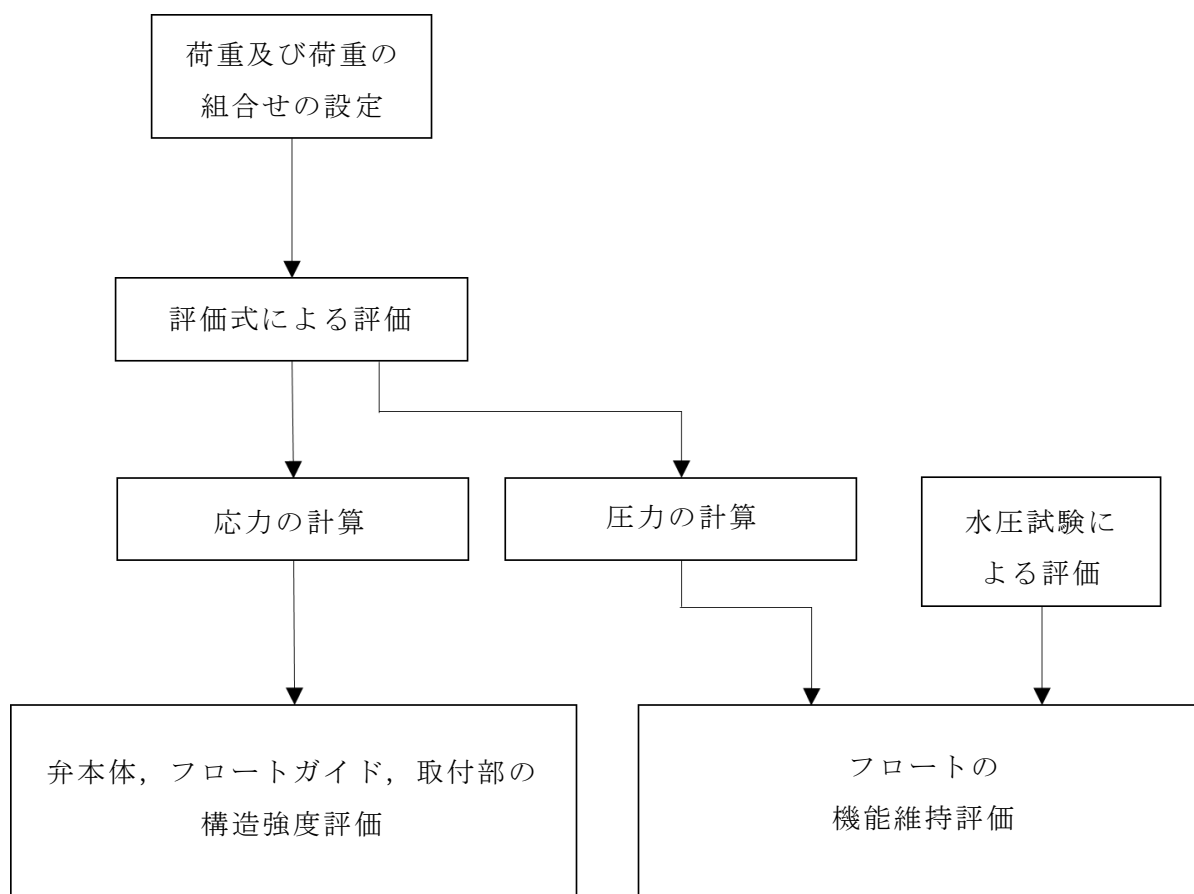


図 2-1 強度評価フロー

VI-3-別添3-4-4 堰の強度計算書

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	22
2.3.1 柱支持型堰の構造	22
2.3.2 鋼板折曲げ型堰の構造	23
2.3.3 鉄筋コンクリート製堰の構造	24
2.4 評価方針	25
2.5 適用規格・基準等	26
3. 強度評価方法	26
3.1 記号の説明	27
3.2 評価対象部位及び評価対象設備	30
3.2.1 柱支持型堰	30
3.2.2 鋼板折曲げ型堰	35
3.2.3 鉄筋コンクリート製堰	37
3.3 荷重及び荷重の組合せ	38
3.3.1 溢水による静水圧荷重	38
3.3.2 荷重の組合せ	38
3.4 許容限界	39
3.4.1 柱支持型堰の許容限界	39
3.4.2 鋼板折曲げ型堰の許容限界	41
3.4.3 鉄筋コンクリート製堰の許容限界	42
3.5 評価方法	43
3.5.1 柱支持型堰の評価方法	43
3.5.2 鋼板折曲げ型堰の評価方法	51
3.5.3 鉄筋コンクリート製堰の評価方法	54
3.6 評価条件	58
4. 評価結果	60

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堰及び管理区域堰（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

検討対象の堰の建物ごとの数を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象堰

設置建物	対象堰数
原子炉建物	50
タービン建物	12
廃棄物処理建物	14
制御室建物	5
サイトバンカ建物	13
合計	94

2.2 配置概要

堰は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.2 溢水用堰の設計方針」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、廃棄物処理建物、制御室建物及びサイトバンカ建物に設置する。堰の設置位置及び堰の名称を図 2-1 に示す。

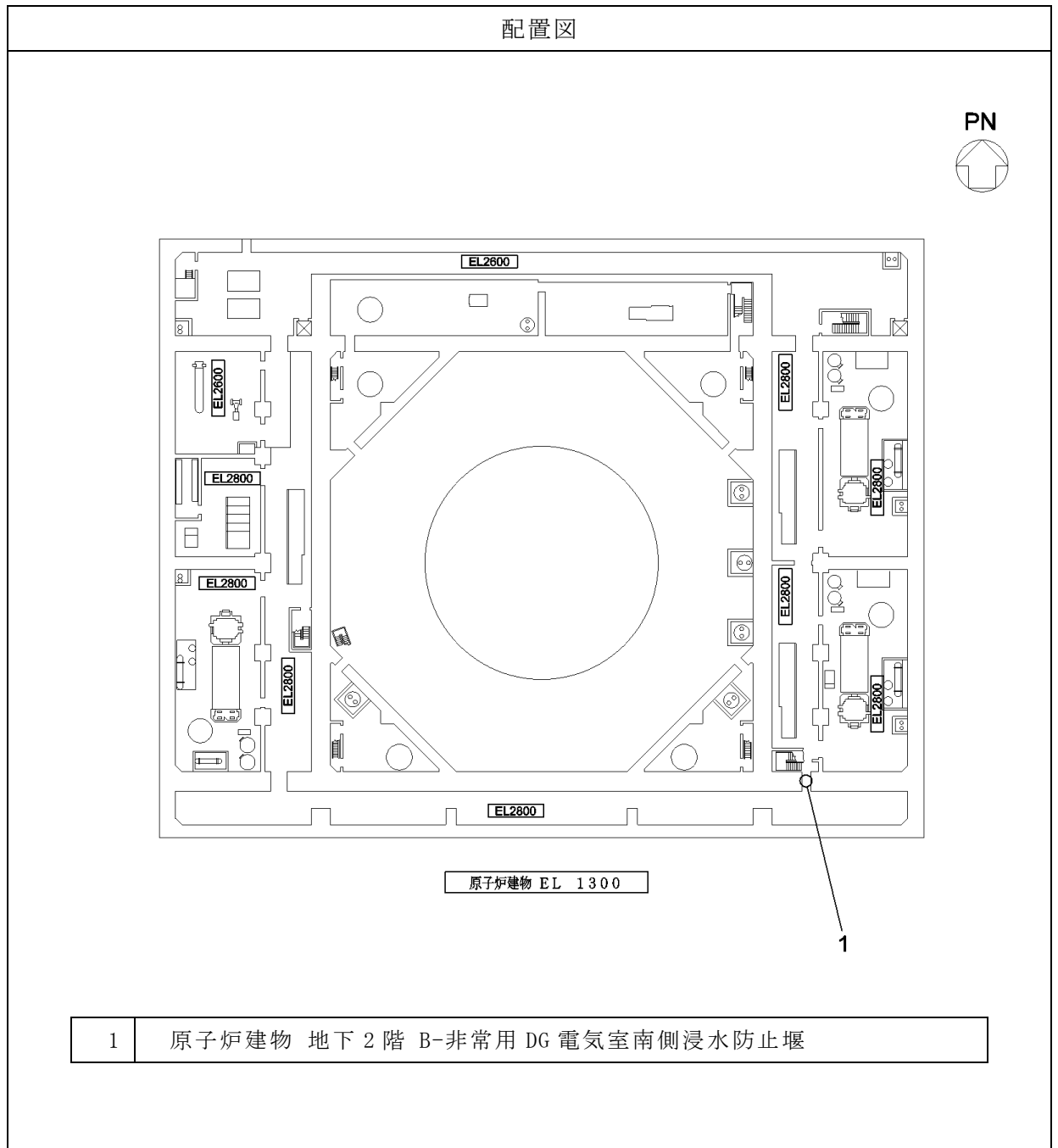


図 2-1 設置位置図 (1/19)

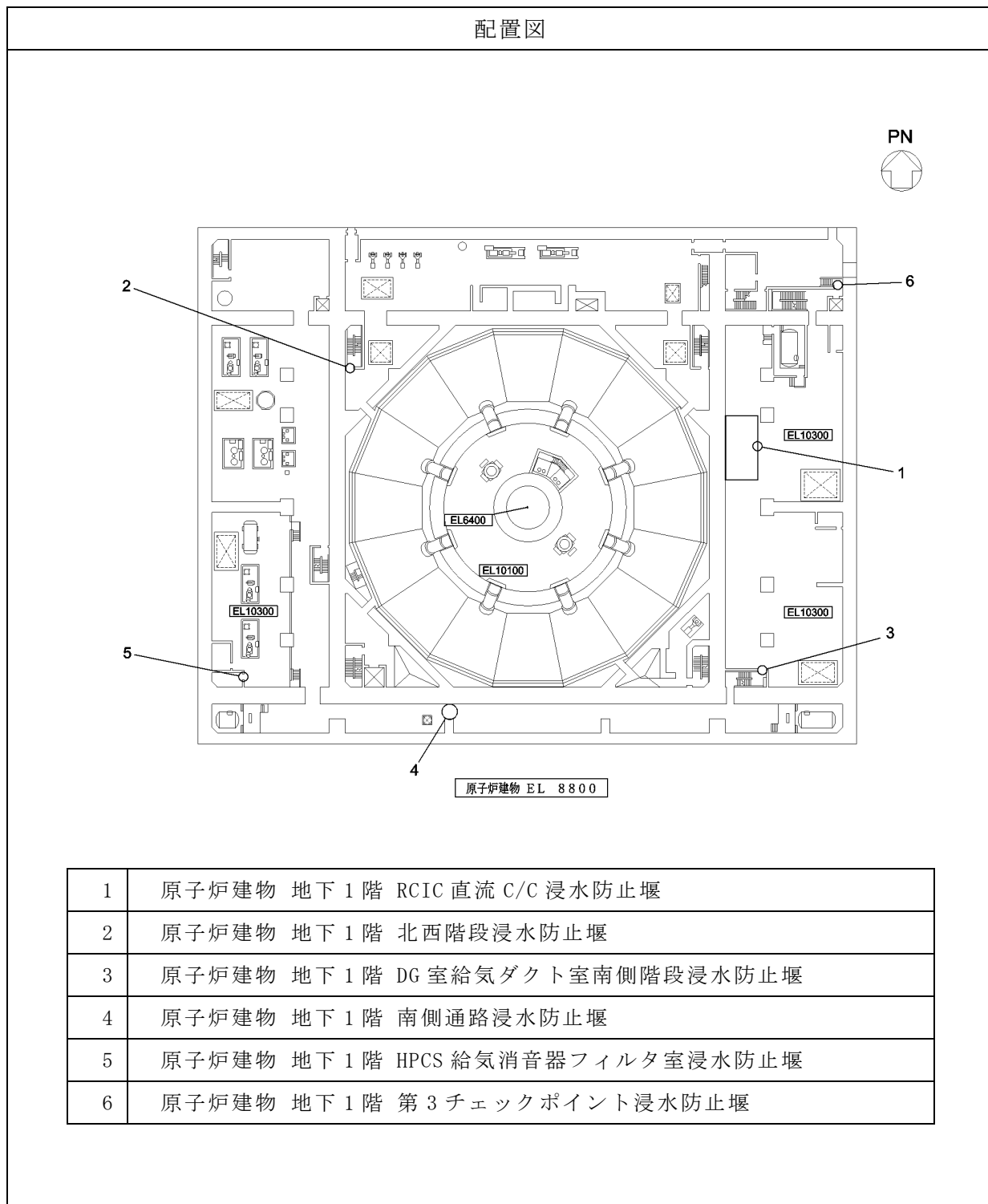


図 2-1 設置位置図 (2/19)

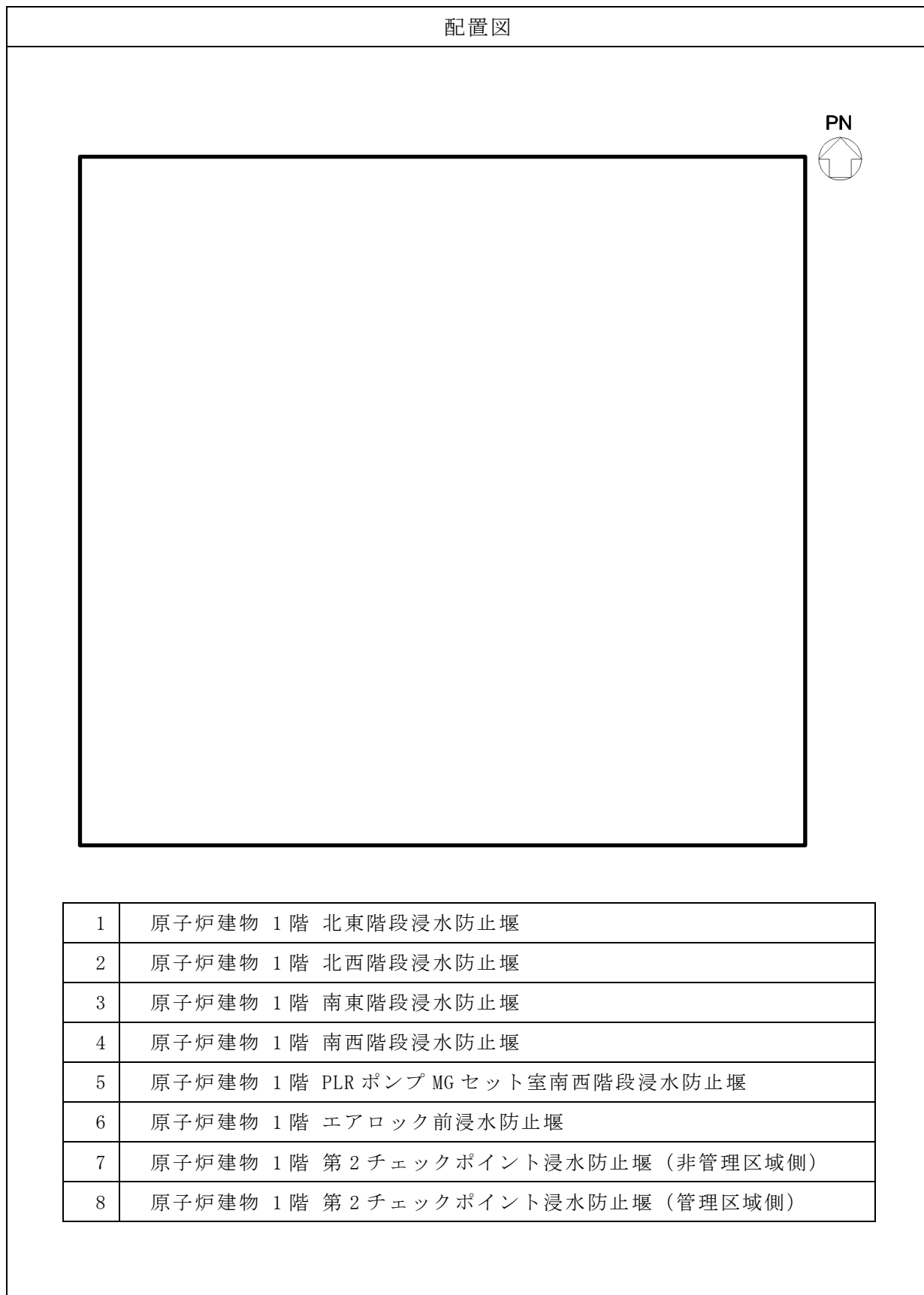


図 2-1 設置位置図 (3/19)

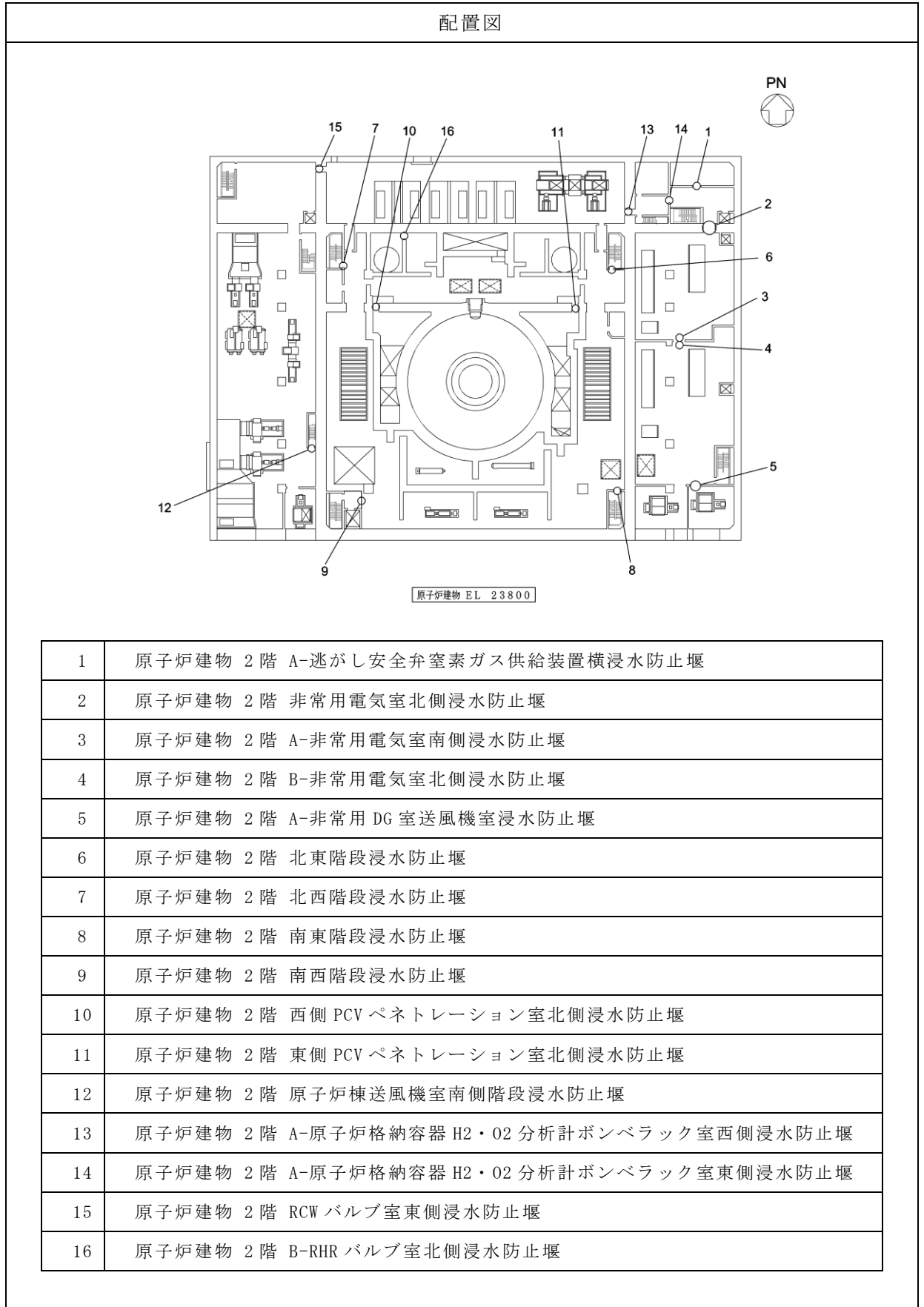


図 2-1 設置位置図 (4/19)

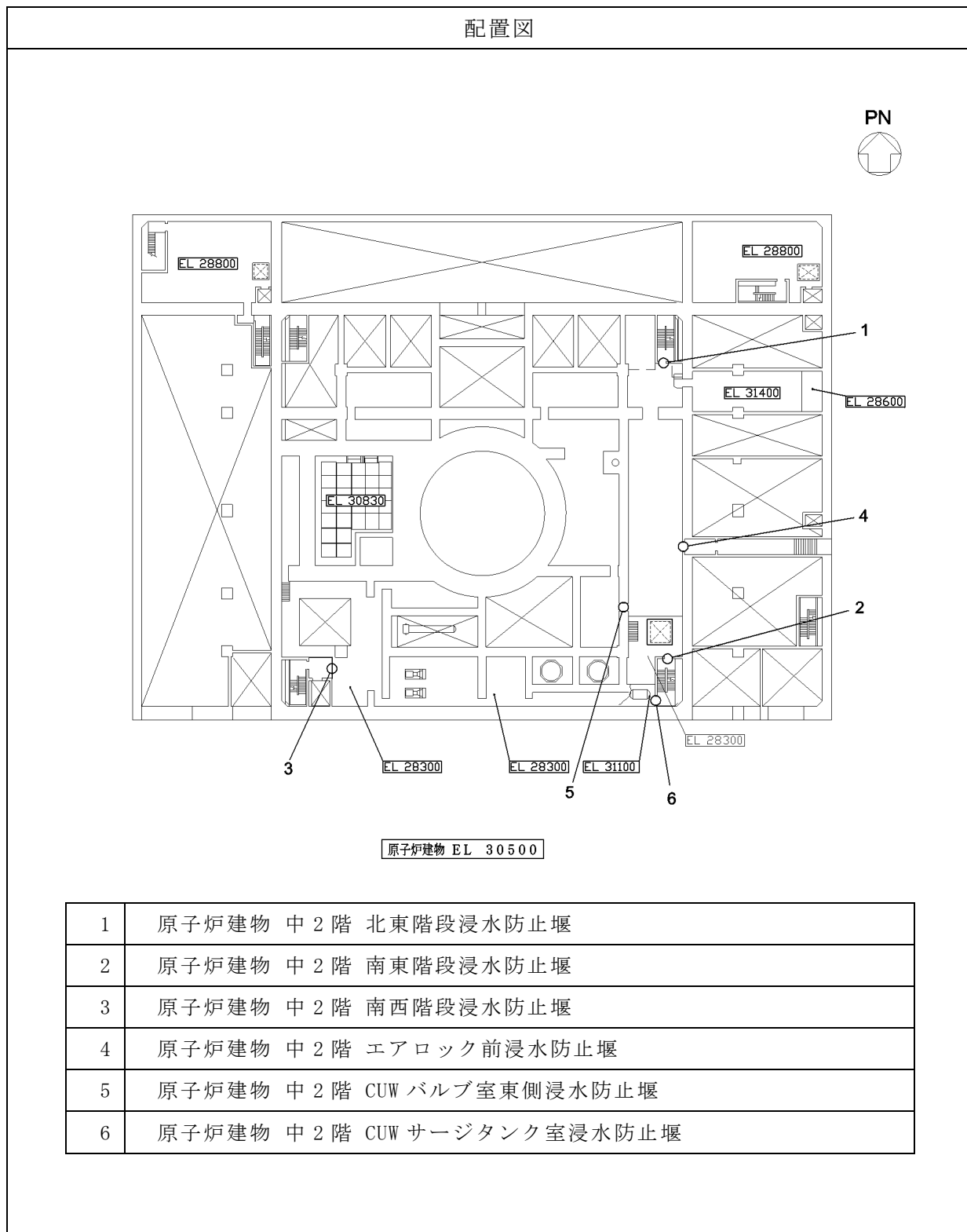


図 2-1 設置位置図 (5/19)

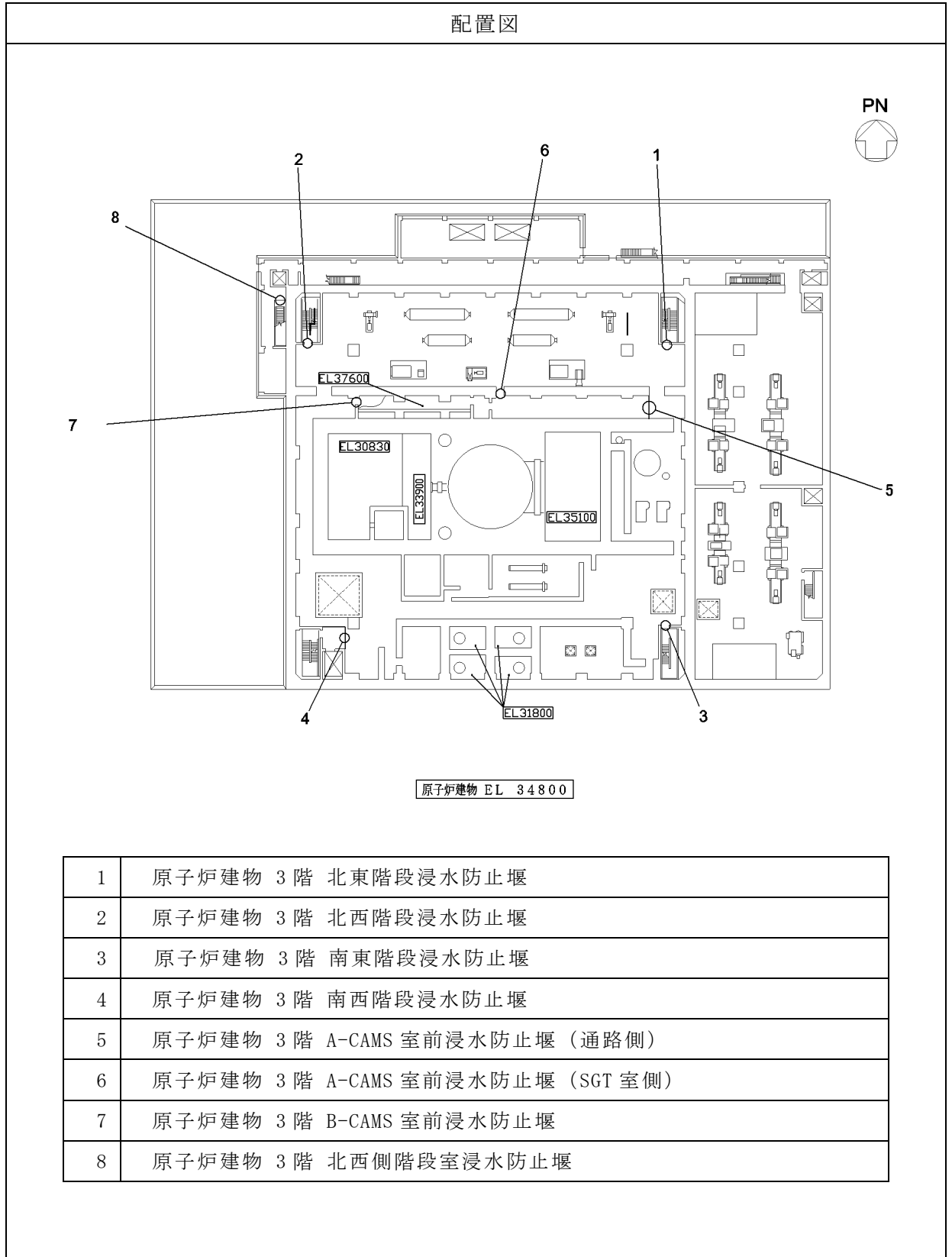


図 2-1 設置位置図 (6/19)

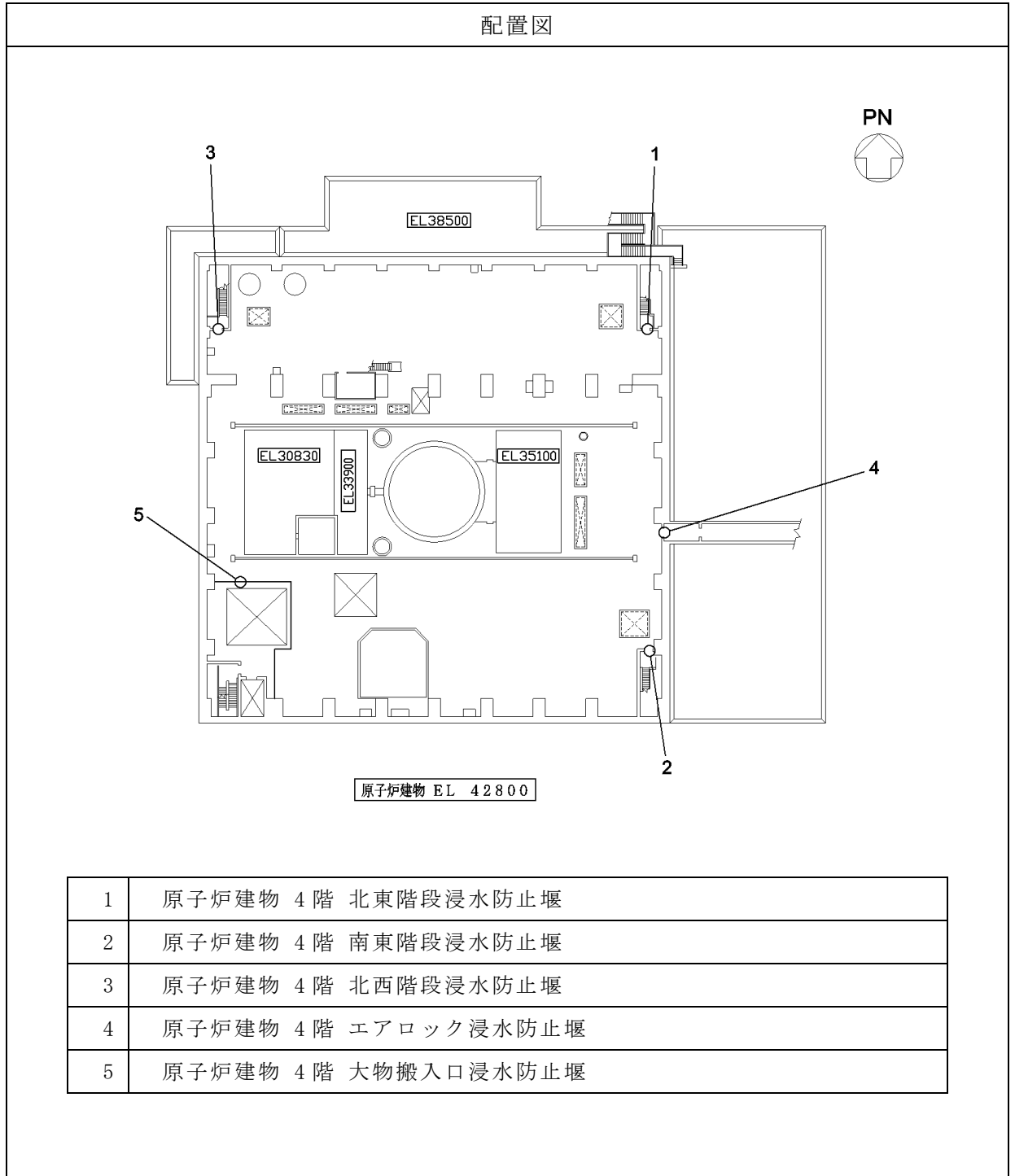


図 2-1 設置位置図 (7/19)

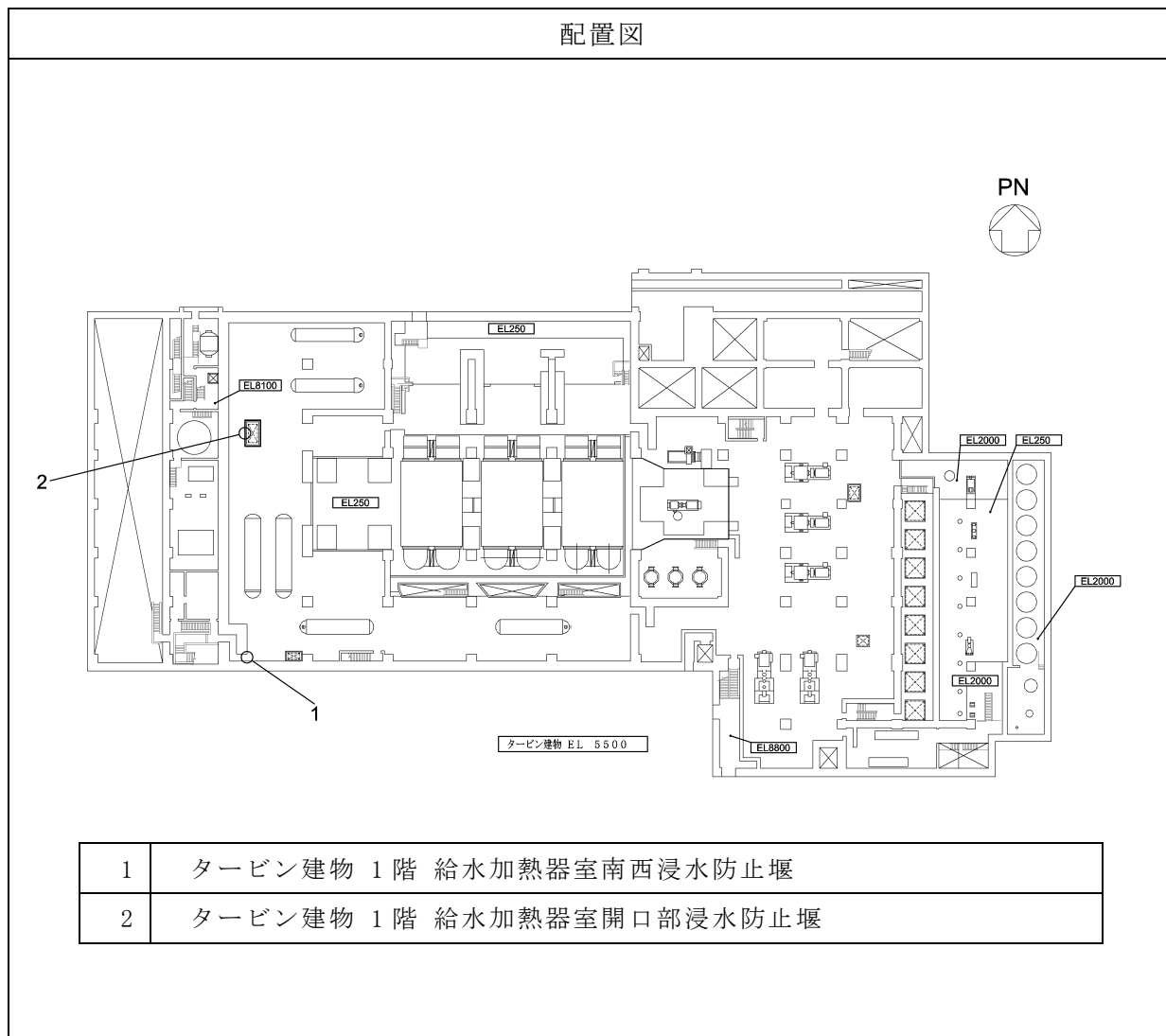


図 2-1 設置位置図(8/19)

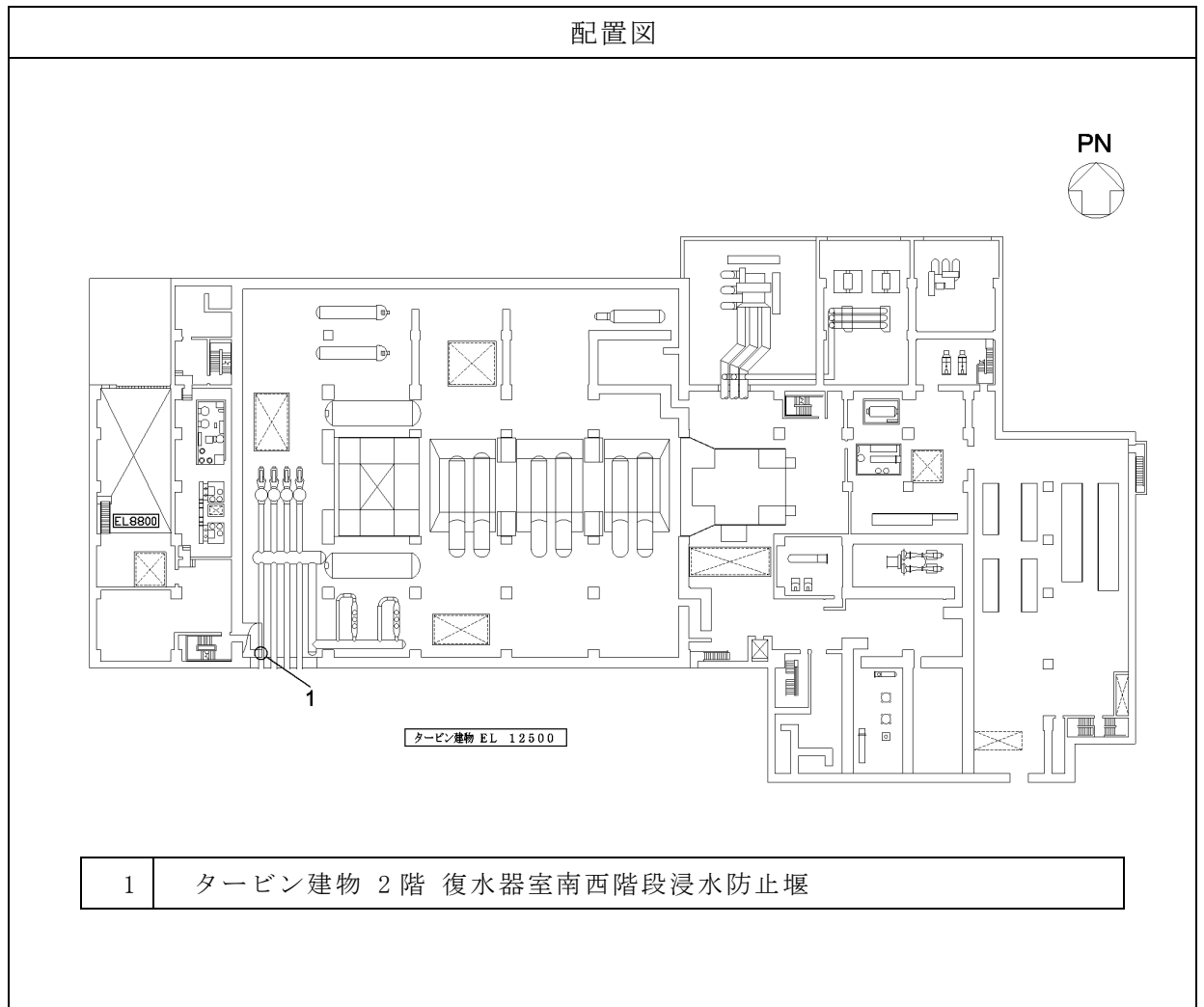


図 2-1 設置位置図 (9/19)

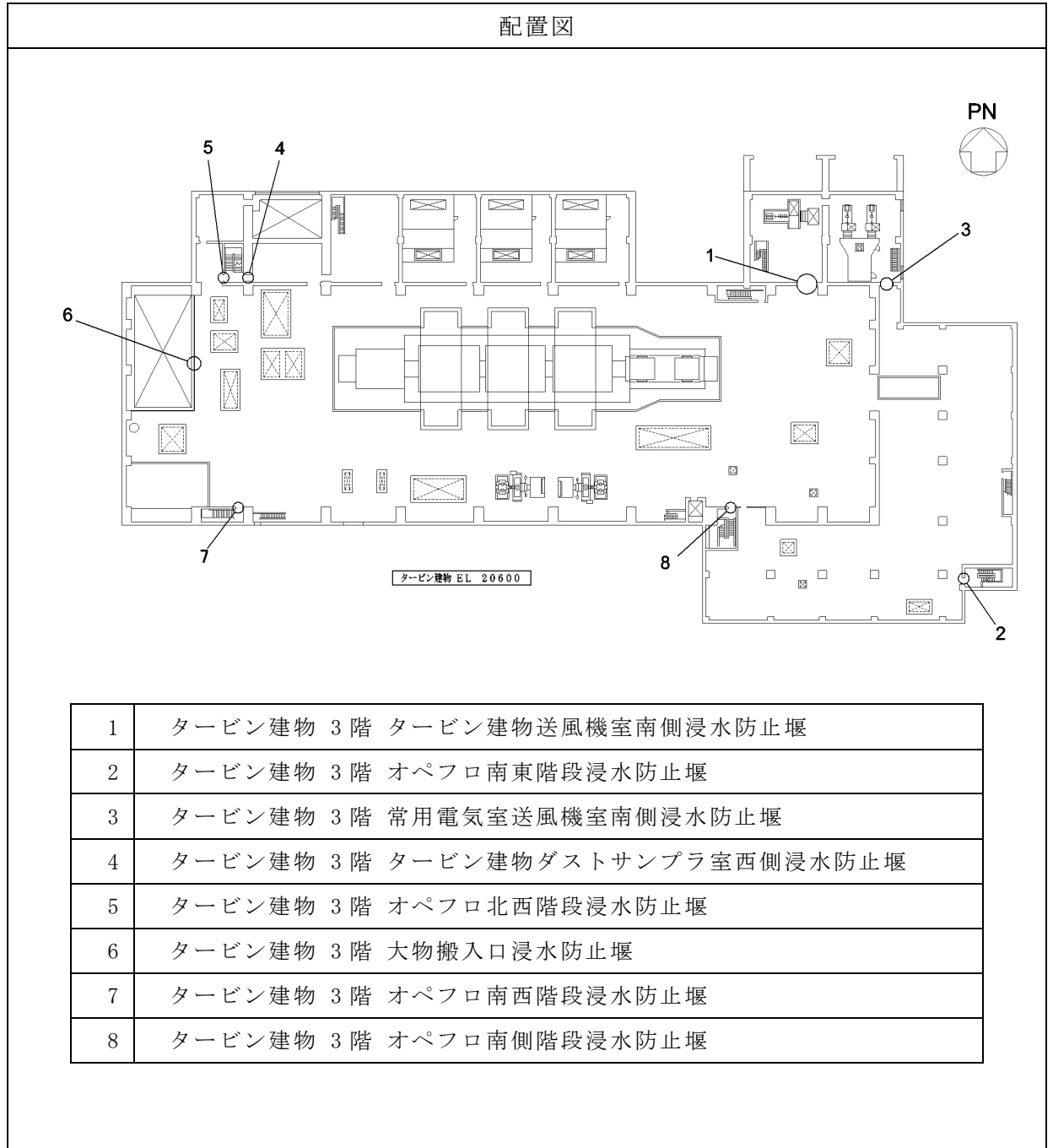


図 2-1 設置位置図 (10/19)

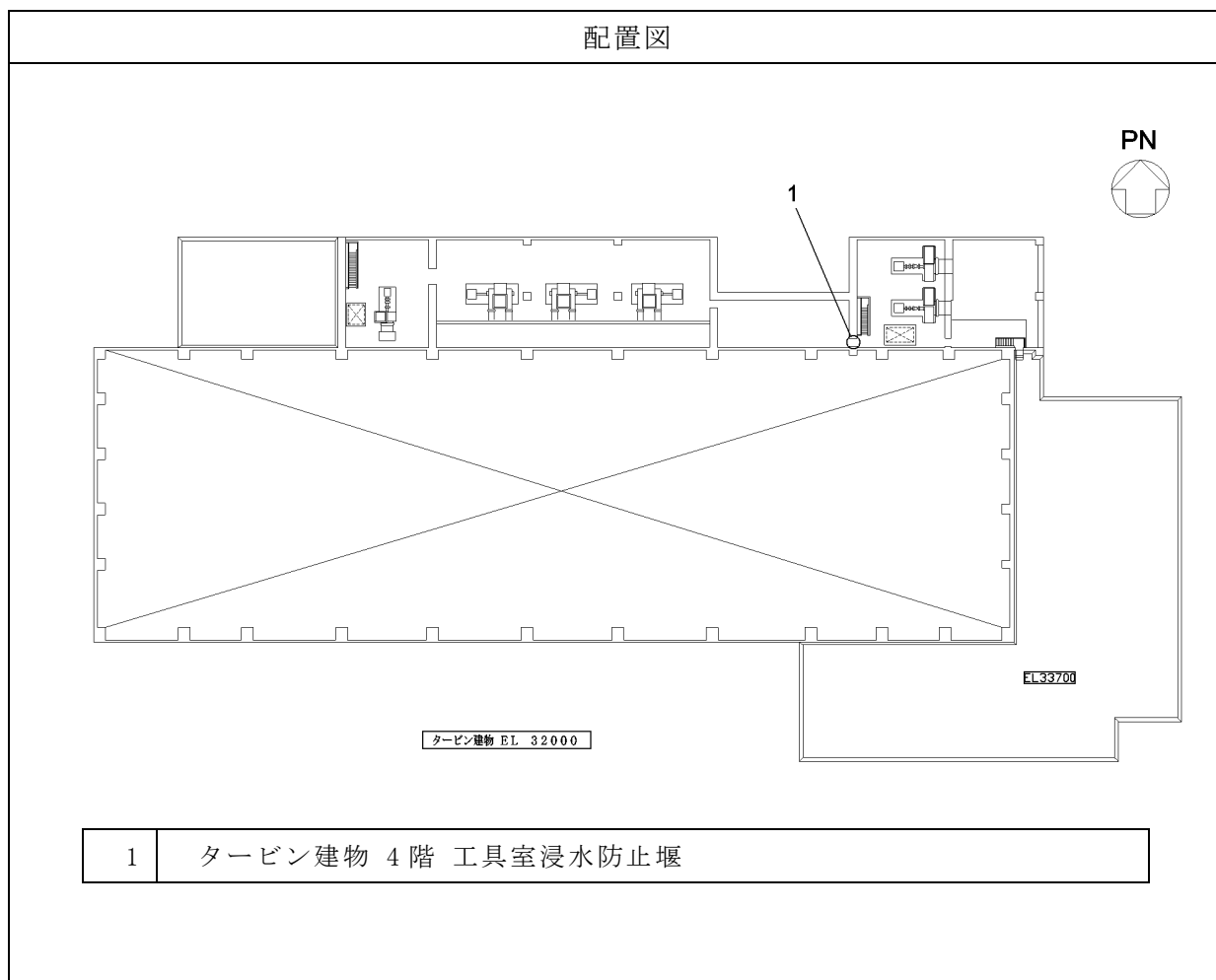


図 2-1 設置位置図(11/19)

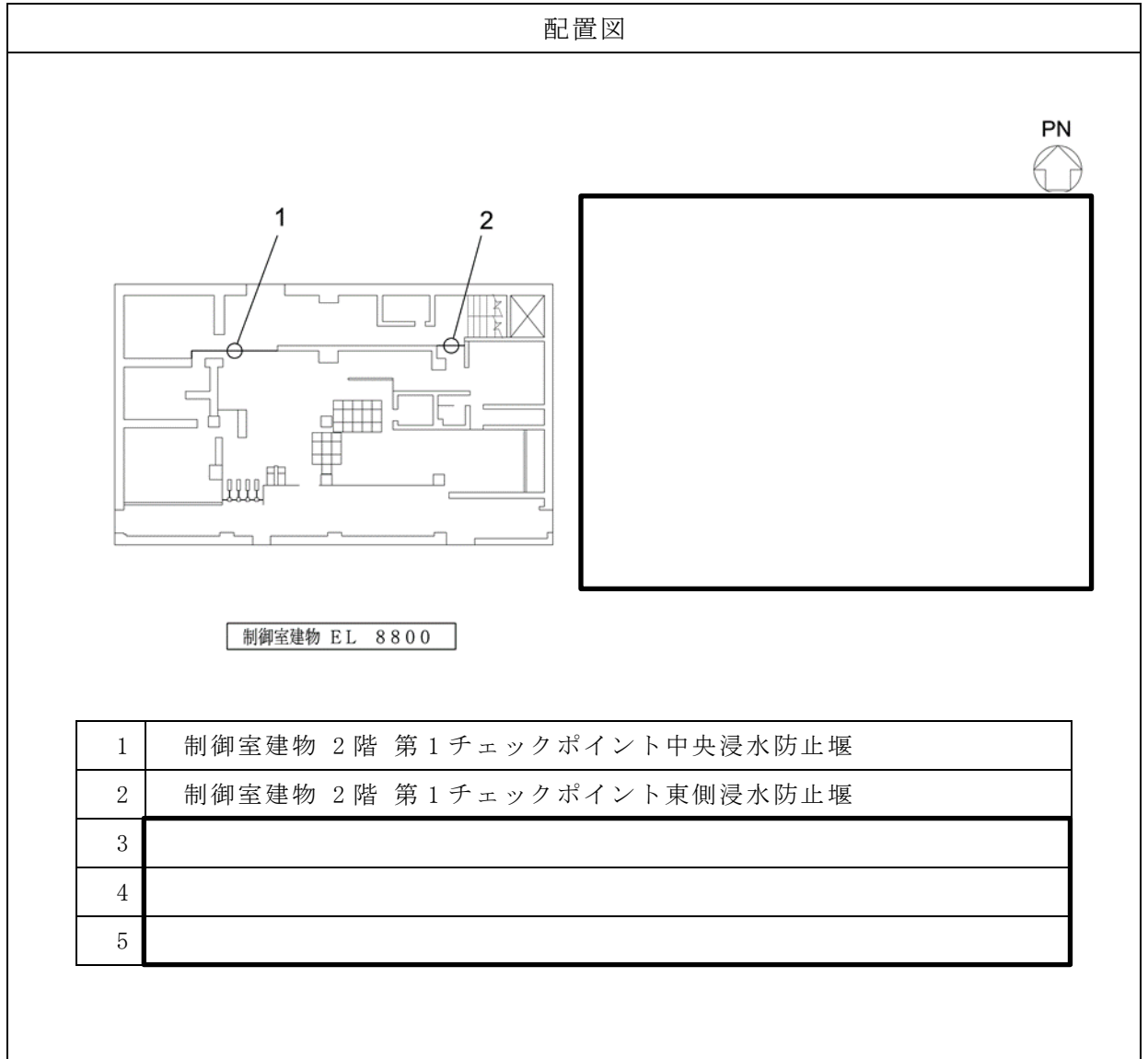


図 2-1 設置位置図 (12/19)

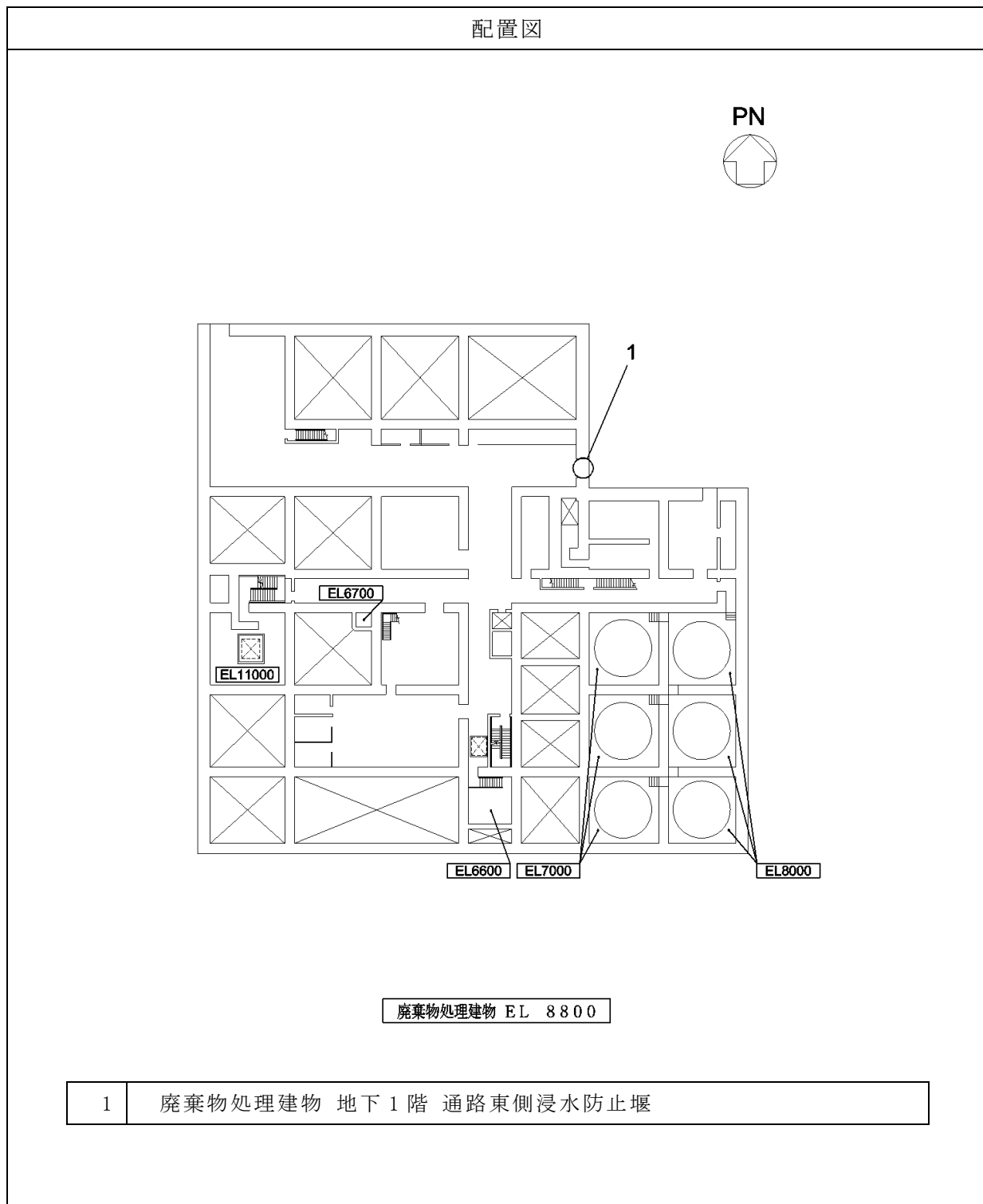


図 2-1 設置位置図 (13/19)

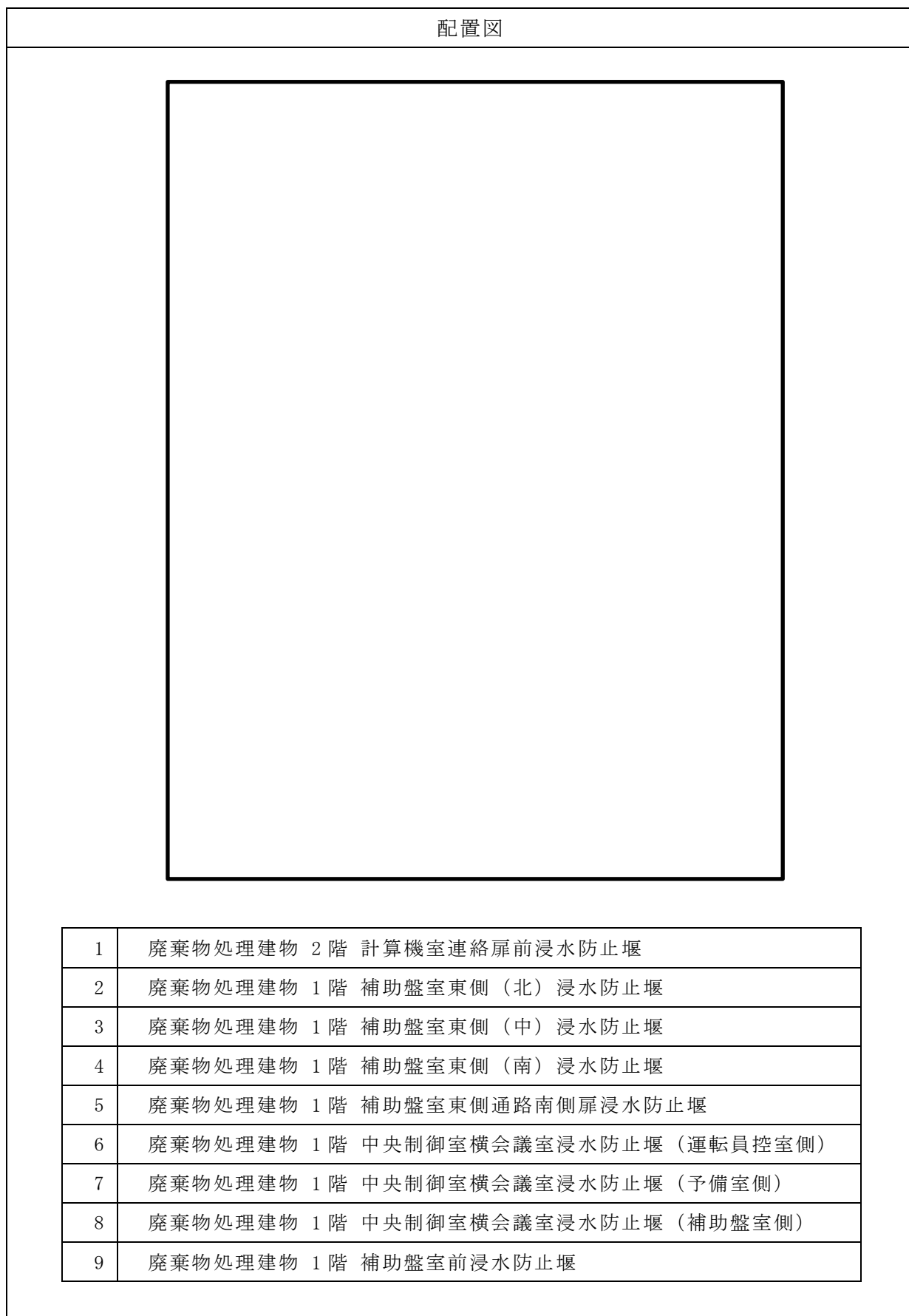


図 2-1 設置位置図(14/19)

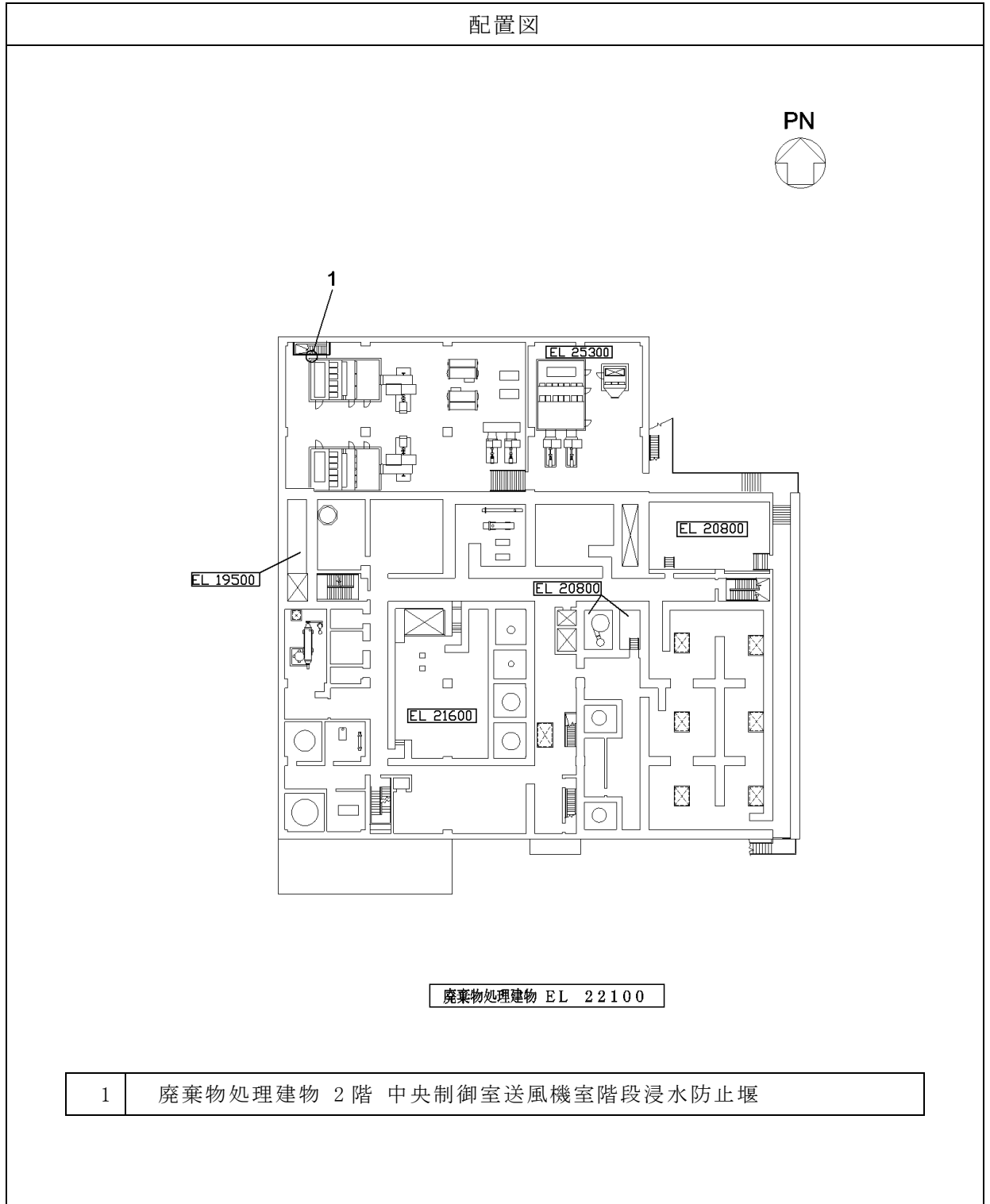


図 2-1 設置位置図 (15/19)

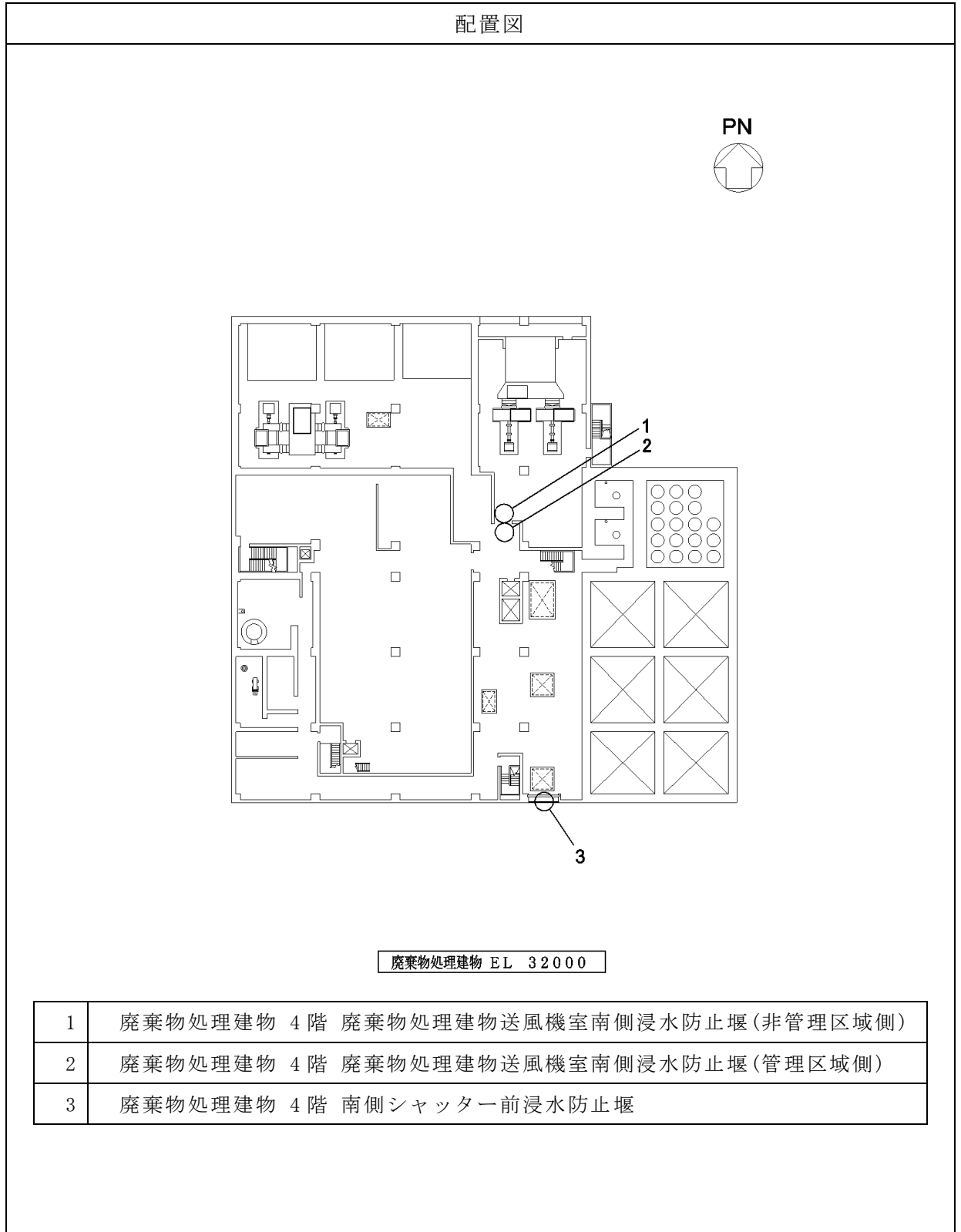


図 2-1 設置位置図(16/19)

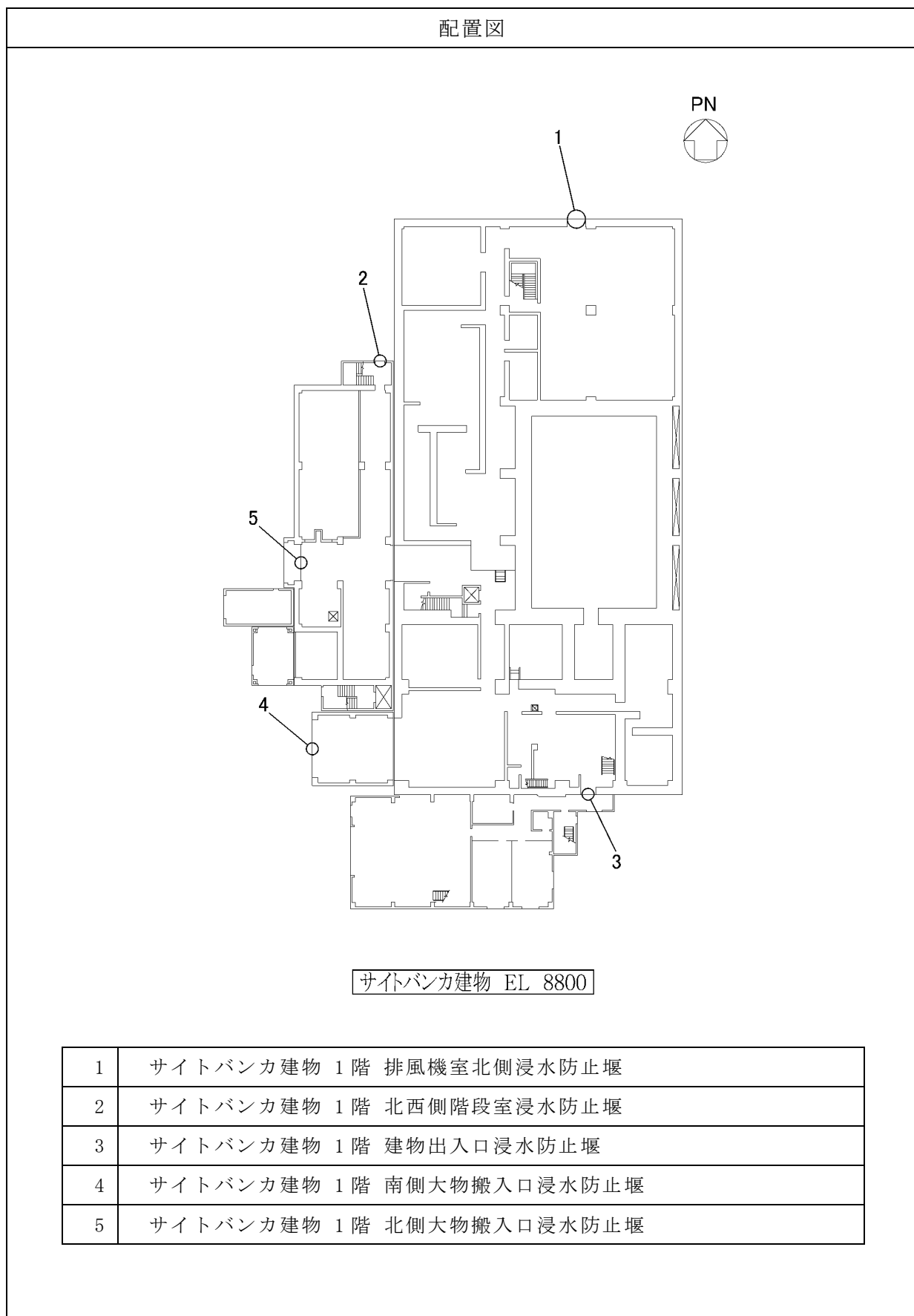


図 2-1 設置位置図 (17/19)

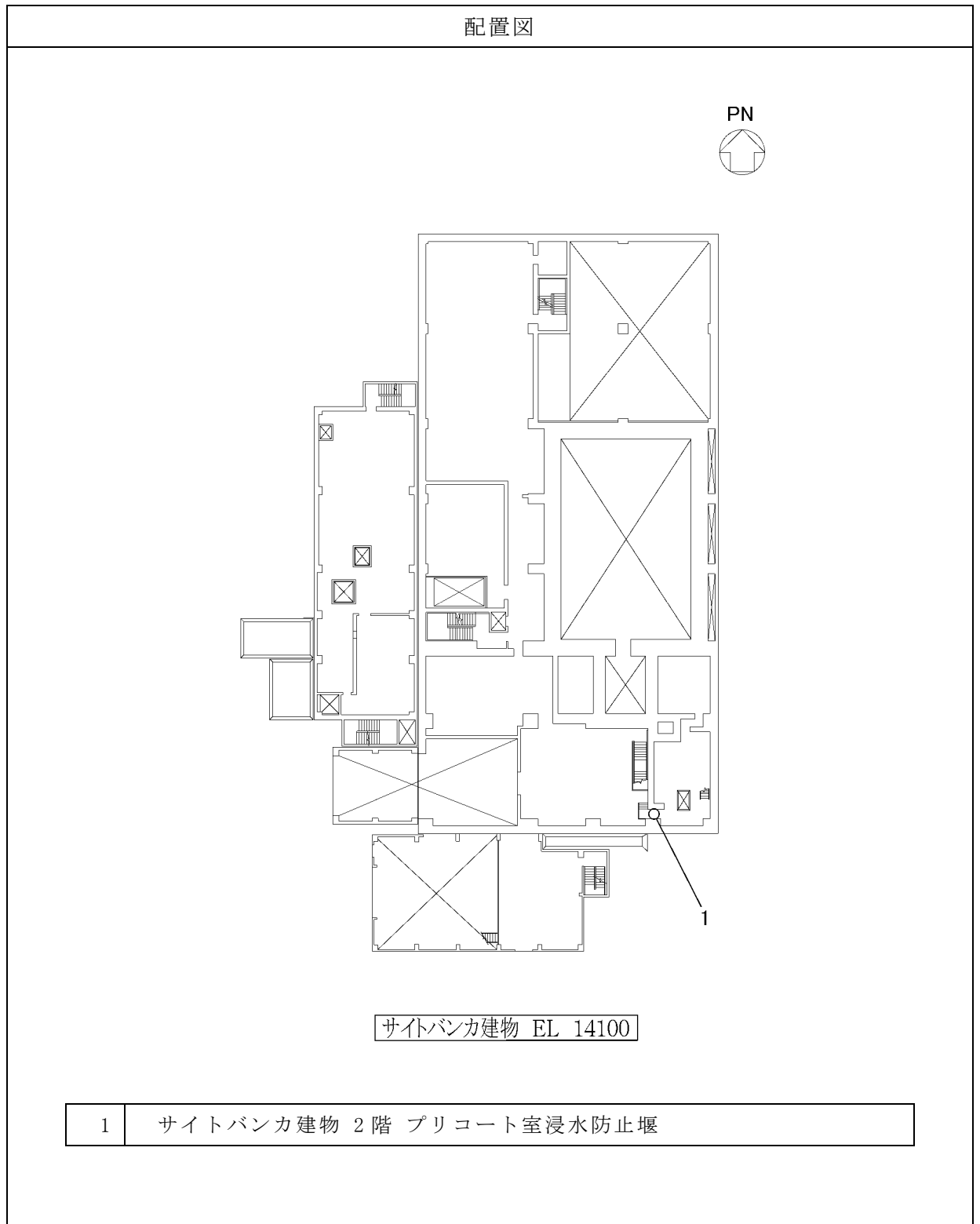


図 2-1 設置位置図 (18/19)

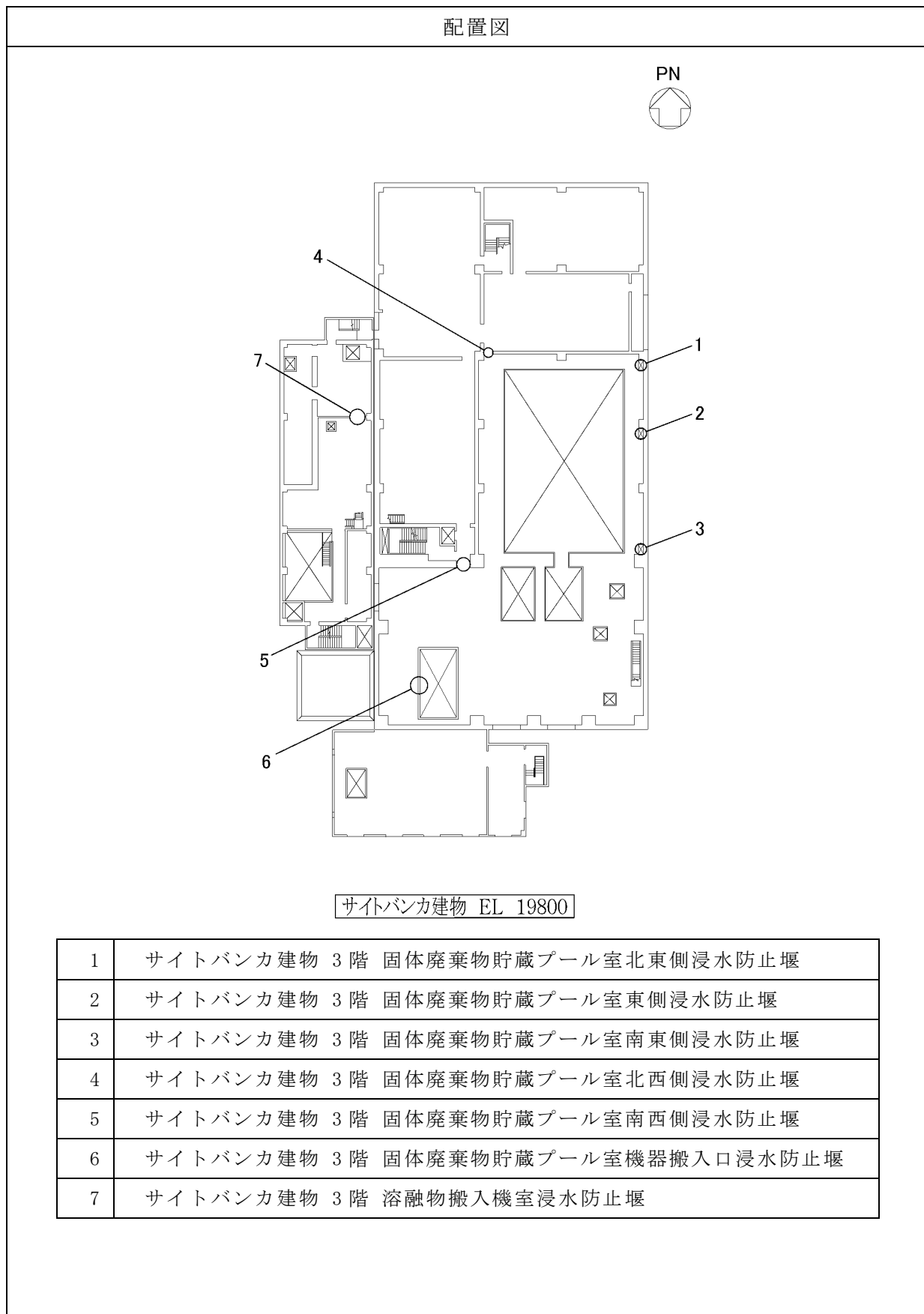


図 2-1 設置位置図 (19/19)

2.3 構造計画

堰の構造は、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。堰は、柱支持型堰、鋼板折曲げ型堰及び鉄筋コンクリート製堰に分類される構造とする。

2.3.1 柱支持型堰の構造

柱支持型堰は、鋼板、はり材、柱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。柱支持型堰の構造計画を表 2-2 に示す。

表2-2 柱支持型堰の概略構造図

計画の概要	
基礎・支持構造	主体構造
柱材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。	鋼板、はり材、柱材及びアンカーボルトにて構成する。
概略構造図	

2.3.2 鋼板折曲げ型堰の構造

鋼板折曲げ型堰は，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床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。鋼板折曲げ型堰の構造計画を表 2-3 に示す。

表 2-3 鋼板折曲げ型堰の構造計画

計画の概要	
基礎・支持構造	主体構造
鋼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。	鋼板及びアンカーボルトにて構成する。
概略構造図	

2.3.3 鉄筋コンクリート製堰の構造

鉄筋コンクリート製堰は、アンカー筋により既存躯体と堰を一体化させた鉄筋コンクリート構造物である。鉄筋コンクリート製堰の構造計画を表 2-4 に示す。

表 2-4 鉄筋コンクリート製堰の構造計画

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

2.4 評価方針

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「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。

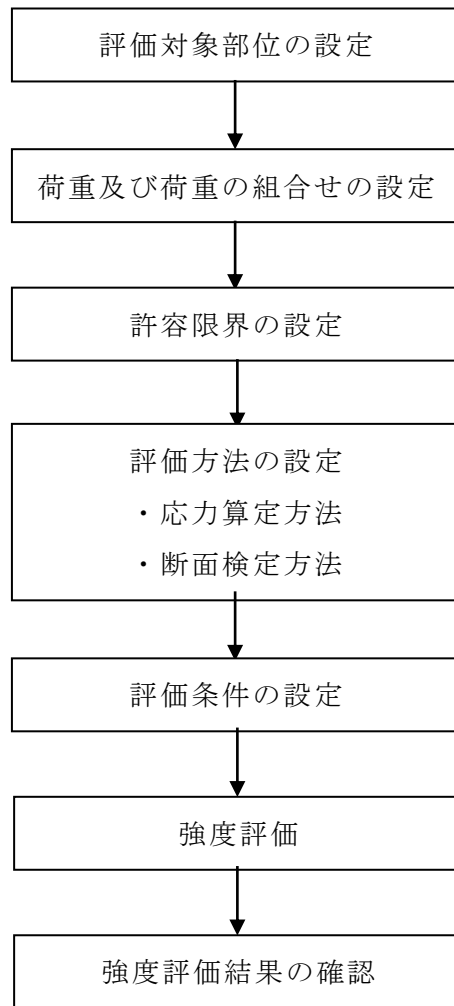


図 2-2 堰の強度評価フロー

2.5 適用規格・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
- ・ 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）
- ・ 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）

3. 強度評価方法

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

柱支持型堰の強度評価に用いる記号を表3-1に、鋼板折曲げ型堰の強度評価に用いる記号を表3-2に、鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる記号を表3-3に示す。

表3-1 柱支持型堰の強度評価に用いる記号(1/2)

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	堰の高さ
P _h	kN/m ²	堰最下端の静水圧荷重
L ₁	mm	はり材間距離
Z	mm ³ /mm	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	はり材1本当たりが負担する鋼板の幅
w _f	kN/m	はり材の平均水圧による分布荷重
L ₂	mm	はり材の長さ
Z _f	mm ³	はり材の断面係数
σ_f	N/mm ²	はり材に生じる曲げ応力度
A _f	mm ²	はり材のせん断断面積
τ_f	N/mm ²	はり材に生じるせん断応力度
σ_{ef}	N/mm ²	はり材の組合せ応力度
L ₂ '	mm	柱材1本当たりが負担するはり材の長さ
w _{f2}	kN/m	柱材の平均水圧による分布荷重
Z _Y	mm ³	柱材の断面係数
σ_Y	N/mm ²	柱材に生じる曲げ応力度
A _Y	mm ²	柱材のせん断断面積
τ_Y	N/mm ²	柱材に生じるせん断応力度
σ_{eY}	N/mm ²	柱材の組合せ応力度
L ₃	mm	ベースプレートの幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
N ₁	本	引張を受けるアンカーボルトの本数
N ₂	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルトに生じる引張力

表 3-1 柱支持型堰の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
q	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
T _a	kN	アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重
Q _a	kN	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重

表 3-2 鋼板折曲げ型堰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	堰の高さ
P _h	kN/m ²	静水圧荷重
M	kN・m	鋼板の曲げモーメント
Z	mm ³	鋼板の断面係数
σ	N/mm ²	鋼板の曲げ応力度
R _v	kN	支点反力（鉛直方向）
N ₁	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルトに生じる引張力
R _H	kN	支点反力（水平方向）
N ₂	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数
q	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
T _a	kN	アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重
Q _a	kN	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
B	mm	堰の幅

表 3-3 鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる記号(1/2)

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	堰の高さ
P _h	kN/m ²	静水圧荷重
b ₁ '	m	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離

表 3-3 鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
T_1	kN	アンカー筋に生じる引張力
q_1	kN	アンカー筋に生じるせん断力
T_{a1}	kN	アンカー筋に生じる引張に対する短期許容荷重
Q_{a1}	kN	アンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
b_2'	m	主筋の重心位置から躯体端部までの距離
N_3	本	引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数
N_4	本	せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数
T_2	kN	主筋に生じる引張力
q_2	kN	主筋に生じるせん断力
T_{a2}	kN	主筋に生じる引張に対する短期許容荷重
Q_{a2}	kN	主筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅
τ'	N/mm^2	堰底部のコンクリートに生じるせん断応力度
ρ	kN/m^3	コンクリートの単位体積重量
W_1	kN/m	単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
Z	mm^3/m	堰の断面係数
σ_c	N/mm^2	堰底部のコンクリートに生じる圧縮応力度

3.2 評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は、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。

また、柱支持型堰、鋼板折曲げ型堰及び鉄筋コンクリート製堰において、代表として評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰の強度評価結果を示す。

3.2.1 柱支持型堰

柱支持型堰の評価対象部位は、堰に作用する静水圧荷重が、鋼板、はり材及び柱材からアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、鋼板、はり材、柱材及びアンカーボルトとする。

評価の対象となる柱支持型堰の選定結果を表 3-4 に示す。

表 3-4 評価対象とする柱支持型堰の選定結果(1/5)

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
原子炉建物 EL 2800mm	原子炉建物 地下 2 階 B-非常用 DG 電気室南側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 南側通路浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 HPCS 給気消音器フィルタ室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南西階段浸水防止堰	

表 3-4 評価対象とする柱支持型堰の選定結果 (2/5)

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 エアロック前浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰 (非管理区域側)	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰 (管理区域側)	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-逃がし安全弁室素ガス供給装置横浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 非常用電気室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-非常用電気室南側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 B-非常用電気室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	

表 3-4 評価対象とする柱支持型堰の選定結果 (3/5)

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-原子炉格納容器 H2・02 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-原子炉格納容器 H2・02 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 RCW バルブ室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 B-RHR バルブ室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中2階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中2階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中2階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中2階 エアロック前浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中2階 CUW バルブ室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 31100mm	原子炉建物 中2階 CUW サージタンク室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3階 南西階段浸水防止堰	

表 3-4 評価対象とする柱支持型堰の選定結果(4/5)

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰 (通路側)	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰 (SGT 室側)	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室前浸水防止堰	
タービン建物 EL 5500mm	タービン建物 1 階 給水加熱器室南西浸水防止堰	
タービン建物 EL 5500mm	タービン建物 1 階 給水加熱器室開口部浸水防止堰	
タービン建物 EL 12500mm	タービン建物 2 階 復水器室南西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南東階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 常用電気室送風機室南側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン建物ダストサンプラ室西側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ北西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 大物搬入口浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南側階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 32000mm	タービン建物 4 階 工具室浸水防止堰	

表 3-4 評価対象とする柱支持型堰の選定結果 (5/5)

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
廃棄物処理建物 EL 8800mm	廃棄物処理建物 地下 1 階 通路東側浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰 (非管理区域側)	○*
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰 (管理区域側)	
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 南側シャッター前浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 10200mm	サイトバンカ建物 1 階 排風機室北側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1 階 北西側階段室浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 14800mm	サイトバンカ建物 2 階 プリコート室浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 20300mm	サイトバンカ建物 3 階 溶融物搬入機室浸水防止堰	

注記* : 評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

3.2.2 鋼板折曲げ型堰

鋼板折曲げ型堰の評価対象部位は、堰に作用する静水圧荷重が、鋼板からアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、鋼板及びアンカーボルトとする。

評価の対象となる鋼板折曲げ型堰の選定結果を表 3-5 に示す。

表 3-5 評価対象とする鋼板折曲げ型堰の選定結果(1/2)

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 RCIC 直流 C/C 浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 DG 室給気ダクト室南側階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 第 3 チェックポイント浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西側階段室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 エアロック浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 大物搬入口浸水防止堰	
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント中央浸水防止堰	
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント東側浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 21150mm	廃棄物処理建物 2 階 計算機室連絡扉前浸水防止堰	

表 3-5 評価対象とする鋼板折曲げ型堰の選定結果(2/2)

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側(北) 浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側(中) 浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側(南) 浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰 (運転員控室側)	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰 (予備室側)	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰 (補助盤室側)	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室前浸水防止堰	○*
廃棄物処理建物 EL 22100mm	廃棄物処理建物 2階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8900mm	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側 浸水防止堰	

注記* : 評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

3.2.3 鉄筋コンクリート製堰

鉄筋コンクリート製堰の評価対象部位は、堰に作用する静水圧荷重により応力が発生することから、堰と既存躯体の取合い部分の堰底部のコンクリート、アンカー筋及び主筋とした。

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3-6に示す。

表3-6 評価対象とする鉄筋コンクリート製堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象 設備 (代表)
制御室建物 EL 16900mm		
制御室建物 EL 16900mm		
制御室建物 EL 16900mm		○*

注記*：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、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。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

P_h : 堰最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_0 : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

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 3-7 に示す。

表 3-7 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、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。

3.4.1 柱支持型堰の許容限界

(1) 鋼板

「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）」（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3-8に示す。

表 3-8 鋼板の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

材料	短期許容応力度	
	曲げ	
SS400	271	

(2) はり材

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表3-9に示す。

表 3-9 はり材の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

材料	短期許容応力度		
	曲げ	せん断	組合せ
SS400	235	135	235

(3) 柱材

「S 規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-10 に示す。

表 3-10 柱材の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

材料	短期許容応力度		
	曲げ	せん断	組合せ
SS400	235	135	235

(4) 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）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した短期許容荷重を表 3-11 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アンカーボルトの付着力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 3-11 アンカーボルトの短期許容荷重

(単位：kN)

材料	短期許容荷重	
	引張	せん断
SS400 (M22)	36	42

3.4.2 鋼板折曲げ型堰の許容限界

(1) 鋼板

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-12 に示す。

表 3-12 鋼板の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

材料	短期許容応力度	
	曲げ	
SS400	271	

(2) 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 3-13 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アンカーボルトの付着力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 3-13 アンカーボルトの短期許容荷重

(単位：kN)

材料	短期許容荷重	
	引張	せん断
SS400 (M12)	10	11

3.4.3 鉄筋コンクリート製堰の許容限界

(1) 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）」（以下「RC規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度を表3-14に示す。

表3-14 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

材料		短期許容応力度	
		圧縮	せん断
コンクリート	Fc22.1	14.6	1.06

(2) 鉄筋

「RC規準」に基づき算定した短期許容応力度を表3-15に示す。

表3-15 鉄筋の短期許容荷重

(単位：kN)

材料	短期許容荷重	
	引張	せん断
SD345 (D13)	43	43

(3) アンカー筋

「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3-16に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカー筋の降伏により決まる許容荷重とアンカー筋の付着力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、アンカー筋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3-16 アンカー筋の短期許容荷重

(単位：kN)

材料	短期許容荷重	
	引張	せん断
SD345 (D13)	34	29

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 柱支持型堰の評価方法

静水圧荷重を受けるはりモデルに置き換え，鋼板，はり材，柱材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鋼板に生じる曲げ応力，はり材及び柱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曲げ応力度，せん断応力度を算定する。

柱支持型堰に生じる力の概念図を図 3-1～図 3-5 に示す。

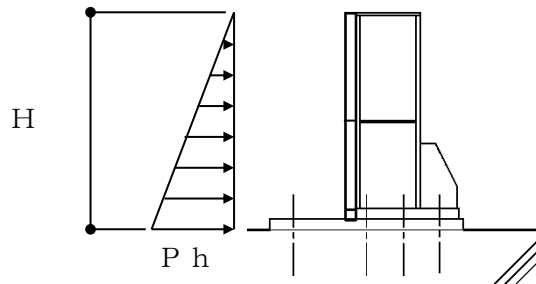


図 3-1 溢水時の堰に生じる力の断面概念図

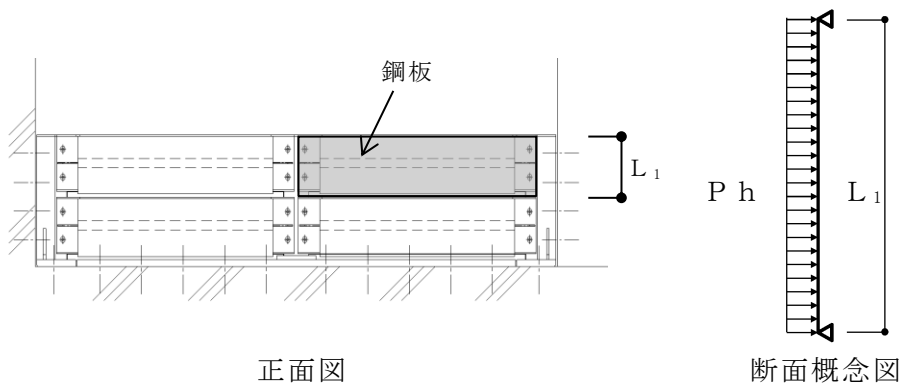


図 3-2 溢水時の鋼板に生じる力の断面概念図

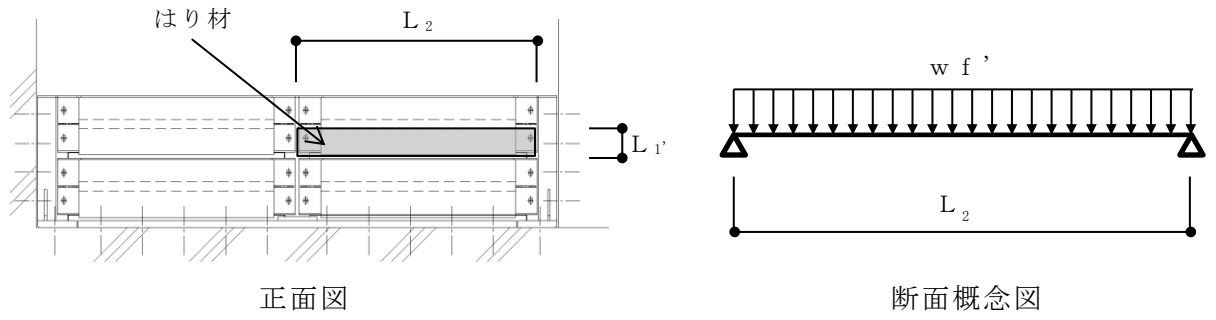


図 3-3 溢水時のはり材に生じる力の断面概念図

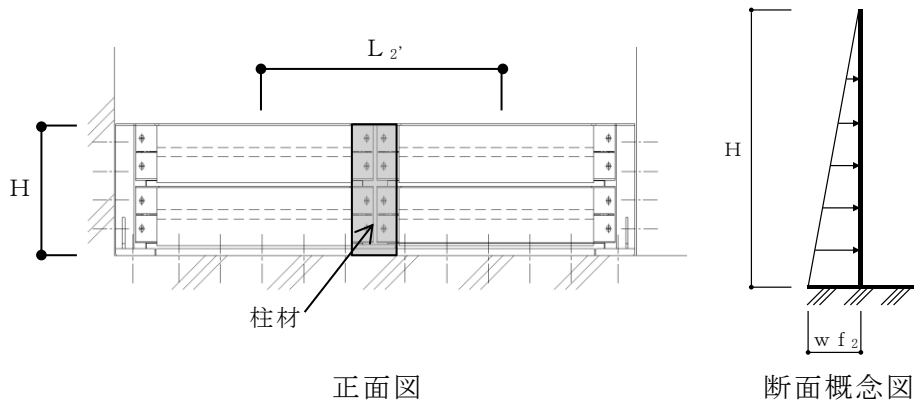


図 3-4 溢水時の柱材に生じる力の断面概念図

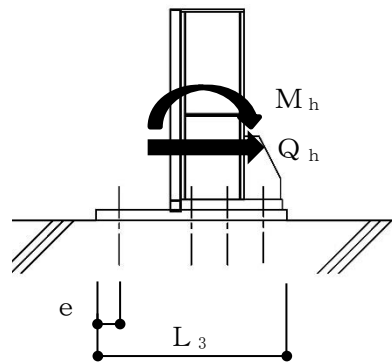


図 3-5 溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(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。

$$P h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

$P h$: 堰最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_0 : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (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ば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、堰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。

$$\sigma_\rho = P h \cdot 10^{-3} \cdot L_1^2 / 8 / Z$$

σ_ρ : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$P h$: 堰最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

L_1 : はり材間距離 (mm)

Z : 鋼板の断面係数 (mm³/mm)

b. はり材

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

はり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 : 堰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 : 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により算出する。

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

w_f : はり材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

P_h : 堰最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

L_1' : はり材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

はり材に生じる曲げ応力度ははり材を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、はり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 : はり材に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

w_f : はり材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

L_2 : はり材の長さ (mm)

Z_f : はり材の断面係数 (mm³)

(d) せん断応力度に対する検定

はり材に生じるせん断応力度ははり材を両端ピンの単純ばりとして次式により算出し、はり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 : はり材に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 w_f : はり材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)
 L_2 : はり材の長さ (mm)
 A_f : はり材のせん断断面積 (mm²)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

はり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、はり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} : はり材の組合せ応力度 (N/mm²)
 σ_f : はり材に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_f : はり材に生じるせん断応力度 (N/mm²)

c. 柱材

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

柱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 : 堰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 : 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により算出する。

$$w_{f_2} = P_h \cdot L_2' \cdot 10^{-3}$$

w_{f_2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

P_h : 堰最下端の静水圧荷重 (kN/m²)

L_2' : 柱材1本当たりが負担するはり材の長さ (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柱材を片持ちばりとして次式により算出し、柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = w_{f_2} \cdot H^2 / 6 / Z_Y$$

σ_Y : 柱材に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

w_{f_2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

H : 堰の高さ (mm)

Z_Y : 柱材の断面係数 (mm³)

(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柱材を片持ちばりとして次式により算出し、柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_Y = w f_2 \cdot H / 2 / A_Y$$

τ_Y : 柱材に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$w f_2$: 柱材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

H : 堰の高さ (mm)

A_Y : 柱材のせん断断面積 (mm²)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

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「S規準」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 : 柱材に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_Y : 柱材に生じるせん断応力度 (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 1 本当たりに生じる引張力は次式より算出し、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。

$$T = M_h / ((L_3 - e) \cdot 10^{-3} \cdot N_1)$$

$$M_h = (w f_2 \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6$$

T : アンカーボルトに生じる引張力 (kN)

$w f_2$: 柱材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

H : 堰の高さ (mm)

L_3 : ベースプレートの幅 (mm)

e : アンカーボルトの穴縁端距離 (mm)

N_1 : 引張を受けるアンカーボルトの本数 (本)

(b) 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。

$$q = Q_h / N_2$$

$$Q_h = (w f_2 \cdot (H \cdot 10^{-3})) / 2$$

Q_h : 堰下端の発生せん断力

q : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

$w f_2$: 柱材の平均水圧による分布荷重 (kN/m)

H : 堰の高さ (mm)

N_2 : せん断を受けるアンカーボルトの本数 (本)

(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」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 : アンカーボルトに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重 (kN)

q : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重 (kN)

3.5.2 鋼板折曲げ型堰の評価方法

静水圧荷重を受ける単位幅のはり要素でモデル化し、実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルに置き換え、鋼板及びアンカーボルトに発生する応力を応力解析により算定し、各許容限界との比較により強度評価を行う。

鋼板折曲げ型堰の評価モデル図を図 3-6 に示す。解析に使用するプログラムは、「KANSAS 2」である。なお、解析プログラムの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

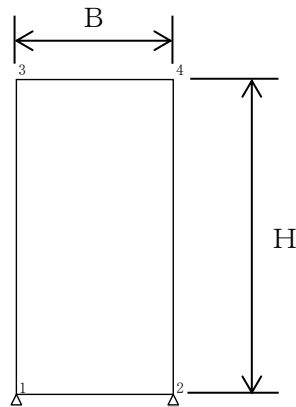


図 3-6 鋼板折曲げ型堰の評価モデル図

(1) 応力算定

静水圧荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力度並びに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を応力解析により算定する。

鋼板折曲げ型堰に生じる力の概念図を図 3-7 に示す。

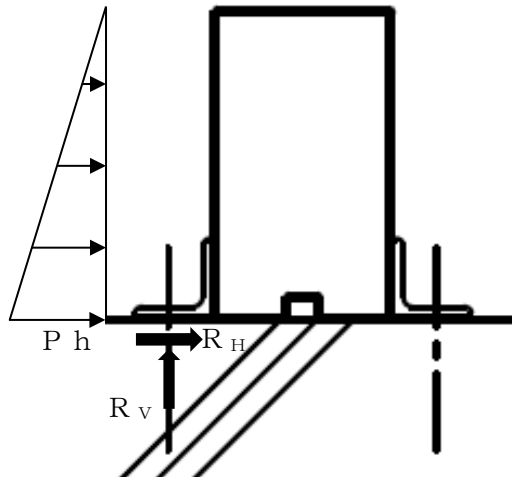


図 3-7 溢水時の鋼板及びアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(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。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_0 : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (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、応力解析により求めた鋼板の最大曲げモーメントを用い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。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 鋼板の曲げ応力度 (N/mm²)

M : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z : 鋼板の断面係数 (mm³)

b. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力は、応力解析により求めた支点反力を用いて次式により算出し、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。

$$T = R_v / N_1$$

T : アンカーボルトに生じる引張力 (kN)

R_v : 支点反力 (鉛直方向) (kN)

N_1 : 引張を受ける1m当たりのアンカーボルトの本数 (本)

(b) 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、応力解析により求めた支点反力を用いて次式により算出し、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。

$$q = R_H / N_2$$

q : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

R_H : 支点反力 (水平方向) (kN)

N₂ : せん断を受ける1m当たりのアンカーボルトの本数 (本)

(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 : アンカーボルトに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重 (kN)

q : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重 (kN)

3.5.3 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、静水圧荷重を受ける片持ちばりとして、既存躯体との接合部に生じる圧縮力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が受ける静水圧荷重の曲げ成分を組み合わせるものとする。

(1) 応力算定

静水圧荷重を受けるアンカー筋、コンクリート、主筋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。

鉄筋コンクリート製堰に生じる力の概念図を図3-8に示す。

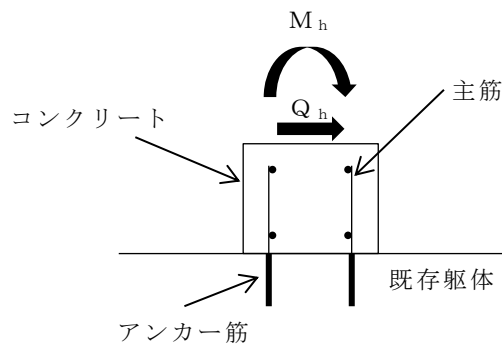


図3-8 溢水時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. アンカー筋

(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。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

P_h : 静水圧荷重 (kN/m²)

ρ_0 : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 引張力に対する検定

アンカー筋に作用する引張力を次式により算出し、アンカー筋の短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T_1 = (P h \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6 / (b_1' \cdot N_1)$$

T_1 : アンカー筋に生じる引張力 (kN)

$P h$: 静水圧荷重 (kN/m²)

H : 堰の高さ (mm)

b_1' : アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離 (m)

N_1 : 引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数 (本)

(c) せん断力に対する検定

アンカー筋に作用するせん断力を次式より算出し、アンカー筋の短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q_1 = P h \cdot H \cdot 10^{-3} / 2 / N_2$$

q_1 : アンカー筋に生じるせん断力 (kN)

$P h$: 静水圧荷重 (kN/m²)

H : 堰の高さ (mm)

N_2 : せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数 (本)

(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」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。

$$(T_1 / T_{a1})^2 + (q_1 / Q_{a1})^2 \leq 1$$

T_1 : アンカー筋に生じる引張力 (kN)

T_{a1} : アンカー筋に生じる引張に対する短期許容荷重 (kN)

q_1 : アンカー筋に生じるせん断力 (kN)

Q_{a1} : アンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重 (kN)

b. 主筋

(a) 引張力に対する検定

主筋に作用する引張力は、静水圧荷重による曲げモーメントより引張力を算出し、主筋に生じる引張力が短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T_2 = (P h \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6 / (b_2' \cdot N_3)$$

T_2 : 主筋に生じる引張力 (kN)

$P h$: 静水圧荷重 (kN/m²)

H : 堰の高さ (mm)

b_2' : 主筋の重心位置から躯体端部までの距離 (m)

N_3 : 引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数 (本)

(b) せん断力に対する検定

主筋に作用するせん断力を次式のより算出し、主筋に生じるせん断力が短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q_2 = P h \cdot H \cdot 10^{-3} / 2 / N_4$$

q_2 : 主筋に生じるせん断力 (kN)

$P h$: 静水圧荷重 (kN/m²)

H : 堰の高さ (mm)

N_4 : せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数 (本)

(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」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。

$$(T_2 / T a_2)^2 + (q_2 / Q a_2)^2 \leq 1$$

T_2 : 主筋に生じる引張力 (kN)

$T a_2$: 主筋に生じる引張に対する短期許容荷重 (kN)

q_2 : 主筋に生じるせん断力 (kN)

$Q a_2$: 主筋に生じるせん断に対する短期許容荷重 (kN)

c. 堰底部のコンクリート

(a) せん断力に対する検定

堰底部に生じるせん断力が短期許容せん断荷重を下回ることを次式により確認する。

$$\tau' = P h \cdot H \cdot 10^{-3} / 2 / (B \cdot 10^3)$$

τ' : 堰底部のコンクリートに生じるせん断応力度 (N/mm²)

$P h$: 静水圧荷重 (kN/m²)

H : 堰の高さ (mm)

B : 鉄筋コンクリート製堰の幅 (m)

(b) 圧縮力に対する検定

堰に生じる曲げモーメントによりコンクリートの圧縮力に生じる応力度が短期許容圧縮応力度を下回ることを次式により確認する。

$$\sigma_c = W_1 / (B \cdot 10^3) + (P h \cdot (H \cdot 10^{-3})^2 / 6 \cdot 10^6) / Z$$

σ_c : 堰底部のコンクリートに生じる圧縮応力度 (N/mm²)

W_1 : 単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
($\rho \cdot B \cdot H \cdot 10^{-3}$) (kN/m)

ρ : コンクリートの単位体積重量 (kN/m³)

B : 鉄筋コンクリート製堰の幅 (m)

H : 堰の高さ (mm)

$P h$: 静水圧荷重 (kN/m²)

Z : 堰の断面係数 (mm³/m)

3.6 評価条件

柱支持型堰の強度評価に用いる入力値を表 3-17 に、鋼板折曲げ型堰の強度評価に用いる入力値を表 3-18 に、鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる入力値を表 3-19 に示す。

表 3-17 柱支持型堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	t/m ³	水の密度	1.03
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	1050
L ₁	mm	はり材間距離	350
Z	mm ³ /mm	鋼板の断面係数	3.375
L ₁ '	mm	はり材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	175
L ₂	mm	はり材の長さ	982.5
Z _f	mm ³	はり材の断面係数	14200
A _f	mm ²	はり材のせん断断面積	581
L ₂ '	mm	柱材 1 本当たりが負担するはり材の長さ	982.5
Z _y	mm ³	柱材の断面係数	75100
A _y	mm ²	柱材のせん断断面積	3000
L ₃	mm	ベースプレートの幅	425
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	200
N ₁	本	引張を受けるアンカーボルトの本数	2
N ₂	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数	6

表 3-18 鋼板折曲げ型堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	t/m ³	水の密度	1.03
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	310
M	kN・m	鋼板の曲げモーメント	0.021
Z	mm ³	鋼板の断面係数	1707
R _v	kN	支点反力（鉛直方向）	1.393
N ₁	本/m	引張を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数	5
R _H	kN	支点反力（水平方向）	0.4855
N ₂	本/m	せん断を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数	10
B	mm	堰の幅	36

表 3-19 鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	t/m ³	水の密度	1.03
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	200
b ₁ '	m	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離	0.09
N ₁	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数	5
N ₂	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数	5
b ₂ '	m	主筋の重心位置から躯体端部までの距離	0.09
N ₃	本	引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数	5
N ₄	本	せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数	5
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅	0.18
ρ	kN/m ³	コンクリートの単位体積重量	24
Z	mm ³ /m	堰の断面係数	5400000

4. 評価結果

柱支持型堰の強度評価結果を表4-1に、鋼板折曲げ型堰の強度評価結果を表4-2に、鉄筋コンクリート製堰の強度評価結果を表4-3に示す。発生値は許容限界値以下であり、静水圧荷重に対して、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4-1 柱支持型堰の強度評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は 発生応力度)		許容限界		検定比
鋼板	曲げ	49	N/mm ²	271	N/mm ²	0.19 < 1.0
はり材	曲げ	16	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	17	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08 < 1.0
柱材	曲げ	26	N/mm ²	235	N/mm ²	0.12 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	27	N/mm ²	235	N/mm ²	0.12 < 1.0
アンカー ボルト	引張	5	kN	36	kN	0.14 < 1.0
	せん断	1	kN	42	kN	0.03 < 1.0
	組合せ	—	—	—	—	0.02 < 1.0

表4-2 鋼板折曲げ型堰の強度評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は 発生応力度)		許容限界		検定比
鋼板	曲げ	13	N/mm ²	271	N/mm ²	0.05 < 1.0
アンカー ボルト	引張	0.3	kN	10	kN	0.03 < 1.0
	せん断	0.1	kN	11	kN	0.01 < 1.0
	組合せ	—	—	—	—	0.01 < 1.0

表 4-3 鉄筋コンクリート製堰の強度評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は 発生応力度)		許容限界		検定比
アンカー筋	引張	0.1	kN	34	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.1	kN	29	kN	0.01 < 1.0
	組合せ	—	—	—	—	0.01 < 1.0
主筋	引張	0.1	kN	43	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.1	kN	43	kN	0.01 < 1.0
	組合せ	—	—	—	—	0.01 < 1.0
堰底部の コンクリート	せん断	0.002	N/mm ²	1.06	N/mm ²	0.01 < 1.0
	圧縮	0.008	N/mm ²	14.6	N/mm ²	0.01 < 1.0

VI-3-別添 3-4-5 防水板の強度計算書

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

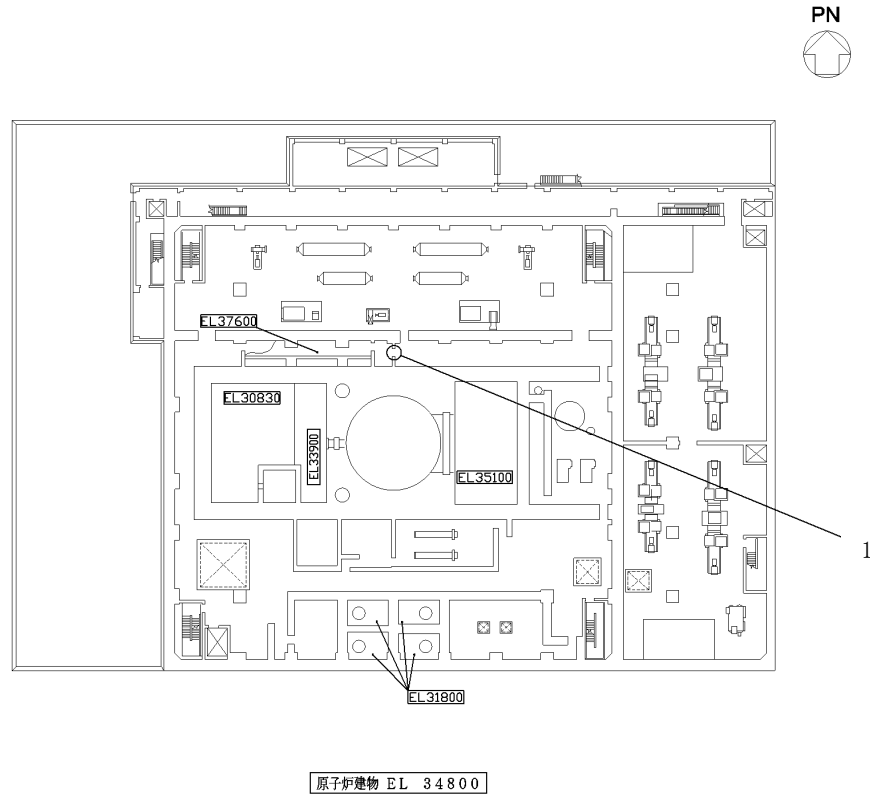
検討対象の防水板を表 2-1 に示す。

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）

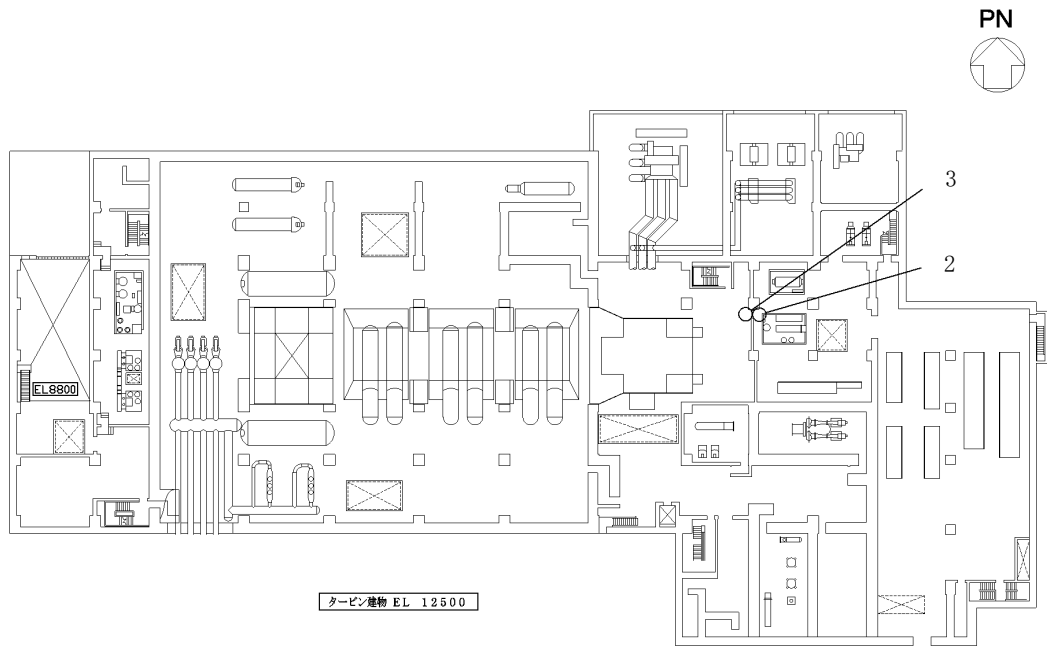
2.2 配置概要

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。



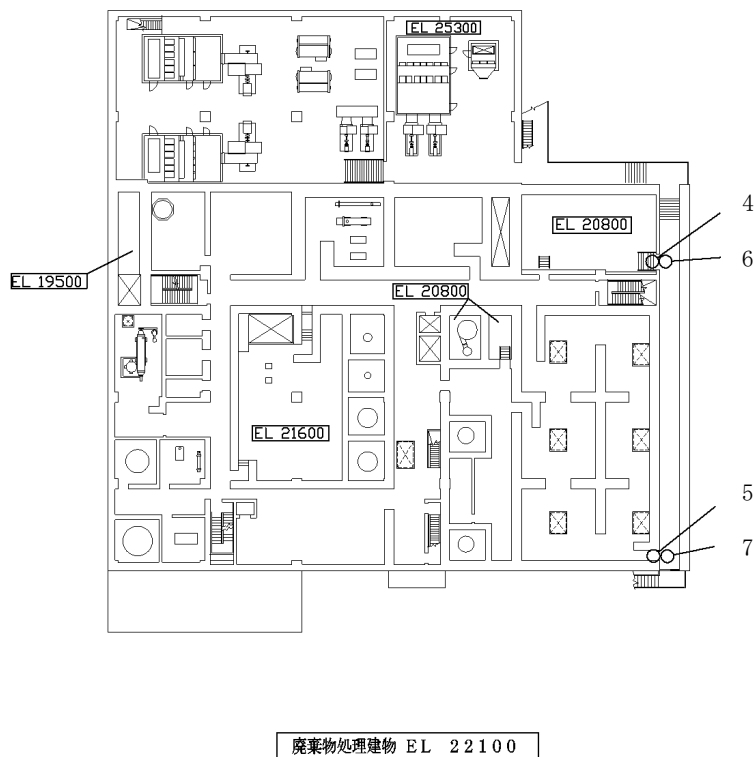
防水板 No.	防水板名称
1	原子炉建物 3階 新燃料検査台ピット室防水板

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: center;">B - B断面図</p> <p style="text-align: center;">アンカーボルト</p> <p style="text-align: center;">鋼板</p> <p style="text-align: center;">芯材</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。

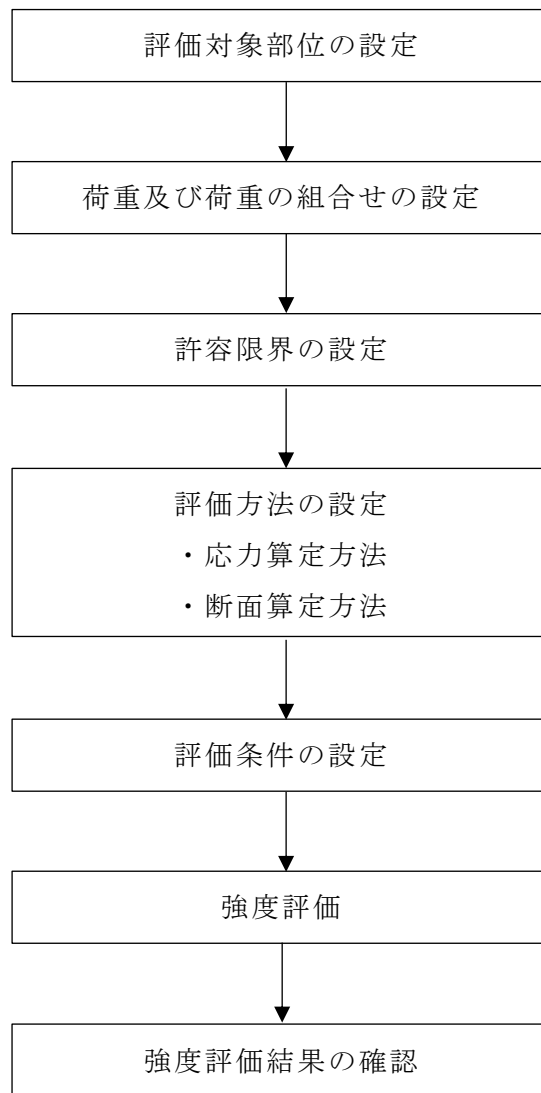


図 2-2 防水板の強度評価フロー

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）

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 年改定）」（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年改定）」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。

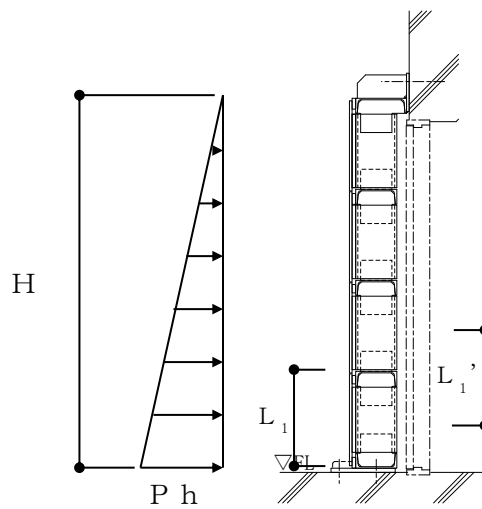


図 3-1 溢水時の防水板に生じる力の断面概念図

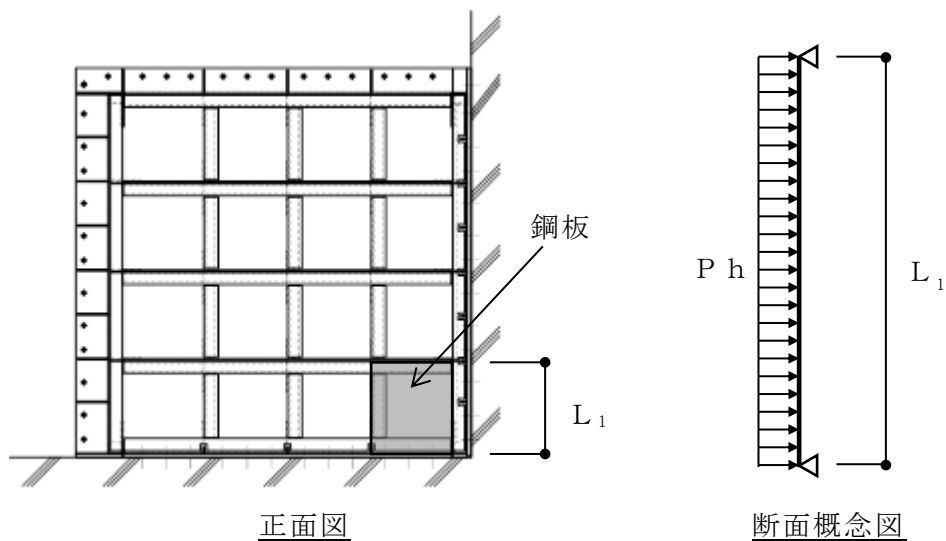


図 3-2 溢水時の鋼板に生じる力の断面概念図

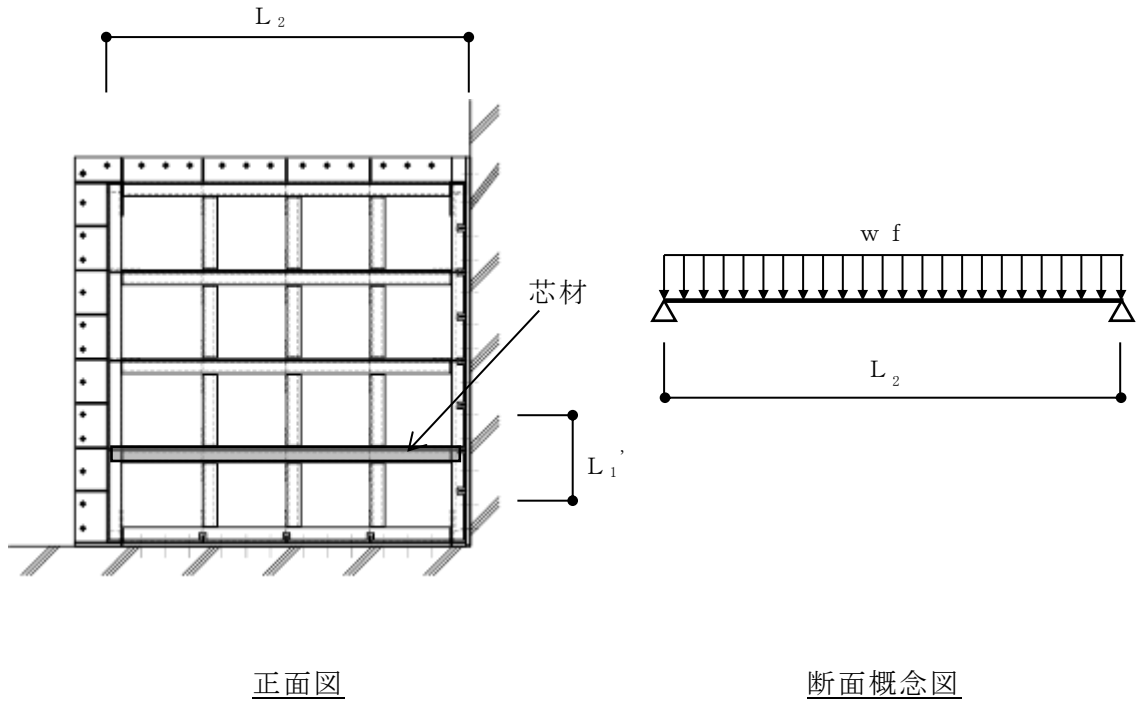


図 3-3 溢水時の芯材に生じる力の断面概念図

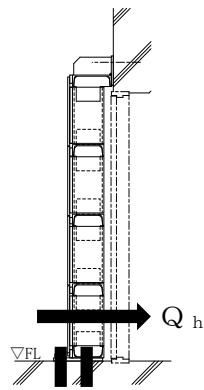


図 3-4 溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(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ば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ば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ば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		検定比
			(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		検定比
			(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

VI-3-別添 3-4-6 貫通部止水処置の強度計算書 (溢水)

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	7
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 構造強度評価	9
4.1 構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ	9
4.3 許容限界	9
4.4 計算方法	10
4.5 計算条件	10
5. 評価結果	11

1. 概要

本計算書は、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、貫通部止水処置が発生を想定する内部溢水による静水圧荷重に対して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2. 一般事項

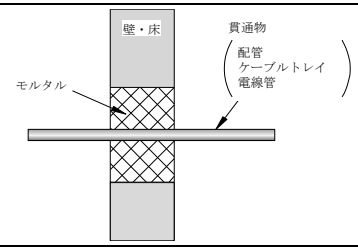
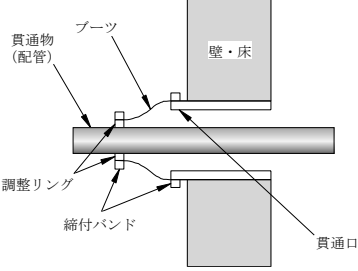
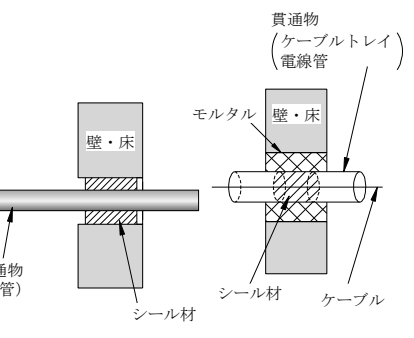
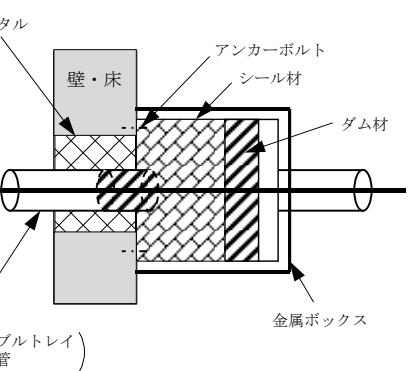
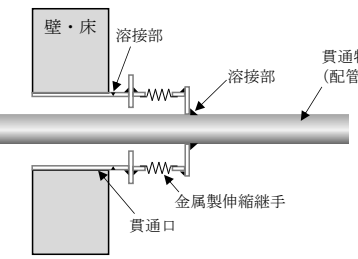
2.1 配置概要

貫通部止水処置は各建物及び区画の貫通口と貫通物との隙間又は貫通部の周囲に施工する。

2.2 構造計画

貫通部止水処置は、貫通部の位置や条件に応じて、シール材、モルタル、ブーツ及び金属製伸縮継手を使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁面又は床面の貫通口と貫通物の隙間に施工し、壁面又は床面と貫通物を接合する構造とする。なお、ケーブルトレイ、電線管（以下「電路」という。）の貫通部の止水においては、シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁面又は床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填する場合がある。ブーツは、伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。金属製伸縮継手は、壁面又は床面設置の貫通口及び配管に溶接することで固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画

設備 名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		電路貫通部については、シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁面又は床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	 ダム材：液状のシール材が反応硬化するまでの間に必要な堰止め材
	金属製伸縮継手にて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう金属製伸縮継手を用い、壁面又は床面設置の貫通口と配管を溶接によって接合する。	

S2 補 VI-3-別添 3-4-6 R1

2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、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」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、貫通部止水処置の評価部位に作用する荷重等が許容限界以下であることを確認する。

貫通部止水処置のシール材及びブーツ、金属製伸縮継手並びにモルタルの強度評価フローをそれぞれ、図 2-1、図 2-2 並びに図 2-3 に示す。

貫通部止水処置の強度評価においては、その構造を踏まえ、静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重を考慮する津波への配慮が必要な貫通部止水処置の強度評価に包絡される。よって、津波への配慮が必要な貫通部止水処置の強度評価を実施しているシール材、ブーツ及びモルタルについては、本計算書での評価は不要とし、評価結果として、VI-3-別添 3-2-9「貫通部止水処置の強度計算書」に記載の評価結果を記載する。

なお、シール材（電路）及びブーツについては、内部溢水の影響の方が厳しい計算結果となるため、内部溢水の評価も記載する。

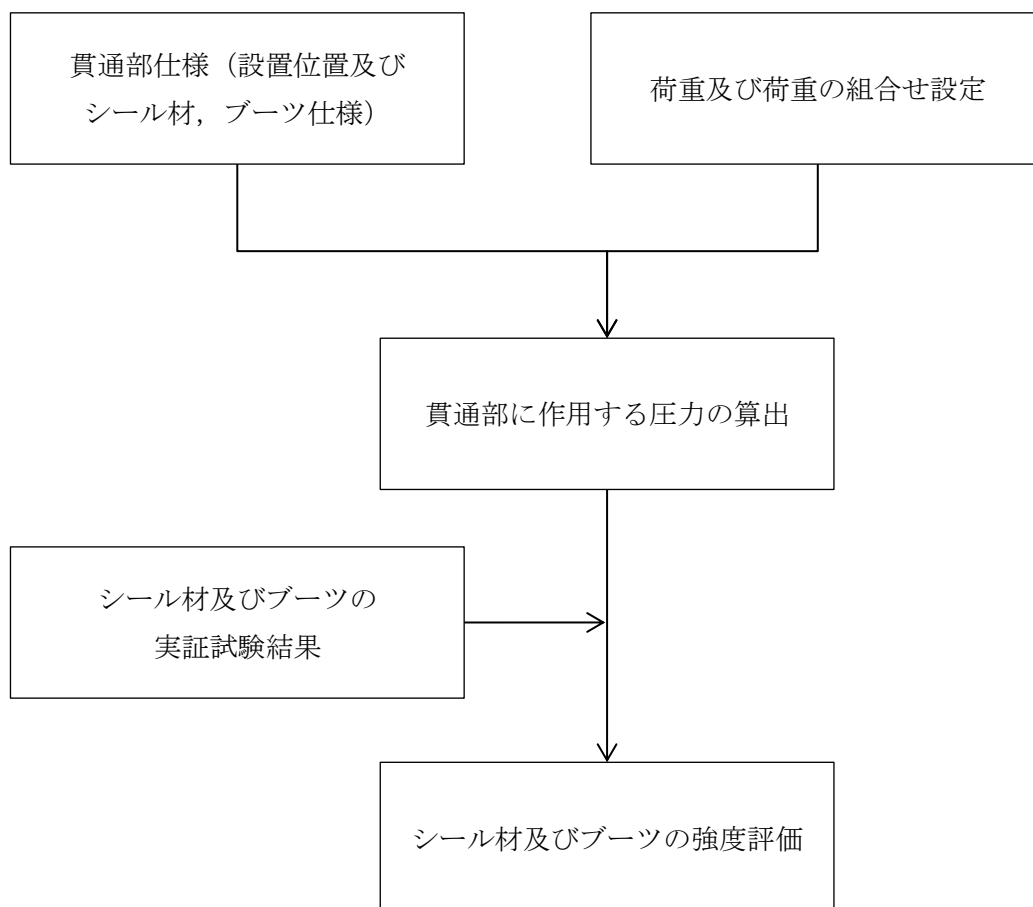


図 2-1 シール材及びブーツの強度評価フロー

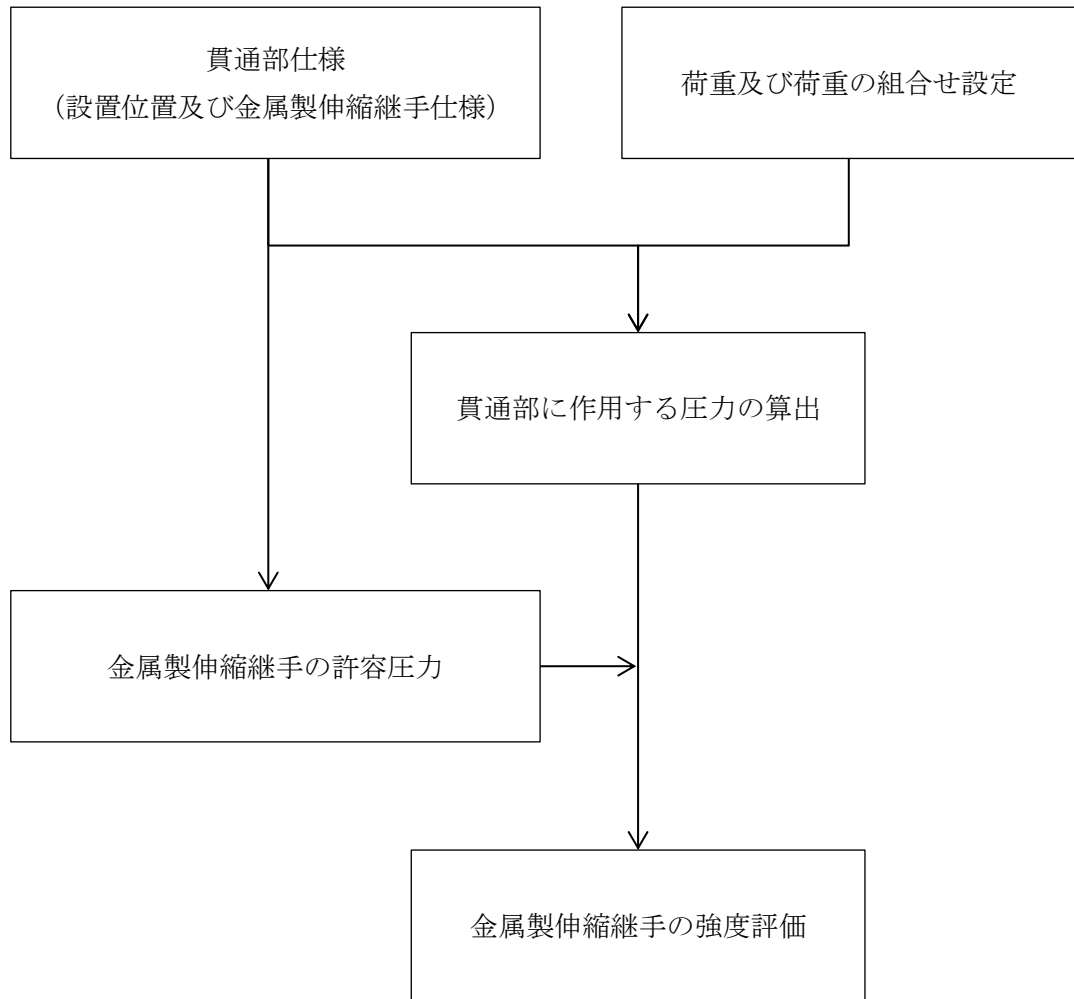


図 2-2 金属製伸縮継手の強度評価フロー

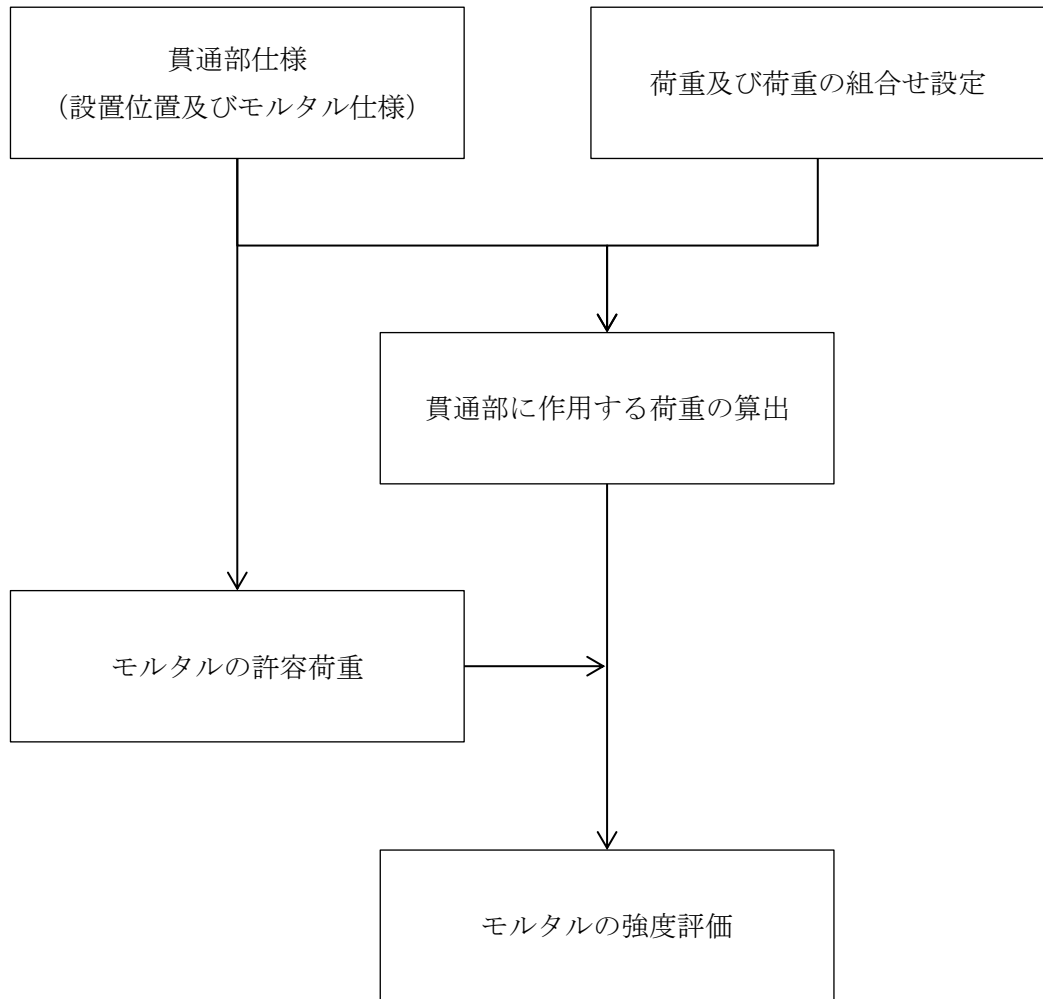


図 2-3 モルタルの強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

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（2005年版（2007年追補版含む。））（J S M E S N C 1-2005/2007）（（社）日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5 記号の説明

金属製伸縮継手の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
c	継手部の層数	—
g	重力加速度	m/s ²
H	継手部の波の高さ	mm
h	貫通部位置における浸水深さ	m
P _h	静水圧	MPa
P _a	許容圧力	MPa
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定の最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
t	継手部の板の厚さ	mm
ρ	海水の密度	kg/m ³

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	桁処理	処理方法	表示桁
厚さ，高さ	mm	—	—	整数位* ¹
水深	m	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
密度	kg/m ³	—	—	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
発生荷重	kN	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁
許容荷重	kN	有効数字 4 桁目	切捨て	有効数字 3 桁
発生圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
許容圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

本計算書における評価対象である金属製伸縮継手の評価部位は、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」に示している評価部位を踏まえて、「2.2 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、荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

溢水による静水圧を考慮した荷重は、止水処置全体へ伝達されることから、止水処置全体を評価部位として設定し、作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、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」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「4.2 荷重の組合せ」及び「4.3 許容限界」に示す荷重の組合せ及び許容限界を踏まえ、「4.4 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

機器名称	荷重の組合せ*
貫通部止水処置	P_h

注記*： P_h は静水圧による荷重を示す。

4.3 許容限界

貫通部止水処置の許容限界，許容限界評価条件及び許容限界算出結果をそれぞれ，表 4-2，表 4-3 及び表 4-4 に示す。また，金属製伸縮継手の施工例を図 4-1 に示す。

表 4-2 貫通部止水処置の許容限界

供用状態	評価部位	許容限界*
		許容圧力
A, B	金属製伸縮継手	P_a

注記*：金属製伸縮継手の許容限界は，設計・建設規格により算出する。 P_a はPVE-3810の規定に基づき，次のとおり算出する。

$$P_a = 2 \cdot t^2 \cdot c \cdot S / H^2$$

表 4-3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

継手部の層数 c	継手部の波の高さ H (mm)	許容引張応力 S (MPa)	継手部の板の厚さ t (mm)
□	□	□	□

表 4-4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

供用状態	評価部位	許容限界
		許容圧力 (MPa)
A, B	金属製伸縮継手	0.43

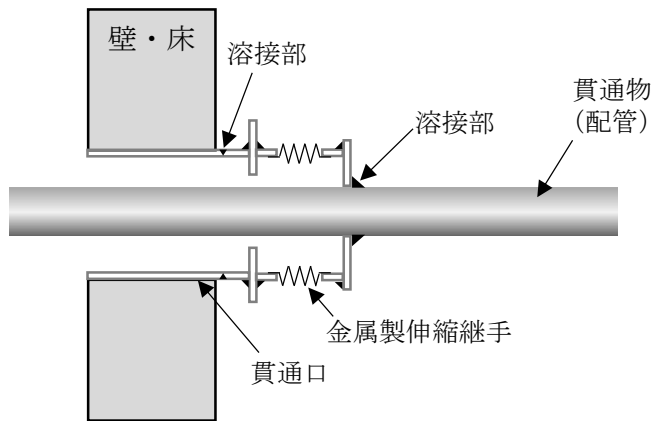


図 4-1 金属製伸縮継手の施工例

4.4 計算方法

貫通部止水処置に生じる発生圧力として、静水圧 P_h を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

4.5 計算条件

強度評価に用いる貫通部の仕様及び計算条件を表 4-5 に示す。

表 4-5 強度評価に用いる貫通部の仕様及び計算条件


評価部位	場所	貫通部位置における 浸水深さ h (m)	海水の密度 ρ (kg/m ³)
金属製伸縮継手	原子炉建物	6.47	1030

5. 評価結果

シール材，ブーツ及び金属製伸縮継手並びにモルタルの強度評価結果をそれぞれ，表 5-1 並びに表 5-2 に示す。なお，津波への配慮が必要な貫通部止水処置の強度評価を実施しているシール材，ブーツ及びモルタルについては，静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重を考慮した保守的な評価結果として，VI-3-別添 3-2-9「貫通部止水処置の強度計算書」に記載の評価結果を記載している。

シール材，ブーツ及び金属製伸縮継手並びにモルタルの発生圧力又は発生荷重は，許容圧力又は許容荷重以下であることから，貫通部止水処置が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 シール材，ブーツ及び金属製伸縮継手の強度評価結果

評価部位	場所	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材 (配管)	タービン建物	0.09	
シール材 (電路)	タービン建物	0.04*	
ブーツ	タービン建物	0.05*	
金属製伸縮継手	原子炉建物	0.07	0.43

注記*：シール材（電路）及びブーツについては，内部溢水による発生圧力が最も大きく，それぞれ 0.12MPa 及び 0.10MPa である。

表 5-2 モルタルの強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	付着荷重	6.86×10^3	8.21×10^3

VI-3-別添 4 発電用火力設備の技術基準による強度に関する説明書

VI-3-別添 4-1 発電用火力設備の技術基準による強度評価の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の方針	2
2.1 評価対象設備	2
2.2 評価方法の選定	3

1. 概要

本書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）第 48 条第 2 項及び第 3 項並びに第 78 条第 1 項に基づき、VI-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」で「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（平成 9 年 3 月 27 日通商産業省令第 51 号）（以下「火力省令」という。）を準用する設備として対象としている設計基準対象施設又は重大事故等対処施設に施設するガスタービン及び内燃機関が、十分な強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

2. 強度評価の方針

設計基準対象施設又は重大事故等対処施設に施設するガスタービン及び内燃機関については、技術基準規則第48条第2項及び第3項並びに第78条第1項に基づき、ガスタービンは火力省令第19条から第23条を、内燃機関は火力省令第25条から第29条の規定を準用し、強度評価においては、火力省令第19条第4項及び第25条第3項を適用する。また、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日原規技発第1306194号）第48条第5項において、火力省令の準用に当たっては、「発電用火力設備の技術基準の解釈」（平成25年5月17日20130507商局第2号）（以下「火力基準解釈」という。）の該当部分によることが規定されている。

よって、ガスタービンについては、火力省令第19条第4項を受けた火力基準解釈第32条第1項第3号に、内燃機関については、火力省令第25条第3項を受けた火力基準解釈第39条第1項第2号に基づき、同解釈第5条を準用した水圧試験による強度評価又は最高使用圧力の1.5倍*の水圧に耐える強度を有することを確認するための強度計算による評価を実施する。

上記によらない評価方法により強度評価を実施するものについては、その評価方法により火力省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できることを確認した上で、強度評価を実施する。

注記*：火力基準解釈については、平成28年2月25日に一部改正され、材料の許容応力を求める際の安全率や水圧試験の倍率が見直されているが、より厳しい評価となるよう改正前の解釈を用いる。

2.1 評価対象設備

設計基準対象施設又は重大事故等対処施設に施設するガスタービン及び内燃機関として、VI-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」に基づき、強度評価を実施する設備について以下に示す。

- ・非常用ディーゼル発電設備の内燃機関
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の内燃機関
- ・ガスタービン発電機のガスタービン

また、ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）についても強度評価対象とする。

2.2 評価方法の選定

強度評価については、火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号にて、同解釈第 5 条（水圧試験）を準用することが規定されている。

ただし、当該機種と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの並びに最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することが強度計算等で確認できるものについては、水圧試験を要しないことが規定されている。

よって、上記規定のいずれかの方法により強度評価を行うこととするが、評価対象設備において水圧試験の試験結果があるもの並びに評価対象設備と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の試験結果があるものについては、それらの試験結果の確認により強度評価を実施する。なお、管については、最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを強度計算で確認する。

また、開放型タンク及びその管台については、最高使用圧力が 0MPa であることから耐圧部分に該当せず火力基準解釈第 5 条要求に該当しないものの、消防法に準じた水圧試験を実施していることを確認する。

VI-3-別添 4-2 発電用火力設備の技術基準による強度評価方法

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価方法	2
2.1 水圧試験	2
2.2 ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験	4
2.3 強度計算方法	5
2.3.1 記号の定義	5
2.3.2 管の厚さの計算	6
3. 強度評価書のフォーマット	7
3.1 強度評価書のフォーマットの概要	7
3.2 記載する数値に関する注意事項	7
3.3 強度評価書のフォーマット	7

1. 概要

本書は、VI-3-別添 4-1「発電用火力設備の技術基準による強度評価の方針」に基づき、非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の内燃機関、ガスタービン発電機のガスタービン並びにガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認するための強度評価方法について説明するものであり、強度評価方法及び強度評価書のフォーマットにより構成する。

2. 強度評価方法

「発電用火力設備の技術基準の解釈」(平成 25 年 5 月 17 日 20130507 商局第 2 号)(以下「火力基準解釈」という。)の第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号に基づき、以下の(1)に示す火力基準解釈第 5 条の水圧試験の試験結果の確認による強度評価を基本とする。

ただし、評価対象設備と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果があるものについては(2)に示す水圧試験の試験結果の確認により強度評価を実施する。また、管については、(3)に示す強度計算により強度評価を実施する。

(1) 水圧試験

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐え、これに適合するものであることを確認する。

(2) ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験

当該機種と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するものについては、その結果を確認する。

(3) 強度計算

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐える強度を有することを強度計算により確認する。

2.1 水圧試験

ガスタービン又は内燃機関のうち水圧試験により評価を実施するものについては、火力基準解釈第 5 条に基づき、最高使用圧力の 1.5 倍以上の水圧まで昇圧した後、適切な時間保持したとき、これに耐えることを確認する。また、上記試験に引き続き最高使用圧力以上の水圧で点検を行ったときに、漏えいがないものであることを確認する。

試験条件を以下に示す。

名 称		最高使用 圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）	ディーゼル発電設備 非常用	ディーゼル燃料デイタンク	静水頭	*
		A-ディーゼル燃料移送ポンプ	0.98	1.5 以上 1.47 以上
		B-ディーゼル燃料移送ポンプ	0.98	1.5 以上 1.47 以上
		A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	静水頭	*
		B-ディーゼル燃料貯蔵タンク	静水頭	*
	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備	ディーゼル燃料デイタンク	静水頭	*
		ディーゼル燃料移送ポンプ	0.98	1.5 以上 1.47 以上
		ディーゼル燃料貯蔵タンク	静水頭	*
	ガスタービン発電機	ガスタービン発電機用 燃料移送ポンプ	0.98	1.5 以上 1.47 以上
		ガスタービン発電機用 軽油タンク	静水頭	*
		ガスタービン発電機用 サービスタンク	静水頭	*
	緊急時対策所用 発電機	緊急時対策所用燃料地下 タンク	静水頭	*

注記*：消防法に準じた水圧試験に合格している。

2.2 ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験

ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験の実績により評価を実施するものについては、火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号において、「当該機種と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの」にあつては水圧試験を要しないと規定されていることから、圧力バウンダリとして主要な耐圧部であるガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果を確認する。また、水圧試験の実績には、「当該設備と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの」として当該評価対象機種のガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおける水圧試験を含める。

試験条件を以下に示す。

名	称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設 (非常用電源設備)	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関* ¹	□* ²	1.5 以上	□以上
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 ディーゼル機関* ¹	□* ²	1.5 以上	□以上
	ガスタービン発電機 ガスタービン機関	1.10* ³	1.5 以上	1.65 以上

注記*¹：ディーゼル機関に附属する冷却水設備として冷却水ポンプを含む。

*²：ケーシングとしてシリンダヘッドにおける圧力を記載

*³：ガスタービン車室における圧力を記載

2.3 強度計算方法

ガスタービン又は内燃機関のうち強度計算を実施する管については、火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号ロ及び第 39 条第 1 項第 2 号ロに定める強度計算において、火力基準解釈第 12 条第 1 項第 7 号に記載されている計算式を準用し、ガスタービン及び内燃機関の管として最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また、火力基準解釈別表第 1 に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に、温度が記載値の中間値の場合は、比例法を用いて許容引張応力を計算し、その場合の端数処理は、小数点以下第 1 位を切り捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

フランジについては、火力基準解釈第 13 条第 1 項に規定される日本産業規格等に適合するものを使用する。

また、ガスタービン発電機の燃料移送配管に取りつく伸縮継手の強度計算は、VI-3-2-9「重大事故等クラス 2 管の強度計算方法」(1) 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管の基本板厚計算方法（以下「計算方法」という。）に基づき計算するものとする。なお、伸縮継手の計算においては、計算方法で定義された記号を使用する。

2.3.1 記号の定義

管の厚さ計算に用いる記号について、以下に説明する。

	記号	単位	定 義
管の厚さ計算に使用するもの	P	MPa	最高使用圧力
	Q	%, mm	厚さの負の許容差
	σ_a	N/mm ²	最高使用温度における火力基準解釈別表第 1 に規定する材料の許容引張応力
	do	mm	管の外径
	t	mm	管の計算上必要な厚さ
	t _s	mm	管の最小厚さ
	η	—	継手の効率

2.3.2 管の厚さの計算

管の厚さが、以下の計算式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区 分	適用基準	計 算 式
その他管	火力基準解釈 第 12 条第 1 項第 7 号	$t = \frac{P \cdot d_o}{2 \sigma_a \cdot \eta + 0.8 P} *$

注記*：継手の効率 η

長手継手の効率は、火力基準解釈第 12 条第 1 項に規定される J I S B 8 2 0 1 における表 8.2 を用いるが、今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあつては火力基準解釈第 125 条及び第 127 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い、同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの、それ以外のものにあつては同解釈第 143 条及び第 145 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い、同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの	
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

3. 強度評価書のフォーマット

3.1 強度評価書のフォーマットの概要

水圧試験結果のフォーマットは、試験条件及び結果を記載し、強度計算書のフォーマットは、耐圧部分を構成する部材についてフォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2 記載する数値に関する注意事項

フォーマットに挙げた諸元のうち、計算に使用しないものや計算結果のないものは、計算結果表の欄には

—

 として記載する。

3.3 強度評価書のフォーマット

強度評価書のフォーマットは、以下のとおりである。

FORMAT-I	水圧試験結果
FORMAT-II	ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験結果
FORMAT-III	管の厚さ計算結果
FORMAT-IV	伸縮継手の強度計算結果

FORMAT-I 水圧試験結果

設備区分

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価

FORMAT-Ⅱ ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価

FORMAT-III 管の厚さ計算結果

設備区分

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 do (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	継手の 効率 η	厚さの 負の 許容差 Q	最小厚さ t_s (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)
評 価 : $t_s \geq t$, よって十分である。										

FORMAT-IV 伸縮継手の強度計算結果

設備区分

設計・建設規格 PPC-3416 準用

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 δ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算 式	継手部 応 力 σ (MPa)	N ×10 ³	N r ×10 ³	U
評 価 : U ≤ 1, よって十分である。															

二

注：管番号○の外径は，○○.○mm

VI-3-別添 4-3 発電用火力設備の技術基準による強度評価書

目 次

1. 概要	1
2. その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）のガスタービン及び 内燃機関の強度評価書	2
2.1 水圧試験結果	2
2.2 ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験結果	3
2.3 強度計算結果	4
2.3.1 管の設計仕様	4
2.3.2 管の厚さ計算結果	9
2.3.3 伸縮継手の強度計算結果	15

1. 概要

本書は、VI-3-別添 4-2「発電用火力設備の技術基準による強度評価方法」に基づき、非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の内燃機関、ガスタービン発電機のガスタービン並びにガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認した結果を示す。

2. その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）のガスタービン及び内燃機関の強度評価書

2.1 水圧試験結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ	0.98	1.47	1.5	良	適合
非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ	0.98	1.47	1.5	良	適合
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料移送ポンプ	0.98	1.47	1.5	良	適合
ガスタービン発電機 ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	0.98	1.47	1.5	良	適合

2.2 ガスタービン車室又は内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価
非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関*1	□*2	□	1.5	良	適合
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 ディーゼル機関*1	□*2	□	1.5	良	適合
ガスタービン発電機 ガスタービン機関	1.10*3	1.65	1.5	良	適合

注記*1：ディーゼル機関に附属する冷却水設備として冷却水ポンプを含む。

*2：ケーシングとしてシリンダヘッドにおける圧力を記載

*3：ガスタービン車室における圧力を記載

2.3 強度計算結果

2.3.1 管の設計仕様

名 称		最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径* ¹ (mm)	厚 さ* ¹ (mm)	材 料	番 号
非 常 用 デ ィ ー ゼ ル 発 電 設 備	A-ディーゼル燃料貯 蔵タンク	静水頭	40	76.3	7.0	STPT42	1
	～			76.3	5.2	STPT42	2
	A-ディーゼル燃料移 送ポンプ	0.98		76.3	5.2	STPT42	3
	～			60.5	5.5	STPT42	4
	A-ディーゼル燃料移 送ポンプ	0.98	40	48.6	5.1	STPT42	5
	～			60.5	5.5	STPT42	6
	A-ディーゼル燃料デ ィタンク			60.5	5.5	STPT410	7
	B-ディーゼル燃料貯 蔵タンク	静水頭	40	76.3	5.2	STPT410	8
	～			76.3	5.2	STPT410	9
	B-ディーゼル燃料移 送ポンプ	0.98		60.5	5.5	STPT410	10
	～			60.5	5.5	STPT42	11
B-ディーゼル燃料デ ィタンク	0.98	40					

名 称		最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径*1 (mm)	厚 さ*1 (mm)	材 料	番 号	
高圧炉心 スプレ イ系 ディー ゼル 発 電 設 備	高圧炉心スプレ イ系 ディーゼル発 電設備	静水頭	40	76.3	7.0	STPT42	12	
	ディーゼル燃 料貯蔵 タンク			76.3	5.2	STPT42	13	
	～ 高圧炉心スプレ イ系 ディーゼル発 電設備	0.98		76.3	5.2	STPT42	14	
	ディーゼル燃 料移送 ポンプ			60.5	5.5	STPT42	15	
	高圧炉心スプレ イ系 ディーゼル発 電設備	0.98		40	48.6	5.1	STPT42	16
	ディーゼル燃 料移送 ポンプ				60.5	5.5	STPT42	17
～ 高圧炉心スプレ イ系 ディーゼル発 電設備	60.5		5.5		STPT410	18		
ディーゼル燃 料デイ タンク								

名 称		最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径* ¹ (mm)	厚 さ* ¹ (mm)	材 料	番 号
ガスタービン発電機	ガスタービン発電機用軽油タンク ～ 2号-ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ入口 ライン分岐部	静水頭* ²	66* ²	60.5	5.5	STPG370	19
	60.5			3.9	SUS304TP	20	
	78.2			0.8×1* ³	SUS304	E1	
	60.5			5.5	STPT410	21	
	76.3			5.2	STPT410	22	
2号-ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ入口 ライン分岐部 ～ 2号-ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	静水頭* ²	66* ²	76.3	5.2	STPT410	23	
2号-ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ入口 ライン分岐部 ～ 予備-ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	静水頭* ²	66* ²	76.3	5.2	STPT410	24	
2号-ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ ～ 2号-ガスタービン発電機用サービスタンク	0.98* ²	66* ²	60.5	5.5	STPT410	25	

名 称		最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径* ¹ (mm)	厚 さ* ¹ (mm)	材 料	番 号
ガ ス タ ー ビ ン 発 電 機	2号-ガスター ビン発電機用サ ービスタンク ～	静水頭* ²	66* ²	48.6	5.1	STPT410	26
	2号-ガスター ビン発電機用ガ スタービン発電 機関			42.7	4.9	STPT410	27
	予備-ガスター ビン発電機用燃 料移送ポンプ ～	0.98* ²	66* ²	60.5	5.5	STPT410	28
	予備-ガスター ビン発電機用サ ービスタンク						
	予備-ガスター ビン発電機用サ ービスタンク ～	静水頭* ²	66* ²	48.6	5.1	STPT410	29
	予備-ガスター ビン発電機用ガ スタービン発電 機関			42.7	4.9	STPT410	30

名 称		最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径* ¹ (mm)	厚 さ* ¹ (mm)	材 料	番 号
高 圧 発 電 機 車	ガスタービン発 電機用軽油タン ク ～ タンクローリ接 続口	静水頭* ²	66* ²	60.5	5.5	STPG370	31

注記*1：公称値を示す。

*2：重大事故等時における使用時の値

*3：層数を示す。

2.3.2 管の厚さ計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用ディーゼル発電設備

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 do (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	継手の 効率 η	厚さの 負の 許容差 Q	最小厚さ t_s (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)
1	静水頭	40	76.30	7.00	STPT42	—	—	12.5 %	6.12	—
2	静水頭	40	76.30	5.20	STPT42	—	—	12.5 %	4.55	—
3	0.98	40	76.30	5.20	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.55	0.37
4	0.98	40	60.50	5.50	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
5	0.98	40	48.60	5.10	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.46	0.23
6	0.98	40	60.50	5.50	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
7	0.98	40	60.50	5.50	STPT410	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
8	静水頭	40	76.30	5.20	STPT410	—	—	12.5 %	4.55	—
9	0.98	40	76.30	5.20	STPT410	103	1.00	12.5 %	4.55	0.37
10	0.98	40	60.50	5.50	STPT410	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
評 価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。										

設備区分 其他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用ディーゼル発電設備

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 do (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	継手の 効率 η	厚さの 負の 許容差 Q	最小厚さ t _s (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)
11	0.98	40	60.50	5.50	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
評 価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。										

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 do (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	継手の 効率 η	厚さの 負の 許容差 Q	最小厚さ t_s (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)
12	静水頭	40	76.30	7.00	STPT42	—	—	12.5 %	6.12	—
13	静水頭	40	76.30	5.20	STPT42	—	—	12.5 %	4.55	—
14	0.98	40	76.30	5.20	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.55	0.37
15	0.98	40	60.50	5.50	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
16	0.98	40	48.60	5.10	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.46	0.23
17	0.98	40	60.50	5.50	STPT42	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
18	0.98	40	60.50	5.50	STPT410	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
評 価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。										

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） ガスタービン発電機

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 do (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	継手の 効率 η	厚さの 負の 許容差 Q	最小厚さ t_s (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)
19	静水頭	66	60.50	5.50	STPG370	—	—	12.5 %	4.81	—
20	静水頭	66	60.50	3.90	SUS304TP	—	—	0.50mm	3.40	—
21	静水頭	66	60.50	5.50	STPT410	—	—	12.5 %	4.81	—
22	静水頭	66	76.30	5.20	STPT410	—	—	12.5 %	4.55	—
23	静水頭	66	76.30	5.20	STPT410	—	—	12.5 %	4.55	—
24	静水頭	66	76.30	5.20	STPT410	—	—	12.5 %	4.55	—
25	0.98	66	60.50	5.50	STPT410	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
26	静水頭	66	48.60	5.10	STPT410	—	—	12.5 %	4.46	—
27	静水頭	66	42.70	4.90	STPT410	—	—	12.5 %	4.28	—
評 価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。										

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） ガスタービン発電機

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 do (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	継手の 効率 η	厚さの 負の 許容差 Q	最小厚さ t _s (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)
28	0.98	66	60.50	5.50	STPT410	103	1.00	12.5 %	4.81	0.29
29	静水頭	66	48.60	5.10	STPT410	—	—	12.5 %	4.46	—
30	静水頭	66	42.70	4.90	STPT410	—	—	12.5 %	4.28	—
評 価： t _s ≥ t， よって十分である。										

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 高圧発電機車

番号	最高使用 圧 力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 do (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	継手の 効率 η	厚さの 負の 許容差 Q	最小厚さ t_s (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)
31	静水頭	66	60.50	5.50	STPG370	—	—	12.5 %	4.81	—
評 価： $t_s \geq t$ ， よって十分である。										

2.3.3 伸縮継手の強度計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） ガスタービン発電機

設計・建設規格 PPC-3416 準用

番号	最高使用 圧力 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	材 料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 δ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算 式	継手部 応 力 σ (MPa)	N $\times 10^3$	N _r $\times 10^3$	U
E1	静水頭	66	SUS304	192000	0.80	21.00	6.50	13.00	68	1	A	595	27.4	7.0	0.2552
評 価 : $U \leq 1$, よって十分である。															

注：管番号 E1 の外径は、78.2mm

VI-3-別添5 非常用発電装置（可搬型）の強度に関する説明書

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象設備	1
2.2 評価方法の選定	1
3. 強度評価方法	2
3.1 JEM 1354又はJEM 1398に規定される 温度試験による評価	2
4. 強度評価結果	2
4.1 JEM 1354又はJEM 1398に規定される 温度試験による評価結果	2

1. 概要

本資料は、VI-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」にて、「発電用火力設備の技術基準を定める省令」を引用している「可搬型発電設備技術基準（NEGA C 3 3 1-2005）」（以下「可搬型発電設備技術基準」という。）の準用を確認した可搬型の非常用発電装置の内燃機関が、十分な強度を有することを確認するための強度評価方針、強度評価方法について説明するものである。

2. 強度評価の基本方針

非常用発電装置（可搬型）の内燃機関の強度評価は、常設の非常用発電装置の内燃機関と同様に耐圧部の強度評価を行う。ただし、可搬型発電設備技術基準には耐圧部の強度に関連する事項がないため、完成品として一般産業品の規格及び基準により、耐圧部が要求される強度を有していることを確認する。

2.1 評価対象設備

強度評価を行う非常用発電装置（可搬型）の内燃機関を表 2—1 に示す。

表 2—1 強度評価の対象設備

施設 分類	強度評価の対象設備
その他発電機用原子炉の附属設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高圧発電機車ディーゼル機関 ・ 可搬式窒素供給装置用発電設備ディーゼル機関 ・ 緊急時対策所用発電機ディーゼル機関

2.2 評価方法の選定

強度評価については、内燃機関等を含めた一体構造品の完成品として製作されている非常用発電装置（可搬型）が重大事故等時に給電で要求される強度を有することを確認するため、日本電機工業会規格「JEM 1354」（以下「JEM 1354」という。）又は日本電機工業会規格「JEM 1398」（以下「JEM 1398」という。）に規定される温度試験により、非常用発電装置（可搬型）が内燃機関等を含めた一体構造品として、定格負荷状態において安定した運転が維持されることの確認による評価を実施する。

3. 強度評価方法

非常用発電装置（可搬型）は、JEM 1354又はJEM 1398に規定される温度試験により、強度の要求を満たしていることを以下のとおり確認する。

また、温度試験による強度評価は、対象となる非常用発電装置（可搬型）又はその発電装置と同一型式の発電装置の試験結果にて実績を確認する。

3.1 JEM 1354又はJEM 1398に規定される温度試験による評価

(1) 使用条件に対する強度の確認

JEM 1354又はJEM 1398に基づいた温度試験により、対象となる非常用発電装置（可搬型）の定格負荷状態における最高使用温度が、メーカ許容値の範囲内であることを確認し、当該非常用発電装置（可搬型）が十分な強度を有することを確認する。

4. 強度評価結果

4.1 JEM 1354又はJEM 1398に規定される温度試験による評価結果

非常用発電装置（可搬型）は、内燃機関等を含めた一体構造品としてJEM 1354又はJEM 1398に規定される温度試験により強度評価を実施しているため、強度評価結果を重大事故等クラス3機器である非常用発電装置（可搬型）の冷却水ポンプが記載されているVI-3-3-8-1-1-3-1「冷却水ポンプの強度計算書（高圧発電機車）」、VI-3-3-8-1-1-4-1「冷却水ポンプの強度計算書（可搬式窒素供給装置用発電設備）」及びVI-3-3-8-1-1-5-1「冷却水ポンプの強度計算書（緊急時対策所用発電機）」並びに燃料タンクが記載されているVI-3-3-8-1-1-3-2「高圧発電機車付燃料タンクの強度計算書」、VI-3-3-8-1-1-4-2「可搬式窒素供給装置付燃料タンクの強度計算書」及びVI-3-3-8-1-1-5-2「緊急時対策所用発電機付燃料タンクの強度計算書」に示す。

強度評価結果より、表2—1の非常用発電装置（可搬型）の内燃機関は、重大事故等時における非常用発電装置（可搬型）の所要負荷に対する給電で要求される強度を有している。

VI-3-別添 6 炉心支持構造物の強度に関する説明書

VI-3-別添 6-1 炉心支持構造物の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 炉心支持構造物の強度評価の基本方針	2
3. 炉心支持構造物の強度評価方法	3
3.1 確認内容	3
4. 強度評価結果	7
5. シュラウドサポートの強度計算	8
5.1 一般事項	8
5.2 適用規格・基準等	8
5.3 記号の説明	9
5.4 計算精度と数値の丸め方	11
5.5 形状・寸法・材料	11
5.6 解析範囲	11
5.7 計算結果の概要	11
5.8 計算条件	15
5.8.1 評価対象機器	15
5.8.2 設計条件	15
5.8.3 運転条件	15
5.8.4 材料	15
5.8.5 物性値	15
5.8.6 解析モデルの物性値補正	16
5.8.7 荷重の組合せ及び供用状態	16
5.8.8 荷重の組合せ及び応力評価	17
5.8.9 許容応力	17
5.8.10 許容応力評価条件	17
5.8.11 溶接部の継手効率	18
5.8.12 応力の記号と方向	18
5.9 応力解析の手順	19
5.9.1 温度分布計算	19
5.9.2 応力計算	20
5.10 応力強さの評価	21
5.10.1 主応力	21
5.10.2 応力強さ	21
5.10.3 一次一般膜応力強さの評価	21
5.10.4 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	21

5.10.5	一次＋二次応力強さの評価	22
5.11	繰返し荷重の評価	22
5.11.1	疲労解析	22
5.12	特別な応力の評価	23
5.12.1	座屈に対する評価	23
5.13	引用文献	27
5.14	参照図書	27
6.	燃料支持金具の強度計算	96
6.1	一般事項	96
6.2	適用基準	96
6.3	記号の説明	97
6.4	計算精度と数値の丸め方	98
6.5	形状・寸法・材料	98
6.6	解析範囲	98
6.7	計算結果の概要	98
6.8	計算条件	102
6.8.1	評価対象機器	102
6.8.2	設計条件	102
6.8.3	運転条件	102
6.8.4	材料	102
6.8.5	荷重の組合せ及び運転状態	102
6.8.6	荷重の組合せ及び応力評価	103
6.8.7	許容応力	103
6.8.8	許容応力評価条件	103
6.8.9	溶接部の継手効率	103
6.8.10	応力の記号と方向	104
6.9	応力評価の手順	104
6.9.1	温度分布計算	104
6.9.2	応力の評価	104
6.9.3	繰返し荷重の評価	105
6.10	応力計算	106
6.10.1	応力評価点	106
6.10.2	差圧による応力	106
6.10.3	外荷重による応力	107
6.10.4	熱応力	108
6.11	応力強さの評価	109

6.11.1	一次一般膜応力強さの評価	109
6.11.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	109
6.11.3	一次＋二次応力強さの評価	109
6.12	繰返し荷重の評価	110
6.12.1	告示第96条第1項第3号についての検討	110
6.12.2	疲労解析	110
6.13	引用文献	111
6.14	参照図書	111
添付1	熱伝達率の計算	125
添付2	応力集中係数の計算	128

図 表 目 次

図5-1	形状・寸法・材料・応力評価点	12
図5-2	応力解析の手順	28
図5-3	温度分布及び応力計算のモデル	29
図5-4	温度遷移図	37
図5-5	温度分布図	43
図5-6	応力差の変動	71
図6-1	形状・寸法・材料・応力評価点	99
図6-2	応力評価の手順	112
図6-3	中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル	113
図6-4	中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル	113
表3-1	重大事故等事象に対する荷重の整理表	4
表3-2	設計基準事故事象に対する事故時荷重	6
表5-1	表示する数値の丸め方	11
表5-2	計算結果の概要	13
表5-3	外荷重	30
表5-4	温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値	31
表5-5	繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	31
表5-6	流体の物性値	32
表5-7	荷重の組合せ及び供用状態	33
表5-8	荷重の組合せ	33
表5-9	繰返しピーク応力強さの割増し方法	34
表5-10	許容応力	35
表5-11	許容応力評価条件	35
表5-12	溶接部の継手効率	36
表5-13	熱伝達率の計算	75
表5-14	応力集中係数	90
表5-15	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	91
表5-16	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	92
表5-17	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	93
表5-18	疲労累積係数の評価のまとめ	94
表5-19	座屈に対する評価	95
表6-1	表示する数値の丸め方	98
表6-2	計算結果の概要	101

表6-3	各運転状態における差圧	114
表6-4	外荷重	115
表6-5	荷重の組合せ及び運転状態	116
表6-6	荷重の組合せ	117
表6-7	許容応力	118
表6-8	許容応力評価条件	119
表6-9	溶接部の継手効率	120
表6-10	断面性状	121
表6-11	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	122
表6-12	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	123
表6-13	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	124

1. 概要

本計算書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第50条、第51条、第52条、第54条、第59条、第60条、第62条及び第63条において、重大事故等時に流路としての機能が要求される原子炉压力容器内の炉心支持構造物が、十分な強度を有することを説明するものである。

2. 炉心支持構造物の強度評価の基本方針

重大事故等時における炉心支持構造物の評価は、重大事故等時の評価条件が設計基準事故時の評価条件に包絡されており、燃料支持金具を除き、既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）における評価結果があるため、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。

なお、シュラウドサポートについては、既工認における評価結果はあるが、シュラウドサポートの耐震計算書との整合性を考慮し、最新の知見を反映した解析モデルを用いて発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J S M E S N C 1-2005/2007）による評価を5章で実施する。また、燃料支持金具については、既工認における評価結果がないため、施設時に適用された規格である通商産業省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」による評価を6章で実施する。

3. 炉心支持構造物の強度評価方法

炉心支持構造物の強度評価について、シュラウドサポート及び燃料支持金具を除き、以下の3.1節に示す確認内容のとおり、既工認における評価結果の確認による評価を実施する。

3.1 確認内容

重大事故等事象は、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故事象に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物、系統及び機器の安全機能が喪失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。

重大事故等時の事故時荷重を表3-1に、設計基準時の事故時荷重を表3-2に示す。両表に示すとおり、起因となる運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの事故時荷重は、重大事故等時の事故時荷重を包絡している。

表3-1 重大事故等事象に対する荷重の整理表

重大事故等時			運転状態Ⅲ及びⅣの評価（表3-2）との関係	
事故シーケンスグループ	重要事故シーケンス	事故時荷重*1	事故時荷重の包絡性	ピーク差圧の包絡性
高圧・低圧注水機能喪失（給水喪失）	給水喪失＋低圧原子炉代替注水系（常設）＋原子炉格納容器除熱（代替スプレイ/ベント）			
高圧注水・減圧機能喪失（給水喪失）	給水喪失＋残留熱除去系（低圧注水モード）＋原子炉格納容器除熱（残留熱除去系）			
全交流動力電源喪失（長期TB）	全交流動力電源喪失＋原子炉隔離時冷却系停止＋低圧原子炉代替注水系（可搬型）＋残留熱除去系（低圧注水モード）＋原子炉格納容器除熱（代替スプレイ/残留熱除去系）			
全交流動力電源喪失（TBD, TBU）	全交流動力電源喪失/全電源喪失＋高圧原子炉代替注水＋低圧原子炉代替注水系（可搬型）＋残留熱除去系（低圧注水モード）＋原子炉格納容器除熱（代替スプレイ/残留熱除去系）			
全交流動力電源喪失（TBP）	全交流動力電源喪失＋原子炉隔離時冷却系停止＋低圧原子炉代替注水系（可搬型）＋残留熱除去系（低圧注水モード）＋原子炉格納容器除熱（代替スプレイ/残留熱除去系）			

(続き)

崩壊熱除去機能喪失 (取水機能喪失)	給水喪失＋全交流動力電源喪失＋原子炉 隔離時冷却系停止＋残留熱除去系（低圧 注水モード）＋原子炉格納容器除熱（残 留熱除去系）	
崩壊熱除去機能喪失 (RHR機能喪失)	給水喪失＋原子炉隔離時冷却系停止＋低 圧原子炉代替注水系（常設）＋原子炉格 納容器除熱（代替スプレイ/ベント）	
原子炉停止機能喪失	主蒸気隔離弁誤閉止＋スクラム失敗	
LOCA時注水機能 喪失（中小破断）	中小LOCA＋外部電源喪失＋低圧原子 炉代替注水系（常設）＋原子炉格納容器 除熱（代替スプレイ/ベント）	
格納容器バイパス	インターフェースシステムLOCA（残 留熱除去系（低圧注水モード）の破断）	
大破断LOCA	大LOCA＋低圧原子炉代替注水系（常 設）＋原子炉格納容器除熱（代替スプレ イ/残留熱代替除去系）	

注記*1：事故時に発生する機械的荷重

*2：

表3-2 設計基準事象に対する事故時荷重

事象		事故時荷重*	強度評価上の取扱い	備考
運転状態Ⅲ	過大圧力			
運転状態Ⅳ	冷却材喪失事故			

注記*：事故時に発生する機械的荷重

4. 強度評価結果

本計算書は、炉心支持構造物の重大事故等対処設備としての応力評価結果を示すものであるが、シュラウドサポート及び燃料支持金具を除く機器は、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、炉心シュラウドの評価結果については、平成 16 年 7 月 1 日付け電原運第 24 号にて届出した既工認の添付書類Ⅳ-3-1-1「炉心シュラウドの応力計算書」、上部格子板、炉心支持板及び制御棒案内管の評価結果については、昭和 60 年 12 月 25 日付け 60 資庁第 11431 号にて認可された既工認の添付書類Ⅳ-2-2-3「炉心支持構造物の耐震性についての計算書」による。

シュラウドサポートについては、評価結果を 5 章に、燃料支持金具については、評価結果を 6 章に示す。

5. シュラウドサポートの強度計算

5.1 一般事項

本章は、シュラウドサポート（炉心シュラウド下部胴とシュラウドサポートシリンダとの接合部を含む。）の応力計算について示すものである。

注 1：以下，シュラウドサポートレグ，シュラウドサポートシリンダ，シュラウドサポートプレート及び炉心シュラウド下部胴を，それぞれ「レグ」，「シリンダ」，「プレート」及び「下部胴」という。

注 2：図表は，原則として巻末に示す。

5.2 適用規格・基準等

適用基準を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））
J S M E S N C 1 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7）（以下「設計・建設規格」という。）*

注記*：本章において，設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△
△△ ◇) a. (a)」として示す。

5.3 記号の説明

本章において、以下の記号を使用する。ただし、本章に別途記載ある場合は、この限りでない。

記号	記号の説明	単位
A	レグ1本当たりの断面積	mm ²
B	レグの幅	mm
C	部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数	—
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
f_c	許容応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(3)に定める値	MPa
H	水平力	N
I	座屈軸についての断面二次モーメント	mm ⁴
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l	レグの長さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
M	モーメント	N・mm
N_a	$S_{l'}$ に対応する許容繰返し回数	回
N_c	実際の繰返し回数	回
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
S	10 ¹¹ 回に対応する許容繰返しピーク応力強さ	MPa
S_{12}	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S_{23}	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S_{31}	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S_l	繰返しピーク応力強さ	MPa
$S_{l'}$	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_n	供用状態A及びBにおける一次+二次応力の応力差最大範囲	MPa
$S_{n'}$	S_n のうち熱曲げ応力を除く一次+二次応力の応力差最大範囲	MPa
S_p	一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める材料の40°Cにおける設計降伏点	MPa

記号	記号の説明	単位
T	レグの板厚	mm
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)a.における ν	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
τ_{tl}	せん断応力	MPa

5.4 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表5-1 に示すとおりとする。

表5-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
応力	MPa	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
応力強さ	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
疲労累積係数	—	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 位

注記*：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計応力強さ，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 2 位を切捨て，小数点以下第 1 位までの値として算出する。許容応力として得られた値の小数点以下第 1 位を切捨てて整数化する。

5.5 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図 5-1 に示す。

5.6 解析範囲

解析範囲を図 5-1 に示す。

5.7 計算結果の概要

計算結果の概要を表 5-2 に示す。

なお，応力評価点の選定に当たっては，形状不連続部，溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し，応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

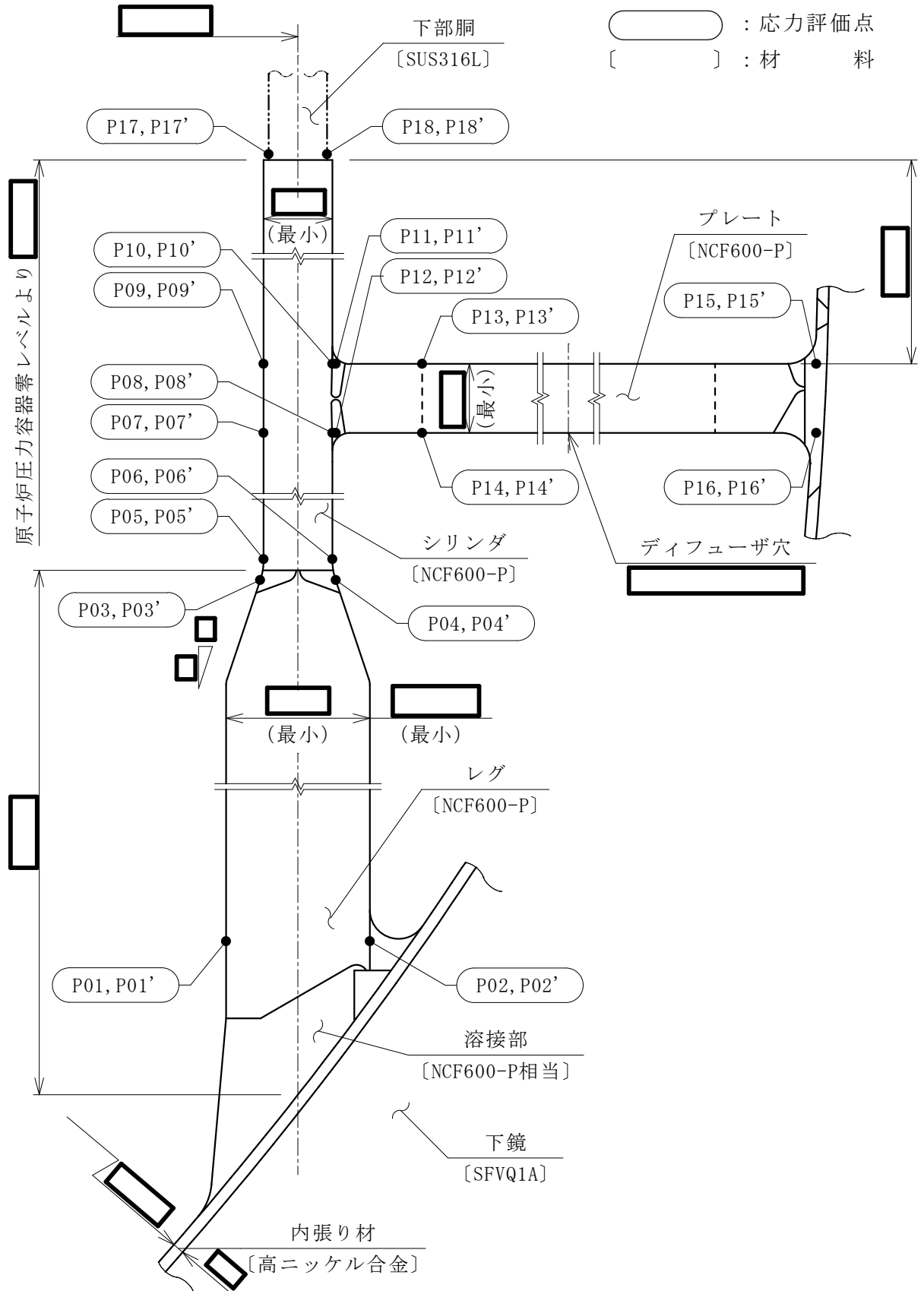


図5-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表5-2(1) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次一般膜+一次曲げ応力 (MPa)			一次+二次応力 (MPa)			疲労解析			
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労累積係数	許容値	応力評価点	
レダ	設計条件	108	164	P03 - P04	108	246	P03 - P04	---	---	---	---	---	---	
	C	18	246	P03 - P04	18	369	P03 - P04	---	---	---	---	---	---	
	D	20	334	P03 - P04	20	501	P03 - P04	---	---	---	---	---	---	
NCF600-P	A, B	---	---	---	---	---	---	142	492	P03	0.000	1.0	P03	
	設計条件	50	164	P07 - P08	50	246	P07 - P08	---	---	---	---	---	---	
	C	9	246	P05 - P06	9	369	P05 - P06	---	---	---	---	---	---	
NCF600-P	D	10	334	P09 - P10	10	501	P09 - P10	---	---	---	---	---	---	
	A, B	---	---	---	---	---	---	476	492	P07	0.001	1.0	P07	
	設計条件	17	147*1	P11' - P12'	17	221*1	P11' - P12'	---	---	---	---	---	---	
プレート	C	6	221*1	P11 - P12	6	332*1	P11 - P12	---	---	---	---	---	---	
	D	6	300*1	P11 - P12	6	450*1	P11 - P12	---	---	---	---	---	---	
	A, B	---	---	---	---	---	---	314	442*1	P12	0.013	1.0	P14	
下部胴	設計条件	71	85*1	P17 - P18	71	127*1	P17 - P18	---	---	---	---	---	---	
	C	18	127*1	P17 - P18	18	190*1	P17 - P18	---	---	---	---	---	---	
	D	19	208*1	P17 - P18	19	312*1	P17 - P18	---	---	---	---	---	---	
SUS316L	A, B	---	---	---	---	---	---	260*1	P17	0.019	1.0	P17		

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：許容値 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ を超えるが設計・建設規格 CSS-3300の簡易弾塑性解析の規定を満足する。

表5-2(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	供用状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
レグ NCF600-P	A, B	4	155
	C	4	233
	D	5	249

5.8 計算条件

5.8.1 評価対象機器

応力評価を行う機器は、次のとおりである。（図5-1 参照）

機器名称	評価対象				
	供用状態に対する評価				
	設計条件	A, B	C	D	重大事故等時
シュラウドサポート	○	○	○	○	—

注：「○」は評価対象を示す。

5.8.2 設計条件

原子炉圧力容器の最高使用圧力：8.62 MPa

設計差圧： MPa

最高使用温度：302℃

設計機械的荷重：表5-3に示す。

5.8.3 運転条件

運転条件及び記号は、参照図書(1)a.に定めるとおりである。

シュラウドサポートの応力評価において考慮する差圧は、参照図書(1)a.に定める差圧 P_{12} であり、考慮する外荷重の値は表5-3に示すとおりである。

5.8.4 材料

各部の材料を図5-1に示す。

5.8.5 物性値

温度分布計算、応力計算及び繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値は、以下のとおりである。

(1) 材料の物性値

材料の物性値は、次のように定める。

- a. 縦弾性係数 E 及び熱膨張係数 α は、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び表2に定められたものによる。
また、熱伝導率 λ 及び温度伝導率 a は、引用文献(1)に定められたものによる。
- b. 機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度（302℃）に対する値を用いる。温度分布計算及び熱応力計算に使用する物性値は、その

温度依存性を考慮する。

なお、常温は 20℃とする。

- c. 繰返し荷重の評価に使用する物性値は、運転温度（℃：定格出力運転時の蒸気温度）に対する値を用いる。
- d. 主な温度における材料の物性値を表5-4 に示す。
繰返し荷重の評価に使用する物性値を表5-5 に示す。

(2) 流体の物性値

温度分布計算に使用する流体の物性値は、引用文献(2)（改訂第4版）の表に定められたものによる。主な温度における物性値を表5-6 に示す。

5.8.6 解析モデルの物性値補正

シュラウドサポートの応力計算には、軸対称モデルを用い、次の部位については、解析モデルにおいて物性値補正を行い、その剛性を考慮する。



5.8.7 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態を表5-7 に示す。

なお、本章において、設計・建設規格 GNR-2120(1)の規定による最高使用圧力（供用状態Aを定義する運転状態において機器が受ける最高の圧力以上の圧力であって、設計上定めるものをいう。）を「設計差圧」と呼び、設計差圧と設計機械的荷重を組み合わせた条件を「設計条件」という。

5.8.8 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表5-8に示す。本章において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

荷重	記号
(1) 原子炉圧力容器の内圧	[L01]
(2) 差圧	[L02]
(3) 設計機械的荷重	[L03]
(4) 死荷重	[L04]
(5) ジェット反力	[L09]
(6) 熱負荷	[L10]

5.8.9 許容応力

シュラウドサポートの許容応力は、設計・建設規格 CSS-3100 に基づき表 5-10 に示す。

5.8.10 許容応力評価条件

- (1) 許容応力評価において、設計応力強さ S_m 、設計降伏点 S_y 及び設計引張強さ S_u は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1、表 8 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 設計条件の評価には、最高使用温度（302℃）に対する許容応力を用いる。供用状態 A 及び B、供用状態 C 並びに供用状態 D の一次応力の評価には、各供用状態を定義する運転状態における流体の最高温度（運転状態 I 及び II：℃，運転状態 III：℃，運転状態 IV：℃）に対する許容応力を用いる。供用状態 A 及び B の一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度（℃：定格出力運転時の蒸気温度）に対する許容応力を用いる。
- (3) シュラウドサポートの許容応力評価条件を表 5-11 に示す。

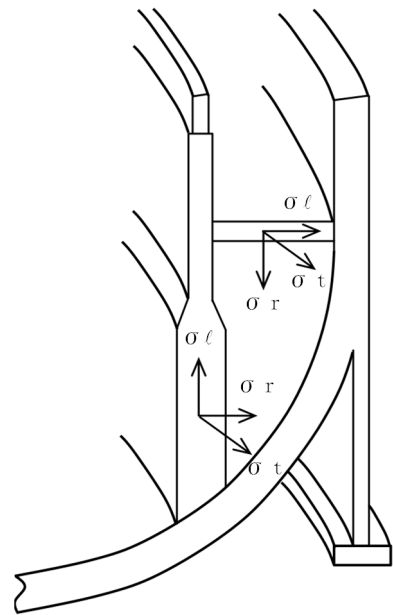
5.8.11 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は，継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により，設計・建設規格 CSS-3150 に従って定める。溶接部の継手効率を表 5-12 に示す。
- (2) 溶接部の許容応力は，材料の許容応力に継手効率を乗じたものとする。

5.8.12 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
 σ_l : 軸方向応力
 σ_r : 半径方向応力



5.9 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

応力解析の概要を図 5-2 に示す。

5.9.1 温度分布計算

(1) 境界の熱伝達率

温度分布計算に使用する容器内面，容器外面及びシュラウドサポート外面の熱伝達率の計算条件と計算結果を表 5-13 に示す。

(2) 温度分布の計算

a. 荷重条件

参照図書(1)a.に定める運転条件に基づいて計算する。

b. 計算方法

温度分布計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，計算機コード「TACF」により行う。なお，評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

温度分布計算のモデルを図 5-3 に示す。

境界における熱伝達率は，5.9.1 項の計算結果を用いる。

c. 温度遷移図

温度分布計算を行った運転条件について，評価断面における熱応力が厳しくなる時点を検出するため，あらかじめ指定した数点の温度の時間的変化を図 5-4 に示す。

シュラウドサポート，下部胴及び下鏡内に指定した 2 点間の温度差が極値となる時点を図 5-4 に記号で示す。

なお，同図において，その差が極値をとった時点を熱応力が厳しくなるものとする。

d. 温度分布図

5.9.1 項(2)c. で選定した 2 点間の温度差が極値となる時点の温度分布を図 5-5 に示す。

(3) 熱応力の計算時点

熱応力計算は、5.9.1 項(2)c. で選定した 2 点間の温度差が極値となる時点、圧力ピークとなる時点 [C10-01, C20-01, C20-03 及び C20-05] 及び定格出力運転 [C12-01] (計算時点を図 5-4 中に示す。) 並びに耐圧試験 [C02-01] に対して行う。

5.9.2 応力計算

(1) 応力評価点

応力評価点の位置を図 5-1 に示す。

応力集中が生じる箇所の応力集中係数を表 5-14 に示す。

(2) 内圧及び差圧による応力

a. 荷重条件 (L01 及び L02)

各運転条件における内圧及び差圧を 5.8.2 項及び 5.8.3 項に示す。

b. 計算方法

内圧及び差圧による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、計算機コード「ASHSD2-B」により行う。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件(拘束条件)を図 5-3 に示す。

なお、各供用状態での内圧及び差圧による応力は、最高使用圧力及び設計差圧での応力を用いて、圧力比により計算する。

(3) 外荷重による応力

a. 荷重条件 (L03, L04 及び L09)

シュラウドサポートに作用する外荷重を表 5-3 に示す。

b. 計算方法

外荷重による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、計算機コード「ASHSD2-B」により行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件(拘束条件)を図 5-3 に示す。

なお、各荷重での応力は、単位荷重(鉛直力、水平力等)での応力を用いて、荷重比(鉛直力、水平力等)により計算する。

(4) 熱応力

a. 荷重条件 (L10)

熱応力計算には、5.9.1項で求めた温度分布を用いる。

b. 計算方法

熱応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、計算機コード「ASHSD2-B」により行う。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）を図5-3に示す。

5.10 応力強さの評価

5.10.1 主応力

荷重ごとに計算した応力を重ね合わせた結果から、主応力を求める。

応力成分は、一般に σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} 、 τ_{lr} 、 τ_{rt} の6成分であるが、主応力 σ は、引用文献(4)の1・3・6項により、次式を満足する3根 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} &\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ &- \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 \\ &+ \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

5.10.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

5.10.3 一次一般膜応力強さの評価

各供用状態における評価をまとめて、表5-15に示す。

表5-15より、各供用状態の一次一般膜応力強さは、5.8.9項に示す許容応力を満足する。

5.10.4 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各供用状態における評価をまとめて、表5-16に示す。

表5-16より、各供用状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、5.8.9項に示す許容応力を満足する。

5.10.5 一次＋二次応力強さの評価

供用状態 A 及び B における評価をまとめて、表 5-17 に示す。

表 5-17 より、以下の評価点を除くすべての評価点において一次＋二次応力の応力差最大範囲は、 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ 以下であり、5.8.9 項に示す許容応力を満足する。

P17, P17' , P18 及び P18'

一次＋二次応力の応力差最大範囲が $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ を超える上記の評価点にあつては、5.11 節で簡易弾塑性解析の方法を適用する。

5.11 繰返し荷重の評価

5.11.1 疲労解析

シュラウドサポートの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 設計・建設規格 CSS-3300 の適用性の検討

一次＋二次応力強さの最大範囲が $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ を超える応力評価点については、以下に示すとおり、設計・建設規格 CSS-3300 による簡易弾塑性解析の方法を適用する。

- a. 材料の最小降伏点と最小引張強さの比は、以下に示すとおり、0.8 以下である。（設計・建設規格 CSS-3311）

応力評価点	材 料	最小降伏点 (MPa)	最小引張強さ (MPa)	最小降伏点と 最小引張強さの比
P17, P17' P18, P18'	SUS316L	175	480	0.37

- b. 原子炉圧力容器の運転温度は、430℃以下である。（設計・建設規格 CSS-3312）
- c. 熱応力のうち曲げ応力を除く一次＋二次応力の評価結果を表 5-17 に示す。表 5-17 より、一次＋二次応力（熱曲げを除く。）の応力差の最大範囲（ $S_{n'}$ ）は、 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$ を超えない。（設計・建設規格 CSS-3313）
- d. 計算された繰返しピーク応力強さ（ $S_{l'}$ ）に対する許容繰返し回数（ N_a ）は、10 回以上である。（設計・建設規格 CSS-3314）
- e. 繰返しピーク応力強さは、表 5-9 に示す方法により割増ししたものを使用する。（設計・建設規格 CSS-3320）

(2) 考慮する運転条件

疲労解析に考慮する運転条件及び回数の組合せを図 5-6 に示す。

(3) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数をまとめて、表 5-18 に示す。

表 5-18 より、各応力評価点において疲労累積係数は 1.0 以下であり、許容値を満足する。

5.12 特別な応力の評価

5.12.1 座屈に対する評価

レグには、シュラウドサポートに作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

a. 座屈長さ l_k

$$l_k = C \cdot l = 0.7 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、C：部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数=0.7

$$l：レグの長さ = \boxed{} \text{ mm}$$

b. 座屈軸についての断面二次半径 i

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\boxed{}} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、I：座屈軸についての断面二次モーメント

$$= \frac{1}{12} T^3 \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$T：レグの板厚 = \boxed{} \text{ mm}$$

$$B：レグの幅 = \boxed{} \text{ mm}$$

A：レグ 1 本当たりの断面積

$$= T \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^2$$

c. 有効細長比 λ

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \boxed{} = \boxed{}$$

(2) 圧縮荷重

シュラウドサポートに作用する鉛直力及びモーメントを表 5-3 に示す。

(3) 圧縮応力

各供用状態においてレグに発生する圧縮応力を表 5-19 に示す。

レグに発生する圧縮応力は、応力評価面 P03'-P04' での一次一般膜応力 (σ_l) を示す。

(4) 許容応力

各供用状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 SSB-3121 を準用して計算する。

a. 供用状態 A 及び B

供用状態 A 及び B における F は、以下の 3 つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = \boxed{} \text{ MPa} \quad (\boxed{}^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = \boxed{} \text{ MPa} \quad (\boxed{}^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$S_y = \boxed{} \text{ MPa} \quad (\boxed{} \text{ における値})$$

したがって、 $F = \boxed{} \text{ MPa}$ とする。

供用状態 A 及び B における許容圧縮応力 f_c は、 $F = \boxed{} \text{ MPa}$ に対して次のように得られる。

$$\text{限界細長比} : \Lambda = \frac{\sqrt{\pi^2 \cdot E}}{\sqrt{0.6 \cdot F}} = \frac{\sqrt{\pi^2 \times \boxed{}}}{\sqrt{0.6 \times \boxed{}}}$$

$$= \boxed{}$$

ここで、E : 縦弾性係数 = $\boxed{} \text{ MPa}$ ($\boxed{}^\circ\text{C}$ における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$f_c = \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu}$$

$$= \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right)^2 \right\} \times \boxed{} = 155 \text{ MPa}$$

$$\text{ここで、} \nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\frac{\boxed{}}{\boxed{}} \right)^2 = \boxed{}$$

b. 供用状態 C

供用状態 C における F は、以下の 3 つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = \boxed{} \text{ MPa} \quad (\boxed{}^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = \boxed{} \text{ MPa} \quad (\boxed{}^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$S_y = \boxed{} \text{ MPa} \quad (\boxed{} \text{ における値})$$

したがって、 $F = \square$ MPa とする。

供用状態 C における許容圧縮応力 f_c は、 $F = \square$ MPa に対して次のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{限界細長比} : \Lambda &= \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \square}{0.6 \times \square}} \\ &= \square \end{aligned}$$

ここで、 E : 縦弾性係数 = \square MPa (\square °C における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\square \right)^2 \right\} \times \square = 233 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{ここで、} \nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\square \right)^2 = \square$$

c. 供用状態 D

供用状態 D における F^* は、以下の 3 つの値のうち小さい方を用いる。

注記* : 供用状態 D における F は、設計・建設規格 SSB-3121.3 より

S_y (RT) を $1.2 \cdot S_y$ (RT) と読み替えるものとする。

$$1.35 \cdot S_y = \square \text{ MPa} \quad (\square \text{ °C における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = \square \text{ MPa} \quad (\square \text{ °C における値})$$

$$1.2 \cdot S_y = \square \text{ MPa} \quad (\square \text{ °C における値})$$

したがって、 $F = \square$ MPa とする。

供用状態 D における許容圧縮応力 f_c は、 $F = \square$ MPa に対して次のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{限界細長比} : \Lambda &= \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \square}{0.6 \times \square}} \\ &= \square \end{aligned}$$

ここで、 E : 縦弾性係数 = \square MPa (\square °C における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$f_c = 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu}$$

$$= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\boxed{} \right)^2 \right\} \times \boxed{} = 249 \text{ MPa}$$

ここで、 $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\boxed{} \right)^2 = \boxed{}$$

(5) 座屈に対する評価

各供用状態における座屈に対する評価を表 5-19 に示す。

表 5-19 より、各供用状態における圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

5.13 引用文献

文献番号は、本章において共通である。

- (1) ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE SEC. II PART D, MATERIALS (2015 Edition)
- (2) 伝熱工学資料 (日本機械学会 改訂第3版及び改訂第4版)
- (3) March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965 「Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」
- (4) 機械工学便覧 基礎編 α 3 (日本機械学会)
- (5) 「伝熱概論」 甲藤好郎著, 養賢堂発行
- (6) WARREN H. GIEDT 「基礎伝熱工学」 横堀進, 久我修共訳, 丸善
- (7) Journal of Engineering for Industry, 「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」 (T. SLOT, W. J. O' DONNELL)

5.14 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
 - a. IV-2-2-3(1) 炉心支持構造物の応力解析の方針
 - b. IV-2-2-3(2)b シュラウドサポートの応力計算書
 - c. IV-3-1-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針

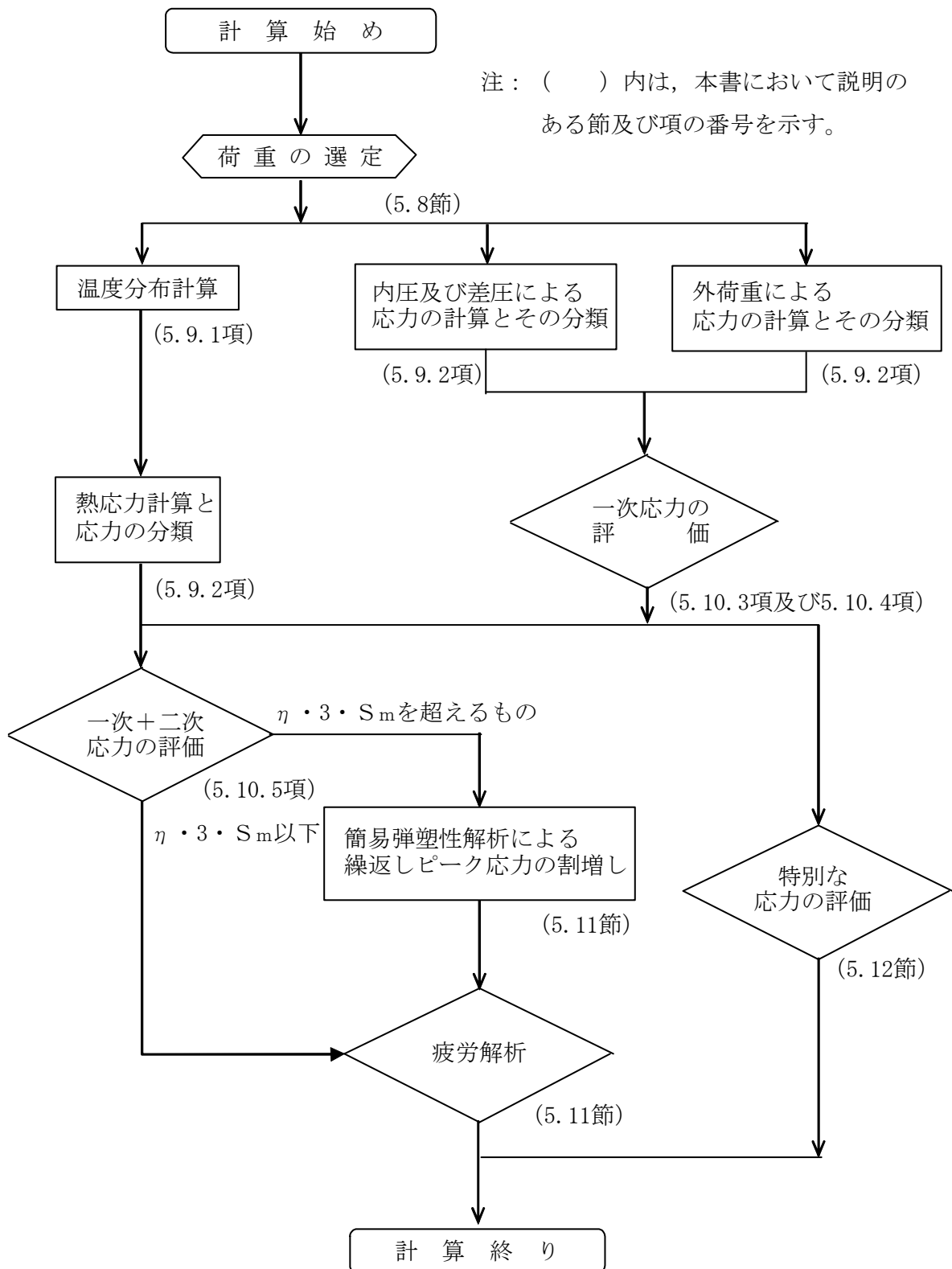


図5-2 応力解析の手順

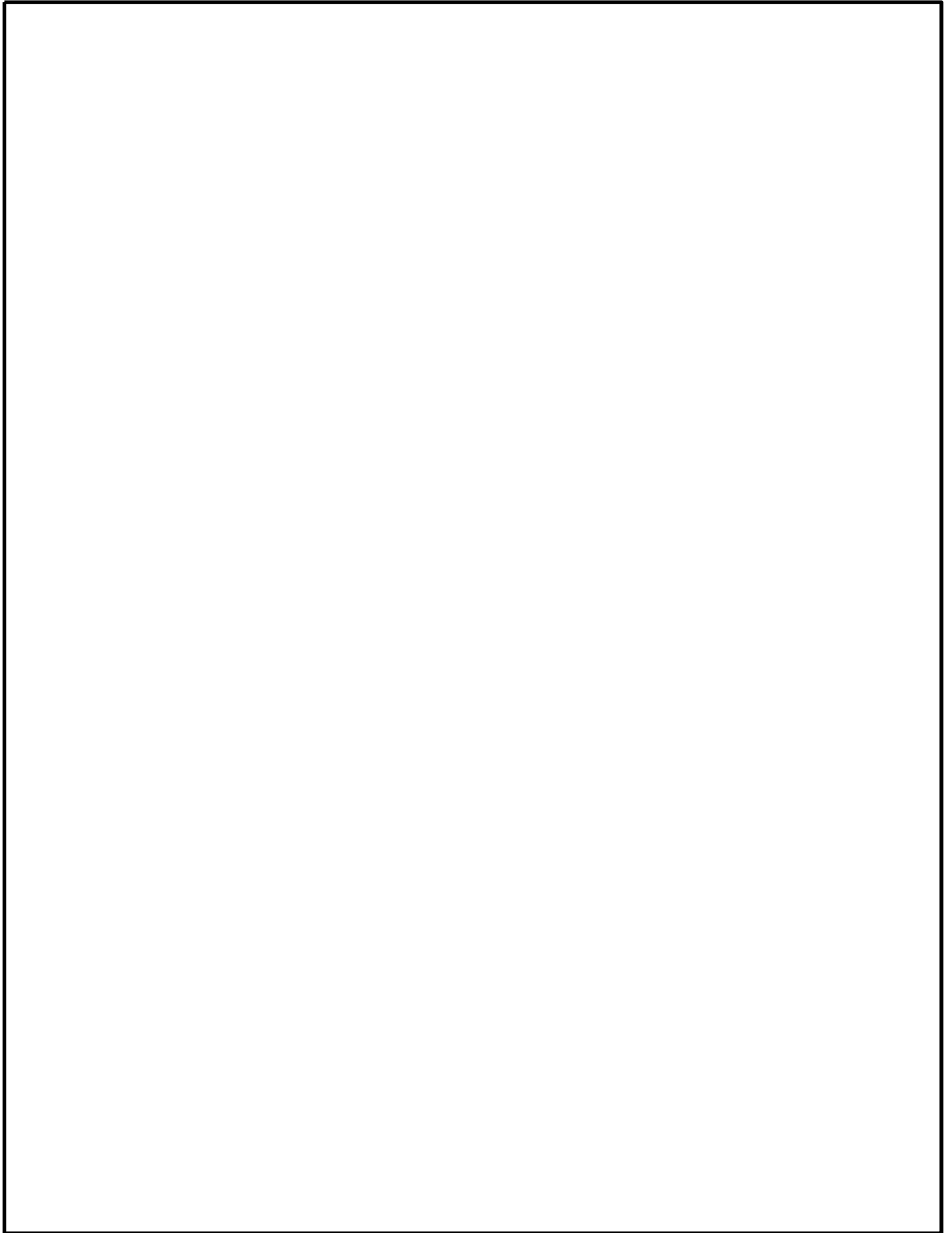


図5-3 温度分布及び応力計算のモデル

表5-3 外荷重

記号	荷重名称	鉛直力	水平力	モーメント
		V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L03	設計機械的荷重			
L04	死荷重			
L09	ジェット反力			

--	--	--	--	--

表5-4 温度分布計算及び応力計算に使用する材料の物性値

材料	温度 (°C)	E ×10 ⁵ (MPa)	α ×10 ⁻⁶ (mm/(mm・°C))	λ (W/(m・K))	a ×10 ⁻⁶ (m ² /s)	ν
SFVQ1A						
SUS316L						
NCF600-P						

注1：αは20°Cより表記の温度までの平均熱膨張係数

注2：温度分布計算及び熱応力計算においては、5.8.5項に示す物性値の出典に基づき、設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び表2に示される温度に対する物性値を算出し、さらに、これらの値から直線補間により任意の温度における物性値を算出し計算に用いる。

表5-5 繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値

材料	E ×10 ⁵ (MPa)	α ×10 ⁻⁶ (mm/(mm・°C))	S (MPa)	E ₀ ×10 ⁵ (MPa)	q	A ₀	B ₀
SUS316L					3.1	0.7	2.15
NCF600-P					3.1	0.7	2.15

注：

- E : 運転温度 (°C) に対する縦弾性係数
- α : 運転温度 (°C) に対する瞬時熱膨張係数
- S : 設計・建設規格 表 添付 4-2-2 の曲線 C の 10¹¹ 回に対する繰返しピーク応力強さ
- E₀ : 設計・建設規格 添付 4-2 に記載された縦弾性係数
- q, A₀, B₀ : 設計・建設規格 表 PVB-3315-1 に示された簡易弾塑性解析に使用する係数の値

表5-6 流体の物性値

種類	温度 (°C)	λ (W/(m·K))	C_p (J/(kg·K))	ρ (kg/m ³)	ν_0 (m ² /s)	Pr
水	20					
	160					
	300					

注：温度分布計算及び熱応力計算においては，5.8.5項に示す物性値の出典に基づき，設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に示される温度に対する物性値を算出し，さらに，これらの値から直線補間により任意の温度における物性値を算出し計算に用いる。

表5-7 荷重の組合せ及び供用状態

区分	荷重の組合せ
	各運転状態による荷重
設計条件	設計条件による荷重
供用状態A	運転状態Ⅰによる荷重
供用状態B	運転状態Ⅱによる荷重
供用状態C	運転状態Ⅲによる荷重
供用状態D	運転状態Ⅳ（L）による荷重 *1
	運転状態Ⅳ（S）による荷重 *2

注記*1：運転状態Ⅳ（L）による荷重とは、運転状態Ⅳによる荷重のうち長期荷重を表す。

*2：運転状態Ⅳ（S）による荷重とは、運転状態Ⅳによる荷重のうち短期荷重を表す。

表5-8 荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
設計条件	L02+L03	P_m $P_m + P_b$
供用状態A及びB	L01+L02+L04+L10	$P_m + P_b + Q$ 疲労解析
供用状態C	L02+L04	P_m $P_m + P_b$
供用状態D	L02+L04+L09	P_m $P_m + P_b$

表5-9 繰返しピーク応力強さの割増し方法

S _n	S _ℓ
3・S _m 未満	$S_{\ell} = \frac{S_p}{2}$
3・S _m 以上	<p data-bbox="464 443 655 510">$S_{\ell} = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$</p> <p data-bbox="464 533 927 566">K_eは、次の手順により計算する。</p> <p data-bbox="499 584 679 618">(1) K < B₀</p> <p data-bbox="539 622 1465 757">① $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$</p> <p data-bbox="619 768 1046 846">$K_e = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K}\right)$</p> <p data-bbox="539 891 1465 1025">② $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 (q - 1)}}{2 \cdot A_0}$</p> <p data-bbox="619 1037 1070 1115">$K_e = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$</p> <p data-bbox="499 1182 679 1216">(2) K ≥ B₀</p> <p data-bbox="539 1220 1246 1355">① $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q - 1)}}{a}$</p> <p data-bbox="619 1366 1214 1444">$K_e = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + 1 - a$</p> <p data-bbox="539 1489 1246 1624">② $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q - 1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q - 1)}}{a}$</p> <p data-bbox="619 1635 1070 1713">$K_e = 1 + (q - 1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$</p> <p data-bbox="464 1749 568 1783">ここで、</p> <p data-bbox="496 1794 619 1872">$K = \frac{S_p}{S_n}$</p> <p data-bbox="496 1877 1337 1966">$a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q - 1)}$</p>

注：q, A₀, B₀は、表5-5に示す。

表5-10 許容応力

供用状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次一般膜＋一次曲げ応力	一次＋二次応力
設計条件	S_m	$1.5 \cdot S_m$	—
A, B	—	—	$3 \cdot S_m$
C	$1.5 \cdot S_m$	$2.25 \cdot S_m$	—
D	$\text{Min}(2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$	$\text{Min}(3.6 \cdot S_m, S_u)$	—

表5-11 許容応力評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R.T) (MPa)	
シュラウド サポート	SUS316L	流体の最高温度 (運転状態Ⅳ) 及び定格 出力運転時の蒸気温度					
		最高使用温度	302	94	104	373	
	オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	流体の最高温度 (運転状態Ⅲ)					
		流体の最高温度 (運転状態Ⅳ) 及び定格 出力運転時の蒸気温度					
	NCF600-P	最高使用温度	302	164	193	501	
		流体の最高温度 (運転状態Ⅲ)				—	

表5-12 溶接部の継手効率

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	対応する応力評価面	検査の種類*	継手効率 η
炉心シュラウドと シリンダの溶接継手	胴と胴の周継手	シリンダとプレート の継手			
	プレートと原子炉圧力容器の周継手				
シュラウドサポート	シリンダとレグの継手	レグと原子炉圧力容器の継手			
	レグと原子炉圧力容器の継手				

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

P T + R T : 設計・建設規格 CSS-3150に規定するAの検査

P P T : 設計・建設規格 CSS-3150に規定するCの検査

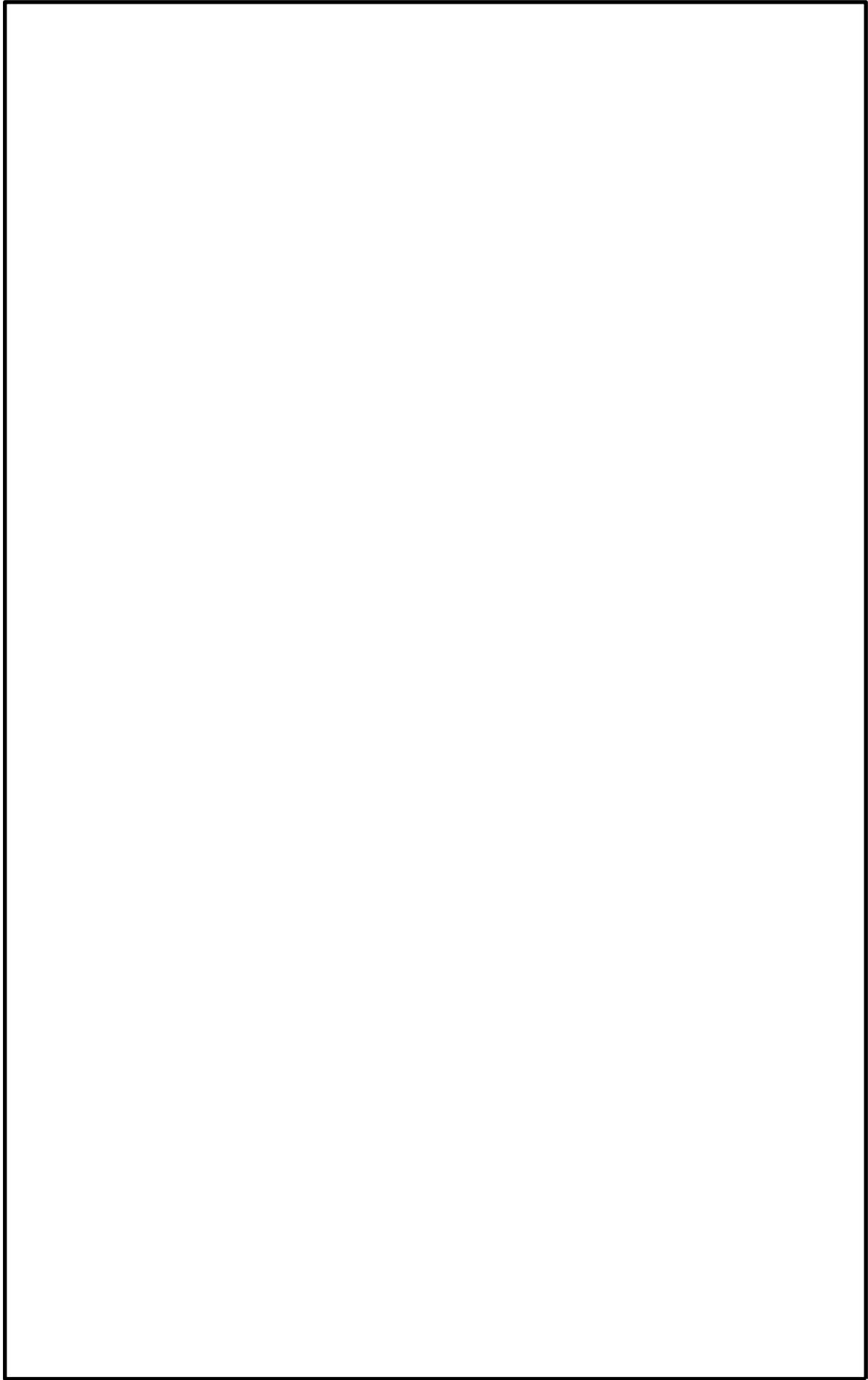


図5-4(1) 温度遷移図

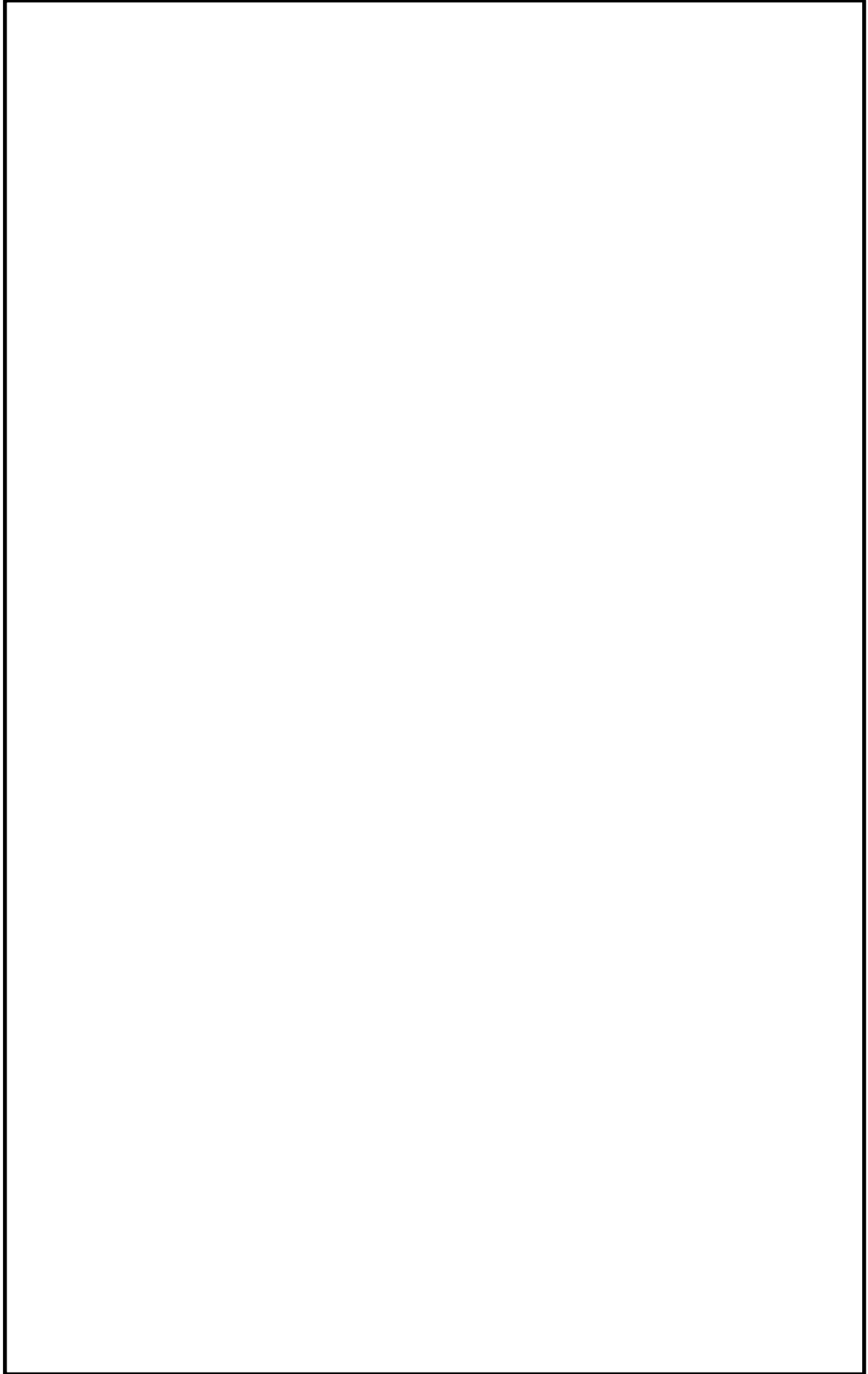


図5-4(2) 温度遷移図

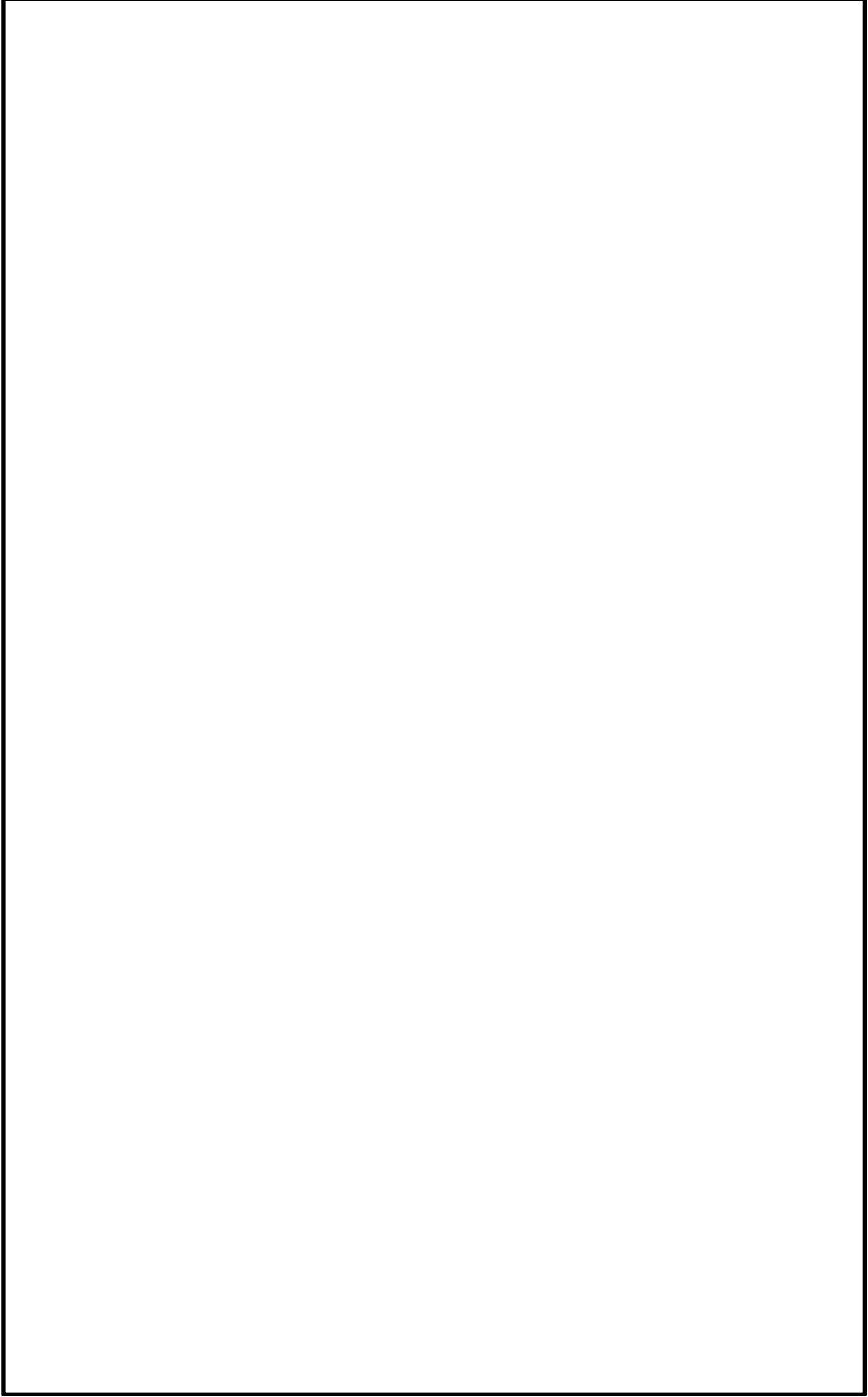


図5-4(3) 温度遷移図

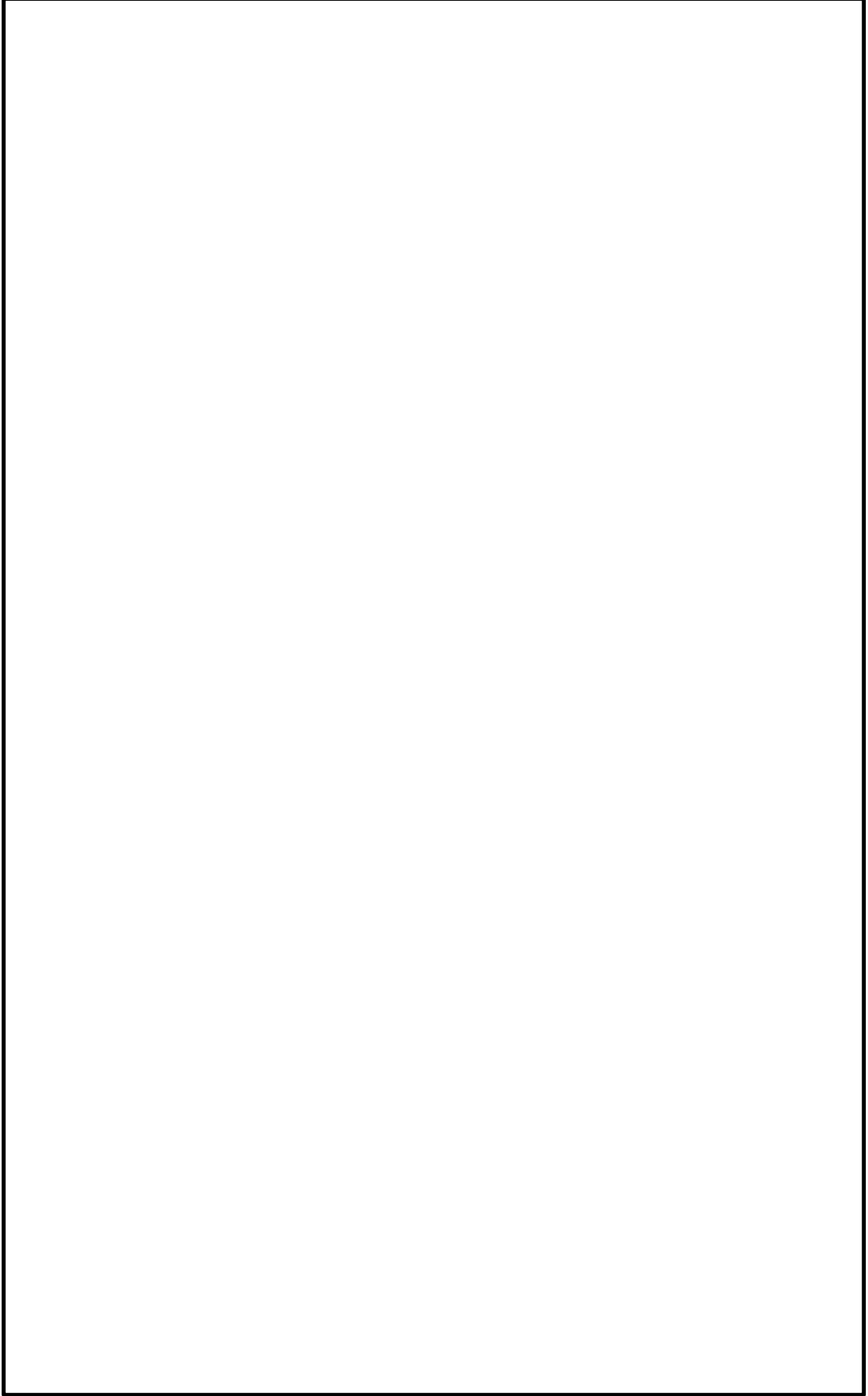


図5-4(4) 温度遷移図

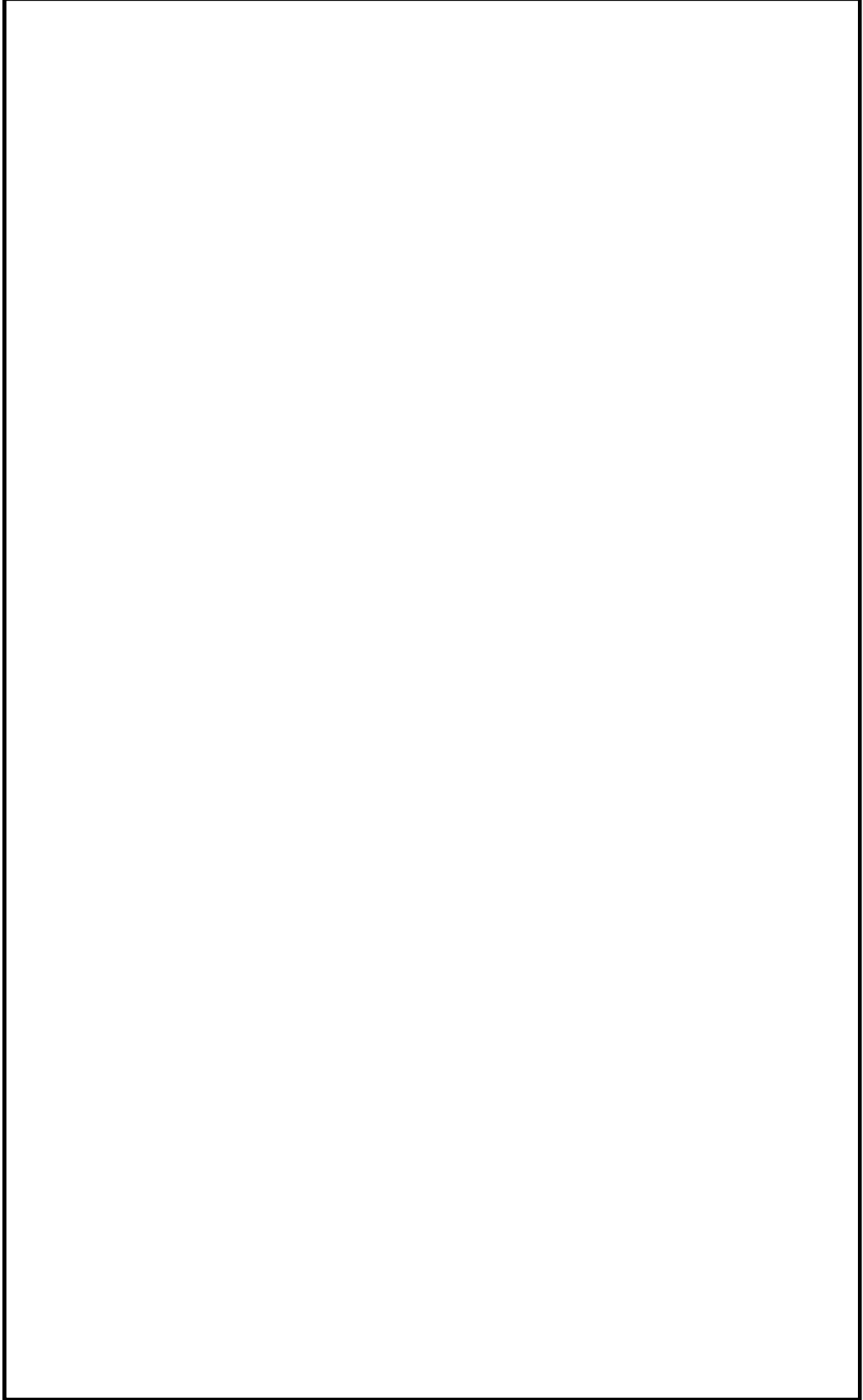


図5-4(5) 温度遷移図

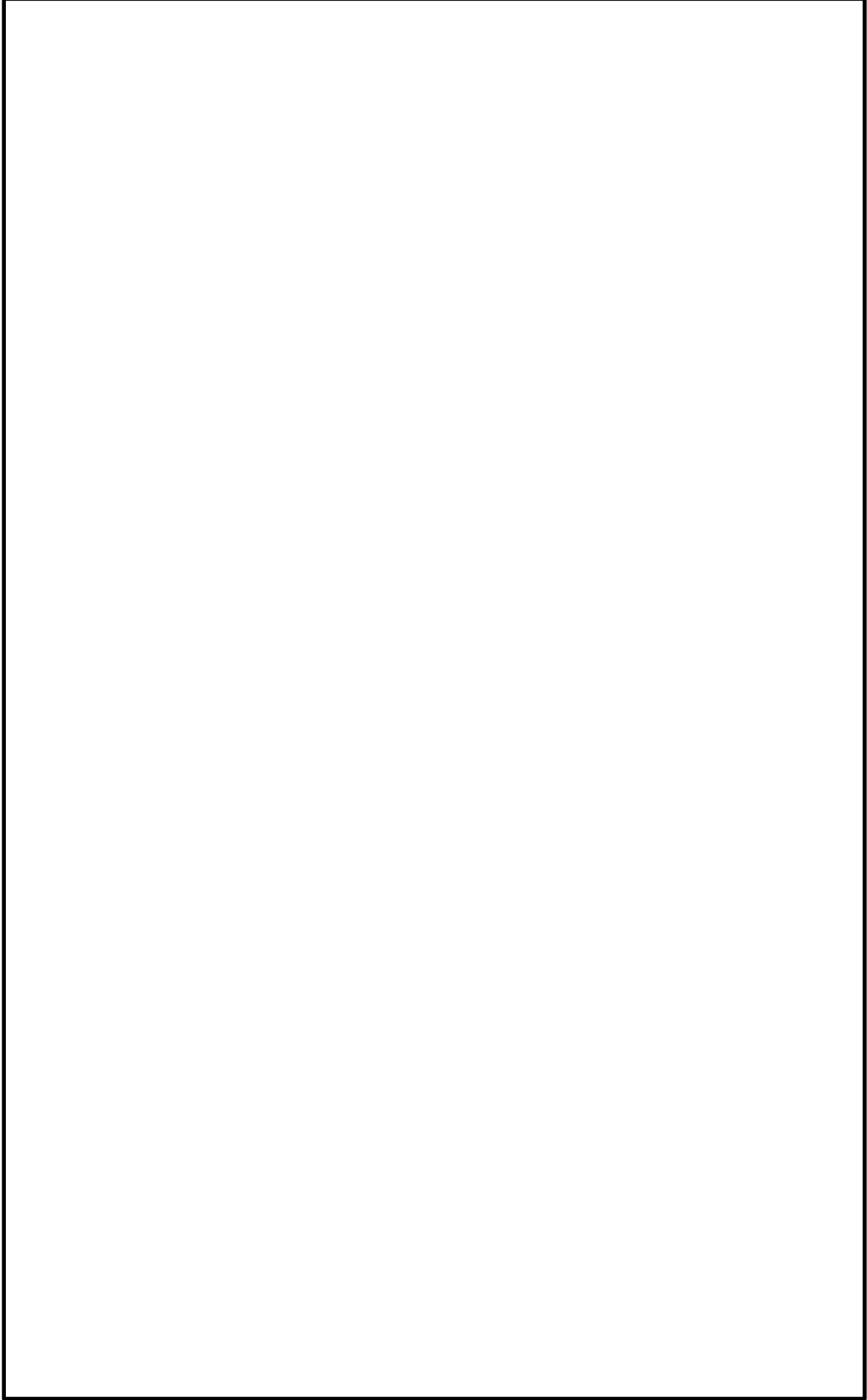


図5-4(6) 温度遷移図

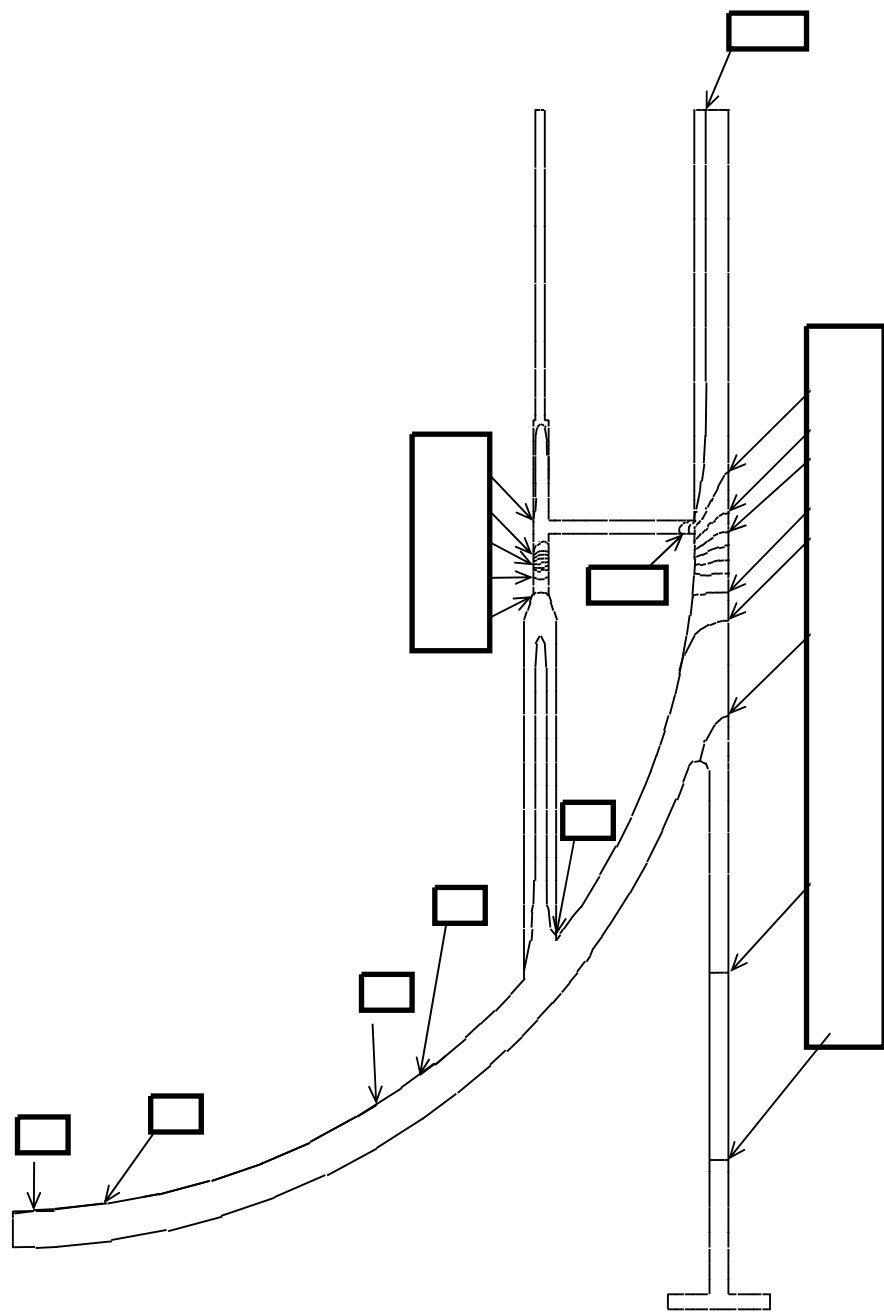


図5-5(1) 温度分布図 [] (単位：℃)

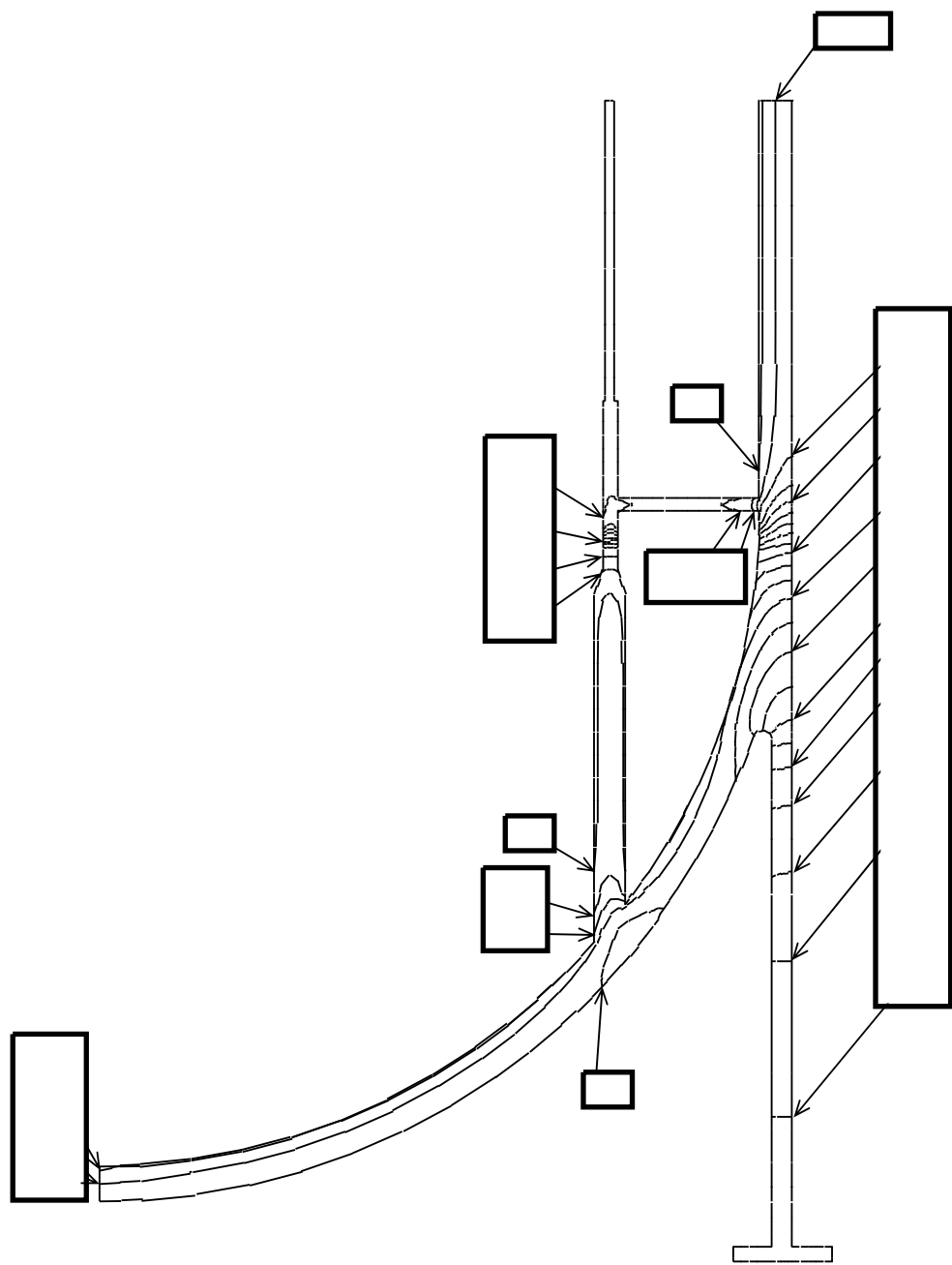


図5-5(2) 温度分布図 [] (単位：℃)

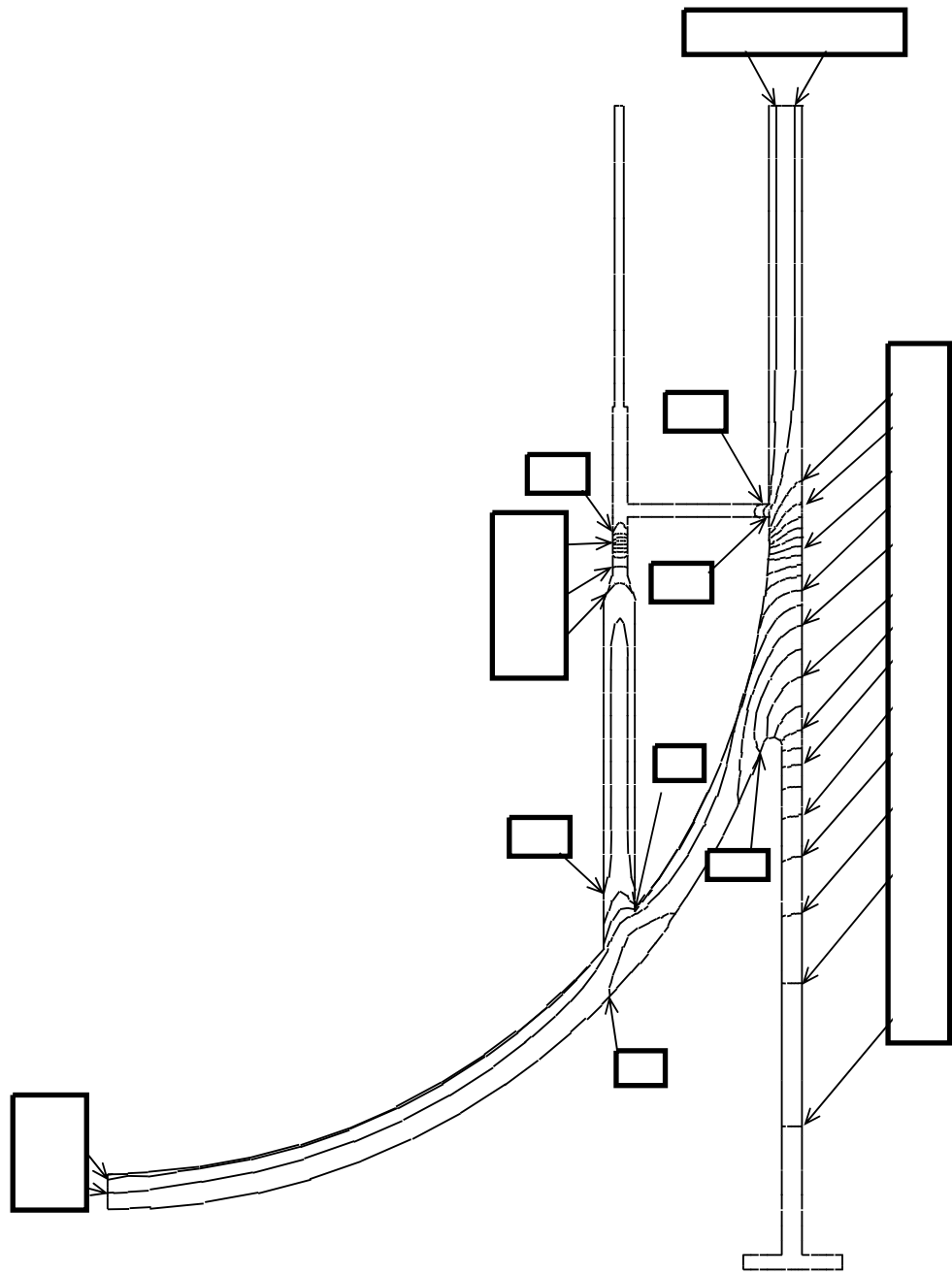


図5-5(3) 温度分布図 [] (単位 : °C)

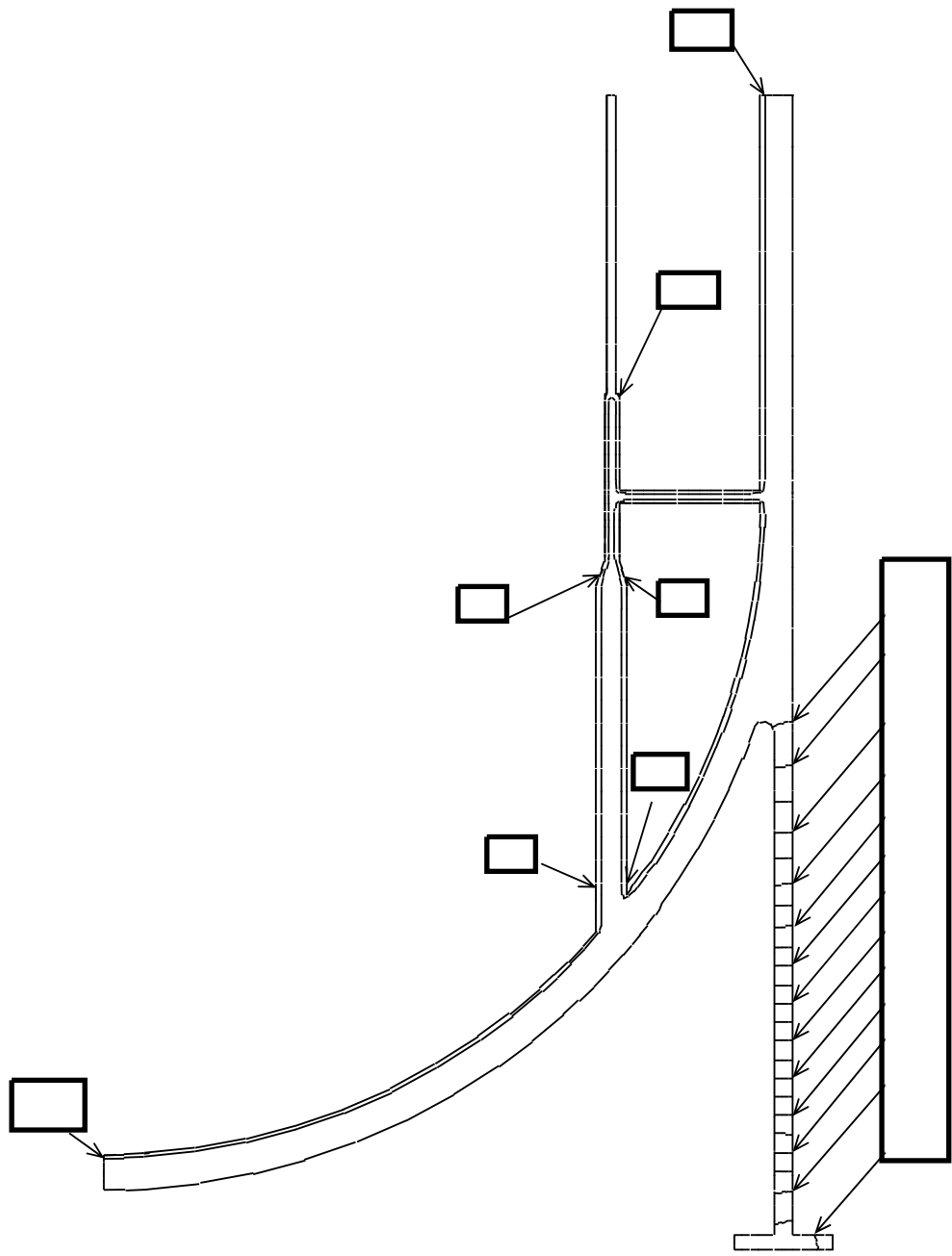


図5-5(4) 温度分布図 (単位: °C)

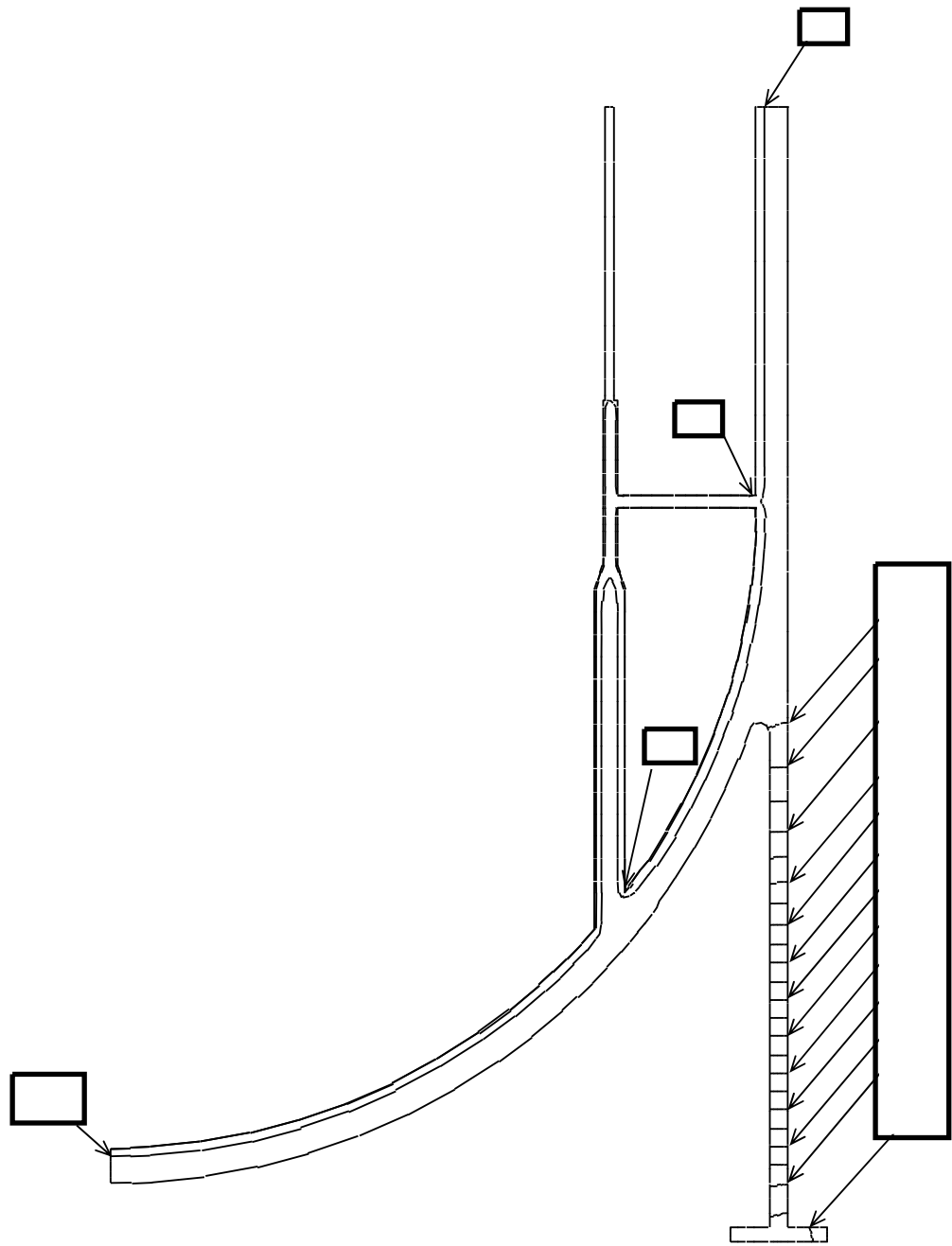


図5-5(5) 温度分布図 (単位: °C)

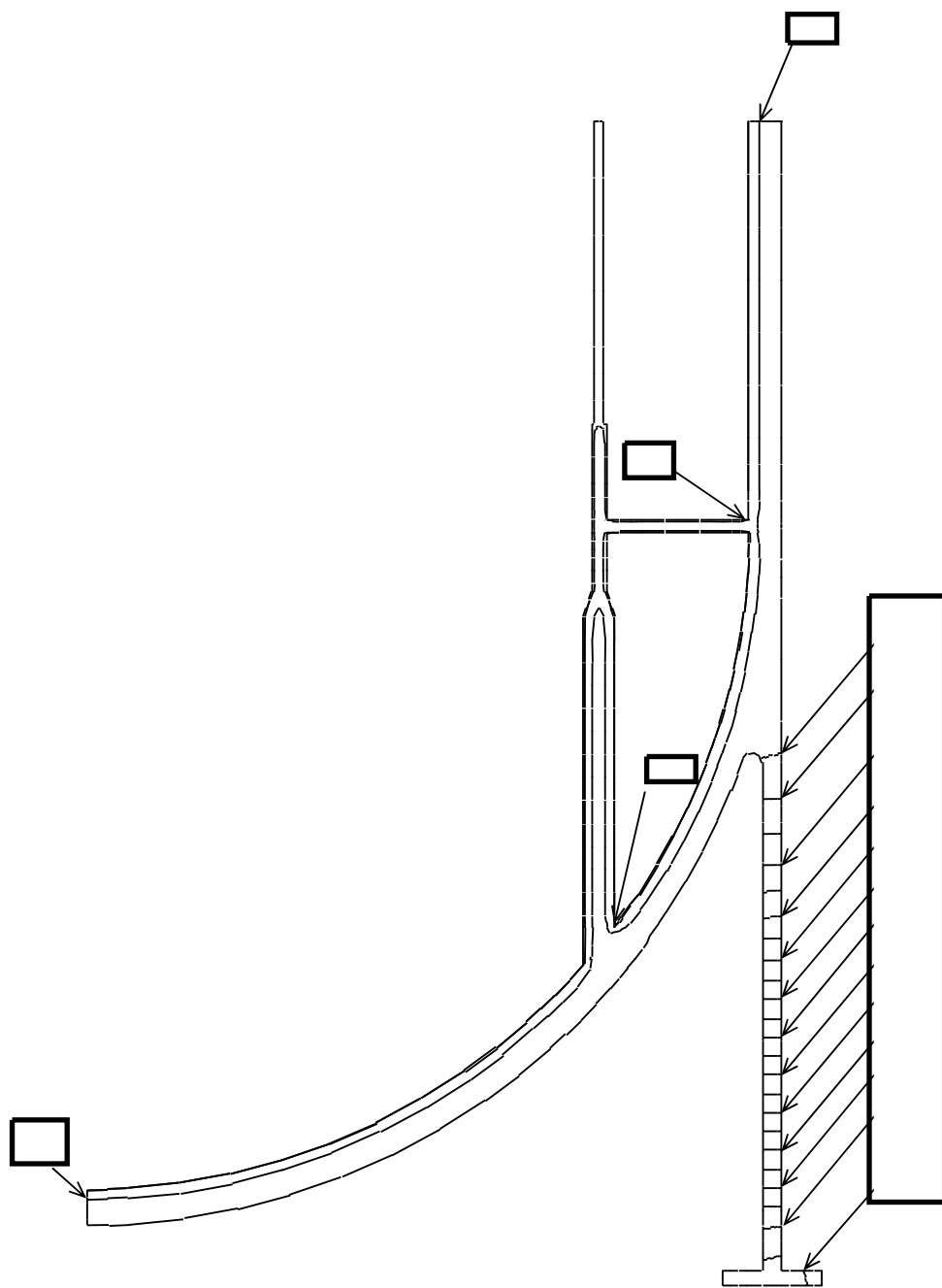


図5-5(6) 温度分布図 (単位: °C)

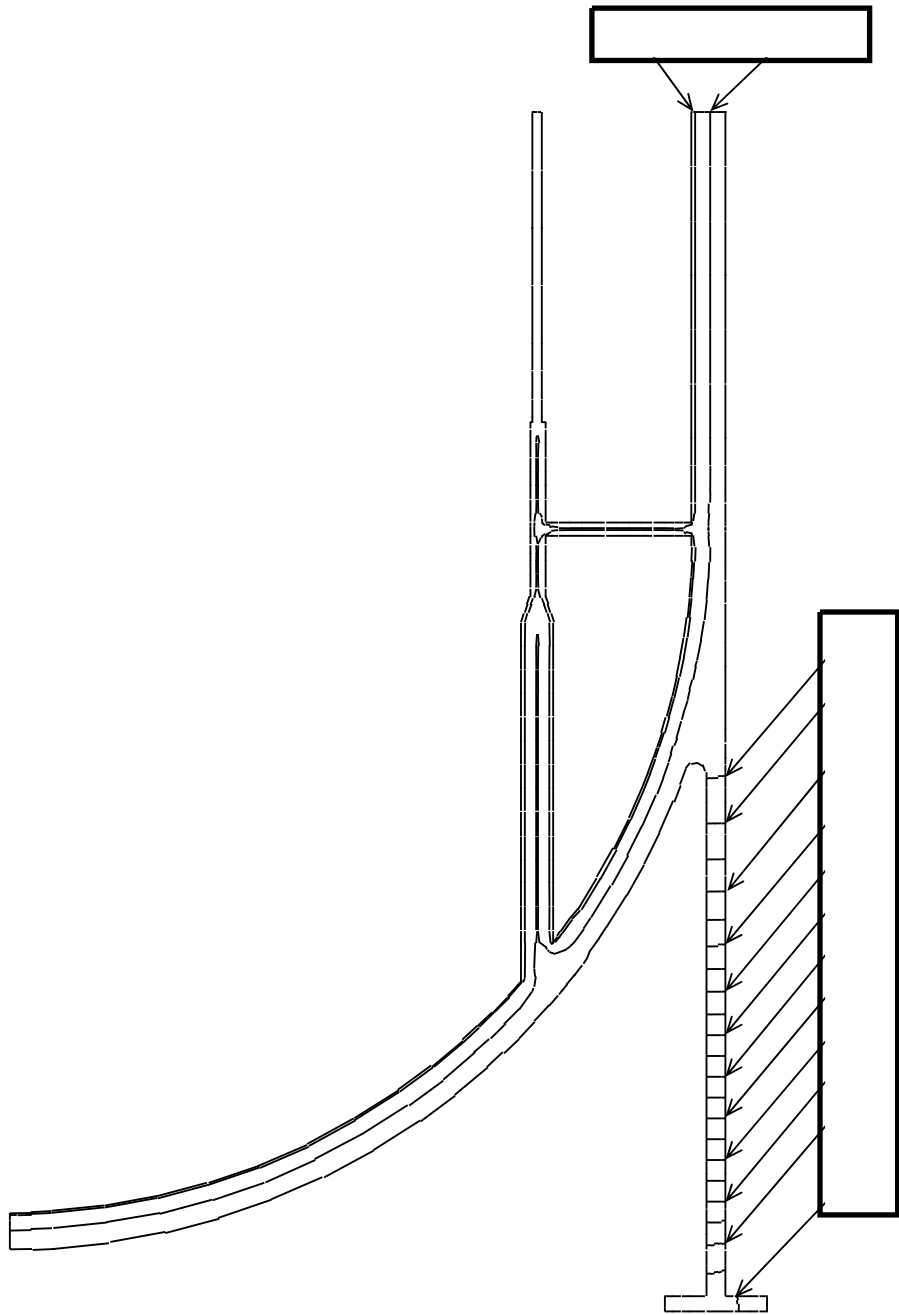


図5-5(7) 温度分布図 [] (単位：℃)

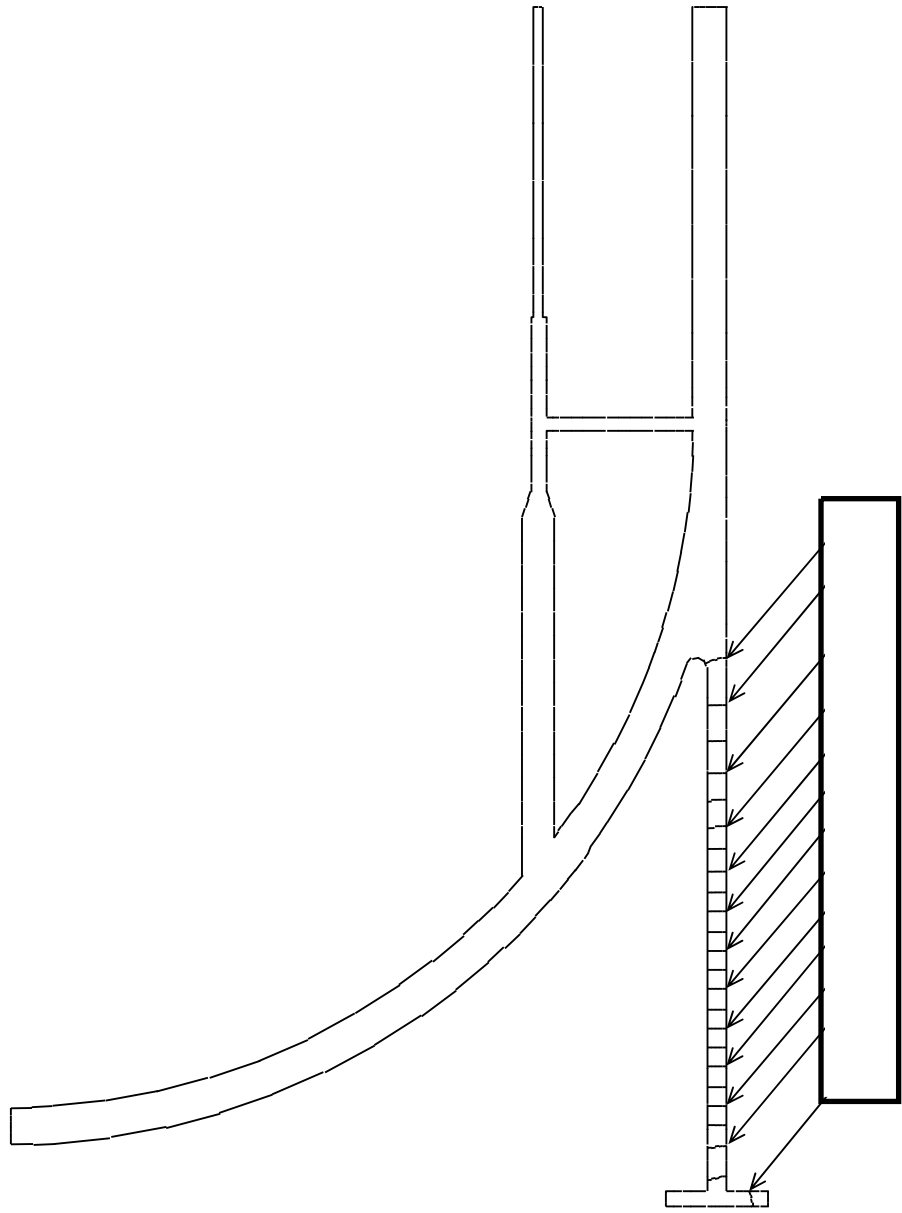


図5-5(8) 温度分布図 (単位: °C)

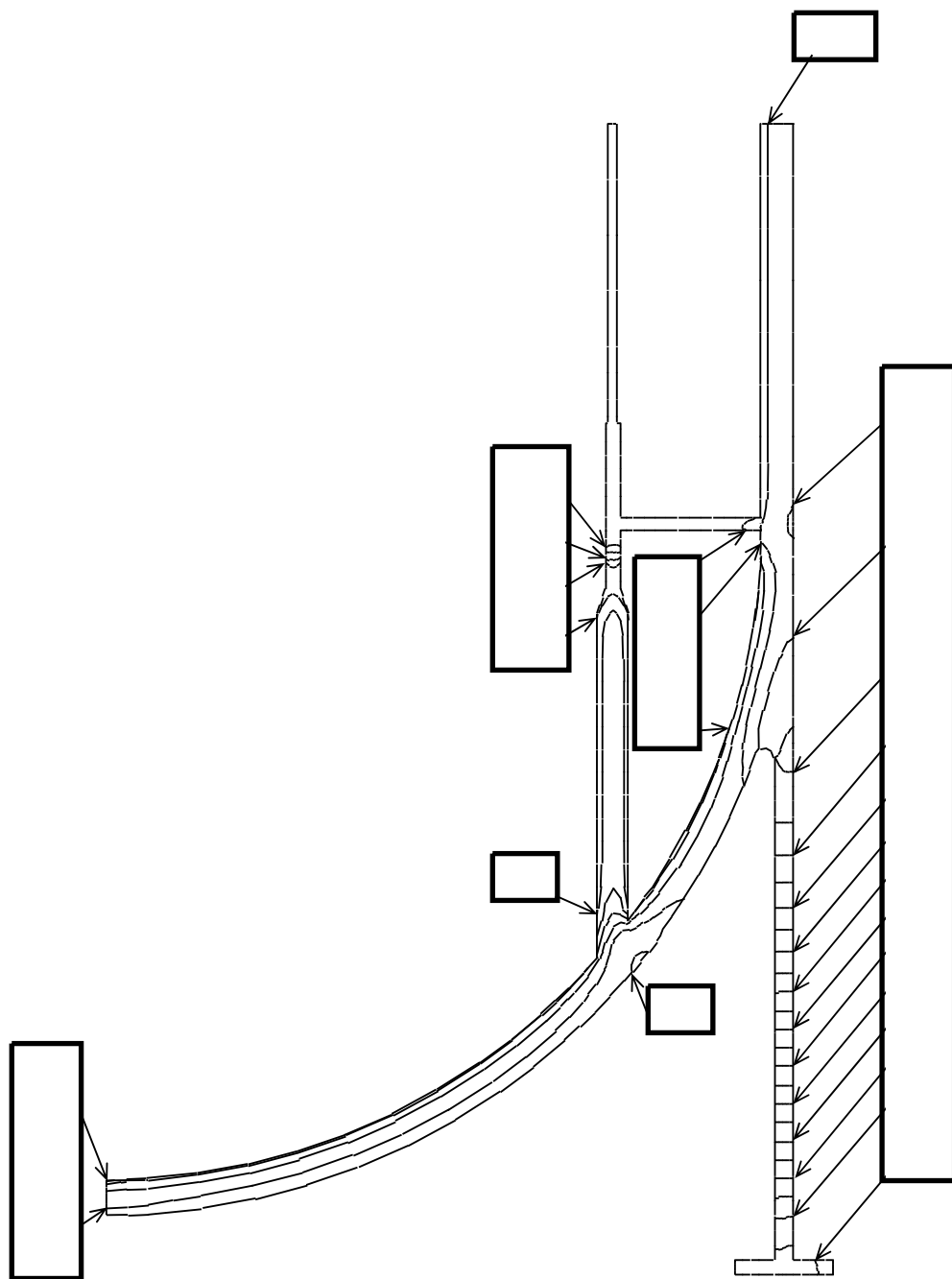


図5-5(9) 温度分布図 [redacted] (単位：℃)

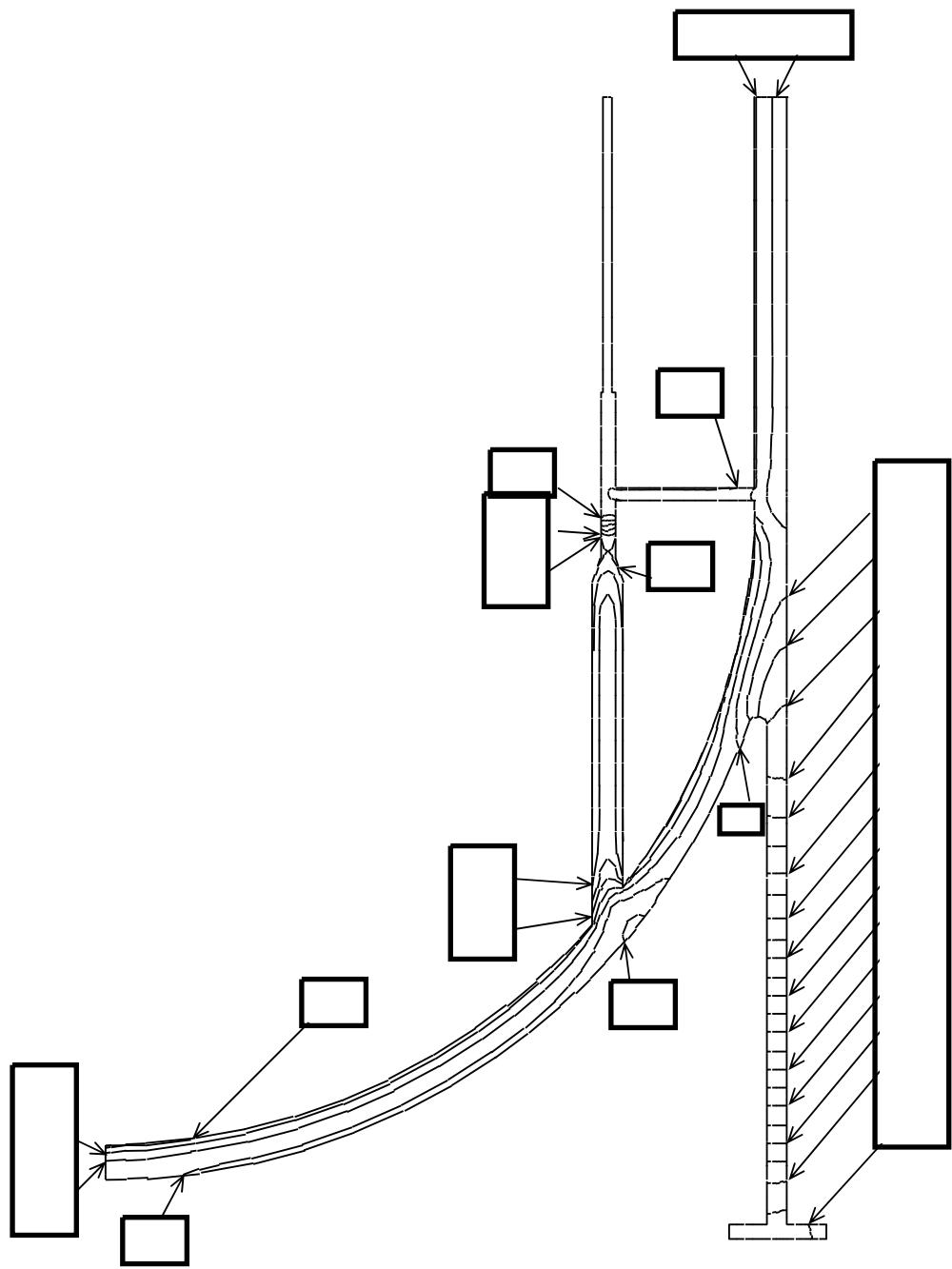


図5-5(10) 温度分布図 [redacted] (単位：℃)

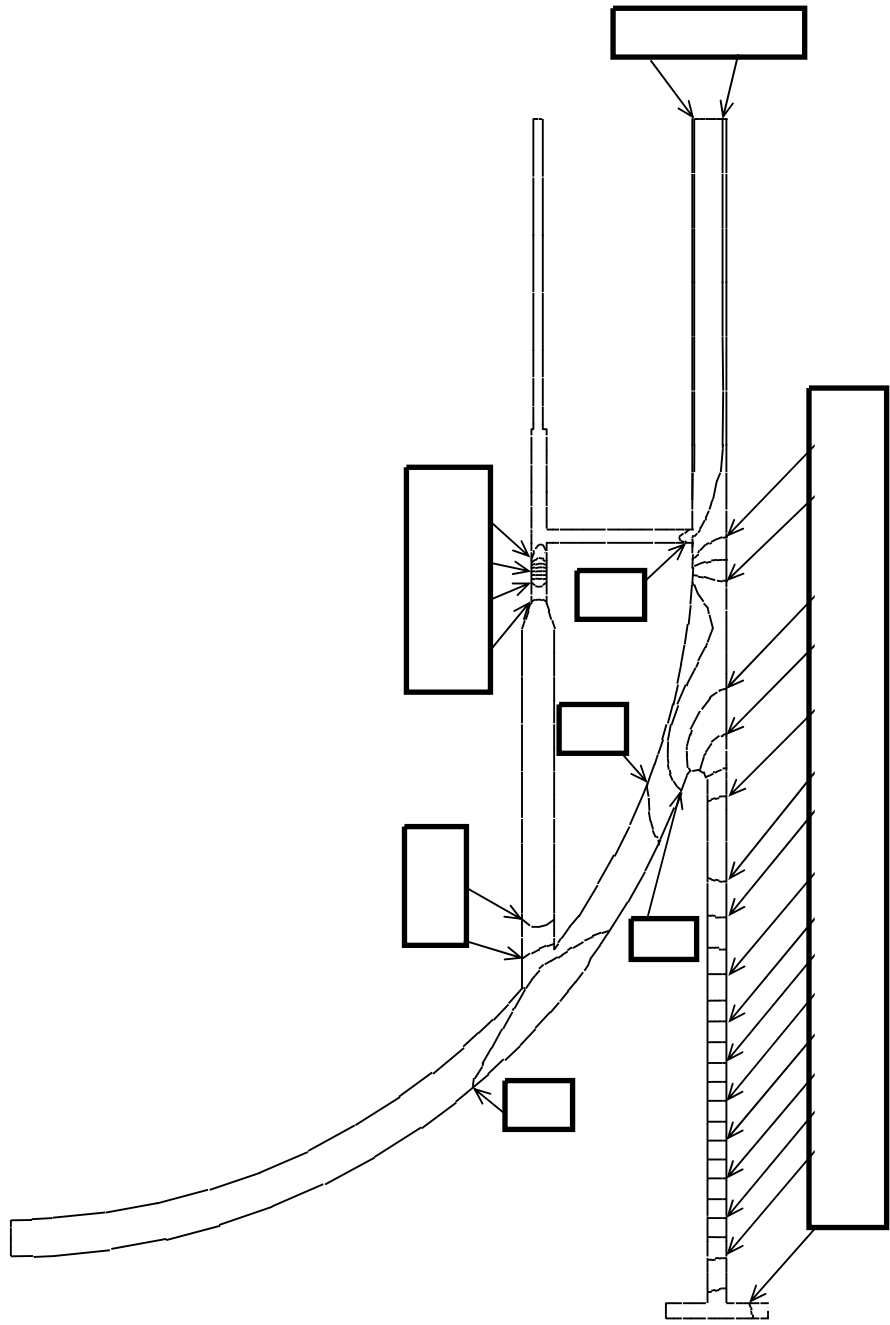


図5-5(11) 温度分布図 [redacted] (単位：℃)

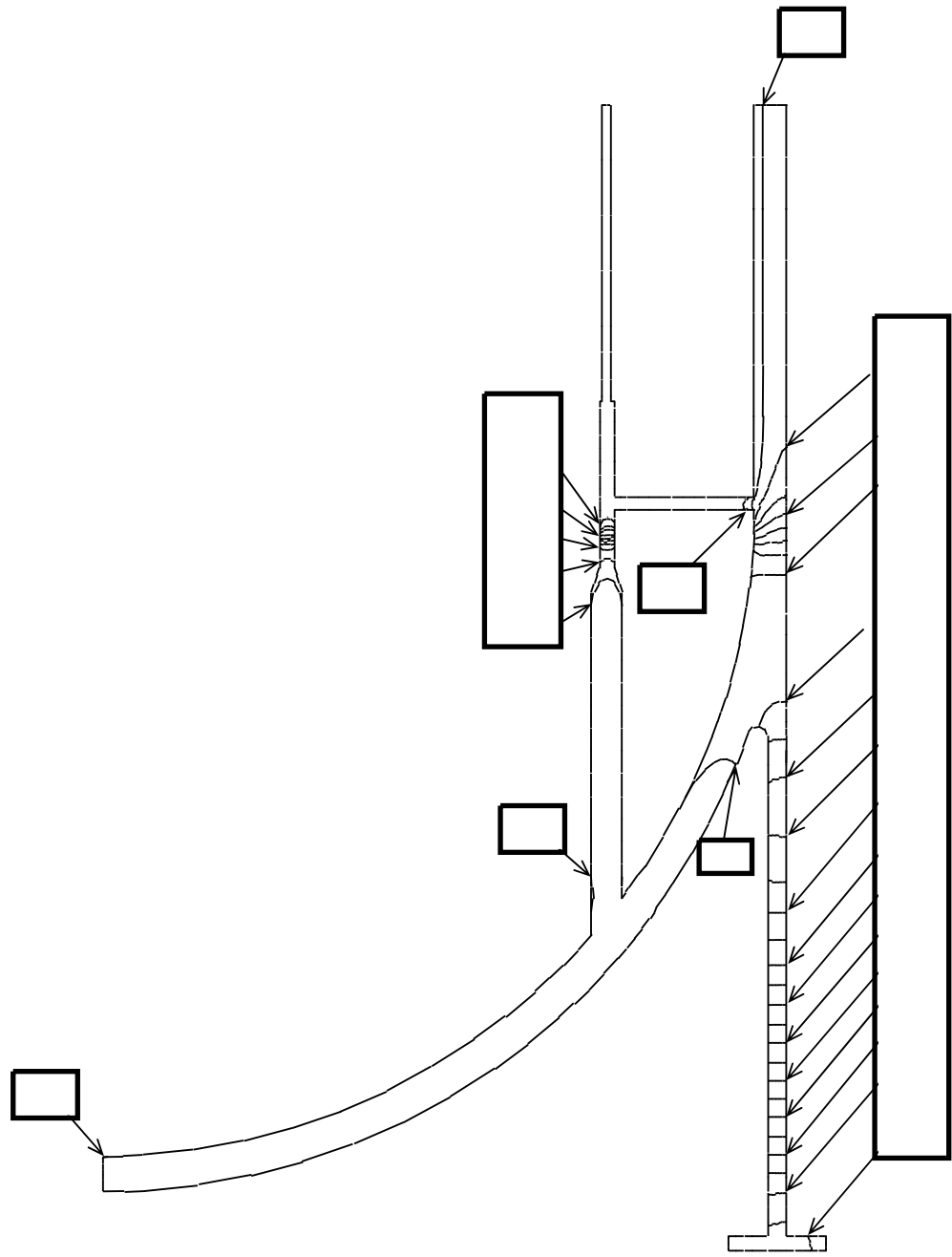


図5-5(12) 温度分布図 [] (単位：℃)

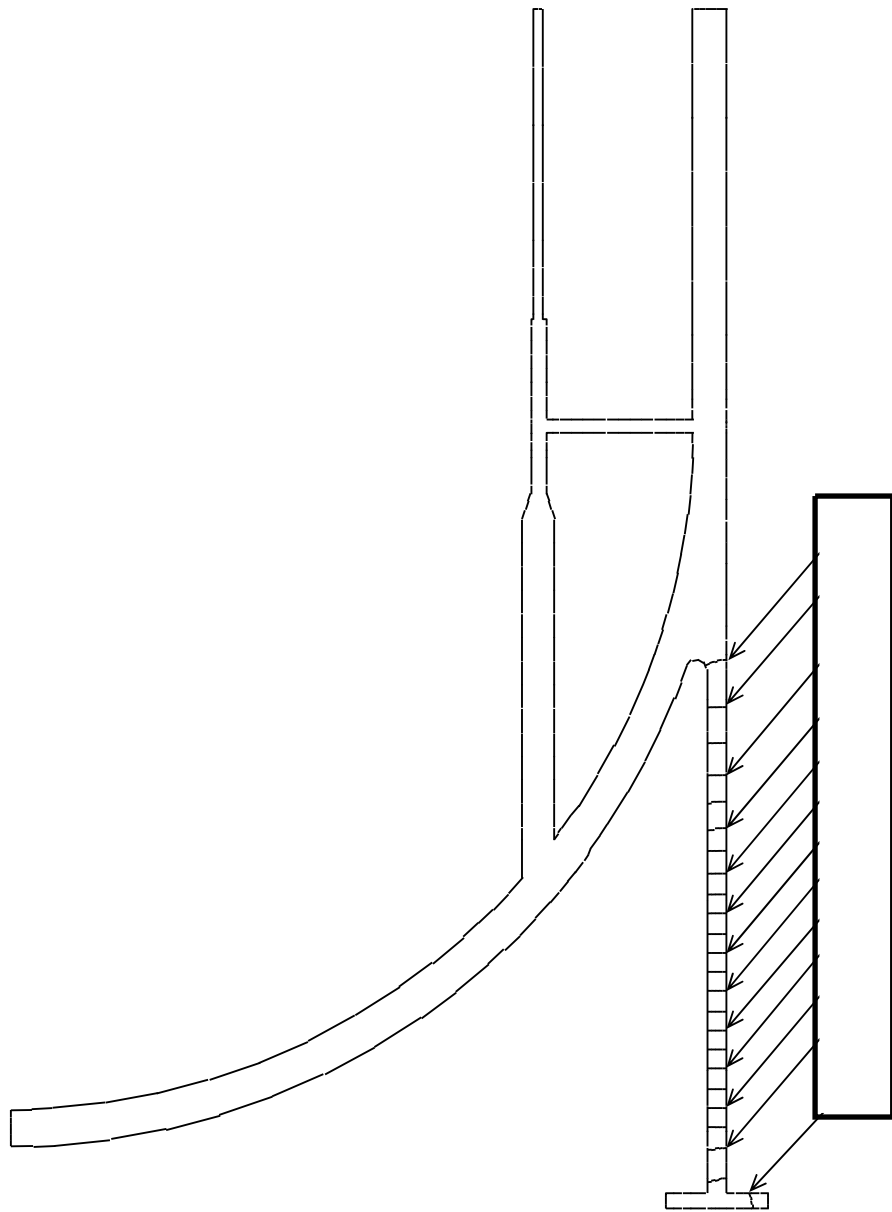


図5-5(13) 温度分布図 (単位 : °C)

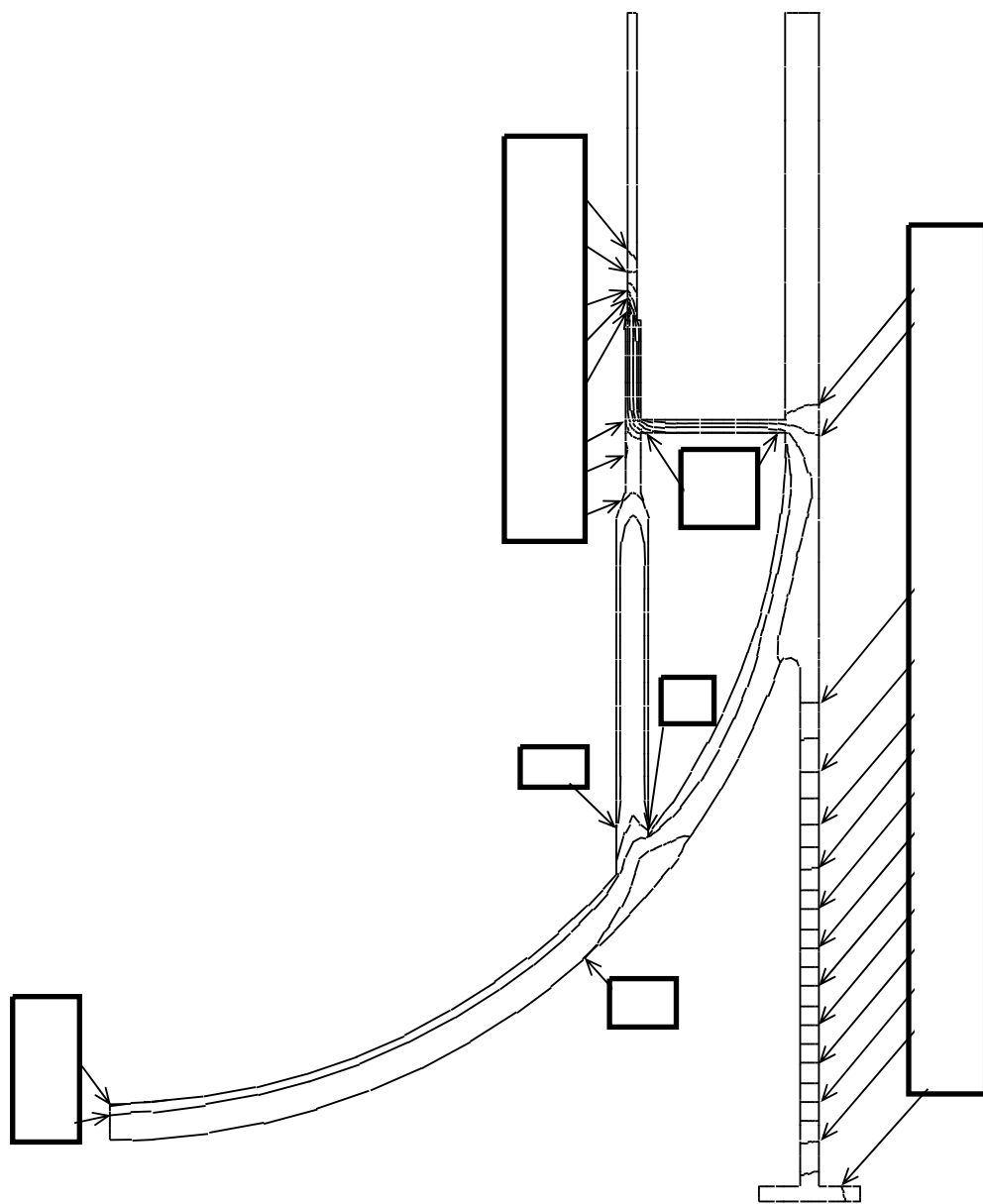


図5-5(14) 温度分布図 [] (単位: °C)

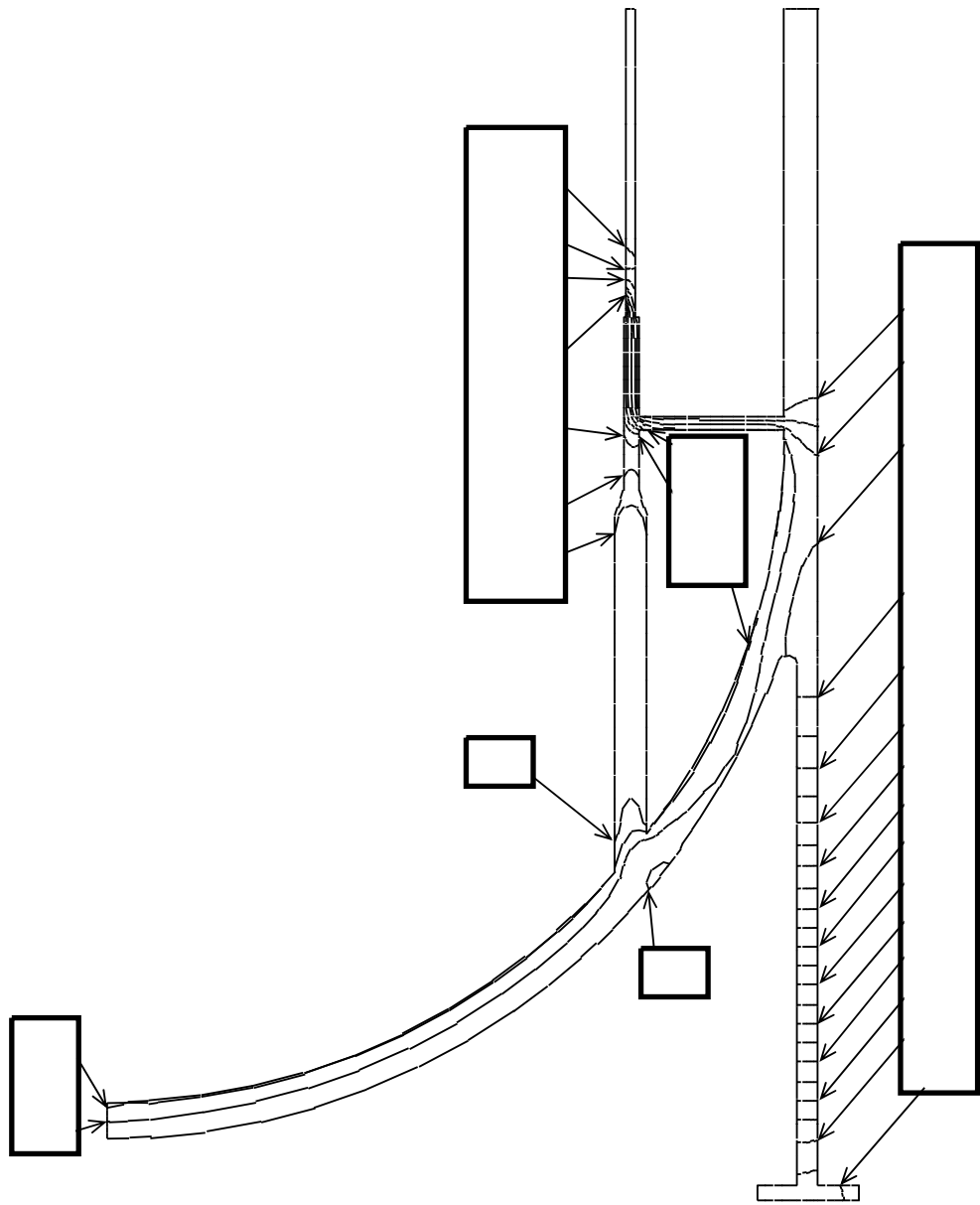


図5-5(15) 温度分布図 [] (単位: °C)

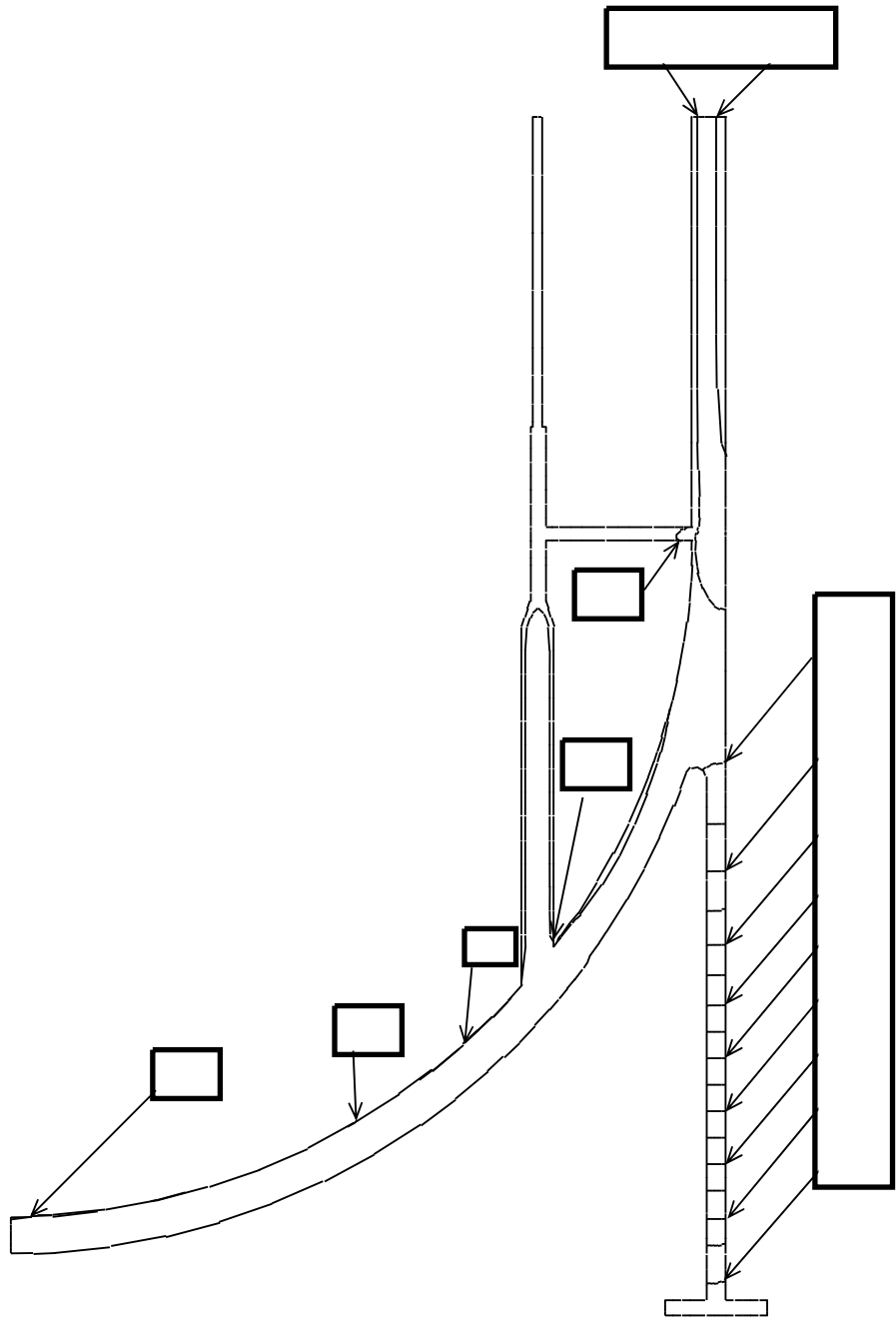


図5-5(16) 温度分布図 (単位: °C)

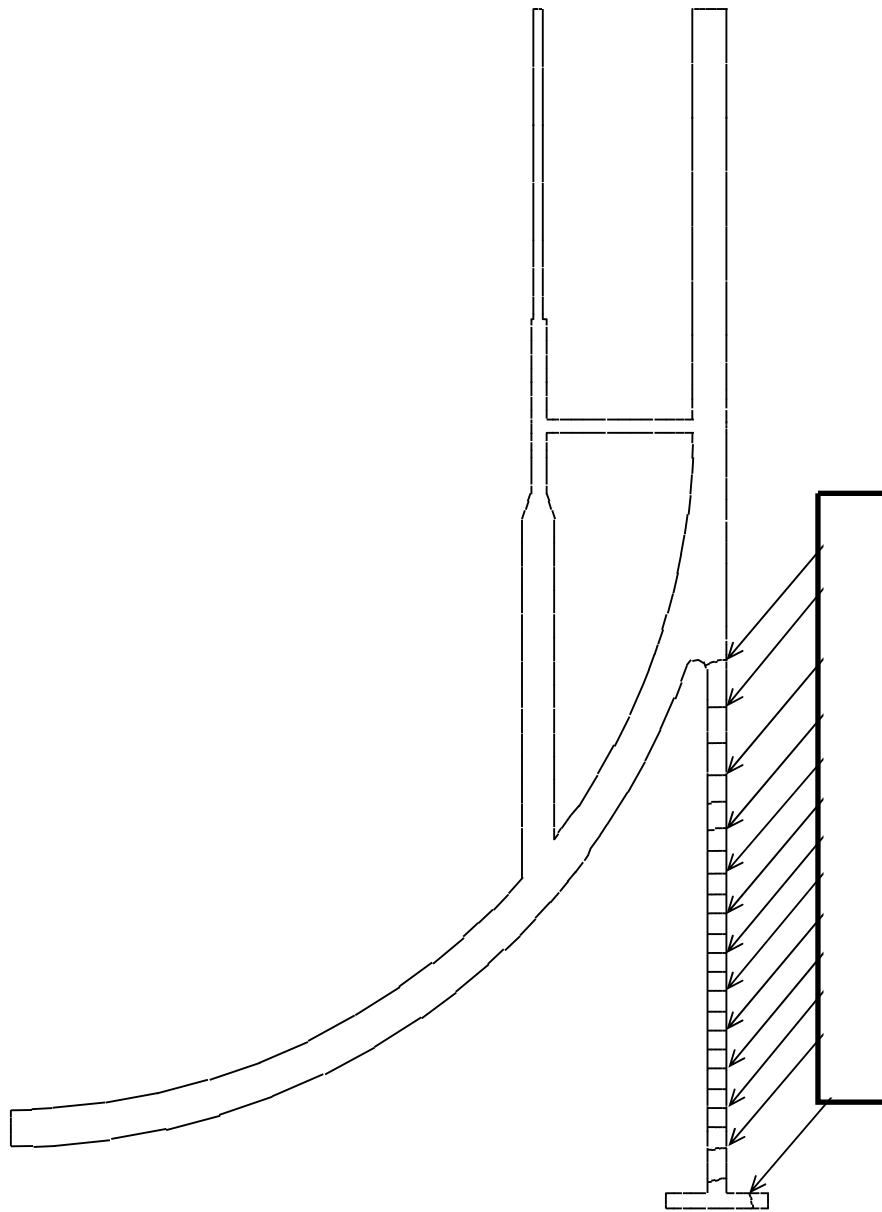


図5-5(17) 温度分布図 (単位 : °C)

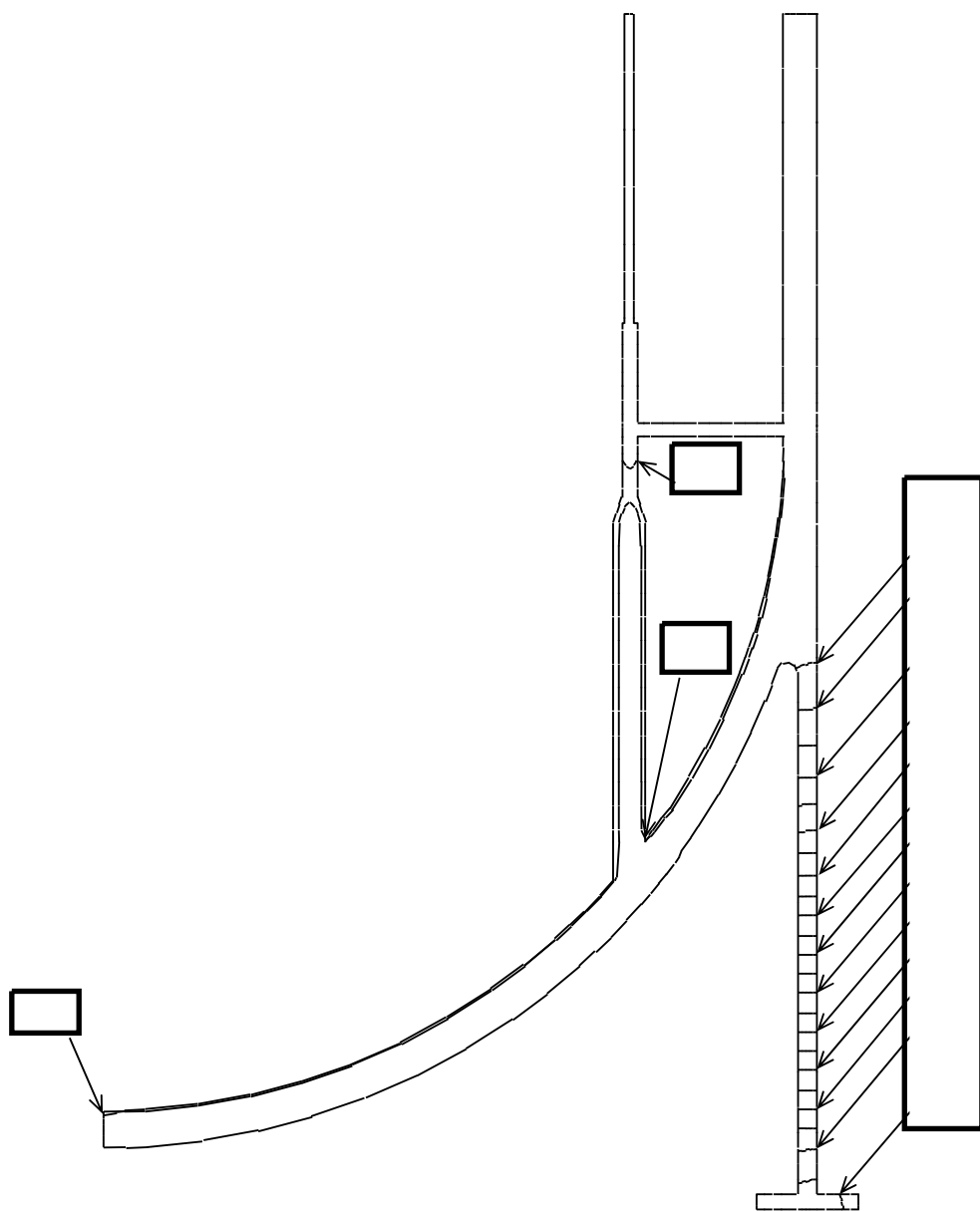


図5-5(18) 温度分布図 (単位 : °C)

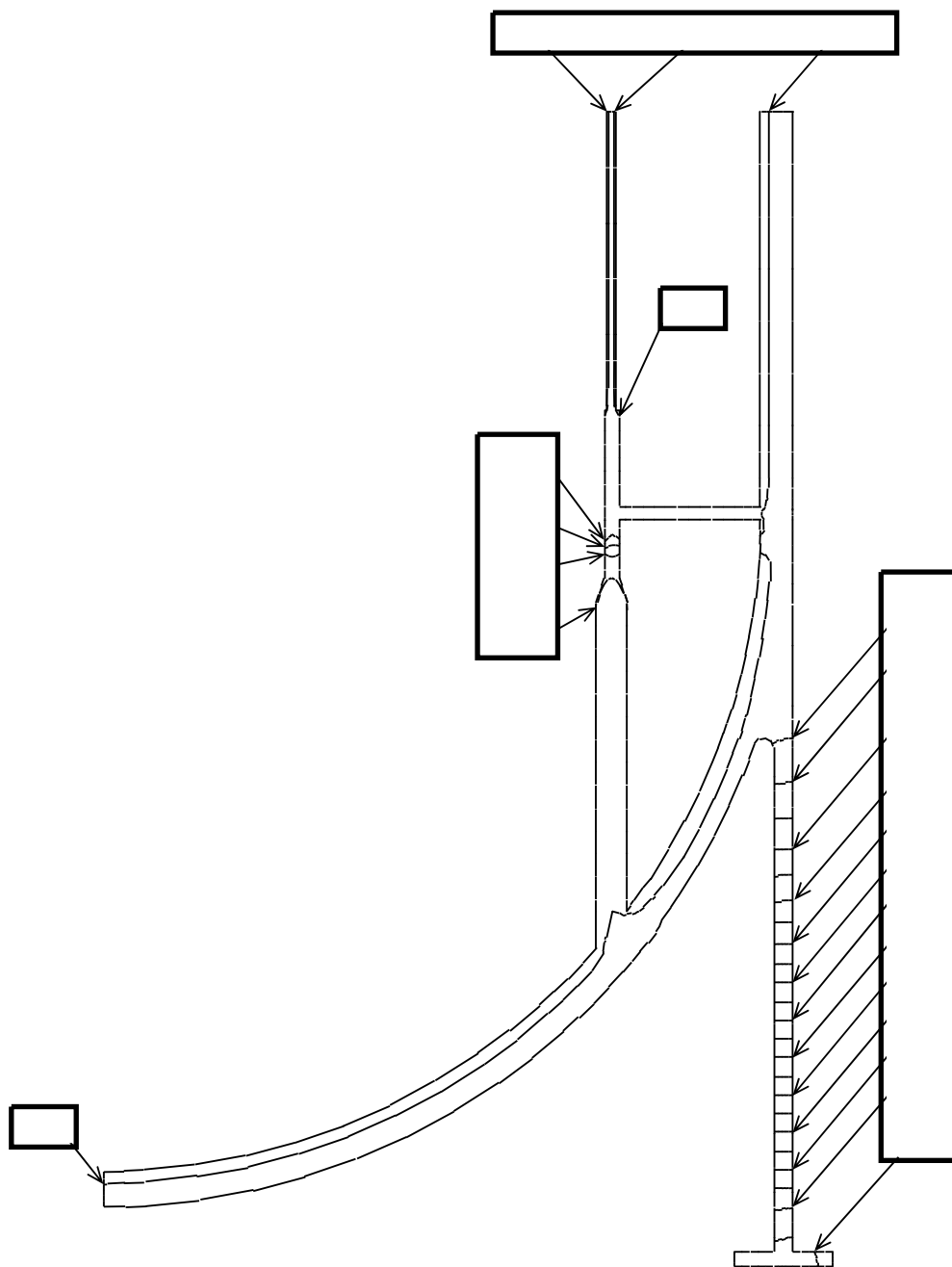


図5-5(19) 温度分布図 (単位 : °C)

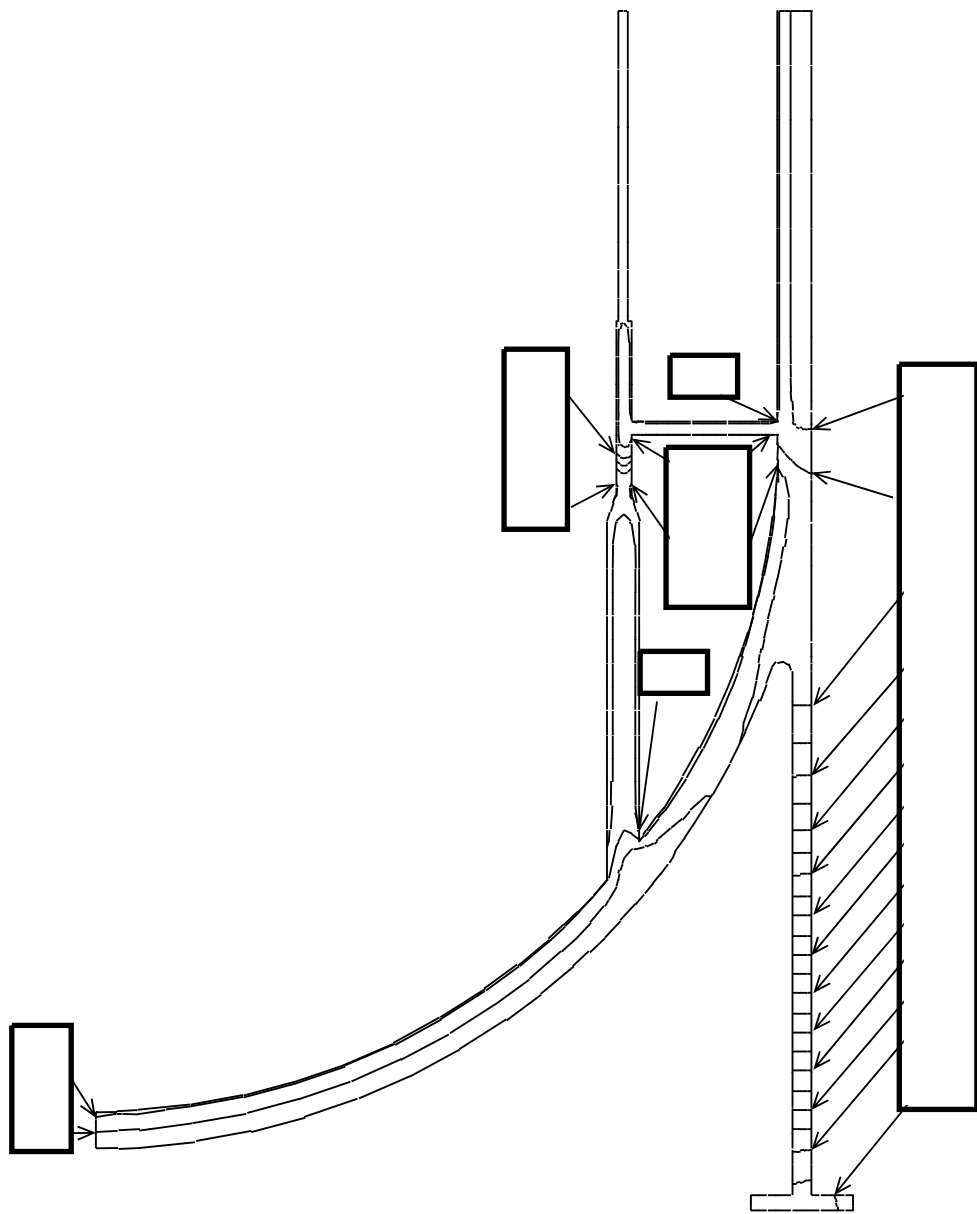


図5-5(20) 温度分布図 (単位 : °C)

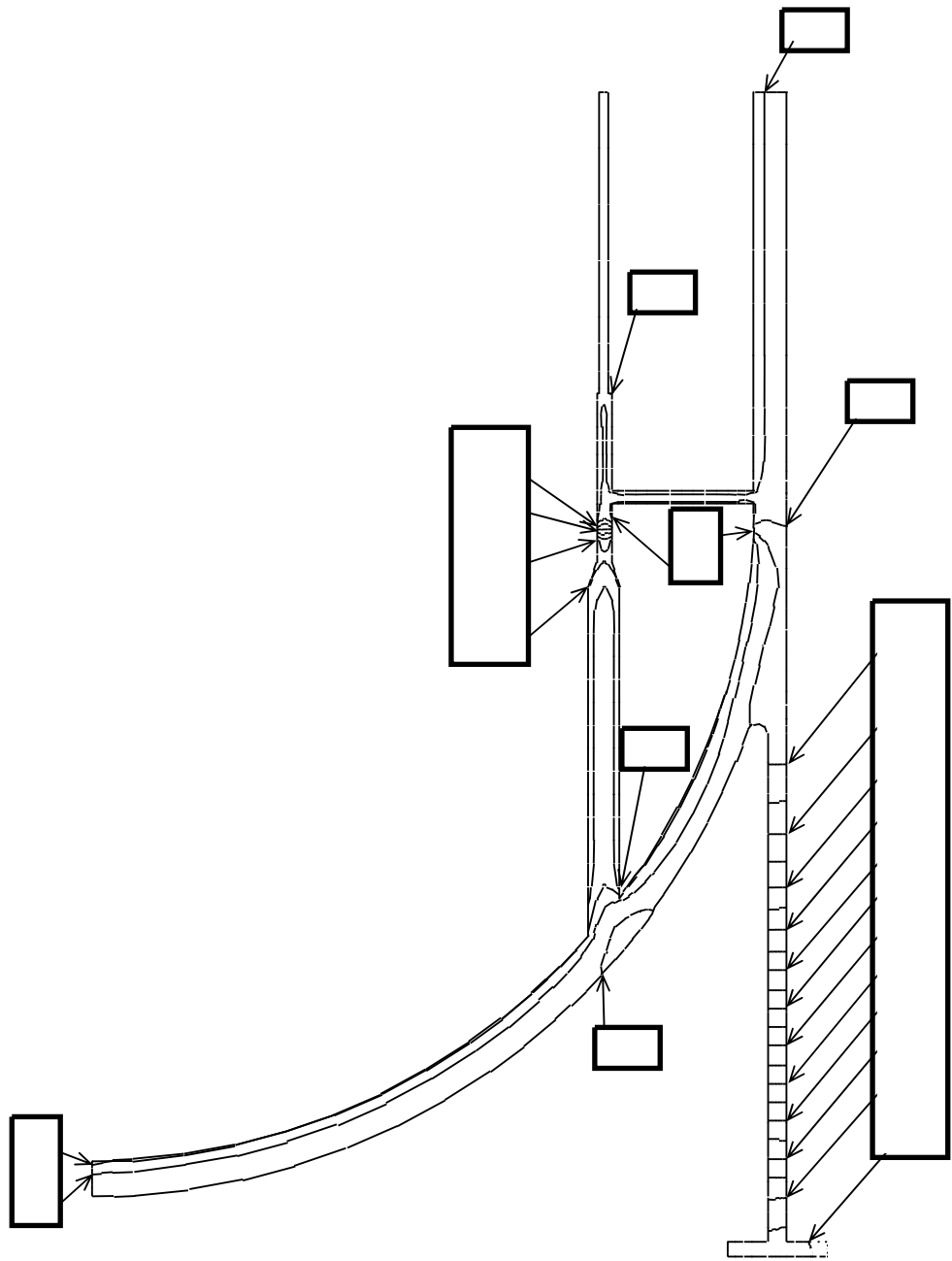


図5-5(21) 温度分布図 [redacted] (単位：℃)

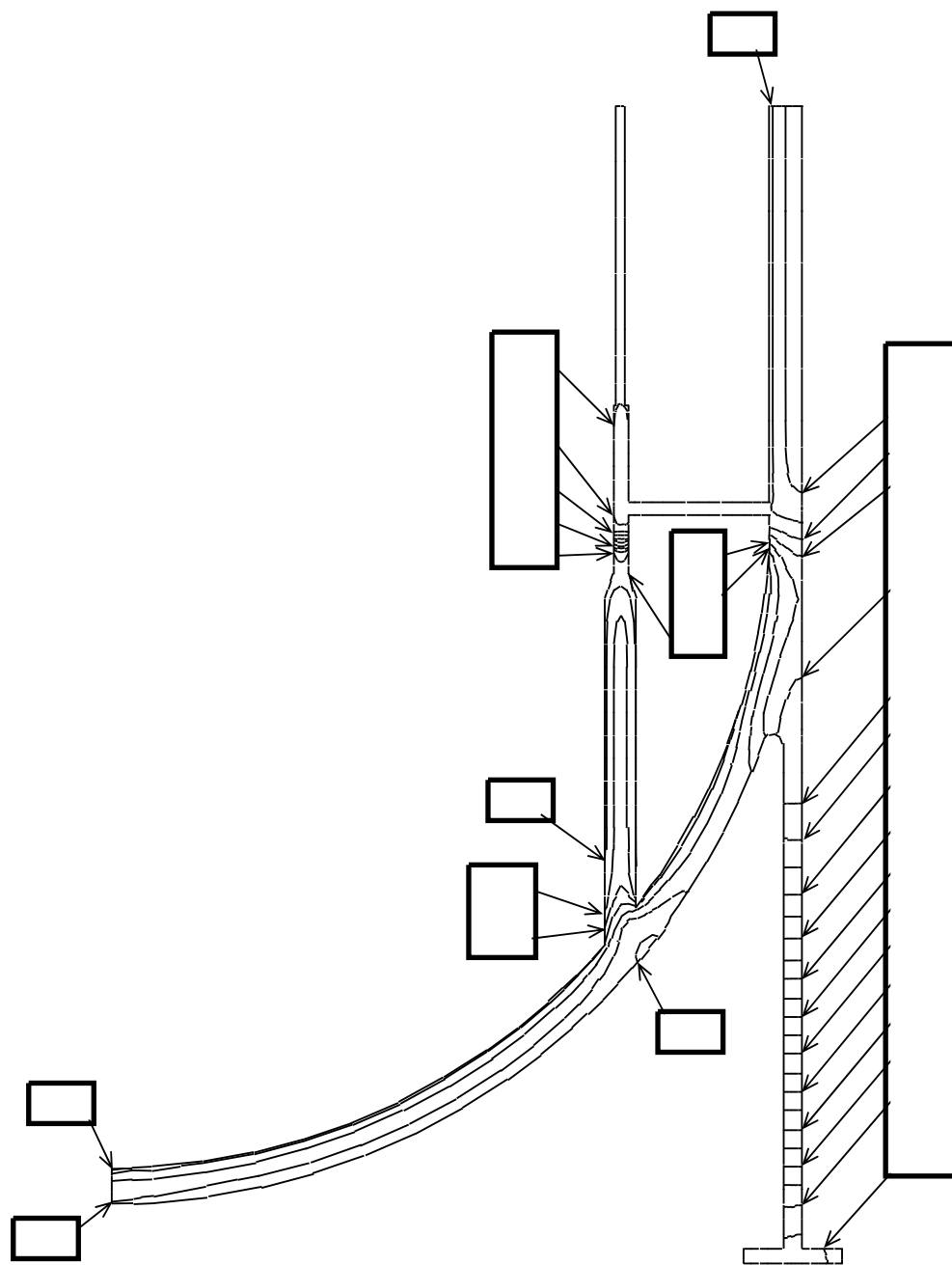


図5-5(22) 温度分布図 [] (単位：℃)

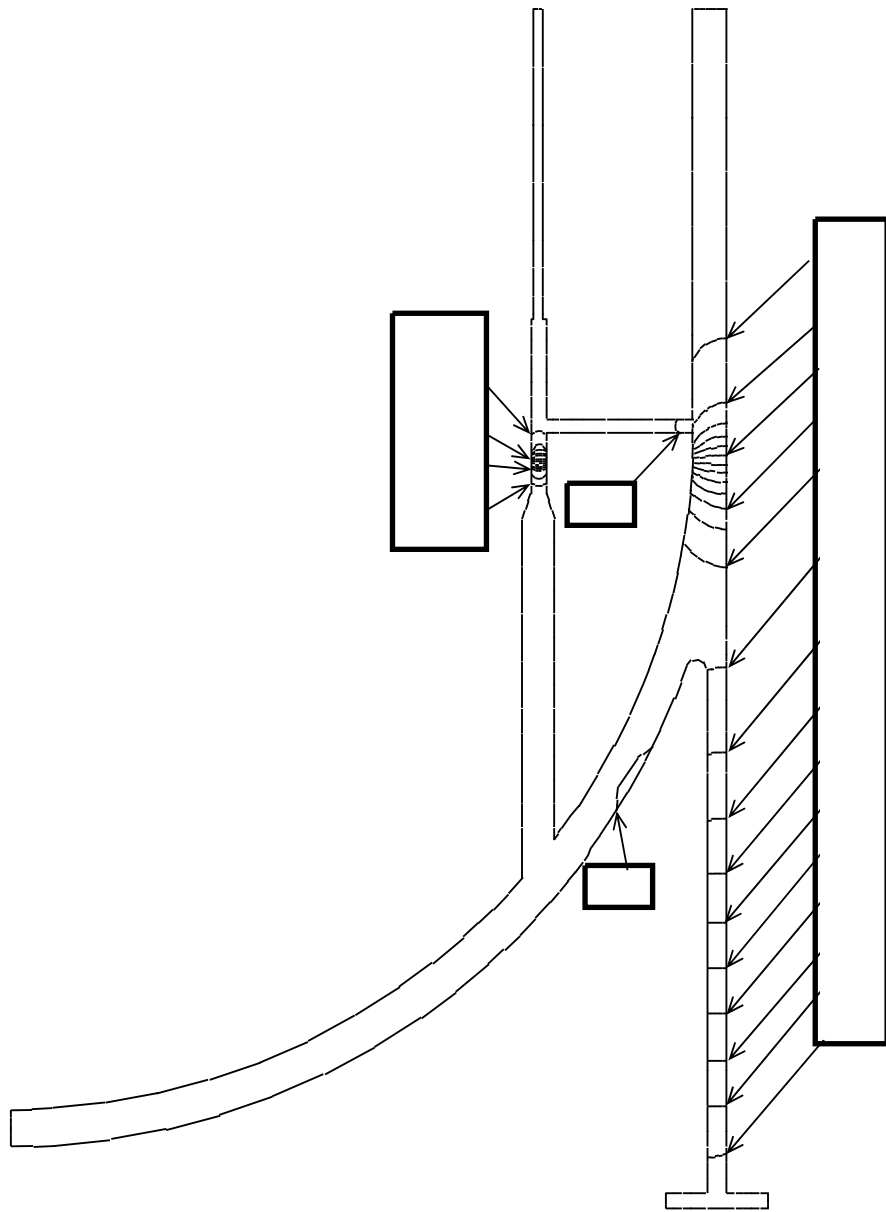


図5-5(23) 温度分布図 (単位 : °C)

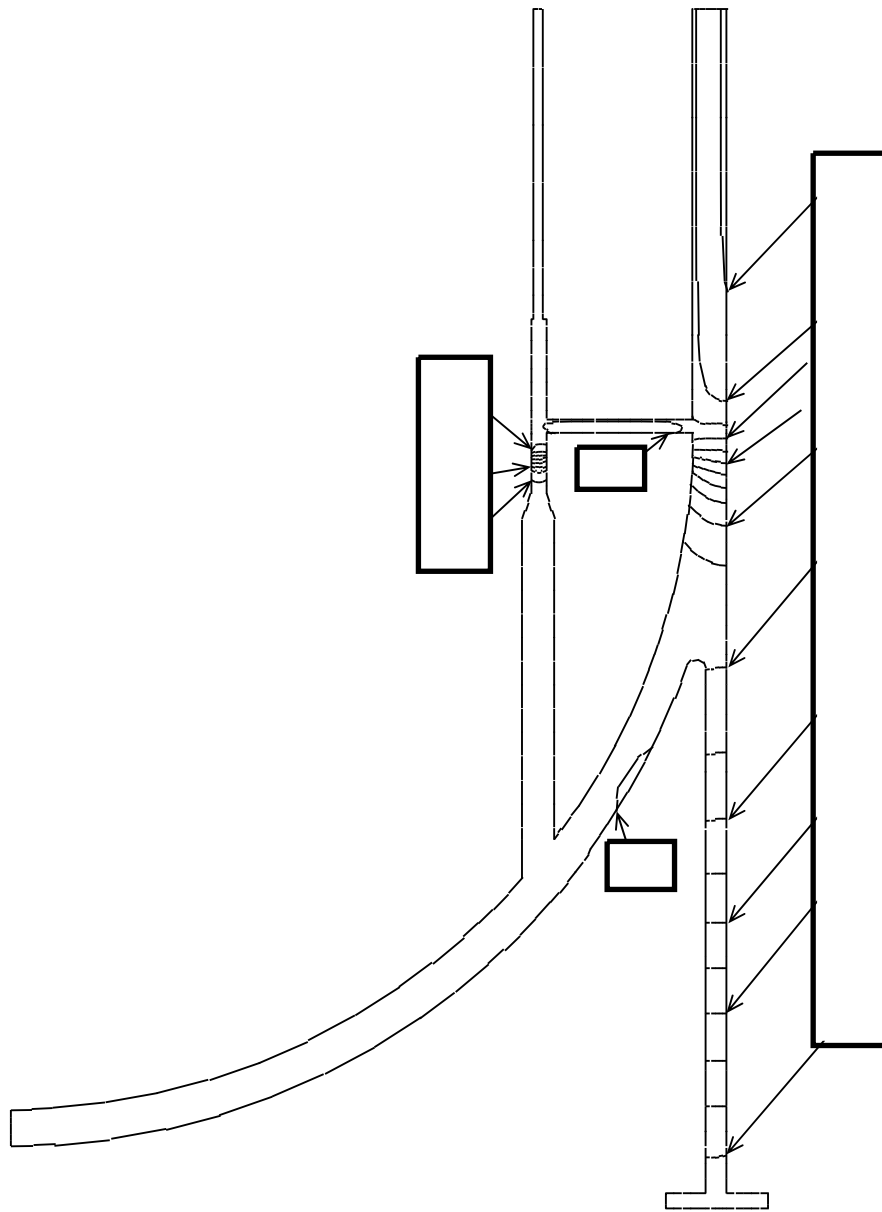


図5-5(24) 温度分布図 [] (単位：℃)

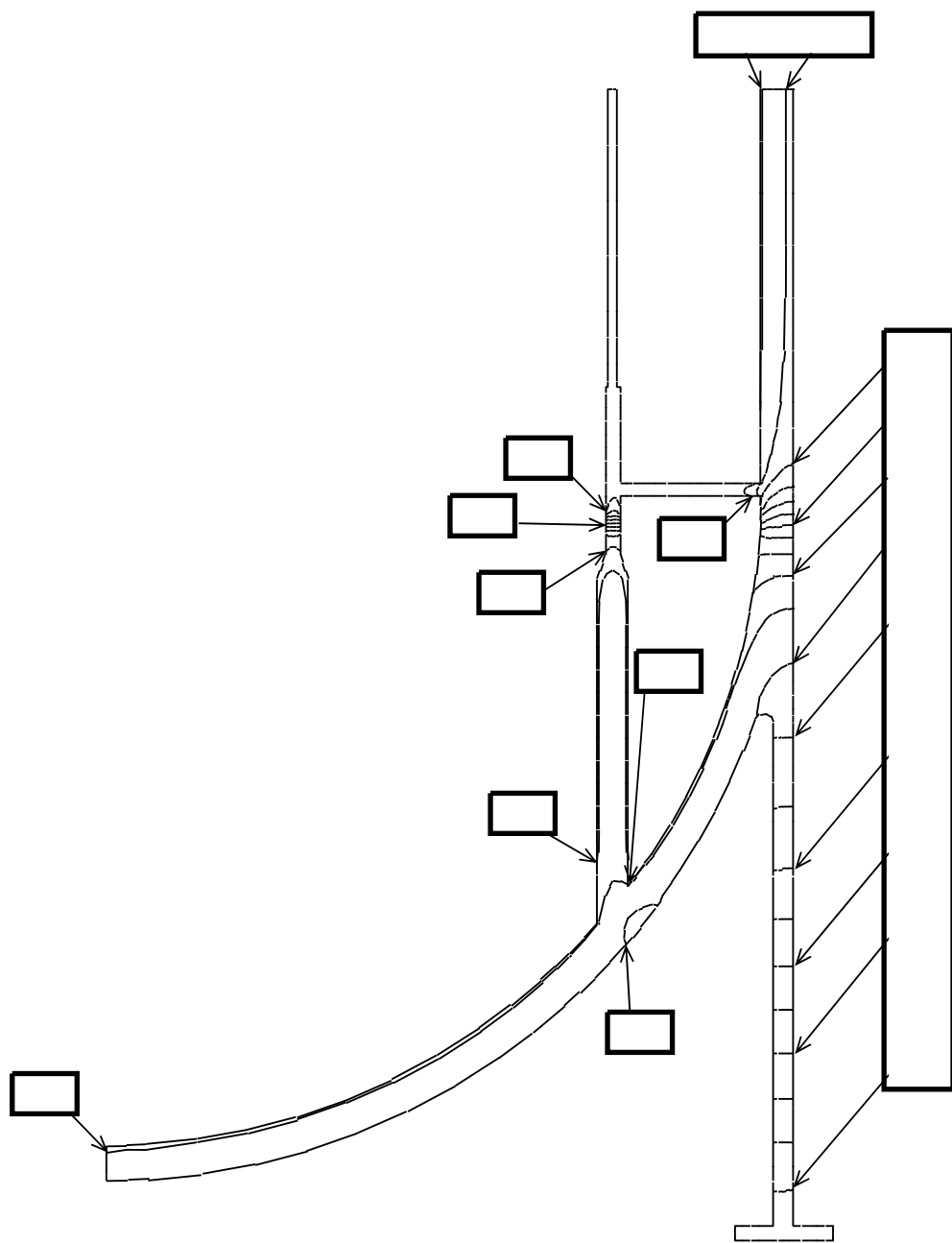


図5-5(25) 温度分布図 (単位 : °C)

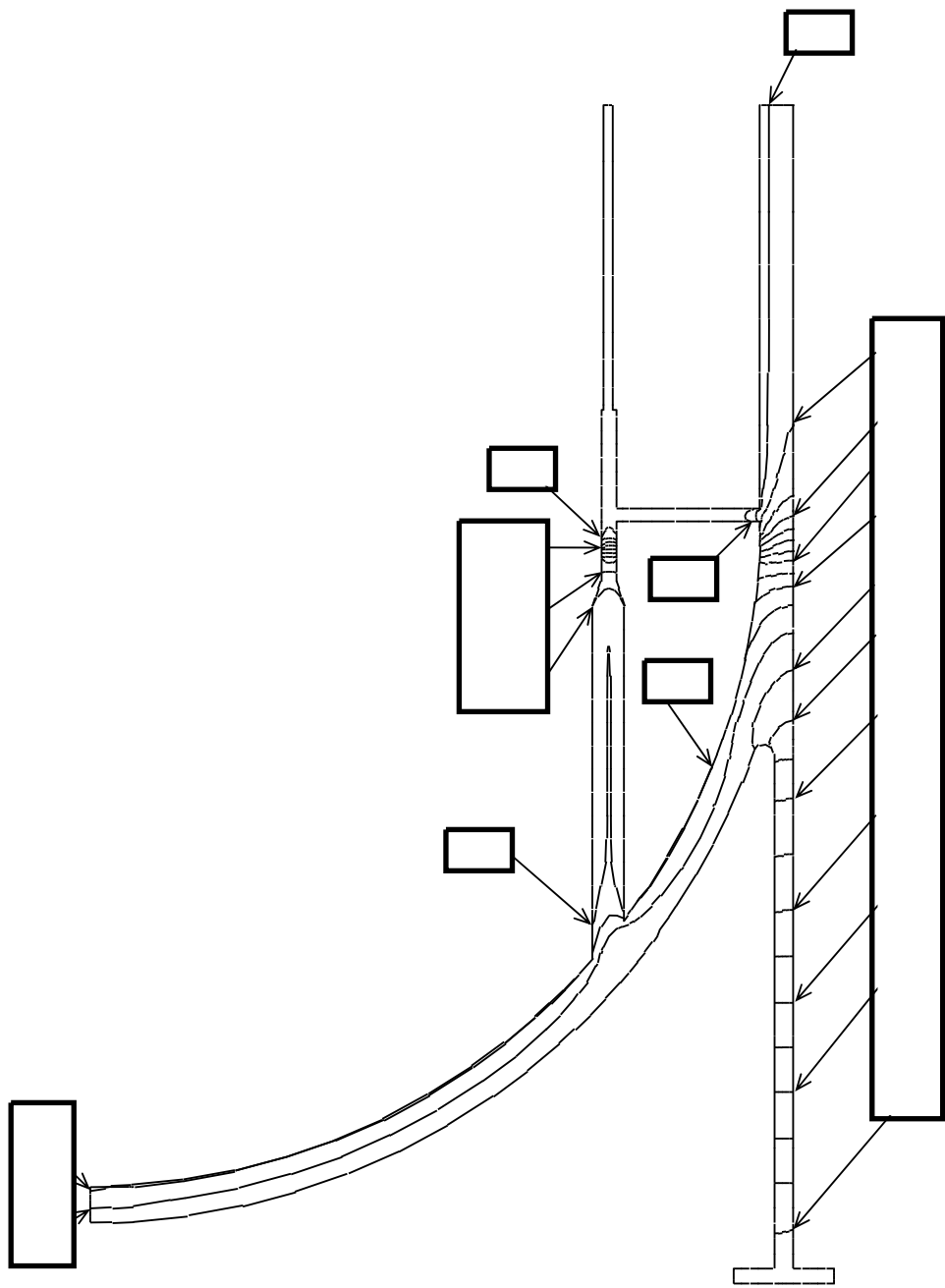


図5-5(26) 温度分布図 (単位 : °C)

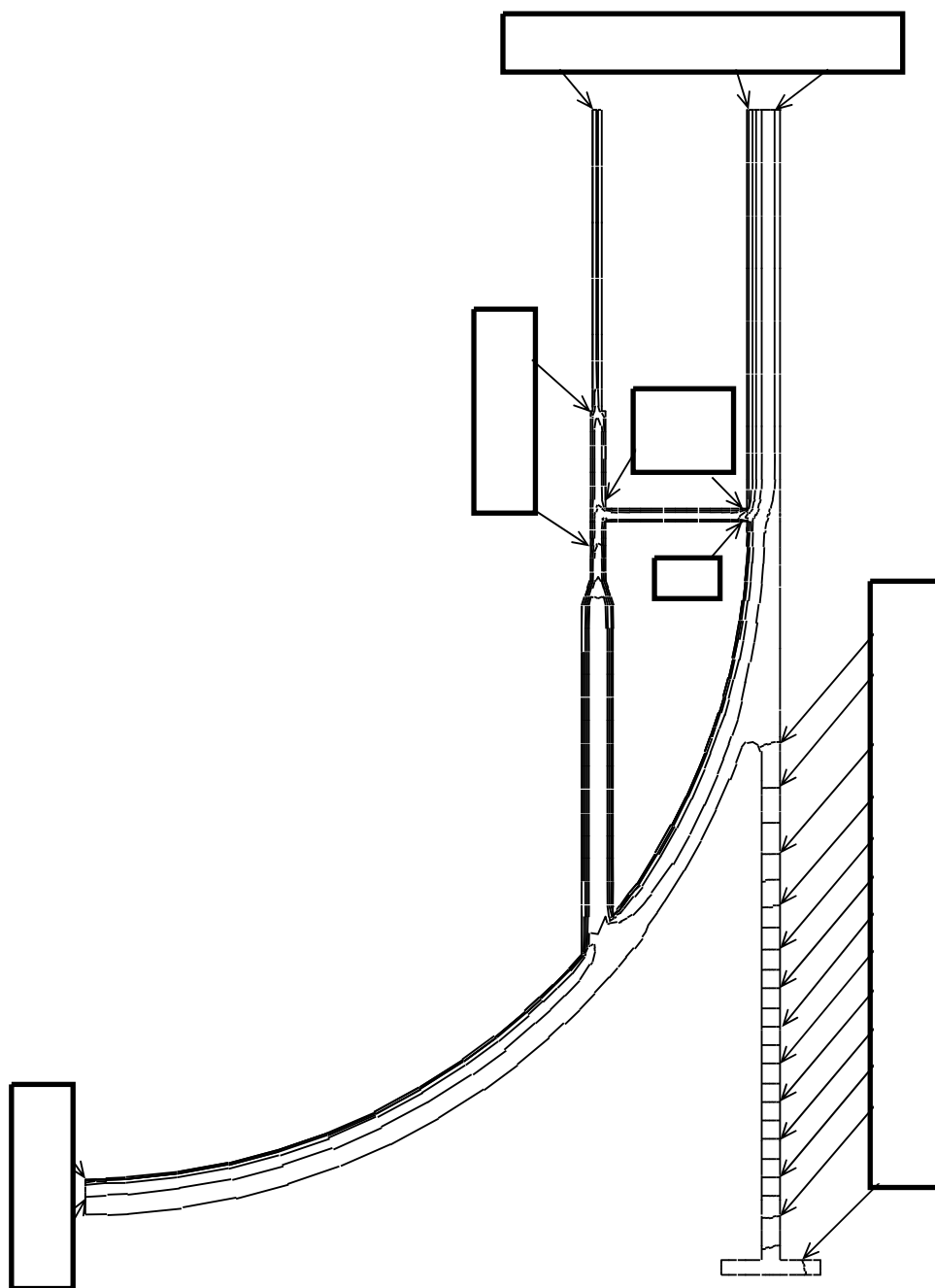


図5-5(27) 温度分布図 (単位: °C)

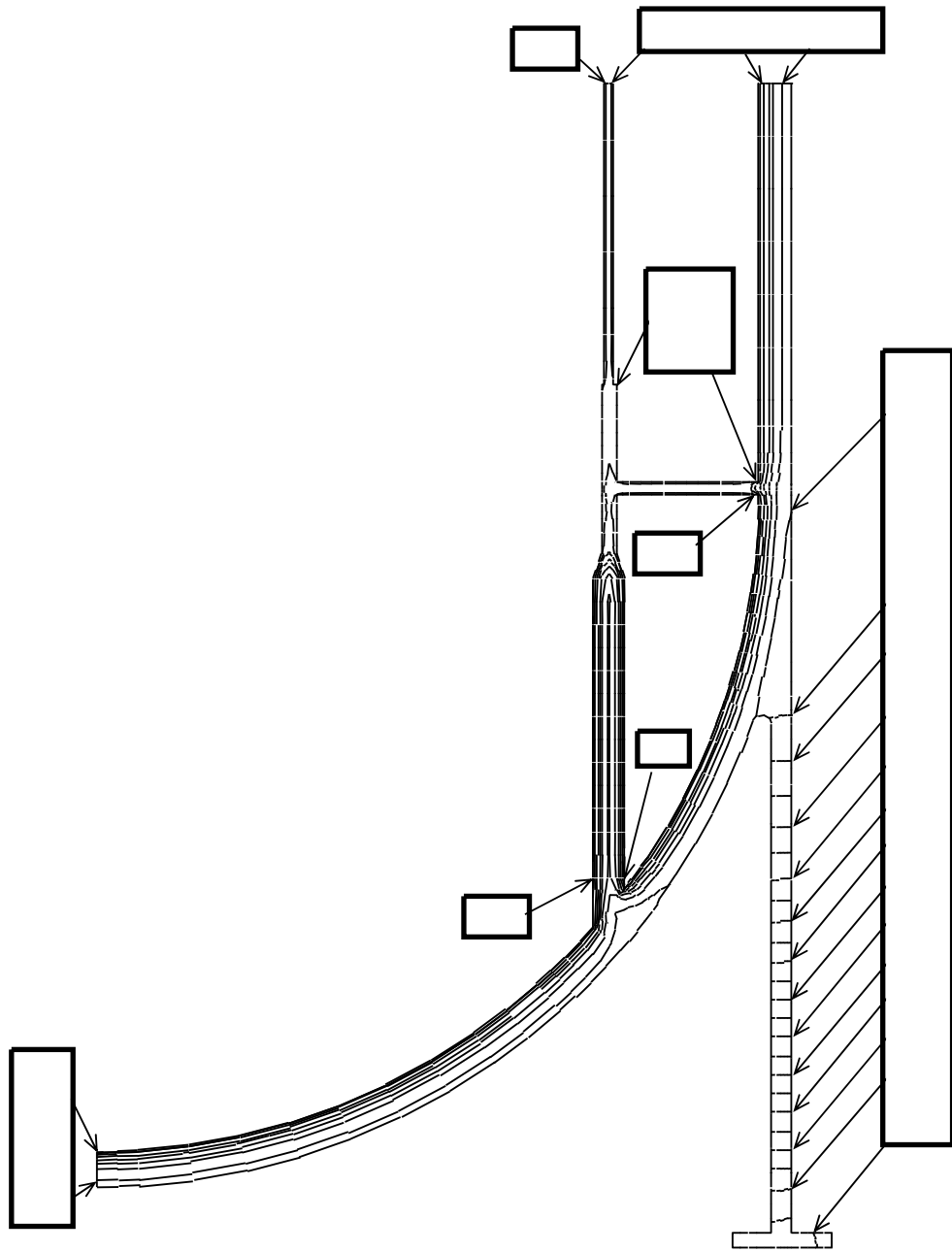
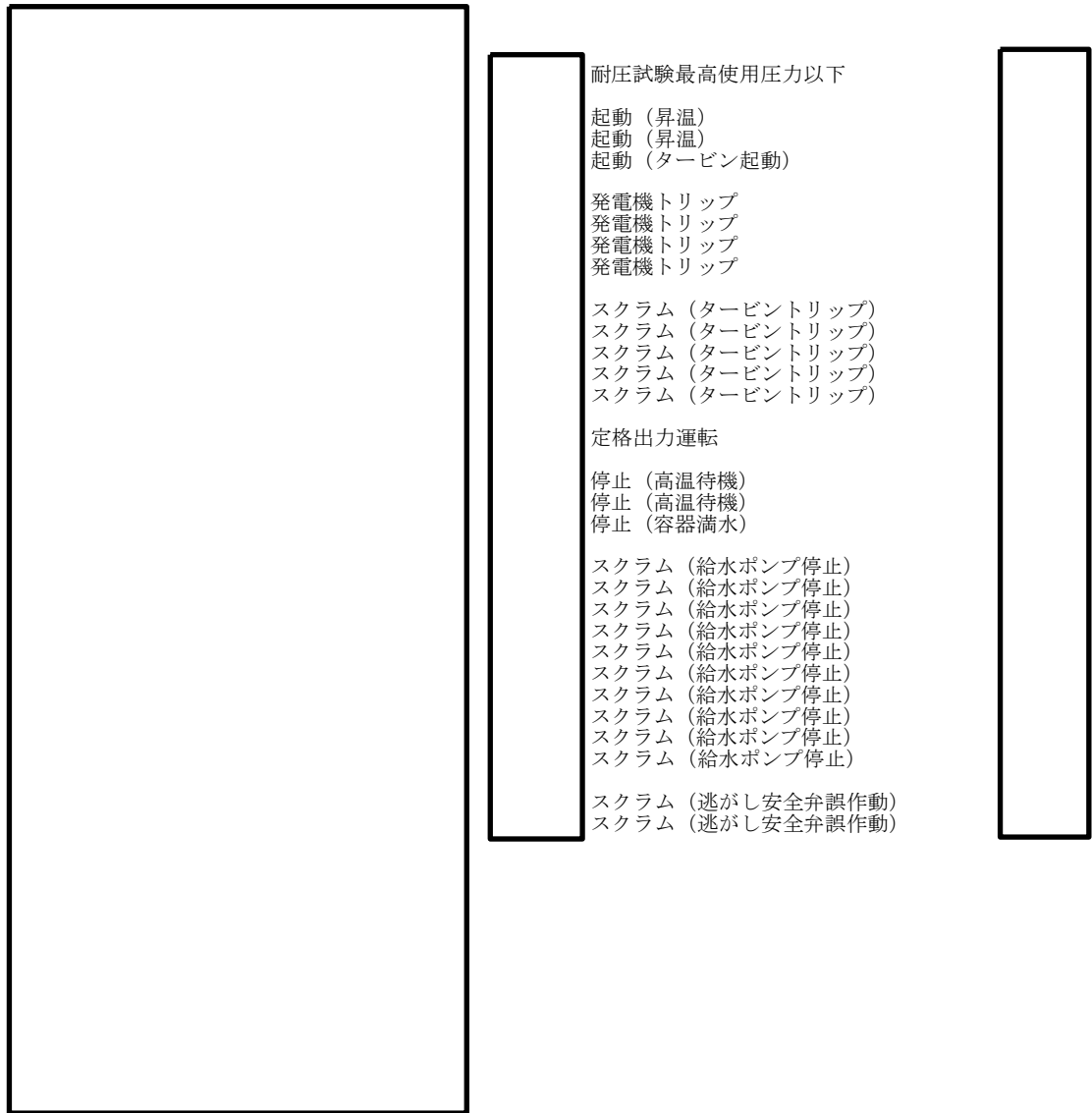


図5-5(28) 温度分布図 (単位: °C)



耐圧試験最高使用圧力以下

起動 (昇温)
 起動 (昇温)
 起動 (タービン起動)

発電機トリップ
 発電機トリップ
 発電機トリップ
 発電機トリップ

スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)

定格出力運転

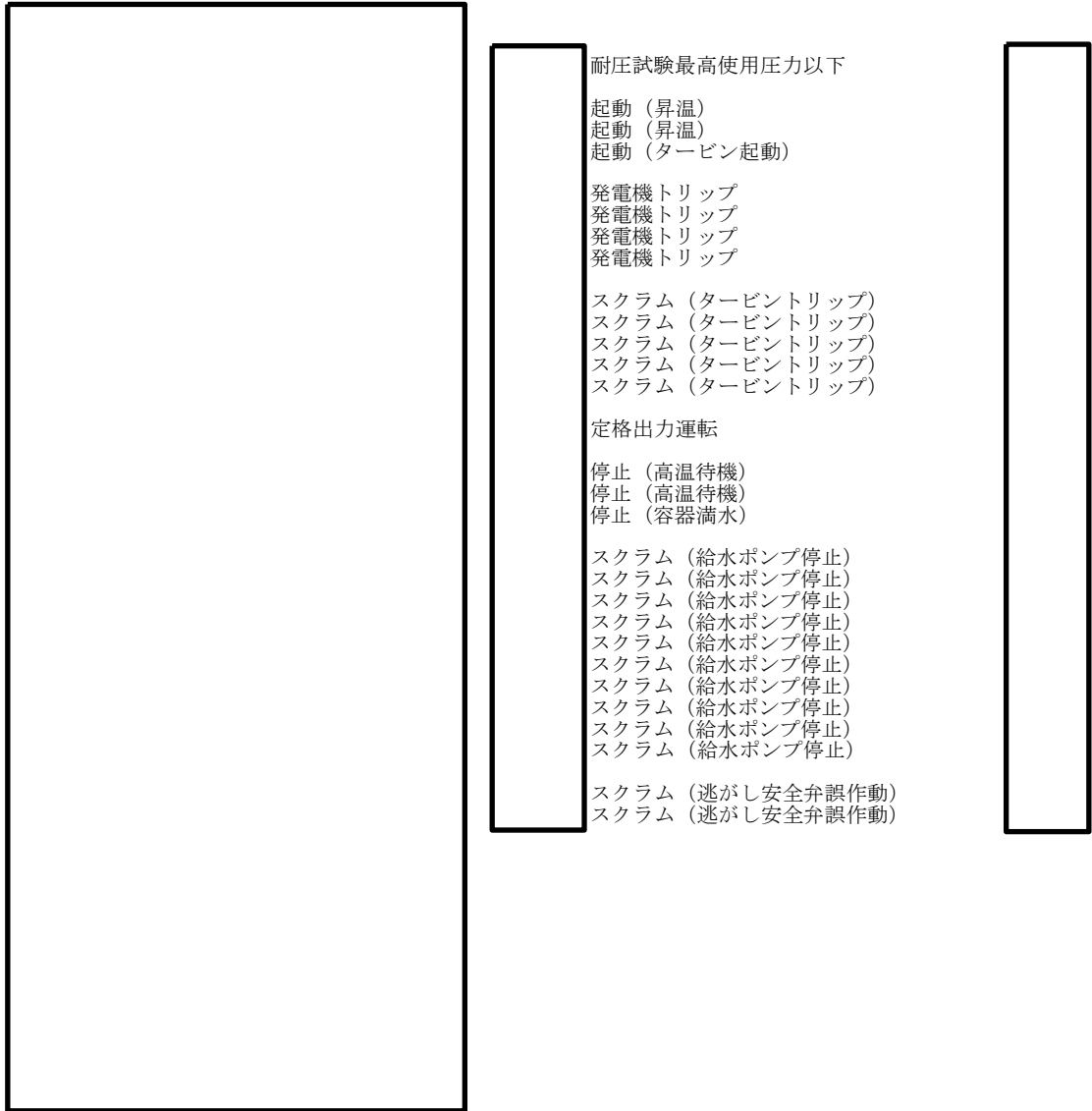
停止 (高温待機)
 停止 (高温待機)
 停止 (容器満水)

スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)

スクラム (逃がし安全弁誤作動)
 スクラム (逃がし安全弁誤作動)

No.	運転条件	運転条件	S p
1			

図5-6(1) 応力差の変動(P03, S 2 3)



耐圧試験最高使用圧力以下

起動 (昇温)
 起動 (昇温)
 起動 (タービン起動)

発電機トリップ
 発電機トリップ
 発電機トリップ
 発電機トリップ

スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)

定格出力運転

停止 (高温待機)
 停止 (高温待機)
 停止 (容器満水)

スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)

スクラム (逃がし安全弁誤作動)
 スクラム (逃がし安全弁誤作動)

No.	運転条件	運転条件	S p
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

図5-6(2) 応力差の変動(P07, S 1 2)

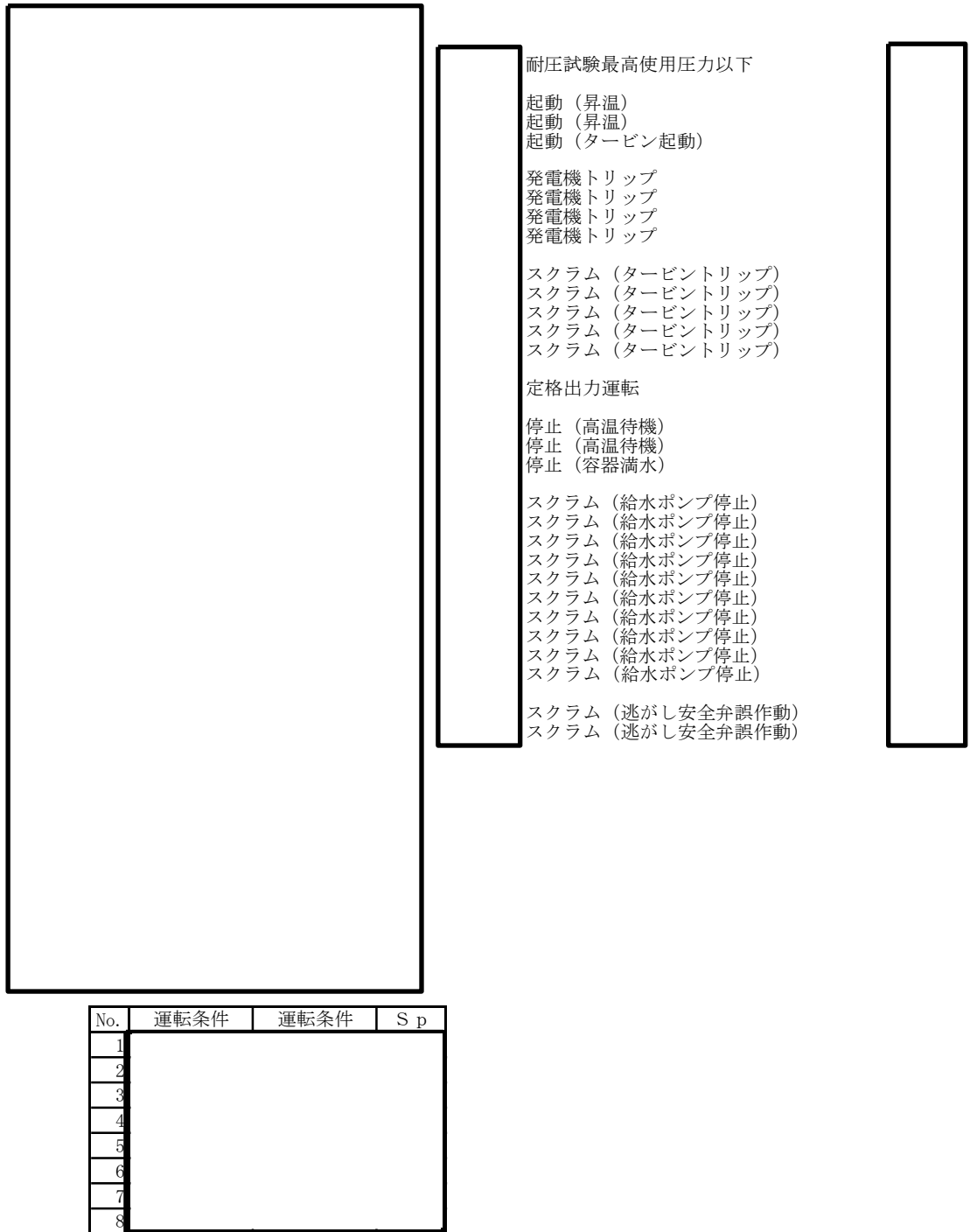
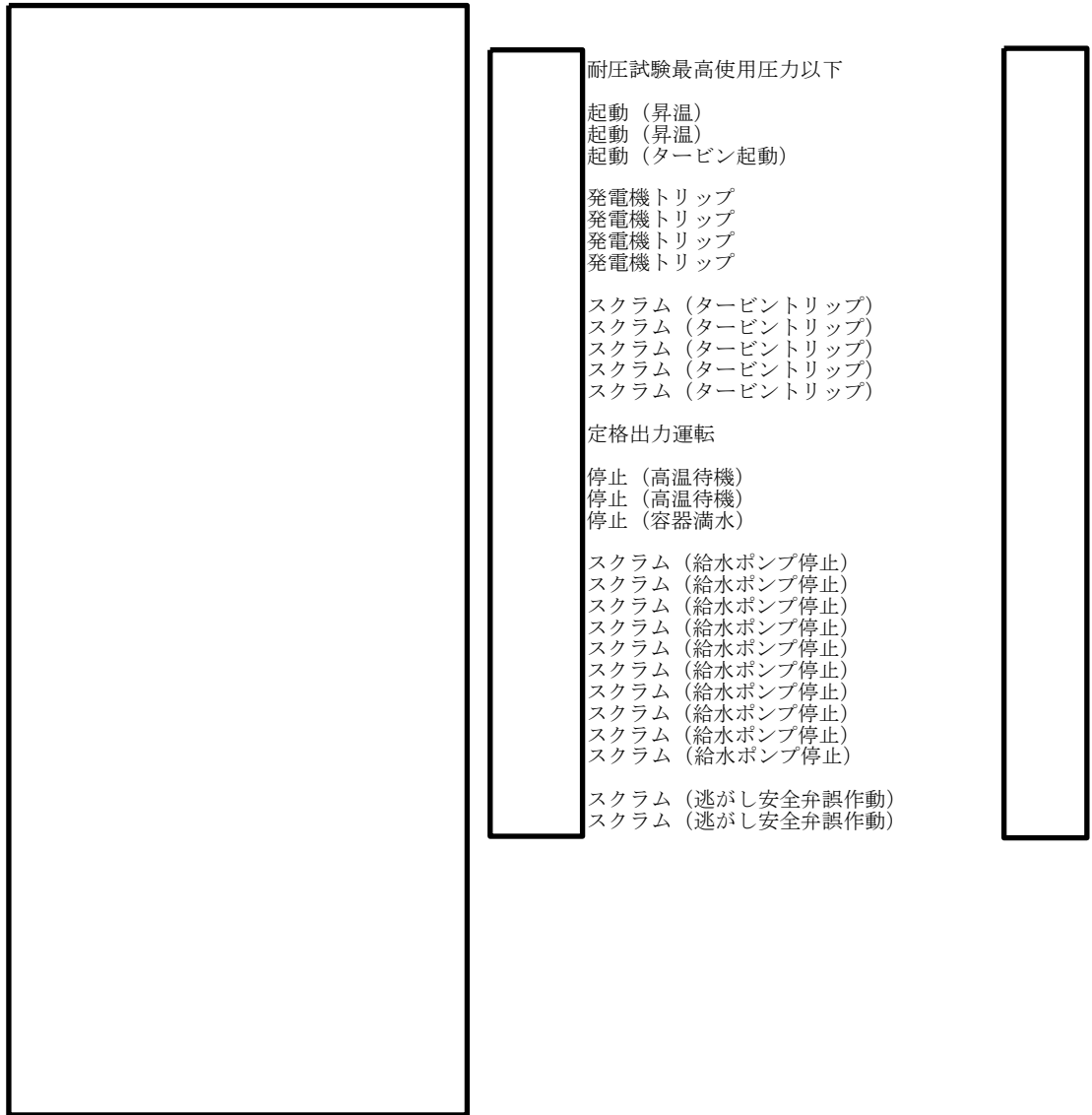


図5-6(3) 応力差の変動(P14, S 3 1)



耐圧試験最高使用圧力以下

起動 (昇温)
 起動 (昇温)
 起動 (タービン起動)

発電機トリップ
 発電機トリップ
 発電機トリップ
 発電機トリップ

スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)
 スクラム (タービントリップ)

定格出力運転

停止 (高温待機)
 停止 (高温待機)
 停止 (容器満水)

スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)
 スクラム (給水ポンプ停止)

スクラム (逃がし安全弁誤作動)
 スクラム (逃がし安全弁誤作動)

No.	運転条件	運転条件	S p
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

図5-6(4) 応力差の変動(P17, S 2 3)

表5-13(1) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(2) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(3) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T_f (°C)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイレー数* R_a (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水				
水				
水				
水				
水				
水				
水				
水				
水				
水				
水				

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：垂直接流体層の高さ $L = \square$ m

注記*：温度差 $\Delta T = \square$ °Cに対する値を示す。

表5-13(4) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(5) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					
水					
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(6) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(7) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					
水					
水					
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(8) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(9) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					
水					
水					
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (円筒胴とシリンダ間の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(11) 熱伝達率の計算

--

流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (シリンダ内面の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(13) 熱伝達率の計算



流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
水					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h × 20

注3：流路断面積 = m² (シリンダ内面の断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(14) 熱伝達率の計算



流体	温度 T _f (°C)	流量 Q (%)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	レイノルズ数 Re (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
空気					

注1：計算方法及び記号の説明は、添付1による。

注2：100%流量 = m³/h

注3：流路断面積 = m² (ダクト総断面積)

注4：代表長さ L = m

表5-13(15) 熱伝達率の計算



流体	温度 T_m (K)	熱伝導率 λ (W/(m·K))	エアギャップ の距離 l (m)	形態係数 F (—)	対面金属のふく射率 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ (—)	熱伝達率 h (W/(m ² ·K))
空気						

注：計算方法及び記号の説明は，添付1による。

表5-14 応力集中係数

応力評価点	データ				K _n (引張り)	K _b (曲げ)
	T (mm)	t (mm)	r (mm)	θ (°)		
P01, P01'					1.4	1.2
P02, P02'					2.0	1.6
P03, P03'					1.3	1.1
P04, P04'					1.3	1.1
P05, P05'					1.3	1.1
P06, P06'					1.3	1.1
P08, P08'					2.3	1.8
P10, P10'					2.3	1.8
P11, P11'					1.8	1.5
P12, P12'					1.8	1.5
P13, P13'					3.0 ^{*2}	3.0 ^{*2}
P14, P14'					3.0 ^{*2}	3.0 ^{*2}
P15, P15'					1.8	1.5
P16, P16'					1.8	1.5
P17, P17'					2.0 ^{*3}	2.0 ^{*3}
P18, P18'					2.0 ^{*3}	2.0 ^{*3}

注：計算方法及び記号の説明は、添付2による。

注記*1：Tを無限大として計算した。

*2：西田正孝著「応力集中」による。

*3：設計・建設規格 CSS-3140 の完全溶け込み溶接部に対する値

表5-15 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	設計条件		供用状態C		供用状態D	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01						
P02	59	147*	10	221*	11	300*
P01'						
P02'	51	147*	10	221*	9	300*
P03						
P04	108	164	18	246	20	334
P03'						
P04'	91	164	18	246	16	334
P05						
P06	47	164	9	246	9	334
P05'						
P06'	39	164	9	246	8	334
P07						
P08	50	164	7	246	8	334
P07'						
P08'	44	164	7	246	6	334
P09						
P10	41	164	8	246	10	334
P09'						
P10'	34	164	8	246	9	334
P11						
P12	16	147*	6	221*	6	300*
P11'						
P12'	17	147*	6	221*	6	300*
P13						
P14	7	164	6	246	6	334
P13'						
P14'	10	164	6	246	5	334
P15						
P16	9	147*	5	221*	5	300*
P15'						
P16'	7	147*	5	221*	6	300*
P17						
P18	71	85*	18	127*	19	208*
P17'						
P18'	63	85*	18	127*	19	208*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-16 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	設計条件		供用状態C		供用状態D	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01						
P02	59	221*	10	332*	11	450*
P01'						
P02'	51	221*	10	332*	9	450*
P03						
P04	108	246	18	369	20	501
P03'						
P04'	91	246	18	369	16	501
P05						
P06	47	246	9	369	9	501
P05'						
P06'	39	246	9	369	8	501
P07						
P08	50	246	7	369	8	501
P07'						
P08'	44	246	7	369	6	501
P09						
P10	41	246	8	369	10	501
P09'						
P10'	34	246	8	369	9	501
P11						
P12	16	221*	6	332*	6	450*
P11'						
P12'	17	221*	6	332*	6	450*
P13						
P14	7	246	6	369	6	501
P13'						
P14'	10	246	6	369	5	501
P15						
P16	9	221*	5	332*	5	450*
P15'						
P16'	7	221*	5	332*	6	450*
P17						
P18	71	127*	18	190*	19	312*
P17'						
P18'	63	127*	18	190*	19	312*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表5-17 一次+二次応力強さの評価のまとめ
(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_m + P_b + Q$)		
	*1 S_n	*2 S_n'	許容応力 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$
P01	109	—	442 *3
P01'	109	—	442 *3
P02	111	—	442 *3
P02'	111	—	442 *3
P03	142	—	492
P03'	142	—	492
P04	115	—	492
P04'	115	—	492
P05	214	—	492
P05'	214	—	492
P06	235	—	492
P06'	235	—	492
P07	476	—	492
P07'	476	—	492
P08	330	—	492
P08'	330	—	492
P09	369	—	492
P09'	369	—	492
P10	246	—	492
P10'	246	—	492
P11	254	—	442 *3
P11'	254	—	442 *3
P12	314	—	442 *3
P12'	314	—	442 *3
P13	277	—	492
P13'	277	—	492
P14	310	—	492
P14'	310	—	492
P15	205	—	442 *3
P15'	205	—	442 *3
P16	177	—	442 *3
P16'	177	—	442 *3
P17	307 *4	137	260 *3
P17'	307 *4	137	260 *3
P18	292 *4	111	260 *3
P18'	292 *4	111	260 *3

注記*1： S_n は供用状態A及びBによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。
 *2： S_n' は S_n のうち熱曲げを除く一次+二次応力差の最大範囲を示す。
 *3：継手効率 を乗じた値を示す。
 *4：簡易弾塑性解析により安全性を示す。

表5-18 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数	
	U_n	許容値
P01	0.000	1.0
P01'	0.000	1.0
P02	0.000	1.0
P02'	0.000	1.0
P03	0.000	1.0
P03'	0.000	1.0
P04	0.000	1.0
P04'	0.000	1.0
P05	0.000	1.0
P05'	0.000	1.0
P06	0.000	1.0
P06'	0.000	1.0
P07	0.001	1.0
P07'	0.001	1.0
P08	0.000	1.0
P08'	0.000	1.0
P09	0.000	1.0
P09'	0.000	1.0
P10	0.000	1.0
P10'	0.000	1.0
P11	0.000	1.0
P11'	0.000	1.0
P12	0.000	1.0
P12'	0.000	1.0
P13	0.005	1.0
P13'	0.005	1.0
P14	0.013	1.0
P14'	0.013	1.0
P15	0.000	1.0
P15'	0.000	1.0
P16	0.000	1.0
P16'	0.000	1.0
P17	0.019	1.0
P17'	0.019	1.0
P18	0.011	1.0
P18'	0.011	1.0

表5-19 座屈に対する評価

(単位：MPa)

応力評価面	供用状態	圧縮応力	許容応力
P03'-P04'	A, B	4	155
	C	4	233
	D	5	249

6. 燃料支持金具の強度計算

6.1 一般事項

本章は、燃料支持金具（中央燃料支持金具及び周辺燃料支持金具）の応力計算について示すものである。

注：図表は、原則として巻末に示す。

6.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 通商産業省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（以下「告示」という。）

注：本章において、告示の条項は「告示第○条第△項第◇号」として示す。

6.3 記号の説明

本章において、以下の記号を使用する。ただし、本章に別途記載ある場合は、この限りでない。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _m	設計応力強さ 告示 別表第 2 に定める値	MPa
S _u	設計引張強さ 告示 別表第 10 に定める値	MPa
S _y	設計降伏点 告示 別表第 9 に定める値	MPa
S _y (R T)	室温における設計降伏点 告示 別表第 9 に定める値	MPa
t	厚さ	mm
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
τ_{tl}	せん断応力	MPa

6.4 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表6-1 に示すとおりとする。

表6-1 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
応力強さ	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*：告示別表に記載された許容引張応力及び設計引張強さは、各温度の値を SI 単位に換算し、SI 単位に換算した値の小数点以下第 1 位を四捨五入して、整数位までの値とする。

6.5 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図 6-1 に示す。

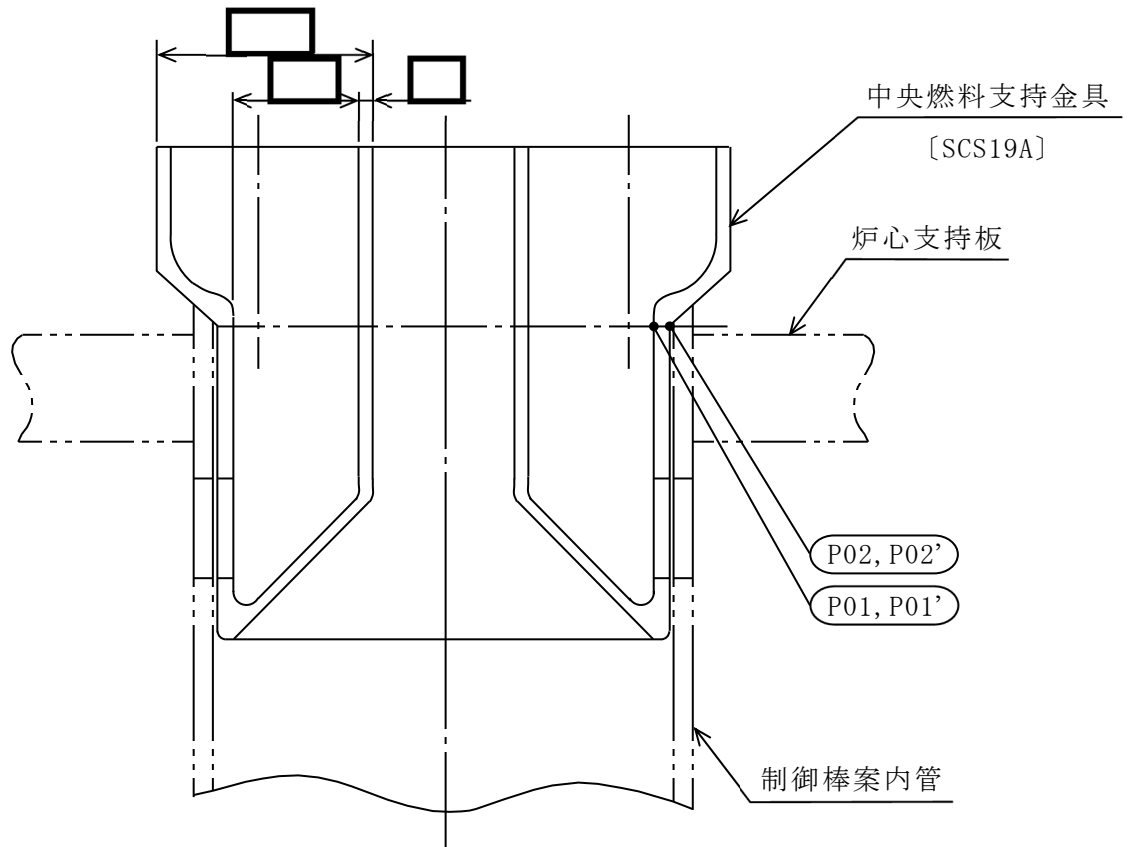
6.6 解析範囲

解析範囲を図 6-1 に示す。

6.7 計算結果の概要

計算結果の概要を表 6-2 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図6-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

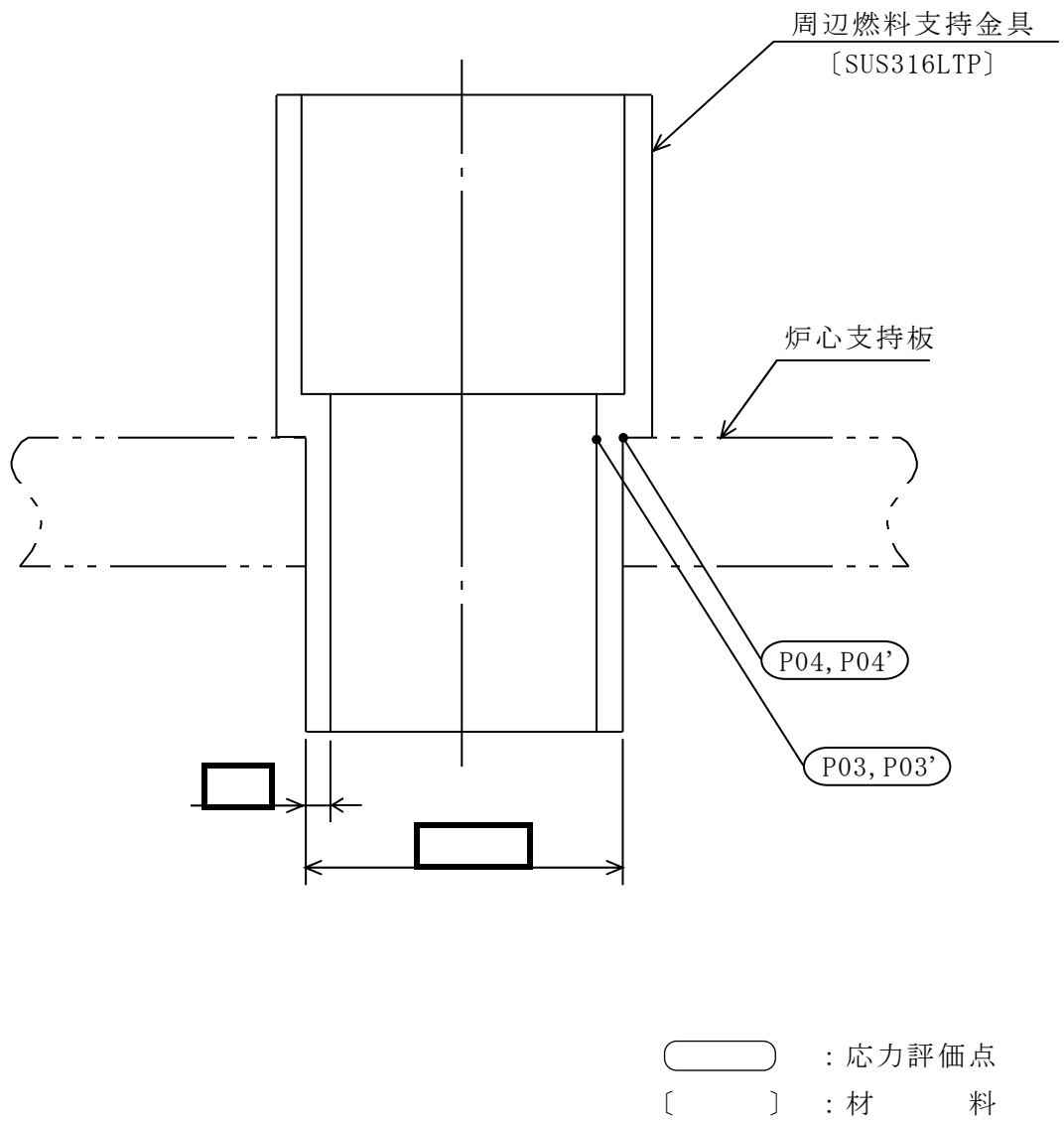


図6-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表6-2 計算結果の概要

部分及び材料	運転状態	一次一般膜 応力強さ (MPa)			一次一般膜＋一次曲げ 応力強さ (MPa)			一次＋二次 応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力 評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労 累積 係数	許容値	応力 評価点
中央燃料 支持金具 SCS19A	設計条件	3	108	P01-P02	3	163	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ	3	162	P01-P02	3	244	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ	3	247	P01-P02	3	371	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	重大事故等時	3	247	P01-P02	3	370	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅰ, Ⅱ	—	—	—	—	—	—	3	330	P01	—*1	—*1	—*1
周辺燃料 支持金具 SUS316LTP	設計条件	2	37*2	P03-P04	2	56*2	P03-P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ	2	56*2	P03-P04	2	84*2	P03-P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ	2	92*2	P03-P04	2	138*2	P03-P04	—	—	—	—	—	—
	重大事故等時	2	90*2	P03-P04	2	135*2	P03-P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅰ, Ⅱ	—	—	—	—	—	—	2	115*2	P03	—*1	—*1	—*1

注記*1：疲労解析は、告示第96条第1項第3号により不要である。

*2：継手効率 を乗じた値を示す。

6.8 計算条件

6.8.1 評価対象機器

応力評価を行う機器は、次のとおりである。（図 6-1 参照）

機器名称	評価対象				
	運転状態に対する評価				
	設計条件	I, II	III	IV	重大事故等時
燃料支持金具	○	○	○	○	○

注：「○」は評価対象を示す。

6.8.2 設計条件

設計差圧 : 表 6-3 に示す。

最高使用温度 : 302℃

設計機械的荷重 : 表 6-4 に示す。

6.8.3 運転条件

運転条件及び記号は、参照図書(1)a. に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件 : 運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件 : 運転状態Ⅳと同じ。

燃料支持金具の応力評価において考慮する差圧は、表 6-3 に示す参照図書(1)a. に定める差圧 P_{13} であり、考慮する外荷重の値は表 6-4 に示すとおりである。

6.8.4 材料

各部の材料を図 6-1 に示す。

6.8.5 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を表 6-5 に示す。

なお、本章において、告示第 96 条第 1 項第 1 号イの規定による最高使用圧力を「設計差圧」と呼び、設計差圧と設計機械的荷重を組み合わせた条件を「設計条件」という。

6.8.6 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表 6-6 に示す。本章において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

荷重	記号
(1) 差圧	[L02]
(2) 設計機械的荷重	[L03]
(3) 死荷重	[L04]

6.8.7 許容応力

燃料支持金具の許容応力は、告示第 96 条第 1 項第 1 号に基づき表 6-7 に示す。

6.8.8 許容応力評価条件

- (1) 許容応力評価において、設計応力強さ S_m 及び設計引張強さ S_u は、それぞれ告示別表第 2 及び第 10 に定められたものを使用する。
- (2) 設計条件の評価には、最高使用温度 (302°C) に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの一次応力の評価には、各運転状態における流体の最高温度 (運転状態Ⅲ：°C, Ⅳ：°C) に対する許容応力を用いる。運転状態Ⅰ及びⅡの一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度 (°C：定格出力運転時の流体温度) に対する許容応力を用いる。
- (3) 重大事故等時の一次応力の評価には、重大事故等時における流体の最高温度 (°C) を上回る運転状態Ⅲにおける流体の最高温度 (°C) に対する許容応力を用いる。
- (4) 燃料支持金具の許容応力評価条件を表 6-8 に示す。

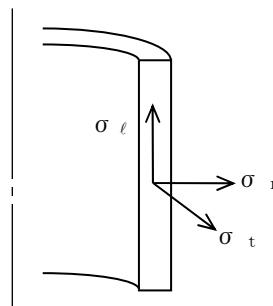
6.8.9 溶接部の継手効率

- (1) 中央燃料支持金具の応力評価点は、溶接部でないため $\eta = 1.00$ を用いる。
- (2) 周辺燃料支持金具の溶接部の継手効率は、継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により、告示第 99 条第 4 項に従って定める。溶接部の継手効率を表 6-9 に示す。
- (3) 溶接部の許容応力は、材料の許容応力に継手効率を乗じたものとする。

6.8.10 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
 σ_l : 軸方向応力
 σ_r : 半径方向応力



6.9 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

応力評価の概要を図 6-2 に示す。

6.9.1 温度分布計算

燃料支持金具は，参照図書(1)a. に示すとおり，同一温度領域内（領域 B）にあること，また，薄肉構造で材料の異なる部分はなく温度勾配は無視し得ることから温度分布計算を行わない。

6.9.2 応力の評価

(1) 主応力

荷重ごとに計算した応力を重ね合わせた結果から，主応力を求める。

応力成分は一般に σ_t ， σ_l ， σ_r ， τ_{tl} ， τ_{lr} ， τ_{rt} の 6 成分であるが，主応力 σ は，引用文献(1)の 1・3・6 項により，次式を満足する 3 根 σ_1 ， σ_2 ， σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} &\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ &- \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 \\ &+ \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

(2) 応力強さ

以下の 3 つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

(3) 一次応力強さ

設計条件，運転状態Ⅲ，運転状態Ⅳ及び重大事故等時において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが，6.8.7 項に示す許容応力を満足することを示す。

(4) 一次＋二次応力強さ

運転状態Ⅰ及びⅡにおいて生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲 (S_n) が，6.8.7 項に示す許容応力を満足することを示す。

6.9.3 繰返し荷重の評価

繰返し荷重の評価は，運転状態Ⅰ及びⅡによる荷重を用いて，告示第 96 条第 1 項第 3 号に従い疲労解析（詳細な繰返し荷重の評価）の必要性の検討を行い，疲労解析が不要であることを示す。

6.10 応力計算

6.10.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 6-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 6-10 に示すとおりである。

6.10.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧を表 6-3 に示す。

(2) 計算方法

中央燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面で、外径を mm とし、かつ、厚さが最小となる円筒を考え、内圧を受ける円筒にモデル化し、計算する。

中央燃料支持金具の差圧による応力計算のモデルを図 6-3 に示す。

周辺燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

a. 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_l = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{13}$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$

b. 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

c. 一次＋二次応力

差圧 P_{13} による一次＋二次応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1+K^2}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = \frac{1-K^2}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

ここで、 $K = Y$ (内表面)

$K = 1$ (外表面)

6.10.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L03 及び L04)

外荷重を表 6-4 に示す。

(2) 計算方法

中央燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面で、その断面の最小幅を内径とし、かつ、厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の外荷重による応力計算のモデルを、図 6-4 に示す。

周辺燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

a. 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は，外荷重と各応力評価断面の断面性状により次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A}$$

b. 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

c. 一次＋二次応力

外荷重による二次応力は，存在しない。したがって，一次＋二次応力は，一次一般膜＋一次曲げ応力と同じである。

6.10.4 熱応力

6.9.1項に示すとおり熱応力は無視できる。

6.11 応力強さの評価

6.11.1 一次一般膜応力強さの評価

各運転状態における評価を表 6-11 に示す。

表 6-11 より，各運転状態の一次一般膜応力強さは，6.8.7 項及び 6.8.9 項に示す許容応力を満足する。

6.11.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各運転状態における評価を表 6-12 に示す。

表 6-12 より，各運転状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，6.8.7 項及び 6.8.9 項に示す許容応力を満足する。

6.11.3 一次＋二次応力強さの評価

運転状態 I 及び II における評価を表 6-13 に示す。

表 6-13 より，運転状態 I 及び II の一次＋二次応力強さは，6.8.7 項及び 6.8.9 項に示す許容応力を満足する。

6.12 繰返し荷重の評価

6.12.1 告示第 96 条第 1 項第 3 号についての検討

燃料支持金具について，告示第 96 条第 1 項第 3 号により疲労解析が不要となることを以下の(1)から(4)に示す。

(1) 告示第 96 条第 1 項第 3 号イ及び同号ロ

6.9.1 項で述べたように，燃料支持金具の温度差は無視し得るので，告示第 96 条第 1 項第 3 号イ及び同号ロの検討は不要である。

(2) 告示第 96 条第 1 項第 3 号ハ（異なる材料よりなる部分の温度変動）

燃料支持金具には，縦弾性係数又は熱膨張係数の異なる材料よりなる部分は存在しない。

(3) 告示第 96 条第 1 項第 3 号ニ（機械的荷重変動）

機械的荷重により生じる応力の全振幅が，荷重変動回数 10^6 回に対応する繰返しピーク応力強さを超えないことを確認する。

告示別図第 2 より求めた 10^6 回に対応する繰返しピーク応力強さ : $S = 178 \text{ MPa}$

機械的荷重変動による応力の全振幅 : $\Delta \sigma$

全応力評価点の機械的荷重変動（死荷重）による一次＋二次応力のうち，応力の全振幅が最大となる応力評価点 P01 での一次＋二次応力は以下である。

$$\Delta \sigma = \square \text{ MPa}$$

したがって， $S > \Delta \sigma$ であり，条件を満足する。

(4) 検討結果

以上(1)から(3)より燃料支持金具は，告示第 96 条第 1 項第 3 号の要求をすべて満足している。

6.12.2 疲労解析

6.12.1 項に示すように，燃料支持金具は，疲労解析は不要である。

6.13 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α 3 (日本機械学会)

6.14 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 炉心シュラウド修理工事 工事計画届出書 添付書類
 - a. IV-3-1-1 炉心シュラウドの応力計算書

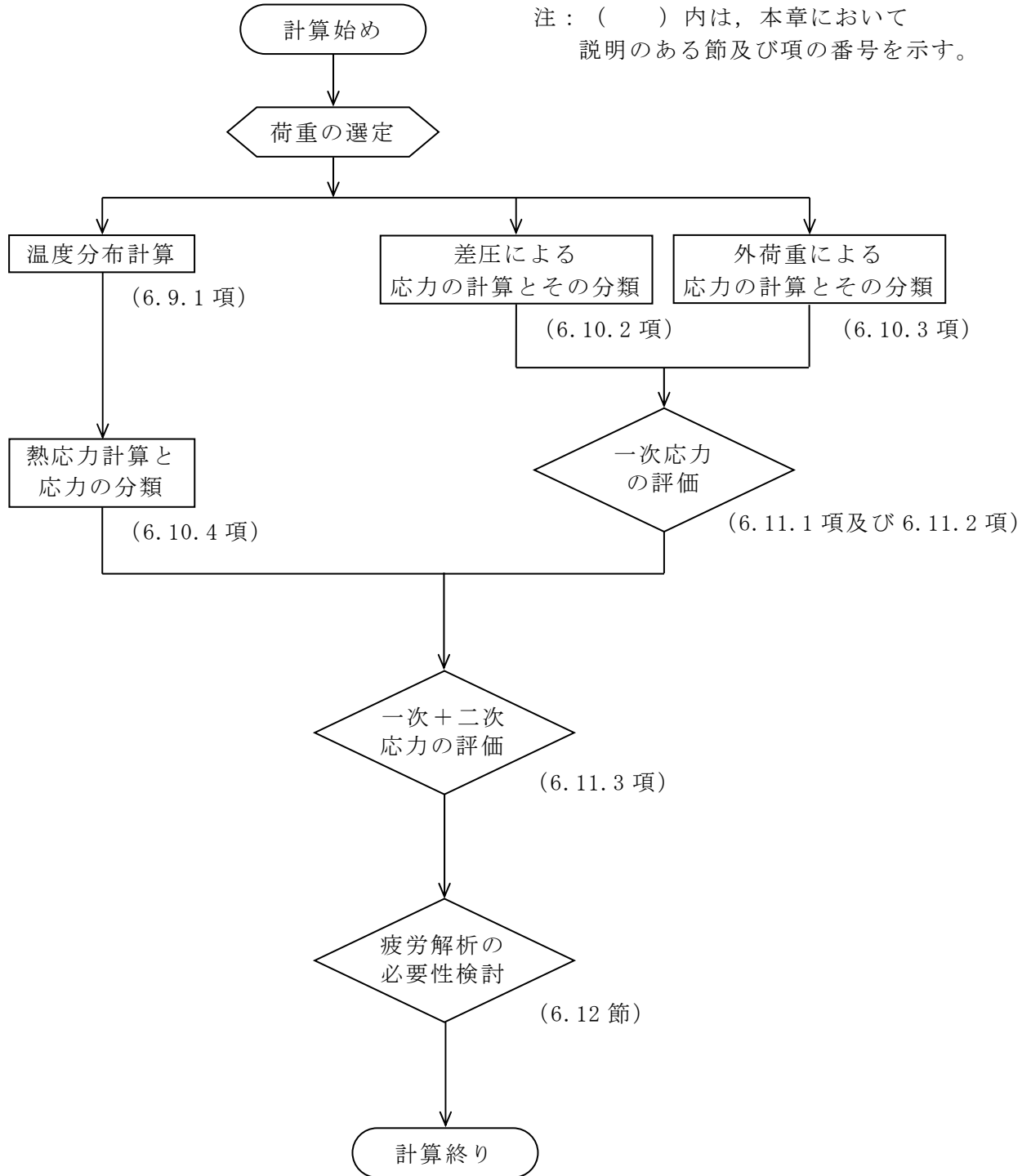


図6-2 応力評価の手順

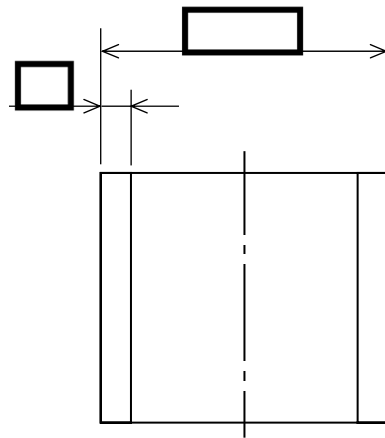


図6-3 中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル (単位: mm)

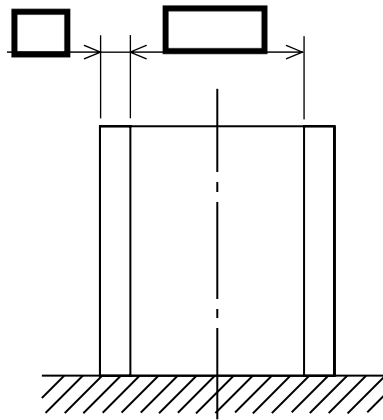


図6-4 中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル (単位: mm)

表6-3 各運転状態における差圧

(単位：MPa)

運転状態	差圧 P ₁₃
設計条件	
I, II	
III	
IV	
重大事故等時	

表6-4 外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点*	鉛直力
			V (kN)
L03	設計機械的荷重		
L04	死荷重		

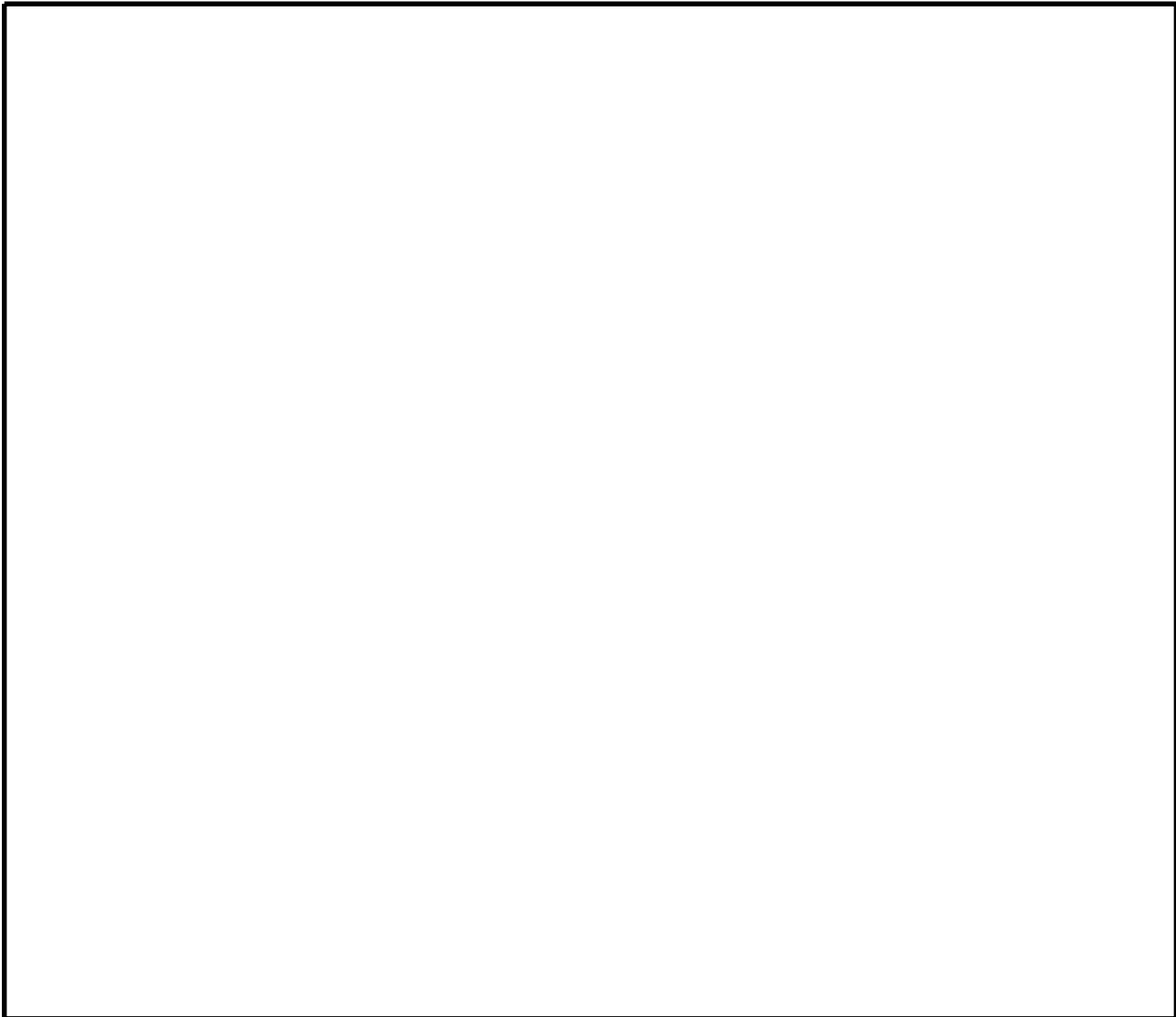


表6-5 荷重の組合せ及び運転状態

運転状態	荷重の組合せ
	各運転状態による荷重
設計条件	設計条件による荷重
I	運転状態 I による荷重
II	運転状態 II による荷重
III	運転状態 III による荷重
IV	運転状態 IV による荷重
重大事故等時	重大事故等時による荷重

表6-6 荷重の組合せ

運転状態	荷重の組合せ	応力評価
設計条件	L02+L03	P_m $P_m + P_b$
I, II	L02+L04	$P_m + P_b + Q$ 疲労解析
III	L02+L04	P_m $P_m + P_b$
IV	L02+L04	P_m $P_m + P_b$
重大事故等時	L02+L04	P_m $P_m + P_b$

表6-7 許容応力

運転状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次一般膜+一次曲げ応力	一次+二次応力
設計条件	S_m	$1.5 \cdot S_m$	—
I, II	—	—	$3 \cdot S_m$
III	$1.5 \cdot S_m$	$2.25 \cdot S_m$	—
IV	$\text{Min}(2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$	$\text{Min}(3.6 \cdot S_m, S_u)$	—
重大事故等時*	$\text{Min}(2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$	$\text{Min}(3.6 \cdot S_m, S_u)$	—

注記*：重大事故等時の許容限界として運転状態IVの許容限界を用いる。

表6-8 許容応力評価条件

評価部位	材料		温度条件 (°C)	S _m (MPa)	S _u (MPa)	S _y (MPa)	S _y (RT) (MPa)
中央燃料 支持金具	オーステナイト系 ステンレス鋼	SCS19A	流体の最高温度				
			流体の最高温度				
			流体の最高温度				
周辺燃料 支持金具		SUS316LTP	流体の最高温度				
			流体の最高温度				
			流体の最高温度				

表6-9 溶接部の継手効率

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
燃料支持金具	周辺燃料支持金具と 炉心支持板の継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

P T：告示第99条第4項に定めるホの検査

表6-10 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02*					
P03, P04					

注記*：上段は差圧による応力計算モデルの断面性状を示し，下段は外荷重による応力計算モデルの断面性状を示す。

表6-11 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	設計条件		運転状態Ⅲ		運転状態Ⅳ		重大事故等時	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	3	108	3	162	3	247	3	247
P01' P02'	3	108	3	162	3	247	3	247
P03 P04	2	37*	2	56*	2	92*	2	90*
P03' P04'	2	37*	2	56*	2	92*	2	90*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表6-12 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	設計条件		運転状態Ⅲ		運転状態Ⅳ		重大事故等時	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	3	163	3	244	3	371	3	370
P01' P02'	3	163	3	244	3	371	3	370
P03 P04	2	56*	2	84*	2	138*	2	135*
P03' P04'	2	56*	2	84*	2	138*	2	135*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表6-13 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

分類	一次+二次応力差最大範囲 ($P_m + P_b + Q$)	
	応力評価点	許容値 $\eta \cdot 3 \cdot S_m$
P01	S_n^{*1}	330
P01'	3	330
P02	3	330
P02'	3	330
P03	2	115^{*2}
P03'	2	115^{*2}
P04	2	115^{*2}
P04'	2	115^{*2}

注記*1： S_n は運転状態Ⅰ及びⅡによる一次+二次応力差の最大範囲を示す。

*2：継手効率 を乗じた値を示す。

添付 1 熱伝達率の計算

1. 熱伝達率の計算式

熱伝達率の計算は、以下の式を用いて計算する。

(1) 強制対流による平板の層流熱伝達

a. 計算式の出典

5.13 節の引用文献(2) (改訂第 4 版) の P46 の(8)式

b. 計算式

$$h = 0.664 \cdot P_r^{1/3} \cdot R_{e_x}^{1/2} \cdot \frac{\lambda}{L} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 L : 代表長さ(m)

R_{e_x} : レイノルズ数 ($= v \cdot x / \nu_0$) ($x = L$)

v : 流体の流速(m/s)

λ : 流体の熱伝導率(W/(m・K))

c. 使用基準

$$R_e \leq 3.2 \times 10^5$$

ここで、 R_e : レイノルズ数 ($= v \cdot L / \nu_0$)

(2) 強制対流による平板の乱流熱伝達

a. 計算式の出典

5.13 節の引用文献(5) の P122 の(6・46)式

b. 計算式

$$h = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L h_x \cdot dx \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ここで、 } h_x = \frac{0.0296 \cdot R_{e_x}^{0.8} \cdot P_r}{1 + 1.54 \cdot P_r^{-1/4} \cdot R_{e_x}^{-0.1} \cdot (P_r - 1)} \cdot \frac{\lambda}{x}$$

L : 代表長さ(m)

R_{e_x} : レイノルズ数 ($= v \cdot x / \nu_0$) ($0 \leq x \leq L$)

v : 流体の流速(m/s)

λ : 流体の熱伝導率(W/(m・K))

c. 使用基準

$$R_e > 3.2 \times 10^5$$

ここで、 R_e : レイノルズ数 ($= v \cdot L / \nu_0$)

(3) 自然対流による熱伝達

a. 計算式の出典

5.13 節の引用文献(2) (改訂第 3 版) の P113 の(1), (2)及び(4)式

b. 計算式

$$\left. \begin{aligned} h &= \frac{\lambda}{L} && (R_a < 10^3) \\ h &= 0.28 \cdot R_a^{1/4} \cdot (L/D)^{-1/4} \cdot \frac{\lambda}{L} && (10^3 \leq R_a < 10^7) \\ h &= 0.0516 \cdot R_a^{1/3} \cdot \frac{\lambda}{L} && (10^7 \leq R_a) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで, D : 流体層の厚さ(m) G_r : グラスホフ数 ($=g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 / \nu_0^2$) g : 重力加速度 (m/s^2) L : 垂直流体層の高さ(m) R_a : レーレー数 ($=G_r \cdot P_r$) ΔT : 流体とそれに接する物体の温度差(K) β : 体膨張係数 ($1/K$) λ : 流体の熱伝導率 ($W/(m \cdot K)$)

(4) エアギャップの熱伝達

a. 計算式の出典

5.13 節の引用文献(2) (改訂第 4 版) 及び引用文献(6)

b. 計算式

$$h = \frac{\lambda}{\ell} + \frac{4 \cdot \sigma \cdot T_m^3}{\frac{1}{F} + \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right) + \frac{A_1}{A_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \dots\dots\dots (4)$$

ここで, A_1 : 対面金属の表面積 (m^2) A_2 : 対面金属の表面積 (m^2) F : 形態係数 ℓ : エアギャップの距離(m) T_m : 対面金属表面温度の平均温度(K) ε_1 : 対面金属のふく射率 ε_2 : 対面金属のふく射率 λ : 空気の熱伝導率 ($W/(m \cdot K)$) σ : ステファンボルツマン定数 ($=5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$)

2. 計算方法

熱伝達率の計算は、流体の種類、流体温度 (T_f)、流量 (Q) 及び代表長さ (L) を用いて行う。

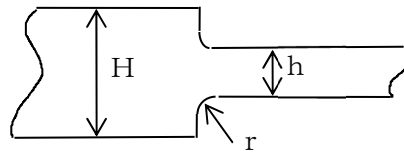
熱伝達率の表においては、計算に用いた熱伝達形態のほか、次のものを記載する。

流体	:	流体の種類
F	:	形態係数 (エアギャップの熱伝達の場合)
h	:	熱伝達率
L	:	代表長さ
l	:	エアギャップの距離 (エアギャップの熱伝達の場合)
Q	:	流量
R_a	:	ラーレー数 (自然対流による熱伝達の場合)
R_e	:	レイノルズ数
T_f	:	流体温度
T_m	:	対面金属表面温度の平均温度 (エアギャップの熱伝達の場合)
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$:	対面金属のふく射率 (エアギャップの熱伝達の場合)

添付 2 応力集中係数の計算

1. 応力集中係数の計算式

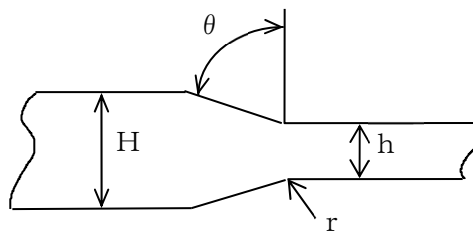
- (1) 板厚が変化する部分の応力集中係数は、5.13 節の引用文献(3)の Appendix B に示された手法によって求める。
- (2) この手法の概要は、次のとおりである。
- a. 以下のような、ステップ状のはりの応力集中係数を求める実験式 (Heywood による。) を用いる。



$$K_n = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{4 \cdot \left(1.4 \cdot \frac{H}{h} - 1 \right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.65} \dots \dots \dots (1)$$

$$K_b = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{2 \cdot \left(5.37 \cdot \frac{H}{h} - 4.8 \right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.85} \dots \dots \dots (2)$$

- b. 隅部にテーパのあるときは、次のように補正する。



(1)式, (2)式で求めた応力集中係数を K_0 , 補正した係数を K' として

$$2 \cdot r \leq H - h \text{ のとき} \quad \frac{K' - 1}{K_0 - 1} = 1 - \left(\frac{\theta}{90} \right)^n$$

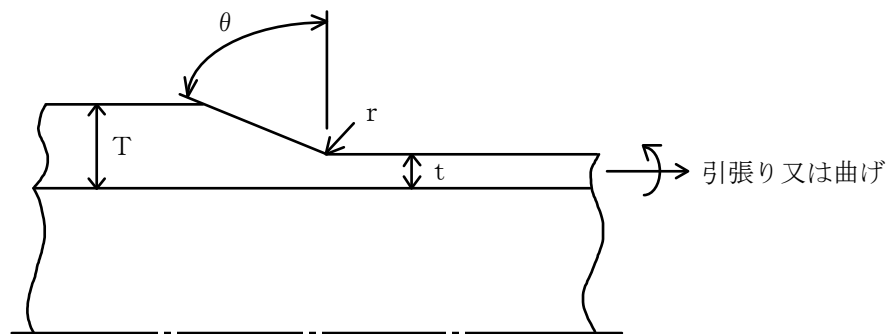
$$2 \cdot r > H - h \text{ のとき} \quad \frac{K' - 1}{K_0 - 1} = 1 - \left(\frac{\theta - \alpha}{90 - \alpha} \right)^n$$

ただし,

$$n = 1 + 2.4 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot r}{H - h}}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left(1 - \frac{H - h}{2 \cdot r} \right)$$

- c. 円筒部については, a 項及び b 項の式の H , h を $H = 2 \cdot T$, $h = 2 \cdot t$ とする。
 なお, T 及び t は, 下図に示す寸法を用いるものとする。



2. 計算方法

応力集中係数の計算は, T , t , r 及び θ を用いて行う。
 応力集中係数の表においては, 次のものを記載する。

- T : 大きい方の板厚 ($= H / 2$)
 t : 小さい方の板厚 ($= h / 2$)
 r : 隅部の半径
 θ : テーパー角度
 K_n : 引張に対する応力集中係数
 K_b : 曲げに対する応力集中係数

VI-3-別添 7 原子炉圧力容器内部構造物の強度に関する説明書

VI-3-別添 7-1 原子炉圧力容器内部構造物の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 原子炉圧力容器内部構造物の強度評価の基本方針	2
3. 原子炉圧力容器内部構造物の強度評価方法	3
3.1 確認内容	3
4. 強度評価結果	4

1. 概要

本計算書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第50条、第51条、第52条、第54条、第59条、第60条、第62条、第63条、第65条及び第66条において、重大事故等時に流路としての機能が要求される原子炉压力容器内の原子炉压力容器内部構造物が、十分な強度を有することを説明するものである。

2. 原子炉圧力容器内部構造物の強度評価の基本方針

重大事故等時における原子炉圧力容器内部構造物の評価は、重大事故等時の評価条件が設計基準事故時の評価条件に包絡されており、既に認可された工事計画の添付資料（以下「既工認」という。）における評価結果があるため、材料、構造及び強度の要求は同じであることから、その評価の適用性を確認し、既工認の確認による評価を実施する。

3. 原子炉圧力容器内部構造物の強度評価方法

原子炉圧力容器内部構造物の強度評価について、既工認における評価結果があるため、以下の3.1節に示す確認内容のとおり、その評価結果の確認による評価を実施する。

3.1 確認内容

重大事故等事象は、運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故事象に対して原子炉の安全性を損なうことがないように設計することが求められる構造物、系統及び機器の安全機能が喪失した場合に発生する又は発生する可能性があるものである。

重大事故等時の事故時荷重を表3-1に、設計基準時の事故時荷重を表3-2に示す。両表に示すとおり、起因となる運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳの事故時荷重は、重大事故等時の事故時荷重を包絡している。

4. 強度評価結果

本計算書は、原子炉圧力容器内部構造物のうち以下の機器の重大事故等対処設備としての応力評価結果を示すものであるが、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、評価結果については、昭和60年12月25日付け60資庁第11431号にて認可された既工認の添付書類IV-3-1-2「圧力容器内部構造物の強度計算書」による。

- (1) ジェットポンプ
- (2) 給水スパージャ
- (3) 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ
- (4) 低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部）
- (5) 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）
- (6) 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）

表3-1 重大事故等事象に対する荷重の整理表(1/2)

重大事故等時			運転状態Ⅲ及びⅣの評価(表3-2)との関係	
事故シーケンスグループ	重要事故シーケンス	事故時荷重*	事故時荷重の包絡性	ピーク差圧の包絡性
高圧・低圧注水機能喪失(給水喪失)	給水喪失+低圧原子炉代替注水系(常設)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/ベント)			
高圧注水・減圧機能喪失(給水喪失)	給水喪失+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(残留熱除去系)			
全交流動力電源喪失(長期TB)	全交流動力電源喪失+原子炉隔離時冷却系停止+低圧原子炉代替注水系(可搬型)+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/残留熱除去系)			
全交流動力電源喪失(TBD, TBU)	全交流動力電源喪失/全電源喪失+高圧原子炉代替注水+低圧原子炉代替注水系(可搬型)+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/残留熱除去系)			
全交流動力電源喪失(TBP)	全交流動力電源喪失+原子炉隔離時冷却系停止+低圧原子炉代替注水系(可搬型)+残留熱除去系(低圧注水モード)+原子炉格納容器除熱(代替スプレイ/残留熱除去系)			

表3-1 重大事故等事象に対する荷重の整理表(2/2)

崩壊熱除去機能喪失 (取水機能喪失)	給水喪失+全交流動力電源喪失+原子炉 隔離時冷却系停止+残留熱除去系(低圧 注水モード)+原子炉格納容器除熱(残 留熱除去系)	
崩壊熱除去機能喪失 (RHR機能喪失)	給水喪失+原子炉隔離時冷却系停止+低 圧原子炉代替注水系(常設)+原子炉格 納容器除熱(代替スプレイ/ベント)	
原子炉停止機能喪失	主蒸気隔離弁誤閉止+スクラム失敗	
LOCA時注水機能 喪失(中小破断)	中小LOCA+外部電源喪失+低圧原子 炉代替注水系(常設)+原子炉格納容器 除熱(代替スプレイ/ベント)	
格納容器バイパス	インターフェースシステムLOCA(残 留熱除去系(低圧注水モード)の破断)	
大破断LOCA	大LOCA+低圧原子炉代替注水系(常 設)+原子炉格納容器除熱(代替スプレ イ/残留熱代替除去系)	

注記* : 事故時に発生する機械的荷重

表3-2 設計基準事故事象に対する事故時荷重

事象		事故時荷重*	強度評価上の取扱い	備考
運転状態Ⅲ	過大圧力			
運転状態Ⅳ	冷却材喪失事故			

注記*：事故時に発生する機械的荷重